

# CO<sub>2</sub> 濃度がモルタル中への CO<sub>2</sub> 固定に及ぼす影響に関する検討

## Study on the Effect of CO<sub>2</sub> Concentration on CO<sub>2</sub> Fixation in Mortar

関 健 吾 取 達 剛 小 林 聖  
藤 岡 彩永佳 山 野 泰 明 吉 田 祐 麻  
向 俊 成 田 口 翔 也 渡 邊 賢 三

### 要 約

カーボンリサイクルの観点から、コンクリート中への CO<sub>2</sub> 固定に大きな期待が寄せられている。コンクリートの炭酸化反応は主に水酸化カルシウムやカルシウムシリケート水和物が CO<sub>2</sub> と反応し、炭酸カルシウムが生成されることで生じる。将来のカーボンリサイクル技術の多様化を見据えた場合、CO<sub>2</sub> を含むガスとしては、分離回収され、CO<sub>2</sub> 濃度がほぼ 100%である高濃度ガスや、CO<sub>2</sub> 濃度 10%程度の燃焼排ガスなど、様々な炭酸ガスが想定される。しかしながら、こうした各種 CO<sub>2</sub> 濃度下における炭酸化に関する知見は極めて少ない。そこで本研究では、モルタル供試体を対象として、10~90%の範囲において CO<sub>2</sub> 濃度が炭酸化速度や炭酸カルシウム生成量に及ぼす影響を評価した。その結果、CO<sub>2</sub> 濃度が高くなるにつれて、炭酸化速度は増大するものの、炭酸カルシウムの生成量は、CO<sub>2</sub> 濃度が 10~30%までは増大する傾向を示し、30~90%ではほぼ同等となる結果を得た。

### 目 次

- I. はじめに
- II. CO<sub>2</sub> ガス濃度を要因とした炭酸化試験
- III. 実験結果および考察
- IV. おわりに

一方で、CO<sub>2</sub> 濃度は排出源により様々であるため、CO<sub>2</sub> 濃度が炭酸化反応に及ぼす影響を把握することが肝要である。そこで本研究では、モルタルを対象に CO<sub>2</sub> ガスの濃度を要因とした試験を行い、CO<sub>2</sub> 濃度が炭酸化速度や炭酸カルシウム生成量、細孔構造などに及ぼす影響を評価した。

#### I. はじめに

2050 年のカーボンニュートラル社会の実現に向け、我が国では様々な施策が取られている。こうした中、コンクリート中への CO<sub>2</sub> の鉱物化（炭酸塩化）にも大きな期待が寄せられている<sup>1)</sup>。こうした背景のもと、筆者らは温湿度を整えた高濃度 CO<sub>2</sub> 環境下にて、コンクリートの炭酸化反応を強制的に促進させる“炭酸化養生”を積極的に行い、大量の CO<sub>2</sub> を固定できる“カーボンネガティブコンクリート”の研究開発を進めてきた<sup>2),3)</sup>。

ここで、カーボンネガティブコンクリートを用いてプレキャストコンクリートを製造する際、将来的には工場や化学プラントから排出される燃焼排ガスや、分離回収した中~高濃度の CO<sub>2</sub> ガスなど、多岐に亘る CO<sub>2</sub> 排出源の利用が望まれる。種々の炭酸ガスを炭酸化養生に活用できれば、CO<sub>2</sub> の有効活用が一層進むとともに、製造拠点の拡大も期待できる。

#### II. CO<sub>2</sub> ガス濃度を要因とした炭酸化試験

##### 1. 実験概要および実験ケース

実験ケースを Table 1 に示す。将来、炭酸化養生に用いる炭酸ガスは、燃焼排ガスのような CO<sub>2</sub> 濃度が 10~20%程度と比較的低いガスから、50%前後の中濃度炭酸ガス、および分離回収されたほぼ 100%の高濃度 CO<sub>2</sub> ガスなど、多岐に亘ることが想定される。そこで、CO<sub>2</sub> 濃度の設定は 10~90%とした。なお、CO<sub>2</sub> 濃度の設定において、空気中の不純物の影響を除くために、窒素ガスを併用することとした。CO<sub>2</sub> 濃度 50%までのケースは、所定の CO<sub>2</sub> 濃度となるように、炭酸ガスと窒素ガスとをあらかじめ混合した混合ガスを用いた。ここで、CO<sub>2</sub> 濃度が 50%を越えるケースは、あらかじめ 2 種のガスを混合しておくことが困難となるため、炭酸ガスと窒素ガスのポンペを独立して設け、それぞれの流量を調整することで CO<sub>2</sub> 濃度を調整することとした。

