

鉄筋コンクリート部材のひび割れ量進展過程に関する実験的研究 その4 ひび割れ量進展過程の分析

正会員 ○高橋 絵里*¹
同 高橋 典之*²
同 中埜 良昭*³

鉄筋コンクリート ひび割れ量 損傷計測方法
画像処理手法

1. はじめに

鉄筋コンクリート部材のひび割れ量（ひび割れ幅、ひび割れ長さ、ひび割れ本数など）の進展過程についての基礎的なデータ収集を目的として、鉄筋コンクリート部材の静的載荷実験を実施し、4種類の損傷量計測手法によりひび割れ量を計測した。実験の概要については既報その1~3^{[1],[2]}で報告した。本報では、画像処理を用いたひび割れ量計測手法の詳細と、同実験から得られたひび割れ量に基づく鉄筋コンクリート構造部材の損傷進展過程について報告する。

2. 実験概要

本実験計画の詳細は文献[1]で報告しているため、ここでは計測手法の概略のみを紹介する。

2.1 計測計画

本実験では、(1)クラックスケール、(2)デジタルノギス、(3)デジタルカメラ、(4)スキャナの4通りの方法を用いて、試験体せい面に生じたひび割れ量の計測を行った。デジタルカメラおよびスキャナを用いた方法では、損傷面の画像取得後、次節に詳述する画像処理により最大ひび割れ幅、および、ひび割れ総長さを算出した。

2.2 画像処理方法

演算処理におけるメモリ容量確保のため、上記(3)、(4)の方法では元画像をトリミングまたは分割して画像処理を行った。具体的には、デジタルカメラ接写では画角中央（全画素の1/4）をトリミングし（図1(a)）、CCDスキャナでは取得画像を8分割して画像処理を行った。デジタルカメラ接写による取得画像の処理フロー概要を図1に示す。

図1の画像処理後、外郭画素によって閉区間として認識された各ひび割れ領域において、次の手順でひび割れ幅を計測した。まず、ひび割れ領域の外郭画素を走査対象点（図2の■）とし、走査対象点から前後に指定の画素数（ t 個）だけ離れた画素同士を結んだ線を接線とする。走査対象点の隣接点を通り接線と垂直な線（法線）で挟まれた範囲にあるひび割れ領域の外郭画素をひび割れ幅計測対象候補点（図2の○：以下「候補点」と称す。）として抽出する（図2(1)）。ひび割れ領域の外郭を時計回りに走査したときに、接線ベクトルと向きが $180^\circ \pm$ 許容誤差 10° となる接線を有する候補点を選別する（図2(2)）。次に、走査対象点と候補点の中間点、第一および第三四分点が全てひび割れ領域内に含まれる候補点を選別する（図2(3)）。以上の条件を満たす候補点と走査対象点を結ぶ線分のうち、その距離が最小のものをひび割れ幅候補とする（図2(4)）。以上の処理をひび割れ領域の外郭画素全てに行い、その画像の最大ひび割れ幅を決定する。ただし、ひび割れ領域に外接する矩形の長辺の長さ（最大フェレ径）の1/4以下とするひび割れ幅の制約条件によりひび割れの始端・終端を結ぶ線分などが最大ひび割れ幅と誤認されないようにした（図2(5)）。

一方、ひび割れ長さは各ひび割れ領域の外郭長さの1/2として定め、試験体せい面で認識されたひび割れ長さの総和をひび割れ総長さとした。

3. 各計測方法による最大ひび割れ幅計測結果の分析

図3に各計測方法で計測された曲げ破壊試験体（F-1試験体）およびせん断破壊試験体（S-1試験体）の最大ひび割れ

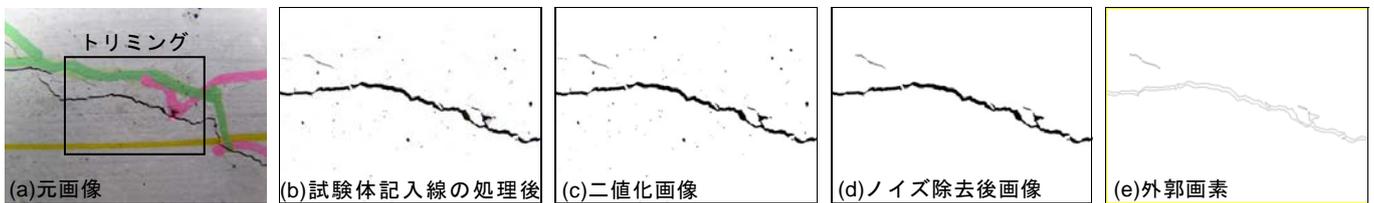


図1 画像処理（デジタルカメラ接写画像）の例



図2 ひび割れ幅算出手順の概念図

幅を示す。画像処理を用いて計測された最大ひび割れ幅は、目視（クラックスケールおよびデジタルノギス）による計測値より大きく計測される傾向にあった。これは画像の二値化において、目視では区別できたひび割れ境界部の僅かな欠け・剥離や汚れを全てひび割れとして認識したためである。また、CCD スキャナで取得した画像から算出した最大ひび割れ幅は、所々スパイク状にひび割れ幅が急増する箇所があるが、これはスキャナと試験体表面とが完全に密着せず生じた陰影ノイズを図 1(d)の処理において除去しきれなかったためである。

ノイズ処理の問題を除けば、いずれの計測方法においても、荷重ピーク時より除荷時、除荷時より小振幅経過後の原点近傍時の最大ひび割れ幅が小さい。また、原点近傍時の部材角は経験最大部材角によらずほぼゼロであるにも拘わらず、経験最大部材角が大きくなるほど原点近傍時の最大残留ひび割れ幅が大きくなる傾向にあることから、残留ひび割れ幅と部材変形角の関係は、幾何学的な部材角-ひび割れ幅モデル^[3]だけでは評価できない可能性がある。

