

画像処理により得られたひび割れ情報による損傷評価の一検討

○大林組 正会員 武田 篤史
大林組 フェロー 大内 一
大林組 山田 守

1.はじめに

RC 構造物のコンクリート表面に発生するひびわれは、材料の劣化や地震後における構造物の被災度などを推定する上で極めて重要な判断材料であるが、目視による定性的な計測に頼っているのが現状である。ひび割れの定量的な計測方法はπゲージ等の方法もあるが構造物全体に着目するには適していない。そこで、著者らはデジタル画像の処理によるひび割れ計測手法を開発した。本報では、計測手法の検証を行った後、RC柱の静的水平載荷試験に試用し、損傷とひび割れの関係の例を示した。

2. ひびわれの計測方法

ひびわれの計測は以下のようにして行われる。

- 撮影 デジタルカメラにより RC 構造物の表面を撮影する。
- 画像の補正 a)により撮影した画像に対し、シェーディング補正（光量のむらや影の映り込みを除去）を行う。
- 二値化処理 画像上においてひびわれは影として黒く写っていることを利用して、輝度で閾値を設定し、比較的太く明らかにひびわれと判定されるものを検出する。さらに、ひびわれは連続していることを利用して、再帰的にひびわれ周辺の二値化処理を行い、より細いひび割れを走査する。
- ベクトル化処理 c)で得られた二値化画像は、単なるひびわれ画素を示したただけのものであり、スケッチの代用とはなるが、定量的な解析には不便である。そこで、ひびわれの位置、長さ、幅を特定できるベクトルデータ化する処理を行う。この結果、ひび割れは始点および終点座標と幅の情報を持つ数値データとなる。

3.本計測方法の検証

(1) 検証方法 コンクリート表面にクラックスケールを置き、コンクリートおよびクラックスケールを撮影した。クラックスケールは、0.04mm から 1.40mm までの幅の線が引いてある透明な板であり、この線を疑似ひび割れとして、本ひび割れ計測手法を検証しようとするものである。撮影条件は後述する RC 柱部材の水平載荷試験と同様とし、レンズの収差による影響を考慮し、画面上の端部と中央部で撮影した。また、デジタル画像の pixel 配列が格子状であることを考慮し、疑似ひび割れの向きは、それぞれ画像に対し、縦・横・斜め(約 45°)の3通りとした。なお、本撮影条件では 1pixel=0.38mm (1mm=2.62 pixel)であった。

(2) 抽出可能なひび割れ幅 二値化処理において、ひび割れと認識されて抽出された疑似ひび割れのうち、もっとも細いひび割れ幅を表-1に示す。位置や向きによって多少の違いはあるものの、0.04~0.08mm のひび割れを抽出することができた。一般に、1pixel 以下のひび割れの場合、その輝度は、コンクリート表面の輝度とひび割れの輝度の面積による加重平均、つまり両者の輝度の中間調となり、二値化は難しくなるが、本計測手法で抽出可能であった 0.08mm は 0.21pixel に相当し、よい精度であるといえる。実際に使用する場合は、必要精度を決めて、画角を調整して撮影することになる。画像上の位置については、端部のほうが良い抽出性能であった。これは、比較的収差の大きい端部のほうが太く認識されるためと思われる。ひび割れの向きについては、縦や横に対して、斜めのひび割れが比較的よく抽出できることがわかる。これは、同じ幅のひび割れでも、正方形の pixel 内を、辺に平行に通るより、対角方向に通るほうが、距離が長くなり、その結果 1pixel 内に占めるひび割れの面積の割合が多くなり、抽出しやすくなるためと思われる。

(3) ひび割れ幅について 本計測手法によって得られたひび割れ幅と、実際のひび割れ幅を画角と画素数から計算した pixel 幅の関係を図-1に示す。

実物とまったく同じ画像であったとすると、図に点線で示す $y=x$ の直線状に分布するはずである。しかし、解析によって得られた幅は、実際の幅の 2.7(1/0.37)倍程度であった。この理由としては、一般にカメラの画素と、出力映像の画素は 1 対 1 で対応しているわけではなく、RGB による画素数の減少を補完する処理を行っている事が大きな原因と考えられる。

