

産学官共同研究報告書

斜面防災のための新しい管理方法に関する研究

文献整理資料集

平成 2 2 年 3 月

斜面防災のための新しい管理方法に関する研究会 グループ 1

ジオメンテナンステクニク総覧

文献（第2、3章）

西山 竜司〔（株）構造設計研究所〕

文 献 名	ジオメンテナンステクニク総覧	章 番 号	第 2 章
出 版 元	(株)産業技術サービスセンター	出版年月	2001 年 4 月
著 者	ジオメンテナンステクニク総覧編集委員会	整理担当	西山竜司

【要約】

第 2 章 社会基盤のための保全技術 ～インフラの保全技術について～

1.保全技術の概要

保全技術には大きく分けると以下の 2 つの分野があり、概ねこれらの業務の繰り返しである。

現状性能の維持：老朽化等の時間経過に伴う機能低下 修繕・補修工事
災害の発生に伴う機能停止 災害復旧工事、点検・予防保全工事

性能の向上：社会的・経済的な変化に伴い、インフラの機能レベルが相対的に低くなる 改築・改良工事

2.保全技術の業務内容

- ・ 日常維持業務、観察・点検・調査、修繕・改良、災害復旧工事・大規模改良工事の組合せ。
- ・ 損傷が発生してから対応する従来型から、損傷を事前に察知したり、損傷が小さいうちに対応を行う保全技術に変化してきており、観察・点検・調査の重要性が増している。
- ・ 損傷の兆候から機能に影響を与えるまでの時間的な経過をいかに正確に予測するかが今後の課題であり、データを客観的な評価基準に従って記録し、経年的に追跡するシステムの構築が求められる。

3.補修工事

インフラの損傷及び機能低下を復旧したり、損傷の発生を事前に防ぐための小工事等。

4.改良工事

インフラの機能向上を目的とし、設計時点の考え方を少し修正するような工事。

5.異常降雨・地震などの対策

事前に行えること：管理水準としての降雨強度や震度を定めておく。設計図面等の書類の整理や保管場所を含めて点検方法や被害記録の方法等をあらかじめ決めておく。

実際に発生した時：降雨による災害の発生しそうな箇所や社会的に重要な箇所を要注意箇所として定めておき、降雨量がある程度以上となった場合には直ちに点検を行うよう決めておく。

災害の発生した時、大きな損傷を受けた場合：災害による被害の程度を的確に知ることが重要であるため、管理図面を常に用意しておき、被害の量をできるだけ早く詳細に把握できるようにしておく。

6.大規模改良工事

インフラの機能向上を目的として大規模な範囲を対象に行う工事。

7.インフラの保全管理手法

保全管理の実施状況の妥当性について一定期間ごとに検証を行い、管理水準の向上を図る。

インフラの稼働率を評価し、インフラの管理が過去の状況と比べ、どれだけ安定的に行われたかを判定する。

安全性・機能性・快適性等の項目について、代表的な事象に関する具体的な評価を行う。

インフラを構成している各構造体の健全性について評価し、劣化の進行状況及び危険度の判定を行う。

8.保全技術と建設技術の相違点

- ・ 建設技術：ある性能を有するものを限られた期間に造り上げる。目標水準は階段状に変化。
- ・ 保全技術：対象とする期間が非常に長いため、社会のニーズの変化及びインフラ本体の老朽化等の要素を考慮し、管理目標を一定期間ごとに設定してインフラの保全を行う。目標水準は社会・経済変化に連動。

9.災害の発生とその対応

- ・ 災害による被害状況をいかに早く把握するかが重要であり、あらかじめ重要箇所を設定し、通常時から観察・調査を十分に行っておくことで、災害発生時の素早い対応が可能となる。
- ・ 災害発生後の時間的リスクを減らすため、災害の規模や種類によって対応方法をあらかじめ決めておく。

10.これからの保全技術

インフラの現状機能の維持と向上を合理的かつ経済的に行う方法の体系的な研究が必要。

- ・ 経験と技術的知識を基に直ちに対策工法として役立つ手法をストックし、それを基に効率的に業務を進めていくシステムの構築 過去の事例との関連性を探り、予防的な対応方法を検討
- ・ 経験や技術知識を体系的に整理し、長期計画の下に予防対策や機能の改良を行うシステムの構築
利用者のニーズを積極的に把握し、最も費用対効果の優れた方法を選定する

ライフサイクルコストを考慮する際、補修などでインフラの機能が停止した期間の社会に与えたマイナス効果についても評価するべきであり、インフラの持つ社会的・経済的な価値をいかに算定するかが重要。土木工学的な要素の開発だけではなく、インフラの社会的価値について検討を行うことが保全技術を確立していく上で必要。

【議論】

- ・ 斜面の維持管理業務の中ではライフサイクルコスト(LCC)の概念は未だ導入されていない。重要性は高いと考えられるが、データベースや手法が確立されていない。
- ・ LCC の概念が既に導入されている橋梁の分野(塗替塗装など)では、道路橋計画・設計マニュアル(福井県土木部)の中で検討の方法がうたわれている(道路橋示方書における耐久性に関する事項は、橋の耐用年数 100 年を目安に設定されている)。
- ・ LCC の概念を用いた資産管理に関しては、橋梁の分野でも現在始まった所である。橋梁の場合はデータベースが整理されている。 次頁に続く

文 献 名	ジオメンテナンステクニカル総覧	章 番 号	第3章
出 版 元	(株)産業技術サービスセンター	出版年月	2001年4月
著 者	ジオメンテナンステクニカル総覧編集委員会	整理担当	西山竜司

【要約】

第3章 社会基盤維持管理システムの現況とその要綱

第1節 公的機関の動向

各構造物に関する維持管理の現況

項 目	概 要
1.道路	舗装データシステム等を利用した舗装維持管理システムを構築・運用
2.港湾	港湾構造物の維持・補修マニュアルに基づいた維持管理
3.空港	走行安全性・構造安定性について管理目標値による健全度評価
4.橋梁	損傷度判定基準に基づき診断、補修・補強対策工法を選定
5.鉄道	各鉄道構造物に関してシステム化された健全度評価法を運用
6.地下鉄	トンネルの定期的な検査、必要な場合には補修工事・改良工事
7.上下水道	管路・管渠・構造物等に関して、それぞれの特徴に配慮した診断
8.ダム	ダム構造物管理基準に基づいた計測・点検、精密調査、補修その他の処置
9.湖沼	指定湖沼に対する湖沼水質保全計画の策定、実施
10.土壤汚染修復	土壤汚染基準等に基づいた土壤の修復
11.文化財	文化財保護法に基づく文化財の保存・保管、管理

点検・調査による現状の把握、データの蓄積、維持管理計画の立案までの一連を行うシステムの構築・運用
今後の課題

- ・ 後追い型の対応から脱却し、事業をより効率的・効果的・高速に行える維持管理システムの構築。
理論と実践との整合化、ライフサイクル理論の確立、コンピュータシステムの構築・新技術の導入
- ・ 効率的な維持管理を行うには、ライフサイクルを対象としたコスト計算や補修・補強等に対する費用便益評価手法の確立が急務。費用面に加え便益面から施設機能の工学的評価を定量化して組み込むことができれば、ライフサイクル評価が施設整備を検討する上でより効果的となる。

第2節 コンサルタントの動向

各構造物に関する維持管理への取り組み・動向

項 目	概 要
1.建築	補修診断を行い補修計画を立案、ライフサイクルマネジメントによる総コストの縮減
2.道路	道路ストック管理を適切に行うためのデータベース作成、技術開発等
3.空港	既存施設の改良、維持・補修に関する調査・設計等
4.橋梁	健全度評価を行い補修・補強の必要度レベルを把握、補修材料・工法を提案
5.トンネル	人力による点検作業の機械化等の技術開発、試験方法等の研究
6.鉄道	コンクリートの劣化予測システムの開発、検査診断の省力化のための技術開発
7.地下鉄	既設構造物の情報管理、調査法・損傷度評価法の確立、管理マニュアルの策定
8.上下水道施設健全度調査事例	上下水道施設の健全度調査の事例
9.ダム	ダムの改修・再開発に関する調査及び設計の事例
10.土壤	周辺住民・自治体等とのリスクコミュニケーション、法体系の整備への協力
11.文化財保存整備の動向	土木・建築技術に加え考古学・歴史学等各分野に関する学術研究、技術開発
12.文化財	文化財保護行政の支援、文化財の調査研究・保護施策等
13.文化財診断技術の現状	赤外線・地下レーザ等による非破壊診断

維持管理コストを抑制し、損傷の調査・発見から対策工実施までをシステム化を行うための研究・技術開発
今後の課題

コンサルタントは必要に応じて積極的な技術提案ができるように維持・補修に関する新しい技術の情報収集に努めるとともに、ライフサイクルコストの評価のような従来と異なる概念をできるだけ早急に実務に適用できるよう公的機関と協調しつつ研鑽に励む必要がある。

【議論】

- ・ 舗装の分野でも、現在は場当たりの対応となっている。わだち掘れの影響を現在検討中。
- ・ 斜面において LCC を考える場合、リスクマネジメントの概念を導入する必要がある。
- ・ 目標をどこに置くかが重要。
- ・ 現在の維持管理は「道路の重要度」と「斜面の疲労度」を考慮して優先順位を決め対応している。
- ・ 災害発生時のコスト(社会的損失)は合理的な根拠となり得る。
- ・ リスク値(被害の大きさ×頻度)の定量評価が課題。

斜面安定評価における劣化概念の導入 文献 （第 1 編）

南 出 重 克 [ジビル調査設計(株)]

文 献 名	斜面安定評価における劣化概念の導入	章 番 号	1 編
出 版 元	(社)建設コンサルタンツ協会 近畿支部	出版年月	2006 年 7 月
著 者	斜面防災研究委員会 (調査分科会)	整理担当	南出重克

第 1 編 のり枠工の変状と地山劣化調査方法の提案

1. 研究概要

- 1)切土のり面のり面保護工として最も多く採用されているのり枠工について、変状事例を収集し
のり枠変状の原因を整理すると共にのり枠工法採用に当たっての適用範囲の確認を行う。
- 2)のり枠工変状の主要因である地山切土後の時間経過による変状原因の第一印象
果を整理し劣化調査方法の提案を行う。

2. 実施方針 (アンケート調査)

(1)データ収集

研究資料となる変状データは建設コンサルタンツ協会のアンケート調査で収集した。

(2)アンケート内容

アンケート基本的な内容は、(詳細表 3.1.1.参照)

事例概要 調査内容 対策工提案の

3つの枠組みで構成し実施した

又、のり枠変状タイプと変状原因・変状箇所
の地質との関連性を確認するため以下の項目
の調査を実施した。

構造物の変状タイプと地質の関連性 変状位置の地盤状態と変状タイプの関連性

地質と変状原因の関連性

3. アンケート結果 (アンケート回答数 62 事例でのまとめ)

(1)変状発生までの経過年数 (図 3.2.2)

5 年までの短期間に発生したケースが多い、30 年以上経過した後に発生するケースも有る。

(2)構造物別の変状状況

構造物	変状状況
切土のり面	マサ土化・亀裂・表層崩壊
吹付け	はく離・クラック・崩落
のり枠	クラック・せん断破壊・枠崩壊 (地すべり変状)
擁壁	開口クラック・はらみ出し・目地の開き
切土補強	斜面のはらみ出し・法尻側溝の押し出し
アンカー	抜けだし
防護柵	落石・柵背面の土砂堆積

(3)構造物別変状原因の関係 (図 3.2.6)

- 1)変状原因を「地下水」「地質劣化・風化」「構造物劣化」に大別して調査
- 2)変状原因の大半は、「地下水」及び「地質劣化・風化」が大半、「構造物劣化」は少ない。
- 3)地下水による変状は対象構造物の違いによる差は少ない。
- 4)地質劣化・風化は抑止工効果の小さい吹付け工・切土斜面が突出している。

(4)提案対策工について (図 3.2.7)

- 1)対策工設計における地盤定数は逆算法による。安全率は各種基準に準じる。
- 2)対策工は「のり枠+地山補強工」が多い

(5)のり枠工の適用性

のり枠工の適用範囲を考察するため、吹付け工とのり枠工の適用事例を抽出し整理・分析を行う。

		吹付け工	のり枠工
斜面勾配		40°以上 (最急 60°) 比較的急勾配な斜面	30~40° が主体
適用地質区分		中古生層が多い	火成岩・新生界・中古生層
変状発生までの経過年数		20~30 年 密閉型法面保護による地山劣化の進行の抑制	5 年~10 年 すべり発生箇所での適用が多いため構造物によるものではなく 地質的に潜在的なすべり面の存在が影響
変状	タイプ	斜面崩壊・平面すべりタイプ	地すべり・斜面崩壊・スランプタイプ
	範囲	20~40m 表層部と基盤岩との層境界面をすべり面とする地すべり変状。密閉型の法面保護工のため地山の風化・劣化状況が一樣で幅広く崩壊が発生した。	20m 切土補強等の補助対策工の効果で変状範囲は比較的狭い
	原因	地質劣化・構造物劣化	地質劣化・地下水
対策工法		地山補強工 (のり枠併用型)	受圧版+アンカー

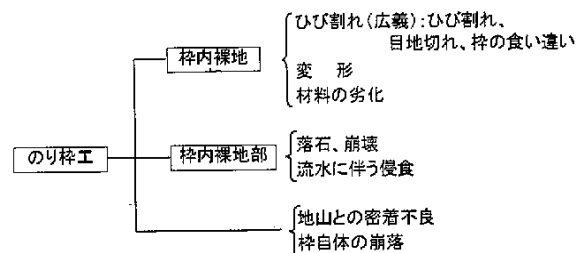
(6) アンケート結果より得られた知見（考察）

- 1) 変状の多くは斜面崩壊・地すべりの変状で、降雨や地下水による影響が大きいと考えられる。また、切土施工後20年を経過して崩壊する事例もあり地山劣化は変状の根本的な原因の一つと考えられる。
- 2) 地山劣化による変状理由として応力開放による地盤の緩み進行や風化変質に伴う軟質化が上げられる。
- 3) 既往対策工（吹付工・のり砕工）の適用性には地山の風化・軟質化の深さが関連している
- 4) 今後の課題として地山劣化メカニズムの解明・時間経過に伴う劣化特性の把握が重要

