

地すべり地末端の崩落斜面における
地盤変位の計測手法に関する共同研究報告書

平成 19 年 10 月

独立行政法人土木研究所
株式会社 興 和
株式会社 パ ス コ
株式会社 レイディック

地すべり地末端の崩落斜面における 地盤変位の計測手法に関する共同研究

独立行政法人土木研究所	土砂管理研究グループ	地すべりチーム	上席研究員	藤澤和範
			主任研究員	石田孝司
			主任研究員	藤平 大*
			交流研究員	樋口佳意
			交流研究員	池田 学
株式会社興和	先端技術部		部長	斉藤浩之
	先端技術部		課長	坂東和郎
	先端技術部		課長代理	大川 滋
株式会社パスコ	コンサルタント事業部	防災技術部	防災課	課長 下村博之
	コンサルタント事業部	防災技術部	砂防課	榊 仁一
	東日本事業部	技術部	国土基盤課	課長 小松崎弘道
	技術統括本部		専門部長	三島研二
株式会社レイディック			代表取締役社長	山崎宣悦
			係長	高濱利光
			係長	坂田岳生
			係長	金子綾一
			係長	才田 誠

要 旨

本報告書は、土木研究所と民間 3 社が平成 17 年度から平成 18 年度まで実施した「地すべり地末端の崩落斜面における地盤変位の計測手法に関する共同研究」の成果の一部である。

本共同研究では、遠隔から安全に崩壊斜面の地盤変動を計測する手法を確立するため、ノンプリズム型トータルステーションを対象に、クロスボウを用いて遠隔から設置できるターゲットおよびその設置方法を開発した。なお、本手法は「RE・MO・TE² (リモート 2 : Remote Monitoring Technology2)」と呼ばれる。

キーワード：崩壊斜面 地盤変位 遠隔計測 クロスボウ リモート 2

(※：現、国土交通省大臣官房 監察官)

【 目 次 】

1. はじめに	
1. 1. 研究背景	1
1. 2. 研究目的	1
1. 3. 研究内容と作業分担	1
2. 地すべり地末端の崩壊事例及び観測事例	
2. 1. 地すべり地末端の崩壊事例	4
2. 2. 観測事例	6
3. 観測手法の検討	
3. 1. 観測手法	11
3. 2. 観測機器	15
3. 3. 計測用ターゲットの要件	21
3. 4. トータルステーションの配置	24
3. 5. 計測用ターゲットのトータルステーション計測への適応性	32
3. 6. 観測手法検討結果のまとめ	57
4. ターゲットの開発	
4. 1. 標的の要求性能	59
4. 2. 対象斜面の物性	60
4. 3. ペイント入りカプセルの開発	61
4. 4. ペイントの岩石表面への定着試験	68
4. 5. 雨天時に使用可能なペイントカプセルの検討	75
5. 遠隔設置手法の開発	
5. 1. 遠隔設置方法の検討	77
5. 2. クロスボウの変更 (RE・MO・TE ² への発展)	91
5. 3. 設置架台の開発	93
5. 4. 制御機能の検討	101

6. 現場計測	
6. 1. 計測フローと留意事項	・ ・ ・ ・ ・ 207
6. 2. 現場計測事例	・ ・ ・ ・ ・ 211
7. まとめ	・ ・ ・ ・ ・ 227
巻末資料（設計図面）	・ ・ ・ ・ ・ 231

1. はじめに

1.1. 研究背景

地すべり末端部の崩落土砂の一部は、背後の地すべり土塊を抑えていることや崩壊の拡大を抑えている可能性がある。しかしながら、人命救助、道路の通行確保、河道閉塞の解消等のため、応急処置として一時的でも崩落土砂を除去しなければならない場合がある。その際、除去作業は監視員を配置するなど慎重に行われているものの、背後斜面の地すべり誘発や土砂の再崩落など二次災害の危険を伴うものである。また、地すべり対策を検討する上で、早急な地すべり規模等の調査が必要となるが、これらの調査中にも二次災害の危険がある。

このような二次災害の恐れがある崩落危険斜面の変動を遠隔から計測できれば、安全性を客観的に評価しながら作業を行うことができる。遠隔から変動量を計測する方法としては、画像解析やレーザースキャナ等の利用が挙げられる。しかし、これらの方法は標的（ターゲット）を使用しないため 10cm 程度の計測精度¹⁾であり、再崩落の前兆となるような斜面の変動を捉えることは難しい。また、ノンプリズム型トータルステーションを用いる遠隔監視手法もあるが、同じくターゲットを使用しないことによる視準点のズレや夜間計測ができないといった問題がある。そこで、本研究では、ノンプリズム測量を対象に、危険な斜面に立入ることなく遠隔からターゲットを設置し、そのターゲットを視準することでより高精度の遠隔計測を可能とする技術の開発を行った。

1.2. 研究目的

崩壊斜面直下における人命救助、崩落土砂の除去作業、地すべり調査等の作業の安全確保に資するため、危険な斜面に立入らずに遠隔から速やかに地盤変位を監視する計測技術の開発を目的とする。また、このような地盤変位計測技術を確立するため、以下の項目について研究を実施した。

- (1) 遠隔から設置できるターゲットの開発
- (2) 遠隔からのターゲット設置方法の開発
- (3) 遠隔監視手法の検討

なお、本計測手法に関しては、マニュアル²⁾が別途刊行されている。

1.3. 研究内容と作業分担

本研究は、独立行政法人土木研究所、株式会社興和、株式会社パスコ、株式会社レイディックによる共同研究である。本研究の分担及び全体工程表を表 1.1 に示す。

表 1.1 研究分担・全体工程表

研究項目	研究細目	目的・概要	研究分担		年次計画																							
					平成17年度									平成18年度														
			◎	○	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
地すべり地内に光波測量用ターゲットを安全に取り付ける方法の検討	既往技術に関する調査	遠隔計測手法等に関する既往技術調査	土研	ハスコ 興和 レイディック			←	文献調査	→																			
	ターゲット(シール材、マーカー材)の調査・選定	遠隔設置に使用可能なターゲットの選定	レイディック	ハスコ 興和				マーカー材の調査・選定	←																			
	ターゲットの設置方法の検討・選定	100m先の目標に設置可能な方法を選定	レイディック	ハスコ 興和				設置方法の検討	←																			
	使用機器(観測機器)の調査・選定	遠隔から高精度に観測可能なかつ実用性の高い機器を選定	ハスコ	ハスコ 興和				機器調査選定	←																			
	対象斜面の選定調査	対象斜面の特性を調査、実証試験候補地を選定	土研	ハスコ レイディック				事例調査	←																			
ターゲット設置の確実性についての検討	構内事前試験	ターゲット、設置方法の予備試験、基本設計の性能確認試験	レイディック	土研 ハスコ 興和				クロスボー試験	←																			
	基本設計・改良設計	設置治具、設置方法、観測体制の設計	興和	レイディック ハスコ																								
	現場実証試験	基本設計・改良設計の性能確認試験	興和	土研 ハスコ レイディック																								
検討したターゲットを用いて計測を行う場合の精度・適用範囲の検討	精度評価、設置方法の適用性検討	設置精度、観測精度を検証し、設置方法の妥当性を検討	ハスコ	興和 レイディック 土研				クロスボーの到達精度評価・検討	←																			
	まとめ	使用マニュアル作成 共同研究成果報告書作成	土研	ハスコ 興和 レイディック																								

<参考文献>

- 1) 浅野広樹, 石井靖雄, 綱木亮介 : 3Dレーザースキャナーによる地すべり移動量計測の検討, 第40回日本地すべり学会研究発表会講演集, pp. 279-281, 2001.
- 2) (独) 土木研究所土砂管理研究グループ地すべりチーム : 地すべり地末端の崩落斜面における地盤変位の計測手法マニュアル, 土木研究所資料第4072号, 2007.

2. 地すべり地末端の崩壊事例及び観測事例

2.1. 地すべり地末端の崩壊事例

2.1.1. 崩壊事例と崩壊地の特徴

図 2.1.1 に示すように斜面下部の崩落は、その上部にある地すべりの末端であることがあり、崩落土砂の除去等には再崩落の恐れから慎重な対応が求められている。表 2.1.1 に示す地すべり末端の崩壊事例をみると、以下のような特徴が挙げられる。

- ・崩壊斜面を構成する地質の種類には傾向がなく、火成岩から堆積岩まで多種多様である。
- ・9 割以上の斜面が河川又は海に面している。
- ・遠隔計測で必要となる離隔距離は、水平距離で 100m 以上がほとんどである。
- ・末端部は、他の地すべり土塊の部位に比べて粘性土の割合が多いものの、岩又は崩積土である場合が 7 割を占める。

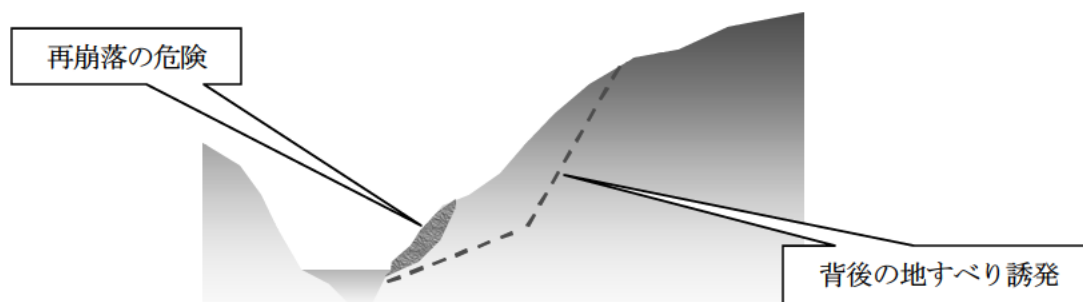


図 2.1.1 地すべり末端の崩壊斜面

表 2.1.1 地すべり末端の崩壊事例^{1), 2)}

	場所	河川、海	対岸等からの水平距離	地質
北海道	左股	タタケオベツ川	100	
	豊浜	日本海	350	泥岩・玄武岩
	北一ノ沢	川(名称不明)	100	
	黄金温泉	豊平川	130	
山形県	鱒淵	川(名称不明)	160	
	湯船A	湯船沢川	60	
福島県	滝坂	阿賀川	150	
茨城県	今通沢	浅川	250	
山梨県	宮原	なし	-	
	西沢	大柳川	200	
新潟県	湯之谷	佐梨川	50	花崗閃緑岩
長野県	奈良尾	なし	-	砂岩
	赤岩本郷	千曲川	100	
	清水山	中谷川	200	流紋岩
	入谷	塩川	100	片岩・蛇紋岩
富山県	土倉	上庄川	300	凝灰岩質砂岩シルト岩互層
石川県	深見	日本海	200	
静岡県	口坂本	中河内川	150	頁岩
岡山県	総社市下倉地区	高梁川	500	粘板岩・礫質土
熊本県	国道219号	球磨川	300	
宮崎県	松瀬	川(名称不明)	100	
徳島県	大西	川(名称不明)	-	

2.1.2. 緊急活動事例（新潟県長岡市妙見における救助活動）

(1) 概要

2004 年の新潟県中越地震によって長岡市妙見地内で大規模な斜面崩壊が発生し、信濃川沿いの道路が破壊され、行方不明になっていた車両が発災 3 日後に発見された。救出活動にあたっては、余震の続く中での崩壊地という環境下であったため、二次災害の危険が高く安全確保に留意し、慎重に行われなければならないものであった。

安全確保のため、専門家による上空からの偵察と現地踏査によって、危険要因の判断と回避軽減策の説明が行われ、退避場所・退避経路の設定が行われた。背後斜面の監視には、特に危険な箇所について監視員を配置し、目視による監視が行われた。これらの措置によって、二次災害は発生せず、幸い一人のけが人も出さずに救出活動が行われた。

(2) 監視における課題

妙見での救助は目視に頼った監視であった。人間の目視による監視は、状況への適応力があり総合的な判断が下せるという点で有効であるが、時間とともに集中力が低下したり、緩速な変化を察觉到にくいなどの限界がある。実際、この救助活動中においても、活動の長期化に伴い一部の監視は途中で打ち切られている³⁾。



写真 2.1.1 崩落の状況



写真 2.1.2 救助活動の状況

2.2. 観測事例

2.2.1. 事例となった災害

平成16年2月10日と2月12日の2回にわたり、新潟県魚沼市（旧湯之谷村）下折立の佐梨川左岸において斜面崩壊が発生した（図2.2.1、写真2.2.1）。2月10日に発生した崩落（以下第1崩落とする）の規模は、高さ約50m、幅約30m、深さ約5mであり、2月12日に発生した崩落（以下第2崩落とする）の規模は、高さ約50m、幅約35m、深さ約5mであり、第2崩落は第1崩落の直ぐ上流側で発生し、いずれの崩落も斜面下を流れる佐梨川を一時的に閉塞させた⁴⁾。

斜面はその後も小規模な崩壊を繰り返すなど不安定な状態が続いたため、厳重な監視体制の下におかれた。その監視箇所から崩落斜面までの距離は70～130m程度あったが、再崩落等の前兆現象を捉えるため斜面の精密な変位量計測が求められた。

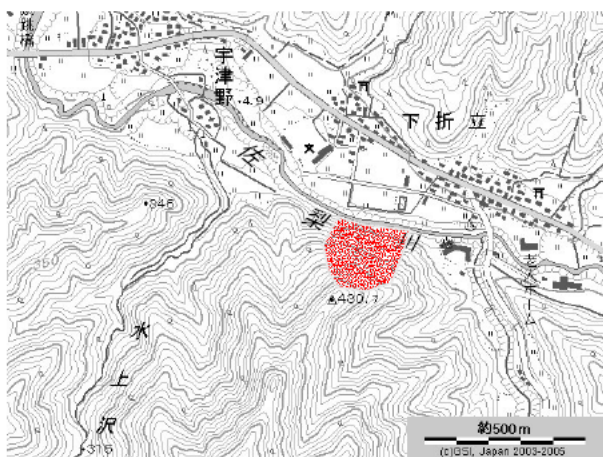


図 2.2.1 斜面崩壊箇所

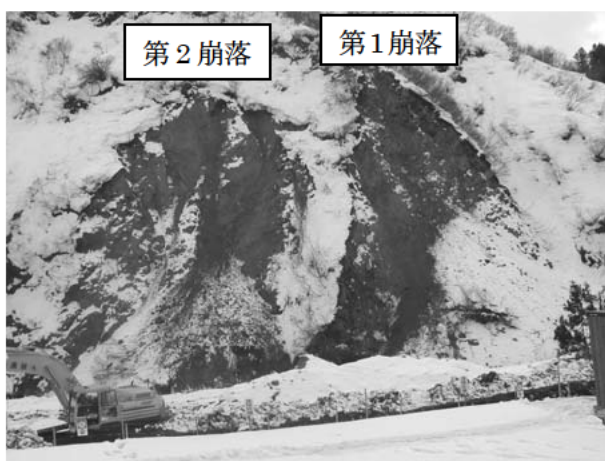


写真 2.2.1 崩壊斜面

2.2.2. 観測方法

(1) 観測機器の選定

変位量計測は、複数の不安定土塊をターゲットとする必要があったことから、ノンプリズムレーザー測距儀を用いて実施することとし、SOKKIA 社製 SET230R3 型レーザー測距儀を採用した。その仕様は、以下のとおりである。

- ・レーザー出力：JIS クラス 3B 相当
- ・ノンプリズム時測定可能範囲：0.3～350m
- ・測距精度：0.3～200m の場合 $\pm(3+2\text{ppm} \times D)\text{mm}$ （距離が 100m 離れた場合、誤差は $\pm 3.2\text{mm}$ ）
200m～350m の場合 $\pm(5+10\text{ppm} \times D)\text{mm}$ （距離が 300m 離れた場合、誤差は $\pm 6.0\text{mm}$ ）
- ・測角精度：2''
- ・2 軸自動補正機構：液体式 2 軸センサ（補正範囲 $\pm 3'$ ）
- ・国土地理院による認定：2 級 A トータルステーション（登録第 173 号）

(2) 観測方法

ノンプリズムレーザー測距儀は、崩落斜面から佐梨川を挟んだ対岸に設置し(図 2.2.2、写真 2.2.2)、風雨の影響を受けないようガードマンボックスで保護を行った(写真 2.2.3)。この観測は平成 16 年 2 月 26 日～6 月 8 日の 3 箇月半に及んだ。計測点は最大で 16 点、観測頻度は、日中は 1 時間毎、夜間は 2 時間毎とし、手動観測を行った。

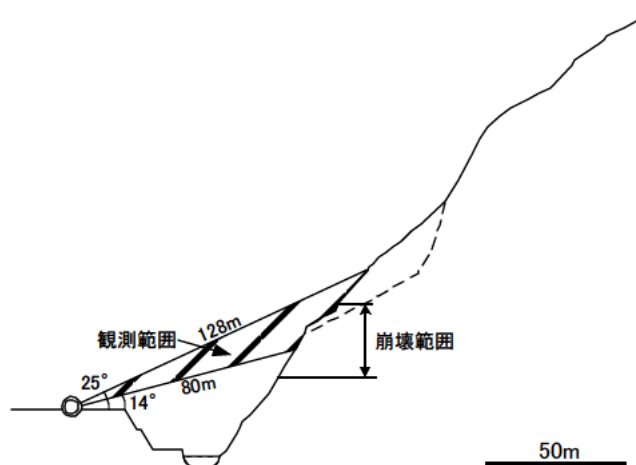
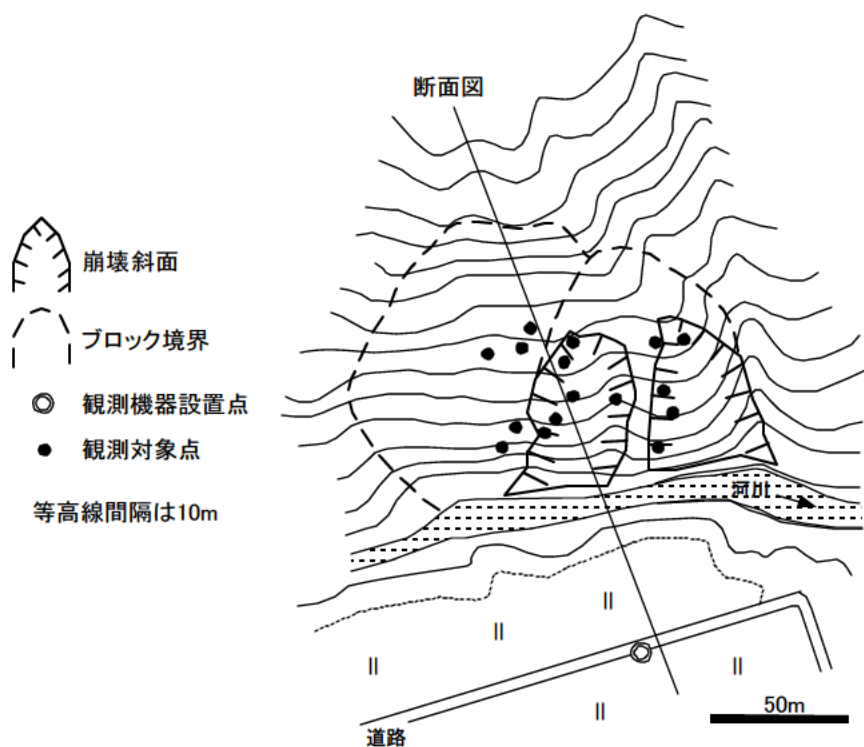


図 2.2.2 定点観測模式図



写真 2.2.2 観測状況 (○印は計測点)



写真 2.2.3 測距儀の設置状況

2.2.3. 観測結果

図 2.2.3 は、第2崩落斜面上部の観測記録の日平均値の変化を示したものであり、変位量のマイナスは計測距離の減少、プラスは増加を表している⁴⁾。これをみると、2月下旬から3月上旬の積雪期は雪の影響によりデータが不安定となっているほか、濃霧及び霧雨時にも影響を受けていたことが分かる。その後、天候の安定とともに日平均値も安定している。

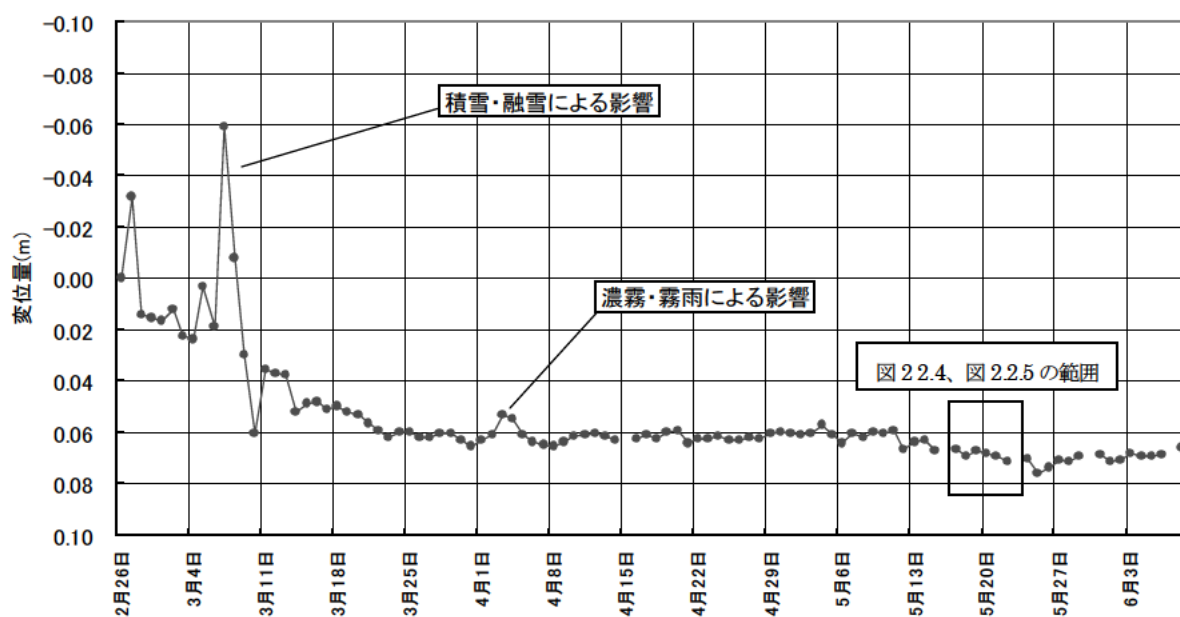


図 2.2.3 第2崩落斜面上部の観測結果 (日平均値)

次に、観測日毎の全測定結果についてみると、図 2.2.4 に示した第 2 崩落斜面上部では 4～9.5mm、図 2.2.5 に示した第 1 崩落斜面上部では 2～3.5mm と、同じ日の計測であっても計測値にバラツキが生じている（データは文献⁵⁾による）。

図 2.2.4 における計測距離は 104m であり、この時の測距儀の距離精度は±3.2mm である。9mm 前後のバラツキは機械精度から見ても大きく、この計測点では、計測点に凹凸があるなど同一ポイントでの計測ができていない可能性がある。

一方、図 2.2.5 については比較的バラツキが小さくなっている。

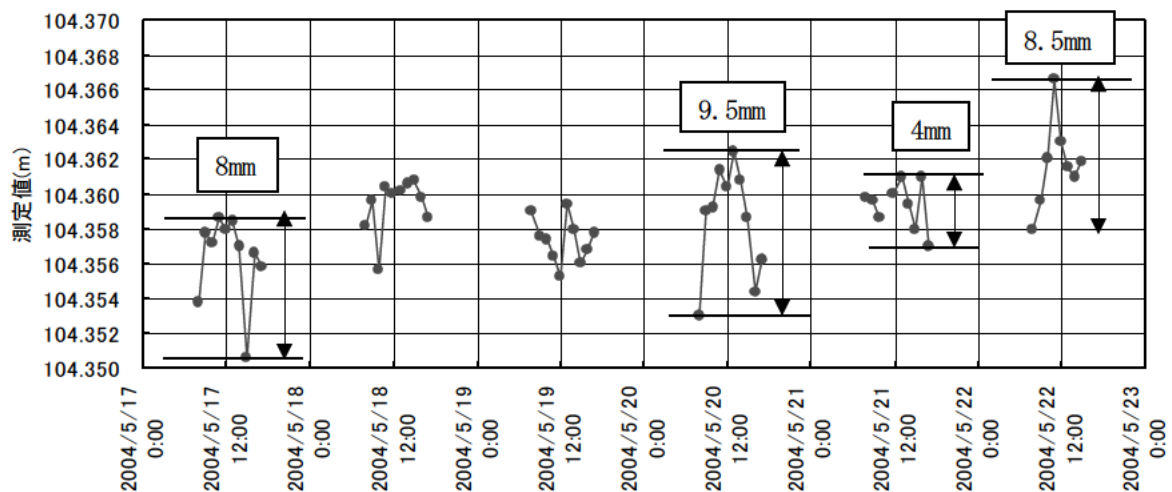


図 2.2.4 第 2 崩落斜面上部の観測結果（毎時の値）

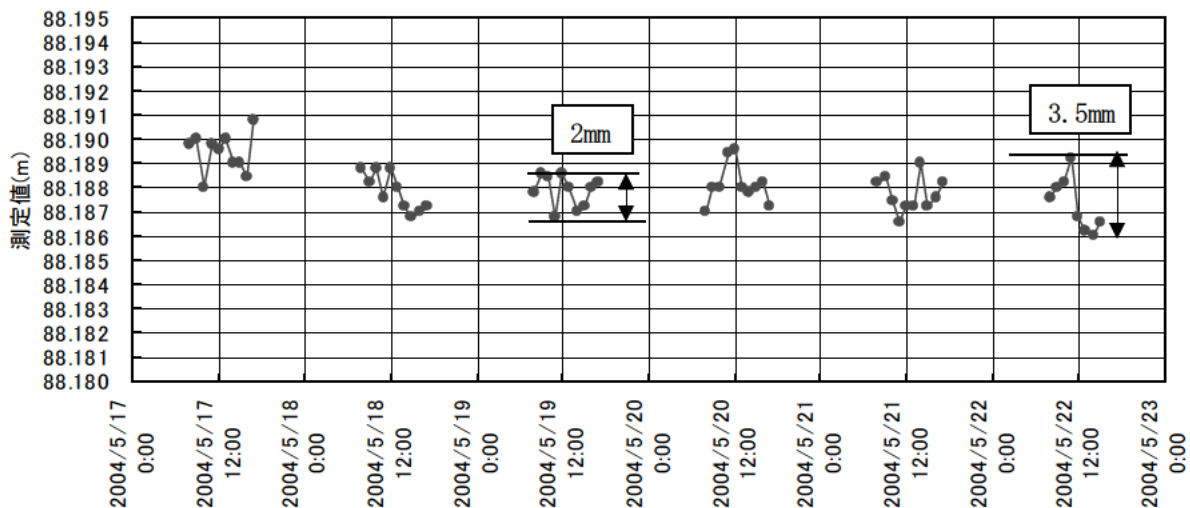


図 2.2.5 第 1 崩落斜面上部の観測記録（毎時の値）

2.2.4. 観測事例からみた課題

これらの観測事例から、ノンプリズムレーザー測距儀が斜面監視において有効な計測手段であることが示されたが、同時に、以下の課題が明らかとなった。

- ・積雪や融雪の影響を受けることがある。
- ・濃霧や霧雨の影響を受けることがある。
- ・測距儀の距離精度を上回るバラツキが生じることがあり、この原因として計測点の凹凸や、同一ポイントで計測できていない可能性がある。

<参考文献>

- 1) 砂防地すべりセンター：地すべり移動事例の整理，2001.
- 2) 綱木亮介，藤澤和範，又吉博美，柳原幸希：平成10年度地すべり危険箇所調査，建設省土木研究所砂防部地すべり研究室部内資料，pp. 31-37，1999.
- 3) 独立行政法人消防研究所：斜面崩壊現場の二次災害危険度予測手法に関する研究報告書，消防研究所研究資料第70号，pp. 28，2006.
- 4) 財団法人砂防・地すべりセンター：佐梨川斜面崩壊対策検討委員会，現地視察会資料，平成16年8月17日，2004.
- 5) 国土交通省北陸地方整備局湯沢砂防事務所：2.10 湯之谷村佐梨川土砂崩落災害応急復旧対策工事報告書，北越建設株式会社.

3. 観測手法の検討

3.1. 観測手法

地すべり末端部が崩落し崩土が堆積しているようなケースでは、崩土の除去等において再崩落の恐れから慎重な対応が求められる。この際、崩落面の変動を計測できれば作業の安全性を客観的に評価できる。

ここでは、既往計測手法を整理した上で、本研究で取り上げる地すべり地末端の崩落斜面における観測手法を選定する。

3.1.1. 既往の観測手法

地すべり地末端の崩落斜面等において地盤変位を計測するためには、一般に以下の観測手法が考えられる¹⁾。

- ・ 目視調査
- ・ 写真解析（デジタル写真測量、CCD カメラ、写真判読等）
- ・ 伸縮計・傾斜計（インバールワイヤ、水管式傾斜計等）
- ・ 熱赤外線解析
- ・ 合成開口レーダ
- ・ 画像処理・3D レーザースキャナ（航空機型、地上型）
- ・ GPS 測量
- ・ トータルステーション（ノンプリズム型）
- ・ 光ファイバ

各観測手法における利点と欠点を整理すると、主として次表のとおりとなる。

表 3.1.1 地盤変位観測手法の利点と欠点^{1)、2)、3)、4)}

計 測 手 法	利 点	欠 点
目 視 調 査	・直接的な観察による判定がし易い	・緩速変化を知覚し難い ・経験的要因がある ・時間経過による集中力低下 ・危険箇所への立入は困難
写 真 解 析	・現地進入が無いため、安全性が高い	・天候に左右される ・写真像としての識別は、感光乳剤の粒子に依存する ・CCD カメラの画像での識別は、画素数に依存する ・処理時間を要す
伸 縮 計 傾 斜 計	・ポイント（ベクトル）データが取得可能 ・mm 精度でのデータ取得が可能	・計測機器の設置に時間を要す ・動植物による破損、誤作動がある ・落石・崩壊による機器の破損、誤作動がある ・現地に立ち入るため危険性が高い
熱 赤 外 線	・現地進入が無いため、安全性が高い	・処理時間を要す ・画像処理であるため精度が粗い
合 成 開 口 レーダ	・現地進入が無いため、安全性が高い	・データ取得が容易である ・画像処理であるため精度が粗い ・処理時間を要す
画 像 処 理 3D レーザスキャナ	・現地進入が無いため、安全性が高い	・画像処理であるため精度が粗い ・処理時間を要す
G P S 測 量	・ポイント（ベクトル）データが取得可能 ・mm 精度でのデータ取得が可能	・計測機器の設置に時間を要す ・無人観測の場合、機器設置が大がかりとなり、危険も伴う ・落石・崩壊による機器の破損、誤作動がある
トータルステーション	・ポイント（ベクトル）データが取得可能 ・ターゲット観測では mm 精度でのデータ取得が可能 ・自動追尾観測では人的な観測誤差が無い	・ターゲット設置には危険性が高い ・ターゲット無しでは観測対象物の反射率等に精度が依存される ・自動追尾以外の観測では視準誤差が伴う（対象物の特定に個人差が伴う）
光ファイバ	・ポイント（ベクトル）データが取得可能 ・高精度でのデータ取得が可能	・計測機器の設置に時間を要す ・動植物による破損、誤作動がある ・落石・崩壊による機器の破損、誤作動がある ・現地に立ち入るため危険性が高い

3.1.2. 観測手法の選定

崩壊斜面では、斜面下における作業（土砂除去等）には再崩落の恐れから慎重に対応する必要がある、その監視にあたっては次のような条件を考えなければならない。

- 1) 「崩壊地には立ち入れない」 → 遠隔地からの設置・計測が可能なこと

崩落現場は急峻であることが多く、作業員が立ち入ることができないことが多い。また再崩落により二次災害が発生することは避けなければならない。そのため、崩壊地から離れた地点から、計測用資機材の設置や計測が可能であることが望まれる。

- 2) 「緊急・応急に対応する」 → 流通している観測機器を使用すること

地すべりや崩壊は突発的に発生し、事前に場所や時刻が予想できない場合がほとんどである。また災害発生後は人命救助や被害拡大の防止のために、直ちに対応が必要となる場合がある。そのため、現場において調達が難しい特殊な観測機器ではなく、即座に実施できるように、市場に流通している観測機器を使用することが望まれる。

- 3) 「数 mm 以内の変動を把握する」 → 高精度な観測機器を使用すること

崩壊斜面では、わずかな変化が再崩壊の徴候を示すことがある。そのため、数 mm 以内の地盤変動を確実に捉えることのできる高精度な観測機器を使用することが望まれる。

前項であげた各種観測手法について、これらの崩壊斜面での監視の条件を照らし合わせると、次のように観測手法が絞られる。

条件 1) 「崩壊地には立ち入れない」 → 遠隔地からの設置・計測が可能なこと

＜条件に合う観測手法＞

- ・ 写真解析（デジタル写真測量、CCD カメラ、写真判読等）
- ・ 熱赤外線
- ・ 合成開口レーダ
- ・ 画像処理・3D レーザースキャナ（航空機型、地上型）
- ・ トータルステーション



条件2)「緊急・応急に対応する」 → 流通している観測機器を使用すること

＜条件に合う観測手法＞

- ・ 写真解析（デジタル写真測量、CCD カメラ、写真判読等）
- ・ 熱赤外線
- ・ 画像処理・3D レーザースキャナ（航空機型、地上型）
- ・ トータルステーション



条件3)「数 mm 以内の変動を把握する」 → 高精度な観測機器を使用すること

＜条件に合う観測手法＞

- ・ トータルステーション

絞り込まれた観測手法のうち、GPS 測量は、機器が複数台必要であり、機器導入や設置が容易でなく、コストがかかる。このことから、汎用性の高いトータルステーションによる遠隔観測が選定される。

この場合、ターゲットとして反射剤（ペイント等）を地すべり地末端の崩落斜面に直接付着させて、観測の目標とし高精度のデータを取得することが必要となる。

3.2. 観測機器

前節において、トータルステーションによる遠隔観測をもって崩壊斜面の地盤変位計測を行うこととした。ここでは、各種条件を考慮して観測に使用するトータルステーションを選定する。

3.2.1. 観測機器の選定条件

本共同研究期間は、2年間という時間的制約があり、測量機器のハード的な改良は困難であるため、既存の技術を利用することを前提に実施した。

(1) 基本条件

基本条件は、次のとおりとした。

1) ターゲットまでの目標距離

ファーストステップとして100m程度とする。ターゲットの設置方法等が確立した後、300m程度とする。

2) 観測機器

観測距離が長くなるほど測角誤差の影響が大きくなるため、トータルステーションで距離計測を行う。

3) ターゲット

ロボット等を用いてプリズムを設置する方法も考えられるが、現時点では経済性に課題が残る。このため、現在の技術ではプリズムを経済的に遠隔から設置することは難しい。このようなことから、プリズムではなく、反射性の高いラメやミラーを散らすことによりターゲットとする。

4) 目標精度

再崩落などの前兆現象となる地盤の僅かな変化を捉えるため、mm単位での精度を目標とする。

(2) 機器条件

観測機器は、地すべりの微細な変動を捉えることができるように、汎用性がある機器の中で高精度の機種が望まれる。機器の選定条件を次のとおりとした。

1) 選定機器の性能：

公共測量に準拠した一般的な性能基準を有する機器として、国土地理院登録トータルステーション 2 級 A 以上とする。

国土地理院測量機器性能基準 平成 13 年 4 月 1 日適用 改正 平成 16 年 5 月 19 日

改正 平成 18 年 2 月 10 日

測量機器性能基準とは、公共測量作業規程（測量法第 33 条第 1 項の規定に基づく）の第 2 編 基準点測量 第 1 章 基準点測量（機器）第 34 条および、第 2 章 水準測量（機器）第 59 条に記載される、基本測量に使用する測量機器が備えていなければならない性能の基準である。公共測量においても測量機器性能基準を満たした機器を使用することが前提となる。

2) 選定機器のスペック：

ターゲットとなる反射剤を計測するため、光波距離計としての必要な性能を次のとおりとした。

- ・ 1 素子プリズムを使用した場合に、測定距離 3,000m を保証する機器である。
- ・ 反射テープを計測する場合、300m を計測できる機器である。
- ・ 測定精度が、2mm+2ppm（1 素子プリズム・反射テープ）の性能を有する機器である。

ターゲットを観測するのみでなく、ターゲット以外の地点の観測や断面図作成等に利用できることを考慮して、ノンプリズム計測を併用できる機器とし、レーザ距離計の必要な性能を次のとおりとした。

- ・ ノンプリズムにおいて、測定距離 200m を計測できる機器である。
- ・ 測角精度として 3" ～5" 程度を有する機器である。

緊急時の利用を考慮して、汎用性からみて価格帯を次のとおり設定した。

- ・ 定価が、300 万円以下の機器である。

3.2.2. 観測機器の選定

測量機器メーカーの測量機器性能基準の情報を収集し、トータルステーション 2 級相当の機器を抜粋して前項の選定要件を満たす機器を選定した。なお、表 3.2.1(1)～(4)に示す機器一覧表は、2006 年 2 月 2 日 現在のものである。

凡例： 選定条件を満たす機器
 実証実験で使用した機器

表 3.2.1(1) 機器 一覧表 ⑤、⑥、⑦、⑧、⑨

メーカー	機器	国土地理 院認定	望遠鏡		測 角 部		測 距 部 (光波距離計)				測 距 部 (レーザー距離計)				価格	気泡管 精度	備 考
			倍率	有効径	最少 表示	測角 精度	測距範囲		測定精度*	ノンプリズム 測定	測定精度	測距範囲	測定精度				
							1素子*	反射ターゲット*						1素子及び反射ターゲット*			
Leica	TCR110JS		30x	40mm	1"	10"		250m (60 × 60mm)			80m	5mm+3ppm			¥980,000	20"	TPS100 シリーズ
Leica	TCR405/S	2 級 A	30x	40mm	1"	5"	3500m	250m (60 × 60mm)	2mm+2ppm		80m	3mm+2ppm	5000m	5mm+2ppm	オートプリズム	20"	TPS400 ハンディシリーズ
Leica	TCR407/S	3 級	30x	40mm	1"	7"	3500m	250m (60 × 60mm)	2mm+2ppm		80m	3mm+2ppm	5000m	5mm+2ppm	オートプリズム	20"	TC(トータルステーション)R(ノンプリズム)
Leica	TCR407C	3 級	30x	40mm	1"	7"	3500m	250m (60 × 60mm)	2mm+2ppm		80m	3mm+2ppm	5000m	5mm+2ppm	オートプリズム	20"	S(シフト式基準)C(シフト式基準・片面ハネル)
Leica	TCR703Auto	2 級 A	30x	40mm	1"	3"	3000m	250m (60 × 60mm)	2mm+2ppm		200m	3mm+2ppm	7500m	5mm+2ppm	オートプリズム	20"	TPS700 ハンディシリーズ
Leica	TCR705Auto(S)	2 級 A	30x	40mm	1"	5"	3000m	250m (60 × 60mm)	2mm+2ppm		200m	3mm+2ppm	7500m	5mm+2ppm	オートプリズム	20"	TC(トータルステーション)
Leica	TCR703	2 級 A	30x	40mm	1"	3"	3000m	250m (60 × 60mm)	2mm+2ppm		200m	3mm+2ppm	7500m	5mm+2ppm	オートプリズム	20"	R(ノンプリズム)
Leica	TCR705(S)	2 級 A	30x	40mm	1"	5"	3000m	250m (60 × 60mm)	2mm+2ppm		200m	3mm+2ppm	7500m	5mm+2ppm	オートプリズム	20"	S(シフト式基準)
Leica	TCR803power	2 級 A	30x	40mm	1"	3"	3500m	250m (60 × 60mm)	2mm+2ppm		200m	3mm+2ppm	10000m	5mm+2ppm	オートプリズム	20"	TPS800 ハンディシリーズ
Leica	TCR805/Spower	2 級 A	30x	40mm	1"	5"	3500m	250m (60 × 60mm)	2mm+2ppm		200m	3mm+2ppm	10000m	5mm+2ppm	オートプリズム	20"	R(ノンプリズム)S(シフト式基準)
Leica	TCRA1101	2 級 A	30x	40mm	1"	1.5"	3000m	300m (60 × 60mm)	2mm+2ppm		200m	3mm+2ppm	5000m	5mm+2ppm	¥4,300,000	2"	
Leica	TCRA1103	2 級 A	30x	40mm	1"	3"	3000m	300m (60 × 60mm)	2mm+2ppm		200m	3mm+2ppm	5000m	5mm+2ppm	¥3,000,000	2"	TPS1100 プロフェッショナルシリーズ
Leica	TCRA1105	2 級 A	30x	40mm	1"	5"	3000m	300m (60 × 60mm)	2mm+2ppm		200m	3mm+2ppm	5000m	5mm+2ppm	¥2,800,000	2"	TC(トータルステーション)
Leica	TCRM1101	2 級 A	30x	40mm	1"	1.5"	3000m	300m (60 × 60mm)	2mm+2ppm		200m	3mm+2ppm	5000m	5mm+2ppm	¥4,000,000	2"	R(ノンプリズム)
Leica	TCRM1103	2 級 A	30x	40mm	1"	3"	3000m	300m (60 × 60mm)	2mm+2ppm		200m	3mm+2ppm	5000m	5mm+2ppm	¥2,700,000	2"	M(モーター駆動)
Leica	TCRM1105	2 級 A	30x	40mm	1"	5"	3000m	300m (60 × 60mm)	2mm+2ppm		200m	3mm+2ppm	5000m	5mm+2ppm	¥2,500,000	2"	A(自動追尾・自動追尾)
Leica	TCR1101	2 級 A	30x	40mm	1"	1.5"	3000m	300m (60 × 60mm)	2mm+2ppm		200m	3mm+2ppm	5000m	5mm+2ppm	¥3,600,000	2"	

表 3.2.1(2) 機器一覽表 5)、6)、7)、8)、9)

メーカー	機器	国土地理 院認定	望遠鏡		測 角 部		測 距 部 (光波距離計)			測 距 部 (レーザー距離計)				価格	備 考
			倍率	有効径	最少表示	測角精度	1素子*	反射ターゲット*	測定精度*	ハンプリスム	測定精度	測定範囲	測定精度		
Leica	TOR1103	2級 A	30x	40mm	1"	3"	3000m	300m (60×60mm)	2mm+2ppm	200m	3mm+2ppm	5000m	5mm+2ppm	¥2,300,000	TPS1100 プロセッサシリーズ*
Leica	TOR1105	2級 A	30x	40mm	1"	5"	3000m	300m (60×60mm)	2mm+2ppm	200m	3mm+2ppm	5000m	5mm+2ppm	¥2,100,000	
PENTAX	R-330N	2級 A	30x	45mm	1"	3"	3500m	600m (60×60mm)	2mm+2ppm	200m	5mm+2ppm			¥1,785,000	R-300 シリーズ*
PENTAX	R-350N	2級 A	30x	45mm	5"	5"	3500m	600m (60×60mm)	2mm+2ppm	200m	5mm+2ppm			¥1,575,000	
PENTAX	R-360N	3級	30x	45mm	10"	6"	3500m	600m (60×60mm)	2mm+2ppm	200m	5mm+2ppm			オープンタイプ	
SOKKIA	SET2 130R	2級 A	30x	45mm	0.5"	2"	5000m	500m (60×60mm)	1素子 : 2mm+2ppm 反射ターゲット : 3mm+2ppm	350m	5mm+10ppm×D			¥2,000,000	
SOKKIA	SET3 130R	2級 A	30x	45mm	1"	3"	5000m	500m (60×60mm)	1素子 : 2mm+2ppm 反射ターゲット : 3mm+2ppm	350m	5mm+10ppm×D			¥1,800,000	130R シリーズ* 極至近距離観測可能 (30cm)
SOKKIA	SET4 130R	2級 A	30x	45mm	5"	5"	5000m	500m (60×60mm)	1素子 : 2mm+2ppm 反射ターゲット : 3mm+2ppm	350m	5mm+10ppm×D			¥1,600,000	
SOKKIA	SET1 030R	1級	30x	45mm	0.5"	1"	6000m	500m (60×60mm)	1素子 : 2mm+2ppm 反射ターゲット : 3mm+2ppm	350m	5mm+10ppm×D			オープンタイプ	
SOKKIA	SET2 030R	2級 A	30x	45mm	0.5"	2"	6000m	500m (60×60mm)	1素子 : 2mm+2ppm 反射ターゲット : 3mm+2ppm	350m	5mm+10ppm×D			¥2,300,000	POWERSET-R 極至近距離観測可能 (30cm)
SOKKIA	SET3 030R	2級 A	30x	45mm	1"	3"	6000m	500m (60×60mm)	1素子 : 2mm+2ppm 反射ターゲット : 3mm+2ppm	350m	5mm+10ppm×D			¥2,000,000	
SOKKIA	SET2 30R3	2級 A	30x	45mm	1"	2"	5000m	500m (60×60mm)	1素子 : 2mm+2ppm 反射ターゲット : 3mm+2ppm	350m	5mm+10ppm×D			¥2,200,000	30R シリーズ* 極至近距離観測可能 (30cm)

表 3.2.1(3) 機器一覽表 (5)、6)、7)、8)、9)

メーカー	機器	国土地理 院認定	望遠鏡		測 角 部		測 距 部 (光波距離計)			測 距 部 (レーザー距離計)				気泡管 精度	価 格	備 考
			倍率	有効径	最少 表示	測角 精度	1素子*	反射ターゲット*	測定精度*	1素子及び反射ターゲット*	ハプリズム	測定精度	測定範囲	測定精度		
SOKKIA	SET3 30R (RS)	2 級 A	30x	45mm	1"	3"	5000m	500m (60 × 60mm)	1素子 : 2mm±2ppm 反射ターゲット : 3mm±2ppm	1素子 : 2mm±2ppm 反射ターゲット : 3mm±2ppm	350m	5mm±10ppm × D	1素子*	30"	¥1,650,000	30R シリーズ 接近距離観測可能 (30cm)
SOKKIA	SET5 30R (RS)	2 級 A	30x	45mm	5"	5"	5000m	500m (60 × 60mm)	1素子 : 2mm±2ppm 反射ターゲット : 3mm±2ppm	1素子 : 2mm±2ppm 反射ターゲット : 3mm±2ppm	350m	5mm±10ppm × D	1素子*	30"	¥1,450,000	30R シリーズ 接近距離観測可能 (30cm)
SOKKIA	SET6 30RS	3 級	30x	45mm	10"	6"	4000m	500m (60 × 60mm)	1素子 : 2mm±2ppm 反射ターゲット : 3mm±2ppm	1素子 : 2mm±2ppm 反射ターゲット : 3mm±2ppm	150m	5mm±10ppm × D	1素子*	40"	オープンタイプ	接近距離観測可能 (30cm)
TOPCON	GPT-3003Hiper	2 級 A	30x	45mm	1"	3"	3000m		3mm±2ppm	3mm±2ppm	120m	10mm±10ppm × D		30"	¥2,000,000	GPT-3000Hiper シリーズ
TOPCON	GPT-3009Hiper	2 級 A	30x	45mm	5"	5"	3000m		3mm±2ppm	3mm±2ppm	120m	10mm±10ppm × D		30"	¥1,800,000	
TOPCON	GPT-7001Hiper	1 級	30x	45mm	0.5"	1"	3000m		2mm±2ppm	2mm±2ppm	1200m	10mm±10ppm × D		30"	オープンタイプ	
TOPCON	GPT-7003Hiper	2 級 A	30x	45mm	1"	3"	3000m		2mm±2ppm	2mm±2ppm	120m	10mm±10ppm × D		30"	¥2,430,000	GPT-7000Hiper シリーズ
TOPCON	GPT-7005Hiper	2 級 A	30x	45mm	5"	5"	3000m		2mm±2ppm	2mm±2ppm	120m	10mm±10ppm × D		30"	¥2,180,000	
TOPCON	GPT-8201A	1 級	30x	50mm	0.5"	1"	7000m		2mm±2ppm	2mm±2ppm	1200m	10mm±10ppm × D		20"	オープンタイプ	GPT-8200A シリーズ 自動追尾ハリスレーザーステーション
TOPCON	GPT-8203A	2 級 A	30x	50mm	1"	3"	7000m		2mm±2ppm	2mm±2ppm	1200m	10mm±10ppm × D		30"	¥2,800,000	
TOPCON	GPT-8205A	2 級 A	30x	50mm	1"	5"	7000m		2mm±2ppm	2mm±2ppm	1200m	10mm±10ppm × D		30"	¥2,650,000	
TOPCON	GPT-3003WF	2 級 A	30x	45mm	1"	3"	3000m		3mm±2ppm	3mm±2ppm	250m	±5mm		30"	¥1,750,000	GPT-3000W シリーズ ハリスレーザ-
TOPCON	GPT-3005WF	2 級 A	30x	45mm	5"	5"	3000m		3mm±2ppm	3mm±2ppm	250m	±5mm		30"	¥1,500,000	
TOPCON	GPT-3007WF	3 級	30x	45mm	10"	7"	3000m		3mm±2ppm	3mm±2ppm	250m	±5mm		40"	オープンタイプ	

表 3.2.1(4) 機器一覧表 (5)、6)、7)、8)、9)

メーカー	機器	国土地理院認定	望遠鏡		測 角 部		測 距 部(光波距離計)			測 距 部(レーザー距離計)				気泡管 精度	価 格	備 考
			倍率	有効径	最少表示	測角精度	測距範囲		測定精度*	プリズム	測定精度	測定範囲	測定精度			
							1素子*	反射ターゲット*								
TOPCON	GPT-7001	1 級	30x	45mm	0.5"	1"	3000m		2mm+2ppm	250m	±5mm			20"	¥3,465,000	GPT-7000 シリーズハプリズムレーザー
TOPCON	GPT-7003F	2 級 A	30x	45mm	1"	3"	3000m		2mm+2ppm	250m	±5mm			30"	¥2,130,000	
TOPCON	GPT-7005F	2 級 A	30x	45mm	5"	5"	3000m		2mm+2ppm	250m	±5mm			30"	¥1,880,000	
Nikon	GF-402N	2 級 A	26x	40mm	0.5"	2"	5000m	300m (50 × 50mm)	3mm+2ppm	220m	10mm+5ppm × D			30"	¥2,050,000	GF-400 シリーズ
Nikon	GF-405N	2 級 A	26x	40mm	1"	5"	5000m	300m (50 × 50mm)	3mm+2ppm	220m	10mm+5ppm × D			30"	¥1,600,000	
Nikon	GF-405CN	2 級 A	26x	40mm	1"	5"	5000m	300m (50 × 50mm)	3mm+2ppm	220m	10mm+5ppm × D			30"	¥1,600,000	フォーカス高速ノンプリズム測距
Nikon	NST-305N	3 級	26x	40mm	5"	5"	5000m	300m (50 × 50mm)	3mm+2ppm × D	200m	5mm+2ppm			30"	¥1,522,500	
Nikon	NST-305CN	3 級	26x	40mm	5"	5"	5000m	300m (50 × 50mm)	3mm+2ppm × D	200m	5mm+2ppm			30"	¥1,522,500	コンパクト型レーザーシグナル

* 「1 素子」「反射タープ」は、リフレクタ(反射鏡)の規格で、それぞれ1素子プリズム、リフレクターシートである。

* 測定精度 (1素子及び反射タープ)の項で1段書きのものは、1素子・反射タープ共に同じ測定精度である。

3.2.3. 実証実験に使用した機器

クロスボウ試射試験で使用したトータルステーションは、次のとおりである。

① 使用機器の性能基準

- ・ 国土地理院登録 トータルステーション 2 級 A

② 機器のスペック⁵⁾：

Leica 社製 TCR1105

◎ 測距部（光波距離計）

- ・ 測距範囲 1 素子プリズムの場合 3,000m
反射テープ（60×60mm）の場合 300m
- ・ 測定精度 2mm+2ppm

◎ 測距部（レーザ距離計）

- ・ 測距範囲 ノンプリズム測定 200m
- ・ 測定精度 3mm+2ppm

3.3. 計測用ターゲットの要件

3.3.1. ターゲットの規格設定

地すべり地末端の崩落斜面において地盤変位を計測するために必要なターゲットの規格を検討する。具体的には、トータルステーションのスポット径を確認した上で、既存の計測手法におけるターゲット径等を考慮し、地すべり地末端の崩落斜面にターゲットとして反射剤をクロスボウにより投擲・付着させる際、岩盤等に付着する反射剤の必要な大きさを設定する。

(1) トータルステーションのスポット径

実証実験で使用した機器（Leica 社製 TCR1105）について、スポット径を調査した。プリズム等を用いる計測における赤外線光波と、ノンプリズム型として使用する場合のレーザ光の特徴は次のとおりである。

1) 赤外線光波の特徴

- ・ 5' × 10' 程度の幅で拡散する。距離に対し比例する（表 3.3.1）。
- ・ 初期スポット径は、不明である。レーザ光と基本的特性は変わらないが、拡散角度がレーザ光より大きくなる傾向がある。

2) レーザ光の特徴

- ・ 断面寸法は、距離に比例して大きくなる（表 3.3.1）。
- ・ 拡散の程度は、絞りをどの距離に設定しているかによって変化する。絞りや照射強度は固定されており、変更調整することはできない。
- ・ レーザ光の安全基準（JIS C 6802）におけるクラスは、「3R」である。

距離計測において、レーザスポットの拡散イメージは、図 3.3.1 に示すように、距離が遠くなるにつれて楕円形のスポットがねじれながら拡散し進んで行く。楕円形のスポットの拡散は、表 3.3.1 のとおり距離により楕円の短軸・長軸の長さが変わる。

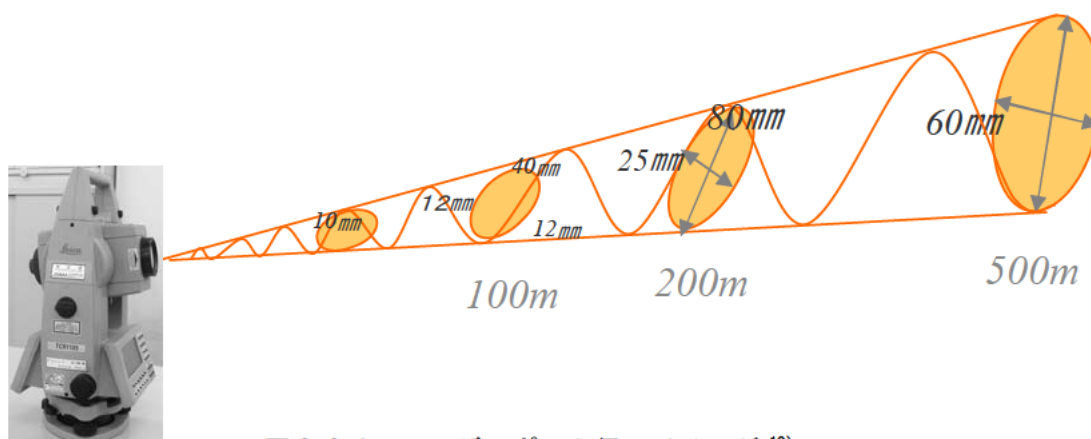


図 3.3.1 レーザスポット径のイメージ¹⁰⁾

表 3.3.1 計測距離とスポット径との関係⁵⁾

計測距離 (m)	赤外線光波径 (短軸×長軸) *	レーザスポット径 (短軸×長軸)
20	29 mm×58 mm	7 mm×14 mm
50	73 mm×145 mm	10 mm×20 mm
100	145 mm×291 mm	12 mm×40 mm
200	291 mm×582 mm	25 mm×80 mm
500	727 mm×1,454 mm	60 mm×200 mm

*) 赤外線光波径 (短軸×長軸) = $5' \times 10'$

(2) リフレクタの規格

実証実験で使用した機器についてみると、リフレクタ（反射鏡）の種類と規格は表 3.3.2 のとおりとなる。

リフレクタの径と適用距離は、リフレクタの反射率に依存する。1 素子プリズムは 63.5mm の径であり、光波距離計で 3,000m の距離が規格上計測可能である。ミニプリズムは、38mm と 1 素子プリズムより径が小さいことから、計測距離が短く規格上 1,200m である。リフレクタシートは、規格では 60 mm ×60 mm の大きさのシートで 300m の計測距離となる。

トータルステーションのスポット径と比較すると、計測距離 50m 程度を越えると、各リフレクタの径より赤外線光波径が大きくなることわかる。

表 3.3.2 リフレクタの種類と規格^{5)、11)}

種 類	規 格 (径)		制限距離 (光波)	制限距離 (レーザ) *
1 素子プリズム	2.5in	63.5 mm	3,000m	1,000m
ミニプリズム	1.5in	38.1 mm	1,200m	500m
リフレクタシート	60 mm ×60 mm (縦×横)		300m	80m

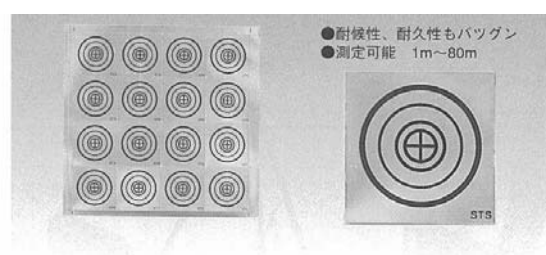
*) 距離制限 (レーザ) は、ライカ社製 1100 シリーズの自動視準・自動追尾モード機能 (TCRA/TCA) を有する機器のみの規格である。



1 素子プリズム



ミニプリズム



リフレクタシート

写真 3.3.1 リフレクタの種類¹¹⁾

(3) ターゲット径の設定

ターゲットを遠隔地から設置するには、ターゲット径が小さい方が制御しやすく、また斜面の表面の凹凸が著しい場合は、ターゲット径が大きいと距離誤差が大きくなり計測不能になる可能性がある。これらのことからすると、ターゲット径としては小さい方が望ましい。

一方で、ターゲットの反射強度を確保するには、ターゲット径を大きくしてトータルステーションのスポット径に近づけるか、反射剤の性能を上げることが必要である。

現場作業の安全性を考慮すると、現地では 200~300m離れた地点から計測することも想定される。この点、60 mm ×60 mmの大きさのリフレクタシートでは、光波測距において 300 mの距離で計測が可能とされている (表 3.3.2)。

クロスボウによるターゲット設置は、矢の先端に反射剤を注入して射出することになるため、材質としてはリフレクタシートに近いと考えられる。

リフレクタシートは 60mm 角であり、1 素子プリズムの径が 63.5mm であることを考慮すると、ターゲット径としては 65mm の大きさを岩盤に付着させることを目標とする。

3.4. トータルステーションの配置

トータルステーション（以下、“TS”とする）は、測距・測角により任意点の位置を計る器械であり、斜面のモニタリングにおいては、主に2つの計測方法がある。

1つは、器械から観測点までの斜距離を直接計測する方法であり、斜面の変動により観測点が移動すると、器械までの斜距離が変化することから、斜面の動きを把握することができる。斜距離という1パラメータのみで変動傾向を表現できるため、計測結果の解析作業がほとんど必要なく、監視対応上も判断が容易であるメリットがある。ただし、斜面（観測点）の移動方向に対峙した位置に器械を配置する必要があり、計測条件を満足し、かつ作業安全性を確保できる器械点配置範囲が限られる。

もう1つは、測距・測角により観測点の座標を求め、座標変化により変動をとらえる方法である。この方法は、座標データを変化量データへとするための解析作業が必要であるが、移動方向と移動量双方を把握することができるため、斜面の変動傾向を捉えることが可能となる。また、計測方向に制限が少ないことから、観測サイトが少ない山間部等における計測作業に適している。

ここでは、後者の手法によりTS計測を行う場合の、測定精度からみた適切な器械配置方法を検討する。

3.4.1. 測距と測角における精度の評価

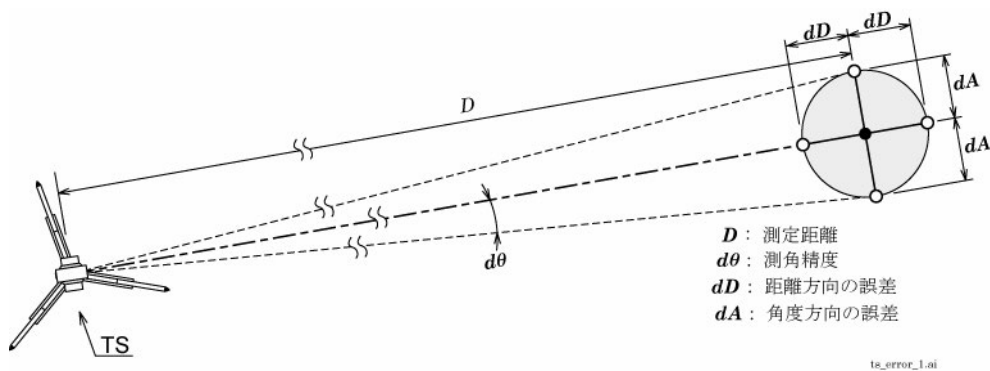


図 3.4.1 TSの誤差の出現する方向

(1) 測距の精度

ノンプリズムTSの測距に関する精度は、平均的には次のとおりである。

標準型： $\pm(10 + 5\text{ppm} \times D)$ (mm)

高性能型： $\pm(3 + 2\text{ppm} \times D)$ (mm)

ここで、 D は測定距離であり、誤差の出現する方向は、視通方向（図3.4.1）である。

例えば、標準型のノンプリズムTSで100mの距離を測定した場合の距離方向の誤差を

dD とすると、

$$dD = \pm (10 + 5\text{ppm} \times D) = \pm (10 + 5 \times 10^{-6} \times 100 \times 10^3) = (10 + 0.5) = 10.5 \quad (\text{mm})$$

あるいは、高性能型のノンプリズム TS で 100m の距離を測定した場合、

$$dD = \pm (3 + 2\text{ppm} \times D) = \pm (3 + 2 \times 10^{-6} \times 100 \times 10^3) = (3 + 0.2) = 3.2 \quad (\text{mm})$$

となる。

(2) 測角の精度

TS の測角精度は、内蔵されたエンコーダの分解能である。誤差の要因として望遠鏡の倍率、観測者の肉眼の分解能、などが大きく影響する。また、厳密に言えば大気中の陽炎、横屈折の影響などが考えられる。それらの平均的な精度は、

標準型： $\pm 5''$

高性能型： $\pm 1''$

程度である。これらを角度の精度 $d\theta$ (図 3.4.1) とし、 D は測定距離とした場合の角度による誤差を dA とすると、

$$dA = D \tan d\theta$$

で表される。また、誤差の出現する方向は、視通方向と直角の方向 (図 3.4.1) である。

例えば、標準型の TS で 100m 離れたターゲットを測定したときの予想される誤差は、

$$dA = 100 [\text{m}] \times \tan(\pm 5'') = \pm 2.4 \quad (\text{mm})$$

また、高性能型の TS で 100m 離れたターゲットを測定したときの予想される誤差は、

$$dA = 100 [\text{m}] \times \tan(\pm 1'') = \pm 0.5 \quad (\text{mm})$$

となる。

(3) TS の精度

TS では、1 台で距離と角度を測定するため、前述の誤差が同時に現れることになる。すなわち、誤差伝播の関係から、予想される総合誤差を M とすると、距離 100m では標準型の場合、

$$M = \sqrt{dD^2 + dA^2} = \sqrt{(10.5)^2 + (2.4)^2} = \pm 10.8 [\text{mm}]$$

高性能型の場合、

$$M = \sqrt{dD^2 + dA^2} = \sqrt{(3.2)^2 + (0.5)^2} = \pm 3.2 [\text{mm}]$$

である。

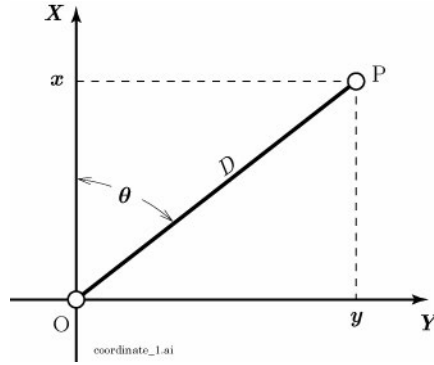
これらの結果では、誤差はノンプリズムの測距精度が大きく影響しており、角度の精度の影響は少ない。すなわち、ノンプリズム TS の計測における座標把握は、測距精度に大きく依存することになる。

3.4.2. トータルステーションの精度の座標計算への影響

(1) 角度と距離による座標計算

図 3.4.2 で、観測点 O において目標点 P（計測ターゲット）をノンプリズム TS で角度 θ と距離 D を得たとする。そのとき、座標 x と y は、式(1)で計算される。

すなわち、実際の崩落斜面を計測する場合、ノンプリズム TS の角度 θ と距離 D の観測結果ではなく、座標 x 、 y で比較することになる。



$$\begin{aligned} x &= D \cos \theta \\ y &= D \sin \theta \end{aligned} \quad \dots \text{式(1)}$$

図 3.4.2 角度と距離と座標

(2) 座標計算の精度の特性

座標の x 方向の精度を m_x 、 y 方向の精度を m_y とすると、それらは次の式で表される。

$$\begin{cases} m_x = \sqrt{\left(\frac{\partial x}{\partial D}\right)^2 dD^2 + \left(\frac{\partial x}{\partial \theta}\right)^2 d\theta^2} \\ m_y = \sqrt{\left(\frac{\partial y}{\partial D}\right)^2 dD^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial \theta}\right)^2 d\theta^2} \end{cases} \quad \dots \text{式(2)}$$

式(1)から、式(2)は式(3)、式(4)のとおりとなる。

$$\begin{aligned} m_x &= \sqrt{\left(\frac{\partial x}{\partial D}\right)^2 dD^2 + \left(\frac{\partial x}{\partial \theta}\right)^2 d\theta^2} \\ &= \sqrt{(\cos \theta)^2 dD^2 + (S \sin \theta)^2 d\theta^2} \\ &= \sqrt{\cos^2 \theta dD^2 + S^2 \sin^2 \theta d\theta^2} \end{aligned} \quad \dots \text{式(3)}$$

$$\begin{aligned} m_y &= \sqrt{\left(\frac{\partial y}{\partial D}\right)^2 dD^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial \theta}\right)^2 d\theta^2} \\ &= \sqrt{(\sin \theta)^2 dD^2 + (S \cos \theta)^2 d\theta^2} \\ &= \sqrt{\sin^2 \theta dD^2 + S^2 \cos^2 \theta d\theta^2} \end{aligned} \quad \dots \text{式(4)}$$

a) 標準型のノンプリズムTSの精度特性

標準型のノンプリズムTSの一般的な精度は、

距離の精度： $\pm(10 + 5\text{ppm} \times D)$ (mm)

角度の精度： $\pm 5''$

であり、測点間距離 $S = 100$ m の位置で観測した場合、 x 方向の精度 m_x は式(3)より、

$$\begin{aligned} m_x &= \sqrt{\cos^2 \theta dD^2 + S^2 \sin^2 \theta d\theta^2} \\ &= \sqrt{\cos^2 \theta \left(\pm 10[\text{mm}] + 5 \times 10^{-6} \times (100 \times 10^3[\text{mm}]) \right)^2 + (100 \times 10^3[\text{mm}])^2 \sin^2 \theta \left(\frac{\pm 5''}{2 \times 10^5''} \right)^2} \\ &= \sqrt{(\pm 10.5)^2 \cos^2 \theta + (\pm 2.5)^2 \sin^2 \theta} \quad [\text{mm}] \end{aligned}$$

となり、 y 方向の精度 m_y は式(4)より、

$$\begin{aligned} m_y &= \sqrt{\sin^2 \theta dD^2 + S^2 \cos^2 \theta d\theta^2} \\ &= \sqrt{(\pm 10.5)^2 \sin^2 \theta + (\pm 2.5)^2 \cos^2 \theta} \quad [\text{mm}] \end{aligned} \quad \dots \text{式(5)}$$

となる。

式(5)は方向角 θ の関数であるため、 X 軸からの角度（方向角） θ によって値が変化する。すなわち、方向角 θ によって x 、 y の精度 m_x 、 m_y の値が異なる（表 3.4.1）。また、三角関数なので、周期関数となる。

表 3.4.1 標準型のノンプリズムTSによる方向角 θ と精度の偏在

精 度	方 向 角 θ				
	0°	45°	90°	135°	180°
m_x	11mm	8mm	3mm	8mm	11mm
m_y	3mm	8mm	11mm	8mm	3mm

ｂ）高性能型のノンプリズムＴＳの精度特性

高性能型のノンプリズムＴＳの一般的な精度は、

距離の精度： $\pm (3 + 2\text{ppm} \times D)$ (mm)

角度の精度： $\pm 1''$

であり、測点間距離 $S = 100$ [m] の位置で観測した場合、 x 方向の精度 m_x は式(3) より、

$$\begin{aligned} m_x &= \sqrt{\cos^2 \theta dD^2 + S^2 \sin^2 \theta d\theta^2} \\ &= \sqrt{\cos^2 \theta \left(\pm 3[\text{mm}] + 2 \times 10^{-6} \times (100 \times 10^3[\text{mm}]) \right)^2 + (100 \times 10^3[\text{mm}])^2 \sin^2 \theta \left(\frac{\pm 1}{2 \times 10^5''} \right)^2} \\ &= \sqrt{(\pm 3.2)^2 \cos^2 \theta + (\pm 0.5)^2 \sin^2 \theta} \quad [\text{mm}] \end{aligned}$$

となり、 y 方向の精度 m_y は式(4) より、

$$\begin{aligned} m_y &= \sqrt{\sin^2 \theta dD^2 + S^2 \cos^2 \theta d\theta^2} \\ &= \sqrt{(\pm 3.2)^2 \sin^2 \theta + (\pm 0.5)^2 \cos^2 \theta} \quad [\text{mm}] \end{aligned} \quad \dots \text{式(6)}$$

となる。

式(6)は方向角 θ の関数であるため、 X 軸からの角度（方向角） θ によって値が変化する。すなわち、方向角 θ によって x 、 y の精度 m_x 、 m_y の値が異なる（表 3.4.2）。また、三角関数なので、周期関数となる。

表 3.4.2 高性能型のノンプリズムＴＳによる方向角 θ と精度の偏在

精 度	方 向 角 θ				
	0°	45°	90°	135°	180°
m_x	3mm	2mm	1mm	2mm	3mm
m_y	1mm	2mm	3mm	2mm	1mm

(3) ノンプリズムTSの方向角による誤差の偏在

式(5)、(6)に示される方向角 θ による x 、 y の精度 m_x 、 m_y の変化を図3.4.3に示す。

方向角 θ によって x 、 y の精度である m_x 、 m_y の値が異なり、周期関数となる。すなわち、基準となる方向（ $\theta=0^\circ$ とする目標点）からの角度 θ によって座標精度 m_x 、 m_y の信頼性が異なる。

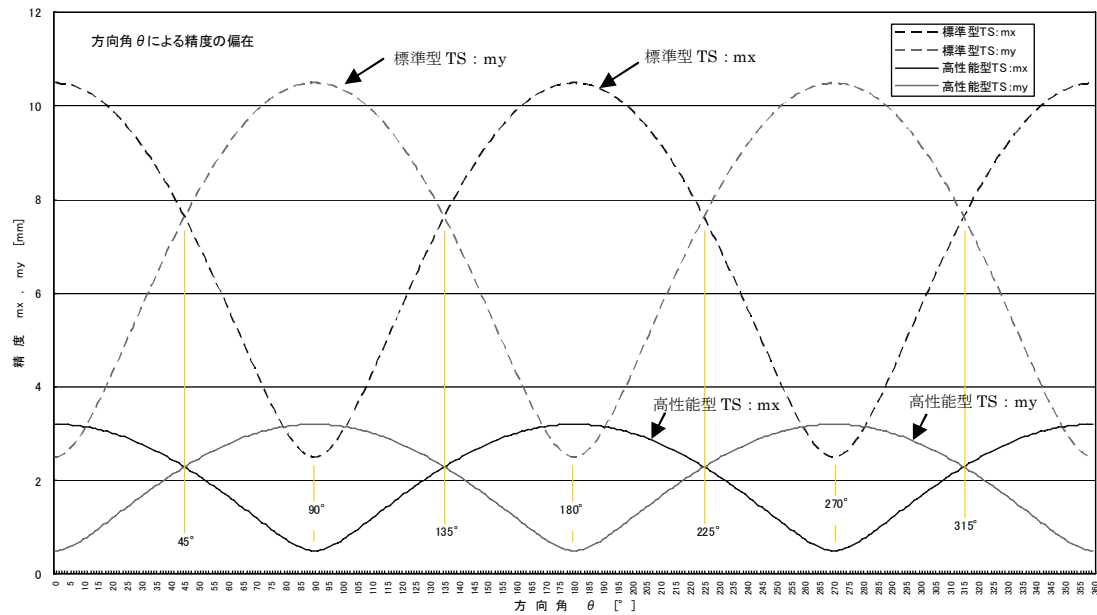


図 3.4.3 方向角 θ による座標精度の偏在

このことから、TSの方向角による誤差の偏在は次のとおりである。

- a) 方向角 $\theta=0^\circ$ 、 180° 付近の測定
 x 方向の精度 m_x が劣化し、 y 方向の精度 m_y は最小になる。
- b) 方向角 $\theta=45^\circ$ 、 135° 、 225° 、 315° 付近の測定
 x 方向の精度 m_x と y 方向の精度 m_y が釣り合う。
- c) 方向角 $\theta=90^\circ$ 、 270° 付近の測定
 x 方向の精度 m_x が最小となり、 y 方向の精度 m_y は劣化する。

3.4.3. 最適なトータルステーションの観測位置

図 3.4.4 は、斜面（計測対象）と T S の位置関係を模式的に示したものである。

このうち、①の位置関係（地すべり方向に対して直角方向に T S をセット）は、3.4.2(3)の c) ケースであり、 x 方向の精度 m_x が最小となり、 y 方向の精度 m_y は劣化する。すなわち、図 3.4.4 では、斜面のすべり方向の精度が最高になる。これは、斜面の変動を計測するためには最も精度が高くなる配置であることを表している。ただし、観測点、器械点が斜面と同じ側に設置しなければならず、視通の確保がかなり難しいこと、設置する計測用ターゲットの向きが斜面に直角の面を必要とするため、ターゲット設置の難度が高いこと、また崩壊地に近いために計測中の安全確保が難しいことなどが予想される。

②の位置関係（地すべり方向に対して正面に T S をセット）は、3.4.2(3)の a) ケースであり、 x 方向の精度 m_x が劣化し、 y 方向の精度 m_y は最小になる。すなわち、同図では、斜面のすべり方向に直角な方向の精度が高く、斜面のすべり方向の精度が最も劣化する。器械点や観測点が斜面に対してこの位置であれば基準方向のターゲットも同じ距離の確保が望まれ、地すべり背後に広い地域が必要という制限が課せられる。

③の位置関係（地すべり方向に対して斜めに T S をセット）は、3.4.2(3)の b) ケースであり、 x 方向の精度 m_x と y 方向の精度 m_y が均等に釣り合う位置関係である。すなわち、同図では、斜面のすべり方向の精度とその直角方向の精度が同等になる。観測点と基準方向のターゲットの位置関係は自由度が高く、計測用ターゲットも斜面と同方向の面に設置すればよいため、設置が容易である。また、崩土の移動方向での器械設置を避けることができるため、計測中の安全も確保される。

以上のことから、地すべり末端における変動観測においては、測定精度、作業ヤードの確保、ターゲット設置の難易性、作業の安全性等を総合的に判断すると、③の位置関係（地すべり方向に対して斜めに T S をセット）が最も現実的な T S 配置であるといえる。なお、これは T S により観測点の座標を求める方法に適用されるものであり、斜距離を直接計測する場合は、地すべり方向に対して正面に据える位置関係が最も変化を捉えることになる。

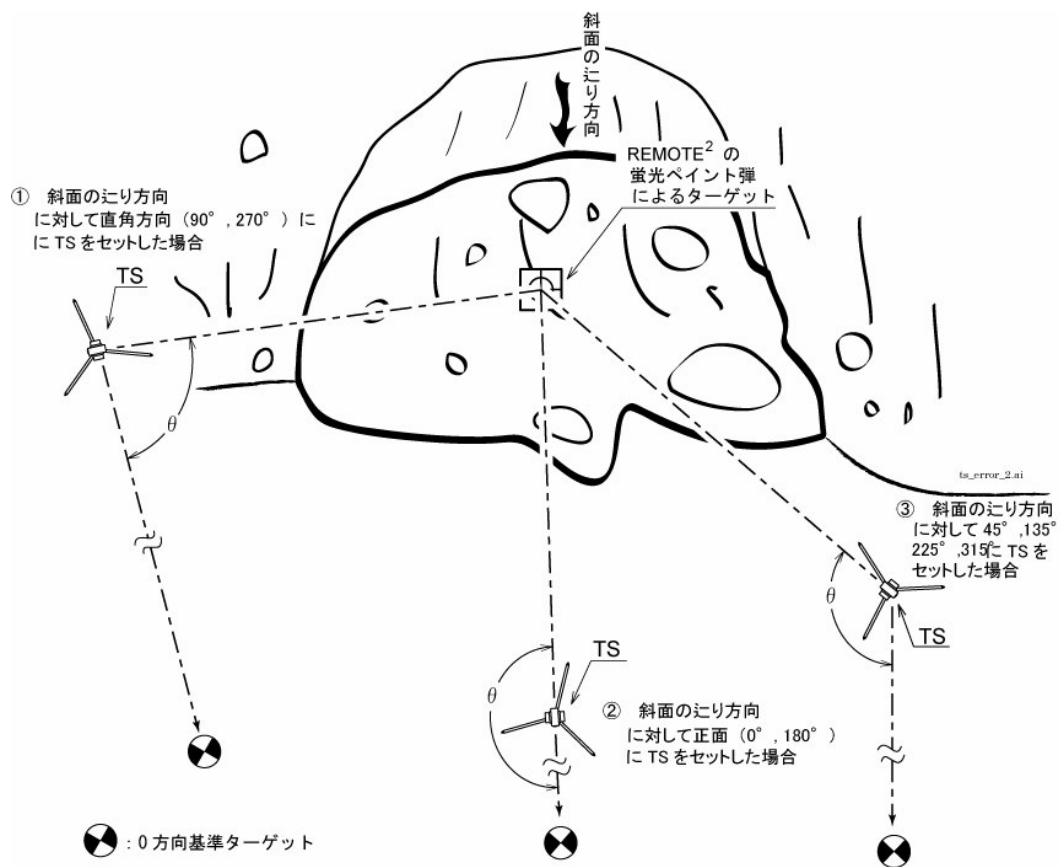


図 3. 4. 4 対象斜面と測定位置及び基準方向の位置関係の模式図

3.5. 計測用ターゲットのトータルステーション計測への適応性

ノンプリズム型トータルステーションを、通常の測量のような明確で安定した目標を測定した場合、ノンプリズム型TSの測定値は公称精度が得られる。

しかし本研究では、斜面崩壊が始まり、あるいは予測され、近寄ることが危険である現場で、離れた場所から測定することを想定しており、そのために、明確な目標物として対象斜面にガラス容器にインクを封入したクロスボウの矢を放ち、斜面に計測用ターゲットをマーキングする。そのインクには、レーザの反射率を向上させることを目的としてガラスビーズを混入してある。斜面に設置された計測用ターゲット（反射剤入りインク）をノンプリズム型TSにて測定するのである。

ノンプリズム型TSは、このような使用方法を想定しておらず、計測用ターゲットの測距値にどの程度信頼性があるかは不明である。また、使用する機材によって相違がないかどうかとも判然としない。そこで、実証試験によってその性能を評価し、ガラスビーズ入り計測用ターゲットのTS計測への適応性を確認した。

3.5.1. 実証試験方法

(1) 試験日

平成19年2月22日（木）

(2) 実施場所

独立行政法人 土木研究所構内 実大トンネル実験施設（図3.5.1参照）

茨城県 つくば市 南原1番地6

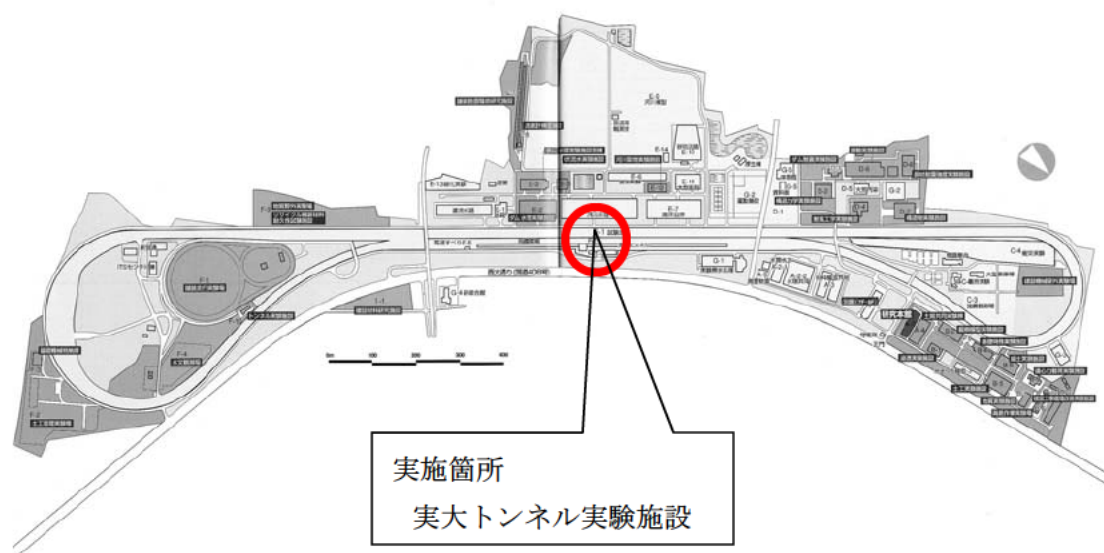


図 3.5.1 実証試験実施場所

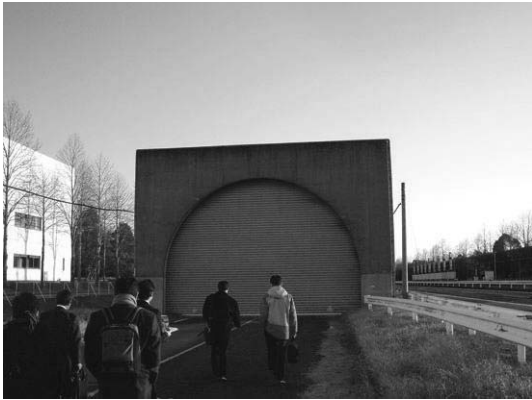


写真 3. 5. 1 トンネル実験施設入口



写真 3. 5. 2 トンネル実験施設内部

(2) 試験機材

a) 計測機器

- ・ ノンプリズム型TS：メーカー5社 9台（本文3. 5. 2 参照）
- ・ 各測通風乾湿計：1台
- ・ 気圧計：1台
- ・ 測量付属品（プリズム等）：1式

b) 計測ターゲット等

- ・ リフレクタシート：初期値計測用
- ・ 反射塗料：計測試験用
- ・ 岩石サンプル：計測試験用（砂岩）

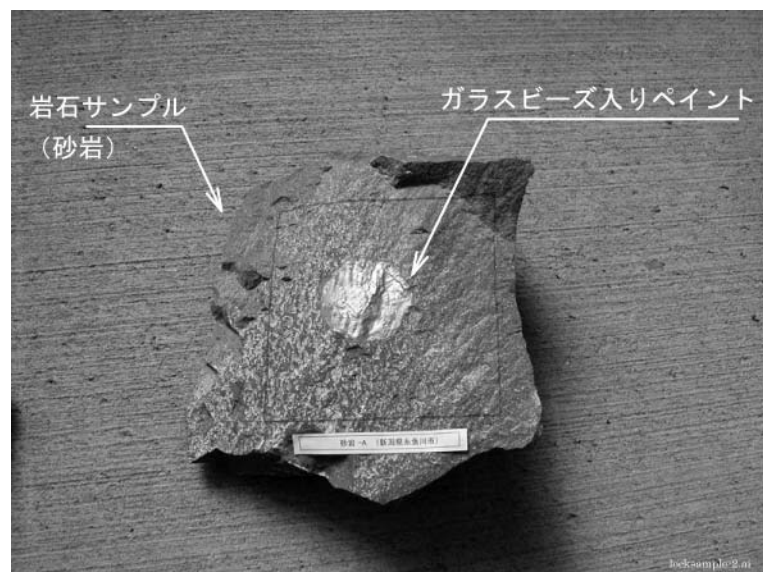


写真 3. 5. 3 ガラスビーズ入りインクを塗布した岩石サンプル

(3) 試験方法

- ・ 実大トンネル施設内で実施（室内に準拠した無風条件）。
- ・ 複数のTSを横一列に配置し、計測対象との距離をほぼ同一条件にして計測する。
- ・ 各TSの測定は、ほぼ同時に実施する。
- ・ 気象要素として気温・気圧を測定回ごとに測定して、測量器械の内部に記録し、気象補正後の斜距離を求める。
- ・ 気象要素の測定は、TS測定近辺1箇所で行う。
- ・ 計測対象は、岩石サンプル（砂岩）に反射剤入りインクを塗布したものをを用いる。
- ・ 岩石サンプルの計測点は、インク塗布部と無塗布部のそれぞれを対象とする。
- ・ TS計測は、斜距離及び反射強度（反射強度測定対応機種）を測定する。
- ・ 岩石サンプルとの距離は、100m、200m、300mで行う。
- ・ 計測回数は、1セット5回とし、5回の測定値とそれらの平均値を求める。
- ・ 計測は2セットずつ実施する。また、セット間の格差（確値の比較）を求める。

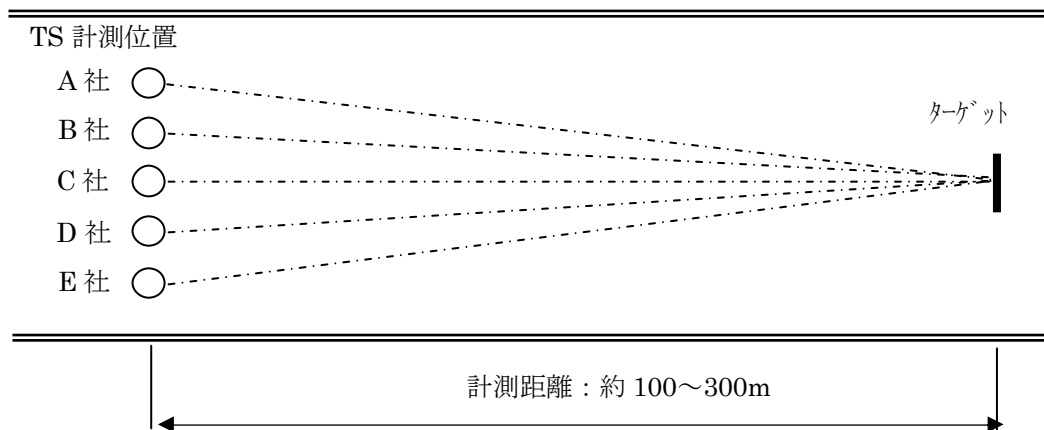


図 3.5.2 距離測定試験機材配置（トンネル内平面図）



写真 3.5.4 計測対象のセッティング

3.5.2. 試験対象トータルステーション

今回の実証試験は、ノンプリズムモードの測距機能の試験であり、その機能を具備し、国内で入手できるメーカー全社に協力を依頼した。

それらのメーカーで発表しているTSのうち、次のような2タイプを用いた。

標準型：比較的普及していると思われる機種、あるいはノンプリズムによる最長測定距離が200m程度の機種

高性能型：ノンプリズムの上位機種、あるいはノンプリズムによる最長測定距離が500m程度の機種

使用した機種は、表3.5.1のとおりである。各機器の詳細を以下に示す。

表 3.5.1 試験に使用したTS

メーカー名	標準型	高性能型
ニコン・トリンブル	GF405CN	トリンブルS-6
ソキア	SET330R3	SR-X3
ライカ	TPS-700	TPS-1200
ペンタックス	R-350NC (ｼﾌﾄ型)	—
トプコン	GPT-7005	GPT-3000Hiper

(メーカー順不同)

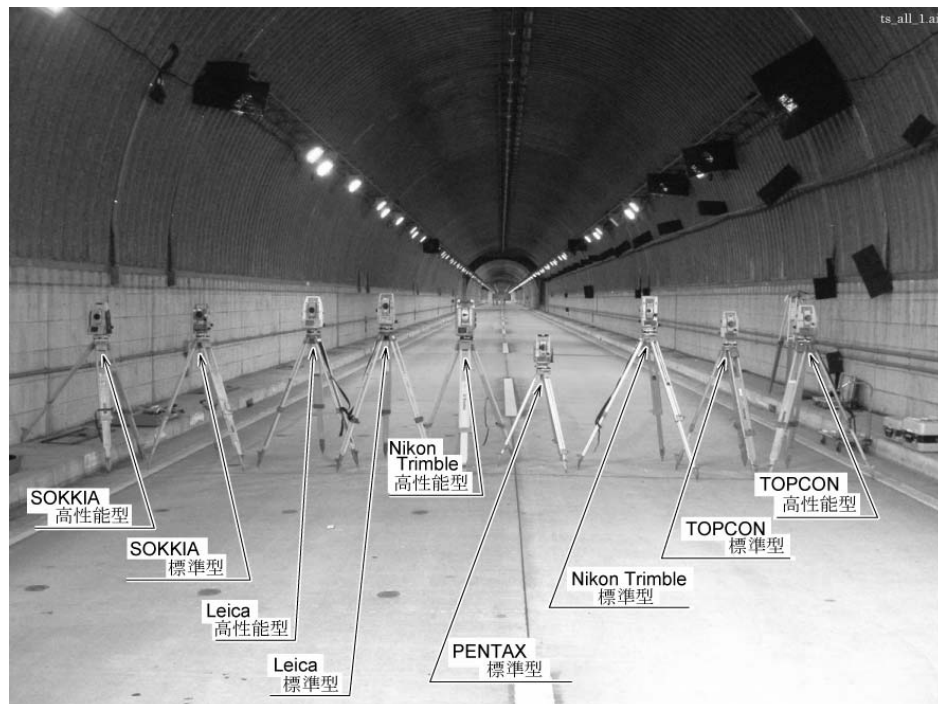


図 3.5.5 試験に使用した機種

(1) ニコン・トリムブル社

a) 標準型：GF400



写真 3.5.6 Nikon Trimble GF405CN

表 3.5.2 Nikon Trimble GF405CN の主な性能一覧

望遠鏡	倍 率		26×
	視 界		1° 30′
	分 解 力		3.0″
	最短合焦距離		1.6 m
	レチクル照明		あり
測距部	測距範囲	プリズムモード	1 素子：1.6 m～5,000 m
		ノンプリズムモード	1.6 m～220 m (コダックグレイカード：90%)
	精 度	精密測距モード	±(3+2ppm・D)mm (-10℃～+40℃) ±(3+3ppm・D)mm (-20℃～-10℃、+40℃～+50℃)
		高速測距モード	±(10+5ppm・D)mm
測角部	測角方式		インクリメンタルエンコーダ方式
	精 度		5″
	角度自動補正機構		静電容量検出方式による 2 軸チルトセンサ
	微動方式		同軸クランプ微動方式

b) 高性能型：S6



写真 3.5.7 Nikon Trimble S6

表 3.5.3 Nikon Trimble S6 の主な性能一覧

望遠鏡	倍 率		30×
	視 界		1° 30′
	最短合焦距離		1.5 m
	レチクル照明		変数 (10 段階)
測距部	測距範囲	プリズムモード	1 素子：0.2 m～5,500 m
		ノンプリズムモード	5～300 m (コダックグレイカード：18%) ※
	精 度	精密測距モード	± (3+2ppm・D)mm
		高速測距モード	± (10+2ppm・D)mm
測角部	測角方式		インクリメンタルエンコーダ方式
	精 度		1″
	角度自動補正機構		2 軸チルトセンサ
	微動方式		MagDrive サーボ方式

※ノンプリズムモード測距範囲

Kodak Gray Card (反射率 18%) > 300m

Kodak Gray Card (反射率 98%) > 800m

コンクリート 300～400m

木造構造物 200～400m

鋼製構造物 200～250m

明色岩石 200～300m

暗色岩石 150～200m

反射シート (20mm) 800m

反射シート (60mm) 1,600m

(2) ソキア社

a) 標準型：SET330R3

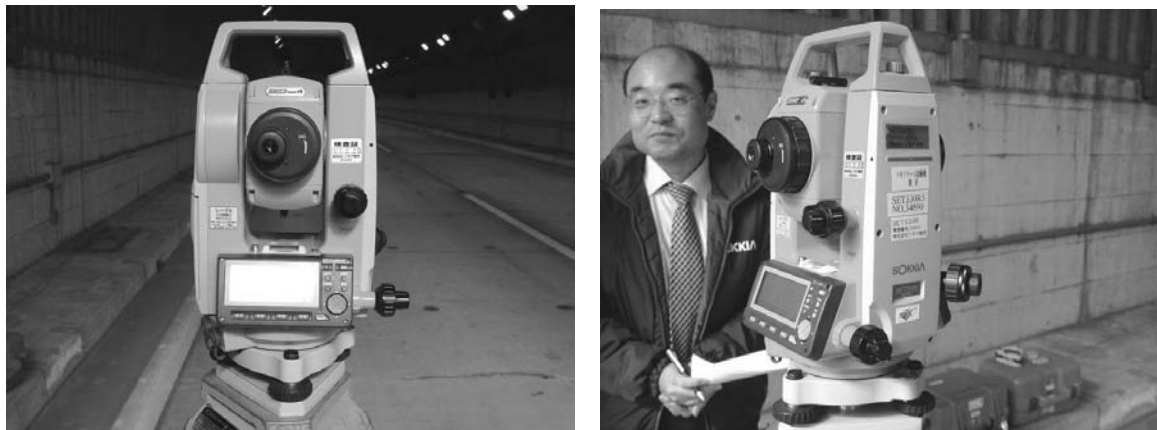


写真 3. 5. 8 SOKKIA SET330R3

表 3. 5. 4 SOKKIA SET330R3 の主な性能一覧

望遠鏡	倍 率		30×
	視 界		1° 30′
	分 解 力		2.5″
	最短合焦距離		1.3 m
	レチクル照明		5 段階選択
測距部	測距範囲	プリズムモード	1 素子：1.3 m～5,000 m (気象条件良好時)
		ノンプリズムモード	0.3～350 m
	精 度	プリズムモード	±(2+2ppm・D)mm
		ノンプリズムモード	±(3+2ppm・D)mm (0.3～200m)
測角部	測角方式		アブソリュート・ロータリ方式
	精 度		3″
	角度自動補正機構		液体式 2 軸傾斜センサー
	微動方式		同軸クランプ微動方式

※ 2 級 ATS

b) 高性能型：SR-X3

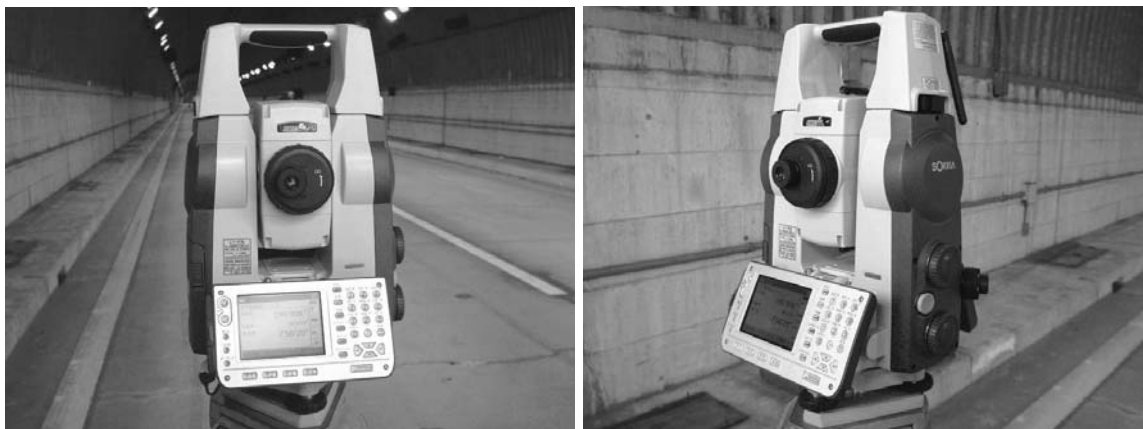


写真 3. 5. 9 SOKKIA SR-X3

表 3. 5. 5 SOKKIA SR-X3 の主な性能一覧

測距部	測距範囲	プリズムモード	1 素子：1.3 m～6,000 m（気象条件良好時）
		ノンプリズムモード	0.3 m～500 m
	精度	プリズムモード	$\pm (1.5 + 2\text{ppm} \cdot D)\text{mm}$
		ノンプリズムモード	$\pm (3 + 2\text{ppm} \cdot D)\text{mm}$ (0.3～200m)
測角部	測角方式		アブソリュート・ロータリ方式
	精 度		3"
	角度自動補正機構		液体式 2 軸傾斜センサ
	微動方式		DC モータ駆動方式

※ 2 級 ATS

(3) ライカ社

a) 標準型：TPS700



写真 3.5.10 Leica TPS700

表 3.5.6 Leica TPS700 の主な性能一覧

測距部	測距範囲	プリズムモード	1 素子：3,000 m
		ノンプリズムモード	Power モデル：170m Ultra モデル：500m
	精 度	プリズムモード	$\pm (2+2\text{ppm} \cdot D)\text{mm}$
		ノンプリズムモード	Power モデル： $\pm (3+2\text{ppm} \cdot D)\text{mm}$ Ultra モデル： $\pm (3+2\text{ppm} \cdot D)\text{mm}$
測角部	精 度		5"

b) 高性能型：TPS1200



写真 3. 5. 11 Leica TPS1200

表 3. 5. 7 Leica TPS1200 の主な性能一覧

望遠鏡	倍 率		30×
	視 界		1° 30′
	分 解 力		3.0″
	最短合焦距離		1.7 m
測距部	測距範囲	プリズムモード	1 素子：1.5m～3,000 m
		ノンプリズムモード	1.5m～500 m (コダックグレイカード 90%：反射率 18%)
	精度	プリズムモード	±(2+2ppm・D)mm (1.5 秒モード) ±(5+2ppm・D)mm (0.8 秒モード)
		ノンプリズムモード	±(3+2ppm・D) mm
測角部	測角方式		アブソリュート方式
	精 度		1″
	角度自動補正機構		中央 2 軸コンペンセンサ
	微動方式		モータドライブ方式

(4) トプコン社

a) 標準型：GPT7005



写真 3. 5. 12 TOPCON GPT7005

表 3. 5. 8 TOPCON GPT7005 の主な性能一覧

測距部	測距範囲	プリズムモード	1 素子：～3,000 m
		ノンプリズムモード	1.5 m～250 m (白面)
	精 度	プリズムモード	$\pm (2+2\text{ppm} \cdot D)$ mm
		ノンプリズムモード	± 5 mm
測角部	測角方式		アブソリュート方式
	精 度		10"
	角度自動補正機構		有

※ 2 級 ATS

b) 高性能型：GPT3000Hiper



写真 3. 5. 13 TOPCON GPT3000Hiper

表 3. 5. 9 TOPCON GPT3000Hiper の主な性能一覧

望遠鏡	倍 率		30×
測距部	測距範囲	プリズムモード	1 素子： ～3,000 m
		ノンプリズムモード	1.5m～250 m (通常モード) 5 m～1200 m (Lモード)
	精度	プリズムモード	±(3+2ppm・D) mm Fine モード ±(3+3ppm・D) mm Coarse モード
		ノンプリズムモード (通常モード)	±10 mm : Fine モード ; 1.5～25m ±5 mm : 25 m ±10 mm : Coarse モード
		ノンプリズムモード (Lモード)	±(10+10ppm・D) mm : Fine モード ±(20+10ppm・D) mm : Coarse5mm モード ±100 mm : Coarse 10mm モード
測角部	測角方式		アブソリュート方式
	精 度		5"
	角度自動補正機構		2 軸自動補正
	微動方式		同軸クランプ微動方式

※ 2 級 A トータルステーション

(5) ペンタックス社

a) 標準型：R-350Nc



写真 3. 5. 14 PENTAX R-350Nc

表 3. 5. 10 PENTAX R-350Nc の主な性能一覧

望遠鏡	倍 率		26×
	視 界		1° 30′
	分 解 力		3. 0″
	最短合焦距離		1. 6 m
	レチクル照明		あり
測距部	測距範囲	プリズムモード	1 素子：1. 6 m～5, 000 m
		ノンプリズムモード	1. 6 m～220 m (コダックグレイカード：90%)
	精度	精密測距モード	± (3+2ppm・D)mm (-10℃～+40℃) ± (3+3ppm・D)mm (-20℃～-10℃、+40℃～+50℃)
		高速測距モード	± (10+5ppm・D)mm
	気象補正	温度範囲	-20℃～+50℃
		気圧範囲	533hPa～1, 332hPa
測角部	測角方式		インクリメンタルエンコーダ方式
	精 度		5″
	角度自動補正機構		静電容量検出方式による 2 軸チルトセンサ
	微動方式		同軸クランプ微動方式

3.5.3. ノンプリズムTSの測距精度

ノンプリズム型TSを「標準型」と「高性能型」として、次のような測距範囲で分類した。

標準型：ノンプリズム測距 200m 程度が可能な機種

高性能型：ノンプリズム測距 500m 程度が可能な機種

一方、これらの精度は表 3.5.2～表 3.5.10 のように $\pm(3\text{mm}+2\text{ppm} \cdot D) \sim \pm 5\text{mm}$ である。測定距離に依存する部分は 2ppm であるから、200mを測定したとき、

$$2\text{ppm} \cdot 200 [m] = 2 \times 10^{-6} \times 200 \times 10^5 = 0.4 [mm]$$

であり、 $\pm 3.4 \text{ (mm)} \approx \pm 3 \text{ (mm)}$ 程度である。

また、今回試験の最長距離を 300mで測定しており、

$$2\text{ppm} \cdot 300 [m] = 2 \times 10^{-6} \times 300 \times 10^5 = 0.6 [mm]$$

であり、 $\pm 3.6 \text{ (mm)} \approx \pm 4 \text{ (mm)}$ 程度である。

さらに、500mを測定したときは、

$$2\text{ppm} \cdot 500 [m] = 2 \times 10^{-6} \times 500 \times 10^5 = 1 [mm]$$

であり、 $\pm 4 \text{ (mm)}$ である。

すなわち、 $\pm 3 \sim \pm 4 \text{ (mm)}$ がノンプリズム型TSの分解能である。

3.5.4. 実証試験結果

(1) 計測結果

国内に流通する各社の標準型T S及び高性能型T Sを使用して、計測用ターゲットの適応性に関する実証試験を行った。

表 3.5.11～表 3.5.19 に、各T Sによる距離100m、200m、300mにおける計測用ターゲットの塗布部と無塗布部の斜距離測定結果を示した。1セットで5回の測定を行い、それぞれ2セットずつ実施した。各セットの読取り値の平均を求め、さらにセット間の格差を求めた。これは、実際の斜距離測定において、複数回の読取り値を平均化することで確値を求めることが一般的であり、その際の数値の信頼性を評価するためである。また、5回×2セット=10回の読定値の平均二乗誤差を求め、測定値のばらつき程度を評価した。

図 3.5.3～図 3.5.11 には、各試験条件における距離読定値をグラフ化した。いずれのT Sにおいても、器械精度以内のばらつきに納まっているのがわかる。

表 3.5.11 距離測定結果（A社：標準型）

メーカー		A社											
器械タイプ		標準型											
距離		100m				200m				300m			
計測対象材質	砂岩	砂岩			砂岩	砂岩			砂岩	砂岩			
測定箇所	インク塗布部	無塗布部			インク塗布部	無塗布部			インク塗布部	無塗布部			
セットNo.	セット1	セット2	セット1	セット2	セット1	セット2	セット1	セット2	セット1	セット2	セット1	セット2	
測定時刻: 自	10:52	10:54	10:59	11:02	13:21	13:23	13:33	13:34	13:57	13:59	14:09	14:12	
測定時刻: 至	10:53	10:55	11:01	11:03	13:22	13:24	13:34	13:35	13:58	14:00	14:12	14:14	
温度(° C)	10.6	10.6	10.6	10.6	11.9	11.9	11.9	11.9	12.4	12.4	12.0	12.0	
気圧(hPs)	1014	1014	1014	1014	1012	1012	1012	1012	1012	1012	1012	1012	
反射強度(%)	99%	99%	6%	6%	40%	41%	1%	1%	13%	15%	0%	0%	
斜 距 離 (m)	1読定	99.984	99.984	99.990	99.990	99.981	99.981	99.985	99.985	299.935	299.935	299.948	299.947
	2読定	99.984	99.984	99.990	99.990	99.982	99.981	99.986	99.985	299.934	299.935	299.948	299.948
	3読定	99.984	99.984	99.990	99.990	99.981	99.981	99.985	99.985	299.934	299.935	299.948	299.949
	4読定	99.984	99.984	99.990	99.989	99.981	99.981	99.985	99.985	299.934	299.935	299.948	299.950
	5読定	99.984	99.984	99.989	99.989	99.981	99.981	99.985	99.984	299.934	299.935	299.948	299.950
	平均値	99.984	99.984	99.990	99.990	99.981	99.981	99.985	99.985	299.934	299.935	299.948	299.949
平均二乗誤差	0.0mm		0.5mm		0.3mm		0.4mm		0.6mm		1.0mm		
セット間格差	0mm		0mm		0mm		0mm		1mm		1mm		
備考													

表 3.5.12 距離測定結果（B社：標準型）

メーカー		B社											
器械タイプ		標準型											
距離		100m				200m				300m			
計測対象材質	砂岩	砂岩		砂岩		砂岩		砂岩		砂岩		砂岩	
	インク塗布部	無塗布部		無塗布部		無塗布部		無塗布部		無塗布部		無塗布部	
測定箇所	インク塗布部	無塗布部		無塗布部		無塗布部		無塗布部		無塗布部		無塗布部	
セットNo.	セット1	セット2	セット1	セット2	セット1	セット2	セット1	セット2	セット1	セット2	セット1	セット2	
測定時刻:自	10:53	10:56	11:01	11:02	13:18	13:20	13:34	13:36	14:00	14:02	14:13	14:14	
測定時刻:至	10:54	10:57	11:02	11:03	13:19	13:21	13:35	13:37	14:01	14:03	14:14	14:14	
温度(℃)	10.6	10.6	10.6	10.6	11.9	11.9	11.9	11.9	12.4	12.4	12.0	12.0	
気圧(hPa)	1014	1014	1014	1014	1012	1012	1012	1012	1012	1012	1012	1012	
反射強度(%)	50%	50%	25%	25%	40%	40%	5%	5%	40%	40%	0%	0%	
斜距離 (m)	1読定	99.916	99.916	99.920	99.920	99.909	99.909	99.920	99.918	299.860	299.861	計測不能	計測不能
	2読定	99.916	99.916	99.920	99.920	99.909	99.909	99.919	99.920	299.861	299.862		
	3読定	99.916	99.916	99.920	99.920	99.909	99.909	99.917	99.920	299.860	299.861		
	4読定	99.916	99.916	99.920	99.921	99.910	99.909	99.918	99.918	299.861	299.861		
	5読定	99.916	99.916	99.921	99.921	99.909	99.909	99.920	99.918	299.861	299.861		
	平均値	99.916	99.916	99.920	99.920	99.909	99.909	99.919	99.919	299.861	299.861		
平均二乗誤差	0.0mm		0.5mm		0.3mm		1.1mm		0.5mm				
セット間格差	0mm		0mm		0mm		0mm		0mm				
備考													

表 3.5.13 距離測定結果（C社：標準型）

メーカー		C社											
器械タイプ		標準型											
距離		100m				200m				300m			
計測対象材質		砂岩		砂岩		砂岩		砂岩		砂岩		砂岩	
測定箇所		インク塗布部		無塗布部		インク塗布部		無塗布部		インク塗布部		無塗布部	
セットNo.		セット1	セット2	セット1	セット2	セット1	セット2	セット1	セット2	セット1	セット2	セット1	セット2
測定時刻:自													
測定時刻:至													
温度(° C)		10.6	10.6	10.6	10.6	11.9	11.9	11.9	11.9	12.4	12.4	12.0	12.0
気圧(hPa)		1014	1014	1014	1014	1012	1012	1012	1012	1012	1012	1012	1012
反射強度(%)		100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	40%	40%	0%	0%
斜 距 離 (m)	1読定	100.150	100.151	100.159	100.161	200.100	200.101	計測不能	計測不能	300.037	300.037	計測不能	計測不能
	2読定	100.150	100.151	100.161	100.160	200.102	200.102			300.039	300.038		
	3読定	100.151	100.150	100.160	100.161	200.102	200.102			300.036	300.037		
	4読定	100.151	100.149	100.161	100.160	200.101	200.102			300.037	300.037		
	5読定	100.151	100.15	100.161	100.160	200.102	200.102			300.036	300.037		
	平均値	100.151	100.15	100.160	100.160	200.101	200.102			300.037	300.037		
平均二乗誤差		0.8mm		0.8mm		0.8mm				0.8mm			
セット間格差		1mm		0mm		1mm				0mm			
備考													

表 3.5.14 距離測定結果（D社：標準型）

メーカー	D社											
器械タイプ	標準型											
距離	100m				200m				300m			
計測対象材質	砂岩		砂岩		砂岩		砂岩		砂岩		砂岩	
測定箇所	インク塗布部		無塗布部		インク塗布部		無塗布部		インク塗布部		無塗布部	
セットNo.	セット1	セット2	セット1	セット2	セット1	セット2	セット1	セット2	セット1	セット2	セット1	セット2
測定時刻:自												
測定時刻:至												
温度(° C)	10.6	10.6	10.6	10.6	11.9	11.9			12.4	12.4		
気圧(hPs)	1014	1014	1014	1014	1012	1012			1012	1012		
反射強度(%)	100%	100%	20%	20%	80%	80%			0%	0%		
斜 距 離 (m)	1読定	100.021	100.020	100.012	100.013	199.986	199.987			計測不能	計測不能	
	2読定	100.020	100.020	100.012	100.015	199.991	199.989					
	3読定	100.020	100.021	100.015	100.010	199.984	199.989					
	4読定	100.021	100.021	100.014	100.020	199.989	199.989					
	5読定	100.020	100.021	100.016	100.010	199.990	199.987					
平均値	100.020	100.021	100.014	100.014	199.988	199.988						
平均二乗誤差	0.7mm		2.9mm		2.0mm							
セット間格差	1mm		0mm		1mm							
備考							未計測				未計測	

表 3.5.15 距離測定結果（E社：標準型）

メーカー		E社											
器械タイプ		標準型											
距離		100m				200m				300m			
計測対象材質		砂岩		砂岩		砂岩		砂岩		砂岩		砂岩	
測定箇所		インク塗布部		無塗布部		インク塗布部		無塗布部		インク塗布部		無塗布部	
セットNo.		セット1	セット2	セット1	セット2	セット1	セット2	セット1	セット2	セット1	セット2	セット1	セット2
測定時刻:自													
測定時刻:至													
温度(° C)		10.6	10.6	10.6	10.6	11.9	11.9	11.9	11.9	12.4	12.4	12.0	12.0
気圧(hPa)		1014	1014	1014	1014	1012	1012	1012	1012	1012	1012	1012	1012
反射強度(%)		63%	63%	94%	94%	50%	50%	0%	0%	0%	0%		
斜 距 離 (m)	1読定	99.973	99.971	99.958	99.959	199.950	199.953	計測不能	計測不能	計測不能	計測不能	計測不能	計測不能
	2読定	99.972	99.972	99.957	99.958	199.952	199.950						
	3読定	99.971	99.970	99.956	99.956	199.949	199.952						
	4読定	99.972	99.971	99.958	99.956	199.948	199.952						
	5読定	99.971	99.969	99.960	99.957	199.950	199.948						
	平均値	99.972	99.971	99.958	99.958	199.950	199.951						
平均二乗誤差		1.1mm		1.4mm		1.7mm							
セット間格差		1mm		0mm		1mm							
備考													

