

共鳴振動試験を用いた鋼とコンクリート境界部の健全度評価

東北大学大学院 学生会員 ○伊東知哉
東北大学大学院 フェロー 鈴木基行

東北大学大学院 正会員 内藤英樹
(株)大林組 正会員 青木峻二

1. はじめに

木曽川大橋や本荘大橋のトラス斜材の破断事故など、鋼とコンクリート境界部の鋼材腐食(以下、境界部腐食)が大きな問題となっている¹⁾。鋼橋や道路付属物など、鋼材端部をコンクリートに埋め込む接合形式において、境界部腐食は構造物の安全性を低下させるばかりではなく、点検や補修にも大変な労力を必要とする。このため、コンクリートを除去することなく境界部腐食の有無を推定できる簡便な非破壊検査法の開発が望まれる。

そこで、本研究では、電食によって鋼とコンクリート境界部を腐食させた供試体を作製し、共鳴振動試験によって、鋼材の腐食と共振特性との関係を整理する。さらに、調和振動解析による検討も加え、鋼とコンクリート境界部の鋼材腐食推定法に関する基礎的データを収集する。

2. 共鳴振動試験

(1) 供試体緒元

供試体概略図を図-1に示す。鋼材をコンクリートに埋め込んだ供試体を11体作製した。鋼材は厚さ9mmの平鋼(SS400)を使用し、幅は32mmと50mmの2種類とした。5体の供試体は、電食によって境界部腐食を再現した(以下、劣化供試体)。これらの劣化供試体では、コンクリートとの境界部に腐食を集中させており、コンクリート上面から目視により腐食状況が確認できる。いずれの劣化供試体も、基部での鋼材断面欠損率を50%程度とした。

(2) 測定方法

共鳴振動試験の装置は、持ち運び可能な小型加振機と加速度センサーの組み合わせによって構築した。このシステムでは、2~10,000Hzの範囲で周波数を変化させながら一定の加速度を与えることができる。図-1に示すように鋼材の端部を万力で固定し、その固定端から25mmの位置を加振することで、測定区間200mmおよび300mmでの鋼材の周波数-応答加速度関係を測定した。

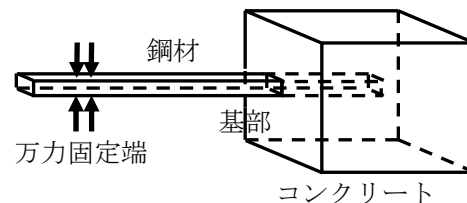


図-1 供試体概略図

(3) 実験結果

a) 固有周波数

共鳴振動試験から得られた1次~3次までの固有周波数を表-1に示す。なお、表には振動理論から得られる健全供試体の解も併せて示す。理論解を求める際には、鋼材のヤング係数 $2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ と密度 7.7 g/cm^3 を仮定した。表-1より、共鳴振動試験による1~3次の固有周波数はいずれも理論解と概ね一致した。また、実験結果に示される

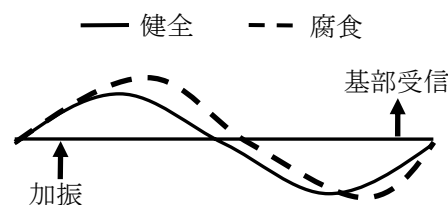


図-2 2次モードの模式図

表-1 1~3次モードの固有周波数 (単位: Hz)

(a) 鋼材長さ 200mm					(b) 鋼材長さ 300mm				
		1次モード	2次モード	3次モード			1次モード	2次モード	3次モード
実験結果	健全供試体	1138	3000	5794	実験結果	健全供試体	581	1357	2597
	劣化供試体	1091	3080	6040		劣化供試体	560	1359	2685
解析結果	健全モデル	1177	3249	6357	解析結果	健全モデル	534	1442	2830
	劣化モデル	955	2864	5824		劣化モデル	434	1279	2584
健全時の理論解		1194	3292	6454	健全時の理論解		531	1463	2868

Key Words : 鋼とコンクリート境界部, 鋼材腐食, 共鳴振動試験, 調和振動解析

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

健全供試体と劣化供試体の比較では、いずれの場合も計測される固有振動数に有意な差異は見出せなかった。以上より、鋼材腐食量を 50%とした本実験の範囲でも、固有周波数から境界部腐食を推定することは困難であった。

b) 鋼材基部の応答加速度 (フーリエ振幅比)

