

鋼とコンクリートの境界部に生じる鋼材腐食に関する研究

東北大学大学院 正会員 ○内藤英樹
東北大学大学院 学生会員 伊東知哉

東北大学大学院 学生会員 青木峻二
東北大学大学院 フェロー 鈴木基行

1. はじめに

木曾川大橋や本荘大橋のトラス斜材の破断事故など、鋼とコンクリートの境界部の鋼材腐食(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、FEM 解析による検討も加え、共振特性に着目した鋼とコンクリート境界部の鋼材腐食推定法を検討する。

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腐食状況が目視により確認できる。いずれの腐食供試体も、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、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。

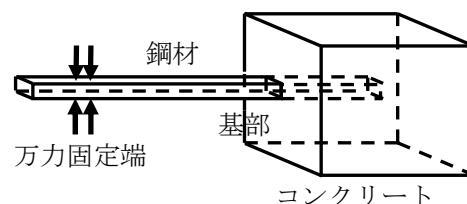


図-1 供試体概略図

(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健全供試体と腐食供試体の比較では、いずれの場合も計測される固有

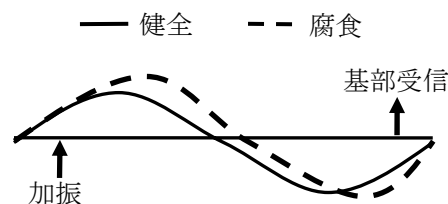


図-2 2次モードの模式図

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
FEM 解析	健全モデル	1091	3013	5886	FEM 解析	健全モデル	501	1381	2713
	劣化モデル	951	2873	5826		劣化モデル	430	1281	2613
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

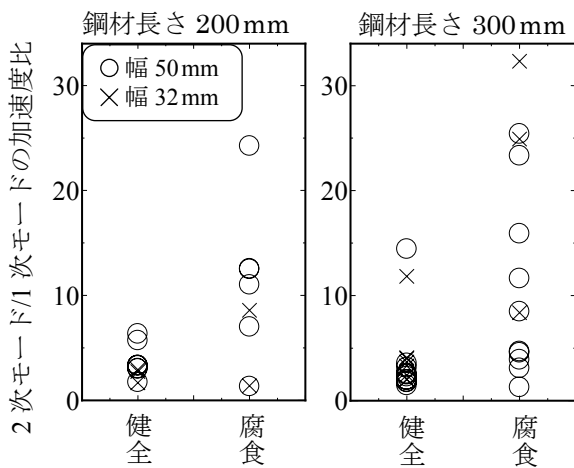


図-3 共鳴振動試験による
2次モード/1次モードの加速度比

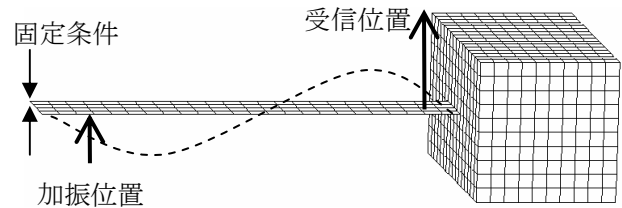


図-4 FEMモデルの概要

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

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を用いて2次モードの応答加速度を無次元化した。図-3より、いずれの鋼材長さでも、境界部腐食の発生に伴って劣化供試体では2次モードの応答加速度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. FEM解析による検討

(1) 解析モデル

解析には汎用FEMプログラムMARCを使用した。解析モデルを図-4に示す。境界部腐食のモデル化は、電食させた供試体の基部における断面欠損が顕著であったことから、基部の鋼材厚さを一様に50%減少させた。共鳴振動試験と同じく、図-4の加振位置に一定加速度(0.1m/sec^2)を与えた調和振動解析(固有値解析)によって、鋼材の周波数-応答加速度関係を得た。

(2) 解析結果

a) 固有周波数

FEM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

FEM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2次モードの応答加速度が大きくなることが示された。

表-2 FEM解析による
2次モード/1次モードの加速度比

	鋼材長さ 200mm		鋼材長さ 300mm	
	健全モデル	腐食モデル	健全モデル	腐食モデル
幅 32mm	8.6	23.2	18.9	41.1
幅 50mm	13.0	53.1	6.6	32.5

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、鋼材の基部では共振時の応答加速度が大きくなることが示された。さらに、FEMモデルでも同様の結果となることを確認した。これらの検討により、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を示した。

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。