

## 炭酸養生における CO<sub>2</sub> 濃度が炭酸カルシウム生成量に及ぼす影響

鹿島建設(株) 正会員 ○関 健吾 取違 剛 田口翔也 小林 聖 藤岡彩永佳 向 俊成  
中国電力(株) 正会員 河内友一 井上丈揮 三菱商事(株) 山岸弘大

### 1. はじめに

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、すなわち炭酸化反応による CO<sub>2</sub> の鉱物化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 CSH が CO<sub>2</sub> と反応して炭酸カルシウムが生成されることで生じる。ここで、将来のカーボンリサイクルの多様化を見据えた場合、CO<sub>2</sub> を含むガスとしては、CO<sub>2</sub> 濃度 50% 以上の分離回収された高濃度ガスや、CO<sub>2</sub> 濃度 10% 程度の燃焼排ガスなどが想定される。既往の研究<sup>1)</sup>では、耐久性評価の観点から CO<sub>2</sub> 濃度 5% 以下における炭酸カルシウム生成量の知見はあるものの、こうした CO<sub>2</sub> 濃度下における炭酸カルシウム生成量に関する知見は極めて少ない。

そこで本研究では、カーボンリサイクルに資すると考えられる CO<sub>2</sub> 濃度 10~50% の環境下で炭酸化させたモルタル試験体を対象として、CO<sub>2</sub> 濃度が炭酸カルシウムの生成量に及ぼす影響を評価した。

### 2. 実験概要

実験ケースを表-1 に示す。所定の CO<sub>2</sub> 濃度となるように窒素ガスと混合した混合ガスを用いて促進炭酸化を行った。炭酸化期間中の温度および湿度の影響を取り除くため、温湿度を 50°C、40%R.H. で一定とした促進中性化槽（容量 63.04L）に、各種濃度の CO<sub>2</sub> を含むガスを 2L/min で供給した。

使用材料を表-2 に、配合を表-3 に示す。供試体はモルタルとし、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。

試験項目を表-4 に示す。φ50mm×h100mm にて採取したモルタルを材齢 1 日で脱型し、表-1 に示す条件下で炭酸化養生を行った。その後、所定の材齢にて供試体割裂面に 1% フェノールフタレイン溶液を用いて炭酸化深さを測定し、呈色しなかった箇所から試料採取した。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°C/分にて 1000°C 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>2)</sup>を参考に、405~515°C 間の重量変化を水酸化カルシウム、600~800°C 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。

表-1 実験ケース

ケース	ガス組成(vol%)		CO <sub>2</sub> 濃度 実測値(vol%)	温湿度
	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>		
1	10	90	9.95	50°C 40%R.H. 一定
2	20	80	19.92	
3	30	70	30.08	
4	50	50	49.96	

表-2 モルタルの使用材料

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>
	BFS	高炉スラグ微粉末、密度 2.92g/cm <sup>3</sup>
混和材	γ	タカソックスリケートγ相、密度 2.95g/cm <sup>3</sup>
細骨材	S	砕砂、密度 2.64g/cm <sup>3</sup>
混和剤	Ad	AE 減水剤、リグニンスルホン酸化合物とポリオール複合体

表-3 モルタルの配合

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

表-4 試験項目

項目	試験材齢	摘要
炭酸化深さ	炭酸化日数 1日、3日、6日※	フェノールフタレイン 1% 噴霧
示差熱重量分析		炭酸化した 箇所から試料採取

※ 材齢 1 日で脱型し、炭酸化を開始してからの日数

キーワード 環境配慮型コンクリート、CO<sub>2</sub> 吸収コンクリート、カーボンネガティブ、CO<sub>2</sub> 濃度、炭酸カルシウム  
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. 042-485-1111

### 3. 実験結果および考察

各 CO<sub>2</sub> 濃度における炭酸化深さを図-1 に示す. 比較的低濃度の CO<sub>2</sub> を対象とした既往の研究<sup>1), 2)</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は速くなった.

各 CO<sub>2</sub> 濃度における DTG 曲線を図-2 に示す. 図より, 700°C 程度までは CO<sub>2</sub> 濃度によらず概ね DTG 曲線の傾向が一致しており, いずれも水酸化カルシウムの存在は認められなかった. 一方で, 700~750°C 程度においては明確な差異が認められ, CO<sub>2</sub> 濃度が高くなるにつれてピークも大きくなっていることから, 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, 炭酸化日数と炭酸カルシウム量の関係を図-3 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. 図-3 からも, CO<sub>2</sub> 濃度が高くなると炭酸カルシウムの生成量が増加する傾向にあることが分かる. これは, 既往の研究<sup>1)</sup>に示されるとおり, CO<sub>2</sub> 濃度が高くなるにつれて, 水酸化カルシウムだけでなく CSH の炭酸化も促進されたためと考えられる. また, 同図より, 炭酸化日数によらず, 炭酸化した範囲における炭酸カルシウム量は一定であることが認められた. なお, 図中には, 同一配合のモルタルを用いて, 打設直後から密封養生を行い, CO<sub>2</sub> と接触させなかった試験体の測定結果も併記した. 密封養生の場合でも 2.2wt% の炭酸カルシウムが認められた. これは, 細骨材中の炭酸カルシウムや, セメント中の微量成分が検出された可能性がある.

