

危険斜面の災害リスク推定手法に関する一考察

九州大学

学 ○吉田 一 亮 正 善 功 企  
正 陳 光 斉 正 笠 間 清 伸

1) 研究の背景と目的

現在、年間の自然災害犠牲者のうち概ね半分の人命が土砂災害により失われており、早急な土砂災害対策が望まれている。土砂災害危険箇所については、土石流危険渓流、地すべり危険箇所、急傾斜地崩壊危険箇所、山腹崩壊危険地区および崩壊土砂流出危険地区などの指定がなされているが、その整備率は依然低いものとなっているのが現状である<sup>1)</sup>。

効果的な防災対策を講ずるためには、1) 災害の未然防止、2) 災害が発生した場合における被害の拡大防止、3) 災害復旧が一連の過程として、十分に機能することが重要であると考えられる。そこで本研究では、これを踏まえ斜面の危険度評価にリスクマネジメント理論を適用し、危険斜面の整理および最適リスク対策の選定手法の提案を目的としている。具体的には、事前に予想される被害、すなわち災害が発生した場合における被害を網羅的に指摘し、その被害予想額を算出する。次いで各々について発生確率を予測し掛け合わせ、対象斜面の被害損失期待値(リスク)を求め、それを定量的に評価する。また、未然防止策、被害拡大防止機能の充実などにより軽減されたリスクと、その対策費用との総和を比較し最適リスク対策を検討する。

本文では、危険斜面のリスクマネジメント適用の為のガイドラインを作成し、家屋と鉄道が存在する斜面を想定しリスクの分析を行った。

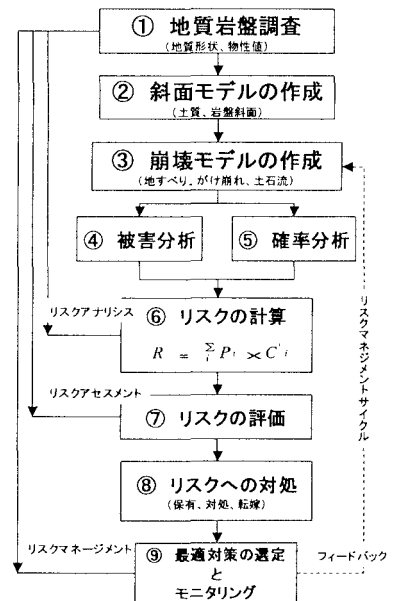
2) リスクマネジメントの斜面安定評価への適用

危険斜面リスクマネジメントのフローを図1に示しこの流れに沿って各段階の留意すべき点について述べる。

- ①地質・岩盤調査：現地調査、室内試験など。地盤斜面は土質物性値、岩盤斜面は不連続面についての情報が特に重要である。
- ②斜面モデルの作成：対象斜面の地理条件や幾何学形状などの諸情報を用いて斜面モデルを作成する。その時、被害ポテンシャルの対象を明確にしておく。また、斜面の植生、形状を考慮し解析に必要なパラメーターの設定を行う。
- ③崩壊モデルの作成：斜面崩壊は通常、地すべり、崖崩れおよび土石流に大別されるが、適切な解析手法選択のために崩壊後の土砂の運動形態まで細かく想定しなければならない。(表一：を参照)

次のステップで被害分析を行うために、被害範囲と規模が重要となり、影響因子である崩壊土砂量、到達距離と堆積分布を考慮し、崩壊後の土砂の挙動を明確にしなければならない。

- ④被害分析：崩壊土砂が到達・堆積した時の斜面上の各対象物について、被害を網羅的に想定しなければならない。本研究では、図一2の斜面モデルを想定し、リスクの対象として交通施設(鉄道)および構造物(家屋)を考えている。交通施設に対しては、斜面に堆積する土砂の撤去と施設復旧費用損失、有料道路・鉄道であれば営業損失、迂回に伴う時間・走向費用損失、通行止めが周辺地域に与える損失、交通流の変化により影響を受けた道路の騒音増加、大気汚染の影響など。構造物に対しては、資産損失、経済活動を行ってれば閉鎖に伴う営業損失、人間の死傷も金銭的被害として換算



図一1 リスクマネジメントのフロー

しなければならない。斜面が森林として利用されている場合も二酸化炭素の吸収という環境保全機能を果たす資産としてその損失も考慮しなければならない。被害の想定を行う際、斜面上の対象物の普段果たしている機能の喪失を考えると被害が鮮明になる。

