

## 炭酸化が水セメント比の異なるセメントペースト中の C-S-H に及ぼす影響

(独)鉄道・運輸機構 正会員 ○佐々木 亮人  
 日本大学理工学部 正会員 佐藤 正己  
 日本大学理工学部 正会員 小泉 公志郎  
 日本大学理工学部 正会員 梅村 靖弘

### 1. 目的

社会資本の効率的な維持管理の為には、材料面からのコンクリート構造物の劣化予測が不可欠である。打設直後から全ての構造物で進行するコンクリートの劣化として空気中の CO<sub>2</sub> による炭酸化がある。炭酸化により鉄筋腐食が進行すると構造物の耐荷力にも大きな影響を与える。コンクリートの材料面からの劣化を考える場合、カルシウムシリケート水和物(C-S-H)の炭酸化に関する知見が重要であるが研究事例が少ない。本研究では、水セメント比(W/C)の異なる硬化セメントペーストを粉砕した粉末状の試料を湿度の異なる環境で促進炭酸化を行った。C-S-Hの炭酸化による変質に関して実験的検討を行った。

### 2. 研究概要

使用材料を表-1 に、配合表を表-2 に示す。セメントペーストの水セメント比 W/C=20%, 40%, 60%とした。試料は材齢 28 日まで 20°C室内にて封緘養生した後、ボールミルで均一に粉砕し粉末試料を作製した。作製した試料はシャーレに平らになるように入れ、促進炭酸化槽内部に配置した。表-3 に示すように粉砕後試料の試験条件で促進炭酸化試験を行い、開始時、7, 14, 28 日に採取・分析をした。促進炭酸化濃度は、二酸化炭素濃度は 10%一定で行い、湿度は 30%RH(H30), 60%RH(H60)の 2 水準として促進炭酸化試験を行った。試験開始後、7, 14, 28 日での質量を測定し質量変化を求めた。

間隙水量は、炭酸化槽から取出し直後の試料を 105°Cで加熱し質量減少分を測定した。水酸化カルシウム(Ca(OH)<sub>2</sub>)存在量と炭酸カルシウム(CaCO<sub>3</sub>)存在量は、定量示差熱重量分析計(TG-DTA)を用いた。セメント鉱物および水和物の定量は、内部標準法(内部標準物質 α-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>10%添加)による粉末 X 線回析(XRD)リートベルト法による解析を行った。以上の計測結果から相組成を算出した。相組成算出の際、試料の炭酸化による質量の変化が生じる為、槽配置前後の質量変化から、相組成全体量の補正を行った。また、本研究では相組成の算出の際、非晶質水和物は全て C-S-H であると仮定した。

CaO/SiO<sub>2</sub> モル比(C/S 比)は、C<sub>3</sub>S, C<sub>2</sub>S の質量比から消費された CaO, SiO<sub>2</sub> をモル比に換算し算出した。Ca(OH)<sub>2</sub>, CaCO<sub>3</sub> の質量比から C-S-H 以外の CaO をモル比に換算し算出した。

### 3. 実験結果及び考察

#### 3. 1 セメント反応率

各セメント反応率を図-1 に示す。H30 は H60 と比較して、乾燥により反応が停滞したと考えられる。セメント反応率は W/C が低くなるにつれて小さくなり、また W/C=60%の反応率は炭酸化開始時点で 100%であった。

キーワード 炭酸化, C-S-H, C/S 比, 炭酸カルシウム, カルサイト, アラゴナイト

連絡先 〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8-14 日本大学理工学部 TEL 03-3259-0514

表-1 使用材料

材料の種類	略号	備考
早強ポルトランドセメント	C	密度=3.13cm <sup>3</sup> /g ブレン値=4720cm <sup>2</sup> /g
蒸留水	W	-
高性能減水剤	SP	ポリカルボン酸系超高強度用

表-2 配合表

W/C (%)	単体量(kg/m <sup>3</sup> )			SP添加量 (C×%)
	W	SP	C	
20	1896	28.9	385	1.5
40	1369	20.9	556	
60	1072	16.3	653	

表-3 促進炭酸化・湿度条件

W/C (%)	湿度条件	炭酸化条件
20	H30	CO <sub>2</sub> 濃度10%
	H60	
40	H30	
	H60	
60	H30	
	H60	

3. 2 炭酸カルシウム(CaCO<sub>3</sub>) 存在量

CaCO<sub>3</sub> 存在量の経時変化を図-2 に示す. W/C=60%を除き, 湿度が高い H60 の方が H30 より炭酸化が進行した. W/C が大きい試料の方が, 炭酸化が進行した. W/C=20%の H30 を除き, カルサイトとバテライトが見られた. また, W/C=60%の CaCO<sub>3</sub> 存在量では, H30 の方でバテライトが多く見られた.

本名らの研究<sup>1)</sup>によると, 炭酸化を受けた試料からはカルサイトとバテライトが見られるとしており, 本研究はそれに近い結果となった.

3. 3 C-S-H 存在量及び水酸化カルシウム存在量

C-S-H 存在量及び Ca(OH)<sub>2</sub> 存在量の経時変化を図-3 に示す. C-S-H 量は, W/C=20%では材齢の経過に伴い増加傾向, W/C=40%では増加または減少の傾向が見られず, W/C=60%では大幅な減少傾向を示した. W/C=60%の C-S-H 存在量は, 新たな C-S-H が生成されず大幅な炭酸化により C-S-H 中の CaO が分解し CaCO<sub>3</sub> に炭酸化した結果と考えられる. また, Ca(OH)<sub>2</sub> は炭酸化により全て分解されずに, 一定量が残存した.

