

V-233 塩化ナトリウムと反応性骨材を含有するモルタルの膨張と細孔溶液の組成

金沢大学工学部 正会員 川村満紀 大阪セメント（株）正会員○中野錦一
 阪神高速道路公団 正会員 古池正宏 金沢大学工学部 正会員 寺野宣成

1. まえがき

アルカリ・シリカ反応によって損傷を受けた構造物のコンクリート中において、塩化物の存在が確認され、塩化物がアルカリ・シリカ反応を促進することが指摘されてきたが、そのメカニズムは明らかではない。本研究は、細骨材として海砂を含有する阪神高速道路の損傷を受けた構造物のコンクリートと同様な材料を使用して、塩化物の存在下におけるフライアシュのアルカリ・シリカ反応による膨張抑制効果について検討するとともに、NaClのアルカリ・シリカ反応におよぼす影響について一考察を加えたものである。

2. 実験概要

2-1 使用材料

使用したセメントのNa₂O等価百分率は0.99%である。反応性骨材は実際に損傷を受けた構造物において使用されていたT骨材（安山岩）およびJ骨材（チャート）を用いた。それらのアルカリ反応性は、表-1に示す。非反応性骨材としては結晶度の高い石英の砕砂を使用した。細骨材（0.15~5.0mm）の粒度調整は、ASTM C-227にもとずいて行なった。使用した高アルカリのフライアシュHのアルカリ量およびボゾラン反応性は、表-2に示す通りである。また、添加した塩化ナトリウムは1級試薬であり、セメント重量に対するCl⁻イオンの添加率は0.5%および1.0%である。

2-2 実験方法

（a）膨張試験：モルタルの配合は、セメント：水：骨材=1:0.45:1（重量比）とし、セメント量の20%をフライアシュで置換した。供試体（φ 5.6×10cmの円柱）は、38℃、相対湿度 100%の湿気槽中に貯蔵した。

（b）細孔溶液の採取および分析：細孔溶液は、膨張試験におけるモルタルと同じ配合のモルタル供試体より高圧下において絞り出したものであり、採取後、直ちにOH⁻イオン濃度は0.01Nの塩酸による滴定（指示薬：フェノールフタレイン）により求めた。Cl⁻イオン濃度は電量滴定法によって測定した。

3. 結果および考察

3-1 NaCl添加によるアルカリ・シリカ反応の促進

図-1は非反応性の石英骨材およびT反応性骨材を使用したフライアシュH 20%添加モルタルにおいて、両者の細孔溶液中の水酸イオンの濃度差の経時変化を示したものである。この図において、正の符号は反応性骨材の存在によってより多くのOH⁻イオンが消費されたことを意味する。図-1より塩素イオンの添加量が大きい方がアルカリ・シリカ反応による水酸イオンの消費量が減少することが分かる。図-2は、同じモルタルにおける塩素イオンの消費量の経時変化を示す。この図より、7日までの塩素イオンの挙動は複雑であるが、30日以後塩素イオンの添加量が大きい方がアルカリ・シリカ反応において塩素イオンの消費量が大きいことが分かる。このことより、アルカリ・シリカ反応において水酸イオンの代わりに塩素イオンが消費されている可能性のあることが分かる。図-3および図-4はJ反応性骨材を使用したモルタルにおける水酸イオンおよび塩素イオンの消費量の経時変化を示したものである。図-3においても材令90日を除いてはNaClの添加により水酸イオンの消費量が減少することが分かる。とくに、材令30日においてJ骨材モルタルは、負のOH⁻イオン濃度差を示すことは注目すべき点である。すなわち、30日において、J骨材モルタルは石英モルタルより高いOH⁻イオン濃度を示す。

3-2 NaClを添加した場合のフライアシュのアルカリ・シリカ膨張抑制効果

図-5はT骨材を使用したフライアシュH 20%混入モルタルの膨張曲線を示したものである。この図よりNaClの添加にともない膨張量が增大することが認められる。Cl⁻イオン添加量 1.0%においては、フライアシュH 20%モルタルにおいても材令2年において0.9%程度の膨張が発生している。図-6はJ反応性骨材を使用したモルタルの膨張挙動を示したものである。この図からもNaClの添加によってアルカリ・シリカ膨張が促進され、材令2年において、約1.0%程度の膨張量になることが分かる。

表-1 骨材のアルカリ反応性 (mmol/l)

