

令和 2 年 5 月 29 日現在

機関番号：32678

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K14717

研究課題名（和文）MEMSセンサを用いた鋼橋の疲労損傷メカニズム同定システムの構築

研究課題名（英文）Identification of cause of fatigue damages in steel bridges using MEMS sensor

研究代表者

関屋 英彦（SEKIYA, Hidehiko）

東京都市大学・工学部・准教授

研究者番号：60743309

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：鋼床版は軽量であること、さらに施工時間の面において特長を有していることから、都市高速道路や長大橋に多く採用されている。鋼床版の構造は、薄い鋼板を溶接によって組み合わせた構造となっており、活荷重が作用した際の複雑な変形に起因する疲労損傷が維持管理上の課題となっている。そこで、本研究では、MEMS慣性センサや接触式変位計を活用することによって活荷重に対する鋼床版縦リブの変形を可視化し、ひずみ応答と比較することによって、鋼床版縦リブ上部に生じる疲労損傷の発生要因となる変形を同定した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

橋梁は私たちの生活や経済活動を支える重要な交通インフラであり、常に安全安心に供用できる状態に維持管理することが求められている。橋梁に生じる損傷は多様だが、鋼橋に生じる疲労損傷は発見が困難な上、急激に進展し重大な損傷に繋がる危険性があり、適切に維持管理を実施することが重要である。本研究では、MEMS慣性センサと接触式変位計を活用することによって、車両荷重による鋼床版の変形の可視化を行った。この研究成果により、鋼床版に生じる疲労損傷の発生要因の同定が可能となり、さらに補修・補強を行った際の効果を定量的に判断することができる。

研究成果の概要（英文）：Since orthotropic steel deck is lightweight and it has excellent feature in terms of construction, it is often used in urban expressways and long bridges. The structure of the orthotropic steel deck is a structure in which thin steel plates are combined by welding. Therefore, fatigue damage due to complicated deformation when a live load is applied is a maintenance issue. In this study, by utilizing the MEMS inertial sensors and contact displacement gauges, the deformation of the longitudinal rib of the orthotropic steel deck due to the live load was visualized. In addition, by comparing with the strain response, the cause of the fatigue damage occurring on the upper part of the longitudinal rib of the orthotropic steel deck was identified.

研究分野：維持管理工学

キーワード：維持管理 鋼橋 疲労損傷 慣性センサ

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

供用年数が40年間を超えた橋梁が増加してきており、腐食損傷や疲労損傷といった損傷が生じている。特に、疲労損傷は、急激に進展し重大な損傷に繋がる恐れのある損傷であり、適切な維持管理が求められている。鋼床版に生じる疲労損傷の維持管理を行う上で、車両重量による複雑な変形が疲労損傷の原因となる高いひずみを引き起こすため、この複雑な変形を同定することが重要である。なお、鋼床版の構造は、薄い鋼板を溶接によって組み合わせた構造になっており、RC床板に比べ軽量であること、さらに施工に要する時間の面にて特長を有していることから、都市高速道路や長大橋に多く採用されている床板形式である。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、設置が容易な慣性センサを活用することによって、鋼床版に生じる高いひずみ応答の要因となる活荷重による複雑な変形を簡易に同定することである。慣性センサは、計測の際に不動点を必要とせず、鋼橋に対してはマグネット治具等により簡易に設置できる特長を有している。鋼床版等の鋼橋部材に生じる変形を簡易に同定することが可能となれば、疲労損傷の発生要因の同定や、補修・補強効果の確認、等への維持管理に貢献できる。

### 3. 研究の方法

(1) 活荷重に対する橋梁の変形挙動を把握するためには、多点において同時に変位計測を行う必要がある。そこで、MEMS慣性センサを用いた外力に対する橋梁の多点同時計測を実施し、計測した加速度記録から多点における変位応答の算出を実施する。

