

1日1サイクル生産を想定したコンクリートの低温養生での炭酸化和促進への影響
ーGI基金事業『CUCO』開発成果ー

(株)ホクエツ 正会員 ○貝森英樹 樋川孝治
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固定技術が注目されている。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⁾。別稿²⁾において、炭酸化和養生の低温化による炭酸化和促進の効果が示されているが、炭酸化和反応によるCO₂固定のコストダウンを図るには1日1サイクルでの生産を想定した研究についても行っていく必要があると考えた。そこで本研究では、流し込みで成形するコンクリート製品を想定した低温養生での炭酸化和を行い、材料・配合・養生工程において、より促進につながると考えられたこれまでの知見を検証しながら、コンクリート供試体を用いた炭酸化和促進への影響を確認し、配合および養生方法のより促進される条件を探った。

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。

1日1サイクルを想定した生産工程において、脱型するまでに1日を要するという方法では炭酸化和養生の時間が確保できないため、脱型せず、型枠内で1次養生（乾燥）・2次養生（低温での炭酸化和5℃）という方法で行った。

型枠内での炭酸化和においては、体積/(CO₂と接する面積)＝高さが同様であれば、炭酸化和深さも近似する³⁾。よって平板状で厚さ100mmのコンクリート二次製品を想定したサミットモールドφ50×100mmを使用し、脱型しないまま乾燥および炭酸化和養生を行った。

基準養生フローを図-1に示す。乾燥養生は恒温送風乾燥機を用いた。炭酸化和養生は、大気圧と二酸化炭素濃度100%程度が保てる容器を使用し低温での炭酸化和養生を行った。

材料・配合・養生条件について変化させる条件について以下項に示す。

実験1) 水酸化カルシウムの添加量

表-1におけるNo.1の配合を基本配合とし、単位水量に対し0%、0.2%、0.8%の3水準で添加量を変化させ、促進の影響を確認した。

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	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

No.	W/B (%)	SL (cm)	Air (%)	単位量 (kg/m ³)						
				W	HPC	BFS	γ	S1	S2	G
1	50	18	6.0	180	86	186	86	611	66	1018
2	46	18	6.0	165	86	186	86	625	68	1042
3	42	18	6.0	150	86	186	86	639	69	1066

W/B：水結合材重量比、B=HPC+BFS+γ
AD1, AD2：フレッシュ性状が所要値になるよう調整
上段：基本配合、中段下段：単位水量変化させた2水準配合

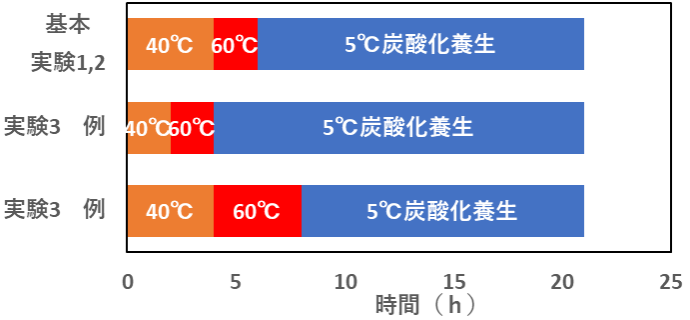


図-1 養生フロー

キーワード CUCO, 環境配慮型コンクリート, 炭酸化和, 低温, 水酸化カルシウム, 乾燥

連絡先 〒307-0029 茨城県結城市新矢畑3-1 (株)ホクエツ 関東結城工場 TEL. 0296-54-4101

実験 2) 単位水量

表-1 におけるNo.1 の配合を基本配合とし、粉体量は固定し、単位水量を 180 kg, 165 kg, 150 kg の 3 水準で変化させ、促進の影響を確認した。また練り混ぜ水中に $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を 0.2% 添加した。

実験 3) 乾燥養生時間

1 日 1 サイクルを想定し、養生時間を 21h と固定した中で、乾燥時間と炭酸化養生時間を変化させ促進の影響を確認した。図-1 養生フローに例を示す。図の通り、乾燥時間が長くなると炭酸化養生時間は短くなることとなる。

試験方法について、実験 1, 2 は炭酸化深さによって評価した。炭酸化深さは、JIS A 5122 に則って計測した。実験 3 について、炭酸化すると CO_2 を取り込んだ分、供試体重量が大きくなると考えられることから、炭酸化養生前後での供試体の重量増加分によって評価した。

