レーザー打音によるダムコンクリート斫り面の浮き検知

（株）大林組　　正会員　○阿部　留美子
久保　貴士，新村　亮，
鎌田　知仁，伊与田　宏幸

１．はじめに

近年，気候変動の影響による水害の頻発化・激甚化や，社会資本の老朽化への対応が重要な課題となっている．このような状況の中，既設ダムの機能向上や長寿命化を目的としたダム再生事業が全国で進められている．さらに，建設業では担い手不足や熟練技術者の高齢化が進行しており，国土交通省はインフラ DX および i-Construction 2.0 を推進し，建設現場のオートメーション化やデジタル技術による生産性向上，安全性向上を目指している．

ダム再生事業におけるダムの嵩上げ工事や放流管増設工事では，既設構造物と新設コンクリートの接合部を一体化し，止水性を向上させるため，既設コンクリート表面の斫り作業が行われる．斫り面の品質確保のため，これまでは熟練技術者による打音検査によって骨材の浮きや緩みを判定してきた．しかし，この方法は判定結果が技術者の経験や技能に依存するため定量化が難しく，高所や狭隘部での作業には安全上の課題があった．

そこで，非接触でコンクリート表面の振動を計測できるレーザー打音技術に着目し，斫り面に生じた骨材の浮きや緩みを安全かつ定量的に評価する技術の開発を進めている．本技術は，従来の熟練技術に依存した検査業務をデジタル化し，品質確保，安全性向上および省人化に寄与するものであり，国土交通省が推進する建設現場のオートメーション化やデータ活用の高度化にも資する技術として期待される．

本報では，ダム再生事業現場において実施した実証実験結果をもとに，レーザー打音技術によるコンクリート斫り面の浮き・緩みの検知について報告する．

２．レーザー打音技術概要

レーザー打音技術は，コンクリート表面にパルスレーザーを照射して微小な振動を励起し，その振動を振動計測レーザーにより非接触で計測することで，コンクリートの剥離や骨材の浮きおよび緩みの有無を判定する技術である．本技術は，従来の検査用ハンマーによる打音検査をレーザーで代替したものであり，トンネルの覆工コンクリートの点検への適用実績を有する．検査用ハンマーに相当するパルスレーザー，音を聞く耳に相当する振動計測レーザー，および検査位置へレーザーを導くスキャナを組み合わせて検査を行う．打音検査技術のイメージを**図-1** に示す．

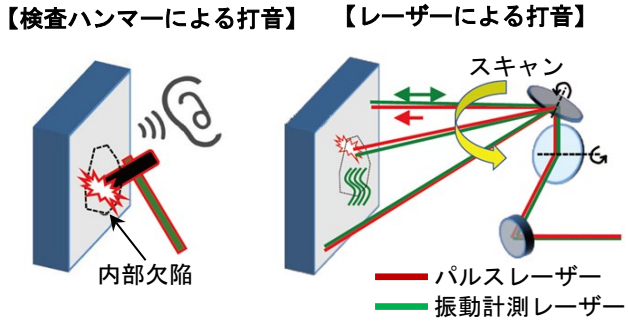


図-1　打音検査技術イメージ図

３．室内試験

実証実験に先立ち，レーザー打音技術による骨材の浮き検知性能を確認するため，室内試験を実施した．30cm×30cm×10cm の型枠にモルタルを打設し，一般的なダムコンクリートに用いられる粒径 50～150mm の粗骨材を埋設して，供試体を作製した．比較対象として，粗骨材を



図-2　製作した供試体（左：健全，右：浮骨材）

キーワード　レーザー打音，コンクリート骨材，斫り面，ダム再生，建設 DX
連絡先　〒108-8502　東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ B 棟　株式会社大林組　ＴＥＬ03-5769-1321

モルタルに正常に付着させた供試体と，骨材表面にパラフィンまたは食用ラードを塗布して埋設し，硬化後にこれらを溶融・除去することで骨材の浮き状態を模擬した供試体を準備した（**図-2**）．

室内試験では，パルスレーザーを用いて骨材表面に微小な振動を励起し，レーザー振動計により応答振動を非接触で計測した．レーザー発振器から供試体までの距離は約 5m とし，取得した振動波形に対して周波数解析を行った．**図-3** に試験装置イメージ，**表-1** に室内試験から得られた振動の時間波形と振動のスペクトルを示す．

