

# 繊維の配向性が繊維補強コンクリートの力学的特性に及ぼす影響

Effects of fiber orientation on mechanical properties of fiber reinforced concrete

北海道大学工学部

○学生員 徳永満善(Mitsuyoshi Tokunaga)

北海道大学大学院工学研究科

フェロー 大沼博志(Hiroshi Ohnuma)

正会員 勝俣真(Shin Katsumata)

## 1. はじめに

今日コンクリートは土木、建築材料として幅広い分野で使われている。その特徴として優れた圧縮強度が挙げられるが、その反面として引張強度が弱く、ひび割れ等が生じ易い脆性材料であることが知られている。そこで、コンクリートを高脆性材料にすべく考え出されたのが繊維補強コンクリートであり、高い引張・曲げ強度を持つ材料である。

本研究では、繊維補強コンクリートにおいて、その中に混入される繊維の向き、つまり配向性と、混入率および水セメント比が、力学的特性にどう関わっているのか、鋼繊維・ビニロン繊維の二つの場合において検討したものである。

## 2. 実験の概要

### 2.1 使用材料

表-1 に使用材料を示した。繊維は、鋼繊維（径 0.6 mm、長さ 25 mm）とビニロン繊維（径 0.4 mm、長さ 24 mm）の 2 種類を使用した。

表-1 使用材料

記号	材料	仕様
C	セメント	普通ポルトランドセメント 比重3.14
S	細骨材	比重2.70 吸水率1.43%
G	粗骨材	比重2.65 粗骨材最大寸法10mm
SP	混和剤	ポリカルボン酸系高性能AE減水剤
SF	鋼繊維	比重7.85 径0.6mm 長さ25mm
VF	ビニロン繊維	比重1.30 径0.4mm 長さ24mm

### 2.2 コンクリートの配合

表-2 に本実験におけるコンクリートの配合を示す。

### 2.3 実験の要因と水準

表-3 に実験の要因と水準を示す。実験は、繊維混入率が繊維の配向性に及ぼす影響を把握するシリーズ1と、水セメント比の違いによるマトリックスの強度が繊維の配向性に及ぼす影響を把握するシリーズ2に分けて行った。

表-3 実験の要因と水準

	要因	水準
シリーズ①	繊維混入率 (SF・VF,W/C=45%)	0,0.25,0.5,0.75
シリーズ②	水セメント比: W/C (SFのみ, Vf=0.5%)	25,45,65

### 2.4 供試体の作製方法

コンクリートの練り混ぜには、水平二軸型強制練りミキサーを使用した。空練りを 30 秒間行い、水を加えた後、繊維の偏りが生じないように繊維を少しずつほぐしながら混入し 90 秒間練り混ぜた。その後、掻き落としを行い、さらに 90 秒間練り混ぜた後、打設を行った。

圧縮強度試験用としてφ100×200 mmの円柱供試体と、曲げ強度試験用として100×100×400 mmの角柱供試体を作製した。また、本試験では、繊維の配向性を調べるため、型枠に図-1 に示すような仕切り板を挿入してコンクリートを打設した。締め固めは型枠外部からの振動によるもののみとして、十分に締め固めを行った後に仕切り板を取り除いて、意図的に繊維を供試体の長軸方向に配向させた供試体を作製した。本研究では、この繊維に配向性を持たせた供試体を配向供

表-2 コンクリートの配合

	繊維混入率	W/C	s/a	単位置 (kg/m <sup>3</sup> )						
	Vf(vol%)			(%)	(%)	SF	VF	W	C	S
PL	0	45	50	-	-	173	384	885	868	0.2
	0.25			19.6	-	180	400	865	849	0.4
SF	0.5	25		39.3	-	162	648	780	766	1
		45		39.3	-	180	400	862	846	0.5
	0.75	65		39.3	-	184	283	906	890	0.19
		1		59.9	-	180	400	858	843	0.55
VF	0.25	45		78.5	-	180	400	855	839	0.6
				-	3.25	180	400	865	849	0.4
	-			6.5	180	400	862	846	0.5	
	-			9.75	180	400	858	843	0.55	
	1		-	13	180	400	855	839	0.65	

試体と呼び、仕切り板を挿入せずに繊維をランダムに配向させた供試体をランダム供試体と呼ぶこととする。供試体は、それぞれ3本ずつ作製し、打設の1日後に脱型し、その後試験材齢28日まで水中養生した。

