

論文

[1210] ビニロン繊維補強コンクリートの曲げ特性と衝撃抵抗性

正会員○小泉 徹 (石川工業高等専門学校)

正会員 榎場重正 (石川工業高等専門学校)

高桑信一 (石川工業高等専門学校)

1. まえがき

脆性材料であるコンクリートの欠点を補う方法の一つに繊維補強がある。繊維補強に用いられる繊維としては、鋼繊維、ガラス繊維、合成繊維に加え、近年、新素材繊維の開発が進められ、その一つにビニロン繊維がある。著者らは、ビニロン繊維が従来使用されてきた合成繊維に比して、高い弾性係数と引張強度を持つことより繊維補強効果が大きいことを示した。¹⁾

数多くの繊維補強に関する研究が行なわれているなかで、2種類以上の繊維を組合せてその補強効果(以下混成補強効果とする)を調べたものは少なく、性質の異なる繊維をその特性を生かして使用すれば、大きな効果が期待される。本研究ではビニロン繊維の繊維長がコンクリートの補強効果に及ぼす影響と、鋼繊維とビニロン繊維の混成補強効果について調べた結果を述べる。

2. 試験体

使用したビニロン繊維はK1社製で、引張強度 90kgf/mm²、弾性係数3,000kgf/mm²、比重 1.3の繊維長が 6、12、24mmで、1,500 デニールのモノフィラメントタイプのものである。使用セメントは市販の普通ポルトランドセメント、細骨材は石川県手取川産川砂(比重2.56、FM3.02)、

表1 繊維補強コンクリートの示方配合とスランブ、空気量試験結果

繊維 混入率 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					実測スランブ (cm)		空気量 (%)
			セメント	水	細骨材	粗骨材	繊維	VF混入時のスランブは左から L= 6, 12, 24, mm	VF混入時の空気量は左から L= 6, 12, 24mm	
0	50	45	450	225	712	881	0	15.0	0.4	
	60	45	350	210	771	957	0	17.6	1.4	
VF 1	50	45	450	225	704	876	13	15.5, 13.1, 7.6	1.2, 1.5, 0.8	
	60	45	350	210	760	941	13	13.4, 7.5, 3.2	1.3, 1.1, 1.3	
VF 2	50	45	450	225	694	861	26	12.0, 5.9, 1.8	1.5, 0.7, 1.3	
	60	45	350	210	748	928	26	12.8, 5.6, 0.9	1.2, 1.4, 0.7	
SF 0.5	50	45	450	225	711	868	35	17.0	0.8	
	60	45	350	210	765	949	35	9.7	1.1	
SF 1	50	45	450	225	704	863	70	14.3	1.2	
	60	45	350	210	760	941	70	3.4	1.0	
混成 VF 1	60	45	350	210	753	936	SF35 VF13	4.9, 2.1, 0.8	0.8, 1.2, 1.2	
混成 VF 2	60	45	350	210	742	940	SF35 VF26	4.5, 0.7, 0.0	1.4, 1.4, 1.4	

(VFはビニロン繊維、SFは鋼繊維を表す)

粗骨材は同玉碎石（比重2.60、最大寸法15mm）である。鋼繊維はK2社製の繊維長30mmのカットファイバーである。

コンクリートの配合条件は、ビニロン繊維補強コンクリート（水セメント比50、60%）では繊維混入率を 0、1、2vol%、鋼繊維との混成補強コンクリート（水セメント比60%）では鋼繊維を 0.5 vol%にビニロン繊維を 1、2 vol%を混入して行なった。また、比較のために繊維混入率 0.5、1 vol%の鋼繊維補強コンクリートについても調べた。いずれのコンクリートにおいても細骨材率は45%である。決定した示方配合を表1に示す。

コンクリートの練混ぜは強制混合ミキサーを用い、セメント、水、細骨材、繊維を投入して60 sec間練混ぜた後、粗骨材を投入し、さらに60 sec間練混ぜて排出した。供試体は各バッチ毎に10×10×40 cmの角柱供試体を8本作製し、4本ずつ曲げ強度試験と衝撃試験に用いた。

3. 実験方法

本実験で行なわれた試験項目はスランプ試験、空気量試験、曲げ強度試験、衝撃試験である。曲げ強度試験は JCI-SS4「繊維補強コンクリートの曲げ強度及び曲げタフネス試験方法」に従い曲げ強度とともに曲げタフネスを求めた。JCI-SS4では曲げ試験における荷重点のたわみ速度を規定しているが、本実験では試験機のクロスヘッド速度を毎分 2mmとして行なった。またタフネスはたわみ 2mmまでで求めるとしているが、本実験では使用した試験機の性能上、たわみ 1mmまでで評価した。

衝撃試験はコンクリート角柱供試体用に改造したシャルピー試験機により行なった。衝撃抵抗性の評価は、シャルピー試験機のハンマーの持ち上げ角 θ_1 と振り上がり角 θ_2 より、次式で与

