

岩盤斜面崩壊のハザード抽出と 影響評価に向けて

(岩盤斜面のハザード評価 研究小委員会)

1. 岩盤斜面崩壊調査の現状と課題
2. 崩壊履歴調査の重要性
3. 岩盤斜面崩壊の調査と計測
4. 岩盤斜面崩壊の影響評価の現状と問題点
5. 岩盤斜面で想定される崩壊/被災シナリオの分析による
ハザード評価の提案
6. 岩盤斜面崩壊のハザード評価に向けて

委員長 進士正人 山口大学

委員

日外勝仁	(独)土木研究所	浅井健一	(独)土木研究所
上野将司	応用地質 (株)	歌川学	(独)産業技術総合研究所
大西有三	京都大学	川北 稔	(株) ドーコン
木戸研太郎	(独)水資源機構	久慈雅栄	前田建設工業 (株)
小俣新重郎	日本工営 (株)	小山倫史	京都大学
蔣 宇静	長崎大学	栃本泰浩	川崎地質 (株)
中井卓巳	(株) アーステック東洋	中村 真	(株) ニュージェック
丹羽廣海	(株) フジタ	萩原育夫	サンコーコンサルタント (株)
長谷川 淳	(財)鉄道総合技術研究所	蓮井昭則	(株) 間組
馬 貴臣	岐阜大学	松田浩朗	飛島建設 (株)
三木 茂	基礎地盤コンサルタント (株)	山田文孝	三井住友建設 (株)

幹事

西村 強 鳥取大学

島内哲哉 明治コンサルタント (株)

1. 岩盤斜面崩壊調査の現状と課題

中井 卓巳^{1*}・ 進士 正人²・ 大西 有三³

^{1*} (株) アーステック 東洋(〒601-1374 京都市伏見区醍醐西大路町44-32)

² 山口大学大学院教授 理工学研究科(〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1)

³ 京都大学大学院教授(〒606-8501 京都市左京区吉田本町)

1.1 まえがき

岩盤斜面崩壊という事象は、道路・鉄道などの交通に関わる社会資本やダムなどのエネルギー分野の社会資本の基幹施設が自然界と接する部分で発生することで、道路・鉄道およびダム等に関する固有の災害となる。特徴は大規模な崩壊ではもちろんのこと、非常に小規模な落石のような事象においても人命を損なう可能性があることにある。また、交通に関わる固有の特性から、一度岩盤崩壊の事象が発生すれば、交通に支障がでることによっても多大な経済的な損失を被る。さらに、岩盤崩壊事象は、地震発生とよく似て突発的な事象であることがあり、予測手法が開発段階であることに加え、統計的に取り扱えるほど多量の発生もないことから、統計手法の適用にも困難が予想される。

更に北海道を例にとると、大規模な岩盤崩壊災害は、崩壊予測が可能になったとしても、自然界の巨大な営みであるエネルギーの放出は対策工等の導入により防ぎきれとは思えない程である。最近では、減災・避災を合い言葉に、道路計画を見直すなどのソフト対応も重要であると指摘されている。さらに災害の可能性のある既存の施設などでは、上記のような議論も含め、施設利用者、地元住民、納税者との相互コミュニケーションによる減災・避災を進める必要が説かれている。

本論文は、土木学会岩盤力学委員会内に設置された豊浜トンネル事故を発端とした検討委員会を端緒として、長い期間にわたり調査・解析・設計の方針を求めて検討してきた結果をまとめたものである。残念ながら、検討はまだ途上にあり、複雑な岩盤斜面崩壊への防災・減災への決定的な予測・対策技術の確立は完了していない。ここではハザード評価研究委員会として、これまでの検討を通じて得ることのできた結果を整理して、その現状とその課題を報告する。

(1) 類型化と解析の為のモデル化

岩盤斜面崩壊の挙動を説明する必要があった。考案された類型化した崩壊形態を利用して、現実の斜面の安定性評価に結びつける試みがあり、さらに地質的な不連続

面、斜面の幾何形状、および地下水条件といった組み合わせが、崩壊の危険性を高くするという経験的な事実を寄せ集め、熟練者が総合的な判断を行うことが現実的な対応とされている。この推定の流れを確固たるものにするために、収集された各種データの分析、ボーリング調査等地質調査・物理探査及び各種の室内実験の岩盤斜面崩壊への適用の条件の整理までの各種検討を行い、また図-1.1に示すように、岩盤斜面に適合した数値解析手法に適合するモデル化¹⁾の研究を進めてきた。

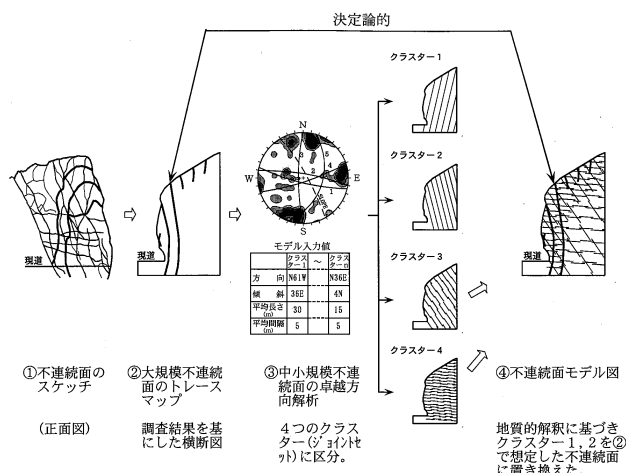


図-1.1 不連続性岩盤のモデル化の手順の考案¹⁾

(2) 調査と解析の技術

委員会の主たる目的を整理すると、岩盤斜面の安全性の評価を確実にすることといえる。しかしながら、現実の岩盤斜面では、図-1.2に示されるような複雑な地質条件、岩石・岩盤物性の強い不均質性、地下水の流れの複雑性などにより詳細な解析は難しく、解析的にメカニズムを追求するにも限度がある。そのような背景のもとで、委員会では、事例研究から岩盤斜面崩壊に対する調査技術に関する考察を行い、取り組むべき解析および計測技術と組み合わせる効果的な調査技術を提案することができた。また、岩盤斜面に適した解析技術に取り組み、様々な解析法の整理と適用性について検討を加えた。

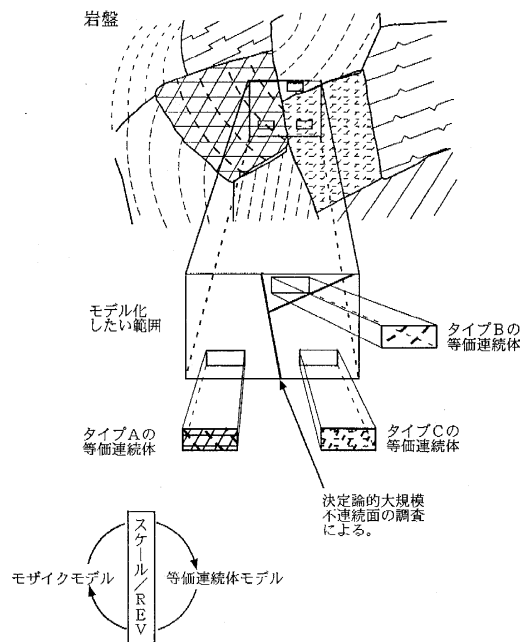


図-1.2 岩盤の不連続面による複雑性の例

(3) 計測の重要性と役割

岩盤崩壊挙動を監視するための計測システムについて検討を加えた。従来から使用されている計測機器のような局所的な観測に代わり、広範囲にわたって面的な観測を連続的に評価する計測手法を構築した。具体的には、委員会では、岩盤崩壊観測として多数の計測点を迅速かつ高精度に計測するデジタルカメラを用いた精密写真測量手法の適用を提案した。また、精密な変位計測の変動についてのトレンド解析の重要性を指摘した。さらに、危険箇所を抽出する過程での航空レーザー地形測量の重要性を指摘した。

(4) 調査・解析技術の適用の過程

調査、解析および計測技術を検討した結果、全体系として、次のような管理システムを提案している。

危険箇所抽出技術として、デジタル写真やレーザー地形測量を過去の災害履歴を記したハザードマップを両輪として用いることが重要である。

個々に抽出された危険箇所の防災・減災技術としては、数値解析による安全性の評価と精密な変位観測による崩壊予測が重要である。

1.2 リスク概念の導入

ここで、我々の当面の目標としたリスク概念の導入²⁾について整理した。

(1) リスク概念の導入

ISO/IEC Guide 51によれば、安全な状態とは「freedom from unacceptable risk」とされ、とうてい許容できないリスクから安全を確保されている状態と考えられる。「risk」とは、「combination of the probability of an event and its consequence」と定義されているので、当面ここでは、道路・鉄道を岩盤崩壊というイベントから守り、安全な状態をつくるには、イベントとその頻度を特定し、その影響度を推測することが必要となる。

岩盤崩壊は許容できない領域にあれば、リスクをリスクとしてとらえるのではなく、真っ先に対策や回避の必要がある。リスクを考慮して、リスクが低減できるか、またはそのコストを算出できて他の対策と比較できるような場合には、リスクマネジメントの出番になる。このようなリスク概念を導入した場合には、我々の目標は、イベントとその頻度を特定し、岩盤崩壊・落石の特徴に基づいてハザードの特定を行ない、シナリオを想定することとなる。

(2) リスクと岩盤斜面崩壊に対する技術適用フロー

イベントを特定する際には、網羅的でなければならぬし、そのためにはエキスパートによるイベントの洗い出しが重要となると思われる。目標達成のために用いる手法の検討を実施し、手順を図-1.3に整理した。

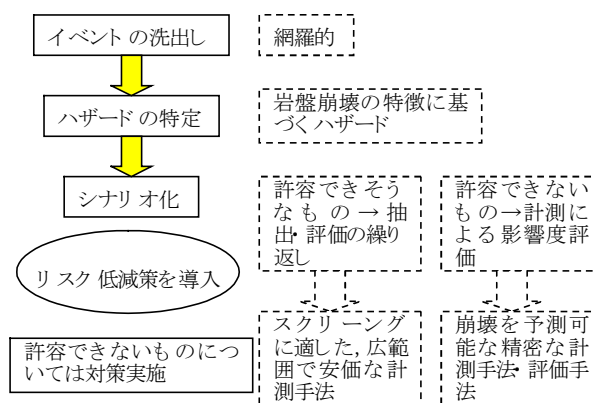


図-1.3 リスクシナリオの想定手順

1.3 形状測量の重要性と変位観測の重要性

(1) 計測することは知ることである

「計測することは知ることである。」斜面のハザード、特に岩盤崩壊を的確に判定する(スクリーニングの場合と崩壊予測に関する精密な計測)ためには、計測・観測という方法を避けては通れない。観測の理想は常に、継続的に(動的に)対象の健全性を評価する循環的・継続的な観点で構成されることが望ましい。対象をじっと見て、その変化から機能不全の程度を予測し、修復が出来

なくなる前に対処するというシステムが望まれている。

この観測の考え方に、ハザードの生じる確率と修復コストを掛ければライフサイクルコストの積算にもなるし、修復の管理をコスト面から行えば資産管理(アセットマネジメント)の観点に基づいたシステムにまで発展する基幹的な部分であろう。

(2) 計測に2系統あり

観測については、我々は2つの幹にわけたアプローチを取ることにした。

「見る」手法は、二つの分野から構成される。ひとつは法面の健全性に決定的な要素となる形状計測である。オーバーハング等の法面そのものの形状を明確に把握することと法面の後背地の集水地形・開発による地形変更を知る観測であるといえる。

もう一つは、法面の変位をモニタリングすることである。適切な場所を適切な方法で計測することで、法面の安定性の低下を検出することが可能となる。この場合、安定性の均衡が崩れる「基準値」を知っておくことで様々な維持管理を施すことが可能になる。

1.4 事例から学んだこと

委員会では岩盤崩壊の事例⁹⁾を広く日本各地に求め、大規模から小さいものまで整理した。委員会では事例研究により重要な示唆を得た。

(1) 事例の整理

まず、図-1.4には崩壊形態の割合を示した。すべり形態がやや多いが、代表的な「すべり・トップリング・崩落」で全体を3等分していることがわかった。

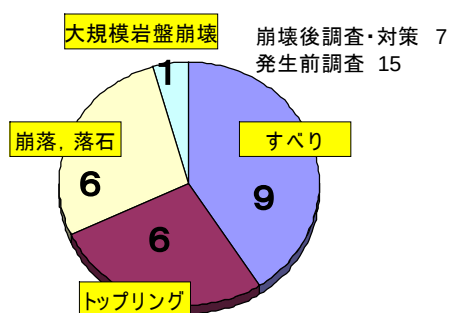


図-1.4 崩壊形態の割合

また、図-1.5では、対策工を整理した結果を示す。これによると、複合的な対策が多い。特徴としては、規模が大きい場合は、迂回する手法がとられ、特定できる岩体などは、除去工が実施されていることである。

