

論文 腐食鉄筋とコンクリートの付着性状に関する研究

中央大学 理工学部土木工学科 学生会員 ○佐藤 優

中央大学大学院 理工学研究科土木工学専攻 学生会員 村上 祐貴

中央大学 理工学部土木工学科 非会員 山内 佑樹

中央大学 理工学部土木工学科教授 工博 正会員 大下 英吉

1. はじめに

昨今の時代状況に伴い、RC 構造物の残存耐力に関する研究は、各方面で盛んに行われている。特に、鉄筋腐食を生じた RC 構造物の残存耐力評価はその典型的なものである。

鉄筋腐食を生じた RC 構造物の現時点における残存耐力を評価するに際して、腐食鉄筋とコンクリートの付着応力性状を定量的に評価することは、非常に重要な位置づけにある。

現在までに、腐食を生じた鉄筋とコンクリートとの付着応力性状を評価した研究は数多く行われていが、それら研究の多くは定着長の短い場合が多い。しかしながら、一般に実構造物では非腐食による定着やフックによる幾何学的な定着等、その程度は異なるものの、定着を有する場合が多い。したがって、定着を有する RC 部材において鉄筋が腐食した場合における付着応力性状を定量的に評価する必要がある。さらに、せん断補強筋によるコンファインド効果を考慮すれば、せん断補強筋が付着応力性状におよぼす影響についても評価する必要がある。

そこで本研究では、実験的手法により鉄筋腐食に加えてせん断補強筋が RC 部材の付着応力性状に及ぼす影響を評価した。

2. 実験概要

2.1 試験体

試験体の形状寸法および配筋を図-1に示す。鉄筋は、D16 異形鉄筋 (SD295A) を 3 本 (L, M, R) 配筋した。また、上述の試験体に加えて D6 せん断補強筋 (SD295A) を配筋した試験体も作成した。載荷試験実施時における材齢は 36 日とし、配合は表-1に示す通りである。なお、練混ぜ水には 5%NaCl 溶液を使用した。

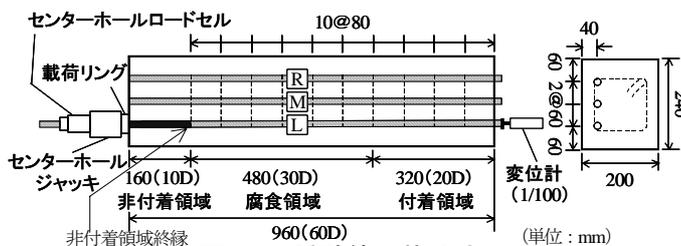


図-1 試験体形状寸法

表-1 試験体配合

Gmax (mm)	W/C (%)	スラブル (cm)	空気量 (%)	単位量 (kg/m ³)				
				水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
20	60	10	5	168	280	826	996	2.80

キーワード ; 鉄筋腐食, 腐食ひび割れ, 付着応力

連絡先 ; 住所 : 東京都文京区春日 1-13-27 TEL:03-3817-1892 FAX:03-3817-1803

2.2 引抜き試験方法および測定項目

引抜き試験概要を図-1に示す。引抜く鉄筋は、3本のうち L 鉄筋とした。なお、載荷速度は 9.8kN/min とした。

測定項目は鉄筋の軸方向ひずみおよび自由端すべりである。鉄筋ひずみの測定は、鉄筋を軸方向に切断後、その断面に 2mm×4mm の溝を掘り、ひずみゲージ (検長 2mm) を 3D 間隔で貼り付けた。その後、2 対の切断された鉄筋をエポキシ樹脂接着剤により貼り合わせ 1 本の鉄筋とした。貼り合わせた鉄筋は引抜く鉄筋のみとし、残りの 2 本の鉄筋は通常の鉄筋を使用した。

2.3 実験パラメータおよび試験体名称

実験パラメータは表-2に示すように、せん断補強筋の有無および鉄筋の腐食率である。目標とした腐食率はせん断補強筋を配筋しない試験体では 0%、10%および 20%の 3 水準であるが、目標腐食率が 10%であった試験体は設定した目標腐食率と実測値が大きく異なっていたため、本実験の対象から除外した。せん断補強筋を配筋した試験体においては 0%および 10%の 2 水準である。

