コンクリート工学年次論文報告集, Vol.16, No.1, 1994

論 文

[1180] 海洋構造物におけるアルカリ・シリカ反応に関する基礎的研究

金 昌吉*1・三浦 尚*2・内藺 雅仁*3

1. はじめに

コンクリート構造物中に外部からNaClが持続的に供給される場合、 ASRが促進され、NaCl濃度が高いほど膨張率は大きくなることが報告されている。

Kawamuraら [1] はNaClによって ASRが促進され、その膨張は Cl^-と関連があるとした。そして、三浦ら [2] はNaClが持続的に供給される海洋構造物では ASRが促進されて、膨張率は濃度が高い程大きいと報告した。

外部からNaClが供給される飛沫帯を含む海洋コンクリート構造物は、海水の湿潤と乾燥の繰り返しで生じる濃縮作用のためにNaCl濃度が高くなる。このため ASRの発生の可能性が高く、骨材によっては ASRが促進して初期過程で大きな膨張率を示すことが考えられる。

このような地域では、コンクリートに生じるASRの影響を抑制することを目的として使用されるポゾランの量を増やしたり、あるいは普通セメントの代わりに他のセメントを用いることが考えられている。 Daviesら [3] はポゾラン分子はその反応特性と粉末度のためアルカリを希釈すると報告したが、NaClが継続的に供給される環境下では ASRの抑制効果も異なると考えられる。

本研究では、 ASRの促進と安全側の値が得られるであろうことを考えて、NaCl濃度を海水より高い 10%と 20%として反応性骨材に対する ASRの影響と、超低発熱セメント（中庸熱ポルトランドセメントをベースとして高炉スラグ微粉末およびフライアッシュを混合した三成分系セメント）あるいはシリカヒューム（セメント重量当りで置換）による ASRの抑制効果を検討した。

2. 材料および実験方法

本研究で使用したセメントは、普通ポルトランドセメントと超低発熱セメントであり、前者はNaClが高い環境下における反応性骨材による ASRの影響、後者は ASRの抑制効果の検討のため使用した。超低発熱セメントは中庸熱ポルトランドセメントをベースとして高炉スラグ微粉末およびフライアッシュを混合した三成分系セメントである。シリカヒュームは比表面積が20.4m^2/gのものであり、置換率はセメント重量当り5、7、9、10%で抑制効果を検討した。骨材は反応性である安山岩を使用した。セメントとシリカヒュームの化学組成は表1 に示した。

実験方法はJIS A－5308附属書8骨材のアルカリシリカ反応性試験方法（モルタルバー法）に従ったが、本実験では水道水の代わりに10と20% のNaCl水溶液を使用した。本実験でNaCl濃度を10、20% としたのは、海洋環境中でも飛沫帯にあるコンクリート構造物においては、海水の湿潤と乾燥の繰り返しで塩分濃度が海水よりずっと高くなることと ASRの促進を考慮したためである。

*1 東北大学大学院 工学部土木工学科(正会員)
*2 東北大学教授 工学部土木工学科、工博(正会員)
*3 東北大学大学院 工学部土木工学科

表－1　セメントとシリカヒュームの化学的組成

成分(%)	CaO	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	Na_2O	K_2O	SO_3	C	ig.loss
普通セメント	64.40	21.80	4.90	3.00	1.40	0.38	0.48	1.90		1.40
超低発熱セメント*	34.80	23.80	11.20	1.10	3.50	0.24	0.34	1.60		0.50
シリカヒューム		89.60	0.87	1.30	2.22	0.48	2.15	0.62	1.92	3.50

