

# NaCl 溶液に浸漬したモルタルにおける ASR ゲルの組成および二次的エトリンジャイトの生成と膨張

川村 満紀<sup>1</sup>・荒野 憲之<sup>2</sup>・片蓋憲治<sup>3</sup>

<sup>1</sup>フェロー 工博 金沢大学教授 工学部土木建設工学科 (〒920-8667 金沢市小立野 2-40-20)

<sup>2</sup>正会員 工修 金沢大学大学院自然科学研究科地球環境科学専攻, 電気化学工業株式会社

<sup>3</sup>学生会員 工修 金沢大学大学院工学研究科

本研究は、NaCl 溶液に浸漬したモルタル中のセメントペースト相の微視的構造および生成される ASR ゲルの組成を明らかにすることによって、NaCl 溶液中における反応性骨材含有モルタルの膨張のメカニズムについて検討することを目的としたものである。NaCl 溶液に浸漬したモルタルの膨張が、NaOH 溶液中のモルタルの場合より大きいのは、NaCl 溶液中のモルタルに生成される ASR ゲルのアルカリ量が、NaOH 溶液中の場合よりも低いことに起因すると推察した。また、ASR によって生じたひびわれ中にエトリンジャイトと ASR ゲルの混合物が存在することが確認されたが、エトリンジャイトの形成がモルタルの膨張を増大させたか否かについては明確な結論が得られなかった。

**Key Words:** ASR, NaCl, de-icing salt, ASR gels, ettringite, SEM, EDS-BSE analysis

## 1. はじめに

海中の NaCl や融氷剤として使われる NaCl が ASR によるコンクリートの損傷におよぼす影響は、コンクリート構造物の維持・管理において解明されるべき重要課題の 1 つである。NaCl 溶液に浸漬した反応性骨材含有モルタルの膨張は骨材の反応性によって異なるようであり、湿気条件下のモルタルの膨張よりも極めて大きくなることもあるが、逆に小さくなることもある<sup>1)</sup>。また、比較的新しい海洋構造物において、海水中にあるコンクリート部分は ASR によって重大な損傷を受けているが、海水面より上部は全く影響を受けていないことが報告されている<sup>2)</sup>。このように、NaCl が ASR 膨張におよぼす影響が明確でない現状においては、そのメカニズムを明らかにすることが重要である。NaCl の ASR 膨張におよぼす影響のメカニズムについては、2, 3 の点が未解決のまま残されている<sup>3)</sup>。NaCl 溶液中の反応性

骨材含有モルタルの膨張は、NaCl の侵入による細孔溶液の OH<sup>-</sup>イオン濃度の上昇および Cl<sup>-</sup>イオンそのものによる ASR の促進に起因することは確かなようである<sup>4), 5)</sup>。一方、最近、NaCl 溶液中の反応性骨材含有モルタルの膨張はセメントの C<sub>3</sub>A 量や石膏の有無によって影響されること<sup>6), 7)</sup>、またそのようなモルタル中に多量のエトリンジャイトが存在すること<sup>8)</sup>が指摘されている。しかし、これらの事実と膨張との関係については不明である。

このような研究の現状において、本研究は、NaCl 溶液に浸漬したモルタル中のセメントペースト相の微視的構造および ASR ゲルの組成の特徴を、反射電子像観察 (BSE) とエネルギー分散型 X 線微小部分分析 (EDS) の組合せによって、明らかにすることによって、NaCl 溶液中における反応性骨材含有モルタルの膨張のメカニズムについて検討することを目的としたものである。

表-1 普通および耐硫酸塩セメントの化学組成(%)

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
普通セメント	22.0	5.2	2.7	63.6	1.5	1.9	0.40	0.41	47	27	9.2	8.2
耐硫酸塩セメント	22.2	4.2	4.6	64.1	0.4	2.2	0.34	0.38	51	25	3.4	14.0

