

3 突発的な自然現象による土砂災害の防災・減災技術の開発

研究期間 : 平成 28 年度～33 年度
 プログラムリーダー : 土砂管理研究グループ長 藤澤 和範
 研究担当グループ : 技術推進本部 (先端技術チーム)、地質・地盤研究グループ (地質チーム、土質・振動チーム)、土砂管理研究グループ (火山・土石流チーム、地すべりチーム)、寒地基礎技術研究グループ (寒地構造チーム、寒地地盤チーム、防災地質チーム)

1. 研究の必要性

計画規模を超える豪雨、御嶽山噴火などの火山噴火、熊本地震などの大規模地震、気候変動によるゲリラ豪雨や急激な融雪といった突発的な自然現象が頻発している。これらに伴う土砂災害に対し、初期対応をより迅速・効果的に実施する技術と人命・資産・社会経済活動への被害を軽減する技術の開発が求められている。

2. 目標とする研究開発成果

本研究開発プログラムでは、

突発的に発生する自然現象に伴う土砂災害の被害・影響を防止・軽減するための初期対応を、より迅速・効果的に実施するため、土砂災害が急迫・発生した箇所の早期把握、被害規模の想定、被害の防止・軽減、早期に復旧工事を実施するための無人化施工技術の開発を研究範囲として以下の達成目標を設定した。

- (1) 突発的な自然現象による土砂移動による監視技術及び道路のり面・斜面の点検・管理技術の開発
- (2) 突発的な自然現象による土砂移動の範囲推定技術及び道路通行安全性確保技術の開発
- (3) 突発的な自然現象による土砂災害の防止・軽減のための設計技術及びロボット技術の開発

3. 研究の成果・取組

「2. 目標とする研究開発成果」(1)、(2)、(3)に示した達成目標に関して、平成 28 年度に実施した研究の成果・取組について要約すると以下のとおりである。

(1) 突発的な自然現象による土砂移動による監視技術及び道路のり面・斜面の点検・管理技術の開発

①土砂移動による監視技術の開発

火山灰が、一定厚以上堆積すると土石流が発生し易くなることから、火山噴火後の土石流発生の危険性を評価する際に必要な、新たに積もった火山灰の堆積厚分布の推定方法を検討している。平成 28 年度は、桜島の自動降灰・降雨量計による計測データを使って、立ち入り計測できない火口付近の堆積厚を推定し、空間補間の手法のひとつであるスプラインによる等層厚線の解析方法の適用性を検討した。さらに、スプラインにより推定された等層厚線を検証するため、計測データを解析データと検証データに分け、解析データによる解析から得られた推定値と検証データを比較した。その結果、推定値は計測データと近い堆積厚の値が得られ、検証地点全体では概ね良好に等層厚線を推定することができた。

②道路のり面・斜面の点検・管理技術の開発

現状の降雨に対する道路のり面・斜面の安定に関する点検・対策は、浸透水の作用による安定性確保の観点から実施されており、短時間で集中的に降るゲリラ豪雨については考慮されていない。そのため、ゲリラ豪雨に対する災害形態を明らかにした上で、それに応じた点検・被害軽減策を提案する必要がある。そこで、本研究ではゲリラ豪雨等に対して道路交通機能を確保するための点検手法・対策手法の提案を目的に検討を行っている。平成 28 年度は、ゲリラ豪雨により生じやすい災害形態、災害の発生しやすい箇所の特徴を明らかにし、ゲリラ豪雨に対する高リスク箇所の抽出・点検手法及び対策手法を検討するため、平成 20～23 年度に全国の直轄国道で発生した 115 件の道路斜面災害の特徴を整理し、それらの災害の原因分析を行って点検での災害危険箇所の捕捉率向上のための対応策を検討した。その結果、道路表流水の流入、集水地形な

3 突発的な自然現象による土砂災害の防災・減災技術の開発

どの災害要因に着目して点検を行うことが重要であることが明らかになり、それらを考慮して害危険箇所の捕捉率向上の対応策を示した。さらに、道路のり面災害の発生形態、発生要因等について分析し、道路のり面における降雨による災害の特徴を整理した。

③融雪期のり面・斜面分野における点検・管理技術の開発

融雪等に起因した道路のり面・斜面災害による道路機能低下の軽減に資するため、融雪を考慮した道路のり面・斜面の点検手法の提案を目的に検討を行っている。平成 28 年度は、国道における過去の道路斜面災害事例を分析した結果、発生時期は 3～5 月の融雪期と 7～9 月の降水期に集中し、崩壊要因も降雨と融雪が上位を占めた。それらのうち、融雪に起因した崩壊斜面の地形的特徴は遷急線が明瞭な斜面や集水型斜面であること明らかにし、崩壊メカニズムを予察した。

(2) 突発的な自然現象による土砂移動の範囲推定技術及び道路通行安全性確保技術の開発

①土砂移動の範囲推定技術

深層崩壊の発生する恐れがある斜面において、斜面内部の状態を定量的に評価する手法は確立されていない。平成 28 年度は、平成 23 年の台風 12 号による豪雨により、深層崩壊が多発した紀伊山地を対象に、ボーリング調査結果と比抵抗の鉛直分布の傾向との関係について評価した。ボーリング調査から岩盤の緩み域の深さを推定するために、地下水位、亀裂の開口、風化の状態を評価した。また、空中電磁探査から岩盤の緩み域を推定するために、微分フィルタを用いて、比抵抗が急変する深さを推定した。

地震時に不安定化する斜面を予測する上で、地震発生前から変動が進行している斜面を把握することは重要である。近年、国内では、航空レーザ測量が積極的に実施されるようになり、同一地域における複数時期の航空レーザ測量データ（以下、LP データ）の蓄積も進みつつある。このため、複数時期の LP データを活用して経時的な斜面の変化を把握することで、広域斜面を対象に、効率的に変動斜面を抽出できる可能性が高まっている。そこで、斜面変動の発生を 2 時期の LP 計測データの差分解析により把握する手法を検討している。平成 28 年度は、変動斜面の抽出作業における現状の課題を明らかにすることを目的として解析を実施した。その結果、斜面変動の発生を面的に把握できた事例がある一方、計測データが少ない場合やフィルタリング処理による過度のデータ除去により斜面変動の把握を把握できない事例があり、差分解析実施前の段階において、用いる計測データの分解能の評価が必要であるという課題が明らかになった。

②道路通行安全性確保技術

a) ゲリラ豪雨

災害データ及び関連する地形・地質状況、降雨状況を分析することにより、降雨と斜面災害の相関関係を明らかにし、安全性確保のための規制雨量の設定手法の検討を行っている。平成 28 年度は、平成 20～23 年度に全国の直轄国道で発生した 115 件の道路斜面災害における降雨を分析し、道路防災点検における点検対象外箇所及び対策不要箇所での災害箇所における降雨の特徴を整理した。その結果、道路表流水の流入、集水地形などの災害要因に着目して点検を行うことが重要であることが明らかになり、それらを考慮して災害危険箇所の捕捉率向上の対応策を示した。

豪雨時の道路利用者の安全性確保の観点から、土砂災害の危険性がある山地部の道路においては事前通行規制による対応が行われている。現在用いられている「異常気象時における道路通行規制要領」では連続雨量により事前通行規制の実施の判断をされているが、突発的に発生するゲリラ豪雨を考慮しておらず十分に対応できていない。このため、ここではゲリラ豪雨にも対応した事前通行規制手法を提案することを目的に検討を行っている。平成 28 年度は、ゲリラ豪雨に対応した降雨指標を検討することを目的に、過去の道路のり面の災害事例に対して種々の降雨指標を設定し降雨状況と災害との関連性の整理を行い、6 時間累積雨量を生起確率 1 年の連続雨量で正規化した値が、ゲリラ豪雨に対する事前通行規制の指標値となる可能性が見られた。

b) 融雪

積雪寒冷地では、融雪期に長期通行止めに至るような道路斜面災害が多発しており、融雪期の斜面災

3 突発的な自然現象による土砂災害の防災・減災技術の開発

害発生メカニズムの解明や災害を回避するための通行規制基準等の方策が求められている。

積雪寒冷地における融雪期盛土災害メカニズムの解明を目的として、平成 28 年度は、北海道で融雪期に変状が生じた道路盛土を対象に行った現地調査、浸透流解析および安定解析を行い、その結果を考察した。具体的には、融雪期の盛土内の水位を、融雪水を考慮した浸透流解析結果から仮定し、既存の円弧すべり解析により、融雪期盛土災害の発生メカニズムの解明に資する検討を行った。

また、融雪期の斜面災害の回避手段として、通常の雨量による事前通行規制では十分に対応しきれていないことから、降雨に融雪水量を加味した事前通行規制基準を提案することを目的として、H28 年度は、改良 Degree-Hour 法による融雪水量の推定の際に時間積算気温とともに必要となる融雪水量係数について、実際の融雪災害発生地域における複数の現地計測データを基に算出した結果、地点・年ごとに大きくばらつくことが分かった。また、解析日射量が融雪水量係数とよい相関を示したことから、解析日射量による融雪水量係数の空間補間の可能性を確認した。

c) 岩盤崩壊

岩盤斜面形状や亀裂分布の情報に基づき、崩壊が想定される危険ブロックの形状・規模を正確に推定することにより、岩盤崩壊斜面の点検・対策の精度向上に資することを目的に検討を行っている。H28 年度は、UAV で撮影した急傾斜の岩盤斜面の写真から SfM 手法を用いて 3 次元地形モデルを構築する方法について検討を行った。その結果、急崖斜面でも死角を生じない精度の高い三次元地形モデルを、時間を短縮して構築できること、標定点や写真撮影位置などの座標入力数によって構築されるモデルの形状が異なることを明らかにした。

(3) 突発的な自然現象による土砂災害の防止・軽減のための設計技術及びロボット技術の開発

① 土砂災害の防止・軽減のための設計技術

従来型落石防護擁壁・柵類について、耐衝撃挙動や保有性能を明らかにし、耐衝撃設計法の提案を目的に検討を行っている。平成 28 年度は、落石防護擁壁の保有性能に関しては、擁壁の延長および基礎地盤等を変化させる重錘衝突実験を実施し、耐衝撃挙動を把握した。また、落石防護柵の保有性能に関しては、実規模の重錘衝突実験および間隔保持材の設置効果や金網の貫通現象を把握するための基礎的な部材実験を実施し、耐衝撃挙動を把握した。

② ロボット技術開発

災害発生時に無人化施工に代表されるロボット技術を、安全・迅速・高効率で適用するための提案を目的に検討を行っている。平成 28 年度は、熊本地震災害発生時などにおける無人化施工の安全・迅速・高効率な導入に対する課題点の抽出・分析を行った。また、迅速な無人化施工の実施に必要な要素技術を抽出し、仕様や概略の検討及び予備的な実験を実施した。

Improvement on Prevention or Mitigation Technologies Related Sediment Disaster due to A Natural Phenomenon Occurrence suddenly or extremely

Research Period : FY2016-2021

Program Leader : Erosion and Sediment Control Research Group
Fujisawa Kazunori

Research Group : Construction Technology Research Department (Advanced Technology Research Team), Geology and Geotechnical Engineering Research Group(Geology Research Team, Soil Mechanics and Dynamics Research Team, Erosion and Sediment Control Research Group (Volcano and Debris Flow Research Team, Landslide Research Team), Cold-Region Construction Engineering Research Group (Structures Research Team, Structures Research Team, Geotechnical Research Team)

Abstract : Japan is posed to risks of sediment-related disasters. In recently years, excessive rainfall, that is beyond the current design level, and a natural sudden phenomenon such as Mt .Ontake-eruption and Kumamoto-earthquake, have frequent occurred. It is required to mitigate or recover from these disasters quickly and effectively in the early stage. The achievement target is established as follows.

- 1) Improvement of Sediment transport monitoring and road slope monitoring for a natural phenomenon occurrence suddenly or extremely
- 2) Improvement of estimation method of Sediment transport area and road slope occurrence by rainfall index for a natural phenomenon occurrence suddenly or extremely
- 3) Improvement of design of the rockfall prevention-fence and unmanned technique for a natural phenomenon occurrence suddenly or extremely

Key words : mitigation technologies, sediment-related disasters, sudden national phenomenon, road slop management, unmanned technique

3.1 突発的な自然現象による土砂移動の監視技術及び道路のり面・斜面の点検・管理技術の開発

3.1.1 土砂移動の監視を踏まえた被害予測技術に関する研究（1）

担当チーム：土砂管理研究グループ（火山・土石流チーム）

研究担当者：水野秀明、藤村 直樹、竇 杰

【要旨】

火山灰は、一定厚以上堆積すると土石流が発生し易くなる。そこで、火山噴火後の土石流発生の危険性を評価する際に必要な、新たに積もった火山灰の堆積厚分布を推定する方法について検討した。まず、桜島の自動降灰・降雨量計による多数点の堆積厚の計測データにより、立ち入り計測できない火口付近の堆積厚を推定し、空間補間の手法のひとつであるスプラインによる等層厚線の解析を行った。さらに計測データを解析データと検証データに分け、解析データによる解析から得られた推定値と検証データを比較した。その結果、推定値は計測データと近い堆積厚の値が得られ、検証地点全体では概ね良好に等層厚線を推定することができた。

キーワード：火山噴火、土石流、火山灰、等層厚線、空間補間

1. はじめに

火山にある溪流は、火山噴火に伴い火山灰が流域内にある一定以上堆積すると、降雨が流域内の斜面に浸透しにくくなることで表面流の発生が促進され、火山灰堆積前と比較して土石流が発生しやすくなる。そこで降灰後に土石流発生の危険性を評価する際には、火山灰の堆積厚の分布を把握する必要がある。

複数点の火山灰の堆積厚からその分布を推定する手法は、火山灰が楕円の形状で堆積すると仮定した楕円近似法¹⁾や、堆積厚と堆積範囲の面積には反比例の関係が成り立つとの仮定から任意の厚さの等層厚線を推定する手法²⁾などが提案されている。しかしながら、これらの手法は、等層厚線の形状がいずれの厚さでも相似的に同じなるなど、計測値の入力地点以外の領域における解析による堆積厚の推定値は、実際の火山灰の堆積厚とは異なる分布となる。

そこで本研究は、複数地点の火山灰の堆積厚を計測した場合における堆積厚の面的分布の推定を目的として、多地点に設置された自動降灰・降雨量計の堆積厚データを用いた等層厚線の推定を試行した。

2. 研究の方法

2.1 対象火山

検討の対象火山は、鹿児島市の桜島とした。桜島では、火山灰の堆積が認められる継続的な噴火があり、火山を取り囲むように24基の自動降灰・降雨量計（写真-1）が設置されている（図-1）。

2.2 使用した計測データ

等層厚線の推定は、桜島に設定されている自動降灰・降雨量計の計測データを用いて行った。使用した計測データは、火山噴火の頻度が高く継続的に降灰した平成27年の噴火事例のうち、気象庁の「噴火に関する火山観報」で「噴煙量」が「多量」と報告された噴火を含む6月1日12時33分前後24時間の自動降灰・降雨量計の計測データである。

2.3 等層厚線の作成におけるデータ解析方法

(1) 火山周辺の解析方法

等層厚線は、2.2に示す噴火事例における24基の自動降灰・降雨量計の計測データを用いて、空間補間手法により作成するものとした。空間補間手法には、代表的なものとして、表-1に示す3手法が挙げられる。このうち、「スプライン」は、解析対象の全計測地点を通過する曲面の曲率を最小にする関数によって任意の点の値を推定する方法で、値の入力地点を正確に通過することが



図-1 桜島の自動降灰・降雨量設置地点

特徴である(図-2)。本解析は、計測値を正解とすることから、自動降灰・降雨量計による計測地点における計測値と解析結果が同じ値となる「スプライン」を採用した。

(2) 火口付近の解析方法

スプラインの解析は、山麓にある自動降灰・降雨量計の計測データだけを用いて解析した場合、最も大きい堆積厚を計測した計測点をピークとした等層厚線となり、火口付近ほど堆積厚が大きくなるような実現象を表現することができない。このため、実現象のような堆積厚の分布を再現するためには、火口付近の堆積厚を推定し、スプラインの解析データに加える必要がある。

火口付近の堆積厚の推定は、火山灰の堆積厚の分布が山麓から火口方向に対し、直線近似できると仮定して行った。この仮定に基づくと、火山灰の空間的な分布は、3地点の計測データが与えられれば式(1)のように、平面形状で表すことができる。

$$Z = aX + bY + c \quad (1)$$

ここに、 Z は任意の地点の火山灰の堆積厚さ(mm)、 X, Y : 任意の地点の平面座標、 a, b, c : 係数を示す。

式(1)を用いて火山灰の堆積厚さを求める火口付近の地点は、3地点で表される三角形の重心と火口の中心を通る直線と火口縁の水平交点Pとした(図-3)。ただし、用いる点に0 mm地点が含まれる場合など点P地点での堆積厚がマイナスとなる場合がある。この場合、三角形の重心と火口の中心を通る直線上の堆積厚が0 mmとなる地点よりも火口側は火山灰の堆積がないと仮定し火口縁の堆積

表-1 空間補間手法と概要

空間補間法	概要
逆距離加重法	任意のある地点(以降、「X地点」)近傍の複数の地点のデータを距離に応じ加重平均してX地点の値を推定
スプライン	全計測地点のデータを通過する曲面の曲率が最小となる関数によりX地点の値を推定
クリギング	X地点の値を周囲の地点のデータから最も小さい誤差となるよう推定

