

5. 土砂災害に対する研究

5.1 はじめに

はじめに、土砂災害に関してリスク評価・監視手法を検討するにあたって、既存の文献の整理を試みた。文献を整理するに当たって、図5.1-1のように考え、各項目について整理した結果を表5.1-1に示した。

表5.1-1に示したとおり、それぞれの課題に関して、各種手法が提案されているもの、依然として課題は少なくなく、土砂災害の軽減に向けての対策を立案するにあたって、十分にハザード評価、被災度(リスク)評価を行った上で、対策計画を立案しているとは言い難い。そこで、ここでは、ハザード評価、被災度(リスク)評価に関して現状と課題を整理した上で、①雨水による土砂災害に関するハザード評価、②雨水によるがけ崩れに関する家屋、擁壁の被災度評価、③地震によるがけ崩れに関するハザード評価について、近年行った研究成果について報告する。

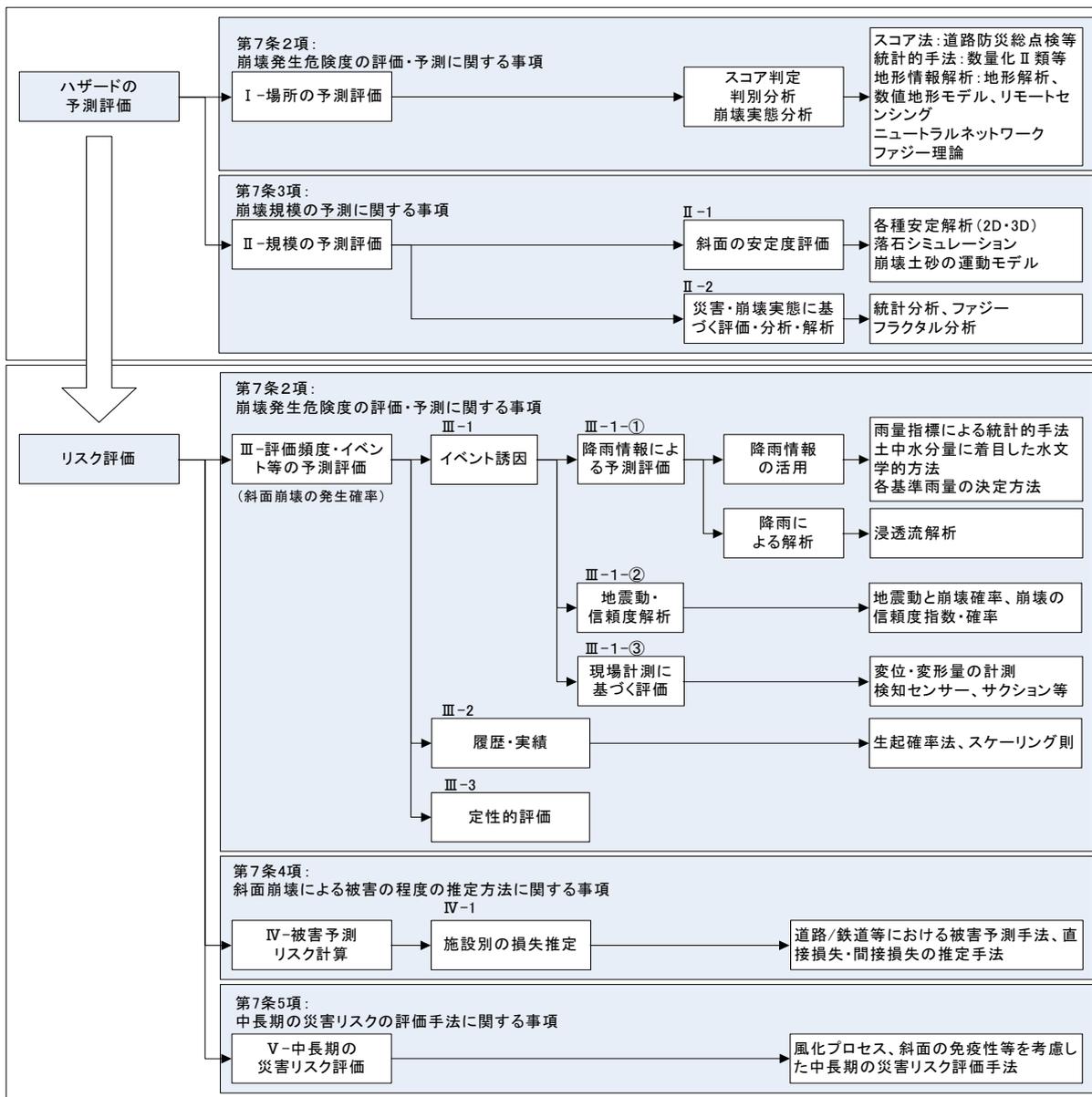


図5.1-1 既存文献の整理方針

表5.1-1 土砂災害のリスク監視に関する研究・技術の現状

項目	評価手法	特徴・適用性等
ハザードの予測評価	スコア法	<p>多数の斜面を対象とする倍には、比較的簡便な手法である。 スコアを構成する要因及び危険度は経験的に設定されており、その的中度合いの確認は行われていない。</p>
	ファジィ理論による手法	<p>ファジィ言語関数は斜面の凹凸の程度、植生密度の程度と言った観測者の感覚を基本に作成されている。 定性的な判定データ(例えば現地踏査等)を活用した斜面崩壊危険度判定(エキスパートシステム)への構築の可能が見出されている。その一方で、斜面崩壊データを蓄積し、構造モデルが実現象をより具体化できるような検討が必要とされている。</p>
	ニューラルネットワーク	<p>ニューラルネットワークを用いることにより、降雨開始直後からリアルタイムで個々の法面の崩壊判別システムが構築可能であるとされている。判別システムは、雨の降り始めは未崩壊と判別し、崩壊発生1~2時間前から崩壊と判別できるため、崩壊可能性の事前予知が可能であるといわれている。 時々刻々変化する崩壊確信度の大きさにより、崩壊可能性について評価が可能である。一方、入力した学習データにより、判別パターンや閾値が変化するので、データの吟味が必要。 連続降雨として、無降雨期間が8時間以内の降雨を対象として崩壊・崩壊前降雨の抽出を行っているため、無降雨期間の取り方によっては、降雨継続時間や累積雨量といった降雨要因値が大きく違うことによる影響が考えられる。 無降雨期間の影響を考慮した判別システムの構築および無降雨期間を設定しない実効雨量の適用についての検討が今後必要である。</p>
