

コンクリートの低温養生による炭酸化の促進と活用可能性の検討
ーG I 基金事業『CUCO』開発成果ー

(株)ホクエツ 正会員 ○樋川孝治 貝森英樹
鹿島建設(株) 正会員 関健吾 山野泰明 境美緒

1. はじめに

カーボンニュートラル社会の実現に向けて、コンクリート分野においても CO₂排出削減の動きが急激に加速している。このような中、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）に2兆円規模の「グリーンイノベーション（GI）基金」が造成され、筆者らもコンソーシアム「CUCO（Carbon Utilized COncrete）」の一員として、研究開発を進めている¹⁾。CO₂固定型コンクリートの研究の中で、特にコンクリート二次製品の製造においては、材齢初期において高濃度の二酸化炭素中で炭酸化を行う「炭酸化養生」の手法が重要になる。これまでコンクリートの炭酸化は加温により促進されるものと考えられ、既往の研究においても温度が高いほど中性化の進行が速いとされている²⁾。しかし、二酸化炭素および水酸化カルシウムは低い温度で水に溶解し易く、コンクリート内部の物質移動によって生じるエフロッセンスの現象は気温が低い時期に多く見られることから、低温環境下においても、炭酸化の促進が期待できると考えた。

本研究は、一般的なコンクリート二次製品の製造を想定したコンクリート配合について、脱型後のコンクリート供試体を50℃環境または5℃環境で炭酸化養生を行い、炭酸化深さと重量変化によるCO₂固定量を比較することで、コンクリートの低温養生による炭酸化の活用可能性について検討したものである。

2. 実験概要

使用材料とコンクリート配合を表-1 および表-2 に示す。コンクリートのフレッシュ性状は一般的な二次製品に用いられる流し込みコンクリートを想定した。結合材には早強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3種類を用いた。

φ100mm×h200mmにて採取したコンクリート供試体を封緘せずに温度20℃相対湿度50～80％環境の室内に2日間静置し、その後脱型して炭酸化養生に用いた。炭酸化養生の温度条件は50℃と5℃の2水準とし、いずれもCO₂濃度100％とした。試験装置の概要を図-1に示す。試験装置はCO₂と湿分の損失がない密閉性のもので、かつ内部の気体等に体積変化があっても圧力に変化が生じない構造とした。この環境下で16時間の炭酸化養生を行った。

試験項目を表-3に示す。2日（48時間）後の脱型の際に、JIS A 1108により圧縮強度を確認した。炭酸化養生中は、供試体の表面温度および供試体周囲の空間の温度と相対湿度を測定した。

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	HPC	早強ポルトランドセメント、密度3.14g/cm ³
混和材	BFS	高炉スラグ微粉末、密度2.88g/cm ³
	γ	ダイカルシウムシリケートγ相、密度2.85g/cm ³
細骨材	S1	砕砂、密度2.66g/cm ³
	S2	陸砂、密度2.60g/cm ³
粗骨材	G	碎石、密度2.66g/cm ³
混和剤	AD1	高性能減水剤（標準型Ⅰ種）
	AD2	AE剤（Ⅰ種）

表-2 コンクリートの配合

W/B (%)	SL (cm)	Air (%)	単位量 (kg/m ³)						
			W	HPC	BFS	γ	S1	S2	G
46.1	18	6.0	165	86	186	86	625	68	1042

W/B：水結合材重量比、B=HPC+BFS+γ
AD1とAD2はフレッシュ性状が所要値なるように調整

表-3 試験項目

項目	試験材齢	摘要
脱型時強度	20℃環境で2日	炭酸化養生開始時
炭酸化養生中表面温度、周囲温度、相対湿度	炭酸化養生中（16時間）	データロガー
炭酸化深さ	炭酸化養生16h後	1%フェノールフタレイン噴霧
供試体の重量増加量		供試体重量測定

キーワード CUCO, 環境配慮型コンクリート, 炭酸化, 低温環境
連絡先 〒300-4513 茨城県筑西市中根870-2 (株)ホクエツ 筑波工場 TEL. 0296-52-5277

炭酸化養生前後で供試体の重量を測定し、供試体の重量増加量を測定した。更に供試体を割裂し、供試体の打込み面および側面の炭酸化深さを JIS A 1152 によって測定した。

3. 実験結果及び考察

脱型時強度(炭酸化養生前)の圧縮強度は 8.1N/mm^2 であった。炭酸化養生中の各温度の推移については図-2 に示すように、 50°C 環境においては供試体表面温度が周囲空間温度と同程度であり、 5°C 環境においては供試体表面温度が周囲空間温度より高い状況が続いた。なお、相対湿度は 50°C 環境、 5°C 環境とも終始 100% であった。