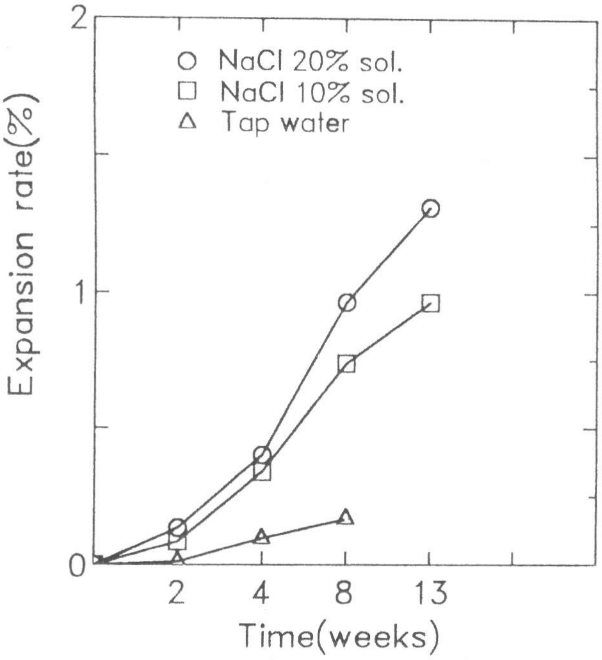
* 超低発熱セメントには表中の化学組成以外に22.6%の不溶性化学物質が含まれている。

3. 結果および考察

3. 1 外部から供給されたNaCl濃度別モルタルバーの膨張

図 1は水道水およびNaCl10、20% 溶液に浸したモルタルバー（普通ポルトランドセメントを使用）の膨張率を比較した結果である。図 1からわかるように、水道水に浸したモルタルバーは試験開始後 2週までほとんど膨張せず、 2週以降から膨張を示した。しかし膨張率の増加は 8週以前まで大きくなかったものの、 8週目で発生したクラックが、NaCl水溶液において 4週目で発生した二方向性の亀甲状のクラックよりも幅がかなり大きかったため、8週で測定を中止した。

NaCl溶液に浸したモルタルバーは実験開始直後から膨張率が大きく増加し、 2週で反応性骨材 6ヶ月判定値である0.1%を越えた。その後膨張率が大きく増加し、水道水に浸したものより大きい膨張を示した。このような膨張率の増加はNaClの濃度が高いほど大きい傾向を示した。



図－1　外部から供給されたNaCl濃度別モルタルバーの膨張

NaCl溶液に浸したモルタルバーの膨張率が水道水に浸したものより大きな値を示した原因は、外部から供給されたNaClであると考えられる。図 2はモルタルバーを NaCl10%および 20%溶液に浸して、浸透した塩化物イオン量を測定した結果(平均値)である。図 2から、NaCl溶液に浸したモルタルバーは全塩分量と可溶性塩分量がともに多いことがわかる。

本研究で使用した骨材は、 NaCl20%溶液で、材齢 2週で 6ヶ月判定値である0.1%以上の膨張率を示して、骨材の反応性を短期間で判定することができた。三浦ら [4] は外部からNaClが供給される場合における ASR促進方法として 20%NaCl水溶液に浸す方法を提案した。本研究においてもNaCl水溶液の場合に濃度によって膨張率に差が見られ、実験開始直後から 2週間の間に大きい膨張率を示しただけではなく、NaCl濃度が高いほど膨張率が大きく現れた。

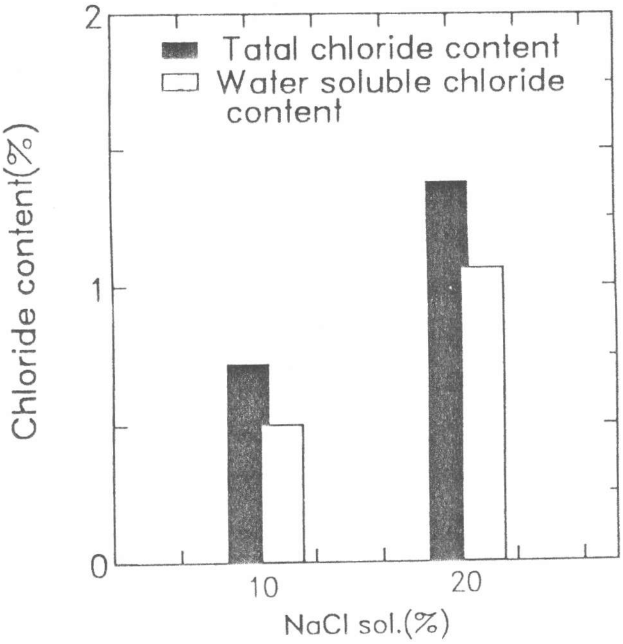
NaClが供給される環境下ではNaCl濃度が大きいほど膨張率が大きかったことを考えると、今後、飛沫帯を含む海洋構造物やNaCl濃度が高い地域に建設されるコンクリート構造物では ASRに対してより綿密な対策が要求される。

