

PC 橋の振動特性および弾塑性挙動に関する 3 次元 FEM 解析

京都大学 学生員 ○谷口 慶舟

京都大学大学院 学生員 Kwak, Sangkwon

京都大学大学院 正会員 金 哲佑

1. 序論

近年、我が国における多くの橋梁は、建設から耐用年数である 50 年が経過している。その中でも、プレストレストコンクリート(以下 PC)橋は日本の橋梁の約 44% を占めており¹⁾、経年劣化や損傷事例が多く報告されている。これらを適切に、効率よく維持管理する手法として振動ヘルスマニタリングが近年注目されており、橋梁の異常検知に有効であると報告されている。しかし、PC 橋の材料特性の構成則が複雑なことなどから PC 橋の健全性評価に活用できるまでには至っていない。

そこで、先行研究²⁾では PC 橋の破壊に伴う振動特性の推移を検討し、耐荷性能との相関について検討を行った。また、ファイバーモデルによる荷重変位曲線の再現を試みたが、非線形領域での再現性に劣る結果となった。本研究では、3 次元 FEM 解析を通して、荷重変位曲線や固有振動数推移の再現を試みる。関連して、PC 橋の 3 次元 FEM 解析におけるモデルアップデートに有効なパラメータについての比較、検討を行い、材料特性の構成則や境界条件等が PC 橋の解析応答に与える影響の検討を行い、その関係性を検討することを本研究の目的とする。

2. 対象橋梁および実験の概要

本実験が行われた対象橋梁は、竣工後 57 年が経過し、日本海沿岸から約 170m という飛来塩分の影響を大きく受けてしまう環境にあり、実際に塩害による PC 鋼材の腐食やコンクリートの剥離が確認された。本橋は単純 PC ポストテンション T 桁の 5 径間 4 主桁からなる支間長 34.3m、全幅員 7.2m の橋梁である。実験を行うのは Fig.1 に示す第一径間を対象とした。静的載荷実験では橋梁の破壊に至るまでの実験を想定し、Fig.2 の Loading-1~Loading-5 に示す載荷プロセスに従って、損傷が多くみられた外桁の支間中央に載荷を行った。

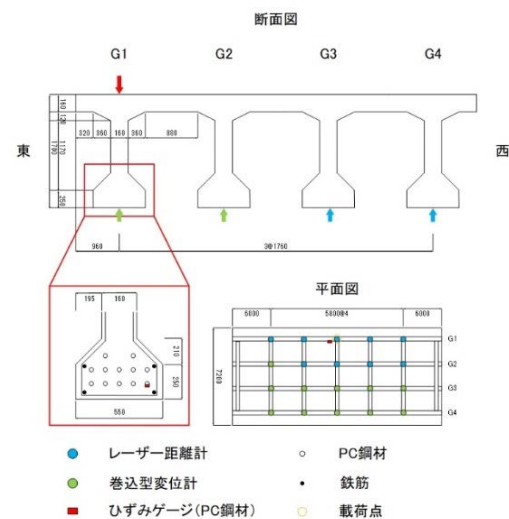


Fig. 1 Target bridge and sensor deployment (mm)

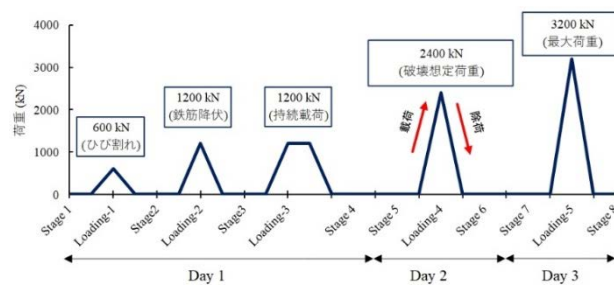


Fig. 2 Static loading and dynamic test histories

載荷実験とともに、各載荷段階における振動特性を把握するために、Fig.2 の Stage1~Stage8 に従って、衝撃加振実験を行った。計測した加速度を用いて、確率部分空間法 (Stochastic Subspace Identification : SSI)³⁾により振動特性の同定を行った。

3. 荷重 - 変位関係

G1 桁の荷重 - 変位関係について、載荷実験で得られた荷重 - 変位曲線を Fig.3 に示す。Loading-1~Loading-3 までの載荷では弾性的で線形の挙動を示している。一方で Loading-4, Loading-5 残留変位が観測され、非線形の挙動が確認された。3 次元 FEM 解析では線形・非線形の挙動を含む Loading-4 に着目した。コンクリート圧縮強度および引張強度、初期プレストレス力のパラメ

キーワード PC 橋 ヘルスマニタリング 振動特性 FEM 解析

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C1-183 Email: kim.chulwoo.5u@kyoto-u.ac.jp

ータについて、設計書から得られた値を基準値とし、10%前後に変化させたところ、いずれのパラメータにおいても荷重－変位曲線の剛性や初期勾配に影響を与えることが確認できた。例として、Fig.4 (a)にコンクリート引張強度の変化による荷重－変位曲線を示す。また、再現度の高かった解析データを Fig.4 (b)に示す。ただし、残留変位までは再現できていないが、Fig.4(a)の Analysis-1 の解析結果に表すように残留変位の再現可能性がうかがえる。

