第V部門

付着割裂条件下におけるコンクリート中の腐食鉄筋の付着挙動

京都大学 学生会員 〇裏野 将大 京都大学 正会員 山本 貴士 京都大学 正会員 高谷 哲 京都大学 正会員 高橋 良和

1. 研究目的

RC 単純桁部材の端部は軸方向鉄筋の定着部に相 当するが,接合部から凍結防止剤などの腐食因子が 供給されることにより腐食が著しくなることが多く, 鉄筋の定着性能が低下し,定着部で付着割裂破壊の ような脆性的な破壊が生じる恐れがある.しかし,腐 食した鉄筋が引張を受ける際の周囲のコンクリート が引張応力下にあり,かつ付着割裂を生じるような 条件下での付着試験が多くないのが現状である.そ こで本研究では,鉄筋に腐食を発生させた付着割裂 型の供試体に対して引抜試験を行い,鉄筋の付着挙 動を検討するとともに,腐食鉄筋の局所における付 着応力一すべり関係のモデル化を検討することを目 的とした.

2. 実験概要

2.1 供試体概要

供試体の形状, 寸法を図1に示す. 幅×高さ×全長 =200×300×400mm の矩形断面を有するカンチレバー 型の供試体とし, 引抜鉄筋には D13 と D16(いずれも SD345)を用いた. D13 は鉄筋が降伏, D16 は付着割 裂破壊を生じる設計とした.



図1 供試体の寸法・形状(単位 mm)

2.2 実験要因,引抜試験方法及び測定項目

鉄筋の腐食量がコンクリートと鉄筋の付着に与え る影響を検討するために,腐食量を実験要因とした. 目標腐食量として,健全状態の0%,供試体表面での 腐食ひび割れ発生前の2%,腐食ひび割れ発生後の 10%を設定し、腐食を電食により模擬した.

かぶり鉄筋径比(c/q, c:かぶり, q:鉄筋径)は, かぶ り一定のもとで鉄筋径を変化させることにより, c/q=1.92(D13), 1.56(D16)の2種類とした.引抜載荷 装置の概要図を図2に示す.異形鉄筋をセンターホ ール型油圧ジャッキに通し,鉄筋の端部にくさび定 着具を取り付けることで引抜力を与えた.供試体に 傾きが生じないように,鉛直方向,側面方向,水平方 向を拘束した.載荷は荷重端変位で制御し,0.1mm 毎 に計測しながら変位を増加させた.測定項目は荷重, 荷重端変位,自由端変位,ひずみとした.載荷終了後, 供試体から鉄筋を取り出し,除錆を行った後,電食区 間の鉄筋の質量を測定して質量減少率を算出した.



図2 引抜載荷装置

3. 実験結果及び考察

3.1 平均付着強度と鉄筋の質量減少率の関係

引抜試験の最大荷重を付着試験長さで除した区間 の平均付着強度と鉄筋の質量減少率の関係をかぶり 鉄筋径比ごとに図3に示す.健全では、大きいかぶ り鉄筋径比で鉄筋周りの割裂抵抗が大きくなるため、 c/φ=1.56で付着割裂破壊, c/φ=1.92で鉄筋降伏に至っ た.腐食ひび割れ発生前の腐食量1%付近までは、い ずれのかぶり鉄筋径比でも付着強度の低下がみられ なかった.かぶりには潜在的な腐食ひび割れが存在 すると推定されるものの、c/φ=1.92では健全と同様 に鉄筋降伏に至った.一方、付着割裂破壊に至った c/φ=1.56の供試体の付着強度は、健全時と同程度あ るいは若干大きくなった.既往の c/φ が3程度の引

Shota URANO, Takashi YAMAMOTO, Satoshi TAKAYA and Yoshikazu TAKAHASHI urano.shota.87c@st.kyoto-u.ac.jp

抜試験 ¹⁾では,引抜を受ける鉄筋の周囲が圧縮場に あり,腐食ひび割れが供試体表面に達する前であれ ば腐食生成物の膨張圧の拘束反力で付着強度が大き くなる.今回の c/φ の比較的小さい付着割裂型の付 着試験でも一致する傾向であった.しかし,その増加 の程度は,既往の結果では健全の 1.2 倍程度以上まで 増加するのに対し,今回はそれほど大きくならなか った.また,腐食ひび割れ発生後は,いずれのかぶり 鉄筋径比でも腐食量の増大に伴い,付着強度が低下 した.



図3 付着強度---腐食量関係

3.2 鉄筋が腐食した場合の局所 τ-s 関係

付着割裂型の局所 τ -s 関係(式(3.1))²⁾の最大付着応 力 τ_{max} とその時のすべり量 s_1 を低下させ腐食時の関 係を仮定し,それと引抜試験でのひずみの値から仮 定したひずみ分布から,付着応力-荷重端変位関係を 逐次算出した.これと付着応力-荷重端変位関係の実 験値を比較し,実験挙動を再現できる局所 τ -s 関係の 導出を試みた.腐食時の最大付着応力 τ_{max} とその時 のすべり量 s_1 の低下率は,健全時と腐食時の最大付 着応力とその時の荷重端変位の比で,それぞれ β , γ とした.付着応力-荷重端変位関係は,付着区間を $\Delta \ell$ =10mm 区間で n=40 分割し,ひずみ分布を用いて 式(3.1)~(3.3)より荷重端変位を算出し,これを荷重 を漸増させて繰り返すことにより導出した.

$$s_i = f(\tau_i) = \left(\frac{\tau_i}{\tau_{max}}\right)^{2.5} \cdot s_1 \qquad ($$
 $\overrightarrow{x} 3.1)$

$$\tau_i = \frac{P_{i-1} - P_i}{u_s \cdot \Delta l} \tag{\mathbf{x} 3.2}$$

$$\mathbf{s} = \sum_{i=1}^{n} s_i \tag{\textbf{\vec{x} 3.3}}$$

- τ_i: 区間 i の付着応力(N/mm²)
- *Pi*: 区間 i の鉄筋の引張力(N)
- us: 鉄筋の周長(mm)

上記の局所 τ-s 関係から導出した付着応力-荷重端変 位関係と実験結果を比較したものを図4に示す.な お,健全時の最大付着応力に対する比を縦軸に,その 時の変位に対する比を横軸とした.腐食ひび割れが 発生した腐食量2.5%では,局所 τ-s 関係の初期勾配 の低下により,腐食量の増大に伴う付着応力-荷重端 変位関係の初期剛性が低下する挙動が再現できた. また,局所 τ-s 関係の最大付着応力の値を腐食に応じ て変化させることにより,付着試験区間の平均付着 応力の実験値を表現することができた.さらに,局所 τ-s 関係の最大付着応力時のすべり量を低下させるこ とにより,腐食量の増加に伴う最大付着応力時の荷 重端変位の低下挙動が得られた.



図4 計算値と実験値の比較

4. 結論

(1)付着割裂が卓越する条件下において,既往の引抜 試験における挙動と同様に,腐食ひび割れ発生前で は付着強度が健全時と同程度,または若干大きくな った.また,かぶり鉄筋比に関わらず,腐食ひび割れ 発生後の付着強度は低下した.

(2)健全時の局所 τ -s 関係の最大付着応力 τ_{max} とその 時のすべり量 s_1 を変化させて腐食時のモデルを仮定 することにより,腐食に伴う初期剛性の低下と,最大 付着応力時の荷重端変位の低下を表現することがで きた.

参考文献

 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, pp.47~52, 1998.10

2) Comite Euro-International Du Beton: CEB-FIP MODEL CODE 1990, First Draft, 1991.