

汎用技術で製造可能な環境配慮型アスファルト混合物

「バイオ炭アスファルト混合物」の開発

日本道路（株）	生産技術本部	技術研究所	立花 徳啓
〃	生産技術本部	技術研究所	工藤 朗
〃	生産技術本部	技術部	廣郡 俊彦
〃	営業本部	総合企画部	川村 修

1. はじめに

日本を含め世界的な気候変動への関心・意識が広がる中、脱炭素・低炭素技術の社会実装や必要性が高まり、道路・建設業界も迅速な対応を迫られている。

舗装建設資材であるアスファルト混合物は、原油由来のアスファルトに起因するCO₂排出量の大きい材料であり、一般的に、アスファルト混合物製造時1tあたり56 kg-CO₂/t程度¹⁾のCO₂排出量となっている。また、近年のアスファルト混合物の製造数量によれば、2023年度の製造数量は約3,600万t²⁾であり、約202万t(56×3,600万t)のCO₂を排出している試算となる。我が国のCO₂総排出量は約11億万t³⁾であることから、アスファルト混合物の製造に係るCO₂排出量は約0.00002%に相当すると概算される。

低炭素の実現に向け、アスファルト混合物に関しては、その製造温度を低下した中温化技術などCO₂排出量を低減する舗装技術がこれまでに複数開発されている。ただし、フォームドアスファルト発生装置⁴⁾等の製造技術の改善や中温化用アスファルトバインダなどの資材を適用したものに限定されているため、汎用性に課題もあり、アスファルト混合物自体のカーボンニュートラルやカーボンネガティブを実現できるものは少ない。

本検討では、カーボンニュートラルを実現可能で、一般的なアスファルト混合物と施工性および品質が同等の、汎用的な環境配慮型アスファルト混合物の実現を目的に、

炭素貯留効果を有するバイオ炭を混合したバイオ炭アスファルト混合物の開発を行った。本報ではバイオ炭アスファルト混合物の概要、性状および現場適用の結果について報告する。

2. バイオ炭アスファルト混合物の概要

2.1 炭素貯留

バイオ炭アスファルト混合物は、CO₂固定効果の高いバイオ炭を添加・配合したアスファルト混合物であり、図-1に示すように、アスファルト混合物内部に炭素を貯留する特徴を有している。

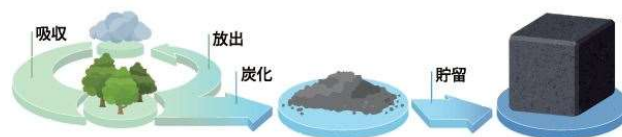


図-1 バイオ炭アスファルト混合物の炭素貯留

バイオ炭アスファルト混合物の炭素貯留の仕組みについて以下に説明する。2019年改良IPCCガイドラインにおいて、バイオ炭は「燃焼しない水準に管理された酸素濃度の下、350℃超の温度でバイオマスを加熱して作られる固形物」と定義されている⁵⁾。

バイオ炭の特徴は、難分解性炭素を主体に構成されている点である。この難分解性炭素は炭化過程で有機物中の炭素が、通常の下条件下では分解しにくい形態に変

化したものである。

本来、有機物中の炭素は、植物が光合成の過程で大気中のCO₂を吸収したもので、通常自然条件下では微生物に分解される過程で再び大気中にCO₂が戻ってしまう。そのため、通常であれば大気中のCO₂に戻ってしまうはずの炭素を固形物にしたものがバイオ炭といえる。

このようなバイオ炭の特性を利用し、国内のカーボンクレジット制度であるJ-クレジット⁹⁾では、バイオ炭を農地土壌に施用することで、土壌への炭素貯留を認める方法論が策定されている。これは、炭素成分が長期間分解されずに地中に貯留するとの考えである。バイオ炭混合によるアスファルト混合物への炭素貯留は、現時点でJ-クレジットでは認められていないが、農地施用との違いは貯留先がアスファルト混合物という点のみである。

2.2 バイオ炭アスファルト混合物のCO₂排出量の試算

(1) バイオ炭によるCO₂固定量

バイオ炭アスファルト混合物のCO₂排出量の試算に必要なバイオ炭の実質的なCO₂固定量（CO₂排出原単位に相当）は、J-クレジットの方法論⁹⁾に準拠し、図-2のように求めた。「バイオによるCO₂固定量」については、表-1に示す計算条件を用いて算出している。また、「原料収集・製造時のCO₂排出量」は、バイオ炭の原料収集および製造で発生するCO₂の総計である。原料収集では、トラック運搬かつ収集範囲から考える中で最もCO₂排出量が多くなる運搬ケースとし、製造では、炭化工場の消費電力および化石燃料使用量により計算した。その結果、バイオ炭による実質的なCO₂固定量は、2.3 kg-CO₂/kgと試算された。なお、バイオ炭については、製材所で副産物として発生するオガ粉を加圧成形・炭化し棒状のバイオ炭（オガ炭）を製造し、その製造過程で発生する端材を破碎・分級したものを使用した。バイオ炭の製造フローを図-3に示す。

