

有限要素法による鉄筋腐食を有する RC 梁のモデル化とそれによる静的耐荷性能評価

九州大学大学院 学生会員 ○梶原 淳史

九州大学大学院 正会員 玉井 宏樹

九州大学大学院 フェロー会員 園田 佳巨

1. 目的

鉄筋コンクリート構造物中の鉄筋腐食は、鉄筋の有効断面積の減少、腐食生成物の膨張圧による周辺コンクリートのひび割れ、付着劣化などの損傷を引き起こし、構造的な性能に影響を与える。このような損傷を有する構造物や部材に対して補修や補強など適切な処置を施すには、残存耐荷性能を明らかにする必要がある。これまで多くの研究が実施されている。著者らの研究グループでも鉄筋腐食を有する RC 梁を製作し、実験により耐荷性能を明らかにしてきた¹⁾。

本研究では、最終的に、腐食程度や腐食の位置的ばらつきによる耐荷性能や破壊挙動への影響を定量的に評価することを目標としており、そのために、有限要素法 (FEM) を用いて、曲げ破壊型 RC 梁に対して実施された既往の実験結果を再現可能な数値解析モデルの検討を行った。

2. 鉄筋腐食による損傷のモデル化

鉄筋腐食による損傷として、まず、鉄筋に腐食生成物層を設けることとする。この腐食生成物層の層厚 t は腐食率 η に応じて大きくなり、終局腐食率 η_{cr} (付着切れが起きる腐食率) に達すると、腐食生成物層の要素を除去することで付着切れを再現することとした。腐食生成物層の材料特性に関する研究はいくつかあるが、ここでは、事前に数値実験を行い、弾性係数を健全部の $1/1000$ とした。また、周辺コンクリートには予め腐食率に応じた膨張圧を作用させることで腐食ひび割れを生じさせることとした。その際、腐食率と膨張圧の関係は既往の研究の成果を参考とした。以上をまとめて、図-1 にモデル化の概要を記す。

3. RC 梁の静的曲げ耐荷性能評価のための解析

3.1 解析対象及びモデル化

著者らが過去に実施した実験を対象とするが、実験の詳細については参考文献¹⁾を参照されたい。図-2 に RC 梁の形状寸法及び配筋、図-3 にメッシュ図を示す。また、各材料に仮定した材料特性を表-1、単軸換算の応力-ひずみ関係を図-4 に示す。コンクリートは六面体

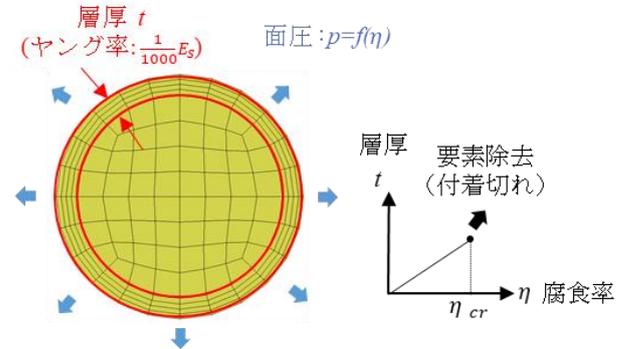


図-1 モデル化の概要

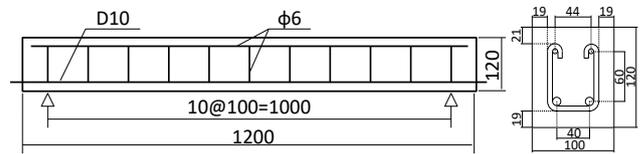
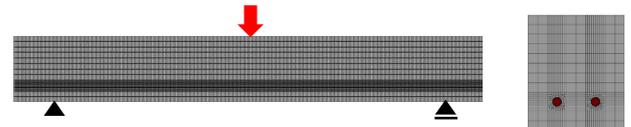
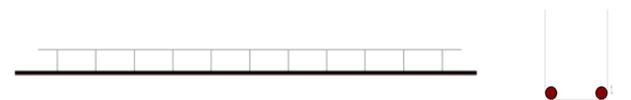


図-2 解析対象の RC 梁 (単位:mm)



(a) 全体図

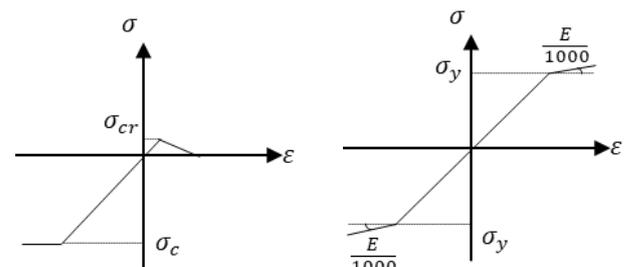


(b) 配筋図

図-3 メッシュ図

表-1 材料特性

	ヤング率 (GPa)	ポアソン比	圧縮強度 (MPa)	引張強度 (MPa)
コンクリート	30.3	0.2	45.5	2.6
鉄筋 (D10)	188	0.3	358 (降伏強度)	
鉄筋 (phi6)	185		336 (降伏強度)	



(a) コンクリート

(b) 鉄筋

図-4 応力-ひずみ関係

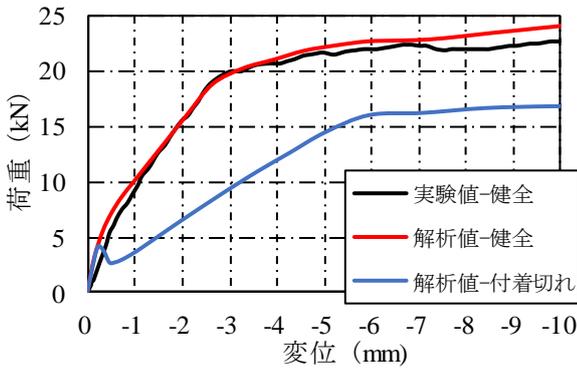


図-5 荷重—変位関係 (健全状態, 付着切れ)

ソリッド要素で作成し, 降伏条件は線形 Drucker-Prager に従うものとし, 引張域には線形引張軟化を考慮した. ひび割れ発生後のせん断保持率は 0.125 を仮定した. また, 引張側主鉄筋は六面体ソリッド要素, その他の鉄筋はトラス要素で作成し, 降伏条件は von-Mises に従う等方硬化型の弾塑性とした.

