

PC 橋梁の振動特性推定および設計図書情報に基づく構造解析

長崎大学 学生会員○田中良治 長崎大学大学院 正会員 奥松俊博
 長崎大学大学院 正会員 中村聖三 長崎大学大学院 正会員 西川貴文
 長崎大学大学院 熊 天

1 はじめに

PC (プレストレストコンクリート) は耐ひび割れ構造で耐久性の優れたものであるが、我が国で初めて建設されてから 50 年近くになり、既存構造物の中にはかなり長期間供用されてきたものが増えている。また、作用荷重の増大や有害物質の侵入などの厳しい環境に置かれているものも増加する傾向にある。このため、今後補修や補強を必要とするものが増えることが予想される¹。既往の研究で、PCT 桁橋 (能生大橋) において支承固着が固有振動数に与える影響は低次の方が大きいと示されている。また、鋼材腐食やプレストレス低下による要因だけでは健全時と比較して、振動特性に有意な差が生じないことが示されている²。そこで、本研究では支承の腐食が著しく、支承受替工事が予定されている PC 橋に対して鉛直方向の加速度計測を実施し、得られた加速度データから対象橋梁の振動特性を推定した。また、橋体温度変化に伴う支承の挙動を把握するために小型デジタルカメラによる計測を実施した。加えて、FE 解析と実測で得られた固有振動数を比較し、解析モデルの妥当性を検証した。

2 対象橋梁と計測概要

対象橋梁は、長崎市にある 3 径間連続 PC 箱桁部と 2 径間ポステン PCT 桁部から成る橋梁 (橋長 186m, 幅員 11m) である。橋体温度と外気温の計測、支承の撮影は 2021 年 8 月 4 日 18 時～8 月 5 日 10 時、鉛直方向の加速度計測は 2021 年 11 月 5 日 14 時～16 時の期間実施した。図 1 に対象橋梁および計測装置設置位置を示す。各計測装置は、サーミスタを P4 付近の桁上地覆と床版下面、桁下の計 3 点、サーボ加速度計を南南東側地覆部に 5 点、小型デジタルカメラを P4 地点の橋脚上に 2 点設置した。加速度計測に関してはサンプリング周波数 200Hz、10 分間毎にデータを蓄積する連続計測を行った。また、支承撮影に関しては北北西側の支承を撮影した。

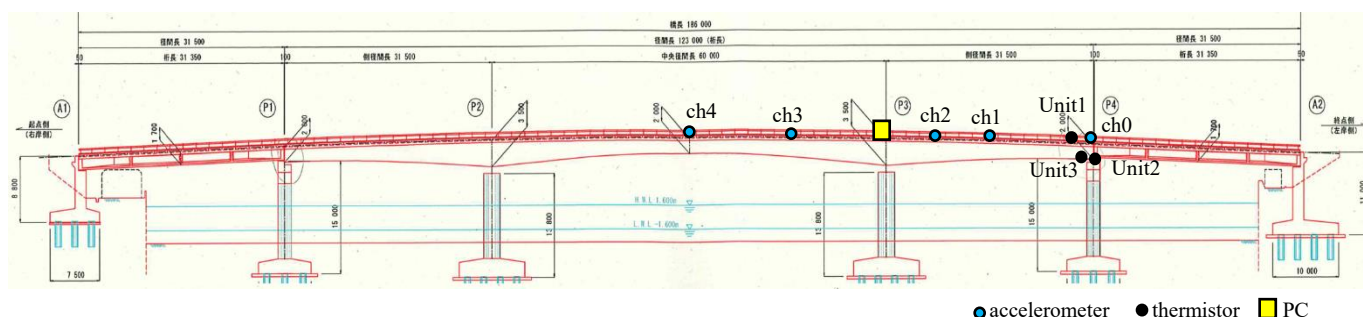


図 1 対象橋梁の側面図および計測装置設置位置

3 温度分布と支承の挙動

温度変化に着目すると 4 日 18 時 30 分～5 日 6 時まで温度が低下していることがわかる。図 2 より、18 時 30 分～6 時まで桁下の外気温の低下は 5.3℃、桁上地覆部の温度低下は 8.3℃、床版下面の温度低下は 3.2℃であった。また、カメラで撮影した画像を確認したところ、支承部には有意な挙動は見られなかったことから P4 地点の支承は機能が十分でない可能性がある。図 3 に支承の様子を示す。

