

博士論文要約 (Summary)

令和1年10月入学
連合農学研究科 地域環境創生学 専攻
氏名 松嶋 秀士

タイトル	落石対策手法の高度化に関する研究
<p>1. 背景及び目的</p> <p>近年の土砂災害の増加とともに増えている落石災害は、事前の兆候がなく突発的に発生し発生源が特定しにくい災害であることから事前に予防対策を行うことが困難な災害である。このような状況から落石災害への予防や防災への対策等を講じるにあたり、斜面調査を行い落石発生の危険箇所を特定し、落石災害時の危険性を把握できるようにすることは重要であると考えられる。</p> <p>落石被害を受ける保全対象は、被災箇所と比較して対策区間（路線長）が長大であるため、個々に落石対策検討を行うと費用対効果が小さくなる。よって対象となる路線全ての想定される危険箇所について調査・危険度判定などの斜面調査を実施することは、緊急度や経済性などの観点から合理的ではなく、十分な落石調査がされていないのが現状である。</p> <p>また、落石対策対応済みの箇所においても、設置から30～40年以上経過している箇所の総延長は、膨大な施設延長の更新時期を迎えている。</p> <p>落石対策の設計指針である落石対策便覧は、1983年に初版が発刊されているが、それ以前については明確な設計指針がないことから、斜面調査を実施すると想定以上の落石が存在することや、落石跳躍高さに対して柵高が不足している場合も被災事例からも知ることができる。</p> <p>通常であれば新たな落石防護柵を設置するが、インフラ長寿命化基本計画（2013年11月29日）や国土強靱化基本計画（2018年12月14日閣議決定）などの社会背景から、既設のインフラストックを有効活用し長寿命化することも求められている。</p> <p>そこで、本研究では、未確認落石危険箇所の抽出法等について既存調査法の精度向上を図れるような調査手法について省人化、効率化及び緊急対策の観点も盛り込み提案するとともに、既設落石防護柵の問題点を把握し、補強することで長寿命化を図れる方法についても提案する。</p> <p>2. 本論</p> <p>序章では、研究の背景となる災害の頻度、社会環境の変化、ICTを用いた落石調査の現状や既設落石防護柵の損傷状況について述べ、対象となる山間地域での未確認落石危険箇所・範囲を把握する方法と既設落石防護柵の補強方法の検討及び緊急対策工の提案の必要性について述べた。</p> <p>第2章は、落石被害の実情について調査し、約8年間にわたる落石防護柵の被災事例をまとめ損傷形態およびその構造的な問題について以下にまとめた。</p> <ul style="list-style-type: none">(1) 中間支柱は基準書のようにまっすぐ倒れず、ねじれながら変形する(2) 端末支柱は面内方向に変形する	

- (3) 落石の衝突により金網を突き抜けが起きる場合がある
- (4) 想定以上の張力によりワイヤロープが破断・ワイヤ固定金具からの脱落が起きる
- (5) 柵を飛び越える落石がある（柵高不足）

第3章は、落石調査における UAV レーザ測量を用いた落石箇所の特定の有用性について、公共LPデータとの比較を行うとともに、対象斜面を踏査し落石箇所を把握した上で、UAV レーザ測量結果と実際の踏査結果との比較を行うことで、落石調査における浮石や転石位置と調査漏れの精度向上と、踏査ルート及び急崖部の事前把握による省人化に役立つ手法として以下にまとめた。

- (1) 落石の分布する斜面において、UAV レーザデータから作成された微地形強調図を作成する際は、グリッドサイズを 20 cm または 50 cm で作成することが落石の抽出に効果的である。
- (2) UAV レーザデータから作成された赤色立体地図を用いた浮石や転石の抽出率は 80 パーセントを超える確率で抽出できるが、大きさが 1 辺 1.0m に満たないもので、かつ地中に 2/3 以上埋もれたものは抽出できない。
- (3) 赤色立体地図では、浮石や転石の安定度は判定できないため現地踏査が必要となるが、浮石転石箇所を事前に把握でき踏査ルートの選定を事前に行えるため現地踏査時間を短縮することができると考えられる。
- (4) 現地踏査では、落石位置や標高を把握するには詳細な測量が必要であるが、UAV レーザデータを用いると浮石転石の位置をスピーディーかつ正確に把握できるため、その後の落石エネルギー算出や落石シミュレーションなど落石運動の検討にも効果的であると考えられる。

