

軸方向鉄筋が腐食した RC 柱の正負交番载荷実験 およびその変形能評価に関する基礎的研究

早稲田大学 学生会員 石田拓巳, 増田啓佑

早稲田大学 王彦文, 徐 哲俊 早稲田大学 正会員 秋山充良

1. はじめに

塩害環境にある鉄筋コンクリート部材には鉄筋腐食が発生する。腐食の生じた鉄筋コンクリート柱は、腐食の無い場合に比べて、耐荷力および変形能ともに低下し、あわせて付着の劣化に伴う剛性低下が生じる。この影響を定量化するため、劣化 RC 柱の正負交番载荷実験が行われ^{例えば1)}、それらの実験結果を再現するための解析手法も提案されている²⁾。一方、参考文献 2) のモデルでは、塑性ヒンジ区間に生じていた鉄筋腐食量の平均値を用いた解析が行われているが、鉄筋腐食は一樣ではなく、空間的に変動する特性を有しており³⁾、耐荷力や変形能の評価において鉄筋腐食の空間的な変動をどのようにモデル化するのかについて、さらなる検討が必要と思われる。

本研究では、この背景のもと、鉄筋腐食を有する RC 柱を電食により 2 体製作し、正負交番载荷実験により荷重－変位関係を得るとともに、軸方向鉄筋の腐食量の位置毎の変動を詳細に測定した。そして塑性ヒンジ解析により劣化 RC 柱の荷重－変位関係の再現を試みた。

2. 電食試験概要

図-1 に示す配筋を有する 1 体の健全供試体(CY0)と 2 体の腐食供試体(CY1, CY2)の計 3 体を作製した。CY1 と CY2 は、写真-1 に示すように RC 柱供試体のフーチング上部に水槽を設置し、そこに濃度 3% の塩化ナトリウム水溶液を入れ、直流電流を印加した。正負交番载荷実験後には軸方向鉄筋をはつり出し、軸方向鉄筋の位置毎の断面欠損量をノギスにて測定した。8 本の軸方向鉄筋の平均腐食率は CY1 では 4.65%、CY2 では 7.84% であった。ノギス計測による断面減少率の結果を図-2 に示す。

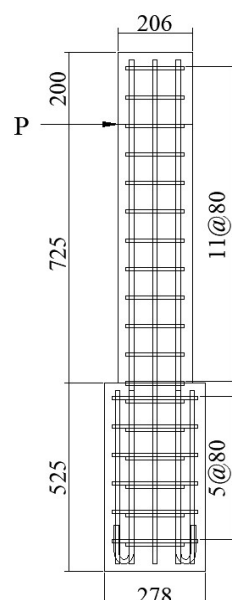


図-1 RC 柱の側面図 写真-1 電食試験様子

3. 正負交番载荷実験の概要

3 供試体に対して正負交番载荷実験を実施した。本実験では軸力を与えておらず、水平一方向にのみ正負交番の荷重を与えている。载荷は変位制御により行い、载荷段階 1 は初期ひび割れの発生変位（以下、 δ_c ）まで、载荷段階 2 は軸方向鉄筋の降伏変位（以下、 δ_y ）まで、そして、载荷段階 2 以降は δ_y を基準として δ_y の 2 倍、3 倍、と段階的に変位を漸増させた。 δ_y は、健全供試体 CY0 の軸方向鉄筋に貼付したひずみゲージの値が材料試験から得られた降伏ひずみに達したときとし、腐食供試体では鉄筋ひずみの値が測定できないことから、CY1 と CY2 供試体でも δ_y は CY0 供試体と同じ値を用いた。

CY0 供試体の実験結果と比較しながら、CY1 および CY2 供試体の荷重－変位関係をそれぞれ図-3 および図-4 に示す。与える水平変位の増加にともない、軸方向鉄筋のはらみ出し（座屈）とかぶりコンクリートの剥落により、その荷重－変位関係に明瞭な荷重低下を見出すことができるため、この点を終局状態とした。図-3 および図-4 に示されるように、健全供試体に比べて CY1 供試体は、最大荷重が 8%、変形能が 30% 程度減少し、CY-2 供試体は、最大荷

