

## 飽和NaCl溶液中の反応性骨材含有モルタルの膨張と細孔溶液の組成

真柄建設技術研究所 正会員 竹内 勝信  
金沢大学工学部 正会員 川村 満紀  
金沢大学大学院 学生員 武田 泰平

## 1. まえがき

NaClがアルカリシリカ膨張を促進することは多くの研究者によって指摘されており、実際のA S Rによる劣化構造物においても融氷剤として使用したNaClがA S Rに影響を及ぼす例も報告されている<sup>1)</sup>。また、外部から供給されるNaClによるA S R膨張の促進に関連して、50℃の飽和NaCl溶液中にモルタルを浸漬して骨材の反応性を判定する方法<sup>2)</sup>や、50℃の飽和NaCl溶液中にコンクリートコアを浸漬して構造物の残存膨張性を予測する方法が提案されている<sup>3)</sup>。これら方法では、コンクリートやモルタルの膨張量が大きいので短期間に骨材の反応性の判定および残留膨張の程度の推定が可能であるにもかかわらず、膨張のメカニズムや湿気環境下における膨張試験結果との対応が明確でないためにあまり普及していない。しかし、38℃の1 N NaCl溶液中に浸漬した反応性骨材含有モルタルの膨張は、NaClの侵入によって細孔溶液中のOH<sup>-</sup>イオン濃度が上昇し、アルカリシリカ反応が促進されることが明らかにされている<sup>4)</sup>。本研究においては、50℃の飽和NaCl溶液中に浸漬した反応性骨材含有モルタルの膨張と細孔溶液の組成について検討するとともに、湿気環境下における膨張試験の結果と比較することにより、飽和NaCl溶液中におけるモルタルの膨張のメカニズムとその意義について考察した。

## 2. 実験概要

2. 1 使用材料: 反応性骨材は、ほとんどがクリストバライトより成る焼成フリント(C.F.)である。非反応性骨材には豊浦標準砂を使用した。使用セメントは、等価Na<sub>2</sub>O量=0.97%の高アルカリセメントと等価Na<sub>2</sub>O量=0.48%の低アルカリセメントである。
2. 2 膨張試験: アルカリ/C.F.=0.0048~0.05の範囲の8種類のモルタルに対して膨張試験を行った。0.025以上のアルカリ/C.F.比を持つモルタル(C.F./全骨材=0.26)においては、低アルカリセメントと高アルカリセメントの配合割合によってアルカリ/C.F.比を変化させた。また、アルカリ/C.F.比が0.025未満のモルタルでは、低アルカリセメントのみを使用し、C.F.の置換率を変化させて所定のアルカリ/C.F.比を持つモルタルの配合を決定した。モルタルにおけるセメント:骨材:水=1:0.75:0.4である。ただし、アルカリ/C.F.=0.0048においては、セメント:骨材:水=1:1:0.4である。供試体は20℃の恒温室において約24時間養生した後、脱型して標点距離が100mmとなるように供試体に真鍮製のバンドを取付けて基長を測定した。その後、38℃相対湿度>95%の湿気槽中で28日間養生した後、50℃の飽和NaCl溶液中に浸漬してモルタルの膨張量の経時変化を測定した。
2. 3 細孔溶液の分析: 膨張試験用のアルカリ/C.F.=0.0048および0.05のモルタルを用いて作製したφ40×100mmの円柱供試体は、膨張試験と同じ条件下で養生した。所定の材令に達した供試体から高圧装置を用いて抽出した細孔溶液は、所定の濃度に希釈してHClで直接滴定することによりOH<sup>-</sup>イオン濃度を求めた。

## 3. 実験結果および考察

## 3. 1 飽和NaCl溶液中における膨張挙動

図-1は、飽和NaCl溶液に浸漬したC.F.含有モルタルの膨張曲線を示したものである。この図より、アルカリ/C.F.比の小さなモルタルは、湿気槽中および飽和NaCl溶液中において比較的ゆっくりと膨張しているのに対して、アルカリ/C.F.比の大きなモルタルは、湿気槽中ではあまり大きく膨張しないが飽和NaCl溶液に浸漬すると大きく膨張していることがわかる。湿気槽中においてはアルカリ/C.F.比と膨張量に明確な相関性がないが、飽和NaCl溶液に浸漬後はアルカリ/C.F.比の大きなモルタルほど大きく膨張する傾向がある。

3. 2 細孔溶液中のOH<sup>-</sup>イオン濃度

図-2は、飽和NaCl溶液に浸漬したモルタルの細孔溶液中のOH<sup>-</sup>イオン濃度の経時変化を示したものである。アルカリ/C.F.

