

粗粒高炉スラグ細骨材を使用した高強度コンクリートの特性

JFE ミネラル(株)正会員○吉澤 千秋

竹本油脂(株)正会員齊藤 和秀

同正会員木之下光男

日本大学露木 尚光

1. はじめに

近年、天然資源の保全や省エネルギーの観点から天然砂の代替として高炉スラグ細骨材(以下、スラグ細骨材)の有効利用が進められてきた¹⁾。筆者らは既にスラグ細骨材が乾燥収縮低減性を有すること、圧縮強度が100N/mm²を超える高強度コンクリートにおいても十分な強度発現性や自己収縮低減効果を有すること等を報告した^{2,3)}。スラグ細骨材は、一般に粗粒率2.2~2.5程度の比較的細粒のもの(以下、細粒スラグ細骨材)が多く製造されている。一方、細粒の山砂等の天然細骨材の粒度調整のため特殊に粗くしたスラグ細骨材(以下、粗粒スラグ細骨材)も製造されている。これは通常のスラグ細骨材が熔融状態のスラグを水で急冷して製造するのに対し、熔融状態のスラグを鍋取りし、所定の温度まで冷却してから水砕化する方法で製造されている。本研究では、粗粒スラグ細骨材に着目し、圧縮強度が100N/mm²を超える高強度コンクリートを対象としてその特性を調べた。また、収縮低減タイプの混和剤と粗粒スラグ細骨材を組み合わせてさらに低収縮なコンクリートを検討した。

2. 実験概要

2. 1 使用材料およびコンクリートの配合

表-1 使用材料

種類	記号	産地・性質
セメント	M	中庸熟ポルトランドセメント(密度3.22g/cm ³)
	SF	シリカフェュームブレミックスセメント(密度3.08g/cm ³)
細骨材	SG	千葉産高炉スラグ細骨材(JIS A 5011-I コンクリート用スラグ骨材 第1部:高炉スラグ骨材,区分 BFS5,密度2.79g/cm ³ ,吸水率1.10%,FM3.45)
	S	君津産山砂(密度2.59g/cm ³ ,吸水率2.69%,FM2.05)
粗骨材	G	岩瀬産碎石2005(密度2.66g/cm ³ ,吸水率0.72%)
混和剤	SSP	超高強度用高性能減水剤
	HSP	超高強度用高性能減水剤(収縮低減タイプ)

表-2 コンクリートの配合

記号	セメント	混和剤	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				
					W	C	S	SG	G
25M-SSP	M	SSP	25	47.5	160	640	746	0	846
25MSG-SSP							0	804	
25MSG-HSP							0	804	
15SF-SSP	SF	HSP	15	32.9	160	1067	404	0	846
15SFSG-SSP							0	435	
15SFSG-HSP							0	435	

キーワード：粗粒、高炉スラグ細骨材、自己収縮、乾燥収縮、耐久性、高強度コンクリート
連絡先：〒105-0014 東京都港区芝三丁目8番2号 芝公園ファーストビル5階 TEL03-4455-2259 FAX03-4455-2269

使用材料を表-1、コンクリートの配合を表-2に示す。水セメント比(以下 W/C)は25,15%とし、目標スランプフローは、W/C=25%は65±5cm、15%は70±5cm、目標空気量はW/C=25%は3.5±1%、15%は2%以下、コンクリート温度は20±3℃とした。

2. 2 試験方法

練混ぜは、強制二軸ミキサ(容量55L)を用いて、細骨材とセメントで空練り15秒後、水と混和剤を添加し、120秒練り混ぜた後、粗骨材を投入し120秒練り混ぜた。試験項目と試験方法を表-3に示す。

3. 実験結果

3. 1 フレッシュ性状

フレッシュコンクリートの試験結果を表-4に示す。粗粒スラグ細骨材の使用により、SSPの添加量がMセメントでは若干減少したのに対してSFセメントでは若干増加した。凝結時間は約90分程度遅れた。収縮低減タイプ混和剤HSPは、SSPの約1.2倍程度を必要としたが凝結時間の遅延はわずかであった。

