

ポゾラン材料の混和がセメント硬化体中のケイ酸カルシウム水和物の炭酸化反応に及ぼす影響

日本大学大学院 学生会員 ○長田 真緒
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

セメントは、製造時に国内で 4000 万トン以上もの CO₂を排出している。現在、製造時に排出する CO₂を固定化し回収方法の開発が急務である。兵頭らの知見²⁾では、セメント消費量に基づく、脱炭酸由来の CO₂排出量に対してコンクリートの CO₂吸収量は 10%～25%に相当し、そのうち供用段階で 9%～23%CO₂を吸収すると算定されている。また、大竹ら知見²⁾ではセメントペースト (CP) 中のケイ酸カルシウム水和物 (C-S-H) の炭酸化速度について報告している。しかし、これらの知見では、混和材使用時の検討がされていない。そこで、本研究ではポゾラン材料であるシリカフューム (SF) を混和した CP 試料について、生成された C-S-H の炭酸化反応による分解、累積 CO₂ 吸収量に及ぼす影響を検討した。

2. 研究概要

表-1 に本研究で使用した材料を示す。使用材料は早期に反応が期待できる早強ポルトランドセメント、SF を使用した。表-2 に CP 配合を示す。水結合材比 (W/B) 60%, SF を使用した試料は、C に対して内割で 10%混和した。モルタルミキサで練混ぜた試料は、広口ポリ瓶に打込み後 20℃ 室内で材齢 28 日まで封かん養生した。この試料は、空隙の影響を最小限にし、炭酸化反応を促進するためにポリ瓶からの脱型後にボールミルで粉砕した。

炭酸化試験は、粉砕試料を恒温恒湿槽内で槽内温度 20℃、湿度 90% (H90)、CO₂ 濃度 3%で養生し行った。養生材齢は、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。養生後の炭酸化試料の相組成は、佐藤らの研究³⁾を参考にして試料の質量変化率、水分量、粉末 X 線回折 (XRD) / リートベルト法 (内部標準法: α-Al₂O₃ 10%) によるセメ

ント鉱物および結晶性水和物、CaCO₃ (Calcite, Vaterite)、非晶質量の定量、選択溶解法³⁾による SF 未反応量の定量、トリメチルシリル誘導体化法 (TMS 法) によるシリカゲルの定量から作成した。

なお、水分量の定量は 105℃で加熱乾燥した試料の質量減少分から算出した。ここで、水和停止前の水分量を総水分量、水和停止後の水分量をゲル水量、総水分量からゲル水量を差し引いた量を毛管水量とした。

シリカゲルの定量は、C-S-H のケイ酸鎖長構造を分析することができる TMS 法のケイ酸鎖長の検出総ピーク面積がシリカゲルへの分解により減少することを利用して算出した。

CO₂吸収量は、総組成における総 CaCO₃生成量から算出した。

3. 実験結果と考察

相組成より、試験開始時の試料はセメント鉱物が確認されずセメントの反応が終了していると考えられた。

表-1 使用材料

材料の種類	略号	諸元
早強ポルトランドセメント	C	密度=3.13cm ³
		ブレン値 : 4720cm ² /g
シリカフューム	SF	密度=2.2g/cm ³
蒸留水	W	—
高性能減水剤	SP	ポリカルボン酸系

表-2 セメントペーストの使用配合

水準名	W/B (%)	セメントペースト配合 (kg/m³)			SP 添加量 (B × %)
		W	B		
			C	SF	
SF-0	60	653	1088	0	1.5
SF-10		642	963	107	1.5

キーワード 炭酸化 総 CO₂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

図-1 に SF 反応率の経時変化を示す。SF 反応率は 90mass%以上で一定であり、SF の反応が終了していると考えられた。

図-2 に C-S-H およびシリカゲル量の経時変化を示す。炭酸化試験開始時は、すべてが C-S-H であり、SF-10 の C-S-H 量が SF-0 と比較して多くなった。SF-10 のシリカゲル量は、SF-0 と比較して少なく、炭酸化が徐々に進行していると考えられた。以上の結果から C-S-H の炭酸化反応による分解でシリカゲルが生成されることが考えられた。

図-3 に水分量の経時変化を示す。SF-10 は、SF-0 と比較して総水分量の減少が小さく、毛管水とゲル水の関係は、SF-10 で 1h から 3d にかけて毛管水が増加し、ゲル水が減少した。その後、3d から 7d にかけて毛管水が増加し、ゲル水が減少した。これは、乾燥による影響が考えられた。一方、SF-0 では、総水分量の低下に伴い、間隙水量が減少し、ゲル水が増加した。

