

デジタル画像相関法を用いた鉄筋腐食によるコンクリートの表面ひずみ分布評価

太平洋セメント(株) 正会員 ○小池 耕太郎
正会員 内田 雅隆
正会員 早野 博幸

1. 目的

コンクリート中の鉄筋が腐食した構造物の劣化診断を実施する場合、外観からひび割れといった劣化状況を人間が目視する方法が最も簡便であり、広く一般的に行われている。しかし、鉄筋の腐食膨張によるひび割れの発生や進展は、コンクリート表面に到達するまで確認することができず、構造物によって配筋条件も異なることから、鉄筋が腐食した構造物の潜伏期における劣化状況を予測、定量評価することは困難である。そこで筆者らは、デジタル画像相関法（以下、DICM）に着目し、潜伏期における表面ひずみ分布の定量評価を試みた。

本研究では、腐食膨張による表面ひずみ分布の可視化や、ひび割れに至るまでの腐食膨張挙動とひずみ分布との関係の評価するため、実験的な検討を行った。

2. 実験概要

2. 1 試験体概要

コンクリートの配合を表-1、試験体概要を図-1に示す。試験体寸法は400×400×50mmの平板とし、使用鉄筋はD10、D16を1軸方向へ配筋したもの（D10_1axisまたはD16_1axis）、D10を2軸方向へ配筋したもの（D10_2axis）を合計3水準作製した。また、解析結果の妥当性検証のため、防水型ひずみゲージ（PL-90）を各鉄筋の腐食区間上端部に貼付けて表面ひずみの経時変化を計測した。

2. 2 電食試験および計測概要

図-2に電食試験装置の概要を示す。試験体は、最小かぶり面を上側にして設置し、3%塩化ナトリウム水溶液中に浸漬させ、鉄筋を陽極、銅板を陰極に接続した。電流密度は0.865mA/cm²とし、目標腐食減量率（以下、腐食率）は2.0%とした。シャント抵抗（1Ω）の電流を経時的に測定し、積算電流量を算出した。腐食量の調整は、ファラデーの法則に基づいて積算電流量と腐食による質量減量が比例関係にあるとして算出した。

また、既報りと同様にラインセンサタイプ全視野ひずみ計測装置を用いて試験体計測面の画像を取得し、DICMによりひずみ分布を求めた。画像は、腐食前の健全状態の画像を初期画像とし、腐食率が概ね0.25%

表 - 1 コンクリートの配合

W/C	s/a	単位量(kg/m ³)				
(%)	(%)	W	C	S	G	Ad
50	45.3	170	340	795	980	0.045

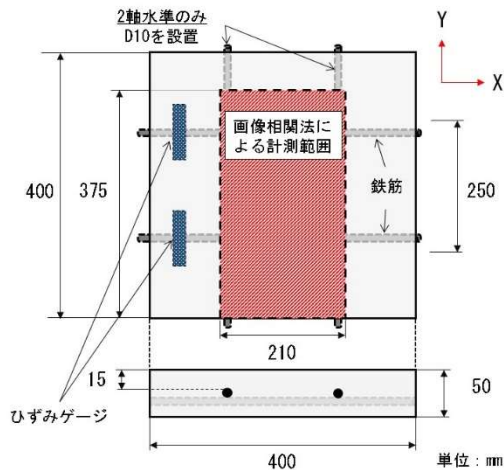


図 - 1 試験体概要

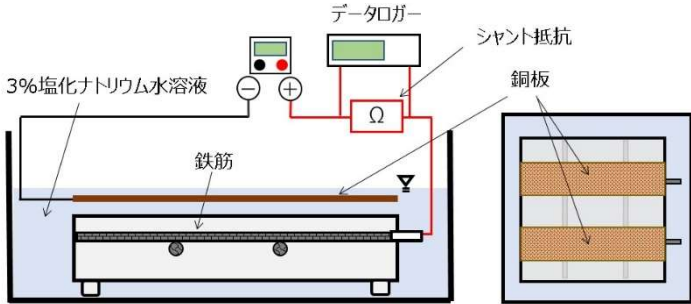


図 - 2 電食試験概要

毎に、腐食率 2.0%までの各水準でデジタル画像の取得、ひずみ分布の算出を行った。電食試験中の画像取得はいずれの試験体も同様の状態で撮影を行い、水溶液中から取り出した試験体の画像取得面を流水で洗浄し、20℃_60%R.H.の環境下で 12 時間程度静置させた後、画像取得を行った。

3. 実験結果

3. 1 DICMによる表面ひずみ分布の比較

図-3にDICMにより算出した最大主ひずみ分布を示す。図は、各水準の腐食率0.5%、1.2%および1.8%における最大主ひずみであり、腐食前に撮影した初期画像と、各腐食率で撮影した画像を比較して算出した。いずれの試験体も、腐食率 1.2%程度で軸方向鉄筋直

キーワード デジタル画像相関法、面的ひずみ分布、診断、鉄筋腐食、電食試験

連絡先 〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2 太平洋セメント(株) 中央研究所 TEL 043-498-3902

