

湿度条件がシリカフュームを用いたセメントペースト粉末の炭酸化に及ぼす影響

日本大学大学院 学生会員 ○菅野 杏子  
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.はじめに

脱炭素社会及び持続的な資源循環システムの実現が期待される。セメント・コンクリート分野ではCO<sub>2</sub>排出量の削減が求められている。既往の研究<sup>1)</sup>ではセメント製造時の脱炭素由来のCO<sub>2</sub>排出量に対して、コンクリートのCO<sub>2</sub>吸収量は供用段階で9～23%、解体・細粒化後の再利用段階を含めると10～25%に相当する量を吸収することが報告されている。また、セメントペースト(CP)中のケイ酸カルシウム水和物(C-S-H)の炭酸化は湿度条件により反応速度が異なること<sup>2)</sup>が報告されている。本研究では、混和材としてシリカフューム(SF)を混和し、炭酸化進行に起因するとされる湿度条件を変化させ、炭酸化による水和物の変化並びにCPのCO<sub>2</sub>吸収について検討を行った。

2.実験概要

本研究で使用した使用材料を表-1に示す。試料はW/(C+SF)=60%のCPとし、SFをCに対して10%置換した。モルタルミキサで練混ぜ後、250mlポリ瓶に打込み、ローテーターで攪拌しながら20℃室内で材齢28日まで封かん養生を行った。試料は、空隙の影響を少なくし、反応を促進させるためボールミルを用いて粉末とした。炭酸化試験はシャーレに均した粉末試料で、促進炭酸化(炭酸ガス濃度3%)とし、湿度をそれぞれ90%RH、60%RHに調整した槽内で行った。炭酸化試験の材齢は、試験開始時、1時間(1h)、4時間(4h)、8時間(8h)、12時間(12h)、1日(1d)、3日(3d)、7日(7d)とした。各材齢での試料は、アセトン浸漬によって水和停止を行った。

SF微粉末残存量の定量は、佐藤らの選択溶解法<sup>3)</sup>に従い行った。各材齢の残存量からSF反応率を求めた。

含水量について、総水分量は、各材齢試料の105℃質量減少率から求めた。ゲル水量は水和停止後に行った試料の105℃質量減少率から求めた。一方、毛管水量は

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>      |
|              |    | ブレン値:4720cm <sup>2</sup> /g |
| シリカフューム      | SF | 密度=2.2cm <sup>3</sup>       |
| 蒸留水          | W  | -                           |
| 高性能減水剤       | SP | ポリカルボン酸系                    |

総水分量からゲル水量を減じたものとした。

粉末X線回折(XRD)/リートベルト解析によりセメント鉱物、結晶質水和物、非晶質の含有率を算出し、相組成を求めた。なお、内部標準物質としてα-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を内割10mass%置換する内部標準法を用いた。また、相組成を求める際に質量計測し、質量変化率を算出した。

水酸化カルシウム(Ca(OH)<sub>2</sub>)量及び炭酸カルシウム(CaCO<sub>3</sub>)量は、熱重量示差熱分析(TG-DTA)を用い定量した。また、Calcite、Vateriteの含有率は、TG-DTAの定量値をXRD/リートベルト法の定量値の比率で比例配分した。

CP試料のケイ酸鎖長は、佐藤らのトリメチルシリル誘導体化(TMS法)<sup>3)</sup>に準じ、誘導体化試料をガスクロマトグラフィーにより測定した。シリカゲル量は、炭酸化試験開始時のケイ酸鎖のピークエリア総面積の減少率から算定した。

CO<sub>2</sub>吸収量は、炭酸化試験開始時の相組成を基準とし、各材齢の総CaCO<sub>3</sub>量から求めた

3.実験結果

相組成では、セメント鉱物が炭酸化試験開始時に確認できなかったため、反応が終了したと考えられる。

図-1にSF反応率の経時変化を示す。SF反応率は、いずれの湿度でも炭酸化試験開始から7dまで90～95mass%程度となった。よって、SFは、炭酸化試験開始時に反応がほぼ終了していた。

図-2に含水率の経時変化を示す。総水分量は、60%RHで乾燥によって減少し、7dで約10mass%程度となった。

キーワード 炭酸化, CO<sub>2</sub>吸収量, シリカフューム, C-S-H, シリカゲル  
連絡先 〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台1丁目8-14  
日本大学大学院理工学研究科 土木工学専攻 03-3259-0687

60%RH では 90%RH と比較して減少量が大きく、3d で約 5mass%程度、7d で約 10mass%程度減少した。毛管水量とゲル水量の関係は、ゲル水量が減少すると毛管水量が増加する傾向となった。また、3d、7d ではゲル水が増加し、毛管水が減少する傾向となった。

図-3 に C-S-H 量とシリカゲル量の経時変化を示す。試験開始時の C-S-H 量は約 60mass%を占め、炭酸化反応によりシリカゲルが生成された。シリカゲル量は、90%RH では 1h から生成が確認され、3d まで緩やかに増加し、7d では約 15mass%で停滞傾向となった。60%RH では 1h の生成が少なく、4h から生成量が増加し、7d で約 20mass%に達した。7d の湿度 90%RH のシリカゲル量は、60%RH の約 1.5 倍となった。

