

局所振動試験と FEM 解析による SRC 部材の損傷同定

東北大学 学生会員 ○神宮 裕作

東北大学 正会員 内藤 英樹

1. はじめに

鋼コンクリートの合成構造は、高い耐荷性能と変形性能を持つため、施工の合理化と併せて、従来から様々な場面に活用されてきた。近年、構造物の老朽化や安全性の確保の観点から、維持管理の重要性が認識されている。合成構造の設計では、鋼コンクリートの完全付着を前提とする構造計算もあり¹⁾、供用中の合成構造の健全性を評価するためには、構造物内部の損傷を推定できる非破壊試験法の開発が望まれる。

本研究は、合成構造の損傷同定を試みるために RC と SRC 供試体を作製した。作製した供試体に対して、段階的な静的載荷試験を実施し、荷重ステップごとに局所振動試験²⁾を行い、基礎的検討として振動試験データと損傷との関係を整理した。また、FEM 解析を行い、局所振動試験の妥当性及び整合性を検討した。

2. 実験概要

作製した RC 及び SRC 供試体の諸元と概略図を表-1 と図-1 に示す。コンクリートの材料特性は、圧縮強度 37.2N/mm²、静弾性係数 29200 N/mm²、動弾性係数 31900 N/mm²、密度 2290kg/m³であり、鉄筋は SD345、鉄骨は SS400 を用いた。静的曲げ載荷試験における載荷パターンは、降伏荷重の計算値 P_y に対して 0.25, 0.5, 0.75 P_y

とし、荷重を保持して、ひび割れ図の作成と局所振動試験を行った。その後、スパン中央の引張鉄筋あるいは、引張フランジが降伏したときの降伏変位 δ_y を基準とした整数倍の変位に対して、6 δ_y まで片押し載荷を行った。1 δ_y では荷重を保持したが、2 δ_y 以降では、安全性を考慮し、載荷後に除荷して、載荷ステップごとにひび割れ図の作成と局所振動試験を行った。局所振動試験の測定箇所は、スパン中央から x 軸に沿って、 ± 100 mm 間隔で供試体上面から行った。局所振動試験の加振条件の基本設定として、周波数帯域 1000~5000Hz に渡ってパワースペクトル密度を 2.0(m/s²)²/Hz に一定制御したホワイトノイズを与えた。この時、加速度時刻歴波形の振幅の実効値(RMS)は 78.6 m/s² である。加振点近傍に圧電式加速度センサを貼付して応答測定を行い、共振曲線(応答加速度一周波数関係)を得た。

3. FEM 解析概要

局所振動試験による結果の妥当性を検討するために周波数応答解析を行った。使用した解析ソフトは Femap with NX Nastran である。実験で作製した供試体の物性値を用いて、3次元有限要素モデルを作成した。コンクリートはソリッド要素、鉄筋は梁要素、鉄骨はシェル要素を用いて供試体のモデル化を行った。メッシュサ

表-1 供試体諸元

	部材長さ (mm)	断面寸法 (mm×mm)	支間長 (mm)	有効高さ (mm)	せん断スパン比	H 鋼 $h \times b \times t_w \times t_f$ (mm)	軸方向鉄筋	スタールラップ (mm)	鋼材比 (%)	鉄骨鉄筋比
RC	2800	400×400	2200	350	3.14	———	D16×14	D10@150	2.0	0
SRC	2800	400×400	2200	350	3.14	200×200×8×12	D13×8	D10@150	5.2	6.1

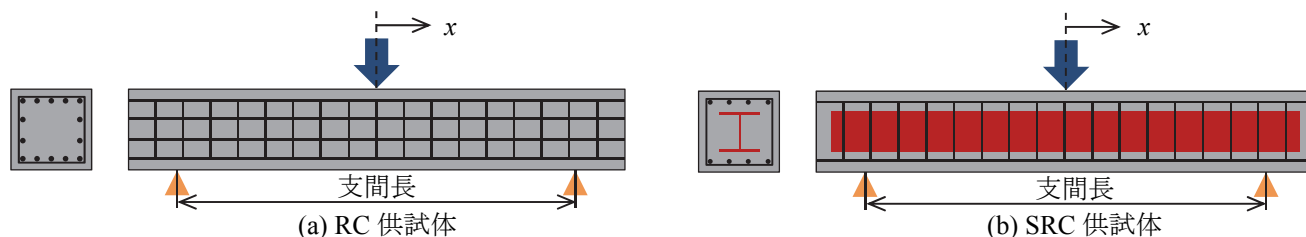


図-1 供試体概略図

キーワード 合成構造, 振動試験, FEM 解析, 損傷同定

連絡先 〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 TEL:022-795-7449 FAX:022-795-7448

