

高炉スラグ微粉末の硬化性状に及ぼす各種アルカリ刺激剤の効果

大成建設 土木技術研究所 正会員 ○武田 均 正会員 岡本 礼子
正会員 宮原 茂禎 フェロー 丸屋 剛

1. はじめに

高炉スラグ微粉末はアルカリの刺激により水和し硬化することは良く知られている。一般に使用される高炉セメントはセメントのアルカリ刺激により高炉スラグの反応が促進されているとみなすことができる。また、アルカリ刺激剤として石膏やジオポリマーなどを使用することも検討されている^{1), 2)}。本研究では、各種アルカリ刺激剤が高炉スラグ微粉末の硬化性状に及ぼす影響をモルタル試験体により検討したものである。さらに、ペースト試料のブリーディング水の分析により、各種アルカリ刺激剤を用いた場合の液相の組成を調査し、強度発現との関係を検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

使用材料を表-1に示す。結合材として高炉スラグ微粉末、フライアッシュを使用した。アルカリ刺激剤を要因とした試験ケースを表-2に示す。アルカリ刺激剤として5種類の試薬を使用した。NaOHについてはその使用量を変動させた。表-3に、モルタル試験体の配合を示す。本研究では、石灰石微粉末を標準的に使用した。細骨材は4号珪砂を使用した。

2.2 実験項目

(1)モルタルの試験

モルタル試験体による圧縮強度試験を実施した。試験材齢は7日および28日とした。刺激剤のうちNaOHとKOHは潮解性があるので練混ぜ水に溶かして添加した。その他の刺激剤は粉体で添加した。

(2)ブリーディング水の分析

表-2に示したアルカリ刺激剤の試験ケースにおいてW/Pを150% (BFS) および200% (BFS+FA) として、28日間水和させた後採水してブリーディング水の組成分析を実施した。分析項目および方法を表-4に示す。

3. 実験結果および考察

3.1 圧縮強度

図-1および図-2に圧縮強度試験結果を示す。BFSを結合材とした場合、材齢7日および28日における発現強度はアルカリ刺激剤の種類により異なっており、本研究の範囲ではNa₂CO₃を用いた場合の圧縮強度が最も大きかった。BFS100の場合にはNaOH8%と5%では発現強度に差が無かったが、2%の場合には強度が低い結果となった。結合材としてBFS80+FA20を使用した場合には、BFS100と比較すると発現強度が低い傾向があるが、ア

キーワード コンクリート, 高炉スラグ微粉末, アルカリ刺激剤, 二酸化炭素排出量, 環境配慮
連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株)技術センター土木技術研究所 TEL.045-814-7228

表-1 使用材料

材料	種類, 品質
高炉スラグ微粉末, 記号 BFS	密度 2.90g/cm ³ , 比表面積 4540cm ² /g
フライアッシュ 記号 FA	フライアッシュ II 種, 密度 2.29g/cm ³ , 比表面積 3980cm ² /g
石灰石微粉末 記号 LSP	密度 2.71g/cm ³ , 比表面積 5090cm ² /g
細骨材, 記号 S	珪砂, 4号

表-2 試験ケース

No.	アルカリ刺激剤	使用量(BFSに対する質量比, %)	等価 Na ₂ O 量 mol/l mortar
1	Ca(OH) ₂	5.0	0.42
2	NaOH	2.0, 5.0, 8.0	0.16, 0.39, 0.63
3	KOH	5.0	0.28
4	Na ₂ CO ₃	5.0	0.29
5	K ₂ CO ₃	5.0	0.23

表-3 配合

W/B %	単体量, kg/m ³					備考
	水 W	粉体 P			S	
		結合材 B		LSP		
		BFS	FA			
50	313	625	0	250	1000	BFS100
50	313	492	125	247	987	BFS80+FA20
50	313	625	0	0	1250	NaOH5% のみ実施
50	313	492	125	0	1233	

表-4 ブリーディング水の分析方法

分析項目	方法
pH	pHメータ
Na, K, Ca, Mg イオン	原子吸光光度計
SO ₄ イオン	イオンクロマトグラフ

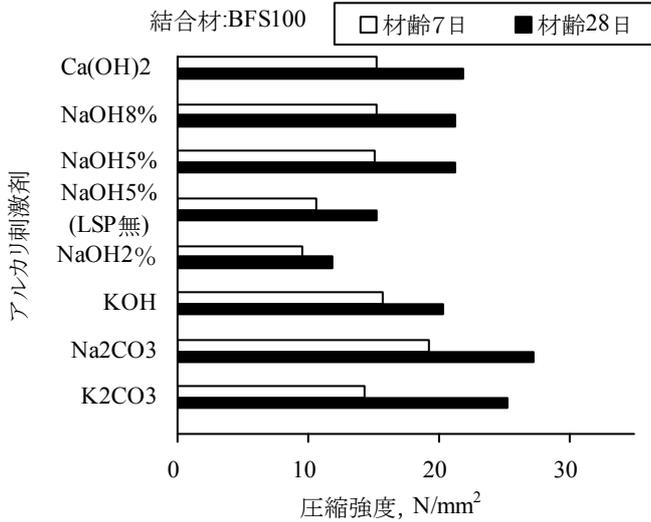


図-1 圧縮強度試験結果(結合材 BFS100)

