

大規模岩盤崩壊の被害軽減に向けた 研究の取組み



土木研究所 寒地土木研究所 寒地基礎技術研究グループ長 西本 聡

1

1. 北海道における代表的な大規模岩盤崩壊

2. 調査評価フローの提案

3. 岩盤斜面に関する研究の取組み

- ・崩壊履歴の蓄積と分析
- ・地形発達史の考慮
- ・崩壊形態モデルの分類
- ・岩盤斜面の調査評価におけるUAVの活用

斜面の三次元形状の把握

写真点検による変状の把握

} 現在の取組み

2

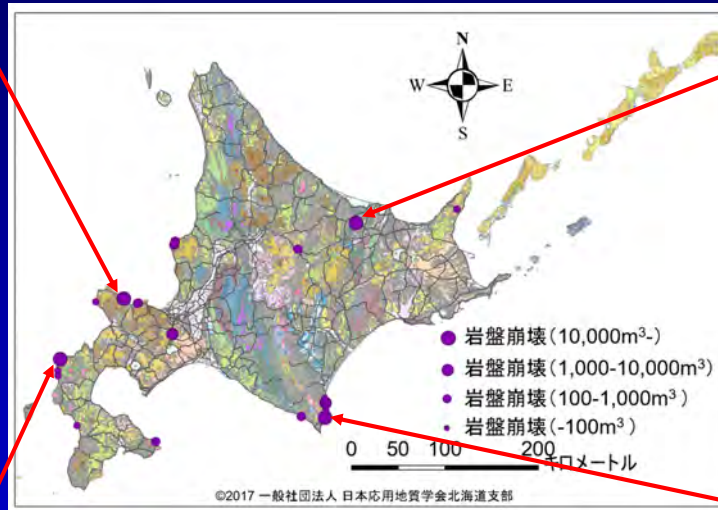
北海道における大規模岩盤崩壊(1万m³以上)



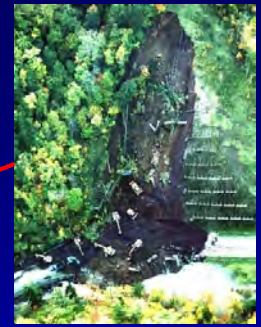
一般国道229号
豊浜トンネル
(1996年)



一般国道229号
第2白糸トンネル
(1997年)



北海道の道路斜面における
岩盤崩壊発生位置図
(1996～2016年)



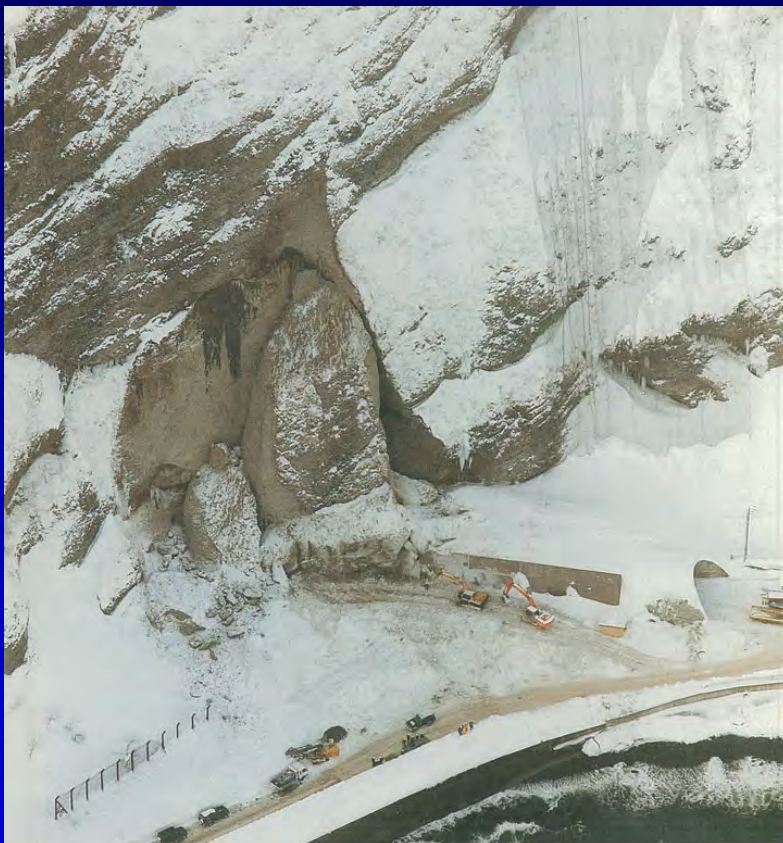
一般国道333号
北見市北陽
(2001年)



一般国道336号
えりも町
(2004年)

写真：北海道開発局

一般国道229号豊浜トンネル崩落



崩壊規模：
最大高さ約70m，最大幅約
50m，最大厚さ約13m，
体積11,000m³

被災状況：トンネル約44m
区間が被災，バス1台と乗
用車1台が下敷きになり，
死者20名。

崩壊原因：岩盤に内在する
不連続な亀裂が，地形・地
質の生成過程とその後の環
境変化によって生じた岩石
の特性，地下水の影響およ
び自重・地下水圧・氷結圧
等によって進展し，互いに
連続することによって発生

一般国道229号第2白糸トンネル崩落



崩壊規模：

1回目：最大高さ約130m，最大幅約70m，最大厚さ約20m，体積42,000m³

2回目：最大高さ約80m，最大幅約30m，最大厚さ約20m，体積14,000m³

崩壊原因：岩相の不規則性，岩体背面に内在する亀裂や高角度の流れ盤亀裂の存在および崩落岩体下部の変質ゾーンの存在という複雑な地質環境下において，地下水によるスメクタイトを含む変質ゾーンの岩盤劣化の進行，岩体の自重，地下水，凍結融解あるいは地震等の影響による亀裂の長期的な進展等が複合的に作用して発生した

第2白糸トンネル崩落事故調査報告書(平成10年2月)より引用 5

一般国道333号北陽斜面崩壊



崩壊規模：

最大法長約120m，最大幅約40m，最大厚さ約20m，体積24,000m³

崩壊原因：

- ・斜面上部に分布する石灰岩・チャート互層等に内在する高角度の開口亀裂と付加体形成以降の変動によって作られた鏡肌をともなう亀裂等が自重や地下水等の作用によって長時間をかけて劣化・進展した。
- ・約3週間前と直前までの記録的な豪雨時に斜面上部の岩盤内の亀裂や空洞を通して大量の雨水が岩盤内に浸透して水圧が働いた。

