

分離回収 CO₂ を用いた鉄筋コンクリートの強制炭酸化

中国電力(株) 正会員 ○河内友一 井上丈揮 福本 直
鹿島建設(株) 正会員 関 健吾 境 美緒 取違 剛 向 俊成

1. はじめに

地球温暖化対策として CO₂ 排出量の削減が世界的に求められており、我が国でも 2050 年カーボンニュートラルに向けた取り組みが各方面でなされている。経済産業省からはカーボンリサイクル技術ロードマップが示され、コンクリート中への CO₂ 固定、すなわち CO₂ の鉱物化にも大きな期待が寄せられている。そのような背景の下、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）では、広島県大崎上島に研究拠点を整備し、分離回収した CO₂ を用いた各種研究開発を推進している¹⁾。著者らは、当該研究拠点において CO₂ を有効利用したコンクリートの研究開発を行っており、実規模の鉄筋コンクリート構造物を対象として効率的にコンクリート中に CO₂ を固定化する手法を検討している。

ここでは、世界で初めて、火力発電所の排ガスから分離回収した高濃度 CO₂ を用いて実大規模の鉄筋コンクリート試験体を強制的に炭酸化させた事例について述べるとともに、圧縮強度や CO₂ 固定量の評価結果などについて述べる。

2. 実験概要

実証試験体は、フーチングと壁（長さ 5.0m、幅 0.5m、高さ 1.6m）を有する逆 T 擁壁とし、壁部を評価対象とした（写真-1）。コンクリートは、予めフレコンパックに袋詰めされたドライミックスタイプとし、拠点内で移動式ミキサを用いて練り混ぜた。使用材料を表-1 に示す。高炉スラグ微粉末および産業副産物から製造したダイカルシウムシリケート γ 相を主とする特殊混和材をセメントの代替材として用いた。ダイカルシウムシリケート γ 相は CO₂ と反応して硬化する性質を有する。コンクリートの配合を表-2 に示す。設計基準強度は一般的な土木構造物を参考に 24N/mm² とした。打込みは、コンクリート標準示方書【施工編】²⁾ に示される基準や目安に準じて行った。

打込み完了後は翌日まで湿潤養生を行った。天端面を対象にリバウンドハンマーで推定圧縮強度を測定し、5.0N/mm²を確認した時点で型枠を取り外した。その後、テント状のカバーで実証試験体全体を覆い、濃度約 100%の分離回収 CO₂ を供給するとともに、26 日間の強制炭酸化を行い、カバー内の温度・湿度を計測した。

試験項目を表-3 に示す。強制炭酸化終了後はワイヤソーを用いて実証試験体の中央位置で試験体を切断し、1%フェノールフタレイン溶液を用いて実証試験体の炭酸化深さを確認するとともに、 ϕ 100mm のコアを採取して圧縮強度お



写真-1 実証試験体

表-1 コンクリートの使用材料

項目	記号	摘要
水	W	水道水、密度 1.00g/cm ³
セメント	OPC	普通ポルトランドセメント、密度 3.16g/cm ³
混和材	BFS	高炉スラグ微粉末、密度 2.92g/cm ³
	γ	ダイカルシウムシリケート γ 相を主とする特殊混和材、密度 2.95g/cm ³
細骨材	S	砕砂、表乾密度 2.58g/cm ³
粗骨材	G	砕石、表乾密度 2.72g/cm ³ 、Gmax 20mm
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-2 コンクリートの配合

W/P (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						
		W	OPC	BFS	γ	S	G	Ad
55.0	49.4	169	123	169	15	872	940	2.5

W/P：水粉体重量比、P=OPC+BFS+ γ
目標スランプ：12±2.5cm、目標空気量：4.5±1.5%

表-3 試験項目

項目	養生	摘要
炭酸化深さ	炭酸化 26 日※	フェノールフタレイン 1%噴霧
圧縮強度		ϕ 100mm コアにて確認
CO ₂ 固定量		ϕ 100mm コアの炭酸化部・未炭酸化部で全炭素量を測定

※ 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、CO₂ 吸収コンクリート、カーボンネガティブ、分離回収 CO₂、NEDO