表 3.5.16 距離測定結果（a社：高性能型）

メーカー		a社											
器械タイプ		高性能型											
距離		100m				200m				300m			
計測対象材質		砂岩		砂岩		砂岩		砂岩		砂岩		砂岩	
測定箇所		インク塗布部		無塗布部		インク塗布部		無塗布部		インク塗布部		無塗布部	
セットNo.		セット1	セット2	セット1	セット2	セット1	セット2	セット1	セット2	セット1	セット2	セット1	セット2
測定時刻:自		11:15	11:16	11:08	11:10	13:25	13:26	13:28	13:29	14:01	14:02	14:04	14:06
測定時刻:至		11:16	11:17	11:09	11:11	13:26	13:27	13:29	13:30	14:02	14:03	14:05	14:07
温度(℃)		10.9	10.9	10.9	10.9	12.0	12.0	12.0	12.0	12.4	12.4	12.3	12.3
気圧(hPa)		1014	1014	1014	1014	1012	1012	1012	1012	1012	1012	1012	1012
反射強度(%)		99%	99%	9.7%	9.1%	33%	23%	2%	2%	22%	20%	1%	1%
斜 距 離 (m)	1読定	99.986	99.986	99.989	99.989	199.986	199.986	199.987	199.986	299.934	299.935	299.952	299.951
	2読定	99.985	99.985	99.989	99.989	199.986	199.986	199.987	199.986	299.935	299.934	299.953	299.951
	3読定	99.985	99.986	99.989	99.989	199.986	199.986	199.987	199.986	299.935	299.935	299.953	299.950
	4読定	99.986	99.986	99.989	99.989	199.985	199.986	199.986	199.986	299.935	299.935	299.951	299.951
	5読定	99.986	99.986	99.989	99.989	199.986	199.986	199.987	199.986	299.935	299.934	299.951	299.951
平均値		99.986	99.986	99.989	99.989	199.986	199.986	199.987	199.986	299.935	299.935	299.952	299.951
平均二乗誤差		0.5mm		0.0mm		0.3mm		0.6mm		0.5mm		1.0mm	
セット間格差		0mm		0mm		0mm		1mm		0mm		1mm	
備考													

表 3.5.17 距離測定結果（b社：高性能型）

メーカー	b社												
器械タイプ	高性能型												
距離	100m				200m				300m				
計測対象材質	砂岩		砂岩		砂岩		砂岩		砂岩		砂岩		
測定箇所	インク塗布部		無塗布部		インク塗布部		無塗布部		インク塗布部		無塗布部		
セットNo.	セット1	セット2	セット1	セット2	セット1	セット2	セット1	セット2	セット1	セット2	セット1	セット2	
測定時刻:自	11:17	11:22	11:10	11:13	13:25	13:27	13:29	13:31	14:05	14:07	14:08	14:10	
測定時刻:至	11:18	11:22	11:11	11:14	13:26	13:28	13:30	13:32	14:06	14:08	14:10	14:11	
温度(℃)	10.9	10.9	10.9	10.9	12.0	12.0	12.0	12.0	12.4	12.4	12.3	12.3	
気圧(hPa)	1014	1014	1014	1014	1012	1012	1012	1012	1012	1012	1012	1012	
反射強度(%)	25%	25%	30%	30%	20%	20%	10%	10%	20%	20%	5%	5%	
斜 距 離 (m)	1読定	99.913	99.913	99.921	99.920	199.911	199.911	199.925	199.925	299.862	299.863	299.885	299.886
	2読定	99.913	99.913	99.921	99.920	199.911	199.911	199.926	199.926	299.863	299.863	299.886	299.885
	3読定	99.913	99.913	99.921	99.921	199.911	199.911	199.926	199.927	299.863	299.863	299.885	299.886
	4読定	99.913	99.913	99.921	99.920	199.911	199.911	199.926	199.926	299.863	299.863	299.885	299.885
	5読定	99.913	99.913	99.921	99.920	199.911	199.910	199.925	199.927	299.863	299.863	299.886	299.886
平均値	99.913	99.913	99.921	99.920	199.911	199.911	199.926	199.926	299.863	299.863	299.885	299.886	
平均二乗誤差	0.0mm		0.6mm		0.3mm		0.7mm		0.3mm		0.7mm		
セット間格差	0mm		1mm		0mm		0mm		0mm		1mm		
備考													

表 3.5.18 距離測定結果（c社：高性能型）

メーカー		c社											
器械タイプ		高性能型											
距離		100m				200m				300m			
計測対象材質		砂岩		砂岩		砂岩		砂岩		砂岩		砂岩	
測定箇所		インク塗布部		無塗布部		インク塗布部		無塗布部		インク塗布部		無塗布部	
セットNo.		セット1	セット2	セット1	セット2	セット1	セット2	セット1	セット2	セット1	セット2	セット1	セット2
測定時刻:自		11:15	11:16	11:08	11:10								
測定時刻:至		11:16	11:17	11:09	11:11								
温度(°C)		10.9	10.9	10.9	10.9	12.0	12.0	12.0	12.0	12.4	12.4	12.3	12.3
気圧(hPa)		1014	1014	1014	1014	1012	1012	1012	1012	1012	1012	1012	1012
反射強度(%)		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
斜距離 (m)	1読定	100.054	100.052	100.055	100.057	200.005	200.007	200.016	200.015	299.943	299.942	299.970	299.965
	2読定	100.051	100.050	100.056	100.056	200.005	200.007	200.015	200.016	299.945	299.942	299.965	299.965
	3読定	100.050	100.052	100.055	100.056	200.006	200.006	200.018	200.018	299.941	299.942	299.971	299.969
	4読定	100.054	100.050	100.055	100.055	200.007	200.005	200.016	200.013	299.942	299.941	299.966	299.970
	5読定	100.052	100.051	100.055	100.055	200.005	200.005	200.015	200.016	299.941	299.941	299.968	299.969
	平均値	100.052	100.051	100.055	100.056	200.006	200.006	200.016	200.016	299.942	299.942	299.968	299.968
平均二乗誤差		1.5mm		0.8mm		0.9mm		1.4mm		1.2mm		2.2mm	
セット間格差		1mm		1mm		0mm		0mm		0mm		0mm	
備考													

表 3.5.19 距離測定結果（d社：高性能型）

メーカー		d社											
器械タイプ		高性能型											
距離		100m				200m				300m			
計測対象材質		砂岩		砂岩		砂岩		砂岩		砂岩		砂岩	
測定箇所		インク塗布部		無塗布部		インク塗布部		無塗布部		インク塗布部		無塗布部	
セットNo.		セット1	セット2	セット1	セット2	セット1	セット2	セット1	セット2	セット1	セット2	セット1	セット2
測定時刻:自													
測定時刻:至													
温度(°C)		10.6	10.6	10.6	10.6	11.9	11.9	11.9	11.9	12.4	12.4	12.4	12.4
気圧(hPs)		1014	1014	1014	1014	1012	1012	1012	1012	1012	1012	1012	1012
反射強度(%)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
斜距離 (m)	1読定	99.924	99.926	99.911	99.912	199.908	199.910	199.912	199.914	299.866	299.868	299.893	299.898
	2読定	99.926	99.925	99.911	99.911	199.909	199.908	199.911	199.913	299.867	299.865	299.900	299.898
	3読定	99.926	99.925	99.912	99.911	199.909	199.909	199.913	199.912	299.865	299.865	299.901	299.899
	4読定	99.925	99.926	99.911	99.911	199.908	199.907	199.915	199.916	299.864	299.865	299.903	299.895
	5読定	99.925	99.925	99.912	99.911	199.908	199.908	199.912	199.913	299.868	299.868	299.900	299.899
	平均値	99.925	99.926	99.911	99.911	199.908	199.908	199.913	199.914	299.866	299.866	299.899	299.898
平均二乗誤差		0.7mm		0.5mm		0.9mm		1.4mm		1.4mm		2.8mm	
セット間格差		0mm		0mm		0mm		1mm		0mm		1mm	
備考													

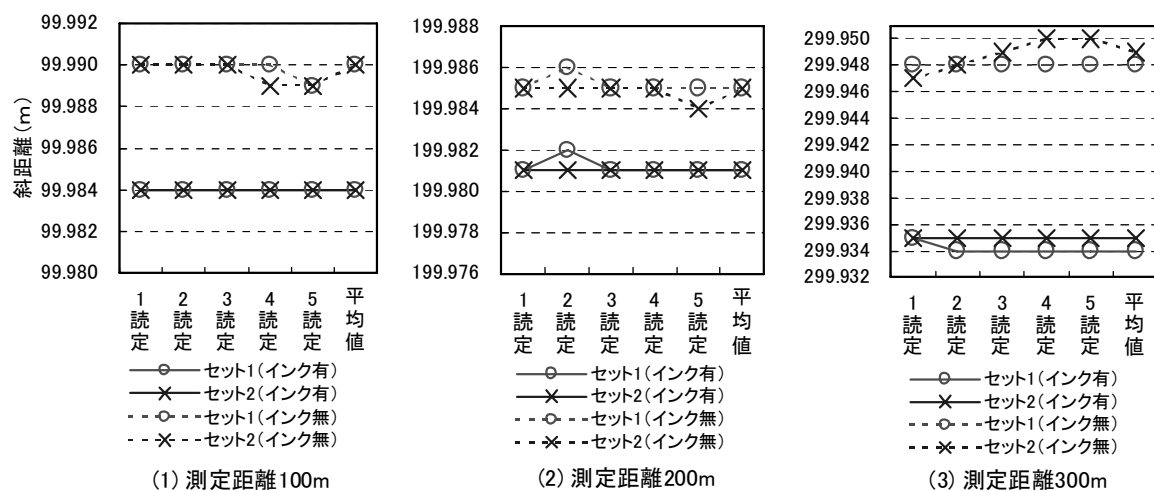


図 3.5.3 計測ターゲットインク塗布部と無塗布部の測定値のばらつき（A社：標準型）

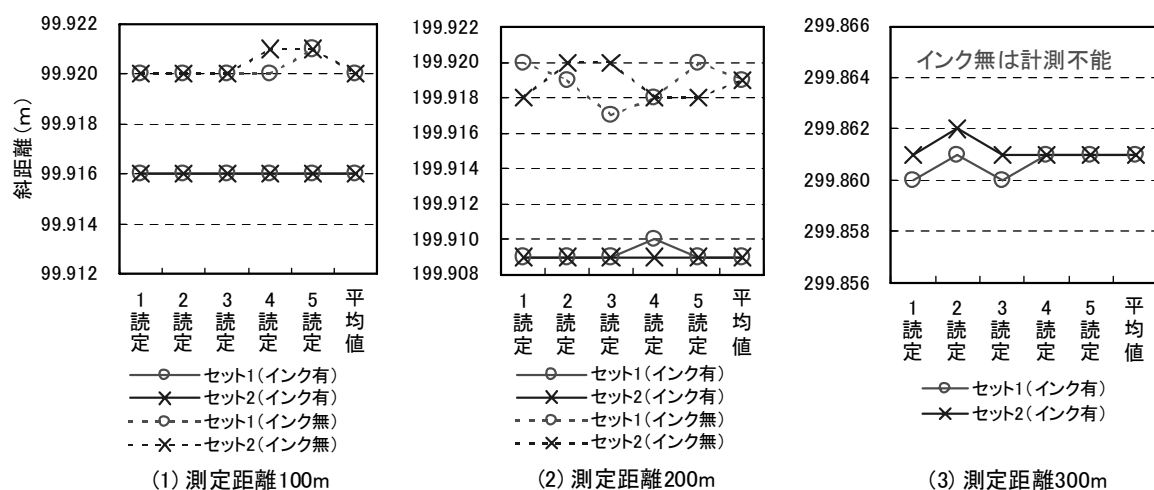


図 3.5.4 計測ターゲットインク塗布部と無塗布部の測定値のばらつき（B社：標準型）

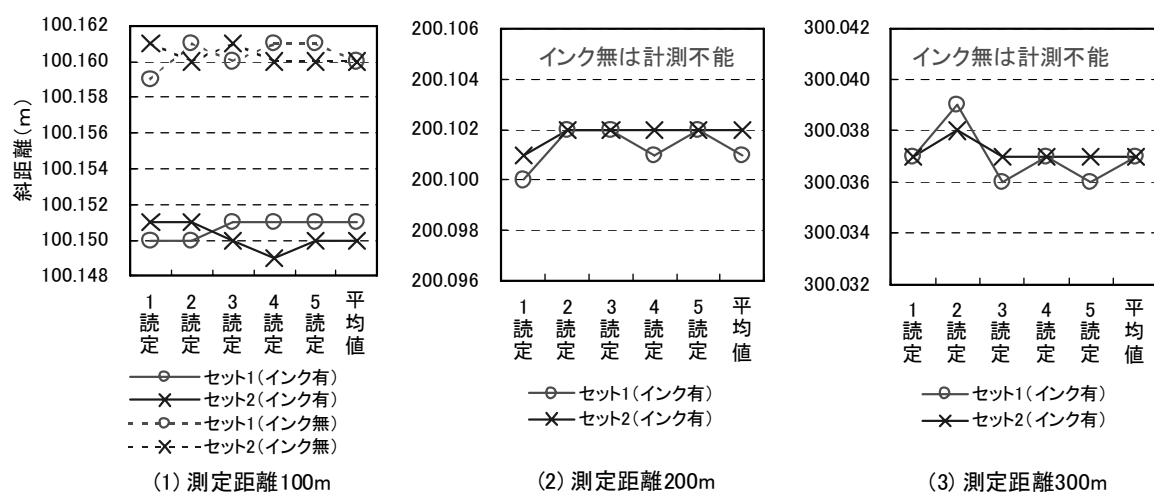


図 3.5.5 計測ターゲットインク塗布部と無塗布部の測定値のばらつき（C社：標準型）

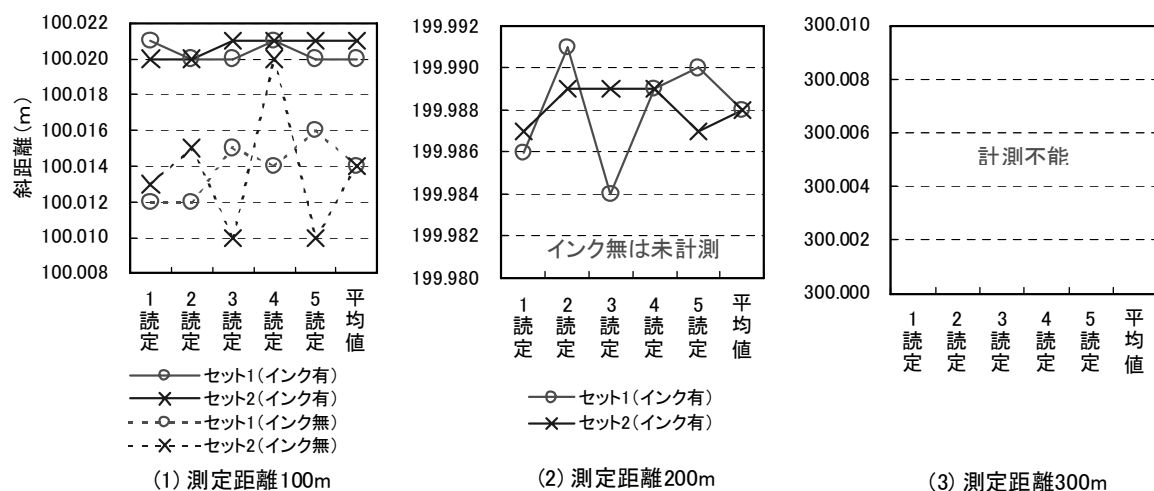


図 3.5.6 計測ターゲットインク塗布部と無塗布部の測定値のばらつき (D社：標準型)

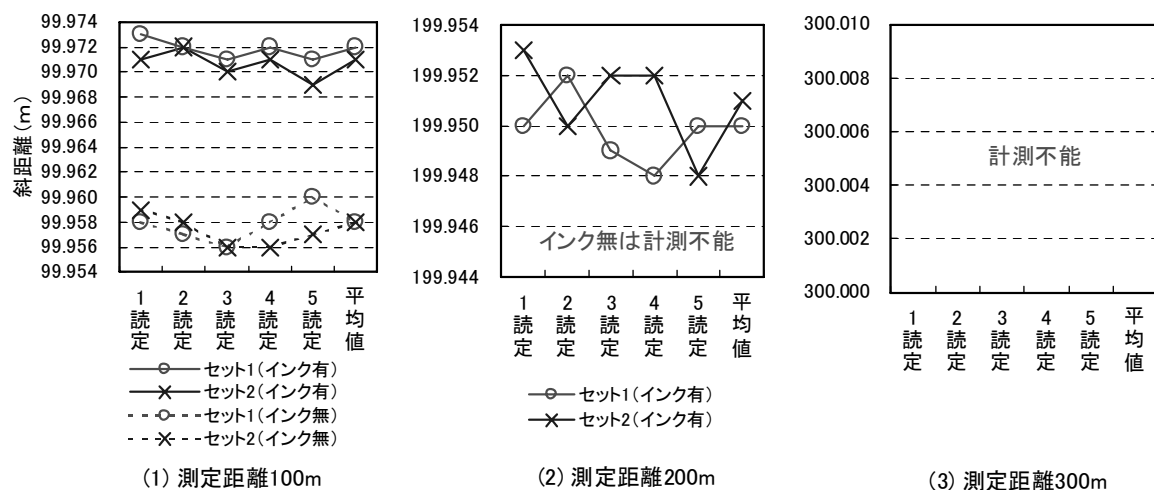


図 3.5.7 計測ターゲットインク塗布部と無塗布部の測定値のばらつき (E社：標準型)

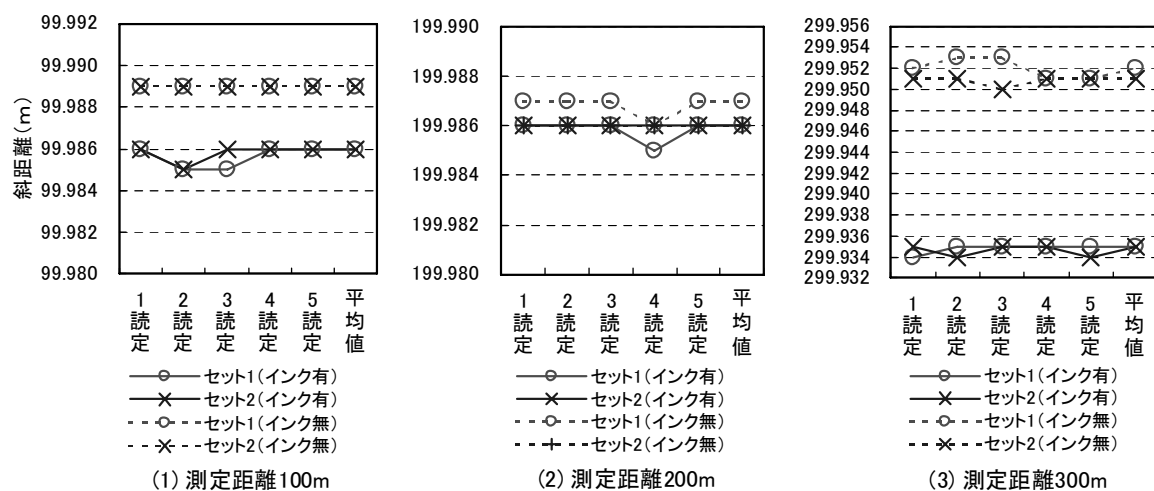


図 3.5.8 計測ターゲットインク塗布部と無塗布部の測定値のばらつき (a社：高性能型)

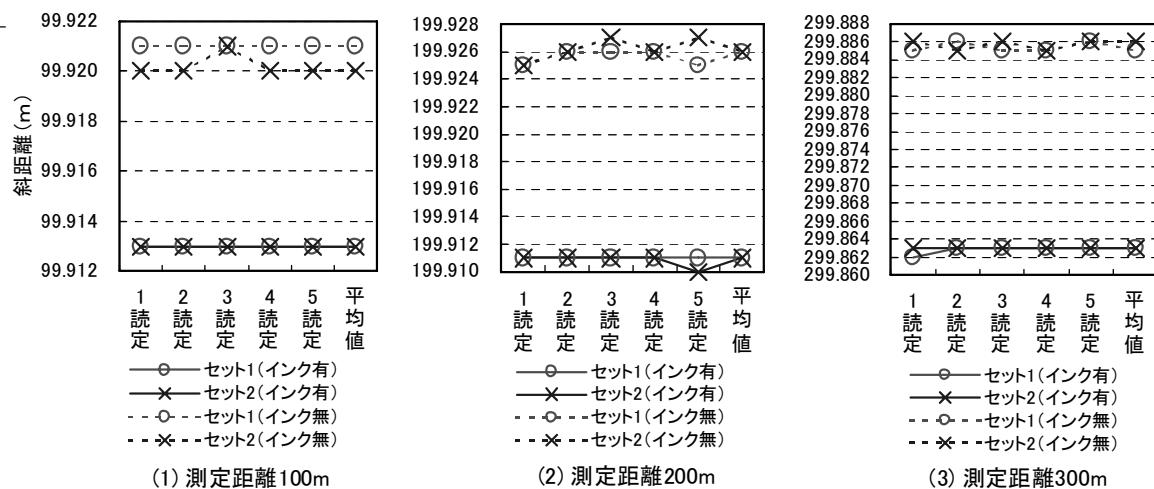


図 3. 5. 9 計測ターゲットインク塗布部と無塗布部の測定値のばらつき（b 社：高性能型）

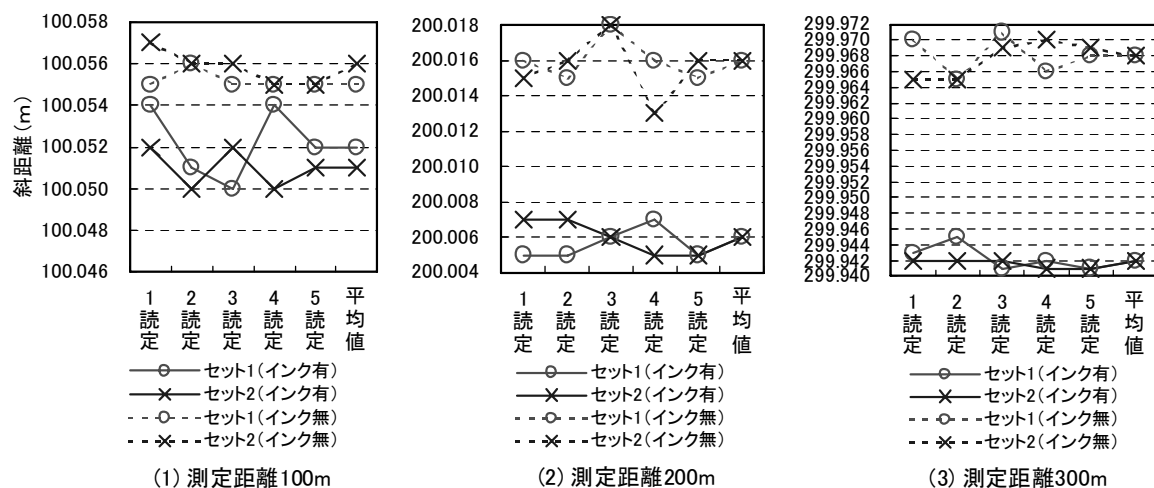


図 3. 5. 10 計測ターゲットインク塗布部と無塗布部の測定値のばらつき（c 社：高性能型）

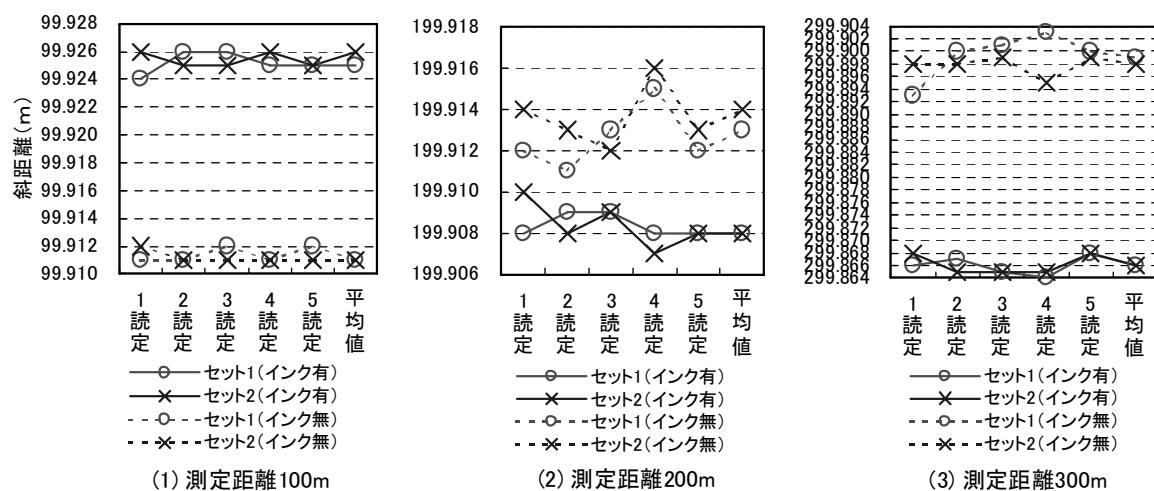


図 3. 5. 11 計測ターゲットインク塗布部と無塗布部の測定値のばらつき（d 社：高性能型）

(2) 考察

表 3.5.20 に試験結果の総括表を示す。

ガラスビーズ入りのインクで生成した計測用ターゲットは、いずれのTSにおいても誤差（0.0～2.0mm）は器械精度（±3～4mm）以内に納まっており、TSによる計測に用いて安定した観測が可能であることがわかった。

インク塗布部と無塗布部での計測データと比較すると、インク塗布部（計測用ターゲットがある場合）の方が、反射強度が強くなる結果が得られているとともに、標準型TSでは、ほとんどの機種で測定可能距離が明らかに延びている。反射強度は、計測用ターゲットの中心部特定に活用できることが予想され、十分な反射強度が得られる方法はモニタリング計測に有効である。また、計測可能距離が延びることは、斜面の観測範囲が広まることであり、より安全で確実な器械点を設定できることにも繋がる。

さらに比較すると、インク塗布部の方が全般的に測定誤差が小さくなっており、計測用ターゲットを採用することで、測距精度を向上させることができると考えられる。

実際の斜距離測定においては、複数回の読取り値を平均化することで確値を求めることが一般的であり、その際の数値の信頼性を評価するためにセット間格差を求めたが、その結果、いずれの機材・距離においても 0～1mm の差となった。複数回測定による平均化は、測定結果を安定させる効果をもたらしていることから、この計測用ターゲットを観測する場合にも適用できることがわかった。

表 3. 5. 20 試験結果総括表

タイプ	メーカー	計測用ターゲット	有			無		
		測定距離	100m	200m	300m	100m	200m	300m
標準型	A社	測定(反射強度)	○(99%)	○(41%)	○(15%)	○(6%)	○(1%)	○(0%)
		平均二乗誤差	0.0mm	0.3mm	0.6mm	0.5mm	0.4mm	1.0mm
		セット間格差	0mm	0mm	1mm	0mm	0mm	1mm
	B社	測定(反射強度)	○(50%)	○(40%)	○(40%)	○(25%)	○(5%)	×
		平均二乗誤差	0.0mm	0.3mm	0.5mm	0.5mm	1.1mm	—
		セット間格差	0mm	0mm	0mm	0mm	0mm	—
	C社	測定(反射強度)	○(100%)	○(100%)	○(40%)	○(100%)	×	×
		平均二乗誤差	0.8mm	0.8mm	0.8mm	0.8mm	—	—
		セット間格差	1mm	1mm	0mm	0mm	—	—
	D社	測定(反射強度)	○(100%)	○(80%)	×	○(20%)	×	×
		平均二乗誤差	0.7mm	2.0mm	—	2.9mm	—	—
		セット間格差	1mm	1mm	—	0mm	—	—
	E社	測定(反射強度)	○(63%)	○(50%)	×	○(94%)	×	×
		平均二乗誤差	1.1mm	1.7mm	—	1.4mm	—	—
		セット間格差	1mm	1mm	—	0mm	—	—
高性能型	a社	測定(反射強度)	○(99%)	○(33%)	○(22%)	○(9.7%)	○(2%)	○(1%)
		平均二乗誤差	0.5mm	0.3mm	0.5mm	0.0mm	0.6mm	1.0mm
		セット間格差	0mm	0mm	0mm	0mm	1mm	1mm
	b社	測定(反射強度)	○(25%)	○(20%)	○(20%)	○(30%)	○(10%)	○(5%)
		平均二乗誤差	0.0mm	0.3mm	0.3mm	0.6mm	0.7mm	0.7mm
		セット間格差	0mm	0mm	0mm	1mm	0mm	1mm
	c社	測定(反射強度)	○(100%)	○(100%)	○(100%)	○(100%)	○(100%)	○(100%)
		平均二乗誤差	1.5mm	0.9mm	1.2mm	0.8mm	1.4mm	2.2mm
		セット間格差	1mm	0mm	0mm	1mm	0mm	0mm
	d社	測定(反射強度)	○	○	○	○	○	○
		平均二乗誤差	0.7mm	0.9mm	1.4mm	0.5mm	1.4mm	2.8mm
		セット間格差	0mm	0mm	0mm	0mm	1mm	1mm

測定:○可能 ×不能(もしくは未計測)

平均二乗誤差:2セット10回分の測定結果の誤差

セット間格差:各セットにおける確値の格差

3.5.5. 反射強度測定機能の利用

ガラスビーズ入りインクを投擲して形成した計測用ターゲットは、拡散した溶剤の濃淡により、場所によってレーザの反射強度が異なる特質がある。各種トータルステーションのうち、反射強度を測定する機能を持つ機種があり、これらを用いることによって、ターゲットの中心点を把握することが容易になると考えられる。

表 3.5.21 には、摺上川ダム（福島県）での実験において、計測用ターゲット周辺の反射強度を測定した結果を示している。ここで、各観測点の中心に対して左側に 3 点（L1→L2→L3）、右側に 3 点（R1→R2→R3）、上側に 3 点（U1→U2→U3）、下側に 3 点（D1→D2→D3）の計測を行った。

表 3.5.21 計測用ターゲット周辺の反射強度記録（摺上川ダム）

観測点	観測時間帯 2006年9月29日 AM9:00～AM9:30																	
	測点	観測値				反射強度	測点	観測値				反射強度	測点	観測値				反射強度
		水平距離	水平角	鉛直角	高低差			水平距離	水平角	鉛直角	高低差			水平距離	水平角	鉛直角	高低差	
350-25	中心	31.999	0.4910	90.4945	1.037	99%												
	L1	31.901	0.3255	90.4945	1.038	80%	L2	31.836	0.2000	90.4945	1.039	40%	L3	31.793	0.0000	90.4945	1.039	31%
	R1	32.071	1.0555	90.4945	1.035	20%	R2	31.900	1.4940	90.4945	1.038	22%	R3	32.120	2.3500	90.4945	1.035	27%
	U1	32.165	0.4910	90.3930	1.130	99%	U2	32.288	0.4910	90.1745	1.333	99%	U3	32.810	0.4910	89.4630	1.629	30%
	D1	31.743	0.4910	90.5900	0.955	45%	D2	31.482	0.4910	91.1450	0.816	19%	-	通常の岩				15%
250-15	中心	38.000	0.4335	86.0350	4.115	99%												
	L1	38.083	0.2750	86.0350	4.121	41%	L2	37.983	0.0820	86.0350	4.114	40%	L3	37.933	359.4010	86.0350	4.110	28%
	R1	37.933	1.2535	86.0350	4.110	17%	R2	38.112	1.4515	86.0350	4.128	23%	R3	37.952	2.2010	86.0350	4.111	34%
	U1	38.271	0.4335	85.4520	4.340	99%	U2	38.271	0.4335	85.2655	4.340	27%	U3	39.468	0.4335	84.5825	4.972	25%
	D1	37.328	0.4335	86.2245	3.863	23%	D2	36.519	0.4335	86.5930	3.419	40%	D3	35.893	0.4335	87.2940	3.071	48%
300-40	中心	96.578	2.2055	72.0800	32.632	26%												
	L1	95.782	2.0510	72.0800	32.351	2%	L2	95.861	1.4225	72.0800	32.376	2%	L3	95.372	1.0920	72.0800	32.269	3%
	R1	96.656	2.3210	72.0800	32.658	3%	R2	96.807	2.4220	72.0800	32.679	2%	R3	97.525	3.1145	72.0800	32.939	3%
	U1	97.911	2.2055	72.0020	33.303	4%	U2	98.752	2.2055	71.5415	33.769	2%	U3	99.651	2.2055	71.4920	34.220	4%
	D1	94.427	2.2055	72.1730	31.652	4%	D2	92.847	2.2055	72.2655	30.865	3%	D3	91.377	2.2055	72.3800	30.077	3%
300-20	中心	151.865	359.5550	87.4635	7.400	16%												
	L1	151.932	359.4435	87.4635	7.400	1%	L2	151.721	359.0950	87.4635	7.400	1%	L3	151.188	358.4445	87.4635	7.370	1%
	R1	151.873	0.0205	87.4635	7.396	1%	R2	152.070	0.2415	87.4635	7.400	1%	R3	152.332	0.5655	87.4635	7.410	1%
	U1	152.528	359.5550	87.4055	7.676	0%	U2	153.384	359.5550	87.3135	8.129	0%	U3	154.916	359.5550	87.1630	8.873	0%
	D1	150.565	359.5550	88.0025	6.742	1%	D2	149.326	359.5550	88.1135	6.213	1%	D3	147.766	359.5550	88.2910	5.408	1%



写真 3.5.15 計測用ターゲット設置例

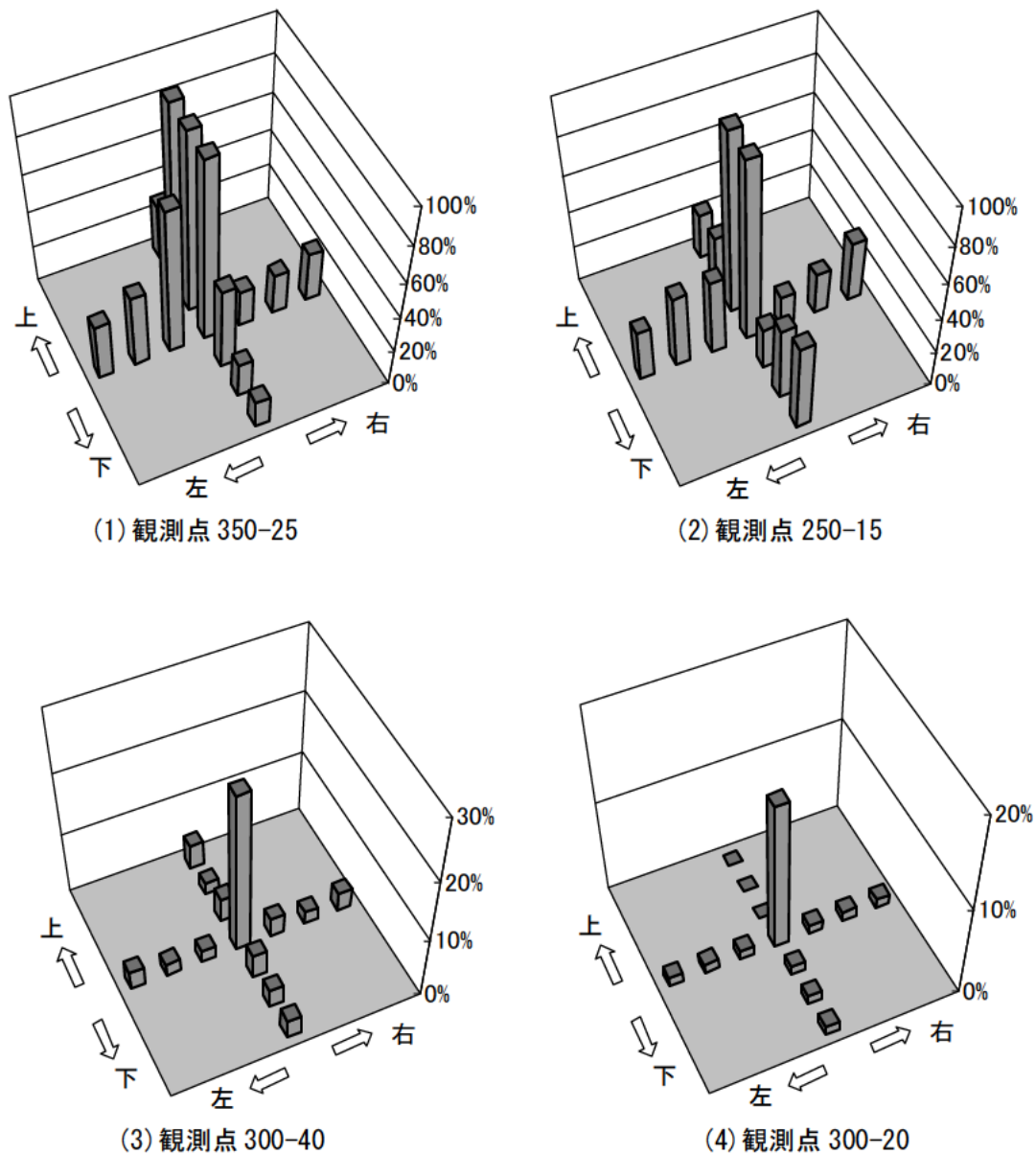


図 3. 5. 12 計測用ターゲット周辺の反射強度分布模式図

図 3. 5. 12 は、計測用ターゲット反射強度の分布状況を模式的に示した図である。ターゲット中心部は強い反射強度が得られ、周辺部では反射強度が弱まる傾向が認められる。このうち、観測点 350-25 と 250-15 は計測距離が 40m 以内であり、強反射する範囲が広く分布するが、観測点 300-40 と 300-20 は計測距離が 100～150m と離れており、強反射部がスポット的に捉えられる。

遠方にあるターゲットは、望遠レンズでも視認が難しいことがあることから、反射強度測定機能を有する T S を使用し、強反射点を検索することにより、特に遠方にあるターゲットに対しても中心点の特定が効果的に行えるものと考えられる。

3. 6. 観測手法検討結果のまとめ

地すべり斜面末端における観測手法の検討結果を以下にまとめる。

観測手法としては、ノンプリズム型トータルステーションを用いて、計測用ターゲットを遠隔設置して行うことが適当である。

観測機器としては、国土地理院登録トータルステーション 2 級 A 以上が望ましく、プリズムモードでの測定精度が $2\text{mm}+5\text{ppm}$ 以上であり、ノンプリズム計測において測定距離 200 m 以上、測角精度として $3'' \sim 5''$ 以内を有する器械が推奨される。

計測用ターゲットは、対象斜面に 65mm の大きさに岩盤に付着させることを目標とする。

トータルステーションの現地での配置は、ターゲットと機器間の斜距離のみを測る場合は、地すべりの移動方向に正対した位置が、最も変化を捉えやすい配置である。測距・測角により、ターゲットの座標の変化を計測する場合は、トータルステーションの有する精度、作業ヤードの確保、ターゲット設置の難易性、作業の安全性等を総合的に判断すると、地すべり方向に対して斜めに設定する配置が最も適当である。

ガラスビーズ入りのインクで生成した計測用ターゲットは、ノンプリズムトータルステーションでの計測に適用可能である。実証試験では、計測用ターゲットを用いた場合、トータルステーションの計測可能距離が延びるとともに、測定誤差が小さくなる結果が得られた。計測可能距離が延伸することは、斜面観測範囲が広まるとともに、より安全で確実な器械点を設定できることに繋がる。また、誤差が減少することは、変動モニタリングによる観測値の信頼性を高めることであり、非常に有効である。

トータルステーションのうち反射強度を測定できる機種を使用して、計測用ターゲットの強反射点を検索することにより、遠方にあるターゲットに対しても中心点の特定が効果的に行えるものと考えられる。特に遠方にあるターゲットは、望遠レンズでも視認が難しいことがあることから、大規模な斜面や離れた場所にしか器械を設置できない場合などには、反射強度測定機能を活用することが有効である。

<参考文献>

- 1) 岩盤斜面の調査と対策, 社団法人 土木学会 編集: 岩盤力学委員会・斜面安定小委員会, 1999.10
- 2) 測量技術の進展 15 周年記念事業図書, 財団法人 日本測量調査技術協会, 1995.2.20
- 3) 社団法人 土木学会 ホームページ
- 4) 社団法人 日本地すべり学会 ホームページ
- 5) ライカジオシステムズ株式会社 ホームページ
- 6) 株式会社ニコン・トリニブル ホームページ
- 7) 株式会社トプコン ホームページ
- 8) 株式会社ソキア ホームページ
- 9) ペンタックス株式会社 ホームページ
- 10) J. M. Rueger: Electronic Distance Measurement 3rd Edition, Springer-Verlag, 1990
- 11) K&K 2006 CATALOGUE 総合カタログ, KANASASHI

4. ターゲットの開発

4.1 ターゲットの要求性能

4.1.1. 一般的なターゲットの特徴

トータルステーションで光波測距を行う際に、通常、リフレクタ（反射鏡）をターゲットとし計測を行う。一般的に用いられているリフレクタは大きく下記の3種類に分類され、用途や測定距離などによって選定し使用する。

リフレクタの種類

- | | | |
|------------|--------------|--------|
| ① 1 素子プリズム | φ 63. 5mm | (～遠距離) |
| ② ミニプリズム | φ 32. 5mm | (～中距離) |
| ③ リフレクタシート | □20～100mm 程度 | (短距離) |

リフレクタは、プリズムを使用することで高い反射率を確保し、より遠距離でも、赤外線光波を効率よく反射出来るような構造となっている。

4.1.2. ターゲットに要求される性能

地すべり地末端の崩落斜面の変位を遠方からトータルステーションなどにより光波測距を行う場合、ターゲットに求められる条件は以下のとおりである。

- ① 反射率が高いこと。
- ② 人手によらず、遠方から対象斜面に設置できること（軽く、壊れない）。
- ③ 100m 以上の距離でトータルステーションによる視認が可能なものであって、大きさとして 径 65mm 程度の大きさであること（本文 4. 1. 1 ① 1 素子プリズムと同等の大きさ）。

上記要求性能から、塗料により対象斜面の岩塊等に光反射体を形成出来るターゲットについて検討し、試作を行った。

4.2. 対象斜面の物性

地すべり地末端における崩落斜面に露出している岩盤や岩塊などを対象とする。

代表的な岩石 14 種（17 サンプル）を表 4.2.1 に示す。

表 4.2.1 岩石試験片一覧表（地すべり H17-30 末端計測検討業務報告書 P49 抜粋）

試験片番号	岩 種	採 取 地	表乾比重	吸水率%
N o 1	泥岩	新潟県糸魚川市	2.69	0.73
N o 2	シルト岩	新潟県小千谷市	1.87	28.21
N o 3	砂岩	新潟県糸魚川市	2.66	0.43
N o 4	砂岩泥岩互層	山梨県甲府市	2.68	0.56
N o 5	礫岩	新潟県糸魚川市	2.97	3.82
N o 6	砂岩	茨城県つくば市	2.72	0.32
N o 7	千枚岩	山梨県早川町	2.68	1.02
N o 8	石灰岩	栃木県佐野市	2.75	0.89
N o 9	凝灰岩	新潟県阿賀町	1.86	18.66
N o 10	凝灰岩	静岡県河津町	2.17	10.28
N o 11	安山岩	新潟県妙高市	2.56	2.70
N o 12	安山岩	長野県小谷村	2.53	4.59
N o 13	流紋岩	新潟県阿賀町	2.17	8.47
N o 14	花崗岩	新潟県阿賀町	2.65	0.47
N o 15	緑色片岩	長野県大鹿村	2.95	0.37
N o 16	蛇紋岩	新潟県糸魚川市	2.59	1.96
N o 17	マイロナイト	長野県大鹿村	2.73	0.39

4.3. ペイント入りカプセルの開発

4.3.1. ターゲット用ペイントの検討

(1) ペイントの条件

- ①測定の照準として計測できる有色又は光沢性のあるもの。
- ②粘性が調整でき光波測距期間を通じ組成を安定に保てるもの（塗膜劣化の少ないもの）。
- ③屋外で使用でき、塗装対象物（岩石）への付着性が良いもの。

(2) ペイントの調査

条件を満たす塗料として、図4.3.1に示す再帰反射（塗膜表面にあるガラスビーズの入射光に対し反射光が平行に戻る）機能を有し、常温硬化型で粘度調整が可能な塗料がある。

再帰反射塗料には、有色（塗膜色）再帰反射を行う塗料と透明（母材色／下地色）再帰反射を行う塗料がある。

- ・有色再帰反射塗料・・・株式会社小松プロセス ブライトコート（N）
- ・透明再帰反射塗料・・・シンロイヒ株式会社 アクアビームライト

ターゲットはトータルステーションで視認でき、岩石と区別する必要があるため、有色の再帰反射塗料を使用することとした。

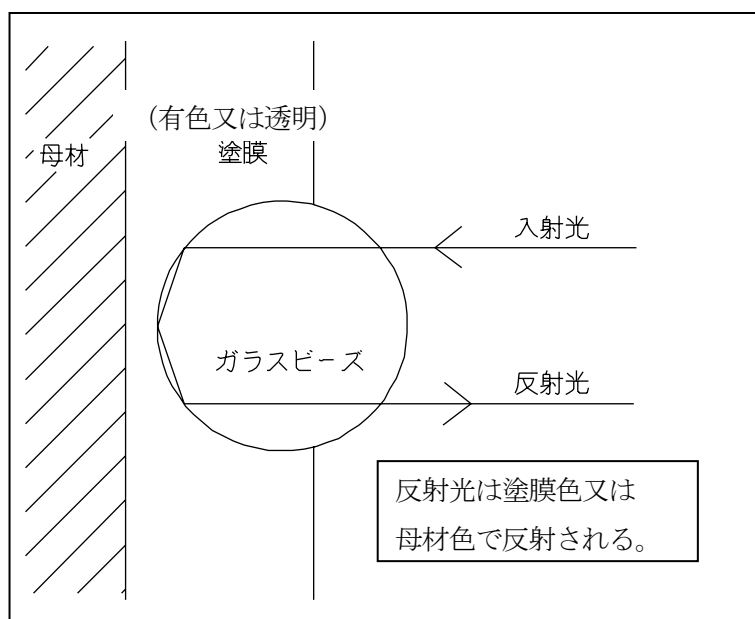


図 4.3.1 再帰反射イメージ図

(3) 選定したペイントの仕様

品名 : ブライトコートN
メーカー : 株式会社小松プロセス
種別 : 水性塗料

- 反射材 : 約 $\phi 50 \mu\text{m}$ ガラスビーズ
- 色 : 基本 10 色 (白・黄色・青・赤など) / 混合することで色作成が可能
- 塗装対象物 : コンクリート・アスファルト・レンガ・石材 等
- 特徴 : 有色な再帰反射塗料である。
 速乾性である (20℃ 20~30 分程度)。
 乾燥後は強靱な皮膜を形成する。
 水性タイプで有害物質や VOC (揮発性有機化合物) は一切含まない。
 反射性が高く、車のヘッドライトを照射すると 100m 離れていても視認が可能である。
 ハケやローラー塗布、吹き付け塗装が可能。
 使用工具類は水洗いが可能。
- 使用例 : 高速道路分離帯・鉄道枕木・防護柵・中央分離帯・縁石
 点字ブロック・河川量水標・ヘルメット・線路遮断機 等

4.3.2. ターゲット用ペイント入りカプセルの検討

遠方の崩落斜面 (岩塊等) で光反射を形成するために、塗料をカプセルに封入して、クロスボウ矢先に装備することにした。

(1) ペイント入りカプセルに関する条件

- ①設置治具(クロスボウの矢先)に取り付けられること。
- ②岩石表面の測点において確実にペイントを塗付できること。
- ③岩石表面の測点において測量可能な範囲にペイントが広がること。
- ④設置治具に取り付けることにより、著しく飛距離が低下しないこと。

(2) ペイントの容量についての検討

ペイントの容量は、目標のターゲット寸法に塗膜厚さをかけたもの (体積) となるが、実際に設置治具 (クロスボウ) を用いターゲットを生成した場合、ペイント容量のすべてが対象の岩に付着する事は考えにくい (飛散したり、カプセル内に付着するため)、したがって、ターゲット体積に安全率をかけたものをペイント容量として採用した。

(3) ペイント容量の計算

- ・ターゲット寸法 $\phi 65\text{mm}$ 塗膜厚さ 0.1mm とする。
- ・安全率は飛散、カプセル内の付着分をターゲット体積の 2 倍程度と考え 3 とする。

$$\begin{aligned}
 \text{ペイント容量} &= \text{断 面 積} \times \text{塗膜厚さ} \times \text{安全率} \\
 &= ((\pi \times 65^2) / 4) \times 0.1 \times 3 \\
 &= 995.5\text{mm}^3 \\
 &\text{約 } 1\text{ml} \text{ とする。}
 \end{aligned}$$

したがって、ペイント入りカプセルにはペイント 1ml 以上の容積が必要である。

(4) 寸法・形状の検討

クロスボウ矢先に取り付け、約 100m 以上の飛距離を確保し、対象岩に命中し、ターゲットを生成できる事が条件となる。表 4.3.1 に条件及び対処方法を示す。

表 4.3.1 条件と対処方法

条 件	対 処 方 法
クロスボウ矢先に取り付けられる	通常矢先と置き換え可能なように同じ寸法のネジ加工を施した物にする。注)
約 100m 以上の飛距離を確保し、対象岩に命中する	空気抵抗を小さくし、矢先重量を通常矢先と同等にする。
対象岩にターゲットを形成できる	ペイント入りカプセルは、射出時の衝撃で破損せず、岩の平面に直角に命中した際、破裂して塗料が径 65mm 程度に広がる構造にする。

注) クロスボウは各メーカーにより専用の矢（矢先）を使用しているため、メーカーを変更する場合には設計変更が必要となる。

4.3.3. ペイント入りカプセルの設計

「4.3.2. ターゲット用ペイント入りカプセルの検討」より、以下を条件とした設計を行った。

- ・取り付けネジ部・・・・・・・・No. 8/32UNC 長さ 8mm 以上
- ・矢先形状・寸法・・・・・・・・通常矢先と同等
- ・カプセル材質・・・・・・・・ガラス
- ・カプセル容積・・・・・・・・1ml 以上
- ・その他・・・・・・・・保管時にペイントが乾燥しないこと
取り扱いが容易なこと

図 4.3.2 に通常矢先、図 4.3.3 にペイント入りカプセルの形状を示す。

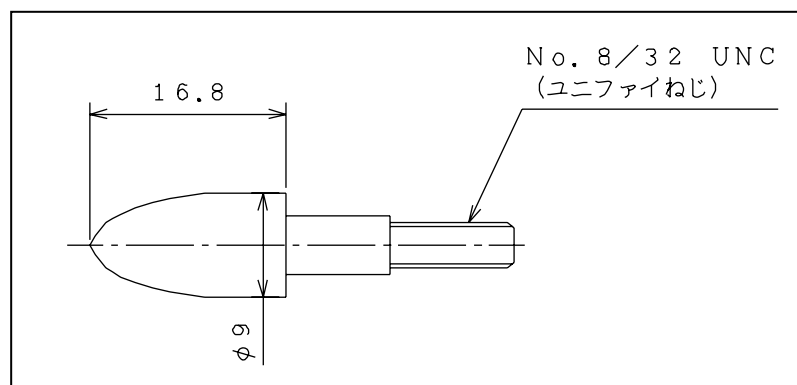


図 4.3.2 通常矢先 鋼製 質量約 8.1 g

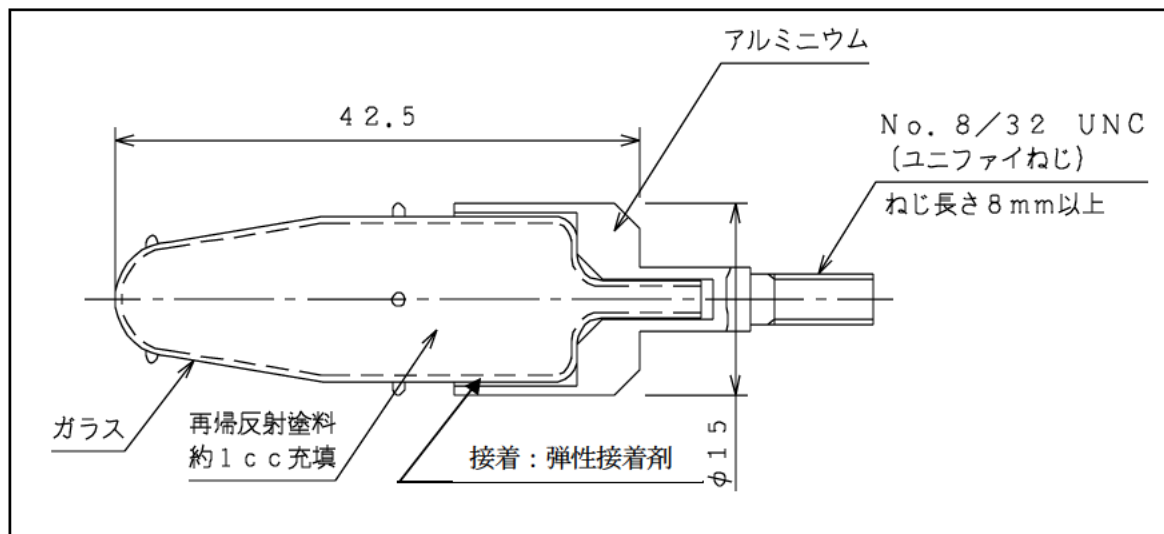


図 4.3.3 ペイント入りカプセル 目標質量 10 g

4.3.4. ペイント入りカプセルの試作

試作手順を下記に示す。写真 4.3.1 に組立前、写真 4.3.2 に組立後の状態を示す。

(1) 部品洗浄

ガラス容器（ガラス）及び、ガラスホルダ（アルミニウム）を洗浄し乾燥させる

(2) ペイントの準備

塗料を十分攪拌し水にて 2% 希釈する（メーカー推奨）。メーカー出荷段階で、粘度を上げた状態で梱包・出荷されているため、使用前に水にて 2% 希釈し適正粘度（ハケ塗りしやすい程度）に調整し十分攪拌し使用した。

(3) 接着準備

ペイント（塗料）が水性で、ガラスとアルミニウムの接着が出来、設置治具の射出衝撃に耐えるものとして、弾力性があり、異種材料の接着が可能な接着剤を選定した。

注）ガラス容器及びガラスホルダの両接着面に接着剤を塗布することで接着強度を増加させる。

(4) ペイントの注入

ガラス容器にペイント（塗料）を 1ml 注入する。

*十分に攪拌した塗料を使用 {反射材（ガラスビーズ）が沈殿するため}

(5) 接着

ペイントを注入したガラス容器とガラスホルダを接着する。

(6) 乾燥

24 時間以上室温乾燥させ、接着剤を硬化させる。

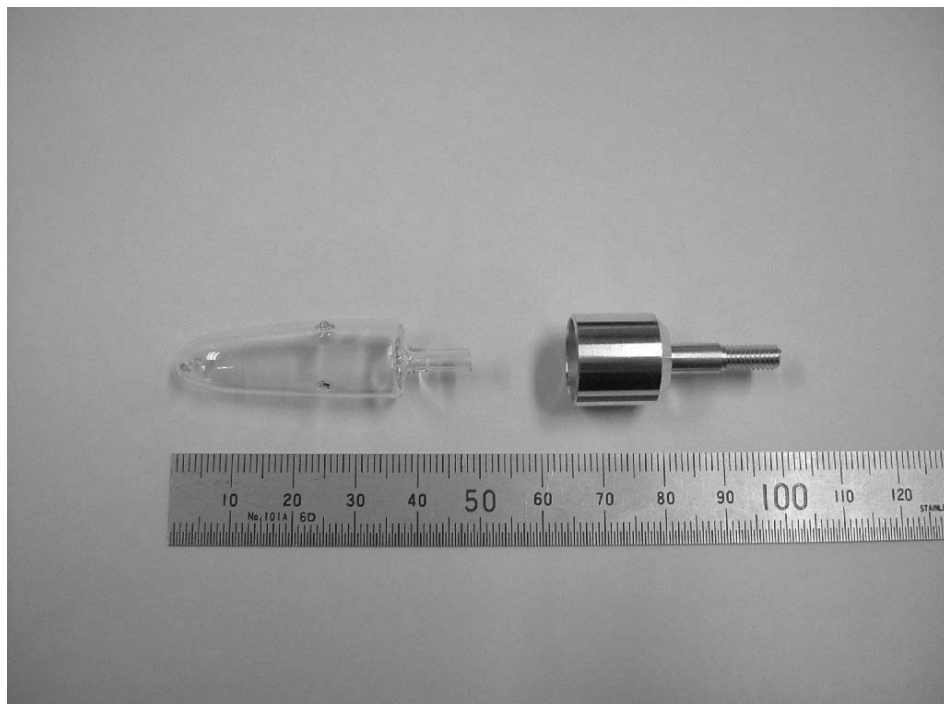


写真 4. 3. 1 ペイント入りカプセル・組立前



写真 4. 3. 2 ペイント入りカプセル・組立後

4.3.5. ペイント入りカプセルの改良

本文 4.3.4 で試作したペイント入りカプセルについて、試射特性試験[5.1.3(4)参照]を行った結果、鋼製の矢先に比べ飛距離に損失が出ているため、空気抵抗を減らし、ペイントの搭載量を増やす事を目的とした改良を行った。

(1) 検討・改良設計

- ・ 空気抵抗を減らす／直径を矢と同等（ $\phi 10\text{mm}$ ）にした。
- ・ ペイントの搭載量を増やす／容器の長さを長くし、通常 2ml（最大 3ml）搭載可能にした。
- ・ ペイント色の変更／白色の再起反射塗料を使用していたが、トータルステーションにおける反射輝度調査の結果、ピンク色の塗料が反射率が大きくなることが判明したため、ピンク色の再起反射塗料を採用した。
- ・ 質量／取付ネジは改良前と同等とした。

(2) 仕様

「4.3.2. ターゲット用ペイント入りカプセルの検討」より

取り付けネジ部・・・・・・・・No. 8/32UNC 長さ 8mm 以上

矢先形状・寸法・・・・・・・・ $\phi 10\text{mm} \times L 80\text{mm}$ （質量約 10g）

カプセル材質・・・・・・・・カプセル本体はガラス製とし、矢との接合部はアルミ合金製とした。

カプセル容積・・・・・・・・標準 2ml（最大 3ml）

その他・・・・・・・・カプセルは密閉構造とし、保管時にペイントが乾燥せず取り扱いを容易にした。

図 4.3.4 に、改良後のペイント入りカプセル形状を示す。

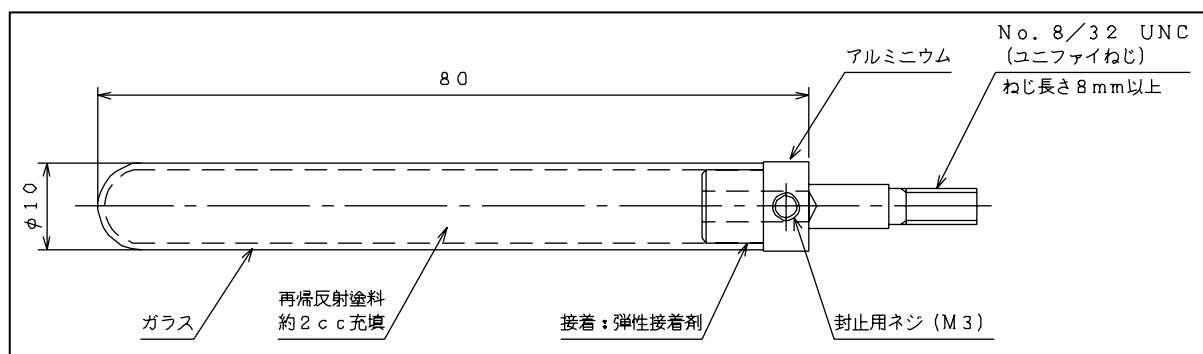


図 4.3.4 ペイント入りカプセル（改良品）

- (3) 写真 4.3.3 に組立前、写真 4.3.4 に組立後の状態を示す。

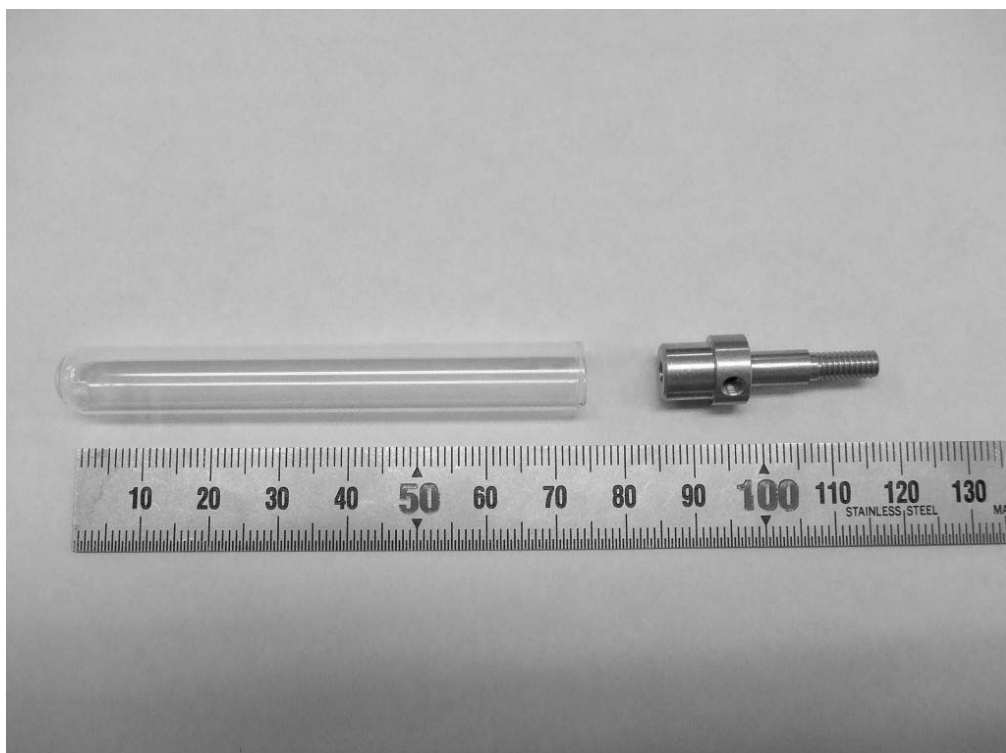


写真 4.3.3 ペイント入りカプセル（改良品）・組立前

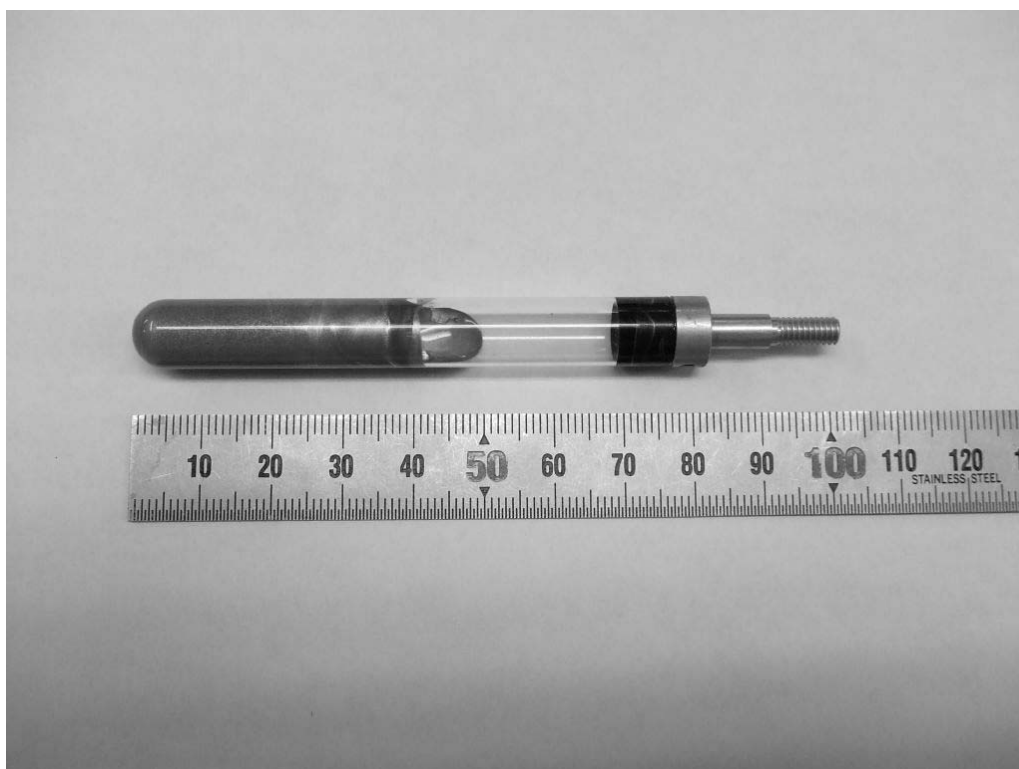


写真 4.3.4 ペイント入りカプセル（改良品）・組立後

4.4. ペイントの岩石表面への定着試験

4.4.1. 岩石表面への定着試験概要

ターゲット用ペイントとして選定した再帰反射塗料が、岩石表面へ定着するかの確認を目的とし塗料を塗布、滴下により岩石試験片に定着させ、定着部に放水することにより、岩石表面への定着度を確認する。

4.4.2. 試験対象

試験対象を下記に示す。

- ・岩石試験片 17 種類を試験する（表 4.2.1 参照）。
- ・岩石表面は未処理（洗浄無し）とする。
- ・再帰反射塗料は小松プロセス／ブライトコート（N）白色を使用する。

4.4.3. 岩石表面への塗布確認試験

(1) 塗布確認試験

型紙を用い、岩石表面へ再帰反射塗料 1ml を $\phi 65\text{mm}$ の形状にハケで塗布し、塗りやすさ・吸水性・乾燥状態・外観を目視確認した。

写真 4.4.1 に塗布試験状況写真を示す。

＊注射器を使用し、ペイント（塗料）を 1ml 垂らし、ハケ（幅 15mm）を使用し岩石表面へ塗布した。塗布に要した時間は約 15 秒である。



写真 4.4.1 塗布試験状況写真（試験片 No1：泥岩）

(2) 試験結果

表 4.4.1 に試験結果をまとめた。

表 4.4.1 塗布確認試験結果一覧

試験片 番号	岩 種	塗り やすさ	吸水性 (塗料の浸透)	乾燥状態	塗装後外観	吸水率% 表 6.2 抜粋
N o 1	泥岩	○	—	△	○	0.73
N o 2	シルト岩	△	○	○	○	28.21
N o 3	砂岩	○	—	△	○	0.43
N o 4	砂岩泥岩互層	△	△	○	○	0.56
N o 5	礫岩	○	△	●	○	3.82
N o 6	砂岩	○	—	△	○	0.32
N o 7	千枚岩	○	—	△	○	1.02
N o 8	石灰岩	○	—	△	○	0.89
N o 9	凝灰岩	×	◎	◎ 塗布中には 乾燥する	△・吸水が 激しく φ65mm 形状に塗布 出来なかった	18.66
N o 10	凝灰岩	△	○	◎	○	10.28
N o 11	安山岩	○	—	▲	○	2.70
N o 12	安山岩	○	△	○	○	4.59
N o 13	流紋岩	○	△	○	○	8.47
N o 14	花崗岩	○	—	△	○	0.47
N o 15	緑色片岩	○	—	△	○	0.37
N o 16	蛇紋岩	○	—	●	○	1.96
N o 17	マイロナイト	○	—	△	○	0.39

*結果は作業者の主観による。

*塗りやすさ ○：良好 △：やや困難 ×：困難

*吸水性 ◎：非常に有り ○：有り △：やや有り —：無し

*乾燥状態 ◎：非常に速い ○：速い ●：やや速い ▲：やや遅い △：遅い

速い：10分以内に指触可能 遅い：10分以上60分以内に指触可能

*塗装後外観 ○：良好 △：やや難有り

(3) まとめ

表 4.2.1・表 4.4.1 より、吸水性が高い岩石はハケ塗りが難しいが、乾燥が速い傾向がつかめた。

No9 に関して塗布は困難であったが、実際のターゲット設置の場合、乾燥が速いため着弾したペイントが岩石に定着しやすくなるため、有利と考えられる。吸水率の低い岩石は、乾燥が遅いため、塗膜が厚い場合に液だれする可能性がある。

4.4.4. 岩石表面への滴下確認試験

(1) 滴下確認試験

高さ 1m の位置から、注射器を使用し再帰反射塗料 1cc を岩石表面へ滴下し、付着状態を目視確認した。

図 4.4.1 に滴下確認試験概略図を示す。

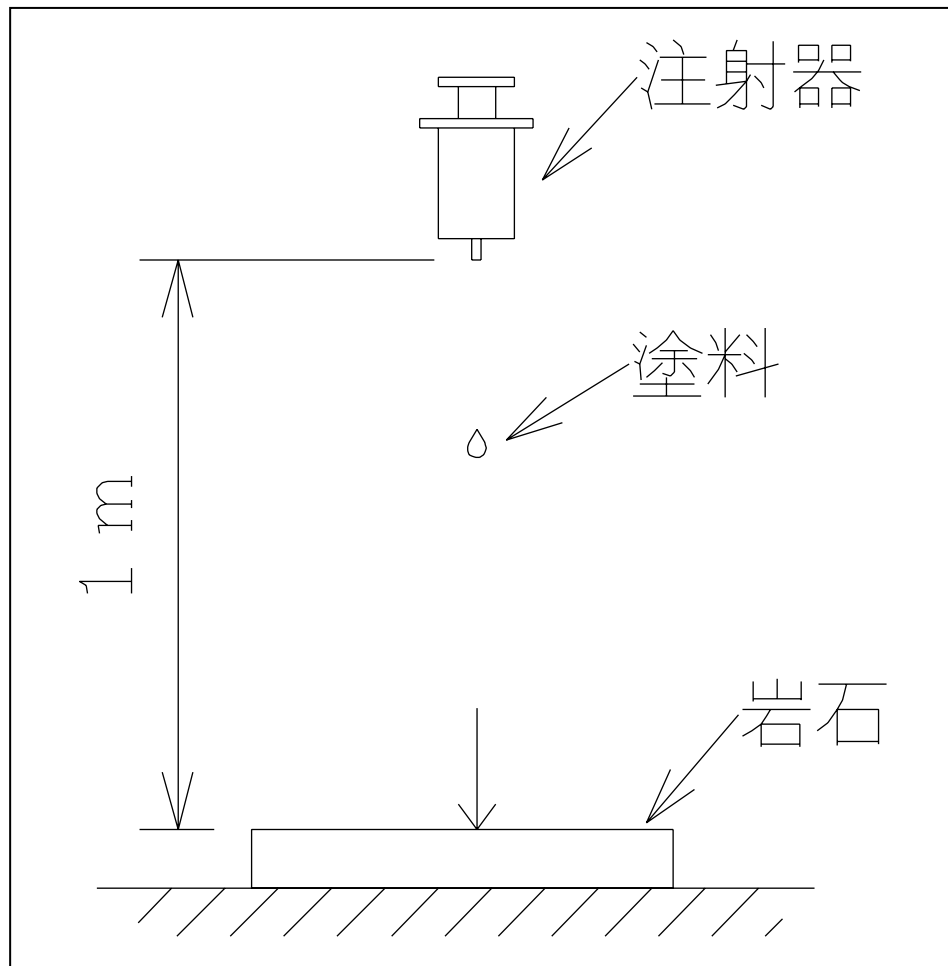


図 4.4.1 滴下確認試験概略図

(2) 試験結果

表 4.4.2 に試験結果をまとめた。

表 4.4.2 滴下確認試験結果一覧

試験片番号	岩 種	塗料の 飛散しやすさ	乾燥状態	吸水率% 表 6.2 抜粋
N o 1	泥岩	△	△	0.73
N o 2	シルト岩	△	○	28.21
N o 3	砂岩	○	△	0.43
N o 4	砂岩泥岩互層	○	△	0.56
N o 5	礫岩	○	△	3.82
N o 6	砂岩	△	△	0.32
N o 7	千枚岩	○	△	1.02
N o 8	石灰岩	△	△	0.89
N o 9	凝灰岩	○	○	18.66
N o 10	凝灰岩	○	○	10.28
N o 11	安山岩	○	△	2.70
N o 12	安山岩	○	△	4.59
N o 13	流紋岩	○	△	8.47
N o 14	花崗岩	○	△	0.47
N o 15	緑色片岩	○	△	0.37
N o 16	蛇紋岩	○	△	1.96
N o 17	マイナト	○	△	0.39

*結果は作業者の主観による。

*塗料の飛散しやすさ ○：飛散しやすい △：飛散しにくい

*乾燥状態 ○：10 分以内に指触可能 △：10 分以上 60 分以内に指触可能

(3) まとめ

表 4.2.1・表 4.4.2 より、吸水率が高い 3 種類の岩石試験片は乾燥が速いことが確認された。

塗布確認試験で乾燥が速い岩石 (No4, 5, 12, 13, 16) でも、滴下確認試験では乾燥が遅いものが確認された。

これは塗膜の厚さが厚くなったことにより、岩石表面で吸水された後、塗膜表面からゆっくり乾燥するためと考えられる。塗料の広がりにおいて、岩石試験片によって塗料の飛散しやすさに違いがあることが確認された。これは岩石表面の形状により塗料の粘着力に差が出てくると考えられる。

4.4.5. 塗膜の付着確認試験

(1) 付着確認試験

塗布／滴下確認試験後 24 時間乾燥させ、塗布／滴下部に放水し、定着度（塗膜のはがれ状況）を目視確認する。

水道蛇口よりホースを延長し、ノズルで口径を絞り約 1m の距離から一分間塗膜に向け放水する。その際のホース内水圧を記録し、塗膜の状況を目視確認する。

ノズル内径：φ3.3mm

ノズル長さ： 31mm

圧力計 : ブルドン管式圧力計 (10kgf/cm²用)

写真 4.4.2～写真 4.4.5 に試験状況写真を示す。



写真 4.4.2 水道部写真

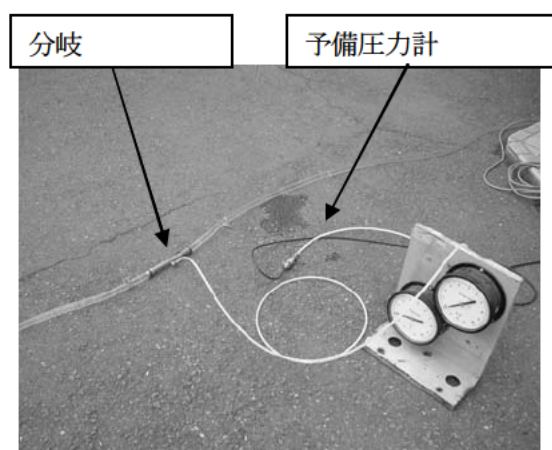


写真 4.4.3 ホースから圧力計への分岐写真

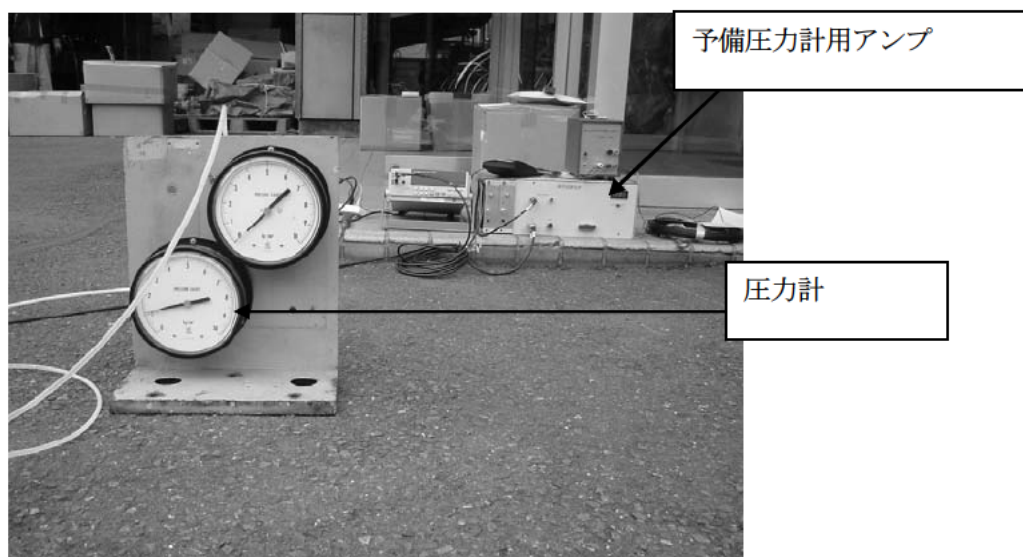


写真 4.4.4 圧力計写真



写真 4. 4. 5 放水写真

(2) 試験結果

表 4.4.3 に試験結果をまとめた。

表 4.4.3 付着確認試験結果一覧

試験片番号	岩 種	剥離状況		水圧 kPa
		塗布試験塗膜	滴下試験塗膜	
N o 1	泥岩	○	○	118
N o 2	シルト岩	○	○	113
N o 3	砂岩	○	塗装縁部 △	108
N o 4	砂岩泥岩互層	○	○	113
N o 5	礫岩	○	塗装縁部 △	113
N o 6	砂岩	○	塗装縁部 △	113
N o 7	千枚岩	○	○	113
N o 8	石灰岩	○	塗装縁部 △	108
N o 9	凝灰岩	塗装中央部 △	塗装中央部 △	113
N o 1 0	凝灰岩	○	○	108
N o 1 1	安山岩	○	○	108
N o 1 2	安山岩	○	○	118
N o 1 3	流紋岩	○	○	113
N o 1 4	花崗岩	○	○	113
N o 1 5	緑色片岩	○	○	113
N o 1 6	蛇紋岩	○	○	113
N o 1 7	マイナト	○	○	113

○：変化無し △：少量剥離有り

(3) まとめ

表 4.4.3 より、5 種類の岩石試験片において少量の塗膜の剥離が確認された。全体的に塗膜の中央部は剥離しにくく、岩石と塗膜の境界部より剥離する傾向が認められる。試験は短時間で行い約 1～2mm²程度の剥離を起こすことが確認されたが、これは塗膜面積(3318mm²)の 1/1650 程度で計測上問題ないと考えられる。岩石 17 種類全部において、ターゲット用ペイントに選定した再帰反射塗料は、表面へのなじみが良く、乾燥後の塗膜は十分に岩石表面へ定着していると考えられる。よって、その他の種類の岩石にも対応可能であると推測される。

メーカーカタログで乾燥時間は 20℃で 30 分程度だが、水性塗料であるため低温・高湿度で使用する場合著しく乾燥時間が延びることが判明した。

4.5. 雨天時に使用可能なペイント入りカプセルの検討

4.5.1. 目的

本文 4.3.1 で選定した再起反射塗料は水性塗料であるため、ターゲットを設置する際には、天候が良く対象斜面が乾いている必要がある。

現状では雨天時に崩落斜面に着弾しペイントが付着しても、乾燥・定着する前に雨により洗い流されてしまう。しかしながら、災害直後は天候が不安定な事も想定されることから、雨天時にもターゲットの設置が可能となるペイントについて検討を行った。

4.5.2. ペイントに要求される性能

- (1) 濡れた岩に付着すること
- (2) 雨で流されないこと
- (3) 桃色（ピンク）で再起反射機能を有すること
- (4) 製作が容易なこと

4.5.3. ペイントの検討

(1) 再起反射塗料（市販）

市販の再起反射塗料を調査した結果、雨天時に使用できる再起反射塗料は確認できなかった。

再起反射塗料メーカ 2 社に確認したところ、需要が無い為制作していない、今後も制作予定が無いとの回答であった。

(2) 水中塗料

市販されている塗料で、濡れた岩石表面にペイントできる可能性がある物として「水中塗料」と呼ばれる塗料が存在する。一般的に水中塗料は二液性になっており混合後、化学反応により硬化するため空気がない場所でも硬化が可能である。この水中塗料を桃色に着色し、ガラスビーズを混入する事により再起反射機能を持ったペイントとして使用できる可能性がある。

ただし、二液混合直後から硬化が始まる性質上、作り置きが出来ないことから、現場にて混合製作する必要がある。このため、実用化は困難と考えられる。

(3) 接着剤

水分との反応で硬化するタイプの接着剤を選定し、この接着剤を桃色に着色し、ガラスビーズを混入し、空気中の水分と反応する前にカプセルに組み込む事で、再起反射機能を持ったペイントとして使用できる可能性がある。

(4) 止水剤

コンクリートなどの防水加工用止水剤の中で、一部の製品について浸潤面に施工できる物が存在

する。この止水剤を桃色に着色し、ガラスビーズを混入し、空気中の水分と反応する前にカプセルに組み込む事で、再起反射機能を持ったペイントとして使用できる可能性がある。

4.5.4 雨天使用可能なペイント入りカプセルについてのまとめ

本文 4.5.3(3)～(4)に示す手法により雨天でもターゲットを生成する可能性があると考えられる。一方で、課題として、下記の3項目が上げられる。

- ① いずれの手法においても、ベースになる材料（接着剤／止水剤）メーカーと再起反射技術を持つ塗料メーカーの共同開発が必要である。
- ② 需要が少ない為、試作や少量の生産は難しいと考えられる。
- ③ ガラスビーズがペイント部の表面に出て再起反射機能を発揮するか検証が必要である。

5. 遠隔設置手法の開発

5.1. 遠隔設置方法の検討

5.1.1. ターゲット設置方法

(1) ターゲットの設置方法

光波測量用のターゲットを遠隔（約 100m）から対象崩落斜面に設置することを目的としたターゲット設置方法の一つとして、クロスボウの矢先にターゲット用ペイント入りカプセルを取り付け、矢が崩落斜面着弾時に容器が飛散することにより、ターゲット用ペイントを崩落斜面（岩石）に付着させることとした。

(2) ターゲット設置治具

国内で入手可能で、入手性、性能の安定性が期待できるクロスボウメーカーの製品を使用する。

矢、弓、弦など消耗品は TFC 株式会社又は株式会社 TOKYO JUHO で購入可能である（通信販売可）。海外では 180 ポンド付近の強力なクロスボウも販売されているが、国内では行政により 150 ポンド以下のクロスボウを輸入するよう指導されている。

表 5.1.1 にクロスボウ比較表を示す。

表 5.1.1 クロスボウ比較表（メーカーHPより）

メーカー	型式	弓の強さ (ポンド)	初速 (m/s)	矢の長さ (インチ)	射程距離 (ヤード)	命中精度 販売店聞き取り	弓を引く 作業性
ホートン	ハンターマックス	150	85.3	20	72	○	●
ホートン	レンジント	150	85.3	20	72	○	●
ホートン	ステイールフォース	150	73.1	17・20	60	●：入門用	○
バーネット	レボリューション	150	104	20	60	○	●
バーネット	パンサーIIマグナム	150	76	16	40	○	○
バーネット	レンジヤー	150	67	16	不明	●：入門用	○

弓を引く作業性： ○ 成人男性一人で容易に作業できる。 ● 身長（180cm 以上）や、強い背筋力が必要

研究のファーストステップである 100m の発射実験に際し、表 5.1.1 より、命中精度や弓を引く作業性を考慮し下記の物を選定した。

- ・設置治具（写真 5.1.1 参照）
- ・品名：クロスボウ
- ・メーカー：バーネット社
- ・型式：パンサーIIマグナム
- ・最大飛距離：250m（カタログ値）
- ・弓の強さ：150 ポンド(667N)（カタログ値）
- ・矢の初速：76m/s（メーカーHPより）



写真 5.1.1 設置治具写真

5.1.2. クロスボウ試射試験

(1) 試験目的

クロスボウの基本性能を確認するとともに、設置方法の適用性及び安全性を確認することを目的に試射試験を行う。

(2) 試験項目

①到達位置制御性能の確認

クロスボウによる投擲によって、ターゲットの到達位置をどの程度の精度で制御できるかを確認した。前準備として直線距離 30m 位置にて、クロスボウ及びスコープなどの初期調整を行い、発射は図 5.1.2 に示すように水平 1 方向（基線方向）のみとし、表 5.1.2 に示すように的までの距離をパラメータとして変化させた。また、発射時の仰角・風向・風速等を記録し、的（古畳）上のズレ位置を記録した（上下左右に〇〇mm）。

表 5.1.2 に実験パラメータ（例）図 5.1.1 に試験概略図を示す。

表 5.1.2 実験パラメータ（例）

的までの距離 (m)	予想値	実験値	
	仰角 (°)	仰角 (°)	的上のズレ位置(mm)
30	1.645	*	上〇〇mm 右〇〇mm
40	2.194	*	下〇mm 左〇〇mm
50	2.744	*	下〇mm 左〇〇mm

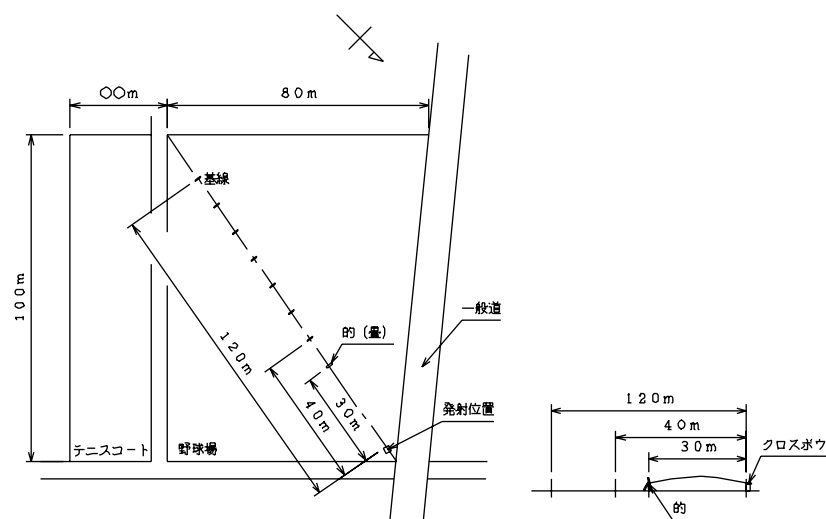


図 5.1.1 試験概略図

②取扱いの難易度、安全性の確認

投擲器具の取扱いやすさ、安全性を含めた総合的なターゲット投擲器具としての妥当性を確認した。

(3) 試験結果

試験結果を表 5.1.3 に示す。

表 5.1.3 試験記録／クロスボウ試射試験記録

的 位置	計算上の 仰角(度)	設定仰角 (度)	計算値と実験設定 値との差	的中心からの 距離(平均値)mm	的への 命中率
30m	1.65	1.65	0.3%	389	5/6
40m	2.19	3.29	50.0%	254	4/5
50m	2.74	4.16	51.6%	334	5/10
60m	3.30	4.84	51.1%	424	7/10
70m	3.85	5.70	48.2%	761	4/5
80m	4.40	6.59	49.6%	545.2	6/7
90m	4.95	7.51	51.7%	931	4/7
100m	5.50	9.04	64.3%	936.7	4/7
110m	6.05	10.25	69.5%	1044	3/5
120m	6.60	11.71	77.4%	915.9	5/8

(4) まとめ

①仰角について

結果よりの位置 40～90m 発射時の仰角は、計算上仰角の約 150%となった。これは計算時に省かれていた空気抵抗や矢の質量、形状などが影響していると考えられる。100m 以上は徐々に飛距離が伸びなくなり、120m 時に 177.4%となる。このため、的位置が遠くなった場合には設定仰角をより大きくとる必要がある。また、仰角が一定であれば飛距離の差はほとんど出ていない。

②風について

的位位置 30～70m 実験時、風向は南西～南の風が 5m/s 以下の範囲で変動したが、横風の影響は受けにくい。的位位置 80～120m 実験時、向かい風（南の風）0～2m/s と弱い風だが、2m/s 近い風が吹いた場合に、矢の飛距離が落ち、的（畳）まで届かない現象が確認されている。このことから、5m/s 以下の横風は影響が出にくい、向かい風や追い風は飛距離に影響を与えるものと考えられる。

③クロスボウについて

的への命中精度は、仰角の調整以外にクロスボウの姿勢（左右の傾き）と安定性が大きく関わっていると考えられ、照準器であわせた方向と、実際に矢が飛ぶ方向に若干のずれがあることが判明した。原因としてクロスボウ運搬時に本体と弓を分解し運搬しているため、再度組み付けた際に若干のゆがみが出ていると考えられる。実際に使用する際には、試し打ち（捨て矢）を用い、クロスボウの跳び癖をつかむ必要があると考えられる。

例：発射時にクロスボウの固定がゆるい場合、飛距離が短くなる。

：クロスボウ又は弓が平行に保たれていないとクロスボウが傾斜している方向に矢が飛ぶ傾向がある。

④矢について

的位位置が長距離の場合、矢の種別が飛距離に影響することが確認された。

クロスボウ付属の矢 2 本（T1/T2）は他の矢（競技用 0・R・Y）に比べ、3～5m 程度飛距離が長い傾向にある。（110m 位置で確認）これは、矢先先端が鋭利であることが影響していると考えられる。

＊ 記号 T はテスト用 0・R・Y は羽の色を示す。

⑤架台について

試射試験ではテーブル上に汎用の銃台を設置し、仰角調整のみ行ったが、全体的に剛性不足が伺われた。今後、架台を検討する際には、クロスボウ自体を架台に固定（剛結）することが望ましく、クロスボウの仰角・水平方向の調整が容易で、矢のコッキングが簡単に行える物が望ましい。

また、矢の発射の際に、反動があり、確実に保持しなければ格段に飛距離が落ちることを考慮する必要がある。架台には仰角・水平角の 2 方向の傾斜角を計測し、容易に表示できる装置を付加することが望ましい。

⑥クロスボウ取り扱いについて

取り扱い、組立上の問題は特に見受けられなかった。ただし、連続発射時に弦のコッキングに対しては肉体的負担が大きいため治具などの検討が必要と考えられる。発射に関しては反動が小さいため肉体的負担は少なく、問題ない。

⑦安全性について

計画当初の予想では、一般的なクロスボウ使用時の注意として、命中精度にばらつきがあるため、試射方向 300m 程度、左右に十分な安全確保が必要であるとされているが、試験ではクロスボウを架台に固定することで、矢は目標付近に集中し危険範囲は目標位置付近とその延長線上に特定された。

ただし、的からはずれた矢がバウンドした際には、100m 近く（方向は不確定）到達する危険性があることも確認された。

(5) まとめ

クロスボウ試射試験を通して、クロスボウの特性をつかむことができた。

現時点では天候がよく、風が弱い状態で水平距離 120m 以内であれば、2m 四方内に矢を打ち込むことが可能で、トータルステーション用のターゲット設置治具として、活用できる可能性が高いことが確認できた。ただし、矢の先端形状や、質量が矢の飛距離と大きく関係しているため、ペイント入りカプセルを開発する際には形状や質量などの検討が必要と考えられる。設置架台については改良すべき項目が発生したものの、一度設定した仰角・水平角であれば、射手が変わっても、一定の範囲に撃ち込むことが可能である事が確認されたことにより、専用架台を製作する事で精度向上が見込まれると考えられた。

写真 5.1.2 に発射状況、写真 5.1.3 に当たり矢の状況を示す。



写真 5.1.2 発射状況



写真 5. 1. 3 当たり矢の状況

5. 1. 3. ターゲット用ペイント入りカプセル試射特性試験

(1) 試射特性試験概要

本試験は、設置治具を用いてペイント入りカプセルを射出し、光波測量用のターゲットを遠隔から対象崩落斜面に設置することが可能であるか実証試験を行った。

(2) 実証試験手順

設置治具としてクロスボウを使用し、クロスボウ標準の矢とペイント入りカプセルを使用した矢による飛距離の確認を行った。水平距離 100m 先の的に標準の矢が到達するよう調整を行ってから、ペイント入りカプセルを使用した矢を射出し、飛距離の確認を行った。クロスボウは矢と風向風速、射出時の仰角により飛距離が決まることから、仰角を調整し、飛距離の調整を行った。

写真 5. 1. 4 にペイント入りカプセルを使用した矢を示す。

写真 5. 1. 5 に設置治具とペイント入りカプセルを使用した矢を示す。

図 5. 1. 2 に試験イメージ図を示す。



写真 5.1.4 ペイント入りカプセルを使用した矢



写真 5.1.5 設置治具とペイント入りカプセルを使用した矢

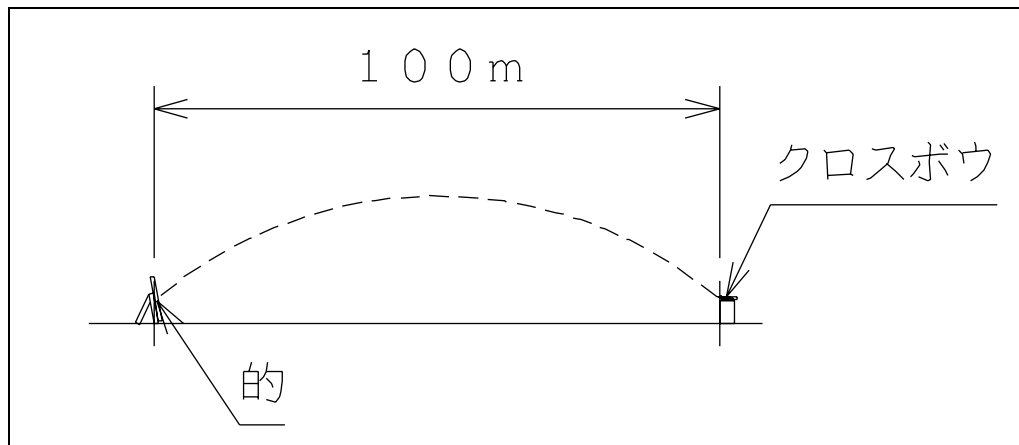


図 5.1.2 試験イメージ図

(3) 試験結果

①試験条件

- ・ 通常矢先での 100m 到達仰角 : 10° (無風)
- ・ 発射台高さ : 916mm (矢先中心高さ)
- ・ 100m 先の中心高さ : 916mm (的中心高さ)

②結果

ペイント入りカプセルを使用した矢

- ・ 100m 先の的上での位置 : 的中心より下 585mm (3 射平均)

本試験段階で軌跡計算方法が確立されていないため、正確な飛距離が算出できなかった。そのため、ペイント入りカプセルを使用した矢で 100m 先の的に命中するよう仰角の調整を行った。

- ・ 仰角 10.5° (無風) : 的中心より上 214mm (3 射平均)

(4) まとめ

結果より仰角 10.35° 付近で的中心をとらえることが推測された。クロスボウ標準の矢に対し、設定仰角に 0.35° 相当損失が出ているが、仰角を調整することで対応できることから、100m の飛距離に十分対応できると考えられた。

5.1.4. ターゲット生成確認試験

(1) 試験内容

ペイント入りカプセルを矢先に取り付けクロスボウで射出し、ガラス容器を粉砕することでターゲットを目標形状に生成できるかを確認した。

ターゲット生成形状は、的となる対象面の形状やペイント入りカプセルの着弾角度、方向によって左右されると推測されるため、的として 20m 先に鋼板を設置し角度・方向を変更し、試験を行った。

使用したペイント（塗料）は白色で再帰反射機能を有しているため、使用した的（ターゲット）を暗室に置きフラッシュ撮影することでターゲット部が反射することを確認した。

図 5. 1. 3 に射出方向と的の関係図を示す。

表 5. 1. 4 に試験パラメータを示す。

写真 5. 1. 6 に 20m 先の的状況を示す。

図 5. 1. 4 に試験イメージ図を示す。

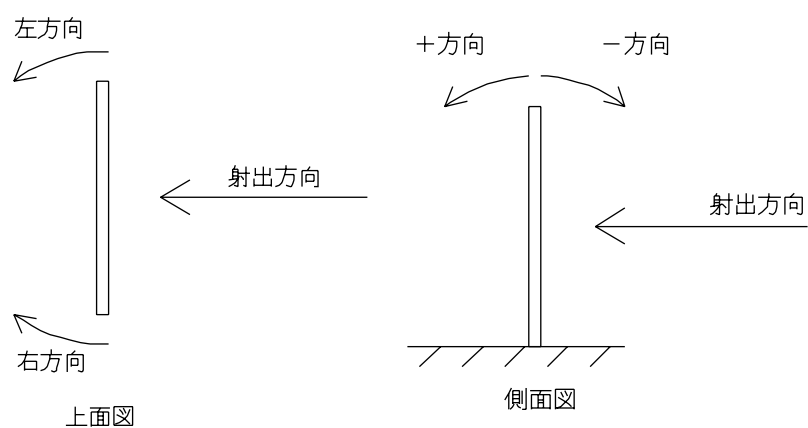


図 5. 1. 3 射出方向と的の関係図

表 5. 1. 4 試験パラメータ

	射出方向に対しての的の状態（方向）	
1 回目	+方向 15度	右方向 約5度
2 回目	+方向 0度	右方向 約5度
3 回目	+方向 0度	左右方向 0度
4 回目	-方向 15度	左右方向 0度
5 回目	-方向 15度	右方向 約5度



写真 5.1.6 20m先の的状況（+方向 15度・右方向 約5度）

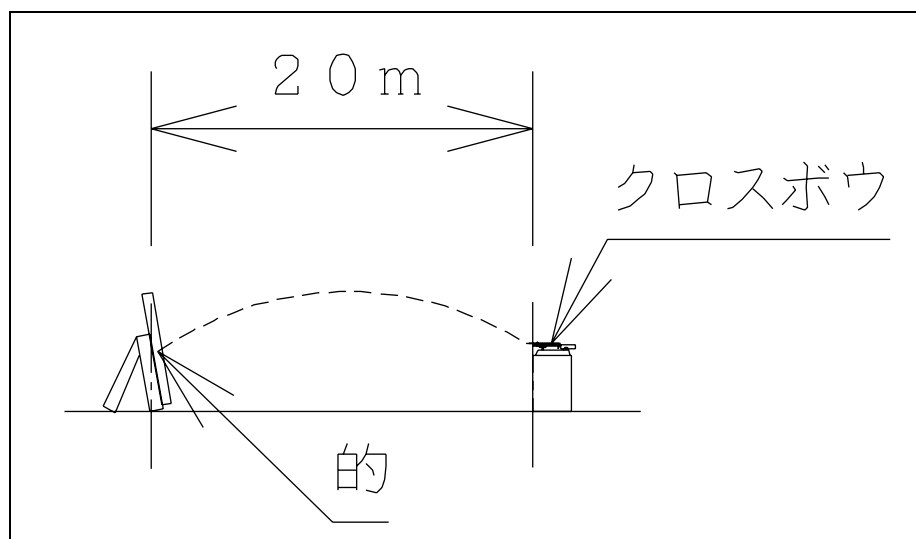


図 5.1.4 試験イメージ図

(2) 試験結果

試験の結果、的平面に対して90度方向（直交方向）からに着弾した矢に関して（3回目）放射状に $\phi 65\text{mm}$ 相当のターゲットを形成できることが確認できた。

各条件でのターゲット生成状況を写真5.1.7～写真5.1.9に示す。

写真5.2.10に使用後のペイント入りカプセルを示す。カメラのフラッシュ撮影では、5mの距離で白色光（有色光）を反射していることが確認された（写真5.2.11参照）。

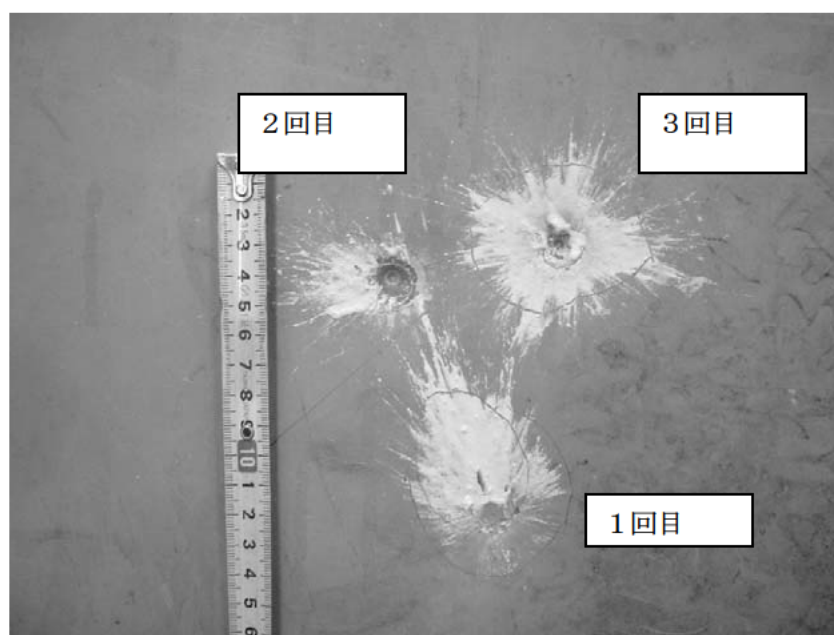


写真5.1.7 1～3回目ターゲット生成状態



写真5.1.8 4回目ターゲット生成状態



写真 5.1.9 5回目ターゲット生成状態

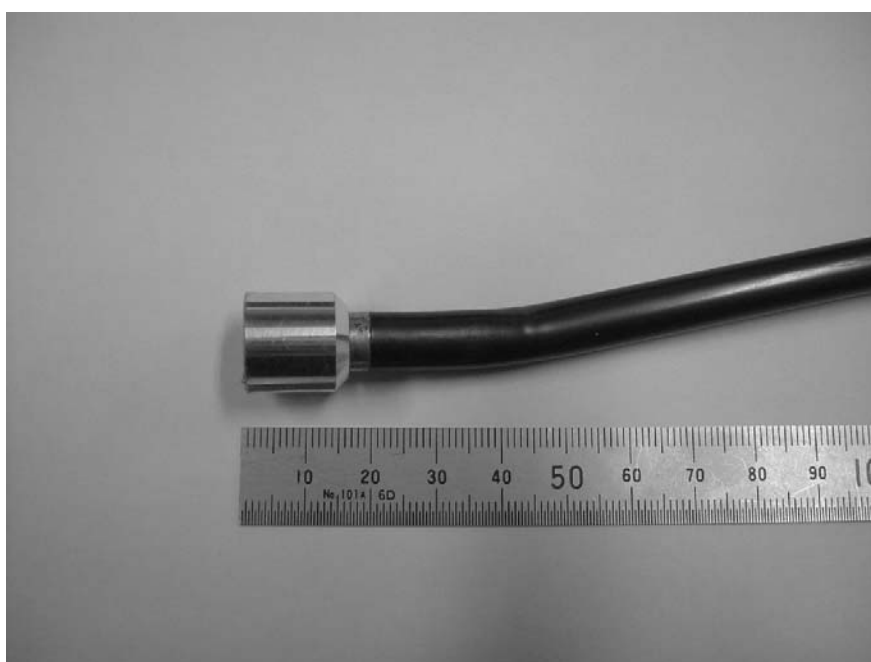


写真 5.1.10 使用後のペイント入りカプセル



写真 5. 1. 11 フラッシュ撮影でのターゲット反射状況写真：撮影距離約 5m

(3) まとめ

各条件でターゲット生成形状に違いが発生しているが、ペイント入りカプセルが鋼板に当たる角度（方向）によってターゲットの生成形状（飛び散りの方向）が関係していることがわかった。

試験結果より形状の違いはあるが、約 60mm 程度のターゲット（形状は対象面形状や角度・方向による）を生成できるといえる。

使用したペイント（塗料）はメーカー推奨値である 2%希釈状態を使用したがる、若干ターゲットが液だれした形状になっていたことから、計測に支障が出る場合には、粘度をあげるなどの調整が必要と考えられた。

5.1.5. 遠隔設置方法の検討についてのまとめ

(1) ペイントについて

まず、白色の再帰反射塗料を使用し、試作・試験を行った。結果として、対象物（的）の角度や方向性に左右されるが、約φ65mm 相当の形状でターゲットの形成が出来ることが明らかとなった。粘度は実験上支障が確認されていないが、対象物の含水状態により調整が必要な場合も想定される。

なお、ペイントについては、前述（本文 4.3.5）に示すとおり改良を行った。カプセル形状は空気抵抗を低減できるよう、直径を矢と同等にするとともに、ペイント容量を 3ml まで搭載可能とした（通常は 2ml）。また、ペイント色は、反射輝度の大きいピンク色に変更した。

(2) 試射試験について

① 飛距離について

試験結果より水平距離 100m 時に標準の矢と比べて設定仰角が 10° に対し 0.35° 減となったが、仰角の調整で到達すると考えられる。

② ターゲット形状について

100m 先にターゲットが生成される場合、十分な大きさが得られると考えられる。

上記の実験により、ターゲットの設置方法が確立された。次のステップとして、300m 先の斜面に対し、ターゲットの設置及び計測が実施できるよう、発射装置であるクロスボウの変更及び発射架台の製作を行った。

5.2. クロスボウの変更 (RE・M0・TE²への発展)

地すべり災害現場では、地形条件や作業の安全性確保のため、斜面から 100m 以上離れた場所、あるいは比高差のある斜面を対象にターゲットの設置や計測を行わなければならないケースが想定される。このため、より遠方にターゲットを設置できるように、使用するクロスボウの見直しを行った。見直しの結果、クロスボウは、表 5.1.1 にも示されるように初速が速い、バーネット社製レボリューションを選定した。

以下、クロスボウの諸元を示す。

品 名	: クロスボウ
メーカー	: バーネット社 (BARNETT)
形 式	: レボリューション (REVOLUTION)
弓の強さ	: 150 ポンド (667N、68 k g) (カタログ値)
矢の初速	: 104 m/s (カタログ値)
全 長	: 93.5 c m
全 幅	: 71.0 c m
重 量	: 3.45 k g

変更したクロスボウの全体及び寸法を、写真 5.2.1～写真 5.2.3 に示す。

クロスボウの変更に伴い、使用する矢も 16 インチから 20 インチに変更した。

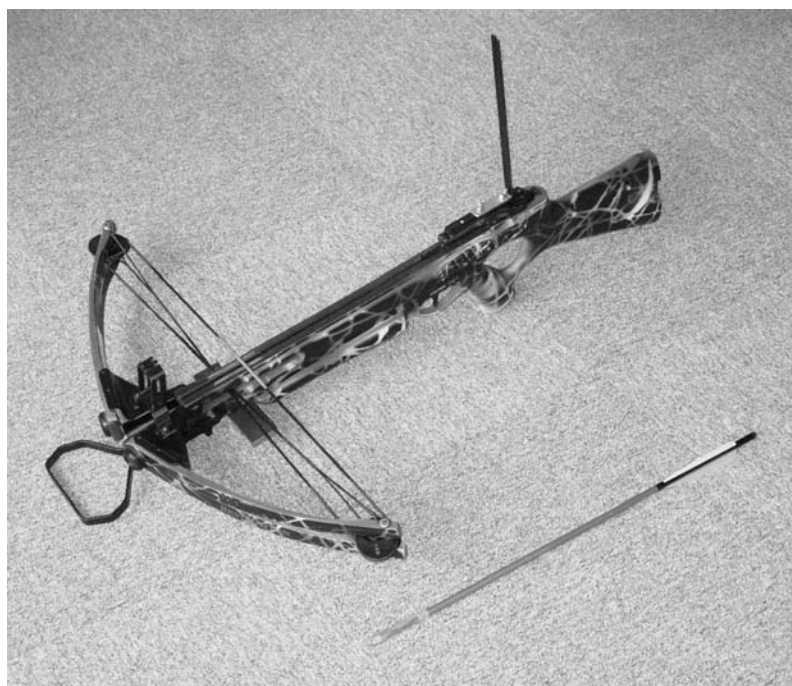


写真 5.2.1 クロスボウ全体写真

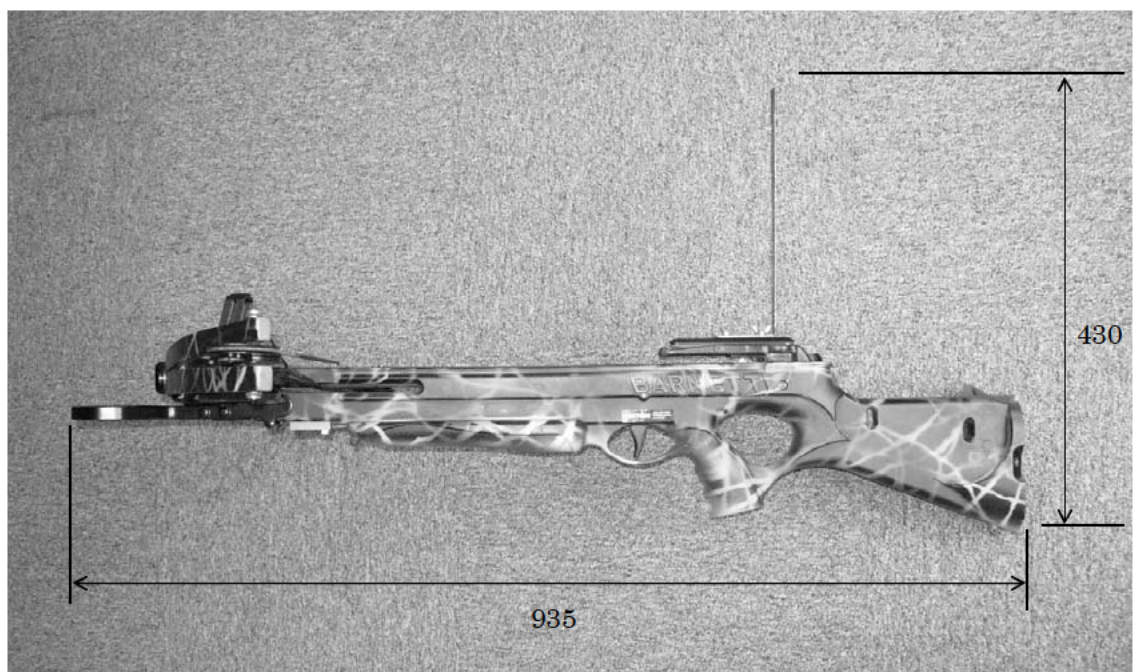


写真 5.2.2 クロスボウ側面寸法



写真 5.2.3 クロスボウ上面寸法

5.3. 設置架台の開発

5.3.1. 設置架台の設計条件

クロスボウの設置架台は、以下の設計条件とした。

- ① 設置架台は、バーネット社製レボリューション型クロスボウに適合する架台とする。
- ② 手動によるターゲット射出角度設定機能を有する。
- ③ 設置架台は、現地まで徒歩運搬を行う可能性があるため、軽量であるものとする。
- ④ 設置架台は、クロスボウ射撃時に反動があるため、金属製の堅牢なものとする。
- ⑤ 設置架台は、地面に設置し、射出角度を安定的に保てるものとする。
- ⑥ 設置架台上でコッキング機能を付加した場合、コッキング時に設置機が移動する可能性があるため、コッキング機構は設置機とは別の機器とする。
- ⑦ 設置架台に電力を用いると、故障の原因になる可能性がある。また、電源の確保が必要になり、これに伴い運搬重量が増えるといった問題もある。以上のことから、設置機は、シンプルな構造で故障のないように、手動で操作できる機構とする。