第4章では、近年発売された iPad 及び iPhone に搭載された LiDAR 機能を利用して、UAV レーザ測量結果では得られなかった落石の大きさや浮石・転石の安定度に加え、落石を抱えた樹木との関係について、詳細な落石調査を行うことができ、更に今まで 3 人で行っていた落石調査が一人でも行えることが可能であることがわかった。

以上のことから、国や自治体保有の航空レーザ測量や UAV レーザ測量に加えてモバイルレーザスキャナを用途に合わせて利用することにより、落石調査の更なる高度化と省人化が図られると考えられる。

第5章は、既設落石防護柵の補強方法について、従来型落石防護柵と補強型落石防護柵の比較実験を行い、その有効性について明らかにし、以下のことがわかった。

- (1) 従来型落石防護柵は柵高の違いにより支柱の変位及びワイヤロープ張力に違いがあり、エネルギー分担も異なることがわかった。
- (2) 従来型落石防護柵の衝撃挙動では、被災事例と同様な支柱のねじれを実験にて再現することができた。
- (3) 支柱のねじれを少なくする補強部材、高強度金網及び緩衝装置を追加することで、従来型落石防護柵に対し 2 倍の落石エネルギーが吸収できることを実験で確認できた。
- (4) かさ上げ部材を用いた支柱のかさ上げを行った場合でも、接続部の損傷なく落石を受け止めることが可能であることを確認できた。

これにより、既設落石防護柵を利用し強度アップ及びかさ上げを行うことが可能となり、インフラの長寿命化が可能となった。

第6章は、落石対策便覧において、落石防護柵に使用するひし形金網の吸収可能エネルギーが一律 25 k J となっているが、ひし形金網の線径・材質及び形状によって吸収可能エネルギーは異なることが予想される。しかしながら、既往の研究報告例が少ないため、今回同一実験条件にて各種金網の実験を行った。今回の実験から、ひし形金網の異なる線径、材質及び形状の挙動の違いを確認することができたが、今後落石防護柵を開発する上で特殊な金網を用いる場合などには、金網の特性を調べる標準試験方法の確立が必要と考えられる。また、使用する金網の特性を把握した上で、落石防護柵全体（吸収可能エネルギー、変位量など）の評価及び検討が必要と考えられる。

第7章では、災害発生時の緊急対応として落石のみならず堆積した流木についてもその対策工の検討を行うとともに設計法・実証実験及び試験施工結果をまとめた2次流出防止工の有効性を明らかにした。

- (1) 繊維ネットとロープを用いた対策であるため軽量であるため人力で運搬可能となり、発生源近くで対策が可能となる。
- (2) 重機や工具を不要であるため、運搬路を設ける必要がない
- (3) 立木を利用することでロープを固定することが可能となり材積量、斜面勾配、支持する立木の胸高直径に依存するが、ある程度の流木を保持することが可能である。
- (4) 落石対策のワイヤロープ掛工を参考し設計法を提案した。
- (5) 試験施工の経過観察より、上段のロープ設置高さは土砂や積雪によるたわみを考慮し高さを決定する必要がある。

第8章では、各章のまとめと、落石対策便覧に対する修正案の提言を行うとともに、今後の課題として、ますます増加すると予想される落石災害に対して、インフラの老朽化に伴い、どのように効率的な施設更新をしていくのか近々の課題である。また、近年発展が著しいレーザ測量など ICT 技術を駆使し、落石調査にどのように応用できるかが今後の課題である

3. まとめ

これらの研究結果により落石対策における調査から対策工までに対して、新たな手法を提案することができたことにより、落石対策がより安全で効率的に行える高度化の技術を確立できたと考える。

※注1 博士論文要約はインターネットの利用により公表されるので、記載内容については十分注意してください。

※注2 公表できない「やむを得ない事由」(特許, 知的財産等に係る部分)は記載しないでください。

※注3 全体で4頁～5頁程度を目処にしてください。