

7．岩盤斜面評価精度向上のための調査手法の検討

7．1 部会設置の目的と活動の概要

7．1．1 部会設置の目的

北海道においては平成8年2月に発生した豊浜トンネルの崩落事故以降、第2白糸トンネル、北見市北陽、えりもなど崩壊量 10,000m³ を超える大規模崩落が発生している（表7 - 1）。これらのうち、国道の沿線で発生した災害では、事故調査委員会が組織され、事故原因の究明とともに、今後に向けた提言が述べられている（表7 - 2）。各事故調査委員会で述べられた提言は、いずれも重要なものであり、それと同時に解決が困難な課題も多く含まれている。また豊浜トンネル崩壊の翌年に発足した「北海道日本海沿岸地域における大規模岩盤崩落検討委員会」のように、岩盤斜面の調査や評価精度の向上を目的とした複数の委員会が組織され、新たな点検や調査の手法が提言されてきた。

本部会は、上記のような背景の下、積雪寒冷地という北海道特有の気象条件に適した岩盤斜面の調査手法を検討することを目的として設置されたものである。

表7 - 1 豊浜トンネル以降の岩盤斜面災害の概要（崩壊土量 1,000m³ 以上）¹⁾

	発生年月日	場所	規模(m ³)	地域区分	地質	備考
1	1996.2.10	豊浜トンネル	11,000	日本海沿岸	火砕岩	死者20名
2	1996.3.15	宇遠別第1覆道	1,000	黄金道路	ホルンフェルス	
3	1997.3.4	宇遠別第1覆道	2,000	黄金道路	ホルンフェルス	
4	1997.6.7	ほしば覆道	5,450	黄金道路	ホルンフェルス	
5	1997.8.25 1997.8.29	第2白糸トンネル	56,000	日本海沿岸	火砕岩	
6	2001.10.4	北見市北陽	24,000	常呂帯	付加体堆積物	死者2名
7	2003.9.26	ほしば覆道	2,400	黄金道路	ホルンフェルス	十勝沖地震
8	2003.9.26	浜フンベ	1,500	黄金道路	砂岩・頁岩	十勝沖地震
9	2003.9.26	美幌	1,000	黄金道路	砂岩・頁岩	十勝沖地震
10	2003.10.1	静内ダム湖斜面	5,000	日高地方	酸性岩	
11	2004.1.13	えりも町 宇遠別第1覆道	42,000	黄金道路	ホルンフェルス	死者1名、 負傷者1名
12	2006.5	礼文島	10,000	日本海沿岸	火砕岩	

表 7 - 2 国道沿線で発生した災害の事故調査委員会での提言¹⁾

	委員会名	提言内容など
1	豊浜トンネル崩落 (1996.2.10)	岩盤生成過程や地形発達過程などの地球科学的な知見をより一層活用すること 変化する自然の姿を的確に捉えるために斜面の長期的な経時変化を追跡すること 軟岩で構成される急崖斜面に対してきめ細かな点検を実施すること テストフィールドを選定して長期モニタリングを行うこと 予知予測に関する研究を一層促進すること 地域防災体制や道路防災情報システムを構築すること
2	第2白糸トンネル崩落 (1997.8.25) (1997.8.29)	大規模岩盤崩落の予知予測に関する研究の促進 岩盤監視システムの構築 道路管理体制の充実 地域防災体制の構築
3	北陽土砂崩落 (2001.10.4)	「常呂帯」のような複雑な地質における岩盤斜面の研究及び技術開発 道路災害防止に向けたソフト対策
4	えりも町斜面災害 (宇遠別第1覆道) (2004.1.13)	地形判読と地形形成過程の検討 地質学的にみた岩石劣化と岩盤物性に関する検討 北海道における防災点検の充実

7. 1. 2 活動の概要

(1) 部会委員の構成

本部会は以下の委員により構成される。

部会長	川村 信人	北海道大学理学研究院自然史科学部門 地球惑星システム科学分野
委員	高野 伸栄	北海道大学大学院工学研究科北方圏環境政策工学専攻
委員	田近 淳	北海道立地質研究所環境地質部
委員	藤井 義明	北海道大学大学院工学研究科環境循環システム専攻
委員	後藤 芳彦	室蘭工業大学工学部建設システム工学科 環境防災工学講座

(2) 部会活動の概要

平成16年11月15日	現地部会 (R231雄冬)
平成16年12月17日	現地部会 (R231雄冬)
平成17年 1月25日	第1回部会 (R231雄冬、R336えりも)
平成17年 6月28日	第2回部会 (R231雄冬、R336えりも、R278立岩、R5忍路)
平成17年 9月 5日	現地部会 (R278立岩)
平成17年 9月 6日	現地部会 (R5忍路)
平成17年12月14日	第3回部会 (R231雄冬、R336えりも、R278立岩、R5忍路)
平成18年 7月25日	第4回部会 (R278立岩、総合的な岩盤斜面評価手法検討)
平成18年12月12日	現地部会 (R5忍路、R229滝の瀬・尾根内)

7.2 モデル地区の検討

当部会では、岩盤斜面の調査手法を検討するにあたり、一般国道に面した4箇所のモデル地区を選定してケーススタディーを実施した（図7-1）。



図7-1 モデル地区位置図

7.2.1 小樽市忍路地区

(1) 地形・地質概要

小樽市市街地の西方約 10km に位置する小樽市忍路地区（図 7 - 2）は、日本海に面した比高約 100m の急崖斜面により構成されている。斜面のうち、下部約 20～50m は勾配 60 度以上の露岩からなる急崖であり、その上部は勾配 40～60 度の植生が認められる斜面が分布している（図 7 - 3）。地質調査の結果、急崖部は新生代第三紀中新世の火山碎屑岩類からなり、その上位にやや固結度の低い凝灰質砂岩や軽石質凝灰岩が分布している（図 7 - 4）。



図 7 - 2 小樽市忍路地区位置図

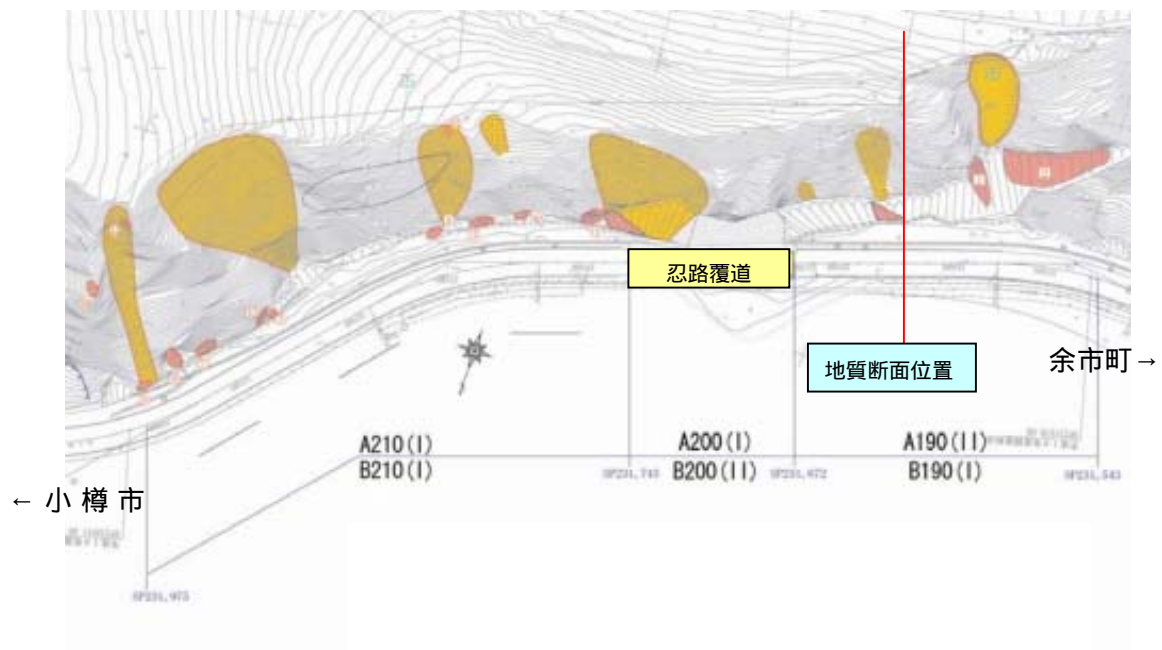


図 7 - 3 忍路地区平面図

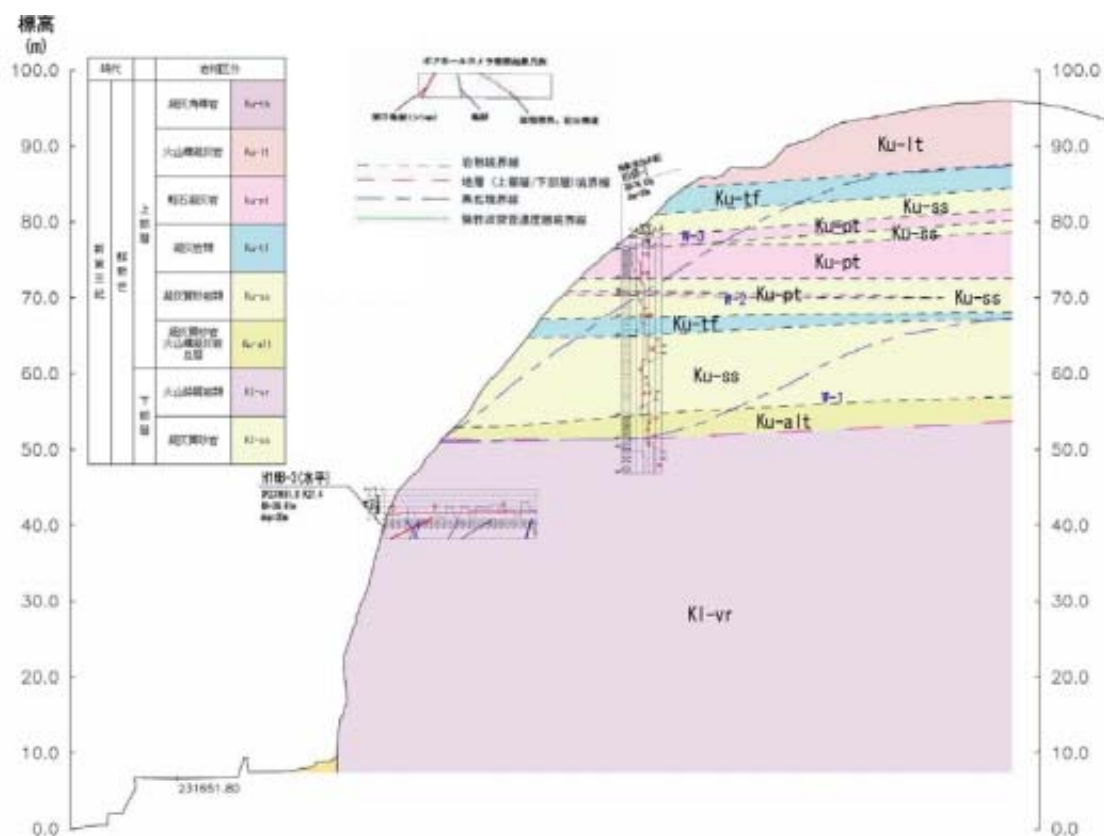


図 7 - 4 忍路地区地質断面図（断面位置は図 7 - 3 参照）

（ 2 ）過去の点検結果

当該斜面は平成 8 年度に実施された道路防災総点検で、落石・崩壊と岩石崩壊の点検対象となっており、下部急崖部に発達するくさび状亀裂に沿った岩盤崩壊（着目点 ） 上部緩斜面に分布する沢地形の不安定化（着目点 ） 下部急崖部の沢状地形側面部のオーバーハング岩体の不安定化（着目点 ）により、落石・崩壊でカルテ対応、岩石崩壊で要対策（表 7 - 3 ）とされている（図 7 - 5、図 7 - 6 ）。

表 7 - 3 平成 8 年度道路防災総点検の総合評価

総合評価	内 容
対策が必要と判断される	災害に至る可能性のある要因が、明らかに認められる箇所。
防災カルテを作成し対応する	将来的には対策が必要となる場合が想定されるものの、当面「防災カルテ」による監視等で管理していく箇所。
特に新たな対応を必要としない	災害の要因となるものが発見されず、特に新たな対応を必要としない箇所。



