木更津高専	学生会員		C	⊃松山	幸央
木更津高専	非会員	篠﨑	健育	米村	恵一
木更津高専	正会員	嶋野	慶次	青木	優介

# 1. はじめに

本研究では、コンクリートのひび割れ発生メカニ ズムの解明を目的とした、ディジタル画像相関法に よる全視野ひずみ計測システムの開発を目指す.

コンクリート構造物にとって、ひび割れは、美観、 使用性、そして耐久性をもおとしめる.構造物の長 寿命化がますます求められる現在にあって、ひび割 れが発生する危険性を事前に予測し、設計・施工に 反映させることは、極めて重要である.一方、現状 のひび割れ発生予測技術は未成熟なレベルにある. コンクリートのひび割れ発生メカニズムが完全に解 明されていないことが主要な要因の一つである.

ひび割れ発生メカニズムの解明においては,ひび 割れの発端となる局部的な弱点やひずみの集中を全 視野的に計測しうる手段が無かったことが,大きな ネックとなってきた.ただしこのことは,これを可 能とする技術の開発こそが,本問題を解決するため のブレイクスルーになることを示唆している.

近年,コンクリートに生じるひずみを全視野的に 計測しうる手段として,ディジタル画像相関法によ る手法がある.これは,ひずみが生じる前後のコン クリートのディジタル画像を取得し,各部位の移動 距離を特定することで,コンクリートに生じたひず みを全視野的に計測する.これまでのひずみ計測で はなしえなかった,コンクリートのひび割れの発端 が計測できる方法として,特に注目を集めている.

しかしながら,この手法においても,ディジタル カメラの性能向上による測定精度の向上や計算速度 向上のためのプログラムの最適化,計測結果の効果 的なアウトプット方法など,検討すべき課題は多い.

本研究では、近い将来の実用化を目指して、ディ ジタル画像相関法によるコンクリートの全視野的ひ ずみ計測システムの開発に取り組む.本報告では、 その基礎的な取り組みを紹介する.

### 2. ディジタル画像相関法

ディジタル画像相関法は2つのディジタル画像間 の類似性を調べるものである.本実験では、変形前 の任意の点が変形後にどこに移動したかを調べるた 木更津高専 正会員 嶋野 慶次 青木 優介 め,変形前の任意の点を中心とした領域(サブセッ ト)と類似する領域を,ディジタル画像相関法を用 いて変形後の画像から探索することになる<sup>1)</sup>. 探索に は,画素単位で行う粗探査と,画素単位以上の精度 で行う精密探査がある.まず,粗探査で画素単位の 変位量を求め,次に精密探査で画素単位以上の精度

での変位量を求める.以下に、本実験で用いた精密

探査の相関関数を示す.

$$S(x, y, u, v, \frac{\partial u}{\partial x}, \frac{\partial u}{\partial y}, \frac{\partial v}{\partial x}, \frac{\partial v}{\partial y}) = 1 - \frac{\sum \left[F(x, y) * G(x^*, y^*)\right]}{\left[\sum \left(F(x, y)^2\right) * \sum \left(G(x^*, y^*)^2\right)\right]^{1/2}}$$
(1)

ここで,  $F(x, y) \ge G(x^*, y^*)$ はそれぞれ変形前の (x, y) と変形後の( $x^*, y^*$ )における輝度値である. ま た, ( $x^*, y^*$ )は(x, y)に対する変形を考慮した座標で あり,

$$x^{*} = x + u + \frac{\partial u}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial u}{\partial y} \Delta y$$
  
$$y^{*} = y + v + \frac{\partial v}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial v}{\partial y} \Delta y$$
 (2)

と表すことができる<sup>2)</sup>. ここで,u, vはそれぞれx, y方向における変位であり,  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ はそれぞれサ ブセットの中心から(x, y)までの距離である.

(*x*\*, *y*\*)は整数値とはならないことが多く,その 座標の輝度値は補間により求めることになる.