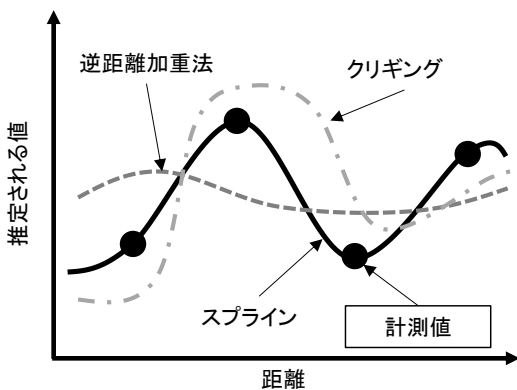


図-2 空間補間手法の推定イメージ

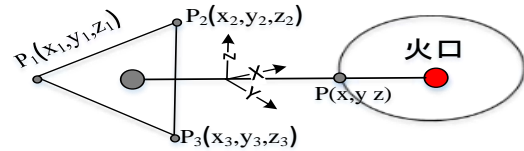


図-3 火口付近の火山灰堆積厚の推定イメージ

積厚を0 mmとして扱った。

解析に用いる全ての自動降灰・降雨量計に対し、近接する3地点の組み合わせを複数設定することで、火口付近で複数の火山灰の堆積厚を推定した。

2.4 等層厚線の精度の検証

2.2、2.3で作成した等層厚線の精度の検証は、スプラインの解析で得られる堆積厚の推定値と実際の計測データとの比較により行った。

本検討では、24基の堆積厚計測データのうち、ランダムに抽出した12地点のデータを解析データ、残りの12地点を検証データとして区分した。解析データを用いてスプラインで推定した堆積厚を推定値として、検証データと比較することで精度の検証を行った。

3. 結果

3.1 推定した等層厚線

平成27年6月1日の噴火における等層厚線を図-4に示す。この噴火は火口の南東方向に位置する昭和火口から生じたものである³⁾。昭和火口からの噴煙の流向は、統計的に東方向となる傾向がある。また、気象庁の観測では、この日最大の噴火のあった12時台からその後の17時台までは風向が、近傍の観測地点「鹿兒島」で南南東方向と記録されており、低地では南から北の方向に流れる気象条件であった。

解析結果は、噴煙の流向の傾向とその中に含まれる火山灰を運搬する風向と整合した結果であった。

3.2 等層厚線の精度検証

得られた火山灰の分布から、検証データとして扱った自動降灰・降雨量計の計測点において解析から得られた推定値を求めた。この推定値と検証データの計測値を図-5により比較した。推定値と計測値が一致する場合は黒い実線上にプロットされる。図-5に示すように、推定値は、少し大きめの傾向であるものの、ほとんどの地点で計測値に近い値が得られている。

4. 考察

図-5で示した地点のうち、計測値よりも推定値が大きく推定された地点は、概ね火山灰が厚く堆積したと考えられる桜島の北東側半分の範囲内に分布している。

2.3(2)で推定した火口付近の堆積厚は、同様に北東側の推定地点で 0~0.29 mm 以上の値が推定された。「長谷川」から「有村1」に至る北東側斜面では、最も計測値が大きい「鹿児島松」と火口付近の堆積厚の影響を受けていると考えられる。

特に「長谷川」では計測値が 0 mm であるにもかかわらず推定値は 0.29 mm と推定された。「長谷川」と火口付近の堆積厚の推定地点との間には堆積厚を 0 mm に収束させる解析データが存在しない。スプラインによる推定値の曲面は、解析に用いる地点間の曲率が最小となるよう推定される特徴を有しているため、「長谷川」周辺では緩やかに堆積厚が減少するような曲面が推定されたと考えられ

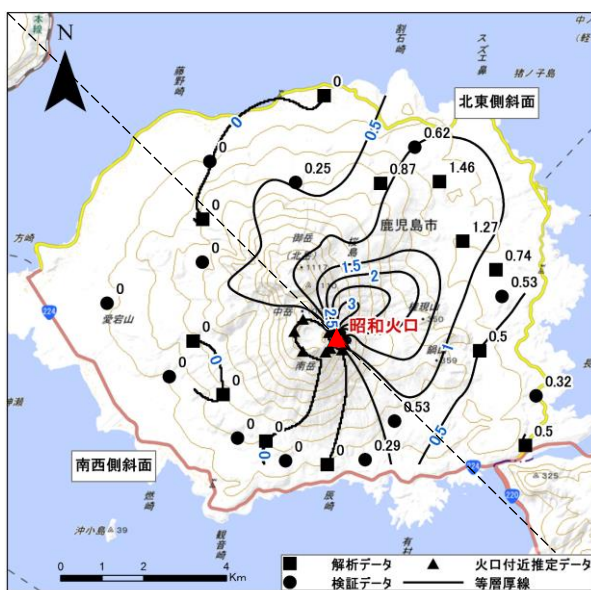


図-4 計測された火山灰の堆積厚とスプラインによる等層厚線 (平成 27 年 6 月 1 日噴火)

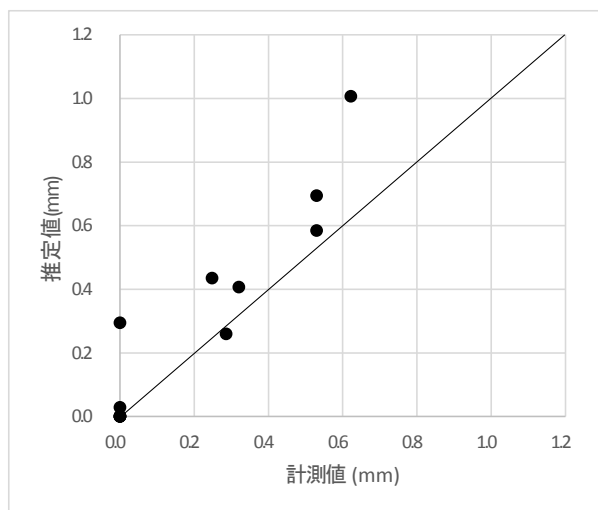


図-5 火山灰堆積厚の計測値と推定値の比較 (検証に使用した 12 点のうち 4 点の計測値が 0 となっている)

る。このような傾向を踏まえると、精度の改善には、火山灰の堆積がない堆積厚さ 0 mm の範囲を明らかにし、そのいくつかの地点の情報を解析に反映することが必要であるといえる。

5. まとめ

本検討では、多地点の計測データを用いてスプラインによる等層厚線の推定を行い、火山灰の堆積厚の分布の把握を試みた。

桜島で 24 基の計測データを、解析データと検証データに分け、解析データを用いてスプラインによる解析を行い、その結果から得られた推定値と検証データを比較した。推定値は、計測データと近い値が得られ、検証地点全体では、概ね良好に等層厚線の推定を行うことができた。ただし、推定値は火山灰の堆積方向の斜面では大きめに推定される傾向であった。

本検討では、火口付近の堆積厚さは、山麓から火口方向に対し直線近似により推定したが、火口付近の推定値は検証できていない。今後は、既往の火山灰の堆積状況を踏まえた火口付近の堆積厚さの推定を行う。

謝辞

本検討では、桜島の自動降灰・降雨量計の計測データを国土交通省九州地方整備局大隅河川国道事務所からご提供いただいた。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Tajima Y, TAMURA K, YAMAKOSHI T, et al (2013) Ellipse-approximated Isopach Maps for Estimating Ashfall Volume at Sakurajima Volcano. Bull Volcanol Soc Japan 58:291-306.
- 2) 木佐洋志, 山越隆雄, 石塚忠範: 火山噴火後に降灰分布を速やかに推定する手法, 土木技術資料, 第 54 巻, 第 3 号, pp.22~25, 2012
- 3) 福岡管区気象台火山監視・情報センター鹿児島地方気象台: 桜島の火山活動解説資料 (平成 27 年 6 月) http://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/STOCK/monthly_v-act_doc/fukuoka/15m06/506_15m06.pdf

3.1.2 ゲリラ豪雨や急激な融雪等へ対応する道路のり面・斜面の合理的な管理手法に関する研究（ゲリラ豪雨対応）

担当チーム：地質・地盤研究グループ（地質チーム）

研究担当者：佐々木靖人、浅井健一、矢島良紀

【要旨】

ゲリラ豪雨により生じやすい災害形態、災害の発生しやすい箇所の特徴を明らかにし、ゲリラ豪雨に対する高リスク個所の抽出・点検手法及び対策手法を検討するため、平成 20～23 年度に全国の直轄国道で発生した 115 件の道路斜面災害の特徴を整理し、それらの災害の原因分析を行って点検での災害危険箇所の捕捉率向上のための対応策を検討した。その結果、道路表流水の流入、集水地形などの災害要因に着目して点検を行うことが重要であることが明らかになり、それらを考慮して危険箇所の捕捉率向上の対応策を示した。

キーワード：ゲリラ豪雨、道路、斜面、災害、点検

1. はじめに

近年、ゲリラ豪雨や急激な融雪による道路斜面災害により長期通行止めに至る災害が多発しており、人的被害の発生懸念など安全・安心上の大きな課題となるとともに、交通機能確保の観点からも課題となっている。また、重要路線等においてはゲリラ豪雨や急激な融雪に対しても、早期の交通機能の確保が求められている。これらの課題に対し、本研究は災害データ及び関連する地形・地質状況、降雨状況を分析することにより、ゲリラ豪雨により生じやすい災害形態、災害の発生しやすい箇所の特徴を明らかにし、ゲリラ豪雨に対する高リスク個所の抽出・点検手法及び対策手法を検討するものである。

2. 研究方法

道路防災点検¹⁾の事前スクリーニングで点検対象から外れた箇所（以下「点検対象外箇所」）及び点検で特に新たな対策を必要としないとされた箇所（以下、「対策不要箇所」）で発生した災害の危険性を有する斜面を事前に捕捉することを目的に、平成 20～23 年度に全国の直轄国道で発生した 115 件の道路斜面災害の特徴を整理し、それらの災害の原因分析を行って点検での災害危険箇所の捕捉率向上のための対応策を検討した。

3. 研究結果

3.1 災害の状況

平成 20～23 年度の直轄国道斜面災害は、点検対象外箇所及び対策不要箇所が発生した災害が 64%を占める（図-1）。これら点検対象外箇所及び対策不要箇所が発生した災害の種別は自然斜面崩壊、切土のり面崩壊及び盛り土崩壊を主とする（図-2）。これらのうち点検対象外箇所での災害は盛り土崩壊が約 40%、切土のり面・自然斜面崩壊が 50%弱であるのに対し、対策不要箇所での災害は切土のり面・自然斜面崩壊が約 60%であり、他の災害は比較的少ない（図-3）。

3.2 災害原因

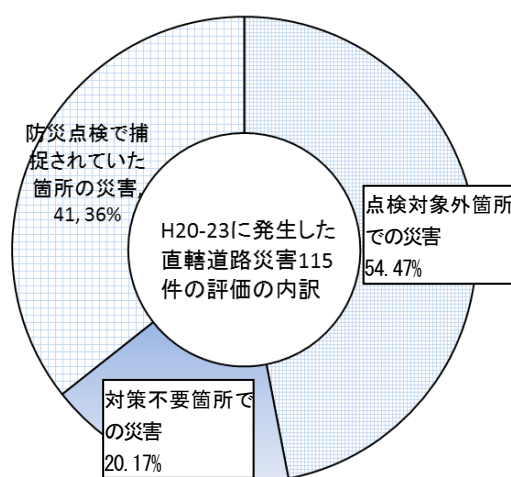


図-1 平成 20～23 年度直轄国道災害事例の内訳

3 突発的な自然現象による土砂災害の防災・減災技術の開発

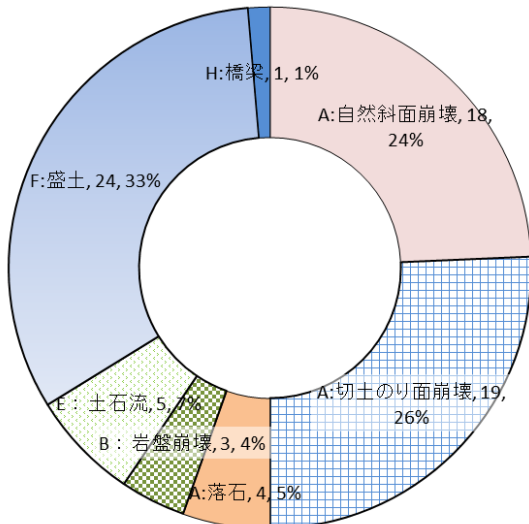


図-2 点検対象外箇所及び対策不要箇所の災害種別 (n=74)

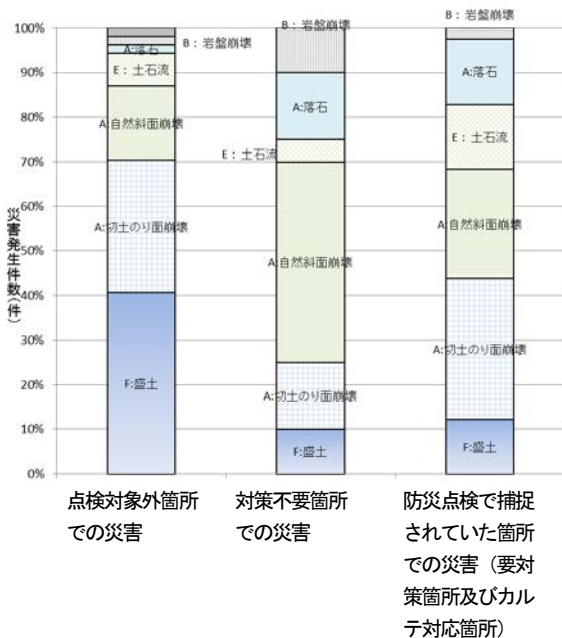


図-3 点検対象外箇所、対策不要箇所及び防災点検で捕捉されていた箇所別の災害種別 (n=115)

点検対象外箇所における災害原因ごとに区分した災害

発生数を図-4に示す。件数の多い発生原因は道路表流水の流入 (14件/点検対象外箇所の災害54件中) 及び集水地形 (11件/点検対象外箇所の災害54件中) で、この両者で約半数 (25件/点検対象外箇所の災害54件中) を占めている。この両者の災害のうち約3分の1は時間雨量30mm以上の降雨で発生しており、ゲリラ豪雨で発生しやすい災害形態であることが推測できる。これらの要因を重視して点検を行うことが点検による災害捕捉率を向上させる効率的な方法であるといえる。

対策不要箇所における災害原因ごとに区分した災害発生数を図-5に示す。件数の多い発生原因は崩壊機構の見誤り (6件/対策不要箇所の災害20件中) 及び対策工が不適切 (4件/点検対象外箇所の災害54件中) で、既設対策工の効果により十分対応可能であると判断された箇所が被災する事例が約半数を占めている。また、対策不要箇所での災害箇所を踏査した事例では狭い集水地形での崩壊事例 (図-6)、もともと不安定な土砂・岩盤が降雨で不安定化した事例などが見られており、点検でこれらの条件に該当する箇所を抽出することが重要である。

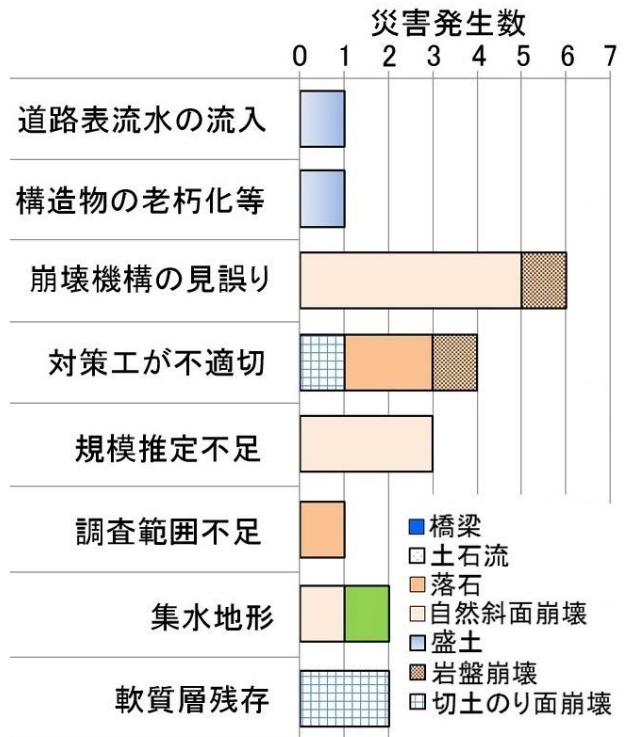


図-5 災害原因ごとの災害発生数 (対策不要箇所, n=20)

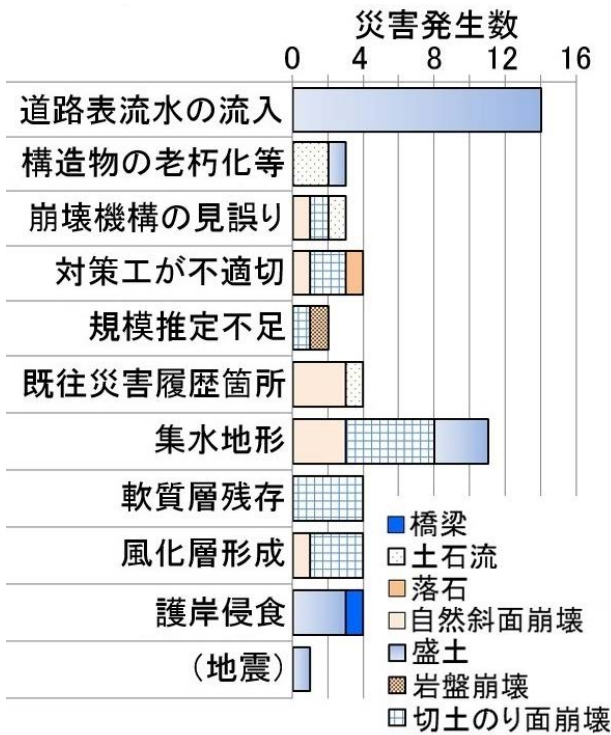


図-4 災害原因ごとの災害発生数（点検対象外箇所、n=54）

3.3 災害危険箇所捕捉率向上の対応策

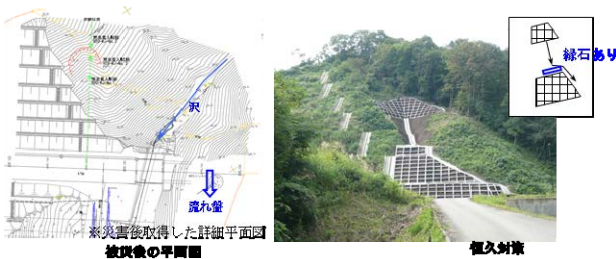


図-6 狭い集水地形で崩壊した箇所の事例

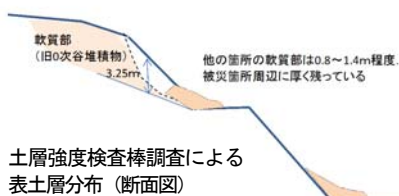


図-7 地形判読による0次谷の抽出により危険斜面を想定した事例

3 突発的な自然現象による土砂災害の防災・減災技術の開発

3.2 の災害原因から考えられる災害危険箇所の捕捉率向上の対応策としては以下の項目が考えられる。ここで、災害危険箇所の捕捉率を高めるためには、対応の難易度が低く、捕捉率の向上率が高いものから優先的に実施するのが効果的であることから、作業のしやすさ、調査での対応のしやすさ、作業者の必要技術力及び効果の即効性を考慮して優先度を設定した。

