

## 4. 豪雨・地震による土砂災害に対する危険度予測と被害軽減技術の開発

研究期間：平成 18 年度～平成 22 年度（一部の研究については平成 17 年度より着手）

プロジェクトリーダー：土砂管理研究グループ長 寺田秀樹

研究担当グループ：土砂管理研究グループ（火山・土石流、地すべり、雪崩・地すべり）、  
材料地盤研究グループ（土質、地質）

### 1. 研究の必要性

豪雨や地震により多くの土砂災害が発生し、甚大な被害が生じている。また、平成 16 年の中越地震では、地すべり、斜面崩壊等の多発、大量の不安定土砂の堆積、大規模河道閉塞の発生など、新たな災害形態が生じ、社会的な注目を集めるとともに、緊急対策の実施が迫られた。さらに、今後も集中豪雨の頻発化や発生が懸念されている大規模地震等により、土砂災害による被害の頻発化、甚大化が懸念されている。

一方、膨大な土砂災害の危険箇所に対して、ハード対策の整備水準は 2 割程度という状況にあるが、財政上の制約もあり、急激な整備水準の向上は困難な状況にある。このため、重点的・効率的な土砂災害対策の実施と発災後の被害拡大の防止軽減に向けた技術開発が求められている。

### 2. 研究の範囲と達成目標

豪雨による土砂災害の発生場所や時期を絞り込むための災害危険度の予測手法の高度化・実用化、中越地震による地すべりの発生機構の解明とそれに基づく危険度評価手法の開発と大規模地震後の流域からの生産・流出土砂量の変化予測手法の開発、さらに発災後の被害拡大防止のための地すべり等に対する実用的な監視手法・応急対策手法の開発を研究範囲とし、以下の達成目標を設定した。

- (1) 豪雨に対する土砂災害危険度の予測手法の開発
- (2) 地震に対する土砂災害危険度の予測手法の開発
- (3) 土砂災害時の被害軽減技術の開発

### 3. 個別課題の構成

本重点プロジェクト研究では、上記の目標を達成するため、以下に示す研究課題を設定した。

- (1) 高精度空間情報を用いた崩壊・土石流発生危険度評価手法に関する研究（平成 17～19 年度）
- (2) 道路斜面災害等による通行止め時間の縮減手法に関する調査（平成 18～20 年度）
- (3) 地震に伴う地すべり土塊の強度変化特性に関する研究（平成 17～19 年度）
- (4) 地震時における再滑動地すべり地の危険度評価に関する研究（平成 20～22 年度）
- (5) 地震動による山地流域の安全度評価手法に関する研究（平成 18～21 年度）
- (6) 地すべり災害箇所の応急緊急対策支援技術の開発（平成 17～20 年度）

このうち、平成 19 年度は (1)、(2)、(3)、(5)、(6) の 5 課題を実施している。

### 4. 研究の成果

本重点プロジェクト研究の個別課題の成果は、以下の個別論文に示すとおりである。なお、「2. 研究の範囲と達成目標」に示した達成目標に関して、平成 19 年度に実施してきた研究と今後の課題について要約する

と以下のとおりである。

### (1) 豪雨に対する土砂災害危険度の予測手法の開発

土砂災害の場所の予測手法については、表層崩壊に起因した土石流の発生危険度評価に基づいた危険渓流の危険度予測手法と  $10^5 \text{ m}^3$  を超えるような大規模な崩壊土砂量となる深層崩壊発生危険渓流の抽出手法の開発を行った。

前者は、土石流の主要な発生形態である表層崩壊起因型土石流に着目し、多数の土石流危険渓流の発生危険度を評価、予測する手法を開発することで、より重点的、効率的な事業実施に資するものである。

