

1. 序

コンクリート系部材を対象とした構造実験では、ひび割れ状況をスケッチあるいは写真撮影によって記録し、ひび割れ幅についてはクラックスケールによって計測することが一般的である。しかしながら、これらの手法による計測は多大な計測時間を要し、計測者の技量によって計測結果にばらつきが生じる問題がある。

このような観点から、本研究は、RC梁の4点曲げ実験を行い、ひび割れ状況の計測への画像処理技術による計測システムの適用性について検討する。

2. 画像処理技術を用いたひび割れ計測システム

図1に画像処理によるひび割れ計測システムのフローチャートを示す。システムの概要は、以下の通りである。

① 画像の入力

ひび割れ特定のための前処理段階として、メディアンフィルタによる元画像の平滑化を行う。

② 2値化によるひび割れの検出

適応的な2値化によって、平滑化された元画像を白と黒の二階調に変換する。

③ ノイズの除去・④ ひび割れ画像を出力

ラベリング処理によって連続する白画素にIDを付与した後、その面積と円形度によって細長く生じるひび割れとそうでないものを区分してノイズの除去を行い、ひび割れ画像を出力する。

画像処理技術によるひび割れ幅の計測は、試験体中央上部に設置された公称直径13mmの円マーカから画像の1ピクセルあたりの寸法を割り出し、ひび割れ上のピクセル数を算出する。なお、本実験では、1ピクセルあたりの大きさは0.06mmである。

3. 実験

図2に試験体の詳細を示す。また、図3にひび割れの計測範囲、表1に材料の力学的特性を示す。試験体は単筋梁とし、計2体の試験体(試験体A及びB)が計画された。両試験体とも、スパンは2,100mm、断面寸法は、200×350mmである。主筋(下端筋)は3-D16(SD295A)、せん断スパン区間に2-D6@100(SD295A、横補強筋比 $p_w = 0.32\%$ )

とするあばら筋が配置されている。実験は、試験体を単純支持し、2点集中荷重を単調に負荷する4点曲げ試験である。なお、等曲げ区間にあばら筋は配置されていない。

ひび割れの計測は、試験体の等曲げ区間のみを対象とし、試験区間に生じた曲げひび割れを後述する4段階ごとに画像撮影すると同時に、2名の観測者の目視によるひび割れのスケッチ、及び、図4に示すクラックスケールを用いたひび割れ幅の測定を行う。なお、ひび割れ幅の測定は、引張主筋の重心位置とする。画像解析に用いる画像は、図3の破線で示す等曲げ区間の半分の範囲を4000×4000画素の高解像度で撮影したものである。撮影時は、撮影に影響する自然光をブルーシートにより遮光し、撮影用照明を用いて試験体側面の左右から撮影範囲のライティングを行う。

4. 実験結果

図5に試験体Aの荷重-変形関係を示す。縦軸は荷重P、横軸は部材中央部のたわみ $\delta$ である。図6に試験体Aの代表

表1 材料の力学的特性

材料		N/mm <sup>2</sup>	ヤング係数 $E_s$	降伏強度 $\sigma_y$	引張強さ $\sigma_u$
主筋	D16 (SD295A)		$1.87 \times 10^5$	340	490
横補強筋	D6 (SD295A)		$1.73 \times 10^5$	371	495
材料		N/mm <sup>2</sup>	ヤング係数 $E_c$	圧縮強度 $\sigma_B$	割裂強度 $F_t$
コンクリート			$1.85 \times 10^4$	27.8	2.37

