

# 炭酸化養生によるコンクリートへのCO<sub>2</sub>固定に関する研究

取達, 剛

<https://hdl.handle.net/2324/4496126>

---

出版情報 : Kyushu University, 2021, 博士 (工学), 論文博士  
バージョン :  
権利関係 :

氏 名 : 取 違 剛

論 文 名 : 炭酸化養生によるコンクリートへの CO<sub>2</sub> 固定に関する研究

区 分 : 乙

## 論 文 内 容 の 要 旨

CO<sub>2</sub> 排出削減という世界規模の環境問題に対し、建設業界と関わりの深い電力産業、鉄鋼業、セメント産業が、日本の主要な CO<sub>2</sub> 排出産業となっている。そのような中、昨今、排出された CO<sub>2</sub> を回収して再利用するという観点で、カーボンリサイクルや CCU (Carbon Capture and Utilization) という言葉が使われるようになり、コンクリート分野におけるカーボンリサイクルの一つの技術として、「炭酸化」や「炭酸塩化」と呼ばれる現象が着目されている。これは、コンクリートの主要材料であるセメントに含まれる Ca と CO<sub>2</sub> を反応させ、CaCO<sub>3</sub> としてコンクリート中に CO<sub>2</sub> を固定させることを指している。

本研究は、コンクリートを「CO<sub>2</sub> 固定可能な資材」として捉え、各種の混和材を用いたコンクリートを、高濃度の CO<sub>2</sub> 雰囲気下にてコンクリートと接触（以下、炭酸化養生と称する）した際の CO<sub>2</sub> 固定量を定量的に評価すること、ならびにコンクリートの炭酸化養生条件が炭酸化速度ならびに硬化物性に及ぼす影響の評価を行ったものである。

本論文は、第1章から第7章まで、7つの章で構成されている。各章の概要は、以下のとおりである。

第1章では、我が国における各主要産業の CO<sub>2</sub> 排出状況およびコンクリート分野における CO<sub>2</sub> 排出の現状と抑制対策について整理したうえで、研究の目的および論文の構成について示した。

第2章では、コンクリートの炭酸化による CO<sub>2</sub> 固定量ならびに硬化物性の変化に関する既往の研究成果を取りまとめた。その結果、炭酸化したコンクリートの CO<sub>2</sub> 固定量には熱分析が一般的に用いられているものの、CO<sub>2</sub> 固定量としての、適切な分析手法が定められていないことを明らかにした。また、コンクリートを長期的に炭酸化させることによって、大量の CO<sub>2</sub> がコンクリートに固定される可能性があることを明らかにした。さらに、コンクリートの炭酸化速度および硬化物性に及ぼす要因とその影響度合いが明らかになっていないことを課題として見出した。

第3章では、鉄鋼産業から副産物として排出される高炉スラグ微粉末、ならびに CO<sub>2</sub> と反応して硬化する性質を有する  $\gamma$  型の 2CaO・SiO<sub>2</sub> (以下、 $\gamma$ -C<sub>2</sub>S) という特殊な混和材を対象に、各混和材が炭酸化したセメントペーストの CO<sub>2</sub> 固定量に及ぼす影響を様々な分析手法によって評価した。その結果、無機炭素分析という手法が CO<sub>2</sub> 固定量の評価に適していることを見出した。また、 $\gamma$ -C<sub>2</sub>S は高炉スラグ微粉末よりもやや高い CO<sub>2</sub> 固定能力を示すこと、高炉スラグ微粉末や  $\gamma$ -C<sub>2</sub>S をセメントに置換したコンクリートを高温環境下で高濃度の CO<sub>2</sub> と反応させることで、硬化物性を維持しつつ、材料起因の CO<sub>2</sub> 排出量を相殺できる程度の CO<sub>2</sub> をコンクリートに固定できる可能性があることを示した。

第4章では、既往の研究を踏まえつつ、材料条件や配合条件、温度・湿度・CO<sub>2</sub> 濃度などの環境条件、初期養生条件や部材厚さなどの製造条件等の各種条件がコンクリートの炭酸化速度に及ぼす

影響を評価した。その結果、炭酸化養生を開始するときの圧縮強度がその後の炭酸化速度に大きく影響し、若材齢から炭酸化させるほど炭酸化の進行が早くなることを明らかにした。また、炭酸化養生時に圧力を作用させることによって炭酸化が促進されるものの、加圧による炭酸化速度向上にはコンクリート中の水分の制御とコンクリートを乾燥させることが不可欠であることを確認した。

第5章では、CO<sub>2</sub>排出量を極限まで低減できる材料設計として、高炉スラグ微粉末と  $\gamma$ -C<sub>2</sub>S をセメント代替として併用した三成分系のセメントを用いて、炭酸化養生を行ったコンクリートを対象に、CO<sub>2</sub>固定量を評価した。その結果、材料起因のCO<sub>2</sub>排出量を上回るCO<sub>2</sub>をコンクリートに固定できることを実証した。また、炭酸化養生によってCO<sub>2</sub>を固定したコンクリートは、一般的なコンクリートと同等以上の硬化物性を有すること、特に、すり減り抵抗性においては一般的なコンクリートよりも性能が向上することを確認した。さらに、pH=12~13程度の強アルカリを呈するコンクリートを炭酸化養生することによって、pHが低下して中性に近づくことから、ポーラスコンクリートに適用することによってコンクリートの植物生育性能が向上し、これまでにない新しいポーラスコンクリートが実現できる可能性を示した。

第6章では、実際に火力発電所から排出される排気ガスに含まれるCO<sub>2</sub>をコンクリートに固定するための実証実験を行い、そのCO<sub>2</sub>固定量ならびにコンクリートの物性を評価した。その結果、火力発電所の排熱と工業用水を用いた熱交換システムの導入により、電力エネルギーを使用することなく、コンクリートがCO<sub>2</sub>を固定しやすい環境に排気ガスの温度と湿度を制御することが可能となることを明らかにした。また、各種混和材をセメント代替として用いたコンクリートを省エネルギー型の炭酸化養生システムにて炭酸化養生することで、製造時のCO<sub>2</sub>排出量を上回るCO<sub>2</sub>をコンクリートに固定できることを実証した。

第7章では、以上の研究成果を総括するとともに、今後の課題について言及した。