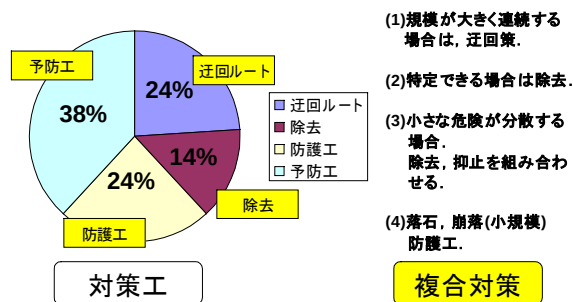


図-1.5 対策種別の割合

岩盤崩壊では、素因と誘因という整理の替わりに持続的要因と加速的要因という言葉を用いることも試みられている。これらの要因を図-1.6に整理したが、加速的要因とすべき降雨と地震に対しては直接的な関係が認められる事例が少なく、不明とされる事例が半数以上で、崩壊メカニズムの合理的説明への妨げとなっている。

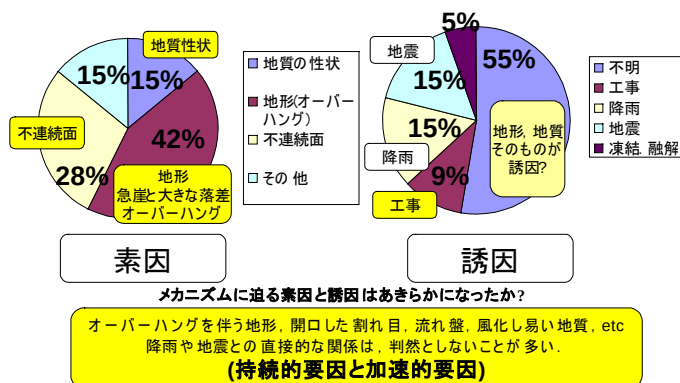


図-1.6 崩壊要因の整理

(2) 事例から学んだ岩盤崩壊調査・解析手法の進展

事例から得られた岩盤崩壊調査・解析手法の変化について表-1.1にまとめた。

表-1.1 岩盤崩壊調査・解析手法の進展

項目	機器及び内容	評価
測量・形状認識	写真測量 レーザー測量	3次元の詳細地形形状の入手が可能になり、3次元解析モデルの作成にも寄与
調査方法(機器)の変化	ボアホールカメラ 壁面踏査	急斜面、崖を対象とするため、ボアホールカメラの使用が一般的となる
モニタリング手法	ケーブルセンサ 監視テレビ 伸縮計・高精度変位計 デジタル写真計測	非接触、画像計測の発展があり、危険な設置作業から解放される 岩盤の突発的な崩壊に備えては高精度、長期化などの課題は残る
解析手法	落石解析、岩盤解析	被害予測シミュレーション、落下後の挙動予測の分野での使用に有効であると評価され、今後の予測シミュレーションとしての実務への採用に期待

1.5 課題

(1) 基準値の設定

安全性の評価の段階では、基準値の設定が必要である。見ることは知ることであるから、観測を続けることで安全性を認めることができるようになるにしても、日々の判断の中では、観測は閾値を得た場合に現実的な意味が生じるともいえる。

基準値を、現存のすべて法面に対して個々に得るには費用も時間もかかる。解決策として、類型化した法面・崩壊モードに対して、よく似た法面での安定性評価を準用することが考えられる。その為には、基本的には類型化したモードについて解析手法を用いた検証が必須となると考えられるが、コストのバランスについての議論が不十分である。

また、このような手順は、法面を長期にわたって「見る」場合に、法面のどの場所を、どういう方法(どのパラメーター)で計測し続けたら良いのかを科学的に検証するためにも利用することが可能になるので、全体コストを低減できる手法であるともいえるのである。

(2) トレンド解析³⁾

また、トレンド解析と称される変位の傾向を安定性と結びつける解析技術の導入が不可欠である。図-1.7では、温度と変位が年ごとに調和的に変化していた後、突然調和的な傾向から外れたデータがグラフ下方に出現した。この異常データの出現を評価し、警報を鳴らすことが必要とされている。

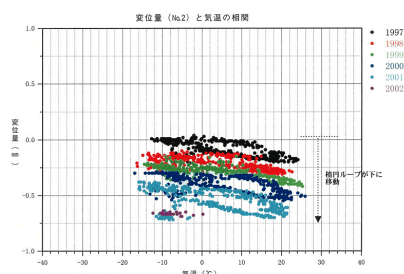


図-1.7 データトレンド事

(3) 時間軸の追加

岩盤崩落を予測して、防災・減災に寄与する過程は循環的である。時間軸に沿った現象を扱うため、螺旋的で

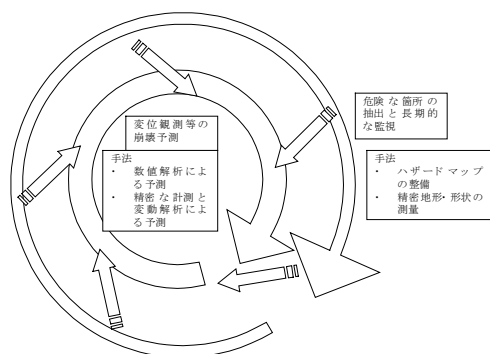


図-1.8 防災・減災の循環的対応

あるともいえる。ひとつの例として、防災・減災に関わる手順が、時と共に科学的に発展を遂げるため、図-1.8のような仕組みで機能すると考えられる。

1.6 今後の展望

よく例えに出される医学・医療の世界では、土木の世界に先駆けた診療ツール(物理探査の道具)が開発にしのぎを削っているが、患者に最初に接する問診の重要性も再認識されている。特に初診の場合には、経験の少ない医師がまず問診し、続いて経験豊かな教授・准教授が問診をしている。医療のツールを使わなくても患者の病気モデルを経験から決定している訳である。そのモデルを検証するために、より詳細な検査が続いて実施される訳であるが、この問診の段階こそ、階層的管理手法の第1段階(委員会報告書でループ①³⁾と称する)に相当するものとする。

ループ①の段階で、判断に使える道具は、限られたものである。ハンマーとクリノメーターがその代表である。医療の世界では、問診の際に経験の浅い医師でももう少ししな道具を持っている。ハンマーは、聴診器にあたるとすれば、医師はこの段階で、血液検査結果、尿検査結果を使用できるかもしれない。うまく行けば、エコーが使用できる可能性もある。

ループ①にもう少し、ましな道具が揃えば、岩盤斜面崩壊の診療・管理に都合がいいことがたくさんある。

ループ①という初期段階において、以下に示す技術が幅広く提供されれば、岩盤斜面崩壊予測への道も近くなると考える。

- ①デジタルカメラによる撮影解析や比較解析
- ②半自動解析による地形の3次元表示
- ③画像解析による節理面や断層面などの抽出
- ④岩盤斜面の自由面と不連続面を決定してモデル化(ポリゴンタイプの形状モデルを決定)
- ⑤3次元視覚化した画面で簡易シミュレーション

これらの後に、詳細な調査計画、解析(ループ②)に移行することで、患者(岩盤斜面崩壊)は確実に減ると考えている。

参考文献

- 1) 中井卓巳, 島内哲哉: 不連続性岩盤の調査・解析と評価 不連続面の調査と評価(その1), 地盤工学会 土と基礎, 483, pp55-60, 2000.
- 2) 三宅淳巳: 産業災害とリスク, リスク入門5 科学技術からみたリスク 第5章 岩波書店, 2007
- 3) 土木学会岩盤力学委員会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], 土木学会, 2004.

2. 崩壊履歴調査の重要性

日外 勝仁^{1*}・浅井 健一^{2*}

^{1*} (独) 土木研究所 寒地土木研究所 (〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1条3-1-34)

^{2*} (独) 土木研究所 つくば中央研究所 (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

2.1 危険箇所特定に向けた崩壊履歴の活用

岩盤斜面崩壊のハザードを評価するに当たっては、先ずこの斜面が危険かあるいは評価を要するかを特定し、その後に崩壊の影響度等を考慮した評価を行う必要がある。危険箇所の「特定」については、ある区間延長や領域を持った範囲から岩盤崩壊の危険性の高い区域や斜面を絞り込む段階と、すでに危険と評価されている斜面において実際に崩壊するであろう部位や規模などを推定する段階の2つに分けられる。

前者には、調査地区の災害履歴などの過去の経験から、崩壊が発生しやすい地形・地質条件を明らかにするとともに、崩壊が頻発する要注意なエリアというものを絞り込む経験論に基づくアプローチがあり、後者には、一般的な現地での地質調査や安定解析に基づいた安定性評価により危険岩体を特定するアプローチの他、崩壊へつながるような事象の変化をモニタリングすることにより不安定箇所を抽出するアプローチがある。また、後者の不安定化の変化を捉える手法には、計測・監視により変化を定量的に把握する「モニタリング」と、定期的に時間を空けて変化を調べるより定性的な「点検」がある。

岩盤斜面のハザード評価研究小委員会の特定評価ワーキンググループ(WG1)では、崩壊履歴により着目し、崩壊危険箇所特定の方法について検討するものである。

2.2 岩盤斜面の崩壊履歴調査の目的と現状

地象・気象状況の似た地域においては、崩壊の素因や崩壊形態が類似したものとなると考えられることから、地域の斜面防災を考える上で、崩壊履歴の整理分析により過去の崩壊発生状況を事前に把握して置くことは、斜面の安定性を評価する上で、今後起こりうる崩壊の規模と頻度の目安を得られる点でも有益であると考えられる。

また、崩壊履歴を分析することで、こういった地形・地質状況の地域において、崩壊の危険性が高いかという、

ある程度の面的な絞り込みができるだけではなく、調査地域に多くみられる崩壊形態や崩壊の地形・地質的特徴を前もって整理しておくことで、現地調査を行う際の着目点の明確化と崩壊危険要素の見落とし防止にもつながる。斜面崩壊の危険性を評価するためには、現地の斜面状況から得られる様々な情報を基に、幾つかの崩壊形態の可能性を仮定した上で、詳細な現地調査、安定解析、計測・監視などの検討を重ね、将来起こりうる想定すべき崩壊形態を絞り込む必要がある。その際にも、過去の崩壊事例集ともいえる履歴情報は重要な情報となりうる。

過去の崩壊情報から崩壊形態などを整理する上で、やはり誘因についても考えなければならないところである。斜面崩壊の誘因としてまず挙げられるのは、降雨と地震である。不連続面や強度のバラツキのため完全な可視化・モデル化の難しい岩盤斜面においては、崩壊発生の直接的な引き金としての力学的評価はまだ研究途上の面もあるが、崩壊との関わりは疑い様もないので、崩壊時の気象状況や地震の有無も併せて整理を行う必要がある。

また、崩壊諸元の整理項目については、崩壊の前兆現象の有無も重要な要素である。前兆現象は崩壊が発生する最終的な段階において斜面に顕在化する現象であり、落石などの小崩壊の発生や亀裂や湧水、はらみだし等の変状の例も報告されている。大規模崩壊の中では、一気に全ての箇所が崩壊するのではなく、小崩壊の発生から数時間から数日を経た後に大規模な崩壊へと至ったケースもある^{1)・2)}。これら前兆現象ともいえる変状の発生状況を収集整理し、崩壊の発生そのものを事前に察知しソフト対策や緊急対策により被災を防止・低減する上でも、日常的な点検や調査の中で崩壊の前兆現象を的確に補足する方法を検討することが期待される。

また、岩盤自然斜面に対し、一箇所の斜面のみを調査するのではなく、面的な広がりを持った調査範囲において、周辺の崩壊状況等を調べ、その地域の特性を把握しておくことは、個々の斜面の安定度評価だけではなく、地域全体でのハザード評価を考える上でも有益である。

2.3 岩盤崩壊に関する調査・研究事例

岩盤崩壊の事例については、土木学会の過去の委員会でも国内外の事例が一覧として整理され³⁾、岩盤斜面の崩壊や対策の事例について動画も交えたCD-ROM版書籍としてまとめられている⁴⁾。また、崩壊が大規模で復旧に時間を要したり人的被害があるなど社会的な影響が大きな場合には、学会による調査団や事故調査委員会、対策検討会などが設けられるとともに^{1), 2), 5), 6), 7)}、崩壊原因の解明やその後の対策方針、計測技術などについて様々な検討がなされてきている^{8), 9), 10), 11), 12)}。

