

脱リンスラグを使用したコンクリート混和材の特性

日本大学大学院理工学研究科 学生会員 ○畑迫一毅

日本大学理工学部

正会員

梅村靖弘

1. はじめに

製鋼スラグは年間約 1,000 万 t 発生し、この内、脱リンスラグが約 380 万 t を占めるが、遊離石灰 (f-CaO) の水和と酸化鉄 (FeO) の酸化による膨張崩壊のため有効利用が進んでいない。しかし、主要鉱物に水硬性のあるダイカルシウムシリケート (β -C₂S) を含んでおり、低発熱性コンクリート混和材としての利用が可能と考えられる。本研究は、脱リンスラグのコンクリート混和材としての利用を目的として、高炉スラグの水和発熱、乾燥収縮特性を改善するため、脱リンスラグを高炉スラグに混合した場合の影響について検討した。

2. 実験概要

2.1 脱リンスラグの安定化処理：脱リンスラグは 500℃、2 時間の焼成処理を行い、鉄の酸化、遊離石灰の水和による膨張を抑制した。

2.2 使用材料及び配合条件：使用材料及びモルタルの配合を表-1、表-2 に示す。水結合材比を 50% 一定とし、JIS R 5201 に準拠してセメント (混和材を含む) と細骨材の質量比は 1 : 2 とした。

2.3 試験方法

(1)凝結試験：JIS R 5201 に準拠してビカー針装置を用いてセメントペーストの凝結の始発と終結を測定した。

(2)圧縮強度試験：JIS A 1108 に準拠し、供試体は寸法 $\phi 5 \times h10$ cm とし、室温 20℃ の恒温室で封緘養生した。

(3)乾燥収縮率試験及び質量変化率試験：JIS R 1129 に準拠し、4×4×16 cm の供試体を作製した。材齢 1 日で脱型し、供試体は温度 20℃、相対湿度 60% に保ったデジケータ内で気中養生し、乾燥収縮率及び質量変化率を測定した。

(4)水和発熱速度試験：水和発熱速度は、双子型伝導微少熱量計により測定した。水結合材比は 200% とし、測定は水と結合材材料の温度を 20℃ 一定にさせた後、注水し 2 次ピークの発現まで行った。

(5)断熱温度上昇量試験：簡易型断熱温度上昇装置を用いて、断熱温度上昇量を測定した。コンクリート配合を表-3 に示す。コンクリートの単位結合材量は 290kg/m³、水結合材比は 60% とした。なお、測定は 4 時間毎に行った。

(6)中性化促進試験：20℃ の恒温室で材齢 28 日まで封緘養生した 4×4×16 cm のモルタル供試体の上面を暴露面として、側面・下面をエポキシ樹脂・シリコンでシールした。温度 30℃、相対湿度 60%、炭酸ガス濃度 10% の環境下で中性化促進養生を行った。フェノールフタレイン法により中性化深さを測定した。

3. 試験結果と考察

表-1 使用材料

材料名	略号	備考
水	W	イオン交換水
セメント	C	普通ポルトランドセメント(OPC) 密度 3.16g/cm ³ ブレーン値 3290cm ² /g
細骨材	S	陸砂 表乾密度 2.65g/cm ³ 粗粒率 2.42
粗骨材	G	砕石 表乾密度 2.68g/cm ³ 粗粒率 6.57
混和材	BS	高炉スラグ 密度 2.88g/cm ³ ブレーン値 4670cm ² /g
	DS	脱リンスラグ 焼成処理(焼成温度:500℃) 密度 3.33g/cm ³ ブレーン値 4000cm ² /g
混和剤	Ad	リグニンスルホン酸系 AE 減水剤

表-2 モルタル配合

配合記号	水結合材比 [%]	単位量 [kg/m ³]				
		W	C	AD		S
PL	50	318	636	0	0	1273
BS		318	318	318	0	1273
DS		318	318	0	318	1273
BD		318	318	159	159	1273

