

## 6.1 岩盤・斜面崩壊の評価・点検の高度化に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 18～平 22

担当チーム：防災地質チーム、寒地機械技術チーム

研究担当者：伊東佳彦、阿南修司、日下部祐基、日外勝仁、

穴戸政仁、坂本多朗、国島英樹、佐々木憲弘、山崎貴志、堀田歩

### 【要旨】

北海道では、平成 13 年の北見北陽崩落、平成 16 年のえりも町での大規模斜面崩壊など、岩盤・斜面崩壊等は依然頻発しており、安全な道路環境の維持・保全のため、より精度の高い斜面の調査・評価・点検等の防災システムの構築が急務となっている。本研究は、このような防災システムを構築することを目的に、地球科学的観点から平成 18 年から 22 年の 5 年間、岩盤・斜面の研究を行うものである。平成 20 年度は、岩盤斜面の安全性評価法の提案の一環として、遠心模型斜面評価法の検討を実施した。また、広域調査・監視技術の適用性検討の一環として、北海道における道路防災点検箇所のスクリーニング方法（案）を作成し、北海道開発局に提案した。さらに点検・調査・監視手法の素案作成から現地斜面への適用性検討の一環として、デジタル写真を活用した斜面点検高度化の検討を行った。また、地域別の斜面調査・評価技術の開発の一環として、現地における地質と災害履歴の検討に着手した。また、岩盤斜面災害時の緊急評価技術の開発の一環としてラジコンヘリコプターによる斜面計測手法の適用性を検討した。

キーワード：大規模岩盤崩壊、道路防災点検、ラジコンヘリコプター

### 1. はじめに

北海道では、平成 8 年の豊浜トンネル崩落事故、平成 9 年の第 2 白糸トンネル崩落事故以降も、平成 13 年の北見北陽崩落や平成 16 年のえりも町斜面崩壊など大規模な岩盤・斜面崩壊が発生している。また、道路防災点検等により点検対象外あるいは対策不要とされた箇所でも岩盤・斜面崩壊が発生している。このような岩盤・斜面災害は、国民の生命・財産を奪い道路の不通等で利用者に不便を強いるとともに、道路の復旧や防災対策などに多額の費用がかかるなど、社会的課題となっている。このため、安全な道路交通環境の維持・保全のために岩盤斜面評価のより一層の精度向

上が図られることが求められている。

本研究は、地形・地質や岩盤風化などの地球科学的観点から岩盤斜面の研究を行い、岩盤・斜面崩壊の評価・点検方法のより一層の精度向上を図るものである。

### 2. 年次計画と研究方法

本研究の年次計画を表-1 に示す。20 年度は、岩盤斜面の安全性評価法の提案、広域調査・監視技術の適用性検討、点検・調査・監視手法の素案作成、点検・調査・監視手法の現地斜面への適用性検討、地域別の斜面調査・評価技術の開発および岩盤斜面災害時の緊急評価技術の開発の 6 項目について研究を実施した。

表-1 年次計画

	項目	H18	H19	H20	H21	H22	備考
1	資料・事例の整理・分析						
2	岩盤斜面の安全性評価法の提案						
3	広域調査・監視技術の適用性検討						
4	点検・調査・監視手法の素案作成						
5	点検・調査・監視手法の現地斜面への適用性検証						
6	地域別の斜面調査・評価技術の開発						
7	岩盤斜面災害時の緊急評価技術の開発						
8	道路斜面の調査・評価・点検手法等のとりまとめ						

## 2.1 岩盤斜面の安全性評価法の提案

過年度に続き、遠心模型斜面評価法（以下、遠心評価法）について検討<sup>1)</sup>した。同法は、切欠き（実斜面の背面亀裂に相当）を入れた岩盤斜面の模型を大型遠心力載荷装置により破壊し、破壊時のデータ等から当該岩盤斜面の安全率を評価する方法である。検討手順は以下の通りである。

- (1) 対象とした岩盤斜面の実験条件設定
- (2) 遠心力模型実験結果による実験パラメータと岩盤安全率の関係把握
- (3) 岩盤斜面の安全性評価

## 2.2 広域調査・監視技術の適用性検討

過年度の成果について、北海道における道路防災点検箇所のスクリーニング方法（案）を取りまとめた。

## 2.3 点検・調査・監視手法の素案作成および現地斜面への適用性検討

過年度の成果（斜面点検時のデジタル写真に対する背景差分法の適用条件と課題抽出<sup>2)</sup>、変化箇所抽出に必要とされる対象範囲の最低画素数と面積や体積の算出精度と解像度との関係<sup>3)</sup>）をもとに、20年度は道路斜面の点検・管理の実務運用に向けた以下の課題について検討・整理した。

- 撮影位置の差による背景差分法への影響
- 撮影条件により抽出される差分
- 斜面の変状により抽出される差分
- 既存の画像を用いた背景差分の実現性

なお、背景差分の抽出の際には「正規化」「色調補正」の調整が必要となるが、今回は市販ソフトウェア（Adobe PhotoShop CS3 の「Photomerge」機能）を用いた処理作業の自動化・短時間化について検討した。

## 2.4 地域別の斜面調査・評価技術の開発

検討の一環として、現地における地質と災害履歴の検討を開始した。

## 2.5 岩盤斜面災害時の緊急評価技術の開発

岩盤斜面災害が発生した場合、迅速な災害復旧対策を行うためにも、崩落量の算出や斜面形状の計測は重要と考えられる。しかし、斜面崩落により道路が分断されるなど観測方向が限られ、崩落箇所の全体像を把握できない状況もある。このような状況では迅速な崩落量の算出は難しく、2次災害の危険があり現場に近づくことができない状況などでは崩落量の算出はさら

に困難となる。

そこで、地上においては計測方向が限られている場合でも、空中の比較的自由的な位置より計測を行うことができるラジコンヘリコプターを計測のプラットフォームとし、3次元写真計測とレーザースキャニングについて、空中移動体という不安定なプラットフォームからの計測精度が緊急時の崩落量算出や斜面形状計測に対して十分なものか、地上計測との比較を行うことで検証した。