表2 繊維補強コンクリートの曲げ強度、曲げタフネス、衝撃試験結果

繊維 混入率 (%)	W/C (%)	曲げ強度 (kgf/cm ²)			曲げタフネス (kgf·cm)			衝撃エネルギー (kgf·m)		
0	50	43.3			65			10.6		
	60	40.2			61			10.9		
SF 0.5	50	46.7			111			13.7		
	60	42.6			118			14.4		
SF 1	50	56.0			174			20.0		
	60	56.4			168			17.5		
VF ^{繊維長}		L= 6mm, L=12mm, L=24mm			L= 6mm, L=12mm, L=24mm			L= 6mm, L=12mm, L=24mm		
VF 1	50	44.7,	49.0,	49.6	77,	111,	162	12.0,	12.1,	14.8
	60	39.8,	39.4,	42.9	66,	90,	117	11.0,	11.0,	14.4
VF 2	50	48.7,	54.4,	61.4	92,	146,	180	12.0,	13.6,	19.7
	60	39.3	43.7	46.0	73,	148,	166	10.9,	13.0,	17.8
混成 VF 1	60	52.0,	54.6,	61.9	141,	166,	194	14.0,	18.9,	22.1
混成 VF 2	60	51.0,	64.6,	66.3	141,	195,	209	14.9,	19.7,	25.2

えられる吸収エネルギー（以下衝撃エネルギーとする）Eで評価した。

$$E = W \cdot R (\cos \theta_2 - \cos \theta_1)$$

W：ハンマー重量

R：ハンマー軸心から重心までの距離

4. 実験結果

表1にスランプ試験、空気量試験の結果を、表2に曲げ強度試験、曲げタフネス試験、衝撃試験の結果を示す。

5. 考察

図1に繊維混入率と曲げ強度の関係を示す。

繊維長が6mmの場合、繊維混入による補強効果がいずれのW/Cにおいても小さく、W/C60%の場合はブレンコンクリートの強度よりも小さい。これは繊維長が6mmと短いためコンクリートマトリックスとの付着が十分でなく繊維によるひび割れ拘束効果が発揮されなかったためと考えられる。

繊維長24mmでは繊維混入率2%でW/C60%ではブレンコンクリートの強度に対する伸びが少ないが、W/C50%では約50%増加し、高い補強効果を示した。

繊維長12mmのものは6mmと24mmの中間的な値を示した。

1%鋼繊維混入と比較すると、ビニロン繊維で鋼繊維に匹敵する効果を示すのは混入率2%の繊維長24mmだけであるが、鋼繊維の繊維長が30mmであることを考えればビニロン繊維の補強効果は鋼繊維と同程度と考えられる。

図2に繊維混入率と曲げタフネスの関係を示す。いずれのW/Cにおいても繊維長6mmの場合は混入率の増加によるタフネスの伸びは小さいが、12mmと24mmでは大きく増加し、繊維混入率2%ではブレンに対し2.2~2.8倍のタフネスを示した。

