

# 岩盤斜面崩壊の防災・減災を目指して

～斜面ハザード評価からの研究アプローチ～

岩盤力学委員会 岩盤斜面のハザード評価研究小委員会

急崖で発生する岩盤崩壊現象は、非常に長い時間の中で発生する自然現象であり、予知・予測への完全な対応は技術的に困難といわれている。

本委員会では、既往の崩壊事例について、発生箇所の地形、崩壊形態、想定原因、規模と頻度等について詳細な分析を行うとともに、不連続体解析法を活用したハザード評価の方法について検討を行ってきた。パネルディスカッションでは、岩盤崩壊現象の背景と、想定される崩壊のシナリオを通じて、崩壊前の危険な岩盤斜面にどのように対応すべきかについて議論する。

## 話題提供－資料集－

- (1)これまでの取り組みの経緯（西村強：鳥取大学）
- (2)崩壊規模と発生頻度（小俣新重郎：日本工営（株）、上野将司：応用地質（株））
- (3)斜面崩壊事例から見た崩壊形態（日外勝仁：(独)土木研究所）
- (4)岩盤崩壊などの影響評価（川北稔：（株）ドーコン）
- (5)斜面崩壊シナリオを用いた影響評価の具体例(三木茂:基礎地盤コンサルタンツ（株））
- (6)岩盤斜面ハザード評価の現状（進士正人：山口大学）
- (7)討 論 （進士正人、山口大学）

## 委員

委員長 進士 正人 山口大学

委員・幹事 西村 強 鳥取大学

委員・幹事 島内 哲哉 明治コンサルタント(株)

委員・WG長 日外 勝仁 (独)土木研究所

委員・WG長 三木 茂 基礎地盤コンサルタンツ（株）

委員 浅井健一 (独)土木研究所

委員 上野 将司 応用地質(株)

委員 歌川 学 (独)産業技術総合研究所

委員 大西 有三 京都大学

委員 神原 規也 (株)エイト日本技術開発

委員 川北 稔 (株)ドーコン

委員 小俣 新重郎 日本工営(株)

委員 栃本 泰浩 川崎地質(株)

委員 中井 卓巳 (株)アーステック東洋

委員 中村 真 (株)ニュージェック

委員 萩原 育夫 サンコーコンサルタント(株)

委員 蓮井 昭則 (株)環境総合テクノス

委員 木戸 研太郎 (独)水資源機構

委員 小山 倫史 京都大学

委員 長谷川 淳 (財)鉄道総合技術研究所

委員 蔣 宇静 長崎大学

委員 久慈 雅栄 前田建設工業(株)

委員 松田 浩朗 飛鳥建設(株)

委員 馬 貴臣 岐阜大学

委員 丹羽 廣海 (株)フジタ

委員 村山 秀幸 (株)フジタ

委員 山田 文孝 (株)三井住友建設

土木学会 岩盤力学委員会  
第40回岩盤力学に関するシンポジウム  
パネルディスカッション 2011.01.14

岩盤斜面崩壊の防災・減災・避災を目指して  
～斜面ハザード評価からの研究アプローチ～

岩盤力学委員会  
岩盤斜面ハザード評価研究小委員会

## これまでの取り組みの経緯

西村 強(鳥取大学)

## これまでの取り組みと成果(1)

- 斜面安定研究小委員会  
岩盤斜面の安定解析と計測(1994/12)  
岩盤斜面の調査と対策(1999/10)



## これまでの取り組みと成果(2)

- 岩盤崩落問題研究小委員会  
岩盤崩壊の考え方 —現状と将来展望—  
[実務者の手引き]  
(2004/3, CD-ROM)



## 現状認識と目的

目的:(岩盤)斜面を安全に,  
効果的な維持管理

現状認識:(大西,土木学会岩盤力学岩盤シンポジウム, パネルディスカッション, 2006)

- 斜面の安全性確保
- 社会基盤整備への投資制限と効率性
- 防災, 減災, 避災への流れ

合意形成の方法・手段が必要

## 合意形成方法の確立への課題 (1)

- (1) データの蓄積と信頼度  
信頼度をどのように評価するか?  
計測器の質、過去のデータの信憑性  
崩壊履歴の収集
- (2) リスク因子の特定方法の客観性の確保  
特定手法(ハザード・災害発生シナリオなど)の  
十分な客観性の確保が必要

## 合意形成方法の確立への課題 (2)

- (3) 安全性確保のための評価  
対策工の設計への反映
- (4) コミュニケーションと崩壊の時期  
合意形成の手段が必要,  
「When いつ —5W2H—」をどう伝えるか

## 既往の提言

- 岩盤生成過程や地形の発達過程などの地球科学的知識の一層の活用  
岩盤は自然の材料である  
科学 (Science) に立脚せよ
- 岩盤監視システムを構築
- 管理・防災体制の充実

## 岩盤斜面ハザード評価研究小委員会 委員会活動(2008.4-2010.12)

### PD等の開催

- 第38回岩盤力学に関するシンポジウム パネルディスカッションを担当  
テーマ:岩盤斜面崩壊のハザード抽出と影響評価に向けて  
日時:2009年1月8日 12:30~14:00 会場:土木学会講堂
- 土木学会平成22年度全国大会 研究討論会を担当  
テーマ:岩盤斜面崩壊の防災・減災・避災を目指して  
—斜面ハザード評価からの研究アプローチ—  
日時:2010年9月3日 12:40~14:40 会場:北海道大学

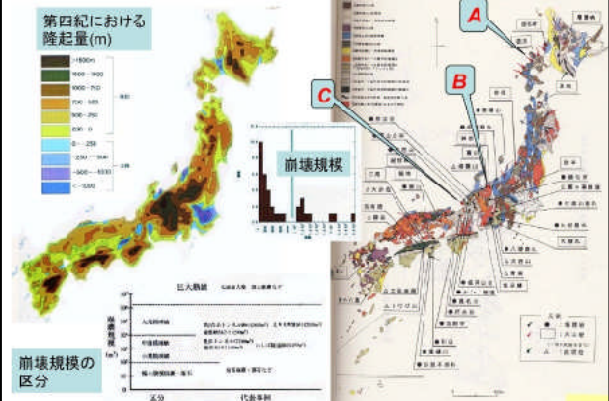
### 委員会内組織と委員会開催

- 「危険箇所の抽出と評価に関するWG」「崩壊の影響評価に関するWG」の二つのWGを設置して活動
- 委員会開催 13回 (見学会を含む, WG個別の検討会を除く)