4. のり砕工の変状の実態

(1) 砕の変状

のり砕の変状現象は砕本体のひび割れ・変形や砕内裸地部の崩壊・砕と地山の密着不良等多彩な現象がある。



(2) 変状原因

のり砕の変状原因は外因（外力や環境などの外的な要因）と内因（材料・設計・施工に起因する構造的な要因）に大別され、変状の多くはこれらが複雑に関係して発生していると考えられる。

- 1) ひび割れ・・・背面地山からの土圧作用　砕湾曲部での偏土圧　気温変化による変形
- 2) 砕内裸地部・・・表流水・湧水・風雨による地山劣化の進行による小崩壊

(3) 豪雨時ののり砕工被害の特徴

- 1) のり砕工を含むのり面全体の地すべり・崩壊災害

すべり面が設計時の想定より深い箇所が発生しているケースで設計時の不安定層の見込み違いが原因

設計時の調査精度の向上と地山の中長期的な強度低下予測に基づく不安定層の想定が必要

- 2) 切土のり面外からの土石流によるのり砕の被災

切土のり面の上位自然斜面が谷地形の場合、降雨の表面水が集まり土石流となり砕を破損させる状態で、このような地形でののり砕の適用には十分な検討を要する。

(4) 地震時ののり砕工被害の特徴

- 1) 地震時の変状は、段丘堆積物等の未固結土砂の地質で多く発生する。
- 2) のり面傾斜角が大きいほど変状が著しい。
- 3) 縦断・横断ともに凸型直線状斜面での変状が著しい
- 4) 遷急線が明瞭な斜面に変状が発達する。
- 5) のり砕全体のズレ変形、地すべり変形を発生する事がある。

5. 地山劣化に関する既往の研究と切土のり面の劣化調査方法の提案

(1) 地山劣化の定義

上載圧の変化や物理・化学的風化作用によって地山の強度・工学的特性が低下する現象

地山掘削　応力開放・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 時間の経過と伴に収束

風　　化（酸化・鉱物変化等の科学的变化）・・ 時間の経過と伴に進行

(2) 地盤掘削に伴う緩みの研究

地盤掘削に伴う緩み（応力開放）はトンネルにおいて多くの実験・検討例があり、掘削による緩み領域は概ね1D（D：トンネル直径）と言うことが確認されている。これに対してのり面での切土による緩みの研究例は少ないが、神戸層群でのリバウンド深さの計測結果では $D = 0.8H$ （H：掘削高）とトンネルでの掘削時の1Dと近い値を示す。これは切土掘削時においても掘削深度程度の緩み領域が発生する事の事例となっている。

(3)風化に伴う地山劣化の研究

風化に伴う地山劣化の研究例は、地層の時間経過に伴う物性の変化を観察するため時間を要し事例が少ない

1)風化に関する研究

(1)亀裂性粘土についてのり面の形成後の年数に対する斜面角度の調査研究例。(図 5.1.4)

時間の経過とともに斜面角度が低くなっている。(ロンドン粘土の場合)

(10年で30~45°) (30年で25°) (70年で15~20°)

2)時間経過に伴う風化による強度低下

(1)代表的研究例(図 5.1.5)

日本道路公団試験所が行った同一点で同じ要領による弾性波探査の追跡調査(10年間・130箇所)

この研究例では切土後の経過年数に応じて弾性波速度が速度低下する結果が得られており、風化は切土直後急速に進み以後次第に遅くなるが長期間継続的に進行する事が確認されている。

3)岩石・岩盤の風化速度の研究例

岩盤表面からの風化速度と深度方向への風化速度を組み合わせ強度の低下を示す式を示した。

$$S = S_0 \exp(-A(Z - Z_c)^2 t) \cdots \text{式}$$

(S:強度 A:係数 Z:風化前後の深さ)

今後の課題として岩種毎の係数(A・Z)を決めてゆく必要がある。

(4)地山劣化に対する調査方法の提案

切土のり面の劣化現象に対する評価方法として

1)速度面からの評価

(1)弾性波探査(屈折法)

人工的な弾性波(地震波)を起こし地中を伝わる状況を観測して、地下の弾性波速度及び速度構造を把握する方法。

解析は往復走時曲線からの剥ぎ取り法や表層部の弾性波速度と速度増加率から評価を行うミラージュ法により行う。

(2)振動を用いた方法

のり枠等の構造物と地山を一体とした評価を行う手法。

構造物表面に地震計を固定しRMS速度振動比、卓越周波数、減衰定数を測定しその変化を判定に利用する。

2)強度面からの評価

のり面内の特定の岩盤を選定し、継続的に試験を実施して経年変化を測定する。

(1)室内岩盤試験(一軸圧縮試験等) (2)シュミットハンマー (4)エコーチップ (3)点載荷試験

3)モニタリング評価

のり面の維持管理には有効な手段であるが、計測器の費用・連続計測の費用等コスト面に問題有り

(1)計測器を利用する方法(伸縮計、傾斜計、応力計を電話回線を利用してデータ送信・GPS等)

(2)目視による方法(落石個数の計測・亀裂間隔の計測・固定位置からの撮影)

【議論】

- ・ アンケートの結果は、概ね我々のイメージと合っているものと思われる。
- ・ 建設後5年以内に変状発生が多い原因として、5年に1度程度は大雨に遭うことが多いということが挙げられる。
- ・ のり枠工の安定性は、ロックボルト併用如何によって全く異なる傾向があるものと思われる。
- ・ 「5年以内の変状」に該当するデータには、施工中に応力開放等によって発生した変状(気付かずに無対策としたもの)が隠れている可能性がある。
- ・ アンケートでは枠断面のサイズを考慮していない。枠断面が適切でなかったという可能性はないか?
- ・ 表層崩壊の場合は枠断面の相違が影響するものと考えられる。
- ・ アンケートにおいて流れ盤に関する項目はあるか?
- ・ 「変状の状況」の中で項目が挙げられている。
- ・ 図 5.1.4 は緩い斜面でも時間がたつと壊れるということを表している。
- ・ 図 5.1.5 は切取後の弾性波速度を計測しとりまとめたものとして、貴重なデータである。
- ・ 建設後ののり面で弾性波速度を定期的に測定することは、予算的にも厳しいように思われる。
- ・ 図 5.1.5 は屈折法でなく直接法のデータと思われる。直接法の場合は比較的簡易に測定可能であり、有効な方法と考えられる。
- ・ 切土掘削による緩み範囲を評価する場合には、屈折法が必要である。

斜面安定評価における劣化概念の導入 文献 （第2編）

鳥 居 直 也 [京福コンサルタント(株)]

文 献 名	斜面安定評価における劣化概念の導入	章 番 号	第 2 編
出 版 元	(社) 建設コンサルタンツ協会近畿支部	出版年月	H18.7.1
著 者	建コン協会 斜面防災研究委員会 解析委員会	整理担当	京福・鳥居

【要約】

1. まえがき

斜面崩壊の影響要因について検討し、実務に活かせるできるだけ簡単な解析モデルとして時間項を評価した新たな解析法を提案

2. 斜面の性能とは

- (1) 機能：法面・斜面下の生活空間を確保
- (2) 性能： 安全性、景観性、維持管理の利便性 安全性以外の指標は未確立。
- (3) 限界状態の設定
終局限界状態（安全性を確保しうる限界の状態 $F_s = 1.00$ ） 予兆あり？
使用限界状態（自然斜面は保全対象に迷惑かからない、人工斜面は構造物維持）
修復限界状態（小規模対策は斜面・構造物の補修程度で性能維持）
- (4) 斜面性能の考え方
斜面性能評価 事業毎・目的毎に設定する必要 / 安定性の評価が最も重要
斜面の性能 時間的な劣化を評価する必要 / 点検・維持管理（利便性）が容易なものを評価
これからの斜面性能は、ソフト対策、環境保全、開発抑制、憩いの場提供も評価する必要

3. 斜面安定の影響要因

- (1) 外的要因：斜面外部に影響因子がある場合
自然的要因（降雨、融雪、地震） 対策工要因（法枠、吹付、ロックボルト、アンカー）
- (2) 内的要因：斜面内部に影響因子がある場合
風化と変質、地形因子（風化層・ゆるみ層生成、集水） 地質因子（泥質岩、互層など）
- (3) 斜面安定影響要因として、対策工と地山風化について経年変化との関係を整理
対策工：法枠の中性化・鉄筋腐食、ロックボルト腐食、アンカー腐食など
- (4) 不安定化要因の定量評価 $F(t) = G(c(t), t(t), Pr(t), u(t), k(t))$
せん断強度 c 、単位体積重量 t 、対策工抑止力 Pr 、降雨・融雪に伴う間隙水圧 u 、地震力 k
対策工：アンカーの腐食による断面積減少について評価の試み
内的要因：地質別に自然斜面・切土斜面の経過時間 $\sim c$ 、関係図を提示

4. 時間項を評価した解析手法の提案

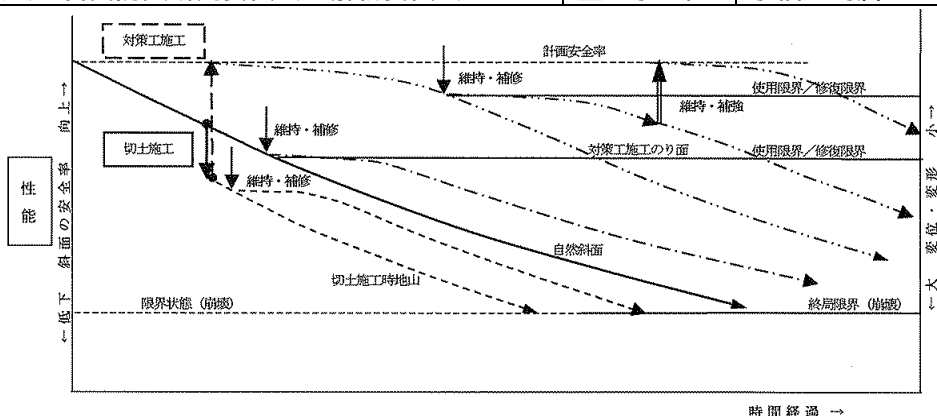
- (1) 右上図について、矢印で示す補修・補強の適切な時期をいかに判断するか、それらによる回復レベルの大きさをいかに設定するか が重要。
- (2) 解析手法：極限平衡法、応力解析法（静的・動的 FEM、目的によっては有望）
- (3) 例題により時間項を評価
単純な模式斜面、アンカー施工済み、地下水位・間隙水圧考慮せず
安全率計算式： $F_s = [cL + \{W \cos \theta + Pr \sin(\theta + \alpha)\} \tan \phi + Pr \cos(\theta + \alpha)] / W \sin \theta$
劣化要因として地山劣化（経年変化～弾性波速度） アンカー工抑止効果劣化を考慮
自然斜面は斜面高さ別、勾配別に経年時間～安全率を計算、安全率低下について評価
切土斜面は新第三紀泥岩について検討、切土勾配～安全率～経過時間、アンカー付切土法面での安全率経年変化（アンカー再施工含む）について試算 対策工導入の要否、時期が一目瞭然

5. 残された課題

各限界状態を規定する性能指標の明確化と定量化
解析上必要となるパラメータ値の誘導に際して必要な既往データの不足の解消
現在は極限平衡法で実務 より現実的な解析手法、修復限界・使用限界を考慮できる変形解析など

【議論】

- ・施工後風化が急速に進行する原因としては、応力開放の影響も考えられる。
- ・このような時間軸（劣化速度）を考慮した解析手法は、現実的には第三紀層など均質な地質の地域で有効と考えられる。福井県の主体をなす地質（中・古生層や火山岩類）の場合は、局所的な破碎帯等の影響が大きいため適用が困難。
- ・構造物の維持管理として、建設 20 年後くらいからこのような検討を行うことは有効となり得る。
- ・初期の風化進行を把握するためには、アンカー張力計などが有効。施工時の基本試験なども含めて、基準化していくとよい。



斜面安定評価における劣化概念の導入 文献 （第3編）

尾 上 正 一〔(株)ワカサコンサル〕

文 献 名	斜面安定評価における劣化概念の導入(リスク分科会)	編 番 号	3 編
出 版 元	(社)建設コンサルタンツ協会 近畿支部	出版年月	2006 年 7 月
著 者	斜面研究委員会	整理担当	尾上正一

【要約】

第3編 斜面リスク評価の手法と現状の課題抽出

1. 研究の概要

1.1 はじめに

近年の社会的な背景による予算制約の下で、社会資本を効率的でかつ、質の高い整備を行うためには、まずは何が重要で、何が優先すべき課題なのかを把握することが最重要である。本稿では、道路法面・斜面を社会資本の対象とし、リスク評価に基づく優先順位付けの手法について述べられている。

1.2 リスク評価

(1)リスク評価の目的

リスクマネジメントはリスクを顕在化した上で、リスクを減らす具体的かつ効率的な対策を検討し、実施するものであるが、その効果を把握するためには対策による効果を数値情報で示すことが必要となる。リスク評価の目的は、その数値情報を示すことにより対策の優先順位を関係者間で共有でき、意志決定をスムーズに進められ、より多くの理解を得ることを目的とするものである。

(2)斜面の維持管理におけるリスク評価

現在、斜面の緊急補修・事後補修を行うに当たり、点検結果を定量的に評価する手法がなく、客観的に対策・補修を行う優先度を示す手法が構築されていない。一般的には斜面崩落の危険性が最も高い斜面に対して対策を行うことで目標が達成できると考えられがちであるが、単に危険性の高い斜面への対策が必ずしも効率的とは言えないケースがある。

斜面の評価には、安全率による評価、破壊確率による評価、損失額による評価、リスクによる評価が考えられるが、～ の評価方法では一面的な評価であり、緊急対策を必要とする斜面を的確に判断できない。これに対して、リスクによる評価は、破壊確率と損失の積で表したリスクで評価した場合、崩落の危険性と損失規模の大きさを含んだ評価を行うことが可能であり、斜面の重要度・緊急性が客観的に評価され、優先順位を決定する有効な手法であるといえる。

2. リスクの概念

2.1 リスクの概念

リスクとは、予測出来ない事象が発生する危険性を表す用語として用いられることが多く、建設分野におけるリスクの表現方法は、一般的には下表に示すように 1)主観的リスクと 2)客観的リスクに大別される。

