

鉄筋腐食したコンクリート梁のシミュレーション

香川大学大学院	学生会員	○中元 浩富
(株) 四国総合研究所	非会員	松田 耕作
四国電力(株)土木建築部	非会員	荻山 和樹
香川大学工学部	正会員	松島 学

1. はじめに

RC 構造物の鉄筋腐食は構造性能に大きな影響を及ぼすことが知られているが、その程度は定量的に解明されていない。本研究は、耐荷力を指標とした補修基準の検討を行った。乾湿繰返試験により腐食させ、目標とした腐食ひび割れ幅を有する試験体を作製し、載荷試験を行った。その結果を基に、FEM 解析により RC 梁の耐力低下機構をシミュレーションした。

2. 試験体

乾湿繰返試験により腐食させた梁で載荷試験を行った。載荷試験に用いた試験体の断面形状および寸法を図-1 に示す。主鉄筋は D16(SD345)、せん断補強筋は D10(SD345)を使用した。本研究では腐食ひび割れ幅を腐食レベルの指標とし、0.0mm、0.5mm、0.8mm、1.6mm の計 4 体の試験体を作成した。

3. 解析モデル

本解析モデルを図-2 に示す。図-2(a) はコンクリート部、図-2(b) は鉄筋部である。コンクリート要素は 8 節点アイソパラメトリックソリッド要素、鉄筋要素は梁要素、せん断補強筋はトラス要素を用いた。コンクリート要素を構成する節点の内、せん断補強筋位置に該当する節点間にトラス要素を作成した。コンクリート要素と節点を共有している。鉄筋とコンクリートの付着要素のモデルを図-3 に示す。付着要素は、4 節点アイソパラメトリック膜ボンド要素を用いた。ソリッド要素と梁要素の間にボンド要素を置き、付着を考慮した。

4. 腐食鉄筋のモデル化

腐食鉄筋のモデル化は、鉄筋とコンクリートの付着性能の低下と鉄筋の断面減少による力学性能の低下を考慮することにより表現した。付着要素は、最大付着強度と付着剛性でモデル化した。既往の研究より腐食した鉄筋の腐食ひび割れ幅と荷重 - 変位関係を調べた。図-4(a) にひび割れ幅とせん断強度の低減、図-4(b)

に剛性の低下の実験結果を示す。この関係から指数式に近似した。従って、腐食ひび割れ幅が設定させると、低減されたせん断強度およびせん断剛性が求められる。図-6 に付着要素の強度低下モデルの概念図を示す。図-5 に示すように腐食した鉄筋は、腐食生成物により断面積が減少する。本研究では、腐食により断面を減少させるのではなく、見かけ上腐食鉄筋の力学性能を低下させた。鉄筋のモデルはバイリニアモデルとし、降伏強度と弾性係数で構成されている。既往の研究より、腐食鉄筋の断面減少率 Δ_w に対して降伏強度 $f_y'(\Delta_w)$ に関する式(1)、弾性係数 $E_s'(\Delta_w)$ に関する式(2)が定義されている。