1)優先度1：机上調査（難易度：低）

①レーザープロファイラや空中写真による0次谷や集水地形の抽出（13.9%向上）

2)優先度2：現地調査における判断（難易度：高）

②道路表流水の流入跡の確認（12.2%向上）

③道路ストックの安全パトロール（6.1%向上）

3)優先度3：現地調査における判断（難易度：高）

④土層強度検査棒などのサウンディングによる表土層厚・分布の把握（7.8%向上）²⁾

4)優先度4：現地調査における判断（難易度：高）

⑤崩壊機構を正確に把握する（8.7%向上）

⑥対策工の効果を再評価（7.0%向上）

これらの対応策を踏まえて現場で試行した危険斜面の抽出事例を図-7に示す。

この箇所は、空中写真判読に示すように、0次谷の谷頭を薄く切土した斜面であり、切土のり面に0次谷の堆積物が残存している可能性が示唆された。そこで土層強度検査棒を用いて土層深さを調査した結果（断面図参照）、当該斜面は、周囲に比べて2m以上表土層が厚く、もともとこの箇所の斜面安定性が低かったことが確認され、これらの対応策を用いることで危険斜面を抽出できる場合があることが確認された。

4. まとめ

ゲリラ豪雨により生じやすい災害形態、災害の発生しやすい箇所の特徴を明らかにし、ゲリラ豪雨に対する高リスク箇所の抽出・点検手法及び対策手法を検討するため、平成20～23年度に全国の直轄国道で発生した115件の道路斜面災害の特徴を整理し、それらの災害の原因分析を行って点検での災害危険箇所の捕捉率向上のための対応策を検討した。その結果、道路表流水の流入、集水地形などの災害要因に着目して点検を行うことが重要であることが明らかになり、それらを考慮して3.3に示したような災害危険箇所の捕捉率向上の対応策を示した。今後、これらの結果をもとに危険箇所抽出方法の検討を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 財団法人道路保全技術センター：道路防災点検の手引き（豪雨・豪雪等）、179p. 2009年5月
- 2) 金井哲男・浅井健一・佐々木靖人・法水哲：土層強度検査棒を用いた危険斜面抽出方法、平成28年度日本応用地質学会研究発表会講演論文集、pp.169-170、2009年10月

3.1.3 ゲリラ豪雨や急激な融雪等へ対応する道路のり面・斜面の合理的な管理手法に関する研究（ゲリラ豪雨・道路のり面：点検・対策）

担当チーム：地質・地盤研究グループ（土質・振動）

研究担当者：佐々木哲也、加藤俊二

【要旨】

現状の降雨に対する道路のり面・斜面の安定に関する点検・対策については、浸透水的作用による安定性確保の観点为主であり、短時間で集中的に降るゲリラ豪雨については考慮しておらず、ゲリラ豪雨に対する災害形態を明らかにした上で、それに応じた点検・被害軽減策を提案する必要がある。このため、ここではゲリラ豪雨等に対して道路交通機能を確保するための点検手法・対策手法を提案することを目的に検討を行っている。平成28年度は、ゲリラ豪雨に対応した点検・対策方法を検討するための基礎資料を得ることを目的に、過去の道路のり面災害事例を用いて、道路のり面災害の発生形態、発生要因等について分析し、道路のり面における降雨による災害の特徴について整理した。

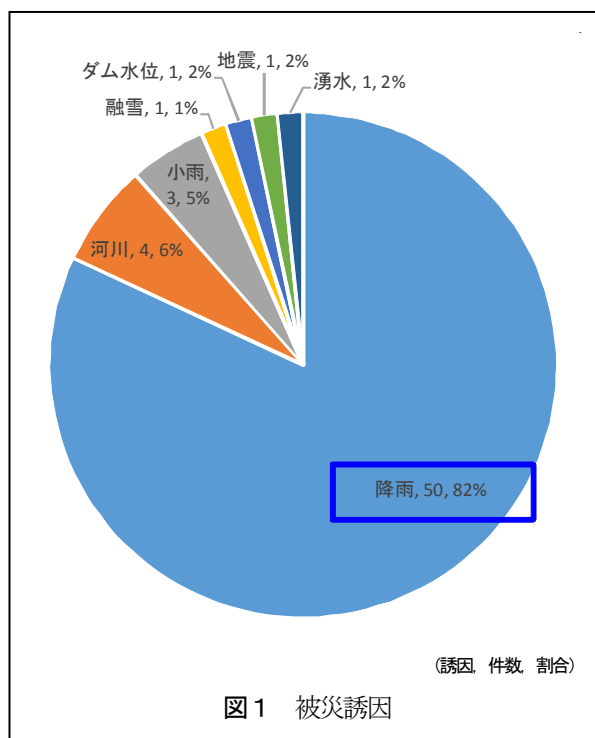
キーワード：道路のり面、ゲリラ豪雨災害形態、発生要因、事例分析

1. はじめに

現状の降雨に対する道路のり面・斜面の安定に関する点検・対策については、浸透水的作用による安定性確保の観点为主であり、短時間で集中的に降るゲリラ豪雨については考慮しておらず、ゲリラ豪雨に対する災害形態を明らかにした上で、それに応じた点検・被害軽減策を提案する必要がある。このため、ここではゲリラ豪雨等に対して道路交通機能を確保するための点検手法・対策手法を提案することを目的に検討を行っている。平成28年度は、ゲリラ豪雨に対応した点検・対策方法を検討するための基礎資料を得ることを目的に、過去の道路のり面災害事例を用いて、道路のり面災害の発生形態、発生要因等について分析し、道路のり面における降雨による災害の特徴について整理した。

2. 道路のり面災害事例分析

ここでは、平成20～23年度に発生した直轄国道の斜面災害における切土および盛土のり面で発生した表層崩壊・土砂流出等の61の災害事例について、発生形態、発生要因等について分析し、道路のり面における豪雨災害の特徴について整理した。なお、以下の被災誘因や被災要因の分類は、災害直後に現場事務所で調査を行い分



類・報告されたもので、統一的な指標の下で分類したものでないことを断っておく。

61 災害事例の被災誘因について整理した結果を図1に示す。約80%は直接降雨に起因するものであり、その他河川による洗掘や被災時の降雨がほとんどないような直接的に降雨が影響していないと思われる被災事例も約20%見られた。次に、具体的な発生素因・要因を整理した結果を図2に示す。図1で降雨が直接的な誘因と考えられる災害のほとんどは、図2(a)に示すように道路表面水の流入、集水地形による流入、排水施設の不全といった降雨の集排水に関連したのり面等の構造に起因するものと、豪雨（地形的な外部要因が見られずその地域で過去に経験のない累積雨量であったもの）・湧水（崩壊面内に大量の湧水が生じていたもの）といった雨水の浸透によるものの大きく2つに分類された。さらにこれらについて、切土のり面（図2(b)）および盛土のり面（図2(c)）単位でみると、切土のり面では集排水の構造に起因するものと雨水の浸透によるものはほぼ半々でみられるが、盛土のり面では集排水の構造に起因するものがほとんどであった。これは、切土のり面自体は自然地盤であるため、のり面の地質・土質構造の不均質性の影響もあり盛土と比較すると降雨浸透に起因するような災害も起こりやすいが、盛土のり面は浸透水に対する安定を確保するように人工的に締固めながら盛り立てて構築するものであり、降雨の表面浸透に対する構造上の不確実性が小さいものと考えられる。

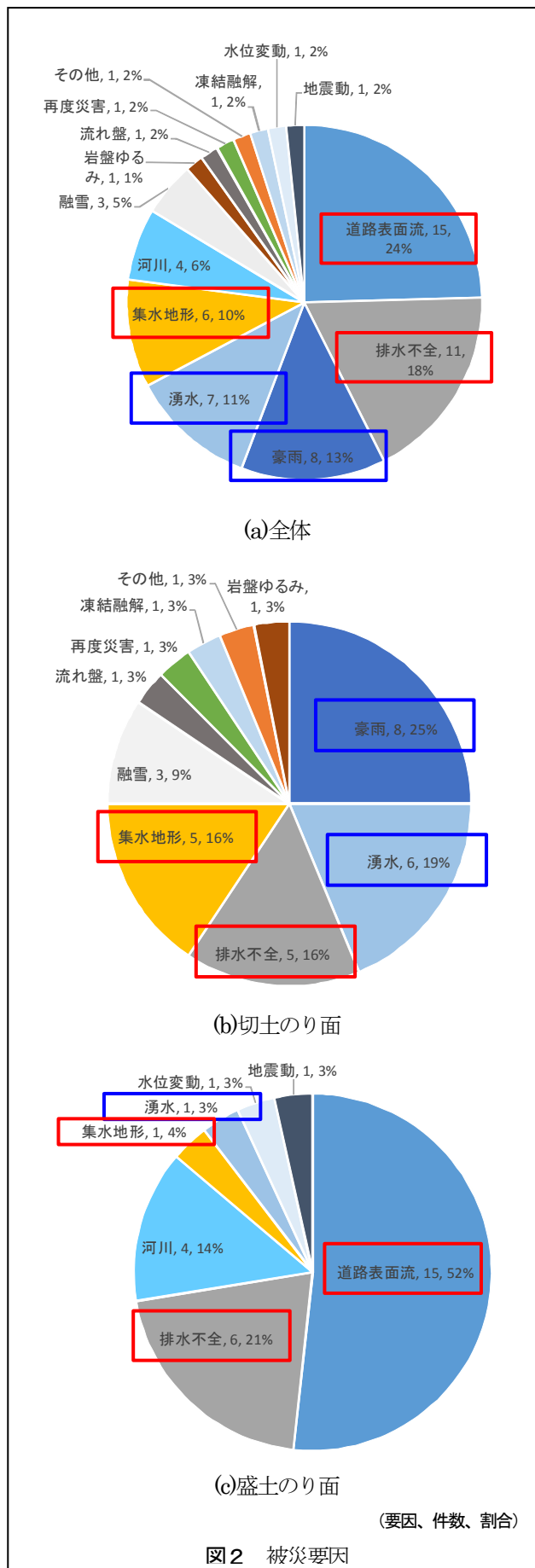
3. まとめ

上記のように道路のり面における降雨に起因する災害の特徴を整理した結果、盛土のり面では集排水の構造に起因するものがほとんどであるという特徴的な結果が得られた。この結果は、盛土のり面に関しては周辺の地形状況も含め雨水の集排水の観点で検討することで対応が可能であることを示唆しているものと考えられる。一方、切土のり面に関しては植生工など雨水がのり面に浸透するようなり面保護工の背面地盤の状況も含めた検討が必要であることが示唆された。

今後はさらに降雨状況や現地の詳細な地形等も含めた分析を行い、ゲリラ豪雨にも対応した点検・対策手法の検討を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 川添英生, 加藤俊二, 佐々木哲也: 豪雨等による道路のり面災害の降雨パターン分析, 第72回土木学会年次学術講演会



3.1.4 ゲリラ豪雨や急激な融雪等へ対応する道路のり面・斜面の合理的な管理手法に関する研究（融雪期のり面・斜面分野：点検・管理技術）

担当チーム：寒地基礎技術研究グループ
（防災地質チーム）

研究担当者：倉橋稔幸、日外勝仁、角田富士夫

【要旨】

本研究は、融雪等に起因した道路のり面・斜面災害による道路機能低下の軽減に資するため、融雪を考慮した道路のり面・斜面の点検手法の提案を目的とするものである。国道における過去の道路斜面災害事例を分析した結果、発生時期は3～5月の融雪期と7～9月の降水期に集中し、崩壊要因も降雨と融雪が上位を占めた。それらのうち、融雪に起因した崩壊斜面の地形的特徴は遷急線が明瞭な斜面や集水型斜面であること明らかにし、崩壊メカニズムを予察した。

キーワード：道路斜面災害、北海道、降雨、融雪、地形区分

1. はじめに —道路斜面災害の発生状況—

積雪寒冷地では3～5月の融雪期に斜面災害が多発する傾向があり、北海道の国道では1998～2015年の間に発生した道路斜面災害の1/3以上が融雪期に発生している（図-1）。斜面災害の中で特に崩壊においては、地盤への水の供給が多くなる融雪期と降水期の2つの発生のピークが見られる。また、崩壊要因別の崩壊発生件数においても、降雨と融雪が崩壊要因の上位を占めている（図-2）。

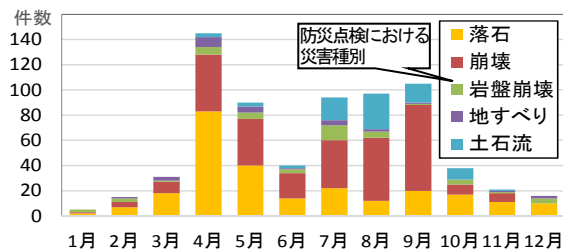


図-1 北海道での道路斜面災害月別発生件数

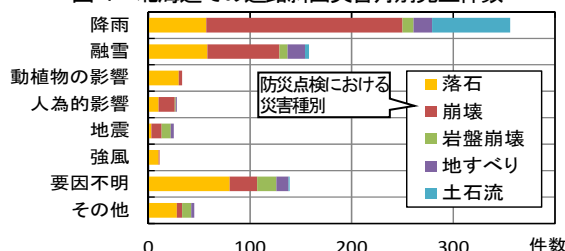


図-2 崩壊発生件数と災害形態の内訳

2. 降雨・融雪崩壊と地形的特徴

災害発生日が特定され、崩壊前後の詳細な斜面情報も有る道路防災点検の対象斜面において、降雨・融雪によって崩壊が発生した事例は、降雨崩壊が41件、融雪崩壊が9件あり、降雨、融雪いずれの場合

でも、自然斜面・のり面の区別なく、遷急線明瞭と集水型斜面の2つの地形区分で崩壊の発生が多いことが明らかとなった（図-3）。遷急線明瞭地形における融雪崩壊の発生メカニズムを図-4に示すように予察した。今後は、現地調査を行い、点検時の着目すべき現象をまとめる予定である。

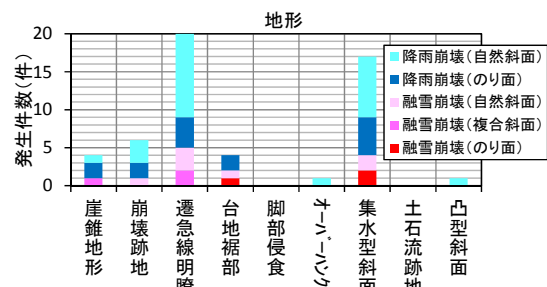


図-3 降雨・融雪崩壊と地形的特徴

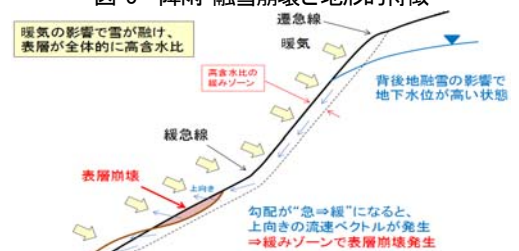


図-4 融雪崩壊発生メカニズムの予察（遷急線明瞭地形）

3. まとめ

積雪寒冷地である北海道における道路斜面の崩壊は融雪期と降雨期に集中しており、融雪崩壊が発生しやすい地形は遷急線明瞭地形や集水型斜面であることが明らかとなった。

3.2 突発的な自然現象による土砂移動の範囲推定技術及び道路通行安全性確保技術の開発

3.2.1 土砂移動の監視を踏まえた被害予測技術に関する研究（1）

担当チーム：土砂管理研究グループ（火山・土石流チーム）

研究担当者：水野 秀明、木下 篤彦、高原 晃宙

【要旨】

本研究では、平成23年の台風12号による豪雨により、深層崩壊が多発した紀伊山地を対象に、ボーリング調査結果と比抵抗の鉛直分布の傾向との関係について評価した。ボーリング調査から岩盤の緩み域の深さを推定するために、地下水位、亀裂の開口、風化の状態を評価した。また、空中電磁探査から岩盤の緩み域を推定するために、微分フィルタを用いて、比抵抗が急変する深さを推定した。

キーワード：深層崩壊、ボーリング調査、空中電磁探査、比抵抗

1. はじめに

空中電磁探査は、地盤内部の比抵抗を広域的に把握する手法であり、斜面防災においても様々な調査で活用方法が検討されてきた¹⁾。しかし、探査で得られる比抵抗から、深層崩壊の発生する恐れがある斜面において、斜面内部の状態を定量的に評価する手法は確立されていない。本研究では、平成23年の台風12号による豪雨により、深層崩壊が多発した紀伊山地を対象に、ボーリング調査により岩盤の緩み域を評価した。また、同箇所で行った空中電磁探査により得られた比抵抗の鉛直分布をボーリング調査結果と比較し、その関係性を評価した。