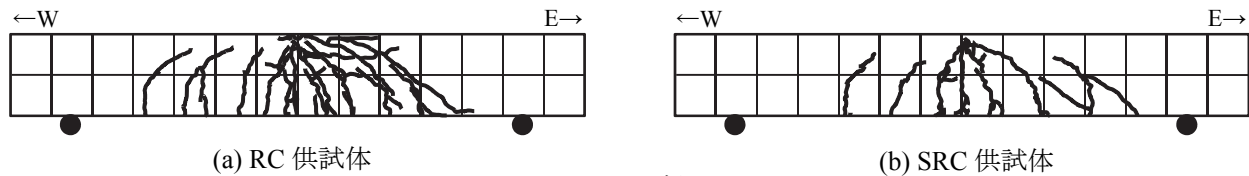


図-2 ひび割れ図

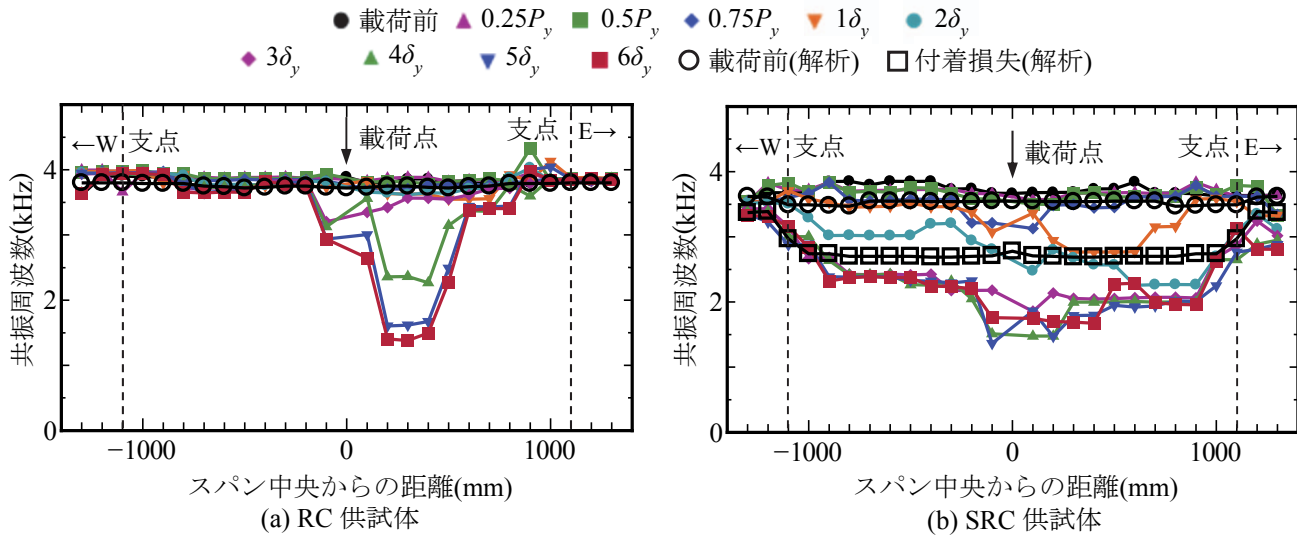


図-3 共振周波数分布

イズは、解析結果及び計算時間を考慮し、基本的に25mmを基準とした。コンクリートと鉄筋、鉄骨は共有節点で結合した。周波数刻みを10Hzとして、1000~5000Hzの範囲で加速度振幅 1m/s^2 の正弦波を周波数掃引させた。局所振動試験と同様に100mm間隔で解析を行い、共振周波数は、基本的に得られた共振曲線の振幅のピークに対応する周波数とした。FEM解析は、RC及びSRC供試体の荷重前のモデルとSRC供試体において鉄骨とコンクリートとの付着が損失し、境界面に空隙が生じた場合を模擬して鉄骨の大きさの空隙を導入したモデルの3通り行った。

4. 結果

$6\delta_y$ 荷重後のひび割れ図を図-2に示す。局所振動試験及びFEM解析により得られた共振周波数とスパン中央からの距離との関係を共振周波数分布として図-3に示す。図-2及び図-3より、RC供試体では、共振周波数の低下が斜めひび割れの発生範囲に概ね対応している。一方、SRC供試体では、斜めひび割れの有無にかかわらず、供試体全域において共振周波数の低下が見られた。コンクリートと鉄骨との付着が損失し、コンクリートと鉄骨の境界面に水平な空隙が生じたために共振周波数が低下したと推察される。実験値/解析値を指標にした場合、RC、SRC供試体の変動係数は、それぞれ1.7%、2.7%となり、局所振動試験と荷重前の

FEM解析の結果が概ね対応していた。SRC供試体において鉄骨の大きさの空隙を導入したモデルの解析結果と局所振動試験結果を比較すると支点近傍において同等の結果となった。しかし、支点間では、 $3\delta_y$ 荷重以降、解析値よりも実験値の方が、共振周波数が低くなった。支点間では、ひび割れによる影響や付着損失により生じた空隙が荷重によって水平方向に拡大したために $3\delta_y$ 荷重以降、共振周波数が解析値を下回ったと推察される。一方、支点より外側では曲げモーメントが生じず、ひび割れの影響やコンクリートと鉄骨の境界に生じた空隙が水平方向に拡大する可能性が少ないために実験値と解析値が対応していたと考えられる。

5. まとめ

局所振動試験及びFEM解析の結果を比較し、整合性及び局所振動試験の妥当性を確認することができた。また、局所振動試験により、外観変状に現れないコンクリートと鉄骨との付着損失を共振周波数の低下から推定できる可能性が示唆された。

参考文献

- 1) 土木学会：複合構造標準示方書 設計編，2016。
- 2) 内藤英樹，小林珠祐，土屋祐貴，杉山涼亮，山口恭平，早坂洋平，安川義行，鈴木基行：局所振動試験に基づく道路橋RC床版の内部損傷評価，土木学会論文集E2，Vol.73，No.2，pp.133-149，2017。