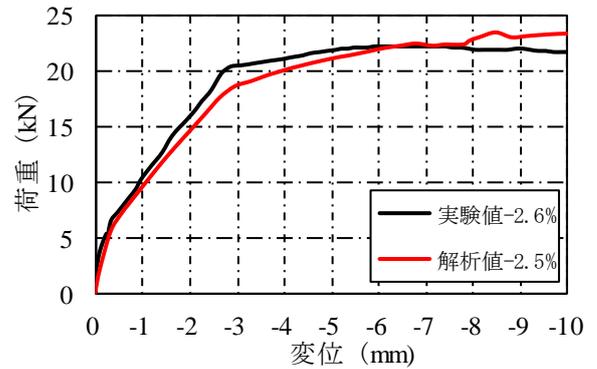
3.2 解析結果及び考察

まず, 図-5 および図-6 に荷重-変位関係を示す. 図-5 より, RC 梁モデルは健全状態で実験での挙動を概ね再現しており, 解析を行うモデルとして妥当であることが確認できる. さらに, 腐食生成物層の要素を除去し, 付着切れを再現した解析結果では, アンボンド状態の傾向が確認できた. また, 図-6 より解析結果は腐食率の増加に伴う鉄筋降伏前の勾配低下や降伏荷重の低下を再現できており, 実験結果と同様の挙動を示していることが確認できる.

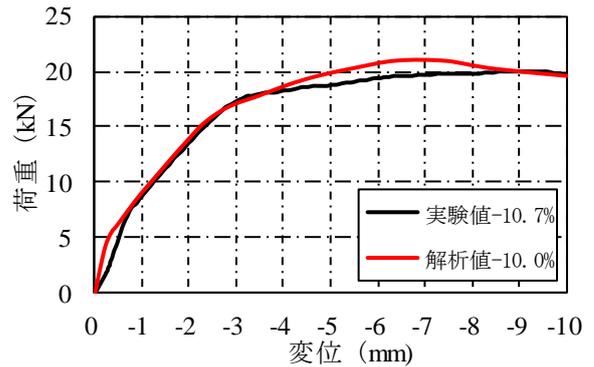
次に, 図-7 に載荷後の RC 梁のひび割れ発生状況を示す. (a), (b)については 20kN 載荷時, (c)については 15kN 載荷時のひび割れの発生状況を示したコンター図である. 実験結果と比較するとひび割れの発生状況や分布に同様の傾向が確認できる. さらに付着切れを再現した解析結果では, スパン中央のひび割れが卓越しており, アンボンド状態における RC 梁のひび割れ性状の特徴が再現できたといえる.

4. 結論および今後の展望

本研究で提案したモデルでは, 腐食程度による RC 梁の静的耐荷性能を概ね良好に再現可能であることが明らかとなった. また, 著しい腐食による付着劣化の影響も本モデルでは考慮しているため, 鉄筋腐食により損傷した RC 梁の終局状態を評価可能であると言える. 今後は, 本モデルの適用として, 腐食の位置的なばらつきによる静的耐荷性能への影響を検討していく.

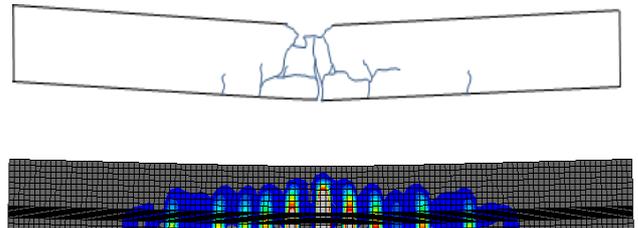


(a) 実験値:2.6%, 解析値 2.5%

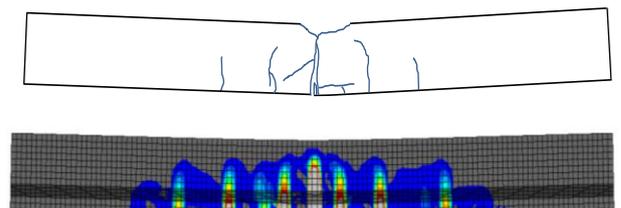


(b) 実験値:10.7%, 解析値 10.0%

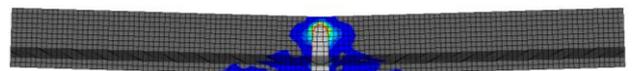
図-6 荷重—変位関係



(a) 実験結果:2.6% 解析結果: 2.5%



(b) 実験結果:10.7% 解析結果: 10.0%



(c) 解析結果: 付着切れ

図-7 ひび割れ分布

参考文献

1) Impact resistance of RC beams with reinforcement corrosion: Experimental observation/ H. Tamai et al./Construction and Building Materials 263 (2020)