

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、宍戸政仁、高橋幸継、国島英樹、
山崎貴志、堀田歩

【要旨】

北海道では平成 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としている。平成 21 年度は、点検・調査・監視手法の適用性検討の一環として、デジタル写真計測、微小電位観測、レーザーカメラ監視の斜面点検・監視への適用性を検討した。地域別の斜面調査・評価技術の開発の一環として、現地調査により災害履歴と地質との関係を検討した。岩盤斜面災害時の緊急評価技術の開発の一環として、災害斜面の写真計測における簡易歪み補正法を検討した。また、岩盤斜面安定性評価法として 3 次元極限平衡解析ソフトを開発し、ホームページ上に公開した。

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、平成 13 年の北見北陽崩落、平成 16 年のえりも町斜面崩壊など大規模な岩盤・斜面崩壊が依然発生している。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・斜面崩壊が多数発生している。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をはか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. 研究方法

2.1 点検・調査・監視手法の現地斜面への適用性検証

2.1.1 写真計測

一般国道 229 号積丹地区を対象に作成したマニュアル（案）に基づく背景差分を試行し、適用にあたっての課題の抽出を行った。撮影は、夏季、初冬季、冬季、厳冬季の 4 時節を対象として実施した。

2.1.2 微小電位観測

地すべり活動中の斜面で地中電位を計測した。微小電位観測網は、図-1 に示すとおり変状斜面末端部を網羅するようにして地表電極を計 6 箇所設置した。また、同じ

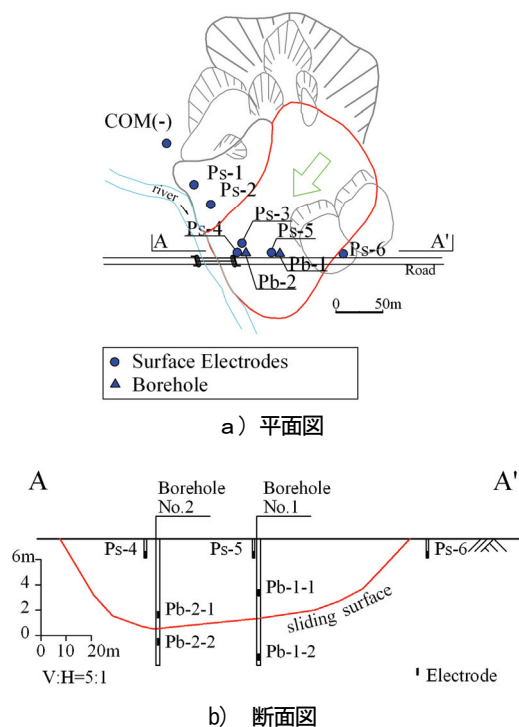


図-1 微小電位観測箇所

く変状斜面末端部にボーリング孔を2箇所設け、地中電極をすべり面以浅の変状土塊中に1箇所ずつ、すべり面以深の不動土塊中に1箇所ずつ設置した。

2. 1. 3 レーザーカメラ監視

レーザーカメラにより適度な明るさの画像を得るためには、レーザー光量を調整して撮影する必要がある。そこで、斜面の異常を視認できる画像を得るための適正な撮影対象物が受けるレーザー光量（以下、受光パワー）を求めて、適正なレーザー照射器の出力光量（以下、照射パワー）を簡易に求める図表を作成する実験を行った。

実験に用いたレーザーカメラの仕様を表-1に示す。実験は、撮影対象とした実斜面より100m離れた位置にレーザーカメラを設置して、画像の画角を一定にして照射パワーを任意に変化させ、斜面側で受光パワーを計測した。

2. 2 地域別の斜面調査・評価技術の開発

火砕岩・溶岩を主体とする積丹地区に位置する旧道部の11地区で、旧道部の新規変状を確認し、過去の近傍で発生した災害との関連性を検証することを目的として現地調査を実施した。

2. 3 岩盤斜面災害時の緊急評価技術の開発

21年度は特殊な計測機器を用いない計測方法である「3次元写真計測」について、より一般的に利用できる計測方法とすることを目的に、トータルステーションを使用して3次元写真計測に必要な写真歪み補正を簡易的に行う方法を検討した。

実験は、デジタルカメラ6機種（カメラA～F）について、撮影した写真の歪み計測を行った。トータルステーションにより特徴点として写真-1に示すテストターゲットを設置して計測を行い、歪みを補正するための係数を算出した。

