

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) 実験モード解析法による疲労損傷評価

日本電気(株)	正会員	○葛西	茂
日本電気(株)	正会員	木下	翔平
前田建設工業(株)	正会員	小原	孝之
鹿島建設(株)	正会員	新井	崇裕

1. はじめに

RC 床版の疲労損傷評価指標として、各振動モードの共振周波数に着目した研究例が報告されている¹⁾。それら研究では、振動モードの正確な抽出が鍵となっている。そこで、著者らは、アクセラランスのスペクトル解析と固有モード法による振動姿態分析から構造体の振動モードを抽出した。次に抽出した振動モードの共振周波数が、疲労損傷評価指標として有効か否か、輪荷重走行試験を通じて検証した。

2. 試験体および輪荷重走行試験条件

RC 床版の試験体設計、施工条件および輪荷重走行試験条件は、(その 1)～試験の概要とリファレンス計測による損傷程度の評価に基づいた。

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 $G_{mn}(\omega)$ とすると、式(1)で表せる²⁾。

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

ここで、 $G_{mn}(\omega)$ 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。加振点と応答点を図 2 に示す。加振点は輪走行面側の 1 点、応答点は同面の 72 点とし、応答点移動法にてデータ取得した。それら加振力と加速度から、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。

4. 解析結果

4.1. 疲労損傷評価

荷重 110kN、累積走行回数が 45,167 回の時、試験体端部に押し抜きせん断破壊が発生した。これにより所定の荷重を保持できなくなったため試験を終了した。走行回数ごとの疲労損傷度を図 3 に示す。損傷度は、試験開始から走行回数 100 回までが損傷度 a、100 回から 1000 回までが損傷度 b、1000 回から 5000 回までが損傷度 c、5000 回から 15000 回が損傷度 d、15000 回から 45167 回までが損傷度 e であった。

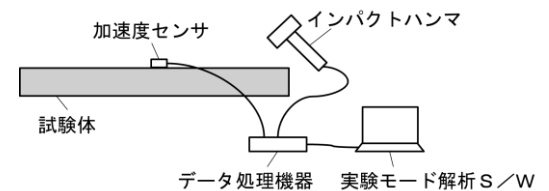


図 1 実験モード解析計測概要図

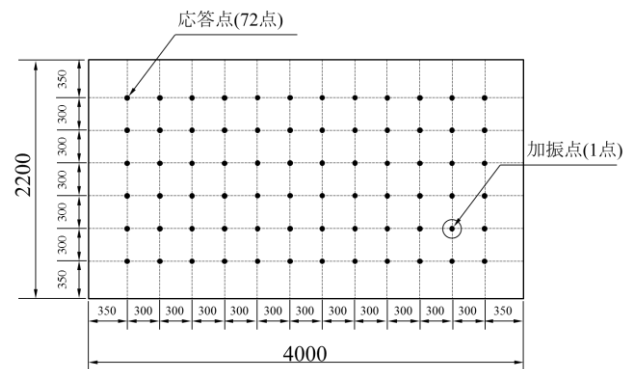


図 2 実験モード解析における加振点と応答点

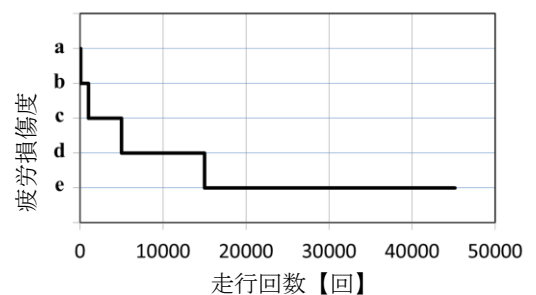


図 3 損傷度評価結果

キーワード 実験モード解析、共振周波数、RC 床版、輪荷重走行試験

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 情報・メディアプロセス研究所 TEL 044-431-7659

4.2. 振動モード抽出

インパクトハンマによる加振力スペクトル例を図4に示す。1kHzまでの周波数帯域において1~5Nの加振力が生じている。本研究では図4の加振力条件下で取得したアクセラランス特性を解析する試験開始前のアクセラランス特性を図5(a)と(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、固有モードに基づく振動形態分析から、試験体短辺を節とするたわみ3次(I, 238Hz)、4次(II, 378Hz)、5次(IV, 547Hz)、試験体長辺を節とするたわみ2次(III, 395Hz)などの振動モードを確認した。上記以外にも振動モードを観測したが、治具などに起因する剛体モードや分割振動を伴っていたため、解析対象外とした。