図 7 - 5 忍路地区の過去の点検における着目点

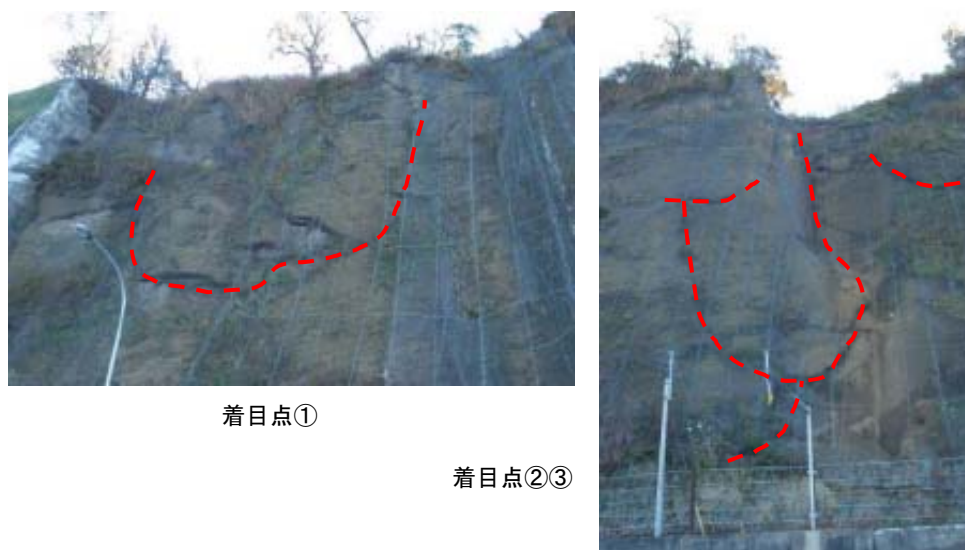


図 7 - 6 忍路地区のH 8 防災点検における着目点の例

一方、平成9年に実施された急崖斜面の緊急点検において作成された岩盤評価書では、層理面と縦方向の亀裂の組み合わせによる、約1,500m³の崩落の可能性等が指摘されている(図7-7)。

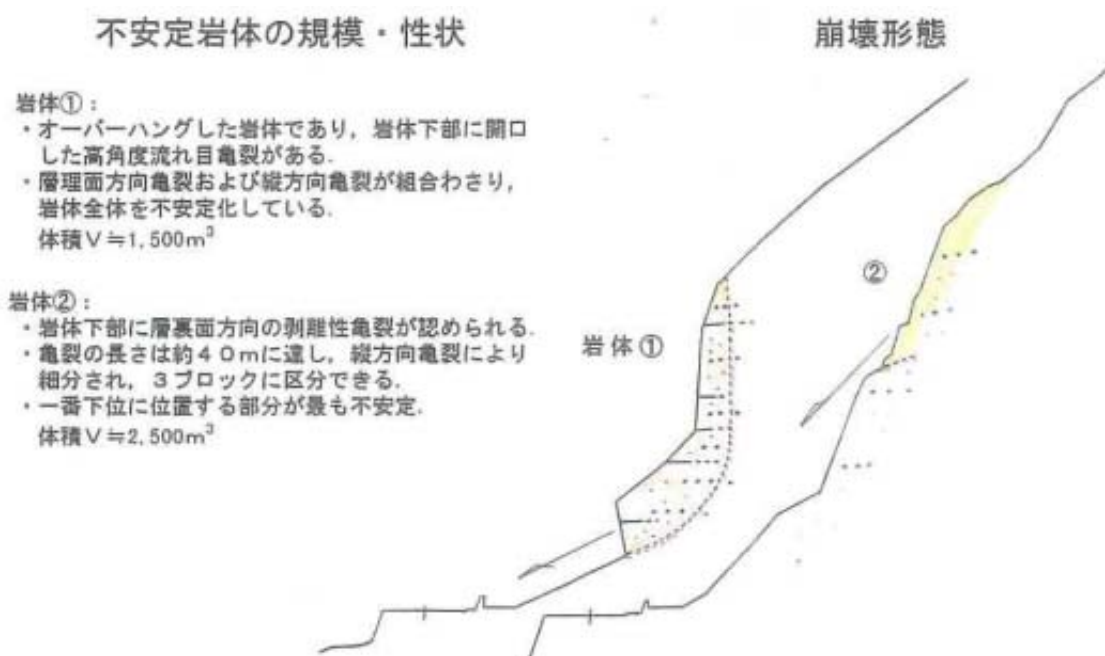


図7-7 岩盤評価書の抜粋

(3) 小樽市忍路地区の調査の方法と結果

当該地区では、災害要因を図7-8～7-9に示すように大別し、表7-4、図7-10に示すような調査を実施した。

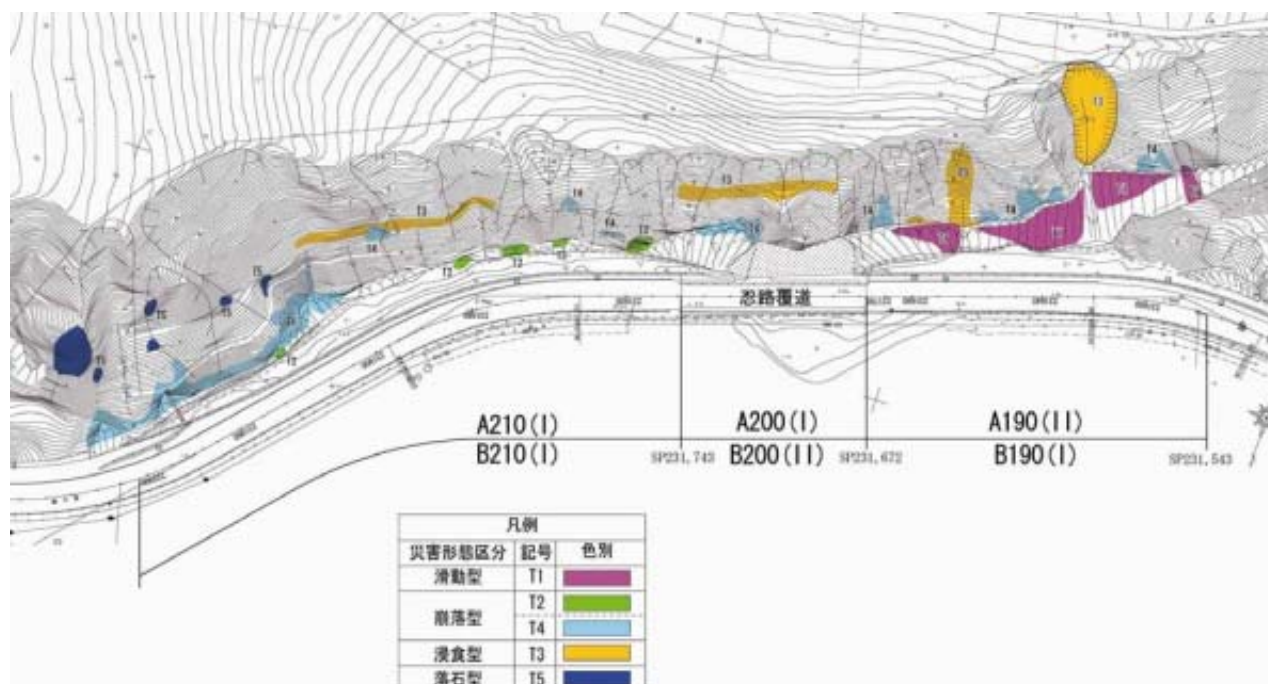


図7-8 忍路地区の災害形態分類図

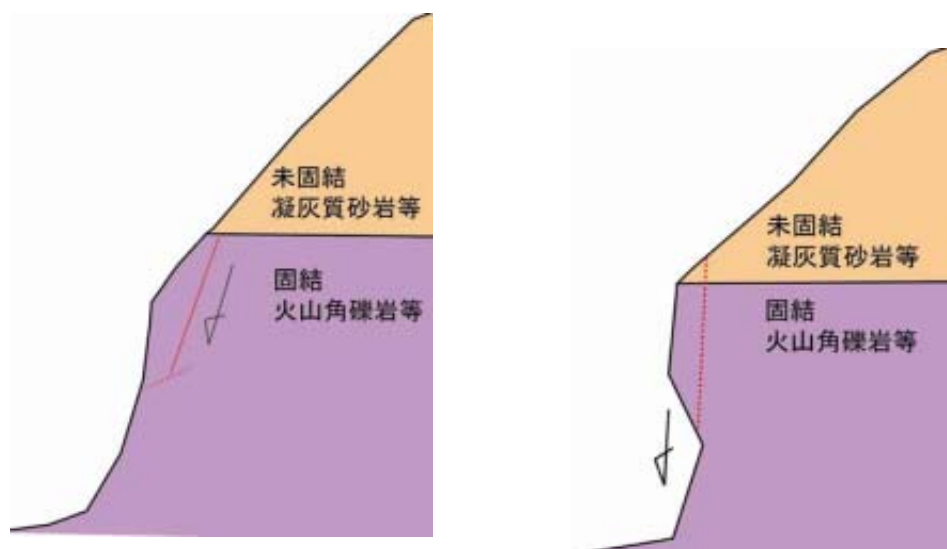


図7-9 忍路地区の大規模崩落に関する災害形態（左：滑動型、右：崩落型）

表 7 - 4 調査実施項目

区分	評価内容	調査方法	何がわかったか
地形	斜面性状	地形図読取	災害要因分布
		空中写真判読（垂直・斜め）	災害要因分布、湧水箇所判読
		接峰面図、起伏量図	—
		デジタル地形図作成、判読	亀裂等の 3 次元の分布状況把握（図 7 - 1 1 ・ 1 2 ・ 1 3 ）
		デジタル陰影図、地上開度図	—
	尾根付近までの斜面評価	空中写真判読、地形図読取	上部緩斜面の侵食形態
	浅海底地形の幅	海底地形図読取	過去の大規模崩壊との対比
	付加体等における緩斜面		—
	出尾根地形	空中写真判読等	—
地質	地形解析（時系列）	古地形図、古い空中写真	緩斜面の侵食の進行
	地表岩盤性状（開口亀裂、硬軟、亀裂間隔、地層傾斜等）	地表踏査	災害要因分布
	地中岩盤性状	ボーリング、孔内検層、ポアホールテレビ等	地質分布、亀裂性状等
	地表岩盤性状	クライミング調査	地表踏査で到達。緩斜面の落石要因分布
		ラジヘリ近接調査	急崖部の亀裂分布
	火砕岩の岩種区分	地表踏査	地形形成過程解明の基礎資料
	岩盤生成過程、地形発達過程	地形・地質の総合評価	地形形成過程と災害要因との関連の解明
	岩石構造（風化・脈）	薄片観察	地質の確定
	岩石構造（粘土鉱物）	X 線回折	膨潤性粘土鉱物の有無
履歴等	小崩壊・落石等履歴	踏査・記録等	近傍で剥離型崩壊履歴有
	海岸沿いの岩種分布	地表踏査	落石要因斜面下部に転石有
	地震履歴	気象庁記録等	—
水理地質	表層の性状（凍結融解、湧水、水柱等）	地表踏査、点検記録等	帯状の湧水帯の分布
	気温、降水量	計測、資料収集	一般的な風化条件の理解
	内部の地下水性状	地下水位	融雪期に水位上昇
		間隙水圧	—
		湧水量	—
		水質分析等	—
	付加体における緩斜面		—
工学特性	凍上・凍結深度	表層孔内温度計測	実施中
	物理特性	比重、含水比、吸水膨張率など	基本的物理特性の理解
	力学特性	圧縮、引張強度	圧縮引張比 = 5 : 1 程度
	経年劣化（乾湿）	乾湿繰返し試験	スレーキング性が高い
シミュレーション	経年劣化（凍結融解）	凍結融解試験	凍結融解で劣化が進行
		極限平衡解析	アンカー、ロックボルトの耐力照査
		2 次元 FEM	ロックボルト定着位置と引張応力域との関係
		3 次元 FEM	—
		その他	—

（ - は実施しなかった項目）

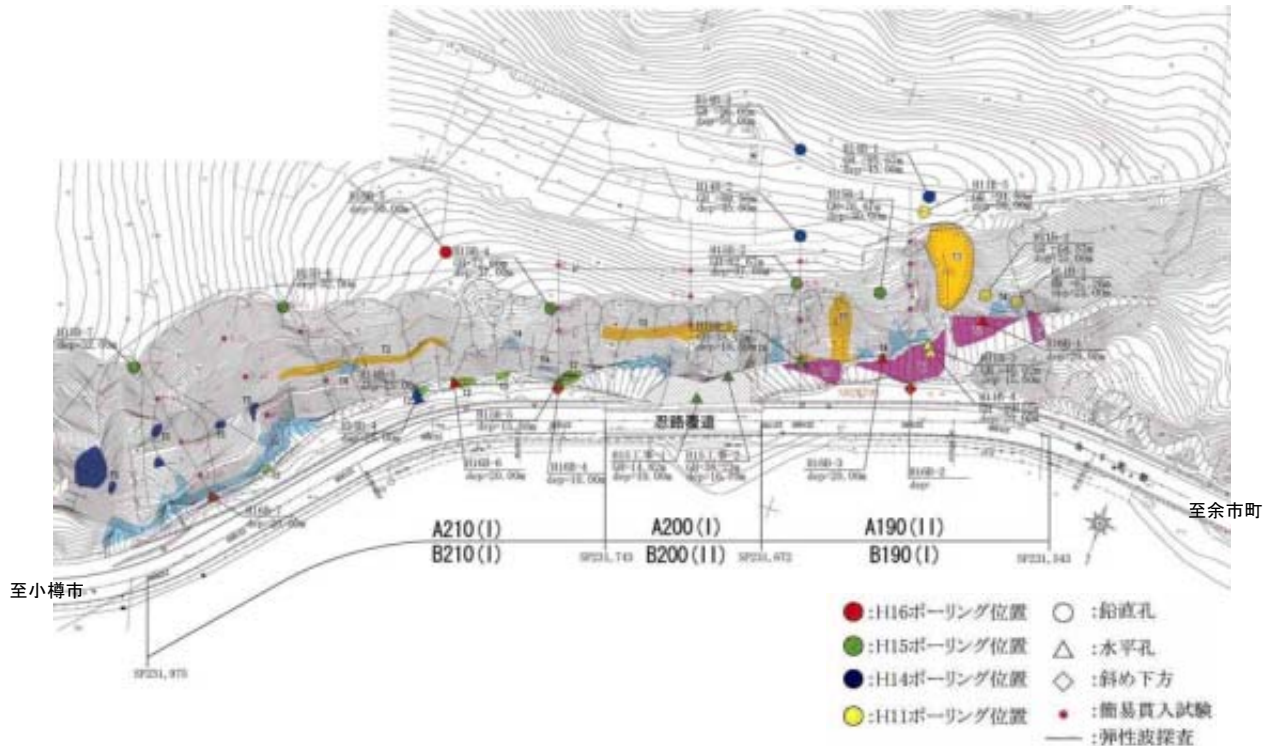


図 7 - 1 0 忍路地区の調査箇所図

以下では、忍路地区における調査のうち、岩盤斜面の評価に関して特徴的と考えられるものについて延べる。

[3 次元デジタル地形モデルの活用]

