

収縮低減剤を添加した超高強度繊維補強コンクリートの収縮特性

太平洋セメント(株) 中央研究所 正会員 ○佐藤 正己 正会員 田中 敏嗣
正会員 杉山 真悟

1. 目的

2004 年土木学会より「超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案)」¹⁾(以下 UFC 指針案)が刊行され、超高強度繊維補強コンクリート(以下 UFC)の適用事例が増えてきている。UFC は、低水粉体比であるため従来のコンクリートと比較して自己収縮が非常に大きく収縮低減対策はかねてからの課題であった。本稿は、主成分の異なる収縮低減剤を用いた際の UFC の収縮低減効果を実験的に検討した結果を述べたものである。

2. 実験概要

2. 1 使用材料および配合

UFC の使用材料は、上水道水(以下 W)、標準配合粉体(太平洋セメント社製、 $\rho = 2.82\text{g/cm}^3$)、鋼繊維($\phi 0.2 \times 15\text{mm}$, $\rho = 7.85\text{g/cm}^3$)、ポリカルボン酸系高性能減水剤(以下 SP)とし、標準配合粉体、鋼繊維は UFC 指針案に適合するものを使用した。表 1 に使用した収縮低減剤、表 2 に配合条件を示す。

収縮低減剤(以下 SRA)は、SRA-A は練混ぜ水に内割、SRA-B, C は配合に対して外割で使用した。

2. 2 供試体作成方法

練混ぜは、ミキサに標準配合粉体、練混ぜ水(W, SP, SRA)を同時に投入し 10 分間行い、繊維投入後さらに 2 分間行った。目標フロー値(JIS R 5202(ゼロ打))は $280 \pm 20\text{mm}$ とし SP 添加量によって調整した。供試体寸法は、圧縮強度用供試体 $\phi 50 \times 100\text{mm}$ 、収縮ひずみ測定用供試体 $100 \times 100 \times 400\text{mm}$ とした。また、細孔径分布測定用は $\phi 50 \times 100\text{mm}$ とし繊維無混入とした。成形した供試体は、打設後 20°C 恒温槽内湿潤状態で 48 時間の 1 次養生した後、脱型し 90°C 48 時間(昇降温 15°C/hr)の 2 次養生(蒸気養生)を行った。

2. 3 実験方法

圧縮強度は、JIS A 1108 に準拠して行った。収縮ひずみ測定は、埋込み型ひずみ計(東京測器研究所社製 KM-100HB)を用い、打設から脱型までの 1 次養生中は JCI 案²⁾に準拠した湿潤養生下、脱型から 2 次養生終了後

までは蒸気養生槽内で長さ変化を測定した。SRA 原液および練混ぜ水の表面張力測定は、Wilhelmy 法(協和界面科学社製 CBVP-Z 型)により測定した。硬化体の細孔径分布は、SRA 添加量 8kg/m^3 供試体の中央部分をダイヤモンドカッターで切り出し、直ちにアセトンに浸漬後、D 乾燥を 7 日行い測定試料とし水銀圧入ポロシメータ(島津製作所社製)により測定した。

表 1 使用収縮低減剤

種類	主成分	密度 (g/cm^3)	溶解性	表面張力 (mN/m)
SRA-A	低級アルコール アルキレンオキシド付加物	1.02	易溶性	37.4
SRA-B	グリコールエーテル系誘導体	0.98	不溶性	34.4
SRA-C	高級アルコール アルキレンオキシド付加物	0.98	難溶性	32.8

※SRA の表面張力は原液で測定した。

表 2 配合条件

種類	単位量(kg/m ³)					
	練混ぜ水		収縮 低減剤 (外割)	標準配合 粉体	鋼繊維	
	高性能減水剤	収縮低減剤				
無添加	180	24	-	-	2254	157
SRA-A		24	8	-		
		24	16	-		
		25	24	-		
SRA-B		23	-	6		
		22	-	12		
SRA-C		26	-	4		
		28	-	8		
		30	-	12		

表 3 フレッシュ性状および圧縮強度

種類	収縮低減剤添加量(kg/m^3)		フロー値 (mm)	空気量 (%)	コンクリート 温度($^\circ\text{C}$)	圧縮強度 (N/mm^2)
	W内割	外割				
無添加	-	-	286	4.5	30.6	210
SRA-A	8	-	291	3.5	30.8	210
	16	-	293	3.1	29.5	212
	24	-	287	2.7	26.3	195
	-	6	300	2.6	26.9	214
SRA-B	-	12	280	3.3	27.6	212
SRA-C	-	4	282	4.3	29.5	211
	-	8	271	4.5	29.5	212
	-	12	269	4.5	28.9	210

キーワード：超高強度繊維補強コンクリート、収縮低減剤、収縮ひずみ

〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2 TEL. 043-498-3902 FAX. 043-498-3821

3. 実験結果

本試験で用いた UFC のフレッシュおよび硬化体力学性状を表3、凝結始発からの収縮量を図2に示す。

SRA-A は、無添加配合と比較して流動性への影響が少ないが、収縮低減効果が小さく SRA 添加量を多く必要とした。SRA-B は、流動性への影響が少なく、空気量も低減でき、1次養生中に高い収縮低減効果が認められたが、2次養生中の収縮低減効果が小さかった。一方 SRA-C は、流動性を得るために SP 添加量は $\text{SRA}1\text{kg}/\text{m}^3$ あたり $0.5\text{kg}/\text{m}^3$ 増加するが、1次養生、2次養生とも収縮低減効果が非常に高いことを確認できた。同一添加量 $8\text{kg}/\text{m}^3$ で各養生中の無添加配合に対する収縮低減率を比較すると、1次養生中には、SRA-A 約 30%、SRA-B 約 60%、SRA-C 約 60%、2次養生中には、SRA-A 約 20%、SRA-B 約 10%、SRA-C 約 55% となり SRA の主成分による影響が顕著となった。このように、総じて1次養生と比べて2次養生の収縮低減率が下回る結果となった。