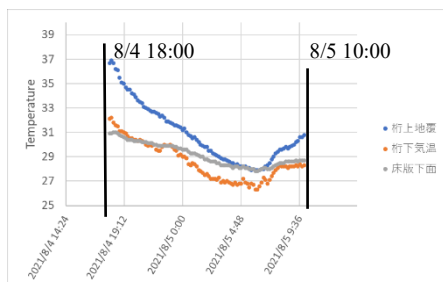


図 2 橋体温度分布



図 3 腐食した 1 本ローラー支承

4 梁要素モデルを用いた支承固着およびプレストレス低下による固有振動数変化

FE 解析ソフト MIDAS Civil を使用し、梁要素でモデル化を行い、支承固着およびプレストレス低下に伴う固有振動数の変化を求めた。今回のモデルではアスファルト舗装、地覆、高欄、せん断鉄筋、床版横締および斜鋼棒は考慮していない。また、プレストレスの影響を固有振動数に反映させるため、緊張応力に伴って発生する各要素の断面力を算出し、算出した断面力を初期断面力として各要素に与え固有値解析を行った。ここでは緊張応力として 600N/mm^2 (設計荷重時の許容引張応力度) を与えた。支承に関しては、腐食が著しい P4 支点の支持条件を変えた。図 4 に 1 次から 7 次までの振動モード形状を示す。表 1 から、低次の方が支承固着による影響が大きいということが確認できた。また、表 2 から、プレストレス低下による固有振動数の変化率は小さいことが確認できた。

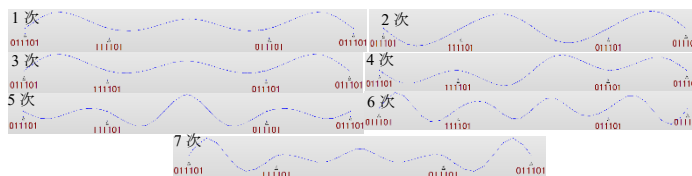


図 4 振動モード形状

表 1 支承固着による固有振動数変化

面内	固有振動数 (Hz) $\leftarrow$			変化率 (%) $\leftarrow$	
	P4 ローラー (健全時) $\leftarrow$	P4 ピン $\leftarrow$	P4 固定 $\leftarrow$	ローラー→ピン $\leftarrow$	ローラー→固定 $\leftarrow$
1 次 $\leftarrow$	2.36 $\leftarrow$	2.48 $\leftarrow$	2.81 $\leftarrow$	5.08 $\leftarrow$	19.07 $\leftarrow$
2 次 $\leftarrow$	5.21 $\leftarrow$	5.69 $\leftarrow$	5.76 $\leftarrow$	9.21 $\leftarrow$	10.56 $\leftarrow$
3 次 $\leftarrow$	6.75 $\leftarrow$	6.88 $\leftarrow$	7.59 $\leftarrow$	1.93 $\leftarrow$	12.44 $\leftarrow$
4 次 $\leftarrow$	8.72 $\leftarrow$	8.81 $\leftarrow$	9.66 $\leftarrow$	1.03 $\leftarrow$	9.73 $\leftarrow$
5 次 $\leftarrow$	13.61 $\leftarrow$	13.85 $\leftarrow$	13.98 $\leftarrow$	1.76 $\leftarrow$	2.72 $\leftarrow$
6 次 $\leftarrow$	18.63 $\leftarrow$	18.63 $\leftarrow$	19.09 $\leftarrow$	0.00 $\leftarrow$	2.47 $\leftarrow$
7 次 $\leftarrow$	19.81 $\leftarrow$	19.99 $\leftarrow$	21.15 $\leftarrow$	0.91 $\leftarrow$	6.76 $\leftarrow$

