

## 2.5 劣化過程を考慮した大規模岩盤斜面の評価・管理手法に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：寒地基礎技術研究グループ  
（防災地質）

研究担当者：伊東佳彦、倉橋稔幸、日下部祐基  
岡崎健治、宍戸政仁、大日向昭彦

### 【要旨】

大規模岩盤斜面における崩壊に対する評価の精度は依然低く、それに基づく管理手法も万全ではない。

本研究は、精度の高い大規模岩盤斜面の評価・管理手法を開発することを目標として、劣化過程を考慮した岩盤・斜面の長期的な管理手法を検討するものである。平成 23 年度は、地質・物理・力学特性等に着目した文献調査、凍結温度の変化による劣化機構の検討、GIS による斜面崩壊履歴と気象データの分析、および遠心力模型実験による亀裂進展の再現試験を行った。その結果、凍結融解の温度変化や、背面亀裂の進展方向の違いが斜面の安定度に影響することなどが推察された。

キーワード：大規模岩盤崩壊、劣化過程、凍結融解、GIS、遠心力模型実験

### 1. はじめに

大規模岩盤崩壊については、安全と評価した箇所が発生したり危険と評価した箇所が発生しないなど評価精度は低く、それに基づく管理手法も万全ではないため国民の生命・財産が脅かされている。特に北海道、東北・北陸地方等の積雪寒冷地では、凍結融解・凍上など積雪寒冷地特有の劣化要因も加わり大規模岩盤崩壊が数多く発生しており、その適切な評価・管理手法の確立が望まれている。

そこで本研究は、積雪寒冷地における岩盤の劣化過程を明らかにして精度の高い大規模岩盤斜面の評価・管理手法を開発することを目標として、平成 23 年度は、まず文献整理をおこない積雪寒冷地の岩盤の劣化や崩壊の発生メカニズムに関連した情報を整理した。次に積雪寒冷地特有の劣化要因である凍結融解による岩盤劣化試験を実施し、岩盤の劣化過程を調査したほか、GIS により崩壊履歴と降雨データの関係を分析した。また、岩盤の劣化に伴う背面亀裂の進展過程を明らかにするために、遠心力模型実験をおこなった。

### 2. 研究方法

#### 2.1 岩盤の劣化過程の調査・分析

##### 2.1.1 岩盤崩壊の劣化過程に関する文献調査

文献調査により積雪寒冷地における岩盤崩壊事例を収集した。現道に影響を及ぼした大規模な岩盤斜面崩壊に

ついては、北海道開発局が委員会等を設置し、詳細な調査・解析がなされ学識者の考察を含め報告書としてまとめている<sup>1)~18)</sup>。これらの文献から、岩盤の劣化や崩壊の発生メカニズムに関連した情報を抽出・整理した。

##### 2.1.2 岩盤劣化試験及び劣化過程分析

積雪寒冷地特有の劣化要因である凍結融解の岩盤劣化過程を明らかにすることを目的として、岩盤劣化試験を実施した。試験は、凍結温度を変化させた凍結融解後の強度劣化をみるための一軸圧縮試験と、凍結融解後の凍上性をみるための凍上試験（以下、凍結融解凍上試験）である。

なお、試験に用いた岩石は北海道釧路市より採取した天寧層礫岩で、代表的な物性値は、湿潤密度  $\rho_r=2.603\text{g/cm}^3$ 、乾燥密度  $\rho_d=2.540\text{g/cm}^3$ 、飽和密度  $\rho_{sat}=2.606\text{g/cm}^3$ 、吸水率  $ab=2.58\%$ 、含水比  $W=2.47\%$ 、一軸圧縮強さ  $\sigma_c=33.4\text{Mpa}$  である。

##### (1) 凍結融解試験と一軸圧縮試験

凍結融解の温度条件は、岩石試料をゴムセル中に水浸してゴムセルを試験槽のブライン（不凍液）中に入れ、ブラインの温度を $-20^\circ\text{C}\sim+10^\circ\text{C}$ に制御して、岩石試料中心温度を表-2.1に示す3ケースを実施した。凍結融解の時間工程はコンクリートの凍結融解試験に準じ、1 サイクルあたり 3.5 時間となるように凍結融解試験機を運転した。岩盤の強度劣化をみるための一軸圧縮試験は、表-2.2に示した凍結融解サイクル後に実施した。

(2) 凍結融解凍上試験

凍結融解凍上試験では、供試体をアクリルモールド内にセットし、供試体の上端に約 12N の荷重板を載せ、供試体を拘束した。この拘束した供試体をアクリルモールドごとステンレスセル内に設置後、セル内に水を注入して凍結融解試験機の水槽内で凍結融解を行った。凍結融解によって試料を劣化させた後に凍上試験を行った。凍結融解後に実施した凍上試験の凍結融解サイクル数は、一軸圧縮試験と同一の凍結融解サイクル数 (表-2.2 参照) である。凍結融解温度条件及び凍結融解時間を表-2.3 に示す。

