

合成繊維を用いた短繊維補強コンクリートの力学特性

大成建設（株）土木設計第一部 正 会 員 加藤 隆
 フェロー会員 亀村 勝美
 正 会 員 須藤 敏明
 正 会 員 小池 真史

1. はじめに

ポリプロピレン、ビニロンなどの合成繊維は、延伸加工を施すことで比較的大きな引張強度を付与することが可能である。一方、炭素、アラミド、ガラス繊維などの引張強度は、軟鋼を大きく上回る引張強度を有する。特に炭素繊維は高弾性であり、各種構造物の耐震補強に見られるように、連続繊維補強の実績が多い。ガラス繊維、アラミド繊維も耐アルカリ性が付与され、古くから外装材、防音壁、捨て型枠、管路などへの適用実績がある。

炭素繊維は、その軽さと強度のバランスから、航空宇宙分野やスポーツ用品での用途が広がっており、各素材毎に要求性能に応じて用途が分かれているのが実状である。

ポリプロピレン、ビニロンなどの結晶性ポリマーは、元来耐アルカリ性を有するため、コンクリート補強材として検討されてきたが、表面が平滑でありコンクリートマトリックスとの付着強度が小さいため、素材表面のエンボス加工や特殊な親水処理加工が施されて、コンクリートマトリックスとの付着強度が大幅に改善されているため、曲げ靱性性能も改善されている。

本書では、ポリプロピレン短繊維混入コンクリートの基本的な力学的性質を把握するために、多直線近似法¹⁾を用いて力学的特性を評価した結果を報告する。

表1 繊維の代表的特性

密度	0.91 (g/cm ³)
引張強度	450 (MPa)
弾性係数	10 (GPa)

2. ポリプロピレン短繊維の特性

(1) 単位系 合成繊維は、1,000m で 1.0g の質量を 1tex (テクス) とする。また、従来単位系である d (デニール) との換算は、1d (デニール) = 1.111dt (デシテクス) となる。

(2) 代表的特性 ポリプロピレン繊維の代表的特性を表 1 にまとめて示す。写真 1 には曲げ供試体の破壊状況を示す。

3. 曲げ靱性試験結果

曲げ靱性試験は、JSCE-G552-1999「鋼繊維補強コンクリートの曲げ強度および曲げタフネス試験方法」に準拠して実施した。供試体寸法は、高さ 15cm × 幅 15cm × 長さ 53cm とし、JSCE-F552-1999「鋼繊維補強コンクリートの曲げ強度および曲げタフネス試験用供試体の作り方」により作成した。使用繊維は 3200d(3600dt)-40mm と 5000d(5600dt)-60mm の 2 種類

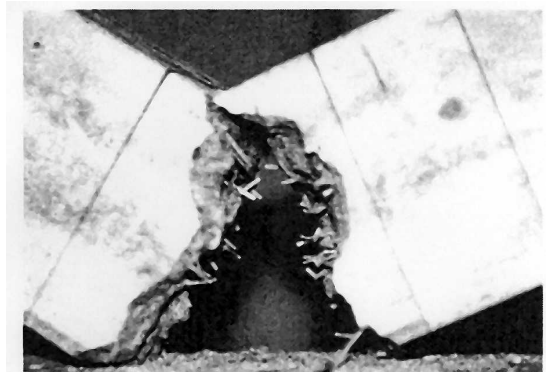


写真1 曲げ供試体破壊状況

を用い、表 2 に示す各種混入率での試験練り、フレッシュ時の性質、力学試験を実施している。合成繊維混入によるスランプロスは、鋼繊維を混入する場合と同様に発生するが、試験練りでの観察によれば、コンクリート中における合成繊維の分散性は、鋼繊維よりも良いと感じられた。図 1 には、3200d(3600dt)-40mm の繊維を用い、混入率を 0.5%vol とした場合の荷重 - たわみ曲線を示す。合成繊維は鋼繊維よりも弾性係数が小さいため、曲げひび割れ発生直後の荷重低下が著しい。この点は、繊維母材の改質、延伸加工方法の改良、モルタルとの付着特性の向上などにより、今後改善されていくものと考えられる。

Key Words 合成繊維補強コンクリート, 曲げタフネス, 多直線近似法, 引張軟化曲線, ポリプロピレン繊維
 連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 大成建設株式会社土木設計第一部 TEL 03-5381-5296

4. 引張軟化特性の同定と荷重 - たわみ曲線の順解析

多直線近似法を用いた引張軟化曲線の推定は、文献 1) に詳述されている。計算は、引張応力を伝達するひび割れを供試体中央に 1 本モデル化し、ひび割れを徐々に進展させて、各荷重段階における引張軟化特性（引張応力 - ひび割れ開口幅関係）を、入力した荷重 - 載荷点変位を再現するように推定するものである。なお、引張軟化曲線の同定には、日本コンクリート工学協会にて公開されているプログラムを用いた。²⁾

図 1 および図 2 には、曲げ靱性試験による、荷重 - たわみ曲線を示す。

SFRCの引張軟化曲線は一般的に 2 直線モデルで表されるのに対して、低混入率の合成繊維補強コンクリートでは、一旦引張応力が低下した後に、変形に伴う靱性の回復が見られた。

