

鉄筋とコンクリートの付着応力—すべり関係に及ぼすブリーディングの影響

1100377 大塚晋也

高知工科大学 工学部 社会システム工学科

鉄筋のコンクリートへの定着は、鉄筋コンクリートが成立するために重要な事柄である。鉄筋軸に対して垂直に打ち込んだものは、水平に打ち込んだものよりも付着力が低いことが既往の研究から明らかにされている。これは、鉄筋がブリーディングの影響を受けているからである。前年度、高橋¹⁾がひび割れ面近傍における付着応力分布とブリーディングが及ぼす影響を求めた結果、付着応力—すべり関係式から、ブリーディング率が0%から5.51%の間で付着応力が低下した。そこで、付着応力の低下におけるブリーディング率の影響を更に追求するための実験を行った。

Key Words : 異形鉄筋, 付着応力, すべり, 付着応力—すべり関係, 最大付着応力低下, ブリーディング, ブリーディング率

1. はじめに

鉄筋に引張力が働く部材あるいは接合部の変形量は、鉄筋とコンクリート間のすべり特性に支配される。鉄筋が引張力を受けた場合に生じる鉄筋とコンクリートとの間のすべりの大きさは鉄筋の軸方向で変化する。この変化を表現するための基本的な指標として、鉄筋軸に沿った各位置での局所的なすべり量が用いられ、通常はその局所位置における鉄筋とコンクリート間のせん断伝達力である付着応力との関係として表わされる。

横方向に配置されている鉄筋は引張力を受け、縦方向に配置されている鉄筋よりも付着応力が小さくなる。この要因として考えられるのがブリーディングの影響である。コンクリートが打ち込まれると、材料分離が起こる。それに伴い、コンクリート中の水分が上昇する。この影響によって鉄筋の下側に水が溜まり、乾燥して蒸発するとそこが空隙となる。したがって、構造物の変形などを検討する場合にはブリーディングの影響による付着応力の低下を考慮しなければならない。

そこで本実験は、ブリーディング率を0%から約12%に変えたコンクリートブロックからの鉄筋の引き抜き試験を行い、横方向に配置された鉄筋の付着応力—すべり関係とブリーディングの影響を調査することを目的として行った。

2. 現状と問題点

高橋が行ったブリーディング別の試験の結果から、5.51%で付着応力が低下することが分かっている。

しかし、ブリーディング率が約0%, 5%, 10%の3点で結論としているため、5%以下の点で低下するかどうかは分かっていない。

3. 実験

3.1 実験条件

実験の要因は、水平に配置された鉄筋の付着力とブリーディングの関係である。コンクリートの打ち込みは、鉄筋軸に対して垂直で、コンクリートのブリーディング率は、配合を変えて調節したものと、配合は変えずに石灰石微粉末の添加量で調整したもので実験を行った。

3.2 材料

(1) 鉄筋

ひずみ分布を詳細に測るために、実験の作業性を考慮した上でゲージを密に貼ることのできるD25(公称直径 $\phi=25.4\text{mm}$)のネジふし異形鉄筋を用いた。鉄筋の材質はSD345である。

(2) コンクリート

コンクリートの配合、ブリーディング率および圧縮強度試験の結果を表-1に示す。なお、ブリーディング試験は、JIS A 1123に準じて行った。

3.3 試験体

(1) 形状寸法

定着長に関して、土木学会コンクリート標準示方書²⁾による定着長の設計値は式(1)のように 22.5ϕ (ϕ は鉄筋直径)となるため、ブロックの高さは 900mm として、定着長を 23.6ϕ だけ取った。試験体の概略を図-1に示す。

$$l = \alpha \frac{f_y}{4f_{bo}} \phi = 0.6 \frac{405}{4 \times 0.28 \times 30^{2/3}} \phi = 22.5 \phi \quad (1)$$

ブロックの幅と奥行きは 500mm の正方形とした。打ち込み方向は横打ちで鉄筋の位置は底から 250mm である。鉄筋の下部に、D16 の鉄筋の先端に小さく切り出した鉄板を溶接したものを設置し、主鉄筋がたわまないように固定した。

