

# 舗装用アスファルトの代替材料に関する基礎的研究

研究予算：運営費交付金

研究期間：令4～令5

担当チーム：材料資源グループ、舗装チーム

研究担当者：百武壮、佐々木巖、川島陽子

藪雅行、田中俊輔

## 【要旨】

2050年カーボンニュートラルの政府方針を受け、国土交通省でも「国土交通グリーンチャレンジ」が発表されるなど、カーボンニュートラル実現に向けた取り組みが活発化している。カーボンニュートラルの実現に向けて、石油産業において、石油精製量は減少する見込みであり、アスファルトの生産量も減少することが予想される。今後も安定的に舗装の維持更新が続けられるようにするためには、アスファルトの代替材料の検討が必要である。エネルギー分野においては、石油由来から植物由来への代替が進められており、材料分野でも同様に、アスファルト系材料を代替する植物由来材料の活用が期待される。国内外で植物由来のアスファルト代替材料やアスファルト再生用添加剤の開発が始まりつつあるが、実用化には至っていない。そこで、本研究では、植物由来材料を用いたアスファルト代替材料およびアスファルト再生用添加剤の実態調査や性状評価を行い、実用化に向けた課題整理を行った。その結果、植物由来材料以外にも、リサイクル材を活用した様々な代替材料の存在が明らかとなり、それらの適用可能性を見出した。アスファルト代替材料単体での基礎性状や、混合物としての性状から、通常のアスファルト混合物と同等性能を示す可能性を見出した。代替材料の劣化や耐久性を評価するための試験方法や評価項目の検討や、再生への適用するための抽出溶剤の検討などが、実用化に向けた課題と考えられる。  
キーワード：カーボンニュートラル、アスファルト代替、植物由来、耐久性評価

## 1. はじめに

2050年カーボンニュートラルの政府方針を受け、国土交通省でも「国土交通グリーンチャレンジ」が発表されるなど、カーボンニュートラル実現に向けた取り組みが活発化している。

石油産業において、石油精製量は減少する見込みであり、アスファルトの生産量も減少することが予想される。今後も安定的に舗装の維持更新が続けられるようにするためには、アスファルトの代替材料の検討が必要である。

近年、国内外で植物由来のアスファルト代替材料やアスファルト再生用添加剤の開発が報告されており、海外では適用事例も増えてきている。国内で実用化には至っておらず、また、日本では舗装は高いリサイクル率を誇り、再生混合物の使用が中心となっているため再生技術に適した材料が必要であると考えられる。

本研究では、植物由来材料を用いたアスファルト代替材料およびアスファルト再生用添加剤の実態調査や性状評価を行い、実用化に向けた課題整理を行うことを目的とした。

## 2. アスファルト代替材料の適用性検討

### 2.1 アスファルト代替材料の実態把握

アスファルトや再生用添加剤の代替となり得る新たな舗装材料の実態把握と基本性状の調査のため、土木研究所では共同研究「カーボンニュートラルに資する新たな舗装材料開発に向けた基礎研究」(令4～令5)を実施した。共同研究における提案技術の概要を表-1に示す。

提案技術Aはリサイクルが難しい廃PETを原料に化学変性した材料を改質材として、半たわみ性舗装程度の耐久性を有するアスファルト混合物の技術である。

提案技術Bは松材からパルプを製造する際に副生する粗トル油を精留したロジンを利用した再生用添加剤や、ロジンや脂肪酸各化合物を組み合わせ、変性により設計したアスファルトの代替バインダである。

提案技術Cは天然アスファルトや市販の植物由来油脂を混合したアスファルトの代替バインダである。再生混合物については、これらの代替バインダとリサイクル材を添加することで適用可能である。

提案技術Dは植物由来原料を用いた水硬化型の加熱アスファルト混合物をベースとし、従来よりもCO<sub>2</sub>原単位の小さい原料への置換を図った、カーボンニュートラルに資するアスファルト混合物である。

