

繰り返し荷重下における腐食鉄筋とコンクリートの付着応力モデル

中央大学 学生会員 ○高田 翔太
中央大学 学生会員 山崎 理美
中央大学 正会員 大下 英吉

1.はじめに

近年、鉄筋コンクリートの腐食劣化が深刻となっている。鉄筋とコンクリートの一体性が前提条件である RC 部材にとって、腐食鉄筋とコンクリートの付着性状は非常に重要な要因であり、その定量的評価が必要不可欠である。

そこで本研究では、RC 部材の付着応力の定量的評価を目的とし、付着応力とすべりの関係を鉄筋腐食性状およびせん断補強筋の影響をパラメータとしたモデルの構築を行う。また、実験値と比較することにより、繰り返し荷重下における RC 部材の載荷経路、除荷経路および再載荷経路の付着応力とすべりの関係を硬化域、硬化域～軟化域、軟化域それぞれについて評価を行った。

2. 繰り返し荷重履歴を受ける付着応力

2.1 繰り返し載荷時の付着応力性状

RC はり部材が繰り返し荷重を受ける場合、単調載荷を受ける場合とは異なり、図-2 に示すように硬化域、軟化域それぞれに載荷経路、除荷経路および再載荷経路がある。

2.2 付着応力性状に及ぼす各種要因評価

既往の研究¹⁾においてせん断補強筋の有無や鉄筋腐食は耐荷性能に大きな影響を及ぼすことが報告されている。よって、これらの影響を加味したモデルの構築をすることが重要である。

(1) 鉄筋腐食の影響評価

鉄筋腐食が生じると腐食生成物の体積膨張により付着応力が増加する。本モデルでは主鉄筋およびせん断補強筋の鉄筋腐食の影響を考慮するパラメータ M_1 , M_2 として次式を定義した。

$$M_1 = \frac{\alpha_1}{100 \times (1+m)} \quad (1)$$

$$M_2 = \frac{m\alpha_2}{100 \times (1+m)} \quad (2)$$

$$m = \frac{m_2}{m_1} \quad (3)$$

ここで m_1 , m_2 は単位主鉄筋量およびせん断補強筋量、 α_1 , α_2 は主鉄筋の腐食率およびせん断補強筋の腐食率である。

(2) 腐食ひび割れの影響評価

鉄筋腐食が進行し、ひび割れが生じると拘束圧が解放され、それに伴い付着応力が低下する。本モデルでは腐食ひび割れの影響を考慮するパラメータ W を次式で定義する。また、ひび割れ幅 δ は、既往の研究²⁾より次式とした。

$$W = \frac{\delta}{b} \tau_{\max} \quad (4)$$

$$\delta = 0.122 \times \alpha_1 + 0.082 \quad (5)$$

ここで、 δ は腐食ひび割れ幅、 b は試験体幅、 $\tau_{\max}$

は各載荷履歴の最大付着応力である。

(3) せん断補強筋の影響評価

せん断補強筋を配筋することで鉄筋の抜け出しが抑制され、付着応力は増加する。本モデルではせん断補強筋配筋による付着応力の増加を考慮するパラメータ A を次式のように定義した。

$$A = \frac{d_1 \times 1 + d_2(1+c)}{l} \times \frac{\tau_{ave}}{\tau_{\max}} \quad (6)$$

ここで、 d_1 は試験体自由端部からせん断補強筋までの距離、 d_2 はせん断補強筋配筋間隔、 c はせん断補強筋配筋数、 l は試験体長さ、 $\tau_{\max}$ は各載荷履歴の最大付着応力、 τ_{ave} は全載荷履歴の平均付着応力である。