一般国道333号北陽土砂崩落調査報告書(平成14年4月)より引用 6

一般国道336号えりも町斜面崩壊



崩壊規模：

最大高さ約100m，最大幅約90m，
最大厚さ約17m，
体積42,000m³

崩壊原因：

- ・長期間にわたる降雨および融雪水が亀裂沿いに深部に流入し岩石の劣化と白色鉱物脈の溶脱が進行，自重および地震等の影響により亀裂が深部まで進展していた。
- ・崩壊当日は暖気移流により融雪が加速され，早朝に地震が発生した事による複合的な要因により大規模な崩壊に至った。

一般国道336号えりも町斜面崩壊調査報告書(平成16年8月)より引用

1. 北海道における代表的な大規模岩盤崩壊

2. 調査評価フローの提案

3. 岩盤斜面に関する研究の取り組み

- ・崩壊履歴の蓄積と分析
- ・地形発達史の考慮
- ・崩壊形態モデルの分類
- ・岩盤斜面の調査評価におけるUAVの活用
 - 斜面の三次元形状の把握
 - 写真点検による変状の把握

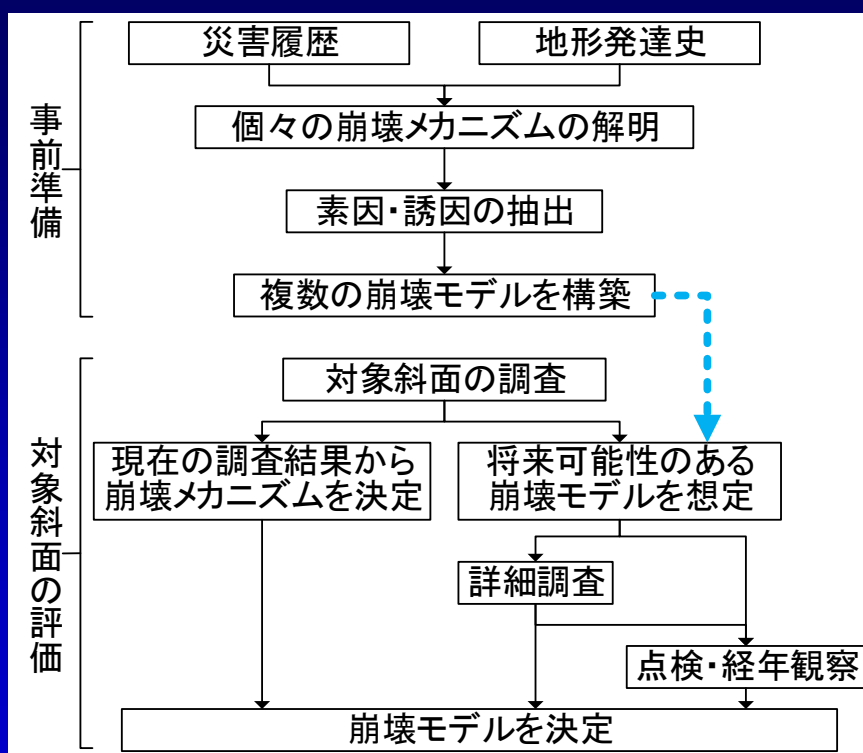
大規模岩盤崩壊を減らすための調査評価フロー

調査委員会等における提言

- ・岩盤生成過程や地形発達過程などを検討すること
- ・地質学的に見た岩石劣化と岩盤物性に関する検討を行うこと
- ・斜面の長期的な経時変化を追跡すること
- ・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
- ・付加体(常呂帯・日高帯)の複雑な地質における研究を進めること

9

大規模岩盤崩壊を減らすための調査評価フロー



【現状】 岩盤崩壊, 特に大規模岩盤崩壊は事前の予測が難しい

【新たな視点】
⇒ 事前の崩壊シナリオを1つには絞り込まない
近傍の崩壊履歴などを参考に, 多様な崩壊モデルを想定

⇒ 経年的に変化を追って, 変化発生時に詳細調査を実施
想定した崩壊モデルに沿った箇所・観点で点検・調査を実施

10

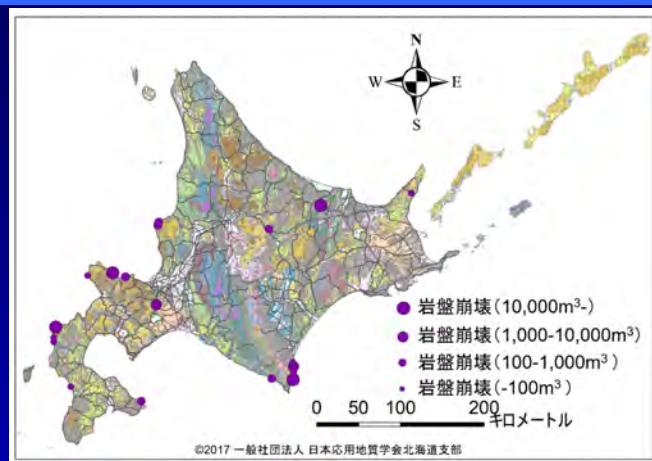
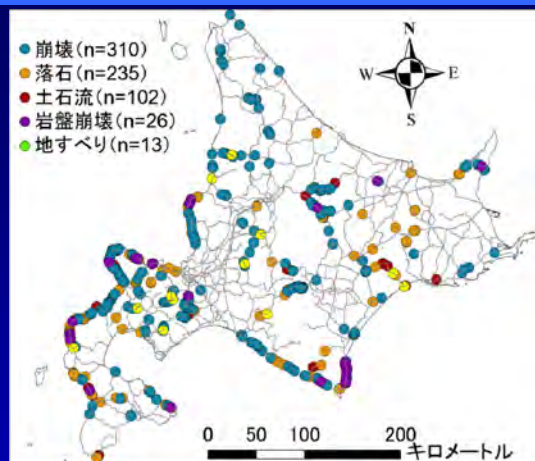
1. 北海道における代表的な大規模岩盤崩壊

