

鉄筋腐食した RC 梁部材の曲げ耐荷性能および耐衝撃性能に関する解析的検討

九州大学大学院 学生会員 ○桑原 功旺
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. はじめに

鉄筋腐食により劣化した鉄筋コンクリート(RC)構造物の増加や自然災害の多発といった我が国の現状を踏まえると、静的な外力から衝撃的な外力まで幅広い観点で、劣化により損傷を有する RC 構造物の残存耐荷性能を明らかにすることが重要である。そこで、本研究では、鉄筋腐食により劣化した RC 梁部材を対象に FEM による劣化のモデリングを検討した上で、劣化程度が耐荷性能および耐衝撃性能に及ぼす影響を解析的に評価することを試みた。

2. FEM による鉄筋腐食した RC 梁部材のモデリング

鉄筋腐食により劣化した RC 梁を適切にモデル化するためには、鉄筋の有効断面積減少による力学性能の低下、鉄筋とコンクリート間の付着強度の低下、腐食生成物の膨張による周辺コンクリートのひび割れといった 3 つの事象を考慮しなければならないが、本研究では耐荷性能に大きく影響を及ぼすと考えられる鉄筋の有効断面積減少と付着強度の低下のみを考慮し、以下のように表現することとした。

2.1 鉄筋の有効断面積の減少

有効断面積減少のモデル化として、本研究では鉄筋の腐食率(質量減少率)に応じて力学性能を低下させ、見かけ上の断面積は初期状態と同じとすることとした(図-1 参照)。また、既往の研究においては、鉄筋の腐食率をパラメータとして、腐食した鉄筋の降伏強度および弾性係数の算出式が提案されているが、本研究では一様腐食を仮定し、降伏強度 σ'_y と弾性係数 E' に関して、図中に示す式で簡易的に腐食率 w (%) と等しい低下率を仮定した。

2.2 付着強度の低下

付着強度低下のモデル化としては、鉄筋とコンクリートの境界に付着要素を配置することで表現した。付着要素は圧縮・引張に対してはコンクリートと同様に抵抗し、せん断に対しては、せん断力とずれ変位関係を導入する必要があるが、本研究では、著者らが実施した腐食鉄筋の引き抜き試験の結果と既往の研究結果から付着強度を推定し、腐食率に応じた付着強度の低下キーワード RC 梁部材, 鉄筋腐食, 有限要素法

連絡先 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 TEL092-802-3370

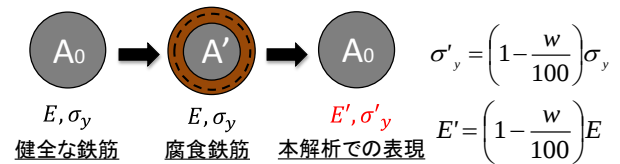
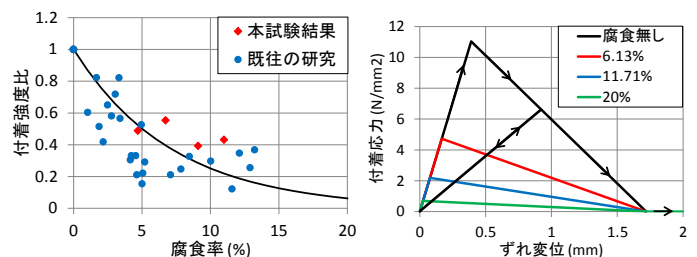


図-1 腐食鉄筋のモデル化



(a) 付着強度比-腐食率関係 (b) 付着応力-ずれ変位関係

図-2 付着強度低下のモデル化

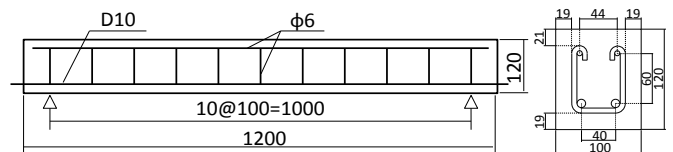


図-3 供試体寸法および配筋(単位: mm)

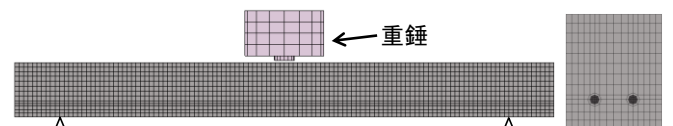


図-4 解析モデル(衝撃試験用)

下をモデル化した(図-2 参照)。

3. 鉄筋腐食により劣化した RC 梁部材の FE 解析

3.1 解析対象及びモデル

著者らが以前実施した実験を解析対象とする。実験で用いた供試体の寸法および配筋を図-3 に示す。また、図-4 に解析モデルを示す。本研究では汎用有限要素解析ソフト MSC.Marc を用いた。コンクリートおよび引張鉄筋は 8 節点 3 次元ソリッド要素、せん断補強筋および圧縮鉄筋は 2 節点トラス要素、鉄筋とコンクリートの界面には上述の通り付着要素を用いた。材料特性として、コンクリートは圧縮側で完全弾塑性、引張側は引張強度に達すると線形軟化するモデルを仮定した。

鉄筋に関してはバイリニア型の応力-ひずみ関係で、1/100 硬化を仮定した。また、コンクリートは非線形 Drucker-Prager の降伏条件、鉄筋は von Mises の降伏条件に従うこととした。