豊浜(1996)⁵⁾、白糸(1997)⁶⁾と、立て続けに大規模な岩盤崩壊が発生した北海道においては、北海道日本海沿岸における大規模岩盤崩落検討委員会によって、同地域の急崖の地形・地質特性と大規模岩盤崩落の特性について地球科学的マクロな視点による調査・検討結果がまとめられている¹⁰⁾。その中では、発生事例の少ない規模100m³以上の岩盤崩壊に対し、既往文献や災害履歴資料の収集の他に、空中写真やヘリコプターを用いた崩壊跡の抽出や現地調査を行い、崩壊の規模や形態などの崩壊諸元の推定を試みている。岩盤斜面として管理され始めて以降の発生件数自体がそもそも少ない上、岩盤崩壊の特性を分析するに十分な情報量を備えた崩壊履歴の蓄積システムが確立していない岩盤崩壊の分野においては、崩壊跡を調査し崩壊事例データを補うことが重要であり、かつ必要であると思われる。また崩壊跡調査は、想定外の位置や規模、メカニズムで岩盤崩壊が発生した場合においても、その原因解明、または周辺地域における同様の機構による崩壊可能性箇所の抽出を行うことで、再発防止の面でも有効な手段となりうる。

現在は過去の積み重ねの上にあり、また未来は過去から現在に続く延長線上にあると考え、崩壊や浸食が繰り返されて形成された現在の斜面形状を調査・解析し、過去の崩壊形態および素因を明らかにすることで、はじめて次に起こるかもしれない将来の崩壊について推測し備えることが可能となる。同様の考えの基、えりも町斜面崩壊(2004)¹⁾を受けて実施された研究では、北海道襟裳岬周辺の崩壊履歴や現在の斜面形状と素因との関係について調査し、崩壊特性等がとりまとめられている¹³⁾。

また、崩壊危険岩体の特定については、履歴分析によっていずれ崩壊が発生するであろう危険な一連の区間を絞り込むことが出来たとしても、ごく近い未来に実際に崩壊する岩体までを正確に特定することは極めて困難であると考えられる。岩盤計測の実施事例¹²⁾においても、数年と限られたモニタリング期間内で崩壊（あるいは不安定化）した例は少なく、計器をつけた近傍や想定していた崩壊範囲から多少外れて崩壊するなど、危険箇所の

詳細な位置特定の困難さを示す報告もある。

その根源的な理由として、人工材料からなる他の土木構造物と異なり、岩盤斜面が不均質性（バラツキ）を伴った自然材料によって構成されており、さらにはその内部の状況を正確にかつ限無く把握することは極めて難しいことから容易に想像がつく。その他、崩壊が発生するまでの時間スケールの違いも要因の一つと考えられる。岩盤崩壊が発生する頻度は、数年から数十年、あるいはもっとそれ以上ということもありえるのに対し、人間が岩盤斜面の管理や監視を始めてせいぜい数十年程度しか経っておらず、岩盤崩壊の発生現象を計測器やビデオ動画でつぶさに捉えられた事例は稀有と言ってよいくらいであり、モニタリング箇所の選定に関しては、崩壊発生情報の収集とともに、これからの課題であると言える。

崩壊履歴情報を最大限に活用するためには、より多くの項目からなる詳細な情報が、また、傾向や特徴の違いが分析出来る程の十分な件数の崩壊情報の蓄積が必要となる。しかしながら、現在系統的に整理されている災害履歴情報というのは限られているのが現状ではあるが、過去に実際に崩壊した例は数多く存在し、前述の崩壊跡調査事例¹⁰⁾の様に現在の斜面に残された「崩壊跡」を詳しく調査することは、崩壊履歴情報の件数充足という面からも極めて有意義であると考えられる。

現在、保全対象と考えられる岩盤斜面としては、自然斜面では道路斜面、鉄道斜面、治山・砂防斜面などが、人工斜面ではダムや鉱山などの掘削斜面や地下空洞などが、挙げられる。そのうち箇所数が多く管理の情報も充実している道路斜面を例にとると、道路防災点検という形で数年に一度（H18、H8、H2…）安定度調査が実施され、その結果に基づき要注意な斜面については毎年カルテ点検が実施されている。崩壊履歴に関しては、直轄国道にて通行規制が発生した災害についてはデータベース化されており、災害特性についても分析がなされている。その詳細については次節2.4にて後述する。道路における災害とは、一般に通行規制を伴うものを指し示す場合が多く、通行規制に至るか否かは、防災対策工のレベルに大きく依存している。対策工の影響範囲内に収まり通行規制に至らない場合や、事前に不安定化が予見され原因が対策・除去された場合もあり、通行規制状況が必ずしも崩壊発生状況を表している訳ではない。岩盤斜面のリスクではなくハザードを評価するために岩盤斜面の崩壊特性分析を行うのであれば、「災害」だけではなく「崩壊」履歴についての調査分析も必要であると考えられる。ただ、被災規模に依らない崩壊履歴の情報となると更に数が絞られてくるが、既に廃道となった道路斜面における調査・研究も一部の限られた範囲ではあるが始められているところである¹⁴⁾。

2.4 国道斜面災害DBについて

岩盤斜面崩壊に限らず、直轄国道で通行規制を伴う災害が発生した場合には、災害発生箇所を管轄する地方整備局等から国土交通本省へ災害報告が行われる。災害報告の資料は緊急的に作成されたものではあるが、発生日時、誘因、崩壊形態、規模、場合により地形・地質の概略などが記載されることから、重要な災害履歴情報である。しかしながら、現状ではこれらの災害報告の情報は必ずしも系統的に蓄積されているわけではない。また、災害報告では後に詳細調査が行われた場合であってもそれらの情報は追記されるわけではない。これらの災害報告や詳細調査の情報を系統的に蓄積しデータベース化することができれば、各地域で発生しやすい災害の形態、規模、地形・地質的特徴などを調査する上で有益である。

災害情報のデータベース化の例として、矢島ほか¹⁵⁾が直轄国道の斜面災害約15年間分についてデータベース化し統計的な分析を行った事例がある。ただしこの事例で構築したデータベースは災害報告をもとにしているため詳細な情報は含まれていない。したがって、このデータベースでは災害のマクロ的な特徴は把握できるが、現場の防災事業への活用の面からは各災害について形態、規模、地形・地質的特徴などの詳細情報も含めて蓄積・データベース化していく必要がある。また、本シンポジウムの主題である岩盤斜面崩壊のハザード評価の上からも、崩壊シナリオの想定のために各災害についての詳細な情報の蓄積が必要である。

以上の背景をもとに、直轄国道においては、平成20年度から発生する斜面災害について、各災害の詳細な情報を含めて一定の様式による災害事例の収集・蓄積・データベース化を開始したところである。収集する情報は、概ね通行止めが発生する程度以上の規模の道路斜面災害（道路防災点検の災害種別のうち斜面の変動・崩壊によるもの）について、発生日時、位置、地形、地質、崩壊形態、規模（高さ、長さ、幅、深さ、勾配、土量）、被災状況（人的・物的被害、対策工被害）、誘因、降雨等の状況、既往対策工、既往点検結果（道路防災点検、カルテ点検）、既往災害、災害後対策工（応急、恒久）、専門技術者による防災上の所見（崩壊機構、対策工の効果、災害防除のための留意点等）などであり、それらの状況がわかる図面・写真を添付することとしている。これらは道路防災行政への活用を目的とするものであって岩盤斜面のハザード評価に特化したものではないが、岩盤斜面崩壊のシナリオ想定観点からは、崩壊形態、規模、原因のパターンとその発生頻度を明らかにする上で有益な情報である。

2.5 まとめ

岩盤斜面崩壊に限ったことではないが、その地域で発生する崩壊の形態、規模、原因のパターンとその発生頻度を明らかにし、災害発生シナリオを想定することは斜面災害のハザード評価を的確に行う上で重要である。崩壊履歴はそのための基本情報であり、これを系統的に蓄積し、活用していくことが必要である。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 日本地質学会・日本応用地質学会関西支部合同調査団；奈良県国道169号法面崩壊調査報告，2007.
- 3) 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.
- 4) 土木学会；岩盤崩壊の考え方，土木学会，2004.
- 5) 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.
- 6) 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.
- 7) 一般国道333号北陽土や崩落調査委員会；一般国道333号北陽土や崩落調査報告書，2002.
- 8) 土木学会；岩盤斜面の安定解析と計測，土木学会，1994.
- 9) 土木学会；岩盤斜面の調査と対策，土木学会，1999.
- 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.
- 11) 地盤工学会北海道支部；岩盤崩壊の発生機構と計測技術，2000.
- 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報告書，2006.
- 13) 日外勝仁，伊東佳彦，日下部祐基，岡崎健治；地質的観点から見た黄金道路急崖の崩壊特性と斜面点検時の着目点，寒地土木研究所月報 No.664，pp.17-27，2008.
- 14) 日外勝仁，伊東佳彦；旧道道路斜面における変状発生状況について，日本応用地質学会平成20年度研究発表会講演論文集，pp.131-132，2008.
- 15) 矢島良紀，佐々木靖人，倉橋稔幸；国道斜面災害データベースを用いた災害特性分析，応用地質，Vol. 48，No. 6，pp.304-311，2008.

3. 岩盤斜面崩壊の調査と計測

木戸 研太郎^{1*}・長谷川 淳²

^{1*}(独)水資源機構 総合技術センター(〒330-6008 さいたま市中央区新都心11-2)

²(財)鉄道総合技術研究所 防災技術研究部 地質(〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38)

3.1 調査・計測とハザード評価の流れ

岩盤斜面崩壊のハザード抽出と影響評価において、斜面の調査、計測は、①崩壊の可能性の高い箇所の特定、および②特定された箇所のハザード解析のために必要な情報の収集を主な目的として進められる。

逆にいえば、広域な概略調査から進めていく中で、ハザード評価の候補と考えられる箇所が浮かび上がってきて、引き続き調査や計測の精度を上げつつ、場合により解析とのフィードバックを繰り返すことにより、ハザードの対象箇所が絞り込まれていく、という手順であると考えられる。

調査の進捗とハザード評価との関係について、著者らは、おおまかに図-3.1に示すような流れで整理できるのではないかと考えている。

図-3.1の考え方の主なポイントは次のとおりである。

- ・ 調査の段階を大きく「概略調査」と「詳細調査」に分けて考える¹⁾。
- ・ 概略調査を進める過程において、ハザード候補地の一次評価を行い、何らかの「対応」をとるべき斜面を抽出する。
- ・ 一次抽出された斜面においてとるべき対応は、当該斜面の自然条件およびその属するプロジェクト分野（道路、鉄道、ダムなど）の特性やニーズをふまえて決定される。
- ・ 詳細検討段階では、上記の対応方針に沿って、適切な調査・計測が進められる。またこの段階においては、必要に応じ解析による予測も行われ、これらが密に連携して検討が進められる。

このような流れで、斜面におけるハザードの特定・評価が進められると考えられる。

なお、「ハザード」の定義や、評価対象とすべき斜面・岩体の規模や危険度（崩壊確率）の解釈は、必ずしも確立されていないと思われる。本稿ではハザード評価の概念を広義に捉え、ある程度絞り込まれた危険斜面

における「ハザードの特定」に範囲を限定せず、より初期段階からのハザード対象候補の抽出における概略調査から視野に入れて考察している。

3.2 分野ごとの考え方の例

岩盤斜面の安定が検討対象となりうる土木プロジェクトは、道路、鉄道、ダムなど多岐にわたる。そのため、ハザード評価のための調査、計測の具体的な進め方は、斜面の特性とプロジェクト分野ごとの特性やニーズ等によって様々に変化する。

以下に、岩盤斜面を取り扱う代表的な分野として、道路、鉄道、ダムにおける事例を簡単に示す。一般にはハザードという語は道路斜面の分野で馴染みが深いが、上述のような考え方により、それ以外の分野についても比較参考の意味も含め紹介するものである。

(1) 道路、鉄道の場合

長大な線状構造物である道路や鉄道の沿線には、様々な規模の岩盤斜面が無数に存在することから、これらを維持管理するためにはハザードを適切に抽出し評価することが必要となる。道路や鉄道においては、ハザードの抽出法や評価法として経験的手法が用いられることが多い。これは、本手法が目視による観察や簡易な計測などを主体とし、多数の斜面を迅速に評価できるためである。本手法に基づく斜面の評価基準として、道路では落石対策便覧²⁾をはじめ、道路防災点検の手引き³⁾や防災カルテ作成・運用要領⁴⁾等が、また鉄道では落石対策技術マニュアル⁵⁾等が策定され、これらをもとに定期的な点検計測や、その結果に基づく対策が実施されている。いずれの分野においても、調査対象斜面の選定から対策に至るまでの流れは類似しており、概略的には以下のようにまとめられる。

