

製紙工程で生じる炭酸カルシウムの環境配慮コンクリートへの適用検討

大成建設（株）中国支店

正会員

○畑山 昌之

大成建設（株）技術センター

正会員

大脇 英司

大成建設（株）技術センター

正会員

松元 淳一

大成建設（株）土木技術部

正会員

岡本 修一

1. 目 的

製紙業界では、近年の紙消費動向の変化に似合った製紙工程でのエネルギーや資源循環の最適化の見直しが必要となり、中間製品である炭酸カルシウム（以下、炭カル）の活用法検討の必要性が生じている。他方、建設業界では、主要資材であるコンクリートの CO₂ 排出量削減を目的とした様々な検討が進められている。我々も CO₂ を固定した炭カルを用いた環境配慮コンクリート：T-eConcrete/Carbon-Recycle を開発し社会実装を進めているが¹⁾、さらなる普及には炭カル調達に「鍵」となっている。そこで、製紙工程で生じる炭カルを T-eConcrete 用の粉体材料として活用を図る検討を進めている。ここでは、公園施設の無筋コンクリート製ベンチへの適用例を示す。なお、今回の検討の一部は、「HIROSHIMA CARBON CIRCULAR PROJECT 広島県カーボンリサイクル関連技術研究開発支援業務」²⁾ の支援を受けて実施した成果である。

2. 炭酸カルシウムのキャラクタリゼーション

検討に使用した炭酸カルシウムは製紙行程の中間製品³⁾で、いわゆる“軽質炭酸カルシウム”に分類されるものである。

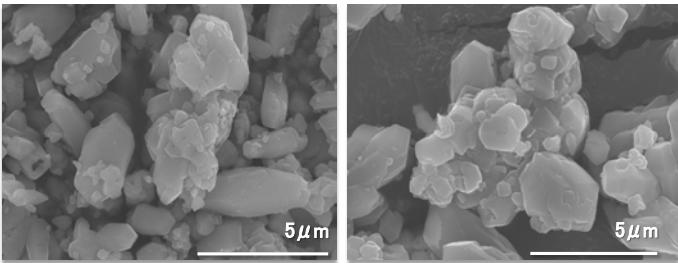
提供された炭カルの性状を市販工業製品の軽質炭カルとの測定結果と比較し表-1 に示す。比表面積はブレン値、密度はガスピクノメーター、粒子径はレーザー回折式粒度分布計、化学組成は波長分散型蛍光 X 線元素分析装置で求めた。湿分は 105℃ 炉乾燥の、鋳物組成は粉末 X 線回折同定の結果である。

提供品は、純度の高いカルサイト系の軽質炭カルで、市販工業製品の軽質炭カルと比較し、化学組成的には硫黄が多めだが同等の性状であり、鉛、カドミウム、ヒ素など将来溶出など問題と成り得る元素も蛍光 X 線元素分析で認められなかった。また、参考までに、重質炭カルに類する石灰石微粉末の品質規格（JCI-SLP コンクリート用石灰石微粉末品質規格（案））を併記したが、該当する測定値は規格値を満足するものであった。

出荷日の異なる製品の走査型電子顕微鏡による粒子形状の観察例を写真-1 に示す。表-1 に示す性状についても測定したが、製造ロットの異なる製品間で目立った差異は認められず、安定した製造管理状態にあることが伺え、キャラクタリゼーションの結果からは、コンクリート用粉体材料として十分に使用可能と判断された。

表-1 炭酸カルシウムの性状

		提供炭カル	市販炭カル	参考
比表面積 (cm ² /g)		4160	17640	2500以上
密 度 (g/cm ³)		2.69	2.69	—
粒子径	中央値	9.97 μm	2.75 μm	—
	平均値	11.21 μm	3.24 μm	—
湿 分		0.06%	0.19%	1.0%以下
化学組成	CaCO ₃	94.7%	94.3%	90%以上
	MgO	0.23%	0.25%	5%以下
	SO ₃	0.24%	0.03%	0.5%以下
	Al ₂ O ₃	0.09%	0.02%	1.0%以下
鋳物組成	XRD	カルサイトのみ同定		—



[6/16 出荷品] [10/17 出荷品]

写真-1 炭カルの電顕写真

キーワード 製紙工程、炭酸カルシウム、環境配慮コンクリート、コンクリート二次製品、CO₂ 排出量削減
連絡先 〒730-0041 広島県広島市中区小町 2 番 3 7 号 TEL 082-242-5301