図-2 に示すように、境界部腐食が生じると境界条件の対称性が崩れるため、振動モードは非対称に変化する。例えば 2 次モードに着目すると、境界部腐食の発生によって振動モードの節が基部側に移動する。そこで、境界部腐食の影響を特に受けやすいと予想される埋め込み分付近 (基部より 15mm) での鋼材の応答加速度を計測する。

共鳴振動試験によって得られる基部の応答加速度を図-3 に示す。本実験では、厚さ 0.8mm の両面テープによって鋼材表面に加速度ピックアップを接着させるため、供試体を設置するたびに応答加速度の値が異なった。このため、図-3 を整理する際には同じ箇所 (基部より 15mm) で得られる 1 次モードの応答加速度によって 2 次モードの応答加速度を除すことで無次元化した。図-3 より、いずれの鋼材長さでも、劣化供試体では 2 次モードと 1 次モードの応答加速度比が大きくなることが確認できた。なお、劣化供試体の応答加速度には大きなばらつきが見られるため、境界部腐食の有無を推定する際には、複数回の測定が必要であると考えられる。

3. 調和振動解析による検討

(1) 解析モデル

2 次元はり要素によって鋼材部分のみをモデル化し、調和振動解析によって鋼材の周波数-応答加速度関係を得た。鋼材とコンクリートの埋め込み部は完全固定としてモデル化し、基部の腐食モデルは断面欠損のみ考慮した。実験時の境界部腐食による断面欠損と同程度とするため、基部の鋼材厚さを一様に 50%に減少させた。

(2) 解析結果

a) 固有周波数

調和振動解析によって得られた健全モデルと劣化モデルの固有周波数を表-1 に併せて示す。これらの結果より、前記の共鳴振動試験と同様に、境界部腐食の有無が固有周波数に及ぼす影響は小さいことが確認できた。

b) 鋼材基部の応答加速度

調和振動解析によって得られた 2 次モード/1 次モードの応答加速度比を表-2 に示す。これらの結果より、いずれの鋼材長さでも、実験結果と同様に、劣化モデルでは応答加速度比が大きくなることが解析でも確認できた。

4. まとめ

本研究では、鋼とコンクリート境界部を腐食させた供試体を作製し、共鳴振動試験によって鋼材腐食と共振特性との関係を整理した。その結果、境界部腐食が生じることにより、鋼材の基部の 2 次モードの応答加速度が大きくなることが示された。さらに、調和振動解析でも同様の結果となることを確認した。これらの検討より、鋼材基部の 2 次モードと 1 次モードの応答加速度比を指標として、境界部腐食の有無が推定できる可能性が示された。

参考文献

- 1) 加藤光男:他人事ではない木曽川大橋の斜材破断, 日経コンストラクション, pp.64-67, 2007 年 7 月 27 日号 2) 例えば, 斎藤秀雄:工業基礎振動学, 養賢堂, 1977.

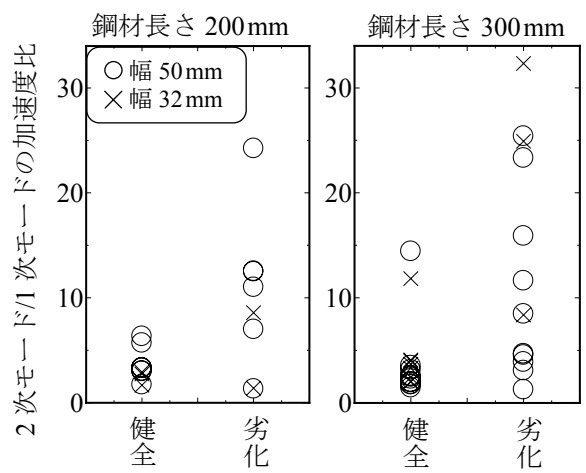


図-3 共鳴振動試験による
2 次モード/1 次モードの加速度比

表-2 調和振動解析による
2 次モード/1 次モードの加速度比

鋼材長さ (mm)	健全 モデル	腐食 モデル
200	3.0	4.6
300	3.3	4.1
400	3.3	4.0
500	2.7	4.0