表-1 共同研究での提案技術の概要

	提案技術	使用材料	概要
A	廃 PET を原料としたポリエステル樹脂によるアスファルト改質材	リサイクル材	廃 PET 由来のポリエステル樹脂によりアスファルトと骨材の親和性及吸着力を強化し、半たわみ舗装並みの耐久性を実現できる改質材
B	植物由来ロジン(松脂)および脂肪酸を用いたアスファルト代替バインダ、再生用添加剤	植物由来材料	松材からパルプを製造する際に副生する粗トール油を精留したロジン、脂肪酸各化合物の組み合わせ及び変性により設計した舗装材料
C	天然アスファルト、植物性油脂および廃プラスチックを用いた代替材料	天然アスファルト 植物由来材料 リサイクル材	天然アスファルト、植物性油脂、および廃プラスチック材料によるアスファルトの代替となる舗装材料
D	植物由来原料を使用した水硬化型の加熱アスファルト混合物	植物由来材料	アスファルトの一部に植物由来の原料置き換えて使用する技術をベースとして、CO <sub>2</sub> 原単位の低い原料を用いた混合物
E	植物由来樹脂を用いたアスファルト代替バインダ	植物由来材料	植物油を主原料とした樹脂を用いた改質剤の技術や知見を生かした 100%アスファルトの代替となるバインダ
F	植物由来素材を用いたアスファルト代替バインダ	天然アスファルト 植物由来材料	植物由来の油や樹脂、天然アスファルト由来の成分を組み合わせストレートアスファルト同等の性能を有するバインダ

提案技術 E は植物由来樹脂を使用し、ストレートアスファルトや改質アスファルト相当に粘弾性状が調整されたバインダを製造可能な技術であり、100%アスファルトの代替となるバインダである。

提案技術 F は植物由来の油や樹脂などの成分を組み合わせ、ストレートアスファルト相当の性状を有するバインダを製造し、再生混合物における新アスファルトを代替するバインダである。

上述の技術は、共同研究における提案技術であり、国内の舗装材料の代替材料に関する研究開発の一部ではあるが、アスファルトの代替となるバインダだけでなく、再生用添加剤や改質材の代替についても開発が進んでいることがわかった。

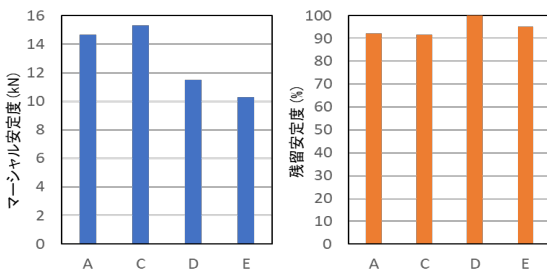


図1 提案技術の基礎的性状(例)

提案技術を用いて作製した混合物の基礎的性状(図1)について、マーシャル安定度は4.9kN以上を満たし、残留安定度75%以上であることから、通常のアスファルト混合物と同等性能を有する可能性を示した。

## 2.2 植物由来材料の再生用添加剤の適用性検討<sup>1)</sup>

### 2.2.1 概要

植物由来材料を用いた舗装材料の適用性検討として、ここでは提案技術 B の再生用添加剤を用いた再生アスファルト混合物の性状評価について報告する。

具体的には、開発した再生用添加剤の液物性が標準性状を満足するかを確認し、繰返し劣化・再生試験により劣化したアスファルトの再生性能を評価した。また、再生アスファルト混合物を作製し、その性状についても評価を実施した。

### 2.2.2 試験概要

#### (1) アスファルトの繰返し劣化・再生試験

室内での促進劣化試験によるアスファルトの劣化と再生用添加剤を加えてアスファルトを再生する操作を繰返し、劣化・再生の各段階における各種性状を測定した。ベースとなる初期の促進劣化手法としては、新規ストレートアスファルト 60/80 を薄膜加熱試験(TFOT)および加圧劣化試験(PAV)によって劣化させた。なお、目標針入度が 20 となるように、PAV の時間を調整した。この劣化アスファルトに対して再生用添加剤を加えて目標針入度 70 として再生した。再生