忍路地区においては、斜め航空写真に基づき 3 次元デジタルモデルを作成し、災害要因の分布および対策工の検証に活用している。

当該地区は、露岩により構成される勾配 70 度以上の急崖に、災害要因となる亀裂が複数分布していることが地表踏査やボーリングにより明らかにされている。これらの調査結果を 3 次元デジタル地形モデルに表現することにより、亀裂の地中深部における交差状況を明確化するとともに、対策工となるアンカーの定着位置の照査などに有効に活用されている（図 7 - 1 1）。また、3 次元デジタル地形モデルの特徴を活用して地形正面図を作成し、通常の平面図では表現が困難な急崖部の災害要因（図 7 - 1 2）や、湧水の分布状況（図 7 - 1 3）を表示するという取り組みが行われている。

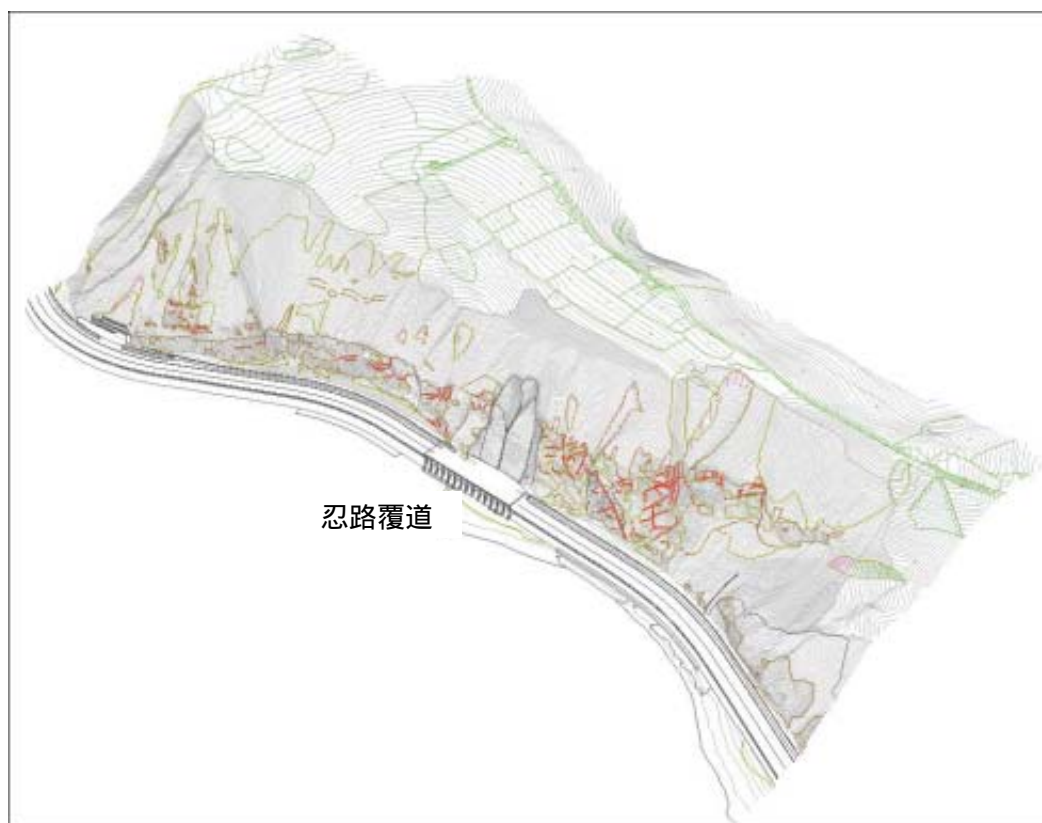


図 7 - 1 1 忍路地区における 3 次元デジタル地形モデルの例

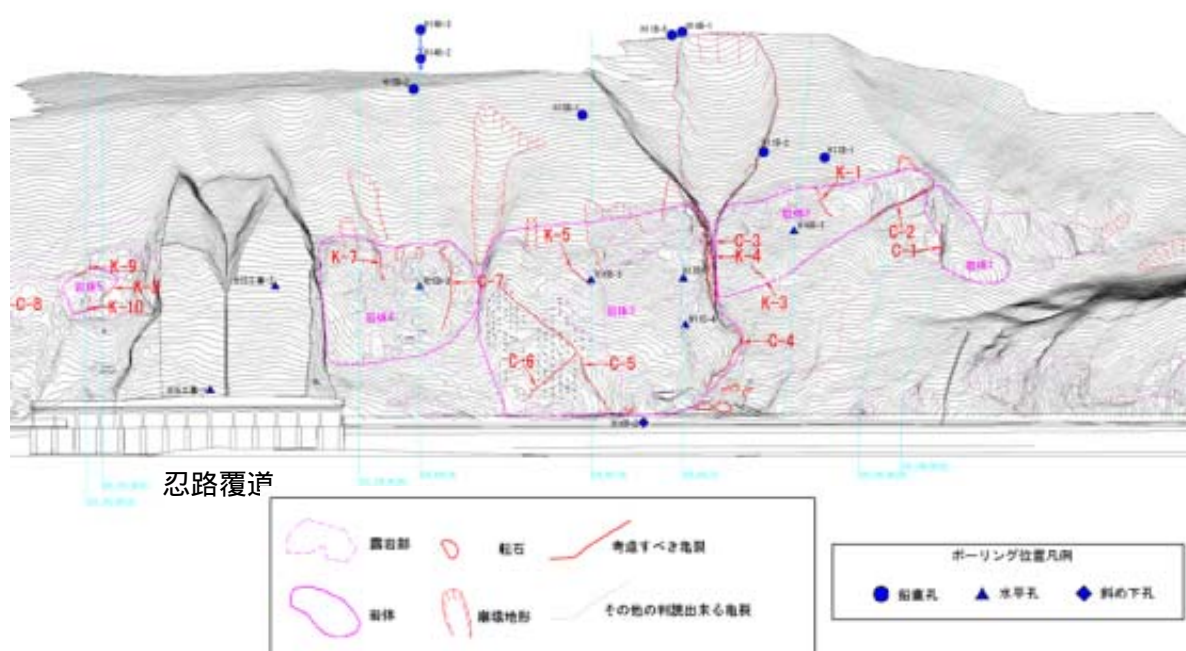
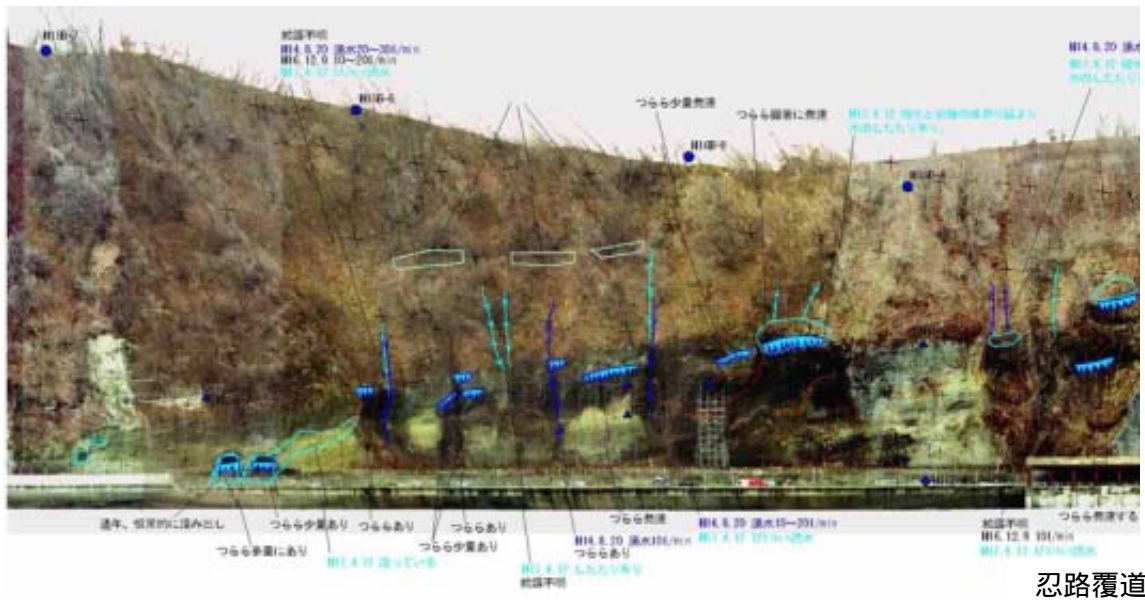


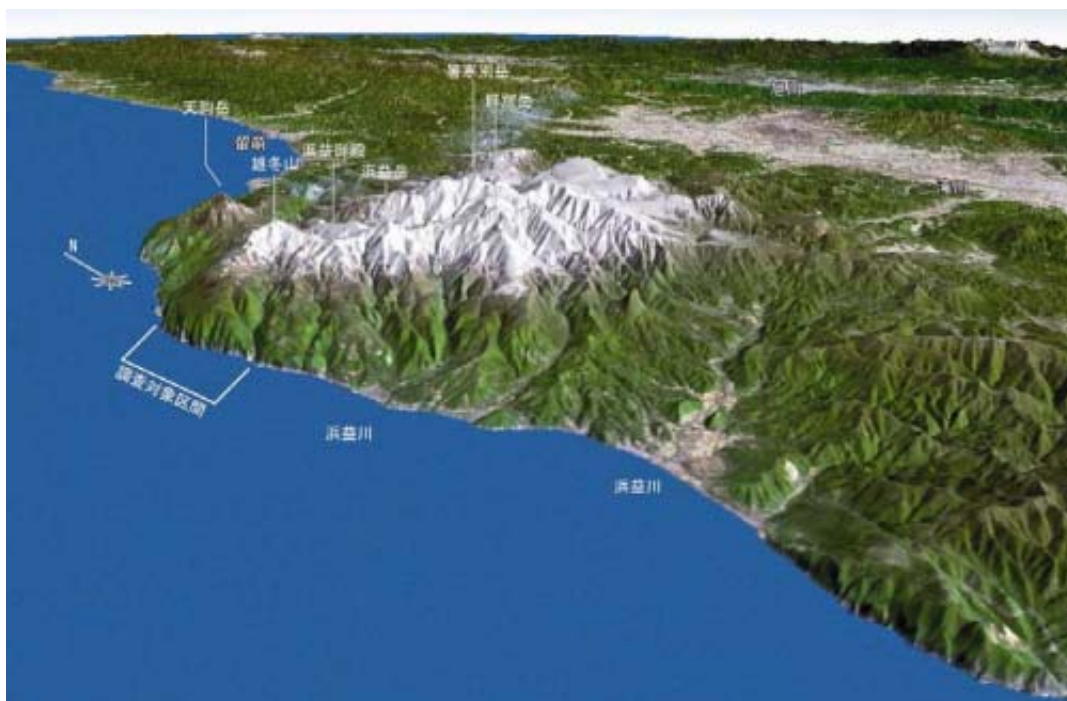
図 7 - 1 2 正面図への災害要因表示例



7.2.2 石狩市ガマタ・タンパケ地区

(1) 地形・地質概要

札幌市の北約 60km に位置する石狩市ガマタ・タンパケ地区（図 7 - 1 4 ）は、日本海に面した比高 250 ～ 450m の急崖により構成されている。斜面のうち、下部 10 ～ 250m は勾配 60 度以上の屹立した安山岩の露頭からなる急崖であり、その上部に 30 ～ 50 度のやや緩勾配の斜面をはさみ、再び勾配 60 度以上の急崖が続く（図 7 - 1 5 ）。このうち下部と上部の急崖部は、新第三紀中新世～鮮新世の安山岩により、中間部の緩斜面には、自破碎状安山岩の分布が、地質調査により確認されている（図 7 - 1 6 ）。



