

収縮低減剤・膨張材を使用した超高強度繊維補強コンクリートの自己収縮特性および力学特性

太平洋セメント(株) 正会員 ○森 香奈子 正会員 川口 哲生
正会員 河野 克哉 正会員 田中 敏嗣
長岡技術科学大学 監物 希美

1. はじめに

超高強度繊維補強コンクリート（以下 UFC）は、圧縮強度 200N/mm²程度を有し、さらに自己充てん性や耐久性が飛躍的に優れた材料である。その一方、水粉体比が極めて低く、高温の蒸気養生を行うことにより自己収縮が増大しやすいことが課題である。自己収縮ひずみを抑制する方法として、収縮低減剤（以下、SRA）や膨張材（以下、EX）といった混和材料の使用があり、実際に超高強度コンクリートに対する有効性も報告されている¹⁾。しかし、UFCに適用した研究はまだ十分に行われていない。そこで、本研究では、UFCの収縮低減に効果のある2種類のSRA、超高強度コンクリートの収縮低減に効果のある1種類のEXを適用することによるUFCの自己収縮低減効果を検討した。さらに、SRAおよびEXの添加が凝結始発時間、圧縮強度および曲げ強度に及ぼす影響も評価した。

2. 実験概要

(1) 使用材料および配合

本研究では、UFC設計・施工指針（案）に適合する標準配合粉体（以下、PM）、鋼繊維（以下、F）および高性能減水剤（以下、SP）に加え、表-1に示すように、SRAとして市販の低級アルコール系のSRA1および新規開発の高級アルコール系のSRA2²⁾の2種類、EXとして市販の石灰系早強型の1種類を使用した。また、SRA添加による空気量の増加を抑制するために消泡剤（以下、T）を添加することとし、SRA1にはポリエーテル系のT1を、SRA2にはシリコン系のT2を組み合わせて使用した。

UFCの配合を表-2に示す。SRAおよびEXの添加量は15kg/m³とし、易溶性のSRA1は練混ぜ水（以下、W）の一部として内割置換、難溶性のSRA2はWに対して外割添加、そしてEXはPMの一部として内割置換で使用した。さらに、T1はPM×0.02%、T2はSRA2×5%でWの一部として内割置換で使用した。また、鋼繊維は体積混入率2%の内割混入とし、SPは所要のフロー値が得られるよう適宜調整しWの一部として内割置換で使用した。

表-1 収縮低減剤および膨張材

種類	記号	成分・物性
収縮低減剤	SRA1	低級アルコールアルキレンオキシド付加物、易溶性、密度 1.02g/m ³
	SRA2	高級アルコールアルキレンオキシド付加物、難溶性、密度 0.98g/m ³
膨張材	EX	石灰系早強型膨張材、比表面積 4920cm ² /g、密度 3.19g/m ³

表-2 UFCの配合

記号	単位量(kg/m ³)								
	W	PM	EX	SRA1	SRA2	T1	T2	F	SP
N	180	1299	—	—	—	—	—	157	23.0
E	180	1299	15	—	—	—	—	157	26.5
S1	180	1299	—	15	—	0.26	—	157	23.0
S1+E	180	1299	15	15	—	0.26	—	157	26.5
S2	180	1299	—	—	15	—	0.75	157	23.0
S2+E	180	1299	15	—	15	—	0.75	157	26.5

(2) 実験方法

自己収縮ひずみの測定は、4×4×16cmの供試体中央に打込み直後からの長さ変化を測定できる埋込型ひずみゲージを設置して行った³⁾。脱型は打込み2日後に行い、供試体全面にアルミ箔粘着テープでシールし封緘状態（20℃）を保った。ひずみの測定は打込み直後から材齢7日まで継続的に実施し、その後材齢28日まで7日ごとに断続的に実施した。その他、練混ぜ直後にフロー試験（無振動、180秒経過後）および凝結試験を行い、材齢28日には圧縮強度試験および曲げ強度試験を行った。なお、強度試験用の供試体は、自己収縮ひずみ測定用供試体と同様に2日脱型し、封緘養生（20℃）とした。

3. 実験結果

フロー試験、凝結試験、圧縮強度試験および曲げ強度試験の結果を表-3に示す。いずれの配合においても良好な流動性が確認できたが、EX添加時には表-2に示したようにSPを増量する必要が生じた。凝結始発時間は、SRA添加により遅延し、特にS1において遅くなった。一方、EはNに比べ早くなった。SRAとEX併用の場合、EX単独添加よりも遅くなったが、SRA単独添加よりも早くなり、S2+EではNよりも1時間以上早くなることがわかった。圧縮強度は、SRAやEXの添加による影響はほとんど認められな

キーワード 収縮低減剤、膨張材、超高強度繊維補強コンクリート、自己収縮、凝結、曲げ強度

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. 043-498-3909

表-3 フロー・凝結・圧縮強度・曲げ強度

配合	フロー (mm)	凝結時間 (h-min)		圧縮強度 (N/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)
		始発	終結		
N	287	10-50	13-35	157	31.9
E	275	7-25	9-30	164	45.6
S1	281	14-50	19-00	155	36.2
S1+E	295	11-25	14-40	167	39.5
S2	277	13-50	17-25	161	37.3
S2+E	276	9-25	11-35	161	38.6

