

高温爆裂を防止した圧縮強度 300N/mm² を有する超高強度繊維補強コンクリートの開発

太平洋セメント(株) 正会員 ○森 香奈子, 正会員 安田 瑛紀, 正会員 河野 克哉, 多田 克彦
ダイワボウポリテック(株) 原田 博成, 高田 雅之

1. はじめに

圧縮強度 150N/mm² 以上の超高強度繊維補強コンクリート (以下, UFC) は, 従来のコンクリートに比べて強度, じん性, 耐久性が飛躍的に向上した材料であり, これらの特長を活用して様々な構造物へ利用されている¹⁾. 一方で, 高強度コンクリートは火災などによる高温時の爆裂に対する抵抗性は低い. そこで, 今後 UFC の適用範囲拡大を図る目的で, 強度および耐火性能の向上を目指した検討を実施した. 本研究では, 合成繊維の少量混入により爆裂防止対策を施した圧縮強度 300N/mm² 以上の超高強度繊維補強コンクリート (以下, UFC-SP) について耐火性能を評価した.

2. 実験概要

(1) 使用材料および配合

結合材 (以下, B) には低熱ポルトランドセメント (以下, C), 石英微粉末 (以下, Q) およびシリカフューム (以下, SF) を用いた. また, 細骨材 (以下, S) には珪砂, 混和剤には高性能減水剤 (以下, SP) ならびに消泡剤 (以下, DF) を用いた. さらに, 補強繊維 (以下, F) として土木学会「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) に適合する直径 0.2mm, 長さ 15mm の鋼繊維 (以下, ST) ならびに爆裂防止効果が期待できるポリプロピレン繊維 (以下, PP) を使用した. 使用した PP の概要を表-1 に示す. 繊維長および結晶性を要因として 3 種類を比較検討した. UFC-SP の配合を表-2 に示す. 結合材の配合は, 各粉体の粒度分布を考慮して空間率が最小となる混合割合とした²⁾. 水結合材比 (以下, W/B) は 15%, DF 添加量は $B \times 0.02\%$, ST 混入率は 2vol.% (内割) の一定とした. PP 混入率は 0.1 または 0.2vol.% (外割) とし, SP 添加量は PP 混入なしの場合 $B \times 1.5\%$, PP 混入ありの場合 $B \times 2.5\%$ として調整した.

(2) 練混ぜおよび試験体の作製・養生

オムニミキサ (容量 5L) に B, S, W, SP および DF を投入して 4 分間の練混ぜを行い, ST および PP を混入してさらに 2 分間練り混ぜた. 練り上がった UFC-SP を型枠 (内寸法 $\phi 5 \times 10\text{cm}$) に打ち込み, テーブル型の外部振動機に

表-1 PP の概要

名称	直径(μm)	長さ(mm)	密度(g/cm^3)	備考
PP1	13.6	4	0.91	高結晶タイプ
PP2	13.6	6	0.91	高結晶タイプ
PP3	17.6	6	0.91	超高分子量タイプ

表-2 UFC-SP の配合

配合名	W/B (%)	単位量 (kg/m ³)					B×%	
		W	B* ¹	S	F			
					ST	PP	SP* ²	DF* ²
PP なし	15	192	1282	934	157	0	1.5	0.02
PP1 0.2 vol.%	15	192	1282	934	157	1.8	2.5	0.02
PP2 0.1 vol.%	15	192	1282	934	157	0.9	2.5	0.02
PP2 0.2 vol.%	15	192	1282	934	157	1.8	2.5	0.02
PP3 0.1 vol.%	15	192	1282	934	157	0.9	2.5	0.02
PP3 0.2 vol.%	15	192	1282	934	157	1.8	2.5	0.02

*1 B=C+Q+SF, *2 W の一部に内割置換

て締固めを実施した. 型枠に打ち込んだ後, 筆者らの開発した方法³⁾を参考として, 材齢 48 時間まで封緘養生 (温度 20℃) を行った試験体を脱型後すぐに脱気吸水処理 (30 分間) した. 吸水処理後の試験体は, 1 次熱養生として蒸気養生 (最高温度 90℃, 48 時間保持), 2 次熱養生として加熱養生 (最高温度 180℃, 48 時間保持) の 2 段階の熱養生を実施した.

(3) 試験項目および試験方法

試験項目は, フロー試験 (JIS R 5201: 無振動, 180 秒経過後のフロー), 圧縮強度 (JSCE-G505-1999) および耐火性能の 3 項目とした. 耐火性能は, ISO834 の加熱温度パターンを参考に, 小型の箱型電気炉により 400℃から 1100℃まで 3 時間かけて試験体を加熱し, その後試験体を取り出して, 目視観察, 質量減少率および残存圧縮強度比の評価を実施した. なお, 耐火試験後の圧縮強度試験の際には鋼製アンボンドキャッピング (JIS A 1108) を使用した.

3. 実験結果

(1) フレッシュ性状・圧縮強度

UFC-SP のフロー値の測定結果を図-1 に示す. PP を混入することにより, いずれの水準についてもフロー低下が認められた. PP 長さ 4mm の場合, 混入率 0.2vol.% としても指針案で適当とされる 230mm 以上のフローとなった. しかし, 長さ 6mm の PP を混入率 0.2vol.% で使用した場合, フローは 230mm 以下となり流動性の低下が大きくなった.

