

鬼ヶ城砂防堰堤における UAV を用いた急崖斜面の崩壊特性評価・対策工への適用事例

国土交通省 北陸地方整備局 立山砂防事務所 高橋 至, 柳川磨彦, 山根恭子^{※1}
 八千代エンジニアリング株式会社 池田 誠, 長谷川怜思, 〇横尾公博
 (現所属 ^{※1} 国土交通省 北陸地方整備局 新潟国道事務所)

1. はじめに

鬼ヶ城砂防堰堤は、立山カルデラに端を発する湯川と真川との合流点から約 2km 下流の常願寺川本川に位置している。昭和 32 年に本堰堤及び第 1 副堰堤が完成した後も、複数回の集中豪雨に見舞われ、都度復旧・補強工事が行われている。現況の鬼ヶ城砂防堰堤も、本堰堤の水通し天端摩耗(5m)や副堰堤の水通し断面の不足といった課題が多く、補修や補強等の対策が求められている。

一方で、鬼ヶ城砂防堰堤の右岸は、勾配 40° ~ 60° の極めて急峻な崩壊地となっており、過去から繰り返し崩壊が発生していること、今後も落石の可能性のある浮石が複数箇所を確認されることから、施工時の安全対策が課題といえる。

本論は、急崖かつ植生が繁茂した斜面において、転石・浮石評価や、落石シミュレーションにより斜面对策工への適用性の検討を行う目的で、UAV を導入した事例について報告するものである。

2. UAV LiDAR システムによる簡易地形測量

2.1 調査概要

鬼ヶ城砂防堰堤の右岸崩壊地調査における斜面、転石および浮石の分布、植生に覆われた斜面や現地踏査が不可能な急崖の岩盤状況を、安全かつ効率的に把握するため、地質踏査に先立ち、UAV LiDAR (UAV : エンルート Zion CH940, レーザースキャナ : YellowScan Surveyor, デジタルカメラ・レンズ : Sony α 6000, 16mm 単焦点レンズ) による簡易測量実施した。

2.2 調査結果

UAV LiDAR により取得した点群データ (総数 : 128,735,075 点) のうち、最高標高地点で反射した「ファーストリターン」と、最低標高地点で反射した「ラストリターン」ポイントを抽出し、これらから DSM (Digital Surface Model, 建物や樹木データを含む数値表層モデル), DTM (Digital Terrain Model, 地表面のみの数値地形モデル) ならびに、樹高モデル (Tree height classification map) を作成し、地表地質踏査時の基礎資料とした。

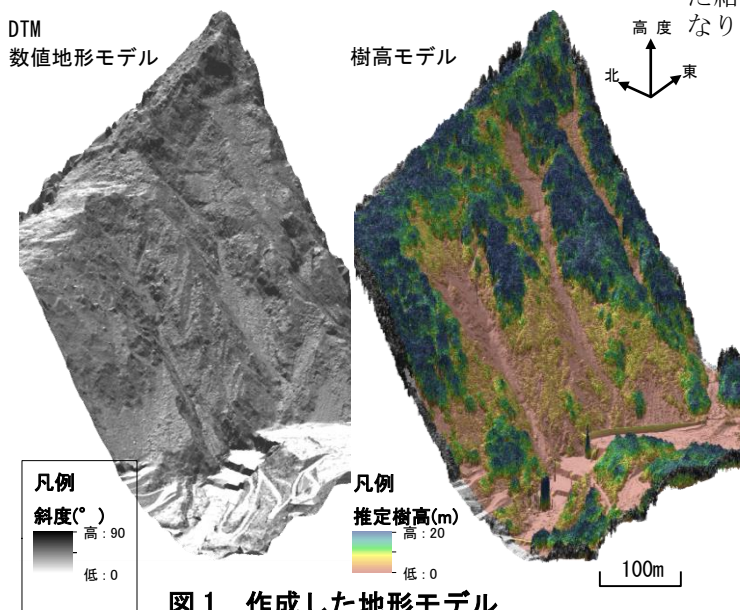


図 1 作成した地形モデル

3. 右岸崩壊地の崩壊特性評価

3.1 特徴的な地形要素の抽出

新たに作成した DSM・DTM・樹高モデル、オルソフォトを用いて地形判読を行い、急崖・崩壊地、露頭・浮石、過去の崩壊地や、転石の密集範囲を抽出した。

その結果、①対象斜面では頂部緩斜面(尾根)直下に大規模な急崖が認められ、②崩壊地・急崖には岩盤が露出し今後落石の可能性ある浮石が点在していること、③溪流または緩斜面には、崩壊・崩落によって露頭から生じた転石や崩積土が広く分布していること、④樹高モデルや DTM から過去の崩壊地形を見いだすことができ、⑤当該斜面が崩壊と植生の回復を繰り返している様子を精度良く把握することができた。