表-2 性状試験

対象	試験	試験条件
再生用添加剤	液物性(引火点、動粘度、密度)	舗装調査・試験法便覧 <sup>2)</sup>
	薄膜加熱質量変化率	
	薄膜加熱後の粘度比	
	組成分	TLC-FID 法 (JPI-5S-77-2019) <sup>3)</sup>
再生アスファルト	軟化点	舗装調査・試験法便覧 <sup>2)</sup>
	伸度	
再生アスファルト混合物	密度試験	舗装調査・試験法便覧 <sup>2)</sup>
	マーシャル安定度試験	
	圧裂試験	舗装調査・試験法便覧 <sup>2)</sup> (0°C、25°C、60°C)
	高温カンタプロ試験	既往研究 <sup>4)</sup> に準拠 (試験機内壁温度 30°C、供試体温度 60°C)

表-3 再生用添加剤の液物性

測定項目	標準的性状	植物系	石油系 A	石油系 B
引火点 (°C)	250 以上	258	312	264
動粘度(mm <sup>2</sup> /s, 60°C)	80-1000	84	465	865
薄膜加熱質量変化率(%)	±3 以内	-0.39	0.02	-0.67
薄膜加熱後の粘度比(60°C)	2 以下	1.19	1.2	1.07
密度(g/cm <sup>3</sup> , 15°C)	0.95 以上が好ましい	0.94	0.97	0.91

表-4 再生用添加剤の組成分析結果

	組成(%)			
	飽和分	芳香族分	レジン分	アスファルテン分
植物系	0	76.2	23.2	0.6
石油系 A	6.5	84	9.5	0
石油系 B	78.7	14.8	5	0.9

用添加剤として、開発品である植物系再生用添加剤（以下、植物系）と、組成の異なる 2 種類の石油系再生用添加剤（以下石油系 A、B）を使用した。繰り返し劣化・再生回数は最大で 5 回とした。

### (2) 再生アスファルト混合物の作製

再生アスファルト混合物を作製するにあたり、実供用したアスファルト舗装材から製造した再生骨材を使用した。旧アスファルト針入度は 16 であった。再生骨材配合率 60%として密粒度(13)の再生アスファルト混合物を作製した。アスファルト量は 5.0%とした。また、再生用添加剤の添加量はアスファルトの繰り返し劣化・再生試験の再生 1 回目の添加量とした。

### (3) 性状試験

再生用添加剤、再生アスファルトおよび再生アスファルト混合物に対して実施した性状試験結果を表-2 に示す。再生用添加剤は、主に舗装再生便覧<sup>5)</sup>に記載されている標準的性状について物性評価した。混合物の性状試験として、基本的な性状試験(密度試験、

マーシャル安定度試験)の他に、圧裂試験および高温でのカンタプロ試験（以下、高温カンタプロ試験）を行った。既往の研究<sup>4)</sup>により高温カンタプロ試験は高温時のひび割れ抵抗性を評価できる可能性が示唆されており、今回植物系の再生用添加剤により再生された混合物の品質を確認するために試験を実施した。

### 2.2.3 結果

#### (1) 植物由来再生用添加剤の液物性

植物系の再生用添加剤の引火点、動粘度、薄膜加熱後の質量変化率、薄膜加熱後の粘度比および密度の分析結果を表-3 に示す。植物系は、再生便覧<sup>5)</sup>に記載されている再生用添加剤の標準的性状を概ね満足していた。また、TLC-FID 法による成分分析結果を表-4 に示す。石油系 A は組成として芳香族分が多く、石油系 B は飽和分の多い再生用添加剤である。これに対して、植物系は芳香族分が比較的多く、さらに、石油系 A、B と比較してレジン分の含有量も多いことが明らかとなった。