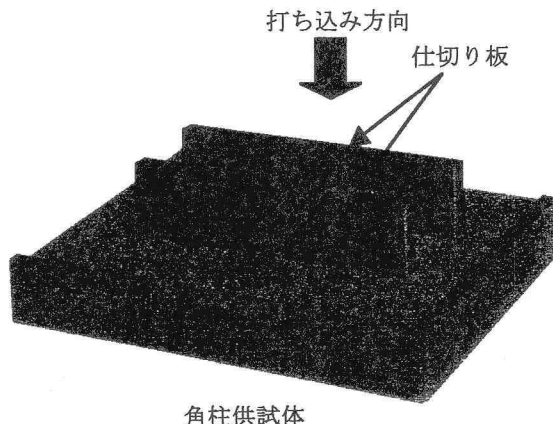


図-1 配向供試体の打ち込み方法

## 2.5 試験方法

### (1) 圧縮強度試験

円柱供試体の圧縮強度試験は、JIS A 1108 に基づき材齢28日で行った。

### (2) 曲げ強度および曲げタフネス試験

曲げ強度および曲げタフネス試験は、JSCE-G552 に基づき材齢28日で行った。曲げタフネスは、曲げ試験より得られた荷重-変位曲線の変位2mmまでの面積とした。曲げタフネスと次式より曲げ靱性係数を算出し比較した。

$$\bar{\sigma}_b = \frac{T_b}{\delta_{tb}} \times \frac{l}{bh^2}$$

$\bar{\sigma}_b$  = 曲げ靱性係数  $\delta_{tb}$  = スパン1/150のたわみ

$T_b$  = 曲げタフネス  $b$  = 破壊断面幅

$l$  = スパン  $h$  = 高さ

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 強度試験結果

圧縮強度試験、曲げ強度試験および曲げタフネス試験の結果の一覧を表-4に示す。

表-4 繊維混入率に対する圧縮・曲げ強度及び曲げタフネス

繊維種類	繊維混入率 vol%	水セメント比 vol%	圧縮強度 N/mm <sup>2</sup>	曲げ強度		曲げタフネス	
				ランダム	配向	ランダム	配向
				N/mm <sup>2</sup>			
VF	0.25	45	54.247	4.204	4.18	5.445	5.268
	0.5	45	51.376	3.99	4.344	9.348	10.62
	0.75	45	54.496	4.862	4.689	12.432	15.007
SF	0.25	45	54.975	4.28	4.499	10.843	9.444
		25	85.447	7.118	6.874	13.574	14.091
	0.5	45	53.914	4.53	5.032	16.732	19.976
		65	28.33	3.455	3.782	13.989	17.517
0.75	45	54.413	4.779	6.302	18.936	33.738	
PL	0	45	52.708	3.88	-	0.628	-

### 3.2 繊維混入率の影響 (シリーズ1)

図-2に繊維混入率と圧縮強度の関係を示す。ビニロン・鋼繊維共に、繊維混入率による圧縮強度への影響はみられなかった。これは圧縮強度において繊維による補強効果はほとんど得られないことを示している。

図-3に繊維混入率と曲げ強度の関係を示す。ビニロン繊維においては繊維混入率の増加と共に曲げ強度も若干増加した。配向供試体(以下"配向")とランダム供試体(以下"ランダム")を比較しても曲げ強度にはほとんど差はみられなかった。これはビニロン繊維において繊維混入による曲げ強度への影響はほとんど無いことを示している。鋼繊維においては、繊維の混入率の増加と共に曲げ強度の増加がみられた。配向とランダムを比較すると、配向の曲げ強度の方がより大きい増加傾向を示した。特に混入率0.5%以上でその傾向が顕著になった。

図-4に繊維混入率と曲げ靱性係数の関係を示す。ビニロン繊維においては、繊維混入率の増加と共に曲げ靱性係数も増加した。配向とランダムを比較すると、曲げ靱性係数はほぼ同様な増加を示すが、繊維混入率が0.5%からランダムはその増加率が若干減少する。一方配向は最後までほぼ一定の増加率を示した。鋼繊維においても繊維混入率と共に曲げ靱性係数の増加がみられ、増加率はビニロン繊維の約2倍を示した。また、繊維混入率が0.5%を超えると、ランダムは曲げ靱性係数の増加率の減少を示した。配向は最後までほぼ一定の増加率を示した。したがって鋼繊維の場合には、繊維を配向させることによって、繊維混入率の増加に伴う曲げ靱性係数を顕著に増加させる効果があることが明らかになった。

