

衝撃振動試験による橋梁床版損傷検出における MTS 法の有用性の検討

岩手大学工学部 学生会員 ○掛田 遥斗 岩手大学工学部 正会員 大西 弘志
 岩手大学名誉教授 正会員 岩崎 正二 岩手大学大学院 学生会員 佐々木 太一
 岩手大学大学院 学生会員 坪井 敦也

1. まえがき

現在国内では老朽化橋梁の急激な増加に伴い、より効率的かつ定量的な橋梁の点検手法の開発が求められている。本論文では実際に供用されている小規模橋梁床版上で小型 FWD 試験機を用いた衝撃振動試験を実施し、得られた応答加速度に対して産業界の様々な分野で異常検知手法として使われる MTS 法を用いることで橋梁床版の損傷を検出できるか検討を行った。

2. 小型 FWD 試験概要

本研究の対象橋梁は山形県上市市で供用されている赤山橋である。本橋は橋長 16000mm、幅員 8200mm、桁高 700mm の 3 本主桁と RC 床版で構成され、83°の斜角を有する鋼合成単純 H 型桁橋である。本橋は 2015 年の定期点検で桁部材の腐食や床版の ASR が疑われる損傷が確認され、2019 年に床版取替工事が行われた。

本研究では重錘と落下機構、载荷盤で構成されている小型 FWD 試験機を用いて衝撃振動試験を実施した。重錘の重さは 25kg、落下高さは 1m とし、外部センサーの加速度計で衝撃振動による応答加速度を計測した。図-1 に小型 FWD 試験の実施状況を示す。床版取替前は図-2 に示すように、3 本主桁の支間 1/4、1/2、3/4 点の計 9 点を打撃点及び加速度計測点とし、その名称を CH1～CH9 とした。1 打撃点において 3 回以上の打撃を行い、各点の打撃による応答加速度を 9 点で計測した。加速度計測のサンプリング間隔は 0.1ms としている。

3. MTS 法による検討概要

本研究では床版内の局所的な振動応答の違いから劣化・損傷部位を明らかにするために、各隣接計測点間に生じる加速度の差分について検討した。本文や図中の区間 CH1-CH2 等の表記は CH1（打撃点）-CH2（加速度差をとる計測点）を表し、CH1 での応答加速度から CH2 の応答加速度を引いたものとする。床版取替前の様々な 2 区間の応答加速度差の一致度を定量的に評価するため MTS 法を用いて、床版内の局所的な劣化・損傷の判定を試みた。



図-1 小型 FWD 試験実施状況

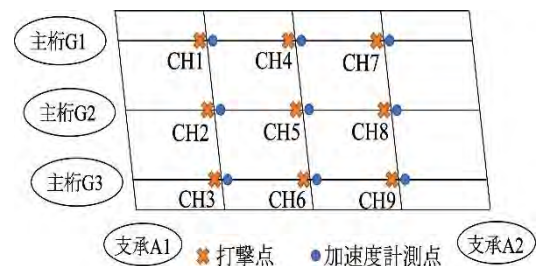


図-2 打撃点及び加速度計測点

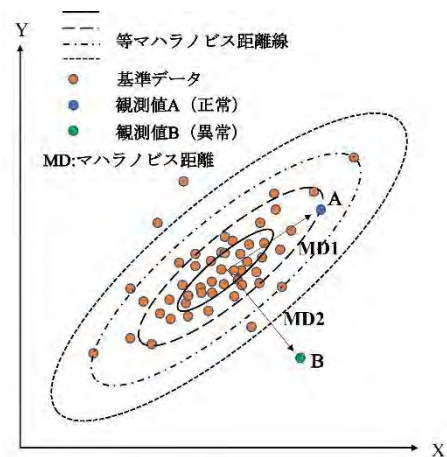


図-3 マハラノビス距離の概念図

MTS(Mahalanobis Taguchi System)法とはマハラノビス距離(Mahalanobis Distance:MD)を用いて、あるデータ群が正常な基準データ群にどれほど似ているかを示すことで観測値の異常を検知する手法である。図-3 にマハラノビス距離の概念図を示す。赤い点は正常な基準データ群である。図中の観測値 A と B は、基準データ群

