

電食・繰返し載荷実験結果に基づく鉄筋とコンクリートの付着特性の経時変化

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○中田 裕喜, 本田 翔平, 渡辺 健, 岡本 大

1. はじめに

本研究は、電食と繰返し載荷を併用した実験結果¹⁾に基づき、FEM 解析によって鉄筋とコンクリートの付着特性の経時変化を検討したものである。

2. 解析概要

図-1に、解析モデルを示す。解析対象は、電食と繰返し載荷を併用した RC はり No.1 (図-2) である。RC はりは、100 万回載荷後からせん断スパン内の一部を電食させながら 200 万回まで載荷したものであるが、詳細は文献¹⁾を参照されたい。なお、実験において、4 本配置している軸方向鉄筋で腐食量の違いが認められたため、三次元にモデル化した。また、解析には汎用 FEM 解析コード DIANA (Ver.9.4.4) を用いた。

(1) コンクリート

固定ひび割れモデルを使用し、ひび割れ後のせん断剛性低減係数 β を 0.05 とした²⁾。コンクリートの応力-ひずみ関係として、圧縮側は Thorenfeldt モデル、引張側は Hordijk モデルとし、破壊エネルギーはそれぞれ 51.3, 0.1(N/mm)とした。

(2) 鉄筋

応力-ひずみ関係はバイリニアモデルとした。二次剛性は初期剛性の 0.01 倍である。入力した断面積は、腐食率 $C(\%)$ を用いて、式(1)から算出される値とした。

$$A_c = (1 - C / 100) \cdot A_0 \quad (1)$$

ここに、 A_c : 腐食した鉄筋の断面積、 A_0 : 健全な鉄筋の断面積、である。なお、腐食量にかかわらず、同一の応力-ひずみ関係を用いた。

(3) 付着

腐食による軸方向鉄筋とコンクリートの付着特性の変化を考慮するため、軸方向鉄筋のトラス要素とコンクリートのソリッド要素との間に界面要素を設けた。

図-3に示すように、入力する付着モデルには、鉄筋を腐食させた後の実験結果に基づく、鈴木ら³⁾が提案した $\tau-S$ 関係 ($a=1, b=4$) を参考に検討することとした。また、鉄筋の腐食率と付着劣化の程度を関連付けた加藤らの研究⁴⁾を参考にして、最大付着応力 τ_{max} 時のすべり $S_1=0.1\text{mm}$, $\tau=0$ となるときのすべり $S_2=0.8\text{mm}$ とした。 τ_{max} は、鉄筋の腐食率 $C(\%)$ を用いて、式(2)³⁾から求めた。

$$\tau_{max} = -0.16 C + 4 \quad (C > 0) \quad (2)$$

なお、腐食率 25%以上については $\tau = 0 \text{ N/mm}^2$ とし、断面積の欠損のみを考慮に入れることとした。

腐食率 C は、実験により得られた 200 万回載荷時の表面ひび割れ幅 ω の関係より算出した ($C=5.11\omega+3$)¹⁾。ただし 120, 150, 180 万回目における検討においては、電食開始後から時間に比例して腐食量が増加すると仮定して、 A_c および τ_{max} を設定した。

次に、実験結果を基に、繰返し載荷と電食の併用による τ_{max} の低下を考慮する。すなわち、式(2)は繰返し載荷または繰返し載荷・電食の併用の影響を考慮していないため、実験における電食した右側スパンから支間中央で対称位置にある左側スパンで計測した軸方向鉄筋ひずみの差¹⁾ (以下、ひずみ差) が、解析と一致するように、各要素における $\tau-S$ 関係の τ を C に応じて低減させ、その影響を考慮できると仮定した。図-4に、200 万回目の載荷終了時の C と、解析に用いた τ_{max} の分布の