3. 研究結果

3. 1 点検・調査・監視手法の現地斜面への適用性検証

3. 1. 1 写真計測

調査の結果、撮影時期の問題として夏季の撮影時には、植生により撮影対象の確認が困難になることが判明した。当該箇所は急崖上に存在する岩盤斜面であり、一般には接近が困難である。またアングルを変更した場合には斜面形状から着目点を視認出来なくなる。

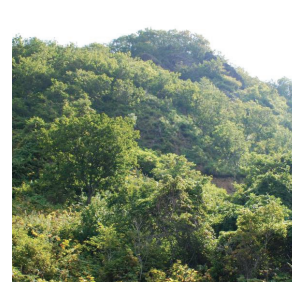
このような問題点に関しては、現状の地上写真では限界があり、現地では有効な対処方法は見出せなかった。このため、このような斜面は観察時期が限られることになるが、現状で第三者被害が想定されるような現道の場合は、定期的な空中写真撮影を実施するなど別途の対処

表-1 レーザーカメラの仕様

項目	仕様内容
システム構成	レーザー照射器、高感度CCDカメラ、ズームレンズ
レーザー照射出力	$L_{\text{max}}=1\text{W}$
照射器サイズ	縦横 100mm×長さ 300mm
照射器重量	5kg
レーザー到達距離	2～3km（最大レーザー照射角度 $\theta_{\text{max}}=10^\circ$ ）
映像	昼：カラー、夜：白黒
レーザー波長域	近赤外線
照射方式	連続照射方式（レーザー照射縦横比 X:Y=3:2）
照射器耐久時間	10,000時間
夜間の文字認識	約2km先の30cm角の文字判読可能
録画	リアルタイム画像をカメラから提供（蓄積装置なし）



写真-1 テストターゲット



9月撮影写真



11月撮影写真

写真-2 写真撮影時期の違い



焦点距離 24mm 分解能 63mm

焦点距離 70mm 分解能 22mm

写真-3 1つの着目点に対して複数枚の撮影

法を検討することが考えられる。(写真-2 参照)

次にカメラレンズ構成の問題として、必要な分解能を得るためのレンズ構成では、撮影対象の全貌を撮影できない、あるいは撮影対象までの距離が近く、撮影対象の全貌を撮影できないケースがあることが分かった。この対策としては、必要な分解能を満たせない場合や撮影対象が1枚に収まらない場合には、必要精度を満たす焦点距離のレンズを用いて1つの着目点に対して複数枚の撮影を実施することが考えられる。(写真-3 参照)

撮影位置に関する問題としては、冬期間の積雪や除雪のために2回目以降の撮影時に撮影位置が特定できないことや、積雪のために撮影カメラの高さの違いが生じることが判明した。この対策としては、DGPSのナビゲーションによる撮影位置の復元、あるいは積雪の影響のない擁壁部などの構造物にマーキングして撮影位置を復元する、積雪によるカメラ高さの違いについては、積雪の高さに対応した低い体勢で撮影するなどが考えられる。(写真-4 参照)

以上の結果を問題点と対応例として、作成したマニユ



写真-4 積雪による高さの違い

アル案に追記した。

3. 1. 2 微小電位観測

図-2に全電極が設置完了した2007年11月からの微小電位変動傾向を時系列で示す。図より各電極と地中電極間の電位差の絶対値は、夏季に大きく冬季に小さい傾向が認められ、季節変動が大きく現れている。斜面の変状で発生する微小電位を観測するためには、この季節変動を除去する必要がある。

