

粗粒高炉スラグ細骨材を使用したコンクリートの特性

竹本油脂(株)	正会員	○齊藤 和秀
同	正会員	木之下光男
同		小林 竜平
JFE ミネラル(株)	正会員	吉澤 千秋

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高炉スラグ細骨材(以下、スラグ細骨材)が注目されている¹⁾。筆者らは一般のスラグ細骨材の有効性、特に収縮低減効果を調べている²⁾。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、土木分野で多く用いられている高炉セメントを使用した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さらに低収縮なコンクリートを検討した。比較のため一部普通セメントについても試験した。

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、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 55,45,35%とし、目標スランプは、W/C=55,45%は 8±2.5cm、35%は 21±1.5cm、目標空気量は 4.5±1%、コンクリート温度は 20±3℃とした。細骨材の混合比率は S1:S2 で 55:45 を基準とし、粗粒スラグ細骨材を添加する場合は S2 と置換した。

2. 2 試験方法

練混ぜは、強制パン型ミキサを用いて全材料投入後 W/C=55,45%では 90 秒、W/C=35%では 120 秒練り混ぜ後排出した。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添加により、混和剤添加量は 5%程度低減、ブリーディング量はわずかに増加、凝結時間は

キーワード：粗粒、高炉スラグ細骨材、乾燥収縮、自己収縮、耐久性、高性能 AE 減水剤

連絡先：〒443-8611 愛知県蒲郡市港 2-5 竹本油脂(株)第三事業部 研究開発部 TEL0533-68-2194 FAX0533-68-1339

表-1 使用材料

種類	記号	産地・性質
セメント	BB	高炉セメント B 種(密度 3.04g/cm ³)
	N	普通ポルトランドセメント(密度 3.16g/cm ³)
細骨材	SG	千葉産高炉スラグ細骨材(JIS A 5011-1 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)
	S1	君津産山砂(密度 2.59g/cm ³ 、吸水率 2.69%、FM2.05)
	S2	大井川産陸砂(密度 2.59g/cm ³ 、吸水率 2.10%、FM2.84)
	G	岡崎産砕石 2005(密度 2.68g/cm ³ 、吸水率 0.67%)
混和剤	EX	AE 減水剤(高機能タイプ)
	HP	高性能 AE 減水剤(ポリカルボン酸系)
	LS	AE 減水剤(収縮低減タイプ)
	SR	高性能 AE 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	S1	S2	SG	G
55B-EX	BB	EX	55	44.1	162	295	438	357	0	1043
55BSG-EX		LS					438	0	385	
55BSG-LS		HP	45	42.3	145	322	425	347	0	1088
45B-HP							425	0	374	
45BSG-HP							394	324	0	
45BSG-SR		SR					394	0	349	
35B-HP		HP	35	42.9	160	457	420	342	0	986
35BSG-HP							420	0	368	
35BSG-SR	SR						420	0	368	
45N-HP	N	HP					45	42.0	150	
45NSG-HP			420	0	368					
45NSG-SR		SR	420	0	368					

表-3 試験項目と試験方法

試験項目	試験方法
スランプ	JIS A 1101
空気量	JIS A 1128
凝結時間	JIS A 1147
ブリーディング	JIS A 1123
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
促進中性化	JIS A 1153
凍結融解	JIS A 1148

約 10～50 分程度遅れた。収縮低減タイプの混和剤は添加量が約 1.5 倍となったが、フレッシュ性状は通常の混和剤とほぼ同等であった。

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。粗粒スラグ細骨材の添加により、初期の強度発現性は天然細骨材と同等かやや低いが、長期ではほぼ同等以上であった。W/C=35%の静弾性係数試験結果を図-2 に示す。粗粒スラグ細骨材を添加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。

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 (cm)	空気量 (%)	コンクリート 温度(°C)	凝結(h)		ブリーディング 量 (cm ³ /cm ²)
					始発	終結	
55B-EX	1.00	8.0	4.2	20	6.4	9.6	0.11
55BSG-EX	1.00	8.5	4.6	20	6.7	10.0	0.18
55BSG-LS	1.50	9.5	5.2	20	6.5	9.8	0.23
45B-HP	0.75	7.5	4.8	20	4.8	7.1	0.02
45BSG-HP	0.70	8.0	4.5	20	5.6	8.4	0.07
45BSG-SR	1.25	7.0	5.0	20	7.4	10.5	0.10
35B-HP	0.85	21.5	4.9	20	5.3	7.5	-
35BSG-HP	0.80	22.0	5.2	20	6.1	8.6	-
35BSG-SR	1.35	21.0	4.6	20	7.8	10.4	-
45N-HP	0.75	8.5	5.0	19	5.6	7.4	0.04
45NSG-HP	0.75	8.5	4.8	19	5.8	8.2	0.05
45NSG-SR	1.10	7.0	4.3	19	7.7	11.3	0.20