表層崩壊の発生場所の予測手法として、浸透流解析と斜面安定解析を組み合わせた簡易モデルを作成し、その上で、予測結果におよぼす影響が大きい入力条件にもかかわらず、設定手法が確立されていなかった表層土層厚について、斜面の水文過程を定常状態と仮定することで限界土層厚の算定手法を求めた。一方で、土層厚を地形から決定論的に求めることは困難であったが、土層厚が対数正規分布を示すことから、土層厚を対数正規分布により確率論的に推測することで表層崩壊の発生確率を求めることが出来ると考えた。

そこで、土層厚に確率分布を用いた広域に適用可能な渓流単位の危険度評価手法を作成した。まず、数値地形情報を用い、土質定数、土層厚、透水係数には確率分布を与え、簡易モデルに基づく手法により概略の危険度を評価する。次に詳細調査として、概略調査で危険度が高いとされた渓流流域に対し、土層厚の空間分布の測定、詳細な地形測量を行った上で、簡易モデルにより、危険度を評価するものである。これらを基に「土石流危険渓流の危険度評価マニュアル（案）」を取りまとめた。

また、深層崩壊は、発生頻度は低い崩壊土砂量が多大なため、大規模な土石流の発生や崩壊に伴う河道閉塞等が生じ被害が甚大になる場合が多い。このため、危険箇所の抽出手法が求められている。

従来の調査研究等から、深層崩壊が発生する恐れのある渓流の予測には、微地形や水文環境等がその抽出に有効である可能性が高いものと考えられたが、全国的な調査を前提にすると、作業量が膨大になる。このため、詳細調査の地域を限定するための手法を検討した。この結果、第四期隆起量、地質体、第四系であるか否かから、全国を崩壊密度を指標にして4段階に区分出来た。崩壊密度が全国平均の5倍以上となる特に危険度が高い地域の面積は、全国の約8%となった。

次に、上記の地域の中から、深層崩壊が発生する恐れの高い渓流を抽出するため、深層崩壊跡地に関する分析を行い、以下に示す条件を全て備える渓流が深層崩壊発生の恐れの高い渓流と考えられた。①地質構造及び微地形要素の条件：「円弧状クラック」または「岩盤クリープ斜面」を有する渓流、②地形条件：斜面傾斜度と集水面積が大きい「危険メッシュ」数が200個以上ある渓流、③過去の深層崩壊実績：深層崩壊跡地を有する渓流である。

この抽出手法を2005年の深層崩壊実績に適用した結果、①～③の条件は対象地域の深層崩壊発生危険渓流を抽出する上で有効な指標であることが確認された。これらに基づき「深層崩壊に起因する土石流危険渓流調査マニュアル（案）」を作成した。

土砂災害の時期の予測手法については、道路の通行止め時間を縮減する手法を開発するという観点から研究を行っている。

平成19年度は、道路斜面災害事例の継続的な収集・分析スキームの検討、事前通行規制区間の解除・緩和に関する課題の検討、斜面崩壊確率予測地図作成手法の検討を行った。その結果、1)道路斜面災害事例の収

#### 4 豪雨・地震による土砂災害に対する 危険度予測と被害軽減技術の開発

集は地方整備局が実施し、土木研究所が災害事例データの提供を受けて分析し、結果を各地方整備局等へフィードバックするスキームで実施することとなった。そのための様式を作成するとともに、併せて災害事例データをサーバに保存し検索・閲覧するためのプログラムを作成した。2) 事前通行規制区間の解除・緩和の検討を行った地区における委員会資料等を分析し、事前通行規制の解除・緩和に関する課題を検討した。その結果、解除が進まない主な理由として、(1) 要対策箇所の対策が未完了、(2) 上方斜面の調査・評価・対策が残されている、(3) 対策完了後の降雨経験を待っている、の3点が挙げられた。3) フラジリティーカーブを用いた斜面崩壊確率予測地図作成手法について、災害履歴の少ない地域への適用の検討を行った結果、解析結果では地質の違う地域で差が出たが、実際の災害履歴では大きな差がなく、フラジリティーカーブ作成に用いた崩壊数の差による精度の違いや、谷密度や起伏量といった地形の違いが崩壊傾向に影響を与えている可能性がある。また、崩土到達確率予測システムにおいて、1mDEMを用いた解析を試行した結果、より詳細に崩土到達の範囲が求められることが確認できた。