## 2. 実験概要

### (1) 使用材料

使用した反応性骨材は粒径範囲 0.6mm~2.5mm の焼成フリントであり、その溶解シリカ量(Sc)およびアルカリ低減量(Rc)は、それぞれ 1063 および 70 mmol/l である。非反応性骨材としては標準砂(豊浦)を使用した。C<sub>3</sub>A 含有量の異なるセメントとして、普通セメント(C<sub>3</sub>A 量: 9.2%)および耐硫酸塩セメント(C<sub>3</sub>A 量: 3.4%)を使用した。これら両セメントの等価Na<sub>2</sub>O量は、それぞれ0.67%と0.59%であり、それらの化学組成は表-1に示す通りである。両セメントの鉱物組成はボーグ式を用い算出した。

### (2) 膨張試験

モルタルの配合は、セメント:骨材=1:2, 水:セメント=1:2, 反応性骨材:全骨材=3:10(質量比)である。モルタルバー(25.3mm x 25.3mm x 285.5mm)を38℃で28日間ビニール袋中に密封した状態で養生した後、所定期間38℃の1M NaCl 溶液中に浸漬した。また、比較として行った0.6M NaOH 溶液中の膨張試験は、骨材/セメント比=2.25, 水/セメント比=0.6, 反応性骨材:全骨材=1:10でモルタルを作製した。使用した反応性骨材や養生条件はNaCl 溶液中の場合と同一である。なお、NaOH 溶液中の膨張試験の詳細と結果については、すでに発表したものである<sup>9)</sup>。

### (3) BSE-EDS 分析

NaCl 溶液に浸漬後、14日、56日、119日、406日において、モルタルバーの中央部分からBSE-EDS 分析用試料片を切り出し、室内温度条件下において真空乾燥炉中で乾燥した。モルタル試料中に含ませたエポキシ樹脂が硬化した後、切断面を研磨し、その面に金パラジウム合金を蒸着した。走査型電子顕微鏡は日立製作所(株)製S-2250Nであり、モルタル中の反応生成物の組成分析には、エネルギー分散型X線マイクロアナライザー(堀場製作所(株)EMAX-5570W)を使用した。

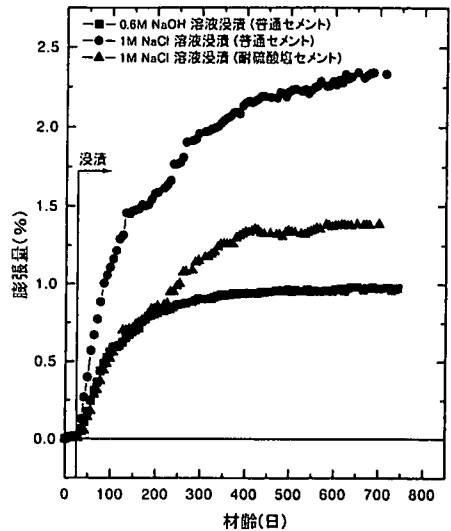


図-1 NaCl および NaOH 溶液中のモルタルの膨脹曲線

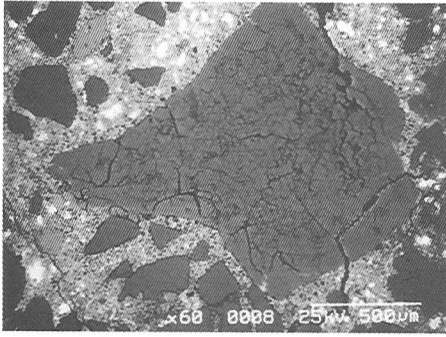
## 3. 実験結果

### (1) NaCl および NaOH 溶液中におけるモルタルの膨脹挙動

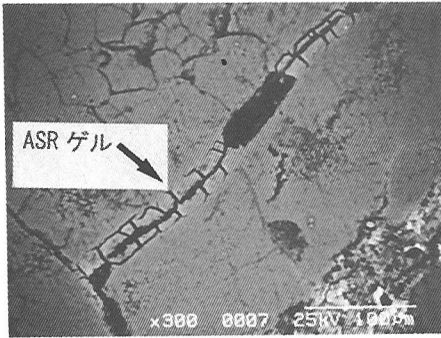
図-1は1M NaCl および 0.6M NaOH 溶液中における普通および耐硫酸塩ポルトランドセメントモルタルの膨脹曲線である。NaCl 溶液中では、いずれのモルタルも浸漬直後より急速に膨脹し始め、急速な膨脹の進行は約120日まで継続している。しかし、図-1より、初期段階においても、NaOH 溶液中のモルタルの膨脹速度はNaCl 溶液中のモルタルのそれよりも小さく、約100日後より時間とともに急に減少することがわかる。また、図-1より明らかにように、耐硫酸塩セメントモルタルの終局膨脹率は普通セメントモルタルのその約2/3である。

