サンプリングモアレ法を用いた土木構造物の計測

ジェイアール西日本コンサルタンツ㈱　正会員　○玉井　博貴　正会員　生駒　昇
和歌山大学　正会員　藤垣　元治

１．はじめに

鉄道や道路の土木構造物において経年の進行が顕在化している．適切な維持管理を進めるために，構造物の健全度を正しく把握し，早期に適切な対策を取ることが重要である．土木構造物の健全性の主な評価指標として，変位，固有振動数などが使われてきた．従来の計測手法では，計測項目毎に計測機器が異なり，計測の際には，数種の機器を設置する必要があった．また，現地立ち入りの困難な場所が存在することもあり，非接触で遠隔から高精度な計測ができる簡易な手法が求められている．非接触計測の手法としてサンプリングモアレ法 [1] が研究されてきた．この手法を用いて，対象構造物の計測点に設置した格子標識の連続撮影画像から，変位，変位角と，この結果を用いた振動数の 3 項目を同時に計測するサンプリングモアレカメラ [2] を開発し，計測システムに組み入れた．そこで本研究では，サンプリングモアレカメラの実用化を目的に，室内実験によりたわみ，たわみ角の同時計測を実証し，実際の鉄道橋によりその有用性を検証した．

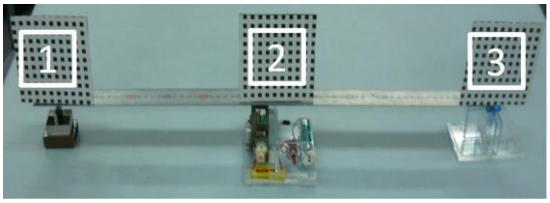

図-1　模擬単純梁

２．サンプリングモアレ法の概要

サンプリングモアレ法とは，干渉縞解析などに用いられる縞解析法 [3] を二次元格子の位相解析に拡張したものである．特徴として，一枚の格子画像から X, Y 方向の位相を解析でき，サンプリング処理することで微小な変形を数十倍に拡大して解析できることから高精度な解析が可能である．

３．室内計測実験

支間長 L=1.0m のスチール定規を両支点の上に置き，模擬単純梁を再現するために，中央に上下方向の移動装置を置き，その部位を 1.2 ㎜たわませる装置を作製した（図-1）．これに 10 ㎜ピッチの格子標識を設置し，中央部の領域 2 のたわみ ρ と両支点部の領域 1 と領域 3 のたわみ角 θ の計測を行った．

その結果，スパン中央のたわみの計測値は，1.2 ㎜の上下動を正確に捉えた（図-2）．領域 1，3 のたわみ角は，支間長 1.0 mのスチール定規の中央部を 1.2 ㎜たわませたときの支点部たわみ角±3.6/1000rad と一致していた（図-3）．この結果はたわみ角とたわみ支間長の比（以下，たわみスパン比）との比 $\theta/(\rho/L)=3$ が定数倍となっていることを示している（図-4）．領域 1，3 の計測の結果は，3.3/1000～3.8/1000rad で，計算値との差は±3.0/10,000rad の誤差で計測を行うことができた．

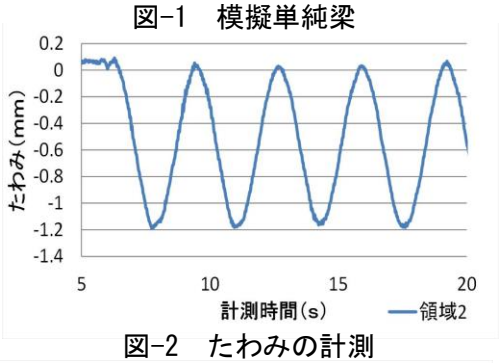

図-2　たわみの計測

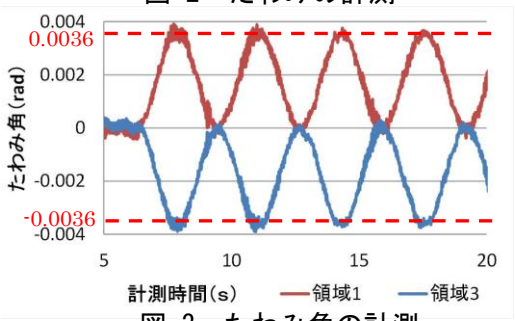

図-3　たわみ角の計測

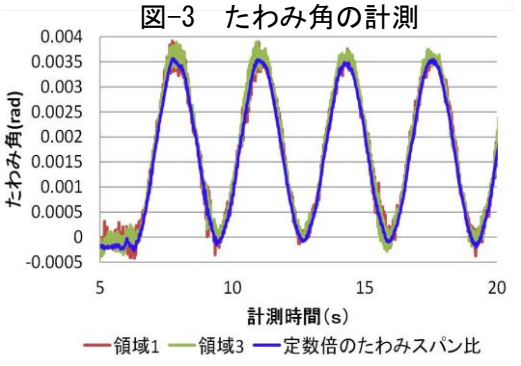

図-4　たわみ角の比較

キーワード　サンプリングモアレ法，サンプリングモアレカメラ，たわみ，たわみ角，非接触計測法
連絡先　〒532-0011　大阪府大阪市淀川区西中島 5 丁目 4 番 20 号　中央ビル 9 階
ジェイアール西日本コンサルタンツ（株）技術部　TEL 06-6303-1150