キーワード ポリプロピレン繊維, 超高強度繊維補強コンクリート, 爆裂, フロー値, 圧縮強度, 残存圧縮強度比

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. 043-498-3893

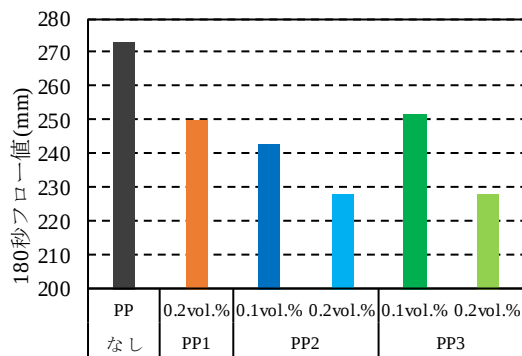


図-1 フロー試験結果

一方、長さ 6mm の PP を混入率 0.1vol.% で使用した場合は 230mm 以上のフローとなり、PP2 に比べ PP3 のフローが大きくなったことから、繊維径の影響が認められた。

熱養生終了後の圧縮強度を表-3 に示す(表中の耐火試験前の強度)。UFC-SP の圧縮強度は 300N/mm² 程度となり、PP 混入による影響は認められなかった。

(2) 耐火性能

耐火性能の評価結果を表-3 に示す。目視評価は、試験体の破壊状況や表面のひび割れ幅から 4 段階の判定を行った。参考として、耐火試験後の試験体写真を図-2 に示す。また、耐火試験前後の試験体質量から、質量減少率を求めた。さらに、質量測定後の試験体の圧縮試験を実施し、耐火試験後の残存圧縮強度比を算出した。

PP を使用せず ST のみで補強した UFC-SP は、耐火試験中に爆裂し円柱形状を維持できなかったことから、耐火試験後の質量測定および圧縮強度試験は実施しなかった。一方、PP を使用した試験体は耐火試験後も著しい破損はなく、PP による爆裂防止効果が認められた。

PP 混入率 0.2vol.% の場合、繊維長 6mm であれば PP の種類によらず高い耐火性能を有しており、目視評価による明確な違いは認められなかった。また、質量減少率および残存圧縮強度比も同等であった。しかし、繊維長 4mm の短い PP では、図-2(c)のように 1cm 以上のひび割れが発生し、明らかに耐火性能が低下した。繊維長 5~20mm の PP を使用した既往の研究においても長い繊維が有効であることが報告されているが⁴⁾、本研究より 4mm と 6mm のわずかな差でも繊維長の影響が大きいことが明らかとなった。

PP 混入率 0.1vol.% の場合、PP 種類による耐火性能の差が認められ、高結晶タイプの PP2 の試験体は図-2(b)のように軽微な損傷であった。一方、PP3 の試験体では一部で剥落が起こった。また、質量減少率および残存圧縮強度比についても、PP3 に比べて PP2 で良好な結果となった。高結

表-3 耐火性能評価結果

配合名	目視評価	質量減少率(%)	圧縮強度(N/mm ²)		残存圧縮強度比(耐火後/耐火前)
			耐火試験前	耐火試験後	
PP なし	×	—	303	—	—
PP1 0.2 vol.%	△	5.9	293	24.2	0.08
PP2 0.1 vol.%	○	5.5	307	35.8	0.12
PP2 0.2 vol.%	◎	5.4	304	40.9	0.13
PP3 0.1 vol.%	△	8.1	315	27.0	0.09
PP3 0.2 vol.%	◎	5.6	301	38.7	0.13

【目視評価基準】 ほぼ損傷なし(ひび割れ 1mm 未満) : ◎, 軽微(ひび割れ 1mm 以上~1cm 未満) : ○, 中程度(ひび割れ 1cm 以上, 剥落あり) : △, 大破 : ×



(a)ほぼ損傷なし (b)軽微 (c)中程度

図-2 耐火試験後の試験体写真

晶性 PP は従来の PP より高耐熱性であるため⁵⁾、PP2 の耐火性能が向上したと推察される。しかし、繊維径が小さいことも耐火性能に影響するとされているため⁴⁾、結晶度の影響についてはさらに検討が必要と考える。

4. まとめ

圧縮強度 300N/mm² を有する超高強度繊維補強コンクリートの耐火性能について評価した。その結果、PP 混入により爆裂を防止できること、繊維が長いほど耐火性能が向上することが明らかとなった。フレッシュ性状および耐火性能から総合的に判断した結果、本検討の範囲においては、高結晶タイプで繊維長 6mm の PP を 0.1vol.% 混入した配合が最適であることがわかった。

【参考文献】

- 1) 北海道土木技術会 コンクリート研究委員会：超高強度繊維補強コンクリートに関する小委員会報告書，2014。
- 2) 鈴木道隆ら：粒度分布のある多成分ランダム充填層の空間率，化学工学論文集，Vol.11，No.4，pp.438-443，1985。
- 3) 河野克哉ら：世界最高強度を発現するコンクリートの開発ならびに更なる性能向上の可能性，コンクリート工学，Vol.54，No.7，pp.1-8，2016。
- 4) 百瀬晴基ら：ポリプロピレン繊維を混入した設計基準強度 150 N/mm² の超高強度コンクリートの耐火性に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.25，No.1，pp.995-1000，2003。
- 5) 波木一郎：高結晶性ポリプロピレン，高分子，Vol.41，No.6，1992。