

模擬腐食鉄筋を用いた RC はりの曲げ破壊性状と性能低下の評価

神戸大学大学院 学生員 ○森田 祐介 神戸大学工学部 正会員 森川 英典
岡山県 正会員 磯谷 哲也 神戸大学工学部 正会員 小林 秀恵

1. 目的

著者ら¹⁾は、既往の研究で、実 RC 部材の点検データを用いて、鉄筋腐食速度の評価を行い、鉄筋腐食進行モデルの構築を行った。また、構造物の要求性能が設定された際、評点法に用いる重み付け係数の設定方法を確立し評価の高精度化を検討した。本研究では、模擬腐食鉄筋を用いた RC はりの曲げ載荷試験、試験データを導入した二次元弾塑性有限要素解析(以下、FEM 解析)を行うことで、鉄筋腐食による、RC 部材の性能低下の評価を行った。

2. 引張試験および引抜試験による鉄筋の性能低下の評価

まず鉄筋腐食による見かけの降伏強度の低下を表現するため、鉄筋の中央 10cm を切削し、引張試験を行った。その実験で得られた鉄筋の重量減少率と降伏強度残存比の関係と、式(1)に示す塩害により腐食した鉄筋の見かけの降伏強度と腐食減量率との関係式³⁾より目標となる腐食減量率の切削量を求めた。

$$\sigma_{cy} / \sigma_{sy} = (1 - 1.98(\Delta W / 100)) \quad (1)$$

ここで、 σ_{cy} :腐食後の降伏強度、 σ_{sy} :健全時の降伏強度、 ΔW :腐食減量率(%)

次に鉄筋とコンクリートの付着低下は、主鉄筋の付着低下区間(模擬腐食区間)において、鉄筋に VM テープを帯状に 2 枚対称に鉄筋の切削面に貼付けて表現した。それを図-1 に示す。付着の低下の割合は、鉄筋に貼るテープの幅で調整した。ここで、健全鉄筋の周長(対健全)に対するテープ(2 枚)の幅を付着断絶率とする。目標付着強度比(対健全)は、塩害により腐食した鉄筋における実験式³⁾として式(2)を適用し、JSCE-G503 に準じて行った引抜試験により数種類の切削量とテープ貼付量に対応した荷重と鉄筋とコンクリートとのすべりの関係を求め、テープ幅を決定した。

$$\text{付着強度比} = \exp(-1.2220 \cdot \Delta W) + \exp(-0.0641 \cdot \Delta W) - \exp(-2.8188 \cdot \Delta W) \quad (2)$$

図-2 に鉄筋重量減量率と降伏強度低下比の関係、図-3 に付着強度比-付着断絶率関係、表-1 に引抜試験の結果を示す。

3. 模擬腐食鉄筋を用いた RC はりの曲げ破壊試験および FEM 解析

(1) 概要

RC はりの曲げ破壊試験の試験供試体は健全供試体を 1 体、腐食減量率 15、25%の供試体をそれぞれ 2 体作成した。供試体側面図および断面図を図-4 に示す。表-1 に示す模擬腐食鉄筋で引抜試験を行った結果を表-2 に示す。この結果より目標となる付着低下率は精度の良い結果となった。なお、コンクリートの圧縮強度は 13.5(N/mm²)である。