図-4 に $\text{Ca}(\text{OH})_2$ および CaCO_3 量の経時変化を示す。試験開始時の Calcite 量は、SF-0、SF-10 とともに 5%未満であった。これは、混合材に由来すると考えられた。SF-10 の Calcite 量は、SF-0 と比較して少なかった。これは、試験開始時の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 量の差によるものであると考えられる。SF-10 の Vaterite 量は、SF-0 と比較して少なかった。図-2 の結果とあわせて考慮すると、Vaterite は、C-S-H の炭酸化とに伴い生成されることが考えられた。また、SF-10 で生成された C-S-H は、SF-0 と比較して炭酸化しづらいことが示唆された。

図-5 に累積 CO_2 吸収量の経時変化を示す。SF-10 は、SF-0 と比較して、累積 CO_2 吸収量が少なかった。しかし、累積 CO_2 吸収量は、3d 以降で SF-0、SF-10 とともに停滞した。これは、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の炭酸化が緩慢となり、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 及び C-S-H の炭酸化が緩慢となったことが原因と考えられた。

4. まとめ

本研究より、シリカフュームの混和により炭酸化反応の進行は遅くなり CO_2 吸収量が少なくなった。

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 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

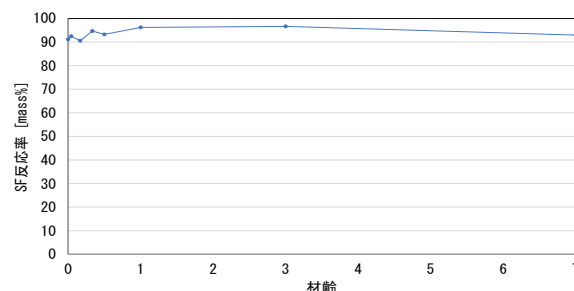


図-1 シリカフューム反応率の経時変化

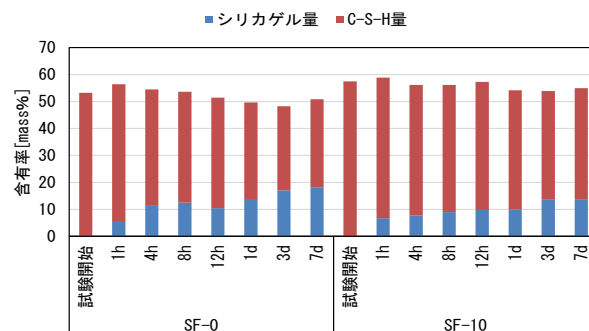


図-2 C-S-H およびシリカゲル量の経時変化

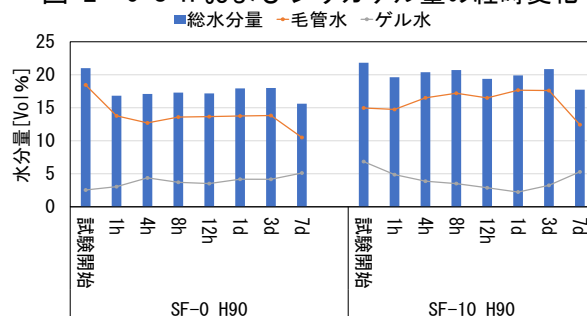


図-3 水分量の経時変化

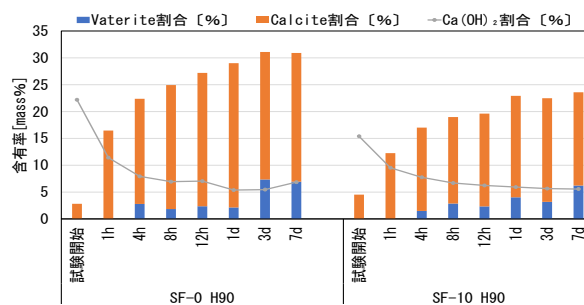


図-4 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ および CaCO_3 量の経時変化

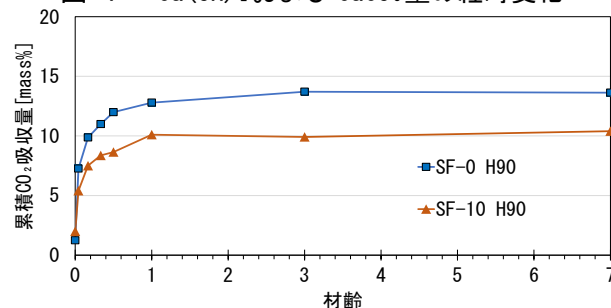


図-5 累積 CO_2 吸収量の経時変化

演会講演概要集, Vol/75, V-153, 2020

- 3) 佐藤正己ほか:シリカフュームを用いたセメント硬化体の水和におけるケイ酸構造の影響, セメント・コンクリート論文集, Vol.64, pp. 9-15, 2010