ブレンコンクリートでは、曲げ強度試験より得られる荷重～たわみ線図において、最大荷重

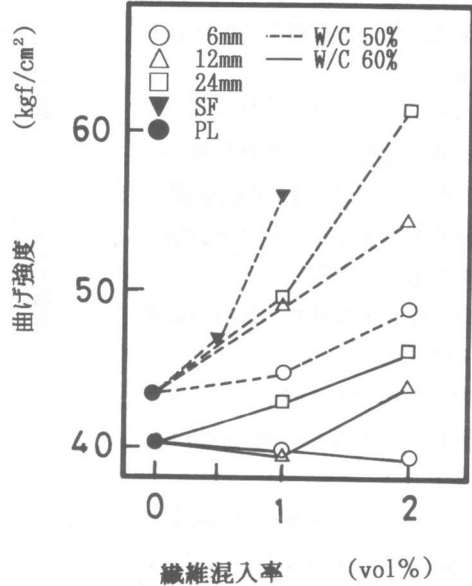


図1 繊維混入率と曲げ強度の関係

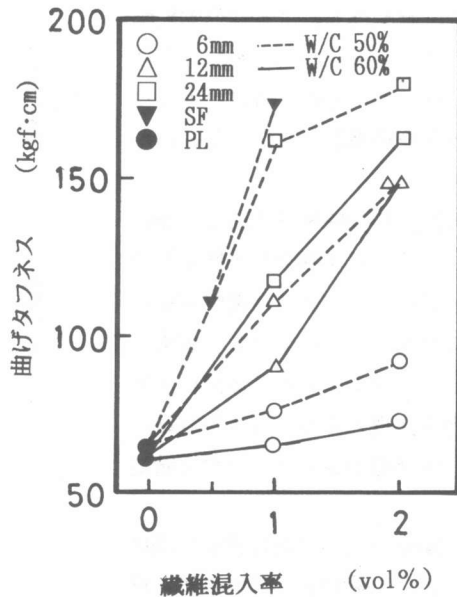


図2 繊維混入率と曲げタフネスの関係

到達後、変位の制御が不可能となり耐力が急速に減少する。このためタフネスの評価は、最大荷重点までのたわみでなされている。

図に示すプレーンコンクリートのタフネスは65、61kgf・cmと大きな値となっているが、これは急速に耐力が減少する区間をも含めてタフネスを評価したことによる。

最大荷重点までのタフネスはおおよそ1/10であった。

鋼繊維との比較では曲げ強度と同じく繊維長24mmのものが同程度の効果を持つといえる。

図3にシャルピー衝撃試験の結果を示す。図より衝撃エネルギーはW/Cによる影響は小さいが繊維長によりその値が大きく異なる。繊維長24mmでは大きな衝撃抵抗性を示すのに対し、6mmと12mmでは繊維混入による補強効果が小さかった。いずれの場合もコンクリートマトリックスとの付着力が小さく大きな効果を発揮しえなかったといえる。

曲げ強度試験で繊維長6mmと12mmにおいて見られた差が衝撃抵抗性ではほとんど示されず、これより衝撃荷重に対しては曲げに対するよりも、繊維とコンクリートマトリックスの間に大きな付着力を必要とすると考えられる。

次に混成補強コンクリートの実験結果を述べる。

図4は繊維混入率と曲げ強度の関係を示す。図より鋼繊維0.5%にビニロン繊維1%、2%加えた場合、繊維混入率により曲げ強度は増加するが、

繊維混入率2%において繊維長6mmと24mmで強度の伸びが小さい。これはビニロン単独使用の場合と同じく、付着力不足と繊維量の増加によって締固めが困難になったためと考えられる。

鋼繊維0.5%混入とプレーンコンクリートの曲げ強度の差を鋼繊維による補強効果と考え、これを図1に示すビニロン繊維単独の強度に加えた値と混成補強での曲げ強度を比較すると、い

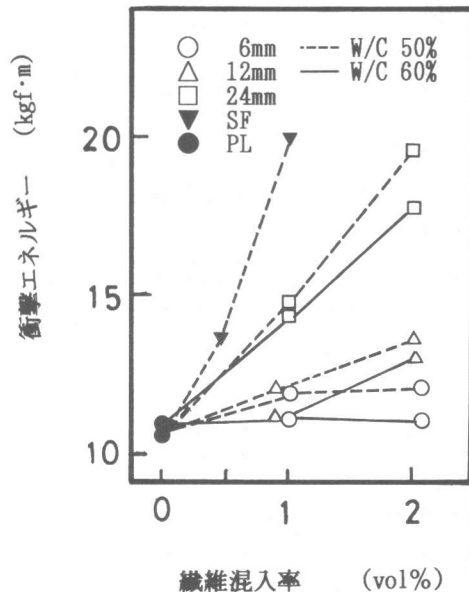


図3 繊維混入率と衝撃エネルギーの関係

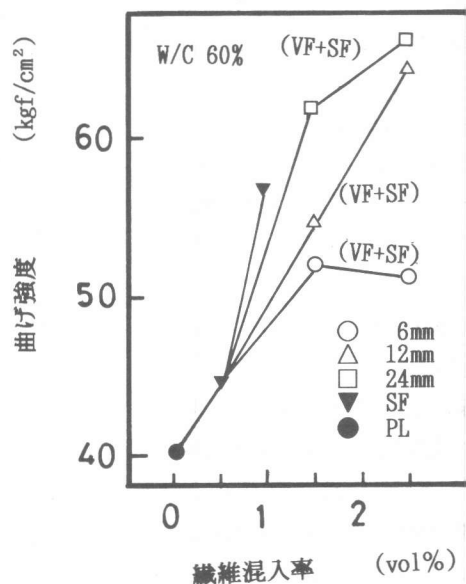


図4 繊維混入率と曲げ強度の関係

れの繊維長でも混成補強での値が大きく、曲げに対して混成補強が有効と考えられる。

図5に繊維混入率と曲げタフネスの関係を示す。曲げタフネスは図4の曲げ強度と良く似た傾向を示している。

これを図4の場合と同様に考えて、鋼繊維 0.5%混入とプレーンコンクリートとの曲げタフネスの差を図2に加えたものと、混成補強コンクリートの曲げタフネスを比較すると、両者はほぼ同じ値であり鋼繊維とビニロン繊維の相乗効果は見られなかった。

これは、曲げ強度ではビニロン繊維が鋼繊維の持つひび割れ拘束能力を補完して、鋼繊維により大きな能力を与えるのに対し、ひび割れ貫通後（曲げ試験において最大荷重到達後）ではそれぞれの繊維が単独で変位の増大に抵抗しているためと考えられる。

