

デジタル画像相関法を用いた鉄筋コンクリート部材の 腐食ひび割れ発生性状の把握に関する研究

香川大学 賛助会員 ○加藤聖 学生会員 藤村素直 正会員 岡崎慎一郎

1. はじめに

本研究は、デジタル画像相関法 (DIC) による鉄筋コンクリートのひび割れ進行の可視化の検討を試みたものである。具体的には水平ひび割れ、表面剥離ひび割れ、および鉛直ひび割れの進行によるひずみ変化の可視化を目標とする。これら 3 種類のひび割れを想定した鉄筋入りモルタル試験体で電食試験を行うとともに、この試験体を連続的に撮影した画像を用いてデジタル画像相関法により画像解析を行うことで鉄筋周辺に生じたひずみ場の測定を行った。

2. デジタル画像相関法の基礎理論

DIC は測定対象表面のランダムパターンの変化に基づき、面内方向の変位場とひずみ場を全視野かつ非接触で測定する方法である。解析に用いる参照画像を、サブセットと呼ばれる小さな領域に分割し、各サブセット内では変形が均一であると仮定する。変形後のサブセットの座標は、以下の式で表される。

$$\begin{aligned}\tilde{x}_{cur_i} &= x_{ref_i} + u_{rc} + \frac{\partial u}{\partial x_{rc}}(x_{ref_i} - x_{ref_c}) + \frac{\partial u}{\partial x_{rc}}(y_{ref_i} - y_{ref_c}) \\ \tilde{y}_{cur_i} &= y_{ref_i} + v_{rc} + \frac{\partial v}{\partial x_{rc}}(x_{ref_i} - x_{ref_c}) + \frac{\partial v}{\partial x_{rc}}(y_{ref_i} - y_{ref_c})(i, j) \in S\end{aligned}\quad (1)$$

$$\mathbf{p} = \left\{ u \quad v \quad \frac{\partial u}{\partial x} \quad \frac{\partial u}{\partial y} \quad \frac{\partial v}{\partial x} \quad \frac{\partial v}{\partial y} \right\}^T \quad (2)$$

サブセットが参照画像の画像内で変形することを仮定すると、式(1)は以下のように記述できる。

$$\begin{aligned}\tilde{x}_{ref_j} &= x_{ref_j} + u_{rr} + \frac{\partial u}{\partial x_{rr}}(x_{ref_j} - x_{ref_c}) + \frac{\partial u}{\partial y_{rr}}(y_{ref_j} - y_{ref_c}) \\ \tilde{y}_{ref_j} &= y_{ref_j} + v_{rr} + \frac{\partial v}{\partial x_{rr}}(x_{ref_j} - x_{ref_c}) + \frac{\partial v}{\partial x_{rr}}(y_{ref_j} - y_{ref_c})(i, j) \in S\end{aligned}\quad (4)$$

x_{ref_i} , y_{ref_j} はサブセット点の座標である。式(4)の参照画像の任意位置のサブセットが、変形後どこに位置するかを同定するため、評価関数 C_{cc} , C_{LS} を用いた。

$$C_{cc} = \frac{\sum_{(i,j) \in S} (f(\tilde{x}_{ref_i}, \tilde{y}_{ref_j}) - f_m)(g(\tilde{x}_{cur_i}, \tilde{y}_{cur_j}) - g_m)}{\sqrt{\sum_{(i,j) \in S} [f(\tilde{x}_{ref_i}, \tilde{y}_{ref_j}) - f_m]^2} \sum_{(i,j) \in S} [g(\tilde{x}_{cur_i}, \tilde{y}_{cur_j}) - g_m]^2}} \quad (5)$$

$$f_m = \frac{\sum_{(i,j) \in S} f(\tilde{x}_{ref_i}, \tilde{y}_{ref_j})}{n(S)} \quad (6)$$

$$g_m = \frac{\sum_{(i,j) \in S} g(\tilde{x}_{cur_i}, \tilde{y}_{cur_j})}{n(S)} \quad (7)$$

$$C_{LS} = \sum_{(i,j) \in S} \left[\frac{f(\tilde{x}_{ref_i}, \tilde{y}_{ref_j}) - f_m}{\sqrt{\sum_{(i,j) \in S} [g(\tilde{x}_{ref_i}, \tilde{y}_{ref_j}) - f_m]^2}} - \frac{g(\tilde{x}_{cur_i}, \tilde{y}_{cur_j}) - g_m}{\sqrt{\sum_{(i,j) \in S} [g(\tilde{x}_{cur_i}, \tilde{y}_{cur_j}) - g_m]^2}} \right]^2 \quad (8)$$

