

集束アラミド繊維を適用した PFC（無孔性コンクリート）の基礎性状

太平洋セメント（株） 正会員 ○安田 瑛紀 正会員 河野 克哉
 帝人（株） 岡村 脩平 倉方 裕史

1. 目的

近年、流し込み成型で 400N/mm^2 程度の超高強度を達成する PFC（無孔性コンクリート：Pore/Porosity Free Concrete）が開発され、構造物への利用が期待されている。土木構造物への実用例として、海岸擁壁の補修パネルとして繊維補強 PFC が使用された¹⁾が、このような塩害環境では耐腐食性材料の使用が望ましい。そこで本研究では、合成繊維であるアラミド繊維に着目し、このフィラメントを集束した繊維を PFC に適用し、流動性、強度および耐摩耗性に与える影響を検討した。

2. 使用材料および配合

試験水準を表-1 に示す。本試験では繊維添加の有無と繊維種類の異なる 5 水準の PFC を用意した。繊維添加率は体積に対して外割で 2%とし、PFC の配合は共通して水結合材比 15%とした。集束アラミド繊維は繊維径の異なる 2 種類を使用し、極細のアラミドフィラメント（コポリパラフェニレン・3,4 オキシジフェニレン・テレフタラミド）を樹脂で集束したものが AR1、さらに集束繊維を 2 本縫い合わせて結束したものが AR2 である。比較用の繊維として鋼繊維と、既往の合成繊維としてポリビニルアルコール（以下、PVA）繊維をそれぞれ用意し、いずれの繊維も繊維長は 15mm とした。

3. 作製方法

容量 30L のオムニミキサを用いて練混ぜを行った。作製後の試験体は材齢 48 時間まで封緘養生を行い、脱型直後に 30 分間の脱気吸水処理を行った。さらにその後最高温度 90°C の蒸気養生を 48 時間、最高温度 180°C または 110°C の加熱養生（1 気圧）を 48 時間連続して行うことで反応を促進した。

4. 実験結果

(1) フレッシュ性状

フレッシュ性状試験の結果を表-2 に示す。混和剤の種類・使用量は一定とし、高性能減水剤（SP：ポリカルボン酸系）と消泡剤（DF：ポリアルキレングリコール誘導体）を結合材に対してそれぞれ 2.5%および 0.2%添加

し、練混ぜ水に内割置換した。練混ぜの結果、繊維を使用した場合には FM でフローが最大となり、他の 3 水準では繊維による差はわずかであった。これは繊維の径、表面性状および密度等によって流動性に与える影響が異なるためであるが、集束アラミド繊維は概ね PVA 繊維と同様の傾向を示すことを確認した。一般に、集束繊維においては練混ぜ時に繊維が解繊し、繊維束中の空気が解放されることによる空気量の増加が懸念される。しかしながら AR1、AR2 のいずれも集束状態が良好で PVA と比較して空気量が大きく増加することはない。NF や FM に対する空気量の増加は流動性の低下により練混ぜ時に巻き込まれる空気量が異なるためと考えられる。

(2) 強度性状

圧縮強度および曲げ強度の試験結果を表-3 に示す。圧縮強度は蒸気養生、加熱養生の終了後に計測した。AR1、AR2 において、加熱条件の影響を検討するために

表-1 繊維種類および物性

水準	繊維種類	繊維径 (mm)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	密度 (g/cm ³)
NF	なし	-	-	-	-
AR1	集束アラミド繊維	0.21	2958	81	1.38
AR2	集束アラミド繊維	0.30	2836	84	1.36
FM	鋼繊維	0.20	2800	200	7.84
PVA	ポリビニルアルコール繊維	0.30	900	26	1.30

*繊維長は共通して 15mm

表-2 フレッシュ性状

水準	フロー*1 (mm)	空気量 (%)	SP (B*2×%)	DF (B×%)
NF	310	2.5	2.5	0.2
AR1	271	4.5	2.5	0.2
AR2	276	4.3	2.5	0.2
FM	294	3.0	2.5	0.2
PVA	279	4.3	2.5	0.2

*1：落下振動を伴わないフロー（JIS A 5201 準拠）、*2：B=結合材量

表-3 強度試験結果

水準	圧縮強度 (N/mm ²)		曲げ強度 (N/mm ²)	
	蒸気養生後	加熱養生後	蒸気養生後	加熱養生後
NF	258	358	12.6	16.4
AR1	214	255 244*	35.3	40.0 48.3*
AR2	228	248 241*	27.5	38.9 39.2*
FM	250	342	42.0	48.5
PVA	205	201	20.4	14.4

