# 質量計測を用いたセメント硬化体への $CO_2$ 吸着量測定手法の検討

芝浦工業大学　学生会員　○坂井　一貴　　（株）竹中工務店　　池尾　陽作
芝浦工業大学　　正会員　　伊代田　岳史

## 1．はじめに

建設産業で需要の高いコンクリートは炭酸化反応によって $CO_2$ を固定・吸着できることから，カーボンニュートラルが期待できる材料である。さらに，本研究室では，コンクリートの炭酸化メカニズムを応用した再生骨材の改質技術を提案しており，コンクリートの強度や耐久性が向上することが報告[1)]されている。炭酸化した再生骨材の $CO_2$ 吸着量に対する再生骨材コンクリートの改善効果を整理できれば，再生骨材の利用増進も見込めることから，再生骨材の $CO_2$ 量測定方法の開発が求められる。

本研究では，セメント硬化体の炭酸化前後の質量変化を電子天秤にて計測することで，炭酸化反応で吸着した $CO_2$ 量を簡易的に測定できないか検討を行った。

## 2. 実験概要

### 2.1 使用材料及び作製する試料の概要

**表－1** に本研究で使用したセメントと実験計画を示す。セメント硬化体の形状により，$CO_2$ 吸着量に差が生じると考えられることから，粉体および硬化体の 2 種類の形状の試料を作製した。試料はセメントペーストを 38×40×2mm のチャック付きポリ袋に打設し，7 日まで封緘養生を行った。養生終了後，硬化体試料はそのまま試料とし，粉体試料は作製した硬化体を粉砕ミルを使用して微粉砕したものを用いた。2 種類の試料は養生終了後，温度 20℃，相対湿度 60%の環境にて，共に恒量となるまで 21 日間静置した。

### 2.2 炭酸化条件

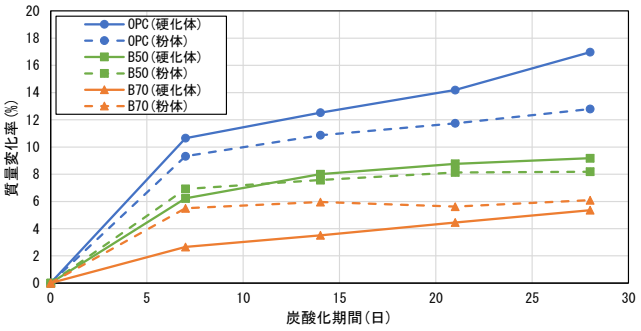
硬化体試料および粉体試料は，促進炭酸化試験槽（温度 20℃，湿度 60%，$CO_2$ 濃度 5%）にて 28 日まで炭酸化を行った。

### 2.3 TG-DTA による炭酸化反応の分析

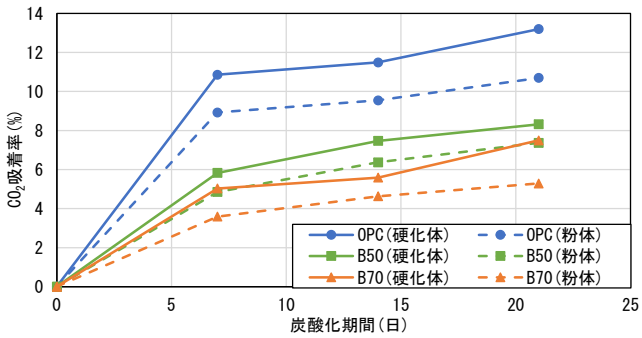
質量計測による $CO_2$ 測定方法が測定可能かを確認する目的で，TG-DTA より $CO_2$ 吸着量を測定し，正値として比較した。さらに， TG-DTA の結果より算出した水酸化カルシウム（CH）量および炭酸カルシウム

表－1　使用したセメントと実験計画

| 種類 | セメント種類 | W/C(%) | 養生方法 | 養生期間 | 静置期間 (20℃，RH. 60%) | 炭酸化期間 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| OPC | 普通ポルトランドセメント | 50 | 封緘養生 | 7日 | 21日 | 0、7日、14日、21日、28日 |
| B50 | 高炉セメントB種（スラグ置換率50%） | | | | | |
| B70 | 高炉セメントC種（スラグ置換率70%） | | | | | |




図－1　炭酸化期間と質量変化率




図－2　炭酸化期間と $CO_2$ 吸着量

（$CaCO_3$）量から，CH および CH 以外の水和物の炭酸化により生成された $CaCO_3$ 量を求めた。

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 炭酸化前後の質量変化

**図－1** に電子天秤にて測定した炭酸化期間における質量変化率を示す。まず，炭酸化期間における質量変化について試料の形状の違いで比較すると，OPC，B50 では硬化体の方が質量増加は大きいのに対し，B70 では粉体の方が質量変化は大きいことが確認された。次に **図－2** に TG-DTA にて測定した炭酸化後の $CO_2$ 吸着率を示す。炭酸化期間における $CO_2$ 吸着量について試料の形状の違いで比較すると，全てのセメント種におい

キーワード： カーボンニュートラル，炭酸化，$CO_2$ 吸着量，TG-DTA
連絡先:〒135-8548 東京都江東区豊洲 3-7-5 芝浦工業大学 伊代田研究室 TEL:03-5859-8356 E-mail:me20071@shibaura-it.ac.jp

