

セメントの種類が NaCl 溶液中のモルタルの ASR 膨張に及ぼす影響

金沢大学大学院 学生会員 片蓋憲治
 電気化学工業株式会社 正会員 荒野憲之
 金沢大学自然科学研究科 フェロー 川村満紀

1. はじめに

融氷剤の散布や海水によって外部から供給される NaCl によって ASR 膨張が助長されること、また、NaCl 溶液中における ASR 膨張はセメント中の C_3A 量や、石膏の有無によって影響されることが知られている。本研究は、 C_3A の含有量が異なる 4 種類のセメントを用いて、反応性骨材を含有するモルタル供試体を作製し、それらの 1M NaCl 溶液中における膨張挙動を明らかにすることにより、 C_3A が NaCl 中のモルタルの ASR 膨張に及ぼす影響のメカニズムについて考察したものである。

2. 実験概要

(1) 使用材料: 使用したセメントは、普通ポルトランドセメント(OPC)、高アルカリポルトランドセメント(HAPC)、中庸熱ポルトランドセメント(MPC)、耐硫酸塩ポルトランドセメント(SRPC)、の 4 種類であり、各セメントのアルカリ量と C_3A 量を表-1 に示す。反応性骨材としては焼成フリント(C.F.)、非反応性骨材としては豊浦標準砂(S.S.)を使用した。

表-1 各セメントのアルカリ量と C_3A 量

	OPC	HAPC	MPC	SRPC
Na_2O_{eq} (%)	0.67	1.12	0.46	0.59
C_3A (%)	7	9	5	3

(2) 配合: モルタルの配合は、セメント:骨材:水=1:2:0.5 であり、反応性骨材の置換率は全骨材の 30%である。

(3) 膨張量測定および細孔溶液の分析: モルタル供試体(25.3×25.3×253mm)を、28 日間ビニール袋に密封して 38°C の湿気槽中(R.H.100%)に保存した後、38°C の湿気槽中と 1M NaCl 溶液中に浸漬させた状態で長さ変化を測定した。28 日間の前養生終了時のモルタル、および前養生終了後大気圧下で 3 時間 1M NaCl 溶液を含浸させたモルタルをビニール袋に密封した状態で湿気槽に 14 日間保存したモルタルの細孔溶液の分析を行った。また所定の材令におけるモルタルに対して粉末 X 線回折によりエトリンジャイトの定量を行った。すなわちエトリンジャイトの 78nm 付近における回折ピークの面積を求めた。

3. 実験結果及び考察

図-1 に 38°C、1M NaCl 溶液中における C.F.骨材含有の 4 種類のセメントモルタル供試体の膨張曲線を示す。HAPC 供試体は脱型後 1 週間から膨張を示し始め、材令 28 日において 0.18%に達し、浸漬後もほぼ同じ割合で膨張し続け、材令 133 日で 1.37%に達し、その後膨張は緩やかになっている。OPC、MPC、SRPC 供試体は前養生中は膨張しないが、1M NaCl 溶液中に浸漬した直後から急激な膨張を示し、材令 133 日でそれぞれ 1.47%、0.90%、0.71%の膨張量を示し、その後膨張は緩やかになる。浸漬材令 105 日における膨張量は、OPC、HAPC、MPC、SRPC の順にそれぞれ 1.47%、1.19%、0.90%、0.71%である。図-2 に湿気槽における膨張曲線を示す。HAPC 供試体は、脱型後一週間から浸漬後一週間まで膨張し続け、0.23%に達し、その後の膨張は収まっている。しかし、湿気槽中

