

高炉スラグ細骨材と高炉スラグ微粉末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 JFE ミネラル(株) 正会員 吉澤 千秋

竹本油脂(株) 正会員 木之下光男 竹本油脂(株) 小林 竜平

日本大学 露木 尚光 名古屋工業大学大学院 正会員 吉田 亮

1. はじめに

近年、環境負荷低減や CO₂ 排出量削減の観点から、高炉水砕スラグが注目されている¹⁾。高炉水砕スラグは主として高炉スラグ微粉末(以下、スラグ微粉末)や高炉スラグ細骨材(以下、スラグ細骨材)として利用されている。著者らは既にスラグ細骨材を高性能 AE 減水剤使用コンクリートに適用した場合の特性について調査し、スラグ細骨材が長期強度発現性、収縮低減性などの特徴を持ち、普通セメントのみならず高炉セメント B 種を用いた場合でも同様の効果があることを確認した²⁾。一方スラグ微粉末は長期強度発現性、凍結融解抵抗性、耐久性向上などの特徴を持つことが知られている。本研究では、スラグ細骨材とスラグ微粉末を併用した場合のコンクリートの特性を調べた結果を報告する。

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。水結合材比(以下、W/B)は高性能 AE 減水剤を使用した一般強度レベルを想定し 45%に設定した。目標スランブは、15±2.5cm、目標空気量は 4.5±0.5%、コンクリート温度は 20±3℃とした。スラグ微粉末は質量で

表-1 使用材料

種類	記号	産地・性質
セメント	N	普通ポルトランドセメント(密度 3.16g/cm ³)
	BB	高炉セメント B 種(密度 3.04g/cm ³)
混和材	SgP	高炉スラグ微粉末(4000 プレシジョン石膏無添加、密度 2.91g/m ³)
細骨材	SgS	福山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 2.76g/cm ³ 、吸水率 0.51%、FM3.45)
	S	大井川産陸砂(密度 2.59g/cm ³ 、吸水率 2.08%、FM2.84)
	G	岡崎産砕石 2005(密度 2.66g/cm ³ 、吸水率 0.78%)
混和剤	HP	高性能 AE 減水剤(ポリカルボン酸系)

表-2 コンクリートの配合

記号	W/B (%)	セメント	SgP (%)	SgS (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				
						W	C	SgP	S	SgS
45NP0S0	45	N	0	0	42.4	344	-	759	-	-
45NP0S30										
45NP20S0			20	0	42.2	275	69	754	-	-
45NP20S30										
45NP40S0			40	0	42.2	206	138	751	-	-
45NP40S30										
45NP40S50			60	0	41.9	138	206	743	-	-
45NP60S0										
45NP60S30										
45BBP0S0	45	BB	0	0	42.1	155	344	-	749	-

キーワード：高炉スラグ細骨材、高炉スラグ微粉末、乾燥収縮、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-3 試験項目と試験方法

試験項目	試験方法
スランブ	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
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
促進中性化	JIS A 1153
凍結融解	JIS A 1148

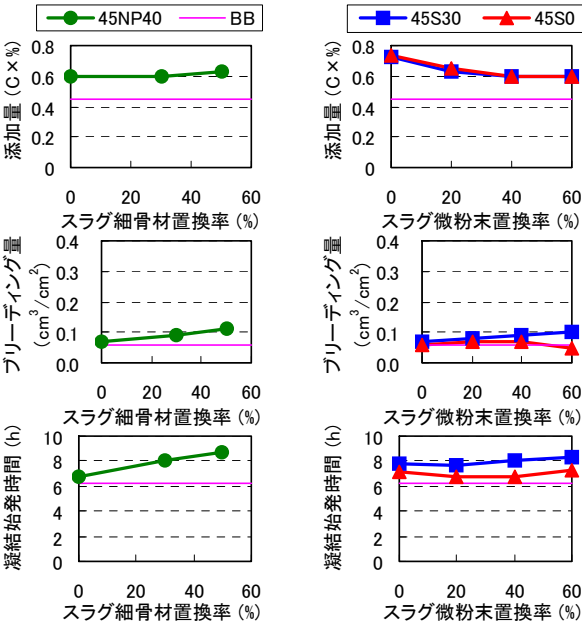


図-1 混和剤添加量とフレッシュ性状

セメントに、スラグ細骨材は容積で S に置換した。

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 90 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

混和剤添加量とフレッシュ性状を図-1 に示す。混和剤添加量はスラグ細骨材 30%置換ではほぼ同等であるが 50%置換では若干増加した。また、スラグ微粉末の増加に伴い約 20%程度減少した。ブリーディング量はスラグ細骨材の置換により若干増加したが、スラグ微粉末の影響はわずかであった。両者の併用はスラグ微粉末置換率が多い場合に若干増加した。凝結時間は、スラグ

細骨材の増加により約2時間程度遅れる傾向であるがスラグ微粉末の影響はわずかであり、併用の場合は無置換に比べて約1時間程度遅れた。

3. 2 圧縮強度

圧縮強度試験結果を図-2に示す。スラグ細骨材の置換により強度増加の傾向を示した。スラグ微粉末の置換は初期は低いが材齢91日以降はほぼ同等以上となった。併用の場合は長期強度の伸びが高い傾向を示した。

3. 3 乾燥収縮

乾燥収縮試験結果を図-3および図-4に示す。スラグ細骨材およびスラグ微粉末の置換により、コンクリートの乾燥収縮ひずみは低減する傾向にあり、無置換(45NP0S0)の収縮ひずみに対する低減率は、両者を併用した場合最大で約20%(122×10^{-6})であった。

