

輪荷重走行試験による RC 床版の疲労劣化に関するモニタリング技術の検討 (その4) 光ファイバーセンサによるひび割れ検知

鹿島建設(株) 正会員 ○今井道男 新井崇裕 岩井 稔 古市耕輔

1. はじめに

鉄筋コンクリート床版(以下 RC 床版)の疲労劣化に関するモニタリング技術の適用性および課題について検討することを目的に、輪荷重走行試験により RC 床版の疲労劣化の事象とモニタリングデータの相関性について確認した。本稿では、光ファイバーセンサを用いたひび割れ検知モニタリングの結果について報告する。

2. 試験方法

RC 床版を模擬した試験体(写真-1:幅 2,200,長さ 4,000,厚さ 190mm)の上面走行方向,下面走行方向および走行直角方向に,図-1に示すような配置で光ファイバーセンサを全線にわたって接着固定した。およそ 50 日間の試験期間にわたり,定期的にひずみ分布を計測した。あわせて,目視によるひび割れ観察をもとにした試験体の損傷程度評価を,試験の進捗に応じて適宜行った。載荷荷重は 15,000 往復回毎に段階的に値を大きくした(89, 100, 110kN)。

3. 光ファイバーセンサによるひび割れ検知

分布型光ファイバーセンサは光ファイバーに沿って連続するひずみの分布状態を把握できるため,ひび割れなどのようにあらかじめ発生位置を特定できない現象の検知に向いている。なかでも,BOCDA 方式は位置分解能が高く,微細なひび割れを検知,その位置と幅を捉えられる。これまでの研究によれば,光ファイバーに直交する $20\mu\text{m}$ 幅のひび割れ発生時に約 300×10^{-6} の局所的な引張ひずみが生じることがわかっている¹⁾。本試験では,同方式で試験体表面のひずみ分布を計測,その結果をもとに損傷程度を示す指標を提案し,ひび割れ観察による損傷程度評価(a~e)と比較した。

BOCDA 方式光ファイバーセンサによる計測結果の一例を図-2に示す。上図が床版上面走行方向,下図が床版下面走行方向のひずみ分布をそれぞれ示す。試験体中央部を輪荷重により静的載荷した際の計測結果である。試験体中央部を中心に上面で圧縮(負)ひずみが,下面で引張(正)ひずみが生じている様子が明瞭にみとれる。走行方向二辺を線支承で支持し,走行直角方向の二辺をフリーとした境界条件からも,妥当な結果と考えられる。また,下面中央の光ファイバー(LL-C)では中央部に大きい局所的なひずみ変化(約 900×10^{-6})が発生しており,表面ひび割れが生じていることを示唆している。その後,目視でも当該位置においてひび割れが実際に確認された。



