

# 高齢コンクリートアーチ橋（大宮橋）の打撃振動試験とFEM解析による固有振動特性

愛媛大学 学生会員 ○江見 和泰  
愛媛大学 フェロー 森 伸一郎

## 1. はじめに

本研究では供用93年経過した鉄筋コンクリートアーチ橋（大宮橋）を対象に補修前の経年劣化、損傷が進んだ状態と補修後で打撃振動測定を実施し、固有振動数を求めることで、補修前後の固有振動数による評価を行った。

## 2. 対象橋梁概要

大宮橋は愛媛県西条市にある橋長45.02 m、有効幅員4 mの鉄筋コンクリート開腹上路アーチ橋で1927年に建設されており、2020年現在建設から93年経過している。本橋梁は2005年に土木学会選奨土木遺産に選ばれている。歴史的価値を考慮し、架け替えではなく、補強修繕、強度回復を図る目的で内圧充填接合補強工法が選択された。図-1に大宮橋の平面図、側面図を示す。橋梁は3本のアーチリブと各桁あたり21本の支柱があり、計63本の支柱からなっている。定期点検による診断は判定区分Ⅲと判定されている。

## 3. FEM解析による振動特性の検討

想定される固有振動数、振動モードを把握するためにFEMソフトABAQUSを用い固有値解析を行った。3D-FEMを用いることで振動測定結果をより合理的に議論できる。図-2に解析モデルと解析結果を示す。要素数は17852、節点数は36797、6面体のソリッド要素でモデル化した。使用物性は密度 $2,400 \text{ kg/m}^3$ 、ポアソン比0.3、ヤング係数 $2.57 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ とし、全要素共通とした。解析ではそれぞれリブ支間中央V12を中心とした変位の振動モードが確認され、1次が水平1次曲げ、2次が鉛直1次曲げ、3次が1次ねじれの振動モードであった。

## 4. 打撃振動測定と振動モードの同定

対象橋梁の振動特性把握のために打撃振動測定を実施した。図-1に速度計配置と打撃点を示す。振動測

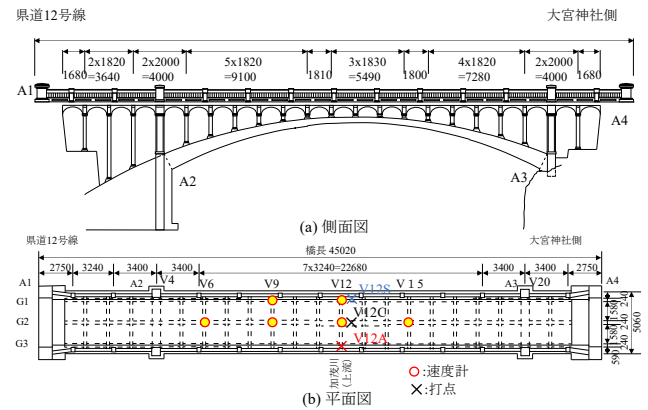


図-1 大宮橋の側面図

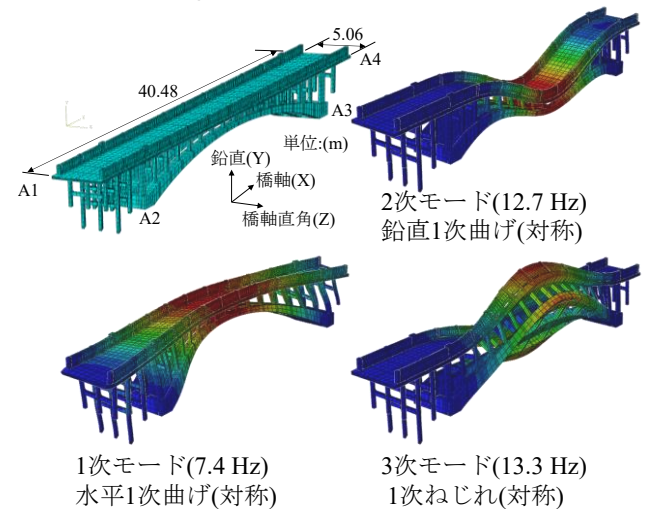
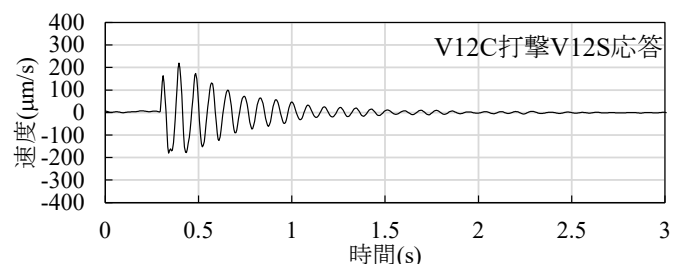
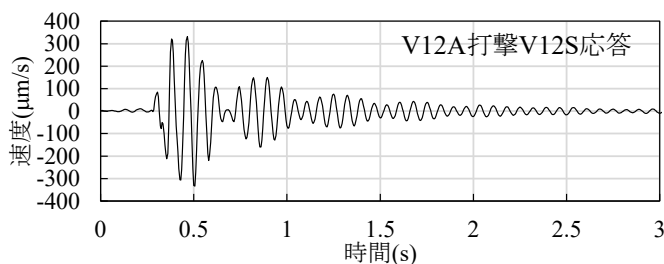


