

炭酸化養生時の温度と相対湿度がCO₂吸収コンクリートのCO₂含有量に及ぼす影響

鹿島建設(株) 正会員 ○境 美緒 関 健吾 向 俊成 取違 剛

1. はじめに

コンクリートの使用材料の1つであるセメントはその焼成時に大量のCO₂を排出するため、コンクリートに対して地球温暖化抑制の観点から厳しい視線が注がれている。この問題を解決するため、コンクリート中へCO₂を吸収させて硬化させる技術である“CO₂吸収コンクリート”に大きな期待が寄せられている。既往の研究¹⁾では、CO₂濃度10%において、養生時の温度と相対湿度がコンクリートの炭酸化の進行に及ぼす影響に関する知見はあるものの、更なる高濃度CO₂環境下において、養生時の温度と相対湿度がコンクリートの炭酸化の進行に及ぼす影響について検討した例は少ない。そこで本研究では、高濃度CO₂環境下において、様々な温湿度条件で炭酸化させたコンクリート供試体を対象として、養生時の温度と相対湿度がCO₂吸収コンクリートの炭酸化深さおよびCO₂含有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。本研究では、同表のうち、○をつけた温湿度環境下において、促進炭酸化養生を実施した。なお、養生期間中は恒温恒湿槽（容量63.04 L）に炭酸ガスを4 L/minで供給し、養生槽内部のCO₂濃度を約90%で一定となるようにした。

使用材料を表-2に、配合を表-3に示す。コンクリート中に大量のCO₂を固定させるため、炭酸イオンと反応して硬化する性質を持つダイカルシウムシリケートγ相を混和材として使用した。

試験項目を表-4に示す。φ100mm×h200mmにて採取したコンクリートを材齢1日で脱型し、表-1に示す温湿度条件下で炭酸化養生を行った。所定の材齢にて圧縮強度試験を実施した後、供試体を割裂し、1%フェノールフタレイン溶液を噴霧して炭酸化深さを測定した。また、呈色反応を示さなかった箇所から分析用の試料を採取した。アセトンを用いて水和停止した後に乳鉢を用いて粉碎したものを分析試料とし、熱重量/示差熱同時分析装置（リガク製、ThermoplusEVO2）を用いて、N₂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²⁾を参考に、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、炭酸カルシウム中に含まれるCO₂量を測定した。

表-1 実験ケース

湿度\温度	5℃	20℃	35℃	50℃	65℃
20%	—	○	—	○	—
30%	—	○	—	○	—
40%	○	○	○	○	○
50%	—	○	—	○	—
70%	—	○	—	○	—

表-2 コンクリートの使用材料

項目	記号	摘要
水	W	水道水，密度 1.00 g/cm ³
セメント	N	普通ポルトランドセメント，密度 3.16 g/cm ³
混和材	BFS	高炉スラグ微粉末，密度 2.89 g/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（γ-2CaO・SiO ₂ ），密度 3.02 g/cm ³
細骨材	S	砕砂，密度 2.64 g/cm ³
粗骨材	G	砕石，密度 2.66 g/cm ³
混和剤	AD	AE減水剤，リガコンスルホン酸化合物とポリカルボン酸エーテルの複合体
	AE	空気連行剤

表-3 コンクリートの配合

W/P (%)	単位量 (kg/m ³)							
	W	N	BFS	γ	S	G	AD	AE
50.0	169	101	135	101	834	948	1.30	0.02

W/P：水粉体重量比，P=N+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*1，2日	フェノールフタレイン1%噴霧
示差熱重量分析	炭酸化日数*2日	炭酸化した箇所から試料採取
圧縮強度	炭酸化日数*6日	JIS A 1108

*材齢1日で脱型し、炭酸化養生を開始してからの日数

キーワード CO₂吸収コンクリート，炭酸化養生，高濃度CO₂，温湿度条件，CO₂含有量

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

温度 50℃および相対湿度 40%で整理した炭酸化深さを図-1 に示す。CO₂濃度を 10%とした既往の研究¹⁾では、相対湿度 40～50%の間で炭酸化速度が最大となることが示されている。図より、まず温度一定の条件に着目すると、本研究で対象とした CO₂ 濃度 90%では、炭酸化 1 日、2 日ともに既往の研究¹⁾よりもやや低湿度域である相対湿度 30%にて炭酸化深さが最大となった。本検討では、材齢初期から炭酸化養生を行っているため、既往の研究よりも乾燥側において炭酸化が進行しやすかったと考えられる。また、相対湿度が一定の場合、温度上昇に伴って炭酸化深さが大きくなったものの、35℃を超えると明確な傾向は見られなかった。そこで、図-1 をもとに算出した温度ならびに相対湿度と炭酸化速度係数の関係を図-2 に示す。同図には、温度 20℃における炭酸化速度係数を併記した。図より、20℃および 50℃での炭酸化速度係数を比較すると、いずれの相対湿度においても、50℃での炭酸化速度の方が大きくなることが確認された。また、いずれの養生温度においても、相対湿度 30%での炭酸化速度が最大となることが示された。一方、温度については、図-2 右に示すように 35℃以上では炭酸化速度はほぼ一定となることが確認された。