斜面崩壊や岩盤崩落などの監視すべき範囲が限られた

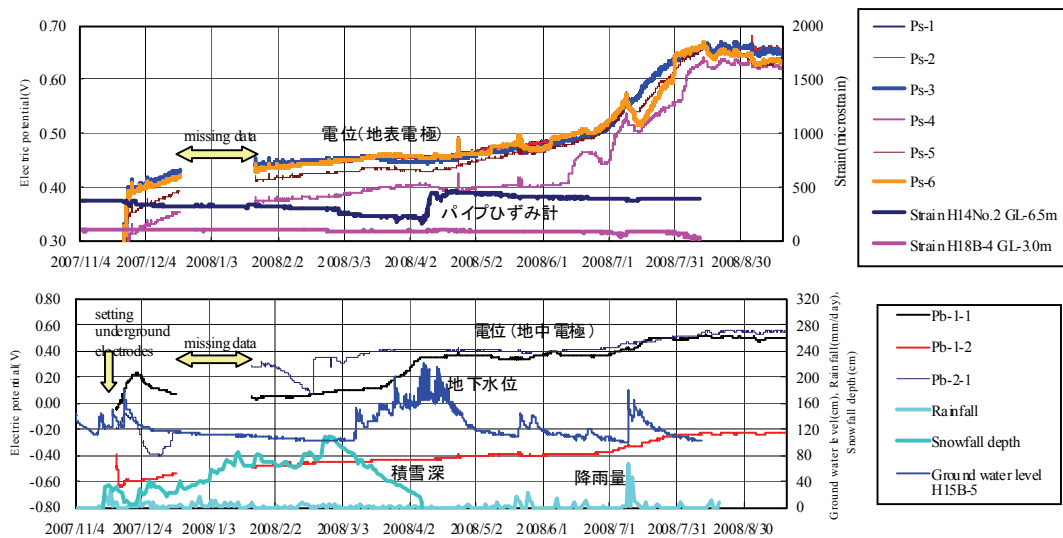


図-2 微小電位の年変動と地下水位 (各電極と地中電極 Pb-2-2 との電位差: com(-):Pb-2-2)

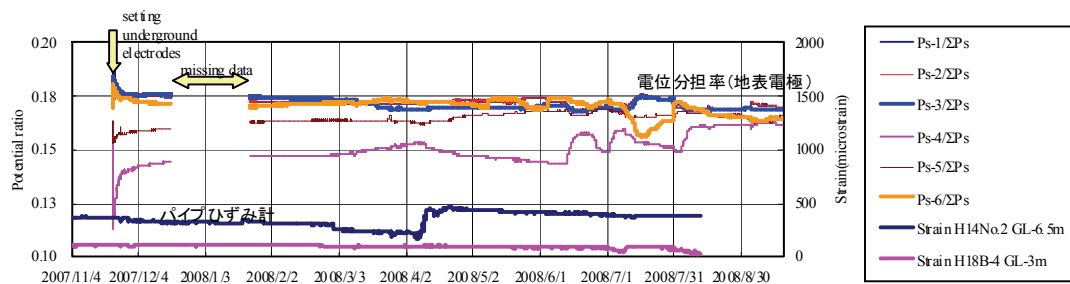


図-3 電位分担率の年変動 (com(-):Pb-2-2)

表-2 実験結果

実験ケース	照射距離 (m)	照射パワー (W)	受光パワー (nW)	画像観察結果	レーザー光量判定
1	100	0.0471	1700	明るすぎて文字板がハレーションにより見づらい	明るい
2		0.0123	204	文字板がよく見える	適正
3		0.0024	75	文字板がぎりぎり見える	やや暗い
4		0.00047	12	暗すぎて見づらい	暗い

場では、季節的な降雨などの外的要因に起因する微小電位変動は観測フィールド全体でほぼ一様に影響を受けると考えられるため、複数地点で微小電位計測をおこなうことにより、その影響を除去できる可能性がある。そこで各電極の分担率（以下、電位分担率）に着目した。電位分担率(Potential ratio)とは、ある微小電位観測場全体が持つ電氣的ポテンシャルのうち、その地点がどれだけのポテンシャルを分担しているかをあらわす指標であり、さらに各電極の電位差を合計電位差で除算することで、一様に影響している外的要因を除去できる可能性がある値である。式(1)、式(2)に地表電極の電位分担率を示す。

R_n ：地表電極Ps-nの電位分担率

$$R_n = P_{s-n} / \sum P_s \quad (1)$$

$$\sum P_s = P_{s-1} + P_{s-2} + P_{s-3} + P_{s-4} + P_{s-5} + P_{s-6} \quad (2)$$

図-3に地表電極の電位分担率の変動傾向を、時系列にまとめて示す。各地表電極の電位分担率では、電位差の絶対値の変動傾向にみられた夏季と冬季の違いによる変動を除去できていることが分かる。また、電位分担率の変動傾向は、12月ごろから3月上旬にかけて変動が少なく、3月上旬ごろから7月下旬にかけて変動が比較的大きい。特にまとまった降雨のあった5月中旬および、7月上旬の変動が大きい結果となっている。電位分担率の変動があった時期に着目してパイプひずみ計の動きを見ると、5月中旬にはほとんど斜面変状が起こっていないが、7月上旬の豪雨時には若干の斜面変状が認められる。

