

収縮低減型高性能減水剤による超高強度コンクリートの自己収縮低減

太平洋セメント(株) 中崎 豪士  
 太平洋セメント(株) 正会員 前堀 伸平  
 太平洋セメント(株) 三谷 裕二  
 太平洋セメント(株) 谷村 充

1. はじめに

コンクリート構造物の長スパン化や高耐久化の指向から、今後、圧縮強度が100N/mm<sup>2</sup>を超えるような超高強度コンクリートのニーズが高まるものと考えられる。その一方で、低水結合材比の条件下で増大する自己収縮ひずみの制御への関心が高まっている<sup>1)2)</sup>。著者らは昨年度の本シンポジウムにおいて、超高強度コンクリートの自己収縮制御における膨張材および収縮低減剤の有効性を報告した<sup>3)</sup>。本稿では、最近になって開発された収縮低減型高性能減水剤に着目し、膨張材と併用する場合も含めて、自己収縮ひずみの低減効果を実験的に検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料およびコンクリートの配合

使用材料を表-1に示す。

表-1 使用材料

膨張材には超高強度コンクリートへの適用性が検証されている<sup>4)</sup>比表面積の大きい石灰系膨張材を使用した。混和剤には、いずれも超高強度用の高性能減水剤と、収縮低減型高性能減水剤を使用した。コンクリートの配合を表-2に示す。圧縮強度150N/mm<sup>2</sup>超級を想定し、水結合材比は13%とした。膨張材の使用量は20および30kg/m<sup>3</sup>の2水準とした。スランプフローの目標を75±5cmとし、混和剤の添加量を調整した。

材料	記号	種類/物性値
セメント	C	シリカフェームプレミックスセメント/ 密度：3.07g/cm <sup>3</sup> ,比表面積：6160cm <sup>2</sup> /g
膨張材	EX	石灰系膨張材/ 密度：3.19g/cm <sup>3</sup> ,比表面積：4920cm <sup>2</sup> /g
細骨材	S	静岡県掛川市産山砂/ 表乾密度：2.56g/cm <sup>3</sup> ,吸水率：2.24%
粗骨材	G	茨城県桜川市産砕石/ 表乾密度：2.64g/cm <sup>3</sup> ,吸水率：0.51%,実積率：60%
混和剤	SP	高性能減水剤 ----- ポリカルボン酸エーテル化合物
	SP	収縮低減型高性能減水剤 ----- ポリカルボン酸エーテル化合物とグリコール系化合物の複合体

表-2 コンクリートの配合

2.2 養生条件

養生条件は20一定養生および温度履歴養生の2水準とした。温度履歴養生(図-1)は1m角の部材の中心部で生じる温度履歴を模擬したものであり、最高温度は90に設定した。供試体の脱型は、20一定養生では材齢1日で、温度履歴養生では材齢

記号	W/(C+EX) (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				
			W	C	EX	S	G
SP	13	30.0	150	1154	-	351	840
SP -EX20		30.1	150	1134	20	352	
SP -EX30		30.1	150	1124	30	352	
SP		30.0	150	1154	-	351	
SP -EX20		30.1	150	1134	20	352	
SP -EX30		30.1	150	1124	30	352	

7日で行い、供試体の全露出面をアルミ箔粘着テープ(厚さ 0.1mm)でシールし、20℃の恒温室内で養生を継続した。

2.3 試験方法

試験項目は自己収縮・膨張ひずみ、凝結時間および圧縮強度とした。

(1) 自己収縮・膨張ひずみ

自己収縮・膨張ひずみの測定は、「高流動コンクリートの自己収縮測定方法」を参考に、供試体(100×100×400mm)の中央に設置した低弾性型の測温機能付き埋込型ひずみ計を用いて行い、コンクリートの線膨張係数を $10 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ として温度ひずみを補正した。

(2) 圧縮強度

圧縮強度は円柱供試体( $\phi 10 \times 20\text{cm}$ )を用いて、JIS A 1108に準じて材齢7日で測定した。

(3) 凝結時間

凝結時間はJIS A 1147に準拠して測定した。

表 - 3 フレッシュ性状・凝結時間

記号	混和剤量 (C+EX) (%)	フレッシュ性状		凝結時間 (h-min)	
		スランプフロー (cm)	空気量 (%)	始発	終結
SP	1.05	75.0	1.4	11-05	14-05
SP -EX20	1.20	77.0	1.4	8-30	11-25
SP -EX30	1.30	78.0	1.2	8-20	11-10
SP	1.125	75.0	1.5	11-40	14-50
SP -EX20	1.275	78.0	1.4	8-50	12-10
SP -EX30	1.325	78.5	1.3	8-25	11-25

