

## コンクリート供試体表面における CO<sub>2</sub> 固定化性能の評価

早稲田大学 学生会員 ○内田 周作, 正会員 小峯 秀雄  
 早稲田大学 正会員 王 海龍, フェロー会員 後藤 茂  
 鹿島建設(株) 正会員 取違 剛

### 1. はじめに

世界で進行している地球温暖化とともに、海面上昇や気候変動の問題が顕著に見られるようになり、世界的に低炭素社会を目指している。しかし、CO<sub>2</sub> 排出量について、国際エネルギー機関(IEA)の報告書<sup>1)</sup>によると、2014～16年まではほぼ一定だったが、2017年では増加し2018年ではさらに大きくなっており、更なる地球温暖化対策を講じる必要がある。著者らの研究グループでは、コンクリート構造物が大気中のCO<sub>2</sub>を固定化すると解釈し、表面におけるCO<sub>2</sub>固定化量を算出し、構造物表面におけるCO<sub>2</sub>固定化量の試算を行っている。最終的には、コンクリートの打設から廃棄まで、全生涯で発生するCO<sub>2</sub>発生量であるLCCO<sub>2</sub>(Life Cycle CO<sub>2</sub>)の再評価を目標としている。

### 2. CO<sub>2</sub> 固定化のメカニズム

著者らはコンクリート中に存在している、遊離カルシウムを活用したCO<sub>2</sub>固定化を提案している。そのメカニズムは、コンクリート表面から溶出されるカルシウムイオンCa<sup>2+</sup>と、CO<sub>2</sub>がコンクリート表面の水分に溶解し生じる炭酸イオンCO<sub>3</sub><sup>2-</sup>との反応により、水に難溶性の炭酸カルシウムCaCO<sub>3</sub>が形成されるというものである。図1はコンクリート表面付近において生じるであろうCO<sub>2</sub>固定化のメカニズムを示したものである。

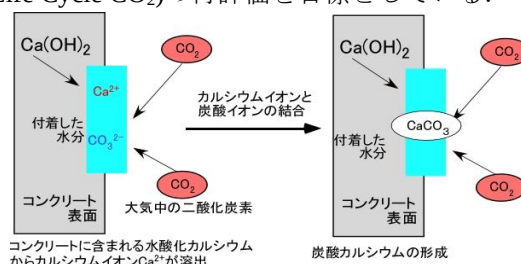


図1 コンクリート表面のCO<sub>2</sub>固定化のメカニズム

### 3. カラム型試験装置を用いたCO<sub>2</sub>固定化量の定量的評価

本研究では、コンクリート供試体をカラムに設置し、供試体表面付近をCO<sub>2</sub>ガスが一定の流量で通過する環境を模擬的に再現する「一定流量通気型CO<sub>2</sub>固定化試験<sup>2)</sup>」を行った。図2は当該試験の模式図である。コンクリート供試体と空気が接触する部分を側面のみにするため、供試体の上面と下面をシールした後にカラム中央に設置して試験を始めた。本試験は、供試体表面付近を通過する前後のCO<sub>2</sub>濃度を、それぞれC<sub>in</sub>(mg/L)とC<sub>out</sub>(mg/L)として計測し、その比であるCO<sub>2</sub>濃度比C<sub>out</sub>/C<sub>in</sub>を求める。図3に示すように、C<sub>out</sub>/C<sub>in</sub>の値が低下していると供試体はCO<sub>2</sub>を固定化していると判断できる。

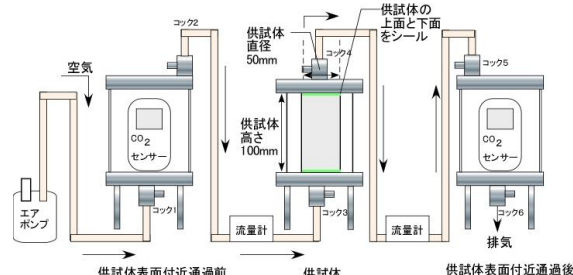


図2 一定流量通気型CO<sub>2</sub>固定化試験の模式図

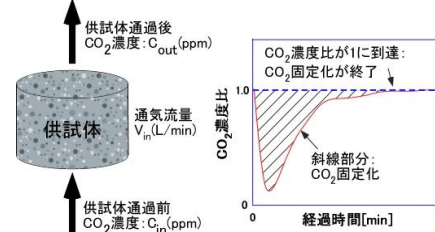


図3 CO<sub>2</sub>濃度比と経過時間の関係図

CO<sub>2</sub>固定化量M(g)については式(1)を用いて、供試体表面付近を通過する前後のCO<sub>2</sub>濃度の差から固定化量を算出する。式(1)においてV<sub>in</sub>は通気流量(L/min)、理想気体の絶対温度および気圧はそれぞれ、T<sub>0</sub>(K)、p<sub>0</sub>(Pa)とし、ある時間における絶対温度をT(K)、気圧をp(Pa)としている。M<sub>CO2</sub>はCO<sub>2</sub>の分子量、Vは気体1molあたりの体積である。CO<sub>2</sub>固定化量を供試体の表面積で除すことで、単位表面積(1mm<sup>2</sup>)あたりのCO<sub>2</sub>固定化量(g/mm<sup>2</sup>)を求める。

