# 破壊載荷実験をした 5 径間 PC 橋の固有振動特性の変化

愛媛大学　学生会員　○小林 巧
愛媛大学　フェロー　　森 伸一郎

## 1. はじめに

2017 年 7 月 26 日～28 日に北海道苫前郡羽幌町の一般国道 232 号の撤去される予定の PC 橋梁（旧・築別橋）で破壊載荷実験が実施された．この橋は海岸から約 150m の地点にあり塩害による鉄筋腐食が進行していた．本論文では，この橋梁に破壊載荷実験を行い力学的損傷が十分に進展した状況での固有振動数の変化を示すと同時に，単純梁理論値と FEM 解析値との比較を行った．

## 2. 破壊載荷実験の対象と方法

**図-1** に旧・築別橋の側面図及び断面図を示す．旧・築別橋は 5 径間の単純 PC ポステン T 桁橋であり，支間長は 34.3 m，桁長 36.0 m，幅員 6.0 m である．

破壊載荷実験は径間 1 で行った．主桁を東側から西側へ G1～G4，横桁を北側から南側へ D1～D7 とすると，載荷点は G1 桁上の支間中央（D4）である．実験は多段階載荷とし，各段階の最大荷重で一定時間荷重を保持してクラック観察を行い，その後除荷するという手順を，ピーク荷重を更新しつつ計 7 サイクル繰り返すものである．ピーク荷重は，600 kN（ひび割れ発生荷重）を 2 回，1200 kN（鉄筋降伏荷重），1300 kN，2500 kN（終局荷重），3000 kN，3271 kN（破壊荷重）であった．

