

# Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含有量が異なるセメントの強度改善に及ぼす高炉スラグ微粉末と石灰石微粉末の影響

太平洋セメント 正会員 ○久我 龍一郎, 野崎 隆人, 河野 克哉, 山田一夫

## 1. まえがき

循環型社会構築への貢献が求められる中、各種廃棄物をセメント原料として活用する重要性が増してきている。一般に、廃棄物使用量の多いセメントは Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 量、特に C<sub>3</sub>A が増大する傾向があり、流動性や長期強度の低下を生じやすい懸念がある。このようなセメントに対して、混和材として高炉スラグ微粉末 (BFS) と石灰石微粉末 (LSP) を使用することは物性改善だけでなく、省資源化や CO<sub>2</sub> 排出抑制にも有効といえる。本研究では Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含有量の異なるセメントに対し、BFS および LSP の添加が強度発現性状に及ぼす影響について水和反応解析を通じて検討した。

## 2. 実験概要

### 2.1 使用材料および配合

セメントおよび混和材の化学組成を表 1 に示す。セメントは Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 量の異なる 2 種類のセメント (M および H) を使用し、混和材には BFS および LSP を用いた。表 2 に作製したモルタルおよびペースト供試体の示方配合を示す。供試体は水粉体比 (W/P) を質量比で 0.50 とし、セメントに対し内割りで BFS を 30mass%、LSP を 5.0mass% 置換した。また、ペーストについては同配合のモルタルから細骨材を除去した配合とした。練混ぜはモルタルにおける無振動 (0 打) のフロー値が 180±10mm となるように高性能 AE 減水剤を添加してモルタルミキサで行った。また空気の連行をできるだけ抑制する目的で消泡剤を用いた。

### 2.2 試験方法

①圧縮強度試験：供試体は Φ50×100mm のモルタルとし、所定材齢まで 20℃水中養生を行った。②空隙径分布の測定：練混ぜ後のペーストをポリプロピレン容器に封入し、20℃恒温環境下にて所定材齢まで封緘養生を行った。養生終了後の試料はダイヤモンドカッタ

一で 5mm 角に切断し、アセトンで水和反応を停止後、真空乾燥を 3 日間、D 乾燥 (ドライアイスの凝固点 -79℃の水蒸気分圧における乾燥) を 7 日間行った。測定には水銀圧入式ポロシメータを用いた。③硬化セメントペースト中の鉱物の定量：②と同様の試料をアセトンで水和反応を停止させた後、11%R.H.のデシケータ内で 7 日間乾燥させた。乾燥後の試料はディスクミルで粉砕し、測定用の試料とした。生成物の同定・定量分析は XRD/リートベルト法により行った。未反応スラグの定量は選択溶解法としてサリチル酸-アセトンメタノール法で行った。

## 3. 実験結果および考察

図 1 に各水準の圧縮強度を示す。H および M とともに、BFS の添加に関わらず LSP の添加で強度が増加した。また、H 系では材齢 7 日で強度増進が表れている (H-L および H-BL でそれぞれ 12 および 8%) のに対し、M 系では 7 日では LSP を添加しても強度は無添加と同等 (M-L および M-BL でそれぞれ -1 および 0%) であった。すなわち、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 量の多いセメントの方が LSP の強度増進効果の発現が早期に現れたといえる。また、Hoshino ら<sup>1)</sup>は BFS の存在により LSP の強度増進効果がより顕著になると報告している。上記について M 系と H 系を材齢 28 日で比較すると、M 系では M-L および M-BL とともに 4% であるのに対し、H 系では H-L および H-BL でそれぞれ 4 および 15% となった。つまり、BFS と LSP の相互作用についても Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 量の多いセメントで顕著になることが示された。

図 2 に H 系における各水準の空隙径分布を示す。H と H-L を比べると、H-L は材齢 3 日では H より全空隙量が增大しているものの、7 日では同程度となり、28 日では逆に H より減少した。また、BFS 添加系は材齢 3 日で BFS 無添加より 100nm 以上の空隙量が多くなっ

表 1 セメントおよび混和材の化学組成

使用材料	記号	化学成分(mass%)											鉱物組成(%):XRD/Rietveld法					密度 (g/cm <sup>3</sup> )	B1* (cm <sup>2</sup> /g)	
		Ig.loss	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cl	Total	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF			Calcite
セメント1	M	2.50	20.39	5.20	2.87	64.22	1.19	2.09	0.22	0.45	0.32	0.08	99.53	59.03	17.17	8.34	10.07	3.04	3.14	3300
セメント2	H	2.07	16.84	6.86	3.87	60.91	1.78	3.53	0.45	0.02	1.18	0.04	97.55	49.29	15.90	11.51	15.96	1.02	3.15	4360
高炉スラグ微粉末	B	2.44	32.81	13.87	0.67	42.55	5.80	0.00	0.27	0.37	0.01	0.01	98.80					5.62	2.90	4510
石灰石微粉末	L	43.50	0.60	0.11	0.09	55.30	0.40	0.00	-	-	0.00	-	100.00					99.40	2.70	6770

\*Blaine比表面積を表す

キーワード Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 高炉スラグ微粉末, 石灰石微粉末, XRD/リートベルト法

連絡先 〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2 太平洋セメント(株) 中央研究所 Tel. 043 (498) 3909

表2 示方配合

配合記号	Air (%)	W/P (kg/m <sup>3</sup> )	W (kg/m <sup>3</sup> )	P(kg/m <sup>3</sup> )			S (kg/m <sup>3</sup> )	SP (P×%)	T (P×%)
				cement	BFS	LSP			
M				523	0	0	1437	1.6	
M-B	0	50	262	366	157		1426	1.4	2.0
M-L				497	0		1433	1.5	
M-BL				340	157	26	1423	1.4	
H				523	0	0	1435	1.4	
H-B	0	50	262	366	157		1425	1.3	2.0
H-L				497	0		1432	1.4	
H-BL				340	157	26	1422	1.2	