	画像解析手法	<p>リモートセンシング技術、衛星画像、空中写真画像を利用。 植生被覆度や植生活性度を得ることができ、このような植生活性度から不安定な斜面の抽出の試みもある。 地形の陰影の除去方法や特殊なフィルターを用いた画像処理手法の改善が必要である。</p>
II. 規模の予測	<p>解析による斜面の安定度評価 (三次元極限平衡法) (数値解析法) (岩盤斜面の安定度評価)</p>	<p>斜面の安定解析は、地すべり等の斜面崩壊を対象とした解析手法と岩盤斜面(岩盤崩落等)を対象とした解析手法がある。前者は二次元・三次元の極限平衡法と数値解析法、後者は、不連続変形法・個別要素法と呼ばれる手法がある。 Hovland等の解析理論を適用。GIS技術を活用し、広範囲で連続した地形モデルを対象とした解析手法も開発されている。広範な危険斜面の抽出が最も合理的にできる手法とされているが、不確定性(強度のばらつき等)の考慮等が必要であるとされている。 FEMを利用した斜面の安定度評価。極限平衡法と同様の結果が得られる。ただし、現地への適用事例は少ない。 岩盤崩落等を対象とした解析手法には、不連続変形法・個別要素法と呼ばれる手法が利用されている。 解析に当たっては、そのイベントとして地震力を考慮している事例が多い。また、入力値の不確定については、モンテカルロ法を適用している事例もある。</p>
	統計的分析	<p>数量化手法 地形図から読み取れる要因のみの場合でも比較的高い予測精度が得られる場合もある。現地調査によるデータ(溪床堆積土砂厚)を加えると精度は高くなるケースもある。斜面崩壊幅は浸食域の地形幅に大きく左右されるようである。 課題として、過去の崩壊履歴が少ない地域での予測手法確立が必要である。</p>
	FC法	<p>過去の崩壊履歴をもとに斜面特性に応じたフラジリィカーブによる崩壊の規模を予測する手法である。 斜面の崩壊率の分類は、数量化II類による。FCは降雨量と斜面の崩壊率との関係。</p>
	フラクタル分析	<p>例えば、斜面崩壊の最大幅と個数の関係は次のフラクタル分布で近似できるとされている例もある。 $N(L) = \alpha L^{-D}$, ($\alpha = 1.1 \times 10^6$, $D = 3.3$) フラクタル次元 D は大崩壊と小崩壊の数の比を表す</p>