今後、地方整備局等の協力を得ながら災害事例の継続的な蓄積・分析を進めるとともに、事前通行規制区間の解除・緩和に係る調査マニュアル等の整備、斜面崩壊確率予測地図による被害想定を行う手法の確立をめざす予定である。

また、降雨指標と災害の捕捉性の観点から過去の道路災害と降雨データを分析し、事前通行規制区間の基準や管理のあり方に関する検討を行った。その結果、1) 規制基準雨量については、1年確率連続雨量による災害の捕捉性をベースに、減算累積併用型の指標を検討するのがよい、2) 規制基準の緩和による時間便益は1年確率連続雨量以上になるとあまり大きくないため、災害の捕捉性を優先させるのがよく、緩和の検討にあたっては地域の降雨状況を踏まえて時間便益の大きさを考慮するのがよい、3) 降雨による事前通行規制の対象となる降雨関係災害と無関係災害を分類し、それぞれに応じた対策を実施し、降雨関係災害の対策が終了した時点で、規制区間の解除を検討するのがよい、4) 対策を進める際には、区間短縮を図るように両サイドから進めるが、災害による通行止めの観点から、ハザードの大きな部分を先行して対策を進め、できるだけ災害によるリスク（時間損失）を平準化しながら対策をすすめるのがよいと考えられた。

現在、先行降雨が時間勾配で単純に減算するような減算累積型の降雨指標の検討およびリスクの平準化を念頭においた段階的施工に関する検討を進めており、今後ケースステディを実施して適用性について整理し、通行止め時間縮減の観点から事前通行規制区間内外の防災対策の考え方について取りまとめる予定である。

#### (2) 地震に対する土砂災害危険度の予測手法の開発

中越地震による地すべり災害を事例として、代表的な再滑動型地すべりの地震による地すべり機構、動的及び静的せん断強度特性、再滑動型地すべりの発生条件、地震による再滑動型地すべりの発生危険度評価方法について検討した。

(1) 現地調査を実施した3つの地すべりの特徴についてまとめ、共通点として、15~20°程度の緩い斜面勾配、流れ盤、凸型の横断面形状、斜面末端の急な勾配があることが分かった。(2) 動的リングせん断試験では、地震力による間隙水圧は、砂分についてはその増加とともに高くなる傾向があり、粘土分についてはその増加とともに低くなる傾向があることが確認された。また、ピーク強さに対する残留強さの割合は、砂分についてはその増加とともに小さくなる傾向があり、粘土分についてはその増加とともに大きくなる傾向がある。(3) 静的リングせん断試験では、残留強さがせん断速度500mm/minで大きく低下したことから、中越地震時の地すべりの大移動が移動速度の増大でせん断強さが大きく低下したことにより生じたと推定された。(4) 地す

#### 4 豪雨・地震による土砂災害に対する 危険度予測と被害軽減技術の開発

べりの再滑動に大きく影響する要素として、地質と地質構造、地形については勾配面積率、侵食最大深、縦断的凸度、斜面の下端勾配が挙げられた。(5) これらの要素を基に地震による地すべり発生危険度評価法を作成した結果、危険度ランク 1 (滑動率 10%未満)、ランク 2 (滑動率 10~20%)、ランク 3 (滑動率 20%以上) として設定できた。

今後は、本研究成果をもとに、第三紀層地域における地震に伴う再滑動型地すべりの危険箇所マップ作成法の構築及び、モデル地域(新潟県上越地方)における危険箇所マップ(試案)作成を行う予定である。