2.3 構築モデル

本研究では、鈴木ら³⁾が定義したせん断ばねの付着特性を参考とし、前節のパラメータを利用し構築したモデルを式(7)～(9)に示す。また、図-2 の各載荷経路との対応を表-1 に示す。また、式中の各項の説明を以降示す。

$$\tau = (\tau_{(n)\max} - W) \left[1 - \left\{ 1 - \frac{s}{s_{(n)}} - (M_1 - M_2 \times A) \right\}^a \right] \quad (7)$$

$$\tau = (\tau_{(n)\max} - W) \left\{ \frac{s_{(n)\max} + s_{(n)}' - s}{s_{(n)\max} + s_{(n)}' - s_{(n)}} - (M_1 - M_2 \times A) \right\}^b \quad (8)$$

$$\tau = \frac{\tau_{(n)\max}}{s_{(n)}} \quad (9)$$

ここで、 $\tau_{(n)\max}$ は n 回目の載荷時における最大付着応力、 $s_{(n)}$ は $\tau_{(n)\max}$ に対応するすべり量であり、 a は定数である。また、再載荷時には $\tau_{(n)\max}$, $s_{(n)}$ を $\tau_{(n+1)\max}$, $s_{(n+1)}$ と表した。次に $s_{(n)\max}$ は n 回目の載荷時における最大すべり量、 $s_{(n)}'$ は付着応力が一定値に漸近しはじ

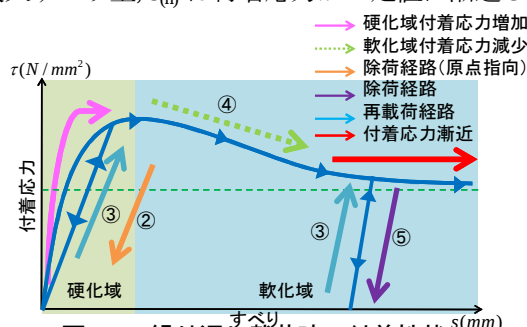


図-1 繰り返し載荷時の付着性状

表-1 各状況とモデル式の関係

図中番号 および 各載荷経 路	① 載荷時 付着応力 増加	② 除荷時 原点指向	③ 再載荷時	④ 載荷時 付着応力 減少	⑤ 除荷時
式番号	(7)	(9)	(7)	(8)	(7)

キーワード 付着応力、繰り返し載荷、載荷経路、せん断補強筋、鉄筋腐食

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 新2号館4階2422号室 TEL 03-3817-1892

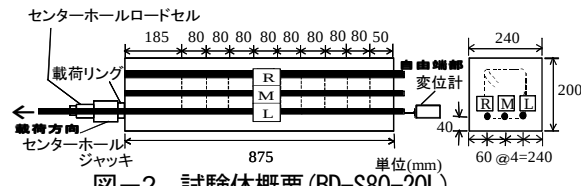


図-2 試験体概要 (BD-S80-20L)

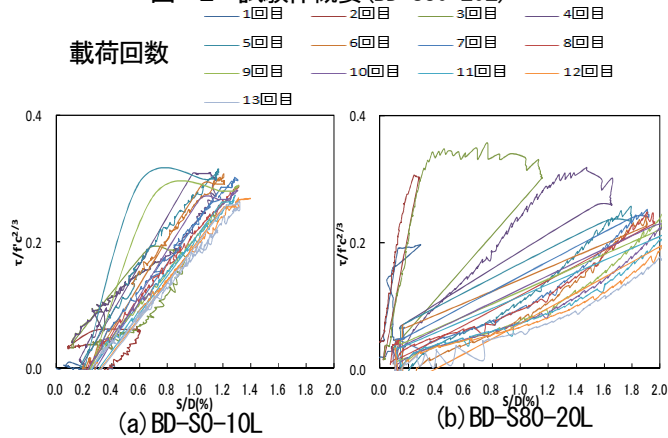


図-3 付着応力-すべり関係

めるすべり量であり, b は定数である. なお, 付着応力が増加および減少後ある一定の値に漸近する際, 式(12), (13)の最大すべり量における付着応力を一定の値とした.

