

## アルカリシリカゲルへの物性変化に及ぼす Na/Si 比の影響に関する研究

中央大学 学生会員 ○後藤 渉  
中央大学 正会員 大下 英吉

## 1. はじめに

コンクリート構造物の劣化現象は多岐に渡るが、その中の一つであるアルカリ骨材反応(以下、ASR と称す)は、コンクリート構造物の耐久性に大きく影響を与える。従来 ASR 対策として、ASR 抑制効果のあるセメントの使用などが実施されていた。しかし近年、抑制対策を行った構造物に対しても、ASR による劣化報告や鉄筋破断に至る事例まで報告されている。

ASR を誘発するアルカリシリカゲル( $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Na/Si 比 SiO}_2 \cdot \text{mH}_2\text{O}$ )の物性は未解明な部分が多く、ASR による RC 構造物の劣化現象を防ぐための定量化も困難になっている。したがって、アルカリシリカゲルの物性の解明は急務である。

L.Struble ら<sup>1)2)</sup>は、Na/Si 比の異なるアルカリシリカゲルの膨張量に関する研究を実施し、Na/Si 比の違いによる自由膨張量と一定圧力下での膨張量の関係性を明らかにした。しかしながら、アルカリシリカゲルの物性を評価する上で重要な膨張量と水分吸水率を関連付けた評価を行っておらず、また吸水に伴う力学的特性の評価も実施していない。

そこで本研究では、アルカリシリカゲルの吸水による各種物性の評価を行った。具体的には、アルカリシリカゲルの吸水膨張特性を、Na/Si 比に関連付けた検討を行うものとする。

## 2. 実験概要

## (1)アルカリシリカゲルの作成

任意の Na/Si 比 Na/Si 比を持つ均質な非結晶のアルカリシリカゲルは以下に述べる L.Struble らによる手順で調合できる。

まず、0.8mol/L のメタケイ酸ナトリウム水溶液を陽イオン交換樹脂に通し、珪酸ゾルに変える。その際、あらかじめ適量の樹脂をビーカーに入れ、樹脂をかき回し、水面に浮遊した樹脂を取り除く。その後、一般的な強酸性樹脂のイオン形は NA/SI 比 a もしくは Cl 形であるため、5%ほどの硫酸を樹脂に通し+H 形にする。その後、珪酸ゾルに 12.5mol/L の水酸化ナトリウム水溶液を添加することで珪酸ナトリウムゾルとなる。添加する際に水酸化ナトリウム水溶液の添加量を変える事で様々な NA/SI 比 a/Si 比を持つアルカリシリカゲルを作成した。そして、珪酸ナトリウムゾルをスターラーで攪拌しながら真空ポンプで真空除去を行い、水分を蒸発させることで最終的にアルカリシリカゲルを作成した。真空時間は Na/Si 比と体積によって異なるが、スターラーで攪拌できなくなるまでとした。

本研究では、L.Struble らの実験と同じ条件下で行うため、2 つの異なる Na/Si 比 (0.78 と 0.16) を持つアルカリシリカゲルを作成した。

## (2)膨張量測定試験

アルカリシリカゲルの自由膨張量は、図-1 に示す鋼製の容器に試料を入れて測定を行った。この容器は供試体の底面にポーラスメタルという多孔質の金属を設置することで、アルカリシリカゲルの吸水特性による自由な膨張量を測定可能となっている。試料への水分供給はポーラスメタルを介して行われる。また、試料上部に設置するピストンは、一定圧力を試料へ作用させるためのものであり、試料の自由膨張量測定時にはピストンは外した状態で実施する。自由膨張量の測定では、アルカリシリカゲルに直接レーザーを照射し、水流入後の膨張量を測定する。一定圧力下での膨張量の測定は、アルカリシリカゲルの上にピストンを乗せ、ピストンの重さを圧力とすることで、ピストンの上下動をレーザー変位計で測定する。また、本実験では、作用圧力を 0.325Pa した。吸水率測定は、2 時間ごとに取り出したアルカリシリカゲルを加熱し、加熱前後の質量変化率から算出した。

表-1 Na/Si 比

| SiO <sub>2</sub> 0.8mol/L | Na <sub>2</sub> O 12.5mol/L | Na/Si比 |
|---------------------------|-----------------------------|--------|
| 200ml                     | 10ml                        | n=0.78 |
| 200ml                     | 2ml                         | n=0.16 |

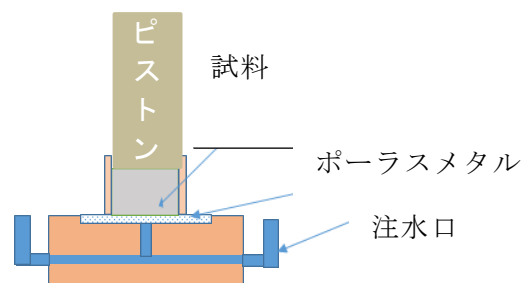


図-1 試験容器

キーワード ASR,アルカリシリカゲル, 体積膨張率, 水分吸水率

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部都市環境学科コンクリート研究室

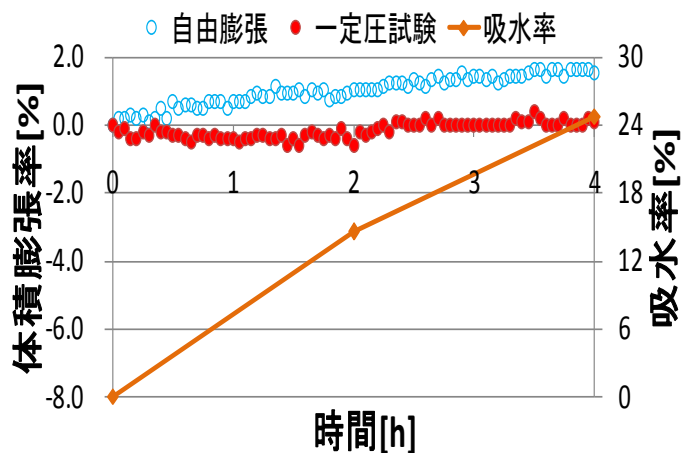
TEL : 03-3817-1892 Mail : wgoto-525@civil.chuo-u.ac.jp