写真-1 試験状況

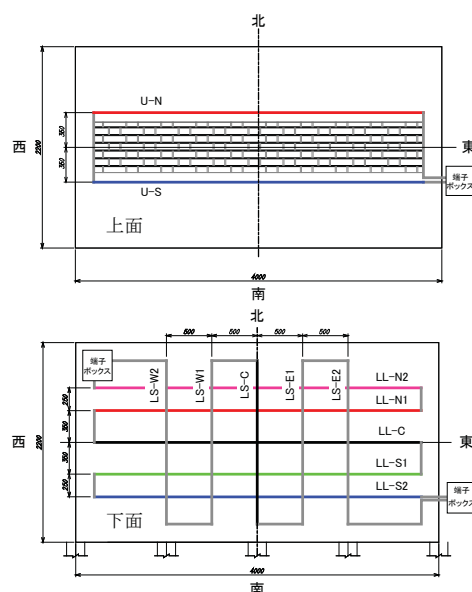


図-1 光ファイバーセンサ配置

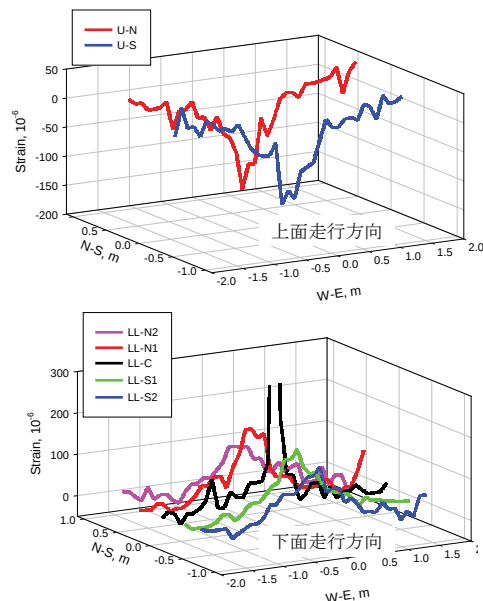


図-2 ひずみ分布例

キーワード 光ファイバーセンサ, ひずみ測定, ひび割れ, 床版

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株) 技術研究所 TEL042-489-6264

4. 損傷程度の評価指標

光ファイバーセンサによる評価指標の処理フローを図-3に示す。得られたひずみ分布をもとにデータを内挿し、センサ設置領域近傍のひずみコンターを得る。その後、 300×10^{-6} を越えるひずみの領域をひび割れと判断し、細線化処理を経てひび割れマップを作成する。ひび割れマップ上のひび割れ長さをすべて累積し、当該領域の設置光ファイバー長（上面走行：8m、下面走行：20m、下面走行直角：5m）で除して正規化した値を“ひび割れ延長”とした。本指標は、ひび割れ長さの進展を示すもので、ひび割れ幅の変化は考慮されない。一方、ひずみコンターのうち、 300×10^{-6} を越えるひずみの領域が全領域に占める割合を“ひび割れ割合”とした。本指標は、ひび割れ長さだけでなく幅の変化についても考慮される。走行試験のあいだ定期的に計測したひずみ分布（無荷重時）をもとに、上面走行・下面走行・下面走行直角方向のそれぞれについて、“ひび割れ延長”と“ひび割れ割合”を累積走行回数に応じて算出した結果を図-4および5に示す。各図には、目視によるひび割れ観察から算出したひび割れ密度（右軸）と損傷程度区分a～e（図上部の色分け）を併記する。

上面・下面ともに“ひび割れ延長”と“ひび割れ割合”は、損傷程度dまで同様の傾向を示した。つまり、試験開始直後に新たなひび割れの発生によって大きく増加(a)、徐々に増える段階を経て(b～c)、その後、ばらつきはあるもののほぼ一定に推移した(d)。さらに、89kNから100kNに走行荷重を上げた15,000回以降、“ひび割れ延長”に大きな変化はみられないのに対して、“ひび割れ割合”は増加し続けた(e)。新たなひび割れの進展よりも、既設ひび割れ幅の増大が支配的な段階と推察される。ふたつの指標を組み合わせることで、床版全体の損傷程度を評価できる可能性を得た(表-1)。

5. おわりに

分布型光ファイバーセンサは単一ひび割れの検知には長けているが、近接する複数ひび割れを区別できない課題があった。そのため、劣化が進行した段階での損傷程度の評価が懸念された。特定のひび割れを評価する際にこの点は未だ課題であるが、ひび割れ長さに加えてひび割れ割合を考慮することで、床版全体の損傷程度を劣化進行段階においても評価できる目途を得た。活荷重下などでの検証を経て、早期実用化を目指したい。

謝辞

本研究は、モニタリングシステム技術研究組合(RAIMS)が実施した研究であり、内閣府の「SIPインフラ維持管理・更新・マネジメント技術」の一環として国土交通省が実施する「社会インフラへのモニタリング技術の活用推進に関する技術研究開発」委託事業研究の成果である。

参考文献

- 1) 今井道男, 一宮利通, 河野哲也, 三浦悟: 光ファイバーセンサーを用いたPC構造物のひび割れ検知技術, プレストレストコンクリート, Vol.51, No.3, pp.78-83, 2009.

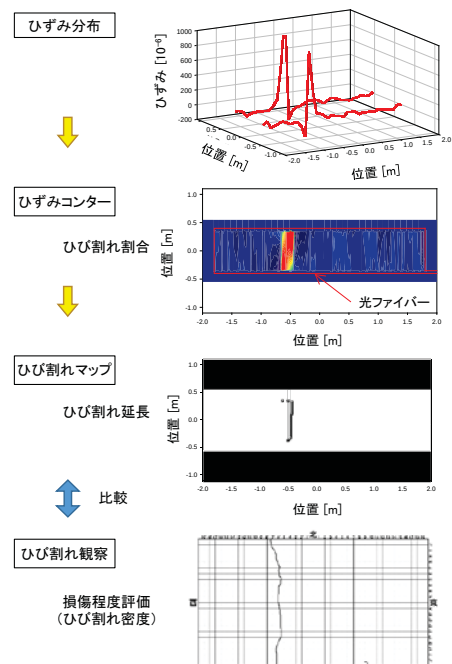


図-3 評価指標の処理フロー

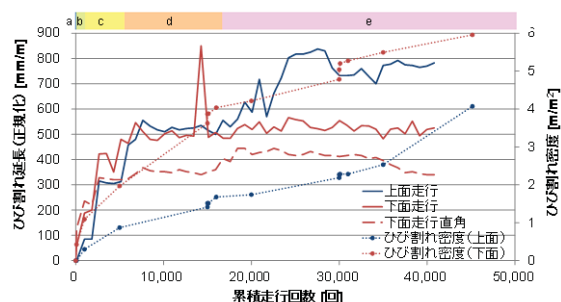


図-4 ひび割れ延長

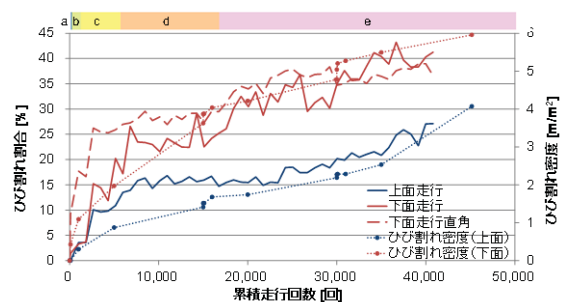


図-5 ひび割れ割合

表-1 各指標と損傷程度との関係

	損傷程度の評価				
	a	b	c	d	e
ひび割れ状況	なし	一方向のみ	一または二方向	一または二方向	部分的な角落ち
ひび割れ延長	急増	増加	増加	大きな変化なし	大きな変化なし
ひび割れ割合	急増	増加	増加	大きな変化なし	漸増