3. モデルの適用性評価

3.1 実験概要

試験体の形状寸法を図-2に示す。なお、せん断補強筋が無い試験体では、自由端からの鉄筋の拔出しを抑制するため、自由端から130mmの領域に定着筋を2本配筋した。

実験パラメータは、表-2 に示すように主鉄筋の腐食率およびせん断補強筋の有無である。なお、鉄筋腐食には電食試験法を採用した。

3.2 付着応力-すべり関係

各試験体における測定位置 9D の付着応力 σ すべり関係を図-3 に示す。同図 (a), (b) は試験体 BD-S0-10L および BD-S80-20L に対応している。なお、既往の研究¹⁾と同様に、付着応力は、圧縮強度の 2/3 乗、すべり量は鉄筋径で除することにより無次元化値で示している。

いずれの試験体においても載荷回数が増えるに従い、付着応力の最大値が低下している。これは、載荷、除荷を繰り返すことによりコンクリート内にひび割れが発生し、コンクリートの拘束圧が解放されるためである。

3.3 モデルの適用と検討

前章で構築したモデルに実験値を代入し、本モデルの整合性を検討する。結果の一部として、測定位置 9D における BD-S0-20L, BD-S80-20L の領域ごとの適用結果を図-4(a), (b)に示す。

いずれの試験体においてもモデルの整合性が確認された。

腐食率の違うパラメータにおいてモデルの整合性が確認された。このことから主鉄筋およびせん断補強筋の鉄筋腐食の影響を考慮するパラメータ M_1 , M_2 および腐食ひび割れの影響を考慮するパラメータ W の妥当性が確認された。

表-2 実験パラメータ

試験体名	せん断補強筋	引き抜き鉄筋	目標腐食率[%]	実測値
BD-S0-10L	無し	L(外側)	10	10.4
BD-S80-20L	有り		20	14.7

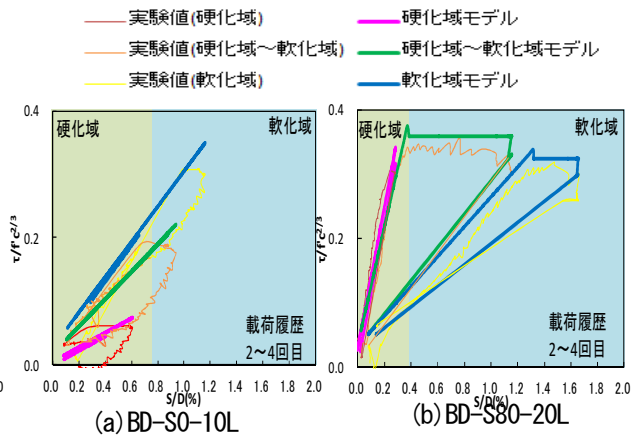


図-4 モデル適用結果

更に、せん断補強筋の有無で比較すると、実験値とモデルの整合性が確認できる。これによりせん断補強筋の配筋を考慮するパラメータAの妥当性が確認された。

以上のことより、本研究で構築されたパラメータが効果的な役割を果たし、構築したモデルの適用性を評価することができた。

4.まとめ

以下に本研究で得られた知見，課題を示す。

- (1) 鉄筋の腐食率および腐食ひび割れ幅、せん断補強筋の配筋を考慮に入れた付着応力モデルが構築された。
- (2) 本モデルの特徴でもある繰り返し載荷時の各領域および各経路について模擬することができた。
- (3) 各腐食率に対応してモデルを適用出来たことより鉄筋腐食を考慮するパラメータの妥当性が確認された。
- (4) せん断補強筋の有無に対し設定したパラメータが効果的な役割を果たし、各条件下においても精度良く付着応力とすべり関係を模擬できた。

参考文献

- 1) 村上祐貴，木下哲秀，鈴木修一，福本幸成，大下英吉：鉄筋腐食を生じた RC 梁部材の残存曲げ耐力性状に関する研究，コンクリート工学論文集，Vol.17，No.1，pp.61-74，2006.1
- 2) 阿部哲雄，番場俊介，村上祐貴：かぶり面の腐食ひび割れ幅が異なる腐食した鉄筋コンクリートの付着応力性状に関する研究，土木学会関東支部第 29 回新潟会研究調査発表会論文集，2011.11
- 3) 鈴木暢恵，三木朋宏，二羽淳一郎：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，コンクリート工学論文集，Vol.28，No.2，pp.235-240，2006.7