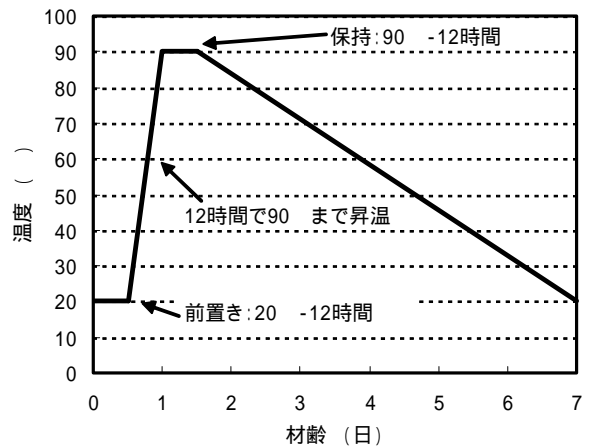


図 - 1 温度履歴パターン

3. 実験結果

3.1 フレッシュ性状および凝結時間

フレッシュ性状、凝結時間の測定結果を表-3に示す。混和剤の添加量を調整することにより、いずれの配合も目標としたスランプフローが得られた。凝結時間は、混和剤の種類によらず膨張材を混和した配合が早まる傾向となった(始発・終結とも 2.5 時間~3 時間程度)。

3.2 圧縮強度

圧縮強度の測定結果を図-2に示す。圧縮強度は、養生条件によらず、SP を使用した配合が幾分小さくなる傾向が認められた(2~7%程度)。

3.3 自己収縮・膨張ひずみ

(1) 20℃ 養生

20℃ 養生における自己収縮・膨張ひずみを図-3に示す。自己収縮・膨張ひずみの起点は凝結始発とした。SP の自己収縮ひずみは、有効材齢 40 日の時点で約  $480 \times 10^{-6}$  に達した。一方、SP では約  $330 \times 10^{-6}$  であり、自己収縮ひずみが約  $150 \times 10^{-6}$  低減された(低減率: 約 30%)。SP 使用による収縮低減効果に注目し、SP を基準とした収縮比の経時変化を図-4に示す。有効材齢 0.5~0.8 日の初期から収縮比が小さくなっており、SP の収縮低減効果は、凝結始発直後から明確に現れている。また有効材齢 2 日以降は一定の効果が保持される傾向にある。

膨張材量と自己収縮ひずみの関係を図-5に示す。混和剤種類によらず、膨張材量の増加に伴い、ほぼ直線的に自己収縮ひずみが小さくなっており、20kg/m<sup>3</sup> 混和で約  $120 \times 10^{-6}$ (低減率: 約 25%)、

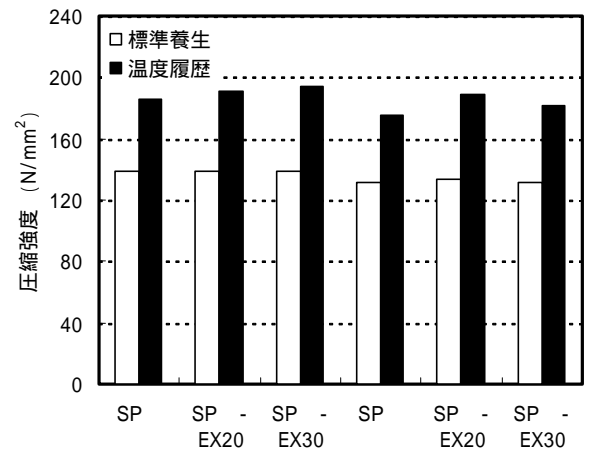


図 - 2 圧縮強度(材齢 7 日)

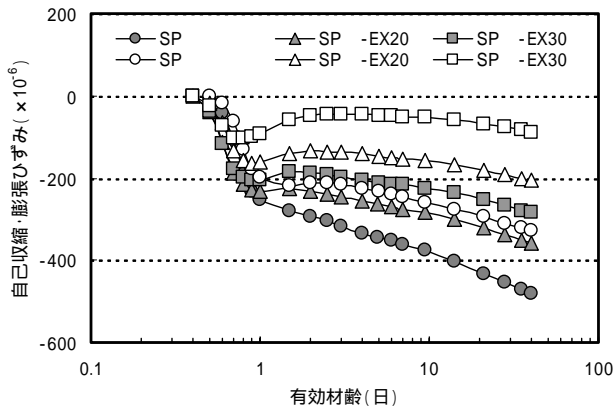


図 - 3 自己収縮・膨張ひずみ (20 養生)