表-2 実験パラメータ

シリーズ	試験体名	せん断補強筋	目標腐食率	圧縮強度
S0	BD-S0-0	無し	0%	26.2N/mm ²
	BD-S0-20		20%	25.8N/mm ²
S1	BD-S1-0	有り	0%	26.2N/mm ²
	BD-S1-10		10%	28.7N/mm ²

2.4 電食試験概要

腐食領域は図-1に示すように載荷端から 10D~40D の領域であり、当該領域のみを 5%の NaCl 水溶液を満たした水槽内に浸漬させ、鉄筋を陽極側、銅版を陰極側に接続し直流定電流 20A を通電し、電食を行った。

電食後の腐食ひび割れ性状はいずれの腐食試験体も同様の傾向を示した。試験体底面に関しては、両外側鉄筋に沿った腐食ひび割れが発生し、側面に関しては、L 鉄筋側の側面にのみ腐食ひび割れが発生した。その理由は L 鉄筋 (引抜き) のみ非付着領域を設けたことが影響していると考えられる。

3. 引抜き試験結果

3.1 鉄筋のひずみ分布

図-2(a)~(d)に各試験体における L 鉄筋のひずみ分布を示す。

図-2(a)に示すように鉄筋が健全である BD-S0-0にお

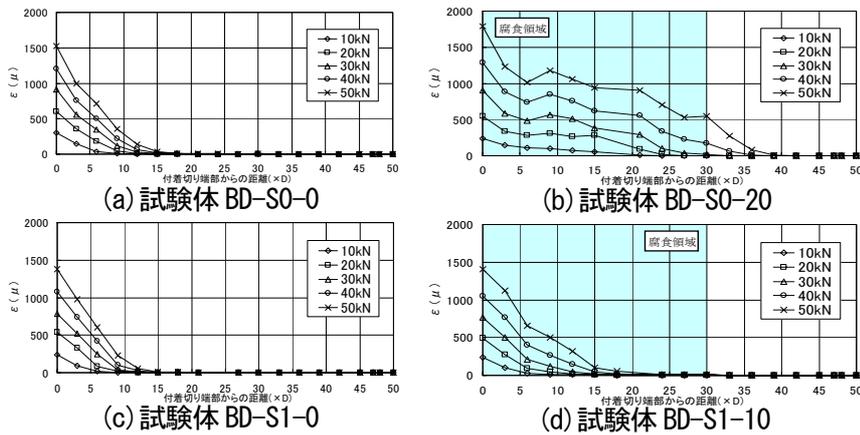


図-2 L 鉄筋ひずみ分布

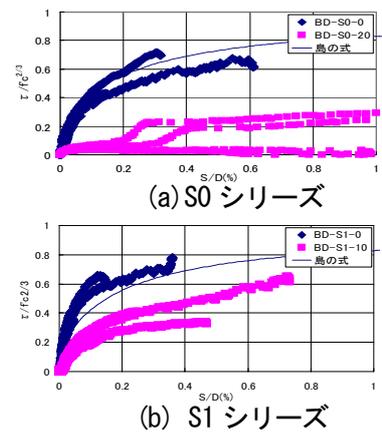


図-3 付着応力 - すべり関係

いては、荷重の増大とともにひずみ勾配が大きくなった。一方、同図(b)に示した鉄筋が腐食した試験体 BD-S0-20 に関しては、荷重が 50kN 時において、36D の位置までひずみが発生している。試験体 BD-S0-0 は同荷重時において 12D までしかひずみが発生していないことから、そのひずみの発生領域は非常に大きいことが分かる。このことは鉄筋の腐食により鉄筋とコンクリートとの付着機能が著しく低下したことに起因する。

同図(c)に示すようにせん断補強筋を有する試験体試験体 BD-S1-0 では荷重が 50kN の時点で、ひずみの発生領域は試験体 BD-S0-0 とほぼ同様であるが、ひずみの値は全体的に小さい。

