

層状ひび割れを模擬した RC 梁の 移動輪荷重下における劣化損傷に関する画像解析

Image analysis of the deterioration behaviors of RC slabs with simulated layer cracks under moving wheel load

北海道大学大学院工学院
北海道大学大学院工学研究院
北海道大学大学院工学研究院

○学生員 永井 崇雅 (Takamasa Nagai)
正 員 鄧 朋儒 (Pengru Deng)
正 員 松本 高志 (Takashi Matsumoto)

1. はじめに

現在日本では多くの道路橋に RC 床版が用いられており、RC 床版の疲労損傷については既往の研究¹⁾において輪荷重走行試験機による疲労損傷の進展と最終的な抜け落ちの再現および疲労寿命の評価がなされている。しかし、近年では積雪寒冷地の RC 床版において、車両走行による疲労に加えて、凍害や塩害が原因となる床版内部の層状ひび割れなどの複合要因による劣化が確認されるようになっており²⁾、床版上面の砂利化や抜け落ちに進展することが知られている。

このように複合劣化を起こした床版の寿命評価にあたり、損傷破壊現象の再現と理解が必要である。本研究では膨張剤の練りこみにより人工的に層状ひび割れを模擬発生させた RC 梁に対して、移動輪荷重載荷を実施し³⁾、梁の側面に画像解析⁴⁾を行った。この画像解析結果から載荷に対する梁のひずみ分布を面的に把握し、劣化損傷および変形挙動の把握と機構を検討する。

2. RC 梁の移動輪荷重載荷

2.1 供試体

図1に供試体の寸法を示す。供試体は幅広長方形断面のRC梁（長さ1,500mm、幅600mm、厚さ180mm、鉄筋はD19（SD345）を使用）である。供試体のコンクリートは早強21-8-20であり、試験開始時（材齢61日）におけるコンクリート（膨張剤なし）の圧縮強度は39.9N/mm²、静弾性係数は23.6kN/mm²であった。また、供試体は上側半分に膨張剤の練りこみによりひび割れを発生させ、凍害による床版内部の層状ひび割れを模擬している。

2.2 載荷方法

クランク式の輪荷重走行試験機を使用し、図2に示すように輪荷重の走行方向に乾燥表面供試体（D）、湿潤表面の供試体（W）の二体を設置して同時に100kNの移

動輪荷重載荷を行った。供試体Wは図1に示される200×200mmの範囲から水を供給されており、給水部以外の表面はエポキシ樹脂で覆うことで水の侵入を防いだ。輪荷重の載荷には鉄輪を使用し、供試体上面に載荷ブロックを敷き並べた上を連続往復走行させた。載荷ブロックの寸法は走行直角方向500mm×走行方向幅200mm、輪荷重の走行範囲は供試体境界を中心とする2,000mmである。この移動輪荷重載荷は所定回数の走行を行ったのちに中断し、図2に矢印で示されている支間中央位置に100kNの静的載荷が行われた。この静的載荷前後で解析に使用する画像を撮影した。

3. 画像解析

3.1 画像撮影

画像撮影にはNikonのデジタルカメラD3100を使用した。画素数は4,608×3,072ピクセル（約1400万画素）、本解析での画像解像度は約0.18mm/pxである。撮影は、①所定回数までの移動輪荷重載荷、②静的載荷前後の撮影、の繰り返しにより行った。なお、供試体の撮影表面には画像解析のためにラメスプレーによるランダムパターンを付与している。

3.2 画像解析手法

画像解析には画像相関法を用いた。まず撮影した画像は二値化画像に変換され、二値化画像において25ピクセル間隔で格子状に計測点を設定した。その後、載荷前後の2枚の画像について画像相関法により計測点の変位を求め、25ピクセルを一边とする4点の計測点の変位からひずみの計算を行った。