(2) MEMS慣性センサおよび接触式変位計を用いて、活荷重による鋼床版の変位応答および回転応答の計測を行う。そして、計測した変位応答と回転応答から、活荷重による鋼床版縦リブの変形の可視化を実施する。

(3) 上記(2)にて可視化した鋼床版縦リブの変形の精度検証を目的とし、変位応答および回転応答の計測と同時に、鋼床版縦リブ周りのひずみ計測を実施する。変形から想定されるひずみ応答と、実際に計測したひずみ応答を比較することによって、推定した変形の精度検証が可能となる。

(4) 推定した鋼床版縦リブの変形と、疲労損傷が生じやすい鋼床版縦リブ上部におけるひずみ応答を合わせて分析することによって、高いひずみの発生要因となっている変形を同定する。さらに、MEMS慣性センサによる加速度計測により、高いひずみ応答が生じている際の車両の走行位置についても分析を行う。

### 4. 研究成果

(1) 鋼桁橋における支間中央部と可動支承部の加速度計測を実施し、支間中央部における重力方向(z方向)の変位計測(図1)だけでなく、可動支承部における橋軸方向(y方向)の変位応答も最大変位箇所における変位応答に対し、誤差5%(0.02mm)で算出できた(図2)。加速度計測に基づき、供用中の橋梁の二方向の変位計測が実施できた研究成果は著者の知る限り国内外において初めてであり、今後の橋梁の維持管理への活用が期待できる。

(2) 横リブ支間中央において接触式変位計を用いて計測した変位応答と、慣性センサ

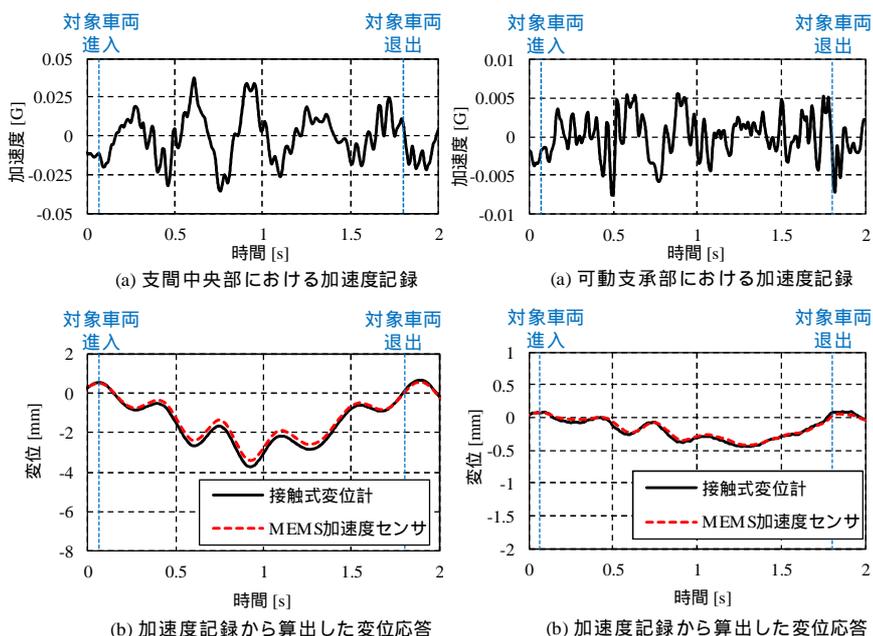
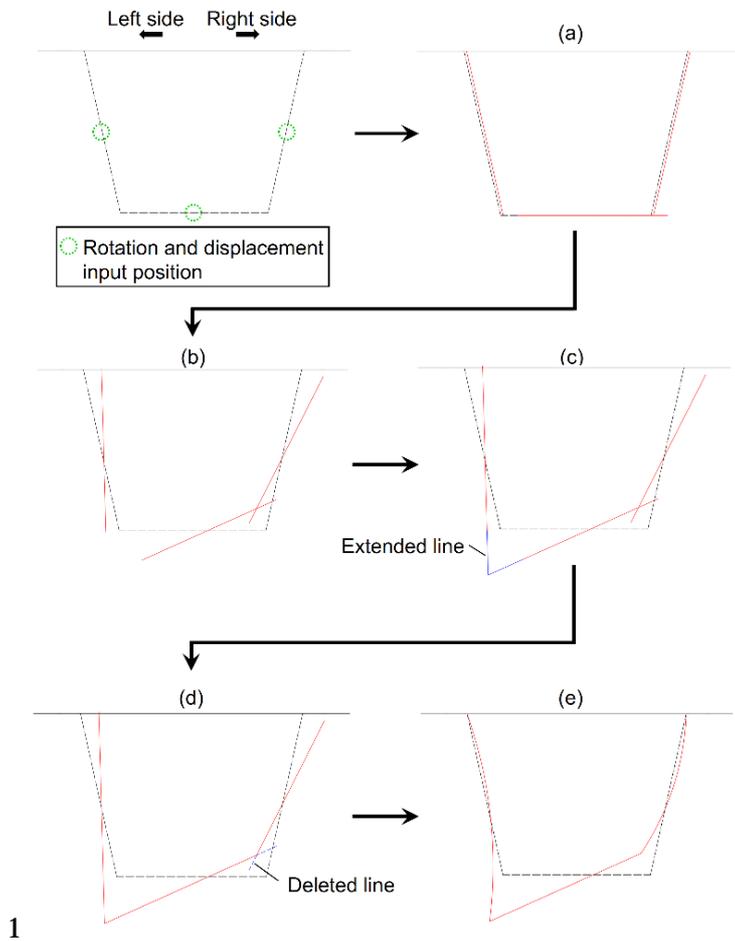