混成補強コンクリートの耐力は最大荷重到達後も、たわみ 1mmまでほとんど低下を示さなかった。小林らが、鋼繊維とポリエチレン繊維の混成補強コンクリートについて報告²⁾したものと変わらない結果であった。

図6に繊維混入率と衝撃エネルギーの関係を示す。

同様に衝撃エネルギーを混成補強効果で評価すると、衝撃エネルギーでは曲げ強度と曲げタフネスの中間的な混成効果が示された。

これより、混成補強コンクリートの衝撃抵抗性はコンクリートの曲げ強度と曲げタフネスの両者に影響されるといえる。

図4～6において繊維長24mmのビニロン繊維 1%を鋼繊維 0.5%に加えた場合、鋼繊維 1%の曲げ強度、曲げタフネス、衝撃エネルギーを超えることより、鋼繊維の一部をビニロン繊維で置換することが可能と考えられる。

図7に鋼繊維、ビニロン繊維、混成補強コンクリートにおける曲げタフネスと衝撃エネルギー

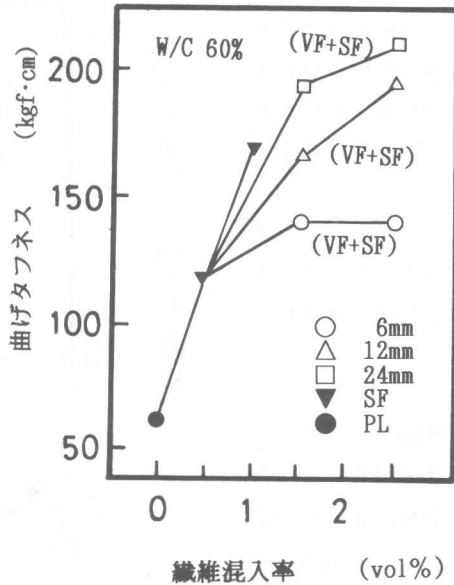


図5 繊維混入率と曲げタフネスの関係

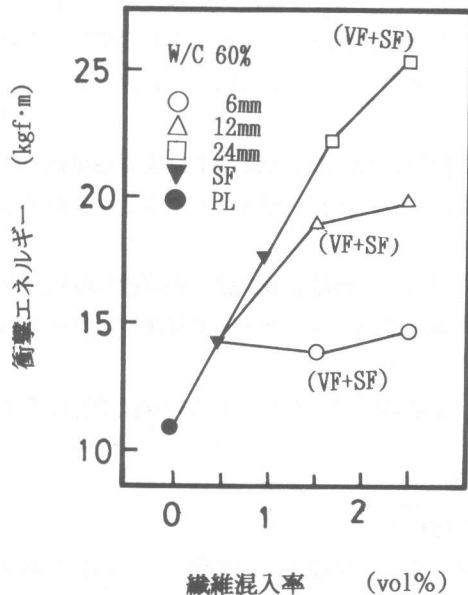


図6 繊維混入率と衝撃エネルギーの関係

の関係を示す。図より衝撃エネルギーは曲げタフネスが 160 kgf・cm を超えると大きくなり、曲げタフネス 160 kgf・cm を特異点とするバイリニアな関係が見られる。

これよりこの値がコンクリートの衝撃抵抗性を評価する一つの指標と考えられる。

6. まとめ

新素材繊維の一つであるビニロン繊維は従来使用されてきた合成繊維よりも高い弾性係数、引張強度を持つことより、繊維補強コンクリートへの利用が期待される。

図7 曲げタフネスと衝撃エネルギーの関係

本研究では、ビニロン繊維の繊維長がコンクリートの強度特性に及ぼす影響と、鋼繊維とビニロン繊維の混成補強コンクリートの強度特性について調べた。

得られた結果をまとめると以下のとおりである。

- (1) 使用したビニロン繊維では繊維長が強度特性に及ぼす影響は大きく、繊維長の短いものはコンクリートマトリックスとの付着が小さく、繊維補強効果が表れない。
- (2) ビニロン繊維と鋼繊維の混成補強は効果が大きく鋼繊維の一部をビニロン繊維で置換し繊維補強コンクリートの経済性を高められる。
- (3) 繊維補強コンクリートの衝撃抵抗性は曲げタフネスで評価できる。

〔参考文献〕

- 1) 小泉 徹、柳場重正、高桑信一：ビニロン繊維補強コンクリートの性質、セメントコンクリート論文集、No.43、1989、pp.536～541
- 2) 小林一輔、趙 力采、今泉和郎：鋼繊維とポリエチレン繊維による混成繊維補強コンクリートの曲げ特性、生産研究、32巻 4号、1980、pp.225～228