$$M = \sum_{t=0}^{t_{\text{end}}} \left( V_{\text{in}} \times \frac{C_{\text{in}} - C_{\text{out}}}{10^6} \times \frac{T_0}{T} \times \frac{p}{p_0} \times \frac{M_{\text{CO}_2}}{V} \right) \quad (1)$$

今回の試験では、セメントと水道水を水セメント比60%で混合し、モールドに入れて水中養生を行うことで作製したセメントペースト硬化体と、参考文献3)より提案されているCO<sub>2</sub>吸収型コンクリート<sup>3)</sup>の供試体を用いる。モールドの寸法は内径50mm、高さ100mm。セメントペースト硬化体を作製する際、水の割合が大きく材料分離が生じており、セメントと水を均一に混合するため、高機能特殊増粘剤「ビスコトップ 200LS-2」(花王ケミカル製品)を添加した。CO<sub>2</sub>吸収型コンクリート<sup>3)</sup>は、γ-CaO・SiO<sub>2</sub>(以下γ-C<sub>2</sub>S)を始めとした混和材や細骨材を混入している。

キーワード コンクリート, 二酸化炭素, 地球温暖化

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 早稲田大学理工学術院 TEL 03-5286-2940

試験条件について、供試体表面積は側面のみの表面積、空気流量は  $0.5\pm0.02$  L/min として室内空気を通気し、試験期間は 1 週間(10080min)とした。表 1 は二つの供試体における試験条件と結果、表 2 は  $\text{CO}_2$  固定化量と供試体表面積より算出した単位表面積当たり  $\text{CO}_2$  固定化量について示す。図 4 は  $\text{CO}_2$  濃度比の時間推移、図 5 は試験開始時からの累積  $\text{CO}_2$  固定化量の時間推移を示す。

表 1 各試料の試験条件および  $\text{CO}_2$  固定化量

| 試料名                                       | 供試体<br>高さ<br>[mm] | 供試体<br>直径<br>[mm] | 供試体<br>表面積<br>[mm <sup>2</sup> ] | 水粉体比<br>W/P<br>[%] | 初期上流側<br>$\text{CO}_2$ 濃度<br>[ppm] | $\text{CO}_2$<br>固定化量<br>M[g] | 備考                         |
|-------------------------------------------|-------------------|-------------------|----------------------------------|--------------------|------------------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| セメント<br>ペースト硬化体                           | 95.1              | 50.2              | $1.50\times10^4$                 | 60.1               | 521                                | 0.454                         | 水道水、セメントと<br>増粘剤で作製        |
| $\text{CO}_2$ 吸収型<br>コンクリート <sup>3)</sup> | 100               | 50.1              | $1.57\times10^4$                 | 28.0               | 542                                | 1.28                          | 水道水、セメント、混和材<br>細骨材と混和剤で作製 |

表 2 各試料のおよび単位表面積当たり  $\text{CO}_2$  固定化量

| 試料名                                       | $\text{CO}_2$<br>固定化量<br>M[g] | 供試体<br>表面積<br>[mm <sup>2</sup> ] | 単位表面積当<br>り $\text{CO}_2$ 固定化量<br>[g/mm <sup>2</sup> ] | 単位表面積当<br>り $\text{CO}_2$ 固定化量<br>[g/m <sup>2</sup> ] |
|-------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| セメント<br>ペースト硬化体                           | 0.454                         | $1.50\times10^4$                 | 0.0000303                                              | 30.3                                                  |
| $\text{CO}_2$ 吸収型<br>コンクリート <sup>3)</sup> | 1.28                          | $1.57\times10^4$                 | 0.0000817                                              | 81.7                                                  |

