

超高強度繊維補強モルタルの性状とそれを用いた低桁高PC橋の試設計

(株)ピーエス三菱 正会員○雨宮美子  
 (株)ピーエス三菱 正会員 桜田道博  
 (株)ピーエス三菱 正会員 渡辺浩良  
 (株)ピーエス三菱 正会員 森 拓也

1. はじめに

近年、高強度で高いじん性を有するセメント系複合材料が、各機関で開発されている。フランスでは、これらに関する指針案(超高強度繊維補強コンクリート指針案)も作成されている<sup>1)</sup>。しかし、これまでのセメント系複合材料は、高価、練混ぜ・施工・養生が煩雑、等の理由であまり普及していないのが現状である。そこで、市販のシリカフューム混入セメントおよび天然普通骨材を使用した比較的安価で、練混ぜ・施工・養生が容易な超高強度繊維補強モルタル(圧縮強度 150MPa 程度)を開発した。また本材料をプレストレス導入時と設計荷重作用時に大きな圧縮応力度が作用する低桁高PC橋へ適用することを考え、試設計を行った。本稿では、超高強度繊維補強モルタルの性状と本材料を用いた低桁高PC橋の試設計結果について報告する。

2. 超高強度繊維補強モルタルの性状

2.1 試験概要

(1) 使用材料

超高強度繊維補強モルタルは、シリカフュームセメント、細骨材、および鋼繊維などで構成されており、粗骨材を使用していない。そのため、繊維を混入しても施工性が良好である。また特殊な材料を使用せず、通常のコンクリートミキサで練混ぜるため、比較的安価で汎用性があるのが特徴である。本モルタルの使用材料を表-1 に示す。写真-1 に使用した鋼繊維を示す。

(2) 示方配合および練混ぜ方法

示方配合および練混ぜ方法をそれぞれ表-2 および図-1 に示す。写真-2 に練混ぜ状況を示す。

表-1 使用材料

材 料	記号	摘 要
セメント	C	シリカフュームセメント (三菱マテリアル製) 密度 3.08g/cm <sup>3</sup>
鋼繊維	SF	OL13/16 (ベカルト社製) 引張強度 2340MPa 長さ 13mm, 径 0.16mm, アスペクト比 81, 密度 7.85g/cm <sup>3</sup>
細骨材	天然細骨材	S 砕砂 表乾密度 2.57g/cm <sup>3</sup> , 吸水率 2.59%, FM2.95, 最大寸法 5mm
高性能 AE 減水剤	SP	マイテイ 21WH

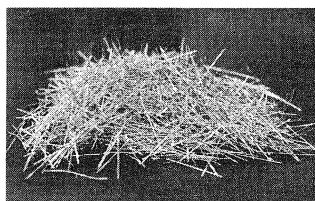


写真-1 鋼繊維



写真-2 練混ぜ状況

表-2 配合表

配合	W/C (%)	Air (%)	SF 量 (vol.%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				SP/C (%)
				W	C	S	SF	
1	16	2.0	0.0	210	1310	922	—	3.0
2	17	2.0	0.0	210	1235	948	—	3.0
3*	17	2.0	0.5	210	1235	948	40	3.0
4	17	2.0	1.0	210	1235	923	79	3.0
5	17	2.0	2.0	210	1235	897	157	3.0
6	20	2.0	0	210	1050	1103	—	3.0
7	23	2.0	0	210	913	1218	—	3.0