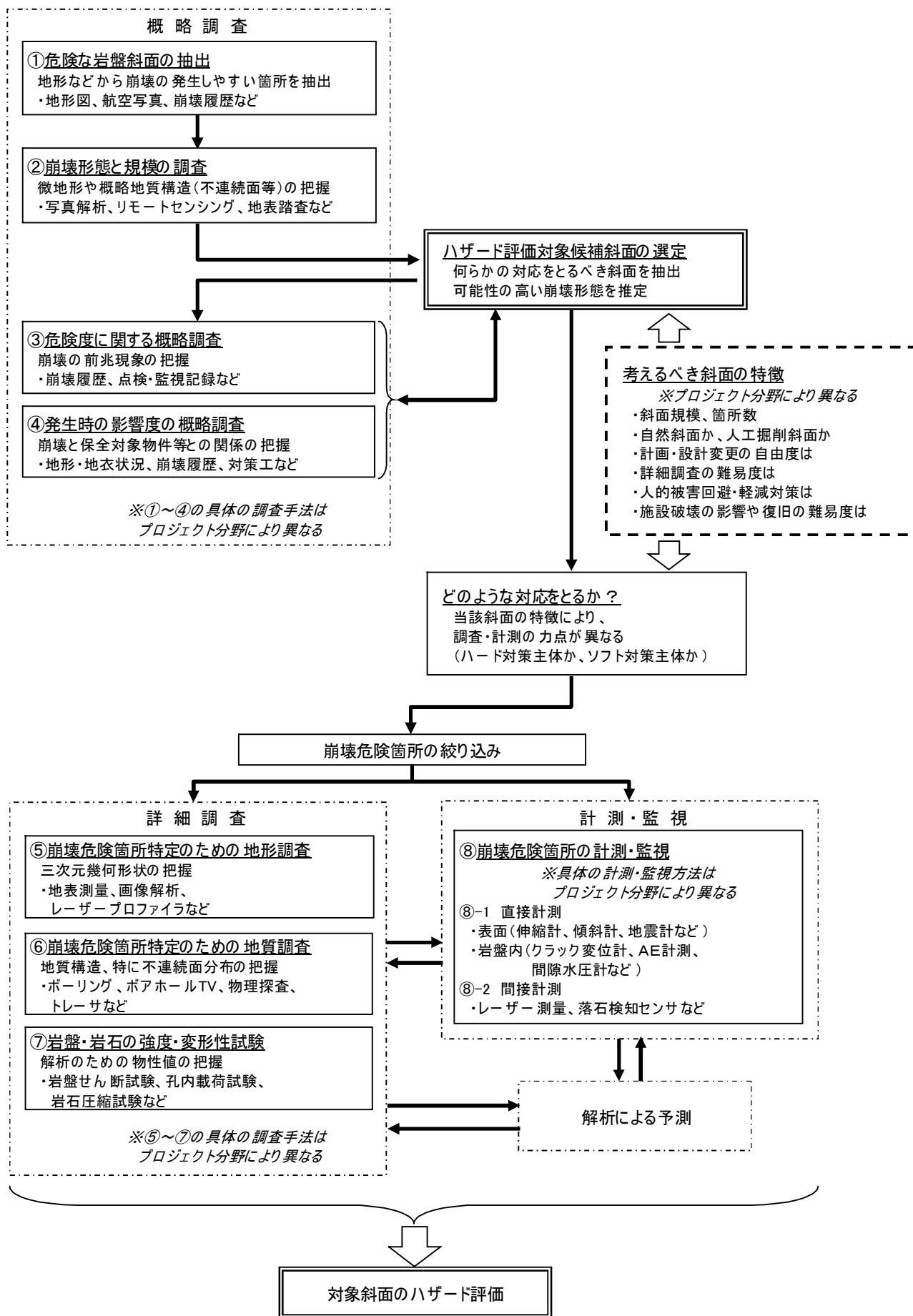


図-3.1 調査・計測とハザード評価の流れ(試案)

①調査対象斜面の選定

災害履歴などの資料調査による 調査対象斜面の絞り込み

②概略調査

資料調査，空中写真判読，現地踏査による 詳細調査や対策が必要な箇所の抽出

③詳細調査

詳細現地踏査や計測などによるハザードの特定・評価

④対策工の選定および施工，または定期的な監視

③のハザード評価に基づき，対策の方針などを策定する

一方，道路と鉄道の相違点としては，以下の項目等が挙げられる．

- ・道路は不特定多数の利用者（自動車等）が利用するのに対し，鉄道は利用者（列車）の運行が管理されている．
- ・災害発生時等の異常時には，道路は通行規制や迂回路設定等柔軟な対応が可能であるが，鉄道は対応が困難である．
- ・道路は沿線斜面へのアプローチや資材搬入が容易であるが，鉄道は付近に道路がなければアプローチに労力を要することがある．
- ・沿線斜面に所有する用地の広さは，道路が著しく狭小なの 비해，鉄道は鉄道林として広範な用地を有する場合がある．
- ・一般に，切土のり面の規模は鉄道よりも道路の方が大規模となる場合が多い．

このような背景から，詳細調査から対策に至る段階では，分野ごとに異なる手法が採られることがある．

道路の場合，通行規制の導入やルートの変更が可能であることや，斜面へのアプローチが比較的容易であるという利点を生かし，ハザードの評価を行う際，経験的手法の他に，定量的な調査手法として物理探査やボーリング調査，岩石試験等を実施する場合がある．例えば，伸縮計や傾斜計，AE，写真測量などによるハザードのモニタリングに関する検討が行われている^{6, 7, 8}など）．

また鉄道では，付近に道路がない場合，対象とする斜面へのアプローチに労力を要する場合が多く，定量的な評価手法を実施する際に必要な機材を搬入することが容易ではないなどの理由から，多くの場合，経験的手法によりハザードの特定や評価が行われる．また，ハード対策が困難な大規模岩盤斜面については，列車の運行が管理されているという特性を生かし，落石検知装置を導入する場合がある．

(2) ダムの場合

ダム，鉱山，発電施設等の建設においては，道路や鉄道等のいわゆる線状構造物における場合よりも，掘削高さおよび掘削除荷量の点で大規模な岩盤掘削斜面が形成され，自然状態では安定であった斜面の不安定化が問題となる場合がある．このような場合は，斜面表層の岩体の安定のみならず地山深部の応力変化の影響も考慮する必要がある．

これらの斜面は，数の上では道路や鉄道のハザード対象斜面よりはるかに少ない．一方，このような斜面で崩壊が生じた場合，崩壊規模は大規模となりがちで，また施設損壊規模や復旧の難易度の点で道路や鉄道の場合よりも深刻な事態となる場合もある．

したがって，ハザード対策としては，限定された斜面を対象に崩壊そのものを防ぐハード対策が主となる．すなわち，たとえば落石の検知と被害回避というような崩壊発生を想定したハザードという概念はあまりなく，前項のようなマニュアル等も整備されていない．また，アンカー工などの斜面安定対策工の管理や万一の危機管理対応の手順なども，個別現場ごとに考えられているのが現状である．

そのかわり，崩壊を未然に防ぐために，個別現場ごとに，工事着手前の設計段階において集中的な調査，解析と崩壊防止のための対策工検討が入念になされる．また工事着手後は，斜面の規模や安定性に応じ，光波測距等による表面変位計測を主としたモニタリングと，そのリアルタイムの評価（逆解析を実施する場合もある．）により，斜面挙動が想定される範囲内にあるかどうか常にチェックしながら工事が進められる．このような一連の取り組みは，マニュアル化等はされていないものの各現場での進め方には共通性があり，広い意味ではハザード評価といえるものと思われる．

その事例として，表面および地山内の三次元変位計測により大規模変状を未然に抑えたダムサイト掘削斜面の例を紹介する⁹⁾．

この斜面の地質構成は，横坑や多数のボーリングによる地質調査結果により，砂岩，輝緑凝灰岩，粘板岩が分布し，構造はおおむね差し目方向（30～40°）であることがわかっている．硬岩斜面で流れ目方向の弱層等はなく，設計段階では大規模なすべり破壊等は発生しないと考えられた．

掘削は，光波測量および複数の三次元孔内傾斜計により地山の三次元変形挙動をモニタリングしながら進められた．しかしながら，掘削高さ（鉛直高さ）が60m付近を過ぎる頃から，法尻標高付近において，法枠および作業坑壁面のクラックや孔内傾斜計における局所的せん断変形などの変状がみられた．

直ちに、変形計測結果にもとづく変位挙動メカニズムの検討が行われた。その結果、掘削に伴う応力解放と岩盤のゆるみが誘因となり、差し目岩盤の倒れ込みが進行し、断層および低角度の亀裂や節理等に規制されたせん断が発生し、せん断面が連続してすべり面を形成する過程にあったものと推定された。また、このような変位挙動は、二次元有限要素法および二次元個別要素法による再現解析結果とも調和的であった。

掘削は一時中断され、アンカー工により変状進行を抑制するとともに、計測計器の追加および監視体制の強化が行われた。その後慎重にモニタリングしながら掘削が再開され、無事河床までの掘削が完了し、所定のダム基礎岩盤が確保された。

3.3 まとめ

ハザード評価において、具体的に調査・計測をどのように位置づけるかは、現在本小委員会で議論を進めているところであり、図-3.1にその試案を示した。引き続き、ハザード評価の観点からみた調査・計測の進め方を整理し、段階に応じた調査の範囲、項目、方法、精度等についてとりまとめる予定である。

ただし、岩盤斜面の場合、地表の情報により不安定岩体として抽出される箇所（および逆に抽出されない箇所）が想定されても、それらの岩体内部の地質構造や不連続面分布を精度よく知ることは限度がある。

したがって、危険度の高い岩体を特定し集中的に調査・計測監視することは当然重要であるが、その岩体以外の周辺箇所についても、一連の調査の過程で得られた情報を棄却せず、なるべく広く計測の「網」をかけておくという考え方が重要と思われる。

参考文献

- 1)土木学会：岩盤崩壊の考え方，第4章岩盤斜面の調査方法，2004.
- 2)日本道路協会：落石対策便覧，442p，2000.
- 3)道路保全技術センター：道路防災点検の手引き（豪雨・豪雪等），179p，2007.
- 4)道路保全技術センター：防災カルテ作成・運用要領，208p，1996.
- 5)鉄道総合技術研究所：落石対策技術マニュアル，154p，1999.
- 6)浅井健一，小山内信智：岩盤斜面モニタリング手法，土木技術資料，Vol.45，No.9，pp.30-35，2003.
- 7)門間敬一，小野田敏，落合達也，荒井健一，綱木亮介，浅井健一：岩盤崩壊モニタリング箇所での転倒崩壊に至るまでの変位挙動の計測例，地すべり，Vol.39，No.1，pp.62-69，2002.

8)日外勝仁，伊東佳彦，伊藤憲章：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.658，pp.38-44，2008.

9)地盤工学会：地盤工学・実務シリーズ16，岩盤構造物の情報化設計施工，第I編第3章斜面における情報化設計施工，2003.

