構造解析と画像処理を用いた力学的原因によるひび割れの評価法に関する基礎的考察

九州大学大学院 学生会員 〇梶原 尚平 正会員 園田 佳巨

1. 緒言

近年,トンネルや橋梁といったコンクリート構造物の老朽化や予期せぬ早期劣化の発生が報告されている. コンクリート構造物の劣化はひび割れから発生するため,ひび割れが構造物の耐久性に及ぼす影響を定量的 に評価するとともにひび割れの発生原因の特定が重要である.近年,画像データ処理技術の向上に伴い,画 像処理によってひび割れパターンやひび割れ幅,ひび割れ密度などの情報をデジタルデータとして抽出し, 損傷度の評価を行う試みが数多くなされている.そこで,本研究では衝撃的外力を受ける RC はりを対象に, 構造解析で得られるひずみ分布からひび割れ状態を定量的に評価するための基礎的考察を行った.

2. 本研究の流れ

本研究では、2000年に室蘭工業大学で行われた重錘落下による矩形 RC はりの衝撃実験を対象とし、衝撃解析と画像処理によって抽出されたひび割れデータの関連性について評価する.

2.1 重錘落下による矩形 RC はりの衝撃解析

本解析に用いた有限要素モデル,材料定数を図-1,表-1に 示す.解析対象には主鉄筋(D19)およびせん断補強筋(D6) が配置され、コンクリート要素は8節点ソリッド要素,鉄筋要 素については2節点トラス要素でモデル化を行った.総節点数 及び総要素数は7239,9042となっている.解析に用いた鉄筋の 構成則はバイリニア型の弾塑性モデルとし、コンクリートの構 成則は圧縮側にはバイリニア型の弾塑性モデル,引張側はひず み軟化の影響を考慮したモデルを用いた.なお、本解析では重 錘(質量400kg)を衝突速度7m/s で矩形 RC はりに衝突させた.

2.2 画像処理

写真-1に示す実験時に撮影されたコンクリート表面部の状況を原画像として、図-2のような手順でひび割れ画像を抽出した.なお、今回のひび割れ抽出領域は、写真-1に示すように矩形 RC はりの中央から幅 320mm×高さ 300mm とした.画像処理によるひび割れ画像を図-3 に示す.

3. 解析結果と画像処理のマッチング

本研究では、ひび割れ密度とひび割れ方向(角度)を判断指標として、衝撃解析によって得られたひずみ分布および画像処理によるひび割れ画像からこれら2つの情報をそれぞれ抽出し、要素ごとに評価式を用いて適合度を考察する.そのため、図-4に示すようにひび割れ画像を解析モデルのメッシュサイズと同程度の領域に分割する.

3.1 ひび割れ密度

ひび割れ画像から式(1)によってひび割れ密度を算出した.また,衝撃解析においては,コンクリート要素内の積分点のうち コンクリート表面に近い4つの積分点に着目し,その各積分点



図-1 本解析モデル

表-1 本解析に用いた材料定数

	鉄筋(D19)	鉄筋(D6)	コンクリート
弾性係数E (N/mm ²)	2.06×10^{5}	2.06×10^{5}	2.83 × 10 ⁴
ポアソン比	0.3	0.3	0.14
圧縮強度(N/mm ²)	379	373	32.3
引張強度(N/mm ²)	379	373	3.23



写真-1 コンクリート表面部の写真





図-3 ひび割れ画像

I-026

における最大主ひずみの値を図-5のように仮定したひび割れ密度との関係式を用いて換算ひび割れ密度を求め,式(2)によって各要素のひび割れ密度を算出した.

$$\rho[i][j] = \frac{n}{l_1 l_2} \cdot \cdot \cdot \cdot (1)$$
$$\rho[i][j] = \sum_{k=1}^{4} p_k w_k \cdot \cdot \cdot (2)$$

ここで、 $\rho[i][j]$ はひび割れ密度、nは単位領域におけるひび割れ 部のピクセル数、 l_1 は単位領域の縦のピクセル数、 l_2 は単位領域 の横のピクセル数、 p_k はk 番積分点の換算ひび割れ密度、 w_k はk番積分点の重み、iおよびjはメッシュの座標を示す。

3.2 ひび割れ方向(角度)

ひび割れ画像においては、図-6のように各領域のひび割れの 端部を結んだ直線とx軸正方向とのなす角度をひび割れ方向とす る.なお、ひび割れの端部を抽出するためにひび割れ画像に対し て幅1ピクセルの線に変換する細線化処理を行い、領域ごとに端 部を抽出する.

衝撃解析結果に対しては、図-7のように最大主ひずみのベクトルを二次元部材側面に射影したときの方向を求め、その直交ベクトルが x 軸正方向となす角度をひび割れ方向とする.得られた角度は4段階に分けて、 $0 \le \theta \le 30$ または $150 \le \theta \le 180$ のとき 1, $30 < \theta < 60$ のとき 2, $60 \le \theta \le 120$ のとき 3, $120 < \theta < 150$ のとき 4と分類し、その値を用いて適合度を評価した.

3.3 マッチング評価式

ひび割れ密度およびひび割れ方向のマッチング評価式を式(3), 式(4)に示す.

 $M_{\varepsilon}[i][j] = |\rho_1[i][j] - \rho_2[i][j]| \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (3)$

 $M_{\theta}[i][j] = \theta_1[i][j] - \theta_2[i][j] \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (4)$

ここで、 $M_{\varepsilon}[i][j]$ はひび割れ密度の適合度、 $M_{\theta}[i][j]$ はひび割れ方 向の適合度、 $\rho_1[i][j]$ は解析によるひび割れ密度、 $\rho_2[i][j]$ は実験に よるひび割れ密度、 $\theta_1[i][j]$ は解析によるひび割れ方向、 $\theta_2[i][j]$ は 実験によるひび割れ方向、iおよびjはメッシュの座標を示す.

4. 結果および今後の課題

解析による結果と画像による結果をマッチングした結果を図-8に示す.ひび割れ密度に関しては、図-3と比較してひび割れ部 が良好に抽出されており、解析によりひび割れ領域を把握できる ことが示せた.一方、ひび割れ方向については実験値と一致する 領域が離散的に得られたため、局所的にひび割れ方向が異なるこ とがわかった.今後、判定領域の大きさを大きくすることで、ひ び割れ密度と方向の適合度を評価し、最終的には、実構造物のひ び割れ状況の解析的な予測法について検討していく予定である.

