

塩化ナトリウム溶液浸漬法による高炉スラグ微粉末の ASR 抑制効果の評価

金沢大学大学院 学生員 ○松村将充 金沢大学大学院 学生員 蔡云峰
(株)安部工業所 正会員 蓑田理希 新日鉄高炉セメント(株) 古川柳太郎

1. はじめに

アルカリシリカ反応(以下 ASR)を抑制する方法として、高炉スラグ微粉末の添加が有効であるとされている。従来、ASR 抑制効果の評価は JIS A 1146 に準拠した方法で調べられていたが、判定までに 6 カ月要することが問題とされていた。飽和塩化ナトリウム溶液浸漬法(デンマーク法)は 3 カ月で判定できる利点があり、火山岩(安山岩、流紋岩)を起源とする反応性骨材の判定に適用が可能であることが知られている¹⁾。本研究は、飽和塩化ナトリウム溶液浸漬の促進条件下にて高炉スラグ微粉末含有モルタルの膨張挙動に及ぼす反応性骨材やセメントの種類の影響を実験的に検討したものである。

2. 実験概要

2 種類のポルトランドセメント(普通(NP)および早強(HP))および高炉スラグ微粉末(BFS プレーン 6000)の化学成分を表-1 に示す。モルタルの配合は水:セメント:骨材 = 0.5:1:2.25 として、セメントに対する高炉スラグ微粉末の質量置換率を 0, 25 %および 50 %とした。2 種類の反応性骨材は、北海道札幌近郊産の安山岩碎石(略号 CS, 化学法(JIS A 1145)の結果; Sc=688 mmol/l, Rc=78 mmol/l, Sc/Rc=8.8)と富山県常願寺川産の川砂利(略号 RG, 化学法(JIS A 1145)の結果; Sc=353 mmol/l, Rc=68 mmol/l, Sc/Rc=5.2)である。測定項目は、モルタルの膨張率、試験終了後の塩分浸透深さ、粉末 X 線回折分析(XRD)、示差走査熱量分析(DSC)による水和生成物の定量および酢酸ウラニル蛍光法による ASR ゲルの生成状況、などである。

3. 実験結果及び考察

3.1 モルタルの膨張挙動

飽和塩化ナトリウム溶液浸漬条件下でのモルタルの膨張挙動を図-1 に示す。デンマーク法では外部からの NaCl 溶液の供給により測定期間中の膨張が継続され、最終的な膨張が大きくなるのが特徴である。セメントの種類に関して、HP は NP よりも膨張が大きくなる傾向があり、セメントの鉱物組成の相違による水酸化カルシウムの多少が関与していると考えられた。高炉スラグ微粉末の置換率に関して、反応性骨材およびセメントの種類に関係なく高炉スラグ微粉末置換率が増大するとともにモルタルの膨張量が大きく減少した。これらの結果より、デンマーク法により高炉スラグ微粉末による ASR 抑制効果を早期に判定できることが分かる。

3.2 塩分浸透深さと ASR ゲルの生成状況

試験終了後のモルタルへの塩分浸透深さを表-2 に示す。セメント単味(NP, HP)のものは中心まで塩分が完全に浸透していたが、BFS 添加のものは塩分の浸透が表面部に限られていた。また、酢酸ウラニル蛍光法による ASR ゲルの生成状況の確認では、セメント単味(NP および HP)のものは破断面の全面に蛍光発色が見られたのに対して、BFS25%のものは塩分浸透領域にのみ発色が見られた。

表 - 1 セメントおよび高炉スラグ微粉末の化学成分(%)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	MnO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O
NP	20.53	5.26	2.96	64.60	0.96	0.25	0.13	1.95	0.22	0.31
HP	20.58	4.77	2.38	65.08	1.09	0.22	0.09	3.08	0.20	0.35
BFS6000	33.03	13.61	*0.14	42.56	5.77	0.55	0.20	3.06	0.16	0.22

キーワード 高炉スラグ微粉末, アルカリシリカ反応, デンマーク法, ASR ゲル, 水和生成物

連絡先 (〒920-8667 金沢市小立野 2-40-20 金沢大学 工学部土木建設工学科 TEL076-234-4622)

また、BFS50%のものは塩分が浸透している部分もまったく発色が見られなかった。このことより、デンマーク法ではモルタルの膨張量は塩分浸透性と密接に関係しているが、BFS50%のものは塩分浸透の有無に係わらず ASR 自身を完全に抑制していたことが分かる。

3.3 水酸化カルシウムおよびフリーデル氏塩の生成状況

試験終了後のモルタル中の水和生成物の生成状況（DSC 曲線の吸熱ピーク量）を図-2 に示す。飽和塩化ナトリウム溶液浸漬条件下では、フリーデル氏塩の生成とそれに伴う水酸化カルシウムの分解により ASR が発生するアルカリ雰囲気形成され、両骨材中の安山岩粒子中のクリストバライトの反応が促されていると推察できる。図-2 の結果より、高炉スラグ微粉末添加の有無に係わらず、表面部は内部と比較して水酸化カルシウムの減少と同時にフリーデル氏塩の生成が確認されており、上記の仮説の妥当性を裏付けたものになっている。