1)主観的リスク	・半定量的な指標 ・経験・直感に基づき設定 (アンケート、ブレインストーム)	多くの関係者の経験・直感の主観に基づく定量的な判定結果を集めて、総合的に評価する
2)客観的リスク	・定量的な指標 ・過去の具体的データに基づき設定 (数学モデル統計・確率モデル)	実験結果あるいは過去の記録に基づき不確定量を統計・確率理論を用いてモデル化し、そのリスクを定量的に算出する

建設分野でのリスクの基本概念は、構造物又は斜面等が地震、降雨等により外力を受けて何らかの被害を受ける危険性を表現するものであり、このためには、作用する外力レベルとその外力により構造物、斜面等が被害を受ける危険性を明確に関連づける必要がある。つまり、被害推定を行うことが必要になる。建設分野でのリスクとは、被害が想定される事象に対して、その事象が発生する頻度あるいは可能性とその際の損失レベルとを掛け合わせた損失期待値として、 $R = \sum_{i=1}^n P_i \times C_i$ で定義される。

ここに、R：損失期待値、 P_i ：事象 i が発生する確率、 C_i ：事象 i が発生する場合の損失を表す。

2.2 リスクマネジメント

(1)リスクへの対応

リスクへの対応法は以下の4点に大別されるが、土木分野におけるリスクへの対応は、「リスク低減」に限られる。

リスク保有（吸収）・・・ 積極的な対策を行わず、何もしない。

リスク移転（転嫁）・・・ 損失の発生は許容するが、それを金融上の対策で補填する。

リスク回避 …………… 発生確率、損失ともに大きい場合、その行為、計画を中止する。

リスク低減 …………… 事前に発生確率を小さくするが、損失を少なくする対策を行う。

【議論】

- ・土木分野において、例えば崩壊リスクが高い箇所を迂回する場合などは“リスク回避”とも言える。
- ・ルート変更も対策の一環と考えれば、“リスク低減”に含むことができるということではないか。
- ・土木分野においては“リスク移転”はありえない。

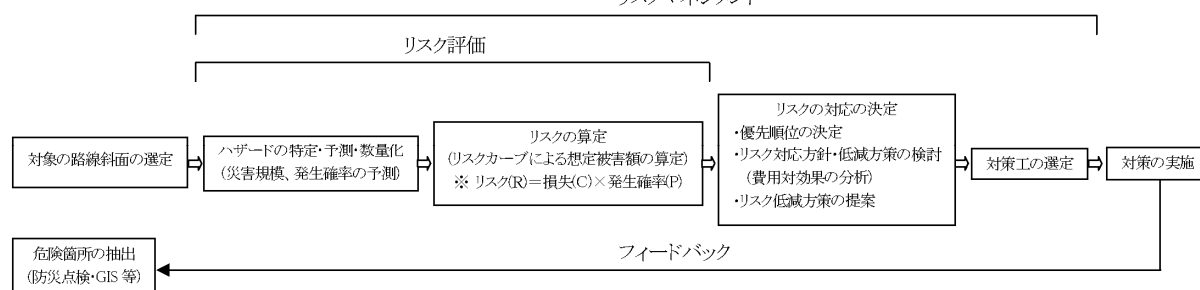
次頁に続く

文 献 名	斜面安定評価における劣化概念の導入(リスク分科会)	編 番 号	3 編
出 版 元	(社)建設コンサルタンツ協会 近畿支部	出版年月	2006 年 7 月
著 者	斜面研究委員会	整理担当	尾上正一

【要約】

(2)道路斜面におけるリスクマネジメント

道路斜面におけるリスクマネジメントの流れを、下図に示す。



3. 斜面リスク評価手法

3.1 リスク算出の手順

リスクR（損失期待値）を評価する方法は、以下の手順からなる。

- 1) 災害の原因となる自然ハザードの設定（誘因の年超過確率の算定）
- 2) 自然ハザードに伴う災害の発生確率の算定（フラジリティカーブ作成）
- 3) 災害発生時の損失算定
- 4) リスクの算定

本章では、降雨ハザードを対象とした道路斜面災害についてのリスク評価手法について示す。

尚、リスクRを算出するためにはリスクカーブを作成する必要がある、その作成手法として下表に示す手法があり、本章では下表の手法について示されている。

作成手法	概要
生起確率法	過去の自然ハザードの履歴観測個数とその災害規模を統計処理して、災害規模と発生確率を求める手法。
降雨・災害履歴分析法	降雨と崩壊の相関が高いと予想される箇所を対象に、過去の災害履歴と降雨履歴の相関関係を分析し、災害規模（到達土量）と年超過確率を求める手法。
斜面特性に基づくフラジリティを反映した予測法によりハザードを予測する方法	個々の斜面の特性に基づくフラジリティ（崩壊しやすさ）からそれぞれの斜面の到達土量、想定被害額を求める手法。

3.2 降雨ハザードの発生確率の算定（確率雨量の計算）

斜面安定性を低下させる誘因として、既往の降水量データを基にして確率的な降雨量（年超過確率降雨あるいはN確率年降雨と呼ばれる）を算定する。

その手法として、トースプロット法、ヘイズンプロット法、ガンベル法、対数正規法、岩井法（片側、両側）等がある。

3.3 破壊確率の算出

斜面破壊確率の評価手法は、以下の2手法に大別される。

(1) 解析的手法	信頼性解析手法を援用し、ハザードに対する抵抗値と応答値の関係を規定し、斜面の破壊確率を算定する方法。
(2) 統計的手法	過去の斜面崩壊事例に基づき、統計処理による破壊確率を算定する方法。

【議論】

- ・ リスクマネジメントにおいては定量評価が必要だが、公共を対象にする以上、損失コストを考慮することは思想的に困難。
- ・ 定性的な評価は現段階でも行っている状態である。（重要度あるいは疲労度の高い路線を優先的に対策している。）しかし、これを数値化することは困難と思われる。
- ・ 重要度や疲労度を点数で相対評価することは可能と考えられる。
- ・ 近年、河川の分野でも、霞堤を造って洪水を農地に誘導し、下流の住宅地を守るなど、定性的にはリスクマネジメントを行っている。

文 献 名	斜面安定評価における劣化概念の導入(リスク分科会)	編 番 号	3 編
出 版 元	(社)建設コンサルタンツ協会 近畿支部	出版年月	2006 年 7 月
著 者	斜面研究委員会	整理担当	尾上正一

【要約】

(1)解析的手法による斜面破壊確率の算定

(i)算定の手順

既往資料から年超過確率降雨に対する斜面内の地下水位を予測し、地盤物性値 C' 、 ϕ' を確率変数とした安定解析を行うことにより、ある確率年に対する条件付破壊確率を求め、降雨ハザードの発生確率との合積により斜面の年間リスクを算定する。尚、既往資料の整理項目を以下に示す。

区 分	整 理 項 目	区 分	整 理 項 目
幾何形状	斜面形状、地層区分、すべり面	水文条件	降雨 - 地下水位観測結果
地盤条件	地盤定数 (C' 、 ϕ')、変動係数 COV	降雨条件	年超過確率降雨

(ii)降雨ハザードに対する斜面内水位の予測

降雨に対する地下水位の予測手法には、相関式による方法、浸透流解析による方法、タンクモデルによる方法等、数多く研究が行われており、何れの手法についても、実測における降雨 - 地下水位の関係により検証を行い、各パラメータの設定を行うものである。

(ii)破壊確率の算定

本章では降雨に対する斜面破壊確率を、安定解析式を援用して評価する手法について示し、斜面内の予測水位 (H_w) に対応した降雨強度 (R) における条件付破壊確率 P_j を求める。

破壊確率の算定手法としては、一次近似二次モーメント法 (FOSM 法)、モンテカルロシミュレーション等がある。

(2)統計的手法による斜面破壊確率の算定

統計的手法とは、過去の斜面崩壊事例に基づき統計処理により破壊確率を算定する方法であり、具体的に扱われる要因としては、日時、箇所、災害規模や降雨の履歴、地形・地質等の斜面特性が用いられこれらを基に、ハザードの発生確率 (発生の危険性) が算定されるものである。

(i)必要なデータの収集

ハザード予測には、災害履歴、地形図、地質図及び既往ハザードマップ、誘因に関するデータ、斜面構造及び斜面特性に関するデータ、防災対策工に関するデータ等の収集が必要である。

(ii)誘因の年超過確率の算定

降雨量に対する年超過確率の算定法は、降雨災害履歴の相関性から予測する簡易法と同様の手法により算定する。

(ii)誘因に対する斜面の崩壊率 (フラジリティ) の算定

崩壊率算定に際しては、斜面の崩壊特性及び斜面特性を分析し、個々の斜面を誘因に対する斜面の崩壊率が類似となる斜面群に分類する。

斜面の崩壊形態による分類

降雨履歴、災害履歴、地形図、地質図及び既往のハザードマップ等を参考にして、路線区間内の斜面の崩壊形態が類似であるか否かを検討する。

斜面特性による分類

崩壊形態により分類された斜面群の中でも、崩壊の起こり易さは斜面傾斜や高さ等の斜面特性が素因として関係するため変化する。降雨や地震等の誘因毎に統計的手法を用いて崩壊に対する斜面特性の影響度を分析して斜面特性を集約した指標として崩壊性を設定し、崩壊性により斜面を分類する。

(ii)誘因が不明確な斜面の崩壊率 (フラジリティ) の算定

誘因との相関を明確に出来ないデータについて崩壊率の算定を行う。

3.4 損失 (C) の算出

道路斜面災害の発生に伴い想定される損失には、下表に示すように道路管理者 (事業者) や道路利用者が被る損失 (直接損失) と、道路の寸断が社会全体に及ぼす経済的損失 (間接損失) がある。

一般的に交通遮断時の損失は、上記直接損失と間接損失の総和で表す。

分 類	損 失 の 名 称	損失負担者	損 失 の 内 容
直接損失	人身損失 (D_1)	道路利用者	被災した道路利用者の人身損失と物的損失
	道路復旧費 (D_2)	納税者	税金から支出される道路復旧に要する費用
間接損失	迂回損失 (D_3)	道路利用者	災害時の迂回による交通コストの増分
	救急医療損失 (D_4)	地域住民	迂回により公共サービスが享受できないことで発生する損失の代表

【議論】

文 献 名	斜面安定評価における劣化概念の導入(リスク分科会)	編 番 号	3 編
出 版 元	(社)建設コンサルタンツ協会 近畿支部	出版年月	2006 年 7 月
著 者	斜面研究委員会	整理担当	尾上正一
<p>【要約】</p> <p>4. モデルケースによるリスク算定事例 モデルケースによるリスクの算定事例を示す。 ここでは、表層すべりの恐れがある 10 箇所の自然斜面についてモデル化した例で算定している。 また、降雨の年超過率については対象を近畿地方に限定し、 洲本（兵庫県） 上北山（奈良県） 龍神（和歌山県）の 3 地区のアメダス降雨データ（過去 20 年間）を用いて求めている。</p> <p>5. 斜面リスク評価における課題</p> <p>5.1 評価手法における課題 リスクを指標とした斜面对策の優先付け評価は、道路管理者が抱える数多くの斜面の優先付けに有効な手法であると考えられることから、より効果的に評価を行うことが必要と考えられる。 今後、本リスク評価を実務で用いる上で考慮すべき課題点を以下に述べる。</p> <p>(1)斜面内地下水位の予測手法 リスクに与える地下水位の影響は大きく、地下水位の予測を精度良く、効率的に行うことが必要。 また、地下水位予測においては降雨の影響が大きく、年確率雨量を適正に判断すること及び、降雨の地域性を的確に評価することが重要である。</p> <p>(2)強度定数のモデル化 本研究で提案する手法を適用する上では、原位置および室内試験から得られる強度定数に基づき、強度定数を確率変数としてモデル化することの精度向上および、その精度に関する検討を行うことが今後の課題である。</p> <p>(3)G I S の導入 リスク評価をより効果的に行うには、地理情報システム（G I S）を利用したシステム化が今後の課題である。なお、G I S 導入の目的は以下に示す 4 点である。 地形情報、地盤情報、降雨情報、道路情報等のリスク評価における基礎データを、一元管理出来る。 リスク評価の基礎データとなる地形の幾何形状を三次元データより取得可能となる。 降雨時の地下水位予測や破壊確率の算定、損失の算定等の他の解析システムを G I S 上へ統合し、パッケージ化することができる。 道路情報を利用することで、損失検討時の迂回路検索や損失計算の基礎資料を得ることができる。</p> <p>5.2 性能低下モデルによるリスク算定 本報告における斜面の安定性評価のモデル化は、地盤性能が低下しないタイプとして取り扱っているが、斜面を構造物として捉えた場合にはその性能が低下することが考えられ、その要因としては以下の 2 点が挙げられる。 地山の性能低下 元々せん断強さが小さい地山は、切り土による応力解放やその後の乾湿繰り返し作用等の環境要因の影響を受け、急激に風化することが知られている。 対策工の性能低下 グラウンドアンカーやロックボルトの腐食による断面減少、地下水排除工の目詰まり、吹き付けコンクリートや法枠工自体の劣化等による性能低下。 上記要因に適合する斜面や対策工を対象とする場合は、斜面の性能低下を考慮した評価を行うことが重要であり、性能低下を考慮したリスク評価は、今後の重要な課題である。</p> <p>5.3 性能低下を考慮した累積リスク評価 斜面のような道路土工分野ではアセットマネジメントに関する研究が遅れているのが現状であるが、斜面の性能低下を考慮した累積リスク（累積損失期待値）の評価モデルや、同評価モデルに基づくアセットマネジメントに関する研究が近年進められており、今後さらなる拡張が期待される。</p>			
<p>【議論】</p>			

斜面安定評価における劣化概念の導入 文献 （第4編）

梅 田 充〔(株)川上測量コンサルタント〕

文 献 名	斜面安定評価における劣化概念の導入	章 番 号	4 章
出 版 元	(社)建設コンサルタンツ協会 近畿支部	出版年月	平成 18 年 7 月
著 者	斜面防災研究委員会	整理担当	梅田 充

