画像相関法を用いた骨材周辺に発生するひび割れの計測と可視化

茨城大学大学院　学生会員　○会田 涼太　茨城大学大学院　学生会員　橋口 和哉
茨城大学大学院　学生会員　小圷 祐輔　茨城大学大学院　正会員　車谷 麻緒

1. はじめに

粗骨材とモルタルの二つの材料からなるコンクリート材料は多くの構造物に使われており，それらが破壊した際の被害は甚大であるため，コンクリートが終局に至るまでの破壊挙動を調べることは重要である．コンクリートに荷重が作用すると，粗骨材とモルタルの境界層に微細なひび割れが生じると考えられている．そして，そのひび割れがモルタル中に進展，またほかのひび割れと連結し，大きなひび割れが形成され，最終的に破壊に至ると考えられている．しかし，骨材周辺で発生するひび割れは，破壊後のひび割れに対して目視できないほど小さく，ひび割れの発生箇所や向きは不規則であるため，一連の破壊挙動を実際に計測することは難しい．それゆえ，骨材周辺の微細なひび割れの発生および進展状況を詳細に計測し，可視化した例はない．

近年，ひび割れの進展状況を計測・可視化する手法として，画像相関法が用いられている．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手法である．既往の研究 [1]では骨材を表面に露出させたコンクリートの圧縮試験を，画像相関法を用いて計測・可視化した．しかし，最大荷重付近の画像を対象としているため，巨視的なひび割れしか計測できておらず，ひび割れの進展状況の計測には至っていない．一方で，車谷ら [2]はモルタルおよびコンクリート供試体の圧縮試験を，画像相関法を用いて計測・可視化し，目視できないひび割れやその進展状況まで計測できることを示した．しかし，骨材周辺で発生するひび割れが計測できるような複雑な断面を対象とした研究は行われていない．

そこで本研究では，骨材を露出させたコンクリート供試体を用いて圧縮試験を行い，骨材周辺で発生する微細なひび割れおよびその進展状況を，車谷らの高精度な画像相関法を用いて計測・可視化することを目的とする．

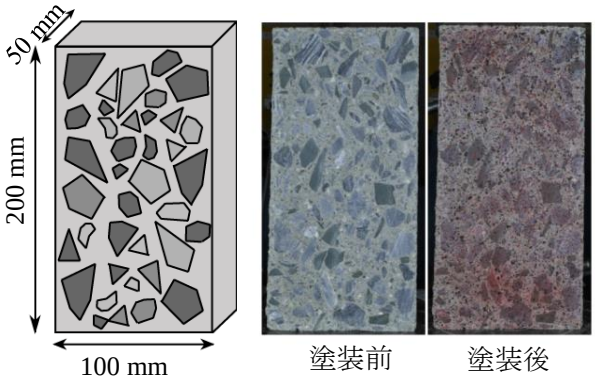

図-1　供試体概要

2. 画像相関法

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．

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

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 $0 \le R \le 1$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，最も高い値を示す時の $(\Delta X,\Delta Y)$ 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，得られたひずみ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．

キーワード　画像相関法　ひび割れ　骨材　コンクリート　圧縮
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. 0294-38-5151　FAX. 0294-38-5268

3. 圧縮試験

3.1 試験概要

デジタル画像相関法を用いた骨材周辺に発生するひび割れおよびその進展を計測・可視化することを目的に，**図-1** に示す角柱を用いて圧縮試験を行った．この供試体は，骨材を供試体表面に露出させるため，高さ 200 mm，幅 100 mm，奥行 100 mm の大きさの供試体をコンクリートカッターで奥行が半分になるように切断したものである．また，画像相関法においては，撮影対象の模様が複雑なほど正確な値が得られるため，今回はコンクリート表面にスプレーを塗布した．

3.2 画像解析条件

画像相関法を適用するにあたって，撮影した画像から供試体の部分だけを切り抜き，グレースケール化を行った．本研究では 4000×6000 pixel の大きさの画像を 2303×5099 pixel に切り抜き，検査領域 50×50 pixel の条件を与えた．

4. 結果

実験で得られた荷重変位関係を**図-2** に示す．今回の実験では, 10 枚の画像を用いて解析を行った. **図-3** に，画像相関法で計測した荷重ごとの最大主ひずみ分布を示す. また，このときのひずみ分布を供試体画像に投影したものを**図-4** に示す．**図-3** より，供試体の左下部にひび割れが発生していることが確認できた. 加えて，**図-4** より，発生したひび割れが骨材を迂回している様子を可視化できた.

