

10K 高解像度デジタルカメラによるコンクリートのひび割れ進展挙動の DIC 計測

茨城大学 学生会員 ○松本 康佑
茨城大学 正会員 車谷 麻緒

1. はじめに

近年、材料の破壊挙動を定量的に計測する手法として、デジタル画像相関法 (DIC) が用いられている。この手法は、デジタルカメラで撮影した変形前後の画像を用いてその変形量からひずみ分布を算出する方法である。撮影用のデジタルカメラは年々発展を遂げており、車谷ら²⁾は、コンクリートの圧縮破壊試験の DIC 計測において、使用するデジタルカメラの解像度が上がると、より詳細にひび割れの形状を計測・可視化できることを示している。

そこで、本研究では過去にまだ DIC 計測に用いられたことがない 10K 相当の高解像度カメラを用いてひび割れの進展挙動の詳細な DIC 計測を試みる。本研究で用いる DIC 計測¹⁾は車谷らが独自に開発した手法である。デジタルカメラを自由に選択することができ、高解像度のカメラを使用することで、コンクリートのひび割れ進展挙動を詳細に計測することができる。具体的にはまず、10K 高解像度カメラを用いてひび割れ進展挙動の詳細な DIC 計測を試みるため、カメラの撮影画像の露光に関わる値の見直しを行い、これらの値がどの程度精度に影響を与えるのかを調べるとともに、最適な撮影条件について検討する。その後、コンクリートの圧縮破壊試験に DIC 計測を適用し、車谷ら²⁾が既往研究において使用した高解像度なカメラによる DIC 計測結果と比較検討する。最後に、10K 高解像度カメラを用いてひび割れ進展挙動を詳細に計測した結果を示す。

2. 画像相関法¹⁾

本研究で用いるデジタル画像相関法は、画像の輝度値パターンの類似度を相互相関で評価し、変位量を算出する方法である。画像を検査領域 (サブセット) と呼ばれる小領域ごとに分割し、変形前画像の検査領域の輝度値パターンが、変形後画像のどの位置に移動したかを、次式に示す相互相関関数を用いて算出する。

$$R(\Delta X, \Delta Y) = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \{f(X_i, Y_j)\} \{g(X_i + \Delta X, Y_j + \Delta Y)\}}{\sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \{f(X_i, Y_j)\}^2 \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \{g(X_i + \Delta X, Y_j + \Delta Y)\}^2}}$$

ここで、 $f(X_i, Y_j)$ は変形前画像の輝度値分布、 $g(X_i + \Delta X, Y_j + \Delta Y)$ は変形後画像の輝度値分布、 N は検査領域の一辺の長さ (pixel) を表す。 $(\Delta X, \Delta Y)$ は元の検査領域の位置からの移動量を表し、検査領域の周辺の取りうる移動量すべてで計算を行い、それぞれの相関値 $R(\Delta X, \Delta Y)$ を算出する。これにより得られた相関値は $0 \leq R \leq 1$ の範囲をとり、 R が 1 に近いほど画像の輝度値パターンが類似していることを示す。上式で得られた R のうち、最も高い値を示すときの $(\Delta X, \Delta Y)$ をその検査領域の変位量とする。この流れを計測対象全域で行い、得られた変位を用いて検査領域ごとにひずみテンソルを算出し、画像全域でのひずみ分布を求める。

3. 最適な撮影条件および計測精度への影響

カメラには撮影画像の露光に関わる値として、光をどれだけ取り入れるかに関係する絞り値 (F 値) と入ってきた光をどの程度の感度で画像として取り込むかを示す ISO 感度がある。これらの値がどの程度 DIC の精度に影響を与えるのかを調べるとともに、最適な撮影条件について検討した。

本試験では、カメラの撮影面と試験体平面を平行にし、試験体を鉛直方向に 0.1 mm 変位させた。このように荷重を受けていない状況を作ることで、DIC 計測結果は鉛直方向変位が一様となる条件にて撮影を行うことができる。この方法を用いて、2 台のカメラを並べて撮影条件を変えながら撮影し、DIC 計測結果の鉛直方向変位のばらつきを比較した。

撮影用デジタルカメラは Nikon D5500 (6000×4000 pixel) と SONY a7R4 (9504×6336 pixel) を使用し、本論文では前者をカメラ A、後者をカメラ B とする。また撮影画像の明度を一定にするために、LED 投光器

キーワード デジタル画像相関法 ひび割れ 高解像度 コンクリート 圧縮試験

連絡先 〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1 茨城大学工学部 TEL : 0294-38-5162 FAX : 0294-38-5268

(2800 ルーメン) を 2 台用いてデジタルカメラの左右に設置した。解析条件は検査領域の大きさを 80×80 pixel とし、これを撮影画像の中央に 21×32 で配置した。

結果をグラフに示したものを図-1 に示す。最適なものとそうでないものでは最大で 2 倍の精度の差が見られた。これらの結果から、本研究では、F 値は 14、ISO 感度を 320 に設定することとした。