### (2) NaCl 溶液中のモルタルにおける ASR ゲルの組成

ビニール袋中に密封した状態で28日間養生したモルタル試料の研磨面をSEMによって綿密に観察した結果、セメントペースト相の組織に変化は認められなかったが、反応性骨材粒子内部の幅広いひびわれ中にASRゲルが存在していることが判明した。写真-1は、56日間NaCl溶液に浸漬したモルタル試料の研磨面に見られる反応性骨材粒子のBSE像(反射電子像)である。これらの写真より、反応骨材粒子内部には、多数のひびわれが存在し、



(a)



(b)

写真-1 56日間NaCl溶液に浸漬した普通セメントモルタル中の反応性骨材粒子(a)およびASRゲル(b)

それらのうち、2、3の幅広いものは塊状のASRゲルで充填されていることがわかる。図-2は、28日間密封状態で前養生したモルタルやその後、所定期間NaCl溶液中に浸漬したモルタル試料の研磨面内にある反応性粒子のうち、塊状のゲルを有する5個の反応性粒子を選び、それらに在る塊状のASRゲル中の10箇所において行なったEDS点分析によって得られたSiO<sub>2</sub>、CaO、(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)のモル百分率の平均値を三角座標にプロットしたものである。図-2では、ASRゲル中のアルカリ量は、材齢が経過しても大きな変化を示さないのに対し、図-3に示すゲルのK<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O比は、時間とともに急速に低下している。すなわち、NaCl溶液に浸漬中の比較的早期の段階において、前養生中に生成されたASRゲル中のカリウムはナトリウムによって置換されることになる。しかし、このことはモルタルの膨張量に影響を及ぼさないと考えられる<sup>10)</sup>。

NaClおよびNaOH溶液に浸漬したモルタル中の個々の反応骨材粒子内部のASRゲルの組成の平均値を三角座標にプロットすると図-4のようになる。この図に見られる注目すべき特徴は、NaCl溶液に浸漬したモルタル中のゲルのアルカリ量は、普通セメントの場合で平均18% (範囲15-21%)、耐硫酸塩セメントで21% (18-25%) であ

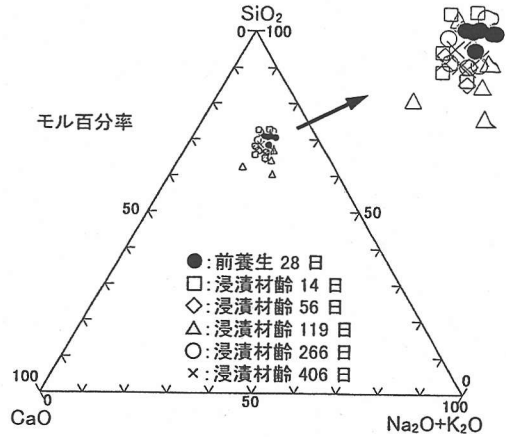


図-2 ASRゲルの組成

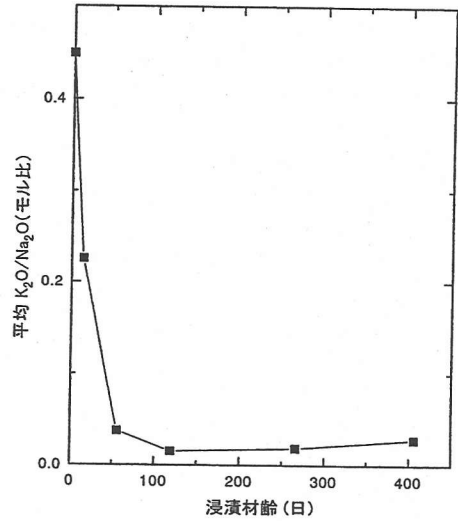


図-3 ASRゲル中のK<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O比の経時変化 (NaCl溶液中)

