

サンプリングモアレ法を用いた 非接触変位計測システム

1. はじめに

サンプリングモアレ法は、測定対象物に張り付けた格子ターゲットをカメラで撮影することで、遠隔から非接触で変位や振動数が計測できる手法である⁽¹⁾。本手法は、従来の接触式変位計や加速度計に比べ、計測箇所での計測器の設置が不要であり、配線作業の簡素化が可能である。また、複数の格子ターゲットを同時撮影することで、複数点同時に変位を計測することも可能である。本稿では、サンプリングモアレ法の概要とカメラと計測対象物の距離による精度への影響についての試験結果を紹介する。

2. サンプリングモアレ法の概要

図1にサンプリングモアレ法による変位計測システムの構成を示す。サンプリングモアレカメラを用いて構造物に張り付けた格子ターゲットを撮影し、解析用PCで撮影した画像を解析することにより、高精度で変位を測定する手法である。

サンプリングモアレ法では画像解析により、撮影した変形前格子と変形後格子を重ねることで発生するモアレ縞^{じま}を利用して、高精度で変位を測定している。モアレ縞とは規則正しい繰り返し模様の周期のずれにより発生する縞模様のことである⁽²⁾。モアレ縞の例を図2に示す。

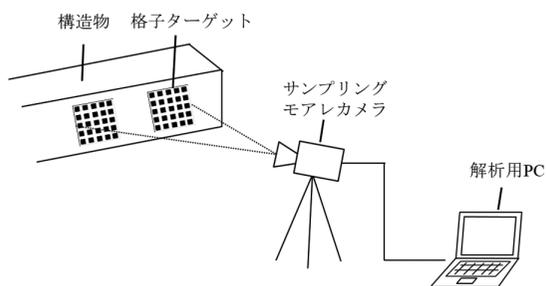


図1 サンプリングモアレ法による変位計測システム

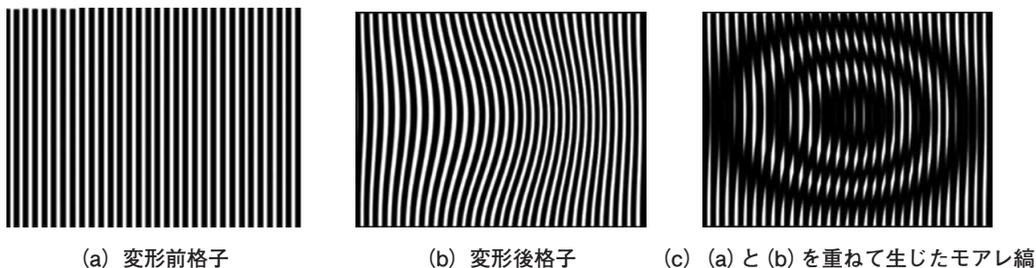


図2 モアレ縞の発生例

格子模様の微細な変形をモアレ縞で表現することで大きな位相差として捉えることができ、格子ターゲットのピッチの 1/100 ~ 1/1000 程度の精度で変位を計測することが可能である⁽³⁾。変位の算出では、撮影した画像をピクセルごとで演算を行い、格子に相当する部分の平均値を格子ターゲットの変位量として出力している。そのため、画像撮影の際に生じるショットノイズなどの影響が少なく、良好な繰り返し精度を有している。

3. サンプリングモアレカメラ法の計測事例

サンプリングモアレ法を用いた計測結果の一例を紹介する⁽⁴⁾。一つは基礎的な精度検証試験、もう一つは格子ターゲットの代替としてボルト集合部を用いた変位計測の結果である。本稿の試験では、株式会社共和電業製のサンプリングモアレカメラ DSMC-100A を用いた。

3.1 精度検証のための基礎試験

カメラと計測対象との距離が精度に及ぼす影響を確認するため、カメラと計測対象の距離を 5m、10m、30m、60m、100m と変化させて計測した。加えて、夜間での計測可能性も検討した。図 3、図 4 に示すように、格子ターゲットを取り付けた 1 軸ステージを用い、横方向に 1mm の変位を与え計