4. 経験部材角とひび割れ総長さの関係

図 4 に CCD スキャナで取得した画像から算出したひび割れ総長さの推移を示す。前節で言及したノイズ処理の問題があるものの、F-1 試験体では変形角の増加に対し、新たなひび割れが発生するのではなく、既にある曲げひび割れの拡幅が主に生じていたため、ひび割れ総長さはほとんど増加していないことが分かる。一方 S-1 試験体では、変形角の増加に伴って新たなせん断ひび割れが発生し、さらに +1/37.5 サイクル以降は付着割裂ひび割れが進展したためひび割れ総長さが増大している。図 4 において経験部材角が増大するにも拘わらずひび割れ総長さが減少する箇所があるが、これは、荷重ピーク時において認識されたひび割れが除荷時、原点近傍時に閉じて、画像処理の際に認識されなくなったためである。

5. まとめ

- (1) 画像処理を用いたひび割れ幅計測値は、画像の二値化に際してひび割れ境界部の欠け・汚れが影響し、目視によるひび割れ幅計測値より大きく計測される傾向にある。画像処理手法を用いたひび割れ幅計測においては、従来のクラックスケールで計測された計測値と整合するデータが得られているか確認が必要である。
- (2) 曲げ破壊試験体 (F-1 試験体) では、変形角の増加に対し新たにひび割れが生じるのではなく、既に生じている曲げひび割れの拡幅によって変形に追従したため、ひび割れ総長さはあまり増加しなかった。一方、せん断破壊試験体 (S-1 試験体) では、変形角の増加に対し、新たなせん断ひび割れの発生により変形に追従したため、ひび割れ総長さが増加した。

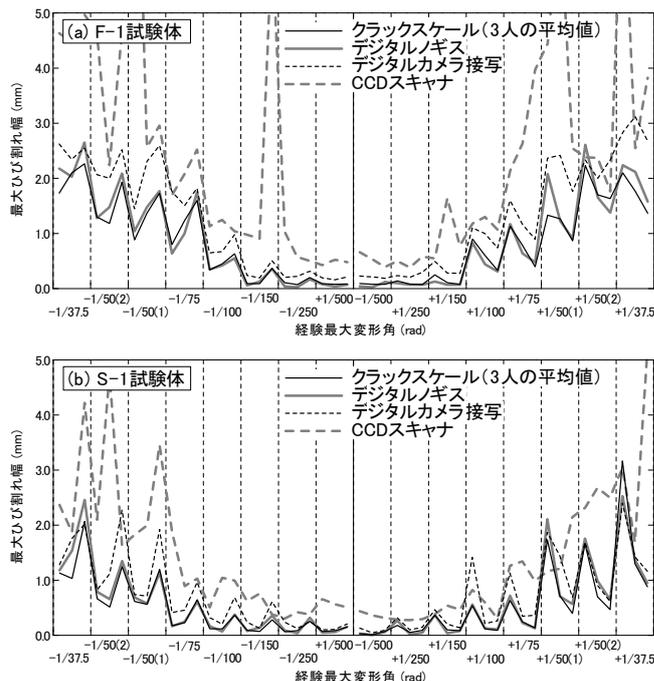


図 3 計測方法別の最大ひび割れ幅計測結果の比較

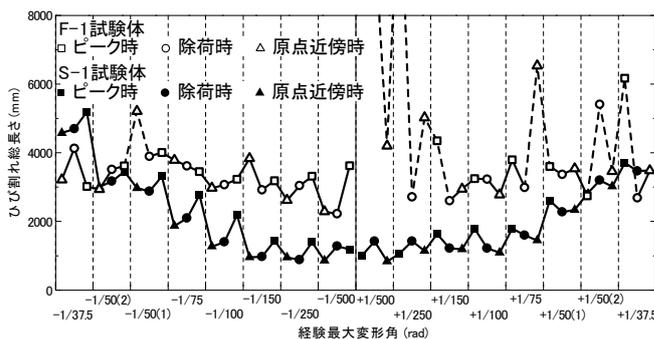


図 4 経験部材角とひび割れ総長さの関係

【謝辞】

本研究は、平成 19 年度文部科学省科研費補助金 若手研究 (B)「鉄筋コンクリート柱部材の地震時ひび割れ量進展過程における動的効果の解明」(課題番号: 19760380, 代表研究者: 高橋典之)の助成により進められました。

【参考文献】

- [1] 高橋典之ほか: 鉄筋コンクリート部材のひび割れ量進展過程に関する実験的研究 (その 1 およびその 2), 日本建築学会学術講演梗概集, C-2, pp.499-502, 2008.9.
- [2] 高橋絵里ほか: 鉄筋コンクリート部材のひび割れ量進展過程に関する実験的研究 (その 3), 日本地震工学会年次大会 2008 梗概集, pp.42-43, 2008.11
- [3] 日本建築学会: 鉄筋コンクリート建造物の耐震性能評価指針 (案)・同解説, pp.155, 2004.1

*1 三井住友建設(株) 修士(工学)
 *2 東京大学 生産技術研究所 助教・博士(工学)
 *3 東京大学 生産技術研究所 教授・工博

Sumitomo Mitsui Construction Co. LTD., M.Eng.
 Research Associate, Institute of Industrial Science, The Univ. of Tokyo, Ph.D.
 Professor, Institute of Industrial Science, The Univ. of Tokyo, Dr.Eng.