大規模地震後の流域からの生産・流出土砂量の変化予測手法の開発については、①中越地震に伴う崩壊斜面における年平均侵食速度は 2.0cm/yr と算出された。②この侵食速度は、降灰直後の斜面より小さいものの、風化花崗岩地帯の裸地斜面の侵食速度よりは大きい。③芋川流域における崩壊による土砂生産量と比較すると、侵食による土砂生産量は 1 オーダ以上小さく見積もられた。④芋川流域における地震後の降雨・融雪に伴う崩壊土砂生産特性を兵庫県南部地震後の降雨に伴う六甲山地の崩壊発生特性と比較すると、崩壊発生件数の経年的な減少過程が緩やかであるとともに、拡大崩壊が著しく多かった。また、地震時に斜面崩壊が多く発生したエリアでは、地震後の新規崩壊も多く発生するという傾向があった。

今後は、地震後の土砂生産・流出の経年変化メカニズムの検討を進めるとともに、その土砂生産メカニズムを考慮した土砂流出数値計算の試行と改良点の検討を行いたいと考えている。

また、全国の砂防えん堤に設置された地震計データの整理分析を行った結果、①砂防えん堤の地盤で観測されたデータは、同じ震源距離の K-net, KiK-net のデータと比較して加速度が小さい領域のデータが多かった。②堤体の最大加速度が地盤の最大加速度を上回っているものが、44 ケース中 56% を占めた。③堤長/堤高が 8 を越える場合には、堤体/地盤が 2 を超えるものはなかったのに対し、堤長/堤高が 8 を下回る場合には、堤体/地盤が 2 を超過するものが 39 ケース中、9 ケースあった。

今後は砂防えん堤の地震応答特性について、引き続きデータの収集・整理を行い、砂防えん堤の耐震性の評価等について検討していきたいと考えている。

### (3) 土砂災害時の被害軽減技術の開発

地すべり災害の状況によっては、地すべりの移動状況が把握出来なかったり、対策工の計画にはすべり面などの詳細な調査の必要があるといったことから応急対策を直ちに実施できない場合がある。そこで、応急対策の効果的実施方法の検討、すべり面を遠隔から計測できる地表面移動量から推定する手法並びに不安定斜面の遠隔監視システムの開発を目的とした研究を行っている。

応急緊急対策手法として、押え盛土工に焦点を絞り、地すべりの規模と押え盛土工の効果、また安全率と地すべり変位速度の推移等からその効果を評価し、地すべりタイプ毎の押え盛土量や形状の目安となり得ることを示した。今後、現場において速やかに押え盛土規模と形状を判断できるようなマニュアルを作成する。

地表の移動ベクトルからのすべり面の推定手法について、現在のすべり面推定プログラムにより計算されるすべり面形状の精度検証を行った。その結果、精度良くすべり面形状を推定するためのポイントがいくつか明らかとなった他、プログラム上で改良できるポイントも明らかとなった。このため、今後プログラムの改良を行うと共に、マニュアルにとりまとめる。

斜面遠隔監視手法として開発した RE・MO・TE2 の有効性・実用性を災害現場での試行でほぼ確認した。本手法は安全な地点から危険な斜面に立ち入ることなく確実に標的を設置可能であり、災害現場におけるリスク回避の面から、広く活用を図って行きたい。

## **Development of technologies for predicting or mitigating sediment-related risks posed by severe rainfalls or earthquakes**

**Abstract** : In this study the following studies have been executed 1) The advancement and the practical application of the risk evaluation method to predict the time and the area where rainfall-induced sediment-related disasters occur; 2) the clarification of the mechanism of landslide at the time of the Chuetsu earthquake and the development of the risk evaluation method and the development of the method to predict the temporal change in the sediment yield and discharge from the seismically-disturbed watersheds based on the clarified mechanism; 3) the development of the practical monitoring method and the emergency response method for the prevention of the secondary disasters after landslides and other hazardous phenomena.

**Key words** : sediment-related disaster, risk evaluation method, regulation time for the road traffic, earthquake-induced landslide, remote monitoring technique, emergency response technique