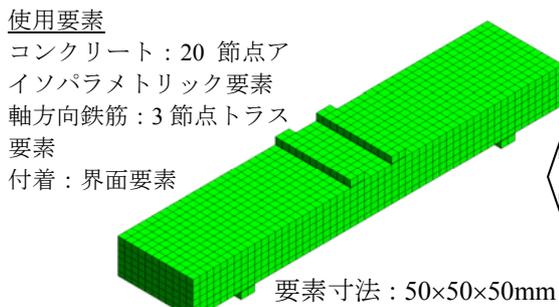


図-1 解析モデル

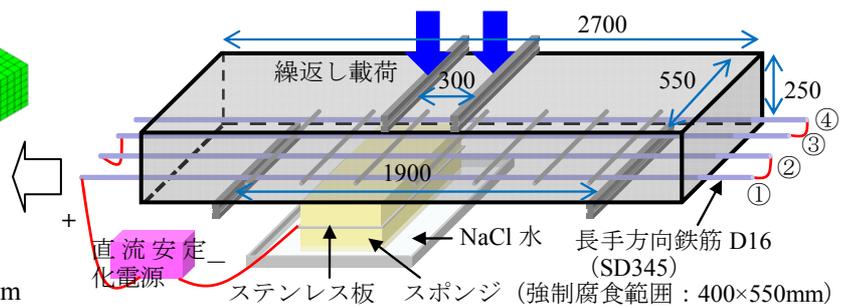


図-2 試験体概要図 (単位：mm)

keyword : 付着特性, 有限要素解析, 電食, 繰返し載荷, RC はり
 連絡先 : 〒185-8540 国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7281

例を示す. なお, 50mm の長さを有する界面要素では, 要素ごとにそれぞれの C に応じた τ の低減率を乗じた $\tau-s$ 関係を入力した.

3. 解析結果

図-5 に, 繰返し回数 200 万回時の実験および解析より得られた軸方向鉄筋のひずみ差の分布を示す. なお, 鉄筋ひずみは腐食側スパン (図-2 における左側スパン) のひずみと支間中央で対称位置にある健全側スパン (図-2 における右側スパン) のひずみとの差を示したものであり, 腐食により軸方向鉄筋の断面積の欠損およびコンクリートとの付着力が低下したことで, 軸方向鉄筋に作用する応力が増加したために, ひずみが増加したものである. 解析において得られた鉄筋のひずみ情報を同様の手順で整理して比較したところ, 実験で取得した軸方向鉄筋①③のひずみ分布を概ね再現できていることを確認した.

図-6 に, 各繰返し回数における最大腐食率 C_{max} と腐食が認められた範囲における最小の τ_{max} (図-4) の関係を示す. 比較のため, 文献³⁾の評価式(式(2))を併記した. 式(2)に対して, 電食と繰返し載荷を併用したことで同一の腐食率に対する τ_{max} が低下することを確認した. すなわち, RC 部材の耐力, 剛性, 鉄筋に発生する応力を評価する際には, 腐食のみならず繰返し載荷による最大付着応力の低下を考慮する必要がある. ここでは, 対象とした実験を FEM 解析で表現可能な $\tau-s$ 関係は, 図-6 において τ_{max} を式(2)で評価可能であると考えられる.

$$\tau_{max} = -0.8 C + 4 \quad (C > 0) \quad (2)$$

4. まとめ

電食と繰返し載荷実験の結果を基に, FEM 解析により, 腐食・繰返し載荷に伴う付着応力の低下を評価した. 本検討は限られた条件下での検討であり, 条件の違いで式(2)の傾き (-0.8) は変化する可能性があるため, 今後一般化するための検討が必要である.