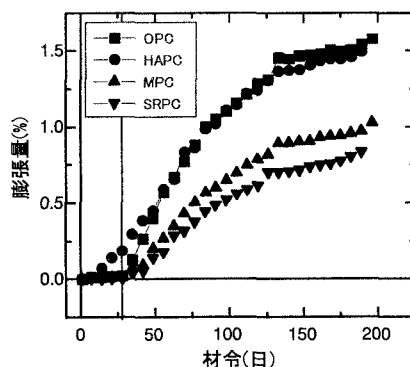


図-1 1M NaCl 溶液中の C.F.モルタルの膨張量

では、

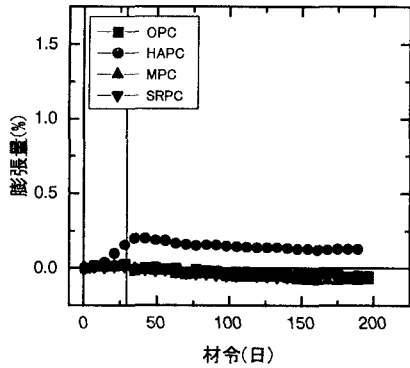


図-2 湿気槽中のC.F.モルタルの膨張量

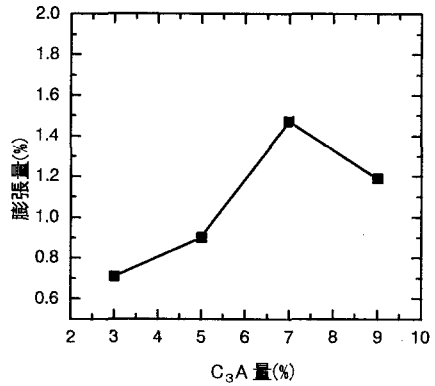


図-3 材令 133 日における C_3A 量と膨張量の関係

HAPC 1 試体以外は膨張を示さなかった。また、標準砂モルタル供試体はいずれも膨張を示していない。

図-3 に 材令 133 日における C_3A 量と膨張量の関係を示す。前養生段階から ASR 膨張を示す HAPC を除いて、 C_3A 量の増大に伴い、膨張量が增大していることが認められる。

表-2 中の数値は各種セメントを用いて作製した C.F.含有モルタルにおいて 1M NaCl 溶液含浸後 2 週間における NaCl 溶液含浸の有無による OH^- イオン濃度の差を示す。 OH^- イオン濃度の増加割合は HAPC、OPC、MPC、SRPC の順、すなわち C_3A 量の大きいものほど大きくなっている。従って、NaCl 溶液の含浸による OH^- イオン濃度の増大は C_3A と NaCl の間の反応に起因している可能性が高い。

表-3 は C.F.を含有しない標準砂モルタルにおける NaCl 溶液含浸の有無による OH^- イオン濃度の差を示したものである。表-2 および表-3 中において、対応するモルタルの OH^- イオン濃度の上昇の割合を比較すると C.F.含有モルタルにおける 2 週間の OH^- イオン濃度の増加は標準砂モルタルにおけるそれよりも大きいことがわかる。この結果より、反応性骨材がより OH^- イオン濃度を上昇させる役割をはたしていると言える。

表-4 に幾つかの材令におけるエトリンジャイトの定量分析の結果を示す。1M NaCl 溶液浸漬条件下の OPC および HAPC 供試体においてエトリンジャイトの生成が認められる。しかし、反応性骨材含有モルタルと標準砂モルタルとの間にエトリンジャイト量の差異は認められない。また、MPC および SRPC 供試体ではいずれの養生条件においても、エトリンジャイトの生成は認められなかった。

4. まとめ

本実験結果より推察する限りにおいては、NaCl 溶液に浸漬させることにより、未水和セメント粒子中の C_3A と NaCl との反応によって、細孔溶液中の OH^- イオン濃度が増加し、ASR が活発に進行したと結論づけられる。

表-2 NaCl 含浸による C.F.含有モルタル中の OH^- イオン濃度の増加 (Mol/l)

OPC	HAPC	MPC	SRPC
0.060	0.085	0.034	0.040

表-3 NaCl 含浸による標準砂モルタル中の OH^- イオン濃度の増加 (Mol/l)

OPC	HAPC	MPC	SRPC
0.004	0.038	—	0.015

表-4 エトリンジャイトの生成状況

モタル	養生条件	浸漬後材令(日)		
		7	56	119
OPCF	湿気槽	×	×	×
	塩水	325	379	341
OPSS	湿気槽	×	×	×
	塩水	265	328	283
HACF	湿気槽	×	×	×
	塩水	246		242
HASS	湿気槽	×	867	×
	塩水	×	256	○

○:ピークはあるが強度値は求められない

×:ピークが認められない