2.2 岩盤の劣化過程や気象条件の分析

2.2.1 気象データ分析に用いる GIS データ作成

近年、北海道の国道においても局所的な集中豪雨を原因とする斜面災害が発生している。また、連続雨量による通行規制区間外においても斜面災害が発生するなど、降雨を誘因とする斜面災害の発生が後を絶たない。しかしながら、岩盤崩壊等斜面災害発生と雨量指数等の気象データの関係は明らかになっていない。これらの関係を分析し明らかにすることで、降雨を指標としたより効果的な安全管理基準や目安の設定が期待される。そこで、北海道内の降雨量に関する基礎的なデータを整理した。

データ整理としては、北海道を 306 のメッシュ (1 メッシュは約 20km×約 20km) に分割し、メッシュ毎に各年の降雨量に関わる各指標 (最大日雨量、最大時間雨量、連続時間雨量、実効雨量、土壌雨量指数) や凍結融解回数等をアメダスや開発局道路テレメータの気象データから抽出・算出して気象 GIS データを作成した。また、道路防災 (通行規制) データ、地質データ、崩壊履歴データを GIS データのフォーマットに変換し GIS に統合した。

表-2.1 凍結融解試験の凍結融解温度条件及び凍結融解時間

凍結融解ケース名称	凍結工程		融解工程		合計
	温度	時間	温度	時間	
ケース1 (凍結温度-18℃)	-18±2℃	2時間20分	+6±2℃	1時間10分	3時間30分
ケース2 (凍結温度-9℃)	-9±2℃	2時間20分	+6±2℃	1時間10分	3時間30分
ケース3 (凍結温度-3℃)	-3±2℃	2時間20分	+6±2℃	1時間10分	3時間30分

表-2.2 凍結融解試験サイクル数

凍結融解ケース名称	凍結融解サイクル数				
	25	50	100	200	300
ケース1 (凍結温度-18℃)	25	50	100	200	300
ケース2 (凍結温度-9℃)	25	50	100	200	300
ケース3 (凍結温度-3℃)	25	50	100	200	300

表-2.3 凍結融解試験の凍結融解温度条件及び凍結融解時間

凍結融解ケース名称	凍結工程		融解工程		合計
	温度	時間	温度	時間	
ケース1 (凍結温度-18℃)	-18±2℃	4時間	+6±2℃	2時間	6時間
ケース2 (凍結温度-9℃)	-9±2℃	4時間	+6±2℃	2時間	6時間
ケース3 (凍結温度-3℃)	-3±2℃	4時間	+6±2℃	2時間	6時間