(2) バイオ炭アスファルト混合物のCO₂排出量

CO₂排出量の試算に使用した各材料のCO₂排出原単位りと数量などを表-2に、バイオ炭配合量に応じたCO₂排出量を試算した結果を図-4に示す。なお、バイオ炭はCO₂を固定するため、CO₂排出原単位は負の値を示す。

表-2より、合材800tのうち、バイオ炭を19.46t(2.6%)配合することで、カーボンニュートラルになると試算される。一般的なアスファルト混合物のCO₂排出量(A)は、56 kg-CO₂/tであるが、バイオ炭によるCO₂固定量(B)をオフセットすることで、アスファルト混合物としてトー

タルでCO₂排出量の低減が可能である。図-4より、バイオ炭を1%配合することで、約21 kg-CO₂/tのCO₂排出量を低減できる。一方、中温化アスファルト混合物のCO₂低減量を試算すると、約3 kg-CO₂/t¹⁾であり、中温化と比較してもバイオ炭は少量の配合で大きなCO₂固定効果を持つことがわかる。

以上の結果から、使用しているバイオ炭は1 kgあたり2.3 kgと大きなCO₂固定効果があることを確認した。また、バイオ炭アスファルト混合物のCO₂排出量収支の考え方（当社独自の方法論）について検討を行った結果、第三者検証機関から、その妥当性について認証されている。本方法論は、バイオ炭（炭素）をアスファルト混合物に貯留させることで、CO₂排出量収支（温室効果ガス便益（GHG Benefit））を定量化するための基準と手順を定めたものである。この方法論は、バイオ炭の製造・輸送等に起因する追加的な要素も勘案してCO₂排出量を定量化できるため、施工条件や環境条件に応じて、プロジェクトごとでの算定が可能である。

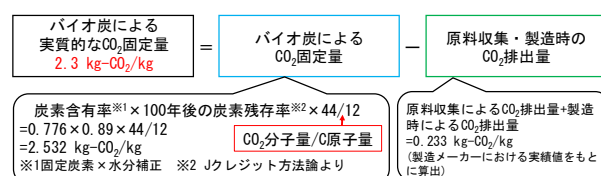


図-2 バイオ炭による実質的なCO₂固定量の算出方法

表-1 バイオ炭CO₂固定量の計算条件

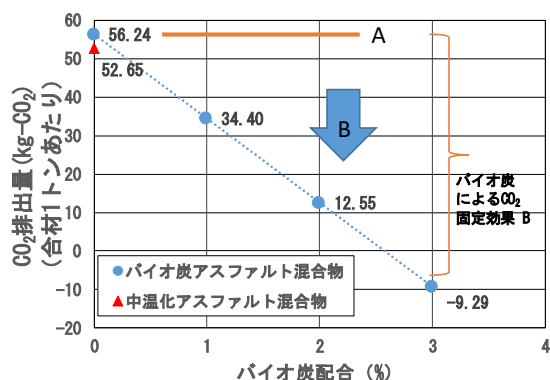
要素	詳細
炭素含有率	分析試験（日本バイオ炭普及会規格JBAS0002）で得られた難分解性炭素の質量比：77.6%
100年後の炭素残存率	J-クレジットの方法論で定められているオガ炭を土壌へ施用した場合の89%を引用
CO ₂ 分子量/C原子量 (=44/12)	貯蔵する炭素質量をCO ₂ として質量変換した



図-3 使用したバイオ炭の製造フロー

表-2 各材料のCO₂排出原単位とCO₂排出量

800トン当たり					
名称	単位	原単位 (kg-CO ₂ /t)	数量(t)	排出量 (kg-CO ₂)	
素材	6号砕石	t	7.98	287.28	2,292.49
	7号砕石	t	7.98	120.96	965.26
	スクリーニングス	t	7.98	120.96	965.26
	粗砂	t	11.54	120.96	1,395.88
	細砂	t	11.54	41.02	473.37
	バイオ炭	t	-2,300.00	19.46	-44,758.00
	石粉	t	5.41	45.36	245.40
輸送 砕石・バイオ炭の輸送 距離20km Asの輸送距離240km	アスファルト	t	107.56	44	4,732.64
	砕石・砂 輸送(軽油)	L	4.19	793.316	3,323.99
	バイオ炭輸送(軽油)	L	4.19	23.92	100.22
	石粉輸送(軽油)	L	4.19	52.164	218.57
製造	アスファルト輸送(軽油)	L	4.19	359.04	1,504.38
	電力	kWh	0.46	8000	3,680.00
	A重油	L	2.91	6165	17,940.15
その他	軽油	L	2.95	256	755.20
	未集計分等 見込み値(アスコン)	t	7.72	800	6,176.00
計					10.82
1トンあたり					0.01