識別され得る電位分担率の変動が、斜面変状に先行して確認されたことから、電位分担率が斜面不安定化に至る臨界状態を示す指標となる可能性が示唆される。この結果を取り入れて、現在マニュアル(案)を作成中である。

3. 1. 3 レーザーカメラ監視

表-2に実験結果を示す。この結果から適正な明るさで対象物を明瞭に視認するのに必要な対象物側のレーザー受光パワーの範囲は、以下ようになる。

$$1700\text{nW} > L_j \geq 75\text{nW}$$

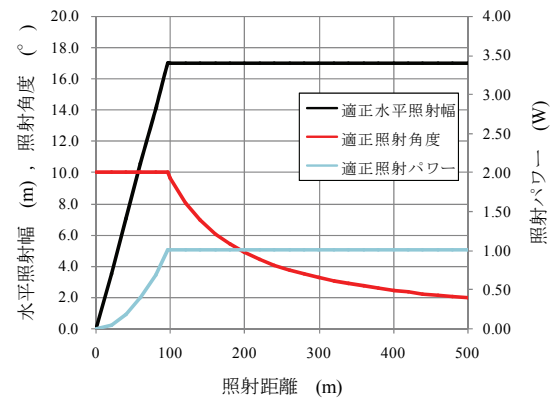


図-4 $L_{smax}=1\text{W}$ とした場合の照射距離に応じた照射パワー、照射角度の関係

表-3 近傍の災害一覧

地区	整理番号	旧 KP	被災種別	過去の変状との関係		確認年度
				整理番号	区分	
滝の淵	1-10	9.71	落石	1-2 (H19)	発生源・形態が同じ	H20
	1-11	9.75	落石	1-2 (H19)	発生源・形態が同じ	H20
	1-12	10.9	落石	1-9(H19)	近傍で地質が同じ	H21
神師	5-12	49.8	雪崩	無し	無関係	H20
	5-13	49.8	落石	5-1(H19)	発生源・形態が同じ	H20
	5-14	49.9	落石	5-2(H19)	発生源・形態が同じ	H20
	5-16	49.9	落石	5-3(H20), 5-14(H20)	発生源・形態が同じ	H21
	5-15	50.6	落石	5-5(H19)	発生源・形態が同じ	H20
	5-17	50.1	落石	5-4(H19)	発生源・形態が同じ	H21
	5-19	50.41	落石	5-10(H19), 5-11(H19)	発生源・形態が同じ	H21
キナウシ	6-6	65.55	岩盤崩壊	6-3(H19)	変状の進行	H20
	6-7	65.7	落石	6-5(H19)	変状の進行	H21
雷電	7-8	106.87	落石	7-7(H19)	変状の進行	H20
	7-9	106.76	落石	5-10(H19)	発生源・形態が同じ	H21

*赤着色箇所：供用時に現道に到達したと考えられる変状

ここに、 L_j ：視認性が良いレーザー受光パワー（nW）

これらの結果から適正受光パワーを200nWとして、照射距離と適正な照射角度、照射パワー、および水平照射幅の関係を示すと、図-4のようになる。この関係を利用することにより、照射距離が決まると適正な照射角度と照射パワーが簡易に設定できる。この結果は、現在作成中のマニュアル(案)に取り込んでいる。

3. 2 地域別の斜面調査・評価技術の開発

昨年度調査以降に確認した14件の災害に近傍の過年度調査による災害を併記して表-3に示す。新たに観察される新規災害と過年度の災害は以下の3種に区分できる。

- ・ 過去の災害とは無関係のもの
- ・ 過去の災害と類似のもの
- ・ 過去の災害が進行したもの

上記の区分について以下に条件を示す。

1) 過去の変状と無関係

過去に同様の箇所・発生源からの変状が確認されていない変状、あるいは到達箇所や発生源の位置は同じであっても、災害形態が大きく異なるものである。写真-5に示した例では、発生源や到達位置は似ているものの、落石と雪崩では災害形態が異なる。

2) 過去の災害と類似

過去に確認された災害の推定発生源から、同様の災害形態で発生しているものである。本調査を開始以降、同形態、同一供給源からの災害が年次により増加している事例が確認されている。

3) 災害供給源の変状の進行

過去に確認された災害の供給源に発生規模の増加や範囲の拡大が認められるものである。同一の供給源の変状が年次により拡大し、災害が次第に大規模化してゆく事例が本調査で確認されている。(写真-6 参照)