表 5.1-1 土砂災害のリスク監視に関する研究・技術の現状（つづき）

項目	評価手法	特徴・適用性等
ハザードの予測評価	Ⅱ. 規模の予測 統的計分析 崩壊土砂の到達距離 移動速度	すべり土塊が粉碎される、また場合によっては流動化するすべりの到達距離は、通常の見掛けの摩擦核または、“shadow angle”（すべり土塊の頂点とすべり落ちた岩屑の末端の間を結んだ線の水平とのなす角）から一般に評価される。 移動土塊の速度と想定される災害の関係を整理。速度の区分を7段階に整理し、その説明、速度、起こりそうな被害の内容を解説している。
リスク評価	(リスクの定義)	リスク表現の分類：主観的リストと客観的リスク 工学分野では「発生する確率」と「被害・損失の規模」との積で表現される。また、被害の受けやすさを考慮した条件付き確率・時間的確率も考慮する事例もある。 リスクの算定については、単に確率と規模の積で示す場合、リスクカーブ・イベントカーブによる手法がある。 リスク評価に際して、不確実性をどのように考慮するかが一つの課題である。
Ⅲ. 頻度・イベント等の予測評価	各種基準雨量の設定方法	CL法等、各機関で基準雨量の設定が運用されている。土壌雨量指数として気象庁が予報に利用。
	雨量指標による統計的手法	降雨を加味した多変量解析：地形要因と降雨要因の組合せを考慮することで、判別精度が向上。 但し、地域特性に依存する可能性があるため、様々な降雨パターンで検証が必要。
	土中の水分量に着目した水文学的方法	タンクモデルを用いた手法が効果的である。但し、地域の同定が必要である。 土壌雨量指数として気象庁により、予報に利用
	浸透流解析と安定解析	不飽和・飽和浸透流解析＋斜面案的石に基づく方法と統計的手法の2つに大別できる。 一般に、広範囲にわたり危険な斜面を抽出するのは、統計的手法が適している。 一方、不飽和・飽和浸透流解析に基づき、精度の良い解析を行うには、不飽和状態まで含めた浸透特性の解明や浸透解析法の開発、不飽和状態まで含めた土のせん断特性の解明、それと安定解析法の開発や簡便にかつ精度よい地盤調査法の開発などが必要になる。 統計的手法と安定解析を結びつける取り組みとして、ある広範囲の地形・地質・植生などのデータベースと簡単な安定計算を組み合わせた手法や三次元飽和－不飽和浸透流解析による地下水位を安定計算式に入力して、斜面の安全率を計算する研究がある。 浸透による安定性について、破壊確率で評価する手法も提案されている。
	地震による斜面の破壊確率評価	スコア法：多数の斜面を対象とする場合は簡便な方法であるが、点数表にある要因および危険度は経験的に決められており、的中度合いの確認は行われていない。 多変量解析：数年来多用されており、客観的に要因を抽出できるが、要因間の相互関係および崩壊のメカニズムについては言及していない。 ファジ理論：各要因グループ間の相関性の検討。地震時の斜面崩壊データを蓄積し、構造モデルが実現現象をより具体化できるようにする。ファジ言語関数を斜面の凹凸の程度あるいは植生密度の程度といった観測者の感覚を基礎に作成する。 解析による評価：例えば、地震ハザードを用いた不連続変形法（DDA）による斜面の破壊確率がある。この他、部分安定係数法、確率的手法による評価方法も見られる。
現場計測による予測評価	予知・予測と検知の技術からなる。 最近では光ファイバセンサーなどの技術開発が進んでいる。 AE技術が斜面崩壊の予測技術として適用できる可能性がある。しかし、AEの解析手法は多種にわたっており、今後も解析手法の改良が必要である。	

