

UAVを用いたダム堤体リップラップ材の劣化現況調査について

稲垣 謙司¹・齊籐 啓吾²・米澤 喜弥¹

¹岩屋ダム管理所 (〒509-1602 岐阜県下呂市金山町卯野原6-27)

²利根導水総合管理所 (〒509-1602 岐阜県下呂市金山町卯野原6-27)

岩屋ダムは、管理開始から約40年が経過しており、堤体のリップラップ材の一部において茶褐色に変色し土砂化した岩塊が見られたことから、リップラップ全体の現況調査を行うこととした。調査は、小型無人飛行機（UAV）による撮影画像を用いて、土砂化した岩塊の分布状況を把握した。さらに、画像解析と統計的手法により客観的に得た粒度分布を指標とした評価方法の有用性について考察する。

キーワード：UAV, 画像解析, リップラップ劣化, 粒度分布, 管理の合理化

1. はじめに

岩屋ダムは、木曽川総合開発事業の一環として、洪水調節、かんがい用水、工業用水、水道用水、水力発電を目的に、木曽川水系馬瀬川中流に建設された多目的ダムである。昭和52年4月に管理が開始され、今年で40年目を迎える。

岩屋ダムは、傾斜コア型ロックフィルで、リップラップ及びロック材に使用された主要材料は濃飛流紋岩である。

一般的にロックフィルダムのリップラップは、浸食や堤体材料の風化を防止する表面保護材としての機能が求められ、堅固で耐久性に優れた材料が用いられることとなっているが、一部のリップラップ材において茶褐色に変色し土砂化した岩塊が確認されたことから、リップラップ全体を対象に土砂化した岩塊の分布状況を把握する調査を平成26・27年度に実施した。

本論文では、低空を飛行できる小型無人飛行機（UAV）を活用して高解像度の写真を撮影した。この画像を用いた調査の事例を紹介するとともに、得られた高解像度の写真画像から粒度分布を求め、リップラップの状況を把握し評価する手法について考察する。

2. 調査方法

(1) 調査手法の検討

従来、リップラップの劣化状況の確認は、現地踏査による目視、スケッチや写真等による確認のほか、必要によりハンマー打撃等により風化程度を分類・判定されるが、調査の範囲に比例してコストが高くなるという課題がある。

そこで、より効率的な調査方法として、小型無人飛行機（UAV）を用いて撮影した高解像度の写真画像を用いて、リップラップの劣化範囲を判読する方法を採用した。

(2) 飛行計画策定

UAVの飛行計画を策定するにあたり、ダム堤体下流の直下には中部電力(株)の発電設備があり、万が一墜落等の事故により発電施設へ多大な影響を与える恐れがあることから、安全性を十分考慮した飛行計画を策定する必要がある。

そのため、2種類の異なる仕様のUAVを使用することとした(表-1)。発電施設または樹木の枝葉等による上空の障害物が無い範囲は、GPSによる自動航行機能を持つ機種を使用し、発電施設および障害物付近では搭載カメラの角度や方向を確認しながら手動操縦できる機種を使用した。飛行計画を図-1に示す。



図-1 飛行計画

表-1 UAV撮影使用機種の特徴

機種名	α UAV	TL18T00
GPS	有り	無し
機能	・PCで設定したフライトプランに基づき自動操縦が可能	・手動操作でモック画像を確認しながら撮影及び撮影設定（角度、シャッター調整）が可能
特徴	・市販デジタルカメラ搭載可	・市販デジタルカメラ搭載可
撮影	・動画撮影	・動画と静止画撮影
撮影箇所	堤体法面全体	堤体法面の一部（構造物等の近接部）

(3) 撮影等

撮影した画像は、リップラップの劣化範囲（土砂状、変色等）抽出のための写真判読および粒度分析において画像解析により粒径を抽出・判別に使用することを考慮し撮影条件(表-2)およびカメラ仕様(表-3)を設定した。

表-2 撮影条件

撮影高度	飛行速度	オーバーラップ	サイドラップ
35m	3.0m/sec	80%	55%

表-3 カメラ仕様

機種名	画像 (pixl)	焦点距離 (mm)	地上分解能
SONY NEX-7	6000×4000	16mm (24mm)	8.5mm

※()は32mm換算

また、UAVの撮影時には、操縦者、撮影者及び監視員の3人で、撮影期間は3日で実施できた。

(4) 画像処理・写真判読

撮影した写真画像には、レンズの特性により歪みが生じている。粒度分析を行うにあたり、歪みは抽出する粒径に影響するため、この歪みの補正する処理を行っている。また、写真画像の縮尺を合わせるため、岩屋ダムの外部変形を計測するための可動標的の一部を対空標識と用いてオルソ画像を作成した。