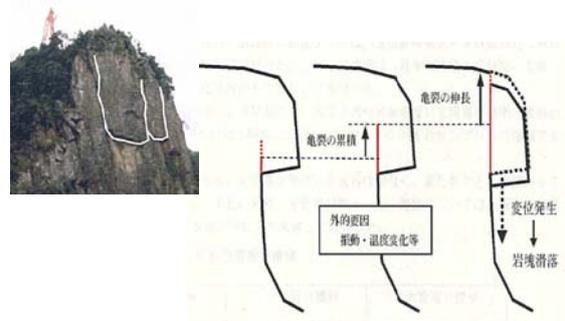


図-2.1 背面亀裂が下方にある場合の崩落イメージ<sup>19)</sup>

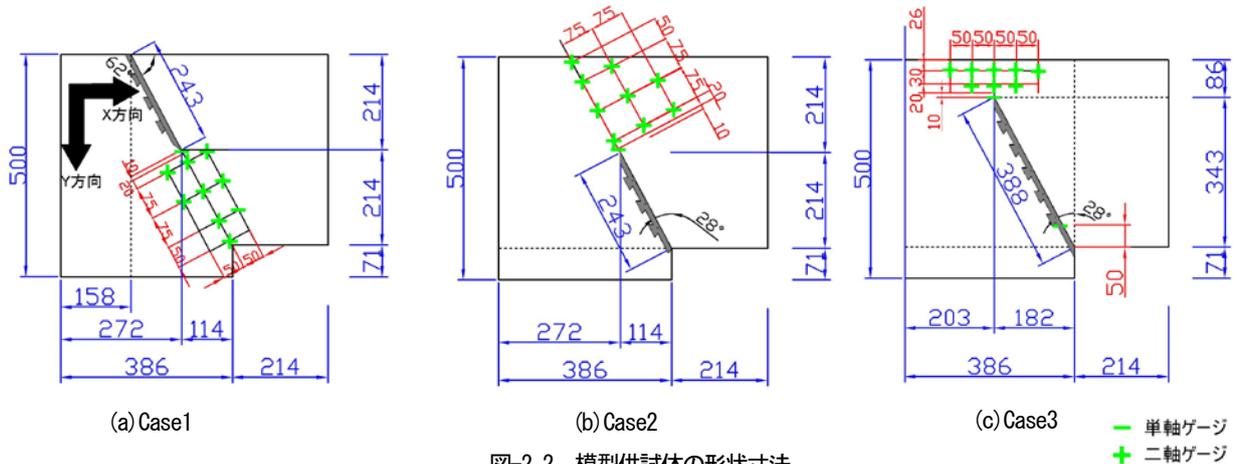


図-2.2 模型供試体の形状寸法

表-3.1 積雪寒冷地における大規模岩盤斜面災害の文献調査例（主な事例を抜粋）

文献名 (発生日)	発生要因					岩盤劣化		
	地形	地質・物性	地質構造	外的要因	破壊機構	岩盤劣化の部位	岩盤劣化の時間スケール	岩盤劣化の理由(外的要因)
豊浜トンネル崩落事故調査報告書 (1996/2/10)	急崖斜面100~200m ・オーバーハング ・リニアメント	・水砕砕岩、粗流火砕岩 ・脆性的 ・岩質劣化 ・比較的地質な軟弱で、スメクタイトの濃集帯あり(亀裂進展の要因か)	・不連続な亀裂が内在 ・岩盤内部の亀裂は少ない ・崩壊前に亀裂が進展、連続	・応力解放 ・地下水 ・西沖地震(1993.7.13)による亀裂の進展 ・崩壊までの豪雨(崩壊前23日間の累計降雨量365mm、日最大雨量79mm)	岩盤に内在する不連続な亀裂が、地下水、自重、地下水位、水圧等によって進展、連続	亀裂の進展	現地形形成後 数日	・海食による応力解放 ・自重 ・地下水変動 ・気温変動 ・地震 ・直前の気温変化(凍結融解)
第2白糸トンネル崩落事故調査報告書 (1997/8/25)	急崖斜面150m 急傾斜 一部オーバーハング ・リニアメント	・粘石凝灰岩、凝灰質砂岩、砂岩、水砕砕岩、凝灰岩 ・スレニング ・実質部にスメクタイトを含有 ・岩体下部(脆弱帯)に実質帯	・岩体背面亀裂の内在亀裂 ・高角度流れ亀裂 ・崩壊岩体基部の実質ゾーンが存在	・凍結融解 ・地下水 ・西沖地震(1993.7.13)による亀裂の進展 ・崩壊までの豪雨(崩壊前23日間の累計降雨量365mm、日最大雨量79mm)	岩体の自重、地下水、凍結融解、地震等の影響による亀裂の長期的な進展	亀裂の進展	現地形形成後 数年~数日 数日	・海食による応力解放 ・自重 ・地下水変動 ・気温変動 ・地震 ・豪雨 ・凍害
北厚土砂崩落調査報告書 (2001/10/4)	扇形地形から沢地形への移行部 ・緩斜面	・火山性砂岩、石灰岩、凝灰岩、砂岩、砂岩等 ・付加体 ・浸食作用 ・強度劣化	・石灰岩、チャート互層等に高角度の開口亀裂を有する付加体形成以降の浸食で、亀裂面に亀裂が形成 ・流れ壁	・地震 ・3週間前と直前の記録的な豪雨 ・亀裂面に地下水が浸透、間隙水圧の作用	・高角度開口亀裂と鋭利な付加体等が自重や地下水などの作用によって劣化、進展 ・記録的な豪雨により、大量の雨水が岩盤内に浸透して水圧が働いた	亀裂の進展	現地形形成後 数日	・自重 ・地震 ・豪雨 ・豪雨
えりも町岩盤崩壊調査報告書 (2004/1/13)	海食による急崖形成 ・側面が深い谷に挟まれた出尾根地形 ・溝状地形	・塊状ホルンフェルス ・泥岩、砂岩からなる付加体がホルンフェルス化 ・強度のばらつき	・流れ壁系、受け壁系、亀裂の卓越 ・付加体 ・構造運動により複数の亀裂が地下深部まで形成 ・断層 ・白色鉱物脈	・崩壊当日の融雪水の影響 ・崩壊当日の地震の影響(広尾で震度3.9) ・崩壊当日の降雨(累積雨量35mm)	・構造運動によって複雑な亀裂が地下深部まで形成されていた ・降雨、融雪水などによって亀裂面が劣化、さらには自重や地震が亀裂の進展を促した	亀裂の進展	現地形形成後(海食) 数日	・自重 ・地震 ・豪雨 ・融雪 ・豪雨

