

CO₂を固定化した合成炭酸カルシウムを用いたアスファルト混合物の検討

日本道路株式会社 技術研究所 ○平松 大銘
出光興産株式会社 石炭・環境事業部 汲田 章司
出光興産株式会社 機能舗装材事業部 澤山 拓

1. はじめに

我が国では、2050年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにするカーボンニュートラルの実現¹⁾に向けて、様々な取り組みが行われている。カーボンニュートラル実現のためには、国際エネルギー機関(IEA)の試算では年間約38~76億トンのCO₂を回収する必要がある。このため、CO₂の排出量を削減するだけでなく、すでに大気中に排出されたCO₂を減らさなければならない。一方、近年ではカーボンニュートラル実現の鍵として「Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage (CCUS)」が注目されており、「CO₂を回収・貯留・有効利用」する技術として期待されている。このような状況下、道路舗装業界では、化石燃料由来のアスファルトの使用やアスファルト混合物製造時の骨材加熱乾燥過程において、多くのCO₂を排出しているのが現状である。

本検討では、燃焼排ガス由来のCO₂とコンクリートスラッジから生成される合成炭酸カルシウム²⁾³⁾(以下、合成炭カル)をアスファルト混合物の材料の一部として利用することで、CO₂を舗装に固定化し、道路舗装におけるCCUSの社会実装に寄与できるアスファルト混合物の開発・評価を行った。本検討では、合成炭カルの概要、混合物性状、実機プラントでの混合性及び施工性について報告する。

2. 合成炭酸カルシウムの概要

合成炭カルは、コンクリート2次製品の製造過程などから排出されたコンクリートスラッジに含有される水酸化カルシウムと、ボイラーから排出されるCO₂を水中で反応させ生成される。合成炭カルの外観を写真-1に示す。本検討では、炭酸カルシウムを主成分とする石粉の代替材料として合成炭カルの適用性を評価するため、各試験性状値を確認した。

試験結果を表-1に示す。なお、目標値は、一般的な石粉の規格値や回収ダスト等の目標値を参考に設定した。密度と粒度は目標値を満足しているが、フロー値および水分量は、目標値を満足しない結果となった。水分量については、合成炭カル製造時の乾燥方法等を検討することで対処が可能であるが、フロー値が大きいほど多くのアスファルト量を必要とする傾向にあるため、アスファルト混合物の混合物特性値を評価した。



写真-1 開発品の外観

表-1 合成炭カルの性状

試験項目	測定値	目標値	
密度 (g/cm ³)	2.611	2.6以上	
水分 (%)	1.6	1.0以下	
粒度 (ふるい通過質量百分率)	0.6mm	98.3	100
	0.3mm	97.0	-
	0.15mm	97.0	90-100
	0.075mm	95.9	70-100
塑性指数 (PI)	NP	4以下	
フロー値 (%)	149.5	50以下	

3. 合成炭カルの混合物性状

アスファルト混合物への適用性を評価するため、密粒度アスファルト混合物(13)に配合される石粉を合成炭カルに置換した。なお、置換割合は 100%、50%、25%の 3 点とし、置換なしの性状と比較した。また、使用アスファルトはポリマー改質アスファルトⅡ型とし、それぞれの配合で配合設計を行い、最適アスファルト量を算出した。置換割合と最適アスファルト量の関係を図-1 に示す。

配合設計の結果、合成炭カル置換なし混合物と比較し、100%置換で最適アスファルト量が 0.6%増加している。一方、50%以下の置換では置換なしと同等の最適アスファルト量であることを確認した。また、算出した最適アスファルト量にて供試体を作製し、混合物性状を比較した結果を表-2 に示す。

置換率 25%、50%において合成炭カルのマーシャル安定度、残留安定度及び動的安定度では、置換なしと同等の値を示した。一方、100%置換では 3,000 回/mm を下回り、動的安定度の低下が認められる。これは、最適アスファルト量の増加が耐流動性に影響したものと推察される。

また、曲げ強度は、合成炭カルの置換割合によらず、すべての配合で置換なしと比べ高い値を示したが、破断時のひずみは、合成炭カルを用いたすべての配合で、置換なしよりも低い値を示している。この結果から、ひび割れ抵抗性に影響が懸念されたため、曲げ疲労試験でひび割れ抵抗性を評価した。

その結果、破壊回数は、合成炭カルの置換割合によらず、置換なしと同等以上の値を有していることを確認した。このことから、合成炭カルに置換することによるひび割れ抵抗性の影響は小さいと判断した。