この評価関数が最小値となるサブセット位置を探索し、変形量を算定する。

3. 実験方法

鉄筋の軸方向で鉄筋の飛び出していない面を撮影面とし、スプレー塗料を塗布し撮影面にランダムな模様を与えた。電食試験では試験体の下にタオル、ステンレス板の順にセットし、試験体より高所にある容器から 10%NaCl 水溶液をタオルにしみこませ下部から試験体にこの溶液を供給した。鉄筋を陽極、ステンレス板を陰極として直流電源装置に接続し、電圧は 70V、電流は 0.9A とした。試験は太陽光による影響を受けないよう暗室で行い、LED ライトを使用し試験体表面の明るさを一定になるように撮影を行った。写真の試験体表面の部分だけを切り抜き、画像解析を行った。結果には表面のひずみに変化が生じたときからひび割れが進行する様子を示す。可視化するのは塑性ひずみとした。

4. 実験結果

(1) 単鉄筋試験体を用いた実験

鉛直ひび割れを想定し単鉄筋試験体を作成した。試験体寸法、試験後の試験体、DICの結果を図1に示す。実験の結果、鉛直ひび割れを生じた。試験開始50分後ひずみが生じ始め、鉛直ひび割れの進行の様子は、鉄筋の周囲にひずみが生じながら、ひび割れが進展する場所に小さなひずみが全体的に発生し、その後、下から鉄筋に向かって大きなひずみが生じた。



図1 鉛直ひび割れを想定した試験における単鉄筋試験体寸法と試験後の試験体とDICの結果

(2) 複数鉄筋試験体を用いた実験

水平ひび割れ、表面剥離ひび割れ、鉛直ひび割れを想定し複数鉄筋試験体を作製した。水平、表面剥離、鉛直ひび割れを想定した試験における試験体寸法、試験後の試験体、DICの結果を図2、図3、図4に示す。実験の結果、試験体すべてに鉛直ひび割れが生じた。水平、鉛直ひび割れを想定した試験体は試験開始から約300分後、鉛直ひび割れを想定した試験体は約90分後にひずみが生じ始めた。鉛直ひび割れの進行の様子は、同様に下から鉄筋に向かって大きなひずみが生じた。

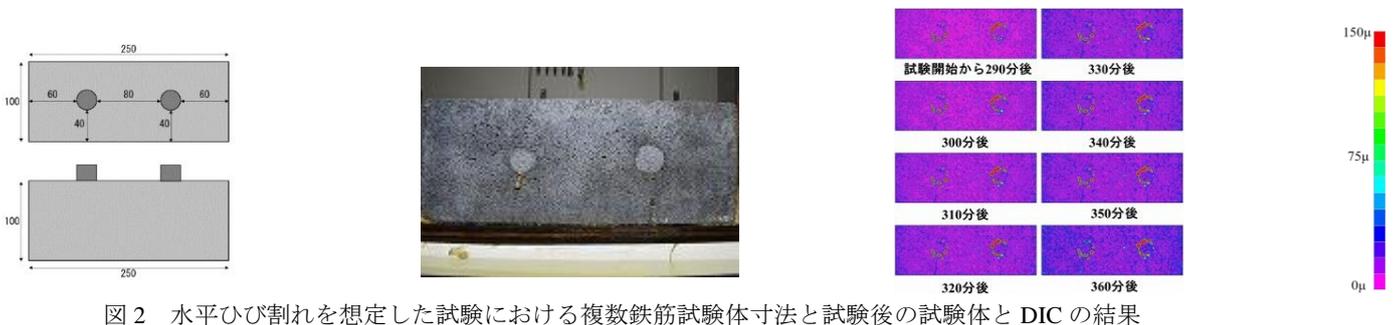


図2 水平ひび割れを想定した試験における複数鉄筋試験体寸法と試験後の試験体とDICの結果



図3 表面剥離ひび割れを想定した試験における複数鉄筋試験体寸法と試験後の試験体とDICの結果



図4 鉛直ひび割れを想定した試験における複数鉄筋試験体寸法と試験後の試験体とDICの結果

5. まとめ

すべての試験体で鉛直ひび割れの進行によるひずみの変化を確認できたことから、DICは腐食ひび割れの進展の可視化に利用できると考えられる。

参考文献

車谷ら：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，70(2)，I_135-I_144，2014