

「道路政策の質の向上に資する技術研究開発」（令和 4 年度採択）  
研究概要

番号	研究課題名	研究代表者
No.2021-5	レーザー打音検査装置を用いた橋梁・トンネル等の道路構造物のうき・剥離の定量的データ化による診断技術の技術研究開発	名古屋大学 教授 中村 光

トンネル点検で社会実装が進みつつあるレーザー打音検査装置について、音波ではなくコンクリート表面の変位（動き）を遠隔で計測できるレーザー打音検査装置の特徴を活かし、「うき・剥離の状態」を定量的データ化することで、検知・記録から診断する技術へ進化させ、橋梁等の道路構造物にも適用範囲を広げるとともに、従来点検以上の品質と効率性の向上を実現する。

1. 研究の背景・目的

橋梁、トンネル等の道路構造物へレーザー打音検査装置の適用範囲を拡大し、広く社会に普及させていくためには、1) レーザー打音検査装置の操作性向上や準備、作業時間の短縮化といった効率性向上、2) より離れた位置から検出が可能となるレーザー照射技術、3) うき・剥離に対する検出精度の向上、4) 診断に必要な定量的な情報提供等に課題がある。本研究は、この 4 点の課題を解決することで、レーザー打音検査装置の社会実装を大きく前進させることを目的とした。

2. 研究内容

【テーマ 1】「レーザー打音検査装置による計測方法の高速化技術の開発」

計測時間は、人力打音検査時間の約 4.2 倍掛かっていたが、障害物やひび割れの AI 抽出手法結果と組み合わせることで、自動化による計測準備時間短縮、照射範囲適正化による計測範囲縮小を実現する制御機能を開発し、約 2.2 倍まで短縮した。

【テーマ 2】「レーザー打音検査装置の橋梁構造物点検に向けた改良」

可搬型長距離レーザー打音検査装置を開発した。橋梁実構造物の欠陥検知試験では、距離 30m、入射角 45 度の条件下で、点検技術者がレベルⅡと判定した欠陥の検知に成功した。

【テーマ 3】「レーザー打音検査装置への複数の状態の異なるうき・剥離の検出能力付与」

短期間に状態の異なるうき・剥離を模した供試体を作成する方法を考案し、多数の損傷供試体の試験から、レベルⅠ～Ⅲのうき・剥離の検出が可能なることを確認した。また、道路橋、道路トンネルの実構造物で点検技術者がレベルⅡと判定した範囲の検知に成功した。

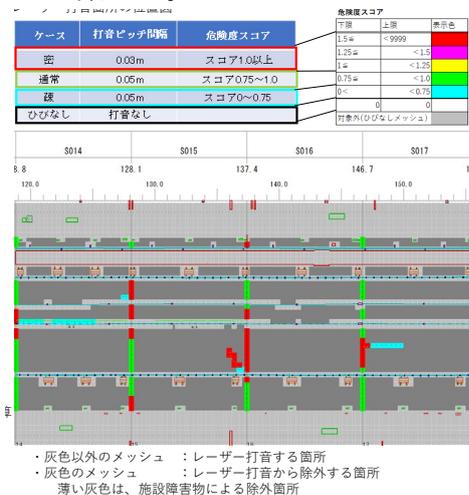
【テーマ 4】「継続的な観察や措置に役立つ記録様式と診断支援となる閾値や評価方法の構築」

レベルⅡとレベルⅢを分離する新しい評価方法として、減衰波形の減衰過程に着目した「正規化波形エネルギー積算値曲線」を用いた「減衰グラフ評価法」を立案した。

3. 研究成果

【テーマ 1】障害物の AI 抽出開発は、障害物画像をベースにした約 5 万個の深層学習により、MIMM 取得画像の障害物を 90% 以上の抽出率で自動抽出できる事を確認した。ひび割れ密集範囲の AI 抽出開発は、AI 抽出したひび割れ密集範囲の密度や交差数から、剥離につながる危険度スコア計算の処理ロジックを構築した。トンネル構造物実証実験では、図-1 に示すように、ひび割れ密集目地部への打音範囲絞り込みと適切な打音ピッチ設定に成功した。座標指示による計測準備時間短縮、照射範囲の適正化による計測範囲縮小により、計測時間の高速化を実現した。

【テーマ 2】レーザー打音のロングレンジ化の技術開発を行い、供試体を用いた性能評価において、距離 40m・入射角 60 度で深さ 10mm の欠陥、距離 40m・入射角 45 度で深さ 30mm の欠陥の検知に成功した。

