

V-1 異形鉄筋の横ふし間コンクリートのせん断破壊挙動に関する実験的研究

高松高専 正会員 ○長友 克寛
豊橋技術科学大学 正会員 角 徹三
高松高専 松原 三郎

1. 研究目的 鉄筋横ふしの頂面を連ねる円筒面でのコンクリートのせん断破壊は、鉄筋の付着特性がフルに発揮される状態であり、鉄筋周囲のコンクリートに対する拘束が大きい場合、すなわちクリティカルな割裂ひび割れが生じ難い場合にみられ、本研究ではこれを付着せん断破壊と呼ぶことにする。この破壊は、当然付着割裂破壊に比べて強度、靱性ともに大きく、これらのモデル化の際の上限を与えるものである。本研究は、付着せん断破壊時の挙動のうち特に強度に注目し、これについて再検討することを目的としている。

2. 試験体 表-1 に主要実験変数の一覧、図-1 に引抜試験体の形状・寸法をそれぞれ示す。

試験体は $330 \times 300 \times 180 \text{ mm}$ の直方体である。コンクリート断面内には、 $10 \times 150 \text{ mm}$ の中空部を設け、この中空部と供試筋表面との距離を変えることにより、かぶり C を変化させた。本研究では、 C を鉄筋公称径 db で除したものを無次元化かぶり C_o で定義し、各 db 毎に、 $C_o \approx 1.0, 2.0, 3.0, 4.0$ の4種類について検討した。供試筋は、直角横ふしをもつ市販鉄筋D16, D19, D22, D25, D29, D32の6種類であり、材質はSD295Aである。これをコンクリート断面の中央に埋め込み、試験体軸方向の中央位置（載荷面から90 mmの位置）から自由端側に2ふし分の領域のみを定着させ、それ以外の部分はパイプを挿入することによって付着を断った。なお、鉄筋端部には、引抜力 P を負荷するため、ねじ切りを施した。

割裂ひび割れが発生していても、横補強筋などによって十分拘束されている場合には、付着せん断破壊の生ずる可能性がある。この割裂ひび割れの存在の影響を検討するため、ステンレス板を中空部と供試筋との間のかぶり部分に挿入することによってスリットを設けた。割裂ひび割れを想定したこのスリットには、試験体軸に沿って完全に貫通させたものと、定着区間を除くその他の部分のみを貫通させたものとの2種類を用いた。本来、割裂ひび割れは鉄筋両側面に発生するものであるが、本研究では手始めとして、鉄筋の片側のみにひび割れが発生する場合を対象とした。

使用したコンクリートは、粗骨材最大寸法13mmのAEコンクリートであり、目標スランプは10cmとした。基本水セメント比は $W/C = 60\%$ であり、その圧縮強度は $f_c' = 19 \sim 22 \text{ MPa}$ と若干変動した。無次元化かぶりが $C_o \approx 4.0$ の試験体については、水セメント比を $W/C = 40, 50, 60\%$ の3種類に変えることによって f_c' を変化させた。試験体は、供試筋を水平にした状態で上方向からコンクリート打設を行い、養生室内通路で28日間気中養生した後、実験に用いた。

図-1 には、載荷・測定方法についても示す。載荷には手動中空油圧ジャッキを用い、そのテンションバーと鉄筋端部とをカップラーで連結することにより引抜力 P を加えた。その反力は、載荷端側コンクリート面の4辺に沿う幅50mmの領域に圧縮力として作用させた。引抜力 P を中空ロードセル、鉄筋自由端変位 S を変位計により測定しこれらより付着応力 τ - すべり S 関係を求めた。

表-1 実験変数

変数名	変数値
水セメント比 $W/C (\%)$	40, 50, 60
鉄筋公称径 $db (\text{mm})$	15.9, 19.1, 22.2, 25.4, 28.6, 31.8
無次元化かぶり $C_o = C/db$	約1.0, 約2.0, 約3.0, 約4.0
定着区間におけるスリット	有り, 無し