## 3. 研究結果

### 3.1 岩盤斜面の安全性評価法の提案

#### 3.1.1 対象斜面の実験条件設定

対象とした斜面は、北海道の道路に位置する覆道上部の岩盤斜面（以下、実斜面）である（図-1）。同箇所にはほぼ直交する明瞭な沢状地形（開口亀裂）が認められ、地表踏査及びクライミング調査によって、この沢状地形部に変質粘土化した凝灰角礫岩の存在が確認された。実斜面を構成する地質は、新第三紀中新世の火砕岩（水冷破碎岩）である。現地露頭観察の結果、火砕岩には数 10cm～1m 大の安山岩礫を含む凝灰角礫岩と自破碎溶岩（安山岩）からなり、相対的に軟質な凝灰角礫岩主体相が実斜面の低標高部に分布している。

過去の調査で得られた実斜面の一軸圧縮強さおよび密度は、ともにばらつきがあるが、密度が高い供試体は圧縮強さが高く、密度の低い供試体では圧縮強さも低い傾向が認められている。実斜面の引張強さとしては、過去の岩石試験結果から安全側の値として引張強さの小さい凝灰角礫岩と自破碎質安山岩の平均値  $2.13\text{MN/m}^2$  を、単位体積重量は  $25.0\text{kN/m}^3$  を採用した。

実験では、遠心力載荷装置に設置可能な供試体形状として一辺が 0.6m の立方体を目安とし、実斜面を模擬した縮尺 1/60 の岩盤模型（以下、実模型）を 3次元地形測量で得たデジタル地形データを用いて作成した。

図-2 に検討用に作成した発泡スチロールの実模型を、図-3 に模型に FRP を貼付して作成した模型型枠を示す。実験に用いる実模型を構成する材料モルタルの配合は、遠心力載荷装置の最大加速度  $100g$  以内に岩盤崩落が再現できる引張強さを設定し、別途実施した室内配合試験により決定した。

実験ケースは模型縮尺 1/60 として切欠き高さ  $H$  および浸食深さ  $Z$  を変化させて 5 ケース実施した（表-2）。代表実験ケースとして、実験 No.5 の上面、正面、側面の模型による想定岩盤斜面図を図-4 に示す。ここで切欠き高さ  $H$  とは、岩盤斜面の背面に想定した既存亀裂



図-1 実岩盤斜面

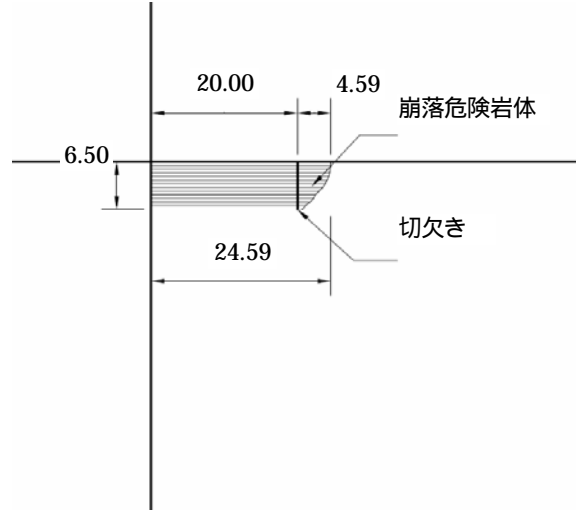


図-2 実岩盤模型

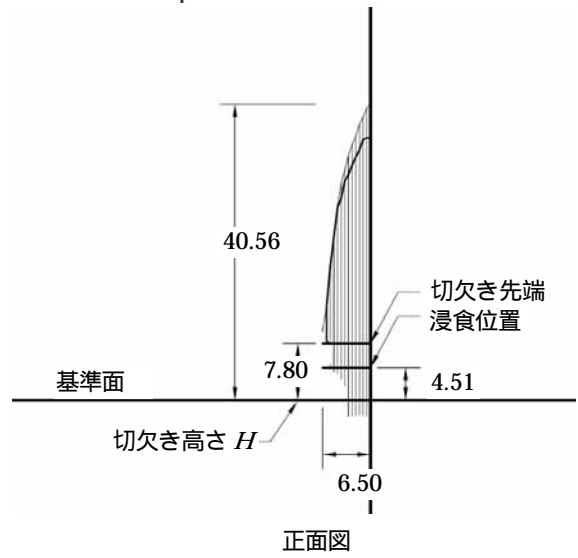


図-3 模型型枠

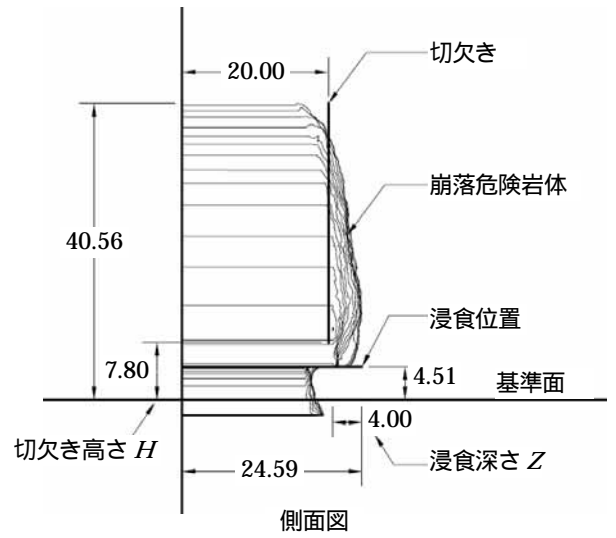


図-4 模型による想定斜面図例(実験 No.5)

表-2 遠心力模型実験条件

実験No.	模型縮尺 1/n	切欠き高さ H		浸食深さ Z	実岩盤斜面 引張強さ	実岩盤斜面 単位体積重量
		実岩盤 (m)	実岩盤 (m)	(m)	$\sigma_s$ (MN/m <sup>2</sup> )	$\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> )
		模型 (mm)	模型 (mm)			
1	60	10.80	0		2.13	25.0
		180	0			
2	60	7.80	0		2.13	25.0
		130	0			
3	60	4.80	0		2.13	25.0
		80	0			
4	60	7.80	2.00		2.13	25.0
		130	33			
5	60	7.80	4.00		2.13	25.0
		130	67			