炭酸化試料中の CO₂ 含有量を図-3 に示す。温度もしくは相対湿度がそれぞれ一定の場合、5℃、40%で炭酸化養生したケースにおいて CO₂ 含有量が若干多くなったものの、温度および相対湿度と CO₂ 含有量に明確な傾向は確認されず、概ね同程度の値であった。したがって、炭酸化深さが大きくなるほど、供試体中の CO₂ 含有量は多くなっていると考えられる。

炭酸化養生後の圧縮強度を図-4 に示す。温度が一定の場合、相対湿度が 40%以下の低湿度域では強度に差異は見られず、高湿度になると強度が増進する傾向が確認された。また、相対湿度が一定の場合には、温度が高くなるにつれて強度が増進した。したがって、炭酸化を促進しつつ強度の高い CO₂ 吸収コンクリートを製造するには、養生温度は 35℃以上、相対湿度は 30%前後の高温・低湿度環境下にて炭酸化養生を行うことが望ましいと言える。

4. まとめ

CO₂ 吸収コンクリートの製造にあたり、高濃度 CO₂ 環境下における炭酸化養生時の温度と相対湿度が炭酸化深さと CO₂ 含有量に及ぼす影響を評価した。その結果、温度および相対湿度と CO₂ 含有量には明確な傾向は確認されず一定値を示した。また、本研究の範囲においては、養生温度 35℃以上、相対湿度 30%前後の高温・低湿度環境下で炭酸化養生を行うと、圧縮強度を高めつつ炭酸化を促進させられることが明らかとなった。

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) 鄭ら：モルタルの中性化速度に及ぼす温度・湿度の影響に関する実験的研究，コンクリート工学論文集，No.1，Vol.1，pp.85-94，1990。
- 2) 関ら：CO₂ ガスを用いた養生における気相・固相中の CO₂ 収支，コンクリート工学年次論文集，No.44，Vol.1，pp.1234-1239，2022。

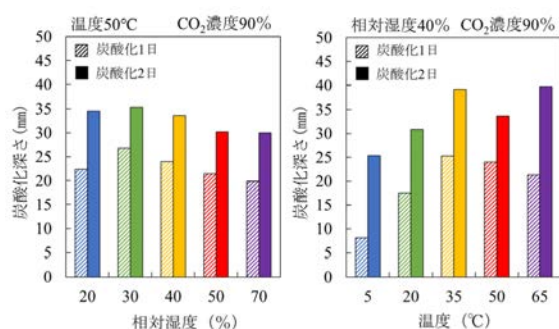


図-1 炭酸化深さ

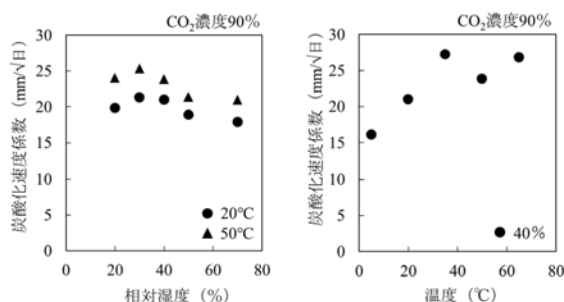


図-2 温度・相対湿度と炭酸化速度係数

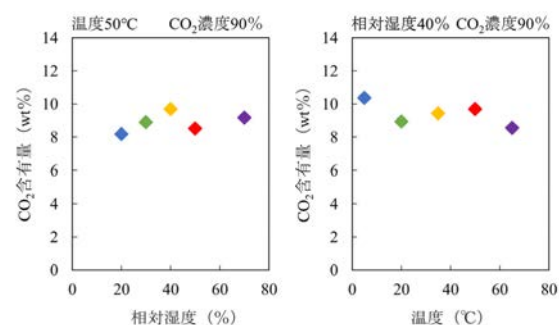


図-3 炭酸化試料中の CO₂ 含有量

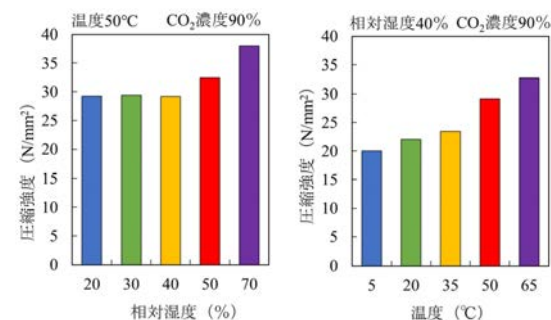


図-4 圧縮強度