

プロジェクト・研究成果の概要(1/2)

プロジェクト:「橋面より実施する簡易な橋梁点検システムに関する研究」

プロジェクトリーダー

・氏名(ふりがな):磯 雅人(いそ まさと)

・所属、役職:福井大学大学院工学研究科 建築建設工学専攻, 准教授

研究期間:平成27年1月～平成29年3月

プロジェクト参加メンバー(所属団体名のみ)

福井大学, ジビル調査設計(株), 福井県建設技術研究センター

プロジェクトの背景・目的(研究開始当初の背景、目標等)

平成 26 年7月より, 橋梁, トンネル等の点検を5年おきに実施することが義務化された。そのため現在, 点検技術者ならびに点検資材の不足が深刻な社会問題となっている。そのため, 写真1に示すアーム型の点検ロボット(見る診る:みるみる)を開発し, すでに点検の支援等に活用されているところである。本研究では, さらなる点検支援および診断に際しての有用な補完データを提供するために以下の2つの開発を行う。一つは, 橋梁点検ロボット「見る診る」に搭載されているハイビジョンデジタル(HD)カメラにより撮影した静止画像から, 0.1mm以上のひび割れ幅を検出でき, 点検員が行うのと同レベルの損傷図(Ex.床板のひび割れ図)をおこす技術を開発し, 点検員の作業負担を軽減できる点検支援技術を開発する。二つ目は, 非破壊試験によるデータから内部損傷を把握するための技術開発を行い, 外観, 近接目視からは得られない有用な補完データを提供し, 支援するものである。具体的には, 「HDカメラ」, 「赤外線サーモ」, 「打診機器」の3つ機器から得られるデータから被りコンクリートの浮き・剥離を判定するための技術を開発する。



写真1 「見る診る」の全景

プロジェクトの研究内容と成果概要

①非破壊試験を用いた健全度評価手法の開発

■①-1 目的■ 損傷部位(浮き・剥離)を有する実橋梁を用いて, 健全部と損傷部での回転式打撃ハンマーによる打音特性を明らかにし, 健全部と損傷部の判定手法について提案することを目的。

■①-1 実験概要■ 試験場所(写真2)は 0 橋である。試験部位は外側桁の側面の健全部と損傷部(写真3)である。健全部は a-line(青線)の1箇所を水平方向に回転打撃した。損傷部は a-line(赤線), b-line(黄色線)の2箇所を水平方向に回転打撃し, その打音をマイクで収録し, その打音特性について検討した。



写真2 0橋の全景写真

■①-1 成果概要■ 回転式打撃ハンマーの打撃により得られた音圧の時刻歴波形を周波数分析し, 健全部と損傷部の卓越周波数をそれぞれ算出。その卓越周波数中の第1フォルマント(F1)の値をX軸, 第2フォルマント(F2)の値をY軸とするX-Yグラフにプロットし, 健全部と損傷部のF1-F2分布を作成。その差異から健全部と損傷部を判定する一手法を提案した。その妥当性を検証するために, 損傷部を有する実橋梁の打音検査を行った。その結果, 健全部と損傷部とでプロットされる領域が明らかに異なり, とくに損傷部の F2 の卓越周波数の値は健全部の卓越周波数に比較して高くなる傾向が認められた(図1参照)。以上より, 本提案手法を用いて健全部と損傷部を判断できる可能性があることを示した。

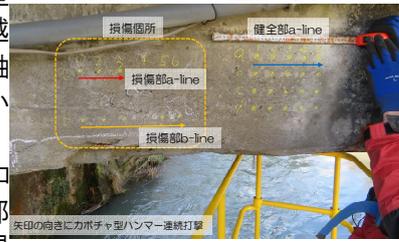


写真3 回転式打撃試験の試験部位

■①-2目的■ 人工欠陥を有する鉄筋コンクリート供試体の回転式打撃による実験を行い, コンクリートの健全度評価法の有用性について検討することを目的。

■①-2実験概要■ 図2に人工欠陥(空隙)を有する供試体を示す。人工欠陥(空隙)の位置は表面から10, 15, 20, 30mmの4水準とした。以上の供試体を用いて回転式打撃による加速度, 打撃音を計測し, その特徴について検討した。

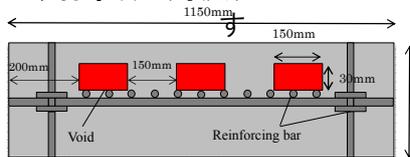


図2 人工欠陥供試体

■①-2成果概要■ 周波数特性(図3参照)において, 加速度に比べて打撃音の方が, 健全部と欠陥部の支配的な周波数に違いが見られた。打撃音の周波数スペクトルにおいては, 欠陥深さの違いがピーク周波数およびそのピーク値にも現れており, 打撃音の周波数スペクトルを基に欠陥の有無を判別

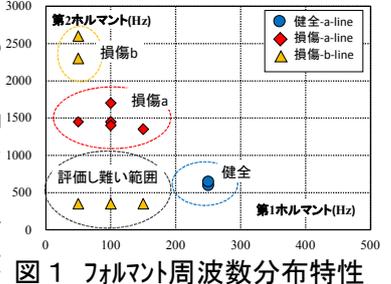


図1 フォルマント周波数分布特性

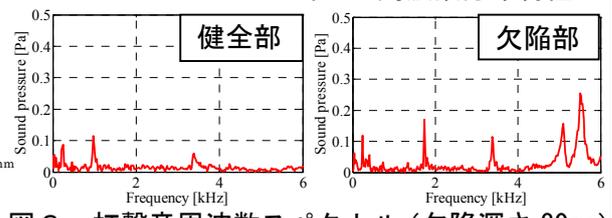


図3 打撃音周波数スペクトル(欠陥深さ 30mm)