て硬化体の方が粉体よりも $CO_2$ 吸着量が多くなることが確認された。さらに，**図－3** に質量変化と $CO_2$ 吸着量の関係性を示す。質量変化と $CO_2$ 吸着率の関係に着目すると，B70 を除いては同一近似線上にあることから，質量変化からの $CO_2$ 吸着量の推定の可能性が示唆できる。

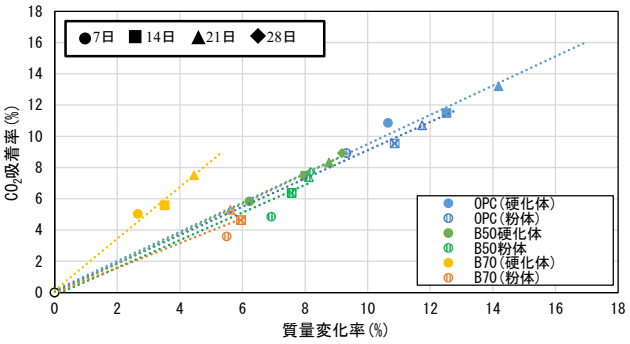
### 3.2 生成される $CaCO_3$ の物質収支

**図－4** に TG-DTA により算出した試料に含まれる CH 量および $CaCO_3$ 量を，**図－5** に CH 由来および CH 以外の水和物由来の $CaCO_3$ 量を示す。2 つの形状の試料を比較すると，炭酸化期間が進むにつれて硬化体では CH が減少する一方，粉体では CH 量の変化が小さい。また，炭酸化試料中に含まれる $CaCO_3$ 量については硬化体と粉体で差が小さいことが確認できる。B50 と B70 の硬化体を比較すると，生成される $CaCO_3$ 量はあまり変わらないにもかかわらず，質量増加率は B50 の方が大きく，違いは明らかである。**図－4** より，B70 の硬化体では 14 日には CH が消失していることから，水和物の炭酸化がかなり進行していることが考えられる。一方，その他では CH の残存が確認できることから，炭酸化できる水和物が残存していることが考えられ，TG-DTA からは物質量が計算できない炭酸化途中の水和物や，ケイ酸カルシウム水和物（C-S-H）が炭酸化されることで生成される低 C/S 比の C-S-H などが多く存在することが考えられ，質量変化の計測ではこれらの水和物の $CO_2$ 吸着量を測定できていたことも考えられる。

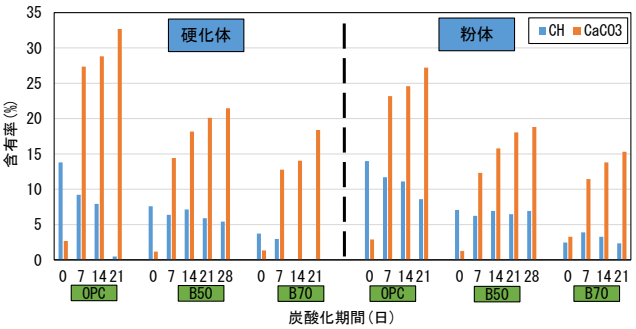
また，B70 において硬化体と粉体を比較すると，他のセメント種類では試料の形状による生成される $CaCO_3$ 量の差は小さいが，B70 においては試料の形状による差が大きく，硬化体の方が $CaCO_3$ の生成量が多い。一方，質量増加については唯一 B70 でのみ粉体の方が大きくなっている。これは粉体では C-S-H が炭酸化されることで生成された低 C/S 比の C-S-H が多く存在したことが考えられ，TG-DTA では $CO_2$ 吸着量を測定できない水和物に $CO_2$ が吸着していたことで，質量変化率と $CO_2$ 吸着率の関係に異なる傾向が現れたと考えられる。

## 4. まとめ

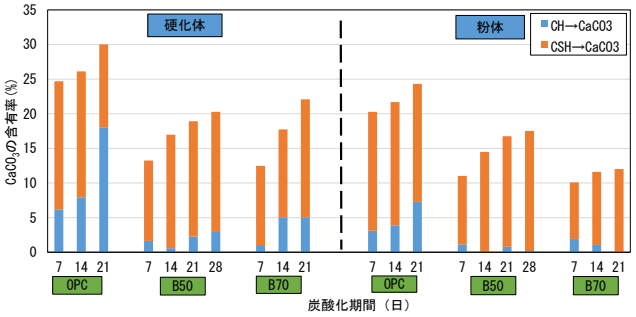
炭酸化前後のセメント硬化体を電子天秤より測定した質量変化率と TG-DTA にて測定した $CO_2$ 吸着率を比較したところ，一定の関係性が確認できたことから，質量計測で $CO_2$ 吸着率を測定出来る可能性が示唆された。また，質量計測を用いることで，TG-DTA では算出




図－3 質量変化と $CO_2$ 吸着量




図－4 試料に含まれる CH 量および $CaCO_3$ 量




図－5 炭酸化期間ごとの $CaCO_3$ の生成量

できない $CaCO_3$ 以外の $CO_2$ を吸着できる水和物の $CO_2$ 吸着率を測定できる可能も示唆された。今後は，様々なセメント種類や，骨材の入ったセメント硬化体において $CO_2$ 吸着量の測定を検証し，再生骨材における $CO_2$ 吸着量の定量化を目指したい。

**謝辞**

この成果は，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）の結果得られたものである。

**参考文献**

1）松田信広，伊代田岳史：炭酸化による低品質再生骨材の改質技術の提案と改質再生骨材がコンクリートに与える影響，第 30 巻，pp65-76，2019

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