測した。サンプリング周波数は 15Hz (1 秒間に 15 回計測する) とし、計測値は 3 秒間の平均値とした。計測時の状況を図 5 に示す。夜間については周囲が暗く、サンプリングモアレカメラで格子模様を識別できないため、計測位置から白色ホロライトを用いて格子ターゲットに照射した。計測結果を図 6 に示す。

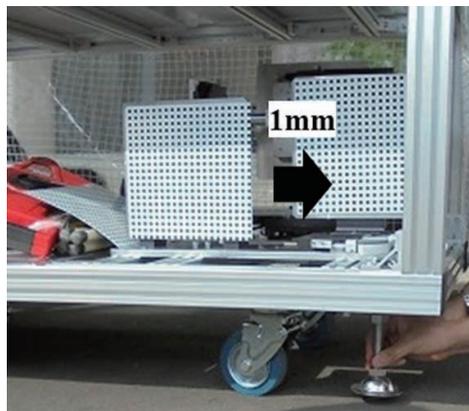


図 3 計測用格子ターゲット (10mm ピッチ)

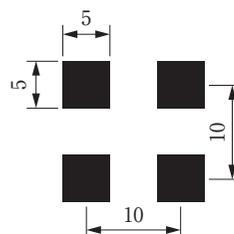


図 4 格子ターゲットの模式図



(a) 昼間計測状況 (10m)



(b) 夜間計測状況 (10m)

図 5 計測状況

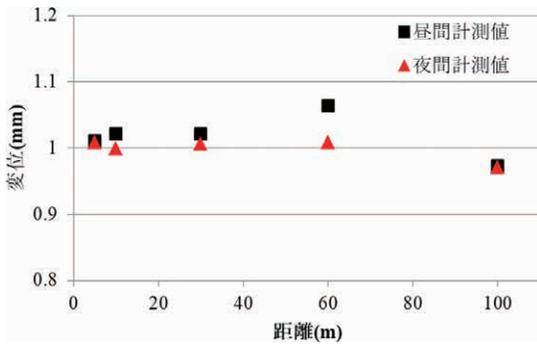


図6 各計測距離における変位量

図6より、カメラと計測対象物との距離が100m以下において、格子ターゲットのピッチの1/100にあたる0.1mm以下の計測精度が得られることがわかる。また、夜間であっても照明を利用することで昼間と同等の精度で変位を測定できることを確認した。

3.2 格子ターゲットを橋梁ボルト部分とした場合の計測結果

通常、サンプリングモアレ法では、格子ターゲットを測定対象物に張り付ける必要がある。しかし、橋梁に格子ターゲットを張り付けるには、足場を設置するなど手間や費用がかかってしまう。そこで、橋梁の中にある規則性を持つ模様を利用して、格子ターゲットの張り付けなしで変位測定が可能かを検討した。今回は、橋梁の桁部にある規則正しく並んだボルト集合部に着目し、そ

れらを格子ターゲットとして測定し、精度を確かめた。

試験方法としては、橋梁の桁を模擬したボルト集合部を取り付けたH鋼の3点曲げを実施した。H鋼の模式図を図7に示す。また、ボルト集合部の写真を図8に示す。本試験で対象とした六角ボルトは径を10mm、ボルト間のピッチを20mmとした。ボルトの個数は8×8個とした。

H鋼の全長は6m、支点間距離は5mである。ボルト集合部の位置は、図7に示す $x=0\text{mm}$ (H鋼中央)、 $x=-1250\text{mm}$ 、 $x=2250\text{mm}$ の3カ所とした。また、比較として、10mmピッチの格子ターゲットを $x=1250\text{mm}$ の位置に1カ所取り付けた。サンプリングモアレ測定の結果を評価するために、ボルト集合部や格子ターゲットの下に接触式変位計を取り付けた。

H鋼中央に2kN、15kN、30kNを載荷した静的荷重試験の結果を図9に示す。

図9から載荷荷重のいずれに対しても、ボルト集合部のサンプリングモアレ法による計測結果と接触式変位計の測定結果が良く一致し、両者の差がボルト間ピッチの1/100である0.2mm以内に収まっていることが確認できた。また、ボルトと格子ターゲットの精度にはほとんど差はなかった。このことから、ボルト集合部をターゲットとして用いても、変位の計測が可能であることを確認した。