連絡先 〒739-0046 広島県東広島市鏡山 3-9-1 中国電力(株) エネルギア総合研究所 TEL 082-420-0700

よび CO₂ 固定量の測定を行った。CO₂ 固定量は、コアの炭酸化部および未炭酸化部から試料を採取し、全有機炭素計（島津製 TOC-L CSH および SSM-5000A）による全炭素量の測定を行った。

3. 実験結果および考察

実証試験体の炭酸化状況を写真-2 に、炭酸化後に切断して測定した炭酸化深さの確認状況を写真-3 に示す。炭酸化中のテント内環境は、平均で温度 46.8℃、相対湿度 33.5%、CO₂ 濃度 72.8%であった。壁部の炭酸化深さは 35～78mm、平均で 51mm であり、左右面での差は 0.7mm と僅かであったことから左右両面に CO₂ ガスを偏りなく供給できたものと考ええる。炭酸化深さの測定結果から、壁部の炭酸化面積率を算出したところ 23%であった。

各位置から採取したコアの圧縮強度試験結果を図-1 に示す。なお、コアの高さは 150mm としたが、炭酸化深さは前述のとおり最大で 78mm であった。そのため図中で炭酸化部とした凡例は炭酸化部と未炭酸化部を含む結果である。コアの採取高さによって差が見られるものの、炭酸化部および未炭酸化部ともに設計基準強度を満足するとともに両者の差は僅かであった。既往の研究³⁾では、ダイカルシウムシリケート γ 相を用いて強制炭酸化することで圧縮強度が増加することが報告されているが、本研究では使用量が少なかったことや炭酸化部と未炭酸化部を含む結果であるために明確な影響を確認できなかった可能性がある。

CO₂ 固定量の評価結果を表-4 に示す。表中には、使用材料に含まれる CO₂ 量を別途測定した結果を併記した。全炭素分析から得られた CO₂ 含有量は炭酸化部で 107.0kg/m³、未炭酸化部で 14.4kg/m³であった。使用材料中にもともと含まれる CO₂ 量は 2.5kg/m³であったことから、炭酸化部だけでなくフェノールフタレイン法にて未炭酸化部と判定された領域でも CO₂ を吸収・固定した可能性がある。写真-3 より算出した炭酸化部および未炭酸化部の面積率を考慮すると、本研究における実証試験体全体に固定された CO₂ は、平均で 33.2kg/m³ となった。

4. まとめ

カーボンニュートラル社会の実現を目指し、分離回収された CO₂ を用いて世界で初めて鉄筋コンクリートの実規模試験体の強制炭酸化を行った。その結果、設計基準強度を十分に満足する圧縮強度を得るとともに、1m³あたり 33.2kg/m³ の CO₂ を固定していることを確認した。

（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) NEDO HP ; <https://osakikamijima-carbon-recycling.nedo.go.jp/> (2023 年 3 月 13 日確認)
2) 土木学会；コンクリート標準示方書【施工編】，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 CO₂ 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。



写真-2 分離回収 CO₂ を用いた炭酸化の状況



写真-3 実証試験体の炭酸化深さの確認状況

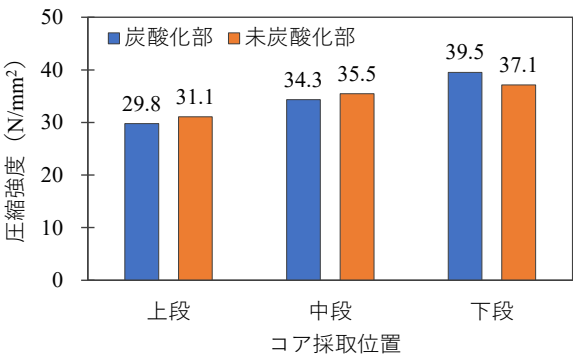


図-1 炭酸化の有無による圧縮強度の比較

表-4 CO₂ 固定量の評価結果

部位	単位	炭酸化部	未炭酸化部
CO ₂ 含有量 (全炭素量より)	kg/m ³	107.0	14.4
使用材料に 含まれる CO ₂ 量	kg/m ³	2.5	
CO ₂ 固定量	kg/m ³	104.5	11.9
面積率	%	23	77
全体での CO ₂ 固定量	kg/m ³	33.2	