**キーワード** : コンクリート, 炭酸化, CO<sub>2</sub> 濃度, 示差熱重量分析, 炭酸カルシウム, 細孔構造

**Keywords** : concrete, carbonation, CO<sub>2</sub> concentration, differential thermogravimetric analysis, calcium carbonate, micro structure

炭酸化では、反応に伴って水分が発生する。これらの水分が試験結果に及ぼす影響を取り除くため、温度 50℃、湿度 40%R.H.で一定とした恒温恒湿炭酸化槽（容量 63.04L, Photo 1 参照）に、各種濃度になるように調整した炭酸ガスおよび窒素ガスを 2L/min で供給した。

2. 使用材料およびモルタルの配合

使用材料を Table 2 に示す。供試体はモルタルとした。セメントは普通ポルトランドセメントを、混和材には高炉スラグ微粉末およびダイカルシウムシリケートγ相を用いた。このうち、ダイカルシウムシリケートγ相は、水和の過程を経ずに直接 CO<sub>2</sub> と反応する性質を有する<sup>4)</sup>。骨材中に含まれる炭酸カルシウムの影響を低減するため、細骨材には砂岩砕砂を用いた。使用材料については、湿式分析および示差熱重量分析による CaO および CaCO<sub>3</sub> の含有量を併記した。普通ポルトランドセメントおよび高炉スラグ微粉末には、微量ながら CaCO<sub>3</sub> が含有されているものの、ダイカルシウムシリケートγ相および砕砂に CaCO<sub>3</sub> は含まれていない。モルタルの配合を Table 3 に示す。水粉体比は 50.0%とし、普通ポルトランドセメント、高炉スラグ微粉末およびダイカルシウムシリケートγ相の配合比率は、カーボンネガティブコンクリートを対象とした既往の研究<sup>3)</sup>を参考に設定した。砂粉体比は重量比で細骨材：粉体=3：1とした。

3. 供試体作製および試験項目

練混ぜには、10L モルタルミキサを用い、水および混和剤以外の材料を投入した後に空練りを 10 秒行い、水および混和剤を投入してから 60 秒練り混ぜた。その後かき落としを行い、再度 30 秒練り混ぜて完了とした。供試体採取にはφ 50mm×h100mm のブリキ製円柱型枠を用い、20℃で 24 時間の封緘養生を行った後に脱型した。その後 3 時間 20℃・60%R.H.で静置したのち、炭酸化槽内に移して Table 1 に示す環境条件で炭酸化養生を行った。所定の炭酸化日数が経過した時点（炭酸化 1 日、3 日および 6 日）で供試体を取り出し、Table 4 に示す各種試験に供した。

炭酸化深さは、供試体をアムスラー試験機で割裂し、割裂面に 1%フェノールフタレイン溶液を噴霧した後に、左右上下の炭酸化深さを 5mm 間隔で測定し、平均値を求めた。

示差熱重量分析に供する試料は、炭酸化深さ測定の際に、1%フェノールフタレイン溶液が呈色しなかった箇所から採取した。採取後は、アセトンを用いて水和停止したのちに乳鉢を用いて粉碎したものを測定試料とし、熱重量/示差熱同時分析装置（リガク製、ThermoplusEVO2）を用いて、N<sub>2</sub> ガスをフローした環境下で 20℃/分にて 1000℃まで昇温することで水酸化カルシウムおよび炭酸カルシウムの定量を行った。本研究においては、既往の研究<sup>3)</sup>を参考に、405～515℃間の重量変化を水酸化カルシウム、600～800℃間の重量変化を炭酸カルシウムの熱分解によるものとした。

Table 1 実験ケース (Test Case)

Case	CO <sub>2</sub> 濃度(vol%)	その他
1	10	温度は 50℃、湿度は 40%R.H.で一定
2	20	
3	30	
4	50	
5	70	
6	90	



Photo 1 恒温恒湿炭酸化槽 (Constant Temperature and Humidity Carbonation Chamber)

Table 2 モルタルの使用材料 (Materials Used for Mortar)

