

CO₂固定型ポーラスコンクリート舗装の実用化に関する検討

日本道路（株）技術研究所 正会員 ○藤井 洋志
 大成ロテック（株）技術研究所 正会員 塚本 篤輝
 （株）安藤・間 技術研究所 正会員 岩渕 嵩宏
 灰孝小野田レミコン（株） 正会員 山内 和宏

1. はじめに

近年、コンクリート分野のカーボンニュートラルに向けて、戻りコンクリートや残コンクリート（以下、戻りコン）を活用した粒状化再生骨材（Granulated Recycled Aggregate, 以下、GRA）の製造および GRA への CO₂ 固定化技術に関する研究が盛んに行われている^{1,2)}。筆者らは、CO₂ を固定した後の GRA（Carbon Captured Aggregate, 以下、CCA）の有効な利用方法として、舗装分野での利活用を目指しており、CCA を用いた車道用コンクリートの開発を行っている。特に、建設後の CO₂ 固定が期待できるポーラスコンクリート（以下、PoCo）に着目している。すなわち、PoCo はマクロな空隙構造を有しており、孔内を雨水や CO₂ が浸透することで、舗装内部全体にわたって骨材表面のペーストが有効に炭酸化反応場として機能し、CO₂ 固定に有利である可能性がある。本検討では CCA を用いた舗装用ポーラスコンクリートについて実機規模での検討を行った。具体的には、CCA を用いた PoCo の実機試験練り、試験施工を行い、舗装体としての実用性と CO₂ 削減量に関して評価した結果について報告する。

2. 検討方法

本検討では、戻りコンを想定して製造した 24-12-20N の生コンに高分子吸水剤を主成分とした吸水性に優れた粒状化剤を添加して製造した GRA を CCA の原料に使用した。GRA は、製造翌日に解砕、分級し、GRA の粗骨材は強制炭酸化装置で炭酸化処理した。GRA の細骨材は 1 週間ほど攪拌しながら露天曝露することで自然炭酸化して CCA とした。強制炭酸化装置の機構を図 1 に示す。CCA を使用した PoCo は車道や駐車場への適用を想定して各種目標値を設定した。特に、曲げ強度については空隙率が支配的であることが知られており、既往の検討³⁾を参考に目標空隙率を 10% とした。他方で、水結合材比（以下、W/B）は、所要の曲げ強度を確保することを念頭に、建設後の CO₂ 固定を考慮して W/B=21~45% に変化して検討した。すなわち、低水結合材比にすることで強度の確保に有利な一方で、ペーストが緻密化することで炭酸化に不利になることが想定される。これらの観点から室内で配合選定を行い、実機規模での試験練り試験施工を行った。

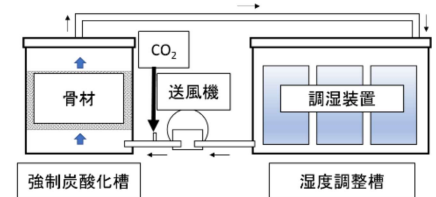


図 1 強制炭酸化装置²⁾

3. 検討結果

3-1. 骨材品質と CO₂ 固定量

本検討で使用した CCA の骨材品質試験結果を表 1 に示す。CCG はコンクリート用再生骨材 M（JIS A 5022）の品質基準に適合し、CCS はコンクリート用再生骨材 L（JIS A 5023）の品質基準程度であることがわかった。また、示差熱重量分析で測定した CO₂ の固定量（550~850℃ 範囲の減量）は、CCG が約 30kg-CO₂/t、CCS が約 5kg-CO₂/t であり、強制炭酸化装置を使用した CCG が有意に大きな値を示した。セメント微粒分を多く含むと思われる CCS の CO₂ 固定量を増加する方法については今後の検討課題である。

表 1 CCA の品質試験結果

種別	表乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	実積率 (%)	CO ₂ 固定量 (kg-CO ₂ /m ³)
CCG (5-15mm)	2.49	4.55	67.3	30.05
CCS (0-5mm)	2.27	12.19	57.1	5.12

3-2. 水結合材比

品質を確認した CCA を使用した PoCo の W/B を変化して曲げ強度試験を行った。結果を図 2 に示す。

キーワード CO₂ 固定コンクリート, CO₂ 固定骨材, ポーラスコンクリート

連絡先 〒300-0028 茨城県土浦市おおつ野 1-4-1

日本道路（株）技術研究所 TEL:029-899-2025

曲げ強度は、W/Bの増加に伴い緩やかに低下する傾向を示した。本検討では、車両载荷に対応する構内舗装の基準を参考に、目標曲げ強度を 3.5N/mm^2 とし、W/B=35%で検討することとした。

3-3. 空隙率制御

既往の検討³⁾を参考に目標空隙率に対応する K_m （モルタル粗骨材空隙比）を0.91として室内配合試験を行った後に、実機試験練りを実施した。製造したコンクリートの沈下法空隙率の測定結果を図3に示す。