4.実験における試用

表-1 抽出可能なひび割れ幅

位置	向き	最小ひび割れ幅	
		(mm)	(pixel)
端部	縦	0.04	0.10
	横	0.06	0.16
	斜め	0.04	0.10
中央	縦	0.08	0.21
	横	0.06	0.16
	斜め	0.06	0.16

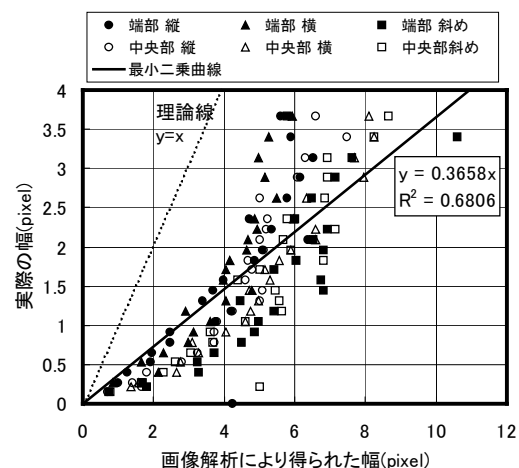


図-1 実際の幅と解析結果の幅

Keyword: ひびわれ計測, ひび割れ幅, ひび割れ角度, RC 構造物, 損傷指標

(株)大林組技術研究所 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 4-640 Tel:0424-95-0950 Fax:0424-95-0909

R C柱部材の正負交番繰り返し水平載荷実験において、本ひび割れ計測手法を試用し、損傷とひび割れの関係の例を示した。

(1) 試験体と実験方法 試験体は2体とし、いずれも実構造物のスケールモデルとはせず、曲げ降伏後にせん断ひび割れが開いて耐力が低下する様に設計した。これら2体は比較が行いやすいように、帯鉄筋量のみをパラメーターとし、その他の諸元は等しくなるようにした。試験体の寸法を図-2に示す。載荷装置は、軸力を導入せずに、図-2矢印位置が中心となるように串型ジャッキを用いて水平に載荷した。載荷は、降伏変位 δ_y の整数倍でそれぞれ正負1回ずつ正負交番繰り返し載荷とした。なお、降伏変位 δ_y は最外縁の引張鉄筋が降伏ひずみに達した点とした。

(2) 試験体の破壊性状 case-A(帯鉄筋=少), case-B(帯鉄筋=多)とも曲げ降伏が先行した。case-Aは、 $-3\delta_y$ に向かう際に $-1.5\delta_y$ 程度の変位の時に脆性的にせん断破壊し、大きく耐力が減少するとともに変位が流れた。

一方、case-Bは $-4\delta_y$ に向かう際に $-3\delta_y$ 程度から荷重が落ち始め、せん断ひび割れに起因する耐力低下とは思われるものの、徐々に耐力が低下していった。

(3) 損傷とひび割れの関係

a) ひび割れ量と塑性率の関係 図-3にそれぞれのケースのひび割れ量-塑性率関係を荷重-変位関係のスケルトンカーブとともに示す。横軸は、負方向載荷時の塑性率とした。ひび割れ量は、ひび割れと認識されたpixel数とした。

両ケースとも耐力低下が始まる2つ前のサイクルまではほとんどひび割れが増加せず、その後耐力低下の1つ前のサイクルに向けて徐々に増加し、せん断破壊により耐力が低下した時にはさらに大きな傾きでひび割れが増加していることがわかる。これは、最初の曲げが卓越した段階ではほとんどひび割れが増加せず、変位が進んでせん断が卓越した段階に移行すると、ひび割れが増加し始め、最終的には耐力低下の原因となるせん断破壊に至るということを示している。

b) ひび割れ角度について 図-4にそれぞれのケースの平均ひび割れ角度-塑性率関係を荷重-変位関係のスケルトンカーブとともに示す。平均ひび割れ角度は、各ひび割れの角度にpixel数(幅×長さ)で重みをつけて平均したものであり、塑性率は負方向載荷時としている。塑性率1の時は、両ケースとも 40° 程度でほぼ同様の角度であるが、case-Aはその後すぐに急激に上昇し、せん断破壊時に 60° 程度に達しその後は変化しない。一方case-Bは最大耐力時(塑性率3)までは、ほとんど一定の角度であり、この時点では曲げ型であることがわかる。その後耐力減少が始まることによって急激に角度が大きくなっている。また、せん断破壊後は両ケースともほとんど平均ひび割れ角度が変化しないことが分かる。

