

炭酸化したセメントスラリーを混合し蒸気養生を施したコンクリートの物性評価

太平洋セメント株式会社 正会員 ○田場 祐道

太平洋セメント株式会社 正会員 岡田 明也

太平洋セメント株式会社 正会員 早川 隆之

1. はじめに

昨今、セメント業界では、CO₂削減に向けた様々な検討が行われている。筆者らもセメントキルン排ガスから回収した CO₂ を生コンクリートへ固定化させる技術を提案している¹⁾。この技術は、予め炭酸化させたセメントスラリー(以下、炭酸化スラリー) をコンクリート配合の一部に置換することで CO₂ を固定化する方法であり、得られたコンクリートは、炭酸化スラリー未使用の場合と比べブリーディングの抑制、凝結促進、強度増進等の効果が認められる。そこで、これらの特性を活かせるプレキャストコンクリート製品への適用性を検討した。ここでは土木用製品の一つであるガードレール用連続基礎ブロックを対象に、炭酸化スラリーを混合し蒸気養生を施したコンクリートの物性を評価した。

2. 試験概要

2.1 炭酸化スラリーの製造

炭酸化スラリーは、予めセメントと上水道水を混合したセメントスラリーを CO₂ が充填した密閉装置内で pH が 6.8 となるまで循環させた。その後、炭酸化スラリーの液固比が 170±10%となるように調製した。なお、本検討では、当社セメント工場のキルン排ガスから分離回収した液化 CO₂ を用いた。炭酸化スラリー中の CO₂ 固定量は、TG-DTA により、未水和セメント及び窒素雰囲気下で乾燥させた炭酸化スラリー固形物の 550~800℃における重量減少量から脱炭酸量を求め、両者の差から算出した。その結果は 342kg/t-cem であった。

2.2 使用材料および配合

使用材料を表 1 に、コンクリートの配合を表 2 に示す。比較用のブランク配合(以下、PL) は、実際のプレキャスト製品工場で適用されている配合とした。炭酸化スラリーを使用した配合(CC) は、PL を基本に、炭酸化スラリーの固形分を単位セメント量の 15%に内割置換した配合である。いずれの配合も目標スランプフロ

ーは 600±75mm、目標空気量は 6.0±1.5% (当該製品が寒冷地仕様のため) とし、目標範囲に収まるよう SP 及び AE で調整した。CC はスランプフローのロスが予想されたため遅延型の SP-R を用いた。

コンクリートはプレキャスト製品工場の実機 2 軸ミキサ(最大練混ぜ量:1000L)を用いた。練り混ぜ方法を表 3 に示す。養生は、蒸気養生(前置き 2h、昇温・降温速度:20℃/h、最高温度:60℃、最高温度保持時間:3h)とし、材齢 18 時間で脱型後は 20℃気中養生とした。

2.3 試験項目

試験項目を表 4 に示す。硬化コンクリートについて

表 1 使用材料

材料	記号	詳細	密度 (g/cm ³)
練混ぜ水	W	上水道水	1.00
セメント	C	普通エコセメント	3.15
細骨材	S	砕砂	2.53*
粗骨材	G	碎石 2005	2.49*
混和材	LSP	石灰石微粉末	2.44
高性能減水剤	SP	ポリカルボン酸エーテル系化合物	-
	SP-R	ポリカルボン酸エーテル系化合物(遅延型)	-
AE 剤	AE	変性ロジン酸化合物系イオン界面活性剤	-

*表乾密度

表 2 コンクリートの配合

種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)						
			W		C		LSP	S	G
			W1	W2**	C1**	C2			
PL	43	48	182		421		126	703	784
CC			74	108	63	358			

**炭酸化スラリーとして投入される水及びセメント量

表 3 練混ぜ方法

PL	(W+C+S+G+SP+AE) → 練混ぜ → 排出 計 2 分
CC	(C2+S+G+炭酸化スラリー) → 練混ぜ → (W1+SP-R+AE) → 練混ぜ → 排出 計 3 分

表 4 試験項目

測定項目	試験規格	備考
スランプフロー	JIS A 1150	-
空気量	JSCE-F 513	-
圧縮強度	JIS A 1108	・蒸気養生後、材齢 24 時間まで現場養生 ・材齢 1 日以降:20℃[60%(RH)]で気中養生
細孔径分布	-	・材齢 91 日のコンクリート供試体からモルタル部分を採取しアセトンにより水和停止後、水銀圧入式ポロシメーターにて測定
促進中性化深さ	JIS A 1153	・脱型後、20℃[60%(RH)]で気中養生 ・材齢 14 日から試験開始
塩化物イオン浸透深さ	JSCE-G572	・脱型後、20℃[60%(RH)]で気中養生 ・材齢 14 日から試験開始
CO ₂ 固定量	-	・TG-DTA による脱炭酸量から算出

キーワード セメントスラリー、CO₂、炭酸化、コンクリート

連絡先 〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2

太平洋セメント(株) 中央研究所 TEL:043-498-3905

は、積算空隙率、圧縮強度、促進中性化深さのほか、寒冷地での凍結防止剤散布による塩害への抵抗性を評価するために、塩化物イオン浸透深さについても測定した。なお、CCのCO₂固定量は、材齢14日にコンクリートから採取したモルタル部分をディスクミルで粉碎後、2.1と同様に脱炭酸量を求め、PLの値を差し引くことで算出した。

