

ステレオ方式のサンプリングモアレ法による実橋 RC 床版の動的たわみ計測

(株)IHI 正会員 ○塩永亮介, (株)IHI 検査計測 非会員 倉内友己, 福井大学 正会員 藤垣元治
早稲田大学 学生会員 木村雄景, 正会員 佐藤靖彦

1. はじめに

サンプリングモアレ法は、デジタルカメラを活用して遠隔・非接触、かつ多点の同時観測が可能であることから、橋梁の変位モニタリング手法の中でも比較的容易で安価な計測手法として位置づけされている¹⁾。その測定精度は、桁たわみを側方から撮影する面内変形 (xy 成分) の測定に対しては、対象面に貼り付けた格子ピッチの $1/1000 \sim 1/100$ の誤差で測定できることが確認されている。しかし、床版のたわみを下方から撮影するような面外変位 (z 成分) の測定に対しては、サンプリングモアレ法による測定精度は十分に検証されていない。そこで著者らは、模擬床版試験体を使った疲労載荷試験を実施し、2台のカメラによるステレオ方式のサンプリングモアレ法の採用により、格子ピッチの $1/100$ の測定誤差で床版たわみを測定できることを把握した²⁾。

本論文では、供用中の実橋 RC 床版においてサンプリングモアレ法 (従来型/ステレオ方式) による床版たわみ計測試験を実施し、汎用的な変位計によるたわみ測定値との比較から、それらの測定精度を比較検証した結果を報告する。

2. 試験概要

表 1 に床版たわみ計測を実施した橋梁の諸元を示す。建設から約 50 年経過した単純非合成鉄桁橋であり、測定は桁下に進入可能な第 5 径間 (径間長 30m) の RC 床版を対象とした。床版は、昭和 39 年道示 (TL-20) で設計されたもので、2018 年に実施された定期点検では、二方向ひびわれや遊離石灰の析出等から床版の損傷程度は $c \sim d$ の判定であった。

現場計測では、RC 床版の下面にサンプリングモアレ用の格子シート ($2.1 \times 1.5\text{m}$) を貼り付けた (図 1)。格子サイズは、昨年度の室内試験の結果²⁾をもとに 15mm ピッチとした。また主桁作用による「桁たわみ」を分離する目的で、横桁の上フランジ裏面へも同種の格子シートを貼り付けた。さらに測定精度の検証用として、レーザー変位計 (横桁をベース) による支間中央部の「床版たわみ」の動的計測も行った。

桁下の地表部には、市販のサンプリングモアレカメラ (従来型) と、2台の小型カメラを併設した装置 (ステレオ方式) をたわみ測定用に設置した (図 2)。RC 床版までの高さは約 7.0m であり、ステレオカメラ間の距離は 1.0m に固定した。測定方法は、連続的な動画撮影 (25fps) とし、約 30 分間の中で大型車両が通過した際のたわみで比較検証を行った。試験ケースは、走行車線側のパネル③と追越車線側のパネル④とした。また橋面上では、路側の高欄上部に定点カメラを設置し、計測期間中の通行車両の記録も行った。

表 1 対象橋梁の諸元

項目	諸元	備考
構造形式	単純非合成鉄桁橋	3 主桁
橋長/幅員	150m/8.5m	
供用開始	1972 年 4 月	供用 50 年
活荷重	TL-20 (1 等橋)	S39 道示準拠
交通量	30,000 台/12hr	
床版形式	RC 床版 ($t=200\text{mm}$)	支間 $L=3,0\text{m}$



図 1 RC 床版と格子シート

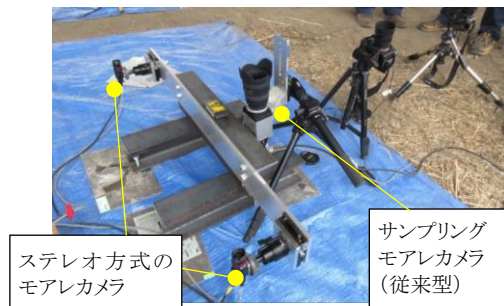


図 2 地上に設置したモアレカメラ

キーワード サンプリングモアレ, ステレオ方式, RC 床版, たわみ計測

連絡先 〒135-8710 東京都江東区豊洲 3-1-1 (株)IHI 社会基盤・海洋事業領域 事業推進部 TEL 03-6204-7315

3. 試験結果

図3に、走行車線側のパネル③のレーザー変位計から得られた床版たわみ（支間中央部）の測定結果を示す。30分間の連続計測のうち、大型車の通行は13回程度で、その際の床版たわみは最大で0.8mm程度であった。これは床版の設計曲げモーメント（S39道示、主筋方向/連続版）に対する引張断面無視の想定たわみ1.59mmに対して約1/2程度のたわみ値であり、剛性は十分確保されていると言える。

サンプリングモアレ法によるたわみの算出は、床版裏面に貼り付けた格子シートのうち、支間中央部の10cm四方のエリア4（100×100 pix）の画像を使用した（図4）。なお測定精度の検証は「全たわみ（床版たわみ+桁たわみ）」を対象とし、レーザー変位計で測定した「床版たわみ」にはエリア9から得られる「桁たわみ」を足し合わせた。