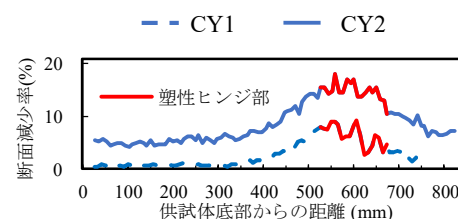


図-2 CY1, CY2 腐食分布

キーワード 鉄筋腐食, RC 柱, 変形能, 正負交番载荷実験, 荷重－変位関係

連絡先 〒169-0072 東京都新宿区大久保 3-4-1 早稲田大学創造理工学部社会環境工学科 TEL03-5286-2694

重が 10%, 変形能が 30%程度減少した. 健全供試体と腐食供試体の間には, 特に変形能に大きな差が出た一方で, 腐食量が 2 倍程度異なるにも関わらず, CY1 と CY2 供試体の荷重-変位関係はほぼ同じものとなった.

4. 再現解析結果

Akiyama et al.²⁾によって提案された塑性ヒンジ解析によって再現することを試みた. この基本的な考えは, 塑性ヒンジ内の軸方向鉄筋の横方向へのはらみ出しに抵抗する帯鉄筋とかぶりコンクリートのそれぞれの抵抗力 R_w と R_c に腐食の影響が考慮されており, その抵抗力の存在下で軸方向鉄筋の座屈発生点を求めるものである. 最終的には, 軸方向鉄筋の座屈発生時の塑性ヒンジ内の曲率から荷重載荷位置での水平変位を求める. 最大荷重は, 軸方向鉄筋の腐食量を考慮した断面解析により算定する.

CY1 供試体と CY2 供試体を対象にして, 全ての軸方向鉄筋の塑性ヒンジ内の腐食量の平均値を用いて Akiyama et al.²⁾の塑性ヒンジ解析を行ったときの解析結果と実験結果の比較をそれぞれ図-3 および図-6 に示す. なお, 軸方向鉄筋のフーチングからの抜け出しに伴う水平変位の増加は, 参考文献 2)と同様の方法で考慮している. また, 実験では, かぶりコンクリートの剥落が確認された時の変位を軸方向鉄筋の座屈発生時と見なしている.

両図に示されるように, 解析により得られた最大荷重と終局変位は, 概ね実験結果と整合しており, 本実験結果は, 参考文献 2)の報告と同じく, 鉄筋腐食の空間的な変動を考慮することなく, 平均値を用いて腐食程度を代表させることで評価できた. ただし, 平均値で評価できた理由として, (i) 両供試体の鉄筋腐食量はそれほど大きくなく, 腐食量の差の絶対値が小さいこと, (ii) 電食実験の際, 実験時間の制約から極めて大きな電流密度を用いていた. 参考文献 3)では, 電流密度により鉄筋腐食量の空間変動性は大きく異なり, 電流密度が大きくなるほど, 軸方向の腐食量の変化は小さくなり, 一様腐食に近づくこと, が原因として考えられる.

5. まとめ

鉄筋腐食量が 10%以下であるにも関わらず, 健全供試体と比較して変形能は大きく低下した. 今後, 実際の環境に近い小さい電流密度を用いたり, さらに大きな腐食量を与えた RC 柱の実験も行うなどして, 劣化 RC 部材の耐震解析手法の高度化を図りたい.

参考文献 1)加藤絵万, 岩波光保, 横田弘, 中村晃史, 伊藤始: 繰り

返し荷重を受ける RC 柱の構造性能に及ぼす鉄筋腐食の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.2, 2005. 2) Akiyama M., Frangopol D. M., Matuzaki H.: Life-cycle reliability of RC bridge piers under seismic and airborne chloride hazards, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol.40, No.15, pp1671-1687, 2011. 3) Zhang M., Song H., Lim S., Akiyama M., Frangopol D.M.: Reliability estimation of corroded RC structures based on spatial variability using experimental evidence, probabilistic analysis and finite element method, *Engineering Structures*, Vol.192, pp.30-52, 2019.

