

カーボンニュートラルを実現する 環境配慮型アスファルト混合物の検討

立花 徳啓¹・平松 大銘¹・廣郡 俊彦²・川村 修³

¹正会員 日本道路株式会社 生産技術本部技術研究所（〒300-0028 茨城県土浦市おおつ野 1-4-1）

E-mail: norihiro.tachibana@nipponroad.co.jp（Corresponding Author）

²正会員 日本道路株式会社 生産技術本部技術部（〒105-0023 東京都港区芝浦 1-2-3 シーバンス S 館）

³非会員 日本道路株式会社 営業本部総合企画課（〒105-0023 東京都港区芝浦 1-2-3 シーバンス S 館）

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・品質が同等である、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。本検討では、バイオ炭アスファルト混合物の性状を確認するために、細骨材の一部をバイオ炭に置換え、バイオ炭を全骨材量の2%、3%、4%配合した場合の混合物性状を評価した。その結果、バイオ炭の配合量が多くなると必要とするアスファルト量が増加する傾向にあるが、配合量4%であっても配合なしと同等の混合物性状が得られることを確認した。また、現場への適用を行った結果、通常のアスファルト混合物と同様の施工機械、施工体制で問題なく施工可能であることを確認した。

Key Words: Biochar, Carbon neutral, Carbon storage, Asphalt mixture, CO₂ reduction

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、アスファルト混合物製造時1tあたり56kg-CO₂/t程度¹⁾のCO₂排出量と試算されている¹⁾。また、近年のアスファルト混合物の製造数量の統計によれば、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。

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させた中温化技術など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。しかしながら、フォームドアスファルト発生装置³⁾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・品質が同等である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検討を行った。本報ではバイオ炭アスファルト混合物の概要、性状確認試験、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

(1) バイオ炭の概要と炭素貯留の考え方

バイオ炭の原料となる木材は、光合成の過程で吸収したCO₂に由来する炭素を含んでいる。通常の下自然条件下では、微生物の活動等により分解され、CO₂として大気中に再放出される。しかし、木材等を炭化し、微生物により分解されにくい「バイオ炭」とすることで、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定化することが可能である。

バイオ炭は2019年改良IPCCガイドラインにおいて、「燃焼しない水準に管理された酸素濃度の下、350°C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⁴⁾。また、バイオ炭に構成されている難分解性炭素は、炭化過程で有機物中の炭素が、通常の下自然条件下では分解しにくい形態に変化したものである。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⁵⁾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) バイオ炭アスファルト混合物の CO₂ 排出量の試算

a) 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^{注4)}に準拠し、図-1 のように求めた。「バイオ炭による 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压成形・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-2 に示す。

b) バイオ炭アスファルト混合物 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-3 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している。表-2 より、合材 800 t のうち、バイオ炭を 19.46 t (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-3 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 метод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。

3. バイオ炭アスファルト混合物の混合物特性

(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

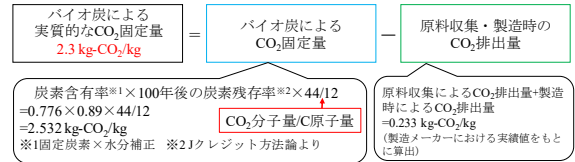


図-1 バイオ炭による実質的な CO₂ 固定量の算出方法

表-1 バイオ炭の CO₂ 固定量の計算

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壤へ施用した場合の 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

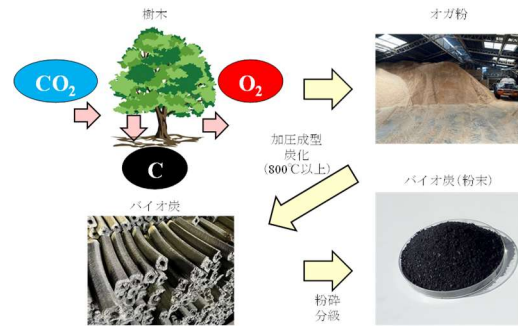


図-2 使用したバイオ炭の製造フロー

表-2 バイオ炭の CO₂ 固定量の計算条件 (800 t 当り)