2. 研究方法

2.1 調査箇所および調査手法

調査対象箇所は、図-1に示す6地区であり、それらの地区では表-1に示す12箇所で行ったボーリング調査が実施されている。また、同地区においては、空中電磁探査²⁾が実施されており、各地区の地盤内部の比抵抗値が算出されている。

2.2 地盤内部構造の推定方法

深層崩壊の発生する恐れがある斜面を評価するためには、斜面内部において、崩壊にいたると考えられる岩盤の緩み域を評価する必要がある。ここで過去に発生した深層崩壊の調査結果では、崩壊発生に深層地下水が関与していることが指摘されている³⁾。また、深層崩壊の発生した箇所で行われたボーリング調査では、崩壊面の岩盤には多くの緩みや開口亀裂の存在が確認されている⁴⁾。また、深層崩壊のおそれのある岩盤の重力変形においては、ボーリングコアの観察において割れ目の状態や挟在物の有無などの確

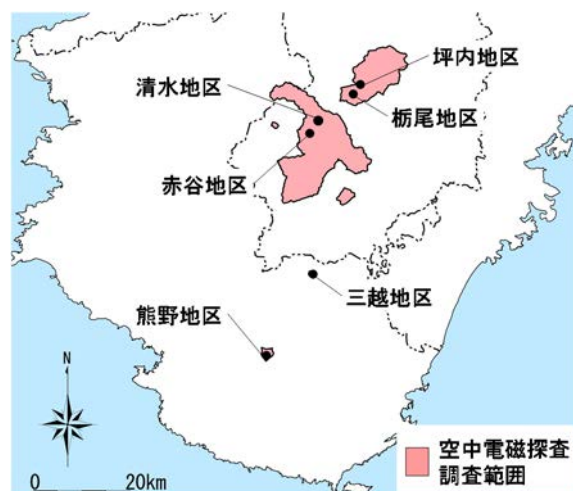


図-1 対象地区

表-1 ボーリング実施箇所

No.	都道府県	地区名	ボーリング孔名	削孔深度(m)
1	奈良県	赤谷地区	赤谷主-1	40
2	奈良県		赤谷A-4	60
3	奈良県		赤谷A-10	60
4	奈良県		赤谷A-11	60
5	奈良県	清水地区	清水(宇井)BV-4	90
6	奈良県	坪内地区	坪内主-1	64
7	奈良県		坪内副 I-3B	48
8	奈良県		坪内H26-2	60
9	奈良県	栢尾地区	栢尾T-3	65
10	奈良県		栢尾T-6	60
11	和歌山県	熊野地区	熊野主-1	45
12	和歌山県	三越地区	三越M-1	41

認の重要性が指摘されている⁵⁾。これらを踏まえ、ボーリング調査結果について、以下の観点から岩盤の緩み域の推定することとした。

- 1) 地下水位
- 2) 亀裂の開口
- 3) 風化の状態

1) については、ボーリング孔内において地下水位の変動を観測した。2) については、孔内画像解析で孔壁の状態を観察し、亀裂の開口度が顕著になる深さを推定した。3) については、採取したボーリングコアを観察し、開口面の風化や挟在物の有無、岩片自体の風化が認められる深さを推定した。これら1)～3) で得られた深さの最大値を、岩盤の緩み域の深さとした。

空中電磁探査について、比抵抗の鉛直方向の特徴的な変化は、特定の水理地質構造を検出している可能性があることが指摘されている⁶⁾。そこで、計測した比抵抗値に微分フィルタを用いて、ゼロ交差する深度(比抵抗値が急変する深度)⁷⁾を、空中電磁探査で推定する岩盤の緩み域の深さとした。そして、ボーリング調査から推定した岩盤の緩み域の深さと、空中電磁探査から得られた比抵抗より推定した緩み域の深さを比較した。

3. 解析結果

3.1 ボーリングによる岩盤の緩み域の評価

図-2はボーリング12箇所について、調査から推定した緩み域の深さと、空中電磁探査から推定した緩み域の深さの関係を示す。図より、空中電磁探査から推定した深さと、ボーリング調査から推定した深さととの誤差は7.1m～12.8mの範囲であった。推定した深さと誤差の大小について、明瞭な関係は確認できなかった。

3.2 飛行測線の影響

空中電磁探査では計測原理上、飛行測線の比抵抗値を計測するものであり、飛行測線間の平面データは補間して算出される。このため、ボーリング箇所と飛行測線との距離の大小が緩み域の推定精度に影響している可能性が考えられる。そこで、図-2の結果で求めた各地点の推定深度の誤差と飛行測線からボーリング地点までの距離を図-3に示す。これより、飛行測線からボーリング地点までの距離が離れると、推定誤差が大きくなる傾向が確認できた。

4. まとめ

本研究では、深層崩壊が多発した紀伊山地を対象に、ボーリング調査で得られた岩盤の緩み域の深さと空中電磁探査により推定した岩盤の緩み域の深さについて、その

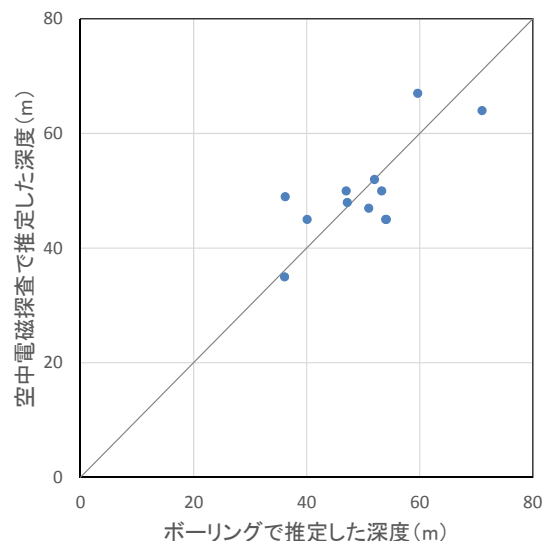


図-2 ボーリングで推定した深度と空中電磁探査で推定した深度との関係

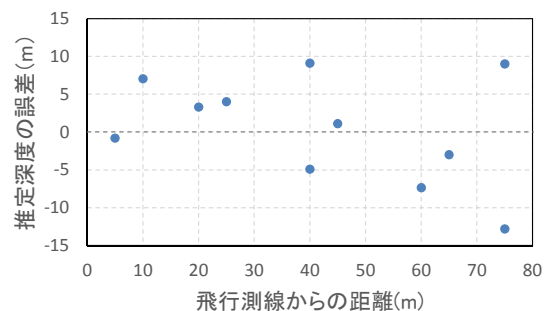


図-3 推定深度の誤差と測線からの離隔の関係
(縦軸: ボーリング推定深さ-電磁探査の推定深)

関係性を評価した。その結果、空中電磁探査によって推定した深さと、ボーリング調査で推定した岩盤の緩み域の深さの誤差は7.1～12.8mの範囲であった。この誤差の要因のひとつとして、調査箇所と飛行測線との距離に影響している可能性が考えられる。

参考文献

- 1) 鈴木隆司、内田太郎、田村圭司: 深層崩壊発生斜面の特定に向けた地盤構造調査法、土木技術資料、Vol.51、No.7、pp.8-13、2009。
- 2) 社団法人物理探査学会: 新版物理探査適用の手引き—土木物理探査マニュアル2008—、pp.249-263、2008。
- 3) 地頭菌 隆、下川 悦郎、迫 正敏、寺本 行芳: 鹿児島県出水市針原川流域の水文地形的特性と深層崩壊、砂防学会誌、Vol.56、No.5、pp.15-26、2003。
- 4) 木下 篤彦、小川内 良人、眞弓 孝之、柴崎 達也: 平成23年台風12号で発生した深層崩壊の地質的素因と崩壊面の土質

3 突発的な自然現象による土砂災害の防災・減災技術の開発

- 特性、砂防学会誌、Vol.66、No.3、pp.3-12、2013.
- 5) 加藤靖郎、永田秀尚、野崎保、平野勇：岩盤重力変形の認定：フィールドおよびコア観察、応用地質、Vol.56、No.4、pp.157-164、2013.
 - 6) 坂井祐介、河戸克志、佐渡耕一郎、平川泰之：阿蘇西麓地熱地帯における空中電磁探査を用いた水理地質構造の推定、砂防学会誌、Vol.69、No.1、pp.20-28、2016.
 - 7) 奥村稔、瀬戸秀治、高原晃宙、木下篤彦、水野秀明、河戸克志、影浦亮太、阿部征輝：空中電磁探査を活用した崩壊するおそれのある斜面における崩壊深度の推定手法に関する検討、平成 28 年度砂防学会研究発表会概要集 A、pp.244-245、2016.

3.2.2 土砂移動の監視を踏まえた被害予測技術に関する研究（2）

担当チーム：土砂管理研究グループ
(地すべりチーム)

研究担当者：石井靖雄、藤平 大、西井稜子

【要旨】

斜面変動の発生を2時期のLP計測データの差分解析により把握する手法を検討した。初年度である本年度は、変動斜面の抽出作業における現状の課題を明らかにすることを目的として解析を実施した。その結果、斜面変動の発生を面的に把握できた事例がある一方、計測データが少ない場合やフィルタリング処理による過度のデータ除去により斜面変動の把握を把握できない事例があり、差分解析実施前の段階において、用いる計測データの分解能の評価が必要であるという課題が明らかになった。

キーワード：斜面変動、航空レーザ測量、LPデータ、差分解析

1. はじめに

変動斜面の安全性は、非変動斜面に比べ、相対的に低いため、変動斜面が地震動を受けると、さらに斜面の不安定化が促進される可能性が考えられる。このため、地震時に不安定化する斜面を予測する上で、地震発生前から変動が進行している斜面を把握することは重要である。近年、国内では、航空レーザ測量が積極的に実施されるようになり、同一地域における複数時期の航空レーザ測量データ（以下、LPデータ）の蓄積も進みつつある。このため、複数時期のLPデータを活用して経時的な斜面の変化を把握することで、広域斜面を対象に、効率的に変動斜面を抽出できる可能性が高まっている。

本研究では、LPデータを用いた変動斜面の抽出法を構築するため、初年度は、変動斜面の抽出作業における現状の課題を明らかにすることを目的として、広域を対象に標高差分解析により変動斜面の抽出を行い、その課題を明らかにした。

2. 調査方法

解析対象地域は、南海巨大地震の想定震源断層域内¹⁾の直上に位置し、なおかつ、複数時期のLPデータが既に揃っている四国と静岡（以下、安倍川流域）を対象とした。本調査では、比較的短時間で解析できる標高差分法を用いて、斜面変動の抽出を試みた。標高差分法は、新しい計測時期の標高データから古い計測時期の標高データを引いて差分値を算出する方法である。平成17年度から平成25年度の間に計測されたLPデータを用いて、四国で7セット（S1～S7）、安倍川流域で5セット（A1～A5）の合計1829 km²の標高差分解析を実施した（表1）。全解析面積の約6割は、1 m DEM、4割は2～5 mDEMを使用した。本研究では、差分値-1～+1は誤差を多く含む

可能性が高いと考えられたため、差分値が+1 m以上の値を標高の上昇（隆起）、差分値が-1以下の値を低下（沈降）の可能性のある斜面とみなし（潜在的変動斜面）、解析結果を整理した。

表1 標高差分解析におけるLPデータの組み合わせ

対象地域	作業番号	標高データ		DEMサイズ (m)	解析面積 (km ²)
		1時期目	2時期目		
四国	S-1	平成20-21年度	平成18年度	1	41
四国	S-2	平成21、24、25年度	不明	5	319
四国	S-3	平成24-25年度	平成17年度	5	133
四国	S-4	平成25年度	平成20-21年度	2	36
四国	S-5	平成20、21、24、25年度	平成20-21年度	5	227
四国	S-6	平成23年度	平成20-21年度	1	19
四国	S-7	平成21年度	平成20-21年度	1	40
安倍川流域	A-1	平成23年度	平成21年度	1	213
安倍川流域	A-2	平成24年度	平成21年度	1	213
安倍川流域	A-3	平成25年度	平成17年度	1	152
安倍川流域	A-4	平成25年度	平成23年度	1	218
安倍川流域	A-5	平成25年度	平成24年度	1	218

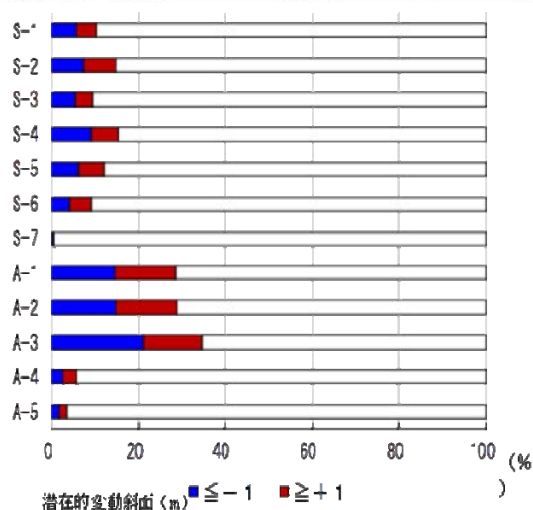


図1 格差分析面積に対する潜在変動斜面の割合

図1 各差分解析面積に対する潜在的変動斜面の割合

標高差分のLPデータ組み合わせは表1を参照。
四国データ：S-1～S-7、安倍川流域：A-1～A-5。

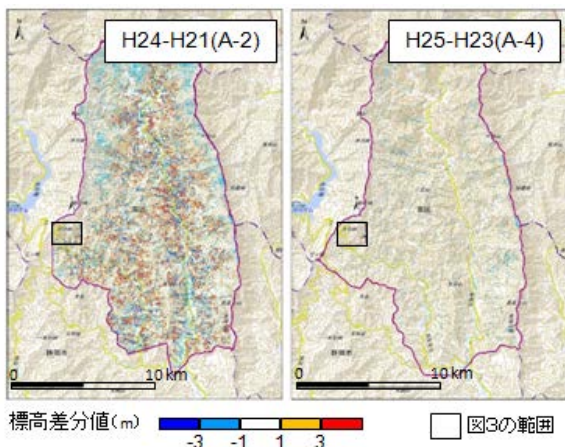


図2 安部川流域における差分解析結果の事例

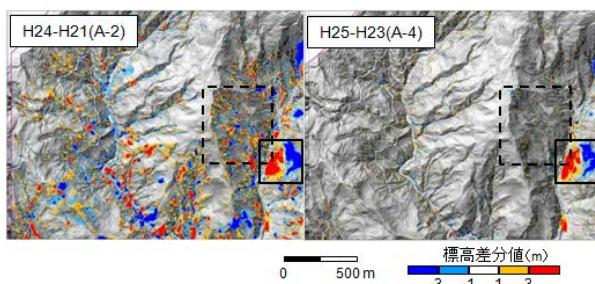


図3 LPデータの差分解析結果の事例a

黒実線：特徴的な標高変化。

3. 調査結果、考察

図1に、標高差分解析面積に対する潜在的変動斜面(±1mより大きな差分値)の割合を示す。潜在的変動斜面は、四国の大部分では解析面積の15%前後を示す。一方、安倍川流域の解析5セットはほぼ同一地域であるが、LPデータの組み合わせによって、潜在的変動斜面の割合が約5%(A-4, A-5)と約30%(A-1~A-3)のものがあ、その差は6倍に達する。

次に、潜在的変動斜面の地形的特徴の例として、安倍川流域内の事例aを図2, 3に示す。図3の黒実線の範囲に着目すると、2セット(A-2, 4)どちらの差分結果も、斜面上部で標高の低下、斜面下部で標高の上昇を示す。このような標高変化は、斜面が下方に移動することによって斜面上部での標高低下と斜面下部での標高上昇が引き起こされた可能性を示唆する。この場所では、SAR干渉画像解析と現地調査を基に、斜面変動が発生していたことが報告されている²⁾。したがって、ここでの標高変化は規模約4万 m^2 、平均標高変化±5mの斜面変動を反映しており、LP差分解析で変動斜面を抽出できたことが明らかになった。

もう1つの差分結果の特徴として、図3の黒実線の範囲外において、A-4では潜在的変動斜面の分布はほとんど

と認められないが、A-2では多くの潜在的変動斜面がパッチ状に分布する。A-2における大部分の潜在的変動斜面は、前述の斜面変動を示唆する標高変化パターン(斜面上部の標高低下と斜面下部の標高上昇の組み合わせ)を示さない。また、場所によっては、尾根部において標高上昇を示す。なお、これらパッチ状の標高変化による活発な土砂移動について、現地からの報告は確認されていない。ここで、両セット(A-2, 4)の解析に用いたLPデータが差分解析に適していたかを把握するため、各計測時期のLPデータを基に地形モデル(陰影図)を作成したところ、平成21年度は、他の時期に比べて、相対的に微地形が表現されていない。図3のA-2で示されたパッチ状の標高変化は、差分解析に必要な分解能を有していないデータを用いたことによって生じており、真の地形変化を反映した結果ではない可能性が高いと考えられる。平成21年度のデータにおいて、微地形が十分に表現されていない理由として、グラウンドデータの点群密度が低い可能性が挙げられる。対象地域は、森林限界以下に分布するため、森林地帯における計測時における地盤標高データの取得不足の発生や、フィルタリング処理における必要以上の地盤標高データの除去などが行われた可能性がある。今後、十分に検討が必要であるが、図3のA-2の範囲だけでなく、同一の計測データを用いている図2(A-2)の解析対象範囲においても、同様の問題が生じている可能性が高い。

4. まとめ

本調査結果から、一定規模の斜面変動については、LPデータの差分解析によって抽出できる可能性が高いことが明らかになった。しかし、解析に用いるデータの分解能が低い場合には、図3のA-2で示したように見かけ上の標高変化(ノイズ)も同時に抽出される。そのような多量のノイズを含む標高変化の中から、真の地形変化の可能性が高い箇所を精度よく判別することは困難と考えられる。今後、それらのノイズの把握とその除去方法について検討が必要である。