図-4 バイオ炭配合量とCO₂排出量

2.3 バイオ炭アスファルト混合物の混合物特性

2.3.1 バイオ炭の性状

本検討で使用したバイオ炭の外観を写真-1に、性状を表-3に示す。バイオ炭は多孔質であるため、密度は一般的な骨材よりも小さい傾向を示している。また、粒度については、2.36mmふるいを100%通過し、細骨材に近い粒度分布となっている。



写真-1 バイオ炭の外観

表-3 バイオ炭の性状

項目		試験値
密度(g/cm ³)		1.702
通過質量百分率	2.36 mm	100
	0.6 mm	70.5
	0.3 mm	50.8
	0.15 mm	27.3
	0.075 mm	17.4

2.3.2 バイオ炭アスファルト混合物の各種性状

本検討では、密粒度アスファルト混合物(13)に配合される細骨材(細砂)の一部をバイオ炭で置き換え、アスファルト混合物への適用性を評価した。なお、バイオ炭の全骨材量に対する配合割合は2%、3%、4%の3水準とし、「配合なし(0%)」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、それぞれの配合割合ごとに配合設計を実施し、各々最適アスファルト量を算出した。

配合設計結果から、バイオ炭配合量3%および4%の最適アスファルト量は、「配合なし」の混合物と比較すると、それぞれ0.2%および0.5%増加し、バイオ炭混合によりアスファルトの吸収性が高くなることを確認した。一方、2%の配合割合では、バイオ炭の配合による影響は受けず、「配合なし」と同一の最適アスファルト量を示した。各配合で算出した最適アスファルト量にて実施した混合物性状試験結果を表-4に示す。

(1) マーシャル安定度

バイオ炭の配合割合によらず、すべての配合で「配合なし」と同等の性状であり、目標値である4.9kN以上を満足した。また、残留安定度もすべての配合で通常のアスファルト混合物と同等以上の値を示し、十分な剥離抵抗性を有していると判断される。

(2) 動的安定度

バイオ炭の配合割合によらず、動的安定度は6,000回/mm程度であった。「配合なし」と比べて30%程度高い値を示し、十分な耐流動性を有していると判断される。

(3) 曲げ強度および破断時のひずみ

試験温度-10℃における曲げ強度は、バイオ炭の配合割合によらず、すべての配合で「配合なし」と同等の値を示した。破断時のひずみについてもすべての配合で「配合なし」と同程度の性状を示し、バイオ炭の配合が曲げ特性に影響がないことを確認した。

(4) 曲げ疲労破壊回数

曲げ疲労試験条件は、首都高速道路㈱に準拠し、与ひずみ900 μ 、試験温度0℃、載荷周波数5Hzにて実施した。また、破壊回数は、バイオ炭の配合割合によらず、「配合なし」と同等の性状を有していることを確認した。

以上の結果より、バイオ炭の配合割合が大きいほど最適アスファルト量が増加する傾向にあるものの、アスファルト混合物性状への影響はないと判断できる。

表-4 混合物性状一覧

混合物性状	バイオ炭配合割合(%)				目標値
	0	2	3	4	
最適アスファルト量(%)	5.4	5.4	5.7	5.9	-
マーシャル安定度(kN)	12.1	12.7	12.0	12.5	4.9 以上
残留安定度(%)	81.0	82.7	86.7	85.9	75 以上
動的安定度(回/mm)	4,631	6,417	5,918	6,250	-
曲げ強度(N/mm ²)	10.4	11.0	10.8	10.4	-
破断時のひずみ($\times 10^{-3}$)	6.01	5.48	5.75	5.40	-
曲げ疲労破壊回数(回)	610	607	607	600	-