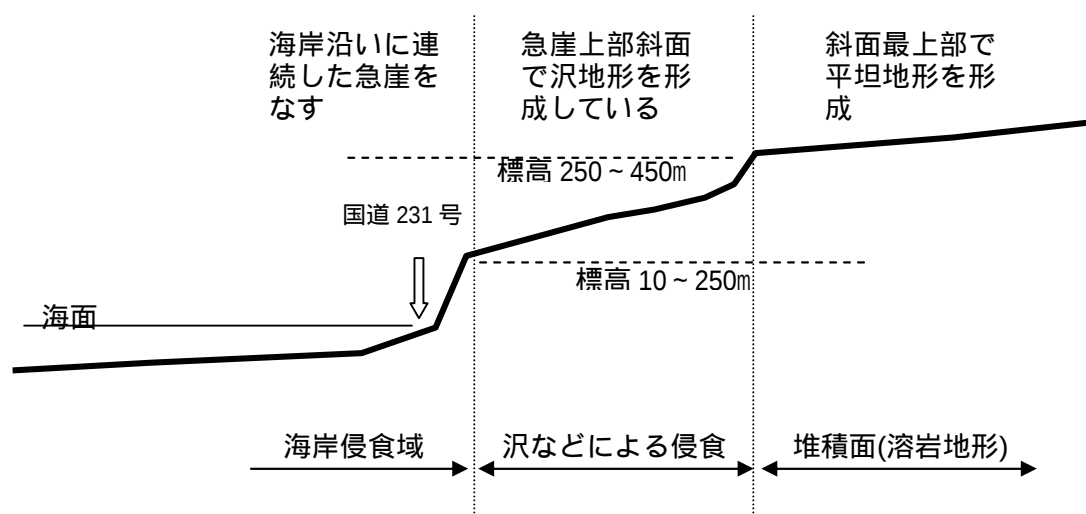


図 7 - 1 5 ガマタ・タンパケ地区地形概要図

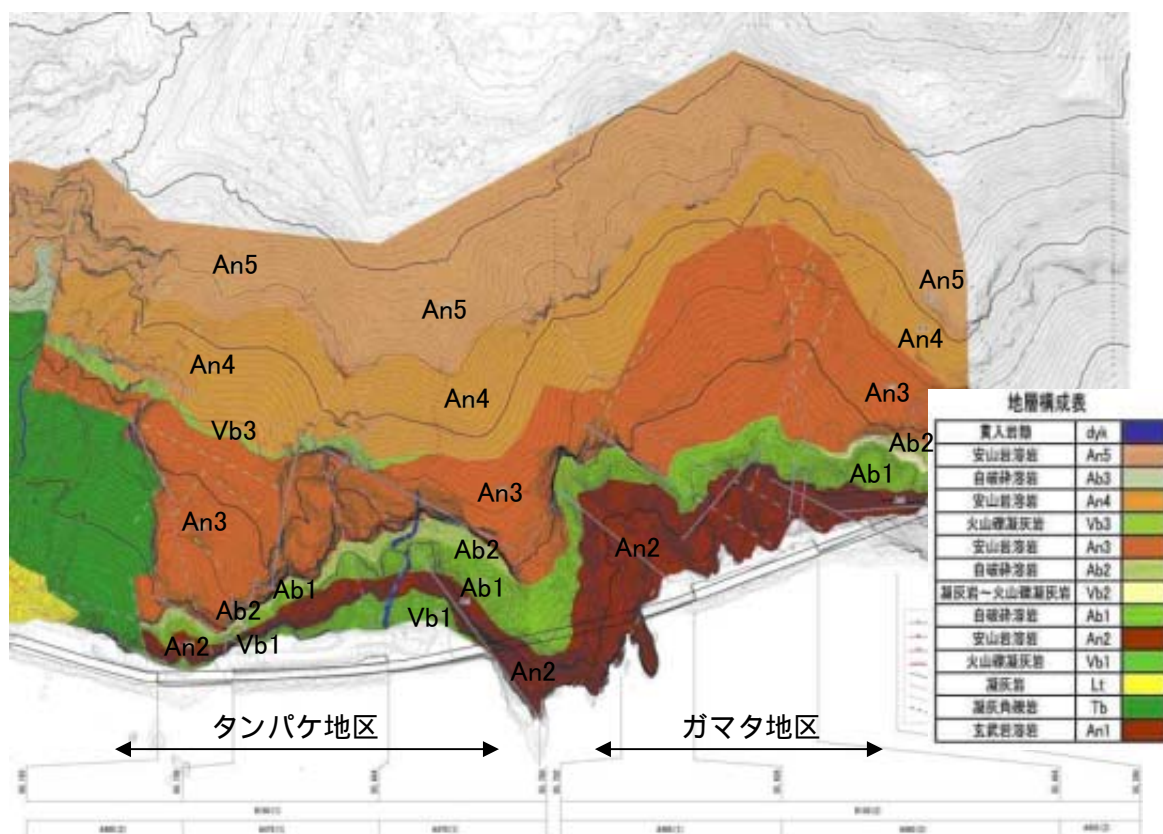


図 7 - 1 6 ガマタ・タンパケ地区地質図

(2) 過去の点検結果

当該区間のうち、ガマタ地区の斜面は平成 8 年度に実施された道路防災総点検で、落石崩壊と岩石崩壊の点検対象となっており（表 7 - 5）、下部急崖部に分布する塔状岩体や沢部に分布する落石群、上部急崖部の塔状岩体などに着目し、落石崩壊で 1 箇所が要対策、2 箇所がカルテ対応、岩石崩壊ではカルテ対応と評価されている（図 7 - 17）。

またタンパケ地区も落石崩壊と岩石崩壊の点検対象とされており、上部急崖部のオーバーハングや沢部の落石群などに着目し、落石崩壊で 4 箇所が要対策、岩石崩壊で 1 箇所が要対策として評価されている。さらにタンパケ地区では、平成 9 年度に作成された岩盤評価書において、上部・下部急崖部からの、長径 1m を超す落石や剥離の可能性が指摘されている。

表 7 - 5 道路防災総点検結果

	岩石崩壊		落石崩壊		着目箇所	想定災害
	管理番号	評価	管理番号	評価		
ガマタ地区	B150	2	A455	1	塔状岩体 変状 5	節理沿いの落石 オーバーハングの進行による崩壊
			A460	2	沢の転石群	転石の再移動による落石
			A465	2	1．比高 150m の岩体 5．沢の右側の塔状岩体	節理沿いの落石
タンパケ地区	B160	1	A470	1	1．地層境界のオーバーハング 2．沢の転石群	沢からの落石、但しクリアランス により緊急性低
			A475	1	3．上部溶岩のオーバーハング 4．沢の転石群	
			A480	1	3．上部溶岩のオーバーハング 4．沢の転石群	沢からの落石 上部塔状岩体の崩落
			A485	1	5．溶岩のオーバーハング	

* 評価 1：要対策 評価 2：カルテ対応

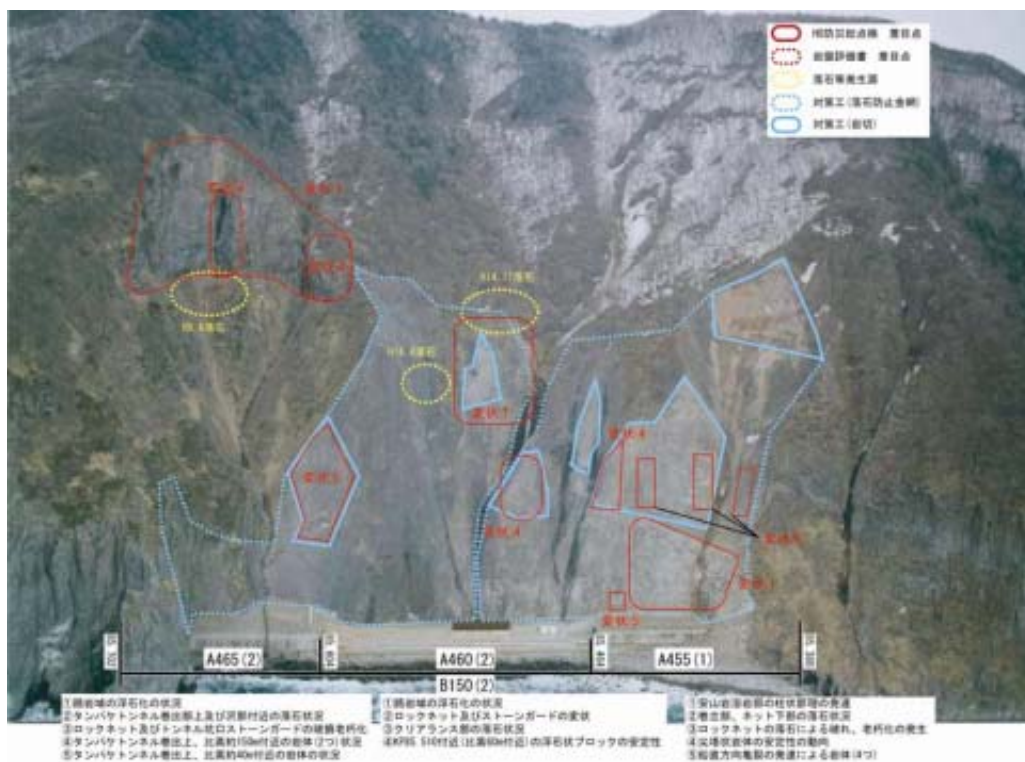


図 7 - 17 ガマタ地区の過去の点検における着目点



図 7 - 18 タンパケ地区の過去の点検における着目点

(3) 調査の方法と結果

ガマタ・タンパケ地区では、平成8年度道路防災総点検における着目点のうち、下部急崖部に位置する着目点は、適宜対策が実施されてきた。当部会に事例として紹介された調査は、上部急崖部を対象とするものであり、着目点の道路からの高さが100m以上に達し、ボーリング等の機材を搬入しての調査が、事実上不可能であることが重要な課題であった。このため、当該箇所では図7-19、7-20に示す位置で、クライミング調査および地表踏査を実施し、斜面評価を行っている。またクライミング調査にあわせて、現地でブロックサンプリングを行い、室内岩石試験を実施した。

