

腐食した鉄筋コンクリートの拘束圧に基づく付着応力性状に関する研究

長岡工業高等専門学校 学生会員 ○阿部 哲雄
長岡工業高等専門学校 学生会員 番場 俊介
長岡工業高等専門学校 長岡 和真
長岡工業高等専門学校 正会員 村上 祐貴

1. はじめに

RC 部材において、鉄筋腐食は付着強度の低下を引き起こし、部材の耐荷力や変形性能を大幅に低下させる場合がある。鉄筋の腐食が付着強度を低下させる最も大きな要因として、腐食ひび割れの発生によるコンクリートの拘束圧の低下が挙げられる。その低下程度は、表面ひび割れ幅によって変化することが明らかにされているが、ひび割れ幅が同じ場合でも、コンクリート強度やかぶり厚により、拘束圧の低下程度は異なることが予想される。

そこで、本研究では、かぶり厚の異なる腐食 RC 試験体の引抜試験を実施し、腐食ひび割れ幅に加え、かぶり厚が付着強度の低下に及ぼす影響について検討した。

2. 実験概要

図－1 に試験体形状を示す。試験体は断面を 150mm×150mm、高さを 150mm とした RC 角柱試験体であり、引抜鉄筋は異形鉄筋(SD390 D16)を用いた。なお、かぶり厚 67mm の試験体は、腐食ひび割れを特定のかぶり面に発生させるために、断面を 150mm×180mm とした。付着区間は 140mm とし、載荷端および自由端から 5mm の非付着区間を設けた。

表－1 に実験パラメータを示す。実験パラメータは、かぶり厚および最小かぶり面における腐食ひび割れ幅で

ある。鉄筋の腐食は電食試験法を採用し、目標とする腐食ひび割れ幅が得られるまで通電した。腐食ひび割れ幅の測定はπ型変位計を最小かぶり面に自由端から 25mm, 75mm, 125mm の鉄筋ひずみ測定点直上に設置し、本実験では、それら 3 ヶ所で測定した値の平均値を腐食ひび割れ幅とした。

載荷試験は片側引抜試験を実施した。測定項目は、荷重、自由端すべり量、荷重作用に伴うかぶり面のひび割れ幅の増加量、および鉄筋の軸方向ひずみである。なお、電食過程でのひずみゲージの破損を防ぐため、図－1 に示す貼合せ鉄筋を用いた。

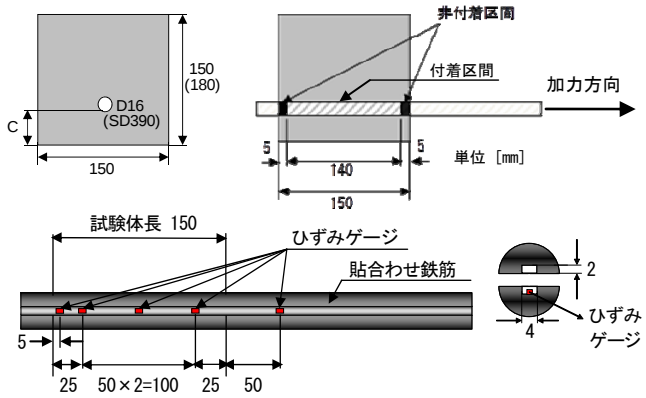
3. 実験結果

図－2 に最大付着応力と腐食率の関係、図－3 に最大付着応力と腐食ひび割れ幅の関係を示す。なお、付着応力は式(1)より算出した。

$$\tau = \frac{E \cdot D}{4} \frac{d\varepsilon}{dx} \tag{1}$$

ここで、 E :鉄筋の弾性係数(N/mm²)、 D :鉄筋径(mm)、 $d\varepsilon/dx$:鉄筋ひずみ勾配である。

ひずみ勾配は、対象測定点に隣接する 2 点を含む 3 点から 2 次近似して算出した。なお、自由端から 125mm の位置のひずみ勾配は 125mm と 75mm の 2 点で直線近似し算出した。本実験では、自由端から 25mm, 75mm, 125mm



図－1 試験体形状図

表－1 実験パラメータおよび実験結果					
試験名	かぶり厚 (mm)	腐食ひび割れ幅 (mm)		圧縮強度 (N/mm ²)	最大付着応力 (N/mm ²)
		目標値	実測値(平均)		拘束圧※2 (N/mm ²)
C32 W _c 0.0	32	0 (非腐食)	—	31.7	7.3
C32 W _c 0.2		0.20	0.22	27.2	6.0
C32 W _c 0.5		0.50	0.52	30.3	1.8
C32 W _c 1.0		1.00	0.98	27.6	2.0
C52 W _c 0.0		0 (非腐食)	—	40.7	11.0
C52 W _c 0.2	52	0.20	0.21	28.1	7.9
C52 W _c 0.5		0.50	0.52	30.4	4.6
C52 W _c 1.0		1.00	1.04	29.4	1.7
C67 W _c 0.0	67	0 (非腐食)	—	29.6	14.8
C67 W _c 0.2		0.20	0.22	34.4	8.6
C67 W _c 0.5 ※1		0.50	—	—	—
C67 W _c 1.0		1.00	1.02	31.6	4.9

