

高炉セメントC種相当を用いたCO₂吸収コンクリートの 各種炭酸化養生条件下における炭酸化速度と強度発現特性

鹿島建設(株) 正会員 ○中谷俊晴 吉田祐麻 山野泰明 関 健吾 取違 剛 渡邊賢三
坂井吾郎 巴 史郎 百瀬晴基 笠井 浩 関田徹志 坂田 昇

1. はじめに

大量のCO₂を排出するコンクリートは、地球温暖化の面から、社会的に大きな問題となっている。これを解決するために様々な機関において環境配慮型コンクリートの研究が進められている。筆者ら¹⁾は、高炉スラグ微粉末を環境負荷の大きい普通ポルトランドセメントに置換することで約65%のCO₂排出量を削減するECMコンクリートを開発している。また、取違ら²⁾は、ダイカルシウムシリケートγ相(γ-C₂S)をコンクリートに練り混ぜ、強制的に炭酸化養生することで多量のCO₂を吸収・固定化させるCO₂吸収コンクリートを開発している。本報告は、コンクリート製造時のCO₂排出量の更なる削減を目指し、ECMコンクリートとCO₂吸収コンクリートを組み合わせた技術の適用に向け基礎的な実験検討を行ったものである。

2. 実験概要

CO₂吸収コンクリートは、これまでは強度が低いインターロッキングなどの二次製品が主流であった。また、ECMセメントを用いたCO₂吸収コンクリートについては知見が少ない。そこで、ECMセメントを用い、高強度レベルのプレキャスト部材を対象に検討することにした。実験の概要を表-1に示す。水セメント比は1種類とし、特殊混和材γ-C₂S(以下γ)の添加量および養生方法をパラメータとし、強度特性や炭酸化への影響を検討した。特に養生方法は、標準養生、炭酸化養生および蒸気養生+炭酸化養生の3種類としてその差異を比較した。

表-1 実験概要

検討項目	W/C (%)	γ-C ₂ S 添加量 (kg/m ³)	養生方法
γ-C ₂ S添加量と養生方法の影響	34	0.30, 60	標準養生 (①σ1、②σ7、③σ28)
			①炭酸化養生σ1、②炭酸化養生σ7、 ③炭酸化養生σ7+気中養生σ21
			①蒸気養生σ1、②蒸気養生σ1+炭酸化養生σ6、 ③蒸気養生σ1+炭酸化養生σ6+気中養生σ21

使用材料を表-2に、コンクリート配合を表-3に示す。γはセメントとの水硬性がないことから、γの添加量は単位細骨材量の30および60kg/m³置換とした。高性能AE減水剤は目標スランプ15±2.5cm、目標空気量2±1.5%となるように適宜調整した。

表-2 使用材料

項目	記号	材料名	密度 (g/cm ³)
セメント	ECM*	ECMセメント(プレミックス品)	2.96
混和材	γ	γ-C ₂ S	3.04
練混ぜ水	W	上水道水	1.00
細骨材	S	砕砂(栃木県産)	2.76(表乾)
粗骨材	G	砕石(栃木県産)	2.78(表乾)
混和剤	SP	高性能AE減水剤	1.07

*ECMは普通ポルトランドセメント約35%：高炉スラグ微粉末約65%の混合品

炭酸化養生は、温度50℃、湿度50%、CO₂濃度80%の条件とし、高濃度型促進中性化装置を用いた。蒸気養生は、実際のプレキャスト工場で用いている温度履歴とし、前置き養生3時間、温度上昇速度15℃/時間、温度40℃で3時間保持後、温度下降速度5℃/時間の計約12時間とした。炭酸化深さ試験は、材齢1日、7日で行い、その供試体はφ100×200mmのサミットモールド型枠を用いた。炭酸化1日養生の場合は、打ち込み後、その型枠の上面は開放したまま、促進中性化装置内で炭酸化養生を行った。翌日脱型後、供試体を割裂し、その断面にフェノールフタレイン1%エタノール溶液を噴霧した。炭酸化7日養生の場合は、初日の養生は上述と同様とし、翌日に脱型した供試体は、促進中性化装置内に戻し所定材齢まで炭酸化養生を行った。一方、蒸気養生の場合は、蒸気養生後、翌日に脱型し、残りの6日間を炭酸化養生した。圧縮強度試

表-3 コンクリート配合

W/P* (%)	W/C (%)	単位量 (kg/m ³)				
		W	ECM	γ	S	G
34	34	160	471	0	712	985
32		160	471	30	682	985
30		160	471	60	652	985

*W/P：水粉体比(粉体=ECM+γ)

キーワード 環境配慮型コンクリート、高炉セメントC種、CO₂吸収コンクリート、γ-C₂S、炭酸化深さ、圧縮強度

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 土木材料 Gr. TEL042-485-1111

験は、材齢 1 日、7 日および 28 日で行った。標準養生の場合は、脱型 1 日後に水中養生した。炭酸化 7 日養生および蒸気 1 日+炭酸化 6 日養生の材齢 28 日供試体は、これらの養生後、所定の材齢まで気中養生を行った。

3. 実験結果

各種養生の炭酸化深さの試験結果を表-4 に示す。炭酸化 1 日 ($\sigma 1$) 養生の炭酸化深さの評価は、打込み上面からの深さを採用した。また、3 種類の養生方法による炭酸化速度を比較するために、他の養生方法も同様に上面からの深さとし、その炭酸化速度係数を表-4 に示した。これより、炭酸化 $\sigma 1$ の炭酸化速度係数は、蒸気 $\sigma 1$ + 炭酸化 $\sigma 6$ よりも 1.8~2.0 倍速く、炭酸化 $\sigma 7$ よりも 1.4~1.5 倍速い傾向を示した。この結果から炭酸化の進行を速めるためには、炭酸化養生を材齢初期から行うことが効果的であると思われる。