作成したオルソ画像と可動標的の測量座標との差は、XYZ方向いずれも最大で0.06mであり、誤差の少ない堤体法面の写真画像を得ることができた。



図-2 対空標識として使用した可動標的

写真判読は、オルソ画像をもとに周囲と比較して茶褐色を呈している範囲又は画像から土砂状で粒径を確認できない範囲の輪郭を目視で抽出(図-3)し、分布状況(図-4)を記録した。

茶褐色に変色等で抽出した範囲は、EL.370m付近及びEL.390m付近に多く分布していることが確認できた。

写真判読に用いた画像は、目視で対象を抽出するうえで十分な解像度を有していることが確認できた。

低空から高解像度で撮影した画像は、比較的鮮明に対象範囲を抽出することができた。これは低空で安定して飛行ができるUAVの強みである。

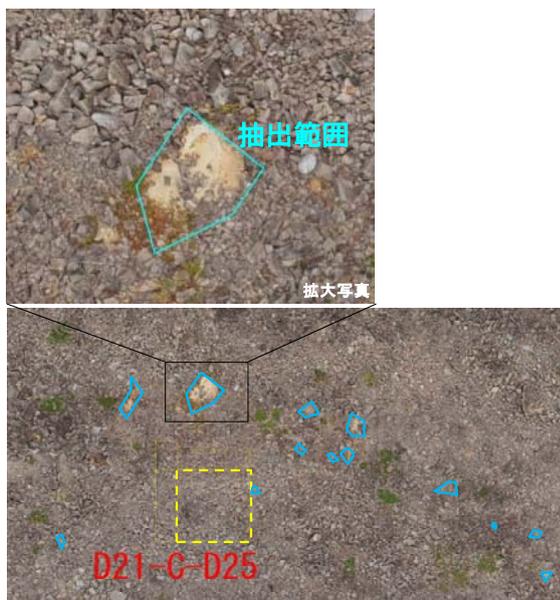


図-3 劣化部の抽出例 (D21-C-D25付近)

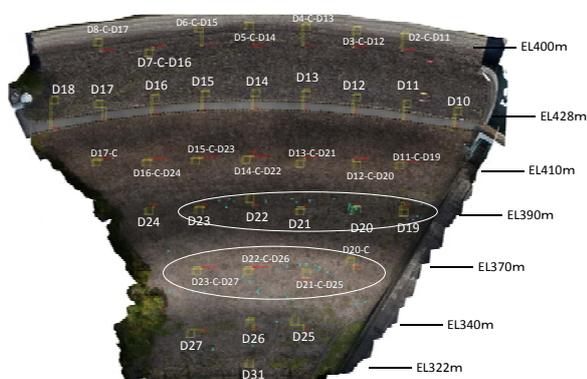


図-4 判読した分布状況

(5) 画像解析による粒度分析手法(粒度分布図調査)

粒度分析では、ダム堤体法面に設置されている可動標的を基準に、上下流面で計37箇所の定点を設定し、5m×5m相当で切出した画像(図-5)を用いて画像解析を行った。

画像解析は、小林らの画像解析手法(以下「粒度分析手法」という。)を用いて粒径を算出した。解析の流れは、①岩の輪郭を抽出し、石を判別できるようにするため画像を二値化(白黒画像)、②岩と影部のグループを判定、③ピクセルの範囲で岩の粒径を算出した。

粒度分布図の作成では、一般に横軸に粒径、縦軸に通過質量百分率を用いるが、粒径の面積を集計した粒径通過面積率で粒度分布図(図-6)を作成した。異なる粒径の画像から解析した粒度分布図を比較したところ、画像解析により抽出・集計した結果は両者の画像から見られる石の大きさと良く対応していることがわかる。

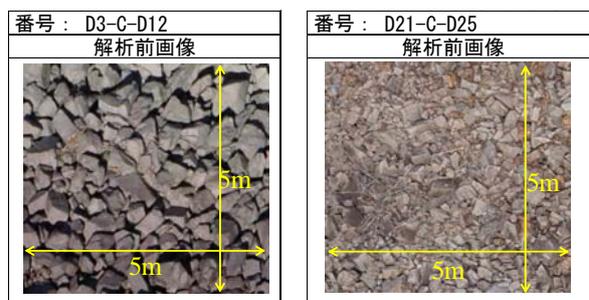


図-5 切出した写真画像
(左: D2-C-D11地点, 右: D21-C-D25地点)