表-3 コンクリート配合

配合記号	水結合材比 [%]	単位量 [kg/m ³]						
		W	C	AD		S	G	Ad
PL	60	174	290	0	0	827.9	1023.3	3
BS		174	145	145	0	827.9	1023.3	3
DS		174	145	0	145	827.9	1023.3	3
BD		174	145	72.5	72.5	827.9	1023.3	3

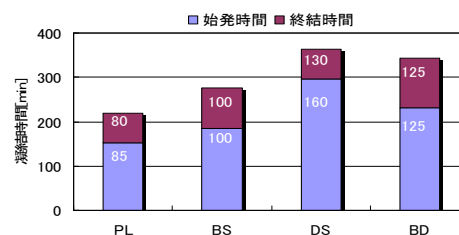


図-1 凝結時間

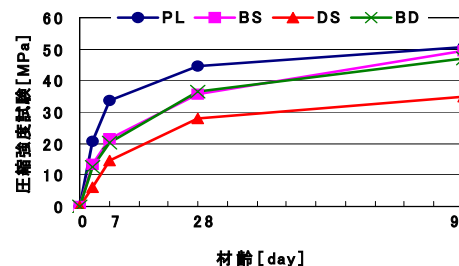


図-2 圧縮強度

キーワード 高炉スラグ 脱リンスラグ 混和材 乾燥収縮 断熱温度上昇量 中性化

連絡先 〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8-14 理工学部土木工学科 TEL/FAX 03-3259-0682

3.1 凝結試験：図-1 に凝結時間を示す。始発時間は BS と比較して DS は 60%，BD は 25%遅くなった。

3.2 圧縮強度試験：図-2 に圧縮強度を示す。BS と比較して、材齢 3 日で DS は 55%減，BD は同等，材齢 91 日で DS が 30%減，BD が同等となった。BS と BD は各材齢において同等の強度発現となり，脱リンスラグで置換したことによる初期強度の低下はみられなかった。材齢間の強度発現をみると，脱リンスラグは初期材齢での強度発現率が低かったが，7～28 日では BS と同等となった。これは，焼成により脱リンスラグ中のフッ素アパタイト($\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3$)が，一部の $\beta\text{-C}_2\text{S}$ や f-CaO と結合してフッ素アパタイト群化合物が形成されたものと推察される¹⁾。

3.3 乾燥収縮率試験及び質量変化率試験：図-3 に乾燥収縮率を示す。BS と比較して DS，BD の材齢 7 日の収縮率は 45%減になった。さらに材齢 91 日で DS が 10%減，BD が 15%減となった。図-4 に質量変化率を示す。BS と比較すると材齢 7 日で DS は 100%増，BD は 75%増，材齢 91 日では DS が 65%増，BD が 25%増となった。脱リンスラグを混和した配合の質量変化率が大きくなった要因としては，セメント水和物の生成が遅く，乾燥による未水和反応の水の蒸発量が多くなったことが考えられる。このように，質量変化率が大きいにも拘わらず収縮率が小さくなった原因としては，脱リンスラグに残留する f-CaO の膨張作用によるものと考えられる。

3.4 水和発熱速度：図-5 に水和発熱速度を示す。BS と比較して 1 次ピークは DS で 25%減，BD で 10%減となった。1 次ピーク発生時間は BS と比較して BD は同じであったが，DS は遅延した。同様に，2 次ピークについては BD で 25%減となったが，DS は大幅に減少した。2 次ピーク発生時間は BS と比較して BD が 200min 早くなっているのに対し，DS は大幅に遅延した。これは，脱リンスラグ中の $\beta\text{-C}_2\text{S}$ の水和反応速度が極めて遅いことが原因と推察される。

3.5 断熱温度上昇量試験：図-6 に断熱温度上昇量を示す。BS は 90 時間経過後に PL と同じ温度上昇値となり，それ以降は PL より大きくなった。しかし，脱リンスラグの混合により断熱温度上昇量は減少し，BS と比較して DS は 50%減，BD は 30%減となった。