当該地区における調査項目を表7-6に示す。

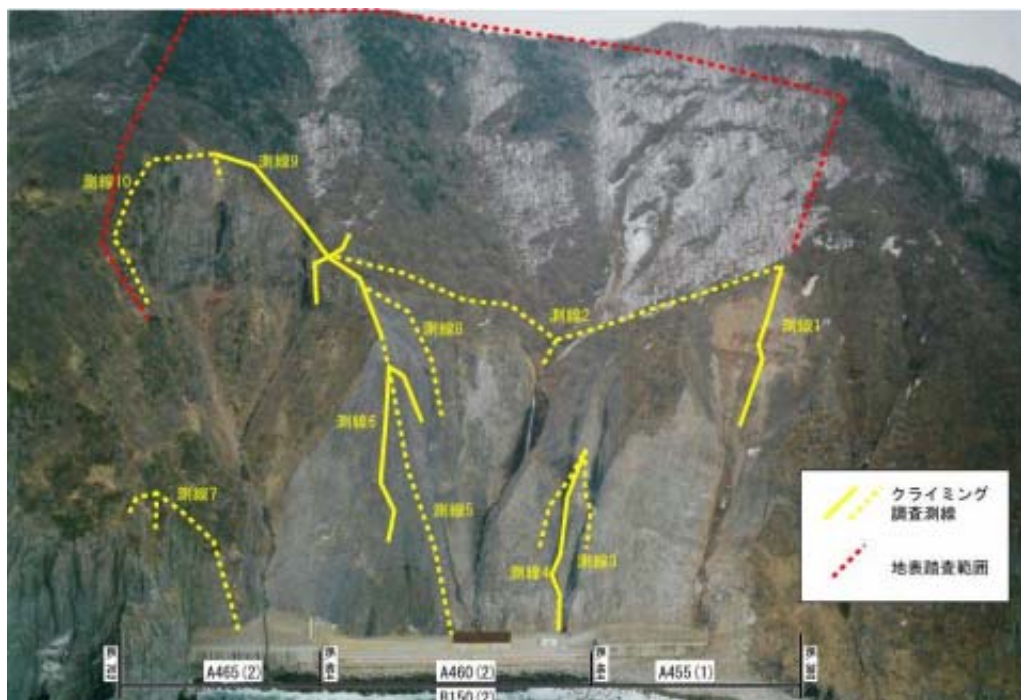


図7-19 ガマタ地区におけるクライミング調査箇所



図7-20 タンパケ地区におけるクライミング調査箇所図

表 7 - 6 石狩市ガマタ・タンパケ地区の調査実施項目

区分	評価内容	調査方法	何がわかったか
地形	斜面性状	地形図読取	災害要因分布
		空中写真判読（垂直・斜め）	災害要因分布、湧水箇所判読
		接峰面図、起伏量図	地形形成過程
		デジタル地形図作成、判読	亀裂等の 3 次元的分布状況把握
		デジタル陰影図、地上開度図	—
	尾根付近までの斜面評価	空中写真判読、地形図読取	上部緩斜面の落石要因分布
	浅海底地形の幅	海底地形図読取	過去の大規模崩壊との対比
	付加体等における緩斜面		—
地質	出尾根地形	空中写真判読等	—
	地形解析（時系列）	古地形図、古い空中写真	侵食による地形形成過程の整理
	地表岩盤性状（開口亀裂、硬軟、亀裂間隔、地層傾斜等）	地表踏査	災害要因分布
	地中岩盤性状	ボーリング、孔内検層、ポアホールテレビ等	—
	地表岩盤性状	クライミング調査	地質および亀裂の分布等 図 7 - 2 2 ・ 2 3
		ラジヘリ近接調査	急崖部の亀裂分布
	火砕岩の岩種区分	地表踏査	地形形成過程解明の基礎資料
	岩盤生成過程、地形発達過程	地形・地質の総合評価	地形形成過程と災害要因との関連の解明
履歴等	岩石構造（風化・脈）	薄片観察	地質の確定
	岩石構造（粘土鉱物）	X 線回折	膨潤性粘土鉱物の有無
	小崩壊・落石等履歴	踏査・記録等	緩斜面からの落石履歴有
	海岸沿いの岩塊分布	地表踏査	災害要因と岩塊との関連
水理地質	地震履歴	気象庁記録等	—
	表層の性状（凍結融解、湧水、氷柱等）	地表踏査、点検記録等	湧水と侵食形態との関係
	気温、降水量	計測、資料収集	一般的な風化条件の理解
	内部の地下水性状	地下水位	—
		間隙水圧	—
		湧水量	—
		水質分析等	—
	付加体における緩斜面		—
工学特性	凍上・凍結深度	表層孔内温度計測	—
	物理特性	比重、含水比、吸水膨張率など	基本的物理特性の理解
	力学特性	圧縮、引張強度	基本的物理特性の理解
	経年劣化（乾湿）	乾湿繰返し試験	スレーキング性が低い
シミュレーション	経年劣化（凍結融解）	凍結融解試験	—
		極限平衡解析	—
		2 次元 FEM	—
		3 次元 FEM	—
		その他	—

（ - は実施しなかった項目）

石狩市ガマタ・タンパケ地区の調査において特徴的と考えられる点について以下に述べる。

[クライミング調査による地質の把握]

既述のように、ガマタ・タンパケ地区では着目岩体が比高 100m 以上の急崖上部に位置し、ボーリング調査や通常の手法による地表踏査が困難であった。このため、詳細調査にあたり、急崖登坂のエキスパートからなるクライミング調査班を編成し、岩体の観察および試料の採取を実施した（図 7 - 2 1 ）。

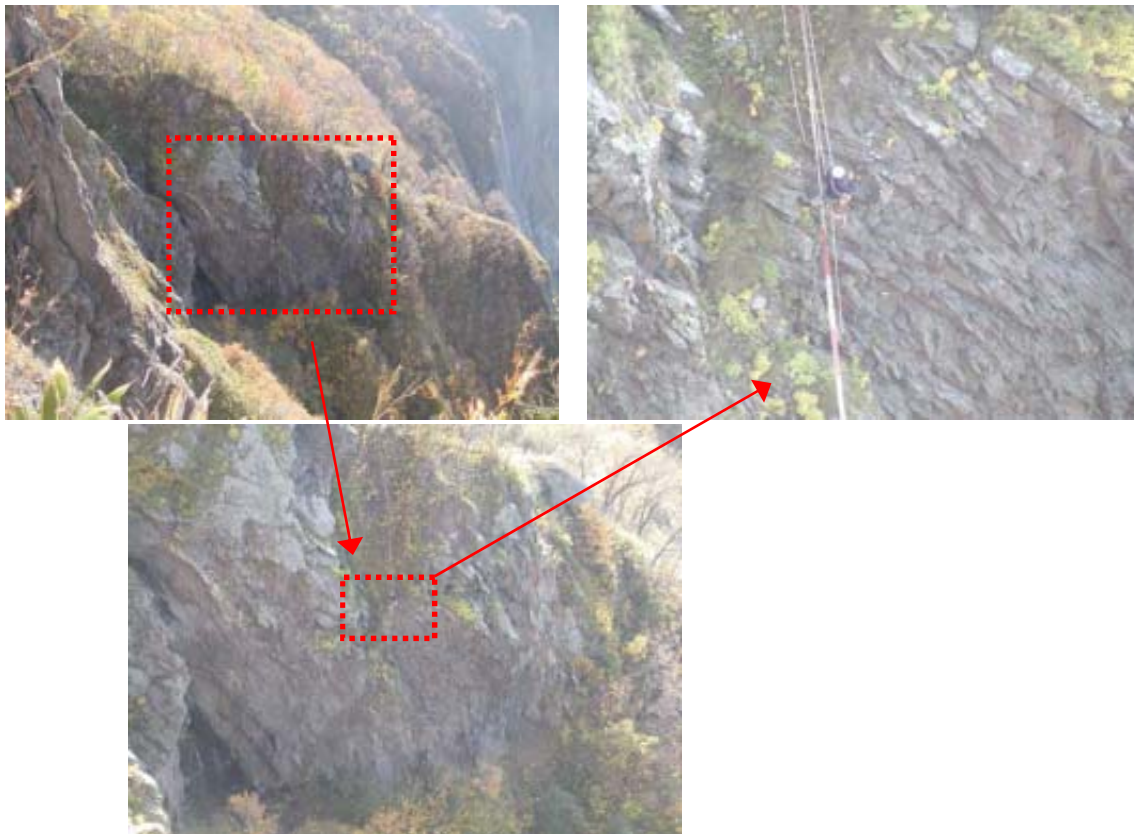


図 7 - 2 1 クライミング調査の実施状況

クライミング調査実施以前には、ラジコンヘリによる斜め空中写真等に基づき、付近の斜面の評価が行われていたが、この際上部急崖基部には、凝灰岩等の堆積岩類が厚く分布していると推定されていた（図 7 - 2 2 ）。しかし今回のクライミング調査により、現地に近接して確認したところ、急崖基部には自破碎状溶岩が分布しており、堆積岩類に比べスレーキングしにくい岩種であることが明らかになった（図 7 - 2 3 ）。

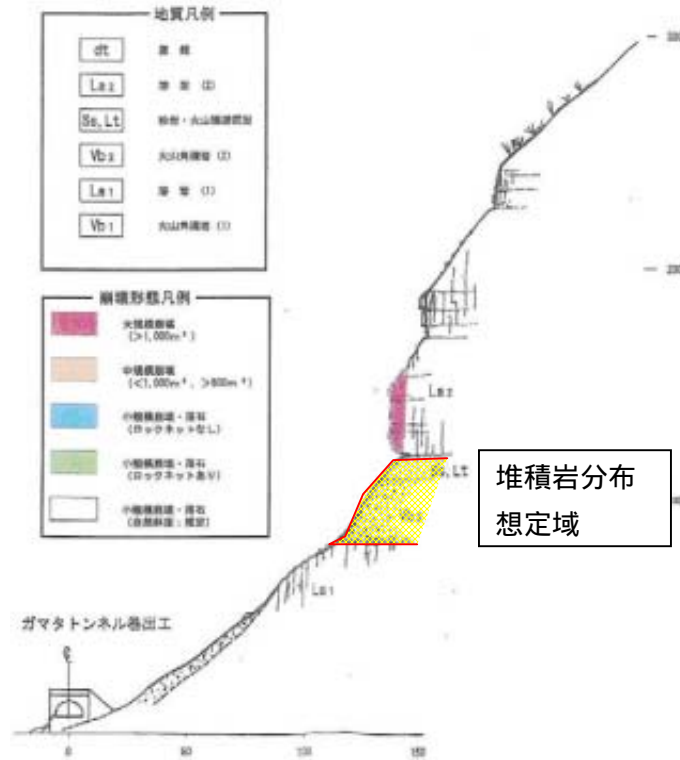


図 7 - 2 2 クライミング調査前の想定地質断面図

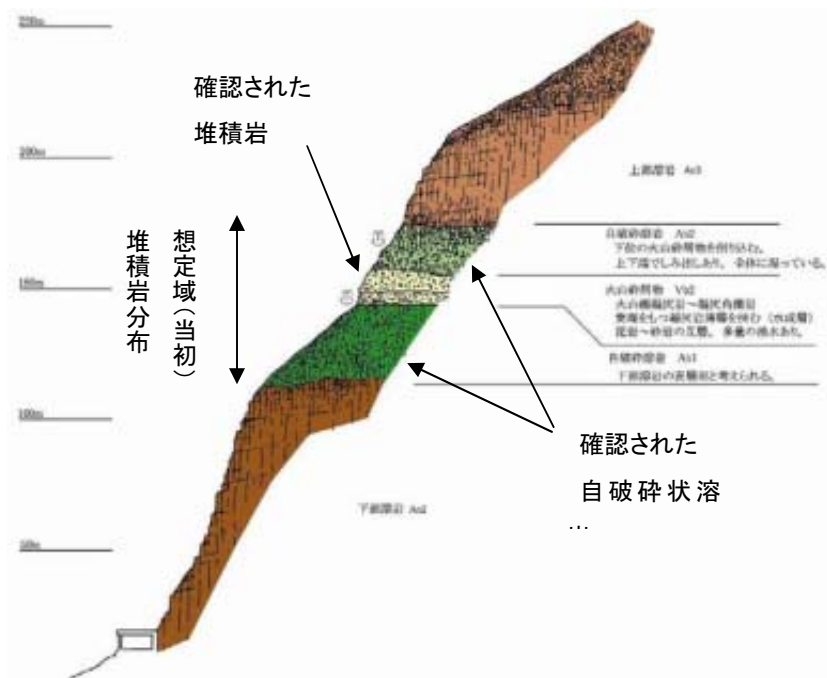


図 7 - 2 3 クライミング調査後の地質断面図

7.2.3 えりも地区

(1) 地形・地質概要

襟裳岬の北約 20km に位置するえりも町庶野地区（図 7 - 2 4 ）は、太平洋に面した比高 100 ～ 300m の急崖が連続している（図 7 - 2 5 ）。当該区間は、白亜紀～古第三紀の日高変成岩類に分類されるホルンフェルスが分布しており（図 7 - 2 6 ）、斜面全域にわたり節理や亀裂などの不連続面が多数分布している。平成 1 6 年 1 月 1 3 日に、当該区間の中間部付近で幅約 90m、高さ約 100m、深さ約 17m、体積約 42,000m³ の岩盤崩落が発生している（図 7 - 2 5 ）。

