

集束 PBO 繊維を使用した超高強度繊維補強コンクリートの基本性状

太平洋セメント(株) 正会員      〇森 香奈子, 河野 克哉, 田中 敏嗣, 川口 哲生  
東洋紡績(株)                      奥山 幸成

1. はじめに

超高強度繊維補強コンクリート (以下 UFC) は、圧縮強度 200N/mm<sup>2</sup> 程度を有し、さらに自己充てん性や耐久性が飛躍的に優れた材料である。構造部材に UFC を適用する場合、補強繊維には鋼を使用することが一般的であり、この鋼繊維が UFC の高い引張特性を実現している。しかしながら、塩害環境下で鋼繊維を使用した場合、UFC のごく表面のみに発生する点錆が美観を損ねる場合があること、仮に UFC にひび割れが発生した場合はひび割れ幅が極めて小さいとしても、架橋した鋼繊維に腐食が発生する可能性があることも懸念される。

このような背景の下、腐食に強く、鋼繊維を上回るような力学特性を持った高性能な有機繊維としてポリパラフェニレンベンゾビスオキサゾール (以下 PBO) 繊維に着目した。現在、PBO 繊維は有機繊維の中で最高の引張強度と引張弾性率を有しているものの、コンクリートへの適用に関する既往の研究は限られており<sup>1)</sup>、特に UFC に適用した研究は皆無である。そこで、本研究では、高引張強度を有する細径の PBO フィラメントを樹脂で集束加工することにより流動性と強度特性を確保する方針で<sup>2)</sup>、UFC に対する集束 PBO 繊維の適用性を検討した。

2. 実験概要

(1) 使用材料および配合

本研究では、練混ぜ水として上水道水を、粉体材料として UFC 用標準配合粉体 (記号: PM)、減水剤として高性能減水剤 (記号: SP)、補強繊維 (記号: F) としては、表-1 に示す集束 PBO 繊維および鋼繊維を使用した。なお、参考のために PBO フィラメントの物性を表-2 に示す。いずれの繊維も繊維長は 15mm とした。UFC の配合を表-3 に示す。配合は、水とプレミックス粉体の比率を固定し、集束 PBO 繊維の混入率は 1 および 2vol.%, 鋼繊維の混入率は 2vol.% とした。この鋼繊維の構成および混入率は、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)」<sup>3)</sup> (以下 指針案) に適合するものである。

表-1 供試繊維の概要

| 繊維の種類  | 密度 (g/cm <sup>3</sup> ) | 直径 (mm) | 長さ (mm) | 引張強度 (kN/mm <sup>2</sup> ) | 引張弾性率 (kN/mm <sup>2</sup> ) |
|--------|-------------------------|---------|---------|----------------------------|-----------------------------|
| 集束 PBO | 1.51                    | 0.23    | 15      | 3.5                        | 141                         |
| Steel  | 7.85                    | 0.20    | 15      | 2.0                        | 200                         |

表-2 PBO フィラメントの概要

| 密度 (g/cm <sup>3</sup> ) | 直径 (mm) | 引張強度 (kN/mm <sup>2</sup> ) | 引張弾性率 (kN/mm <sup>2</sup> ) |
|-------------------------|---------|----------------------------|-----------------------------|
| 1.54                    | 0.012   | 5.8                        | 180                         |

表-3 UFC の配合

| 試験水準          | W/PM (%) | 繊維混入率 (%) | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |      |     |
|---------------|----------|-----------|--------------------------|------|-----|
|               |          |           | W*                       | PM   | F   |
| 集束 PBO-1vol.% | 8.0      | 1         | 182                      | 2279 | 15  |
| 集束 PBO-2vol.% |          | 2         | 180                      | 2254 | 30  |
| Steel-2vol.%  |          | 2         | 180                      | 2254 | 157 |

\*SP を含む

(2) コンクリートの練混ぜおよび試験体の作製・養生

UFC の練混ぜは、水とプレミックス粉体をミキサーに投入後、所要の流動性が得られるまで練り混ぜた後に繊維を投入し、さらに 2 分間練り混ぜた。強度試験用の供試体は、いずれも指針案にしたがって作製を行った。作製した供試体は、一次養生として 20℃-48 時間の封緘養生を行い、その後脱型し、さらに二次養生として 90℃-48 時間 (昇降温 15℃/hr) の蒸気養生を行った。

(3) 実験項目および実験方法

実験項目は、フロー試験 (JIS R 5201: 0 打, 180 秒経過後のフロー)、圧縮強度 (JSCE-G505-1999: 供試体寸法 φ5 × 10cm) および曲げ強度 (JIS A 1106: 供試体寸法 4 × 4 × 16cm) の 3 項目とした。各試験の実施時期は、フロー試験は UFC 練混ぜ直後に、圧縮強度試験および曲げ強度試験は養生終了後とした。

3. 実験結果

(1) フレッシュ性状

SP 添加量と UFC フロー値の関係を図-1 に示す。集束 PBO 繊維を 1vol.% 混入した場合のフロー値は、SP 添加量 21kg/m<sup>3</sup> 以上のとき 250mm 以上となり、高い流動性が認められた。一方、集束 PBO 繊維を 2vol.% 混入した場合のフロー値は、SP 添加量増加に伴う変化が鈍化し、SP 添加量