鉄筋定着端(自由端)のすべりを測定するために、鉄筋端部をコンクリートブロック表面に露出させた。

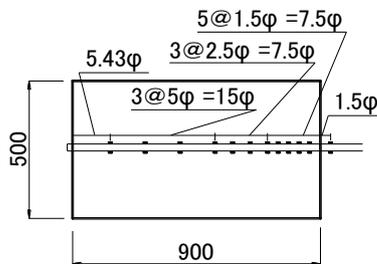


図-1 両シリーズ試験体寸法およびひずみゲージ貼付位置

(2) ひずみゲージの貼付

鉄筋軸に沿ったひずみ分布を測るために、鉄筋にひずみゲージを貼り付けた。ひずみゲージの貼付位置を図-1に示す。載荷端から鉄筋の7.5倍 (7.5ϕ) までは、 1.5ϕ 間隔 (38.1mm) で5か所に貼付した。載荷端から

7.5ϕ 以降は 2.5ϕ 間隔で3か所、 5ϕ 間隔で3か所ずつひずみゲージを貼付した。

3.4 載荷

コンクリートブロック上面の両端部に載荷板として鉄板を置き、その上に直角方向に鉄筋を挟むように載荷梁としてH鋼を設置した。試験体から出しておいた鉄筋に中空型ジャッキを通し、ロードセルを設置し、鉄板とロックナットを使って固定した。一方向(引張のみ)の載荷とし、載荷荷重、ひずみおよび自由端すべりを測定した。

4. 考察

4.1 各試験体の付着応力-すべり関係

高橋の実験を含めた、各試験体の付着応力-すべり関係の結果と、高橋の実験結果からの最大付着応力の低下のグラフを図-2 から図-9 に示す。図中に赤の実線で示す曲線が式(2)で表される鉛直鉄筋を上方に引っ張るとき、すなわちブリーディングの影響がないときの付着応力-すべり関係式³⁾である。

$$\tau = 0.9f_c'^{2/3} \left(1 - e^{-40(S/\phi)^{0.6}} \right) \quad (2)$$

ここで、 τ : 各点における局所付着応力 (MPa)

f_c' : コンクリートの圧縮強度 (MPa)

S : 鉄筋とコンクリートの相対変位 (mm)

ϕ : 鉄筋の直径 (mm)

である。

黒の破線で示す曲線が、式(3)に示すような式(2)の最大付着応力を実験値に合わせて変更した付着応力-すべり関係式である。

表-1 コンクリートの配合とブリーディング試験結果および圧縮強度

試験体名	試験時の 圧縮強度 (MPa)	スラブ (cm)	ブリーデ ィング率 (%)	水セメ ント比 (%)	単位量 (kg/m ³)							
					水 W	セメン ト C	石灰石 微粉末 LF	細骨材 S	粗骨材 G	減水剤 AE	減水剤 SP	増粘剤 VA
No.1	31.6	56×60	0	51.0	247	450	0	568	810	0	2.09	2.47
No.2	35.4	14.0	5.51	55.0	171	311	0	639	1054	0	0	0.51
No.3	34.1	22.0	11.48	55.0	171	311	0	639	1054	3.11	0	0
No.4	40.4	12.0	2.38	55.0	171	311	0	639	1054	1.55	0	0.60
No.5	25.4	12.7	2.80	80.0	195	244	280	421	1132	0	0	0
No.6	24.9	17.5	4.52	80.0	195	244	200	500	1132	0	0	0
No.7	22.7	20.0	12.24	80.0	195	244	0	698	1132	0	0	0