3. 2 圧縮強度および静弾性係数

圧縮強度試験結果を図-1に示す。いずれのW/Cに

表-3 試験項目と試験方法

試験項目	試験方法
スランプフロー	JIS A 1150
空気量	JIS A 1128
凝結時間	JIS A 1147
圧縮強度	JIS A 1108, 標準養生,材齢7,28,91,182日
静弾性係数	JIS A 1149
乾燥収縮	JIS A 1129-3:24時間後脱型し,材齢7日まで水中養生後に基長,以降20℃,60%RHで乾燥期間26週まで測定
自己収縮	JCI 自己収縮委員会の試験方法に準拠し,埋込型ひずみゲージを使用して材齢182日まで測定
凍結融解	JIS A 1148

表-4 フレッシュコンクリートの試験結果

記号	混和剤添加量(C×%)	スランプフロー(cm)	空気量(%)	コンクリート温度(℃)	凝結(h)	
					始発	終結
25M-SSP	0.82	680	4.0	22	4.2	6.7
25MSG-SSP	0.70	645	4.0	22	5.8	8.4
25MSG-HSP	0.83	620	3.9	22	5.9	8.3
15SF-SSP	1.00	730	1.4	22	7.0	8.0
15SFSG-SSP	1.20	685	1.4	22	6.8	7.8
15SFSG-HSP	1.35	680	1.6	22	7.1	8.1

においても粗粒スラグ細骨材を使用した場合、天然細骨材に比較して約 5～10%程度低い傾向にあるが、W/C を下げることにより 100N/mm² 級の高強度コンクリートへの適用は可能である。静弾性係数試験結果を図-2 に示す。粗粒スラグ細骨材を使用したコンクリートの静弾性係数は天然細骨材に比べてやや大きい傾向にある。

3. 3 乾燥収縮および自己収縮

乾燥収縮および自己収縮試験結果を図-3，収縮試験のまとめを表-5 に示す。粗粒スラグ細骨材の使用により、コンクリートの乾燥収縮ひずみは約 60～120×10⁻⁶ 程度、収縮低減率で約 13～25%低減し、細粒スラグ細骨材と同様の傾向³⁾を示した。粗粒スラグ細骨材と収縮低減タイプ混和剤を組み合わせることにより、さらに乾燥収縮は低減し、基準に対して約 120～160×10⁻⁶ 程度、収縮低減率で約 24～33%低減できた。自己収縮については、粗粒スラグ細骨材の使用で約 6～8%，収縮低減タイプ混和剤の併用で約 14～24%低減できた。