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および凍結融解試験結果を図-5に示す。中性化速度はスラグ微粉末の増加に伴い大きくなったが、スラグ細骨材の併用によりわずかに小さくなった。いずれも300サイクルで相対動弾性係数60%以上を満足したが、スラグ細骨材50%置換は相対動弾性係数がやや小さい傾向であった。

3. 5 スラグ細骨材の効果についての考察

スラグ細骨材を無処理および $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 飽和水溶液に28日間浸漬し、表面をSEM観察した結果を写真-1に、

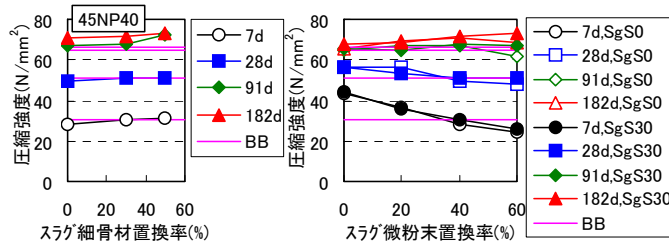


図-2 圧縮強度試験結果

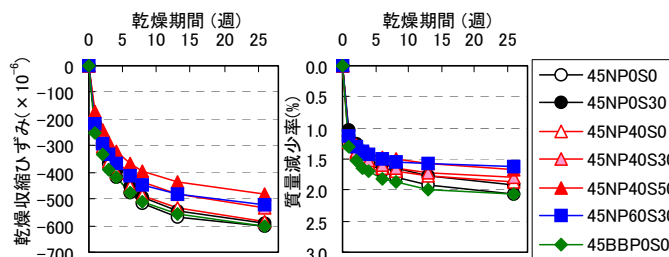


図-3 乾燥収縮試験結果

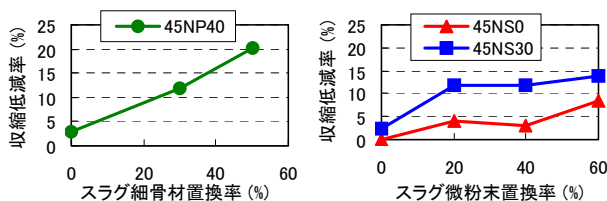


図-4 収縮低減率

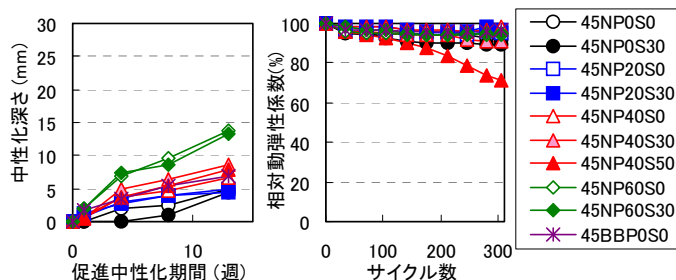


図-5 促進中性化および凍結融解試験結果

粉末X線回折により分析した結果を図-6に示す。アルカリ処理したものは表面にカードハウス構造の存在が確認された。図-6では $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 CaCO_3 およびC-S-H水和物が確認され、スラグ表面で水和反応が起きていることが示唆された。従って、スラグ細骨材の強度増進や収縮低減効果のメカニズムの1つとして潜在水硬性による骨材表面組織の緻密化が関係しているものと推察できる。

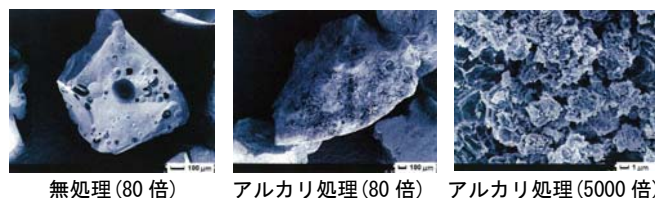


写真-1 SEMによるスラグ細骨材表面の観察

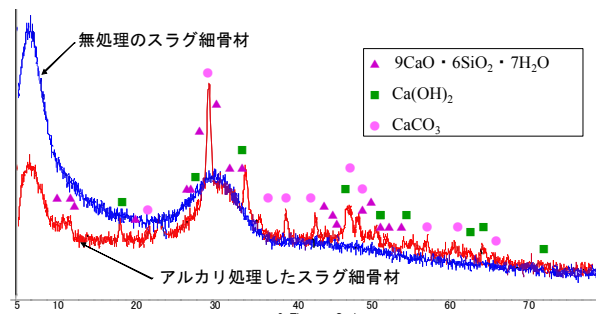


図-6 粉末X線回折による分析結果

4. まとめ

スラグ細骨材とスラグ微粉末を併用したコンクリートの特性を調べた結果、本研究の範囲で以下の知見を得た。

- (1) フレッシュ性状はスラグ無使用とほぼ同等である。
- (2) 初期強度はスラグ無使用より低い、長期では同等以上の強度が得られる。
- (3) 乾燥収縮が最大約20%程度低減する。
- (4) 以上の特性は緻密化による効果と考えられる。

【参考文献】

- 1) 綾野克紀, 松永久宏, 吉澤千秋, 細谷多慶: 鉄鋼スラグ骨材を用いたコンクリートの現状・問題点と今後の方向性, コンクリート工学, Vol.48, No.1, pp.57-61, 2010
- 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