

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

1. はじめに

著者ら¹⁾は、従来の研究において、実 RC 部材の点検データを用いて、鉄筋腐食速度を評価することで、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改良を行った。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、二次元弾塑性有限要素解析(以下、FEM 解析)を行うことで、鉄筋が腐食した際、RC 部材の性能低下の評価を行った。

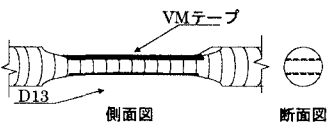


図-1 模擬腐食鉄筋

2. 引張試験および付着試験による性能低下の評価

まず鉄筋の腐食による見かけの降伏点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、次式(1)の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²⁾より目標となる腐食減量率の切削量を求めた。

表-1 模擬腐食鉄筋の概要

供試体名	目標腐食減量率(%)	切削量 (g/cm)	付着断絶率 (%:対健全)
RC-LN	0	—	—
RC-LB-15	15	2.7	54.1
RC-LB-25	25	4.7	61.0

$$\sigma_{cy} / \sigma_{sy} = (1 - 1.98(\Delta W / 100)) \quad (1) \quad \text{ここで、} \sigma_{cy}: \text{腐食後の降伏強度、} \sigma_{sy}: \text{健全時の降伏強度、} \Delta W: \text{腐食減量率}(\%)$$

次に鉄筋とコンクリートの付着の低下については、主鉄筋の付着低下区間(模擬腐食鉄筋適用区間)の鉄筋に VM テープを帯状に 2 枚対称に鉄筋の切削面に貼ることで表現させたものであり、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⁾として次式(2)を適用し、付着試験によりテープ幅を決定した。本研究で用いる模擬腐食鉄筋の概要を表-1 に示す。

表-2 付着試験結果

供試体名	付着強度 (N/mm ²)	付着強度比	目標付着強度比
RC-LN	8.01	—	—
RC-LB-15	3.45	0.43	0.38
RC-LB-25	1.82	0.23	0.20

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

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種類は健全供試体を 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-2 に示す。表-1 に示した模擬腐食鉄筋で付着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)となった。

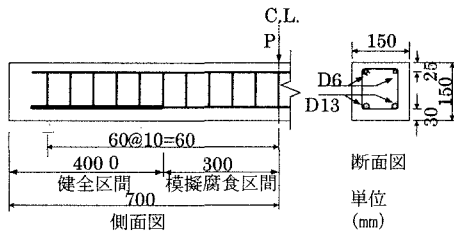


図-2 RC はり供試体側面図・断面図

FEM 解析対象モデルは、前述の RC はりの曲げ破壊試験を想定し、そのモデルを図-3 に示す。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⁾は式(4)を用いた。

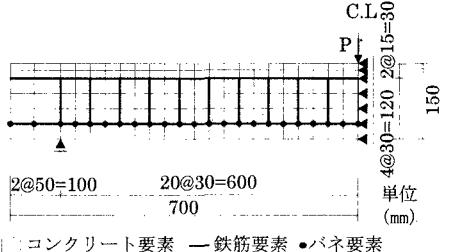


図-3 解析モデル図

$$Ecs / Ess = (1 - 1.13(\Delta W / 100)) \quad (3)$$

$$k = 0.5351 \times 11620 (\Delta W + 1.317)^{-1.014} + 166.55 \quad (4)$$

ここで、 Ecs :腐食後の弾性係数 Ess :健全時の弾性係数

表-3 試験結果一覧

供試体名		耐力 (kN)	終局 たわみ (mm)	引張鉄筋 降伏耐力 (kN)	引張鉄筋 降伏たわみ (mm)	10kNから15 kN間の剛性 (kN/mm)
RC-LN	実験値	31.8	10.8	29.2	3.7	8.0
	解析値	33.2	9.5	32.3	4.3	8.0
RC-LB-15	実験値	26.3	13.0	23.0	3.1	6.4
	解析値	25.7	13.3	25.3	4.0	5.8
RC-LB-25	実験値	21.0	18.3	17.0	2.5	5.3
	解析値	20.4	16.9	20.0	3.3	5.1