## 崩壊の規模と発生頻度

日本工営株式会社 小俣新重郎  
応用地質株式会社 上野 将司

## ●日本における代表的な岩盤崩壊の分布



## 日本における代表的な岩盤崩壊の分布

### ●日本列島の地質構造的な位置と岩盤崩壊の発生

- ・ユーラシア、北米、太平洋、フィリピン海の各プレートの会合部の圧縮力場にあるため、地盤内部には歪みが生じ地震や火山活動等が活発化。
- ・地殻のごく表層部もこのような構造運動を受け、山体が隆起し、河川等の浸食が活発なため、斜面内部には潜在的なひずみや微破壊面が存在するとともに岩盤は脆弱化し、岩盤崩壊の発生に影響を与えている。

### ●岩盤斜面崩壊多発地域の地質特性

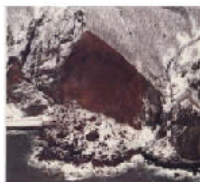
- ・新期の火山岩類、変成岩、古第三紀以前の堆積岩類の分布地域で多発。
- ・比較的硬質な岩石からなるため、急峻斜面を形成しやすい。
- ・浸食過程で岩盤斜面崩壊が発生する機会が多い。

### ●岩盤斜面崩壊多発地域の第四紀の隆起量と浸食

- ・第四紀において日本列島での隆起量及び浸食量の大きな地域は、北海道日高山地、東北地方の脊梁部、中部山岳地帯、近畿地方南部山岳地帯、四国山地、九州中部であり、これらの地域が斜面崩壊の多発地域に相当。
- ・中部及び四国地方では垂直変動量が大きく、隆起量500~1,000mの地域に岩盤崩壊箇所が多く、これらの地点の地形は河川源流部及び河川峡谷部や攻撃斜面に相当。このような地域での崩壊箇所の地質は、堆積岩及び変成岩が主体。
- ・海岸線沿いの崩壊箇所の地形は海食崖であり、隆起量500mのコンターに近接している部分が多い。このような地域での崩壊箇所の地質は、火山岩類が主体。
- ・第四紀変動と岩盤崩壊発生域にこのような関係があるのは、地盤の急激な上昇と河川や海岸での急激な浸食によるもので、浸食除荷に伴うシェーディング前理の形成や岩盤の緩みと風化が大きな影響を与えているものと考えられる。

## ●代表的な3地域での岩盤崩壊の発生状況

### A地域



雄冬岬  
(1981:24万㎡)



豊浜トンネル  
(1996:11,000㎡)



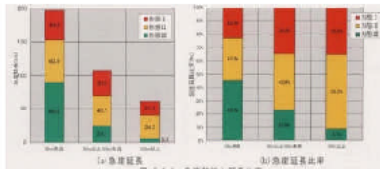
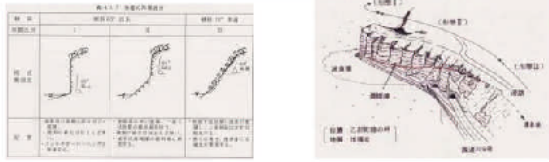
第二白糸トンネル  
(1997:42,000㎡)

## A地域における斜面の形態区分



### A地域における急崖特性とその延長比率

総延長364.7kmに及ぶ急崖は、地形形態によって整理すると図-6.1.11に示すような内訳



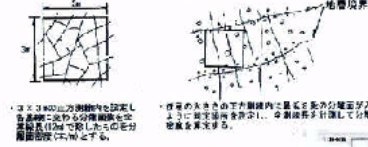
出展：北海道日本海沿岸における大規模岩盤崩落検討委員会報告(2000)

### A地域における分離面密度と崩壊規模

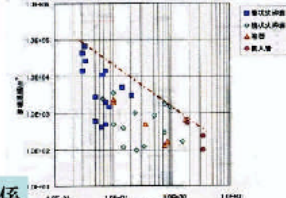
○岩盤・貫入体などの分離面が密な場合

○岩盤2つの分離面が密な場合

出展：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(2000)



### 分離面密度の計測方法



### 分離面密度と崩壊規模との関係

図-6.1.11 分離面密度と崩壊規模の関係(27頁/181頁)

### A地域における岩盤崩壊の規模と発生件数

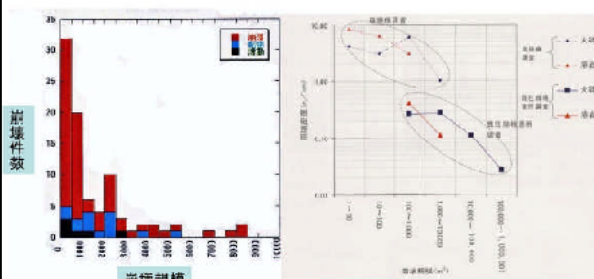


図-5 北海道「大規模岩盤崩落検討委員会」日本海沿岸地域、崩落(67)、転倒(6)、倒懸(12) 100~12000m<sup>2</sup>S

出展：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(2000)

### A地域における岩盤崩壊の規模と地形地質条件

	最大崩壊規模	小規模	↔	大規模
地形条件	比高	低	↔	高
	形態	Ⅲ	↔	I・II
地質条件	地質区分	溶岩・貫入岩	↔	火砕岩
		塊状	↔	層状
	分離面密度	高	↔	低

出展：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(2000)

### ●岩盤斜面崩壊の発生頻度の想定

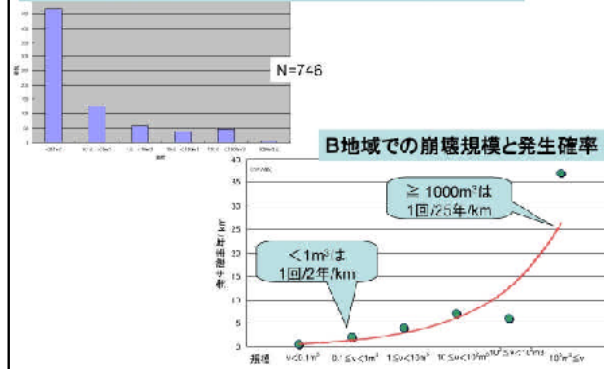
データを集積すると有効年間の発生頻度をKm単位で整理する(N回/年/km)