4. 画像解析結果

ここでは劣化損傷について顕著な変化が確認されたW供試体の60,000回載荷後撮影画像と100,000回載荷後撮影画像についての解析結果を述べる。ひずみ分布図は

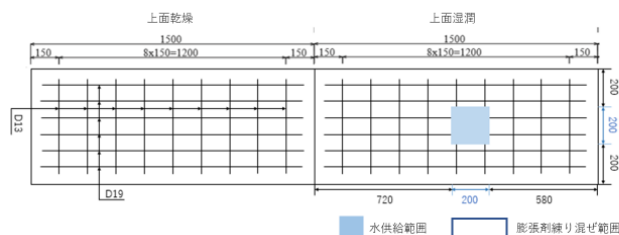


図1 供試体寸法

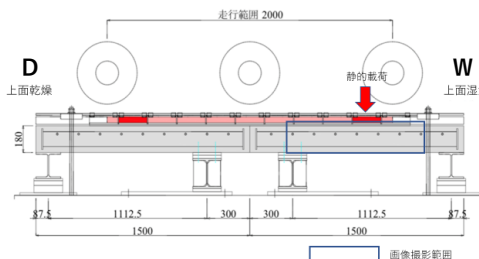


図2 移動輪荷重載荷および静的載荷概要

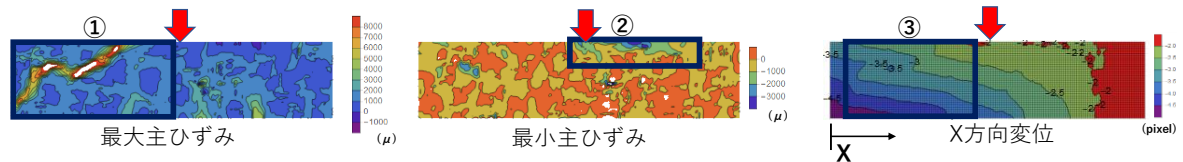


図3 移動輪荷重 60,000 回載荷後 W 供試体

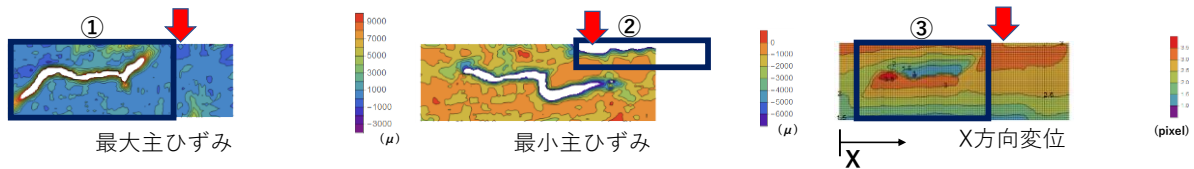


図4 移動輪荷重 100,000 回載荷後 W 供試体

1,000 μ ごとの等高線で表され白色の範囲は値が凡例の範囲を超過していることを示している。また、X 方向変位図は右方向を正とする変位を等高線で表しており、単位はピクセルである。また、100,000 回載荷後では供試体の汚れにより、画像右側の部分で解析結果が一部欠損となった。

4.1 斜めひび割れの挙動

図3、図4において①で示される範囲で斜めひび割れの開口が見られた。このひび割れは載荷回数の増加に伴い水平方向右側に進展しており、供試体上部では図3と図4で異なる位置にひび割れの開口による最大主ひずみ分布が見られる。このひび割れの変化は、4.2 で述べる②の供試体上面の劣化損傷により供試体の有効高さが減少した影響であると考えられ、載荷回数が 60,000 回から 100,000 回に達する間に支点部付近の既存のひび割れから、有効高さが小さい脆弱部②にかけて新たなひび割れが発生したものと考えられる。また、新たなひび割れが載荷に応じた供試体の変形を示すことにより、60,000 回で供試体上側に見られたひび割れの開口挙動は停止し、最大主ひずみ分布において確認できなくなっている。

また、このようなひび割れ位置の変化に加えて図3、図4に③で示される範囲でひび割れのすべり挙動について顕著な差が確認された。100,000 回載荷後ではひび割れを挟んで上側部分と下側部分のX方向変位にずれが生じており、新たなひび割れですべり挙動が起こっていると考えられる。

4.2 供試体上面の劣化損傷

図3、図4において②で示される範囲において、供試体上面の給水部での損傷が目視で確認されており、供試体側面の画像解析においても最小主ひずみにおける圧縮変形として捉えられていた。このひずみ分布は給水部が負担していた荷重が劣化損傷により周辺に分散し、結果として給水部と同じ断面の範囲で圧縮変形が顕著に表れたものと考えられる。この圧縮変形は 60,000 回から 100,000 回までの載荷回数の増加に伴い、②の範囲において著しく増加したことから、給水部付近の劣化損傷が移動輪荷重により広範囲に進展していることが分かる。

また 100,000 回載荷後には供試体中央部で斜めひび割れと異なる水平ひび割れが見られ、閉じる方向に動いて

いることが確認できたが、このひび割れ周辺ではすべり挙動は確認できなかった。

5. まとめ

本研究では膨張剤の練りこみによって層状ひび割れを導入した RC 梁に輪荷重載荷を行い、画像解析を用いて載荷に対する劣化損傷の挙動を捉えた。以下にまとめを示す。

(1) 最大主ひずみ分布において、載荷回数の増加に伴い斜めひび割れの水平方向の進展が確認され、新たなひび割れの開口とともに一部のひび割れの活動が停止した。またX方向変位分布によりひび割れ部ですべり挙動が発生・変化していることが分かった。

(2) 最小主ひずみ分布において、供試体上面の給水部劣化損傷から周辺への分散・進展を圧縮変形として捉えた。これが斜めひび割れの遷移を起こしたと考えられる。

本研究では供試体の変形を側面のひずみ分布から考察した。今後の展望として供試体の内部損傷と側面で捉えられる損傷がどの程度一致しているかを確認する必要があると言える。

謝辞：本研究で画像解析を実施した載荷実験は寒地土木研究所によるものである。ここに寒地土木研究所の関係各位に謝意を示す。

参考文献

- 1) 松井繁之：道路橋床版 — 設計・施工と維持管理，森北出版，2007。
- 2) 澤松俊寿，岡田慎哉，山崎達哉：一般国道 275 号志寸川橋の床版陥没について—防水層を含めた床版の劣化損傷状況の調査—，平成 24 年度北海道開発技術研究発表会，2013。
- 3) 角間恒，西弘明，渡邊晋也，小野秀一：層状ひび割れの発生を模擬した RC 部材の輪荷重走行試験，コンクリート工学年次論文集，41 巻，2 号，p457，2019。
- 4) 松江晃太，角間恒，松本高志：水平模擬ひび割れを導入した RC 梁の変形挙動の画像解析，土木学会北海道支部論文報告集，第 73 号，A-33，2017。