2.2.2 遠心力模型実験を用いた岩盤崩落の再現試験

大規模岩盤崩落の危険性を有する岩盤斜面の背面亀裂には、斜面の上方(天端から下方へ)に存在する場合(以下、上方亀裂)と図-2.1に示すように背面亀裂が下方(オーバーハングの下端から上方へ)に存在する場合(以下、下方亀裂)がある。上方亀裂の原因は、自重や地震などの回転モーメントや水平力の作用により亀裂が発生したことが想定されるのに対して、下方亀裂の原因は地殻変動や地質構造的な素因から内在する弱面が垂直あるいは急傾斜を持ち、さらに下端が浸食されてオーバーハングしたところに亀裂として出現したことなどが推測される。

また、岩盤が凍結融解等により劣化が進行することにより、これらの亀裂の進展が予想される。そこで、遠心力模型実験<sup>20)</sup>を行い、背面亀裂が上方と下方に存在する場合の岩盤劣化による亀裂の進展を検討した。

遠心力模型実験は、模型縮尺を1/70として上方亀裂を1ケース、下方亀裂を2ケースの計3ケースの供試体を作成して実施した。各実験ケースの供試体を図-2.2に示す。(図は、遠心加速度方向を下向きにして、重力加速度方向と一致させて示している。)遠心力載荷方法は、想定崩落加速度の70%まで10Gステップ、以後5Gステップの段階載荷を基本とした。実験後、岩盤模型の供試体からコア試料を採取して一軸圧縮試験、および圧裂引張試験を実施して力学特性を求めた。

3. 研究結果

3.1 岩盤の劣化過程の調査・分析

3.1.1 岩盤崩壊の劣化過程に関する文献調査

表-3.1に、収集した大規模岩盤崩壊の委員会報告書が

表-3.2 岩盤劣化の性状

劣化の種類	連続性の良い不連続面の進展	岩盤深部における物理的風化の進展(亀裂の発達と連続)
劣化が発生する素因	テクトニックな不連続面の内在	付加体等の破砕あるいは弱面の内在
劣化を促進させる要因	急崖地形等の形成による力学的な不安定化 地震による変動 凍結による水結力(融解との繰り返しを含む) 気温変動による膨張・収縮 降雨及び融水による亀裂沿いの間隙水圧	
岩盤破壊タイプ	崩落型・転倒型・産屈型	滑動型
関連する要素が大きいとみられる事例	・R229豊浜トンネル ・R229第二白糸トンネル ・R39層雲峡天城岩 ・R305越前海岸(福井) ・道道幹内中札内線	・R333北見市北崩 ・R336えりも町産野 ・R231雄冬峠トンネル ・R231増毛町湯泊

表-3.3 岩盤劣化のタイムスケール

岩盤劣化のタイムオーダー	岩盤劣化の外的要因	力学的作用	具体例	外的要因の発生	
				イベント	定常的
現地形形成後 【数千年~数千年】	急崖地形の形成(応力解放と重力の作用)	岩盤に対し応力的に不均一性をもたらし、展張性、せん断性の内力を発生させる。	海食、隆起、河川による浸食、溶食		○
	地震	岩盤に振動を与える。	有史以前のもの		○
	凍結融解、気温変動	亀裂に介した地下水の水結力により亀裂面を膨張・収縮させる。	有史以前のもの		○
	降雨、融雪水	降雨、融雪水の間隙水圧により、亀裂を展張させる。	有史以前のもの		○
道道建設後 【数十年~数年】	急崖地形の形成(応力解放と重力の作用)	岩盤に対し応力的に不均一な状態が顕著となり、展張性、せん断性の内力を増加させる。	道道建設に伴う切土など	○	
	地震	岩盤に振動を与える。	大地震(震度4以上など)	○	
	凍結融解、気温変動	亀裂に介した地下水の水結力により亀裂面を膨張・収縮させる。	地形改変後、例年発生するもの		○
	降雨、融雪水	降雨、融雪水の間隙水圧により、亀裂を展張させる。	地形改変後、例年発生するもの		○
直接的な原因発生後 【数週間~数日間】	急崖地形の形成(応力解放と重力の作用)	岩盤に対し応力的に不均一な状態が顕著となり、展張性、せん断性の内力を増加させる。	道道建設に伴う切土など(工事直後に発生した場合)	○	
	地震	岩盤に振動を与える。	大地震(震度4以上など)	○	
	凍結融解	亀裂に介した地下水の水結力により亀裂面を膨張させる。	急な冷え込みなど		○
	降雨、融雪水	降雨、融雪水の間隙水圧により、亀裂を展張させる。	豪雨、融雪時の雨、急な融雪など		○

