

応答曲面法による DIC 計測の最適撮影条件の設定とコンクリートのひび割れ進展計測

茨城大学 学生会員 ○高田 信之介
 茨城大学 学生会員 芦田 拓海
 茨城大学 正会員 車谷 麻緒

1. はじめに

近年、材料表面の変位やひび割れなどの破壊挙動を計測する手段として、画像解析手法が用いられることがあり、その代表的な方法の一つにデジタル画像相関法 (Digital Image Correlation = DIC) がある。車谷ら¹⁾は、サブセットと呼ばれる検査領域の大きさや配置方法が、DIC の計測精度に与える影響の検討をし、ひび割れの可視化を行った。しかし、その際の検討内容としては、解析条件のみに留まっており、その撮影条件については経験的に決定されており、十分な検討がされているとは言えない。デジタル画像の画質を決定する要素に露出があり、そのパラメータに ISO 感度、F 値、シャッタースピード (SS) がある。これらは膨大な組み合わせがあり、DIC 計測に最適な撮影条件を求めることは、非常に難しい。

そこで、本研究では、応答曲面法を用いて、なるべく少ない実験回数で、DIC 計測の最適撮影条件を求める方法を提案する。応答曲面法は、各パラメータと実験結果の関係について応答曲面を推定することで、最も望ましい応答が得られるパラメータの設定値を探索する数学的手法である。本研究では、まず DIC 計測の最適撮影条件を応答曲面法で効率的に探索し、その結果を用いて、カメラの画素数が DIC に与える影響についての検討する。その後、高解像度カメラの最適撮影条件を用いてコンクリート圧縮試験の際に発生するひび割れ進展挙動の様子を高精細に計測した結果を示すことを目的とする。

2. デジタル画像相関法 (DIC)

本研究で用いるデジタル画像相関法は、車谷ら¹⁾が、用いた方法と同様の方法を用いた。DIC とは、計測対象の表面のランダムな模様を利用し、画像の輝度値パターンの変形前後の相関を調べることで、変位量を算出する方法である。図-1 に示すように、小領域に分割

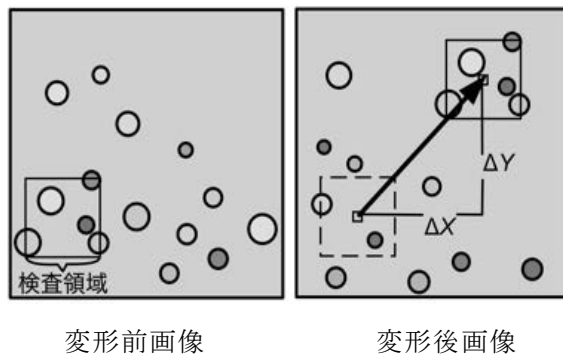


図-1 画像相関法の概要

された検査領域を設定し、この検査領域がどこに移動したのかを、相互相関関数を用いて評価し、移動量の特定を行う。

3. 最適撮影条件の探索

3.1 応答曲面法の適用

露出を調整する 3 つのパラメータ (ISO 感度, F 値, シャッタースピード (SS)) には、多数の設定値があり、これらの組み合わせから決まる撮影条件を網羅的に調べるには、膨大な時間と手間を要してしまう。そのため、本研究では、DIC 計測の最適撮影条件を応答曲面法を効率的に用いて探索する手法を適用した。応答曲面法とは、実験結果を表す応答と実験に取り上げる各パラメータ x_1, \dots, x_n の関係について、実験計画に従ってデータを収集し、応答曲面と呼ばれる近似関数を求めることで、最適条件を求める手法である。3 変数に 2 次多項式を採用した場合、応答曲面は、以下の式(1)で表される。

表-1 実験計画

NO.	ISO	F値	SS	NO.	ISO	F値	SS
1	400	18	1/10	9	250	18	1/6
2	400	10	1/10	10	250	18	1/30
3	100	18	1/10	11	250	10	1/6
4	100	10	1/10	12	250	10	1/30
5	400	14	1/6	13	250	14	1/10
6	400	14	1/30	14	250	14	1/10
7	400	14	1/6	15	250	14	1/10
8	400	14	1/30	16	250	14	1/10