図-5 に，供試体破壊時の最大主ひずみ分布およびその時の供試体画像への投影図，主ひずみ方向を可視化した図を示す. 左下部で発生したひび割れが，供試体の左端や中心に向かって進展したことが確認できた．また，発生したひび割れが，骨材を迂回して進展していく様子を可視化できた. 加えて，最大主ひずみの方向を可視化することで，ひび割れの開口方向を示し，ひび割れ幅の大小関係を比較することができた.

5. まとめ

本研究では，車谷らの高精度な画像相関法を用いて，骨材周辺に発生する微細なひび割れが計測・可視化できることを示した. また，そのひび割れが骨材を迂回して進展していく様子を示した.

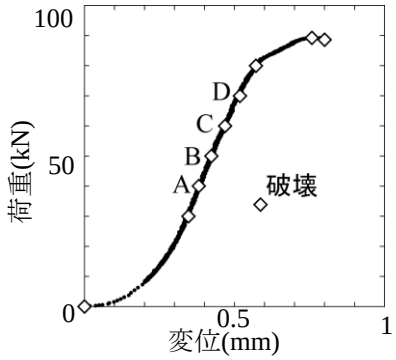

図-2 荷重変位関係

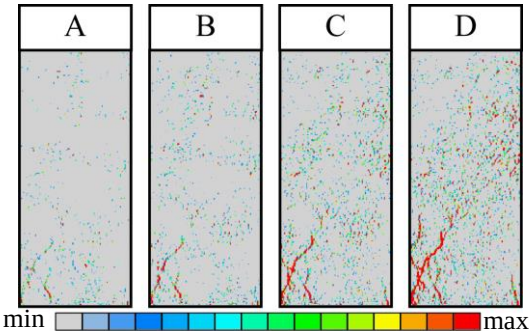

図-3 ひび割れ発生時の最大主ひずみ分布

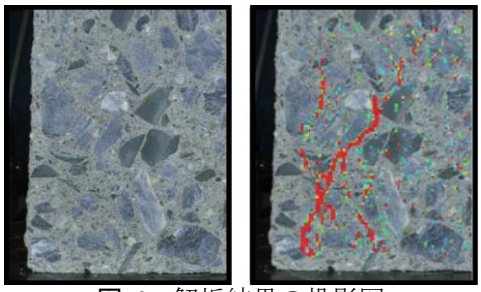

図-4 解析結果の投影図

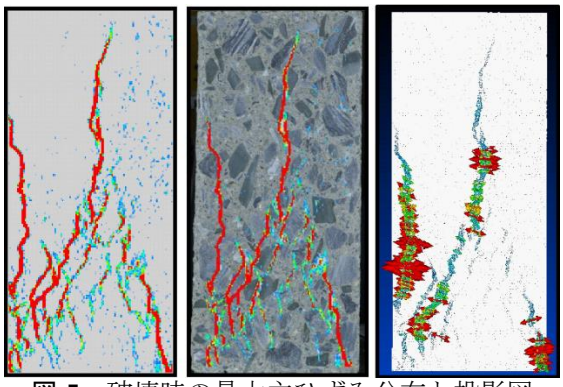

図-5 破壊時の最大主ひずみ分布と投影図

参考文献

1) 野間康隆，渡辺健，二羽淳一郎：画像解析による高強度コンクリートの圧縮破壊性状の可視化並びに評価，土木学会論文集 E, vol.66, No.1, 68-79, 2010.

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, ppI_135-I_144, 2014.