

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

(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 非会員 原卓也, 正会員 藤垣元治

1. はじめに

供用下における橋梁床版の健全性(耐荷性能や残存寿命)を正しく把握するためには、近接目視ベースの定期点検結果からだけでは判断が難しく、実橋にて活荷重に対する応答(たわみ)を直接把握することが必要とされる。この構造物の変形やひずみを遠隔・非接触で測定する手法として、サンプリングモアレ法による画像計測がこれまで実用化されてきた。既往の検討でサンプリングモアレ法は、撮影箇所の面内変形(xy成分)に対しては、設置した格子ピッチの $1/1000\sim 1/100$ といった高精度で計測できることが確認されている²⁾が、橋梁床版を下方から画像計測した場合の面外変位(z成分)に対する測定精度は十分に検証されていない。さらに橋面上の通行車両を想定した動的たわみに対する測定精度も十分把握されていなかった。

そこで本論文では、模擬床版試験体を用いた疲労載荷試験を行い、サンプリングモアレ法による床版たわみの計測精度を検証することを目的とした。ここでは、格子シートのピッチが計測精度に与える影響や、2台のカメラをつかったステレオ方式の撮影画像による計測精度の向上対策の検討も行った。

2. 試験概要

図1に載荷試験の概要図を示す。実橋では本来、床版裏面を下方から撮影する形態となるが、本実験では載荷装置や治具等の都合から、床版上面に貼り付けた格子シートを上方から撮影する試験形態とした。模擬床版試験体は、昭和47年道示に準拠して床版厚や配筋量を決定しており、寸法は $4,000\times 850\times 200$ mm、載荷スパン $3,400$ mmとした3点曲げ載荷試験を行った。設計荷重たわみ(約 3.0 mm)まで静的載荷した後、次に載荷点のたわみ振幅(片振り)が 1.0 , 3.0 , 5.0 mmとなる疲労載荷試験を行った。これらの載荷中に、上方 4.3 mの位置の架台に固定したモアレカメラから試験体上面を 25 fpsで連続撮影した。

試験体上面には、図2に示すように格子ピッチを 5 , 10 , 15 , 20 mmとした4パターンの格子シート(範囲 800×400 mm)を、それぞれ載荷点から距離が等しくなる位置に貼り付けた。疲労載荷では所定たわみに到達後、約3分間の撮影を行い、その画像データに対しモアレ縞の画像解析をかけた。また、この精度検証用として床版下面にレーザー変位計を設置し、鉛直方向の動的たわみを同時に計測した。さらに従来のカメラ1台での撮影に対し、2台のカメラ(間隔 1.0 m)で撮影するステレオ方式の撮影も行った。このステレオ方式の原理としては、各カメラのx方向とy方向の

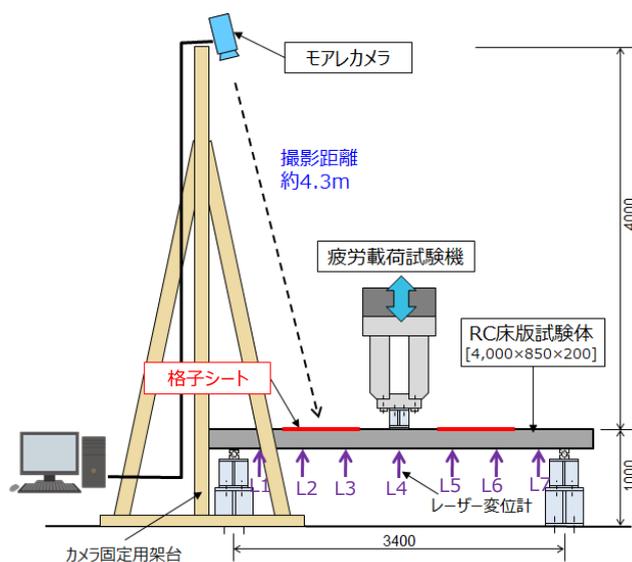


図1 疲労載荷試験とモアレカメラ

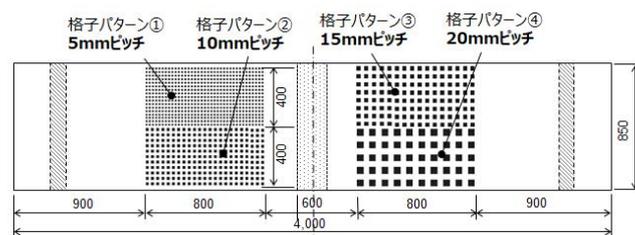
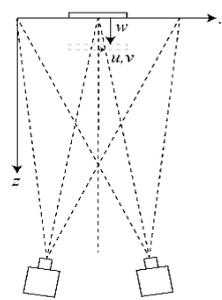


図2 試験体上面に設置した格子シート

キーワード サンプリングモアレ, ステレオ方式, 橋梁床版, たわみ計測

連絡先 〒235-8501 神奈川県横浜市磯子区新中原町1 (株)IHI 技術開発本部プロジェクトセンター TEL 045-759-2189

位相差 (4 成分) と 3 次元変位 (u, v, w) とを結びつける行列 A をキャリブレーションで事前に決定することで, 面外変位 w が精度よく計測できることが理論上わかっていた³⁾(図3).



