

変位誘起型疲労損傷の原因究明を目的とした橋梁変形の可視化の試み

東京都市大学 学生会員 ○森近 翔伍
正会員 関屋 英彦 正会員 丸山 収
フェロー 三木 千壽

1. はじめに

鋼橋における疲労損傷は、落橋につながる危険性があるため、適切な維持管理が求められている。疲労損傷の主な原因の一つは、活荷重による部材の繰り返し変形である。したがって、疲労損傷に対する維持管理を行う上で、外力に対する部材の挙動を把握し、損傷の発生要因を特定することが重要となる。

本研究では、不動点と呼ばれる計測する際に必要となる基準点が不要であり、かつマグネット等による多点設置が容易である MEMS(Micro Electro Mechanical Systems) センサを用いて、活荷重作用時の橋梁の変形挙動を可視化するシステムの構築を行った。

2. 実橋梁における挙動把握実験

供用中の実橋梁において、MEMS センサを用いた計測を行った。実験対象とした橋梁は単支間 RC 床版合成 5 主桁プレートガーター橋の支間長 38m となっており、路肩・第一走行・第二走行・第三走行の構成である。図-1 に橋梁平面図、図-2 に橋梁横断面図を示す。実験に用いた MEMS 加速度センサ・MEMS ジャイロセンサ・接触式変位計の取り付け位置は、図-1、図-2 中に示す通りである。表-1 には、本実験で使用した MEMS センサの性能仕様を示す。変位応答算出用加速度センサとジャイロセンサは 100Hz、車両検知用加速度センサは 500Hz のサンプリングで計測を行った。

3. MEMS センサで計測した記録の変換

(1) 加速度記録から変位応答の算出

上記現場実験で得られた計測記録より、橋梁変形挙動の可視化を行う。橋梁の変形挙動を可視化するためには、変位応答と回転角応答が必要になると考えられる。変位応答は、著者ら²⁾が提案している手法を用いて、加速度記録から算出した。加速度記録を図-3(a)に、加速度記録から算出した変位応答算出結果とリファレンスとなる接触式変位計による変位応答計測結果を図-3(b)に示す。図-3(b)より、両方の変位応答結果は良い一致を示している。

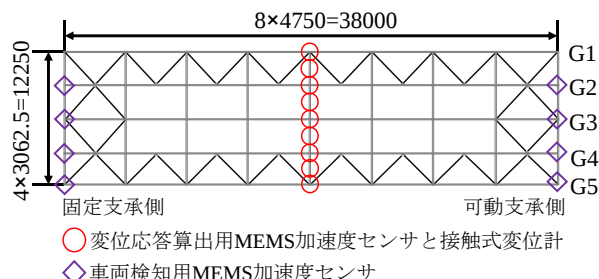


図-1 橋梁平面図

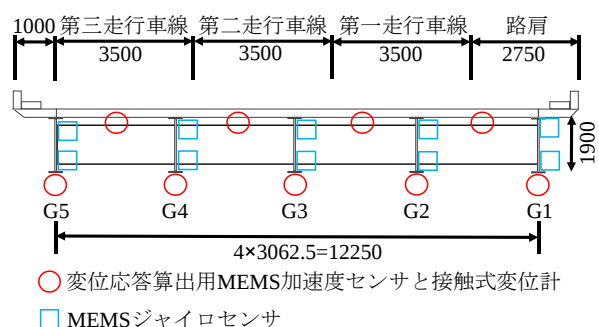
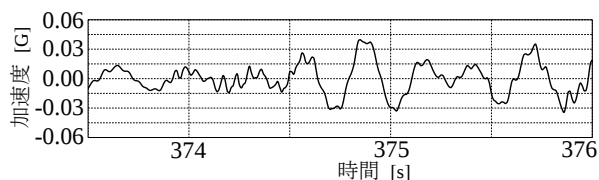


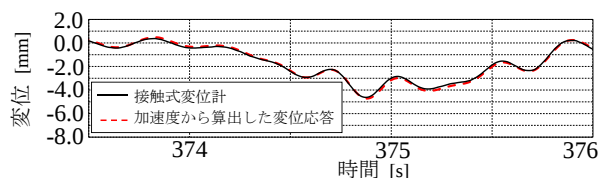
図-2 橋梁横断面図

表-1 MEMS センサの性能仕様

	型番	計測範囲	周波数帯域	分解能	自己ノイズ
変位応答算出用 加速度センサ	SEIKO EPSON M-A550-AC	±5.0[G]	DC-20[Hz] (-6dB)	1.0[μG]	0.8 [μGrms/√Hz]
車両検知用 加速度センサ	SEIKO EPSON M-G550-PC	±3.0[G]	DC-148[Hz] (-3dB)	125[μG]	100 [μGrms/√Hz]
ジャイロセンサ	SEIKO EPSON M-G550-PC	±300[deg/s]	DC-133[Hz] (-3dB)	0.0125[deg/s]	0.004 [deg/s/√Hz]



(a) 加速度記録



(b) 変位応答

図-3 加速度記録から変位応答の算出

キーワード 変形の可視化, 多点同時計測, ジャイロセンサ, 積分ドリフト

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 東京都市大学 TEL.03-5707-0104 E-mail:g1681733@tcu.ac.jp