名称	単位	原単位 (kg-CO ₂ /t)	数量 (t)	排出量 (kg-CO ₂)	
素材	6号碎石	t	7.98	287.28	2,292.49
	7号碎石	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
アスファルト	t	107.56	44	4,732.64	
輸送 碎石・バイオ炭の輸送 距離20km Asの輸送距離240km	碎石・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
	アスファルト輸送 (軽油)	L	4.19	359.04	1,504.38
製造	電力	kWh	0.46	8000	3,680.00
	A重油	L	2.91	6165	17,940.15
	軽油	L	2.95	256	755.20
その他	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

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数値を示している。また、粒度については、2.36 mmふるいを100%通過し、細骨材に近い粒度分布となっている。

(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」の混合物と比較して、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よる混合物性状試験結果を表-4に示す。

a) 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4.9 kN以上を満足している。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。

b) 動的安定度

ホイールトラッキング試験の結果を図-4に示す。バイオ炭の配合割合によらず、動的安定度は6,000回/mm程度である。「配合なし」と比較し30%程度高い値を示しており、「配合なし」と同等以上の耐流動性を有していると判断できる。

c) 曲げ強度および破断時のひずみ

曲げ試験の結果を図-5に示す。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」と同等の値を示している。一方、破断時のひずみはすべての配合で「配合なし」よりもわずかに低い値を示している。破断時のひずみの低下は、ひび割れ抵抗性への影響が考えられるが、曲げ疲労試験の結果も踏まえて、以下に考察する。

d) 曲げ疲労破壊回数と複素弾性率

曲げ疲労試験の結果を図-6、図-7に示す。試験条件は、首都高速道路(橋)に準拠し、与ひずみ900μ、試験温度0℃、载荷周波数5Hzにて実施した。破壊回数は、バイオ炭の配合割合によらず、600回程度であり、「配合なし」と同等の値を示している。また、複素弾性率も、バイオ炭の配合によらず8,000MPa程度であり、「配合なし」と同等の値を示している。複素弾性率はアスファルト混合物の見かけの弾性係数に相当し、疲労破壊回数と関連性が高い。バイオ炭配合による複素弾性率の変化は200MPa程度と小さいことから、ひび割れ抵抗性への影響は小さいと

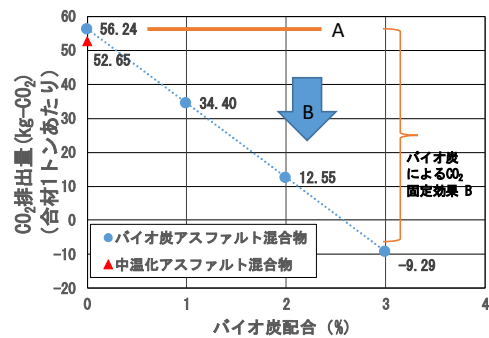


図-3 バイオ炭配合量とCO₂排出量



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

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	12.5	4.9以上
残留安定度 (%)	81	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	10.8	10.4	-
破断時のひずみ (×10 ⁻³)	6.01	5.48	5.75	5.4	-
曲げ疲労破壊回数 (回)	610	607	607	600	-
複素弾性率 (MPa)	8,229	8,105	7,985	7,869	-

