

4.4 地すべり災害箇所の応急緊急対策支援技術の開発

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 17～平 20

担当チーム：土砂管理研究グループ（地すべり）

研究担当者：藤澤和範、石田孝司

【要旨】

地すべり発生直後には災害の拡大を防止するために迅速な対応が必要であり、そのためには地すべりの滑動状況を速やかに把握し、これを踏まえた迅速で効果的な応急緊急対策工の計画立案と実施が必要である。本研究では、地すべり災害直後に迅速かつ効率的な応急緊急対応を図ることができるよう、危険斜面の遠隔監視システムの開発、地表面変位ベクトルによるすべり面推定手法の検証と実用化、そしてこれらを活用し、また既往施工実績や効果を反映させた一連の応急緊急対策支援技術の開発を行っている。平成 20 年度は、斜面遠隔監視システムの改良、すべり面推定手法の検証と実用化を行ったほか、応急緊急対策として多く用いられている横ボーリング工の施工事例を基に応急緊急対策工の計画立案時の判断材料を検討し、既往地すべり対応事例等の調査結果を反映させた地すべり応急緊急対策支援の手引き（素案）を作成した。

キーワード：地すべり、応急緊急対策、横ボーリング工、斜面遠隔監視システム、すべり面推定手法

1. はじめに

地すべり発生時には、二次災害の防止のための移動土塊や背後斜面の変位量の監視と併せて、災害の拡大を防止するために迅速かつ安全に地すべり性状や規模を把握し、効果的かつ効率的な応急緊急対策手法の計画立案と実施が必要である。そのような中、本研究では、不安定土塊・岩塊や斜面の変位を遠隔から安全に計測する手法（以下、「RE・MO・TE2」（Remote Monitoring Technology 2）という。）、地表面変位ベクトルを用いてすべり面形状を推定する手法（以下、「土研式すべり面推定手法」という。）、そしてこれらを活用して地すべり発生直後から応急緊急対策を迅速かつ効果的に実施する手法の開発を行っている。

RE・MO・TE2 は過年度の研究により技術として完成させ、計測手法マニュアル¹⁾を作成するとともに技術の普及を図ってきたところであるが、実現場で使用した際の課題として挙げられたトータルステーションによる視認性を向上させるための検討を行った。

土研式すべり面推定手法については、地すべり計測事例やFEMにより構築したモデル斜面を用いた検証とプログラムの改良を行った。

また、効果的な地すべり応急緊急対応手法を提示することを目的とし、地すべり応急緊急対策として押え盛土工と並んで多く用いられている横ボーリング工と地表水排除工を対象とし、施工事例を基にした分析と

効果的な計画手法を整理するとともに、応急押え盛土工の施工事例、現場での応急緊急対応事例を基にした分析結果等を基に、地すべり発生後の迅速かつ効果的な応急緊急対策を支援する「地すべり応急緊急対策支援の手引き（仮称）」の素案を作成した。

2. 斜面遠隔監視システムの検証と改良

2.1 研究内容

過年度に開発したRE・MO・TE2を実現現場において適用したところ、設置した標的のトータルステーション（以下、「TS」という。）による視認性が良くないことが判明した。標的の色として選定した桃色は、10色のインク



図-1 視認性確認試験のために並べた標本石



図-2 視認性確認試験の状況

を塗布した石を約 50m 離れた際の T S の反射強度を比較して最も高い値を示した色であった。しかし T S による計測時には標的を正確に視準することがまず重要であることから、300m 離れた位置から T S により標的を同定しやすい色彩を確認するための視認性確認試験を行った。試験実施状況を図-1、図-2 に示す。

土木研究所構内の試走路に異なる 2 社の T S を設置し、また離れた位置には 3 つの岩種（砂岩、凝灰岩、泥岩+花崗岩）それぞれに計 10 色の塗料を直径約 5 cm の大きさで塗布した石を置き、計 10 名の人間がトータルステーションを覗いて視認性を評価した。評価にあたっては、よく見える、何とか見える、見えないの 3 段階評価とし、それぞれ 2 点、1 点、0 点の点数づけを行った。またトータルステーションと石との距離は 300m まで 100m 間隔で行った。

2. 2 研究結果

最も遠距離の 300m での視認性確認試験結果を図-3 に示す。なお、試験を行った 10 名全員が「よく見える」と評価した場合には点数は 20 点になる。また、T S に表示される反射強度を図-4 に示す。これより、岩種によらず白色もしくは黄色の視認性が高いことがわかった。また、反射強度においては白色が最も高く、黄色も白色には及ばないが 300m 離れた地点でも反射強度を確認できた。これらの結果より、RE・MO・TE 2 で使用するインクの色に白色と黄色を追加し、現場条件に応じて使い分けることとした。

3. 地表面変位ベクトルによるすべり面推定手法の検証と改良

3. 1 研究内容

平成 19 年度までに地表面変位ベクトルからすべり面を推定する計算プログラム（以下、「本プログラム」とい

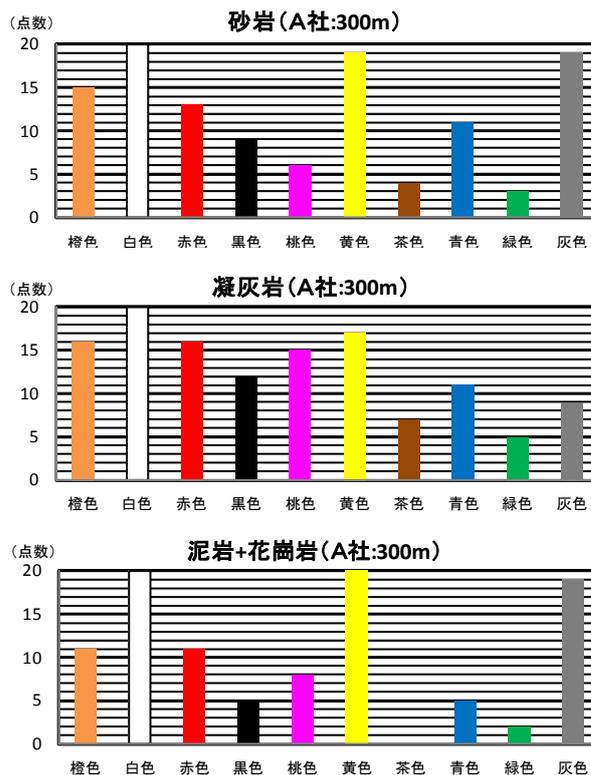


図-3 視認性確認試験の結果



図-4 視認性確認試験時の T S の反射強度

う。)を作成した²⁾。平成 20 年度は検証結果を基にしてすべり面形状を精度良く推定する方法を整理した。また、平成 19 年度に引き続いて本プログラムの検証を行い、プログラムの改良を行った。