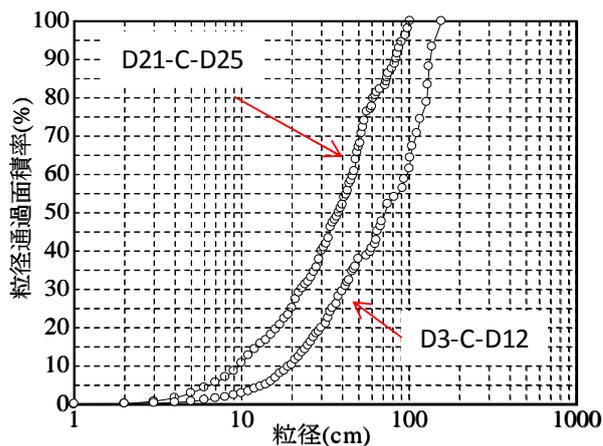


図-6 粒度分析結果

3. 今後の維持管理への展開

(1) 管理における評価基準と整理方法

現在、リップラップ材の劣化に関する具体的な調査方法や補修の判断基準はないが、ロックフィルダムの長寿命化計画を策定する上で、リップラップの健全性を評価することは重要である。

風化や凍害等の作用により劣化したリップラップの粒径は細粒化すると考え、細粒化を客観的に比較・判断する指標として画像解析と統計的手法により得た粒度分布を用いることに着目し、リップラップの劣化状況を粒度分布より判断する方法について述べる。

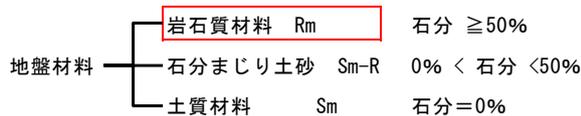
はじめに、リップラップとして要求されている法面保護機能(浸食、内部ロック材の風化防止等)が満たされているかを判断するための定義を行った。

地盤材料としての土の分類基準が地盤工学会基準として粒径区分と石分の含量により区分され、一般的な土質材料と岩質材料の区分は粒径が75mmを目安にされ、含量区分では、石分が50%以上で岩石質材料とされている。

(表-4) によって、本論文では、粒度分布図の粒径75mm以下の面積率が50%未満の状態を健全と定義した。

表-4 地盤材料の分類における粒径区分及び含量区分

		粒 径 (mm)								
		0.005	0.075	0.25	0.85	2	4.75	19	75	300
粘土	シルト	細砂	中砂	粗砂	細礫	中礫	粗礫	礎石	巨石	
		砂			礫			石		
細粒分		粗粒分						石分		
		土質材料							岩石質材料	



各地点の粒度分布結果より、箇所毎の粒径75mm未満の面積率(%)を整理した(図-7)。

粒径75mm未満の占める面積率は、最大でも約10%程度であり、今回定義した50%を下回っていることからリップラップの法面保護機能は健全であると判断できる。

以後、同様に粒度分布のデータを蓄積し、経年的な面積率の変化を比較することで、リップラップの細粒化の進行度合を把握し、補修時期の予測や補修の判断の指標とすることができる。

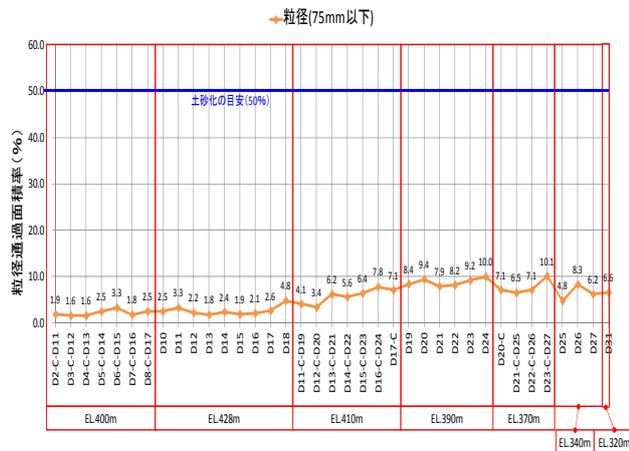


図-7 粒径75mm未満の粒径通過面積率

4. まとめ

本論文では、ダムリップラップの劣化状況を把握する方法として、UAVを用いて撮影した写真画像による調査および画像解析により求めた粒度分布図により評価する手法を示した。

今回得られた知見を以下に示す。

- UAVを用いることで広範囲を短時間に高解像度の写真撮影を行うことができ、現地調査に要する人員や期間の省力化を図ることが可能である。
- オルソ画像は、平面図同様に扱うことができ、写真判読で抽出した位置情報は容易に把握、比較することが可能である。
- 画像解析による粒度分析は、多く作業を機械的な処理で行うことから客観的、かつ定量的なデータを得ることが可能である。
- 粒度分布は、経年の比較を容易に行うことができ、劣化程度の判断や長期的な評価の基礎資料として期待できる。

近年、既設ダムの維持管理を適切に行い、その長寿命化を図ることが強く求められている。

今回、リップラップの現状を把握・評価する指標として粒度分布による方法を示した。

ダムの維持管理において、リップラップを定量的に把握でき、これにより必要に応じた詳細調査を実施することで、より高度な管理の合理化に繋がるものと考えられる。

参考文献

- 1) 農業農村工学会論文集 Vol2008(2008) No253 P35-44. 「画像解析によるリップラップ材の現状把握」小林ら