5.3.2 設置架台の仕様

設置架台は、バーネット社製レボリューション型クロスボウ専用の架台であり、その仕様を以下に示す。

- ・ 架台部分

架台材質	: アルミニウム (A5052P)
架台全長	: 75 c m
架台全幅	: 20 c m
架台高	: 40.5 c m
架台重量	: 26.84 k g
鉛直調整角	: 45 度
水平調整角	: 30 度

- ・ 三脚部分

三脚形式	: アルミ三脚 (TS-165T)
三脚脚頭	: 平面、35mm
三脚ヒンジ	: クランプ式
三脚伸縮長	: 全伸寸法 1660mm 、 全縮寸法 1000mm
三脚重量	: 4.4 k g (1 台)
三脚台数	: 2 台 (三脚重量 8.8 k g)

- ・ クロスボウ

重 量	: 3.45 k g (本体)
-----	-----------------

総重量	: <u>架台 26.84 k g + 三脚 8.8 k g + クロスボウ 3.45 k g = 39.09 k g</u>
-----	---

設置架台にクロスボーを取り付けた全体写真を写真 5. 3. 1 に示す。



写真 5. 3. 1 設置架台の全体写真

設置架台の組立図及び部品図は巻末（図巻末 1～5）に添付した。

5.3.3 収納運搬容器

(1) 収納運搬容器の製作条件

ターゲット設置架台用収納運搬容器の製作は、以下の条件を満たすものとした。

- ① ターゲット設置架台が収納できること。
- ② 縦・横・高さの合計が 160cm 未満であること。
- ③ 貨物として輸送する際に梱包を必要とせず、そのまま出荷できること。

(2) 収納運搬容器の仕様

条件を満たすように、全体をクロスボウ、設置架台上部、設置架台下部、三脚 1 本目、三脚 2 本目の合計 5 つの収納運搬容器を製作した。

収納運搬容器の仕様を表 5.3.1 に、収納運搬容器の写真を写真 5.3.2～写真 5.3.9 に示す。

表 5.3.1 収納運搬容器の仕様

収納物		クロスボウ	設置架台上部	設置架台下部	三脚
収納容器材質		アルミニウム (t=1.5)	アルミニウム (t=1.5)	アルミニウム (t=1.5)	アルミニウム (t=1.5)
重量 (kg)	収納容器重量	6.90	7.82	5.36	6.34
	収納物重量	3.24	14.68	12.16	4.40
	総重量	11.12	22.50	17.52	10.74
寸法 (mm)	全長	883	823	723	1083
	全幅	503	523	303	273
	全高	124	201	208	213
	全長＋全幅 ＋全高	1510	1547	1234	1569
収納容器個数 (個)		1	1	1	2

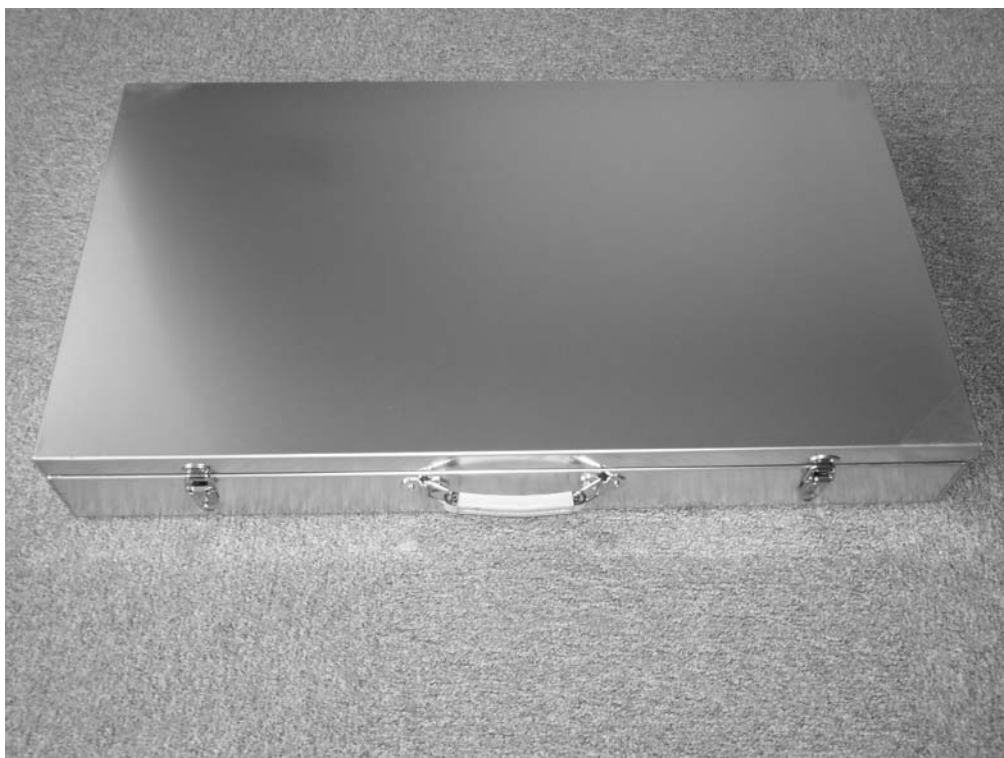


写真 5. 3. 2 クロスボウの収納運搬容器（外観）



写真 5. 3. 3 クロスボウの収納運搬容器（内部）



写真 5. 3. 4 設置架台上部の収納運搬容器（外観）

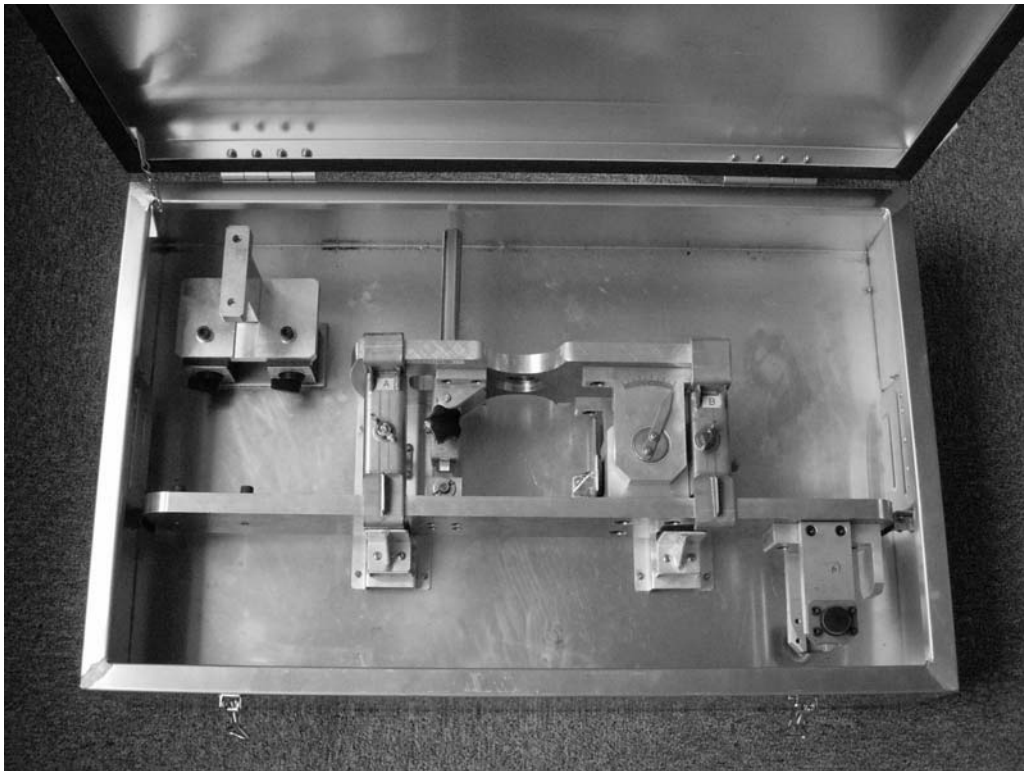


写真 5. 3. 5 設置架台上部の収納運搬容器（内部）



写真 5. 3. 6 設置架台下部の収納運搬容器（外観）



写真 5. 3. 7 設置架台下部の収納運搬容器（内部）



写真 5. 3. 8 三脚の収納運搬容器（外観）



写真 5. 3. 9 三脚の収納運搬容器（内部）

各収納運搬容器の製作図面については、巻末（図巻末 6～9）に添付した。

5. 4. 制御機能の検討

地すべり地末端の崩壊斜面のうち、計測用ターゲットの設置地点としては、監視可能地点からの距離、比高、方向等の条件が様々であることが想定される。任意の地点へターゲットを遠隔設置する方法としてクロスボウによる射出を選定する場合、矢の軌道を考慮して射出角度等を決定することになる。そのため、クロスボウ射出試験のデータを用い矢の軌道を把握することとした。

本研究では、研究の進展に伴い使用するクロスボウを変更している。このため、制御機能の検討結果は、ファーストステップで使用したクロスボウ（バーネット社製パンサーⅡマグナム）を本文 5. 4. 1 に、変更後のクロスボウ（バーネット社製レボリューション）を本文 5. 4. 2 にそれぞれ示した。

5. 4. 1. 制御機能の検討Ⅰ（バーネット社製パンサーⅡマグナム）

本研究では、ファーストステップとして、バーネット社製パンサーⅡマグナムを使用した。クロスボウの発射実験では、空気抵抗のない場合の理想的な放物線よりも高い角度で矢を射出し、的に到達させている。これは、矢が空中を飛ぶ際に受ける空気抵抗等の影響により、飛行中に矢の速度が低下し、飛翔距離が短くなることによる。

ターゲットを任意の地点に到達させる確率を向上させるためには、クロスボウより射出される矢がどのような軌道を通るかを把握する必要があるが、空気抵抗等が矢の軌道にどう影響を与えているかは明らかになっていない。

そこで、空気抵抗を考慮した矢の放物運動式を理論的に設定し、実験結果データを照らし合わせて、空気抵抗を考慮した軌道計算方法を検討した。

5. 4. 1. 1. 矢の軌道の計算方法

(1) 空気抵抗がない場合の放物運動

空気抵抗がない場合、クロスボウから射出された矢の軌跡は放物運動となり、放物線を描く。この場合の関係式は次のとおりである。

矢の位置

$$\text{水平： } x = v_0 \cdot t \cdot \cos \alpha$$

$$\text{垂直： } y = -1/2 \cdot g \cdot t^2 + v_0 \cdot \sin \alpha$$

ここに、 v_0 : 基準初速度 (m/s)

α : 仰角 (°)

t : 時間 (s)

g : 重力加速度 (m/s²)

(2) 空気抵抗を考慮した放物運動

空気抵抗は、一般に速度に依存するといわれており、たとえば自動車等の空気抵抗力は次のように表される。

$$D = C_d \cdot 1/2 \cdot \rho \cdot u^2 \cdot A$$

D : 空気抵抗力

C_d : 空気抵抗係数

ρ : 空気の密度

u : 流体と自動車の相対速度

A : 投影断面積

クロスボウから射出される矢の飛行に影響がある要素としては、次のものが考えられる。

- 初速
- 射出角度
- 矢の断面積
- 矢の形状（先端部、全体形状、羽根）
- 矢の重量
- 飛行時の風向・風速

このうち、初速はクロスボウ（弓）と矢の重量から与えられる定数値である。飛行時の風速は、計器観測結果が与えられているが、これは飛行中の矢の相対速度として軌道を推定する式に反映することができる。

一方で、矢の断面積、形状、重量等に関しては、矢固有のものであり、影響度を理論的に求めることは困難であるが、先の自動車等における空気抵抗力の関係式をみると、それらに関しては、空気抵抗に関する変数としてとりまとめることが可能である。したがって、矢の軌道を推定するための運動方程式は、実験で使われた射出角度を設定し、空気抵抗に関する係数を変数として取り扱い、到達位置（的の設置距離と中心からのずれ位置）を説明できる値を算出することで、軌道を推定することとする。

すなわち、与えられる変数は、射出角度（仰角）、到達位置までの距離と上下の高さであり、実験時に計測した風速は、空気抵抗を求める際の相対速度の設定に用いる。矢の初速度 V_0 は 71.6m/s（クロスボウのカatalogより）とする。

なお、空気抵抗は自動車等の例にならい、速度の 2 乗に比例するものと仮定して検討する。

表 5. 4. 1 クロスボウ実験（検討 I）における仰角、到達地点の位置等

的位 置 (m)	抵抗がない 場合の仰角 (°)	実験時の 仰角 (°)	初速度 (m/s)	最長到達時			平均			
				射出 番号	風速 (m/s)	上下ずれ (mm)	射出番号	回数	風速 (m/s)	上下ずれ (mm)
30	1. 645	1. 65	71. 6	3射目	-1. 0	-190	2, 3, 4, 5, 6	5	-2. 0	-307
40	2. 194	3. 29	71. 6	4射目	-3. 0	-134	2, 3, 4, 5	4	-1. 8	-176
50	2. 744	4. 16	71. 6	7射目	0. 0	80	5, 6, 7, 8, 9	5	-0. 7	-72
60	3. 295	4. 84	71. 6	2射目	0. 0	-270	2, 4, 5	3	-1. 0	-378
60	3. 295	4. 98	71. 6	7射目	0. 0	60	6, 7, 8, 9	4	-1. 8	-107
70	3. 847	5. 70	71. 6	3射目	0. 0	-225	1, 2, 3, 4, 5	5	0. 0	-570
80	4. 4	6. 59	71. 6	7射目	0. 0	-253	2, 3, 4, 5, 6, 7	6	-0. 5	-444
90	4. 95	7. 51	71. 6	7射目	0. 0	-580	3, 5, 6, 7	4	-1. 0	-748
100	5. 5	9. 04	71. 6	6射目	0. 0	-255	2, 4, 6, 7	4	0. 0	-446
110	6. 05	10. 25	71. 6	3射目	0. 0	-406	2, 3, 5	3	0. 0	-639
120	6. 6	11. 71	71. 6	8射目	0. 0	25	1, 3, 4, 7, 8	5	0. 0	-27

空気抵抗

$$F=KV^2$$

速度

$$\text{水平：} V_{x_n}=V_{x_{n-1}}-k V_{x'}^2 dt$$

$$\text{垂直：} V_{y_n}=V_{y_{n-1}}-gdt-k V_{y_{n-1}}^2 dt$$

ここに、 $V_{x_0}=V_0 \cdot \cos \alpha$: 初速の水平成分 (m/s)

$V_{y_0}=V_0 \cdot \sin \alpha$: 初速の垂直成分 (m/s)

$V_{x'}=V+V_w$: 風を考慮した相対速度

V_w : 風速 (m/s)

α : 仰角 (°)

t : 時間 (s)

g : 重力加速度 (9. 8m/s²)

k : 空気抵抗係数

5. 4. 1. 2. 矢の軌道の計算結果

前項の式を用いて、実験で得られた的距離と仰角の関係から、最も適した空気抵抗係数 k 値を求めた。算定式の関係から、逐次計算法によって行っている。

求めた k 値を用いて、それぞれの回における矢の軌道を推定し、図 5. 4. 1 に示した。同図には、実際に発射した仰角における空気抵抗がない場合の放物線と、空気抵抗がない場合に的に適中する放物線の軌道も合わせて示した。

また、逐次計算における時間毎の速度、移動量、位置を表 5. 4. 2 に示した。

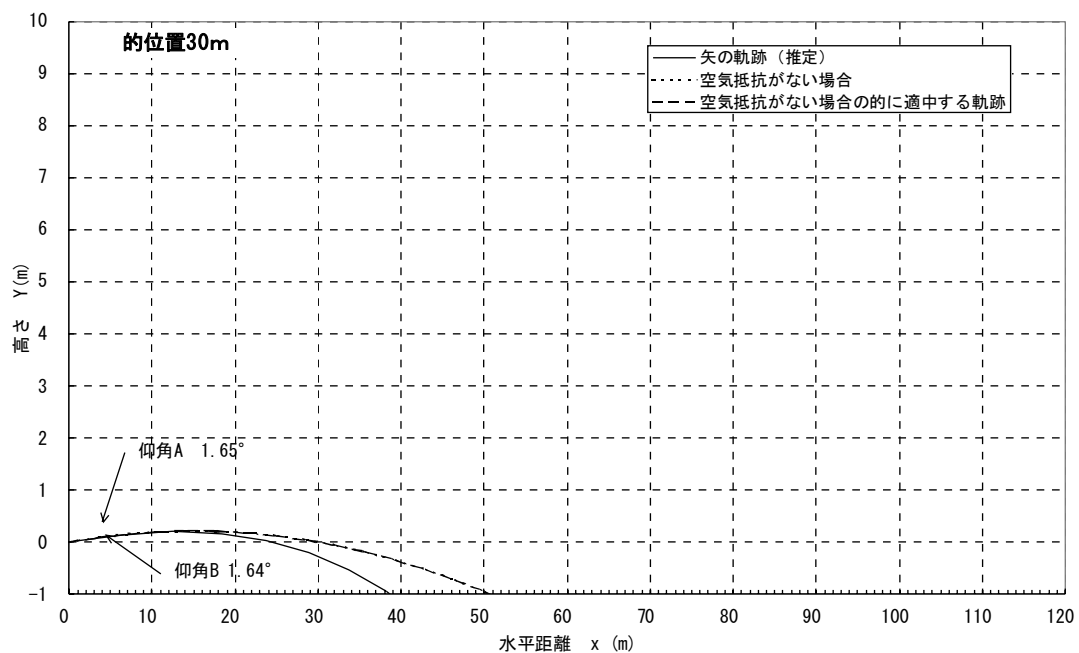


図 5. 4. 1 (1) 推定される矢の軌道と空気抵抗がない場合の軌道 (距離 30m)

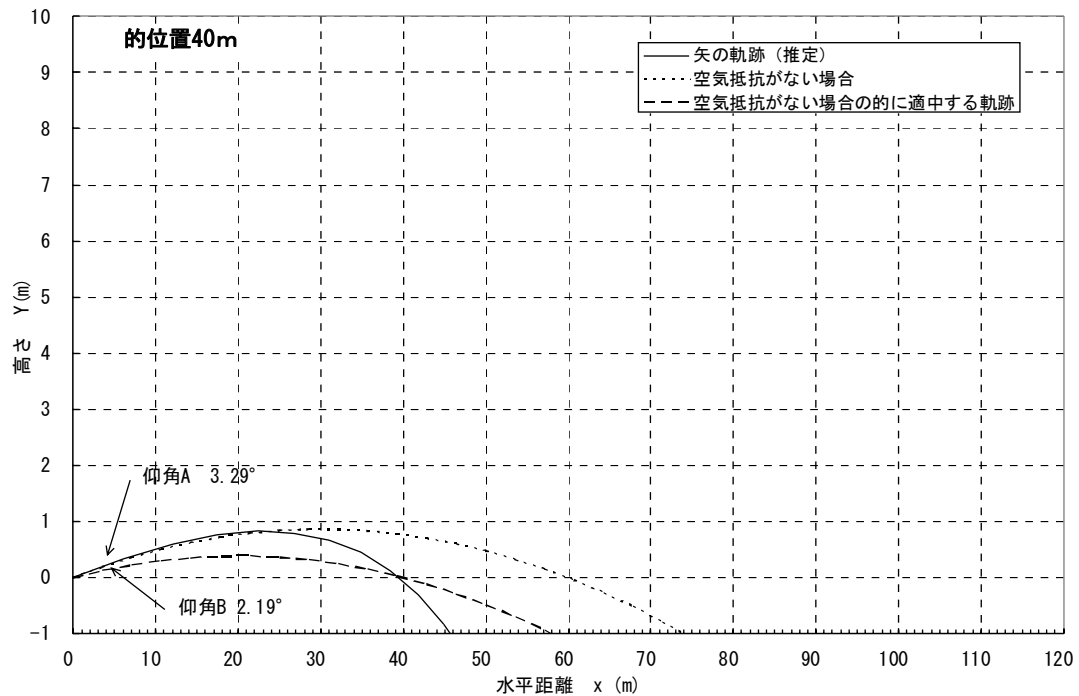


図 5. 4. 1 (2) 推定される矢の軌道と空気抵抗がない場合の軌道 (距離 40m)

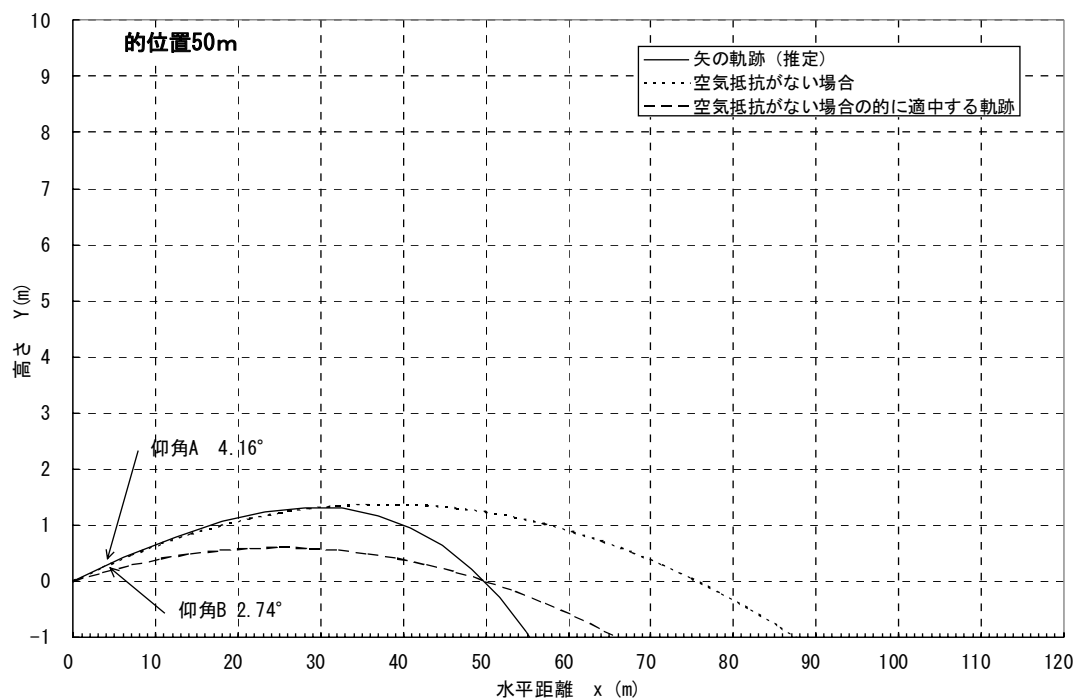


図 5. 4. 1 (3) 推定される矢の軌道と空気抵抗がない場合の軌道 (距離 50m)

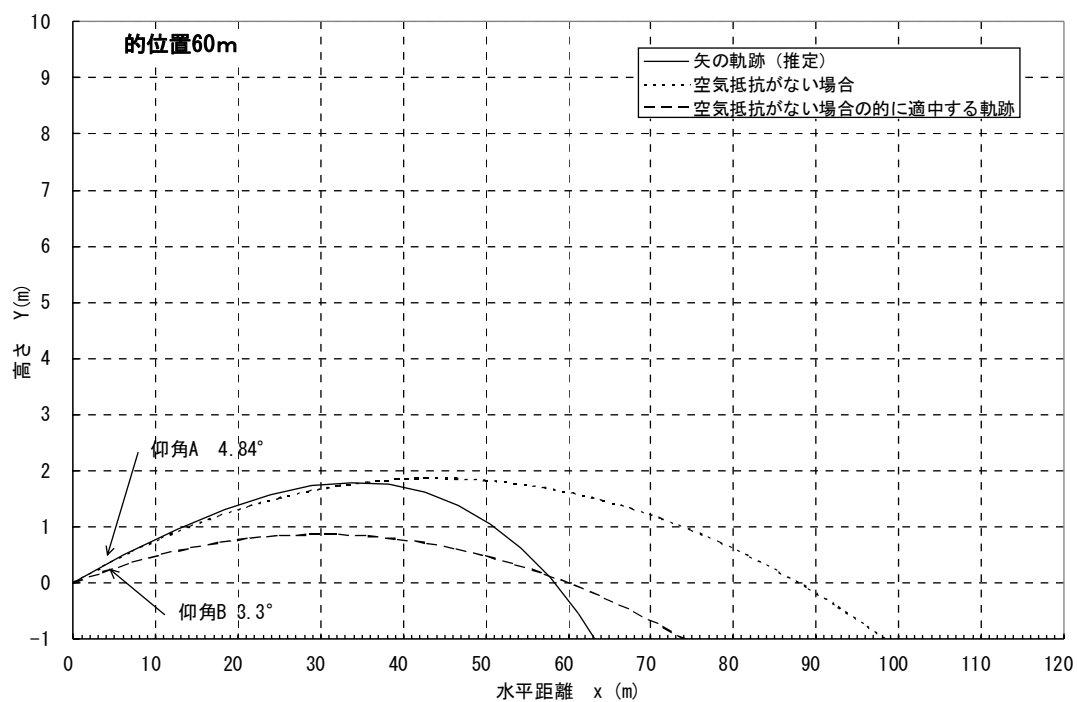


図 5. 4. 1 (4) 推定される矢の軌道と空気抵抗がない場合の軌道 (距離 60m)

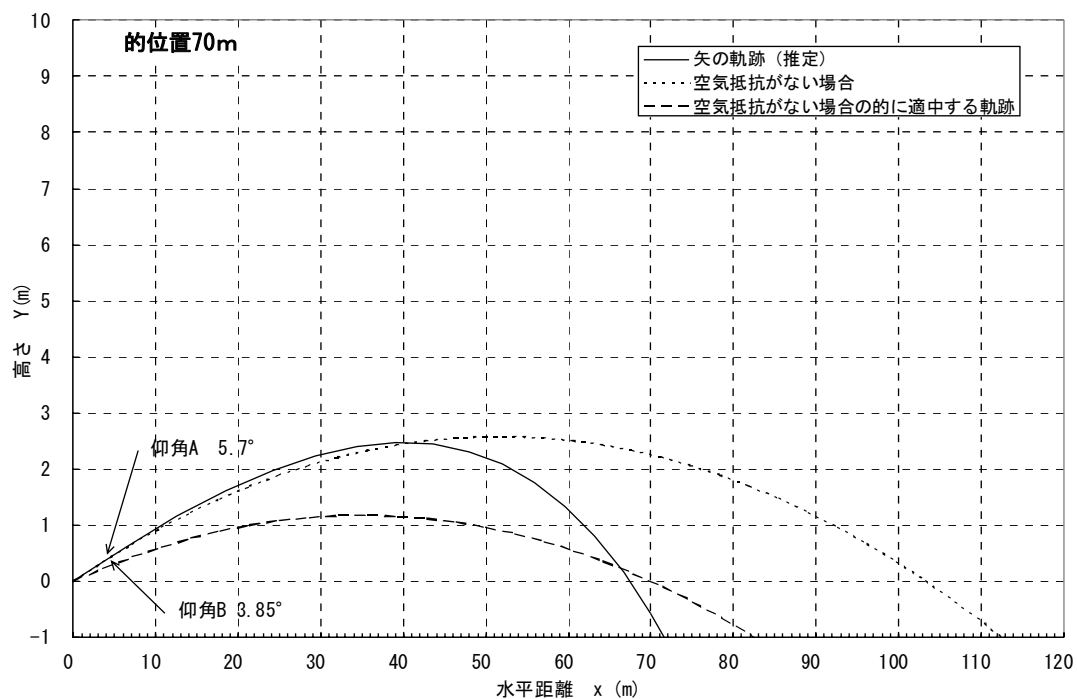


図 5. 4. 1 (5) 推定される矢の軌道と空気抵抗がない場合の軌道（距離 70m）

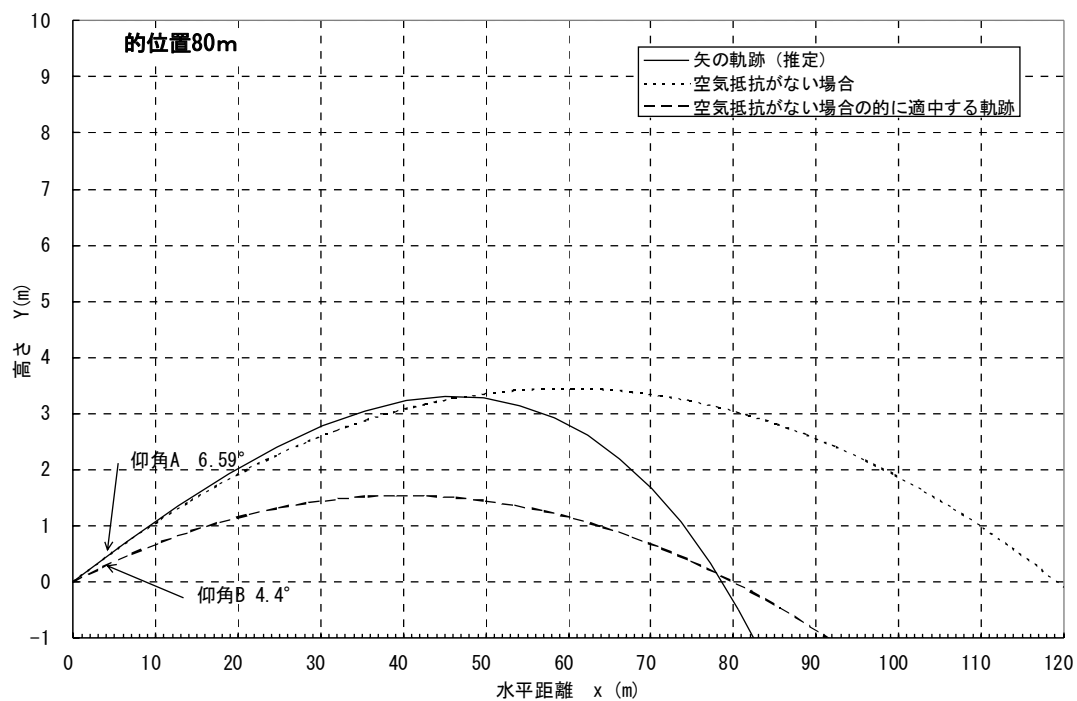


図 5. 4. 1 (6) 推定される矢の軌道と空気抵抗がない場合の軌道（距離 80m）

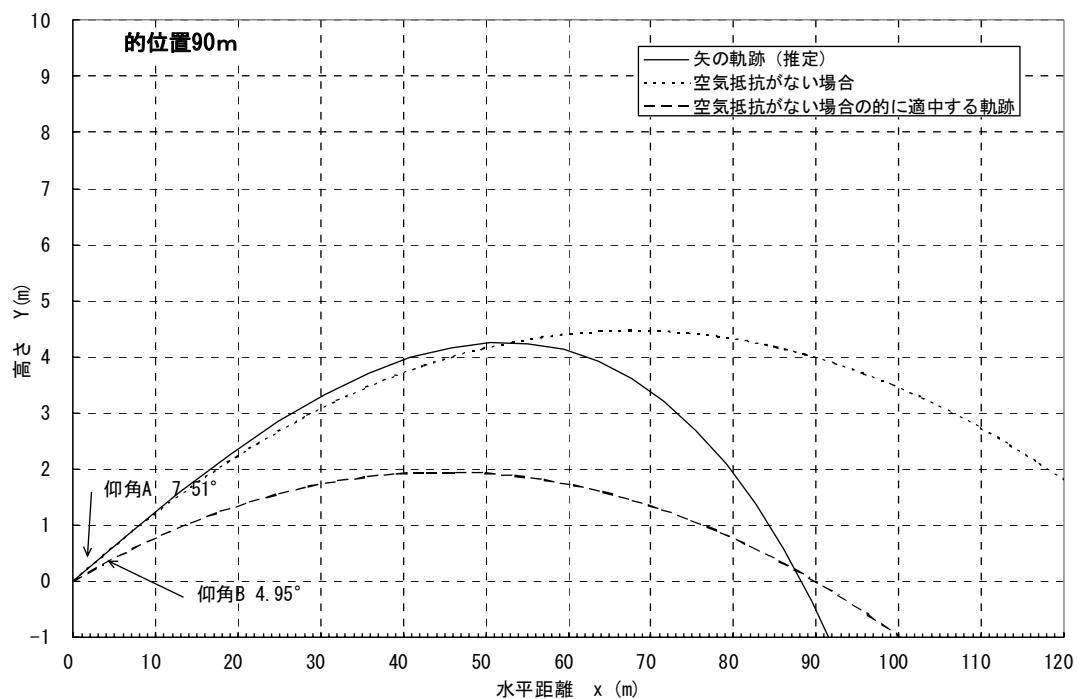


図 5. 4. 1 (7) 推定される矢の軌道と空気抵抗がない場合の軌道 (距離 90m)

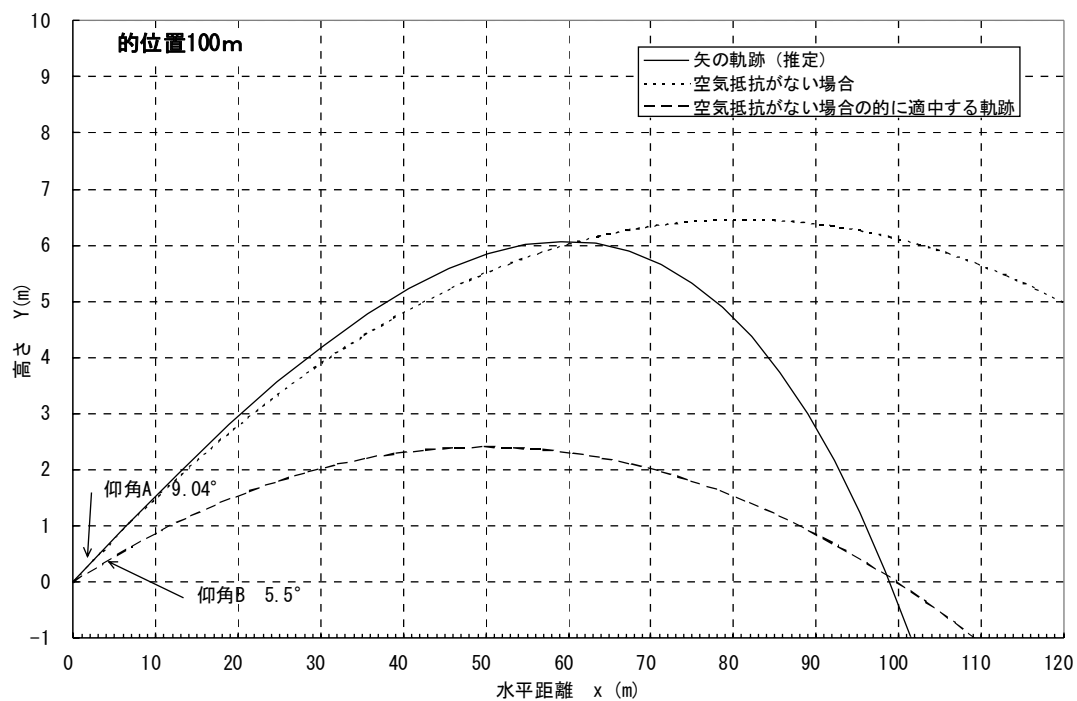


図 5. 4. 1 (8) 推定される矢の軌道と空気抵抗がない場合の軌道 (距離 100m)

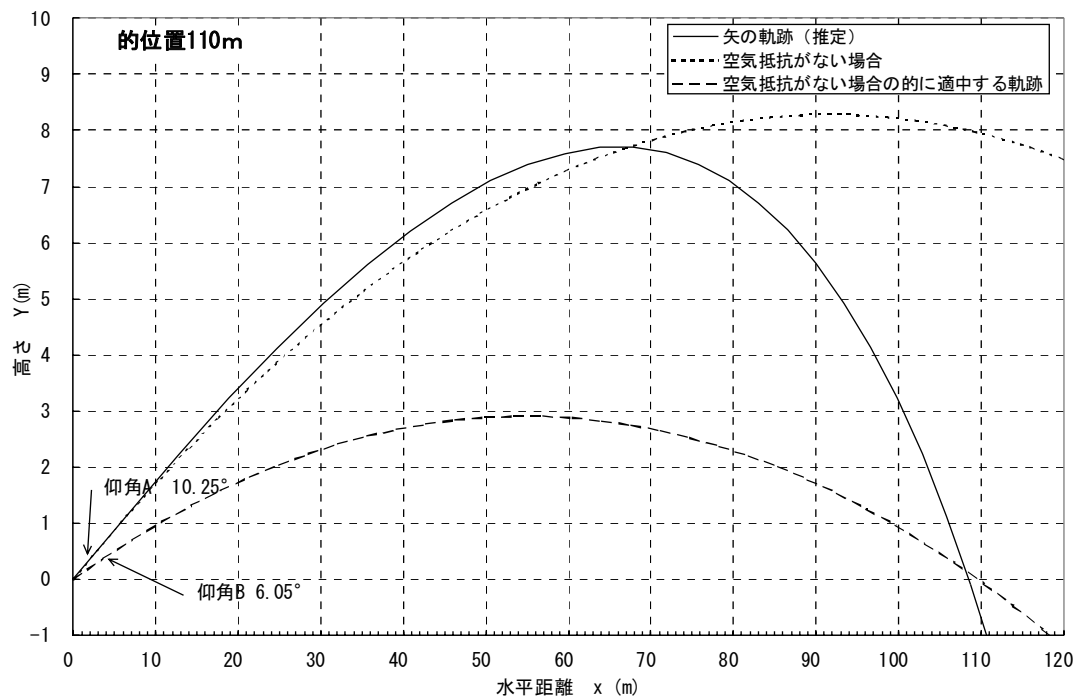


図 5. 4. 1 (9) 推定される矢の軌道と空気抵抗がない場合の軌道（距離 110m）

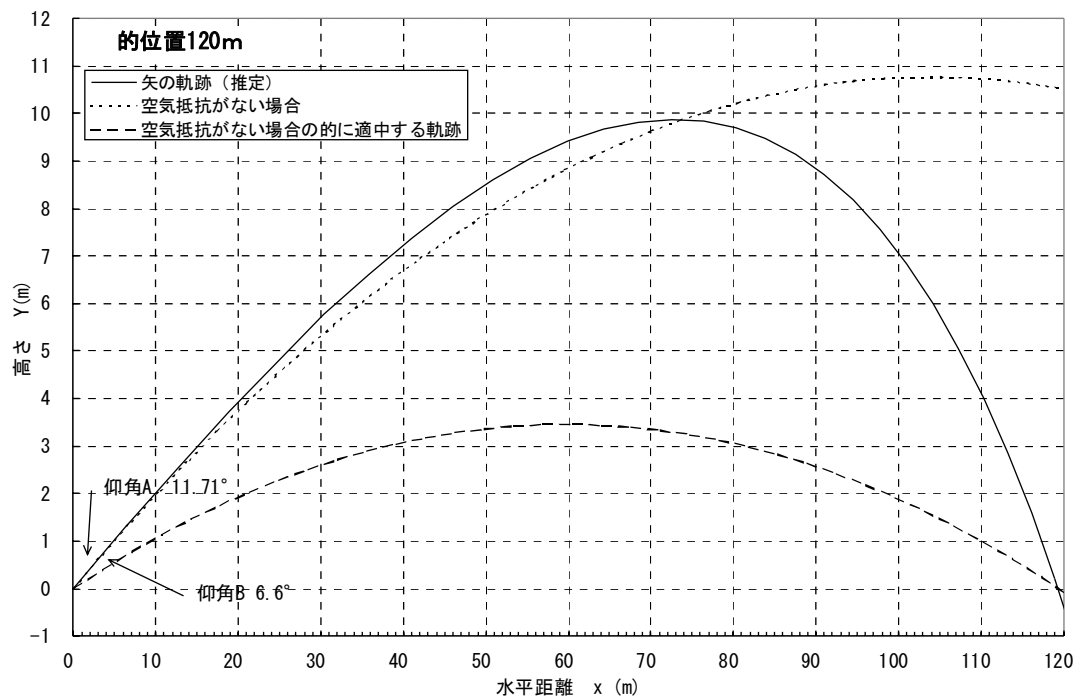


図 5. 4. 1 (10) 推定される矢の軌道と空気抵抗がない場合の軌道（距離 120m）

表 5. 4. 2 (1) 矢の軌道の計算結果

的距離	30m	仰角	1.65°	到達位置のずれ（上下）	-190mm	最長到達時
-----	-----	----	-------	-------------	--------	-------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の2乗に比例するものとする。

$$F=KV^2$$

速度

$$\text{移動速度} : V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$$

$$\text{水平} : V_{x_n} = V_{x_{n-1}} - kV_{x_{n-1}}^2 dt$$

$$\text{垂直} : V_{y_n} = V_{y_{n-1}} - gdt - kV_{y_{n-1}}^2 dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 71.6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 0.0\%$$

$$v_0' : \text{初速度} = 71.6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V + V_w$$

$$V_w : \text{風速} = -1.0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 1.65 \text{ (}^\circ\text{)}$$

$$0.029 \text{ (radian)}$$

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k : \text{空気抵抗係数} = 0.01$$

矢の軌道計算（逐次計算）

$$\Delta t = 0.002 \text{ (s)}$$

NO.	t (s)	Vw (m/s)	Vx (m/s)	Vy (m/s)	Vx' (m/s)	V (m/s)	dx (m)	dy (m)	x (m)	y (m)
1	0.00	-1.00	71.57	2.06	70.57	70.60	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.02	-1.00	70.68	1.88	69.68	69.71	0.14	0.00	1.26	0.04
20	0.04	-1.00	69.72	1.69	68.72	68.75	0.14	0.00	2.64	0.07
30	0.06	-1.00	68.79	1.49	67.79	67.81	0.14	0.00	4.01	0.10
40	0.08	-1.00	67.88	1.29	66.88	66.90	0.13	0.00	5.35	0.13
50	0.10	-1.00	67.00	1.10	66.00	66.01	0.13	0.00	6.68	0.15
60	0.12	-1.00	66.14	0.90	65.14	65.14	0.13	0.00	7.99	0.17
70	0.14	-1.00	65.30	0.71	64.30	64.30	0.13	0.00	9.29	0.19
80	0.16	-1.00	64.48	0.51	63.48	63.48	0.13	0.00	10.56	0.20
90	0.18	-1.00	63.69	0.31	62.69	62.69	0.13	0.00	11.82	0.21
100	0.20	-1.00	62.91	0.12	61.91	61.91	0.12	0.00	13.07	0.21
110	0.22	-1.00	62.15	-0.08	61.15	61.15	0.12	0.00	14.30	0.21
120	0.24	-1.00	61.41	-0.27	60.41	60.41	0.12	0.00	15.51	0.21
130	0.26	-1.00	60.69	-0.47	59.69	59.69	0.12	0.00	16.71	0.20
140	0.28	-1.00	59.98	-0.67	58.98	58.99	0.12	0.00	17.90	0.19
150	0.30	-1.00	59.30	-0.86	58.30	58.30	0.12	0.00	19.07	0.18
160	0.32	-1.00	58.62	-1.06	57.62	57.63	0.12	0.00	20.23	0.16
170	0.34	-1.00	57.97	-1.25	56.97	56.98	0.11	0.00	21.38	0.13
180	0.36	-1.00	57.32	-1.45	56.32	56.34	0.11	0.00	22.51	0.11
190	0.38	-1.00	56.69	-1.65	55.69	55.72	0.11	0.00	23.63	0.07
200	0.40	-1.00	56.08	-1.84	55.08	55.11	0.11	0.00	24.73	0.04
210	0.42	-1.00	55.48	-2.04	54.48	54.52	0.11	0.00	25.83	0.00
220	0.44	-1.00	54.89	-2.24	53.89	53.94	0.11	0.00	26.91	-0.04
230	0.46	-1.00	54.32	-2.43	53.32	53.37	0.11	0.00	27.98	-0.09
240	0.48	-1.00	53.75	-2.63	52.75	52.82	0.11	-0.01	29.04	-0.14
250	0.50	-1.00	53.20	-2.83	52.20	52.28	0.10	-0.01	30.09	-0.20
260	0.52	-1.00	52.66	-3.03	51.66	51.75	0.10	-0.01	31.13	-0.25
270	0.54	-1.00	52.13	-3.23	51.13	51.23	0.10	-0.01	32.16	-0.32
280	0.56	-1.00	51.62	-3.42	50.62	50.73	0.10	-0.01	33.18	-0.38
290	0.58	-1.00	51.11	-3.62	50.11	50.24	0.10	-0.01	34.18	-0.45
300	0.60	-1.00	50.61	-3.82	49.61	49.76	0.10	-0.01	35.18	-0.53

的に到達した位置の詳細算定

的位置 > 30m (m)

$$\Delta t = 0.001 \text{ (s)}$$

NO.	t (s)	Vw (m/s)	Vx (m/s)	Vy (m/s)	Vx' (m/s)	V (m/s)	dx (m)	dy (m)	x (m)	y (m)
249	0.50	-1.00	53.26	-2.81	52.26	52.33	0.10	-0.01	29.99	-0.190
(1)	0.50	-1.00	53.23	-2.83	52.23	52.31	0.05	0.00	30.04	-0.192
(2)	0.50	-1.00	53.20	-2.85	52.20	52.28	0.05	0.00	30.09	-0.195
(3)	0.50	-1.00	53.17	-2.87	52.17	52.25	0.05	0.00	30.15	-0.198
(4)	0.50	-1.00	53.15	-2.89	52.15	52.23	0.05	0.00	30.20	-0.201
(5)	0.50	-1.00	53.12	-2.91	52.12	52.20	0.05	0.00	30.25	-0.204
(6)	0.50	-1.00	53.09	-2.93	52.09	52.18	0.05	0.00	30.30	-0.207
(7)	0.50	-1.00	53.07	-2.95	52.07	52.15	0.05	0.00	30.35	-0.210
(8)	0.50	-1.00	53.04	-2.97	52.04	52.12	0.05	0.00	30.41	-0.213
(9)	0.51	-1.00	53.01	-2.99	52.01	52.10	0.05	0.00	30.46	-0.216

表 5. 4. 2 (2) 矢の軌道の計算結果

的の距離	30m	仰角	1. 65°	到達位置のずれ (上下)	-307mm	5回平均
------	-----	----	--------	--------------	--------	------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の2乗に比例するものとする。

$$F=KV^2$$

速度

$$\text{移動速度: } V=\sqrt{V_x^2+V_y^2}$$

$$\text{水平: } V_{x_n}=V_{x_{n-1}}-kV_{x_{n-1}}^2dt$$

$$\text{垂直: } V_{y_n}=V_{y_{n-1}}-gdt-kV_{y_{n-1}}^2dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 71.6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 0.0\%$$

$$V_0 : \text{初速度} = 71.6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V+V_w$$

$$V_w : \text{風速} = -2.0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 1.65 \text{ (}^\circ\text{)}$$

$$= 0.029 \text{ (radian)}$$

向かい風 (－) ～追い風 (＋)

水平 (0°) ～垂直 (90°)

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k : \text{空気抵抗係数} = 0.0138$$

矢の軌道計算 (逐次計算)

$$\Delta t = 0.002 \text{ (s)}$$

NO.	t (s)	Vw (m/s)	Vx (m/s)	Vy (m/s)	Vx' (m/s)	V (m/s)	dx (m)	dy (m)	x (m)	y (m)
1	0.00	-2.00	71.57	2.06	69.57	69.60	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.02	-2.00	70.39	1.88	68.39	68.41	0.14	0.00	1.24	0.04
20	0.04	-2.00	69.12	1.69	67.12	67.14	0.13	0.00	2.59	0.07
30	0.06	-2.00	67.89	1.49	65.89	65.91	0.13	0.00	3.92	0.10
40	0.08	-2.00	66.72	1.29	64.72	64.73	0.13	0.00	5.23	0.13
50	0.10	-2.00	65.58	1.10	63.58	63.59	0.13	0.00	6.51	0.15
60	0.12	-2.00	64.48	0.90	62.48	62.49	0.12	0.00	7.77	0.17
70	0.14	-2.00	63.42	0.71	61.42	61.42	0.12	0.00	9.01	0.19
80	0.16	-2.00	62.39	0.51	60.39	60.39	0.12	0.00	10.22	0.20
90	0.18	-2.00	61.40	0.31	59.40	59.40	0.12	0.00	11.42	0.21
100	0.20	-2.00	60.44	0.12	58.44	58.44	0.12	0.00	12.60	0.21
110	0.22	-2.00	59.51	-0.08	57.51	57.51	0.12	0.00	13.76	0.21
120	0.24	-2.00	58.61	-0.27	56.61	56.61	0.11	0.00	14.90	0.21
130	0.26	-2.00	57.74	-0.47	55.74	55.74	0.11	0.00	16.02	0.20
140	0.28	-2.00	56.89	-0.67	54.89	54.90	0.11	0.00	17.12	0.19
150	0.30	-2.00	56.07	-0.86	54.07	54.08	0.11	0.00	18.21	0.18
160	0.32	-2.00	55.28	-1.06	53.28	53.29	0.11	0.00	19.29	0.16
170	0.34	-2.00	54.50	-1.26	52.50	52.52	0.11	0.00	20.34	0.13
180	0.36	-2.00	53.75	-1.45	51.75	51.77	0.10	0.00	21.39	0.11
190	0.38	-2.00	53.02	-1.65	51.02	51.05	0.10	0.00	22.41	0.07
200	0.40	-2.00	52.31	-1.85	50.31	50.35	0.10	0.00	23.42	0.04
210	0.42	-2.00	51.62	-2.04	49.62	49.67	0.10	0.00	24.42	0.00
220	0.44	-2.00	50.95	-2.24	48.95	49.00	0.10	0.00	25.41	-0.04
230	0.46	-2.00	50.30	-2.44	48.30	48.36	0.10	0.00	26.38	-0.09
240	0.48	-2.00	49.66	-2.64	47.66	47.74	0.10	-0.01	27.34	-0.14
250	0.50	-2.00	49.04	-2.83	47.04	47.13	0.09	-0.01	28.29	-0.20
260	0.52	-2.00	48.44	-3.03	46.44	46.54	0.09	-0.01	29.22	-0.25
270	0.54	-2.00	47.85	-3.23	45.85	45.96	0.09	-0.01	30.14	-0.32
280	0.56	-2.00	47.28	-3.43	45.28	45.41	0.09	-0.01	31.05	-0.38
290	0.58	-2.00	46.72	-3.63	44.72	44.86	0.09	-0.01	31.95	-0.46
300	0.60	-2.00	46.17	-3.83	44.17	44.34	0.09	-0.01	32.84	-0.53

的に到達した位置の詳細算定

的の位置 > 30m (m)

$$\Delta t = 0.001 \text{ (s)}$$

NO.	t (s)	Vw (m/s)	Vx (m/s)	Vy (m/s)	Vx' (m/s)	V (m/s)	dx (m)	dy (m)	x (m)	y (m)
268	0.53	-2.00	47.97	-3.19	45.97	46.08	0.09	-0.01	29.96	-0.305
(1)	0.54	-2.00	47.94	-3.21	45.94	46.05	0.05	0.00	30.00	-0.308
(2)	0.54	-2.00	47.91	-3.23	45.91	46.02	0.05	0.00	30.05	-0.311
(3)	0.54	-2.00	47.88	-3.25	45.88	45.99	0.05	0.00	30.10	-0.314
(4)	0.54	-2.00	47.85	-3.27	45.85	45.97	0.05	0.00	30.14	-0.318
(5)	0.54	-2.00	47.82	-3.29	45.82	45.94	0.05	0.00	30.19	-0.321
(6)	0.54	-2.00	47.79	-3.31	45.79	45.91	0.05	0.00	30.23	-0.324
(7)	0.54	-2.00	47.76	-3.33	45.76	45.88	0.05	0.00	30.28	-0.328
(8)	0.54	-2.00	47.74	-3.35	45.74	45.86	0.05	0.00	30.33	-0.331
(9)	0.54	-2.00	47.71	-3.37	45.71	45.83	0.05	0.00	30.37	-0.334

表 5. 4. 2(3) 矢の軌道の計算結果

的の距離	40m	仰角	3. 29°	到達位置のずれ（上下）	-134mm	最長到達時
------	-----	----	--------	-------------	--------	-------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の2乗に比例するものとする。

$$F=KV^2$$

速度

$$\text{移動速度} : V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$$

$$\text{水平} : V_{x_n} = V_{x_{n-1}} - kV_{x_{n-1}}^2 dt$$

$$\text{垂直} : V_{y_n} = V_{y_{n-1}} - gdt - kV_{y_{n-1}}^2 dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 71.6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 0.0\%$$

$$v_0' : \text{初速度} = 71.6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V + V_w$$

$$V_w : \text{風速} = -3.0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 3.29 \text{ (}^\circ\text{)}$$

$$0.057 \text{ (radian)}$$

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k : \text{空気抵抗係数} = 0.018$$

矢の軌道計算（逐次計算）

$$\Delta t = 0.003 \text{ (s)}$$

NO.	t (s)	Vw (m/s)	Vx (m/s)	Vy (m/s)	Vx' (m/s)	V (m/s)	dx (m)	dy (m)	x (m)	y (m)
1	0.00	-3.00	71.48	4.11	68.48	68.61	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.03	-3.00	69.27	3.84	66.27	66.38	0.20	0.01	1.82	0.11
20	0.06	-3.00	66.97	3.54	63.97	64.07	0.19	0.01	3.77	0.22
30	0.09	-3.00	64.83	3.24	61.83	61.91	0.19	0.01	5.65	0.32
40	0.12	-3.00	62.82	2.94	59.82	59.90	0.18	0.01	7.47	0.41
50	0.15	-3.00	60.95	2.64	57.95	58.01	0.17	0.01	9.23	0.49
60	0.18	-3.00	59.18	2.34	56.18	56.23	0.17	0.01	10.94	0.57
70	0.21	-3.00	57.52	2.04	54.52	54.56	0.16	0.01	12.60	0.63
80	0.24	-3.00	55.96	1.75	52.96	52.99	0.16	0.01	14.21	0.69
90	0.27	-3.00	54.48	1.45	51.48	51.50	0.15	0.00	15.77	0.74
100	0.30	-3.00	53.09	1.16	50.09	50.10	0.15	0.00	17.30	0.78
110	0.33	-3.00	51.76	0.86	48.76	48.77	0.15	0.00	18.78	0.81
120	0.36	-3.00	50.51	0.57	47.51	47.51	0.14	0.00	20.22	0.83
130	0.39	-3.00	49.32	0.27	46.32	46.32	0.14	0.00	21.62	0.84
140	0.42	-3.00	48.19	-0.02	45.19	45.19	0.14	0.00	22.99	0.84
150	0.45	-3.00	47.11	-0.31	44.11	44.11	0.13	0.00	24.33	0.84
160	0.48	-3.00	46.08	-0.61	43.08	43.08	0.13	0.00	25.64	0.82
170	0.51	-3.00	45.10	-0.90	42.10	42.11	0.13	0.00	26.91	0.80
180	0.54	-3.00	44.16	-1.20	41.16	41.18	0.12	0.00	28.16	0.77
190	0.57	-3.00	43.26	-1.49	40.26	40.29	0.12	0.00	29.38	0.73
200	0.60	-3.00	42.40	-1.79	39.40	39.44	0.12	-0.01	30.58	0.68
210	0.63	-3.00	41.58	-2.08	38.58	38.64	0.12	-0.01	31.74	0.62
220	0.66	-3.00	40.79	-2.38	37.79	37.87	0.11	-0.01	32.89	0.55
230	0.69	-3.00	40.03	-2.68	37.03	37.13	0.11	-0.01	34.01	0.47
240	0.72	-3.00	39.31	-2.98	36.31	36.43	0.11	-0.01	35.11	0.39
250	0.75	-3.00	38.61	-3.27	35.61	35.76	0.11	-0.01	36.19	0.30
260	0.78	-3.00	37.93	-3.57	34.93	35.12	0.10	-0.01	37.24	0.19
270	0.81	-3.00	37.29	-3.88	34.29	34.51	0.10	-0.01	38.28	0.08
280	0.84	-3.00	36.66	-4.18	33.66	33.92	0.10	-0.01	39.30	-0.04
290	0.87	-3.00	36.06	-4.48	33.06	33.36	0.10	-0.01	40.30	-0.17
300	0.90	-3.00	35.48	-4.79	32.48	32.83	0.10	-0.01	41.28	-0.31

的に到達した位置の詳細算定

的の位置 > 40m (m)

$$\Delta t = 0.001 \text{ (s)}$$

NO.	t (s)	Vw (m/s)	Vx (m/s)	Vy (m/s)	Vx' (m/s)	V (m/s)	dx (m)	dy (m)	x (m)	y (m)
286	0.86	-3.00	36.30	-4.36	33.30	33.58	0.10	-0.01	39.90	-0.118
(1)	0.86	-3.00	36.28	-4.39	33.28	33.57	0.03	0.00	39.93	-0.123
(2)	0.86	-3.00	36.26	-4.42	33.26	33.55	0.03	0.00	39.97	-0.127
(3)	0.86	-3.00	36.24	-4.45	33.24	33.54	0.03	0.00	40.00	-0.132
(4)	0.86	-3.00	36.22	-4.48	33.22	33.52	0.03	0.00	40.03	-0.136
(5)	0.86	-3.00	36.20	-4.51	33.20	33.50	0.03	0.00	40.07	-0.141
(6)	0.86	-3.00	36.18	-4.54	33.18	33.49	0.03	0.00	40.10	-0.145
(7)	0.86	-3.00	36.16	-4.57	33.16	33.47	0.03	0.00	40.13	-0.150
(8)	0.86	-3.00	36.14	-4.60	33.14	33.46	0.03	0.00	40.17	-0.154
(9)	0.86	-3.00	36.12	-4.63	33.12	33.44	0.03	0.00	40.20	-0.159

表 5. 4. 2(4) 矢の軌道の計算結果

的の距離	40m	仰角	3. 29°	到達位置のずれ（上下）	-176mm	4回平均
------	-----	----	--------	-------------	--------	------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の2乗に比例するものとする。

$$F=KV^2$$

速度

$$\text{移動速度: } V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$$

$$\text{水平: } V_{x_n} = V_{x_{n-1}} - kV_{x_{n-1}}^2 dt$$

$$\text{垂直: } V_{y_n} = V_{y_{n-1}} - gdt - kV_{y_{n-1}}^2 dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 71.6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 0.0\%$$

$$v_0' : \text{初速度} = 71.6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V + V_w$$

$$V_w : \text{風速} = -1.8 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 3.29 \text{ (}^\circ\text{)}$$

$$0.057 \text{ (radian)}$$

向かい風（-）～追い風（+）

水平（0°）～垂直（90°）

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k : \text{空気抵抗係数} = 0.0192$$

矢の軌道計算（逐次計算）

$$\Delta t = 0.003 \text{ (s)}$$

NO.	t (s)	Vw (m/s)	Vx (m/s)	Vy (m/s)	Vx' (m/s)	V (m/s)	dx (m)	dy (m)	x (m)	y (m)
1	0.00	-1.80	71.48	4.11	69.68	69.80	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.03	-1.80	69.04	3.84	67.24	67.35	0.20	0.01	1.84	0.11
20	0.06	-1.80	66.53	3.53	64.73	64.82	0.19	0.01	3.82	0.22
30	0.09	-1.80	64.19	3.23	62.39	62.48	0.19	0.01	5.72	0.32
40	0.12	-1.80	62.02	2.93	60.22	60.29	0.18	0.01	7.56	0.41
50	0.15	-1.80	59.99	2.64	58.19	58.25	0.17	0.01	9.33	0.49
60	0.18	-1.80	58.10	2.34	56.30	56.35	0.17	0.01	11.05	0.57
70	0.21	-1.80	56.33	2.04	54.53	54.57	0.16	0.01	12.70	0.63
80	0.24	-1.80	54.66	1.75	52.86	52.89	0.16	0.01	14.31	0.69
90	0.27	-1.80	53.10	1.45	51.30	51.32	0.15	0.00	15.87	0.74
100	0.30	-1.80	51.62	1.15	49.82	49.83	0.15	0.00	17.39	0.78
110	0.33	-1.80	50.23	0.86	48.43	48.43	0.15	0.00	18.86	0.80
120	0.36	-1.80	48.91	0.57	47.11	47.11	0.14	0.00	20.29	0.83
130	0.39	-1.80	47.66	0.27	45.86	45.86	0.14	0.00	21.68	0.84
140	0.42	-1.80	46.48	-0.02	44.68	44.68	0.13	0.00	23.04	0.84
150	0.45	-1.80	45.35	-0.32	43.55	43.55	0.13	0.00	24.36	0.84
160	0.48	-1.80	44.28	-0.61	42.48	42.49	0.13	0.00	25.65	0.82
170	0.51	-1.80	43.27	-0.90	41.47	41.48	0.12	0.00	26.91	0.80
180	0.54	-1.80	42.30	-1.20	40.50	40.52	0.12	0.00	28.13	0.77
190	0.57	-1.80	41.37	-1.49	39.57	39.60	0.12	0.00	29.33	0.73
200	0.60	-1.80	40.49	-1.79	38.69	38.73	0.12	-0.01	30.51	0.68
210	0.63	-1.80	39.64	-2.09	37.84	37.90	0.11	-0.01	31.65	0.62
220	0.66	-1.80	38.83	-2.38	37.03	37.11	0.11	-0.01	32.77	0.55
230	0.69	-1.80	38.06	-2.68	36.26	36.36	0.11	-0.01	33.87	0.47
240	0.72	-1.80	37.32	-2.98	35.52	35.64	0.11	-0.01	34.95	0.39
250	0.75	-1.80	36.60	-3.28	34.80	34.96	0.10	-0.01	36.00	0.29
260	0.78	-1.80	35.92	-3.58	34.12	34.30	0.10	-0.01	37.03	0.19
270	0.81	-1.80	35.26	-3.88	33.46	33.68	0.10	-0.01	38.05	0.08
280	0.84	-1.80	34.62	-4.18	32.82	33.09	0.10	-0.01	39.04	-0.04
290	0.87	-1.80	34.01	-4.49	32.21	32.53	0.10	-0.01	40.01	-0.17
300	0.90	-1.80	33.43	-4.80	31.63	31.99	0.09	-0.01	40.97	-0.31

的に到達した位置の詳細算定

的的位置 > 40m (m)

$$\Delta t = 0.001 \text{ (s)}$$

NO.	t (s)	Vw (m/s)	Vx (m/s)	Vy (m/s)	Vx' (m/s)	V (m/s)	dx (m)	dy (m)	x (m)	y (m)
288	0.86	-1.80	34.13	-4.43	32.33	32.64	0.10	-0.01	39.82	-0.147
(1)	0.86	-1.80	34.11	-4.46	32.31	32.62	0.03	0.00	39.85	-0.152
(2)	0.86	-1.80	34.09	-4.49	32.29	32.61	0.03	0.00	39.89	-0.156
(3)	0.86	-1.80	34.07	-4.52	32.27	32.59	0.03	0.00	39.92	-0.161
(4)	0.87	-1.80	34.05	-4.55	32.25	32.57	0.03	0.00	39.95	-0.165
(5)	0.87	-1.80	34.03	-4.58	32.23	32.56	0.03	0.00	39.98	-0.170
(6)	0.87	-1.80	34.01	-4.61	32.21	32.54	0.03	0.00	40.01	-0.175
(7)	0.87	-1.80	33.99	-4.64	32.19	32.53	0.03	0.00	40.05	-0.179
(8)	0.87	-1.80	33.97	-4.67	32.17	32.51	0.03	0.00	40.08	-0.184
(9)	0.87	-1.80	33.96	-4.70	32.16	32.50	0.03	0.00	40.11	-0.189

表 5. 4. 2 (5) 矢の軌道の計算結果

的の距離	50m	仰角	4. 16°	到達位置のずれ（上下）	+80mm	最長到達時
------	-----	----	--------	-------------	-------	-------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の2乗に比例するものとする。

$$F=KV^2$$

速度

$$\text{移動速度} : V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$$

$$\text{水平} : V_{x_n} = V_{x_{n-1}} - kV_{x_{n-1}}^2 dt$$

$$\text{垂直} : V_{y_n} = V_{y_{n-1}} - gdt - kV_{y_{n-1}}^2 dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 71.6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 0.0\%$$

$$V_0 : \text{初速度} = 71.6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V + V_w$$

$$V_w : \text{風速} = 0.0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 4.16 \text{ (}^\circ\text{)}$$

$$0.073 \text{ (radian)}$$

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k : \text{空気抵抗係数} = 0.0143$$

矢の軌道計算（逐次計算）

$$\Delta t = 0.004 \text{ (s)}$$

NO.	t (s)	Vw (m/s)	Vx (m/s)	Vy (m/s)	Vx' (m/s)	V (m/s)	dx (m)	dy (m)	x (m)	y (m)
1	0.00	0.00	71.41	5.19	71.41	71.60	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.04	0.00	68.87	4.83	68.87	69.04	0.28	0.02	2.52	0.18
20	0.08	0.00	66.25	4.42	66.25	66.40	0.26	0.02	5.22	0.36
30	0.12	0.00	63.82	4.02	63.82	63.95	0.26	0.02	7.81	0.53
40	0.16	0.00	61.57	3.62	61.57	61.67	0.25	0.01	10.31	0.68
50	0.20	0.00	59.46	3.22	59.46	59.55	0.24	0.01	12.73	0.82
60	0.24	0.00	57.50	2.82	57.50	57.57	0.23	0.01	15.07	0.94
70	0.28	0.00	55.67	2.43	55.67	55.72	0.22	0.01	17.32	1.04
80	0.32	0.00	53.94	2.03	53.94	53.98	0.22	0.01	19.51	1.13
90	0.36	0.00	52.32	1.64	52.32	52.35	0.21	0.01	21.63	1.21
100	0.40	0.00	50.80	1.25	50.80	50.81	0.20	0.00	23.69	1.26
110	0.44	0.00	49.36	0.85	49.36	49.37	0.20	0.00	25.69	1.30
120	0.48	0.00	48.00	0.46	48.00	48.00	0.19	0.00	27.64	1.33
130	0.52	0.00	46.71	0.07	46.71	46.71	0.19	0.00	29.53	1.34
140	0.56	0.00	45.50	-0.32	45.50	45.50	0.18	0.00	31.37	1.33
150	0.60	0.00	44.34	-0.71	44.34	44.34	0.18	0.00	33.17	1.31
160	0.64	0.00	43.24	-1.11	43.24	43.25	0.17	0.00	34.91	1.27
170	0.68	0.00	42.19	-1.50	42.19	42.22	0.17	-0.01	36.62	1.22
180	0.72	0.00	41.20	-1.89	41.20	41.24	0.16	-0.01	38.29	1.15
190	0.76	0.00	40.25	-2.29	40.25	40.31	0.16	-0.01	39.91	1.07
200	0.80	0.00	39.34	-2.68	39.34	39.43	0.16	-0.01	41.50	0.97
210	0.84	0.00	38.47	-3.08	38.47	38.59	0.15	-0.01	43.06	0.85
220	0.88	0.00	37.64	-3.48	37.64	37.80	0.15	-0.01	44.58	0.72
230	0.92	0.00	36.85	-3.88	36.85	37.05	0.15	-0.02	46.07	0.57
240	0.96	0.00	36.08	-4.28	36.08	36.34	0.14	-0.02	47.52	0.41
250	1.00	0.00	35.35	-4.68	35.35	35.66	0.14	-0.02	48.95	0.23
260	1.04	0.00	34.65	-5.09	34.65	35.02	0.14	-0.02	50.35	0.03
270	1.08	0.00	33.98	-5.50	33.98	34.42	0.14	-0.02	51.72	-0.18
280	1.12	0.00	33.33	-5.91	33.33	33.85	0.13	-0.02	53.06	-0.41
290	1.16	0.00	32.70	-6.32	32.70	33.31	0.13	-0.03	54.38	-0.65
300	1.20	0.00	32.10	-6.74	32.10	32.80	0.13	-0.03	55.68	-0.92

的に到達した位置の詳細算定

NO.	t (s)	Vw (m/s)	Vx (m/s)	Vy (m/s)	Vx' (m/s)	V (m/s)	dx (m)	dy (m)	x (m)	y (m)
256	1.02	0.00	34.93	-4.93	34.93	35.27	0.14	-0.02	49.79	0.113
(1)	1.02	0.00	34.91	-4.97	34.91	35.26	0.03	0.00	49.83	0.108
(2)	1.02	0.00	34.89	-5.00	34.89	35.25	0.03	-0.01	49.86	0.103
(3)	1.02	0.00	34.88	-5.04	34.88	35.24	0.03	-0.01	49.90	0.098
(4)	1.02	0.00	34.86	-5.08	34.86	35.23	0.03	-0.01	49.93	0.093
(5)	1.03	0.00	34.84	-5.12	34.84	35.22	0.03	-0.01	49.97	0.088
(6)	1.03	0.00	34.82	-5.16	34.82	35.20	0.03	-0.01	50.00	0.082
(7)	1.03	0.00	34.81	-5.20	34.81	35.19	0.03	-0.01	50.04	0.077
(8)	1.03	0.00	34.79	-5.24	34.79	35.18	0.03	-0.01	50.07	0.072
(9)	1.03	0.00	34.77	-5.28	34.77	35.17	0.03	-0.01	50.11	0.067

表 5. 4. 2 (6) 矢の軌道の計算結果

的の距離	50m	仰角	4. 16°	到達位置のずれ（上下）	-72mm	5回平均
------	-----	----	--------	-------------	-------	------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の2乗に比例するものとする。

$$F=KV^2$$

速度

$$\text{移動速度} : V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$$

$$\text{水平} : V_{x_n} = V_{x_{n-1}} - kV_{x_{n-1}}^2 dt$$

$$\text{垂直} : V_{y_n} = V_{y_{n-1}} - gdt - kV_{y_{n-1}}^2 dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 71.6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 0.0\%$$

$$V_0 : \text{初速度} = 71.6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V + V_w$$

$$V_w : \text{風速} = -0.7 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 4.16 \text{ (}^\circ\text{)}$$

$$0.073 \text{ (radian)}$$

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k : \text{空気抵抗係数} = 0.015$$

矢の軌道計算（逐次計算）

$$\Delta t = 0.004 \text{ (s)}$$

NO.	t (s)	Vw (m/s)	Vx (m/s)	Vy (m/s)	Vx' (m/s)	V (m/s)	dx (m)	dy (m)	x (m)	y (m)
1	0.00	-0.70	71.41	5.19	70.71	70.90	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.04	-0.70	68.80	4.83	68.10	68.27	0.27	0.02	2.49	0.18
20	0.08	-0.70	66.12	4.42	65.42	65.57	0.26	0.02	5.16	0.36
30	0.12	-0.70	63.64	4.02	62.94	63.06	0.25	0.02	7.72	0.53
40	0.16	-0.70	61.34	3.62	60.64	60.75	0.24	0.01	10.18	0.68
50	0.20	-0.70	59.20	3.22	58.50	58.59	0.23	0.01	12.56	0.82
60	0.24	-0.70	57.21	2.82	56.51	56.58	0.23	0.01	14.86	0.94
70	0.28	-0.70	55.35	2.43	54.65	54.71	0.22	0.01	17.08	1.04
80	0.32	-0.70	53.61	2.03	52.91	52.95	0.21	0.01	19.23	1.13
90	0.36	-0.70	51.98	1.64	51.28	51.30	0.21	0.01	21.31	1.20
100	0.40	-0.70	50.44	1.24	49.74	49.76	0.20	0.00	23.32	1.26
110	0.44	-0.70	49.00	0.85	48.30	48.31	0.19	0.00	25.28	1.30
120	0.48	-0.70	47.63	0.46	46.93	46.94	0.19	0.00	27.18	1.33
130	0.52	-0.70	46.34	0.07	45.64	45.64	0.18	0.00	29.03	1.34
140	0.56	-0.70	45.12	-0.33	44.42	44.43	0.18	0.00	30.83	1.33
150	0.60	-0.70	43.97	-0.72	43.27	43.27	0.17	0.00	32.58	1.31
160	0.64	-0.70	42.87	-1.11	42.17	42.19	0.17	0.00	34.29	1.27
170	0.68	-0.70	41.83	-1.50	41.13	41.16	0.16	-0.01	35.95	1.22
180	0.72	-0.70	40.83	-1.90	40.13	40.18	0.16	-0.01	37.57	1.15
190	0.76	-0.70	39.89	-2.29	39.19	39.26	0.16	-0.01	39.16	1.07
200	0.80	-0.70	38.99	-2.69	38.29	38.38	0.15	-0.01	40.71	0.97
210	0.84	-0.70	38.12	-3.08	37.42	37.55	0.15	-0.01	42.22	0.85
220	0.88	-0.70	37.30	-3.48	36.60	36.77	0.15	-0.01	43.70	0.72
230	0.92	-0.70	36.51	-3.88	35.81	36.02	0.14	-0.02	45.14	0.57
240	0.96	-0.70	35.76	-4.28	35.06	35.32	0.14	-0.02	46.56	0.41
250	1.00	-0.70	35.03	-4.69	34.33	34.65	0.14	-0.02	47.95	0.23
260	1.04	-0.70	34.34	-5.09	33.64	34.02	0.13	-0.02	49.30	0.03
270	1.08	-0.70	33.67	-5.50	32.97	33.43	0.13	-0.02	50.63	-0.18
280	1.12	-0.70	33.03	-5.91	32.33	32.87	0.13	-0.02	51.94	-0.41
290	1.16	-0.70	32.42	-6.33	31.72	32.34	0.13	-0.03	53.22	-0.66
300	1.20	-0.70	31.82	-6.75	31.12	31.85	0.12	-0.03	54.47	-0.92

的に到達した位置の詳細算定

的の位置 > 50m (m)

$$\Delta t = 0.001 \text{ (s)}$$

NO.	t (s)	Vw (m/s)	Vx (m/s)	Vy (m/s)	Vx' (m/s)	V (m/s)	dx (m)	dy (m)	x (m)	y (m)
264	1.05	-0.70	34.07	-5.26	33.37	33.78	0.13	-0.02	49.84	-0.054
(1)	1.05	-0.70	34.05	-5.30	33.35	33.77	0.03	-0.01	49.87	-0.059
(2)	1.05	-0.70	34.04	-5.34	33.34	33.76	0.03	-0.01	49.91	-0.065
(3)	1.06	-0.70	34.02	-5.38	33.32	33.75	0.03	-0.01	49.94	-0.070
(4)	1.06	-0.70	34.00	-5.42	33.30	33.74	0.03	-0.01	49.97	-0.075
(5)	1.06	-0.70	33.99	-5.46	33.29	33.73	0.03	-0.01	50.01	-0.081
(6)	1.06	-0.70	33.97	-5.50	33.27	33.72	0.03	-0.01	50.04	-0.086
(7)	1.06	-0.70	33.95	-5.54	33.25	33.71	0.03	-0.01	50.07	-0.092
(8)	1.06	-0.70	33.94	-5.57	33.24	33.70	0.03	-0.01	50.11	-0.098
(9)	1.06	-0.70	33.92	-5.61	33.22	33.69	0.03	-0.01	50.14	-0.103

表 5. 4. 2 (7) 矢の軌道の計算結果

的の距離	60m	仰角	4. 84°	到達位置のずれ (上下)	-270mm	最長到達時
------	-----	----	--------	--------------	--------	-------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の2乗に比例するものとする。

$$F=KV^2$$

速度

$$\text{移動速度: } V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$$

$$\text{水平: } V_{x_n} = V_{x_{n-1}} - kV_{x_{n-1}}^2 dt$$

$$\text{垂直: } V_{y_n} = V_{y_{n-1}} - gdt - kV_{y_{n-1}}^2 dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 71.6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 0.0\%$$

$$v_0' : \text{初速度} = 71.6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V + V_w$$

$$V_w : \text{風速} = 0.0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 4.84 \text{ (°)}$$

$$0.084 \text{ (radian)}$$

向かい風 (－) ～ 追い風 (＋)

水平 (0°) ～ 垂直 (90°)

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k : \text{空気抵抗係数} = 0.0124$$

矢の軌道計算 (逐次計算)

$$\Delta t = 0.005 \text{ (s)}$$

NO.	t (s)	Vw (m/s)	Vx (m/s)	Vy (m/s)	Vx' (m/s)	V (m/s)	dx (m)	dy (m)	x (m)	y (m)
1	0.00	0.00	71.34	6.04	71.34	71.60	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.05	0.00	68.60	5.58	68.60	68.83	0.34	0.03	3.14	0.26
20	0.10	0.00	65.79	5.07	65.79	65.99	0.33	0.03	6.49	0.53
30	0.15	0.00	63.20	4.57	63.20	63.37	0.32	0.02	9.71	0.77
40	0.20	0.00	60.81	4.07	60.81	60.95	0.30	0.02	12.80	0.98
50	0.25	0.00	58.59	3.57	58.59	58.70	0.29	0.02	15.78	1.17
60	0.30	0.00	56.53	3.07	56.53	56.62	0.28	0.02	18.66	1.33
70	0.35	0.00	54.61	2.58	54.61	54.67	0.27	0.01	21.43	1.47
80	0.40	0.00	52.82	2.08	52.82	52.86	0.26	0.01	24.11	1.59
90	0.45	0.00	51.14	1.59	51.14	51.16	0.26	0.01	26.70	1.68
100	0.50	0.00	49.56	1.10	49.56	49.57	0.25	0.01	29.22	1.75
110	0.55	0.00	48.08	0.61	48.08	48.08	0.24	0.00	31.65	1.79
120	0.60	0.00	46.68	0.12	46.68	46.68	0.23	0.00	34.02	1.80
130	0.65	0.00	45.37	-0.37	45.37	45.37	0.23	0.00	36.32	1.80
140	0.70	0.00	44.12	-0.86	44.12	44.13	0.22	0.00	38.55	1.76
150	0.75	0.00	42.94	-1.35	42.94	42.97	0.21	-0.01	40.72	1.71
160	0.80	0.00	41.83	-1.84	41.83	41.87	0.21	-0.01	42.84	1.63
170	0.85	0.00	40.77	-2.34	40.77	40.83	0.20	-0.01	44.90	1.52
180	0.90	0.00	39.76	-2.83	39.76	39.86	0.20	-0.01	46.91	1.39
190	0.95	0.00	38.80	-3.33	38.80	38.94	0.19	-0.02	48.87	1.24
200	1.00	0.00	37.89	-3.82	37.89	38.08	0.19	-0.02	50.79	1.06
210	1.05	0.00	37.02	-4.32	37.02	37.27	0.19	-0.02	52.66	0.85
220	1.10	0.00	36.18	-4.83	36.18	36.50	0.18	-0.02	54.49	0.62
230	1.15	0.00	35.39	-5.33	35.39	35.79	0.18	-0.03	56.27	0.37
240	1.20	0.00	34.63	-5.84	34.63	35.12	0.17	-0.03	58.02	0.08
250	1.25	0.00	33.90	-6.36	33.90	34.49	0.17	-0.03	59.73	-0.22
260	1.29	0.00	33.20	-6.87	33.20	33.90	0.17	-0.03	61.41	-0.55
270	1.34	0.00	32.53	-7.39	32.53	33.36	0.16	-0.04	63.05	-0.91
280	1.39	0.00	31.88	-7.92	31.88	32.85	0.16	-0.04	64.66	-1.30
290	1.44	0.00	31.26	-8.45	31.26	32.39	0.16	-0.04	66.24	-1.71
300	1.49	0.00	30.67	-8.99	30.67	31.96	0.15	-0.04	67.78	-2.14

的に到達した位置の詳細算定

的的位置 > 60m (m)

$$\Delta t = 0.001 \text{ (s)}$$

NO.	t (s)	Vw (m/s)	Vx (m/s)	Vy (m/s)	Vx' (m/s)	V (m/s)	dx (m)	dy (m)	x (m)	y (m)
251	1.25	0.00	33.83	-6.41	33.83	34.43	0.17	-0.03	59.90	-0.253
(1)	1.25	0.00	33.81	-6.46	33.81	34.42	0.03	-0.01	59.94	-0.260
(2)	1.25	0.00	33.80	-6.51	33.80	34.42	0.03	-0.01	59.97	-0.266
(3)	1.25	0.00	33.78	-6.56	33.78	34.41	0.03	-0.01	60.00	-0.273
(4)	1.25	0.00	33.77	-6.60	33.77	34.41	0.03	-0.01	60.04	-0.280
(5)	1.25	0.00	33.76	-6.65	33.76	34.41	0.03	-0.01	60.07	-0.286
(6)	1.26	0.00	33.74	-6.70	33.74	34.40	0.03	-0.01	60.11	-0.293
(7)	1.26	0.00	33.73	-6.75	33.73	34.40	0.03	-0.01	60.14	-0.300
(8)	1.26	0.00	33.71	-6.80	33.71	34.39	0.03	-0.01	60.17	-0.307
(9)	1.26	0.00	33.70	-6.85	33.70	34.39	0.03	-0.01	60.21	-0.313

表 5. 4. 2 (8) 矢の軌道の計算結果

的の距離	60m	仰角	4. 84°	到達位置のずれ（上下）	-378mm	3回平均
------	-----	----	--------	-------------	--------	------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の2乗に比例するものとする。

$$F=KV^2$$

速度

$$\text{移動速度} : V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$$

$$\text{水平} : V_{x_n} = V_{x_{n-1}} - kV_{x_{n-1}}^2 dt$$

$$\text{垂直} : V_{y_n} = V_{y_{n-1}} - gdt - kV_{y_{n-1}}^2 dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 71.6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 0.0\%$$

$$v_0' : \text{初速度} = 71.6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V + V_w$$

$$V_w : \text{風速} = -1.0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 4.84 \text{ (}^\circ\text{)}$$

$$0.084 \text{ (radian)}$$

向かい風（-）～追い風（+）

水平（0°）～垂直（90°）

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k : \text{空気抵抗係数} = 0.0123$$

矢の軌道計算（逐次計算）

$$\Delta t = 0.005 \text{ (s)}$$

NO.	t (s)	Vw (m/s)	Vx (m/s)	Vy (m/s)	Vx' (m/s)	V (m/s)	dx (m)	dy (m)	x (m)	y (m)
1	0.00	-1.00	71.34	6.04	70.34	70.60	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.05	-1.00	68.70	5.58	67.70	67.93	0.34	0.03	3.10	0.26
20	0.10	-1.00	65.98	5.07	64.98	65.18	0.32	0.03	6.41	0.53
30	0.15	-1.00	63.47	4.57	62.47	62.64	0.31	0.02	9.59	0.77
40	0.20	-1.00	61.15	4.07	60.15	60.29	0.30	0.02	12.65	0.98
50	0.25	-1.00	59.00	3.57	58.00	58.11	0.29	0.02	15.59	1.17
60	0.30	-1.00	57.00	3.07	56.00	56.08	0.28	0.02	18.44	1.33
70	0.35	-1.00	55.13	2.58	54.13	54.19	0.27	0.01	21.19	1.47
80	0.40	-1.00	53.38	2.08	52.38	52.42	0.26	0.01	23.84	1.59
90	0.45	-1.00	51.74	1.59	50.74	50.76	0.25	0.01	26.42	1.68
100	0.50	-1.00	50.20	1.10	49.20	49.21	0.25	0.01	28.91	1.75
110	0.55	-1.00	48.75	0.61	47.75	47.75	0.24	0.00	31.33	1.79
120	0.60	-1.00	47.38	0.12	46.38	46.38	0.23	0.00	33.68	1.80
130	0.65	-1.00	46.09	-0.37	45.09	45.09	0.23	0.00	35.96	1.80
140	0.70	-1.00	44.87	-0.86	43.87	43.88	0.22	0.00	38.18	1.77
150	0.75	-1.00	43.72	-1.35	42.72	42.74	0.21	-0.01	40.35	1.71
160	0.80	-1.00	42.62	-1.84	41.62	41.66	0.21	-0.01	42.45	1.63
170	0.85	-1.00	41.58	-2.34	40.58	40.65	0.20	-0.01	44.50	1.52
180	0.90	-1.00	40.59	-2.83	39.59	39.69	0.20	-0.01	46.51	1.39
190	0.95	-1.00	39.65	-3.33	38.65	38.79	0.19	-0.02	48.46	1.24
200	1.00	-1.00	38.75	-3.82	37.75	37.94	0.19	-0.02	50.37	1.06
210	1.05	-1.00	37.89	-4.32	36.89	37.14	0.18	-0.02	52.23	0.85
220	1.10	-1.00	37.07	-4.83	36.07	36.39	0.18	-0.02	54.05	0.62
230	1.15	-1.00	36.28	-5.33	35.28	35.68	0.18	-0.03	55.83	0.37
240	1.20	-1.00	35.53	-5.84	34.53	35.02	0.17	-0.03	57.58	0.09
250	1.25	-1.00	34.81	-6.35	33.81	34.40	0.17	-0.03	59.28	-0.22
260	1.29	-1.00	34.12	-6.87	33.12	33.83	0.17	-0.03	60.96	-0.55
270	1.34	-1.00	33.46	-7.39	32.46	33.29	0.16	-0.04	62.59	-0.91
280	1.39	-1.00	32.82	-7.92	31.82	32.79	0.16	-0.04	64.20	-1.29
290	1.44	-1.00	32.21	-8.45	31.21	32.33	0.16	-0.04	65.77	-1.70
300	1.49	-1.00	31.62	-8.98	30.62	31.91	0.15	-0.04	67.32	-2.14

的に到達した位置の詳細算定

NO.	t (s)	Vw (m/s)	Vx (m/s)	Vy (m/s)	Vx' (m/s)	V (m/s)	dx (m)	dy (m)	x (m)	y (m)
254	1.27	-1.00	34.53	-6.56	33.53	34.17	0.17	-0.03	59.96	-0.350
(1)	1.27	-1.00	34.52	-6.61	33.52	34.17	0.03	-0.01	59.99	-0.357
(2)	1.27	-1.00	34.51	-6.66	33.51	34.16	0.03	-0.01	60.02	-0.363
(3)	1.27	-1.00	34.49	-6.71	33.49	34.16	0.03	-0.01	60.06	-0.370
(4)	1.27	-1.00	34.48	-6.76	33.48	34.15	0.03	-0.01	60.09	-0.377
(5)	1.27	-1.00	34.46	-6.81	33.46	34.15	0.03	-0.01	60.12	-0.384
(6)	1.27	-1.00	34.45	-6.86	33.45	34.15	0.03	-0.01	60.16	-0.391
(7)	1.27	-1.00	34.44	-6.91	33.44	34.14	0.03	-0.01	60.19	-0.397
(8)	1.27	-1.00	34.42	-6.96	33.42	34.14	0.03	-0.01	60.22	-0.404
(9)	1.27	-1.00	34.41	-7.01	33.41	34.14	0.03	-0.01	60.26	-0.411

表 5. 4. 2 (9) 矢の軌道の計算結果

的の距離	60m	仰角	4. 98°	到達位置のずれ (上下)	+60mm	最長到達時
------	-----	----	--------	--------------	-------	-------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の2乗に比例するものとする。

$$F=KV^2$$

速度

$$\text{移動速度: } V=\sqrt{V_x^2+V_y^2}$$

$$\text{水平: } V_{x_n}=V_{x_{n-1}}-kV_{x_{n-1}}^2dt$$

$$\text{垂直: } V_{y_n}=V_{y_{n-1}}-gdt-kV_{y_{n-1}}^2dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 71.6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 0.0\%$$

$$v_0' : \text{初速度} = 71.6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V+V_w$$

$$V_w : \text{風速} = 0.0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 4.98 \text{ (°)}$$

$$0.087 \text{ (radian)}$$

向かい風 (－) ～追い風 (＋)

水平 (0°) ～垂直 (90°)

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k : \text{空気抵抗係数} = 0.0119$$

矢の軌道計算 (逐次計算)

$$\Delta t = 0.005 \text{ (s)}$$

NO.	t (s)	Vw (m/s)	Vx (m/s)	Vy (m/s)	Vx' (m/s)	V (m/s)	dx (m)	dy (m)	x (m)	y (m)
1	0.00	0.00	71.33	6.22	71.33	71.60	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.05	0.00	68.69	5.76	68.69	68.94	0.34	0.03	3.14	0.27
20	0.10	0.00	65.99	5.25	65.99	66.20	0.33	0.03	6.50	0.54
30	0.15	0.00	63.48	4.74	63.48	63.66	0.32	0.02	9.73	0.79
40	0.20	0.00	61.17	4.24	61.17	61.31	0.31	0.02	12.84	1.01
50	0.25	0.00	59.01	3.74	59.01	59.13	0.30	0.02	15.84	1.21
60	0.30	0.00	57.00	3.24	57.00	57.09	0.29	0.02	18.74	1.39
70	0.35	0.00	55.13	2.75	55.13	55.19	0.28	0.01	21.53	1.53
80	0.40	0.00	53.37	2.25	53.37	53.42	0.27	0.01	24.24	1.66
90	0.45	0.00	51.72	1.76	51.72	51.75	0.26	0.01	26.86	1.76
100	0.50	0.00	50.17	1.27	50.17	50.19	0.25	0.01	29.41	1.83
110	0.55	0.00	48.71	0.78	48.71	48.72	0.24	0.00	31.87	1.88
120	0.60	0.00	47.34	0.29	47.34	47.34	0.24	0.00	34.27	1.91
130	0.65	0.00	46.04	-0.20	46.04	46.04	0.23	0.00	36.60	1.91
140	0.70	0.00	44.81	-0.69	44.81	44.81	0.22	0.00	38.87	1.88
150	0.75	0.00	43.64	-1.18	43.64	43.66	0.22	-0.01	41.08	1.84
160	0.80	0.00	42.53	-1.67	42.53	42.57	0.21	-0.01	43.23	1.76
170	0.85	0.00	41.48	-2.17	41.48	41.54	0.21	-0.01	45.33	1.67
180	0.90	0.00	40.48	-2.66	40.48	40.57	0.20	-0.01	47.37	1.54
190	0.95	0.00	39.53	-3.15	39.53	39.65	0.20	-0.02	49.37	1.40
200	1.00	0.00	38.62	-3.65	38.62	38.79	0.19	-0.02	51.32	1.23
210	1.05	0.00	37.75	-4.15	37.75	37.97	0.19	-0.02	53.23	1.03
220	1.10	0.00	36.92	-4.65	36.92	37.21	0.18	-0.02	55.09	0.81
230	1.15	0.00	36.12	-5.15	36.12	36.49	0.18	-0.03	56.92	0.56
240	1.20	0.00	35.36	-5.66	35.36	35.81	0.18	-0.03	58.70	0.29
250	1.25	0.00	34.63	-6.17	34.63	35.17	0.17	-0.03	60.45	-0.01
260	1.29	0.00	33.93	-6.69	33.93	34.58	0.17	-0.03	62.16	-0.33
270	1.34	0.00	33.26	-7.21	33.26	34.03	0.17	-0.04	63.84	-0.68
280	1.39	0.00	32.61	-7.73	32.61	33.51	0.16	-0.04	65.49	-1.05
290	1.44	0.00	31.99	-8.26	31.99	33.04	0.16	-0.04	67.10	-1.45
300	1.49	0.00	31.39	-8.79	31.39	32.60	0.16	-0.04	68.68	-1.88

的に到達した位置の詳細算定

的の位置 > 60m (m)

$$\Delta t = 0.001 \text{ (s)}$$

NO.	t (s)	Vw (m/s)	Vx (m/s)	Vy (m/s)	Vx' (m/s)	V (m/s)	dx (m)	dy (m)	x (m)	y (m)
247	1.23	0.00	34.84	-6.02	34.84	35.36	0.17	-0.03	59.93	0.086
(1)	1.23	0.00	34.83	-6.07	34.83	35.35	0.03	-0.01	59.96	0.080
(2)	1.23	0.00	34.82	-6.12	34.82	35.35	0.03	-0.01	60.00	0.074
(3)	1.23	0.00	34.80	-6.17	34.80	35.34	0.03	-0.01	60.03	0.067
(4)	1.23	0.00	34.79	-6.22	34.79	35.34	0.03	-0.01	60.07	0.061
(5)	1.24	0.00	34.77	-6.27	34.77	35.33	0.03	-0.01	60.10	0.055
(6)	1.24	0.00	34.76	-6.32	34.76	35.33	0.03	-0.01	60.14	0.049
(7)	1.24	0.00	34.74	-6.37	34.74	35.32	0.03	-0.01	60.17	0.042
(8)	1.24	0.00	34.73	-6.41	34.73	35.32	0.03	-0.01	60.21	0.036
(9)	1.24	0.00	34.71	-6.46	34.71	35.31	0.03	-0.01	60.24	0.029

表 5. 4. 2(10) 矢の軌道の計算結果

的の距離	60m	仰角	4. 98°	到達位置のずれ（上下）	-107mm	4回平均
------	-----	----	--------	-------------	--------	------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の2乗に比例するものとする。

$$F=KV^2$$

速度

$$\text{移動速度} : V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$$

$$\text{水平} : V_{x_n} = V_{x_{n-1}} - kV_{x_{n-1}}^2 dt$$

$$\text{垂直} : V_{y_n} = V_{y_{n-1}} - gdt - kV_{y_{n-1}}^2 dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 71.6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 0.0\%$$

$$v_0' : \text{初速度} = 71.6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V + V_w$$

$$V_w : \text{風速} = -1.8 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 4.98 \text{ (°)}$$

$$0.087 \text{ (radian)}$$

向かい風（-）～追い風（+）

水平（0°）～垂直（90°）

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k : \text{空気抵抗係数} = 0.0118$$

矢の軌道計算（逐次計算）

$$\Delta t = 0.005 \text{ (s)}$$

NO.	t (s)	Vw (m/s)	Vx (m/s)	Vy (m/s)	Vx' (m/s)	V (m/s)	dx (m)	dy (m)	x (m)	y (m)
1	0.00	-1.80	71.33	6.22	69.53	69.81	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.05	-1.80	68.84	5.76	67.04	67.29	0.34	0.03	3.07	0.27
20	0.10	-1.80	66.28	5.25	64.48	64.70	0.32	0.03	6.35	0.54
30	0.15	-1.80	63.91	4.74	62.11	62.29	0.31	0.02	9.51	0.79
40	0.20	-1.80	61.71	4.24	59.91	60.06	0.30	0.02	12.55	1.01
50	0.25	-1.80	59.66	3.74	57.86	57.98	0.29	0.02	15.49	1.21
60	0.30	-1.80	57.74	3.24	55.94	56.03	0.28	0.02	18.33	1.39
70	0.35	-1.80	55.95	2.75	54.15	54.22	0.27	0.01	21.07	1.53
80	0.40	-1.80	54.27	2.25	52.47	52.51	0.26	0.01	23.74	1.66
90	0.45	-1.80	52.69	1.76	50.89	50.92	0.25	0.01	26.31	1.76
100	0.50	-1.80	51.20	1.27	49.40	49.41	0.25	0.01	28.82	1.83
110	0.55	-1.80	49.80	0.78	48.00	48.00	0.24	0.00	31.25	1.88
120	0.60	-1.80	48.47	0.29	46.67	46.67	0.23	0.00	33.61	1.91
130	0.65	-1.80	47.22	-0.20	45.42	45.42	0.23	0.00	35.91	1.91
140	0.70	-1.80	46.03	-0.69	44.23	44.23	0.22	0.00	38.15	1.88
150	0.75	-1.80	44.90	-1.18	43.10	43.12	0.22	-0.01	40.33	1.84
160	0.80	-1.80	43.83	-1.67	42.03	42.06	0.21	-0.01	42.45	1.76
170	0.85	-1.80	42.81	-2.16	41.01	41.07	0.21	-0.01	44.53	1.67
180	0.90	-1.80	41.84	-2.66	40.04	40.13	0.20	-0.01	46.55	1.54
190	0.95	-1.80	40.91	-3.15	39.11	39.24	0.20	-0.02	48.53	1.40
200	1.00	-1.80	40.03	-3.65	38.23	38.40	0.19	-0.02	50.46	1.23
210	1.05	-1.80	39.18	-4.15	37.38	37.61	0.19	-0.02	52.35	1.03
220	1.10	-1.80	38.37	-4.65	36.57	36.87	0.18	-0.02	54.19	0.81
230	1.15	-1.80	37.60	-5.15	35.80	36.17	0.18	-0.03	56.00	0.56
240	1.20	-1.80	36.86	-5.66	35.06	35.51	0.18	-0.03	57.77	0.29
250	1.25	-1.80	36.15	-6.17	34.35	34.90	0.17	-0.03	59.50	-0.01
260	1.29	-1.80	35.46	-6.69	33.66	34.32	0.17	-0.03	61.20	-0.33
270	1.34	-1.80	34.81	-7.20	33.01	33.78	0.17	-0.04	62.87	-0.68
280	1.39	-1.80	34.17	-7.73	32.37	33.28	0.16	-0.04	64.50	-1.05
290	1.44	-1.80	33.57	-8.25	31.77	32.82	0.16	-0.04	66.10	-1.45
300	1.49	-1.80	32.98	-8.79	31.18	32.40	0.16	-0.04	67.67	-1.88

的に到達した位置の詳細算定

的的位置 > 60m (m)

$$\Delta t = 0.001 \text{ (s)}$$

NO.	t (s)	Vw (m/s)	Vx (m/s)	Vy (m/s)	Vx' (m/s)	V (m/s)	dx (m)	dy (m)	x (m)	y (m)
252	1.26	-1.80	36.01	-6.27	34.21	34.78	0.17	-0.03	59.85	-0.068
(1)	1.26	-1.80	35.99	-6.32	34.19	34.77	0.03	-0.01	59.88	-0.074
(2)	1.26	-1.80	35.98	-6.37	34.18	34.77	0.03	-0.01	59.91	-0.080
(3)	1.26	-1.80	35.97	-6.42	34.17	34.76	0.03	-0.01	59.95	-0.087
(4)	1.26	-1.80	35.95	-6.47	34.15	34.76	0.03	-0.01	59.98	-0.093
(5)	1.26	-1.80	35.94	-6.52	34.14	34.76	0.03	-0.01	60.02	-0.100
(6)	1.26	-1.80	35.92	-6.57	34.12	34.75	0.03	-0.01	60.05	-0.106
(7)	1.26	-1.80	35.91	-6.62	34.11	34.75	0.03	-0.01	60.08	-0.113
(8)	1.26	-1.80	35.90	-6.67	34.10	34.74	0.03	-0.01	60.12	-0.120
(9)	1.26	-1.80	35.88	-6.72	34.08	34.74	0.03	-0.01	60.15	-0.126

表 5. 4. 2(11) 矢の軌道の計算結果

的の距離	70m	仰角	5. 70°	到達位置のずれ（上下）	-225mm	最長到達時
------	-----	----	--------	-------------	--------	-------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の2乗に比例するものとする。

$$F=KV^2$$

速度

$$\text{移動速度: } V=\sqrt{V_x^2+V_y^2}$$

$$\text{水平: } V_{x_n}=V_{x_{n-1}}-kV_{x_{n-1}}^2dt$$

$$\text{垂直: } V_{y_n}=V_{y_{n-1}}-gdt-kV_{y_{n-1}}^2dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 71.6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 0.0\%$$

$$v_0' : \text{初速度} = 71.6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V+V_w$$

$$V_w : \text{風速} = 0.0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 5.70 \text{ (°)}$$

$$0.099 \text{ (radian)}$$

向かい風（-）～追い風（+）

水平（0°）～垂直（90°）

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k : \text{空気抵抗係数} = 0.0104$$

矢の軌道計算（逐次計算）

$$\Delta t = 0.005 \text{ (s)}$$

NO.	t (s)	Vw (m/s)	Vx (m/s)	Vy (m/s)	Vx' (m/s)	V (m/s)	dx (m)	dy (m)	x (m)	y (m)
1	0.00	0.00	71.25	7.11	71.25	71.60	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.05	0.00	68.94	6.65	68.94	69.26	0.34	0.03	3.15	0.31
20	0.10	0.00	66.54	6.14	66.54	66.83	0.33	0.03	6.53	0.63
30	0.15	0.00	64.31	5.63	64.31	64.56	0.32	0.03	9.79	0.92
40	0.20	0.00	62.22	5.12	62.22	62.43	0.31	0.03	12.95	1.19
50	0.25	0.00	60.27	4.62	60.27	60.44	0.30	0.02	16.01	1.43
60	0.30	0.00	58.43	4.12	58.43	58.58	0.29	0.02	18.97	1.65
70	0.35	0.00	56.70	3.62	56.70	56.82	0.28	0.02	21.84	1.84
80	0.40	0.00	55.07	3.13	55.07	55.16	0.28	0.02	24.63	2.01
90	0.45	0.00	53.54	2.63	53.54	53.60	0.27	0.01	27.35	2.15
100	0.50	0.00	52.08	2.14	52.08	52.13	0.26	0.01	29.98	2.27
110	0.55	0.00	50.71	1.65	50.71	50.73	0.25	0.01	32.55	2.36
120	0.60	0.00	49.40	1.16	49.40	49.41	0.25	0.01	35.05	2.43
130	0.65	0.00	48.16	0.67	48.16	48.16	0.24	0.00	37.48	2.47
140	0.70	0.00	46.98	0.18	46.98	46.98	0.23	0.00	39.86	2.49
150	0.75	0.00	45.86	-0.31	45.86	45.86	0.23	0.00	42.18	2.49
160	0.80	0.00	44.79	-0.80	44.79	44.79	0.22	0.00	44.44	2.46
170	0.85	0.00	43.77	-1.29	43.77	43.78	0.22	-0.01	46.65	2.41
180	0.90	0.00	42.79	-1.79	42.79	42.83	0.21	-0.01	48.81	2.33
190	0.95	0.00	41.86	-2.28	41.86	41.92	0.21	-0.01	50.92	2.23
200	1.00	0.00	40.96	-2.77	40.96	41.06	0.20	-0.01	52.99	2.10
210	1.05	0.00	40.11	-3.27	40.11	40.24	0.20	-0.02	55.02	1.95
220	1.10	0.00	39.29	-3.76	39.29	39.46	0.20	-0.02	57.00	1.77
230	1.15	0.00	38.50	-4.26	38.50	38.73	0.19	-0.02	58.94	1.57
240	1.20	0.00	37.74	-4.76	37.74	38.04	0.19	-0.02	60.85	1.34
250	1.25	0.00	37.01	-5.26	37.01	37.38	0.19	-0.03	62.71	1.09
260	1.29	0.00	36.31	-5.77	36.31	36.77	0.18	-0.03	64.54	0.81
270	1.34	0.00	35.64	-6.28	35.64	36.19	0.18	-0.03	66.34	0.51
280	1.39	0.00	34.99	-6.79	34.99	35.64	0.17	-0.03	68.11	0.18
290	1.44	0.00	34.36	-7.31	34.36	35.13	0.17	-0.04	69.84	-0.17
300	1.49	0.00	33.76	-7.83	33.76	34.65	0.17	-0.04	71.54	-0.55

的に到達した位置の詳細算定

的的位置 > 70m (m)

$$\Delta t = 0.001 \text{ (s)}$$

NO.	t (s)	Vw (m/s)	Vx (m/s)	Vy (m/s)	Vx' (m/s)	V (m/s)	dx (m)	dy (m)	x (m)	y (m)
290	1.44	0.00	34.36	-7.31	34.36	35.13	0.17	-0.04	69.84	-0.173
(1)	1.45	0.00	34.35	-7.36	34.35	35.13	0.03	-0.01	69.87	-0.181
(2)	1.45	0.00	34.34	-7.41	34.34	35.13	0.03	-0.01	69.91	-0.188
(3)	1.45	0.00	34.33	-7.46	34.33	35.13	0.03	-0.01	69.94	-0.196
(4)	1.45	0.00	34.31	-7.50	34.31	35.12	0.03	-0.01	69.97	-0.203
(5)	1.45	0.00	34.30	-7.55	34.30	35.12	0.03	-0.01	70.01	-0.211
(6)	1.45	0.00	34.29	-7.60	34.29	35.12	0.03	-0.01	70.04	-0.218
(7)	1.45	0.00	34.28	-7.65	34.28	35.12	0.03	-0.01	70.08	-0.226
(8)	1.45	0.00	34.26	-7.70	34.26	35.12	0.03	-0.01	70.11	-0.234
(9)	1.45	0.00	34.25	-7.75	34.25	35.12	0.03	-0.01	70.15	-0.241

表 5. 4. 2(12) 矢の軌道の計算結果

的の距離	70m	仰角	5. 70°	到達位置のずれ（上下）	-570mm	5回平均
------	-----	----	--------	-------------	--------	------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の2乗に比例するものとする。

$$F=KV^2$$

速度

$$\text{移動速度} : V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$$

$$\text{水平} : V_{x_n} = V_{x_{n-1}} - kV_{x_{n-1}}^2 dt$$

$$\text{垂直} : V_{y_n} = V_{y_{n-1}} - gdt - kV_{y_{n-1}}^2 dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 71.6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 0.0\%$$

$$v_0' : \text{初速度} = 71.6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V + V_w$$

$$V_w : \text{風速} = 0.0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 5.70 \text{ (°)}$$

$$0.099 \text{ (radian)}$$

向かい風（-）～追い風（+）

水平（0°）～垂直（90°）

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k : \text{空気抵抗係数} = 0.0111$$

矢の軌道計算（逐次計算）

$$\Delta t = 0.005 \text{ (s)}$$

NO.	t (s)	Vw (m/s)	Vx (m/s)	Vy (m/s)	Vx' (m/s)	V (m/s)	dx (m)	dy (m)	x (m)	y (m)
1	0.00	0.00	71.25	7.11	71.25	71.60	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.05	0.00	68.79	6.65	68.79	69.11	0.34	0.03	3.14	0.31
20	0.10	0.00	66.25	6.13	66.25	66.53	0.33	0.03	6.51	0.63
30	0.15	0.00	63.89	5.62	63.89	64.14	0.32	0.03	9.76	0.92
40	0.20	0.00	61.70	5.12	61.70	61.91	0.31	0.03	12.89	1.19
50	0.25	0.00	59.65	4.61	59.65	59.83	0.30	0.02	15.92	1.43
60	0.30	0.00	57.73	4.11	57.73	57.88	0.29	0.02	18.85	1.65
70	0.35	0.00	55.93	3.62	55.93	56.05	0.28	0.02	21.69	1.84
80	0.40	0.00	54.24	3.12	54.24	54.33	0.27	0.02	24.44	2.00
90	0.45	0.00	52.65	2.62	52.65	52.72	0.26	0.01	27.10	2.15
100	0.50	0.00	51.15	2.13	51.15	51.20	0.26	0.01	29.70	2.26
110	0.55	0.00	49.74	1.64	49.74	49.76	0.25	0.01	32.21	2.36
120	0.60	0.00	48.40	1.15	48.40	48.41	0.24	0.01	34.66	2.43
130	0.65	0.00	47.13	0.66	47.13	47.13	0.24	0.00	37.05	2.47
140	0.70	0.00	45.92	0.17	45.92	45.92	0.23	0.00	39.37	2.49
150	0.75	0.00	44.78	-0.32	44.78	44.78	0.22	0.00	41.64	2.48
160	0.80	0.00	43.69	-0.81	43.69	43.70	0.22	0.00	43.85	2.45
170	0.85	0.00	42.66	-1.30	42.66	42.67	0.21	-0.01	46.00	2.40
180	0.90	0.00	41.67	-1.79	41.67	41.70	0.21	-0.01	48.11	2.32
190	0.95	0.00	40.72	-2.29	40.72	40.79	0.20	-0.01	50.16	2.22
200	1.00	0.00	39.82	-2.78	39.82	39.92	0.20	-0.01	52.17	2.09
210	1.05	0.00	38.96	-3.28	38.96	39.10	0.19	-0.02	54.14	1.94
220	1.10	0.00	38.13	-3.77	38.13	38.32	0.19	-0.02	56.07	1.76
230	1.15	0.00	37.34	-4.27	37.34	37.58	0.19	-0.02	57.95	1.56
240	1.20	0.00	36.58	-4.77	36.58	36.89	0.18	-0.02	59.80	1.33
250	1.25	0.00	35.85	-5.28	35.85	36.24	0.18	-0.03	61.61	1.08
260	1.29	0.00	35.15	-5.78	35.15	35.62	0.18	-0.03	63.38	0.80
270	1.34	0.00	34.48	-6.29	34.48	35.05	0.17	-0.03	65.12	0.50
280	1.39	0.00	33.83	-6.81	33.83	34.51	0.17	-0.03	66.82	0.17
290	1.44	0.00	33.20	-7.32	33.20	34.00	0.17	-0.04	68.50	-0.19
300	1.49	0.00	32.60	-7.85	32.60	33.53	0.16	-0.04	70.14	-0.57

的に到達した位置の詳細算定

NO.	t (s)	Vw (m/s)	Vx (m/s)	Vy (m/s)	Vx' (m/s)	V (m/s)	dx (m)	dy (m)	x (m)	y (m)
299	1.49	0.00	32.66	-7.79	32.66	33.58	0.16	-0.04	69.98	-0.527
(1)	1.49	0.00	32.65	-7.84	32.65	33.58	0.03	-0.01	70.01	-0.535
(2)	1.49	0.00	32.64	-7.89	32.64	33.58	0.03	-0.01	70.04	-0.542
(3)	1.49	0.00	32.62	-7.94	32.62	33.58	0.03	-0.01	70.08	-0.550
(4)	1.49	0.00	32.61	-7.99	32.61	33.58	0.03	-0.01	70.11	-0.558
(5)	1.49	0.00	32.60	-8.04	32.60	33.58	0.03	-0.01	70.14	-0.566
(6)	1.50	0.00	32.59	-8.09	32.59	33.58	0.03	-0.01	70.17	-0.575
(7)	1.50	0.00	32.58	-8.14	32.58	33.58	0.03	-0.01	70.21	-0.583
(8)	1.50	0.00	32.57	-8.19	32.57	33.58	0.03	-0.01	70.24	-0.591
(9)	1.50	0.00	32.55	-8.24	32.55	33.58	0.03	-0.01	70.27	-0.599

表 5. 4. 2(13) 矢の軌道の計算結果

的の距離	80m	仰角	6. 59°	到達位置のずれ（上下）	-253mm	最長到達時
------	-----	----	--------	-------------	--------	-------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の2乗に比例するものとする。

$$F=KV^2$$

速度

$$\text{移動速度: } V=\sqrt{V_x^2+V_y^2}$$

$$\text{水平: } V_{x_n}=V_{x_{n-1}}-kV_{x_{n-1}}^2dt$$

$$\text{垂直: } V_{y_n}=V_{y_{n-1}}-gdt-kV_{y_{n-1}}^2dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 71.6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 0.0\%$$

$$v_0' : \text{初速度} = 71.6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V+V_w$$

$$V_w : \text{風速} = 0.0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 6.59 \text{ (°)}$$

$$0.115 \text{ (radian)}$$

向かい風（-）～追い風（+）

水平（0°）～垂直（90°）

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k : \text{空気抵抗係数} = 0.0092$$