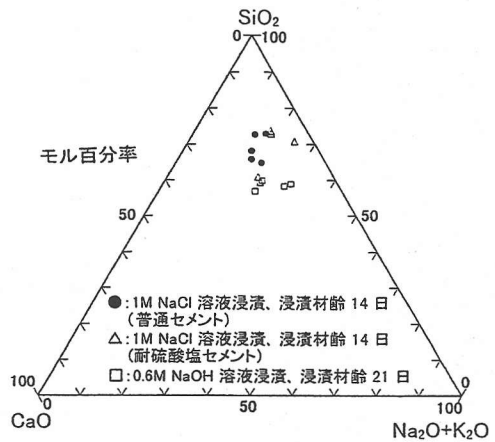


図-4 ASRゲルの組成

り、NaOH 溶液中の場合の 28% (25-31%) に比べかなり低いということである。このように、NaCl 溶液中のモルタルには比較的低いアルカリ量を有するゲルが少なくとも、浸漬時間 406 日まで存在している。一般に、アルカリ量の低いゲルの粘性はアルカリ量の高いゲルのそれよりもはるかに大きいので、アルカリ量の低いゲルは高いゲルより大きな膨張圧を發揮すると考えられている<sup>9)</sup>。したがって、NaCl 溶液中のモルタルが長期間にわたって膨張し続けるのは、NaCl 溶液中のモルタルにおいて生成されるゲルのアルカリ量が NaOH 溶液中モルタルのゲルのそれよりも低いということに起因すると考えられる。

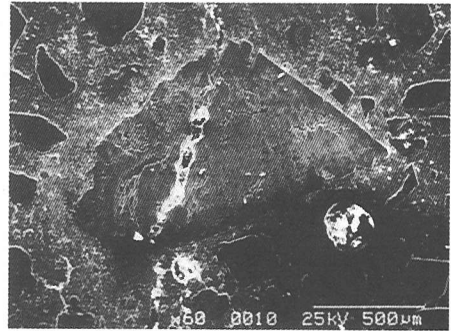
NaCl 溶液浸漬と NaOH 溶液浸漬の場合のゲル生成状況を SEM にて観察し比較した結果、生成ゲル量は NaOH 溶液浸漬の場合の方が多いことを確認した。NaOH 溶液に浸漬したモルタル中の反応性骨材量は NaCl 溶液中のもの 1/3 であるが (2. (2) 参照)、本実験下で ASR が進行し、ゲルが生成され続けるのに十分な反応性シリカ量があると考えられる。従って、ASR の進行およびゲルの生成量は細孔溶液の NaOH の濃度に依存すると考えられるので、外部より OH<sup>-</sup>イオンが無制限に供給される NaOH 溶液浸漬の場合の方が、細孔溶液中の OH<sup>-</sup>イオン濃度が NaCl 溶液に浸漬したモルタルの場合より大きくなり、ゲルの生成量も多くなるものと考えられる。しかし、外部より OH<sup>-</sup>イオンが無制限に供給される結果、ゲルのアルカリ量も高まり、ゲルの粘性が低下し流動化しやすいため、NaOH 溶液浸漬では膨張速度が低下し長期間にわたる膨張は示さないものと考えられる。

これを裏付けるように、約 120 日後のゲルの状態を観察した結果 (写真-2)、反応性骨材内に NaCl 溶液浸漬の場合はゲルの存在が認められるのに対して、NaOH 溶液浸漬ではゲルがゾル化し空洞化していることを確認した。

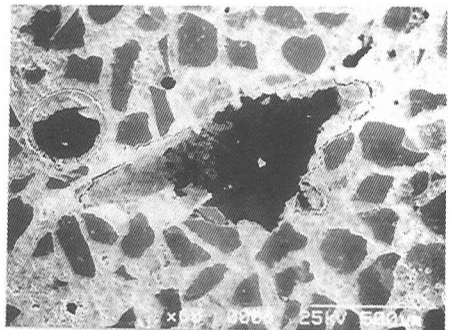
NaCl と NaOH 溶液に浸漬したモルタル中のゲルの組成に見られるもう一つの特徴は、両者間において CaO 含有量にほとんど差がないということである。この事より、本実験結果に関する限り、ASR ゲルの CaO 含有量は、ゲルの膨張性にあまり大きな影響を及ぼさないということが言える。著者らによる他の研究<sup>9)</sup>においても同様な結果が得られている。