### B地域

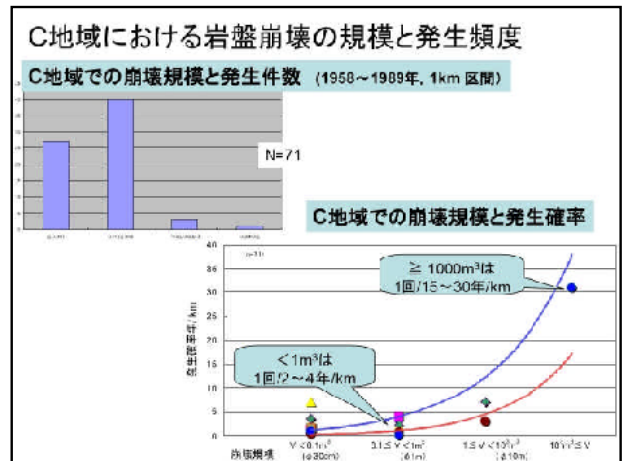
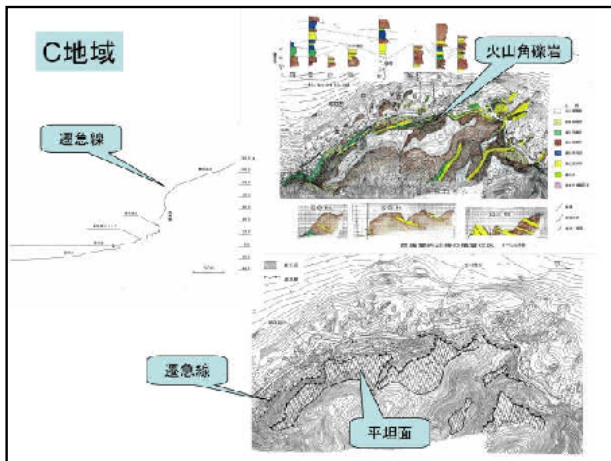


### B地域における岩盤崩壊の規模と発生頻度

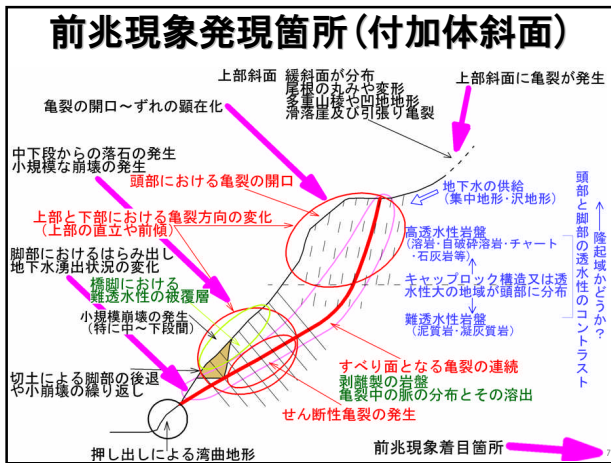
B地域での崩壊規模と発生件数 (1959年~1985年, 10km区間)











### 崩壊事例に見る前兆的現象

名称	地質名	前兆現象	地質	前兆現象発生時期	
				落石等	変状
東北線浅虫	流紋岩貫成灰岩	約1ヶ月前の台風による豪雨でクラック発生	火山岩		30日
飯山線高塚山	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
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	450日
高徳線白鳥・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
真名川原石山	手取層群・砂岩・礫岩・頁岩	1973年9月以降小規模に崩壊	正常堆積物	168日	
伊	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
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	2日
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	
R305 越前岬	火山砕屑岩	約1時間前から小落石頻りに発生	火砕岩	1時間	
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
R158 狭なぎ	粘板岩・チャート	5日前から落石が頻りに発生	付加体堆積物	5日	
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	
R229 豊浜	安山岩貫成水砕砂岩	約30分前にトンネル天端から砂が落下	火砕岩	30分	
R229 第二白糸	安山岩貫成水砕砂岩	巻きだし崩壊直後に落石	火砕岩	115日	
R230 第二白糸	安山岩貫成水砕砂岩	断続的な落石と変状が継続	火砕岩	3日	1日
R333 北陽	日高変成岩類	法面の変状が12年前と7年前に発生	付加体堆積物		7-12年前
R336 えりも町	中生代ジュラ紀〜白亜紀に硬層群	前日から当日に小崩壊発生	付加体堆積物	39-11時間	

崩壊前に見られた変状発生事例を蓄積し、崩壊予知→被災へ!

### 崩壊事例に基づく調査

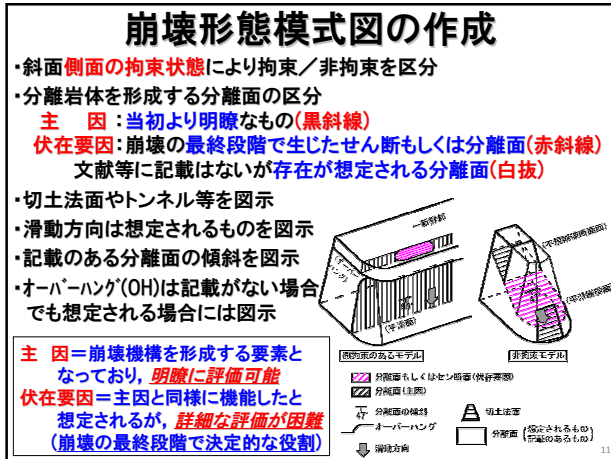
岩盤斜面の評価にあたっては、どの範囲において崩壊するのか、崩壊範囲を正確に特定した上で、**想定される崩壊形態に基づいた安定度評価**を行わなければならない。しかしながら、地山表面に現れた亀裂だけではなく、露頭からは確認しづらい地山内部の不連続面によって崩壊範囲が規制されることも多く、**不連続面情報を得るための適正な事前調査**が必要となる。

モデル化された崩壊事例を参考に、崩壊要因や崩壊につながる不連続面構造など、**着目点を明確にした調査**を行うことで、可能性の高い**崩壊形態・箇所の絞込み**が可能となる。

