

## 学位論文及び審査結果の要旨

横浜国立大学

氏名 孫震  
学位の種類 博士（工学）  
学位記番号 都市博乙第451号  
学位授与年月日 2020年3月24日  
学位授与の根拠 学位規則（昭和28年4月1日 文部省令第9号）第4条第1項及び横浜国立大学学位規則第5条第2項  
学府・専攻名 都市イノベーション学府 都市イノベーション専攻  
学位論文題目 Estimation of Load Carrying Capacity for Girder Bridges under a Moving Vehicle by Radar-based Displacement Measurements

論文審査委員 主査 横浜国立大学 教授 藤野陽三  
横浜国立大学 教授 早野 公敏  
横浜国立大学 教授 山田 均  
横浜国立大学 教授 勝地 弘  
東京大学 教授 長山 智則  
筑波大学 准教授 西尾 真由子  
横浜国立大学 准教授 田村 洋  
横浜国立大学 准教授 ディオニシウス シリンゴリンゴ

## 論文及び審査結果の要旨

劣化した既存橋梁の耐荷性能評価は維持管理にとって極めて重要である。耐荷性能評価のための一般的な静的荷重試験は交通規制が必要で、人手、時間と費用がかかる。本研究はこのような現状に対して、健全性診断の段階3と段階4の中小桁橋を対象に、レーダー装置を用いて走行車両による橋梁変位を同時多点で計測する方法、ならびに計測変位からの橋梁の耐荷性能評価法を提案している。

本論文は6章で構成され、内容は以下の通りである。

第1章では、本研究の背景を述べた上で、橋梁耐荷性能評価に関する既存研究や問題点の整理を行い、本研究の位置づけを説明し、論文の目的と全体構成を示している。

第2章では、本研究で提案している耐荷性能評価手法の実施する方法とプロセスについて論述した。次に、梁の曲げ理論に基づき、曲率と橋梁の剛度低下の関係を求め、実用化に伴う困難点を述べている。走行車両による橋梁の変位の動的成分の除去法ならびに数値解析を用いた曲率の変化からの局所的な剛度低下の評価法を検証した。

第3章では、変位計測ノイズが曲率評価への影響を実験により調べ、処理する方法を提出した。実験室の梁の試験でノイズの影響を考察し、ノイズ/損傷影響係数を定義し、ノイズの影響を定量的に評価する。ノイズの影響を減らすために、まずは多回計測の平均変位で曲率を計算し、その有効性を示した。つぎはノイズ/損傷影響係数を基準にし、曲率計算の刻み幅を選択する方法で誤差を減らす方法を示し、三次元FEモデルでこの方法を検証している。

第4章レーダー装置の変位計測の適用性を検証している。用いたレーダー装置は周波数変調連続波の技術を利用し、多点のターゲット距離差を1.1メートル分離できるものである。干渉原理を利用し、送信信号と受信信号の位相差の変動で観測対象点の変位を200Hzまで計測できることを示した。実験室において0.03mmの精度、現場の橋梁試験でも0.06mmの精度を検証し、実用上十分であることを示した。このレーダー装置による多点計測のメリットを利用し、橋梁の変位推測方法を示し、日本ならびに中国において実際のPC橋梁に適用し、その有効性を検証した。

第5章では、提出した耐荷性能評価手法を上記の二つのPC橋で検証した。一つ目の橋梁は、走行試験による変位から計算した曲率に、局部的な剛度低下がなかった。計測データで橋梁のFEモデルを校正し、人為的な損傷(PC鋼材の破断とコンクリートの剥離)を与え、数値解析で22.3%の剛度低下を評価した。二つ目の橋梁は静的載荷試験と走行試験を行い、提出した方法で得られた変位と静的載荷試験で得られた変位を比較し、その有効性と適用性を明らかにした。

第6章では、本研究で得られた結果を総括するとともに、今後の研究すべき方向について述べている。

なお、提出された論文に対して、iThenticateにより剽窃、盗用の不正行為を確認したが、氏自身の論文との重複が認められたが、それ以外は、専門用語や短い一般的な現象の定義表現、本研究がおもに実施された以降の報告書等での引用箇所を除き、剽窃や盗用に該当するものは無いことを確認した。

以上より、本論文は博士(工学)の学位論文として十分な価値があるものと認められる。

令和2年2月12日(水)午後2時40分より先端科学高等研究院棟307号室において、早野委員を除く審査委員が出席のもとに約1時間にわたり孫震氏の学位論文の公聴会を開催し、学位論文の内容の発表と質疑応答を行った。その後引き続き午後3時40分より、同室において学位論文の審査を行った。その結果、本論文は学位論文に相応しい内容を有しており、質疑にも的確に対応していると判断された。また各審査員により、関連する土木工学の科目について口頭試問を行うとともに、設定した課題「長大吊橋の構造ヘルスマニタリング」の内容を確認し、博士(工学)にふさわしい十分な学力を有することを確認した。なお、早野委員による審査は12日午前9時半から1時間にわたり別途行われた。

外国語については、氏の英文での学位請求論文ならびに英語でのプレゼンテーションにより、十分な英語力を有していると判定した。

対外発表論文については、以下に示す3編を含めその他の多くの国際誌、シンポジウム等での発表があり、内規を十分に満たしている。

Zhen Sun, T.Nagayama, M.Nishio and Y. Fujino: Investigation on a curvature-based damage detection method using displacement under moving vehicle, Structural Control and Health Monitoring, 2017; e2044.

Zhen Sun, T.Nagayama and Y.Fujino: Minimizing noise effect in curvature based damage detection, Journal of Civil Structural Health Monitoring, Vol.6, No.2, pp.255-264, 2016.

Zhen Sun, T. Nagayama, D. Su and Y. Fujino: A damage detection algorithm utilizing dynamic displacement of bridge under moving vehicle, Shock and Vibration, 2016, doi:10.1155/2016/8454567.

以上より、孫震氏は土木工学の分野において博士の学位を得るにふさわしい学識を有するものと認められる。よって審査委員会として最終試験に合格であると判定した。

注 論文及び審査結果の要旨欄に不足が生じる場合には、同欄の様式に準じ裏面又は別紙によること。