3．2 超低発熱セメントコンクリート

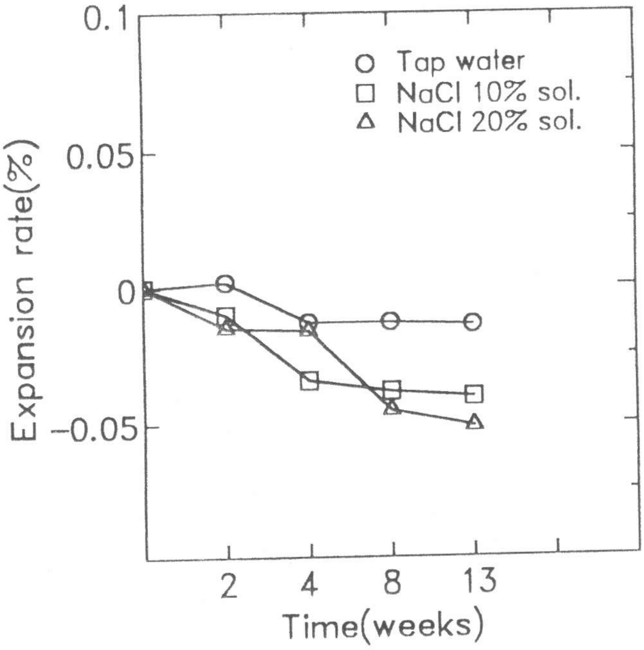
図 3は超低発熱セメントと反応性骨材を使用したモルタルバーを、水道水およびNaCl10、20% 水溶液に浸して膨張率を比較した結果である。超低発熱セメントを使用したモルタルバーは普通ポルトランドセメントを使用したもの（図 1）とは逆にNaCl濃度に関係なく実験開始直後から収縮を示し、その収縮率はNaCl濃度が高いほど大きくなる傾向を示した。NaClの濃度別に見ると、水道水に浸したモルタルバーは実験開始直後から 2週まではわずかな膨張率の増加を示し、 2週後から収縮した。しかし、NaCl水溶液に浸したものは実験開始直後から収縮し、実験期間中において NaCl10%水溶液の場合は 2-4週、20% の場合は4-8 週で最大の収縮率を示した。その後、収縮率の大きな増加は認められなかった。

本研究に使用した超低発熱セメントは、中庸熱ポルトランドセメントをベースとして高炉スラグ微粉末およびフライアッシュを混合した三成分系セメントで、高炉スラグ微粉末やフライアッシュ等を含むためASRの抑制効果があると考えられた。しかし、図 3から分かるように、水道水およびNaCl水溶液で抑制効果は認められたが、NaCl水溶液に浸したものは比較的大きな値で収縮される傾向を示した。

このようにNaCl水溶液に浸したモルタルバーが大きな収縮率を示した原因としては、超低発熱セメントの化学成分(表 1)中普通セメントのものと量的にある程度大きな差を表わしている CaO, Al_2O_3 などによるものと思われるが、これに対しては今後別途の研究が必要だと考えられる。