3. 試験結果及び考察

PL及びCCのフレッシュ性状及びCO₂固定量を表5に示す。フレッシュ性状はいずれも目標範囲内に収まった。また、CCのCO₂固定量は21.8kg/t-cemであり、既往の研究報告と同程度の値であった。

各コンクリートの材齢91日における細孔構造を図1に示す。CCの細孔構造はPLに比べ積算空隙率が小さく、特に50~100nmの空隙が顕著に少なかった。既往の研究¹⁾では、炭酸化スラリー中の固形分の大半は炭酸カルシウムとして存在しており、数十~数百nm程度の菱面体型の炭酸カルシウムが5~10μmの粒子を形成していると報告されている。CCは、炭酸化スラリー中に生成したこれらの微細な炭酸カルシウムによるフィラー効果で組織が緻密化したものと考えられる。

圧縮強度の試験結果を図2に示す。いずれの材齢においても、CCの圧縮強度はPLよりも1割程度大きい値であった。これは、炭酸化スラリーにより硬化体組織が緻密化し、圧縮強度の低下に影響を及ぼす細孔(50nm~2μm)²⁾が減少したためと考えられる。さらに、既往の研究¹⁾の通り、炭酸化スラリー中の固形物にはシリカゲル等も存在しており、それらが水和反応に寄与した可能性もあるが作用機構などは今後の課題とした。

促進中性化試験の結果を図3に示す。促進期間13週における中性化深さはPLで16.0mm、CCで16.9mm、中性化速度係数はPLで4.64mm/√週、CCで4.76mm/√週であった。CCは水硬性及びアルカリ性が失われた炭酸化スラリーをセメントの内割置換としたため、PLに比べ中性化抵抗性はやや低いと考えられたが同程度であった。40nm以上の細孔量と中性化速度には高い相関関係があるとの報告³⁾があり、CCは炭酸化スラリーの混合により炭酸ガスの拡散に寄与する空隙が充填され緻密な構造になったものと考えられる。

塩化物イオン浸透性試験の結果を図4に示す。CCの塩化物イオン浸透深さは、いずれの浸漬期間において

表5 フレッシュ性状及びCO₂固定化量

種類	混和剤量		フレッシュ性状		CO ₂ 固定量 (kg/t-cem)
	SP(%)	AE(%)	スランプフロー(mm)	空気量(%)	
PL	1.2	0.010	581	7.3	-
CC	1.6	0.008	679	6.8	21.8

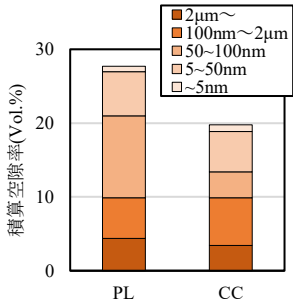


図1 細孔構造

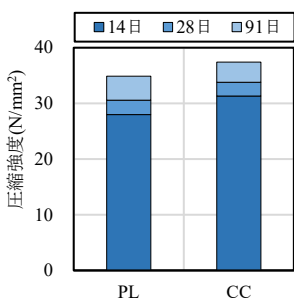


図2 圧縮強度

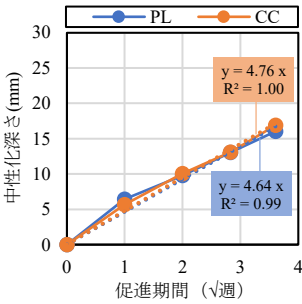


図3 促進中性化

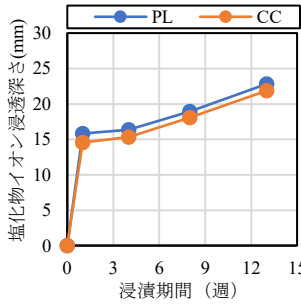


図4 塩化物イオン浸透性

PLよりも小さい値であった。これは、上述の通り、細孔構造が緻密となり塩化物イオンの拡散を抑制したものと考えられる。

4. まとめ

炭酸化スラリーを混合したコンクリートは、蒸気養生を施した場合においても安定的にCO₂を固定化し、良好な強度発現性、中性化抵抗性及び塩化物イオン浸透抵抗性を有していることが確認された。即ち、炭酸化スラリーは、蒸気養生を施すプレキャストコンクリート製品にも十分適用できることが判った。

謝辞

本試験実施にあたり太平洋プレコン工業㈱様には多大なご協力を賜りました。ここに謝意を表します。

参考文献

1) 阿武稔也,佐々木幸一,田場祐道,岡田明也, 早川隆之:セメントスラリーを利用したコンクリートへのCO₂固定化技術に関する基礎的検討,日本建築学会構造系論文集,Vol.88,No.803,pp.38-46(2023)

2) 羽原俊祐:硬化コンクリートの組織及び空隙構造と物性の関係に関する研究,慶應義塾大学博士論文(1993)

3) 郭 渡連,宇治公隆,國府勝郎,上野 敦:養生条件によるコンクリートの組織変化と中性化を支配する細孔径の評価,土木学会論文集,No.718,pp.59-68(2002)