3.2 地質踏査結果を踏まえた崩壊特性の整理

(1) 岩相と崩壊特性の違い

当該斜面は、中生代トリアス紀に形成された「眼球状マイロナイト」と、更新世に噴出した「立山溶結凝灰岩」から構成される。前者は、全体に圧砕・破碎を受けていると考えられ、巨大な浮石として残存する範囲はごく一部に限られ、全体に細片化して肌落ちしやすい。一方、後者は、割れ目の少ない低溶結部と、発達した割れ目沿いが開口した弛み岩盤の代表となる中～強溶結部とに大別される。

(2) 浮石と転石の安定性

地質踏査結果から、本論では浮石・転石について、「浮石：不安定な露岩で将来的な崩落の可能性が示唆されるもの（これから崩落する転石の発生場）」、「転石：過去に浮石であったものや転石が移動して定置したもの（過去に発生した崩落現象の結果）」として定義し、検討を行うこととした。

(3) 今後発生しうる落石発生規模の推定

地形解析や地質踏査結果を基に、急崖斜面や露頭に分布する不安定岩塊を浮石として抽出した。一方転石については、密集範囲毎の平均径・最大径の分布をヒストグラムとして図 2 にとりまとめた。加えて、転石分布範囲において約 600 個の転石を抽出した結果、最大径は 2.6m、平均径 (中央値) は 0.50m となり、面検討結果とも整合する結果であった。

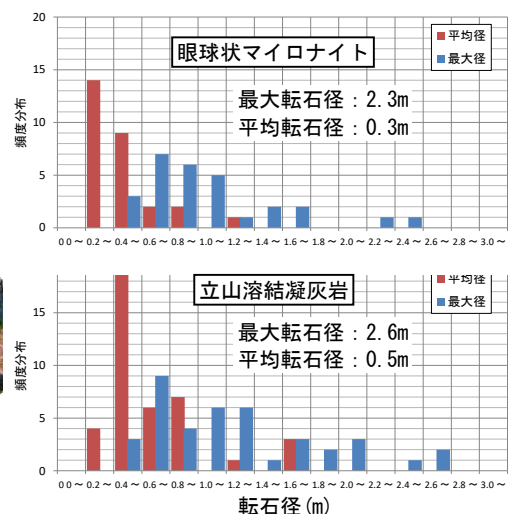


図 2 転石密集域における礫径頻度分布

3.3 右岸崩壊地の崩壊特性評価

(1) 落石到達線図の作成

右岸崩壊地調査により把握した浮石を対象として、DTM に基づく地形解析により落石到達平面図を作成した。結果として、右岸崩壊地からの落石経路は次の4通りに分類されることが明らかとなった。このうち、「経路①」については鬼ヶ城砂防堰堤近傍に到達すると考えられることから、落石対策(工事中の安全対策)が必要と評価した。

経路①：本堰堤～第2副堰堤近傍に到達する経路

経路②：鬼ヶ城護岸に到達する経路

経路③：第2副堰堤の下流側に到達する経路

経路④：鬼ヶ城谷に到達する経路

(2) 落石シミュレーションを用いた崩壊特性評価

1) 計算条件

落石到達線のうち、「経路①」に関して落石シミュレーションを行い、発生エネルギーや跳躍高を評価した。落石シミュレーションの計算条件については表1に示すとおりである。

表1 落石シミュレーション計算条件

項目	条件	備考
地形データ	UAVによるDTMから作成	—
落石規模(直径)	転石及び浮石の平均値及び最大値(計2通り)	平均直径: 0.50m 最大直径: 2.60m
落石の形状	球体を想定	—
礫の単位体積重量	2.65t/m ³	土質試験結果
等価摩擦係数	0.35	便覧 ^{※1} より現地状況を踏まえて設定
発生位置	最上部の浮石	—
初速	0m/s	—
計算回数	100回	—

2) 計算結果

落石シミュレーション結果に基づく落石エネルギーから、落石影響推定図を作成した(図3)。落石防護工の選定に際しては、落石エネルギーの大小が適用性の目安¹⁾とされていることから、落石影響推定図の閾値は、1,000kJ未満(落石防護網等で対応可)、3,000kJ未満(一般的な落石防護工の上限値)、3,000kJ以上(発生源対策が必要)とした。経路①における落石エネルギーの最大値は約5,000kJであるが、これは右岸崩壊地下端部の勾配60°以上の急崖部で生起するエネルギーである。急崖部を除いた場合、最大で2,300kJ程度のエネルギーが発生し、平均的には1,000kJ程度のエネルギーが発生する結果となった。上記より、急崖部に到達した後での対策実施は困難であることから、発生源対策を行うことや、急崖部に到達する前に落石防護工等を設置する対策が必要であるといえる。