以上の結果より、合成炭カル置換割合の上限を 50%とすれば、アスファルト混合物性状への影響は小さいと判断した。

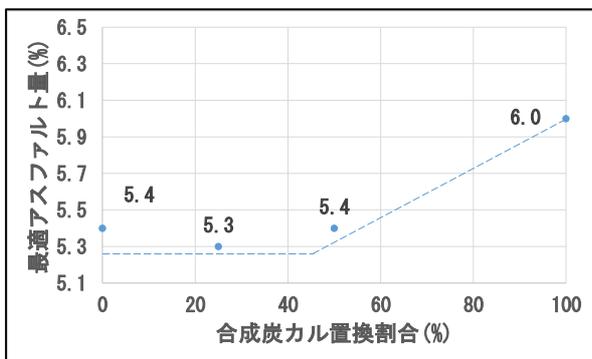


図-1 置換割合と最適アスファルト量

表-2 混合物性状一覧

混合物性状	合成炭カル配合割合 (%)				目標値
	0	25	50	100	
マーシャル安定度 (kN)	12.1	12.5	14.5	14.0	4.9以上
残留安定度 (%)	81.0	91.7	86.8	94.6	75以上
動的安定度 (回/mm)	9,109	7,875	6,708	2,838	-
曲げ強度 (N/mm ²)	10.4	11.9	11.8	12.7	-
破断時ひずみ	7.01E-03	4.99E-03	4.84E-03	5.19E-03	-
曲げ疲労破壊回数	810	837	1,250	830	-

4. 実機プラントでの混合性

合成炭カルを石粉の代替として使用した場合の、実機プラントにおける製造性・混合性を確認するために、試験練りを実施した。試験練り条件を表-3 に示す。配合は密粒度アスファルト混合物(13)、合成炭カルの置換割合は 30%とし、アスファルトはポリマー改質アスファルトⅡ型を使用した。

配合設計結果より、最適アスファルト量は置き換えの有無にかかわらず 5.4%であった。合成炭カルはミキサーの粉体投入口よりドライミキシング時に直接投入し、ドライミキシング時間を 15 秒、ウェットミキシング時間を 35 秒とした。

練り落とされた混合物に As 被膜不良等は確認されず、良好な混合性を確認できた。供試体を作製し、混合物性状を確認した。試験結果を表-4 に示す。マーシャル安定度及び残留安定度は、置換なしと同等の値であり、目標値を満足した。動的安定度は、置換なしと比較しても十分な耐流動性を有していると判断することができる。

表-3 試験練り条件

配合	密粒度アスファルト混合性 (13)
使用アスファルト	ポリマー改質アスファルトⅡ型
最適アスファルト量	5.4% (置換なしと同様のAs量)
合成炭カル置換割合	石粉の30%
ミキシング時間	ドライミキシング15秒 ウェットミキシング35秒
投入方法	粉体投入口より人力投入

表-4 試験練り混合物の性状

混合物性状	置換割合 (%)		目標値
	0	30	
マーシャル安定度 (kN)	15.8	15.2	4.9以上
残留安定度 (%)	98.7	98.9	75以上
動的安定度 (回/mm)	5,274	7,725	-

5. 試験施工

5.1 試験施工概要

合成炭カルを置換した密粒度アスファルト混合物(13)の施工性および供用性を評価するため、2024年3月に試験施工を実施した。試験施工条件を表-5に示す。施工場所は出光興産(株)千葉事業所構内の2車線道路において、大型タンクローリーが頻繁に通行する箇所を選定した。現場は図-2に示すように合成炭カル置換の有無で2工区に分割し、通常のアスファルト混合物と同様の施工体制で施工した。

表-5 試験施工条件

条件	工区①	工区②
使用混合物	密粒度アスファルト混合物 (13) 改質Ⅱ型	
合成炭カル置換割合	置換なし	30%置換
施工厚さ	t=50 mm	t=50 mm
施工面	W9.8m×L54m=529.2m ²	W9.8m×L52m=509.6m ²

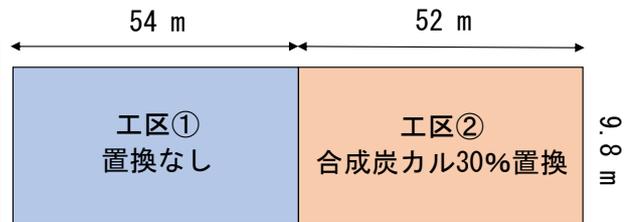


図-2 試験施工の工区分け

5.2 試験施工結果

試験施工結果を表-6に示す。合成炭カルの施工性に大きな課題や問題は特になく、舗装の仕上がりについても合成炭カルの置換の有無によらず同程度の舗装表面となった(写真-2)。なお、現場コアを採取し締固め度を算出した結果は、合成炭カル置換なし工区:98.3%、合成炭カル30%置換工区:97.0%となり、どちらも良好な締固め度であることを確認した。



写真-2 施工完了後仕上がり

表-6 試験施工結果

項目	工区①	工区②
練り落とし温度	174℃	185℃
敷きならし温度	161℃	162℃
初期転圧温度	158℃	157℃
二次転圧温度	105℃	100℃
締固め度	98.3%	97.0%

5.3 追跡調査

供用3ヶ月後に路面性状測定車を使用し、追跡調査を実施した。計測項目はひび割れ率、わだち掘れ量、平坦性の3項目である。施工直後と比較し、ひび割れ率は両工区とも供用3ヶ月後において0%であり、平坦性は、両工区とも大きな変化は認められず、良好な状態を維持している。また、わ

