

# MEMS センサによる支承の変位応答計測に基づいた橋梁の異常検知システム

東京都市大学 正会員 ○関屋 英彦  
東京都市大学 フェロー 三木 千壽

## 1. はじめに

橋梁の通常時の維持管理において、支承が外力に対して適切に機能しているかを把握することは重要である。支承が適切に機能していない場合、部材が拘束され、想定外の応力集中が生じ、疲労損傷を引き起こす恐れがある。さらに、地震時等の災害時においては、交通の早期回復のため、橋梁の損傷程度を早急に判定することが重要であり、この判定は橋梁支承部の災害時の応答を把握することで可能になると考えられる<sup>1)</sup>。したがって、通常時および災害時において、橋梁支承部の異常を検知するシステムが求められている。

外力に対する応答の計測として、通常、ひずみゲージによるひずみ計測や、接触式変位計による変位計測が行われている。しかしながら、これらの計測手法は、施工性やコストの面で課題を抱えている。そこで本研究では、施工性に優れており、さらに安価かつ小型という特長を有しているMEMSセンサを使用し、橋梁支承部の変位応答に基づいた異常検知システムを構築し、実橋梁における実験により、その実用性を検証した。

## 2. 計測概要

試験橋梁は図-1に示す鋼単純合成5主桁橋であり、支間長38.0m、総幅員14.25mである。計測は、変位応答算出用MEMSセンサ、車両検知用MEMSセンサ、接触式変位計を用いて行った。使用したMEMSセンサの仕様を表-1に示す。加速度記録から変位を算出する場合、計測誤差が積分結果に影響を及ぼすため、変位算出用MEMSセンサは自己ノイズが低く、分解能に優れたものを使用した。一方、車両通過時の応答は高周波数帯となることが予想されるため、車両検知用MEMSセンサは150[Hz]程度の高周波数帯が計測できるMEMSセンサを使用した。MEMSセンサの設置状況を図-2に示す。MEMSセンサの設置はマグネット治具を用いて行った。

## 3. 通常時における支承部の異常検知

### (a) 加速度記録による考察

主桁中央部と可動支承部において計測した加速度記録を図-3に示す。なお、主桁中央部の加速度記録は鉛直方向の加速度記録であり、可動支承部の加速度記録は橋軸方向の加速度記録である。主桁中央部で計測した加速度記録と可動支承部において計測した加速度記録は良い一致を示し、主桁中央部における挙動と可動支承部における挙動は同様な挙動をしていることが予想される。

### (b) 加速度応答のパワースペクトル密度による考察

図-3に示した2秒間の加速度記録を含む1000秒間の加速度記録のパワースペクトル密度を図-4に示す。図-4より、主桁中央部で計測した加速度応答に比べ、可動支承部で計測

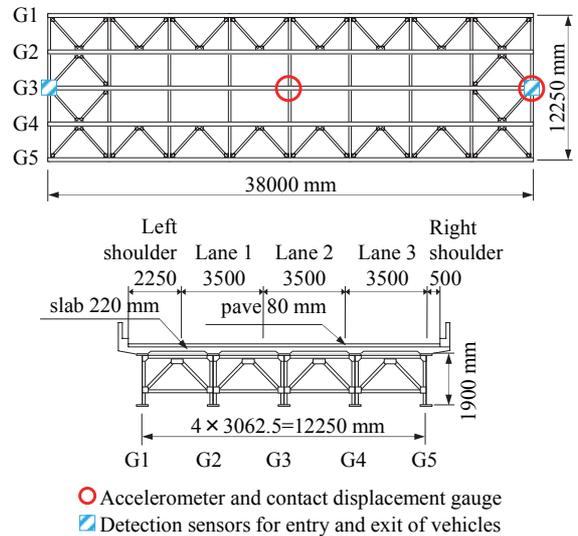


図-1 試験橋梁および計測機器設置位置

表-1 MEMSセンサの仕様

	加速度 範囲 [G]	サンプリング 周波数 [Hz]	分解能 [μG]	自己ノイズ (平均値) [μG/√Hz]
変位算出用 MEMSセンサ	±5.0	100	1.0	0.8
車両検知用 MEMSセンサ	±3.0	500	125	100