今後は、これらの災害区分と地形地質との関連性を調査して、地域性を考慮した斜面調査・評価技術を検討する。

3. 3 岩盤斜面災害時の緊急評価技術の開発

実験結果より算出した歪み係数を用いて、撮影したテストパターンの写真を補正した。各カメラで撮影した写真の歪み補正前後について、写真中心からの各方向における半径方向歪み量の平均値を図-5に示す。

図のように、写真の歪みが補正前に比べて減少していることがわかる。もともと歪みの少ない写真については歪み量の減少はわずかであったが、補正によって歪み量が増大することはなかった。

このことから3次元写真計測を行う際に必要となる写真歪み補正を、トータルステーションを使用することにより簡易的に行える可能性を確認した。撮影したカメラが手元になくても写真の歪み補正を行うことができるため、災害現場などで写真だけしか入手できなかった場合においても、写真補正無しで行うより高い精度で3次元写真計測を行えると考えられる。

3. 4 岩盤斜面の3次元極限平衡解析ソフトの開発

過年度の成果を元に、岩盤斜面安定性を評価する方法として3次元極限平衡解析ソフトを開発⁶⁾し、ホームページ上に公開した。解析ソフトは、想定亀裂面法と最小亀裂角法の2種類である(図-6)。解析ソフトの動作環境は、日本語版 Windows XP (SP3)を基本OSとし、その他にMicrosoft Excel 2003のソフトウェアが必要である。



写真-5 災害種別の違い(神岬 5-12)



写真-6 変状の進行例(雷電 7-7, 7-8)

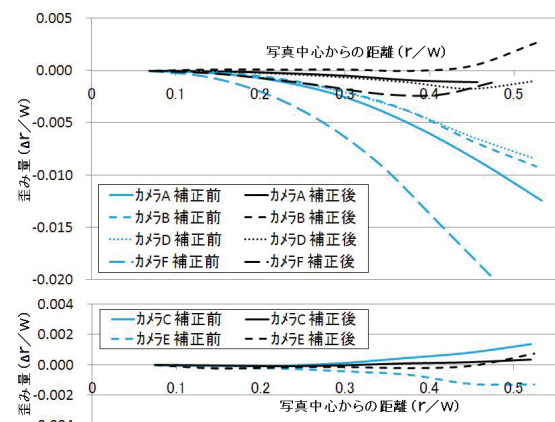


図-5 半径方向歪み量

4. まとめ

4. 1 点検・調査・監視手法の現地斜面への適用性検証

4. 1. 1 写真計測

マニュアル(案)の現地試行調査の結果、撮影時期やレンズ構成などの問題が確認され、それに対する対策を示した。この結果を問題点と対応例として、作成したマニュアル案に追記した。