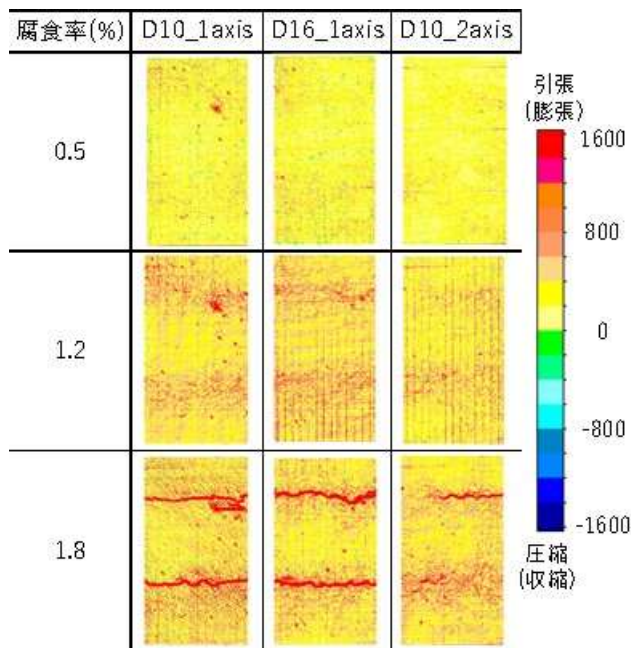


図 - 3 最大主ひずみ分布の比較

上に 1000μ を超えるひずみ集中領域が現れた。腐食率 1.8%時点では、目視により 0.05mm 以上のひび割れとひび割れ開口部からの腐食生成物の流出を確認し、コンクリート表面においても 1600μ 以上のひずみ集中領域が軸方向鉄筋直上に発現していることが確認できた。また、D10_2axis では、軸方向鉄筋と直交するように配筋しているため、他の試験体と比べてひずみ分布が抑制されている様子が確認できる。

3. 2 膨張ひずみの変化

図 - 4 にコンクリート表面に貼付けたひずみゲージを実線で示し、腐食率 0.25%時に DICM により算出した、ひずみゲージと同方向のひずみ値をプロットにて示す。DICM によるひずみ値は、軸方向主鉄筋を中心とした 90mm の範囲における平均値である。ひずみゲージおよび DICM いずれの手法においても、概ね傾向が一致した。いずれの試験体も、通電時間 20 時間程度（腐食率 0.75%程度）まではひずみが小さく、ひずみが増加する変曲点を境にひずみが線形に急増していく傾向が見られた。これは、腐食膨張初期には鉄筋周囲の微細なひび割れや空隙に腐食生成物が吸収され、その後周囲のコンクリートに膨張圧が発生し、かぶりコンクリートへひび割れが進展していくものと考えられ、既往研究²⁾と一致している。この一連の腐食膨張挙動を、DICM により捉えることができた。

3. 3 表面ひずみ分布と膨張量の関係

図 - 5 に測定領域で発生した、DICM により 1pixel 毎に算出される 1000μ 以上の最大主ひずみ発生度数と、ひずみゲージで測定した膨張ひずみとの関係を示す。いずれの試験体も、鉄筋の拘束条件に関わらず、最大主ひずみの発生度数と膨張ひずみの間には高い相関関係が認められた。これは、構造物の鉄筋腐食に

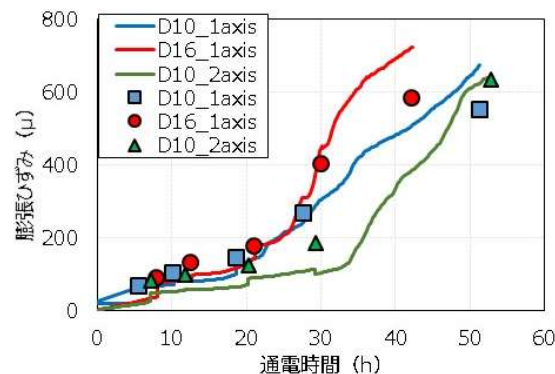


図 - 4 膨張ひずみの変化

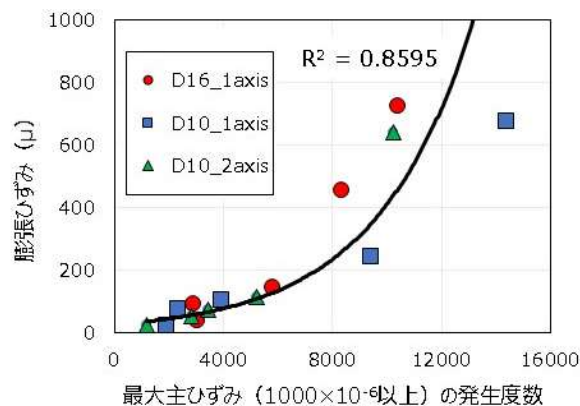


図 - 5 最大主ひずみと腐食膨張の関係

伴う劣化進展を精度良く予測できる可能性を示唆している。

本手法は現状、測定対象箇所の健全状態における初期画像を取得する必要がある。本技術を実構造物に適用する場合、対象となる構造物の多くは供用から年数が経ち、初期画像が取得できない。そこで、計測対象領域に対し、加熱または冷却といった温度変化を与えることにより、ひずみ分布の顕在化を試みている。

4. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- 1) 腐食の進展に伴い、軸方向の鉄筋上の近傍を中心に膨張ひずみが集中していき、腐食率 1.8%を超えた段階で鉄筋直上に直線状のひび割れを確認した。
- 2) ひずみゲージにより得られた膨張挙動と DICM による結果が概ね一致することを確認した。
- 3) 1000μ 以上の最大主ひずみ発生度数には、ひずみゲージで測定した膨張ひずみとの間に高い相関が認められた。

参考文献

- 1) 鳶田ほか：ラインセンサタイプ全視野ひずみ計測装置を用いたコンクリート断面内の乾燥収縮ひずみ評価，土木学会年次学術講演会講演概要集，Vol.70，pp.153-154，2015
- 2) 山口ほか：コンクリート中における鋼材の腐食生成物の変形特性に関する実験的検討，Vol.40，pp.933-938，2018