

鉄筋腐食による付着劣化を考慮した RC はりの構造性能評価

東北大学 学生会員 ○安部誠司 東北大学 正会員 松崎裕 東北大学 フェロー会員 鈴木基行

1. はじめに

コンクリート構造物の維持管理では、供用期間にわたって要求性能を満足する状態を維持するために、点検および劣化予測を行い、その結果を評価・判定して、必要に応じて補修・補強を行う必要がある。しかし、現状では、ひび割れ幅、錆汁の有無等の外観変状から間接的に材料劣化状態を推定し、構造性能の低下を定性的に評価するのに留まっていることが多い。今後、材料劣化状態に関する点検・検査の結果から構造性能を定量的に評価する手法を確立するためには、点検・検査で得られる材料劣化状態と構造性能の関係を対応付ける必要がある。

一方で、材料劣化が進展するほど、材料劣化の不均一性の顕在化や、鉄筋とコンクリート間の付着劣化によって損傷モードが変わり得るなど、材料劣化が構造性能に及ぼす影響はより複雑になる。斉藤ら¹⁾、上原子ら²⁾のように、材料劣化が生じたコンクリート構造物の構造性能評価に関する解析的研究はなされてきているが、材料劣化の分布性状のモデル化や材料劣化が生じた部材への構造解析の適用性は十分に整理されていないのが現状である。

そこで、本研究では、鉄筋腐食が生じたRCはりを対象として、鉄筋とコンクリート間の付着劣化を考慮した非線形有限要素解析を行い、実験で得られた荷重－変位関係と比較し、非線形有限要素解析の妥当性の評価を行う。その上で、鉄筋腐食およびその分布がRC部材の曲げ耐荷性状に及ぼす影響に関する基礎資料を得ることを目的とする。

2. 解析対象およびモデル化

(1) 解析対象とした RC はり

解析対象としたのは、鉄筋の質量減少率も計測されている図-1に示す曲げ破壊型のRCはり³⁾(H-S0 シリーズ)であり、静的2点集中荷重による変位制御での曲げ試験が行われている。軸方向鉄筋は、降伏強度 369N/mm^2 、引張強度 523N/mm^2 であり、コンクリート圧縮強度は 30.9N/mm^2 である。健全供試体1体、腐食率10%供試体1体、腐食率20%供試体2体の合計4体を解析対象とした。

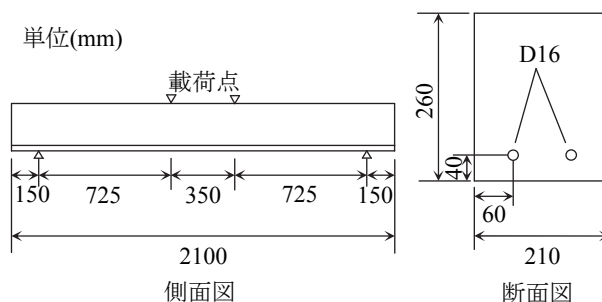


図-1 解析対象供試体

(2) モデル化

本研究では、非線形有限要素解析を行ったが、コンクリート要素を4節点平面要素、鉄筋をはり要素としてモデル化した。鉄筋とコンクリート間の付着劣化を考慮するために、コンクリート要素と鉄筋要素は非線形ばね要素を介して接合した。メッシュはコンクリート要素を縦20mm間隔、横25mm間隔、鉄筋要素を25mm間隔に分割しており、解析結果の収束性を確認している。鉄筋およびコンクリートの応力－ひずみ関係はバイリニアモデルとした。材料特性については、参考文献³⁾に示される材料試験結果に基づいて与えた。また、健全時の付着応力－すべり量関係はバイリニアモデルによりモデル化した。鉄筋の腐食程度に対応させて鉄筋断面積および付着強度を低減させるが、付着強度については、腐食鉄筋とコンクリート間の付着特性に関する実験回帰式⁴⁾を用いて鉄筋の質量減少率と付着強度との関係をモデル化した。

$$\frac{\tau_b}{\tau_{b0}} = \exp(-0.0607C) \quad (1)$$

ここに、 τ_b/τ_{b0} は付着強度比、 C は質量減少率(%)である。

なお、参考文献³⁾では、平均断面減少率に対応する質量減少率が50mm間隔で計測されている。本研究における解析では、計測箇所に対応する50mm区間毎に均一な断面減少率を与えることで鉄筋の腐食分布をモデル化した。

キーワード：RCはり、構造性能評価、鉄筋腐食、付着劣化、曲げ耐荷性状

連絡先：〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 TEL：022-795-7449 FAX：022-795-7448

さらに、供用中の実構造物の定期点検等では、腐食状態を調査した場合であっても、有限な調査箇所における粗い腐食量の情報しか得られないことを踏まえて、H-S0-20A 供試体において、軸方向鉄筋の全長を5区間および3区間に分け、区間毎に均一な断面減少率を与えた解析も行った。