の位置を示し、岩盤斜面底部に設定した基準面から切欠き先端の高さを表わす。浸食深さ Z とは、同様に浸食位置から下部の岩体を表面から任意の厚さを削り取った深さを示す。

切欠き高さが小さくなるほど新たに発生する亀裂の進展長さが短くなるため、岩盤安全率は低下すると推測される。また、浸食深さが大きいほど新たに発生する亀裂の進展方向が岩盤表面より深い方向に進展して崩落岩体の体積が増加するため、岩盤安全率は小さくなると推測される。

### 3.1.2 遠心力模型実験結果による実験パラメータと岩盤安全率の関係

表-3 に実験結果を示す。本遠心力模型実験では、前述したように各模型供試体の引張強さを 100g 以内に岩盤崩落が再現できる引張強さに設定したため、実岩盤斜面の引張強さと異なっている。

そこで供試体の実測引張強さ  $\sigma_t$  と実岩盤斜面の引張強さ  $\sigma_s (=2.13\text{MN/m}^2)$  の比を  $\alpha (= \sigma_t / \sigma_s)$  および各供試体の単位体積重量  $\gamma_t$  (湿潤密度:  $\gamma_t$  (t/m<sup>3</sup>)  $\times 9.81$ ) と実岩盤斜面の単位体積重量  $\gamma_s (=25.0\text{kN/m}^3)$  の比を  $\beta (= \gamma_t / \gamma_s)$  として、以下の式を用いて補正した。

$$F_{mt} = 1.0 = \frac{\sigma_t (B/n - L/n)^2}{3(n_f \gamma_t) B/n (h/n)^2}$$

$$= \frac{\alpha \sigma_s (B/n - L/n)^2}{3(n_f \beta \gamma_s) B/n (h/n)^2} = \frac{\alpha \cdot n}{\beta \cdot n_f} F_{ps}$$

ここに、B: 崩落危険岩体の高さ(m)、L: 背面の切欠き深さ(m)、h: 崩落危険岩体の幅(m)、 $F_{mt}$ : 実模型が引張強さ  $\sigma_t$  の場合の岩盤安全率、 $F_{ps}$ : 実斜面が引張強さ  $\sigma_s$  の場合の岩盤安全率、n: 模型縮尺、 $n_f$ : 崩落加速度(重力加速度 g)

上式より実斜面の岩盤安全率  $F_{ps}$  が次のように求め

表-3 遠心力模型実験結果

実験No.	崩落加速度 実験値 $n_f$ (g)	実験後抜き取り試料				
		湿潤密度 $\rho_t$ (t/m <sup>3</sup> )	一軸圧縮強さ $\sigma_c$ (MN/m <sup>2</sup> )	破壊ひずみ $\epsilon_f$ (%)	静弾性係数 $E_{sus}$ (GN/m <sup>2</sup> )	引張強さ $\sigma_t$ (MN/m <sup>2</sup> )
		1	100以上	1.81	3.19	0.15
2	100	1.86	1.96	0.15	1.70	0.42
3	69	1.86	3.20	0.09	7.00	0.52
4	37	1.84	3.28	0.15	3.92	0.45
5	75	2.22	18.10	0.20	14.40	1.64

られる。

$$F_{ps} = \frac{\beta \cdot n_f}{\alpha \cdot n}$$

実験結果は、上式により岩盤安全率を求めて各種パラメータとの関係を検討した。図-5 に切欠き高さや岩盤安全率、図-6 に浸食深さと岩盤安全率の関係をそれぞれ示す。岩盤安全率は、切欠き高さが小さいほど、また浸食深さが大きいほど小さくなる傾向にあり、実験条件で推測された傾向と一致する。

また、実験に用いた実斜面の引張強さ (2.13MN/m<sup>2</sup>) と単位体積重量 (25.0kN/m<sup>3</sup>) では、実験パラメータで最も危険な状態にある切欠き高さ H=4.80m および浸食深さ Z=4.00m においても岩盤安全率  $F_{ps}=1.0$  以上を示し、この条件では岩盤斜面は安全と評価される。実斜面頂部周辺の亀裂変位計測データ(道路管理者が計測)も現在のところ異常な変化は認められておらず、実験結果と調和的である。

しかし、自然岩盤斜面には地質不連続面などの強度の小さい弱面が分布しており、また、経年的な岩盤の風化により劣化することも予想される。現状の調査技術では、岩盤内部の弱面の強度や劣化による強度低下を定量的に把握することは困難である。既存文献によると、岩石のせん断応力に関して岩石がせん断された後の残留せん断応力は、せん断応力のピーク値である最大せん断応力の 0.3~0.6 程度といわれている。また、岩盤壁面の有効圧縮強さは、不連続面に充てん物が無い場合の安全側の値として母岩一軸圧縮強さの 1/4 の値を用いることが推奨されている。これらを参考に、実斜面に採用した引張強さを 1/2、1/4 とした場合の関係を図-5、図-6 に示す。引張強さの 1/2 で浸食深さが増すと、岩盤安全率  $F_s$  が 1.0 以下になる状態が現れる。また、1/4 の強度低下では、切欠き高さ 5.0m 程度で浸食深さ無しで岩盤安全率  $F_{ps}$  が 1.0 以下になる。

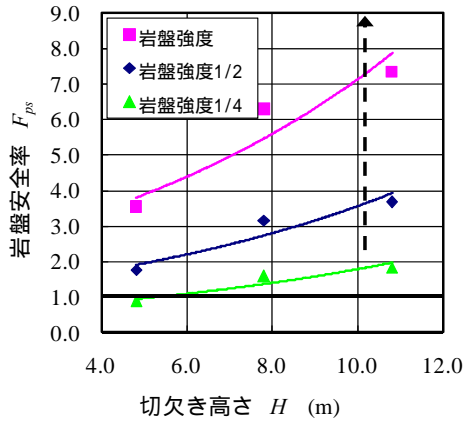


図-2 切欠き高さ  $H$  と岩盤安全率  $F_{ps}$   
(浸食深さ  $Z=0.0\text{m}$ )

