

脱リンスラグ微粉末による高炉セメントの乾燥収縮低減効果

日本大学大学院理工学研究科 学生会員 ○壁屋 俊輔
 日本大学理工学部 正会員 梅村 靖弘
 日本大学理工学部 正会員 小泉 公志郎

1. はじめに

鉄鋼スラグ内から生成される高炉スラグ微粉末は、混和材として付加価値の高い利用がなされている。しかし、高炉スラグ微粉末は初期養生が十分でない場合、乾燥収縮量が大きく、コンクリートのひび割れの原因となる。筆者らは 500℃で 2 時間焼成処理した脱リンスラグは膨張特性を安定化させて利用できることを明らかにしており、本研究では、鉄鋼スラグの一部である脱リンスラグの低収縮性を利用し、高炉スラグの一部を置換した場合の収縮特性やひび割れ抵抗性の改善効果に関して検討を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料及び配合条件：使用材料を表一、モルタル配合を表二に示す。水結合材比を 50%一定とし、JIS R 5201 - 1992 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。

2.2 圧縮強度測定試験：JIS A 1108 に準拠し、供試体は $\phi 5 \times h 10$ cm のモルタル供試体とする。室温 20℃の恒温室内で封緘養生し、圧縮試験を行なった。

2.3 空隙径分布測定試験：圧縮強度試験と同じ供試体を 2.5~5mm の大きさまで粉碎し、アセトンとエタノールにて脱水し、D-dry 法により乾燥した後、空隙径分布を水銀圧入式ポロシメータにより測定した。

2.4 乾燥収縮率測定試験：4×4×16cm の供試体を作製し、材齢 3 日で脱型した後、温度 20℃、相対湿度 60%に保った恒温室内で養生し、JIS A 1129 に準拠した長さ変化率測定試験により乾燥収縮率を測定した。

2.5 カルシウムシリケート水和物のケイ酸構造：セメント水和物の多くを占めるカルシウムシリケート水和物(C-S-H)のケイ酸構造をトリメチルシリル(TMS)化法を用いて測定した。空隙径分測定用布用のモルタルを 150 μ m 以下に粉碎し、TMS 誘導体化を行い¹⁾、得られた TMS 誘導体をガスクロマトグラフにより分析し、単量体(monomer)～六量体(hexamer)のケイ酸陰イオンの構成比を測定した。

2.6 リング型拘束ひび割れ抵抗性試験：リング型ひび割れ抵抗性試験用型枠を図一に示す。配合は BS, BD, BDA, BLB, BHB で行った。温度 20℃で 3 日間封緘養生後、外リングを脱型し、内リングの円周方向の 3 ヶ所にひずみゲージを設置し、温度 20℃、湿度 60%の条件下でひび割れ発生まで内リングひずみを測定した。

表一 使用材料

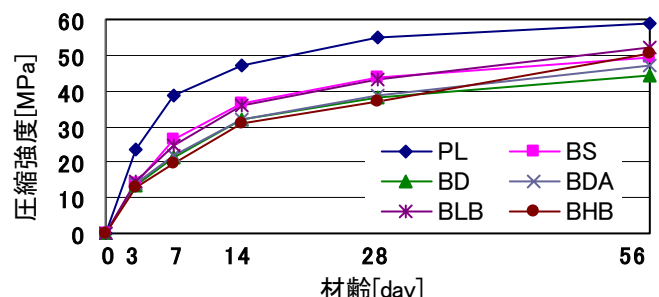
材料名	略号	備考
練混ぜ水	W	蒸留水
普通ポルトランドセメント	C	密度:3.16g/cm ³ ブレーン値:3570cm ² /g
低熱ポルトランドセメント	HC	密度:3.24g/cm ³ ブレーン値:3300cm ² /g
細骨材	S	表乾密度:2.64g/cm ³ 粗粒率:2.42
混和材	高炉スラグ	BS 密度:2.88g/cm ³ ブレーン値:4640cm ² /g
	脱リンスラグ	AD DB 焼成処理(500℃) 密度:3.33g/cm ³ ブレーン値:4500cm ² /g
	フッ素アパタイト	FAP 密度:3.20g/cm ³ Ca ₁₀ (PO ₄) ₆ F ₂ (純薬)

表二 モルタル配合

配合 記号	混和材の置換率[%]				水結 合材 比[%]	単位量[kg/m ³]						
						W	C	AD			FAP	S
	BS	DB	HC	FAP								
PL	—	—	—	—	50	318	636	0	—	—	—	1271
BS	50	—	—	—		318	318	318	—	—	—	1271
BD	25	25	—	—		318	318	159	159	—	—	1271
BDA	25	22.5	—	2.5		318	318	159	143	—	16	1271
BLB	45	—	5	—		318	318	286	—	32	—	1271
BHB	25	—	50	—		318	159	159	—	318	—	1271



図一 リング型拘束ひび割れ抵抗性試験用型枠



図二 圧縮強度

キーワード 混和材 脱リンスラグ 高炉スラグ 乾燥収縮 ひび割れ カルシウムシリケート水和物

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 圧縮強度：図-2 に圧縮強度を示す。BS と比較して材齢 3 日では BD, BDA, BLB, BHB は同程度、材齢 7 日では BLB は同程度、BD, BDA, BHB の強度は 25%低下したが、材齢 56 日では BD のみ 10%低下し、それ以外の配合は同程度になった。BDA, BHB は材齢 28 日以降強度が増進している。BDA は $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$ 効果、BHB は $\beta\text{-C}_2\text{S}$ の持つ長期の水和反応の効果によって、微細空隙が水和物で充填されたためと推察される。