3.2 静的載荷試験の解析結果および考察

静的載荷試験は、等曲げモーメント区間 200mm の 4 点曲げ試験である。解析ケースは実験で得られた腐食無しと腐食率 11.71% の 2 ケースとした。図-5 に各ケースの荷重-変位関係を実験結果と合わせて示す。解析結果を比較すると、腐食率の増加に伴い降伏荷重と最大荷重の低下が確認でき、劣化による耐荷性能の低下を定性的に再現できていることがわかる。また、解析結果は実験値を概ね再現できていることが確認できる。

3.3 落錘式衝撃試験の解析結果および考察

落錘式衝撃試験は、ロードセルを取り付けた 100kg の重錘を RC 梁中央に衝突させる試験であり、解析においては衝突体も図-4 のようにモデル化している。解析ケースは実験で得られた腐食無しと腐食率 11.04% の 2 ケースとした。図-6 および図-7 に各ケースの衝撃力応答と変位応答を実験結果と合わせて示す。衝撃力応答より、解析結果と実験結果は衝撃力ピーク値で大きな差があるものの、応答値の形状や継続時間は概ね一致していることがわかる。しかし、解析結果では実験結果で確認されたような腐食率増加に伴う衝撃力継続時間の増加は再現できていない。また、変位応答に関しては、定性的に再現できているものの、最大変位や最大変位発生以降の自由振動に関しては差異が認められ、これは減衰を考慮していないことが主な原因であると考えられる。

3.4 付着強度低下の影響について

本解析では、付着強度の低下を付着要素を用いてモデリングしており、図-8 は付着特性が変位応答に及ぼす影響を検討したものである。図より、付着要素ありの変位応答と付着要素なし(コンクリートと鉄筋の節点共有)の変位応答を比較すると、付着要素を配置することで最大変位が増加していることがわかる。また、腐食率 11% 程度の付着強度低下では、最大変位や周期に大きな影響を及ぼさないことが確認できる一方で、腐食率 20% の付着強度低下では、付着強度低下に伴うひび割れ分散性の低下によって最大変位が急激に増加していることがわかる。よって、付着特性のモデル化が衝撃応答に大きく影響することが確認できた。

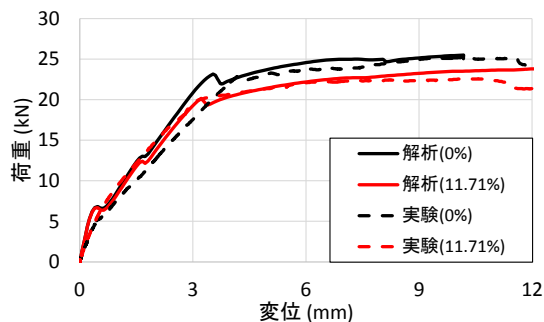


図-5 荷重-変位関係(解析・実験)

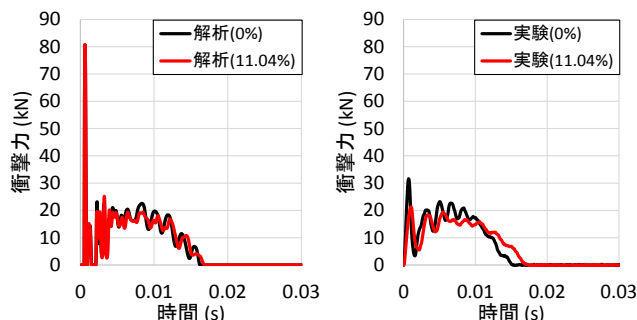


図-6 衝撃力応答(解析・実験)

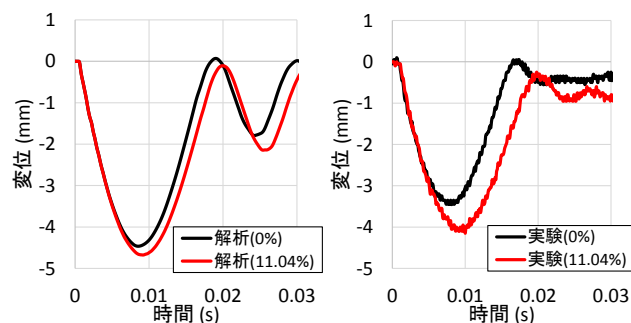


図-7 変位応答(解析・実験)

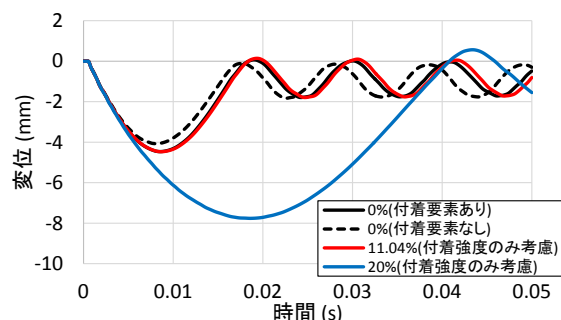


図-8 付着要素の影響

4. 結論および今後の展望

FEMによって鉄筋腐食した RC 梁のモデル化に関して検討し、本研究で仮定したモデルによって腐食率に伴う最大荷重の低下および衝撃力応答値の形状や継続時間、変位応答を概ね評価できることが確認できた。また、付着特性のモデル化が衝撃応答に大きな影響を及ぼすことが確認できた。

今後は、錆膨張によるコンクリートのひび割れを考慮し、繰返し衝撃解析に適用できる劣化のモデル化を検討していく予定である。