

珪酸ナトリウム系補修材料によるアルカリシリカ反応の促進作用の検証

金沢大学大学院自然科学研究科 学生会員 ○ 麻田 正弘
 金沢大学理工研究域環境デザイン学系 正会員 鳥居 和之

1. まえがき

珪酸塩系補修材料は、コンクリート中の水酸化カルシウムと反応してセメント水和物に近い組成の C-S-H ゲルを形成し、コンクリート中の空隙を充填することにより、コンクリート表層やひび割れの組織を緻密化するとされている。このような性質から、コンクリート表面から吸水を抑制でき、アルカリシリカ反応（以下、ASR）による膨張を抑制するうえで有効であるとされ、北陸地方でもこの種の補修材料が、道路構造物や電力施設などに積極的に使用された経緯があった。一方、写真-1 はサージタンクへの ASR の補修対策として、珪酸ナトリウム系補修材料を塗布したが、早期に再劣化した事例である。実構造物のサージタンクにおいて、珪酸ナトリウム系補修材料の塗布による ASR 抑制効果は発揮されておらず、内部からの浸透水によるひび割れの進展とアルカリシリカゲルの析出により、塗布した補修材料が剥がれ、ASR による再劣化が生じていた。

本研究では、珪酸ナトリウム系補修材料による ASR 促進のメカニズムを解明するために、珪酸ナトリウム系と珪酸リチウム系の 2 種類の珪酸アルカリ金属塩の溶液に浸漬したモルタルバーの膨張率を調べることにより 2, 3 の考察を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料

モルタルに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（工業原料として製造されたもの（英国製、密度：2.12g/m³）、主要反応性鉱物：クリストバライト）¹⁾であり、反応性鉱物が α -クリストバライトのみであるので、反応性のシリカ鉱物とアルカリ溶液との相互作用を単純な反応系、すなわち ASR の基本的な概念である細孔溶液の水酸化物イオン濃度 (OH⁻) との関係で理解できる利点がある。非反応性骨材として石灰岩砕砂（密度：2.63g/m³）を

使用し、焼成フリントのペシマム混合率を 30%（絶乾重量比）とした。セメントは普通ポルトランドセメント（密度：3.16g/m³、ブレン粉末度：3300cm²/g、アルカリ量：0.42%）である。

2.2 試験方法

モルタルの膨張率試験は外部からのアルカリ（1N の NaOH 溶液）により ASR を促進する試験法である ASTM C1260 に準拠した。モルタルバーの形状は 25mm×25mm×285mm であり、骨材／セメント比＝2.25、水／セメント比＝0.48 である。モルタルバーは打設後 1 日で脱型し、温度 80℃ の水中に 1 日間養生後、温度 80℃ の 0.5N（または 2.5N）の珪酸アルカリ金属塩溶液に 28 日間浸漬し、モルタルバーの膨張率を所定材令にて計測した。1N の NaOH 溶液と比較するため、Na₂SiO₃ および Li₂SiO₃ の試験溶液の濃度は 0.5N とした。また、高濃度の溶液での影響を比較するために 2.5N の溶液でも試験した。なお、骨材のアルカリシリカ反応性の ASTM C1260 による判定では、温度 80℃ の 1N の NaOH 溶液に 14 日間浸漬した時のモルタルバーの膨張率が 0.1%未満を「無害」、0.1%～0.2%を「無害と有害の両者が存在する」、0.2%以上を「有害」としている。

3. 試験結果および考察

3.1 試験結果

0.5N の Na₂SiO₃ 溶液および Li₂SiO₃ 溶液に浸漬したモルタルバーの膨張挙動を図-1 に示す。0.5N の Na₂SiO₃ 溶液に浸漬したモルタルバーの膨張率は浸



写真-1 珪酸ナトリウム系補修材料の再劣化状況

キーワード アルカリシリカ反応，浸透性補修材料，珪酸ナトリウム系，表面保護工
 連絡先 〒920-1192 金沢市角間町 金沢大学 TEL 076-234-4620

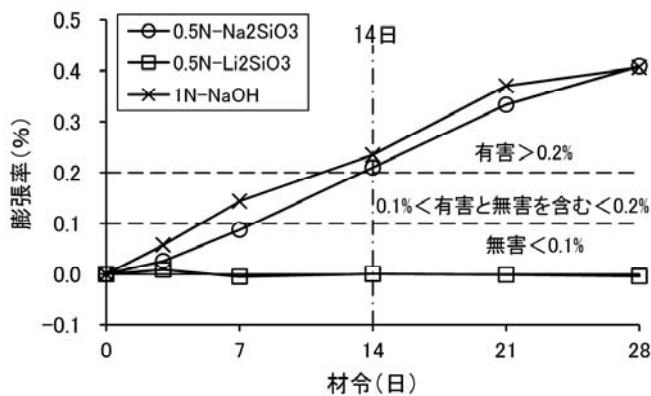


図-1 0.5Nの Na_2SiO_3 溶液と Li_2SiO_3 溶液に浸漬したモルタルバーの膨張挙動

漬材令14日で0.21%を示し、1NのNaOH溶液に浸漬したモルタルバーの膨張率0.23%に近い値となり、その後も膨張傾向を示している。これは、実際、 Na_2SiO_3 がASRを促進させたことを示しており、このメカニズムは Na_2SiO_3 溶液中での Na^+ イオンの解離によるモルタルバー細孔溶液中の水酸化アルカリ(NaOH)濃度が上昇したものによると考えられる。