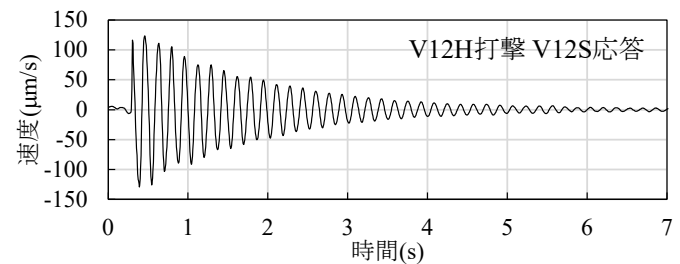
図-2 解析モデルと解析結果



(a) V12C打撃時のV12S応答（鉛直成分）



(b) V12A打撃時のV12S応答（鉛直成分）



(c) V12H打撃時のV12S応答（橋軸直角成分）

図-3 速度時刻歴波形

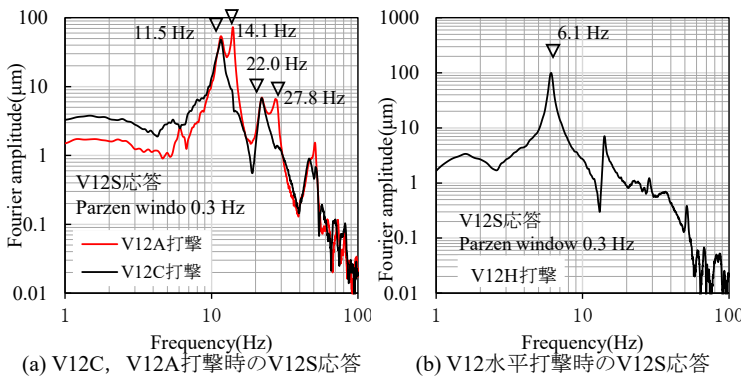


図-4 フーリエスペクトル

定では橋軸方向に C (中心測線), S (センサー側車道測線), A (センサー反対側車道測線) を設け, リブ支間中央部(V12) に打点 V12C, V12A を設けた. 1 次曲げモード, 1 次ねじれモードを励起するため, V12C, A 打撃, さらに水平曲げについて検討のため V12A 側の高欄に水平打撃(V12H)を行った. 打撃はかけやを用い, 路面・高欄に垂直に打撃した. 速度計は路面に設置した. 使用した速度計は 3 成分動コイル型速度計の CR4.5-2S (ANET 社製) で, 計測ステーション GEODAS-15D-24ch-USB (同社製) で 6 台 18 成分を同時計測した. 測定条件は AD 周波数 200 Hz とした. 測定データは打撃 3 秒前から 20.48 秒間 (データ数 4096) を抽出して高速フーリエ解析を行い, フーリエスペクトルを求め, 低次から卓越振動数を求めた. 図-3 に V12C, V12A, V12H 打撃の V12S 応答の速度時刻歴波形をしめす. V12C, H 打撃では単調な自由減衰振動しているのに対して, V12A 打撃は包絡線内部に大小の振幅が周期的に繰り返す, うなり現象があらわれている. これは近い振動数が存在し, 2 つの振動数が混じる状態である. 図-4 に各打撃の V12S 応答のフーリエスペクトルを示す. 低次より 6.1 Hz, 11.5 Hz, 14.1 Hz に明瞭な卓越が確認でき, 打撃によって卓越振動数が異なり, 11.5 Hz は V12C, A 打撃で, 14.1 Hz は端部打撃のみに現れることから, それぞれ曲げ, ねじれモードが推定される. 両者に対応する固有振動モードを求めるために, 各卓越振動数に対して, バンドパスフィルター処理を施し, フーリエ逆変換した時刻歴から各速度計の同時刻空間の位相をもとめ, 振動モードの経時変化を求めた. 図-5 にそれぞれの振動モードを示す. 鉛直成分については卓越 1 次では中央部変位, 軸直方向に軸中心部と端部が同位相で 1 次曲げ, 2 次では中央部変位, 軸直方向に軸中心部と端部が逆位相で 1 次ねじれの振動モードが固有値解析結果 (振動モード) と一致した.