3. 2 精度良くすべり面形状を推定する方法

3.2.1 計測時期と計測期間

地表面変位ベクトルを長期間観測した場合、地すべり発生初期から定常的な滑動期までの変位ベクトルを取得することになる。その場合、特に地すべり頭部では、滑動初期の頭部陥没に伴う下向き変位のベクトルとその後の定常的な変位のベクトルが合わさることから頭部のすべり面の傾きを表す地表面変位ベクトルがやや緩傾斜になり、実際よりもやや浅いすべり面が推定される（図-5 (a) を参照）。また地すべり初期の動きを捉えられない場合にはさらに浅いすべり面が推定される（図-5 (b) を参照）。そのため、精度良くすべり面形状を推定するためには、

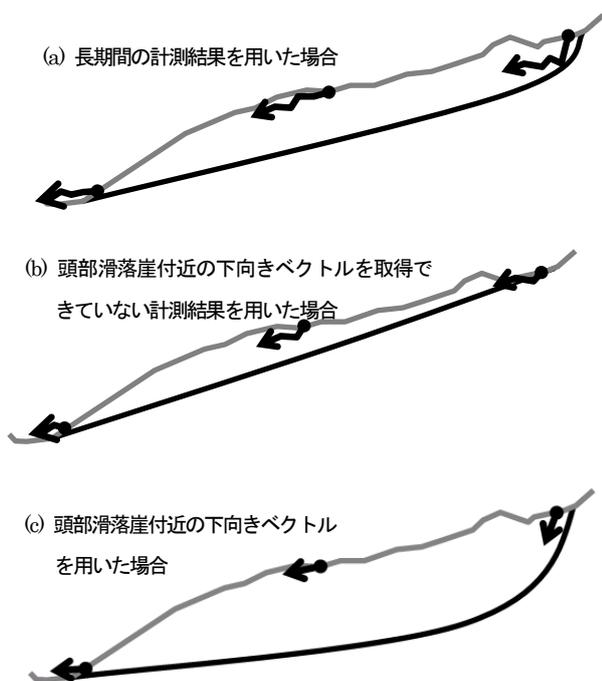


図-5 地表面変位ベクトル取得時期の違いによるすべり面推定結果の差異(イメージ)

地すべり滑動初期の地表面変位ベクトルを計測することが重要であることがわかった(図-5(c)を参照)。

3.2.2 計測時期と計測期間

斜面長と地表面変位ベクトル量(測点の平均値)の比率によって計算結果がどのように変化するかを調べるため、FEMにより斜面モデルを構築し、これのすべり面と地表面変位ベクトルを用いてケーススタディを行った。FEM斜面モデルを用いるメリットは、現地での実測と異なり地表面変位ベクトルに計測誤差を含まない点にある。計算結果を図-6に示す。なお、図中の数字は斜面長に対する変位ベクトル量の比率である。この結果、比率が小さな場合は推定すべり面が深く、また波打つような不安定なすべり面を推定する傾向が出る。また、比率が大きな場合には推定すべり面は浅く推定する傾向が出る。比率を0.5%とすることにより、実際のすべり面形状とほぼ同じ適切な円弧状のすべり面が推定できることがわかった。

3.2.3 ブロック区分線等の設定手法

土研式すべり面推定手法では、地表面変位ベクトル計測点数等に応じて地すべりブロックを区分するブロック区分線を設ける他、必要に応じてすべり面の勾配変化点を表す地中境界点を設けることとしている。事例検証の結果、ブロック区分線が多い場合にすべり面が波打つ不適切なすべり面が推定される場合があることがわかった。これは、すべり面推定手法がブロックごとの二次曲線を

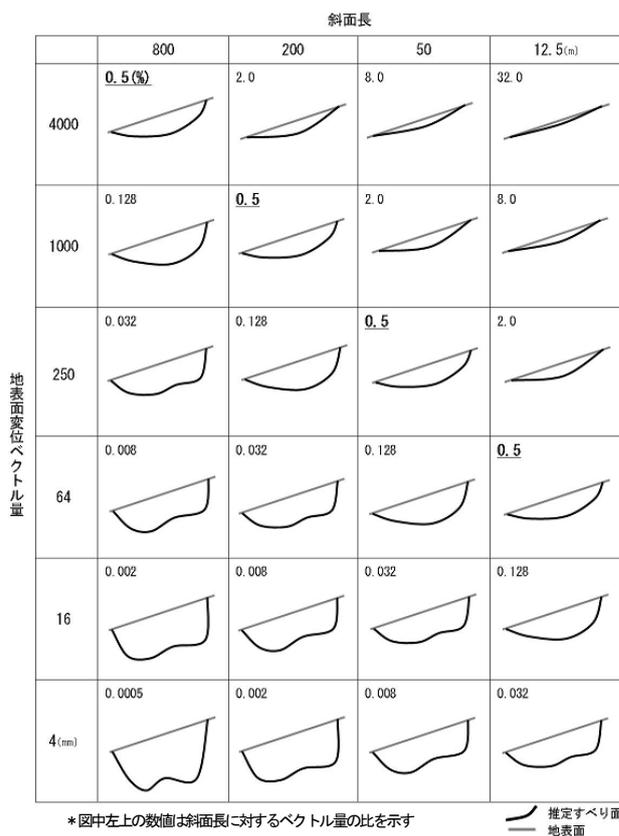


図-6 地すべり長さに対するベクトル比率を変化させた結果

表-1 ブロック区分線等の望ましい設定方法

すべり面形状	ブロック区分線の位置	地中境界点
椅子型	変曲点付近に1本	変曲点付近、もしくは設定しない
船底型	変曲点付近に1本づつ	頭部滑落崖に近い変曲点付近
円弧型	中心(中腹部)付近に1~2本	設定しない

算出し、これらを連結してすべり面形状を表現するという構造に起因するものである。これを解決するためには、適切な位置へのブロック区分線と地中境界点の設定が必要であり、これらの望ましい設定方法を表-1のとおり整理した。

3.2.4 重み係数の入力手法

本プログラムでは、ブロックごとに二次曲線を算出し、それらを連結してすべり面形状を表現しているが、算出された二次曲線の連結を厳格に適用した場合、ブロック区分線上で推定すべり面の傾きが大きく変化する場面がある。この不具合を解消するために重み係数 β を設けている。 β を0とした場合にブロック区分線上で推定すべり面の角度が不自然に変化する場合があるが、 β を0.1程度にすると推定すべり面が滑らかに連結され精度良くすべり面を推定できることがわかった。