3.6 中性化促進試験：図-7 に中性化浸透深さを示す。材齢 10 週目における中性化浸透深さを BS と比較すると DS は 65%増，BD は同等であった。

4. まとめ

脱リンスラグで高炉スラグを 50%置換したものは，高炉スラグと比較して同等の圧縮強度を確保しながら初期材齢 7 日の乾燥収縮率が 45%，断熱温度上昇量が 30%低減した。

【参考文献】

1) 梅村靖弘，露木尚光：脱リンスラグを用いたコンクリート混和材の特性，コンクリート工学年次論文集，Vol.25，No.1，pp.1145-1150，2003

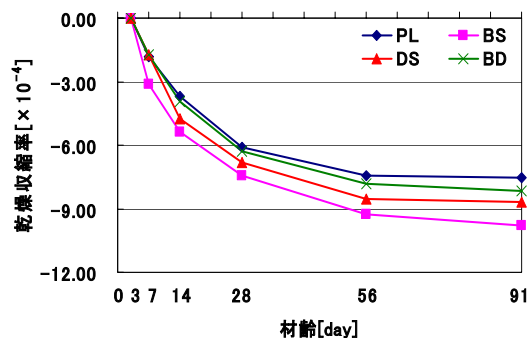


図-3 乾燥収縮率

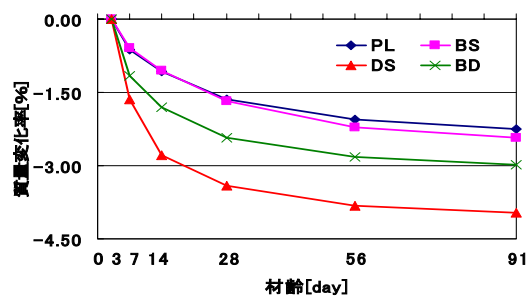


図-4 質量変化率

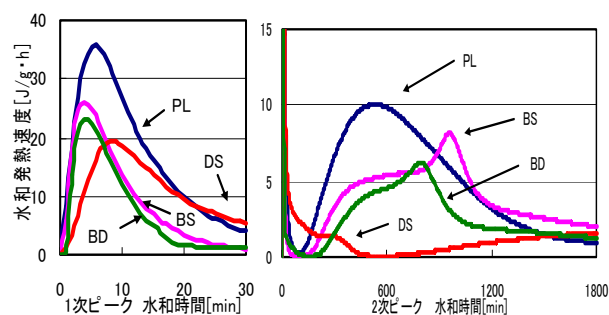


図-5 水和発熱速度

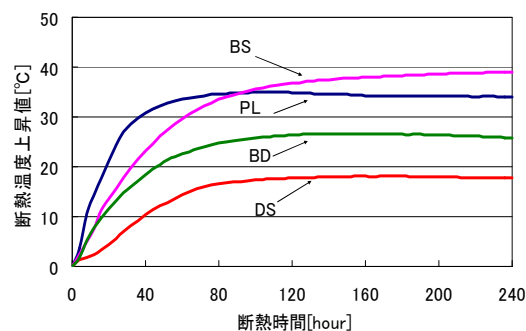


図-6 断熱温度上昇量

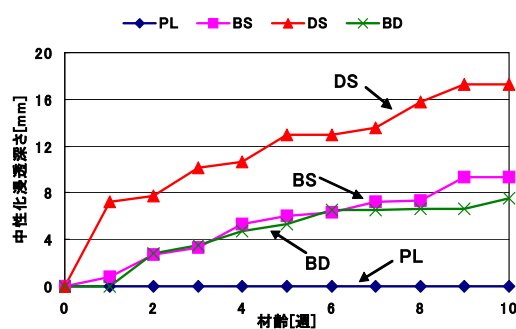


図-7 中性化浸透深さ