2. 調査評価フローの提案

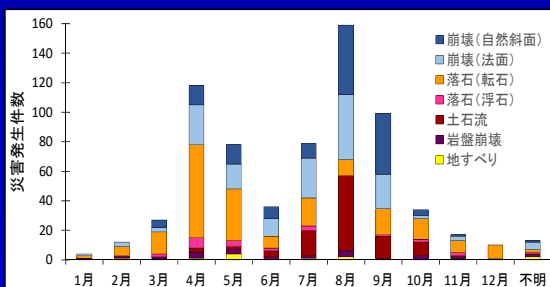
3. 岩盤斜面に関する研究の取り組み

- ・崩壊履歴の蓄積と分析
- ・地形発達史の考慮
- ・崩壊形態モデルの分類
- ・岩盤斜面の調査評価におけるUAVの活用
斜面の三次元形状の把握
写真点検による変状の把握

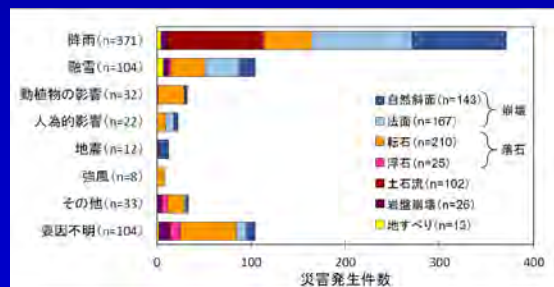
【災害履歴①】防災カルテ点検結果の収集分析



1996～2016年に国道・自動車専用道路のカルテ点検で確認された斜面災害の分布図



月別の斜面災害発生件数



誘因別の斜面災害発生件数

岩盤崩壊の誘因は大半が不明となっている

岩盤崩壊発生前に確認された変状等

名称	地質名	前兆現象	地質	前兆発生時期	
				落石等	変状
東北線浅虫	流紋岩質凝灰岩	約1ヶ月前の台風豪雨でクラック発生	火山岩		30日前
福知	中生代:火山岩主体	2時間前の小崩壊、2-3日前にクラック確認	火山岩	2時間前	2日前
R305越前山甲	火山碎屑岩	約1時間前から小落石頻繁に発生	火砕岩	1時間前	
R231太島内	火山角礫岩	南西沖地震(1993.7.12)直後に落石あり	火砕岩	48日前	
R229 豊浜	安山岩質水冷破碎岩	約30分前にトンネル天端から砂が落下	火砕岩	30分前	
R229 第二白糸	安山岩質水冷破碎岩	巻きだし部覆道の上に落石	火砕岩	115日前	
"	安山岩質水冷破碎岩	断続的な落石と変状が継続	火砕岩	3日前	1日前
飯山線高場山	第三紀層:泥岩	前年4月以降のトンネル変状	正常堆積物		300日前
高德線白鳥・引田間	和泉層群:砂岩・頁岩	約2年前にクラック確認	正常堆積物		730日前
真名川原石山	手取層群:砂岩,礫岩,頁岩	1973年9月以降小崩壊が頻発	正常堆積物	168日前	
"	手取層群:砂岩,礫岩,頁岩	2月18日の崩壊直後にクラック確認	正常堆積物		215日前
武甲山	秩父帯:輝緑凝灰岩,石灰岩	前年7月以降亀裂拡大,7日前から落石	付加体堆積物	7日前	450日前
R33柳谷	秩父帯:砂岩,粘板岩	約3ヶ月前にクラック確認,7月1日小崩壊	付加体堆積物	19日前	
R327小八重	四万十帯:頁岩	4月20日クラック確認	付加体堆積物		41日前
R158猿なぎ	粘板岩,チャート	5日前から落石が頻繁に発生	付加体堆積物	5日前	
R333北陽	緑色岩,チャート,石灰岩	法面の変状が12年前と7年前に発生	付加体堆積物		12-7年前
R336えりも町	日高変成岩類	前日から当日に小崩壊発生	付加体堆積物	39-11時間前	

岩盤崩壊は、崩壊の誘因が複雑多様なだけでなく、崩壊の前兆現象も明瞭ではない場合が多い。災害履歴情報だけでなく、斜面の細かな変化情報を蓄積することで、予測技術の向上につなげたい。

13

【災害履歴②】旧道における変状調査



発生源・崩壊形態が同じ変状が再発するもの



規模が大きくなるなど変状の進行がみられるもの

管理されていない旧道斜面で、自然のままの斜面の変化を調査し、供用当時の点検結果と照らし合わせることで、より正確な崩壊発生の予測・評価技術の向上に寄与できる。

14

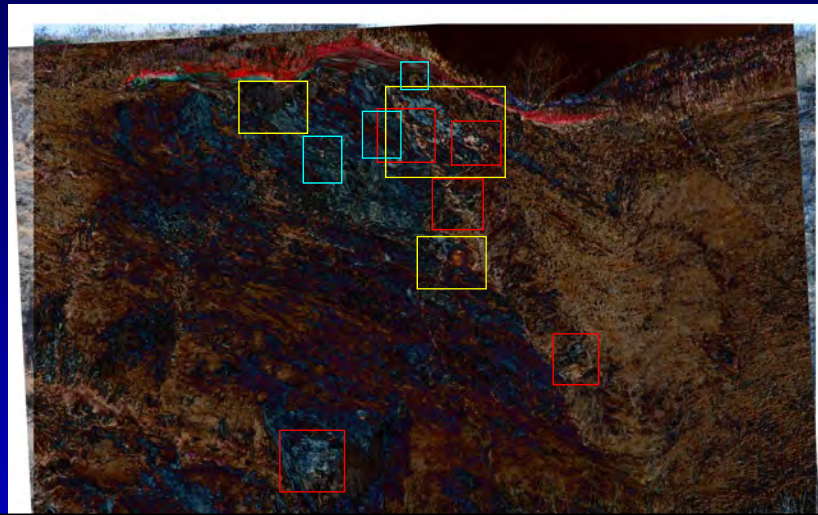
【災害履歴③】背景差分法を用いた斜面写真点検



(2006.11.17)



(2009.2.15)



2時期の写真を重ね合わせることで変化を抽出

2006.11.17～2009.2.15(27ヶ月) 落石;11箇所

人の目では判別しづらい細かな変化が抽出可能!

