

住友金属工業 正会員 山川純雄
同 同 ○ 白川 潔
同 同 小山清一

1. まえがき

スチールファイバーとモルタル（又はコンクリート）との付着強度を増大することにより，スチールファイバーコンクリート（以下 S.F.C. と略称）の各種強度の向上が期待できる。しかしながら既往の報告によるとファイバーの付着強度の向上率に比して S.F.C. の曲げ強度の向上率はかなり低い。この理由としてはファイバーのランダム配置と臨界長さが考えられる。

本報告はスチールファイバーの形状と付着強度，埋込み角度と付着強度およびアスペクト比と S.F.C. の曲げ強度との関係を実験的に明らかにし，S.F.C. の補強機構解明の基礎資料を得ようとしたものである。

2. 異形ファイバーの付着強度と臨界長さ

フラットファイバーの付着強度はモルタルとファイバーとの粘着力で評価できるが，異形ファイバーの場合はモルタルのせん断強度に支配されていると考えられる。したがって異形ファイバーの場合には付着強度 τ_b は次式で表せる。

$$2(w+t) \cdot l_0 \cdot \tau_b = 2(w+t+d) \cdot l_0 \cdot \tau_s$$

$$\therefore \tau_b = \{1 + d/(w+t)\} \cdot \tau_s \dots\dots\dots (1)$$

ここに， w : ファイバーの板幅， t : ファイバーの板厚， d : ファイバーのみぞ深さ
 l_0 : ファイバーの付着長， τ_s : モルタルのせん断強度

また，ファイバーの臨界長さ l_c は(2)式で与えられる。

$$l_c = \frac{w \cdot t \cdot \sigma_{fu}}{(w+t+d) \cdot \tau_s} \quad (2)$$

ここに σ_{fu} : ファイバーの引張強さ

3. 実験内容と結果

3.1. ファイバーの形状と付着強度

供試体は図 1 に示すように鋼管内にモルタルを充填し，その中央に表 1 に示す形状のファイバーが埋込まれている。このファイバーを引抜き，付着強度をもとめた結果も表 1 に示す。表より，ファイバー A の付着強度はファイバー D（フラット）のその 3 倍以上でファイバー B, C に比べてもより高い値を示している。

表 1. ファイバーの形状と付着強度⁽¹⁾

ファイバーの種類	形状寸法 (mm)	引張強さ (Kg/mm ²)	付着強度 (Kg/cm ²)
* ファイバー A (波形)	0.25 × 0.55 × 25.0 l	6 5.7	≥ 4 6.2 (破断)
" ** B	0.4 ϕ × 1 7.5 l	1 5.2	3 0.7
" ** C	0.3 ϕ × 2 5.0 l	1 0.2	≥ 3 9.5 (破断)
" D (フラット)	0.25 × 0.55 × 25.0 l	7 8.1	1 5.3

3.2. ファイバーの埋込み長と付着強度

ファイバー A の埋込み長と引抜き力との関係を図 2 に示す。図 2 よりモルタルのせん断強度が 6 3.3 Kg/cm²（圧縮強度 2 8.6 Kg/cm²）の場合，埋込み長 $l_0 < 6 \sim 7$ mm でファイバーは引き抜けるが $l_0 > 7$ mm になると付着力がファイバーの引張強度より高くなり，ファイバーが破断する。

この場合の臨界長さ l_c は 12 ~ 14 mm で(2)式で求めた $l_c = 12.9$ mm と良く一致している。

(1) ファイバーの埋込み長 1 2.5 mm

モルタルの圧縮強度 178 Kg/cm²，せん断強度 4 3.5 Kg/cm²

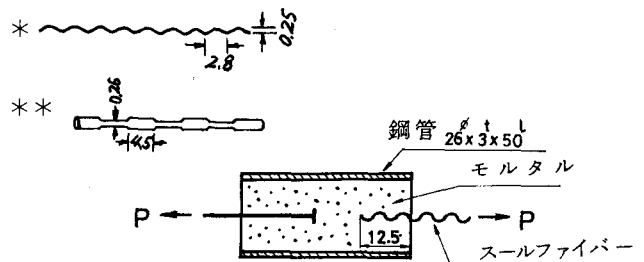


図 1. 付着供試体と加力方法（単位：mm）

3.3. ファイバーの埋込み角度 θ と付着強度

通常、ファイバーはモルタル又はコンクリート中にランダムに混入されており、ファイバーの方向は必ずしも主応力方向に一致しない。

そこで埋込み部のファイバーに傾斜をつけた場合の埋込み角度 θ と付着強度との関係をファイバーA(波形)とファイバーD(フラット)の2種類について調べた。結果を図3に示す。図3より θ を 0° から 45° に変化させると付着強度はファイバーDで約35%増大するが、ファイバーAでは逆に約20%減少する。すなわちファイバーAの付着強度とファイバーDのその比は