次に鉄筋が腐食した試験体 BD-S1-10 では荷重が 50kN の時点でひずみは 18D の位置まで生じており、同図(b)に示す試験体 BD-S0-20 と比較すると、ひずみの発生領域は非常に小さい。このことは、同試験体の腐食率が小さいことに加えて、せん断補強筋のコンファインド効果により鉄筋の抜け出し挙動が抑制されたものと考えられる。

3.2 付着応力 - すべり量関係

鉄筋に沿った各位置における付着応力 τ は、式(1)を用い算出した。

$$\tau = \frac{1}{\pi D} \frac{dP}{dx} \quad D: \text{鉄筋径}, P: \text{鉄筋力} \quad (1)$$

鉄筋力勾配の算出方法であるが、腐食試験体の鉄筋は、断面欠損を有することから測定点近傍領域 (10mm) の腐食率を測定し、測定点近傍の周長、断面積を算出した。そして着目する計測点を含む近傍の 3 点を通る 2 次曲線から、各測定点の鉄筋力勾配を算出した。

すべり量はいずれの試験体においても自由端すべりが生じていないことから式(2)により算出される。

$$s = \int \epsilon dx \quad (2)$$

図-3 に各試験体における付着切り終縁から 6D, 9D, 12D, 15D の位置における付着応力 - すべり関係を示す。付着応力は既往の研究と同様、圧縮強度の 2/3 乗で、すべり量は鉄筋径で除することにより無次元化した。鉄筋径は腐食に伴う断面欠損を考慮した値である。また図中

には、式(3)に示す島ら¹⁾による提案式も併せて示す。

$$\tau = 0.9 f_c^{1/3} \left(1 - \exp \left(-40 \left(\frac{S}{D} \right)^{0.6} \right) \right) \quad (3)$$

ここで、 f_c' : 圧縮強度、 S : すべり量、 D : 鉄筋径

同図(a)に示した試験体 BD-S0-0 の $\tau - s$ 関係は、島の式(式(3))に比べて若干小さな値を示したものの、比較的良好な一致を示している。また鉄筋軸に沿った位置によらず、付着応力 - すべり関係はほぼ同じであった。

次に腐食鉄筋を有する試験体 BD-S0-20 においては、全体的に同一すべりに対する付着応力が非常に小さい。

同図(c)に示したせん断補強筋を有する試験体 BD-S1-0 は、試験体 BD-S0-0 に対し同一すべりに対する付着応力が大きいことが分かる。これはせん断補強筋によりコンクリートの拘束力が向上したためである。

次に試験体 BD-S1-10 においては、鉄筋腐食に伴う付着劣化により、試験体 BD-S1-0 に比べて、同一すべりに対する付着応力の値が小さい。しかしながら試験体 BD-S0-20 に比べると、同一すべりに対する付着応力が大きい。このことは腐食率の違いによる影響もあるが、試験体 BD-S0-0 および試験体 BD-S1-0 の $\tau - s$ 関係の差異に立脚すれば、せん断補強筋のコンファインド効果により鉄筋の抜け出し挙動が抑制されたことが主たる要因であると考えられる。

4. 結論

本研究では、実験的手法により鉄筋腐食、腐食ひび割れ性状に加えてせん断補強筋の有無が RC 部材の付着応力性状に及ぼす影響を評価した。以下に本研究で得られた知見を要約する。

せん断補強筋の有無に関わらず鉄筋腐食が生じると、RC 部材の付着応力は健全な場合に比べて低下する。しかしながら、せん断補強筋を有する RC 部材の場合、付着応力の値はせん断補強筋のコンファインド効果によりせん断補強筋を有しない場合と比べて付着応力の低下は比較的小さい。

¹⁾島弘, 周礼良, 岡村甫: マッシュなコンクリートに埋め込まれた異形鉄筋の付着応力-すべり-ひずみ関係, 土木学会論文集, No.378, V - 6, pp.165-174, 1987.2