る場合には, 欠陥深さの検討も可能と考えられる。

②実橋梁を用いた本橋梁点検システムの妥当性の検証と評価

■②-1 目的■ 従来の点検方法で得られた損傷図と橋梁点検支援ロボットで撮影された画像より抽出・作成した損傷図について比較・検証することを目的。

■②-1 実験概要■ 試験場所(写真4参照)は福井大橋(福井県坂井市丸岡町字随), 下り線, P9~10 径間(写真4右の赤で囲った部分)である。試験は 4K カメラ近接撮影より得られた静止画像から損傷図を作成する方法(以下, 4K カメラ近接撮影法)と従来行われている点検作業員が点検用の車両に乗り込み, 床版を近接目視点検を行い, チョーキング, スケッチにて損傷図を作成する方法(以下, 従来法)で損傷図の比較, 検証を行った。

■②-1 成果概要■ 図4に4K カメラ近接撮影法によるひび割れ図を, 図5に従来法によるひび割れ図を示す。本実験により得られた知見を以下に示す。

- (1)本試験の撮影条件*である撮影距離 1.0m の画角においては, 0.1mm~0.2mm のひび割れ検出量は, 従来法と同程度以上の検出が可能であった。0.1mm 以下のひび割れに関しても検出率は 98% でほぼ同等の検出結果であった。
- (2)ひび割れの発生位置は, 画像からのひび割れ抽出を正確に作成する事が可能である。
- (3)撮影画像にひび割れ強調化処理を行う事で, ひび割れの検出精度が向上し, 0.1mm 以下のひび割れを検出する事が可能となる。
- (4)従来手法とのコスト比較では, 現場作業の時間短縮効果が大きく, 内業作業も含めた一連の作業コストで 50% 以上のコスト低減効果が可能である。
- (5)近接撮影による画像解析で0.1mmのひび割れを検出するための撮影条件として, 本試験で設定した撮影条件の現場適用性は高く, 従来の点検手法を十分に補完・支援可能と考える。

*本研究で提案する撮影条件(0.1mm 以上のひび割れ幅を検出するための静止画像の撮影条件)

- ・使用カメラ: 画像素子センサー1.0 型・記録画素数: 2000 万画素以上
- ・撮影距離 : 1.0m. 光学ズームの場合は, 1.0mの撮影距離隔距離となるような画角サイズ
- ・撮影照度 : 1000lux 以上

■②-2目的■ 点検員が橋梁点検車を使用して直接打診点検を実施した実橋梁を対象に, 橋梁点検支援・補完ロボットの打診点検システムによる点検(図6)を実施し, 点検精度の妥当性検証と作業効率を検討し, 本点検システムの有効性について確認することを目的。

■②-2 実験概要■ 試験場所(写真2)は, O 橋(橋長 11.8m, 有効幅員 5.5m)である。試験は 4K カメラによる近接撮影で躯体表面の劣化状況を点検, 赤外線サーモによる損傷個所の検出を行い, 従来手法による近接目視・打診点検結果と比較, 検証を行った。

■②-2 成果概要■ 本実験により得られた知見を以下に示す。

- (1)本打診点検システムの「①目視点検でのコンクリート表面の劣化損傷抽出(写真5)」及び「②赤外線サーモグラフィ(パッシブ法)によるコンクリート内部劣化の抽出(写真6)」によるスクリーニングで, 従来の直接打診法による浮き損傷検出と同等の精度を確保する事が可能である。
- (2)赤外線サーモ(パッシブ法)では, 熱源である外気温度をモニターし, 温度変化を確認する必要がある。本研究の範囲内では, 推奨される外気温度の温度変化は 2°C/h 以上である。また, 温度変化が 1°C/h 以下の場合には検出率が低下するため, その適用に留意する必要がある。
- (3)温度変化が無い環境下の場合, 夏季期間(高温時)では散水冷却によるアクティブ法が有効である。一方, 冬季期間(低温時)では, 3 分間加熱によるハロゲンライト光源を用いた加熱式アクティブ法を適用した場合は, コンクリートの厚さ5mm 程度までの表面の浮きの抽出には効果的であるが, 40~50mm 程度の厚さのかぶりコンクリートの検出には熱量が不足する。



写真4 現場状況写真

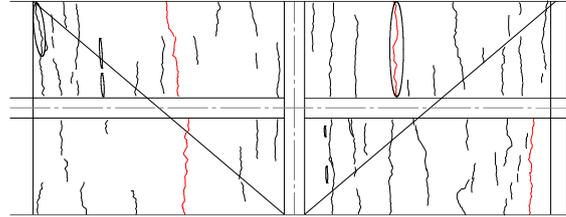


図4 4K カメラ近接撮影法によるひび割れ図

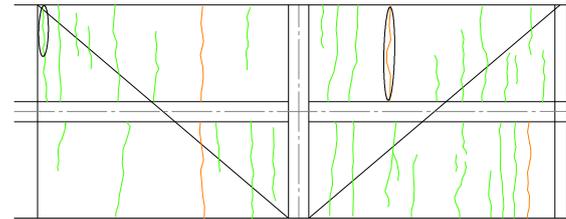


図5 従来法によるひび割れ図



図6 打診点検システムの点検フロー

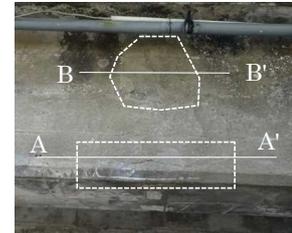


写真5 可視画像

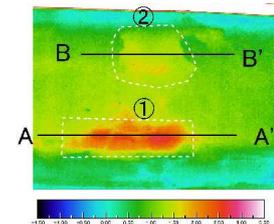


写真6 熱画像