４．鉄道橋りょうへの適用

（1）たわみの計測精度検証

計測対象橋りょうは，支間長 27.0mのデックガーダーである（**図-5**）．橋桁の中央部（**図-5** の 1 としている計測領域）に 10 ㎜ピッチの格子標識を貼付けた．サンプリングモアレカメラから格子標識までの計測距離は 5.6m，カメラの撮影速度は 60Hz である．たわみ計測精度を検証するために，レーザー変位計を用いて同一箇所の計測を同時に行った．

列車通過時の橋桁の中央部たわみを両方法により計測した結果を示す（**図-6**）．7 両編成列車が通過する際の細かい橋桁の動きまで精度良く捉えている．両計測法の計測差の標準偏差は 0.07 ㎜を示し，遠隔計測でも高精度で計測できた．

図-5　現地写真

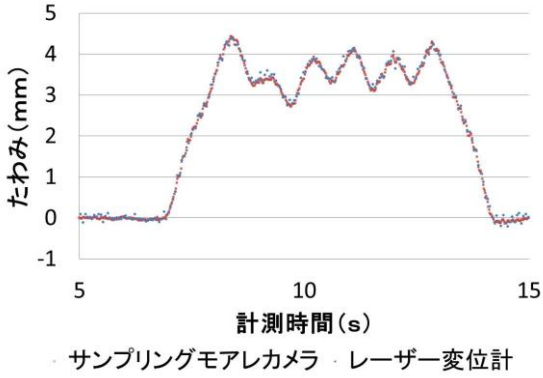

図-6　たわみの比較

（2）たわみ角の計測

計測対象橋りょうは，支間長 6.5mの 4 主デックガーダーである（**図-7**）．橋桁の中央部と両支点部の合計 3 箇所に 10 ㎜ピッチの格子標識を貼付けた．サンプリングモアレカメラから格子標識までの計測距離は 6.0m，カメラの撮影速度は 60Hz である．サンプリングモアレカメラにて領域 2 のたわみ計測と領域 1 と領域 3 のたわみ角の計測を行った．橋桁中央部の最大たわみ 2.4 ㎜を計測した時、両支点のたわみ角は等しくなる．その際のたわみ角の計算値は±1.1/1000rad である．赤い線で囲う部分に最大たわみ時のたわみ角の計測値を示す（**図-8**）．領域 1 において，計算値と同程度の精度でたわみ角を計測できることを確認した．

図-7　現地写真

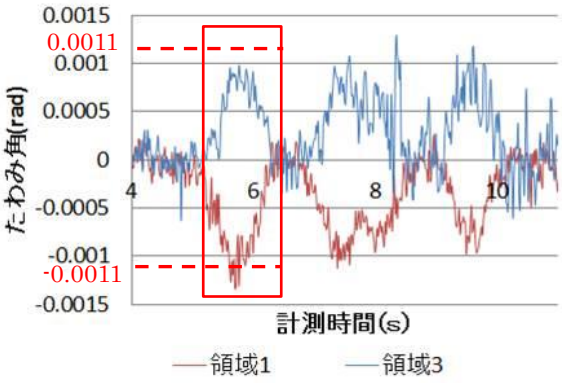

図-8　たわみ角の計測

５．まとめ

以下に本成果をまとめる．

① 室内実験では複数の計測点に対して，たわみ，たわみ角を同時に計測できることを確認した．

② 実橋にて遠隔計測したサンプリングモアレカメラのたわみ計測精度は標準偏差 0.07 ㎜程度であった．

③ 実橋を用いたたわみ角の計測値と解析値を比較した結果，精度良く検証できることを確認した．この結果から最大たわみ時の両支点部のたわみ角が等しくないとき，構造物に変状が発生している兆候をつかめる可能性があることを示した．

６．参考文献

1）李志遠，藤垣元治：サンプリングモアレ法による高精度微小変位分布計測とその応用，よくわかる実験技術・学術用語第 2 版，格内敏，加藤健司，加藤章，新川和夫 編，日本実験力学会 (2012) , 44-47.

2) Fujigaki, M., et al, Development of Sampling Moire Camera for Real-time Phase Analysis, Applied Mechanics and Materials, Vol. 83, (2011), 48-53.

3) Arai, Y., Yokozeki, S., Shiraki, K., and Yamada, T.: High Precision Two-dimensional Spatial Fringe Analysis Method, Journal of Modern Optics, vol. 44, no. 4, (1997), 739-751.