*：110℃48 時間の加熱条件における結果

キーワード 無孔性コンクリート、集束アラミド繊維、フレッシュ性状、強度性状、耐摩耗性

連絡先 〒255-0031 千葉県佐倉市大作 2-4-2 太平洋セメント（株） TEL043-498-3893

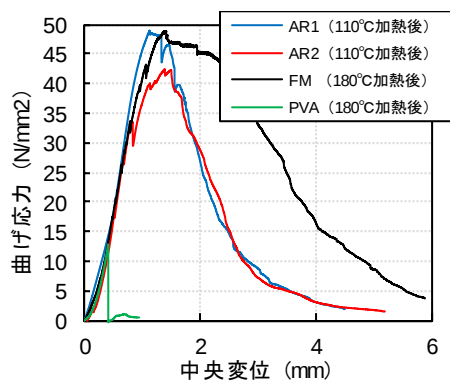


図-1 曲げ強度試験結果の例

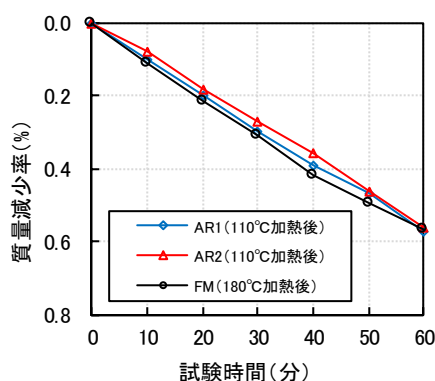


図-2 乾式耐摩耗試験結果

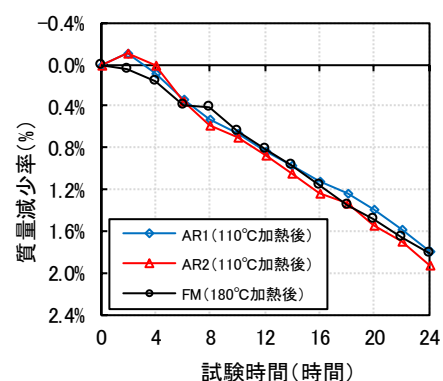


図-3 湿式耐摩耗試験結果

最高温度 110℃で 48 時間の条件でも加熱養生を実施し、試験結果を表-3 中で*印付きにて記している。圧縮強度試験の結果、蒸気および加熱養生後のいずれも NF で最大の強度を示し、FM ではこれから 5%程度低下する結果となった。AR1, AR2 および PVA では NF や FM よりも強度が低下したが、これは空気量の影響に加えて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。一方で、AR1・AR2 のいずれも PVA よりも高い強度を示し、特に加熱養生後では PVA との差が顕著である。これは加熱養生によって PVA 繊維が変質した影響が大きく、耐熱性に優れる集束アラミド繊維は合成繊維でありながら 250N/mm² 程度のきわめて高い圧縮強度を発現した。

曲げ試験における曲げ応力-中央変位関係の一例を図-1 に示す。曲げ強度試験の結果、加熱養生後の PVA を除いて繊維の添加によって曲げ強度が大きく増加し、特に AR1 では加熱養生温度を 110℃に低減させることによって FM とおよそ同等の曲げ強度を発現した。加熱養生によって PFC マトリクスの強度が増加し繊維との付着が改善される一方、繊維種類によってはアルカリや水分を含むマトリクス中環境で高温履歴を受けることにより繊維が変質し、補強性能が低下することが考えられる。この両作用のバランスの結果、集束アラミド繊維においては加熱養生温度を 110℃程度にすることで圧縮強度の低下を抑制しながら曲げ強度を向上することができたものと考えられる。

(3) 耐摩耗試験

強度試験で良好な結果を示した AR1, AR2 および FM に対して耐摩耗試験を実施した。試験は水分作用のない乾式条件と水分作用下の湿式条件でそれぞれ実施した。乾式試験は ASTM C779 に準拠して行い、300mm×300mm×厚さ 60mm の平板試験体に対して、自転 280rpm・公転

12rpm の速度でディスクグラインダにより磨耗作用を与え、10 分毎の質量減少率を計測した。湿式試験は容量 770ml のプラスチックボトルに φ50×100mm 試験体を入れ、さらに水 200ml と磨耗材として直径 20mm のセラミックス製球 340g を投入し、ポッドミル架台を用いて容器を 200rpm の速度で回転させることにより磨耗作用を与え、1 時間毎の質量減少率を計測した。試験結果を図-2 および図-3 に示す。AR1, AR2 および FM の試験終了時の質量減少率は、乾式において 0.57%, 0.56% および 0.47%, 湿式において 1.79%, 1.93% および 1.81% となり、集束アラミド繊維は概ね鋼繊維と同等の耐摩耗性を有していることを確認した。海岸環境の実構造物においては、コンクリート表面に露出した鋼繊維の腐食と腐食生成物が洗い出される影響が考えられ、耐腐食性を有する集束アラミド繊維においては長期的な耐摩耗性はさらに向上することが予想される。

4. まとめ

- (1) 集束アラミド繊維が流動性に与える影響は概ね PVA 繊維と同様であり、集束繊維の解繊等による空気量の増加も確認されなかった。
- (2) 集束アラミド繊維を使用した PFC は PVA 繊維を使用した場合を大きく上回る圧縮強度を有する一方で、加熱養生温度を最適化することで鋼繊維の場合と同等の曲げ強度を発現することが可能である。
- (3) 乾式・湿式いずれの条件においても集束アラミド繊維で補強した PFC は鋼繊維を使用した場合と同等の耐摩耗性を有することを確認した。

参考文献

- 1) 安田ら：パネルによる護岸補修工事に適用した圧縮強度 350N/mm² を有する繊維補強コンクリートの基礎性状、コンクリート工学年次論文集, Vol. 39, No. 1, pp. 2119-2124, 2017