

<b>氏名</b>	ちば ようこ 千葉 陽子
本籍（国籍）	岩手県
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	工博 第340号
学位授与年月日	令和4年9月26日
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当 課程博士
研究科及び専攻	工学研究科機械・社会環境システム専攻
<b>学位論文 題目</b>	<b>小規模橋梁を対象とした簡易試験による健全度評価手法の研究</b>
学位審査委員	主査 教授 大西 弘志 副査 准教授 大河原 正文 副査 准教授 齊藤 貢

## 論文内容の要旨

### 1. 現状・背景

我が国の道路橋の数は約72万橋にも及びこのうち52万橋は橋長15m未満の小規模の橋梁である。今後、老朽橋の増加が見込まれており、橋梁群の効率的な維持管理が求められている。そのため、小規模橋梁を対象とした簡易試験による健全度評価手法が必要と考え研究課題とした。

### 2. 研究目的

本研究は、小規模橋梁について橋体温度分布を計測する方法と小型FWD試験を用いて評価する方法の2つのアプローチから新たな健全度評価手法を提案できるか検討することを目的とした。対象橋梁は供用40年以上経過した橋長16mの鋼合成単純H型桁橋である。RC床版取替前後について計測し、劣化状態と健全状態の比較によりそれぞれの方法が劣化推定に適用可能か検討した。

### 3. 橋体温度計測試験

橋梁部材への日照による温度変化の影響による日周期挙動を把握するため、対象橋梁の床版取替前後において上部工部材の温度分布、変位の24時間計測試験を行った。床版下面や桁部材の温度変化は、舗装からの熱伝導にある程度の時間差を要し、また各主桁の鉛直変位は床版取替前後に関わらず上部工部材の温度変化に伴い周期的に変化することが分かった。鉛直変位挙動は、上部工部材の温度変化以外に支承条件の影響を大きく受けることがFEM解析から明らかになった。

### 4. 小型FWD試験による検討

対象橋梁において、床版取替前後で小型FWD試験機を用いた衝撃振動試験により、従来の応答加速度から固有振動数を特定する方法に加え、新たに計測点間に

生じる応答加速度の差分を検討する方法により床版内の劣化状態の推定を試みた。本方法は加速差の一致度から、固有振動数の特定だけでは分からなかった床版内の局所的な応答挙動の違いを明らかにするものである。

#### 4.1 加速度差と固有振動数の検討結果の比較

二つの計測点から成り立つ各区間の加速度差を比較すると、床版取替後は取替前に比較して加速度差の一致度が高く相関係数が高くなる傾向が認められた。この結果から、実際の取替後床版は剛性が一様に健全な状態に改善されていることから、各区間で同様の振動応答を示したことがわかる。床版取替前の加速度差の一致度は、一部の区間（パネル 4 付近）が他区間と相関が弱く、この区間近傍の床版剛性が他区間とは異なることが考えられる。固有振動数の検討においても、この区間近傍のパネル（パネル 4）は他の床版パネルと乖離がより大きい結果となった。このように加速度差と固有振動数の両検討方法から同様の結果が得られており、取替前の床版内において当該位置での相対的な剛性の低下（局所的な損傷）や振動特性の変化が推測される。

#### 4.2 FEM 動的解析による検討

対象橋梁の 3 次元 FEM モデルを作成し時刻歴応答解析により実橋試験の再現を試みた。床版の剛性が低いと推定される箇所（パネル 4）のヤング係数を 100%（健全）から 70%まで低下させた劣化モデルで解析を行った結果、実測応答加速度差による検討と同様、解析においても計測点間の応答加速度差の組み合わせの相関が健全モデルより低下することが確認できた。

#### 5. 結論

加速度差と固有振動数の 2 種類の検討方法から、床版内で剛性が他部位と異なる部位の推定ができた。しかしながら、固有振動数は床版の局所的な損傷に対して変化が小さく、検討が必要な応答加速度のデータ数が加速度差の検討に比べて多くなる。一方、計測点間の加速度差による検討方法は、床版剛性が他部位と異なる部位の効率的な推定に活用できると考えられる。また、従来の衝撃振動試験はトラック走行などによる応答加速度から固有振動数を求め評価しているが、本研究の小型 FWD 試験機は可搬性に優れており新規性及び実現性があると考えられる。