次に解析概要を示す。解析モデルを図-5 に示す。FEM 解析対象モデル

キーワード 鉄筋腐食、RC はり、引抜試験、曲げ破壊、FEM 解析

連絡先：〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 TEL：078-803-6027

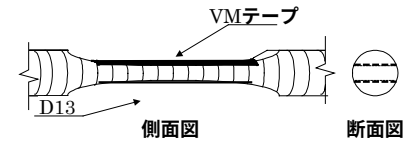


図-1 模擬腐食鉄筋

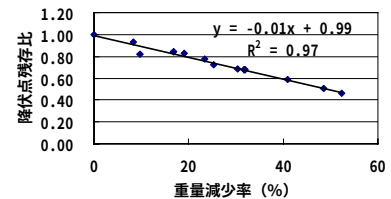


図-2 降伏強度残存比-重量減少率関係

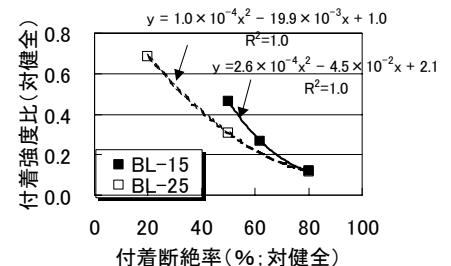


図-3 付着強度比-付着断絶率関係

表-1 引抜試験の結果

供試体 No	鉄筋切削量(%)	付着強度 (N/mm ²)	低下率	目標低下率
B-L	0	8.01	-	-
B-L-15B	15	3.45	0.43	0.38
B-L-25B	25	1.82	0.23	0.20

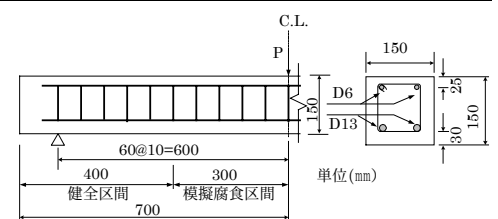


図-4 RC はり供試体側面図・断面図

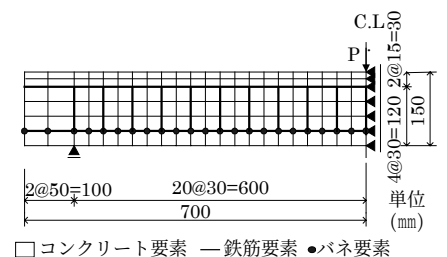


図-5 解析モデル図

は、前述の実験モデルを想定したものである。なお、コンクリートの引張構成則として、引張ひび割れ発生後は応力-ひずみ関係が直線関係になるように引張軟化モデルを導入した。力学特性の算定式³⁾は式(1)、(3)を付着要素の構成則³⁾、⁵⁾は式(4)を用いた。

$$E_{cs} / E_{ss} = (1 - 1.13(\Delta W / 100)) \quad (3)$$

$$k = 1.0 \quad (0 \leq \Delta w \leq 0.683)$$

$$k = 0.5351 \times 11620 (\Delta w + 1.317)^{-1.014} + 166.55 / 3245.46 \quad (0.683 \leq \Delta w) \quad (4)$$

ここで、 E_{cs} :腐食後の弾性係数 E_{ss} :健全時の弾性係数、 k :付着剛性残存率

(2) 実験および解析結果

表-2 に解析結果の一覧および対応する実験値、図-6、図-7 に実験および解析での荷重-たわみ関係を示す。これらの結果から鉄筋腐食量の増加に伴い、鉄筋降伏耐力に低下がみられ、剛性も鉄筋腐食の低下に伴い実験・解析ともほぼ同様の性能低下現象が見られた。実験および解析による供試体のひび割れ図を図-8に示す。模擬腐食鉄筋の切削量が多くなると、ひび割れの分散性が少なく、ひび割れ幅が大きくなる傾向がみられた。解析においても鉄筋腐食におけるひび割れ分散性の低下がみられる。また、ひび割れが載荷位置である中央に集中する傾向となった。これは鉄筋の断面減少や付着性能の低下によるコンクリートの引張力の増加が原因と考えられる。図-9 に本研究と長谷川らの研究⁴⁾で得られた腐食減量率-耐力比関係を示す。実験結果、解析結果および耐力算定値は、ほぼ同一の直線であり、解析により模擬腐食実験の結果を評価できている。しかし、長谷川らの式は腐食減量率が大きくなるにつれ、他の関係との差が大きくなっている。長谷川らの式は実際に塩分を混入し暴露試験を行い腐食させたはりでの載荷試験の結果であり、今回の実験・解析では評価できない性能低下があると考えられる。