ら岩盤崩壊の発生要因に関する事項、岩盤の劣化に関する事項を抽出して整理した結果を示す。

文献調査の結果、表-3.2 に示すように岩盤の劣化の性状は、連続性の良い不連続面の進展、岩盤浅部における物理的風化の進行（亀裂の発達と連結）の2つに大別された。前者はテクトニックな不連続面が内在しているため、劣化の促進により崩落型・転倒型・座屈型の岩盤崩壊を発生させ、後者は付加体等の破碎質あるいは弱面が内在しているため、劣化の促進により滑動型の岩盤崩壊を発生させることが分かった。

また、文献調査結果から岩盤劣化の進行は、岩盤形成後から崩壊まで、地質学的側面からいくつかのタイムオーダーに分けることができる。表-3.3 に示すように、各タイムオーダーにおける岩盤劣化の要因を整理した。

また、各タイムオーダーにおける維持管理で対応する基本的な調査時期を検討した。その結果、現地形形成後（数万年～数千年オーダーでの劣化）は点検箇所のスクリーニングや防災点検の詳細調査時に、道路建設後（数十年～数年オーダーでの劣化）は防災点検や関連する調査で、直接的な原因発生後（数週間～数日間）は緊急点検や通行規制で対応することが考えられる。

### 3. 1. 2 岩盤劣化試験及び劣化過程分析

#### (1) 凍結温度と強度劣化の傾向

凍結融解後の一軸圧縮強さの変化を図-3.1 に示す。一軸圧縮強さは、供試体間のばらつきがあるものの凍結温度条件が高い、凍結融解ケース3（凍結温度-3℃）での強度低下が小さい傾向にある。凍結融解ケース1（凍結温度-18℃）及び凍結融解ケース2（凍結温度-9℃）は、供試体間のばらつきが大きく傾向を判断することは容易にできないものの、凍結融解ケース3（凍結温度-3℃）より強度低下が大きい傾向にある。また、凍結融解サイクル数と一軸圧縮強さの関係図を勘案すると、強度低下を起こす凍結温度（凍結温度-3～-9℃）に境界がある可能性も示唆される。

また、供試体状況は凍結温度条件の低いケースほど、供試体にクラックの発生や端面の損失が大きい傾向が認められた。

これらのことから、比較的温暖な道南や本州と極寒地である道北や道東に位置する岩盤では、凍結融解による強度劣化が異なることが推察される。

#### (2) 凍結温度と凍上性の傾向

凍結融解凍上試験結果を図-3.2 に示す。天寧層礫岩は、凍結温度条件-18℃ケース、-9℃ケース、-3℃ケース

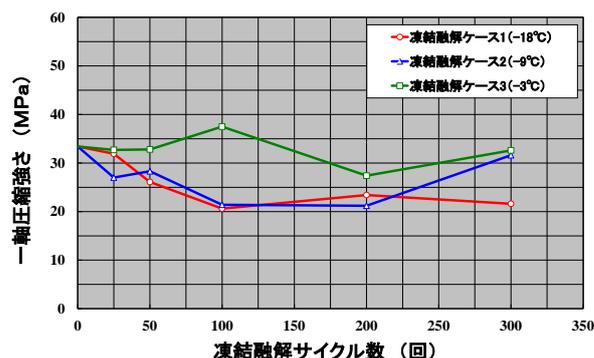


図-3.1 凍結融解サイクル数と一軸圧縮強さの関係

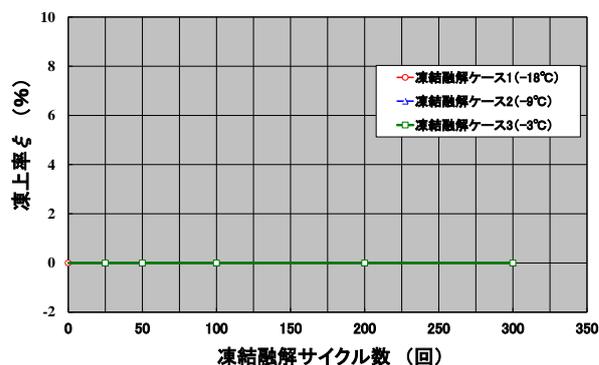


図-3.2 凍結融解サイクル数と凍上率の関係

の凍結融解では供試体の土砂化傾向が認められず、更に凍上試験では供試体変化がなく、すべての供試体で凍上性は確認されなかった。

### 3. 2 岩盤の劣化過程や気象条件の分析

#### 3. 2. 1 崩壊履歴と気象データの GIS を用いた分析例

作成した崩壊履歴 GIS データと降雨 GIS データを GIS ソフト上で重ね合わせ、図-3.3 に示すように崩壊発生履歴と降雨量に関わる各指標の最大値更新時系列の関係をまとめた。さらに、北海道における近年の代表的な大規模岩盤崩壊事例である、一般国道 333 号北見市北陽で発生した岩盤崩壊と土壌雨量指数との相関を分析した。