\*配合 3 の鋼繊維は外割で添加した。

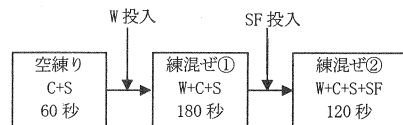


図-1 練混ぜ方法

(3) 養生方法

養生方法は、図-2のとおりとした。24時間前置きした後、最高温度60℃で24時間蒸気養生した。

(4) 試験項目および試験方法

フレッシュ性状および強度性状の試験方法をそれぞれ、表-3および表-4に示す。

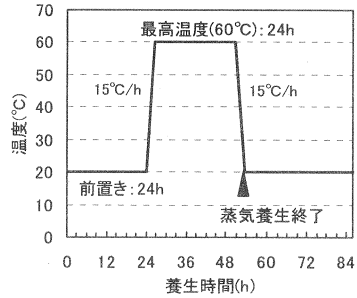


図-2 養生方法

2.2 フレッシュ性状

(1) スランプフロー

鋼繊維添加量とスランプフローの関係を図-3に、スランプ試験の状況を写真-3に示す。鋼繊維の添加量が大きいくほど、スランプフローは低下する傾向にある。鋼繊維添加量が1.0vol.%までは、0vol.%とそれほど変わらないが、2.0vol.%添加するとスランプフローが200mm程度低下した。締固め不要のスランプフローの目安を650mm以上と仮定すると、W/Cが17%のモルタルに添加できる鋼繊維量は、1.5vol.%程度までと推定される。

表-3 フレッシュ性状試験

試験項目	試験方法	実施時期
①スランプフロー	JIS A 1150	練上がり直後
②空気量	JIS A 1116	〃
③練上がり温度	温度計	〃
④凝結試験	JIS A 1147	

(2) 凝結性状

超高強度繊維補強モルタルの凝結性状を図-4に示す。これは、W/Cが17%、鋼繊維添加量0vol.%の場合の試験結果である。試験の結果、凝結の始発は19時間30分、終結は22時間30分となった。遅れ膨張破壊(DEF)を防ぐため、蒸気養生は、凝結するまですべきではないとの報告がある<sup>1)</sup>。そのため、本モルタルでは安全を考慮し、前置き養生を24時間以上とした。

表-4 強度性状試験

試験項目	試験方法	材齢	供試体サイズ
①圧縮強度	JIS A 1108	脱型直後、σ <sub>28</sub>	φ100×200mm
②静弾性係数	JIS A 1149	脱型直後、σ <sub>28</sub>	φ100×200mm
③曲げ強度	JIS A 1106	脱型直後	□100×400mm
④引張強度	JIS A 1113	脱型直後	φ100×200mm

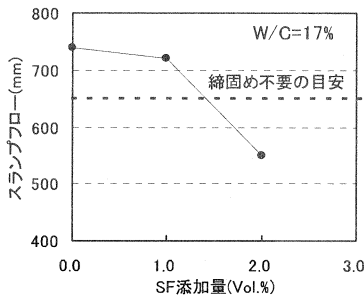


図-3 鋼繊維の添加量とスランプフローとの関係

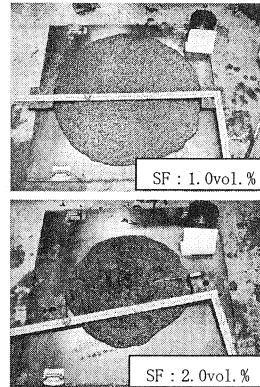


写真-3 スランプフロー

2.3 強度性状

(1) 圧縮強度

セメント水比と圧縮強度との関係を図-5に示す。材齢28日で圧縮強度150MPaを得るには、セメント水比を5.5以上(W/Cで18%以下)とする必要があることがわかる。

圧縮強度試験時のテストピースの破壊状況を写真-4に示す。鋼繊維が添加されていない場合、上の写真のとおり脆性的な破壊性状を示すが、1.0%添加すると、じん

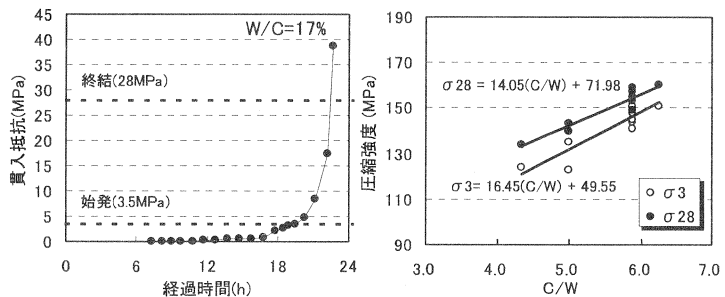


図-4 凝結性状

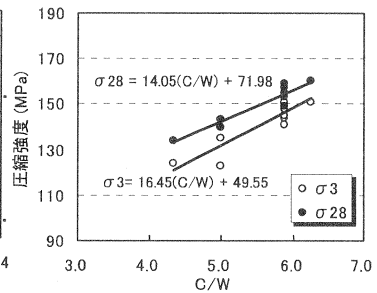


図-5 C/Wと圧縮強度の関係

性が向上することがわかる。

(2) 静弾性係数

静弾性係数の測定結果を表-5に示す。静弾性係数は、鋼繊維の添加量に関係なく、38GPa程度であった。

表-5 静弾性係数の測定結果

配合	W/C (%)	SF添加量 (vol.%)	圧縮強度 (MPa)	静弾性係数 (GPa)
2	17	0.0	161	37.3
4	17	1.0	152	37.8
5	17	2.0	153	37.6

