

日 本 大 学 正 会 員 ○ 峰 松 敏 和
東京大学生産技術研究所 正 会 員 魚 本 健 人

1. まえがき

近年、鋼繊維補強コンクリートのすぐれたせん断特性に着目して、これを実構造物へ適用するための研究が実施され、鋼繊維補強コンクリートのせん断強度に影響を及ぼす各種要因も明らかになりつつある。しかしながら鋼繊維補強コンクリートのせん断強度の強化機構に関しては未だ明らかにされていない。そこで本報告では、鋼繊維によるせん断強度の強化機構も繊維間隔説に基づくものと考え、鋼繊維補強コンクリートのせん断強度に及ぼす各種要因の影響について検討を加えたものである。

2. 実験の概要

鋼繊維補強コンクリートのせん断強度に影響を及ぼす因子としては、繊維の直径、水セメント比、繊維の品質、繊維の配向並びに繊維混入率等が考えられ、本報告では、これらの種々の要因について検討を実施することとした。実験に使用した材料はセメントには早強ポルトランドセメントを、細骨材には川砂を、粗骨材には最大寸法 15 mm の碎石を用い、繊維は現在我が国で比較的容易に入手できる繊維を中心に表-1 に示すようなものを用いた。コンクリートの配合は、細骨材率を各々の条件に基づいた最適細骨材率とし、単位水量はいずれもスランプが 8 ± 2 cm となるようにこれを定め、載荷試験は水中 2 週養生後実施した。なお、本実験に用いたせん断強度試験方法は試験が簡便で、かつ、得られるせん断強度が二軸載荷試験によって求めた純せん断強度と比較的良好一致する載荷幅 10 mm の直接二面せん断強度試験方法²⁾を用いた。

3. 実験結果及び考察

表-1 使用繊維の諸元

繊維	繊維寸法 (mm)	繊維の製造方法	繊維の形状	アスペクト比	Tf^* (kg/cm ²)	δf^* (kg/cm ²)
A	$\phi 0.4 \times 40$	カットワイヤー	両端フック付	100	—	85.2
B	$\phi 0.6 \times 60$		異形	60	41	93.8
C	$\phi 0.5 \times 30$			100		
D	$\phi 0.6 \times 60$					
E	$0.5 \times 0.5 \times 30$	せん断ファイバー	ストレート	53	19	58.5
F					16	51.7
G					16	36.4
H			波形		27	56.0
I	$0.35 \times 0.7 \times 30$		ストレート	54	20	57.2

*文献1) 参照 Tf : 繊維とマトリックスとの付着強度

δf : 繊維のせん断強度

図-1 は表-1 に示した繊維のうち形状及びアスペクト比が同じで、繊維寸法のみ異なる繊維 A と B を用いて繊維直径がせん断強度に及ぼす影響を示したものである。この図より明らかなように、鋼繊維補強コンクリートのせん断強度は同一アスペクト比の繊維を用いた場合には繊維直径の小さいもの

ほど高いせん断強度が得られている。即ち、鋼繊維補強コンクリートのせん断強度も Romauldi³⁾ が提唱した繊維の直径と繊維混入率に起因して定まる繊維の平均間隔によってそのひび割れ強度が決定されるとする繊維間隔説によって支配されると考えられ、特に、せん断破壊の場合にはひび割れの発生とはほぼ同時に最大荷重に達するため、その傾向はより著しいと考えられる。しかしながら、Romauldi³⁾ が提唱した繊維の平均間隔を求める式においては、繊維の配向状態による影響を全く考慮しておらず、この配向状態が繊維の平均間隔に及ぼす影響も考慮する必要がある。そこで、小林⁴⁾ が提案した繊維の配向状態を加味して繊維の平均間隔を求める式を用いて、せん断強度に及ぼす各種要因の影響と $1/\sqrt{s}$ との関係を示すと図一

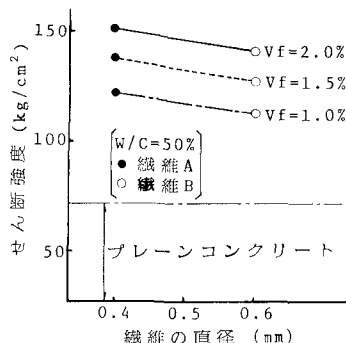


図-1 繊維直径とせん断強度との関係

2〜図-4となる。図-2は水セメント比を50%とし繊維種類を変化させたもので、図-3は繊維Eを用いて水セメント比を40%〜70%と変化させたものである。また、図-4は水セメント比50%、繊維をEとし繊維を強制的に一次元、二次元、三次元に配向させたものである。なお、この場合の配向係数は一次元を1.0、二次元を0.637とし、三次元の場合は繊維のアスペクト比に基づいて式-2より求めた値とした。