実機で練り落としたコンクリートは、室内で確認した K_m より低く設定することで目標空隙率に制御することが可能であった。これは、室内で使用した骨材は、常に表乾状態に調整されているが、実機に投入した骨材の含水状態は時々刻々と変化し、含水状態や表面水率等に室内と差が生じたこと起因すると思われる。本検討では、アジテータ車による30分運搬後の施工を想定し、静置後の空隙率上昇に対する割増しを考慮して、 $K_m=0.80$ に設定して試験施工を行うこととした。

4. 試験施工

試験練りにて示方配合を決定した後に、幅員5.5m、延長15m、版厚15cmの規模で試験施工を実施した。本試験施工は密粒度アスファルト混合物中間層上に鋼製型枠を設置して、アスファルトフィニッシャ、ゴム巻きハンドガイドローラ等を使用して舗設した。CCAを使用したPoCoの品質試験結果を表2に示す。

現場到着時の空隙率は目標範囲内であり、PoCoの施工性は良好で、現場透水試験で測定した透水量とDFテストで評価した動的摩擦係数も問題ないことを確認した。また、曲げ強度は目標値を十分に満足した。使用材料の投入量を基に試算した CO_2 固定量は約 $42\text{kg}\cdot\text{CO}_2/\text{m}^3$ であり、新材を使用した場合と比べて約23%の CO_2 排出量削減が期待できる。

5. まとめ

本検討の結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) CCAの骨材性状を適切に把握して K_m を調整することで、PoCoの空隙率を制御することが可能であるが、骨材の含水や表面水の状態に配慮した管理が重要である
- 2) CCAを使用したPoCoは、配合を適切に制御することで良好な施工性と舗装体としての要求性能を確保することが可能であり、駐車場等に適用可能である
- 3) CCAを使用したPoCoの CO_2 固定量は約 $42\text{kg}\cdot\text{CO}_2/\text{m}^3$ であり、新材を使用した場合と比べて約23%の CO_2 排出削減が期待できる

謝辞

この成果は、NEDO（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）の委託業務（JPNP21023）の結果得られたものです。東京大学の野口貴文教授には貴重なご助言を賜りました。関係各位に深く感謝いたします。

【参考文献】

- 1) 白岩誠史ほか、戻りコンクリート由来の粒状化再生骨材の品質に関する全国共通試験結果、コンクリート工学年次論文集、vol.45, No.1, pp. 940-945, 2023
- 2) Takahiro Iwafuchi et al., CO_2 FIXED BY RECYCLED AGGREGATE IN A MEDIUM-SCALE CARBONATION FACILITY, Conference Proceedings of ReACT2024, vol.1, pp. 83-84, 2024
- 3) 藤井洋志ほか、環境調和を目指した舗装用ポーラスコンクリートの空隙率制御と強度に関する基礎的検討、土木学会第79回年次学術講演会概要集、V249, 2024

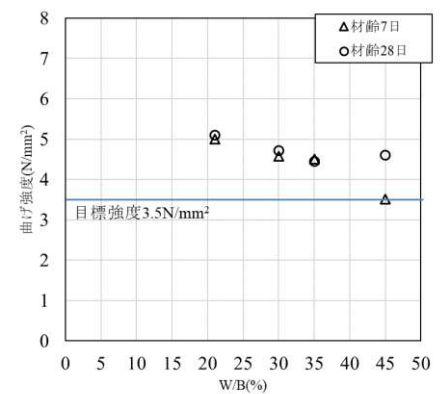


図2 W/Bが曲げ強度に及ぼす影響

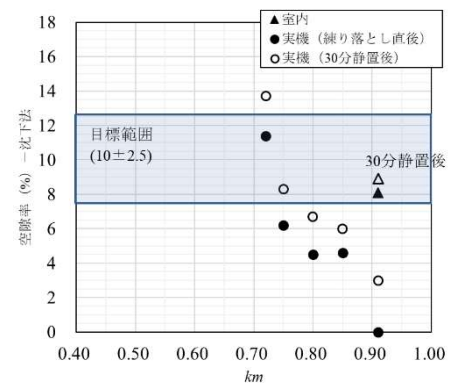


図3 空隙率測定結果

表2 試験施工時の品質試験結果

台数	現着空隙率 (%)	透水量 (ml/15秒)	動的摩擦係数 (μ 60)	曲げ強度(N/mm^2)		CO_2 固定量 ($\text{kg}\cdot\text{CO}_2/\text{m}^3$)
				材齢7日	材齢28日	
1	10.6					
2	10.5	1,340	0.41	3.5	4.1	42.05
3	11.6					
4	9.7					
目標値	10 ± 2.5	1,000以上	0.25以上 (目安として)	3.5以上	-	-