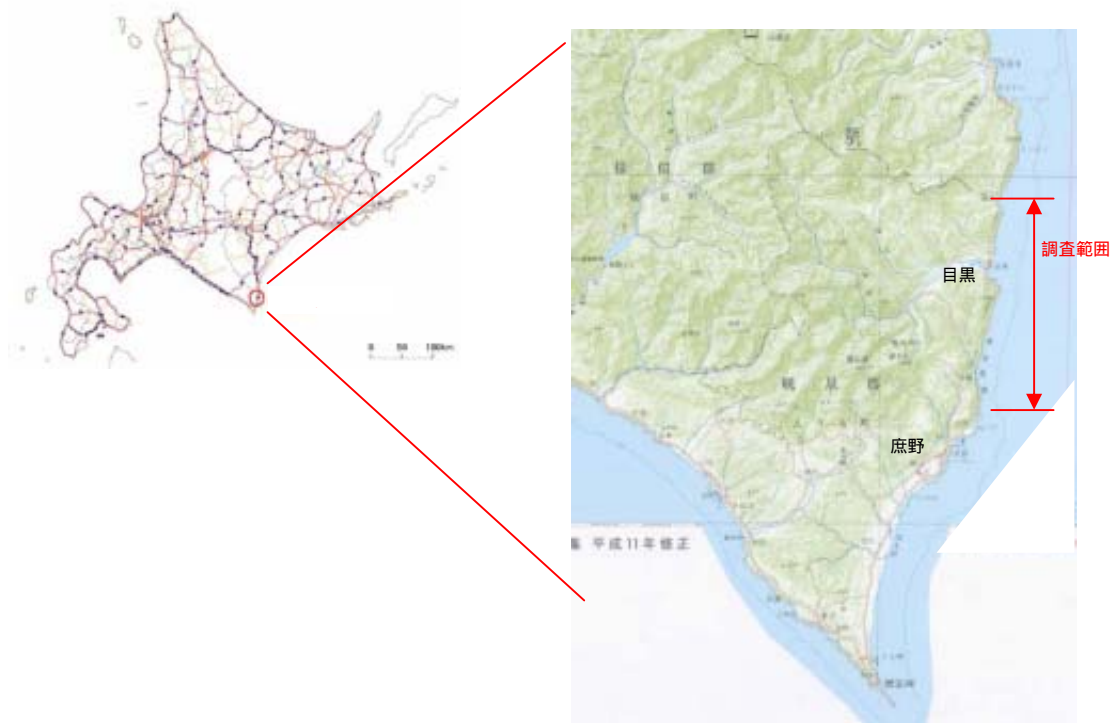


図 7 - 2 4 えりも町庶野地区位置図

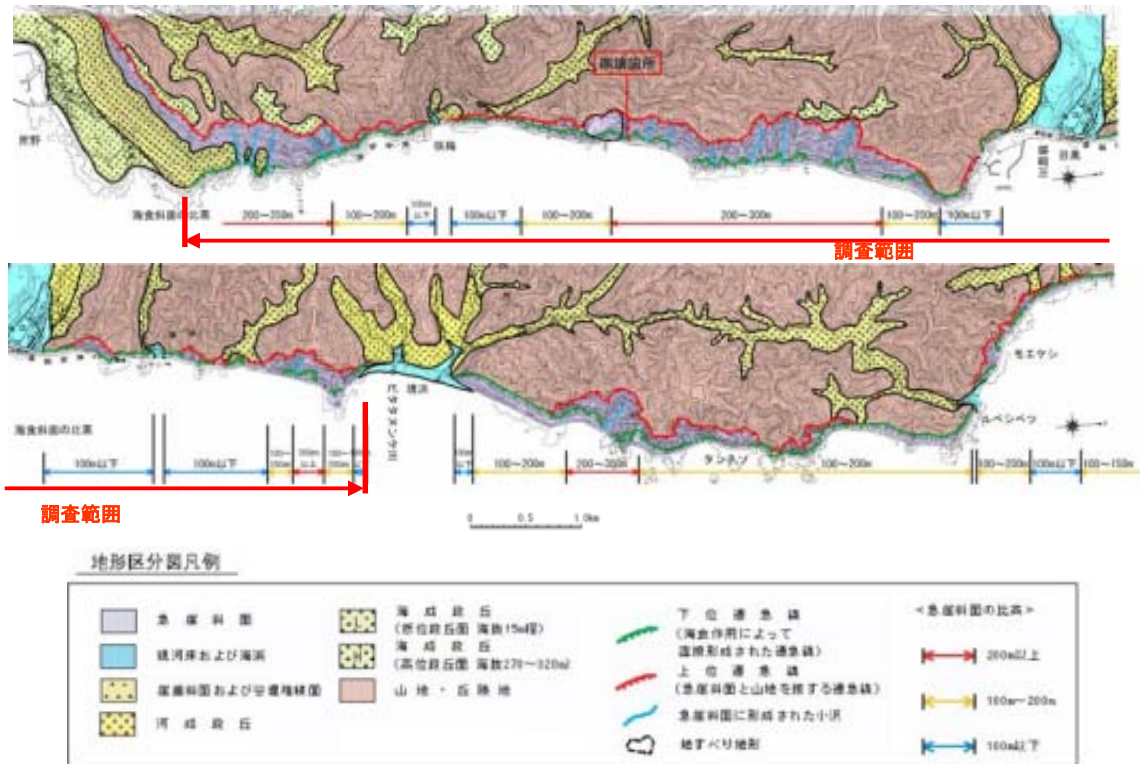


図 7 - 2 5 えりも町庶野地区の地形区分図

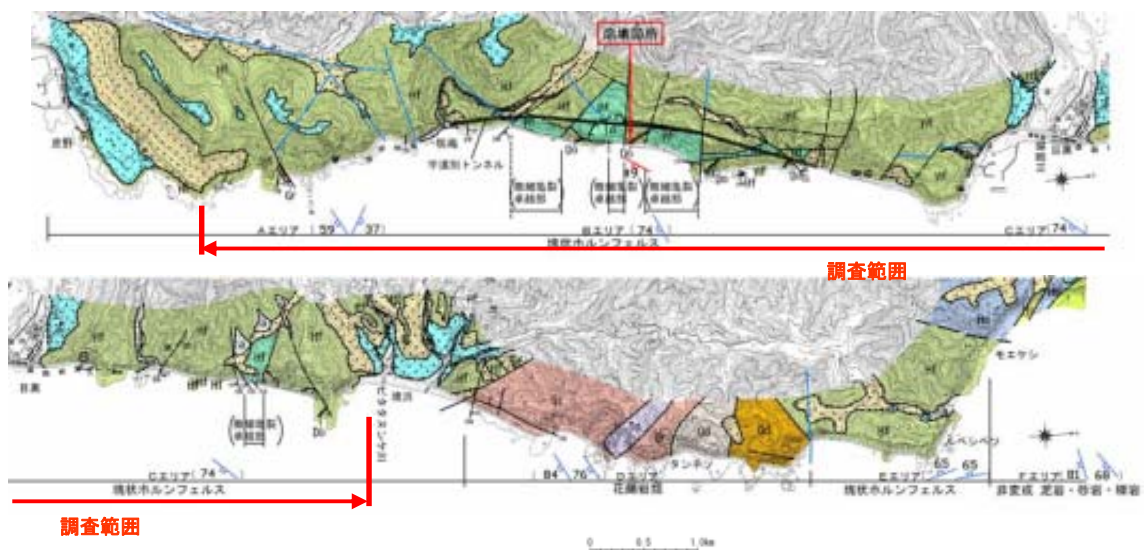


図 7 - 2 6 えりも町庶野地区の地質図

(2) 斜面評価の背景

[平成16年崩壊以前の斜面評価の考え方]

平成16年に発生した崩壊以前にも、当該区間では落石などの災害が発生していたが、いずれも崩壊深さ1m程度であり、深さ10mを超すような大規模な崩落は想定されていなかった(図7-27)。

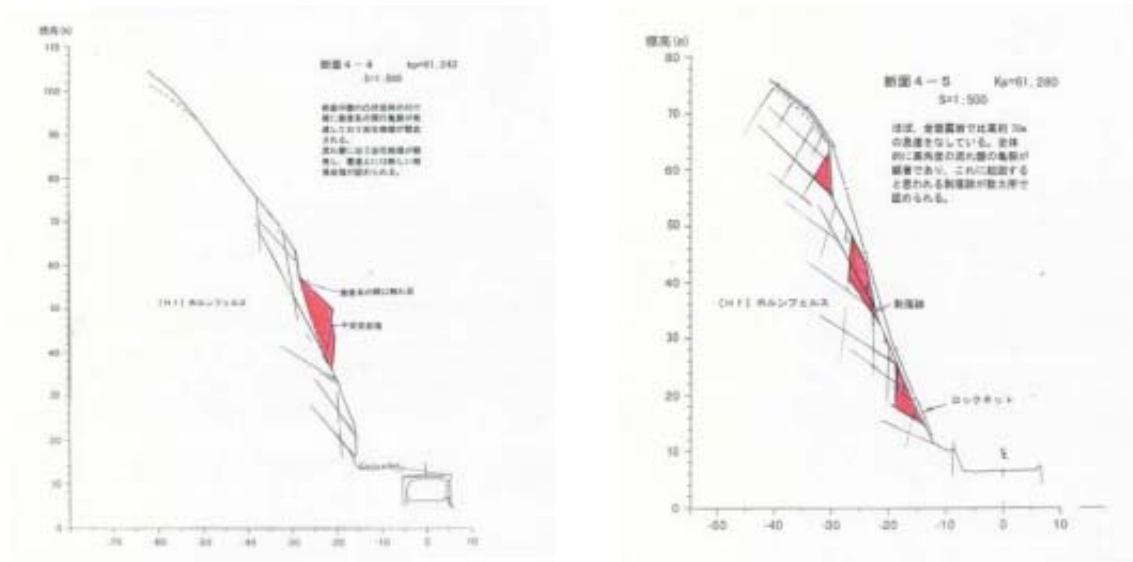


図7-27 平成16年崩壊以前の斜面評価の考え方

[平成16年崩壊の特徴]

平成16年1月13日に発生した大規模岩盤崩落(図7-28)は、崩壊土量約42,000m³という規模の大きさもさることながら、崩壊面の厚さが17mに及ぶ点において、それまでの想定を大きく超えていた。

本崩壊を受けて設置された「一般国道336号えりも町斜面崩壊調査委員会報告書」によると、崩壊箇所には次のような地形、地質的特徴が認められる。

1) 出尾根地形

崩壊地は差別浸食により両側が沢地形となっている張り出し尾根であり、尾根地形は沢部と比較して浸食速度が遅いため、風化が進行していても地形改変が少ないと想定される(図7-29)。



図7-28 崩壊箇所全景



2) 背後の沢地形

崩壊箇所背後に2～3条の裸地の谷地形が分布し、谷頭部は崩壊地形をなして現在も浸食が進行している。この地形は表流水の作用によるものであるが、沢部には常時流水が認められないことから、途中から地山に浸透していることが想定される(図7-30)。

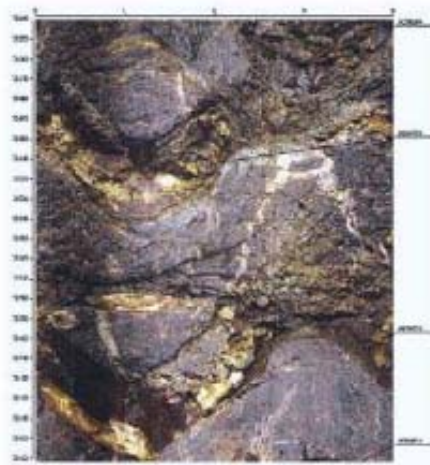


3) 流れ盤亀裂と高角亀裂の組み合わせ

崩壊地では、斜面に平行な方向を持つ流れ盤亀裂と高角の受け盤亀裂が発達し、崩壊面全体としては、これらの亀裂面が多様に分布する複雑な形状をなす(図7-31)。

4) 白色鉱物脈

崩壊地の岩石には潜在的な微細亀裂と、これを充填する白色鉱物脈の組み合わせからなるものが大部分で、褐色の水酸化鉄が付着する箇所が認められる。このことから、岩盤のインタクト部は硬質であるが、亀裂に介在する白色鉱物脈は潜在的な弱面となっていたと推測される(図7-32)。



ボアホールカメラ画像 (No. 1、73.3 m)



崩壊面(えりも側)

図 7 - 3 2 白色鉱物脈説明図

(3) 調査の方法と結果

既述のような平成 1 6 年 1 月 1 3 日の崩壊に関する特徴を踏まえて、えりも町庶野地区では、表 7 - 7 に示すような調査を実施した。このうち当該箇所の特徴的と思われる調査項目について以下に述べる。

表 7 - 7 えりも町庶野地区の調査実施項目

区分	評価内容	調査方法	何がわかったか
地形	斜面性状	地形図読取	類似地形の判読
		空中写真判読（垂直・斜め）	類似地形の判読
		接峰面図、起伏量図	—
		デジタル地形図作成、判読	類似地形の判読
		デジタル陰影図、地上開度図	出尾根地形の判読
	尾根付近までの斜面評価	空中写真判読、地形図読取	背後の沢地形の判読
	浅海底地形の幅	海底地形図読取	—
	付加体等における緩斜面		—
	出尾根地形	空中写真判読等	類似地形の判読
	地形解析（時系列）	古地形図、古い空中写真	地形形成過程の整理
地質	地表岩盤性状（開口亀裂、硬軟、亀裂間隔、地層傾斜等）	地表踏査	災害要因分布
	地中岩盤性状	ボーリング、孔内検層、ポアホールテレビ等	亀裂・白色鉱物脈の分布状況
	地表岩盤性状	クライミング調査	—
		ラジヘリ近接調査	亀裂分布状況・地形解析
	火砕岩の岩種区分	地表踏査	—
	岩盤生成過程、地形発達過程	地形・地質の総合評価	地形形成過程と災害要因との関連の解明 （図 7 - 3 3）
	岩石構造（風化・脈）	薄片観察	地質の確定
履歴等	小崩壊・落石等履歴	踏査・記録等	H 1 6 以外は深さ 1 m 未満
	海岸沿いの岩塊分布	地表踏査	海岸付近に岩塊なし
	地震履歴	気象庁記録等	H 1 6 崩壊前に地震あり
水理地質	表層の性状（凍結融解、湧水、氷柱等）	地表踏査、点検記録等	全体に湧水量は少ない
	内部の地下水性状	計測、資料収集	一般的な風化条件の理解
		地下水位	—
		間隙水圧	—
		湧水量	新鮮部で 3 リットル / 分
		水質分析等	—
	付加体における緩斜面		—
工学特性	凍上・凍結深度	表層孔内温度計測	—
	物理特性	比重、含水比、吸水膨張率など	基本的物理特性の理解
	力学特性	圧縮、引張強度	破壊音に着目した岩石試験 （図 7 - 3 4 ・ 3 5）
	経年劣化（乾湿）	乾湿繰返し試験	—
シミュレーション	経年劣化（凍結融解）	凍結融解試験	—
		極限平衡解析	—
		2 次元 FEM	—
		3 次元 FEM	—
		その他	—