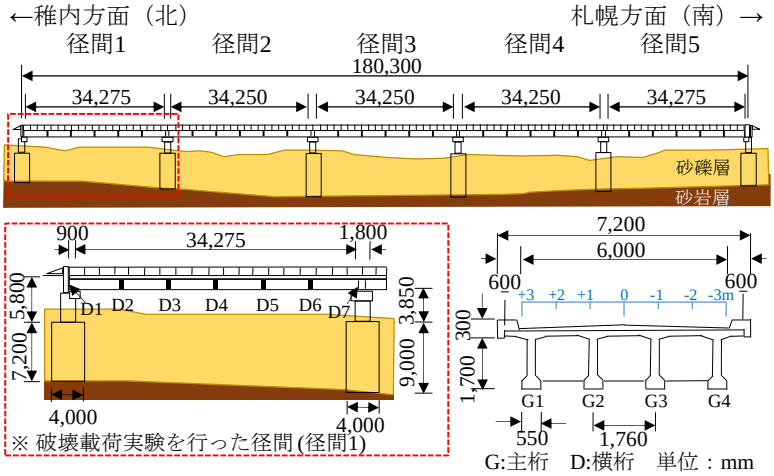



**図-1** 旧・築別橋の側面図及び断面図

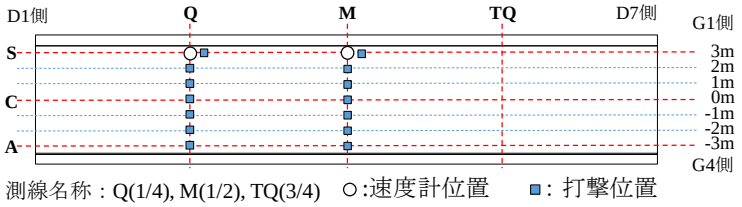



**図-2** 振動測定時の速度計位置と打撃位置

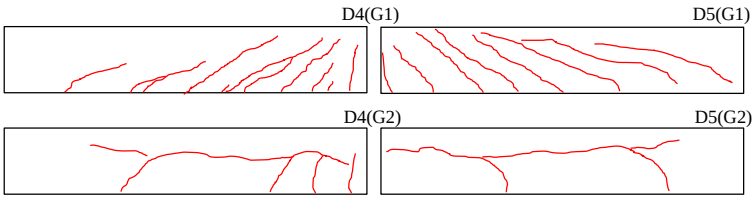


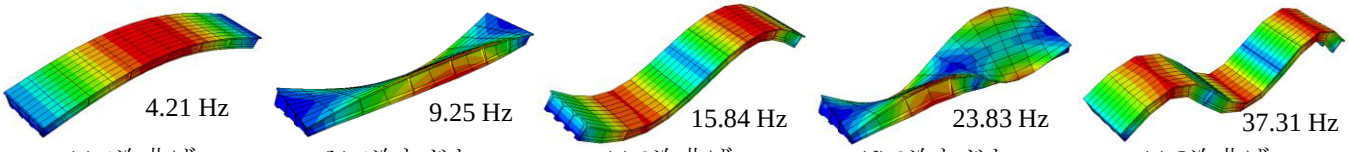

**図-3** 破壊載荷実験終了後の主桁側面のひび割れ進展状況

## 3. 振動測定方法と FEM 解析

振動測定は径間 1 とその他径間（径間 2～5）で破壊載荷実験終了後に載荷装置を外した状態で実施した．**図-2** に振動測定時の速度計位置と打撃位置を示す．測線は車道直行方向に Q（1/4 径間），M（1/2 径間），TQ（3/4 径間），車道平行方向に S（Sensor），C（Center），A（Another）を設定した．径間 1 では MS，QS 地点に速度計を配置した．打撃点は，TQ 測線以外の車道直行方向の測線 Q,M 測線上に 1m 間隔でそれぞれ 7 地点，計 14 地点をハンマーにより打撃した．径間 2～5 に関しては，MC を基準に径間 1 と点対象に速度計位置と打撃位置を設定した．測定には 3 成分の感震器と AD 変換器が内蔵された 0.5～20 Hz で平坦な利得の動コイル型速度計 GEODAQS（ANET 社製）2 台を用いた．サンプリング周波数は 200 Hz で，打撃 3 秒前から 20.48 秒間のデータを抽出しスペクトル解析を行った．

キーワード　固有振動数，破壊載荷，単純梁，プレストレストコンクリート，クラック，有限要素法
連絡先　〒790-8577　愛媛県松山市文京町 3　愛媛大学　森 伸一郎　email mori@ehime-u.ac.jp

© Japan Society of Civil Engineers




(a) 1次曲げ　(b) 1次ねじれ　(c) 2次曲げ　(d) 2次ねじれ　(e) 3次曲げ

**図-4** FEM 解析により求められた固有振動モード

本研究では，振動測定で得られた卓越振動数に対応する固有振動数を特定するために，汎用 FEM コード ABAQUS[1)] を用いて解析を行った．入力したパラメータは，質量密度 2,400 kg/m$^3$，ヤング係数 3.83E+10 N/m$^2$，ポアソン比 0.2 である．ヤング係数は現地で測定した弾性波速度 4,211 m/s から逆算した．モデル化は支間中央の断面で行い，支点条件はピンローラー支点とした．

## 4. 破壊載荷実験の結果

**図-3** に破壊載荷実験終了後の主桁側面のひび割れ進展状況を示す．この図は全ての試験終了後から約 1 ヵ月後に現地を訪問し観察したものである．G1 では支間中央に向けて曲げひび割れが発生している．G2 では載荷時の橋梁のねじれによると思われるせん断ひび割れが確認された．

## 5. 振動測定結果と理論値・解析値の比較

**図-4** に FEM 解析により求められた固有振動モードを，**図-5** に径間 1 と径間 5 のフーリエ分析結果を示す．2 つの図を比べて卓越振動数と固有振動数を対応付けた．載荷の有無によって各固有振動数が異なっていることがわかる．