2006.11.17

2007.12.4 [落石×5;赤枠]

2008.1.30 [変化なし]

2009.1.21 [落石×3;黄枠]

2009.2.15 [落石×3;青枠]

地上からの撮影を想定していたので、
UAVによる空中写真に対応させたい。

『写真計測技術を活用した斜面点検マニュアル(案)(平成22年3月版)』
寒地土木研究所防災地質チーム(URL)<http://chishitsu.ceri.go.jp/soft.html>

15

1. 北海道における代表的な大規模岩盤崩壊

2. 調査評価フローの提案

3. 岩盤斜面に関する研究の取り組み

- ・崩壊履歴の蓄積と分析
- ・地形発達史の考慮
- ・崩壊形態モデルの分類
- ・岩盤斜面の調査評価におけるUAVの活用
 - 斜面の三次元形状の把握
 - 写真点検による変状の把握

16

【岩盤崩壊事例のモデル化①】崩壊形態3次元模式図

分離面に着目した3次元模式図化

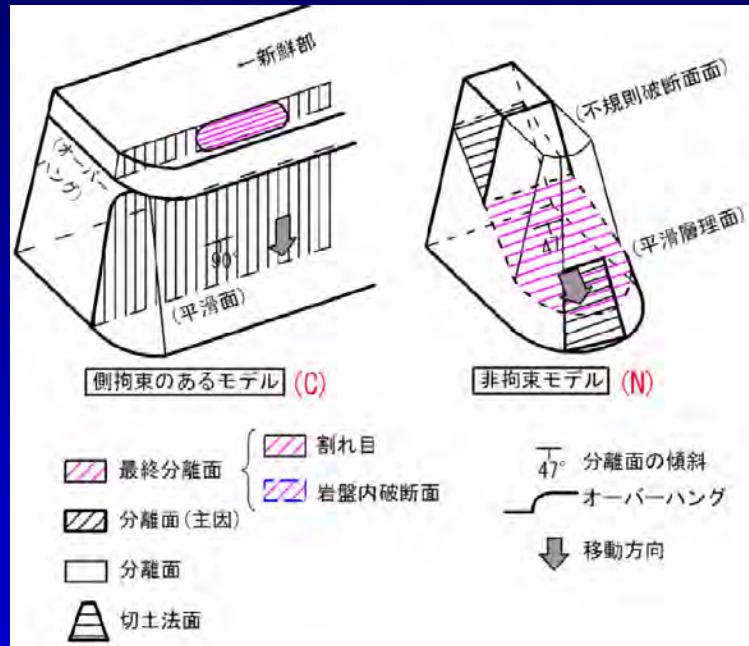
- ・斜面側面の拘束状態(拘束/非拘束)
- ・分離岩体を形成する分離面の区分

最終分離面: 崩壊の最終段階で生じた分離面

分離面(主因): 当初より明瞭なもの

分離面: 文献等に記載はないが存在が想定される分離面

確認分離面: 崩壊以前に把握可能と推定される分離面

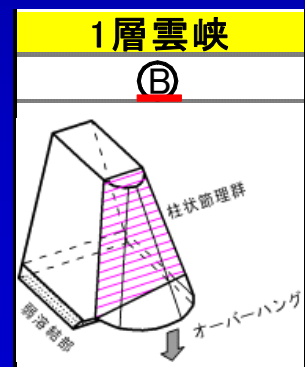
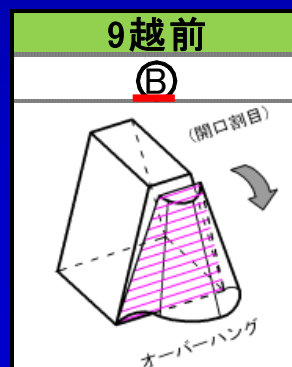
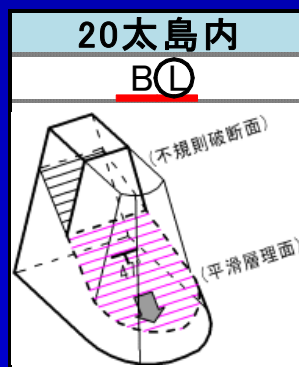
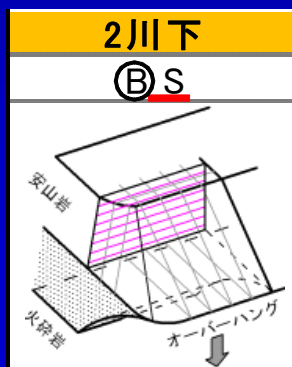


【岩盤崩壊事例のモデル化②】分離面と崩壊形態

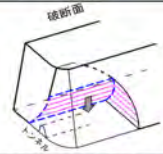
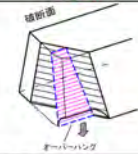
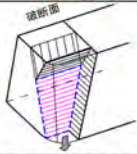
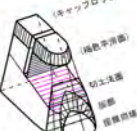
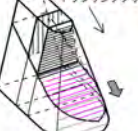
分離面・岩体移動方向と崩壊形態

		崩壊岩体の移動方向	
		主に前方	主に下方
分離面と岩体移動の関係	(全50例) 主に分離面沿いに移動	すべり 15例(30%)	座屈 1例(2%)
	分離面から分離して移動	転倒 7例(14%)	崩落 27例(54%)

崩壊形態(塗色)	崩落	すべり	転倒	座屈
分離面凡例	B: 背面, S: 側面, U: 上面, L: 下面			
	○: 最終分離面	—: 確認分離面		



【岩盤崩壊事例のモデル化③】モデル化(4事例)

