

(株)栄和設計事務所 正会員 ○ 雪本清浩

徳島大学大学院 学生員 堀井克章

徳島大学工学部 正会員 河野 清

1 まえがき

鋼繊維補強コンクリートは、短い鋼繊維をコンクリート中に分散した複合材料であり、従来のコンクリートに比べて、曲げ強度、引張強度、せん断強度が改善され、また、ひびわれに対する抵抗性や靱性もすぐれており、破壊時までの変形能の大きいコンクリートが得られる。本研究では、鋼繊維の種類、繊維混入率を変えて、鋼繊維補強コンクリートの圧縮、曲げ、引張、せん断の諸強度に及ぼす影響を検討するとともに、曲げ試験、割裂引張試験、直接引張試験より荷重-変形曲線と求めて、変形挙動およびタフネスについて考察を行った。

2 実験の概要

(1) 使用材料とコンクリートの配合

使用材料を表-1に示す。また、AE減水剤として、ポゾリスNo.5LAを用いた。実験は、コンシステンシー一定（スランパー一定）の場合と、繊維混入率だけの影響を評価するためにコンクリートマトリックス一定の場合について行った。既往の研究をもとに決定した示方配合を表-2に示す。なお、変形挙動を検討する実験には、マトリックス一定の配合を用いた。

(2) 供試体およびその試験方法

圧縮、曲げ、せん断強度試験用は供試体は、1種につき3個、直接引張強度試験用供試体は、1種につき4個とし、材令28日まで20℃水中養生を行った。はり供試体は、まず曲げ強度試験に供したのち、長い方の折片を二面せん断強度試験（図-1参照）に、短い方を側面載荷による圧縮強度試験に供した。直接引張強度試験は、図-3に示す供試体を用い、写真-1に示す装置で行った。

変形挙動について検討する実験に用いた供試体は、図-2、-3に示すスリット位置に厚さ1mmの鋼板でスリットを入れ、1種につき5個とし、材令35日まで20℃水中養生を行った。なお、割裂引張試験にはφ10×20cm円柱供試体を用いた。各試験は、写真-1、-2、-3に示す装置で行い、ロードセル、変位計を用いてX-Yレコーダで

供試体スパン中央部での荷重-変形曲線を記録し、曲げ試験では、供試体スパン中央部での荷重-たわみ曲線も同時に記録した。タフネスは、

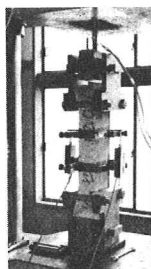


写真-1 直接引張試験

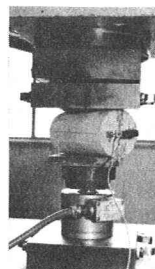


写真-2 割裂引張試験

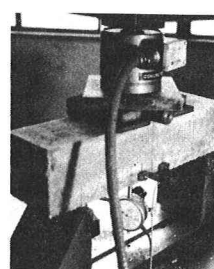


写真-3 曲げ試験

表-1 使用材料

材料	性質
鋼繊維 (CW)	φ0.5×30mm 比重 7.8 引張強度 60 kgf/mm ² 以上
鋼繊維 (SF)	0.21×0.6×25mm 比重 7.8 引張強度 78 kgf/mm ²
セメント	普通ポルトランドセメント、比重=3.16、 $\alpha_{c28}=408 \text{ kgf/cm}^2$
粗骨材	鮎喰川産川砂利、比重=2.65、吸水率=1.23%、FM=6.00
細骨材	吉野川産川砂、比重=2.65、吸水率=1.76%、FM=3.22

表-2 示方配合表

配合の種類	粗骨材 最大粒径 (mm)	目標ス ランパー SL (cm)	変形率 Air (%)	水灰比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	鋼繊維 SF	鋼繊維 WRA
基準 スランパー一定	0.0	10	—	5	57	65	200	350	1097	593	0
スランパー一定	0.0	10	—	5	57	65	198	347	1087	587	0
スランパー一定	0.0	10	—	5	57	65	196	343	1075	581	0
スランパー一定	0.0	10	8	5	55	65	192	350	1110	600	0
スランパー一定	0.0	10	8	5	57	65	200	350	1079	583	0
スランパー一定	0.0	10	8	5	63	65	220	350	1028	556	0
スランパー一定	0.0	10	8	5	58	65	203	350	1074	581	0
スランパー一定	0.0	10	8	5	65	65	228	350	1014	548	0

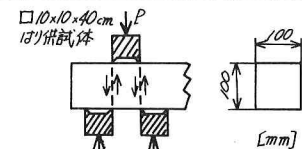


図-1 二面せん断強度試験装置と供試体

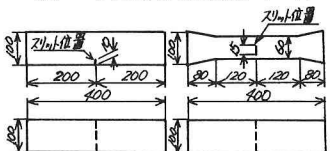


図-2 曲げ試験用供試体

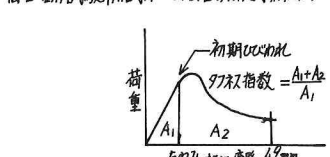


図-3 直接引張試験用供試体

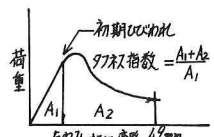


図-4 タフネス指数

荷重-たわみ曲線および荷重-変形曲線において、たわみまたは変形が19mmになるまでの面積($A_1 + A_2$)を初期ひびわれまでの面積 A_1 で除したものをタフネス指数として検討した。(図-4参照)

3 実験結果とその考察

(1) 諸強度における繊維混入率の影響(マトリックス一定)