図－２　NaCl１０と２０％溶液に浸したモルタルバーの塩分浸透量

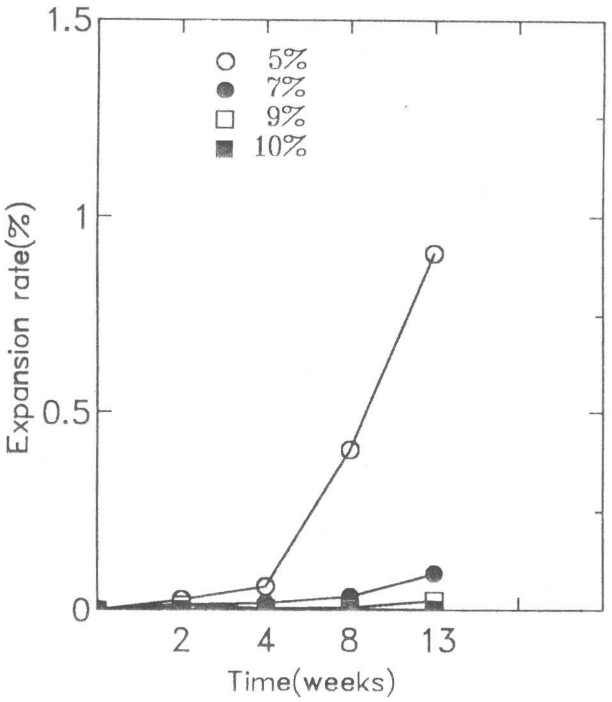


図－３　外部から供給されたNaCl濃度別超低発熱セメントによるモルタルバーの収縮

3．3 シリカヒュームによる抑制効果

図 4は、シリカヒュームを普通セメントの重量に対して5、7、9、10%置換させたモルタルバーを NaCl20%水溶液に浸した結果である。シリカヒュームの置換率別抑制効果は、置換率5%ものでは 4週、7%のものでは 8週でそれぞれ 3ヶ月判定値である 0.05%を越え十分な抑制効果は

認められなかったが、置換率を 9、 10%としたものは13週まで膨張を抑制することができた。シリカヒュームは、ポゾラン作用と比較的大きな比表面積によるアルカリ希釈効果で ASRを抑制すると報告されている［3］。しかし、持続的にアルカリあるいはNaClが供給される場合、セメントを置換して使われるシリカヒュームが ASRに対する抑制効果を持続するかどうかは疑問である。したがって、シリカヒュームの ASRの抑制効果に対しては今後も継続的な研究が必要だと思われる。



図－4　外部から供給されたNaCl２０％溶液にシリカヒュームによるモルタルバーの膨張抑制

4. まとめ

本研究で得られた結果をまとめると以下のようになる。

(1) 反応性骨材を使用して作製された後、水道水およびNaCl10、 20%水溶液に浸したモルタルバーの膨張率は水道水よりNaCl水溶液に浸したものの方が大きくなり、膨張はNaClの濃度が高いほど大きな値を示す。

(2) 三成分系である超低発熱セメントの使用によるモルタルバーの ASR抑制効果は認められた。しかし、今回の実験ではNaCl水溶液に浸したモルタルバーは大きな収縮率を示したのでこの点については別途の検討の必要があるものと思われる。

(3) シリカヒュームで普通セメントを置換することによる ASRの膨張抑制は、 NaCl20%水溶液を用いた場合、置換率7%以下では十分ではなく、置換率が9%以上でなければ達成されなかった。

［謝辞］本研究において終始ご協力頂いた東北大学工学部土木工学科技官 杉山 嘉徳氏に感謝します。

参考文献

(1) Kawamura、M.and Ichise、M. : Characteristics of Alkali-Silica Reaction in the Presence of Sodium and Calcium Chloride、Cement and Concrete Research、Vol.20、pp.757-766、1990

(2) 三浦尚・佐野功 ： 凍結防止剤がアルカリ骨材反応に及ぼす影響に関する基礎的研究、セメント・コンクリート論文集、VoL.46、pp.540～545、1991

(3) Davies、G. and Oberholster、R.E. : Use of the NDRI Accelerated Test to Evaluate the Effectiveness of Mineral Admixtures in Preventing the Alkali-Silica Reaction、Cement and Concrete Research、Vol.17、 pp.97-107、1987

(4) 三浦尚・山本晃子 ： 外部から侵入する塩化ナトリウムがアルカリ骨材反応に及ぼす影響、第47回セメント技術大会講演集、pp.432～437、1993