崩壊名	豊浜	第2白糸B(1回目の崩壊)	第2白糸C(2回目の崩壊)
分離面	③S	③S	B.S③
モデル			
崩壊状況	背面と側面中段～下段が分離した崩落	背面から分離した崩落	主崩壊面は前面開口、側部は上部開口
主因	斜面に平行で下部でオーバーハングする主崩壊面 湾曲オーバーハングする右側壁面	斜面に概ね平行な高角分離面の主崩壊面 これに斜交する高角な右側壁面	3方向の分離面
伏在要因	主因と同じ2方向の分離面	斜面に概ね平行な高角分離面の主崩壊面	背後の急立流れ盤分離面
誘因 [トリガー]	崩壊前の斜面下部にオーバーハング 岩盤内の亀裂が風化で進展 水結圧・凍結融解で岩質劣化 亀裂凍結で間隙水圧上昇 [破断面の強度低下]	斜面脚部にオーバーハングが不規則に分布 様々な要因で分離面が進展 含水比増大で強度低下 [背面分離面の強度低下]	白糸Bの崩壊で片側方岩体が欠如 岩盤下部・側面の強度低下 岩盤下部を支持する岩盤の強度低下 [片側方岩体の欠如]
崩壊名	4北陽	5えりも	
分離面	B④	B④	
モデル			
崩壊状況	流れ盤によるすべり	斜面に平行な2方向の亀裂に沿ったすべり	
主因	斜面上部の開口亀裂 斜面下部の鏡肌を伴う流れ盤亀裂	流れ盤系と高角受け盤系の斜面に平行な亀裂	
伏在要因	斜面下部の鏡肌を伴う流れ盤亀裂	基底の流れ盤亀裂	
誘因 [トリガー]	火砕岩上の石灰岩・チャートキャップロック トッピングクリープ 自重・地下水による岩質劣化 流れ盤亀裂の強度低下 [3週間前の記録的豪雨] [豪雨に伴う水頭の上昇] [斜面脚部の崖盤崩壊]	崩れ目充填層(白色脈)の溶脱 崩れ目充填層の劣化 暖気による融雪水の浸透 [切土と斜面の小崩壊] [地震動]	

19

1. 北海道における代表的な大規模岩盤崩壊

2. 調査評価フローの提案

3. 岩盤斜面に関する研究の取り組み

- ・崩壊履歴の蓄積と分析
- ・地形発達史の考慮
- ・崩壊形態モデルの分類
- ・岩盤斜面の調査評価におけるUAVの活用

斜面の三次元形状の把握

写真点検による変状の把握

} 現在の取り組み

20

使用したUAV(ドローン)の比較

機体名称	DJI Phantom4Pro	DJI Inspire2	DJI S1000
プロペラ数	4枚(クアッドコプター)	4枚(クアッドコプター)	8枚(オクトコプター)
対角寸法	350mm	605mm	1045mm
合計重量	1388g	3440g	約4400g
最大飛行時間	約 30 分	約 23 分	約15分
GPS/GLONASS	姿勢制御+画像埋込	姿勢制御+画像埋込	姿勢制御と位置誘導
カメラ	FC6310(備え付け)	Zenmuse X5S	Canon EOS5D Mark III
有効画素数	約2000万画素	約2080万画素	約2230万画素
最大解像度	5472 × 3648	5280 × 3956	5760 × 3840
レンズ	(備え付け)	DJI MFT 15mm/1.7ASPH	EF24mm F2.8 IS USM
焦点距離	2.8-11mm [9mm]	15mm	24mm
センササイズ	1型(13.2 × 8.8mm)	4/3型(17.3 × 13mm)	フルサイズ(36 × 24mm)
動画記録サイズ	4096 × 2160 (4K)	4096 × 2160 (4K)	1920 × 1080 (Full HD)



・機体	小型	中型	大型
・カメラ	小型/固定	中型/選択式	大型/変更自由
・機体/カメラ	連動して	連動して	非連動なので
撮影座標	画像埋め込み	画像埋め込み	時刻読み取り

21

UAV(Unmanned Aerial Vehicle)により容易となること

【空中撮影】

- ・全景の把握
- ・地上から目視が困難な遷急線上位の地形・亀裂の把握
- ・クライミング調査の前段階としての近接撮影

【地形モデルの作成】

- ・SfM(Structure from Motion)技術を用いた写真からの3D地形モデルの構築
- ・航空レーザー測量に比べ、モデル構築の時間が短縮
- ・3Dモデル表面に画像を貼り付けることでの疑似俯瞰
- ・SfM解析にはAgisoft社製のPhotoscan Ver.1.26を使用

22

【岩盤斜面の調査評価におけるUAVの活用】

1. 斜面の三次元形状の把握

- ・写真から迅速に**三次元地形モデル**が構築できる
- ・災害直後の調査に極めて有効
- ・モデルの精度⇔写真枚数&作業時間のトレードオフ関係
モデル精度は評定点&撮影位置の**座標の数**に依る

23

【岩盤斜面の調査評価におけるUAVの活用】

2. 写真点検による変状の把握

- ・空中写真を利用することで、**遷急線上位を把握**できる
 - ・より近づいた写真が撮影できるので精度が上がる
 - ・**背景差分法**による崩壊跡等の**変化箇所の抽出**
- ⇒**オルソ画像化**することでUAV撮影画像に適用できそう
- ・地形モデルと合わせることで**亀裂の走向・傾斜**が出せる

24

1. 北海道における代表的な大規模岩盤崩壊

2. 調査評価フローの提案

3. 岩盤斜面に関する研究の取り組み

- ・崩壊履歴の蓄積と分析
- ・地形発達史の考慮
- ・崩壊形態モデルの分類
- ・岩盤斜面の調査評価におけるUAVの活用
 - 斜面の三次元形状の把握
 - 写真点検による変状の把握

【形状把握①】死角のない急崖斜面の地形モデル構築

(a) 垂直写真によるモデル



急崖背後の地形はよく再現されているが、急崖部の地形はモデル化できていない

(b) 水平写真によるモデル



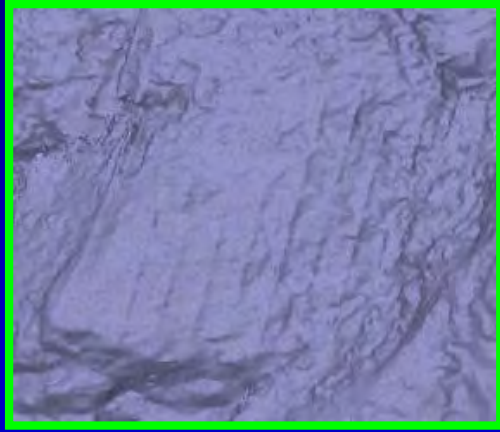
急崖部の地形はよく表現されているが、死角となる背後斜面はモデル化できていない

(c) 両者の合成モデル



- ・ オーバーハングのあるような急崖岩盤斜面においては、**死角が生じない**様に撮影する必要がある。
⇒ **垂直と水平の2方向から撮影**を行う。
- ・ 写真から3次元地形モデルを作成するにあたって、
⇒ 垂直写真だけからのモデルと水平写真だけからのモデルを作成し、
後で**2つを合成**する方が、**総作業時間が2～3割の短縮**となった。

