

### Ca/Si 比の異なる C-S-H の炭酸化性状に関する実験的検討

宇部興産株式会社                    正会員    ○石田 剛朗  
 広島大学                            学生会員    伊藤 優平  
 広島大学                            フェロー会員    河合 研至

#### 1. はじめに

主要なセメント水和物である C-S-H はセメント硬化体中に占める割合が多く、また Ca の含有量も多い。すなわち、炭酸化をうける際には二酸化炭素の消費量も多いため、炭酸化に及ぼす影響も大きいと考えられる。しかしながら、C-S-H の炭酸化モデルは確立されておらず、また C-S-H の炭酸化挙動に関する検討は十分に行われているとは言えない状況である。

本研究は、模擬細孔溶液中に Ca/Si 比の異なる C-S-H を加えたものを、炭酸化促進条件にあたる CO<sub>2</sub> ガス濃度環境に曝露することによる C-S-H の炭酸化実験を行い、Ca/Si 比の異なる C-S-H の炭酸化性状に関して実験的な検討を行ったものである。

#### 2. 実験概要

試薬 (NaOH) を用いて作製した、初期 pH13.2 の模擬細孔溶液 80ml に、粉末状の合成 C-S-H 1.0g を加えたものを試料とし、これを炭酸化試験槽内に曝露した。C-S-H は Ca/Si モル比が 0.7, 1.1, 1.4 のものを用いた。炭酸化試験槽内の CO<sub>2</sub> ガス濃度は 0.5, 5.0% とし、雰囲気温度は 25°C、相対湿度はほぼ 100% とした。実験の概念図を図-1 に示す。

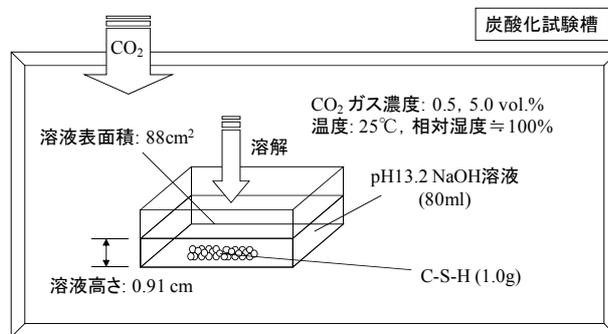


図-1 炭酸化実験の概念図

所定の曝露期間が経過した後、吸引ろ過を行い、試料を溶液と残渣とに分離した。溶液については、pH メーターにより pH を、原子吸光度計により溶液中の Ca 濃度と Si 濃度を測定した。残渣については、24 時間以上の吸引脱気を行い、TG-DTA により CaCO<sub>3</sub> 量を、サリチル酸メタノールを用いた抽出分離法<sup>1)</sup>により、C-S-H 量を定量した。なお、サリチル酸メタノールに溶解する C-S-H は、Ca/Si モル比が 1.0 以上程度の C-S-H であるとされており、本研究ではこれを高 Ca 型の C-S-H と定義する。一方で、Ca/Si モル比が 1.0 未満程度の C-S-H を低 Ca 型 C-S-H と定義する。

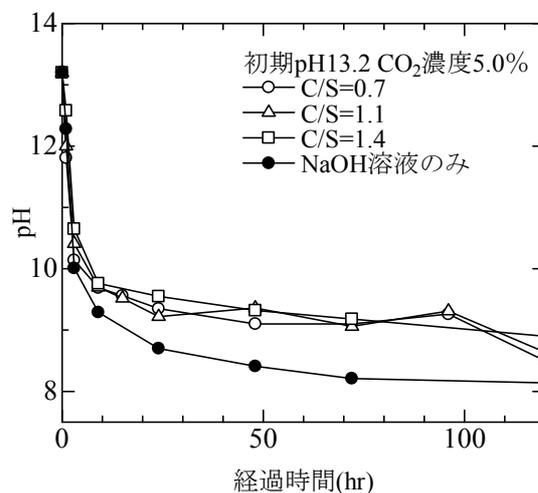


図-2 pH の経時変化

#### 3. 実験結果および考察

##### 3. 1 溶液の分析結果

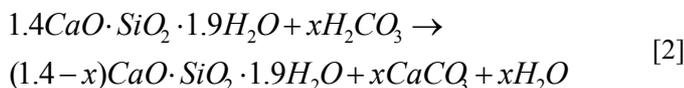
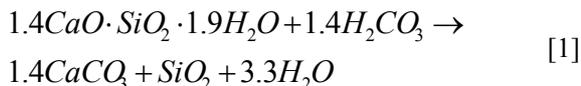
一例として、CO<sub>2</sub> ガス濃度 5.0% の場合の pH の経時変化を図-2 に示す。C-S-H の分解にともなう CO<sub>2</sub> の消費によって、pH の低下が若干ではあるが抑制されていることが確認できる。なお、CO<sub>2</sub> ガス濃度 0.5% の場合においても同様の傾向である。

キーワード C-S-H, Ca/Si 比, 炭酸化

連絡先 〒755-8633 山口県宇部市大字小串字沖の山 1-6 宇部興産(株) TEL0836-22-6157

### 3. 2 残渣の分析結果

一例として、本研究で用いた Ca/Si モル比 1.4, H<sub>2</sub>O/Si モル比 1.9 の C-S-H の炭酸化反応式を以下に示す.