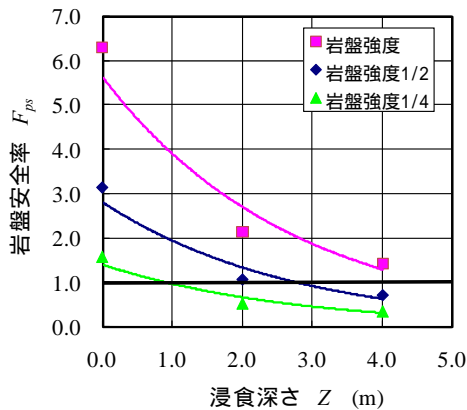


図-3 浸食深さ  $Z$  と岩盤安全率  $F_{ps}$   
(切欠き高さ  $H=7.80\text{m}$ )

### 3.1.3 遠心評価法の適用性の検討

前述のとおり、実験で用いた各パラメータの最も危険な状態においても岩盤安全率  $F_{ps}=1.0$  以上を示すが、これは実岩盤斜面が現時点で変状の兆候が認められないことと調和的である。このことから、本斜面の安全性評価における遠心評価法による斜面評価は概ね妥当であると考えられる。なお、経年的な強度低下を想定して岩盤強度を  $1/2$ 、 $1/4$  にした場合は岩盤安全率  $F_{ps}=1.0$  以下になる。この結果を岩盤斜面の安全性評価にどのように活用するかについては、今後、検討が必要である。

## 3.2 広域調査・監視技術の適用性検討

北海道における道路防災点検箇所のスクリーニング方法(案)を整理し、国土交通省北海道開発局建設部道路維持課と共同で「北海道における道路防災点検の運用と解説(案)」として取りまとめた。同解説(案)

の目次は以下のとおりである。

### 第1章 総則

### 第2章 点検対象区間の選定(第1絞込み)

### 第3章 安定度調査箇所の選定(第2絞込み)

### 第4章 安定度調査の流れ

### 第5章 各点検対象項目の安定度調査の手法

本解説(案)には、重点プロジェクトの成果である地域特性把握図の作成(第2章第3節)や道路防災基本図の作成(第3章第2節第2項)等が組み込まれている。

## 3.3 点検・調査・監視手法の素案作成～現地斜面への適用性検討

### 3.3.1 撮影位置のズレによる影響

写真撮影の際はペンキや見出し杭による撮影位置のマーキングを行っているが、時間の経過に伴うペンキの薄れや消失、積雪・土砂の被覆により位置確認が困難となる事が予想されるため、意図的に定点から撮影位置を移動させ、許容範囲の検証を行った。検証対象としては撮影対象から水平移動が可能な箇所を選び、対象斜面との距離を約  $60\text{m}$  とし、撮影位置を  $5\text{m}$  (約  $5^\circ$ ) ずつ移動して撮影し、背景差分抽出への影響を確認した。  $20\text{m}$  以上移動した場合は補正が十分に行えず、画像の重ね合わせ自体が出来なかったが、  $5\sim 10\text{m}$  程度の移動であれば背景差分法の実施は可能であった(図-7)。但し、移動距離に応じてノイズが多くなるため、抽出された差分が実変化なのか誤差なのか、元写真を見比べた個別判断が必要となる。

### 3.3.2 撮影条件の違いによる差分抽出

背景差分法により抽出される差分には、変状によるもの以外に、光の加減や季節変動、植生、機材・設定といった撮影条件の違いにより抽出されるものがあり(図-8、図-9、図-10) 写真の差分がそのまま実斜面の変状を示すとは限らない点に注意が必要である。

### 3.3.3 落石・斜面崩壊による差分抽出

本研究の主目的である落石や斜面崩壊といった変状を捉えた事例についての検討結果を以下に示す。

写真撮影及び差分抽出を行う時間間隔の検討資料にするため、落石が頻発している覆道間の急崖斜面において2年3ヶ月間に5回の写真撮影を行った。時期の近いもの同士の写真を4組と最初と最後の写真の1組において、比較を行った(図-11)。差分抽出された箇所数は、短期間比較の合計と長期間比較と同じ結果



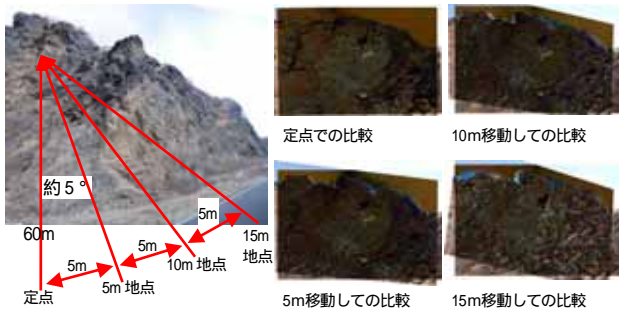


図-7 撮影位置の移動による差分抽出結果の違い



図-8 日照変化による背景差分抽出



図-9 季節変動による背景差分抽出



図-10 植生状況変化による背景差分抽出

となったため、ある程度の撮影間隔が空いても十分に差分抽出が行えることが確認された。しかし、比較の中で光の当たり具合により、元写真による再確認を要した差分の判断しにくい組合せがあることから、変状発生時期の範囲を狭める意味でも、撮影時間間隔を密にすることが望まれる。

比較的大きな規模の岩体剥離が捉えられた事例を図-12 に示す。この崩壊箇所については、計測用ソフトウェア(クラボウ社製「クラヴェス」<sup>4)</sup>)を用いて、複数枚の写真からステレオ化し作成した地形モデルの崩壊前後の差分から、今回の崩壊土量を 57.0 m<sup>3</sup>と算出できた(図-13)。背景差分法では写真撮影枚数は1枚で十分だが、変動量計測法では3枚以上が必要となり、現地での作業負担が増すことになるため、写真撮影等の運用基準についての更なる検討が必要と思われる。