4. 岩盤斜面崩壊の影響評価の現状と問題点

三木 茂^{1*}・進士 正人²・西村 強³・小山 倫史⁴・大西 有三⁵
川北 稔⁶・中村 真⁷・蓮井 昭則⁸・馬 貴臣⁹・山田 文孝¹⁰

^{1*} 基礎地盤コンサルタンツ株式会社(〒136-8577 東京都江東区亀戸1-5-7)

² 山口大学大学院教授 理工学研究科(〒755-8611 山口県宇部市常盤2-16-1)

³ 鳥取大学大学院准教授 工学研究科(〒680-8522 鳥取市湖山町4-101)

⁴ 京都大学大学院助教 工学研究科(〒615-8540 京都市西京区京都大学桂クラスターC1)

⁵ 京都大学大学院教授(〒606-8501 京都市左京区吉田本町)

⁶ 株式会社ドーコン(〒004-8585 札幌市厚別区厚別中央1条5-4-1)

⁷ 株式会社ニュージェック(〒531-0074 大阪市北区本庄東2-3-20)

⁸ 株式会社間組(〒305-0822 つくば市荻間字西向515-1)

⁹ 岐阜大学 工学部社会基盤工学科(〒501-1193 岐阜市柳戸1-1)

¹⁰ 三井住友建設株式会社(〒164-0011 東京都中野区中央1-38-1)

4.1 はじめに

毎年のように斜面崩壊による被災が報告されており、斜面災害を予測、軽減することが急務となっている。多くの研究機関、行政機関および実務技術者が斜面崩壊の予測に取り組んでいるが、とりわけ岩盤斜面における崩壊が、いつ(どの程度の頻度で)、どこで、どの程度の規模で発生するかを予測することは不可能に近い。しかし、斜面崩壊の発生予測が不可能であっても、住民の生活や財産、生活に必要な施設を効率的に保全するためには、あるいは被害を最小限に抑え早期の復旧を行うためには、崩壊が発生した場合、想定される被害を把握しておくことが重要である。

斜面崩壊を予測する取組みとして、現場調査、斜面の挙動の計測、数値解析によるシミュレーションなどが行われている。しかし、不連続面の存在が支配的となる岩盤斜面においては、数値解析手法を利用して斜面中の危険箇所を抽出し崩壊範囲を予測することは困難を極めている。一方、崩壊範囲が想定できれば、数値解析手法を用いて、崩壊様式や崩壊により落下する岩塊の運動や移動範囲を予測できる可能性が明らかになってきた。

影響評価とは、斜面中に想定された危険箇所が崩壊した場合、落下岩塊の運動や移動範囲を予測することであり、崩壊が発生した場合、保全対象への直接的、間接的被害やリスクを評価するための資料を供するものである。

岩盤斜面ハザード評価委員会影響評価ワーキンググループでは、影響評価の手法、影響評価事例の整理を行ってきた。本文は、影響評価の現状と課題を報告するものである。なお、本ワーキンググループでは、影響評価の対象を岩盤斜面の落石および崩落とし、表層崩壊、地すべり(狭義)および土石流は

対象外とした。

4.2 影響評価の方法

影響評価は古くから試みられている¹⁾。影響評価の手法は、大きく経験的手法と数値解析的手法に区分することができる。また、それぞれの手法について崩壊形態から落石と岩盤崩落に区分することができる。表-4.1は、影響評価手法を整理したものである。ここで、落石とは崩落した岩塊が1個、2個などと個数で表すことができる崩壊形態を、岩盤崩落とは崩落した岩塊や土砂が何 m^3 と体積で表わされる崩壊形態を示すものとする。

岩盤崩落における経験的手法は、崩壊事例を統計的に整理し、斜面高さや斜面端部からの斜面上端部の見通し仰角といった基本的な数値から、崩壊岩塊の到達範囲や飛散幅を推定するものである²⁾。落石における経験的手法は、落石対策便覧³⁾に示されている評価式で代表されるものであり、落石実験から求められたものである。

数値解析手法は、何らかの力学的な原理に基づいた解析手法であり、質点系解析、連続体解析、不連続体解析がある。落石では、岩塊の落下や跳躍といった現象を解析するため、質点系解析⁴⁾や不連続体解析が用いられている。一方、岩盤崩落では、複数の岩塊の移動、落下、衝突などの現象を解析する必要があることから、不連続体解析の適用が多い。不連続体解析の代表的な解析手法としては、個別要素法(DEM)⁵⁾、不連続変形法(DDA)⁶⁾などがあげられる。

経験的手法は、簡単な調査や地形図の読み取りなどで実施できることから、簡易な評価手法として詳細な検討を行う斜面を抽出するためのスクリーニン

表-4.1 代表的な影響評価手法

対象	区分		解析手法	入力パラメータ	評価項目
落石	経験的手法		落石対策便覧式	斜面高さ，斜面傾斜角，斜面区分	速度，跳躍高さ(=2m)
	数値解析手法	質点系解析	ROCKFALLなど	斜面形状，法線方向速度比，接線方向速度比など	速度，跳躍高さ，軌跡(3次元解析では，平面軌跡)
			DEM	斜面形状，落石形状，接触バネ剛性，減衰定数など	速度，跳躍高さ，軌跡，停止位置(3次元解析では，平面軌跡)
		不連続体解析	DDA	斜面形状，落石形状，接触バネ剛性，速度エネルギー比，変形係数，ポアッソン比，粘性係数など	
岩盤崩落	経験的手法		桑野の方法など	高さ，幅，見通し角度など	到達位置，広がり幅
	数値解析手法	不連続体解析	DEM	斜面形状，亀裂分布，接触バネ剛性，減衰定数など	速度，跳躍高さ，軌跡，到達範囲，崩土厚
			DDA	斜面形状，亀裂分布，接触バネ剛性，速度エネルギー比，変形係数，ポアッソン比，粘性係数など	

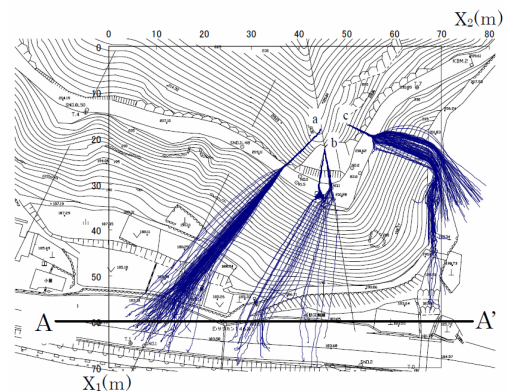
グ手段として適用できる．また，GIS技術を活用したシステムの構築が試みられている⁷⁾．数値解析手法では，斜面形状や岩塊の形状（亀裂の分布）などの幾何データと岩塊の運動を規定するパラメータを入力することから，岩塊の移動経路，速度や広がりなどを予測することが可能であり，詳細な検討に適している．

4.3 影響評価の現状と課題

(1) 影響評価解析の現状

落石においては，落石対策便覧式として経験的手法が標準的に対策工の設計などに使われている．最近では，落石対策便覧式の適用が困難な条件では，落石シミュレーションとして数値解析手法が適用されることもある⁸⁾．影響評価に際しては，現地調査などにより危険な転石あるいは浮石を特定し，経験的あるいは数値解析手法が適用される．数値解析手法では，斜面形状とともに斜面状況に合わせて法線方向速度比などのパラメータを設定しなければならない．質点系解析プログラムの一種では，斜面状況に対応したデフォルト値を入力すれば良いものもある．実際の斜面では，落石運動に影響を与える斜面の凸凹（ラフネス）や斜面状態が複雑であることから，斜面の凸凹や法線方向速度比などを変動パラメータとしてモンテカルロシミュレーションが一般的である．質点系解析および不連続性解体解析手法とも3次元化⁹⁾が行われており（図-4.1），実務に適用される場合もある．

岩盤崩落においては，岩塊や斜面の安定性を評価するために極限平衡解析法，有限要素解析（FEM）に代表される連続体解析法，不連続体解析法が用いられているが，影響評価解析では岩塊の移動や落下後の挙動などを求める必要があるため，不連続体解析が有利となる．主に用いられている解析手法はDEMとDDAである（図-4.2）．地すべりや表層斜面崩壊を対象とした経験的解析手法は，いくつか提案されている¹⁰⁾，岩盤崩落を対象とした経験的解

図-4.1 DEMによる3次元落石解析の例⁹⁾

析手法は限られており，地形，地質および地域性を考慮して使い分けするには至っていない．数値的解析法では，きめ細かな岩塊の落下状況や広がりを解析できるが，入力パラメータや亀裂分布の設定が難しいため，実用化しているとは言い難い．3次元解析については非常に少ない¹¹⁾．

(2) 影響評価解析の課題

落石における影響評価では，経験的手法を標準として数値解析手法も広く使われている．また，岩塊の落下挙動が複雑なことから，モンテカルロシミュレーションを適用し，分布として影響範囲や落下速度を求めることが行われている．しかし，落石の挙動を規定する斜面パラメータ（速度比など）の値やばらつきの設定方法については問題を残しており，落石実験結果を参考にして設定する，現地調査で確認された落石の分布状況を再現するパラメータを試行解析で設定する¹²⁾などが行われている．変動変数の設定方法や分布関数についても決まった方法はなく，パラメータ設定の不確かさをモンテカルロシミュレーションで吸収している側面がある．また，モンテカルロシミュレーションの試行解析過程において，数値処理上の不完全さに起因する不自然な解析結果（落下軌跡）が含まれてしまうことがあるが，それぞれの試行解析結果の検討がなされずに使用さ

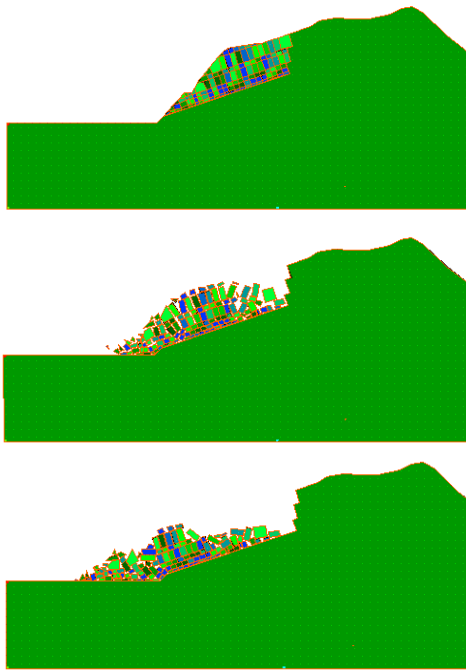


図-4.2 DDAによる地震による岩盤斜面崩落解析の例¹³⁾

れてしまう課題がある。

厳密には確率論数値解析的手法を適用しているとは言いがたいのが現状である。しかし、解析モデルの限界や解析パラメータの設定に問題はあるものの、モンテカルロシミュレーションによる落石シミュレーション結果は多くの知見、判断材料を技術者に提供している。

岩盤崩落における影響評価では、多くの課題が残されている。経験的手法では、分析に用いることのできる崩壊事例が少なく、地形、地質および地域性を加味したものとなっていないことが課題となる。数値解析手法では、多くのパラメータを設定しなければならず、その設定方法が課題となる。パラメータの中には、現場試験（例えば粘性係数など）や室内試験で決定するのが困難なものもある。また、亀裂面の強度などは、室内試験で求めることは可能であるが、特殊な試験となること、試験結果からスケール効果を考慮して解析に用いなければならないなどの課題もある。経験的に設定されているパラメータもある。

不連続体解析では、崩壊すると想定される岩塊に対して、どのようなきっかけで崩壊を発生させるかについても決まった方法はない。落石では、岩塊の初期の位置を斜面に対して不安定な状態でモデル化することや、数10cmほど自由落下するようなモデルを作成することで岩塊の落下を開始させているようである。また、岩盤崩落では、不連続面の強度を低下させることで崩壊を開始させているようである。地震による岩盤崩壊については、地震外力をモデル基盤に入力することで崩壊を開始させている¹³⁾。

落石では、落石実験や落石事例の再現解析を行うことで解析手法の適用性やパラメータ設定の方法などが検討されている。岩盤崩落では、崩壊事例の再

現を行うことで解析手法の適用性やパラメータ設定の方法などが検討されている。崩壊岩塊の到達範囲や堆積状況などについても、現地状況と比較されているが、影響評価事例は少ない。岩盤崩落ではモンテカルロシミュレーションが行われることは非常に少なく、崩壊岩塊数は少ない場合に限られているようである¹⁴⁾。

4.4 崩壊－被災シナリオ（イベントツリー）に基づいた影響評価

いくつかの課題は残しているものの、落石および岩盤崩落の影響評価は可能な段階に達しているものと考えられる。また、数値解析に要するコストも低下している。最大の課題は、どの岩塊が落石となるか、岩盤斜面のどの部分が不安定化して崩壊するかを想定することである。すなわち、地質モデルを作成することである。ここでは、この問題を克服する一手段として、崩壊－被災シナリオ（イベントツリー）に基づく影響評価について考える。

特に岩盤崩落では、調査や計測に基づき斜面上の崩壊箇所を予測することは困難である。また、技術者により判断が異なる場合があると推定される。図-4.3は、ある斜面について調査から被災想定までの過程をシナリオとして模式的に示したものである。影響評価解析は、調査で得られた地質モデル（崩壊）と被災想定を結びつける過程であり、解析モデル作成や安定評価を含む場合もありうる。調査の限界や技術者の判断差に起因する地質モデルや解析モデルの不確実性を、シナリオの分岐（イベントツリーの分岐）として扱う考え方である。影響評価は、地質モデルや解析モデルに依存した過程であることから、複数のシナリオに対して影響評価を行うことになる。

