

樹脂注入補修後の橋梁床版を対象とした振動モード形状の継続調査(補修3年後)

東日本高速道路(株) 正会員 ○宇山 友理

東日本高速道路(株) 正会員 樋本 智

(株)ネクスコ・エンジニアリング東北 正会員 加藤 諒

日本電気(株) 正会員 木下 翔平

日本電気(株) 正会員 葛西 茂

1. はじめに

著者らは、振動モードの発現に着目した橋梁構造の性能評価技術開発に取り組んでいる。これまでに鋼製梁門型橋脚の鋼2径間連続I桁橋の床版を対象に、樹脂注入補修後は23HzにA1-P1径間が3次かつP1-P2径間が2次の振動モードが発現することを確認している。今回、樹脂注入補修3年後における前述の振動モード形状を調査した。その結果、全振動モードについて補修3年後における振動モードの形状は昨年と比較して変化がなかった。また、補修後に観測された23Hzの振動モードを対象に、モード信頼性評価基準(MAC:Modal Assurance Criterion)により理論形状と補修以降の振動モード形状とを比較した。A1-P1径間を対象としたMACは、補修1年後と比較して、補修2年後と補修3年後のばらつきが大きくなる傾向であった。

2. 対象橋梁

図-1に対象橋梁の外観を、表-1に橋梁諸元をそれぞれ示す。

橋梁形式は鋼2径間連続I桁橋である。P1橋脚は門型の鋼製梁構造である。床版の表面にはクラックなどの損傷が散見されている。クラック補修や床版と舗装間の接着を目的に、2019年樹脂注入による補修を実施している。

3. 振動計測法

図-2に計測システムの概要を、図-3に加速度センサ設置位置を、表-2に計測諸元を示す。計測システム、センサ設置、計測諸元など振動計測法は、これまでの報告と同一である¹⁾。

4. 調査方法

4. 1 振動モード抽出

夜間に自動計測した加速度データに対して、車軸通過に伴う先鋭波形をカウントし、3軸以上の車両が通過した後の減衰自由振動を1イベントとし解析した。各年30イベントの振動モードを抽出した。

4. 2 振動モード形状の経年変化

振動モード形状の定量的な経年変化を把握したいため、補修後に発現した23Hzの振動モードを対象に、理論形状と実測形状とのMACを各年算出し比較した。図-5に比較の概念を示す。また式(1)にMACの理論式を示す。



図-1 対象橋梁

表-1 橋梁諸元

項目	仕様
構造形式	鋼合成2径間連続鉄桁
橋長(連長)	63.4 m
幅員	9.25 m
床版形式	RC床版

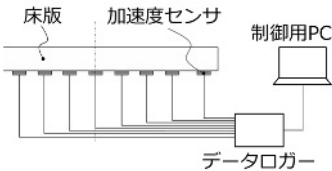


図-2 計測システム

表-2 計測諸元

項目	仕様
ダイナミックレンジ	± 14.1 m/s ²
計測周波数帯域	0 ~ 2000 Hz
サンプリング周波数	5120 Hz
解析対象区間長さ	2 s
周波数分解能	0.3125 Hz

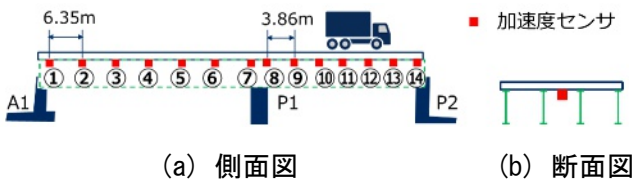


図-3 加速度センサ設置位置

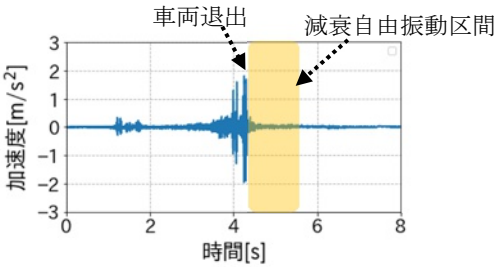


図-4 振動モードの分析区間例

キーワード 振動モード、橋梁床版、健全性評価、補修効果
連絡先 〒983-8477 宮城県仙台市宮城野区榴岡 1-1-1 東日本高速道路(株) TEL 022-398-8266

MAC はモード形状 Φ_I と Φ_F との類似度を表す指標である。0 から 1 の値をとり、1 に近いほど 2 つの形状の類似度は高い。

$$MAC(I, F) = \frac{\|\Phi_I \cdot \Phi_F\|^2}{\|\Phi_I\|^2 \cdot \|\Phi_F\|^2} \quad \cdots \text{式(1)}$$

ここで、 Φ_I 、 Φ_F は、式(2)、式(3)に示すように、 r_n 、 θ_n をそれぞれ位置 n における振幅と位相とした際の理論モード形状と実測モード形状を示す。

$$\Phi_I = {}^t(r_1^I e^{i\theta_1^I}, r_2^I e^{i\theta_2^I}, \dots, r_n^I e^{i\theta_n^I}) \quad \cdots \text{式(2)}$$

$$\Phi_F = {}^t(r_1^F e^{i\theta_1^F}, r_2^F e^{i\theta_2^F}, \dots, r_n^F e^{i\theta_n^F}) \quad \cdots \text{式(3)}$$