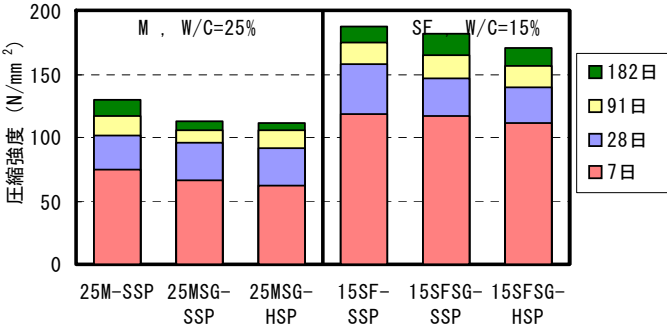


図-1 圧縮強度試験結果

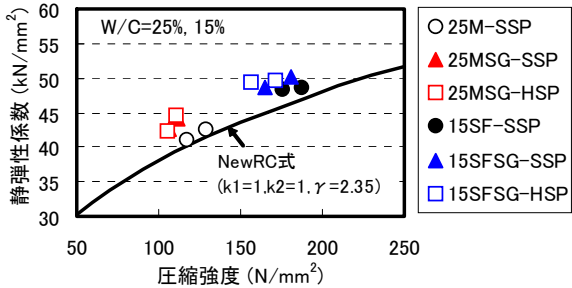


図-2 静弾性係数試験結果

表-5 収縮試験のまとめおよび凍結融解試験結果

記号	乾燥収縮 (乾燥期間 26 週)			自己収縮 (材齢 182 日)		耐久性指数 (%)
	乾燥収縮 ひずみ (×10 ⁻⁶)	収縮 低減率 (%)	質量 減少率 (%)	自己収縮 ひずみ (×10 ⁻⁶)	収縮 低減率 (%)	
25M-SSP	-489	-	1.43	-187	-	100
25MSG-SSP	-366	25.2	1.04	-177	6.3	102
25MSG-HSP	-331	32.3	1.07	-161	14.1	101
15SF-SSP	-492	-	0.51	-517	-	99
15SFSG-SSP	-429	12.8	0.40	-484	7.6	100
15SFSG-HSP	-375	23.8	0.41	-400	23.7	100

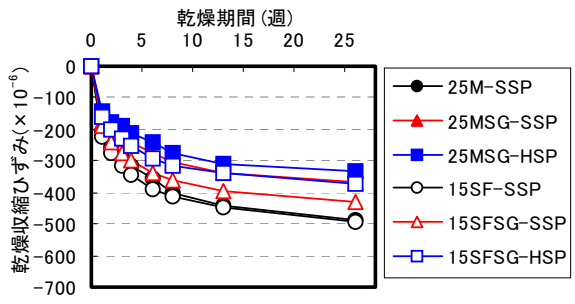


図-3 乾燥収縮試験結果

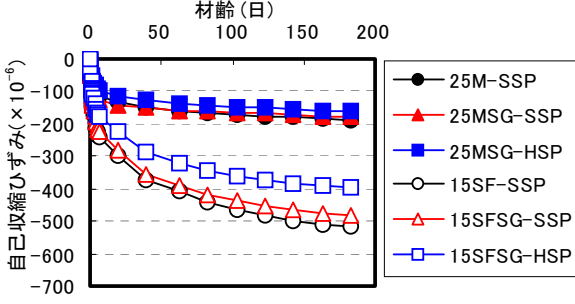


図-4 自己収縮試験結果

3. 4 凍結融解抵抗性

凍結融解試験結果を表-5 に示す。いずれの配合においても、耐久性指数が 90 以上であり十分な凍結融解抵抗性を示した。

4. まとめ

粗粒スラグ細骨材を高強度コンクリートに適用し、本研究の範囲で以下の知見を得た。

- (1) 粗粒スラグ細骨材を使用した場合、天然細骨材に比較して圧縮強度が約 5～10%程度低い傾向にあるが、W/C を下げることにより 100N/mm² 級の高強度コンクリートへの適用は可能である。
- (2) 粗粒スラグ細骨材を使用することにより、コンクリートの乾燥収縮ひずみを約 13～25%，自己収縮ひずみを約 6～8%低減できる。
- (3) 粗粒スラグ細骨材と収縮低減タイプ混和剤を組み合わせることにより、それぞれを単独で使用する場合よりもさらに大きな収縮低減効果を得ることができる。

【参考文献】

1) 吉澤千秋：高炉スラグ細骨材の現状と課題，コンクリートテクノ，Vol.24，No.12，pp.29-34，2005.12
2) 齊藤和秀，木之下光男，伊原俊樹，梅原秀哲：高炉スラグ細骨材を使用した耐久性向上コンクリートの性質(その 1～2)，土木学会第 64 回年次学術講演会，pp.473-476，2009.9
3) 木之下光男，齊藤和秀，吉澤千秋，梅原秀哲：高炉スラグ細骨材を使用した耐久性向上コンクリートの性質(その 3)，土木学会第 65 回年次学術講演会，pp.579-580，2010.9