参考文献

- 1) 内閣府(南海トラフ巨大地震対策協議会):資料1-1「南海トラフの巨大地震による津波高・震度分布等、2012
- 2) 中埜貴元・小荒井衛・大丸裕武・三森利昭・岡田康彦・小川明穂:(2013):SAR干渉画像で捉えた静岡市口坂本地区の地すべりの前兆変動(速報)、日本地理学会2013年秋季学術大会

3.2.3 ゲリラ豪雨や急激な融雪等へ対応する道路のり面・斜面の合理的な管理手法に関する研究（ゲリラ豪雨対応）

担当チーム：地質・地盤研究グループ（地質チーム）

研究担当者：佐々木靖人、浅井健一、矢島良紀

【要旨】

災害データ及び関連する地形・地質状況、降雨状況を分析することにより、降雨と斜面災害の相関関係を明らかにし、安全性確保のための規制雨量の設定手法を検討するため、平成 20～23 年度に全国の直轄国道で発生した 115 件の道路斜面災害における降雨を分析し、道路防災点検における点検対象外箇所及び対策不要箇所での災害箇所における降雨の特徴を整理した。その結果、特に対策不要箇所において短時間の強い降雨で発生したものが多くことが明らかとなった。

キーワード：ゲリラ豪雨、道路、斜面、災害

1. はじめに

近年、ゲリラ豪雨や急激な融雪による道路斜面災害により長期通行止めに至る災害が多発しており、人的被害の発生の懸念など安全・安心上の大きな課題となるとともに、交通機能確保の観点からも課題となっている。また、重要路線等においてはゲリラ豪雨や急激な融雪に対しても、早期の交通機能の確保が求められている。これらの課題に対し、本研究は災害データ及び関連する地形・地質状況、降雨状況を分析することにより、降雨と斜面災害の相関関係を明らかにし、安全性確保のための規制雨量の設定手法を検討するものである。

2. 研究方法

災害発生と降雨との関係を検討するため、平成 20～23 年度に全国の直轄国道で発生した 115 件の道路斜面災害における降雨を分析し、道路防災点検¹⁾の事前スクリーニングで点検対象から外れた箇所（以下「点検対象外箇所」）、点検で特に新たな対策を必要としないとされた箇所（以下、「対策不要箇所」）及び点検により災害危険箇所として捕捉されていた箇所（「対策が必要と判断される」及び「防災カルテを作成し対応する」とされた箇所）における降雨の特徴を整理した。

3. 研究結果

3.1 災害発生時の降雨の生起確率

災害が短時間降雨と長時間降雨のいずれの影響を受けているかを検討するため、災害発生前 24 時間以内の最大時間雨量の生起確率と災害発生前 24 時間の累積雨量

の生起確率の比較を行った結果を図-1 及び 2 に示す。点検対象外箇所の災害は長時間降雨・短時間降雨のいずれの生起確率の領域でも発生している（図-1）。一方、対策不要箇所での災害は 24 時間累積雨量の生起確率が低く時間雨量の生起確率が高い領域で多く発生している（図-2）。このことは、対策不要箇所の場合は点検において短時間豪雨で発生する危険要因に対する判断を誤っている場合が多いことを示していると考えられる。

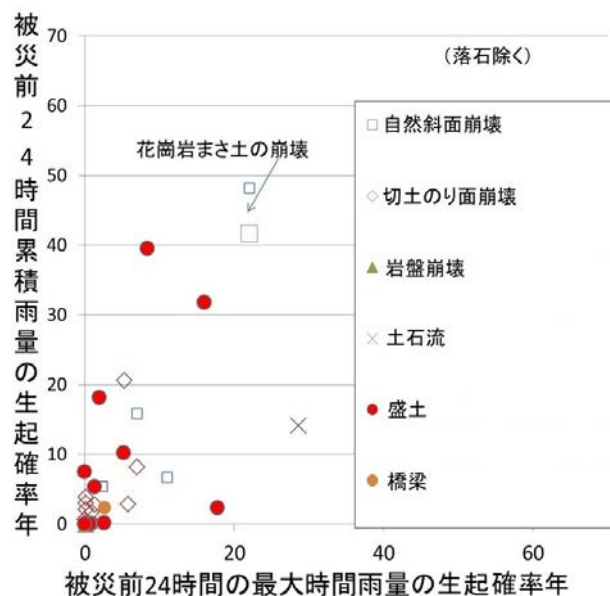


図-1 平成 20～23 年度直轄国道災害事例のうち点検対象外箇所災害の生起確率分布

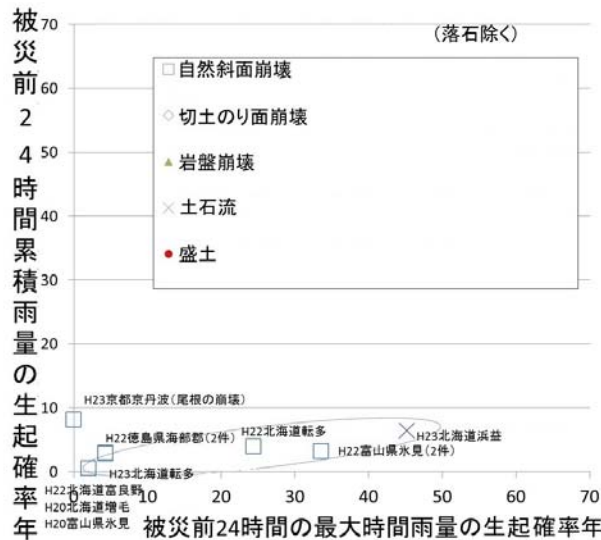


図2 平成 20～23 年度直轄国道災害事例のうち対策不要箇所災害の生起確率分布

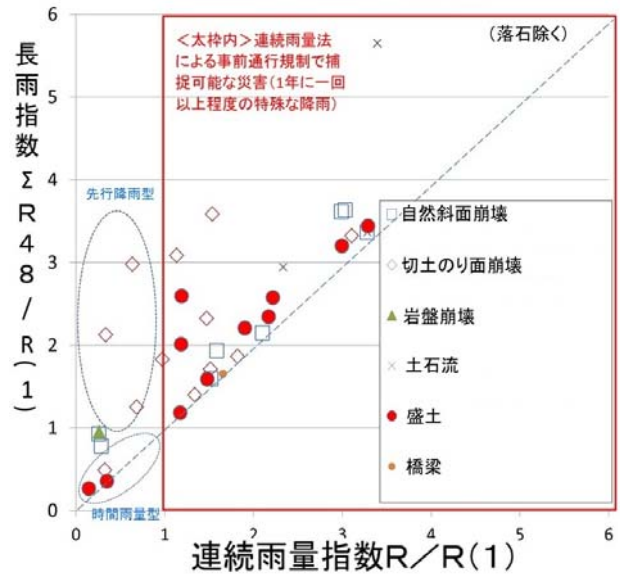


図3 連続雨量指数と長雨指数の関係 (平成 20～23 年度直轄国道災害事例のうち点検対象外箇所災害)

3. 2 災害発生に対する先行降雨の影響

災害発生時の降雨より以前の先行降雨の影響を検討するため、川添ほか²⁾による連続雨量指数と長雨指数の比較を行った結果を図-3 及び 4 に示す。図-3、図-4 に示した連続雨量指数 $R/R(1)$ は、災害発生時の連続雨量を災害発生時連続雨量期間における生起確率 1 年に相当する連続雨量で除した指数であり、長雨指数 $\Sigma R/48/R(1)$ は、災害発生時の 48 時間連続雨量を災害発生時連続雨量期間における生起確率 1 年に相当する連続雨量で除した指数を示している。図の破線上の領域 (長雨指数=連続雨量指数) の災害は、先行降雨のない降雨災害を示している。点検対象外箇所の災害は、自然斜面崩壊や土石流を除くと、災害発生降雨以外にも 48 時間以内に降雨があったものが多いことがわかる (図-3)。一方、対策不要箇所の災害は、先行降雨がなく、短時間の強い降雨で発生したものが多い (図-4)。

3. まとめ

災害データ及び関連する地形・地質状況、降雨状況を分析することにより、降雨と斜面災害の相関関係を明らかにし、安全性確保のための規制雨量の設定手法を検討するため、平成 20～23 年度に全国の直轄国道で発生した 115 件の道路斜面災害における降雨を分析し、道路防災点検における点検対象外箇所及び対策不要箇所での災害箇所における降雨の特徴を整理した。その結果、特に対策不要箇所において短時間の強い降雨で発生したものが多いことが明らかとなった。今後、このような降雨の特徴を考慮した通行規制基準雨量の検討に資するために

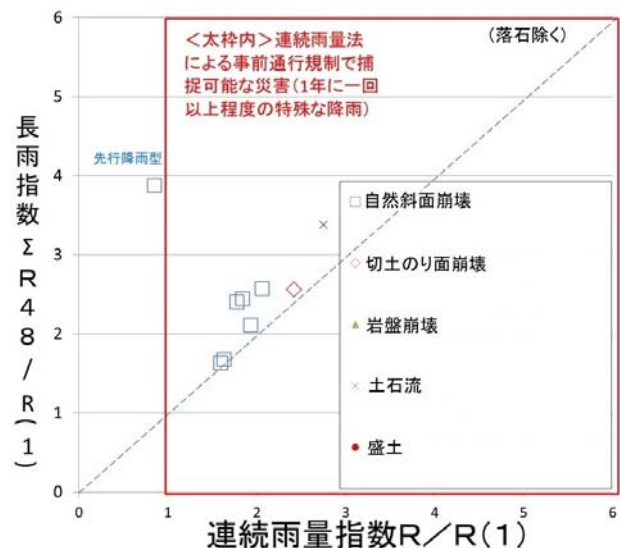


図4 連続雨量指数と長雨指数の関係 (平成 20～23 年度直轄国道災害事例のうち対策不要箇所災害)

さらに分析を進める予定である。

参考文献

- 1) 財団法人道路保全技術センター：道路防災点検の手引き (豪雨・豪雪等)、179p. 2009 年 5 月
- 2) 川添英生・加藤俊二・佐々木哲也・金井哲男・浅井健一：豪雨等による道路のり面災害の降雨パターン分析、平成 29 年度土木学会全国大会講演集、投稿中

3.2.4 ゲリラ豪雨や急激な融雪等へ対応する道路のり面・斜面の合理的な管理手法に関する研究（ゲリラ豪雨・道路のり面：安全確保）

担当チーム：地質・地盤研究グループ（土質・振動）

研究担当者：佐々木哲也、加藤俊二

【要旨】

豪雨時の道路利用者の安全性確保の観点から、土砂災害の危険性がある山地部の道路においては事前通行規制による対応が行われている。現在用いられている「異常気象時における道路通行規制要領」では連続雨量により事前通行規制の実施の判断をされているが、突発的に発生するゲリラ豪雨を考慮しておらず十分に対応できていない。このため、ここではゲリラ豪雨にも対応した事前通行規制手法を提案することを目的に検討を行っている。平成28年度は、ゲリラ豪雨に対応した降雨指標を検討することを目的に、過去の道路のり面の災害事例に対して種々の降雨指標を設定し降雨状況と災害との関連性の整理を行い、6時間累積雨量を生起確率1年の連続雨量で正規化した値が、ゲリラ豪雨に対する事前通行規制の指標値となる可能性が見られた。

キーワード：ゲリラ豪雨、土砂災害、道路のり面、道路管理、事前通行規制

1. はじめに

豪雨時の道路利用者の安全性確保の観点から、土砂災害の危険性がある山地部の道路においては事前通行規制による対応が行われている。現在用いられている「異常気象時における道路通行規制要領」では連続雨量により事前通行規制の実施の判断をされているが、突発的に発生するゲリラ豪雨を考慮しておらず十分に対応できていない。このため、ここではゲリラ豪雨にも対応した事前通行規制手法を提案することを目的に検討を行っている。平成28年度は、事前通行規制におけるゲリラ豪雨に対応した降雨指標を検討するための基礎資料を得ることを目的に、過去の道路のり面の災害事例に対して種々の降雨指標を設定し降雨状況と災害との関連性の整理を行った。

1ヶ月前までの降雨データを収集し、事前通行規制の指標値の候補として考えられる1、3、6、12、24、48、72時間毎の累積雨量、事前通行規制で用いられる連続雨量および土壌雨量指数を算出し整理した。図1にその一例を示す。

現状の事前通行規制は、概ね生起確率1～2年程度の連続雨量を基準値として実施されており、基準値は災害の発生と経験した連続雨量の関係を考慮して適宜見直しが行われている。図2は、現状の事前通行規制の課題を確認するために整理したものである。縦軸は、災害時連続雨量より前の先行降雨や長雨といった降雨の連続性を示すため48時間累積雨量Σ48を用い、横軸は現状の事前通行規制での捕捉の可否を分類するため災害時連続雨

2. 豪雨等による道路のり面災害の降雨パターン分析

ここでは、平成20～23年度に発生した直轄国道の斜面災害事例より切土および盛土のり面で発生した表層崩壊・土砂流出等の61の災害事例について、災害時の降雨状況を分析し事前通行規制の指標検討の基礎資料として整理を行った。

まず始めに、災害箇所最寄りのアメダスデータを用いて、各事例の災害発生時刻からさかのぼり

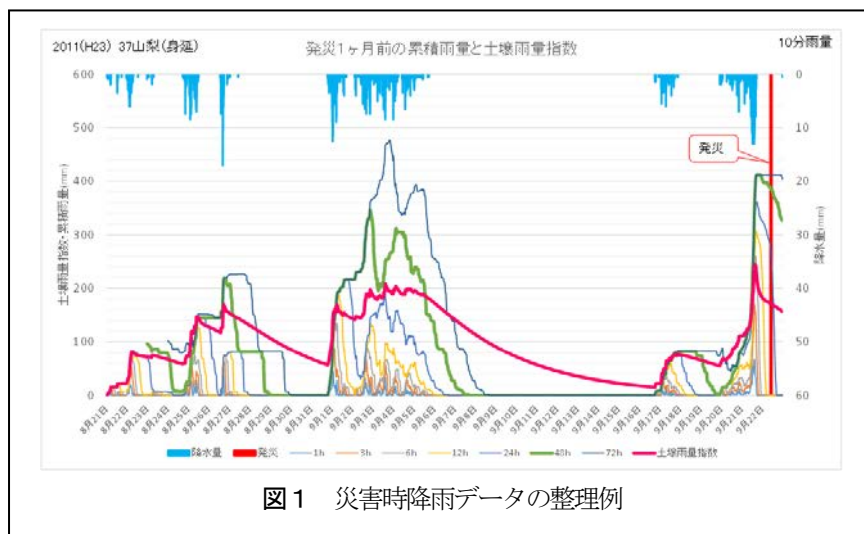


図1 災害時降雨データの整理例

量 R を用いたもので、いずれも生起確率1年の連続雨量 $R(1)$ で正規化している。なお、ここで用いた生起確率1年の連続降雨量 $R(1)$ は、アメダス確率年降雨計算プログラム（土木研究所HP参照、確率年計算式：フェア式）を用いて算出した概略値であることを断っておく。また、縦軸の $\Sigma 48$ を採用した理由は、各事例の1ヶ月間の個々の降雨で発生する土壌雨量指数のピーク値の発生時刻に対し、各時間毎の累積雨量のうち48時間累積雨量のピーク値の発生時刻との相関が高く、簡便に先行降雨の影響を評価できる可能性が高いと考えたためである。

図2において、横軸が1より大きい場合には、現状の連続雨量法による事前通行規制で捕捉できると考えられる災害であり、それ以下は見逃し災害となる。さらに縦軸が1より大きい場合には累積雨量が多い豪雨型の災害で、縦軸と横軸の比1:1の線より上にある場合には48時間以内に災害時連続雨量のほかに先行降雨があったことを示している。さらに、いずれも1より小さいものをここでは少降雨型の災害と分類し、この中には降雨との関連性が低いものも含まれる。これを見ると、約半数は連続雨量法による事前通行規制が設定されている場合には捕捉できるであろう災害（図中破線右側）であるが、残りの半数は事前通行規制では捕捉できない災害（図中破線左側）であり、災害時の連続雨量が規制基準以下だが直前に先行降雨がありその影響を受けるもの（先行降雨型災害）と大きな先行降雨もなく連続雨量も規制基準未満のもの（少降雨型災害）への対応が必要であることがわかる。

次に、図3は集中豪雨型の分類を行うことを目的に整理したもので、縦軸に被災時の連続雨量 R を $R(1)$ で正規化した値 $(R/R(1))$ を、横軸に災害発生前6時間の累積雨量 $\Sigma 6$ を災害時連続降雨 R によって正規化した値 $(\Sigma 6/R)$ を用いている。ここでは、 $R/R(1) \geq 0.5$ かつ $\Sigma 6/R \geq 0.7$ となるものを集中豪雨型の目安（図中四角囲み）とした。 $\Sigma 6/R$ が1に近いものは、災害時の連続雨量のほとんどが6時間以内に集中的に雨が降っているものであり、災害時の連続雨量が規制基準未満となるような少降雨の場合でも比較的雨量の多いものの一部（図中赤丸囲み）は集中豪雨型に分類された。このような場合の降雨は、図中右上に示すように連続雨量もほとんど1のまま急激な増加をするので、短時間予測雨量なども踏まえてこの動きを考慮することで、事前通行規制の判断をすることが可能ではないかと考えられる。

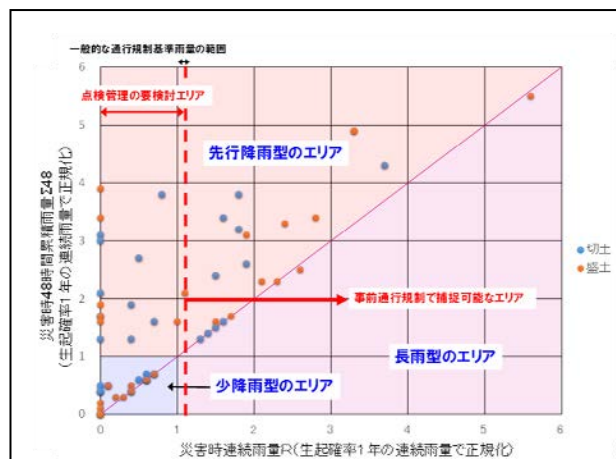


図2 災害時雨量の関係 ($R/R(1) - \Sigma 48/R(1)$)