(3) 曲げ強度

鋼繊維添加量と曲げ強度との関係を図-6に示す。鋼繊維添加量が大きくなるほど、曲げ強度は大きくなるのがわかる。

(4) 引張強度

鋼繊維添加量と引張強度の関係を図-7に示す。引張強度は平均で8.0MPa程度であり、多少ばらつきがあるものの、鋼繊維添加量によって、引張強度はほとんど変化しないことがわかる。

2.4 設計用値

前述の試験結果を参考にして、超高強度繊維補強モルタルの設計用値案を表-6のとおり仮定した。許容曲げ圧縮応力度の許容値については、プレ導入時、設計荷重作用時とも設計基準強度の0.4倍と仮定した。実験が継続中のため、実験結果のないものについては、道路橋示方書の値やフランスの指針案<sup>1)</sup>を準用した。

表-6 超高強度繊維補強モルタルの設計用値

	単位	設計用値	備考	
設計基準強度 $f_{ck}$	MPa	120	配合強度 150MPa	
許容曲げ圧縮応力度	プレ導入直後	MPa	48	0.4f'ck
	設計荷重時	MPa	48	
許容曲げ引張応力度	プレ導入直後	MPa	-2.0	道路橋示方書より
	設計荷重時	MPa	-2.0	
許容斜引張応力度	設計荷重時	MPa	1.3	道路橋示方書より
コンクリートが負担できるせん断応力度	MPa	0.7	〃	
最大せん断応力度	MPa	6.0	〃	
弾性係数 $E_c$	GPa	37	実験値より	
クリープ係数	-	1.0	フランス指針案 <sup>1)</sup> より	
乾燥収縮	$\mu$	200	道路橋示方書より	

3. 低桁高PC橋の設計

低桁高PC橋(桁高支間比が1/25程度以下)では、プレストレス導入時と設計荷重作用時に大きな圧縮応力度が主桁断面に作用することになる。そこで、高い圧縮応力度を有する超高強度繊維補強モルタルを低桁高PC橋へ適用することを考え、試設計を行った。

(1) 設計条件

設計条件を表-7に示す。試設計の対象は支間35.0m、幅員12.0mの単純桁橋とした。施工方法は、プレキャストセグメント(主桁3分割)を工場製作し、現場ヤードでプレストレスを導入し一体化して架設する方法

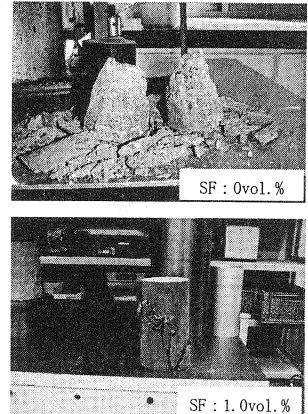


写真-4 破壊状況

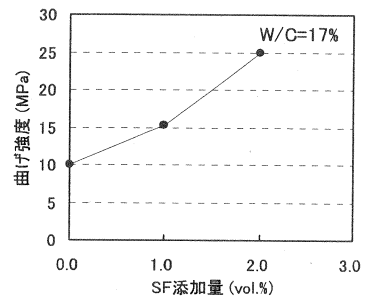


図-6 鋼繊維添加量と曲げ強度の関係

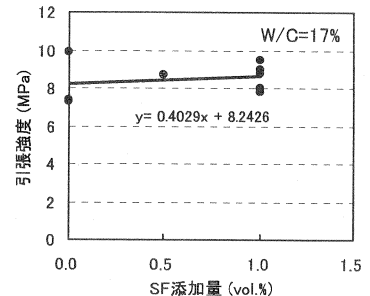


図-7 鋼繊維添加量と引張強度の関係

とした。主桁には超高強度繊維補強モルタルを、場所打ちの間詰め部には通常のコンクリート ( $f'_{ck}=40\text{MPa}$ ) を使用した。また、超高強度繊維補強モルタルの設計用値を表-6 に示す。