図1 支間中央部における加速度記録と変位応答算出結果 (G3桁)

図2 可動支承部における加速度記録と変位応答算出結果 (G3桁)



1  
図3 計測した変位応答と回転応答に基づく鋼床版縦リブの変形同定の手順

を用いて計測した回転応答から、輪荷重によって生じる鋼床版縦リブの変形挙動の可視化を行った（図3）。

供用中の橋梁における鋼床版縦リブの変形を可視化した研究は著者の知る限り国内外において初めてであり、鋼床版橋梁の維持管理技術の高度化に貢献できる技術である。今後は、補修補強を実施した際における、その効果の検証に関しても本研究成果の適用が期待できる。

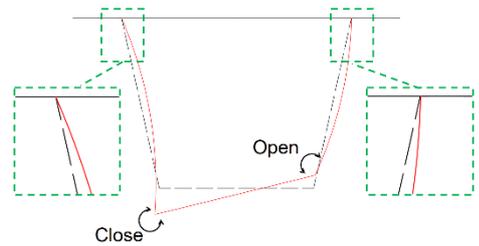


図4 同定した鋼床版縦リブの変形の一例

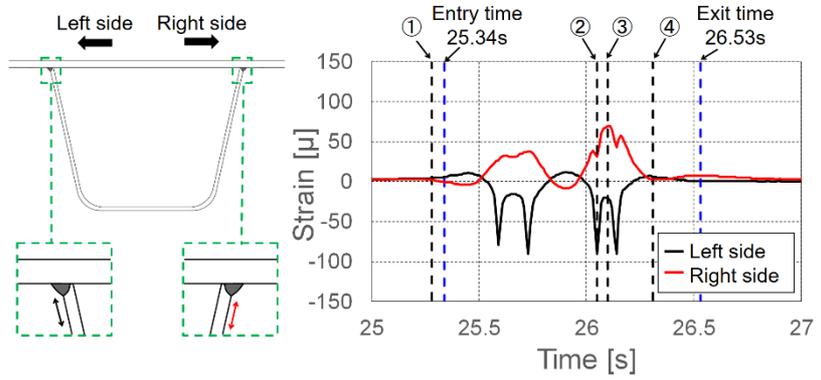


図5 横リブ支間中央の縦リブ上部におけるひずみ応答

（3）可視化した鋼床版縦リブの変形から推定されるひずみ性状と、縦リブ外周部において計測したひずみ性状は一致した（図4）。

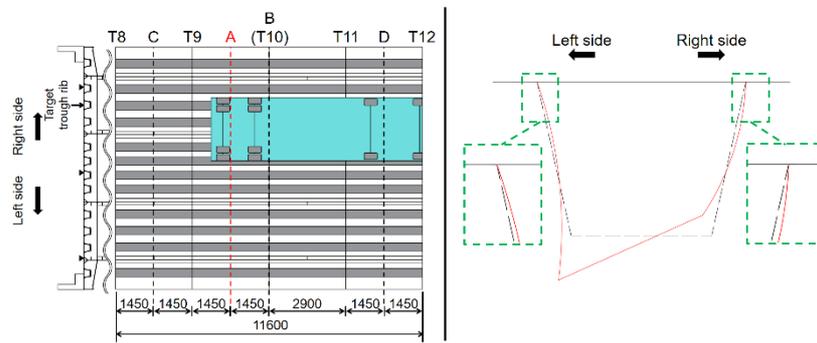


図6 推定した鋼床版縦リブの変形と車両走行位置（図5の時刻）

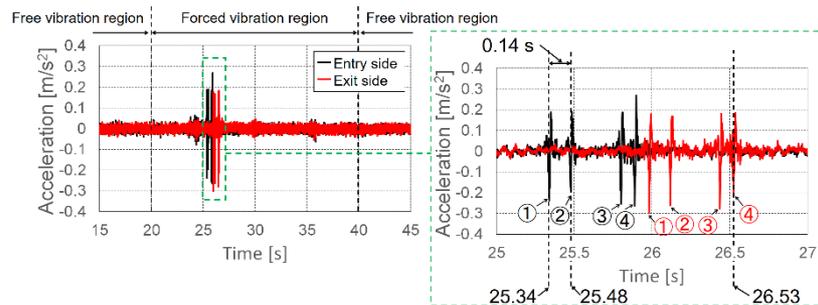


図7 鋼床版上を荷重車が走行した際の橋軸方向の加速度応答

(4) 可視化した鋼床版縦リブの変形と、鋼床版縦リブ上部にて計測したひずみ応答から、横リブ支間中央の鋼床版縦リブ上部に生じる高いひずみ応答は、鋼床版縦リブのウェブの橋軸周りの曲げが主要要因であると特定できた（図5、図6）。