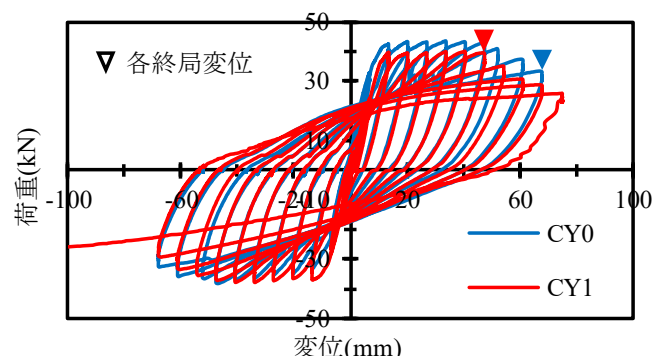


図-3 CY0, CY1 荷重 - 変位関係比較

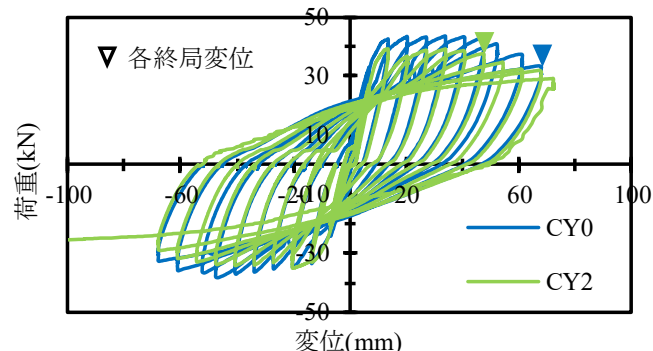


図-4 CY0, CY2 荷重 - 変位関係比較

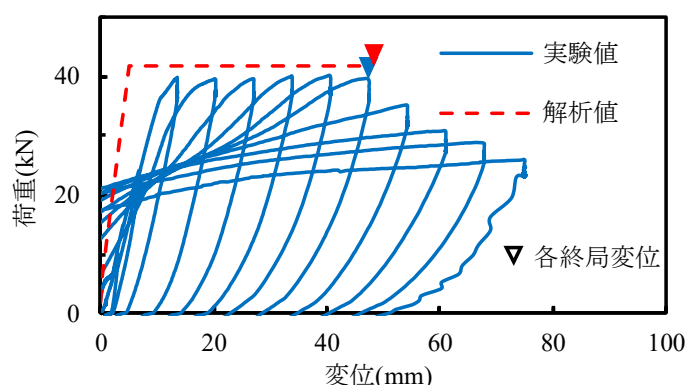


図-5 CY1 実験値解析値比較

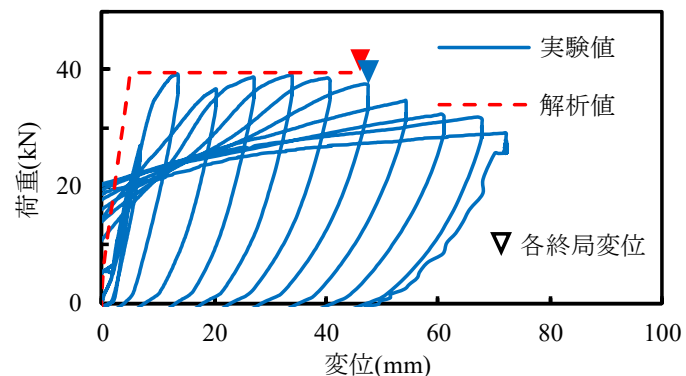


図-6 CY2 実験値解析値比較