	Rc	Sc
T骨材	219.5	650.0
N骨材	171.0	548.0
J骨材	77.0	36.0

ASTM C-289

表-2 フライアッシュのアルカリ量およびアルカリ反応性

フライアッシュ	H
全アルカリ量 (Na ₂ Oeq%)	2.92
有効アルカリ量 (Na ₂ Oeq%)	1.26
水溶性アルカリ量 (Na ₂ Oeq%)	0.11
Ca(OH) ₂ 減少率 (材令90日)	53.01
Ca(OH) ₂ 減少率 (材令90日)	64.77

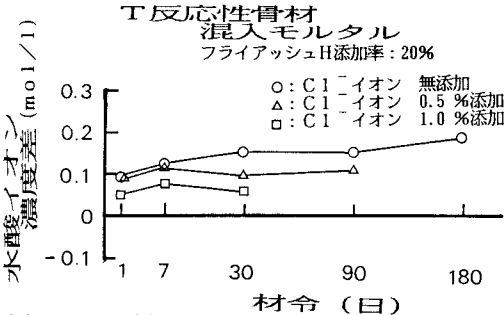


図-1 NaCl添加モルタルにおける OH⁻イオンの消費 (T骨材)

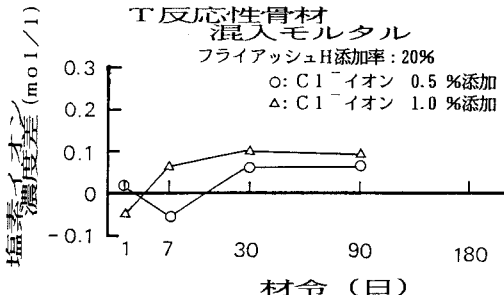


図-2 NaCl添加モルタルにおける Cl⁻イオンの消費 (T骨材)

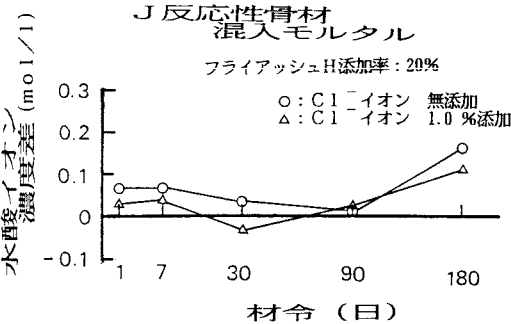


図-3 NaCl添加モルタルにおける OH⁻イオンの消費 (J骨材)

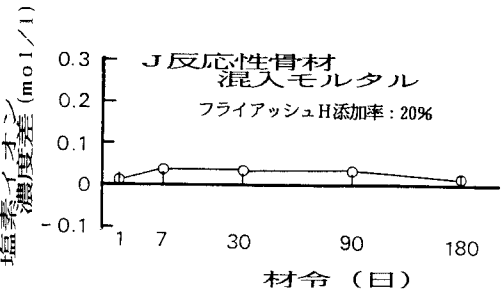


図-4 NaCl添加モルタルにおける Cl⁻イオンの消費 (J骨材)

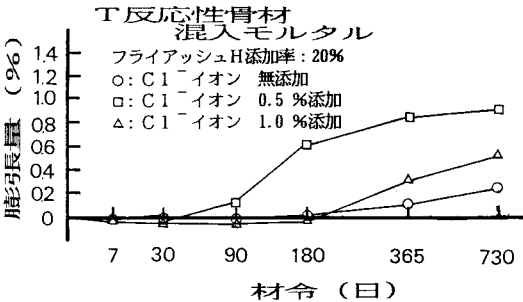


図-5 NaCl添加モルタルの膨張曲線 (T骨材)

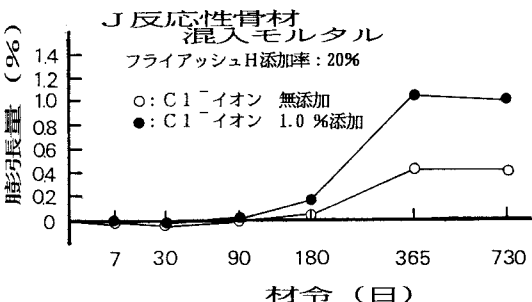


図-6 NaCl添加モルタルの膨張曲線 (J骨材)

4. 結論

NaClの添加にともない、アルカリ・シリカ反応による細孔溶液中の水酸イオンの消費量は減少し塩素イオンの消費量は増大する。NaClを添加することによって、ASRによる膨張量は増大し、T骨材を使用したフライアッシュモルタルでは、20%程度のフライアッシュを添加しても、膨張抑制効果は認められなかった。このことより、阪神高速道路の構造物において生じたアルカリ・シリカ反応による損傷は、海砂の使用にともなうNaClの混入に起因すると推察される。