キーワード デジタル画像相関法, 最適撮影条件, 応答曲面法, ひび割れ, コンクリート

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

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{33} x_3^2 \quad (1)$$

ここで、 β は回帰係数を表しており、最小二乗法によって求められる。特徴としては、式(1)のように関数が2次項を持つため、曲面も表現できることである。この曲面において、微分が0となる点が最大または最小となる点である。本研究の応答曲面法で用いた実験計画を表-1に示す。今回の実験計画には、Box-Behnken計画を用いている。表-1で設定したパラメータには、ISOが7水準、F値が6水準、SSが8水準あり、組み合わせは全部で336通り存在するが、応答曲面法の実験計画によりたった16回の実験で応答曲面を求めることができ、大幅に実験数を削減すること可能である。

3.2 最適撮影条件の探索

撮影条件による計測精度の比較のため、コンクリートの供試体を変位装置に載せ、0.2 mmの変位を与えて、それらの分散の変動係数が0となる条件を応答曲面法で求めた。

4. ひび割れ進展挙動の最適撮影条件を用いた DIC 計測と可視化

撮影用デジタルカメラは、SONY a7R4 (9504×6336 pixel) と Nikon D5500 (6000×4000 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。撮影画像の明るさを一定にするために、LED 投光器 (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。撮影対象の輝度値パターンを複雑化するために、供試体表面に赤色と白色の塗料を塗布した。本研究で使用している DIC 計測²⁾では、ひび割れはひび割れの局所化として、計測・可視化しており、ひび割れの開口は、最大主ひずみに反映されると考え、最大主ひずみを可視化した。

4.1 画素数の影響に関する検討

まず、カメラ A とカメラ B の2台のカメラを用いて、最適撮影条件を求め、その後コンクリートの圧縮破壊試験を行い、DIC 計測を行った。そして、最大主ひずみ分布を可視化した結果を図-2に示す。カメラ A ではカメラ B で計測できていないひび割れまで計測できていることが分かる。このことから、DIC 計測にカメラの画素数が与える影響が大きいことが分かる。

4.2 高解像度な高画素カメラによるひび割れ進展の DIC 計測

まず、カメラ A の性能限界で、最適撮影条件を求め、

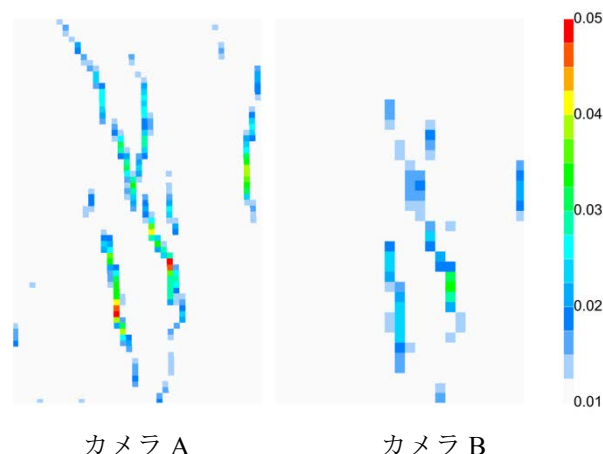


図-2 DIC 計測結果の比較

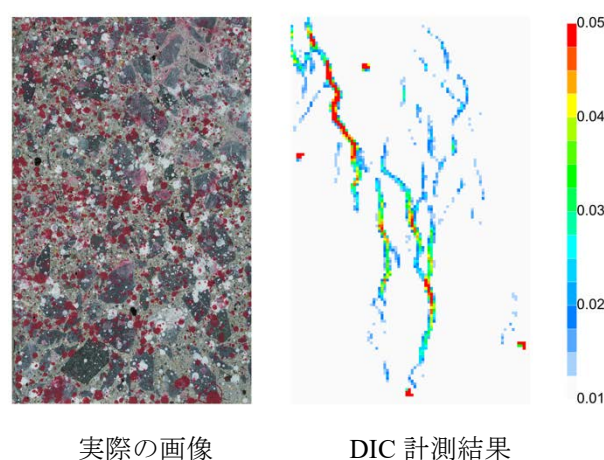


図-3 高解像度カメラによる DIC 計測結果

その性能限界で、同様にコンクリートの圧縮破壊試験の DIC 計測を行い、複雑にひび割れが発生・進展する様子を観測した。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-3に示す。このことから、目には見えないほど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、ひび割れが発生していることが確認できた。

参考文献

- 1) 車谷 麻緒, 邊見 哲一, 小坪 祐輔, 橋口 和哉: コンクリート供試体の圧縮試験に対するデジタル画像相関法の計測精度に関する基礎的検討, 土木学会論文集 A2 (応用力学), Vol.73, No.2, pp.I_447-I_454, 2017.
- 2) 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, pp.I_135-I_144, 2014.