### (3) NaCl 溶液中のモルタルにおけるセメントペースト相の微視的構造の特徴

NaCl 溶液に浸漬後 14 日間経過したモルタル中のセメントペースト相に対する SEM 観察においては、通常のモルタルと比較して特記すべき変化は見られなかった。しかし、浸漬期間 56 日のモルタル中のセメントペースト相の微視的構造において目立った特徴が現われた。それは、ASR によって形成されたひびわれのかなりの部分が二次的エトリンジャイトによって充満されていたことである。



(a) NaCl 溶液浸漬

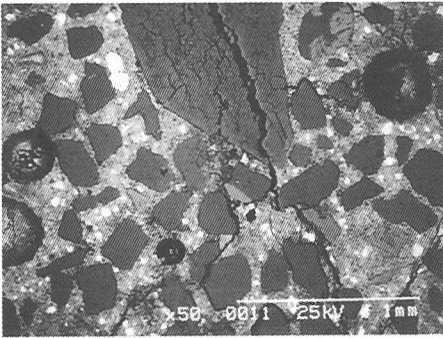


(b) NaOH 溶液浸漬

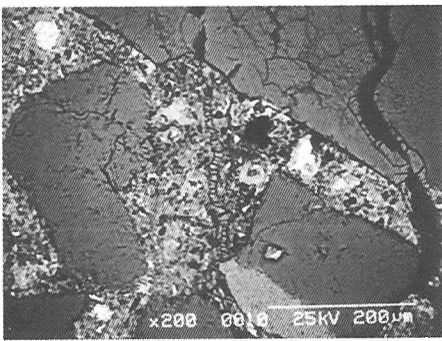
写真-2 120 日間 NaCl および NaOH 溶液に浸漬した普通セメントモルタルの SEM 像

写真-3 は、細状に見えるエトリンジャイト領域 (幅約 10 μm, 長さ 50~200 μm) の BSE 像写真である。セメントペースト相中のひびわれの一部分がエトリンジャイトによって満たされていることが分かる。ASR によって生じたひびわれと試料作製過程において形成されたひびわれを区別することは出来ないが、すべてのひびわれがエトリンジャイトによって満たされてはいなかった。

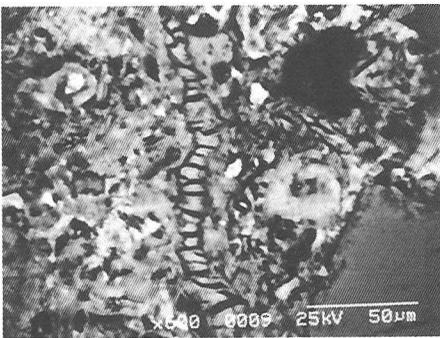
このようなエトリンジャイト領域を 10 箇所探しだし、各々の領域において約 5 箇所 EDS 点分析を実施した (合計約 50 箇所)。特記すべき点は、これらのエトリンジャイト領域において比較的少量のアルカリ (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) および SiO<sub>2</sub> が検出されたことである。図-5 は (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) と SiO<sub>2</sub> との関係プロットしたものである。検出された (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) や SiO<sub>2</sub> の一部分はセメントペースト部分からのものも含んでいると考えられる。しかし、これらの分析によって得られた Na<sub>2</sub>O や K<sub>2</sub>O の含有量は、エトリンジャイトに含まれる不純物の範囲と考えられる 2 モル%<sup>11)</sup> を越える点がかかなり多い。他の微量元素を除い



