

撤去桁の疲労载荷試験におけるモニタリング技術実証（その2） 実験モード解析による疲労損傷評価

日本電気(株)	正会員	○木下 翔平
日本電気(株)	正会員	葛西 茂
日本電気(株)	正会員	清川 裕
前田建設工業(株)	正会員	小原 孝之
土木研究所	正会員	松尾 健二
土木研究所	正会員	山口 岳思

1. はじめに

コンクリート構造物の損傷検知に関して、構造物の振動特性に着目した研究事例が多々報告されている。著者らも、これまでに RC 床版を模擬した供試体の輪荷重走行試験から、固有モードが疲労進行とともに変化することを実証した¹⁾。本報では、撤去後の RCT 桁についても、疲労損傷が進行すると固有モードが変化するの否かを調査した。以下に詳細を記述する。

2. 試験体および疲労载荷試験条件

試験体である撤去桁および、疲労载荷試験の条件は、「その1～疲労载荷試験概要と試験結果」²⁾に基づいた。

3. 実験モード解析

多自由度系の振動応答 $X_n(\omega)$ は、試験体をモデル化した際の節点数 n 、角振動数 ω 、入力 $F_n(\omega)$ 、伝達関数 $G_{nn}(\omega)$ とすると、式(1)で表せる³⁾。

$$\begin{Bmatrix} X_1(\omega) \\ X_2(\omega) \\ \vdots \\ X_n(\omega) \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} G_{11}(\omega) & \cdots & G_{1n}(\omega) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ G_{n1}(\omega) & \cdots & G_{nn}(\omega) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} F_1(\omega) \\ F_2(\omega) \\ \vdots \\ F_n(\omega) \end{Bmatrix} \quad \text{--- 式(1)}$$

ここで、 $G_{nn}(\omega)$ は試験体の動特性のみに起因した関数である。実験モード解析の計測概要を図1に示す。入力インパクトハンマによる加振力、応答は打撃時の加速度である。加振点と応答点とを図2に示す。加振方向は鉛直方向とした。応答点は35箇所であり、応答点移動法にてデータを取得した。それら加振力と応答加速度から、伝達関数としてアクセラランス(単位加振力あたりの加速度)を算出した。計測は、载荷前の初期、载荷1000回後、そして2000回後に実施した。

4. 結果

4.1. 損傷評価

载荷が2000回に達した時、ひび割れが拡大し右側スパンの応答点 No.34 周辺のコンクリートが剥落した。図3に载荷2000回後の試験体の状況を示す。2000回後は No.34 を除き計測した。

キーワード RCT 桁、疲労载荷試験、実験モード解析、固有モード、

連絡先 〒211-8666 神奈川県川崎市中原区下沼部 1753 日本電気株式会社 中央研究所 価値共創センター TEL 044-431-7659

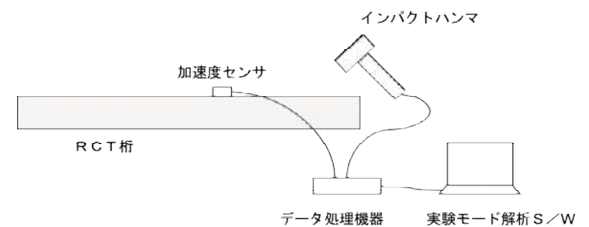
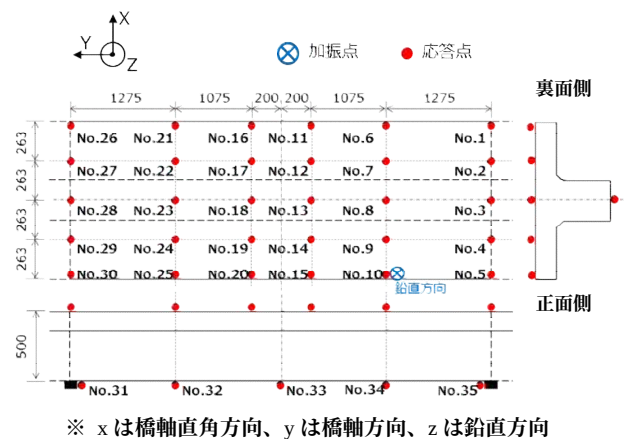


図1 実験モード解析の計測概要



※ x は橋軸直角方向、y は橋軸方向、z は鉛直方向

図2 加振点と応答点



図3 载荷2000回後の試験体

4.2. 初期の固有モード

インパクトハンマによる加振力の周波数スペクトルを図4に示す。2.5 N の加振力が 150 Hz までの周波数帯域で概ね一定に生じている。本研究では図4の加振力条件下で取得したアクセランス特性を解析する。初期における応答点 No.9 のアクセランス特性を図5(a)と図5(b)に示す。振幅スペクトルの卓越性、時間遅れとは異なる位相変化、振動姿態分析から、鉛直たわみ1次(A, 22Hz)、橋軸直角方向曲げ1次(B, 44Hz)、ねじりを伴う鉛直たわみ2次(C, 83Hz)の固有モードを確認した。図6(a)～図6(c)に各固有モードを示す。