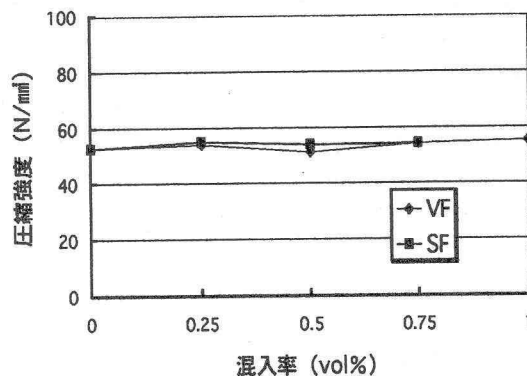


図-2 繊維混入率と圧縮強度の関係

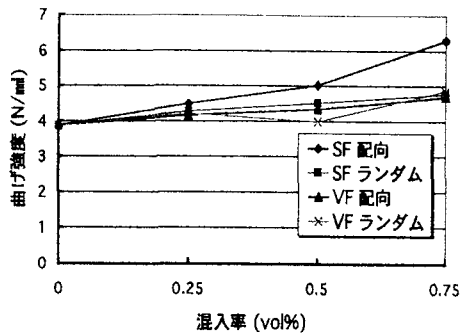


図-3 繊維混入率と曲げ強度の関係

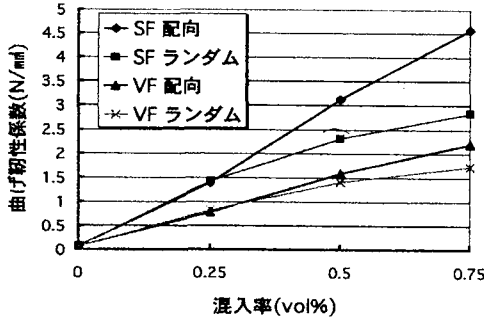


図-4 繊維混入率と曲げ靱性係数の関係

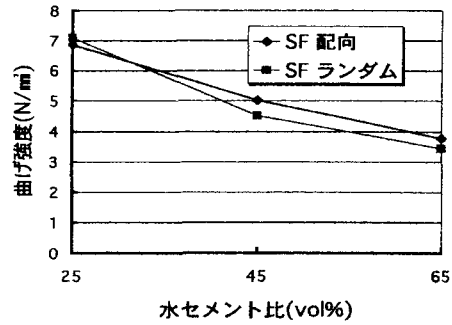


図-6 水セメント比と曲げ強度の関係

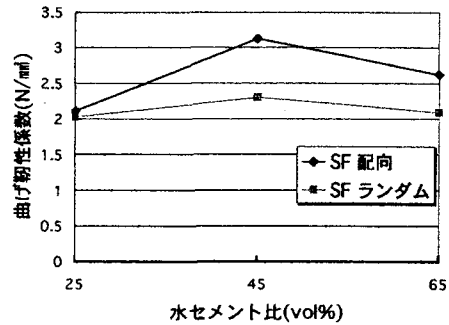


図-7 水セメント比と曲げ靱性係数の関係

### 3.3 水セメント比の影響 (シリーズ 2)

図-5 に水セメント比と圧縮強度の関係を示す。水セメント比が高くなると共に圧縮強度は低下した。これは、繊維無混入コンクリートと同一の挙動である。

図-6 に水セメント比と曲げ強度の関係を示す。水セメント比が大きくなると共に曲げ強度は低下した。配向はランダムに比べて曲げ強度の低下も小さかった。これは繊維を配向させることが、水セメント比の増加による曲げ強度の低下を小さくする効果を有することを示している。

図-7 に水セメント比と曲げ靱性係数の関係を示す。水セメント比が 45% のときに、曲げ靱性係数は最大になった。配向の方がランダムより高い曲げ靱性係数を示した。水セメント比が 25% では配向とランダムの曲げ強度・タフネス共に大きな差は示さなかった。

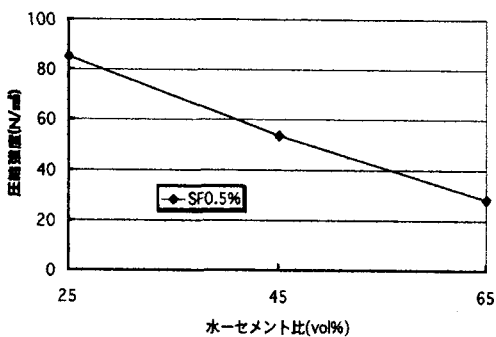


図-5 水セメント比と圧縮強度の関係

### 3.4 荷重-変位曲線

図-8 にビニロン繊維の混入率を変化させた荷重-変位曲線を示す。繊維混入率が増加すると共に、第 1 ピーク後の荷重が高くなった。配向とランダムでは第 2 ピークの荷重が配向の方が高く、曲げタフネスも配向の方が大きくなることが示された。繊維混入率が 0.25% では各変位で荷重もあまり差が無く、繊維の配向による大きな影響がないことが示された。