【形状把握②】金網施工箇所の三次元地形モデル



落石対策で金網の施工箇所では、岩盤ではなく、**金網の表面がモデル化**され、金網のワイヤーが縦に筋状に認められる。

⇒ **金網の影響を受けにくい撮影方法**を検討する必要がある!!

27

【形状把握②】機種と撮影距離によるモデルの差異

	DJI Phantom4Pro	DJI Inspire2	DJI S1000
撮影距離:100m	分解能27mm 	分解能22mm 	分解能20mm
撮影距離:75m	分解能20mm 	分解能16mm 	
撮影距離:50m	分解能13mm 	分解能11mm 	分解能13mm
撮影距離:30m	分解能8mm 	分解能7mm 	
撮影距離:20m	分解能5mm 	分解能4mm 	

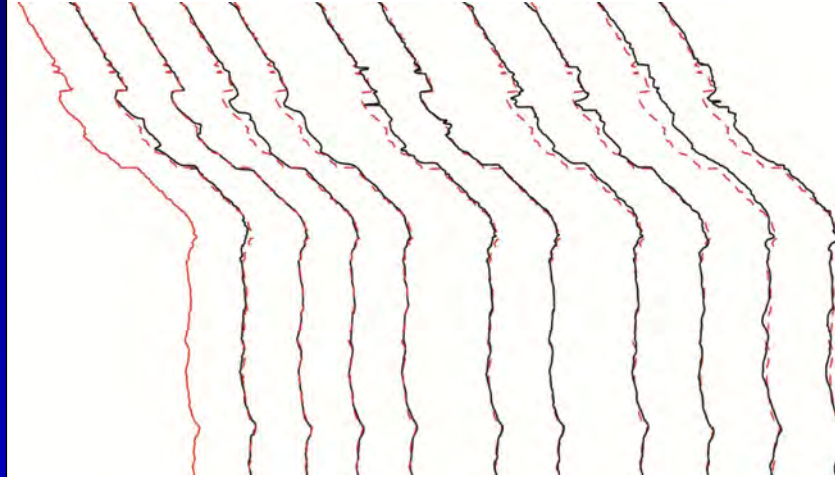
撮影位置が斜面に近づくにつれ、地形モデルに対する金網の影響は少なくなる。地形モデル上で**金網が現れなくなる閾値**は、撮影距離や機材に係わらず、**分解能で約10mm程度**であることを確認。

28

【形状把握②】撮影方向によるモデルの差異

地形モデルの 中央断面形状

20m 30m 50m 75m 100m 20m 20m 20m 20m 20m
正対 正対 正対 正対 正対 右30° 左30° 正対 正対 正対 正対
水平 水平 水平 水平 水平 水平 水平 下15° 下30° 下45° 下60°



分解能13mm

- ・ 斜面と正対した水平撮影で撮影距離を変えた比較においては、撮影距離が50mを超えるとオーバーハングがあまり再現されていない。
- ・ 水平状態で撮影方向を左右に振った比較においては、ある特定の角度によっては著しく精度が悪くなる危険性が確認された。
- ・ 垂直方向の撮影角度の比較においては、伏角が15度を超えると金網が目立ち、地形が再現されない場合もあった。

29

【形状把握】急崖岩盤斜面に適したモデル構築方法

金網やオーバーハングがあるような急崖岩盤斜面の三次元地形モデル構築に適したUAV撮影条件や作業手順は、以下にまとめられる。

- ・ 垂直写真と水平写真毎に地形モデルを作成し、後で両者を合成することで、作業時間が短縮される
- ・ 遷急線地形においても死角が生じないように、水平と垂直の2方向から撮影する
- ・ 機材性能に係わらず、分解能が10mm程度になるまで斜面に接近して撮影する
- ・ 斜面に正対する水平方向から、伏角は15度程度までに抑えて撮影する

30

1. 北海道における代表的な大規模岩盤崩壊

2. 調査評価フローの提案

3. 岩盤斜面に関する研究の取り組み

- ・崩壊履歴の蓄積と分析
- ・地形発達史の考慮
- ・崩壊形態モデルの分類
- ・岩盤斜面の調査評価におけるUAVの活用

斜面の三次元形状の把握

写真点検による変状の把握

【変状把握①】UAV写真における背景差分法の適用



道路上の転石や構造物損傷などの明確な変化があれば、崩壊発生源を意識して探すだろうが、実際は複数箇所に変状が発生しているかもしれない。

ほぼ同構図の斜面点検写真



変化箇所の抽出

同地点で撮影時期の異なる2画像の一方をネガポジ反転した後に重ね合わせることで、変化箇所が白っぽく抽出される。

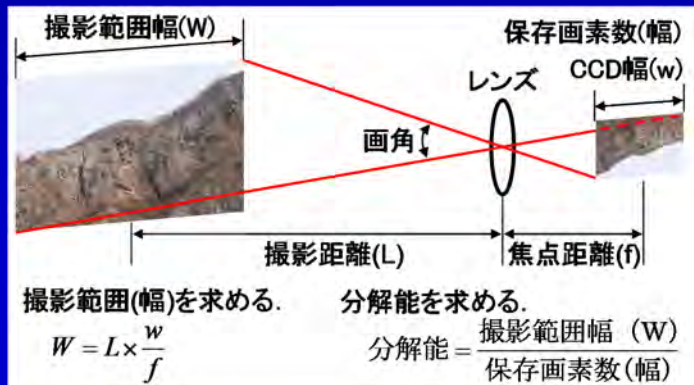
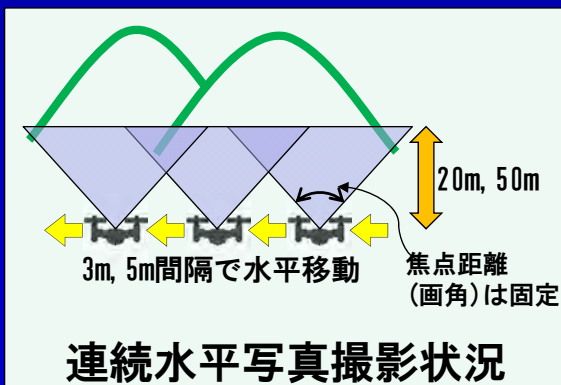
撮影位置と撮影方向が自在なUAV撮影において、比較用にほぼ同じ構図で撮影することは難しい！