かった。

凝結始発から材齢 28 日までの長さ変化を図-1 に示す。図では、収縮ひずみを負とした。また、ひずみの算出では、熱電対にて実測した供試体の内部温度から、UFC の線膨張係数を $13.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ と仮定して長さの補正を行った。材齢 28 日における最終的な N の自己収縮ひずみは、 670×10^{-6} であった。SRA, EX を使用した場合、E では 150×10^{-6} 、S1 では 250×10^{-6} 、S2 では 468×10^{-6} のひずみ低減効果が得られた。これより、SRA の単独添加は EX の単独添加よりも高い収縮低減効果が得られ、特に SRA2 添加時に高い効果が得られることがわかった。また、SRA と EX 併用の場合、S1+E では 348×10^{-6} 、S2+E では 504×10^{-6} の低減となり、SRA あるいは EX を単独で添加した場合よりも収縮低減効果は高くなることが確認できた。図-1 の材齢 7 日以降のひずみに着目すると、E は収縮ひずみがほとんど低減されないのに対し、SRA を添加した場合には 7 日以降も継続して収縮ひずみを低減できることが確認できた。以上より、本試験で最大の収縮低減効果が得られたのは、SRA2 に EX を併用した配合であった。

表-3 より、SRA, EX を添加した UFC の曲げ強度は、N に比べ向上した。SRA を添加した場合、SRA の種類や EX の併用が曲げ強度に及ぼす明確な影響は認められず、N に比べいずれも約 6 N/mm^2 の強度増加となった。しかし、EX を単独で添加した場合には N に比べ約 14 N/mm^2 の強度増加となり、全配合の中で最大の曲げ強度となることが確認できた。UFC は、鋼繊維によりマトリクスの収縮を拘束する効果がある反面、マトリクスに微視的引張応力が発生すると推察される。そのため、SRA 添加によってマトリクスの収縮が低減されることにより、鋼繊維による微視的な収縮拘束応力が低減され、曲げ強度が高くなったと考える。一方、EX と鋼繊維を組み合わせたコンクリートでは、ケミカルプレストレスの導入によりマトリクスと鋼繊維の付着強度が向上することが知られている⁴⁾。本研究ではマトリクスが膨張するような EX 添加量ではないものの、UFC についても同様な付着の改善により、E において曲げ強度が向上したと考える。図

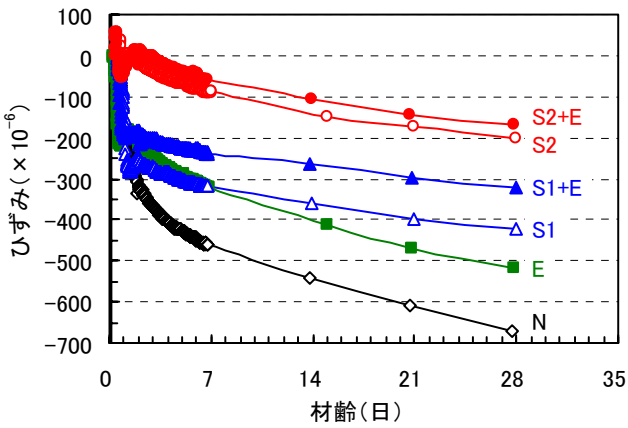


図-1 自己収縮ひずみ

-1 および表-3 より、自己収縮ひずみと曲げ強度に相関は認められず、EX を単独添加した場合に曲げ強度は最大となった。この理由について現在のところ明確にできていないが、SRA と EX 併用の場合と EX 単独添加の場合を比較した既往の研究によれば、併用することによる細孔容量の増加および初期セメント水和物の形態への影響が示唆されている^{5), 6)}。このことから、SRA と EX を併用することによるマトリクスへの影響について今後検討を行う必要があると考える。

4. まとめ

UFC に SRA, EX を添加することにより自己収縮を低減できるとともに、曲げ強度を向上できることがわかった。さらに、自己収縮の低減には SRA と EX の併用が最も効果が高く、曲げ強度の向上には EX の単独での添加が最も効果が高いことが確認できた。また、EX を添加することにより凝結始発時間が早くなり、SRA 添加による凝結遅延を補償できる可能性が明らかとなった。

[参考文献]

- 1) 前堀伸平ら：超高強度コンクリートの自己収縮制御に関する検討，第 19 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp.353-356，2010。
- 2) 佐藤正己ら：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，土木学会第 64 回年次学術講演会講演概要集第 V 部門，pp.437-438，2009。
- 3) 堀田智明ら：セメントペーストの自己収縮に関する実験的研究，セメントコンクリート論文集，No.53，pp.711-715，1999。
- 4) 小林一輔ら：膨張コンクリートをマトリクスとした鋼繊維補強コンクリートの複合特性，土木学会論文報告集，第 336 号，pp.169-177，1983。
- 5) 寺野宜成ら：収縮低減剤の使用および石膏量が自己収縮ひずみに及ぼす影響について，コンクリート工学年次論文集，Vol.21，No.2，pp.313-318，1999。
- 6) C. Maltese et al. : Combined effect of expansive and shrinkage reducing admixtures to obtain stable and durable mortars, Cement and Concrete Research, Vol.35, pp.2244-2251, 2005。