一方、0.5Nの Li_2SiO_3 溶液に浸漬したモルタルバーは全く膨張を示していない。これは、 Li_2SiO_3 溶液では反応性骨材からのシリカの溶出を防ぐ効果と、アルカリシリカゲルの膨潤性を低下させる効果によりASR抑制効果が発揮されたものと考えられる。

次に、2.5Nの Na_2SiO_3 溶液および Li_2SiO_3 溶液に浸漬したモルタルバーの膨張挙動を図-2に示す。2.5Nの Na_2SiO_3 溶液に浸漬したモルタルバーの膨張率は浸漬材令7日までの初期段階では0.03%の低い膨張を示したが、その後この膨張は消滅した。これは、外部から高濃度の Na_2SiO_3 溶液が供給されると、高濃度の Na_2SiO_3 と $\text{Ca}(\text{OH})_2$ との反応により、C-S-Hゲルの緻密な組織が表面部に形成され、浸漬材齢にともなう内部への溶液の浸透を大きく抑制したことによるものと考えられる。

3.2 考察

0.5Nの Na_2SiO_3 溶液に浸漬したモルタルバーが膨張を示し、ASRが促進されたことについて、まず式(1)のような反応により、細孔溶液中のNaOH濃度の上昇が生じていたと考えられる。



一方、 Na_2SiO_3 は式(2)のようにシリカ鉱物(SiO_2)に炭酸ナトリウム(Na_2CO_3)を加えて生成されるもの

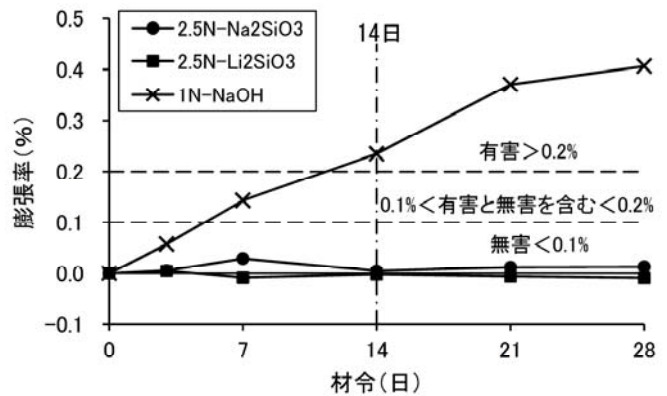
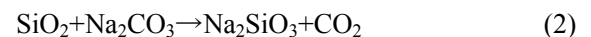
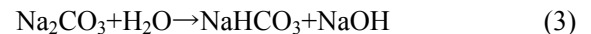


図-2 2.5Nの Na_2SiO_3 溶液と Li_2SiO_3 溶液に浸漬したモルタルバーの膨張挙動

であり、



式(2)のように Na_2CO_3 が残存していると、式(3)のようにNaOH濃度の上昇が生じていたと考えられる。



さらに、高温環境下では、式(3)の炭酸水素ナトリウム自身(NaHCO_3)が分解し、式(4)の反応がさらに起こっていたと推察される。



以上より、式(1)、式(3)、式(4)から Na_2SiO_3 溶液中ではNaOH濃度が大きく上昇していたと考えられる。

4. まとめ

- (1) 実構造物において、珪酸ナトリウム系補修材料による表面塗布工では、ASR抑制効果は発揮されず、補修材料が剥がれ、再劣化を生じていた。
- (2) 珪酸ナトリウム溶液に浸漬した反応性骨材を用いたモルタルバーの膨張挙動はASTM C1260による判定で「有害」な膨張率を示した。これより、珪酸ナトリウム系補修材料はASRに対して促進作用があり、実構造物におけるASRの再劣化事例を検証するものとなった。
- (3) 珪酸リチウム溶液に浸漬した反応性骨材を用いたモルタルバーは全く膨張を示さなかった。これより、珪酸リチウム系補修材料は珪酸ナトリウム系補修材料と異なり、ASR抑制効果が確認された。

参考文献

- 1) 山戸博晃, 鳥居和之ほか: 放射性廃棄物からのナトリウム塩によるアルカリシリカ反応の発生機構, コンクリート工学論文集, Vol.32, No.1, 2010.7