

第V部門 鉄筋腐食によりひび割れが生じた RC はり部材における非破壊試験に基づく曲げ耐力推定手法

大阪大学工学部 学生員 ○木下 真一 大阪大学大学院工学研究科 正会員 鎌田 敏郎 正会員 内田 慎哉  
 大阪大学大学院工学研究科 学生員 宗像 晃太郎

1. はじめに

本研究では、電食試験により RC はり部材下面において腐食ひび割れが生じた供試体を対象に、手法 I：目視によるひび割れ幅の測定結果から終局強度理論に準じた計算により推定した曲げ耐力、および手法 II：目視および分極抵抗法による非破壊試験結果から FEM 解析を用いて推定した曲げ耐力と、載荷試験により実測した曲げ耐力とをそれぞれ比較することにより、曲げ耐力の推定における各手法の適用性についての検討を行なった。

2. 目視によるひび割れ幅の測定結果から終局強度理論に準じた計算により曲げ耐力を推定する手法

2.1 実験概要

(1) 供試体

図 1 に供試体の概要<sup>1)</sup>を示す。供試体作製後、電食試験により供試体内部の鉄筋の腐食促進を行った。

(2) 非破壊試験

クラックスケールによる腐食ひび割れ幅の測定を行った。ひび割れ幅の測定位置は、主筋とスターラップの交差部および交差部間内で3点とした。したがって、測定間隔は約 25mm である。

(3) 曲げ載荷試験

載荷スパンを 1260mm とした 4 点曲げ載荷試験により曲げ耐力の実測値を把握した。載荷時の測定項目は、載荷荷重、載荷点変位、支点変位およびスパン中央上縁コンクリートのひずみである。

2.2 鉄筋の腐食量推定

供試体内部の鉄筋の腐食量を推定するため、既往の研究で提案されている腐食ひび割れ幅から鉄筋の腐食量を推定する式<sup>2)</sup>を用いた。次式に示す。

$$m_c = \frac{\rho_s}{\pi(\gamma-1)} \left[ \alpha_0 \beta_0 \frac{0.22\{(2c+d)^2+d^2\}}{E_c(c+d)} f_c'^{2/3} + \alpha_1 \beta_1 \frac{(c+d)}{(5c+3d)} w \right] \quad (1)$$

ここで、 $m_c$ ：鉄筋の腐食量 (mg/mm<sup>2</sup>)、 $\rho_s$ ：鉄の密度

(7.85mg/mm<sup>3</sup>)、 $\gamma$ ：腐食生成物の体積膨張率、 $c$ ：かぶり (mm)、 $d$ ：鉄筋直径 (mm)、 $E_c$ ：コンクリートのヤング率 (N/mm<sup>2</sup>)、 $f_c'$ ：コンクリートの圧縮強度 (N/mm<sup>2</sup>)、 $w$ ：腐食ひび割れ幅 (mm)、 $\alpha_0$ ：腐食ひび割れ発生時点のかぶりと鉄筋直径に関する補正係数、 $\beta_0$ ：ひび割れ発生時点のコンクリートの圧縮強度に関する補正係数、 $\alpha_1$ ：腐食ひび割れ発生後のかぶりと鉄筋直径に関する補正係数、 $\beta_1$ ：ひび割れ発生後のコンクリートの圧縮強度に関する補正係数である。

2.3 手法 I による曲げ耐力推定結果

クラックスケールで測定したひび割れ幅の最大値を用いて式(1)により腐食量を算出した。算出した腐食量を鉄筋の断面積へ換算し、限界状態設計法の終局強度理論により曲げ耐力を推定した。算出した推定値、載荷試験により得られた実測値 (最大荷重) および両者の比を表 1 に併せて示す。