図 4 から、二つの供試体とも  $C_{\text{out}}/C_{\text{in}}$  は 1 を下回っていることから、 $\text{CO}_2$  固定化性能があると考えられる。二つの供試体を比較すると  $\text{CO}_2$  吸収型コンクリート<sup>3)</sup>の  $C_{\text{out}}/C_{\text{in}}$  がより低い値を維持しているため、セメントペースト硬化体よりも  $\text{CO}_2$  吸収型コンクリート<sup>3)</sup>の  $\text{CO}_2$  固定化量が大きいと推察できる。図 5 の累積  $\text{CO}_2$  固定化量より、いずれの供試体も累積  $\text{CO}_2$  固定化量は、経過時間と共に大きくなる。1 週間経過時点において、 $\text{CO}_2$  吸収型コンクリート<sup>3)</sup>の方が、セメントペースト硬化体の 3 倍程度の  $\text{CO}_2$  を固定している。要因として、 $\text{CO}_2$  吸収型コンクリート<sup>3)</sup>は  $\gamma\text{-C}_2\text{S}$  を始めとした多様な物質で作製されており、セメントよりも  $\text{CO}_2$  と反応しやすいことが考えられる。表 2 より式(1)から算出した結果からも、 $\text{CO}_2$  吸収型コンクリート<sup>3)</sup>の  $\text{CO}_2$  固定化量が大きく、単位表面積当たり  $\text{CO}_2$  固定化量についても、2 つの供試体はほぼ同じ寸法であるため、 $\text{CO}_2$  吸収型コンクリート<sup>3)</sup>がセメントペースト硬化体の 3 倍程度の  $\text{CO}_2$  を固定する結果となった。なお、今回の実験は、前述のように、1 週間という試験期間を設定したが、この期間では  $\text{CO}_2$  固定は完了していないと考えられる。本結果より、コンクリート構造物を想定すると、1 週間で  $1\text{m}^2$  当たり 30g 程度の  $\text{CO}_2$  を固定化し、 $\text{CO}_2$  吸収型コンクリート<sup>3)</sup>では 1 週間で  $1\text{m}^2$  当たり 80g 程度の  $\text{CO}_2$  を固定化できると推察する。

4. 結論

- セメントペースト硬化体と  $\text{CO}_2$  吸収型コンクリート<sup>3)</sup>に対して  $\text{CO}_2$  固定化試験を行い、以下の知見を得られた。
- 2 つのコンクリート供試体は  $\text{CO}_2$  固定化性能があると考えられ、特に  $\text{CO}_2$  吸収型コンクリート<sup>3)</sup>はセメントペースト硬化体の 3 倍程度の  $\text{CO}_2$  を固定化した。
  - コンクリート構造物を想定すると、1 週間で  $1\text{m}^2$  当たり 30g 程度の  $\text{CO}_2$  を固定化し、 $\text{CO}_2$  吸収型コンクリート<sup>3)</sup>では 1 週間で  $1\text{m}^2$  当たり 80g 程度の  $\text{CO}_2$  を固定化できると推察する。

参考文献 1)国際エネルギー機関(IEA) : Global Energy &  $\text{CO}_2$  Status Report The latest trends in energy and emissions in 2019. 2)海野円・小峯秀雄・村上哲・瀬戸井健一 : 低炭素社会形成のための鉄鋼スラグの二酸化炭素固定化量の定量評価と二酸化炭素固定化メカニズムの推察, 地盤工学ジャーナル, Vol.9, No.4, 469-478(2014 年 12 月).3)関健吾・横関康祐・取違剛・小林聖・高柳達徳・木村彩永佳 :  $\text{CO}_2$  排出量ゼロ以下の環境配慮型コンクリート『 $\text{CO}_2\text{-SUICOM}^\circ$ 』の開発, 鹿島技術研究所年報, Vol.61, 91-96, (2013 年 9 月 30 日)

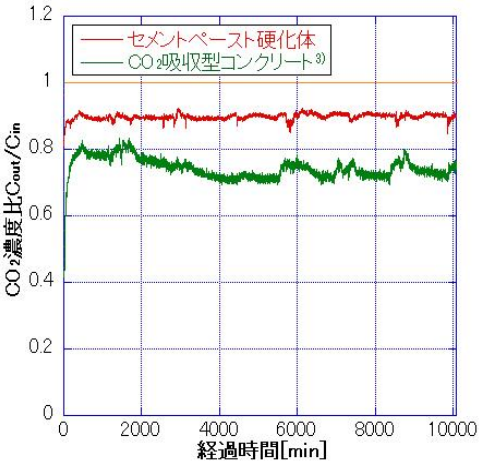


図 4 各供試体における  $\text{CO}_2$  濃度比  $C_{\text{out}}/C_{\text{in}}$

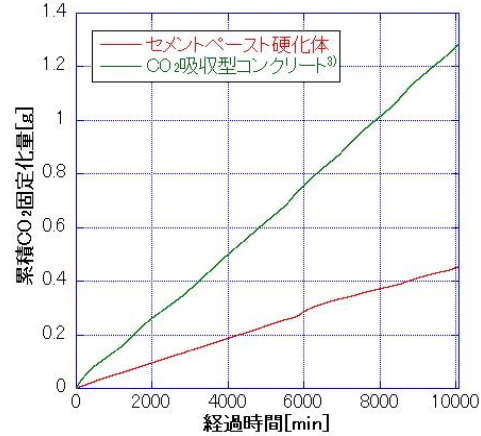


図 5 各供試体における積算  $\text{CO}_2$  固定化量