※使用アスファルト：ポリマー改質アスファルトⅡ型

3. バイオ炭アスファルト混合物の現場適用

室内検討結果を踏まえ、バイオ炭アスファルト混合物を現場適用した事例を以下に示す。

3.1 アスファルト合材プラント構内道路への適用

3.1.1 試験練り

自社のアスファルト合材プラントにて、バイオ炭アスファルト混合物を対象に、実機プラントでの混合性、製造性を評価するため、試験練りを実施した。試験練り条件を表-5に示す。本試験練りでは、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、バイオ炭配合の有無の2水準により比較を行った。なお、バイオ炭有については、カーボンネガティブと試算される3%の配合とし、事前の配合設計により最適アスファルト量はともに5.4%であることを確認した。また、試験練りでは、バイオ炭はミキサーの粉体投入口よりドライミキシング前に直接投入し、ドライミキシング時間を7秒、ウェットミキシング時間を40秒とした。

練り落とし混合物を写真-2に示す。アスファルトの被膜不良などは確認されず、良好な混合性を確認することができた。また、練り落とされた混合物を用いて供試体

を作製し、混合物性状試験を実施した結果を表-6に示す。

マーシャル安定度および残留安定度は、配合なしと同等の値を示し、目標値を満足することを確認した。また、動的安定度についても、6,000回/mm以上の値を示し、配合なしと比較しても十分な耐流動性を有していると判断した。以上の結果から、実機プラントを用いたバイオ炭アスファルト混合物の混合性および混合性状は良好であることを確認した。

表-5 試験練り条件

配合	密粒度アスファルト混合物(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%(配合なしと同様のAs量)
バイオ炭配合割合	3%
ミキシング時間	Dry7秒、Wet40秒
バイオ炭投入方法	粉体投入口より人力投入



写真-2 練り落とし混合物

表-6 試験練り混合物の性状

混合物性状	配合割合(%)		目標値
	0	3	
マーシャル安定度(kN)	15.1	16.6	4.9 以上
残留安定度(%)	92.0	91.4	75 以上
動的安定度(回/mm)	7,058	11,250	-

3.1.2 試験施工

試験練りの結果を踏まえ、バイオ炭アスファルト混合物の施工性および供用性を評価するため、2023年12月に試験施工を実施した。試験施工の概要を表-7に示す。施工場所は、自社プラントの構内道路において、大型ダンプトラックが頻繁に通行する箇所を選定した。また、施工機械や施工方法は、写真-3に示すように、通常のアスファルト混合物と同様の施工体制で行った。

本試験施工は12月の実施であったが、目標施工温度範囲内で施工することができた。また、施工性に問題はなく、舗装の仕上がりについても通常の密粒度アスファルト混合物(13)と同様の舗装表面となった(写真-4)。なお、現場コアを採取し、締固め度を算出した結果は、97.3%となり、通常のアスファルト混合物と同程度の締固め性であることを確認した。

表-7 試験施工の概要

使用混合物	改質Ⅱ型 密粒度 As 混合物(13)
バイオ炭配合割合	3%
施工場所	アスファルトプラント構内道路
施工厚さ	t=50 mm
施工面積	W3.5 m×L15.5 m=54.25 m ²

※使用アスファルト：ポリマー改質アスファルトⅡ型



写真-3 バイオ炭アスファルト混合物の施工状況



写真-4 施工完了後仕上がり

3.1.3 追跡調査

供用1ヵ月後、5ヵ月後および1年後に目視確認とマルチロードプロファイラー、振子式スキッドレジスタンステスターを用いて路面性状の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、BPN 値の3項目である。施工直後と比較した測定結果を以下に示す。