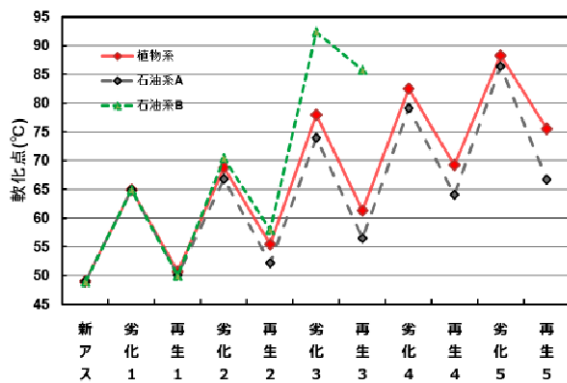


図-2 軟化点

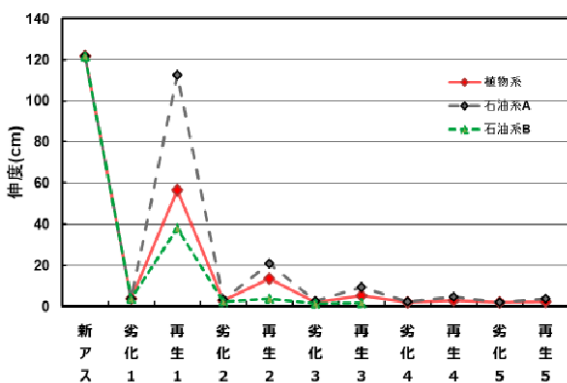


図-3 伸度

(2) 再生アスファルトの性状

図-2 に劣化・再生アスファルトの軟化点を示す。いずれの再生用添加剤の場合でも、劣化により軟化点が大きく増加し、再生することで軟化点が低下するが、劣化・再生回数が増えると軟化点が増加する傾向がみられた。また、石油系 B は劣化 3 回目で顕著に軟化点が増加した。石油系 A と植物系は概ね同等の結果であり、植物系は石油系 A と同様に軟化点の回復効果が高いことが示された。

図-3 に劣化・再生アスファルトの伸度を示す。石油系 A は再生 1 回目で伸度が 100 cm まで回復するが、石油系 B は回復効果が低かった。一方で、植物系は、石油系 A ほどのではないが石油系 B よりも伸度の回

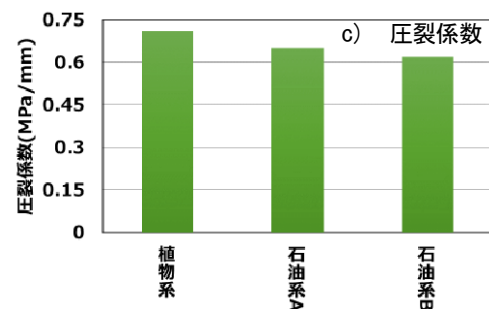
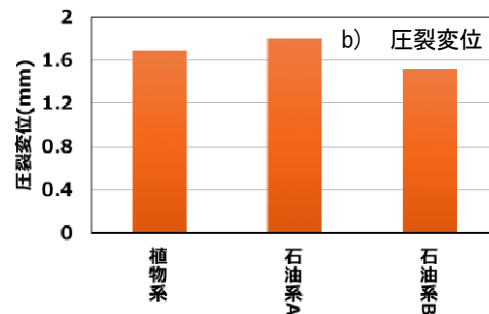
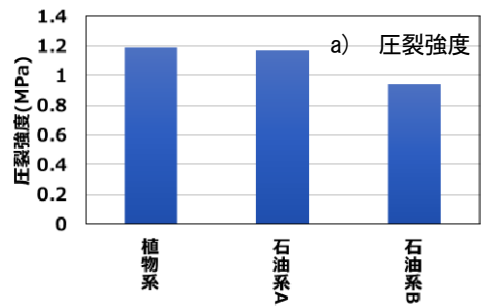


図-4 圧裂試験結果 (25℃)

復効果があることが確認された。なお、再生 1 回目で伸度が 100cm まで回復しなかったのは、新アスファルトを加えず、再生用添加剤のみで再生した影響によるものである。

各試験の結果から、植物系の再生用添加剤は芳香族分の多い再生用添加剤と同等程度の再生性能を有していることがわかった。

(3) 再生アスファルト混合物の性状

表-5 に再生アスファルト混合物の性状試験結果を示す。植物系再生用添加剤を使用して作製した再生ア

表-5 再生アスファルト混合物の基礎性状

	密度平均 (g/cm <sup>3</sup> )	空隙率 (%)	飽和度 (%)	マーシャル安定度 (kN)	フロー値 (1/100 cm)	水浸マーシャル安定度(kN)	残留安定度 (%)
基準値	-	3-6	70-85	4.9	20-40	-	-
植物系	2.378	4.1	73.8	14.4	27	12.6	87.7

