

「カーボキャッチ®」を適用した 低炭素型舗装の試験施工

東北太平洋生コン株式会社 本社工場長 松浦 孝
太平洋セメント株式会社 カーボンニュートラル技術開発部技術グループCO₂利用技術チーム 小松 浩平
太平洋セメント株式会社 中央研究所セメント・コンクリート研究部固化・不溶化技術チーム 石井 祐輔
太平洋セメント株式会社 中央研究所セメント・コンクリート研究部 七尾 舞
太平洋セメント株式会社 中央研究所セメント・コンクリート研究部固化・不溶化技術チーム 池田 周生
太平洋セメント株式会社 中央研究所セメント・コンクリート研究部固化・不溶化技術チームリーダー 黒川 大亮

1. はじめに

太平洋セメントグループでは、2021年度に「カーボンニュートラル戦略2050」を掲げており、2050年までにサプライチェーン全体としてのカーボンニュートラルの実現を目指しています。カーボンニュートラル戦略のうち、セメント工場排ガスから分離・回収したCO₂¹⁾を有効利用する技術の一つとしてカーボキャッチを開発しています²⁾。一方、廃棄物として国内の生コンクリート工場から排出される生コンスラッジの発生量は年間約300万トンであり、その処理が課題となっています。生コンスラッジは、セメント水和物を多く含有しており、昨今ではCO₂を吸収できる材料として有効活用が期待されています。

本稿では、カーボキャッチを含めた太平洋セメントグループのCO₂有効利用技術を適用した低炭素型舗装の試験施工について示します。試験では、カーボキャッチの技術により廃棄物である生コンスラッジを原料としてCO₂を吸収させ、コンクリートおよびセメント系固化材の構成材料の一部として使用しました。また、廃コンクリートにCO₂を吸収³⁾させ、路盤材の一部として使用しました。このように廃棄物を対象に、太平洋セメントグループ独自のCO₂吸収技術で改質することで、サーキュラーエコノミーと低炭素化の両立に向けた実証を行いました。



写真-1 カーボキャッチモバイルの全体像(左からCO₂吸収ユニット、攪拌ユニット、ポンプユニット)

2. 試験施工の概要

試験施工の場所は、太平洋セメント(株)仙台サービスステーションの敷地内としました。試験施工の対象は、路床・路盤・コンクリート舗装の3種類とし、それぞれ従来使用している汎用的な材料を用いた場合を想定し、路床厚を50cm、路盤厚を15cm、舗装厚を20cmと設定しました。この従来型の舗装を基準に、同要求性能を満足しつつ、低炭素材料を使用して材料由来のCO₂排出量を削減した低炭素型舗装を検討しました。低炭素型舗装の試験施工の範囲は55.6m²(3.5m×15.9m)としました。

3. 低炭素材料の概要

舗装コンクリートには、生コンスラッジを原料としてカーボキャッチによりCO₂を吸収したスラリー(以下、カーボキャッチスラリー)を、構成材料の一部として適用しました。また、路床用のセメント系固化材には、カーボキャッチスラリーを105℃環境

下に乾燥した粉体を現行材料に一部置換することで適用しました。路盤材には、廃コンクリートに高温環境下でCO₂を吸収させたものを、汎用的な材料に一部混合して使用しました。

いずれにおいても、吸収させたCO₂は、太平洋セメント熊谷工場に併設されているCO₂回収実証プラントにてセメント工場のキルン排ガスから分離・回収したものを使用しました。

3-1 カーボキャッチモバイルによる生コンスラッジへのCO₂吸収に関する実証試験

カーボキャッチスラリーの試製は、可搬式の製造装置として開発したカーボキャッチモバイルの現場でのCO₂吸収実証試験も兼ねて、東北太平洋生コン(株)本社工場の敷地内にて行いました(写真-1)。同工場から排出された生コンスラッジケーキ(写真-2)を原料として、あらかじめスラッジケーキの含水率を測定してから加水することで水固形分比が300%のスラリー状に調整し、カーボ



