

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: 高強度コンクリートの性質)

竹本油脂（株）
同
J F E ミネラル（株）
名古屋工業大学大学院

正会員
正会員
正会員
フェロー

○木之下光男
齊藤 和秀
吉澤 千秋
梅原 秀哲

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コンクリート用高炉スラグ細骨材の有効利用が進められてきた¹⁾。高炉スラグ細骨材は乾燥収縮低減性を有しており、コンクリートの耐久性を向上させるコンクリート材料として有効であることを筆者らは先に報告^{2, 3)}した。本報告は、圧縮強度が100N/mm²を超える超高強度コンクリートの製造に対しても高炉スラグ細骨材が使用可能な材料であるのかどうか、同時に天然砂を使用した場合に比べて自己収縮低減性についても有効であるのか等について実験的に調べた結果を報告する。

2. 実験概要

2.1 高炉スラグ細骨材

JIS A5011-1 に適合するスラグ細骨材（区分BFS5、表乾密度 2.73g/cm³、吸水率 0.45%、FM2.56、SGと略）を用いた。

2.2 その他の材料

セメントは中庸熱セメント(密度 3.21g/cm³、ブレン値 3750cm²/g、M)およびシリカフュームプレミックスセメント(密度 3.08g/cm³、ブレン値 5600cm²/g、Sと略)、天然細骨材は岩瀬産砕砂S1(密度 2.64g/cm³、F.M.=2.67)、粗骨材は岩瀬産砕石G(密度 2.66g/cm³、実積率=60.0%)を用いた。混和剤は超高強度用高性能減水剤⁴⁾を用いた。

2.3 コンクリートの配合

コンクリートの配合を表-1 に示す。W/C=25%ではセメント M を使用し、目標スランプフロー65±5cm、空気量 (3.5±0.5) %とした。W/C=15%ではセメント S を使用し、スランプフロー70±5cm、空気量は 2%以下とした。

表-1 コンクリートの配合

種類 記号	セメント 種類	W/C (%)	空気量 (%)	単位量 (kg/m ³)				
				W	C	S1	SG	G
25M	M	25	3	160	640	774	—	854
25MSG				160	640	—	812	854
15S	S	15	2 以下	160	1067	412	—	854
15SSG				160	1067	—	432	854

2.4 試験方法

練混ぜは強制二軸ミキサ(容量 100L)を用いて細骨材とセメントで 15 秒空練り後、水と混和剤を添加し、W/C=25%では 120 秒、W/C=15%では 300 秒練り混ぜた。次に、粗骨材を投入しいずれも 120 秒練り混ぜた。試験温度は 20℃、練り量は 60Lとした。流動性の評価はスランプ(JIS A 1101)、スランプフロー(JIS A 1150)、空気量は JIS A 1128 に準拠した。粘性の評価はLフロー試験器を用いたLフロー初速度(Lフロー試験器の流れの始動面より 5cmから 10cmまでの流動速度、以下Lvと略)で評価した⁵⁾。凝結時間の測定はJIS A 1147 に準拠した。乾燥収縮試験はJIS A 1129-3 に準拠した。自己収縮試験は、日本コンクリート工学協会自己収縮研究委員会の試験方法に準拠した。ひずみの測定は埋め込み型ひずみゲージを用いて測定し、凝結始発以後のひずみの変化を自己収縮ひずみとした。凍結融解試験はJIS A 1148 に準拠した。

3. 実験結果および考察

3.1 フレッシュコンクリートの性状

フレッシュコンクリートの試験結果を表-2 に示す。いずれの配合も混和剤の使用量を調節することによって目標の流動性、空気量等が得られた。また、凝結時間についても差がなかった。すなわち、高炉スラグ細骨材を使用しても天然細骨材と比べて数値に大きな違いは認められず、遜色がない結果が得られた。

表-2 フレッシュコンクリートの結果

記号	混和剤 (C×%)	スランプ フロー (cm)	空気量 (%)	Lv (cm/s)	凝結時間(h) 始発 - 終結
25M	1.25	63.0	3.0	9.1	6.0 - 8.4
25MSG	1.25	63.5	3.9	7.4	6.3 - 8.9
15S	1.20	70.0	1.9	6.2	6.5 - 9.0
15SSG	1.20	67.0	2.0	6.0	6.2 - 8.5

3.2 硬化コンクリートの性状

(1)圧縮強度

圧縮強度試験結果を図-1 に示す。いずれの配合においても材齢 28 日で 100N/mm²を超える十分な強度が得られ、天然細骨材と比べて遜色がない結果が得られた。

キーワード：高炉スラグ細骨材、超高強度コンクリート、自己収縮、乾燥収縮、高性能減水剤、耐久性
連絡先：〒443-8611 愛知県蒲郡市港町 2-5 竹本油脂(株)第三事業部 研究開発部 TEL0533-68-2194, FAX0533-68-1339

