

UFC の繊維混入率および繊維配向に着目した曲げ引張性能に関する実験的検討

(株)大林組 正会員 ○佐々木 一成 フェロー 野村 敏雄

1. はじめに

超高強度繊維補強コンクリート (Ultra high strength fiber reinforced concrete : 以下, UFC と表記) は混入されている短繊維により高い引張性能を発揮する. その引張特性は力が作用する方向に対する短繊維の方向により異なる. UFC 部材の構造性能を把握するためには, 部材に混入している繊維の配向や分布に応じた引張特性を設定して計算する必要があり, 繊維配向や繊維量に応じた引張特性を把握することが必要となる.

そこで, 本検討では1方向に流動させて UFC の平板を作製し, 繊維混入率と切り出し角度をパラメータとして梁部材を切り出して曲げ荷重実験を行うことにより, 繊維混入率, 繊維配向と曲げ引張性能の関係を確認した.

2. 試験方法

(1) 概要

図1に示すように幅×高さ×長さ=600×25×600のUFCの平板を製作し, 平板から100×25×400の梁を切り出して, 曲げ荷重実験を行った. 鉛直方向の繊維配向の影響を小さくするため, 試験可能で薄い板厚とし, 側面の型枠の影響がないよう中央から切り出した. 実験ケースを表1に示す.

(2) 使用材料

使用したUFCは, 鋼繊維を2.0vol.%混入した場合に標準養生により材齢28日で特性値として圧縮強度180N/mm², 引張強度8.8N/mm²を満足する材料であり, 繊維混入率にかかわらずマトリックスの配合は同一とした. 混入した鋼繊維はφ0.16mm, 長さ13mmである. 試験体製作時のモルタルフローおよび荷重実験時におけるテストピースの圧縮強度, 静弾性係数, 曲げ強度を表2に示す. なお, 表2に示す曲げ強度はJSCE-G 552に従って100×100×400の型枠にUFCを流し込んで作製した供試体の試験結果である.

(3) 試験体作製方法

平板を図1に示す位置よりUFCを幅600mmの容器から連続して型枠に流し込むことにより作製した. 養生後, 繊維混入率をパラメータとした試験体は図1(a), 切り出し角度 θ をパラメータとした試験体は図1(b)に示す位置で切断し, 1ケースにつき3体の梁試験体を作製した.

(4) 荷重方法

荷重条件を図2に示す. 荷重はUFCを打ち込んだ面から行った. 変位を支点およびスパン中央で計測し, スパン中

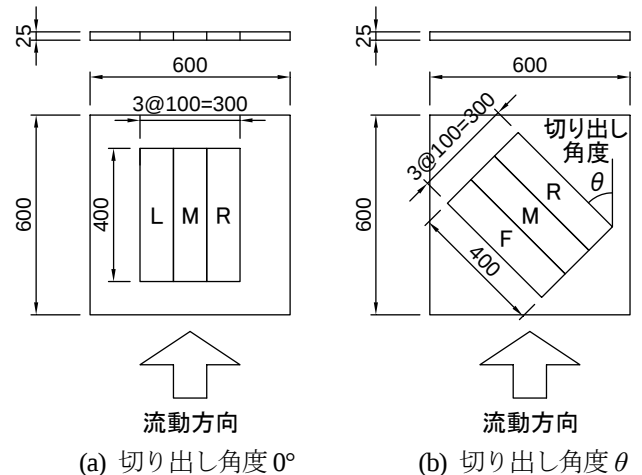


図1 600×25×600 平板および試験体切り出し位置

表1 実験ケース

(a) 繊維混入率		(b) 切り出し角度	
繊維混入率 (vol.%)	切り出し角度 (°)	繊維混入率 (vol.%)	切り出し角度 (°)
1	2.0	5	2.0
2	1.5	6	2.0
3	1.0	7	2.0
4	0.5	8	2.0
			90

表2 使用したUFCの諸元

繊維混入率 (vol.%)	モルタルフロー (mm)	圧縮強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (kN/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)
2.0	265	198	47.2	38.2
1.5	279	197	47.0	32.9
1.0	282	204	48.2	24.5
0.5	283	196	45.9	14.9

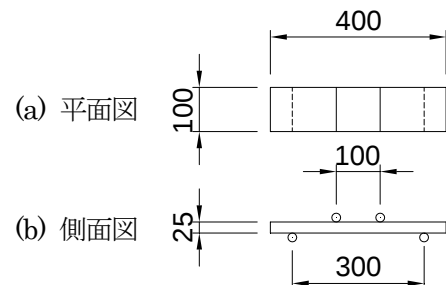


図2 100×25×400 試験体荷重位置

央の変位から支点の変位を減じた値をたわみとした. 曲げ応力は, 荷重荷重から計算される発生曲げモーメント M を断面係数 Z で除した値である.