図-9 に鋼繊維混入率を変化させた荷重-変位曲線を示す。繊維混入率が増加すると共に、第 1 ピーク後の荷重が全体的に高くなった。したがって、曲げタフネスも共に増加を示した。配向の方がランダムより高い荷重を示し、SF0.5% と SF0.75% においては混入率よりも繊維の配向性が曲げタフネスに影響を及ぼすことが示された。さらに、繊維混入率が 0.75% の場合、ピーク値が非常に大きな値を示した。これは、鋼繊維が混入率 0.75% 付近から大きな補強効果を発揮するものと推測される。

図-10 に水セメント比を変化させた荷重-変位曲線を示す。水セメント比が大きくなると共に各変位での荷重も小さくなる。その荷重の低下の割合は、配向がランダムに比べて小さかった。ただし、水セメント比 25% では配向もランダムも荷重に差はなく、曲げタフネスもほぼ同じ値を示した。したがって、水セメント比が 25% では繊維を配向させてもコンクリートの靱性には、影響を及ぼさないことが明らかになった。

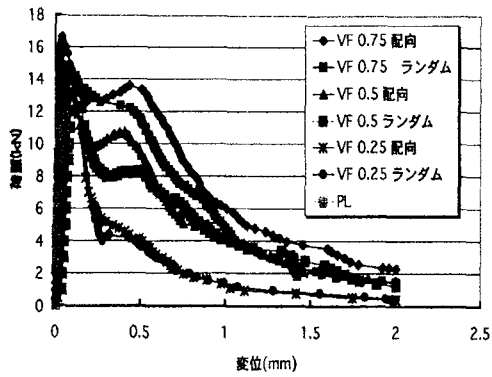


図-8 ビニロン繊維補強の荷重-変位曲線

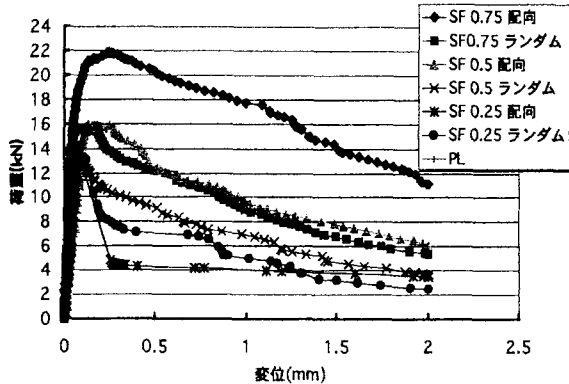


図-9 鋼繊維補強の荷重-変位曲線

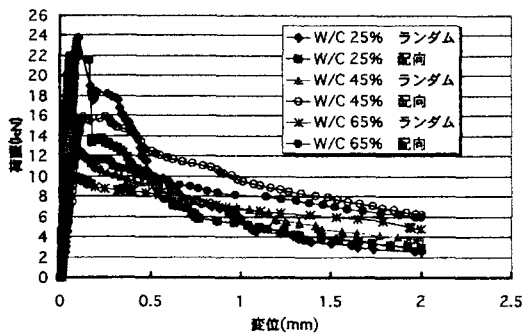


図-10 水セメント比別の荷重-変位曲線

#### 4. まとめ

本研究で得られた結果をまとめると次の通りである。

- 1) ビニロン・鋼繊維共に混入率を増加させても、繊維補強コンクリートの圧縮強度にほとんど影響がなかった。
- 2) 曲げ強度においては、鋼繊維を配向させた場合に著しい強度の増加が見られた。特に、混入率が 0.5%以上のとき、その強度増加が大きくなった。
- 3) 鋼繊維の方が、ビニロン繊維よりも繊維混入率を増加させると大きな曲げ靱性係数の増加

を示した。混入率が 0.5%を越えると、ランダム供試体と比較して配向供試体は、繊維混入率の増加に伴う曲げ靱性係数の増加率が減少した。

- 4) 水セメント比を増加させると繊維補強コンクリートの圧縮強度は減少し、曲げ強度も減少した。
- 5) 鋼繊維補強コンクリートにおいて、同一水セメント比の場合、繊維を配向させると、曲げ強度は若干増加することが示された。
- 6) 曲げ靱性係数は両繊維共に水セメント比 45%のときに最大値を示した。水セメント比 25%では配向とランダムに大きな差は見られなかったが、45%と 65%の場合、配向供試体がランダム供試体よりも曲げ靱性係数は大きな値を示した。
- 7) 荷重-変位曲線は、繊維の混入率が増えると、第 1 ピークを過ぎてから全体的に荷重の値が高くなることが示された。混入率が 0.75%の場合には、大きな値となった。繊維を配向させると、第 2 ピーク 付近の荷重が高くなり曲げタフネスも大きくなることが明らかになった。

#### 参考文献

- 1) 田村 和也：ビニロン繊維補強コンクリートの強度およびタフネスについて、土木学会北海道支部 論文報告集 第 58 号 P868-871