【要約】

4 章 鉄筋補強土工法の設計における課題と劣化へのアプローチ

斜面对策工として広く普及している鉄筋補強土工の設計方法
について感度分析を行うことにより構造物劣化のアプローチを試みる

将来的に斜面对策工の劣化を考慮した設計法や維持管理手法を提案する糸口となる

斜面对策工の整理 . . . 1.2

地山補強土工法の整理 . . . 1.3

補強土工設計における課題抽出 . . . 2

鉄筋補強土工設計における感度分析と劣化へのアプローチ . . . 3

斜面对策工設計における性能規定設計の導入について . . . 4

1 斜面对策工の整理

1.2 斜面对策工の整理

1.2.1 対象斜面

対象斜面は、「自然斜面および切土のり面」、「対策工施工済斜面」

1.2.2 斜面对策工の分類

既存の斜面对策工の整理結果は、下記(1)～(5)の通り分類

- (1) 抑制工 (2) 抑止工 (3) 抑制工と抑止工の両方の目的を持つ工法
(4) 崩壊が生じても被害が出ないようにする工法 (5) その他(落石防止工・なだれ防止工)

1.3 地山補強土工法の整理

1.3.2 工法の分類と適性

- (1) ネイリング(Nailing)(鉄筋補強土工法)

鉄筋挿入工法やロックボルト工法。

削孔径は 42～90mm、鉄筋は D22～D32mm、補強材長は 5m 程度までの実績が多い。

- (2) マイクロパイル工(Micropiling)

引張抵抗、圧縮抵抗、曲げ抵抗、せん断抵抗。ルートパイル工法がこれに相当する。

削孔径は 90～135mm、鉄筋は D22～D41mm、補強材長は 4m 以上の実績が多い。

- (3) ダウアリング(Dowelling)

攪拌混合杭による補強材築造が特徴。

削孔径は 400mm 程度。芯材は 35mm 程度の P C 鋼棒や F R P ロッド。補強材長は 1～8m 程度。

2 補強土工設計における課題抽出

2.2 補強土工設計についてのアンケート結果

補強土工の設計施工時に感じる疑問点；補強効果の設定について

補強材の配置・打設角度の設定について

のり面工タイプによる低減係数 μ の設定について

頭部処理方法について

3.鉄筋補強土工設計における感度分析と劣化へのアプローチ

3.3 感度分析と計算モデル

感度分析の方法としては、ある条件下において一つのパラメーターのみを変化させて安全率を求め、安全率への影響度合いを確認する。切土斜面と自然斜面を想定した簡略化した計算モデルを選定。

3.5 感度分析結果

3.5.1～3.5.5 パラメーターの重要度合い

補強材径 のり面工低減係数 μ 打設角度 削孔径

文 献 名	斜面安定評価における劣化概念の導入	章 番 号	4 章
出 版 元	(社) 建設コンサルタンツ協会 近畿支部	出版年月	平成 18 年 7 月
著 者	斜面防災研究委員会	整理担当	梅田 充
<p>3.6 劣化へのアプローチ</p> <p>3.6.1 鉄筋補強土における劣化の要因 鉄筋補強土工法で最も劣化が生じやすい部位は、のり面工との接続部分。劣化要因としては、地表面からの雨水等の浸透などによる腐食環境の変化。</p> <p>3.6.2 感度分析からの考察 鉄筋補強土工による対策斜面の劣化問題を取り扱う場合には、のり面工低減係数 μ が重要なパラメーターとして位置付けられる。のり面工低減係数は、のり面工の剛性低下 (劣化) を表す係数として考えられる。</p> <p>3.6.3 維持管理における着目点の整理 これまでは、一般的なのり面と同様の維持管理方法がとられてきたが、維持管理方法を検討する上ではアンカー工法における維持管理方法を参考とするのが良いと思われる。 点検項目に関して鉄筋補強土工法とアンカー工との違いは、緊張力をかけるかどうかの差を除けばほぼ同様であると考えられる。</p> <p>4. 斜面对策工設計における性能規定設計に導入について</p> <p>4.1 概説 現時点では、斜面对策工には性能規定設計はほとんど導入されていないのが実情である。</p> <p>4.2 アンケート調査 建設業界全体 (ゼネコン、コンサル、メーカー) に対して、斜面对策工における性能規定設計導入への取り組み状況の把握と、性能規定設計導入に向けての課題の抽出を目的としたアンケート調査を実施</p> <p>4.3 アンケート結果 性能規定を導入するための取り組みをしている会社は、建設業界全体の 8% である。 [疑問点] 性能規定に関して、斜面对策工に要求される性能とは何か？</p> <p>4.5 補強土工法における性能設計</p> <p>4.5.1 概説 設定した限界状態が一つの性能であると考え、性能設計法と限界状態設計法には違いはない。</p> <p>4.5.2 斜面对策工の限界状態 斜面对策工における限界状態は、他の地盤構造物と同様に、地盤 (斜面) および対策工構造物の要求性能に応じて、以下の 3 つの限界状態を設定。 (1) 使用限界状態 (2) 修復限界状態 (3) 終局限界状態 対策工においては、斜面土の劣化、対策工構造物の劣化、対策工斜面の変形量などが代表的な要因。特に、補強構造物に焦点を絞って考えると、と の要因が重要。 の要因については、補強部材 (のり面工、棒材など) の劣化と腐食。視覚的に判断できるため、修復限界や修復限界状態を設定することが比較的容易。 の変形量に基づいた限界状態の設定は、斜面对策工の力学的な安定性と安全性に最も大きく影響を及ぼすもの。しかし、土構造物の変形量と安全性の関係を一律に定めることは非常に困難。</p> <p>【議論】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・鉄筋補強土工法において、表面の風化の影響を考える際は、剛なのり面工であるかどうかに着目することが重要。剛なのり面工でない場合は風化の影響を受けやすい。 ・のり面工の分野で性能設計の考えは浸透しているか？ ・のり枠工の設計 (コンクリートの分野) においては、2 年前より性能照査型の設計の考え方が採り入れられている。 ・地盤においては変形が絡みその評価が難しいため、性能設計の適用が困難と思われる。 			

斜面安定評価における劣化概念の導入 文献 （第 5 編）

中 島 正 夫 [ジビル調査設計(株)]

文 献 名	斜面安定評価における劣化概念の導入	編 番 号	5 編
出 版 元	(社)建設コンサルタンツ協会近畿支部	出版年月	2006 年 7 月
著 者	斜面防災研究委員会	整理担当	中島正夫

【要約】

はじめに

本編の構成

本編では、道路法面の維持管理に関する指針や委員会アンケートの結果をもとに現在の維持管理の現状や問題点などをまとめ、今後の課題が整理され、これらの課題を踏まえて、現在行われている日常・定期点検や防災点検などを補完する点検手法について検討を行い、「法面簡易点検」が提案されている。

現在の維持管理の現状と問題点

今後の課題を整理

法面簡易点検の提案

維持管理の現状と課題

【維持管理の現状】

法面の維持管理は道路管理者が行っている。点検は、日常点検、定期点検、異常時（臨時）点検に分類される。

日常・異常時点検：パトロール車内からの目視点検を基本とする。

定期点検：1 年 / 1 回程度実施される。徒歩にてのり面・斜面を可能な限り近接して、できる限り細部にわたり点検する。

道路管理者の点検要領（案）や各構造物指針では、道路防災総点検により作成された防災カルテの利用を推奨している。

防災カルテが作成されている法面以外は、道路や橋梁のように台帳・カルテとして整理されていない。

道路管理者が行っている点検を民間コンサルタント等に委託できるのは、点検箇所数が多い場合の他に、詳細な点検を必要とする場合が挙げられており、維持管理分野においても法面・斜面の専門的知識を有するコンサルタントの技術が求められている。

【課題整理】

維持管理（点検）の実施体制：「パトロール車内からの目視」による日常点検で、変状の早期発見に繋がるか疑問。

点検の記録様式：点検結果を記録する様式の種類が多く煩雑なため、情報を一元化できる記録様式が必要。

カルテの整備：豪雨時においては、防災カルテが作成されていない法面、道路防災総点検の点検対象とならなかった法面でも崩壊した例があり、これらの法面に対しても点検を実施し、新規にカルテ、のり面台帳等を整備する必要がある。

維持管理のアウトソーシング（外部委託）について：法面の日常点検もアウトソーシング可能な分野と考えられる。

課題解決への一提案

どのような点検を行うことで、

社会資本の長寿化を図る。

災害が発生した場合でも被害を最小限に抑える。等の問題を解決できるかを検討し、その具体案として、コンサルタントが維持管理（点検）を行うことを想定し、「変状の早期発見」をテーマに、現在行われている日常点検と定期点検の中間的な位置付けとする「法面簡易点検」が提案されている。また、この提案に当たっては、以下の 5 項目について検討がなされている。

1. 法面構造物の種類と特徴
2. 法面構造物毎の変状の要因
3. 点検のポイント（着眼点）変状の捉え方
4. 点検結果の記録様式と記録方法
5. 点検結果の判定

【議論】

- ・ 議論内容は章末に記載

文 献 名	斜面安定評価における劣化概念の導入	編 番 号	5 編
出 版 元	(社)建設コンサルタンツ協会近畿支部	出版年月	2006 年 7 月
著 者	斜面防災研究委員会	整理担当	中島正夫

【要約】

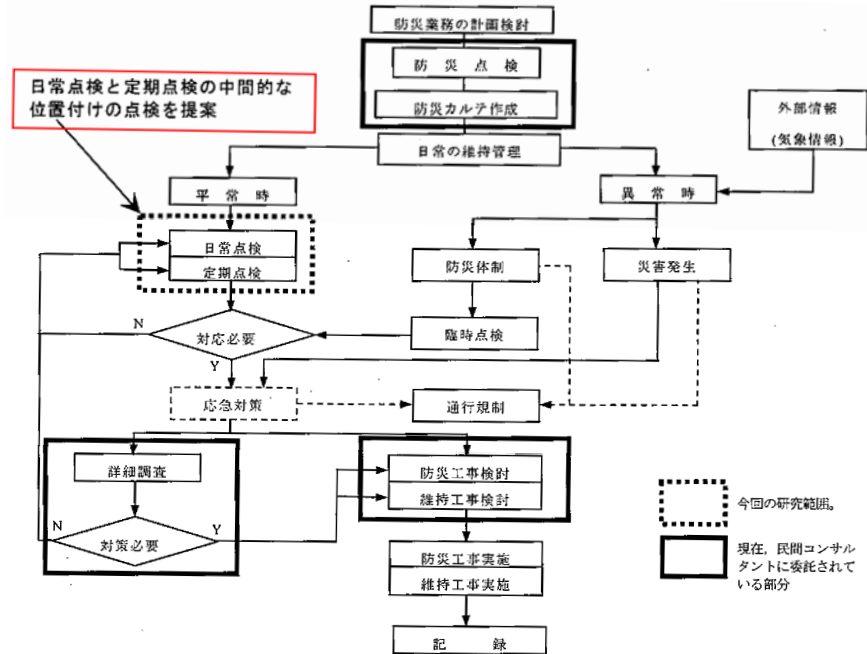


図 1.3.1 維持管理の流れ

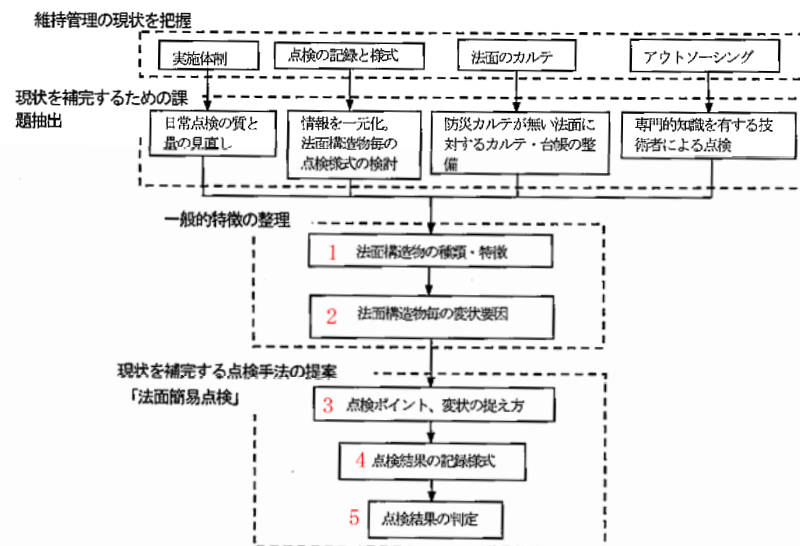


図 1.3.2 課題解決へのフロー図

【議論】

文 献 名	斜面安定評価における劣化概念の導入	編 番 号	5 編
出 版 元	(社)建設コンサルタンツ協会近畿支部	出版年月	2006 年 7 月
著 者	斜面防災研究委員会	整理担当	中島正夫

【要約】

法面簡易点検の提案内容

【一般的特徴の整理】

1.法面構造物の種類と特徴 (P193～P197 参照)

今回対象とする構造物の範囲は、変状を早期に捉えやすい道路構造物のうち、切土法面構造物としている。

対象とする構造物：「吹付工」、「ブロック張り・コンクリート張り」、「排水工」、「法枠工」、「擁壁工」、「アンカー工」、「ロックボルト工」、「杭工」、「植生工」、「落石対策工」の全 10 工種としている。

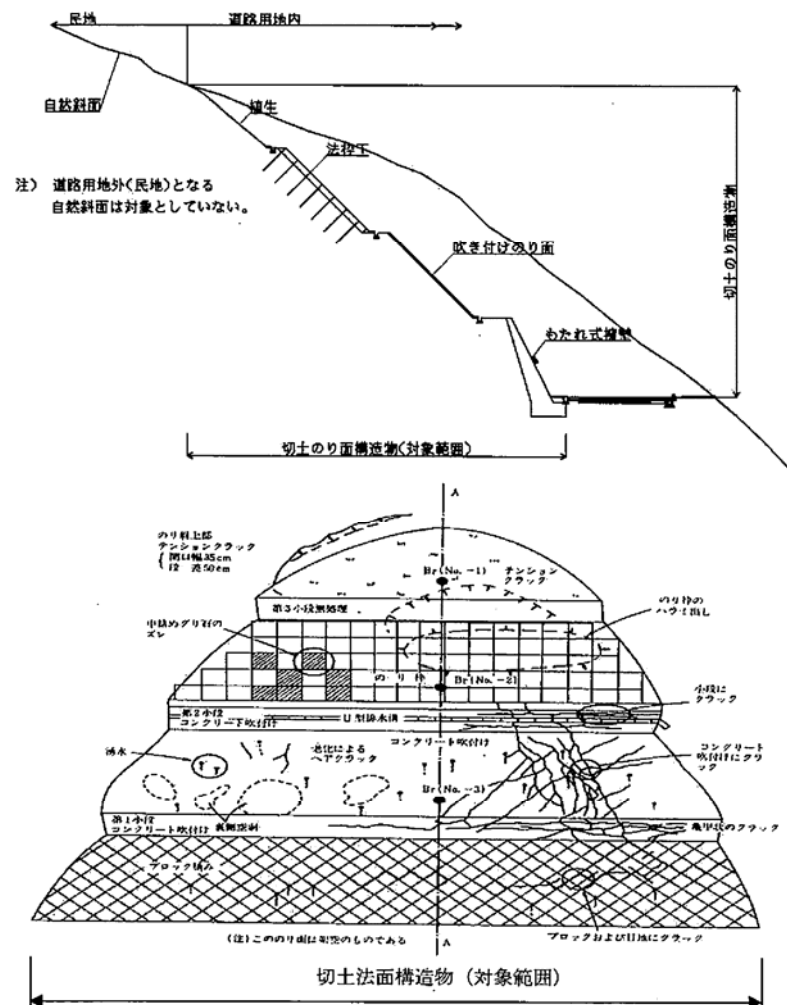


図 2.1 対象範囲のイメージ図

【議論】

文 献 名	斜面安定評価における劣化概念の導入	編 番 号	5 編
出 版 元	(社)建設コンサルタンツ協会近畿支部	出版年月	2006 年 7 月
著 者	斜面防災研究委員会	整理担当	中島正夫