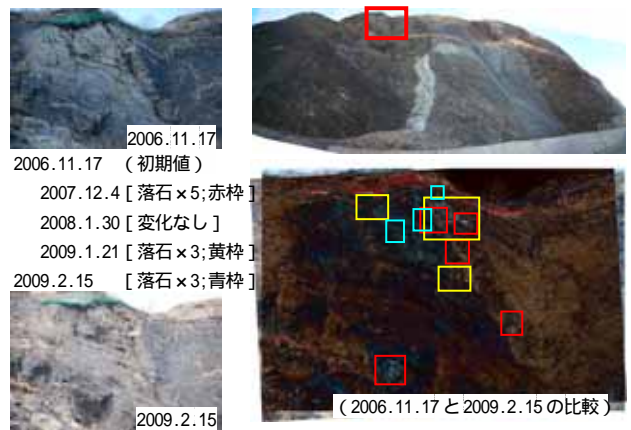


図-11 落石発生状況(2006.11.17~2009.2.15)

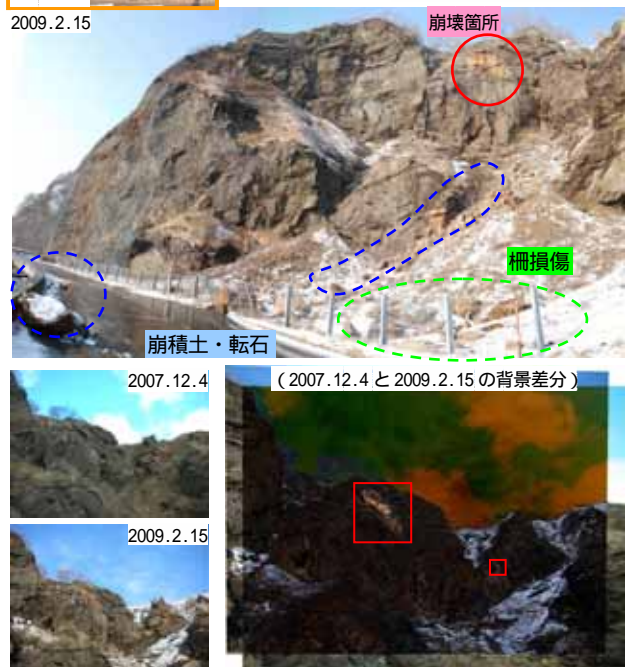


図-12 崩壊発生状況(2007.12.4~2009.2.15)

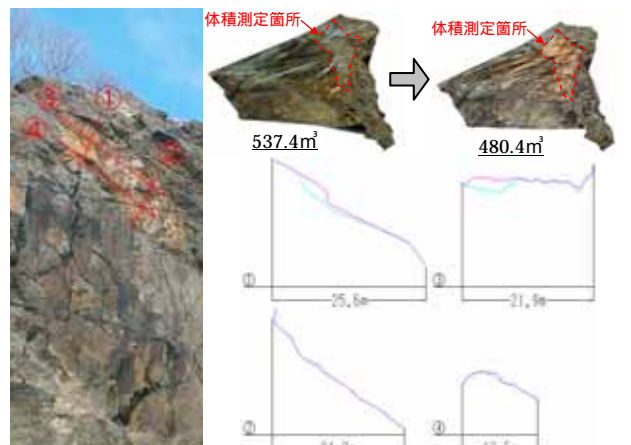


図-13 崩壊箇所の地形モデルと断面図

### 3.3.4 斜面点検写真以外への背景差分法適用

本研究では撮影位置をマーキングし定点から背景差分法に適した方法で撮影を実施している。しかし、実際に観測を行っている期間も箇所数も限られており、同手法によって把握出来る崩壊や変状の特性を検証する上で必ずしも十分な数とはいえない。そこで、本研究の中で撮影した斜面写真以外にも同手法が適用できないか検討するため、過去の岩盤崩壊発生箇所において撮影された銀塩写真についても同手法を試行した。なお、使用した画像は、落石・亀裂の進展の確認を目的とした定点からの同一レンズによる撮影ではあるが、印刷された報告書をスキャンしたものである。落石や湧水、崩積土の移動などについては差分抽出が可能であり、十分な実用性が見込まれる結果となった。ただ、亀裂の進展や開口といった細かな変化までは把握できなかった(図-14)。

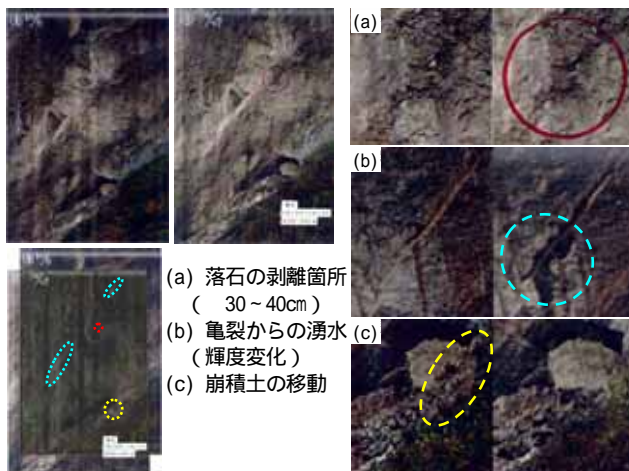


図-14 既存写真資料における差分抽出結果

## 3.4 岩盤斜面災害時の緊急評価技術の開発

### 3.4.1 計測機器・計測方式

#### (1) ラジコンヘリコプター (以下、ラジヘリ)

計測のプラットフォームとしたラジヘリは、農薬散布用などで広く普及している産業用無人ヘリコプター YAMAHA製RMAX (図-15) とした。



図-15 ラジヘリの全容

#### (2) 3次元写真計測

3次元写真計測には種々の計測方法があるが、今回の計測では、1台のカメラでそれぞれ別の方向より撮影された複数枚の写真から3次元モデルを作成する方法を用いた。ラジヘリの防振架台上に設置されたデジタルカメラ (Nikon COOLPIX5700) により撮影した写真を用いて、計測用ソフトウェアである「クラヴェス」により3次元モデルを作成し、計測を行った。

