

ロックフィルダムのリップラップの相対的劣化状況診断 Assessment of the relative deterioration of riprap in rockfill dams

○藤枝花奈子*・鈴木麻里子*・井上一哉*
Kanakano Fujieda, Mariko Suzuki and Kazuya Inoue

1. 緒論

ロックフィルダムの機能診断では、堤体の安定性確保やロック材保護を目的として法面に施工されたリップラップを少数抽出し、目視や叩きにて点検する。しかしながら、これらは点検者の経験に依存し、ダム全体のリップラップを客観的に評価する具体的な調査方法は確立されていない¹⁾。そこで本研究では、打音調査によるリップラップの劣化診断手法を提案し、強度測定結果と統合して、リップラップの相対的劣化状況を可視化する。

2. 対象サイト

熊本県阿蘇郡に位置する大蘇ダムは堤高69.9m、堤長262.1mの中心遮水壁型ロックフィルダムである。リップラップにはホルンフェルスが用いられ、隙間を目詰めする張石工法が採用されている。図1に示すように、下流側法面に測線を定め、各測線で10個のリップラップをランダムに抽出し、計105個について打音調査と強度測定を実施した。

3. 打音調査と音響解析

図1に示すように、リップラップの異なる5点をハンマーで叩き、ICレコーダーに打音を記録した。この工程を2回実施し、ハイパスフィルターにて低周波ノイズを除去した。図2に異なるリップラップに対する打音波の例を示す。音響解析ではまず、時間領域において音波の減衰を時間 t における振幅 $y(t)$ の絶対値の近似曲線 $\bar{y}(t)$ として

$$\bar{y}(t) = \omega \times e^{-\lambda t} \quad (1)$$

で表す²⁾。ここに、 ω は初期振幅、 λ は減衰率である。最小二乗法にて減衰率 λ を同定すると、図2に示すように λ の値は異なり、減衰率 λ はリップラップの劣化指標となる。

そして、周波数領域においても劣化指標を定量化するため、高速フーリエ変換を適用し、重心周波数 f を

$$f = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} f_i \times A_i^2}{\sum_{i=0}^{n-1} A_i^2} \quad (2)$$

で求める。ここに、 f_i は i 番目の周波数、 A_i は i 番目の振幅、 n はデータ数である。

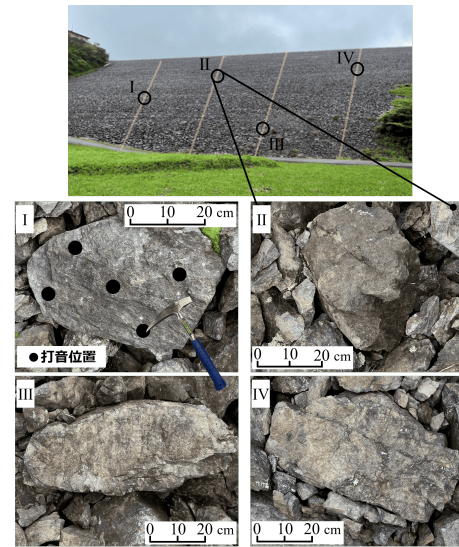


図1：大蘇ダム下流側の堤体とリップラップ

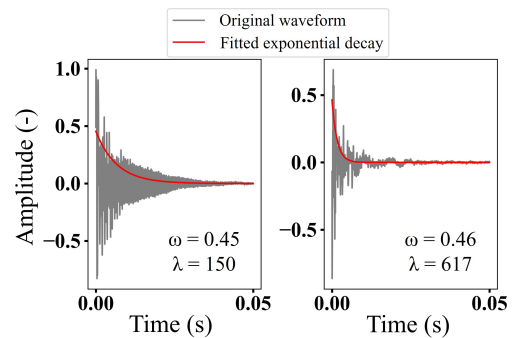


図2：打音波と近似曲線の例

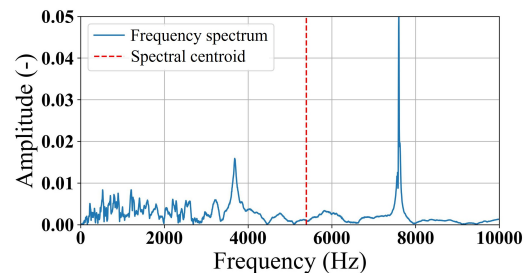


図3：重心周波数の例

* 神戸大学大学院農学研究科：Graduate School of Agricultural Science, Kobe University.