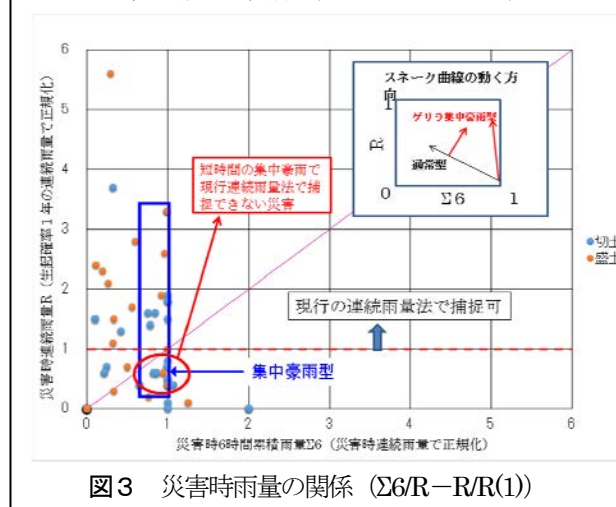


図3 災害時雨量の関係 ($\Sigma 6/R - R/R(1)$)

3. まとめ

今回の検討は、被災地近傍のアメダスデータを用いているため被災地ピンポイントの降雨ではないが、降雨パターンと災害を関連付けるための整理を行ったものである。その結果、道路のり面の災害と降雨の関係において、48時間累積雨量 $\Sigma 48$ や6時間累積雨量 $\Sigma 6$ が、先行降雨型や集中豪雨型の災害の事前通行規制の指標値となる可能性が示唆された。今後は、スネーク曲線による災害の捕捉性の分析やより精度の高い降雨データを用いて検討を行い、効果的な事前通行規制方法の検討を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 川添英生, 加藤俊二, 佐々木哲也: 豪雨等による道路のり面災害の降雨パターン分析, 第72回土木学会年次学術講演会 (投稿中)

3.2.5 ゲリラ豪雨や急激な融雪等へ対応する道路のり面・斜面の合理的な管理手法に関する研究（融雪期盛土のり面分野：安全性確保技術）

担当チーム：寒地基礎技術研究グループ（寒地地盤チーム）

研究担当者：山梨 高裕、林 宏親、青木 卓也、橋本 聖

【要旨】

積雪寒冷地における融雪期盛土災害メカニズムの解明を目的に、北海道で融雪期に変状が生じた道路盛土を対象に行った現地調査、浸透流解析および安定解析の結果を考察とともに紹介する。具体的には、融雪期の盛土内の水位を、融雪水を考慮した浸透流解析結果から仮定し、既存の円弧すべり解析により、融雪期盛土災害の発生メカニズムの解明に資する検討を行った。

キーワード：融雪水、盛土のり面、浸透流解析、安定解析

1. はじめに

平成24年5月、25年4月に発生した中山峠の盛土のり面災害¹²⁾に代表される融雪期盛土のり面災害の発生メカニズムは未だ明らかとなっていないのが現状である。

本研究ではこれら融雪期盛土のり面災害の発生メカニズムを明確にすることで、融雪を考慮した盛土のり面の安全性評価手法を検討するとともに、減災に資する合理的な調査点検手法の提案を目指すものである。

平成28年度は、融雪期に変状が確認された道路盛土を対象に浸透流解析を行い、得られた水位をもって行った安定解析の結果について考察を行った。

2. 浸透流解析

2.1 融雪水の評価

積雪深が記録され始めた時点から最大積雪深が観測された時点までは地表面が凍結していると仮定の上、非排水条件とし、また最大積雪深が観測された時点から積雪深がゼロになるまでを融雪期間とし、地表面の凍結期間に記録された降水量の累積を融雪期間の時間で割ることで融雪による浸透フラックスとし、降水として一時間ごとに節点に入力する、というものである。

2.2 解析結果

図1(a)に降雨（融雪水供給）終了時の浸潤線を、図1(b)に降雨（融雪水供給）終了時の飽和度コンターを示す。

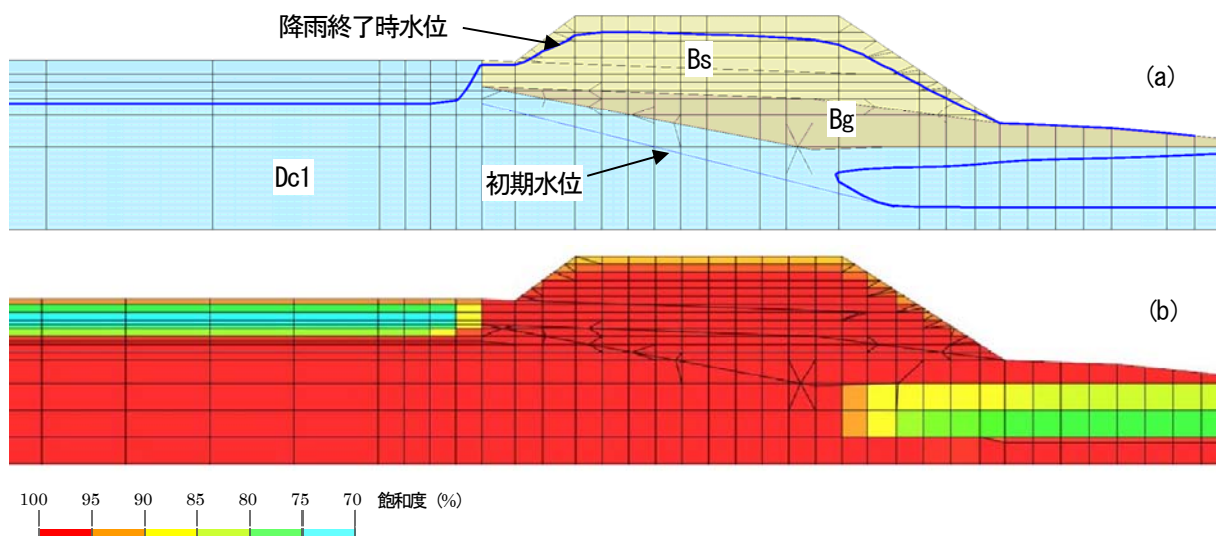


図1 浸透流解析結果（融雪水供給終了時）
(a) 浸潤線 (b) 飽和度

これより地山の粘性土(Dc1)層の透水係数が低いため、降雨終了時の地山部分の地下水位は降雨の影響を受けず、水位上昇していない。それに対し、盛土部は地山に比べ透水性が高く、降雨の影響による水位上昇が確認でき、盛土部が概ね飽和していることが確認できる。

3. 安定解析

3.1 解析手法

ここでは、盛土内への融雪水の浸入を想定した検討を行うため、水圧（水位）を考慮した円弧すべり解析に着目する。この解析手法は、通常、地震時の過剰間隙水圧の発生を考慮した円弧すべり面を仮定した安定解析手法³⁾であるが、寒冷地における冬期もしくは融雪期では、盛土のり面等に存在する雪氷や凍土により、通常の排水が行われない可能性があり、盛土内に過剰間隙水圧が生じることも想定される⁴⁾。その水圧を融雪期の過剰間隙水圧とし、適用を試みたものである。

3.2 盛土変状時を想定した安定解析結果

図2に、過剰間隙水圧比をパラメータに実施した解析結果を示す。横軸に過剰間隙水圧 Δu 、縦軸は盛土のすべり安全率 F_s で整理している。図より、盛土内の過剰間隙水圧の上昇とともにすべり安全率が減少し、その過剰間隙水圧 Δu が 15kN/m^2 程度作用すると、盛土のすべり安全率 F_s が 1.2 程度となり、 Δu が 18kN/m^2 程度作用すると、盛土のすべり安全率 F_s が 1.1 程度、 Δu が 21kN/m^2 程度作用すると、盛土のすべり安全率 F_s が 1.0 程度となる。

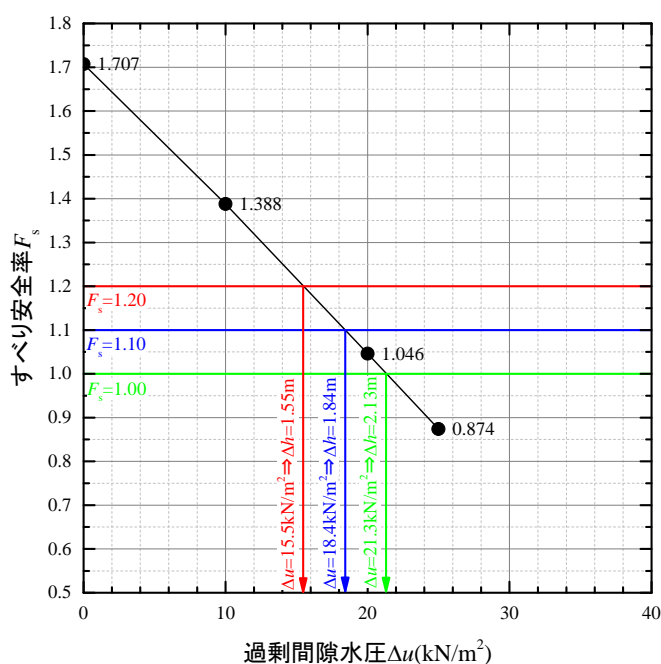


図2 盛土内の過剰間隙水圧とすべり安全率の関係

4. まとめ

融雪期に変状が生じた盛土断面に対し、融雪水を想定した2次元浸透流解析を実施するとともに、その結果から盛土内水位を仮定した安定解析を行った。得られた主たる結論は以下のとおりである。

- ・過大と思われる融雪量を盛土に供給し、浸透流解析を行った結果、盛土はほぼ飽和した状態を呈し、水位も盛土上端に近いところに形成された。その条件で一般的な安定解析を行ったところ、すべり安全率は 1.7 程度あり、盛土は安定した状態と判断された。

- ・水圧を考慮した安定解析を実施したところ、過剰間隙水圧 Δu が 15kN/m^2 程度作用すると、盛土のすべり安全率 F_s が 1.2 程度となり、 Δu が 21kN/m^2 程度作用すると、盛土のすべり安全率 F_s が 1.0 程度となった。

- ・この結果は、融雪期の盛土内には $15\sim 20\text{kN/m}^2$ 程度の過剰間隙水圧が作用（有効応力の減少）もしくはそれに相当する外力が加わっており、盛土が不安定な状態になる可能性が考えられる。

参考文献

- 1) 尾留川晴好、生出信二、太田浩幸：一般国道230号中山峠災害の最速復旧法、国土交通省北海道開発局第56回北海道開発技術研究発表会、2012。
- 2) 西村聡志、尾留川晴好、蛸澤秀則：一般国道230号中山峠災害の復旧工事について、国土交通省北海道開発局第57回北海道開発技術研究発表会、2013。
- 3) (社)日本道路協会：道路土工—軟弱地盤対策工指針、2012。
- 4) 林啓二、原靖、松田圭大：積雪寒冷地において盛土法面に発生する知られざる現象、地盤工学会誌、Vol.63、No.4、pp.24-25、2015。

3.2.6 ゲリラ豪雨や急激な融雪等へ対応する道路のり面・斜面の合理的な管理手法に関する

研究（融雪期斜面分野：安全性確保技術）

担当チーム：寒地基礎技術研究グループ（防災地質チーム）

研究担当者：倉橋稔幸、日外勝仁、角田富士夫

【要旨】

積雪寒冷地では融雪期に斜面災害が多発している。道路防災では雨量で事前通行規制をかけることで災害からの回避を目指しているが、融雪災害には十分に対応しきれていないのが現状である。そのため、降雨に融雪水量を加味した事前通行規制基準が求められている。そこで、本研究では、融雪水量係数と時間積算気温の積から融雪水量を表す改良 Degree-Hour 法による融雪水量推定方法を検討している。H28 年度には、実際の融雪災害発生地域において積雪状況や気温のデータから融雪水量係数を算出した結果、地点・年ごとに大きくばらつくことが分かった。融雪水量係数の空間補間に向けて、融雪水量係数とよい相関を示す解析日射量の有効性を確認した。キーワード：融雪、斜面災害、融雪水量、Degree-Hour 法、解析日射量

1. はじめに

積雪寒冷地では融雪期に斜面災害が多発する傾向にある。融雪期は無降雨時でも融雪水が漸続的に地中へ浸透するため、非融雪期と比べて少ない雨量で災害が発生すると考えられる。融雪災害に対応した新たな事前通行規制基準を設定するためには、降雨に融雪水量を加味した、道路管理に適用可能な融雪水量推定手法の開発が求められている。

本研究では、融雪水量係数と時間積算気温の積の形で融雪水量を求める「改良 Degree-Hour 法¹⁾」を基幹とした融雪水量推定手法を検討している。本手法を実際の道路管理に適用するためには、地点ごとに実測した累積融雪水量と時間積算気温との関係から融雪水量係数を事前に算出しておく必要があるものの、融雪水量係数は地点ごとに異なることが分かっている。融雪水量係数の値の空間的・時間的なばらつき程度を把握した上で、ばらつきが大きいのであれば、単純に平均をとるのではなく、融雪水量係数に影響を与える要因を見極め、空間補間により面的に情報を把握した上で、ばらつきに対応した評価地域の代表値を決定する必要がある。

そこで、H28 年度には、融雪災害地域をモデル地として融雪水量係数を算出し、地点・年における傾向を分析したほか、空間補間に向けて融雪水量係数と解析日射量との相関を分析した。

2. 研究方法

2.1 融雪水量係数の算出方法

実際に融雪期に斜面災害が発生した北海道札幌市南区定山溪の 12 地点（図-1）で 3 年間にわたって積雪観測を行った。観測地点はいずれも除雪の影響を受けない範囲で設定した。融雪が本格化する 3 月中旬から積雪がなくなる 5 月下旬までの間で、一週間おきに積雪密度、積雪深、気温を測定した。それらから計算した累積融雪水量と時間積算気温から融雪水量係数を算出し、空間的・時間的な融雪水量係数の値のばらつき程度を分析した。



図-1 積雪調査地点

2.2 融雪水量係数の空間補間方法

融雪は気象、地形、植生など様々な要因に影響を受けるが、融雪水量係数が同一地域内でも地点ごとに大きく異なる要因としては、観測地点ごとに日のあたり方が異なるためではないかと考えられる。そ

ここで、地点ごとの地形の影響を考慮した日射状況の指標として日射量に注目し、最寄りの気象台の日射データと国土地理院の 5mDEM データから、GIS を用いて全天日射量を解析した。全天日射量は、地形データからメッシュごとに全天可視領域を計算した後に、太陽軌道や散乱日射を重ね合わせることで計算される。観測値から実際に融雪水量係数が算出できる図-1 に示す 12 地点（平成 27 年 3 月 29 日～4 月 25 日）において、解析した全天日射量と融雪水量係数との関係を分析し、融雪水量係数の推定や空間補間に用いることができるかを検討した。

3. 研究結果

3.1 融雪災害地域における融雪水量係数の把握

積雪観測を行った 12 地点の 3 年間の融雪水量係数を図-2 に示す。融雪水量係数の値は 0.116～0.298 とばらつきを示し、単年の最大値と最小値の比は 1.96～2.56 と、年ごとにも大きなばらつきを示した。また、値の大きさの順番も年ごとで大きく異なっていた。以上のように、融雪水量係数の値は空間的・時間的に大きなばらつきがあることが分かった²⁾。限られた地点の値をそのまま調査地域を代表する融雪水量係数とすることはできないため、空間的なばらつきに対応する方法を検討する必要がある。

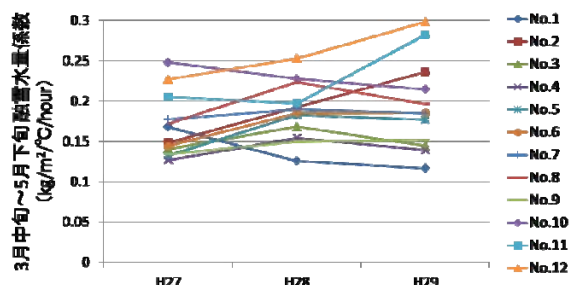


図-2 12 地点・3 年間の融雪水量係数

3.2 融雪水量係数の空間補間方法の分析結果

12 地点の解析日射量の計算値は $10.6 \sim 13.6 \times 10^4 \text{WH/m}^2$ となった。図-3 に示すように、解析日射量と融雪水量係数は正の相関を示し、回帰直線式においても、決定係数 $R^2 = 0.6421$ と、概ねよい相関が認められたことから、融雪水量係数の推定に解析日射量が有効な要素であることが確認された。

実際に積雪状況を観察した箇所では算出できなかった融雪水量係数が、解析日射量を用いた換算により、任意の箇所での推定により空間的な補間が可能となる。さらに、メソ客観解析データ等の気温メッシュ情報と併せれば、点ではなく、面として地域全体の融雪水量の推定も可能である。その上で、降雨

量や融雪水量と地形・地質を踏まえた災害発生状況等を総合的に分析することで、現地状況に応じた適切な事前通行規制基準の設定方法を今後検討する。

ただし、図-3 に示す回帰式は単年のデータに限ったものであり、融雪水量係数の換算式として用いるには、複数年あるいは別地域でも検討を行い、係数等を確定させる必要がある。さらに、図-2 に示すように、融雪水量係数自体も年ごとに大きくばらつくことが確認されており、今後は時間的なばらつきについても補正方法を検討する。

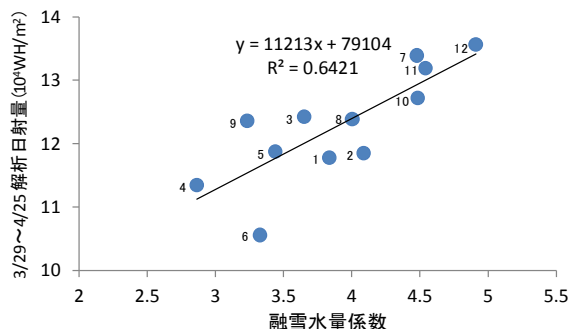


図-3 解析日射量と融雪水量係数の関係

4. まとめ

本研究の成果は以下にまとめられる。

- (1) 改良 Degree-Hour 法において融雪水量算出に必要な融雪水量係数は、地点ごと、年ごとに大きくばらつくことが確認され、それらに対応するため、融雪水量係数の空間補間を行う必要があることが分かった。
- (2) 解析日射量と融雪水量係数の回帰直線式から、同一地域内において融雪水量係数の空間補間ができる可能性を示した。これに気温のメッシュデータと組み合わせることにより、地点毎だけではなく地域全体の融雪量推定が可能になると期待される。
- (3) 空間的だけではなく時間的なばらつきについても対応した、融雪水量推定手法についても今後検討を行う。

参考文献

- 1) 矢島良紀, 倉橋稔幸: 融雪期における道路斜面災害の発生要因について, 平成 27 年度日本応用地質学会研究発表会講演論文集, pp.67-68, 2015 年 9 月.
- 2) 矢島良紀, 日外勝仁, 倉橋稔幸: 道路斜面災害の誘因となる融雪量の推定手法改良について, 平成 28 年度日本応用地質学会研究発表会講演論文集, pp.167-168, 2016 年 10 月.