項目	記号	摘要
水	W	水道水, 密度 1.00g/cm <sup>3</sup>
セメント	OPC	普通ポルトランドセメント, 密度 3.16g/cm <sup>3</sup> CaO 含有量 63.78%, CaCO <sub>3</sub> 含有量 3.4%
混和材	BFS	高炉スラグ微粉末, 密度 2.92g/cm <sup>3</sup> CaO 含有量 43.76%, CaCO <sub>3</sub> 含有量 1.0%
	γ	ダイカルシウムシリケートγ相, 密度 2.95g/cm <sup>3</sup> CaO 含有量 63.89%, CaCO <sub>3</sub> 含有量 0.0%
細骨材	S	砕砂 (最大径 5mm), 密度 2.64g/cm <sup>3</sup> CaO 含有量 1.62%, CaCO <sub>3</sub> 含有量 0.0%
混和剤	Ad	AE 減水剤, リガク製コンクリート硬化剤とポリオール複合体

Table 3 モルタルの配合 (Mix Proportion of Mortar)

W/P (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					
	W	OPC	BFS	γ	S	Ad
50.0	243	146	194	146	1446	1.22

W/P: 水粉体重量比, P=OPC+BFS+γ

Table 4 試験項目 (Test Items)

項目	試験材齢 <sup>※</sup>	摘要
炭酸化深さ	炭酸化 1, 3, 6 日	1%フェノールフタレイン噴霧
示差熱重量分析		炭酸化した箇所から試料採取
細孔径分布, 空隙率 (水銀圧入法)		
XRD 回折	炭酸化 6 日	

※ 脱型後、強制炭酸化を開始してからの日数

水銀圧入法による細孔径分布測定に供する試料は、所定の材齢にて供試体を恒温恒湿槽から取出し、コンクリートカッターを用いて 5mm 厚程度の円盤状に切断し、アセトンを用いて水和停止した。水和停止後は、1%フェノールフタレイン溶液を噴霧して呈色しなかった箇所から、ニッパーで5mm角程度の試験片を採取した。細孔径分布および空隙率は水銀圧入法（島津社製オートポア MIC-9520）を用いて測定した。

XRD 回折に用いる試料も、示差熱分析試験と同様に採取し、測定に供した。使用装置は PANalytical 製粉末 X 線回折装置 XpertPro MPD を用いた。使用 X 線は Cu-K $\alpha$  とし、電圧および電流はそれぞれ 45kV, 40mA とした。自動発散スリットとし、検出器は X' celeratore（高速半導体アレイ）とした。走査速度は 5°/min とし、測定範囲は 2 $\theta$ =5~60°とした。

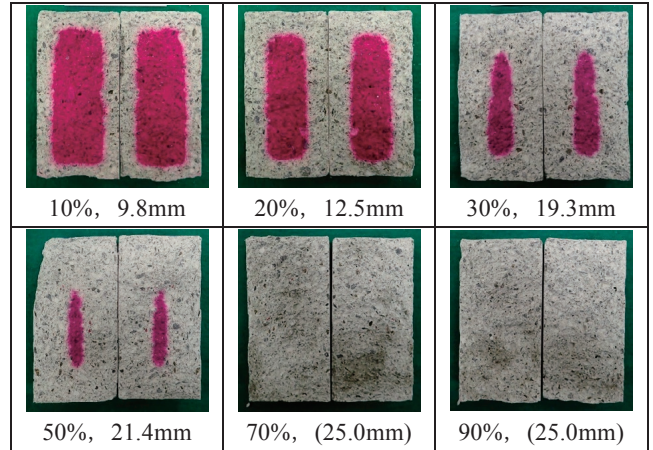


Fig.1 各 CO<sub>2</sub> 濃度における炭酸化深さ（炭酸化 1 日）  
(Carbonation Depth : 1day Carbonation)

### Ⅲ. 実験結果および考察

#### 1. 炭酸化深さに及ぼす影響

炭酸化 1 日における各 CO<sub>2</sub> 濃度での炭酸化深さを Fig.1 に示す。CO<sub>2</sub> 濃度 0.05~5% と比較的低濃度の CO<sub>2</sub> を対象とした既往の研究<sup>6),7)</sup>などでも、CO<sub>2</sub> 濃度が高いほど炭酸化は速くなることが示されている。本研究で対象とした CO<sub>2</sub> 濃度範囲でも、CO<sub>2</sub> 濃度が高いほど炭酸化が速くなる傾向であり、CO<sub>2</sub> 濃度 70% および 90% のケースは、炭酸化 1 日の時点で全面が炭酸化していた。