### 崩壊形態モデルの活用

風化や亀裂進展等の**進行性要素**によって今後不安定化すると考えられる斜面において、類似の特徴を持つ既往崩壊モデルにおける**[最終崩壊段階で破壊した分離面]**や崩壊運動に基づく**[変状発生箇所]**の**点検・モニタリング**を継続することで、現状では把握困難な崩壊形態の、将来不安定化した時点での特定が可能となる。

地形・地質状況の類似した周辺箇所において、どのような崩壊形態で崩壊が発生しているかを把握し、調査対象斜面に起こりえる**崩壊形態と崩壊要因の着目点**を明確にすることは、調査立案時のみならず、**崩壊シナリオの作成**やその後に行う**影響評価解析**においても重要である。



### 既往崩壊54事例の模式化

(崩壊形態を特定できるだけの調査資料のある大規模岩盤崩壊54事例について整理)



## 崩壊形態模式図（滑動型）

崩壊形態	平面すべりa	平面すべりb	くさびすべりa	複合すべりa	複合すべりb
地点名	太島内B	大天狗	刀削B	えりも	北堀
モデル					
崩壊状況	層理面沿いのすべり	柱状節理が連続したすべり	くさび状電裂によるすべり	斜面に平行な2方向の電裂に沿ったすべり	流れ面によるすべり
主因	細粒火砕岩における流れ層理面 ・崩壊前方斜面の浸食・欠如 ・流れ層の分離面(柱状節理)	褐色化した流れ層柱状節理 ・崩壊前方斜面の浸食・欠如 ・流れ層の分離面(柱状節理)	2方向の流れ層理面 ・片側崩壊斜面の浸食・欠如	トツプ・クレープ・クレープ	斜面下部の開口電裂 ・石灰質・チャート互層のキャップクラック
伏在要因	・斜面下部の浸食	・分離面の強度低下	・分離面の強度低下	・電裂沿いの乾温繰り返しによる 脆化・強度低下	・斜面下部の腐食に伴う流れ層 電裂
トリガー	・片側崩壊斜面の浸食・欠如 ・斜面下部の支持力低下または 欠如 ・細粒火砕岩の強度低下	・崩壊前方斜面の浸食・欠如 ・北海道青森地震(1933)	・地震動	・地震動 ・溶雪による融雪水の浸食	・急激な地下水で岩盤劣化 ・凍結解凍の繰り返しの凍結に伴う水 上昇 ・斜面下部の腐食現象

【トリガー】には、崩壊発生直前に生じたと想定される現象の他に、電裂面の強度低下等のように不安定化を助長する進行性要素も併せて記載している。  
 【伏在要因】と【トリガー】には、事前調査時点では明確に確認しにくい内容を含んでいるが、3D模式図と併せて表示することで、主因・伏在要因・トリガーがどう組み合わせられ崩壊に至るのかを想像する上で有効な項目である。

13

## 崩壊形態模式図（転倒型・座屈型）

崩壊形態	転倒c	転倒d	転倒e	座屈a
地点名	刀削A	鷹ノ巣A	越前海岸	大前海岸
モデル				
崩壊状況	下部分離面に沿ったすべりから 転倒	背後の分離面形成による転倒	岩体背後の開口電裂によりトツプ リンクし転倒	脚部流れ層によるすべり
主因	・崩壊下部の流れ層分離面 ・崩壊前方斜面の浸食・欠如	・斜面の奥に伸びる平滑な分離面 ・片側崩壊斜面の浸食・欠如	・構造性節理が発達 ・基部(凝灰岩)におけるオー バーハング	・脆弱な構成岩盤
伏在要因	・崩壊面上部の受け盛り分離面	・背後におけるやや受け盛り状の 不規則分離面	・岩体背後の開口電裂の拡大・ 劣化	・黒色泥岩におけるすべり面
トリガー	・地震動 ・岩盤下部分離面の強度低下	・岩盤背後の強度低下 ・岩盤下部の支持領域の減少・ 欠如	・開口部への落石落下 ・電裂面の強度低下	・旺盛な浸透水による粘土鉱物 の汚泥化 ・背面電裂の強度低下

模式図の各運動像と関連する変状発現箇所を注視した調査・点検を行うことで、可能性のある崩壊形態を絞込むことが可能となる。

14

## 崩壊形態模式図（崩落型）

崩壊形態	崩落a	崩落b	崩落c	崩落e
地点名	釜	滝の沢A	川下	茂津多B
モデル				
崩壊状況	2方向の垂直電裂に上部電裂が 連続した崩落	高角度層理面沿いの崩落	脚部領域による多電裂硬質岩体 の崩落	側面電裂の分離による崩落
主因	・斜面の分離面となる節理 ・脚部オーバーハング	・斜面に平行する火砕岩の流れ 層状層理面	・安山岩脚部における軟質な火 砕岩の分布	・斜面に平行な褐色化した急立 流れ層の分離面 ・溶岩脚部の火砕岩後連による オーバーハング化
伏在要因	・斜面に平行な一部新鮮色を残 す節理 ・水平な頑固電裂	・頑固電裂沿いの溶食	・やや新鮮な側面電裂の分離面 化	・やや新鮮な側面電裂の分離面 化
トリガー	・片側崩壊斜面の浸食・欠如 ・分離面の強度低下 ・脚部オーバーハングの進行 ・岩盤上部の強度低下	・層理面の強度低下	・小規模による脚部のノリ化 ・地下水浸透の閉塞水圧上昇で 上部岩盤電裂伸張	・地震動 ・側面電裂の強度低下もしくは電 裂発生 ・岩盤下部の支持領域欠如

崩壊履歴 ⇒ 崩壊形態 ⇒ 崩壊シナリオ ⇒ 影響評価解析 ⇒ 被災シナリオ

15

## まとめ

崩壊事例から学べることは、どのような地形・地質の箇所が(Where)、どのような原因で(Why)、どのような崩壊過程で(How)、崩壊に到達したのかということであり、崩壊情報の活用として、分離面に着目した崩壊形態モデルと崩壊要因(主因・伏在要因・トリガー)の記載例を紹介した。

これから評価を行う未だ崩壊していない岩盤斜面に対し、斜面の特徴からどの崩壊事例と類似しているのかを判別し、可能性の疑われる崩壊モデルの崩壊形態や要因を参考にすることで、よりの確かな調査や評価が可能となる。また、可能性のある崩壊形態を念頭に置いた調査や想定される最終崩壊分離面に留意した点検を行うことで、不安定化現象を早期に捕捉し、崩壊形態・箇所の特定につなげられる。