$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} = [A] \begin{bmatrix} \Delta\phi_{1x} \\ \Delta\phi_{1y} \\ \Delta\phi_{2x} \\ \Delta\phi_{2y} \end{bmatrix}$$

2 カメラによる 4 つの位相差と 3 次元変位の関係が成り立つ行列 A をキャリブレーションにより算定する。

図3 2カメラ法(ステレオ方式)の計測原理³⁾

3. 試験結果

図4に, 载荷点変位 3.0 mm まで静的载荷した際の L2 点 (载荷点から 900 mm) の床版たわみ測定値の比較を示す。なお撮影画像のモアレ解析にあたっては, シートを長手方向に 8 分割した 100×400 mm の範囲で平均化したたわみを算出した。レーザー変位計の実たわみ-2.0 mm に対し, カメラ 1 台の画像から解析した L2 点たわみは-0.36~-0.20 mm と 80%以上の誤差が生じたのに対し, ステレオカメラ方式の画像解析から得た L2 点たわみは, 誤差がわずか 5%以内となり, 大幅にたわみの測定精度向上が図れることを把握した。また最も誤差が小さいのは格子ピッチ 10 mm であった。

次に疲労試験結果の一例として, 図5に载荷点変位 5.0 mm, 周期 0.5 Hz の一定振幅で疲労载荷した際の L2 点におけるレーザー変位計とステレオ方式の撮像から解析したたわみ値の比較を示す。このようにたわみの経時挙動もレーザー変位計と同等精度で計測でき, さらに Peak to Peak の両者の差は 0.02 mm と, 高精度で測定できることを確認した。他ケースでも, 最大たわみ 3.0 mm 時の測定誤差は 0.1 mm 程度であったことから, ステレオ方式による面外変位測定精度はフルスケールの 5%以内, また貼り付けた格子ピッチのおおよそ 1/100 の誤差でたわみ計測できると考えられる。

図6は, モアレ解析で得られた試験体上面の最大たわみコンター図である。従来の棒型変位計やレーザー変位計では測定点のたわみしか測定できないが, サンプルングモアレを利用した画像計測では, このように面全体のたわみ分布を定量的に把握できることも確認した。

4. まとめ

本論文では, サンプルングモアレ法による模擬床版の動的たわみ計測を行い, ステレオカメラ方式の採用により①フルスケールの約 5%以内の精度で計測できること, ②格子ピッチのおおよそ 1/100 の測定誤差であること, ③格子シートを貼り付けた面全体のたわみ分布を把握できることがわかった。

参考文献

- 1) 藤垣元治, 村田頼信, 栗林賢一; サンプルングモアレ法による変位・回転角計測の大型インフラ構造物への適用, 検査技術, Vol. 23, No. 4, 63-68(2018).
- 2) Ri, S., Fujigaki, M. and Morimoto, Y.; Sampling Moire Method for Accurate Small Deformation Distribution Measurement, Experimental Mechanics, Vol. 50, No. 4, 501-508(2010).
- 3) 藤垣元治, 中坊真希子; 三次元変位計測方法とその装置, 特願 2012-92287(2012.4.13), 特許第 6072425(2017.1.13).

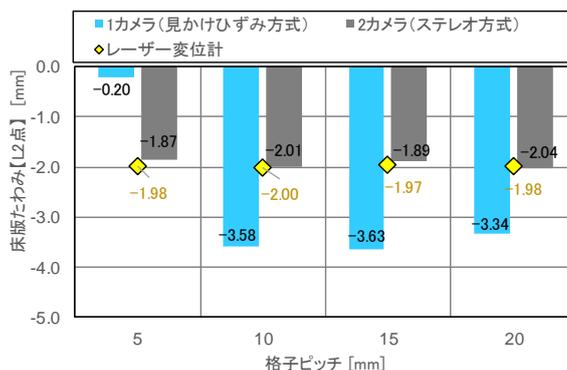


図4 たわみ計測誤差の比較(L2点)

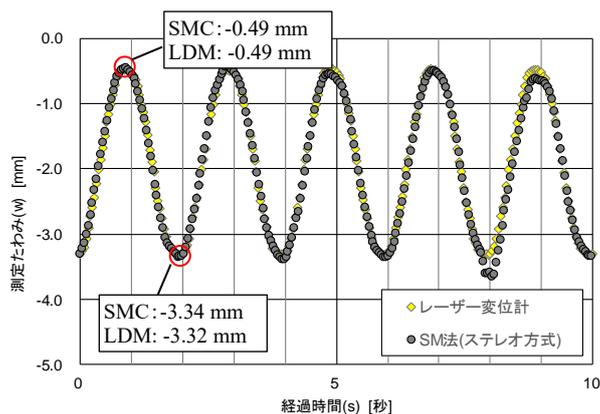


図5 動的たわみの計測結果(L2点)

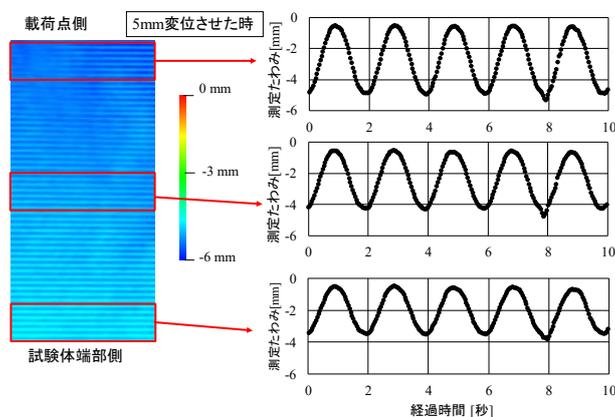


図6 床版たわみ分布と時刻歴の出力例