

# CaO/ SiO<sub>2</sub> 比に着目した C-S-H ゲルの吸水膨張特性に関する研究

中央大学 学生会員 ○梶谷 昇平

中央大学 正会員 大下 英吉

## 1. はじめに

コンクリートの主原料はセメントと水、骨材である。そのため、骨材の影響を除いた場合、水和反応によって生成される水和物の物性がコンクリートの力学的性能に大きな影響を及ぼす。中でも、珪酸カルシウム水和物(C-S-H)はコンクリート中のセメント水和物の半分以上を占めているため、C-S-H の物性がコンクリートの力学的性能に大きく影響すると考えられている。また、C-S-H の組成である CaO/ SiO<sub>2</sub> モル比(以下 C/S 比)は、C-S-H の物性に影響することが明らかにされている。近年では、C-S-H に関する様々な研究が行われており、須田ら<sup>1)</sup>などによって、C-S-H に生じる乾燥収縮や湿潤膨張の C/S 比への依存性は報告されている。一方、水分を直接吸収させた際の膨張量は未だに解明されていない。したがって、コンクリートの力学的性能を適切に評価するためには、C/S 比の異なる C-S-H と吸水膨張特性の関係を明らかにする必要がある。

そこで本研究では、セメント水和物である C-S-H に着目し、異なる C/S 比の C-S-H を作成して、吸水に伴う自由膨張量と一定圧が載荷された状態における膨張量の測定実験を実施した。

## 2. 実験概要

### 2.1 C-S-H の合成

C-S-H の合成方法は金ら<sup>2)</sup>の方法に準拠し、部分加水分解によるゾル-ゲル法を用いて純薬合成を行い、テトラエチルオルトシリケート(TEOS)と水酸化カルシウム水溶液を目標 C/S 比(1.1, 1.8)になるように配合した。使用する薬品の分量の詳細を表-1 に示す。合成した C-S-H は真空デシケータにて 24 時間真空乾燥させた後に、粉末状にした。また、合成した C-S-H は蛍光 X 線回折測定(XRF)によって、C/S 比を測定し、合成した C-S-H の相組成の妥当性を評価した。

表-1 合成 C-S-H に使用した薬品の分量

|                     | 分子量(g/mol) | 比重(g/ml)    | 純度(%) | モル濃度(mol/l) | 1mol当りの溶液量(ml) |
|---------------------|------------|-------------|-------|-------------|----------------|
| TEOS                | 208.33     | 0.932~0.940 | 95    | 4.2         | 235.3          |
| エタノール               | 46.07      | 0.789~0.791 | 99.5  | 17.0        | 58.7           |
| 塩酸                  | 36.46      | 1.17        | 35~37 | 11.2        | 89.0           |
| 水                   | 18         | 1           | 100   | 55.6        | 18.0           |
| Ca(OH) <sub>2</sub> | 74.09      | 2.24        | 96    | 29.0        | 34.5           |

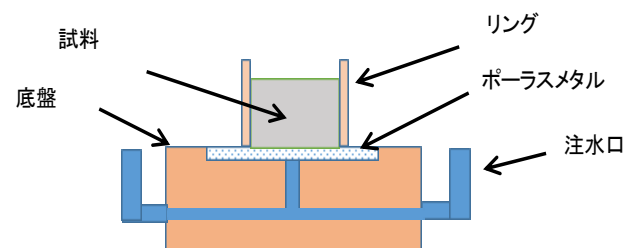


図-1 試験容器

### 2.2 膨張量試験

異なる C/S 比で合成した C-S-H に水分を吸収させて、吸水に伴う膨張から膨張量の測定を行う。測定方法については、百瀬ら<sup>3)</sup>の方法に準拠し、図-1 に示す鋼製の容器に試料を入れて、恒温恒湿(温度 25℃, 湿度 50%)の環境下で試験を行った。容器は台座、ポーラスメタル、注水口から構成されており、試料への水分供給は注水口からポーラスメタルを介して行われる。また、膨張量試験では、試料へピストンにより一定圧力を作用させた定圧膨張試験と、ピストンを外した状態で圧力を作用させずに実施する自由膨張試験を行った。なお、膨張量の測定にはレーザー変位計を用い、レーザー変位計で測定した膨張量と吸水前の試料の厚さから体積膨張率を算出した。また、試験前と試験後の試料の質量を測定し、質量の差から C-S-H の吸水率を算出した。なお、定圧膨張試験における作用圧力は百瀬ら<sup>3)</sup>と同様に 0.325[Pa]とした。

## 3. C-S-H ゲルの物性評価

### 3.1 合成 C-S-H の妥当性

合成した C-S-H の C/S 比を測定するため X 線回折測定

キーワード C-S-H, C/S 比, 吸水膨張特性

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 : kjiy-shh\_0520@civil.chuo-u.ac.jp

を行った。なお、測定条件は X 線源を Si-K $\alpha$ , Ca-K $\alpha$ , 管電流を 100 $\mu$ A とした。出発原料と合成物の C/S 比に差がほとんど無かったことから、合成は適切に行われたものと判断した。