#### (3) レーザースキャナ

レーザースキャナとは、機器から発射したレーザーが計測対象に反射して帰ってくる時間から計測対象までの距離を計測し、そのときのレーザーの角度情報と合わせることで、計測対象の3次元形状を計測する機器である。移動体からの計測が可能で、かつラジヘリに搭載可能なほど小型軽量化したレーザースキャナがSkEyes Unlited社製MP-1であり、これを今回の計測に使用した。

精度比較のための地上計測で使用した地上設置型レーザースキャナは、計測座標精度 $\pm 6\text{mm}$  (計測距離50m以内) の仕様を持つLeicaGeosystems社製HDS3000とした。

### 3.4.2 計測結果

計測対象は、図-16に示す幅約50m、高さ約7mの斜面とした。



図-16 計測対象斜面

ラジヘリから計測対象斜面を撮影した写真2枚を用いて、代表点数4347点 (高密度) と317点 (低密度) の2種類の3次元モデルを作成した(図-17、図-18)。ラジヘリからのレーザースキャニングでは、計測対象斜面に対して条件の良い位置からの計測が行えるため、死角となる部分が発生しにくく、計測点を計測対象斜面全体にほぼ均一に分布させることができる(図-19)。計測点の密度が低くなっている部分があるが、これは植生の影響により地表面を計測できなかったためである。地上からのレーザースキャニングにおいては、1



箇所からの計測では死角となる部分が発生し計測対象斜面全体を計測することができないため、4箇所からの計測結果を重ね合わせた(図-20)。ラジヘリからの斜面レーザースキャニングと異なり、レーザースキャナの死角になる部分や計測レーザーの角度が浅くなる部分があるため、計測点の密度が低くなっている部分がある。また、斜面凹凸の陰影が明確に出ており斜面形状は把握しやすいが、オーバーハング等がある場合にはその影になる部分は計測できないということでもある。

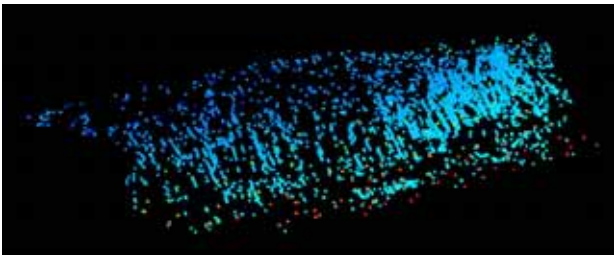


図-17 3次元モデル(高密度:代表点数4347点)

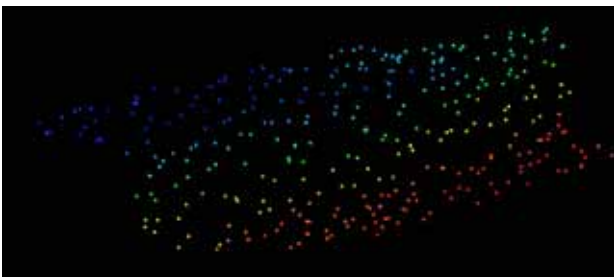


図-18 3次元モデル(低密度:代表点数317点)

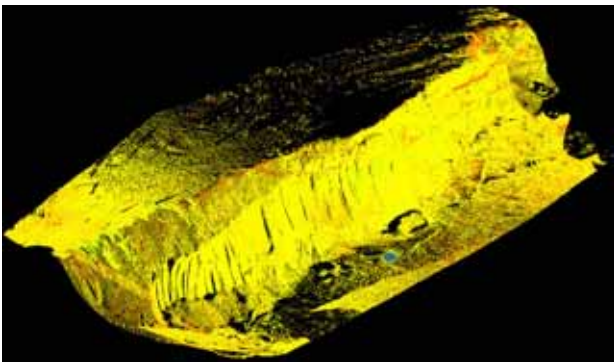


図-19 レーザースキャニング結果(ラジコンヘリ計測)

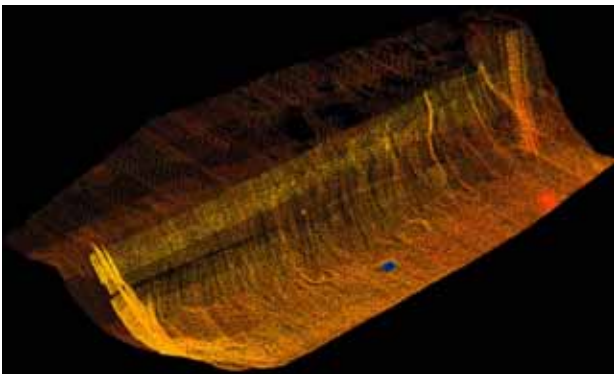


図-20 レーザースキャニング結果(地上計測)

### 3.4.3 計測点比較

写真-5に示す斜面手前に置いた看板(600×1200mm)の部分について、地上およびラジヘリからのレーザースキャニングにより得られた計測点を、看板表面に対して横から見た図を図-21に示す。地上からの計測では看板表面に対して計測点のばらつきは1cm程度であるのに対して、ラジヘリからの計測ではばらつきは10cm程度となっておりばらつきが大きい。これは、ラジヘリからの計測では、レーザースキャナ自体の誤差の他にGPSの精度に起因する位置誤差やIMUの精度に起因する姿勢誤差などが含まれるためと考えられる。しかし、以降の項での結果を見る限り計測結果への悪影響は少ないと考えられる。

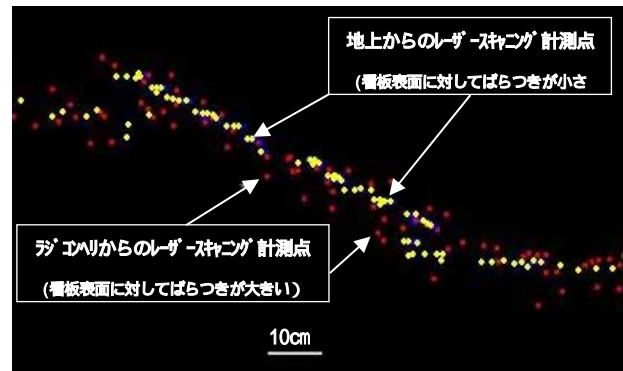


図-21 計測点比較

### 3.4.4 斜面形状の比較

地上計測より作成した斜面平面図を図-22に示す。同図中の3次元写真計測モデリング範囲とは、3次元写真計測により作成した3次元モデルの範囲である。また、地上からの計測、およびラジヘリからのレーザースキャニングに基づき、3次元写真計測により作成した3次元モデル(高密度、低密度)についての図-17に示す断面線における断面を図-23に、標高300mおよび303mにおける水平断面を図-24に、それぞれ示す。