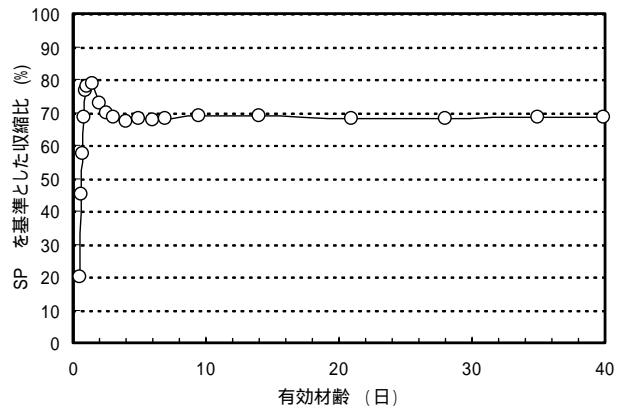


図 - 4 SP の収縮比の経時変化 (20 養生)

30kg/m<sup>3</sup> 混和で約  $200 \times 10^{-6}$  (低減率：約 40%) の収縮低減効果が認められた。

(2) 温度履歴養生

温度履歴養生における自己収縮・膨張ひずみと有効材齢の関係を図-6 に示す。SP の自己収縮ひずみは、材齢初期から 20 養生の場合より大きな収縮が生じ、有効材齢 40 日(実材齢 7 日)で  $660 \times 10^{-6}$  となった。温度履歴下での自己収縮挙動に注目し、有効材齢 10 日までの自己収縮ひずみ進行率(有効材齢 40 日を 100%)を図-7 に示す。温度履歴養生における収縮ひずみ進行率は、有効材齢 1.5 日程度までは、20 養生とほぼ同一だが、有効材齢 5 日にかけて増大し、有効材齢 10 日までに 90%程度に到達している。一方、20 養生では、有効材齢 10 日でも収縮ひずみ進行率は 75%程度であり、緩やかな増加傾向にある。このことから、温度履歴下においては、20 環境と比較して、収縮ひずみが大きくなるだけでなく、収縮挙動が加速され、早期に収斂する傾向にあるといえる。20 養生の場合と同様に、温度履歴下における SP を基準とした収縮比の経時変化を図-8 に示す。温度履歴養生においても SP の収縮低減効果は、有効材齢 0.9 日の初期から現れ、有効材齢 2 日以降は一定の効果に収束する傾向にあり、その収縮低減効果は、20 養生より大きく現れていた。

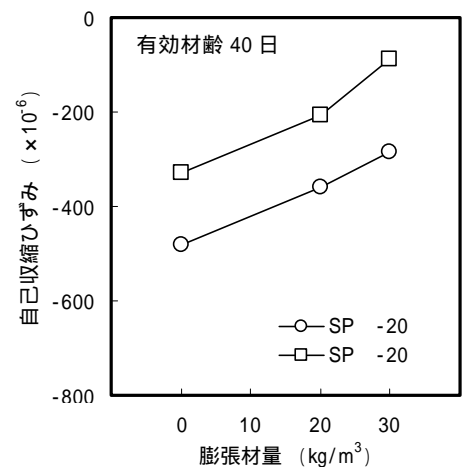


図 - 5 膨張材量と自己収縮ひずみの関係(20 養生)

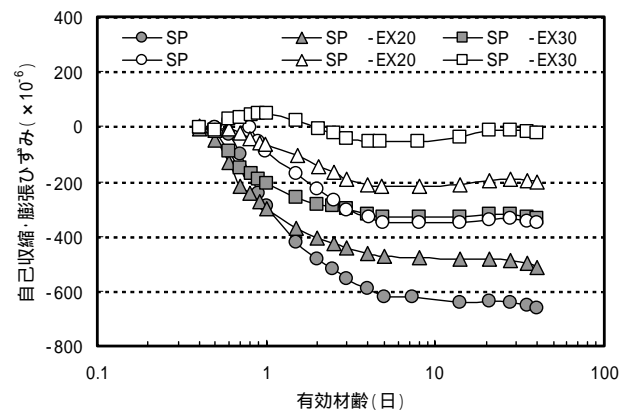


図 - 6 自己収縮・膨張ひずみ (温度履歴)

温度履歴下における膨張材量と自己収縮ひずみの

関係を図-9 に示す。混和剤種類によらず、自己収縮ひずみは 20kg/m<sup>3</sup> 混和で約  $150 \times 10^{-6}$  (低減率：約 20%)、30kg/m<sup>3</sup> 混和で約  $300 \times 10^{-6}$  (低減率：約 50%) 低減され、20 養生の場合よりも大きな収縮低減効果が得られた。以上のことから SP は高温履歴を受ける場合にも有効に作用し、膨張材と併用した場合においても、十分な自己収縮低減効果が発揮された。