図3に練混ぜ水の表面張力を示す。SRA-B は難溶性であるため練混ぜ水中で分離し測定は困難であった。表面張力は SRA の添加により大きく低下するが、一定量以上では添加量の増加による変化は認められなかった。これは、練混ぜ水の SRA 濃度がミセル臨界濃度を越え表面張力の変化が無くなったと考えられた。表面張力と収縮量の関係は、SRA-A(約 $40\text{mN}/\text{m}$)、SRA-C(約 $30\text{mN}/\text{m}$)と表面張力が低下するにしたがって収縮量が減少したが、前記のとおり SRA 添加量が増加しても収縮量は減少するが、表面張力は低下せず、表面張力の低下だけでは説明できない。佐久田ら研究においても SRA-B と同じ主成分の SRA を使用した水セメント比 50~60% のペーストおよびモルタルについて同様の傾向があることが述べられている³⁾。また、SP にも表面張力を低下させる効果はあり、SP、SRA のセメントや水和物などへの吸着なども考慮した検討をする必要があると考える。

図4に2次養生後の空隙率を示す。SRA 添加配合は、すべての水準で全空隙量が減少しており、さらに 10nm 以下の毛細管空隙量も少なく若干緻密化している。SRA を用いた場合の収縮低減機構は、水の表面張力の低下が主要因と考えられるが、UFC は非常に低水粉体比であり硬化体内の自己乾燥の影響も大きいことから毛細管張力による影響だけではなく、分離圧や表面エネルギーの観点からの検討も必要と思われる。また、SRA の沸点は 100°C 以上であり 90°C の2次養生中も揮発せずに空隙中に残存し収縮低減に寄与していることが示唆された。

謝辞: 本実験にあたり三洋化成工業株式会社谷水好夫氏、田中智氏、清水倫和氏にご協力を頂きました。ここに記して謝意を表します。

参考文献 1)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),2004, 2)日本コンクリート工学協会:自己収縮研究委員会報告書,p195-198,1996, 3)佐久田昌治ほか:コンクリート乾燥収縮低減剤の実用化に関する研究(その2.収縮低減剤の作用機構に関する一考察),日本建築学会大会学術講演梗概集(関東),p489-490,1984

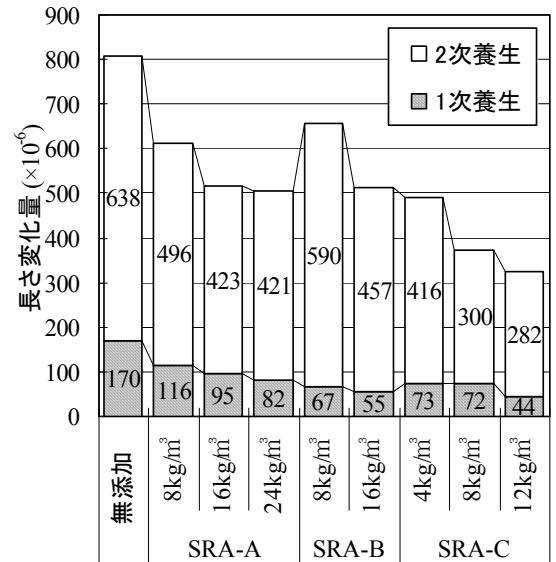


図2 各養生における収縮量

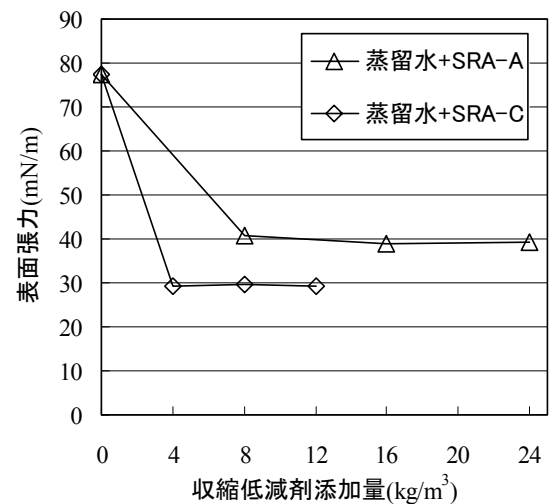


図3 練混ぜ水の表面張力

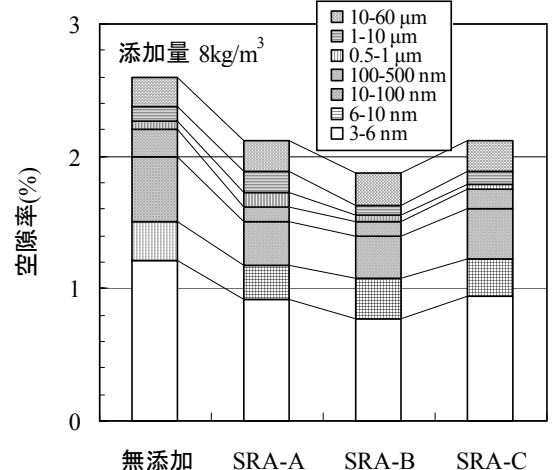


図4 2次養生後の細孔量(繊維無し)