

令和 6 年 5 月 28 日現在

機関番号：32678

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K14814

研究課題名（和文）MEMSセンサと圧電素子センサを活用した鋼道路橋の疲労損傷検知システムの構築

研究課題名（英文）Development of fatigue damage detection system for steel bridge using MEMS sensor and piezoelectric element sensor

研究代表者

関屋 英彦（SEKIYA, HIDEHIKO）

東京都市大学・建築都市デザイン学部・准教授

研究者番号：60743309

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：センサ部に電力を必要としない圧電素子センサを活用した鋼橋における疲労損傷検知システムの構築を目的とし、2020年度～2023年度に研究に取り組んだ。この研究を通じ、MEMSセンサを組み合わせたシステムとすることによって、ランダムな外力が作用する供用中の鋼橋においても圧電素子センサを用いて疲労損傷の発生及び進展を検知できる可能性を示した。さらに、疲労損傷が多く報告されている鋼床版における適用性についても検討し、その実用性を示すことができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

鋼道路橋に生じる疲労損傷に対する補修補強を必要最小限とし、限られた維持管理費を有効に活用するために、できるだけ早く疲労損傷を検知することが重要である。本研究では、センサ部に電源を必要としない圧電素子センサを活用したシステムを構築し、そのシステムによって、ランダムな外力が作用する鋼橋における疲労損傷の検知可能性を示した。この研究成果は、鋼橋の維持管理、特に補修補強に対して貢献する研究成果である。

研究成果の概要（英文）：This research was conducted from FY2020 to FY2023 to develop a fatigue damage detection system for steel bridges using piezoelectric sensors, which do not require electric power for the sensor part. The findings showed the possibility of detecting the occurrence and progress of fatigue damage in actual in-service steel bridges under random traffic loads. Furthermore, the applicability of the system to orthotropic steel decks, in which fatigue damages are often found, was investigated, and its practicability was demonstrated.

研究分野：維持管理工学

キーワード：維持管理 疲労損傷 鋼橋 圧電素子 MEMS

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

我が国では、供用開始から 40～50 年間を経過した道路橋の数が増加しており、その効率的な維持管理が課題となっている。特に、鋼橋に生じる疲労損傷は、点検員による目視点検においても見逃す恐れがあるほど、見付けることが困難な上、ある一定の長さまで達した場合、急激な破壊である脆性破壊を引き起こす危険性があり、適切な維持管理が求められている。

鋼道路橋における疲労損傷に対する維持管理では、できるだけ早いタイミングにて疲労損傷を見付けることが重要である。この理由は、初期の段階にて疲労損傷を発見することができれば、その補修および補強は必要最小限となり、限られた維持管理費を効率的に使用することが可能となる。

実験室等の環境における疲労試験では、疲労損傷の検知を目的とし、溶接部近傍に箔ひずみゲージを貼付することが行われる。この理由は、計測したひずみ応答の変化から疲労損傷の発生および進展を検知することが可能となるためである。しかしながら、実橋における疲労損傷は、数年間～数十年間といった長期間に渡って生じるため、消費電力の大きな箔ひずみゲージを使用した計測システムは電力において課題が生じる。そこで、できるだけ消費電力の少ない、または電力を必要としない、疲労損傷の検知システムが求められている。

### 2. 研究の目的

上述した研究背景に基づき、本研究では、センサ部に電力を必要としない圧電素子センサ(図 1)を活用することによって、省電力かつ簡易な鋼橋の疲労損傷検知システムの構築を目的とする。また、圧電素子センサと MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)センサを組み合わせることによって、走行車両によるランダムな外力が作用する供用中の鋼道路橋に適用可能なシステムとすることを目的とする。実橋において疲労損傷が見付き、その長さがある一定の長さまで達している場合、当て板補強や溶接補修等の補修および補強が実施される。一方、初期の段階にて疲労損傷を見付けることができれば、グラインダー等で疲労損傷を除去するだけの最小限の対応が可能なケースもあり、限られた維持管理費を効率的に使用するためには、できるだけ早く疲労損傷を見付けることが重要である。本研究の目的としている疲労損傷検知システムは、実橋における疲労損傷の早期発見を可能とし、鋼橋の維持管理に貢献する成果である。

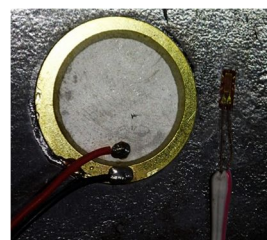


図 1 圧電素子センサとひずみゲージ

### 3. 研究の方法

(1) ランダムな外力が作用し、様々な周波数帯の応答が同時に生じる環境下における圧電素子センサによるひずみ計測精度の検証

既往研究では、圧電素子センサによるひずみ計測結果と、箔ひずみゲージによるひずみ計測結果を比較し、その計測精度を検証している。しかしながら、供用中の実橋においては、走行車両によるランダムな外力が作用し(図 2)、様々な周波数帯の応答が同時に生じている。したがって、実橋梁においても疲労損傷の発生および進展を検知するために必要な応答が計測できるか否かについて検証する必要がある。そこで、この検証を目的とし、供用中の実橋における現場計測を実施し、圧電素子センサを用いて計測したデータの分析を行う。