図-4 に  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  量および  $\text{CaCO}_3$  量の経時変化を示す。 $\text{Ca}(\text{OH})_2$  量は、90%RH で 4h まで急激に減少し、8h 以降緩やかに減少した。60%RH では 4h まで急激に減少し、8h 以降は減少量が小さくなった。実験開始時の  $\text{CaCO}_3$  量は、混合剤に由来すると考えられる Calcite が確認された。90%RH では、4h まで Calcite が急激に増加し、8h 以降緩やかに増加した。60%RH では、4h まで Calcite が急激に減少し、8h から 3d にかけて増加量が小さくなった。一方、Vaterite は 90%RH で 1h から生成が確認され、3d まで緩やかに増加し、7d で停滞傾向となった。60%RH では 1h の生成が少なく、4h から生成量が増加し、7d で約 15mass%に達した。これは、シリカゲルの生成と一致すると考えられ、C-S-H の生成に伴って Vaterite が生成されたと考えられる。

図-5 に累積  $\text{CO}_2$  吸収量の経時変化を示す。90%RH の累積  $\text{CO}_2$  吸収量は、3d まで 60%RH を上回った。その後、60%RH の累積  $\text{CO}_2$  吸収量が増加し 7d で同等となった。これは、90%RH の  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  の炭酸化反応が早いことが原因と考えられ、毛管水量が多いと  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  の炭酸化反応が進むと考えられる。一方で、60%RH では、C-S-H の炭酸化が 7d まで継続して進行した。以上のことより、SF を混和した水和物の炭酸化反応は環境湿度により変化することを確認した。

#### 4. まとめ

SF を混和した CP 中の C-S-H の炭酸化は、湿度が高い程反応の進行が速くなった。一方、 $\text{CO}_2$  吸収量については C-S-H の炭酸化が進行すると、同程度となった。

#### 【参考文献】

1) 兵頭彦次ほか：ライフサイクルを通じたコンクリートの

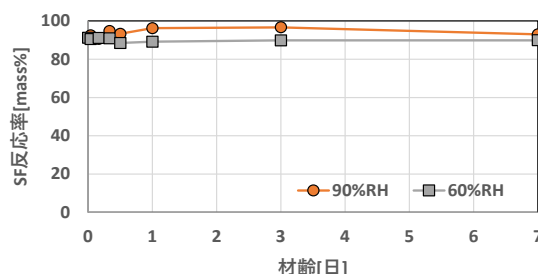


図-1 SF 反応率の経時変化

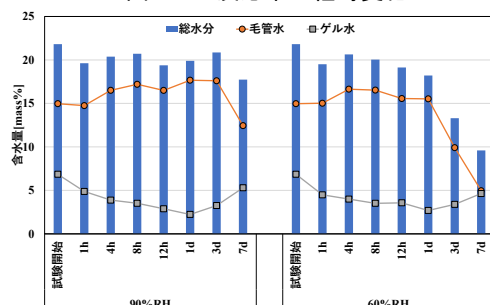


図-2 含水率の経時変化の経時変化

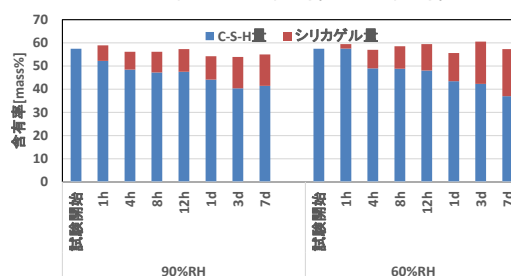


図-3 C-S-H およびシリカゲル量の経時変化

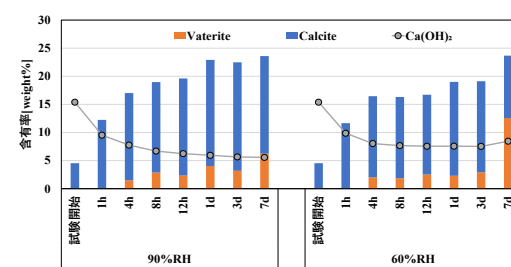


図-4  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  および  $\text{CaCO}_3$  量の経時変化

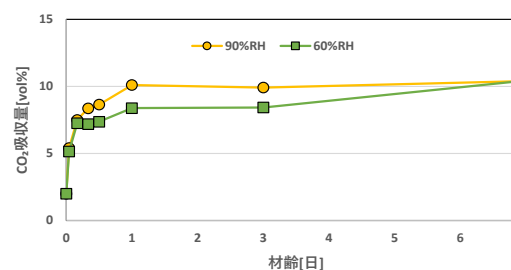


図-5 累積  $\text{CO}_2$  吸収量の経時変化

$\text{CO}_2$  吸収量算定に関する研究, セメント・コンクリート 論文集, Vol.74, pp.333-340, 2020

- 2) 大竹敦也ほか：セメントペースト中の C-S-H の炭酸化に及ぼす水セメント比・湿度の影響, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol/75. V-153, 2020
- 3) 佐藤正己ほか：超高強度コンクリートの熱養生サイクルの最適化に関する基礎的研究, セメント・コンクリート 論文集, Vol.69, pp. 558-564, 2015