表-3、図-5に示すように、繊維混入率が増すにつれて諸強度は直線的に増加している。とくにせん断強度の増加率は大きく、繊維混入によるせん断強度改善の効果が大きい。なお、カットワイヤーよりせん断ファイバーを混入したコンクリートの方が諸強度は、やや大となる傾向がある。

(2) 諸強度における繊維混入率の影響(スランナー一定)

表-4、図-6に示すように、繊維混入率を増しても圧縮強度は増加の傾向を示さない。これは、繊維混入率を増すと、スランナー一定するために単位水量を増す必要があり、マトリックス自体の強度、繊維との付着力などが低下することなどの影響と思われる。しかし、引張強度、曲げ強度には単位水量を増す影響はそれほどない。

(3) 荷重-たわみ曲線および荷重-変形曲線とタフネス

図-7に示すように、繊維を混入することで最大荷重が大きくなり、最大荷重に達したのちも繊維が引抜けて外力に抵抗して靱性も大きくなる。この靱性を表す指標となるタフネスを図-8に示す。図から、繊維を混入することでタフネスが著しく改善されることがわかる。また、カットワイヤーに比べてせん断ファイバーを用いた方が、最大荷重が大きく強度は大となるが、最大荷重到達後急激に荷重が低下するためにタフネスは小さい。これは、繊維の形状による付着特性の影響によるものと思われる。また、荷重-変形曲線の場合、初期ひびわれまでの変形量が小さく、この面積が小さくなるのでACI方式によるタフネス指数は大となる。

割裂試験では、変形能の大きい鋼繊維補強コンクリートの場合、変形が進むと圧縮の影響が加わるので、引張りに関する検討には不適当である。直接引張試験では、引張荷重が偏心して載荷されるなど、装置に関してまだ改善すべき点がある。本実験の範囲内では、支点以下の影響が指摘されているが、曲げ試験を利用するのがよいと思われる。

4 まとめ

鋼繊維を混入することで、コンクリートの諸強度、とくにせん断強度の改善の効果が著しい。カットワイヤーよりもせん断ファイバーを混入したコンクリートの方が、諸強度はやや大きくなるが、タフネスは逆に小さくなる。鋼繊維補強コンクリートのタフネスを評価する場合、曲げ試験を用いるのがよく、直接引張試験を用いる場合には、さらに装置の改良が必要である。

表-3 繊維混入率の影響(マトリックス一定)の実験結果

鋼繊維 の量 の増倍	繊維量 (%)	圧縮強度 (N/mm ²)	相対圧縮 強度比	曲げ強度 (N/mm ²)	相対曲げ 強度比	引張強度 (N/mm ²)	相対引張 強度比	せん断強度 (N/mm ²)	相対せん断 強度比
	0.0	328	1.00	52.8	1.00	23.8	1.00	42.0	1.00
CW	1.0	369	1.12	57.9	1.10	27.5	1.16	57.9	1.38
CW	2.0	405	1.23	61.8	1.17	30.8	1.29	80.4	1.91
SF	1.0	372	1.13	65.0	1.23	28.8	1.21	63.4	1.51
SF	2.0	420	1.28	68.2	1.29	31.2	1.31	81.2	1.93

表-4 繊維混入率の影響(スランナー一定)の実験結果

鋼繊維 の量 (%)	繊維量 率(%)	σ_c (kgf/cm^2)	相対圧縮 強度比	σ_t (kgf/cm^2)	相対引張 強度比	σ_b (kgf/cm^2)	相対曲げ 強度比	τ (kgf/cm^2)	相対せん断 強度比
	0.0	360	1.00	54.8	1.00	26.9	1.00	50.4	1.00
CW	1.0	374	1.04	64.8	1.18	29.1	1.08	70.8	1.40
CW	2.0	347	0.94	69.9	1.28	30.9	1.15	79.6	1.58
SF	1.0	371	1.03	69.5	1.27	29.5	1.10	69.6	1.38
SF	2.0	349	0.91	70.8	1.29	30.9	1.15	76.7	1.52

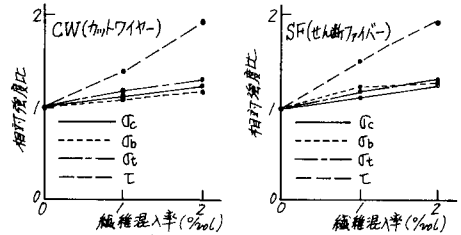


図-5 繊維混入率と諸強度の相対強度比の関係(マトリックス一定)

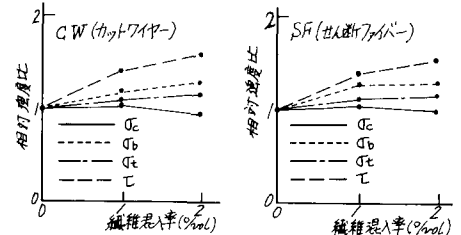


図-6 繊維混入率と諸強度の相対強度比の関係(スランナー一定)

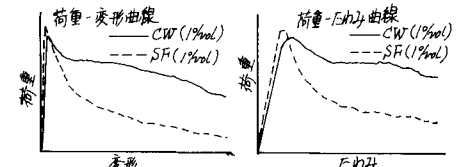


図-7 荷重-たわみ曲線および荷重-変形曲線(曲げ試験)

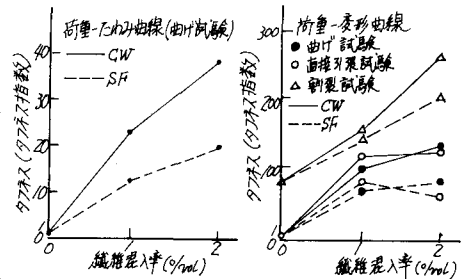


図-8 繊維混入率とタフネスの関係