2つの画像が類似するほどSは小さくなるため,Sが最小となるu,v,  $\partial u/\partial x$ ,  $\partial u/\partial y$ ,  $\partial v/\partial x$ ,  $\partial v/\partial y$ を求めることになる.

## 3. 双一次補間法

精密探査では画素単位以上の精度で相関を求める. そのため、画素と画素との間の輝度値を補間する必要がある.今回は、双一次補間法を用いた.

双一次補間は1次補間であり、入力画像Fにおける4点、(i, j)、(i+1, j)、(i, j+1)、(i+1, j+1)の 画素間の座標(x, y)の輝度値を補間するにあたり、4 近傍の画素を利用する.具体的には、



図1 ひずみゲージを装着したコア供試体

$$F(x, y) = a_{00} + a_{10}(x')$$
  
+ $a_{01}(y') + a_{11}(x')(y')$  (3)  
と表すことができる.ここで,  
 $a_{00} = F(i, j)$   
 $a_{10} = F(i+1, j) - a_{00}$   
 $a_{01} = F(i, j+1) - a_{00}$   
 $a_{11} = F(i+1, j+1) - a_{00} - a_{10} - a_{01}$   
である.また, x', y'はそれぞれi, jからx, yま  
での距離である.

#### 4. 実験方法

図1に示すコア供試体に対し、一般に用いられて いるひずみゲージによる測定結果と、ディジタル画 像相関法を用いた本手法による推定結果とを比較す る.図2にコア供試体の撮影風景を示す.固定され たコア供試体に対し、一定の明るさを保ち圧縮前後 の状態を撮影した.使用したディジタルカメラは NICON D300(解像度:2848×4288 pixel)である.

ひずみゲージにより測定した圧縮ひずみを表1に 示す、左右で若干の差が生じていることが分かる。

本手法を適用する際に使用した圧縮前後のコア供 試体画像を図3に示す.正面から撮影したものから 必要な部分(620×1523 pixel)を抽出した.(a)圧縮 前より切り出したサブセットが,(b)圧縮後すなわち 変形後の画像のどこへ変移したかを推定する.

#### 5. 実験結果

コア供試体画像において水平方向を一定とした任 意の3箇所についてサブセットを作成した.1箇所に つき上部と下部のサブセットを作成するため,計6 枚となる.

変移前におけるサブセット間距離(1400pixel)と, 変移後のサブセット間距離によりひずみを算出した 結果を表2に示す.

3箇所の平均ひずみは789×10<sup>-6</sup>となり表1のひず



図2 コア供試体の撮影風景





(a) 圧縮前(b) 圧縮後図3 ひずみの推定用に切り出した画像

表1. ひずみゲージにより測定した圧縮ひずみ

	左	右
ひずみ×10⁻6	-801	-712

表 2. ひずみの推定結果

<i>x</i> 座標	変形後サブセット間距離	ひずみ
148	1398.6924	-934
248	1399.1032	-640
478	1398.8901	-792

みと比較した結果,同程度の精度でひずみが得られ ていることが分かった.

## 6. まとめ

本研究では、ディジタル画像相関法を用いてひず みゲージと同程度の精度でひずみを測定することが できた.ディジタルカメラで撮影するだけで、ひず みを測定することが可能となったといえる.今後は、 双三次補間法を用いたより高精度な推定と、全視野 計測によるひずみ分布提示の実現を目指す.

### 参考文献

- H.A.Bruck, S.R.McNeill, M.A.Sutton, W.H.Peter s , "Digital Image Correlation Using Newton-Rap hson Method of Partial Differential Correction," E xp. Mech., 29, No.3, pp.261-267, 1989.
- 町田賢司、山田英明、"ディジタル画像相関法と インテリジェントハイブリット混合モード応力 拡大係数の評価"、実験力学、Vol.5、No.2、p.132、 2006.