

高炉スラグ微粉末の塩基度と水和反応性との関係

前橋工科大学 学生会員 ○前田 一誠

前橋工科大学 正会員 佐川 孝広

1. はじめに

近年、建設産業での地球温暖化対策として混合セメントの利用が推進されている。その中でも高炉セメントは、強度発現性がよいことから、ポルトランドセメントに置き換えられる混和材のひとつになっている。高炉スラグには、刺激剤と呼ばれる少量の物質が存在するとき硬化し、難溶性の水和物に変わる潜在水硬性がある。高炉スラグ微粉末（以下 BFS）の反応性は JIS A 6206 にて規定される活性度指数にて評価されている。

本研究では、広範な化学成分を持つ 6 種の BFS を用い、BFS の塩基度と水和反応性との関係について検討した。

2. 実験

2.1 実験概要

本研究では、JIS A 6206 で示される塩基度($\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3$)/ SiO_2 (以下 CMA/S)が 1.73~2.03 の広範な化学成分を持つ 6 種の BFS(A~F)を用いた。化学成分を表 1 に示す。活性度指数の算出及びペースト硬化体の粉末 X 線回折(XRD)を測定した。6 種の BFS の粉末度は $2000\text{cm}^2/\text{g}$ 程度であったため、ペースト硬化体の作製時には遊星ミルにて粉末度 $4000\text{cm}^2/\text{g}$ 程度まで微粉碎した。ペーストの配合は BFS (80%)-水酸化カルシウム(15%)-無水石こう(5%)、水結合材比 50%とした。

2.2 活性度指数

活性度指数は、BFS を 50%置換したモルタル強度とベース OPC との強度比で表される。活性度指数を算出するために材齢 7, 28, 91 日の圧縮強さ試験を実施した。

2.3 XRD 測定

ペーストの混練は、ハンドミキサーにて 2 分間行い、チャック付ポリ袋にて厚さ 3mm 程度に成形した。1 日間封緘養生を行いその後脱型し 20°C 水中に

表 1 BFS の化学成分 (%)

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	TiO_2	CMA/S
A	33.16	15.23	0.45	42.09	7.12	0.82	1.94
B	32.66	15.50	0.79	42.56	6.61	0.75	1.98
C	35.55	13.31	1.33	43.13	5.07	0.58	1.73
D	33.58	14.63	0.59	43.74	5.53	0.50	1.90
E	34.53	15.17	0.39	41.65	6.36	0.60	1.83
F	32.26	14.84	0.73	43.67	6.98	0.45	2.03

て所定の材齢まで養生した。測定の材齢は 3, 7, 28 日とした。水和試料は多量のアセトンにて水和停止し、 40°C 24 時間の乾燥を行った。乾燥後の試料は遊星ミルにて微粉碎した。微粉碎後の試料は強熱減量及び XRD 測定を行った。強熱減量は 900°C にて 30 分の加熱処理を行い、未反応スラグを結晶化させた。また、ペースト試料の表乾質量から 40°C 24 時間乾燥質量の減量を吸水率として測定し、ペーストの理論配合と結合水量から硬化体の空隙率を算定した。毛管空隙は 40°C 乾燥逸散水のもつ空隙とした^{1,2)}。

3. 実験結果および考察

3.1 活性度指数

モルタル強度試験の結果から活性度指数を算出した。塩基度と活性度指数の関係を直線回帰し、その寄与率を算出すると 7d, 28d, 91d それぞれ $R^2=0.73, 0.81, 0.71$ となった。従って塩基度と活性度指数において相関が確認できた。

しかし(CMA/S)では CaO , MgO および Al_2O_3 は活性度指数に対してそれぞれ等価で扱われているが Al_2O_3 は活性度指数に対して負の影響を与えともいわれ、必ずしも等価ではないことも考えられる。そこで塩基度式を $(a\text{CaO} + b\text{MgO} + c\text{Al}_2\text{O}_3)/\text{SiO}_2$ と修正し、活性度指数との寄与率が最も高くなる係数 a, b, c を非線形最小 2 乗法で算出 ($a, b, c \leq 1$) した。その結果、 $a=1, b=0, c=0.27$ となり、図 1 に示すように修正前よりも寄与率は高くなった。従って CaO , MgO ,

キーワード 高炉スラグ微粉末, 活性度指数, 塩基度

連絡先 〒371-0816 群馬県前橋市上佐鳥町 460 番地 1 TEL:027-265-0111 FAX:027-265-3837

Al_2O_3 は等価ではないことが確認でき、 CaO の影響が大きいことが考えられる。なお伊藤らの文献³⁾に示される各種塩基度の指標を用いて活性度指数との相関を算定したが、その寄与率は図1の寄与率より低かった。