図5(a)および(b)に、図3に示した30分間の測定期間のうち、たわみ値が大きかった区間1および2の鉛直変位の測定結果（いずれも30秒間）の比較を示す。両区間とも、レーザー変位計によるたわみ測定値に対し、従来型の測定では①無載荷状態でも±1~2mm程度の測定ノイズが生じてしまう、②最大たわみ発生時の変位量を2倍程度過大に測定してしまう、ことを確認した。一方、ステレオ方式のたわみ測定値は、載荷/無載荷時ともレーザー変位計によるたわみ履歴とほぼ等しい測定結果が得られた。最大たわみ時の測定誤差も0.2~0.5mm程度と、ピーク値に対し従来型では200%の誤差だったものが、±10%以内の誤差に収まっていることを確認した。今後、さらなる精度向上に向け、解析範囲の最適化や適切な解像度の設定を図るとともに、屋外計測における振動抑制対策といった運用面の課題解決も必要と考えられる。

4. まとめ

本論文では、サンプリングモアレ法によるRC床版の面外変位（たわみ）計測に関して、従来型のモアレカメラに対してステレオ方式のカメラの適用により、実橋床版に発生する動的たわみ挙動を、レーザー変位計によるたわみ履歴とほぼ同精度で測定できることを把握した。

謝辞：本試験は、国土交通省関東地方整備局の令和2年度大学研究機関との技術シーズマッチング事業で実施された試験であり、書面を借り関係皆様に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 土木構造物のためのモニタリングシステム活用ガイドライン(案), 土木研究所資料第4408号, 2020.12.
- 2) 塩永亮介, 倉内友己, 原卓也, 藤垣元治; サンプリングモアレ法による橋梁床版の動的たわみ計測, 土木学会全国大会第76回年次学術講演会, I-33, 2021.9.

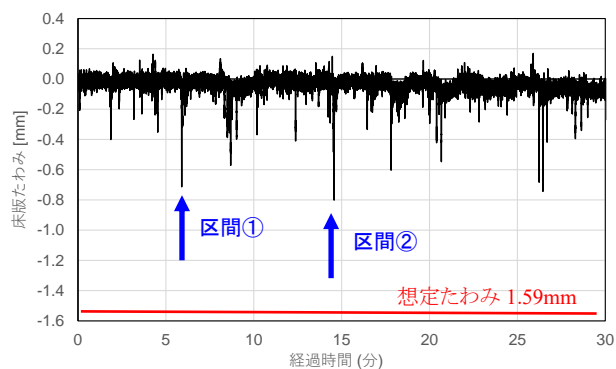


図3 床版たわみの時刻歴（変位計）

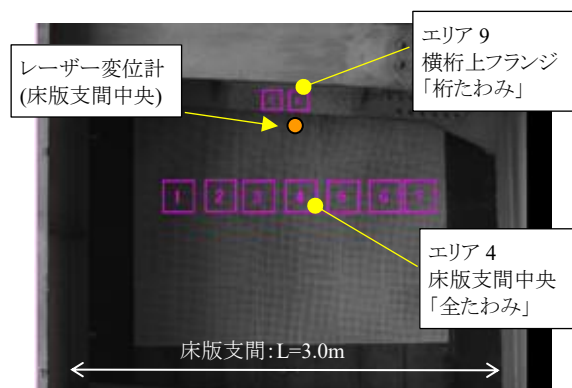
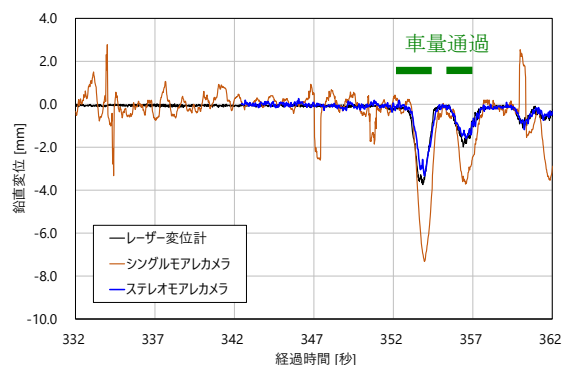
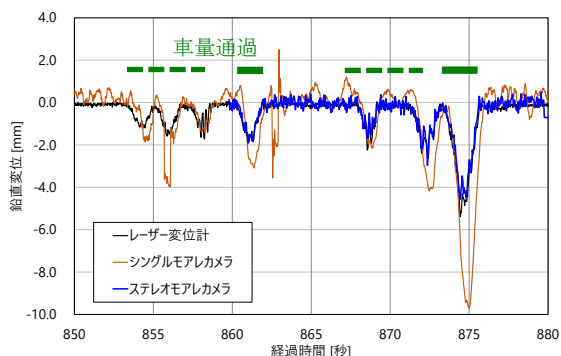


図4 モアレ画像解析の評価エリア



(a) 区間1の全たわみ測定値



(b) 区間2の全たわみ測定値

図5 SM法によるたわみ計測結果の比較