【変状把握①】同機種UAV画像における背景差分

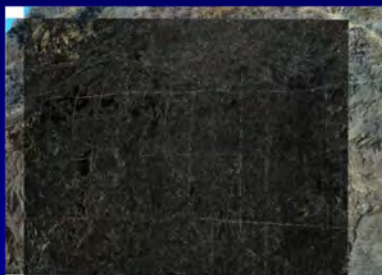
背景差分を行うには、”ほぼ”同じ構図の写真が必要となるため、**先ずは、同日に同じUAVを用いて撮影を行い、背景差分法が適用可能となる写真の構図のズレの程度を検証した。**

Phantom4 Proを用いて、座標・高度・機首方向・カメラの水平角をプログラムした上でカメラの焦点距離を固定し、斜面とカメラの距離を一定になるよう斜面と平行に水平移動しながら撮影した。

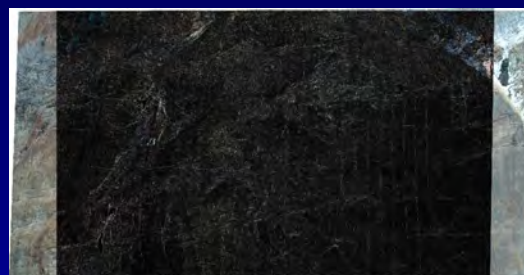
斜面とUAVの距離は、20mと50m
 撮影水平移動距離は、3mと5m の4ケースの組合せを実施



【変状把握①】撮影位置の違いによる背景差分の可否

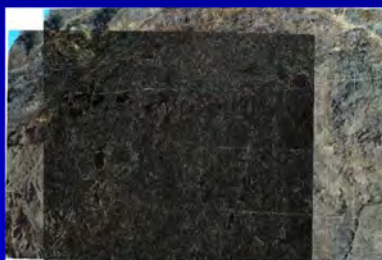


斜面からの距離: 20m
 撮影水平移動距離: 3m
 算出ラップ率: 89.8%

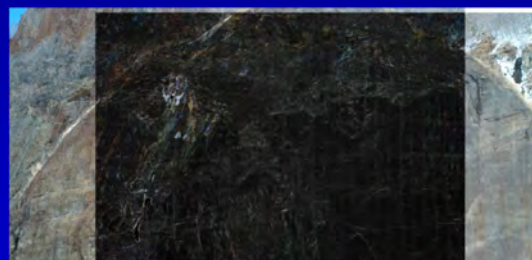


斜面からの距離: 50m
 撮影水平移動距離: 6m
 算出ラップ率: 91.8%

焦点距離: 9mm
 センサ横幅: 13.2mm



斜面からの距離: 20m
 撮影水平移動距離: 5m
 算出ラップ率: 83.0%



斜面からの距離: 50m
 撮影水平移動距離: 12m
 算出ラップ率: 83.6%

背景差分の抽出が可能となる撮影条件は、UAVの斜面からの距離と撮影水平移動距離から算出される2画像のラップ率が90%以上である

【変状把握②】異機種UAV画像に対する適用性検証

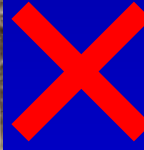
(a) 2016. 11. 29撮影
UAV: Phantom4
焦点距離: 4mm
解像度: 4000×3000
センサ: 6.2×4.7mm



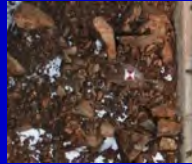
(b) 2017. 12. 14撮影
UAV: Phantom4Pro
焦点距離: 9mm
解像度: 5472×3078
センサ: 13.2×8.8mm



(a) の切出し画像



(b) の切出し画像



画角が違うことによる地形影響の受け方が違う
⇒ オルソ補正で正射投影画像に変換した上で背景差分法を試行

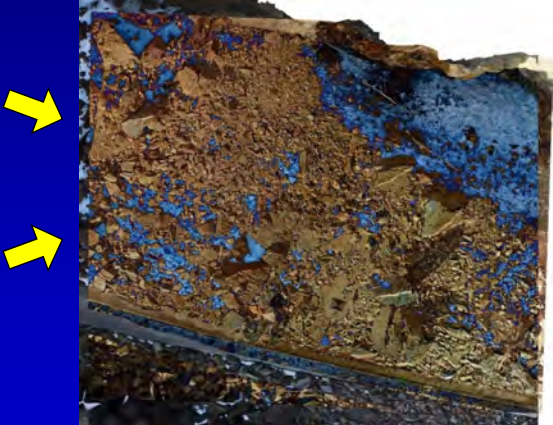
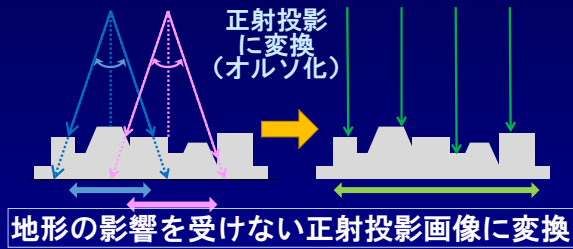
【変状把握②】オルソ画像に対する背景差分法の適用