【要約】

2.法面構造物毎の変状要因

法面が崩壊する場合、その要因（原因）には素因と誘因とがある。素因とは地山がもともと持っている「崩れやすい地質」などの条件を、誘因とは外から与えられる「引き金、起爆剤」となるものをいう。法面崩壊の要因（原因）を整理すると下図のとおりとなり、「水」については共通因子となっている。今回の研究テーマは道路施設の維持管理であり、日常点検、定期点検に必要な点検ポイントを整理することにより目的をおいているために下図の点線枠内が対象範囲となる。



図 3.1.1 要因別整理

(社)全国防災協会が出版している「災害復旧のり面対策工法事例集」によれば、平成元年～平成4年程度までの全国211件の法面被災実態調査結果について、以下のとおり整理されている。

被災箇所の5割程度が湧水に起因していること、気象条件に絡むものが9割程度を占めていることから、共通因子である「水」が重要なポイントとなっていることがよく分かる。



【議論】

文 献 名	斜面安定評価における劣化概念の導入	編 番 号	5 編
出 版 元	(社)建設コンサルタンツ協会近畿支部	出版年月	2006 年 7 月
著 者	斜面防災研究委員会	整理担当	中島正夫

【要約】

3.点検のポイント（着眼点）変状の捉え方

点検記録の統一化

全 10 工種の点検項目については、P202～210 に
 列挙されているが、工種と点検項目の関係から共通
 性を見出すことで、変状の点検記録に際する統一化
 を図る。

簡易な計器の使用を原則とする。

～ の各項目について具体的に記されている。

P211～214 参照

例： クラック

カメラ・マ - カ - ・コンベックス・クラックゲ
 - ジ

表 3.2.1 工種ごとの点検項目と点検項目の整理

工 種	点 検 項 目
①次付工	①クラック、②湧水、③はらみ出し、④空 洞化、⑤排水機能
②ブロック張工・コ ンクリート張工	①クラック、②湧水、③はらみ出し④排水 機能
③排水工	①排水機能、②洗掘
④法枠工	①クラック、②フレームの浮き、③はらみ 出し、④基礎の沈下、⑤鉄筋の露出・腐食
⑤擁壁工	①クラック、②湧水、③排水機能、④基礎 の沈下、⑤移動・傾き、⑥鉄筋の露出・腐 食
⑥アンカー工	①頭部定着部材料の損傷・腐食、②頭部定 着部の変形・沈下
⑦ロックボルト工	①頭部定着部材料の損傷・腐食、②頭部定 着部の変形・沈下
⑧杭工	①杭の変位、②杭周辺の沈下・盛ぶくれ
⑨継生工	①斜面の亀裂、②生育、③生育基盤の流 出、④有害植物・他植物の侵入
⑩落石対策工	①支柱の変位、②ロープの緩み、③基礎の 沈下



点検項目の整理

点 検 項 目		
①クラック	②はらみ出し	③湧水
④空洞化	⑤排水機能	⑥基礎の沈下
⑦移動・傾き	⑧洗掘	⑨鉄筋の露出・腐 食
⑩頭部定着部材料 の損傷・腐食・変 形・沈下	⑪杭の変位、周辺 の沈下・盛ぶくれ	⑫斜面の亀裂
⑬支柱の変位	⑭ロープの緩み	⑮生育状況（基盤 の流出・有害植物 の侵入）

4.点検結果の記録様式と記録方法

記録様式は、次の 3 様式が提案されている。

法面簡易点検記録表

点検結果の概要（点検実施日・点検者名・
 変状の有無・点検結果の判定・点検者のコ
 メント等）を点検実施日毎に記録する。

追跡調査表

現地における点検結果（変状位置図・変状計
 測結果・点検時のコメント等）を対象工種毎
 に作成する。

法面点検チェックリスト（参考資料）

現地点検時における点検項目の統一・点検漏れ
 を防ぐことを目的とする。

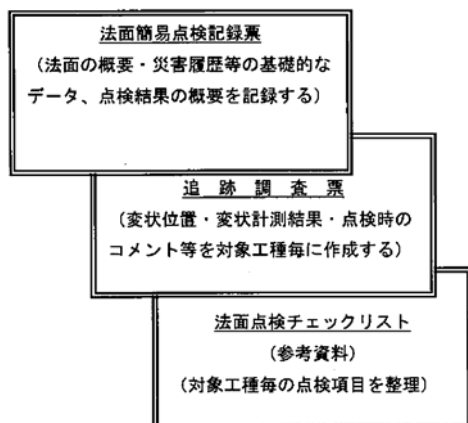


図 4.1.1 記録様式の構成

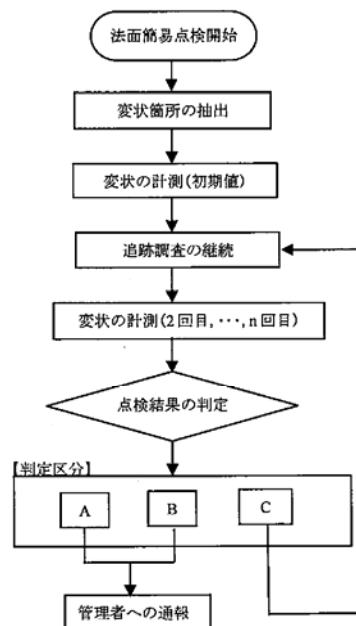
【議論】

文 献 名	斜面安定評価における劣化概念の導入	編 番 号	5 編
出 版 元	(社)建設コンサルタンツ協会近畿支部	出版年月	2006 年 7 月
著 者	斜面防災研究委員会	整理担当	中島正夫

【要約】

5.点検結果の判定

今回提案した法面簡易点検の目的は、構造物の変状の早期発見と進行状況の把握を行い、適切な対応・対策を行うことにより、変状の進行による構造物の損傷・損壊や法面の崩壊等による災害及び二次災害を未然に防ぐことである。この方法を維持管理に利用する場合、図 3.3.1 のようなフロ - が考えられる。すなわち、初回の点検において変状の追跡を行う必要がある箇所を抽出し、2 回目以降の点検では抽出した変状箇所の計測を行い、点検結果を判定する。変状の累積が明らかに認められる場合は道路管理者に通報して対応・対策について検討する方針としている。



注 1) 判定区分 A, B については、管理者に通報を行い、対応・対策について検討を行う。

図 3.3.1 法面簡易点検フロー図

表 3.3.1 点検結果の判定と通報区分

判定区分	損傷・変状状況の目安	通報区分	対応内容
A	損傷・変状が著しく、緊急補修の必要がある場合	○	詳細調査・対策検討・緊急対策
B	損傷・変状がある場合	○	詳細調査・対策検討
C	損傷・変状がないか、もしくは軽微である場合	×	法面簡易点検の継続

注) 判定区分が C であっても、法面全体を含む地質・地形状況、交通状況などを踏まえて通報を行い、対応検討を行う場合もある。

【議論】

文 献 名	斜面安定評価における劣化概念の導入	編 番 号	5 編
出 版 元	(社)建設コンサルタンツ協会近畿支部	出版年月	2006 年 7 月
著 者	斜面防災研究委員会	整理担当	中島正夫

【要約】

まとめ

【総括】

現在の日常点検はパトロール車からの目視点検 法面簡易点検の提案（日常点検と定期点検との中間的な位置付けとし、法面に近接した点検を年 4 回程度の頻度で行う。）

「法面簡易点検」の提案を行うため、法面構造物毎の特徴や適用条件を整理し、災害事例などから変状が発生しやすい場所や変状形態などを参考にして法面構造物毎の点検項目を整理した。また、変状の捉え方として、具体的な簡易計測方法を示した。

法面簡易点検の記録様式の構成

- ・法面簡易点検記録表
- ・追跡調査表
- ・法面点検チェックリスト

「法面簡易点検」は、変状の進行を捉える方針は防災カルテと同様であるが、本文では上記の検討を行い、斜面毎に変状形態毎、構造物毎のチェックリストとして整理している。これにより点検者による点検項目選定の主観を排除し、効果的で効率の良い点検が行えると考ええる。

法面構造物毎のチェックリストは、既に発生している変状の追跡を行うだけでなく、新たな変状を早期に発見する場合にも効率のよい点検が行えると考ええる。

法面の崩壊は防災カルテが無い法面でも発生しており、現在防災カルテで対応されている法面以外に対しても「法面簡易点検記録表」を作成して点検することを提案する。ただし、道路法面の数は膨大であり、これを作成する法面の絞り込みとして、平成 8 年度に実施された道路防災総点検の「落石・崩壊」や「擁壁」を対象に、被災履歴や安定度調査票の点数を参考にする方法が考えられ変状測定結果がライフサイクルコスト等に役立つようにする必要がある。

【今後の課題】

今回、構造物が施された道路切土法面の点検手法を対象に絞って検討を行ってきたが、自然斜面・盛土構造物の点検についても変状を捉える手法の検討を行い、適用範囲を拡大させていく必要がある。また、変状を捉える際に、素因の他、劣化（老朽化）も踏まえて、変状が発生しやすい位置や構造物を把握し、変状の予測を点検手法の一部に取り入れて検討することも必要と考える。

【議論】

- ・福井県における現在の維持管理状況としては、斜面防災マニュアルを受けて、日常点検、定期点検の頻度（道路の重要性に応じて 1～3 年）を各土木事務所ごとにまとめている。
- ・防災カルテ対応でないのり面や自然斜面などをどのように点検管理していくかが課題。
- ・点検は場合分けが多いとまとめきれなくなる恐れがある。定期点検を外部委託することも考えられるが、現時点でも各社がそれぞれまとめている膨大な資料を整理・管理していくことが困難な状況にある。
- ・まずは効率的に点検管理していく方法を整理した上で、実行していくのがよいと思われる。
- ・以前、モバイルを活用することを提案したことがある。現場にモバイルを持ち込み点検することで、チェックリストが異なっても（切土・盛土など）容易に対応が可能である。
- ・点検の外部委託はどのようなケースで実施しているか？
- ・H8、H18 の防災点検、ならびに作業量が多い土木事務所では適宜外部委託を実施している。
- ・実際に点検を実施している立場から言うと、ピン間計測のピンの位置を探すことも大変であり、実際に設置した人間の記憶に頼らざるを得ない部分もある。異動のない組織の方が管理しやすいと思われる。
- ・点検者が変わらなるとデータが偏る恐れもあり、むしろ交代があったほうがよいのではないか。
- ・定期点検の替わりになる簡易な点検があれば有効となるかもしれない。
- ・ルーチンワークとして日常パトロールで判断できる内容を検討していくことも重要。
- ・現在多くののり面に階段が整備されていない。これを当初設計に組み込むことはできないか？
- ・現時点では、雪崩予防柵など重要な施設がある場合などで階段を考慮している。
- ・点検は重要な問題である。この検討会でアイデアをまとめていくとよい。

豪雨時における斜面崩壊の
メカニズムおよび危険度予測
文献 （第4、5章）

伴 真太郎 [第一技術開発（株）]