### 3. 実験結果

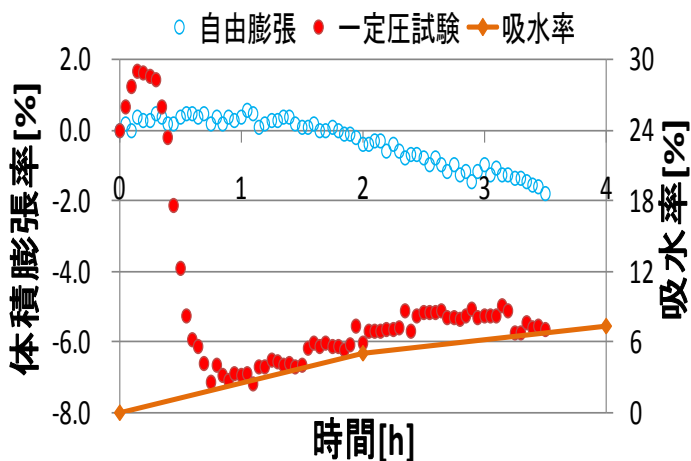
ゲルの自由膨張量および一定圧力下における膨張量の時刻歴を図2に示す. 同図(a)および(b)には, それぞれ Na/Si 比が 0.16 および 0.78 の結果を示す. 各図中に示す記号○および●は, それぞれ自由膨張量および一定圧力下での膨張量であり, 実線は吸水率を表している.

まず, 自由膨張量試験では, Na/Si 比 0.16 は吸水率とともに緩やかな膨張を見せ, 体積膨張率は 2% であった. Na/Si 比=0.78 ではほとんど変化せず, 吸水開始から 2 時間を超えると体積は 2% 収縮した. 要因としてシリカは多孔質で吸着能力が高い物質であり, Na/Si 比が低いほどその性質が顕著に表れることが挙げられる. Na/Si 比=0.78 のアルカリシリカゲルでは, Na/Si 比=0.16 に比較して多孔質物質であるシリカの含有量が少ないため, 吸水率もかなり小さな値となったと考えられる.

次に, 一定圧力下における膨張量は, Na/Si 比=0.23 では体積に大きな変化はみられなかった. しかし, Na/Si 比=0.78 は, 吸水開始と同時に体積が急激に膨張した後に, 収縮に転じたことが確認できる.



(a) Na/Si 比=0.23



(a) Na/Si 比=0.78

図-2 膨張量試験

さらに, 図 2(b)の一定圧力下での膨張量の最大値は自由膨張量の測定範囲内における最大値よりも大きくなっている. この挙動は L.Struble の研究においても報告されており, 同様の傾向を本研究でも確認できた.

一定圧力下での膨張量測定試験の結果より, アルカリシリカゲルは圧力が作用すると異常膨張が起こる. 特に, Na/Si 比の比較的高いアルカリシリカゲルに対して引き起こりやすいと考えられる.

実際のコンクリート内で生じたアルカリシリカゲルには, 外部からの圧力が作用されている. これによって発生するアルカリシリカゲルの異常膨張が, コンクリートのひび割れを誘発することが考えられる.

これらの実験結果より, アルカリシリカゲルの膨張特性は Na/Si 比によって膨張特性が大きく異なり, 吸水率にも Na/Si 比の影響が大きく関連していることが判明した.

また, 本実験では吸水に伴う力学的特性の評価は実施していない. さらに, アルカリシリカゲルの水分吸収は物理吸着と化学吸着に大別でき, 化学吸着によりアルカリシリカゲルの組成は変化する. したがって, アルカリシリカゲルの体積弾性係, そして数物理吸着・化学吸着の違いを考慮し物性を評価することを今後の課題とする.

### 4. まとめ

本研究は, アルカリシリカゲルの物性を評価する上で重要な膨張量と水分吸水率の関連性を評価する事を目的とした. ここで, 本研究で得られた知見を以下に示す.

- (1) アルカリシリカゲルの吸水膨張特性は, Na/Si 比によって大きく異なる.
- (2) アルカリシリカゲルの吸水率は Na/Si 比に依存する.

#### 【参考文献】

- 1) L.Struble, S.Diamond: Swelling Properties of Synthetic Alkali Silica Gels, Journal of the American Ceramic Society. Vol.64. Issue.11/ pp.652-655 (1981)
- 2) L.Struble, S.Diamond: Unstable Swelling Behavior of Silica Gels, CEMENT and CONCRETE RESEARCH. vol.11. pp.611-617 (1981)
- 3) 村上あい, 二村誠二, 乾義尚: アルカリシリカ反応における反応性鉱物の違いが細孔溶液の化学組成に及ぼす影響について, コンクリート工学年次論文報告集, vol.20, Na/Si 比 0.2, pp937-942(1998)
- 4) H.krogh, Examination of synthetic alkali-silica gels, Symposium on Alkali-aggregate Reaction, Preventative Measures. Reykjavik, Iceland, 1975.