次に、炭酸化 1 日における CO<sub>2</sub> 濃度と炭酸化深さの関係を Fig.2 に示す。CO<sub>2</sub> 濃度が高くなるにつれて、炭酸化深さは大きくなる傾向が認められた。ここで、CO<sub>2</sub> 濃度 70% および 90% の結果を除いて得た近似式 ( $y=2.875x^{0.523}$ ) によると、CO<sub>2</sub> 濃度が 100% の場合における炭酸化深さの推測値は 32mm となる。本研究における試験条件の場合、CO<sub>2</sub> 濃度 100% における炭酸化速度の推測値は、CO<sub>2</sub> 濃度 10% の場合の約 3 倍、CO<sub>2</sub> 濃度 50% の場合の約 1.5 倍であった。

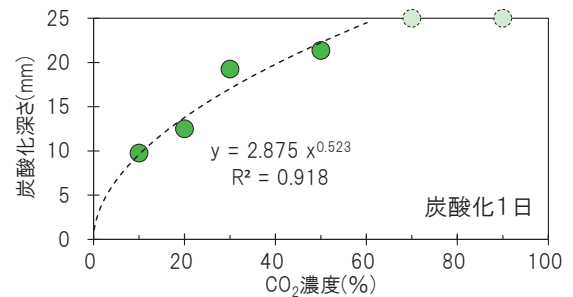


Fig.2 CO<sub>2</sub> 濃度と炭酸化深さの関係  
(Relationship of CO<sub>2</sub> Concentration and Carbonation Depth)

#### 2. 炭酸カルシウム量

示差熱分析試験にて取得した各 CO<sub>2</sub> 濃度における DTG 曲線を Fig.3 に、600~800°C における拡大図を Fig.4 に示す。なお、両図とも炭酸化 1 日のデータであり、試料数は 1 試料の結果である。まず Fig.3 より、700°C 程度までは CO<sub>2</sub> 濃度によらず概ね DTG 曲線の傾向は一致しており、いずれも 405~515°C における水酸化カルシウムの明確なピークは認められなかった。水酸化カルシウムの有無を判断するため、同配合を用いて材齢 7 日まで 50°C 環境にて封緘養生した供試体を別途用意し、同様に示差熱分析試験に供した。その結果、水中養生した場合には 420~450°C 程度において水酸化カルシウムと思われる明確なピークが認められた。これらのことから、Fig.3 においては、水酸化カルシウムは存在しないものと判断した。次に Fig.4 より、700~750°C 程度の範囲においては CO<sub>2</sub> 濃度による差異が認められた。CO<sub>2</sub> 濃度が高くなる

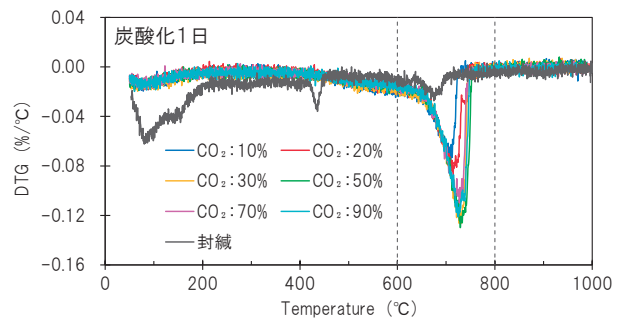


Fig.3 各 CO<sub>2</sub> 濃度における DTG 曲線  
(DTG Curve at Each CO<sub>2</sub> Concentration)

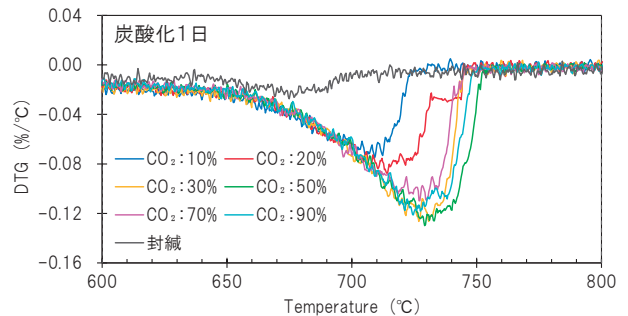


Fig.4 DTG 曲線の拡大図  
(Enlarged View of the DTG Curve)