シナリオの分岐となる事象（進展キー）の設定や、分岐基準、確率を数値として与えることは困難であり課題とはなるが、崩壊－被災シナリオの順位づけ程度は可能であると考えられる。また、技術者の誤判断を是正できる期待がある。実際の作業においては、調査結果、計測結果および影響評価結果に基づき、トライアンドエラーでシナリオを構築することになり、その方法については今後の課題である。

一方、被災事例を再現解析することがしばしば行われている。その作業においては、調査結果などに基づき多数の解析がトライアンドエラーで実施され、実現象に最も合う結果が採用されている。その過程で多くの解析結果が破棄されている。この作業は、図-4.3に示したシナリオを逆にたどる作業に相当するが、破棄された解析結果はシナリオの一分岐を成していると考えられる。今まで破棄されてきた解析結果は、シナリオ分岐事象を想定する資料となることが期待できる。

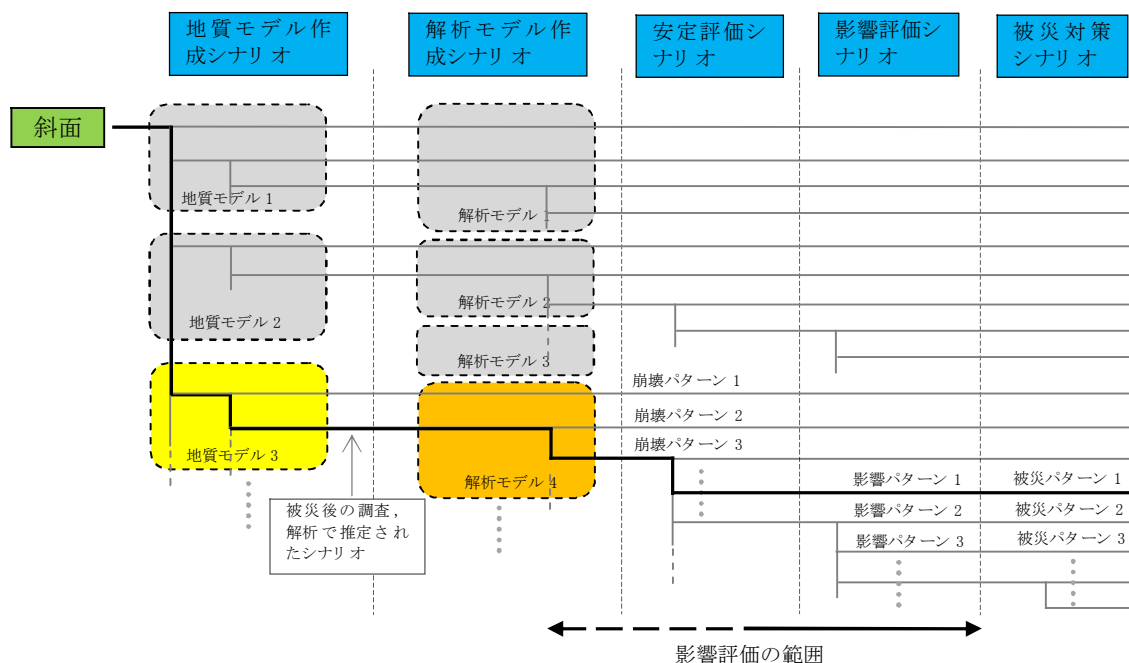


図-4.3 崩壊-被災シナリオに基づいた影響解析の位置づけ

4.5 最後に

落石と岩盤崩落を対象として、影響評価の現状と課題について述べた。経験的手法は簡単に評価を行うことができ、詳細評価を行う斜面のスクリーニングなどに利用することができる。解決すべき課題は残されているものの、数値解析手法は実用段階にあると言える。最大の課題は崩壊箇所を想定することであり、その解決策として、崩壊-被災シナリオ（イベントツリー）に基づいた影響評価の概念について述べた。複数のシナリオを想定して影響解析を行うことは、予測困難な現象に対して被害を最小限に抑え、早期の復旧を行う一手法ではないかと期待している。シナリオに基づく影響評価を試行するとともに、その有効性について検討していかなければならない。

参考文献

- 1) 例えば、中村太士，新谷融：土砂堆積形状と堆積空間，新砂防，vol.35，No.3，1983。
- 2) 例えば、桑野健，佐々木靖人，脇坂安彦：多変量解析による岩盤崩壊物質の到達範囲の検討，応用地質，Vol.45，No.1，pp.31-41，2004。
- 3) 日本道路協会：落石対策便覧，丸善，422p，2000。
- 4) Spang, R. M.: Optimized rockfall protection by 'ROCKFALL', *Proceeding of the 8th ISRM Congress(Tokyo)*, Balkema, pp.1233-1242, 1995。
- 5) 例えば、倉岡千朗：DEM（個別要素法）による落石運動の数値解析，ITASCA Consulting Group, INC., UDEC Version 3.0 Vol. II Appendices, 1998。

- 6) 島内哲哉，大西有三，西山哲，酒井直樹：衝突時の特性を考慮した不連続変形法の落石シミュレーションへの適用性に関する研究，土木学会論文集 C, Vol.62, No.3, pp.707-721, 2006。
- 7) 土木研究所：GISを活用した道路斜面のリスク評価に関する共同研究報告書道路斜面ハザードマップ作成要領（案），共同研究報告書第296，145p，2004。
- 8) 日本道路協会：落石対策便覧に関する参考資料-落石シミュレーション手法の調査研究資料-，丸善，422p，2002。
- 9) 例えば，西村強，橋本純成，木山英朗：3次元軌跡解析結果を用いた落石遭遇確率の算定手順，第36回岩盤力学に関するシンポジウム論文集，土木学会，pp.159-164，2007。
- 10) 例えば，森脇寛：崩土の到達距離予測，地すべり，Vol.24，No2，1987。
- 11) 例えば，島内哲哉，清水順二，中村公一，大西有三，西山哲：3D-DDAによる北浜岩盤・転倒崩落機構の検討，第35回岩盤力学に関するシンポジウム論文集，土木学会，pp.79-82，2006。
- 12) 猪股陽一，土井富雄，進士正人，馬貴臣：急崖斜面における落石調査とシミュレーション解析の一例，第33回地盤工学研究発表会，pp.295-296，1998。
- 13) 例えば，Yoshinaka, R., Sasaki, T., Sasaki, K, and S. Horikawa, S: Consideration on stability and collapse at earthquake of rock slope based on a case, *Proceeding of the 11th Congress of international Society for Rock Mechanics*, pp.1109-1112, 2007。
- 14) 大津宏康，大西有三，伊藤利和，竹山雄一郎，西山哲：岩盤崩落による社会経済的損失を考慮したリスク評価に関する研究，土木学会論文集，No.708/III-59, pp.187-198, 2002。

5. 岩盤斜面で想定される崩壊/被災シナリオの 分析によるハザード評価の提案

小俣新重郎¹・丹羽廣海²・松田浩朗³

¹ 日本工営株式会社 (〒102-8539 東京都千代田区麹町5-4)

² 株式会社フジタ (〒243-0125 神奈川県厚木市小野2025-1)

³ 飛島建設株式会社 (〒270-0222 千葉県野田市木間ヶ瀬5472)

岩盤斜面で発生する落石や崩壊の現象は、その場所Where、規模What、時期When、原因Whyや発生後の災害の形態How、その影響Whomなどの5W1Hに不確実性があるため、対象とする岩盤斜面で予想される被害をすべて決定論的には特定できない。

生活の場の安全確保や道路、鉄道、ダム等の社会資本の建設・管理においては、このような不確実性も考慮して被害を防ぐ必要がある。本稿では、斜面調査や崩壊履歴の調査によって対象とする岩盤斜面に潜在するあらゆる種類のハザードを抽出し、これらの発生にともない想定される複数の崩壊/被災シナリオをイベントツリーで整理・分析し、各シナリオにおける保全対象への影響をリスクマトリクスで評価して、減災を図る提案を行った。

なお、本稿での用語定義はISO/IEC Guide73:2002¹⁾、JIS TRQ0008:2003²⁾に準ずる。

5.1 崩壊/被災シナリオの分析とリスクマトリクスによる評価の考え方

(1) 崩壊/被災シナリオの分析

崩壊/被災シナリオの分析では、崩壊の発生源、発生形態、崩落岩塊の到達範囲などの不確実性に応じて複数のシナリオを想定する。

崩壊/被災シナリオは、災害履歴、技術者の経験、アンケート、ブレインストーミング、階層分析法 (Analytic Hierarchy Process:AHP)、KJ法、数値解析、イベントツリー (Event Tree Analysis:ETA)、フォールトツリー (Fault Tree Analysis:FTA)などをベースにした方法で不確実な将来を予測するものである。

調査の精度、計測や災害履歴の情報などに応じてシナ

リオの確からしさは異なる。調査データが十分ではない概査段階では、事象の発生条件を確定できないため可能性のある複数のシナリオを描く必要がある。一方、地形地質状況がより解明された精査に基づくシナリオは、比較的確かなものとなる。

(2) リスクマトリクスによる評価

斜面を対象としたリスクマネジメントの既往研究としては、大津ほかによる一連の研究^{3, 4, 5)}があり、リスクをハザードの発生確率とその発生による損失期待値の積として定量的に評価し、投資費用対リスク低減効果を考慮した合理的な対策工の提案が行われている。これらは確率論に基づく定量的かつ客観性に優れた手法であるため、防災投資妥当性の有力な説明指標となることが期待されているが、被害シナリオの発生確率や斜面の破壊確率などの設定において比較的精緻なデータが必要となる。

一方、本稿で検討したリスクマトリクスでの評価法は、事象の発生確率や損失期待値を定量的に把握できない場合の定性的な評価手法である。図 5.6 に示すように上記の発生確率に対して事象の発生しやすさを、また損失期待値に対して事象の影響の程度を対応させ、それぞれを定性的に階級分類しマトリクスに組み立て、相対的に予防対策の必要性を評価する (リスク評価) 試みである。

リスクの相対的な大きさを主観を交えながらもできるだけ客観性をもたせて評価する手法で、事業の優先順位付けや対策の減災効果を簡易に評価できる実用的な手法となることが期待される。ニュージーランドの事例としては、事象の発生しやすさを多年に一回から数日に一回の間で区分し、影響の大きさの評価項目を人的被害、社会的影響、環境への影響などから区分した事例がある⁶⁾。

5.2 崩壊/被災シナリオの分析によるハザード評価の流れ

ハザード評価の流れを図 5.1 に示す。

(1) どこで Where 何が What 起きるか

ハザードの抽出は、概略調査では既往崩壊資料・地形図・空中写真などの資料収集・解析，日常パトロール，崩壊履歴調査，現地調査によって，また詳細調査ではレーザー測量や画像解析などの詳細な地形調査，ボーリングや弾性波探査などの地質調査によって行い，調査結果に基づき対象斜面の地質（崩壊）モデルを作成する。ここで，ハザードの抽出や地質モデルの作成は，概査から精査へ段階を追って精度を高めていくことになる。特に岩盤斜面の掘削では，短期間に地形条件の変化やこれに対応した斜面内部の応力状態の変化が生じることから，周辺の崩壊跡地や施工時の変状の発生に応じて，地質（崩壊）モデルを速やかに検討することが求められる。

(2) 何が原因で Why どのように How 崩壊し，それによる被災範囲 Whom はどの程度か

これらを予想するには，図 5.2 に示すように，調査で得られた地質（崩壊）モデルを基に，経験的手法，数

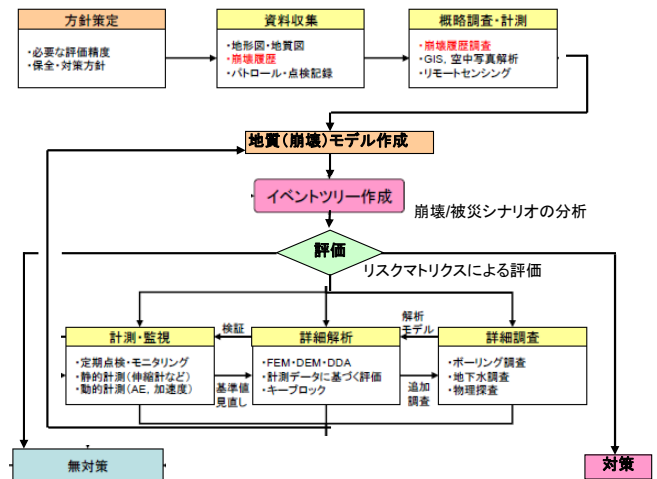


図 5.1 崩壊/被災シナリオによるハザードの評価

や数値解析の結果に基づき設定されるが，現状では被災事例のデータが少ないことから，主として数値解析を基にし，これをモデル実験で補うことも有効である。崩壊シナリオについては崩壊の形態を，また被災シナリオについては崩壊土砂が及ぶ被災範囲を想定する。