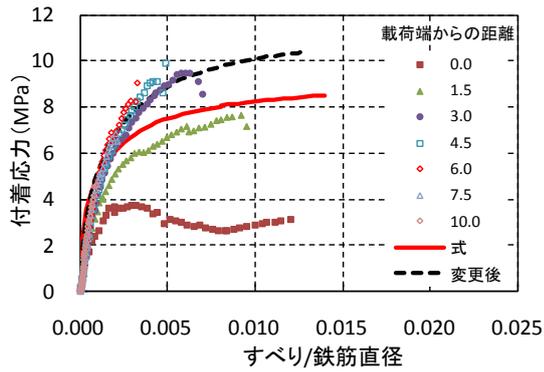


図-2 試験体 No. 1 の付着応力-すべり関係

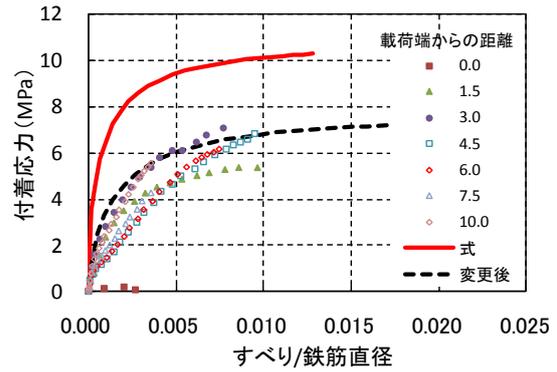


図-6 試験体 No. 4 の付着応力-すべり関係

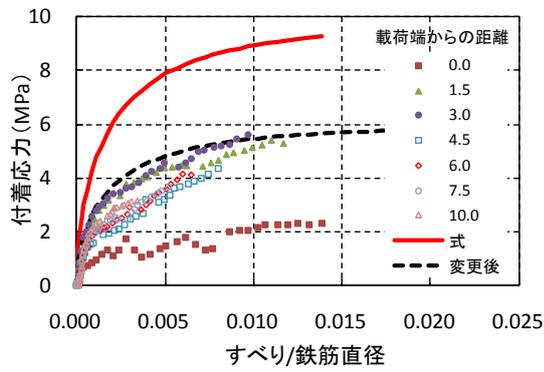


図-3 試験体 No. 2 の付着応力-すべり関係

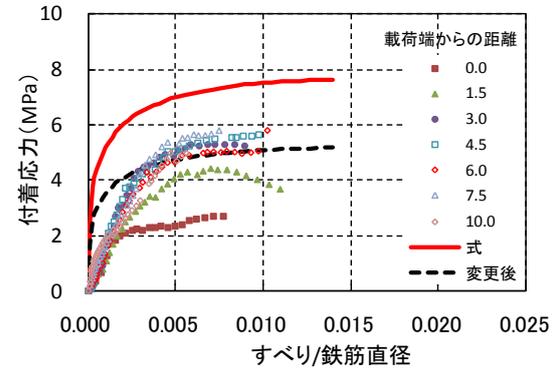


図-7 試験体 No. 5 の付着応力-すべり関係

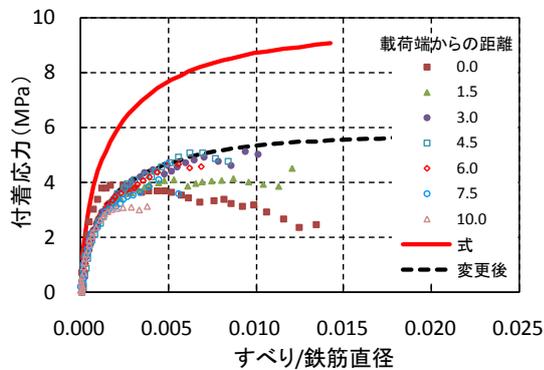


図-4 試験体 No. 3 の付着応力-すべり関係

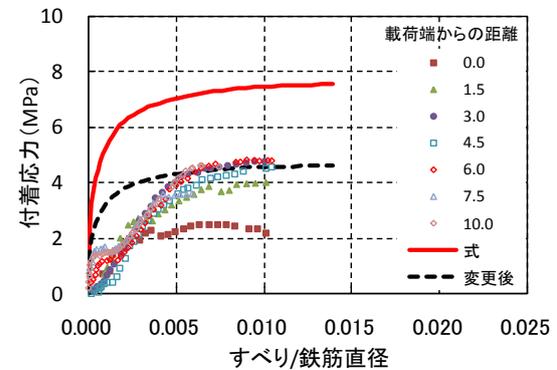


図-8 試験体 No. 6 の付着応力-すべり関係

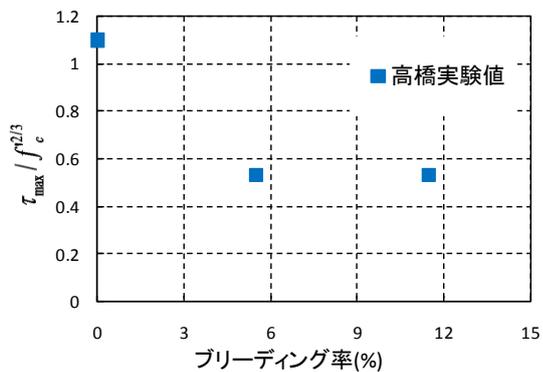


図-5 高橋の最大付着応力の低下グラフ

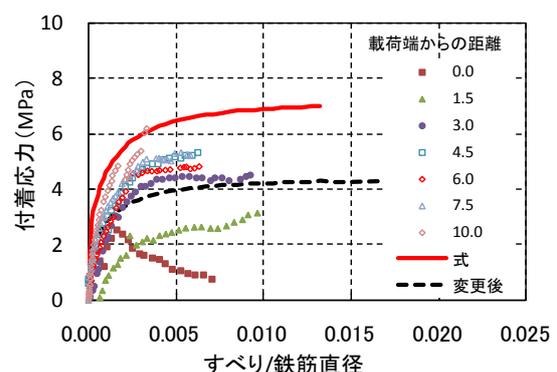


図-9 試験体 No. 7 の付着応力-すべり関係

$$\tau = \tau_{\max} \left(1 - e^{-40(S/\phi)^{0.6}} \right) \quad (3)$$

ここで、 τ_{\max} : ブリーディングの影響を考慮した最大付着応力 (MPa) である。

図-2 から図-4 までが高橋の実験結果であり、図-5 に示すものが高橋の実験値から最大付着応力の低下を示したものである。ここから、ブリーディング率が約 5%で最大付着応力が低下するということが分かる。

図-6 から図-9 の実験結果でも、高橋の実験結果の最大付着応力の低下と同じような傾向が見られた。ここで、高橋の実験値と今回の実験値を合わせた、ブリーディング率と最大付着応力 τ_{\max} との関係を図-10 に示す。実験結果は式 (4) で表すことができる。