16

# 岩盤崩壊などの影響評価



岩盤斜面ハザード評価小委員会 影響評価WG  
 (橋下・川北 稔)

# 今回の話題

1. 影響評価とは？
2. 影響評価への道のり
3. 評価すべき項目
4. 必要な入力情報
5. 影響評価の手法
6. 影響評価の事例
7. まとめ

## 1. 影響評価とは？

『岩盤斜面上のハザード(災害となりうる潜在要因)が発生した場合、斜面下方に位置する保全対象に対して何らかの**直接的被害(影響)**を想定するため、

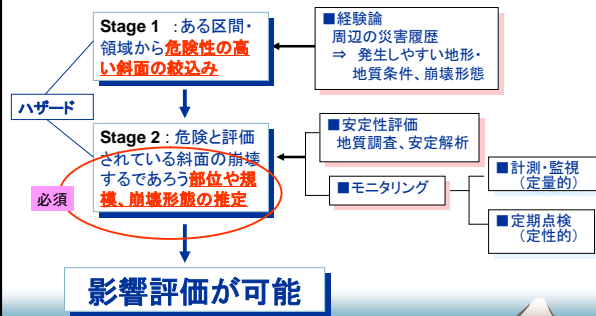
- 崩壊岩塊の運動軌跡や速度
- 移動距離や到達域
- 移動岩塊量
- 崩壊岩塊の堆積状況 など

を評価すること』と定義

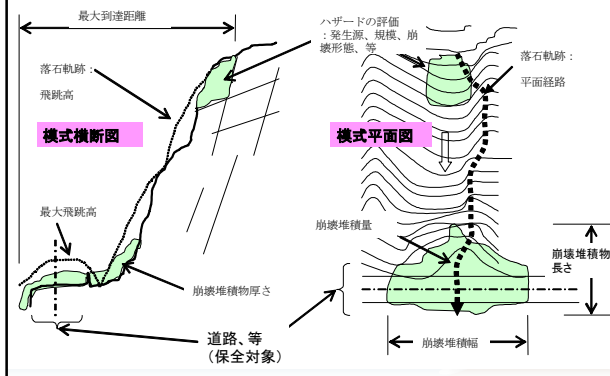
→ 崩壊のリスク評価が可能

## 2. 崩壊等の影響評価への道のり

■ 岩盤斜面ハザード評価が必要 ⇒ 2つのStage

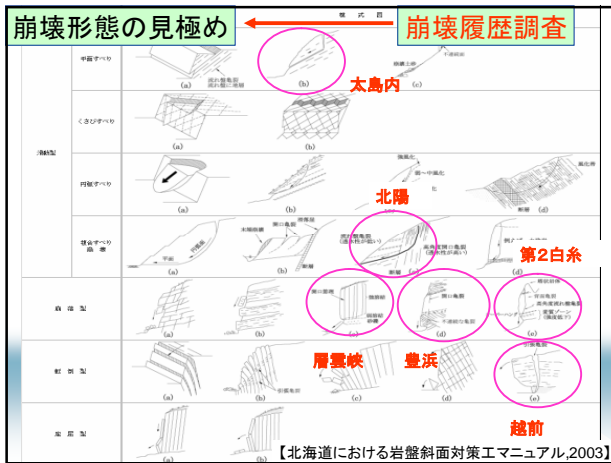


## 3. 評価すべき項目



## 4. 影響評価に必要な入力情報

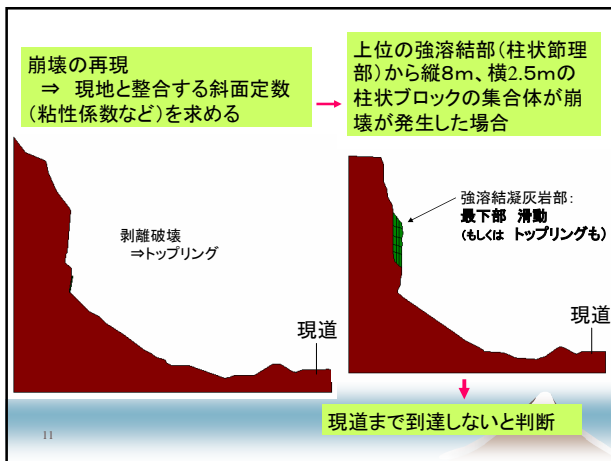
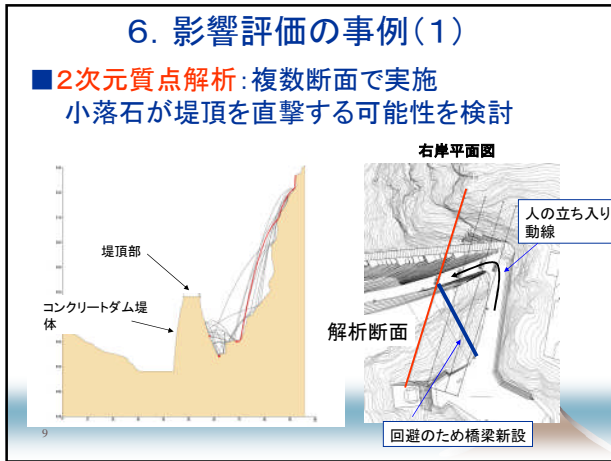
入力情報	項目	備考
斜面ハザード情報	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 発生源場所</li> <li>・ 発生源高さ</li> <li>・ 規模、形状、重心位置</li> <li>・ 崩壊形態</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地質・性状、不連続面の走向・傾斜・性状および深度方向での変化、水理情報、崩壊履歴 などに基づく</li> <li>・ 地質踏査、クライミング調査などによる</li> </ul>
地形情報	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 微地形を含む地形情報: 出尾根、湾状頭部、沢、オーバーハング</li> <li>・ 保全対象との位置関係</li> <li>・ 斜面傾斜 (平均)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 細密な数値標高モデル DEM (Digital Elevation Model) の作成 ⇒ レーザ計測等</li> </ul>
斜面性状情報	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 斜面性状区分 (露岩部、崖錐部、植生、など)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地質踏査、近接斜め空中写真等による</li> </ul>
斜面定数	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 法線および接線方向速度比</li> <li>・ 接触バネ剛性、減衰定数</li> <li>・ エネルギー比、変形係数、ポアソン比、粘性係数</li> <li>・ ラーメの定数 など</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 解析手法によって必要とされる定数は異なる。</li> <li>・ 周辺に既往事例ある場合には事前 (再現) 解析が必要</li> </ul>