**図-6** に各径間の固有振動数測定値と単純梁理論値と FEM 解析値の比較を示す．1 次と 2 次，3 次の曲げ固有振動数の単純梁理論値は 3.34 Hz と 13.37 Hz，30.09 Hz であり，FEM 解析値よりも 20%程度小さい．各径間の測定値を比較すると，破壊載荷実験を行った径間 1 での 1 次ねじれ以外の固有振動数の平均値は最も小さかった．1 次ねじれ固有振動数が大きくなった理由として，橋軸に非対称に破壊載荷実験をしたことが原因として考えられる．径間 1 とその他径間で平均の差の検定（Welch の t 検定）を行うと，径間 1 の 1 次曲げと 2 次ねじれ，3 次曲げの固有振動数は有意水準 0.1 %で低下していた．2 次曲げ固有振動数は有意水準 1.0 %で低下していた．

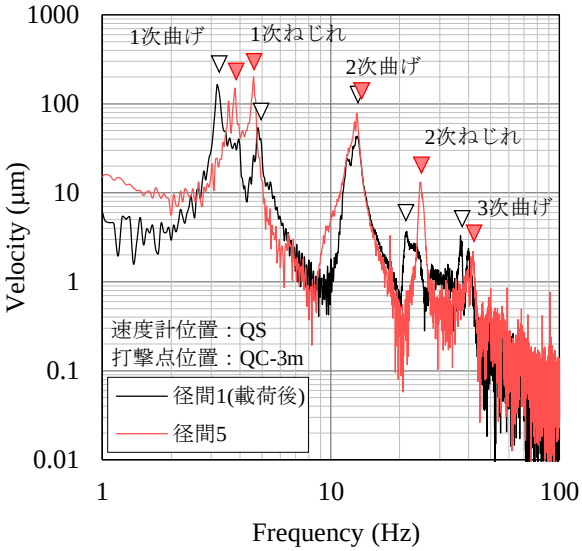



**図-5** 径間 1 と径間 5 のフーリエ分析結果

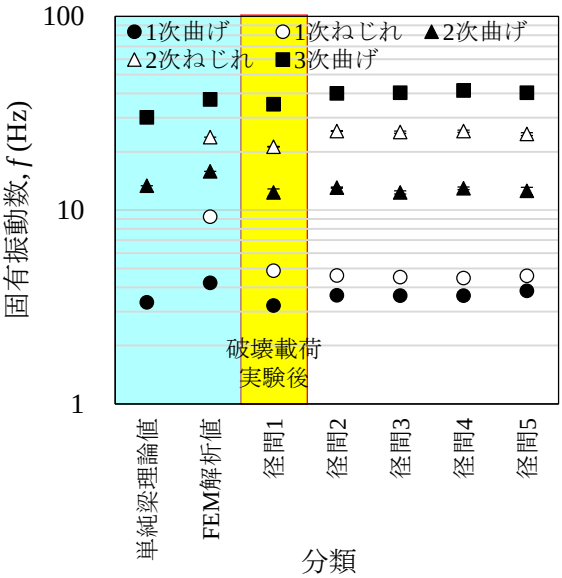



**図-6** 各径間の固有振動数測定値と単純梁理論値と FEM 解析値の比較

## 6. 結論

破壊載荷実験を実施し力学的損傷が進展した径間 1 の 1 次曲げ，2 次曲げ，2 次ねじれ，3 次曲げ固有振動数は他径間と比べ統計的有意に低下していた．1 次ねじれ固有振動数は大きくなっていた．

**謝辞**：本研究の一部は，（一財）港湾空港総合技術センターの平成 28 年度研究開発助成「打撃振動測定による PC 桟橋の損傷モニタリング技術の開発」を受けて実施したものです．北海道開発局留萌開発建設部と土木研究所 CAESAR の関係者皆様には破壊実験に参加する機会を与えていただきました．記して謝意を示します．

**参考文献**

1) Jacob Fish，Ted Belytschko：有限要素法 ABAQUS（山田貴博ほか訳），丸善，2008.

© Japan Society of Civil Engineers