4. ひび割れ進展挙動の DIC 計測と可視化

コンクリート供試体の圧縮試験に対して DIC 計測を適用した。ひび割れ形状を複雑にするために、撮影対象は直径 10 cm、高さ 15 cm の円柱供試体を縦に半分に切断したものを用いた。また、撮影対象の輝度値パターンを複雑にするために、コンクリート表面にスプレーを塗布した。本研究において使用している DIC 計測¹⁾ではひび割れはひずみの局所化として計測・可視化している。本論文では、ひび割れの開口は最大主ひずみ分布に反映されると考えて、最大主ひずみを可視化することとした。

4.1 圧縮試験に対する DIC 計測結果の比較検討

コンクリートの圧縮破壊試験に対して、カメラ A とカメラ B の 2 台のカメラを用いて DIC 計測を適用した。最大荷重付近の最大主ひずみ分布を可視化した結果を図-2 に示す。結果を比較するとカメラ A では計測できていない左下のひび割れの形状がカメラ B では詳細に計測できていることが確認できる。

4.2 高解像度カメラによるひび割れの DIC 計測

本研究で得られた最適な撮影条件をもとに、カメラ B の性能限界で、複雑にひび割れが発生・進展するコンクリートの圧縮破壊に DIC を適用した。最大荷重付近の最大主ひずみ分布を可視化した結果と実際の画像が図-3 となる。目には見えないほどの微細なひび割れが粗骨材を迂回しながら進展し、粗骨材の境界に沿って、多数のひび割れが分布していることを詳細に計測できていることが確認できる。

5. まとめ

本研究では、デジタルカメラの高解像度化による計測精度への影響および最適な撮影条件を検討した。加えて、使用するカメラの解像度の違いによる DIC 計測結果の比較を行い、10K 高解像度カメラによってひび割れをより詳細に計測できることを示した。

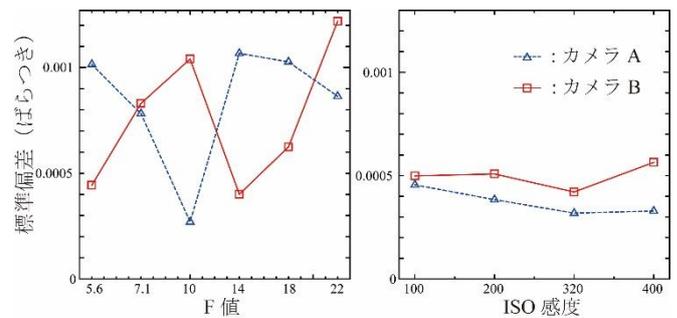


図-1 撮影条件による計測精度のばらつき

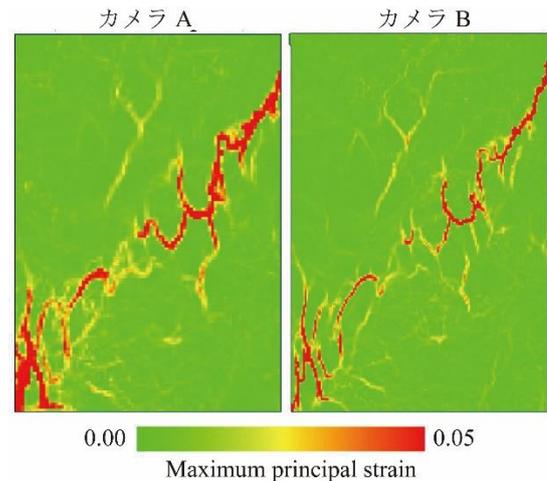


図-2 DIC 計測結果の比較

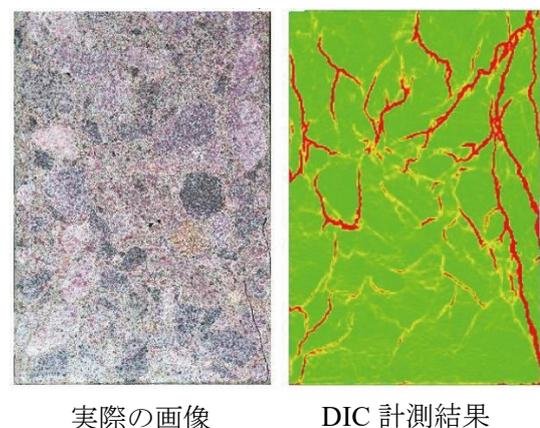


図-3 高解像カメラを用いた DIC 計測結果

参考文献

- 1) 車谷麻緒, 松浦 遵, 根本 忍, 呉 智深: コンクリートのひび割れ進展計測のための画像解析手法に関する基礎的研究, 土木学会論文集 A2 (応用力学), Vol. 70, No. 2 (応用力学論文集 Vol. 17), I_135-I_144, 2014
- 2) 車谷麻緒, 会田涼太, 橋口和哉: 画像相関法による粗骨材周辺に発生・進展するひび割れの計測と可視化, 土木学会論文集 A2 (応用力学), Vol. 74, No. 2 (応用力学論文集 Vol. 21), I_295-I_302, 2018.