4.3. 走行回数と振動特性との関係

輪荷重走行回数と各振動モードの共振周波数との関係を図6に示す。横軸は走行回数、縦軸は各振動モードの共振周波数を示す。走行回数の増加に伴い全振動モードの共振周波数は低下した。例えば、たわみ5次振動の共振周波数は、試験前と比較して走行回数5,000回では約23%低下した。全ての振動モードは、共振周波数が低下した後に振幅スペクトルの卓越点が観測されず、消滅した。なお、図6でモードの消滅は共振周波数を0Hzとして記載した。また、走行回数の増加に伴い、振動形態が変化した。試験前、走行回数1,000回、5,000回、20,000回における、たわみ5次振動の振動形態を図7(a)~(d)に示す。試験前は、振動の腹となる応答点群はほぼ同位相であったが、走行回数5,000回ではそれら腹の応答点群の位相がばらつき、分割振動が発生し始めた。同様に節となる応答点群にも加速度振幅が観測されはじめた。さらにモードが消滅した20,000回では客観的に振動形態を確認できない状態となった。これら共振周波数や振動形態の変化は、損傷の発生や進展、それに伴う試験体の力学性能の低下に起因していると推察される。

5. まとめ

実験モード解析法により、輪荷重走行試験におけるRC床版の振動特性を分析した。その結果、走行回数が増加すると各振動モードの振動形態が変化し共振周波数が低下することを確認できた。走行回数がRC床版の疲労損傷度に対応することから、コンクリート構造物の疲労損傷評価指標として、各振動モードの共振周波数が有効であるとの可能性を示せた。

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) 宮村, 子田, 内藤, 岩城, 鈴木: 構造工学論文集, vol.57A, 2011, 3
- 2) 岩田, 佐伯, 小松崎: 機械振動学, 数理工学社, 2011

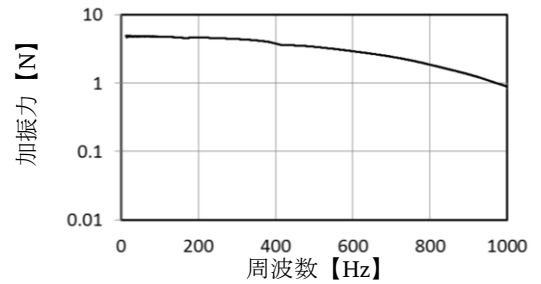
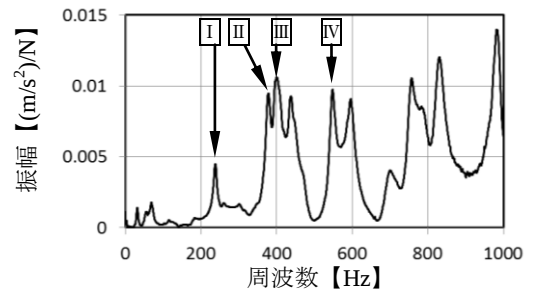
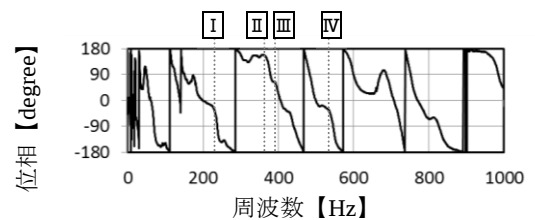


図4 加振力スペクトル



(a) 振幅スペクトル



(b) 位相スペクトル

図5 試験体の初期アクセラランス特性

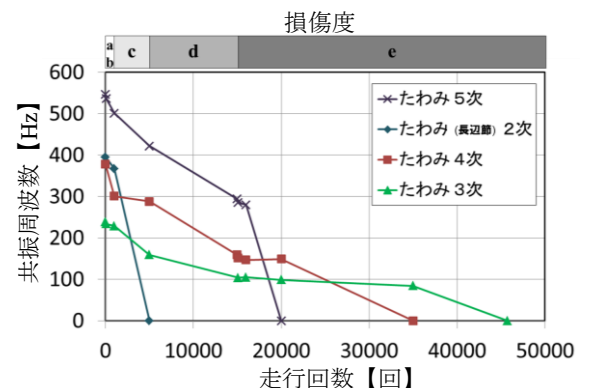


図6 走行回数と共振周波数の関係

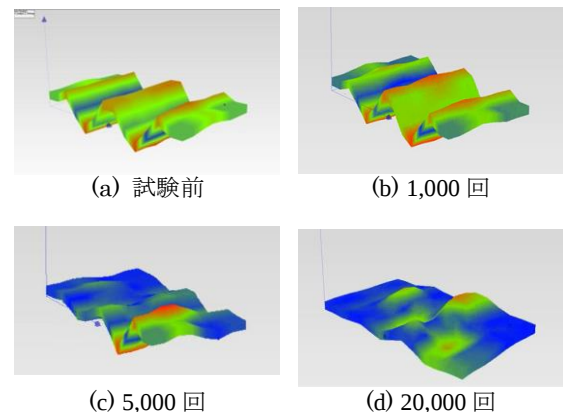


図7 たわみ5次振動の振動形態