参考文献

- 1) 元濱ら: 電食と繰返し載荷を併用した実験による剛性と鉄筋ひずみの評価, 土木学会第 66 回年次学術講演会講演概要集, 2013.
- 2) 角田ら: 軸方向鉄筋が局部的に腐食した RC 棒部材のせん断破壊性状, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.2, pp.1561-1566, 2009.
- 3) 鈴木ら: 格子モデル解析による損傷 RC はり部材のせん断耐荷機構の評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.2, pp.235-240, 2006.
- 4) 加藤ら: 鉄筋とコンクリート間の付着特性に及ぼす鉄筋腐食の影響, 港湾空港技術研究所資料, No.1044, 2003.3

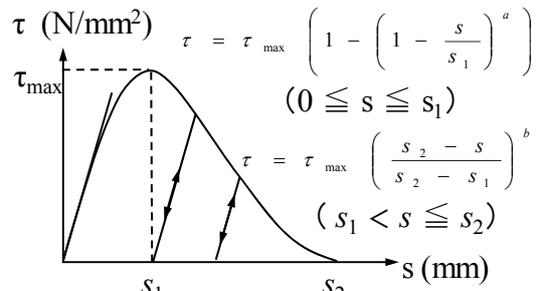


図-3 付着応力-すべり関係

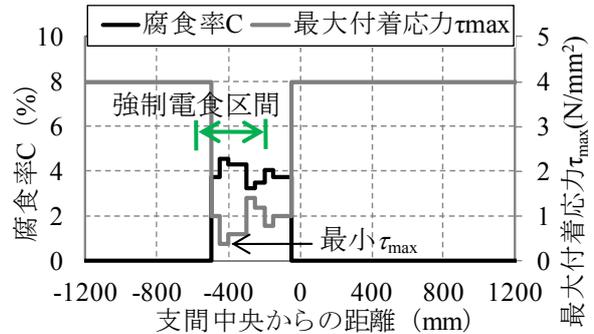
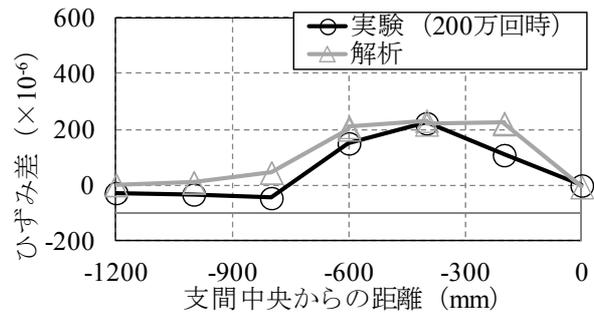
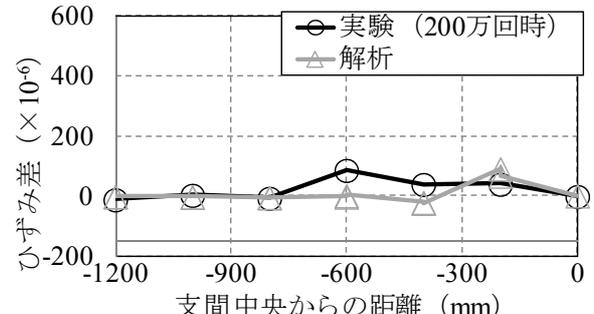


図-4 端部鉄筋 (図-2, ①) の C と τ_{max} の分布 (No. 1)



(a) 軸方向鉄筋① (図-2 参照)



(b) 軸方向鉄筋③ (図-2 参照)

図-5 軸方向鉄筋のひずみ差分布の比較 (No. 1)

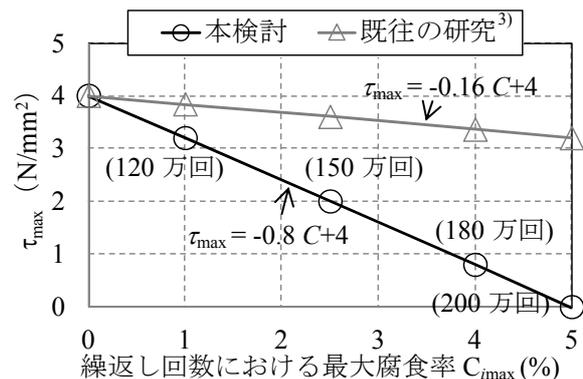


図-6 腐食および繰返しに伴う τ_{max} の経時変化