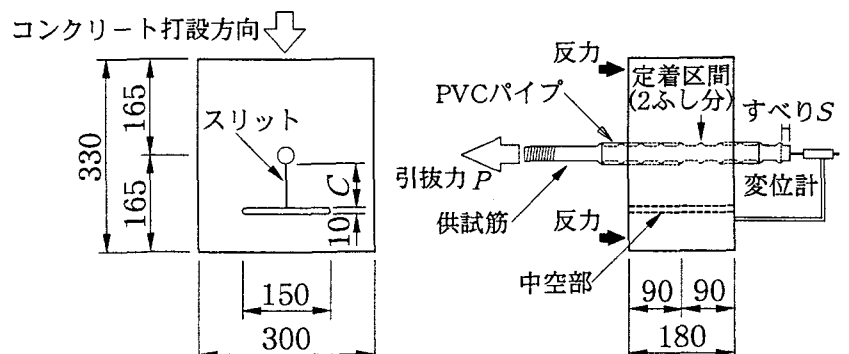


図-1 試験体形状・寸法および載荷・測定方法（単位mm）

3. 破壊性状

ほとんどの試験体において、想定通り供試筋横ふし頂面を連ねる面でのコンクリートのせん断による付着破壊を生じた。横ふし前面ではコンクリートの粉体化も観察された。なお、D29 およびD32 鉄筋で無次元化かぶりが $C_0 \approx 1.0$ と小さい試験体において、各1体ずつVノッチ型割裂破壊が観察されたが、データ整理においてはこれらを除外した。

4. 付着強度 τ_u

図-4に、かぶりが $C_0 \approx 4.0$ ($C \approx 150\text{mm}$) と大きく、かつ定着区間にスリットの無い場合について、付着せん断破壊時の付着強度 τ_u と f_c' との関係を各 d_b 毎に示す。いま、両者を次式で近似する。

$$\tau_u = a_f \cdot f_c'^m \quad (1)$$

係数 m として $1/2$, $2/3$, 1.0 の3ケースについて検討した結果、本実験においては $m=1.0$ とした場合が最も適合性が高かった。すなわち、

$$\tau_u = a_f \cdot f_c' \quad (2)$$

図-5に、式(2)中の係数 a_f と d_b との関係を示す。同図より、 a_f は、D22鉄筋までは d_b の増加に伴いほぼ直線的に増大し、D22よりも太径の鉄筋ではほぼ一定値を取ることが分かる。これらの結果を直線近似すると次式となった。

$$\begin{aligned} a_f &= 0.023 \cdot d_b - 0.14 \quad (d_b \leq 22.2\text{mm}) \\ &= 0.370 \quad (d_b \geq 22.2\text{mm}) \end{aligned} \quad (3)$$

図-6に、 τ_u/f_c' と C との関係を各鉄筋径 d_b 毎に示す。同図(a)はスリットの無い場合を表しているが、 C の増加に伴い τ_u/f_c' はほぼ直線的に減少する。これは、ブリーディングの影響が大きいと考えられる。同図(b)はスリットの有る場合を表している。各 d_b 共に、 $C \approx 70\text{mm}$ までは、 C の増加に伴い τ_u/f_c' はほぼ直線的に増大する。これは、鉄筋横ふしのくさび作用に伴うスリットの開口が小さくなり、鉄筋の拘束が増大することが原因と考えられる。 $C \approx 70\text{mm}$ を境として、これ越えると逆に τ_u/f_c' は減少し始め、しかもスリットの有無の影響は無くなる。同図(a)のスリット無しの場合について、実験結果を直線近似すると次式となった。

$$\begin{aligned} \tau_u/f_c' &= -0.0022 \cdot C + 0.023 \cdot d_b + 0.19 \quad (d_b \leq 22.2\text{mm}) \\ &= -0.0022 \cdot C + 0.70 \quad (d_b \geq 22.2\text{mm}) \end{aligned} \quad (4)$$