$\theta=0^\circ$ のとき約2.2倍であるが、 $\theta=45^\circ$ の場合には約

1.3倍となり、強度倍率は低下する。これは2で述べたごとく、 $\theta=0^\circ$ ではフラットファイバーの付着強度がファイバーとモルタルとの粘着強度に、他方異形ファイバーの場合はモルタルのせん断強度に支配され、その破壊形式が全く異なっているためと考えられる。これに対し、 $\theta=45^\circ$ では両ファイバーともに図3の補足図に示すモルタルの端部Cが剥離する同一の破壊形式を生じるようになり、その結果ファイバーの形状の相異があまり認められなくなるためと考えられる。なお、ファイバーを主応力に平行に配置すれば、S.F.C.の曲げ強度、引張強度はファイバーの付着強度に比例して向上する。

これより、異形ファイバーはコンクリート中にランダム配置するよりも主応力に平行に配置した方が、その補強効果が大きくなることがわかる。

3.4. S.F.C.の曲げ強度

3.2の結果よりファイバーAを用いるとS.F.C.のひび割れ発生後はファイバーが引抜けて付着破壊するものと引張破壊するものが考えられ、この破壊形式の相異はひび割れ断面に存在するファイバーの埋込み長(付着長)による。すなわち、ひび割れ断面からの付着長を l_0 とすると $2l_0 > l_c$ のときファイバーは破断し、逆に $2l_0 < l_c$ のときファイバーは引抜ける。

ここではファイバーのアスペクト比 l/d を3.3($l < l_c$)と6.6($l > l_c$)に選び、これを用いたS.F.C.の曲げ強度をもとめ、実験式(3)と比較した(図4)。

$$\sigma_{cbu} = 0.97\sigma_{mbu}(1-V_f) + 3.41V_f(l/d) \dots (3) \text{ SWAMY式}$$

その結果、 $l/d=3.3$ すなわち $l < l_c$ ではS.F.C.のひび割れ発生後、ファイバーは付着破壊を起こし(3)式と良く一致している。一方 $l/d=6.7$ すなわち $l > l_c$ ではファイバーが付着破壊を起こすものと引張破断するものがあり、終局強度 σ_{cbu} は(3)式よりも高い値を示している。このように $l > l_c$ のファイバーを用いたS.F.C.の曲げ強度の推定にはさらに検討の余地が残されている。

○参考文献(1) Swamy, R. N. and Mangat, P. S.; Flexural strength of steel fibre reinforced concrete, Proc. Instn. Civ. Engrs., Part 2, vol. 57, Dec. 1974, pp701-707.

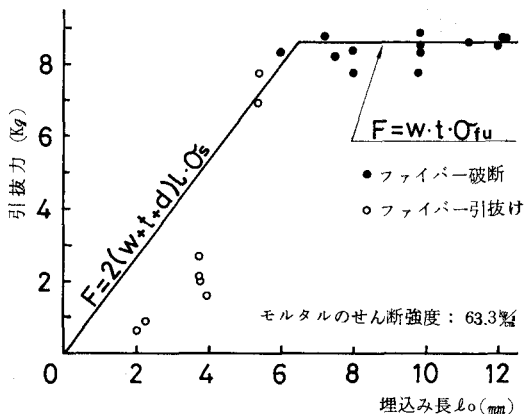


図2 ファイバーの埋込み長と引抜力

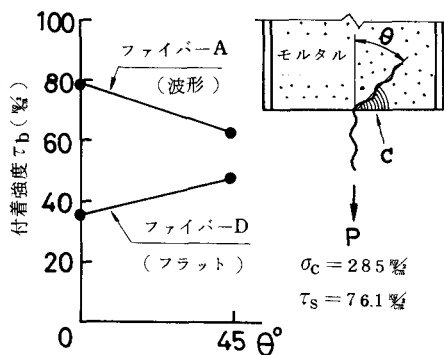


図3 埋込み角度 θ と付着強度

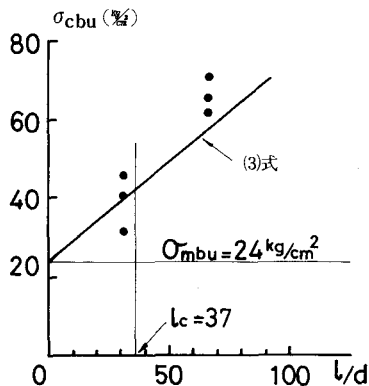


図4 S.F.C.の曲げ強度とアスペクト比