3.2 XRD 測定

図2にペースト硬化体の28dの毛管空隙量とAFtピーク強度との関係を示す。AFtの生成により毛管空隙量は減少する傾向にあった。図3にはXRD測定結果(C-28d)を示す。図はバックグラウンド除去とスムージングの処理を施した。図示される通り $8.5^\circ \sim 12^\circ$ の間には種々のカルシウムアルミネート(以下CA)系水和物(AFt, AFm, Hc, HT)の生成が認められた。この範囲の回折強度の和をCA積算強度と定義し、図4に28dの修正塩基度とCA積算強度との関係を示す。修正塩基度が高くなるにつれCA積算強度も大きくなる傾向にあった。一方で修正塩基度と 33.4° 付近に見られる未反応スラグ強度(28d)の関係の図5を見るとばらつきが見られる。これらの結果から、BFSの塩基度の差異により、反応したスラグ量はあまり変わらないが、塩基度が高いほどAFtやCAの生成量は多くなった。

4. まとめ

- (1) MgO , CaO および Al_2O_3 が活性度指数に及ぼす影響は等価ではなく、 CaO の影響が大きい。
- (2) AFt が生成することにより、毛管空隙量が減少する。
- (3) 塩基度が高くなると、AFt, CA の生成量が多くなる。

参考文献

- 1) 佐川孝広, 名和豊春: 日本建築学会構造系論文集, Vol.75, No.652, pp.1029-1037 (2010)
- 2) 佐川孝広ほか: 土木学会論文集 E, Vol.66, No.3, pp.311-324 (2010)
- 3) 伊藤貴康, 三隅英俊, 高橋俊之: $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{MgO}$ 系スラグの活性度指数に及ぼす化学成分の影響, セメント・コンクリート論文集, Vol.70, pp.222-229 (2016)

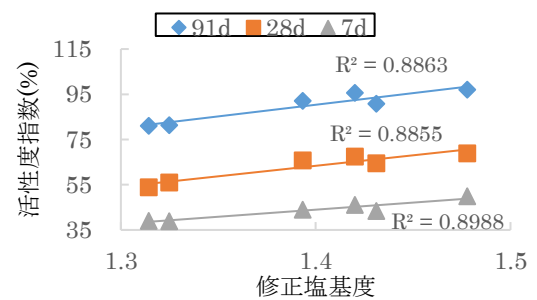


図1 修正塩基度と活性度指数(%)の関係

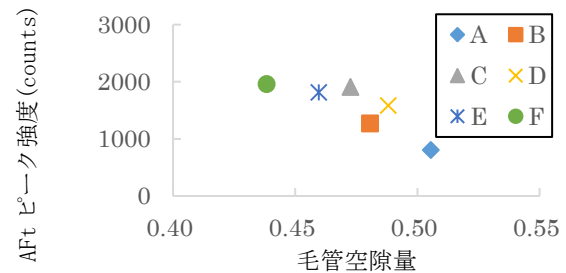


図2 毛管空隙量とAFtピーク強度(28d)の関係

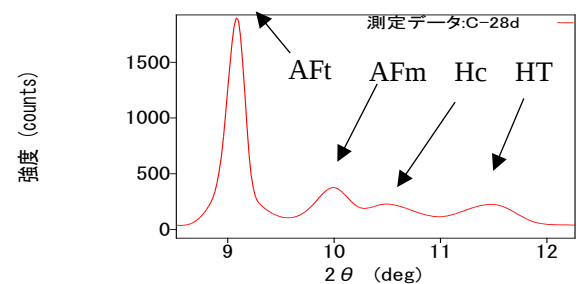


図3 XRD 測定結果 (C-28d)

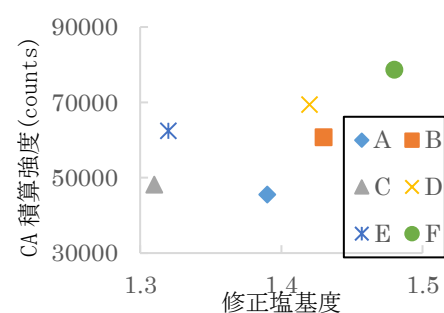


図4 修正塩基度とCA積算強度(28d)の関係

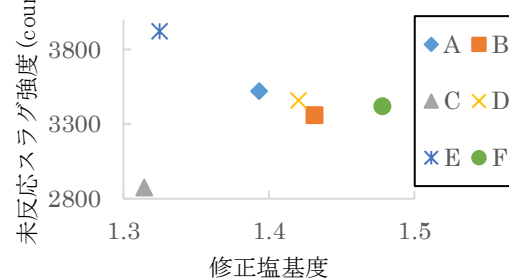


図5 修正塩基度と未反応スラグ強度(28d)の関係