

集束アラミド繊維を使用した超高強度繊維補強コンクリートの引張特性

太平洋セメント(株) 正会員 ○石田 征男, 河野 克哉, 田中 敏嗣, 川口 哲生
 帝人テクノプロダクツ(株) 出井 丈也

1. はじめに

超高強度繊維補強コンクリート(以下 UFC)において、繊維補強技術は重要な技術である。繊維に関しては、近年、高性能繊維の開発が進んでおり、UFC 用補強繊維として使用することによって UFC の更なる性能向上が期待される。これまでに、高性能繊維を UFC に適用した例として、高強度・高弾性率を有するアラミド繊維を使用した UFC の力学特性について検討されているが¹⁾、集束繊維を使用することで流動性および力学特性ともに良好な性状が得られる可能性がある。そこで、本研究では、集束アラミド繊維を使用した UFC の流動性および強度特性を把握するとともに、所要の引張強度を得るのに必要な繊維径や繊維混入量の推定方法について考察した。

2. 実験概要

(1) 使用材料ならびに配合

本研究では、練混ぜ水として上水道水を、粉体材料および減水剤は、実際の構造物等で用いられている UFC 用プレミックス粉体(記号: PM) および高性能減水剤(記号: SP)を、補強繊維としては、表-1 に示すアラミド繊維(記号: Far)を使用した。本研究では、直径 0.012mm のアラミド繊維を集束加工した集束繊維を用いた。使用した集束繊維は、直径を 0.24mm と 0.48mm の 2 水準とし、いずれも繊維長は 15mm とした。コンクリートの配合を表-2 に示す。配合は、水とプレミックス粉体の比率を固定し、アラミド繊維を内割りで 0.5、1.0 および 2.0vol.%混合した。

(2) 実験項目および実験水準

実験項目および方法を表-3 に示す。実験では、すべての項目で 2 種類のアラミド繊維をそれぞれ 1.0vol.%および 2.0vol.%混入した UFC について実施し、切欠きはりの 3 点曲げ載荷試験では、 $\phi 0.24$ を 0.5vol.%混入した場合についても実施した。

(3) コンクリートの練混ぜおよび試験体の作製

練混ぜは、フロー試験時および圧縮強度試験体作製時はモルタルミキサを、切欠きはりの 3 点曲げ載荷用の試験体

表-1 供試繊維の概要

繊維の名称	種類	アラミド繊維の特性				
		密度 (g/mm ³)	直径 (mm)	繊維長 (mm)	アスペクト比	引張強度 (N/mm ²)
$\phi 0.24$	アラミド	1.35	0.24	15	62.5	3024
$\phi 0.48$	集束繊維	1.36	0.48	15	31.3	2938

表-2 UFC の配合

W/PM (%)	繊維混入率 (vol.%)	単位量 (kg/m ³)		
		W	PM	Far
8.0	0.5	183	2288	7
	1.0	182	2277	14
	2.0	180	2254	27

表-3 試験項目および方法

項目	方法
フロー値	JIS R 5201 : 1997 11.フロー試験を参考に実施し、フローテーブルの落下は行わなかった。また、フロー値の測定は、フローコーンの抜取り後 180 秒後に実施。
圧縮強度	JSCE-G505-1999 に準拠
切欠きはりの 3 点曲げ載荷	JCI-S-002-2003 に準拠し、切欠きはりの 3 点曲げ載荷試験を行い、荷重-ひび割れ肩口開口変位を測定。
引張軟化曲線	JCI-S-001-2003 に準拠し、多直線近似解析法により引張軟化曲線を推定。

作製時は、パン形ミキサをそれぞれ使用した。練混ぜ方法は、水とプレミックス粉体をミキサに投入後、所要の流動性が得られるまで練混ぜた後に繊維を投入し、120 秒間練り混ぜた。各種試験体の作製は、いずれも土木学会「超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案)」(以下指針案)に従って実施し、打込み終了後はテーブルバイブレータにより振動締固めを行った。

3. 実験結果

(1) フレッシュ性状

フロー値と SP 添加量の関係を図-1 に示す。繊維混入率が 1.0vol.%の場合におけるフロー値は、いずれの繊維を用いた場合も SP 添加量の増加にともない増大し、SP 添加量の調整により所要のフロー値に調整することができた。繊維混入率が 2.0vol.%の場合において、 $\phi 0.24$ 使用時は 240mm 程度で、 $\phi 0.48$ 使用時は 290mm 程度でそれぞれ頭打ちとなった。しかし、 $\phi 0.24$ を 2.0vol.%混入した場合においても自己充てんによる試験体の作製が可能であり、2.0vol.%程度の混入は可能と考えられる。

キーワード アラミド繊維, 集束繊維, 超高強度繊維補強コンクリート, フロー値, 引張軟化曲線, 繊維間隔説

連絡先 〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2 太平洋セメント(株) 中央研究所 TEL. 043-498-3852

(2) 圧縮強度

圧縮強度試験結果を図-2 に示す。φ0.24 を用いた UFC の圧縮強度は、繊維混入率の違いによる差は認められず、181~187N/mm²であった。φ0.48 を使用した場合は、繊維混入率が1.0vol.%の場合は183N/mm²であったが、2.0vol.%の場合は170N/mm²であり、10N/mm²以上低くなった。これは、アラミド繊維の剛性がマトリクスよりも低いため、繊維とマトリクスの界面に応力集中が生じた可能性が挙げられる。すなわち、繊維径が大きく、繊維混入率が高い場合は、その影響を顕著に受け、強度が低下したと推察する。

