

繊維強化コンクリートの曲げ強度およびタフネスに及ぼす繊維混入率の影響

徳島大学工学部 正会員 河野 清
 岡崎工業(株) 正会員 原田辰夫
 徳島大学大学院 学生員 中井将博
 徳島県庁 正会員 瀬尾政二

1. まえがき

従来のコンクリートには、ひびわれを生じやすく、曲げ強度や引張強度が低いという弱点がある。そこで近年繊維材料を用い、曲げ強度、引張強度、タフネスなどの改善について検討されてきた。本研究は、国産の2種の代表的繊維を用いた繊維強化コンクリートの力学的性質とくに曲げ強度を取りあげ、間隔説と複合則との2つの考え方による強度推定式について検討、考察を行った。また、繊維混入率とタフネスの関係を検討しさらに、繊維混入率のスランプあるいはV値への影響についても調査を行った。

2. 実験計画

(1) 使用材料

使用した繊維は、住友金属社製のせん断ワイバー、神戸製鋼所製のカットワイヤーの2種である。使用材料を表1に示す。

(2) コンクリートの配合

繊維混入率は、0、0.4、0.6、0.8、1.2、1.6、2.0 2.4 %wtと変化させ、材令28日で試験を行った。配合は次の2つの方法をとった。

i) コンシステンシー一定(スランプ10 cm)

で水セメント比50、60%とした。使用した配合の一例を表2に示す。

ii) コンクリートマトリックスの配合は変えず

に、繊維混入率のみ変えた。使用した配合の一例を表3に示す。

(3) 供試体の成形および養生

i) 成形…曲げ強度試験用供試体は、10×10

×40 cmのはり型わくを用い、圧縮強度試験用

供試体は、φ10×20 cmの内柱型わくを用いて成形した。締固めは振動数6000 rpmの振動台で20秒間行った。

ii) 養生…表面をこては上げしもの、供試体を恒温室にゆき、24時間20±2℃、RH 80%で静置した後、

脱型して所定材令の28日まで20℃の水中養生を行った。

3. 試験方法

(1) 圧縮強度試験…φ10×20 cmの内柱供試体を用い、100t万能試験機により、JIS A 1108の規定に従って行った。

(2) 曲げ強度試験…10×10×40 cmのはり供試体を用いスパン30 cmにとり、中央集中荷法で曲げ試験を行った。

(3) タフネスの測定…曲げ試験の際に、変位計、ロードセルおよびX-Yレコーダーを用い、供試体スパン中央で荷重-たわみ曲線を描き、たわみ1.9 mmまでの面積

表1 使用材料

材料	性 質
せん断ワイバー	0.21×0.6×25 mm (クリップしたもの) 比重7.8 L/d=62.4 引張強度 78 kgf/mm ²
カットワイヤー	φ0.5×30 mm 比重7.8 L/d=60 引張強度 60 kgf/mm ²
セメント	普通ポルトランドセメント比重3.16比表面積3110 cm ² /g
粗骨材	岐阜産川砂利 最大寸法10 mm 比重2.67 FM 6.00
細骨材	吉野産川砂 比重2.63 吸水率1.2% FM 2.25

表2 配合表 (スランプ一定 W/C 50%の場合)

配合の種類	目標スランプ(cm)	W/C (%)	S/A (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
				水	セメント	細骨材	粗骨材	繊維
PL	10	50	55	228	456	865	718	—
SF1.2	10	50	61	246	492	894	580	94.2
SF2.4	10	50	67	264	528	907	454	188.4

表3 配合表 (マトリックス一定 W/C 50%の場合)

配合の種類	目標スランプ(cm)	W/C (%)	S/A (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
				水	セメント	細骨材	粗骨材	繊維
PL	17	50	66	259	518	949	497	—
SF1.2	11	50	66	256	512	938	490	94.2
SF2.4	3	50	66	253	506	926	485	188.4

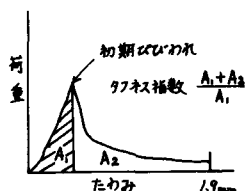


図1. タフネス指数

($A_1 + A_2$) を初期ひびわれまでの面積 A で除いたものをタフネス指数とした。(図1参照)

4. 実験結果およびその考察

(1) 鋼繊維補強コンクリートの曲げ強度推定式

間隔説による曲げ強度推定式は次式となる。

$$\sigma_c = k \left(\frac{1}{\sqrt{S}} - 1 \right) + \sigma_m \quad (1)$$

ここに、 σ_c : SFRCの曲げ強度 (kgf/cm²)

σ_m : マトリックスの曲げ強度 (kgf/cm²)

S : 鋼繊維平均間隔 (cm)