3. 解析結果

解析で得られた荷重－中央変位関係を実験で得られたものと比較する形で図-2に示す。図-2には、解析が不安定になり、荷重値が発散する前の載荷ステップまでの結果を示している。H-S0-20B 供試体以外については、健全供試体から腐食率20%供試体まで、解析結果は実験結果と概ねよく対応している。一方で、H-S0-20B 供試体に対する解析結果については、実験結果と大きく異なっている。H-S0-20B 供試体では、部材端部の鉄筋近傍に発生したひび割れに起因した付着性能の低下によって軸方向鉄筋の引き込みが生じており³⁾、定着に影響を与えるような鉄筋腐食が生じた場合には、定着不良をモデル化しなければ構造性能を適切に評価できないことが確認される。

さらに、限られた鉄筋腐食量の情報しか得られない場合を想定した解析結果を図-3に示す。腐食量の情報が粗くなるほど、腐食鉄筋の最小断面積の影響が評価されず、より過大に耐力力を評価している。より大きな鉄筋腐食程度の場合には、さらに鉄筋腐食の不均一性が顕在化することから、局所的な鉄筋腐食量を検査で把握することの重要性を示唆している。

4. まとめ

本研究では、鉄筋腐食が生じた RC 部材の構造性能評価に関する基礎的研究として、鉄筋とコンクリート間の付着劣化を考慮した非線形有限要素解析により、鉄筋腐食が生じた RC はりの構造性能評価を行った。その結果、定着に影響を及ぼさない鉄筋腐食であれば、質量減少率が20%程度であっても、荷重－変位関係を概ね再現できることが示された。一方で、定着が不良になるほどの材料劣化が生じた場合には、定着部

での鉄筋の引き抜きも考慮しなければ、構造性能評価が困難になる場合があることを示した。さらには、鉄筋腐食が生じた部材の構造性能を評価するためには、腐食鉄筋の最小断面積を適切に把握することが重要であることを示した。

参考文献

- 1) 斉藤成彦, 高橋良輔, 檜貝勇: 鉄筋の腐食分布が RC はり部材の曲げ耐力性状に及ぼす影響, 土木学会論文集 E, Vol. 64, No. 4, pp. 601-611, 2008.
- 2) 上原子晶久, 岩城一郎, 鈴木基行: 著しい塩害を受けて劣化した道路橋 PC 上部工の鋼材腐食を考慮した構造解析, 土木学会論文集 E2, Vol. 67, No. 3, pp. 333-350, 2011.
- 3) 村上祐貴, 董衛, 大下英吉, 鈴木修一, 堤知明: 鉄筋腐食により定着不良を生じた RC はり部材の耐力性状評価, 土木学会論文集 E2, Vol. 67, No. 4, pp. 605-624, 2011.
- 4) (社)日本コンクリート工学協会: コンクリート構造物のリハビリテーション研究委員会報告書, 1998.

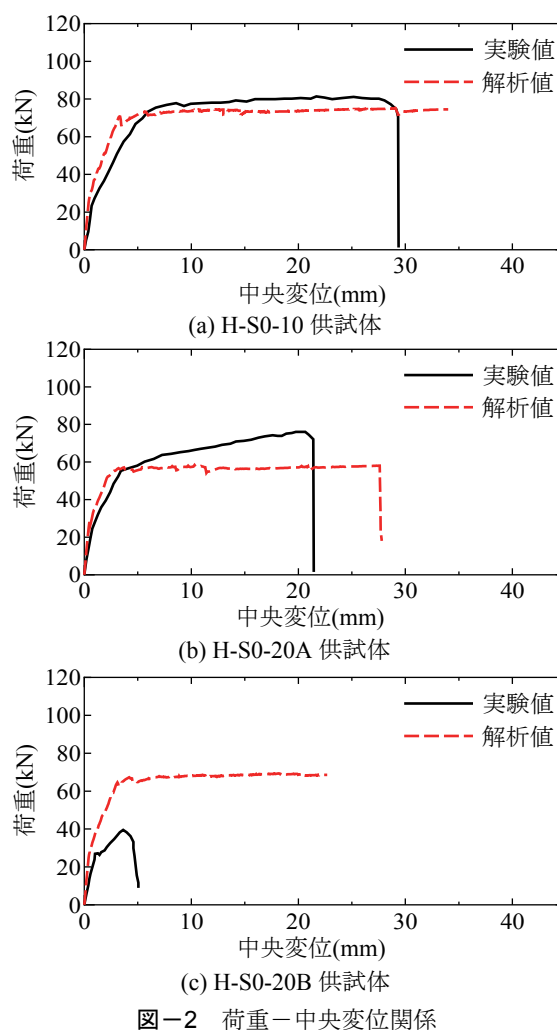


図-2 荷重－中央変位関係

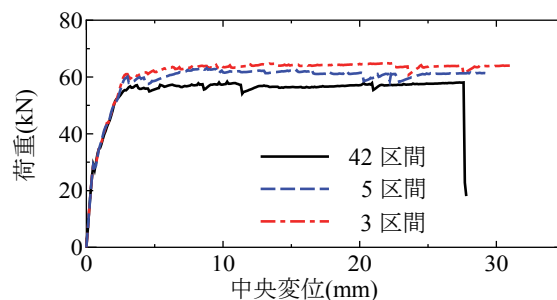


図-3 鉄筋腐食の簡易なモデル化による荷重－中央変位関係