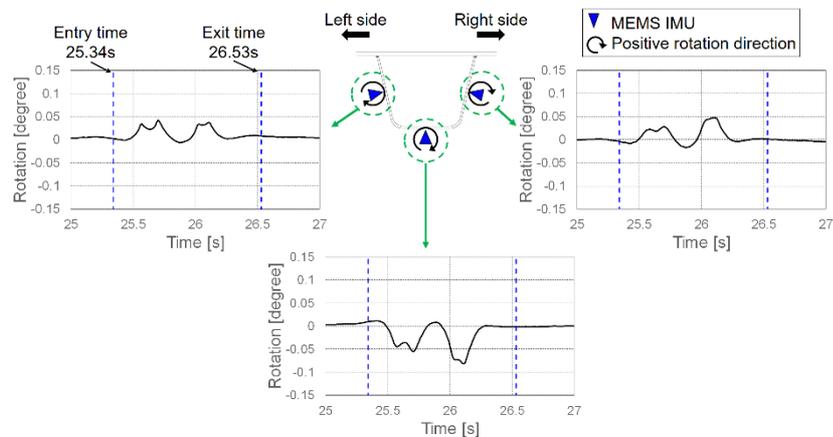


図8 荷重車走行時における横リブ支間中央の縦リブの回転応答

(5) 鋼床版上を走行する車両の位置は、MEMS 慣性センサによって計測した橋軸方向の加速度応答に基づき推定できた（図7）。

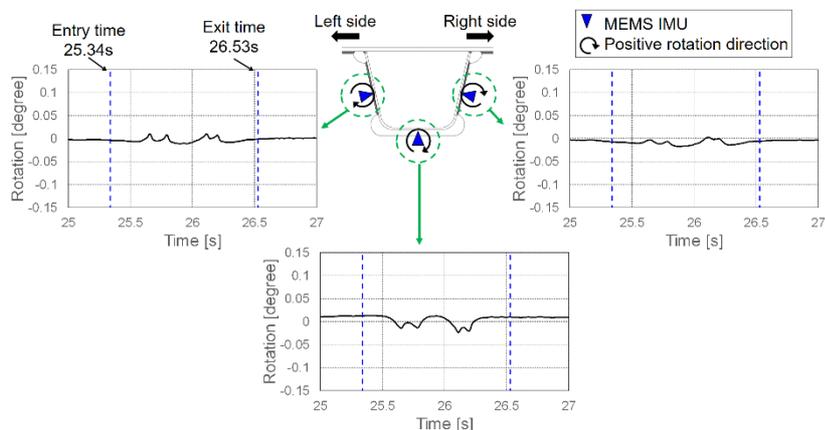


図9 荷重車走行時における横リブ交差部の縦リブの回転応答

(6) 横リブ支間中央の縦リブの回転応答と比較し、横リブ交差部における縦リブの回転応答は、横リブ支間中央の縦リブの回転応答の約20%であることが確認できた(図8、図9)。供用中の鋼床版橋梁の縦リブの変形を計測することにより、FE解析を用いずに鋼床版の横リブが縦リブの変形を大きく抑制していることを確認できた。供用中の鋼床版橋梁にて、回転応答を計測し横リブの変形抑制効果を検討している研究は著者の知る限り無く、本研究成果は今後の鋼床版の維持管理に貢献できる成果である。今後の展望としては、本研究にて得られた成果は鋼床版に限定されない知見だと考えられるため、その適用性に関する検討が考えられる。

#### <引用文献>

関屋英彦, 木ノ本剛, 田井政行, 古東佑介, 丸山収, 三木千壽: MEMS加速度センサを用いた二箇所同時変位計測に基づく支承部の健全度評価の試み, 土木学会論文集A2(応用力学), Vol.73, No.2, pp.I\_649-I\_660, 2017.

Mizuki Hayama, Hidehiko Sekiya, Shuichi Hirano: Visualization of deformation of trough rib of orthotropic steel deck under live load using MEMS IMUs and contact displacement gauges, Journal of Bridge Engineering. (Accepted, 2020.May.5.)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 関屋 英彦, 木ノ本 剛, 田井 政行, 古東 佑介, 丸山 収, 三木 千壽	4. 巻 73
2. 論文標題 MEMS加速度センサを用いた二箇所同時変位計測に基づく支承部の健全度評価の試み	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 土木学会論文集A2 (応用力学)	6. 最初と最後の頁 I_649, I_660
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.2208/jscejam.73.I_649">https://doi.org/10.2208/jscejam.73.I_649</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Mizuki Hayama, Hidehiko Sekiya, Shuichi Hirano	4. 巻 -
2. 論文標題 Visualization of deformation of trough rib of orthotropic steel deck under live load using MEMS IMUs and contact displacement gauges	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Bridge Engineering	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) Accepted	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 森近翔伍、関屋英彦、丸山収、三木千壽、平野秀一
2. 発表標題 加速度センサ1台のみを用いた簡易な橋梁の変位応答の算出
3. 学会等名 令和元年度土木学会全国大会第74回年次学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森近翔伍、関屋英彦、平野秀一、丸山収
2. 発表標題 活荷重下における鋼桁橋の振動特性の分析
3. 学会等名 第47回土木学会関東支部技術研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 葉山瑞樹、関屋英彦、平野秀一
2. 発表標題 MEMS 加速度センサを用いた鋼床版箱桁橋における変位計測
3. 学会等名 第47回土木学会関東支部技術研究発表会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----