

炭酸化スラリーを用いた舗装コンクリートの低温環境下での基礎物性に関する検討

太平洋セメント株式会社 正会員 ○七尾 舞 岡田明也
太平洋セメント株式会社 正会員 田場祐道 早川隆之

1. 背景

産業全体の CO₂ 排出量はセメント産業が約 7%¹⁾を占めており、低炭素社会の実現に資する実効性の高い技術開発が求められている。筆者らは、セメントキルン排ガスから分離回収した CO₂ によって炭酸化させたセメントスラリー（以下、炭酸化スラリー）をコンクリートの一部に置換することで、効率的に生コンクリートに CO₂ を固定化する技術を開発した。炭酸化スラリーを用いたコンクリートは、未使用の場合と比べ、凝結時間の短縮や強度の増進効果が確認されている。そこで本研究では、冬期の早期開放を目的とした舗装コンクリートを対象に炭酸化スラリー混合の有効性と CO₂ の固定化能について実験的検討を行った。

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、普通ポルトランドセメント（以下、N セメント）と上水道水を混合して製造したセメントスラリーを CO₂（濃度 100%）が充填された密閉装置内で循環し、炭酸化反応を生じさせて製造した。炭酸化反応後のスラリーの液固比は 200±10%とした。炭酸化スラリーの CO₂ 固定化量は、TG-DTA の 500℃～800℃における重量減少量から未水和セメントおよび窒素雰囲気下で乾燥させた炭酸化スラリー固形物の脱炭酸量を算出し、両者の差から求めた。その結果は 267kg/t-cem であった。

2.2 コンクリートの使用材料・配合

表 1 にコンクリートの使用材料を示す。セメントには、目標の交通開放時期を材齢 3 日とし、早強ポルトランドセメントではなく N セメントを用いた。骨材は、粗砂、細砂、砕砂を質量比 35:15:10 で混合して用いた。表 2 に、コンクリートの配合を示す。W/C は 35 %，単位粗骨材かさ容積は 0.63m³/m³ とし、早期交通開放型コンクリート舗装の標準的な配合とした。炭酸化スラリーを用いたコンクリート（以下、CO₂ 配合）は、炭酸化スラリー未使用のコンクリート（以下、標準配合）の単位セメント量に対して、炭酸化スラリー中の固形分を 15%内割置換した配合とした。目標スランブフロ

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	普通ポルトランドセメント	3.16
細骨材	S1	粗砂	2.60
	S2	細砂	2.59
	S3	砕砂	2.65
粗骨材	G	碎石2005	2.68
高性能減水剤	SP	ポリカルボン酸エーテル系化合物	-
AE剤	AE	変性ロジン酸化合物系イオン界面活性剤	-

※ 骨材は表乾密度を示す

表 2 コンクリートの配合

配合名	W/C (%)	単位粗骨材かさ容積 (m ³ /m ³)	単位量(kg/m ³)					
			W		C		S	G
			W1	W2※	C1※	C2		
標準配合	35	0.63	175		500		640	1010
CO ₂ 配合			20	155	75	425	640	1010

※ 炭酸化スラリー中の水およびセメント量

表 3 試験項目・方法

試験項目	試験方法
スランブフロー	JIS A 1150に準拠
空気量	JIS A 1128に準拠
コンクリート温度	JIS A 1156に準拠
凝結時間	JIS A 1147に準拠
曲げ強度	JIS A 1106に準拠 試験体寸法: 10×10×40cm
試験体温度	試験体中心部を熱電対を用いて測定

表 4 コンクリートのフレッシュ性状

種類	混和剤量		フレッシュ性状			凝結時間(hr-min)	
	SP (%)	AE (%)	スランブフロー (mm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)	始発	終結
標準配合	0.8	0.008	39.5	4.2	11.7	12 - 10	16 - 00
CO ₂ 配合	1.7	0.015	52.5	4.4	12.3	12 - 20	17 - 10

ーは 45±7.5cm，空気量は 4.5±1.5%とした。コンクリートの練混ぜは、冬期の施工を想定して 10℃環境で実施した。

2.3 試験項目・方法

表 3 に試験項目および方法を示す。曲げ強度試験は、材齢 1, 2, 3 日に実施した。CO₂ 固定化量の分析試料には、コンクリートからウェットスクリーニングにより採取したモルタル部分を用いた。モルタルは材齢 7 日まで水中養生した後、ステンレス乳鉢で粗砕し、アセトンで水和停止を行った。水和停止した試料は、減圧乾燥後にめのう乳鉢で微粉碎し、TG-DTA による 500℃～800℃の重量減少量から脱炭酸量を算出した。さらに、炭酸化スラリーを用いたことによるコン

キーワード 炭酸化スラリー，低温環境，CO₂ 固定化，二酸化炭素，舗装コンクリート

連絡先 〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2

太平洋セメント株式会社 中央研究所 TEL043-498-3905

クリートへの CO₂ 固定化量は標準配合と CO₂ 配合の脱炭酸量の差分より算出した。

3. 結果および考察

(1)コンクリートのフレッシュ性状

表 4 にコンクリートのフレッシュ性状を示す。所定のスランプフローを得るための必要 SP 添加率および AE 添加率は、CO₂ 配合の方が標準配合と比べ多かった。炭酸化スラリー中には微細な炭酸カルシウムが生成しており、その粒子の比表面積は N セメントの約 4 倍に相当するため、SP を多く吸着したと考えられる²⁾。CO₂ 配合の凝結時間は、標準配合と比べ、始発は同程度、終結は 50 分程度長くなった。本検討では、CO₂ 配合の SP 添加率が標準配合の約 2 倍となったため、その遅延作用により凝結時間は若干遅延した。

