

破壊の局所化を伴う腐食 RC はりの曲げ挙動 FEM 解析

山梨大学大学院 正会員 ○高橋 良輔

1. はじめに

鉄筋が腐食した RC 部材の曲げ性能評価に関しては、曲げモーメント分布と腐食分布を考慮し、適切な位置の鉄筋断面を用いることで、曲げ耐力を概ね算定できることが分かっている¹⁾。また、付着劣化により平面保持が成立しない場合など、腐食程度によっては曲げ耐力算定が適用できない場合もあるが、これに対して、有限要素法(FEM)等の数値解析を用いた挙動全体の評価に対する研究も多く行われている。FEMは要素毎に異なる材料特性を与えることはできるが、要素が連続体であるため局所的な挙動の評価が難しいと考えられるが、このような破壊の局所化が起きるような激しい腐食下での適切なモデル化や構成則についての検討は未だ不十分である。そこで本研究では、破壊の局所化を伴う腐食 RC はりの実験結果に対して FEM 解析を実施し、適切なモデル化方法などの検討を行った。

2. 実験概要

解析対象は、松下らの腐食 RC はりの曲げ試験²⁾で、質量減少率が高く局所的な破壊を呈した S1630 供試体とした。供試体形状寸法、材料諸元、荷重変位関係を図 1、表 1 および図 2 に示す。載荷後、100mm 毎に鉄筋重量減少率を、破壊断面付近においては 3D 形状スキャナーにより 1mm ピッチで詳細な断面積を計測した。破壊は曲げ引張破壊で、鉄筋降伏後に部材上縁コンクリートが圧縮破壊した。図 1 中の□は、目視による圧縮破壊の開始位置を示す。

3. 解析概要

解析には 3 次元非線形 FEM プログラム³⁾を用いた。FE メッシュ例を図 3 に、解析ケースを表 2 に示す。劣化は鉄筋断面減少と付着劣化のみモデル化対象とした。断面減少は、離散鉄筋では要素断面の減少、分散鉄筋では鉄筋比の減少で考慮し、主筋 2 本の腐食差を考慮するため断面内で変化させた。付着モデルは、島式を基にした多直線に腐食による付着強度低下¹⁾を考慮し、付着軟化の無いモデルと、軟化を考慮し、強度低下に伴い剛性が低下するモデル A、軟化開始が早くなるモデル B を用いた(図 4)。メッシュは断面高さの 3 等分割を基準としたが、実験での圧壊領域の高さが健全時に比べて極めて小さくなり、基準メッシュ高さ以下であったため、最上端のメッシュをさらに 2 分割した「Fine」も解析した。

4. 解析結果および考察

図 5 に荷重変位関係を示す。全て上縁コンクリートの圧壊で荷重低下した。重量減少を適用した場合、と最大荷重

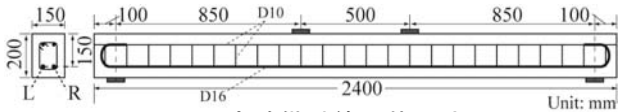


図 1 実験供試体形状寸法

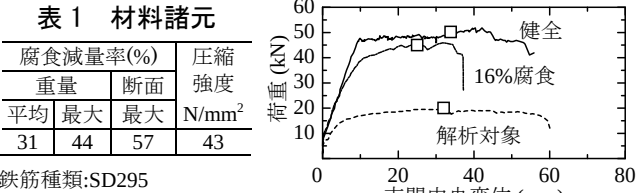


図 2 荷重変位関係(実験)

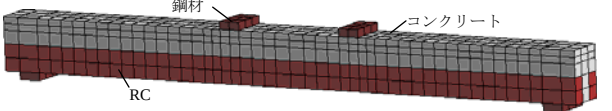


図 3 解析メッシュ例(分散モデル・Fine)

