

セメント硬化体の水分保持状態による CO₂ 吸着メカニズムの一考察

芝浦工業大学 大学院理工学研究科建設工学専攻
株式会社竹中工務店 技術研究所
芝浦工業大学 工学部 先進国際課程 兼務 土木工学科

○坂井 一貴
池尾 陽作
伊代田 岳史

1. はじめに

近年、地球温暖化を原因とした様々な問題が世界中で発生しており、低炭素社会の実現が求められる。日本では低炭素社会の実現に向けて 2050 年までにカーボンニュートラルの実現を宣言している。コンクリートに含まれる水和物は、大気中の二酸化炭素 (CO₂) と反応すると炭酸カルシウム (CaCO₃) を生成する。この際にコンクリート内部に CO₂ を吸着させることができることから、カーボンニュートラルの実現に向けて期待されている材料となっている。より多くの CO₂ を吸着させることを考えると、比表面積の大きいセメント硬化体ほど大気中の CO₂ と接する面が多いことから短期間で CO₂ を吸着させられると考えられる。そこで比表面積の異なる試料を作製して促進炭酸化を行い、水和物の炭酸化量を比較した。

2. 比表面積の違いによる炭酸化メカニズムの違い

2. 1 実験概要

本試験では、比表面積の異なるセメント硬化体における水和物の炭酸化進行の違いを比較する目的で、硬化体および粉体状のセメントペースト試料を作製して炭酸化を行った。作製した試料の配合は普通ポルトランドセメント (密度 3.16g/cm³)、高炉スラグ微粉末 (密度 2.91g/cm³) を 50%、70% 置換した高炉セメントの 3 種類で、水セメント比 50% とした。試料はセメントペーストをチャック付きポリ袋に打設し、7 日間封緘養生を行った。養生終了後、硬化体試料はそのまま試料とし、粉体試料は硬化体を粉砕ミルを使用して、粉末状にしたものを試料とした。いずれの試料も温度 20℃、相対湿度 60% のグローブボックスにて 21 日間調湿を行った。調湿が完了した試料は温度 20℃、相対湿度 60%、CO₂ 濃度 5% の促進炭酸化槽にて炭酸化を行った。

2. 2 TG-DTA を用いた水和物の炭酸化量の定量

炭酸化後の水和物の炭酸化量は TG-DTA を用いて算出した。TG-DTA における 405~515℃ の質量減少量を水酸化カルシウム (以下 CH) 中の H₂O の脱水量、600~750℃ の質量減少量を CaCO₃ の脱炭酸量と仮定し、CH の炭酸化により生成された CaCO₃ 量および CH 以外の水和物の炭酸化により生成された CaCO₃ 量を算出した。

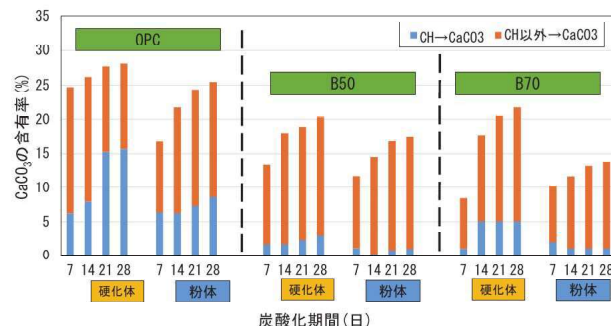
図1 炭酸化により生成される CaCO₃ 量2. 3 水和物の炭酸化により生成される CaCO₃ 量

図1にCHおよびCH以外の水和物の炭酸化により生成された CaCO₃ 量を示す。いずれの試料においても炭酸化材齢の進行とともに CaCO₃ が生成され、硬化体のほうが粉体より CaCO₃ が多く生成されることが確認された。試料の形状の違いによる水和物の炭酸化量の違いに着目すると、硬化体では炭酸化材齢が進行すると CII は炭酸化が進行することが確認された一方、粉体では CH は炭酸化材齢が進行してもあまり炭酸化が進行しないことが確認された。CII 以外の水和物の炭酸化については硬化体と粉体で類似の炭酸化の傾向が確認された。セメント種類の違いに着目すると、OPC では CH の炭酸化量は多く、生成される CaCO₃ の半数近くが CH 由来であるのに対し、高炉セメント (B50、B70) では炭酸化される水和物のほとんどが CH 以外の水和物であった。この結果よりセメント種類や試料の形状が異なることで炭酸化が進行しやすい水和物が異なり、炭酸化量に大きな違いが生じることが確認された。試料の形状により CH の炭酸化に差が生じた要因として、試料の形状により試料中の水分量が異なることが要因ではないかと考察した。

3. 試料中の水分が水和物の炭酸化に及ぼす影響

3. 1 加水炭酸化試験の概要

セメント硬化体内部の水が水和物の炭酸化に与える影響を把握することを目的として、異なる量の水を添加して水分量を変化させた粉体試料を作製して、試料中の水分量と水和物の炭酸化量の関係を検討した。試料は2章

と同様の手順で作製した。調湿した試料は質量計測後、水の無添加を基準に試料に対し 30%、50%、70%の水を添加した 4 種類の試料とし、水の添加後に温度 20℃、相対湿度 60%、CO₂ 濃度 5%の環境にて炭酸化を行った。