### 3.2 自由膨張試験の結果

自由膨張試験における膨張量の時刻歴と試験前と試験後の吸水率を図-2 に示す。同図(a)は C/S 比 1.1, 同図(b)は C/S 比 1.8 の結果であり、両図とも左 Y 軸は体積膨張率[%], 右 Y 軸は吸水率[%], X 軸は測定時間[min]を表す。

C/S 比 1.1 では、試験開始直後に急激に膨張する挙動を示した後に、緩やかに膨張を続けた。しかし、C/S 比 1.8 では開始直後に大きな膨張は見られず、緩やかに膨張を続けた。吸水率に関しては、C/S 比 1.1 が C/S 比 1.8 よりも大きな値となった。

### 3.3 定圧膨張試験の結果

次に、定圧膨張試験の膨張量と吸収率を図-3 に示す。同図(a)が C/S 比 1.1, 同図(b)が C/S 比 1.8 の結果である。

C/S 比 1.1 では試験開始直後に大きく膨張に転じ、その後は緩やかに膨張を続けた。また、C/S 比 1.8 でも、同様な挙動を示したが、体積膨張率は C/S 比 1.1 に比べて小さな値となった。吸水率に関しては、自由膨張試験と同様に C/S 比 1.1 の方が C/S 比 1.8 よりも大きな値を示した。

### 3.4 C-S-H の吸水膨張特性の評価

試験前と試験後の吸水率の変化から、C/S 比 1.1 が C/S 比 1.8 に比べて、自由膨張試験・定圧膨張試験共に吸水量が多くなる傾向を示した。また、C-S-H の膨張量においても、C/S 比 1.1 が C/S 比 1.8 に比べて大きくなる傾向を示した。須田ら<sup>1)</sup>の研究では、低 C/S 比の C-S-H ほど、水蒸気吸着量が多くなることが明らかになっている。そのため、C/S 比の小さい C/S 比 1.1 の方が、吸水量が多くなったことが考えられる。また、須田ら<sup>1)</sup>の研究より、低 C/S 比の C-S-H ほど、密度が小さくなることも明らかにされている。そのため、C/S 比の小さい C/S 比 1.1 の方が変形への抵抗性が弱くなり、大きく膨張した可能性がある。

以上の結果から、C-S-H の吸水膨張特性は、C-S-H の組成である C/S 比によって異なることが確認された。そのため、セメントと水との反応から生成される C-S-H の組成によって、コンクリートの力学的特性が大きく変化することが分かる。したがって、C/S 比の違いによって生じた C-S-H の吸水膨張特性の違いは、コンクリート構造物に非常に大きな影響を与えていることが考えられる。

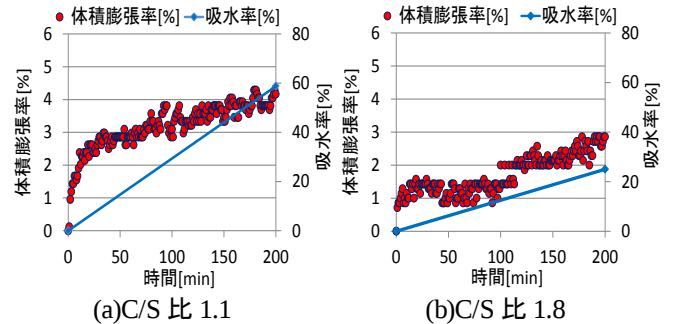


図-2 自由膨張試験結果

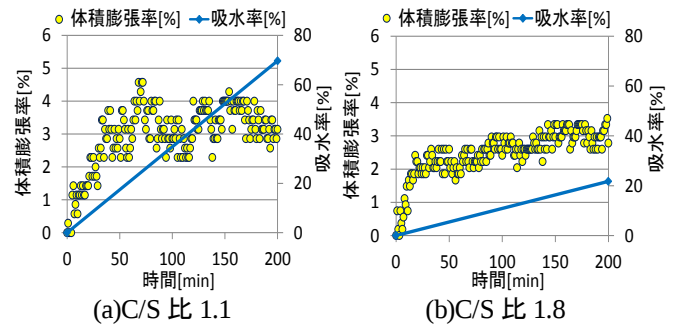


図-3 定圧膨張試験結果

また、今回測定した水分率は膨張試験前と膨張試験後のみであったため、吸水に伴う C-S-H の膨張量を正確に評価できたとは言いがたい。そのため、C-S-H の膨張に伴う経時的な水分率の測定を行い、評価することを今後の課題とする。

## 4. まとめ

本研究では、C-S-H を合成し、吸水膨張試験を行った結果、以下のような見解を得た。

- (1) C-S-H ゲルの吸水膨張特性は C-S-H の組成である C/S 比が支配的であることが確認できた。
- (2) C-S-H ゲルの膨張量はゲルの吸水量に大きく依存することが把握できた。

## 参考文献

- 1) 須田裕哉ほか：温度・湿度の変化が C-S-H の組成および密度に及ぼす影響, Cement Science and Concrete Technology, Vol.67(2013)
- 2) 金尚奎ほか：水酸化カルシウムおよびケイ酸カルシウム水和物の炭酸化反応, Inorganic Materials, Vol.2, No.254, pp18-25 (1995)
- 3) 百瀬雄貴, 大下英吉：アルカリシリカゲルの物性に及ぼす Na/Si 比の影響に関する研究, セメント・コンクリート論文集, Vol.69, No.3121(2015)