

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特性

京都大学 学生会員 ○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る、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—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、引抜き鉄筋には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。

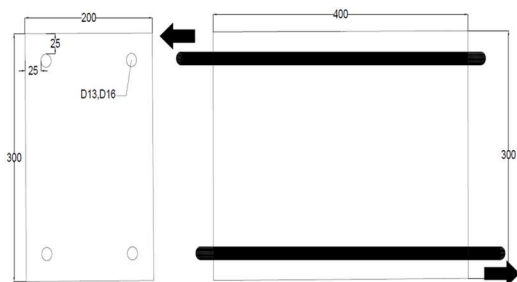


図1 供試体の寸法・形状(単位 mm)

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/ϕ , c :かぶり, ϕ :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、 $c/\phi=1.92(D13)$, $1.56(D16)$ の2種類とした。引抜载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。载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。载荷終了後、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。

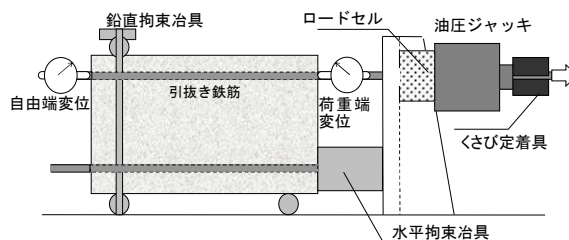


図2 引抜载荷装置

3. 実験結果および考察

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、 $c/\phi=1.56$ で付着割裂破壊、 $c/\phi=1.92$ 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、 $c/\phi=1.92$ 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 $c/\phi=1.56$ 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

キーワード 引抜試験, 腐食, 付着, 付着割裂, 局所 τ - s 関係

連絡先 615-8540 京都市西京区京都大学桂 TEL: 075-383-3173 FAX: 075-383-3177

抜試験¹⁾では、引拔を受ける鉄筋の周囲が圧縮場であり、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。

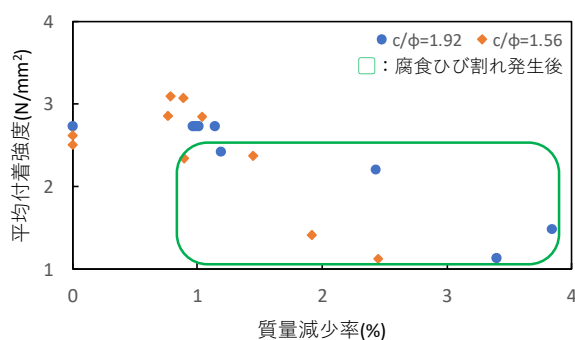


図3 付着強度—腐食量関係

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 $\tau_{\max}$ 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 $\tau_{\max}$ 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、ひずみ分布 $\varepsilon(x)$ を用いて (式(3.2))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。

$$s_i = \left(\frac{\tau_i}{\tau_{\max}} \right)^{2.5} \cdot s_1 \quad (\text{式 3.1})$$

$$s = \int_0^{400} \left\{ \left(-\frac{\partial \varepsilon(x)}{\partial x} \cdot \frac{E \cdot A_s}{u_s} / \tau_{\max} \right)^{2.5} \cdot s_1 \right\} dx \quad (\text{式 3.2})$$

τ_i : 区間 i の付着応力(N/mm²)

u_s : 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。

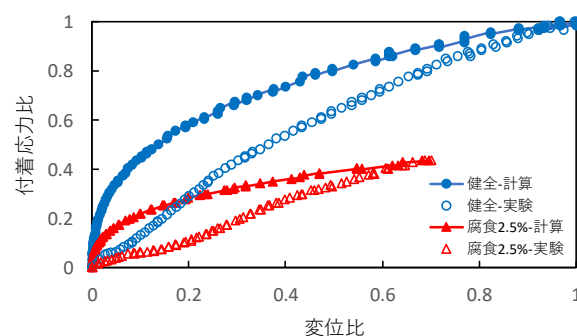


図4 計算値と実験値の比較

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 $\tau_{\max}$ 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

- 1) 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 2010, 2010.