

高炉セメントC種相当を用いたCO₂吸収コンクリートの 各種水セメント比における炭酸化速度と強度発現特性

鹿島建設(株) 正会員 ○柿本啓太郎 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

コンクリート製造時の更なるCO₂排出量の削減を目指し、高炉セメントC種相当のECMセメントを用いたコンクリートとCO₂吸収コンクリートを組み合わせた技術を実構造物に適用することを目指し、基礎的な実験検討を行っている。本報告では、水セメント比と γ -C₂S添加量をパラメータとし、強度や炭酸化への影響および材料製造時におけるCO₂排出量をゼロとするための諸条件について検討した結果を示す。

2. 実験概要

実験概要を表-1に示す。ECMセメントは、普通ポルトランドセメント約35%と高炉スラグ微粉末約65%のプレミックスセメント品であり、水セメント比34, 40, 50%と変化させた。また、 γ -C₂S(以下 γ)の添加量は、0, 30, 60kg/m³とした。養生方法は、表-1に示すとおりである。なお、標準養生および材齢1日(以下 σ_1)炭酸化養生については、圧縮強度試験のみ実施し、炭酸化深さ試験は実施していない。

使用材料を表-2に示す。表中に、各材料のCO₂排出原単位を示した。配合を表-3に示す。化学混和剤は、高性能AE減水剤を使用しており、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。 γ 添加量は単位細骨材量の質量置換とした。

炭酸化養生は、温度50°C, 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。炭酸化深さ試験は、材齢7日, 14日, 28日で行い、その供試体は ϕ 100×200mmのブリキ製型枠を用いた。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。翌日に脱型した供試体は、促進中性化装置内に戻し所定の材齢まで炭酸化養生を行った。所定の材齢後、供試体を割裂し、その断面にフェノールフタレイン溶液を噴霧し、炭酸化深さを測定した。圧縮強度試験は、標準養生の場合は材齢1, 7, 28日で行った。一方、炭酸化養生の場合は、材齢1, 7, 14日および28日で行った。その他、炭酸化7日養生+気中養生21日または炭酸化14日養生+気中養生14日の供試体についても行った。なお、圧縮強度試験用の供試体は ϕ 100×200mmのブリキ製型枠を用いた。

3. 実験結果および考察

水セメント比・ γ 添加量の炭酸化養生期間の違いによる炭酸化深さ試験の結果を図-1に示す。これより、材齢が経過するとともに炭酸化深さは大きく、水セメント比が大きくなるとともに炭酸化深さは大きくなる傾向を示した。一方、 γ 添加量が大きいかほど、炭酸化深さ

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
W/Cと γ -C ₂ S添加量の違いが強度、炭酸化に与える影響	34, 40, 50	0, 30, 60	標準養生* (① σ_1 , ② σ_7 , ③ σ_{28})
			①炭酸化養生 σ_1 *
			②炭酸化養生 σ_7 +気中養生 σ_{21}
			③炭酸化養生 σ_{14} +気中養生 σ_{14}
			④炭酸化養生 σ_{28}

*標準養生及び炭酸化養生 σ_1 は、圧縮強度試験のみで炭酸化深さ試験は実施していない。

表-2 使用材料

項目	記号	材料名	密度 (g/cm ³)	CO ₂ 排出原単位 (kg-CO ₂ /t)
セメント	ECM*	ECMセメント (プレミックス品)	2.96	269
混和材	γ	γ -C ₂ S	3.04	124.5
練混ぜ水	W	上水道水	1.00	1
細骨材	S	砕砂 (栃木県産)	2.76 (表乾)	3.7
粗骨材	G	砕石 (栃木県産)	2.78 (表乾)	2.9
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

表-3 配合

W/P*	W/C (%)	単位量 (kg/m ³)				
		W	ECM	γ	S	G
50	50	160	320	0	935	1037
46				30	908	
40	40	160	400	0	861	
37				30	834	
35				60	806	
34	34	160	471	0	795	
32				30	767	

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

は小さい傾向を示した。ここで、今回対象とする部材は、炭酸化養生を行う上で、なるべく断面が薄く、表面積が大きいものが望ましいことから、埋設型枠のようなプレキャスト板とした。対象とした板の厚さは70mmで、部材の両面から炭酸化養生とすると仮定して、炭酸化深さが35mm進行すれば部材断面のすべてが炭酸化していると考えた。なお、目標配合強度を、諸条件より55N/mm²とした。