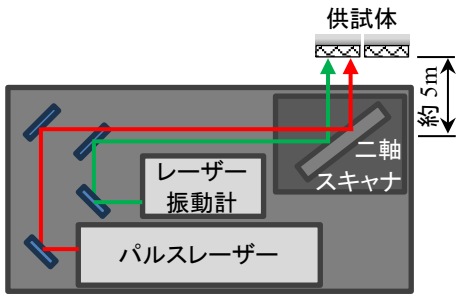
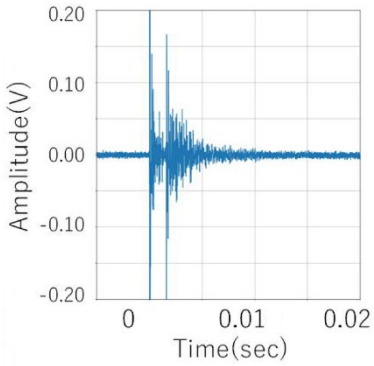
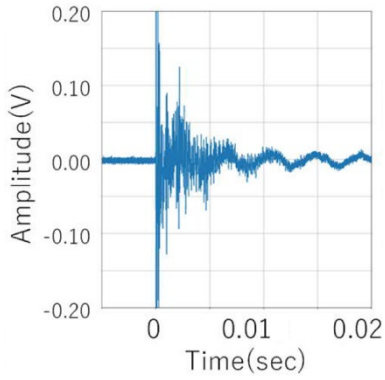
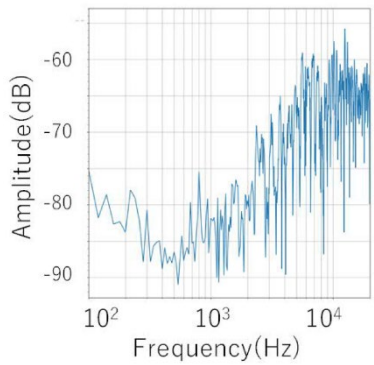
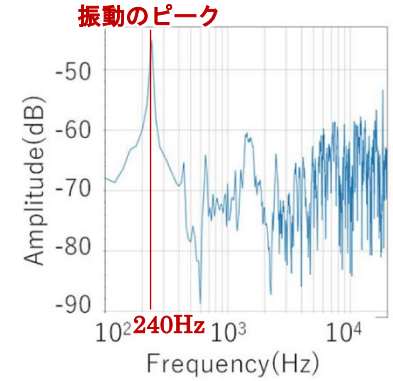


図-3　試験装置イメージ

表-1　室内試験結果

	健全供試体	浮骨材供試体
振動の 時間波形		
振動の スペクトル		

室内試験の結果，健全部分と骨材が浮いた部分ではレーザー振動計で計測された振動波形および振動のスペクトルに明確な違いが確認された．健全部と比較して浮骨材では振動継続時間が長く，240Hz 付近に特徴的な周波数のピークが現れることを確認した．このことから，レーザーによる遠隔計測によって骨材の浮き状態を識別できる可能性が示された．

4．実証実験

室内試験の結果から，レーザー打音技術により一般的なダムコンクリートで使用されている粒径 50～150mm の粗骨材の浮きを判定できると考えられたことから，既設ダム堤体の斫り面で実証実験を実施した．実証実験は独立行政法人水資源機構発注の早明



図-4　実証実験の作業手順

浦ダム再生事業増設洪水吐き工事（高知県土佐郡土佐町）の堤体削孔現場において実施した．実証実験の手順は下記のとおりである（**図-4**）．

(1) 検査用ハンマーによる打音検査

熟練技術者が打音検査用ハンマーを使用して，ダムの堤体削孔内の近接点検を行う．検査用ハンマーによる打音検査では，健全部およびコンクリート骨材の浮き等による不健全部，それぞれの位置をマーキングし，可視化する．

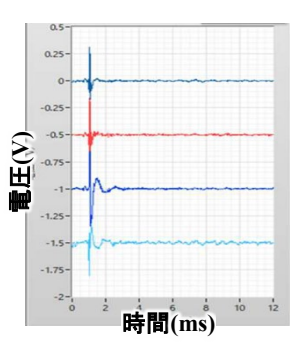
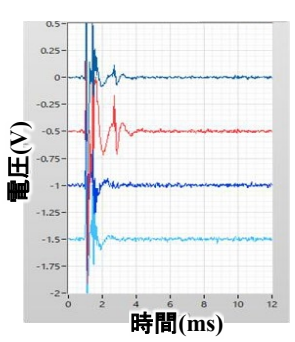
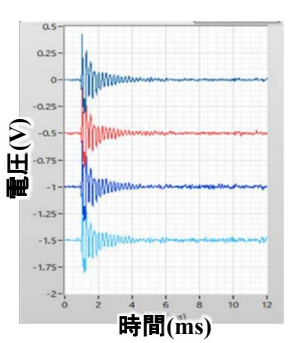
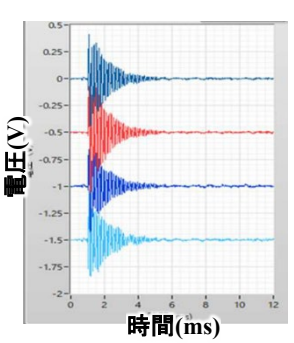
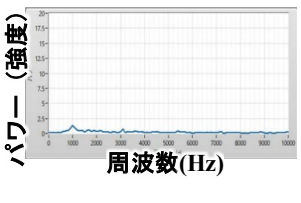
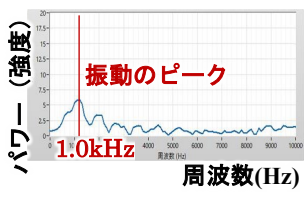
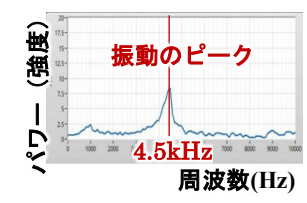
(2) レーザー打音検査

