

高速撮影動画を用いたデジタル画像相関法による面内変位分布計測のコンクリート構造物への適用

鹿島建設(株) ○今井 道男, 露木 健一郎, 三浦 悟

日本電気(株) 太田 雅彦, 今井 浩, 村田 一仁, 高田 巡

1. はじめに

デジタル画像相関法は、二時点の画像情報をもとに視野内における変位分布を計測することができ、非接触で広範囲な情報を得られることから、建設分野においてもその有用性が期待されている。本研究では、コンクリート構造物をフレームレート 100fps 以上で高速撮影し、得られたフレームごとにデジタル画像相関法を適用、その結果をもとにした構造物の挙動把握を行った。まず、室内でコンクリート桁試験体の交番載荷実験に適用し、得られた変位分布から算出したたわみ量やひび割れ幅の変化が妥当であることを確認した。つぎに、実際に供用中の橋梁での適用実験を実施し、通過車両を利用してたわみ量の変化を捉えることを試みたので報告する。

2. 高速撮影動画を用いたデジタル画像相関法

デジタル画像相関法は、測定対象表面のランダムパターンをもとにして、変形前後の測定対象のデジタル画像を解析し、画像全体の変位分布、つまり変位の大きさと方向を得ることができる。具体的には、ふたつのデジタル画像の輝度値をそれぞれの標本列とし、ある任意の点を中心とした変形前の領域 ($N \times N$ 画素) を抽出し、その画像との相関係数が最も高い場所が変形後の位置と判断する (図 1)。ふたつの標本列 $x_i (i=1, 2, 3, \dots, N)$ と $y_i (i=1, 2, 3, \dots, N)$ の相関係数 ρ は次式であらわされる。ここで、 σ_x 、 σ_y はそれぞれの輝度値 x_i 、 y_i の標準偏差である。

$$\rho = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \right] / (\sigma_x \sigma_y)$$

しかし、上式による変位算出では画素単位の変位量しか得られない。そこで、1画素以下の精度で変位量を得る方法が提案されている。例えば、最も相関の高い画素とその周辺部の画素を曲線などで補間する方法、離散的な輝度値に対して数値補間する方法などが挙げられる。

デジタル画像相関の結果、視野内の面内変位分布を得ることができる。これまでも、実橋梁に重量車両を停止させる前後の静止画像からたわみ量やたわみ形状を得た事例^[1]や、変位分布をもとにして主ひずみ方向から試験体のせん断ひび割れ位置を同定した事例^[2]の報告がある。本研究では高速撮影した動画を利用するため、面内変位分布の時刻歴変化が得られる。そのために、振動応答特性の違いなどをもとにした評価なども将来的には期待できる^[3]。また、車両を停止させる必要なく、通過車両を利用した計測が行えることも大きな利点である。本方法の特長を以下にまとめる。

- 対象物に対して遠隔から非接触で適用可能である。
- 全視野内で広範囲の面内変位分布をとらえられる。
- 動画を用いるため、変位分布の時刻歴変化を捉えられる。
- 高価な機器構成を必要としない。

3. 室内実験

(1) 実験方法

T型断面の桁試験体 (全長 1,800mm) を用いて、5Hz 正弦波での交番載荷実験を実施した (図 2)。同試験体は既に破壊済みで、最大幅のひび割れが中央部付近の下端面から生じている。支間長 600mm の3点曲げ試験を、事前の確認によってジャッキ荷重とストロークがおおよそ線形である荷重範囲内で実施した。試験中は、補助照明として白熱灯を使用し、支間中央部をビデオカメラによりフレームレート 100fps で動画撮影した。撮影距離は約 3.5m であり、像面での 1画素のサイズは約 244 μ m に相当する。撮影画像の一例を図 3 に示す。

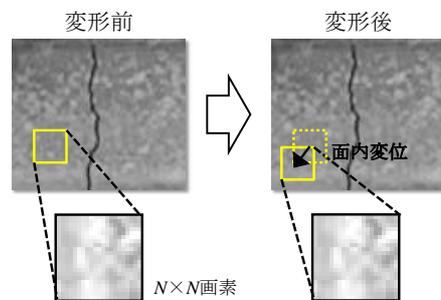


図 1 デジタル画像相関法



図 2 室内実験の状況

キーワード デジタル画像相関法, ひび割れ, 変位, ひずみ, コンクリート

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株) 技術研究所 TEL042-489-6264

(2) 実験結果

デジタル画像相関法で得られた面内変位分布をもとに、最大幅ひび割れを挟んで左側と右側にある位置 (図3内 L, R) の画面水平方向の変位の時刻歴変化を算出した結果を図4に示す。多少ばらつきがみられるものの、左側と右側で逆位相の正弦波を示している様子がわかる。ひび割れ幅の変動に相当する両者の差 (最大約 20 μm) は、ひび割れ部に設置したパイ型ゲージと同様の結果であった。これは、1/12 画素の変位量に相当する。また、デジタル画像相関による面内変位分布をもとに、桁上面にあたる位置 (図3内 a~d) の画面鉛直方向の時刻歴変化を算出した結果を図5に示す。図4同様に多少の変動がみられるものの、正弦波での振動の様子、また支間中央に近いほど振幅が大きくなる様子がわかる。支間中央部付近の振幅 (図3内 a) は、ジャッキストローク (約 85 μm) とほぼ一致した。

