

各種繊維で補強した無孔性コンクリート（PFC）製パネルの曲げ性能

太平洋セメント（株） 正会員 ○小亀 大佑 正会員 安田 瑛紀
正会員 岸良 竜 正会員 河野 克哉

1. はじめに

近年、流し込み成型で 400N/mm^2 程度の超高強度を発現する無孔性コンクリート（PFC, Porosity Free Concrete）が開発され、土木構造物への利用が進んでいる。PFC は、脆性破壊を伴うため短繊維を混入してマトリクスを補強することが必要なる。これまで PFC への実用例としては、海岸擁壁補修工事におけるパネルが挙げられる。

本報告では、各種繊維で補強した PFC を薄肉パネル状の部材として適用する場合の検討として、製品工場における製造性ならびにこれらのコンクリートの曲げ性能について報告する。

2. 実験概要

2-1. 使用材料および実験水準

表-1 にマトリクスの使用材料を、表-2 に使用した繊維の種類ならびに物性を示す。結合材はセメントとシリカフュームのほかに、粒度分布を考慮した充填シミュレーション（鈴木モデル式）により、微粉末を中間粒子として添加することで、最密粒度としたプレミックス粉体である。また、本試験では繊維種類の異なる2水準の PFC と比較用に超高強度繊維補強コンクリート（以下、UFC）を用意した。PFC に組み合わせる繊維は、高強度な材質である高炭素鋼繊維（以下、ST）とスーパー合成繊維であるアラミドの集束繊維（以下、AR）の計2種類とした。PFC に対する各繊維の体積混入率は、ST ならびに AR の場合いずれも 2.0%（外割）とし、水結合材比は 15% で一定とした。また、UFC に組み合わせる繊維は、ST の1種類とし、2.0%（内割）で用いた。

表-1 マトリクスの使用材料

種類	名称	記号	成分ならびに物性等
練混ぜ水	水	W	上水道水
結合材	プレミックス粉体	B	PFC 専用材料
細骨材	珪砂	S	密度： 2.61g/cm^3 、 最大寸法 0.3 mm
混和剤	高性能減水剤	SP	ポリカルボン酸系
	消泡剤	DF	ポリアルキレングリコール系

表-2 繊維の種類ならびに物性

水準	繊維種類	繊維直径 (mm)	長さ (mm)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	密度 (g/cm ³)
PFC-ST	鋼繊維	0.20	15	2800	200	7.84
PFC-AR	集束アラミド繊維	0.21		2958	81	1.38
UFC-ST	鋼繊維	0.20		2800	200	7.84

2-2. 製造方法

PFC ならびに UFC は、製品工場のオムニミキサ（容量 150L）内に材料ならびに水を投入して4分間ほど練り混ぜ、さらに繊維を投入してから2分間ほど練り混ぜた（計6分間の練混ぜ）。打込み翌日の脱型を実施するため、打込み終了後から工場内の外気温下で6hほど静置し、一次蒸気養生（ $40^\circ\text{C}\times 12\text{h}$ ）に供した。PFC は、脱型後に30分間の煮沸吸水処理を行った。さらにその後、二次蒸気養生（ $90^\circ\text{C}\times 48\text{h}$ ）ならびに三次加熱養生（ $180^\circ\text{C}\times 48\text{h}$ ）を行った。UFC は一次蒸気養生（ $40^\circ\text{C}\times 12\text{h}$ ）の後に二次蒸気養生（ $90^\circ\text{C}\times 48\text{h}$ ）を行った。

2-3. パネル供試体の形状ならびに載荷実験方法

供試体の概要を図-1 に示す。供試体は、全長 1600mm、断面幅 214mm、高さ 30mm のパネルとした。載荷方法はスパンを 1500mm として中央部での集中荷重載荷とした。

3. 実験結果

3-1. フレッシュ性状と強度性状

実験結果の概要を表-3 に示す。コンクリートのフレッシュ性状は、JIS R 5201 に準拠した落下振動を与えない場合の 200mm 到達時間と 180 秒経過後のフロー、JIS A 1128 に準拠したエアメーター（圧力法）による空気量測定 の 3 項目により評価した。200mm 到達時間は集束繊維を用いた PFC-AR が 13'9sec と他の配合水準と比較して粘性が高くなったものの、フローが 250mm 以上

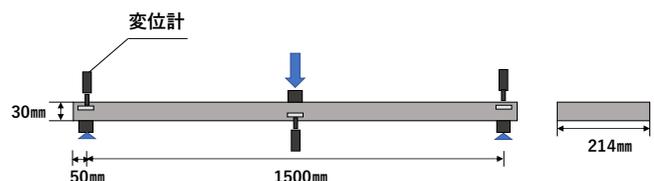


図-1 パネル供試体の概要

キーワード 無孔性コンクリート、超高強度、繊維補強、フレッシュ性状、強度性状、曲げ性能

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

表-3 フレッシュ性状, 硬化コンクリートおよびパネルの各試験結果

水準	フレッシュ性状			硬化コンクリートの強度試験			パネルの荷重試験	
	200 mm 到達時間(sec)	180sec フロー(mm)	空気量 (%)	圧縮強度 (N/mm ²)	ひび割れ発生強度 (N/mm ²)	割裂引張強度 (N/mm ²)	最大荷重 (kN)	ひび割れ発生荷重 (kN)
PFC-ST	5'0	265	3.2	318	10.1	26.0	3.10	1.25
PFC-AR	13'9	254	3.5	240	8.30	17.7	1.60	1.20
UFC-ST	4'3	262	3.1	198	9.80	21.0	1.71	1.14

