

セメント種類が γ -2CaO・SiO₂を用いたモルタルの炭酸化速度および硬化物性に及ぼす影響

鹿島建設(株) 正会員 ○取違 剛 小林 聖 関 健吾 渡邊賢三 坂井吾郎
東洋大学 横関康祐

1. 目的

近年、炭酸化反応によるコンクリートへの CO₂ 固定がカーボンリサイクル技術として大きな注目を集めており、経済産業省が 2020 年 12 月に発表した「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」においても、国が推進する政策の一つに取り上げられている。筆者らはこれまでに、 γ -2CaO・SiO₂（以下、 γ -C₂S）を普通ポルトランドセメントの一部に置換したコンクリートを高濃度の CO₂ 環境下で強制的に炭酸化養生することで、無置換のものと同等以上の強度や空隙率を確保しつつ、大量の CO₂ をコンクリートに固定できることを明らかにしてきた¹⁾。このコンクリートは二次製品を対象としており、製品の製造効率を高めるには、できるだけ早期に CO₂ をコンクリートに固定させる必要がある。本検討では、セメントの種類が γ -C₂Sを用いたモルタルの炭酸化速度に及ぼす影響を把握するとともに、炭酸化したモルタルの硬化物性を評価した。

2. 試験概要

使用材料を表-1 に、モルタルの配合を表-2 に示す。水結合材比 W/B=45%で一定とし、 γ -C₂S を結合材の 50%置換した配合をベースとして、セメント種類を変えた配合を試験に供した。材料を公称容量 10 リットルのモルタルミキサにて 90 秒練り混ぜて、JIS R 5201 および JIS A 1128 に準拠し、モルタルフローと空気量を測定した。フレッシュ性状確認後のモルタルを、 ϕ 50×100mm の型枠に詰めて供試体を採取した。打込みから 1 日間 20℃、80%RH にて封緘養生を行い、その後脱型して、さらに 1 日 20℃水中養生を行った。材齢 2 日にて水から取り上げ、温度 60℃、湿度 50%RH、CO₂ 濃度 20%の環境で炭酸化養生を行った。材齢 2 日（炭酸化養生開始時）および材齢 7 日にて JIS A 1108 に準拠して圧縮強度を計測し、材齢 5, 7, 9 日にて JIS A 1152 に準拠して炭酸化深さを計測した。また、材齢 7 日にて炭酸化部を対象に水銀圧入式ポロシメータにて空隙率と細孔径分布（3nm～350 μ m）を計測した。なお、フレッシュ性状は表-2 に示すとおりであり、モルタルフローは約 150mm、空気量は 4.5±1.5%の範囲に概ね統一できた。

表-1 使用材料

材料	記号	摘要
水	W	水道水
セメント	C (OPC)	普通ポルトランドセメント：密度 3.16g/cm ³ ，比表面積 3,310cm ² /g
	C (HPC)	早強ポルトランドセメント：密度 3.14g/cm ³ ，比表面積 4,460cm ² /g
	C (LPC)	低熱ポルトランドセメント：密度 3.22g/cm ³ ，中庸熱面積 3,510cm ² /g
	C (MPC)	中庸熱ポルトランドセメント：密度 3.21g/cm ³ ，比表面積 2,910cm ² /g
混和材	BFS	高炉スラグ微粉末：密度 2.91g/cm ³ ，比表面積 3,990cm ² /g
	γ -C ₂ S	γ -カルシウムシリケート γ 相，密度 2.85g/cm ³ ，比表面積 2,500cm ² /g
細骨材	S	砕砂，密度 2.63g/cm ³ ，粗粒率 2.76
混和剤	AE	AE 剤，変性ロジン酸化合物系陰イオン界面活性剤

表-2 モルタルの配合とフレッシュ性状

セメント	W/B※ %	W/C %	結合材構成割合(%)			単位量 (kg/m ³)					AE g/m ³	モルタル フロー mm	空気量 %
			C	BFS	γ -C ₂ S	W	C	BFS	γ -C ₂ S	S			
OPC	45	90	50	0	50	261	290	—	290	1326	58	150	5.0
HPC						261	290	—	290	1325	58	150	4.3
LPC						261	290	—	290	1331	58	158	4.7
MPC						261	290	—	290	1330	58	163	5.2
BB		180	25	25		261	145	145	290	1313	58	145	4.2

※B=C+BFS+ γ -C₂S

キーワード：炭酸化， γ -C₂S，CO₂，圧縮強度，細孔径分布

連絡先：〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL 042-489-6683

3. 試験結果

材齢と炭酸化深さの関係を図-1 に示す。BB や LPC の炭酸化速度が他に比べて大きい結果となった。また、一般的な炭酸化の進行は時間の平方根に比例するとされているが、炭酸化の進行は時間に比例する形となった。次に、各配合における養生開始時、および材齢 7 日の圧縮強度を図-2 に示す。養生開始時の圧縮強度は LPC が最も低く、材齢 7 日の圧縮強度は LPC が最も高くなった。図-1 に示すように、LPC は炭酸化の進行が早く、他の供試体に比べて早期に内部まで炭酸化したことで、内部まで γ -C₂S が反応して圧縮強度が高くなったと考えられる。一方で、LPC と同等の炭酸化速度であった BB は材齢 7 日における圧縮強度が LPC よりもやや小さくなった。材齢 7 日の時点では、LPC の水和反応の方が高炉スラグ微粉末における潜在水硬性より卓越し、このような結果になったと考えられる。