図-1より、材齢7日では、35mmの炭酸化深さに到達せず、14日以上確保する必要がある。また、養生の違いによる材齢28日のセメント水比(C/W)と圧縮強度の関係を図-2に示す。図-2は標準養生28日と炭酸化養生14日+気中養生14日の比較を示したものである。これより、標準養生28日の圧縮強度は、炭酸化養生14日+気中養生14日よりも γ 添加量に拘らず大きい傾向を示した。また γ 添加量なしよりも γ 添加量30kg/m³の方が圧縮強度は大きく、炭酸化養生において両者の強度差は顕著である。これは γ 添加による炭酸化反応によって、コンクリートが緻密化し圧縮強度が大きくなったと考えられる。なお、炭酸化養生14日の γ 添加量30kg/m³における水セメント比は、図中の式より49.3%であった。

ここで、今回の実験結果を基に γ 30kg/m³添加したCO₂吸収コンクリートのCO₂排出量を試算した。なお、普通ポルトランドセメント(以下、OPC)を用いた普通コンクリートを比較用配合とした。また、骨材のCO₂排出原単位は極めて小さいため無視した。試算に用いた配合を表-4に、試算した結果を図-3に示す。普通コンクリートのCO₂排出量は、CO₂排出原単位を0.769kgCO₂/tとすると、325kg/m³をかけて、250kg/m³である。一方、ECMセメント(OPC約35%、CaO64%と高炉スラグ微粉末約65%、CaO42%)コンクリートは、0.269kgCO₂/t×325kg/m³=87.4kg/m³である。さらに、 γ -C₂S(CaO62%)のCO₂排出原単位0.1245kgCO₂/t×30kg/m³=3.7kg/m³であり、材料変更によるセメント量の削減は、159kg/m³である。また、炭酸化養生によるCO₂の固定量は、ECMセメント中のOPCが57.6kg/m³、高炉スラグ微粉末が70kg/m³および γ -C₂Sが14.7kg/m³となり、合計で142.3kg/m³である。これに、既往文献¹⁾より炭酸化度75%と見込み107kg/m³とした。以上のことから、普通コンクリートの250kg/m³に対し、本コンクリートの266kg/m³から、-16kg/m³のカーボンネガティブとなる見通しが得られた。

4. まとめ

本実験の範囲では目標強度を確保し、35mm厚さを炭酸化するのに必要な炭酸化養生期間は14日以上が望ましいが、今後は、更なる養生期間の短縮に向けた材料の組合せや配合の検討を行うことも必要である。本技術の組合せによりカーボンネガティブコンクリートの見通しが得られた。

参考文献

- 1) 兵頭ら:炭酸化によるセメント系材料のCO₂吸収固定, 太平洋セメント研究報告, 第179号, p.19, 2020.

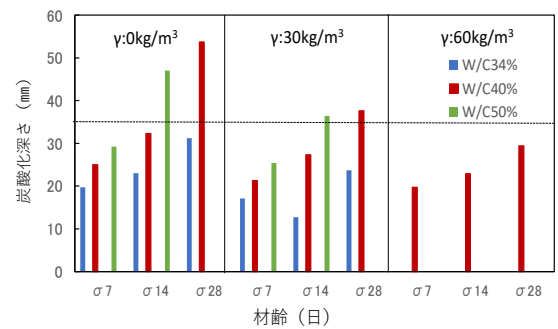


図-1 W/C・ γ 添加量の違いと炭酸化深さ

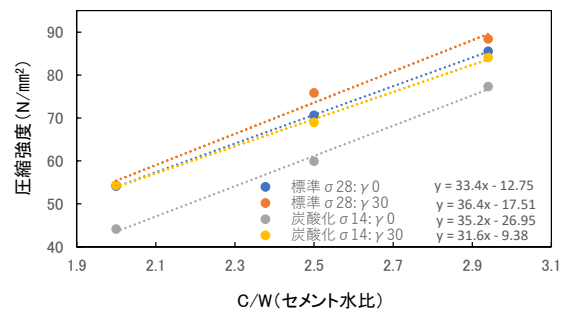


図-2 セメント水比と圧縮強度の関係

表-4 CO₂排出量の試算に用いた配合

W/C (%)	単位量 (kg/m ³)				
	W	C	γ	S	G
49.3	160	325 (普通)	0	935	1032
		325 (ECM)	30	908	

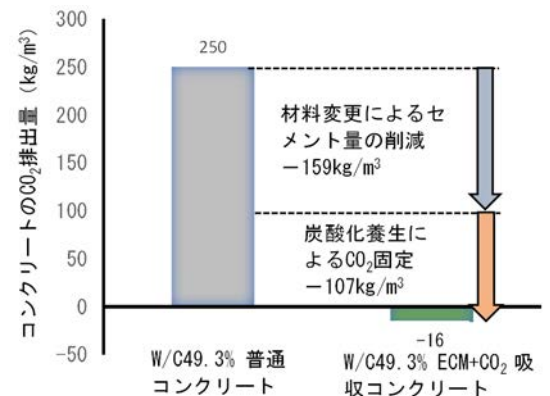


図-3 CO₂排出量の試算結果