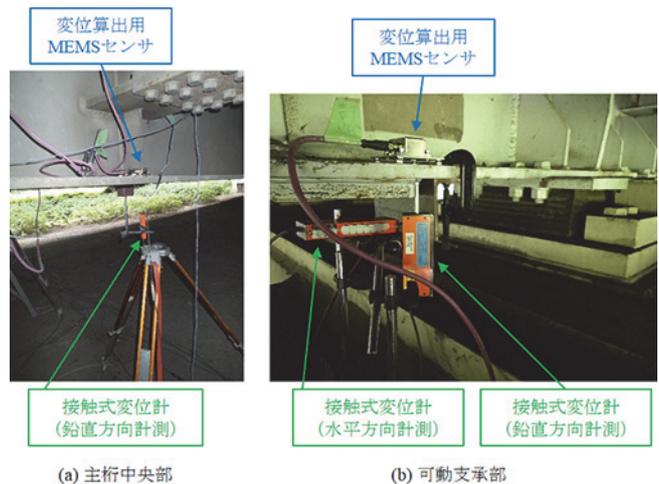


図-2 MEMS設置状況

した加速度記録は、全体的に小さい傾向を示した。特に、動的振動および静的わたみの振動数帯域である5.0 [Hz]以下の周波数帯域では、パワースペクトル密度が小さくなった。この理由は、可動支承部では変位が生じる際、摩擦が生じ

キーワード 橋梁モニタリング, 通常時, 災害時, 支承, MEMS センサ

連絡先 〒158-0082 東京都世田谷区等々力 8-15-1 東京都市大学 総合研究所 TEL 03-5706-3693

るため、変位量が抑えられているためだと考えられる。

(c) 変位応答による考察

著者らが提案している自由振動仮定法<sup>2)</sup>を用いて、図-3に示した加速度記録から変位応答を算出した。各々の変位応答算出結果を図-5に示す。図-5には、精度検証のため、接触式変位計で計測した変位応答結果も示している。主桁中央部と可動支承部において、MEMSセンサにより算出した変位応答算出結果は、接触式変位計によって計測した変位応答結果と良い一致を示し、主桁中央部に限らず、可動支承部においても精度良く変位応答を算出できる可能性を示した。また、加速度記録と同様に、主桁中央部における変位応答(図-5(a))と可動支承部における変位応答(図-5(b))は良く似た挙動を示しており、本試験橋梁の支承は活荷重に対して、適切に機能していると考えられる。

4. 災害時における異常検知

地震時、交通の早期復旧を行う上で、橋梁の損傷程度を定量的かつ早急に把握することが重要となる。地震時の橋梁の異常検知は、通常時、支承部の異常検知を行っているMEMSセンサを用いて、地震時の橋梁支承部の応答を計測し、その計測データから算出された変位応答を分析することによって、地震時の橋梁の異常検知を行うことが可能になると考えられる<sup>1)</sup>。従来の接触式変位計等の変位計測機器と異なり、MEMSセンサはx, y, z方向の3次元の計測が可能であることから、地震時挙動の応答の計測に優れている。

5. まとめ

主桁中央部および可動支承部に設置したMEMSセンサを用いて計測した加速度応答を周波数領域で考察することにより、主桁中央部における加速度応答に比べ、可動支承部における加速度応答は変位応答の主な周波数帯域である5.0 [Hz]以下のパワースペクトル密度が小さいことが明らかとなった。そして、主桁中央部に加えて、可動支承部に設置したMEMSセンサで計測した加速度記録から、精度良く変位応答を算出出来る可能性を示した。また、地震時の橋梁の異常検知を行うシステムとして、MEMSセンサを用いたシステムの提案を行った。今後の課題としては、地震時の本システムの実用性を検証するため、FEM解析または加振器を用いた地震時再現解析・実験を行う。

