

鉄筋腐食した RC 桁の振動特性と FEM を用いたモデル化

愛媛大学大学院 学生会員 ○近藤 健一 愛媛大学大学院 正会員 大賀 水田生
愛媛大学 正会員 川口 隆 愛媛大学大学院 正会員 全 邦釘

1. 背景

我が国では、高度経済成長期に多くの橋梁が建設され、耐用年数の目安である建設後 50 年を迎える橋梁が現在約 2 割、20 年後には約 7 割に増加する。そこで、これらの橋梁を安全で長期的に使用するためには適切な維持管理を行うことが必要である。

本研究では RC 橋内部の鉄筋腐食に着目し、鉄筋腐食と固有振動数の関係を明らかにし、固有振動数を用いた非破壊検査で RC 内部の劣化度合いを評価できる手法を検討した。

2. 実験概要

コンクリート内部の鉄筋を腐食させるため、主鉄筋に電食を施した。電食試験を行わない供試体 2 本をそれぞれ N-1, N-2, 電食試験を実施する供試体 2 本をそれぞれ S-1, S-2 と明記した。

用いたコンクリートの配合を表 2.1 に示す。また、電食試験を行う 2 本の供試体 S-1, S-2 には塩害を確実に発生させるため、鋼材腐食限界濃度は 1.2kg/m^3 であるが 10kg/m^3 の塩化ナトリウムを練りこんだ。

本実験で用いた供試体の材料特性を表 2.2 に示す。また、鉄筋の材料特性は公称値を用いた。

表 2.1 配合表

単位量(kg/m ³)				
水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 F
175	292	857	947	2.92

表 2.2 材料特性

供試体	静弾性係数 (kN/mm ²)	動弾性係数 (kN/mm ²)	ポアソン比	密度 (t/m ³)
S	25.75	40.53	0.17	2.310
N	28.25	41.40	0.18	2.338

RC 供試体の理論発錆量と固有振動数の関係を示すため、衝撃振動試験により、供試体の健全時及び腐食時の固有振動数を計測した。実験手順を以下に示す。

- ①加速度センサを供試体の上面の中央を含み等間隔に 7 個設置する。
- ②供試体中央付近にハンマーを用いて衝撃载荷を行い、加速度を取得する
- ③衝撃载荷によって得た加速度波形をフーリエ変換し、固有振動数を求める。
- ④腐食を促進させる供試体 S-1, S-2 は電食試験を行い、一定の間隔で腐食・乾燥を行いその都度、①から③の手順で固有振動数の測定を行う。

④で、コンクリート内部の鉄筋を腐食させるため、主鉄筋に電食を施した。電食試験の概要を図 2.3 に示す。ここで、 0.38A の直流電流を印加した。これは、既往の実験²⁾に基づいて、主鉄筋表面当たり、 0.85mA/cm^2 の電流密度となるように算定したものである。また、理論発錆量は、供試体の通電時間、電流量から算出した。

実験結果として図 2.4 に示すような関係を得ることができた。また、同グラフは各供試体の内部鉄筋腐食による発錆量に伴う固有振動数の変化を表したものである。ただし、両供試体の初期固有振動数は同じ配合であり、塩化物イオンを含んでいない供試体 N-1, N-2 の初期固有振動数の平均値を用いた。