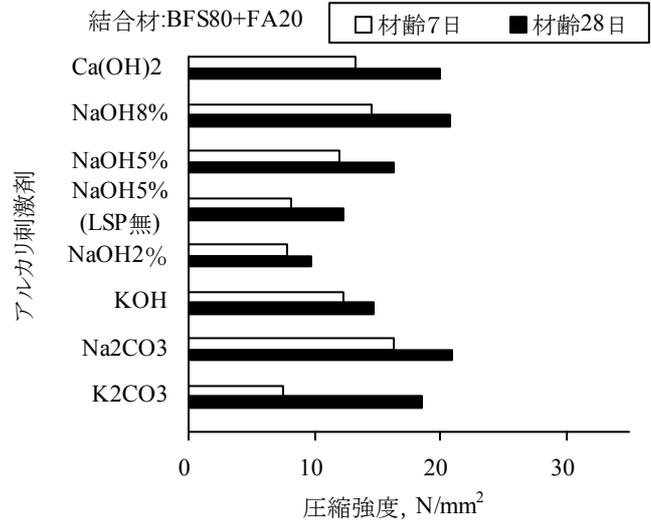


図-2 圧縮強度試験結果(結合材 BFS80+FA20)

表-5 ブリーディング水の分析結果

結合材	刺激剤	pH	Na	K	Ca	Mg	SO ₄	Σ+	Ca+Mg
BFS	Ca(OH) ₂	12.7	8.79	6.14	6.04	0.00	0.04	27.0	—
	NaOH 5%	13.6	269.68	4.14	0.16	0.00	2.53	274.1	0.16
	KOH	13.7	6.83	193.35	0.77	0.12	0.92	202.0	0.89
	Na ₂ CO ₃	13.6	211.40	8.11	0.29	0.00	2.48	220.1	0.29
	K ₂ CO ₃	13.6	10.18	143.73	0.58	0.02	1.66	155.1	0.60
BFS + FA	Ca(OH) ₂	12.8	5.70	4.94	5.24	0.00	0.21	21.1	—
	NaOH 5%	13.6	238.80	2.43	0.22	0.01	2.36	241.7	0.23
	KOH	13.6	4.26	98.98	0.28	0.01	2.21	103.8	0.29
	Na ₂ CO ₃	13.4	139.63	1.28	0.25	0.00	2.77	141.4	0.26
	K ₂ CO ₃	13.4	1.70	98.98	0.19	0.00	2.60	101.1	0.19

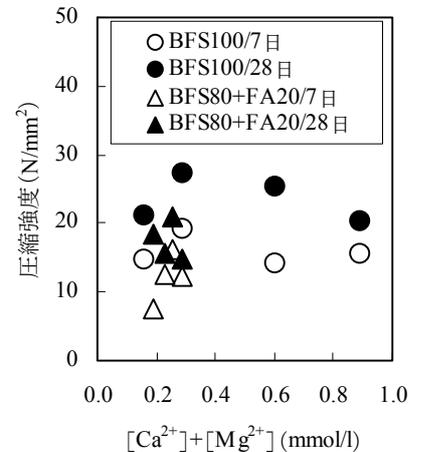


図-3 液相の Ca+Mg と強度の関係 (Ca(OH)₂は示していない)

ルカリ刺激剤の種類が発現強度に及ぼす影響は BFS100 の場合と同様の傾向がある。さらに、石灰石微粉末を使用した場合のほうが圧縮強度は高い結果となった。

3.2 ブリーディング水の組成と圧縮強度の関係

表-5 にブリーディング水の組成を示す。図-3 には高炉スラグに由来すると考えられる Ca²⁺+Mg²⁺とモルタル試験体の圧縮強度との関係を示す。ブリーディング水の pH は 12.7~13.7 の高アルカリとなっていた。これらは、練混ぜ時に添加したアルカリ刺激剤によるものと考えられる。陽イオン総量は BFS100 の方が BFS80+FA20 の場合と比較して大きい傾向があり、BFS100 の発現強度が大きかったことと関係していると考えられる。一方図-3 で、イオン濃度 Ca²⁺+Mg²⁺と圧縮強度の明確な相関は認められず、アルカリ刺激剤の作用機構は、刺激剤の種類毎に検討する必要があると考えられる。

4. まとめ

各種アルカリ刺激剤による高炉スラグ微粉末系結合材の硬化性状を検討した結果、アルカリ刺激剤の種類によって発現強度が相当異なることが明らかになった。本研究の範囲では、Na₂CO₃ を刺激剤として使用した場合の強度発現が最も良好であった。今後は、刺激剤の作用機構を定量的に把握する予定である。

参考文献

- 1) 魚本 健人, 小林 一輔: 高炉水砕スラグ・排煙脱硫石こう系セメントを用いたコンクリートの圧縮強度, 土木学会論文報告集, 第 302 号, pp.125-138, 1980.10
- 2) 上原 元樹, 束原 実, 横川 勝則: ジオポリマー法による環境負荷低減 PC まくらぎの作製, 土木学会第 64 回年次学術講演会講演概要集, V-369, pp.735-736, 2009.9