(2)自己収縮および乾燥収縮

自己収縮試験結果を図-2、乾燥収縮試験結果を図-3に示す。また、乾燥収縮試験における質量減少率を図-4に示す。W/C=25%において自己収縮ひずみは、材齢7日までに進行した後、それ以降は小さく徐々に僅かに進行するに止まった。また、材齢の増加と共に25MSGは25Mに比べて僅かに収縮が低減した。一方、W/C=15%における自己収縮ひずみはW/C=25%の場合と比べて大きくなった。また、時間の経過と共に収縮ひずみは増加し、15Sの自己収縮ひずみは材齢182日で約700マイクロ、15SSGの自己収縮ひずみは同材齢で約590マイクロとなった。高炉スラグ細骨材は最も低いW/Cの配合で自己収縮低減効果を顕著に示した。乾燥収縮ひずみはW/C=15%の方がW/C=25%よりも予想に反して小さくなる傾向を示した。また、W/C=15%では、15Sも15SSGも乾燥収縮ひずみに顕著な差がなく、15SSGが僅かに小さな数値となったが、W/C=25%では、25MSGが25Mに比べて乾燥収縮ひずみが顕著に小さくなって現れた。これは図-4に示した乾燥による質量減少率が小さくなったことが一つの理由である。図-5に材齢182日の全収縮ひずみ（自己収縮と乾燥収縮の合計）の結果を示す。比較対象の配合において、高炉スラグ細骨材を使用した超高強度コンクリートの収縮低減効果は明白である。

(3)凍結融解抵抗性

凍結融解試験結果を表-3に示す。いずれの配合においても300サイクルで耐久性指数が95以上であり、十分な凍結融解抵抗性を示した。

4. まとめ

天然細骨材の代わりに高炉スラグ細骨材を超高強度コンクリートの製造に適用し、高炉スラグ細骨材が物性に及ぼす影響を実験的に調べた結果、以下の知見を得た。

- (1) 同じ目標強度の配合では混和剤のほぼ同じ使用量で目標とする流動性が得られ、かつ圧縮強度も材齢28日で100N/mm²を超える十分な強度が得られた。高炉スラグ細骨材を使用しても遜色がない。
- (2) 天然細骨材を高炉スラグ細骨材に置換して使用することにより、天然細骨材よりも自己収縮ひずみを12～17%、乾燥収縮ひずみを7～24%、全収縮ひずみを13～20%低減できることが判った。
- (3) 超高強度コンクリートの製造に高炉スラグ細骨材を天然細骨材に置換使用、或いは混合使用することにより収縮ひずみを低減できるため、ひび割れ防止の観点からコンクリートの耐久性向上に有効である。

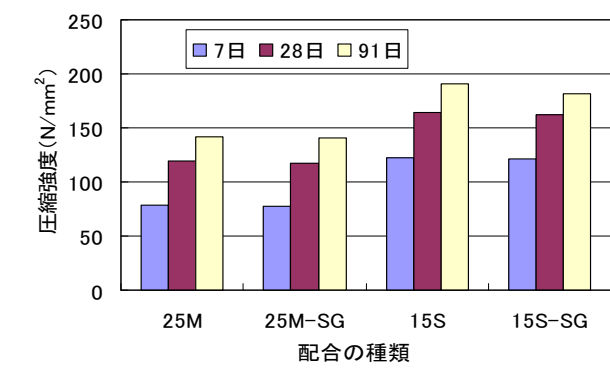


図-1 圧縮強度試験

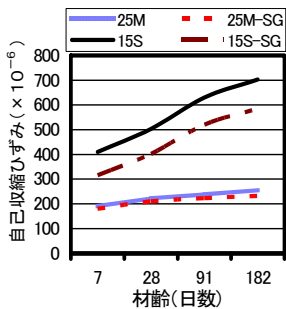


図-2 自己収縮試験

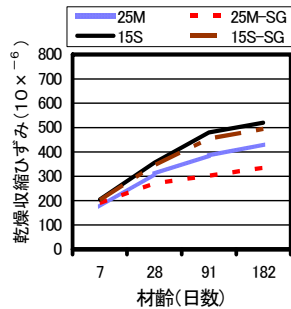


図-3 乾燥収縮試験

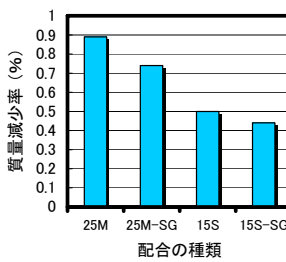


図-4 質量減少率の比較

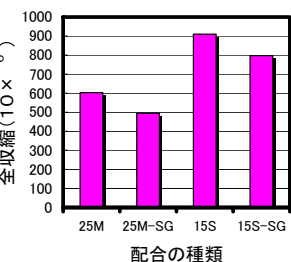


図-5 全収縮の比較

表-3 凍結融解試験

耐久性指数	コンクリート配合の種類			
	25M	25M-SG	15S	15S-SG
300 サイクル	99	95	100	98

【参考文献】

1) 綾野克紀, 松永久宏, 吉澤千秋, 細谷多慶: 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: 土木学会第64回年次学術講演会, V-239, pp. 473-474 (2009)

3) 木之下光男, 齊藤和秀, 吉澤千秋, 梅原秀哲: 土木学会第64回年次学術講演会, V-239, pp. 475-476 (2009)

4) 木之下光男, 齊藤和秀, 名和豊春: 土木学会論文集E, Vol. 64, No. 4, pp. 698-704 (2008)

5) 土木学会編, コンクリートライブラリー93: 高流動コンクリート施工指針, pp. 170 (1998)