写真-2 生コンスラッジケーキ

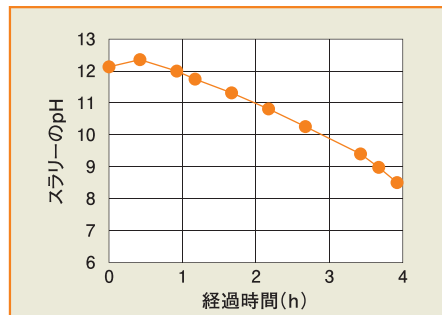


図-1 CO₂吸収時のスラリーのpH変化

キャッチモバイルに投入しました。CO₂吸収時のスラリーのpH変化の一例を図-1に示します。時間の経過とともに炭酸化反応が進行し、pHが低下しています。今回はスラリーのpHが8となるまでCO₂を吸収させました。カーボキャッチモバイルはのべ42時間の運転を行い、5.7トンの生コンスラッジケーキにCO₂を吸収させ、12.8トンのカーボキャッチスラリーを製造しました。同工場における1日当たりの生コンスラッジケーキの発生量は約2トンであり、十分量が本装置の能力でCO₂吸収の処理が可能であることが確認できました。カーボキャッチスラリー中の固形物(以下、CS)を対象に、熱重量示差熱分析(TG-DTA)を行い、550～850℃の重量減少の結果からCO₂吸収量を算出しました。その結果、原料とした生コンスラッジの固形分1トン当たりのCO₂吸収量は208kgでした。CSのCO₂排出原単位は、廃棄物である生コンスラッジを0kg/tと仮定すると-178kg/t-CSであり、新規のカーボンネガティブ材料として以降の試験に使用しました。

3-2 廃コンクリートへのCO₂の吸収方法

既存の加熱炭酸化装置(外熱式ロータリーキルン)を用いて、廃コンクリートを

破碎して作製した再生砕石にCO₂を吸収させました。炭酸化装置は、廃コンクリートを転動させることでCO₂との接触効率を高め、加熱することでCO₂吸収量の最大化を図ることが可能です。試料には、エコセメントを使用した水セメント比47%、細骨材率43%のコンクリートブロックを破碎することにより得られた再生砕石を用いました。装置内部は温度80℃に加熱し、濃度100%のCO₂を吹き込み、水蒸気をCO₂流量に対して外割で40vol%含有させました。1時間当たりの処理量は500kgとし、2時間の加熱処理を行いました。写真-3に汎用的な路盤材である粒度調整砕石とCO₂を吸収させた廃コンクリートを示します。熱重量示差熱分析により、廃コンクリートへのCO₂吸収量を算定すると75kg/t-cemでした。

4. 材料仕様の選定試験

4-1 固化材の配合選定

3-1で作製したカーボキャッチスラリーを脱水および乾燥することで、CSを得ました。これをセメント系固化材ジオセツト200に適量混合することで、低炭素型固化材としました。CSは固化材中に3、8、14%内割混合して低炭素型固化材を試製しました。現場採取土に対する固化材添加量は50、100、150kg/m³とし、CBR試験にて選定を行いました。また、六価クロム溶出量に関しては、環告46号によって評価しました。図-2に試製固化材の強さ試験の結果を、図-3に六価クロム溶出量の結果を示します。いずれの水準においても、CBR値の改質目標および六価クロム溶出量の環境基準値を満足することが確認できました。したがって、セメント系固化材に対するCSの内割混合量は14%とし、固化材添加量は下限値の50kg/m³に対して現場添加量としての割増率20%分を加えた60kg/m³と設定しました。