表 2 プレストレス低下による固有振動数変化

面内	固有振動数 (Hz) $\leftarrow$		変化率 (%) $\leftarrow$
	600N/mm^2 $\leftarrow$	0N/mm^2 $\leftarrow$	
1 次 $\leftarrow$	2.36 $\leftarrow$	2.39 $\leftarrow$	1.27 $\leftarrow$
2 次 $\leftarrow$	5.21 $\leftarrow$	5.24 $\leftarrow$	0.58 $\leftarrow$
3 次 $\leftarrow$	6.75 $\leftarrow$	6.77 $\leftarrow$	0.30 $\leftarrow$
4 次 $\leftarrow$	8.72 $\leftarrow$	8.74 $\leftarrow$	0.23 $\leftarrow$
5 次 $\leftarrow$	13.61 $\leftarrow$	13.65 $\leftarrow$	0.29 $\leftarrow$
6 次 $\leftarrow$	18.63 $\leftarrow$	18.66 $\leftarrow$	0.16 $\leftarrow$
7 次 $\leftarrow$	19.81 $\leftarrow$	19.84 $\leftarrow$	0.15 $\leftarrow$

5 加速度計測結果に基づく振動特性分析

2021 年夏季から秋季にかけ実施した橋梁地覆部鉛直報告の加速度計測に基づく、加速度計 ch0~ch6 の振動加速度データから AR モデル (抽出振動数上限 20Hz, AR 次数 80, 計測周期 30sec) により抽出した振動数の分布を図 5 に示す。縦軸は振動数、横軸は同定回数である。

図 5 より、2.5, 5.3, 8, 12.5, 16, 18, 19.2Hz 付近に固有振動数が存在することがわかる。また、表 1 と比較して、FE 解析で得られた結果は、実際の振動数に近いことがわかる。

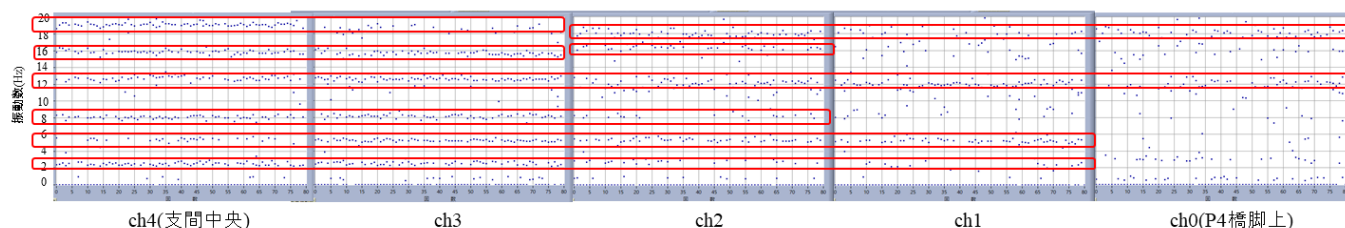


図 5 振動数分布

6 まとめ

本研究では、支承の腐食が進行している PC 橋の振動特性を推定するために加速度計測を実施し、設計図面をもとに作成した梁要素モデルの妥当性を検証した。また、橋体温度変化に伴う支承の挙動を把握するために小型デジタルカメラによる計測を実施した。その結果、得られた知見は以下のようである。

- (1) 振動特性として、2.5, 5.3, 8, 12.5, 16, 18, 19.2Hz 付近に固有振動数が存在することがわかった。
- (2) 小型デジタルカメラで撮影した画像を確認した結果、支承は可動していないことを確認できた。
- (3) 実測の分析結果と FE 解析の結果からモデルの妥当性が確認できた。

本計測に際し、長崎県道路維持課、長崎振興局にご協力を頂いたことを記して謝意を表す。

参考文献

- ¹ 小林和夫：PC 構造物の補修・補強，コンクリート工学，37 巻 2 号 p3-9，1999 年
- ² 国立研究開発法人土木研究所構造物メンテナンス研究センター，一般社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協会：撤去橋梁を用いた既設 PC 橋の診断技術高度化に関する共同研究報告書—振動測定による既設 PC 橋の異状検知に関する研究—，平成 27 年 9 月