

2. 大規模土砂災害等に対する減災、早期復旧技術の開発

研究期間：平成 23 年度～27 年度

プロジェクトリーダー：土砂管理研究グループ長 小山内信智

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・地すべり研究センター）

、技術推進本部（先端技術）、地質・地盤研究グループ（地質、土質・振動、施工技術）

、寒地基礎技術研究グループ（寒地構造、防災地質）

1. 研究の必要性

近年、豪雨の発生頻度の増加や大規模地震の発生により、地域に深刻なダメージを与える大規模な土砂災害や道路斜面災害が頻発しており、今後気候変動に伴いこれらの危険性がさらに高まることが懸念されている。平成 23 年は、3 月に東日本大震災、そして、9 月には台風 12 号、15 号に伴う豪雨災害が相次いで発生し、豪雨・地震等に伴う大規模土砂災害や道路斜面災害に対する、大規模土砂災害等発生危険個所の抽出、事前の減災対策、そして、応急復旧技術の開発が求められている。

2. 研究の範囲と達成目標

本プロジェクト研究では、深層崩壊及び天然ダムの形成・決壊、火山噴火に起因した土石流・火砕流・融雪型火山泥流、さらには融雪や豪雨に伴う流動化地すべりの他、道路斜面災害として大規模岩盤崩落や大規模な落石、大規模な盛土災害を対象としてその発生危険個所の抽出、事前の減災対策、応急復旧技術の開発を範囲とし、以下の達成目標を設定した。

- (1) 大規模土砂災害等の発生危険個所を抽出する技術の構築
- (2) 大規模土砂災害等に対する対策技術の構築
- (3) 大規模土砂災害に対する応急復旧技術の構築

3. 個別課題の構成

本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) 大規模土石流・深層崩壊・天然ダム等異常土砂災害の被害推定・対策に関する研究（平成 23～27 年度）
- (2) 火山噴火に起因した土砂災害の緊急減災対策に関する研究（平成 23～27 年度）
- (3) 流動化する地すべりの発生箇所・到達範囲の予測に関する研究（平成 23～27 年度）
- (4) 劣化過程を考慮した大規模岩盤斜面の評価・管理手法に関する研究（平成 23～27 年度）
- (5) 規模の大きな落石に対応する斜面对策工の性能照査技術に関する研究（平成 23～27 年度）
- (6) 道路のり面斜面对策におけるアセットマネジメント技術に関する研究（平成 23～27 年）
- (7) 大規模土砂災害等に対する迅速かつ安全な機械施工に関する研究（平成 23～27 年度）
- (8) 大規模な土砂災害に対応した新しい災害応急復旧技術に関する研究（平成 23～27 年度）

このうち、平成 26 年度は(1)～(8)の 8 課題全てを実施している。

4. 研究の成果

本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 26 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) 大規模土石流・深層崩壊・天然ダム等異常土砂災害の被害推定・対策に関する研究

大規模土石流・深層崩壊・天然ダム等異常土砂災害に対する施設整備や緊急時の危機管理体制を整える等着実な実施を進めるための研究・技術開発を目的として、本研究課題は、①深層崩壊発生危険箇所・発生規模予測手法の開発、②

2. 大規模土砂災害等に対する減災、早期復旧技術の開発

危機管理ガイドラインの作成、③ハード対策ガイドラインの作成、を達成目標として実施した。

平成 26 年度は、深層崩壊および火山地域で発生する大規模土石流の発生箇所の抽出手法、また土石流による施設の効果評価の一例として破損した堰堤の現地調査手法を検討した。深層崩壊発生位置の抽出について、水文地形特性及び重力性変形地形に着目した結果、水文地形もしくは最小固有値比と斜面勾配比のうち少なくとも 2 要素に対して、ある閾値を設定すると概ね良好な抽出が可能であったが、要素の組合せ方法に課題が残っている。深層崩壊発生規模を空中電磁波探査の岩盤内情報から推定を試みるために比抵抗のパターンを調査した結果、深層崩壊や岩盤クリープ斜面では、風化岩盤による浅部低比抵抗と地下水で飽和した新鮮な岩盤による深部高比抵抗のパターンが確認された。火山地域において土石流が未発達の間谷を越える箇所の抽出手法について検討を行い、溪流沿いの谷と尾根の比高及び土石流の水理量を用いると概ね抽出が可能であった。ただし設定する水理量の差異による影響について詳細な検討が必要である。土石流によって破損したコンクリート砂防堰堤の内部ひび割れ分布を調査した。非破壊調査によって堤体の一部ではあるものの砂防堰堤を対象とした調査では初めて連続する内部ひび割れの 3 次元分布を計測できた。

(2) 火山噴火に起因した土砂災害の緊急減災対策に関する研究

平成 23 年 1 月に霧島山(新燃岳)が噴火する等、我が国は活発に噴火を繰り返す活火山を多く有する火山国であり、降灰等の後の土石流、火砕流、火山泥流等火山噴火に起因した土砂災害に対する緊急減災対策に関する研究が必要とされている。