たものの、7日以降で急激に減少した。H-BとH-BLの比較では、前述のH-Lと同様に、H-BLの材齢7日以降の全空隙量がH-Bと同程度以下にまで減少するのに加え、全空隙量中に占める50nm以下の空隙の割合が増加した。これは、BFSおよびLSPの併用によって空隙径分布の小径化が生じたものといえる。M系に関しては、LSPによる7日以降の全空隙量の低下や空隙径分布の小径化はほとんどみられなかった。

図3に、アルミネート系の各水和物における実績率の経時変化を示す。なお、実績率はXRD/リートベルト法で求めた各鉱物の全量ベースの値を各鉱物の密度で除することで算出した理論値である。H系に着目すると、混和材無添加で材齢3日以降にエトリンタイトの減少とモノサルフェートの生成がみられ、このときアルミネート系水和物の総実績率が大きく減少している。これに対し、H-LではLSPの添加によってエトリンタイトの減少およびモノサルフェートの生成が抑制され、その一方でアルミネートカーボネート系水和物が多く生成しており、総実績率の減少も抑制されている。さらにH-BLになると、カーボネート系水和物の生成量はさらに増加し、総実績率も最も高くなっている。しかしながら、M系ではL系でわずかにカーボネート系水和物の生成が増大したものの、BFSの添加に関わらず無添加と比べて大きな違いは見られなかった。これらは、H系におけるH-LやH-BLで強度増進効果や空隙組織の緻密化が生じたのに対し、M系ではこれらの傾向がH系ほど顕著に生じなかったことを裏付けるものと考えられる。

4. まとめ

本研究から、特にAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>量の多いセメントに対して、LSPを添加することで強度が増進し空隙組織が緻密化すること、BFSと併用することでその効果が增大すること、また、それらの要因としてアルミネート系水和物の生成による実績率の変化が大きく影響していることが明らかとなった。

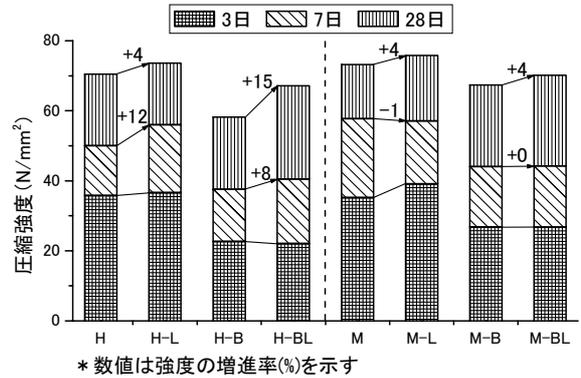


図1 モルタルの圧縮強度

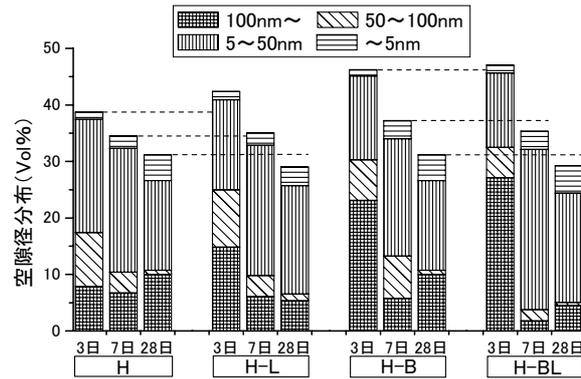


図2 セメントペーストの空隙径分布

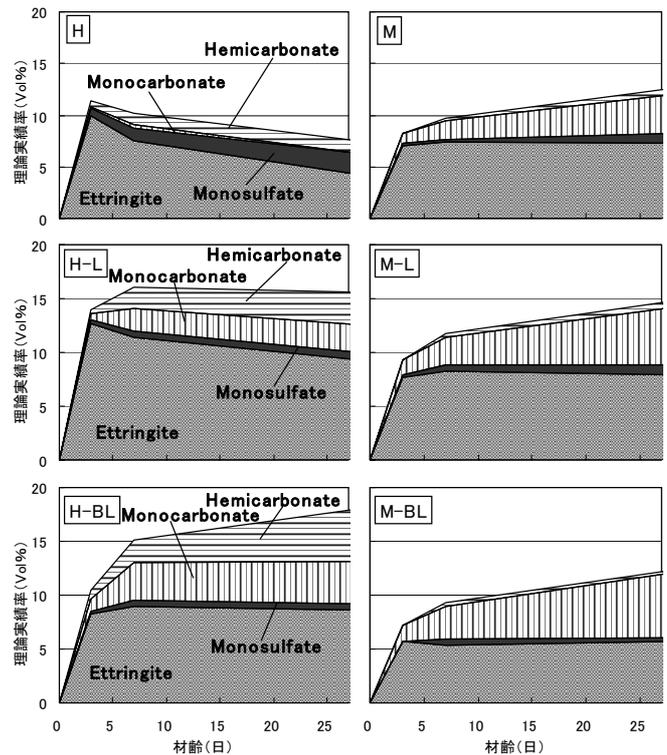


図3 アルミネート系水和物の理論実績率

【参考文献】

1) Seiichi Hoshino, Kazuo Yamada, Hiroshi Hirao : XRD/Rietveld analysis of the hydration and strength development of slag and limestone blended cement, Journal of Advanced Concrete Technology, No.4, Vol.3, pp.357-367, (2006)