

ジオポリマーコンクリートの収縮低減に関する実験的検討

ボンマハーサイパラミ*

Palamy Phommahaxay

原田 耕司**

Koji Harada

木村 仁治*

Yoshiharu Kimura

1. はじめに

コンクリート分野の環境性に対する社会的な要求が非常に高まっており、著者らはセメントクリンカーを用いず産業副産物を大量に活用することでCO₂排出削減と資源循環の両立が期待できるジオポリマー（以下、GP）に注目した。

GPは給熱養生によって硬化反応が促進し、早期に強度発現し、脱型時間の短縮が可能となる。一方、常温環境下では反応が非常に緩慢であるが、高炉スラグ微粉末（以下、GGBS）を使用すれば強度を発揮させる時間を短縮できる。しかし、常温環境下におけるGPは、給熱養生に比べて乾燥収縮が大きくなると報告されている。

本報では、常温環境下におけるGPの収縮性状について実験的検討した結果を述べる。

2. 実験概要

2.1 使用材料

表一1に使用材料を示す。活性フィラー（以下、AF）には、フライアッシュ JIS II 種（以下、FA）と 4000 ブレーン級の GGBS（せっこう無添加）を使用した。アルカリ溶液（以下、AS）はケイ酸塩系ナトリウム溶液を使用した。収縮低減剤（以下、Sr）は、構造の異なるポリエーテル誘導体を主成分とした3種類とした。

また、GPの硬化反応の促進には外部からの給水は必要なく、乾燥を防ぐことが重要とされている。セメントコンクリートの場合、表面に養生剤を塗布すると水分の逸散を防止し、乾燥収縮を低減する効果がある。そこで、本研究では、GPへの養生剤の効果についても検討した。養生剤には非イオン界面活性剤を主成分とした市販品を使用した。

2.2 実験方法

表一2に実験要因と水準、表一3に調合表を示す。アルカリ溶液/活性フィラー比（AS/AF）は50%とし、AFに対するGGBS置換率は20%とした。各種Srの添加率は調合の外割でAF×3.0 wt%とした。Srは予めGP溶液に混ぜてから使用した。練混ぜ方法としては、1/2S+FA+1/2S+Gを30秒空練りし、次に溶液を投入して60秒

表一1 使用材料

材料	記号	産地・銘柄
アルカリ溶液	AS	GP 溶液（ケイ酸塩系ナトリウム溶液） 密度 1.34 g/cm ³
活性フィラー	AF	GGBS 高炉スラグ微粉末 4000 ブレーン級、 石こう無添加、密度 2.91 g/cm ³
	FA	フライアッシュ JIS II 種、密度 2.39 g/cm ³
細骨材	S	大井川水系陸砂、吸水率 2.18% F.M.=2.64、表乾密度 2.59 g/cm ³
粗骨材	G	岡崎産碎石 2005、吸水率 0.70% F.M.=6.69、実積率 60%、表乾密度 2.66 g/cm ³
混和剤	Sr ①	ポリエーテル誘導体主成分①
	Sr ②	ポリエーテル誘導体主成分②
	Sr ③	ポリエーテル誘導体主成分③
養生剤		非イオン界面活性剤主成分

表一2 要因と水準

要因	水準
収縮低減剤の有無と種類	無添加、Sr ①、Sr ②、Sr ③
養生方法*	封かん、気中、養生剤塗布

※ 無添加のみ対象

表一3 調合表とフレッシュ性状

記号	AS/ AF (%)	GGBS/ AF (%)	単位量 (kg/m ³)					Sr 添加率 (AF×wt%)			フレッシュ性状		
			AS	AF		S	G	Sr ①	Sr ②	Sr ③	スランブ フロー (mm)	Air (%)	C.T. (℃)
				FA	GGBS								
Sr0	50	20	217	347	87	759	950	—	—	—	618×612	3.1	21
Sr ①								3.0	—	—	625×606	1.0	21
Sr ②								—	3.0	—	716×713	0.8	20
Sr ③								—	—	3.0	583×572	1.2	21

表一4 試験項目および方法

試験項目	試験方法
フレッシュ性状	スランブフロー JIS A 1150
	空気量 JIS A 1128
	コンクリート温度 JIS A 1156
硬化性状	圧縮強度試験 JIS A 1108 材齢 7, 28, 56, 91 日
	長さ変化試験 JIS A 1129-3 参照
	自己収縮試験 JCI「高流動コンクリートの自己収縮試験方法」

攪拌し、最後に GGBS を投入して 90 秒練り混ぜた。

表一4に試験項目と方法、表一5に養生条件を示す。養生方法として、打込み後型枠内での封かん養生を行い、材齢5日に脱型して所定材齢まで気中養生を行った。なお、Srを用いない調合については、養生条件の影響も調べるため、所定材齢まで型枠内での封かん養生および養生剤を塗布した供試体も作製した。養生は温度20℃、湿度60%の常温環境下で行った。

長さ変化試験は、JIS A 1129-3を参照し、材齢5日まで型枠内での封かん養生を行った後に基長を測定した。その後は供試体を温度20℃、湿度60%の環境下で保管し、所定の材齢に測定した。