キーワード PBO 繊維, 集束繊維, 超高強度繊維補強コンクリート, フロー値, 圧縮強度, 曲げ強度

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. 043-498-3902

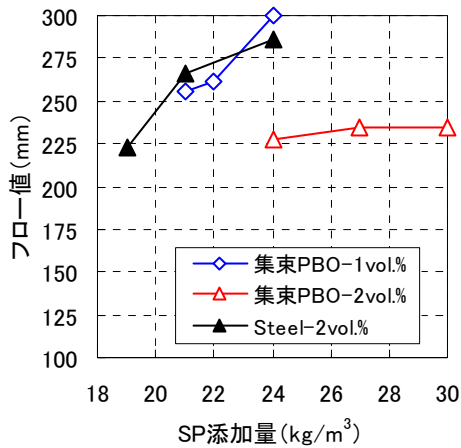


図-1 SP 添加量とフロー値の関係

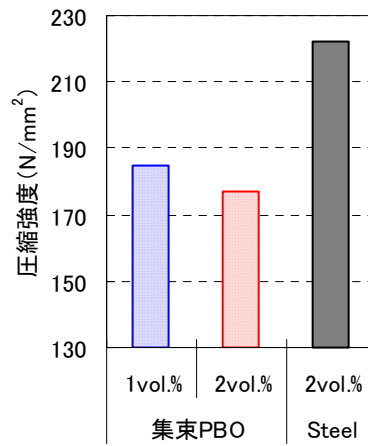


図-2 圧縮強度

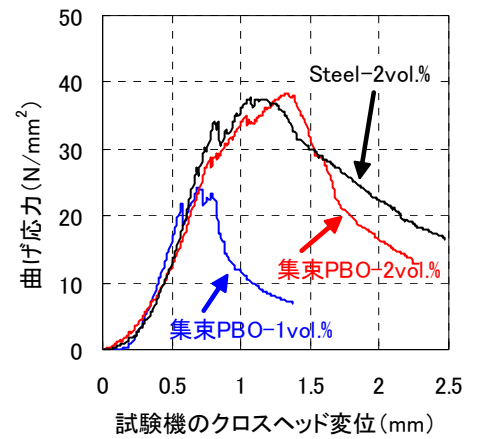


図-3 試験機のカロスヘッド変位と曲げ応力の関係

27kg/m³以上のとき235mm程度ではぼ頭打ちになった。鋼繊維を2vol.%で用いた場合のフロー値も、SP添加量増加にしたがって大きくなり、SP添加量21kg/m³以上のとき260mm以上となった。このように、繊維混入率を同程度とした場合には、集束PBO繊維を使用したUFCの流動性は鋼繊維を使用したUFCに比べ低下した。しかし、集束PBO繊維を用いた場合においても自己充てん性を有しており流し込み成型は可能であった。これより、集束PBO繊維を2vol.%までUFCに混入できる可能性が認められた。

## (2) 圧縮強度

圧縮強度試験結果を図-2に示す。集束PBO繊維を使用したUFCの圧縮強度は、繊維混入率の増加にしたがって低くなり、繊維混入率が1vol.%の場合は185N/mm²、2vol.%の場合は177N/mm²であった。一方、鋼繊維を2vol.%使用したUFCの圧縮強度は222N/mm²であった。これより、集束PBO繊維を使用したUFCでは、鋼繊維を使用した場合に比べ約2割の強度低下となったものの、指針案に示される圧縮強度の特性値150N/mm²以上であることが確認できた。集束PBO繊維は、集束軸方向とそれ以外の方向で力学的性質が異なる異方性材料であり、集束軸方向の引張には鋼繊維以上の抵抗を示すものの、圧縮に対しては等方性材料に近い鋼繊維のように抵抗できない。そのため、集束PBO繊維を使用したUFCの圧縮強度は鋼繊維を用いた場合よりも低下したと考える。

## (3) 曲げ強度

曲げ強度試験結果を表-3に、試験機のカロスヘッド変位と曲げ応力の関係の一例を図-3に示す。集束PBO繊維を使用したUFCの最大曲げ応力は、繊維混入率の増加にしたがって高くなることが認められ、繊維混入率2vol.%の場合、

表-3 曲げ強度試験結果

| 試験水準         | 曲げひび割れ発生応力(N/mm²) | 最大曲げ応力(N/mm²) |
|--------------|-------------------|---------------|
| 集束PBO-1vol.% | 21.9              | 24.2          |
| 集束PBO-2vol.% | 21.9              | 38.3          |
| Steel-2vol.% | 27.1              | 37.6          |

鋼繊維を使用したUFCの最大曲げ応力と同等以上となった。これは、表-1に示すように集束PBO繊維の力学性能が鋼繊維と同等以上であるため、高い曲げ特性を示したと考える。さらに、指針案に示されているUFCの曲げ強度の平均値は35.1N/mm²であり、PBO繊維2vol.%の結果はこの平均値以上となった。これより、PBO繊維を使用したUFCの最大曲げ応力は、鋼繊維を使用した場合と同等以上となることが明らかとなった。

## 4. まとめ

集束PBO繊維を適用したUFCは、繊維混入率の増加とともに流動性が低下する傾向を示したが、2vol.%混入した場合のフロー値は230mm程度となり、自己充てん可能な流動性を有することがわかった。また集束PBO繊維を2vol.%混入したUFCは、鋼繊維を2vol.%混入したUFCに比べて圧縮強度は約2割低下したものの、最大曲げ応力は同等以上となることがわかった。

## [参考文献]

- 1) 矢加部智子ら：PBO繊維補強コンクリートの開発研究(その1 モルタルマトリックスにおける調合と基礎物性)、日本建築学会大会学術講演梗概集、A-1, pp.61-62, 1998.
- 2) 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.
- 3) 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)、コンクリートライブラリー、No.113, 2004.