

東京都立大学 正会員 村 田 二 郎

日 本 大 学 正 会 員 ◎ 河 合 紘 茲

1、まえがき

J I S G 3112 には、コンクリートの付着強度を確保するために、異形鉄筋の表面形状について、ふしの高さ、間隔、すき間および軸線とのなす角度が規定されているが、ふし側面の傾斜角度については規定されない。本文では、異形鉄筋のふし側面の傾斜角度が、割裂き付着強度に重大な影響を及ぼすものと予想されるので、ふし側面の傾斜角度およびふし間隔が鉄筋とコンクリートの割裂き付着強度に及ぼす影響を割裂き引抜き試験によって、詳細に検討した結果をとりまとめたものである。

2、使用材料

1) 鉄 筋

実験結果を広範囲に得るために、S D 35 に相当する普通丸鋼を切削して D 32、ふし高 2.2 mm、ふし間隔 22 mm、ふし側面の傾斜角度を 15 度から 5 度間隔で 90 度までの 16 種と、ふし高 2.2 mm、ふし側面の傾斜角 90 度、ふし間隔 0.6ϕ (19 mm)、 1.0ϕ (31.8 mm)、 1.2ϕ (38.2 mm) および 1.5ϕ (47.7 mm) の 4 種に変化させた横ふし筋 (図-1 参照)、市販鉄筋 D 32 の横ふし筋の中間のふしを切削して、ふし間隔を 0.46ϕ (14.6 mm)、 0.92ϕ (29.2 mm) および 1.38ϕ (43.8 mm) の 3 種に変化させたもの、市販鉄筋 D 32 の横ふし筋および斜めふし筋であつて、そのふし側面の傾斜角度はそれぞれ 64 度 28 分と 54 度 16 分のものを用いた。

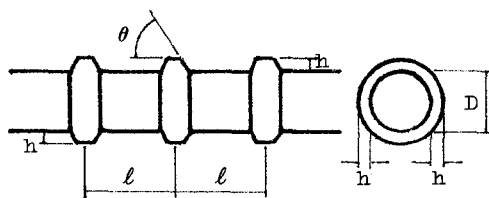


図-1 切削試験片の表面形状

表-1 コンクリートの配合

2) コンクリート

コンクリートは粗骨材の最大寸法を 25 mm

スランプ約 10 cm、圧縮強度約 300 kgf/cm²

とした。コンクリートの配合を表-1に示す。なお、使用したセメントは普通ポルトランドセメント、細粗骨材は通常の品質を有する川砂、川砂利である。

σ_c (kgf/cm ²)	G_{max} (mm)	S (cm)	W/C (%)	S/a (%)	単位量 (kg/m ³)			
					C	W	S	G
300	25	10	55	40	309	170	719	1095

3、試験方法

割裂き引抜き試験の供試体形状および寸法を図-2に示す。一辺を 6ϕ の立方形無補強コンクリートとし、付着長は 4ϕ 、非付着長は 2ϕ とした。供試体の養生方法は、静的試験の場合 28 日まで標準養生を行なつた。疲労試験の場合は、28 日まで標準養生を行ない、28 日以後はセメントの水和進行を断つために、室温マイナス 20 °C の低温室に静置し、試験日 2 日前に取り出して恒温恒湿室へ移して、通常の状態にもどしてから試験を行なつた。実験に使用した試験機は 300 t 万能試験機と 50 t 電気油圧式サーボ試験機であつて、鉄筋直径の 2 倍の孔径を有する載荷板上に湿潤状態の供試体を正しく据え、球座を介して鉄筋に引抜き力を与えた。荷重は静的試験の場合、鉄筋の引張応力の増加が毎分 500 kgf/cm² 以下となるようにし、自由端の各所定のすべり量に対して荷重を読み取り、付着応力を算定した。($\tau_0 = P / \pi \phi l$ ここに、 τ_0 : 付着応力、P : 荷重、 ϕ : 鉄筋直径、 l : 付着長) 一方、疲労試験は下限応力を 1 t (付着応力で約 787 kgf/cm²) と一定とし、上限応力は実験状況に応じて変化させ、S-N 曲線を描き 200 万回付着疲労強度を求めた。

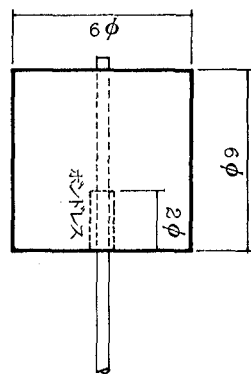


図-2 割裂き引抜き供試体図

4、試験結果

1) ふし側面の傾斜角度が割裂き付着強度に及ぼす影響

ふし側面の傾斜角度が割裂き付着強度および割裂き付着疲労強度に及ぼす影響試験結果を、図-3に示す。図-3において静的割裂き付着強度は、ふし側面の傾斜角が45度以下では著るしく低下する傾向にある。その程度は、45度の場合125 kgf/cm²であるのに対して、15度では96 kgf/cm²であつた。一方、45度以上では一部の比較的大きい角度を除いて、約125 kgf/cm²から130 kgf/cm²とほぼ、一定値を示している。これは、国分・岡村氏の試験結果⁽¹⁾と類似している。市販鉄筋による横ふし筋(約64度)と斜めふし筋(約54度)の割裂き付着強度は126 kgf/cm²と121 kgf/cm²であり、切削試験片による試験結果とよく一致している。ここで、ふし側面の傾斜角度が割裂き付着強度に及ぼす影響について考察すると、