(a) 骨材粒子内部と周辺のひびわれ



(b) エトリンジャイトで充填されたひびわれ



(c) 拡大したエトリンジャイト

写真-3 56日間NaCl溶液に浸漬した普通セメントモルタルのBSE像

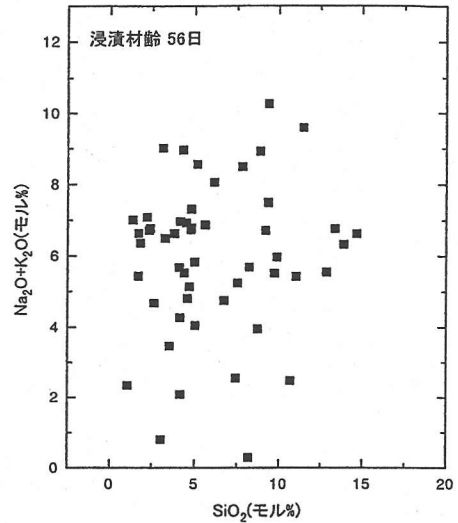


図-5 エトリンジャイトとASRゲル混合物中のアルカリおよびシリカ含有量

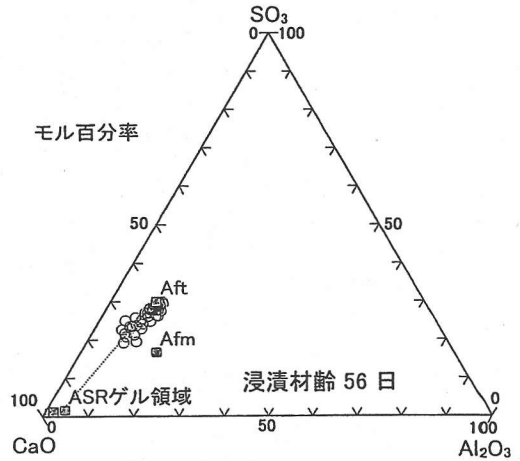


図-6 エトリンジャイトの組成

て、合計が100パーセントになるように計算によって得られたCaO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>およびSO<sub>3</sub>のモル百分率を三角座標にプロットすると図-6のようである。この図より、各点における分析値は、化学量論値(図-6中の点Aft)を示す点よりASRゲルに対して得られた点(モルタル中の気泡中に存在するゲルに対する分析値)に向かって引かれた線上またはその周辺に位置することがわかる。この事は、ひびわれ中に存在する細状の生成物はエトリンジャイトとASRゲルの混合物であることを示している。しかし、耐硫酸塩セメントモルタルにおいては、ASRによって形成されたひびわれ中にはエトリンジャイトは全く発見されなかった。

表-2 普通セメントモルタルにおける膨張，ひびわれ中のエトリンジヤイト形成の有無，ひも状エトリンジヤイト領域の幅と長さ

期間(日)	0	14	56	119	266	406
膨張	無	急速	急速	急速	緩速	非常に緩速
紐状エトリンジヤイトの有無	無	無	有	有	有	有
エトリンジヤイト領域の平均幅	無	無	9.4 μm	12.4 μm	17.8 μm	14.0 μm
エトリンジヤイト領域の平均長さ	無	無	370 μm	234 μm	272 μm	213 μm
ASR ゲルの状態	固体	固体	固体	固体	部分的に液状化	かなりの部分が液状化

#### 4. 考察

上述のように，セメントペースト相中のひびわれの一部にはエトリンジヤイトが存在していることがわかった。このようなエトリンジヤイトが生成されるためには， $\text{Ca}^{2+}$ ， $\text{SO}_4^{2-}$ および $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ が供給される必要がある。現在，そのメカニズムの詳細は分からないが，次のような事が関係しているものと思われる。すなわち，エトリンジヤイト-水-NaCl系におけるエトリンジヤイトの溶解度はエトリンジヤイト-水系の場合の約3倍であり，モノサルフェート-水-NaCl系のモノサルフェートはエトリンジヤイト-水-NaCl系のエトリンジヤイトよりもさらに不安定である<sup>10)</sup>。また，NaCl溶液中では，モノサルフェートがフリーデル氏塩に変換するときに， $\text{SO}_4^{2-}$ が放出されることも明らかになっている。したがって，NaCl溶液中に浸漬したいずれの耐硫酸塩セメントモルタルにおいてもひびわれ中に長期に渡って二次的エトリンジヤイトが発見されなかったという事は，この場合の $\text{SO}_4^{2-}$ イオンの主な供給源であるモノサルフェートの生成量が，耐硫酸塩セメントモルタルでは非常に少なかったことを示唆するものと思われる。図-1に示すように，耐硫酸塩セメントモルタルの膨張量は普通セメントモルタルのそれよりもはるかに小さい。セメントのアルカリ量には両者間で大きな差がないが，耐硫酸塩セメントの $\text{C}_3\text{A}$ 量は普通セメントのそれよりもはるかに小さいので(表-1)，耐硫酸塩セメントモルタルにおけるNaClの侵入による細孔溶液中の $\text{OH}^-$ イオン濃度の上昇は普通セメントモルタルの場合よりも小さいと考えられる。したがって，本実験結果から，耐硫酸塩セメントモルタルの膨張量が普通セメントモルタルのそれよりも小さいのは二次的エトリンジヤイトが生成しなかったことに起因するか否かについて推論することはできない。