CO<sub>2</sub> 濃度と炭酸カルシウム量の関係を図-4 に示す. 図より, 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. 一方で, その増加幅は CO<sub>2</sub> 濃度の上昇に従い小さくなった. 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, CO<sub>2</sub> 濃度の上昇により CSH の炭酸化が進んだものと考えられるが, 本研究の範囲では, CO<sub>2</sub> 濃度 50% 程度を越えると, CSH の炭酸化も収束する可能性が示唆された.

### 4. まとめ

将来的なカーボンリサイクル産業の多様化を見据え, 様々な CO<sub>2</sub> 濃度でコンクリートの炭酸化を行った際の CO<sub>2</sub> 濃度と炭酸カルシウム生成量の関係の評価した. その結果, CO<sub>2</sub> 濃度が高まるほど炭酸カルシウムの生成量は増加するものの, その増加幅は徐々に小さくなることが分かった.

(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) 石田ほか; C-S-H の炭酸化に及ぼす二酸化炭素ガス濃度の影響, Cement Science and Concrete Technology, No.63, pp.347-353, 2009.
- 2) 魚本ほか; コンクリートの中酸化速度に及ぼす要因, 土木学会論文集, No.451/V-17, pp.119-128, 1992.
- 3) 取達ほか; 炭酸化したセメント系材料における CO<sub>2</sub> 固定量の評価手法および物性変化に関する研究, 土木学会論文集 E2, Vol.77, No.2, pp.37-54, 2021.

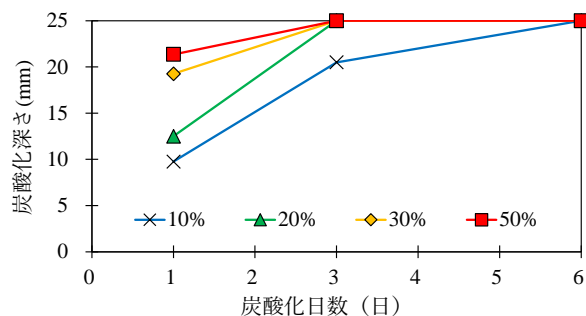


図-1 各 CO<sub>2</sub> 濃度における炭酸化深さ

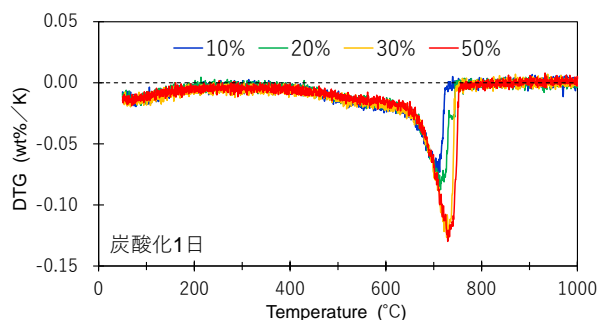


図-2 各 CO<sub>2</sub> 濃度における DTG 曲線

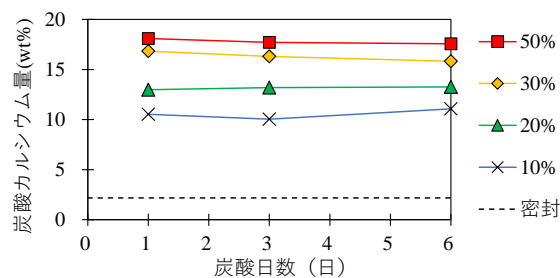


図-3 炭酸化日数と炭酸カルシウム量の関係

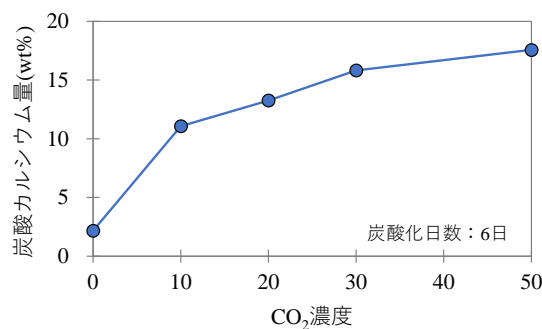


図-4 CO<sub>2</sub> 濃度と炭酸カルシウム量の関係