矢の軌道計算（逐次計算）

$$\Delta t = 0.006 \text{ (s)}$$

NO.	t (s)	V _w (m/s)	V _x (m/s)	V _y (m/s)	V _{x'} (m/s)	V (m/s)	dx (m)	dy (m)	x (m)	y (m)
1	0.00	0.00	71.13	8.22	71.13	71.60	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.05	0.00	68.69	7.66	68.69	69.12	0.41	0.05	3.77	0.43
20	0.11	0.00	66.17	7.04	66.17	66.55	0.40	0.04	7.80	0.87
30	0.17	0.00	63.83	6.43	63.83	64.15	0.38	0.04	11.70	1.27
40	0.23	0.00	61.65	5.82	61.65	61.93	0.37	0.03	15.45	1.63
50	0.29	0.00	59.62	5.21	59.62	59.84	0.36	0.03	19.09	1.96
60	0.35	0.00	57.71	4.61	57.71	57.89	0.35	0.03	22.60	2.26
70	0.41	0.00	55.92	4.01	55.92	56.07	0.34	0.02	26.00	2.51
80	0.47	0.00	54.24	3.42	54.24	54.35	0.33	0.02	29.30	2.73
90	0.53	0.00	52.66	2.82	52.66	52.74	0.32	0.02	32.50	2.92
100	0.59	0.00	51.17	2.23	51.17	51.22	0.31	0.01	35.61	3.07
110	0.65	0.00	49.76	1.64	49.76	49.79	0.30	0.01	38.64	3.18
120	0.71	0.00	48.43	1.05	48.43	48.44	0.29	0.01	41.58	3.26
130	0.77	0.00	47.16	0.46	47.16	47.17	0.28	0.00	44.44	3.30
140	0.83	0.00	45.96	-0.13	45.96	45.96	0.28	0.00	47.23	3.31
150	0.89	0.00	44.82	-0.71	44.82	44.83	0.27	0.00	49.95	3.29
160	0.95	0.00	43.74	-1.30	43.74	43.76	0.26	-0.01	52.60	3.22
170	1.01	0.00	42.71	-1.89	42.71	42.75	0.26	-0.01	55.19	3.13
180	1.07	0.00	41.72	-2.48	41.72	41.79	0.25	-0.01	57.72	2.99
190	1.13	0.00	40.78	-3.07	40.78	40.89	0.24	-0.02	60.20	2.83
200	1.19	0.00	39.88	-3.67	39.88	40.05	0.24	-0.02	62.61	2.62
210	1.25	0.00	39.02	-4.26	39.02	39.25	0.23	-0.03	64.98	2.38
220	1.31	0.00	38.19	-4.86	38.19	38.50	0.23	-0.03	67.29	2.11
230	1.37	0.00	37.40	-5.47	37.40	37.80	0.22	-0.03	69.56	1.79
240	1.43	0.00	36.65	-6.07	36.65	37.14	0.22	-0.04	71.78	1.45
250	1.49	0.00	35.92	-6.68	35.92	36.53	0.22	-0.04	73.95	1.06
260	1.55	0.00	35.22	-7.30	35.22	35.97	0.21	-0.04	76.08	0.64
270	1.61	0.00	34.54	-7.92	34.54	35.44	0.21	-0.05	78.17	0.18
280	1.67	0.00	33.90	-8.54	33.90	34.96	0.20	-0.05	80.22	-0.31
290	1.73	0.00	33.27	-9.17	33.27	34.51	0.20	-0.06	82.24	-0.85
300	1.79	0.00	32.67	-9.81	32.67	34.11	0.20	-0.06	84.21	-1.42

的に到達した位置の詳細算定

的的位置 > 80m (m)

$$\Delta t = 0.001 \text{ (s)}$$

NO.	t (s)	V _w (m/s)	V _x (m/s)	V _y (m/s)	V _{x'} (m/s)	V (m/s)	dx (m)	dy (m)	x (m)	y (m)
278	1.66	0.00	34.02	-8.42	34.02	35.05	0.20	-0.05	79.82	-0.211
(1)	1.66	0.00	34.01	-8.48	34.01	35.05	0.03	-0.01	79.85	-0.220
(2)	1.66	0.00	34.00	-8.54	34.00	35.06	0.03	-0.01	79.88	-0.229
(3)	1.67	0.00	33.99	-8.60	33.99	35.06	0.03	-0.01	79.92	-0.237
(4)	1.67	0.00	33.98	-8.66	33.98	35.07	0.03	-0.01	79.95	-0.246
(5)	1.67	0.00	33.97	-8.71	33.97	35.07	0.03	-0.01	79.99	-0.254
(6)	1.67	0.00	33.96	-8.77	33.96	35.08	0.03	-0.01	80.02	-0.263
(7)	1.67	0.00	33.95	-8.83	33.95	35.08	0.03	-0.01	80.05	-0.272
(8)	1.67	0.00	33.94	-8.89	33.94	35.09	0.03	-0.01	80.09	-0.281
(9)	1.67	0.00	33.93	-8.95	33.93	35.09	0.03	-0.01	80.12	-0.290

表 5. 4. 2(14) 矢の軌道の計算結果

的の距離	80m	仰角	6. 59°	到達位置のずれ（上下）	-444mm	6回平均
------	-----	----	--------	-------------	--------	------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の2乗に比例するものとする。

$$F=KV^2$$

速度

$$\text{移動速度: } V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$$

$$\text{水平: } V_{x_n} = V_{x_{n-1}} - kV_{x_{n-1}}^2 dt$$

$$\text{垂直: } V_{y_n} = V_{y_{n-1}} - gdt - kV_{y_{n-1}}^2 dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 71.6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 0.0\%$$

$$V_0 : \text{初速度} = 71.6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V + V_w$$

$$V_w : \text{風速} = -0.5 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 6.59 \text{ (°)}$$

$$0.115 \text{ (radian)}$$

向かい風（-）～追い風（+）

水平（0°）～垂直（90°）

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k : \text{空気抵抗係数} = 0.0093$$

矢の軌道計算（逐次計算）

$$\Delta t = 0.006 \text{ (s)}$$

NO.	t (s)	Vw (m/s)	Vx (m/s)	Vy (m/s)	Vx' (m/s)	V (m/s)	dx (m)	dy (m)	x (m)	y (m)
1	0.00	-0.50	71.13	8.22	70.63	71.10	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.05	-0.50	68.70	7.66	68.20	68.63	0.41	0.05	3.74	0.43
20	0.11	-0.50	66.19	7.04	65.69	66.07	0.39	0.04	7.75	0.87
30	0.17	-0.50	63.86	6.42	63.36	63.68	0.38	0.04	11.61	1.27
40	0.23	-0.50	61.69	5.81	61.19	61.46	0.37	0.03	15.34	1.63
50	0.29	-0.50	59.66	5.21	59.16	59.39	0.35	0.03	18.94	1.96
60	0.35	-0.50	57.76	4.61	57.26	57.45	0.34	0.03	22.43	2.25
70	0.41	-0.50	55.99	4.01	55.49	55.63	0.33	0.02	25.81	2.51
80	0.47	-0.50	54.31	3.41	53.81	53.92	0.32	0.02	29.08	2.73
90	0.53	-0.50	52.74	2.82	52.24	52.32	0.31	0.02	32.26	2.92
100	0.59	-0.50	51.26	2.23	50.76	50.81	0.30	0.01	35.34	3.07
110	0.65	-0.50	49.86	1.64	49.36	49.38	0.30	0.01	38.34	3.18
120	0.71	-0.50	48.53	1.05	48.03	48.04	0.29	0.01	41.26	3.26
130	0.77	-0.50	47.27	0.46	46.77	46.77	0.28	0.00	44.10	3.30
140	0.83	-0.50	46.08	-0.13	45.58	45.58	0.27	0.00	46.87	3.31
150	0.89	-0.50	44.95	-0.72	44.45	44.45	0.27	0.00	49.56	3.29
160	0.95	-0.50	43.87	-1.30	43.37	43.39	0.26	-0.01	52.19	3.22
170	1.01	-0.50	42.84	-1.89	42.34	42.38	0.25	-0.01	54.76	3.13
180	1.07	-0.50	41.86	-2.48	41.36	41.44	0.25	-0.01	57.27	2.99
190	1.13	-0.50	40.93	-3.08	40.43	40.54	0.24	-0.02	59.72	2.82
200	1.19	-0.50	40.03	-3.67	39.53	39.70	0.24	-0.02	62.12	2.62
210	1.25	-0.50	39.18	-4.27	38.68	38.91	0.23	-0.03	64.46	2.38
220	1.31	-0.50	38.36	-4.87	37.86	38.17	0.23	-0.03	66.75	2.10
230	1.37	-0.50	37.57	-5.47	37.07	37.48	0.22	-0.03	69.00	1.79
240	1.43	-0.50	36.82	-6.08	36.32	36.83	0.22	-0.04	71.20	1.44
250	1.49	-0.50	36.10	-6.69	35.60	36.22	0.21	-0.04	73.35	1.06
260	1.55	-0.50	35.40	-7.30	34.90	35.66	0.21	-0.04	75.47	0.64
270	1.61	-0.50	34.74	-7.92	34.24	35.14	0.21	-0.05	77.54	0.18
280	1.67	-0.50	34.09	-8.55	33.59	34.66	0.20	-0.05	79.57	-0.32
290	1.73	-0.50	33.47	-9.18	32.97	34.23	0.20	-0.06	81.57	-0.85
300	1.79	-0.50	32.88	-9.82	32.38	33.83	0.19	-0.06	83.52	-1.42

的に到達した位置の詳細算定

的の位置 > 80m (m)

$$\Delta t = 0.001 \text{ (s)}$$

NO.	t (s)	Vw (m/s)	Vx (m/s)	Vy (m/s)	Vx' (m/s)	V (m/s)	dx (m)	dy (m)	x (m)	y (m)
281	1.68	-0.50	34.03	-8.61	33.53	34.62	0.20	-0.05	79.77	-0.368
(1)	1.68	-0.50	34.02	-8.67	33.52	34.62	0.03	-0.01	79.81	-0.377
(2)	1.68	-0.50	34.01	-8.73	33.51	34.63	0.03	-0.01	79.84	-0.386
(3)	1.68	-0.50	34.00	-8.79	33.50	34.63	0.03	-0.01	79.87	-0.395
(4)	1.68	-0.50	33.99	-8.85	33.49	34.64	0.03	-0.01	79.91	-0.403
(5)	1.69	-0.50	33.98	-8.91	33.48	34.64	0.03	-0.01	79.94	-0.412
(6)	1.69	-0.50	33.97	-8.97	33.47	34.65	0.03	-0.01	79.97	-0.421
(7)	1.69	-0.50	33.96	-9.03	33.46	34.65	0.03	-0.01	80.01	-0.430
(8)	1.69	-0.50	33.95	-9.09	33.45	34.66	0.03	-0.01	80.04	-0.439
(9)	1.69	-0.50	33.94	-9.15	33.44	34.66	0.03	-0.01	80.07	-0.449

表 5. 4. 2(15) 矢の軌道の計算結果

的の距離	90m	仰角	7. 51°	到達位置のずれ（上下）	-580mm	最長到達時
------	-----	----	--------	-------------	--------	-------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の2乗に比例するものとする。

$$F=KV^2$$

速度

$$\text{移動速度: } V=\sqrt{V_x^2+V_y^2}$$

$$\text{水平: } V_{x_n}=V_{x_{n-1}}-kV_{x_{n-1}}^2dt$$

$$\text{垂直: } V_{y_n}=V_{y_{n-1}}-gdt-kV_{y_{n-1}}^2dt$$

$$v_0: \text{基準初速度} = 71.6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 0.0\%$$

$$v_0: \text{初速度} = 71.6 \text{ (m/s)}$$

$$V': \text{風を考慮した相対速度} = V+V_w$$

$$V_w: \text{風速} = 0.0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha: \text{仰角} = 7.51 \text{ (}^\circ\text{)}$$

$$0.131 \text{ (radian)}$$

向かい風（-）～追い風（+）

水平（0°）～垂直（90°）

t: 時間

$$g: \text{重力加速度} = 9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k: \text{空気抵抗係数} = 0.0085$$

矢の軌道計算（逐次計算）

$$\Delta t = 0.007 \text{ (s)}$$

NO.	t (s)	Vw (m/s)	Vx (m/s)	Vy (m/s)	Vx' (m/s)	V (m/s)	dx (m)	dy (m)	x (m)	y (m)
1	0.00	0.00	70.99	9.36	70.99	71.60	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.06	0.00	68.38	8.70	68.38	68.93	0.48	0.06	4.38	0.57
20	0.13	0.00	65.69	7.97	65.69	66.17	0.46	0.06	9.06	1.15
30	0.20	0.00	63.21	7.25	63.21	63.63	0.44	0.05	13.56	1.68
40	0.27	0.00	60.91	6.53	60.91	61.26	0.43	0.05	17.90	2.16
50	0.34	0.00	58.77	5.82	58.77	59.06	0.41	0.04	22.08	2.59
60	0.41	0.00	56.78	5.12	56.78	57.01	0.40	0.04	26.12	2.97
70	0.48	0.00	54.92	4.42	54.92	55.10	0.38	0.03	30.02	3.30
80	0.55	0.00	53.18	3.72	53.18	53.31	0.37	0.03	33.80	3.58
90	0.62	0.00	51.54	3.03	51.54	51.63	0.36	0.02	37.45	3.82
100	0.69	0.00	50.00	2.34	50.00	50.06	0.35	0.02	41.00	4.00
110	0.76	0.00	48.55	1.65	48.55	48.58	0.34	0.01	44.45	4.14
120	0.83	0.00	47.19	0.97	47.19	47.20	0.33	0.01	47.79	4.23
130	0.90	0.00	45.90	0.28	45.90	45.90	0.32	0.00	51.04	4.27
140	0.97	0.00	44.67	-0.41	44.67	44.67	0.31	0.00	54.21	4.26
150	1.04	0.00	43.51	-1.09	43.51	43.53	0.30	-0.01	57.29	4.21
160	1.11	0.00	42.41	-1.78	42.41	42.45	0.30	-0.01	60.30	4.10
170	1.18	0.00	41.37	-2.47	41.37	41.44	0.29	-0.02	63.22	3.95
180	1.25	0.00	40.37	-3.16	40.37	40.49	0.28	-0.02	66.08	3.75
190	1.32	0.00	39.42	-3.85	39.42	39.61	0.28	-0.03	68.87	3.51
200	1.39	0.00	38.51	-4.55	38.51	38.78	0.27	-0.03	71.59	3.21
210	1.46	0.00	37.65	-5.25	37.65	38.01	0.26	-0.04	74.26	2.86
220	1.53	0.00	36.82	-5.95	36.82	37.30	0.26	-0.04	76.86	2.47
230	1.60	0.00	36.03	-6.66	36.03	36.64	0.25	-0.05	79.41	2.03
240	1.67	0.00	35.27	-7.38	35.27	36.04	0.25	-0.05	81.90	1.53
250	1.74	0.00	34.55	-8.10	34.55	35.48	0.24	-0.06	84.34	0.99
260	1.81	0.00	33.85	-8.83	33.85	34.98	0.24	-0.06	86.73	0.39
270	1.88	0.00	33.18	-9.56	33.18	34.53	0.23	-0.07	89.08	-0.25
280	1.95	0.00	32.54	-10.31	32.54	34.13	0.23	-0.07	91.37	-0.95
290	2.02	0.00	31.92	-11.06	31.92	33.78	0.22	-0.08	93.63	-1.70
300	2.09	0.00	31.32	-11.82	31.32	33.48	0.22	-0.08	95.84	-2.51

的に到達した位置の詳細算定

的の位置 > 90m (m)

$$\Delta t = 0.001 \text{ (s)}$$

NO.	t (s)	Vw (m/s)	Vx (m/s)	Vy (m/s)	Vx' (m/s)	V (m/s)	dx (m)	dy (m)	x (m)	y (m)
273	1.90	0.00	32.98	-9.79	32.98	34.41	0.23	-0.07	89.77	-0.457
(1)	1.90	0.00	32.98	-9.86	32.98	34.42	0.03	-0.01	89.80	-0.467
(2)	1.91	0.00	32.97	-9.92	32.97	34.43	0.03	-0.01	89.84	-0.477
(3)	1.91	0.00	32.96	-9.99	32.96	34.44	0.03	-0.01	89.87	-0.487
(4)	1.91	0.00	32.95	-10.06	32.95	34.45	0.03	-0.01	89.90	-0.497
(5)	1.91	0.00	32.94	-10.13	32.94	34.46	0.03	-0.01	89.93	-0.507
(6)	1.91	0.00	32.93	-10.20	32.93	34.47	0.03	-0.01	89.97	-0.518
(7)	1.91	0.00	32.92	-10.27	32.92	34.49	0.03	-0.01	90.00	-0.528
(8)	1.91	0.00	32.91	-10.34	32.91	34.50	0.03	-0.01	90.03	-0.538
(9)	1.91	0.00	32.90	-10.41	32.90	34.51	0.03	-0.01	90.07	-0.549

表 5. 4. 2(16) 矢の軌道の計算結果

的の距離	90m	仰角	7. 51°	到達位置のずれ（上下）	-748mm	4回平均
------	-----	----	--------	-------------	--------	------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の2乗に比例するものとする。

$$F=KV^2$$

速度

$$\text{移動速度: } V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$$

$$\text{水平: } V_{x_n} = V_{x_{n-1}} - kV_{x_{n-1}}^2 dt$$

$$\text{垂直: } V_{y_n} = V_{y_{n-1}} - gdt - kV_{y_{n-1}}^2 dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 71.6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 0.0\%$$

$$V_0 : \text{初速度} = 71.6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V + V_w$$

$$V_w : \text{風速} = -1.0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 7.51 \text{ (°)}$$

$$0.131 \text{ (radian)}$$

向かい風（-）～追い風（+）

水平（0°）～垂直（90°）

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k : \text{空気抵抗係数} = 0.0084$$

矢の軌道計算（逐次計算）

$$\Delta t = 0.007 \text{ (s)}$$

NO.	t (s)	Vw (m/s)	Vx (m/s)	Vy (m/s)	Vx' : (m/s)	V (m/s)	dx (m)	dy (m)	x (m)	y (m)
1	0.00	-1.00	70.99	9.36	69.99	70.61	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.06	-1.00	68.48	8.70	67.48	68.03	0.47	0.06	4.32	0.57
20	0.13	-1.00	65.89	7.97	64.89	65.38	0.45	0.06	8.94	1.15
30	0.20	-1.00	63.50	7.25	62.50	62.92	0.44	0.05	13.39	1.68
40	0.27	-1.00	61.28	6.54	60.28	60.63	0.42	0.05	17.68	2.16
50	0.34	-1.00	59.20	5.83	58.20	58.50	0.41	0.04	21.82	2.59
60	0.41	-1.00	57.27	5.12	56.27	56.51	0.39	0.04	25.82	2.97
70	0.48	-1.00	55.46	4.42	54.46	54.64	0.38	0.03	29.69	3.30
80	0.55	-1.00	53.77	3.73	52.77	52.90	0.37	0.03	33.43	3.58
90	0.62	-1.00	52.18	3.03	51.18	51.27	0.36	0.02	37.07	3.82
100	0.69	-1.00	50.68	2.34	49.68	49.73	0.35	0.02	40.59	4.00
110	0.76	-1.00	49.26	1.66	48.26	48.29	0.34	0.01	44.01	4.14
120	0.83	-1.00	47.93	0.97	46.93	46.94	0.33	0.01	47.34	4.23
130	0.90	-1.00	46.66	0.28	45.66	45.67	0.32	0.00	50.57	4.27
140	0.97	-1.00	45.47	-0.40	44.47	44.47	0.31	0.00	53.72	4.26
150	1.04	-1.00	44.33	-1.09	43.33	43.34	0.30	-0.01	56.79	4.21
160	1.11	-1.00	43.25	-1.78	42.25	42.29	0.30	-0.01	59.78	4.11
170	1.18	-1.00	42.23	-2.47	41.23	41.30	0.29	-0.02	62.70	3.96
180	1.25	-1.00	41.25	-3.16	40.25	40.37	0.28	-0.02	65.55	3.76
190	1.32	-1.00	40.31	-3.85	39.31	39.50	0.28	-0.03	68.33	3.51
200	1.39	-1.00	39.42	-4.55	38.42	38.69	0.27	-0.03	71.05	3.21
210	1.46	-1.00	38.57	-5.25	37.57	37.94	0.26	-0.04	73.71	2.87
220	1.53	-1.00	37.76	-5.95	36.76	37.24	0.26	-0.04	76.30	2.47
230	1.60	-1.00	36.98	-6.66	35.98	36.59	0.25	-0.05	78.85	2.03
240	1.67	-1.00	36.23	-7.37	35.23	36.00	0.25	-0.05	81.34	1.54
250	1.74	-1.00	35.52	-8.09	34.52	35.45	0.24	-0.06	83.78	0.99
260	1.81	-1.00	34.83	-8.82	33.83	34.96	0.24	-0.06	86.17	0.40
270	1.88	-1.00	34.17	-9.56	33.17	34.52	0.23	-0.07	88.51	-0.25
280	1.95	-1.00	33.53	-10.30	32.53	34.12	0.23	-0.07	90.80	-0.95
290	2.02	-1.00	32.92	-11.05	31.92	33.78	0.22	-0.08	93.06	-1.70
300	2.09	-1.00	32.33	-11.82	31.33	33.49	0.22	-0.08	95.27	-2.50

的に到達した位置の詳細算定

的の位置 > 90m (m)

$$\Delta t = 0.001 \text{ (s)}$$

NO.	t (s)	Vw (m/s)	Vx (m/s)	Vy (m/s)	Vx' : (m/s)	V (m/s)	dx (m)	dy (m)	x (m)	y (m)
276	1.92	-1.00	33.78	-10.00	32.78	34.28	0.23	-0.07	89.89	-0.661
(1)	1.93	-1.00	33.77	-10.07	32.77	34.29	0.03	-0.01	89.92	-0.671
(2)	1.93	-1.00	33.77	-10.14	32.77	34.30	0.03	-0.01	89.96	-0.681
(3)	1.93	-1.00	33.76	-10.21	32.76	34.31	0.03	-0.01	89.99	-0.691
(4)	1.93	-1.00	33.75	-10.28	32.75	34.32	0.03	-0.01	90.02	-0.701
(5)	1.93	-1.00	33.74	-10.35	32.74	34.34	0.03	-0.01	90.06	-0.712
(6)	1.93	-1.00	33.73	-10.42	32.73	34.35	0.03	-0.01	90.09	-0.722
(7)	1.93	-1.00	33.72	-10.49	32.72	34.36	0.03	-0.01	90.12	-0.733
(8)	1.93	-1.00	33.71	-10.56	32.71	34.37	0.03	-0.01	90.15	-0.743
(9)	1.93	-1.00	33.70	-10.63	32.70	34.39	0.03	-0.01	90.19	-0.754

表 5. 4. 2(17) 矢の軌道の計算結果

的の距離	100m	仰角	9. 04°	到達位置のずれ（上下）	-255mm	最長到達時
------	------	----	--------	-------------	--------	-------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の2乗に比例するものとする。

$$F=KV^2$$

速度

$$\text{移動速度: } V=\sqrt{V_x^2+V_y^2}$$

$$\text{水平: } V_{x_n}=V_{x_{n-1}}-kV_{x_{n-1}}^2dt$$

$$\text{垂直: } V_{y_n}=V_{y_{n-1}}-gdt-kV_{y_{n-1}}^2dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 71.6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 0.0\%$$

$$v_0' : \text{初速度} = 71.6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V+V_w$$

$$V_w : \text{風速} = 0.0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 9.04 \text{ (°)}$$

$$0.158 \text{ (radian)}$$

向かい風（-）～追い風（+）

水平（0°）～垂直（90°）

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k : \text{空気抵抗係数} = 0.0084$$

矢の軌道計算（逐次計算）

$$\Delta t = 0.008 \text{ (s)}$$

NO.	t (s)	V _w (m/s)	V _x (m/s)	V _y (m/s)	V _{x'} (m/s)	V (m/s)	dx (m)	dy (m)	x (m)	y (m)
1	0.00	0.00	70.71	11.25	70.71	71.60	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.07	0.00	67.80	10.47	67.80	68.60	0.54	0.08	4.97	0.78
20	0.15	0.00	64.83	9.62	64.83	65.54	0.52	0.08	10.26	1.58
30	0.23	0.00	62.11	8.78	62.11	62.73	0.50	0.07	15.33	2.31
40	0.31	0.00	59.61	7.95	59.61	60.14	0.48	0.06	20.19	2.98
50	0.39	0.00	57.31	7.12	57.31	57.75	0.46	0.06	24.85	3.58
60	0.47	0.00	55.18	6.31	55.18	55.54	0.44	0.05	29.34	4.11
70	0.55	0.00	53.20	5.50	53.20	53.48	0.43	0.04	33.67	4.58
80	0.63	0.00	51.35	4.70	51.35	51.57	0.41	0.04	37.84	4.98
90	0.71	0.00	49.64	3.90	49.64	49.79	0.40	0.03	41.88	5.33
100	0.79	0.00	48.03	3.11	48.03	48.13	0.38	0.02	45.78	5.60
110	0.87	0.00	46.52	2.32	46.52	46.58	0.37	0.02	49.55	5.82
120	0.95	0.00	45.11	1.54	45.11	45.13	0.36	0.01	53.21	5.97
130	1.03	0.00	43.78	0.75	43.78	43.78	0.35	0.01	56.76	6.06
140	1.11	0.00	42.52	-0.03	42.52	42.52	0.34	0.00	60.21	6.08
150	1.19	0.00	41.34	-0.82	41.34	41.35	0.33	-0.01	63.55	6.05
160	1.27	0.00	40.22	-1.60	40.22	40.25	0.32	-0.01	66.81	5.95
170	1.35	0.00	39.16	-2.39	39.16	39.23	0.31	-0.02	69.98	5.78
180	1.43	0.00	38.15	-3.18	38.15	38.28	0.31	-0.03	73.07	5.56
190	1.51	0.00	37.19	-3.97	37.19	37.41	0.30	-0.03	76.08	5.27
200	1.59	0.00	36.28	-4.77	36.28	36.60	0.29	-0.04	79.02	4.91
210	1.67	0.00	35.42	-5.57	35.42	35.85	0.28	-0.04	81.88	4.50
220	1.75	0.00	34.59	-6.38	34.59	35.18	0.28	-0.05	84.68	4.02
230	1.83	0.00	33.81	-7.19	33.81	34.56	0.27	-0.06	87.41	3.47
240	1.91	0.00	33.05	-8.01	33.05	34.01	0.26	-0.06	90.08	2.86
250	1.99	0.00	32.33	-8.85	32.33	33.52	0.26	-0.07	92.69	2.18
260	2.07	0.00	31.64	-9.69	31.64	33.09	0.25	-0.08	95.25	1.44
270	2.15	0.00	30.98	-10.54	30.98	32.73	0.25	-0.08	97.75	0.62
280	2.23	0.00	30.35	-11.40	30.35	32.42	0.24	-0.09	100.20	-0.26
290	2.31	0.00	29.74	-12.28	29.74	32.18	0.24	-0.10	102.60	-1.21
300	2.39	0.00	29.16	-13.17	29.16	32.00	0.23	-0.11	104.96	-2.23

的に到達した位置の詳細算定

的の位置 > 100m (m)

$$\Delta t = 0.001 \text{ (s)}$$

NO.	t (s)	V _w (m/s)	V _x (m/s)	V _y (m/s)	V _{x'} (m/s)	V (m/s)	dx (m)	dy (m)	x (m)	y (m)
279	2.22	0.00	30.41	-11.32	30.41	32.45	0.24	-0.09	99.96	-0.165
(1)	2.23	0.00	30.41	-11.40	30.41	32.47	0.03	-0.01	99.99	-0.176
(2)	2.23	0.00	30.40	-11.48	30.40	32.49	0.03	-0.01	100.02	-0.188
(3)	2.23	0.00	30.39	-11.55	30.39	32.51	0.03	-0.01	100.05	-0.199
(4)	2.23	0.00	30.38	-11.63	30.38	32.53	0.03	-0.01	100.08	-0.211
(5)	2.23	0.00	30.37	-11.71	30.37	32.55	0.03	-0.01	100.11	-0.223
(6)	2.23	0.00	30.37	-11.79	30.37	32.58	0.03	-0.01	100.14	-0.234
(7)	2.23	0.00	30.36	-11.87	30.36	32.60	0.03	-0.01	100.17	-0.246
(8)	2.23	0.00	30.35	-11.95	30.35	32.62	0.03	-0.01	100.20	-0.258
(9)	2.23	0.00	30.34	-12.03	30.34	32.64	0.03	-0.01	100.23	-0.270

表 5. 4. 2(18) 矢の軌道の計算結果

的の距離	100m	仰角	9. 04°	到達位置のずれ（上下）	-446mm	4回平均
------	------	----	--------	-------------	--------	------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の2乗に比例するものとする。

$$F=KV^2$$

速度

$$\text{移動速度: } V=\sqrt{V_x^2+V_y^2}$$

$$\text{水平: } V_{x_n}=V_{x_{n-1}}-kV_{x_{n-1}}^2dt$$

$$\text{垂直: } V_{y_n}=V_{y_{n-1}}-gdt-kV_{y_{n-1}}^2dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 71.6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 0.0\%$$

$$v_0' : \text{初速度} = 71.6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V+V_w$$

$$V_w : \text{風速} = 0.0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 9.04 \text{ (}^\circ\text{)}$$

$$0.158 \text{ (radian)}$$

向かい風（-）～追い風（+）

水平（0°）～垂直（90°）

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k : \text{空気抵抗係数} = 0.0085$$

矢の軌道計算（逐次計算）

$$\Delta t = 0.008 \text{ (s)}$$

NO.	t (s)	Vw (m/s)	Vx (m/s)	Vy (m/s)	Vx' (m/s)	V (m/s)	dx (m)	dy (m)	x (m)	y (m)
1	0.00	0.00	70.71	11.25	70.71	71.60	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.07	0.00	67.76	10.47	67.76	68.57	0.54	0.08	4.97	0.78
20	0.15	0.00	64.77	9.62	64.77	65.48	0.52	0.08	10.26	1.58
30	0.23	0.00	62.02	8.78	62.02	62.64	0.50	0.07	15.32	2.31
40	0.31	0.00	59.50	7.94	59.50	60.03	0.48	0.06	20.17	2.98
50	0.39	0.00	57.18	7.12	57.18	57.62	0.46	0.06	24.82	3.58
60	0.47	0.00	55.03	6.31	55.03	55.39	0.44	0.05	29.30	4.11
70	0.55	0.00	53.04	5.50	53.04	53.32	0.42	0.04	33.62	4.58
80	0.63	0.00	51.19	4.70	51.19	51.40	0.41	0.04	37.78	4.98
90	0.71	0.00	49.46	3.90	49.46	49.61	0.40	0.03	41.80	5.32
100	0.79	0.00	47.85	3.11	47.85	47.95	0.38	0.02	45.68	5.60
110	0.87	0.00	46.33	2.32	46.33	46.39	0.37	0.02	49.44	5.81
120	0.95	0.00	44.91	1.53	44.91	44.94	0.36	0.01	53.09	5.97
130	1.03	0.00	43.58	0.75	43.58	43.58	0.35	0.01	56.62	6.05
140	1.11	0.00	42.32	-0.04	42.32	42.32	0.34	0.00	60.05	6.08
150	1.19	0.00	41.13	-0.82	41.13	41.14	0.33	-0.01	63.38	6.04
160	1.27	0.00	40.01	-1.61	40.01	40.04	0.32	-0.01	66.62	5.94
170	1.35	0.00	38.95	-2.39	38.95	39.02	0.31	-0.02	69.78	5.78
180	1.43	0.00	37.94	-3.18	37.94	38.07	0.30	-0.03	72.85	5.55
190	1.51	0.00	36.98	-3.98	36.98	37.20	0.30	-0.03	75.84	5.26
200	1.59	0.00	36.08	-4.77	36.08	36.39	0.29	-0.04	78.76	4.91
210	1.67	0.00	35.21	-5.57	35.21	35.65	0.28	-0.04	81.61	4.49
220	1.75	0.00	34.38	-6.38	34.38	34.97	0.28	-0.05	84.39	4.01
230	1.83	0.00	33.60	-7.20	33.60	34.36	0.27	-0.06	87.10	3.46
240	1.91	0.00	32.84	-8.02	32.84	33.81	0.26	-0.06	89.76	2.85
250	1.99	0.00	32.13	-8.85	32.13	33.32	0.26	-0.07	92.35	2.17
260	2.07	0.00	31.44	-9.69	31.44	32.90	0.25	-0.08	94.89	1.43
270	2.15	0.00	30.78	-10.55	30.78	32.54	0.25	-0.08	97.38	0.62
280	2.23	0.00	30.15	-11.41	30.15	32.23	0.24	-0.09	99.81	-0.27
290	2.31	0.00	29.54	-12.29	29.54	31.99	0.24	-0.10	102.20	-1.22
300	2.39	0.00	28.96	-13.19	28.96	31.82	0.23	-0.11	104.54	-2.24

的に到達した位置の詳細算定

的の位置 > 100m (m)

$$\Delta t = 0.001 \text{ (s)}$$

NO.	t (s)	Vw (m/s)	Vx (m/s)	Vy (m/s)	Vx' (m/s)	V (m/s)	dx (m)	dy (m)	x (m)	y (m)
280	2.23	0.00	30.15	-11.41	30.15	32.23	0.24	-0.09	99.81	-0.266
(1)	2.23	0.00	30.14	-11.49	30.14	32.25	0.03	-0.01	99.84	-0.278
(2)	2.23	0.00	30.13	-11.57	30.13	32.28	0.03	-0.01	99.87	-0.289
(3)	2.24	0.00	30.12	-11.65	30.12	32.30	0.03	-0.01	99.90	-0.301
(4)	2.24	0.00	30.11	-11.73	30.11	32.32	0.03	-0.01	99.93	-0.313
(5)	2.24	0.00	30.11	-11.81	30.11	32.34	0.03	-0.01	99.96	-0.324
(6)	2.24	0.00	30.10	-11.89	30.10	32.36	0.03	-0.01	99.99	-0.336
(7)	2.24	0.00	30.09	-11.97	30.09	32.38	0.03	-0.01	100.02	-0.348
(8)	2.24	0.00	30.08	-12.05	30.08	32.41	0.03	-0.01	100.05	-0.360
(9)	2.24	0.00	30.08	-12.13	30.08	32.43	0.03	-0.01	100.08	-0.372

表 5. 4. 2(19) 矢の軌道の計算結果

的の距離	110m	仰角	10. 25°	到達位置のずれ（上下）	-406mm	最長到達時
------	------	----	---------	-------------	--------	-------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の2乗に比例するものとする。

$$F=KV^2$$

速度

$$\text{移動速度} : V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$$

$$\text{水平} : V_{x_n} = V_{x_{n-1}} - kV_{x_{n-1}}^2 dt$$

$$\text{垂直} : V_{y_n} = V_{y_{n-1}} - gdt - kV_{y_{n-1}}^2 dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 71.6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 0.0\%$$

$$v_0' : \text{初速度} = 71.6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V + V_w$$

$$V_w : \text{風速} = 0.0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 10.25 \text{ (°)}$$

$$0.179 \text{ (radian)}$$

向かい風（-）～追い風（+）

水平（0°）～垂直（90°）

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k : \text{空気抵抗係数} = 0.008$$

矢の軌道計算（逐次計算）

$$\Delta t = 0.01 \text{ (s)}$$

NO.	t (s)	Vw (m/s)	Vx (m/s)	Vy (m/s)	Vx' (m/s)	V (m/s)	dx (m)	dy (m)	x (m)	y (m)
1	0.00	0.00	70.46	12.74	70.46	71.60	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.09	0.00	67.04	11.75	67.04	68.06	0.67	0.12	6.17	1.10
20	0.19	0.00	63.61	10.67	63.61	64.50	0.64	0.11	12.68	2.21
30	0.29	0.00	60.51	9.61	60.51	61.27	0.61	0.10	18.87	3.22
40	0.39	0.00	57.71	8.56	57.71	58.34	0.58	0.09	24.76	4.12
50	0.49	0.00	55.15	7.53	55.15	55.66	0.55	0.08	30.39	4.92
60	0.59	0.00	52.81	6.51	52.81	53.21	0.53	0.07	35.78	5.62
70	0.69	0.00	50.66	5.50	50.66	50.96	0.51	0.05	40.94	6.21
80	0.79	0.00	48.68	4.50	48.68	48.89	0.49	0.04	45.89	6.71
90	0.89	0.00	46.85	3.50	46.85	46.98	0.47	0.04	50.66	7.10
100	0.99	0.00	45.15	2.52	45.15	45.22	0.45	0.03	55.25	7.40
110	1.09	0.00	43.57	1.53	43.57	43.60	0.44	0.02	59.68	7.60
120	1.19	0.00	42.10	0.55	42.10	42.10	0.42	0.01	63.95	7.70
130	1.29	0.00	40.72	-0.43	40.72	40.72	0.41	0.00	68.08	7.70
140	1.39	0.00	39.43	-1.41	39.43	39.46	0.39	-0.01	72.08	7.60
150	1.49	0.00	38.22	-2.39	38.22	38.30	0.38	-0.02	75.96	7.41
160	1.59	0.00	37.09	-3.38	37.09	37.24	0.37	-0.03	79.72	7.11
170	1.69	0.00	36.01	-4.37	36.01	36.28	0.36	-0.04	83.37	6.72
180	1.79	0.00	35.00	-5.37	35.00	35.41	0.35	-0.05	86.91	6.23
190	1.89	0.00	34.05	-6.38	34.05	34.64	0.34	-0.06	90.36	5.63
200	1.99	0.00	33.14	-7.39	33.14	33.96	0.33	-0.07	93.72	4.94
210	2.09	0.00	32.28	-8.42	32.28	33.36	0.32	-0.08	96.98	4.15
220	2.19	0.00	31.47	-9.47	31.47	32.86	0.31	-0.09	100.17	3.25
230	2.29	0.00	30.69	-10.53	30.69	32.45	0.31	-0.11	103.27	2.24
240	2.39	0.00	29.96	-11.60	29.96	32.13	0.30	-0.12	106.30	1.13
250	2.49	0.00	29.25	-12.70	29.25	31.89	0.29	-0.13	109.26	-0.09
260	2.59	0.00	28.58	-13.82	28.58	31.75	0.29	-0.14	112.14	-1.42
270	2.69	0.00	27.94	-14.96	27.94	31.70	0.28	-0.15	114.97	-2.87
280	2.79	0.00	27.33	-16.14	27.33	31.74	0.27	-0.16	117.73	-4.43
290	2.89	0.00	26.74	-17.34	26.74	31.87	0.27	-0.17	120.43	-6.11
300	2.99	0.00	26.18	-18.58	26.18	32.10	0.26	-0.19	123.07	-7.91

的に到達した位置の詳細算定

的的位置 > 110m (m)

$$\Delta t = 0.001 \text{ (s)}$$

NO.	t (s)	Vw (m/s)	Vx (m/s)	Vy (m/s)	Vx' (m/s)	V (m/s)	dx (m)	dy (m)	x (m)	y (m)
252	2.51	0.00	29.12	-12.92	29.12	31.86	0.29	-0.13	109.84	-0.349
(1)	2.51	0.00	29.11	-13.02	29.11	31.89	0.03	-0.01	109.87	-0.362
(2)	2.51	0.00	29.10	-13.12	29.10	31.92	0.03	-0.01	109.90	-0.375
(3)	2.51	0.00	29.10	-13.22	29.10	31.96	0.03	-0.01	109.93	-0.388
(4)	2.51	0.00	29.09	-13.32	29.09	31.99	0.03	-0.01	109.95	-0.401
(5)	2.51	0.00	29.08	-13.42	29.08	32.03	0.03	-0.01	109.98	-0.415
(6)	2.52	0.00	29.08	-13.52	29.08	32.07	0.03	-0.01	110.01	-0.428
(7)	2.52	0.00	29.07	-13.62	29.07	32.10	0.03	-0.01	110.04	-0.442
(8)	2.52	0.00	29.06	-13.72	29.06	32.14	0.03	-0.01	110.07	-0.456
(9)	2.52	0.00	29.06	-13.82	29.06	32.17	0.03	-0.01	110.10	-0.469

表 5. 4. 2(20) 矢の軌道の計算結果

的の距離	110m	仰角	10. 25°	到達位置のずれ（上下）	-639mm	3回平均
------	------	----	---------	-------------	--------	------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の2乗に比例するものとする。

$$F=KV^2$$

速度

$$\text{移動速度: } V=\sqrt{V_x^2+V_y^2}$$

$$\text{水平: } V_{x_n}=V_{x_{n-1}}-kV_{x_{n-1}}^2dt$$

$$\text{垂直: } V_{y_n}=V_{y_{n-1}}-gdt-kV_{y_{n-1}}^2dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 71.6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 0.0\%$$

$$V_0 : \text{初速度} = 71.6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V+V_w$$

$$V_w : \text{風速} = 0.0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 10.25^\circ \quad \text{向かい風（-）～追い風（+）}$$

$$0.179 \text{ (radian)} \quad \text{水平（0°）～垂直（90°）}$$

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k : \text{空気抵抗係数} = 0.0081$$

矢の軌道計算（逐次計算）

$$\Delta t = 0.01 \text{ (s)}$$

NO.	t (s)	Vw (m/s)	Vx (m/s)	Vy (m/s)	Vx' (m/s)	V (m/s)	dx (m)	dy (m)	x (m)	y (m)
1	0.00	0.00	70.46	12.74	70.46	71.60	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.09	0.00	67.00	11.75	67.00	68.02	0.67	0.12	6.17	1.10
20	0.19	0.00	63.53	10.67	63.53	64.42	0.64	0.11	12.67	2.21
30	0.29	0.00	60.41	9.60	60.41	61.16	0.60	0.10	18.85	3.22
40	0.39	0.00	57.58	8.55	57.58	58.21	0.58	0.09	24.73	4.12
50	0.49	0.00	55.00	7.52	55.00	55.51	0.55	0.08	30.35	4.92
60	0.59	0.00	52.64	6.50	52.64	53.04	0.53	0.07	35.72	5.62
70	0.69	0.00	50.48	5.49	50.48	50.78	0.50	0.05	40.86	6.21
80	0.79	0.00	48.49	4.49	48.49	48.70	0.48	0.04	45.80	6.71
90	0.89	0.00	46.65	3.50	46.65	46.78	0.47	0.03	50.54	7.10
100	0.99	0.00	44.95	2.51	44.95	45.02	0.45	0.03	55.11	7.39
110	1.09	0.00	43.36	1.53	43.36	43.39	0.43	0.02	59.52	7.59
120	1.19	0.00	41.89	0.54	41.89	41.89	0.42	0.01	63.77	7.69
130	1.29	0.00	40.51	-0.44	40.51	40.51	0.41	0.00	67.89	7.69
140	1.39	0.00	39.22	-1.42	39.22	39.24	0.39	-0.01	71.87	7.59
150	1.49	0.00	38.01	-2.40	38.01	38.08	0.38	-0.02	75.72	7.40
160	1.59	0.00	36.87	-3.39	36.87	37.02	0.37	-0.03	79.46	7.10
170	1.69	0.00	35.79	-4.38	35.79	36.06	0.36	-0.04	83.08	6.71
180	1.79	0.00	34.78	-5.38	34.78	35.20	0.35	-0.05	86.61	6.22
190	1.89	0.00	33.83	-6.38	33.83	34.42	0.34	-0.06	90.03	5.62
200	1.99	0.00	32.92	-7.40	32.92	33.74	0.33	-0.07	93.37	4.93
210	2.09	0.00	32.07	-8.43	32.07	33.16	0.32	-0.08	96.61	4.13
220	2.19	0.00	31.25	-9.48	31.25	32.66	0.31	-0.09	99.77	3.23
230	2.29	0.00	30.48	-10.54	30.48	32.25	0.30	-0.11	102.85	2.23
240	2.39	0.00	29.74	-11.62	29.74	31.93	0.30	-0.12	105.86	1.11
250	2.49	0.00	29.04	-12.71	29.04	31.70	0.29	-0.13	108.80	-0.11
260	2.59	0.00	28.37	-13.84	28.37	31.57	0.28	-0.14	111.66	-1.44
270	2.69	0.00	27.73	-14.98	27.73	31.52	0.28	-0.15	114.47	-2.89
280	2.79	0.00	27.12	-16.16	27.12	31.57	0.27	-0.16	117.21	-4.45
290	2.89	0.00	26.54	-17.36	26.54	31.71	0.27	-0.17	119.89	-6.13
300	2.99	0.00	25.98	-18.60	25.98	31.95	0.26	-0.19	122.51	-7.94

的に到達した位置の詳細算定

的的位置 > 110m (m)

$$\Delta t = 0.001 \text{ (s)}$$

NO.	t (s)	Vw (m/s)	Vx (m/s)	Vy (m/s)	Vx' (m/s)	V (m/s)	dx (m)	dy (m)	x (m)	y (m)
254	2.53	0.00	28.77	-13.16	28.77	31.64	0.29	-0.13	109.95	-0.627
(1)	2.53	0.00	28.76	-13.26	28.76	31.67	0.03	-0.01	109.98	-0.640
(2)	2.53	0.00	28.76	-13.36	28.76	31.71	0.03	-0.01	110.01	-0.653
(3)	2.53	0.00	28.75	-13.46	28.75	31.74	0.03	-0.01	110.04	-0.667
(4)	2.53	0.00	28.74	-13.56	28.74	31.78	0.03	-0.01	110.07	-0.680
(5)	2.53	0.00	28.74	-13.66	28.74	31.82	0.03	-0.01	110.10	-0.694
(6)	2.54	0.00	28.73	-13.76	28.73	31.85	0.03	-0.01	110.12	-0.708
(7)	2.54	0.00	28.72	-13.86	28.72	31.89	0.03	-0.01	110.15	-0.722
(8)	2.54	0.00	28.72	-13.96	28.72	31.93	0.03	-0.01	110.18	-0.736
(9)	2.54	0.00	28.71	-14.06	28.71	31.97	0.03	-0.01	110.21	-0.750

表 5. 4. 2(21) 矢の軌道の計算結果

的の距離	120m	仰角	11. 71°	到達位置のずれ（上下）	+25mm	最長到達時
------	------	----	---------	-------------	-------	-------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の2乗に比例するものとする。

$$F=KV^2$$

速度

$$\text{移動速度: } V=\sqrt{V_xn^2+V_{yn}^2}$$

$$\text{水平: } V_{xn}=V_{xn-1}-kV_{x'}^2dt$$

$$\text{垂直: } V_{yn}=V_{yn-1}-gdt-kV_{y'}^2dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 71.6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 0.0\%$$

$$V_0' : \text{初速度} = 71.6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V+V_w$$

$$V_w : \text{風速} = 0.0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 11.71 \text{ (}^\circ\text{)}$$

$$0.204 \text{ (radian)}$$

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k : \text{空気抵抗係数} = 0.0076$$

矢の軌道計算（逐次計算）

$$\Delta t = 0.01 \text{ (s)}$$

NO.	t (s)	V _w (m/s)	V _x (m/s)	V _y (m/s)	V _{x'} (m/s)	V (m/s)	dx (m)	dy (m)	x (m)	y (m)
1	0.00	0.00	70.11	14.53	70.11	71.60	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.09	0.00	66.89	13.51	66.89	68.24	0.67	0.14	6.15	1.26
20	0.19	0.00	63.63	12.41	63.63	64.83	0.64	0.12	12.65	2.55
30	0.29	0.00	60.69	11.32	60.69	61.73	0.61	0.11	18.85	3.73
40	0.39	0.00	58.00	10.25	58.00	58.90	0.58	0.10	24.77	4.80
50	0.49	0.00	55.54	9.20	55.54	56.30	0.56	0.09	30.43	5.77
60	0.59	0.00	53.28	8.16	53.28	53.90	0.53	0.08	35.86	6.63
70	0.69	0.00	51.20	7.13	51.20	51.69	0.51	0.07	41.07	7.39
80	0.79	0.00	49.28	6.12	49.28	49.65	0.49	0.06	46.09	8.05
90	0.89	0.00	47.49	5.11	47.49	47.76	0.47	0.05	50.92	8.60
100	0.99	0.00	45.83	4.12	45.83	46.01	0.46	0.04	55.57	9.06
110	1.09	0.00	44.28	3.13	44.28	44.39	0.44	0.03	60.07	9.42
120	1.19	0.00	42.84	2.14	42.84	42.89	0.43	0.02	64.42	9.68
130	1.29	0.00	41.48	1.16	41.48	41.50	0.41	0.01	68.63	9.84
140	1.39	0.00	40.21	0.18	40.21	40.21	0.40	0.00	72.70	9.90
150	1.49	0.00	39.01	-0.80	39.01	39.02	0.39	-0.01	76.66	9.86
160	1.59	0.00	37.89	-1.78	37.89	37.93	0.38	-0.02	80.50	9.73
170	1.69	0.00	36.82	-2.77	36.82	36.93	0.37	-0.03	84.23	9.49
180	1.79	0.00	35.82	-3.75	35.82	36.01	0.36	-0.04	87.85	9.16
190	1.89	0.00	34.87	-4.75	34.87	35.19	0.35	-0.05	91.38	8.73
200	1.99	0.00	33.96	-5.75	33.96	34.45	0.34	-0.06	94.82	8.20
210	2.09	0.00	33.11	-6.76	33.11	33.79	0.33	-0.07	98.17	7.57
220	2.19	0.00	32.29	-7.78	32.29	33.22	0.32	-0.08	101.43	6.84
230	2.29	0.00	31.52	-8.81	31.52	32.73	0.32	-0.09	104.62	6.01
240	2.39	0.00	30.78	-9.85	30.78	32.32	0.31	-0.10	107.73	5.07
250	2.49	0.00	30.07	-10.92	30.07	31.99	0.30	-0.11	110.77	4.03
260	2.59	0.00	29.40	-11.99	29.40	31.75	0.29	-0.12	113.74	2.88
270	2.69	0.00	28.76	-13.09	28.76	31.60	0.29	-0.13	116.64	1.62
280	2.79	0.00	28.14	-14.21	28.14	31.53	0.28	-0.14	119.49	0.24
290	2.89	0.00	27.55	-15.36	27.55	31.54	0.28	-0.15	122.27	-1.24
300	2.99	0.00	26.98	-16.53	26.98	31.64	0.27	-0.17	124.99	-2.84

的に到達した位置の詳細算定

的の位置 > 120m (m)

$$\Delta t = 0.001 \text{ (s)}$$

NO.	t (s)	V _w (m/s)	V _x (m/s)	V _y (m/s)	V _{x'} (m/s)	V (m/s)	dx (m)	dy (m)	x (m)	y (m)
281	2.80	0.00	28.08	-14.33	28.08	31.52	0.28	-0.14	119.77	0.101
(1)	2.80	0.00	28.07	-14.43	28.07	31.56	0.03	-0.01	119.79	0.087
(2)	2.80	0.00	28.07	-14.53	28.07	31.60	0.03	-0.01	119.82	0.072
(3)	2.80	0.00	28.06	-14.63	28.06	31.64	0.03	-0.01	119.85	0.058
(4)	2.80	0.00	28.06	-14.73	28.06	31.69	0.03	-0.01	119.88	0.043
(5)	2.80	0.00	28.05	-14.82	28.05	31.73	0.03	-0.01	119.91	0.028
(6)	2.81	0.00	28.04	-14.92	28.04	31.77	0.03	-0.01	119.93	0.013
(7)	2.81	0.00	28.04	-15.02	28.04	31.81	0.03	-0.02	119.96	-0.002
(8)	2.81	0.00	28.03	-15.12	28.03	31.85	0.03	-0.02	119.99	-0.017
(9)	2.81	0.00	28.03	-15.22	28.03	31.89	0.03	-0.02	120.02	-0.032

表 5. 4. 2(22) 矢の軌道の計算結果

的の距離	120m	仰角	11. 71°	到達位置のずれ（上下）	-27mm	5回平均
------	------	----	---------	-------------	-------	------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の2乗に比例するものとする。

$$F=KV^2$$

速度

$$\text{移動速度: } V=\sqrt{V_x^2+V_y^2}$$

$$\text{水平: } V_{x_n}=V_{x_{n-1}}-kV_{x_{n-1}}^2dt$$

$$\text{垂直: } V_{y_n}=V_{y_{n-1}}-gdt-kV_{y_{n-1}}^2dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 71.6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 0.0\%$$

$$V_0 : \text{初速度} = 71.6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V+V_w$$

$$V_w : \text{風速} = 0.0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 11.71 \text{ (}^\circ\text{)}$$

$$0.204 \text{ (radian)}$$

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k : \text{空気抵抗係数} = 0.0076$$

矢の軌道計算（逐次計算）

$$\Delta t = 0.01 \text{ (s)}$$

NO.	t (s)	Vw (m/s)	Vx (m/s)	Vy (m/s)	Vx' (m/s)	V (m/s)	dx (m)	dy (m)	x (m)	y (m)
1	0.00	0.00	70.11	14.53	70.11	71.60	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.09	0.00	66.89	13.51	66.89	68.24	0.67	0.14	6.15	1.26
20	0.19	0.00	63.63	12.41	63.63	64.83	0.64	0.12	12.65	2.55
30	0.29	0.00	60.69	11.32	60.69	61.73	0.61	0.11	18.85	3.73
40	0.39	0.00	58.00	10.25	58.00	58.90	0.58	0.10	24.77	4.80
50	0.49	0.00	55.54	9.20	55.54	56.30	0.56	0.09	30.43	5.77
60	0.59	0.00	53.28	8.16	53.28	53.90	0.53	0.08	35.86	6.63
70	0.69	0.00	51.20	7.13	51.20	51.69	0.51	0.07	41.07	7.39
80	0.79	0.00	49.28	6.12	49.28	49.65	0.49	0.06	46.09	8.05
90	0.89	0.00	47.49	5.11	47.49	47.76	0.47	0.05	50.92	8.60
100	0.99	0.00	45.83	4.12	45.83	46.01	0.46	0.04	55.57	9.06
110	1.09	0.00	44.28	3.13	44.28	44.39	0.44	0.03	60.07	9.42
120	1.19	0.00	42.84	2.14	42.84	42.89	0.43	0.02	64.42	9.68
130	1.29	0.00	41.48	1.16	41.48	41.50	0.41	0.01	68.63	9.84
140	1.39	0.00	40.21	0.18	40.21	40.21	0.40	0.00	72.70	9.90
150	1.49	0.00	39.01	-0.80	39.01	39.02	0.39	-0.01	76.66	9.86
160	1.59	0.00	37.89	-1.78	37.89	37.93	0.38	-0.02	80.50	9.73
170	1.69	0.00	36.82	-2.77	36.82	36.93	0.37	-0.03	84.23	9.49
180	1.79	0.00	35.82	-3.75	35.82	36.01	0.36	-0.04	87.85	9.16
190	1.89	0.00	34.87	-4.75	34.87	35.19	0.35	-0.05	91.38	8.73
200	1.99	0.00	33.96	-5.75	33.96	34.45	0.34	-0.06	94.82	8.20
210	2.09	0.00	33.11	-6.76	33.11	33.79	0.33	-0.07	98.17	7.57
220	2.19	0.00	32.29	-7.78	32.29	33.22	0.32	-0.08	101.43	6.84
230	2.29	0.00	31.52	-8.81	31.52	32.73	0.32	-0.09	104.62	6.01
240	2.39	0.00	30.78	-9.85	30.78	32.32	0.31	-0.10	107.73	5.07
250	2.49	0.00	30.07	-10.92	30.07	31.99	0.30	-0.11	110.77	4.03
260	2.59	0.00	29.40	-11.99	29.40	31.75	0.29	-0.12	113.74	2.88
270	2.69	0.00	28.76	-13.09	28.76	31.60	0.29	-0.13	116.64	1.62
280	2.79	0.00	28.14	-14.21	28.14	31.53	0.28	-0.14	119.49	0.24
290	2.89	0.00	27.55	-15.36	27.55	31.54	0.28	-0.15	122.27	-1.24
300	2.99	0.00	26.98	-16.53	26.98	31.64	0.27	-0.17	124.99	-2.84

的に到達した位置の詳細算定

的の位置 > 120m (m)

$$\Delta t = 0.001 \text{ (s)}$$

NO.	t (s)	Vw (m/s)	Vx (m/s)	Vy (m/s)	Vx' (m/s)	V (m/s)	dx (m)	dy (m)	x (m)	y (m)
281	2.80	0.00	28.08	-14.33	28.08	31.52	0.28	-0.14	119.77	0.101
(1)	2.80	0.00	28.07	-14.43	28.07	31.56	0.03	-0.01	119.79	0.087
(2)	2.80	0.00	28.07	-14.53	28.07	31.60	0.03	-0.01	119.82	0.072
(3)	2.80	0.00	28.06	-14.63	28.06	31.64	0.03	-0.01	119.85	0.058
(4)	2.80	0.00	28.06	-14.73	28.06	31.69	0.03	-0.01	119.88	0.043
(5)	2.80	0.00	28.05	-14.82	28.05	31.73	0.03	-0.01	119.91	0.028
(6)	2.81	0.00	28.04	-14.92	28.04	31.77	0.03	-0.01	119.93	0.013
(7)	2.81	0.00	28.04	-15.02	28.04	31.81	0.03	-0.02	119.96	-0.002
(8)	2.81	0.00	28.03	-15.12	28.03	31.85	0.03	-0.02	119.99	-0.017
(9)	2.81	0.00	28.03	-15.22	28.03	31.89	0.03	-0.02	120.02	-0.032

5. 4. 1. 3. 空気抵抗係数の検討

仰角（的位置の違いによる）毎に、空気抵抗係数を算定した。

矢の的への命中位置は、発射回ごとにばらつきがある。これは、同じ仰角を設定してもクロスボウの固定が甘かったり、水平に保たれていなかったりすることが原因と考えられる。そのため、最も遠くに飛んだものが正しく矢を射出したものと考えることができることから、最長到達時（最も上方にずれた位置にあたった場合）における到達位置により、空気抵抗係数を求めた。また、各仰角とも複数回の実験を行っており、それらの平均到達地点での空気抵抗係数も求めた。

結果を表 5. 4. 3 に示す。

表 5. 4. 3 算出された空気抵抗係数

的位 置 (m)	抵抗がない 場合の仰角 (°)	実験時の 仰角 (°)	最長到達時		平均		空気抵抗係数k	
			風速 (m/s)	上下ずれ (mm)	風速 (m/s)	上下ずれ (mm)	最長到達時	平均
30	1. 645	1. 65	-1. 0	-190	-2. 0	-307	0. 0100	0. 0138
40	2. 194	3. 29	-3. 0	-134	-1. 8	-176	0. 0180	0. 0192
50	2. 744	4. 16	0. 0	80	-0. 7	-72	0. 0143	0. 0150
60	3. 295	4. 84	0. 0	-270	-1. 0	-378	0. 0124	0. 0123
60	3. 295	4. 98	0. 0	60	-1. 8	-107	0. 0119	0. 0118
70	3. 847	5. 70	0. 0	-225	0. 0	-570	0. 0104	0. 0111
80	4. 4	6. 59	0. 0	-253	-0. 5	-444	0. 0092	0. 0093
90	4. 95	7. 51	0. 0	-580	-1. 0	-748	0. 0085	0. 0084
100	5. 5	9. 04	0. 0	-255	0. 0	-446	0. 0084	0. 0085
110	6. 05	10. 25	0. 0	-406	0. 0	-639	0. 0080	0. 0081
120	6. 6	11. 71	0. 0	25	0. 0	-27	0. 0076	0. 0076
平均							0. 0108	0. 0114

空気抵抗係数 k 値は、今回の実験においては 0. 0076～0. 0192 の範囲となり、平均は 0. 01 程度である。射出位置と同じ高さに到達させたい場合は、120m以内においては、概ねこの程度の値を用いることにより、射出仰角を予め求めることができる。

ところで空気抵抗 k 値は図 5.4.2 に示されるように、的位置 30m の実験を除くと、飛距離が短いと数値が大きく、長くなると数値が小さくなる傾向がみられる。理論的には、空気抵抗は距離等に依存しない係数であるため、ここで設定している軌道計算式には含まれない別の要因があることが推察される。短距離（もしくは飛行前半）で抵抗が大きく、長距離（もしくは飛行後半）で抵抗が小さいということは、可能性としては次の理由などが考えられる。

- ・ 射出後に後方羽根により軸回転を始め、矢の直進性の安定度が増す一方で、速度エネルギーを消失している。
- ・ 射出時には矢が不安定であり抵抗を受けやすく、後半は飛行姿勢が安定するために抵抗が小さいことが考えられる。
- ・ 細長い矢の形状からすると、特に飛行後半には落下方向の抵抗が大きくなることが考えられ、水平成分と垂直成分の空気抵抗係数が異なる可能性がある。
- ・ 飛行後半は、矢の回転による直進性を有することから、矢が軌道方向より上向きになり、飛行姿勢から揚力が発生している可能性がある。

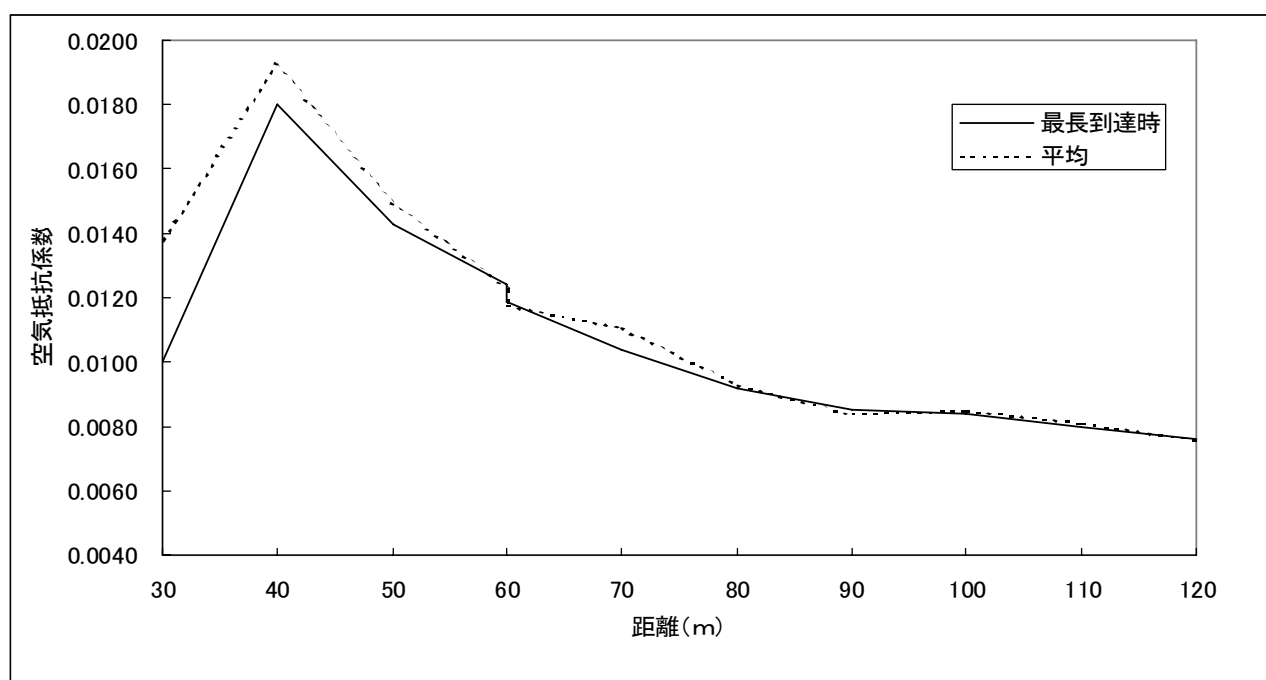


図 5.4.2 空気抵抗係数と距離の関係

5. 4. 1. 4. まとめ

本節の研究では、クロスボウによるターゲット射出における矢の軌道を推定することができた。射程距離 30～120m においては、空気抵抗係数 0.01 程度としてクロスボウの仰角を概ね設定できることがわかった。

ただし、空気抵抗に関して理論的な計算式に対して十分に説明できる結果になったわけではない。空気抵抗係数は射程距離が伸びるほど小さくなる傾向が認められ、これは今回想定している計算式とは別の要因があると想定され、例えば次のようなものである。

- ・ 射出後に後方羽根により軸回転を始め、矢の直進性の安定度が増す一方で、速度エネルギーを消失している。
- ・ 射出時には矢が不安定であり抵抗を受けやすく、後半は飛行姿勢が安定するために抵抗が小さいことが考えられる。
- ・ 細長い矢の形状からすると、特に飛行後半には落下方向の抵抗が大きくなることが考えられ、水平成分と垂直成分の空気抵抗係数が異なる可能性がある。
- ・ 飛行後半は、矢の回転による直進性を有することから、矢が軌道方向より上向きになり、飛行姿勢から揚力が発生している可能性がある。

これらの要因を特定し、空気抵抗等による速度減衰式を確立することは重要である。地すべり地末端斜面の任意の地点に的確にターゲットを設置するには、射出箇所に対して設置箇所が高所（低所）にある場合などが想定されるために、矢の到達距離だけでなく、飛行中の軌道を明確に算出する手法を持たなければならないからである。

そのため、高い壁面等に向かい距離を変えて射出し到達位置を確認するなどを実験し、異なる仰角における矢の飛行中の軌道を把握し、軌道計算式を確立することが望まれる。

5. 4. 2. 制御機能の検討Ⅱ（バーネット社製レボリューション）

前項では、バーネット社製パンサーⅡマグナムを使用した実験に基づき、矢の軌道を推定したが、当研究では上記クロスボウよりさらに飛距離を有するバーネット社製レボリューションを用いたターゲット設置機器開発を進めた。そこで本項では、同器により射出されるターゲット（インクカプセル付き矢）の制御機能を検討する。

地すべり地末端の崩壊斜面における任意の地点へ計測用ターゲットをクロスボウにより射出する場合、ターゲットの到達位置（矢の飛行軌道）を決定する条件としては、矢の初速、矢の形状・重量等の特性、気象条件、射出方向等の他に、射出角度がある。このうち矢の飛行軌道を決定づける最重要条件が射出角度であり、本節では射出角度を変数とした矢の軌道計算式（距離－高さ）を求めることとした。

矢は、空気抵抗を受けて真空中における放物線とは異なる軌跡を描くが、単純な空気抵抗による速度低下だけでは説明がつかないことが前節の検討で明らかとなっている。すなわち、矢の運動において次のような作用が働いているものと推察される。

- ・ 矢は射出時には軸回転はしていないが、矢の後部羽根により射出後に軸回転を始める。射出後には速度エネルギーが回転運動に移行することで、速度低下率が大きいと推察される。
- ・ 射出時には矢は無回転で不安定なため空気抵抗を受けやすく、一定の回転を保つようになると飛行姿勢が安定するために空気抵抗が小さくなることも速度に影響を与えると考えられる。
- ・ 細長い矢の形状からすると、特に下降する飛行後半には水平方向の空気抵抗に対して垂直方向のそれが大きくなることが考えられる。
- ・ 飛行中は、矢の回転により直進性を有することから、矢が軌道方向より上向きになり、飛行姿勢（グライディング）から揚力が発生する可能性がある。

これらの現象を理論的に数式で表すことは難度が高く、そのために必要な情報がほとんど得られないのが実状である。本研究では、矢の到達点を直接計測する実験により軌道上の通過点（軌跡）を多数把握し、そこから軌道を示す式を帰納的に求める方法をとった。

5. 4. 2. 1. 実験データ

計測用ターゲットの発射実験は、実運用機器と同一条件とするため、本研究で作成した発射架台にクロスボウを設置し、ターゲットインク入りカプセルを頭部に装着した矢を射出することで実施した。

実験は主に摺上川ダム（福島県）の下流法面に向けて行い、 5° ごとの発射角で多段階の距離に架台を設置して、一定の発射角で複数の到達点（軌跡）を得た。また、総社市採石場において計測用ターゲットを設置した際のデータも利用した。

表 5. 4. 4 に解析用データとして用いた発射角と到達位置の関係を持つデータを示す。

図 5. 3. 3 は、発射点から到達点までの距離（水平・垂直）の関係を正規化して示したものであり、矢の軌跡が放物線状を描いている状況が伺える。ただし、高角度（ 40° 、 45° ）の発射角のデータは乱れており、これは軌道が高いために上空の風の影響を強く受けているものと推察される。

表 5.4.4 実験における矢の到達位置と時間

番号	発射角 (°)	水平距離 (m)	垂直距離 (m)	到達時間 (s)	実験場所
060824-01	0.0	50.000	-1.100	-	土研構内
060824-02	0.0	50.000	-1.045	-	土研構内
060824-03	5.0	146.200	-1.300	-	土研構内
060912-01	5.0	57.706	3.598	0.66	摺上川ダム
060912-02	10.0	70.757	10.093	0.858	摺上川ダム
060912-03	15.0	89.066	19.249	1.188	摺上川ダム
060912-04	20.0	117.368	33.227	1.617	摺上川ダム
060912-05	25.0	154.504	51.956	2.316	摺上川ダム
060912-06	30.0	201.023	75.477	3.267	摺上川ダム
060912-07	5.0	104.309	2.748	1.353	摺上川ダム
060912-08	10.0	123.579	12.297	1.65	摺上川ダム
060912-09	15.0	147.662	24.201	2.013	摺上川ダム
060912-10	20.0	178.442	39.638	2.772	摺上川ダム
060912-11	25.0	211.699	56.382	3.366	摺上川ダム
060912-12	30.0	247.747	74.512	4.094 ※	摺上川ダム
060913-01	10.0	168.022	10.446	2.225 ※	摺上川ダム
060913-02	15.0	193.600	23.016	2.697 ※	摺上川ダム
060913-03	20.0	223.979	38.212	3.531	摺上川ダム
060913-04	25.0	254.736	53.758	3.993	摺上川ダム
060913-05	30.0	283.180	68.141	5.148	摺上川ダム
060913-06	35.0	308.462	80.836	5.841	摺上川ダム
060913-07	10.0	201.649	4.762	3.069	摺上川ダム
060913-08	15.0	227.136	17.356	3.366	摺上川ダム
060913-09	20.0	256.145	31.833	3.993	摺上川ダム
060913-10	25.0	283.431	45.498	4.818	摺上川ダム
060913-11	30.0	308.372	58.021	5.544	摺上川ダム
060913-12	35.0	329.029	68.556	-	摺上川ダム
060913-13	40.0	344.393	76.166	7.59	摺上川ダム
060913-14	45.0	353.161	80.567	8.679	摺上川ダム
060928-01	15.0	256.329	10.260	3.795	摺上川ダム
060928-02	20.0	284.326	24.352	4.554	摺上川ダム
060928-03	25.0	305.664	34.677	5.247	摺上川ダム
060928-04	30.0	337.269	50.447	6.369	摺上川ダム
060928-05	35.0	347.692	55.286	7.095	摺上川ダム
060928-06	40.0	351.636	57.434	8.085	摺上川ダム
060928-07	45.0	350.320	56.472	8.878 ※	摺上川ダム
060928-08	20.0	309.920	14.190	5.247	摺上川ダム
060928-09	25.0	329.701	24.107	5.874	摺上川ダム
060928-10	30.0	352.427	35.030	6.699	摺上川ダム
060928-11	35.0	364.495	40.891	7.623	摺上川ダム
060928-12	40.0	365.168	40.780	8.547	摺上川ダム
060928-13	45.0	367.693	41.879	9.537	摺上川ダム
060928-14	25.0	350.780	7.715	6.468	摺上川ダム
060928-15	30.0	372.553	18.638	7.26	摺上川ダム
060928-16	35.0	376.689	20.765	8.217	摺上川ダム
060928-17	40.0	380.619	22.221	9.108	摺上川ダム
060928-18	45.0	382.939	23.632	10.032	摺上川ダム
070415-03	30.4	172.504	72.361	-	総社市
070415-04	19.5	143.916	35.882	-	総社市
070415-05	19.5	142.542	34.684	-	総社市
070415-08	16.2	115.891	23.771	-	総社市
070415-09	16.8	115.165	24.970	-	総社市
070415-10	16.1	115.317	23.588	-	総社市
070415-06	21.1	138.400	37.983	-	総社市
070415-11	20.5	127.333	34.709	-	総社市
070415-12	25.2	156.438	52.320	-	総社市
070415-02	29.6	168.929	68.073	-	総社市
070415-01	30.2	167.759	69.639	-	総社市
070415-13	27.7	170.149	64.351	-	総社市
070415-07	22.5	154.410	44.604	-	総社市
070415-13	31.5	176.232	76.856	-	総社市

※着地音により計時したため誤差を含む

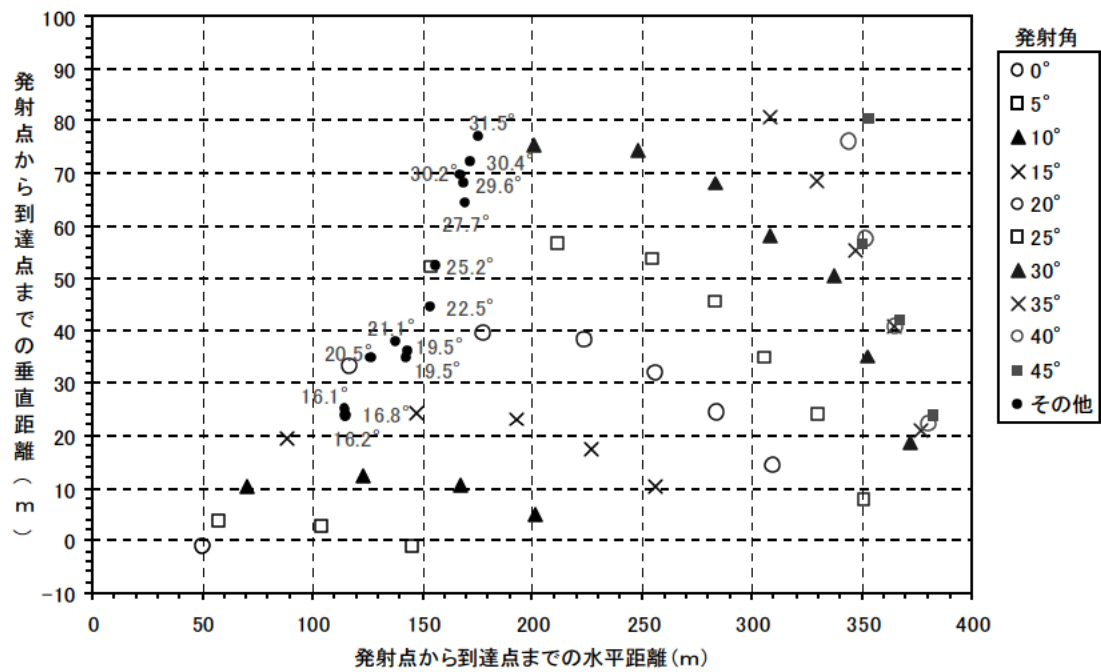


図 5.4.3 実験における発射角別の矢の到達位置

5. 4. 2. 2. 矢の軌道の計算方法

空気抵抗の大きさは速度に依存しており、一般には速度の2乗に比例するといわれている。しかし、前節に示したように、速度の2乗に比例すると仮定して求めた空気抵抗係数は一定値にならず、到達距離が長い（飛行時間が長い）ほど空気抵抗度合いが小さいという結果になっており、本節で採用しているクロスボウ機種においても同様の状況にあることはまちがいない。これは、矢の軸回転運動へのエネルギー変換や、飛行姿勢の変化に伴う空気抵抗値の変化、グライディング（滑空）姿勢による揚力の発生などの影響があることが推察される。これらの影響を含めて矢の軌道計算ができるように、空気抵抗に関する柔軟な変数設定が必要である。

本研究では、矢の運動式を以下に示すように、空気抵抗係数及び空気抵抗指数を水平・垂直成分ごとに設定し、実験データで得られている同一発射角の到達点（軌跡）を通過する軌道が描けるように変数値を割り出すことで、矢の軌道計算式を求めた。

【空気抵抗値】

空気抵抗は、速度の β 乗に比例するものとする。

$$F = KV^\beta$$

【速度式】

$$\text{速度の水平成分：} V_{x_n} = V_{x_{n-1}} - k_x \cdot V_{x_{n-1}}^{\beta_x} \cdot dt$$

$$\text{速度の垂直成分：} V_{y_n} = V_{y_{n-1}} - g \cdot dt - k_y \cdot V_{y_{n-1}}^{\beta_y} \cdot dt$$

ここに、 $V_{x_0} = V_0 \cdot \cos \alpha$: 初速の水平成分 (m/s)

$$V_{y_0} = V_0 \cdot \sin \alpha \quad \text{： 初速の垂直成分 (m/s)}$$

$V_{x'} = V + V_w$: 風を考慮した相対速度

V_w : 風速 (m/s)

α : 仰角 (°)

t : 時間 (s)

g : 重力加速度 (9.8m/s²)

k_x, k_y : 空気抵抗係数 (水平成分、垂直成分)

β_x, β_y : 空気抵抗指数 (水平成分、垂直成分)

また、空気抵抗係数及び空気抵抗指数は、射出直後と飛行後半では異なることが予想されることから、ここでは便宜上、矢の上昇時と下降時に分けて設定することとした。

軌道計算は、上式を微小な時間間隔で逐次計算することで実施した。

表 5.4.5 には、発射角 0～45° の範囲において、1° ごとに軌道計算を行った結果を示す。なお、逐次計算は時間間隔を 0.01～0.03 秒で行ったが、同表には結果の一部を表示する。

表 5.4.5(1) 矢の軌道の計算結果

発射角	0.0 (°)	計算方法	逐次計算法	計算時間間隔	0.01 (s)
-----	---------	------	-------	--------	----------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の β 乗に比例するものとする。

$F=KV^\beta$

速度

水平 (x 成分) : $V_{x_n}=V_{x_{n-1}} - k_x V_{x_{n-1}}^{\beta} \Delta t$
垂直 (y 成分) : $V_{y_n}=V_{y_{n-1}} - g \Delta t - k_y V_{y_{n-1}}^{\beta} \Delta t$

v0 : 基準初速度	=	103.6 (m/s)	標準矢	26.0g
初速度低減率	=	100.0%	対象矢	26.0g
v0' : 初速度	=	103.6 (m/s)		
V' : 風を考慮した相対速度	V + Vw			
Vw : 風速	=	0.0 (m/s)	向かい風 (－) ~ 追い風 (＋)	
α : 仰角	=	0.0 (°)	水平 (0°) ~ 垂直 (90°)	
		0.000 (radian)		
t : 時間				
g : 重力加速度	=	9.8 (m/s ²)		
		上昇時 下降時		
k _x : 水平抵抗係数	=	0.004 0.015		
k _y : 垂直抵抗係数	=	0.1 0.2		
β_x : 水平速度低下指数	=	2.00 1.00		
β_y : 垂直速度低下指数	=	1.35 1.00		
Δt 計算時間間隔	=	0.01 (s)		

計算結果一覧 (抜粋) 計算番号順に Δt 刻みで逐次計算を実施 一部省略して表示

計算番号 NO.	時間 t (s)	風速 Vw (m/s)	速度 (水平) Vx (m/s)	速度 (垂直) Vy (m/s)	速度 V (m/s)	移動差分 (水平) dx (m)	移動差分 (垂直) dy (m)	発射点からの 水平距離 x (m)	発射点からの 垂直距離 y (m)
1	0.00	0.00	103.60	0.00	103.60	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.09	0.00	103.05	-0.87	103.05	1.03	-0.01	9.28	-0.04
20	0.19	0.00	102.89	-1.83	102.91	1.03	-0.02	19.58	-0.18
30	0.29	0.00	102.74	-2.76	102.78	1.03	-0.03	29.86	-0.42
40	0.39	0.00	102.58	-3.68	102.65	1.03	-0.04	40.12	-0.75
50	0.49	0.00	102.43	-4.58	102.53	1.02	-0.05	50.37	-1.16
60	0.59	0.00	102.28	-5.46	102.42	1.02	-0.05	60.61	-1.67
70	0.69	0.00	102.12	-6.32	102.32	1.02	-0.06	70.83	-2.26
80	0.79	0.00	101.97	-7.17	102.22	1.02	-0.07	81.03	-2.94
90	0.89	0.00	101.82	-8.00	102.13	1.02	-0.08	91.22	-3.70
100	0.99	0.00	101.67	-8.81	102.05	1.02	-0.09	101.39	-4.55
110	1.09	0.00	101.51	-9.61	101.97	1.02	-0.10	111.55	-5.47
120	1.19	0.00	101.36	-10.39	101.89	1.01	-0.10	121.69	-6.48
130	1.29	0.00	101.21	-11.15	101.82	1.01	-0.11	131.82	-7.56
140	1.39	0.00	101.06	-11.90	101.76	1.01	-0.12	141.93	-8.72
150	1.49	0.00	100.91	-12.64	101.69	1.01	-0.13	152.03	-9.95
160	1.59	0.00	100.75	-13.36	101.64	1.01	-0.13	162.11	-11.25
170	1.69	0.00	100.60	-14.07	101.58	1.01	-0.14	172.18	-12.62
180	1.79	0.00	100.45	-14.76	101.53	1.00	-0.15	182.23	-14.07
190	1.89	0.00	100.30	-15.44	101.48	1.00	-0.15	192.27	-15.58
200	1.99	0.00	100.15	-16.10	101.44	1.00	-0.16	202.29	-17.16
210	2.09	0.00	100.00	-16.75	101.39	1.00	-0.17	212.30	-18.81
220	2.19	0.00	99.85	-17.39	101.35	1.00	-0.17	222.29	-20.52
230	2.29	0.00	99.70	-18.02	101.32	1.00	-0.18	232.27	-22.29
240	2.39	0.00	99.55	-18.63	101.28	1.00	-0.19	242.23	-24.13
250	2.49	0.00	99.40	-19.24	101.25	0.99	-0.19	252.18	-26.03
260	2.59	0.00	99.25	-19.83	101.21	0.99	-0.20	262.11	-27.98
270	2.69	0.00	99.11	-20.40	101.18	0.99	-0.20	272.02	-30.00
280	2.79	0.00	98.96	-20.97	101.15	0.99	-0.21	281.93	-32.07
290	2.89	0.00	98.81	-21.53	101.13	0.99	-0.22	291.81	-34.20
300	2.99	0.00	98.66	-22.07	101.10	0.99	-0.22	301.69	-36.38

表 5. 4. 5(2) 矢の軌道の計算結果

発射角	1. 0 (°)	計算方法	逐次計算法	計算時間間隔	0. 01 (s)
-----	-----------	------	-------	--------	-----------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の β 乗に比例するものとする。

$$F=KV^\beta$$

速度

$$\begin{aligned} \text{水平 (x 成分)} : V_{x_n} &= V_{x_{n-1}} - k_x V_{x_{n-1}}^{\beta_x} dt \\ \text{垂直 (y 成分)} : V_{y_n} &= V_{y_{n-1}} - g dt - k_y V_{y_{n-1}}^{\beta_y} dt \end{aligned}$$

v0 : 基準初速度	=	103. 6 (m/s)	標準矢	26. 0g
初速度低減率	=	100. 0%	対象矢	26. 0g
V0' : 初速度	=	103. 6 (m/s)		
V' : 風を考慮した相対速度	V + Vw			
Vw : 風速	=	0. 0 (m/s)	向かい風 (－) ～追い風 (＋)	
α : 仰角	=	1. 0 (°)	水平 (0°) ～垂直 (90°)	
		0. 017 (radian)		
t : 時間				
g : 重力加速度	=	9. 8 (m/s ²)		
		上昇時 下降時		
k _x : 水平抵抗係数	=	0. 004 0. 015		
k _y : 垂直抵抗係数	=	0. 1 0. 2		
β_x : 水平速度低下指数	=	2. 00 1. 00		
β_y : 垂直速度低下指数	=	1. 35 1. 00		
Δt 計算時間間隔	=	0. 01 (s)		

計算結果一覧 (抜粋) 計算番号順に Δt 刻みで逐次計算を実施 一部省略して表示

計算番号 NO.	時間 t (s)	風速 Vw (m/s)	速度 (水平) Vx (m/s)	速度 (垂直) Vy (m/s)	速度 V (m/s)	移動差分 (水平) dx (m)	移動差分 (垂直) dy (m)	発射点からの 水平距離 x (m)	発射点からの 垂直距離 y (m)
1	0. 00	0. 00	103. 58	1. 81	103. 60	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00
10	0. 09	0. 00	99. 85	0. 91	99. 85	1. 00	0. 01	9. 13	0. 12
20	0. 19	0. 00	96. 00	-0. 07	96. 00	0. 96	0. 00	18. 90	0. 15
30	0. 29	0. 00	95. 85	-1. 04	95. 86	0. 96	-0. 01	28. 50	0. 09
40	0. 39	0. 00	95. 71	-1. 99	95. 73	0. 96	-0. 02	38. 07	-0. 06
50	0. 49	0. 00	95. 57	-2. 92	95. 61	0. 96	-0. 03	47. 64	-0. 31
60	0. 59	0. 00	95. 42	-3. 84	95. 50	0. 95	-0. 04	57. 18	-0. 66
70	0. 69	0. 00	95. 28	-4. 73	95. 40	0. 95	-0. 05	66. 72	-1. 09
80	0. 79	0. 00	95. 14	-5. 61	95. 30	0. 95	-0. 06	76. 24	-1. 61
90	0. 89	0. 00	94. 99	-6. 47	95. 21	0. 95	-0. 06	85. 75	-2. 22
100	0. 99	0. 00	94. 85	-7. 31	95. 13	0. 95	-0. 07	95. 24	-2. 91
110	1. 09	0. 00	94. 71	-8. 14	95. 06	0. 95	-0. 08	104. 71	-3. 69
120	1. 19	0. 00	94. 57	-8. 95	94. 99	0. 95	-0. 09	114. 18	-4. 55
130	1. 29	0. 00	94. 43	-9. 74	94. 93	0. 94	-0. 10	123. 63	-5. 49
140	1. 39	0. 00	94. 28	-10. 52	94. 87	0. 94	-0. 11	133. 06	-6. 50
150	1. 49	0. 00	94. 14	-11. 28	94. 82	0. 94	-0. 11	142. 48	-7. 60
160	1. 59	0. 00	94. 00	-12. 03	94. 77	0. 94	-0. 12	151. 89	-8. 77
170	1. 69	0. 00	93. 86	-12. 76	94. 72	0. 94	-0. 13	161. 28	-10. 01
180	1. 79	0. 00	93. 72	-13. 48	94. 68	0. 94	-0. 13	170. 66	-11. 33
190	1. 89	0. 00	93. 58	-14. 19	94. 65	0. 94	-0. 14	180. 02	-12. 71
200	1. 99	0. 00	93. 44	-14. 88	94. 62	0. 93	-0. 15	189. 37	-14. 17
210	2. 09	0. 00	93. 30	-15. 55	94. 59	0. 93	-0. 16	198. 71	-15. 70
220	2. 19	0. 00	93. 16	-16. 22	94. 56	0. 93	-0. 16	208. 03	-17. 29
230	2. 29	0. 00	93. 02	-16. 87	94. 54	0. 93	-0. 17	217. 34	-18. 95
240	2. 39	0. 00	92. 88	-17. 50	94. 51	0. 93	-0. 18	226. 63	-20. 67
250	2. 49	0. 00	92. 74	-18. 13	94. 50	0. 93	-0. 18	235. 91	-22. 45
260	2. 59	0. 00	92. 60	-18. 74	94. 48	0. 93	-0. 19	245. 18	-24. 30
270	2. 69	0. 00	92. 46	-19. 34	94. 46	0. 92	-0. 19	254. 43	-26. 21
280	2. 79	0. 00	92. 32	-19. 93	94. 45	0. 92	-0. 20	263. 67	-28. 17
290	2. 89	0. 00	92. 19	-20. 50	94. 44	0. 92	-0. 21	272. 90	-30. 20
300	2. 99	0. 00	92. 05	-21. 07	94. 43	0. 92	-0. 21	282. 11	-32. 28

表 5.4.5(3) 矢の軌道の計算結果

発射角	2.0 (°)	計算方法	逐次計算法	計算時間間隔	0.01 (s)
-----	---------	------	-------	--------	----------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の β 乗に比例するものとする。

$$F=KV^\beta$$

速度

$$\text{水平 (x 成分)} : V_{x_n} = V_{x_{n-1}} - k_x V_{x_{n-1}}^{\beta_x} dt$$

$$\text{垂直 (y 成分)} : V_{y_n} = V_{y_{n-1}} - g dt - k_y V_{y_{n-1}}^{\beta_y} dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 103.6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 100.0\%$$

$$v_0 : \text{初速度} = 103.6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V + V_w$$

$$V_w : \text{風速} = 0.0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 2.0 \text{ (°)}$$

$$0.035 \text{ (radian)}$$

向かい風 (－) ～追い風 (＋)
水平 (0°) ～垂直 (90°)

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k_x : \text{水平抵抗係数} = \begin{matrix} \text{上昇時} & 0.004 \\ \text{下降時} & 0.015 \end{matrix}$$

$$k_y : \text{垂直抵抗係数} = \begin{matrix} 0.1 & 0.2 \end{matrix}$$

$$\beta_x : \text{水平速度低下指数} = \begin{matrix} 2.00 & 1.00 \end{matrix}$$

$$\beta_y : \text{垂直速度低下指数} = \begin{matrix} 1.35 & 1.00 \end{matrix}$$

$$\Delta t : \text{計算時間間隔} = 0.01 \text{ (s)}$$

計算結果一覧 (抜粋)

計算番号順に Δt 刻みで逐次計算を実施 一部省略して表示

計算番号 NO.	時間 t (s)	風速 Vw (m/s)	速度 (水平) Vx (m/s)	速度 (垂直) Vy (m/s)	速度 V (m/s)	移動差分 (水平) dx (m)	移動差分 (垂直) dy (m)	発射点からの 水平距離 x (m)	発射点からの 垂直距離 y (m)
1	0.00	0.00	103.54	3.62	103.60	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.09	0.00	99.80	2.69	99.84	1.00	0.03	9.13	0.28
20	0.19	0.00	95.96	1.68	95.97	0.96	0.02	18.90	0.49
30	0.29	0.00	92.40	0.69	92.40	0.92	0.01	28.29	0.61
40	0.39	0.00	90.02	-0.29	90.02	0.90	0.00	37.37	0.62
50	0.49	0.00	89.88	-1.26	89.89	0.90	-0.01	46.36	0.54
60	0.59	0.00	89.75	-2.21	89.77	0.90	-0.02	55.34	0.36
70	0.69	0.00	89.61	-3.13	89.67	0.90	-0.03	64.31	0.09
80	0.79	0.00	89.48	-4.04	89.57	0.89	-0.04	73.26	-0.28
90	0.89	0.00	89.34	-4.93	89.48	0.89	-0.05	82.20	-0.73
100	0.99	0.00	89.21	-5.81	89.40	0.89	-0.06	91.13	-1.27
110	1.09	0.00	89.08	-6.66	89.33	0.89	-0.07	100.05	-1.90
120	1.19	0.00	88.94	-7.50	89.26	0.89	-0.08	108.95	-2.61
130	1.29	0.00	88.81	-8.33	89.20	0.89	-0.08	117.83	-3.41
140	1.39	0.00	88.68	-9.13	89.15	0.89	-0.09	126.71	-4.28
150	1.49	0.00	88.54	-9.92	89.10	0.89	-0.10	135.57	-5.24
160	1.59	0.00	88.41	-10.70	89.06	0.88	-0.11	144.41	-6.28
170	1.69	0.00	88.28	-11.46	89.02	0.88	-0.11	153.25	-7.39
180	1.79	0.00	88.15	-12.20	88.99	0.88	-0.12	162.07	-8.57
190	1.89	0.00	88.01	-12.93	88.96	0.88	-0.13	170.88	-9.83
200	1.99	0.00	87.88	-13.64	88.94	0.88	-0.14	179.67	-11.17
210	2.09	0.00	87.75	-14.34	88.92	0.88	-0.14	188.45	-12.57
220	2.19	0.00	87.62	-15.03	88.90	0.88	-0.15	197.22	-14.04
230	2.29	0.00	87.49	-15.70	88.89	0.87	-0.16	205.97	-15.58
240	2.39	0.00	87.36	-16.36	88.88	0.87	-0.16	214.71	-17.19
250	2.49	0.00	87.23	-17.01	88.87	0.87	-0.17	223.44	-18.86
260	2.59	0.00	87.09	-17.65	88.86	0.87	-0.18	232.16	-20.60
270	2.69	0.00	86.96	-18.27	88.86	0.87	-0.18	240.86	-22.40
280	2.79	0.00	86.83	-18.88	88.86	0.87	-0.19	249.55	-24.26
290	2.89	0.00	86.70	-19.47	88.86	0.87	-0.19	258.23	-26.18
300	2.99	0.00	86.57	-20.06	88.87	0.87	-0.20	266.89	-28.16

表 5. 4. 5(4) 矢の軌道の計算結果

発射角	3. 0 (°)	計算方法	逐次計算法	計算時間間隔	0. 01 (s)
-----	-----------	------	-------	--------	-----------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の β 乗に比例するものとする。

$$F=KV^\beta$$

速度

$$\text{水平 (x 成分)} : V_{x_n} = V_{x_{n-1}} - k_x V_{x_{n-1}}^\beta \Delta t$$

$$\text{垂直 (y 成分)} : V_{y_n} = V_{y_{n-1}} - g \Delta t - k_y V_{y_{n-1}}^\beta \Delta t$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 100. 0\%$$

$$v_0' : \text{初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V + V_w$$

$$V_w : \text{風速} = 0. 0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 3. 0 (^\circ)$$

$$\text{標準矢} = 26. 0g$$

$$\text{対象矢} = 26. 0g$$

向かい風 (－) ～追い風 (＋)

水平 (0°) ～垂直 (90°)

$$0. 052 \text{ (radian)}$$

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9. 8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k_x : \text{水平抵抗係数} = \begin{array}{cc} \text{上昇時} & \text{下降時} \\ 0. 004 & 0. 015 \end{array}$$

$$k_y : \text{垂直抵抗係数} = \begin{array}{cc} 0. 1 & 0. 2 \end{array}$$

$$\beta_x : \text{水平速度低下指数} = \begin{array}{cc} 2. 00 & 1. 00 \end{array}$$

$$\beta_y : \text{垂直速度低下指数} = \begin{array}{cc} 1. 35 & 1. 00 \end{array}$$

$$\Delta t : \text{計算時間間隔} = 0. 01 \text{ (s)}$$

計算結果一覧 (抜粋)

計算番号順に Δt 刻みで逐次計算を実施 一部省略して表示

計算番号 NO.	時間 t (s)	風速 Vw (m/s)	速度 (水平) Vx (m/s)	速度 (垂直) Vy (m/s)	速度 V (m/s)	移動差分 (水平) dx (m)	移動差分 (垂直) dy (m)	発射点からの 水平距離 x (m)	発射点からの 垂直距離 y (m)
1	0. 00	0. 00	103. 46	5. 42	103. 60	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00
10	0. 09	0. 00	99. 73	4. 46	99. 83	1. 00	0. 04	9. 12	0. 44
20	0. 19	0. 00	95. 89	3. 42	95. 95	0. 96	0. 03	18. 88	0. 83
30	0. 29	0. 00	92. 33	2. 39	92. 36	0. 92	0. 02	28. 27	1. 11
40	0. 39	0. 00	89. 03	1. 39	89. 04	0. 89	0. 01	37. 32	1. 30
50	0. 49	0. 00	85. 96	0. 40	85. 96	0. 86	0. 00	46. 06	1. 38
60	0. 59	0. 00	84. 44	-0. 58	84. 44	0. 84	-0. 01	54. 53	1. 37
70	0. 69	0. 00	84. 31	-1. 54	84. 33	0. 84	-0. 02	62. 97	1. 26
80	0. 79	0. 00	84. 19	-2. 48	84. 22	0. 84	-0. 02	71. 39	1. 05
90	0. 89	0. 00	84. 06	-3. 40	84. 13	0. 84	-0. 03	79. 81	0. 75
100	0. 99	0. 00	83. 93	-4. 31	84. 05	0. 84	-0. 04	88. 21	0. 36
110	1. 09	0. 00	83. 81	-5. 19	83. 97	0. 84	-0. 05	96. 59	-0. 12
120	1. 19	0. 00	83. 68	-6. 06	83. 90	0. 84	-0. 06	104. 97	-0. 68
130	1. 29	0. 00	83. 56	-6. 91	83. 84	0. 84	-0. 07	113. 33	-1. 34
140	1. 39	0. 00	83. 43	-7. 74	83. 79	0. 83	-0. 08	121. 68	-2. 07
150	1. 49	0. 00	83. 31	-8. 56	83. 75	0. 83	-0. 09	130. 01	-2. 89
160	1. 59	0. 00	83. 18	-9. 36	83. 71	0. 83	-0. 09	138. 34	-3. 79
170	1. 69	0. 00	83. 06	-10. 15	83. 68	0. 83	-0. 10	146. 65	-4. 77
180	1. 79	0. 00	82. 93	-10. 92	83. 65	0. 83	-0. 11	154. 95	-5. 83
190	1. 89	0. 00	82. 81	-11. 67	83. 63	0. 83	-0. 12	163. 23	-6. 96
200	1. 99	0. 00	82. 68	-12. 41	83. 61	0. 83	-0. 12	171. 51	-8. 17
210	2. 09	0. 00	82. 56	-13. 14	83. 60	0. 83	-0. 13	179. 77	-9. 45
220	2. 19	0. 00	82. 44	-13. 85	83. 59	0. 82	-0. 14	188. 02	-10. 81
230	2. 29	0. 00	82. 31	-14. 55	83. 59	0. 82	-0. 15	196. 25	-12. 23
240	2. 39	0. 00	82. 19	-15. 23	83. 59	0. 82	-0. 15	204. 48	-13. 72
250	2. 49	0. 00	82. 07	-15. 90	83. 59	0. 82	-0. 16	212. 69	-15. 28
260	2. 59	0. 00	81. 94	-16. 56	83. 60	0. 82	-0. 17	220. 89	-16. 91
270	2. 69	0. 00	81. 82	-17. 20	83. 61	0. 82	-0. 17	229. 08	-18. 60
280	2. 79	0. 00	81. 70	-17. 83	83. 62	0. 82	-0. 18	237. 25	-20. 36
290	2. 89	0. 00	81. 58	-18. 45	83. 64	0. 82	-0. 18	245. 42	-22. 17
300	2. 99	0. 00	81. 45	-19. 05	83. 65	0. 81	-0. 19	253. 57	-24. 05

表 5. 4. 5(5) 矢の軌道の計算結果

発射角	4. 0 (°)	計算方法	逐次計算法	計算時間間隔	0. 02 (s)
-----	-----------	------	-------	--------	-----------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の β 乗に比例するものとする。

$$F=KV^\beta$$

速度

$$\text{水平 (x 成分)} : V_{x_n} = V_{x_{n-1}} - k_x V_{x_{n-1}}^\beta \Delta t$$

$$\text{垂直 (y 成分)} : V_{y_n} = V_{y_{n-1}} - g \Delta t - k_y V_{y_{n-1}}^\beta \Delta t$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 100. 0\%$$

$$v_0' : \text{初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V + V_w$$

$$V_w : \text{風速} = 0. 0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 4. 0 (^\circ)$$

$$0. 070 \text{ (radian)}$$

標準矢	26. 0g
対象矢	26. 0g

向かい風 (－) ～追い風 (＋)
水平 (0°) ～垂直 (90°)

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9. 8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k_x : \text{水平抵抗係数} = \begin{array}{cc} \text{上昇時} & \text{下降時} \\ 0. 004 & 0. 015 \end{array}$$

$$k_y : \text{垂直抵抗係数} = \begin{array}{cc} 0. 1 & 0. 2 \end{array}$$

$$\beta_x : \text{水平速度低下指数} = \begin{array}{cc} 2. 00 & 1. 00 \end{array}$$

$$\beta_y : \text{垂直速度低下指数} = \begin{array}{cc} 1. 35 & 1. 00 \end{array}$$

$$\Delta t : \text{計算時間間隔} = 0. 02 \text{ (s)}$$

計算結果一覧 (抜粋)

計算番号順に Δt 刻みで逐次計算を実施 一部省略して表示

計算番号 NO.	時間 t (s)	風速 Vw (m/s)	速度 (水平) Vx (m/s)	速度 (垂直) Vy (m/s)	速度 V (m/s)	移動差分 (水平) dx (m)	移動差分 (垂直) dy (m)	発射点からの 水平距離 x (m)	発射点からの 垂直距離 y (m)
1	0. 00	0. 00	103. 35	7. 23	103. 60	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00
10	0. 18	0. 00	96. 14	5. 24	96. 28	1. 92	0. 10	17. 87	1. 10
20	0. 38	0. 00	89. 22	3. 14	89. 28	1. 78	0. 06	36. 32	1. 92
30	0. 58	0. 00	83. 24	1. 12	83. 25	1. 66	0. 02	53. 49	2. 32
40	0. 78	0. 00	79. 93	-0. 84	79. 93	1. 60	-0. 02	69. 65	2. 33
50	0. 98	0. 00	79. 69	-2. 73	79. 73	1. 59	-0. 05	85. 61	1. 95
60	1. 18	0. 00	79. 45	-4. 55	79. 58	1. 59	-0. 09	101. 52	1. 20
70	1. 38	0. 00	79. 21	-6. 30	79. 46	1. 58	-0. 13	117. 38	0. 10
80	1. 58	0. 00	78. 97	-7. 97	79. 37	1. 58	-0. 16	133. 20	-1. 34
90	1. 78	0. 00	78. 74	-9. 59	79. 32	1. 57	-0. 19	148. 96	-3. 12
100	1. 98	0. 00	78. 50	-11. 13	79. 29	1. 57	-0. 22	164. 68	-5. 20
110	2. 18	0. 00	78. 26	-12. 62	79. 28	1. 57	-0. 25	180. 36	-7. 60
120	2. 38	0. 00	78. 03	-14. 05	79. 29	1. 56	-0. 28	195. 99	-10. 28
130	2. 58	0. 00	77. 80	-15. 42	79. 31	1. 56	-0. 31	211. 57	-13. 24
140	2. 78	0. 00	77. 56	-16. 74	79. 35	1. 55	-0. 33	227. 10	-16. 47
150	2. 98	0. 00	77. 33	-18. 01	79. 40	1. 55	-0. 36	242. 59	-19. 96
160	3. 18	0. 00	77. 10	-19. 23	79. 46	1. 54	-0. 38	258. 03	-23. 70
170	3. 38	0. 00	76. 87	-20. 40	79. 53	1. 54	-0. 41	273. 42	-27. 67
180	3. 58	0. 00	76. 64	-21. 52	79. 60	1. 53	-0. 43	288. 77	-31. 88
190	3. 78	0. 00	76. 41	-22. 60	79. 68	1. 53	-0. 45	304. 07	-36. 30
200	3. 98	0. 00	76. 18	-23. 64	79. 76	1. 52	-0. 47	319. 33	-40. 94
210	4. 18	0. 00	75. 95	-24. 63	79. 85	1. 52	-0. 49	334. 54	-45. 77
220	4. 38	0. 00	75. 72	-25. 59	79. 93	1. 51	-0. 51	349. 70	-50. 81
230	4. 58	0. 00	75. 50	-26. 51	80. 02	1. 51	-0. 53	364. 82	-56. 03
240	4. 78	0. 00	75. 27	-27. 39	80. 10	1. 51	-0. 55	379. 90	-61. 43
250	4. 98	0. 00	75. 04	-28. 24	80. 18	1. 50	-0. 56	394. 93	-67. 00
260	5. 18	0. 00	74. 82	-29. 06	80. 27	1. 50	-0. 58	409. 91	-72. 74
270	5. 38	0. 00	74. 60	-29. 84	80. 34	1. 49	-0. 60	424. 85	-78. 64
280	5. 58	0. 00	74. 37	-30. 60	80. 42	1. 49	-0. 61	439. 75	-84. 69
290	5. 78	0. 00	74. 15	-31. 32	80. 49	1. 48	-0. 63	454. 60	-90. 89
300	5. 98	0. 00	73. 93	-32. 01	80. 56	1. 48	-0. 64	469. 40	-97. 23

表 5. 4. 5(6) 矢の軌道の計算結果

発射角	5. 0 (°)	計算方法	逐次計算法	計算時間間隔	0. 02 (s)
-----	----------	------	-------	--------	-----------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の β 乗に比例するものとする。

$$F=KV^\beta$$

速度

$$\text{水平 (x 成分)} : V_{x_n} = V_{x_{n-1}} - k_x V_{x_{n-1}}^{\beta_x} dt$$

$$\text{垂直 (y 成分)} : V_{y_n} = V_{y_{n-1}} - g dt - k_y V_{y_{n-1}}^{\beta_y} dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 100. 0\%$$

$$V_0' : \text{初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V + V_w$$

$$V_w : \text{風速} = 0. 0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 5. 0 (^\circ)$$

$$0. 087 \text{ (radian)}$$

標準矢	26. 0g
対象矢	26. 0g

向かい風 (－) ～追い風 (＋)
水平 (0°) ～垂直 (90°)

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9. 8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k_x : \text{水平抵抗係数} = \begin{array}{cc} \text{上昇時} & \text{下降時} \\ 0. 004 & 0. 015 \end{array}$$

$$k_y : \text{垂直抵抗係数} = \begin{array}{cc} 0. 1 & 0. 2 \end{array}$$

$$\beta_x : \text{水平速度低下指数} = \begin{array}{cc} 2. 00 & 1. 00 \end{array}$$

$$\beta_y : \text{垂直速度低下指数} = \begin{array}{cc} 1. 35 & 1. 00 \end{array}$$

$$\Delta t : \text{計算時間間隔} = 0. 02 \text{ (s)}$$

計算結果一覧 (抜粋)

計算番号順に Δt 刻みで逐次計算を実施 一部省略して表示

計算番号 NO.	時間 t (s)	風速 Vw (m/s)	速度 (水平) Vx (m/s)	速度 (垂直) Vy (m/s)	速度 V (m/s)	移動差分 (水平) dx (m)	移動差分 (垂直) dy (m)	発射点からの 水平距離 x (m)	発射点からの 垂直距離 y (m)
1	0. 00	0. 00	103. 21	9. 03	103. 60	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00
10	0. 18	0. 00	96. 01	6. 96	96. 27	1. 92	0. 14	17. 84	1. 42
20	0. 38	0. 00	89. 12	4. 78	89. 25	1. 78	0. 10	36. 27	2. 57
30	0. 58	0. 00	83. 15	2. 69	83. 19	1. 66	0. 05	53. 42	3. 29
40	0. 78	0. 00	77. 93	0. 69	77. 93	1. 56	0. 01	69. 47	3. 61
50	0. 98	0. 00	75. 89	-1. 26	75. 90	1. 52	-0. 03	84. 72	3. 53
60	1. 18	0. 00	75. 66	-3. 13	75. 72	1. 51	-0. 06	99. 87	3. 07
70	1. 38	0. 00	75. 43	-4. 94	75. 59	1. 51	-0. 10	114. 98	2. 25
80	1. 58	0. 00	75. 21	-6. 67	75. 50	1. 50	-0. 13	130. 04	1. 07
90	1. 78	0. 00	74. 98	-8. 33	75. 44	1. 50	-0. 17	145. 06	-0. 45
100	1. 98	0. 00	74. 76	-9. 93	75. 41	1. 50	-0. 20	160. 03	-2. 29
110	2. 18	0. 00	74. 53	-11. 46	75. 41	1. 49	-0. 23	174. 95	-4. 45
120	2. 38	0. 00	74. 31	-12. 94	75. 43	1. 49	-0. 26	189. 84	-6. 90
130	2. 58	0. 00	74. 09	-14. 36	75. 46	1. 48	-0. 29	204. 67	-9. 65
140	2. 78	0. 00	73. 86	-15. 72	75. 52	1. 48	-0. 31	219. 47	-12. 67
150	2. 98	0. 00	73. 64	-17. 02	75. 59	1. 47	-0. 34	234. 21	-15. 96
160	3. 18	0. 00	73. 42	-18. 28	75. 66	1. 47	-0. 37	248. 92	-19. 50
170	3. 38	0. 00	73. 20	-19. 49	75. 75	1. 46	-0. 39	263. 58	-23. 29
180	3. 58	0. 00	72. 98	-20. 65	75. 85	1. 46	-0. 41	278. 20	-27. 32
190	3. 78	0. 00	72. 76	-21. 76	75. 95	1. 46	-0. 44	292. 77	-31. 57
200	3. 98	0. 00	72. 55	-22. 83	76. 05	1. 45	-0. 46	307. 30	-36. 04
210	4. 18	0. 00	72. 33	-23. 86	76. 16	1. 45	-0. 48	321. 78	-40. 72
220	4. 38	0. 00	72. 11	-24. 85	76. 27	1. 44	-0. 50	336. 22	-45. 60
230	4. 58	0. 00	71. 90	-25. 80	76. 38	1. 44	-0. 52	350. 62	-50. 68
240	4. 78	0. 00	71. 68	-26. 71	76. 49	1. 43	-0. 53	364. 98	-55. 94
250	4. 98	0. 00	71. 47	-27. 58	76. 60	1. 43	-0. 55	379. 29	-61. 37
260	5. 18	0. 00	71. 25	-28. 42	76. 71	1. 43	-0. 57	393. 56	-66. 98
270	5. 38	0. 00	71. 04	-29. 23	76. 82	1. 42	-0. 58	407. 79	-72. 76
280	5. 58	0. 00	70. 83	-30. 01	76. 92	1. 42	-0. 60	421. 97	-78. 69
290	5. 78	0. 00	70. 61	-30. 76	77. 02	1. 41	-0. 62	436. 11	-84. 77
300	5. 98	0. 00	70. 40	-31. 47	77. 12	1. 41	-0. 63	450. 21	-91. 01

表 5. 4. 5(7) 矢の軌道の計算結果

発射角	6. 0 (°)	計算方法	逐次計算法	計算時間間隔	0. 02 (s)
-----	----------	------	-------	--------	-----------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の β 乗に比例するものとする。

$$F=KV^\beta$$

速度

$$\text{水平 (x 成分)} : V_{x_n} = V_{x_{n-1}} - k_x V_{x_{n-1}}^{\beta_x} dt$$

$$\text{垂直 (y 成分)} : V_{y_n} = V_{y_{n-1}} - g dt - k_y V_{y_{n-1}}^{\beta_y} dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 100. 0\%$$

$$v_0' : \text{初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V + V_w$$

$$V_w : \text{風速} = 0. 0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 6. 0 (^\circ)$$

$$0. 105 \text{ (radian)}$$

$$\text{標準矢} = 26. 0g$$

$$\text{対象矢} = 26. 0g$$

向かい風 (－) ～追い風 (＋)

水平 (0°) ～垂直 (90°)

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9. 8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k_x : \text{水平抵抗係数} = \begin{array}{cc} \text{上昇時} & \text{下降時} \\ 0. 004 & 0. 015 \end{array}$$

$$k_y : \text{垂直抵抗係数} = \begin{array}{cc} 0. 1 & 0. 2 \end{array}$$

$$\beta_x : \text{水平速度低下指数} = \begin{array}{cc} 2. 00 & 1. 00 \end{array}$$

$$\beta_y : \text{垂直速度低下指数} = \begin{array}{cc} 1. 35 & 1. 00 \end{array}$$

$$\Delta t : \text{計算時間間隔} = 0. 02 \text{ (s)}$$

計算結果一覧 (抜粋)