表-2に，二次的エトリンジヤイトの形成がモルタルの膨張におよぼす影響を明らかにするために，各浸漬時間

におけるモルタルの膨張状況，エトリンジヤイトの有無，エトリンジヤイトが存在するひびわれの平均幅および長さをまとめた。ひびわれ幅は膨張量と共に増大する傾向が見られる。しかし，長期間NaCl溶液に浸漬したモルタル中の反応性骨材粒子内部においても比較的大きな膨張圧を発生するような組成を有するASRゲル(アルカリ量の少ないゲル)が存在するので，これらの実験結果からも，二次的エトリンジヤイトの形成がモルタルの膨張におよぼす影響について明らかにすることはできない。Grattan-Bellew<sup>13)</sup>やDavis & Oberholster<sup>14)</sup>は，外部よりNaClが硬化コンクリート中に侵入することによるコンクリートのASR膨張の増大は，NaClが $\text{C}_3\text{A}$ や $\text{Ca}(\text{OH})_2$ と反応して生ずる $\text{Na}^+$ と $\text{OH}^-$ イオン濃度の上昇によるASRの助長だけではなく，ASR以外の反応によって生ずる生成物(モノクロロアルミネート，クロロサルフォアルミネート)の膨張に起因することを示唆した。本実験では，ASRによって生じたひびわれ中にエトリンジヤイトとASRゲルの混合物が存在することが明らかとなった。しかし，浸漬期間406日においても，反応性骨材粒子内部に膨張性のASRゲルが存在することが確認されているので，二次的エトリンジヤイトの生成がモルタルの膨張を増大させているか否かについて明確な結論を得ることはできない。しかし，本実験において，NaOH溶液におけるよりもNaCl溶液においてモルタルがはるかに大きな膨張を示したのは後者においてよりアルカリ量の低いアルカシリカゲルが生成されたためであることは確かなようである。

#### 5. 結論

NaCl溶液に浸漬した反応性骨材含有モルタルの膨張は，NaOH溶液に浸漬したモルタルのそれよりも大きくなるメカニズムを明らかにするために，両溶液中のモルタル

内部に生成される ASR ゲルの組成およびセメントペースト相の微視的構造の特徴を比較した結果をまとめると、以下のようである。

(1) NaCl 溶液に浸漬したモルタル中に生成される ASR ゲルのアルカリ量は、NaOH 溶液中のモルタルのそれよりも低い。しかし、ゲルの CaO 量は、両者間でほとんど差が見られない。NaCl 溶液中におけるモルタルにおいて生ずる大きな膨張は、より低いアルカリ量をもつゲルが生成されることに起因する。

(2) 14 日間以上 NaCl 溶液中に浸漬すれば、反応性骨材含有モルタル中のみ、ASR によって形成された多くのひびわれの一部分に、エトリンジャイトが存在した。

(3) ひびわれ中の細状に見える析出物は、おもに、エトリンジャイトと ASR ゲルの混合物であった。

(4) ASR によって生じたひびわれ中にエトリンジャイトが形成されることがモルタルの膨張を増大させているか否かについては、(1) の結論との関係から明確な結果が得られなかった。