文 献 名	豪雨時における斜面崩壊のメカニズムおよび危険度予測	章 番 号	4 章
出 版 元	丸善株式会社	出版年月	平成 18 年 7 月
著 者	(社) 地盤工学会	整理担当	伴 真太郎
<p>【要約】</p> <p>4 章 豪雨時の斜面安定性評価</p> <p>4.1 斜面安定解析の概説</p> <p>4.1.1 斜面安定解析の種類</p> <p>斜面安定解析はすべり面がすでに分かっているか否かによって斜面安定解析の目的が異なる。</p> <p>1)すべり面が明確に存在していない斜面（盛土、切土斜面および多くの自然斜面） 常時の安定性 豪雨や地震時の安定性の变化 すべり面の位置、形状 斜面崩壊時の崩壊土塊の移動性、到達・堆積これら項目の全部若しくは一部を事前に予測する。</p> <p>2)すべり面が明確に存在している斜面（崩壊した斜面、滑動が生じている斜面） 斜面安定性に対して最も重要なパラメーターを逆算すること。豪雨時には仮定または測定した地下水位ですべり面上のせん断強度パラメーターを逆算したり、せん断強度パラメーターを用いて、崩壊時の斜面内の地下水位を逆算したりする。</p> <p>4.1.2 斜面安定解析の基本</p> <p>斜面安定解析では極限平衡法がよく用いられており、代表して分割法がよく用いられている。しかし極限平衡法には、 静定化条件、 最もすべりやすい面（臨界すべり面）の探索という欠点が存在する。一方でせん断強度低減有限要素法では安全率およびすべり面を同時に算定できるため、すべり面を解析に先立って仮定する必要がない。さらに極限平衡法と比較してせん断強度低減有限要素法は複雑な地層構造をもつ斜面にも適用できることが示されている。</p> <p>4.1.3 豪雨時の間隙水圧変化の予測</p> <p>豪雨による斜面崩壊は、斜面内の水圧の上昇、もしくはサクシジョンの低減による土のせん断強度が低下することに起因している。したがって、豪雨時の斜面安定性評価には、豪雨による間隙水圧の変化を的確に把握する必要がある。</p> <p>斜面崩壊時の予測をするとき、豪雨時の間隙水圧の経時的変化が重要である。有限要素法による飽和・不飽和浸透流解析には、これらのことを取り入れられるため、豪雨時の間隙水圧変化を把握するための有力な手法の一つである。室内模型試験結果と解析結果の比較からもほぼ再現している。（図参照）</p> <p>予測した豪雨による間隙水圧の経時的変化を斜面安定解析に取り入れて、豪雨時の斜面安定性の経時の変化を予測できることから豪雨時の斜面崩壊の時刻も分かる。</p> <p>4.1.4 せん断強度定数</p> <p>地盤材料のせん断強度は飽和土および不飽和土の各々の式より表されるが、不飽和土のせん断強度においてはサクシジョンによるせん断強度の一部を見掛け粘着力とする考え方がよく用いられる。</p> <p>豪雨による斜面表層崩壊が発生する時は試験結果より地盤が完全に飽和状態に至っていない場合が多い。したがってサクシジョンによる見掛け粘着力の取り入れにより表層破壊の安定解析の精度が向上できると考えられる。しかし、このような安定解析を行うには、まだ研究段階であり実用化されていない。</p> <p>〔せん断強度パラメーターの決定手法〕</p> <p>土質分類や他の測定しやすい土質パラメーターとの相関関係から推定。 サウンディングや原位置せん断試験結果から求める。 原位置サンプルを用いた室内せん断試験結果から求める。 すでに崩壊した斜面や滑動が生じている斜面でせん断強度パラメーターを逆算する。</p> <p>および が多用されているが、経験式には相当なばらつきがあるため（図 4.2）せん断強度パラメーターの決定には技術者の経験および高度な判断が必要である。</p> <p>4.1.5 豪雨時斜面安定における性能設計</p> <p>斜面安定における性能設計は、斜面に求められる性能（要求性能）を斜面の所有者あるいは管理者との協議の上で明確にし、斜面の保有性能が要求性能を満足していることを確認する設計体系である。斜面に求められる性能は変形や安定性などがある。</p> <p>変 形・・・豪雨時の斜面の変形挙動は、飽和・不飽和浸透と土骨格の変形との連成解析という手法で計算できるが実用化までには研究蓄積が必要。</p> <p>安定性・・・現状では、ある再現期間の豪雨に対する斜面安定性を性能指標とする。</p> <p>ある再現期間の確率降雨を算定する手法として、さまざまな確率計算手法や最適化手法の選定基準が提案されている。なかでも確率計算法にはコンピューターによる数値計算のほか確率紙による方法もあり、いくつかの確率紙を用いて採用しうる確率分布モデルを判定し確率降雨量を求めることができる。</p>			

4.1.6 豪雨時の斜面安定性評価および留意点

〔豪雨時の斜面安定性評価項目（全部もしくは一部を実行）〕

性能指標の設定または計画安全率の設定

解析対象の斜面モデルの作成

せん断強度パラメーターの決定（可能な限りサクシオンによる見掛け粘着力を取り入れる）

豪雨に関するパラメーター（例：降雨量、降雨持続時間）

地下水位の経時的な変化の予測

斜面安定解析手法および解析ツール（プログラム）の選択

データ入力（入力ミスのチェック）

解析結果の検討

安全率が計算値＜設定値の場合は有限要素法または差分法を用いて、崩壊土塊の到達・堆積範囲予測対策工の効果による豪雨時の斜面安定性評価（対策工の比較 最適な対策工）

4.2 豪雨時における斜面安定解析法

4.2.1 豪雨時における斜面の破壊機構

豪雨時のピーク時の斜面崩壊は浅層崩壊、ピークを過ぎてからは深層崩壊となることが多い。このような斜面崩壊は、風化・侵食作用を受けた地表面に雨水が浸透し、風化層のせん断強度低下により生じる。

しかし、豪雨時における斜面の変形挙動は、本来、雨水の浸透と地盤の変形が個別に生じるのではなく、土骨格、水、空気の状態変化が相互に影響して生じることに注意する必要がある。

4.2.2 崩壊機構のモデル化と斜面安定解析

斜面の崩壊機構を表現するには、土・水・（空気）連成弾塑性変形解析を用いることが理想的であると思われるが、土の構成関係に関わる詳細な情報を必要とするため、現実的には解析は困難な場合が多い。このことより斜面安定解析法には極限平衡法が用いられる。さまざまな方法があるが、比較的簡便な手法が用いられ、その背景に斜面の崩壊形態はすべり長さに対して浅い表層破壊を示すことが挙げられる。

近年の安定解析では、三次元解析手法も整備されており、今後の積極的な活用が望まれている。そのほかに、極限平衡法の精度改善や有限要素法を用いた安定解析法も開発されている。

4.2.3 事例解析と今後の課題

解析事例からは、斜面の水理条件が明らかな場合に豪雨の斜面安定性は、かなり正確に評価できる技術的段階にある。しかし、自然斜面の場合、地層構造や透水係数の変化等、評価の難しい問題が山積みである。これら問題解決には地盤調査が不可欠である。近年の斜面モニタリング技術の向上を受けて、豪雨時の斜面情報を活用して逆解析手法により地盤情報を同定する試みも行われており、今後の研究の進展に期待されている。また、豪雨時に崩壊の懸念される対象斜面数は膨大であり、マクロ的な視点に基づく検討も重要である。

4.3 斜面对策工設計の今後の展望

斜面对策工は抑制工と抑止工に大別されるが、ここでは主に抑止工に焦点を当て代表例として アンカー工、抑止杭工、鉄筋挿入工に関する将来展望。

アンカー工・・・集中過重の取り扱い、非円形すべり面への適応、アンカー力の過大視を現状問題として認識し、解消していく。

抑止杭工・・・建築物を支える鉛直杭の設計法を地すべり抑止杭の設計に発想転換。

鉄筋挿入工・・・スライスごとの局所安全率を有する安定解析法を用いた設計法の樹立、またその設計法の応用。

【議論】

- ・ 飽和 - 不飽和浸透流解析(+ 安定解析)では、圧力と位置を考慮する。
- ・ 連成弾塑性変形解析では、変形によって発生する圧力も入れて計算する。
- ・ 飽和 - 不飽和浸透流解析のプログラムは無料で配布している。図化は困難。
- ・ 連成解析は足羽川の破堤の解析に用いた実績あり。結果は飽和 - 不飽和浸透流解析(+ 安定解析)とほとんど同じであった。

文 献 名	豪雨時における斜面崩壊のメカニズムおよび危険度予測	章 番 号	5 章
出 版 元	丸善株式会社	出版年月	平成 18 年 7 月
著 者	(社) 地盤工学会	整理担当	伴 真太郎
<p>【要約】</p> <p>5 章 自然斜面における崩壊機構の特徴</p> <p>5.1 地質要因と崩壊</p> <p>基岩崩壊の場合、基岩の強度条件、不連続面に代表される物質移動の構造的な境界条件の形成、基岩そのものがクリープ現象等により変形が卓越し、崩壊予備層を形成する条件等が崩壊の発生に大きな影響を及ぼす。</p> <p>5.1.1 基岩の強度を左右する条件</p> <p>基岩が硬いか、軟らかいかが重要である。硬岩は急傾斜面や露頭崖として現れ崩壊現象は、急傾斜面の表層や落石が多い。一方軟岩の場合は緩斜面として出現し、地すべりの発生が多くなる。</p> <p>5.1.2 崩壊可動物質生成の条件</p> <p>花崗岩地域では、花崗岩の風化生成物であるまさ土が豪雨中に崩壊することが多い。このため、風化度の大きな花崗岩は崩壊発生ポテンシャルが大きい。</p> <p>地山が風化しやすい 崩壊可動物質の生成速度が早い 崩壊が多くなる</p> <p>5.1.3 物質移動の構造的な境界条件の形成</p> <p>崩壊の発生場所および規模は断層、破碎帯、節理、層理などの地質構造に影響を受けやすい。典型的な例として、「流れ盤」、「受け盤」に代表される層理面と斜面との相互関係がある。豪雨の崩壊例では表層堆積物の分布も崩壊発生の重要条件である。</p> <p>層理面以外の不連続面、断層や節理の影響も大いに受けやすいが、節理等の不連続面での崩壊を予知することは困難である。</p> <p>5.1.4 クリープ現象等による変形が卓越する条件の形成</p> <p>クリープ現象等による変形は時間的に劣化するという視点をもつことが必要である。特に切り取り斜面では長期の安定には必要。</p> <p>5.2 地形要因と崩壊</p> <p>すべり面が浅い崩壊、表層崩壊は地形条件に影響を受けやすく、谷と尾根、斜面傾斜、傾斜変換点、斜面高さ(長さ)、地表水の集水面積等が考えられる。</p> <p>谷と尾根・・・豪雨時には谷型斜面での崩壊が多く、横断面方向では谷を形成する左右岸の谷壁斜面で多発。縦断面方向では谷頭部や谷壁斜面で多発。なお、地震時は尾根型斜面で崩壊が多発することから外力の違いからも注意が必要。</p> <p>斜面傾斜角・・・花崗岩の場合は 35°前後で崩壊。しかし地震時では 45°前後。地すべりや大規模崩壊は傾斜角はあまり関係ないが、一般に地すべりは一般に緩傾斜面で多発する。</p> <p>傾斜変換点・・・斜面縦断面形状で下降斜面・複合斜面が最も多く、次いで平衡斜面。地形学では侵食前線で崩壊が多発との議論がある。</p> <p>斜面高さ(長さ)・・・斜面の高さは崩壊が発生した場合の被災危険度に大きな影響がある。</p> <p>地表水の集水面積・・・集水面積は崩壊に大きな影響をもち、地形の重要パラメーターである。</p> <p>5.4 地盤要因と崩壊</p> <p>地盤要因の代表的なパラメーターは、土の粘着力や内部摩擦角である。その他、土の単位体積重量や透水性等も大きく影響する。</p> <p>斜面の表層崩壊は表土層厚および基岩傾斜が安全率に最も影響が大きいと報告されている。</p> <p>表層厚の定義には過去から多くの研究が行われており、土研式簡易貫入試験器が総合的に最適と考えられている。</p> <p>5.4 植生要因と崩壊</p> <p>植生と崩壊との関係は一般に、樹齢、樹種、粗密度といった外観パラメーターによって評価することが試みられてきた。</p> <p>樹齢では 10～15 年で最も崩壊が発生しやすいと考えられおり、粗密度においては、植生の根は崩壊に対して大きな影響があることが明らかになっているが、植生要因を総合化する手法が未だ確立されておらず、崩壊予知の方法も提案されていないのが現状。</p> <p>植生は台風時には負に影響することもあるが、それを除けば、崩壊防止に大きく寄与しているものと考えられている。</p> <p>【議論】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・崩壊の発生しやすい条件について、路線ごとではなく、全県を見渡して地域(地質)ごとに評価すべき。 ・植生の根にはある程度の抑止効果(表層崩壊)がある。 ・樹齢による崩壊性の評価は、樹種によっても異なり一概に言えない。 ・柔軟性のある植生は崩壊抑止に対して有効。また、落葉広葉樹には保水性がある。 ・福井豪雨では安山岩地域で崩壊が多発した。風化の厚い花崗岩に対して、安山岩の地山は根が岩盤に当たって浅部で止まっているものと考えられ、これが表層崩壊多発の原因になった可能性がある。 ・植林を一齐に行うため根の深さが一定になり、ある面で崩壊しやすくなるということも考えられる。 ・ヨーロッパでは環境に配慮して切土をできるだけ作らないようにしている。橋梁の方が LCC は安くなる可能性がある。 			

豪雨時における斜面崩壊の
メカニズムおよび危険度予測
文献 （第 6、7 章）

鈴木 敏〔（株）サンワコン〕

文 献 名	豪雨時における斜面崩壊のメカニズムおよび危険度予測	章 番 号	第 6 章
出 版 元	社団法人 地盤工学会	出版年月	平成 18 年 7 月
著 者	荒木繁幸、武石朗、谷茂、小山内信智	整理担当	鈴木 敏

【要約】

第 6 章 危険度の高い斜面抽出方法

6.1 概説

斜面崩壊の予知・予測は人命に直結した問題。予測精度を向上させ避難警報等の的確な発令により斜面災害による人災をなくすことが強く求められている。斜面崩壊の予知・予測は下記の 4 つに区分。

(1)どのような現象なのか(表層崩壊か円弧すべり型かのメカニズムの予測の問題) 表層崩壊に限定

(2)いつ崩壊するのか(時の予測の問題) 第 7 章で説明

(3)どこが崩壊するのか(場の予測の問題) 3 つの方法に大別。6.2、6.3、6.4

(4)どれくらいの規模で発生するのか(規模の予測の問題) 6.5 以下に提案されている手法を紹介。

6.2 採点方式

下記の a)、b)、c)、d)の 4 種類の内容をエキスパートや専門家が決め、この情報を活用して非専門家が危険度を判定する方法。

a)崩壊の発生に影響すると考えられる要因(傾斜や斜面の高さなど、アイテムとも呼ばれる)

b)各要因の内容(例えば風化度が要因の場合強風化とか弱風化、カテゴリーとも呼ばれる)

c)カテゴリーに与える崩壊発生への評価点(スコアとも呼ばれる)

d)評価点の和から崩壊か非崩壊かを判断する基準値(判別値とも呼ばれる)

6.2.1 盛土を対象とした場合

(1)道路：道路防災点検要領(平成 8 年)に準じ評価。排水施設の充実を評価。

(2)鉄道：道路との相違は経験雨量および法面防護工効果を評価している点。

(3)現在、素因(地盤工学的パラメータ)と誘因(降雨量)を個別に取り扱い降雨時の危険場所の抽出だけでなく崩壊発生に至る降雨量も評価できるようになった。今後一歩進んだ避難勧告や指示の可能性あり。

6.2.2 切土・自然斜面を対象とした場合

(1)道路：道路防災点検要領(H8)に準じ評価。盛土との相違は豪雨時の崩壊に大きく影響している要因(表土の状況、法面勾配、集水条件、崩壊の履歴)を評価する点。

(2)鉄道：表層崩壊、深層崩壊のどちらの可能性が高いかを判別し評価を行い、限界雨量を求める。

(3)砂防：全国を同一基準で判定しようとする急傾斜地崩壊対策事業の手引き(S62)、人間の主観的判断に基づくあいまいな情報から定量的に判断するファジィ理論を用いた斜面危険度評価法(H4)の 2 種類がある。前者は地域性および地被状況が反映されない欠点がある。後者は斜面調査専門家の意志が反映できる手法である。