3. 実験結果

(1) 概要

実験から得られた曲げ強度の一覧を表 3 に示す。切り出し位置による曲げ強度の大きな差はみられず、切り出し範囲において一様な繊維配向になっていたと考えられる。繊維混入率、切り出し角度いずれをパラメータにした場合も荷重はたわみが 5mm 付近でピークとなった後、低下した。

(2) 試験体寸法の違いによる曲げ強度の比較

繊維混入率と、 $100 \times 100 \times 400$ および $100 \times 25 \times 400$ の曲げ強度の関係を図 3 に示す。いずれの繊維混入率においても寸法の違いによる曲げ強度の大きな違いは見られなかった。UFC の場合、繊維の配向による影響が大きいと考えられる。今回の 2 種類の試験体は、型枠に接する面の数や打込位置に対する荷重方向が異なり、様々な条件が重なって強度が同等になったが、強度レベルが異なっても繊維混入率と強度の関係が線形になる傾向は同様と考えられる。

(3) 繊維混入率および切り出し角度の関係

繊維量 0.5vol.% を 0° で切り出した試験体と繊維量 2.0vol.% を 90° で切り出した試験体の曲げ強度が 15.8 N/mm^2 で同等であった。1 方向に流動させて作製したが、すべての繊維が流動方向に向いているわけではなく、流動直角方向にも繊維が向いているため、 90° で切り出した試験体にも繊維の架橋効果がみられた。繊維の混入率にかかわらず流動方向と流動直角方向に向いている繊維の割合が 4:1 であったと仮定すると、0.5vol.% の 0° 方向 ($0.5 \times 4/5$)、2.0vol.% の 90° 方向 ($2.0 \times 1/5$) とともに 0.4vol.% 分の繊維が部材軸方向に向いており、曲げ強度が同等になった考えることができる。

また、部材軸方向と流動方向のなす角度 (= 切り出し角度) と繊維混入率の関係を図 4 のように考え、混入している短繊維すべてが部材軸方向に向いているときと引張性能が同等となる繊維混入率を等価繊維混入率と定義し、式(1)を仮定する。

$$n = n_x \cos^2 \theta + n_y \sin^2 \theta \quad (1)$$

ここに、 n : 部材軸方向の等価繊維混入率

n_x : 流動方向の繊維混入率

n_y : 流動直角方向の繊維混入率

θ : 部材軸方向と流動方向のなす角

以上の仮定をもとに整理した曲げ強度と等価繊維混入率の関係を図 5 に示す。今回実施した 0.5~2.0vol.% においては繊維混入率と曲げ強度はおおむね線形関係にある。切り出し角度がある試験体についても式(1)の定義のもとに整理することで繊維混入率をパラメータとした実験結果と同様の傾向となり、式(1)でおおむね評価することができる。

4. まとめ

1 方向に流動させて作製した UFC 平板から切り出した梁

表 3 曲げ強度一覧

(a) 切り出し角度 0°					(b) 繊維混入率 2.0vol.%				
	繊維 (vol. %)	位置	曲げ強度 (N/mm^2)			角度 ($^\circ$)	位置	曲げ強度 (N/mm^2)	
1	2.0	L	38.4	39.0	5	30	F	27.7	28.1
		M	40.2				M	28.9	
		R	38.5				R	27.8	
2	1.5	L	34.8	35.9	6	45	F	25.6	27.1
		M	36.1				M	29.0	
		R	36.9				R	26.8	
3	1.0	L	24.1	27.9	7	60	F	18.6	17.4
		M	27.1				M	18.7	
		R	32.5				R	14.8	
4	0.5	L	15.6	15.8	8	90	F	15.8	15.8
		M	16.2				M	15.8	
		R	15.5				R	—	

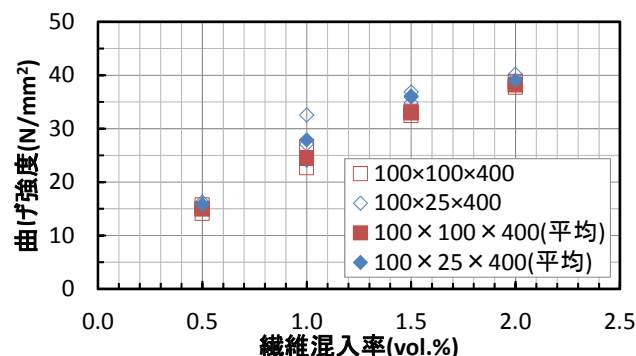


図 3 寸法の違いによる曲げ強度の比較

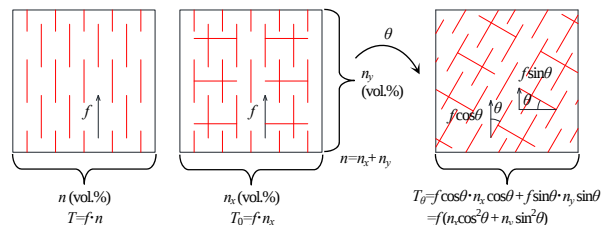


図 4 等価繊維混入率の定義

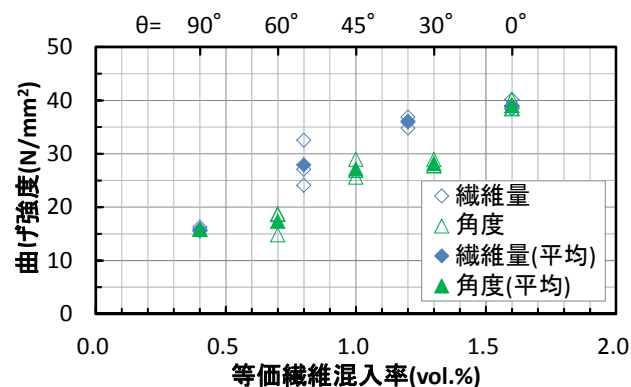


図 5 曲げ強度—等価繊維混入率関係

の曲げ載荷実験により、以下の特性が確認された。ただし、試験体数が少ないため、さらなる検討が必要である。

- 0.5~2.0vol.%において繊維混入率と曲げ強度はおおむね線形関係にある。
- 流動方向に対する角度 0° および 90° の曲げ強度から任意の角度における曲げ強度をおおむね予測できる。