謝辞：本研究は文部科学省科学研究費補助金(基盤研究(A)課題番号 25249063)により実施したものであります。本研究の実証実験は、東京都市大学と首都高速道路株式会社、首都高技術株式会社、一般財団法人首都高速道路技術センターとの共同研究の一環として行われたものである。首都高速道路株式会社、首都高技術株式会社、一般財団法人首都高速道路技術センターの関係各位に謝意を表します。MEMSセンサの計測に関しては、セイコーエプソン株式会社にご協力頂いた。ここに記して深謝いたします。

参考文献

1) 東森美和子, 石川裕治, 佐々木栄一, 三木千壽: 異常検知を

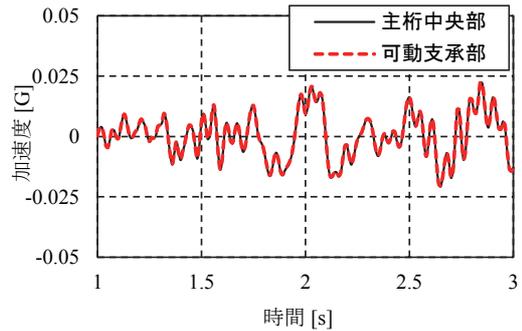


図-3 加速度記録の比較

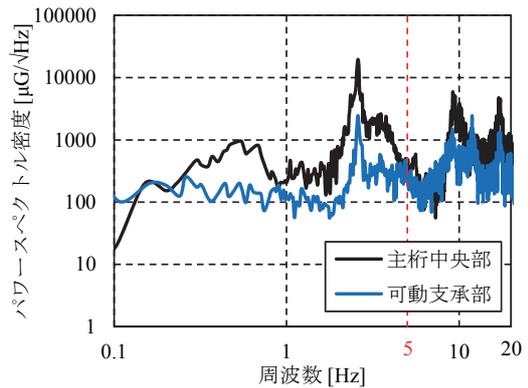
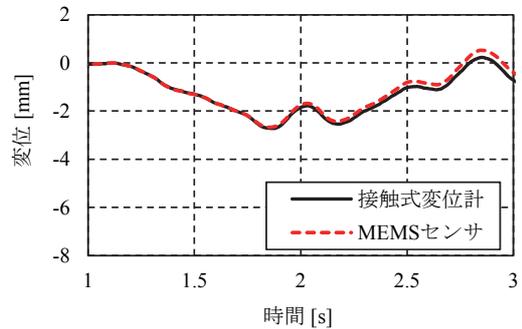
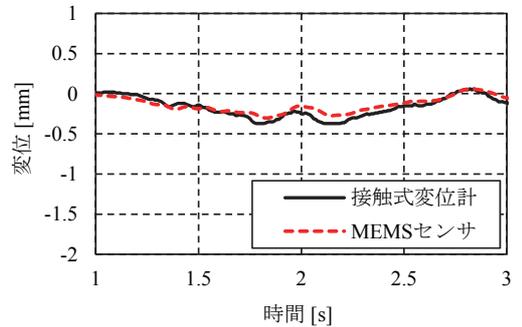


図-4 加速度スペクトルの比較



(a) 主桁中央部



(b) 可動支承部

図-5 変位応答算出結果

目的とした橋梁のインテリジェント化, 土木学会第60回年次学術講演会, I-055, 2005.

- 2) 関屋英彦, 横関耕一, 木村健太郎, 小西拓洋, 三木千壽: 橋梁の加速度記録を用いた変位応答算出法の提案, 土木学会論文集A1, Vol.72, No.1, pp.61-74, 2016.