なお、付着強度の実験値 $\tau_u/f_{c'exp}$ に対する式(4)による計算値 $\tau_u/f_{c'cal}$ の比は、平均値1.00、標準偏差0.12と良好であった。ただし、 C がさらに大きい場合や鉛直鉄筋については、今後の検討課題である。また、付着割裂強度の場合、 τ_u は C_0 の関数として表現されるが、本実験の範囲内では、 C の方が相関が高かった。

5. まとめ

本研究では、異形鉄筋の横ふし間コンクリートのせん断による破壊を対象とし、引抜き試験の実験結果に基づき、鉛直かぶりおよび鉄筋径を変数とした付着強度式を提案した。

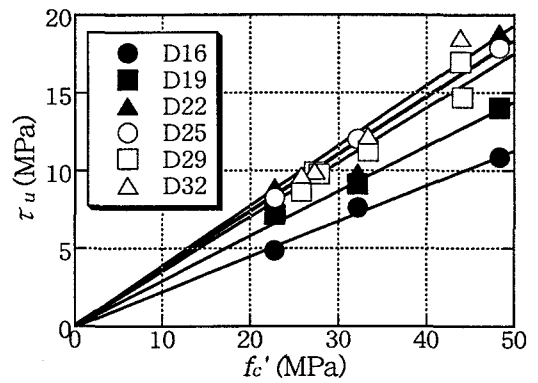


図-4 付着強度 τ_u - コンクリート圧縮強度 f_c' 関係

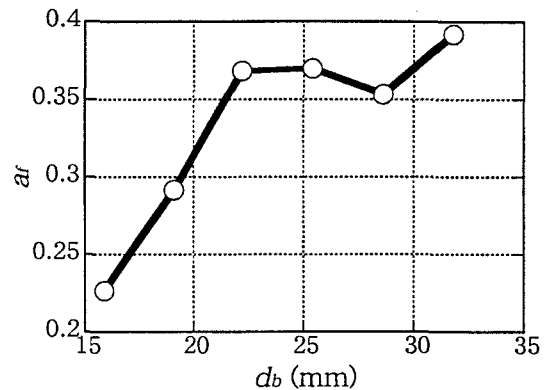
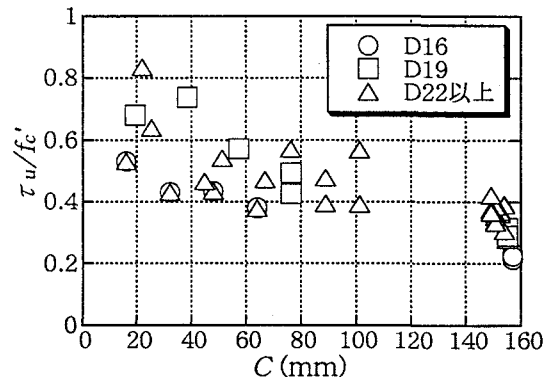
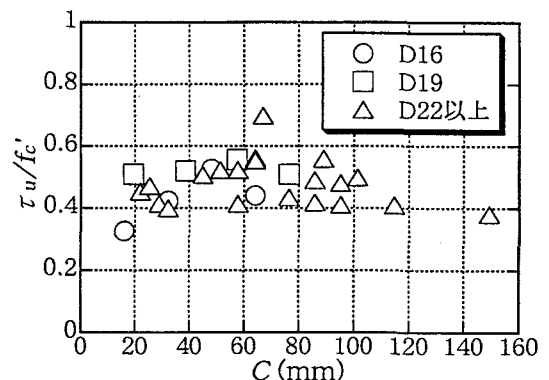


図-5 係数 a_f - 鉄筋径 d_b 関係



(a) スリット無しの場合



(b) スリット有りの場合

図-6 付着強度 τ_u - かぶり C 関係