平成 26 年度は、インドネシアのクルー火山 2014 年噴火による火砕流・土石流の実態調査、桜島における土石流観測と斜面侵食観測、1990 年代の雲仙普賢岳の火砕流や土石流発生状況のアーカイブ写真からの地形の復元、融雪火山泥流の規模に影響する融雪の挙動の基礎的な理論解析や観測、施設配置計画の検討に資する構造物の効果評価を行なうための 3 次元有限要素法による予備的考察を行なった。

(3) 流動化する地すべりの発生箇所・到達範囲の予測に関する研究

地すべり土塊が流動化した場合、被害が通常想定されているものよりも広範囲に及ぶことが予想されるため、行政の関心も高まっている。そこで、雪崩・地すべり研究センターと地すべりチームとの共同プロジェクトとして、流動化する地すべりの発生箇所と到達範囲の予測に関する研究を平成 23 年度から 5 年計画で開始した。

平成 26 年度は、雪崩・地すべり研究センターでは、過去の災害事例に基づく融雪地すべりの到達距離の検討を行うとともに、長野県北部地震により発生した長距離移動地すべりの分布特性の把握、及び地震を誘因とする地すべり発生機構の検討を行った。地すべりチームでは、火山灰被覆丘陵において地震によって発生する崩壊性地すべりについて、(1)土塊の到達距離の予測手法、(2)崩壊性地すべりの発生に及ぼす地下水の影響、(3)崩壊性地すべりの発生に及ぼす地層の硬度不均質性の影響について検討を行った。

(4) 劣化過程を考慮した大規模岩盤斜面の評価・管理手法に関する研究

大規模岩盤斜面における崩壊に対する評価の精度は依然低く、それに基づく管理手法も万全ではない。本研究は、精度の高い大規模岩盤斜面の評価・管理手法を開発することを目標として、劣化過程を考慮した岩盤・斜面の長期的な管理手法を検討するものである。

平成 26 年度は、精度の高い大規模岩盤斜面の評価・管理手法を開発することを目的として、崩落岩体形状の違いによる新たな亀裂の進展方向、および崩落加速度を遠心力模型実験で再現し、その結果を FEM により数値解析した。また、岩石の凍結融解による強度劣化についてワイブル分布近似曲線を用いて解析した。その結果、FEM による解析によって遠心力模型実験の崩落時に発生した新たな亀裂形状を再現できたことから、数値解析により岩盤崩壊の形状把握が可能であることが示唆された。また、凍結融解による岩石の強度劣化について近似曲線が交差するサイクル数の前半部を \sqrt{N} 近似、後半部を指数近似とした予測法を構築した。

(5) 規模の大きな落石に対応する斜面对策工の性能照査技術に関する研究

本研究は、大規模土砂災害等に対する対策技術の構築に係る研究として、近年、採用事例が増加している高エネルギー一吸収型の落石防護工に求められる機能を明確化するとともに、性能照査技術を確立することを目的に実施している。

2. 大規模土砂災害等に対する減災、早期復旧技術の開発

平成 26 年度は、従来型のポケット式落石防護網の構成部材であるひし形金網のエネルギー吸収量や数値解析における材料構成則等の設定を目的として、静的載荷実験および重錘落下衝撃実験を実施し、その挙動について検討を行った。また、過年度に実施したポケット式落石防護網の実規模重錘落下衝撃実験を対象に、三次元弾塑性衝撃応答解析を実施し、解析手法の妥当性について検証するとともに、エネルギー吸収機構等についても検討を行った。

(6) 道路のり面斜面对策におけるアセットマネジメント技術に関する研究

今後、維持・更新の時代に遷移していく中、道路斜面防災事業においても限られた予算を有効に活用するためには、アセットマネジメントの考え方を導入して、中長期的な展望を踏まえた上での効率的かつ効果的な防災対策を行い、斜面災害の減災を図ることが必要である。

土質・振動チームでは、のり面・斜面の点検・診断技術、対策効果の評価手法・対策の考え方といった、道路のり面・斜面对策におけるアセットマネジメント手法の検討を行っている。平成 26 年度は、のり面の吹付工背面の土砂化・空洞化に関して、のり肩部からの雨水の侵入に対する巻き込み処理の効果やひび割れからの侵入水の影響に関する模型実験を行い、点検および対策の考え方についての考察を行った。

地質チームでは、現場予算が厳しくなる中で効率的に道路のり面斜面の防災対策を進めることができるよう、のり面斜面の点検・調査記録や災害事例などを分析することにより、対策緊急度を判定するための調査項目や判定手法を提案することを目的としている。平成 25 年度は、現在の道路のり面斜面の安全性評価における課題を明らかにすることを目的として、これまでに収集した平成 20～23 年度の直轄国道斜面災害 115 事例のうち、過去に道路防災点検が実施された際の安定度調査表を収集できた 44 事例について、災害発生状況と安定度調査における評点および総合評価結果の関係について分析を行った。これらの事例の総合評価結果は約 2 割が要対策、約 4 割がカルテ対応、残りの約 4 割が対策不要とされている。それぞれの総合点（最終評点）はばらつきが大きいがおおむね要対策が高く対策不要が低く、カルテ対応は両者の中間となっている。しかしながら、評点のうち要因点を見ると、カルテ対応ないし対策不要とされた事例であっても必ずしも低くなく、前者で約 8 割、後者で約 5 割の箇所が 50 点を超える要因点を示していることから、災害要因自体は存在し要因点に反映されている箇所が多いことが明らかとなった。要因点と総合点の差は主に対策工の効果による減点分であるが、これが大きい箇所は対策工の効果が大きく見積もられており、そのことが総合評価結果にも反映されている箇所が多い。したがって、対策工の効果の評価方法が課題であるといえる。