4. 固有振動数の推移

固有振動数の推移について、衝撃加振実験のデータと FEM 解析と並行して行った固有値解析のデータの比較結果を Fig.5 に示す。対象橋の支承部が機能しないとの仮定で、橋軸方向を固定した固有値解析も共に示している。実験データについて、曲げ 1 次モードについては一部固有振動数の上昇が確認され、曲げ 2 次モードについては右肩下りの傾向を示している。固有値解析からは、曲げ 1 次振動数の傾向の再現ができていない。また、橋軸方向の支承を固定することにより、曲げ 1 次振動数には大幅な増加、曲げ 2 次振動数には若干の増加が確認された⁴⁾。曲げ 2 次モードについては橋軸方向の支承を固定する条件で、実験と類似の傾向が見えた。総じて、曲げ 1 次モードについては Stage3 と Stage7 における固有振動数の上昇が再現できておらず、全体的な傾向としても再現が不十分であった。ひび割れ発生による減衰特性の変化も考えられるが、固有値解析では反映できないことから、非線形の動的応答解析による解析時系列から振動特性を検討する必要があると考えられる。また、除荷時にはプレストレスによって損傷による剛性低下が表れにくいため振動特性を評価する際には、载荷の履歴曲線を考慮に入れるなど、更なる分析改善が必要である。

5. 結論

初期プレストレス力、コンクリートの圧縮強度および引張強度や初期勾配に影響を与え、PC 橋梁の 3 次元 FEM 解析におけるモデルアップデートに有効なパラメータを確認したが、残留変位の再現には至っていない。今後は、異なるパラメータやコンクリートモデル、材料特性の構成則や解析の条件等に関する検討を行う必要

がある。また、固有値解析による振動数推移の再現について、全体的な傾向としても再現が不十分であった。今後は、非線形の動的応答解析による解析時系列から振動特性を検討する必要があると考えられる。また、除荷時にはプレストレスによって損傷による剛性低下が表れにくいため、振動特性を評価する際には、载荷の履歴曲線を考慮に入れるなど、更なる分析改善が必要である。

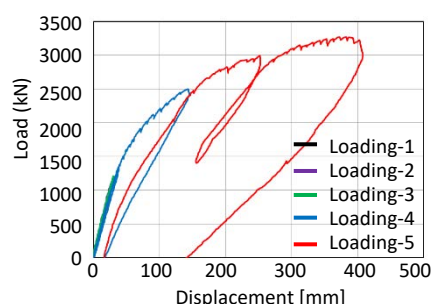


Fig.3 Experimental load-displacement curve (G1-girder)

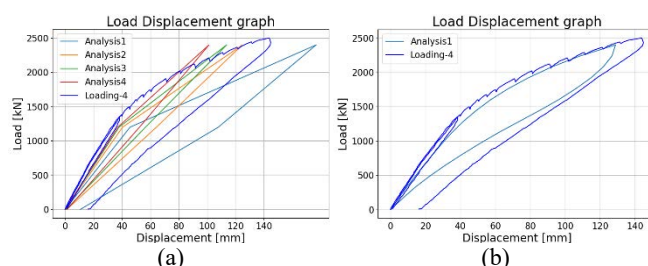


Fig.4 Load-displacement curve of G1-girder: experiment vs. FEA: (a) effect of tensile strength of concrete; (b) FEA result most comparable with experiment.

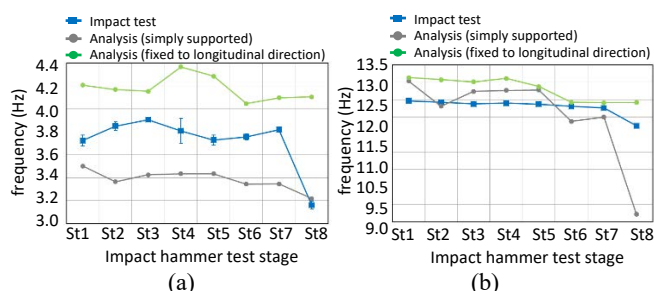


Fig.5 Frequency w.r.t. loading history: (a) 1st bending mode; (b) 2nd bending mode.

【参考文献】

- 1) 国土交通省道路局: 道路統計年報 2020, 上部工使用材料別, 都道府県別橋梁の現況, 2020.
- 2) 近藤ら: 現地载荷試験に基づく PC 橋の橋梁性能および振動モニタリング, 土木学会論文集 A2 (応用力学) Vol.75, No.2, pp.I_51-I_62, 2019.
- 3) Van Overschee, and De Moor: Subspace identification for linear systems: Theory-implementation-applications. Springer Science & Business Media; 2012.
- 4) 金哲佑: 橋梁点検と構造ヘルスマニタリング, 橋梁と基礎, Vol.54, pp.46-51, 2020.