3. 実験結果及び考察

1) 水酸化カルシウム添加量での影響

水酸化カルシウム添加量による炭酸化深さを図-2 に示す。水酸化カルシウム添加 0% から 0.2% にした場合の伸びが大きく、何らかの促進効果があると考えられる。

2) 単位水量の影響

単位水量による炭酸化深さを図-3 に示す。単位水量の減少につれて炭酸化深さも減少しており促進に影響することが確認された。単位水量を小さくすると、乾燥される空隙が減ることにより炭酸化しにくくなるものと思われる。製品の要求強度に応じて配合を定める必要がある。

3) 乾燥養生時間（乾燥養生積算温度）の影響

乾燥時間による炭酸化深さについては積算温度と質量増加比（炭酸化前後での増加重量）でのグラフにより確認とし図-4 に示す。乾燥養生の時間を変化させた 15 パターンでの試験結果を表す。グラフから、乾燥時間には促進のピークがあり、短すぎても長すぎても促進しにくく最適な養生時間があることが確認できた。コンクリートの大きさ、部材厚、乾燥の熱量、風量によっても変わってくると考えられる。

4. まとめ

今回の実験結果において、材料、配合、養生条件の組み合わせにより、流し込みコンクリートにおいて、35~40 mm の深さまで 1 日で炭酸化が可能である事が確認できた。しかし材齢初期に乾燥させるという事は粗大な細孔を形成し耐久性への影響も考えられる⁴⁾。 CO_2 固定量の把握、排出量と固定量の収支の把握、強度の把握、耐久性の照査等について引き続き検証していく。

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) 取達ほか；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—CUCO（Carbon Utilized COConcrete）によるカーボンニュートラル社会の実現へ—、コンクリートテクノ、Vol.42, No.1, pp.58-64, 2023.
- 2) 樋川ほか；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、土木学会第 78 回年次学術講演会 2023.(投稿中)
- 3) 小林ほか；供試体寸法および初期養生条件がコンクリートの炭酸化深さに与える影響、土木学会年次学術講演会、Vol.65, No.694, pp.1387-1388, 2009.
- 4) 阪本ほか；コンクリートの乾燥収縮に及ぼす細孔構造の影響、土木学会年次学術講演会、Vol.57, No.527, pp.1053-1054, 2002.

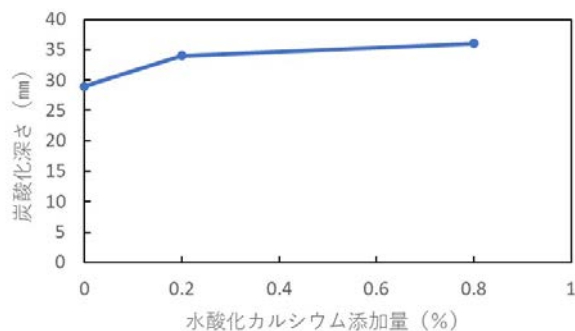


図-1 水酸化カルシウム添加量と炭酸化深さの関係

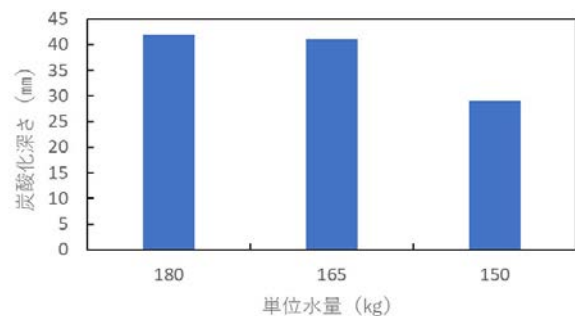


図-3 単位水量と炭酸化深さの関係

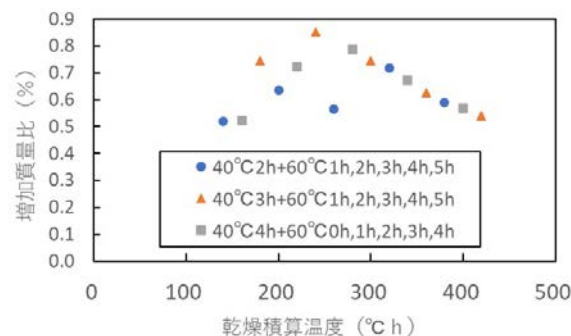


図-4 乾燥度合と増加質量の関係