(1) 式を $\sigma_c - \sigma_m = k \left(\frac{1}{\sqrt{S}} - 1 \right)$ と変形して最小2乗法により k を決定したのが図2である。相関係数は 0.7 ~ 0.9 である。

複合則による曲げ強度推定式は次式となる。

$$\sigma_c = A \sigma_m (1 - V_f) + B (L/d) V_f \quad (2)$$

ここに、 σ_c : SFRCの曲げ強度 (kgf/cm²)

σ_m : マトリックスの曲げ強度 (kgf/cm²)

L/d : 鋼繊維のアスペクト比

V_f : 鋼繊維混入率 (%vol)

(2) 式を $\frac{\sigma_c}{V_f(L/d)} = A \frac{\sigma_m(1-V_f)}{V_f(L/d)} + B$ と変形して

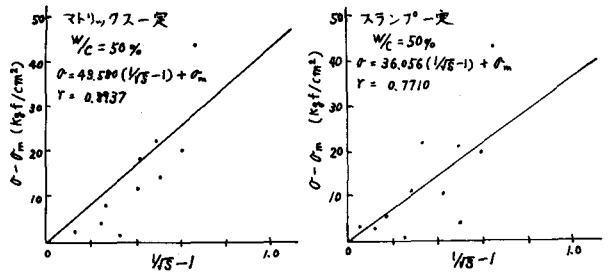


図2 SFRCの曲げ強度推定式 (間隔説)

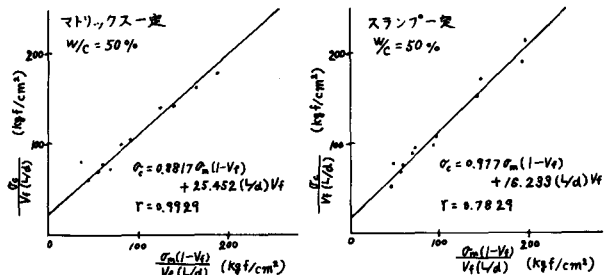


図3 SFRCの曲げ強度推定式 (複合則)

最小2乗法により A 、 B を決定したのが図3である。相関係数はすべて1に近く非常に良い相関がある。

これより、複合則による曲げ強度推定式が適当であると思われる。

(2) 繊維混入率とタフネス

タフネスは、繊維混入率の影響が顕著であり、水セメント比には、あまり関係しないと思われる。(図4参照)。また、せん断ファイバーと、カットワイヤーとの荷重-たわみ曲線は、図5に示すように多少相違しておりカットワイヤーの方が、タフネスが大きくなる傾向がある。

(3) 繊維混入率とスランブ、VB値

スランブは、繊維混入率の増加につれて、ほぼ直線的に低下し、カットワイヤーよりせん断ファイバーの方の低下率が大きい(図6参照)。鋼繊維補強コンクリートのコンシステンシーは、スランブ 10 cm 以上では、スランブ試験により容易に測定できたが、それ以下では差が少なく、VB試験による値の方が差が顕著に表われるので、硬練りのSFRCのコンシステンシー試験には、VB試験がより適していると思われる。(図7参照)。

5. ちすひ

鋼繊維補強コンクリートの曲げ強度推定式は、複合則によるものが適当である。タフネスは、繊維混入率に比例して大きくなり、カットワイヤーのタフネスがやや大きい。スランブは繊維混入率の増加により直線的に低下する。コンシステンシー試験は、2 種の方法を用いる。

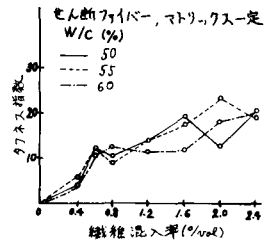


図4 繊維混入率とタフネス

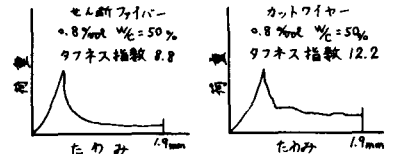


図5 繊維別 荷重-たわみ曲線の違い

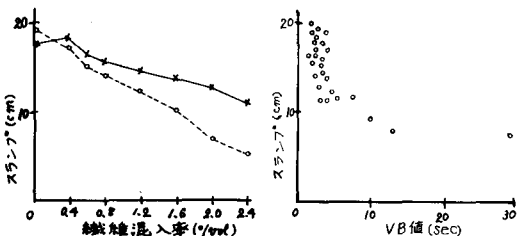


図6 繊維混入率とスランブ

図7 スランブとVB値

文献 1) ACI Committee 544: Measurement of Properties of Fiber Reinforced Concrete, ACI Journal, Vol. 75, No. 7, pp285-289, 1978