3.3 本プログラムの改良

事例検証の結果を踏まえ、本プログラムの改良を行った。主な改良点は以下のとおりである。

①斜面長に対する地表面変位ベクトルの比率を変更でき

るようにした。

②桁落による解析誤差が少なくなるよう、ローカル座標系による解析手法に変更した。

③等勾配条件式に係る重み係数 β を、各ブロック毎に設定できるように変更した。また、 β の入力推奨値を設定することで不適切な値の入力を防ぐこととした。

④入力のしやすさを考慮し、CSV形式のデータを読み込むことができるようにした。

4. 応急緊急時の対応手法

4. 1 応急緊急横ボーリング工の計画・施工

4.1.1 対象事例の概要

近年発生した地すべり災害時に応急緊急対策として横ボーリング工を実施した事例または応急緊急対策工と同等と扱える事例として20事例を対象とし、施工位置、施工方法等を整理することにより応急緊急対応としての横ボーリング工を計画する際の目安を示すこととした。研究の対象とした20の地すべりの概要を表-2に示す。これらは、最近約5年間に現地指導等を実施した箇所、最近3年間の災害採択事例集(財団法人全国防災協会発行)、共同研究者から寄せられた情報提供事例の中から、応急緊急対策等として横ボーリング工を施工した事例を拾い出したものである。一方で横ボーリング工を施工しなかった事例についてもその理由等について考察した。

対象事例のうち17事例は風化岩地すべり、3事例は崩積土地すべりである。また、地すべりタイプは再滑動型が10事例、岩盤クリープ型が6事例、地質構造規制型が3事例、崩壊型が1事例である。なお、地すべりタイプは藤沢ら³⁾によった。応急緊急対応を行った時点での地すべりの局面を見ると、地すべり頭部付近に発生した亀裂が発達し、移動土塊の範囲がある程度把握できる段階である段差拡大段階が9事例、末端崩壊段階が7事例、崩落段階が4事例であり、地すべり初期で頭部の小さな亀裂がなんとか確認できる程度の前兆確認段階において

表-2 調査対象とした地すべりの概要

No.	型分類	断面形状	タイプ	長さ(m)	幅(m)	最大層厚(m)	移動土塊重(千m ³)	幅/層厚比	地すべり局面	施工群数	孔口位置	効果具込み範囲
1	風化岩	棒字型	再滑動型	100	100	20	100.0	5.0	末端崩壊	5	地内外	地内外
2	風化岩	船底型	再滑動型	80	50	9	16.0	5.6	段差拡大	1	地内	地内
3	風化岩	船底型	岩盤クリープ型	400	300	45	2700.0	6.7	段差拡大	2	地内外	地内
4	風化岩	船底型	地質構造規制型	100	200	20	200.0	10.0	崩落	2	地外	地内
5	風化岩	船底型	再滑動型	150	100	2206	169.5	0.0	末端崩壊	2	地外	地内
6	風化岩	棒字型	岩盤クリープ型	150	150	50	562.5	3.0	崩落	3	地外	地内
7	風化岩	船底型	岩盤クリープ型	75	75	25	85.0	3.0	末端崩壊	4	地外	地内外
8	風化岩	棒字型	岩盤クリープ型	120	120	20	144.0	6.0	崩落	4	地外	地内外
9	風化岩	棒字型	岩盤クリープ型	210	100	35	367.5	2.9	段差拡大	6	地内外	地内
10	風化岩	棒字型	再滑動型	100	70	23	80.5	3.0	段差拡大	2	地内	地内
11	崩積土	棒字型	再滑動型	40	40	6	4.8	6.7	段差拡大	2	地内	地内
12	風化岩	船底型	再滑動型	200	250	13	325.0	19.2	段差拡大	4	地内外	地内外
13	風化岩	船底型	岩盤クリープ型	80	45	15	27.0	3.0	崩落	3	地外	地内
14-1	崩積土	船底型	崩壊型	105	50	20	52.5	2.5	崩落	1	地内	地内
14-2	崩積土	船底型	崩壊型	70	25	7	6.1	3.6	崩落	1	地内	地内
15	風化岩	脆段状	再滑動型	250	200	40	1000.0	5.0	末端崩壊	4	地外	地内
16	崩積土	船底型	再滑動型	20	15	4	0.6	3.8	崩落	1	地内	地内
17	風化岩	棒字型	地質構造規制型	230	100	65	747.5	1.5	段差拡大	3	地内	地内
18	風化岩	船底型	再滑動型	130	85	15	82.9	5.7	段差拡大	2	地内	地内
19	風化岩	棒字型	再滑動型	230	180	30	621.0	6.0	段差拡大	4	地内外	地内
20	風化岩	棒字型	地質構造規制型	65	43	12	16.8	3.6	崩落	2	地外	地内外

横ボーリング工を実施した事例はなかった。なお、昨年度に調査した応急緊急押え盛土工についても前兆確認段階で施工した事例は見られなかった。

地すべりの規模を見ると、移動方向の長さは20mから400mまであり、50m~150m規模の事例が多い。幅は15mから300mまであり、数10m~100m規模の事例が多い。また、地すべり移動土塊量は600m³から270万m³まで様々である。幅/層厚比は小さいものは1.5、大きなものは19.2であるが、5以下の事例が76%を占める。

応急緊急対策として横ボーリング工が適用されやすい地すべりの種類として以下の傾向が確認された。

(1)いずれの地すべりタイプにも適用されているが、再滑動型が比較的多い。

(2)地すべり型分類では風化岩地すべりが多く、次いで崩積土地すべりが多い。岩盤地すべりの適用事例はなかった。

(3)横ボーリング工が適用されているのは多くの場合、降雨や融雪などの水が直接的な誘因となって発生した地すべりである。

(4)押え盛土工との併用で実施されるケースが多い。

一方で、応急緊急対策として横ボーリング工を実施しなかった事例をもとにその理由を考察した結果、以下のことが挙げられる。

(1)横ボーリング工を施工可能な作業ヤードがない、もしくはボーリングマシンの搬入が困難な地形条件であった。

(2)活発な地すべり滑動を継続していることにより施工が困難であった。

(3)物理的には施工可能であっても、地権者からの許可が得られなかった。

4.1.2 応急緊急横ボーリング工の設計・計画

表-2に示した対象20事例における応急緊急横ボーリング工の施工位置(孔口位置)を見ると、地すべり地外から実施した事例が9箇所(45%)、地内と地外両方から実施した事例は5箇所(25%)、地内からのみ実施した事例は6箇所(35%)であった。ひとつの地すべりに対して複数地点より横ボーリング工を施工していることから、これらを全て抽出し、その位置を図-7に示す。なお、同じ孔口位置から角度を変えて複数削孔している場合はこれを1箇所とした。図-7によると、地すべり地外に孔口位置を取って施工した事例が多い。これは地すべり土塊が不安定な状況下における地すべり地内での作業を避けたことが背景にあるものと考えられる。また、孔口位置は地すべり中腹部とする事例が最も多く、次いで末端部であった。これは資機材の搬入や施工性が関係している