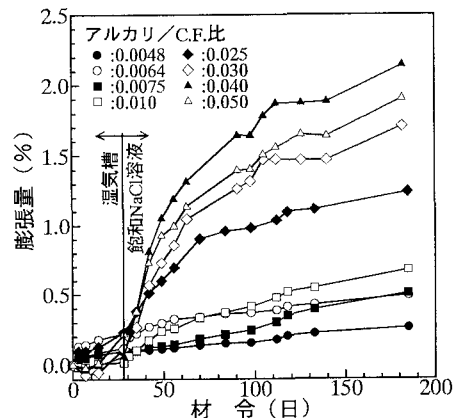


図-1 50℃の飽和NaCl溶液中の膨張曲線

$=0.0048$ のC.F.含有モルタルの $\text{OH}^-$ イオン濃度は、浸漬直前の約 $0.22\text{mol/l}$ から浸漬後7日で約 $0.16\text{mol/l}$ へと一旦減少するが、浸漬後14日で約 $0.35\text{mol/l}$ へと上昇した後、浸漬後60日において約 $0.04\text{mol/l}$ まで減少することがわかる。また、アルカリ/C.F.  $=0.05$ のC.F.含有モルタルの $\text{OH}^-$ イオン濃度は、浸漬直前の約 $0.41\text{mol/l}$ から浸漬後7日間に約 $0.61\text{mol/l}$ まで上昇した後徐々に減少する。一方、アルカリ/C.F.  $=0.0048$ および $0.05$ のモルタルに対応する標準砂のみを用いて作製したモルタルの $\text{OH}^-$ イオン濃度は、浸漬後に全く上昇することなく、溶液中への $\text{OH}^-$ イオンの拡散により急激に減少することがわかる。したがって、飽和NaCl溶液中のC.F.含有モルタルの膨張は、 $1\text{N NaCl}$ 溶液中と同様にNaClのモルタル中への侵入によって細孔溶液中の $\text{OH}^-$ イオン濃度が上昇し、アルカリシリカ反応が促進されるためと考えられる。また、飽和NaCl溶液に浸漬した後の $\text{OH}^-$ イオン濃度の最大値は、使用したセメントの等価 $\text{Na}_2\text{O}$ 量から推定した値<sup>5)</sup>と比較的良好一致している。このことは、飽和NaCl溶液に浸漬後の $\text{OH}^-$ イオン濃度はもとのモルタル中のアルカリ量と密接に関係していることを示している。

### 3. 3 湿気槽中における膨張との関係

図-3は、 $50^\circ\text{C}$ の飽和NaCl溶液中におけるモルタル円柱供試体の膨張量と $38^\circ\text{C}$ の湿気槽中における同一配合のモルタルバー( $25.3 \times 25.3 \times 285.5\text{mm}$ )の膨張量とを対比させたものである。この図より、材令90日および180日のいずれにおいても飽和NaCl溶液中におけるモルタルは、湿気槽のものと比較して約2倍以上の大きな膨張量を示し、両者における膨張量の間に非常に良好な相関関係があることがわかる。これらの条件下のモルタルの膨張量におけるの良好な相関性は、Larbiら<sup>6)</sup>によっても確認されており、このことは飽和NaCl溶液中における膨張が湿気槽中と同様のメカニズムで発生することを示唆している。湿気槽中の材令3ヶ月における基準値 $=0.05\%$ に対応する飽和NaCl溶液中の膨張量(90日材令)は、約 $0.4\%$ であり、この値はデンマーク法<sup>3)</sup>における基準値すなわちそれ以上の膨張量では構造物の残存膨張性が高いとしているコンクリートコアの膨張量と一致している。

### 4. まとめ

$50^\circ\text{C}$ の飽和NaCl溶液に浸漬した反応性骨材含有モルタルの膨張と細孔溶液中の $\text{OH}^-$ イオン濃度について検討した結果、次のような結論が得られた。

- (1) 飽和NaCl溶液中のC.F.含有モルタルの $\text{OH}^-$ イオン濃度は、 $38^\circ\text{C}$ の $1\text{N NaCl}$ 溶液中のものと同様に浸漬後に上昇するが、上昇後の最大値はもとのモルタル中のアルカリ量に対応しているようである。
- (2) 飽和NaCl溶液に浸漬したC.F.含有モルタルの膨張は、湿気槽のものより約2倍以上の大きな膨張量を示し、両者における膨張量の間には非常に良好な相関関係が存在する。
- (3) 飽和NaCl溶液中においては、骨材の反応性および劣化構造物の残留膨張性をより明確に判定することが可能である。

### 参考文献

- 1) 川村満紀、竹内勝信、鳥居和之：土木学会第48回年次学術講演会第5部、pp. 456-457, 1993.
- 2) Chatterji, S., Cement and Concrete Research, Vol. 8, pp. 647-650, 1978.
- 3) Strunge, H., Chatterji, S. and Jensen, A. D., il cemento, pp. 158-162, 1991.
- 4) 竹内勝信、川村満紀、杉山彰徳：コンクリート工学年次論文報告集、pp. 917-922, Vol. 15, 1993.
- 5) Diamond, S., 8th. Proc. of Int. Conf. on AAR, pp. 83-94, 1989.
- 6) Larbi, J. A. and Hudec, P. P., Cement and Concrete Research, Vol. 20, pp. 73-78, 1990.

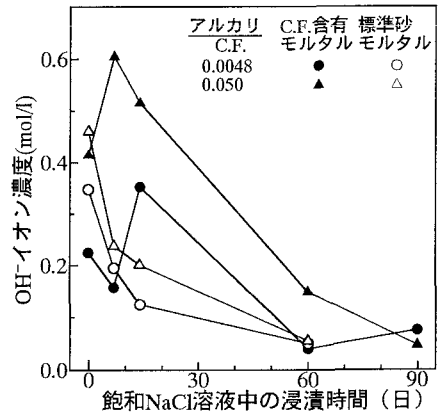


図-2  $\text{OH}^-$ イオン濃度の経時変化

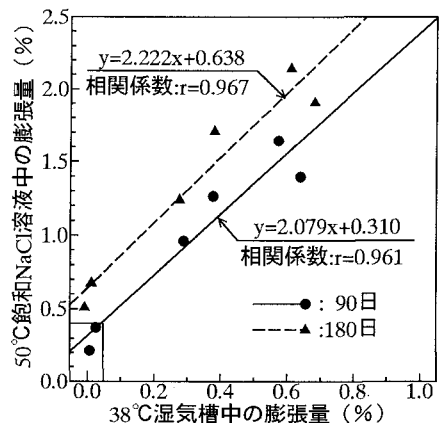


図-3 膨張量の相関関係