

破壊載荷実験をした 5 径間 PC 単純梁の固有振動特性

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十分に力学的損傷が進展した状況での固有振動数の変化を示した。

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 桁橋である。支間長は 34.3 m, 桁長 36.0 m, 幅員 6.0 m である。また、調査時点で供用後 55 年が経過しており、定期点検調書によると健全度はⅢ、塩害対策区分 B1 と判定された橋梁である。

破壊載荷実験を行った径間は径間 1 である。載荷は鋼製反力フレームとグランドアンカーを利用した載荷装置で行われた。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 上）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一連の手順を、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（計算ひび割れ発生荷重）を 2 回、1200 kN（計算鉄筋降伏荷重）、1300 kN、2500 kN（計算終局荷重）、3000 kN、3271 kN（破壊荷重）であった。反力フレーム安定のため、最小で約 50 kN の荷重を保持していた。

3. 振動測定方法とその分析

載荷実験を行った径間 1 とその他径間（径間 2～5）で振動測定を実施した。径間 1 では、600 kN から 2500 kN までの荷重除荷後毎と破壊載荷実験終了後に行った。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

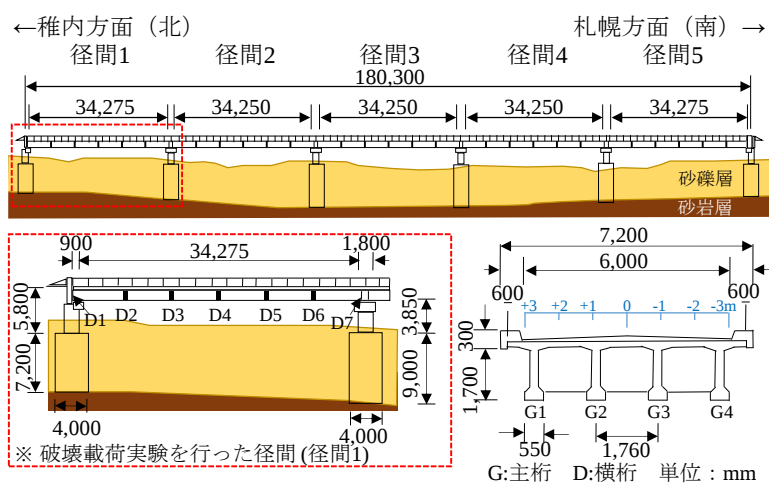


図-1 旧・築別橋の側面図及び断面図

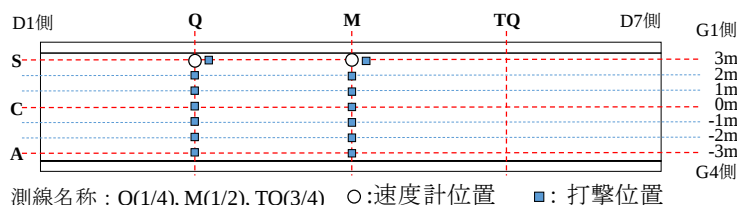


図-2 振動測定時の速度計位置と打撃位置

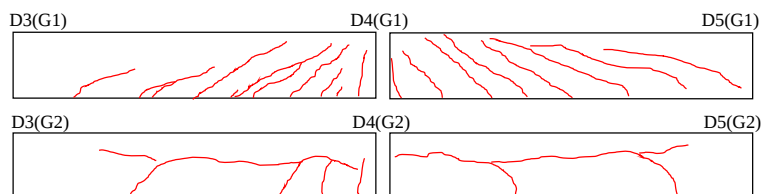


図-3 破壊載荷実験終了後の主桁側面のひび割れ進展状況

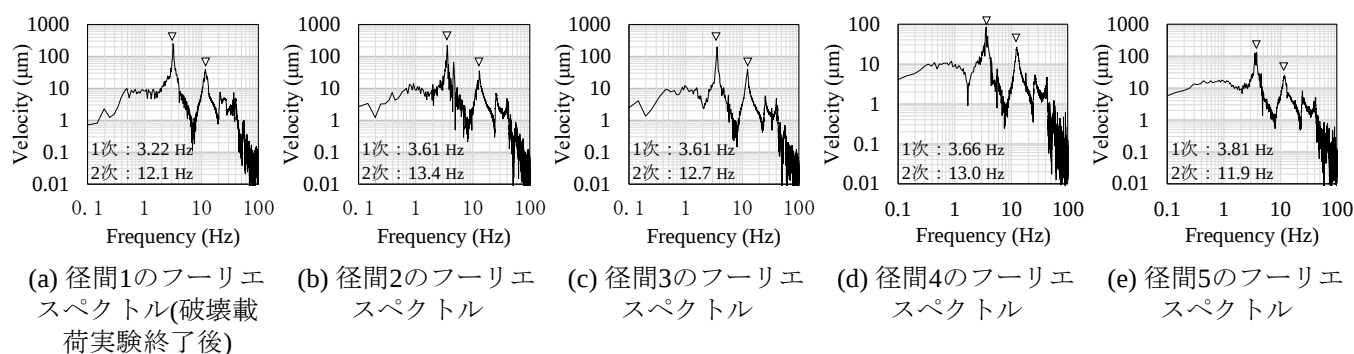


図-4 各径間におけるフーリエスペクトル (鉛直成分-速度計設置QS-打撃位置QC)

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 GEODAS (ANET 社製) 2 台を用いた。サンプリング周波数は 200 Hz, データ長は 150 秒である。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。