なお、跳躍高に関する落石シミュレーション結果から、経路上の跳躍高は落石の規模によらず1m未満であるため、跳躍によって落石経路が変わる可能性は低く、また、高さ2m～3mの落石防護柵で対応可能であると考えられる。

4. 斜面对策工検討

転石や浮石は現時点で認められない場合でも、斜面浸食により将来的にも生起する可能性を踏まえると、落石予防工で完全に落石を阻止することは困難であり、現在特定可能な落石及び転石の落下を防止することや、落石の頻度を極力低減させる工法と位置付けられる。

したがって、当該斜面の落石対策としては、落石予防工と落石防護工を併用した対策が望ましいといえ、次の方針に基づいて計画することとした。

方針①：現時点で把握された浮石箇所についてはワイヤーロープ掛工による落石予防工を適用する。

⇒落石予防工は、人力施工が可能であること、落石化した場合に大きなエネルギーを持つ浮石に適用可能なことから、「ワイヤーロープ掛工」とした。

方針②：上記施工箇所以外からの浮石の不安定化による落石及び転石の二次移動も想定されることから、落石防護工による待受け対策を適用する。

⇒落石防護工は、落石エネルギーの最大値が3000kJ以下と想定されることから、高エネルギー吸収型の落石防護柵とした。また、斜面長が約400mと極めて長大であることから、斜面の中間地点にも落石防護工を配置する計画とした。

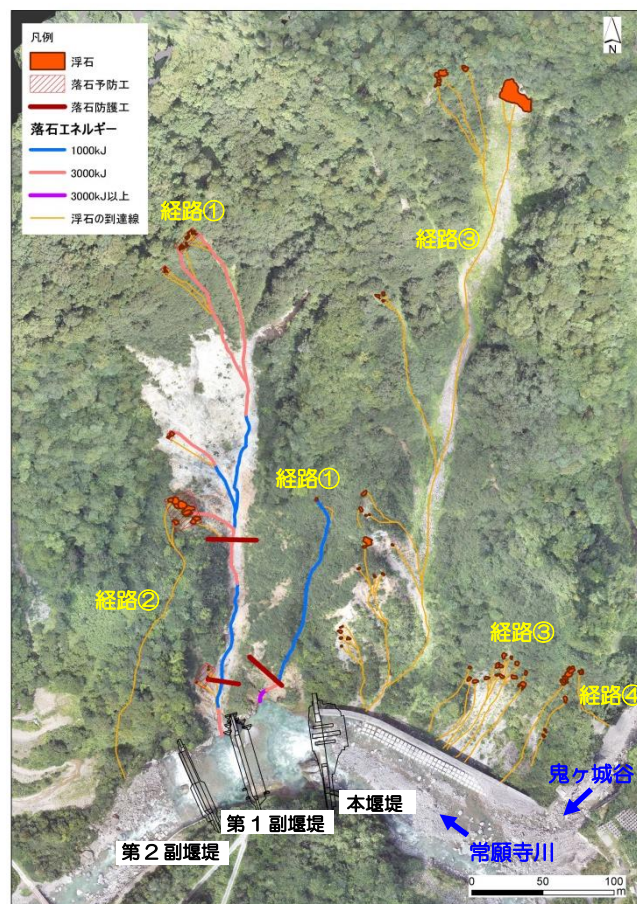


図3 落石到達線及び落石影響平面図

5. まとめと今後の課題

本論では、既存の空中写真に加えてUAVによるLP地形データ計測を実施して、浮石及び転石の分布状況を定量的に評価した。さらに、落石シミュレーションを用いて落石エネルギーを評価することで、適用可能な対策工法を選定するとともに、斜面対策工の検討結果を報告した。

今後の課題については次のとおりである。

- ① 対象箇所は豪雪地帯に位置するため、斜面对策の維持管理手法の検討も求められる。
- ② 斜面对策工施工中にも小規模な落石が発生する可能性があるため、覆式落石防護網や簡易防護柵等の対策実施が求められる。
- ③ オルソフォトを用いた目視評価を行う場合、岩相が白色を呈する斜面では、可視光画像データの白飛びが発生し、判読精度が低下する。また、樹木疎密度が高い場合、樹木下の地表までレーザーが到達せず、巨大な露岩や浮石が分布する場合であっても、その範囲の判読精度に劣る場合もある。このような場合には、ザイルを用いた本格的な斜面調査により判読結果を検証する必要性も想定される。

参考文献；

- 1) 落石対策便覧 社団法人 日本道路協会 平成12年6月