

自己養生型高炉スラグコンクリートのプレキャストPC床版への適用性検討

(株)ピーエス三菱 正会員 ○中瀬 博一
 (株)ピーエス三菱 正会員 博(工学) 鈴木 雅博
 (株)ピーエス三菱 正会員 遠藤 俊之
 (株)ピーエス三菱 正会員 椎野 碧

キーワード：自己養生，高炉スラグ微粉末，プレキャストコンクリート，PC床版

1. はじめに

従来，高炉スラグ微粉末を使用したコンクリート（以降，高炉スラグコンクリートとする）をプレキャスト部材に適用する場合に，強度発現や耐久性確保の観点から脱枠後に3日間程度の湿潤養生を行ってきた。これに対し，飽水させた多孔質な軽量細骨材を一般細骨材に置換使用し，軽量細骨材からの放水によりコンクリート内部から湿潤養生を行うことで，脱枠後の湿潤養生を必要としない自己養生型高炉スラグコンクリートを開発し，既報¹⁾において強度発現性，耐凍害性，塩分浸透抵抗性などの基礎物性について報告した。本稿では，プレキャスト部材の実用化に向けて，自己養生型高炉スラグコンクリートの収縮性状およびクリープ性状の検討結果，並びにプレキャストPC床版部材の製造実験を実施し適用性を確認した結果を報告する。

2. 実験概要

プレキャストPC部材への自己養生型高炉スラグコンクリートの適用性を確認するため，収縮性状およびクリープ性状などの基礎物性の確認を行ったのち，実大試験部材を製造し，施工性の確認を行った。実施した実験の一覧を表-1に示す。

2.1 コンクリート

(1) 使用材料

コンクリートの使用材料を表-2に示す。使用材料はプレキャスト製品工場の常用品とした。

(2) コンクリートの仕様および配合

コンクリートの仕様および配合を表-3に示す。コンクリートの仕様は，プレキャストPC床版を対象として決定した。BFS-W3配合は，従来型の高炉スラグコンクリートで，結合材である早強セメントの50%を高炉スラグ微粉末で質量置換した配合であり，従来と同様に脱枠後3日間湿潤養生とした。SC-BFSは自己養生型高炉スラグコンクリートであり，細骨材容積の30%を人工軽量細骨材で置換した配合である。また，比較用として早強セメント単味の実績配合をPとした。

(3) 練混ぜおよび養生

コンクリートの練混ぜは，基礎物性試

表-1 実験一覧

種別	試験項目， 検討事項	試験対象コンクリート			試験方法
		SC-BFS	BFS-W3	P	
基礎物性 確認試験	乾燥収縮	○	○	○	2.2-(1)
	自己収縮	○	○	○	2.2-(2)
	拘束応力	○	○	-	2.2-(3)
	クリープ	○	-	○	2.2-(4)
施工性試験 (PCa部材 製造実験)	仕上げ性状				目視観察
	充填性	○	-	-	目視観察
	ひび割れ				目視観察

・ SC-BFS：自己養生型高炉スラグコンクリート
 ・ BFS-W3：高炉スラグコンクリート（脱枠後3日間湿潤養生）
 ・ P：早強セメント単味使用のコンクリート

表-2 使用材料

	種類	仕様	
セメント	早強セメント	密度 3.14g/cm ³ ，比表面積 4570cm ² /g	HC
混和材	高炉スラグ微粉末	密度 2.91g/cm ³ ，比表面積 6010cm ² /g	BFS
細骨材	石灰石砕砂	表乾密度:2.66g/cm ³ ，吸水率:1.13%	S
	人工軽量細骨材	密度 1.87g/cm ³ ，吸水率 15.3%	LS
粗骨材	輝緑岩碎石	表乾密度:2.93g/cm ³ ，吸水率:0.49%	G
混和剤	高性能減水剤	ポリカルボン酸系	SP
	AE剤	天然樹脂酸塩	AE