3. 実験結果

3.1 フレッシュコンクリートの試験結果

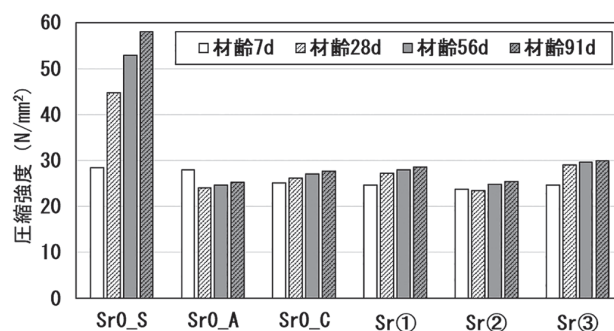
表一3にフレッシュコンクリートの試験結果を示す。

* 技術研究所建築技術グループ

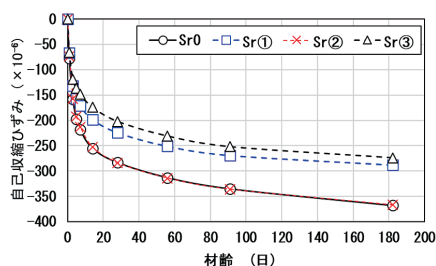
** 技術研究所先端技術グループ

表一五 養生条件

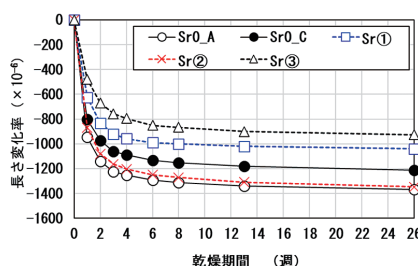
種別	Sr	環境条件	養生条件		脱型 材 齢
			脱型前	脱型後	
Sr0_S	無	20℃ 60%RH	型枠内での封かん養生		未脱型
Sr0_A			型枠内での封かん養生	気中養生	
Sr0_C			打込み面に養生剤を塗布	打込み面以外の面に養生剤を塗布→気中	
Sr ①	有		Sr0_A と同様		5 日
Sr ②					
Sr ③					



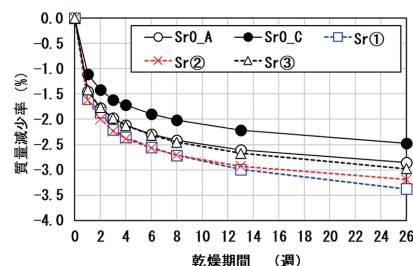
図一 圧縮強度



図二 自己収縮ひずみ



図三 長さ変化率



図四 質量減少率

スランプフロー結果について、Sr 無添加の Sr0 と比べて、Sr ①が同程度で、Sr ②が 100 mm 程度大きく、Sr ③が若干小さい結果となった。同一添加率でも Sr の種類によって GP の流動性が異なることが確認された。空気量について、収縮低減剤を添加した水準の空気量は 0.8~1.2% の範囲で Sr の種類による大きな違いはなかったが、Sr 無添加に比べて小さくなった。

3.2 圧縮強度試験結果

図一に圧縮強度の結果を示す。Sr 無添加で封かん養生した Sr0_S の圧縮強度は材齢が進むにつれて強度が増進した。気中養生した Sr0_A は、Sr0_S に比べて材齢 7 日の圧縮強度が同等であったが、材齢 28 日では強度が低下し、それ以降も強度増進がほとんどなかった。養生剤を塗布した Sr0_C は、Sr0_S より材齢 7 日の圧縮強度が小さい結果となり、初期材齢における養生剤による強度増進が見られなかった。また、材齢 28 日以降の強度増進も無塗布の Sr0_A と同様に小さかったが、圧縮強度は Sr0_A よりやや大きくなった。

Sr を添加した条件では、無添加と比べて材齢 7 日の圧縮強度が若干小さい結果となった。これは、Sr を割合の外割で添加したためと推察される。Sr ②は材齢 7 日以降の強度増進が極めて小さかった。一方、Sr ①と Sr ③は材齢 28 日で若干強度の増加が見られたが、28 日以降はほぼ増加しないものの、同じ気中養生した Sr 無添加の Sr0_A より強度が大きい結果となった。

3.3 自己収縮試験結果

図二に材齢 182 日までの自己収縮ひずみの測定結果を示す。材齢 182 日において、Sr 無添加と比べて、Sr ①と Sr ③は自己収縮ひずみが 20~30% 程度小さくなって収縮低減効果が確認されたが、Sr ②は自己収縮の低減効

果が認められなかった。

3.4 長さ変化試験結果

図三に長さ変化率、図四に質量減少率の測定結果を示す。長さ変化率について、乾燥期間 26 週では、Sr 無添加の Sr0_A と Sr ②がほぼ同等の値で最も大きく、Sr0_C、Sr ①、Sr ③の順で小さくなる結果となった。一方、質量減少率は、Sr 無添加に比べて Sr を添加した水準の方が若干大きい結果となった。以上より、Sr の種類によって収縮低減率に差が見られたものの、Sr による GP の収縮低減効果が認められ、3 種類の内 Sr ③が最も効果があった。また、養生剤を塗布することによって長さ変化率および質量減少率が低減し、収縮低減効果が認められた。

4. まとめ

本実験の範囲において以下の知見が得られた。

- Sr の添加により、GP の収縮を抑制することができ、本実験の範囲では Sr ③が最も抑制効果があった。
- 養生剤を塗布すると乾燥収縮が低減し、無塗布より材齢 28 日以降の圧縮強度が大きくなった。
- 同一添加率でも Sr の種類によって GP の流動性が異なった。
- Sr を添加すると材齢 7 日の圧縮強度が若干低下した。材齢 28 日以降の圧縮強度は、Sr ②が最も小さく、Sr ①と Sr ③が Sr 無添加より大きくなった。

謝辞. 本実験を実施するに当たり、竹本油脂(株)に多大なご協力とご助言をいただきました。ここに謝意を表し、お礼を申し上げます。