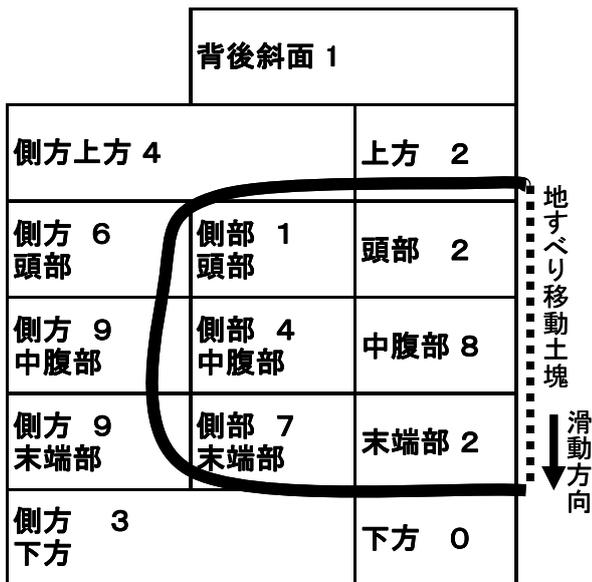


図-7 応急緊急横ボーリング工の孔口位置

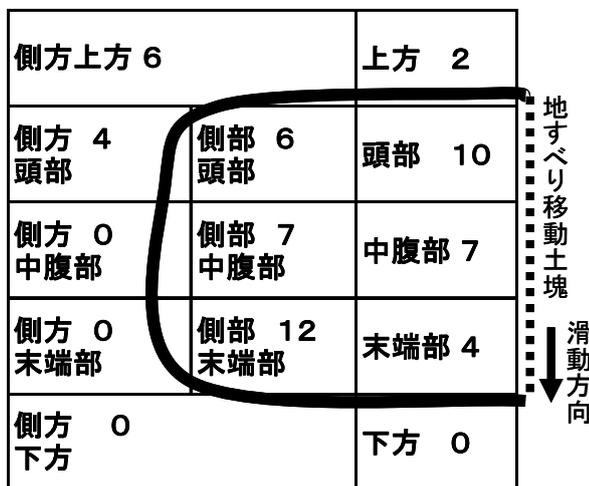


図-8 応急緊急横ボーリング工で排除した地下水位置

ものと考えられた。

応急緊急横ボーリング工により排除しようとした地下水の平面的位置を見ると、地すべり地内の地下水排除を目的として計画した事例が15箇所（75%）、地すべり地内外の地下水排除を目的とした事例が5箇所（25%）であった。地下水排除の効果を見込んだ位置を図-8に示す。なお、図-7と同様、同じ孔口位置から角度を変えて複数削孔している場合はこれを1箇所としている。図-8によると、地すべりブロック内の頭部付近より上方の地下水排除を目的とする事例が約半数を占めている。これは、斜面上方の地下水を谷側（地すべり土塊下方）へ流下させないことを意図していることが考えられる。

地中から地表へ排出された水はT字型管（チーズ管）または導水管により集められ、また横ボーリング工の孔口処理方法は、プレキャストコンクリート（FL-S100）、フトン籠、蛇籠の他、盛土による処理も見られた。地中

から排水され集められた水は水路工もしくは導水管により地すべり地外へ排水されていた。

4.1.3 応急緊急横ボーリング工の効果的計画

応急緊急横ボーリング工が効果を発揮した事例を詳細に見ることにより効果的な計画立案・施工を行う際の有意な知見が得られるものと考え、表-2に示した20の事例について、それぞれ応急緊急横ボーリング工の施工時期やその効果を確認した。これらの中から、応急緊急横ボーリング工が効果を発揮したと考えられる事例について評価を加えた。また効果を発揮しなかった事例についてその理由を考察した。

〔事例No. 10〕

梅雨前線が活発化した際に、地すべり滑動に伴う法面の崩壊が発生した。現地調査の結果、崩壊斜面頭部より約15m山側に段差約1mの亀裂が、さらに約20m山側にも約0.5mの段差を持つ亀裂が存在しており、さらに山側には古い地すべりの滑落崖と考えられる急勾配斜面が存在して

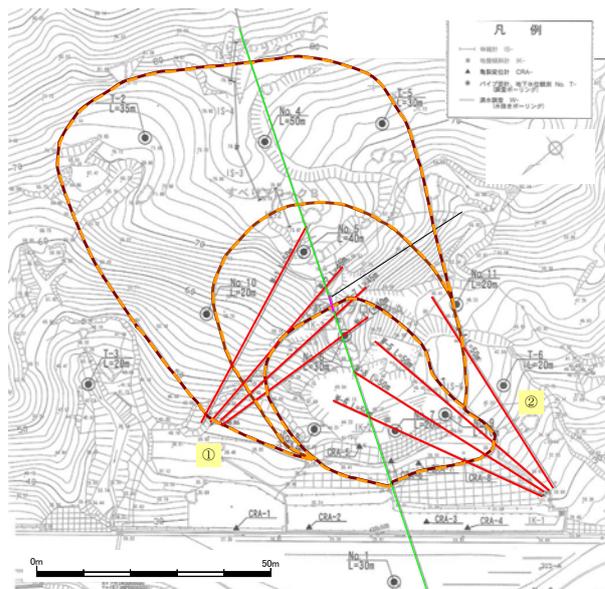


図-9 No. 10 地すべりの平面図

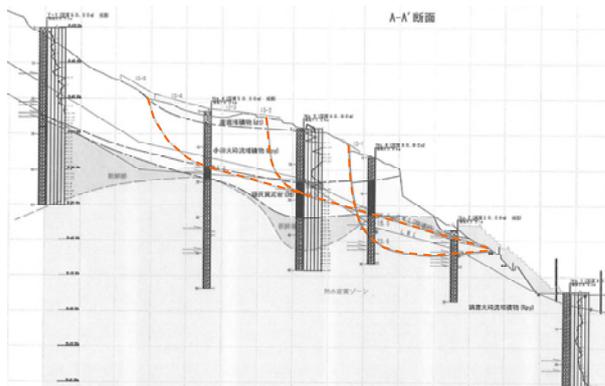


図-10 No. 10 地すべりの縦断面

いることから、地すべり地形の一部をなすやせ尾根において地すべりが発生し、その末端部が崩壊したものと推定された。崩壊地周辺は凝灰岩質の泥岩で構成されている。崩壊規模は長さ約15m、幅約15mであるが、これを引き起こした背後の地すべりは最大で長さ100m、幅70m、最大層厚23m、移動土塊量約8万 m^3 の規模と推定された。この地すべりの平面図を図-9に、また縦断面図を図-10に示す。