完全に CaCO<sub>3</sub> と SiO<sub>2</sub> に分解する場合の反応式は式[1]で、C-S-H が部分的に分解し、低 Ca 型 C-S-H が生成する場合の反応式は式[2]で表される<sup>2)</sup>. 本研究の炭酸化実験においては、式[1]と式[2]の炭酸化反応が同時に生じていると推察されるが、SiO<sub>2</sub> 量を正確に測定することは難しい. そこで、式[1]のとおり完全分解の炭酸化反応が起こると仮定し、CaCO<sub>3</sub> 量の測定値から SiO<sub>2</sub> 量を計算した. SiO<sub>2</sub> 量の計算値を、高 Ca 型 C-S-H 量、CaCO<sub>3</sub> 量の測定値と併せて図-3 に示す. ここでは、一例として、CO<sub>2</sub> ガス濃度 5.0% の場合のみを示すが、CO<sub>2</sub> ガス濃度 0.5% の場合においても同様の傾向である. 図において 100% からの差分が低 Ca 型 C-S-H 量の推定値である. なお、Ca/Si モル比が 1.4 の場合には、サリチル酸メタノールに溶解する高 Ca 型 C-S-H の初期値は、92% であるが、1.1 では 85%、0.7 では 15% である. すなわち、Ca/Si モル比が低いほど、炭酸化による分解を生じる以前から低 Ca 型 C-S-H が大きい割合で混在しているといえる.

図より、pH が平衡に近い状態まで低下しても、C-S-H の一部は残存している. Ca/Si モル比 1.4 の C-S-H に関しては、高 Ca 型の C-S-H も残存しているものの、いずれの Ca/Si モル比においても最終的に残存している C-S-H の大部分は低 Ca 型のものである. C-S-H の残存に関しては、炭酸化により生成したシリカゲルが C-S-H の分解の妨げとなっている可能性が考えられる.

### 4. 結論

本研究で検討を行った C-S-H (Ca/Si モル比が 0.7, 1.1, 1.4) に関しては、いずれの Ca/Si モル比においても、pH が平衡に近い状態まで低下しても C-S-H の一部は残存していた. また、Ca/Si モル比 1.4 の C-S-H に関してのみ、高 Ca 型の C-S-H が残存していた. このような残存は他の水和物には見られない特徴的な現象であり、シリカゲルが C-S-H 分解の妨げとなっている可能性が考えられる. 今後、C-S-H の炭酸化モデル構築のためには、炭酸化を受けた後に生成する低 Ca 型 C-S-H の Ca/Si モル比の特定が必要であると考えられる.

謝辞：本研究は筆頭筆者が平成 23 年度土木学会吉田研究奨励賞を授与され、行われたものです.

### 参考文献

- 1) 鈴木一孝, 西川直弘, 林知延: Ca/Si 比の異なる C-S-H の炭酸化, セメント・コンクリート論文集, 1989
- 2) 石田剛朗, 市場大伍, 河合研至: C-S-H の炭酸化に及ぼす二酸化炭素ガス濃度の影響, セメント・コンクリート論文集, 2009

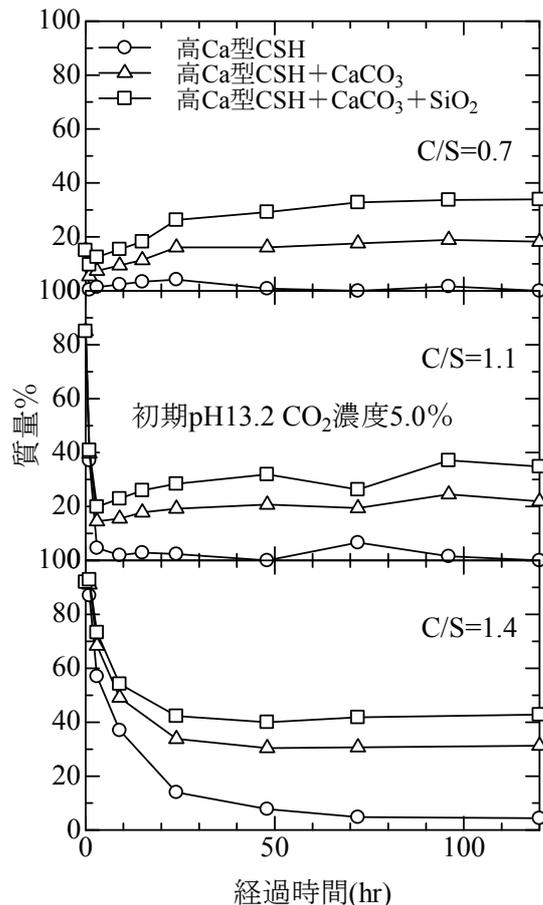


図-3 高 Ca 型 C-S-H, CaCO<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> の経時変化