（ - は実施しなかった項目）

[デジタル陰影図を用いた類似地形の解析]

当該地区では、航空レーザプロファイラーにより得られた高密度標高データに基づき、デジタル陰影図を作成し、H 1 6 崩壊の地形的特徴である、「出尾根地形」と「背後の沢地形」を解析した（図 7 - 3 3 ）。

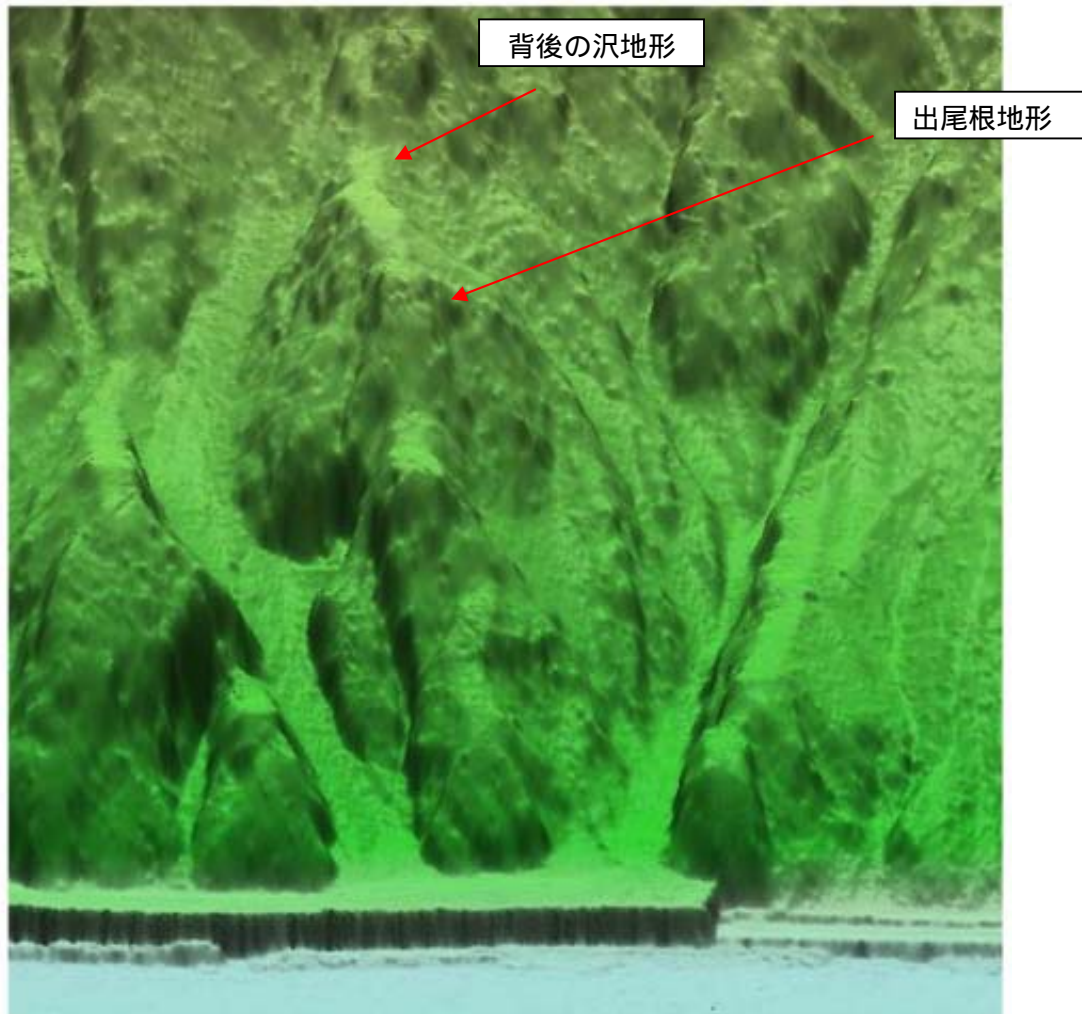


図 7 - 3 3 デジタル陰影図を用いた地形解析の例

[破壊音に着目した岩石試験]

当該箇所分布するホルンフェルスは、複雑な応力履歴を反映して潜在的な亀裂が存在するために、岩石試験の強度値のばらつきが大きく、終局的な破壊に至るまでの過程で局所的な破壊が生じている可能性が考えられた。このため、圧縮強度試験実施時に AE 計測を行い、局所破壊の状況を把握する試みがなされている（図 7 - 3 4）。この結果、応力の増加に伴い、AE が観測され、局所破壊が進行する状況を確認することができた（図 7 - 3 5）。



図 7 - 3 4 破壊音に着目した試験状況

微小な局部破壊を伴っていると思われる

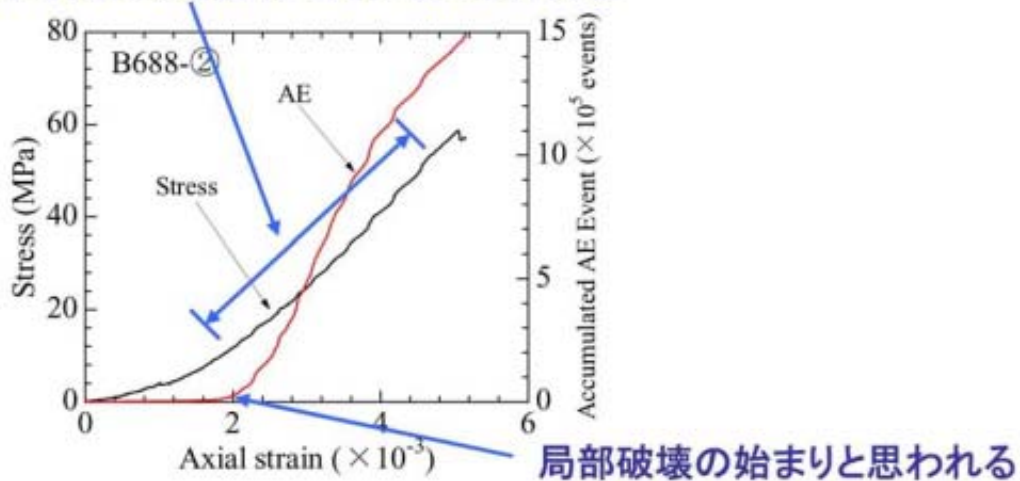


図 7 - 3 5 破壊音に着目した試験結果の例

7.2.4 函館市立岩地区

(1) 地形・地質概要

函館市街地の西約 40km に位置する立岩地区(図7-36)は、太平洋に面した比高約 130m の急崖斜面により構成されている(図7-37)。斜面は新生代第三紀中新世の凝灰角礫岩により構成されており、層理面の傾斜は斜面に対して緩い流れ盤構造となっている(図7-38)。



図7-37 函館市立岩地区の正面写真

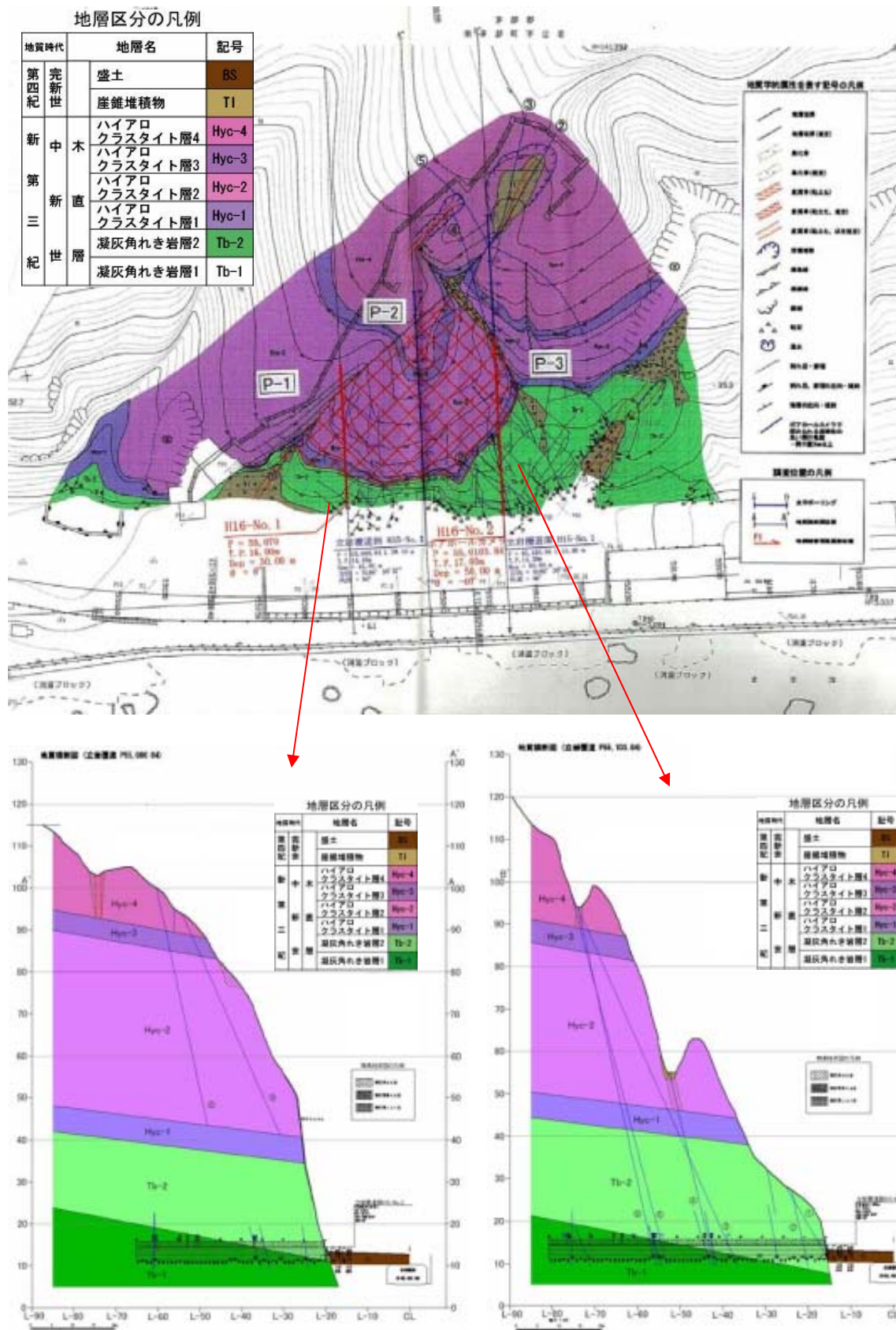


図 7 - 3 8 函館市立岩地区の地質平面図と地質断面図

(2) 函館市立岩地区の想定される災害要因

当該箇所では、平成8年度道路防災総点検で落石・崩壊と岩石崩壊の項目で点検対象となっており、覆道背後の急崖頂部と岩体脚部にオーバーハングが認められるが、覆道端までのクリアランスがあることから、カルテ対応とされている。

その後のラジコンヘリによる調査等から、区間中央部に位置する塔状岩体背後に2方向の亀裂が認められ、これと湧水を伴う緩い流れ盤に囲まれた大規模なブロックの不安定化(図7-39)や、根固め工背後の亀裂に囲まれた岩体の崩落(図7-40)が災害要因として指摘されていた。



図7-39 岩体背後の交差する亀裂



図7-40 函館市立岩地区の着目岩体

(3) 函館市立岩地区の調査の方法と結果

当該地区では既述のような災害要因を評価するために、表7-8に示すような調査を実施した。以下では当該地区で特徴的と思われる調査項目について述べる。

表7-8 函館市立岩地区の調査実施項目

区分	評価内容	調査方法	何がわかったか
地形	斜面性状	地形図読取	亀裂系の判読
		空中写真判読(垂直・斜め)	亀裂系の判読
		接峰面図、起伏量図	—
		デジタル地形図作成、判読	災害要因の3次元把握 (図7-41・42)
		デジタル陰影図、地上開度図	—
	尾根付近までの斜面評価	空中写真判読、地形図読取	背後の沢地形の判読
	浅海底地形の幅	海底地形図読取	—
	付加体等における緩斜面		—
	出尾根地形	空中写真判読等	—
地質	地形解析(時系列)	古地形図、古い空中写真	地形形成過程の整理
	地表岩盤性状(開口亀裂、硬軟、亀裂間隔、地層傾斜等)	地表踏査	災害要因分布
	地中岩盤性状	ボーリング、孔内検層、ポアホールテレビ等	岩体深部の風化状況、亀裂形態、一部亀裂で湧水確認
	地表岩盤性状	クライミング調査	岩体深部の風化状況、亀裂形態
		ラジヘリ近接調査	亀裂分布状況・地形解析
	火砕岩の岩種区分	地表踏査	基本的地質構成
	岩盤生成過程、地形発達過程	地形・地質の総合評価	地形形成過程と災害要因との関連の解明
	岩石構造(風化・脈)	薄片観察	スメクタイト等の確認
履歴等	岩石構造(粘土鉱物)	X線回折	スメクタイト等の確認
	小崩壊・落石等履歴	踏査・記録等	最大長径3mの落石履歴
	海岸沿いの岩塊分布	地表踏査	—
	地震履歴	気象庁記録等	現地に計測機器有
水理地質	表層の性状(凍結融解、湧水、氷柱等)	地表踏査、点検記録等	水理地質特性の理解
	気温、降水量	計測、資料収集	一般的な風化条件の理解
	内部の地下水性状	地下水位	—
		間隙水圧	—
		湧水量	—
		水質分析等	—
	付加体における緩斜面		—
工学特性	凍上・凍結深度	表層孔内温度計測	—
	物理特性	比重、含水比、吸水膨張率など	基本的物理特性の理解
	力学特性	圧縮、引張強度	力学特性の理解
	経年劣化(乾湿)	乾湿繰返し試験	風化耐性の把握
シミュレーション	経年劣化(凍結融解)	凍結融解試験	—
		極限平衡解析	—
		2次元FEM	—
		3次元FEM	—
		その他	—