キーワード：リップラップ、機能診断、打音調査、劣化状況診断

各リップラップの劣化指標として、 λ と f のそれぞれに対して10打音の平均値 $\bar{\lambda}$ 、 \bar{f} を算出した。図4に $\bar{\lambda}$ と \bar{f} の関係を示し、カラーバーは近似曲線との誤差を表す。劣化が進行したリップラップほど打音時に摩擦によるエネルギー散逸が生じやすく、また、低周波成分が卓越するため、 $\bar{\lambda}$ と \bar{f} は負の相関を示すと考えられる。そこで、法面全体におけるリップラップの相対的劣化状況を可視化するため、減衰率 $\bar{\lambda}$ と重心周波数 \bar{f} の2つの指標を統合した劣化指標 I を以下に導出する。

$$I = \frac{X - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}, \quad X = \frac{\bar{\lambda}}{\bar{f}} \quad (3)$$

ここに、 x_{max} は X の最大値、 x_{min} は X の最小値である。式(3)に基づき、法面全体の劣化状況を可視化した結果を図5に示す。 I が大きいリップラップほど劣化が進行しており、ダム軸中央部と左岸側中腹部で相対的に劣化が進行している可能性が示唆される。

4. 強度測定

劣化状況評価の信頼性向上のため、本研究ではシュミットロックハンマーで強度を測定した。リップラップの異なる5点を打撃して反発度 R を測定し、平均値 \bar{R} を求めた。減衰率 $\bar{\lambda}$ と \bar{R} の関係を図6に示す。 \bar{R} は主にリップラップの表面硬度、 $\bar{\lambda}$ は内部のクラックや空隙を反映した物理量であり、診ている対象部位が異なるため、弱い相関を示すと推察される。

リップラップの反発度 \bar{R} は2つを除いて36を超えており、岩盤等級A、Bに該当するため、大蘇ダムのリップラップは十分な強度を有しているといえる。健全なリップラップに対する相対的なランク付けのため、打音と強度の結果を統合した劣化指標 J として、

$$J = \frac{Y - y_{min}}{y_{max} - y_{min}}, \quad Y = \frac{I}{\bar{R}} \quad (4)$$

を導入する。ここに、 y_{max} は Y の最大値、 y_{min} は Y の最小値である。式(4)に基づく結果を図7に示す。図7からダム軸中央部や左岸側中腹部で相対的に劣化が進行している可能性が示唆され、音響解析に基づく結果と同様の劣化範囲が確認された。

5. 結論

本研究では、打音調査と強度測定を実施し、ロックフィルダムのリップラップの相対的劣化状況を可視化した。減衰率の高さと重心周波数の低さは岩石の劣化指標として有効であり、分布図からリップラップの相対的な劣化範囲を診断できることが確認された。

参考文献：1) Sakamoto, H. et al.: Riprap deterioration and its influence on slip stability of rockfill dams, ICOLD 2013 International Symposium, 2013. 2) 山下淳他: 画像処理と音響処理の融合による打音検査, 日本機械学会論文集, 2006.

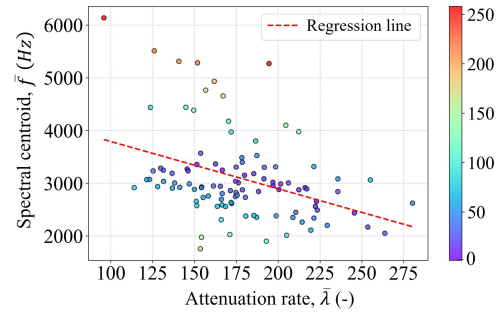


図4：減衰率 $\bar{\lambda}$ と重心周波数 \bar{f} の関係

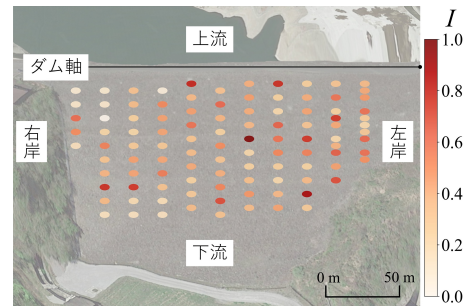


図5：音響解析による劣化状況分布

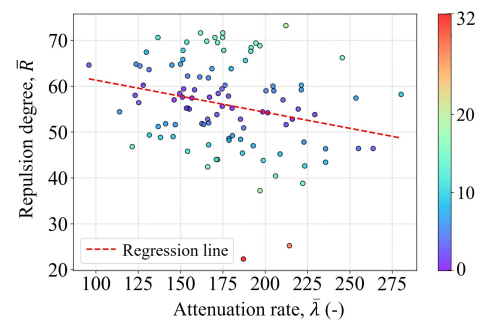


図6：減衰率 $\bar{\lambda}$ と反発度 \bar{R} の関係

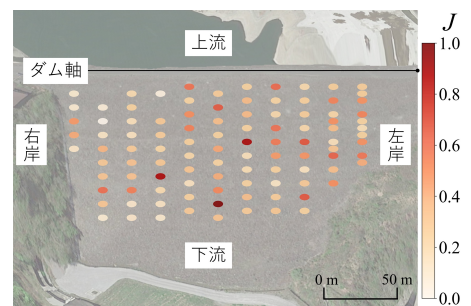


図7：打音と強度に基づく劣化状況分布