表 2 解析ケース				
No.	鉄筋	腐食	付着モデル	メッシュ
1	離散	重量	A	基準
2	離散	断面	A	基準
3	離散	断面	B	基準
4	離散	断面	剛結	基準
5	離散	断面	軟化無	Fine
6	離散	断面	A	Fine
7	離散	断面	B	Fine
8	分散	断面	—	基準
9	分散	断面	—	Fine
10*	離散	断面	B	Fine

*積分型非局所理論を No.6 に適用

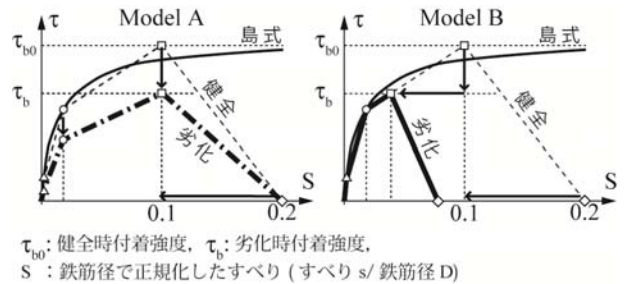


図 4 付着モデル

キーワード FEM, 鉄筋腐食, 曲げ, 付着, 非局所理論

連絡先 〒400-8511 甲府市武田 4-3-11 山梨大学工学部土木環境工学科 TEL 055-220-8530

を2倍近く過大評価した。断面減少を用いても、付着を考慮しない分散鉄筋や剛結では過大評価となる。メッシュ分割は終局変位に影響し、No.6とNo.9では実験値に近づいたが、No.7は逆に変位が減少し、付着モデルで結果に差が見られた。

図6にNo.6, No.7, No.9の軸ひずみコンターを、図7, 図8に実験での腐食減量率分布と破壊性状を示す。これらの比較からNo.6では破壊位置が実験に一致しているが、No.7とNo.9ではいずれも、最小鉄筋断面位置でひび割れが局所化しているが破壊位置が異なる。No.9は他方の載荷版脇で圧壊しているが剛結でもこれと等しい性状が確認されており、この現象は付着を考慮しない事によるものと考えられる。分散鉄筋では、ピーク時ずれと軟化勾配によって終局変位のみならず、破壊位置も大きく変わることから、正確な挙動評価のためには、付着軟化のモデル化がより重要であると言える。

本解析ではいずれの場合も、実験に比べ終局変位を過小評価する傾向にある。これは、解析では実験同様に破壊が局所化するが、圧縮ひずみが1点に集中し、実験に比べ非常に狭い領域に圧壊が局所化するためと考えられる。そこで、積分型非局所理論⁴⁾を適用した解析を行った。その結果、図9の軸方向ひずみコンター図のように、圧縮ひずみの局所化が緩和され、やや過大評価するものの終局変位がより実験に近くなった。これについては、今後より詳細な検討を必要とする。

5. 結論

破壊の局所化を伴う腐食RCはりの曲げ挙動のFEMによる解析において、本研究で得た結論を以下にまとめる。

- 1) 付着を直接考慮しない場合、詳細な鉄筋断面分布を用いても曲げ耐力を過大評価し、破壊位置も評価出来ない。
- 2) 付着軟化が破壊位置と終局変位の評価に大きく影響する。
- 3) 積分型非局所理論により終局変位の評価を改善できる。

参考文献

- 1) 斉藤成彦ほか:鉄筋の腐食分布がRCはり部材の曲げ耐荷性状に及ぼす影響,土木学会論文集 E, Vol.64, No.4, pp.601-611, 2008
- 2) 松下綾太ほか:鉄筋腐食したRCはりの曲げ変形性能に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集 Vol.32, No.2, 2010
- 3) Rouse T, et al: Flexural analysis of corroded RC beam by FEM based on data of different inspection level, proceedings of the 2nd SLDI, pp.783-790, Delft, the Netherlands, 2010.10
- 4) 高橋良輔ほか:RCはりのせん断挙動解析におけるひび割れモデルに関する検討, コンクリート工学年次論文集 Vol.30, No.3, 2008