計算番号順に Δt 刻みで逐次計算を実施 一部省略して表示

計算番号 NO.	時間 t (s)	風速 Vw (m/s)	速度 (水平) Vx (m/s)	速度 (垂直) Vy (m/s)	速度 V (m/s)	移動差分 (水平) dx (m)	移動差分 (垂直) dy (m)	発射点からの 水平距離 x (m)	発射点からの 垂直距離 y (m)
1	0. 00	0. 00	103. 03	10. 83	103. 60	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00
10	0. 18	0. 00	95. 86	8. 67	96. 25	1. 92	0. 17	17. 81	1. 73
20	0. 38	0. 00	88. 99	6. 40	89. 22	1. 78	0. 13	36. 21	3. 21
30	0. 58	0. 00	83. 04	4. 24	83. 14	1. 66	0. 08	53. 34	4. 25
40	0. 78	0. 00	77. 83	2. 18	77. 86	1. 56	0. 04	69. 37	4. 87
50	0. 98	0. 00	73. 24	0. 19	73. 24	1. 46	0. 00	84. 42	5. 09
60	1. 18	0. 00	72. 62	-1. 74	72. 64	1. 45	-0. 03	98. 96	4. 91
70	1. 38	0. 00	72. 40	-3. 60	72. 49	1. 45	-0. 07	113. 46	4. 36
80	1. 58	0. 00	72. 18	-5. 38	72. 38	1. 44	-0. 11	127. 92	3. 44
90	1. 78	0. 00	71. 97	-7. 10	72. 32	1. 44	-0. 14	142. 33	2. 18
100	1. 98	0. 00	71. 75	-8. 74	72. 28	1. 44	-0. 17	156. 70	0. 58
110	2. 18	0. 00	71. 54	-10. 32	72. 28	1. 43	-0. 21	171. 03	-1. 35
120	2. 38	0. 00	71. 32	-11. 84	72. 30	1. 43	-0. 24	185. 31	-3. 58
130	2. 58	0. 00	71. 11	-13. 30	72. 34	1. 42	-0. 27	199. 55	-6. 11
140	2. 78	0. 00	70. 90	-14. 71	72. 40	1. 42	-0. 29	213. 75	-8. 93
150	2. 98	0. 00	70. 68	-16. 05	72. 48	1. 41	-0. 32	227. 91	-12. 02
160	3. 18	0. 00	70. 47	-17. 35	72. 58	1. 41	-0. 35	242. 02	-15. 37
170	3. 38	0. 00	70. 26	-18. 59	72. 68	1. 41	-0. 37	256. 09	-18. 98
180	3. 58	0. 00	70. 05	-19. 79	72. 79	1. 40	-0. 40	270. 12	-22. 83
190	3. 78	0. 00	69. 84	-20. 93	72. 91	1. 40	-0. 42	284. 11	-26. 91
200	3. 98	0. 00	69. 63	-22. 04	73. 03	1. 39	-0. 44	298. 05	-31. 22
210	4. 18	0. 00	69. 42	-23. 10	73. 16	1. 39	-0. 46	311. 95	-35. 74
220	4. 38	0. 00	69. 21	-24. 11	73. 29	1. 38	-0. 48	325. 82	-40. 47
230	4. 58	0. 00	69. 01	-25. 09	73. 43	1. 38	-0. 50	339. 64	-45. 41
240	4. 78	0. 00	68. 80	-26. 03	73. 56	1. 38	-0. 52	353. 41	-50. 53
250	4. 98	0. 00	68. 59	-26. 93	73. 69	1. 37	-0. 54	367. 15	-55. 83
260	5. 18	0. 00	68. 39	-27. 80	73. 82	1. 37	-0. 56	380. 85	-61. 32
270	5. 38	0. 00	68. 18	-28. 63	73. 95	1. 36	-0. 57	394. 50	-66. 97
280	5. 58	0. 00	67. 98	-29. 43	74. 08	1. 36	-0. 59	408. 12	-72. 78
290	5. 78	0. 00	67. 78	-30. 20	74. 20	1. 36	-0. 60	421. 69	-78. 75
300	5. 98	0. 00	67. 57	-30. 94	74. 32	1. 35	-0. 62	435. 22	-84. 88

表 5. 4. 5(8) 矢の軌道の計算結果

発射角	7. 0 (°)	計算方法	逐次計算法	計算時間間隔	0. 02 (s)
-----	-----------	------	-------	--------	-----------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の β 乗に比例するものとする。

$$F=KV^\beta$$

速度

$$\text{水平 (x 成分)} : V_{x_n} = V_{x_{n-1}} - k_x V_{x_{n-1}}^{\beta_x} dt$$

$$\text{垂直 (y 成分)} : V_{y_n} = V_{y_{n-1}} - g dt - k_y V_{y_{n-1}}^{\beta_y} dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 100. 0\%$$

$$V_0' : \text{初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V + V_w$$

$$V_w : \text{風速} = 0. 0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 7. 0 (^\circ)$$

$$0. 122 \text{ (radian)}$$

標準矢	26. 0g
対象矢	26. 0g

向かい風 (－) ～追い風 (＋)
水平 (0°) ～垂直 (90°)

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9. 8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k_x : \text{水平抵抗係数} = \begin{array}{cc} \text{上昇時} & \text{下降時} \\ 0. 004 & 0. 015 \end{array}$$

$$k_y : \text{垂直抵抗係数} = \begin{array}{cc} 0. 1 & 0. 2 \end{array}$$

$$\beta_x : \text{水平速度低下指数} = \begin{array}{cc} 2. 00 & 1. 00 \end{array}$$

$$\beta_y : \text{垂直速度低下指数} = \begin{array}{cc} 1. 35 & 1. 00 \end{array}$$

$$\Delta t : \text{計算時間間隔} = 0. 02 \text{ (s)}$$

計算結果一覧 (抜粋)

計算番号順に Δt 刻みで逐次計算を実施 一部省略して表示

計算番号 NO.	時間 t (s)	風速 Vw (m/s)	速度 (水平) Vx (m/s)	速度 (垂直) Vy (m/s)	速度 V (m/s)	移動差分 (水平) dx (m)	移動差分 (垂直) dy (m)	発射点からの 水平距離 x (m)	発射点からの 垂直距離 y (m)
1	0. 00	0. 00	102. 83	12. 63	103. 60	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00
10	0. 18	0. 00	95. 69	10. 37	96. 25	1. 91	0. 21	17. 78	2. 04
20	0. 38	0. 00	88. 84	8. 00	89. 20	1. 78	0. 16	36. 15	3. 86
30	0. 58	0. 00	82. 90	5. 77	83. 10	1. 66	0. 12	53. 25	5. 21
40	0. 78	0. 00	77. 72	3. 64	77. 80	1. 55	0. 07	69. 25	6. 13
50	0. 98	0. 00	73. 14	1. 60	73. 16	1. 46	0. 03	84. 28	6. 63
60	1. 18	0. 00	69. 44	-0. 37	69. 44	1. 39	-0. 01	98. 46	6. 73
70	1. 38	0. 00	69. 23	-2. 28	69. 27	1. 38	-0. 05	112. 32	6. 44
80	1. 58	0. 00	69. 03	-4. 12	69. 15	1. 38	-0. 08	126. 15	5. 78
90	1. 78	0. 00	68. 82	-5. 88	69. 07	1. 38	-0. 12	139. 93	4. 77
100	1. 98	0. 00	68. 61	-7. 58	69. 03	1. 37	-0. 15	153. 67	3. 40
110	2. 18	0. 00	68. 41	-9. 20	69. 02	1. 37	-0. 18	167. 37	1. 71
120	2. 38	0. 00	68. 20	-10. 77	69. 05	1. 36	-0. 22	181. 03	-0. 31
130	2. 58	0. 00	68. 00	-12. 27	69. 10	1. 36	-0. 25	194. 65	-2. 63
140	2. 78	0. 00	67. 79	-13. 71	69. 17	1. 36	-0. 27	208. 22	-5. 24
150	2. 98	0. 00	67. 59	-15. 10	69. 26	1. 35	-0. 30	221. 76	-8. 14
160	3. 18	0. 00	67. 39	-16. 43	69. 36	1. 35	-0. 33	235. 26	-11. 30
170	3. 38	0. 00	67. 19	-17. 71	69. 48	1. 34	-0. 35	248. 71	-14. 73
180	3. 58	0. 00	66. 98	-18. 94	69. 61	1. 34	-0. 38	262. 13	-18. 41
190	3. 78	0. 00	66. 78	-20. 12	69. 75	1. 34	-0. 40	275. 50	-22. 33
200	3. 98	0. 00	66. 58	-21. 26	69. 89	1. 33	-0. 43	288. 84	-26. 48
210	4. 18	0. 00	66. 38	-22. 35	70. 04	1. 33	-0. 45	302. 13	-30. 85
220	4. 38	0. 00	66. 19	-23. 39	70. 20	1. 32	-0. 47	315. 39	-35. 43
230	4. 58	0. 00	65. 99	-24. 40	70. 35	1. 32	-0. 49	328. 60	-40. 22
240	4. 78	0. 00	65. 79	-25. 36	70. 51	1. 32	-0. 51	341. 78	-45. 21
250	4. 98	0. 00	65. 59	-26. 29	70. 67	1. 31	-0. 53	354. 91	-50. 39
260	5. 18	0. 00	65. 40	-27. 19	70. 82	1. 31	-0. 54	368. 01	-55. 74
270	5. 38	0. 00	65. 20	-28. 04	70. 97	1. 30	-0. 56	381. 07	-61. 28
280	5. 58	0. 00	65. 00	-28. 87	71. 13	1. 30	-0. 58	394. 09	-66. 98
290	5. 78	0. 00	64. 81	-29. 66	71. 27	1. 30	-0. 59	407. 06	-72. 84
300	5. 98	0. 00	64. 62	-30. 42	71. 42	1. 29	-0. 61	420. 01	-78. 85

表 5. 4. 5 (9) 矢の軌道の計算結果

発射角	8. 0 (°)	計算方法	逐次計算法	計算時間間隔	0. 02 (s)
-----	-----------	------	-------	--------	-----------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の β 乗に比例するものとする。

$$F=KV^\beta$$

速度

$$\text{水平 (x 成分)} : V_{x_n} = V_{x_{n-1}} - k_x V_{x_{n-1}}^{\beta_x} dt$$

$$\text{垂直 (y 成分)} : V_{y_n} = V_{y_{n-1}} - g dt - k_y V_{y_{n-1}}^{\beta_y} dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 100. 0\%$$

$$v_0' : \text{初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V + V_w$$

$$V_w : \text{風速} = 0. 0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 8. 0 (^\circ)$$

$$0. 140 \text{ (radian)}$$

$$\text{標準矢} = 26. 0g$$

$$\text{対象矢} = 26. 0g$$

向かい風 (－) ～追い風 (＋)

水平 (0°) ～垂直 (90°)

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9. 8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k_x : \text{水平抵抗係数} = \begin{array}{cc} \text{上昇時} & \text{下降時} \\ 0. 004 & 0. 015 \end{array}$$

$$k_y : \text{垂直抵抗係数} = \begin{array}{cc} 0. 1 & 0. 2 \end{array}$$

$$\beta_x : \text{水平速度低下指数} = \begin{array}{cc} 2. 00 & 1. 00 \end{array}$$

$$\beta_y : \text{垂直速度低下指数} = \begin{array}{cc} 1. 35 & 1. 00 \end{array}$$

$$\Delta t : \text{計算時間間隔} = 0. 02 \text{ (s)}$$

計算結果一覧 (抜粋)

計算番号順に Δt 刻みで逐次計算を実施 一部省略して表示

計算番号 NO.	時間 t (s)	風速 Vw (m/s)	速度 (水平) Vx (m/s)	速度 (垂直) Vy (m/s)	速度 V (m/s)	移動差分 (水平) dx (m)	移動差分 (垂直) dy (m)	発射点からの 水平距離 x (m)	発射点からの 垂直距離 y (m)
1	0. 00	0. 00	102. 59	14. 42	103. 60	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00
10	0. 18	0. 00	95. 48	12. 06	96. 24	1. 91	0. 24	17. 74	2. 36
20	0. 38	0. 00	88. 66	9. 59	89. 18	1. 77	0. 19	36. 07	4. 50
30	0. 58	0. 00	82. 75	7. 27	83. 07	1. 65	0. 15	53. 14	6. 16
40	0. 78	0. 00	77. 58	5. 07	77. 75	1. 55	0. 10	69. 11	7. 37
50	0. 98	0. 00	73. 02	2. 98	73. 08	1. 46	0. 06	84. 11	8. 15
60	1. 18	0. 00	68. 97	0. 96	68. 98	1. 38	0. 02	98. 26	8. 52
70	1. 38	0. 00	67. 01	-1. 00	67. 01	1. 34	-0. 02	111. 75	8. 50
80	1. 58	0. 00	66. 81	-2. 88	66. 87	1. 34	-0. 06	125. 13	8. 09
90	1. 78	0. 00	66. 61	-4. 69	66. 77	1. 33	-0. 09	138. 47	7. 31
100	1. 98	0. 00	66. 41	-6. 43	66. 72	1. 33	-0. 13	151. 77	6. 18
110	2. 18	0. 00	66. 21	-8. 11	66. 70	1. 32	-0. 16	165. 03	4. 71
120	2. 38	0. 00	66. 01	-9. 71	66. 72	1. 32	-0. 19	178. 25	2. 91
130	2. 58	0. 00	65. 81	-11. 26	66. 77	1. 32	-0. 23	191. 43	0. 80
140	2. 78	0. 00	65. 61	-12. 74	66. 84	1. 31	-0. 25	204. 57	-1. 62
150	2. 98	0. 00	65. 42	-14. 16	66. 93	1. 31	-0. 28	217. 67	-4. 32
160	3. 18	0. 00	65. 22	-15. 53	67. 05	1. 30	-0. 31	230. 73	-7. 31
170	3. 38	0. 00	65. 03	-16. 85	67. 17	1. 30	-0. 34	243. 76	-10. 56
180	3. 58	0. 00	64. 83	-18. 11	67. 31	1. 30	-0. 36	256. 74	-14. 07
190	3. 78	0. 00	64. 64	-19. 32	67. 46	1. 29	-0. 39	269. 69	-17. 83
200	3. 98	0. 00	64. 44	-20. 49	67. 62	1. 29	-0. 41	282. 59	-21. 82
210	4. 18	0. 00	64. 25	-21. 61	67. 79	1. 29	-0. 43	295. 46	-26. 04
220	4. 38	0. 00	64. 06	-22. 69	67. 96	1. 28	-0. 45	308. 29	-30. 48
230	4. 58	0. 00	63. 87	-23. 72	68. 13	1. 28	-0. 47	321. 08	-35. 13
240	4. 78	0. 00	63. 67	-24. 71	68. 30	1. 27	-0. 49	333. 83	-39. 99
250	4. 98	0. 00	63. 48	-25. 67	68. 48	1. 27	-0. 51	346. 55	-45. 04
260	5. 18	0. 00	63. 29	-26. 58	68. 65	1. 27	-0. 53	359. 22	-50. 27
270	5. 38	0. 00	63. 10	-27. 46	68. 82	1. 26	-0. 55	371. 86	-55. 69
280	5. 58	0. 00	62. 92	-28. 31	68. 99	1. 26	-0. 57	384. 46	-61. 27
290	5. 78	0. 00	62. 73	-29. 12	69. 16	1. 25	-0. 58	397. 02	-67. 02
300	5. 98	0. 00	62. 54	-29. 90	69. 32	1. 25	-0. 60	409. 55	-72. 94

表 5.4.5(10) 矢の軌道の計算結果

発射角	9.0 (°)	計算方法	逐次計算法	計算時間間隔	0.02 (s)
-----	---------	------	-------	--------	----------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の β 乗に比例するものとする。

$$F=KV^\beta$$

速度

$$\text{水平 (x 成分)} : V_{x_n} = V_{x_{n-1}} - k_x V_{x_{n-1}}^{\beta_x} dt$$

$$\text{垂直 (y 成分)} : V_{y_n} = V_{y_{n-1}} - g dt - k_y V_{y_{n-1}}^{\beta_y} dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 103.6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 100.0\%$$

$$v_0' : \text{初速度} = 103.6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V + V_w$$

$$V_w : \text{風速} = 0.0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 9.0 (^\circ)$$

$$0.157 \text{ (radian)}$$

標準矢	26.0g
対象矢	26.0g

向かい風 (－) ～ 追い風 (＋)
水平 (0°) ～ 垂直 (90°)

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k_x : \text{水平抵抗係数} = \begin{array}{cc} \text{上昇時} & \text{下降時} \\ 0.004 & 0.015 \end{array}$$

$$k_y : \text{垂直抵抗係数} = \begin{array}{cc} 0.1 & 0.2 \end{array}$$

$$\beta_x : \text{水平速度低下指数} = \begin{array}{cc} 2.00 & 1.00 \end{array}$$

$$\beta_y : \text{垂直速度低下指数} = \begin{array}{cc} 1.35 & 1.00 \end{array}$$

$$\Delta t : \text{計算時間間隔} = 0.02 \text{ (s)}$$

計算結果一覧 (抜粋)

計算番号順に Δt 刻みで逐次計算を実施 一部省略して表示

計算番号 NO.	時間 t (s)	風速 Vw (m/s)	速度 (水平) Vx (m/s)	速度 (垂直) Vy (m/s)	速度 V (m/s)	移動差分 (水平) dx (m)	移動差分 (垂直) dy (m)	発射点からの 水平距離 x (m)	発射点からの 垂直距離 y (m)
1	0.00	0.00	102.32	16.21	103.60	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.18	0.00	95.25	13.74	96.24	1.91	0.27	17.70	2.67
20	0.38	0.00	88.46	11.17	89.16	1.77	0.22	35.98	5.13
30	0.58	0.00	82.58	8.76	83.04	1.65	0.18	53.01	7.10
40	0.78	0.00	77.43	6.48	77.70	1.55	0.13	68.95	8.60
50	0.98	0.00	72.89	4.32	73.01	1.46	0.09	83.93	9.65
60	1.18	0.00	68.85	2.26	68.89	1.38	0.05	98.05	10.29
70	1.38	0.00	65.24	0.26	65.24	1.30	0.01	111.42	10.52
80	1.58	0.00	64.40	-1.67	64.43	1.29	-0.03	124.32	10.36
90	1.78	0.00	64.21	-3.53	64.31	1.28	-0.07	137.18	9.82
100	1.98	0.00	64.02	-5.32	64.24	1.28	-0.11	150.01	8.91
110	2.18	0.00	63.83	-7.03	64.21	1.28	-0.14	162.79	7.66
120	2.38	0.00	63.64	-8.68	64.22	1.27	-0.17	175.53	6.07
130	2.58	0.00	63.44	-10.27	64.27	1.27	-0.21	188.24	4.16
140	2.78	0.00	63.25	-11.79	64.34	1.27	-0.24	200.91	1.94
150	2.98	0.00	63.07	-13.25	64.44	1.26	-0.26	213.54	-0.58
160	3.18	0.00	62.88	-14.65	64.56	1.26	-0.29	226.13	-3.39
170	3.38	0.00	62.69	-16.00	64.70	1.25	-0.32	238.68	-6.47
180	3.58	0.00	62.50	-17.30	64.85	1.25	-0.35	251.20	-9.81
190	3.78	0.00	62.31	-18.54	65.01	1.25	-0.37	263.68	-13.41
200	3.98	0.00	62.13	-19.74	65.19	1.24	-0.39	276.12	-17.25
210	4.18	0.00	61.94	-20.89	65.37	1.24	-0.42	288.53	-21.32
220	4.38	0.00	61.75	-22.00	65.55	1.24	-0.44	300.89	-25.62
230	4.58	0.00	61.57	-23.06	65.74	1.23	-0.46	313.22	-30.14
240	4.78	0.00	61.39	-24.08	65.94	1.23	-0.48	325.52	-34.87
250	4.98	0.00	61.20	-25.05	66.13	1.22	-0.50	337.77	-39.79
260	5.18	0.00	61.02	-26.00	66.32	1.22	-0.52	349.99	-44.90
270	5.38	0.00	60.83	-26.90	66.52	1.22	-0.54	362.18	-50.20
280	5.58	0.00	60.65	-27.77	66.71	1.21	-0.56	374.33	-55.68
290	5.78	0.00	60.47	-28.60	66.89	1.21	-0.57	386.44	-61.32
300	5.98	0.00	60.29	-29.40	67.08	1.21	-0.59	398.51	-67.13

表 5.4.5(11) 矢の軌道の計算結果

発射角	10.0 (°)	計算方法	逐次計算法	計算時間間隔	0.02 (s)
-----	----------	------	-------	--------	----------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の β 乗に比例するものとする。

$$F=KV^\beta$$

速度

$$\begin{aligned} \text{水平 (x 成分)} : V_{x_n} &= V_{x_{n-1}} - k_x V_{x_{n-1}}^{\beta_x} dt \\ \text{垂直 (y 成分)} : V_{y_n} &= V_{y_{n-1}} - g dt - k_y V_{y_{n-1}}^{\beta_y} dt \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v_0 : \text{基準初速度} &= 103.6 \text{ (m/s)} \\ \text{初速度低減率} &= 100.0\% \\ v_0' : \text{初速度} &= 103.6 \text{ (m/s)} \\ V' : \text{風を考慮した相対速度} &= V + V_w \\ V_w : \text{風速} &= 0.0 \text{ (m/s)} \\ \alpha : \text{仰角} &= 10.0 \text{ (}^\circ\text{)} \\ &= 0.175 \text{ (radian)} \end{aligned}$$

標準矢	26.0g
対象矢	26.0g

向かい風 (－) ～ 追い風 (＋)
水平 (0°) ～ 垂直 (90°)

$$\begin{aligned} t : \text{時間} &= \\ g : \text{重力加速度} &= 9.8 \text{ (m/s}^2\text{)} \end{aligned}$$

k_x : 水平抵抗係数	上昇時	0.004	0.015
k_y : 垂直抵抗係数	下降時	0.1	0.2
β_x : 水平速度低下指数		2.00	1.00
β_y : 垂直速度低下指数		1.35	1.00

$$\Delta t : \text{計算時間間隔} = 0.02 \text{ (s)}$$

計算結果一覧 (抜粋)

計算番号順に Δt 刻みで逐次計算を実施 一部省略して表示

計算番号 NO.	時間 t (s)	風速 Vw (m/s)	速度 (水平) Vx (m/s)	速度 (垂直) Vy (m/s)	速度 V (m/s)	移動差分 (水平) dx (m)	移動差分 (垂直) dy (m)	発射点からの 水平距離 x (m)	発射点からの 垂直距離 y (m)
1	0.00	0.00	102.03	17.99	103.60	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.18	0.00	94.99	15.41	96.23	1.90	0.31	17.65	2.98
20	0.38	0.00	88.24	12.73	89.15	1.76	0.25	35.89	5.76
30	0.58	0.00	82.38	10.23	83.01	1.65	0.20	52.88	8.03
40	0.78	0.00	77.26	7.87	77.66	1.55	0.16	68.78	9.81
50	0.98	0.00	72.73	5.64	72.95	1.45	0.11	83.72	11.14
60	1.18	0.00	68.71	3.52	68.80	1.37	0.07	97.82	12.03
70	1.38	0.00	65.11	1.48	65.13	1.30	0.03	111.16	12.51
80	1.58	0.00	62.46	-0.49	62.46	1.25	-0.01	123.84	12.59
90	1.78	0.00	62.27	-2.39	62.32	1.25	-0.05	136.31	12.28
100	1.98	0.00	62.09	-4.22	62.23	1.24	-0.08	148.74	11.60
110	2.18	0.00	61.90	-5.98	62.19	1.24	-0.12	161.14	10.56
120	2.38	0.00	61.71	-7.67	62.19	1.23	-0.15	173.50	9.18
130	2.58	0.00	61.53	-9.30	62.23	1.23	-0.19	185.82	7.46
140	2.78	0.00	61.35	-10.86	62.30	1.23	-0.22	198.11	5.43
150	2.98	0.00	61.16	-12.36	62.40	1.22	-0.25	210.36	3.10
160	3.18	0.00	60.98	-13.79	62.52	1.22	-0.28	222.57	0.47
170	3.38	0.00	60.80	-15.18	62.66	1.22	-0.30	234.74	-2.45
180	3.58	0.00	60.61	-16.51	62.82	1.21	-0.33	246.88	-5.63
190	3.78	0.00	60.43	-17.78	62.99	1.21	-0.36	258.99	-9.07
200	3.98	0.00	60.25	-19.01	63.18	1.21	-0.38	271.05	-12.76
210	4.18	0.00	60.07	-20.19	63.37	1.20	-0.40	283.08	-16.70
220	4.38	0.00	59.89	-21.32	63.57	1.20	-0.43	295.08	-20.86
230	4.58	0.00	59.71	-22.41	63.78	1.19	-0.45	307.04	-25.24
240	4.78	0.00	59.53	-23.45	63.98	1.19	-0.47	318.96	-29.84
250	4.98	0.00	59.35	-24.46	64.19	1.19	-0.49	330.84	-34.64
260	5.18	0.00	59.18	-25.42	64.40	1.18	-0.51	342.70	-39.64
270	5.38	0.00	59.00	-26.35	64.61	1.18	-0.53	354.51	-44.83
280	5.58	0.00	58.82	-27.24	64.82	1.18	-0.54	366.29	-50.20
290	5.78	0.00	58.65	-28.09	65.03	1.17	-0.56	378.04	-55.74
300	5.98	0.00	58.47	-28.91	65.23	1.17	-0.58	389.75	-61.45

表 5.4.5(12) 矢の軌道の計算結果

発射角	11.0 (°)	計算方法	逐次計算法	計算時間間隔	0.02 (s)
-----	----------	------	-------	--------	----------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の β 乗に比例するものとする。

$$F=KV^\beta$$

速度

$$\begin{aligned} \text{水平 (x 成分)} : V_{x_n} &= V_{x_{n-1}} - k_x V_{x_{n-1}}^{\beta_x} dt \\ \text{垂直 (y 成分)} : V_{y_n} &= V_{y_{n-1}} - g dt - k_y V_{y_{n-1}}^{\beta_y} dt \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v_0 : \text{基準初速度} &= 103.6 \text{ (m/s)} \\ \text{初速度低減率} &= 100.0\% \\ v_0' : \text{初速度} &= 103.6 \text{ (m/s)} \\ V' : \text{風を考慮した相対速度} &= V + V_w \\ V_w : \text{風速} &= 0.0 \text{ (m/s)} \\ \alpha : \text{仰角} &= 11.0 \text{ (}^\circ\text{)} \\ &= 0.192 \text{ (radian)} \end{aligned}$$

標準矢	26.0g
対象矢	26.0g

向かい風 (－) ～ 追い風 (＋)
水平 (0°) ～ 垂直 (90°)

$$\begin{aligned} t : \text{時間} &= \\ g : \text{重力加速度} &= 9.8 \text{ (m/s}^2\text{)} \end{aligned}$$

	上昇時	下降時
k_x : 水平抵抗係数	0.0039	0.015
k_y : 垂直抵抗係数	0.0975	0.175
β_x : 水平速度低下指数	2.00	1.00
β_y : 垂直速度低下指数	1.35	1.00

$$\Delta t \text{ 計算時間間隔} = 0.02 \text{ (s)}$$

計算結果一覧 (抜粋)

計算番号順に Δt 刻みで逐次計算を実施 一部省略して表示

計算番号 NO.	時間 t (s)	風速 Vw (m/s)	速度 (水平) Vx (m/s)	速度 (垂直) Vy (m/s)	速度 V (m/s)	移動差分 (水平) dx (m)	移動差分 (垂直) dy (m)	発射点からの 水平距離 x (m)	発射点からの 垂直距離 y (m)
1	0.00	0.00	101.70	19.77	103.60	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.18	0.00	94.87	17.10	96.40	1.90	0.34	17.61	3.29
20	0.38	0.00	88.29	14.33	89.45	1.77	0.29	35.84	6.40
30	0.58	0.00	82.57	11.73	83.40	1.65	0.23	52.86	8.98
40	0.78	0.00	77.54	9.30	78.10	1.55	0.19	68.81	11.05
50	0.98	0.00	73.09	7.00	73.43	1.46	0.14	83.82	12.66
60	1.18	0.00	69.13	4.82	69.30	1.38	0.10	98.00	13.82
70	1.38	0.00	65.58	2.74	65.63	1.31	0.05	111.42	14.55
80	1.58	0.00	62.37	0.73	62.37	1.25	0.01	124.18	14.88
90	1.78	0.00	61.06	-1.22	61.08	1.22	-0.02	136.44	14.81
100	1.98	0.00	60.88	-3.10	60.96	1.22	-0.06	148.64	14.36
110	2.18	0.00	60.70	-4.93	60.90	1.21	-0.10	160.79	13.53
120	2.38	0.00	60.52	-6.69	60.88	1.21	-0.13	172.91	12.35
130	2.58	0.00	60.33	-8.39	60.92	1.21	-0.17	185.00	10.83
140	2.78	0.00	60.15	-10.03	60.98	1.20	-0.20	197.04	8.97
150	2.98	0.00	59.97	-11.61	61.09	1.20	-0.23	209.05	6.79
160	3.18	0.00	59.79	-13.14	61.22	1.20	-0.26	221.03	4.30
170	3.38	0.00	59.62	-14.62	61.38	1.19	-0.29	232.97	1.51
180	3.58	0.00	59.44	-16.04	61.56	1.19	-0.32	244.87	-1.57
190	3.78	0.00	59.26	-17.42	61.77	1.19	-0.35	256.74	-4.93
200	3.98	0.00	59.08	-18.75	61.98	1.18	-0.37	268.57	-8.57
210	4.18	0.00	58.90	-20.03	62.22	1.18	-0.40	280.37	-12.46
220	4.38	0.00	58.73	-21.27	62.46	1.17	-0.43	292.13	-16.60
230	4.58	0.00	58.55	-22.47	62.71	1.17	-0.45	303.86	-20.99
240	4.78	0.00	58.38	-23.62	62.97	1.17	-0.47	315.55	-25.61
250	4.98	0.00	58.20	-24.74	63.24	1.16	-0.49	327.20	-30.46
260	5.18	0.00	58.03	-25.82	63.51	1.16	-0.52	338.82	-35.52
270	5.38	0.00	57.85	-26.86	63.78	1.16	-0.54	350.41	-40.80
280	5.58	0.00	57.68	-27.86	64.06	1.15	-0.56	361.96	-46.28
290	5.78	0.00	57.51	-28.83	64.33	1.15	-0.58	373.48	-51.96
300	5.98	0.00	57.33	-29.77	64.60	1.15	-0.60	384.96	-57.83

表 5.4.5(13) 矢の軌道の計算結果

発射角	12.0 (°)	計算方法	逐次計算法	計算時間間隔	0.02 (s)
-----	----------	------	-------	--------	----------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の β 乗に比例するものとする。

$$F=KV^\beta$$

速度

$$\text{水平 (x 成分)} : V_{x_n} = V_{x_{n-1}} - k_x V_{x_{n-1}}^{\beta} \Delta t$$

$$\text{垂直 (y 成分)} : V_{y_n} = V_{y_{n-1}} - g \Delta t - k_y V_{y_{n-1}}^{\beta} \Delta t$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 103.6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 100.0\%$$

$$v_0' : \text{初速度} = 103.6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V + V_w$$

$$V_w : \text{風速} = 0.0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 12.0 \text{ (°)}$$

$$0.209 \text{ (radian)}$$

標準矢	26.0g
対象矢	26.0g

向かい風 (－) ～ 追い風 (＋)
水平 (0°) ～ 垂直 (90°)

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k_x : \text{水平抵抗係数} = \begin{array}{cc} \text{上昇時} & \text{下降時} \\ 0.0038 & 0.015 \end{array}$$

$$k_y : \text{垂直抵抗係数} = \begin{array}{cc} 0.095 & 0.15 \end{array}$$

$$\beta_x : \text{水平速度低下指数} = \begin{array}{cc} 2.00 & 1.00 \end{array}$$

$$\beta_y : \text{垂直速度低下指数} = \begin{array}{cc} 1.35 & 1.00 \end{array}$$

$$\Delta t : \text{計算時間間隔} = 0.02 \text{ (s)}$$

計算結果一覧 (抜粋)

計算番号順に Δt 刻みで逐次計算を実施 一部省略して表示

計算番号 NO.	時間 t (s)	風速 Vw (m/s)	速度 (水平) Vx (m/s)	速度 (垂直) Vy (m/s)	速度 V (m/s)	移動差分 (水平) dx (m)	移動差分 (垂直) dy (m)	発射点からの 水平距離 x (m)	発射点からの 垂直距離 y (m)
1	0.00	0.00	101.34	21.54	103.60	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.18	0.00	94.72	18.78	96.56	1.89	0.38	17.57	3.60
20	0.38	0.00	88.32	15.92	89.74	1.77	0.32	35.79	7.04
30	0.58	0.00	82.73	13.24	83.78	1.65	0.26	52.83	9.92
40	0.78	0.00	77.81	10.73	78.54	1.56	0.21	68.82	12.29
50	0.98	0.00	73.44	8.36	73.91	1.47	0.17	83.89	14.17
60	1.18	0.00	69.54	6.12	69.81	1.39	0.12	98.15	15.60
70	1.38	0.00	66.03	3.99	66.15	1.32	0.08	111.66	16.59
80	1.58	0.00	62.86	1.94	62.89	1.26	0.04	124.51	17.16
90	1.78	0.00	59.98	-0.04	59.98	1.20	0.00	136.76	17.33
100	1.98	0.00	59.80	-1.97	59.83	1.20	-0.04	148.74	17.11
110	2.18	0.00	59.62	-3.85	59.75	1.19	-0.08	160.68	16.50
120	2.38	0.00	59.44	-5.67	59.71	1.19	-0.11	172.59	15.53
130	2.58	0.00	59.26	-7.43	59.73	1.19	-0.15	184.45	14.20
140	2.78	0.00	59.09	-9.15	59.79	1.18	-0.18	196.29	12.53
150	2.98	0.00	58.91	-10.81	59.89	1.18	-0.22	208.09	10.51
160	3.18	0.00	58.73	-12.42	60.03	1.17	-0.25	219.85	8.17
170	3.38	0.00	58.56	-13.99	60.21	1.17	-0.28	231.58	5.52
180	3.58	0.00	58.38	-15.51	60.41	1.17	-0.31	243.27	2.55
190	3.78	0.00	58.21	-16.99	60.63	1.16	-0.34	254.93	-0.71
200	3.98	0.00	58.03	-18.42	60.88	1.16	-0.37	266.55	-4.27
210	4.18	0.00	57.86	-19.80	61.15	1.16	-0.40	278.14	-8.11
220	4.38	0.00	57.69	-21.15	61.44	1.15	-0.42	289.69	-12.22
230	4.58	0.00	57.51	-22.46	61.74	1.15	-0.45	301.21	-16.59
240	4.78	0.00	57.34	-23.73	62.06	1.15	-0.47	312.69	-21.22
250	4.98	0.00	57.17	-24.96	62.38	1.14	-0.50	324.14	-26.11
260	5.18	0.00	57.00	-26.16	62.71	1.14	-0.52	335.55	-31.23
270	5.38	0.00	56.83	-27.31	63.05	1.14	-0.55	346.93	-36.59
280	5.58	0.00	56.66	-28.44	63.39	1.13	-0.57	358.28	-42.18
290	5.78	0.00	56.49	-29.53	63.74	1.13	-0.59	369.59	-47.98
300	5.98	0.00	56.32	-30.59	64.09	1.13	-0.61	380.87	-54.01

表 5. 4. 5(14) 矢の軌道の計算結果

発射角	13. 0 (°)	計算方法	逐次計算法	計算時間間隔	0. 02 (s)
-----	-----------	------	-------	--------	-----------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の β 乗に比例するものとする。

$$F=KV^\beta$$

速度

$$\text{水平 (x 成分)} : V_{x_n} = V_{x_{n-1}} - k_x V_{x_{n-1}}^{\beta_x} dt$$

$$\text{垂直 (y 成分)} : V_{y_n} = V_{y_{n-1}} - g dt - k_y V_{y_{n-1}}^{\beta_y} dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 100. 0\%$$

$$v_0' : \text{初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V + V_w$$

$$V_w : \text{風速} = 0. 0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 13. 0 (^\circ)$$

$$0. 227 \text{ (radian)}$$

$$\text{標準矢} = 26. 0g$$

$$\text{対象矢} = 26. 0g$$

向かい風 (－) ～追い風 (＋)

水平 (0°) ～垂直 (90°)

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9. 8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k_x : \text{水平抵抗係数} = \begin{array}{cc} \text{上昇時} & \text{下降時} \\ 0. 00375 & 0. 015 \end{array}$$

$$k_y : \text{垂直抵抗係数} = \begin{array}{cc} 0. 0925 & 0. 125 \end{array}$$

$$\beta_x : \text{水平速度低下指数} = \begin{array}{cc} 2. 00 & 1. 00 \end{array}$$

$$\beta_y : \text{垂直速度低下指数} = \begin{array}{cc} 1. 35 & 1. 00 \end{array}$$

$$\Delta t : \text{計算時間間隔} = 0. 02 \text{ (s)}$$

計算結果一覧 (抜粋)

計算番号順に Δt 刻みで逐次計算を実施 一部省略して表示

計算番号 NO.	時間 t (s)	風速 Vw (m/s)	速度 (水平) Vx (m/s)	速度 (垂直) Vy (m/s)	速度 V (m/s)	移動差分 (水平) dx (m)	移動差分 (垂直) dy (m)	発射点からの 水平距離 x (m)	発射点からの 垂直距離 y (m)
1	0. 00	0. 00	100. 94	23. 30	103. 60	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00
10	0. 18	0. 00	94. 46	20. 46	96. 65	1. 89	0. 41	17. 51	3. 91
20	0. 38	0. 00	88. 17	17. 50	89. 89	1. 76	0. 35	35. 69	7. 67
30	0. 58	0. 00	82. 67	14. 75	83. 97	1. 65	0. 29	52. 71	10. 87
40	0. 78	0. 00	77. 81	12. 16	78. 76	1. 56	0. 24	68. 70	13. 53
50	0. 98	0. 00	73. 50	9. 73	74. 14	1. 47	0. 19	83. 78	15. 69
60	1. 18	0. 00	69. 64	7. 42	70. 04	1. 39	0. 15	98. 05	17. 38
70	1. 38	0. 00	66. 17	5. 24	66. 37	1. 32	0. 10	111. 59	18. 62
80	1. 58	0. 00	63. 02	3. 14	63. 10	1. 26	0. 06	124. 47	19. 44
90	1. 78	0. 00	60. 17	1. 13	60. 18	1. 20	0. 02	136. 76	19. 84
100	1. 98	0. 00	58. 50	-0. 84	58. 51	1. 17	-0. 02	148. 55	19. 85
110	2. 18	0. 00	58. 33	-2. 75	58. 39	1. 17	-0. 06	160. 23	19. 47
120	2. 38	0. 00	58. 15	-4. 62	58. 34	1. 16	-0. 09	171. 88	18. 72
130	2. 58	0. 00	57. 98	-6. 45	58. 34	1. 16	-0. 13	183. 49	17. 59
140	2. 78	0. 00	57. 81	-8. 23	58. 39	1. 16	-0. 16	195. 07	16. 10
150	2. 98	0. 00	57. 63	-9. 96	58. 49	1. 15	-0. 20	206. 61	14. 27
160	3. 18	0. 00	57. 46	-11. 65	58. 63	1. 15	-0. 23	218. 12	12. 09
170	3. 38	0. 00	57. 29	-13. 30	58. 81	1. 15	-0. 27	229. 59	9. 58
180	3. 58	0. 00	57. 12	-14. 91	59. 03	1. 14	-0. 30	241. 03	6. 74
190	3. 78	0. 00	56. 95	-16. 48	59. 28	1. 14	-0. 33	252. 43	3. 58
200	3. 98	0. 00	56. 77	-18. 01	59. 56	1. 14	-0. 36	263. 80	0. 12
210	4. 18	0. 00	56. 60	-19. 50	59. 87	1. 13	-0. 39	275. 14	-3. 65
220	4. 38	0. 00	56. 43	-20. 96	60. 20	1. 13	-0. 42	286. 44	-7. 71
230	4. 58	0. 00	56. 27	-22. 38	60. 55	1. 13	-0. 45	297. 71	-12. 06
240	4. 78	0. 00	56. 10	-23. 77	60. 92	1. 12	-0. 48	308. 94	-16. 69
250	4. 98	0. 00	55. 93	-25. 12	61. 31	1. 12	-0. 50	320. 15	-21. 59
260	5. 18	0. 00	55. 76	-26. 43	61. 71	1. 12	-0. 53	331. 31	-26. 76
270	5. 38	0. 00	55. 59	-27. 72	62. 12	1. 11	-0. 55	342. 45	-32. 19
280	5. 58	0. 00	55. 43	-28. 97	62. 54	1. 11	-0. 58	353. 55	-37. 87
290	5. 78	0. 00	55. 26	-30. 19	62. 97	1. 11	-0. 60	364. 61	-43. 80
300	5. 98	0. 00	55. 10	-31. 38	63. 41	1. 10	-0. 63	375. 65	-49. 97

表 5. 4. 5(15) 矢の軌道の計算結果

発射角	14. 0 (°)	計算方法	逐次計算法	計算時間間隔	0. 02 (s)
-----	-----------	------	-------	--------	-----------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の β 乗に比例するものとする。

$$F=KV^\beta$$

速度

$$\text{水平 (x 成分)} : V_{x_n} = V_{x_{n-1}} - k_x V_{x_{n-1}}^{\beta} \Delta t$$

$$\text{垂直 (y 成分)} : V_{y_n} = V_{y_{n-1}} - g \Delta t - k_y V_{y_{n-1}}^{\beta} \Delta t$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 100. 0\%$$

$$v_0' : \text{初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V + V_w$$

$$V_w : \text{風速} = 0. 0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 14. 0 (^\circ)$$

$$0. 244 \text{ (radian)}$$

標準矢	26. 0g
対象矢	26. 0g

向かい風 (－) ～追い風 (＋)
水平 (0°) ～垂直 (90°)

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9. 8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k_x : \text{水平抵抗係数} = \begin{array}{cc} \text{上昇時} & \text{下降時} \\ 0. 0037 & 0. 015 \end{array}$$

$$k_y : \text{垂直抵抗係数} = \begin{array}{cc} 0. 09 & 0. 1 \end{array}$$

$$\beta_x : \text{水平速度低下指数} = \begin{array}{cc} 2. 00 & 1. 00 \end{array}$$

$$\beta_y : \text{垂直速度低下指数} = \begin{array}{cc} 1. 35 & 1. 00 \end{array}$$

$$\Delta t : \text{計算時間間隔} = 0. 02 \text{ (s)}$$

計算結果一覧 (抜粋)

計算番号順に Δt 刻みで逐次計算を実施 一部省略して表示

計算番号 NO.	時間 t (s)	風速 Vw (m/s)	速度 (水平) Vx (m/s)	速度 (垂直) Vy (m/s)	速度 V (m/s)	移動差分 (水平) dx (m)	移動差分 (垂直) dy (m)	発射点からの 水平距離 x (m)	発射点からの 垂直距離 y (m)
1	0. 00	0. 00	100. 52	25. 06	103. 60	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00
10	0. 18	0. 00	94. 17	22. 13	96. 74	1. 88	0. 44	17. 45	4. 22
20	0. 38	0. 00	88. 00	19. 09	90. 05	1. 76	0. 38	35. 59	8. 30
30	0. 58	0. 00	82. 59	16. 26	84. 17	1. 65	0. 33	52. 58	11. 81
40	0. 78	0. 00	77. 80	13. 60	78. 98	1. 56	0. 27	68. 56	14. 76
50	0. 98	0. 00	73. 54	11. 09	74. 38	1. 47	0. 22	83. 65	17. 20
60	1. 18	0. 00	69. 73	8. 73	70. 27	1. 39	0. 17	97. 93	19. 16
70	1. 38	0. 00	66. 29	6. 48	66. 61	1. 33	0. 13	111. 49	20. 66
80	1. 58	0. 00	63. 18	4. 34	63. 33	1. 26	0. 09	124. 40	21. 72
90	1. 78	0. 00	60. 34	2. 29	60. 39	1. 21	0. 05	136. 72	22. 36
100	1. 98	0. 00	57. 75	0. 30	57. 75	1. 16	0. 01	148. 50	22. 60
110	2. 18	0. 00	57. 12	-1. 65	57. 15	1. 14	-0. 03	159. 95	22. 44
120	2. 38	0. 00	56. 95	-3. 56	57. 06	1. 14	-0. 07	171. 35	21. 90
130	2. 58	0. 00	56. 78	-5. 43	57. 04	1. 14	-0. 11	182. 72	20. 98
140	2. 78	0. 00	56. 61	-7. 27	57. 08	1. 13	-0. 15	194. 06	19. 69
150	2. 98	0. 00	56. 44	-9. 06	57. 17	1. 13	-0. 18	205. 37	18. 04
160	3. 18	0. 00	56. 27	-10. 83	57. 31	1. 13	-0. 22	216. 64	16. 04
170	3. 38	0. 00	56. 10	-12. 55	57. 49	1. 12	-0. 25	227. 87	13. 68
180	3. 58	0. 00	55. 94	-14. 25	57. 72	1. 12	-0. 28	239. 07	10. 98
190	3. 78	0. 00	55. 77	-15. 91	57. 99	1. 12	-0. 32	250. 24	7. 95
200	3. 98	0. 00	55. 60	-17. 54	58. 30	1. 11	-0. 35	261. 38	4. 59
210	4. 18	0. 00	55. 44	-19. 13	58. 64	1. 11	-0. 38	272. 48	0. 91
220	4. 38	0. 00	55. 27	-20. 69	59. 02	1. 11	-0. 41	283. 55	-3. 09
230	4. 58	0. 00	55. 10	-22. 23	59. 42	1. 10	-0. 44	294. 59	-7. 40
240	4. 78	0. 00	54. 94	-23. 73	59. 84	1. 10	-0. 47	305. 59	-12. 01
250	4. 98	0. 00	54. 77	-25. 20	60. 29	1. 10	-0. 50	316. 56	-16. 92
260	5. 18	0. 00	54. 61	-26. 64	60. 76	1. 09	-0. 53	327. 49	-22. 12
270	5. 38	0. 00	54. 45	-28. 06	61. 25	1. 09	-0. 56	338. 40	-27. 60
280	5. 58	0. 00	54. 28	-29. 44	61. 75	1. 09	-0. 59	349. 27	-33. 37
290	5. 78	0. 00	54. 12	-30. 80	62. 27	1. 08	-0. 62	360. 11	-39. 41
300	5. 98	0. 00	53. 96	-32. 13	62. 80	1. 08	-0. 64	370. 91	-45. 71

表 5.4.5(16) 矢の軌道の計算結果

発射角	15.0 (°)	計算方法	逐次計算法	計算時間間隔	0.02 (s)
-----	----------	------	-------	--------	----------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の β 乗に比例するものとする。

$$F=KV^\beta$$

速度

$$\text{水平 (x 成分)} : V_{x_n} = V_{x_{n-1}} - k_x V_{x_{n-1}}^{\beta_x} dt$$

$$\text{垂直 (y 成分)} : V_{y_n} = V_{y_{n-1}} - g dt - k_y V_{y_{n-1}}^{\beta_y} dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 103.6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 100.0\%$$

$$v_0' : \text{初速度} = 103.6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V + V_w$$

$$V_w : \text{風速} = 0.0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 15.0 (^\circ)$$

$$0.262 \text{ (radian)}$$

標準矢	26.0g
対象矢	26.0g

向かい風 (−) ~ 追い風 (+)
水平 (0°) ~ 垂直 (90°)

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k_x : \text{水平抵抗係数} = \begin{array}{cc} \text{上昇時} & \text{下降時} \\ 0.0036 & 0.01575 \end{array}$$

$$k_y : \text{垂直抵抗係数} = \begin{array}{cc} 0.08875 & 0.0935 \end{array}$$

$$\beta_x : \text{水平速度低下指数} = \begin{array}{cc} 2.00 & 1.00 \end{array}$$

$$\beta_y : \text{垂直速度低下指数} = \begin{array}{cc} 1.35 & 1.00 \end{array}$$

$$\Delta t : \text{計算時間間隔} = 0.02 \text{ (s)}$$

計算結果一覧 (抜粋)

計算番号順に Δt 刻みで逐次計算を実施 一部省略して表示

計算番号 NO.	時間 t (s)	風速 Vw (m/s)	速度 (水平) Vx (m/s)	速度 (垂直) Vy (m/s)	速度 V (m/s)	移動差分 (水平) dx (m)	移動差分 (垂直) dy (m)	発射点からの 水平距離 x (m)	発射点からの 垂直距離 y (m)
1	0.00	0.00	100.07	26.81	103.60	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.18	0.00	93.94	23.79	96.90	1.88	0.48	17.39	4.52
20	0.38	0.00	87.95	20.65	90.34	1.76	0.41	35.50	8.93
30	0.58	0.00	82.68	17.72	84.56	1.65	0.35	52.50	12.73
40	0.78	0.00	78.01	14.98	79.43	1.56	0.30	68.52	15.97
50	0.98	0.00	73.84	12.41	74.87	1.48	0.25	83.65	18.68
60	1.18	0.00	70.09	9.98	70.80	1.40	0.20	98.00	20.90
70	1.38	0.00	66.71	7.68	67.15	1.33	0.15	111.64	22.64
80	1.58	0.00	63.64	5.49	63.87	1.27	0.11	124.64	23.93
90	1.78	0.00	60.84	3.39	60.93	1.22	0.07	137.06	24.79
100	1.98	0.00	58.27	1.37	58.29	1.17	0.03	148.94	25.25
110	2.18	0.00	56.55	-0.60	56.56	1.13	-0.01	160.36	25.31
120	2.38	0.00	56.37	-2.53	56.43	1.13	-0.05	171.65	24.97
130	2.58	0.00	56.20	-4.43	56.37	1.12	-0.09	182.90	24.26
140	2.78	0.00	56.02	-6.29	56.37	1.12	-0.13	194.12	23.16
150	2.98	0.00	55.84	-8.12	56.43	1.12	-0.16	205.31	21.70
160	3.18	0.00	55.67	-9.91	56.54	1.11	-0.20	216.46	19.88
170	3.38	0.00	55.49	-11.67	56.71	1.11	-0.23	227.57	17.71
180	3.58	0.00	55.32	-13.40	56.92	1.11	-0.27	238.65	15.18
190	3.78	0.00	55.14	-15.09	57.17	1.10	-0.30	249.69	12.32
200	3.98	0.00	54.97	-16.76	57.47	1.10	-0.34	260.70	9.11
210	4.18	0.00	54.80	-18.39	57.80	1.10	-0.37	271.68	5.58
220	4.38	0.00	54.63	-19.99	58.17	1.09	-0.40	282.62	1.73
230	4.58	0.00	54.45	-21.57	58.57	1.09	-0.43	293.53	-2.45
240	4.78	0.00	54.28	-23.11	59.00	1.09	-0.46	304.40	-6.93
250	4.98	0.00	54.11	-24.62	59.45	1.08	-0.49	315.24	-11.72
260	5.18	0.00	53.94	-26.11	59.93	1.08	-0.52	326.04	-16.81
270	5.38	0.00	53.77	-27.57	60.43	1.08	-0.55	336.81	-22.19
280	5.58	0.00	53.60	-29.00	60.95	1.07	-0.58	347.55	-27.86
290	5.78	0.00	53.43	-30.41	61.48	1.07	-0.61	358.25	-33.82
300	5.98	0.00	53.27	-31.79	62.03	1.07	-0.64	368.92	-40.05

表 5.4.5(17) 矢の軌道の計算結果

発射角	16.0 (°)	計算方法	逐次計算法	計算時間間隔	0.02 (s)
-----	----------	------	-------	--------	----------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の β 乗に比例するものとする。

$$F=KV^\beta$$

速度

$$\text{水平 (x 成分)} : V_{x_n} = V_{x_{n-1}} - k_x V_{x_{n-1}}^{\beta_x} dt$$

$$\text{垂直 (y 成分)} : V_{y_n} = V_{y_{n-1}} - g dt - k_y V_{y_{n-1}}^{\beta_y} dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 103.6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 100.0\%$$

$$v_0' : \text{初速度} = 103.6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V + V_w$$

$$V_w : \text{風速} = 0.0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 16.0 \text{ (°)}$$

$$0.279 \text{ (radian)}$$

標準矢	26.0g
対象矢	26.0g

向かい風 (−) ~ 追い風 (+)
水平 (0°) ~ 垂直 (90°)

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k_x : \text{水平抵抗係数} = \begin{array}{cc} \text{上昇時} & \text{下降時} \\ 0.0035 & 0.0165 \end{array}$$

$$k_y : \text{垂直抵抗係数} = \begin{array}{cc} 0.0875 & 0.087 \end{array}$$

$$\beta_x : \text{水平速度低下指数} = \begin{array}{cc} 2.00 & 1.00 \end{array}$$

$$\beta_y : \text{垂直速度低下指数} = \begin{array}{cc} 1.35 & 1.00 \end{array}$$

$$\Delta t : \text{計算時間間隔} = 0.02 \text{ (s)}$$

計算結果一覧 (抜粋)

計算番号順に Δt 刻みで逐次計算を実施 一部省略して表示

計算番号 NO.	時間 t (s)	風速 Vw (m/s)	速度 (水平) Vx (m/s)	速度 (垂直) Vy (m/s)	速度 V (m/s)	移動差分 (水平) dx (m)	移動差分 (垂直) dy (m)	発射点からの 水平距離 x (m)	発射点からの 垂直距離 y (m)
1	0.00	0.00	99.59	28.56	103.60	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.18	0.00	93.67	25.43	97.06	1.87	0.51	17.32	4.82
20	0.38	0.00	87.87	22.20	90.63	1.76	0.44	35.41	9.55
30	0.58	0.00	82.75	19.18	84.95	1.66	0.38	52.41	13.66
40	0.78	0.00	78.20	16.36	79.89	1.56	0.33	68.45	17.18
50	0.98	0.00	74.12	13.72	75.38	1.48	0.27	83.63	20.16
60	1.18	0.00	70.44	11.22	71.33	1.41	0.22	98.04	22.63
70	1.38	0.00	67.12	8.86	67.70	1.34	0.18	111.76	24.61
80	1.58	0.00	64.09	6.62	64.43	1.28	0.13	124.85	26.13
90	1.78	0.00	61.33	4.48	61.49	1.23	0.09	137.36	27.22
100	1.98	0.00	58.79	2.42	58.84	1.18	0.05	149.34	27.89
110	2.18	0.00	56.46	0.43	56.46	1.13	0.01	160.84	28.15
120	2.38	0.00	55.67	-1.52	55.69	1.11	-0.03	172.00	28.02
130	2.58	0.00	55.48	-3.44	55.59	1.11	-0.07	183.12	27.50
140	2.78	0.00	55.30	-5.33	55.56	1.11	-0.11	194.19	26.61
150	2.98	0.00	55.12	-7.18	55.59	1.10	-0.14	205.23	25.34
160	3.18	0.00	54.94	-9.00	55.67	1.10	-0.18	216.24	23.70
170	3.38	0.00	54.76	-10.79	55.81	1.10	-0.22	227.21	21.70
180	3.58	0.00	54.58	-12.55	56.00	1.09	-0.25	238.14	19.35
190	3.78	0.00	54.40	-14.28	56.24	1.09	-0.29	249.03	16.65
200	3.98	0.00	54.22	-15.98	56.52	1.08	-0.32	259.89	13.61
210	4.18	0.00	54.04	-17.64	56.85	1.08	-0.35	270.72	10.23
220	4.38	0.00	53.86	-19.28	57.21	1.08	-0.39	281.50	6.52
230	4.58	0.00	53.68	-20.90	57.61	1.07	-0.42	292.26	2.49
240	4.78	0.00	53.51	-22.48	58.04	1.07	-0.45	302.97	-1.87
250	4.98	0.00	53.33	-24.04	58.50	1.07	-0.48	313.66	-6.54
260	5.18	0.00	53.15	-25.57	58.98	1.06	-0.51	324.30	-11.51
270	5.38	0.00	52.98	-27.07	59.49	1.06	-0.54	334.91	-16.79
280	5.58	0.00	52.80	-28.55	60.03	1.06	-0.57	345.49	-22.37
290	5.78	0.00	52.63	-30.00	60.58	1.05	-0.60	356.03	-28.24
300	5.98	0.00	52.46	-31.43	61.15	1.05	-0.63	366.54	-34.39

表 5.4.5(18) 矢の軌道の計算結果

発射角	17.0 (°)	計算方法	逐次計算法	計算時間間隔	0.02 (s)
-----	----------	------	-------	--------	----------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の β 乗に比例するものとする。

$$F=KV^\beta$$

速度

$$\text{水平 (x 成分)} : V_{x_n} = V_{x_{n-1}} - k_x V_{x_{n-1}}^{\beta_x} dt$$

$$\text{垂直 (y 成分)} : V_{y_n} = V_{y_{n-1}} - g dt - k_y V_{y_{n-1}}^{\beta_y} dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 103.6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 100.0\%$$

$$v_0' : \text{初速度} = 103.6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V + V_w$$

$$V_w : \text{風速} = 0.0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 17.0 \text{ (°)}$$

$$0.297 \text{ (radian)}$$

$$\text{標準矢} = 26.0g$$

$$\text{対象矢} = 26.0g$$

向かい風 (－) ～追い風 (＋)

水平 (0°) ～垂直 (90°)

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k_x : \text{水平抵抗係数} = \begin{array}{cc} \text{上昇時} & \text{下降時} \\ 0.0034 & 0.01725 \end{array}$$

$$k_y : \text{垂直抵抗係数} = \begin{array}{cc} 0.08625 & 0.0785 \end{array}$$

$$\beta_x : \text{水平速度低下指数} = \begin{array}{cc} 2.00 & 1.00 \end{array}$$

$$\beta_y : \text{垂直速度低下指数} = \begin{array}{cc} 1.35 & 1.00 \end{array}$$

$$\Delta t : \text{計算時間間隔} = 0.02 \text{ (s)}$$

計算結果一覧 (抜粋)

計算番号順に Δt 刻みで逐次計算を実施 一部省略して表示

計算番号 NO.	時間 t (s)	風速 Vw (m/s)	速度 (水平) Vx (m/s)	速度 (垂直) Vy (m/s)	速度 V (m/s)	移動差分 (水平) dx (m)	移動差分 (垂直) dy (m)	発射点からの 水平距離 x (m)	発射点からの 垂直距離 y (m)
1	0.00	0.00	99.07	30.29	103.60	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.18	0.00	93.37	27.07	97.22	1.87	0.54	17.25	5.13
20	0.38	0.00	87.77	23.74	90.92	1.76	0.47	35.30	10.17
30	0.58	0.00	82.80	20.64	85.33	1.66	0.41	52.30	14.58
40	0.78	0.00	78.36	17.74	80.34	1.57	0.35	68.36	18.38
50	0.98	0.00	74.38	15.02	75.88	1.49	0.30	83.59	21.63
60	1.18	0.00	70.78	12.46	71.87	1.42	0.25	98.06	24.35
70	1.38	0.00	67.51	10.04	68.26	1.35	0.20	111.85	26.57
80	1.58	0.00	64.54	7.75	65.00	1.29	0.15	125.02	28.32
90	1.78	0.00	61.81	5.56	62.06	1.24	0.11	137.63	29.63
100	1.98	0.00	59.31	3.46	59.41	1.19	0.07	149.71	30.51
110	2.18	0.00	57.00	1.44	57.02	1.14	0.03	161.32	30.98
120	2.38	0.00	55.24	-0.53	55.25	1.10	-0.01	172.49	31.05
130	2.58	0.00	55.05	-2.47	55.11	1.10	-0.05	183.52	30.73
140	2.78	0.00	54.86	-4.38	55.04	1.10	-0.09	194.51	30.03
150	2.98	0.00	54.67	-6.25	55.03	1.09	-0.13	205.46	28.94
160	3.18	0.00	54.49	-8.10	55.08	1.09	-0.16	216.37	27.49
170	3.38	0.00	54.30	-9.92	55.20	1.09	-0.20	227.25	25.67
180	3.58	0.00	54.11	-11.71	55.36	1.08	-0.23	238.09	23.49
190	3.78	0.00	53.92	-13.48	55.58	1.08	-0.27	248.89	20.95
200	3.98	0.00	53.74	-15.21	55.85	1.07	-0.30	259.66	18.06
210	4.18	0.00	53.55	-16.92	56.16	1.07	-0.34	270.38	14.83
220	4.38	0.00	53.37	-18.60	56.52	1.07	-0.37	281.07	11.26
230	4.58	0.00	53.19	-20.26	56.91	1.06	-0.41	291.73	7.36
240	4.78	0.00	53.00	-21.89	57.35	1.06	-0.44	302.34	3.13
250	4.98	0.00	52.82	-23.50	57.81	1.06	-0.47	312.92	-1.43
260	5.18	0.00	52.64	-25.08	58.31	1.05	-0.50	323.47	-6.30
270	5.38	0.00	52.46	-26.63	58.83	1.05	-0.53	333.98	-11.49
280	5.58	0.00	52.28	-28.16	59.38	1.05	-0.56	344.45	-16.98
290	5.78	0.00	52.10	-29.67	59.95	1.04	-0.59	354.88	-22.78
300	5.98	0.00	51.92	-31.15	60.55	1.04	-0.62	365.28	-28.88

表 5.4.5(19) 矢の軌道の計算結果

発射角	18.0 (°)	計算方法	逐次計算法	計算時間間隔	0.02 (s)
-----	----------	------	-------	--------	----------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の β 乗に比例するものとする。

$$F=KV^\beta$$

速度

$$\text{水平 (x 成分)} : V_{x_n} = V_{x_{n-1}} - k_x V_{x_{n-1}}^{\beta_x} dt$$

$$\text{垂直 (y 成分)} : V_{y_n} = V_{y_{n-1}} - g dt - k_y V_{y_{n-1}}^{\beta_y} dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 103.6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 100.0\%$$

$$v_0' : \text{初速度} = 103.6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V + V_w$$

$$V_w : \text{風速} = 0.0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 18.0 (^\circ)$$

$$0.314 \text{ (radian)}$$

標準矢	26.0g
対象矢	26.0g

向かい風 (－) ～ 追い風 (＋)
水平 (0°) ～ 垂直 (90°)

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

k_x : 水平抵抗係数	上昇時	0.0033	下降時	0.018
----------------	-----	--------	-----	-------

k_y : 垂直抵抗係数	0.085	0.07
----------------	-------	------

β_x : 水平速度低下指数	2.00	1.00
----------------------	------	------

β_y : 垂直速度低下指数	1.35	1.00
----------------------	------	------

$$\Delta t : \text{計算時間間隔} = 0.02 \text{ (s)}$$

計算結果一覧 (抜粋)

計算番号順に Δt 刻みで逐次計算を実施 一部省略して表示

計算番号 NO.	時間 t (s)	風速 Vw (m/s)	速度 (水平) Vx (m/s)	速度 (垂直) Vy (m/s)	速度 V (m/s)	移動差分 (水平) dx (m)	移動差分 (垂直) dy (m)	発射点からの 水平距離 x (m)	発射点からの 垂直距離 y (m)
1	0.00	0.00	98.53	32.01	103.60	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.18	0.00	93.05	28.70	97.38	1.86	0.57	17.18	5.43
20	0.38	0.00	87.63	25.28	91.21	1.75	0.51	35.18	10.79
30	0.58	0.00	82.82	22.09	85.71	1.66	0.44	52.17	15.49
40	0.78	0.00	78.50	19.11	80.80	1.57	0.38	68.25	19.58
50	0.98	0.00	74.62	16.32	76.38	1.49	0.33	83.52	23.09
60	1.18	0.00	71.10	13.69	72.41	1.42	0.27	98.05	26.06
70	1.38	0.00	67.90	11.21	68.82	1.36	0.22	111.91	28.52
80	1.58	0.00	64.97	8.87	65.58	1.30	0.18	125.16	30.51
90	1.78	0.00	62.29	6.63	62.64	1.25	0.13	137.86	32.03
100	1.98	0.00	59.82	4.49	59.99	1.20	0.09	150.04	33.12
110	2.18	0.00	57.54	2.44	57.59	1.15	0.05	161.75	33.79
120	2.38	0.00	55.43	0.45	55.43	1.11	0.01	173.03	34.06
130	2.58	0.00	54.69	-1.51	54.71	1.09	-0.03	183.99	33.94
140	2.78	0.00	54.49	-3.43	54.60	1.09	-0.07	194.91	33.42
150	2.98	0.00	54.29	-5.33	54.56	1.09	-0.11	205.79	32.53
160	3.18	0.00	54.10	-7.21	54.58	1.08	-0.14	216.62	31.25
170	3.38	0.00	53.90	-9.05	54.66	1.08	-0.18	227.42	29.61
180	3.58	0.00	53.71	-10.88	54.80	1.07	-0.22	238.18	27.60
190	3.78	0.00	53.52	-12.67	55.00	1.07	-0.25	248.90	25.22
200	3.98	0.00	53.33	-14.44	55.25	1.07	-0.29	259.58	22.49
210	4.18	0.00	53.13	-16.19	55.55	1.06	-0.32	270.23	19.41
220	4.38	0.00	52.94	-17.91	55.89	1.06	-0.36	280.83	15.99
230	4.58	0.00	52.75	-19.61	56.28	1.06	-0.39	291.40	12.22
240	4.78	0.00	52.56	-21.29	56.71	1.05	-0.43	301.93	8.11
250	4.98	0.00	52.37	-22.94	57.18	1.05	-0.46	312.42	3.67
260	5.18	0.00	52.19	-24.57	57.68	1.04	-0.49	322.88	-1.10
270	5.38	0.00	52.00	-26.17	58.21	1.04	-0.52	333.29	-6.19
280	5.58	0.00	51.81	-27.76	58.78	1.04	-0.56	343.67	-11.60
290	5.78	0.00	51.62	-29.32	59.37	1.03	-0.59	354.01	-17.32
300	5.98	0.00	51.44	-30.86	59.98	1.03	-0.62	364.32	-23.35

表 5. 4. 5 (20) 矢の軌道の計算結果

発射角	19.0 (°)	計算方法	逐次計算法	計算時間間隔	0.02 (s)
-----	----------	------	-------	--------	----------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の β 乗に比例するものとする。

$$F=KV^\beta$$

速度

$$\text{水平 (x 成分)} : V_{x_n} = V_{x_{n-1}} - k_x V_{x_{n-1}}^{\beta_x} dt$$

$$\text{垂直 (y 成分)} : V_{y_n} = V_{y_{n-1}} - g dt - k_y V_{y_{n-1}}^{\beta_y} dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 103.6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 100.0\%$$

$$v_0' : \text{初速度} = 103.6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V + V_w$$

$$V_w : \text{風速} = 0.0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 19.0 \text{ (°)}$$

$$0.332 \text{ (radian)}$$

標準矢	26.0g
対象矢	26.0g

向かい風 (−) ~ 追い風 (+)
水平 (0°) ~ 垂直 (90°)

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k_x : \text{水平抵抗係数} = \begin{array}{cc} \text{上昇時} & \text{下降時} \\ 0.0032 & 0.02 \end{array}$$

$$k_y : \text{垂直抵抗係数} = \begin{array}{cc} 0.084 & 0.065 \end{array}$$

$$\beta_x : \text{水平速度低下指数} = \begin{array}{cc} 2.00 & 1.00 \end{array}$$

$$\beta_y : \text{垂直速度低下指数} = \begin{array}{cc} 1.35 & 1.00 \end{array}$$

$$\Delta t : \text{計算時間間隔} = 0.02 \text{ (s)}$$

計算結果一覧 (抜粋)

計算番号順に Δt 刻みで逐次計算を実施 一部省略して表示

計算番号 NO.	時間 t (s)	風速 Vw (m/s)	速度 (水平) Vx (m/s)	速度 (垂直) Vy (m/s)	速度 V (m/s)	移動差分 (水平) dx (m)	移動差分 (垂直) dy (m)	発射点からの 水平距離 x (m)	発射点からの 垂直距離 y (m)
1	0.00	0.00	97.96	33.73	103.60	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.18	0.00	92.69	30.32	97.53	1.85	0.61	17.10	5.73
20	0.38	0.00	87.47	26.80	91.49	1.75	0.54	35.05	11.40
30	0.58	0.00	82.81	23.52	86.09	1.66	0.47	52.03	16.40
40	0.78	0.00	78.62	20.46	81.24	1.57	0.41	68.12	20.76
50	0.98	0.00	74.84	17.60	76.88	1.50	0.35	83.42	24.54
60	1.18	0.00	71.40	14.91	72.94	1.43	0.30	98.01	27.76
70	1.38	0.00	68.27	12.37	69.38	1.37	0.25	111.94	30.46
80	1.58	0.00	65.40	9.96	66.15	1.31	0.20	125.27	32.66
90	1.78	0.00	62.76	7.68	63.23	1.26	0.15	138.06	34.40
100	1.98	0.00	60.33	5.50	60.58	1.21	0.11	150.34	35.70
110	2.18	0.00	58.08	3.41	58.18	1.16	0.07	162.16	36.57
120	2.38	0.00	55.99	1.39	56.01	1.12	0.03	173.54	37.03
130	2.58	0.00	54.38	-0.58	54.38	1.09	-0.01	184.53	37.09
140	2.78	0.00	54.16	-2.52	54.22	1.08	-0.05	195.38	36.76
150	2.98	0.00	53.95	-4.43	54.13	1.08	-0.09	206.19	36.04
160	3.18	0.00	53.73	-6.32	54.10	1.07	-0.13	216.96	34.95
170	3.38	0.00	53.52	-8.19	54.14	1.07	-0.16	227.68	33.48
180	3.58	0.00	53.30	-10.03	54.24	1.07	-0.20	238.36	31.64
190	3.78	0.00	53.09	-11.85	54.40	1.06	-0.24	249.00	29.43
200	3.98	0.00	52.88	-13.65	54.61	1.06	-0.27	259.59	26.86
210	4.18	0.00	52.67	-15.42	54.88	1.05	-0.31	270.14	23.94
220	4.38	0.00	52.46	-17.17	55.19	1.05	-0.34	280.65	20.66
230	4.58	0.00	52.25	-18.90	55.56	1.04	-0.38	291.12	17.04
240	4.78	0.00	52.04	-20.60	55.97	1.04	-0.41	301.55	13.07
250	4.98	0.00	51.83	-22.28	56.42	1.04	-0.45	311.93	8.76
260	5.18	0.00	51.62	-23.94	56.91	1.03	-0.48	322.28	4.12
270	5.38	0.00	51.42	-25.58	57.43	1.03	-0.51	332.58	-0.84
280	5.58	0.00	51.21	-27.20	57.99	1.02	-0.54	342.84	-6.14
290	5.78	0.00	51.01	-28.80	58.58	1.02	-0.58	353.06	-11.76
300	5.98	0.00	50.80	-30.37	59.19	1.02	-0.61	363.24	-17.69

表 5. 4. 5(21) 矢の軌道の計算結果

発射角	20. 0 (°)	計算方法	逐次計算法	計算時間間隔	0. 02 (s)
-----	-----------	------	-------	--------	-----------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の β 乗に比例するものとする。

$$F=KV^\beta$$

速度

$$\text{水平 (x 成分)} : V_{x_n} = V_{x_{n-1}} - k_x V_{x_{n-1}}^{\beta_x} dt$$

$$\text{垂直 (y 成分)} : V_{y_n} = V_{y_{n-1}} - g dt - k_y V_{y_{n-1}}^{\beta_y} dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 100. 0\%$$

$$V_0' : \text{初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V + V_w$$

$$V_w : \text{風速} = 0. 0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 20. 0 (^\circ)$$

$$0. 349 \text{ (radian)}$$

標準矢	26. 0g
対象矢	26. 0g

向かい風 (－) ～追い風 (＋)
水平 (0°) ～垂直 (90°)

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9. 8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k_x : \text{水平抵抗係数} = \begin{array}{cc} \text{上昇時} & \text{下降時} \\ 0. 0031 & 0. 022 \end{array}$$

$$k_y : \text{垂直抵抗係数} = \begin{array}{cc} 0. 083 & 0. 06 \end{array}$$

$$\beta_x : \text{水平速度低下指数} = \begin{array}{cc} 2. 00 & 1. 00 \end{array}$$

$$\beta_y : \text{垂直速度低下指数} = \begin{array}{cc} 1. 35 & 1. 00 \end{array}$$

$$\Delta t : \text{計算時間間隔} = 0. 02 \text{ (s)}$$

計算結果一覧 (抜粋)

計算番号順に Δt 刻みで逐次計算を実施 一部省略して表示

計算番号 NO.	時間 t (s)	風速 Vw (m/s)	速度 (水平) Vx (m/s)	速度 (垂直) Vy (m/s)	速度 V (m/s)	移動差分 (水平) dx (m)	移動差分 (垂直) dy (m)	発射点からの 水平距離 x (m)	発射点からの 垂直距離 y (m)
1	0. 00	0. 00	97. 35	35. 43	103. 60	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00
10	0. 18	0. 00	92. 31	31. 93	97. 68	1. 85	0. 64	17. 01	6. 02
20	0. 38	0. 00	87. 28	28. 31	91. 76	1. 75	0. 57	34. 91	12. 01
30	0. 58	0. 00	82. 78	24. 95	86. 46	1. 66	0. 50	51. 86	17. 30
40	0. 78	0. 00	78. 72	21. 81	81. 69	1. 57	0. 44	67. 97	21. 94
50	0. 98	0. 00	75. 04	18. 87	77. 38	1. 50	0. 38	83. 30	25. 97
60	1. 18	0. 00	71. 69	16. 11	73. 48	1. 43	0. 32	97. 94	29. 44
70	1. 38	0. 00	68. 63	13. 51	69. 94	1. 37	0. 27	111. 93	32. 38
80	1. 58	0. 00	65. 81	11. 06	66. 74	1. 32	0. 22	125. 34	34. 81
90	1. 78	0. 00	63. 22	8. 73	63. 82	1. 26	0. 17	138. 22	36. 76
100	1. 98	0. 00	60. 83	6. 50	61. 18	1. 22	0. 13	150. 60	38. 26
110	2. 18	0. 00	58. 61	4. 38	58. 77	1. 17	0. 09	162. 52	39. 32
120	2. 38	0. 00	56. 55	2. 33	56. 60	1. 13	0. 05	174. 01	39. 97
130	2. 58	0. 00	54. 63	0. 34	54. 63	1. 09	0. 01	185. 10	40. 22
140	2. 78	0. 00	54. 07	-1. 62	54. 09	1. 08	-0. 03	195. 94	40. 07
150	2. 98	0. 00	53. 83	-3. 55	53. 95	1. 08	-0. 07	206. 73	39. 53
160	3. 18	0. 00	53. 59	-5. 45	53. 87	1. 07	-0. 11	217. 47	38. 62
170	3. 38	0. 00	53. 36	-7. 34	53. 86	1. 07	-0. 15	228. 16	37. 32
180	3. 58	0. 00	53. 12	-9. 20	53. 91	1. 06	-0. 18	238. 81	35. 64
190	3. 78	0. 00	52. 89	-11. 04	54. 03	1. 06	-0. 22	249. 41	33. 60
200	3. 98	0. 00	52. 66	-12. 86	54. 21	1. 05	-0. 26	259. 96	31. 19
210	4. 18	0. 00	52. 43	-14. 65	54. 44	1. 05	-0. 29	270. 47	28. 43
220	4. 38	0. 00	52. 20	-16. 43	54. 72	1. 04	-0. 33	280. 93	25. 30
230	4. 58	0. 00	51. 97	-18. 18	55. 06	1. 04	-0. 36	291. 34	21. 82
240	4. 78	0. 00	51. 74	-19. 91	55. 44	1. 03	-0. 40	301. 71	17. 99
250	4. 98	0. 00	51. 51	-21. 62	55. 87	1. 03	-0. 43	312. 03	13. 82
260	5. 18	0. 00	51. 29	-23. 32	56. 34	1. 03	-0. 47	322. 31	9. 31
270	5. 38	0. 00	51. 06	-24. 99	56. 85	1. 02	-0. 50	332. 54	4. 46
280	5. 58	0. 00	50. 84	-26. 64	57. 39	1. 02	-0. 53	342. 73	-0. 72
290	5. 78	0. 00	50. 61	-28. 27	57. 97	1. 01	-0. 57	352. 87	-6. 22
300	5. 98	0. 00	50. 39	-29. 88	58. 59	1. 01	-0. 60	362. 97	-12. 05

表 5. 4. 5(22) 矢の軌道の計算結果

発射角	21.0 (°)	計算方法	逐次計算法	計算時間間隔	0.03 (s)
-----	----------	------	-------	--------	----------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の β 乗に比例するものとする。

$$F=KV^\beta$$

速度

$$\begin{aligned} \text{水平 (x 成分)} : V_{x_n} &= V_{x_{n-1}} - k_x V_{x_{n-1}}^{\beta_x} dt \\ \text{垂直 (y 成分)} : V_{y_n} &= V_{y_{n-1}} - g dt - k_y V_{y_{n-1}}^{\beta_y} dt \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v_0 : \text{基準初速度} &= 103.6 \text{ (m/s)} \\ \text{初速度低減率} &= 100.0\% \end{aligned}$$

標準矢	26.0g
対象矢	26.0g

$$v_0' : \text{初速度} = 103.6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V + V_w$$

$$V_w : \text{風速} = 0.0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 21.0 (^\circ)$$

$$0.367 \text{ (radian)}$$

向かい風 (－) ～ 追い風 (＋)
水平 (0°) ～ 垂直 (90°)

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

k_x : 水平抵抗係数	上昇時	0.0030975	下降時	0.0235
----------------	-----	-----------	-----	--------

k_y : 垂直抵抗係数	0.081	0.059
----------------	-------	-------

β_x : 水平速度低下指数	2.00	1.00
----------------------	------	------

β_y : 垂直速度低下指数	1.35	1.00
----------------------	------	------

$$\Delta t : \text{計算時間間隔} = 0.03 \text{ (s)}$$

計算結果一覧 (抜粋)

計算番号順に Δt 刻みで逐次計算を実施 一部省略して表示

計算番号 NO.	時間 t (s)	風速 Vw (m/s)	速度 (水平) Vx (m/s)	速度 (垂直) Vy (m/s)	速度 V (m/s)	移動差分 (水平) dx (m)	移動差分 (垂直) dy (m)	発射点からの 水平距離 x (m)	発射点からの 垂直距離 y (m)
1	0.00	0.00	96.72	37.13	103.60	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.27	0.00	89.42	31.85	94.93	2.68	0.96	24.99	9.22
20	0.57	0.00	82.51	26.57	86.68	2.48	0.80	50.65	17.89
30	0.87	0.00	76.59	21.82	79.64	2.30	0.65	74.41	25.07
40	1.17	0.00	71.47	17.50	73.58	2.14	0.53	96.52	30.89
50	1.47	0.00	66.99	13.56	68.35	2.01	0.41	117.21	35.48
60	1.77	0.00	63.04	9.93	63.82	1.89	0.30	136.65	38.95
70	2.07	0.00	59.54	6.56	59.90	1.79	0.20	154.97	41.36
80	2.37	0.00	56.40	3.40	56.50	1.69	0.10	172.31	42.81
90	2.67	0.00	53.58	0.39	53.58	1.61	0.01	188.75	43.33
100	2.97	0.00	52.75	-2.53	52.81	1.58	-0.08	204.63	42.96
110	3.27	0.00	52.38	-5.40	52.66	1.57	-0.16	220.40	41.73
120	3.57	0.00	52.01	-8.22	52.66	1.56	-0.25	236.05	39.64
130	3.87	0.00	51.64	-11.00	52.80	1.55	-0.33	251.59	36.71
140	4.17	0.00	51.28	-13.72	53.08	1.54	-0.41	267.03	32.96
150	4.47	0.00	50.92	-16.40	53.49	1.53	-0.49	282.35	28.41
160	4.77	0.00	50.56	-19.02	54.02	1.52	-0.57	297.57	23.05
170	5.07	0.00	50.21	-21.61	54.66	1.51	-0.65	312.68	16.92
180	5.37	0.00	49.85	-24.14	55.39	1.50	-0.72	327.68	10.02
190	5.67	0.00	49.50	-26.64	56.22	1.49	-0.80	342.58	2.36
200	5.97	0.00	49.16	-29.09	57.12	1.47	-0.87	357.37	-6.04
210	6.27	0.00	48.81	-31.49	58.09	1.46	-0.94	372.06	-15.16
220	6.57	0.00	48.47	-33.86	59.12	1.45	-1.02	386.65	-25.00
230	6.87	0.00	48.13	-36.18	60.21	1.44	-1.09	401.13	-35.54
240	7.17	0.00	47.79	-38.46	61.34	1.43	-1.15	415.52	-46.77
250	7.47	0.00	47.45	-40.70	62.52	1.42	-1.22	429.80	-58.68
260	7.77	0.00	47.12	-42.90	63.72	1.41	-1.29	443.98	-71.25
270	8.07	0.00	46.79	-45.07	64.96	1.40	-1.35	458.06	-84.48
280	8.37	0.00	46.46	-47.19	66.22	1.39	-1.42	472.04	-98.35
290	8.67	0.00	46.13	-49.28	67.50	1.38	-1.48	485.92	-112.86
300	8.97	0.00	45.81	-51.33	68.80	1.37	-1.54	499.71	-127.98

表 5. 4. 5 (23) 矢の軌道の計算結果

発射角	22. 0 (°)	計算方法	逐次計算法	計算時間間隔	0. 03 (s)
-----	-----------	------	-------	--------	-----------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の β 乗に比例するものとする。

$$F=KV^\beta$$

速度

$$\text{水平 (x 成分)} : V_{x_n} = V_{x_{n-1}} - k_x V_{x_{n-1}}^{\beta_x} dt$$

$$\text{垂直 (y 成分)} : V_{y_n} = V_{y_{n-1}} - g dt - k_y V_{y_{n-1}}^{\beta_y} dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 100. 0\%$$

$$v_0' : \text{初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V + V_w$$

$$V_w : \text{風速} = 0. 0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 22. 0 (^\circ)$$

$$0. 384 \text{ (radian)}$$

標準矢	26. 0g
対象矢	26. 0g

向かい風 (－) ～追い風 (＋)
水平 (0°) ～垂直 (90°)

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9. 8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k_x : \text{水平抵抗係数} = \begin{array}{cc} \text{上昇時} & \text{下降時} \\ 0. 003095 & 0. 025 \end{array}$$

$$k_y : \text{垂直抵抗係数} = \begin{array}{cc} 0. 079 & 0. 058 \end{array}$$

$$\beta_x : \text{水平速度低下指数} = \begin{array}{cc} 2. 00 & 1. 00 \end{array}$$

$$\beta_y : \text{垂直速度低下指数} = \begin{array}{cc} 1. 35 & 1. 00 \end{array}$$

$$\Delta t : \text{計算時間間隔} = 0. 03 \text{ (s)}$$

計算結果一覧 (抜粋)

計算番号順に Δt 刻みで逐次計算を実施 一部省略して表示

計算番号 NO.	時間 t (s)	風速 Vw (m/s)	速度 (水平) Vx (m/s)	速度 (垂直) Vy (m/s)	速度 V (m/s)	移動差分 (水平) dx (m)	移動差分 (垂直) dy (m)	発射点からの 水平距離 x (m)	発射点からの 垂直距離 y (m)
1	0. 00	0. 00	96. 06	38. 81	103. 60	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00
10	0. 27	0. 00	88. 86	33. 43	94. 94	2. 67	1. 00	24. 83	9. 66
20	0. 57	0. 00	82. 04	28. 05	86. 70	2. 46	0. 84	50. 34	18. 79
30	0. 87	0. 00	76. 19	23. 20	79. 65	2. 29	0. 70	73. 96	26. 39
40	1. 17	0. 00	71. 13	18. 80	73. 57	2. 13	0. 56	95. 97	32. 61
50	1. 47	0. 00	66. 69	14. 77	68. 31	2. 00	0. 44	116. 56	37. 58
60	1. 77	0. 00	62. 78	11. 07	63. 75	1. 88	0. 33	135. 91	41. 39
70	2. 07	0. 00	59. 30	7. 63	59. 79	1. 78	0. 23	154. 16	44. 14
80	2. 37	0. 00	56. 19	4. 41	56. 37	1. 69	0. 13	171. 43	45. 90
90	2. 67	0. 00	53. 39	1. 37	53. 41	1. 60	0. 04	187. 82	46. 71
100	2. 97	0. 00	51. 90	-1. 58	51. 92	1. 56	-0. 05	203. 51	46. 64
110	3. 27	0. 00	51. 51	-4. 47	51. 71	1. 55	-0. 13	219. 01	45. 69
120	3. 57	0. 00	51. 13	-7. 31	51. 65	1. 53	-0. 22	234. 40	43. 88
130	3. 87	0. 00	50. 75	-10. 10	51. 74	1. 52	-0. 30	249. 68	41. 22
140	4. 17	0. 00	50. 37	-12. 84	51. 98	1. 51	-0. 39	264. 84	37. 74
150	4. 47	0. 00	49. 99	-15. 54	52. 35	1. 50	-0. 47	279. 89	33. 44
160	4. 77	0. 00	49. 62	-18. 18	52. 84	1. 49	-0. 55	294. 82	28. 34
170	5. 07	0. 00	49. 25	-20. 79	53. 45	1. 48	-0. 62	309. 64	22. 46
180	5. 37	0. 00	48. 88	-23. 35	54. 17	1. 47	-0. 70	324. 36	15. 80
190	5. 67	0. 00	48. 51	-25. 86	54. 97	1. 46	-0. 78	338. 96	8. 38
200	5. 97	0. 00	48. 15	-28. 33	55. 87	1. 44	-0. 85	353. 45	0. 21
210	6. 27	0. 00	47. 79	-30. 76	56. 83	1. 43	-0. 92	367. 84	-8. 69
220	6. 57	0. 00	47. 43	-33. 14	57. 86	1. 42	-0. 99	382. 12	-18. 31
230	6. 87	0. 00	47. 08	-35. 49	58. 96	1. 41	-1. 06	396. 29	-28. 64
240	7. 17	0. 00	46. 73	-37. 79	60. 10	1. 40	-1. 13	410. 35	-39. 67
250	7. 47	0. 00	46. 38	-40. 06	61. 28	1. 39	-1. 20	424. 31	-51. 38
260	7. 77	0. 00	46. 03	-42. 28	62. 50	1. 38	-1. 27	438. 17	-63. 77
270	8. 07	0. 00	45. 69	-44. 47	63. 76	1. 37	-1. 33	451. 92	-76. 81
280	8. 37	0. 00	45. 34	-46. 62	65. 03	1. 36	-1. 40	465. 57	-90. 51
290	8. 67	0. 00	45. 01	-48. 73	66. 33	1. 35	-1. 46	479. 12	-104. 85
300	8. 97	0. 00	44. 67	-50. 81	67. 65	1. 34	-1. 52	492. 56	-119. 81

表 5. 4. 5(24) 矢の軌道の計算結果

発射角	23. 0 (°)	計算方法	逐次計算法	計算時間間隔	0. 03 (s)
-----	-----------	------	-------	--------	-----------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の β 乗に比例するものとする。

$$F=KV^\beta$$

速度

$$\text{水平 (x 成分)} : V_{x_n} = V_{x_{n-1}} - k_x V_{x_{n-1}}^{\beta_x} dt$$

$$\text{垂直 (y 成分)} : V_{y_n} = V_{y_{n-1}} - g dt - k_y V_{y_{n-1}}^{\beta_y} dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 100. 0\%$$

$$V_0 : \text{初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V + V_w$$

$$V_w : \text{風速} = 0. 0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 23. 0 (^\circ)$$

$$= 0. 401 \text{ (radian)}$$

$$\text{標準矢} = 26. 0g$$

$$\text{対象矢} = 26. 0g$$

向かい風 (－) ～追い風 (＋)

水平 (0°) ～垂直 (90°)

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9. 8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k_x : \text{水平抵抗係数} = \begin{array}{cc} \text{上昇時} & \text{下降時} \\ 0. 0030875 & 0. 028 \end{array}$$

$$k_y : \text{垂直抵抗係数} = \begin{array}{cc} 0. 07675 & 0. 057 \end{array}$$

$$\beta_x : \text{水平速度低下指数} = \begin{array}{cc} 2. 00 & 1. 00 \end{array}$$

$$\beta_y : \text{垂直速度低下指数} = \begin{array}{cc} 1. 35 & 1. 00 \end{array}$$

$$\Delta t : \text{計算時間間隔} = 0. 03 \text{ (s)}$$

計算結果一覧 (抜粋)

計算番号順に Δt 刻みで逐次計算を実施 一部省略して表示

計算番号 NO.	時間 t (s)	風速 Vw (m/s)	速度 (水平) Vx (m/s)	速度 (垂直) Vy (m/s)	速度 V (m/s)	移動差分 (水平) dx (m)	移動差分 (垂直) dy (m)	発射点からの 水平距離 x (m)	発射点からの 垂直距離 y (m)
1	0. 00	0. 00	95. 36	40. 48	103. 60	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00
10	0. 27	0. 00	88. 29	35. 02	94. 98	2. 65	1. 05	24. 66	10. 10
20	0. 57	0. 00	81. 56	29. 55	86. 75	2. 45	0. 89	50. 01	19. 69
30	0. 87	0. 00	75. 79	24. 61	79. 69	2. 27	0. 74	73. 51	27. 72
40	1. 17	0. 00	70. 79	20. 12	73. 59	2. 12	0. 60	95. 40	34. 35
50	1. 47	0. 00	66. 41	16. 02	68. 31	1. 99	0. 48	115. 90	39. 70
60	1. 77	0. 00	62. 54	12. 24	63. 73	1. 88	0. 37	135. 18	43. 88
70	2. 07	0. 00	59. 10	8. 74	59. 74	1. 77	0. 26	153. 36	46. 97
80	2. 37	0. 00	56. 01	5. 46	56. 28	1. 68	0. 16	170. 57	49. 04
90	2. 67	0. 00	53. 24	2. 37	53. 29	1. 60	0. 07	186. 91	50. 17
100	2. 97	0. 00	51. 12	-0. 60	51. 12	1. 53	-0. 02	202. 48	50. 39
110	3. 27	0. 00	50. 69	-3. 51	50. 81	1. 52	-0. 11	217. 74	49. 73
120	3. 57	0. 00	50. 27	-6. 36	50. 67	1. 51	-0. 19	232. 88	48. 20
130	3. 87	0. 00	49. 85	-9. 17	50. 69	1. 50	-0. 28	247. 89	45. 83
140	4. 17	0. 00	49. 43	-11. 93	50. 85	1. 48	-0. 36	262. 78	42. 62
150	4. 47	0. 00	49. 02	-14. 65	51. 16	1. 47	-0. 44	277. 54	38. 59
160	4. 77	0. 00	48. 61	-17. 32	51. 60	1. 46	-0. 52	292. 18	33. 76
170	5. 07	0. 00	48. 20	-19. 94	52. 16	1. 45	-0. 60	306. 69	28. 13
180	5. 37	0. 00	47. 80	-22. 52	52. 84	1. 43	-0. 68	321. 09	21. 72
190	5. 67	0. 00	47. 40	-25. 06	53. 61	1. 42	-0. 75	335. 36	14. 54
200	5. 97	0. 00	47. 00	-27. 55	54. 48	1. 41	-0. 83	349. 51	6. 61
210	6. 27	0. 00	46. 61	-30. 00	55. 43	1. 40	-0. 90	363. 55	-2. 06
220	6. 57	0. 00	46. 22	-32. 41	56. 45	1. 39	-0. 97	377. 47	-11. 46
230	6. 87	0. 00	45. 83	-34. 77	57. 53	1. 37	-1. 04	391. 27	-21. 57
240	7. 17	0. 00	45. 45	-37. 10	58. 67	1. 36	-1. 11	404. 95	-32. 39
250	7. 47	0. 00	45. 07	-39. 39	59. 85	1. 35	-1. 18	418. 53	-43. 90
260	7. 77	0. 00	44. 69	-41. 64	61. 08	1. 34	-1. 25	431. 98	-56. 08
270	8. 07	0. 00	44. 32	-43. 85	62. 34	1. 33	-1. 32	445. 33	-68. 94
280	8. 37	0. 00	43. 94	-46. 02	63. 63	1. 32	-1. 38	458. 56	-82. 46
290	8. 67	0. 00	43. 58	-48. 16	64. 95	1. 31	-1. 44	471. 68	-96. 62
300	8. 97	0. 00	43. 21	-50. 26	66. 28	1. 30	-1. 51	484. 70	-111. 41

表 5. 4. 5 (25) 矢の軌道の計算結果

発射角	24. 0 (°)	計算方法	逐次計算法	計算時間間隔	0. 03 (s)
-----	-----------	------	-------	--------	-----------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の β 乗に比例するものとする。

$$F=KV^\beta$$

速度

$$\text{水平 (x 成分)} : V_{x_n} = V_{x_{n-1}} - k_x V_{x_{n-1}}^{\beta_x} dt$$

$$\text{垂直 (y 成分)} : V_{y_n} = V_{y_{n-1}} - g dt - k_y V_{y_{n-1}}^{\beta_y} dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 100. 0\%$$

$$v_0' : \text{初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V + V_w$$

$$V_w : \text{風速} = 0. 0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 24. 0 (^\circ)$$

$$0. 419 \text{ (radian)}$$

標準矢	26. 0g
対象矢	26. 0g

向かい風 (－) ～追い風 (＋)
水平 (0°) ～垂直 (90°)

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9. 8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k_x : \text{水平抵抗係数} = \begin{array}{cc} \text{上昇時} & \text{下降時} \\ 0. 00308 & 0. 031 \end{array}$$

$$k_y : \text{垂直抵抗係数} = \begin{array}{cc} 0. 0745 & 0. 056 \end{array}$$

$$\beta_x : \text{水平速度低下指数} = \begin{array}{cc} 2. 00 & 1. 00 \end{array}$$

$$\beta_y : \text{垂直速度低下指数} = \begin{array}{cc} 1. 35 & 1. 00 \end{array}$$

$$\Delta t : \text{計算時間間隔} = 0. 03 \text{ (s)}$$

計算結果一覧 (抜粋)

計算番号順に Δt 刻みで逐次計算を実施 一部省略して表示

計算番号 NO.	時間 t (s)	風速 Vw (m/s)	速度 (水平) Vx (m/s)	速度 (垂直) Vy (m/s)	速度 V (m/s)	移動差分 (水平) dx (m)	移動差分 (垂直) dy (m)	発射点からの 水平距離 x (m)	発射点からの 垂直距離 y (m)
1	0. 00	0. 00	94. 64	42. 14	103. 60	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00
10	0. 27	0. 00	87. 68	36. 60	95. 02	2. 63	1. 10	24. 49	10. 53
20	0. 57	0. 00	81. 06	31. 04	86. 80	2. 43	0. 93	49. 67	20. 58
30	0. 87	0. 00	75. 38	26. 02	79. 74	2. 26	0. 78	73. 03	29. 06
40	1. 17	0. 00	70. 44	21. 45	73. 63	2. 11	0. 64	94. 81	36. 10
50	1. 47	0. 00	66. 11	17. 28	68. 33	1. 98	0. 52	115. 22	41. 84
60	1. 77	0. 00	62. 28	13. 43	63. 71	1. 87	0. 40	134. 41	46. 38
70	2. 07	0. 00	58. 87	9. 86	59. 69	1. 77	0. 30	152. 52	49. 81
80	2. 37	0. 00	55. 82	6. 53	56. 20	1. 67	0. 20	169. 67	52. 22
90	2. 67	0. 00	53. 07	3. 39	53. 18	1. 59	0. 10	185. 96	53. 65
100	2. 97	0. 00	50. 58	0. 39	50. 58	1. 52	0. 01	201. 46	54. 17
110	3. 27	0. 00	49. 74	-2. 54	49. 80	1. 49	-0. 08	216. 45	53. 80
120	3. 57	0. 00	49. 27	-5. 41	49. 57	1. 48	-0. 16	231. 29	52. 56
130	3. 87	0. 00	48. 82	-8. 24	49. 51	1. 46	-0. 25	246. 00	50. 47
140	4. 17	0. 00	48. 37	-11. 02	49. 61	1. 45	-0. 33	260. 57	47. 54
150	4. 47	0. 00	47. 92	-13. 76	49. 85	1. 44	-0. 41	275. 01	43. 78
160	4. 77	0. 00	47. 47	-16. 44	50. 24	1. 42	-0. 49	289. 31	39. 21
170	5. 07	0. 00	47. 03	-19. 09	50. 76	1. 41	-0. 57	303. 48	33. 84
180	5. 37	0. 00	46. 60	-21. 69	51. 40	1. 40	-0. 65	317. 52	27. 68
190	5. 67	0. 00	46. 17	-24. 24	52. 15	1. 39	-0. 73	331. 42	20. 75
200	5. 97	0. 00	45. 74	-26. 76	52. 99	1. 37	-0. 80	345. 20	13. 07
210	6. 27	0. 00	45. 32	-29. 23	53. 93	1. 36	-0. 88	358. 86	4. 63
220	6. 57	0. 00	44. 90	-31. 66	54. 94	1. 35	-0. 95	372. 38	-4. 54
230	6. 87	0. 00	44. 48	-34. 05	56. 02	1. 33	-1. 02	385. 78	-14. 43
240	7. 17	0. 00	44. 07	-36. 40	57. 16	1. 32	-1. 09	399. 06	-25. 04
250	7. 47	0. 00	43. 66	-38. 71	58. 35	1. 31	-1. 16	412. 21	-36. 34
260	7. 77	0. 00	43. 26	-40. 98	59. 59	1. 30	-1. 23	425. 24	-48. 33
270	8. 07	0. 00	42. 86	-43. 22	60. 86	1. 29	-1. 30	438. 15	-60. 99
280	8. 37	0. 00	42. 46	-45. 42	62. 17	1. 27	-1. 36	450. 95	-74. 32
290	8. 67	0. 00	42. 07	-47. 58	63. 51	1. 26	-1. 43	463. 62	-88. 31
300	8. 97	0. 00	41. 68	-49. 70	64. 86	1. 25	-1. 49	476. 17	-102. 93

表 5. 4. 5 (26) 矢の軌道の計算結果

発射角	25. 0 (°)	計算方法	逐次計算法	計算時間間隔	0. 03 (s)
-----	-----------	------	-------	--------	-----------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の β 乗に比例するものとする。

$$F=KV^\beta$$

速度

$$\text{水平 (x 成分)} : V_{x_n} = V_{x_{n-1}} - k_x V_{x_{n-1}}^{\beta_x} dt$$

$$\text{垂直 (y 成分)} : V_{y_n} = V_{y_{n-1}} - g dt - k_y V_{y_{n-1}}^{\beta_y} dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 100. 0\%$$

$$v_0' : \text{初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V + V_w$$

$$V_w : \text{風速} = 0. 0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 25. 0 (^\circ)$$

$$0. 436 \text{ (radian)}$$

標準矢	26. 0g
対象矢	26. 0g

向かい風 (－) ～追い風 (＋)
水平 (0°) ～垂直 (90°)

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9. 8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k_x : \text{水平抵抗係数} = \begin{array}{cc} \text{上昇時} & \text{下降時} \\ 0. 00307 & 0. 0335 \end{array}$$

$$k_y : \text{垂直抵抗係数} = \begin{array}{cc} 0. 07325 & 0. 055 \end{array}$$

$$\beta_x : \text{水平速度低下指数} = \begin{array}{cc} 2. 00 & 1. 00 \end{array}$$

$$\beta_y : \text{垂直速度低下指数} = \begin{array}{cc} 1. 35 & 1. 00 \end{array}$$

$$\Delta t : \text{計算時間間隔} = 0. 03 \text{ (s)}$$

計算結果一覧 (抜粋)

計算番号順に Δt 刻みで逐次計算を実施 一部省略して表示

計算番号 NO.	時間 t (s)	風速 Vw (m/s)	速度 (水平) Vx (m/s)	速度 (垂直) Vy (m/s)	速度 V (m/s)	移動差分 (水平) dx (m)	移動差分 (垂直) dy (m)	発射点からの 水平距離 x (m)	発射点からの 垂直距離 y (m)
1	0. 00	0. 00	93. 89	43. 78	103. 60	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00
10	0. 27	0. 00	87. 06	38. 14	95. 05	2. 61	1. 14	24. 30	10. 96
20	0. 57	0. 00	80. 55	32. 47	86. 85	2. 42	0. 97	49. 32	21. 45
30	0. 87	0. 00	74. 95	27. 35	79. 79	2. 25	0. 82	72. 54	30. 34
40	1. 17	0. 00	70. 08	22. 69	73. 66	2. 10	0. 68	94. 21	37. 77
50	1. 47	0. 00	65. 81	18. 44	68. 34	1. 97	0. 55	114. 51	43. 86
60	1. 77	0. 00	62. 02	14. 52	63. 70	1. 86	0. 44	133. 62	48. 74
70	2. 07	0. 00	58. 66	10. 88	59. 66	1. 76	0. 33	151. 66	52. 49
80	2. 37	0. 00	55. 63	7. 49	56. 14	1. 67	0. 22	168. 75	55. 19
90	2. 67	0. 00	52. 91	4. 30	53. 08	1. 59	0. 13	184. 99	56. 90
100	2. 97	0. 00	50. 44	1. 27	50. 46	1. 51	0. 04	200. 45	57. 69
110	3. 27	0. 00	49. 04	-1. 67	49. 07	1. 47	-0. 05	215. 28	57. 59
120	3. 57	0. 00	48. 55	-4. 56	48. 77	1. 46	-0. 14	229. 91	56. 61
130	3. 87	0. 00	48. 07	-7. 41	48. 63	1. 44	-0. 22	244. 40	54. 77
140	4. 17	0. 00	47. 59	-10. 20	48. 67	1. 43	-0. 31	258. 74	52. 08
150	4. 47	0. 00	47. 11	-12. 96	48. 86	1. 41	-0. 39	272. 93	48. 57
160	4. 77	0. 00	46. 64	-15. 66	49. 20	1. 40	-0. 47	286. 99	44. 23
170	5. 07	0. 00	46. 17	-18. 32	49. 67	1. 39	-0. 55	300. 90	39. 09
180	5. 37	0. 00	45. 71	-20. 94	50. 28	1. 37	-0. 63	314. 68	33. 16
190	5. 67	0. 00	45. 25	-23. 52	51. 00	1. 36	-0. 71	328. 31	26. 45
200	5. 97	0. 00	44. 80	-26. 05	51. 82	1. 34	-0. 78	341. 82	18. 98
210	6. 27	0. 00	44. 35	-28. 54	52. 74	1. 33	-0. 86	355. 18	10. 75
220	6. 57	0. 00	43. 91	-30. 99	53. 74	1. 32	-0. 93	368. 41	1. 79
230	6. 87	0. 00	43. 47	-33. 40	54. 82	1. 30	-1. 00	381. 51	-7. 91
240	7. 17	0. 00	43. 03	-35. 77	55. 96	1. 29	-1. 07	394. 48	-18. 32
250	7. 47	0. 00	42. 60	-38. 11	57. 16	1. 28	-1. 14	407. 32	-29. 44
260	7. 77	0. 00	42. 18	-40. 40	58. 40	1. 27	-1. 21	420. 03	-41. 25
270	8. 07	0. 00	41. 75	-42. 66	59. 69	1. 25	-1. 28	432. 61	-53. 75
280	8. 37	0. 00	41. 34	-44. 88	61. 01	1. 24	-1. 35	445. 07	-66. 91
290	8. 67	0. 00	40. 92	-47. 06	62. 36	1. 23	-1. 41	457. 40	-80. 73
300	8. 97	0. 00	40. 51	-49. 21	63. 74	1. 22	-1. 48	469. 61	-95. 21

表 5. 4. 5 (27) 矢の軌道の計算結果

発射角	26. 0 (°)	計算方法	逐次計算法	計算時間間隔	0. 03 (s)
-----	-----------	------	-------	--------	-----------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の β 乗に比例するものとする。

$$F=KV^\beta$$

速度

$$\text{水平 (x 成分)} : V_{x_n} = V_{x_{n-1}} - k_x V_{x_{n-1}}^{\beta_x} dt$$

$$\text{垂直 (y 成分)} : V_{y_n} = V_{y_{n-1}} - g dt - k_y V_{y_{n-1}}^{\beta_y} dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 100. 0\%$$

$$v_0' : \text{初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V + V_w$$

$$V_w : \text{風速} = 0. 0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 26. 0 (^\circ)$$

$$0. 454 \text{ (radian)}$$

標準矢	26. 0g
対象矢	26. 0g

向かい風 (－) ～追い風 (＋)
水平 (0°) ～垂直 (90°)

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9. 8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k_x : \text{水平抵抗係数} = \begin{array}{cc} \text{上昇時} & \text{下降時} \\ 0. 00306 & 0. 036 \end{array}$$

$$k_y : \text{垂直抵抗係数} = \begin{array}{cc} 0. 072 & 0. 054 \end{array}$$

$$\beta_x : \text{水平速度低下指数} = \begin{array}{cc} 2. 00 & 1. 00 \end{array}$$

$$\beta_y : \text{垂直速度低下指数} = \begin{array}{cc} 1. 35 & 1. 00 \end{array}$$

$$\Delta t : \text{計算時間間隔} = 0. 03 \text{ (s)}$$

計算結果一覧 (抜粋)

計算番号順に Δt 刻みで逐次計算を実施 一部省略して表示

計算番号 NO.	時間 t (s)	風速 Vw (m/s)	速度 (水平) Vx (m/s)	速度 (垂直) Vy (m/s)	速度 V (m/s)	移動差分 (水平) dx (m)	移動差分 (垂直) dy (m)	発射点からの 水平距離 x (m)	発射点からの 垂直距離 y (m)
1	0. 00	0. 00	93. 12	45. 42	103. 60	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00
10	0. 27	0. 00	86. 41	39. 67	95. 08	2. 59	1. 19	24. 11	11. 39
20	0. 57	0. 00	80. 02	33. 90	86. 90	2. 40	1. 02	48. 96	22. 32
30	0. 87	0. 00	74. 50	28. 68	79. 83	2. 24	0. 86	72. 03	31. 62
40	1. 17	0. 00	69. 70	23. 93	73. 70	2. 09	0. 72	93. 58	39. 43
50	1. 47	0. 00	65. 49	19. 60	68. 36	1. 96	0. 59	113. 78	45. 88
60	1. 77	0. 00	61. 75	15. 60	63. 69	1. 85	0. 47	132. 80	51. 09
70	2. 07	0. 00	58. 42	11. 91	59. 62	1. 75	0. 36	150. 77	55. 16
80	2. 37	0. 00	55. 43	8. 46	56. 08	1. 66	0. 25	167. 79	58. 16
90	2. 67	0. 00	52. 74	5. 22	52. 99	1. 58	0. 16	183. 97	60. 15
100	2. 97	0. 00	50. 29	2. 15	50. 34	1. 51	0. 06	199. 38	61. 21
110	3. 27	0. 00	48. 39	-0. 81	48. 39	1. 45	-0. 02	214. 11	61. 36
120	3. 57	0. 00	47. 87	-3. 72	48. 01	1. 44	-0. 11	228. 54	60. 64
130	3. 87	0. 00	47. 35	-6. 58	47. 81	1. 42	-0. 20	242. 82	59. 05
140	4. 17	0. 00	46. 84	-9. 39	47. 78	1. 41	-0. 28	256. 94	56. 61
150	4. 47	0. 00	46. 34	-12. 16	47. 91	1. 39	-0. 36	270. 91	53. 34
160	4. 77	0. 00	45. 84	-14. 88	48. 20	1. 38	-0. 45	284. 73	49. 24
170	5. 07	0. 00	45. 35	-17. 56	48. 63	1. 36	-0. 53	298. 40	44. 33
180	5. 37	0. 00	44. 86	-20. 20	49. 20	1. 35	-0. 61	311. 92	38. 63
190	5. 67	0. 00	44. 38	-22. 79	49. 89	1. 33	-0. 68	325. 30	32. 14
200	5. 97	0. 00	43. 90	-25. 34	50. 69	1. 32	-0. 76	338. 54	24. 88
210	6. 27	0. 00	43. 43	-27. 85	51. 60	1. 30	-0. 84	351. 63	16. 86
220	6. 57	0. 00	42. 96	-30. 32	52. 59	1. 29	-0. 91	364. 58	8. 10
230	6. 87	0. 00	42. 50	-32. 76	53. 66	1. 28	-0. 98	377. 39	-1. 40
240	7. 17	0. 00	42. 05	-35. 15	54. 80	1. 26	-1. 05	390. 07	-11. 63
250	7. 47	0. 00	41. 59	-37. 50	56. 00	1. 25	-1. 13	402. 61	-22. 56
260	7. 77	0. 00	41. 15	-39. 82	57. 26	1. 23	-1. 19	415. 01	-34. 19
270	8. 07	0. 00	40. 70	-42. 09	58. 56	1. 22	-1. 26	427. 28	-46. 51
280	8. 37	0. 00	40. 27	-44. 34	59. 89	1. 21	-1. 33	439. 42	-59. 51
290	8. 67	0. 00	39. 83	-46. 54	61. 26	1. 20	-1. 40	451. 43	-73. 18
300	8. 97	0. 00	39. 41	-48. 71	62. 66	1. 18	-1. 46	463. 31	-87. 50

表 5. 4. 5(28) 矢の軌道の計算結果

発射角	27. 0 (°)	計算方法	逐次計算法	計算時間間隔	0. 03 (s)
-----	-----------	------	-------	--------	-----------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の β 乗に比例するものとする。

$$F=KV^\beta$$

速度

$$\text{水平 (x 成分)} : V_{x_n} = V_{x_{n-1}} - k_x V_{x_{n-1}}^{\beta_x} dt$$

$$\text{垂直 (y 成分)} : V_{y_n} = V_{y_{n-1}} - g dt - k_y V_{y_{n-1}}^{\beta_y} dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 100. 0\%$$

$$v_0' : \text{初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V + V_w$$

$$V_w : \text{風速} = 0. 0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 27. 0 (^\circ)$$

$$0. 471 \text{ (radian)}$$

標準矢	26. 0g
対象矢	26. 0g

向かい風 (－) ～追い風 (＋)
水平 (0°) ～垂直 (90°)

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9. 8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k_x : \text{水平抵抗係数} = \begin{array}{cc} \text{上昇時} & \text{下降時} \\ 0. 003045 & 0. 039 \end{array}$$

$$k_y : \text{垂直抵抗係数} = \begin{array}{cc} 0. 07 & 0. 053 \end{array}$$

$$\beta_x : \text{水平速度低下指数} = \begin{array}{cc} 2. 00 & 1. 00 \end{array}$$

$$\beta_y : \text{垂直速度低下指数} = \begin{array}{cc} 1. 35 & 1. 00 \end{array}$$

$$\Delta t : \text{計算時間間隔} = 0. 03 \text{ (s)}$$

計算結果一覧 (抜粋)