堤体削孔内にレーザー打音検査装置を搭載した 4t トラックを搬入し，熟練技術者がマーキングした箇所にパルスレーザーを照射して振動を計測する．1 箇所の計測で 500mm×500mm の範囲を 50mm 間隔で照射し，各測定点について 3 回の照射結果の平均値を用いて周波数解析を実施した．本実証実験では，57 箇所でレーザー打音検査を行った．

(3) レーザー測量

レーザースキャナおよび UAV を使用して，検査箇所の正確な位置情報を取得する．

表-2　レーザー打音検査による振動波形および周波数スペクトルの例

技術者の判定	健全	不健全	不健全	不健全
振動の時間波形				
振動のスペクトル				

実証実験を行った結果，熟練技術者による打音検査で健全と判定された箇所において，レーザー打音検査で減衰振動や周波数のピークは確認されなかった．一方，熟練技術者が不健全と判定した箇所では，特徴的な減衰振動および周波数のピークが確認され，コンクリートの剥離や骨材の浮きおよび緩みを検知できることが確認された．不健全部では，振動励起後の減衰振動が継続して観測されるとともに，周波数の解析結果から 1.0kHz～7.0kHz の周波数のピークが確認された（**表-2**）．一部の計測箇所では粉じんの飛散によるレーザー光の散乱に起因すると考えられるノイズが確認されたものの，振動励起のタイミングや周波数の特性を確認することで，健全部と不健全部の識別が可能であった．

表-3　周波数のピークから推定される コンクリートの浮き厚さ

不健全部の大きさが半径 50mm の場合

周波数のピーク	浮きの厚さ
1kHz	3.2mm
4.5kHz	14.4mm
7kHz	22.4mm

凡例 ■：判定結果

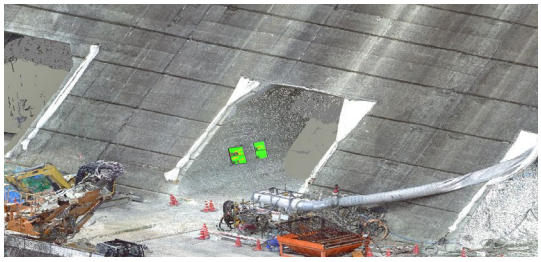


図-5　判定結果を表示した 3D 点群データ

また，戸本らの研究[1)]を参考に，振動のピーク時の周波数から不健全部のコンクリートの浮き厚さを推定する手法を適用し，浮きの程度を定量的に評価できることを確認した．表-3 に不健全部の大きさが半径 50mm の場合の周波数毎に推定した浮き厚さの一例を示す.

さらに，判定結果をレーザースキャナおよび UAV により取得した点群データ上に表示することで，計測結果を三次元空間上の正確な位置座標と紐づけて管理できることを確認した（**図-5**）.

５．まとめ

本報では，レーザー打音技術を用いたダムコンクリート斫り面の浮き・緩み検知について検討した．室内試験では，健全部と骨材の浮きが生じた部位で異なる振動特性が確認され，レーザーによる遠隔計測で骨材の浮きを識別できる可能性を確認した．また，早明浦ダム再生事業における実証実験では，熟練技術者による打音検査結果とレーザー打音検査結果に良好な対応が認められ，ダムコンクリート斫り面においても浮き・緩みを検知できることを確認した. さらに, 周波数解析結果から浮きの程度を定量的に評価できる可能性が示された.

本技術は，熟練技術者の経験に依存していた打音検査をデジタルデータとして取得・記録できるため，検査結果の客観化および品質の均一化に寄与することが期待される．また，高所や狭隘部における近接作業を低減できることから，作業者の安全性向上にも有効である.

さらに，将来的にはレーザースキャナや UAV による三次元点群データ，BIM/CIM と連携することで，不健全部の位置や健全度を空間情報として管理することが可能となる．これにより，施工管理だけでなく維持管理段階まで含めたデジタルツインの構築や, 検査履歴の蓄積による経年変化の把握にも活用できると考えられる.

加えて, 今後さらなる計測の自動化や AI による判定技術の高度化が実現すれば, ダム再生事業のみならず, コンクリート構造物全般の点検への展開も期待できる．本技術は，国土交通省が推進するインフラ DX や i-Construction 2.0 における検査・施工管理のオートメーション化を支える技術として，省人化，安全性向上および維持管理の高度化への貢献が期待される.

謝辞

本開発にあたり, 独立行政法人水資源機構吉野川上流総合管理所早明浦ダム再生事業推進室の皆様に多大なご協力を頂きました．ここに感謝の意を表します.

参考文献

1) 戸本悟史ほか : ラスター（格子状）スキャン機能を有するレーザー打音検査装置を用いたトンネル覆工コンクリートの診断支援技術の高度化に関する研究，土木学会構造工学論文集，68A pp. 671-684, 2022