

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28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(視る診る: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、さらなる支援および診断を行うための有用な補完データを提供するための2つの開発を行う。一点目は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こと。二点目は、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。本研究の具体的な開発目標を以下の①, ②に示す。



写真1 「視る診る」の全景

- ①「視る診る」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する。
- ②「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。

プロジェクトの研究内容(研究の方法・項目等)

①静止画像取得方法に関する研究開発 損傷図をおこすのに必要な静止画像取得のための「撮影条件」を明らかにするため、以下の①-1, ①-2の実験を実施した。

■①-1 室内実験■ 写真2に室内実験の状況を示す。強制的に損傷を与えた試験体にクラックスケールを貼付し、撮影条件(カメラの性能、カメラの固定の有無、撮影距離、撮影角度、照明(照度、色))を変化させて、0.1mm以上のひび割れ幅を判読可能とする撮影条件を明らかにした。

■室内実験の状況■



写真2 室内実験の状況

■①-2 実橋梁を用いた検証実験■ 写真3に検証実験の状況を示す。実橋梁を用いて、①-1 室内実験で得られた撮影条件を参考に、静止画像を取得し、解析ソフト等により損傷図をおこし検証すると同時に、点検員により作成された損傷図と比較を行った。



「視る診る」による損傷調査

点検員による損傷調査

写真3 検証実験の状況

②非破壊試験を用いた健全度評価手法の開発 コンクリートの浮き・剥離を判定するためのフローを図1に示す。水平アームに搭載された「HD カメラ」により表面の劣化・損傷を先ず抽出する。次に「赤外線サーモ」により内部劣化が生じている範囲を特定する。最後に、その判定の妥当性を検証するために「打診」するフローとした。本年度は、損傷(空隙、剥離)を模擬したコンクリート試験体を用いて以下の②-1, ②-2の試験を行った。

■②-1 インパクトハンマーを用いた打音試験によるコンクリートの空隙・剥離の評価方法を検討するための試験概要■ 写真4にコンクリートの空隙・剥離試験体の一例を示す。試験体形状は 10×10×40cm, 15×15×53cm のコンクリートの試験体である。

試験体は基準の無損傷の試験体。空隙試験体はスタイロフォームにより空隙を模擬し、空隙位置を10, 30mmと変動させた。剥離試験体は鉄筋とコンクリートとの界面にテフロンシートを挿入して剥離を模擬し、剥離位置を10, 30mmと変動させた。試験体は計10体である。写真5左に試験状況を示す。試験は損傷がある上面部分の中央をインパクトハンマーで打撃し、その時の打撃力、応答加速度、打撃音を計測し、空隙、剥離の有無、損傷位置が与える影響を確認した。また、インパクトハンマー先端の材質を、軟質ゴム、スチール、点検ハンマーの3種類について行い、その影響を確認した。

■②-2 赤外線サーモグラフィを用いたコンクリートの空隙・剥離の評価方法を検討するための試験概要■ 写真5右に試験状況を示す。試験体は②-1 で示したコンクリート試験体であり、左から健全試験体、空隙位置 30mm の試験体、剥離位置 30mm の試験体、空隙位置 30mm の試験体のスケールを1.5倍にした試験体の計4体である。

試験は自然熱源のパッシブ法、散水冷却によるアクティブ法で行った。



図1 浮き・剥離の判定フロー

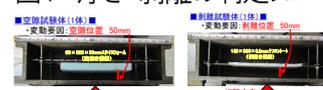


写真4 コンクリートの空隙・剥離試験体の一例

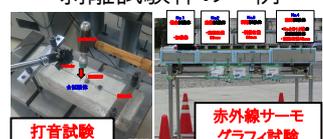


写真5 試験状況

プロジェクト・研究成果の概要(2/2)

プロジェクトの研究成果の概要(図表・写真等を活用しわかりやすく記述)

①静止画像取得方法に関する研究開発の成果概要

■①-1 室内実験の成果概要■ 図2に室内実験で得られた実験結果の一例を示す。縦軸に撮影距離、横軸にカメラの性能をとった場合のマトリクスを表示しており、その組み合わせで撮影したクラックスケールの画像を示している。撮影距離は1m, 2mの2水準、カメラは左から性能が良い順に並んでおり、一眼レフカメラ、「見る診る」に搭載しているHDカメラ、一般的に使用されるコンパクトカメラの順に並べている。これより、撮影距離1m, 照度が約1000(lux), HDカメラ以上の性能があれば、0.1mm以上のひび割れ幅の判読は可能であった。上記実験以外の結果も含めて、0.1mm以上のひび割れ幅を判読するのに必要な「撮影条件」を以下にまとめる。

撮影条件	撮影カメラ種類 (画像センサーの広げ 記録画素数)		
	一眼レフ デジタルカメラ (373mm ² , 2400万画素)	ハイビジョン ビデオカメラ (116mm ² , 2000万画素)	コンパクト デジタルカメラ (28mm ² , 1605万画素)
撮影距離 1.0m 照度 約1,000lux	○	○	○
撮影距離 2.0m 照度 約500lux	×	×	×

図2 室内実験の実験結果の一例

(1)一眼レフやHDカメラの画像センサー(面積:116~373mm²)および記録画素数(2,000~2,400万画素)程度の性能であれば、撮影距離を1m程度まで近接させる必要がある。