4. 1. 2 微小電位観測

微小電位観測の評価法として考案した電位分担率の変

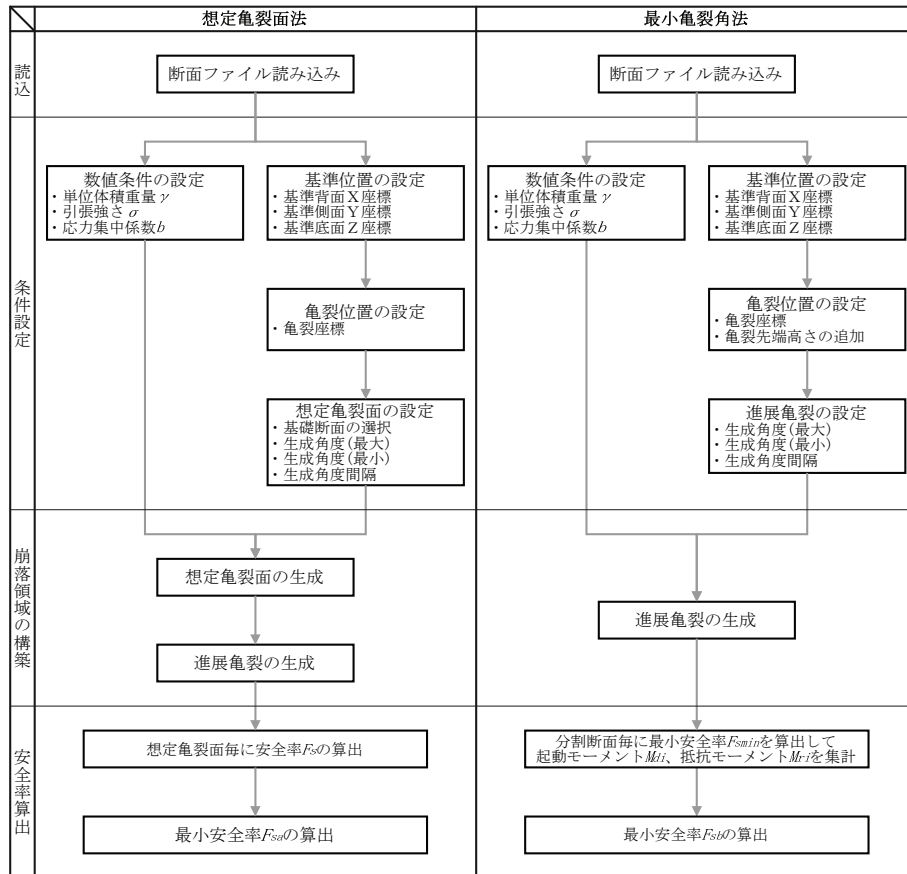


図-6 岩盤斜面解析ソフトフロー図

動が、斜面変状に先行して確認されたことから、電位分担率が斜面不安定化に至る臨界状態を示す指標となる可能性が示唆された。

4. 1. 3 レーザーカメラ監視

適正受光パワーを200nWとして、照射距離と適正な照射角度、照射パワー、および水平照射幅の関係を簡易図表として示した。この関係を利用することにより、照射距離が決まると適正な照射角度と照射パワーが簡易に設定でき、危険斜面の監視をより迅速に実施できる。

4. 2 地域別の斜面調査・評価技術の開発

火砕岩・溶岩を主体とした地区における旧道調査の結果、新たに観察された新規災害と過年度の災害は3種に区分できることが分かった。今後は、これらの災害区分と地形地質との関連性を調査して、地域性を考慮した斜面調査・評価技術を検討する。

4. 3 岩盤斜面災害時の緊急評価技術の開発

3次元写真計測を行う際に必要となる写真歪み補正を、トータルステーションを使用することにより簡易的に行える可能性を確認した。しかし、現時点では特徴点の設定位置や個数などの条件により歪み係数が正しく算出できない場合があるため、今後は歪み係数を安定して算出

できる方法・条件の検討が必要である。

4. 4 岩盤斜面の3次元極限平衡解析ソフトの開発

過年度の成果を元に、岩盤斜面安定性を評価する方法として3次元極限平衡解析ソフトを開発し、ホームページ上に公開した。

参考文献

- 1) 日外勝仁, 穴戸政仁, 伊東佳彦: 道路斜面点検におけるデジタル写真活用の試み, 寒地土木研究所月報No. 677, pp17-24, 2009. 10.
- 2) 穴戸政仁, 伊東佳彦, 日下部祐基, 村山秀幸, 丹羽廣海: 斜面監視を目的とした岩石の微小電位発生メカニズム, 寒地土木研究所月報No. 671, pp35-40, 2009. 4.
- 3) 日下部祐基, 伊東佳彦, 坂本多朗: レーザーカメラによる昼夜連続の広範囲斜面監視について, 寒地土木研究所月報No. 677, pp25-29, 2009. 10.
- 4) 高橋幸継, 伊東佳彦, 日下部祐基, 坂本多朗: レーザーカメラによる昼夜連続斜面監視システム, 北海道土木技術会土質基礎研究委員会, 第8回技術報告会報告集, pp7-13, 2010. 1.
- 5) 山崎貴志, 国島英樹, 堀田歩: ラジコンヘリコプターからの地形形状計測の精度についての検討, 第52回(平成20年度)北海道技術研究発表会, 安-11, 2009. 2.
- 6) 日下部祐基, 伊東佳彦, 表真也, 三浦均也: オーバーハングを有する岩盤斜面の安定性評価のための3次元極限平衡解析ソフトの開発, 寒地土木研究所月報No. 681, pp21-32, 2010. 2.

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. In 2009, slope check method with digital camera, micro geo-electric signals measurement, laser camera were studied as a part of plan making of new system of research, watch and check of slope failure. Past events of slope failure or rock fall were examined as a part of development of detailed investigation and evaluation method under different geological conditions. Slope observation method by radio-controlled helicopter was studied as a part of development of immediate evaluation method for rock slope failure. Also, the assessment program by 3-D limit equilibrium analysis was made to public on our home page.

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