計算番号順に Δt 刻みで逐次計算を実施 一部省略して表示

計算番号 NO.	時間 t (s)	風速 Vw (m/s)	速度 (水平) Vx (m/s)	速度 (垂直) Vy (m/s)	速度 V (m/s)	移動差分 (水平) dx (m)	移動差分 (垂直) dy (m)	発射点からの 水平距離 x (m)	発射点からの 垂直距離 y (m)
1	0. 00	0. 00	92. 31	47. 03	103. 60	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00
10	0. 27	0. 00	85. 75	41. 22	95. 14	2. 57	1. 24	23. 92	11. 81
20	0. 57	0. 00	79. 47	35. 37	86. 99	2. 38	1. 06	48. 58	23. 20
30	0. 87	0. 00	74. 06	30. 08	79. 94	2. 22	0. 90	71. 51	32. 93
40	1. 17	0. 00	69. 34	25. 26	73. 80	2. 08	0. 76	92. 94	41. 15
50	1. 47	0. 00	65. 18	20. 85	68. 44	1. 96	0. 63	113. 04	47. 99
60	1. 77	0. 00	61. 50	16. 80	63. 75	1. 85	0. 50	131. 98	53. 57
70	2. 07	0. 00	58. 21	13. 04	59. 65	1. 75	0. 39	149. 87	57. 98
80	2. 37	0. 00	55. 26	9. 53	56. 07	1. 66	0. 29	166. 84	61. 30
90	2. 67	0. 00	52. 59	6. 24	52. 96	1. 58	0. 19	182. 97	63. 62
100	2. 97	0. 00	50. 17	3. 12	50. 27	1. 51	0. 09	198. 35	64. 97
110	3. 27	0. 00	47. 96	0. 13	47. 96	1. 44	0. 00	213. 03	65. 41
120	3. 57	0. 00	47. 25	-2. 79	47. 33	1. 42	-0. 08	227. 28	64. 97
130	3. 87	0. 00	46. 70	-5. 66	47. 04	1. 40	-0. 17	241. 36	63. 66
140	4. 17	0. 00	46. 16	-8. 49	46. 93	1. 38	-0. 25	255. 28	61. 49
150	4. 47	0. 00	45. 62	-11. 28	46. 99	1. 37	-0. 34	269. 04	58. 48
160	4. 77	0. 00	45. 09	-14. 02	47. 22	1. 35	-0. 42	282. 64	54. 65
170	5. 07	0. 00	44. 56	-16. 72	47. 60	1. 34	-0. 50	296. 08	49. 99
180	5. 37	0. 00	44. 05	-19. 37	48. 12	1. 32	-0. 58	309. 36	44. 54
190	5. 67	0. 00	43. 53	-21. 98	48. 77	1. 31	-0. 66	322. 49	38. 30
200	5. 97	0. 00	43. 03	-24. 56	49. 54	1. 29	-0. 74	335. 47	31. 28
210	6. 27	0. 00	42. 53	-27. 09	50. 42	1. 28	-0. 81	348. 29	23. 49
220	6. 57	0. 00	42. 03	-29. 58	51. 39	1. 26	-0. 89	360. 97	14. 95
230	6. 87	0. 00	41. 54	-32. 03	52. 46	1. 25	-0. 96	373. 49	5. 67
240	7. 17	0. 00	41. 06	-34. 44	53. 59	1. 23	-1. 03	385. 88	-4. 33
250	7. 47	0. 00	40. 58	-36. 82	54. 79	1. 22	-1. 10	398. 11	-15. 06
260	7. 77	0. 00	40. 11	-39. 16	56. 05	1. 20	-1. 17	410. 21	-26. 49
270	8. 07	0. 00	39. 64	-41. 46	57. 36	1. 19	-1. 24	422. 17	-38. 62
280	8. 37	0. 00	39. 18	-43. 72	58. 71	1. 18	-1. 31	433. 98	-51. 43
290	8. 67	0. 00	38. 72	-45. 95	60. 09	1. 16	-1. 38	445. 66	-64. 92
300	8. 97	0. 00	38. 27	-48. 14	61. 50	1. 15	-1. 44	457. 20	-79. 06

表 5. 4. 5 (29) 矢の軌道の計算結果

発射角	28. 0 (°)	計算方法	逐次計算法	計算時間間隔	0. 03 (s)
-----	-----------	------	-------	--------	-----------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の β 乗に比例するものとする。

$$F=KV^\beta$$

速度

$$\text{水平 (x 成分)} : V_{x_n} = V_{x_{n-1}} - k_x V_{x_{n-1}}^{\beta_x} dt$$

$$\text{垂直 (y 成分)} : V_{y_n} = V_{y_{n-1}} - g dt - k_y V_{y_{n-1}}^{\beta_y} dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 100. 0\%$$

$$V_0' : \text{初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V + V_w$$

$$V_w : \text{風速} = 0. 0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 28. 0 (^\circ)$$

$$0. 489 \text{ (radian)}$$

$$\text{標準矢} = 26. 0g$$

$$\text{対象矢} = 26. 0g$$

向かい風 (－) ～追い風 (＋)

水平 (0°) ～垂直 (90°)

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9. 8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k_x : \text{水平抵抗係数} = \begin{array}{cc} \text{上昇時} & \text{下降時} \\ 0. 00303 & 0. 042 \end{array}$$

$$k_y : \text{垂直抵抗係数} = \begin{array}{cc} 0. 068 & 0. 052 \end{array}$$

$$\beta_x : \text{水平速度低下指数} = \begin{array}{cc} 2. 00 & 1. 00 \end{array}$$

$$\beta_y : \text{垂直速度低下指数} = \begin{array}{cc} 1. 35 & 1. 00 \end{array}$$

$$\Delta t : \text{計算時間間隔} = 0. 03 \text{ (s)}$$

計算結果一覧 (抜粋)

計算番号順に Δt 刻みで逐次計算を実施 一部省略して表示

計算番号 NO.	時間 t (s)	風速 Vw (m/s)	速度 (水平) Vx (m/s)	速度 (垂直) Vy (m/s)	速度 V (m/s)	移動差分 (水平) dx (m)	移動差分 (垂直) dy (m)	発射点からの 水平距離 x (m)	発射点からの 垂直距離 y (m)
1	0. 00	0. 00	91. 47	48. 64	103. 60	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00
10	0. 27	0. 00	85. 06	42. 77	95. 20	2. 55	1. 28	23. 71	12. 24
20	0. 57	0. 00	78. 91	36. 85	87. 09	2. 37	1. 11	48. 19	24. 08
30	0. 87	0. 00	73. 59	31. 49	80. 05	2. 21	0. 94	70. 97	34. 24
40	1. 17	0. 00	68. 95	26. 60	73. 91	2. 07	0. 80	92. 27	42. 87
50	1. 47	0. 00	64. 86	22. 13	68. 53	1. 95	0. 66	112. 27	50. 10
60	1. 77	0. 00	61. 23	18. 00	63. 82	1. 84	0. 54	131. 12	56. 05
70	2. 07	0. 00	57. 99	14. 18	59. 69	1. 74	0. 43	148. 94	60. 81
80	2. 37	0. 00	55. 07	10. 62	56. 08	1. 65	0. 32	165. 85	64. 47
90	2. 67	0. 00	52. 43	7. 28	52. 93	1. 57	0. 22	181. 93	67. 10
100	2. 97	0. 00	50. 03	4. 11	50. 20	1. 50	0. 12	197. 25	68. 76
110	3. 27	0. 00	47. 85	1. 09	47. 86	1. 44	0. 03	211. 90	69. 49
120	3. 57	0. 00	46. 67	-1. 85	46. 71	1. 40	-0. 06	226. 01	69. 33
130	3. 87	0. 00	46. 09	-4. 74	46. 33	1. 38	-0. 14	239. 91	68. 30
140	4. 17	0. 00	45. 51	-7. 58	46. 14	1. 37	-0. 23	253. 64	66. 41
150	4. 47	0. 00	44. 94	-10. 38	46. 12	1. 35	-0. 31	267. 20	63. 67
160	4. 77	0. 00	44. 38	-13. 14	46. 28	1. 33	-0. 39	280. 59	60. 10
170	5. 07	0. 00	43. 82	-15. 86	46. 60	1. 31	-0. 48	293. 81	55. 71
180	5. 37	0. 00	43. 27	-18. 53	47. 07	1. 30	-0. 56	306. 87	50. 51
190	5. 67	0. 00	42. 73	-21. 16	47. 68	1. 28	-0. 63	319. 76	44. 51
200	5. 97	0. 00	42. 19	-23. 76	48. 42	1. 27	-0. 71	332. 49	37. 74
210	6. 27	0. 00	41. 67	-26. 31	49. 28	1. 25	-0. 79	345. 06	30. 19
220	6. 57	0. 00	41. 14	-28. 82	50. 23	1. 23	-0. 86	357. 47	21. 88
230	6. 87	0. 00	40. 63	-31. 29	51. 28	1. 22	-0. 94	369. 73	12. 82
240	7. 17	0. 00	40. 12	-33. 73	52. 41	1. 20	-1. 01	381. 84	3. 03
250	7. 47	0. 00	39. 62	-36. 12	53. 61	1. 19	-1. 08	393. 79	-7. 48
260	7. 77	0. 00	39. 12	-38. 48	54. 88	1. 17	-1. 15	405. 59	-18. 71
270	8. 07	0. 00	38. 63	-40. 81	56. 19	1. 16	-1. 22	417. 25	-30. 64
280	8. 37	0. 00	38. 15	-43. 09	57. 55	1. 14	-1. 29	428. 76	-43. 26
290	8. 67	0. 00	37. 67	-45. 35	58. 95	1. 13	-1. 36	440. 12	-56. 56
300	8. 97	0. 00	37. 20	-47. 56	60. 38	1. 12	-1. 43	451. 34	-70. 53

表 5. 4. 5 (30) 矢の軌道の計算結果

発射角	29. 0 (°)	計算方法	逐次計算法	計算時間間隔	0. 03 (s)
-----	-----------	------	-------	--------	-----------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の β 乗に比例するものとする。

$$F=KV^\beta$$

速度

$$\text{水平 (x 成分)} : V_{x_n} = V_{x_{n-1}} - k_x V_{x_{n-1}}^{\beta_x} dt$$

$$\text{垂直 (y 成分)} : V_{y_n} = V_{y_{n-1}} - g dt - k_y V_{y_{n-1}}^{\beta_y} dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 100. 0\%$$

$$v_0' : \text{初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V + V_w$$

$$V_w : \text{風速} = 0. 0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 29. 0 (^\circ)$$

$$= 0. 506 \text{ (radian)}$$

標準矢	26. 0g
対象矢	26. 0g

向かい風 (－) ～追い風 (＋)
水平 (0°) ～垂直 (90°)

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9. 8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

k_x : 水平抵抗係数	上昇時	0. 003015	下降時	0. 046
----------------	-----	-----------	-----	--------

k_y : 垂直抵抗係数	0. 06665	0. 051
----------------	----------	--------

β_x : 水平速度低下指数	2. 00	1. 00
----------------------	-------	-------

β_y : 垂直速度低下指数	1. 35	1. 00
----------------------	-------	-------

$$\Delta t : \text{計算時間間隔} = 0. 03 \text{ (s)}$$

計算結果一覧 (抜粋)

計算番号順に Δt 刻みで逐次計算を実施 一部省略して表示

計算番号 NO.	時間 t (s)	風速 Vw (m/s)	速度 (水平) Vx (m/s)	速度 (垂直) Vy (m/s)	速度 V (m/s)	移動差分 (水平) dx (m)	移動差分 (垂直) dy (m)	発射点からの 水平距離 x (m)	発射点からの 垂直距離 y (m)
1	0. 00	0. 00	90. 61	50. 23	103. 60	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00
10	0. 27	0. 00	84. 34	44. 27	95. 25	2. 53	1. 33	23. 50	12. 66
20	0. 57	0. 00	78. 32	38. 27	87. 17	2. 35	1. 15	47. 79	24. 93
30	0. 87	0. 00	73. 11	32. 83	80. 14	2. 19	0. 98	70. 41	35. 50
40	1. 17	0. 00	68. 54	27. 87	73. 99	2. 06	0. 84	91. 57	44. 52
50	1. 47	0. 00	64. 52	23. 32	68. 60	1. 94	0. 70	111. 46	52. 12
60	1. 77	0. 00	60. 94	19. 13	63. 87	1. 83	0. 57	130. 22	58. 42
70	2. 07	0. 00	57. 74	15. 24	59. 72	1. 73	0. 46	147. 96	63. 51
80	2. 37	0. 00	54. 86	11. 62	56. 08	1. 65	0. 35	164. 80	67. 48
90	2. 67	0. 00	52. 26	8. 23	52. 90	1. 57	0. 25	180. 83	70. 40
100	2. 97	0. 00	49. 89	5. 03	50. 14	1. 50	0. 15	196. 11	72. 34
110	3. 27	0. 00	47. 72	1. 97	47. 77	1. 43	0. 06	210. 71	73. 34
120	3. 57	0. 00	46. 13	-0. 99	46. 14	1. 38	-0. 03	224. 72	73. 44
130	3. 87	0. 00	45. 50	-3. 89	45. 66	1. 36	-0. 12	238. 45	72. 66
140	4. 17	0. 00	44. 87	-6. 75	45. 38	1. 35	-0. 20	252. 00	71. 02
150	4. 47	0. 00	44. 26	-9. 57	45. 28	1. 33	-0. 29	265. 36	68. 53
160	4. 77	0. 00	43. 65	-12. 34	45. 36	1. 31	-0. 37	278. 54	65. 20
170	5. 07	0. 00	43. 05	-15. 08	45. 61	1. 29	-0. 45	291. 53	61. 05
180	5. 37	0. 00	42. 46	-17. 77	46. 03	1. 27	-0. 53	304. 35	56. 08
190	5. 67	0. 00	41. 88	-20. 42	46. 59	1. 26	-0. 61	316. 99	50. 31
200	5. 97	0. 00	41. 30	-23. 03	47. 29	1. 24	-0. 69	329. 46	43. 76
210	6. 27	0. 00	40. 74	-25. 60	48. 11	1. 22	-0. 77	341. 76	36. 42
220	6. 57	0. 00	40. 18	-28. 13	49. 04	1. 21	-0. 84	353. 88	28. 33
230	6. 87	0. 00	39. 63	-30. 62	50. 08	1. 19	-0. 92	365. 85	19. 48
240	7. 17	0. 00	39. 08	-33. 07	51. 20	1. 17	-0. 99	377. 64	9. 88
250	7. 47	0. 00	38. 55	-35. 49	52. 40	1. 16	-1. 06	389. 28	-0. 44
260	7. 77	0. 00	38. 02	-37. 87	53. 66	1. 14	-1. 14	400. 76	-11. 48
270	8. 07	0. 00	37. 50	-40. 22	54. 98	1. 12	-1. 21	412. 08	-23. 23
280	8. 37	0. 00	36. 98	-42. 52	56. 36	1. 11	-1. 28	423. 24	-35. 67
290	8. 67	0. 00	36. 48	-44. 80	57. 77	1. 09	-1. 34	434. 25	-48. 81
300	8. 97	0. 00	35. 98	-47. 04	59. 22	1. 08	-1. 41	445. 11	-62. 62

表 5. 4. 5(31) 矢の軌道の計算結果

発射角	30.0 (°)	計算方法	逐次計算法	計算時間間隔	0.03 (s)
-----	----------	------	-------	--------	----------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の β 乗に比例するものとする。

$$F=KV^\beta$$

速度

$$\begin{aligned} \text{水平 (x 成分)} : V_{x_n} &= V_{x_{n-1}} - k_x V_{x_{n-1}}^{\beta} \Delta t \\ \text{垂直 (y 成分)} : V_{y_n} &= V_{y_{n-1}} - g \Delta t - k_y V_{y_{n-1}}^{\beta} \Delta t \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v_0 : \text{基準初速度} &= 103.6 \text{ (m/s)} \\ \text{初速度低減率} &= 100.0\% \end{aligned}$$

標準矢	26.0g
対象矢	26.0g

$$v_0' : \text{初速度} = 103.6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V + V_w$$

$$V_w : \text{風速} = 0.0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 30.0 (^\circ)$$

$$= 0.524 \text{ (radian)}$$

向かい風 (－) ～ 追い風 (＋)
水平 (0°) ～ 垂直 (90°)

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k_x : \text{水平抵抗係数} = \begin{array}{cc} \text{上昇時} & \text{下降時} \\ 0.003 & 0.05 \end{array}$$

$$k_y : \text{垂直抵抗係数} = \begin{array}{cc} 0.0653 & 0.05 \end{array}$$

$$\beta_x : \text{水平速度低下指数} = \begin{array}{cc} 2.00 & 1.00 \end{array}$$

$$\beta_y : \text{垂直速度低下指数} = \begin{array}{cc} 1.35 & 1.00 \end{array}$$

$$\Delta t : \text{計算時間間隔} = 0.03 \text{ (s)}$$

計算結果一覧 (抜粋)

計算番号順に Δt 刻みで逐次計算を実施 一部省略して表示

計算番号 NO.	時間 t (s)	風速 Vw (m/s)	速度 (水平) Vx (m/s)	速度 (垂直) Vy (m/s)	速度 V (m/s)	移動差分 (水平) dx (m)	移動差分 (垂直) dy (m)	発射点からの 水平距離 x (m)	発射点からの 垂直距離 y (m)
1	0.00	0.00	89.72	51.80	103.60	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.27	0.00	83.60	45.77	95.31	2.51	1.37	23.29	13.07
20	0.57	0.00	77.71	39.69	87.26	2.33	1.19	47.37	25.78
30	0.87	0.00	72.60	34.17	80.24	2.18	1.03	69.82	36.77
40	1.17	0.00	68.12	29.13	74.08	2.04	0.87	90.85	46.17
50	1.47	0.00	64.16	24.51	68.68	1.92	0.74	110.62	54.14
60	1.77	0.00	60.64	20.26	63.93	1.82	0.61	129.28	60.79
70	2.07	0.00	57.48	16.31	59.75	1.72	0.49	146.94	66.20
80	2.37	0.00	54.64	12.64	56.09	1.64	0.38	163.71	70.49
90	2.67	0.00	52.07	9.19	52.88	1.56	0.28	179.67	73.70
100	2.97	0.00	49.73	5.94	50.08	1.49	0.18	194.90	75.92
110	3.27	0.00	47.59	2.85	47.67	1.43	0.09	209.46	77.19
120	3.57	0.00	45.63	-0.13	45.63	1.37	0.00	223.41	77.55
130	3.87	0.00	44.95	-3.04	45.05	1.35	-0.09	236.99	77.03
140	4.17	0.00	44.28	-5.92	44.67	1.33	-0.18	250.36	75.64
150	4.47	0.00	43.62	-8.75	44.49	1.31	-0.26	263.53	73.40
160	4.77	0.00	42.97	-11.54	44.49	1.29	-0.35	276.51	70.31
170	5.07	0.00	42.33	-14.29	44.67	1.27	-0.43	289.30	66.39
180	5.37	0.00	41.70	-17.00	45.03	1.25	-0.51	301.89	61.66
190	5.67	0.00	41.08	-19.66	45.54	1.23	-0.59	314.30	56.12
200	5.97	0.00	40.46	-22.29	46.20	1.21	-0.67	326.52	49.79
210	6.27	0.00	39.86	-24.88	46.99	1.20	-0.75	338.56	42.67
220	6.57	0.00	39.27	-27.43	47.90	1.18	-0.82	350.42	34.79
230	6.87	0.00	38.68	-29.94	48.92	1.16	-0.90	362.10	26.14
240	7.17	0.00	38.11	-32.41	50.03	1.14	-0.97	373.61	16.75
250	7.47	0.00	37.54	-34.85	51.22	1.13	-1.05	384.95	6.62
260	7.77	0.00	36.98	-37.25	52.49	1.11	-1.12	396.12	-4.23
270	8.07	0.00	36.43	-39.62	53.82	1.09	-1.19	407.12	-15.80
280	8.37	0.00	35.89	-41.95	55.20	1.08	-1.26	417.96	-28.07
290	8.67	0.00	35.35	-44.24	56.63	1.06	-1.33	428.64	-41.03
300	8.97	0.00	34.82	-46.50	58.10	1.04	-1.40	439.15	-54.68

表 5. 4. 5(32) 矢の軌道の計算結果

発射角	31.0 (°)	計算方法	逐次計算法	計算時間間隔	0.03 (s)
-----	----------	------	-------	--------	----------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の β 乗に比例するものとする。

$$F=KV^\beta$$

速度

$$\text{水平 (x 成分)} : V_{x_n} = V_{x_{n-1}} - k_x V_{x_{n-1}}^{\beta_x} dt$$

$$\text{垂直 (y 成分)} : V_{y_n} = V_{y_{n-1}} - g dt - k_y V_{y_{n-1}}^{\beta_y} dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 103.6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 100.0\%$$

$$v_0' : \text{初速度} = 103.6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V + V_w$$

$$V_w : \text{風速} = 0.0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 31.0 (^\circ)$$

$$0.541 \text{ (radian)}$$

標準矢	26.0g
対象矢	26.0g

向かい風 (－) ～ 追い風 (＋)
水平 (0°) ～ 垂直 (90°)

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k_x : \text{水平抵抗係数} = \begin{array}{cc} \text{上昇時} & \text{下降時} \\ 0.003 & 0.05075 \end{array}$$

$$k_y : \text{垂直抵抗係数} = \begin{array}{cc} 0.06465 & 0.05 \end{array}$$

$$\beta_x : \text{水平速度低下指数} = \begin{array}{cc} 2.00 & 1.00 \end{array}$$

$$\beta_y : \text{垂直速度低下指数} = \begin{array}{cc} 1.35 & 1.00 \end{array}$$

$$\Delta t : \text{計算時間間隔} = 0.03 \text{ (s)}$$

計算結果一覧 (抜粋)

計算番号順に Δt 刻みで逐次計算を実施 一部省略して表示

計算番号 NO.	時間 t (s)	風速 Vw (m/s)	速度 (水平) Vx (m/s)	速度 (垂直) Vy (m/s)	速度 V (m/s)	移動差分 (水平) dx (m)	移動差分 (垂直) dy (m)	発射点からの 水平距離 x (m)	発射点からの 垂直距離 y (m)
1	0.00	0.00	88.80	53.36	103.60	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.27	0.00	82.80	47.22	95.32	2.48	1.42	23.06	13.47
20	0.57	0.00	77.02	41.04	87.27	2.31	1.23	46.92	26.61
30	0.87	0.00	71.99	35.42	80.24	2.16	1.06	69.18	37.98
40	1.17	0.00	67.59	30.29	74.07	2.03	0.91	90.04	47.74
50	1.47	0.00	63.69	25.60	68.64	1.91	0.77	109.66	56.05
60	1.77	0.00	60.22	21.27	63.87	1.81	0.64	128.19	63.01
70	2.07	0.00	57.11	17.27	59.66	1.71	0.52	145.73	68.72
80	2.37	0.00	54.30	13.54	55.96	1.63	0.41	162.39	73.28
90	2.67	0.00	51.76	10.04	52.73	1.55	0.30	178.26	76.76
100	2.97	0.00	49.45	6.75	49.91	1.48	0.20	193.40	79.22
110	3.27	0.00	47.33	3.62	47.47	1.42	0.11	207.88	80.73
120	3.57	0.00	45.39	0.62	45.39	1.36	0.02	221.76	81.31
130	3.87	0.00	44.36	-2.31	44.42	1.33	-0.07	235.17	81.02
140	4.17	0.00	43.69	-5.19	44.00	1.31	-0.16	248.36	79.85
150	4.47	0.00	43.03	-8.04	43.77	1.29	-0.24	261.36	77.82
160	4.77	0.00	42.38	-10.84	43.74	1.27	-0.33	274.16	74.95
170	5.07	0.00	41.74	-13.59	43.90	1.25	-0.41	286.77	71.24
180	5.37	0.00	41.11	-16.31	44.23	1.23	-0.49	299.19	66.71
190	5.67	0.00	40.49	-18.99	44.72	1.21	-0.57	311.42	61.37
200	5.97	0.00	39.87	-21.63	45.36	1.20	-0.65	323.46	55.24
210	6.27	0.00	39.27	-24.23	46.14	1.18	-0.73	335.33	48.32
220	6.57	0.00	38.68	-26.78	47.05	1.16	-0.80	347.01	40.63
230	6.87	0.00	38.09	-29.31	48.06	1.14	-0.88	358.52	32.18
240	7.17	0.00	37.52	-31.79	49.17	1.13	-0.95	369.85	22.98
250	7.47	0.00	36.95	-34.24	50.37	1.11	-1.03	381.01	13.04
260	7.77	0.00	36.39	-36.65	51.64	1.09	-1.10	392.00	2.37
270	8.07	0.00	35.84	-39.02	52.98	1.08	-1.17	402.83	-9.02
280	8.37	0.00	35.30	-41.36	54.37	1.06	-1.24	413.49	-21.11
290	8.67	0.00	34.76	-43.66	55.81	1.04	-1.31	423.99	-33.90
300	8.97	0.00	34.24	-45.93	57.29	1.03	-1.38	434.33	-47.37

表 5. 4. 5(33) 矢の軌道の計算結果

発射角	32. 0 (°)	計算方法	逐次計算法	計算時間間隔	0. 03 (s)
-----	-----------	------	-------	--------	-----------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の β 乗に比例するものとする。

$$F=KV^\beta$$

速度

$$\text{水平 (x 成分)} : V_{x_n} = V_{x_{n-1}} - k_x V_{x_{n-1}}^{\beta_x} dt$$

$$\text{垂直 (y 成分)} : V_{y_n} = V_{y_{n-1}} - g dt - k_y V_{y_{n-1}}^{\beta_y} dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 100. 0\%$$

$$v_0' : \text{初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V + V_w$$

$$V_w : \text{風速} = 0. 0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 32. 0 (^\circ)$$

$$= 0. 559 \text{ (radian)}$$

標準矢	26. 0g
対象矢	26. 0g

向かい風 (－) ～追い風 (＋)
水平 (0°) ～垂直 (90°)

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9. 8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k_x : \text{水平抵抗係数} = \begin{array}{cc} \text{上昇時} & \text{下降時} \\ 0. 003 & 0. 0515 \end{array}$$

$$k_y : \text{垂直抵抗係数} = \begin{array}{cc} 0. 064 & 0. 05 \end{array}$$

$$\beta_x : \text{水平速度低下指数} = \begin{array}{cc} 2. 00 & 1. 00 \end{array}$$

$$\beta_y : \text{垂直速度低下指数} = \begin{array}{cc} 1. 35 & 1. 00 \end{array}$$

$$\Delta t : \text{計算時間間隔} = 0. 03 \text{ (s)}$$

計算結果一覧 (抜粋)

計算番号順に Δt 刻みで逐次計算を実施 一部省略して表示

計算番号 NO.	時間 t (s)	風速 Vw (m/s)	速度 (水平) Vx (m/s)	速度 (垂直) Vy (m/s)	速度 V (m/s)	移動差分 (水平) dx (m)	移動差分 (垂直) dy (m)	発射点からの 水平距離 x (m)	発射点からの 垂直距離 y (m)
1	0. 00	0. 00	87. 86	54. 90	103. 60	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00
10	0. 27	0. 00	81. 98	48. 66	95. 33	2. 46	1. 46	22. 82	13. 87
20	0. 57	0. 00	76. 31	42. 37	87. 28	2. 29	1. 27	46. 46	27. 42
30	0. 87	0. 00	71. 37	36. 66	80. 24	2. 14	1. 10	68. 52	39. 18
40	1. 17	0. 00	67. 04	31. 45	74. 05	2. 01	0. 94	89. 20	49. 30
50	1. 47	0. 00	63. 20	26. 68	68. 60	1. 90	0. 80	108. 67	57. 94
60	1. 77	0. 00	59. 78	22. 28	63. 80	1. 79	0. 67	127. 06	65. 21
70	2. 07	0. 00	56. 72	18. 21	59. 57	1. 70	0. 55	144. 48	71. 21
80	2. 37	0. 00	53. 95	14. 43	55. 85	1. 62	0. 43	161. 03	76. 05
90	2. 67	0. 00	51. 44	10. 89	52. 58	1. 54	0. 33	176. 80	79. 79
100	2. 97	0. 00	49. 15	7. 55	49. 73	1. 47	0. 23	191. 85	82. 50
110	3. 27	0. 00	47. 06	4. 39	47. 27	1. 41	0. 13	206. 24	84. 24
120	3. 57	0. 00	45. 14	1. 36	45. 16	1. 35	0. 04	220. 04	85. 05
130	3. 87	0. 00	43. 90	-1. 58	43. 93	1. 32	-0. 05	233. 34	84. 97
140	4. 17	0. 00	43. 23	-4. 48	43. 46	1. 30	-0. 13	246. 39	84. 02
150	4. 47	0. 00	42. 56	-7. 33	43. 19	1. 28	-0. 22	259. 25	82. 21
160	4. 77	0. 00	41. 91	-10. 14	43. 12	1. 26	-0. 30	271. 91	79. 54
170	5. 07	0. 00	41. 27	-12. 91	43. 24	1. 24	-0. 39	284. 38	76. 04
180	5. 37	0. 00	40. 63	-15. 64	43. 54	1. 22	-0. 47	296. 66	71. 72
190	5. 67	0. 00	40. 01	-18. 32	44. 01	1. 20	-0. 55	308. 74	66. 58
200	5. 97	0. 00	39. 40	-20. 97	44. 63	1. 18	-0. 63	320. 64	60. 65
210	6. 27	0. 00	38. 79	-23. 58	45. 40	1. 16	-0. 71	332. 36	53. 93
220	6. 57	0. 00	38. 20	-26. 15	46. 29	1. 15	-0. 78	343. 90	46. 43
230	6. 87	0. 00	37. 61	-28. 68	47. 30	1. 13	-0. 86	355. 26	38. 16
240	7. 17	0. 00	37. 03	-31. 17	48. 41	1. 11	-0. 94	366. 45	29. 15
250	7. 47	0. 00	36. 47	-33. 63	49. 60	1. 09	-1. 01	377. 47	19. 39
260	7. 77	0. 00	35. 91	-36. 05	50. 88	1. 08	-1. 08	388. 31	8. 90
270	8. 07	0. 00	35. 35	-38. 43	52. 22	1. 06	-1. 15	398. 99	-2. 31
280	8. 37	0. 00	34. 81	-40. 78	53. 62	1. 04	-1. 22	409. 51	-14. 22
290	8. 67	0. 00	34. 28	-43. 09	55. 06	1. 03	-1. 29	419. 87	-26. 84
300	8. 97	0. 00	33. 75	-45. 37	56. 55	1. 01	-1. 36	430. 06	-40. 14

表 5. 4. 5(34) 矢の軌道の計算結果

発射角	33. 0 (°)	計算方法	逐次計算法	計算時間間隔	0. 03 (s)
-----	-----------	------	-------	--------	-----------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の β 乗に比例するものとする。

$$F=KV^\beta$$

速度

$$\text{水平 (x 成分)} : V_{x_n} = V_{x_{n-1}} - k_x V_{x_{n-1}}^{\beta_x} dt$$

$$\text{垂直 (y 成分)} : V_{y_n} = V_{y_{n-1}} - g dt - k_y V_{y_{n-1}}^{\beta_y} dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 100. 0\%$$

$$v_0' : \text{初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V + V_w$$

$$V_w : \text{風速} = 0. 0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 33. 0 (^\circ)$$

$$0. 576 \text{ (radian)}$$

標準矢	26. 0g
対象矢	26. 0g

向かい風 (－) ～追い風 (＋)
水平 (0°) ～垂直 (90°)

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9. 8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k_x : \text{水平抵抗係数} = \begin{array}{cc} \text{上昇時} & \text{下降時} \\ 0. 003 & 0. 05225 \end{array}$$

$$k_y : \text{垂直抵抗係数} = \begin{array}{cc} 0. 063 & 0. 05 \end{array}$$

$$\beta_x : \text{水平速度低下指数} = \begin{array}{cc} 2. 00 & 1. 00 \end{array}$$

$$\beta_y : \text{垂直速度低下指数} = \begin{array}{cc} 1. 35 & 1. 00 \end{array}$$

$$\Delta t : \text{計算時間間隔} = 0. 03 \text{ (s)}$$

計算結果一覧 (抜粋)

計算番号順に Δt 刻みで逐次計算を実施 一部省略して表示

計算番号 NO.	時間 t (s)	風速 Vw (m/s)	速度 (水平) Vx (m/s)	速度 (垂直) Vy (m/s)	速度 V (m/s)	移動差分 (水平) dx (m)	移動差分 (垂直) dy (m)	発射点からの 水平距離 x (m)	発射点からの 垂直距離 y (m)
1	0. 00	0. 00	86. 89	56. 42	103. 60	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00
10	0. 27	0. 00	81. 13	50. 11	95. 36	2. 43	1. 50	22. 58	14. 27
20	0. 57	0. 00	75. 57	43. 73	87. 31	2. 27	1. 31	45. 98	28. 24
30	0. 87	0. 00	70. 73	37. 94	80. 26	2. 12	1. 14	67. 84	40. 39
40	1. 17	0. 00	66. 47	32. 66	74. 06	1. 99	0. 98	88. 34	50. 89
50	1. 47	0. 00	62. 70	27. 81	68. 59	1. 88	0. 83	107. 65	59. 87
60	1. 77	0. 00	59. 33	23. 35	63. 76	1. 78	0. 70	125. 90	67. 47
70	2. 07	0. 00	56. 31	19. 22	59. 50	1. 69	0. 58	143. 19	73. 79
80	2. 37	0. 00	53. 58	15. 38	55. 75	1. 61	0. 46	159. 63	78. 92
90	2. 67	0. 00	51. 11	11. 79	52. 45	1. 53	0. 35	175. 29	82. 93
100	2. 97	0. 00	48. 85	8. 41	49. 57	1. 47	0. 25	190. 24	85. 91
110	3. 27	0. 00	46. 78	5. 21	47. 07	1. 40	0. 16	204. 55	87. 90
120	3. 57	0. 00	44. 89	2. 16	44. 94	1. 35	0. 06	218. 27	88. 96
130	3. 87	0. 00	43. 34	-0. 80	43. 35	1. 30	-0. 02	231. 45	89. 12
140	4. 17	0. 00	42. 66	-3. 71	42. 83	1. 28	-0. 11	244. 34	88. 39
150	4. 47	0. 00	42. 00	-6. 57	42. 51	1. 26	-0. 20	257. 03	86. 81
160	4. 77	0. 00	41. 35	-9. 40	42. 40	1. 24	-0. 28	269. 52	84. 37
170	5. 07	0. 00	40. 70	-12. 18	42. 49	1. 22	-0. 37	281. 82	81. 09
180	5. 37	0. 00	40. 07	-14. 92	42. 76	1. 20	-0. 45	293. 93	76. 98
190	5. 67	0. 00	39. 45	-17. 61	43. 20	1. 18	-0. 53	305. 84	72. 06
200	5. 97	0. 00	38. 83	-20. 27	43. 80	1. 16	-0. 61	317. 58	66. 34
210	6. 27	0. 00	38. 23	-22. 89	44. 56	1. 15	-0. 69	329. 13	59. 83
220	6. 57	0. 00	37. 63	-25. 47	45. 44	1. 13	-0. 76	340. 50	52. 53
230	6. 87	0. 00	37. 05	-28. 01	46. 44	1. 11	-0. 84	351. 69	44. 47
240	7. 17	0. 00	36. 47	-30. 51	47. 55	1. 09	-0. 92	362. 71	35. 65
250	7. 47	0. 00	35. 90	-32. 98	48. 75	1. 08	-0. 99	373. 55	26. 09
260	7. 77	0. 00	35. 34	-35. 41	50. 03	1. 06	-1. 06	384. 23	15. 80
270	8. 07	0. 00	34. 79	-37. 80	51. 38	1. 04	-1. 13	394. 74	4. 78
280	8. 37	0. 00	34. 25	-40. 16	52. 78	1. 03	-1. 20	405. 09	-6. 95
290	8. 67	0. 00	33. 72	-42. 48	54. 23	1. 01	-1. 27	415. 28	-19. 38
300	8. 97	0. 00	33. 19	-44. 77	55. 73	1. 00	-1. 34	425. 31	-32. 50

表 5. 4. 5 (35) 矢の軌道の計算結果

発射角	34. 0 (°)	計算方法	逐次計算法	計算時間間隔	0. 03 (s)
-----	-----------	------	-------	--------	-----------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の β 乗に比例するものとする。

$$F=KV^\beta$$

速度

$$\text{水平 (x 成分)} : V_{x_n} = V_{x_{n-1}} - k_x V_{x_{n-1}}^{\beta} dt$$

$$\text{垂直 (y 成分)} : V_{y_n} = V_{y_{n-1}} - g dt - k_y V_{y_{n-1}}^{\beta} dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 100. 0\%$$

$$v_0' : \text{初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V + V_w$$

$$V_w : \text{風速} = 0. 0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 34. 0 (^\circ)$$

$$0. 593 \text{ (radian)}$$

標準矢	26. 0g
対象矢	26. 0g

向かい風 (－) ～追い風 (＋)
水平 (0°) ～垂直 (90°)

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9. 8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k_x : \text{水平抵抗係数} = \begin{array}{cc} \text{上昇時} & \text{下降時} \\ 0. 003 & 0. 053 \end{array}$$

$$k_y : \text{垂直抵抗係数} = \begin{array}{cc} 0. 062 & 0. 05 \end{array}$$

$$\beta_x : \text{水平速度低下指数} = \begin{array}{cc} 2. 00 & 1. 00 \end{array}$$

$$\beta_y : \text{垂直速度低下指数} = \begin{array}{cc} 1. 35 & 1. 00 \end{array}$$

$$\Delta t : \text{計算時間間隔} = 0. 03 \text{ (s)}$$

計算結果一覧 (抜粋)

計算番号順に Δt 刻みで逐次計算を実施 一部省略して表示

計算番号 NO.	時間 t (s)	風速 Vw (m/s)	速度 (水平) Vx (m/s)	速度 (垂直) Vy (m/s)	速度 V (m/s)	移動差分 (水平) dx (m)	移動差分 (垂直) dy (m)	発射点からの 水平距離 x (m)	発射点からの 垂直距離 y (m)
1	0. 00	0. 00	85. 89	57. 93	103. 60	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00
10	0. 27	0. 00	80. 26	51. 54	95. 38	2. 41	1. 55	22. 33	14. 67
20	0. 57	0. 00	74. 82	45. 08	87. 35	2. 24	1. 35	45. 49	29. 05
30	0. 87	0. 00	70. 07	39. 21	80. 30	2. 10	1. 18	67. 14	41. 59
40	1. 17	0. 00	65. 89	33. 86	74. 08	1. 98	1. 02	87. 46	52. 46
50	1. 47	0. 00	62. 18	28. 95	68. 59	1. 87	0. 87	106. 60	61. 80
60	1. 77	0. 00	58. 87	24. 42	63. 73	1. 77	0. 73	124. 70	69. 72
70	2. 07	0. 00	55. 89	20. 24	59. 44	1. 68	0. 61	141. 86	76. 35
80	2. 37	0. 00	53. 20	16. 34	55. 66	1. 60	0. 49	158. 18	81. 78
90	2. 67	0. 00	50. 76	12. 70	52. 33	1. 52	0. 38	173. 73	86. 07
100	2. 97	0. 00	48. 53	9. 28	49. 41	1. 46	0. 28	188. 58	89. 31
110	3. 27	0. 00	46. 49	6. 04	46. 88	1. 39	0. 18	202. 80	91. 56
120	3. 57	0. 00	44. 62	2. 95	44. 72	1. 34	0. 09	216. 44	92. 86
130	3. 87	0. 00	42. 89	-0. 03	42. 89	1. 29	0. 00	229. 54	93. 25
140	4. 17	0. 00	42. 21	-2. 95	42. 32	1. 27	-0. 09	242. 29	92. 76
150	4. 47	0. 00	41. 55	-5. 82	41. 95	1. 25	-0. 17	254. 84	91. 40
160	4. 77	0. 00	40. 89	-8. 66	41. 80	1. 23	-0. 26	267. 20	89. 18
170	5. 07	0. 00	40. 24	-11. 45	41. 84	1. 21	-0. 34	279. 36	86. 13
180	5. 37	0. 00	39. 61	-14. 20	42. 08	1. 19	-0. 43	291. 33	82. 24
190	5. 67	0. 00	38. 98	-16. 91	42. 49	1. 17	-0. 51	303. 11	77. 53
200	5. 97	0. 00	38. 37	-19. 57	43. 07	1. 15	-0. 59	314. 70	72. 02
210	6. 27	0. 00	37. 76	-22. 20	43. 81	1. 13	-0. 67	326. 11	65. 71
220	6. 57	0. 00	37. 17	-24. 79	44. 68	1. 12	-0. 74	337. 34	58. 62
230	6. 87	0. 00	36. 58	-27. 34	45. 67	1. 10	-0. 82	348. 39	50. 76
240	7. 17	0. 00	36. 00	-29. 86	46. 77	1. 08	-0. 90	359. 27	42. 14
250	7. 47	0. 00	35. 43	-32. 33	47. 97	1. 06	-0. 97	369. 98	32. 78
260	7. 77	0. 00	34. 87	-34. 77	49. 25	1. 05	-1. 04	380. 52	22. 68
270	8. 07	0. 00	34. 32	-37. 17	50. 60	1. 03	-1. 12	390. 89	11. 85
280	8. 37	0. 00	33. 78	-39. 54	52. 00	1. 01	-1. 19	401. 10	0. 30
290	8. 67	0. 00	33. 25	-41. 87	53. 47	1. 00	-1. 26	411. 14	-11. 94
300	8. 97	0. 00	32. 72	-44. 17	54. 97	0. 98	-1. 32	421. 03	-24. 88

表 5. 4. 5 (36) 矢の軌道の計算結果

発射角	35. 0 (°)	計算方法	逐次計算法	計算時間間隔	0. 03 (s)
-----	-----------	------	-------	--------	-----------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の β 乗に比例するものとする。

$$F=KV^\beta$$

速度

$$\text{水平 (x 成分)} : V_{x_n} = V_{x_{n-1}} - k_x V_{x_{n-1}}^{\beta_x} dt$$

$$\text{垂直 (y 成分)} : V_{y_n} = V_{y_{n-1}} - g dt - k_y V_{y_{n-1}}^{\beta_y} dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 100. 0\%$$

$$v_0' : \text{初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V + V_w$$

$$V_w : \text{風速} = 0. 0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 35. 0 (^\circ)$$

$$0. 611 \text{ (radian)}$$

標準矢	26. 0g
対象矢	26. 0g

向かい風 (－) ～追い風 (＋)
水平 (0°) ～垂直 (90°)

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9. 8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k_x : \text{水平抵抗係数} = \begin{array}{cc} \text{上昇時} & \text{下降時} \\ 0. 003 & 0. 054 \end{array}$$

$$k_y : \text{垂直抵抗係数} = \begin{array}{cc} 0. 061 & 0. 05 \end{array}$$

$$\beta_x : \text{水平速度低下指数} = \begin{array}{cc} 2. 00 & 1. 00 \end{array}$$

$$\beta_y : \text{垂直速度低下指数} = \begin{array}{cc} 1. 35 & 1. 00 \end{array}$$

$$\Delta t : \text{計算時間間隔} = 0. 03 \text{ (s)}$$

計算結果一覧 (抜粋)

計算番号順に Δt 刻みで逐次計算を実施 一部省略して表示

計算番号 NO.	時間 t (s)	風速 Vw (m/s)	速度 (水平) Vx (m/s)	速度 (垂直) Vy (m/s)	速度 V (m/s)	移動差分 (水平) dx (m)	移動差分 (垂直) dy (m)	発射点からの 水平距離 x (m)	発射点からの 垂直距離 y (m)
1	0. 00	0. 00	84. 86	59. 42	103. 60	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00
10	0. 27	0. 00	79. 37	52. 96	95. 41	2. 38	1. 59	22. 07	15. 06
20	0. 57	0. 00	74. 04	46. 42	87. 39	2. 22	1. 39	44. 99	29. 85
30	0. 87	0. 00	69. 39	40. 48	80. 33	2. 08	1. 21	66. 42	42. 79
40	1. 17	0. 00	65. 29	35. 05	74. 10	1. 96	1. 05	86. 54	54. 02
50	1. 47	0. 00	61. 64	30. 08	68. 59	1. 85	0. 90	105. 52	63. 71
60	1. 77	0. 00	58. 39	25. 49	63. 71	1. 75	0. 76	123. 46	71. 97
70	2. 07	0. 00	55. 46	21. 25	59. 39	1. 66	0. 64	140. 49	78. 91
80	2. 37	0. 00	52. 81	17. 30	55. 57	1. 58	0. 52	156. 68	84. 62
90	2. 67	0. 00	50. 40	13. 62	52. 21	1. 51	0. 41	172. 12	89. 20
100	2. 97	0. 00	48. 21	10. 15	49. 26	1. 45	0. 30	186. 88	92. 71
110	3. 27	0. 00	46. 19	6. 87	46. 70	1. 39	0. 21	201. 00	95. 21
120	3. 57	0. 00	44. 34	3. 75	44. 50	1. 33	0. 11	214. 55	96. 75
130	3. 87	0. 00	42. 63	0. 75	42. 64	1. 28	0. 02	227. 57	97. 38
140	4. 17	0. 00	41. 67	-2. 18	41. 73	1. 25	-0. 07	240. 17	97. 12
150	4. 47	0. 00	41. 00	-5. 07	41. 31	1. 23	-0. 15	252. 56	95. 98
160	4. 77	0. 00	40. 34	-7. 92	41. 11	1. 21	-0. 24	264. 75	93. 99
170	5. 07	0. 00	39. 69	-10. 72	41. 11	1. 19	-0. 32	276. 74	91. 15
180	5. 37	0. 00	39. 05	-13. 48	41. 32	1. 17	-0. 40	288. 55	87. 48
190	5. 67	0. 00	38. 43	-16. 20	41. 70	1. 15	-0. 49	300. 16	82. 99
200	5. 97	0. 00	37. 81	-18. 88	42. 26	1. 13	-0. 57	311. 59	77. 68
210	6. 27	0. 00	37. 20	-21. 52	42. 97	1. 12	-0. 65	322. 83	71. 58
220	6. 57	0. 00	36. 60	-24. 12	43. 83	1. 10	-0. 72	333. 89	64. 70
230	6. 87	0. 00	36. 01	-26. 68	44. 82	1. 08	-0. 80	344. 77	57. 04
240	7. 17	0. 00	35. 43	-29. 20	45. 92	1. 06	-0. 88	355. 48	48. 62
250	7. 47	0. 00	34. 86	-31. 69	47. 11	1. 05	-0. 95	366. 02	39. 45
260	7. 77	0. 00	34. 30	-34. 13	48. 39	1. 03	-1. 02	376. 38	29. 54
270	8. 07	0. 00	33. 75	-36. 55	49. 75	1. 01	-1. 10	386. 58	18. 90
280	8. 37	0. 00	33. 21	-38. 92	51. 16	1. 00	-1. 17	396. 62	7. 54
290	8. 67	0. 00	32. 67	-41. 26	52. 63	0. 98	-1. 24	406. 49	-4. 52
300	8. 97	0. 00	32. 15	-43. 57	54. 14	0. 96	-1. 31	416. 21	-17. 28

表 5. 4. 5(37) 矢の軌道の計算結果

発射角	36. 0 (°)	計算方法	逐次計算法	計算時間間隔	0. 03 (s)
-----	-----------	------	-------	--------	-----------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の β 乗に比例するものとする。

$$F=KV^\beta$$

速度

$$\text{水平 (x 成分)} : V_{x_n} = V_{x_{n-1}} - k_x V_{x_{n-1}}^{\beta_x} dt$$

$$\text{垂直 (y 成分)} : V_{y_n} = V_{y_{n-1}} - g dt - k_y V_{y_{n-1}}^{\beta_y} dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 100. 0\%$$

$$V_0 : \text{初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V + V_w$$

$$V_w : \text{風速} = 0. 0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 36. 0 (^\circ)$$

$$0. 628 \text{ (radian)}$$

標準矢	26. 0g
対象矢	26. 0g

向かい風 (－) ～追い風 (＋)
水平 (0°) ～垂直 (90°)

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9. 8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k_x : \text{水平抵抗係数} = \begin{array}{cc} \text{上昇時} & \text{下降時} \\ 0. 003 & 0. 055 \end{array}$$

$$k_y : \text{垂直抵抗係数} = \begin{array}{cc} 0. 06 & 0. 05 \end{array}$$

$$\beta_x : \text{水平速度低下指数} = \begin{array}{cc} 2. 00 & 1. 00 \end{array}$$

$$\beta_y : \text{垂直速度低下指数} = \begin{array}{cc} 1. 35 & 1. 00 \end{array}$$

$$\Delta t : \text{計算時間間隔} = 0. 03 \text{ (s)}$$

計算結果一覧 (抜粋)

計算番号順に Δt 刻みで逐次計算を実施 一部省略して表示

計算番号 NO.	時間 t (s)	風速 Vw (m/s)	速度 (水平) Vx (m/s)	速度 (垂直) Vy (m/s)	速度 V (m/s)	移動差分 (水平) dx (m)	移動差分 (垂直) dy (m)	発射点からの 水平距離 x (m)	発射点からの 垂直距離 y (m)
1	0. 00	0. 00	83. 81	60. 89	103. 60	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00
10	0. 27	0. 00	78. 45	54. 36	95. 44	2. 35	1. 63	21. 81	15. 45
20	0. 57	0. 00	73. 24	47. 75	87. 43	2. 20	1. 43	44. 47	30. 65
30	0. 87	0. 00	68. 69	41. 74	80. 37	2. 06	1. 25	65. 67	43. 97
40	1. 17	0. 00	64. 66	36. 25	74. 13	1. 94	1. 09	85. 60	55. 58
50	1. 47	0. 00	61. 09	31. 21	68. 60	1. 83	0. 94	104. 40	65. 61
60	1. 77	0. 00	57. 89	26. 57	63. 69	1. 74	0. 80	122. 19	74. 20
70	2. 07	0. 00	55. 01	22. 27	59. 34	1. 65	0. 67	139. 08	81. 45
80	2. 37	0. 00	52. 40	18. 27	55. 49	1. 57	0. 55	155. 14	87. 46
90	2. 67	0. 00	50. 03	14. 53	52. 10	1. 50	0. 44	170. 47	92. 32
100	2. 97	0. 00	47. 87	11. 02	49. 12	1. 44	0. 33	185. 11	96. 09
110	3. 27	0. 00	45. 88	7. 70	46. 52	1. 38	0. 23	199. 14	98. 85
120	3. 57	0. 00	44. 05	4. 55	44. 29	1. 32	0. 14	212. 60	100. 63
130	3. 87	0. 00	42. 37	1. 52	42. 40	1. 27	0. 05	225. 54	101. 50
140	4. 17	0. 00	41. 14	-1. 43	41. 17	1. 23	-0. 04	238. 01	101. 46
150	4. 47	0. 00	40. 47	-4. 32	40. 70	1. 21	-0. 13	250. 24	100. 56
160	4. 77	0. 00	39. 81	-7. 18	40. 45	1. 19	-0. 22	262. 27	98. 79
170	5. 07	0. 00	39. 16	-9. 99	40. 41	1. 17	-0. 30	274. 11	96. 17
180	5. 37	0. 00	38. 51	-12. 76	40. 57	1. 16	-0. 38	285. 75	92. 71
190	5. 67	0. 00	37. 88	-15. 49	40. 93	1. 14	-0. 46	297. 20	88. 43
200	5. 97	0. 00	37. 26	-18. 18	41. 46	1. 12	-0. 55	308. 46	83. 34
210	6. 27	0. 00	36. 65	-20. 83	42. 16	1. 10	-0. 63	319. 54	77. 45
220	6. 57	0. 00	36. 05	-23. 44	43. 00	1. 08	-0. 70	330. 44	70. 76
230	6. 87	0. 00	35. 46	-26. 01	43. 98	1. 06	-0. 78	341. 15	63. 31
240	7. 17	0. 00	34. 88	-28. 55	45. 07	1. 05	-0. 86	351. 70	55. 08
250	7. 47	0. 00	34. 31	-31. 04	46. 27	1. 03	-0. 93	362. 07	46. 11
260	7. 77	0. 00	33. 75	-33. 50	47. 55	1. 01	-1. 00	372. 27	36. 39
270	8. 07	0. 00	33. 20	-35. 92	48. 91	1. 00	-1. 08	382. 30	25. 94
280	8. 37	0. 00	32. 65	-38. 31	50. 33	0. 98	-1. 15	392. 17	14. 77
290	8. 67	0. 00	32. 12	-40. 66	51. 81	0. 96	-1. 22	401. 87	2. 89
300	8. 97	0. 00	31. 59	-42. 97	53. 33	0. 95	-1. 29	411. 42	-9. 69

表 5. 4. 5(38) 矢の軌道の計算結果

発射角	37.0 (°)	計算方法	逐次計算法	計算時間間隔	0.03 (s)
-----	----------	------	-------	--------	----------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の β 乗に比例するものとする。

$$F=KV^\beta$$

速度

$$\begin{aligned} \text{水平 (x 成分)} : V_{x_n} &= V_{x_{n-1}} - k_x V_{x_{n-1}}^{\beta_x} dt \\ \text{垂直 (y 成分)} : V_{y_n} &= V_{y_{n-1}} - g dt - k_y V_{y_{n-1}}^{\beta_y} dt \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v_0 : \text{基準初速度} &= 103.6 \text{ (m/s)} \\ \text{初速度低減率} &= 100.0\% \\ v_0' : \text{初速度} &= 103.6 \text{ (m/s)} \\ V' : \text{風を考慮した相対速度} &= V + V_w \\ V_w : \text{風速} &= 0.0 \text{ (m/s)} \\ \alpha : \text{仰角} &= 37.0 \text{ (}^\circ\text{)} \\ &= 0.646 \text{ (radian)} \end{aligned}$$

標準矢	26.0g
対象矢	26.0g

向かい風 (－) ～ 追い風 (＋)
水平 (0°) ～ 垂直 (90°)

$$\begin{aligned} t : \text{時間} &= \\ g : \text{重力加速度} &= 9.8 \text{ (m/s}^2\text{)} \end{aligned}$$

k_x : 水平抵抗係数	上昇時	0.003	下降時	0.05575
k_y : 垂直抵抗係数		0.06		0.05
β_x : 水平速度低下指数		2.00		1.00
β_y : 垂直速度低下指数		1.35		1.00

$$\Delta t : \text{計算時間間隔} = 0.03 \text{ (s)}$$

計算結果一覧 (抜粋)

計算番号順に Δt 刻みで逐次計算を実施 一部省略して表示

計算番号 NO.	時間 t (s)	風速 Vw (m/s)	速度 (水平) Vx (m/s)	速度 (垂直) Vy (m/s)	速度 V (m/s)	移動差分 (水平) dx (m)	移動差分 (垂直) dy (m)	発射点からの 水平距離 x (m)	発射点からの 垂直距離 y (m)
1	0.00	0.00	82.74	62.35	103.60	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.27	0.00	77.51	55.69	95.44	2.33	1.67	21.54	15.82
20	0.57	0.00	72.42	48.96	87.42	2.17	1.47	43.93	31.40
30	0.87	0.00	67.96	42.84	80.34	2.04	1.29	64.91	45.06
40	1.17	0.00	64.02	37.25	74.07	1.92	1.12	84.64	56.98
50	1.47	0.00	60.52	32.13	68.52	1.82	0.96	103.26	67.30
60	1.77	0.00	57.37	27.42	63.59	1.72	0.82	120.89	76.16
70	2.07	0.00	54.54	23.06	59.22	1.64	0.69	137.62	83.65
80	2.37	0.00	51.98	19.00	55.35	1.56	0.57	153.56	89.89
90	2.67	0.00	49.65	15.22	51.93	1.49	0.46	168.76	94.96
100	2.97	0.00	47.51	11.67	48.93	1.43	0.35	183.30	98.94
110	3.27	0.00	45.56	8.32	46.31	1.37	0.25	197.23	101.88
120	3.57	0.00	43.76	5.13	44.06	1.31	0.15	210.59	103.85
130	3.87	0.00	42.09	2.08	42.14	1.26	0.06	223.44	104.88
140	4.17	0.00	40.71	-0.87	40.72	1.22	-0.03	235.82	105.02
150	4.47	0.00	40.04	-3.78	40.22	1.20	-0.11	247.92	104.28
160	4.77	0.00	39.37	-6.64	39.93	1.18	-0.20	259.82	102.67
170	5.07	0.00	38.72	-9.46	39.86	1.16	-0.28	271.53	100.21
180	5.37	0.00	38.08	-12.24	40.00	1.14	-0.37	283.04	96.91
190	5.67	0.00	37.44	-14.98	40.33	1.12	-0.45	294.35	92.79
200	5.97	0.00	36.82	-17.68	40.85	1.10	-0.53	305.48	87.85
210	6.27	0.00	36.21	-20.33	41.53	1.09	-0.61	316.43	82.10
220	6.57	0.00	35.61	-22.95	42.37	1.07	-0.69	327.19	75.57
230	6.87	0.00	35.02	-25.53	43.34	1.05	-0.77	337.78	68.26
240	7.17	0.00	34.44	-28.07	44.43	1.03	-0.84	348.19	60.18
250	7.47	0.00	33.87	-30.57	45.62	1.02	-0.92	358.43	51.34
260	7.77	0.00	33.30	-33.04	46.91	1.00	-0.99	368.49	41.77
270	8.07	0.00	32.75	-35.46	48.27	0.98	-1.06	378.39	31.45
280	8.37	0.00	32.21	-37.86	49.70	0.97	-1.14	388.13	20.42
290	8.67	0.00	31.67	-40.21	51.19	0.95	-1.21	397.70	8.67
300	8.97	0.00	31.15	-42.53	52.72	0.93	-1.28	407.12	-3.78

表 5. 4. 5 (39) 矢の軌道の計算結果

発射角	38. 0 (°)	計算方法	逐次計算法	計算時間間隔	0. 03 (s)
-----	-----------	------	-------	--------	-----------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の β 乗に比例するものとする。

$$F=KV^\beta$$

速度

$$\text{水平 (x 成分)} : V_{x_n} = V_{x_{n-1}} - k_x V_{x_{n-1}}^{\beta_x} dt$$

$$\text{垂直 (y 成分)} : V_{y_n} = V_{y_{n-1}} - g dt - k_y V_{y_{n-1}}^{\beta_y} dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 100. 0\%$$

$$v_0' : \text{初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V + V_w$$

$$V_w : \text{風速} = 0. 0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 38. 0 (^\circ)$$

$$0. 663 \text{ (radian)}$$

標準矢	26. 0g
対象矢	26. 0g

向かい風 (－) ～追い風 (＋)
水平 (0°) ～垂直 (90°)

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9. 8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k_x : \text{水平抵抗係数} = \begin{array}{cc} \text{上昇時} & \text{下降時} \\ 0. 003 & 0. 0565 \end{array}$$

$$k_y : \text{垂直抵抗係数} = \begin{array}{cc} 0. 06 & 0. 05 \end{array}$$

$$\beta_x : \text{水平速度低下指数} = \begin{array}{cc} 2. 00 & 1. 00 \end{array}$$

$$\beta_y : \text{垂直速度低下指数} = \begin{array}{cc} 1. 35 & 1. 00 \end{array}$$

$$\Delta t : \text{計算時間間隔} = 0. 03 \text{ (s)}$$

計算結果一覧 (抜粋)

計算番号順に Δt 刻みで逐次計算を実施 一部省略して表示

計算番号 NO.	時間 t (s)	風速 Vw (m/s)	速度 (水平) Vx (m/s)	速度 (垂直) Vy (m/s)	速度 V (m/s)	移動差分 (水平) dx (m)	移動差分 (垂直) dy (m)	発射点からの 水平距離 x (m)	発射点からの 垂直距離 y (m)
1	0. 00	0. 00	81. 64	63. 78	103. 60	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00
10	0. 27	0. 00	76. 54	57. 00	95. 43	2. 30	1. 71	21. 26	16. 19
20	0. 57	0. 00	71. 58	50. 14	87. 39	2. 15	1. 50	43. 39	32. 14
30	0. 87	0. 00	67. 22	43. 92	80. 29	2. 02	1. 32	64. 13	46. 14
40	1. 17	0. 00	63. 36	38. 24	74. 01	1. 90	1. 15	83. 65	58. 37
50	1. 47	0. 00	59. 93	33. 04	68. 43	1. 80	0. 99	102. 08	68. 97
60	1. 77	0. 00	56. 84	28. 26	63. 48	1. 71	0. 85	119. 54	78. 08
70	2. 07	0. 00	54. 06	23. 83	59. 08	1. 62	0. 71	136. 13	85. 82
80	2. 37	0. 00	51. 54	19. 73	55. 19	1. 55	0. 59	151. 93	92. 29
90	2. 67	0. 00	49. 25	15. 90	51. 75	1. 48	0. 48	167. 01	97. 57
100	2. 97	0. 00	47. 15	12. 30	48. 73	1. 41	0. 37	181. 43	101. 74
110	3. 27	0. 00	45. 22	8. 92	46. 09	1. 36	0. 27	195. 25	104. 87
120	3. 57	0. 00	43. 45	5. 71	43. 82	1. 30	0. 17	208. 52	107. 01
130	3. 87	0. 00	41. 81	2. 64	41. 89	1. 25	0. 08	221. 28	108. 21
140	4. 17	0. 00	40. 36	-0. 33	40. 37	1. 21	-0. 01	233. 57	108. 51
150	4. 47	0. 00	39. 68	-3. 25	39. 82	1. 19	-0. 10	245. 57	107. 93
160	4. 77	0. 00	39. 02	-6. 12	39. 49	1. 17	-0. 18	257. 37	106. 48
170	5. 07	0. 00	38. 36	-8. 95	39. 39	1. 15	-0. 27	268. 96	104. 17
180	5. 37	0. 00	37. 72	-11. 74	39. 50	1. 13	-0. 35	280. 37	101. 03
190	5. 67	0. 00	37. 08	-14. 48	39. 81	1. 11	-0. 43	291. 57	97. 05
200	5. 97	0. 00	36. 46	-17. 19	40. 31	1. 09	-0. 52	302. 60	92. 26
210	6. 27	0. 00	35. 84	-19. 85	40. 97	1. 08	-0. 60	313. 43	86. 66
220	6. 57	0. 00	35. 24	-22. 47	41. 80	1. 06	-0. 67	324. 09	80. 27
230	6. 87	0. 00	34. 65	-25. 06	42. 76	1. 04	-0. 75	334. 56	73. 10
240	7. 17	0. 00	34. 07	-27. 61	43. 85	1. 02	-0. 83	344. 86	65. 17
250	7. 47	0. 00	33. 49	-30. 12	45. 04	1. 00	-0. 90	354. 98	56. 47
260	7. 77	0. 00	32. 93	-32. 59	46. 33	0. 99	-0. 98	364. 94	47. 03
270	8. 07	0. 00	32. 38	-35. 02	47. 69	0. 97	-1. 05	374. 72	36. 85
280	8. 37	0. 00	31. 83	-37. 42	49. 13	0. 95	-1. 12	384. 35	25. 94
290	8. 67	0. 00	31. 30	-39. 78	50. 62	0. 94	-1. 19	393. 81	14. 33
300	8. 97	0. 00	30. 77	-42. 11	52. 15	0. 92	-1. 26	403. 11	2. 01

表 5. 4. 5 (40) 矢の軌道の計算結果

発射角	39. 0 (°)	計算方法	逐次計算法	計算時間間隔	0. 03 (s)
-----	------------	------	-------	--------	-----------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の β 乗に比例するものとする。

$$F=KV^\beta$$

速度

$$\text{水平 (x 成分)} : V_{x_n} = V_{x_{n-1}} - k_x V_{x_{n-1}}^{\beta_x} dt$$

$$\text{垂直 (y 成分)} : V_{y_n} = V_{y_{n-1}} - g dt - k_y V_{y_{n-1}}^{\beta_y} dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 100. 0\%$$

$$V_0' : \text{初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V + V_w$$

$$V_w : \text{風速} = 0. 0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 39. 0 (^\circ)$$

$$0. 681 \text{ (radian)}$$

標準矢	26. 0g
対象矢	26. 0g

向かい風 (－) ～追い風 (＋)
水平 (0°) ～垂直 (90°)

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9. 8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k_x : \text{水平抵抗係数} = \begin{array}{cc} \text{上昇時} & \text{下降時} \\ 0. 003 & 0. 05725 \end{array}$$

$$k_y : \text{垂直抵抗係数} = \begin{array}{cc} 0. 06 & 0. 05 \end{array}$$

$$\beta_x : \text{水平速度低下指数} = \begin{array}{cc} 2. 00 & 1. 00 \end{array}$$

$$\beta_y : \text{垂直速度低下指数} = \begin{array}{cc} 1. 35 & 1. 00 \end{array}$$

$$\Delta t : \text{計算時間間隔} = 0. 03 \text{ (s)}$$

計算結果一覧 (抜粋)

計算番号順に Δt 刻みで逐次計算を実施 一部省略して表示

計算番号 NO.	時間 t (s)	風速 Vw (m/s)	速度 (水平) Vx (m/s)	速度 (垂直) Vy (m/s)	速度 V (m/s)	移動差分 (水平) dx (m)	移動差分 (垂直) dy (m)	発射点からの 水平距離 x (m)	発射点からの 垂直距離 y (m)
1	0. 00	0. 00	80. 51	65. 20	103. 60	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00
10	0. 27	0. 00	75. 55	58. 29	95. 42	2. 27	1. 75	20. 98	16. 55
20	0. 57	0. 00	70. 71	51. 31	87. 37	2. 12	1. 54	42. 83	32. 87
30	0. 87	0. 00	66. 45	44. 98	80. 25	1. 99	1. 35	63. 33	47. 20
40	1. 17	0. 00	62. 68	39. 21	73. 94	1. 88	1. 18	82. 63	59. 73
50	1. 47	0. 00	59. 32	33. 93	68. 34	1. 78	1. 02	100. 87	70. 61
60	1. 77	0. 00	56. 30	29. 08	63. 36	1. 69	0. 87	118. 16	79. 98
70	2. 07	0. 00	53. 57	24. 59	58. 95	1. 61	0. 74	134. 59	87. 96
80	2. 37	0. 00	51. 09	20. 43	55. 03	1. 53	0. 61	150. 25	94. 64
90	2. 67	0. 00	48. 84	16. 56	51. 57	1. 47	0. 50	165. 20	100. 13
100	2. 97	0. 00	46. 77	12. 93	48. 53	1. 40	0. 39	179. 51	104. 49
110	3. 27	0. 00	44. 88	9. 51	45. 87	1. 35	0. 29	193. 22	107. 80
120	3. 57	0. 00	43. 13	6. 26	43. 58	1. 29	0. 19	206. 39	110. 11
130	3. 87	0. 00	41. 51	3. 17	41. 63	1. 25	0. 10	219. 06	111. 48
140	4. 17	0. 00	40. 01	0. 19	40. 01	1. 20	0. 01	231. 27	111. 93
150	4. 47	0. 00	39. 25	-2. 73	39. 35	1. 18	-0. 08	243. 13	111. 51
160	4. 77	0. 00	38. 59	-5. 61	38. 99	1. 16	-0. 17	254. 80	110. 21
170	5. 07	0. 00	37. 93	-8. 45	38. 86	1. 14	-0. 25	266. 27	108. 06
180	5. 37	0. 00	37. 28	-11. 24	38. 94	1. 12	-0. 34	277. 54	105. 06
190	5. 67	0. 00	36. 65	-14. 00	39. 23	1. 10	-0. 42	288. 62	101. 23
200	5. 97	0. 00	36. 02	-16. 71	39. 71	1. 08	-0. 50	299. 51	96. 58
210	6. 27	0. 00	35. 41	-19. 38	40. 36	1. 06	-0. 58	310. 21	91. 13
220	6. 57	0. 00	34. 80	-22. 01	41. 18	1. 04	-0. 66	320. 73	84. 88
230	6. 87	0. 00	34. 21	-24. 60	42. 14	1. 03	-0. 74	331. 08	77. 85
240	7. 17	0. 00	33. 63	-27. 16	43. 22	1. 01	-0. 81	341. 24	70. 04
250	7. 47	0. 00	33. 05	-29. 67	44. 42	0. 99	-0. 89	351. 24	61. 48
260	7. 77	0. 00	32. 49	-32. 15	45. 71	0. 97	-0. 96	361. 06	52. 17
270	8. 07	0. 00	31. 94	-34. 59	47. 08	0. 96	-1. 04	370. 72	42. 12
280	8. 37	0. 00	31. 39	-37. 00	48. 52	0. 94	-1. 11	380. 21	31. 34
290	8. 67	0. 00	30. 86	-39. 37	50. 02	0. 93	-1. 18	389. 54	19. 85
300	8. 97	0. 00	30. 33	-41. 70	51. 56	0. 91	-1. 25	398. 71	7. 66

表 5. 4. 5(41) 矢の軌道の計算結果

発射角	40. 0 (°)	計算方法	逐次計算法	計算時間間隔	0. 03 (s)
-----	-----------	------	-------	--------	-----------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の β 乗に比例するものとする。

$$F=KV^\beta$$

速度

$$\begin{aligned} \text{水平 (x 成分)} : V_{x_n} &= V_{x_{n-1}} - k_x V_{x_{n-1}}^{\beta_x} dt \\ \text{垂直 (y 成分)} : V_{y_n} &= V_{y_{n-1}} - g dt - k_y V_{y_{n-1}}^{\beta_y} dt \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v_0 : \text{基準初速度} &= 103. 6 \text{ (m/s)} \\ \text{初速度低減率} &= 100. 0\% \end{aligned}$$

標準矢	26. 0g
対象矢	26. 0g

$$v_0' : \text{初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V + V_w$$

$$V_w : \text{風速} = 0. 0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 40. 0 (^\circ)$$

向かい風 (－) ～ 追い風 (＋)
水平 (0°) ～ 垂直 (90°)

$$= 0. 698 \text{ (radian)}$$

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9. 8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k_x : \text{水平抵抗係数} = \begin{array}{cc} \text{上昇時} & \text{下降時} \\ 0. 003 & 0. 058 \end{array}$$

$$k_y : \text{垂直抵抗係数} = \begin{array}{cc} 0. 06 & 0. 05 \end{array}$$

$$\beta_x : \text{水平速度低下指数} = \begin{array}{cc} 2. 00 & 1. 00 \end{array}$$

$$\beta_y : \text{垂直速度低下指数} = \begin{array}{cc} 1. 35 & 1. 00 \end{array}$$

$$\Delta t : \text{計算時間間隔} = 0. 03 \text{ (s)}$$

計算結果一覧 (抜粋)

計算番号順に Δt 刻みで逐次計算を実施 一部省略して表示

計算番号 NO.	時間 t (s)	風速 Vw (m/s)	速度 (水平) Vx (m/s)	速度 (垂直) Vy (m/s)	速度 V (m/s)	移動差分 (水平) dx (m)	移動差分 (垂直) dy (m)	発射点からの 水平距離 x (m)	発射点からの 垂直距離 y (m)
1	0. 00	0. 00	79. 36	66. 59	103. 60	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00
10	0. 27	0. 00	74. 54	59. 56	95. 41	2. 24	1. 79	20. 69	16. 91
20	0. 57	0. 00	69. 82	52. 46	87. 33	2. 09	1. 57	42. 26	33. 59
30	0. 87	0. 00	65. 67	46. 03	80. 19	1. 97	1. 38	62. 51	48. 25
40	1. 17	0. 00	61. 99	40. 17	73. 86	1. 86	1. 21	81. 59	61. 08
50	1. 47	0. 00	58. 69	34. 81	68. 24	1. 76	1. 04	99. 63	72. 23
60	1. 77	0. 00	55. 73	29. 88	63. 24	1. 67	0. 90	116. 75	81. 85
70	2. 07	0. 00	53. 06	25. 34	58. 80	1. 59	0. 76	133. 02	90. 06
80	2. 37	0. 00	50. 63	21. 13	54. 86	1. 52	0. 63	148. 53	96. 96
90	2. 67	0. 00	48. 41	17. 21	51. 38	1. 45	0. 52	163. 35	102. 64
100	2. 97	0. 00	46. 38	13. 53	48. 32	1. 39	0. 41	177. 53	107. 19
110	3. 27	0. 00	44. 52	10. 08	45. 65	1. 34	0. 30	191. 14	110. 68
120	3. 57	0. 00	42. 80	6. 81	43. 34	1. 28	0. 20	204. 20	113. 16
130	3. 87	0. 00	41. 20	3. 69	41. 37	1. 24	0. 11	216. 78	114. 68
140	4. 17	0. 00	39. 73	0. 70	39. 73	1. 19	0. 02	228. 89	115. 29
150	4. 47	0. 00	38. 83	-2. 23	38. 89	1. 16	-0. 07	240. 64	115. 02
160	4. 77	0. 00	38. 16	-5. 12	38. 50	1. 14	-0. 15	252. 18	113. 87
170	5. 07	0. 00	37. 50	-7. 97	38. 33	1. 12	-0. 24	263. 51	111. 86
180	5. 37	0. 00	36. 85	-10. 77	38. 39	1. 11	-0. 32	274. 66	109. 01
190	5. 67	0. 00	36. 21	-13. 53	38. 66	1. 09	-0. 41	285. 60	105. 32
200	5. 97	0. 00	35. 59	-16. 25	39. 12	1. 07	-0. 49	296. 37	100. 82
210	6. 27	0. 00	34. 97	-18. 92	39. 77	1. 05	-0. 57	306. 94	95. 50
220	6. 57	0. 00	34. 37	-21. 56	40. 57	1. 03	-0. 65	317. 33	89. 39
230	6. 87	0. 00	33. 78	-24. 16	41. 53	1. 01	-0. 72	327. 55	82. 49
240	7. 17	0. 00	33. 19	-26. 72	42. 61	1. 00	-0. 80	337. 58	74. 81
250	7. 47	0. 00	32. 62	-29. 24	43. 81	0. 98	-0. 88	347. 45	66. 38
260	7. 77	0. 00	32. 06	-31. 73	45. 10	0. 96	-0. 95	357. 14	57. 20
270	8. 07	0. 00	31. 50	-34. 18	46. 48	0. 95	-1. 03	366. 66	47. 27
280	8. 37	0. 00	30. 96	-36. 59	47. 93	0. 93	-1. 10	376. 02	36. 62
290	8. 67	0. 00	30. 43	-38. 96	49. 43	0. 91	-1. 17	385. 22	25. 25
300	8. 97	0. 00	29. 90	-41. 30	50. 99	0. 90	-1. 24	394. 27	13. 18

表 5. 4. 5(42) 矢の軌道の計算結果

発射角	41.0 (°)	計算方法	逐次計算法	計算時間間隔	0.03 (s)
-----	----------	------	-------	--------	----------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の β 乗に比例するものとする。

$$F=KV^\beta$$

速度

$$\text{水平 (x 成分)} : V_{x_n} = V_{x_{n-1}} - k_x V_{x_{n-1}}^{\beta_x} dt$$

$$\text{垂直 (y 成分)} : V_{y_n} = V_{y_{n-1}} - g dt - k_y V_{y_{n-1}}^{\beta_y} dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 103.6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 100.0\%$$

$$v_0' : \text{初速度} = 103.6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V + V_w$$

$$V_w : \text{風速} = 0.0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 41.0 (^\circ)$$

$$0.716 \text{ (radian)}$$

$$\text{標準矢} = 26.0g$$

$$\text{対象矢} = 26.0g$$

向かい風 (－) ～追い風 (＋)

水平 (0°) ～垂直 (90°)

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k_x : \text{水平抵抗係数} = \begin{array}{cc} \text{上昇時} & \text{下降時} \\ 0.003 & 0.0585 \end{array}$$

$$k_y : \text{垂直抵抗係数} = \begin{array}{cc} 0.06 & 0.05 \end{array}$$

$$\beta_x : \text{水平速度低下指数} = \begin{array}{cc} 2.00 & 1.00 \end{array}$$

$$\beta_y : \text{垂直速度低下指数} = \begin{array}{cc} 1.35 & 1.00 \end{array}$$

$$\Delta t : \text{計算時間間隔} = 0.03 \text{ (s)}$$

計算結果一覧 (抜粋)

計算番号順に Δt 刻みで逐次計算を実施 一部省略して表示

計算番号 NO.	時間 t (s)	風速 Vw (m/s)	速度 (水平) Vx (m/s)	速度 (垂直) Vy (m/s)	速度 V (m/s)	移動差分 (水平) dx (m)	移動差分 (垂直) dy (m)	発射点からの 水平距離 x (m)	発射点からの 垂直距離 y (m)
1	0.00	0.00	78.19	67.97	103.60	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.27	0.00	73.50	60.81	95.39	2.21	1.82	20.39	17.26
20	0.57	0.00	68.91	53.59	87.30	2.07	1.61	41.67	34.30
30	0.87	0.00	64.87	47.05	80.14	1.95	1.41	61.67	49.28
40	1.17	0.00	61.27	41.11	73.78	1.84	1.23	80.52	62.40
50	1.47	0.00	58.05	35.67	68.13	1.74	1.07	98.36	73.82
60	1.77	0.00	55.15	30.67	63.11	1.65	0.92	115.29	83.69
70	2.07	0.00	52.53	26.07	58.65	1.58	0.78	131.40	92.12
80	2.37	0.00	50.15	21.81	54.69	1.50	0.65	146.76	99.23
90	2.67	0.00	47.98	17.84	51.19	1.44	0.54	161.44	105.11
100	2.97	0.00	45.98	14.13	48.10	1.38	0.42	175.50	109.85
110	3.27	0.00	44.15	10.64	45.41	1.32	0.32	188.99	113.50
120	3.57	0.00	42.45	7.34	43.08	1.27	0.22	201.95	116.15
130	3.87	0.00	40.89	4.20	41.10	1.23	0.13	214.43	117.83
140	4.17	0.00	39.43	1.19	39.45	1.18	0.04	226.45	118.59
150	4.47	0.00	38.40	-1.75	38.44	1.15	-0.05	238.08	118.46
160	4.77	0.00	37.73	-4.64	38.02	1.13	-0.14	249.49	117.46
170	5.07	0.00	37.08	-7.50	37.83	1.11	-0.22	260.70	115.59
180	5.37	0.00	36.43	-10.30	37.86	1.09	-0.31	271.72	112.88
190	5.67	0.00	35.80	-13.07	38.11	1.07	-0.39	282.54	109.33
200	5.97	0.00	35.17	-15.80	38.56	1.06	-0.47	293.18	104.96
210	6.27	0.00	34.56	-18.48	39.19	1.04	-0.55	303.63	99.77
220	6.57	0.00	33.96	-21.13	39.99	1.02	-0.63	313.90	93.79
230	6.87	0.00	33.37	-23.73	40.95	1.00	-0.71	323.99	87.02
240	7.17	0.00	32.79	-26.30	42.03	0.98	-0.79	333.90	79.48
250	7.47	0.00	32.22	-28.83	43.23	0.97	-0.86	343.64	71.17
260	7.77	0.00	31.65	-31.32	44.53	0.95	-0.94	353.22	62.11
270	8.07	0.00	31.10	-33.77	45.91	0.93	-1.01	362.62	52.31
280	8.37	0.00	30.56	-36.19	47.37	0.92	-1.09	371.86	41.78
290	8.67	0.00	30.03	-38.57	48.88	0.90	-1.16	380.94	30.53
300	8.97	0.00	29.51	-40.91	50.44	0.89	-1.23	389.86	18.57

表 5. 4. 5 (43) 矢の軌道の計算結果

発射角	42. 0 (°)	計算方法	逐次計算法	計算時間間隔	0. 03 (s)
-----	-----------	------	-------	--------	-----------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の β 乗に比例するものとする。

$$F=KV^\beta$$

速度

$$\text{水平 (x 成分)} : V_{x_n} = V_{x_{n-1}} - k_x V_{x_{n-1}}^{\beta_x} dt$$

$$\text{垂直 (y 成分)} : V_{y_n} = V_{y_{n-1}} - g dt - k_y V_{y_{n-1}}^{\beta_y} dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 100. 0\%$$

$$v_0' : \text{初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V + V_w$$

$$V_w : \text{風速} = 0. 0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 42. 0 (^\circ)$$

$$0. 733 \text{ (radian)}$$

標準矢	26. 0g
対象矢	26. 0g

向かい風 (－) ～追い風 (＋)
水平 (0°) ～垂直 (90°)

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9. 8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k_x : \text{水平抵抗係数} = \begin{array}{cc} \text{上昇時} & \text{下降時} \\ 0. 003 & 0. 059 \end{array}$$

$$k_y : \text{垂直抵抗係数} = \begin{array}{cc} 0. 06 & 0. 05 \end{array}$$

$$\beta_x : \text{水平速度低下指数} = \begin{array}{cc} 2. 00 & 1. 00 \end{array}$$

$$\beta_y : \text{垂直速度低下指数} = \begin{array}{cc} 1. 35 & 1. 00 \end{array}$$

$$\Delta t : \text{計算時間間隔} = 0. 03 \text{ (s)}$$

計算結果一覧 (抜粋)

計算番号順に Δt 刻みで逐次計算を実施 一部省略して表示

計算番号 NO.	時間 t (s)	風速 Vw (m/s)	速度 (水平) Vx (m/s)	速度 (垂直) Vy (m/s)	速度 V (m/s)	移動差分 (水平) dx (m)	移動差分 (垂直) dy (m)	発射点からの 水平距離 x (m)	発射点からの 垂直距離 y (m)
1	0. 00	0. 00	76. 99	69. 32	103. 60	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00
10	0. 27	0. 00	72. 44	62. 04	95. 38	2. 17	1. 86	20. 09	17. 61
20	0. 57	0. 00	67. 98	54. 70	87. 26	2. 04	1. 64	41. 08	34. 99
30	0. 87	0. 00	64. 04	48. 06	80. 07	1. 92	1. 44	60. 81	50. 29
40	1. 17	0. 00	60. 53	42. 03	73. 69	1. 82	1. 26	79. 43	63. 70
50	1. 47	0. 00	57. 39	36. 51	68. 02	1. 72	1. 10	97. 06	75. 39
60	1. 77	0. 00	54. 56	31. 45	62. 97	1. 64	0. 94	113. 80	85. 49
70	2. 07	0. 00	51. 99	26. 79	58. 49	1. 56	0. 80	129. 74	94. 15
80	2. 37	0. 00	49. 66	22. 47	54. 50	1. 49	0. 67	144. 95	101. 47
90	2. 67	0. 00	47. 52	18. 46	50. 98	1. 43	0. 55	159. 49	107. 54
100	2. 97	0. 00	45. 57	14. 71	47. 88	1. 37	0. 44	173. 42	112. 45
110	3. 27	0. 00	43. 76	11. 19	45. 17	1. 31	0. 34	186. 79	116. 28
120	3. 57	0. 00	42. 10	7. 86	42. 83	1. 26	0. 24	199. 64	119. 08
130	3. 87	0. 00	40. 56	4. 70	40. 83	1. 22	0. 14	212. 01	120. 92
140	4. 17	0. 00	39. 12	1. 67	39. 16	1. 17	0. 05	223. 94	121. 82
150	4. 47	0. 00	38. 04	-1. 28	38. 06	1. 14	-0. 04	235. 47	121. 83
160	4. 77	0. 00	37. 37	-4. 18	37. 61	1. 12	-0. 13	246. 78	120. 97
170	5. 07	0. 00	36. 72	-7. 04	37. 39	1. 10	-0. 21	257. 88	119. 24
180	5. 37	0. 00	36. 07	-9. 86	37. 39	1. 08	-0. 30	268. 79	116. 67
190	5. 67	0. 00	35. 44	-12. 63	37. 62	1. 06	-0. 38	279. 50	113. 25
200	5. 97	0. 00	34. 82	-15. 36	38. 05	1. 04	-0. 46	290. 03	109. 01
210	6. 27	0. 00	34. 21	-18. 05	38. 68	1. 03	-0. 54	300. 38	103. 96
220	6. 57	0. 00	33. 60	-20. 70	39. 47	1. 01	-0. 62	310. 54	98. 10
230	6. 87	0. 00	33. 01	-23. 32	40. 42	0. 99	-0. 70	320. 52	91. 46
240	7. 17	0. 00	32. 43	-25. 89	41. 50	0. 97	-0. 78	330. 33	84. 04
250	7. 47	0. 00	31. 87	-28. 42	42. 70	0. 96	-0. 85	339. 97	75. 85
260	7. 77	0. 00	31. 31	-30. 92	44. 00	0. 94	-0. 93	349. 43	66. 92
270	8. 07	0. 00	30. 76	-33. 38	45. 39	0. 92	-1. 00	358. 74	57. 23
280	8. 37	0. 00	30. 22	-35. 80	46. 85	0. 91	-1. 07	367. 87	46. 82
290	8. 67	0. 00	29. 69	-38. 19	48. 37	0. 89	-1. 15	376. 85	35. 68
300	8. 97	0. 00	29. 16	-40. 54	49. 94	0. 87	-1. 22	385. 67	23. 84

表 5. 4. 5 (44) 矢の軌道の計算結果

発射角	43. 0 (°)	計算方法	逐次計算法	計算時間間隔	0. 03 (s)
-----	-----------	------	-------	--------	-----------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の β 乗に比例するものとする。

$$F=KV^\beta$$

速度

$$\text{水平 (x 成分)} : V_{x_n} = V_{x_{n-1}} - k_x V_{x_{n-1}}^{\beta_x} dt$$

$$\text{垂直 (y 成分)} : V_{y_n} = V_{y_{n-1}} - g dt - k_y V_{y_{n-1}}^{\beta_y} dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 100. 0\%$$

$$v_0' : \text{初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V + V_w$$

$$V_w : \text{風速} = 0. 0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 43. 0 (^\circ)$$

$$0. 750 \text{ (radian)}$$

標準矢	26. 0g
対象矢	26. 0g

向かい風 (－) ～追い風 (＋)
水平 (0°) ～垂直 (90°)

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9. 8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k_x : \text{水平抵抗係数} = \begin{array}{cc} \text{上昇時} & \text{下降時} \\ 0. 003 & 0. 0595 \end{array}$$

$$k_y : \text{垂直抵抗係数} = \begin{array}{cc} 0. 06 & 0. 05 \end{array}$$

$$\beta_x : \text{水平速度低下指数} = \begin{array}{cc} 2. 00 & 1. 00 \end{array}$$

$$\beta_y : \text{垂直速度低下指数} = \begin{array}{cc} 1. 35 & 1. 00 \end{array}$$

$$\Delta t : \text{計算時間間隔} = 0. 03 \text{ (s)}$$

計算結果一覧 (抜粋)

計算番号順に Δt 刻みで逐次計算を実施 一部省略して表示

計算番号 NO.	時間 t (s)	風速 Vw (m/s)	速度 (水平) Vx (m/s)	速度 (垂直) Vy (m/s)	速度 V (m/s)	移動差分 (水平) dx (m)	移動差分 (垂直) dy (m)	発射点からの 水平距離 x (m)	発射点からの 垂直距離 y (m)
1	0. 00	0. 00	75. 77	70. 66	103. 60	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00
10	0. 27	0. 00	71. 36	63. 25	95. 36	2. 14	1. 90	19. 78	17. 95
20	0. 57	0. 00	67. 03	55. 80	87. 21	2. 01	1. 67	40. 46	35. 68
30	0. 87	0. 00	63. 19	49. 06	80. 00	1. 90	1. 47	59. 93	51. 29
40	1. 17	0. 00	59. 77	42. 93	73. 59	1. 79	1. 29	78. 31	64. 98
50	1. 47	0. 00	56. 71	37. 34	67. 90	1. 70	1. 12	95. 73	76. 92
60	1. 77	0. 00	53. 94	32. 21	62. 83	1. 62	0. 97	112. 28	87. 27
70	2. 07	0. 00	51. 43	27. 49	58. 32	1. 54	0. 82	128. 04	96. 14
80	2. 37	0. 00	49. 15	23. 12	54. 31	1. 47	0. 69	143. 09	103. 66
90	2. 67	0. 00	47. 06	19. 07	50. 77	1. 41	0. 57	157. 48	109. 92
100	2. 97	0. 00	45. 14	15. 28	47. 65	1. 35	0. 46	171. 28	115. 01
110	3. 27	0. 00	43. 37	11. 72	44. 92	1. 30	0. 35	184. 53	119. 00
120	3. 57	0. 00	41. 73	8. 37	42. 56	1. 25	0. 25	197. 26	121. 96
130	3. 87	0. 00	40. 22	5. 18	40. 55	1. 21	0. 16	209. 53	123. 94
140	4. 17	0. 00	38. 81	2. 13	38. 87	1. 16	0. 06	221. 36	124. 99
150	4. 47	0. 00	37. 61	-0. 82	37. 62	1. 13	-0. 02	232. 79	125. 14
160	4. 77	0. 00	36. 95	-3. 73	37. 14	1. 11	-0. 11	243. 96	124. 41
170	5. 07	0. 00	36. 29	-6. 60	36. 89	1. 09	-0. 20	254. 94	122. 82
180	5. 37	0. 00	35. 65	-9. 42	36. 87	1. 07	-0. 28	265. 72	120. 37
190	5. 67	0. 00	35. 02	-12. 20	37. 08	1. 05	-0. 37	276. 31	117. 09
200	5. 97	0. 00	34. 40	-14. 94	37. 50	1. 03	-0. 45	286. 72	112. 98
210	6. 27	0. 00	33. 79	-17. 64	38. 12	1. 01	-0. 53	296. 93	108. 05
220	6. 57	0. 00	33. 19	-20. 29	38. 90	1. 00	-0. 61	306. 97	102. 32
230	6. 87	0. 00	32. 60	-22. 91	39. 85	0. 98	-0. 69	316. 83	95. 80
240	7. 17	0. 00	32. 03	-25. 49	40. 93	0. 96	-0. 76	326. 52	88. 50
250	7. 47	0. 00	31. 46	-28. 03	42. 14	0. 94	-0. 84	336. 03	80. 43
260	7. 77	0. 00	30. 90	-30. 53	43. 44	0. 93	-0. 92	345. 38	71. 61
270	8. 07	0. 00	30. 36	-33. 00	44. 84	0. 91	-0. 99	354. 56	62. 04
280	8. 37	0. 00	29. 82	-35. 43	46. 31	0. 89	-1. 06	363. 58	51. 74
290	8. 67	0. 00	29. 29	-37. 82	47. 84	0. 88	-1. 13	372. 44	40. 72
300	8. 97	0. 00	28. 77	-40. 18	49. 42	0. 86	-1. 21	381. 14	28. 98

表 5. 4. 5 (45) 矢の軌道の計算結果

発射角	44. 0 (°)	計算方法	逐次計算法	計算時間間隔	0. 03 (s)
-----	-----------	------	-------	--------	-----------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の β 乗に比例するものとする。

$$F=KV^\beta$$

速度

$$\text{水平 (x 成分)} : V_{x_n} = V_{x_{n-1}} - k_x V_{x_{n-1}}^{\beta_x} dt$$

$$\text{垂直 (y 成分)} : V_{y_n} = V_{y_{n-1}} - g dt - k_y V_{y_{n-1}}^{\beta_y} dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 100. 0\%$$

$$v_0' : \text{初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V + V_w$$

$$V_w : \text{風速} = 0. 0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 44. 0 (^\circ)$$

$$0. 768 \text{ (radian)}$$

$$\text{標準矢} = 26. 0g$$

$$\text{対象矢} = 26. 0g$$

向かい風 (－) ～追い風 (＋)

水平 (0°) ～垂直 (90°)

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9. 8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k_x : \text{水平抵抗係数} = \begin{array}{cc} \text{上昇時} & \text{下降時} \\ 0. 003 & 0. 06 \end{array}$$

$$k_y : \text{垂直抵抗係数} = \begin{array}{cc} 0. 06 & 0. 05 \end{array}$$

$$\beta_x : \text{水平速度低下指数} = \begin{array}{cc} 2. 00 & 1. 00 \end{array}$$

$$\beta_y : \text{垂直速度低下指数} = \begin{array}{cc} 1. 35 & 1. 00 \end{array}$$

$$\Delta t : \text{計算時間間隔} = 0. 03 \text{ (s)}$$

計算結果一覧 (抜粋)

計算番号順に Δt 刻みで逐次計算を実施 一部省略して表示

計算番号 NO.	時間 t (s)	風速 Vw (m/s)	速度 (水平) Vx (m/s)	速度 (垂直) Vy (m/s)	速度 V (m/s)	移動差分 (水平) dx (m)	移動差分 (垂直) dy (m)	発射点からの 水平距離 x (m)	発射点からの 垂直距離 y (m)
1	0. 00	0. 00	74. 52	71. 97	103. 60	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00
10	0. 27	0. 00	70. 25	64. 44	95. 33	2. 11	1. 93	19. 47	18. 29
20	0. 57	0. 00	66. 05	56. 87	87. 16	1. 98	1. 71	39. 84	36. 35
30	0. 87	0. 00	62. 33	50. 03	79. 92	1. 87	1. 50	59. 03	52. 27
40	1. 17	0. 00	59. 00	43. 82	73. 49	1. 77	1. 31	77. 17	66. 24
50	1. 47	0. 00	56. 01	38. 15	67. 77	1. 68	1. 14	94. 37	78. 43
60	1. 77	0. 00	53. 31	32. 96	62. 67	1. 60	0. 99	110. 72	89. 01
70	2. 07	0. 00	50. 86	28. 18	58. 14	1. 53	0. 85	126. 30	98. 10
80	2. 37	0. 00	48. 62	23. 76	54. 12	1. 46	0. 71	141. 18	105. 82
90	2. 67	0. 00	46. 57	19. 66	50. 55	1. 40	0. 59	155. 43	112. 26
100	2. 97	0. 00	44. 69	15. 83	47. 42	1. 34	0. 47	169. 09	117. 52
110	3. 27	0. 00	42. 96	12. 25	44. 67	1. 29	0. 37	182. 20	121. 67
120	3. 57	0. 00	41. 35	8. 86	42. 29	1. 24	0. 27	194. 82	124. 78
130	3. 87	0. 00	39. 86	5. 65	40. 26	1. 20	0. 17	206. 98	126. 91
140	4. 17	0. 00	38. 48	2. 58	38. 57	1. 15	0. 08	218. 71	128. 10
150	4. 47	0. 00	37. 24	-0. 38	37. 25	1. 12	-0. 01	230. 04	128. 38
160	4. 77	0. 00	36. 58	-3. 30	36. 73	1. 10	-0. 10	241. 10	127. 78
170	5. 07	0. 00	35. 93	-6. 17	36. 45	1. 08	-0. 19	251. 97	126. 32
180	5. 37	0. 00	35. 29	-9. 00	36. 41	1. 06	-0. 27	262. 64	124. 00
190	5. 67	0. 00	34. 66	-11. 78	36. 60	1. 04	-0. 35	273. 12	120. 84
200	5. 97	0. 00	34. 04	-14. 53	37. 01	1. 02	-0. 44	283. 42	116. 85
210	6. 27	0. 00	33. 43	-17. 23	37. 61	1. 00	-0. 52	293. 53	112. 05
220	6. 57	0. 00	32. 83	-19. 89	38. 39	0. 98	-0. 60	303. 46	106. 44
230	6. 87	0. 00	32. 25	-22. 52	39. 33	0. 97	-0. 68	313. 21	100. 03
240	7. 17	0. 00	31. 67	-25. 10	40. 41	0. 95	-0. 75	322. 79	92. 85
250	7. 47	0. 00	31. 10	-27. 65	41. 62	0. 93	-0. 83	332. 20	84. 90
260	7. 77	0. 00	30. 55	-30. 16	42. 93	0. 92	-0. 90	341. 44	76. 19
270	8. 07	0. 00	30. 00	-32. 63	44. 33	0. 90	-0. 98	350. 51	66. 73
280	8. 37	0. 00	29. 47	-35. 06	45. 80	0. 88	-1. 05	359. 42	56. 54
290	8. 67	0. 00	28. 94	-37. 46	47. 34	0. 87	-1. 12	368. 18	45. 63
300	8. 97	0. 00	28. 43	-39. 82	48. 93	0. 85	-1. 19	376. 77	34. 00

表 5. 4. 5 (46) 矢の軌道の計算結果

発射角	45. 0 (°)	計算方法	逐次計算法	計算時間間隔	0. 03 (s)
-----	-----------	------	-------	--------	-----------

空気抵抗がある場合の放物運動

空気抵抗

速度の β 乗に比例するものとする。

$$F=KV^\beta$$

速度

$$\text{水平 (x 成分)} : V_{x_n} = V_{x_{n-1}} - k_x V_{x_{n-1}}^{\beta_x} dt$$

$$\text{垂直 (y 成分)} : V_{y_n} = V_{y_{n-1}} - g dt - k_y V_{y_{n-1}}^{\beta_y} dt$$

$$v_0 : \text{基準初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$\text{初速度低減率} = 100. 0\%$$

$$v_0' : \text{初速度} = 103. 6 \text{ (m/s)}$$

$$V' : \text{風を考慮した相対速度} = V + V_w$$

$$V_w : \text{風速} = 0. 0 \text{ (m/s)}$$

$$\alpha : \text{仰角} = 45. 0 (^\circ)$$

$$0. 785 \text{ (radian)}$$

標準矢	26. 0g
対象矢	26. 0g

向かい風 (－) ～追い風 (＋)
水平 (0°) ～垂直 (90°)

t : 時間

$$g : \text{重力加速度} = 9. 8 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$k_x : \text{水平抵抗係数} = \begin{array}{cc} \text{上昇時} & \text{下降時} \\ 0. 003 & 0. 0605 \end{array}$$

$$k_y : \text{垂直抵抗係数} = \begin{array}{cc} 0. 06 & 0. 05 \end{array}$$

$$\beta_x : \text{水平速度低下指数} = \begin{array}{cc} 2. 00 & 1. 00 \end{array}$$

$$\beta_y : \text{垂直速度低下指数} = \begin{array}{cc} 1. 35 & 1. 00 \end{array}$$

$$\Delta t : \text{計算時間間隔} = 0. 03 \text{ (s)}$$

計算結果一覧 (抜粋)

計算番号順に Δt 刻みで逐次計算を実施 一部省略して表示

計算番号 NO.	時間 t (s)	風速 Vw (m/s)	速度 (水平) Vx (m/s)	速度 (垂直) Vy (m/s)	速度 V (m/s)	移動差分 (水平) dx (m)	移動差分 (垂直) dy (m)	発射点からの 水平距離 x (m)	発射点からの 垂直距離 y (m)
1	0. 00	0. 00	73. 26	73. 26	103. 60	0. 00	0. 00	0. 00	0. 00
10	0. 27	0. 00	69. 13	65. 61	95. 31	2. 07	1. 97	19. 15	18. 62
20	0. 57	0. 00	65. 06	57. 93	87. 11	1. 95	1. 74	39. 20	37. 01
30	0. 87	0. 00	61. 44	50. 99	79. 84	1. 84	1. 53	58. 11	53. 23
40	1. 17	0. 00	58. 20	44. 69	73. 38	1. 75	1. 34	76. 00	67. 47
50	1. 47	0. 00	55. 29	38. 94	67. 63	1. 66	1. 17	92. 97	79. 92
60	1. 77	0. 00	52. 66	33. 69	62. 51	1. 58	1. 01	109. 12	90. 72
70	2. 07	0. 00	50. 26	28. 85	57. 96	1. 51	0. 87	124. 52	100. 02
80	2. 37	0. 00	48. 08	24. 38	53. 91	1. 44	0. 73	139. 23	107. 93
90	2. 67	0. 00	46. 08	20. 24	50. 33	1. 38	0. 61	153. 32	114. 55
100	2. 97	0. 00	44. 24	16. 38	47. 17	1. 33	0. 49	166. 84	119. 98
110	3. 27	0. 00	42. 54	12. 75	44. 41	1. 28	0. 38	179. 82	124. 29
120	3. 57	0. 00	40. 96	9. 34	42. 01	1. 23	0. 28	192. 32	127. 55
130	3. 87	0. 00	39. 50	6. 11	39. 97	1. 19	0. 18	204. 37	129. 82
140	4. 17	0. 00	38. 14	3. 02	38. 26	1. 14	0. 09	215. 99	131. 14
150	4. 47	0. 00	36. 87	0. 05	36. 87	1. 11	0. 00	227. 22	131. 55
160	4. 77	0. 00	36. 15	-2. 88	36. 27	1. 08	-0. 09	238. 15	131. 08
170	5. 07	0. 00	35. 50	-5. 75	35. 96	1. 07	-0. 17	248. 89	129. 74
180	5. 37	0. 00	34. 86	-8. 59	35. 90	1. 05	-0. 26	259. 44	127. 55
190	5. 67	0. 00	34. 23	-11. 38	36. 08	1. 03	-0. 34	269. 79	124. 51
200	5. 97	0. 00	33. 62	-14. 13	36. 47	1. 01	-0. 42	279. 96	120. 64
210	6. 27	0. 00	33. 01	-16. 84	37. 06	0. 99	-0. 51	289. 94	115. 95
220	6. 57	0. 00	32. 42	-19. 51	37. 84	0. 97	-0. 59	299. 75	110. 46
230	6. 87	0. 00	31. 83	-22. 14	38. 78	0. 96	-0. 66	309. 38	104. 17
240	7. 17	0. 00	31. 26	-24. 73	39. 86	0. 94	-0. 74	318. 83	97. 10
250	7. 47	0. 00	30. 70	-27. 28	41. 07	0. 92	-0. 82	328. 12	89. 26
260	7. 77	0. 00	30. 15	-29. 79	42. 39	0. 90	-0. 89	337. 24	80. 66
270	8. 07	0. 00	29. 60	-32. 27	43. 79	0. 89	-0. 97	346. 19	71. 32
280	8. 37	0. 00	29. 07	-34. 71	45. 28	0. 87	-1. 04	354. 98	61. 23
290	8. 67	0. 00	28. 55	-37. 11	46. 82	0. 86	-1. 11	363. 62	50. 42
300	8. 97	0. 00	28. 03	-39. 48	48. 42	0. 84	-1. 18	372. 10	38. 89

5. 4. 2. 3. 空気抵抗係数等

矢の軌道計算において、空気抵抗は速度の β 乗に比例し、これに k を乗じた値が速度変化であると仮定した。ここで、 k は空気抵抗係数であり、 β は空気抵抗指数である。

前項の計算では、実験等で得られた到達点（軌跡）データに、計算による軌道曲線がどのように、空気抵抗係数及び空気抵抗指数を代入して求めている。この際に、軌跡データの多い発射角（ 10° 、 15° 等）を先行して検討し、次いでその間の角度について係数値を中間的な数値で当てはめ、軌跡点が得られている発射角での軌道曲線の妥当性を判断した。設定した空気抵抗係数等を表 5. 4. 6 に示す。

結果として、空気抵抗指数 β については、発射角によらず一定値を当てはめることができた。上昇時の水平成分 β_{xu} は 2.0 とし、空気抵抗に関して一般的にいわれる速度の 2 乗比例と同一の値である。垂直成分 β_{yu} は 1.35 と 2 乗よりもやや小さいがこれが何に起因するかは不明である。

一方、空気抵抗係数 k については、発射角によって変えざるを得なかった。本来、空気抵抗係数は発射角によらず統一されるべきものであるが、本節で検討した中では発射角に応じて変化させ軌道を表現した。図 5. 4. 4 によって大きく変化する。これらについても合理的に説明することはできないが、運動方向に対する空気抵抗以外に、グライディング（滑空）による揚力や高角度発射による失速等が起こっている可能性がある。

表 5.4.6 軌道から設定した空気抵抗係数等

発射角 (°)	空気抵抗係数				空気抵抗指数			
	上昇時		下降時		上昇時		下降時	
	水平成分 kxu	垂直成分 kyu	水平成分 kxd	垂直成分 kyd	水平成分 β_{xu}	垂直成分 β_{yu}	水平成分 β_{xd}	垂直成分 β_{yd}
0	0.004	0.1	0.015	0.2	2.0	1.35	1.0	1.0
1	0.004	0.1	0.015	0.2	2.0	1.35	1.0	1.0
2	0.004	0.1	0.015	0.2	2.0	1.35	1.0	1.0
3	0.004	0.1	0.015	0.2	2.0	1.35	1.0	1.0
4	0.004	0.1	0.015	0.2	2.0	1.35	1.0	1.0
5	0.004	0.1	0.015	0.2	2.0	1.35	1.0	1.0
6	0.004	0.1	0.015	0.2	2.0	1.35	1.0	1.0
7	0.004	0.1	0.015	0.2	2.0	1.35	1.0	1.0
8	0.004	0.1	0.015	0.2	2.0	1.35	1.0	1.0
9	0.004	0.1	0.015	0.2	2.0	1.35	1.0	1.0
10	0.004	0.1	0.015	0.2	2.0	1.35	1.0	1.0
11	0.0039	0.0975	0.015	0.175	2.0	1.35	1.0	1.0
12	0.0038	0.095	0.015	0.15	2.0	1.35	1.0	1.0
13	0.00375	0.0925	0.015	0.125	2.0	1.35	1.0	1.0
14	0.0037	0.09	0.015	0.1	2.0	1.35	1.0	1.0
15	0.0036	0.08875	0.01575	0.0935	2.0	1.35	1.0	1.0
16	0.0035	0.0875	0.0165	0.087	2.0	1.35	1.0	1.0
17	0.0034	0.08625	0.01725	0.0785	2.0	1.35	1.0	1.0
18	0.0033	0.085	0.018	0.07	2.0	1.35	1.0	1.0
19	0.0032	0.084	0.02	0.065	2.0	1.35	1.0	1.0
20	0.0031	0.083	0.022	0.06	2.0	1.35	1.0	1.0
21	0.0030975	0.081	0.0235	0.059	2.0	1.35	1.0	1.0
22	0.003095	0.079	0.025	0.058	2.0	1.35	1.0	1.0
23	0.0030875	0.07675	0.028	0.057	2.0	1.35	1.0	1.0
24	0.00308	0.0745	0.031	0.056	2.0	1.35	1.0	1.0
25	0.00307	0.07325	0.0335	0.055	2.0	1.35	1.0	1.0
26	0.00306	0.072	0.036	0.054	2.0	1.35	1.0	1.0
27	0.003045	0.07	0.039	0.053	2.0	1.35	1.0	1.0
28	0.00303	0.068	0.042	0.052	2.0	1.35	1.0	1.0
29	0.003015	0.06665	0.046	0.051	2.0	1.35	1.0	1.0
30	0.003	0.0653	0.05	0.05	2.0	1.35	1.0	1.0
31	0.003	0.06465	0.05075	0.05	2.0	1.35	1.0	1.0
32	0.003	0.064	0.0515	0.05	2.0	1.35	1.0	1.0
33	0.003	0.063	0.05225	0.05	2.0	1.35	1.0	1.0
34	0.003	0.062	0.053	0.05	2.0	1.35	1.0	1.0
35	0.003	0.061	0.054	0.05	2.0	1.35	1.0	1.0
36	0.003	0.06	0.055	0.05	2.0	1.35	1.0	1.0
37	0.003	0.06	0.05575	0.05	2.0	1.35	1.0	1.0
38	0.003	0.06	0.0565	0.05	2.0	1.35	1.0	1.0
39	0.003	0.06	0.05725	0.05	2.0	1.35	1.0	1.0
40	0.003	0.06	0.058	0.05	2.0	1.35	1.0	1.0
41	0.003	0.06	0.0585	0.05	2.0	1.35	1.0	1.0
42	0.003	0.06	0.059	0.05	2.0	1.35	1.0	1.0
43	0.003	0.06	0.0595	0.05	2.0	1.35	1.0	1.0
44	0.003	0.06	0.06	0.05	2.0	1.35	1.0	1.0
45	0.003	0.06	0.0605	0.05	2.0	1.35	1.0	1.0

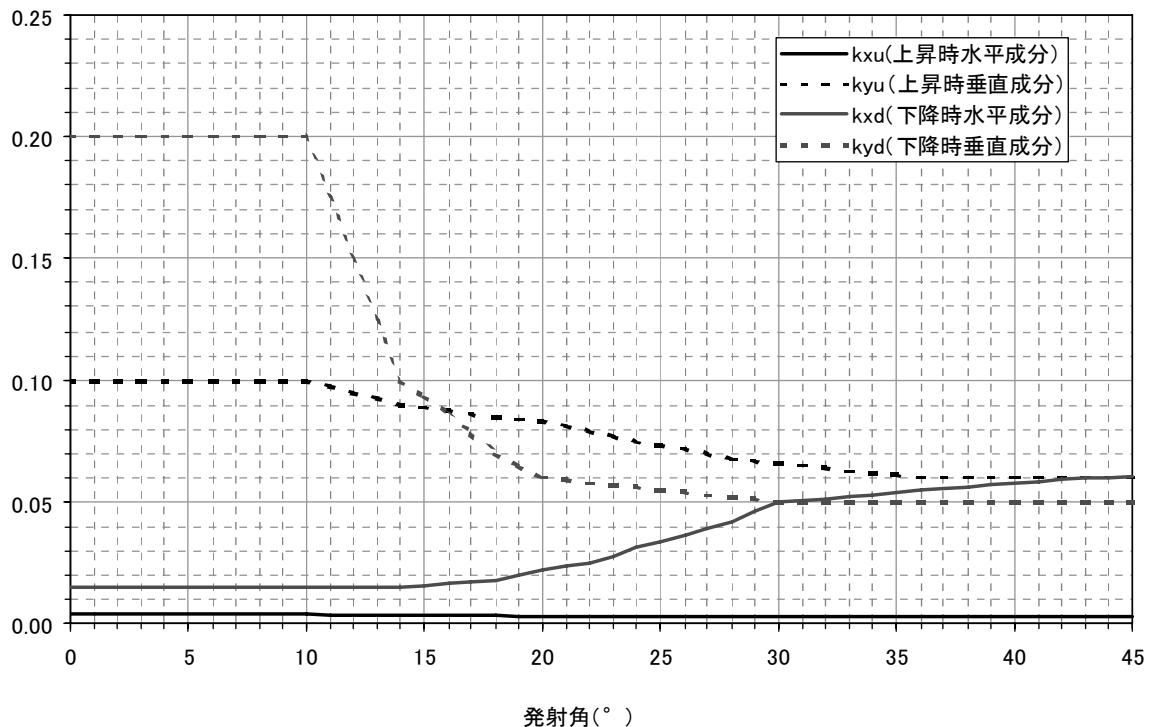


図 5. 4. 4 発射角と空気抵抗係数等

5. 4. 2. 4. 矢の軌道の推定結果

前項までに示したように矢の軌道の計算方法を検討し、空気抵抗係数等の変数を設定して、発射角ごとに矢の軌道計算を行うことで、軌道曲線を得ることができた。

発射角 1° 刻みの軌道曲線を図 5. 4. 5 に示す。これは、計測用ターゲット設置目標地点までの水平・垂直距離がわかる場合の発射角早見図となっている。同図(2)には、既知の到達点を重ねて示してある。これをみると、既知到達点(軌跡)と軌道曲線はほぼ一致していることがわかる。

また、推定軌道曲線に、発射点からの方向線と等距離線を重ねることで、斜距離及び見通し角度がわかる場合の発射早見図を作成した(図 5. 4. 6)。同図(2)には、既知の到達点を重ねて示してある。

さらに、表 5. 4. 7 に示すように、斜距離 20~300m の範囲を 1m ごと、見通し角 0° ~ 44° の範囲を、採用すべき発射角を 1° ごとに知ることができる早見表を作成した。

これらの資料を用いることで、現地作業において精度よく計測用ターゲットを設置することが可能となる。早見図・早見表に基づくターゲット設置の適用範囲は、発射点から目標地点までの水平距離 0~300m、垂直距離-10~120m 程度である。また、斜距離及び見通し角を計測する場合には、斜距離 0~300m、見通し角 0° ~ 44° で適用できる。発射角の範囲は 0° ~ 45° で、 1° 刻みの軌道曲線を求めてあるが、エクセルの計算シート等を活用すれば、 0.1° 単位で発射角を設定することも可能となる。