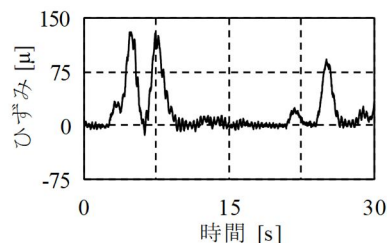


図 2 ランダムな外力が作用する供用中の橋梁にて計測したひずみ応答

(2) MEMS センサ 1 台のみによる変位計測に関する検討

ランダムな外力が作用する供用中の橋梁において疲労損傷を検知するためには、その外力の情報を計測することが重要となる。この外力情報の一つとして変位応答が考えられ、既往研究においては、MEMS センサ 3 台を用いて、車両走行による変位応答を計測する手法が提案されている。しかしながら、現場における施工性の向上を考えると、更なるシステムの簡易化が重要である。そこで、本研究では、車両走行時の低周波数帯の応答に着目することによって加速度記録から変位応答を積分する際の積分範囲を決定する手法について検討を行う。この手法により、従来まで 3 台必要であった MEMS センサが 1 台のみとなり、システムの簡易化が可能となる。

(3) 鋼床版橋梁における提案システムの有効性検証

鋼床版は橋梁の床板構造の一つである。鋼床版を床板構造に採用することにより、工期の短縮や耐震性能の向上を図ることが可能となるため、都市部の橋梁にて多く採用されている。しかしな

がら、鋼床版は車両荷重により複雑に変形することが知られており、その変形により多くの疲労損傷が生じている。したがって、疲労損傷に対する維持管理技術を検討する上で、鋼床版は対象とすべき重要な構造形式の一つである。そこで本研究では、圧電素子センサとMEMSセンサを用いて、供用中の鋼床版橋梁にて現地計測を実施し、その計測データを分析することにより、鋼床版橋梁への提案システムの実用性を検討する。

(4) 疲労試験に基づく、圧電素子センサによる疲労損傷検知性能の検証

実橋における疲労損傷は、数年間～数十年間といった長期間に渡って生じるため、実橋において、疲労損傷の発生および進展の検知性能を検証することは困難である。そこで本研究では、鋼床版のデッキ Uリブの溶接部の一部を模擬した試験体による疲労試験を実施し(写真1)、圧電素子センサによる疲労損傷の発生および進展の検知性能を検証する。また、疲労試験においては、実荷重に相当する大きさの荷重に対しても検討し、その検知性能を評価する。

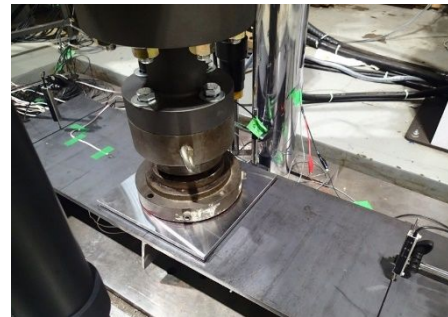


写真1 疲労試験の様子

4. 研究成果

(1) ランダムな外力が作用し、様々な周波数帯の応答が同時に生じる環境下における圧電素子センサによるひずみ計測精度の検証

現場計測にて得られたデータを分析した結果、ランダムな外力が作用し、様々な周波数帯域の応答が同時に生じる環境下であっても、圧電素子センサにて疲労損傷の発生および進展を検知するために必要な応答を計測可能であることが明らかとなった<sup>1)</sup>。また、圧電素子センサは箔ひずみゲージと同様に接着剤を用いて貼付したが、この方法に関して課題は生じず、その現場作業性を確認することができた。

(2) MEMSセンサ1台のみによる変位計測に関する検討

車両走行時の低周波数帯の応答に着目することにより、MEMSセンサを用いて計測した加速度記録の積分範囲を決定することができ、MEMSセンサ1台のみを用いて変位計測を実施することができた。この手法により、外力情報の一つである変位応答を簡易に計測することが可能となる。また、従来手法ではMEMSセンサが3台必要であったため、システムの簡易化が可能となった。

(3) 鋼床版橋梁における提案システムの有効性検証

供用中の鋼床版橋梁にて計測したデータ分析を実施し、その結果から鋼床版においても鋼桁橋のガセット部と同様に、圧電素子センサを用いて疲労損傷を検知できる可能性が示された。さらに、外力情報となる変位計測に用いていたMEMSセンサを用いずに、圧電素子センサのみによる簡易な疲労損傷検知システムを提案し、その有効性について検討を行った。その結果、圧電素子センサのみを使用し、供用中の鋼橋に生じる疲労損傷の発生および進展の検知の可能性が示された<sup>2)</sup>。