応急緊急対策として、崩壊発生4日後より約10日間かけて、地すべり土塊の地外左右より地すべり土塊内に向けて方向と傾斜を変えた横ボーリングをそれぞれ4本、計8本施工し、地すべり土塊内の地下水排除を行った。なお、集水量は多い孔で2 μl /分程度であった。これにより、施工前は50mm/日程度あった地盤変位が、1mm/日未満となり、これは横ボーリング工の効果が発揮された結果と考えられる。なお、横ボーリング工に引き続いて押え盛土工が施工され、地すべりの変位はほぼ沈静化した。

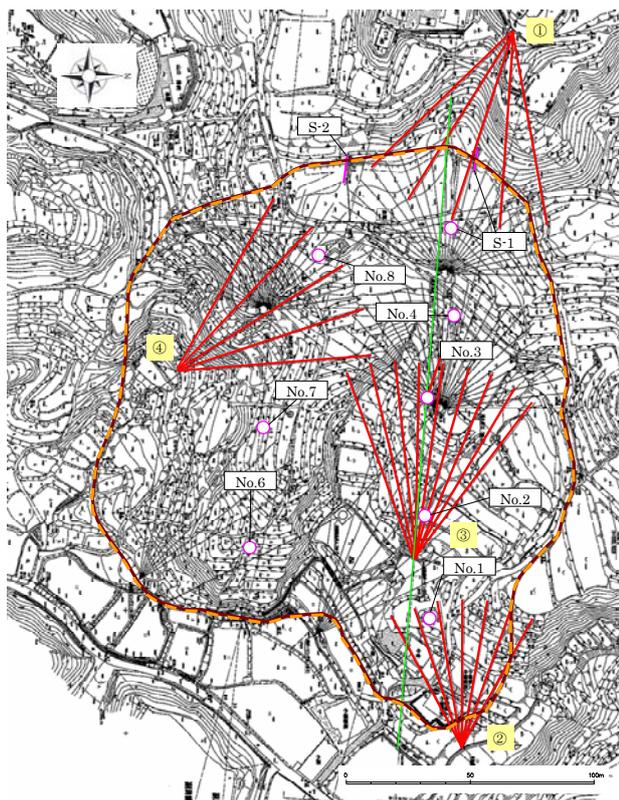


図-11 No. 19 地すべりの平面図

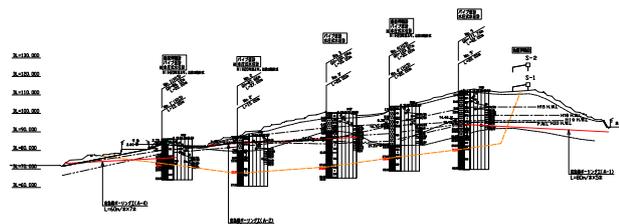


図-12 No. 19 地すべりの縦断面図

地すべりの動きが比較的大きい中、地すべり末端部より谷側には国道や人家があり、一刻も早く地すべり活動を沈静化させる必要があった。押え盛土工は応急緊急対応時に速やかに効果を発揮するひとつの工法であるが、地すべりの末端部が道路面より約10m高い位置にあったことから、押え盛土工の効果を発揮させるためには高さ約10mの捨て盛土が必要であった。そこで、まずは国道から近い施工可能な地点として側方下方および側方中腹部（いずれも地すべり地外）からの横ボーリング工による地下水位低下を図ることとし、結果として効果を発揮し地すべりは沈静化した。降雨を誘因として発生した地すべりに対して、地下水含有層に対して削孔し確実に地下水を排除することは、応急緊急対応時のひとつの有効な手法と言える。

〔事例 No. 19〕

本事例は、5月初旬の連続雨量約100mmの降雨により地すべり頭部に設置された伸縮計で約7mmの変位を観測した後、同月中旬の約1週間にわたる約200mmの降雨により177mmの変位を観測した地すべりである。地すべり地を含む周辺は砂岩・頁岩の互層で構成され、地すべりに対して流れ盤構造を呈している。この地すべりにより頭部は馬蹄形状に最大約50cmの段差を伴って亀裂が拡大した。また地すべり末端付近に位置していた民家や家畜小屋周辺には圧縮亀裂や隆起現象が認められた。この地すべりの平面図を図-11に、また縦断面図を図-12に示す。

本事例は降雨に起因して発生した地すべりであり、地下水の排除が効果的であると考えられたことから、大きな変位のあった時から2週間後に4箇所の横ボーリング工の施工に着手し、地すべり土塊内の地下水排除を行った。降雨後の排水量は孔口1箇所あたり約50 μl ~168 μl /分であった。横ボーリング工の施工後となる6月下旬に記録した約300mm/4日の降雨により伸縮計で12mmの地盤変位を記録したものの、これを除くと施工後の変位はほとんど見られず、地すべりは沈静化した。

事例No. 10と同様、主たる誘因が降雨であったことから、迅速に地下水排除工の計画を立案し実施したことが奏功した形となった。施工位置を見ると、ブロック中腹部および上部の地下水を主に排水し、ブロック下部への地下水の流下を抑えたことが効果的だったと考えられる。また、恒久対策においてはブロック内を面的にカバーするような形でブロック下部の地下水排除を目的とした横ボーリング工の計画・施工、およびブロック上部の深層地下水排除のための集水井工の計画・施工がなされ、全

体計画の一部として応急緊急対策としての横ボーリング工の計画・施工がなされた点において、効率的な計画がなされた事例と言える。また、この事例はやせ尾根の側部において発生したが、地形的に可能であったことから、地すべり頭部の地下水をブロック背後からの横ボーリング工により排除した。このような地形においてはブロック背後からの横ボーリング工も有効であると言える。

〔効果を発揮しなかった事例について〕

収集した事例について、応急緊急対策工施工前後の変位量などから効果を評価した中で、定性的ではあるが、効果を発揮しなかった事例に見られるいくつかの特徴的事項を以下に示す。