表-3 コンクリートの仕様および配合

配合名	F _c (N/mm ²)	PC 導入時 (N/mm ²)	スランブ (cm)	空気量 (%)	W/B (%)	s/a (%)	単体量 (kg/m ³)					
							W	HC	BFS	S	LS	G
SC-BFS (自己養生型 BFS)	50	35	18	6.0	36.0	48.2	158	219	219	572	172	967
BFS-W3 (BFS-湿潤3日)	50	35	18	6.0	32.5	46.9	158	243	243	774	-	967
P (早強セメント単味)	50	35	12	6.0	35.2	42.0	160	455	-	710	-	1078

験では公称容量 55 リットル，部材製造実験では公称容量 2.2m³ の水平 2 軸型強制練りミキサを用い，給温養生は最高温度 45℃とした。

2.2 試験方法

(1) 乾燥収縮

乾燥収縮試験は「JIS A 1129 (ダイヤルゲージ法)」に準拠して行った。脱枠は給温養生終了後 (材齢 14 時間後) とし，P および SC-BFS 配合は脱枠後速やかに基長を測定し，恒温恒湿室 (室温 20±3℃，相対湿度 60±5%) で気中養生した。配合 BFS-W3 は同様に基長を測定後，3 日間の湿潤養生 (20℃±2℃ 水中) を行ったのちに恒温恒湿室で気中養生した。測定期間は基長測定時から 1 年 (365 日) とした。

(2) 自己収縮

自己収縮ひずみは，日本コンクリート工学会 (以下，JCI) 「超流動コンクリート研究委員会報告書 (1994)」の「高流動コンクリートの自己収縮試験方法」に準拠し，10×10×40cm の鋼製型枠の中央に埋込み型ひずみ計を設置し測定した。ひずみの測定開始はコンクリートの打込み完了時とし，測定期間は 1 年 (365 日) とした。

(3) 拘束応力

拘束応力試験は，JCI 「コンクリートの自己収縮研究委員会報告書 (2002)」の「コンクリートの自己収縮試験方法 (改定版 2002)」に準拠した。拘束鉄筋は D16 とし，測定期間は 1 年 (365 日) とした。

(4) クリープ

クリープ試験は「JIS A 1157 (2010) コンクリートの圧縮クリープ試験方法」に準拠して行った。ただし，プレテンション部材へのプレストレス導入時期を想定して，供試体への載荷開始はコンクリート打設の翌日とした。

(5) プレキャスト PC 床版の製造実験

部材製造における施工性および，ひび割れなど不具合発生の有無を確認するため，プレキャスト PC 床版の実大試験体を製作した。試験体は「JIS A 5373 (2010) 付属書 B，推奨仕様 B-4，道路橋用プレキャスト床版」に準拠するものとし，**図-1** に示す形状および寸法とした。また，試験体のコンクリート打設は，実験を行ったプレキャスト工場における PC 床版の製造要領に従い，通常の部材製造と同様に棒型振動機および型枠振動機を併用して行った。試験体は脱枠後に湿潤養生を行わず，外気環境下で材齢 1 年後まで保管して目視による観察を行った。

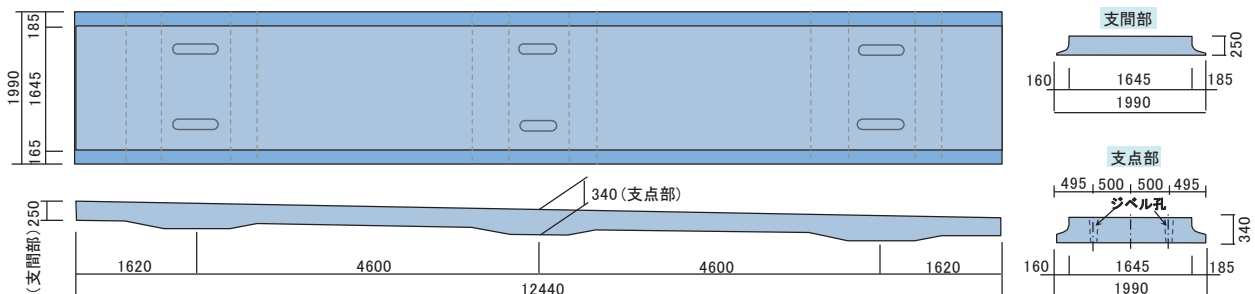


図-1 プレキャスト PC 床版試験体の形状および寸法

3. 実験結果

3.1 基礎物性確認試験

(1) 乾燥収縮

乾燥収縮試験結果を図-2 (材齢 15 日まで) および図-3 (材齢 1 年まで) に示す。図-2 より、BFS-W3 では材齢 3 日まで湿潤養生を行ったため、初期の長さ変化はほかに比べ小さかった。また、図-3 より SC-BFS の材齢 1 年後における長さ変化率は、BFS-W3 に比べ 100×10^{-6} 程度大きかったが、P に比べ若干小さかった。