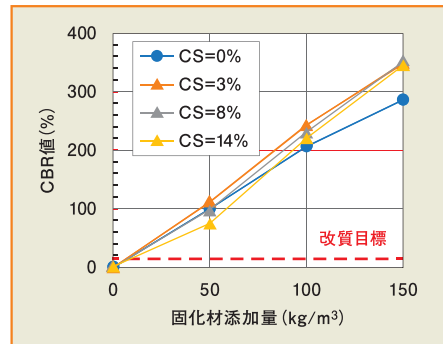


図-2 試製固化材のCBR試験の結果

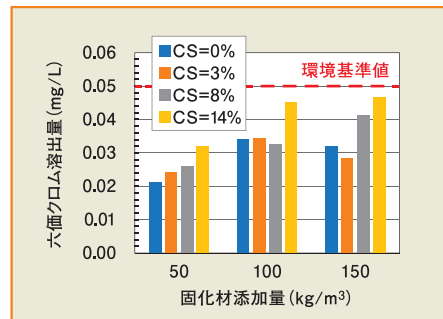


図-3 試製固化材の六価クロム溶出量

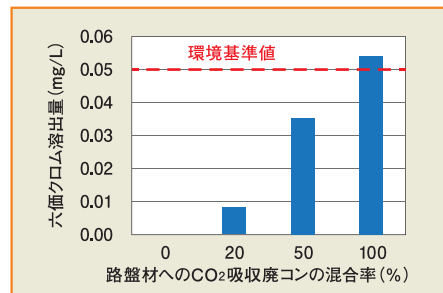


図-4 路盤材へのCO₂吸収廃コンの混合率と六価クロム溶出量の関係

4-2 路盤材の混合量選定

路盤材は、汎用材料として粒度調整砕石(M-40)を用いました。これに対して、CO₂を吸収させた廃コンクリートを内割で0、20、50および100%混合して路盤材の試製をしました。検液の作成は、利用有姿による溶出試験(JIS K 0058-1)に準拠し、六価クロム溶出量は、工場排水試験方法65.2.1ジフェニルカルバジド吸光光度法(JIS K 0102)により測定しました。六価クロムの溶出量の結果を図-4に



写真-3 路盤材の外観(左:粒度調整砕石、右:CO₂を吸収させた廃コンクリート)

示します。同廃コンの混合量に応じて六価クロムの溶出量が増加し、同廃コン100％では環境基準値である0.05mg/Lを超えたものの、50%以下の混合割合では同基準値を満足しました。既往の検討では、加熱炭酸化に有無によらず六価クロム溶出量は0.02mg/L以下であり、今回は廃コンクリートの粒度や配合の違いが影響したものと考えられます。路盤材は、粒度調整碎石にCO₂を吸収させた廃コンクリートを内割20%混合とし、修正CBR試験は、突固めによる土の締固め試験(JIS A 1210)およびCBR試験(JIS A 1211)に準拠しました。修正CBRは、粒度調整碎石およびCO₂を吸収させた廃コンクリート20%混合品のいずれも上層路盤材の品質規格80%以上を満足しており、路盤材としての性能を有していることが確認できました(図-5)。

4-3 舗装コンクリートの配合選定

コンクリートの使用材料を表-1に、配合選定のために検討した水準を表-2に示します。配合はW/B=40%、s/a=39%、W=175kg/m³とし、セメントに対してCSを10、15、19%の内割混合した水準を検討しました。化学混和剤の添加量は水準ごとに適宜調整しました。低炭素品では、セメントおよび骨材とともにCSをスラリー状態のまま先行して練り混ぜ、その後、残りの水と混和剤を投入する分割練混ぜを採用しました。経過時間とスランプの関係を図-6に示します。各水準で大きな差はみ

表-1 コンクリートの使用材料

材料名	記号	種 類	密度 (g/cm ³)
水	W	上水道水	—
セメント	B	C	普通ポルトランドセメント 3.16
カーボキャッチ固形分		CS	原料：生コンスラッジ 2.61
細骨材	S	山砂：砕砂＝80：20（容積比）	2.58
粗骨材	G	碎石2005	2.70
高性能AE減水剤	SP	ポリカルボン酸エーテル系（標準形）	—
	SP-R	ポリカルボン酸エーテル系（遅延形）	—

表-2 コンクリートの配合

No.	種類	水準名	W/B (%)	s/a (%)	CS/B (%)	単位量 (kg/m³)				SP (B×%)	SP-R (B×%)	
						W	B		S			G
							C	CS*				
1	普通	PL	40	39	0	175	438	—	645	1057	0.4	—
2	低炭素	CS10			10		394	44	642	1051	—	1.4
3		CS15			15		372	66	641	1049	—	1.8
4		CS19			19		355	83	640	1047	—	2.4