3. 2 水和物の炭酸化により生成される CaCO₃ 量

図 2、図 3 にそれぞれ OPC および B50 における CH および CII 以外の水和物の炭酸化により生成された CaCO₃ 量を示す。いずれのセメント種類においても水分量の多い試料ほど CH が多く炭酸化され、CaCO₃ の生成量が多いことが確認された。CH 以外の水和物においても CH 程ではないが水分量の多い試料ほど炭酸化が進行することが確認された。また、B50 は水が無添加の試料においては生成された CaCO₃ のほとんどが CH 以外の水和物由来であったが、試料中の水分量が多くなることで CH の炭酸化量が大幅に増え、生成した CaCO₃ おける CH 由来の CaCO₃ の割合が大きく増加することが確認された。セメント硬化体に水分を添加することで細孔溶液中の H₂O が増加し、これによって CO₂ が細孔溶液中に溶けやすくなり、H₂CO₃ が多く生成されたことで CH の炭酸化が促進されたことが考えられる。

4. 質量計測による CO₂ 吸収量の定量化

本研究の結果より、セメント硬化体の形状の違いにより炭酸化メカニズムが異なること、セメント種類の違いにより炭酸化反応が異なること、セメント硬化体中の水分量の違いにより炭酸化速度が異なることがわかった。様々な条件のセメント硬化体に対する CO₂ 吸収量の簡易的な測定方法を考えた場合、炭酸化前後のセメント硬化体の質量を比較することで吸収した CO₂ 量を把握できる可能性がある。そこで養生後に調湿した試料について炭酸化前後の質量を電子天秤で計測し、質量変化率を算出することで CO₂ 吸収量を測定できないか検討を行った。図 4 に本研究で作製した形状・セメント種類・水分量が異なる試料における電子天秤を用いて算出した質量変化率と TG-DTA を用いて算出した CO₂ 吸収率の関係を示す。試料の条件に関わらず質量変化率と CO₂ 吸収率は 1 つの近似線に収束する関係性が確認されたことから、様々な条件のセメント硬化体において質量変化率から CO₂ 吸収率を評価できる可能性が示唆された。

5. まとめ

(1) セメント硬化体に水分を添加することで水和物の炭酸化が促進された。細孔溶液中の H₂O が増えたことにより CO₂ が多く溶解され、H₂CO₃ が多く生成されたことで水和物の炭酸化が進行したと考えられる。

(2) 様々な条件の試料で質量変化と CO₂ 吸収量に関係性を確認されたことから、質量変化から CO₂ 吸着量を測定できる可能性が示唆された。

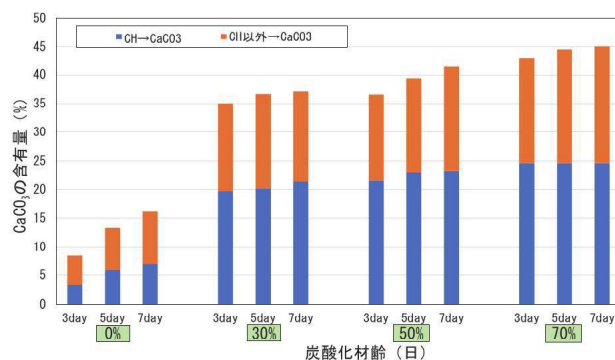


図 2 OPC における炭酸化により生成される CaCO₃ 量

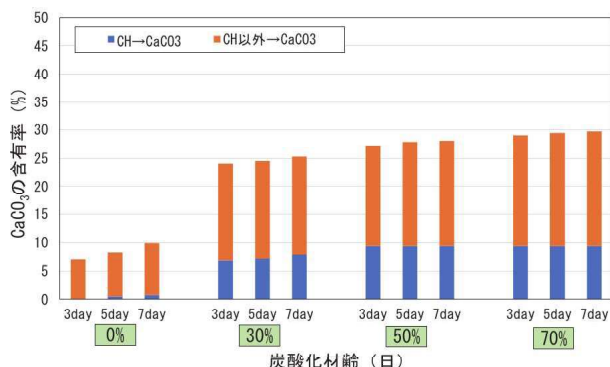


図 3 B50 における炭酸化により生成される CaCO₃ 量

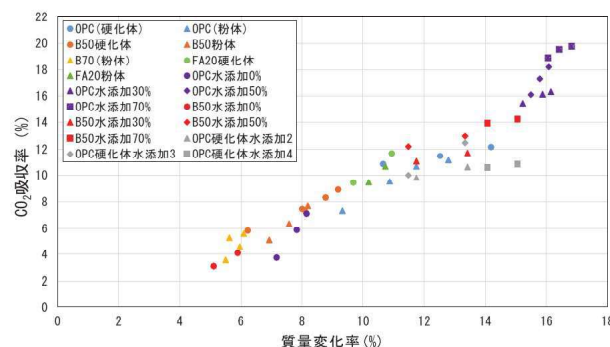


図 4 質量変化率と CO₂ 吸収率

謝辞

この成果の一部は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託業務 (JPNP16002) によるものである。

【参考文献】

- 1) 本名英理香、伊代田岳史：セメント種類や環境条件の違いが実構造物の炭酸化に与える影響、第 38 回コンクリート工学年次論文集、Vol.38、No.1、pp723-728、2016
- 2) 須田裕哉、富山潤：炭酸化したセメントペーストの水和物と pH の変化に及ぼす相対湿度の影響、第 75 回セメント技術大会講演要旨、pp222-223、2021