(2) 自己収縮

自己収縮試験結果を図-4 (材齢 7 日まで) および図-5 (材齢 1 年まで) に示す。図-4 より、BFS-W3 は湿潤養生するまでは収縮傾向にあったが、SC-BFS は材齢 1 日までは膨張挙動を示し、そのうち緩やかに収縮する傾向であった。また、図-5 より 1 年後における自己収縮ひずみは、SC-BFS が BFS-W3 および P に比べ $100 \sim 150 \times 10^{-6}$ 程度小さかった。

(3) 拘束応力

鉄筋による拘束応力試験結果を図-6 (材齢 7 日まで) および図-7 (材齢 1 年まで) に示す。これより、初期材齢においては SC-BFS における拘束応力は BFS-W3 に比べ小さな値となったが、材齢 60 日程度以後は SC-BFS の方が大きな値を示した。BFS-W3 に比べ、SC-BFS は、乾燥収縮が大きいことがこの一因であると推察される。ただし、図-7 に示すように、同時に測定した SC-BFS 割裂引張強度は、拘束応力に比べ十分に大きな値であったため、ひび割れの発生には至らないものと考えられる。

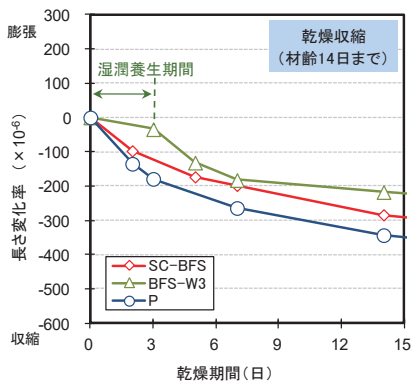


図-2 乾燥収縮ひずみ (材齢 7 日まで)

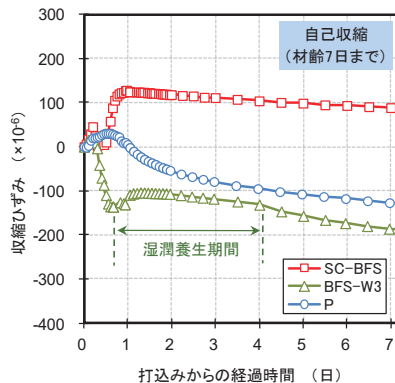


図-4 自己収縮ひずみ (材齢 7 日まで)

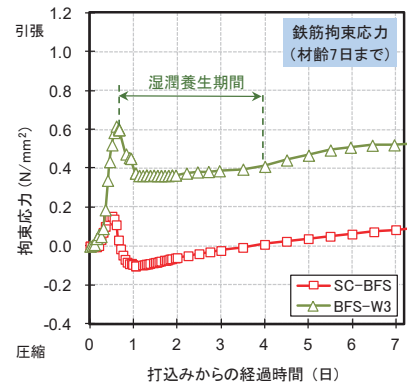


図-6 鉄筋拘束応力 (材齢 7 日まで)

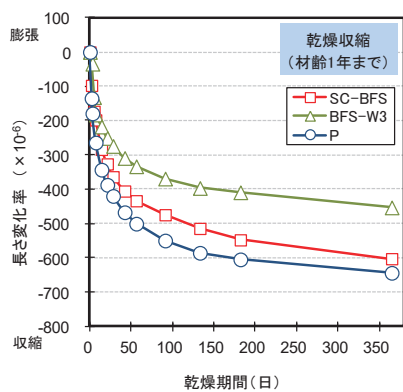


図-3 乾燥収縮ひずみ (材齢 1 年まで)