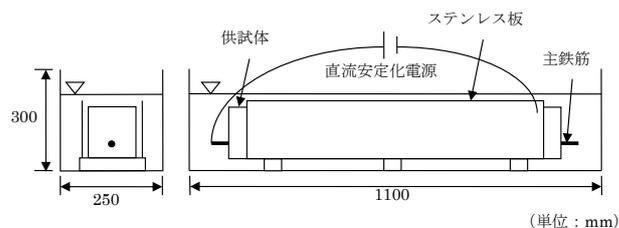


図 2.3 電食試験概要

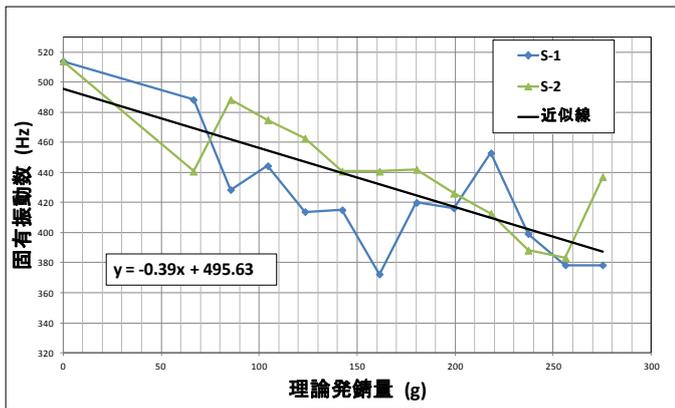


図 2.4 固有振動数-理論発錆量関係

3. FEMによる固有値解析

本章では、腐食した RC 供試体のひび割れや内部鉄筋の腐食膨張が固有振動数の低下にどの程度影響を及ぼしているかを FEM 解析によって検討する。また、それらの結果をもとに腐食供試体の RC はりの再現モデルを提案する。

本章でのモデル作成及び解析には、商用有限要素解析ソフトウェア Abaqus/Standard を使用する。

固有振動数低下の主な原因として、内部鉄筋腐食の膨張圧によるひび割れが考えられる。ここで、コンクリート内部のひび割れによって応力に対するひずみの比である弾性係数が低下し、固有振動数が低下すると考えられる。また、破壊後の腐食供試体の内部のひび割れが発生している範囲を観察し、鉄筋周りの一部分であることから、本解析ではコンクリートのひび割れを供試体の部分的な動弾性係数の低下を用いて再現した。

解析結果から、ひび割れによる劣化範囲の動弾性係数を低下させると、それに伴い固有振動数が低下することが分かった。よって、固有振動数の低下に大きく影響を及ぼす原因は、鉄筋腐食の膨張圧によって生じたコンクリートのひび割れによる動弾性係数の低下であると考えられる。

RC 供試体の内部鉄筋腐食の膨張圧により生じるひび割れによって動弾性係数が低下することから、発錆量と動弾性係数低下率にも関係があるといえる。そこで、解析値と実験値の比較を行うため発錆量から動弾性係数に変換するための係数 k を定めた。また、発錆量 P 、動弾性係数低下率 E 及び係数 k の関係式を式(1)に示す。

$$E = kP \quad (1)$$

$k=0.29$ の際に最も近似したためこれを用いる。そして、発錆量に係数 k を乗じることにより動弾性係数低下率に変換し、解析値及び実験値をプロットしたものを図 3.1 に示す。本解析では以上のように発錆量と動弾性係数低下率を関係づけるためのモデルを提案した。

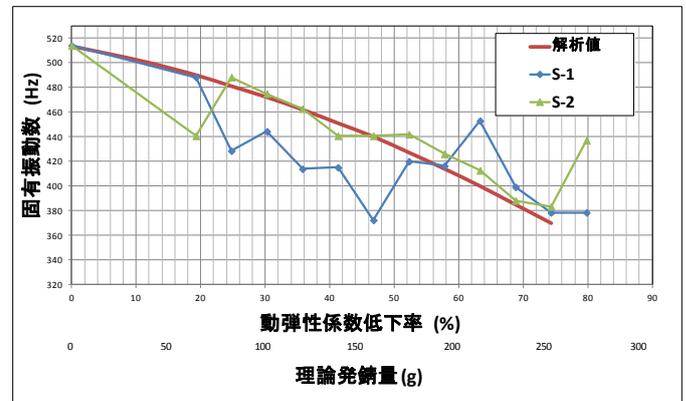


図 3.1 固有振動数-動弾性係数低下率関係

4. 結論

- (1) RC 供試体に対し衝撃振動試験及び電食試験を行うことで、発錆量の増加に伴い固有振動数は低下することが示された。
- (2) 固有振動数の低下に大きく影響を及ぼす要因は鉄筋の腐食膨張により生じるコンクリートのひび割れであり、動弾性係数を部分的に低下させることで FEM 解析によって再現することが可能であった。
- (3) 実験で用いた供試体のモデルを提案することで定数 k を求めることができ、発錆量から動弾性係数低下率を算出することができた。

参考文献

- 1) 土木学会(2007)：コンクリート標準示方書（設計編），pp.119,120.
- 2) 濱田秀則，福手勤，阿部正美，堂園昭人(1997)：劣化した港湾コンクリート構造物の非破壊検査法としての AE 計測の適用性に関する基礎的研究，港湾技研資料，No.872.