(1) ひび割れ率

ひび割れは供用1年後においても発生しておらず、ひび割れ率0%と、健全な状態を維持している(写真-5)。

(2) わだち掘れ量

図-5 に示すように、わだち掘れ量は、供用直後から増加は認められず、健全な状態を維持している。

(3) BPN 値

図-6 に示すように、供用1年後のBPN 値は、供用直後の70 から67 と若干低下しているが、減少量は小さく健全な状態を維持している。



写真-5 供用1年後の路面

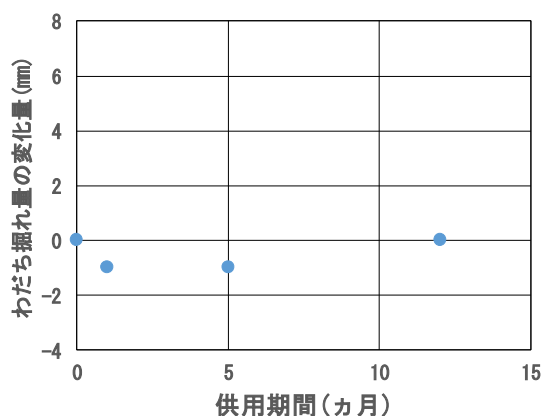


図-5 わだち掘れ量の変化量

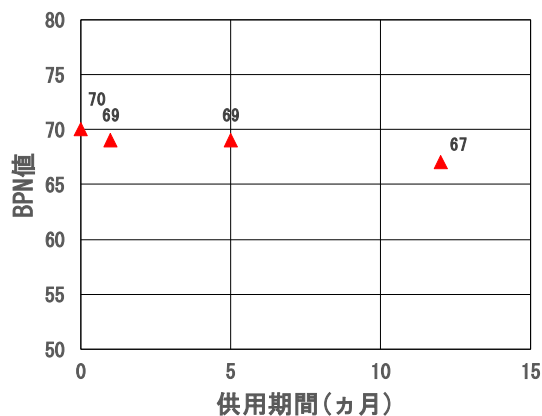


図-6 BPN 値の経時変化

3.2 物流施設の車両通行路への適用

2024 年 11 月に物流施設構内の車両通行道路にてバイオ炭アスファルト混合物を施工した。施工条件を表-8に示す。施工性に問題はなく、舗装の仕上がりについても通常の密粒度アスファルト混合物(13)と同程度の舗装表面であることを確認した(写真-6)。

表-8 施工条件

使用混合物	改質Ⅱ型 密粒度 As 混合物(13)
バイオ炭配合割合	3%
施工場所	物流施設構内の車両通行路
施工厚さ	80 mm
施工面積	W6.5 m×L15.5 m=100.75 m ²



写真-6 施工完了状況

本施工箇所は物流施設の構内であるため、大型車両の頻繁な通行があるが、供用1ヵ月経過時点では、ひび割れ等の発生は確認されておらず、良好な状態を維持している。今後も引き続き供用性を確認する予定である。

3.3 再生アスファルト混合物への適用

自社プラントで再生密粒度アスファルト混合物(13)(再生骨材配合率50%)の細骨材の一部をバイオ炭で置換し、混合物性状を評価した。結果を表-9に示す。

表-9 再生アスファルト混合物の混合物性状

混合物	バイオ炭 配合割合 (%)	As 量 (%)	安定度 (kN)	動的安定度 (回/mm)
バイオ炭無	0	5.5	13.2	5,976
バイオ炭有	3	5.6	14.9	6,407

結果から、バイオ炭配合の有無によらず、混合物性状は同等であった。したがって、再生アスファルト混合物

においてもバイオ炭の適用性は問題ないと判断できる。今後、実道での検証も進めていきたいと考える。

4. まとめ

バイオ炭アスファルト混合物の開発を行った結果は以下のとおりである。

- ① アスファルト混合物に係るCO₂排出量を、炭素貯留によるCO₂削減量でオフセットし、アスファルト混合物としてのCO₂排出量を低減できる。
- ② バイオ炭は、貯留した炭素量に応じたCO₂固定効果を有し、アスファルト混合物への少量の添加・配合であっても大きくCO₂排出量を削減でき、削減効果は中温化アスファルト混合物を大きく上回る。
- ③ カーボンニュートラルが実現可能な環境配慮型アスファルト混合物を専用資材(フォームドアスファルト発生装置や中温化用アスファルトバインダ)等を用いることなく汎用的に製造・出荷することが可能である。
- ④ バイオ炭を配合したアスファルト混合物の性状は、通常のアスファルト混合物と同等であり、新規・再生アスファルト混合物ともに適用可能である。
- ⑤ 自社プラントの構内道路や物流施設の車両通行路に適用済みであり、施工性・供用性は良好である。

以上より、カーボンニュートラルを達成でき、一般的なアスファルト混合物と施工性および品質が同等の汎用的な環境配慮型アスファルト混合物の開発を実現することができた。今後、環境工法としてバイオ炭アスファルト舗装を普及・推進することで、費用対効果に優れた新たな環境価値を提供し、2050年カーボンニュートラルの実現に寄与していく所存である。

【参考文献】

- 1) 舗装の環境負荷低減に関する算定ガイドブック 平成26年1月 公益社団法人 日本道路協会
- 2) 一般社団法人 日本アスファルト合材協会 アスファルト合材製造数量推移(全国)から抜粋
- 3) 2022年度温室効果ガス排出・吸収量(2024年4月発表) 環境省 HP
- 4) 低炭素(中温化)アスファルト舗装の手引き令和6年5月 一般社団法人 日本道路建設業協会 一般社団法人 日本アスファルト合材協会
- 5) バイオ炭の農地施用をめぐる事情 令和6年11月 農林水産省 農産局 農業環境対策課
- 6) バイオ炭の農地施用方法論参照：
https://japancredit.go.jp/pdf/methodology/AG-004_v2.1.pdf J-クレジット HP