謝 辞

本研究の一部は平成20年土木学会吉田研究奨励金によって。ここに深く感謝する。

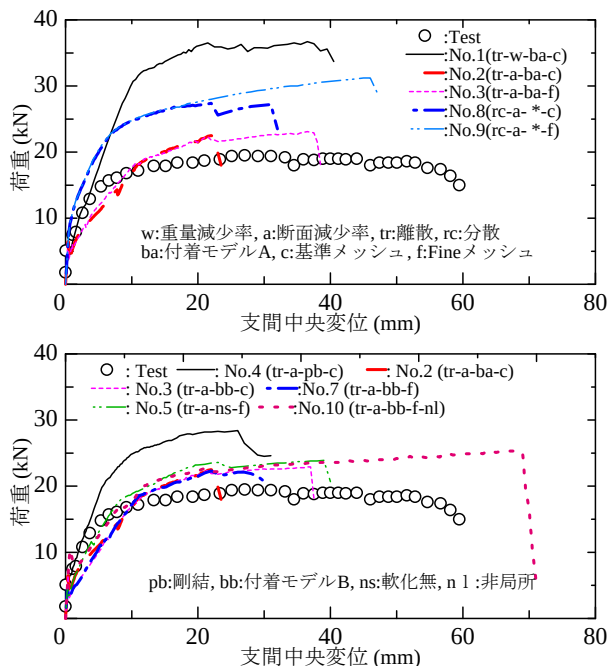


図5 解析結果(荷重変位関係)

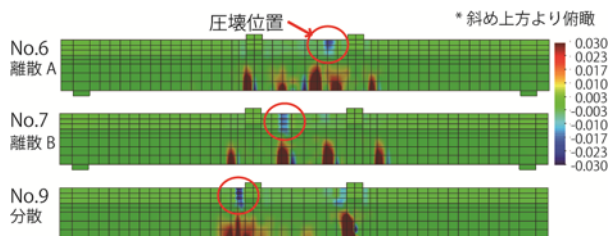


図6 軸ひずみコンター図(荷重低下時)

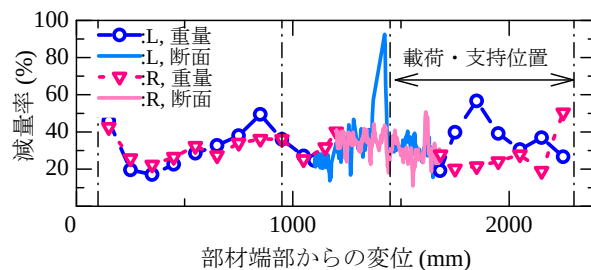


図7 腐食減量率分布図

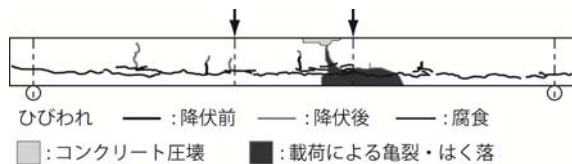


図8 ひび割れ図

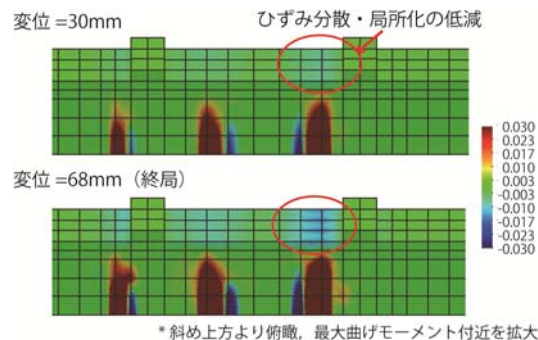


図9 非局所適用後の軸方向ひずみ分布 (No. 10)