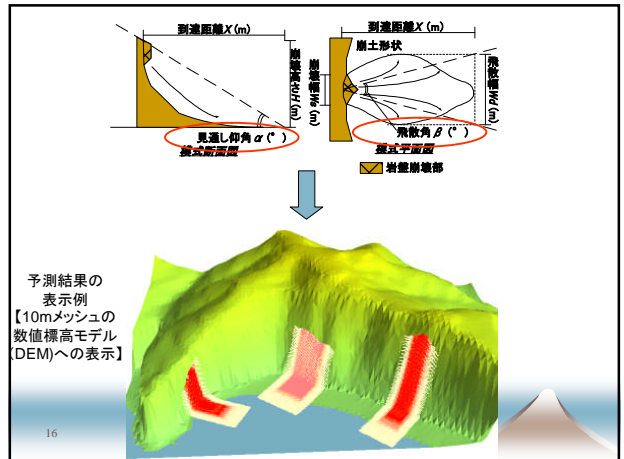
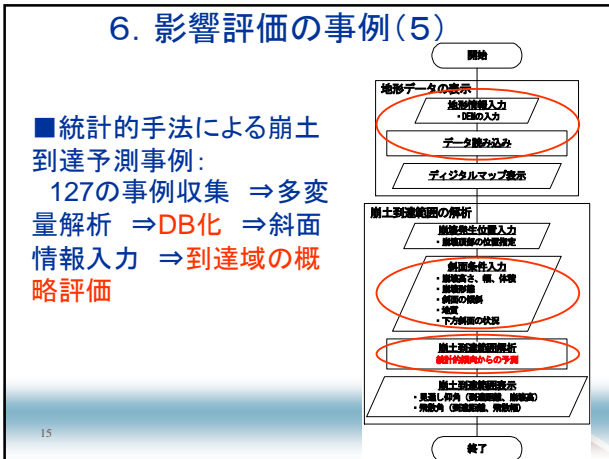
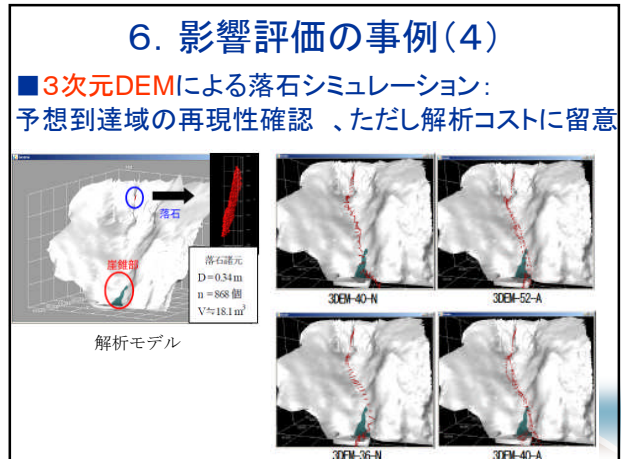
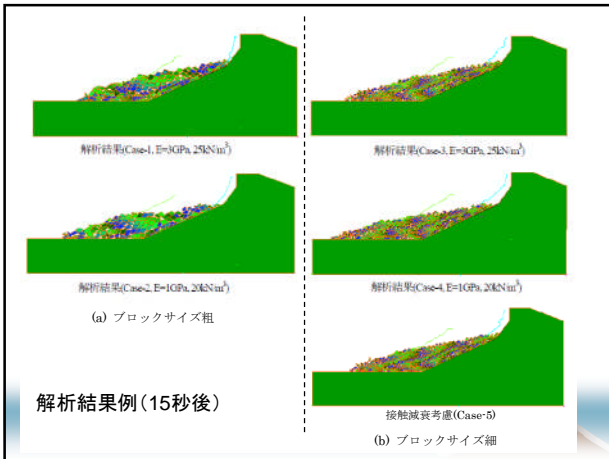


### 5. 代表的な影響評価手法

対象	区分	主な手法	得られる項目 (評価項目)	主な入力事項
落石	経験的手法	落石対策 便宜	・速度・飛跳高、 ・衝撃力	・斜面高・傾斜角、 ・斜面区分
	質点系解析	ROCKFALL など	・速度・軌跡(3次元では、 平面経路) ・飛跳高	・斜面形状・速度比 など
落石	数値解析 手法	DEM	・速度・軌跡(3次元では、平 面経路)	・斜面形状・落石形状 ・弾性係数・減衰定数 など
		不連続体 解析 DDA	・飛跳高 ・到達時間 ・到達点	・斜面形状・落石形状 ・弾性係数・減衰定数・ポアソン 比・粘性係数 など
岩盤崩壊	経験的手法	統計的解析	・崩土到達範囲	・数値シミュレーション ・崩壊高さ ・弾性係数・減衰定数 ・斜面傾斜・地質 など
	数値解析 手法	不連続体 解析 DDA	DEM	・斜面形状・崩壊形態 ・弾性係数・減衰定数 など
DDA			・速度・飛跳高 ・斜面上のパラッキ 状況 ・崩壊堆積物の長さ ・堆積幅・堆積量 ・堆積厚	・斜面形状・崩壊形態 ・弾性係数・減衰定数・ポアソン 比・粘性係数 など

★ 安定解析としては、FEM、極限平衡解析など





- ### 7. まとめ
1. 「影響評価」とは、保全対象に対し、直接的被害を想定するため、岩塊の到達域などを評価すること。
  2. その場合、**斜面ハザード**(災害となりうる潜在要因)の部位、規模、崩壊形態などの推定が必須であり、この**的確性**が影響評価を左右する。
  3. 特に履歴調査に基づく**崩壊形態の見極め**が重要である。
  4. 評価手法としては、落石では質点系解析のほか、DEM、DDAがよく使われている。
  5. 岩盤崩壊では、DEM, DDAのほか、概略的検討として統計的解析による方法も試行されている。
  6. いずれにしても、再現解析に基づき斜面定数を検討し、本解析を行うことが重要。