- (1) 地すべりブロックの規模に対して排除しようとする地下水の範囲（横ボーリング工の配置）が狭い場合は効果が少ない傾向がある。
- (2) 横ボーリング工の配置位置が地すべりブロック末端部付近のみの場合は効果が少ない傾向がある。
- (3) 地すべりタイプ分類²⁾でいう岩盤クリープ型に該当し、すべり面勾配が急である場合には、横ボーリング工のみによって効果を発現させることは困難と判断され、横ボーリング工が主というよりはむしろ押し盛土工の補

助的工法として豪雨時の地下水位上昇を防ぐ目的で施工された事例が複数あった。

4. 2 応急緊急地表水排除工の計画・施工

4.2.1 調査方法

地すべりが発生した場合には、初動対応として亀裂部へのブルーシート設置等による地表水の地下浸透防止策が講じられることが多い。しかし応急緊急対応として地表水排除工が実施された場合の計画や施工に関する資料は残されていない場合が多い。そこで、応急緊急対応として地表水排除工を実施する場合の留意事項等を、実際に現地に対応にあたった複数の技術者より聞き取り調査を行い、整理した。

4.2.2 調査結果

聞き取り調査の結果を表-2に示す。

この結果の中で、重要な事項、経験則的な事項を抜粋して以下に記す。

〔工種について〕

① 応急緊急地表水排除工は迅速性と修復の容易性が求められるため、シート張工が主となる。広範囲を対象とする場合はブルーシート、溝状・線状に敷設する場合は農業用ポリエチレンシート（幅 1.35～2m）や長尺ブルー

表-2 地表水排除工の計画・実施に関する聞き取り調査結果

応急緊急対策としての地表水排除工の工種	地表水排除工を施工する際の注意すべき事項
<ul style="list-style-type: none"> ・ブルーシート張工（滑落崖・全面） ・簡易水路工（素掘り水路+ビニールシートなど） ・土のう積工（滑落崖周囲に配置し、地外からの表流水侵入を防止する） ・排水パイプ（地すべり地内の水溜まりの排水など） ・簡易暗渠工（排水材を地表浅部に埋設） <p>・迅速性と修復の容易性が求められるため、シート張りが主体となる。</p> <p>・広範囲を対象とするならばブルーシート</p> <p>・溝状・線状に敷設するならば農業用ポリエチレンシート（幅 1.35～2m、長さ 100m）や長尺ブルーシート（幅 0.9m、1.8 m、長さ 100m）。</p> <p>・ブロック外の水が道路側溝を通り、ブロック内に流入することを防止するための遮水対策（水路工）。</p> <p>・地すべり地内の内水排除のために素掘り水路又は砕石を入りの暗渠工。</p> <p>・頭部亀裂に雨水などが入らないようにブルーシートで覆うのが一般的。</p> <p>・遮水箇所や域外からの流入がある場合は素掘り水路を掘削して排水することもある。</p> <p>・水路工、配水管、暗渠工⇒応急緊急対策としては、いずれも速やかな施工が必要のため、掘削部にブルーシート、ゴムシート等を施工して、排水管、サニーホース、暗渠の場合は有孔(管)パイプの敷設→砂利、砕石の埋め戻し等の工法が考えられる。</p> <p>・陥没帯での流末処理が不可能な場合はビニールシート+ポンプ排水を考える。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・地すべり変動を地表面計測により監視して作業を実施する。 ・危険であれば無人化機械により地すべり地内に入り施工する。 ・地すべりの特性にもよるが、滑動状況をぬき板等で確認し、危険な行為は行わない。 ・切り回した表流水の流末処理には注意が必要。 ・ブルーシート張工は、シートの継目で水が漏れないような処理が必要。また、風で飛ばされないように土のうやロープ、杭等で固定する。 ・排水勾配をちゃんと確保すること（たまに水溜まりができています） ・湧水箇所等はしっかりと処理すること。 ・地すべり引張ゾーンでの施工が主となるため、変形に対する修復が容易となるよう敷設する。例として、シートは小さめのものを用いる。巾は広めに、重ね代は長めに取っておく。 ・途中での滞留水が再浸透の原因となるので、滞留しないよう、最小限の地山整形を行ったうえでシートを敷設する。 ・流末は確実に地すべり範囲外に求める。 ・特に斜面下部での降雨時の作業、背骨域、斜面より泥流等の発生する可能性がある場合は避ける。（これらの判断は専門家にさせる。）実施する場合は監視要員を十分に配備し行う。 ・定量的に計測できる簡易計測機器（T張り等）を設置することが必要と考える。 ・地すべり地内およびその近傍で作業することになるので、逐一地すべりの挙動を把握して安全を確保しておくことが必要。伸縮計がベストだが、監視人を立てておくことでもある程度は対応可能。 ・地すべり地内での作業では安全帯を使用するという場合もある。その場合ロープ固定点は地すべり地外に設置すること。
地表水排除工を実施するタイミング	地表水排除工を施工する範囲の目安
<ul style="list-style-type: none"> ・現地確認をすることが重要である。 ・上部に亀裂がないか確認し、あれば伸縮計(T張り)を設置して変動状況を把握して、安全確保をした上で実施する。 ・亀裂がなくても監視人を配置して工事に着手する。 ・災害発生直後が望ましいが、地すべりの規模や滑動状況にもよる。 ・滑動状況が活発な場合、応急対策よりも監視や警戒避難を優先すべきである。 ・単に、ブルーシートを張っただけでは効果的な対策にならないこともある。 ・現実的には、専門技術者が現地調査をし、その判断で効果的な応急対策を計画することが望ましい。 ・素人と専門家の対応範囲を区分することが望ましい。警戒避難などの行政判断は自治体の責任、応急対策立案などの技術判断は専門技術者の責任の範疇とする。 ・地すべり発見後、次の降雨が予想されるまでの間に完成するよう、地域の工務店などに依頼する。 ・規模、変動形態、変動状況等により異なる。例えば、沢が原因ならばサニーホース、ドレーン管の敷設による地すべり地外への沢水の排水路の施工。降雨水が原因ならば地表水の集中する箇所、浸透する箇所へ排水管、排水路の敷設等の状況判断が必要である。 ・施工は早いほうが良いが、効率的には降雨時の雨水の流れる状況、浸透状況を見て判断する。 ・降雨後であるならば、水の流れた跡等から推定する必要がある。 ・材料をストックしておけば、迅速な対応ができるが、実際は行政担当者が状況確認後、直ちに地元建設会社や工務店に依頼する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ブロック内の処理水が必ずブロック外へ流れること。 ・小規模な崩壊の場合は全面被覆する。 ・規模が大きい地すべりの場合は亀裂への表流水流入防止を目的とする。 ・地外からの流入が懸念される場合は、比較的広範囲の対策を計画する。 ・実際には、小規模な崩壊を除いて、地すべりの特性に応じた判断が必要。 ・流れ盤の第三紀層地すべりなどは、かなりの後背地から表流水が浸透している場合がある。 ・頭部の引張り亀裂卓越ゾーンを覆って、地すべり地外まで導くのが基本である。 ・地すべり地内に顕著な湧水箇所があれば、そこから地すべり地外まで導くこと。 ・規模・形態・変動状況等の条件により異なるため、範囲等は最小限頭部亀裂の滑落付近、陥没帯があればその付近の流入する可能性の高い箇所に簡易水路等を施工する。 ・崩壊性の高い地すべり、または崩壊の場合は危険性が高いため頭部域での施工は望ましくない。あくまで地すべり地の場合であること。 ・目安としては急傾斜となる斜面勾配 35 度以上の斜面は避けるほうが望ましい。 ・地表に亀裂が出ていなくても、緩んでいる可能性があり、地表水流入・浸透が懸念される場合は、頭部亀裂の延長部を含む。