(2) 実験および解析結果

表-3 に解析結果の一覧および対応する実験値、図-4(a), (b), (c)に実験および解析での荷重-たわみ関係を示す。なお、解析および実験ともに、コンクリート圧縮ひずみ 3500μ 時のたわみを終局たわみとする。これらの結果から、鉄筋が降伏するとたわみは急激に増加することが示されている。また、鉄筋腐食による区間剛性低下も同様の傾向となった。また鉄筋腐食量の増加とともに終局たわみが増加しており、耐力算定値や実験結果、解析結果の関係は、精度の良いものとなった。

試験後の供試体のひび割れ図を図-5 に示す。腐食量が多い供試体の方が、ひび割れの分散が少なく、ひび割れ幅が大きくなる。また、ひび割れが載荷点である中央へ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って、コンクリートが負担する引張力を減少したのが原因だと考えられる。

図-6 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。長谷川らの試験結果と比較して差がでたのは、平均化した腐食減量率で評価を行うか、クリティカルな箇所の腐食減量率で評価を行うかで差が出たと考えられる。つまり、塩害による孔食は均一的な腐食形態ではないため、孔食深さや鉄筋の断面形状の違いが影響したものと考えられる。

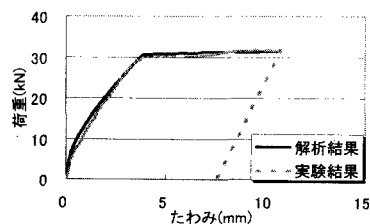
4. まとめ

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ともない、耐力や剛性が低下した。また、付着が低下するにつれ、コンクリートに引張力が伝達されないため、ひび割れの分散を低下させたと考えられる。

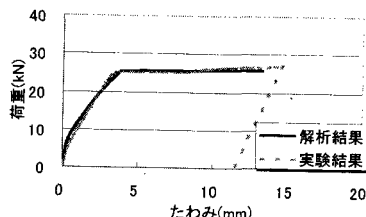
解析では文献 3)を参考に FEM 解析を行った結果、実験と同様に耐力や剛性の低下がみられた。また、耐力-腐食減量率関係では、実験結果や耐力算定値、解析結果には差がなく精度の良い結果となった。しかしながら、塩害による腐食形態では、鉄筋の断面が一樣ではないため、この結果に差がでた。

【参考文献】

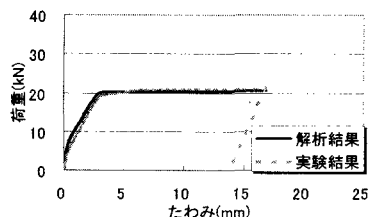
- 森川, 森田, 小林: 建設工学研究所論文報告集, 第 43-A 号, pp.95-pp.114, 2001.11.
- 土木学会: コンクリート標準示方書「維持管理編」, 2001.1.
- 李ら: 有限要素法による鉄筋の腐食した RC 梁の耐力性能評価, 第 19 回コンクリート工学年次論文報告集, No.1, pp.1147-1152, 1997.
- 長谷川ら: 長期暴露した塩分を含む鉄筋コンクリート梁の力学性状, 土木学会第 55 回年次学術講演会, V-360, 2000.9.



(a) RC-LN



(b) RC-LB-15



(c) RC-LB-25

図-4 荷重-たわみ関係

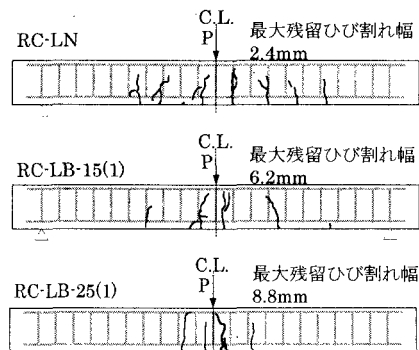


図-5 ひび割れ図

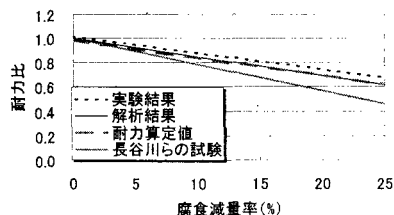


図-6 腐食減量率-耐力比関係