(3) 切欠きはり試験体の荷重-変位曲線および引張軟化曲線

荷重-開口変位曲線と引張軟化曲線は、同様の傾向を示したため、ここでは引張軟化曲線について述べる。引張軟化曲線の一例を図-3 に示す。引張応力の最大値は、繊維径が小さいほど、繊維量が多いほどそれぞれ高く、引張強度の向上には繊維径が小さい繊維を用いたほうが有効と考えられる。また、これらの値を指針案に示される UFC (鋼繊維 2.0vol.%) の結果と比較すると、すべての水準で指針案の平均値より低いものの、φ0.24-2.0vol.%では指針案に示される特性値を上回った。以上より、適切な繊維径と混入率を選定することで、鋼繊維を使用した UFC と同等の引張特性が得られる可能性があると考えられる。ひび割れ幅増大にともなう応力低下勾配は、φ0.48 を用いた場合の方がφ0.24 を用いた場合よりも緩やかであった。この結果について、繊維径の違いにより繊維とマトリクスの総付着面積が変化し、繊維とマトリクスの界面に生じる付着力に影響を及ぼした可能性がある。

(4) アラミド繊維使用 UFC の性状に及ぼす繊維寸法の影響

繊維補強コンクリートの補強機構を説明した理論としては繊維間隔説がある。既往の研究によると、短繊維で補強したモルタルの引張強度と繊維平均間隔の平方根の逆数との間に直線関係が成立することが示されている²⁾。そこで、本研究の結果を基に、既往の研究に示される式を用いて繊維平均間隔 (S) を算出し、引張軟化曲線の引張強度との関係を調べた。引張強度と繊維平均間隔の平方根の逆数との関係を図-4 に示す。引張軟化曲線の引張強度と繊維平均間隔の平方根の逆数との関係は既往の研究と同様に直線関係を示した。この結果より、集束アラミド繊維を用いた場合においても、繊維間隔説を適用して所要の引張強度を得るために必要な繊維径および混入量を推定することが可能であると考えられる。

4. まとめ

(1) UFC の流動性は、繊維径が 0.24mm 以上であれば繊維

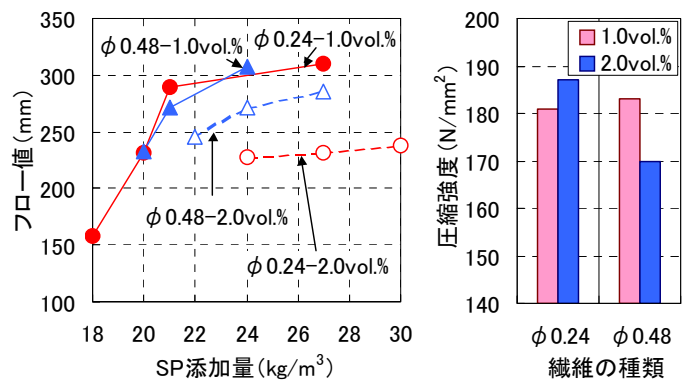


図-1 フロー値と SP 添加量の関係

図-2 圧縮強度

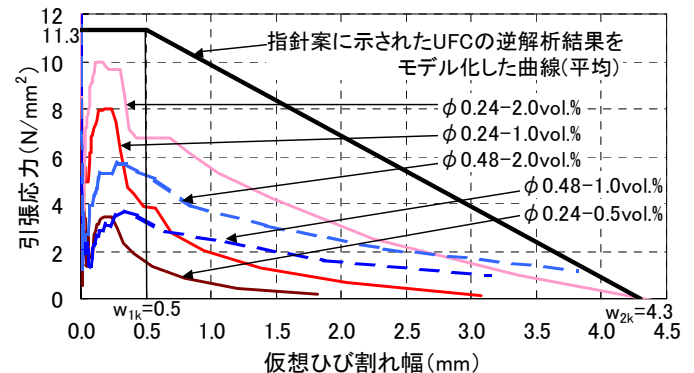


図-3 引張軟化曲線の一例

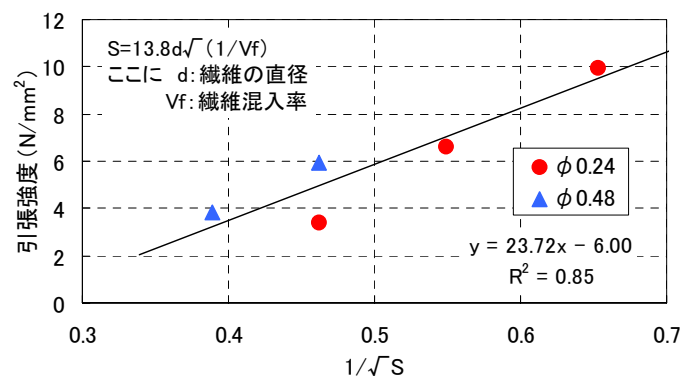


図-4 引張強度と $1/\sqrt{S}$ の関係

維混入率 2.0vol.%程度以上混入しても良好であった。

- (2) 圧縮強度は、繊維径が大きく、混入率が高い場合に低くなった。
- (3) 引張軟化曲線において、引張強度は繊維径が小さいほうが高く、ひび割れ幅の増大にともなう応力低下勾配は繊維径が大きいほうが緩やかであった。
- (4) 繊維間隔説を用いて最適な繊維径および混入率の選定が可能であった。

【参考文献】

- 1) 竹山忠臣ら：アラミド繊維を用いた超高強度繊維補強コンクリートに関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.31，No.1，pp.313-318，2009。
- 2) 小林一輔：繊維補強コンクリート 特性と応用，オーム社，pp.37-40，1981。