3. 4 CaO/SiO<sub>2</sub> モル比(C/S 比)

C/S 比の経時変化を図-4 に示す. 炭酸化が進行していない試料では増減が見られず, 炭酸化が進行している試料では低下傾向を示した. 特に炭酸化の進行が著しかった W/C=60%では, 材齢 7 日時点で C/S 比がほぼ 0 に達した. このことから C-S-H 存在量と合わせて考察すると, W/C=60%は材齢 7 日時点で C-S-H が分解され, 非晶質シリカになったと推測される. また, 図-3 の C-S-H 存在量は, 各材齢における C-S-H 生成量と炭酸化により分解される C-S-H 分解量の差分量により決定されることが考えられる. これらの結果より, W/C=40%以下のセメントペースト試料は, 従来の硬化体試料でも炭酸化速度が遅いと考えられるが, 粉末で CO<sub>2</sub> に暴露した試料においても炭酸化の進行が遅いことが分かった.

4. まとめ

本研究から以下のことが明らかとなった. 炭酸化は, 湿度 30%より 60%で進行しやすく, 水セメント比が高いほど進行しやすい. 水結合材比が 20%, 40%の低いセメントペーストの炭酸化反応は, CO<sub>2</sub> に粉末で暴露した場合でも進行が遅いことが分かった.

参考文献

1) 本名恵理香ほか: 高炉スラグ微粉末混入が炭酸化生成物に与える影響, コンクリート工学年次論文集, Vol. 37, No1, pp649-654, 2015

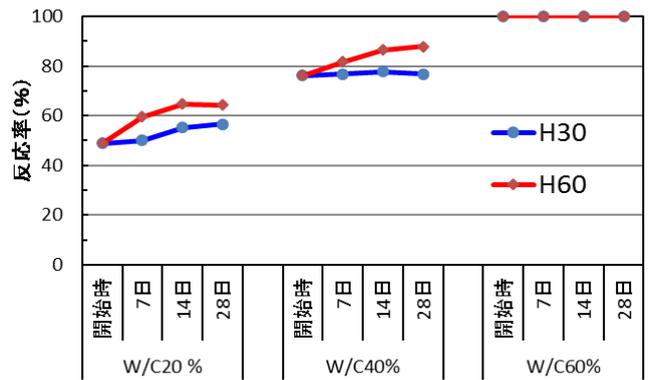


図-1 セメント反応率

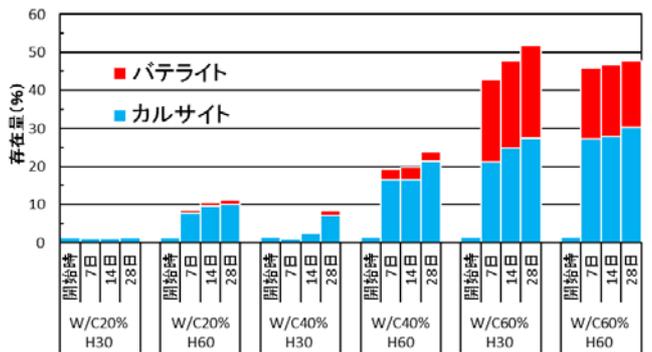


図-2 CaCO<sub>3</sub> 存在量の経時変化

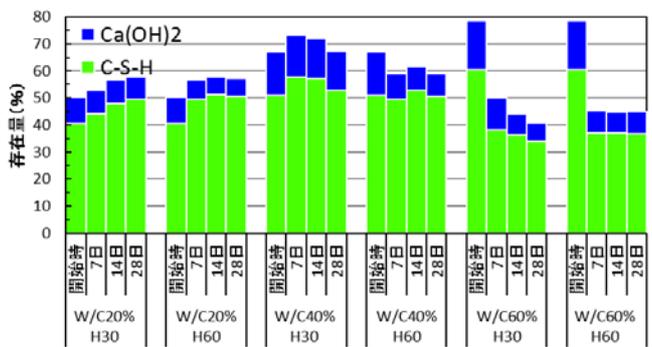


図-3 C-S-H 存在量及び Ca(OH)<sub>2</sub> 存在量の経時変化

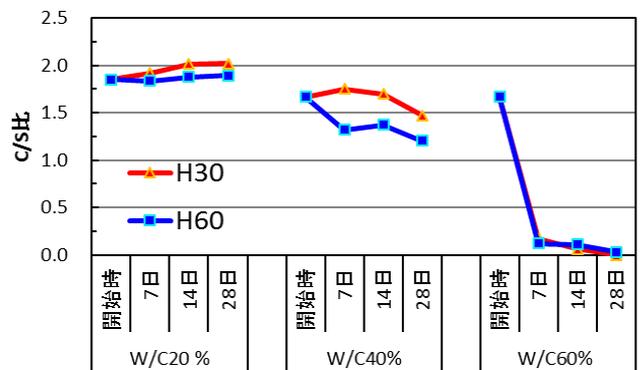


図-4 C/S 比の経時変化