

# 汎用技術で製造可能な環境配慮型アスファルト混合物の開発

|       |       |     |    |
|-------|-------|-----|----|
| 日本道路㈱ | 技術研究所 | ○立花 | 徳啓 |
| 日本道路㈱ | 技術研究所 | 工藤  | 朗  |
| 日本道路㈱ | 技術部   | 廣郡  | 俊彦 |

## 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 CO<sub>2</sub> 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 1 t あたり 56 kg-CO<sub>2</sub>/t 程度<sup>1)</sup>の CO<sub>2</sub> 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 t<sup>2)</sup>であり、約 202 万 t (56×3,600 万 t) の CO<sub>2</sub> 排出量の試算となる。

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した中温化技術など CO<sub>2</sub> 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<sup>3)</sup>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、混合物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、CO<sub>2</sub> 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、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。

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<sup>4)</sup>。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。

本来、有機物中の炭素は、植物が光合成の過程で大気中の CO<sub>2</sub> を吸収したもので、通常の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 CO<sub>2</sub> が戻ってしまう。そのため、通常であれば大気中の CO<sub>2</sub> 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<sup>5)</sup>では、バイオ炭を農地土壤に施用することで、土壤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 CO<sub>2</sub> 排出量の試算

(1) バイオ炭による CO<sub>2</sub> 固定量

バイオ炭アスファルト混合物の CO<sub>2</sub> 排出量の試算に必要なバイオ炭の実質的な CO<sub>2</sub> 固定量 (CO<sub>2</sub> 排出原単位に相当) は、J-クレジットの方法論<sup>5)</sup>に準拠し、図-1 のように求めた。「バイオ炭による CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 排出量」は、バイオ炭の原料収集および製造で発生する CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 固定量は、2.3 kg-CO<sub>2</sub>/kg と試算された。なお、バイオ炭は、図-2 に示すように、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。

(2) バイオ炭アスファルト混合物の CO<sub>2</sub> 排出量

CO<sub>2</sub> 排出量の試算に使用した各材料の CO<sub>2</sub> 排出原単位<sup>り</sup>と数量などを表-2 に、バイオ炭配合量に応じた CO<sub>2</sub> 排出量を試算した結果を図-3 に示す。なお、バイオ炭は CO<sub>2</sub> を固定するため、CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 排出量 (A) は、56 kg-CO<sub>2</sub>/t であるが、バイオ炭による CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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-CO<sub>2</sub>/t の CO<sub>2</sub> 排出量を低減できる。一方、中温化アスファルト混合物の CO<sub>2</sub> 低減量を試算すると、約 3 kg-CO<sub>2</sub>/t<sup>1)</sup> 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 CO<sub>2</sub> 固定効果を持つことがわかる。

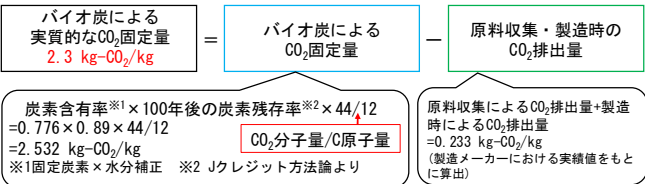


図-1 バイオ炭による実質的な CO<sub>2</sub> 固定量の算出方法

表-1 バイオ炭の CO<sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> 分子量 / C 原子量 (=44/12) | 貯蔵する炭素質量を CO <sub>2</sub> として質量変換した                |