養生方法および γ 添加量の違いと炭酸化深さの関係を図-1 に示す。炭酸化 $\sigma 7$ と蒸気 $\sigma 1$ + 炭酸化 $\sigma 6$ の比較では、炭酸化 $\sigma 7$ は上面からの炭酸化深さが速い傾向を示している。また両者の養生方法共に、 γ 添加量が増えると炭酸化深さは小さい傾向を示していた。

養生方法および γ 添加量の違いと圧縮強度の関係を図-2 に示す。標準養生の材齢 1 日の圧縮強度は 8N/mm^2 程度であったが、炭酸化 $\sigma 7$ 養生の場合は 50N/mm^2 程度、蒸気養生の場合は 40N/mm^2 程度で、材齢 1 日強度では炭酸化養生が最も大きかった。また、標準養生で γ 添加量なしのベースコンクリートの材齢 28 日強度は 80N/mm^2 を示し、その γ 添加量が増えると強度増進が認められた。この傾向は他の養生方法でも同様な傾向を示していた。ここで、 γ 添加量 30kg/m^3 一定における養生別の材齢と圧縮強度の関係を図-3 に示す。これより、標準養生の圧縮強度は、炭酸化した他の養生方法よりも 7 日から 28 日における増進が大きかった。炭酸化 $\sigma 7$ 養生と蒸気 $\sigma 1$ + 炭酸化 $\sigma 6$ 養生は 7 日以降の増進は小さく、材齢 28 日強度は同程度であった。

4. まとめ

- 1) 炭酸化深さの結果から、炭酸化の進行を速めるためには、材齢初期から炭酸化養生を行うことが効果的であり、蒸気養生を省略し炭酸化養生のみで部材の製造が可能である。
- 2) 炭酸化養生は材齢 7 日までは標準養生よりも圧縮強度が大きいが、それ以降は標準養生のほうが大きい。
- 3) $\gamma\text{-C}_2\text{S}$ の添加量が増えると、炭酸化深さは小さくなるが、圧縮強度は大きくなる。

参考文献

- 1) 依田ら：高炉スラグ高含有セメントコンクリートの構造体強度補正值の標準値の検討，鹿島技研年報 63 号，pp.209-216，2015.11.
- 2) 取違ら：CO₂ 排出量ゼロ以下の環境配慮型コンクリート CO₂-SUICOM，セメントコンクリート，Vol.786，pp.26-31，2012.

表-4 各種養生の炭酸化深さの試験結果

養生方法	γ 添加量 (kg/m^3)	炭酸化深さ(mm)					炭酸化 速度係数*
		上面	左面	底面	右面	4面平均	
炭酸化 $\sigma 1$	0	10.6	0.2	0.0	0.3	2.8	10.6
	30	10.1	0.5	0.0	0.2	2.7	10.1
	60	9.1	0.4	0.0	0.5	2.5	9.1
炭酸化 $\sigma 7$	0	19.9	15.7	15.9	14.2	16.4	7.5
	30	18.9	11.9	11.1	12.8	13.7	7.1
	60	16.1	10.6	8.9	10.2	11.5	6.1
蒸気 $\sigma 1$ + 炭酸化 $\sigma 6$	0	14.4	13.1	12.2	13.6	13.3	5.8
	30	12.9	12.5	10.3	12.0	11.9	5.2
	60	11.4	10.6	9.1	11.2	10.6	4.6

*炭酸化速度係数は、型枠上面からの深さのみで評価した値

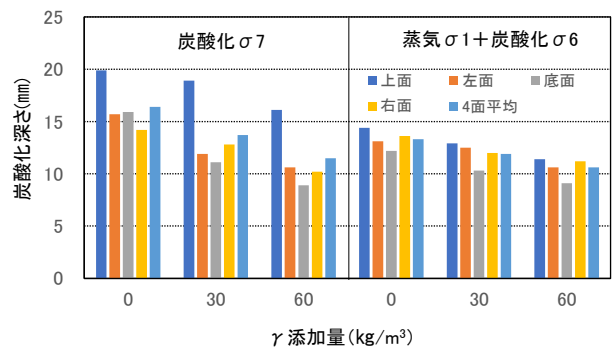


図-1 養生方法・ γ 添加量の違いと炭酸化深さ

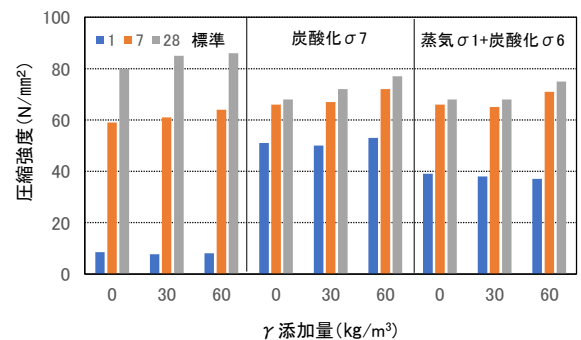


図-2 養生方法・ γ 添加量の違いと圧縮強度

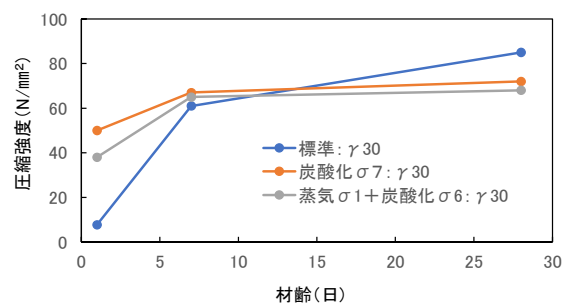


図-3 養生別の材齢と圧縮強度 (γ : 30kg/m^3)