(4) 疲労試験に基づく、圧電素子センサによる疲労損傷検知性能の検証

鋼床版のデッキ Uリブの溶接部の一部を模擬した試験体による疲労試験を実施し、圧電素子センサによる疲労損傷の発生および進展の検知性能を検証した(図3)。その実験データおよび破断面(ビーチマーク)の観察(写真2)より、実荷重に相当する荷重においても圧電素子センサの応答を確認でき、鋼床版における疲労損傷の検知の可能性を示した。圧電素子センサによる鋼床版の疲労損傷検知に関する研究は国内外において初めてであると思われ、今後の鋼橋の維

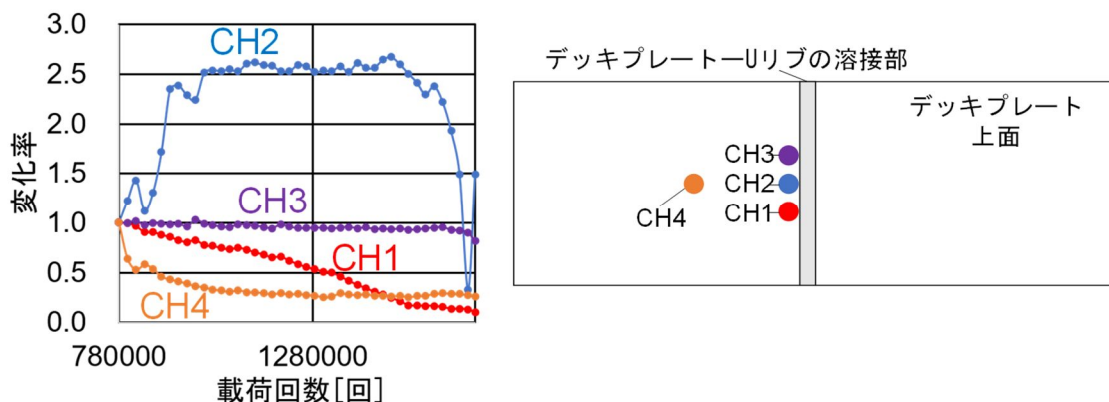


図3 圧電素子センサの応答と、その計測位置

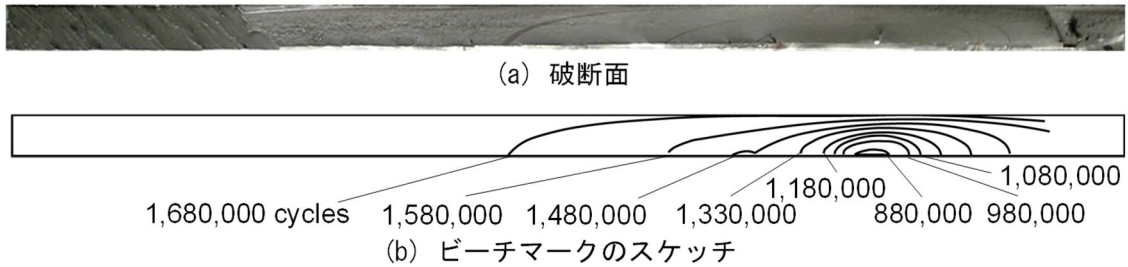


写真2 疲労試験後の破断面と、ビーチマークのスケッチ

持管理の分野への活用が期待できる。今後の展望としては、本研究にて得られた成果を実橋梁に長期間に渡って実装し、その有効性を検討することである。

<引用文献>

1. 森近翔伍，関屋英彦，葉山瑞樹，Yanjie Zhu，永井政伸；圧電素子センサおよびMEMS加速度センサを活用した鋼橋の疲労損傷検知に関する研究，土木学会論文集A2，Vol.77，No.2，p. I\_525-p. I\_533，2022年2月。
2. 森近翔伍，関屋英彦，葉山瑞樹，永井政伸；鋼橋を対象とした圧電素子センサのみによる簡易な疲労損傷検知システムの提案，土木学会論文集A2，Vol.79，No.15，22-15055，2023年3月。

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 森近 翔伍, 関屋 英彦, 葉山 瑞樹, 永井 政伸	4. 巻 79
2. 論文標題 鋼橋を対象とした圧電素子センサのみによる簡易な疲労損傷検知システムの提案	5. 発行年 2023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 n/a ~ n/a
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscej.22-15055	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 森近 翔伍, 関屋 英彦, 葉山 瑞樹, Yanjie ZHU, 永井 政伸	4. 巻 77
2. 論文標題 圧電素子センサおよび MEMS 加速度センサを活用した鋼橋の疲労損傷検知に関する研究	5. 発行年 2021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_525 ~ I_533
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejam.77.2_I_525	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2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, 葉山 瑞樹, 永井 政伸
2. 発表標題 圧電素子センサを活用した鋼橋の疲労損傷検知に関する基礎的な研究
3. 学会等名 土木学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森近 翔伍, 関屋 英彦, 葉山 瑞樹, Yanjie ZHU, 永井 政伸
2. 発表標題 圧電素子センサおよびMEMS加速度センサを活用した鋼橋の疲労損傷検知に関する研究
3. 学会等名 土木学会
4. 発表年 2021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
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------