* 液固比187%のスラリー状で使用

**スランプの目標値：21±2.0cm(30分時点)、空気量の目標値：4.5±1.5%

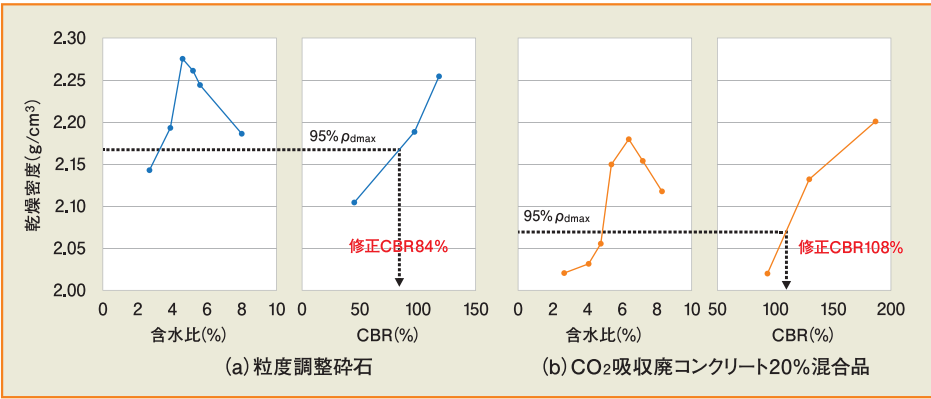


図-5 含水比およびCBRと乾燥密度の関係

られないものの、CS19は粘性が大きい結果でした。現場を想定した10℃湿布養生における曲げ強度結果を図-7に示します。材齢3日では水準間に大きな差はみられず、交通開放の目安となる3.5N/mm²をおおむね満足しました。材齢7日ではCS添加量が多い19%では若干強度が小さくなりました。また、20℃水中養生下での材齢28日における曲げ強度はいずれも同程度であり、目標値を満足しました(図-8)。これより、フレッシュコンクリートの状態と強度発現性を考慮して、CS15を選定しました。

5.低炭素型舗装のCO₂削減効果

本施工における材料由来の1m²当たりのCO₂排出量を表-3に示します。低炭素型舗装は、従来材料を用いた通常舗装に対して15.4%のCO₂削減効果があることが試算されました。

6.試験施工の実施

仕様に基づき施工を実施し、特段問題なく完工しました。写真-4には施工前の現場状況、写真-5には施工中の現場状況、写真-6には供用開始2カ月後の路面調査時の状況を示します。同調査で健全な状態が確認されました。

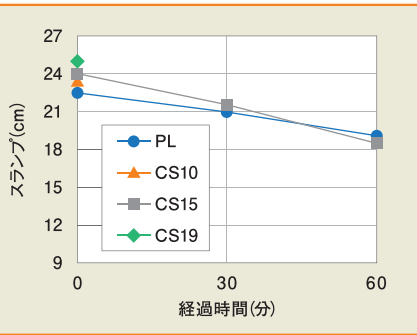


図-6 経過時間とスランプの関係

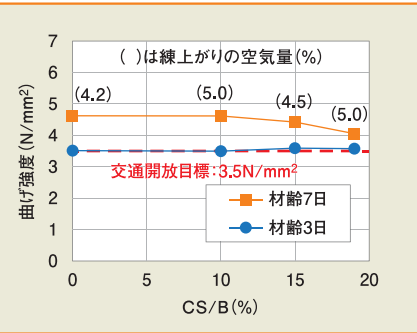


図-7 曲げ強度の結果(10℃湿布養生)

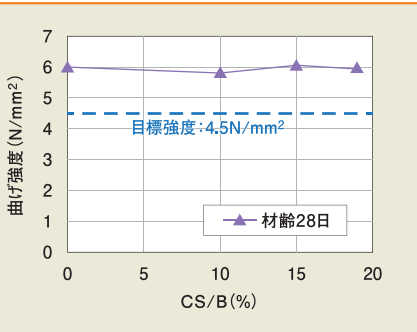


図-8 曲げ強度の結果(20℃水中養生)