使用アスファルト：ポリマー改質アスファルトII型

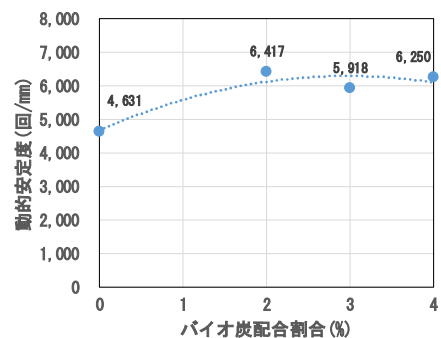


図-4 動的安定度の変化

判断される。本検討では一水準のみの結果であるため、今後与ひずみ、試験温度、載荷周波数を変化させた水準で試験を実施し、ひび割れ抵抗性をより詳細に評価していきたい。

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の性状に影響は小さいと判断できる。

4. バイオ炭アスファルト混合物の現場適用

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-5に示す。施工機械や施工方法は、通常のアスファルト混合物と同様の施工体制で行った。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)と同程度の舗装表面であることを確認した(写真-2)。本施工箇所は、大型車両の頻繁な通行があるが、供用6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評価する予定である。

5. まとめ

バイオ炭を配合することで、アスファルト混合物の製造に係るCO₂排出量を炭素貯留によるCO₂削減量でオフセットし、中温化アスファルト混合物よりも大幅にCO₂排出量を低減可能であることを確認した。バイオ炭の配合量を調整することでカーボンニュートラルを実現可能なアスファルト混合物を、フォームド発生装置等の専用資材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。また、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ることを確認した。さらに、バイオ炭アスファルト混合物は、通常のアスファルト混合物と同様の施工機械、施工体制で問題なく施工可能であることを確認した。今後、環境配慮型アスファルト混合物の普及・推進することで、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きたい。

NOTES

- 注1) (一社)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
- 注2) (一社)日本道路建設業協会、(一社)日本アスファルト合材協会：低炭素(中温化)アスファルト舗装の手引き、2024
- 注3) 農林水産省 農産局 農業環境対策課：バイオ炭の農地施用をめぐる事情
- 注4) J-クレジット HP (2025.6.5 閲覧)
https://japancredit.go.jp/pdf/methodology/AG-004_v2.1.pdf バイオ炭の農地施用方法論参照

REFERENCES

- 1) (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、2014

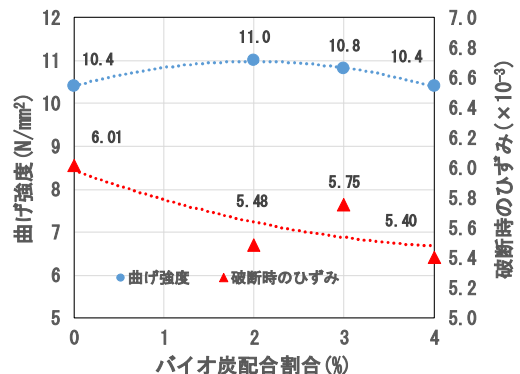


図-5 曲げ試験結果

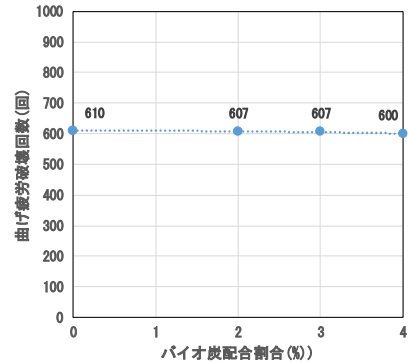


図-6 曲げ疲労試験結果(破壊回数)

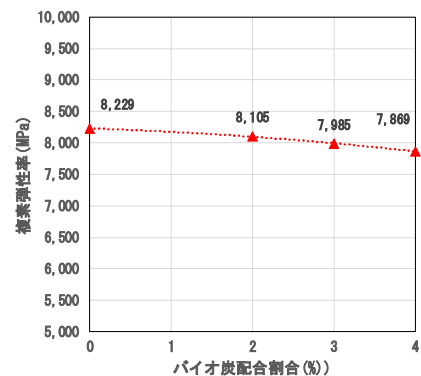


図-7 曲げ疲労試験結果(複素弾性率)

表-5 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-2 舗装の仕上がり