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 ヶ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の発生が見て取れる。

5. 破壊載荷実験を行った径間とその他径間の振動特性

図-4 に各径間のフーリエスペクトルを示す。径間 1 のフーリエスペクトルは載荷装置撤去後かつ載荷実験終了から約 1 ヶ月時点のものである。また、これらのフーリエスペクトルは速度計位置 QS で QC を打撃した時のものである。どの径間も明瞭な 1 次と 2 次の卓越振動数が確認された。理論に基づくと 1 次, 2 次, 3 次の曲げ固有振動数は, 1 倍, 4 倍, 9 倍に対応していると知られている。また, n 次曲げ固有振動数理論式では, ひび割れなどの損傷が進展すると曲げ剛性が低下し, 固有振動数が低下することが考えられる。同図の 1 次卓越振動数から 2 次卓越振動数は約 4 倍になっており, それぞれ 1 次と 2 次の曲げ固有振動数であると考えられる。1 次曲げ固有振動数は破壊載荷実験を行った径間 1 の 3.22 Hz が最も低かった。しかし, 径間 1 の 2 次曲げ固有振動数は他径間と比べ同程度である。2 次曲げ固有振動モードでは支間中央で節なので, ひび割れ発生の影響がほとんどなかったと推測した。

径間 1 と, 他径間を比較し載荷実験の有無による 1 次曲げ固有振動数の変化の有意性を調べた。図-5 に各径間の 1 次曲げ固有振動数の比較を示す。1 次曲げ固有振動数の平均値の最小値は径間 1 の 3.22 Hz, 標準偏差は 0.012, サンプル数 32 個であり, 載荷の行っていない径間 2～5 の 1 次曲げ固有振動数の平均値は 3.68 Hz, 標準偏差は 0.092, サンプル数 117 個である。径間 1 とその他径間で平均の差の検定 (Welch の t 検定) を行くと, 径間 1 の 1 次曲げ固有振動数が有意水準 0.1 %で低下していた。他径間と比べ破壊載荷による低下率は約 13 %であった。

6. 結論

- (1) 破壊載荷実験を実施し力学的損傷が進展した径間の 1 次曲げ固有振動数は他径間より 0.1 %有意で低下していた。2 次曲げ固有振動数は変化がなかった。
- (2) 力学的損傷による 1 次曲げ固有振動数の低下率は, 破壊荷重載荷時で約 13%程度である。

謝辞：北海道開発局留萌開発建設部と土木研究所 CAESAR の関係者様には本研究に関する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。

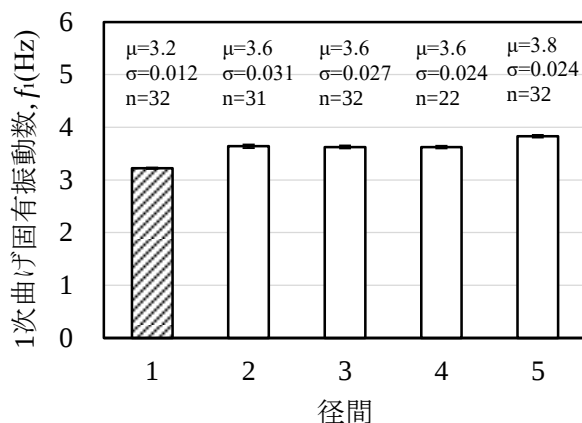


図-5 各径間の1次曲げ固有振動数の比較