供試体の重量増加量について図-3 に示す。 50°C 環境で 33.6g (21.4 kg/m^3)、 5°C 環境で 35.0g (22.3 kg/m^3) という結果であり、 5°C 環境のほうが約 4% 増加した。炭酸化深さの試験状況を図-4 に示す。炭酸化深さの測定値は、各部位の平均で 50°C 環境の打込み面で 4.7 mm 、側面 3.1 mm であり、 5°C 環境の打込み面で 17.3 mm 、側面 8.1 mm であった。打込み面と側面の差については、打込み面が炭酸化養生開始の時点でやや乾燥していたことから打ち込み面の炭酸化が進みやすく、側面では含水率が高いため炭酸化が進みにくかったものと考えられる³⁾。

炭酸化養生中の相対湿度が 100% であったため供試体の乾燥は軽微と考えられるが、 5°C 環境では供試体温度が雰囲気温度より高いことから 50°C 環境の供試体よりも乾燥が進行しやすく、炭酸化が促進された可能性が考えられる。

4. まとめ

今回炭酸化促進の評価については炭酸化深さの測定と重量測定で行い、低温養生による炭酸化の活用可能性が確認できた。これは、コンクリートの含水率や表面温度、外気温度や相対湿度等条件によって変わってくるため、製造方法によって最適な温度環境が存在すると考えられる。低温養生による炭酸化の活用メリットとして、 CO_2 吸収型コンクリート製品製造における寒冷期での低温養生によるエネルギーの削減、 CO_2 をリサイクル資源と考えたロスのない活用、湿度管理が難しい密閉空間での炭酸化養生等、環境負荷低減の可能性、環境設備に応じた炭酸化養生の方法の可能性が考えられ、今後検討を行っていく。

謝辞：本成果は、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 (JPNP21014) を受け、革新的カーボンネガティブコンクリートの材料・施工技術及び評価技術の開発で得られた成果である。

参考文献

- 1) 取違ほか；コンクリートの材料・施工技術および品質評価技術の開発ー CUCO (Carbon Utilized COConcrete) によるカーボンニュートラル社会の実現へー, コンクリートテクノ, Vol.42, No.1, pp.58-64, 2023.
- 2) 兵頭ほか；炭酸化によるセメント系材料の CO_2 吸収固定, 太平洋セメント研究報告, No.179, pp.15-30, 2020.
- 3) 小林ほか；各種セメント系材料の酸素の拡散性状に関する研究, コンクリート工学, Vol.24, No.12, pp.91-106, 1986.

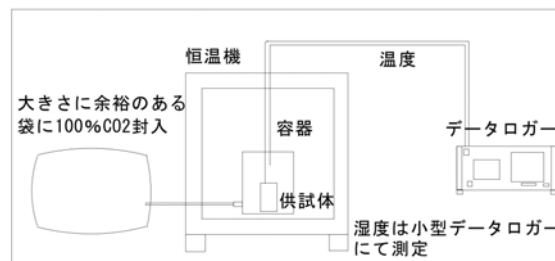


図-1 試験装置の概要

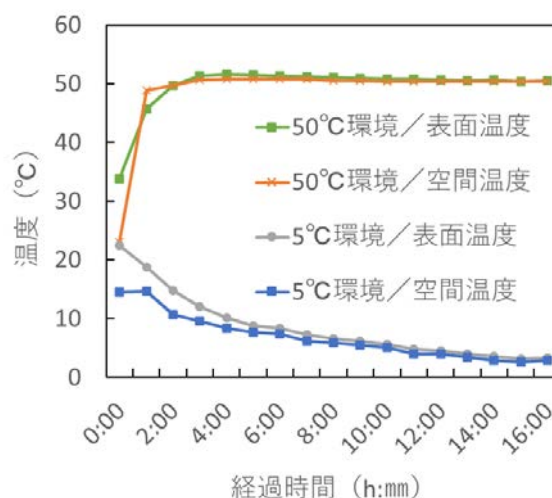


図-2 50°C 環境・ 5°C 環境での炭酸化養生温度履歴

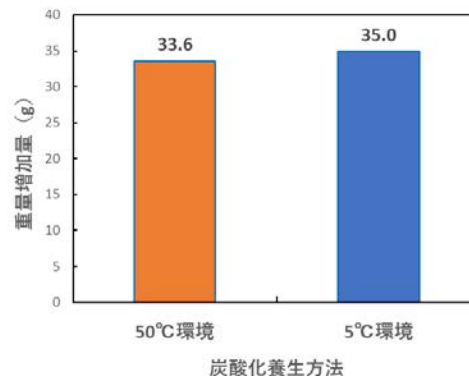


図-3 質量測定による CO_2 固定量

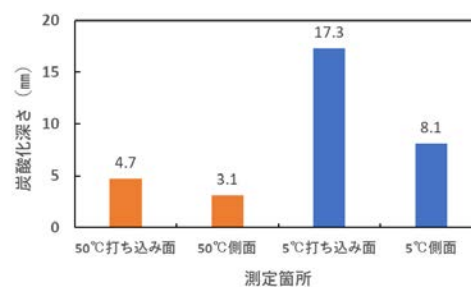


図-4 炭酸化深さ