3.2 空隙径分布：図-3 に空隙径分布を示す。空隙量は BS と比較して材齢 3 日では、 $0.1\mu\text{m}$ 以下の全空隙量が全配合で同程度、 $0.1\mu\text{m}$ 以上では BD, BDA, BHB が 1.5 倍、BLB は同程度になった。材齢 56 日では、 $0.1\mu\text{m}$ 以下の全空隙量が BD, BDA で 1.3 倍増加、BLB, BHB は同程度、 $0.1\mu\text{m}$ 以上では全配合が同程度となった。

以上のことより、脱リンスラグ中の $\beta\text{-C}_2\text{S}$ の水和反応が材齢の進行に伴い、活性化し、ケイ酸カルシウム水和物が多く生成され、 $0.1\mu\text{m}$ 以上の微細空隙が充填されたためと考えられる。

3.3 カルシウムシリケート水和物のケイ酸構造：図-4 に各材齢における平均重合度の伸び率を示す。材齢 28 日から 56 日において BS と比較して、BD・BLB・BHB は同程度となったが、BDA は 50%の増加となった。このことから、 $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{O}_2$ が長期材齢における重合度の増加要因となっていることが考えられ、BS と比較して全空隙量が多い BDA の圧縮強度が、BS と同程度である要因として、C-S-H のケイ酸重合度の進展が影響していると推察される。

3.4 乾燥収縮率：図-5 に乾燥収縮率を示す。BS と比較して全配合において乾燥収縮が低減された。特に BD, BHB は含有する $\beta\text{-C}_2\text{S}$ が多いことから収縮量が低減した。

3.5 乾燥収縮によるひび割れ抵抗性：図-6 に内リングのひずみの経時変化を示す。BS では 1115 時間でひび割れが生じ、ひずみから開放された。他の配合は BS と比較してひずみが小さくひび割れが生じなかった。このことにより脱リンスラグに含有される $\beta\text{-C}_2\text{S}$, $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$ の効果により、鉄筋拘束条件下での乾燥収縮によるひび割れ発生が抑制されるものと考えられる。

4. まとめ：脱リンスラグによる高炉スラグセメントの改善効果を検討した結果、脱リンスラグに含有する f-CaO の残存膨張及び $\beta\text{-C}_2\text{S}$ の水和反応により、乾燥収

縮率の低減効果が確認された。さらに $\beta\text{-C}_2\text{S}$ の水和物による長期強度の増進、空隙の細密充填が認められた。また、 $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$ による材齢 28 日以降の強度の増進が認められ、これは C-S-H のケイ酸重合度の進展に起因していると推察される。

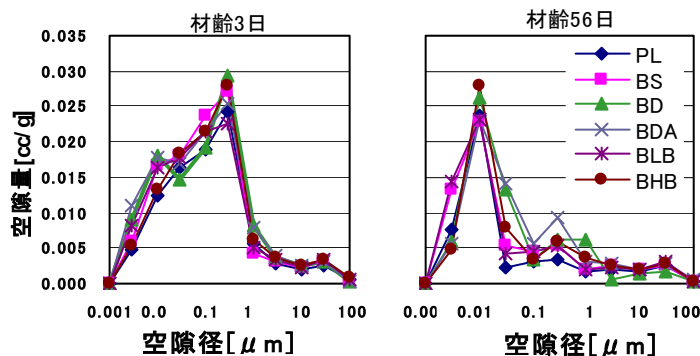


図-3 空隙径分布

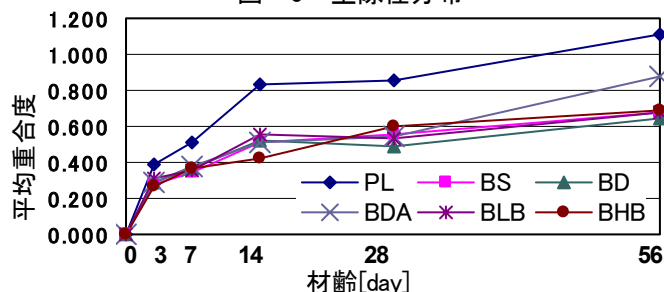


図-4 C-S-H の Si 平均重合度の変化

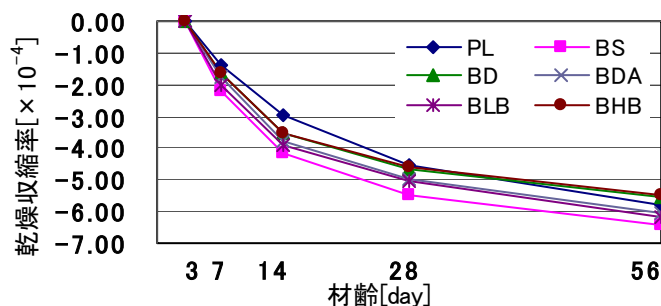


図-5 乾燥収縮率

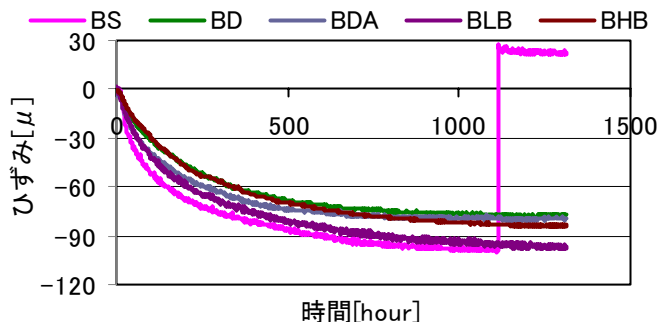


図-6 収縮ひずみの経時変化

【参考文献】

- 1) 小泉公志郎, 梅村靖弘, 露木尚光: 水和セメントのケイ酸構造に及ぼす重金属酸化物の影響, セメント・コンクリート論文集, No.59, pp.2-7, 2005