シート（幅0.9m×長さ1.8m）も有効。

②水路工、排水管、暗渠工の場合にも応急緊急対策としては速やかな施工が必要であり、掘削部にブルーシート等を施工し、排水管、サニーホース、有孔管（暗渠の場合）の敷設とこれに続く砂利・碎石埋め戻しが考えられる。

〔実施タイミングなどについて〕

①現地確認の上、変位量計測による安全管理を行いながら、次の降雨の前までに完成できることが望ましい。（地すべりの規模や活動状況にもよる。）

②沢水が誘因であればサニーホース、ドレン管の敷設による沢水の地すべり地外への排水を行う。降雨水（地表水）が誘因であれば地表水が集中する位置、浸透する位置への排水管・排水路の敷設を行う。現地に合わせた適切な状況判断が重要である。

③材料をストックしておくことにより迅速な対応が可能となる。

〔施工時の留意事項〕

①切り回した地表水の流末処理に注意が必要。また湧水の処理を確実に行うことが必要。

②水路途中での滞留水が再浸透の原因となるため、最小限の地山整形を行い、排水勾配をしっかりと確保する必要がある。

③斜面下部での降雨時の作業、滑落崖背部域、斜面より泥流等が発生する可能性がある場合は極力作業を避ける。作業する場合にも監視体制を充実させる。

〔地表水排除工を施工する範囲の目安〕

④崩壊性の地すべり、または崩壊の場合は危険性が高いため頭部域での施工は望ましくない。

⑤流れ盤の第三紀層地すべりなどはかなりの背後地の地表水が浸透し誘因となっている場合がある。

⑥地表に亀裂が出ていなくても緩んでいる可能性があり、地表水流入・浸透が懸念される場合は頭部亀裂の延長部を対応範囲として含めることも必要。

また、聞き取り調査の結果、現場対応にあたる際の経験則として以下のことに留意する必要がある。

①必ず安全な場所から現地確認を行い、崩壊土塊内に人が入って作業できる状況かどうかを確認すること。

②現場作業前後では、伸縮計、丁張り等を設置し、地すべり土塊の移動量を計測すること。

③指針や提言等に従い、土塊変位量に基準値を設け、また数値をグラフ化して確認すること。

④計器設置ができない場合は、監視人を立てること。

⑤道路のり面の崩壊や盛土の崩壊、急傾斜の小規模崩壊

などでは、ブルーシート張工等の地表水浸透防止工は初期の応急緊急対策としては有効である。

⑥地すべりの応急緊急対策計画・立案にあたっては、前兆発見段階（亀裂等の小さな地すべり初期段階）より極力専門家の意見を求めることが望まれる。

⑦応急地表水排除工は放置による機能低下が生じやすいため、こまめな点検・補修を心がける必要がある。

⑧既設水路工が破損している場合には、ここから地表水が流入し地すべり滑動を助長するため、そのまま放置せずに補修することが必要。

⑨破損した既設水路工の補修が困難な場合には、土嚢積みにより水の流れを変える、或いは素堀水路工を設けることが必要。

⑩地すべり滑動が沈静化した場合には、コルゲートなどの恒久的な工種に更新することが必要。

4. 3 応急緊急対策実施のためのチェックリスト

地すべりが発生した直後より効果的な応急緊急対策の立案と実施に移るためには、各工種について留意すべき事項（目安）を確認することが必要と考えた。そこで、実際の応急緊急対策事例の手法や効果の分析結果を踏まえ、計画・施工時に留意すべき事項を網羅したチェックリストを作成した。チェックリストを表-3に示す。