4. まとめ

模擬腐食鉄筋を用いた RC はりの曲げ破壊試験では、腐食減量率の増加に伴い耐力や剛性が低下した。また、付着が低下するにつれ、鉄筋に引張力が伝達されず、コンクリートが負担する引張力が増加するため、ひび割れの分散性が低下したと考えられる。解析では文献³⁾を参考に FEM 解析を行った結果、実験と同様に耐力や剛性の低下およびひび割れの分散性の低下がみられた。また、耐力-腐食減量率関係では、実験結果や耐力算定値、解析結果には差がなく精度の良い結果となった。しかしながら、塩害による腐食形態では、鉄筋の断面が一様ではないため、この結果が既往の研究⁴⁾との差が生じたと考えられる。

参考文献

- 1) 森川ら：建設工学研究所論文報告集，第 43-A 号，pp.95-pp.114，2001.11.
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書[維持管理編]，2001.1.
- 3) 李ら：有限要素法による鉄筋の腐食した RC 梁の耐力性能評価，第 19 回コンクリート工学年次論文報告集，No.1，pp.1147-1152，1997.
- 4) 長谷川ら：長期暴露した塩分を含む鉄筋コンクリート梁の力学性状，土木学会第 55 回年次学術講演会，V-360，2000.9.

表-2 試験結果一覧

		耐力 (kN)	終局 たわみ (mm)	引張鉄筋 降伏耐力 (kN)	引張鉄筋 降伏時のた わみ(mm)	10kNから15 kN間の剛性 (kN/mm)
健全 時	実験値	31.8	10.8	29.2	3.55	7.96
	解析値	32.8	10.5	31.7	4.38	7.88
15% 腐食	実験値	26.3	13.0	23.3	3.28	6.41
	解析値	25.9	7.80	25.6	4.04	5.75
25% 腐食	実験値	21.0	18.3	16.9	2.55	5.31
	解析値	20.4	13.6	20.1	3.71	5.19

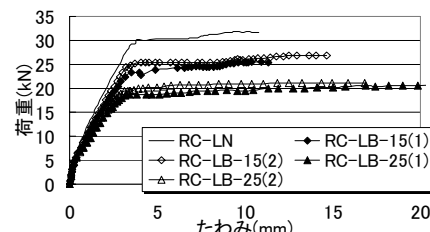


図-6 荷重-たわみ関係(実験値)

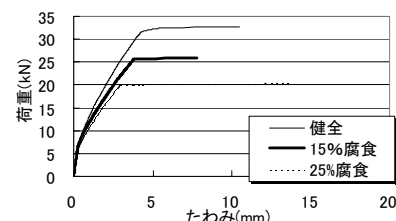
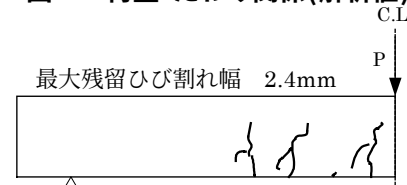
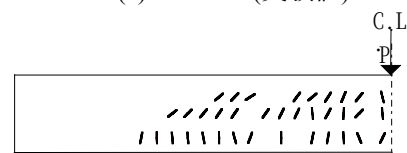


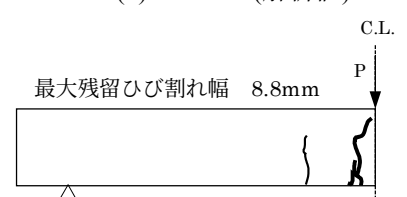
図-7 荷重-たわみ関係(解析値)



(a) RC-LN(実験値)



(b) RC-LN(解析値)



(c) RC-BL-25(実験値)



(d) RC-BL-25(解析値)

図-8 ひび割れ図

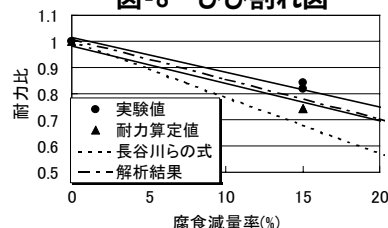


図-9 腐食減量率-耐力比関係