3. コンクリートの配合とCO₂固定量

使用材料の緒元を表-2に、配合を表-3に示す。
今回製造したコンクリート製品は、公園施設に設置される無筋コンクリートベンチである。

対象のベンチは汎用製品ではないので、型枠形状から判断した打設可能なスランプと、脱型可能強度から判断した管理材齢 7 日の圧縮強度の目安に、各々、21 cm程度と 20~30N/mm²程度を目標とし、既存の T-eConcrete 実績を参考に配合を選定した。

炭カルの CO₂ 排出量に関しては現在検討中であるが、暫定値から計算されるコンクリートの CO₂ 排出量は約 - 7.8kg/m³、CO₂削減量は約 245kg/m³、CO₂固定量は 108kg/m³である。

4. コンクリート製品の製造

製造は一般の二次製品製造工場で行った。特に設備改造する事なく既存設備で製造可能であった。ただし、セメントサイロに空きが無かったため、粉体はミキサーに手投入した。ベンチは 0.35m³/回の練りで 2 体を製造し、65℃-3 時間の蒸気養生後、打設翌日に脱型し出荷までストックヤードで保管した。

試験製造も含め合計 27 ロット (54 体) の管理材齢 7 日の圧縮強度試験結果を図 - 1 に示す。全体平均値は 32.5N/mm²、標準偏差 (σ) は 4.7N/mm²であった。粉体を手投入した関係上、初期製造では不慣れと混練容量の少なく、粉体がミキサーの羽などに付着した影響で強度が低めとなったが、投入位置の変更などの改善を行い、圧縮強度はおおよそ±1σの範囲に収まった。

5. まとめ

製紙工程で生じる炭酸カルシウムを T-eConcrete へ適用し、公園施設用の無筋コンクリート二次製品ベンチを製造した。今後は、炭カルの具体的な供給体制の構築や、一般的な二次製品の試製造と性能確認などの検討を進め、中国地方での地産地消を目指したカーボンリサイクルエコノミーのモデルケース事例として成立を目指したい。

謝 辞： 検討を進めるにあたりご助力を頂きました内海宏一氏を始め広島県カーボンリサイクル推進グループの方々、ならびにベンチ製造にご協力を頂きました山陽ブロック工業（株）の皆様に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 大脇，岡本，松元，渡邉：混和材を大量に使用したコンクリートと実装コンクリート工学,Vol.57, No.1, 2019.1
- 2) 令和 4 年度広島県カーボンリサイクル関連技術研究開発支援業務 <https://ld.lne.st/hiroshima/carbon-circular>
- 3) 田中，西口：日本における製紙塗工用軽質炭酸カルシウムの現状と将来,日本海水学会誌,第 54 巻,第 2 号,2000

表-2 使用材料の緒元

名 称 (規 格)	記 号	諸 元
高炉スラグ微粉末 (JIS A 6206)	BFS	JFE 福山製品 密度:2.88 g/cm ³ , 比表面積:4280 cm ² /g
刺激材	St	カルシウム系化合物(主成分:Ca(OH) ₂) 密度:2.89 g/cm ³
細骨材 (JIS A 5005)	S	東広島市黒瀬産 石英斑岩砕砂 密度:2.59 g/cm ³ , 吸水率 1.23 %
粗骨材 (JIS A 5005)	G	東広島市黒瀬産 石英斑岩砕石1505 密度:2.61 g/cm ³ , 吸水率 0.61 %
化学混和剤 (JIS A 6206)	SP	カルボキシル基含有ポリエーテル系化合物

表-3 コンクリートの配合

W/B	W/P	単位量 (kg/m ³)						
		W	粉体: P			細骨材	粗骨材	SP (P × %)
			結合材: B	炭カル	刺激材			
			BFS					
0.534	0.298	175	263	65	260	654	884	0.7



写真-2 ベンチの製造状況

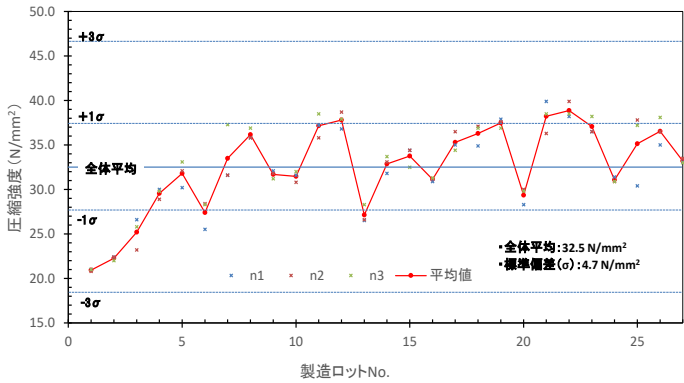


図-1 管理材齢(7 日)圧縮強度試験結果