だち掘れ量は、合成炭カルの置換なし工区では供用による変化は認められないが、合成炭カル 30%置換工区では供用直後が 2.8 mm から 3.5 mm と 0.7 mm の増加が確認された。ただし、増加量は小さく健全な状態を維持しており、今後も引き続き供用性を評価していく。

表-7 CO₂ 排出量の試算結果

6. CO₂ 排出量の試算

合成炭カルを石粉に置換して使用することで、通常のアスファルト混合物の製造と比較した場合の CO₂ 排出量について試算した。試算に使用した原単位は、「舗装の環境負荷低減に関する算定ガイドブック」⁴⁾に記載されている値を使用した。なお、合成炭カルの原単位は製造による CO₂ 排出量等を考慮して算出し -133 kg-CO₂/t とした。試算結果を表-7 に示す。試算の結果、合成炭カルを 30%置換した場合、混合物 1t あたり CO₂ を約 3.1% 削減できることがわかった。

また、石粉の置換割合を変化させて試算し、CO₂ 削減量を評価した結果を図-3 に示す。なお、合成炭カル 100%置換について、アスファルト量の増加分を加味し算出している。試算結果から、合成炭カル 50%置換では約 5.2%減、合成炭カル 100%置換では約 7.0%の CO₂ 排出量を低減となり、中温化アスファルト技術 (30℃低減) と同程度となっている。ただし、本検討では、混合物性状を確保するために置換割合の上限を 50%としており、CO₂ 排出量削減は最大で 5.2%であると試算される。

7. まとめ

以上の結果より、合成炭カルを用いた混合物の試験練りや試験施工を通じて、通常アスファルト混合物と同様に製造・施工できることがわかった。また、石粉の代替として使用する場合、置換割合の上限を 50%とすれば、置換なしと同等の混合物性状を確保できることがわかった。

また、CO₂ 排出量の試算より、合成炭カルは道路舗装における CCUS の社会実装に寄与できると判断される。今後は、適用する混合物種類の拡大や中温化技術との組み合わせを検討し、さらなる CO₂ 削減を図り、カーボンニュートラル実現に貢献する所存である。

【参考文献】

- 1) 環境省 2050 年カーボンニュートラルを巡る国内外の動き
<https://www.env.go.jp/content/900445133.pdf>
- 2) 呉悦樵 他：比表面積を用いた配合設計方法による CO₂ を固定化した資材のアスファルト混合物への適用検討、舗装、Vol.58、No.3、pp.4-8、2023.3
- 3) 立花徳啓 他：CO₂ を固定化した合成炭酸カルシウムのアスファルト混合物への適用、土木学会第 79 回年次学術講演会、2024.9
- 4) (公社)日本道路協会：舗装の環境負荷低減に関する算定ガイドブック、p.138、2014.1

名称	単位	原単位 (kg-CO ₂ /単位)	通常		合成炭酸カルシウム使用		
			数量	排出量 (kg-CO ₂)	数量	排出量 (kg-CO ₂)	
素材	6号砕石	t	7.98	242.40	1934.35	242.40	1934.35
	7号砕石	t	7.98	170.40	1359.79	170.40	1359.79
	粗砂	t	11.54	148.00	1707.92	148.00	1707.92
	細砂	t	11.54	148.00	1707.92	148.00	1707.92
	石粉	t	5.41	48.00	259.68	33.60	181.78
	合成炭酸カルシウム	t	-133	0.00	0.00	14.40	-1915.20
ポリマー改質アスファルトⅡ型	t	488.82	43.20	21117.02	43.20	21117.02	
輸送	砕石輸送(軽油)	L	4.19	608.58	2549.95	608.58	2549.95
	砂輸送(軽油)	L	4.19	208.66	874.29	208.66	874.29
	石粉輸送(軽油)	L	4.19	52.16	218.55	52.16	218.55
	アスファルト輸送(軽油)	L	4.19	359.04	1504.38	359.04	1504.38
製造	電力	kWh	0.46	8000.00	3680.00	8000.00	3680.00
	A重油	L	2.91	6782.00	19735.62	6782.00	19735.62
	軽油	L	2.95	256.00	755.20	256.00	755.20
その他	未集計等見込み値(アスコン)	t	7.72	800.00	6176.00	800.00	6176.00
計					63580.67		61587.57
1tあたり					79.48		76.98

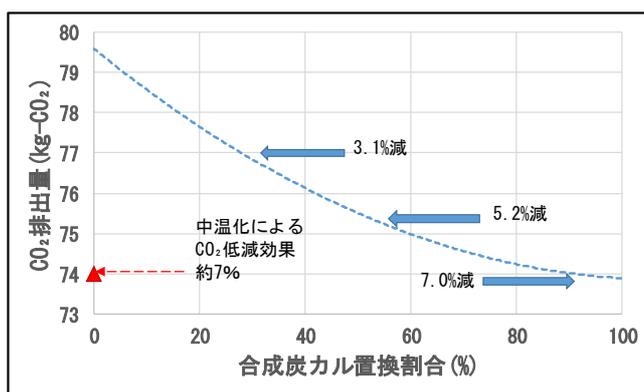


図-3 CO₂ 排出量の削減効果