c) 平均ひび割れ幅 図-5に、両試験体の正方向載荷時の平均ひび割れ幅の推移を、ピーク時とその後除荷して荷重が0になった時(残留ひび割れ)の2通りについて示す。平均ひび割れ幅は、ピーク時は、 $0^\circ \sim 90^\circ$ (正加力時に入るひび割れ)のひび割れ量をひび割れ長さで除したものとした。荷重0時については、荷重0時の $0^\circ \sim 90^\circ$ のひび割れ量をピーク時のひび割れ長さで除した。これは、ピーク時と荷重0時で比較する場合、除荷によって閉じて見えなくなったひび割れについても、ひび割れ幅0としてカウントするのが合理的であるためである。

両ケースとも、塑性率と共に、ひび割れ幅が広がっており、特に、せん断破壊後のひび割れ幅の増加が顕著である。残留ひび割れ幅は、塑性率の小さいときには、ピーク時に比べて小さく、塑性率が大きくなると、ピーク時の値に近づいてくる。これは、塑性率が小さいときには、曲げひび割れが支配的であり、モーメントによる引張応力がなくなることにより自重により圧縮状態となりひび割れが閉じやすいが、塑性率が大きくなると、せん断ひび割れが支配的になり、ひび割れを閉じさせようとする力が働かず、比較的大きな残留ひび割れが生じることに起因すると思われる。

5.最後に

- (1) 今回は特定の条件のもと、検証を行った。今後、様々な条件下で検証を行い、ひび割れ幅に対するキャリブレーションが必要となる。
- (2) 本実験においては2体の試験体について損傷-ひび割れ関係を調べたため、損傷指標の構築には至らなかったが、今後、様々な実験を行うことによって、ひび割れデータを蓄積し、ひび割れデータによる損傷指標の構築を行っていく予定である。

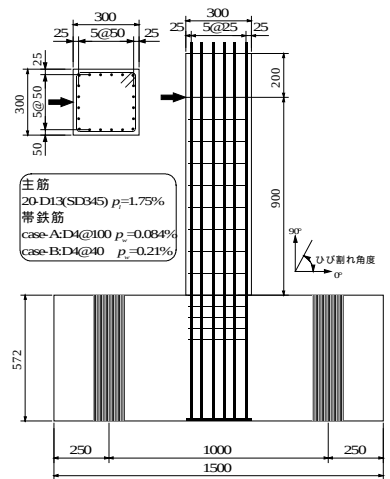


図-2 試験体寸法

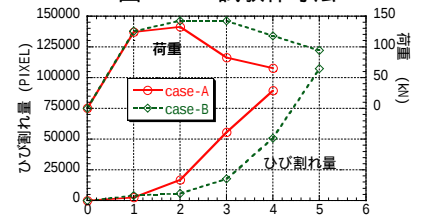


図-3 ひび割れ量

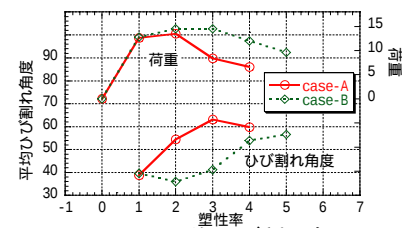


図-4 平均ひび割れ角

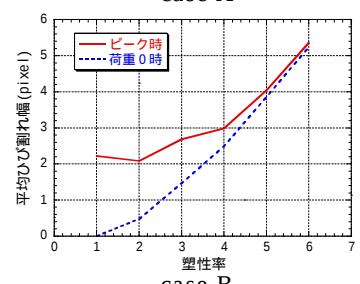
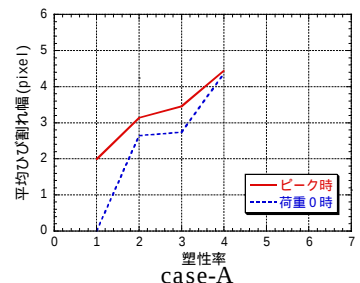


図-5 平均ひび割れ幅