(2) 角速度記録から回転角応答の算出

回転角応答は、ジャイロセンサで計測した角速度記録を一階積分することにより算出する。本研究では、車両が橋梁へ進入してから退出するまでの時間を積分時間とした。車両の検知は主桁の両端部に設置した車両検知用加速度センサの計測記録より判断する。G3 桁に設置した加速度記録を図-4 に示す。左上図は橋梁進入側、右上図は橋梁退出側の加速度記録である。図-4 より、車両の進入を検知した 373.74 秒から車両の退出を検知した 376.05 秒の 2.31 秒間を積分範囲とした。ジャイロセンサで計測した角速度を数値積分した場合、計測誤差等による積分ドリフトが生じる。そのため、本研究では、車両が橋梁へ進入する瞬間と退出する瞬間の回転角応答を 0 と仮定し、積分ドリフトを除去した。G4 桁の上フランジと下フランジに設置したジャイロセンサの角速度記録と算出した回転角応答を図-5 に示す。図-5 より、上フランジと下フランジは異なる挙動を示しているが、共に自由振動と良く似た成分を有していることが明らかとなった。

4. 橋梁横断面変形の可視化

各主桁および床版において算出した変位応答と、主桁上フランジおよび下フランジにおいて算出した回転角応答を FEM モデルの境界条件として入力することで、橋梁変形の可視化を行った。対象とする時間は、車両が橋梁に進入してから退出するまでの 2.31 秒間とした。FEM モデルはシェル要素で作成し、要素数および接点数はそれぞれ 165949, 165777 であった。図-6 に FEM 解析結果を示す。FEM 解析結果より、床版が大きく変形することで応力集中が発生しており、さらに橋梁全体が車両重量によって傾斜していたことが示された。

5. まとめ

本研究では、MEMS 加速度センサおよびジャイロセンサを用いて加速度記録から変位応答、角速度記録から回転角応答を算出し、FEM 解析を用いて橋梁変形の可視化を行った。角速度記録から回転角応答の算出では、車両が橋梁へ進入する瞬間と退出する瞬間の回転角応答を 0 と仮定し、積分ドリフトを除去することによって、算出できる可能性を示した。また橋梁変形の可視化では、変位応答に加えて回転角応答を考慮した解析を行った。解析結果より床版が大きく変形した際、ウェブギャップ板に応力集中が生じていることを確認でき、この変形がウェブギャップ板の疲労損傷の原因の一つだと考えられる。

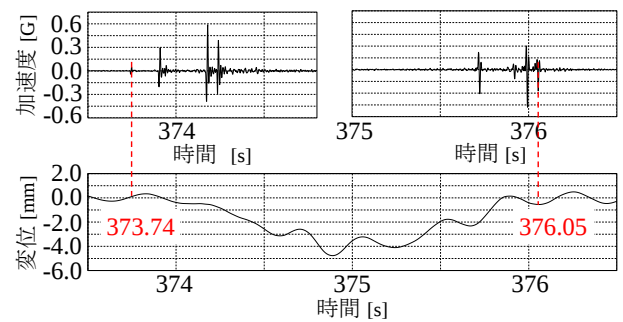


図-4 加速度センサによる車両の入退出の検知

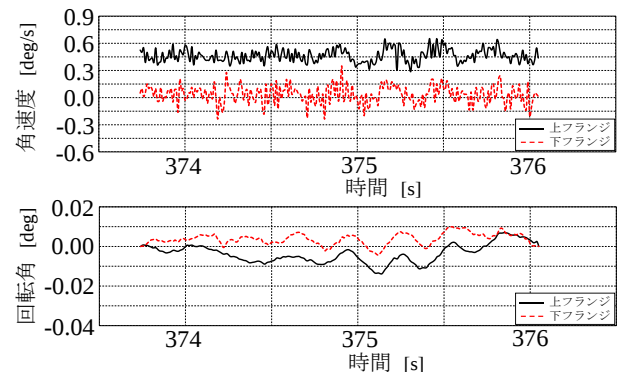


図-5 角速度記録から回転角応答の算出

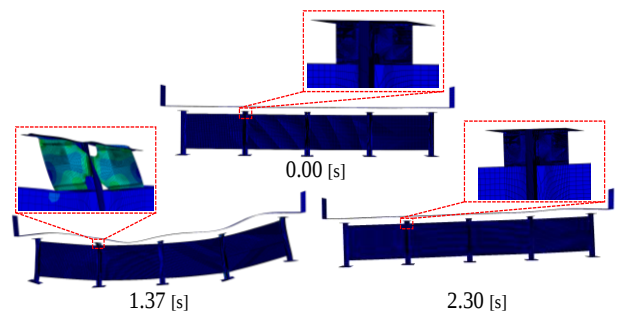


図-6 FEM 解析による応力解析結果

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所に謝意を表します。また MEMS センサの計測では、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) 館石和雄, 竹之内博行, 三木千壽: 鋼橋部材交差部に生じる局部応力の発生メカニズムと要因分析, 土木学会論文集 No.507/I-30, pp.109-119, 1995.
- 2) 関屋英彦: 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(構造・地震工学), Vol.72, No.1, pp.61-74, 2016.