(2) 試設計結果

試設計の結果得られた PC 橋の寸法図および合成応力度をそれぞれ、図-8 および表-8 に示す。超高強度繊維補強モルタルの許容圧縮応力が  $48\text{MPa}$  と大きいため、大容量 PC ケーブル (19S15.2) を主桁 1 本あたり 4 本配置することができ、桁高が  $1.16\text{m}$  (桁高支間比で  $1/30$ ) の低桁高橋の設計が可能となった。

4. まとめ

超高強度繊維補強モルタルの材料試験および本モルタルを使用した PC 橋の試設計を行った結果、以下の知見が得られた。

- (1) 鋼繊維の添加量が大きいほど、スランプフローは低下する傾向にあり、 $W/C$  が  $17\%$  のモルタルに添加できる鋼繊維量は、 $1.5\text{vol.}\%$  程度までと推定される。
- (2) 凝結試験の結果、前置き養生は 24 時間以上必要であった。
- (3) 材齢 28 日で圧縮強度  $150\text{MPa}$  を得るには、セメント水比を  $5.5$  以上 ( $W/C$  で  $18\%$  以下) とする必要がある。また、鋼繊維をある程度添加すると、じん性が向上することが破壊状況より観察された。
- (4) 静弾性係数は、鋼繊維の添加量に関係なく、 $W/C$  が  $17\%$  の配合では  $38\text{GPa}$  程度であった。曲げ強度は、鋼繊維の添加量が大きくなるほど大きくなった。
- (5) 引張強度は、平均で  $8.0\text{MPa}$  程度であり、鋼繊維添加量により、ほとんど変化しない結果となった。
- (6) 超高強度繊維補強モルタルを使用することで、桁高支間比  $1/30$  の低桁高橋の設計が可能であった。

5. おわりに

本報告に示した室内材料試験終了後、実機プラントによる練混ぜを行った。その結果、室内試験と同様な性状が得られ、実機プラントによる超高強度繊維補強モルタルの製造が可能であることが確認できた。現在、本モルタルを使用した PC 桁および RC 桁を製作しており、今後、曲げ破壊試験およびせん断破壊試験を実施する予定である。

参考文献

1) SETRA-AFGC: Ultra High Performance Fibre-Reinforced Concrete, Interim Recommendation, 2002. 1

表-7 設計条件

形式	ポストテンション単純桁橋
工法	プレキャストセグメント工法
活荷重	B活荷重
橋長	35.9m
桁長	35.8m
支間L	35.0m
幅員	12.0m
斜角	90° 00' 00"

表-8 主桁および間詰め部の合成応力度

		合成応力度*(MPa)	
主桁 支間中央	導入時	上縁	0.8 (>-2.0 OK)
		下縁	40.5 (<48.0 OK)
	設計時	上縁	18.6 (<48.0 OK)
		下縁	0.57 (>-2.0 OK)
主桁 セグメント 継目部	設計時	上縁	15.1 (<48.0 OK)
		下縁	5.7 (>0.0 OK)
	活荷重 1.7倍時	上縁	19.6 ( - )
		下縁	-2.9 (>-3.0**)OK)
間詰め部 支間中央	設計時	上縁	12.1 (<14.0 OK)
		下縁	-

\*( )内は許容応力度, \*\*セグメント継目部の許容応力度

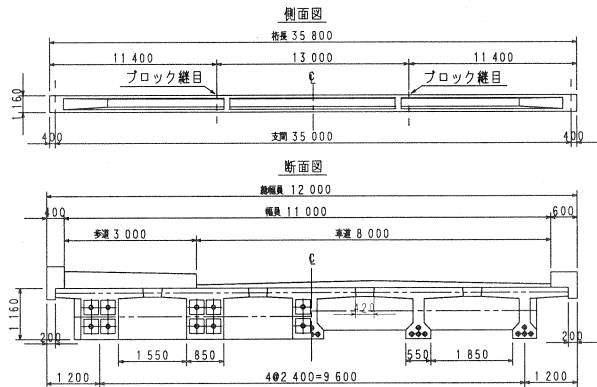


図-8 低桁高 PC 橋一般図 (桁高支間比 1/30)