表 5.1-1 土砂災害のリスク監視に関する研究・技術の現状 (つづき)

項目	評価手法	特徴・適用性等
リスク評価 III. 頻度・イベント等の予測評価	災害履歴等に着眼した予測評価	<p>斜面の崩壊(災害)履歴の統計処理による予測法として、生起確率法等の簡易な手法がある。このような手法は、比較的簡易であるが、数多くの災害履歴に関する記録(発生日時、大きさ(土量、面積等))が必要となる。また、誘因との関連付けを明確にすることが困難である。</p> <p>誘因の関連付けを明確するため、斜面特性を考慮したFC法による評価手法も検討されている。この場合、降雨の年超過確率の整理、斜面の規模別分類と崩壊率分類との関連付け(数量化Ⅱ類による分析)の上で、予測評価している。</p> <p>落石による斜面リスクについて、履歴調査(規模、日時)及びマッピングをもとにした発生確率が設定されている事例もある。これらの結果、条件付き確率・時間確率の予測に導入されている。</p> <p>降雨パターンと災害実態を分析し、災害レベルの閾値を設定するとともに、実際斜面崩壊が発生した頻度と非崩壊の頻度から発生確率を推定する手法もある。</p> <p>条件的確率への展開として、イベントツリーを用いて斜面の崩壊の発生確率と被災の影響度を評価する手法がある。このイベントツリーに被害予測を組み込むことで、各段階での損失、全体を通した年間の期待値損失を算定することが可能となる。</p>
	スケーリング則の利用	<p>斜面崩壊・落石の履歴をG-R式で評価する。斜面崩壊の発生する頻度と崩壊面積との関係、発生する頻度と崩壊土量との関係には、G-R式によって比較的良好的な相関関係を見出すことができる。</p>
	定性的な頻度の予測評価	<p>専門技術者の判断による定性的な評価と頻度の関連付けが試みられている。</p> <p>例えば、もつともらしい度合いの定性的な尺度、資産に対する定性的な尺度、リスクレベルの意味等。</p>
IV. 被害予測・リスク計算	施設別の損失推定	<p>リスクの諸要素として、直接損失と間接損失を扱っている。</p> <p>なお施設別では、道路斜面の崩壊に関する研究事例がほとんどである。</p> <p>ここでいう直接損失とは人的な損失と復旧費用など。間接損失とは、時間・走行費用損失(例えば迂回損失等)などである。なお、全般的に、リスク値まで詳細に算定している事例は少ない。</p>
V. 中長期の災害リスク評価		<p>ここでのリスク評価とは、風化プロセス、斜面崩壊の免疫性等を考慮した中長期の災害リスク評価手法を示す。</p> <p>崩壊の周期性及び崩壊のばらつきについて、崩壊周期と崩壊規模はある範囲内の値をとり、直線的な相関を示すが、1回の崩壊規模や前の崩壊からの経過時間にはばらつきがある。</p> <p>斜面傾斜と崩壊周期のとの関係で見ると、斜面傾斜が急なほど崩壊周期は短く、緩いほど崩壊周期が長くなる。</p> <p>土砂・未固結物からなる表層崩壊に関しては、表土層の形成速度と傾斜に応じた限界層厚及び降雨の年超過確率などから崩壊の周期性を見出すというものが多い。しかし、岩盤斜面については、風化の程度と崩壊頻度との関係が明確ではない。</p>