表-6 圧裂強度比

	植物系	石油系 A	石油系 B
圧裂強度比	26.0	24.8	23.5

スファルト混合物は、いずれの基準値も満足することを確認した。25°Cにおける圧裂試験結果を図-4に示す。植物系は、圧裂強度が石油系Aと同等程度だった。また、圧裂変位は石油系A>植物系>石油系Bの傾向となり、圧裂係数は植物系が石油系A、Bに比べやや高くなったものの、同等程度の性状だった。

圧裂強度比(0°Cの圧裂強度を60°Cの圧裂強度で除したもの)の結果を表-6に示す。圧裂強度比は、値が小さいとひび割れが発生しやすいとされており、過去の報告<sup>6)</sup>より、圧裂強度比が20程度まで低下すると多くの舗装でひび割れが発生すると考えられている。試験結果より、植物系の圧裂強度比は石油系と同様に20以上の値を示しており、性状に問題ないことがわかった。本結果から植物系再生用添加剤を使用した再生アスファルト混合物は、従来の石油系再生用添加剤を用いて作製したアスファルト混合物と同等以上の性状を有することがわかり、植物系再生用添加剤の適用性を見出した。

高温カンタプロ損失率を図-5に示す。植物系の損失率は1%以下と非常に小さく、石油系A、Bと同等程度の損失率だった。この結果から、植物系で再生した場合でも再生アスファルト混合物の品質は石油系再生用添加剤と用いた場合とで同等の性状を有することがわかった。

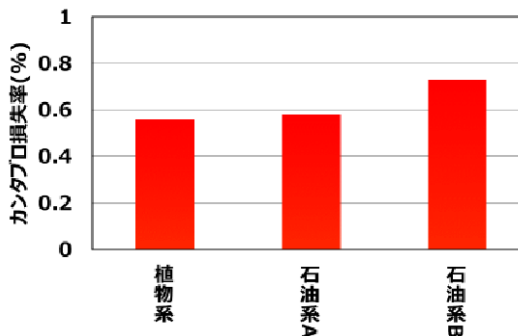


図-5 高温カンタプロ損失率

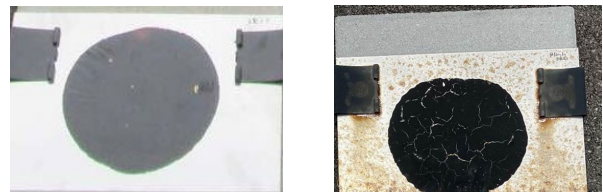
## 2.2.4 まとめ

植物由来原料を使用した再生用添加剤を開発し、液物性評価及び劣化したアスファルトの繰り返し再生試験による再生性能の評価を行った。その結果、植物系再生用添加剤の液体性は標準性状を満たし、芳香族分の多い再生用添加剤を使用したときと同等程度の再生効果を示すことが分かった。また、植物系再生用添加剤を使用した再生アスファルト混合物の性状についても、十分な物理性状を有することが明らかになった。

## 2.3 提案技術の長期耐久性評価

### 2.3.1 暴露試験の実施

提案技術の舗装材料は、アスファルトとは異なるポリマー素材を使用されていることから、紫外線に対する劣化耐性が懸念される。沖縄県大宜味村の土木研究所建設材料耐久性試験施設<sup>7)</sup>において令和4年3月から、各提案技術のアスファルトの薄膜供試体およびアスファルト混合物(30×30×5 cm)を設置し、暴露試験を開始した。



a) 初期

b) 3ヶ月後

図-6 暴露したアスファルト薄膜供試体例

3ヶ月暴露後のアスファルト薄膜供試体の外観例を図-6に示す。通常のスレートアスファルトと同様に、表面にひび割れが見られた。また、植物由来樹脂を使ったものについては、粘性が高く、バインダがダレているような状態のものもあった。ただし、提案技術によって、1年暴露経過後であっても、ひび割れやダレが生じていないものもあり、材料によって紫外線による耐候性に違いがあるものと考えられた。なお、アスファルト混合物については、若干表面の色味の変化が多少見られたが、ひび割れなどの明確な変状はなかった。