$$\tau_{\max} = (0.53 + 0.37e^{-0.44Br^{1.3}}) f_c^{1/3} \quad (4)$$

ここで、 τ_{\max} : 最大付着応力 (MPa)
 Br : ブリーディング率 (%) である。

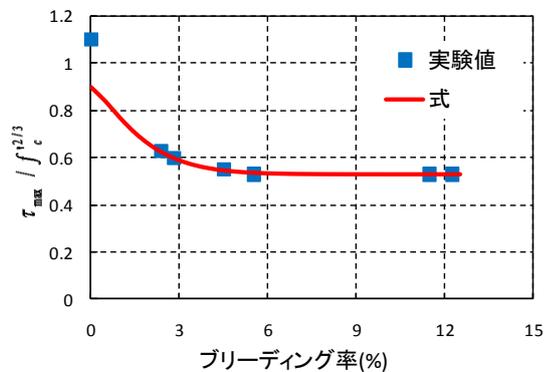


図-10 ブリーディング率と最大付着応力との関係

ここで、青でプロットしているのが高橋と私の実験値を合わせたものであり、赤の実線で示しているのが、式(4)である。この図-10 から、最大付着応力は約 5%で低下しており、それ以上ブリーディング率が増加しても最大付着応力は低下しないことが分かる。

今回の実験で、試験体 No. 6 では急激にすべりが大きくなり、初期剛性が小さくなっている現象が見られた。他の試験体においても初期剛性が小さくなるものがあったが、初期剛性の低下と配合との関係を見出すことはできなかった。

5. 結論

本研究の結果から以下の結論を得た。

- (1) ブリーディングの影響により、最大付着応力は 1/2 程度に低下する。
- (2) ブリーディング率と最大付着応力との関係を式 (3) のように定式化した。
- (3) 付着応力-すべり曲線の形は S 字を描くものもある。

謝辞

供試体の作製や実験の実施にあたっては、高知工科大学技術指導員の宮地日出夫氏をはじめ、コンクリート研究室の皆さんに協力して頂きました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 高橋 正典：鉄筋とコンクリートの付着力の低下に及ぼす位置とブリーディングの影響，高知工科大学，学位論文，2008
- 2) 2002 年制定コンクリート標準示方書[構造性能照査編]，土木学会，2002. 3
- 3) 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