につれてピークも大きくなる傾向であったことから、CO<sub>2</sub>濃度の増大に伴って炭酸カルシウム量が増加したものと考えられる。

次に、CO<sub>2</sub>濃度と炭酸カルシウム量の関係をFig.5に示す。Fig.5中には、使用材料由来の炭酸カルシウム量(0.32wt%)を併記した。Fig.5より、CO<sub>2</sub>濃度50%までは、CO<sub>2</sub>濃度が高いほど炭酸カルシウム量も増加する傾向であった。しかしながら、その増加幅はCO<sub>2</sub>濃度の上昇に従い緩やかになるとともに、CO<sub>2</sub>濃度70%および90%のケースは、CO<sub>2</sub>濃度50%の場合と比較して、炭酸カルシウム量はやや低下する結果であった。ここで、CO<sub>2</sub>濃度の上昇に伴い炭酸カルシウム量が増加した要因として、ダイカルシウムシリケートγ相の炭酸化反応が促進されたことが考えられる。参考として、炭酸化6日の時点で炭酸化した箇所から採取した試料のXRD回折結果をTable 5に示す。Table 5より、CO<sub>2</sub>濃度が50%までは、未反応のダイカルシウムシリケートγ相のピークが検出されたが、CO<sub>2</sub>濃度70%および90%の場合においては、ピークが検出されなかった。このことから、CO<sub>2</sub>濃度が高くなるにつれて、ダイカルシウムシリケートγ相の炭酸化反応が促進された可能性がある。一方でFig.5に示したとおり、CO<sub>2</sub>濃度30%や50%の場合と比較して、CO<sub>2</sub>濃度70%および90%の場合の炭酸カルシウム量は必ずしも増加傾向にはなっていないことからCO<sub>2</sub>濃度がダイカルシウムシリケートγ相の炭酸化反応に及ぼす影響については、今後さらなる検討が必要である。

その他の要因として、前述のようにいずれのケースでも水酸化カルシウムの存在は認められなかったことから、石田らの研究<sup>9)</sup>に示されるように、CO<sub>2</sub>濃度の上昇に伴ってカルシウムシリケート水和物(以下、CSHと称す)の炭酸化が進んだ可能性や、CSHの形態を経ずしてエーライト(以下、C<sub>3</sub>Sと称す)やビーライト(以下、C<sub>2</sub>Sと称す)中のCaが直接炭酸カルシウムへと反応した可能性も考えられる。ただし、石田らの研究と比較して本研究のCO<sub>2</sub>濃度は相当に高いことや、炭酸化を開始した材齢1日の時点で生成されたCSH量については未確認であることなどから、CO<sub>2</sub>濃度が炭酸化反応に及ぼすメカニズムや影響についてもさらなる検討を重ねる必要があると考えられる。

また、使用材料のうち、普通ポルトランドセメント、高炉スラグ微粉末およびダイカルシウムシリケートγ相に含まれるCaO量から、理論上の炭酸カルシウム生成量の最大値を算出したところ、22.2wt%となった(Fig.5参照)。この理論値に対する炭酸カルシウム量の実測値の比率をFig.6に示す。CO<sub>2</sub>濃度10%の場合は0.47、CO<sub>2</sub>濃度20%の場合は0.58であった。また、CO<sub>2</sub>濃度30~90%における比率は、0.68から0.81の範囲であり、平均で0.75となった。この結果は、CO<sub>2</sub>濃度が高くなるにつれて、使用材料に含まれるCaOのよ

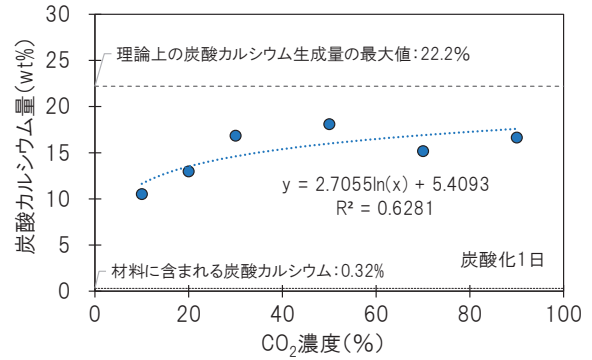


Fig.5 CO<sub>2</sub>濃度と炭酸カルシウム量の関係 (Relationship of CO<sub>2</sub> Concentration and CaCO<sub>3</sub>)

Table 5 XRD 回折の結果 (XRD Diffraction Results)