材料としての力学性状については、今後の性状試験を実施する予定である。外観観察から、材料によって違いが見られたことから、性状についてもなんらかの差異があるものと考えられる。ただし、従来と同様の手法で性状差異が評価できるかは不明な部分もあり、今後、適切な評価試験について検討する必要がある。

### 2.3.2 促進荷重試験による耐久性評価

提案技術A、C、D、Eの4種類について、土木研究所舗装走行試験場において、促進荷重試験を行った(写真-1)。令和5年3月までに49kN換算輪数で10万～40万輪分の促進荷重試験を実施した。

10万輪分の荷重車走行ごとに実施している路面性状調査の結果の一例として、最も多く促進荷重されている40万輪分)提案技術Aのわだち掘れ量を図-7に示す。現時点では10mm程度のわだち掘れ量となっており、良好な路面状態を維持している。なお、その他



の提案技術においても現時点で破損は見られておらず、良好な路面状態を維持している。引き続き促進載荷試験を継続し、実道への適用性を検証していく必要がある。



写真-1 舗装走行実験場に施工した提案技術

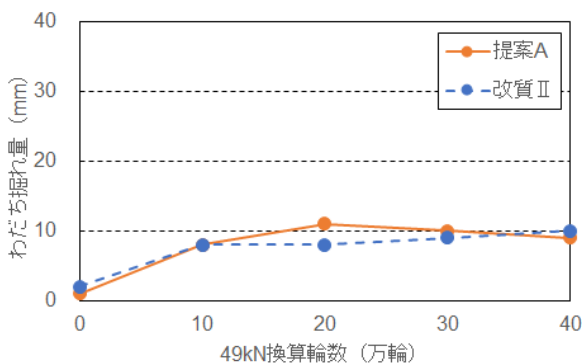


図-7 提案技術 A のわだち掘れ量

### 3. 実用化に向けた課題

共同研究を通じた実態把握や基礎性状評価から、これらの代替となり得る様々な舗装材料の実用化に向けた課題について、以下のように整理した。

- ・アスファルトでは想定していなかった弱点の有無（特有の劣化等）
- ・アスファルトと同等程度の耐久性
- ・劣化や耐久性を評価するための適切な性状試験の必要性
- ・代替バインダの再生利用方法
- ・植物由来材料やリサイクル材を用いた代替材料のCO<sub>2</sub>原単位の考え方

### 4. まとめ

本研究で得られた成果を以下に示す。

- 1) 当初想定して植物由来材料以外にも、リサイクル材を活用した様々な代替材料の存在が明らかとなり、それらの適用可能性を見出した
- 2) アスファルト代替材料単体での基礎性状や、混合物としての性状から、通常のアスファルト混合物と同等性能を示す可能性を見出した

- 3) 代替材料の劣化や耐久性を評価するための試験方法や評価項目の検討や、再生への適用するための抽出溶剤の検討など、実用化に向けた課題を整理した

### 参考文献

- 1) 高山遼太郎、川島陽子：植物由来原料を使用したアスファルト再生用添加剤の開発、アスファルト、Vol.239、pp.5-9、2023.12
- 2) 石油学会：JPI-5S-77-2019 TLC/FID 法によるアスファルト組成分析試験方法
- 3) 公益社団法人日本道路協会：舗装調査・試験法便覧、2019.
- 4) 川上篤史、新田弘之、藪雅行、掛札さくら、川島陽子：繰り返し再生したアスファルト混合物への再生用添加剤と再生骨材配合率の影響、土木学会論文集 E1（舗装工学）、Vol.76、No.2、I\_251-I\_259、2020
- 5) 公益社団法人日本道路協会：舗装再生便覧(平成 22 年版)、2010.
- 6) 建設省関東技術事務所：昭和 56 年度試験道路における試験調査報告書、建設省、1982
- 7) 佐々木巖、山口勝之、西崎到：屋外暴露試験によるストレートアスファルトの紫外線劣化、土木学会第 59 回年次学術講演会、2004.