地上計測とラジヘリからのレーザースキャニングとの比較においては、断面2の斜面下端付近で最大20cm程度の誤差が見られる(図-23)。また、断面2の上段面では断面形状に差異が見られる。これらは地上計測では死角等となり計測点がほとんどない場所であり、ラジヘリからの計測の方が現況を良く表現している。他の場所では、部分的に10cm程度の誤差はあるが計測結果は概ね一致している。

地上計測と3次元写真計測とを比較すると、部分的に最大50cm程度の誤差が見られるが、斜面の大まかな形状把握は十分に行える。



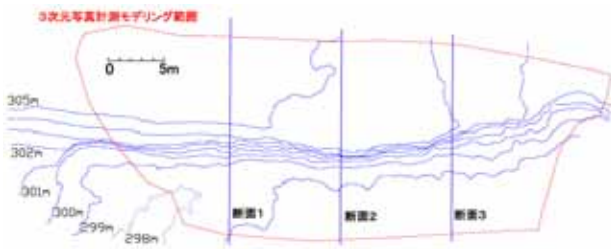


図-22 斜面平面図

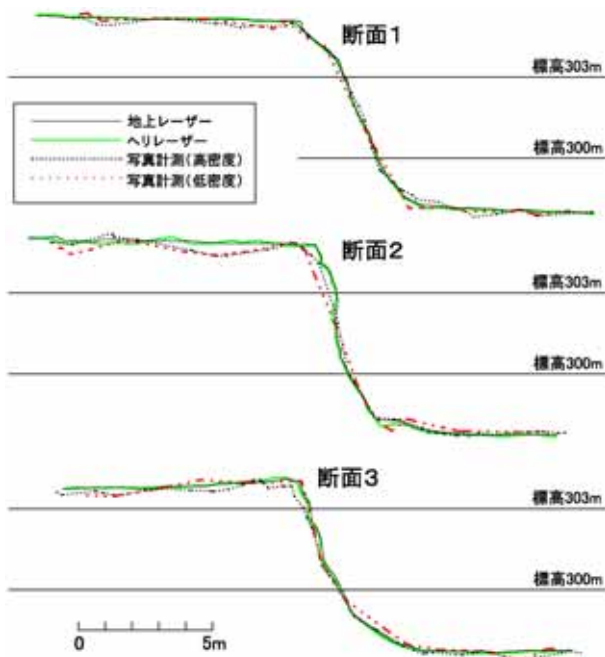


図-23 斜面垂直断面比較

図-24より、地上計測とラジヘリからのレーザースキャニングを比較すると、部分的に最大1m程度の誤差が見られる。これらの場所は斜面勾配が小さいために誤差が大きく表現されたと考えられる。それ以外の部分では計測結果は概ね一致している。

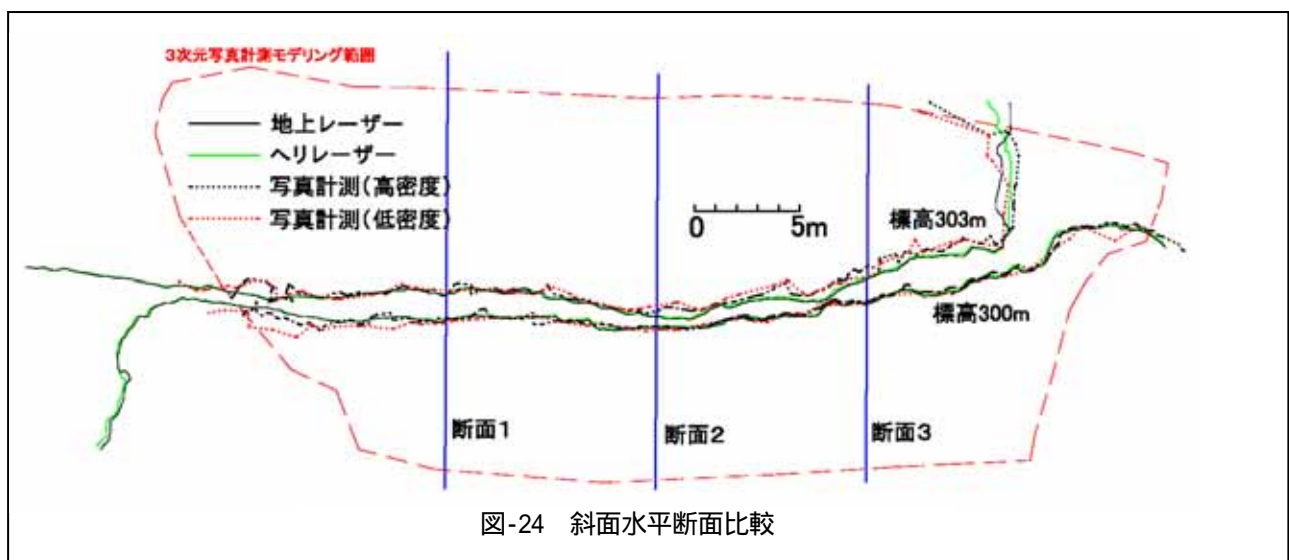


図-24 斜面水平断面比較

地上計測と3次元写真計測との比較においては、斜面形状を表現する代表点数がレーザースキャニングに比べて少ない3次元写真計測であっても、全体的な斜面形状は良く表現されている。さらに、代表点数を10分の1以下にした低密度モデルであっても、高密度モデルとの明確な差異は見られない。

### 3.4.5 体積の比較

各計測結果よりそれぞれ体積を算出した。体積算出範囲については、平面的には図-17に示す3次元写真計測のモデリング範囲とし、標高297.8mを算出基準面とした。体積算出結果を表-4に示す。