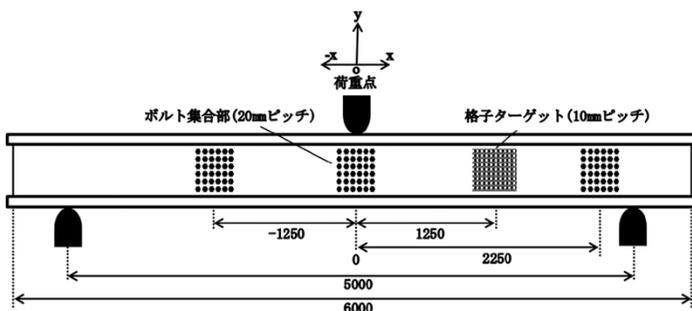


図7 H鋼模式図

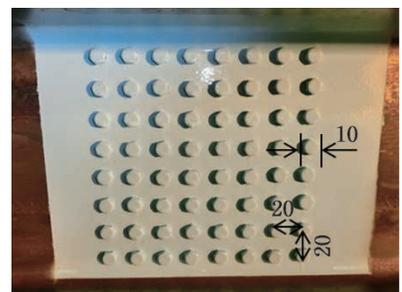


図8 六角ボルト集合部 (8×8個)

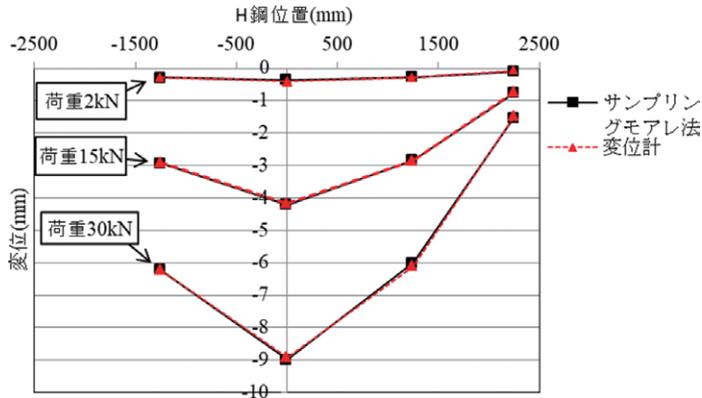


図9 静的荷重試験結果

4. おわりに

今回紹介した計測事例から以下のことが明らかとなった。

- (1) カメラと計測対象物の距離が 100m 以下では、格子ターゲットピッチの 1/100 の変位計測精度が得られることを確認できた。また、夜間においても照明を利用することでサンプリングモアレ測定が可能である。
- (2) ボルト集合部などのように格子ターゲットの代替ができればターゲットレス計測が可能である。

サンプリングモアレ法は、非接触で変位や振動数の計測が可能かつ有用な手法である。また、サンプリングモアレ法はカメラの撮像範囲であれば複数点の計測が可能であり、橋梁などの大型構造物の変位計測に効率良く使用できることが期待できる。

文責

研究開発センター 研究開発グループ

宮下 和大

計測事業部 計測技術部 磯子グループ

倉内 友己

計測事業部 計測技術部 磯子グループ

郡 亜美

参考文献

- (1) Fujigaki, Morimoto : Sampling Moire Method for Accurate Small Deformation Distribution Measurement, Experimental Mechanics, Vol.50, No.4, 2010, pp.501-508
- (2) 森本、藤垣、梶谷：サンプリングモアレ法による変位・ひずみ分布計測、真空、54 巻、1 号、2011、pp.32-38
- (3) 藤垣、原、生駒、村田：列車通過時における鉄道橋の動的な変位計測へのサンプリングモアレカメラの適用、実験力学、Vol.12、No.3、2012、pp.179-184
- (4) 宮下和大、倉内友己、郡亜美：サンプリングモアレ法を用いた変位計測システムの導入、HC REVIEW、No.63、2020/04、pp.56-61