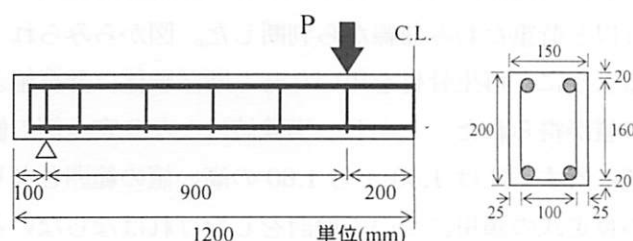


図-1 試験体概要

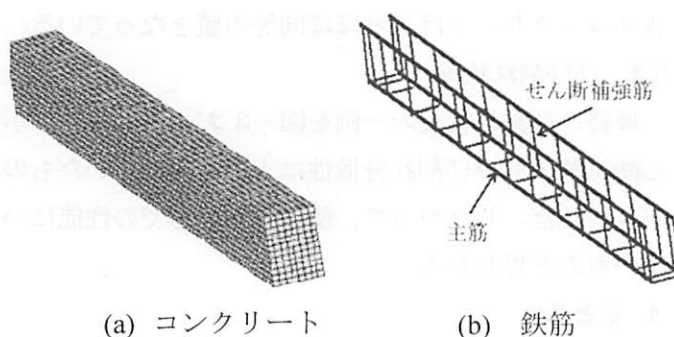


図-2 解析モデル

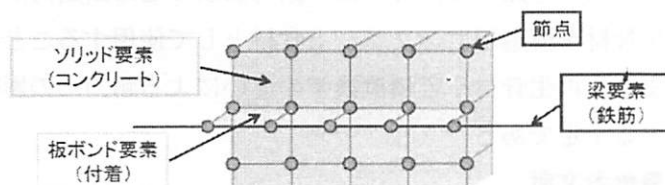


図-3 付着要素と鉄筋のモデル化

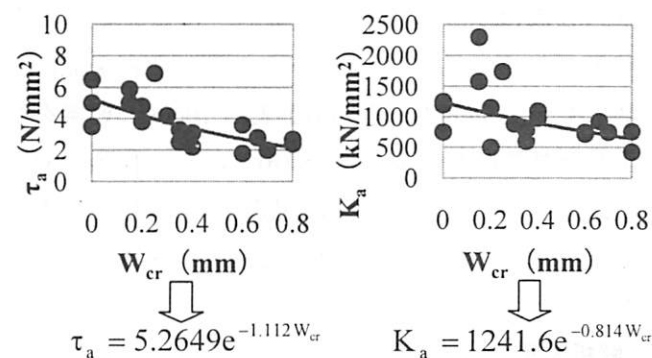
$$f'_y(\Delta_w) = (1 - 1.98(\Delta_w/100)) f_y \quad (1)$$

$$E'_s(\Delta_w) = (1 - 1.13(\Delta_w/100)) E_s \quad (2)$$

式(1), 式(2)と実験から得た鉄筋断面減少率から図-7に示す腐食鉄筋の構成則を得た. 鉄筋の降伏後の挙動は, 第2剛性は, 初期剛性に対し, 1/1000を使用した.

5. 解析結果

数値解析は鉄筋断面減少率 7.36%の試験体を対象とした. 図-8(a)に数値解析での載荷荷重と梁下部の曲げモーメントが最大となる位置の鉄筋ひずみの関係を, 図-8(b)に同地点の梁上部のコンクリートひずみとの関係を示す. 数値解析と実験結果の荷重-変位関係を図-9に示す. 降伏荷重は荷重-変位関係の曲率が最大の点の荷重とし, 数値解析では 44.0kN を, 実験では 43.1kN をとる. 終局荷重は, 数値解析では 50.2kN を, 実験では 48.7kN をとる. 図-8(a)に見られるように, 鉄筋の降伏ひずみ 1700 μ を超えると, 荷重増加が急激に減少する傾向が見られる. つまり, 鉄筋の降伏