実測より求めた補修前後の固有振動数について平均の差の検定を有意水準 5% として行い, 統計的優位性を検討した. 補修後の固有振動数は統計的有意に増加し, 増加率は水平 1 次曲げ 5%, 鉛直 1 次曲げ 2.4%, 鉛直 1 次ねじれ 2.4% であった. 固有振動数の増加つまり, 補修により橋の総合的な剛性増加が確認され, 橋の性能向上が定量的に評価された.

5. 結論

BPF による振動モードの検証は 3DFEM による固有振動モード値解析結果と一致し, 補修後による固有振動数は統計的優位に増加しており, 特に水平 1 次曲げは 5% 増加し, すなわち補修による橋の総合的な剛性増加が確認された.

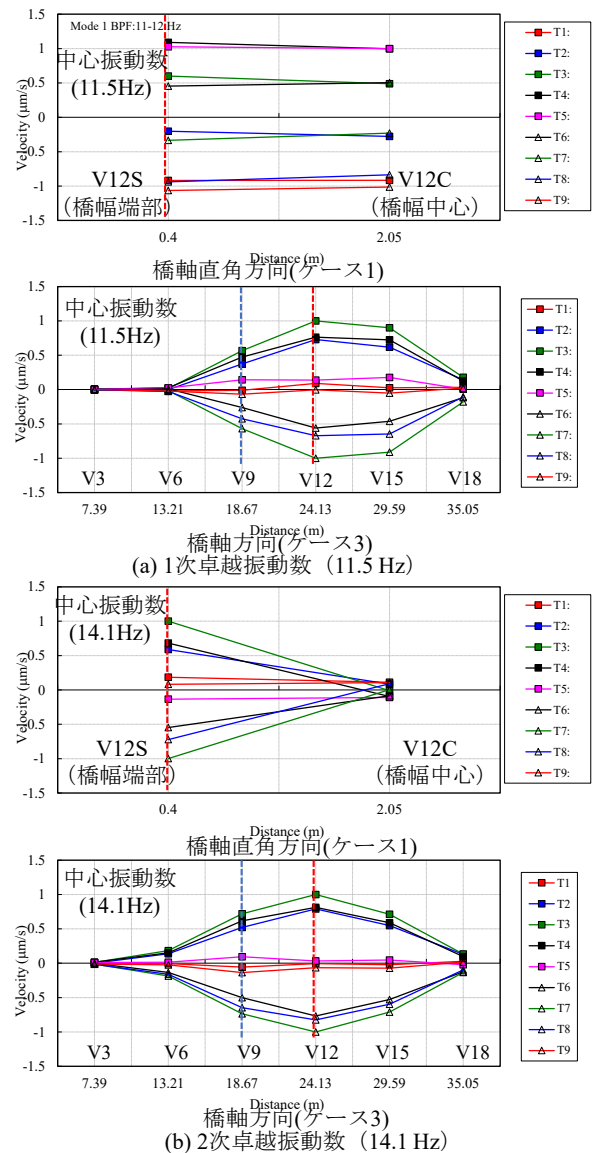


図-5 固有振動モード