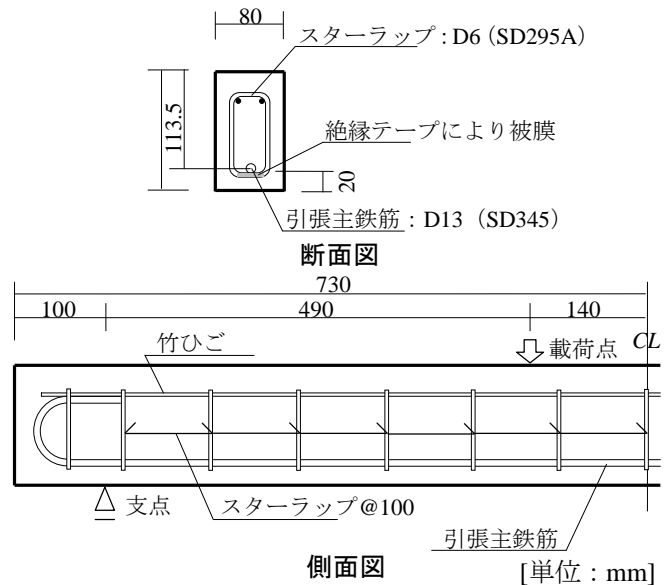


図 1 供試体概要

表 1 手法 I における推定値と実測値

	曲げ耐力 (kN)
推定値	22.8
実測値	27.1
推定値/実測値	0.84

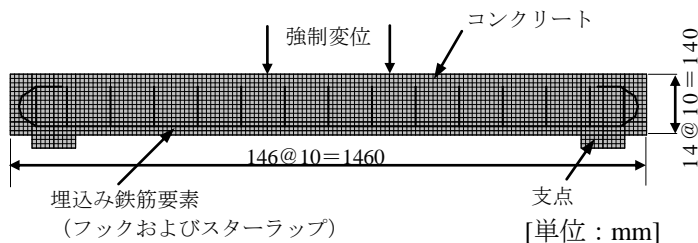


図2 解析モデル概要

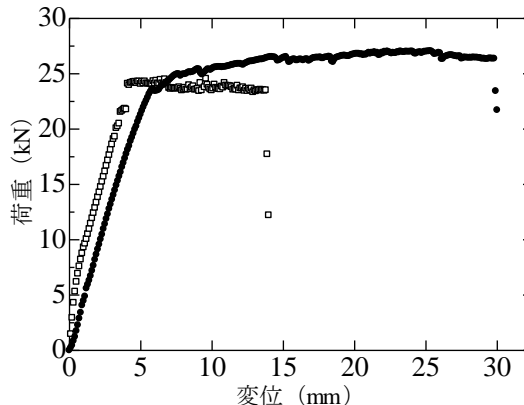


図3 荷重-変位曲線

### 3. 目視および分極抵抗法による非破壊試験結果から FEM 解析を用いて曲げ耐力を推定する手法

#### 3. 1 実験概要

##### (1) 供試体および曲げ載荷試験

供試体(図1参照)および曲げ載荷試験の概要は2章と同じである。

##### (2) 非破壊試験

腐食ひび割れが生じている部分ではクラックスケールによるひび割れ幅測定を、ひび割れが生じていない部分では分極抵抗法をそれぞれ適用した。分極抵抗の測定位置および測定間隔は、クラックスケールの場合と同じである。

#### 3. 2 鉄筋の腐食量推定

腐食ひび割れが発生している箇所では、手法Iの方法に基づき鉄筋の腐食量を推定した。ひび割れが生じていない部分では、分極抵抗法により測定した分極抵抗とコンクリートはつり後のノギスによる鉄筋の実測値との相関関係から、腐食後の鉄筋径を推定することとした。相関関係から算出した回帰式を次式に示す。

$$D = 12.44 + 0.00239R_{ct} \quad (2)$$

ここで、 $D$  : ノギスにより実測した鉄筋直径 (mm),  
 $R_{ct}$  : 分極抵抗 ( $k\Omega cm^2$ ) である。

#### 3. 3 FEM 解析概要

解析モデルの概要を図2に示す。各非破壊試験から推定した鉄筋径は、解析モデルの鉄筋要素(要素長さ50mm)に反映させた。載荷位置および支点位置は、曲げ載荷試験と同じである。

#### 3. 4 手法IIによる曲げ耐力推定結果

図3に解析および実験から得られた荷重-変位曲線を併せて示す。表2に曲げ耐力の推定値、曲げ載荷試験により把握した実測値および両者の比を示す。

#### 4. 手法Iおよび手法IIにおける曲げ耐力の推定結果と載荷試験結果の比較

手法Iおよび手法IIにおいて推定した曲げ耐力と、曲げ載荷試験により把握した実測の曲げ耐力をそれぞれ比較した結果、両者とも概ね近い値となることが把

表2 手法IIにおける推定値と実測値

	曲げ耐力 (kN)
推定値	24.6
実測値	27.1
推定値/実測値	0.91

握できた。また、手法IとIIの比較では、手法IIにより推定した曲げ耐力の方が、実測値により近い値となった。これは、鉄筋の腐食の不均一性を考慮したためであると考えられる。

#### 5. まとめ

本研究では、電食試験によりRCはり供試体に腐食ひび割れを生じさせた部材の曲げ耐力を推定する手法として、目視によるひび割れ幅の最大値の測定結果から終局強度理論に基づく計算により曲げ耐力を推定する手法(手法I)、ひび割れ部ではひび割れ幅の測定を、ひび割れ部以外では分極抵抗法を実施し、各非破壊試験結果に基づきFEM解析により曲げ耐力を推定する手法(手法II)をそれぞれ適用した。その結果、いずれの手法においても、部材下面に腐食ひび割れが生じたRCはり供試体の曲げ耐力をおおむね推定できることが明らかとなった。

#### 参考文献

- 1) 土木学会 コンクリート技術シリーズ 85: 続・材料劣化が生じたコンクリート構造物の構造的な性能, pp.10-11, 2009
- 2) 関 博ら: 鉄筋腐食によるコンクリートのひび割れ発生状況及びひび割れ幅に関する研究, 土木学会論文集, No.669/V-50, pp.161-171, 2001.2

#### 謝辞

本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金(基盤研究(B) 21360206)を受けて行ったものである。ここに記して謝意を表す。