(- は実施しなかった項目)

[航空写真をテクスチャーとした3次元地形モデルの構築]

近年実施事例が増えている地上設置型レーザープロファイラーは、短時間に高精度の地形情報を得ることが可能であるが、到達距離に限界があり（100m程度）、地上から死角になる部分は計測することができない。このため当該箇所では、地上設置型レーザープロファイラーと既存の航測平面図を組み合わせることにより、3次元地形モデルを構築している。

また3次元地形モデルに、空中写真をテクスチャーとして採用することにより、災害要因の分布状況をより明確に示すことを試みている。



図7 - 4 1 地上設置型レーザープロファイラーとラジコンヘリによる空中写真撮影状況

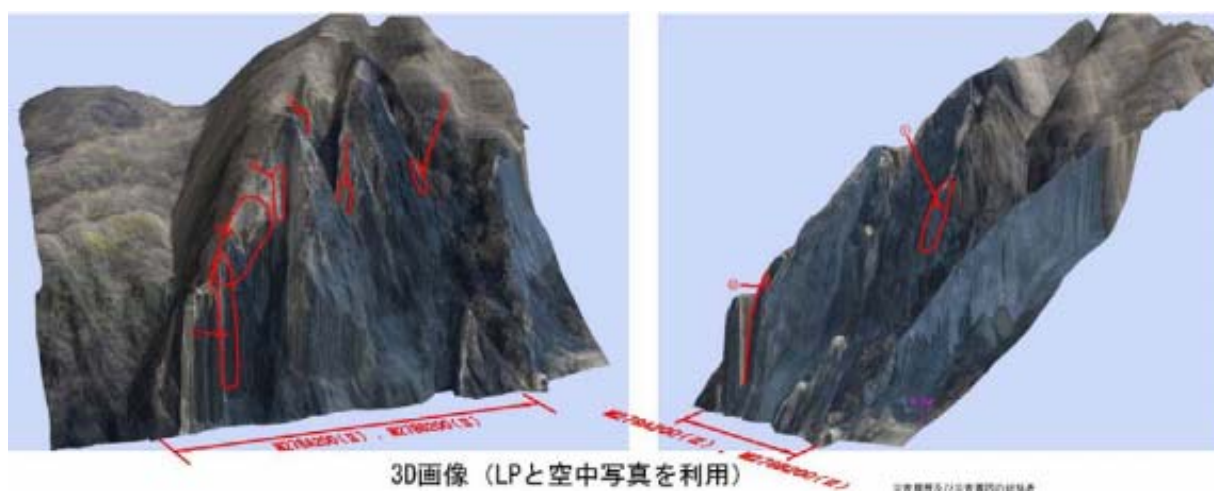


図7 - 4 2 航空写真をテクスチャーとした3次元地形モデル

[クライミング調査による災害要因の把握]

当該箇所では、地上からの目視が困難な岩体上部の災害要因を明確にするために、クライミング調査を実施した。調査の実施状況および実施結果を図7-43に示す。



図7-43 クライミング調査の実施状況と実施結果

7.3 岩盤斜面評価手法の検討

過去の大規模岩盤崩落に際し設置された委員会では、それぞれの災害事例の検討に基づき、斜面評価に関する新たな観点や手法が提案されている。また近年になって実用化されたレーザープロファイラーや、クライミング調査といった手法は、本部会で扱ったモデル地区においても活用されている。

そこで本部会では、各モデル地区における調査事例に基づき、過去の委員会報告に基づく新たな観点・手法や、近年になり実用化されている調査手法の有効性を検討するために、表7-9に示すような一覧表をとりまとめた。この結果を概観すると以下のとおりである。

1) 地形に関する調査項目

今回対象としたモデル地区の全てで、何らかの形でデジタル地形モデルが採用されている。これは、岩盤崩壊の特性を把握し、理解するうえで3次元的な地形モデルが有効であることを示していると考えられる。一方、北陽・えりもで推奨されている緩斜面や出尾根地形等に関する調査項目は、えりも以外の地域で採用されていない。今回モデル地域として採用した4地域のうち、ガマタ・タンパケ、忍路、立岩は火砕岩が、えりもは付加帯に伴う変成岩が分布しているが、緩斜面や出尾根地形といった地形上の着目点が、変成岩分布地域に固有なものであるために、火砕岩地域では着目されていないと考えられる。

2) 地質・履歴等に関する調査項目

地質に関する調査項目は、過去に提唱された調査項目の多くが採用されている。ただし、クライミング調査は斜面勾配がきつく、通常の踏査により十分な調査が不可能な場合にのみ採用されており、地形条件に合致した調査手法の採用が必要であると考えられる。

またボーリング調査は、実施不可能なガマタ・タンパケ以外の全てで採用されており、この際にボアホールカメラが同時に行われている。函館市立岩の事例では、ボアホールカメラにより亀裂からの湧水が確認されているなど、本調査手法の重要度は非常に高いことが伺える。

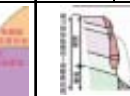
履歴に関しては、全ての箇所において過去の被災履歴が検証されているが、地震の少ない日本海沿岸地域では地震履歴の検証事例が少ない。

3) 水理地質に関する調査項目

地表踏査レベルでの表層における湧水状況は全ての事例で検証されている。ボーリング箇所における地下水の確認事例が少ないため、調査事例は少ないが、有効性については比較的高い評価が与えられている。

表 7 - 9 総合的な岩盤・斜面調査手法総括表（案）

◎:最も効果的な方法 ○:効果的な方法 △:場合によっては有効な方法

区分		評価内容	調査方法	従来からの改善内容等	適用区分	R336(えりも)		R231(ガマ・タンバケ)		R5(忍路)		R278(立岩)		備考(今後の課題)	
						変成岩 ホルンフェルス		火成岩 溶岩(層状)		火成岩 塊状		火成岩 層状			
						実施 状況	評価	実施 状況	評価	実施 状況	評価	実施 状況	評価		
															
						滑動型		崩落型		崩落型		崩落型			
実施	評価	実施	評価	実施	評価	実施	評価								
地形	H8防点	斜面性状(傾斜、高さ、斜面型、遷急線)	地形図読取り			●	◎	●	◎	●	◎	●	◎		
	従来技術	同上	空中写真判読(垂直、斜め)			●	◎	●	◎	●	◎	●	◎		
		同上	切峰面図、起伏量図				△	●	△		○		△	(デジタル地形解析に移行)	
	新技術、新知見等	同上	デジタル地形図作成、判読	(定量評価)		●	△	●	△	●	△	●	△	活用ノウハウの蓄積が必要。	
		同上	デジタル陰影図、地上開度図等	(定量評価)			△		△	●	△		△	活用方法の研究が必要	
	尾根頂部までの斜面評価	空中写真、地形図等読み取り	検討範囲の拡大				○	●	○	●	○	●	○		
	H13日本海	浅海底地形の幅	海底地形読取り	検討範囲の拡大				●	○	●	○		○	大規模崩壊との相関関係の評価が必要	
H14北陽	緩斜面(付加体等)		注目地形の追加				△						(付加体特有の地形)		
H16えりも	出尾根地形		注目地形の追加			●	◎						(えりも特有の地形)		
	地形解析(時系列)		古い地形図、写真等読取り	検討期間の拡大			△	●	△	●	△		△	(最古の空中写真は米軍撮影(60年前)であり、精度が悪い)。	
地質	H8防点	地表岩盤性状(開口亀裂、硬軟、亀裂間隔、地層傾斜等)	地表踏査			●	◎	●	◎	●	◎	●	◎		
	従来技術	地中岩盤性状(〃)	ボーリング、孔内検層、BHTV等		精	●	◎		◎	●	◎	●	◎	足場仮設が可能で落石等の危険を防止できれば非常に効果的	
	新技術、新知見等	地表岩盤性状(〃)	クライング調査	検討範囲の拡大	精		◎	●	◎	●	◎	●	◎		
		同上	ラジアー近接撮影	検討範囲の拡大	精		◎	●	◎	●	◎	●	◎	デジタルマッピングと兼用も可能	
	H13日本海	火砕岩の岩種細分	踏査等	注目地質の追加				●	◎	●	◎	●	◎	(火砕岩に適用)	
	H14北陽	岩盤生成過程、地形発達過程	地形地質の総合評価	観点の追加				◎	●	◎		◎		◎	必要だが難しい。
		岩石構造(風化、脈)	薄片観察	観点の追加	精	●	△	●	△	●	△	●	△	○	微細亀裂の抽出、X線回折では不明瞭な粘土鉱物の判定
H16えりも	岩石構造(粘土鉱物)	X線回折	観点の追加	精	●	○	●	△	●	○	●	○	○	サンプリング箇所に要注意	
	地形形成過程	北陽に同じ	略												
履歴等	H8防点	小崩壊・落石等履歴	踏査、点検記録			●	◎	●	◎	●	◎	●	◎		
	新知見	海岸沿いの岩塊分布					◎	●	◎		◎	●	◎	基礎情報として要蓄積	
		地震履歴						○		○		○		◎	基礎情報として要蓄積
水理地質	H8防点	表層の性状(凍結融解、湧水、水柱)	地表踏査			●	◎	●	◎	●	◎	●	◎		
	従来	気温、降水量	計測or資料収集			●	◎		◎	●	◎	●	◎	崩壊と気象条件の関係が不明瞭なものもある(えりも、R169奈良)	
	H13日本海	内部の地下水性状	地下水位		精		○		○		○		○		
			間隙水圧		精		○		○		○		○		
			湧水量(地表、孔内)		精	●	○		○		○		○		
			水質分析等		精	●	○		○		○		○		
H14北陽	緩斜面(付加体等)		注目地形の追加												
新知見等	凍上(凍結)深度	表層孔内温度計測		精		○		○	●		○		○		
工学特性	H16えりも	物理特性	比重、含水比、吸水膨張率など	地質工学的評価	精		◎	●	◎	●	◎	●	◎		
		力学特性	圧縮、引張強度	地質工学的評価	精	●	◎	●	◎	●	◎	●	◎	引張試験はせん断強度の推定と数値解析の入力定数として必要	
		経年劣化(乾湿)	乾湿繰り返し試験	地質工学的評価	精		◎	●	△	●	◎	●	◎		
		経年劣化(凍結融解)	凍結融解試験	地質工学的評価	精		△		△	●		△		△	
		経年劣化(凍上)			精		△		△	●		△		△	凍結融解試験で現場を近似しているので劣化の観点からは不要
シミュレーション		極限平衡解析			精										
		2次元FEM			精										
		3次元FEM			精										
		その他			精										

適用区分: 狭い範囲の精査の場合「精」と表示
 予備調査段階
 本調査段階

(文献 1 における近年の斜面調査・評価手法の進展に加筆)

4) 工学的特性・シミュレーションに関する調査項目

工学的特性については、一般的な物理試験と力学試験および乾湿繰返し試験はほぼ全ての箇所で行われているが、凍結融解試験等の実施事例が少なく、今後の課題と考えられる。

またシミュレーションについては、調査段階の事例に関するケーススタディーであったこともあり、実施事例を確認することができなかった。

7.4 今後の課題

1) 新たなモデル地区の抽出

これまでの活動では、日本海沿岸の火砕岩と、太平洋沿岸のホルンフェルスを対象としているが、北海道を代表する地質としてはさらに内陸部に分布する第四紀の火砕岩類を加えることが望ましいと考えられる。

またシミュレーション等の実施状況に関する事例が少ないことから、設計段階等における解析事例を収集することが必要と考える。

2) 調査手法の取りまとめ

「総合的な岩盤・斜面調査手法総括表(案)」では、収集事例ごとに調査手法の有効性を検証しているが、これを構成地質や崩壊形態ごとにまとめなおして、一般的な総括表として再構成することが必要と考える。

3) 調査手法の解説の作成

クライミング調査やレーザープロファイラーなど、新たな調査手法については、その手法の特徴・適用性、留意点等について、岩盤斜面調査を専門としない技術者等を対象とした解説書等を作成することが必要と考える。

[参考文献]

- 1) 伊東佳彦: 北海道における岩盤斜面の調査・対策の現状, 自動車技術, Vol. 61, No. 5, 2007