⑤確率分析：誘因（地震、降雨）により、ある外力 $\alpha$ が作用した時の斜面の条件付崩壊確率 $P(\alpha)$ と $\alpha$ の発生確率を合積することで崩壊確率を求める。誘因を地震とするならば、対象地域の地震履歴、活断層の分布、距離減衰を総合的に考慮して発生年超過確率を求める。降雨であれば、破壊機構を考慮し日降雨量、時間最大雨量などの年発生確率を利用する。

崩壊確率の解析時に連続体解析である有限要素法（FEM）、剛体バネモデル（RBSM）などを用いた場合、破壊の発生確率は算定できるものの、崩壊土砂の挙動の解析が不可能なために、到達距離・土砂分布などを経験式などにより想定しなければならない。一方、不連続体解析の不連続変形法（DDA）、個別要素法（DEM）は崩壊土砂の運動を考慮する事が可能で、斜面崩壊に対して特に有用である。但し、地すべり、土石流などの運動のモデルとしては移動状態を的確に表現ができないなどの問題を含んでいる。崩壊土砂の運動の適切なモデル化が可能な解析方法の開発が求められる。

⑥リスクの計算 ⑦リスク評価 ⑧最適対策の選定：本研究ではリスクを、ある被害事象 $i$ が起こる確率 $P_i$ とその被害の損失 $C_i$ を掛け合わせるにより求まる損失期待値として次式のように定義している。

$$R = \sum (P_i \times C_i) \dots (1)$$

以上の流れで算出したリスクを分析し、保有・転嫁を含め斜面の性質・破壊のメカニズムを踏まえ適切な対策を選択し、それにより軽減されたリスクと、対策費用の総和が最小となる方法を最適対策とする。

### 3) リスクの算出、想定斜面への適用事例

以上の流れを踏まえて、当日リスクの算出結果を発表する。

### 4) まとめ

斜面崩壊の危険度判定にリスクマネジメント理論を適用する際、被害額算出に堆積土砂量をパラメータとして多くの項が多いと考えられるため、崩壊規模と崩壊後の土砂の挙動を適切に表現することが必要であると考えられる。よって、斜面崩壊確率に連続体解析を用いるときには、崩壊後の挙動を別の方法を用いて別個解析するなどの手段が考えられる。リスクマネジメント全体の精度を上げるためには、各モデルの精度をあげ、研究を重ねデータの蓄積が必要である。また、同一斜面に対して「地すべり」「落石」「土石流」など複数の破壊形態の総合的・定量的評価が課題である。

### 5) 参考文献

- 1) 国土庁編：防災白書 平成12年版
- 2) 土木学会：岩盤斜面の調査と対策
- 3) 伊藤正純：自然災害リスクを考慮した斜面設計手法に関する研究 2000

表-1 崩壊形態と解析手法の適用性評価<sup>2)</sup>

崩壊形態	解析手法				備考	
	FEM法	DEM法	DDA法	RBSM法		
崩落	小規模	×	○	◎	△	DDAでは粘性項を入れることで、崩壊に至るまでの状況と落下開始以降の状況の両方を考慮することができる
	大規模	×	○	◎	△	
滑動	円弧複合すべり	◎	○	◎	○	滑動は主にジョイントを入れた有限要素法(FEM)が用いられる。すべり破壊に至る過程を扱うにはRBSMで対応ができる。最近、マニホールド法で破壊過程を検討している例が多い。 くさび破壊のような三次元空間を考慮すべき破壊では、三次元個別要素法が有効である。
	平面すべり	○	○	○	○	
	くさび破壊	○	◎	◎	△	
トップリング	たわみトップリング	△	○	◎	△	割れ目系をブロックモデル状にモデル化し、ブロック間の摩擦力の関係で安定性をみる。 これは、DDAや、DEMが多く用いられる。三次元問題には不連続変形法は適さないが、最近マニホールド法が提案されているが我が国ではほとんど実績がない。
	ブロックトップリング	△	◎	◎	△	
	バックリング	△	◎	◎	△	

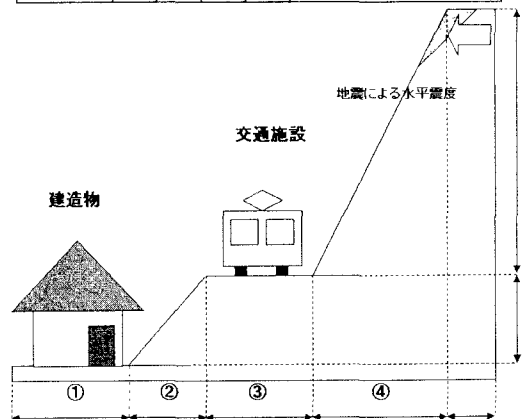


図-2 斜面モデル