表-5 収縮試験結果のまとめ

記号	乾燥収縮 (乾燥期間 26 週)			自己収縮 (材齢 182 日)	
	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 (%)
55B-EX	-576	-	3.35	-	-
55BSG-EX	-495	14.1	2.90	-	-
55BSG-LS	-464	19.4	2.79	-	-
45B-HP	-552	-	2.44	-	-
45BSG-HP	-462	16.3	2.13	-	-
45BSG-SR	-419	24.1	2.00	-	-
35B-HP	-481	-	1.59	-252	-
35BSG-HP	-432	10.2	1.44	-232	7.9
35BSG-SR	-371	22.9	1.49	-148	41.3
45N-HP	-578	-	2.07	-	-
45NSG-HP	-484	16.3	2.11	-	-
45NSG-SR	-403	30.3	1.86	-	-

3. 3 乾燥収縮および自己収縮

乾燥収縮試験結果を図-3、自己収縮試験結果を図-4、収縮試験結果のまとめを表-5 に示す。粗粒スラグ細骨材の添加により、コンクリートの乾燥収縮ひずみは約 $50 \sim 90 \times 10^{-6}$ 程度、収縮低減率で約 10~16%低減し、細粒スラグ骨材と同様の傾向²⁾を示した。粗粒スラグ骨材と収縮低減タイプの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 $110 \sim 180 \times 10^{-6}$ 程度、収縮低減率で約 19~30%低減できた。自己収縮

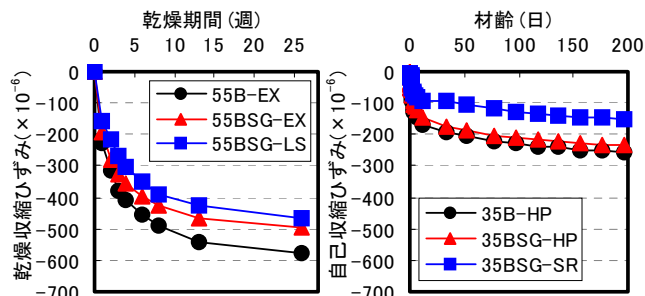


図-3 乾燥収縮試験結果 図-4 自己収縮試験結果

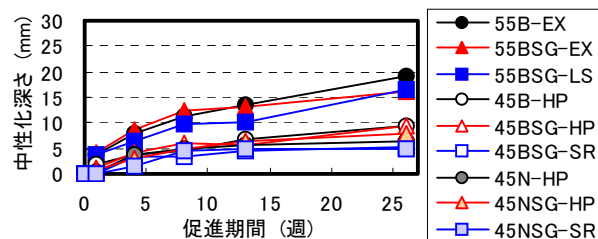


図-5 促進中性化試験結果

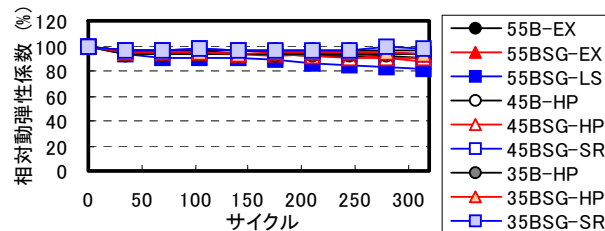


図-6 凍結融解試験結果

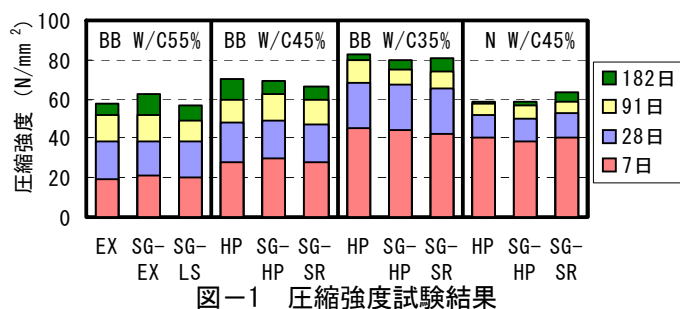


図-1 圧縮強度試験結果

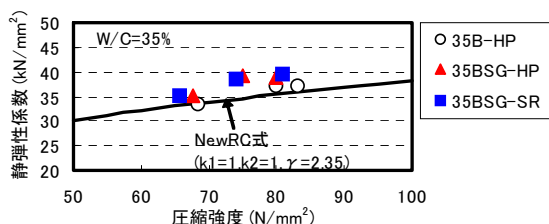


図-2 静弾性係数試験結果

については、粗粒スラグ細骨材の添加で約 8%, 収縮低減タイプ混和剤の併用で約 41%低減できた。

3. 4 促進中性化および凍結融解抵抗性

促進中性化試験結果を図-5 に示す。粗粒スラグ細骨材の添加により中性化速度はわずかに小さくなった²⁾。また、収縮低減タイプ混和剤の併用によっても約 10%程度小さい傾向が見られた。凍結融解試験結果を図-6 に示す。いずれの配合も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炉セメントを使用した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) 粗粒スラグ細骨材は細粒スラグ細骨材と同様にコンクリートの収縮を低減する効果を有する。
- (2) 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