応急緊急対策計画は地すべりの性状等を勘案し、対象とする地すべりに適したものとすることが最も重要なこ

表-3 応急緊急対策のためのチェックリスト

年 月 日		位置		都 道 府 県		市 町 村 郡		
地すべりの発生原因 <input type="checkbox"/> 降雨 <input type="checkbox"/> 切土 <input type="checkbox"/> 地震 <input type="checkbox"/> その他								
実施応急緊急対策								
<input type="checkbox"/> 地表水浸透防止工 <input type="checkbox"/> 横ポーリング工 <input type="checkbox"/> 押え盛土工 <input type="checkbox"/> 擁土工								
共通項目	①3次元的に監視及び監視員配置を行っているか？(YES or NO)				⑦土砂除去前地すべり範囲を再確認したか？(YES or NO)			
	②安全な場所から監視状況全体を把握したか？(YES or NO)				⑧土砂除去は崩壊土砂の上から撤去しているか？(YES or NO)			
③安全に近づけるルートを確認したか？(YES or NO)				⑨湧水量は変化していないか？(YES or NO)				
④観測を2人以上で実施したか？(YES or NO)				⑩湧水が湧いていないか？(YES or NO)				
⑤斜面連綿監視システムを実施したか？(YES or NO)				⑪小石がバラバラと落ちてきていないか？(YES or NO)				
⑥管理基準値について確認したか？(YES or NO)				⑫移動量はグラフ化して確認しているか？(YES or NO)				
⑦移動量の確認はしているか？(YES or NO)				⑬崩壊斜面の上下で同時作業をしないか？(YES or NO)				
種別	チェック	番号	施 工 実 施 の 留 意 事 項 及 び 目 安					
地表水浸透防止工		1	既設水路工の補修は後回しにしないこと。					
		2	既設水路工の補修が困難な場合は土嚢を積んで水の流れを変えること。					
		3	既設水路工の補修が困難な場合は手掘り水路工を設定すること。					
		4	ブルーシートは逆ラップしていないか確認すること。					
		5	ブルーシートは風で飛ばされないよう土のうや杭で固定すること。					
		6	排水されているか定期的に高確率確認すること。					
		7	ブルーシートは地すべり地内に滞留水や雨水が流入しないように張ること。					
		8	排水勾配を確保すること。水はまりがない程度にすること。					
		9	切り固めた地裏水を確実に地外へ排水すること。					
		10	斜面勾配が35度以上の場合は施工を避けること。					
		11	降雨時には雨水の流れる状況、浸透しやすい場所を確認すること。					
		12	水の流れた跡があれば地表水排除工を実施する目安にすること。					
横ポーリング工		1	雨降時の排水は垂れ流しにしないこと。					
		2	施工位置は地すべり頭部から上方を揃って施工すること。					
		3	孔口保護工は透水性が良いものとする。					
		4	横ポーリング工からの出水は確実に地外へ排水すること。					
		5	横ポーリング工の長さ最高でも地すべりの長さの80%以内を目安とすること。(100mなら80m以内)ただし、80mを超える場合は別途検討が必要。					
押え盛土工		6	横ポーリング工の長さ最低でも地すべりの長さの15%以上を目安とすること。(100mなら15m以上)					
		1	土砂埋戻現場が近くにあるか確認すること。					
		2	運搬ルートが確保されているか確認すること。					
		3	地すべりブロックの中に施工しないこと。					
		4	地すべりブロックの先端部付近で実施すること。					
		5	先端部が隆起している場合はその付近で実施すること。					
		6	地下水湧出防止のための法尻と盛土内に砕石、縦張管を敷設すること。					
		7	下方斜面で新たな地すべりを誘発しないか確認すること。					
		8	排水性の良い盛土材料を使用すること。					
		9	流水の影響を受ける場所では新積土のうを用いること。					
		10	設置期間が2ヶ月を超える場合は新積土のうを用いること。					
		11	盛土幅は地すべりブロック幅以上を目安とすること。					
		12	天端幅は施工性を考慮して計画すること(5m程度は必要)。					
		13	のり面勾配は1:1.5を目安とする。					
		14	土のうの場合、のり勾配は1:0.5より緩い勾配を目安とする。					
		15	小石を積む場合、小石幅は1.5mを目安とする。					
	16	土嚢は最低でも移動土嚢量の25%程度を目安とする。						
擁土工		1	土嚢が近くにあるか確認すること。					
		2	運搬ルートが確保されているか確認すること。					
		3	擁土する範囲は地すべりブロック内とすること。					
		4	上方斜面で新たな地すべりを誘発しないか確認すること。					
		5	擁土高さは地すべり層厚の25~30%以内にとどめること。					
		6	切土高さ5~10mごとに1~2m幅の小段を設けることを目安とする。					

とであり、チェックリストどおりに実施することを強制するものではないが、応急緊急対応時の参考となるものとする。

4.4 応急緊急対策支援の手引き

前記した事項や過年度の分析結果³⁾を整理し直し、地すべり応急緊急対策の手引きの素案を作成した。

5. まとめと課題

地すべり災害発生後の安全、迅速かつ効果的な応急緊急対策を支援する技術の検証と改良を行うとともに、応急緊急対策工の施工事例の分析や聞き取り調査等を基に、効果的な応急緊急対策手法を整理した。その結果は以下のとおりである。

①RE・MO・TE2の使用時の課題として挙げられていたTSによる視認性の向上を図ることができた。

②土研式すべり面推定手法の検証と改良を行い、すべり面推定プログラムで精度良く推定するためのノウハウを整理した他、使い勝手を向上させた。今後、一連の検討結果とすべり面推定プログラムの利用方法を取りまとめた書籍を出版するとともに、すべり面推定プログラムをダウンロードできるようにし、普及を図る予定である。

③地すべりに対する応急緊急対応手法としての横ボーリング工と地表水排除工を効果的に施工するための知見等を整理した。

④地すべり応急緊急対策を行う際の対応の手引き(素案)を作成した。今後は意見照会と必要な見直しを行い、公表する予定である。

今後の課題を列挙すると以下のとおりである。

①RE・MO・TE2は技術として確立されており、さらなる普及を図るとともに、使用した結果を評価していく必要

がある。

②土研式すべり面推定手法については、広くプログラムの使用を促し、計算結果を収集し、評価・検証を加えることが必要である。

③地すべり発生後の応急緊急対応事例を基にして効果等を評価し、留意事項等を整理したが、今後発生する地すべりに対してどのような考えでどのような対応を行い、結果としてどうであったかという事例を収集・分析することによって、より具体的な応急緊急対応の手引きになるものとする。これについては、事例分析に必要と考えられる最低限の事項として、対応処置と実施日時、土塊変位量、対応処置決定理由を記録できる地すべり災害対応記録様式を作成した。今後、手引きと併せて意見照会と必要な見直しを踏まえて全国の地すべり所管課へ配布することにより、応急緊急対策の手引き改訂に資することが望まれる。

参考文献

- 1) 藤澤和範、石田孝司、樋口佳意、池田学：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、p59、2007年7月
- 2) 小嶋伸一、藤沢和範、田中尚、武智国加：すべり面推定プログラムの適用性の検討、第46回日本地すべり学会研究発表会講演集、pp323-327、2007年8月
- 3) 藤澤和範、藤平大、石田孝司、徳永博：地すべり応急緊急対策事例の分析、第46回日本地すべり学会研究発表会講演集、pp31-34、2007年8月
- 4) 石田孝司、藤沢和範、徳永博、山田知寛：応急緊急対策としての押し盛土工の形状決定に関する事例分析、第47回日本地すべり学会研究発表会講演集、pp45-48、2008年8月

DEVELOPMENT OF TECHNIQUES FOR EMERGENCY MEASURES OF CURRENTLY ACTIVATED LANDSLIDES

Abstract : Taking measures immediately is necessary to prevent expansion of disaster level after landslide occur. Therefore it is important to grasp characteristics and movement of landslide, and carry out the effective emergency countermeasures as soon as possible. This study aims to develop the remote monitoring system for dangerous slope, estimation method of slip surface shape using several ground surface displacement vectors, and the technique of emergency measures of landslides. In this study, we improved the remote monitoring system. And we inspected the estimation method of slip surface shape. Moreover, we made the draft manual for emergency measures which involved the results of case study of emergency countermeasures.

Keywords : landslides, emergency measures, remote monitoring system, estimation method of slip surface shape