CO <sub>2</sub> 濃度	Qtz	Alb	Or	Ms	Chl	γ	CC	CH
10%	○	○	○	○	○	○	○	—
20%	○	○	○	○	○	○	○	—
30%	○	○	○	○	○	○	○	—
50%	○	○	○	○	○	○	○	—
70%	○	○	○	○	○	—	△	—
90%	○	○	○	○	○	—	○	—

Qtz:石英, Alb:斜長石, Or:アルカリ長石, Ms:雲母, Chl:緑泥石, γ:ダイカルシウムシリケートγ相, CC:カルサイト, CH:水酸化カルシウム  
○:検出, △:ブロードに検出, —:検出されず

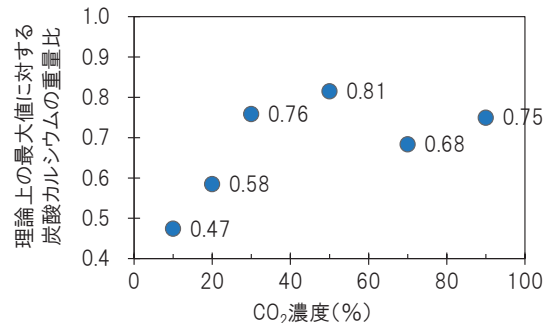


Fig.6 理論上の最大値に対する炭酸カルシウムの実測値 (Ratio of Measured Value to Theoretical Value of Calcium Carbonate Amount)

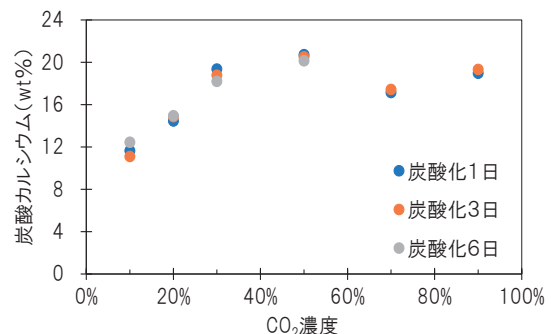


Fig.7 炭酸化日数と炭酸カルシウム量の関係 (Relationship Between Carbonation Period and Amount of CaCO<sub>3</sub>)

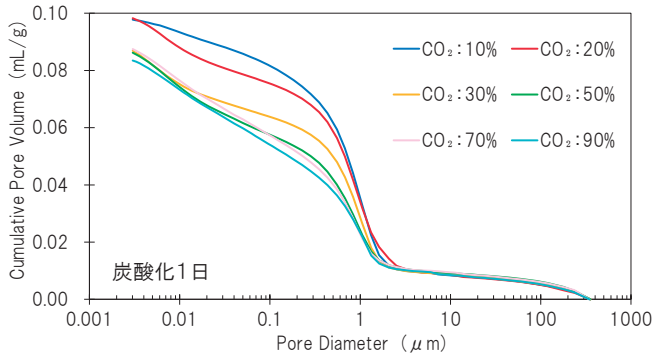


Fig.8 累積細孔量曲線  
(Cumulative Pore Volume Curve)

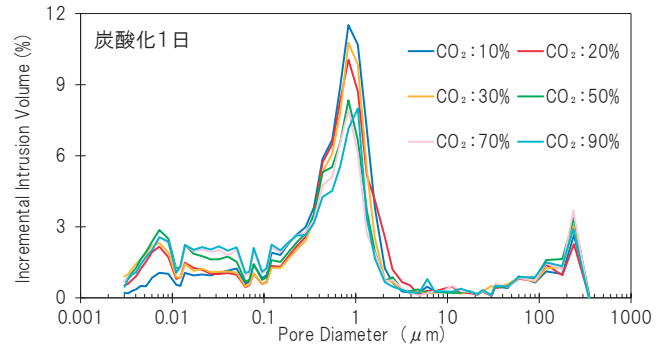


Fig.9 細孔径分布  
(Pore Diameter Distribution)

り多くが、炭酸化によって炭酸カルシウムに変化したことを示している。すなわち、炭酸化開始時（材齢1日）の組成はいずれのケースにおいても同等と考えられるため、ダイカルシウムシリケートγ相の炭酸化、CSHの炭酸化あるいはC<sub>3</sub>SやC<sub>2</sub>Sに含まれるCaの炭酸化が進んだことを示唆するものとする。なお、本研究においては前述の結果が得られたが、粉体材料の種類により、炭酸カルシウムへの変化のしやすさは異なると考えられるため、この比率は、粉体の材料構成によって異なることが想定される。