# 斜面崩壊シナリオを用いた 影響評価の具体例

基礎地盤コンサルタンツ 三木 茂

## 予測解析から影響評価解析への転換

どの岩塊が落石になるか、岩盤斜面のどの部分が崩壊するかを解析から想定すること

決定論的に想定することは困難

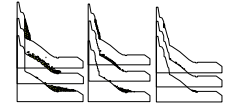
いくつかの崩壊パターンを想定して、被災可能性を推定



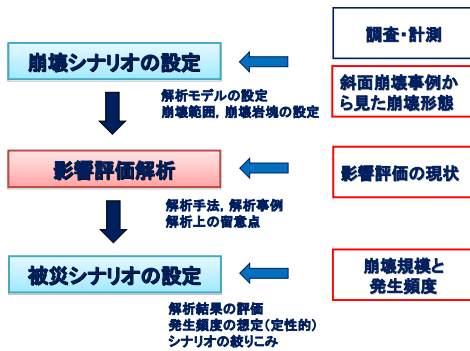
- もう少し、調査から解析までをシステムティックに
- コストが安くなった数値解析を、もう少し有効に
- 決定論的に結果を出さなくても良いのではないかと
- リスク評価に対応した数値解析の使い方はないか
- 被災想定の見逃しのチェック

崩壊-被災シナリオに基づく影響評価

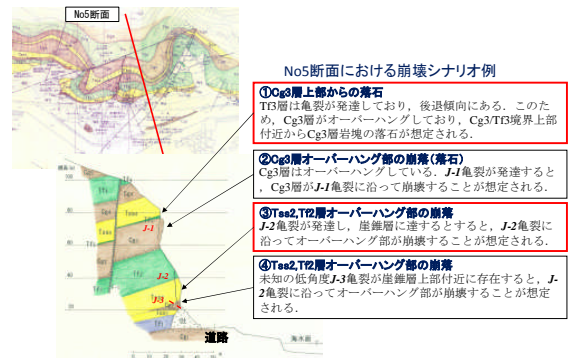
- 調査、解析過程をシナリオにして影響評価解析を行う



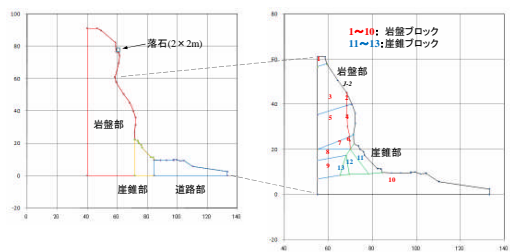
## 影響評価解析の位置づけ



## E海岸における影響評価解析例



## 解析モデル(シナリオ①, ③)



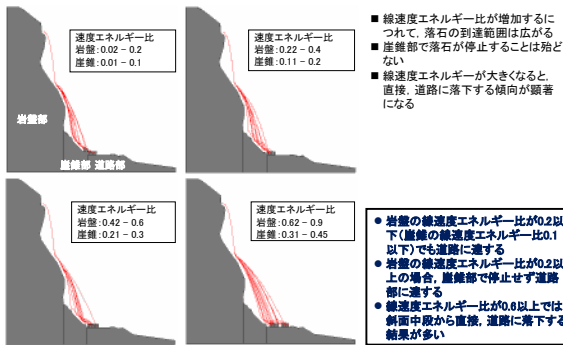
- 解析には、不連続変形法(DDA)を使用

## シナリオ①(落石)解析パラメータとケース

	岩盤部	崖麓部	道路部
変形係数(MN/m <sup>2</sup> )	3000	100	100
ポアソン比	0.32	0.4	0.4
単位体積質量(kg/m <sup>3</sup> )	2300	2000	2000
面の摩擦角(度)	50	45	45
面の粘着力(MN/m <sup>2</sup> )	0.0	0.0	0.0
面の引張り強度(MN/m <sup>2</sup> )	0.0	0.0	0.0
鉛直方向ベナルティバ定数(MN/m)		100	
せん断方向ベナルティバ定数(MN/m)		100	

- 岩盤部、崖麓部の線速度エネルギー比をパラメータ
- 線速度エネルギー比は、岩盤部の値を0.02から0.90まで0.02刻みで設定
- 崖麓部の線速度エネルギー比は岩盤部の値の1/2
- 道路部の線速度エネルギー比は、0.1に固定

### シナリオ①(落石)解析結果



### シナリオ③(岩盤崩落)解析パラメータ

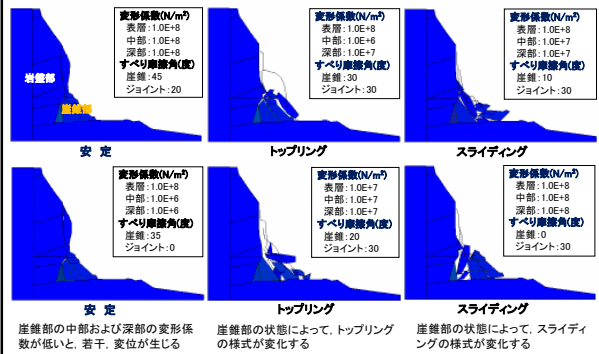
	岩盤部(ジョイント)	崖壁部
変形係数(MN/m <sup>2</sup> )	3000	パラメータ
ポアソン比	0.32	0.4
単位体積質量(kg/m <sup>3</sup> )	2300	2000
ブロック境界のすべり摩擦角(度)	パラメータ	パラメータ
単位時間ステップ間隔(s)	0.01	
繰り返し計算回数(回)	5000~10000	
鉛直方向ペナルティバネ定数(MN/m)	1000	
せん断方向ペナルティバネ定数(MN/m)	1000	

- 崖壁部の変形係数をパラメータ
- 崖壁部は、表層、中部、深部に区分
- 崖壁中の空洞は、変形係数で考慮
- 崖壁部のすべり摩擦角と、ジョイントのすべり摩擦角をパラメータ
- これらのパラメータを変化させた35ケースについて解析を実施

