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

茨城大学	学生会員	○松浦	遵
茨城大学	学生会員	根本	忍
茨城大学	正会員	車谷	麻緒

1. はじめに

コンクリートにひび割れが発生すると、水密性、耐 久性の低下や、鉄筋コンクリートにおいて塩害による 内部鋼材の腐食を進行させるなど、様々な面で悪影響 を及ぼす.したがって、コンクリートの変形、損傷の 評価等を行う場合、ひび割れを適切に評価する必要が ある.従来、数値シミュレーションによるひび割れ再 現の研究が進められてきたが、コンクリートのひび割 れ進展を総括的に評価する解析手法がまだ確立してお らず、同研究結果の妥当性はまだ証明できていない.

一方で近年,デジタル画像を利用した解析手法(以下,画像解析)の研究が進められている^{1),2)}.画像解析は,撮影領域全域を解析対象とする巨視的な評価であることが特長的である.しかし,コンクリートのひび割れ進展計測に適用した例はまだ少なく,その精度検証も十分とは言えない.

本研究では、各画像解析手法の中から画像相関法³⁾ に注目し、画像解析の研究の第一歩として、同手法を モルタル供試体の一軸圧縮試験に適用する.そして、 解析から得られた結果と実験結果との定量的な比較を 行い、その妥当性を検討することを目的とする.

2. 画像相関法

2.1 概要

画像相関法とは、計測対象物表面の模様のランダム 性を基として計測対象物の変形前後をデジタルカメラ 等で撮影し、得られたデジタル画像の輝度値分布から 変形量と方向を同時に求める方法である.図-1に変形 量検出の概略を示す.変形前の画像の任意の位置を中 心とする小さな領域(検査領域:N×N 画素)を基準 とし、変形後の画像からこの基準検査領域と最も相関 の強い領域を探索し、その移動量から変形量と方向を 算出する.

2.2 相互相関関数

2 枚の画像から相関を求める際に使用した相互相関 関数 *C_{ft}(ΔX,ΔY)*の式を以下に示す.

$$C_{fg}(\Delta X, \Delta Y) = \frac{\sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{N} \left\{ f(X_i, Y_j) \right\}_{i=1}^{k} g(X_i + \Delta X, Y_j + \Delta Y) \right\}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{N} \left\{ f(X_i, Y_j) \right\}_{i=1}^{2} \sum_{j=1}^{N} \left\{ g(X_i + \Delta X, Y_j + \Delta Y) \right\}_{i=1}^{2}}$$
(1)

ここで, $f(X_i, Y_j)$, $g(X_i + \Delta X, Y_j + \Delta Y)$ はそれぞれ変形前画 像,変形後画像の検査領域内の輝度値分布を示す.



表-1 モルタルの配合



2.3 ひずみ分布計測

ひずみ分布は,有限要素法でも使用されているBマ トリックスを用いた変位・ひずみ関係式を利用して算 出する.これは,求めた節点変位ベクトルから直接ひ ずみ成分を算出する非常にシンプルな算出方法である.

3. 一軸圧縮試験

3.1 モルタル供試体

表-1に供試体の作製に使用したモルタルの配合を示 す.図-2に作製した供試体の寸法を示す.供試体は, 不連続面を有するものとそうでないものの2つを作製 し,気中養生で7日間養生した.本研究における一軸 圧縮試験は,画像解析手法の検証のための実験という 位置づけから,ひび割れを徐々に進展させるために通 常の構造物に用いられる材料に比べて水セメント比を 若干高くしている.また,供試体表面の模様のランダ ム性を強め,画像解析時に誤差を生じにくくするため に,撮影面にスプレー塗料を塗布した.

I -30

キーワード 画像相関法,ひび割れ,モルタル

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 0294-38-5004 FAX 0294-38-5268

3.2 試験概要

図-3 に実験状況を示す. デジタルカメラは Nikon の D3100 (4608×3072 画素)を選定した. 照明は, 明度 を一定に保つために LED スタンド照明を 2 つ使用し, デジタルカメラの左右から照射するように設置した. また,その他の光源の影響をなくすために,実験室の 照明をすべて切った上で実験を行った. デジタルカメ ラと供試体の距離は 450 mm, 載荷速度は 3 kN/min とし, 撮影間隔は 2 秒に 1 回とした. 供試体の平均ひずみを 算出するために, 鉛直変位を計測した.

4. 実験結果と解析結果の整合性の確認

撮影したデジタル画像のうち、ひずみ検証では42枚、 ひび割れ進展挙動の比較では11枚を用いた.

4.1 ひずみの精度検証

ひずみの精度検証は、不連続面を持たない供試体の 実験結果を用いて行った. 図-4 に、画像解析から算出 したひずみと鉛直変位から算出した平均ひずみとの相 関を示す. 画像解析から算出したひずみは、撮影面全 域の平均ひずみである. この 2 つのひずみを比較する と、非常に強い相関があることが確認できる. このこ とから、本研究で実施した画像相関法によるひずみ分 布計測の精度が非常に高いといえる.

4.2 ひび割れ進展挙動の比較

ひび割れ進展挙動の比較は、不連続面を有する供試体の実験結果を用いて行った.図-5 に圧縮試験の各ステップでの実際の供試体の状況と、それぞれに対応する画像解析結果を示す.画像解析では、以下の式によってひずみノルム emsを可視化している.

$$e_{ps} = \sqrt{\varepsilon_x^2 + \varepsilon_y^2 + \varepsilon_{xy}^2}$$
(2)

ここで, *ε*_x, *ε*_yはそれぞれ *x* 方向と *y* 方向の垂直ひずみ, *ε*_{xy} はせん断ひずみである.両者を比較してみると,目 視では確認不可である載荷初期の微小なひび割れを画 像解析では捉えていることが確認できる.また,最終 的な破壊面の形成後も,実際の供試体の状況と画像解 析結果はほぼ一致していることがわかる.以上のこと から,本研究で開発した画像相関法による計測は,非 常に細かく微小な変形にも対応しており,かつひび割 れ進展を評価可能な計測手法であると言える.

5. おわりに

本研究では、モルタル供試体の一軸圧縮試験に画像 相関法を適用し、解析結果と実験結果との比較を行っ た.鉛直変位から算出したひずみと画像解析から算出 したひずみとの比較から、画像相関法によるひずみ分 布計測の精度の高さを示した.また、圧縮試験の各ス テップにおける実際の供試体の状況と画像解析結果と の比較から、画像相関法が非常に細かく微小な変形に も対応していることを示した.今後、粗骨材を含むコ ンクリート供試体の一軸圧縮試験に画像相関法を適用 し、同手法が、より複雑なひび割れ進展挙動に対応し ているか否かの検討を行う.



参考文献

- 石丸真,澤田昌孝,古関潤一,宮下千花:平面ひずみ圧 縮試験における不連続面を有する人工岩石材料の破壊進 展挙動,土木学会論文集 A2(応用力学), Vol.67, No.2(応 用力学論文集 Vol.14), I_293-I_303, 2011.
- 2) 渡辺健,東広憲,三木朋広,二羽淳一郎:コンクリート 構造実験を対象としたリアルタイム画像解析システムの 開発,土木学会論文集 E, Vol.66, No.1, pp.94-106, 2010.
- 可視化情報学会編: PIV ハンドブック,森北出版株式会社, pp.68-72,2002.