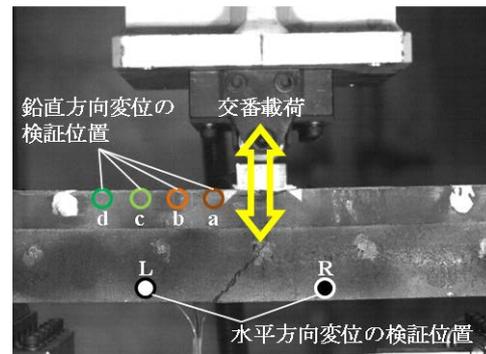


図3 撮影画像の一例

4. 実橋実験

(1) 実験方法

供用中の実橋 (RC中空床版) のランプ部で、高欄部を仰ぎ見る方向からフレームレート 100fps で動画撮影し、画面鉛直方向変位分布の時刻歴を算出することにより、たわみ計測を行った (図6)。このときの撮影距離は約 10.8m, 撮影角度は約 20.5度であり、像面での1画素のサイズは約 700 μm に相当する。

(2) 実験結果

重量車両通過時に得られた結果の一例を図7に示す。地表に設置したレーザ距離計から床版下面の反射ターゲットまでの距離変化と、デジタル画像相関法で得られた面内変位分布から算出した高欄部のたわみ量変化は、ともに約 600 μm を示した。変化の傾向が異なる様子がみられるが、これは計測場所の違い、つまりレーザ距離計では床版部を、画像相関法では高欄部をそれぞれ計測していることが主な原因と考えられる。また、デジタル画像相関法で得られた面内変位分布から算出したたわみの方が、計測分解能に優れていた。

5. あとがき

室内実験ならびに実構造物での実験を通じて、高速撮影動画を用いたデジタル画像相関法のコンクリート構造物への実用性を検証した。本研究によって、以下を確認することができた。

- 5Hz で振動するコンクリート試験体の交番载荷試験を約 3.5m 距離から撮影し、ひび割れ幅変化 (約 20 μm) とたわみ量変化 (約 85 μm) をとらえることができた。
- RC中空床版を約 10.8m 距離から撮影し、車両通過によるたわみ量変化 (約 600 μm) をとらえることができた。

本技術は、非接触且つ広範囲に対象構造物の面内変位分布の時刻歴変化を算出することができるため、非常に汎用性が高い。しかし、実橋実験では日照環境などで精度が大きく影響を受けることが分かった。今後は、安定した精度を得られるような撮影方法や解析方法の研究に取り組む所存である。

参考文献

[1] 米山聡:デジタル画像相関法を用いた橋梁のたわみ分布測定, 実験力学, 7(1), pp.11~15, 2007.
 [2] 高野芳行, 小島梨恵子, 長井宏平:画像補正システムを用いたHPRCC梁のせん断特性向上に関する研究, 生産研究, 65(4), pp.533~537, 2013.
 [3] 高田巡, 今井浩, 太田雅彦:画像センシングの深さとインフラ点検高度化に向けた取組み, 2015年電子情報通信学会総合大会講演論文集, pp.SS-83~84, 2015.

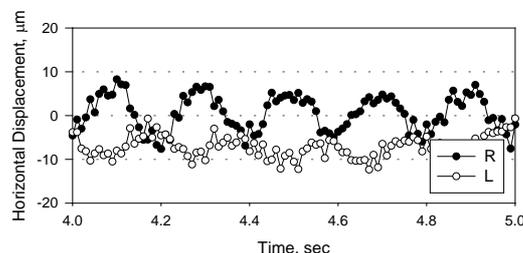


図4 画像相関による水平方向変位

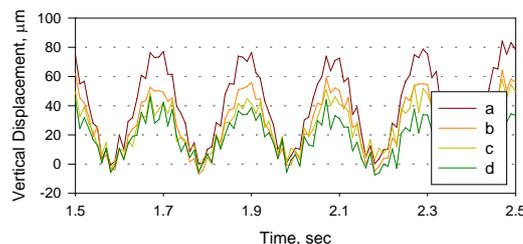


図5 画像相関による鉛直方向変位



図6 実橋実験の状況

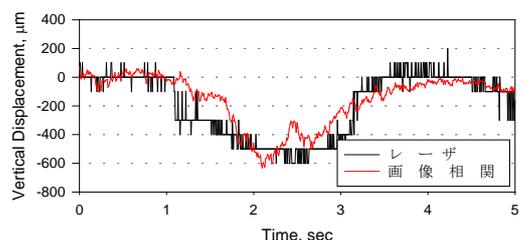


図7 レーザと画像相関結果の比較