(a) せん断強度の低減 (b) せん断剛性の低減

図-4 腐食ひび割れ幅との関係

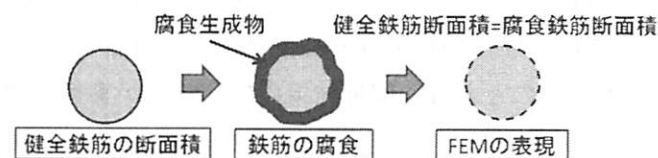


図-5 FEMの腐食鉄筋表現方法

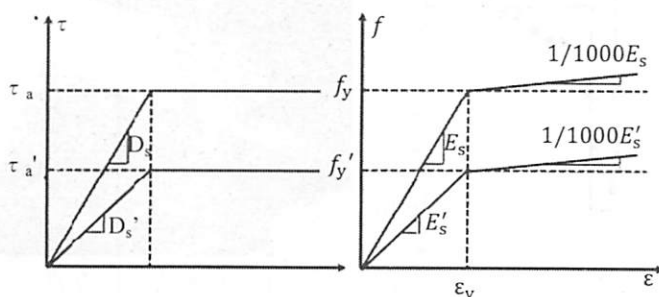
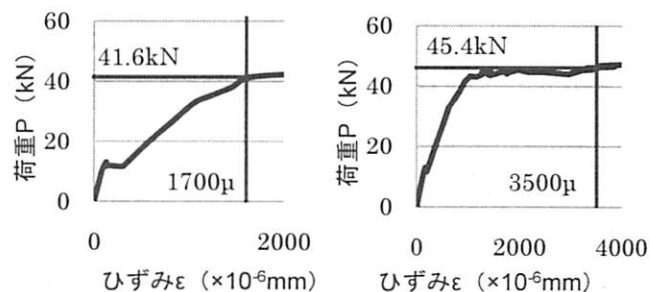


図-6 付着要素の構成則

図-7 腐食鉄筋の構成則

により, 全体の降伏が支配されているのが推測される. 図-8(b)に見られるように, コンクリートの終局ひずみ 3500 μ を超える荷重が, 45.4kN となっている. この荷重は, 実験での終局荷重 48.8kN の近い値であり, 数値解析はコンクリートの圧壊により終局耐力が決定されていると判断できる. 実験と解析の荷重-変位関係は, 数値解析の方が 1 割程度高い結果となっているが, 鉄筋腐食のばらつきの大きさを考えれば, ほぼ同程度と考えた. 実験と解析結果の降伏耐力比 P_i/P_0 と鉄筋断面減少率 Δ の関係を図-10に示す. 数値解析も実験も断面減少率が大きくなるに連れて, 降伏耐力比が低下している. 断面減少率 4.0%の試験体を除けば, ほぼ同程度の結果が得られている.



(a) 鉄筋(梁中央下部) (b) コンクリート(梁中央上部)

図-8 荷重 - ひずみ関係

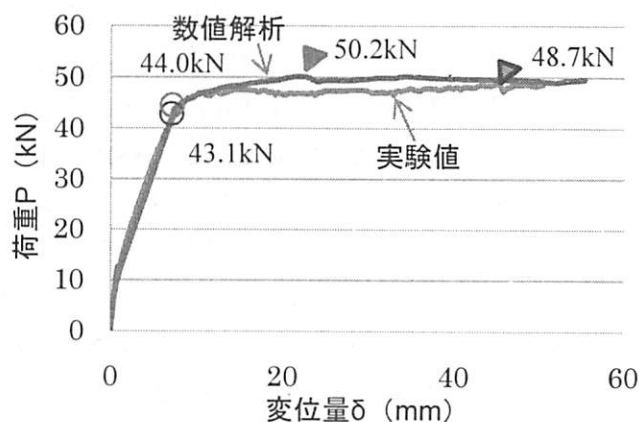


図-9 荷重 - 変位関係 (断面減少率 7.36%の試験体)

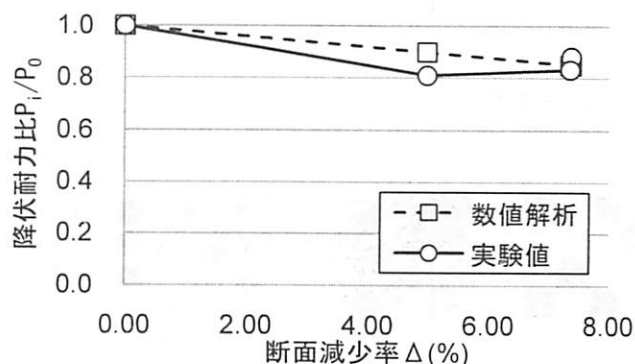


図-10 降伏耐力比 P_i/P_0 と断面減少率 Δ