炭酸化養生開始時（材齢 2 日）の圧縮強度と炭酸化速度係数の関係を図-3 に示す。本検討の範囲においては、養生開始時の圧縮強度が低いほど炭酸化が進行しやすい結果となった。炭酸化速度を高める策として、強度が低い段階から炭酸化養生を開始することが有効と考えられた。

水銀圧入式ポロシメータにて得られた累積細孔容積を図-4 に示す。BB については他の配合に比べて 10nm 以下の微細な空隙が多く、累積の細孔容積が大きい結果となった。また、LPC や BB は他に比べて 0.1～数 μ m の比較的粗大な空隙が多いことが分かった。LPC や BB の炭酸化が早期に進行したことを踏まえると、強度が低い状態から湿度 40% RH の環境で炭酸化養生を行ったことで、過去の研究²⁾と同様に、コンクリートの表層部が乾燥して、粗大な空隙が残存しつつ炭酸化が進行した可能性がある。

4. まとめ

本検討の結果、炭酸化養生開始時の圧縮強度が低いほど炭酸化速度が大きくなり、炭酸化養生後の圧縮強度も高くなる傾向が得られた。圧縮強度が低い状態から炭酸化養生を行った場合、配合によっては粗な空隙構造になる可能性が示唆された。

参考文献

- 1) 取違ほか： γ -2CaO・SiO₂ を混入して強制炭酸化したセメント系材料による環境負荷の低減，セメント・コンクリート論文集，No.63，pp.161-167，2009
- 2) 取違ほか： ガラス繊維補強モルタルの炭酸化速度に関する検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.42，No.1，pp.179-184，2020

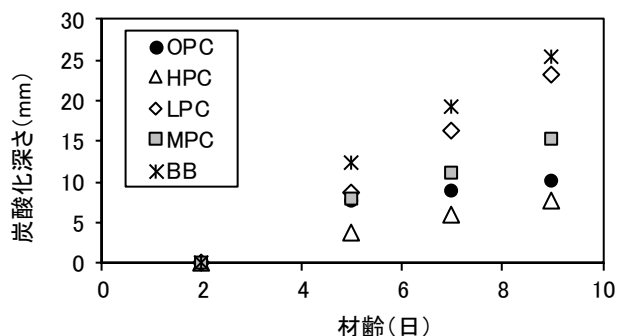


図-1 材齢と炭酸化深さ

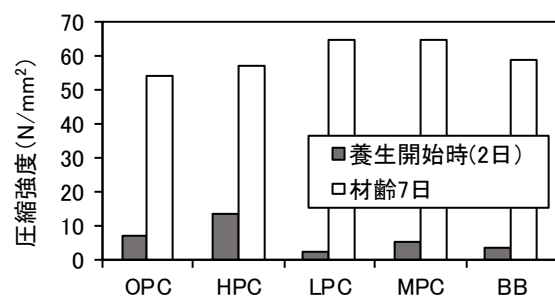


図-2 セメント種類が圧縮強度に及ぼす影響

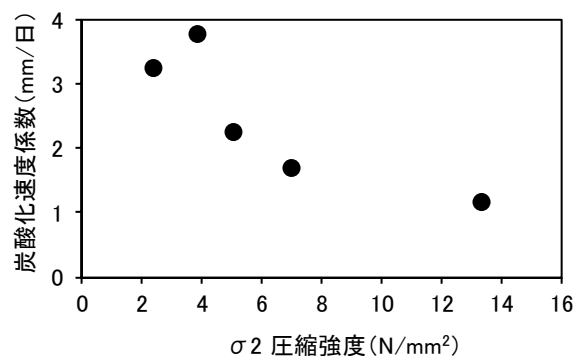


図-3 養生開始時圧縮強度と炭酸化速度係数

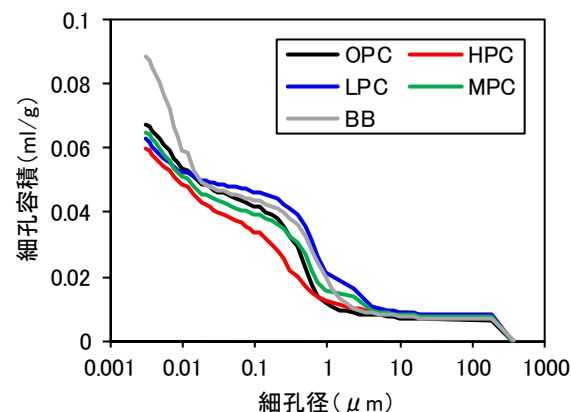


図-4 セメント種類と累積細孔容積