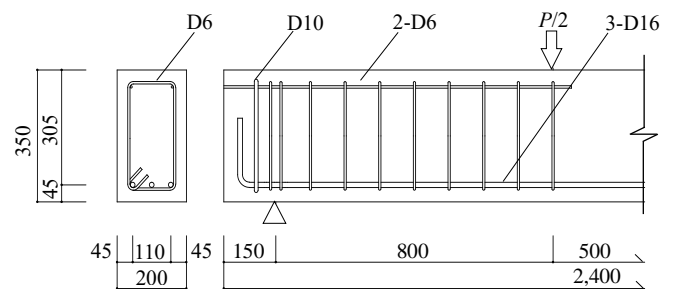


図2 試験体詳細

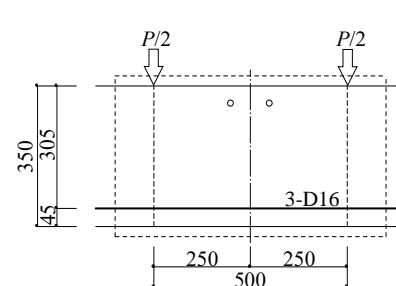


図3 計測範囲



図4 クラックスケール

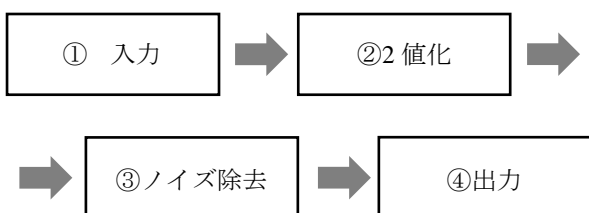


図1 ひび割れ計測システムのフローチャート

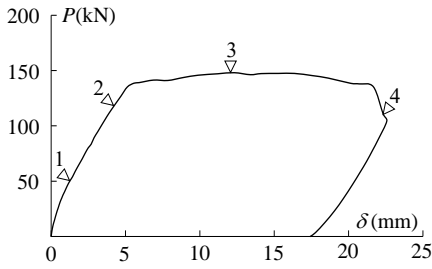


図5 荷重-変形関係 (試験体 A)

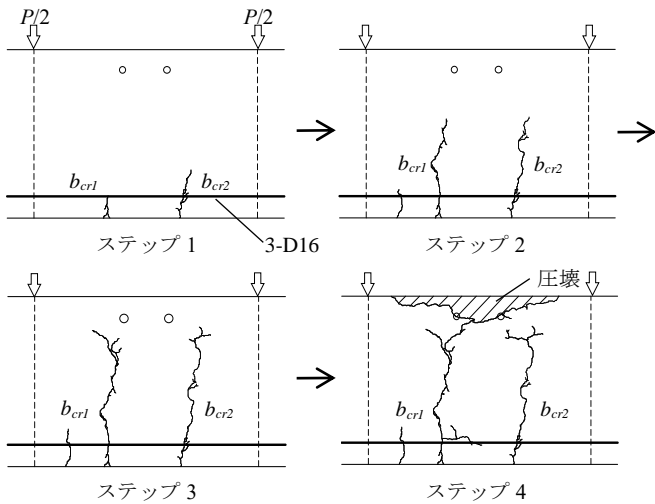


図6 ひび割れ推移状況 (試験体 A)

的なひび割れ状況を撮影されたステップ順に示す。また、そのステップ番号を図5に示す。図中に示す  $b_{cr1}$  及び  $b_{cr2}$  はひび割れ番号である。実験は、引張主筋の降伏後、等曲げ区間の圧縮側にコンクリートの圧壊が生じた時点で実験を終了した。