4.3. 載荷回数に対する固有モードの変化

載荷回数が増えるにつれて、初期に確認した3つの固有モードが変化した。図7(a)と図7(b)に、載荷1000回後と2000回後における鉛直たわみ1次モードを示す。鉛直たわみ1次モードは、載荷1000回後、2000回後において計測点No.6～10の周辺に位相差が生じた。また、2000回後には、初期では確認できなかった固有モードが66Hzと72Hzに発生した。それらの固有モードを図8(a)と図8(b)に示す。66Hzは右側スパンの振幅が大きい形状だった。72Hzはねじりに類似した形状だった。

5. 考察

鉛直たわみ1次モードでは、載荷1000回以降において、No.6～10の周辺に位相差が生じた。また2000回後には、初期には確認できなかったモードが発生した。これらの原因として、鉄筋とコンクリートとの付着低下やひび割れの発生・成長が生じ、局所的な減衰の増大や剛性の低下が起きたためと考えられる。また、載荷で剥落が生じた右側スパンは構造的に脆弱だったと推測され、1000回後の固有モードの変化はその脆弱性に起因した可能性がある。

6. まとめ

以上の結果から、疲労損傷進行に伴い撤去桁の固有モードが変化することを確認した。

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) 葛西, 木下, 小原, 新井: 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3), 土木学会第71回年次学術講演会, pp.75～76, 2016
- 2) 松尾, 小原: 撤去桁の疲労載荷試験におけるモニタリング技術検証(その1), 土木学会第73回年次学術講演会, 投稿中。
- 3) 岩田, 佐伯, 小松崎: 機械振動学, 数理工学社, 2011

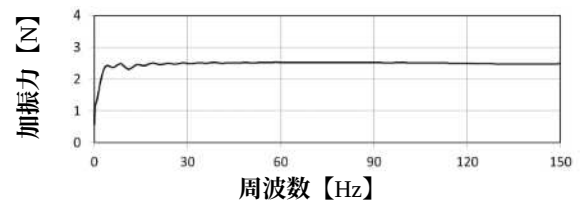


図4 加振力の周波数スペクトル

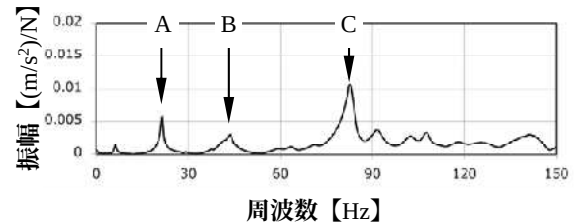


図5(a) アクセランスの振幅スペクトル (初期, No.9)

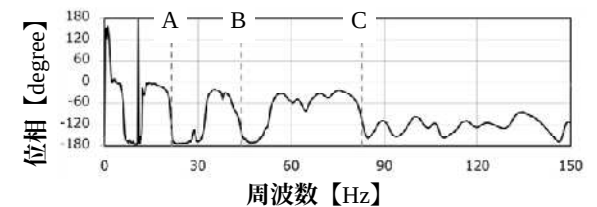


図5(b) アクセランスの位相スペクトル (初期, No.9)

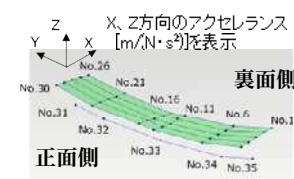


図6(a)
鉛直たわみ1次モード

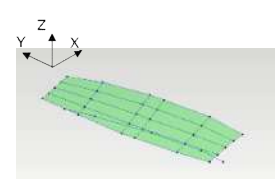


図6(b)
橋軸直角方向曲げ1次モード

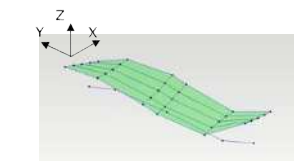


図6(c) 鉛直たわみ2次モード

※ x は橋軸直角方向
y は橋軸方向
z は鉛直方向

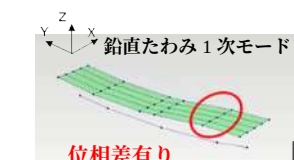


図7(a) 1000 回後

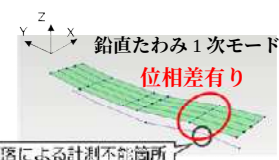


図7(b) 2000 回後

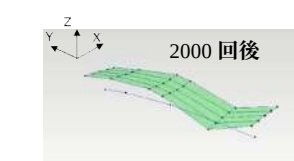


図8(a) モード(66 Hz)

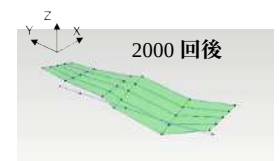


図8(b) モード(72 Hz)