Phantom4で2016年に撮影した
1コース18枚の垂直写真から
作成したオルソ画像

垂直方向の撮影といっても、
厳密には撮影軸の傾きにバラ
ツキがあり、オルソに必要な
写真枚数が異なった。

Phantom4Proで2017年に撮影
した2コース34枚の垂直写真
から作成したオルソ画像



1年の撮影間隔にも拘わらず、極めて高い
一致率を示した。堆雪部のみが変化箇所
として抽出され、新たな落石の発生や崩積
土の移動等はないことが確認された。

【変状把握】UAV画像に対する背景差分法の適用

- ・ 岩盤斜面のUAV撮影画像に背景差分法を適用するためには、**構図がほぼ同じ画像**を揃える必要がある。
- ・ **同じ機種**による撮影の場合、**ラップ率90%以上**であれば、背景差分法が適用可能であることが確認された。
- ・ **カメラが異なる場合**でも、**オルソ補正**することで地形影響の歪みが補正され、**高精度で背景差分が可能**となった。

〈UAVの活用のまとめ〉

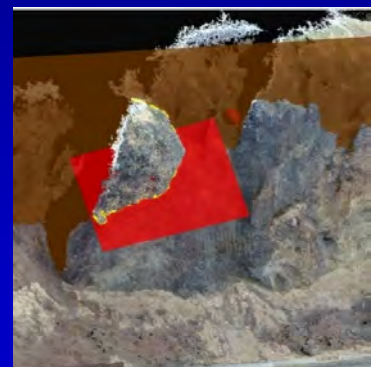
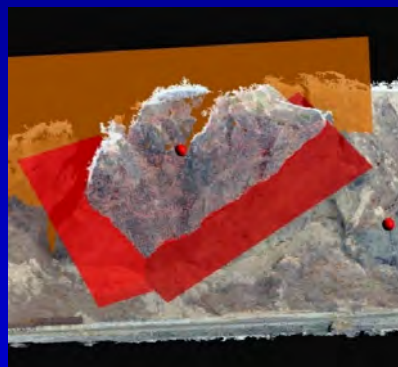
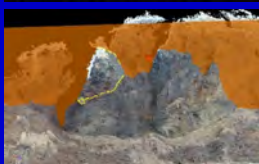
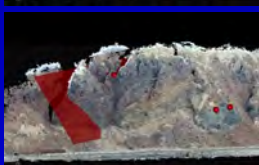
UAVから撮影した斜面写真を元に、三次元地形モデルを迅速に構築できることは、災害直後などに全体概要の把握に極めて有効であるばかりではなく、オルソ補正に活用することで、斜面の些細な変化の抽出も可能とすることから、定期的な点検の場面での活用も期待される。

37

【形状把握】亀裂のモデル化と類似崩壊モデル

- ・ UAVによる亀裂を含む斜面の撮影
- ・ 三次元モデルの構築
- ・ モデル表面に写真を貼り付け
- ・ 亀裂ごとに平面構造をモデル化

- ・ 面の組合せによる崩壊岩体の想定
- ・ 過去の崩壊事例から類似タイプを抽出
- ・ 崩壊に至るメカニズムや不安定化変化の発現箇所を参考に調査・点検計画を立案



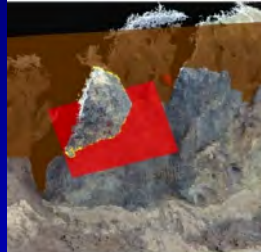
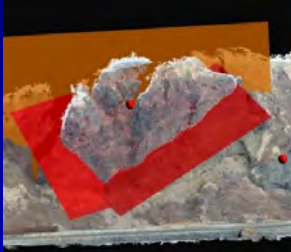
38

【変状把握】経年変化調査による崩壊モデルの特定

- ・起こりえる崩壊モデルを可能な限り多様に想定し、
- ・過去の類似崩壊時例を参考に、点検着目点を明確にする



経年的な点検の中で、特定箇所での落石の頻発傾向や、湧水状況、開口亀裂の進展や開口幅の拡大傾向などを確認することで、想定面構造が分離面となる確度を調査し、岩盤崩壊発生危険度の判断材料とする。



11上北山¹³⁾
B(S)

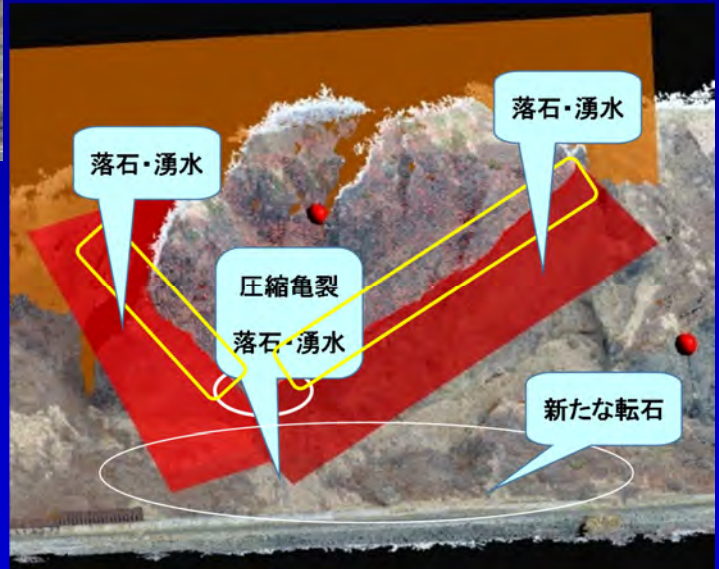
崩壊を繰り返し、3度目に大崩壊なすべり
付加体中の風化境界に当たる2方向のくさび状亀裂

基底の平面亀裂
岩体の風化
1回目の崩壊

7真名川⁹⁾
B(L)

断層を踵部とするすべり
踵部の断層
基部は風化境界面

基部の風化境界面
風化の進行
繰り返す変状はトッピングクレープか？
多量の融雪水による地下水供給
[台風による豪雨]
[原石山の切土]



おわりに

岩盤斜面の評価を行う際の最大の課題は、斜面内部の状況、特に崩壊へ結びつく不連続面の分布状況を適切に捉えることの難しさにある。

岩盤斜面の調査や点検にあたって、近年進歩の著しいUAVを活用することで、現地状況の把握も効率的かつ高精度化することが期待されるため、さらなる研究の推進を行うものである。

本稿で紹介した様々な岩盤斜面評価に関する研究成果や考え方が、大規模岩盤崩壊発生 of 事前予測や被害軽減につながれば幸いである。