(3) SP と収縮低減剤の比較

本検討と同配合・同一養生条件で実施した収縮低減剤添加コンクリート(主成分：低級アルコールア

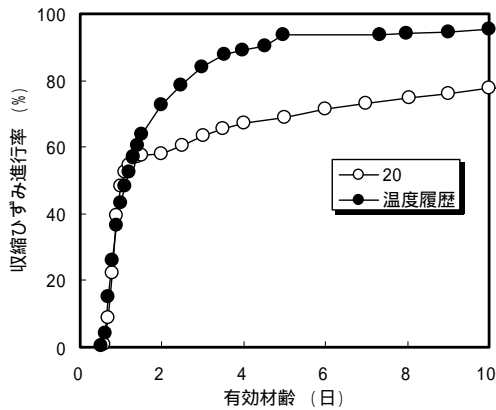


図 - 7 自己収縮ひずみ進行率(SP)

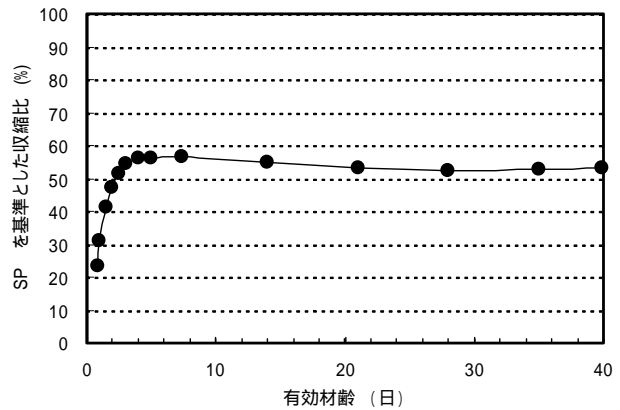


図 - 8 SP の収縮比の経時変化(温度履歴)

ルキレンオキシド付加物, 添加量:  $6\text{kg/m}^3$ , 図中記号:  $\text{SR}^{3)}$ と SP の比較を図-10に示す。膨張材の有無によらず, SP は SRと比較して遜色のない収縮低減効果を有する。

4. まとめ

収縮低減型高性能減水剤を使用した超高強度コンクリートの自己収縮特性を検討した結果, 以下の知見を得た。

- (1)凝結始発直後から明らかな収縮低減効果が認められ, 有効材齢 40日までの範囲でほぼ一定の効果が発揮された(低減率は 20 養生: 約 30%, 温度履歴養生: 約 50%)。
- (2)20 養生だけでなく, 高温温度履歴を受ける場合にも, 十分な自己収縮低減効果が発揮された。また, その効果は, 収縮低減剤を使用した場合と遜色なかった。

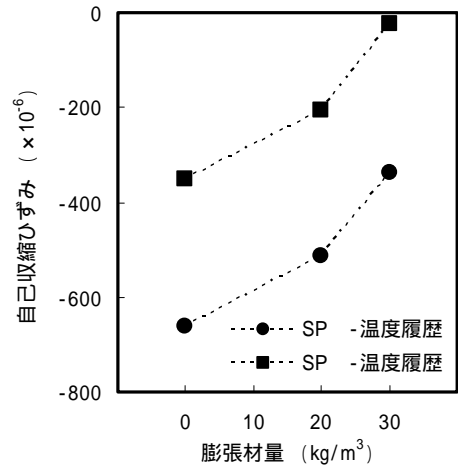


図 - 9 膨張材量と自己収縮ひずみの関係(温度履歴)

参考文献

- 1) 社団法人プレストレストコンクリート技術協会: 高強度コンクリートを用いた PC 構造物の設計施工規準, 2008.10
- 2) 丸山一平, 鈴木雅博, 中瀬博一, 佐藤良一: 温度履歴が RC 柱の初期応力・初期欠陥に及ぼす影響に関する実験的検討 - 超高強度コンクリートを用いた RC 柱の初期応力・初期欠陥に関する研究 その 1 -, 日本建築学会構造系論文集, No.629, pp.1035-1042, 2008.7
- 3) 前堀伸平ほか: 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
- 4) 谷村充ほか: 超高強度コンクリートの自己収縮制御における膨張材の適用性, 土木学会第 64 回年次学術講演会, pp.881-882, 2009

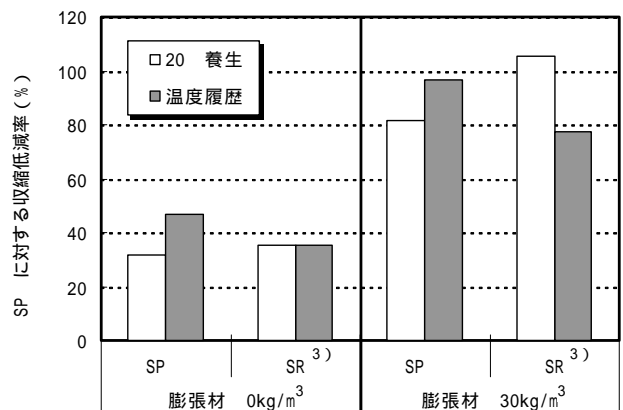


図 - 10 SP に対する収縮低減率 (有効材齢 40 日)