

RC はりの損傷が振動特性に及ぼす影響と FEM モデリング

愛媛大学大学院 学生会員 ○近藤健一 愛媛大学大学院 学生会員 佐久間啓蔵
愛媛大学 正会員 全 邦釘

1. はじめに

我が国には高度経済成長期に建設された橋梁が多く存在しており、それら橋梁の老朽化による劣化が顕在化してきている。劣化の要因は様々に存在するが、その中でも特に塩害は四方を海に囲まれる我が国において主な老朽化の要因として挙げられる。それに加え、建設当初には想定されていなかった自動車荷重の質的・量的増大、特に過積載による劣化も近年問題視されてきている。そこで、それら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。

本研究では劣化が進行すると剛性が低下するために固有振動数が低下するということを利用し、RC 供試体を対象に塩害や過積載による損傷をそれぞれ模擬した条件下で衝撃振動試験を行い、腐食や載荷による損傷と振動特性との関係性について検討した。またその結果をもとに、有限要素解析により鉄筋腐食による耐力などの性能低下を評価する手法を提案した。

2. 実験概要

本研究では、図 2.1 に示すような RC 供試体を 4 体作成し、RC 供試体の腐食や載荷による損傷と固有振動数の関係を示すことを目的として衝撃振動試験及び電食試験を行った。腐食の有無が振動特性に与える影響について検討するため、4 体作成した

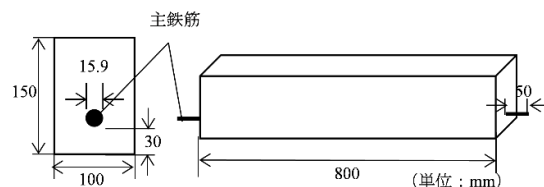


図 2.1 供試体概要

供試体のうち 2 体 (S-1, S-2) は電食させ、2 体 (N-1, N-2) は電食させないこととした。S-1, S-2 については腐食損傷の進展が固有振動数に与える影響をとらえるため、電食試験を行いながら段階的に固有振動数を計測する。なお総通電時間が 696 時間になるまで繰り返した。それに加えて、載荷による損傷が固有振動数に与える影響を調べる。N-1, N-2 については腐食をさせない状態で、S-1, S-2 については 696 時間通電した後で、4 点曲げ試験を行い、徐々に載荷荷重を上げていき、その過程でどのように固有振動数が変化するか調べた。具体的には、まず 6kN まで載荷した後に除荷して固有振動数を計測した。次に、12kN まで載荷した後に除荷して固有振動数を計測する、というように 6kN ずつ段階的に載荷荷重を上げていき最終的に破壊するまで損傷を進行させた。

コンクリート内部の鉄筋を腐食させるため、電食試験を行った。ここで、0.38A の直流電流を印加した。これは、既往の実験¹⁾に基づいて、主鉄筋表面当たり、0.85mA/cm²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。

3. 実験結果

S-1, S-2 供試体について、理論発錆量と固有振動数の間に図 3.1 に示すような関係を得ることができた。このように、測定データのばらつきはあるものの RC 供試体の内部鉄筋腐食が進めば固有振動数が低下することを実験的に確認した。

健全供試体 N-1, N-2 と腐食供試体 S-1, S-2 の各供試体について、載荷試験を行い損傷を与え、載荷荷重と固有振動数との関係を調べた。健全供試体、腐食供試体ごとにそれぞれ結果を図 3.2、図 3.3 に示す。まず、健全供試体 N-1, N-2 については図 3.2 に示す近似線から、載荷による損傷の進行に伴う固有振動数の低下を確認した。続いて、腐食供試体 S-1, S-2 に

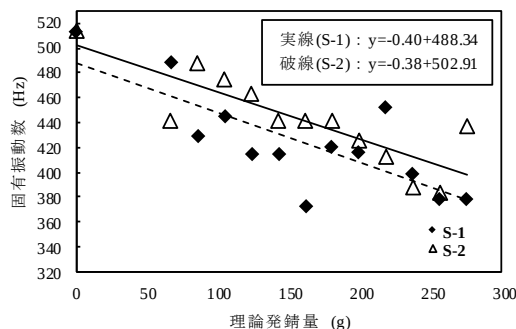


図 3.1 理論発錆量と固有振動数の関係

ついて図 3.3 に示す近似線の傾きが、図 3.2 に示す近似線の傾きに比べ緩やかであることが確認できた。

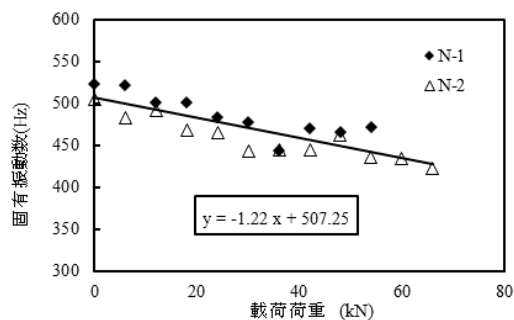


図 3.2 載荷荷重と固有振動数の関係（健全）

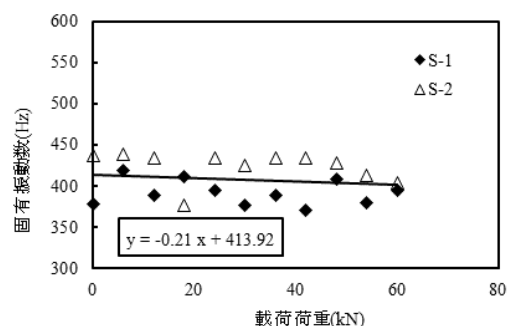


図 3.3 載荷荷重と固有振動数の関係（腐食）

4. 有限要素法による固有値解析

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。内部鉄筋腐食の膨張圧による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。そこで、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、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、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 4.1 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。

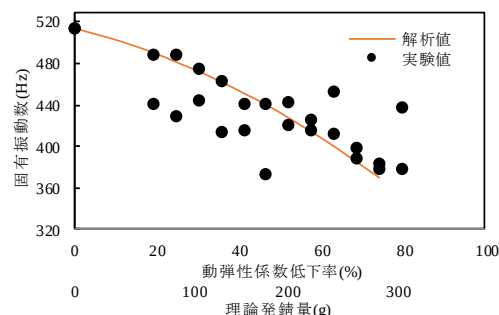


図 4.1 固有振動数と動弾性係数低下率の関係

5. 結論

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。また、4 点曲げ試験により段階的に載荷を行い固有振動数を測定した結果、載荷荷重の増大に伴い固有振動数が低下することを確認した。それに加え、鉄筋腐食による損傷を既に与えた供試体に対し、載荷による損傷も与え固有振動数を測定した結果、健全な供試体に載荷による損傷を与えた時と比較して固有振動数の低下率が小さいことを確認した。

発錆量から動弾性係数低下率を算出する式(1)を提案した。式(1)の中の係数 k を、データの蓄積により精度良く定めることが出来れば、有限要素解析により構造物の耐荷力などを導出することもできるようになると考える。

参考文献

- 1) 濱田秀則, 福手 勤, 阿部正美, 堂園昭人: 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, 1997.6