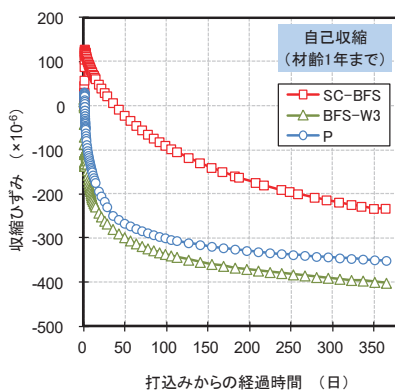


図-5 自己収縮ひずみ (材齢 1 年まで)

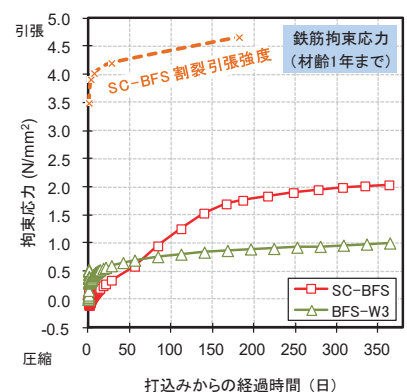


図-7 鉄筋拘束応力 (材齢 1 年まで)

(4) クリープ

クリープ試験結果を図-8に示す。SC-BFSのクリープ係数は、実績配合であるPと同等の値であり、従来と同様に部材設計が可能であった。

3.2 プレキャスト部材製造実験

(1) コンクリートの性状および施工性

フレッシュコンクリートは基準値を満足し、良好な性状を有していた。また、図-9に示すように圧縮強度も基準値を満足した。

試験部材の製造状況を写真-1に示す。製造実験は、外気温4℃の条件下で実施し、約1時間で約6.5m³のコンクリート打設を完了した。自己養生型高炉スラグコンクリートは施工性に優れ、通常の施工方法で床版の目地部などの狭窄部でも問題なく充填された。また、打込み面の表面仕上げ性にも問題ないことが確認された。

(2) 表面美観およびひび割れ

試験部材の外観を写真-2に示す。脱枠後の部材を外気環境下に保管し、材齢1年まで観察した結果、部材表面に問題となる劣化やひび割れなどは認められず、高品質なプレキャストPC部材の製造が可能であることが確認された。

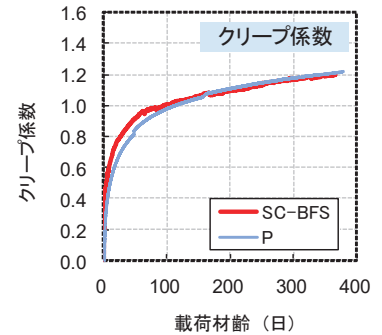


図-8 クリープ試験結果

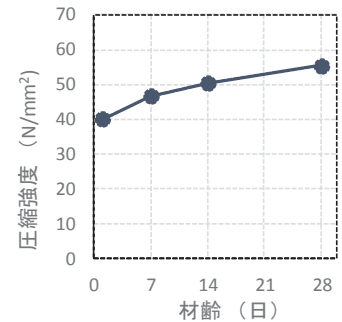


図-9 材齢と圧縮強度



写真-1 試験部材の製造状況



写真-2 試験部材の外観

6. まとめ

自己養生型高炉スラグコンクリートのPC床版への適用性に関する検討結果をまとめると以下となる。

- (1) 自己収縮は一般の高炉スラグコンクリートに比べ小さく、乾燥収縮は若干大きな値を示す。
- (2) 拘束応力は、初期材齢では一般の高炉スラグコンクリートに比べ小さいが、材齢60日以降では大きな値となる。ただし、コンクリートの引張強度に比べ十分に小さいため、ひび割れの発生には至らないものと考えられる。
- (3) 自己養生型高炉スラグコンクリートのクリープ性状は早強セメント単味の場合と同等である。
- (4) プレキャストPC床版の製造実験により、施工性（充填性、表面仕上げ性など）は良好であり、ひび割れの発生なども確認されず、高品質なPC部材の製造が可能であることが確認された。

参考文献

1) 中瀬博一, 小山田哲也, 鈴木雅博, 遠藤俊之: 自己養生法による高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの湿潤養生の簡略化, 第26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. 513-518, 2017.