炭酸化日数と炭酸カルシウム量の関係を Fig.7 に示す。いずれの結果も、炭酸化した範囲から試料採取し、示差熱重量分析試験に供している。Fig.7 より、炭酸化日数によらず、炭酸化した範囲の炭酸カルシウム量はほぼ一定であった。

### 3. 細孔構造

各CO<sub>2</sub>濃度における累積細孔量曲線を Fig.8 に、細孔径分布を Fig.9 にそれぞれ示す。いずれも、炭酸化1日のデータである。Fig.8 および Fig.9 より、累積細孔量曲線は細孔直径2μm程度まではCO<sub>2</sub>濃度によらずほぼ一致していた。一方、CO<sub>2</sub>濃度による差異は0.5~2μm程度の範囲で最も顕著に表れており、Fig.9 ではCO<sub>2</sub>濃度が高くなるほど1μm近辺のピークが小さくなり、0.005~0.1μm程度の細孔量が増加する傾向であった。Mehtaら<sup>8)</sup>によると、六角板状結晶である水酸化カルシウムの大きさは0.8~2μm程度とされており、CSHの析出相も同等の大きさであるとされている。また、軽質炭酸カルシウムの直径については、粒度分布を有するものの直径1~3μm程度であり、さらに極微細なものであれば直径0.02~0.1μm程度とされている<sup>9)</sup>。すなわち、Fig.9においてCO<sub>2</sub>濃度が高くなるにつれて0.5~1μm近辺のピークが小さくなったことは、直径1μm前後の軽質炭酸カルシウムが生成し、0.005~0.1μm近辺のピークが大きくなったことは直径0.02~0.1μm程度の極微細な軽質炭酸カルシウムが生成したことを示唆している可能性がある。ただし、本研究においては、CSHなどの非晶質の定量評価やSEM観察を実施していないため、CO<sub>2</sub>濃度と細孔構造の変化についてはさらなる検

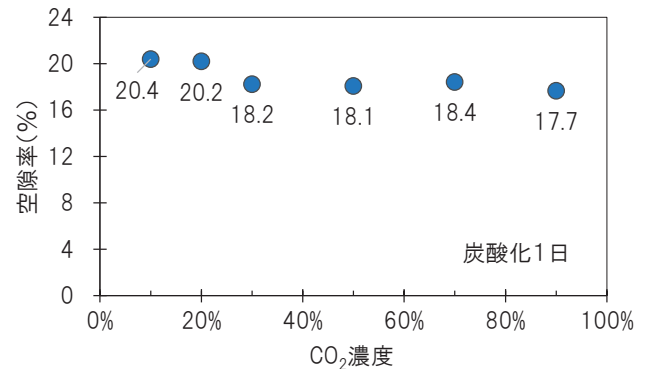


Fig.10 CO<sub>2</sub>濃度と炭酸化部における空隙率  
(Relationship Between Carbonation Period and Amount of Calcium Carbonate)

討が必要である。なお、各ケースとも、炭酸化した領域の細孔構造は、炭酸化日数の経過によらずほぼ一定であった。

CO<sub>2</sub>濃度と炭酸化部における空隙率の関係を Fig.10 に示す。Fig.10 より、CO<sub>2</sub>濃度が高い方が、炭酸化部の空隙率は低下する傾向であった。前述の Fig.8 および Fig.9 に示したように、CO<sub>2</sub>濃度が高くなるにつれて1μm程度のピークが小さくなり、0.005~0.1μm程度のピークが大きくなったことも整合の取れる結果である。以上より、本研究における配合条件および養生条件下では、CO<sub>2</sub>濃度の高い環境で強制炭酸化養生を実施することによって、炭酸化部の組織が緻密化することが明らかとなった。

### IV. おわりに

本研究では、将来、様々な排出源から発生する炭酸ガスをカーボンネガティブコンクリートに有効活用することを志向し、CO<sub>2</sub>濃度が10%から90%の環境を対象に強制炭酸化養生を行い、CO<sub>2</sub>濃度が炭酸化速度、炭酸カルシウム生成量および細孔構造に及ぼす影響について評価した。その結果、本研究の範囲において、以下の知見を得た。