以上

### 論文審査結果の要旨

本論文は国内に存在する道路橋の 80%以上を占める小規模道路橋の維持管理を効率化するために必要な、簡易試験による性能評価（＝健全度評価）について行われた研究について取りまとめたものである。

従来、道路橋の維持管理を目的とした調査・診断には橋梁の外観を近接して確認する近接目視点検が実施されてきた。この方法は専門の機材を要しないことや熟練の技術者が検査すればかなりのことが把握できるため、一定の成果を収めうる手法

であると評価されてきたが、構造物の表面に発生している変状のみからの判断になるため、力学的な性能や内部の状況との乖離が指摘されることも多い手法である。特に道路橋の床版内部に発生する水平ひび割れ等の損傷は橋梁の健全性に大きな影響を与えるにもかかわらず、近接目視点検では発見が不可能であることから大きな問題であると認識されてきた。この研究ではこのような現状を改善するために、橋梁の構造物としての力学性能を簡便に評価する試験法を開発することを研究の目的としている。

本論文では開発する手法と従来手法との比較を目的として、近接目視点検以外で詳細調査として採用される車両載荷試験を対象橋梁に対して実施している。この研究で開発を目指した簡易調査手法は

- 1) 温度変化に着目した日周期計測試験
  - 2) FWD (Falling Weight Deflectometer) を用いた衝撃振動試験
- の2種類である。

#### 1) 日周期計測試験

この手法は日照の変化に伴い発生する構造物内の温度の周期変動（日周期変動）とそれに伴って構造物内に発生する温度ひずみの発生状態に着目し、温度ひずみの分布が理想的な状態からどの程度乖離しているのかによって構造物の異常を発見しようとするものである。この手法の利点は構造物を動かす外力が日照のみであるため、比較的安価に実施できることや構造物に大きな負荷をかけることなく検査を実施できることにある。本論文では24時間にわたって計測したデータに基づいて検討を進めているが、この手法では著者が期待したほどの計測値の鋭敏さは認められなかったことから、橋梁の構造性能を評価するには大幅な改善が必要であると結論付けている。

#### 2) FWD (Falling Weight Deflectometer) を用いた衝撃振動試験

FWD はもともと道路土工部の健全性を評価するために開発された試験機である。この試験機を道路橋床版の点検に用いることを提案したのは東京都土研の研究チームであるが、試験結果に汎用性を持たせることに失敗しており、特定の橋梁への適用にとどまっていた。このような状況に対し岩手大学構造研ではFWDの結果に汎用性を持たせた評価方法を提案しており、NEXCO 東日本等で採用されている。本論文ではこれまで床版にとどまっていた適用範囲を橋梁全体に拡張することを試みている。本論文での検討にあたっては試験機に連動しているセンサー類の配置を工夫することにより橋梁全体の性能を評価することを試みており、床版剛性の変化に伴う計測値の変動を適切にとらえることに成功している。また、橋梁内に発生している損傷の位置を計測データから把握するための手法についても取り組んでおり、最終的には動的3次元有限要素解析の結果と比較することにより、良好な結果を得ることに成功している。

以上から、本研究では次の結論を得ている。

- 1) 日照に伴う温度応力計測では大きな構造的不具合は確認できるものの、定期的

な点検で確認を求められる程度の損傷では変化が生じない。

- 2) FWD を用いた試験は橋梁の剛性の変化をとらえられる等、性能の変化を把握するために有用であることが確認できた。
- 3) FWD 試験と 3 次元有限要素解析を組み合わせることにより、局所的な損傷の位置をある程度推定することが可能であることが確認できた。

これらの研究は今後の道路橋の維持管理においてその負担を軽減するための手法を提示するものとして評価されるべき、十分に価値のあるものとして認められる。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。

#### **原著論文名（1編を記載）**

小型 FWD 試験で得られた応答加速度を用いた床版の劣化判定手法の検討，千葉陽子，大西弘志，岩崎正二，木村如水，佐々木太一，構造工学論文集，Vol. 68A，pp.638-648，2022 年 3 月