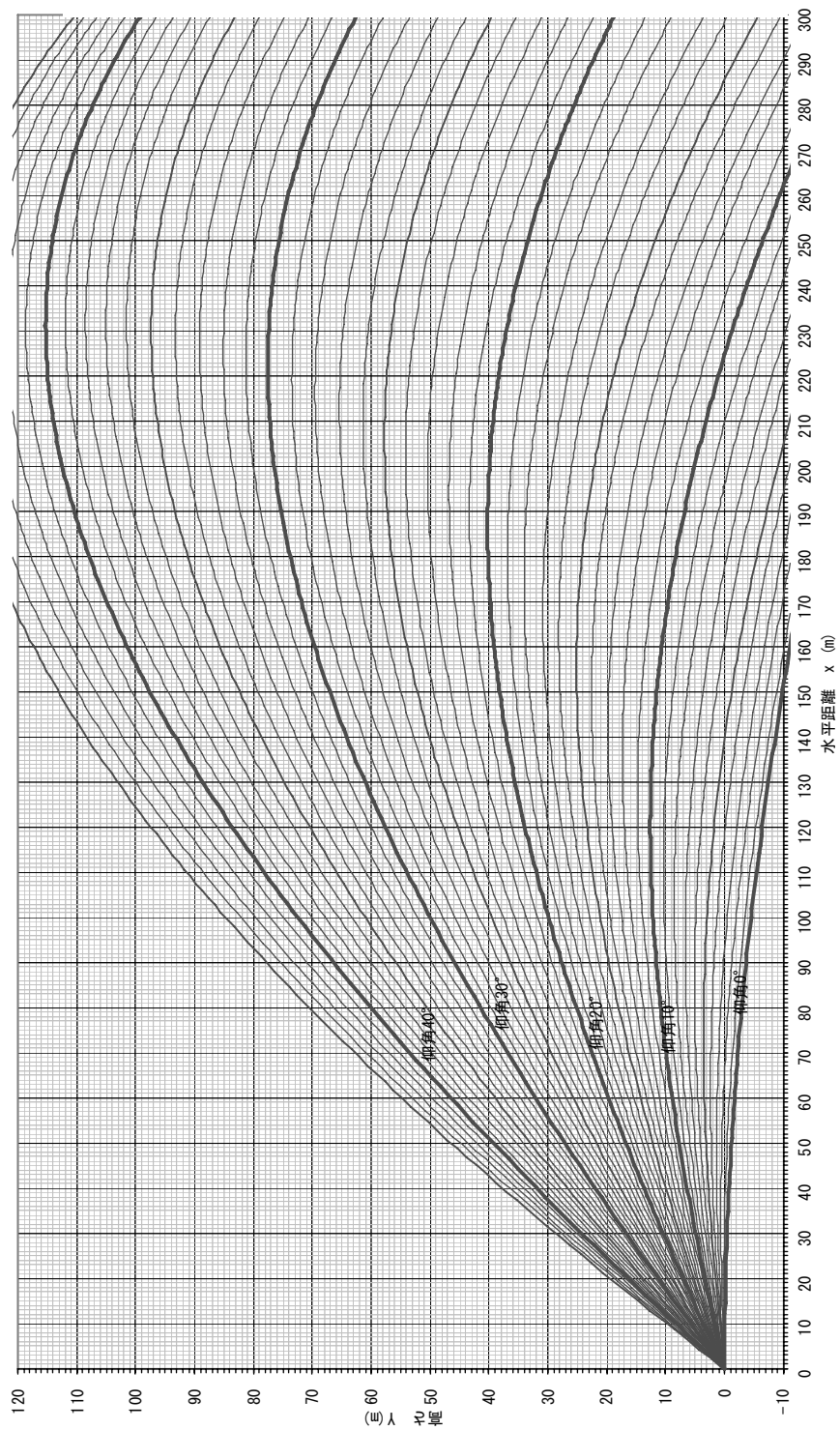


図 5. 4. 5(1) 発射角ごとの矢の推定軌道
(目標地点までの水平距離・高さがわかる場合の発射角早見図)

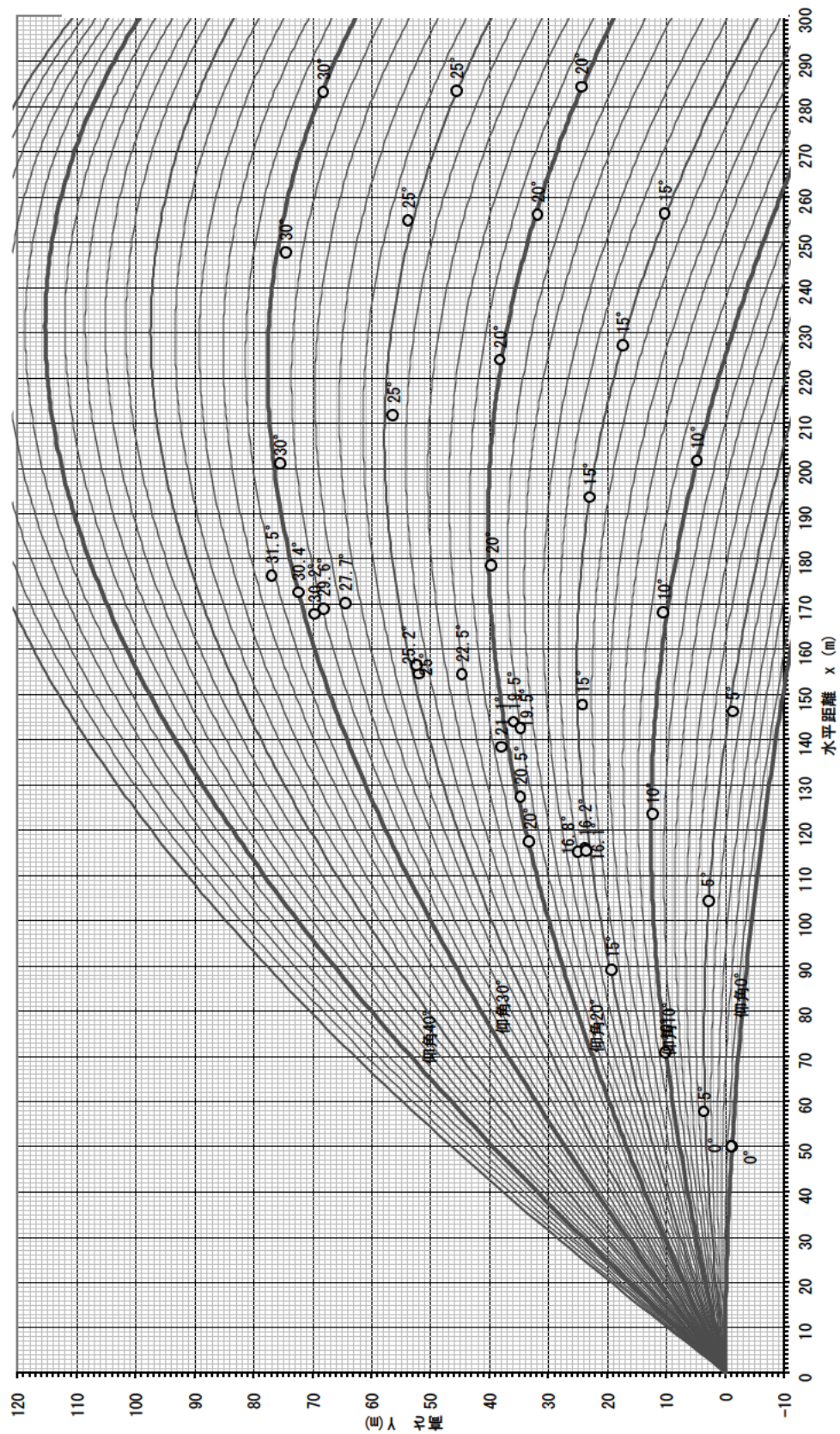


図 5. 4. 5(2) 発射角ごとの矢の推定軌道
(目標地点までの水平距離・高さがわかる場合の発射角早見図、既知着地点表示)

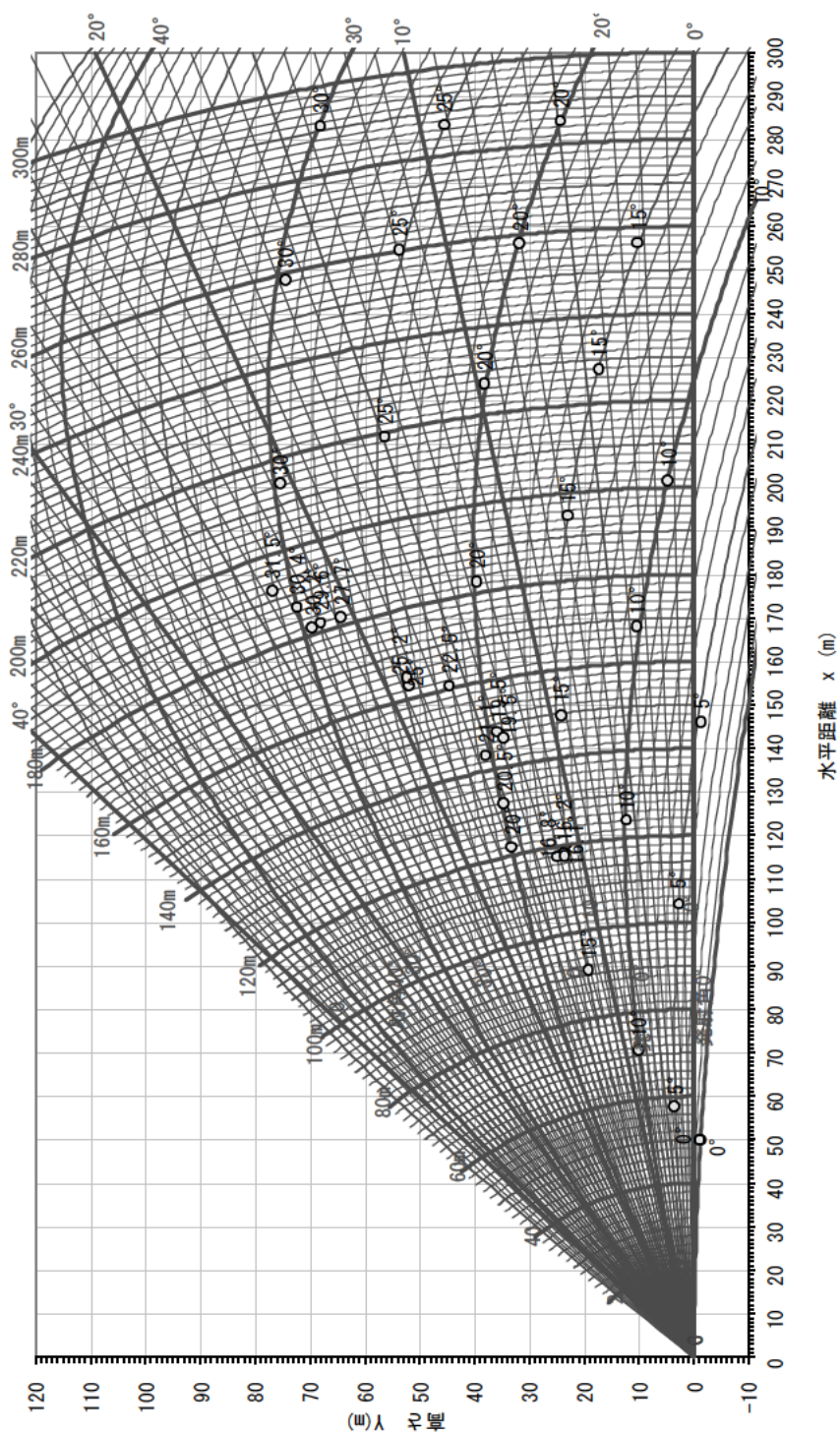


図 5. 4. 6(2) 発射角ごとの矢の推定軌道
 (目標地点までの斜距離・見通し角がわかる場合の発射角早見図、既知着地点表示)

表 5.4.6(1) 発射角早見表（目標地点までの斜距離・見通し角がわかる場合）

斜距離 (m)	見 通 し 角 (°)																斜距離 (m)
	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	
20	0.6	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.6	15.6	20
21	0.7	1.6	2.6	3.6	4.6	5.5	6.6	7.6	8.6	9.6	10.6	11.6	12.6	13.6	14.6	15.6	21
22	0.7	1.7	2.7	3.7	4.6	5.6	6.6	7.6	8.6	9.6	10.6	11.6	12.6	13.6	14.6	15.6	22
23	0.8	1.7	2.7	3.7	4.6	5.6	6.7	7.6	8.6	9.6	10.6	11.6	12.6	13.6	14.6	15.6	23
24	0.8	1.7	2.7	3.7	4.7	5.6	6.7	7.6	8.6	9.6	10.6	11.6	12.6	13.6	14.6	15.6	24
25	0.8	1.8	2.7	3.7	4.7	5.6	6.7	7.7	8.6	9.6	10.6	11.6	12.6	13.7	14.6	15.7	25
26	0.9	1.8	2.8	3.7	4.7	5.6	6.7	7.7	8.7	9.7	10.7	11.7	12.7	13.7	14.7	15.7	26
27	0.9	1.8	2.8	3.8	4.7	5.7	6.7	7.8	8.7	9.7	10.7	11.7	12.7	13.7	14.7	15.7	27
28	0.9	1.8	2.8	3.8	4.8	5.7	6.8	7.8	8.7	9.7	10.7	11.7	12.7	13.7	14.7	15.7	28
29	0.9	1.9	2.8	3.8	4.8	5.7	6.8	7.8	8.8	9.7	10.7	11.7	12.7	13.7	14.7	15.8	29
30	0.9	1.9	2.9	3.8	4.8	5.7	6.8	7.8	8.8	9.8	10.8	11.8	12.8	13.7	14.7	15.8	30
31	1.0	1.9	2.9	3.8	4.8	5.8	6.8	7.8	8.8	9.8	10.8	11.8	12.8	13.8	14.8	15.8	31
32	1.0	1.9	2.9	3.9	4.9	5.8	6.9	7.9	8.8	9.8	10.8	11.8	12.8	13.8	14.8	15.8	32
33	1.0	2.0	2.9	3.9	4.9	5.8	6.9	7.9	8.8	9.8	10.8	11.9	12.8	13.8	14.8	15.8	33
34	1.0	2.0	3.0	4.0	4.9	5.8	6.9	7.9	8.9	9.9	10.8	11.9	12.9	13.8	14.8	15.8	34
35	1.1	2.0	3.0	4.0	4.9	5.8	6.9	7.9	8.9	9.9	10.9	11.9	12.9	13.8	14.9	15.9	35
36	1.1	2.0	3.0	4.0	5.0	5.9	7.0	8.0	8.9	9.9	10.9	11.9	12.9	13.9	14.9	15.9	36
37	1.1	2.1	3.0	4.0	5.0	5.9	7.0	8.0	8.9	9.9	10.9	11.9	12.9	13.9	14.9	15.9	37
38	1.2	2.1	3.1	4.1	5.0	5.9	7.0	8.0	9.0	10.0	10.9	11.9	12.9	13.9	15.0	16.0	38
39	1.2	2.1	3.1	4.1	5.0	5.9	7.0	8.1	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	39
40	1.2	2.2	3.1	4.1	5.1	5.9	7.1	8.1	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	40
41	1.2	2.2	3.2	4.2	5.1	6.0	7.1	8.1	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.1	16.0	41
42	1.3	2.2	3.2	4.2	5.2	6.0	7.1	8.1	9.1	10.1	11.0	12.1	13.1	14.1	15.1	16.1	42
43	1.3	2.3	3.2	4.2	5.2	6.0	7.1	8.1	9.1	10.1	11.1	12.1	13.1	14.1	15.1	16.1	43
44	1.3	2.3	3.3	4.2	5.2	6.0	7.2	8.2	9.1	10.1	11.1	12.1	13.1	14.1	15.1	16.1	44
45	1.4	2.4	3.3	4.3	5.2	6.1	7.2	8.2	9.2	10.1	11.1	12.1	13.1	14.1	15.2	16.2	45
46	1.4	2.4	3.3	4.3	5.3	6.1	7.2	8.2	9.2	10.2	11.2	12.2	13.2	14.1	15.2	16.2	46
47	1.4	2.4	3.4	4.3	5.3	6.1	7.3	8.2	9.2	10.2	11.2	12.2	13.2	14.2	15.2	16.2	47
48	1.5	2.5	3.4	4.3	5.3	6.2	7.3	8.3	9.2	10.2	11.2	12.2	13.2	14.2	15.2	16.2	48
49	1.5	2.5	3.4	4.4	5.3	6.2	7.3	8.3	9.2	10.2	11.2	12.2	13.2	14.2	15.3	16.3	49
50	1.5	2.5	3.4	4.4	5.4	6.3	7.3	8.3	9.3	10.3	11.3	12.3	13.3	14.3	15.3	16.3	50
51	1.6	2.5	3.5	4.4	5.4	6.3	7.4	8.3	9.3	10.3	11.3	12.3	13.3	14.3	15.3	16.3	51
52	1.6	2.6	3.5	4.5	5.4	6.3	7.4	8.4	9.3	10.3	11.3	12.3	13.3	14.3	15.3	16.4	52
53	1.6	2.6	3.5	4.5	5.5	6.4	7.4	8.4	9.4	10.4	11.4	12.4	13.3	14.3	15.3	16.4	53
54	1.7	2.6	3.6	4.5	5.5	6.4	7.5	8.4	9.4	10.4	11.4	12.4	13.4	14.4	15.4	16.4	54
55	1.7	2.7	3.6	4.6	5.5	6.4	7.5	8.5	9.4	10.4	11.4	12.4	13.4	14.4	15.4	16.4	55
56	1.7	2.7	3.6	4.6	5.6	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.4	12.4	13.4	14.4	15.4	16.5	56
57	1.8	2.7	3.7	4.6	5.6	6.5	7.6	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	57
58	1.8	2.7	3.7	4.7	5.6	6.5	7.6	8.6	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	58
59	1.8	2.8	3.7	4.7	5.7	6.5	7.6	8.6	9.6	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.6	59
60	1.9	2.8	3.8	4.7	5.7	6.6	7.7	8.6	9.6	10.6	11.6	12.6	13.6	14.6	15.6	16.6	60
61	1.9	2.8	3.8	4.8	5.7	6.6	7.7	8.7	9.6	10.6	11.6	12.6	13.6	14.6	15.6	16.6	61
62	1.9	2.9	3.8	4.8	5.8	6.7	7.7	8.7	9.6	10.6	11.6	12.6	13.6	14.6	15.6	16.7	62
63	1.9	2.9	3.9	4.8	5.8	6.7	7.7	8.7	9.7	10.7	11.7	12.7	13.6	14.6	15.7	16.7	63
64	2.0	2.9	3.9	4.9	5.8	6.7	7.7	8.7	9.7	10.7	11.7	12.7	13.7	14.7	15.7	16.7	64
65	2.0	3.0	3.9	4.9	5.9	6.8	7.8	8.8	9.7	10.7	11.7	12.7	13.7	14.7	15.7	16.7	65
66	2.0	3.0	4.0	4.9	5.9	6.8	7.8	8.8	9.8	10.8	11.8	12.8	13.7	14.7	15.8	16.8	66
67	2.1	3.0	4.0	4.9	5.9	6.8	7.8	8.8	9.8	10.8	11.8	12.8	13.8	14.8	15.8	16.8	67
68	2.1	3.1	4.0	5.0	5.9	6.9	7.9	8.9	9.8	10.8	11.8	12.8	13.8	14.8	15.8	16.9	68
69	2.1	3.1	4.1	5.0	6.0	6.9	7.9	8.9	9.9	10.9	11.9	12.8	13.8	14.8	15.9	16.9	69
70	2.2	3.1	4.1	5.0	6.0	6.9	8.0	8.9	9.9	10.9	11.9	12.9	13.9	14.9	15.9	16.9	70
71	2.2	3.2	4.1	5.1	6.0	7.0	8.0	9.0	9.9	10.9	11.9	12.9	13.9	14.9	15.9	17.0	71
72	2.2	3.2	4.2	5.1	6.1	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	12.9	13.9	14.9	16.0	17.0	72
73	2.3	3.2	4.2	5.2	6.1	7.0	8.1	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	17.0	73
74	2.3	3.3	4.2	5.2	6.1	7.1	8.1	9.1	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	17.1	74
75	2.3	3.3	4.3	5.2	6.2	7.1	8.1	9.1	10.1	11.1	12.0	13.0	14.0	15.0	16.1	17.1	75
76	2.4	3.4	4.3	5.3	6.2	7.1	8.2	9.1	10.1	11.1	12.1	13.1	14.0	15.1	16.1	17.1	76
77	2.4	3.4	4.3	5.3	6.2	7.2	8.2	9.2	10.1	11.1	12.1	13.1	14.1	15.1	16.1	17.2	77
78	2.4	3.4	4.4	5.3	6.3	7.2	8.2	9.2	10.2	11.2	12.1	13.1	14.1	15.1	16.2	17.2	78
79	2.5	3.5	4.4	5.4	6.3	7.2	8.3	9.2	10.2	11.2	12.2	13.2	14.2	15.2	16.2	17.2	79
80	2.5	3.5	4.5	5.4	6.4	7.3	8.3	9.3	10.2	11.2	12.2	13.2	14.2	15.2	16.3	17.3	80

表 5.4.6(2) 発射角早見表 (目標地点までの斜距離・見通し角がわかる場合)

斜距離 (m)	見 通 し 角 (°)																斜距離 (m)
	16.0	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0	23.0	24.0	25.0	26.0	27.0	28.0	29.0	30.0		
20	16.6	17.6	18.6	19.6	20.6	21.6	22.6	23.6	24.6	25.6	26.6	27.6	28.6	29.6	30.6	20	
21	16.6	17.6	18.6	19.6	20.6	21.6	22.6	23.6	24.6	25.6	26.6	27.6	28.6	29.6	30.6	21	
22	16.6	17.6	18.6	19.6	20.6	21.6	22.6	23.6	24.6	25.6	26.6	27.6	28.6	29.6	30.6	22	
23	16.6	17.6	18.6	19.7	20.7	21.7	22.7	23.7	24.7	25.6	26.6	27.6	28.6	29.6	30.6	23	
24	16.6	17.6	18.7	19.7	20.7	21.7	22.7	23.7	24.7	25.6	26.6	27.6	28.6	29.6	30.6	24	
25	16.7	17.7	18.7	19.7	20.7	21.7	22.7	23.7	24.7	25.7	26.6	27.6	28.6	29.6	30.6	25	
26	16.7	17.7	18.7	19.8	20.7	21.8	22.7	23.7	24.7	25.7	26.6	27.7	28.6	29.6	30.6	26	
27	16.7	17.7	18.7	19.8	20.8	21.8	22.8	23.8	24.7	25.7	26.7	27.7	28.7	29.7	30.7	27	
28	16.7	17.8	18.8	19.8	20.8	21.8	22.8	23.8	24.8	25.7	26.7	27.7	28.7	29.7	30.7	28	
29	16.7	17.8	18.8	19.9	20.8	21.8	22.8	23.8	24.8	25.7	26.7	27.7	28.7	29.7	30.7	29	
30	16.8	17.8	18.8	19.9	20.9	21.9	22.8	23.8	24.8	25.7	26.7	27.8	28.7	29.7	30.7	30	
31	16.8	17.8	18.8	19.9	20.9	21.9	22.9	23.9	24.8	25.8	26.8	27.8	28.8	29.8	30.8	31	
32	16.8	17.9	18.9	19.9	20.9	21.9	22.9	23.9	24.9	25.8	26.8	27.8	28.8	29.8	30.8	32	
33	16.8	17.9	18.9	20.0	21.0	21.9	22.9	23.9	24.9	25.8	26.8	27.8	28.8	29.8	30.8	33	
34	16.9	17.9	18.9	20.0	21.0	22.0	22.9	23.9	24.9	25.9	26.8	27.8	28.8	29.8	30.8	34	
35	16.9	17.9	18.9	20.0	21.0	22.0	23.0	23.9	25.0	25.9	26.9	27.9	28.9	29.9	30.9	35	
36	16.9	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0	23.0	24.0	25.0	25.9	26.9	27.9	28.9	29.9	30.9	36	
37	16.9	18.0	19.0	20.1	21.1	22.0	23.0	24.0	25.0	26.0	26.9	27.9	28.9	29.9	30.9	37	
38	17.0	18.0	19.0	20.1	21.1	22.1	23.0	24.0	25.0	26.0	27.0	27.9	28.9	29.9	30.9	38	
39	17.0	18.0	19.0	20.1	21.1	22.1	23.1	24.0	25.1	26.0	27.0	28.0	29.0	30.0	31.0	39	
40	17.0	18.1	19.1	20.1	21.1	22.1	23.1	24.1	25.1	26.0	27.0	28.0	29.0	30.0	31.0	40	
41	17.1	18.1	19.1	20.2	21.2	22.2	23.1	24.1	25.1	26.1	27.1	28.0	29.0	30.0	31.0	41	
42	17.1	18.1	19.1	20.2	21.2	22.2	23.1	24.1	25.1	26.1	27.1	28.1	29.1	30.1	31.0	42	
43	17.1	18.1	19.2	20.2	21.2	22.2	23.2	24.2	25.2	26.1	27.1	28.1	29.1	30.1	31.1	43	
44	17.2	18.2	19.2	20.2	21.2	22.2	23.2	24.2	25.2	26.1	27.1	28.1	29.1	30.1	31.1	44	
45	17.2	18.2	19.2	20.3	21.3	22.3	23.2	24.2	25.2	26.2	27.2	28.1	29.1	30.1	31.1	45	
46	17.2	18.2	19.3	20.3	21.3	22.3	23.2	24.2	25.2	26.2	27.2	28.2	29.2	30.2	31.2	46	
47	17.2	18.3	19.3	20.3	21.3	22.3	23.3	24.3	25.3	26.2	27.2	28.2	29.2	30.2	31.2	47	
48	17.3	18.3	19.3	20.4	21.3	22.4	23.3	24.3	25.3	26.3	27.2	28.2	29.2	30.2	31.2	48	
49	17.3	18.3	19.4	20.4	21.4	22.4	23.3	24.3	25.3	26.3	27.3	28.3	29.2	30.2	31.2	49	
50	17.3	18.3	19.4	20.4	21.4	22.4	23.4	24.4	25.4	26.3	27.3	28.3	29.3	30.3	31.3	50	
51	17.3	18.4	19.4	20.4	21.4	22.4	23.4	24.4	25.4	26.4	27.3	28.3	29.3	30.3	31.3	51	
52	17.4	18.4	19.5	20.5	21.5	22.5	23.4	24.4	25.4	26.4	27.4	28.4	29.3	30.3	31.3	52	
53	17.4	18.4	19.5	20.5	21.5	22.5	23.5	24.4	25.4	26.4	27.4	28.4	29.4	30.3	31.4	53	
54	17.4	18.5	19.5	20.5	21.5	22.5	23.5	24.5	25.5	26.4	27.4	28.4	29.4	30.4	31.4	54	
55	17.5	18.5	19.6	20.6	21.6	22.5	23.5	24.5	25.5	26.5	27.5	28.4	29.4	30.4	31.4	55	
56	17.5	18.5	19.6	20.6	21.6	22.6	23.6	24.5	25.5	26.5	27.5	28.5	29.4	30.4	31.4	56	
57	17.5	18.6	19.6	20.6	21.6	22.6	23.6	24.6	25.6	26.5	27.5	28.5	29.5	30.5	31.5	57	
58	17.6	18.6	19.7	20.7	21.7	22.6	23.6	24.6	25.6	26.5	27.5	28.5	29.5	30.5	31.5	58	
59	17.6	18.6	19.7	20.7	21.7	22.7	23.7	24.6	25.6	26.6	27.6	28.6	29.5	30.5	31.5	59	
60	17.6	18.7	19.7	20.7	21.7	22.7	23.7	24.7	25.7	26.6	27.6	28.6	29.6	30.6	31.6	60	
61	17.7	18.7	19.8	20.8	21.8	22.7	23.7	24.7	25.7	26.6	27.6	28.6	29.6	30.6	31.6	61	
62	17.7	18.7	19.8	20.8	21.8	22.8	23.7	24.7	25.7	26.7	27.7	28.7	29.6	30.6	31.6	62	
63	17.7	18.8	19.8	20.8	21.8	22.8	23.8	24.8	25.8	26.7	27.7	28.7	29.7	30.7	31.7	63	
64	17.8	18.8	19.8	20.9	21.8	22.8	23.8	24.8	25.8	26.7	27.7	28.7	29.7	30.7	31.7	64	
65	17.8	18.8	19.9	20.9	21.9	22.9	23.8	24.8	25.8	26.8	27.7	28.7	29.7	30.7	31.7	65	
66	17.8	18.9	19.9	20.9	21.9	22.9	23.9	24.9	25.8	26.8	27.8	28.8	29.8	30.8	31.8	66	
67	17.9	18.9	20.0	20.9	21.9	22.9	23.9	24.9	25.9	26.8	27.8	28.8	29.8	30.8	31.8	67	
68	17.9	18.9	20.0	21.0	22.0	22.9	23.9	24.9	25.9	26.9	27.8	28.8	29.8	30.8	31.8	68	
69	17.9	19.0	20.0	21.0	22.0	23.0	23.9	24.9	25.9	26.9	27.9	28.9	29.9	30.9	31.9	69	
70	18.0	19.0	20.1	21.0	22.0	23.0	24.0	25.0	26.0	26.9	27.9	28.9	29.9	30.9	31.9	70	
71	18.0	19.0	20.1	21.1	22.1	23.0	24.0	25.0	26.0	27.0	27.9	28.9	29.9	30.9	31.9	71	
72	18.0	19.1	20.1	21.1	22.1	23.1	24.0	25.0	26.0	27.0	28.0	29.0	30.0	31.0	32.0	72	
73	18.1	19.1	20.2	21.1	22.1	23.1	24.1	25.1	26.1	27.0	28.0	29.0	30.0	31.0	32.0	73	
74	18.1	19.1	20.2	21.2	22.2	23.1	24.1	25.1	26.1	27.1	28.0	29.0	30.0	31.0	32.0	74	
75	18.1	19.2	20.2	21.2	22.2	23.2	24.2	25.2	26.2	27.1	28.1	29.1	30.0	31.1	32.1	75	
76	18.2	19.2	20.3	21.3	22.2	23.2	24.2	25.2	26.2	27.1	28.1	29.1	30.1	31.1	32.1	76	
77	18.2	19.3	20.3	21.3	22.3	23.2	24.2	25.2	26.2	27.2	28.1	29.1	30.1	31.1	32.1	77	
78	18.2	19.3	20.3	21.3	22.3	23.3	24.3	25.3	26.3	27.2	28.2	29.2	30.1	31.2	32.2	78	
79	18.3	19.4	20.4	21.4	22.3	23.3	24.3	25.3	26.3	27.2	28.2	29.2	30.2	31.2	32.2	79	
80	18.3	19.4	20.4	21.4	22.4	23.3	24.3	25.3	26.3	27.3	28.2	29.2	30.2	31.2	32.2	80	

表 5.4.6(3) 発射角早見表（目標地点までの斜距離・見通し角がわかる場合）

斜距離 (m)	見 通 し 角 (°)														斜距離 (m)
	31.0	32.0	33.0	34.0	35.0	36.0	37.0	38.0	39.0	40.0	41.0	42.0	43.0	44.0	
20	31.6	32.6	33.6	34.6	35.6	36.6	37.6	38.6	39.6	40.6	41.6	42.6	43.6	44.6	20
21	31.6	32.6	33.6	34.6	35.6	36.6	37.6	38.6	39.6	40.6	41.6	42.6	43.6	44.6	21
22	31.6	32.6	33.6	34.6	35.6	36.6	37.6	38.6	39.6	40.6	41.6	42.6	43.6	44.6	22
23	31.6	32.6	33.6	34.6	35.6	36.6	37.6	38.6	39.6	40.6	41.6	42.6	43.6	44.6	23
24	31.6	32.6	33.6	34.6	35.6	36.6	37.6	38.6	39.6	40.6	41.6	42.6	43.6	44.6	24
25	31.6	32.6	33.6	34.6	35.6	36.6	37.6	38.6	39.6	40.6	41.6	42.6	43.7	44.7	25
26	31.6	32.6	33.6	34.6	35.6	36.6	37.6	38.6	39.6	40.6	41.6	42.6	43.7	44.7	26
27	31.7	32.7	33.7	34.7	35.7	36.7	37.7	38.7	39.7	40.7	41.7	42.7	43.7	44.7	27
28	31.7	32.7	33.7	34.7	35.7	36.7	37.7	38.7	39.7	40.7	41.7	42.7	43.7	44.7	28
29	31.7	32.7	33.7	34.7	35.7	36.7	37.7	38.7	39.7	40.7	41.7	42.7	43.7	44.8	29
30	31.7	32.7	33.7	34.7	35.7	36.7	37.7	38.7	39.7	40.7	41.7	42.7	43.8	44.8	30
31	31.8	32.8	33.8	34.8	35.8	36.8	37.8	38.8	39.8	40.8	41.8	42.8	43.8	44.8	31
32	31.8	32.8	33.8	34.8	35.8	36.8	37.8	38.8	39.8	40.8	41.8	42.8	43.8	44.9	32
33	31.8	32.8	33.8	34.8	35.8	36.8	37.8	38.8	39.8	40.8	41.8	42.8	43.9	44.9	33
34	31.8	32.8	33.8	34.8	35.8	36.8	37.8	38.8	39.9	40.9	41.9	42.9	43.9	45.0	34
35	31.9	32.9	33.9	34.9	35.9	36.9	37.9	38.9	39.9	40.9	41.9	42.9	43.9	45.0	35
36	31.9	32.9	33.9	34.9	35.9	36.9	37.9	38.9	39.9	40.9	41.9	42.9	44.0	45.0	36
37	31.9	32.9	33.9	34.9	35.9	36.9	37.9	38.9	39.9	41.0	42.0	43.0	44.0		37
38	31.9	32.9	33.9	34.9	35.9	36.9	37.9	38.9	40.0	41.0	42.0	43.0	44.1		38
39	32.0	33.0	34.0	35.0	36.0	37.0	38.0	39.0	40.0	41.0	42.0	43.1	44.1		39
40	32.0	33.0	34.0	35.0	36.0	37.0	38.0	39.0	40.0	41.1	42.1	43.1	44.1		40
41	32.0	33.0	34.0	35.0	36.0	37.0	38.0	39.0	40.1	41.1	42.1	43.1	44.2		41
42	32.0	33.0	34.0	35.0	36.0	37.0	38.0	39.0	40.1	41.1	42.1	43.2	44.2		42
43	32.1	33.1	34.1	35.1	36.1	37.1	38.1	39.1	40.1	41.2	42.2	43.2	44.2		43
44	32.1	33.1	34.1	35.1	36.1	37.1	38.1	39.1	40.2	41.2	42.2	43.2	44.3		44
45	32.1	33.1	34.1	35.1	36.1	37.1	38.1	39.1	40.2	41.2	42.2	43.3	44.3		45
46	32.2	33.1	34.1	35.1	36.1	37.1	38.1	39.2	40.2	41.2	42.3	43.3	44.3		46
47	32.2	33.2	34.2	35.2	36.2	37.2	38.2	39.2	40.3	41.3	42.3	43.3	44.4		47
48	32.2	33.2	34.2	35.2	36.2	37.2	38.2	39.2	40.3	41.3	42.3	43.4	44.4		48
49	32.2	33.2	34.2	35.2	36.2	37.2	38.2	39.3	40.3	41.3	42.4	43.4	44.4		49
50	32.3	33.3	34.3	35.3	36.3	37.3	38.3	39.3	40.4	41.4	42.4	43.4	44.4		50
51	32.3	33.3	34.3	35.3	36.3	37.3	38.3	39.3	40.4	41.4	42.4	43.5	44.5		51
52	32.3	33.3	34.3	35.3	36.3	37.3	38.3	39.4	40.4	41.4	42.5	43.5	44.5		52
53	32.3	33.3	34.3	35.3	36.4	37.4	38.4	39.4	40.5	41.5	42.5	43.5	44.5		53
54	32.4	33.4	34.4	35.4	36.4	37.4	38.4	39.4	40.5	41.5	42.5	43.6	44.6		54
55	32.4	33.4	34.4	35.4	36.4	37.4	38.4	39.5	40.5	41.5	42.6	43.6	44.6		55
56	32.4	33.4	34.4	35.4	36.4	37.4	38.5	39.5	40.6	41.6	42.6	43.6	44.6		56
57	32.5	33.5	34.5	35.5	36.5	37.5	38.5	39.5	40.6	41.6	42.6	43.7	44.7		57
58	32.5	33.5	34.5	35.5	36.5	37.5	38.5	39.6	40.6	41.6	42.7	43.7	44.7		58
59	32.5	33.5	34.5	35.5	36.5	37.5	38.6	39.6	40.7	41.7	42.7	43.7	44.7		59
60	32.6	33.6	34.6	35.6	36.6	37.6	38.6	39.6	40.7	41.7	42.7	43.8	44.8		60
61	32.6	33.6	34.6	35.6	36.6	37.6	38.6	39.7	40.7	41.7	42.8	43.8	44.8		61
62	32.6	33.6	34.6	35.6	36.6	37.6	38.7	39.7	40.8	41.8	42.8	43.8	44.9		62
63	32.7	33.7	34.7	35.7	36.7	37.7	38.7	39.7	40.8	41.8	42.8	43.9	44.9		63
64	32.7	33.7	34.7	35.7	36.7	37.7	38.7	39.8	40.8	41.8	42.9	43.9	44.9		64
65	32.7	33.7	34.7	35.7	36.7	37.7	38.8	39.8	40.8	41.9	42.9	43.9	45.0		65
66	32.8	33.8	34.7	35.7	36.7	37.8	38.8	39.8	40.9	41.9	42.9	44.0	45.0		66
67	32.8	33.8	34.8	35.8	36.8	37.8	38.8	39.9	40.9	41.9	43.0	44.0	45.0		67
68	32.8	33.8	34.8	35.8	36.8	37.8	38.9	39.9	40.9	42.0	43.0	44.0			68
69	32.9	33.8	34.8	35.8	36.8	37.9	38.9	39.9	41.0	42.0	43.0	44.1			69
70	32.9	33.9	34.8	35.8	36.9	37.9	38.9	40.0	41.0	42.0	43.1	44.1			70
71	32.9	33.9	34.9	35.9	36.9	37.9	39.0	40.0	41.0	42.1	43.1	44.1			71
72	33.0	33.9	34.9	35.9	36.9	38.0	39.0	40.0	41.1	42.1	43.1	44.2			72
73	33.0	34.0	34.9	35.9	37.0	38.0	39.0	40.1	41.1	42.2	43.2	44.2			73
74	33.0	34.0	35.0	36.0	37.0	38.0	39.1	40.1	41.1	42.2	43.2	44.2			74
75	33.1	34.0	35.0	36.0	37.0	38.1	39.1	40.1	41.2	42.2	43.3	44.3			75
76	33.1	34.1	35.0	36.0	37.1	38.1	39.1	40.2	41.2	42.3	43.3	44.3			76
77	33.1	34.1	35.1	36.1	37.1	38.1	39.2	40.2	41.3	42.3	43.3	44.4			77
78	33.2	34.1	35.1	36.1	37.1	38.2	39.2	40.2	41.3	42.3	43.4	44.4			78
79	33.2	34.2	35.2	36.1	37.2	38.2	39.2	40.3	41.3	42.4	43.4	44.4			79
80	33.2	34.2	35.2	36.2	37.2	38.2	39.3	40.3	41.4	42.4	43.4	44.5			80

表 5.4.6(4) 発射角早見表（目標地点までの斜距離・見通し角がわかる場合）

斜距離 (m)	見 通 し 角 (°)															斜距離 (m)	
	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0		15.0
81	2.6	3.5	4.5	5.4	6.4	7.3	8.4	9.3	10.3	11.3	12.3	13.3	14.2	15.2	16.3	17.3	81
82	2.6	3.6	4.5	5.5	6.4	7.4	8.4	9.4	10.3	11.3	12.3	13.3	14.3	15.3	16.3	17.4	82
83	2.6	3.6	4.6	5.5	6.5	7.4	8.4	9.4	10.4	11.4	12.3	13.3	14.3	15.3	16.4	17.4	83
84	2.7	3.7	4.6	5.6	6.5	7.4	8.5	9.4	10.4	11.4	12.4	13.4	14.3	15.3	16.4	17.4	84
85	2.7	3.7	4.6	5.6	6.6	7.5	8.5	9.5	10.4	11.4	12.4	13.4	14.4	15.4	16.4	17.5	85
86	2.7	3.7	4.7	5.6	6.6	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.4	13.4	14.4	15.4	16.5	17.5	86
87	2.8	3.8	4.7	5.7	6.6	7.6	8.6	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.4	15.5	16.5	17.5	87
88	2.8	3.8	4.8	5.7	6.7	7.6	8.6	9.6	10.6	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	17.6	88
89	2.8	3.8	4.8	5.7	6.7	7.6	8.7	9.6	10.6	11.6	12.5	13.5	14.5	15.6	16.6	17.6	89
90	2.9	3.9	4.8	5.8	6.7	7.7	8.7	9.6	10.6	11.6	12.6	13.6	14.6	15.6	16.6	17.7	90
91	2.9	3.9	4.9	5.8	6.8	7.7	8.7	9.7	10.7	11.6	12.6	13.6	14.6	15.6	16.7	17.7	91
92	3.0	3.9	4.9	5.9	6.8	7.8	8.8	9.7	10.7	11.7	12.7	13.6	14.6	15.7	16.7	17.7	92
93	3.0	4.0	5.0	5.9	6.9	7.8	8.8	9.8	10.7	11.7	12.7	13.7	14.7	15.7	16.7	17.8	93
94	3.0	4.0	5.0	6.0	6.9	7.8	8.9	9.8	10.8	11.8	12.7	13.7	14.7	15.7	16.8	17.8	94
95	3.1	4.1	5.1	6.0	7.0	7.9	8.9	9.8	10.8	11.8	12.8	13.7	14.7	15.8	16.8	17.9	95
96	3.1	4.1	5.1	6.0	7.0	7.9	9.0	9.9	10.9	11.8	12.8	13.8	14.8	15.8	16.9	17.9	96
97	3.2	4.1	5.1	6.1	7.0	8.0	9.0	9.9	10.9	11.9	12.8	13.8	14.8	15.9	16.9	17.9	97
98	3.2	4.2	5.2	6.1	7.1	8.0	9.0	10.0	10.9	11.9	12.9	13.9	14.9	15.9	16.9	18.0	98
99	3.2	4.2	5.2	6.2	7.1	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	12.9	13.9	14.9	15.9	17.0	18.0	99
100	3.3	4.3	5.2	6.2	7.2	8.1	9.1	10.0	11.0	12.0	13.0	13.9	14.9	16.0	17.0	18.1	100
101	3.3	4.3	5.3	6.2	7.2	8.1	9.1	10.1	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	17.1	18.1	101
102	3.3	4.3	5.3	6.3	7.2	8.2	9.1	10.1	11.1	12.1	13.0	14.0	15.0	16.1	17.1	18.1	102
103	3.4	4.4	5.4	6.3	7.3	8.2	9.2	10.2	11.1	12.1	13.1	14.1	15.1	16.1	17.2	18.2	103
104	3.4	4.4	5.4	6.4	7.3	8.3	9.2	10.2	11.2	12.1	13.1	14.1	15.1	16.2	17.2	18.2	104
105	3.5	4.5	5.5	6.4	7.4	8.3	9.3	10.3	11.2	12.2	13.2	14.2	15.2	16.2	17.2	18.3	105
106	3.5	4.5	5.5	6.4	7.4	8.3	9.3	10.3	11.3	12.2	13.2	14.2	15.2	16.2	17.3	18.3	106
107	3.5	4.5	5.5	6.5	7.4	8.4	9.4	10.3	11.3	12.3	13.3	14.2	15.2	16.3	17.3	18.4	107
108	3.6	4.6	5.6	6.5	7.5	8.4	9.4	10.4	11.4	12.3	13.3	14.3	15.3	16.3	17.4	18.4	108
109	3.6	4.6	5.6	6.6	7.5	8.5	9.4	10.4	11.4	12.4	13.3	14.3	15.3	16.4	17.4	18.4	109
110	3.7	4.7	5.7	6.6	7.6	8.5	9.5	10.5	11.4	12.4	13.4	14.4	15.4	16.4	17.4	18.5	110
111	3.7	4.7	5.7	6.7	7.6	8.5	9.5	10.5	11.5	12.4	13.4	14.4	15.4	16.5	17.5	18.5	111
112	3.8	4.8	5.8	6.7	7.7	8.6	9.6	10.6	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	17.5	18.6	112
113	3.8	4.8	5.8	6.8	7.7	8.6	9.6	10.6	11.6	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	17.6	18.6	113
114	3.8	4.8	5.8	6.8	7.8	8.7	9.7	10.7	11.6	12.6	13.6	14.5	15.5	16.6	17.6	18.7	114
115	3.9	4.9	5.9	6.8	7.8	8.7	9.7	10.7	11.7	12.6	13.6	14.6	15.6	16.6	17.7	18.7	115
116	3.9	4.9	5.9	6.9	7.9	8.8	9.8	10.7	11.7	12.7	13.6	14.6	15.6	16.7	17.7	18.8	116
117	3.9	5.0	6.0	6.9	7.9	8.8	9.8	10.8	11.7	12.7	13.7	14.7	15.7	16.7	17.8	18.8	117
118	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	8.9	9.9	10.8	11.8	12.8	13.7	14.7	15.7	16.8	17.8	18.9	118
119	4.0	5.0	6.1	7.0	8.0	8.9	9.9	10.9	11.8	12.8	13.8	14.8	15.8	16.8	17.8	18.9	119
120	4.1	5.1	6.1	7.1	8.1	9.0	10.0	10.9	11.9	12.8	13.8	14.8	15.8	16.9	17.9	19.0	120
121	4.1	5.1	6.1	7.1	8.1	9.0	10.0	11.0	11.9	12.9	13.9	14.9	15.9	16.9	17.9	19.0	121
122	4.2	5.2	6.2	7.2	8.1	9.1	10.1	11.0	12.0	12.9	13.9	14.9	15.9	17.0	18.0	19.0	122
123	4.2	5.2	6.2	7.2	8.2	9.2	10.1	11.1	12.0	13.0	13.9	15.0	16.0	17.0	18.0	19.1	123
124	4.3	5.3	6.3	7.3	8.2	9.2	10.2	11.1	12.1	13.0	14.0	15.0	16.0	17.0	18.1	19.1	124
125	4.3	5.3	6.3	7.3	8.3	9.2	10.2	11.2	12.1	13.1	14.0	15.0	16.0	17.1	18.1	19.2	125
126	4.3	5.4	6.4	7.4	8.3	9.2	10.3	11.2	12.2	13.1	14.1	15.1	16.1	17.1	18.2	19.2	126
127	4.4	5.4	6.4	7.4	8.4	9.3	10.3	11.2	12.2	13.2	14.1	15.1	16.1	17.2	18.2	19.3	127
128	4.4	5.5	6.5	7.5	8.4	9.3	10.3	11.3	12.3	13.2	14.2	15.2	16.2	17.2	18.3	19.3	128
129	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.4	10.4	11.3	12.3	13.3	14.2	15.2	16.2	17.3	18.3	19.4	129
130	4.5	5.6	6.6	7.6	8.5	9.4	10.4	11.4	12.3	13.3	14.3	15.3	16.3	17.3	18.4	19.4	130
131	4.6	5.6	6.6	7.6	8.6	9.5	10.5	11.4	12.4	13.4	14.3	15.3	16.3	17.4	18.4	19.5	131
132	4.6	5.6	6.6	7.7	8.6	9.6	10.5	11.5	12.4	13.4	14.4	15.4	16.4	17.4	18.5	19.5	132
133	4.6	5.7	6.7	7.7	8.7	9.6	10.6	11.5	12.5	13.5	14.4	15.4	16.4	17.5	18.5	19.6	133
134	4.7	5.7	6.7	7.8	8.7	9.7	10.6	11.6	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	17.5	18.6	19.6	134
135	4.7	5.8	6.8	7.8	8.8	9.7	10.7	11.6	12.6	13.5	14.5	15.5	16.5	17.6	18.6	19.7	135
136	4.8	5.8	6.8	7.9	8.8	9.8	10.7	11.7	12.6	13.6	14.6	15.6	16.6	17.6	18.7	19.7	136
137	4.8	5.9	6.9	7.9	8.9	9.8	10.8	11.7	12.7	13.7	14.6	15.6	16.6	17.7	18.7	19.8	137
138	4.9	5.9	6.9	8.0	8.9	9.9	10.8	11.8	12.7	13.7	14.7	15.7	16.7	17.7	18.8	19.8	138
139	4.9	6.0	7.0	8.0	9.0	9.9	10.9	11.8	12.8	13.8	14.7	15.7	16.7	17.8	18.8	19.9	139
140	5.0	6.0	7.1	8.1	9.0	10.0	10.9	11.9	12.8	13.8	14.8	15.8	16.8	17.8	18.9	19.9	140

表 5.4.6(5) 発射角早見表 (目標地点までの斜距離・見通し角がわかる場合)

斜距離 (m)	見 通 し 角 (°)															斜距離 (m)
	16.0	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0	23.0	24.0	25.0	26.0	27.0	28.0	29.0	30.0	
81	18.4	19.4	20.4	21.4	22.4	23.4	24.4	25.4	26.4	27.3	28.3	29.3	30.2	31.2	32.3	81
82	18.4	19.5	20.5	21.5	22.4	23.4	24.4	25.4	26.4	27.3	28.3	29.3	30.3	31.3	32.3	82
83	18.4	19.5	20.5	21.5	22.5	23.5	24.4	25.4	26.4	27.4	28.3	29.3	30.3	31.3	32.3	83
84	18.5	19.5	20.6	21.5	22.5	23.5	24.5	25.5	26.5	27.4	28.4	29.4	30.3	31.4	32.4	84
85	18.5	19.6	20.6	21.6	22.5	23.5	24.5	25.5	26.5	27.4	28.4	29.4	30.4	31.4	32.4	85
86	18.5	19.6	20.6	21.6	22.6	23.6	24.5	25.5	26.5	27.5	28.4	29.4	30.4	31.4	32.4	86
87	18.6	19.7	20.7	21.6	22.6	23.6	24.6	25.6	26.6	27.5	28.5	29.5	30.5	31.5	32.5	87
88	18.6	19.7	20.7	21.7	22.7	23.6	24.6	25.6	26.6	27.5	28.5	29.5	30.5	31.5	32.5	88
89	18.7	19.7	20.7	21.7	22.7	23.7	24.6	25.6	26.6	27.6	28.5	29.5	30.5	31.5	32.5	89
90	18.7	19.8	20.8	21.8	22.7	23.7	24.7	25.7	26.7	27.6	28.6	29.6	30.6	31.6	32.6	90
91	18.7	19.8	20.8	21.8	22.8	23.7	24.7	25.7	26.7	27.6	28.6	29.6	30.6	31.6	32.6	91
92	18.8	19.9	20.8	21.8	22.8	23.8	24.8	25.8	26.7	27.7	28.6	29.6	30.6	31.6	32.6	92
93	18.8	19.9	20.9	21.9	22.8	23.8	24.8	25.8	26.8	27.7	28.7	29.7	30.7	31.7	32.7	93
94	18.9	19.9	20.9	21.9	22.9	23.9	24.8	25.8	26.8	27.7	28.7	29.7	30.7	31.7	32.7	94
95	18.9	20.0	21.0	21.9	22.9	23.9	24.9	25.9	26.8	27.8	28.8	29.8	30.8	31.8	32.7	95
96	18.9	20.0	21.0	22.0	23.0	23.9	24.9	25.9	26.9	27.8	28.8	29.8	30.8	31.8	32.8	96
97	19.0	20.1	21.0	22.0	23.0	24.0	25.0	25.9	26.9	27.8	28.8	29.8	30.8	31.8	32.8	97
98	19.0	20.1	21.1	22.1	23.0	24.0	25.0	26.0	26.9	27.9	28.9	29.9	30.9	31.9	32.9	98
99	19.1	20.1	21.1	22.1	23.1	24.0	25.0	26.0	27.0	27.9	28.9	29.9	30.9	31.9	32.9	99
100	19.1	20.2	21.2	22.1	23.1	24.1	25.1	26.1	27.0	28.0	28.9	29.9	30.9	31.9	32.9	100
101	19.2	20.2	21.2	22.2	23.2	24.1	25.1	26.1	27.1	28.0	29.0	30.0	31.0	32.0	33.0	101
102	19.2	20.3	21.2	22.2	23.2	24.2	25.2	26.1	27.1	28.0	29.0	30.0	31.0	32.0	33.0	102
103	19.2	20.3	21.3	22.3	23.2	24.2	25.2	26.2	27.1	28.1	29.1	30.1	31.0	32.1	33.0	103
104	19.3	20.3	21.3	22.3	23.3	24.2	25.2	26.2	27.2	28.1	29.1	30.1	31.1	32.1	33.1	104
105	19.3	20.4	21.3	22.3	23.3	24.3	25.3	26.3	27.2	28.1	29.1	30.1	31.1	32.1	33.1	105
106	19.4	20.4	21.4	22.4	23.3	24.3	25.3	26.3	27.2	28.2	29.2	30.2	31.2	32.2	33.1	106
107	19.4	20.5	21.4	22.4	23.4	24.4	25.3	26.3	27.3	28.2	29.2	30.2	31.2	32.2	33.2	107
108	19.4	20.5	21.5	22.4	23.4	24.4	25.4	26.4	27.3	28.3	29.3	30.3	31.3	32.3	33.2	108
109	19.5	20.5	21.5	22.5	23.4	24.4	25.4	26.4	27.4	28.3	29.3	30.3	31.3	32.3	33.3	109
110	19.5	20.6	21.5	22.5	23.5	24.5	25.5	26.4	27.4	28.4	29.3	30.3	31.3	32.3	33.3	110
111	19.6	20.6	21.6	22.6	23.5	24.5	25.5	26.5	27.4	28.4	29.4	30.4	31.4	32.4	33.4	111
112	19.6	20.6	21.6	22.6	23.6	24.5	25.5	26.5	27.5	28.4	29.4	30.4	31.4	32.4	33.4	112
113	19.7	20.7	21.7	22.6	23.6	24.6	25.6	26.5	27.5	28.5	29.5	30.4	31.5	32.5	33.4	113
114	19.7	20.7	21.7	22.7	23.6	24.6	25.6	26.6	27.6	28.5	29.5	30.5	31.5	32.5	33.5	114
115	19.8	20.8	21.8	22.7	23.7	24.7	25.7	26.6	27.6	28.6	29.5	30.5	31.5	32.5	33.5	115
116	19.8	20.8	21.8	22.8	23.7	24.7	25.7	26.7	27.6	28.6	29.6	30.6	31.6	32.6	33.6	116
117	19.9	20.9	21.9	22.8	23.8	24.8	25.8	26.7	27.7	28.6	29.6	30.6	31.6	32.6	33.6	117
118	19.9	20.9	21.9	22.9	23.8	24.8	25.8	26.8	27.7	28.7	29.7	30.6	31.7	32.7	33.6	118
119	20.0	21.0	21.9	22.9	23.9	24.8	25.8	26.8	27.8	28.7	29.7	30.7	31.7	32.7	33.7	119
120	20.0	21.0	22.0	23.0	23.9	24.9	25.9	26.8	27.8	28.8	29.8	30.7	31.7	32.7	33.7	120
121	20.0	21.1	22.0	23.0	23.9	24.9	25.9	26.9	27.8	28.8	29.8	30.8	31.8	32.8	33.8	121
122	20.1	21.1	22.1	23.0	24.0	25.0	26.0	26.9	27.9	28.8	29.8	30.8	31.8	32.8	33.8	122
123	20.1	21.1	22.1	23.1	24.0	25.0	26.0	27.0	27.9	28.9	29.9	30.9	31.9	32.9	33.8	123
124	20.2	21.2	22.1	23.1	24.1	25.1	26.1	27.0	28.0	28.9	29.9	30.9	31.9	32.9	33.9	124
125	20.2	21.2	22.2	23.2	24.1	25.1	26.1	27.1	28.0	29.0	30.0	30.9	32.0	33.0	33.9	125
126	20.3	21.3	22.2	23.2	24.2	25.2	26.1	27.1	28.0	29.0	30.0	31.0	32.0	33.0	34.0	126
127	20.3	21.3	22.3	23.3	24.2	25.2	26.2	27.1	28.1	29.1	30.1	31.0	32.0	33.0	34.0	127
128	20.4	21.3	22.3	23.3	24.2	25.2	26.2	27.2	28.1	29.1	30.1	31.1	32.1	33.1	34.1	128
129	20.4	21.4	22.4	23.3	24.3	25.3	26.3	27.2	28.2	29.1	30.1	31.1	32.1	33.1	34.1	129
130	20.5	21.4	22.4	23.4	24.3	25.3	26.3	27.3	28.2	29.2	30.2	31.2	32.2	33.2	34.1	130
131	20.5	21.5	22.5	23.4	24.4	25.4	26.4	27.3	28.3	29.2	30.2	31.2	32.2	33.2	34.2	131
132	20.6	21.5	22.5	23.5	24.4	25.4	26.4	27.4	28.3	29.3	30.3	31.3	32.3	33.2	34.2	132
133	20.6	21.6	22.5	23.5	24.5	25.5	26.4	27.4	28.3	29.3	30.3	31.3	32.3	33.3	34.3	133
134	20.6	21.6	22.6	23.5	24.5	25.5	26.5	27.4	28.4	29.4	30.4	31.4	32.4	33.3	34.3	134
135	20.7	21.7	22.6	23.6	24.6	25.6	26.5	27.5	28.4	29.4	30.4	31.4	32.4	33.4	34.4	135
136	20.7	21.7	22.7	23.6	24.6	25.6	26.6	27.5	28.5	29.5	30.5	31.5	32.5	33.4	34.4	136
137	20.8	21.8	22.7	23.7	24.7	25.7	26.6	27.6	28.5	29.5	30.5	31.5	32.5	33.5	34.4	137
138	20.8	21.8	22.8	23.7	24.7	25.7	26.7	27.6	28.6	29.5	30.5	31.6	32.5	33.5	34.5	138
139	20.9	21.9	22.8	23.8	24.8	25.8	26.7	27.7	28.6	29.6	30.6	31.6	32.6	33.6	34.5	139
140	20.9	21.9	22.9	23.8	24.8	25.8	26.8	27.7	28.7	29.6	30.6	31.7	32.6	33.6	34.6	140

表 5.4.6(6) 発射角早見表 (目標地点までの斜距離・見通し角がわかる場合)

斜距離 (m)	見 通 し 角 (°)														斜距離 (m)
	31.0	32.0	33.0	34.0	35.0	36.0	37.0	38.0	39.0	40.0	41.0	42.0	43.0	44.0	
81	33.2	34.2	35.2	36.2	37.2	38.3	39.3	40.4	41.4	42.5	43.5	44.5			81
82	33.3	34.3	35.3	36.2	37.3	38.3	39.4	40.4	41.4	42.5	43.5	44.6			82
83	33.3	34.3	35.3	36.3	37.3	38.4	39.4	40.4	41.5	42.5	43.6	44.6			83
84	33.4	34.3	35.3	36.3	37.4	38.4	39.4	40.5	41.5	42.6	43.6	44.7			84
85	33.4	34.4	35.4	36.3	37.4	38.4	39.5	40.5	41.6	42.6	43.6	44.7			85
86	33.4	34.4	35.4	36.4	37.4	38.5	39.5	40.5	41.6	42.6	43.7	44.7			86
87	33.5	34.4	35.4	36.4	37.5	38.5	39.6	40.6	41.6	42.7	43.7	44.8			87
88	33.5	34.5	35.5	36.5	37.5	38.5	39.6	40.6	41.7	42.7	43.8	44.8			88
89	33.5	34.5	35.5	36.5	37.5	38.6	39.6	40.7	41.7	42.8	43.8	44.8			89
90	33.6	34.5	35.5	36.5	37.6	38.6	39.7	40.7	41.8	42.8	43.8	44.9			90
91	33.6	34.6	35.6	36.6	37.6	38.7	39.7	40.8	41.8	42.8	43.9	44.9			91
92	33.6	34.6	35.6	36.6	37.7	38.7	39.8	40.8	41.8	42.9	43.9	45.0			92
93	33.7	34.6	35.6	36.7	37.7	38.7	39.8	40.8	41.9	42.9	44.0	45.0			93
94	33.7	34.7	35.7	36.7	37.7	38.8	39.8	40.9	41.9	42.9	44.0				94
95	33.7	34.7	35.7	36.7	37.8	38.8	39.9	40.9	42.0	43.0	44.1				95
96	33.8	34.8	35.7	36.8	37.8	38.8	39.9	41.0	42.0	43.0	44.1				96
97	33.8	34.8	35.8	36.8	37.9	38.9	39.9	41.0	42.0	43.1	44.1				97
98	33.9	34.8	35.8	36.9	37.9	38.9	40.0	41.0	42.1	43.1	44.2				98
99	33.9	34.9	35.8	36.9	37.9	39.0	40.0	41.1	42.1	43.2	44.2				99
100	33.9	34.9	35.9	36.9	38.0	39.0	40.1	41.1	42.2	43.2	44.3				100
101	34.0	34.9	35.9	37.0	38.0	39.0	40.1	41.2	42.2	43.3	44.3				101
102	34.0	35.0	36.0	37.0	38.1	39.1	40.1	41.2	42.2	43.3	44.4				102
103	34.0	35.0	36.0	37.0	38.1	39.1	40.2	41.2	42.3	43.3	44.4				103
104	34.1	35.1	36.0	37.1	38.1	39.2	40.2	41.3	42.3	43.4	44.5				104
105	34.1	35.1	36.1	37.1	38.2	39.2	40.3	41.3	42.4	43.4	44.5				105
106	34.1	35.1	36.1	37.2	38.2	39.2	40.3	41.4	42.4	43.5	44.5				106
107	34.2	35.2	36.2	37.2	38.2	39.3	40.4	41.4	42.5	43.5	44.6				107
108	34.2	35.2	36.2	37.2	38.3	39.3	40.4	41.4	42.5	43.6	44.6				108
109	34.3	35.2	36.2	37.3	38.3	39.4	40.4	41.5	42.6	43.6	44.6				109
110	34.3	35.3	36.3	37.3	38.4	39.4	40.5	41.5	42.6	43.6	44.7				110
111	34.3	35.3	36.3	37.4	38.4	39.5	40.5	41.6	42.6	43.7	44.7				111
112	34.4	35.3	36.3	37.4	38.5	39.5	40.6	41.6	42.7	43.7	44.8				112
113	34.4	35.4	36.4	37.5	38.5	39.6	40.6	41.7	42.7	43.8	44.8				113
114	34.5	35.4	36.4	37.5	38.6	39.6	40.7	41.7	42.8	43.8	44.9				114
115	34.5	35.5	36.5	37.5	38.6	39.7	40.7	41.8	42.8	43.9	44.9				115
116	34.5	35.5	36.5	37.6	38.6	39.7	40.7	41.8	42.9	43.9	45.0				116
117	34.6	35.6	36.6	37.6	38.7	39.8	40.8	41.9	42.9	44.0	45.0				117
118	34.6	35.6	36.6	37.7	38.7	39.8	40.8	41.9	43.0	44.0					118
119	34.7	35.6	36.7	37.7	38.8	39.8	40.9	41.9	43.0	44.1					119
120	34.7	35.7	36.7	37.7	38.8	39.9	40.9	42.0	43.0	44.1					120
121	34.7	35.7	36.7	37.8	38.9	39.9	41.0	42.0	43.1	44.2					121
122	34.8	35.7	36.8	37.8	38.9	40.0	41.0	42.1	43.1	44.2					122
123	34.8	35.8	36.8	37.9	39.0	40.0	41.1	42.1	43.2	44.3					123
124	34.9	35.8	36.9	37.9	39.0	40.1	41.1	42.2	43.2	44.3					124
125	34.9	35.9	36.9	38.0	39.1	40.1	41.2	42.2	43.3	44.4					125
126	34.9	35.9	37.0	38.0	39.1	40.1	41.2	42.3	43.3	44.4					126
127	35.0	36.0	37.0	38.1	39.1	40.2	41.3	42.3	43.4	44.5					127
128	35.0	36.0	37.1	38.1	39.2	40.2	41.3	42.4	43.4	44.5					128
129	35.1	36.0	37.1	38.2	39.2	40.3	41.4	42.4	43.5	44.6					129
130	35.1	36.1	37.2	38.2	39.3	40.3	41.4	42.5	43.5	44.6					130
131	35.2	36.1	37.2	38.3	39.3	40.4	41.4	42.5	43.6	44.7					131
132	35.2	36.2	37.3	38.3	39.4	40.4	41.5	42.6	43.6	44.7					132
133	35.2	36.2	37.3	38.4	39.4	40.5	41.5	42.6	43.7	44.7					133
134	35.3	36.3	37.4	38.4	39.5	40.5	41.6	42.7	43.7	44.8					134
135	35.3	36.3	37.4	38.5	39.5	40.6	41.6	42.7	43.8	44.8					135
136	35.4	36.4	37.4	38.5	39.6	40.6	41.7	42.8	43.8	44.9					136
137	35.4	36.4	37.5	38.6	39.6	40.7	41.7	42.8	43.9	44.9					137
138	35.5	36.5	37.5	38.6	39.7	40.7	41.8	42.9	43.9	45.0					138
139	35.5	36.5	37.6	38.7	39.7	40.8	41.9	42.9	44.0	45.0					139
140	35.6	36.6	37.6	38.7	39.8	40.8	41.9	43.0	44.1						140

表 5.4.6(7) 発射角早見表 (目標地点までの斜距離・見通し角がわかる場合)

斜距離 (m)	見 通 し 角 (°)																斜距離 (m)
	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	
141	5.0	6.1	7.1	8.1	9.1	10.0	11.0	11.9	12.9	13.9	14.8	15.8	16.9	17.9	18.9	20.0	141
142	5.1	6.1	7.2	8.2	9.1	10.1	11.0	12.0	12.9	13.9	14.9	15.9	16.9	17.9	19.0	20.0	142
143	5.1	6.2	7.2	8.2	9.2	10.2	11.1	12.1	13.0	14.0	14.9	15.9	17.0	18.0	19.0	20.1	143
144	5.2	6.2	7.2	8.3	9.2	10.2	11.1	12.1	13.0	14.0	15.0	16.0	17.0	18.1	19.1	20.1	144
145	5.2	6.3	7.3	8.3	9.3	10.3	11.2	12.2	13.1	14.1	15.0	16.0	17.1	18.1	19.1	20.2	145
146	5.3	6.3	7.3	8.4	9.3	10.3	11.2	12.2	13.2	14.1	15.1	16.1	17.1	18.2	19.2	20.2	146
147	5.3	6.4	7.4	8.4	9.4	10.4	11.3	12.3	13.2	14.2	15.1	16.1	17.2	18.2	19.2	20.3	147
148	5.4	6.4	7.4	8.5	9.4	10.4	11.3	12.3	13.3	14.2	15.2	16.2	17.2	18.3	19.3	20.3	148
149	5.4	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.4	12.4	13.3	14.3	15.3	16.3	17.3	18.3	19.3	20.4	149
150	5.5	6.5	7.6	8.6	9.6	10.5	11.5	12.4	13.4	14.3	15.3	16.3	17.3	18.4	19.4	20.4	150
151	5.5	6.6	7.6	8.7	9.6	10.6	11.5	12.5	13.4	14.4	15.4	16.4	17.4	18.4	19.5	20.5	151
152	5.6	6.6	7.7	8.7	9.7	10.6	11.6	12.5	13.5	14.4	15.4	16.4	17.4	18.5	19.5	20.5	152
153	5.6	6.7	7.7	8.8	9.7	10.7	11.6	12.6	13.5	14.5	15.5	16.5	17.5	18.5	19.6	20.6	153
154	5.7	6.7	7.8	8.8	9.8	10.7	11.7	12.6	13.6	14.5	15.5	16.5	17.6	18.6	19.6	20.6	154
155	5.7	6.8	7.8	8.9	9.9	10.8	11.7	12.7	13.6	14.6	15.6	16.6	17.6	18.7	19.7	20.7	155
156	5.8	6.8	7.9	8.9	9.9	10.9	11.8	12.8	13.7	14.6	15.6	16.6	17.7	18.7	19.7	20.8	156
157	5.8	6.9	7.9	9.0	10.0	10.9	11.8	12.8	13.7	14.7	15.7	16.7	17.7	18.8	19.8	20.8	157
158	5.9	6.9	8.0	9.0	10.0	11.0	11.9	12.9	13.8	14.8	15.8	16.8	17.8	18.8	19.9	20.9	158
159	5.9	7.0	8.1	9.1	10.1	11.0	12.0	12.9	13.8	14.8	15.8	16.8	17.8	18.9	19.9	20.9	159
160	5.9	7.1	8.1	9.1	10.1	11.1	12.0	13.0	13.9	14.9	15.9	16.9	17.9	18.9	20.0	21.0	160
161	6.0	7.1	8.2	9.2	10.2	11.1	12.1	13.0	14.0	14.9	15.9	16.9	17.9	19.0	20.0	21.0	161
162	6.1	7.2	8.2	9.3	10.2	11.2	12.2	13.1	14.0	15.0	16.0	17.0	18.0	19.1	20.1	21.1	162
163	6.1	7.2	8.3	9.3	10.3	11.2	12.2	13.2	14.1	15.1	16.0	17.0	18.0	19.1	20.2	21.1	163
164	6.2	7.3	8.3	9.4	10.3	11.3	12.3	13.2	14.2	15.1	16.1	17.1	18.1	19.2	20.2	21.2	164
165	6.2	7.3	8.4	9.5	10.4	11.3	12.3	13.3	14.2	15.2	16.2	17.2	18.2	19.2	20.3	21.2	165
166	6.3	7.4	8.4	9.5	10.5	11.4	12.4	13.3	14.3	15.2	16.2	17.2	18.2	19.3	20.3	21.3	166
167	6.3	7.4	8.5	9.6	10.6	11.5	12.4	13.4	14.3	15.3	16.3	17.3	18.3	19.4	20.4	21.3	167
168	6.4	7.5	8.6	9.6	10.6	11.5	12.5	13.4	14.4	15.4	16.4	17.3	18.3	19.4	20.4	21.4	168
169	6.4	7.5	8.6	9.7	10.7	11.6	12.6	13.5	14.4	15.4	16.4	17.4	18.4	19.5	20.5	21.4	169
170	6.5	7.6	8.7	9.8	10.7	11.7	12.6	13.6	14.5	15.5	16.5	17.5	18.5	19.5	20.5	21.5	170
171	6.5	7.7	8.7	9.8	10.8	11.7	12.7	13.6	14.6	15.5	16.5	17.5	18.5	19.6	20.6	21.6	171
172	6.6	7.7	8.8	9.9	10.8	11.8	12.7	13.7	14.6	15.6	16.6	17.6	18.6	19.7	20.6	21.6	172
173	6.6	7.8	8.9	9.9	10.9	11.8	12.8	13.7	14.7	15.7	16.6	17.6	18.7	19.7	20.7	21.7	173
174	6.7	7.8	8.9	10.0	11.0	11.9	12.8	13.8	14.7	15.7	16.7	17.7	18.7	19.8	20.8	21.7	174
175	6.8	7.9	9.0	10.1	11.0	11.9	12.9	13.9	14.8	15.8	16.8	17.8	18.8	19.8	20.8	21.8	175
176	6.8	8.0	9.0	10.1	11.1	12.0	13.0	13.9	14.9	15.9	16.8	17.8	18.9	19.9	20.9	21.9	176
177	6.9	8.0	9.1	10.2	11.1	12.1	13.0	14.0	15.0	15.9	16.9	17.9	18.9	20.0	20.9	21.9	177
178	6.9	8.1	9.2	10.2	11.2	12.1	13.1	14.0	15.0	16.0	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0	178
179	7.0	8.1	9.2	10.3	11.2	12.2	13.2	14.1	15.1	16.0	17.0	18.0	19.0	20.1	21.1	22.0	179
180	7.1	8.2	9.3	10.4	11.3	12.2	13.2	14.2	15.1	16.1	17.1	18.1	19.1	20.2	21.1	22.1	180
181	7.1	8.2	9.4	10.4	11.4	12.3	13.3	14.2	15.2	16.2	17.1	18.1	19.2	20.2	21.2	22.1	181
182	7.2	8.3	9.4	10.5	11.4	12.4	13.3	14.3	15.2	16.2	17.2	18.2	19.2	20.3	21.2	22.2	182
183	7.2	8.4	9.5	10.5	11.5	12.4	13.4	14.4	15.3	16.3	17.3	18.3	19.3	20.3	21.3	22.3	183
184	7.3	8.4	9.6	10.6	11.5	12.5	13.5	14.4	15.4	16.4	17.3	18.3	19.4	20.4	21.4	22.3	184
185	7.4	8.5	9.6	10.7	11.6	12.6	13.5	14.5	15.4	16.4	17.4	18.4	19.4	20.4	21.4	22.4	185
186	7.4	8.5	9.7	10.7	11.7	12.6	13.6	14.6	15.5	16.5	17.5	18.5	19.5	20.5	21.5	22.4	186
187	7.5	8.6	9.7	10.8	11.7	12.7	13.6	14.6	15.6	16.6	17.5	18.5	19.5	20.6	21.5	22.5	187
188	7.5	8.7	9.8	10.8	11.8	12.7	13.7	14.7	15.6	16.6	17.6	18.6	19.6	20.6	21.6	22.6	188
189	7.6	8.7	9.9	10.9	11.8	12.8	13.8	14.8	15.7	16.7	17.7	18.7	19.7	20.7	21.7	22.6	189
190	7.7	8.8	9.9	11.0	11.9	12.9	13.9	14.8	15.8	16.8	17.7	18.7	19.8	20.8	21.7	22.7	190
191	7.7	8.9	10.0	11.0	11.9	12.9	13.9	14.9	15.8	16.8	17.8	18.8	19.8	20.8	21.8	22.7	191
192	7.8	8.9	10.1	11.1	12.0	13.0	14.0	14.9	15.9	16.9	17.9	18.9	19.9	20.9	21.8	22.8	192
193	7.8	9.0	10.1	11.1	12.1	13.1	14.0	15.0	16.0	17.0	17.9	18.9	20.0	21.0	21.9	22.9	193
194	7.9	9.1	10.2	11.2	12.2	13.1	14.1	15.1	16.1	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0	22.9	194
195	8.0	9.1	10.3	11.3	12.2	13.2	14.2	15.2	16.1	17.1	18.1	19.1	20.1	21.1	22.0	23.0	195
196	8.0	9.2	10.3	11.3	12.3	13.3	14.2	15.2	16.2	17.2	18.1	19.1	20.2	21.2	22.1	23.1	196
197	8.1	9.3	10.4	11.4	12.4	13.3	14.3	15.3	16.2	17.2	18.2	19.2	20.2	21.2	22.2	23.1	197
198	8.2	9.3	10.5	11.5	12.4	13.4	14.4	15.3	16.3	17.3	18.3	19.3	20.3	21.3	22.2	23.2	198
199	8.2	9.4	10.5	11.5	12.5	13.5	14.4	15.4	16.4	17.4	18.4	19.4	20.4	21.4	22.3	23.3	199
200	8.3	9.5	10.6	11.6	12.6	13.5	14.5	15.5	16.4	17.4	18.4	19.4	20.4	21.4	22.4	23.3	200

表 5. 4. 6(8) 発射角早見表 (目標地点までの斜距離・見通し角がわかる場合)

斜距離 (m)	見 通 し 角 (°)															斜距離 (m)
	16.0	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0	23.0	24.0	25.0	26.0	27.0	28.0	29.0	30.0	
141	21.0	22.0	22.9	23.9	24.9	25.8	26.8	27.7	28.7	29.7	30.7	31.7	32.7	33.7	34.6	141
142	21.0	22.0	23.0	23.9	24.9	25.9	26.8	27.8	28.8	29.7	30.7	31.7	32.7	33.7	34.7	142
143	21.1	22.0	23.0	24.0	25.0	25.9	26.9	27.8	28.8	29.8	30.8	31.8	32.8	33.7	34.7	143
144	21.1	22.1	23.1	24.0	25.0	26.0	26.9	27.9	28.9	29.8	30.8	31.8	32.8	33.8	34.8	144
145	21.2	22.1	23.1	24.0	25.0	26.0	27.0	27.9	28.9	29.9	30.9	31.9	32.9	33.8	34.8	145
146	21.2	22.2	23.1	24.1	25.1	26.1	27.0	28.0	29.0	29.9	30.9	31.9	32.9	33.9	34.9	146
147	21.3	22.2	23.2	24.2	25.1	26.1	27.1	28.0	29.0	30.0	31.0	32.0	33.0	33.9	34.9	147
148	21.3	22.3	23.2	24.2	25.2	26.2	27.1	28.1	29.0	30.0	31.0	32.0	33.0	34.0	35.0	148
149	21.4	22.3	23.3	24.3	25.2	26.2	27.2	28.1	29.1	30.1	31.1	32.1	33.1	34.0	35.0	149
150	21.4	22.4	23.3	24.3	25.3	26.3	27.2	28.2	29.1	30.1	31.1	32.1	33.1	34.1	35.0	150
151	21.5	22.4	23.4	24.4	25.3	26.3	27.3	28.2	29.2	30.2	31.2	32.2	33.2	34.1	35.1	151
152	21.5	22.5	23.4	24.4	25.4	26.4	27.3	28.3	29.2	30.2	31.2	32.2	33.2	34.2	35.1	152
153	21.6	22.5	23.5	24.5	25.5	26.4	27.4	28.3	29.3	30.3	31.3	32.3	33.3	34.2	35.2	153
154	21.6	22.6	23.5	24.5	25.5	26.5	27.4	28.4	29.3	30.3	31.3	32.3	33.3	34.3	35.2	154
155	21.7	22.6	23.6	24.6	25.6	26.5	27.5	28.4	29.4	30.4	31.4	32.4	33.4	34.3	35.3	155
156	21.7	22.7	23.6	24.6	25.6	26.6	27.5	28.5	29.4	30.4	31.4	32.4	33.4	34.4	35.3	156
157	21.8	22.7	23.7	24.7	25.7	26.6	27.6	28.5	29.5	30.5	31.5	32.5	33.5	34.4	35.4	157
158	21.8	22.8	23.7	24.7	25.7	26.7	27.6	28.6	29.5	30.5	31.5	32.5	33.5	34.5	35.4	158
159	21.9	22.8	23.8	24.8	25.8	26.7	27.7	28.6	29.6	30.6	31.6	32.6	33.6	34.5	35.5	159
160	21.9	22.9	23.8	24.8	25.8	26.8	27.7	28.7	29.6	30.6	31.6	32.6	33.6	34.6	35.5	160
161	22.0	22.9	23.9	24.9	25.9	26.8	27.8	28.7	29.7	30.7	31.7	32.7	33.7	34.6	35.6	161
162	22.0	23.0	23.9	24.9	25.9	26.9	27.8	28.8	29.7	30.7	31.8	32.7	33.7	34.7	35.6	162
163	22.1	23.1	24.0	25.0	26.0	26.9	27.9	28.8	29.8	30.8	31.8	32.8	33.8	34.7	35.7	163
164	22.1	23.1	24.0	25.0	26.0	27.0	27.9	28.9	29.8	30.8	31.9	32.8	33.8	34.8	35.7	164
165	22.2	23.2	24.1	25.1	26.1	27.0	28.0	28.9	29.9	30.9	31.9	32.9	33.9	34.8	35.8	165
166	22.3	23.2	24.2	25.1	26.1	27.1	28.0	29.0	30.0	31.0	32.0	32.9	33.9	34.9	35.8	166
167	22.3	23.3	24.2	25.2	26.2	27.1	28.1	29.0	30.0	31.0	32.0	33.0	34.0	34.9	35.9	167
168	22.4	23.3	24.3	25.3	26.3	27.2	28.1	29.1	30.1	31.1	32.1	33.1	34.0	35.0	35.9	168
169	22.4	23.4	24.3	25.3	26.3	27.2	28.2	29.1	30.1	31.1	32.1	33.1	34.1	35.0	36.0	169
170	22.5	23.4	24.4	25.4	26.4	27.3	28.2	29.2	30.2	31.2	32.2	33.2	34.1	35.1	36.1	170
171	22.5	23.5	24.4	25.4	26.4	27.3	28.3	29.3	30.2	31.2	32.2	33.2	34.2	35.2	36.1	171
172	22.6	23.5	24.5	25.5	26.5	27.4	28.3	29.3	30.3	31.3	32.3	33.3	34.2	35.2	36.2	172
173	22.6	23.6	24.6	25.5	26.5	27.4	28.4	29.4	30.3	31.3	32.4	33.3	34.3	35.3	36.2	173
174	22.7	23.6	24.6	25.6	26.6	27.5	28.4	29.4	30.4	31.4	32.4	33.4	34.4	35.3	36.3	174
175	22.8	23.7	24.7	25.7	26.6	27.6	28.5	29.5	30.5	31.5	32.5	33.4	34.4	35.4	36.4	175
176	22.8	23.8	24.7	25.7	26.7	27.6	28.6	29.5	30.5	31.5	32.5	33.5	34.5	35.4	36.4	176
177	22.9	23.8	24.8	25.8	26.7	27.7	28.6	29.6	30.6	31.6	32.6	33.5	34.5	35.5	36.5	177
178	22.9	23.9	24.8	25.8	26.8	27.7	28.7	29.6	30.6	31.6	32.6	33.6	34.6	35.5	36.5	178
179	23.0	23.9	24.9	25.9	26.8	27.8	28.7	29.7	30.7	31.7	32.7	33.7	34.6	35.6	36.6	179
180	23.0	24.0	25.0	26.0	26.9	27.8	28.8	29.8	30.8	31.8	32.7	33.7	34.7	35.7	36.7	180
181	23.1	24.0	25.0	26.0	27.0	27.9	28.8	29.8	30.8	31.8	32.8	33.8	34.7	35.7	36.8	181
182	23.1	24.1	25.1	26.1	27.0	27.9	28.9	29.9	30.9	31.9	32.9	33.8	34.8	35.8	36.8	182
183	23.2	24.1	25.1	26.1	27.1	28.0	29.0	29.9	30.9	32.0	32.9	33.9	34.9	35.8	36.9	183
184	23.3	24.2	25.2	26.2	27.1	28.0	29.0	30.0	31.0	32.0	33.0	34.0	34.9	35.9	36.9	184
185	23.3	24.3	25.3	26.3	27.2	28.1	29.1	30.0	31.0	32.1	33.0	34.0	35.0	35.9	37.0	185
186	23.4	24.3	25.3	26.3	27.2	28.2	29.2	30.1	31.1	32.1	33.1	34.1	35.0	36.0	37.1	186
187	23.4	24.4	25.4	26.4	27.3	28.2	29.2	30.2	31.2	32.2	33.2	34.1	35.1	36.1	37.2	187
188	23.5	24.5	25.5	26.4	27.3	28.3	29.3	30.2	31.2	32.3	33.2	34.2	35.1	36.1	37.2	188
189	23.6	24.5	25.5	26.5	27.4	28.3	29.3	30.3	31.3	32.3	33.3	34.3	35.2	36.2	37.3	189
190	23.6	24.6	25.6	26.6	27.5	28.4	29.4	30.4	31.4	32.4	33.4	34.3	35.3	36.3	37.4	190
191	23.7	24.7	25.7	26.6	27.5	28.5	29.4	30.4	31.4	32.4	33.4	34.4	35.3	36.3	37.4	191
192	23.7	24.7	25.7	26.7	27.6	28.5	29.5	30.5	31.5	32.5	33.5	34.4	35.4	36.4	37.5	192
193	23.8	24.8	25.8	26.7	27.6	28.6	29.6	30.5	31.6	32.6	33.5	34.5	35.5	36.5	37.6	193
194	23.9	24.9	25.9	26.8	27.7	28.7	29.6	30.6	31.6	32.6	33.6	34.5	35.5	36.5	37.6	194
195	23.9	24.9	25.9	26.9	27.8	28.7	29.7	30.7	31.7	32.7	33.7	34.6	35.6	36.6	37.7	195
196	24.0	25.0	26.0	26.9	27.8	28.8	29.7	30.7	31.8	32.7	33.7	34.7	35.6	36.7	37.8	196
197	24.0	25.1	26.0	27.0	27.9	28.9	29.8	30.8	31.8	32.8	33.8	34.7	35.7	36.8	37.9	197
198	24.1	25.1	26.1	27.0	28.0	28.9	29.9	30.9	31.9	32.9	33.8	34.8	35.8	36.8	37.9	198
199	24.2	25.2	26.2	27.1	28.0	29.0	29.9	30.9	32.0	33.0	33.9	34.9	35.8	36.9	38.0	199
200	24.2	25.3	26.2	27.1	28.1	29.0	30.0	31.0	32.0	33.0	34.0	34.9	35.9	37.0	38.1	200

表 5.4.6(9) 発射角早見表 (目標地点までの斜距離・見通し角がわかる場合)

斜距離 (m)	見 通 し 角 (°)														斜距離 (m)
	31.0	32.0	33.0	34.0	35.0	36.0	37.0	38.0	39.0	40.0	41.0	42.0	43.0	44.0	
141	35.6	36.6	37.7	38.8	39.8	40.9	42.0	43.0	44.1						141
142	35.7	36.7	37.7	38.8	39.9	40.9	42.0	43.1	44.2						142
143	35.7	36.7	37.8	38.9	39.9	41.0	42.1	43.1	44.2						143
144	35.7	36.8	37.8	38.9	40.0	41.0	42.1	43.2	44.3						144
145	35.8	36.8	37.9	39.0	40.0	41.1	42.2	43.3	44.3						145
146	35.8	36.9	37.9	39.0	40.1	41.2	42.2	43.3	44.4						146
147	35.9	36.9	38.0	39.1	40.1	41.2	42.3	43.4	44.4						147
148	35.9	37.0	38.0	39.1	40.2	41.3	42.3	43.4	44.5						148
149	36.0	37.0	38.1	39.2	40.2	41.3	42.4	43.5	44.5						149
150	36.0	37.1	38.2	39.2	40.3	41.4	42.4	43.5	44.6						150
151	36.1	37.2	38.2	39.3	40.4	41.4	42.5	43.6	44.6						151
152	36.1	37.2	38.3	39.3	40.4	41.5	42.5	43.6	44.7						152
153	36.2	37.3	38.3	39.4	40.5	41.5	42.6	43.7	44.8						153
154	36.2	37.3	38.4	39.4	40.5	41.6	42.7	43.8	44.8						154
155	36.3	37.4	38.4	39.5	40.6	41.6	42.7	43.8	44.9						155
156	36.3	37.4	38.5	39.6	40.7	41.7	42.8	43.9	45.0						156
157	36.4	37.5	38.5	39.6	40.7	41.8	42.9	43.9	45.0						157
158	36.5	37.5	38.6	39.7	40.8	41.8	42.9	44.0							158
159	36.5	37.6	38.7	39.7	40.8	41.9	43.0	44.1							159
160	36.6	37.6	38.7	39.8	40.9	41.9	43.0	44.1							160
161	36.6	37.7	38.8	39.9	40.9	42.0	43.1	44.2							161
162	36.7	37.8	38.8	39.9	40.0	42.1	43.2	44.2							162
163	36.8	37.8	38.9	40.0	41.1	42.1	43.2	44.3							163
164	36.8	37.9	38.9	40.0	41.1	42.2	43.3	44.4							164
165	36.9	37.9	39.0	40.1	41.2	42.2	43.3	44.4							165
166	36.9	38.0	39.1	40.1	41.2	42.3	43.4	44.5							166
167	37.0	38.0	39.1	40.2	41.3	42.4	43.5	44.6							167
168	37.0	38.1	39.2	40.3	41.4	42.4	43.5	44.6							168
169	37.1	38.2	39.3	40.3	41.4	42.5	43.6	44.7							169
170	37.1	38.2	39.3	40.4	41.5	42.6	43.6	44.8							170
171	37.2	38.3	39.4	40.5	41.6	42.6	43.7	44.8							171
172	37.3	38.3	39.4	40.5	41.6	42.7	43.8	44.9							172
173	37.3	38.4	39.5	40.6	41.7	42.8	43.9	45.0							173
174	37.4	38.5	39.6	40.7	41.7	42.8	43.9								174
175	37.4	38.5	39.6	40.7	41.8	42.9	44.0								175
176	37.5	38.6	39.7	40.8	41.9	43.0	44.1								176
177	37.6	38.7	39.8	40.8	41.9	43.0	44.1								177
178	37.6	38.7	39.8	40.9	42.0	43.1	44.2								178
179	37.7	38.8	39.9	41.0	42.1	43.2	44.3								179
180	37.8	38.9	40.0	41.1	42.2	43.3	44.3								180
181	37.8	38.9	40.0	41.1	42.2	43.3	44.4								181
182	37.9	39.0	40.1	41.2	42.3	43.4	44.5								182
183	38.0	39.1	40.2	41.2	42.4	43.4	44.5								183
184	38.0	39.1	40.2	41.3	42.4	43.5	44.6								184
185	38.1	39.2	40.3	41.4	42.5	43.6	44.7								185
186	38.2	39.3	40.4	41.5	42.6	43.7	44.8								186
187	38.2	39.3	40.4	41.5	42.6	43.7	44.8								187
188	38.3	39.4	40.5	41.6	42.7	43.8	44.9								188
189	38.4	39.5	40.6	41.7	42.8	43.9	45.0								189
190	38.5	39.6	40.7	41.8	42.9	43.9									190
191	38.5	39.6	40.7	41.8	42.9	44.0									191
192	38.6	39.7	40.8	41.9	43.0	44.1									192
193	38.7	39.8	40.9	42.0	43.1	44.2									193
194	38.7	39.8	41.0	42.1	43.2	44.3									194
195	38.8	39.9	41.0	42.1	43.2	44.4									195
196	38.9	40.0	41.1	42.2	43.3	44.4									196
197	38.9	40.1	41.2	42.3	43.4	44.5									197
198	39.0	40.2	41.3	42.4	43.5	44.6									198
199	39.1	40.2	41.3	42.4	43.6	44.7									199
200	39.2	40.3	41.4	42.5	43.6	44.8									200

表 5. 4. 6(10) 発射角早見表 (目標地点までの斜距離・見通し角がわかる場合)

斜距離 (m)	見 通 し 角 (°)																斜距離 (m)
	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	
201	8.4	9.5	10.6	11.7	12.6	13.6	14.6	15.5	16.5	17.5	18.5	19.5	20.5	21.5	22.4	23.4	201
202	8.4	9.6	10.7	11.7	12.7	13.7	14.7	15.6	16.6	17.6	18.6	19.6	20.6	21.5	22.5	23.4	202
203	8.5	9.7	10.8	11.8	12.8	13.7	14.7	15.7	16.6	17.6	18.6	19.6	20.6	21.6	22.6	23.5	203
204	8.5	9.7	10.8	11.9	12.8	13.8	14.8	15.8	16.7	17.7	18.7	19.7	20.7	21.7	22.6	23.6	204
205	8.6	9.8	10.9	11.9	12.9	13.9	14.8	15.8	16.8	17.8	18.8	19.8	20.8	21.7	22.7	23.6	205
206	8.7	9.9	10.9	12.0	12.9	13.9	14.9	15.9	16.9	17.8	18.8	19.8	20.8	21.8	22.8	23.7	206
207	8.8	9.9	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	16.9	17.9	18.9	19.9	20.9	21.9	22.8	23.8	207
208	8.8	10.0	11.1	12.1	13.1	14.1	15.1	16.0	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0	21.9	22.9	23.8	208
209	8.9	10.1	11.1	12.2	13.2	14.2	15.1	16.1	17.1	18.1	19.1	20.1	21.0	22.0	23.0	23.9	209
210	8.9	10.2	11.2	12.2	13.2	14.2	15.2	16.2	17.1	18.1	19.1	20.1	21.1	22.1	23.0	24.0	210
211	9.0	10.2	11.3	12.3	13.3	14.3	15.3	16.3	17.2	18.2	19.2	20.2	21.2	22.2	23.1	24.0	211
212	9.1	10.3	11.3	12.4	13.4	14.4	15.4	16.3	17.3	18.3	19.3	20.3	21.2	22.2	23.2	24.1	212
213	9.2	10.4	11.4	12.5	13.4	14.4	15.4	16.4	17.4	18.3	19.3	20.3	21.3	22.3	23.2	24.2	213
214	9.2	10.4	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	17.4	18.4	19.4	20.4	21.4	22.4	23.3	24.3	214
215	9.3	10.5	11.6	12.6	13.6	14.6	15.6	16.5	17.5	18.5	19.5	20.5	21.5	22.4	23.4	24.3	215
216	9.4	10.5	11.6	12.7	13.7	14.6	15.6	16.6	17.6	18.6	19.5	20.6	21.6	22.5	23.4	24.4	216
217	9.4	10.6	11.7	12.7	13.7	14.7	15.7	16.7	17.7	18.7	19.6	20.6	21.6	22.6	23.5	24.5	217
218	9.5	10.7	11.7	12.8	13.8	14.8	15.8	16.7	17.7	18.7	19.7	20.7	21.7	22.7	23.6	24.5	218
219	9.6	10.7	11.8	12.9	13.9	14.9	15.8	16.8	17.8	18.8	19.8	20.8	21.8	22.7	23.7	24.6	219
220	9.7	10.8	11.9	13.0	13.9	14.9	15.9	16.9	17.9	18.9	19.9	20.8	21.8	22.8	23.7	24.7	220
221	9.7	10.9	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	17.0	17.9	18.9	19.9	20.9	21.9	22.9	23.8	24.8	221
222	9.8	11.0	12.0	13.1	14.1	15.1	16.1	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0	22.9	23.9	24.9	222
223	9.9	11.0	12.1	13.2	14.1	15.1	16.1	17.1	18.1	19.1	20.1	21.1	22.1	23.0	23.9	24.9	223
224	10.0	11.1	12.2	13.3	14.2	15.2	16.2	17.2	18.2	19.2	20.2	21.2	22.1	23.1	24.0	25.0	224
225	10.0	11.2	12.2	13.3	14.3	15.3	16.3	17.3	18.2	19.2	20.2	21.2	22.2	23.2	24.1	25.1	225
226	10.1	11.2	12.3	13.4	14.4	15.4	16.3	17.3	18.3	19.3	20.3	21.3	22.3	23.2	24.2	25.2	226
227	10.2	11.3	12.4	13.5	14.5	15.5	16.4	17.4	18.4	19.4	20.4	21.4	22.4	23.3	24.3	25.2	227
228	10.2	11.4	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	17.5	18.5	19.5	20.5	21.5	22.4	23.4	24.3	25.3	228
229	10.3	11.4	12.5	13.6	14.6	15.6	16.6	17.6	18.5	19.5	20.5	21.5	22.5	23.5	24.4	25.4	229
230	10.4	11.5	12.6	13.7	14.7	15.7	16.7	17.6	18.6	19.6	20.6	21.6	22.6	23.5	24.5	25.5	230
231	10.5	11.6	12.7	13.8	14.7	15.7	16.7	17.7	18.7	19.7	20.7	21.7	22.7	23.6	24.6	25.6	231
232	10.5	11.6	12.8	13.8	14.8	15.8	16.8	17.8	18.8	19.7	20.8	21.8	22.7	23.7	24.7	25.7	232
233	10.6	11.7	12.8	13.9	14.9	15.9	16.9	17.8	18.8	19.8	20.8	21.8	22.8	23.8	24.7	25.7	233
234	10.7	11.8	12.9	14.0	15.0	16.0	16.9	17.9	18.9	19.9	20.9	21.9	22.9	23.8	24.8	25.8	234
235	10.7	11.8	13.0	14.1	15.0	16.0	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0	23.0	23.9	24.9	25.9	235
236	10.8	11.9	13.1	14.2	15.1	16.1	17.1	18.1	19.1	20.1	21.1	22.1	23.1	24.0	25.0	26.0	236
237	10.9	12.0	13.1	14.2	15.2	16.2	17.2	18.2	19.2	20.2	21.2	22.2	23.1	24.1	25.1	26.1	237
238	11.0	12.1	13.2	14.3	15.3	16.3	17.3	18.2	19.2	20.2	21.2	22.2	23.2	24.2	25.2	26.1	238
239	11.0	12.1	13.3	14.4	15.4	16.4	17.3	18.3	19.3	20.3	21.3	22.3	23.3	24.3	25.2	26.2	239
240	11.1	12.2	13.4	14.5	15.4	16.4	17.4	18.4	19.4	20.4	21.4	22.4	23.4	24.3	25.3	26.3	240
241	11.2	12.3	13.5	14.5	15.5	16.5	17.5	18.5	19.5	20.5	21.5	22.5	23.4	24.4	25.4	26.4	241
242	11.2	12.4	13.5	14.6	15.6	16.6	17.6	18.5	19.5	20.6	21.6	22.6	23.5	24.5	25.5	26.5	242
243	11.3	12.5	13.6	14.7	15.6	16.6	17.6	18.6	19.6	20.6	21.7	22.7	23.6	24.6	25.6	26.5	243
244	11.4	12.5	13.7	14.8	15.7	16.7	17.7	18.7	19.7	20.7	21.7	22.7	23.7	24.7	25.7	26.6	244
245	11.5	12.6	13.8	14.8	15.8	16.8	17.8	18.8	19.8	20.8	21.8	22.8	23.8	24.8	25.8	26.7	245
246	11.5	12.7	13.8	14.9	15.9	16.9	17.9	18.9	19.9	20.9	21.9	22.9	23.8	24.8	25.9	26.8	246
247	11.6	12.8	13.9	15.0	16.0	17.0	18.0	18.9	19.9	21.0	22.0	23.0	23.9	24.9	25.9	26.9	247
248	11.7	12.9	14.0	15.1	16.0	17.0	18.0	19.0	20.0	21.1	22.1	23.1	24.0	25.0	26.0	27.0	248
249	11.7	12.9	14.1	15.1	16.1	17.1	18.1	19.1	20.1	21.1	22.2	23.2	24.1	25.1	26.1	27.0	249
250	11.8	13.0	14.2	15.2	16.2	17.2	18.2	19.2	20.2	21.2	22.2	23.2	24.2	25.2	26.2	27.1	250
251	11.9	13.1	14.2	15.3	16.3	17.3	18.3	19.3	20.3	21.3	22.3	23.3	24.3	25.3	26.3	27.2	251
252	12.0	13.2	14.3	15.4	16.3	17.3	18.3	19.3	20.3	21.4	22.4	23.4	24.4	25.4	26.4	27.3	252
253	12.1	13.3	14.4	15.5	16.4	17.4	18.4	19.4	20.4	21.5	22.5	23.5	24.5	25.5	26.5	27.4	253
254	12.1	13.4	14.5	15.5	16.5	17.5	18.5	19.5	20.5	21.6	22.6	23.6	24.5	25.6	26.6	27.5	254
255	12.2	13.4	14.6	15.6	16.6	17.6	18.6	19.6	20.6	21.7	22.7	23.7	24.6	25.7	26.7	27.5	255
256	12.3	13.5	14.6	15.7	16.7	17.7	18.7	19.7	20.7	21.8	22.8	23.7	24.7	25.8	26.7	27.6	256
257	12.4	13.6	14.7	15.8	16.7	17.7	18.7	19.7	20.8	21.8	22.9	23.8	24.8	25.9	26.8	27.7	257
258	12.5	13.7	14.8	15.8	16.8	17.8	18.8	19.8	20.9	21.9	22.9	23.9	24.9	26.0	26.9	27.8	258
259	12.6	13.8	14.9	15.9	16.9	17.9	18.9	19.9	21.0	22.0	23.0	24.0	25.0	26.0	27.0	27.9	259
260	12.6	13.9	14.9	16.0	17.0	18.0	19.0	20.0	21.1	22.1	23.1	24.1	25.1	26.1	27.1	28.0	260

表 5. 4. 6(11) 発射角早見表 (目標地点までの斜距離・見通し角がわかる場合)

斜距離 (m)	見 通 し 角 (°)															斜距離 (m)
	16.0	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0	23.0	24.0	25.0	26.0	27.0	28.0	29.0	30.0	
201	24.3	25.3	26.3	27.2	28.1	29.1	30.1	31.1	32.1	33.1	34.1	35.0	36.0	37.1	38.2	201
202	24.4	25.4	26.4	27.3	28.2	29.2	30.1	31.2	32.2	33.1	34.1	35.1	36.1	37.1	38.2	202
203	24.5	25.5	26.4	27.3	28.3	29.2	30.2	31.2	32.2	33.2	34.2	35.1	36.1	37.2	38.3	203
204	24.5	25.5	26.5	27.4	28.3	29.3	30.3	31.3	32.3	33.3	34.2	35.2	36.2	37.3	38.4	204
205	24.6	25.6	26.5	27.5	28.4	29.4	30.4	31.4	32.4	33.3	34.3	35.3	36.3	37.4	38.5	205
206	24.7	25.7	26.6	27.5	28.5	29.4	30.4	31.4	32.4	33.4	34.4	35.3	36.3	37.4	38.6	206
207	24.7	25.7	26.7	27.6	28.5	29.5	30.5	31.5	32.5	33.5	34.4	35.4	36.4	37.5	38.6	207
208	24.8	25.8	26.7	27.7	28.6	29.6	30.6	31.6	32.6	33.5	34.5	35.5	36.5	37.6	38.7	208
209	24.9	25.9	26.8	27.7	28.7	29.6	30.6	31.6	32.6	33.6	34.6	35.6	36.6	37.7	38.8	209
210	25.0	26.0	26.9	27.8	28.7	29.7	30.7	31.7	32.7	33.7	34.6	35.6	36.6	37.7	38.9	210
211	25.0	26.0	26.9	27.9	28.8	29.8	30.8	31.8	32.8	33.8	34.7	35.7	36.7	37.8	39.0	211
212	25.1	26.1	27.0	27.9	28.9	29.8	30.9	31.9	32.8	33.8	34.8	35.7	36.8	37.9	39.0	212
213	25.2	26.2	27.1	28.0	29.0	29.9	30.9	32.0	32.9	33.9	34.9	35.8	36.9	38.0	39.1	213
214	25.2	26.2	27.1	28.1	29.0	30.0	31.0	32.0	33.0	34.0	34.9	35.9	37.0	38.1	39.2	214
215	25.3	26.3	27.2	28.1	29.1	30.1	31.1	32.1	33.1	34.0	35.0	36.0	37.1	38.2	39.3	215
216	25.4	26.4	27.3	28.2	29.2	30.1	31.2	32.2	33.1	34.1	35.1	36.0	37.1	38.2	39.4	216
217	25.5	26.4	27.3	28.3	29.2	30.2	31.2	32.2	33.2	34.2	35.1	36.1	37.2	38.3	39.5	217
218	25.5	26.5	27.4	28.4	29.3	30.3	31.3	32.3	33.3	34.2	35.2	36.2	37.3	38.4	39.6	218
219	25.6	26.6	27.5	28.4	29.4	30.4	31.4	32.4	33.4	34.3	35.3	36.3	37.4	38.6	39.7	219
220	25.7	26.7	27.6	28.5	29.4	30.4	31.5	32.5	33.4	34.4	35.4	36.4	37.5	38.7	39.7	220
221	25.8	26.7	27.6	28.6	29.5	30.5	31.5	32.5	33.5	34.5	35.4	36.4	37.6	38.7	39.8	221
222	25.8	26.8	27.7	28.7	29.6	30.6	31.6	32.6	33.6	34.6	35.5	36.5	37.7	38.8	39.9	222
223	25.9	26.9	27.8	28.7	29.7	30.7	31.7	32.7	33.7	34.6	35.6	36.6	37.8	38.9	40.0	223
224	26.0	26.9	27.8	28.8	29.7	30.8	31.8	32.8	33.8	34.7	35.7	36.7	37.8	39.0	40.1	224
225	26.1	27.0	27.9	28.9	29.8	30.8	31.9	32.8	33.8	34.8	35.7	36.8	37.9	39.1	40.2	225
226	26.1	27.1	28.0	28.9	29.9	30.9	31.9	32.9	33.9	34.9	35.8	36.9	38.0	39.2	40.3	226
227	26.2	27.2	28.1	29.0	30.0	31.0	32.0	33.0	34.0	34.9	35.9	37.0	38.1	39.3	40.4	227
228	26.3	27.2	28.1	29.1	30.1	31.1	32.1	33.1	34.1	35.0	36.0	37.1	38.2	39.4	40.5	228
229	26.4	27.3	28.2	29.2	30.1	31.2	32.2	33.2	34.1	35.1	36.1	37.2	38.3	39.5	40.6	229
230	26.5	27.4	28.3	29.2	30.2	31.3	32.3	33.2	34.2	35.2	36.2	37.3	38.4	39.5	40.7	230
231	26.5	27.5	28.4	29.3	30.3	31.3	32.3	33.3	34.3	35.3	36.3	37.4	38.5	39.6	40.8	231
232	26.6	27.5	28.5	29.4	30.4	31.4	32.4	33.4	34.4	35.3	36.3	37.5	38.6	39.7	40.9	232
233	26.7	27.6	28.5	29.5	30.5	31.5	32.5	33.5	34.5	35.4	36.4	37.6	38.7	39.8	41.0	233
234	26.8	27.7	28.6	29.6	30.6	31.6	32.6	33.6	34.5	35.5	36.5	37.7	38.8	39.9	41.1	234
235	26.8	27.8	28.7	29.7	30.7	31.7	32.7	33.7	34.6	35.6	36.6	37.8	38.9	40.0	41.2	235
236	26.9	27.8	28.8	29.7	30.7	31.8	32.8	33.8	34.7	35.6	36.7	37.9	39.0	40.2	41.3	236
237	27.0	27.9	28.9	29.8	30.8	31.9	32.8	33.8	34.8	35.7	36.8	38.0	39.1	40.3	41.4	237
238	27.1	28.0	28.9	29.9	30.9	31.9	32.9	33.9	34.9	35.8	36.9	38.1	39.2	40.4	41.5	238
239	27.1	28.1	29.0	30.0	31.0	32.0	33.0	34.0	34.9	35.9	37.0	38.2	39.3	40.5	41.6	239
240	27.2	28.2	29.1	30.0	31.1	32.1	33.1	34.1	35.0	36.0	37.1	38.3	39.4	40.6	41.7	240
241	27.3	28.2	29.2	30.1	31.2	32.2	33.2	34.2	35.1	36.1	37.2	38.4	39.5	40.7	41.9	241
242	27.4	28.3	29.3	30.2	31.3	32.3	33.3	34.3	35.2	36.2	37.3	38.5	39.6	40.8	42.0	242
243	27.5	28.4	29.4	30.3	31.4	32.4	33.4	34.3	35.3	36.3	37.4	38.6	39.7	40.9	42.1	243
244	27.5	28.5	29.4	30.4	31.5	32.5	33.4	34.4	35.4	36.4	37.5	38.7	39.9	41.0	42.2	244
245	27.6	28.6	29.5	30.5	31.5	32.6	33.5	34.5	35.5	36.5	37.6	38.8	40.0	41.1	42.3	245
246	27.7	28.7	29.6	30.6	31.6	32.7	33.6	34.6	35.6	36.6	37.8	38.9	40.1	41.3	42.5	246
247	27.8	28.8	29.7	30.7	31.7	32.8	33.7	34.7	35.7	36.7	37.9	39.0	40.2	41.4	42.6	247
248	27.9	28.8	29.8	30.8	31.8	32.8	33.8	34.8	35.7	36.8	38.0	39.1	40.3	41.5	42.7	248
249	28.0	28.9	29.9	30.9	31.9	32.9	33.9	34.9	35.8	36.9	38.1	39.3	40.4	41.6	42.8	249
250	28.0	29.0	30.0	31.0	32.0	33.0	34.0	35.0	35.9	37.1	38.2	39.4	40.6	41.8	43.0	250
251	28.1	29.1	30.1	31.1	32.1	33.1	34.1	35.1	36.0	37.2	38.3	39.5	40.7	41.9	43.1	251
252	28.2	29.2	30.2	31.2	32.2	33.2	34.2	35.2	36.1	37.3	38.5	39.6	40.8	42.0	43.2	252
253	28.3	29.3	30.3	31.3	32.3	33.3	34.3	35.3	36.2	37.4	38.6	39.7	40.9	42.2	43.3	253
254	28.4	29.4	30.4	31.4	32.4	33.4	34.4	35.4	36.3	37.5	38.7	39.9	41.0	42.3	43.5	254
255	28.5	29.5	30.5	31.5	32.5	33.5	34.5	35.4	36.5	37.6	38.8	40.0	41.2	42.4	43.6	255
256	28.6	29.6	30.6	31.6	32.6	33.6	34.6	35.5	36.6	37.8	38.9	40.1	41.3	42.6	43.8	256
257	28.7	29.6	30.7	31.7	32.7	33.7	34.7	35.6	36.7	37.9	39.1	40.2	41.5	42.7	43.9	257
258	28.8	29.7	30.8	31.8	32.8	33.8	34.8	35.7	36.8	38.0	39.2	40.4	41.6	42.8	44.0	258
259	28.9	29.8	30.9	31.9	32.9	33.9	34.9	35.8	37.0	38.1	39.3	40.5	41.8	43.0	44.2	259
260	29.0	29.9	31.0	32.0	33.0	34.0	35.0	35.9	37.1	38.3	39.5	40.7	41.9	43.1	44.4	260

表 5. 4. 6(12) 発射角早見表 (目標地点までの斜距離・見通し角がわかる場合)

斜距離 (m)	見 通 し 角 (°)														斜距離 (m)
	31.0	32.0	33.0	34.0	35.0	36.0	37.0	38.0	39.0	40.0	41.0	42.0	43.0	44.0	
201	39.3	40.4	41.5	42.6	43.7	44.8									201
202	39.3	40.5	41.5	42.7	43.8	44.9									202
203	39.4	40.5	41.6	42.8	43.9	45.0									203
204	39.5	40.6	41.7	42.9	44.0										204
205	39.6	40.7	41.8	42.9	44.1										205
206	39.7	40.8	41.9	43.0	44.1										206
207	39.7	40.9	42.0	43.1	44.2										207
208	39.8	40.9	42.1	43.2	44.3										208
209	39.9	41.0	42.2	43.3	44.4										209
210	40.0	41.1	42.2	43.3	44.5										210
211	40.1	41.2	42.3	43.4	44.6										211
212	40.2	41.3	42.4	43.5	44.7										212
213	40.2	41.4	42.5	43.6	44.8										213
214	40.3	41.5	42.6	43.7	44.9										214
215	40.4	41.5	42.7	43.8	45.0										215
216	40.5	41.6	42.8	43.9											216
217	40.6	41.7	42.9	44.0											217
218	40.7	41.8	43.0	44.1											218
219	40.8	41.9	43.1	44.2											219
220	40.9	42.0	43.1	44.3											220
221	41.0	42.1	43.2	44.4											221
222	41.1	42.2	43.3	44.5											222
223	41.1	42.3	43.4	44.6											223
224	41.2	42.4	43.5	44.7											224
225	41.3	42.5	43.6	44.8											225
226	41.4	42.6	43.7	44.9											226
227	41.5	42.7	43.8	45.0											227
228	41.6	42.8	43.9												228
229	41.7	42.9	44.0												229
230	41.8	43.0	44.1												230
231	41.9	43.1	44.2												231
232	42.0	43.2	44.4												232
233	42.1	43.3	44.5												233
234	42.2	43.4	44.6												234
235	42.3	43.5	44.7												235
236	42.5	43.6	44.8												236
237	42.6	43.7	44.9												237
238	42.7	43.9													238
239	42.8	44.0													239
240	42.9	44.1													240
241	43.0	44.2													241
242	43.2	44.3													242
243	43.3	44.5													243
244	43.4	44.6													244
245	43.5	44.7													245
246	43.6	44.8													246
247	43.8	45.0													247
248	43.9														248
249	44.0														249
250	44.2														250
251	44.3														251
252	44.4														252
253	44.6														253
254	44.7														254
255	44.8														255
256	45.0														256
257															257
258															258
259															259
260															260