- ① 炭酸化速度は、CO<sub>2</sub>濃度が高くなるにつれて増加した。本研究の試験条件において、CO<sub>2</sub>濃度100%での炭酸化

速度の推測値は、CO<sub>2</sub>濃度 10%の場合の約 3 倍、CO<sub>2</sub>濃度 50%の場合の約 1.5 倍であった。

- ② 炭酸カルシウム生成量は、CO<sub>2</sub>濃度が高くなるにつれて増加する傾向であった。ただし、本研究の範囲において、CO<sub>2</sub>濃度 30~90%では炭酸カルシウムの生成量はほぼ同等となり、CO<sub>2</sub>濃度 50%で最大を示した。使用材料中の CaO 量から算出した理論上の炭酸カルシウム生成量の最大値に対して、実測値は最大で 0.81 となった。
- ③ 細孔構造は、CO<sub>2</sub>濃度が高くなるにつれて緻密となる傾向を示した。特に、直径 1 $\mu$ m 程度の細孔量が減少し、直径 0.005~0.1 $\mu$ m 程度の細孔量が増加する傾向であった。その結果、CO<sub>2</sub>濃度が高くなるにつれて空隙率も減少する傾向が確認された。
- ④ 炭酸化した範囲では、炭酸化期間の経過に伴う炭酸カルシウム生成量や細孔構造の変化が生じなかった。

#### 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す。

#### 参考文献

- 1) 内閣府；2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン

成長戦略，2021.

- 2) 関健吾ほか；CO<sub>2</sub>排出量ゼロ以下の環境配慮型コンクリート「CO<sub>2</sub>-SUICOM®」の開発，鹿島技術研究所年報，第 61 号，2013，pp.91-96.
- 3) 関健吾ほか；強制炭酸化したガラス繊維補強モルタルへの E ガラスの適用性評価，コンクリート工学論文集，Vol.43, No.1, 2021，pp.1019-1024.
- 4) 盛岡実ほか；セメント硬化体の中性化に及ぼす  $\gamma$ -2CaO $\cdot$ SiO<sub>2</sub> 置換率の影響，セメント・コンクリート論文集，No.58, 2004，pp.282-288.
- 5) 関健吾ほか；CO<sub>2</sub>ガスを用いた養生における気相・固相中の CO<sub>2</sub>収支，コンクリート工学年次論文集，Vol.44, No.1, 2022，pp.1234-1239.
- 6) 石田剛朗ほか；C-S-H の炭酸化に及ぼす二酸化炭素濃度の影響，Cement Science and Concrete Technology, No.63, 2009，pp.347-353.
- 7) 魚本健人ほか；コンクリートの中性化速度に及ぼす要因，土木学会論文集，No.451/V-17, 1992，pp.119-128.
- 8) P.K. Mehta; Concrete: Structure, Properties, and Materials, Prentice Hall International Series in Civil Engineering and Engineering Mechanics, 1986.
- 9) 長谷川博；軽質および極微細炭酸カルシウム工業の現状，Gypsum & Lime, No.122, 1973，pp.33-41.

### Study on the Effect of CO<sub>2</sub> Concentration on CO<sub>2</sub> Fixation in Mortar

*Kengo Seki, Takeshi Torichigai, Satoru Kobayashi, Saeka Fujioka, Hiroaki Yamano, Yuma Yoshida, Toshinari Mukai, Shoya Taguchi and Kenzo Watanabe*

From the viewpoint of carbon recycling, there are great expectations toward fixing CO<sub>2</sub> in concrete. The carbonation reaction of concrete mainly occurs when calcium hydroxide or CSH reacts with CO<sub>2</sub> to produce calcium carbonate. Here, when looking at the diversification of carbon recycling in the future, various carbon dioxide gases are assumed. Examples include high-concentration gas separated and recovered with a CO<sub>2</sub> concentration of 99% or more and exhaust gas with a CO<sub>2</sub> concentration of about 10%. However, there is very little knowledge on the amount of calcium carbonate produced under such CO<sub>2</sub> concentrations. Therefore, in this study, we assumed the use of various carbon dioxide gases and carbonated the mortar in an environment with a CO<sub>2</sub> concentration of 10 to 90%. After that, the effects of CO<sub>2</sub> concentration on the rate of carbonation and the amount of calcium carbonate produced were evaluated. As a result, although the carbonation rate improved as the CO<sub>2</sub> concentration increased, the amount of calcium carbonate produced was the same at a CO<sub>2</sub> concentration of 30 to 90%.