ただし、災害発生箇所を含むメッシュに道路テレメータがないため、近接したメッシュ（メッシュ番号 6543-64 ルクシ地域）の雨量データを使用した。その結果、図-3.4 に示すように崩壊が発生した 2001 年は、これまでの降雨量に関わる各指標（最大日雨量、最大時間雨量、連続時間雨量、実効雨量、土壌雨量指数）を更新する降雨の発生があり、この降雨が崩壊の誘因になった可能性が示唆された。

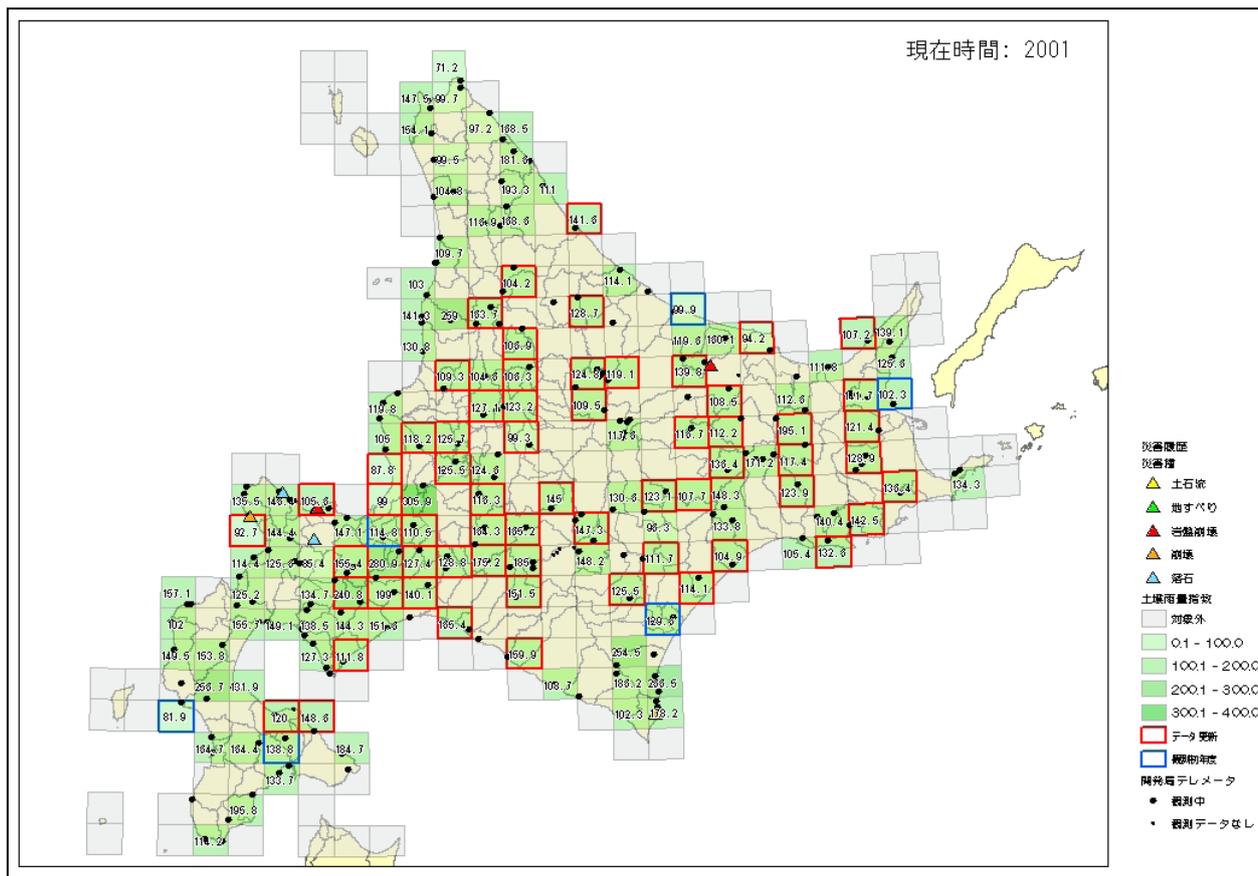


図-3.3 崩壊履歴と降雨データの重ね合わせ例（土壌雨量指数）

3.2.2 遠心力模型実験を用いた岩盤崩落の再現試験

表-3.4 に背面亀裂の位置の違いに関する遠心力模型実験結果として、各実験ケースの崩落加速度実測値、および実験後供試体の岩石試験結果を示す。これらの結果を比較するために、下記に示す(1)式を用いて遠心力模型実験結果による崩落加速度実測値を補正した。(1)式では、各実験ケースの差異の補正として基準値とした引張強さ  $\sigma_t (=200\text{kN/m}^2)$  と単位体積重量  $\gamma_s (=18.0\text{kN/m}^3)$  への換算、および測定する遠心加速度の半径位置を補正している。同表には、計算による補正崩落加速度も示した。