イベントツリーによる崩壊/被災シナリオを活用することにより，対象とする岩盤斜面で予想される崩壊/被災状況やその被害の大きさを想定できる。

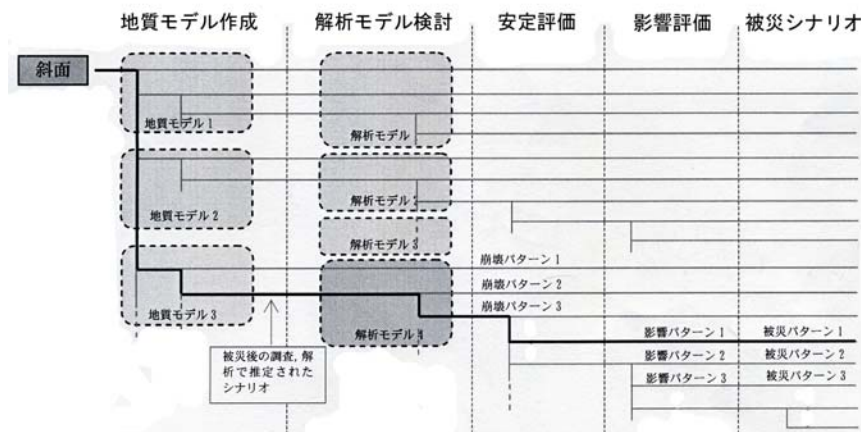


図 5.2 被災シナリオにいたるイベントツリー分析の考え方

値解析手法（質点系解析，不連続体解析，連続体解析など）で検討し，これを基に安定評価，影響評価を行い崩壊/被災シナリオを想定する手順となる。

崩壊/被災シナリオは各地質モデルから想定される多様な崩壊現象ごとに作成し，崩壊から被災にいたる流れをイベントツリーで整理する。

なお，イベントツリーの分岐条件は崩壊事例の分析

(3) リスクマトリクスによる評価

被災シナリオごとに想定された被害の大きさに被害の発生しやすさを乗じたリスクマトリクスでバザードの評価を行う。被害の発生しやすさはいつ When 崩壊するかということである。岩盤斜面では降雨・融雪，末端部の崩壊，地震などのほか，明確な原因がなくとも風化の進行などで崩壊することがあり，その発生時期の特定は困難なことが多いが，対象斜面の変状の程

度や地質（崩壊）モデルに応じた計測・監視により、概ね3～5段階程度に定性的に区分するとよい。

(4) ハザード評価後の対応

ハザードの評価に応じて、対策、より詳細な調査（計測監視、詳細調査、詳細解析）など、減災に繋がる効果的な対応をとることが可能になる。また、崩壊しても被災しない場合もあることから無対策の選択肢をとることもできる。

5.3 イベントツリーによる崩壊シナリオとリスクマトリクスによる影響評価の例

北海道の岩盤斜面（図 53）を例に、イベントツリーによる崩壊シナリオを複数想定し（図 54）、これに基づいて対象岩盤斜面で予想される被害とその発生しやすさをリスクマトリクスで評価した（図 55）。なお、対象区間の道路には、落石や小規模崩壊も防止できる落石覆工が施工されている。

(1)着目岩体「その 1」は法枠工が施工されており、切土のり肩からのトップリング崩壊、表層すべり（崩壊深さ1～3m 程度）、遷急線上方からの落石などが崩壊シナリオとして予想されるが、前 2 者は発生しやすさが小さ

く、後者は発生しやすさは大きいものの被害が小さいことから、いずれも評価は小～極小となる。

(2)着目岩体「その 2」は待ち受け式ネットが施工されており、対象岩体全体を巻き込むトップリング崩壊が起きた場合は評価が中となるが、ネットを破損する表層すべり崩壊、ネット脇からの小崩落、遷急線上方・ネット脇からの落石などはいずれも評価は小～極小となる。

(3)着目岩体「その 3」は無対策の斜面であり、遷急線上方からの落石の評価は極小であるが、そのほかの表層すべり崩壊やくさび崩壊は評価が中、全体を巻き込むトップリング崩壊は評価が大となる。

(4)その他の地区では、沢部からの落石崩落が比較的頻繁に予想されるが、被害が小さいことから、評価は極小となる。

(5)評価後の対応として、対象岩体「その 3」のシナリオ 3-1（全体を巻き込むトップリング崩壊）については、より詳細な調査を行い、地質モデルを見直し崩壊シナリオを再構築したうえで再評価することが求められる。

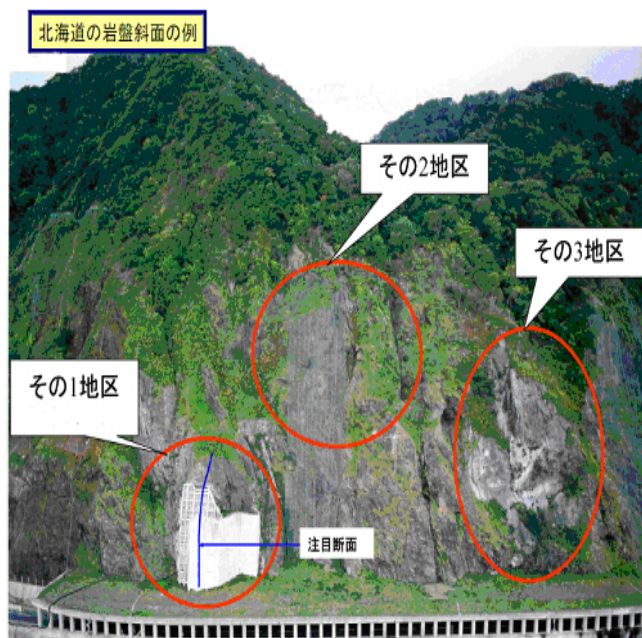


図53 北海道の岩盤斜面におけるハザード抽出の例

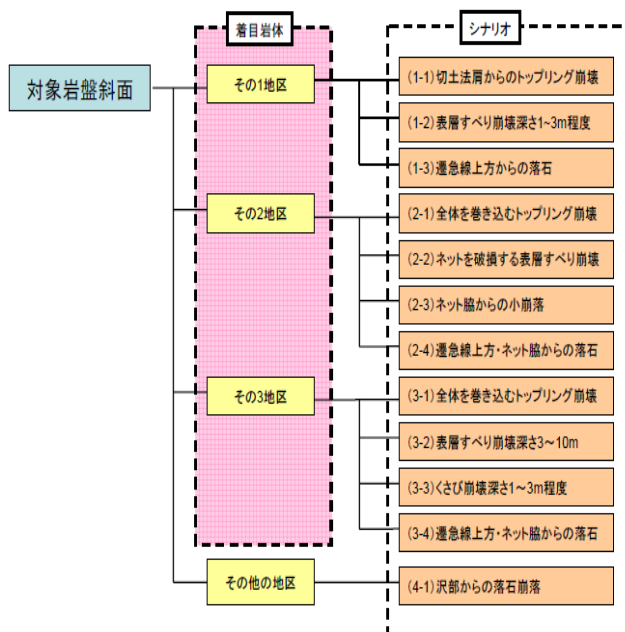


図54 北海道の岩盤斜面で想定される崩壊シナリオ

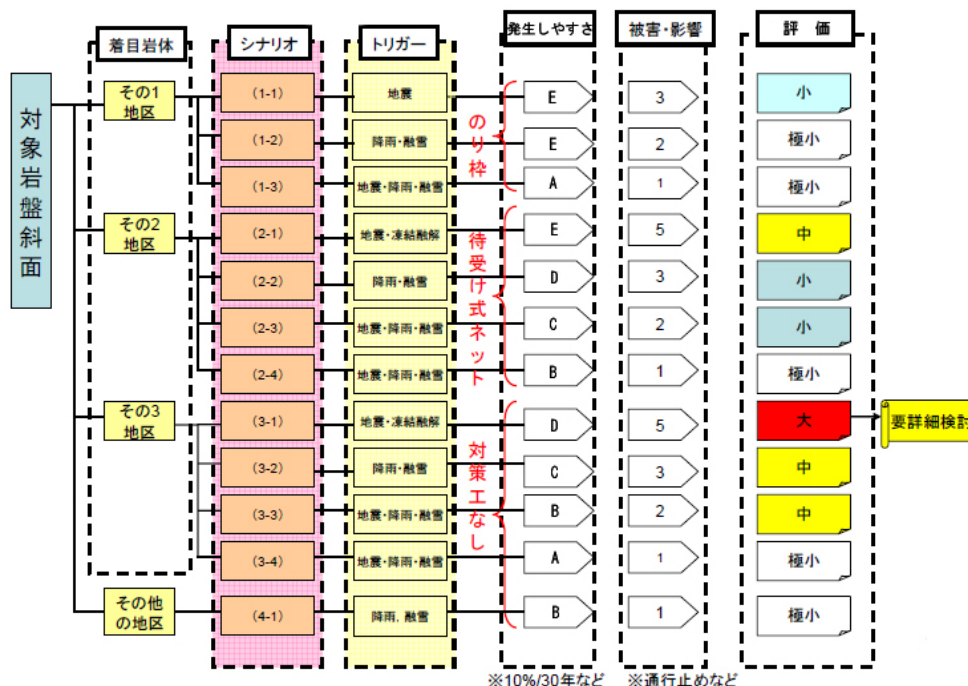


図 5.5 北海道の岩盤斜面におけるリスクマトリクスによるハザードの評価例

図 5.5 における評価は、「被害・影響の大きさ」とこれらの「発生しやすさ」とを、図 5.6 のようにマトリクスで組み、「極小」から「大」の四段階に区分したものである。

		発生しやすさ				
		小				大
被害・影響	小	E	D	C	B	A
	1		極小			
	2					
	3		小	中		
	4					
大	5					大

図 5.6 リスクマトリクスによる評価の区分

5.4 PDCA サイクルによる継続的な減災

地質（崩壊）モデルの想定からイベントツリーとリスクマトリクスによるハザードの評価までの一連の対応を、PDCA サイクルで定期的、不定期的に行うことにより、岩盤斜面における減災が期待される。すなわち、ハザード評価に基づき対策やより詳細な調査が実施されて地質（崩壊）モデルが見直された場合には、崩壊/被災シナリオを再構築してこれに応じたハザードの再評価を実施し、継続的に減災を図っていくことが効果的である。

(1) 調査の進捗に応じた崩壊/被災シナリオ

岩盤斜面では急峻な地形状況により直接調査や計測が困難であることが多く、当初から地形や地質等の精度の高い調査データの入手やこれらに基づく詳

細な解析が行われることは稀である。

したがって、崩壊/被災シナリオの想定とこれに対するリスクマネジメントは調査の進捗に応じて繰り返し行うことがよい。すなわち、当初は近傍での被災履歴や同様の地形地質条件での被災事例などを参考に、対象斜面で可能性のあるすべてのシナリオを描き、リスクマトリクスで各シナリオをリスク評価し、その対応をリスクマネジメントで進める。その後、必要な点検や精査を行ってイベントツリーの分岐における地形や地質状況の条件を確定してシナリオを絞り込み、リスクマネジメントを繰り返すいわゆるPDCAサイクルでの対応が効果的な減災対応と考えられる。

(2) 崩壊/被災シナリオによるリスクマネジメント

岩盤斜面の減災を図るリスクマネジメントでは、該当斜面のリスク対応後の新しいシナリオが、リスクマトリクスの評価としてより低いリスク領域に再プロットされることを目的としている。

例えば道路に被害が予想されるシナリオに対するリスクマネジメントでは、対策の実施、岩盤崩壊を予測するための計測や頻繁な道路パトロールなどによる監視体制の確立、応急対策の実施により、道路への減災を図るなどのリスクの低減措置が検討される。また、計測や監視の結果によっては、迅速な通行規制等を検討する必要も生じてくる。

岩盤斜面に本提案のリスクマネジメントを導入した場合の利点としては、どのような崩壊形態に対応したシナリオについてもリスクの可能性があると認識し、リスクを低減する効果的な対応、すなわち次段階での対策あるいは詳細な点検・調査といった選択ができることである。

5.5 岩盤斜面のリスクマネジメントにおける課題

今後、リスクマトリクスを用いたリスクマネジメント手法を実用化するためには、以下の課題が考えられる。

1) 分析対象斜面の的確な設定

通常は岩盤崩壊の発生箇所が不明の段階からリスクマネジメント手法を導入することになるので、災害が予想される箇所を網羅的に示したハザードマップの整備が必要である。これを基に分析対象斜面を的確に設定することになる。