これらの図から明らかなように、せん断強度と $1/\sqrt{S}$ はいずれの場合でも比例関係にあり、これは引張強度における $1/\sqrt{S}$ との関係と同様であることから、鋼繊維補強コンクリートのせん断強度も小林らが提案した引張強度の推定式 $\sigma = K(1/\sqrt{S} - 1/\sqrt{S_c}) + \sigma_m$ と類似した形で表わすことが可能と考えられる。しかしながら、引張強度の場合にはプレーンコンクリートの引張強度 (σ_m)、繊維の平均間隔 (S) の他に、定数 K として繊維とマトリックスとの付着強度のみがあげられているが、せん断強度の場合には他の因子の影響も加味する必要がある。即ち、繊維自体がせん断強度に及ぼす影響として、繊維とマトリックスとの付着強度の他に繊維の剛性の影響があげられ、さらに、鋼繊維補強コンクリートのせん断強度は水セメント比の小さいものほど繊維による補強効果が大きくなることから水セメント比による影響も考慮する必要がある。

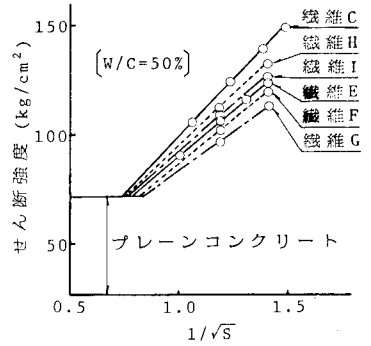


図-2 繊維種類が変化した場合のせん断強度と $1/\sqrt{S}$ との関係

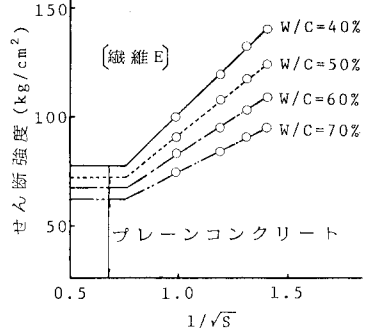


図-3 水セメント比が変化した場合のせん断強度と $1/\sqrt{S}$ との関係

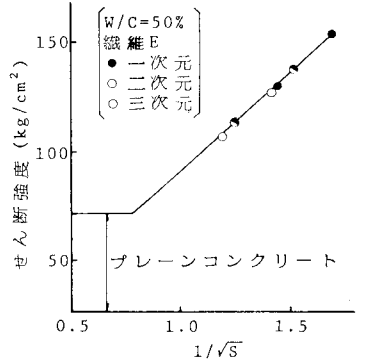


図-4 配向状態が変化した場合のせん断強度と $1/\sqrt{S}$ との関係

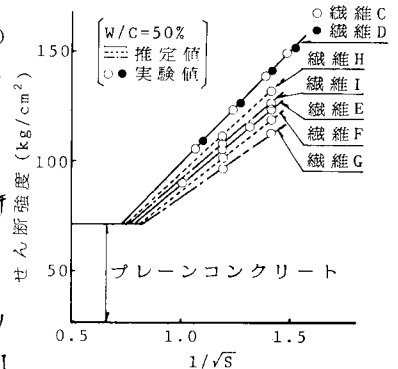


図-5 推定せん断強度と実測せん断強度との関係

以上述べたような要因を考慮すると、 $\tau = \alpha(1/\sqrt{S} - 1/\sqrt{S_c}) + \tau_m$ (式-1) ここで
 τ : 鋼繊維補強コンクリートのせん断強度 (kg/cm^2)
 τ_m : プレーンコンクリートのせん断強度 (kg/cm^2)
 S : せん断面上における繊維の平均間隔 (cm)
 $S_c = 5\sqrt{\pi}/\beta \times d/\sqrt{p}$
 β : 繊維の配向係数
 $\beta = 0.002(L/d) + 0.4$ (式-2)
 d : 繊維の直径 (cm)
 p : 繊維混入率 ($\text{vol.}\%$)
 S_c : 繊維が補強効果を生ずるの上限値 (cm)
 α : 繊維の品質及び水セメント比によって決まる定数
 $\alpha = \{73.21 \log \sqrt{f \cdot \delta f} - 103.2\} \times \{-1.9(W/C) + 19.5\}$
 τ_f : 繊維とマトリックスとの付着強度 (kg/cm^2)
 δf : 繊維のせん断強度 (kg/cm^2)

鋼繊維補強コンクリートのせん断強度式は式-1となり、この式に基づいて求めたせん断強度と実測値との関係の一例を示すと図-5となる。この図からも明らかなように、式-1はせん断強度を比較的適確に示しており、特に繊維の品質が同じで寸法のみ異なるCとDは同一直線で表わされることからせん断強度は繊維間隔に基づいて補強されることがより明確である。

また、式-1から明らかなように、繊維間隔以外の要因としては1) プレーンコンクリートのせん断強度、2) 繊維の品質、特に繊維とマトリックスとの付着強度及び繊維の剛性、3) 水セメント比、があげられる。

謝辞

本研究を実施するにあたり 終始御指導いただいた東京大学生産技術研究所 小林一輔教授に感謝の意を表わします。

参考文献

- 1) 峰松, 魚本, 第3回コンクリート工学年次講演会, 1981年
- 2) 魚本, 峰松, コンクリート工学論文, Vol.19, No.4, 1981年4月
- 3) Romauldi, J.P. and Mandel, J.A., ACI Journal, Proc. Vol.61, No.6, June 1964
- 4) 小林, 趙, 土木学会論文報告集第257号, 1977年1月