$$n_{fs} = \frac{\beta}{\alpha} n_f \frac{r'}{r} \quad (1)$$

ここに、 $n_{fs}$ : 補正崩落加速度（基準値に置き換えた崩落加速度）(G)、 $n_f$ : 実測崩落加速度(G)、 $\alpha$ : 供試体の実測引張強さ  $\sigma_t$  と引張強さの基準値  $\sigma_s (=200\text{kN/m}^2)$  の比 ( $=\sigma_t/\sigma_s$ )、 $\beta$ : 実測単位体積重量  $\gamma_t$  と単位体積重量の基準値  $\gamma_s (=18.0\text{kN/m}^3)$  の比 ( $=\gamma_t/\gamma_s$ )、 $r'$ : 模型供試体重心位置の半径(m)、 $r$ : 遠心力载荷装置の有効半径(m)

なお、表にある亀裂比とは、設置した亀裂ライン全長 (=0.485m) に対する背面亀裂として設置した塩ビ板長さ

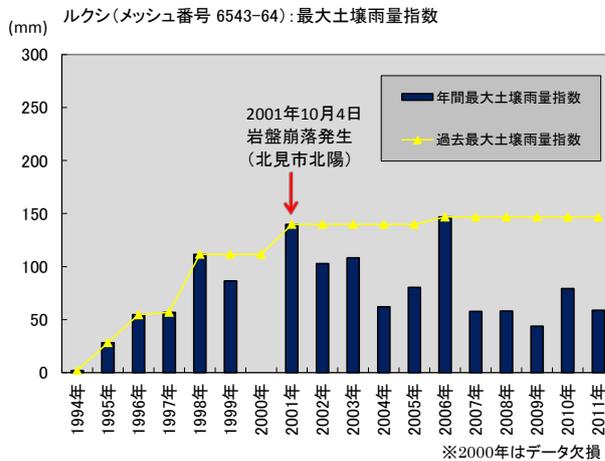


図-3.4 北見市北陽の崩壊履歴と土壌雨量指数との関係

の比として、背面亀裂長を正規化したものである。

図-3.5 に、亀裂比と補正崩落加速度の関係を示す。補正崩落加速度は、上方亀裂よりも下方亀裂の方が大きくなっていることから下方亀裂の方が崩落し難い、換言すると安定率が大きいことが推測される。この原因には、上方亀裂では応力が亀裂先端に集中するのに対して、下方亀裂では斜面天端に応力が分散されたこと等が考えられる。

表-3.4 実験結果

実験Case	供試体の背面亀裂位置 (実験条件)	背面亀裂長 (m)	亀裂比	崩落加速度実測値 $n_f$ (G)	模型縮尺 1/n	模型供試体重心位置半径 $r'$ (m)	遠心力載荷装置の有効半径 $r$ (m)	一軸供試体の単位体積重量 $\gamma_t$ ( $\text{kN/m}^3$ )	実測引張強さ $\sigma_t$ ( $\text{kN/m}^2$ )	補正崩落加速度 $n_{fs}$ (G)
1	上方亀裂	0.243	0.50	15.0	70	3.18	3.50	17.5	200.0	13.2
2	下方亀裂	0.243	0.50	34.0	70	3.18	3.50	17.6	199.0	30.4
3	下方亀裂	0.388	0.80	17.5	70	3.18	3.50	17.4	170.0	18.1