#### 5. 画像処理技術による計測値と実験時の計測値との比較

図7に代表的な画像処理技術によって検出された画像及びひび割れ図(図5, 6中のステップ3)を示す。また、表2は計測対象の引張主筋位置におけるひび割れの幅(ひび割れ番号:  $b_{cr1}$ ,  $b_{cr2}$ )について、クラックスケールによる計測値と画像処理によって検出された計測値及びそれらの誤差を示したものである。画像処理技術によって検出されたひび割れ状況は、一部ノイズが認められるものの、実際のひび割れとほぼ同様の状況が検出されている。ひび割れの進展に伴ってひび割れを書き足していく目視によるスケッチに比べて、画像処理技術によって検出されたひび割れ画像は、試験体の挙動に伴うひび割れ幅の変化を直接確認できることから、コンクリート系部材のひび割れ状況をより正確に記録することができるとともに、それに要する時間を大幅に短縮する計測方法として期待できる。一方、画像処理技術によるひび割れ幅の検出結果に着目すると、目視によるクラックスケールの計測値と画像処理技術によって検出された計測値は、最大60%、平均23~41%程度の誤差が生じた。これらの誤差が生じた原因としては、クラックスケールを用いた目視によるひび割れ幅の計測は計測者の技量に依存

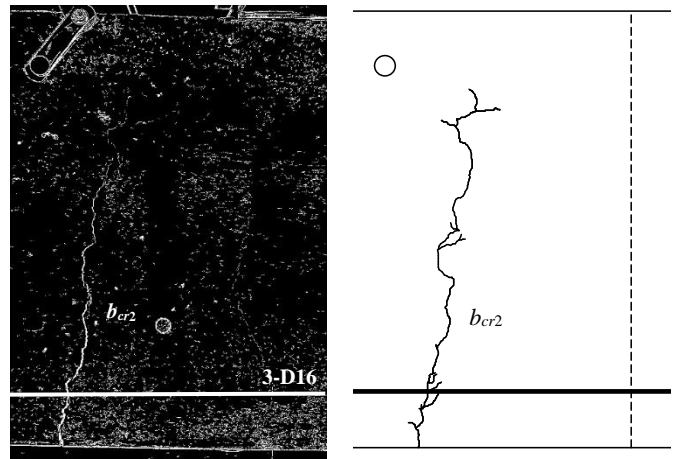


図7 画像処理後のひび割れ画像 ( $b_{cr2}$ )

表2 ひび割れ幅の比較

ステップ	$b_{cr1}$ (mm)		$b_{cr2}$ (mm)		平均誤差	
	クラックスケール	画像処理	クラックスケール	画像処理	$b_{cr1}$	$b_{cr2}$
1	0.04	0.06	0.04	0.06	23%	41%
2	0.15	0.18	0.3	0.12		
3	2.1	1.92	2.2	1.92		
4	3	2.52	2.8	2.04		

することに加え、本実験では、ひび割れ計測区間のコンクリート表面に取り付けた公称直径13mmの円マーカを1ピクセルあたりの大きさの指標とし、その指標に基づいてひび割れ幅を計測したが、円マーカ自体が真円ではないこと及び指標に用いた直径が公称径であることによると考えられる。これらのことから、ひび割れ及びその幅を画像処理技術によって検出する際、1ピクセルあたりの寸法を算出するためのキャリブレーションの方法を慎重に検討するとともに、検出画像におけるひび割れは影として表現されるため、撮影用照明光の入射角度によってひび割れ幅の検出に誤差が生じることから、画像撮影時の照明光の最適な入射角度を検討する必要がある。

#### 4. 結語

本研究の結果、以下のことが得られた。

- 1) 画像処理技術を用いたひび割れ計測システムは、コンクリート系部材のひび割れ状況をより正確に記録することができるとともに、ひび割れ状況の記録に要する時間を大幅に短縮する計測方法として期待できるが、现阶段では、画像度の高解像度を確保する観点から、ひび割れ状況の撮影範囲が限定されるため、ある程度局所的なひび割れ状況の計測にのみ適用できる。
- 2) 画像処理技術を用いたひび割れ幅の計測において、キャリブレーション及び照明光の入射角度について、慎重に検討し、そのマニュアルを作成する必要がある。

#### 【謝辞】

ひび割れの画像処理技術による検出は、大阪工業大学情報科学部情報メディア学科 小堀研究室及び佐野研究室が開発した計測システムを使用させていただいた。ここに感謝の意を表します。

(馬場研究室)