地上計測とラジヘリからのレーザースキャニングとの比較においては体積差が6m<sup>3</sup>となっており、緊急に必要な精度としては十分精度の良い結果となっている。また、原理的に精度においては不利と考えられた3次元写真計測においてもラジヘリからのレーザースキャニングと変わらない結果が得られ、さらに、低密度のモデルでも、高密度モデルとの体積差は5m<sup>3</sup>(誤差0.2%以下)と明確な差異は見られない。

表-4 体積比較

計測方式	体積 (m <sup>3</sup> )
地上からのレーザースキャニング	3,143
ラジヘリからのレーザースキャニング	3,137
3次元写真計測(高密度)	3,137
3次元写真計測(低密度)	3,132

## 4. まとめ

平成20年度の研究成果の概要について以下に示す。

### 4.1 岩盤斜面の安全性評価法の提案

遠心模型斜面評価法（遠心評価法）の現地適用性について、実岩盤斜面の模型を用いて検討<sup>1)</sup>した。実斜面で得られた単位体積重量や引張強さ等の物理・力学特性等をもとに3次元模型を作成し、切欠き高さや浸食深さをパラメータにして、遠心載荷装置による破壊実験を実施した。実験の結果、実験で用いた各パラメータの最も危険な状態においても岩盤安全率  $F_{ps}=1.0$  以上を示すが、これは実岩盤斜面が現時点で変状の兆候が認められないことと調和的である。このことから、本斜面の安全性評価における遠心評価法による斜面評価は概ね妥当であると考えられる。なお、経年的な強度低下を想定して岩盤強度を1/2、1/4にした場合は岩盤安全率  $F_{ps}=1.0$  以下になる。この結果を岩盤斜面の安全性評価にどのように活用するかについては、今後、検討が必要である。

### 4.2 広域調査・監視技術の適用性検討

過年度までの成果を整理し、国土交通省北海道開発局建設部道路維持課と共同で「北海道における道路防災点検の運用と解説（案）」として取りまとめた。

### 4.3 点検・調査・監視手法の素案作成および現地斜面への適用性検討

今年度は、市販ソフトウェアを用いた画像の補正・重ね合わせを行い、継続観察箇所において背景差分法により抽出された種々の変化差分について考察を行った。また、実際の斜面崩壊現象についても点検写真で捕捉することができ、変動量計測手法により崩壊前後の地形モデルの作成及び崩壊土量の算出が行えた。今後は、継続して崩壊事例の蓄積を行うとともに、観測・検討結果を踏まえた「岩盤斜面の写真点検マニュアル」としてとりまとめたい。

### 4.4 岩盤斜面災害時の緊急評価技術の開発

ラジヘリからのレーザースキャニングでは、計測点のばらつきにより精度的には地上からのレーザースキャニングに及ばないが、災害時の緊急的な用途においては十分な精度があることを確認した。また、地上からは死角となり計測できない場所への対応が可能な場合があるため、災害時に有用であると考えられる。

ラジヘリからの3次元写真計測では、計測の原理上、

地形の詳細な形状を表現することは困難であるが、緊急時における地形の全体像の把握や体積の算出には十分な精度があることを確認した。また、作成モデルの代表点数の多少による精度差があまり見られなかったことから、作成モデルの簡素化による計測時間の短縮を望める結果となっている。

今後は、レーザースキャニングについては計測データの取扱いの簡略化についての検討を、3次元写真計測については計測手法の簡略化についての検討を、それぞれ行うことにより、現場状況に応じた緊急的な計測技術を確立したいと考えている。

## 4.5 今後に向けて

道路斜面对策は、危険斜面の抽出からはじまり、抽出斜面の評価、計測を経て対策へと進む。これらの検討を円滑に実施するためには、微地形と地質との関係、岩相や地質構造、岩石や鉱物特性、岩石の風化・劣化など地質学的アプローチと、岩石・岩盤の工学特性の計測・評価など工学的アプローチが重要である。当研究チームは両者を連携させ、岩盤斜面の崩壊機構について解明を進めることを通じ、道路防災に寄与していきたいと考えている。

## 参考文献

- 1) 日下部祐基, 三浦均也, 伊東佳彦, 石川博之, 表真也: 「切欠きを有する岩盤模型の遠心力模型実験による危険度評価法の適用例」, 第38回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, pp.178-183, 土木学会, 2009.
- 2) 日外勝仁, 岡崎健治, 伊東佳彦: 「写真計測技術を用いた道路斜面点検手法の高度化」, 平成19年度全国大会第62回年次学講演会講演概要集, pp.39-40, 土木学会, 2007.
- 3) 日外勝仁, 日下部祐基, 伊東佳彦: 「写真計測技術を用いた道路斜面点検手法の高度化(その2)」, 平成20年度全国大会第63回年次学講演会講演概要集, pp.291-292, 土木学会, 2008.
- 4) KURABO Kuraves-K URL: [http://www.kurabo.co.jp/el/3d/kuraves\\_01.html](http://www.kurabo.co.jp/el/3d/kuraves_01.html) (2009.4.10)

## **RESEARCH FOR UPGRADING OF ESTIMATION AND EXAMINATION OF ROCK AND SLOPE FAILURE**

**Abstract** : This study aims to keep road safety and upgrade of estimation and examination of rock and slope failure. Then, analysis of recent records of slope failure, proposal of estimation plan for rock slope failure, study for application of survey and watch technique of wide area, plan making of new system of research, watch and check of slope failure and check of its applicability for actual slope, development of detailed investigation and evaluation method for each area under different geological condition, development of immediate evaluation method for rock slope failure, and summarization by putting together the above mentioned study, are needed to be carried out. In 2008, safety factor assessment method for rock slopes using centrifuge model test was studied as a part of proposal of estimation plan for rock slope failure. A new screening method for slope failure along national road was proposed as a part of study for application of survey and watch technique of wide area. Slope check method with digital camera was studied as a part of plan making of new system of research, watch and check of slope failure. Slope observation method by radio-controlled helicopter was studied as a part of development of immediate evaluation method for rock slope failure.

**Key words** : large-scale rock slope failure, road disaster prevention inspection