表-3 低炭素型舗装のCO₂削減効果

種 別	1m ² 当たりのCO ₂ 排出量 (kg/m ²)	
	通常舗装	低炭素型舗装
舗装コンクリート	77.1	64.3
路盤	0.86	0.04
路床	16.4	15.5
材料合計	94.3	79.8



写真-4 施工前の現場状況

7.おわりに

本稿では、セメント工場排ガスから分離・回収したCO₂を有効利用する技術として、カーボキャッチおよび廃コンクリートへのCO₂吸収技術により、低炭素型材料の試製造と舗装の試験施工を紹介しました。



写真-5 施工中の現場状況(左：路床の改良、中央：路盤材の施工、右：舗装コンクリートの打設)

カーボキャッチにより、廃棄物である生コンスラッジを原料としてCO₂を吸収して舗装コンクリートおよびセメント系固化材に、CO₂を吸収した廃コンクリートを路盤材に適用しました。材料の製造に当たっては、コンクリート製造現場に移設可能なカーボキャッチモバイルを活用し、生コンクリート工場の敷地内にて工場から排出された生コンスラッジ

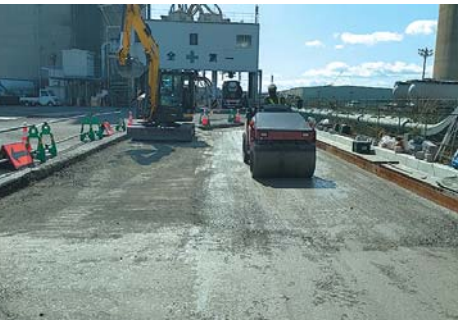
へのCO₂の吸収を実証しました。これらの低炭素型材料を用いて舗装の試験施工を実施し、特段の問題なく完工しました。本仕様による1m²当たりの材料由来のCO₂排出削減率は約15%と試算され、サーキュラーエコノミーと低炭素化の両立に寄与する基礎的知見が得られました。今後は、分離・回収したCO₂の有効活用技術の用途展開に取り組み、カーボンニュートラルの実現に寄与する技術として実用化に向けた検討を進めてまいります。



写真-6 供用開始2カ月後の施工現場状況

【参考文献】

- 1) 太平洋セメント株式会社：NEDO助成事業「炭素循環型製造プロセス技術開発」セメントキルン排ガスからのCO₂分離・回収、有効利用実証試験設備完成－カーボンニュートラル実現に向けた革新的技術の開発を加速－、太平洋セメントニュースレター、2022.02.04
- 2) 太平洋セメント株式会社：CO₂をフレッシュコンクリートに固定化する製造システム「カーボキャッチTM」の開発に成功、太平洋セメントニュースレター、2023.03.15
- 3) 七尾舞ほか：加熱炭素化処理による廃コンクリートのCO₂固定化技術の開発－NEDO助成事業「炭素循環型セメント製造プロセス技術開発」成果報告－、太平洋セメント研究報告、2023.02.10, No.183, pp.18-23





まつうら・たかし

【著者略歴】
2013年 東北太平洋生コン株式会社入社
現 在 同社本社工場長



いしい・ゆうすけ

【著者略歴】
2010年 太平洋セメント株式会社入社
現 在 同社中央研究所セメント・コンクリート研究部 固・不溶化技術チーム



いけだ・しゅうせい

【著者略歴】
2019年 小野田ケミコ株式会社入社
現 在 太平洋セメント株式会社中央研究所セメント・コンクリート研究部固・不溶化技術チーム



こまつ・こうへい

【著者略歴】
2009年 太平洋セメント株式会社入社
現 在 同社カーボンニュートラル技術開発部技術グループ CO₂利用技術チーム



ななお・まい

【著者略歴】
2015年 太平洋セメント株式会社入社
現 在 同社中央研究所セメント・コンクリート研究部 固・不溶化技術チームリーダー



くろかわ・だいつけ

【著者略歴】
2004年 太平洋セメント株式会社入社
現 在 同社中央研究所セメント・コンクリート研究部 固・不溶化技術チームリーダー