※1 腐食ひび割れ幅未計測
※2 拘束圧算定式より算出した拘束圧

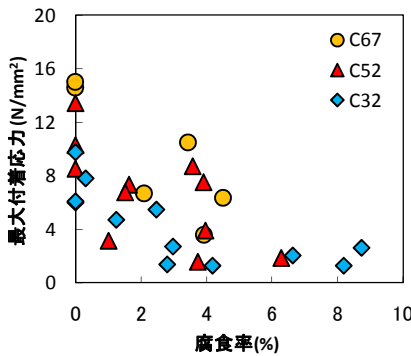


図-2 最大付着応力と腐食率の関係

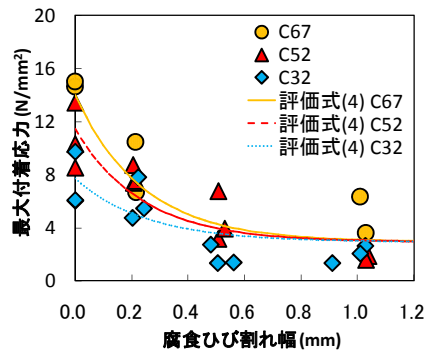


図-3 最大付着応力と腐食ひび割れ幅の関係

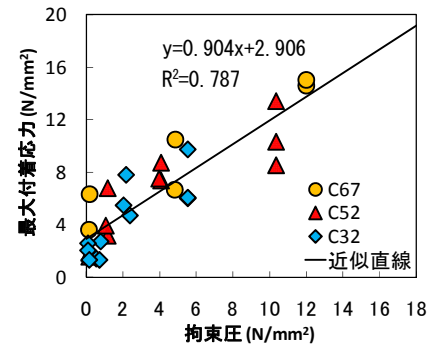


図-4 最大付着応力と拘束圧の関係

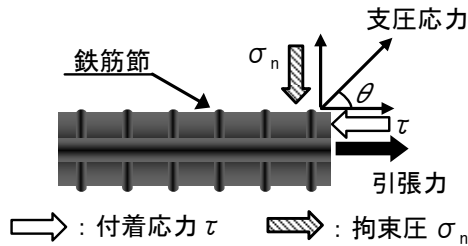


図-5 RC部材の付着割裂機構

の付着区間中央3ヶ所について算出した最大付着応力の平均値を各試験体の最大付着応力とした。

図-2より、最大付着応力と腐食率の間には明確な相関性は認められない。また、図-3より、最大付着応力は腐食ひび割れ幅の増加とともに指数的に低下したが、その低下程度はかぶり厚ごとに異なる傾向を示した。このように、固有の付着劣化因子に着目した付着応力性状を適切に評価することは困難であることが分かる。

図-4に最大付着応力と拘束圧の関係を示す。拘束圧は著者らが提案した拘束圧算定式¹⁾を純かぶり厚で適用できるように再計算した式(2)を用いた。

$$\begin{aligned}\sigma_n &= \exp(-\alpha \cdot W_{cr}) \cdot \sigma_{n-\max} \\ \alpha &= (-0.4445 \ln C_2 + 2.2844) \cdot f_c'^{2/3} \\ \sigma_{n-\max} &= 0.1916 C_1 + 0.1076 f_c' - 3.9962 \\ (29 \leq C_1 \leq 64, \quad 29 \leq C_2 \leq 64, \quad 22.6 \leq f_c' \leq 55.6)\end{aligned} \quad (2)$$

ここで、 σ_n ：拘束圧(N/mm²)、 α ：係数、 W_{cr} ：かぶり面ひび割れ幅(mm)、 $\sigma_{n-\max}$ ：最大拘束圧(N/mm²)、 C_1 ：最小かぶり厚(mm)、 C_2 ：横かぶり厚(mm)、 f_c' ：圧縮強度(N/mm²)である。

なお、本試験体の横かぶり厚 C_2 は67mmである。

最大付着応力と拘束圧の関係には比較的良好な正の相関性が確認され、両者はかぶり厚によらず一義的な線形関係にあった。また、回帰直線より拘束圧がゼロの場合において、付着応力は約3N/mm²ほど残存しており、これは主に鉄筋とコンクリートの間に働く摩擦力によるものだと考えられる。

図-5にRC部材の付着割裂機構を示す。摩擦力の影響を無視して、幾何学的な付着応力と拘束圧のみ考えると、両者の関係は式(3)に示すようになる。

$$\tau = \sigma_n \cdot \cot \theta \quad (3)$$

支圧応力と軸線のなす角 θ を図-4に示す最大付着応力と拘束圧の関係から回帰直線を求めることで算出した。支圧応力と軸線のなす角 θ は回帰直線の傾きから $\theta = 47.9^\circ$ であった。また、式(3)について摩擦力、すなわち回帰直線の切片を考慮すると、任意の腐食ひび割れ時点での最大付着応力(τ_{cor})は、式(4)に示すようになる。

$$\tau_{cor} = \sigma_n \cdot \cot 47.9^\circ + 2.906 \quad (4)$$

評価式(4)を実験結果に適用し、評価式の妥当性を確認した。図-3に適用結果を示す。提案した評価式は実験値に対して、定性的な傾向は捉えられており、概ね実験結果を評価可能であった。

4. まとめ

- (1) 最大付着応力と拘束圧の関係には比較的良好な正の相関性が確認され、両者はかぶり厚によらず一義的な線形関係にあった。
- (2) 拘束圧に基づいた付着評価モデルを実験結果に適用させたところ、比較的良好な結果が得られた。

謝辞 本研究の一部は、ユニオンツール育英奨学会の研究助成を受けたものである。

参考文献

- 1) 長岡和真, 佐藤綾桂, 村上祐貴: 鉄筋腐食を生じたRC部材の付着応力性状に及ぼすコンクリートの拘束度の影響, コンクリート工学年次論文集, vol.33, No.1, pp.827-832, 2011