表 5. 4. 6(13) 発射角早見表 (目標地点までの斜距離・見通し角がわかる場合)

斜距離 (m)	見 通 し 角 (°)															斜距離 (m)	
	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0		15.0
261	12.7	14.0	15.0	16.1	17.1	18.1	19.1	20.1	21.2	22.2	23.2	24.2	25.2	26.2	27.2	28.1	261
262	12.8	14.1	15.1	16.2	17.1	18.1	19.2	20.2	21.2	22.3	23.3	24.3	25.3	26.3	27.3	28.2	262
263	12.9	14.1	15.2	16.3	17.2	18.2	19.2	20.2	21.3	22.4	23.4	24.4	25.4	26.4	27.3	28.3	263
264	13.0	14.2	15.3	16.3	17.3	18.3	19.3	20.3	21.4	22.5	23.5	24.5	25.5	26.5	27.4	28.4	264
265	13.1	14.3	15.4	16.4	17.4	18.4	19.4	20.4	21.5	22.6	23.6	24.6	25.6	26.6	27.5	28.5	265
266	13.2	14.4	15.4	16.5	17.5	18.5	19.5	20.5	21.6	22.7	23.7	24.7	25.7	26.7	27.6	28.6	266
267	13.3	14.4	15.5	16.6	17.5	18.6	19.6	20.6	21.7	22.8	23.7	24.8	25.8	26.8	27.7	28.7	267
268	13.4	14.5	15.6	16.7	17.6	18.6	19.7	20.7	21.8	22.8	23.8	24.9	25.9	26.9	27.8	28.8	268
269	13.5	14.6	15.7	16.7	17.7	18.7	19.8	20.8	21.9	22.9	23.9	25.0	26.0	27.0	27.9	28.9	269
270	13.6	14.7	15.8	16.8	17.8	18.8	19.8	20.9	22.0	23.0	24.0	25.1	26.1	27.1	28.0	29.0	270
271	13.6	14.8	15.8	16.9	17.9	18.9	19.9	21.0	22.1	23.1	24.1	25.2	26.2	27.2	28.1	29.1	271
272	13.7	14.8	15.9	17.0	18.0	19.0	20.0	21.1	22.2	23.2	24.2	25.3	26.3	27.2	28.2	29.2	272
273	13.8	14.9	16.0	17.1	18.0	19.1	20.1	21.2	22.3	23.3	24.3	25.4	26.4	27.3	28.3	29.3	273
274	13.9	15.0	16.1	17.2	18.1	19.1	20.2	21.3	22.4	23.4	24.4	25.5	26.5	27.4	28.4	29.4	274
275	14.0	15.1	16.2	17.2	18.2	19.2	20.3	21.4	22.5	23.5	24.5	25.6	26.6	27.5	28.5	29.5	275
276	14.1	15.2	16.3	17.3	18.3	19.3	20.4	21.5	22.6	23.6	24.6	25.7	26.7	27.6	28.6	29.6	276
277	14.2	15.2	16.3	17.4	18.4	19.4	20.5	21.6	22.7	23.7	24.7	25.8	26.8	27.7	28.7	29.7	277
278	14.3	15.3	16.4	17.5	18.5	19.5	20.6	21.7	22.8	23.8	24.8	25.9	26.9	27.8	28.8	29.8	278
279	14.3	15.4	16.5	17.6	18.6	19.6	20.7	21.8	22.8	23.9	24.9	26.0	27.0	27.9	28.9	29.9	279
280	14.4	15.5	16.6	17.7	18.7	19.7	20.8	21.9	22.9	24.0	25.1	26.1	27.1	28.0	29.0	30.0	280
281	14.5	15.6	16.7	17.7	18.7	19.7	20.9	22.0	23.0	24.1	25.2	26.2	27.2	28.1	29.1	30.1	281
282	14.6	15.7	16.8	17.8	18.8	19.8	21.0	22.1	23.1	24.2	25.3	26.3	27.3	28.2	29.2	30.2	282
283	14.7	15.8	16.9	17.9	18.9	19.9	21.1	22.2	23.2	24.3	25.4	26.4	27.4	28.3	29.3	30.4	283
284	14.8	15.9	16.9	18.0	19.0	20.0	21.2	22.3	23.3	24.4	25.5	26.5	27.5	28.5	29.4	30.5	284
285	14.8	15.9	17.0	18.1	19.1	20.1	21.3	22.4	23.4	24.5	25.6	26.6	27.6	28.6	29.6	30.6	285
286	14.9	16.0	17.1	18.2	19.2	20.2	21.4	22.5	23.5	24.6	25.7	26.7	27.7	28.7	29.7	30.7	286
287	15.0	16.1	17.2	18.2	19.3	20.3	21.5	22.6	23.6	24.7	25.8	26.8	27.8	28.8	29.8	30.9	287
288	15.1	16.2	17.3	18.3	19.3	20.4	21.6	22.7	23.7	24.8	25.9	26.9	27.9	28.9	29.9	31.0	288
289	15.2	16.3	17.3	18.4	19.4	20.5	21.7	22.8	23.8	24.9	26.1	27.0	28.0	29.0	30.0	31.1	289
290	15.3	16.4	17.4	18.5	19.5	20.6	21.8	22.9	23.9	25.1	26.2	27.1	28.1	29.1	30.1	31.3	290
291	15.4	16.4	17.5	18.6	19.6	20.7	21.9	23.0	24.0	25.2	26.3	27.2	28.2	29.2	30.3	31.4	291
292	15.4	16.5	17.6	18.7	19.7	20.8	22.0	23.1	24.2	25.3	26.4	27.3	28.4	29.4	30.4	31.5	292
293	15.5	16.6	17.7	18.8	19.8	20.9	22.1	23.2	24.3	25.4	26.5	27.5	28.5	29.5	30.5	31.7	293
294	15.6	16.7	17.8	18.9	19.9	21.0	22.2	23.3	24.4	25.5	26.6	27.6	28.6	29.6	30.7	31.8	294
295	15.7	16.8	17.9	19.0	20.0	21.1	22.3	23.4	24.5	25.7	26.7	27.7	28.7	29.7	30.8	31.9	295
296	15.8	16.9	18.0	19.1	20.1	21.3	22.4	23.5	24.6	25.8	26.8	27.8	28.8	29.8	30.9	32.1	296
297	15.9	17.0	18.1	19.1	20.1	21.4	22.5	23.6	24.7	25.9	26.9	27.9	28.9	29.9	31.1	32.2	297
298	16.0	17.0	18.1	19.2	20.2	21.5	22.6	23.7	24.8	26.0	27.0	28.0	29.0	30.1	31.2	32.4	298
299	16.0	17.1	18.2	19.3	20.3	21.6	22.7	23.8	25.0	26.1	27.1	28.1	29.2	30.2	31.4	32.5	299
300	16.1	17.2	18.3	19.4	20.4	21.7	22.8	23.9	25.1	26.2	27.2	28.2	29.3	30.4	31.5	32.6	300

表 5.4.6(14) 発射角早見表（目標地点までの斜距離・見通し角がわかる場合）

斜距離 (m)	見 通 し 角 (°)															斜距離 (m)
	16.0	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0	23.0	24.0	25.0	26.0	27.0	28.0	29.0	30.0	
261	29.1	30.0	31.1	32.1	33.1	34.1	35.1	36.0	37.2	38.4	39.6	40.8	42.0	43.2	44.5	261
262	29.1	30.1	31.2	32.2	33.2	34.2	35.2	36.2	37.3	38.5	39.7	41.0	42.2	43.4	44.7	262
263	29.2	30.2	31.3	32.3	33.3	34.3	35.3	36.3	37.5	38.6	39.9	41.1	42.3	43.5	44.8	263
264	29.3	30.3	31.4	32.4	33.4	34.4	35.4	36.4	37.6	38.9	40.0	41.2	42.5	43.7	45.0	264
265	29.4	30.4	31.5	32.5	33.5	34.5	35.5	36.5	37.7	39.0	40.1	41.4	42.6	43.9		265
266	29.5	30.6	31.6	32.6	33.6	34.6	35.6	36.7	37.9	39.1	40.3	41.5	42.8	44.0		266
267	29.6	30.7	31.7	32.7	33.7	34.7	35.7	36.8	38.0	39.2	40.4	41.7	42.9	44.2		267
268	29.7	30.8	31.8	32.8	33.8	34.8	35.8	36.9	38.1	39.3	40.6	41.8	43.1	44.4		268
269	29.8	30.9	31.9	33.0	34.0	34.9	35.9	37.1	38.3	39.5	40.7	42.0	43.3	44.5		269
270	29.9	31.0	32.0	33.1	34.1	35.0	36.0	37.2	38.4	39.6	40.9	42.1	43.4	44.7		270
271	30.0	31.1	32.2	33.2	34.2	35.2	36.1	37.3	38.6	39.8	41.0	42.3	43.6	44.9		271
272	30.1	31.2	32.3	33.3	34.3	35.3	36.3	37.5	38.7	40.0	41.2	42.5	43.7			272
273	30.3	31.4	32.4	33.4	34.4	35.4	36.4	37.6	38.9	40.1	41.4	42.6	43.9			273
274	30.4	31.5	32.5	33.5	34.5	35.5	36.6	37.8	39.0	40.3	41.5	42.8	44.1			274
275	30.5	31.6	32.6	33.6	34.6	35.6	36.7	37.9	39.2	40.4	41.7	43.0	44.3			275
276	30.6	31.7	32.7	33.7	34.7	35.7	36.9	38.1	39.3	40.6	41.9	43.2	44.5			276
277	30.7	31.8	32.8	33.8	34.8	35.8	37.0	38.2	39.5	40.7	42.0	43.3	44.7			277
278	30.8	31.9	33.0	34.0	35.0	35.9	37.2	38.4	39.6	40.9	42.2	43.5	44.9			278
279	31.0	32.1	33.1	34.1	35.1	36.1	37.3	38.5	39.8	41.1	42.4	43.7				279
280	31.1	32.2	33.2	34.2	35.2	36.2	37.4	38.7	40.0	41.3	42.6	43.9				280
281	31.2	32.3	33.3	34.3	35.3	36.4	37.6	38.9	40.1	41.4	42.8	44.1				281
282	31.3	32.4	33.4	34.4	35.4	36.5	37.8	39.0	40.3	41.6	43.0	44.3				282
283	31.4	32.5	33.5	34.5	35.5	36.7	38.0	39.2	40.5	41.8	43.2	44.5				283
284	31.6	32.7	33.7	34.7	35.7	36.8	38.1	39.4	40.7	42.0	43.4	44.7				284
285	31.7	32.8	33.8	34.8	35.8	37.0	38.2	39.6	40.9	42.2	43.6	44.9				285
286	31.8	32.9	33.9	34.9	35.9	37.2	38.4	39.7	41.1	42.4	43.8					286
287	32.0	33.0	34.0	35.1	36.1	37.3	38.6	39.9	41.3	42.6	44.0					287
288	32.1	33.1	34.2	35.2	36.2	37.5	38.8	40.1	41.4	42.8	44.2					288
289	32.2	33.3	34.3	35.3	36.4	37.7	39.0	40.3	41.6	43.0	44.4					289
290	32.4	33.4	34.4	35.4	36.5	37.8	39.2	40.5	41.9	43.2	44.7					290
291	32.5	33.5	34.5	35.6	36.7	38.0	39.3	40.7	42.1	43.5	44.9					291
292	32.6	33.7	34.7	35.7	36.9	38.2	39.5	40.9	42.3	43.7						292
293	32.7	33.8	34.8	35.8	37.1	38.4	39.7	41.1	42.5	43.9						293
294	32.9	33.9	34.9	36.0	37.3	38.6	39.9	41.3	42.7	44.2						294
295	33.0	34.0	35.1	36.1	37.4	38.8	40.1	41.5	42.9	44.5						295
296	33.1	34.2	35.2	36.3	37.6	39.0	40.4	41.8	43.2	44.7						296
297	33.3	34.3	35.4	36.5	37.8	39.2	40.6	42.0	43.4	45.0						297
298	33.4	34.4	35.5	36.7	38.0	39.4	40.8	42.2	43.7							298
299	33.5	34.6	35.6	36.9	38.2	39.6	41.0	42.5	44.0							299
300	33.7	34.8	35.8	37.1	38.4	39.8	41.2	42.7	44.3							300

5. 4. 2. 5. まとめ

本節の研究では、クロスボウ実用機によりターゲットを射出した場合の矢の軌道を推定することができた。射程距離 300m までについて、発射角 $0\sim45^\circ$ の範囲で軌道を推定できている。矢の推定軌道曲線を作成するとともに、目標地点までの水平・垂直距離がわかる場合や、斜距離・見通し角がわかる場合に、必要な発射角を求められる早見図を作成した。また、斜距離・見通し角から発射角を求められる早見表も併せて作成し、これらを用いることで、現地において精度よく計測用ターゲットを設置することが可能である。

これらの作成資料に基づくターゲット設置の適用範囲は、水平距離 $0\sim300\text{m}$ 、垂直距離 $-10\sim120\text{m}$ 程度であり、斜距離 $0\sim300\text{m}$ 、見通し角 $0\sim44^\circ$ である。発射角の範囲は $0\sim45^\circ$ で、 1° 刻みの曲線を求めてあり、エクセルの計算シート等を活用すれば、 0.1° 単位で発射角を設定することも可能である。

ただし、ここで求めた推定軌道曲線は理論的な計算式に基づくものではなく、実験結果から得られた軌跡を説明できる変数を設定して求めた経験的な曲線であるため、実験結果が得られていない範囲は、実際の軌道が推定曲線に対してずれる可能性がある。すなわち、 30° より大きい発射角の既知軌跡点はほとんどないため、比高の大きい斜面に向けて高角度に発射せざるを得ないような条件においては、150m 以内の近距離であっても命中精度は保証されない。この点については、今後射出結果を蓄積し、軌道曲線の見直しを図って精度を向上させることが望まれる。

なお、軌道計算式において用いている空気抵抗係数は、発射角によらず統一されるべき正確のものであるが、本節で検討した中では発射角に応じて変化させ軌道を表現した。このことは、ここで採用した軌道計算式は、矢の挙動に作用する諸条件の設定が不十分であることを示しており、結果として実験等による既知の軌跡点を持たない範囲における推定軌道曲線の信頼性を低下させている。今回、空気抵抗係数は、矢の細長い形状と、グライディング（滑空）による揚力発生あるいは高角度発射における失速が推定されることを考慮して、便宜上、水平成分と垂直成分に分けて設定したが、少なくとも射出直後の上昇時には、矢の移動方向に対しての空気抵抗を考えるべきであり、空気抵抗係数としては水平・垂直成分に分離するのではなく連動するものとして考える方が合理的である。また、射出直後は、軸回転運動が発生することもあり、速度低下に関して別項を用意する必要があるとも考えられる。これらを解決するには、実験等により発射後 2 秒程度以内の軌跡及び到達時間を多数把握し、解析することが求められるが、このことについては別の機会に委ねたい。

6. 現場計測

6.1. 計測フローと留意事項

計測フローチャートを図 6.1.1 に示す。

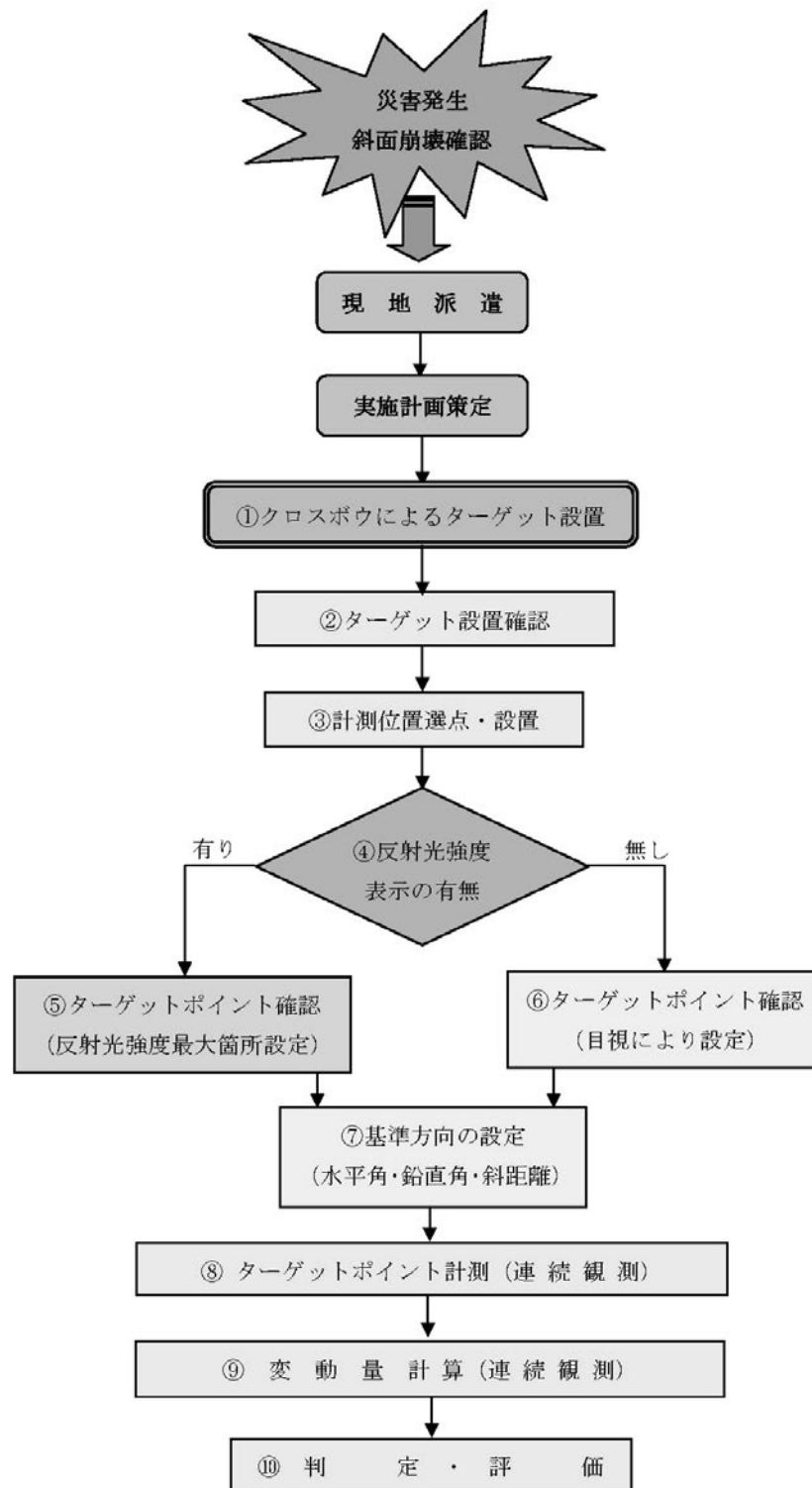


図 6.1.1 計測フロー図

各作業における留意事項を以下に整理する。なお、機器の組み立てや操作方法など、作業手順の詳細については、別途マニュアル¹⁾を参考のこと。

①クロスボウによるターゲット設置

斜面の計測位置を決定し、ターゲットとなるペイント弾をクロスボウにより投擲し、斜面中に計測用ターゲットを設置する。設置に関する留意事項は次のとおりである。

- ・ ターゲット発射位置は安全に作業が実施できる場所を選定する。また、早見図や早見表を用い、対象斜面へのターゲット設置が可能な距離・角度であることを事前に確認する。
- ・ ターゲット設置位置は、斜面変動観測点となることから、変動が初期に現れると想定される地点や、変動した場合に影響が大きい地点を対象とすることを原則とする。
- ・ ターゲット設置位置は、塗料が付着しやすくかつ流失しにくい岩盤が好ましい。
- ・ 生成されるターゲット径は 5cm 程度であり、計測位置から 100m 以上遠方になると視認が難しくなることから、できるだけ特定しやすい特徴的な地点に設置することが望ましい。
- ・ ターゲット設置面は、器械計測点から正対する位置が望ましい。
- ・ ターゲットの数量は崩落規模により異なるが、面的観測を目的とするため、5ヶ所以上設置する。
- ・ 設置作業を速やかに行うため、ターゲットの設置位置や設置順番は事前に検討しておき、着手前に作業員に周知する。また、現場では風等の影響により、照準通りに矢が的中しないことがある。このため、極力無駄矢を生じないように、ターゲットの設置順番は設置が簡単な地点（例えば手前側）から行い、軌道計算とのズレを早期に把握する。

②ターゲット設置確認

ターゲットが確実に設置されているか確認する。留意点は次のとおりである。

- ・ ターゲットが連続して数日間計測可能な位置であるかどうか確認する。設置地点が岩盤中の浮石にあたり地すべり変動に関係なく落下する可能性がある場合や、緊急対策により撤去される不安定岩塊等である場合などは、ターゲットとして不適である。
- ・ 設置されたターゲットが、できる限り 1 器械点から計測可能な位置であることを確認する。
- ・ 器械点とターゲット間の斜距離の変化により斜面の変動を把握することを原則とするため、想定される変動方向を考慮して、斜面変動を的確に把握できる地点に設置されているかを確認する。
- ・ ターゲットが設置された岩盤面が器械点からみて著しく傾いている場合、斜面変動を的確に把握できない可能性があることから、器械計測点からみて正対しているかどうか確

認する。

- ・ 適切なターゲットが不足する場合はさらにターゲットを設置する。

③計測位置選点・設置

器械設置点を選定し、器械を設置する。留意点は次のとおりである。

- ・ 器械設置点は、計測ターゲット全点を見通すことが可能な地点とする。
- ・ 計測距離は精度上、250m 程度までを目安とする。
- ・ 計測ターゲットと器械間の斜距離の変化が、斜面変動を直接的に表す地点に器械を配置することが理想である。
- ・ 上記事項に配慮すると、器械点は斜面に正対した位置になるのが一般的であるが、計測期間中の作業安全性が保証される位置・距離の確保が必要である。
- ・ 器械設置点は再現性を保つため、ポイント（鉋）を設置するか、あるいは杭を堅固に打設する。
- ・ 計測する際、三脚の位置が極力動かないよう脚杭を打設する。
- ・ 三脚は計測用三脚を使用し、確実に固定するとともに日照等による影響が小さくなるように工夫する。

④反射光強度表示の有無の確認

使用するノンプリズム型トータルステーションが、レーザ（プリズム）距離計測の際、反射光強度が表示される器械であるかどうかを確認する。

反射光強度の表示が有る → ⑤へ進む

反射光強度の表示が無い → ⑥へ進む

⑤ターゲットポイント確認（反射光強度最大箇所設定）

計測位置に器械を設置し、計測ターゲットにおける測定ポイントをトータルステーションにより確認する。測定ポイントとしては、反射光強度が最大となる箇所に設定する。測定ポイントの選出手順は次のとおりである。

- ・ スコープにより計測ターゲットの中心点付近を捉え、反射強度を計測する。
- ・ 測点ポイントを水平・垂直方向にずらしながら、最大反射強度で計測できるポイントの位置を選出する。
- ・ 反射光強度が最大のポイントを計測ポイントの初期値として設定する。
- ・ 同等の反射光強度のポイントが複数ある場合は、目印を設定しやすい方を選定する。

⑥ターゲットポイント確認（目視により設定）

計測位置に器械を設置し、計測ターゲットにおける測定ポイントをトータルステーショ

ンにより確認する。測定ポイントとしては、特徴的な箇所に設定する。測定ポイントの選出手順は次のとおりである。

- ・ スコープにより計測ターゲットの中心点付近を捉える。
- ・ 塗料が確認できたら、ノンプリズムモードで複数回計測し、安定した数値が計測されるか確認する。
- ・ 測定ポイント周辺についても水平・垂直方向にずらして計測し、選定ポイントがモニタリング用として最適であるか確認する。

⑦基準方向の設定（水平角・鉛直角・斜距離）

- ・ 連続計測中に器械が移動した場合の再現性を確保するため、初期値として設定した計測ポイントの基準方向となる基準点（バック点）と目標物を設定する。
- ・ 基準点（バック点）と目標物を基準に、各計測ポイントの水平角・鉛直角・斜距離を計測する。

⑧ターゲットポイント計測（連続観測）

- ・ 初期値として設定した計測ポイントの斜距離を計測する。
- ・ 計測は、時系列の観測データが重要となるため、観測日時を記録する。
- ・ 計測の際は、距離観測に必要な気象要素（天候・風向・風力・気温・気圧）を観測し、距離補正を行う。必要に応じ観測者・手簿者等を記録する。
- ・ 計測時間（計測間隔）は、関係機関と協議の上決定する。

⑨変動量計算（連続観測）

- ・ 計測記録を基に、変動量を計算する。
- ・ 計算結果は、変動状況が判断し易いようにグラフ化する。

⑩判定・評価

- ・ 変動量計算結果を基に、関係機関が協議し判定・評価する。

6.2. 現場計測事例

6.2.1 岡山県総社市下倉地区

(1) 現場概要

現場は、岡山県総社市下倉地内にある採石場において発生した地すべりである（写真 6.2.1）。

当地では、平成 13 年 3 月 12 日に地すべりが発生し、3 名が生き埋めとなった。内 1 名は平成 19 年 10 月現在も不明となっている。

本現場では、行方不明者の搜索作業として末端斜面の一部で掘削が計画されたため（写真 6.2.1）、その安全管理としてトータルステーションによる監視が必要であった。



写真 6.2.1 下倉地区全景（写真手前は高梁川）

当地区では、岩盤急崖部や転石を対象に、写真6.2.2に示す14地点においてターゲットを設置した。ターゲット設置地点とターゲット発射地点（観測点）の斜距離は110～180mである。

対象斜面の地質は、古生代二畳紀の舞鶴層群に属する泥岩、酸性凝灰岩、砂岩泥岩互層から構成されている。これらは、花崗閃緑岩の貫入に伴う接触変成作用によって若干ホルンフェルス化しており、硬質である。



写真 6. 2. 2 下倉地区計測地点

(2) 計測結果

トータルステーションによる計測結果を図 6.2.1 (1) ～ (5) に示す。計測は、平成 19 年 4 月 15 日～平成 19 年 4 月 30 日間にわたって行われた。なお、グラフ内に示す 2 本の赤色実線は、機器誤差を考慮した管理基準値である。岩塊の掘削等、現場における土工の作業量が少なかったこともあり、累積性のある変位は観測されなかった。

各計測地点における計測値のバラツキを表 6.2.1 に示す。計測地点ごとに差はあるが、計測値のバラツキは 2～7mm となり、管理基準値を超える計測値の変化はみられなかった。ここでは、ターゲットを設置することで、計測誤差が少なくなったと考えられる。

表 6.2.1 下倉地区計測結果一覧

計測地点	斜距離(m)	計測回数	計測値のバラツキ (mm)
1	168	14	6
2	169	10	2
3	173	10	5
4	144	14	7
5	143	10	5
6	139	10	4
7	155	14	5
8	116	14	7
9	116	10	3
10	116	10	3
11	128	10	2
12	157	10	3
13	170	14	5
14	177	14	5

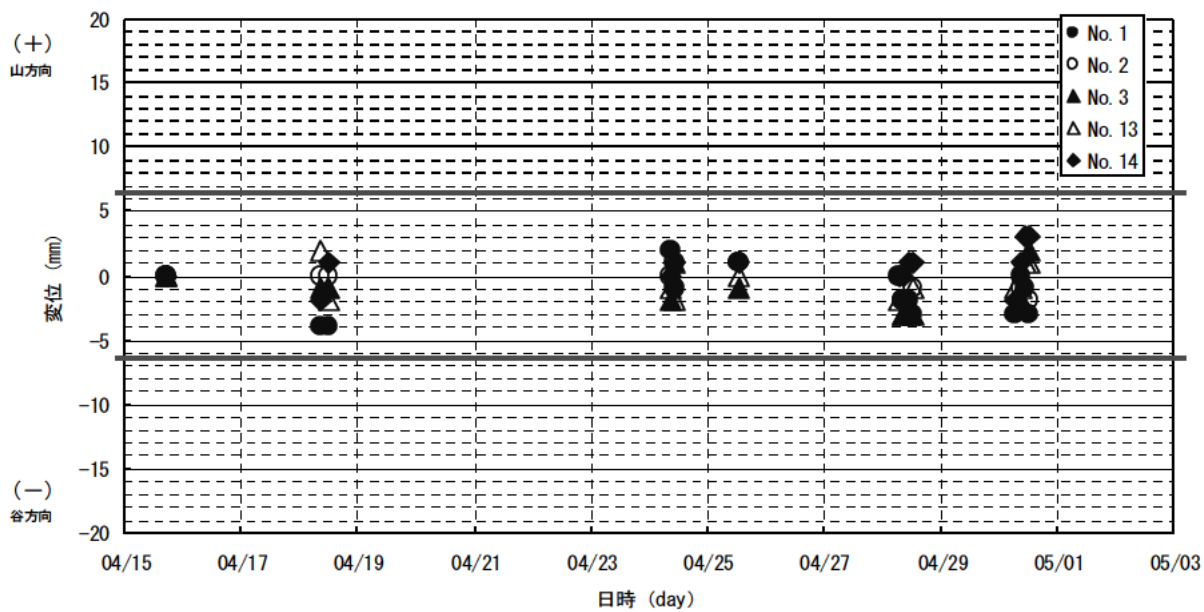


図 6.2.1 下倉地区計測結果 (1)

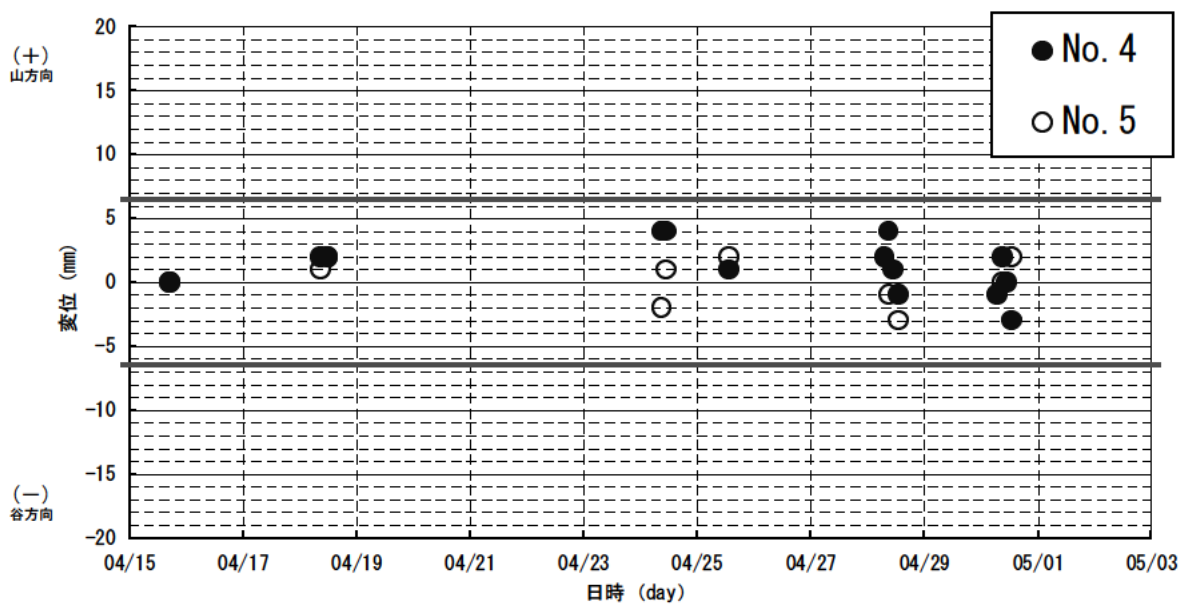


図 6.2.1 下倉地区計測結果 (2)

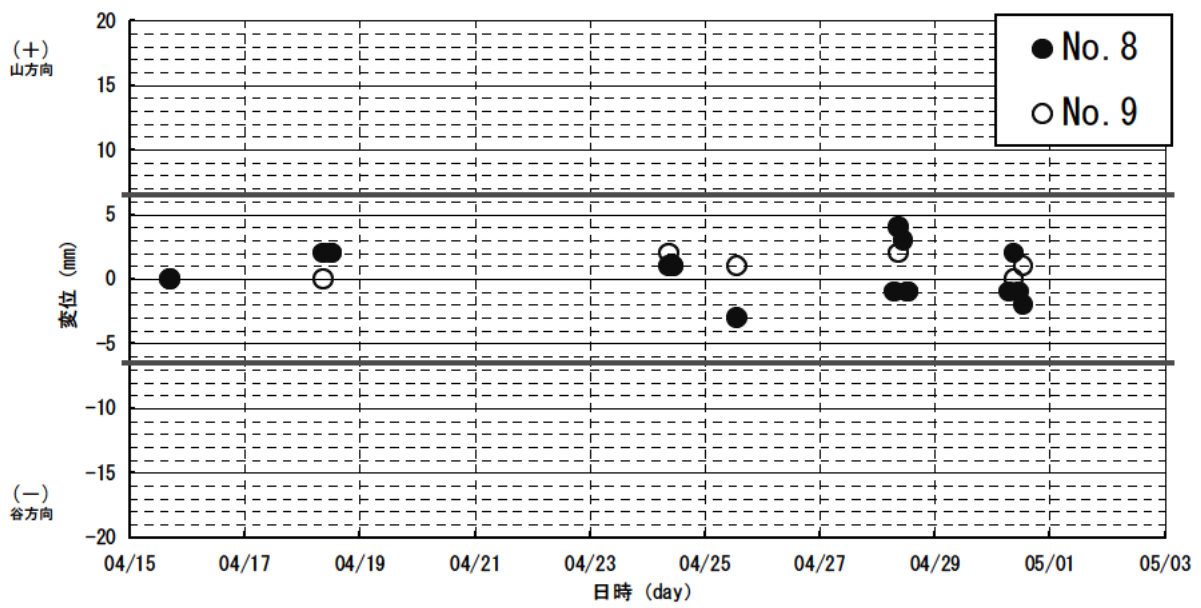


図 6.2.1 下倉地区計測結果 (3)

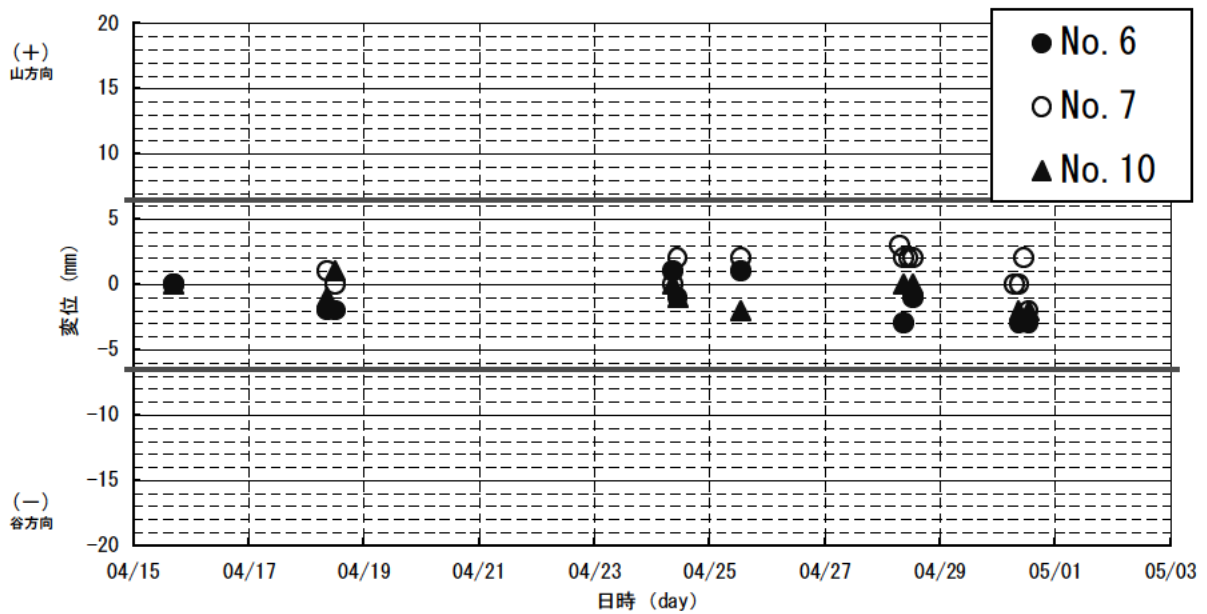


図 6.2.1 下倉地区計測結果 (4)

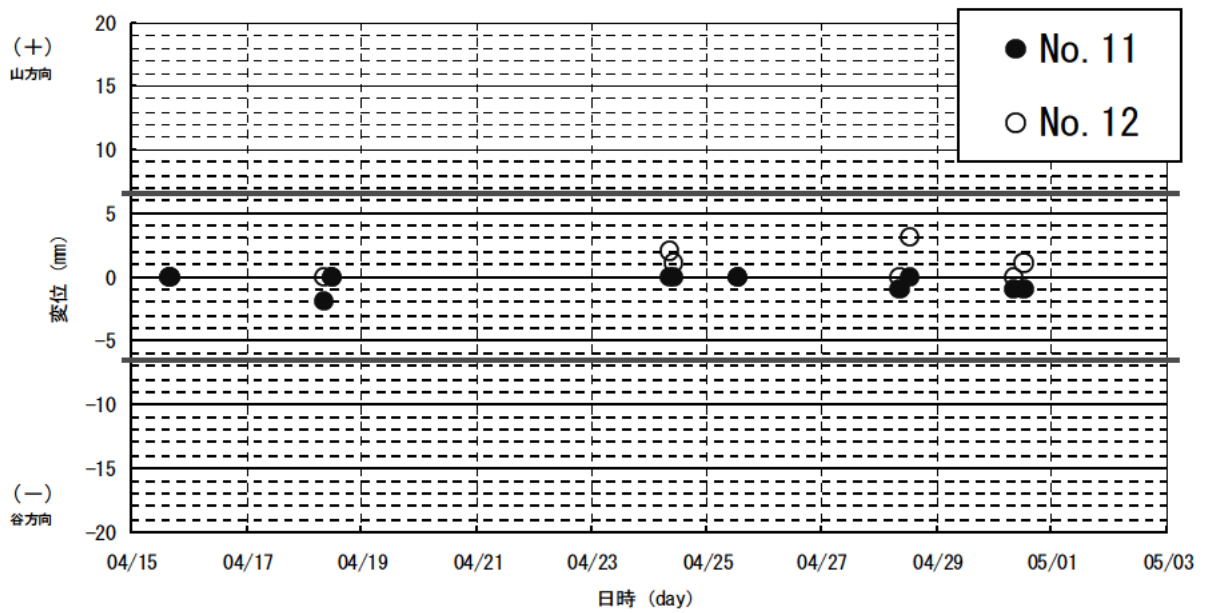


図 6.2.1 下倉地区計測結果 (5)

なお、現地に設置されたターゲットについて、末端に位置する No. 4、No. 5、No. 8、No. 9 の 4 地点を対象に、設置 73 日後の状態を目視により確認した。写真 6.2.3 (1) ～ (2) に、計測地点 5 におけるターゲットの付着状況を示す。この結果、2 ヶ月以上経った後でもペイントは流失しておらず、ターゲットとしての機能が損なわれていないことが確認された。



写真 6.2.3 (1) ターゲット設置直後の状況（平成 19 年 4 月 15 日）



写真 6.2.3 (2) 設置 73 日後の状況（平成 19 年 6 月 27 日）

6.2.2 石川県輪島市曾々木（八世乃洞門）

(1) 現場概要

現場は、日本海に面した石川県輪島市曾々木地区であり、国道 249 号八世乃洞門上部の岩盤壁面を計測対象とした。

当該斜面では、平成 19 年 3 月 25 日に発生した能登半島地震により岩盤崩落が発生し、八世乃洞門が被災した。その後、ボックス型ロックシェッドの施工により、平成 19 年 7 月 7 日から片側交互通行が可能となったが、通行可能な時間帯は 5～20 時であり、また、24 時間雨量が 70mm を超えた場合や震度 4 以上の地震が発生した場合、落石や岩盤崩落の前兆現象が確認された場合には、通行止めの処置が取られる状況下にある（平成 19 年 9 月現在）。

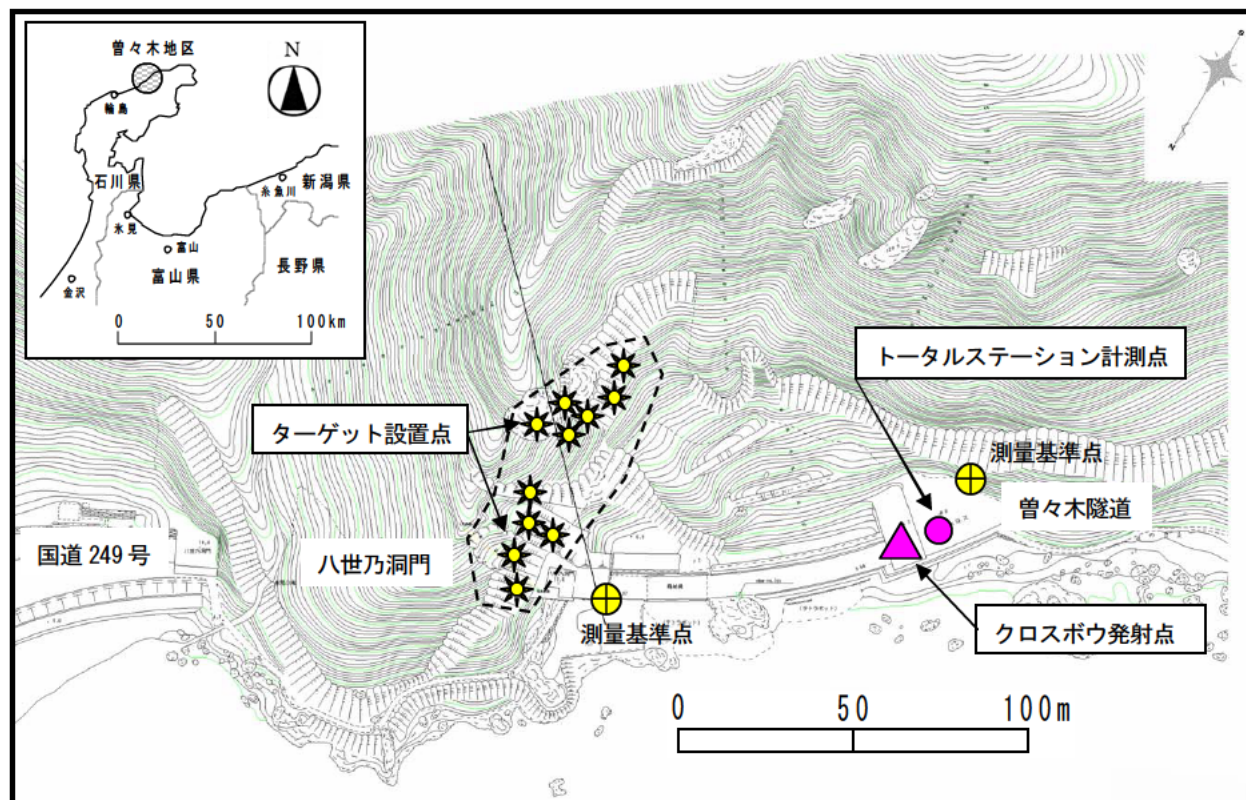


図 6.2.2 曾々木地区平面図

計測対象斜面は、能登地震での岩盤崩落部を含む斜面であり、切り立った岩盤からなる急崖状の地形である。

曾々木地区の地質は、新第三紀の栗蔵凝灰岩層が分布している。

<栗蔵凝灰岩層・岩倉流紋岩>

灰白色の軽石凝灰岩からなる数枚の水中共砕流堆積物である。輪島市東部の岩倉山には、東西1.8km・南北約2kmの範囲に流紋岩（岩倉山流紋岩）が挟まれ、斑晶として黒雲母・石英・斜長石を含む。

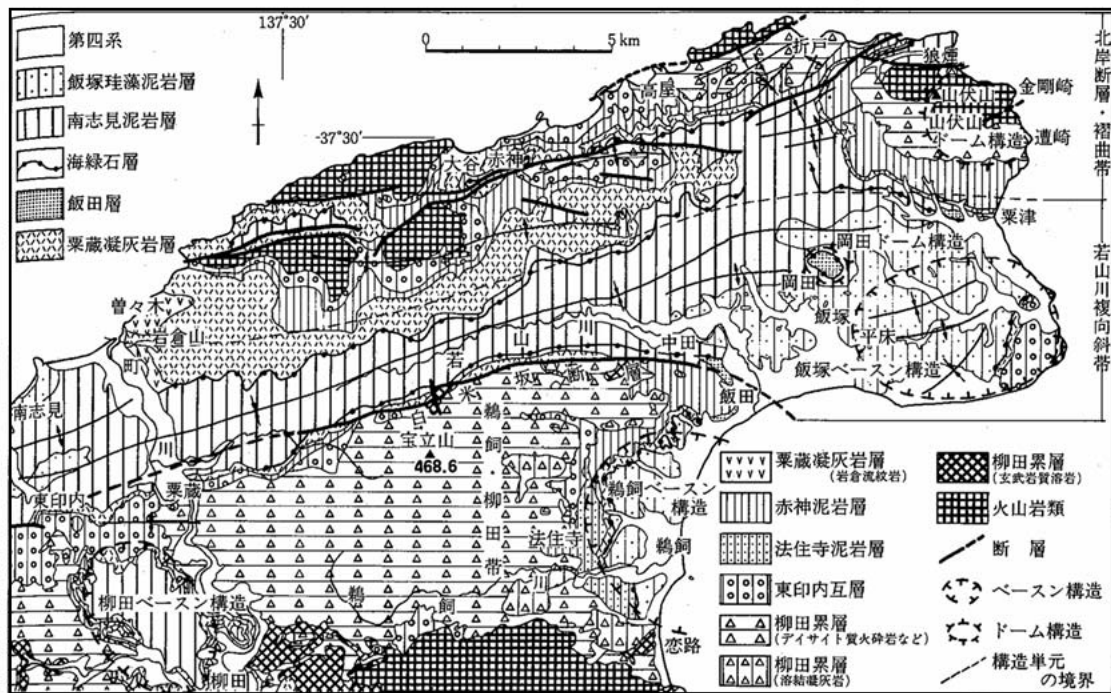


図4.4 能登半島北東部地域の地質図(石田, 1959英; 粕野, 1965をもとに粕野・稲継編図)

図 6.2.3 周辺地質図²⁾

(2) ターゲットの設置

ターゲットは、写真 6.2.4 に示す 11 箇所を設置した。当初、写真 6.2.4 破線円内の箇所においてもターゲット設置が予定されていたが、ここにはロープネットとロックネットが 2 重に設けられている上、崖面が発射点に対して斜め方向であったため、設置が困難と判断した（設置を 2 回試みたが、矢が岩盤に達した形跡が確認できず断念した）。

なお、計測地点 3、10 にもロックネットが設置されていたが、発射点に対してほぼ正面を向いた崖面であったため、それぞれ 1 回の発射でペイントが付着した。



写真 6.2.4 計測地点全景（計測地点番号 2、4、5、6、7 は欠番）

表 6.2.2 ターゲット設置結果一覧

計測地点	斜距離(m)	発射回数	複数回発射の理由
1	137	3	位置の外れ
3	127	1	
8	119	3	位置の外れ、ペイント付着せず
9	117	3	ペイント付着せず
10	117	1	
11	116	2	ペイント付着せず
12	139	2	位置の外れ
13	129	3	位置の外れ、ペイント付着せず
14	125	1	
15	121	1	
16	116	2	位置の外れ

複数回の発射を要した理由として、矢が目標位置から外れたケースや、目標位置付近に命中したもののペイントが飛散・付着しなかったケースがあった。位置の外れは目視で概ね 2.0m 程度以内であった。ターゲットが外れた原因の特定は困難であるが、仰角設定など発射作業に関わる人的誤差や下から吹き上げる形で向い風が吹いていたため、風の影響を受けたことが推測される。

なお、1 箇所での最大発射回数は 3 回であり、1 箇所あたりの平均発射回数は 2 回であった。

写真 6.2.5 (1) ～ (3) に、各計測地点におけるターゲットの設置状況を示す。

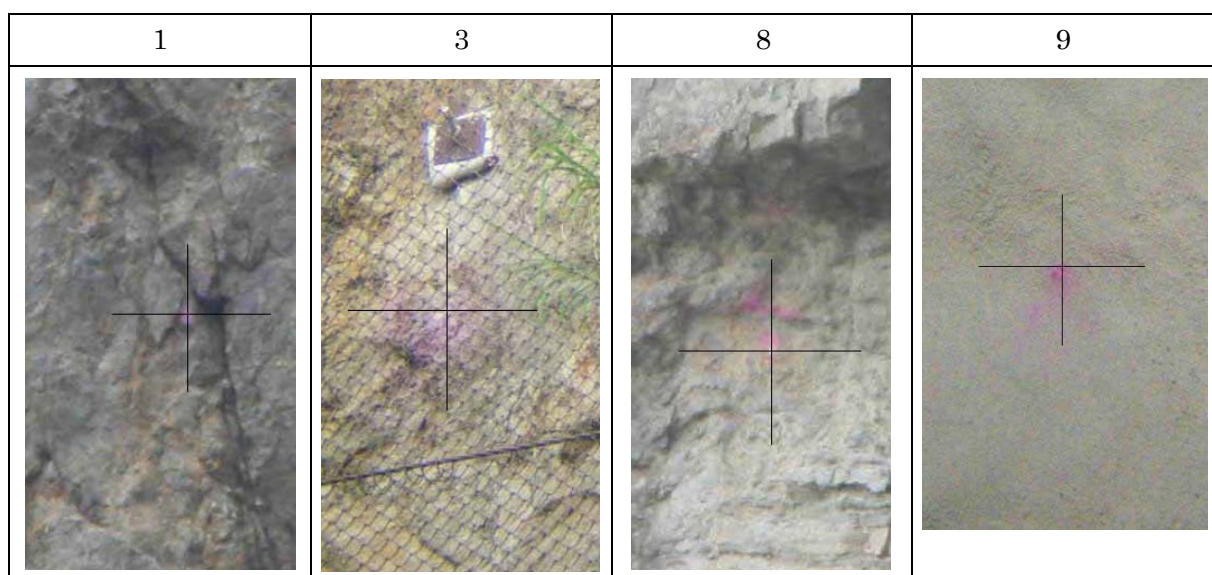


写真 6.2.5(1) ターゲット設置状況

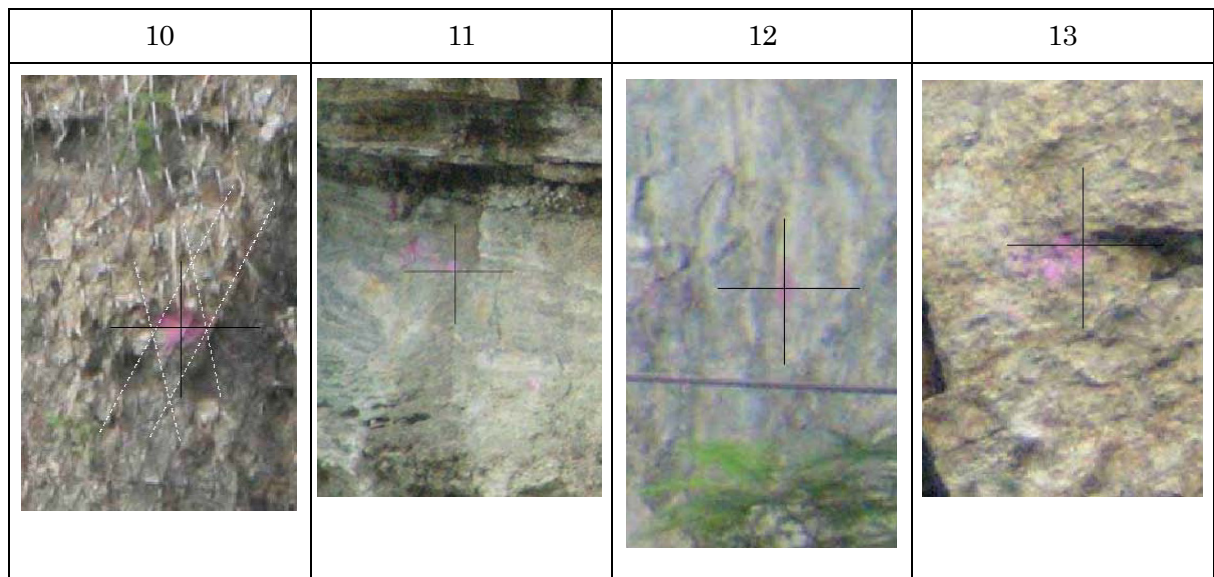


写真 6. 2. 5 (2) ターゲット設置状況

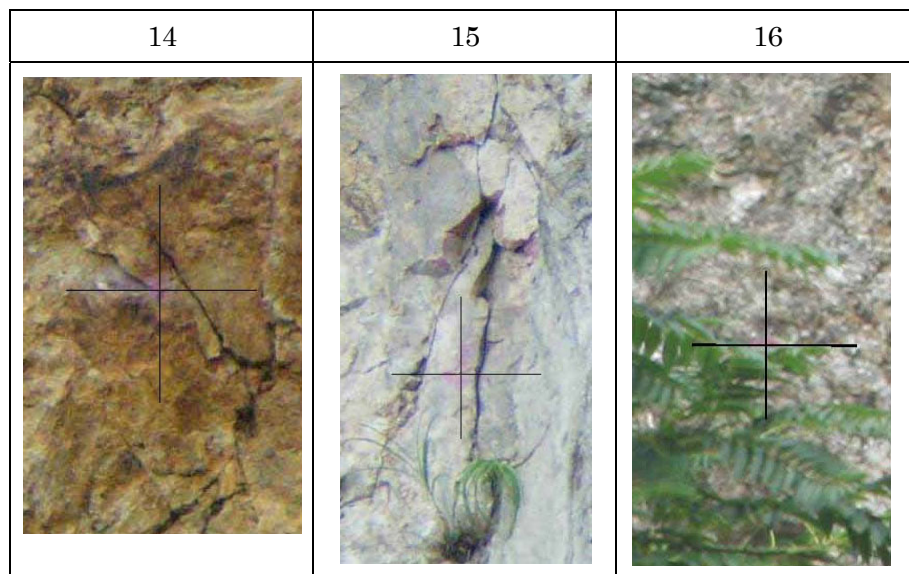


写真 6. 2. 5 (3) ターゲット設置状況

(3) 計測結果

計測は、ターゲットの有効性や視準方法による精度の変化を把握するため、以下の要領で行った。

1) ターゲットの視認方法による計測精度の違いの検証

<計測方法①>

ターゲットを目印に、トータルステーションの視準ポイントを固定した上で、計測を行う。

<計測方法②>

ターゲットを目印にするが、計測ポイントは詳細に決めず、計測毎にアバウトに視認。

<計測方法③>

ターゲットの視認は行わず、反射強度表示を頼りに計測ポイントを設定。

2) ターゲット有り、反射シート有り、ターゲット無しの3パターンにおける計測精度の検証

<計測方法①>

ターゲットを目印に、トータルステーションの視準ポイントを固定した上で、計測を行う。

<計測方法②>

反射シートを目印に、トータルステーションの視準ポイントを固定した上で、計測を行う。

<計測方法③>

ターゲットの無い岩盤表面を対象に視準ポイントを固定し、計測を行う。

計測機器は、ソキア社製トータルステーション SET230R3 (2 級 A) を使用した。本現場の計測距離 (110m~140m の範囲) における計測精度は $\pm (3+2\text{ppm} \times D)$ mm であるため、 $\pm 3.2 \sim 3.3\text{mm}$ となる。

1) ターゲットの視認方法による計測精度の違い

各計測地点において、前述①～③の計測をそれぞれ2回行った。2回目の計測値と1回目の計測値の差を図6.2.4に整理した。

計測方法①のトータルステーションの視準ポイントを固定した場合には、計測地点11、16を除き計測値の差は $\pm 0.2 \sim 3.0 \text{ mm}$ となった。なお、計測地点11は 4.2 mm 、16は 10.4 mm の差となった。計測地点16は枝葉の陰になっていたため、誤差が大きくなった可能性がある。

計測方法②では、11地点中7地点で計測値の差が $\pm 3.0 \text{ mm}$ 以上となった。また、7点の内5点は $\pm 10 \text{ mm}$ 以上の差であり、計測地点12、16では 40 mm 以上の差となった。

計測方法③の反射強度表示を頼りに計測ポイントを設定した場合、11点中9点で $\pm 3.0 \text{ mm}$ 以上の差が生じ、内4点で $\pm 10 \text{ mm}$ 以上の差となった。

上記の計測結果より、ターゲット視準ポイントを固定すると計測誤差が小さくなる傾向が確認された。

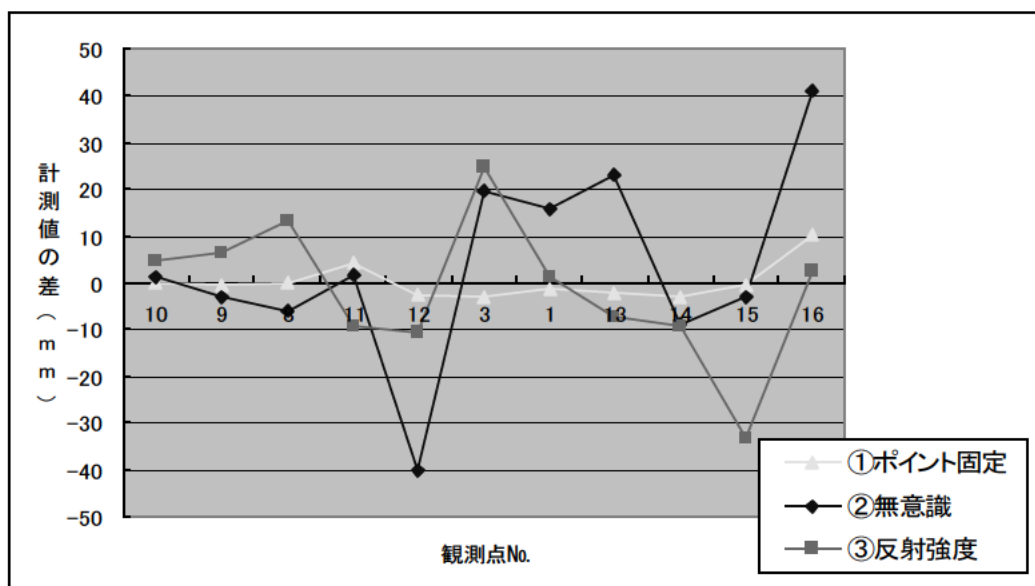


図 6.2.4 ターゲット視認方法による計測精度の変化（数字は計測地点番号）

2) ターゲット有り、反射シート有り、ターゲット無し の 3 パターンにおける計測精度の検証

計測地点 13 付近（写真 6.2.6 参照）において、ターゲット、反射シート、岩肌を対象にそれぞれ 5 回計測を行い、それぞれ計測値のバラツキを確認した。計測結果を図 6.2.5 に示す。

計測方法①は、ターゲットを使用した計測であり、初期値からの変化量は $-3.2 \sim +1.2\text{mm}$ 、計測値のバラツキは最大 4.4mm （4 回目と 5 回目の計測値の差が最大）となった。

計測方法②は、現場に設置されている 2 箇所の反射シートを対象に計測を行ったものである。反射シート J における初期値からの変化量は $+0.6 \sim +1.2\text{mm}$ であり、計測値のバラツキは最大 1.2mm となった。反射シート K における初期値からの変化量は $-0.4 \sim +0.2\text{mm}$ であり、計測値のバラツキは最大 0.6mm であった。

計測方法③は、ターゲットや反射シートを使用せず、岩肌を計測したものであり、初期値からの変化量は $-1.0 \sim -6.8\text{mm}$ 、計測値のバラツキは最大 6.8mm となった。

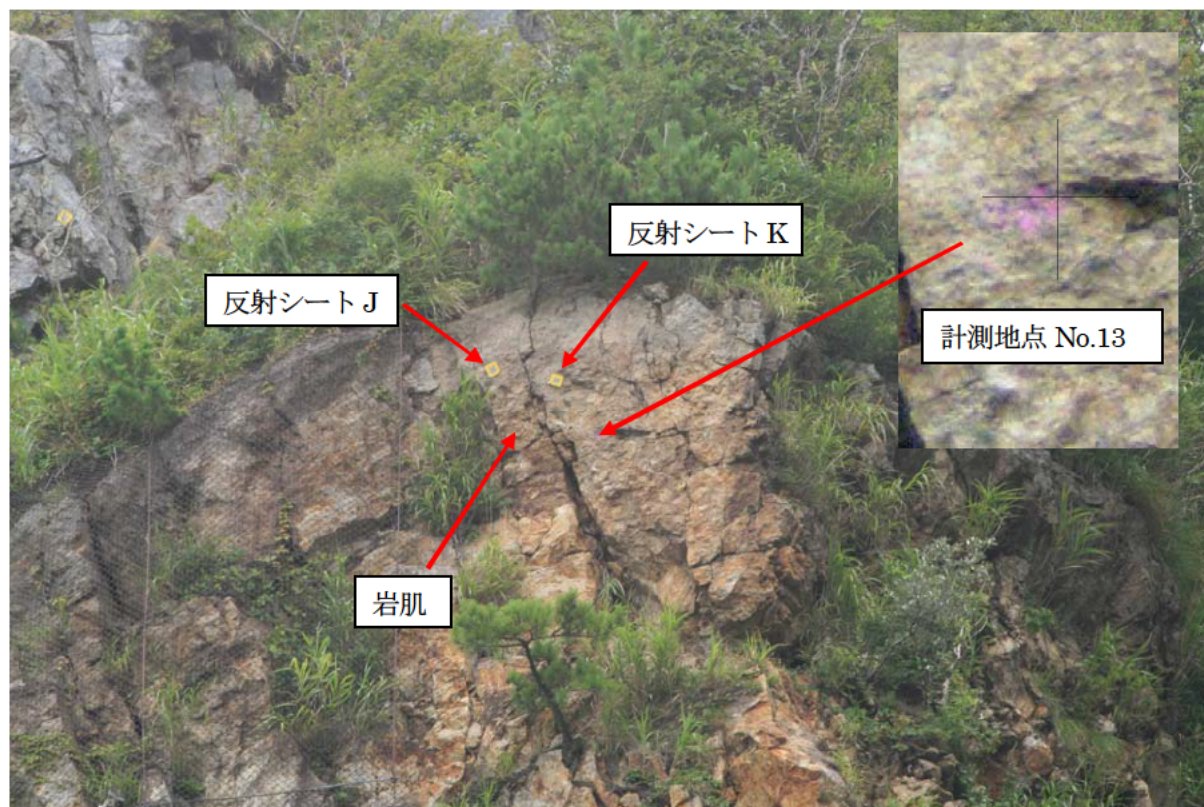


写真 6.2.6 計測地点 No. 13 付近の様子

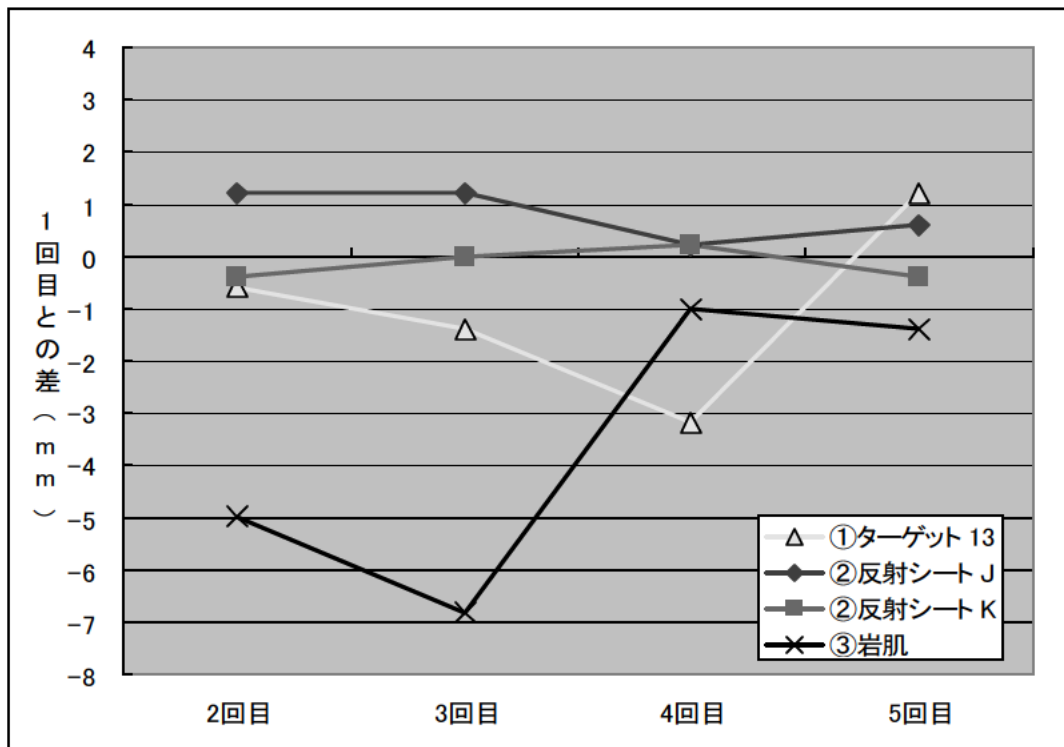


図 6.2.5 ターゲットの種類による計測精度の変化

(4) 計測結果のまとめ

- ① ターゲットを設置することで、計測誤差が低減されることが明らかとなった。また、ターゲットの視準に際しては、詳細ポイントを固定することでさらに誤差が低減する結果が得られた。
- ② 反射強度を頼りに計測ポイントを設定した場合には、30mm以上の誤差が生じることがある。このため、夜間計測の際には斜面をライトアップするなど、ターゲットを視認できるような処置が望まれる。斜面の視認ができない場合には、計測地点を1点に絞り、トータルステーションを固定して連続計測することも考えられる（この場合、トータルステーションを複数台準備することが最も望ましい）。

<参考文献>

- 1) 独立行政法人土木研究所：地すべり地末端の崩壊斜面における地盤変位の計測手法マニュアル，土木研究所資料，第4072号，59p，2007
- 2) 共立出版：日本の地質5 中部地方Ⅱ，1988

7. まとめ

本共同研究は、崩壊斜面直下における人命救助、崩落土砂の除去作業、地すべり調査等の作業の安全確保に資するため、危険な斜面に立入らずに遠隔から速やかに地盤変位を監視する計測技術の開発を行ったものである。

以下に、本研究で得られた成果をまとめる。

(1) 地すべり末端の崩壊地の特徴

収集した地すべり末端の崩壊事例において、斜面の9割以上が河川や海に面しており、遠隔計測で必要になる水平距離はほとんどが100m以上であった。また、崩落土砂、滑落面を構成する地質に一定の傾向はなく、多種多様である。このことから、ターゲットの設置、観測ともに100m以上の遠隔地から実施しなければならないことが確認された。

(2) 地すべり末端の崩壊地での観測事例

ノンプリズム型のトータルステーションによる観測は、遠隔地から実施できる利点があるが、観測事例において機器の精度を上回るバラツキが存在することが確認された。このバラツキは、複数の観測点を繰り返し計測する中で、同一点での計測が実施できていないことが原因と考えられた。そのため、観測における目印としてターゲットが必要であるとの結論に至った。

(3) 観測手法の検討

遠隔から一定の精度を有し、緊急時に速やかに入手できる機器としてトータルステーションが最適と考えた。

トータルステーションの測距には、光波を用いる方法与レーザーを用いる方法があり、一般に光波の方が精度が良い。しかしながら、光波は100m先でのスポット径が直径150mm以上となり、ターゲットも直径150mm以上のものが必要となる。このようなターゲットを遠隔から設置又は形成することは困難である。一方、レーザーの場合は100m先で直径40mm程度である。このようなことから、精度は光波より1mm程度悪くなるが、レーザーを用いて計測するものとした。また、生成するターゲットの直径は40～65mm程度とした。

(4) ターゲットの開発と改良

上記(1)～(3)より、100m先の斜面において、レーザー光を十分反射し、直径40～65mm程度のターゲットを生成する手法を開発した。開発した手法は、反射剤となるガラスビーズを混入したペイントをガラスカプセルに封入し、斜面に投擲する方法である。投擲されたペイントカプセルは斜面上で破裂、付着し、円形のターゲットを生成する。

また、一度生成されたターゲットは、1MPa(≒10kgf)程度の水圧を散水しても剥離等は認められず、

降雨等にも十分耐えられることを確認した。

さらに、ペイントカプセルは空気抵抗を低減できる形状に改良するとともに、ペイント色は当初の白色から、視認性が高く反射率の高いピンク色に変更した。

ターゲットの反射強度は周辺斜面よりも大きいため、反射強度の表示機能を有するトータルステーションを使用すれば計測ポイントの設定が容易となり、計測値のバラツキが低減できるとともに、1 回あたりの計測時間も短縮できるものと考えられる。また、反射強度が高まることで、ノンプリズム型トータルステーションのカタログスペックに示されている距離よりも長距離での計測が可能となることが実験により確認できた。

(5) ターゲットの遠隔設置手法の開発

ターゲットを遠隔から設置する手法として、クロスボウを用いた設置手法を開発した。クロスボウは、法的な規制や資格などの制約がなく、18 歳以上であれば誰でも使用することが可能であり、数回の試射によって一定の命中精度が確保できる。特殊な技能や資格が不要であるため、緊急時においても素早く高精度にターゲットを設置できるという利点がある。

本共同研究では、ターゲットの命中精度を高めるため、発射時の水平角と仰角を制御することができる発射架台を試作し、その性能を確認した。この結果、風速 5m 程度までは、100m 先において ± 40 cm 程度の精度でターゲットを設置できることが確認できた。また、ターゲットの軌道推定式を作成したことによって、射程距離 30～120m においては、概ね発射仰角を設定できるようになった。そこからさらに、300m までの距離に対応するため、射程距離の長いクロスボウへの変更及び発射架台の改良を行った。それに伴い、軌道推定式の修正と現場発射実験による確認を行い、発射仰角早見図及び早見表を作成した。

(6) 現場適用事例

岡山県総社市下倉地区並びに石川県輪島市曾々木地区において、現場計測を実施した。

ターゲットを設置することで、トータルステーションによる計測誤差が低減されることが明らかとなった。また、ターゲットの視準に際しては、詳細ポイントを固定することでさらに誤差が低減する結果が得られた。

その一方で、反射強度を頼りに計測ポイントを設定した場合には、30mm 以上の誤差が生じることが明らかとなったため、夜間計測の際には斜面をライトアップするなど、ターゲットを視認できるような処置が望まれる。斜面の視認ができない場合には、計測地点を 1 点に絞り、トータルステーションを固定して連続計測することも考えられる。

なお、現地に設置されたターゲットについては、2 ヶ月以上経った後でもペイントは流失しておらず、ターゲットとしての機能が損なわれていないことが確認された。このことから、2 ヶ月程度を目安とした斜面監視に対しては適用可能と判断でき、本計測手法は災害時の応急対策工事に有用であると考えられる。

以上のことから、本研究で開発した計測手法は、危険な斜面に立入らずに遠隔から速やかに地盤変位を監視できるものと考えられる。

今後は現場適用事例を増やし、課題の抽出及び改善を図る必要があると考えられる。

謝辞

本共同研究を実施するにあたり、国土交通省摺上川ダム管理所の関係各位には、摺上川ダムでのターゲット発射実験に関して便宜を図っていただいた。また、東横山地すべりにおいては岐阜県揖斐土木事務所の関係各位に便宜を図っていただいた。

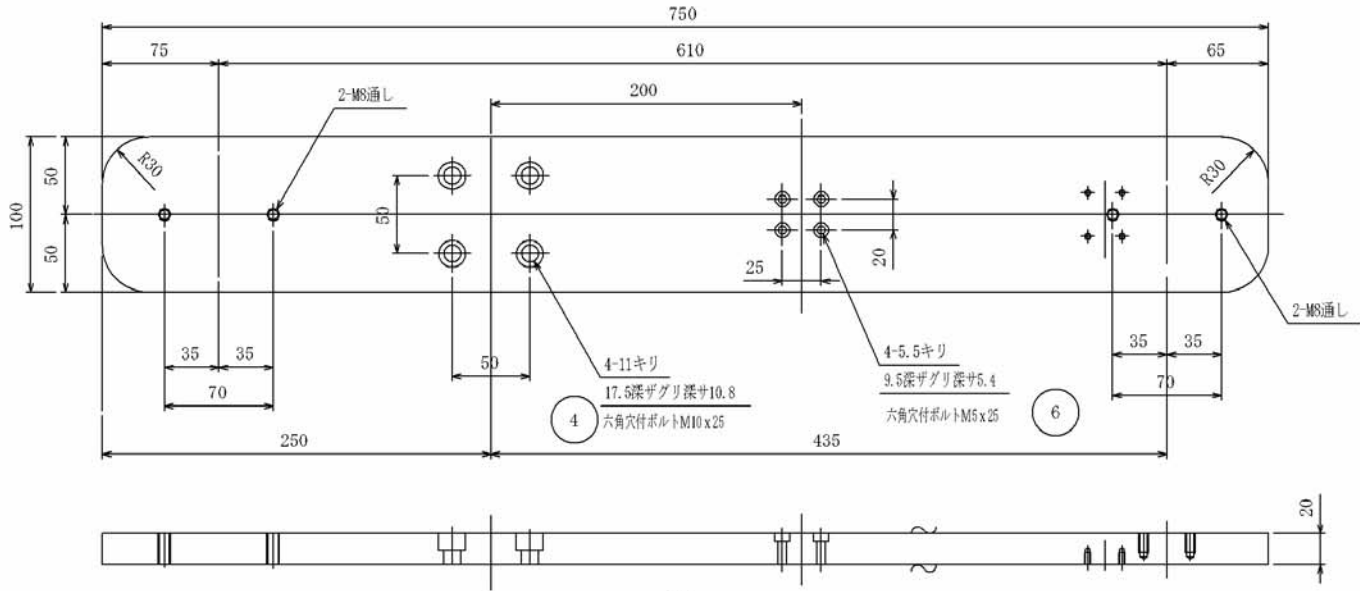
計測用ターゲットの適応性に関する実証試験では、トータルステーションメーカーである株式会社ソキア、株式会社トプコン、株式会社ニコン・トリニプル、ペンタックス株式会社、ライカジオシステムズ株式会社の関係各位にトータルステーションによる計測についてご協力いただいた。

下倉地区での現場計測を実施するにあたっては、岡山県備中県民局並びに応用地質株式会社の関係各位に便宜を図っていただくとともに、計測データをご提供いただいた。また、石川県曾々木地区での現場計測では、石川県土木部の関係各位に便宜を図っていただいた。

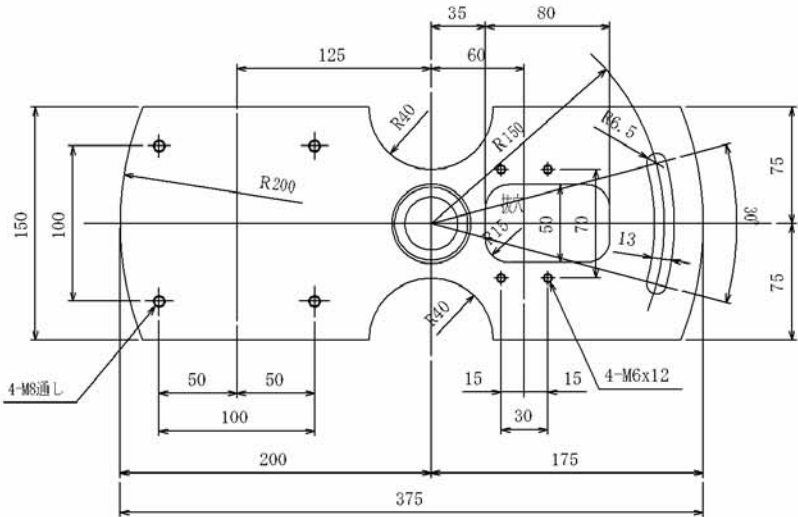
ここに、深く御礼申し上げます。

卷末資料（設計図面）

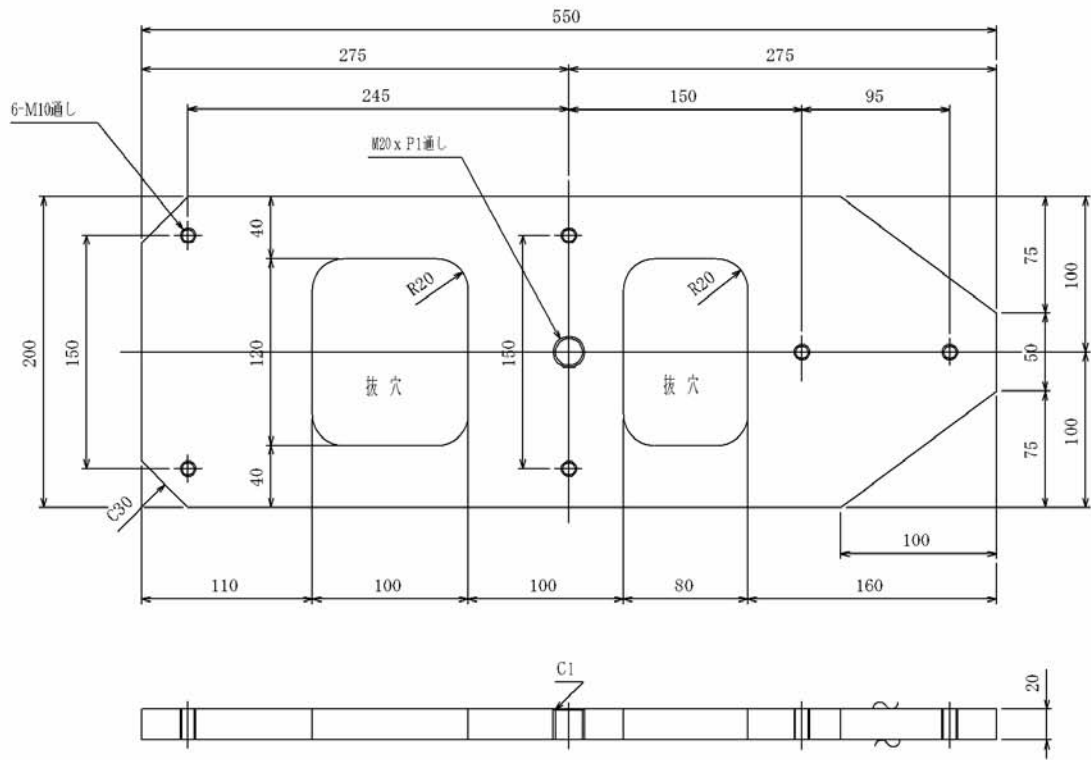
番号	来歴	氏名	日付
△1	改造		



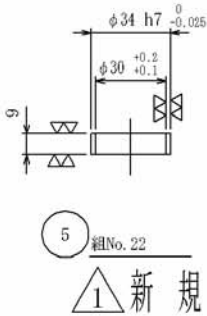
組No. 11 △改造



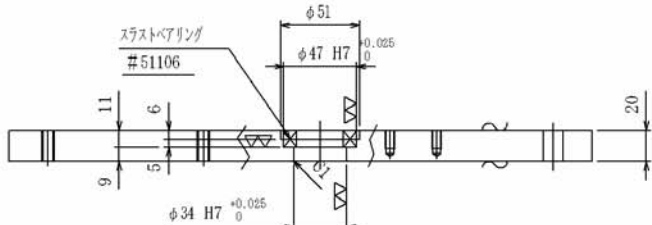
組No. 22 △改造



組No. 4 △改造



組No. 22 △新規



組No. 22 △改造

6	六角穴付ボルト	SCM435	4	M5x25
5	プッシュ	黒ナイロン	1	
4	六角穴付ボルト	SCM435	4	M10x25
3	裏面ベース	A5052P	1	
2	アシキストベース	A5052P	1	
1	板鉄板	A5052P	1	
番 号	品 名	材 料	個 数	記 事
製作台数		基	承認	納入先
日付	2007. 3	審査		工事名称 地すべりH18-27光皮ターゲット設置用架台改良業務
尺度	1/3	設計		機械名称 クロス架台
三 角 法	製図	TWK		図面名称 部品図 (改造1)
株 式 会 社 興 和				図面番号

図巻末 2 設置架台の部品図(1)

Technical drawing of a mechanical assembly with 11 numbered callouts. The drawing includes a top view, a side view, and a detail view. Callouts 1-11 identify various components and their specifications.

Callout 1: 組No. 2 (Group No. 2) - 1 改造 (Modification 1)

Callout 2: 組No. 1 (Group No. 1) - 2 新規 (New 2)

Callout 3: 組No. 3 (Group No. 3) - 3 新規 (New 3)

Callout 4: 組No. 12 (Group No. 12) - 4 新規 (New 4)

Callout 5: 組No. 16 (Group No. 16) - 5 新規 (New 5)

Callout 6: 組No. 1 (Group No. 1) - 6 新規 (New 6)

Callout 7: 組No. 12 (Group No. 12) - 7 新規 (New 7)

Callout 8: 組No. 1 (Group No. 1) - 8 新規 (New 8)

Callout 9: 組No. 1 (Group No. 1) - 9 新規 (New 9)

Callout 10: 組No. 1 (Group No. 1) - 10 新規 (New 10)

Callout 11: 組No. 1 (Group No. 1) - 11 新規 (New 11)

Callout 12: 組No. 1 (Group No. 1) - 12 新規 (New 12)

Callout 13: 組No. 1 (Group No. 1) - 13 新規 (New 13)

Callout 14: 組No. 1 (Group No. 1) - 14 新規 (New 14)

Callout 15: 組No. 1 (Group No. 1) - 15 新規 (New 15)

Callout 16: 組No. 1 (Group No. 1) - 16 新規 (New 16)

Callout 17: 組No. 1 (Group No. 1) - 17 新規 (New 17)

Callout 18: 組No. 1 (Group No. 1) - 18 新規 (New 18)

Callout 19: 組No. 1 (Group No. 1) - 19 新規 (New 19)

Callout 20: 組No. 1 (Group No. 1) - 20 新規 (New 20)

Callout 21: 組No. 1 (Group No. 1) - 21 新規 (New 21)

Callout 22: 組No. 1 (Group No. 1) - 22 新規 (New 22)

Callout 23: 組No. 1 (Group No. 1) - 23 新規 (New 23)

Callout 24: 組No. 1 (Group No. 1) - 24 新規 (New 24)

Callout 25: 組No. 1 (Group No. 1) - 25 新規 (New 25)

Callout 26: 組No. 1 (Group No. 1) - 26 新規 (New 26)

Callout 27: 組No. 1 (Group No. 1) - 27 新規 (New 27)

Callout 28: 組No. 1 (Group No. 1) - 28 新規 (New 28)

Callout 29: 組No. 1 (Group No. 1) - 29 新規 (New 29)

Callout 30: 組No. 1 (Group No. 1) - 30 新規 (New 30)

Callout 31: 組No. 1 (Group No. 1) - 31 新規 (New 31)

Callout 32: 組No. 1 (Group No. 1) - 32 新規 (New 32)

Callout 33: 組No. 1 (Group No. 1) - 33 新規 (New 33)

Callout 34: 組No. 1 (Group No. 1) - 34 新規 (New 34)

Callout 35: 組No. 1 (Group No. 1) - 35 新規 (New 35)

Callout 36: 組No. 1 (Group No. 1) - 36 新規 (New 36)

Callout 37: 組No. 1 (Group No. 1) - 37 新規 (New 37)

Callout 38: 組No. 1 (Group No. 1) - 38 新規 (New 38)

Callout 39: 組No. 1 (Group No. 1) - 39 新規 (New 39)

Callout 40: 組No. 1 (Group No. 1) - 40 新規 (New 40)

Callout 41: 組No. 1 (Group No. 1) - 41 新規 (New 41)

Callout 42: 組No. 1 (Group No. 1) - 42 新規 (New 42)

Callout 43: 組No. 1 (Group No. 1) - 43 新規 (New 43)

Callout 44: 組No. 1 (Group No. 1) - 44 新規 (New 44)

Callout 45: 組No. 1 (Group No. 1) - 45 新規 (New 45)

Callout 46: 組No. 1 (Group No. 1) - 46 新規 (New 46)

Callout 47: 組No. 1 (Group No. 1) - 47 新規 (New 47)

Callout 48: 組No. 1 (Group No. 1) - 48 新規 (New 48)

Callout 49: 組No. 1 (Group No. 1) - 49 新規 (New 49)

Callout 50: 組No. 1 (Group No. 1) - 50 新規 (New 50)

Callout 51: 組No. 1 (Group No. 1) - 51 新規 (New 51)

Callout 52: 組No. 1 (Group No. 1) - 52 新規 (New 52)

Callout 53: 組No. 1 (Group No. 1) - 53 新規 (New 53)

Callout 54: 組No. 1 (Group No. 1) - 54 新規 (New 54)

Callout 55: 組No. 1 (Group No. 1) - 55 新規 (New 55)

Callout 56: 組No. 1 (Group No. 1) - 56 新規 (New 56)

Callout 57: 組No. 1 (Group No. 1) - 57 新規 (New 57)

Callout 58: 組No. 1 (Group No. 1) - 58 新規 (New 58)

Callout 59: 組No. 1 (Group No. 1) - 59 新規 (New 59)

Callout 60: 組No. 1 (Group No. 1) - 60 新規 (New 60)

Callout 61: 組No. 1 (Group No. 1) - 61 新規 (New 61)

Callout 62: 組No. 1 (Group No. 1) - 62 新規 (New 62)

Callout 63: 組No. 1 (Group No. 1) - 63 新規 (New 63)

Callout 64: 組No. 1 (Group No. 1) - 64 新規 (New 64)

Callout 65: 組No. 1 (Group No. 1) - 65 新規 (New 65)

Callout 66: 組No. 1 (Group No. 1) - 66 新規 (New 66)

Callout 67: 組No. 1 (Group No. 1) - 67 新規 (New 67)

Callout 68: 組No. 1 (Group No. 1) - 68 新規 (New 68)

Callout 69: 組No. 1 (Group No. 1) - 69 新規 (New 69)

Callout 70: 組No. 1 (Group No. 1) - 70 新規 (New 70)

Callout 71: 組No. 1 (Group No. 1) - 71 新規 (New 71)

Callout 72: 組No. 1 (Group No. 1) - 72 新規 (New 72)

Callout 73: 組No. 1 (Group No. 1) - 73 新規 (New 73)

Callout 74: 組No. 1 (Group No. 1) - 74 新規 (New 74)

Callout 75: 組No. 1 (Group No. 1) - 75 新規 (New 75)

Callout 76: 組No. 1 (Group No. 1) - 76 新規 (New 76)

Callout 77: 組No. 1 (Group No. 1) - 77 新規 (New 77)

Callout 78: 組No. 1 (Group No. 1) - 78 新規 (New 78)

Callout 79: 組No. 1 (Group No. 1) - 79 新規 (New 79)

Callout 80: 組No. 1 (Group No. 1) - 80 新規 (New 80)

Callout 81: 組No. 1 (Group No. 1) - 81 新規 (New 81)

Callout 82: 組No. 1 (Group No. 1) - 82 新規 (New 82)

Callout 83: 組No. 1 (Group No. 1) - 83 新規 (New 83)

Callout 84: 組No. 1 (Group No. 1) - 84 新規 (New 84)

Callout 85: 組No. 1 (Group No. 1) - 85 新規 (New 85)

Callout 86: 組No. 1 (Group No. 1) - 86 新規 (New 86)

Callout 87: 組No. 1 (Group No. 1) - 87 新規 (New 87)

Callout 88: 組No. 1 (Group No. 1) - 88 新規 (New 88)

Callout 89: 組No. 1 (Group No. 1) - 89 新規 (New 89)

Callout 90: 組No. 1 (Group No. 1) - 90 新規 (New 90)

Callout 91: 組No. 1 (Group No. 1) - 91 新規 (New 91)

Callout 92: 組No. 1 (Group No. 1) - 92 新規 (New 92)

Callout 93: 組No. 1 (Group No. 1) - 93 新規 (New 93)

Callout 94: 組No. 1 (Group No. 1) - 94 新規 (New 94)

Callout 95: 組No. 1 (Group No. 1) - 95 新規 (New 95)

Callout 96: 組No. 1 (Group No. 1) - 96 新規 (New 96)

Callout 97: 組No. 1 (Group No. 1) - 97 新規 (New 97)

Callout 98: 組No. 1 (Group No. 1) - 98 新規 (New 98)

Callout 99: 組No. 1 (Group No. 1) - 99 新規 (New 99)

Callout 100: 組No. 1 (Group No. 1) - 100 新規 (New 100)

Callout 101: 組No. 1 (Group No. 1) - 101 新規 (New 101)

Callout 102: 組No. 1 (Group No. 1) - 102 新規 (New 102)

Callout 103: 組No. 1 (Group No. 1) - 103 新規 (New 103)

Callout 104: 組No. 1 (Group No. 1) - 104 新規 (New 104)

Callout 105: 組No. 1 (Group No. 1) - 105 新規 (New 105)

Callout 106: 組No. 1 (Group No. 1) - 106 新規 (New 106)

Callout 107: 組No. 1 (Group No. 1) - 107 新規 (New 107)

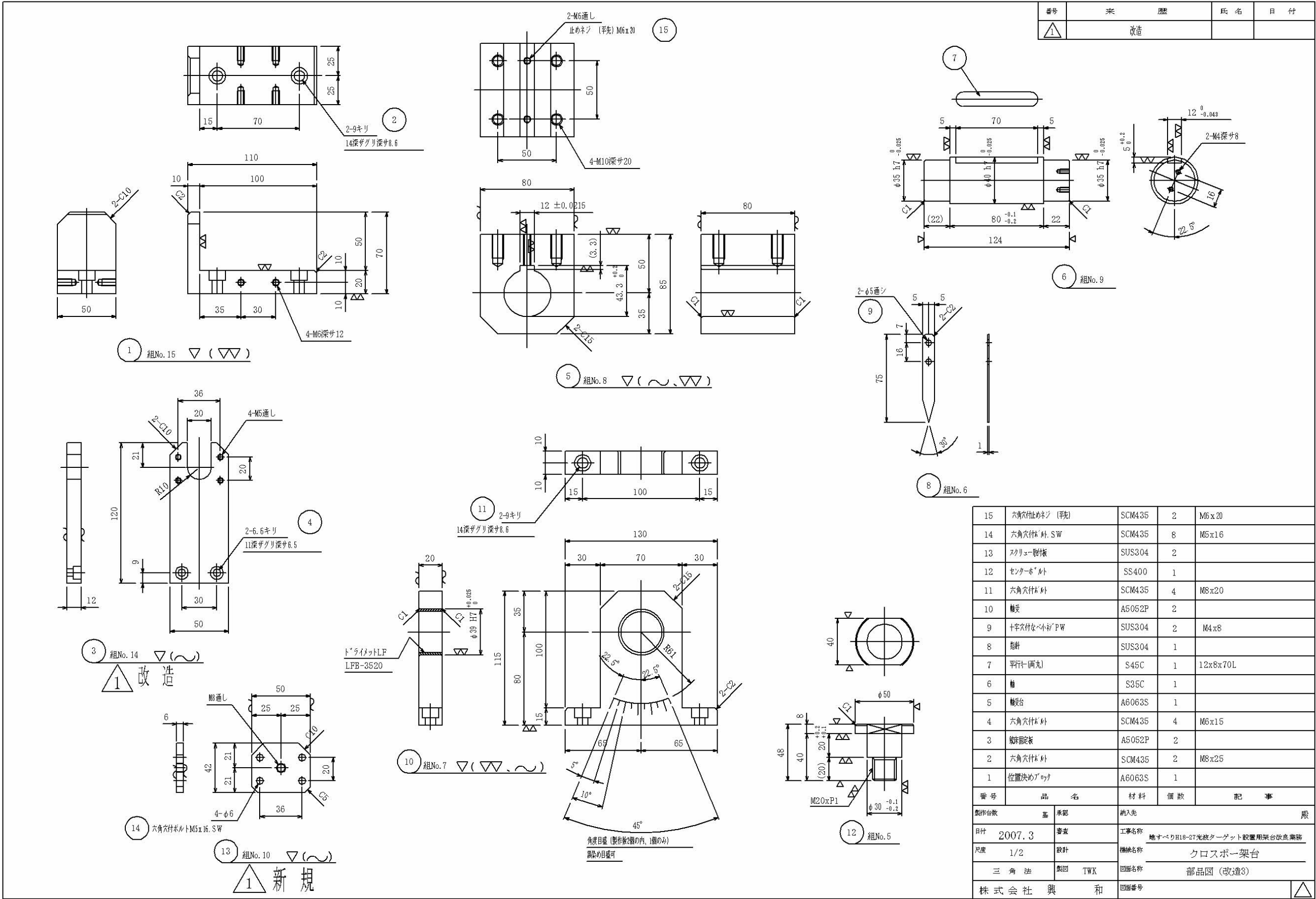
Callout 108: 組No. 1 (Group No. 1) - 108 新規 (New 108)

Callout 109: 組No. 1 (Group No. 1) - 109 新規 (New 109)

Callout 110: 組No. 1 (Group No. 1) - 110 新規 (New 110)

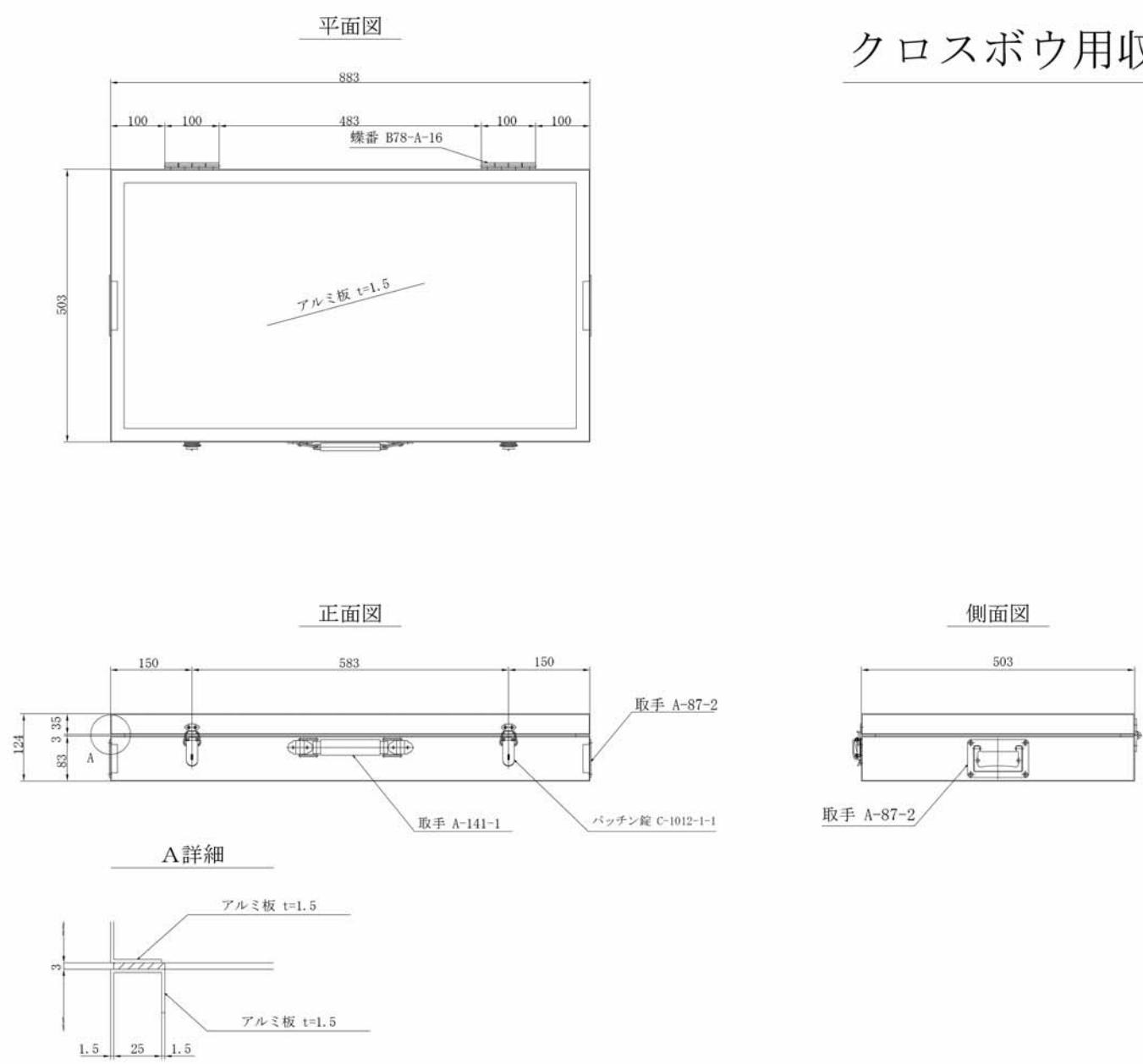
Callout 111: 組No. 1 (Group No. 1) - 11

233

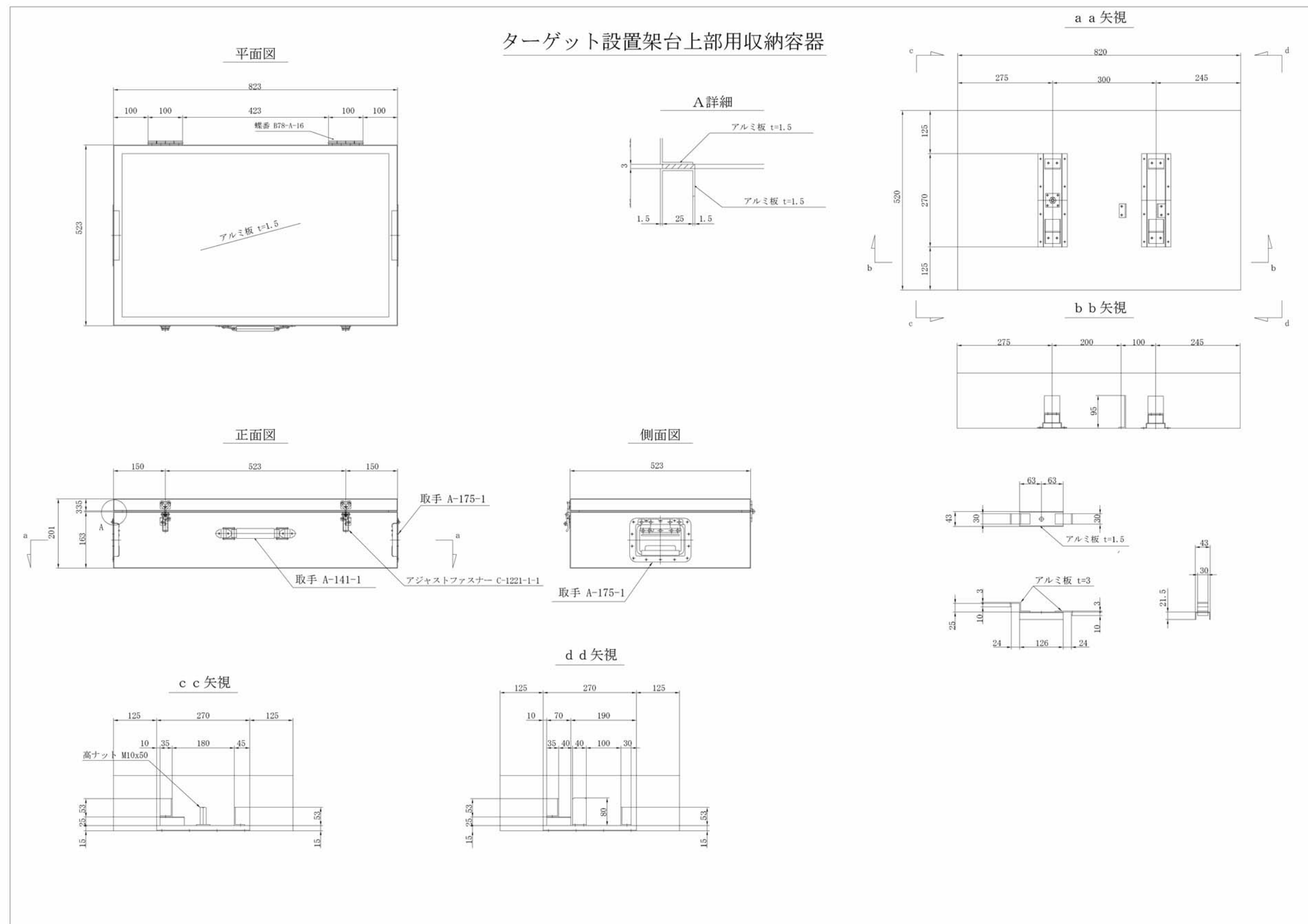


図巻末 4 設置架台の部品図 (3)

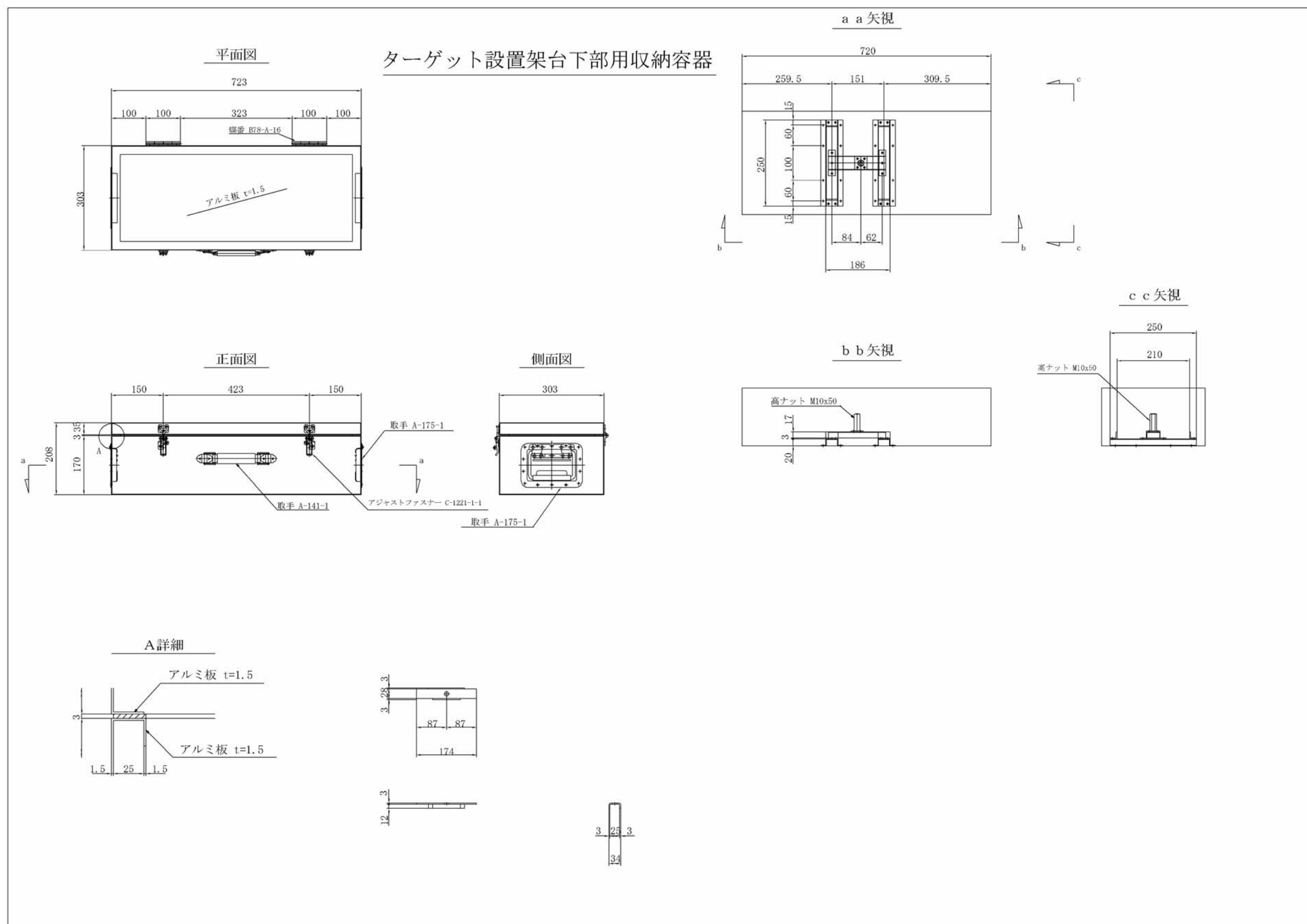
クロスボウ用収納容器



図巻末 6 クロスボウ用収納運搬容器製作図

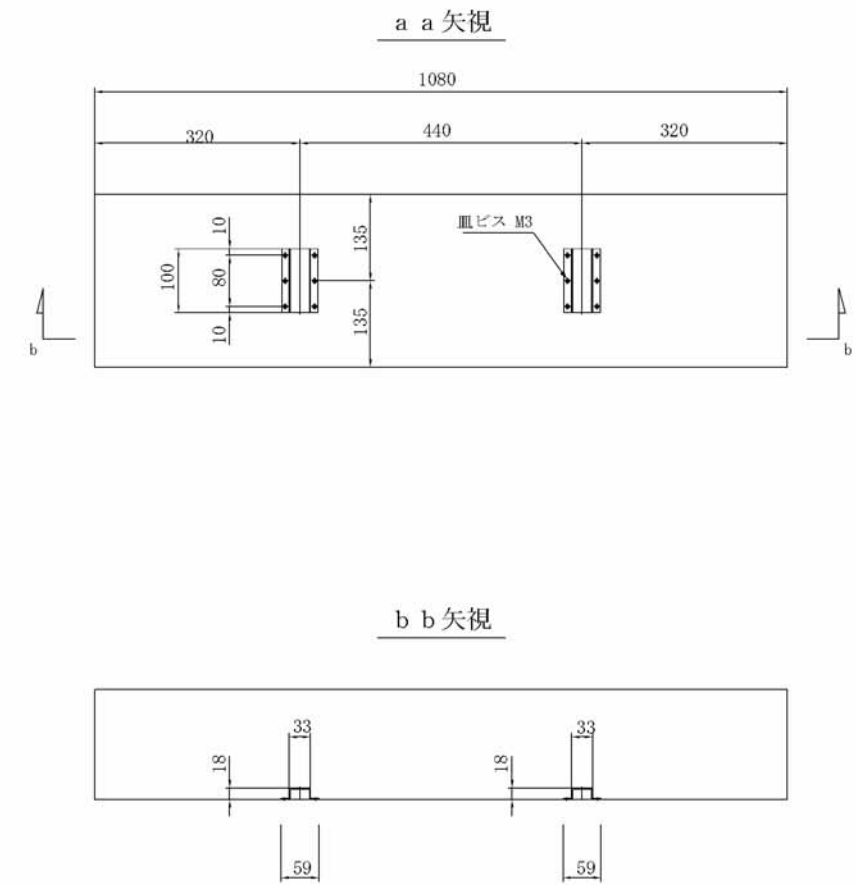
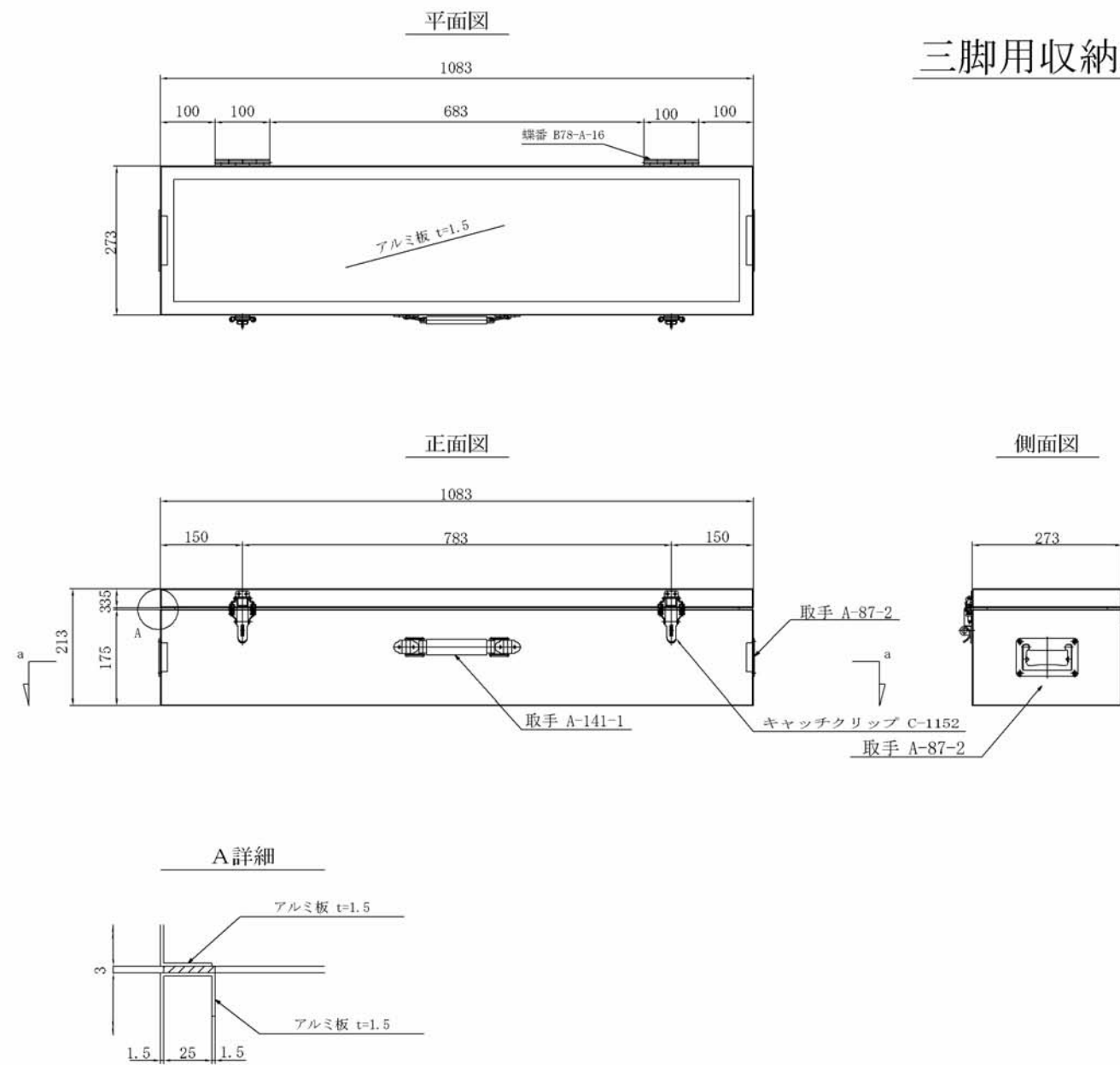


図巻末 7 設置架台上部用収納運搬容器製作図



図巻末 8 設置架台下部用収納運搬容器製作図

三脚用収納容器



図巻末 9 三脚用収納運搬容器製作図