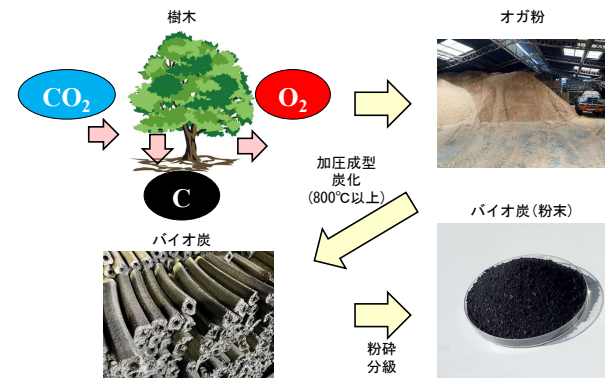


図-2 使用したバイオ炭の製造フロー

表-2 バイオ炭の CO<sub>2</sub> 固定量の計算条件

| 800トン当たり                                   |                      |     |                             |         |                           |
|--------------------------------------------|----------------------|-----|-----------------------------|---------|---------------------------|
| 名称                                         |                      | 単位  | 原単位 (kg-CO <sub>2</sub> /t) | 数量 (t)  | 排出量 (kg-CO <sub>2</sub> ) |
| 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<br>碎石・バイオ炭の輸送<br>距離20km<br>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<br>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                      |

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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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。

## 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、2.36 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。

### 2.3.2 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。バイオ炭の配合割合によらず、すべての配合で「配合なし」と同等の性状を示し、アスファルト混合物性状への影響はないと判断できる。

## 3. バイオ炭アスファルト混合物の現場適用

### 3.1 アスファルト合材プラント構内道路への適用

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-5 に示す。施工場所は、

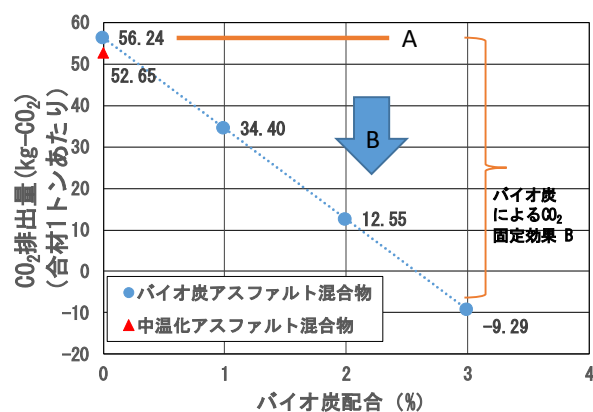


図-3 バイオ炭配合量と CO<sub>2</sub> 排出量



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 <sup>3</sup> ) | 1.702    |
| 通過質量百分率 %               | 2.36 mm  |
|                         | 0.6 mm   |
|                         | 0.3 mm   |
|                         | 0.15 mm  |
|                         | 0.075 mm |

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 | -     |

表-5 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 <sup>2</sup> |

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-2 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-3)。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。

供用 1 年後に追跡調査を実施した結果、ひび割れは発生しておらず、わだち掘れ量の増加も認められないことから、健全な状態を維持している。

### 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-6 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-4)。

## 4. まとめ

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貢献していきたい。

#### 【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 (公社) 日本道路協会
- 2) (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
- 3) 低炭素(中温化)アスファルト舗装の手引き令和 6 年 5 月 (一社) 日本道路建設業協会 (一社) 日本アスファルト合材協会
- 4) 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
- 5) 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](https://japancredit.go.jp/pdf/methodology/AG-004_v2.1.pdf) J-クレジット HP



写真-2 バイオ炭混合物の施工状況

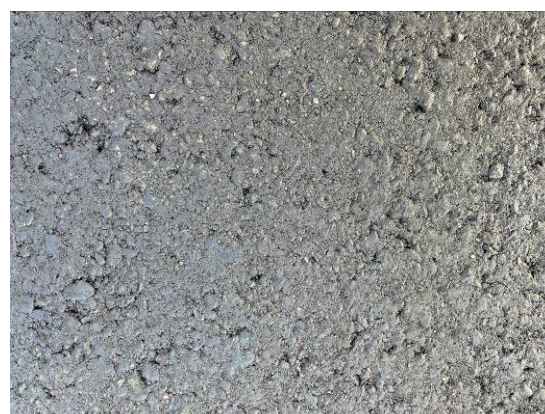


写真-3 仕上がり面の状況

表-6 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 <sup>2</sup> |



写真-4 施工完了状況