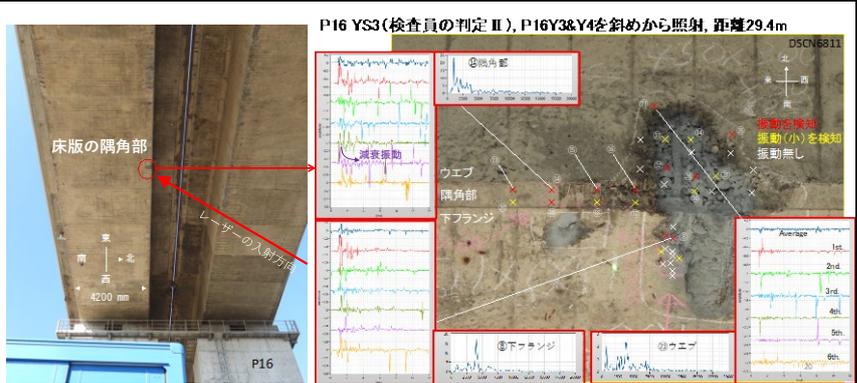


また、可搬型長距離レーザー打音検査装置を開発し、橋梁実構造物の欠陥検知試験では、**図-2**に示すように、距離 30m・入射角 45 度の条件下で、点検技術者がレベル II と判定した欠陥の検知に成功した。

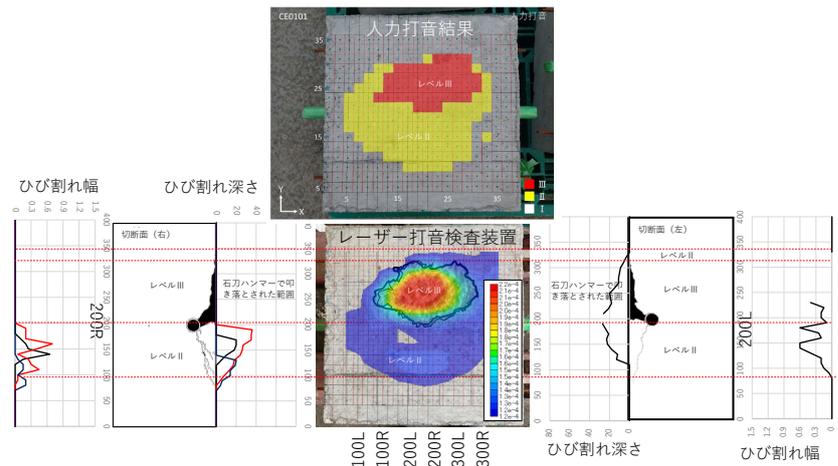
【テーマ 3】状態の異なるうき・剥離を模した供試体を静的破砕剤により内部膨張圧を与えて短期に作成する方法を立案し、28 供試体に対する供試体実験を行った。

①レーザー打音、②点検技術者による打音検査、③AI 打音チェッカー、④鋼球落下試験、⑤叩き落とし、⑥切断を行い、レベル I ～III のうき・剥離の検出が可能なことを確認した。また、道路橋、道路トンネルの実構造物でも適用性を確認した。

【テーマ 4】レベル II とレベル III を分離する新しい評価方法として、減衰波形の減衰過程に着目した「減衰グラフ評価法」を立案した。



**図-2 橋梁実構造物における実証実験結果**



**図-3 供試体を用いた人力打音検査との比較検証**

また、レーザー打音の高速化により計測点間隔が広がることも想定し、面的な損傷が点で計測されることに対する面的評価法も合わせて立案した。これにより、計測結果をコンタ表示することを可能とした。レベル II と III の検知範囲は、**図-3**に示すように、人力打音検査結果、供試体切断面と整合する結果を得ることに成功した。

#### 4. 主な発表論文

- ・戸本悟史, 長谷川登, 岡田大, 近藤修司, 北村俊幸, 錦野将元, 中村光: 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, Vol. 68A, pp. 671-684, 2022.
- ・中村光, 戸本悟史, 松永輝, 杉山風雅, 三浦泰人, 辻健斗: 静的破砕剤による各種形態と損傷度を有する模擬腐食ひび割れの生成法の提案, 構造工学論文集, 69A, pp. 718-733, 2023.
- ・長谷川登, 錦野将元, 岡田大, 近藤修司, 坂本勝哉, 木暮繁, 安倍正道, 戸本悟史, 中村光: ジュール級パルスレーザーによるインフラ先進診断 -レーザー打音法-, レーザー研究, Vol. 51, 9号, 2023, accepted.

#### 5. 今後の展望

レーザー打音検査装置の社会普及が進めば、うき・剥離の状態をコンクリート表面の振動値という定量的なデータで記録することが容易となる。これにより、定量的データに基づく診断支援、劣化進行度の評価、正確な位置情報の取得を実現することができ、維持管理サイクルの高度化が期待できる。点検支援技術として広く社会普及するためには、さらなる高速化を進め、従来点検コストと同等以下までコストを圧縮することが必要である。

#### 6. 道路政策の質の向上への寄与

レーザー打音検査装置は、本研究の成果を用いて点検現場におけるレーザー照査範囲の設定から計測値による診断までの一連のプロセスを自動化することができれば、経験の浅い点検技術者でも容易に操作が可能となる。これにより、将来の点検技術者不足に対応することができる。

#### 7. ホームページ等

特になし