表-2 デンマーク法終了後の塩分浸透深さ(mm)

CS (W/C=50%, BFS6000)	NP	全浸透	HP	全浸透
	NP-25	8	HP-25	7
	NP-50	5	HP-50	6
RG (W/C=50%, BFS6000)	NP	全浸透	HP	全浸透
	NP-25	全浸透	HP-25	全浸透
	NP-50	8	HP-50	8

4. まとめ

本研究により得られた主要な結果をまとめると次のようである。

- (1) 飽和 NaCl 溶液浸漬法により高炉スラグ微粉末の ASR 抑制効果を早期に判定することができた。
- (2) 高炉スラグ微粉末を 50%添加したモルタルは塩分浸透の有無にかかわらず ASR を完全に抑制できた。

謝辞: 実験にご協力いただいた BSPP 研究会に感謝いたします。

【参考文献】

- 1) 蔡云峰, 鳥居和之, 横山博司, 古川柳太郎: 促進養生法による高炉スラグ微粉末の ASR 抑制効果の評価, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.28, 2005(印刷中)

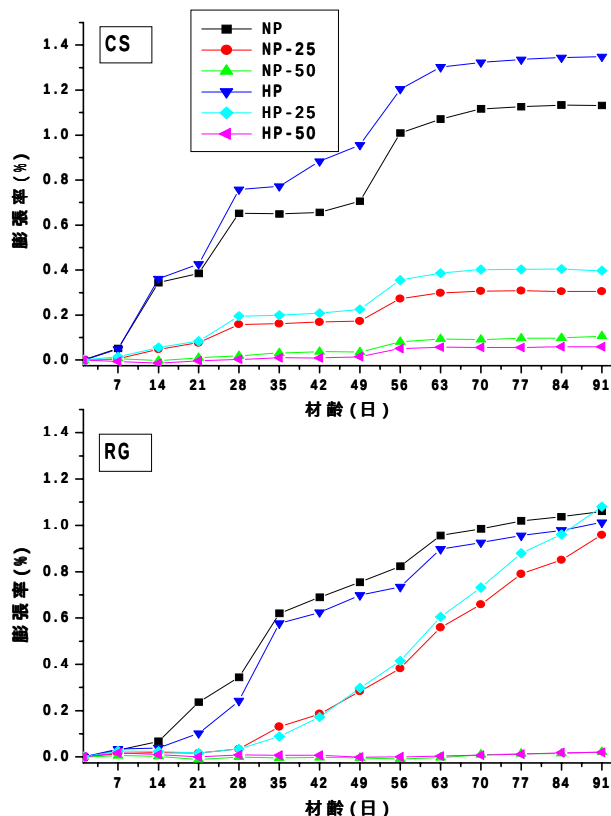


図-1 モルタルバーの膨張挙動(デンマーク法)

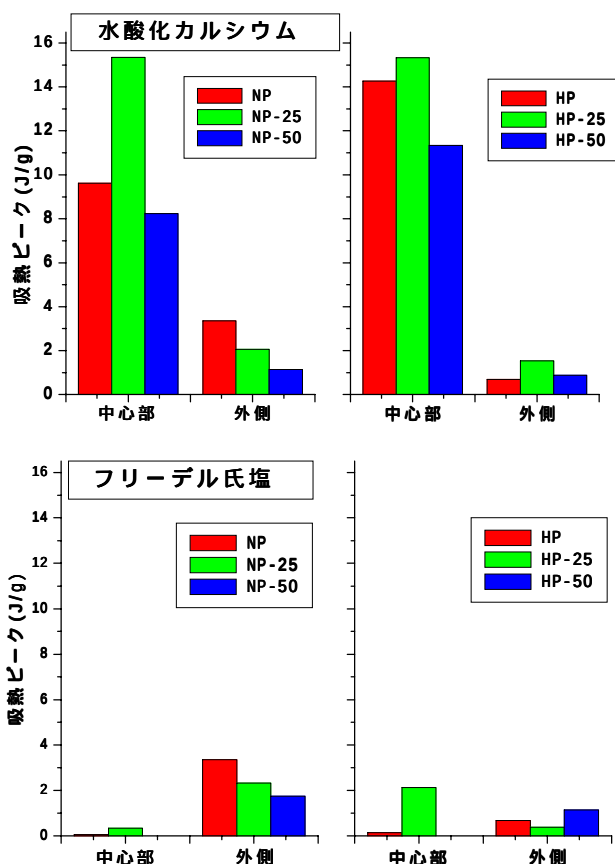


図-2 デンマーク法終了後の水酸化カルシウムおよびフリーデル氏塩の生成量の分析結果(CS)