#### 参考文献

- 1) 三浦 尚他：融雪剤によるコンクリート構造物の劣化研究委員会報告書，日本コンクリート工学協会，1999。
- 2) Spencer, T.E. and Blaylock, A.J.: Alkali-Silica Reaction in Marine Piles, *Concrete International*, Vol.19, No.1, pp.59-62, 1997.
- 3) 川村満紀, 竹内勝信, 杉山彰徳：外部から供給される NaCl がアルカリシリカ反応によるモルタルの膨張に及ぼす影響のメカニズム, 土木学会論文集 No. 502/V-25, pp. 93-102, 1994.
- 4) 竹内勝信, 川村満紀, 大坂和弘：海水中に浸漬した反応骨材含有モルタルの膨張機構, セメントコンクリート論文集, No. 48, pp. 452-457, 1994.
- 5) Idorn, G.M. and Roy, D.M.: Opportunities with Alkalies in Concrete Testing, *Research and Engineering Practice, Alkalies in*

- Concrete, STP-930*, Editor: V.H. Dodson, Philadelphia, ASTM, pp.5-15, 1986.
- 6) Sibbick, R.G. and Page, C.L.: Effects of Sodium Chloride on the Alkali-Silica Reaction in Hardened Concrete, *Proc. the 10th Intl. Conf. On Alkali-Aggregate Reaction in Concrete*, Melbourne, pp.822-829, 1996.
  - 7) Kawamura, M., Takeda, T. and Takeuchi, K.: Role of Gypsum in Expansion of Mortars Containing Reactive Aggregate, *Proc. the 10th Intl. Conf. on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete*, Melbourne, pp. 838-845, 1996.
  - 8) Kawamura, M. and Diamond, S., 未発表資料。
  - 9) Kawamura, M., Arano, N. and Terashima, T.: Composition of ASR Gels and Expansion of Mortars, *Materials Science of Concrete: the Sidney Diamond Symposium*, Special Volume, Amer. Ceram. Soc., Westerville, Ohio, pp.261-276, 1998.
  - 10) Krough, H.: Examination of Synthetic Alkali-Silica Gels, *Proc. Symp. on Alkali-Aggregate Reaction*, Reykjavik, pp.131-164, 1975.
  - 11) Thaulow, N., Jakobsen, U.H. and Clark, B.: Composition of Alkali Silica Gel and Ettringite in Concrete Railroad Ties: SEM-EDX and X-ray Diffraction Analyses, *Cement and Concrete Research*, Vol. 26, No. 2, pp. 309-318, 1996.
  - 12) Dörner, H., Rippstain, D. and Gottmann, H.: Einwirkung wässriger Natriumchloridlösung auf Monosulfat, Teil 2, *TIZ-Fachberichte*, Vol. 110, No. 7, pp.477-481, 1986.
  - 13) Grattan-Bellew, P.E.: Preventive Measures to Counteract Expansion of Concrete Containing Alkali-Reactive Aggregates, *Durability of Building Materials*, pp. 363-376, 1983.
  - 14) Davis, G. and Oberholster, R.E.: The Effect of Different Outdoor Exposure Conditions on the Expansion due to Alkali-Silica Reaction, *Proc. 8th Intl. Conf. on Alkali-Aggregate Reaction*, Kyoto, pp. 623-628, 1989.

(1999. 5. 28 受付)

## ASR GEL COMPOSITION, SECONDARY ETTRINGITE FORMATION AND EXPANSION IN MORTARS IMMERSSED IN NaCl SOLUTION

Mitsunori KAWAMURA, Noriyuki ARANO and Kenji KATAFUTA

This study aims at pursuing the changes in microstructural features and the characteristics of ASR gels composition in reactive aggregate-containing mortars immersed in NaCl solution, relating them to the expansion behavior of the mortars. The alkali contents of ASR gels produced in mortars in NaCl solution were found to be lower than in NaOH solution. Larger expansions in mortars in NaCl solution than in NaOH solution appear to result from the production of ASR gels with relatively low alkali contents in the mortars. A characteristic of microstructural features to be noted in the mortars produced by the use of cement with the higher  $C_3A$  content was that ettringite started to be formed within many cracks caused by ASR at a time during the period of 14 to 56 days after immersion in NaCl solution. It is unclear whether the secondary ettringite formation influenced expansion of the mortars in NaCl solution