(7) 大規模土砂災害等に対する迅速かつ安全な機械施工に関する研究

現在、災害発生時（地震・噴火などによる災害）における初動対応として無人化施工が適用されており、雲仙普賢岳等の人が立ち入ることのできない被災箇所での復旧活動に利用されている。大規模土砂災害等において、無人化施工は、災害の規模や現場状況（人への危険度合い）によって迅速かつ安全な施工技術として期待できるものと考えられる。また、この無人化施工については、主に土砂災害等発生後の災害緊急対策として、土堰堤工事、除石工事における掘削・積み込み・運搬等の機械施工を遠隔操作による施工技術が導入・活用されている。

しかし、有人での機械施工による品質や作業効率と比較すると改善しなければならない課題がある。

そこで、本研究では、無人化施工として利用されている建設機械の遠隔操作技術の実態を明らかなるものとするため、現場で利用されている技術である遠隔システムの操作性に関する基礎データ計測・検証、作業効率向上を目的としたシステム提案に向けた検討を行うものである。

本研究報告は、標準的な作業手順や作業環境を整えることによって横並び評価できる標準的なモデルタスク¹⁾を活用して、搭乗と遠隔での操作、遠隔操作環境・搭乗での操作方法の違いといったインターフェース差について計測実験を行った結果を述べる。また、遠隔での操作における作業効率改善について考察する。

(8) 大規模な土砂災害に対応した新しい災害応急復旧技術に関する研究

近年、豪雨や地震による道路盛土等の道路土工構造物の災害が大規模化し、交通機能が遮断され、復旧までに時間を要することで物流に支障を来すことや集落の孤立等の社会的影響が拡大する場合がある。被災によって遮断された交通機能は早期に回復することが求められ、復旧には被災現場の状況に応じて交通機能を効率よく且つ迅速に回復できる工法の選定が必要とされる。

2. 大規模土砂災害等に対する減災、早期復旧技術の開発

既往の研究より、道路盛土の崩壊等の災害現場における応急復旧方法として、施工性や資材調達の迅速性の観点から大型土のうを用いた応急復旧が用いられていることが確認されている。そこで、本研究では大型土のうを用いた応急復旧に着目し、本復旧への適用性について検討することとした。大型土のうを用いた応急復旧は、施工性に優れる一方で、大規模な復旧（高盛土）においては構造物の安定性について未解明である。昨年度までの研究では、大型土のうを用いた応急復旧の変形挙動や安定性等について動的遠心载荷模型実験より確認した。また、大型土のうを残置させてそのまま本復旧へ適用可能な構造（大型土のうと補強土を組み合わせた構造）を提案し、その適用性について確認した。今年度は、実際に現場で災害復旧を経験された道路管理者及び復旧作業員（施工業者）を対象にヒアリングを実施し、実現場の施工条件を考慮した動的遠心载荷模型実験を実施した。その結果、排水の有無、大型土のうの配置形態、のり面形状等の違いにより変形挙動の変化が見られたものの、大型土のうによる本復旧の有効性が確認された。

A STUDY ON MITIGATION AND EARLY RECOVERY TECHNOLOGIES AGAINST MASSIVE SEDIMENT-RELATED DISASTERS

Research Period : FY2011-2015

Project Leader : Director of Erosion and Sediment Control Research Group
OSANAI Nobutomo

Research Group : Erosion and Sediment Control Research Group (Volcano and Debris flow, Landslide, Snow avalanche and Landslide)
Construction Technology Research Department (Advanced Technology)
Geology and Geotechnical Engineering Research Group (Geology, Soil Mechanics and Dynamics, Construction Technology)
Cold-Region Construction Engineering Research Group (Structures, Geological Hazards)

Abstract : Recent years, massive sediment-related disasters triggered by heavy rains or earthquakes often have occurred and caused such serious damage to local communities that they could no longer recover. The massive sediment-related disasters include deep catastrophic landslides, landslide dam outbreak floods, pyroclastic flows, lahars, mobilized landslides, massive rock avalanches, and massive collapses of embankment. In order to help mitigating or quickly recovering from these kinds of disasters, this study aims at 1) development of technologies to zone hazardous areas prone to massive sediment-related disasters, 2) development of technologies of measures against massive sediment-related disasters and 3) development of technologies on emergency restoration works at the time of disasters. It also aims to contribute to promote disaster mitigation measures against massive sediment-related disasters not only in Japan but also in other Asian countries.

Key words : mitigation, early recovery, massive sediment-related disasters, heavy rain, earthquake