キーワード

道路橋床版, 応答加速度, マハラノビス距離

連絡先

s0819021@iwate-u.ac.jp

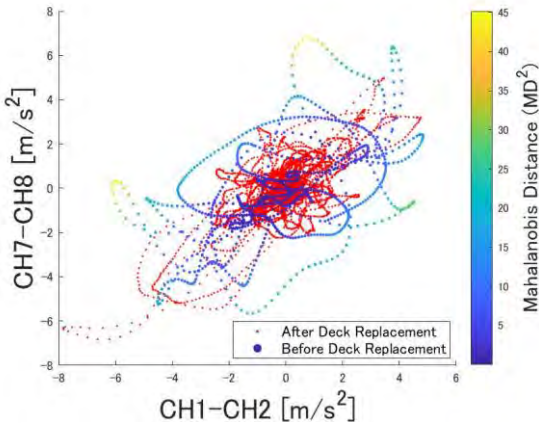


図-4 区間 CH1-CH2 と区間 CH7-CH8 の応答加速度差の分布と MD 値

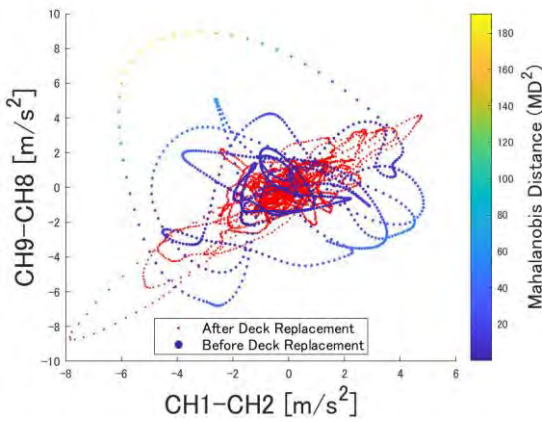


図-5 区間 CH1-CH2 と区間 CH9-CH8 の応答加速度差の分布と MD 値

からのユークリッド距離は等しいとする。しかし、マハラノビス距離の場合、基準のデータ群と似た性質を持つ観測値 A は観測値 B よりも MD 値が小さくなると思われる。

式(1)にマハラノビス距離(MD)の定義を示す。

$$MD^2 = \frac{1}{k} [Y_1 \dots Y_k] A \begin{bmatrix} Y_1 \\ \vdots \\ Y_k \end{bmatrix} \quad (1)$$

ここで、 k は変数の数、 Y は正規化されたデータからなるベクトル、 A は変量間の相関係数行列の逆行列である。

本研究では主桁 G1, G3 の支間 1/4, 3/4 点を打撃した際の計測点間の応答加速度差について、床版取替後を正常な基準データ群とした時の床版取替前のデータが正常なデータ群からどれほど離れているか MD 値を求めることで評価した。検討する区間は横桁方向の区間 CH1-CH2, CH7-CH8, CH3-CH2, CH9-CH8 である。応答加速度差分布を求めるデータ数は床版取替後の基準データは 1 区間あたり 0.49 秒間(4900 個)、MD を算出する床版取替前のデータは 0.1 秒間(1000 個)とした。

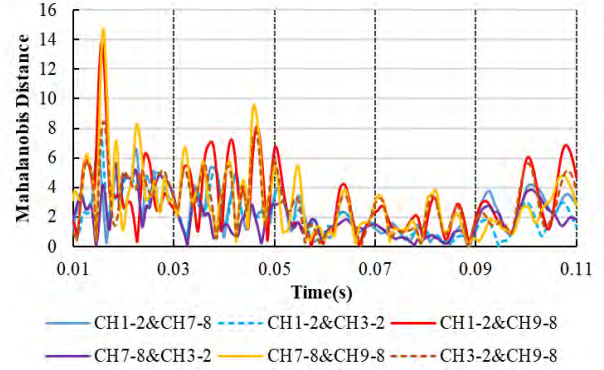


図-6 横桁方向 2 区間の MD 値の時間変化

4. MTS 法による検討結果

図-4 は CH1-CH2 と CH7-CH8, 図-5 は CH1-CH2 と CH9-CH8 の 2 区間の床版取替前後の応答加速度差の分布と MD 値の大きさをカラースケールで示したものである。図中右側のカラーバーは MD の 2 乗の値を表示している。赤い点群は基準データとした床版取替後の応答加速度差をプロットしたものであり、カラースケールで示された点は床版取替前の応答加速度差をプロットしたものである。

図-4, 5 から分かるように床版取替後の赤い点は正の相関を示すように楕円形に分布しているが、床版取替前の点はばらつきが大きく、相関が弱くなる傾向にある。また、区間 CH1-CH2 と CH7-CH8 に比べ区間 CH1-CH2 と CH9-CH8 の方が床版取替前の点が赤い点の集合から大きくばらついていることがわかる。

図-6 は各区間の MD 値を時系列にしたものである。CH1-CH2&CH9-CH8 と CH7-CH8&CH9-CH8 の組み合わせにおいて MD のピーク値が大きいことがわかる。CH9-CH8 の区間を含む組み合わせで MD の時間変化のピーク値が大きくなっていることから、取替前床版の CH9-CH8 付近で他区間と相対的に異なる振動特性の変化が生じていた可能性があると考えられる。

5. まとめ

本研究では小型 FWD 試験を実施し、得られた応答加速度と MTS 法を用いることで、取替前床版内の横桁方向の区間のうち劣化・損傷の可能性のある区間を推定することができた。

参考文献

- 1) 救仁郷誠:「マハラノビスの距離入門-MTS 法を理解するために-」, 品質工学, Vol.9, No.1, p13~21, 2001.2