5. 結果

5. 1 補修3年後における振動モード形状

表-3 に補修後 23Hz で観測された振動モードの定性的な時系列変化を示す。本モードは A1-P1 径間が 3 次、P1-P2 径間が 2 次の形状である。補修3年後の振動モードは本モードも含め全モードについて昨年と比較して変化はなかった。

5. 2 振動モード形状の経年変化

図-6 に 23Hz の振動モードにおける A1-P1 径間の MAC を、図-7 に 23Hz の振動モードにおける P1-P2 径間の MAC 変化を示す。ここで理論形状は A1-P1 径間は 3 次、P1-P2 径間は 2 次とした。図-6 から A1-P1 径間の MAC の平均は補修直後以降順に、0.80, 0.92, 0.76, 0.82, また標準偏差は、0.11, 0.02, 0.24, 0.27 であった。一方、P1-P2 径間の MAC の平均は補修直後以降順に、0.85, 0.73, 0.86, 0.83, また標準偏差は、0.16, 0.18, 0.13, 0.17 であった。

6. まとめ

鋼製梁門型橋脚の鋼 2 径間連続 I 桁橋のコンクリート床版を対象に、樹脂注入補修 3 年後の振動モードを調査したところ、昨年と比較して振動モードの発現に変化はなかった。補修後に発現した 23Hz の振動モードが構造特性の向上に起因しているなら補修効果が継続していると考えられる。また MAC を用いて補修以降の振動モードの形状ばらつきを調査したところ、補修 2 年後および補修 3 年後における A1-P1 径間の MAC の標準偏差が大きくなる傾向であった。

参考文献

1)宇山友理, 他 3 名: 鋼製梁門型橋脚を有する鋼 2 径間連続 I 桁橋を対象とした樹脂注入補修 2 年後における橋梁床版の振動モード形状調査, 第 77 回土木学会年次学術講演会講演概要集, CS9-19, 2022.

た。これは補修効果を維持しているものの構造特性の変化を示唆している可能性があるため今後も注視する必要がある。

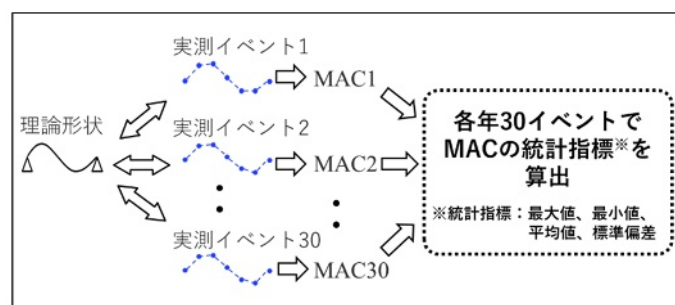
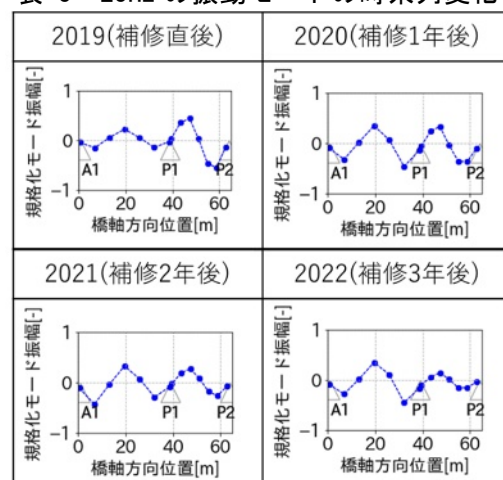


図-5 理論形状と実測形状との比較概念

表-3 23Hz の振動モードの時系列変化



※2019 年の補修前は発現なし

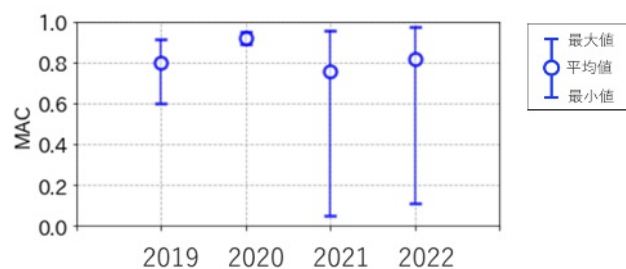


図-6 23Hz における A1-P1 径間の MAC 変化

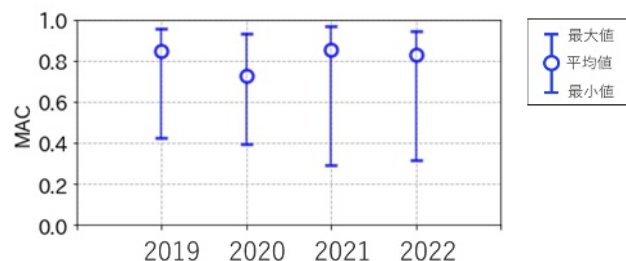


図-7 23Hz における P1-P2 径間の MAC 変化