2) 客観性のある崩壊/被災シナリオの構築

崩壊/被災シナリオによりハザードを定性的に評価する本提案の手法は、自由度があり実用性が期待されるが、その信頼性を担保するには客観性のあるシナリオの構築が前提となる。岩盤斜面の安定は局所的な性質に支配される傾向が強いうえに、岩盤の内部を正確に把握するための調査の限界もあって、現状ではシナリオを想定するための地形、地質などのパラメータを的確に把握することが困難なことが多い。このため災害履歴や数値解析・室内実験の事例などを参考に分析対象斜面の崩壊/被災シナリオを構築することになる。特に、イベントツリーの分岐における条件を絞り込む際には、経験的、主観的になりやすいので注意を要する。

3) 事象の発生しやすさの的確な推定

降雨や地震などの誘因が同程度であっても崩壊発生の有無が異なることがあるように、事象の発生しやすさの評価は容易ではないため、本提案では発生しやすさを定性的に分類した。今後、多くの被災事例や計測事例の収集・分析、これらを検索できるデータベースの整備や評点法による対象斜面の客観的、相対的な区分などを参考に、事象の発生しやすさをよりの確に推定することが必要である。

5.6 まとめ

崩壊/被災シナリオ、発生しやすさ、リスクマトリクスなどのリスク分析を提案した。不確実性を有する岩盤崩壊事象に対しては、決定論的な崩壊/被災シナリオが想定できる場合は限られることから、リスクマネジメント手法を用いて可能性のある複数のシナリオを想定し、これらの発生しやすさと生じる結果の影響の程度を掛け合わせたリスクマトリクスによる定性的なリスク評価が期待される。

特に、地形地質データが十分でない概査段階では、

近傍での被災履歴、同様の地形地質条件での被災事例などを参考に対象斜面で考えられるすべてのリスクを抽出し、次の段階での対策の実施、詳細な調査・観測、対応が不必要などの減災への対応を簡便に選択できる。

岩盤崩壊の形態には崩落、すべり、トップリングなどが、また崩壊後に土砂化して到達範囲が広がる場合もある。さらに岩盤崩壊の規模も様々である。今後、多くの災害履歴の収集データに基づき、発生しやすさの分析と結果の影響に関連するパラメータの検討を行い、同様の地形地質条件ではどのような崩壊が発生する可能性があるかなど崩壊/被災シナリオを検討することで、実用に供せるよう本手法の客観性を高めていきたい。

参考文献

- 1) ISO/IEC Guide 73:2002, Risk management - Vocabulary - Guidance for use in standards (ビジネス分野も考慮したリスクの定義) 2002.
- 2) 日本工業標準調査会：リスクマネジメントー用語規格において使用するための指針JIS TRQ0008, 2003.
- 3) 大津宏康：斜面災害に対するリスクの評価方法研究の現状、日本地すべり学会関西支部シンポジウム「斜面災害リスクの定量的評価」, pp.1-21, 2003.
- 4) 大津宏康, 大西有三, 水谷 守：高速道路に近接する斜面を対象とした自然災害に対するリスクマネジメント手法に関する提案, 土木学会論文集 No.658/VI-48, pp.245-254, 2000.
- 5) 大津宏康, 大西有三, 西山 哲, 竹山雄一郎：岩盤崩落による社会経済的損失を考慮したリスク評価に関する研究, 土木学会論文集 No.708/III-59, pp.187-198, 2002.
- 6) TRANSIT New Zealand: Risk Management Process Manual, TRANSIT New Zealand, 2004.
- 7) 大西有三：地質工学の基礎と応用, 第4回地質工学セミナー資料, システム総合研究所, pp.112-120, 1993.
- 8) 池田三郎：環境リスク管理への政策科学ーリスクの規制と選択について, 日本リスク研究学会誌, Vol.8, No.1, p.84, 1997.
- 9) 恒岡伸幸, 小橋秀俊：合理的なリスクマネジメント技術の開発：新道路技術五カ年計画 (平成 10-14 年度) 成果報告書：国交省国土技術開発総合研究所, 独立行政法人土木研究所, pp.190-195, 2003.
- 10) 独立行政法人土木研究所材料地盤研究グループ土質チーム：道路斜面災害のリスク分析・マネジメント支援マニュアル (案), 土木研究所資料No.3926, 2004.
- 11) Australian Geomechanics Society: Landslide Risk Management Concepts and Guidelines, Australian Geomechanics, vol.35, pp.51-92, 2000.

6. 岩盤斜面崩壊のハザード評価に向けて

進士 正人^{1*}

^{1*} 山口大学大学院理工学研究科 (〒755-8611 宇部市常盤台2-16-1)

6.1 はじめに

これまで、岩盤力学シンポジウムでは 1999 年に「岩盤斜面の対策の必要性和現状」¹⁾と名付けたパネルディスカッションが行われ、全国で実施された岩盤斜面の挙動に関するモニタリング結果、岩盤斜面对策工の現状、計測手法、解析方法などの発表とディスカッションをおこなった。そして、得られたさまざまな意見をもとに、CDROMとして「岩盤崩壊の考え方(現状と将来展望)」を取りまとめた。

その後、岩盤斜面崩壊が与える市民生活への影響の大きさや、岩盤崩壊予知の不確実性も踏まえた上で、安全で安心できる社会生活を送るためには、維持管理も含めた岩盤崩落問題への全般的な取り組みが危急の課題であると認識された。そのため、経済学的な手法であるリスクマネジメント手法に着目し、2006年に「岩盤崩壊のリスク評価に向けて～リスク評価の現状と課題～」²⁾と名付けたパネルディスカッションを行い、岩盤崩壊問題を、5W2H(What,Where,When,Whom,Why,How,How much)で整理するとわかりやすいこと、岩盤の不連続性に起因する不確実性と崩壊による損失コストの組み合わせを崩壊リスクと評価する方法を模索した。その結果、評価方法はある程度明確になったものの、もっとも基本となる岩盤斜面を調査する段階で岩盤の不連続性をどのように評価し、それによりどのような崩壊形態を想定すればより現実的なリスクマネジメントになるかがキーポイントとなる共通認識を得た。

本研究小委員会では上記認識に基づき、斜面全体をカバーするような概略調査と、対象を絞り込んだうえでの丁寧な現地調査により、崩壊箇所をあらかじめ抽出した上で、想定される複数の崩壊シナリオに基づくハザード評価を検討し、その結果を地理情報システムの技術を援用しハザードマップとして活用することにより、より現実的で有益なリスクマネジメントが可能ではないかと考えている。

6.2 ハザード評価の必要性

ハザードとは市民生活を脅かすさまざまな地震、台風、水害など自然災害の総称であり、その発生危険度を地理情報システムと連動し地図上に想定される災害による危険度と被害状況を図示したものはハザードマップと呼ばれている。従って、ハザードマップを作成するためには、地理的条件を加味した上で、数値シミュレーションや模型実験を行い、対象領域の危険度と発生頻度を算出する。本委員会では、この算出方法をハザード評価と考えている。

図-6.1に岩盤斜面に関連する災害と発生確率の関係における防護施設の防護目標の概念図を示す³⁾。図中には一般論として、落石と岩盤崩壊という二つの岩盤斜面に特徴的な災害の位置づけも記載した。図からわかるように、岩盤斜面に関連する災害では、発生確率と被害の大きさから、落石災害のようなハード対策で災害をあらかじめカバーできるものと、大規模岩盤斜面崩壊のような事前通行止めや市民の一時避難といった市民の自衛力に依存したソフト対策を合わせて実施することで何とか対処可能な災害も考えられる。すなわち、落石災害であれば、ある程度の規模まで構造物で対処が可能と考えられるが、極めて比高が高い直立岩盤での落石の場合や、巨

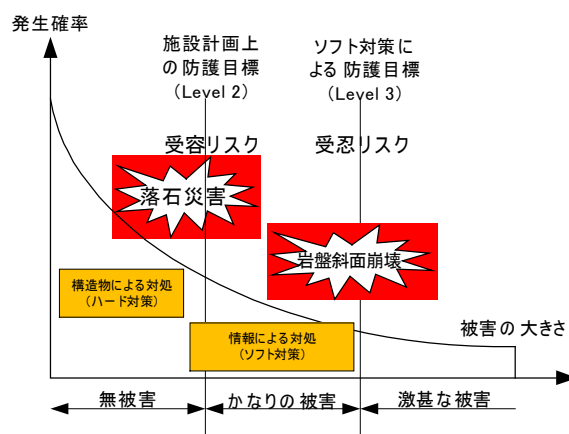


図-6.1 岩盤斜面災害の被害規模と発生確率との関係

礫の落石が想定される場合にはハード対策には限界がある。さらに、岩盤斜面崩壊のようにきわめて大きな外力が防護施設に作用する場合には、災害を施設のみで防ぐために極めてまれな事象に多額の建設コストを投入することになり、投資効果は極めて限定的になってしまう。そのため、市民の自衛力向上と合理的な防護施設対策をうまく組み合わせることにより、より効果的な防災計画の立案が可能となろう。

そのため、岩盤斜面を丁寧に調査することにより、予想される災害を発生状況により整理し、崩壊／被災シナリオを事前に作成し、それに基づいて、数値シミュレーションや模型実験を行うことで、対象領域の危険度を算出し、ハザードマップとして図示することが可能となる。

6.3 ハザード評価の課題

岩盤斜面災害に特徴的なものとしては、これまでも述べてきたように、岩盤斜面災害の発生要因が地震や大雨のような外的要因によるもの、季節変動やそれに伴う岩盤移動や不連続面の風化劣化要因によるもの、さらには、要因不明なものなどが種々考えられており、地震の発生予知と同様に、災害の発生予知・予測が極めて難しいと考えられている。そのため、まずは、高範囲を概略調査し、問題箇所を漏らさず抽出する調査技術が必要で、3次元レーザースキャナーの精度向上が期待されている。そして、岩盤斜面の調査経験の豊富な技術者がより精度の高いハザード評価を行うために、限定した範囲を丁寧に調査し、その結果から、複数の崩壊／被災シナリオを練り上げることになる。そのためには、崩壊／被災が予想されるための根拠や基準を明確にし、技術者の判断根拠の明確性が要求される。

6.4 今後の展望

岩盤斜面は、直接の構造物そのものではなく、隣接したものであり、かつ、主体が自然物であるためその評価の方法は難しい面が多い。特に、急崖斜面直下に道路や鉄道などの交通インフラがある事例は我が国ではどこにも見られる光景である。そのため、岩盤斜面崩壊に関して市民が日頃から十分な自衛意識を持つ必要がある。しかし、近年、落石防護施設の整備が進み、小規模落石などによる被災頻度が減少すると、被災体験が風化しやすく、それとともに市民の防災意識、自衛力が低下につながることを懸念される。

特に、ゲリラ豪雨と呼ばれるような局地的な集中豪雨が発生し、それによる岩盤斜面災害も発生している。そのため、従来のリスクマネジメントをそのまま適用する

だけでは限界があるため、当委員会では、岩盤斜面災害の崩壊／被災シナリオを準備し、それぞれの崩壊／被災シナリオによるハザード評価を行い被災影響度を検討し、それらをハザードマップとして取りまとめることを提案している。この場合、シナリオがいかに関現実的であるかがもっとも重要で、岩盤斜面地形の3次元表示や斜面内の節理面や断層面の抽出、岩盤の不連続モデルの自動作成および解析プログラムへの自動転送などが可能になれば、シナリオの精度が十分実用化レベルになると考えられる。このような調査技術の向上が期待される。

そして、精度の高い岩盤斜面崩壊に関するハザードマップが提供できることは、地域市民にとっては、ハザードマップを議論のたたき台として住民の自衛力向上のための避難対策などのソフト面の役割が期待できる。また、自治体に対しては、防災機能を向上させるための施設整備検討を行う際の支援などの役割が期待できる。また、地震時や豪雨時における避難計画の策定、防災教育、防災意識の啓発、防災まちづくりなどを通じて、行政と地域住民のリスクコミュニケーションの推進などに役立つと期待される。

参考文献

- 1) パネルディスカッション「岩盤斜面の対策の必要性と現状」, 土木学会第 29 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.327-346, 1999.
- 2) パネルディスカッション「岩盤崩壊のリスク評価に向けて～リスク評価の現状と課題～」, 土木学会第 35 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.405-426, 2006.
- 3) 山口県高潮ハザードマップマニュアル: 第1. 高潮ハザードマップの概要, p.5, <http://www.pref.yamaguchi.lg.jp/cms/a18700/takasio-hm/top.html>.