3.2.7 落石・岩盤崩壊対策手法に関する研究（岩盤崩壊分野）

担当チーム：寒地基礎技術研究グループ（防災地質チーム）

研究担当者：倉橋稔幸、日外勝仁、角田富士夫、山崎秀策

【要旨】

本研究は、岩盤斜面形状や亀裂分布の情報に基づき、崩壊が想定される危険ブロックの形状・規模を正確に推定することにより、岩盤崩壊斜面の点検・対策の精度向上に資することを目的としている。H28年度は、UAVで撮影した急傾斜の岩盤斜面の写真から SfM 手法を用いて 3次元地形モデルを構築する方法について検討を行った。その結果、急崖斜面でも死角を生じない精度の高い3次元地形モデルを時間を短縮して構築できること、標定点や写真撮影位置などの座標入力数によって構築されるモデルの形状が異なることを明らかにした。

キーワード：岩盤斜面、UAV、SfM、写真測量、3次元地形モデル

1. はじめに

国道斜面に対しては道路防災点検において定期的に変状等の点検が行われているが、その中で撮影された写真も記録として蓄積され、斜面の経年変化の把握に利用されている。この写真情報の有効活用方法として、写真測量による3次元地形モデルの構築に注目するとともに、写真撮影自体も人の手持ちカメラによる地上からの撮影ではなく、近年実用性が増している無人航空機（Unmanned Aerial Vehicle、以下 UAV）からの空撮写真の利用を検討した。

写真による形状測量は古典的な手法でもあるが、近年のデジタルカメラの性能や PC の処理能力が格段に向上したことにより、写真画像より被写体の3次元形状を推定する SfM (Structure from Motion) 技術の開発が進み、3次元モデルの作成・解析が盛んに行われるようになってきている。

そこで、H28年度は、急傾斜の岩盤斜面を対象として UAV 撮影写真による地形モデルを構築し、適用性を検討した結果について報告する。

2. UAV 撮影写真による地形モデル構築方法

2.1 UAV 機器の仕様と写真撮影方法

近年、性能向上が著しい UAV であるが、本研究では、大型機で高解像度デジタルカメラを搭載でき、飛行制御プログラムに GPS 座標を入力設定できる S1000 と、画像に位置座標を埋め込める小型カメラが組み込まれた Phantom4 の 2機種を使用した (図-1)。

写真測量技術により道路沿いの急な岩盤斜面を撮

影する場合、死角が生じないようにする必要がある。また、撮影時期の異なる写真同士の比較から経年変化の把握を行う場面も考えられるため、写真の構図をある程度揃えられるように、写真の撮影方向を水平方向と垂直方向の2つに限定することにした。

機体名称	DJI Phantom4	DJI S1000
プロペラ数	4枚(クアッドコプター)	8枚(オクトコプター)
対角寸法	350mm	1045mm
合計重量	1380g	約4400g
最大飛行時間	約 28 分	約15分
GPS/GLONASS	姿勢制御+画像埋込	姿勢制御と位置誘導
カメラ	(備え付け)	Canon EOS5D Mark III
有効画素数	約1240万画素	約2230万画素
最大解像度	4000×3000	5760×3840
レンズ	(備え付け)	EF28mm F2.8 IS USM
焦点距離	2.8mm(35mm換算で20mm)	28mm
画素サイズ	1/2.3型(6.2×4.7mm)	フルサイズ(36×24mm)
動画記録サイズ	4096×2160 (4K)	1920×1080(Full HD)



図-1 UAV と搭載カメラの仕様

2.2 SfM 技術の原理と地形モデルの構築方法

SfM とは、図-2 に示すとおり、同一被写体を捉えた複視点の撮影画像から共通点を抽出し、画像間で共通の軌跡を求めることで、撮影位置の座標及び被写体の三次元座標を同時に推定する写真測量技術である。本報告では、SfM 解析ソフトウェアとして Agisoft 社製の Photoscan Ver. 1.26 を使用した。

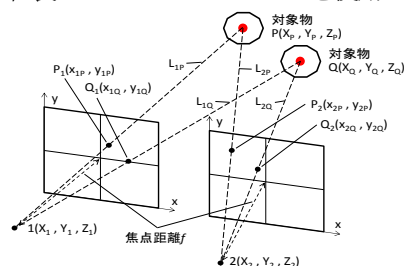


図-2 写真測量の原理イメージ

Phantom4 による撮影位置座標が埋め込まれた 116 枚の写真 (垂直写真 52 枚、水平写真 64 枚) を基に、地形モデルの構築を行い、用いる写真による違いを検証した。また、地形モデル構築にあたっては、モデルの大きさや位置を確定させるために、2 点間の距離や位置座標が 1 つ以上必須とされている。撮影位置座標が埋め込まれない S1000 による 116 枚の水平写真を基に、道路上の基準点から標定点を 3 点とした場合と、崖面上の測量で標定点を 6 点追加した場合のモデル化を行い、対象物の位置座標を付与する標定点の数による違いを検証するとともに、撮影位置座標を入力したモデルとの比較も行った。

3. 三次元地形モデルの構築結果と考察

3.1 急傾斜岩盤斜面に対する地形モデル構築結果

当初、全写真を一度に用いたモデル構築を試みたが、解析に長時間を要したため、垂直写真と水平写真に分けて個別にモデルを構築した後に、両モデルを合成した結果、全作業時間を 2~3 割短縮できた。

垂直写真により構築したモデルでは、急崖背後の地形が良く再現されているが、急崖部の地形はモデル化できていない (図-3(a))。一方、水平写真では、図-3(b) に示すように海岸線に分布する急崖部の地形がよく表現されているが、急崖背後斜面は死角になっておりモデル化できていない。そこで、図-3(c) に示すように、両者を合成すると、急崖から緩斜面にかけて死角のないモデルを構築することができた。

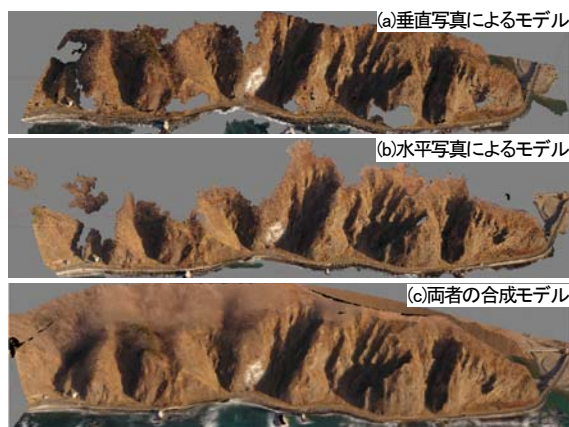


図-3 写真を貼り付けた三次元地形モデルの構築

しかし、落石の跳躍防止の為の金網が施工されている箇所のモデルを構築した際、岩盤ではなく、金網の表面がモデル化され、金網のワイヤーが縦に筋状に示されている (図-4)。オーバーハング部の下で金網が浮き、正確な地形把握が出来ないことは、安定性評価において悪影響が懸念される。今後は、金網の影響を受けにくい写真撮影方法等を検討する。



図-4 岩盤斜面金網部の地形モデル化例

3.2 崖面上の標定点の有無による地形再現状況

崖面上にも標定点を置いたモデル (図-5(b)) に比べ、道路上の標定点のみのモデル (図-5(a)) では、モデリング精度が悪く、評定点に囲まれた範囲だけではなく、その近隣の崖面においても、明らかに崖面の地形の再現性が低くなっている (図-5(c)、図-5(d))。このことから、モデルの精度向上における斜面上の評定点の配置の重要性がうかがえる。

また、斜面上の標定点設置は現地作業が困難であり、数も限られる。そこで、対象物の座標ではなく、写真撮影位置座標を入力した図-3(c) のモデルの同範囲部分を図-6 に切り出し、比較した。図-5 が 10 点に満たない標定点の座標入力であったのに対し、図-6 では撮影側ではあるが数十点の座標入力ができることになり、地形再現性が著しく向上している。

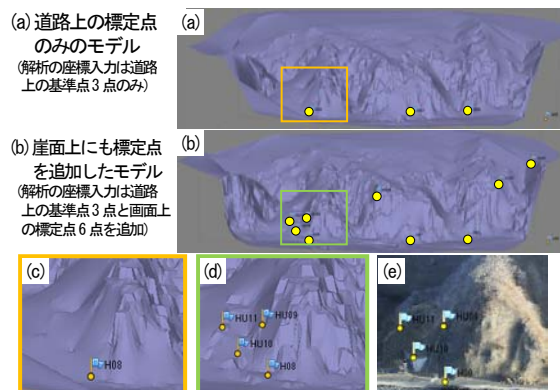


図-5 標定点の数による地形モデルの違い

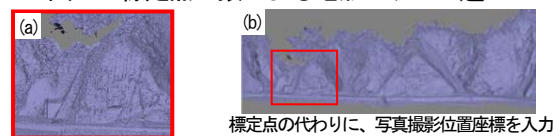


図-6 全撮影位置座標を入力した地形モデル

4. まとめ及び今後の課題

UAV による岩盤斜面の垂直写真と水平写真を SfM 手法で分けて解析した後に合成することで、死角のない精度の高い三次元地形モデルを時間短縮して構築できた。その際、崖面上の標定点を追加するだけでなく、写真撮影位置座標を入力することでも地形モデルの精度向上が図れることが確認された。

今後、モデル構築方法や精度向上についてさらに検討を行う予定である。

3.3 突発的な自然現象による土砂災害防止・軽減のための設計技術及びロボット技術の開発

3.3.1 落石・岩盤崩壊対策手法に関する研究（落石分野）

担当チーム：寒地基礎技術研究グループ（寒地構造チーム）

研究担当者：西 弘明、今野久志、荒木恒也、山澤文雄、寺澤貴裕

【要旨】

本研究は、従来型落石防護擁壁・柵類について、耐衝撃挙動や保有性能を明らかにし、耐衝撃設計法を提案することを目的としている。落石防護擁壁の保有性能に関しては、擁壁の延長および基礎地盤等を変化させる重錘衝突実験を実施し、耐衝撃挙動を把握した。落石防護柵の保有性能に関しては、実規模の重錘衝突実験および間隔保持材の設置効果や金網の貫通現象を把握するための基礎的な部材実験を実施し、耐衝撃挙動を把握した。

キーワード：従来型落石防護擁壁、従来型落石防護柵、重錘衝突実験、耐衝撃挙動

1. はじめに

我が国の海岸線や山岳部の道路沿いには、落石等の自然災害から人命や道路交通の安全を確保するための様々な落石防護施設が設置されている。比較的小規模な落石等に対する落石防護施設として、落石防護擁壁や落石防護柵があるが、設計では想定していない損傷事例の報告や補強（性能向上）の困難さ等の指摘がなされている。

本研究は、従来型落石防護擁壁および従来型落石防護柵の耐衝撃挙動や保有性能を明らかにし、耐衝撃設計法を提案することを最終目的としている。本年度は耐衝撃設計法を確立するための基礎的な検討として、耐衝撃挙動を把握するための基礎実験を実施した。

2. 落石防護擁壁

2.1 実験概要

落石防護擁壁の小型供試体に対し、擁壁の延長および基礎地盤を変化させたケース（表-1）にて、重錘の衝突速度を漸増させる衝突実験（図-1）を実施した。

2.2 実験結果および考察

落石対策便覧¹⁾（以下、便覧）に基づき実施されている落石防護擁壁の設計では、落石と擁壁の衝突を安全側に考え完全弾性衝突（ $e=1$ ）と仮定している。ここでは、衝突直後の擁壁速度に関する反発係数 e を変化させた場合における擁壁の回転角について比較を行った。

図-2には、擁壁延長毎の重錘衝突速度と最大回転角との関係を示す。なお、計算値は便覧式による計算例²⁾を参考に算出した。基礎地盤の違いによる実験結果を比較すると同じ重錘衝突速度では最大回転角が砂利基礎の方がコンクリート基礎よりも若干大きくなる傾向にある。

表-1 実験ケース一覧

ケース名	基礎地盤	擁壁形状寸法(m)			衝突位置	載荷方法	重錘衝突速度(m/s)
		高さ(H)	上幅(B1)	下幅(B2)			
C50	コンクリート	1.0	0.2	0.5	0.8H	繰り返し	1.3, 1.9, 2.6, 3.1
C100							3.7, 4.3, 4.6
C150							1.7, 2.8, 3.7, 5.1
G50	砂利	0.2	0.5	1.9, 2.8, 4.0, 5.5			
G100				7.2, 8.5, 9.8			
G150				1.8, 2.6, 3.9, 4.4			
							4.9
							2.1, 2.9, 3.8, 5.2
							6.7, 7.9
							1.9, 2.9, 3.8, 5.2
							7.0, 8.4, 9.5

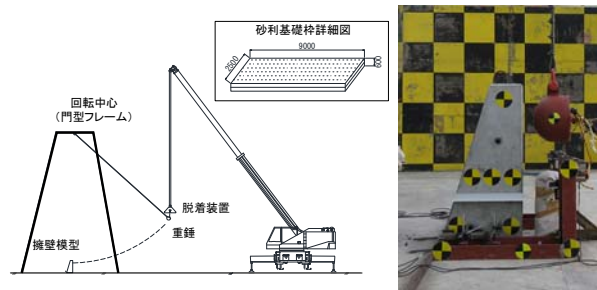


図-1 落石防護擁壁実験状況

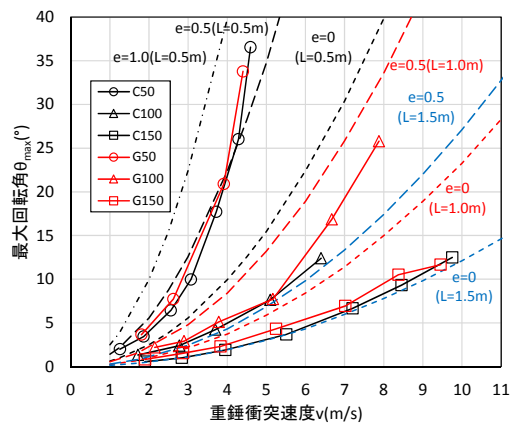


図-2 回転角と重錘衝突速度の関係

計算値と比較すると、擁壁延長が長くなるのに従い反発係数 e は0（完全非弾性衝突）に近づく傾向にある。

図-3には、各ケースの最大重錘衝撃力 P （重錘加速度×重錘質量）と重錘衝突速度 v の関係を示している。図より、重錘衝撃力は基礎地盤の違いによる差はみられず、重錘衝突速度の増加に対して最大重錘衝撃力は増加している。衝突速度が大きくなると増加率が減少する傾向にあるが、衝突部の損傷の影響と考えられる。

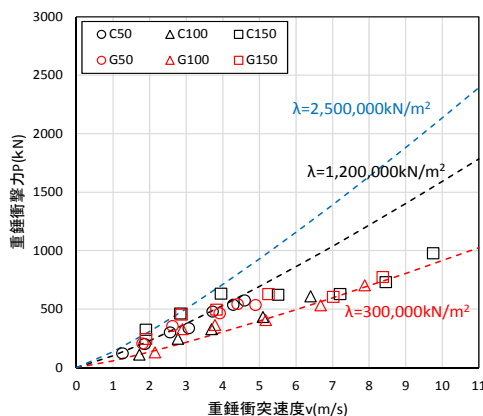


図-3 重錘衝撃力と重錘衝突速度の関係

3. 落石防護柵

3.1 実験概要

落石防護柵の実規模供試体（柵高2m、延長12m、3m×4スパン）に対し、中央部中間支柱の柵高2/3hの位置へ重量10kNの重錘衝突実験を実施した。また、部材供試体に対し、保持材間隔や重錘落下高を変化させたケースで重量1kNの重錘落下衝突実験（写真-1）を実施した。

3.2 実験結果および考察

実規模実験においては、供試体の現行設計に基づいた設計可能吸収エネルギーが67.5kJであるのに対し、衝突エネルギー73.5kJの重錘を捕捉したが、重錘衝突により支柱基部に破断が生じていた。図-4にワイヤロープ張力の時刻歴応答波形を示す。ワイヤロープ張力は、落下高が高い方が、また、重錘衝突位置に近い方が大きな値を示している。

部材実験においては、表-2に示すように支柱間隔3mのスパン中央部にワイヤロープの間隔保持材を設置することで、設置しない場合に比較して重錘がすり抜ける場合の衝突エネルギーを2倍以上にすることができること、間隔保持材を設置した場合においても、重錘の衝突エネルギーが増加することで重錘のすり抜けが発生する場合があることなどが明らかとなった。

4. まとめ

各衝突実験より、得られた成果について以下に示す。

- 1) 擁壁延長が長くなると、便覧での計算値では反発係数 e は0（完全非弾性衝突）に近づく傾向にある。
- 2) 擁壁の重錘衝撃力は基礎地盤の材料に依存しない。
- 3) 防護柵の支柱への衝突条件では、概ね設計エネルギーとなる重錘を捕捉した。
- 4) 防護柵の支柱間隔3mの中央に間隔保持材を設置することで、重錘がすり抜ける場合の衝突エネルギーを2倍以上にすることができる。
- 5) 設計で想定していない防護柵支柱基部の破断や重錘のすり抜けの発生を確認した。



(a) 実規模実験 (b) 部材実験

写真-1 落石防護柵実験状況

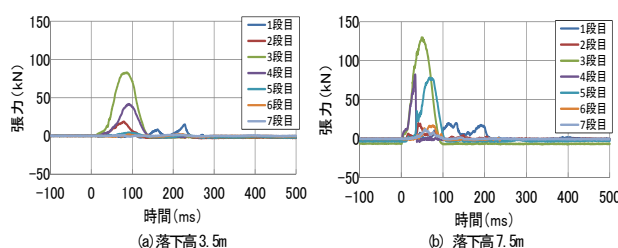


図-4 時刻歴応答波形（ワイヤロープ張力）

表-2 間隔保持材実験ケースおよび結果

実験ケース名	保持材間隔 (m)	落下高 (m)	衝突エネルギー (kJ)	実験結果
L1.5W1H10P	1.5	10	9.8	重錘捕捉
L1.5W1H20P	1.5	20	19.6	重錘捕捉
L1.5W1H30P	1.5	30	29.4	重錘捕捉
L1.5W1H20C	1.5	20	19.6	捕捉+破網
L1.5W1H25C	1.5	25	24.5	捕捉+破網
L1.5W1H30C	1.5	30	29.4	すり抜け
L3.0W1H10C	3	10	9.8	すり抜け
L3.0W1H20C	3	20	19.6	すり抜け
L3.0W1H25C	3	25	24.5	すり抜け

参考文献

- 1) (社) 日本道路協会：落石対策便覧，2000.6.
- 2) 愛媛大学防災情報研究センター・社団法人地盤工学会四国支部：落石対策 Q&A，2009.