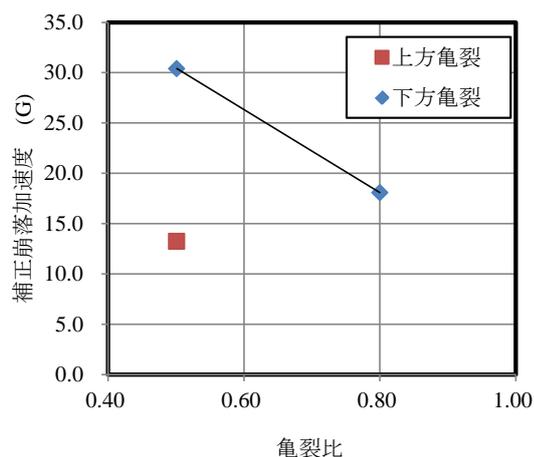


図-3.5 亀裂比と崩落加速度の関係

## 参考文献

- 1) 札幌開発建設部：一般国道 231 号浜益郡浜益村雄冬地内 雄冬岬トンネル崩落性地すべり調査報告書、1982.4.
- 2) 層雲峡天城岩滑落調査委員会：層雲峡天城岩滑落調査報告書、1988.3.
- 3) 一般国道 305 号岩石崩落災害調査委員会：一般国道 305 号岩石崩落災害調査報告書、1990.3.
- 4) 上臼杵道路斜面崩落調査委員会：一般国道 236 号浦河町上臼杵道路斜面崩落調査報告書、1993.5.
- 5) 北海道地区自然災害科学資料センター（北海道大学工学部）：北海道地区自然災害科学資料センター報告 vol11、1996.7.
- 6) 豊浜トンネル崩落事故調査委員会：豊浜トンネル崩落事故調査報告書、1996.9.
- 7) 北海道地区自然災害科学資料センター（北海道大学工学部）：北海道地区自然災害科学資料センター報告号外—1996 年北海道古平町豊浜トンネル坑口斜面崩壊と災害に関する調査研究、1997.3.
- 8) 社団法人 土木学会：大規模岩盤崩壊に関する技術検討委員会報告書、1997.3.
- 9) 第 2 白糸トンネル崩落事故調査委員会：第 2 白糸トンネル崩落事故調査報告書、1998.2.
- 10) 北海道日本海沿岸における大規模岩盤崩落検討委員会：北海道日本海沿岸における大規模岩盤崩落検討委員会報告書、2000.10.
- 11) 地盤工学会北海道支部：岩盤崩落の発生機構と計測技術、2000.12.
- 12) 北海道での岩盤計測に関する調査技術検討委員会：北海道での岩盤計測に関する調査技術検討委員会 中間報告書、2001.3.
- 13) 一般国道 333 号北陽土砂崩落調査委員会：一般国道 333 号北陽土砂崩落調査報告書、2002.4.
- 14) 独立行政法人土木研究所 土木管理研究グループ 地すべりチーム：岩盤崩壊モニタリング要領（案）、2004.1.
- 15) 一般国道 336 号えりも町斜面崩壊調査委員会：一般国道 336 号えりも町斜面崩壊調査報告書、2004.8.

## 4. まとめと今後の課題

本研究の成果は、以下のようにまとめられる。

- 1) 文献調査により積雪寒冷地における岩盤崩壊事例を収集して、岩盤の劣化過程に関する事項を抽出し、岩盤劣化の性状、岩盤劣化のタイムスケールについてとりまとめた。
- 2) 岩石劣化試験の結果、凍結温度条件が低いほど強度低下が認められ、試験後の供試体にクラックの発生や端面の損失が大きい傾向が認められた。このことから、比較的温暖な地域と極寒地に位置する岩盤では、凍結融解による強度劣化が異なることが推察された。
- 3) GIS データを用いた分析の 1 事例として、一般国道 333 号北見市北陽で発生した岩盤崩壊を分析した結果、最大降雨量の更新が崩壊の誘因になった可能性が示唆された。
- 4) 遠心力模型実験の結果、背面亀裂の進展方向の違いにより崩落のしやすさが異なることが推測された。

## 2.5 劣化過程を考慮した大規模岩盤斜面の評価・管理手法に関する研究

- 16) 北海道での岩盤計測に関する調査技術検討委員会：北海道での岩盤計測に関する調査技術検討報告書（案）、2006.10.
- 17) 一般国道 231 号増毛道路防災対策検討委員会：一般国道 231 号増毛道路防災対策検討委員会報告書、2009.2.
- 18) 石狩開発建設部 豊平川ダム統合管理事務所：豊平峡ダム斜面对策事業記録誌、2009.3.
- 19) 山内淑人，蔣宇静，棚橋由彦：動的特性の変化に着目した不安定岩塊の計測管理，地盤の環境・計測技術に関するシンポジウム 2006 論文集，地盤工学会，pp21-26，2006.
- 20) 日下部祐基，伊東佳彦，井上豊基：背面亀裂の進展方向に着目した岩盤崩落の遠心力模型実験，土木学会第 67 回年次学術講演会，2012.（投稿中）

## A STUDY ON EVALUATION AND MANAGEMENT METHOD OF LARGE-SCALE ROCK SLOPE UNDER DETERIORATION PROCESS

**Budget** : Grants for operating expenses

General account

**Research Period** : FY2011-2015

**Research Team** : Cold Region Construction Engineering

Research Group

(Geological Hazards Research Team)

**Author** : ITO Yoshihiko

KURAHASHI Toshiyuki

KUSAKABE Yuki

OKAZAKI Kenji

SHISHIDO Masahito

OBINATA Akihiko

**Abstract** : This paper describes results of literature research, freezing and thawing test, analysis of meteorological data by GIS, and the centrifugal model tests in FY2011. The results suggested that minimum freezing temperature, and inclinations of fracture development are keys to reveal detrition mechanism of rock slope failure.

**Key words** : large-scale rock slope failure , deterioration process, freezing and thawing, GIS, centrifugal model test