さらに、各図には試験結果を入力値として推定した引張軟化曲線を用いて、順解析により荷重 - たわみ曲線を計算した結果を示す。推定された引張軟化曲線を用いることで、合成繊維補強コンクリート部材の曲げ変形特性を概ね表現できることが明らかとなった。

5. おわりに

合成繊維補強コンクリートは、繊維原材料の弾性係数が小さいため、曲げひび割れ発生直後の荷重低下は避けられない。しかしながら、コンクリート表面に点錆が発生しないことや、コンクリート中への分散性の良さ、耐爆裂性などの多くの利点を有するため、さまざまな要求性能に適した利用をすることで、今後の用途拡大が期待される素材であると考えられる。

本書では、多直線近似法を用いて引張軟化曲線を推定し、これを用いた順解析結果より、合成繊維補強コンクリートの曲げ変形特性を概ね再現できることを示した。

今後、合成繊維補強コンクリートの力学的性質の改善と、その評価方法を検討することで、多くのニーズに即した、コストパフォーマンスの高い構造物を建設できるものと考えている。

参考文献

- 1) 栗原、安藤、国枝、内田、六郷 (1996): 多直線近似法による引張軟化曲線の推定と短繊維補強コンクリートの曲げ破壊性状, 土木学会論文集, No.532/V-30, pp.119-129.
- 2) <http://c-pc8.civil.musashi-tech.ac.jp/teacher/jci-fm/index.html>

表 2 試験練り結果一覧

配合 NO.	繊維種類	繊維混入率 Vt (vol.%)	スラブの範囲 (%)	空気量の範囲 (%)	水セメント比 W/C (%)	骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						スラブ (cm)	スラブ厚 (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)	
							水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤						
											ポリシリカ NO.70 (ml/C=100kg)	ポリシリカ SFPSX2 (C×%)					ポリシリカ 325A (C×%)
1	-	0	15±2.5	4.5±1.0	-	48.0	839	929	250	-	0.003	14.0	-	5.2	19.0		
2	3200d -40mm	0.3	15±2.5 (繊維混入後)	4.5±1.0 (繊維混入後)	50	52.5	916	850	-	1.5	0.003	14.5	-	4.1	19.5		
3		54.0				944	821	-	1.8	0.003	23.0 16.5	52.0 -	5.3 5.4	19.5 19.5			
4		55.5				970	795	-	1.9	0.003	16.0	-	4.2	19.0			
5		55.5				970	795	-	1.9	0.003	16.0	-	4.2	19.0			
6		60.0				1047	715	-	2.2	0.002	16.0	-	5.4	19.5			
7		63.0				1102	660	-	2.5	0.001	22.0 13.0	41.0 -	4.4 4.5	19.5 19.5			
8	5000d -60mm	0.3	15±2.5 (繊維混入後)	4.5±1.0 (繊維混入後)	50	50.0	873	894	-	1.4	0.003	16.0	-	3.9	20.0		
9		51.5				900	866	-	1.5	0.003	23.5 15.5	45.5 -	4.8 5.0	20.5 20.5			
10		52.5				916	850	-	1.55	0.0035	16.0	-	4.8	20.0			
11		60.0				1047	715	-	2.0	0.001	13.0	-	5.3	20.0			
12		63.0				1102	660	-	2.2	0.002	23.5 13.5	46.5 -	4.9 5.3	20.0 20.0			

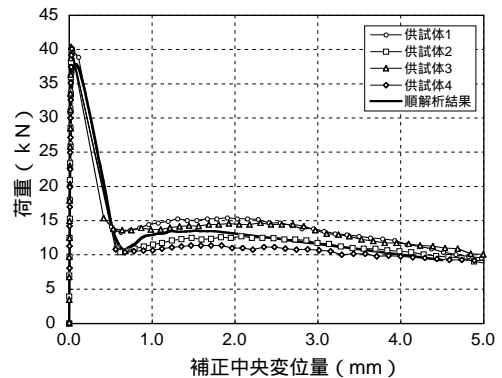


図 1 荷重 - たわみ曲線 (PP 繊維, 混入率 0.5% vol)

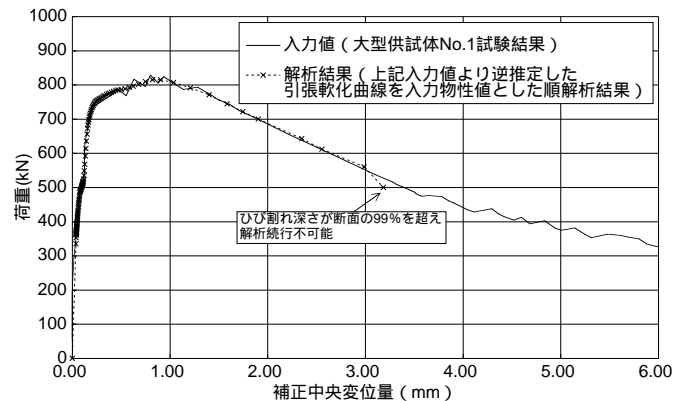


図 2 荷重 - たわみ曲線 (SFRC, 混入率 0.5% vol)