3.3.2 災害発生時におけるロボット技術適用に関する研究

担当チーム：技術推進本部（先端技術チーム）

研究担当者：藤野健一、梶田洋規、橋本 毅
田中洋一、山田 充、油田信一

【要旨】

大規模災害発生後の被害拡大防止や早期の復旧のためには、被災状況の調査や道路啓開などの応急対策を迅速に行うことが非常に重要であるが、これら応急対策は危険性が高い場所での作業となる場合が多い。そのような危険個所での施工では、安全のため遠隔操作が可能な建設機械を用いる無人化施工が運用される場合がある。しかしこの無人化施工は、平時とは異なり災害直後の混乱した現場での運用となるため、これまで必ずしも迅速かつ円滑に運用されてきたとは言い難い。今後も数多く発生するであろう災害に対し、これまでの運用にて発生した課題点を整理し、対策を検討することは、応急対策を迅速に行うために非常に重要であると考えられる。

本研究は、災害発生時に無人化施工に代表されるロボット技術を、安全・迅速・高効率で適用するための提案を行うことを目的とし、課題点の整理、必要な要素技術の研究、技術マニュアルの提案を行うものである。

キーワード：遠隔操作、無人化施工、建設ロボット、生産性向上

1. はじめに

東日本大震災や熊本地震など、我が国はこれまで地震や火山、台風、津波といった多くの災害に見舞われており、甚大な被害が発生している。災害発生後の被害拡大防止や早期の復旧のためには、被災状況の調査や道路啓開などの応急対策を迅速に行うことが非常に重要であるが、これら応急対策は二次災害の危険性が高く、かつ地盤等が不安定な場所での作業となる場合が多く、安全性に配慮しつつ迅速に高効率で施工を行うことは極めて困難である。そのような危険個所での施工では、カメラ映像等を介して遠方より遠隔操作が可能な建設機械を用い、オペレータは安全な場所から操作を行うことで安全に施工することが可能となる（図-1）。このような遠隔操作型建設機械を用いる施工は「無人化施工」と呼ばれ、1993年に開始された「雲仙普賢岳水無除石工無人化施工試験工事」を契機に発展し、実用的な工法として確立された。その後、有珠山噴火（2000年）、新潟県中越地震（2004年）、岩手宮城内陸地震（2008年）、紀伊半島大規模土砂災害（2011年）、熊本地震（2016年）等の大規模災害や、東日本大震災後の福島第一原発周辺瓦礫処理工事（2011年）などで活用され、これまで日本国内で遠隔操作型は150件以上の活用実績を持っている¹⁾²⁾。しかしながらこの無人化施工は、平時とは異なり災害直後の混乱した現場での運用となるため、これまでの災害現場で必ずしも迅速かつ円滑に運用されてきたとは言い難いのが現状である。今後も数多く発生するであろう災害に対し、これ

までの運用にて発生した課題点を把握・整理・分析し、対策を検討することは、無人化施工を安全・迅速・高効率で運用するために非常に重要であると考えられる。

本研究は、災害発生時に無人化施工に代表されるロボット技術を、安全・迅速・高効率で適用するための提案を行うことを目的とし、課題点の整理、必要な要素技術の研究、技術マニュアルの提案を行うものである。

具体的には、次の3点を達成目標としている。

- ① 無人化施工技術の適切な運用
- ② 迅速・安全な復旧対応、生産性向上
- ③ 復旧活動のための調査・機械施工技術マニュアル提案

28年度はこのうち、①に関する研究として、災害対応を担当した発注者、施工者等に対しアンケートを実施し、災害現場にて無人化施工を運用する際に発生した課題点を収集・整理を行った。さらに②に関する研究として、①の課題点整理結果などから無人化施工を迅速に運用するために必要な要素技術の抽出を行い、それぞれの研究

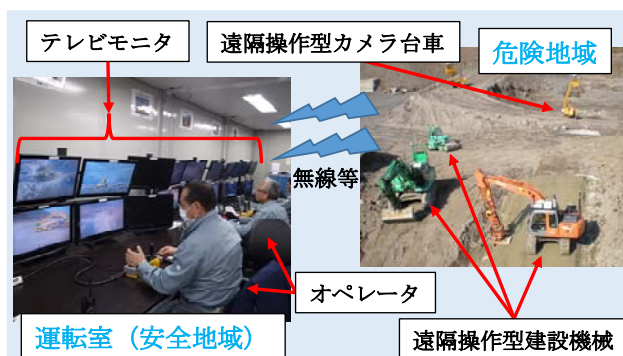


図-1 無人化施工イメージ

に着手した。

2. 無人化施工運用時課題点の収集・整理

2.1 収集方法

アンケートは、熊本地震にて遠隔操作型油圧ショベルなどを用いた災害対応を担当した発注者（国土交通省担当者）、および施工会社などに協力をいただき実施した。回答にあたり、課題点は熊本地震やその他一般的な災害対応時についても記載するよう依頼をした。

2.2 収集結果・分類

アンケートの結果、発注者および民間企業から延べ78件の課題点を収集できた。

すべての課題点を、内容から①指揮系統に関する課題、②施工者の経験不足に関する課題、③人員の手配に関する課題、④機器の手配に関する課題、⑤輸送・移動に関する課題、⑥労務・安全に関する課題、⑦その他に関する課題、に分類した。その結果を図-2に示す。

図-2によると、①指揮系統に関する課題が最も多く、続いて⑤輸送・移動に関する課題が多い、さらに③人員の手配に関する課題、④機器の手配に関する課題、⑥労務・安全に関する課題、⑦その他に関する課題、の順番となっている。分類されたそれぞれの代表的な課題点を以下に示す。

① 指揮系統に関する課題

- ・ 全体的な指揮系統、責任の所在などが明確になっていない（指示、命令が多方面からあり、現場が混乱）
- ・ 機材、人員をどこへどのくらい派遣するかがなかなか決まらず、長い待機時間が発生した。

② 施工者の経験不足に関する課題

- ・ 無人化施工の経験が浅い施工者が受注する場合もある。その場合は現場が混乱した

③ 人員の手配に関する課題

- ・ 無人化施工現場経験がある人員の確保が難しい。昼夜兼行、休日無の現場が多いためさらに困難

④ 機器の手配に関する課題

- ・ 遠隔操作型油圧ショベルの調達が困難であった（全国的に台数が少ない）。
- ・ 災害地であるため燃料の調達が困難であった
- ・ 現地で機器が故障した時に、修理に時間を要した。（修理業者、部品等の手配が難しい）

⑤ 輸送・移動に関する課題

- ・ 道路および交通機関が寸断されているため、機材や人員が現場までたどり着けない
- ・ 重機輸送用大型トレーラの調達（運転手含む）が困難であった
- ・ 高速道、一般道の通行許可申請に時間を要した

⑥ 労務・安全に関する課題

- ・ 作業員の宿泊地、食事場所、休憩場所などの確保が困難であった

⑦ その他に関する課題

- ・ 消防、警察、報道、無人化施工など複数の電波が混在しており、無線通信に影響がでる危険があった

2.3 まとめと次年度以降の計画

以上整理した課題点の内容から、無人化施工を災害現場で迅速・円滑に運用するためには、平時から下記の4点を準備しておくことが非常に重要と考えられる。

- ① 災害発生時の指揮系統（国、自治体をまたいだ）、機材・燃料の調達方法、通行許可申請方法、機材・人材の割振り方法、上空の交通整理方法などのルールを明確にし、マニュアル化しておく
- ② 上記マニュアルを基に定期的に適切な訓練を実施し、発注者・施工者が災害に対して備えをしておく。
- ③ 経験のある人材および（遠隔操作型油圧ショベルなどの）機材を確保しておく。
- ④ 輸送が容易な小型の遠隔操作型建設機械や軽量な映像システムなどの開発

次年度以降は、熊本地震以外における課題点なども調査し、さらにデータを蓄積するとともに、上記について検討を行っていきたい。

3. 必要な要素技術の抽出と検討

3.1 要素技術の抽出

前章の課題点より、無人化施工を迅速に運用するため

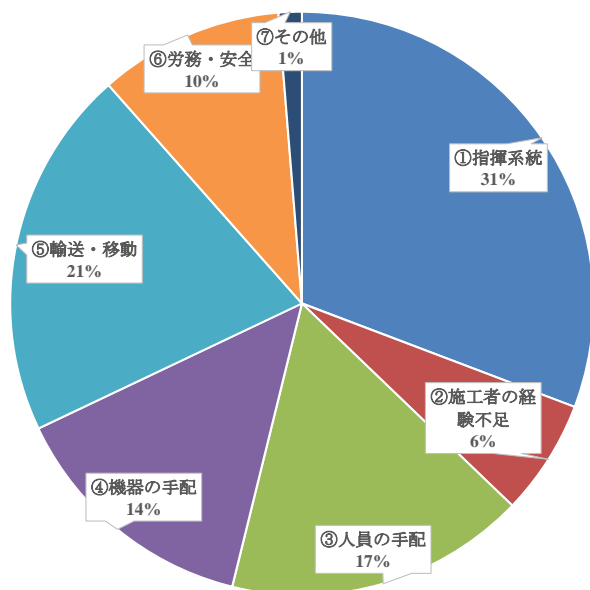


図-2 課題点分類結果

には、災害現場へ搬入が容易な遠隔操作型建設機械やその他システムの開発も重要であることがわかった。そこで、本研究にて検討する要素技術として次の3点を抽出した。

- ① 輸送が容易な遠隔操作型小型油圧ショベル
- ② 持ち運びが容易な頭部装着型ディスプレイ（以下HMD）
- ③ カメラ台車が不要となる有線給電 UAV

次節より、本年度に着手した各技術の検討内容について述べる。

3. 2 遠隔操作型小型油圧ショベルの検討

現在遠隔操作型油圧ショベルとして多く用いられているものは、運転質量 25ton～30ton クラスのものが多い。このクラスを輸送するためには、大型の低床トレーラが必要になり（図-3）、前章の課題点⑤にもあるように、災害時には様々な問題が発生する。運転質量 2ton～4ton クラスの遠隔操作型小型油圧ショベルを用いることができれば、図-4 に示すように 4ton トラックでの輸送も可能となり、上記の問題点の解決に有効であると考えられる。しかしながら、遠隔操作型小型油圧ショベルはこれまで災害現場で適用された例はあまりなく、その特性等の調



図-3 大型低床トレーラによる輸送



図-4 4tonトラックによる輸送



図-5 遠隔操作型小型油圧ショベル

査は行われていない。そこで本研究では、遠隔操作型小型油圧ショベルを用い、これまでと同様の実験を行うことにより、遠隔操作型小型油圧ショベルの特性を調査することとした。28年度は、道路法に定められる車両の制限値（表-1）と、4tonトラックの一般的な仕様（表-2）から、対象とする小型油圧ショベルの仕様を決定し、遠隔操作型に改造した小型油圧ショベルの発注を行った。納入されたショベルの外観と仕様を、図-5、表-3に示す。

表-1 道路法に定められる車両の制限値（一部抜粋）

幅	2.5m 以下
高さ	3.5m 以下
長さ	12m 以下

表-2 4tonトラックの一般的な仕様

荷台幅	約 2.3m
荷台床高さ	約 1m
荷台長さ	約 6m
最大積載量	約 4ton

表-3 納品された遠隔操作型小型油圧ショベル仕様

幅	1.74m
高さ	2.48m
長さ	4.64m
機械質量	3.5ton

3. 3 HMD の検討

現在の無人化施工では、通常図-1 に示したような運転室を設置して作業を行っている。しかしながら、運転室および内部のモニタシステムを設置するのに時間等がかかり、災害時に迅速に運用する際の問題点となっている。そこで、図-6 に示すような持ち運びが容易な HMD を無人化施工に適用できれば、上記問題の解決に有効であると考えられる。そこで本研究では HMD によるシステムの構築と、その効果および問題点などの検証を行うこととした。28年度は、HMD を用いた画像システムの基本概念を決定し（図-7）、必要な部品類の発注を行った。

3. 4 有線給電 UAV の検討

現在の無人化施工では、通常図-1 に示したようなカメラ台車による映像を使用し運転を行っている。しかしながら、カメラ台車の手配、災害現場への搬入、展開を行うのに時間等がかかり、災害時に迅速に運用する際の問題点となっている。そこで、図-8 に示すような持ち運びが容易な UAV を用いて映像を取得することができれば、上記問題の解決に有効であると考えられる。そこで本研究では UAV によるシステムの構築と、その効果および問題点などの検証を行うこととした。28年度は、UAV

を用いた画像システムの基本概念の検討を行った。その結果、航続時間の関係から油圧ショベルを基地とした有線給電式とすることとした。また、有線給電 UAV に対し経験が豊富な東北大学永谷研究室と意見交換を行い、共同研究を締結した。そして、油圧ショベル周辺での UAV 飛行実験を行い、画像取得や飛行制御に関する課題点などの調査を行った(図-9)。調査の結果下記の知見を得ることができた³⁾。

- ① 一般的な無人化施工において、外部カメラの映像として重要なのは、横からの建機の画像と前方の全景である。UAVを真上に飛ばし、前方の画像を取得することができれば、油圧ショベル前方の全景画像が取得できるため、遠隔による移動に利用可能である。
- ② 正面からの作業風景の画像は、操作者から見ると対面となるため、扱いづらい。
- ③ 上空からの俯瞰画像というのは、これまでの一般的なカメラ車を用いたシステムでは取得不可能である。したがって、このような画像を利用した無人化施工作業を実施したことは無い。
- ④ 作業を考えた場合、UAVは、油圧ショベルの腕の動きに応じて位置を変更する必要はない。むしろ、定点に停留している方が良い。
- ⑤ 飛行時、地面の凹凸にテザーが引っかかり、フライトの安定性を損ねるといった問題が起こった。これに

より、張力制御を行いつつ、テザーをたるませない制御の重要性を確認することができた。

3.5 まとめと次年度以降の計画

前節までに述べたように、本年度は無人化施工を迅速に運用するために必要な要素技術を抽出し、仕様や概略の検討および予備的な実験を行った。次年度以降はそれぞれの実験システムを構築するとともに、概往研究⁴⁾と同様の実験を行い、それぞれの有効性や課題点の検証を行いたい。

参考文献

- 1) 藤野健一：無人化施工の現状と展望-技術開発状況と今後の展開について、建設機械, Vol.39, No.3, pp.1-6, 2003.
- 2) 植木, 猪原, 北原：「無人化施工」による災害復旧と今後の取り組みについて、建設マネジメント技術, No.421, pp45-53, 2013.
- 3) 永谷, 薬師川, 桐林, 渡辺：土砂災害の初動対応を目指した無人建設機械の状態提示技術の研究開発 —第一報：有線給電式マルチロータ機を用いた建設機械周囲の情報取得試験—, 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会 ROBOMECH2016, pp. 1P1-10a6, 2016.
- 4) 茂木, 油田, 藤野：油圧ショベルの遠隔操作による作業の効率評価のためのモデルタスクの提案, 建設機械施工, Vol.66, No.8, pp.71~79, 20



図-6 HMDによる遠隔操作

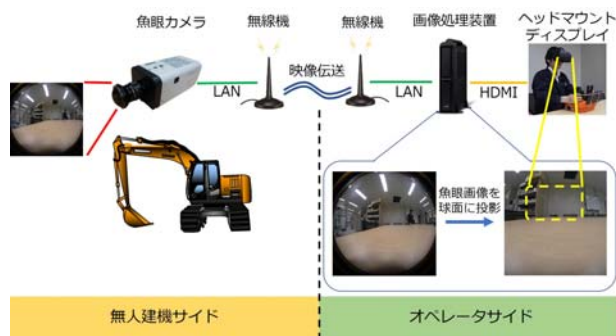


図-7 HMD画像システム基本概念



図-8 UAVによる画像取得イメージ



図-9 UAV飛行実験