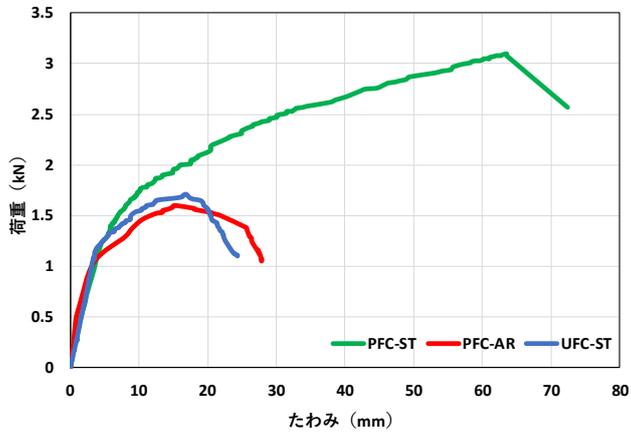


図-2 パネルの荷重—たわみ関係

となっており、いずれの配合水準においても型枠への流し込み成型が可能な流動性が確保できた。

圧縮強度は、PFC-STが318N/mm²で最も高く、UFC-STの場合の199 N/mm²にくらべて50%以上増大した。このようなPFC-STの圧縮強度増加には、最密粒度とした結合材の粉体充填効果のほか、脱型後の吸水処理にて内部に含んだ水分を利用した蒸気養生での水和物生成による空隙充填効果、さらに加熱養生による空隙内余剰水分の逸散効果がそれぞれ関与したもの¹⁾と考えられる。また、PFC-ARの圧縮強度は240 N/mm²となりPFC-FMと比較して25%程度低下した。これは、繊維の剛性等の影響により圧縮作用下においては合成繊維が十分に抵抗できないためと考えられるものの、UFC-STよりも20%ほど高くなった。なお、各配合水率において、ひび割れ発生強度に大きな差は確認されなかった。

3-2. パネルの荷重試験

パネルの荷重とたわみの関係を図-2に示す。本検討では、いずれの水準も最大荷重以降で急激に荷重が低下せず、荷重を受け持ちながら最終的な破壊に至ることが確認された。PFC-STの最大荷重は3.10kNとなり、UFC-STの場合の1.71kNとくらべて45%ほど向上した。PFC-ARは最大荷重が1.60kNとなった。UFC-STと同等の最大荷重を示した。

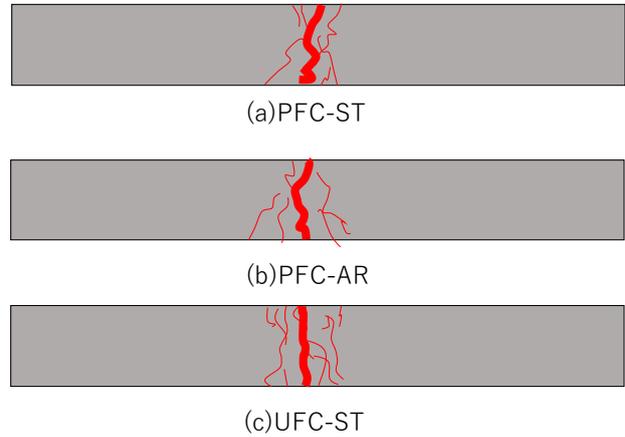


図-3 パネル底面のひび割れ

荷重後のパネル底面に生じたひび割れを図-3に示す。図中では荷重試験によるひび割れを赤線で、パネルの破壊に直結したひび割れを赤太線で示している。いずれの水準もスパン中央部にひび割れが集中し、破壊に至っていることが確認できる。

4. まとめ

- 1) PFC-STは工場製造においても318 N/mm²の高い圧縮強度が発現された。
- 2) PFC-ARは、UFC-STよりも高い圧縮強度を発現した。
- 3) パネルの最大曲げ荷重は、PFC-STはUFC-STの場合にくらべて大幅に向上し、PFC-ARはUFC-STと同等であった。

謝辞

繊維補強PFCを適用したパネルの製造に関しましては、(株)ナルックスにご協力を頂きました。ここに記して深謝致します。

参考文献

- 1) 河野克哉, 中山莉沙, 多田克彦, 田中敏嗣. 450N/mm²以上の圧縮強度を発現するセメント系材料の製造方法と硬化組織の変化. コンクリート工学年次論文集. 2016, 38(1), pp.1443-1448.