異形鉄筋の付着応力は支圧応力の他、摩擦力および接着力からなるが、後二者は小さいのでこれを無視し、かつ、付着応力は鉄筋の長さに沿って一様に分布するものと仮定すれば、 $P = \tau_0 \pi \phi l = n \sigma_b h \pi \phi$ (ここに、 P : 荷重、 τ_0 : 付着応力、 ϕ : 鉄筋直径、 l : 付着長、 n : 付着区間におけるふしの数、 σ_b : 支圧応力 h : ふしの高さ) $\tau_0 = h / l \sigma_b = t / r \sigma_b \tan \theta$ 、このように数個の仮定を設けて問題を単純化すると、かぶり厚さと鉄筋径の比が一定である場合には、コンクリートの引張強度とふし側面の傾斜角度だけに支配されることになる。次に、200万回割裂き付着疲労強度は、ふし側面の傾斜角が15度から35度までは、ほぼ一定値の61 kgf/cm²から63 kgf/cm²であり、45度から90度までは71 kgf/cm²から79 kgf/cm²であつた。これは静的付着強度の約58%と59%に相当する。市販鉄筋による横ふし筋と斜めふし筋の割裂き付着疲労強度は62 kgf/cm²と68 kgf/cm²であり、静的付着強度の約49%と56%に相当する。このように、割裂き付着疲労強度が静的付着強度の約50%から60%と低下した理由は、破壊状況の相違によるものと考えられる。たとえば、静的割裂き引抜き試験の場合、鉄筋に沿う縦ひびわれが発生して破壊に至っているのに対して、疲労試験の場合鉄筋に沿う縦ひびわれほとんど発生せず、ふし前面のコンクリートの圧壊により、支圧応力の低下によつて破壊に至っている。以上のことから、ふし側面の傾斜角は45度以上とすることが望ましい。

2) ふし間隔が割裂き付着強度に及ぼす影響

ふし間隔が割裂き付着強度および割裂き付着疲労強度に及ぼす試験結果を図-4に示す。図-4において、割裂き付着強度はふし間隔が0.4φから1.0φでは、116 kgf/cm²から125 kgf/cm²とほぼ一定値を示しているが、1.2φから1.5φでは108 kgf/cm²から79 kgf/cm²と著るしく低下する傾向にある。これは主として、コンクリートのフープテンションが、ふし間隔内において一様でないことによるものと考えられる。たとえば、同一付着区間内でふし間隔が0.6φと1.2φを比較するとふしの数では1/2倍となり、支圧応力は2倍働くことによるものと推察される。次に、200万回付着疲労強度は、ふし間隔が0.4φから1.0φでは約60 kgf/cm²から70 kgf/cm²であり1.2φから1.5φでは約55 kgf/cm²から30 kgf/cm²であつた。これは静的付着強度の約55%と45%に相当する。以上のことから、ふし間隔は鉄筋直径の1.0φ以下とすることが望ましい。

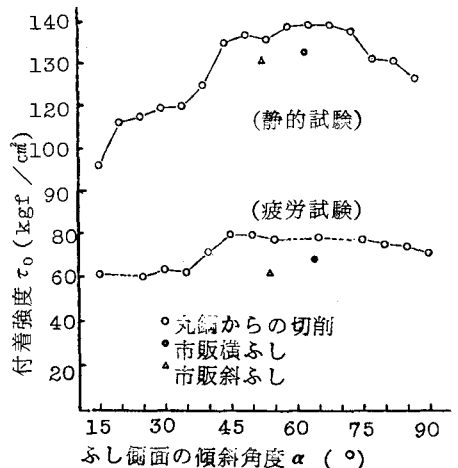


図-3 ふし側面の傾斜角が割裂き付着強度に及ぼす影響

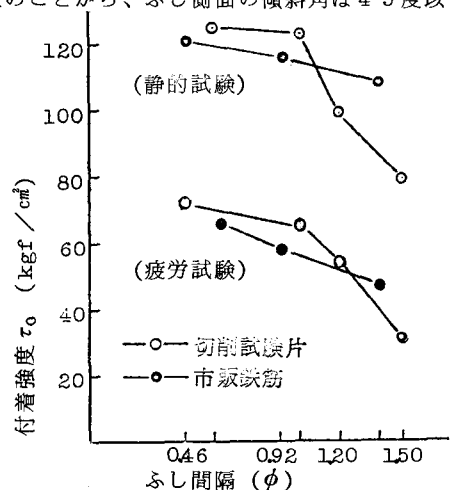


図-4 ふし間隔が割裂き付着強度に及ぼす影響