(2)CO₂ 固定化

表 5 に CO₂ 固定化量を示す。炭酸化スラリーを用いたことによるセメント 1t 当たりの CO₂ 固定化量は 39.3kg/t-cem であり、これまでの CO₂ 固定化量 (20kg/t-cem 程度³⁾)と比べ多かった。これは、単位セメント量がこれまでの検討よりやや多い配合であること、低 W/C であること、低温環境での練混ぜ等が関係していると推察されるが、メカニズムは今後の課題としたい。

(3)コンクリートの硬化性状

図 1 に曲げ強度試験結果を示す。標準配合および CO₂ 配合の曲げ強度は、材齢 3 日でコンクリート舗装の養生終了時期の目安となる曲げ強度 3.5N/mm² を満足した。CO₂ 配合の曲げ強度は、凝結の終結が標準配合より長かったにもかかわらず、標準配合と同等以上であり、舗装コンクリートとして十分な強度性能を有していると考えられた。図 2 に曲げ強度と積算温度の関係を示す。積算温度はコンクリート標準示方書⁴⁾に従って算出し、熱電対により測定した試験体の内部温度に 10℃を加えた値に経過材齢を乗じた値とした。両者の関係は、対数関数で整理される一般的な傾向を示した。炭酸化スラリーを舗装コンクリートに適用した場合でも、標準配合と同様に曲げ強度と積算温度の関係式によって曲げ強度を推定できるものと考えられる。曲げ強度と積算温度の関係を対数近似し、曲げ強度 3.5N/mm² となる積算温度を算出すると、CO₂ 配合で 1197℃・hr、標準配合で 1314℃・hr であった。これに基づき、曲げ強度 3.5N/mm² となる時間を環境温度 10℃とし算出すると、CO₂ 配合で 59.8hr、標準配合で 65.7hr であり、CO₂ 配合の方が約 5.9 時間、養生終了時期を短縮可能であった。

表 5 CO₂ 固定化量

種類	CO ₂ 含有量 (mass%)	セメント1tあたりの 脱炭酸量(kg/t-cem)	CO ₂ 固定化量 (kg/t-cem)
標準配合	3.43	92.19	-
CO ₂ 配合	5.04	131.5	39.3

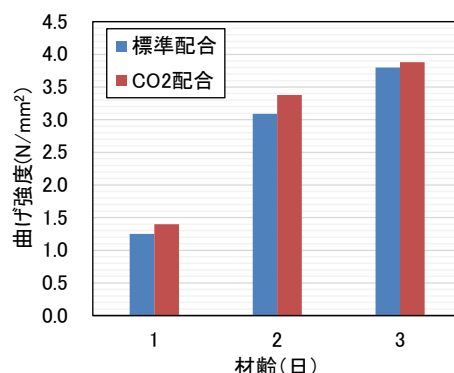


図 1 曲げ強度

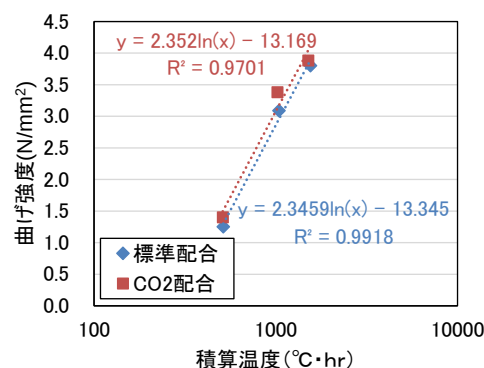


図 2 曲げ強度と積算温度の関係

4. まとめ

低温環境における炭酸化スラリーを用いた舗装コンクリートの物性を評価した。その結果、舗装コンクリートにおいても、炭酸化スラリーの使用により 39.3kg/t-cem の CO₂ を固定化できた。また、低温環境での曲げ強度発現性や凝結は炭酸化スラリー未使用の場合と同等以上であり、炭酸化スラリーは舗装コンクリートに適用し得ることが確認された。

【参考文献】

- 1) Technology Roadmap Low-Carbon Transition in the Cement Industry, IEA and WBCSD (2018)
- 2) 阿武稔也, 田場祐道, 佐々木幸一, 早川隆之: セメントスラリーを利用したコンクリートの CO₂ 固定化技術の開発 その 1 CO₂ 注入・固定化方法の検討, 日本建築学会大会, 1594 (2022)
- 3) 田場祐道, 阿武稔也, 佐々木幸一, 早川隆之: セメントスラリーを利用したコンクリートの CO₂ 固定化技術の開発 その 2 CO₂ を注入したセメントスラリーを用いたコンクリートの物性評価, 日本建築学会大会, 1595 (2022)
- 4) 土木学会: コンクリート標準示方書(施工編)2012 年度制定