(2)照度は水平アーム上の揺れを考慮に入れると1,000(lux)程度の明るさが望ましい。

(3)斜めからの撮影は照明の光の写り込みが回避でき、ひび割れが若干、濃く写る。

■①-2 実橋梁を用いた検証実験の成果概要■ 図3に実橋梁による検証実験の実験結果を示す。従来法のチョーキングで得られたものを写真に示す。これを正解値としました。HDカメラによる静止画像の撮影は以下の3方法で行った。ケース1は撮影距離1.0m, ケース2は撮影距離2.0m, ケース3は撮影距離2.3mとし、いずれのケースもLED照明有りとした。また、画像処理でひび割れの輪郭を強調する画像処理を行い検出精度に与える影響を確認した。以上より、撮影距離1.0mでは、画像処理前で0.1mm幅を、画像処理後で0.08mmのひび割れの抽出が可能であった。また、撮影距離2.0mでは、画像処理を行う事で0.1mm幅の抽出が可能であった。撮影距離2.3mでは、画像処理後も0.1mm幅の完全な抽出は困難であった。パネル全体のひび割れの検出率では、撮影距離1.0m, 2.0mともに、チョーキング以上のひび割れが観察され、特に0.1mm~0.2mmのひび割れ幅の検出率が優れていることが明らかとなった。

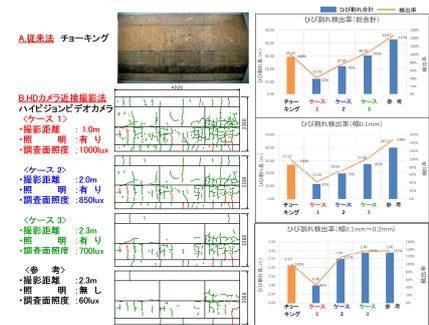


図3 実橋梁による検証実験の実験結果

②非破壊試験を用いた健全度評価手法の開発の成果概要

■②-1 インパクトハンマーを用いた打音試験の成果概要■ 図4に打撃をハンマーヘッドで行った剥離試験体の打音試験の結果を示す。上の3つ並んだ図は、左から打撃により得られた時刻歴の応答加速度、打撃力、音圧である。図中の赤線は健全試験体、青線は深さ10mm、緑線は30mmの位置に剥離を設けた試験体である。下の2つの図は、上記で示した3つの図をそれぞれフーリエ変換し、左図は応答加速度を打撃力で除して正規化した加速度応答スペクトルである。右図は音圧を打撃力で除して正規化した音圧スペクトルである。以上の方法により、剥離の有無および位置を特定できる可能性が示唆された。

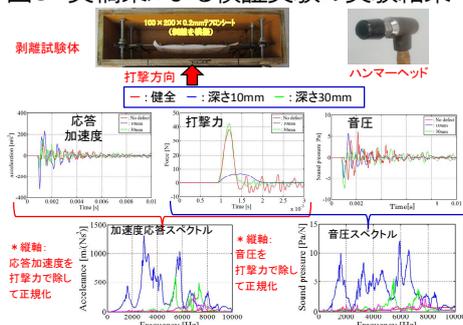


図4 打音試験の結果の一例

■②-2 赤外線サーモグラフィ試験の成果概要■ 図5に自然熱源によるパッシブ法の結果を示す。試験体は左から空隙位置30mmの試験体、剥離位置30mmの試験体、空隙位置30mmの試験体のスケールを1.5倍にした試験体である。青線は空隙、剥離の範囲を示している。①は9:30の状態、②は11時、③は14時の状態である。これより、11時台の健全部と損傷部位との温度差が最もあり、最適な撮影時間帯は午前中と考えられる。ただし、熱源である外気温度をモニターし、温度変化があることを確認する必要がある。なお、本実験の外気温度の変化は6°C/hであった。図6に散水冷却によるアクティブ法の結果を示す。試験体の並び順は図5と同様である。赤線は空隙、剥離の位置を示している。①は熱負荷直前の温度飽和の状態である。②は噴霧器により散水冷却後、気化熱により温度低下している状態である。④は、健全部と損傷部位との温度差がもっとも開いた状態のものを示している。以上より、散水冷却による簡易な方法でも、変状部の検出が可能であることが分かった。

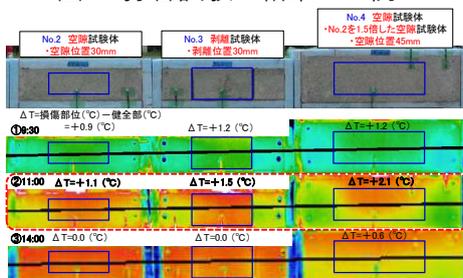


図5 自然熱源によるパッシブ法の結果

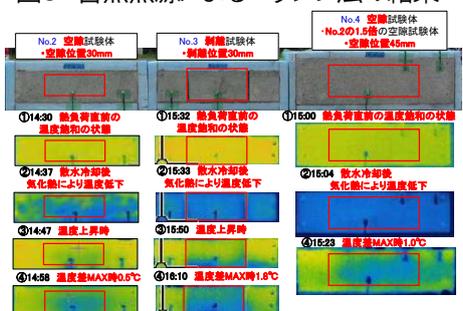


図6 散水冷却によるアクティブ法の結果

試験体の並び順は図5と同様である。赤線は空隙、剥離の位置を示している。①は熱負荷直前の温度飽和の状態である。②は噴霧器により散水冷却後、気化熱により温度低下している状態である。④は、健全部と損傷部位との温度差がもっとも開いた状態のものを示している。以上より、散水冷却による簡易な方法でも、変状部の検出が可能であることが分かった。