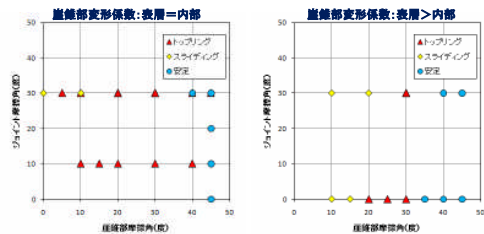
### シナリオ③(岩盤崩落)解析ケース

崖壁変形係数	変形係数(MN/m <sup>2</sup> )	崖壁中部	崖壁深部	崖壁部	すべり摩擦角(度)	ジョイント	崩壊形態
1.00E+06	1.00E+06	1.00E+07	30	30	30	トッピング	
1.00E+08	1.00E+07	1.00E+07	30	30	トッピング		
1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	30	30	トッピング		
1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	20	30	トッピング		
1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	5	30	トッピング(崖壁変位)		
1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	0	30	スライディング(崖壁変位)		
1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	40	30	変位(変位)		
1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	45	30	変位(変位)		
1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	45	20	変位(変位)		
1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	45	10	変位(変位)		
1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	45	0	変位(変位)		
1.00E+08	1.00E+07	1.00E+07	45	0	変位(変位)		
1.00E+08	1.00E+06	1.00E+06	45	0	変位(変位)		
1.00E+08	1.00E+06	1.00E+06	35	0	変位(変位)		
1.00E+08	1.00E+06	1.00E+06	30	0	トッピング		
1.00E+08	1.00E+06	1.00E+06	25	0	トッピング		
1.00E+08	1.00E+06	1.00E+06	20	0	トッピング		
1.00E+08	1.00E+06	1.00E+06	15	30	スライディング(崖壁変位)		
1.00E+08	1.00E+06	1.00E+06	10	30	スライディング(崖壁変位)		
1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	40	10	トッピング		
1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	30	10	トッピング		
1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	20	10	トッピング		
1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	15	10	トッピング(崖壁変位)		
1.00E+08	1.00E+08	1.00E+08	10	10	トッピング(崖壁変位)		
1.00E+07	1.00E+07	1.00E+07	30	30	トッピング		
1.00E+07	1.00E+07	1.00E+07	20	30	トッピング(崖壁変位)		
1.00E+07	1.00E+07	1.00E+07	10	30	スライディング(崖壁変位)		
1.00E+07	1.00E+07	1.00E+07	45	30	トッピング		
1.00E+08	1.00E+07	1.00E+07	45	30	変位(変位)		
1.00E+08	1.00E+07	1.00E+07	40	30	変位(変位)		
1.00E+08	1.00E+07	1.00E+07	20	30	スライディング(崖壁変位)		
1.00E+08	1.00E+07	1.00E+07	10	30	スライディング(崖壁変位)		

### シナリオ③(岩盤崩落)解析結果例

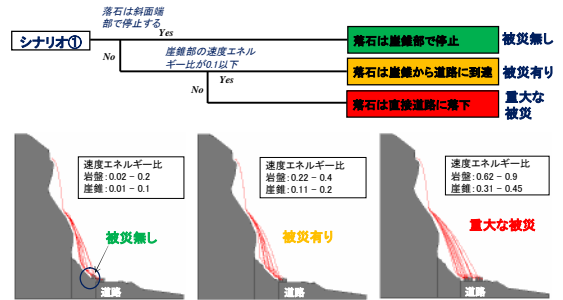


### シナリオ③(岩盤崩落)解析の整理



- 崖壁部の変形係数の状態によって崩壊形態は変化する
- 崖壁部のすべり摩擦角が45度以上では、安定
- 崖壁部表層と深部の変形係数が等しい場合、トッピングが卓越
- 崖壁部のすべり摩擦角が低い場合、スライディングが卓越

### シナリオ①(落石)の被災シナリオ



- 崖壁部に落下した後、道路に達した落石の線速度は概ね20m/s以下、通過高さは概ね5m以下
- 斜面中段から直接道路に落下した落石の速度は、25m/s以上



# 岩盤斜面ハザード評価の現状

進士正人

# 岩盤斜面崩壊予測の可能性

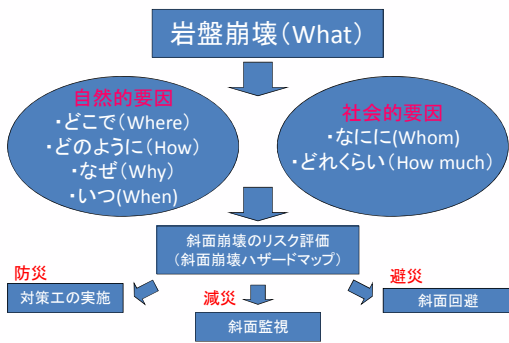
## 1. 岩盤崩壊の予測 :5W2H

- What :なにが
- Where :どこで
- When :いつ
- Whom :なにに
- Why :なぜ
- How :どのように
- How much :どの程度の被害額か

「大規模な岩盤崩壊現象は非常に長い時間の中で発生する自然現象であり、その予知・予測が不確実性を有しており、現時点では完全に対応することは技術的に困難である。」(土木学会「大規模岩盤崩壊に関する技術検討委員会」)

予測の困難さ → リスクマネジメント

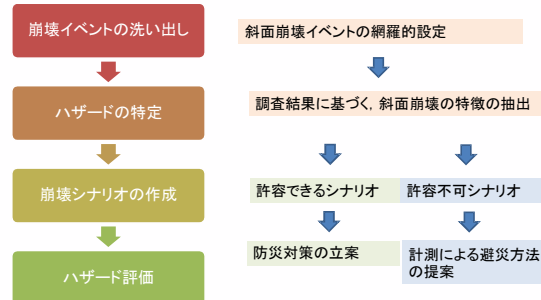
# 岩盤崩壊の安定性評価



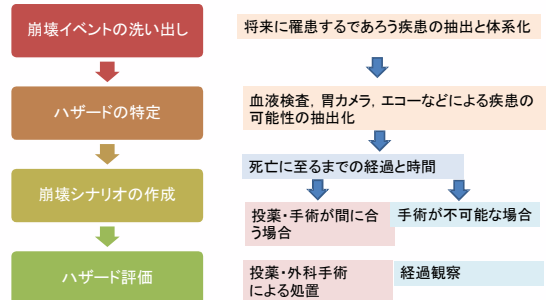
# 委員会活動のロードマップ



# 斜面崩壊ハザードの抽出と評価



# 人間ドックとその後の対応に置き換えると...





## 今後の斜面ハザード評価に 必要な技術

- 内包するハザードを精度よくスクーリングする  
問診技術
- 患者さんにできるだけ負担をかけず患部を特  
定する問診技術
- 計測技術・診断技術
- 患者さんの正確な病歴カルテの作成技術
- 患者さんに負担をかけない外科技術
- 投薬による内科療法技術