(4)発生メカニズムが複雑なため、予測に必要なすべての情報を得るのは不可能。その際、採点法は重要な判断基準となるが、まだ専門家の判断にゆだねられている部分が多い。

6.3 統計的処理方式

採点方式による方法の(c)、(d)に関する値を数学的に求め、危険な斜面を抽出する方法。

6.3.1 数量化 類を用いた評価方法

数量化理論 類を使った判別分析。経験的な数値を避ける利点があるが降雨の要因が入ることがなく崩壊が発生した理由、しなかった理由を素因で比較するため、次の降雨に対して予知・予測は難しい。

6.3.2 リモートセンシングを用いた方法

広範囲の中から崩壊危険箇所を抽出する目的で、広域性、周期性、同時性といった特徴をもつ衛星データをを用いた方法。崩壊危険斜面を広範囲の中から抽出できる方法として今後期待が持てる。

6.4 力学的解析手法

円弧すべりや非円弧すべりなどの斜面安定解析方法による方法。予知・予測の場合どこでこれらの手法を適用すべきかは不明。下記にその他の危険な斜面を抽出する解析的な手法を 2 つ紹介。

6.4.1 平面的な崩壊場所の絞り込み

平面的な情報を用い、表土層中の浸透水が集まって斜面や谷に水位ができるという見かけの水位を求め、どこで安全率が 1 を切るかで平面的に危険度を評価する方法。危険な斜面を絞り込む時に有効であるが崩壊の大きさの表現はこの平面モデルではできない。

6.4.2 断面的な崩壊場所の絞り込み

斜面の縦断面で表層崩壊したまたは崩壊しそうな土層を把握し一番小さなすべり安全率を求め、危険度を評価する方法。相対的に見て一番危ない場所を予測することが可能。この解析法で降雨を考慮すると、水が集まる斜面ほど早く安全率が 1 を切る。今後、地形効果を考慮した解析手法の出現に期待。

6.5 規模の予測

斜面崩壊規模は崩壊土砂の流下範囲の算定で重要な情報となる。提案されている方法を下記に紹介。

6.5.1 地形情報から判定する手法

斜面上に何が覆っているかを等高線の形を参考に抽出し、危ない場所を指摘し、これくらいの規模の土壌が崩壊するという予測。この手法では詳細に規模を予測することはできない。

6.5.2 力学的解析手法

数値地形モデルを用いた三次元解析モデルでの崩壊規模予測が試みられているが実用化には至っていない。他に統計的な手法であるランダムモデル、流体モデルがある。

6.6 ハザードマップ

6.6.1 ハザードマップとは

地震・豪雨・洪水、火山等の現象により斜面、ため池、家屋、人等に被害が発生する可能性のある危険箇所を事前に明示したもの。斜面ハザードマップ構築は以下の課題がある。

不定性評価の技術的問題、データソースの問題、表現の問題、法的問題

6.6.2 自治体における「ハザードマップ」の作成例

)広島市：雨に対する警戒基準を・避難基準を公表(H14)。

)静岡県：主に地震を想定。

)東京都：地震、土砂災害を主な対象。

)神戸市：土砂災害危険区域を示したマップを新聞折り込みで公開(H7)。

6.6.3 土砂災害を対象としたハザードマップ

(1)がけ崩れによる被災範囲

)崩壊土砂の到達範囲

過去の災害事例を分析し到達範囲と地形の関係を明らかにする経験的手法

崩壊土砂の物理的挙動をモデル化した数値計算手法

)急傾斜地崩壊危険箇所における想定被害区域(現在行政で用いられている例)

対象：斜面高さ 5m以上。傾斜角 30°以上。

想定被害範囲：斜面高さの 2 倍以内 50m限度。

(2)崩壊土砂による家屋の被災範囲

土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律施行令(H13)に基づく「国土交通大臣が定める告示」による方法。がけ崩れ自体を防ぐのではなく、警戒区域および特別警戒区域を設定し避難勧告や規制による災害発生防止軽減を図ろうというもの。

6.6.4 ため池を対象としたハザードマップ

決壊の解析結果をため池防災データベース上に表示すれば、より詳細なハザードマップが作成可能。

6.7 今後の諸問題

(1)降雨情報とリンクした危険斜面の絞り込みの必要性

崩壊の誘因は降雨の場合が多いのに、ほとんど 1 箇所の降雨事例で研究が進められることが多く、崩壊データや非崩壊データに「降雨」という要因が入ることはほとんどなく、崩壊が発生した理由、しなかった理由を素因のみで比較しており、次に予想される降雨に対する予測・予知は不十分である。今後、予想される降雨に対して、斜面が本来有する素因と崩壊の直接の引き金となる誘因を同時に議論できる手法の確立が必要。

(2)過去における崩壊データの蓄積やその仕組みの構築の必要性

今後予測精度を高めるためには、降雨データを含めた崩壊に関するデータを一元的に収集するとともに、新たな崩壊が発生するたびにそのデータを追加しそれを公開するシステムが必要。

(3)画像データや GIS の活用

斜面災害発生 の 広域的な予測には、航空写真やランドサット等の画像データの活用が必要であり、画像データを利用した崩壊予測手法の確立が望まれる。また、画像データに基づいて作成された数値地形情報やデジタルマップを GIS と組み合わせ、避難情報としての利便性向上も考えられる。

(4)崩壊規模の予測手法の確立

土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律(H13)が施行された。これは崩壊土砂がどこまで到達するかを明らかにし、避難勧告の発令や建築の制限を設ける法律であるが、現状は十分な精度で崩壊規模の予測が行われていない。崩壊規模の予測はハザードマップ作成に必要不可欠な要素であり今後より精度の高い崩壊規模予測手法の確立が望まれる。

【議論】

- ・ 福井県では過去の崩壊記録のデータベースは構築されていない。防災点検のデータは整理されている。(国交省から県に依頼があるものでは、道路防災点検結果をふまえた対策工の進捗状況を把握するデータベースがある。) 提言の重要なヒントになる。
- ・ 原子力発電所の維持管理では、様々な失敗事例をフォールツィー解析により分析し、対策を検討している。斜面防災においてもそのような観点は有効と考えられる。
- ・ 道路行政におけるハザードマップの作成は全国的な話になり容易ではない。急傾斜地においては「土砂災害防止法」の規程の中で警戒区域等が設定、公表されている。
- ・ 民家の場合は危険度を理解しておくことも減災の観点上重要だが、道路の場合、同様な事を行うと、危険箇所は早急に対策すべきという話になると思われる。
- ・ 自治体におけるハザードマップの作成は、地域の防災意識の高さが影響している可能性がある。神戸は兵庫県南部地震の影響を受けているものと思われる。

文 献 名	豪雨時における斜面崩壊のメカニズムおよび危険度予測	章 番 号	第 7 章
出 版 元	社団法人 地盤工学会	出版年月	平成 18 年 7 月
著 者	荒木繁幸、谷茂、小山内信智、岡田憲治、加藤俊二、杉山友康、天野浄行、酒匂一成	整理担当	鈴木 敏

【要約】

第 7 章 豪雨時における危険度予測

斜面崩壊に伴う被害の防止・軽減はいつ発生するか危険度予測が必須。以下崩壊危険度予測を紹介。

7.1 過去に発生した崩壊時の時間雨量

7.1.1 自然斜面

まさ土斜面としらす斜面を取り上げ崩壊が発生するときの降雨特性を過去の災害記録を基に検討。
 まさ土斜面：Rf(累計雨量と降雨強度の二つの指標を 1 つに集約し斜面崩壊の危険地域を判定するための雨量指標)が 500mm 以下になるような 1 週間累計雨量と時間雨量の組み合わせで崩壊が起こる。
 しらす斜面：24 時間半減期を用いた実効雨量で 200mm 以上が一つの目安。

7.1.2 切土斜面

道路：直轄国道の災害のうち 8 割が土砂災害。落石は他の災害に比べ小連続雨量で発生傾向高い。
 鉄道：斜面崩壊箇所の表層崩壊時の連続雨量 R と時間雨量 r の平均値はそれぞれ 150mm、22.7mm/h。それに対して深層崩壊は 202mm、27.9mm/h。深層崩壊はより強い降雨条件で発生。

7.1.3 盛土斜面

道路：盛土は崩壊が発生しにくい構造のため崩壊事例も切土に比べ少ない。
 鉄道：切土より盛土の方が多い降雨量で崩壊している。斜面崩壊箇所の連続雨量 R と時間雨量 r の平均値はそれぞれ 201mm、29.7mm/h。古い盛土に比べて新しいものは少ない雨量で崩壊している。

7.1.4 ため池

連続雨量、時間最大雨量および水位の急上昇が災害発生と関係。また豪雨前の貯水位が大きく影響。

7.2 崩壊危険度評価のための雨量指標

7.2.1 雨量指標による統計的方法

(1)観測値をそのまま用いた雨量指標
 累積雨量。10 分、1 時間、2 時間および 3 時間、24 時間、日、1 週間、連続、前期雨量がある。
 (2)数学的演算によって求められた雨量指標
 観測値に何らかの数学的演算を行って求めたもの。有効雨量、有効雨量強度、実効雨量がある。
 (3)降雨による斜面崩壊の危険度は累積雨量と降雨強度の両方に関係すると考えられる。

7.2.2 土中の水分量に着目した水文学的方法

斜面または流域の限界貯留量を求めようとする方法。

7.2.3 雨量浸透を考慮した斜面安定に基づく土質工学的的方法

飽和・不飽和浸透解析による斜面安定解析を行い、降雨による安定性変化を評価する方法。

7.3 各種基準雨量の設定方法

7.3.1 一般国道(国土交通省直轄)

全国の事前通行規制区間の基準雨量の再現年数にばらつきがあり、空振り規制や未捕捉災害が課題。

7.3.2 高速道路

(1)降雨による通行止めの目的および適用：連続・時間雨量法(H13)を全国統一基準値策定方針と定める。
 (2)降雨通行基準値の設定方法：5～6 年確率雨量を基本的な通行規制の目安とし具体的な規制基準は地域特性を考慮して支社局ごとに設定。被害履歴があれば基準値に反映。
 (3)降雨時の管理体制：巡視点検や気象観測機器による監視を行い降雨状況に応じた管理体制をとる。

7.3.3 砂防

(1)実効雨量による手法：指針案による手法(A、B 案)、矢野案、提言案がある。
 (2)国土交通省と気象庁の連携による手法(連携案)：国交省砂防部と気象庁予報課が連携し、土砂災害警告情報の発表・解除基準の統一化および予測精度の向上を目指し H17 に発表。

7.3.4 JR における雨量規制：降雨による運転規制

(1)鉄道における災害の実態と降雨災害の種類：自然災害のうち半数以上降雨が原因で発生。
 (2)降雨災害を減らすための基本：降雨による運転阻害となる事象を予測し列車運転規制(ソフト対策)。
 (3)JR における降雨による運転規制の歴史：時間雨量、連続雨量、累積雨量に基づき運転規制。
 (4)改良が加えられた現在の運転規制方法：民営化により各社で独自方法を採用。今後実効雨量が有効。
 (5)降雨時の運転規制の考え方：安全運行の確保が基本。安全を重視すると安定輸送が困難に。
 (6)発令基準値設定の際の留意点：過去の災害発生形態や降雨の状況を分析して基準値の設定が必要。
 (7)鉄道における斜面崩壊と雨量に関する検討例
)限界雨量による崩壊危険性の評価：連続雨量と時間雨量の積(限界雨量)を用いる方法。耐雨強度評価。
)運転規制に使用する雨量指標の検討：実効雨量が安全率の変化傾向により対応した変化を示す。

7.3.5 アースダムの危険度予測：ため池リアルタイム防災データベースは既存のため池防災データベースにリアルタイム気象情報を結合し広域災害を予測するために開発したもの。

7.3.6 新しい雨量指標

- (1)既存の雨量指標の課題：雨量指標を用いた危険度評価は累計雨量と降雨強度の組み合わせにより評価。
- (2)雨量指標 R_f ：累計雨量と降雨強度を 1 つに集約し斜面崩壊の危険地域を判定するための雨量指標。
- (3)雨量指標 R_f の地盤工学的な意味： R_f は時々刻々の累計雨量と降雨強度の両方を同時に評価可能。
- (4)雨量指標 R_{fw} の提案と R' への変換： R_{fw} 、 R' は R_f の課題を改善するための雨量指標。
- (5)雨量指標 R' の適用性： R' は豪雨に起因する土砂災害発生時間および場所の危険度評価を行うための新しい雨量指標。降雨予測技術(アメダス)の組み合わせにより、より精度の高いものへの発展期待。

7.4 土壌雨量指数による崩壊危険度予測

7.4.1 雨観測の不確実性：現在現場の雨量データが使われることは少なく災害と雨の関係が説明不可。

7.4.2 土壌雨量指数：レーダー・アメダス解析雨量+タンクモデルに履歴順位概念を導入したもの。

7.4.3 土壌雨量指数の性能

- (1)統計的分析結果：土砂災害の発生数 59%、死者数の 8 割以上が履歴 1 位の雨で発生。
- (2)個々の土砂災害事例：発生タイミングは雨の降り方から 雨が最も強い時間帯に発生するもの 雨が弱くなるかやんだ後に発生するもの 数日後に降った先行降雨が寄与しているもの分類できる。
- (3)融雪：土砂災害は雨だけでなく融雪によっても多発している。

7.4.4 地震および地震後の雨により発生する土砂災害：揺れが小さくても降雨があれば土砂災害発生。

7.4.5 土砂災害による被害軽減に向けた気象庁の取組み：気象庁では履歴 1 位を更新した場合発表中の大雨警報を更新して「重要変更！最も土砂災害の危険が高まった」旨の大雨警報を発表している。

7.4.6 今後の方向性：土壌雨量指数には斜面の存在しない平坦部にも危険度が計算される欠点がある。

7.5 力学モデルによる崩壊危険度予測

7.5.1 斜面崩壊予知システム：数値力学モデルとモニタリング技術を有機的に結びつけたシステム。

7.5.2 数値力学モデル：斜面崩壊予知システムの骨格をなす 5 つの数値モデル。(1)間隙モデル、(2)粘着モデル、(3)浸透モデル、(4)斜面安定解析モデル、(5)崩壊確率((1)(2)の組み合わせ)

7.5.3 現地計測結果による数値力学モデルの検証

(1)現地計測システム、(2)モデルパラメーター・解析領域の決定、(3)間隙モデルと粘着モデルの計算結果、(4)浸透モデルの計算結果、(5)斜面安定評価モデル

7.5.4 おわりに：斜面崩壊予知システムは一般的に地盤調査、原位置試験や室内土質試験の結果を用いて降雨に対する斜面を定量的に評価することができる。今後より精度の高いシステムの開発可能。

7.6 モニタリングによるリアルタイム崩壊危険度予測：地盤をモニタリングすることによって得られる地盤情報を基にしたリアルタイム崩壊危険度予測手法の事例紹介。

7.6.1 サクション

- (1)サクションの定義：間隙空気圧と間隙水圧の差の絶対値
- (2)サクションの測定：()テンシオメータ、()誘導率タイプの土壌水分計 により測定
- (3)土槽試験結果：試験土槽に試料を入れてサクションを測定
- (4)サクション計測による斜面の管理：崩壊の危険性の高い斜面でサクションの時系列変化を取得し、事前に得られた空気侵入値とリアルタイムのサクションを比較し斜面崩壊危険度の評価を行う。

7.6.2 水位・水圧

- (1)計測の方法：()水位計による計測、()電気探査による地下水調査
- (2)特殊な地下水の形態による崩壊事例：地下水観測は地質状況や変状の状況に応じて観測データを解釈して、崩壊のメカニズムを推定することが重要。

7.6.3 変位

- (1)計測の種類：伸縮計地表面変位、地盤傾斜計地表面傾斜角変動、挿入式傾斜計水平変位、パイプひずみ計すべり面変位、地表面変位杭水平鉛直変位、GIS 地表面変位、光ファイバーセンサー斜面変位
- (2)変位計測の必要性：即座の避難勧告通行規制に必要、(3)通信手段：リアルタイムの自動計測必要
- (4)管理基準値、(5)光ファイバーセンサーによる斜面変動監視：通信だけでなくセンサーでも使える。
- (6)まとめ：豪雨時における斜面崩壊は変異が発生してから崩壊に至る時間が短いことが特徴であり、危険な状態をいち早く察知することが重要。

【議論】

- ・土壌雨量指数は県内でも算定した事例がある。提示可能。
- ・崩壊の規模に関して、「崩壊のサイズ」と「崩壊土砂到達の規模」を区別して整理する必要がある。
- ・盛土の崩壊については、「盛土内の崩壊」と「底盤を含む崩壊」を分けて考える必要がある。

降雨に対する地盤と土木構造物の
防災診断
文献 （第 3、4、5 章）

梅田 祐一 [(株) 帝国コンサルタント]

文 献 名	降雨に対する地盤と土木構造物の防災診断	章 番 号	3 章
出 版 元	(株)山海堂	出版年月	1995 年 6 月
著 者	池田俊雄，亀田弘行，岡田勝也，片寄紀雄，浜田達幸	整理担当	梅田祐一

【要約】

3 章 防災のための診断

3.1 診断の基本的な考え方

診断では、沿線各地域の 地盤、環境、路線構造等に関する情報を十分把握したうえで、情報に基づいて現地を観察し、情報と観察結果の関係について考察し、情報、観察、考察に基づいて総合的に判断して、災害発生の可能性について評価する。すなわち診断は、検査のように定められた基準に照らして構造物単位に良否を判定して災害の発生を予測するのではなく、災害発生機構全体の中から総合的に判断することになる。各情報の概要は以下のとおり。

(1)地盤特性

地盤特性とは、その地域における地形・地質条件等、災害発生形態に影響する地盤条件のことであり、地形図や空中写真判読のほか、地盤特性に関連する地名、集落の形態、社の位置、昔からの言い伝え、過去に行われてきた治水対策等の情報を得ることも重要である。

(2)地盤環境

地盤環境とは、その地域に作用する自然の営力に変化を与えるような自然・人工的条件のことである。新旧の地形図・空中写真を比較することによって得られる地盤環境の変化と、過去の災害記録の分析によって得られる災害発生形態の変化等の情報は、今後の災害発生を予測するうえで貴重な情報である。

(3)路線構造

鉄道路線は土構造物の多い路線構造であるが、地域の地盤特性に応じて多様な構造形態となっている。例えば同じ平地を走る路線であっても、地形によって次のように異なっている。

- ・扇状地のようなゆるい起伏の多い地盤では、低い切取・盛土が連続する。
- ・河川沿いの谷地平野部では山麓沿いに走ることが多く、高い切取と低い盛土が連続する場合がある。
- ・平野中心部では冠水しない盛土高さとし、氾濫しやすい低地は山地・丘陵裾に沿って走ることが多い。
- ・新しい路線では、軟弱地盤等の不良な箇所を盛土あるいは高架橋で横断することが多い。

3.2 診断方法の概要

(1)情報把握による災害発生形態の推定

各種情報より災害発生形態を推定する。(文献内では六甲山地沿いの路線の例をとりあげている。)

(2)情報に基づいた観察

災害発生の可能性のある要注意箇所を補足するためには、災害発生原因に結びつきやすい素因の有無、ならびに 災害発生の兆候と考えられる変状の有無を確認することが重要である。

(3)観察結果に対する考察

観察結果が推定と合致する場合でも、直ちに判断しないで、変状の位置、形態等から変状の発生原因を確認するとともに、変状の発生時期を推定して今後の進行状態を推定することが重要である。

観察結果が推定と異なる場合は、観察結果だけで判断しないで、その原因について考察し再確認することが大切である。例えば、事前に要注意と推定した箇所であっても、自然や人工的環境によって保護されているため現在では問題がない場合や、問題がないと推定していた箇所であっても、環境が悪化して素因が急速に形成されている場合がある。では現状を維持することが、では素因の解消および環境を改善することが、防災管理上のポイントとなる。

(4)ストーリーに基づいた判断

災害発生の可能性を予測するためにはストーリーに基づいて判断することが重要である。すなわち、判断を可能にする情報の質と量、および判断できる能力を有することが基本条件である。

3.3 防災診断の種別

路線診断：路線の防災機能を向上させるため防災対策を行うことを目的として実施するもの

個別診断：路線踏査による評価が困難な箇所や特定の箇所に対して特に詳細な調査を必要とする場合

【議論】

- ・本文献(3～5章)では、斜面の予防管理に対して大きく2つのヒントがあるように思われる。1つは各種素因を広い視野で捕らえる必要があるということで、例えば道路なら路線ごとではなく県内全体を見渡して評価すべきであるということ、2つ目は過去の災害記録を分析することが重要であるということである。
- ・道路防災点検においては、スクリーニング段階で地質をあまり考慮していないのが問題と思われる。
- ・検討の方向性としては、斜面災害のうち落石ではなく斜面崩壊を主に考えていってはどうか。

文 献 名	降雨に対する地盤と土木構造物の防災診断	章 番 号	4 章
出 版 元	(株)山海堂	出版年月	1995 年 6 月
著 者	池田俊雄，亀田弘行，岡田勝也，片寄紀雄，浜田達幸	整理担当	梅田祐一

【要約】

4 章 路線診断の実施方法

4.1 路線診断の方法

路線診断は(1)事前調査、(2)路線調査、(3)防災対策の計画といった 3 つの段階をふまえて実施する。

4.2 事前調査の方法と手順

(1)資料の収集

過去の災害発生位置、発生年月日、災害種別・規模、路線支障状況、発生時の降雨量（河川災害では水位）等の情報を整理する。また、地形図上に整理番号を明示する。

(2)既往災害情報の分析

災害種別、災害発生箇所を整理し、路線の災害特性を分析する。

路線全体を見渡して各地域の災害形態および原因（素因）を分析することで、個々の原因推定を行う。

(3)実地調査による災害発生原因の究明

災害発生原因の推定が可能な場合は、推定原因の確認と発生箇所の特定条件を確認する。

ex.) 路線周辺の市街化に伴い地表水が流入して、排水溝よりオーバーフローした箇所での盛土崩壊。

特定の地域に集中して災害が発生した場合は、災害が発生する地域と発生しない地域を比較する。

ex.) 盛土材の相違（砂質土・粘性土）。

災害の可能性が考えられない地域では、その箇所特有の原因か一時の人為的原因であることが多い。

ex.) 道床の放置。不透水層の狭在。対策不良。

(4)要注意箇所抽出のための判断基準の作成

災害発生箇所と同じ素因を有する要注意箇所を抽出するために、判断基準を作成しておく。

4.3 路線調査の方法と手順

(1)地形図・空中写真の判読による要注意箇所の推定

降雨時に a 地表水が路線に向かって集中流下し、b 浸透しやすい地形条件を判読する。不安定箇所を抽出する手段として、法面高さ、土質、地質、強度、勾配および透水係数等が従来の危険度評価の要因として用いられてきたが、崩壊はむしろ次のような局地的な悪条件の箇所が発生している。

条 件	崩壊形態	抽出の要点
a 降雨時に地表水が集中し流下する箇所	ガリ侵食や浅い崩壊	草の状態、溝掘れなどで判断
b 雨水が浸透して間隙水圧が大となる箇所	やや深い円弧すべり	地下水の滲出跡や湧水で判断

(2)要注意箇所想定のための地表情報図の作成と判読

本調査に先立ち沿線周辺を踏査し地表情報図を作成することで、広域的な素因の把握が可能となる。

(3)要注意箇所抽出のための路線踏査

路線踏査では地表に刻み込まれた災害の兆候を捕捉し、どのような災害に結び付くのかを判断する。

災害の兆候と評価できる地表状態には、法面のひびわれ、法面下部の小崩壊、オーバーハングしている岩斜面、立木の根曲がり、沢筋の荒廃、盛土に設置した構造物の変状、湧水などがある。

(4)要注意箇所の評価

一般的な評価基準の例として、災害発生の可能性、災害が発生した場合の路線支障の可能性、路線が支障した場合の支障時間、の 3 つの要素より総合評価する方法がある（リスクアセスメント）。

4.4 防災対策の計画

分類	対策方法
発生防止	盛土：横断排水溝の設置、排水ボックスの設置、排水パイプの打設、張ブロック等の設置 切土：法面保護工による風化防止、排水パイプによる浸透水の排除、アンカー等による抑止
路線防護	擁壁による小崩壊対策、落石防止または防護対策、小規模土石流の擁壁等による防護または流下対策、大規模崩壊・地すべり対策
ルート変更	要注意箇所が連続して抜本対策が困難な区間や大規模災害が予想される区間でルート変更

【議論】

文 献 名	降雨に対する地盤と土木構造物の防災診断	章 番 号	5 章
出 版 元	(株)山海堂	出版年月	1995 年 6 月
著 者	池田俊雄，亀田弘行，岡田勝也，片寄紀雄，浜田達幸	整理担当	梅田祐一

【要約】

5 章 斜面・法面の個別診断の実施方法

5.1 個別診断の目的と方法

個別診断は、路線全体の診断で補足できない周辺地盤に潜在する素因を詳細な調査によって捕捉し、これらの素因がどのような条件下で災害発生原因に結びつくのかを究明し、要注意箇所としての評価、実態の明確化、災害多発の原因究明、および対策方法を策定するために実施する。

個別診断は(1)事前調査、(2)現地調査、(3)分析・評価、(4)措置計画の 4 つの段階をふまえて実施する。

5.2 事前調査

事前調査は、斜面・法面周辺の地盤特性を把握して、災害発生に結びつきやすい素因を捕捉し、これらの素因がどのような過程を経て災害発生に結びつくのかのストーリーを仮定するために行う。

主な地形の地盤特性と災害形態を以下に示す。

地 形	地盤特性と災害形態
谷及び沢地	谷地の側方斜面、頭部斜面は侵食が活発で崩壊しやすい
地すべり地	斜面下部で大量掘削を行うなど人工的な手を加えると滑動する
崖錐地	上部急崖からの落石や、下部が河川攻撃部の場合は崩壊が発生しやすい
海食、河食崖	急崖のため、風化が進むと不安定勾配となって風化層が崩落する
扇状地	本川が破堤した場合の旧流路での盛土流出や、流速の大きい本川での橋脚洗掘
三角州	N 10 の細粒、均等粒径の砂層で強震時には液状化現象を生じやすい

ストーリーは次の 3 つの視点に基づいて仮定する。

斜面ではもともとどのような災害が発生しやすい地盤であるか？

法面では地盤特性を十分に考慮して加工されているか？

路線周辺の地盤が加工されれば、斜面あるいは法面にどのような影響を及ぼすか？

5.3 現地調査

現地調査では、変状を正確に捕捉し、変状の原因を究明することで、災害に至るストーリーを確定させる。

変状を捕捉するためには、発生する可能性がある箇所と変状をあらかじめ想定しておくこと、変状の想定の際は開発される以前の地形図を利用すること、土留壁・法面工等の防護工や排水設備等から過去にどのような災害が発生したのかを想定することなどが重要である。

変状原因は(1)観察によって究明可能な場合と(2)測量・計測による定量把握が必要な場合とがある。

(1)観察による方法は、斜面・法面にだけその原因を求めても究明は不可能で、周辺地盤との関係、環境変化による影響、隣接構造物との関係、斜面・法面の構造等について観察する必要がある。

(2)測量・計測による方法は、変状原因を地層構造、地下水位、土の強度等から定量的に究明し、あるいは変状の進行性を知るために行うもので、地形調査、地質・土質調査、地下水調査等がある。

5.4 調査結果の分析と評価

調査結果を分析し、今後どのような災害形態と規模に発展するのかを推定する。変状だけで確定することが困難な場合は、過去に同地域あるいは他地域で発生した類似の災害を参考にして、災害発生に至る形成過程を推定する。これに測量・計測データを加えると、災害規模を推定できる。

また、過去の降雨量と変状の進行の関係より、今後の災害が何時頃発生するのかを推定する。

5.5 措置計画

(1)運転規制の方法

時雨量と連続雨量によって列車の徐行、運転休止のルールを定める。

個別診断により今後災害を発生させる降雨形態を推定できる場合は、別途規制雨量を設定する。

(2)防災対策工法

個別診断の結果必要となる対策は広域な範囲に及ぶ場合が多い。このような場合は、当該地域を管理する行政機関に要請して地盤対策を進めてもらう、災害が発生しても路線機能に支障しないように路線を防護する、路線を移動またはルート変更等の方法がある。

【議論】