

## 未利用アスファルト資源の舗装への適用に関する研究

研究予算 : 運営費交付金  
研究期間 : 平 24～平 26  
担当チーム : 道路技術研究グループ (舗装)  
材料資源研究グループ (新材料)  
研究担当者 : 久保和幸、寺田 剛、川上篤史  
平川一成  
西崎到、佐々木巖

### 【要旨】

石油元売り各社は石油製品の需要低減を受け原油処理量を下げているほか、行政指導のもと重質油分解装置による白油化を進めている。このため国内のアスファルト製造余力は低下してきており、近年では、地域によって石油アスファルトの不足から舗装工事の不落も発生している。生産量が縮小する一方で、東日本大震災の影響からの復興や景気回復などを受けた需要の増加も見込まれ、石油アスファルト等の調達難が懸念されている。そこで、本研究では、舗装用石油アスファルトの代替資材として未利用アスファルト資源の舗装への適用可能性検討を目的として、候補資材を選定し候補資材を用いた代替アスファルトのバインダ性状や混合物性状および耐久性を明らかにし、利用技術と適用範囲の検討を行った。その結果、舗装用アスファルトに分類されない超重質油、日本での利用実績がないインドネシアで産出される天然ロックアスファルト (以下、AsButon)、再生用アスファルトとして品質規格はあるがほとんど使用されていない高針入度アスファルトの3資材を、舗装用石油アスファルトの代替資材として提案することができた。

キーワード : 未利用アスファルト、燃料用アスファルト、AsButon、高針入度アスファルト、代替資材

### 1. まえがき

アスファルトの供給を担う石油元売り各社は、景気の後退や省エネを背景とした石油製品の需要減少に伴い、生産構造の改革を進め原油処理量を下げている。その中でアスファルト生産事業から撤退する企業もあり、現在の生産企業はJ X日鉱日石エネルギー株式会社、コスモ石油株式会社および昭和シェル石油株式会社の3社のみとなっている。

エネルギー供給構造高度化法 (エネルギー供給事業者による非化石エネルギー源の利用及び化石エネルギー原料の有効な利用の促進に関する法律 H22.7.5) の施行や経産省からの行政指導を受け、メーカーは、重質油分解装置の新設や増設、または常圧蒸留装置の削減で対応する白油化を進めている。

このため国内のアスファルト製造余力は低下してきており<sup>1)</sup>、たとえば、製造拠点は東日本で12製油所 (H9) から3製油所 (H23) と大幅に減少している。近年では、地域によって石油アスファルトの不足から舗装工事の不落の発生も報告されている。東日本大震災の影響から生産量が縮小する一方で、震災復興や景気回復による需要増加の予測もあり、石油アスファルト等の調達難が懸念されている。

そこで、本研究では、舗装用石油アスファルトの代

替資材としての未利用アスファルト資源の適用可能性検討を目的として、候補資材を選定した。そして、候補資材を用いた代替アスファルトのバインダ性状や混合物性状および耐久性を明らかにし、利用技術と適用範囲の提案を行った。

### 2. アスファルトの代替資材として候補資材の選定

舗装用石油アスファルトの代替資材に関する文献調査やヒアリングを行った結果、舗装用アスファルトに分類されない超重質油 (以下、燃料用アスファルト)、日本での利用実績がないインドネシアで産出される天然ロックアスファルト (以下、AsButon)、再生用アスファルトとして品質規格はあるがほとんど使用されていない高針入度アスファルトの3資材を舗装用石油アスファルトの代替資材の候補資材として選定した。

以下、この3候補資材について代替可能か検討した結果を述べる。

### 3. 燃料用アスファルトの舗装用アスファルトへの適用に関する検討

#### 3.1 検討方法

舗装用アスファルトに分類されない超重質油 (燃料用アスファルト) が他の重質留分とともに発電用に大

量に消費されている点に着目し、これをブレンド基材として吟味しアスファルト製品に調整すれば、用途や適用範囲によってはこれらのアスファルト資源を舗装にも利用できる可能性がある。

そこで、燃料用アスファルトから製造したアスファルトについてバインダ性状試験と混合物性状試験を行い、その評価法の適用性について検討を行った。

### 3.1.1 検討概要

本実験では、燃料用アスファルトから製造した3種のアスファルト（以下、試製アスファルト）について基本的な混合物性状を確認するとともに、室内促進劣化後の回収アスファルトから劣化特性を確認した。本実験で用いた試製アスファルトの基本性状を表-1に示す。

### 3.1.2 試製アスファルト

本実験で用いた試製アスファルトは、ボイラー等の燃料に用いられる燃料用アスファルトをベースに各種添加剤を加え、ストレートアスファルト 60/80（以下、StAs）の JIS 規格に近似するように製造を行ったものである。試製アスファルト A では再生用添加剤の成分に近い鉱油を、試製アスファルト B、C ではそれぞれ異なる減圧蒸留残油を加えたものである。

これら4種のアスファルトの GPC 測定結果を図-1に示す。試製アスファルト A では標準 StAs および他2種に比べ、ピークとなる分子量や分子量の大きい領域の分布に特徴があることがわかる。

表-1 実験に用いたアスファルト

試料名	標準	試製A	試製B	試製C
原料	StAs60/80	超重質油 + 鉱油	超重質油 + 減圧蒸留残油	
針入度 1/10mm	70	72	67	70
軟化点 °C	47.0	46.0	46.5	47.0
伸度 cm	100+	100+	100+	100+

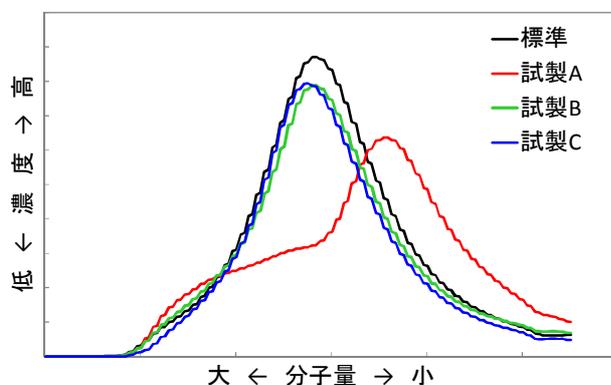


図-1 分子量分布測定結果

## 3.2 実験方法

### 3.2.1 アスファルト混合物の材料および配合

本実験で使用した密粒度アスファルト混合物の材料および配合は表-2の通りである。締固め回数は両面50回突きとした。

表-2 アスファルト混合物の材料および配合

材 料 名	材 質	配合割合 (%)
6号碎石	硬質砂岩	34.0
7号碎石	硬質砂岩	23.0
スクリーニングス	硬質砂岩	11.0
粗目砂	川 砂	19.0
細砂	山 砂	8.0
石粉	石灰岩	5.0
アスファルト	-	5.5

### 3.2.2 混合物性状試験

舗装調査・試験法便覧に示される試験方法に準拠して、下記の試験を実施した。

- (1) 耐水性：マーシャル安定度試験【B001】
- (2) 耐流動性：ホイールトラッキング試験【B003】
- (3) 圧裂強度：圧裂試験【B006】

### 3.2.3 アスファルト混合物の加圧促進劣化試験

室内で練りあがったアスファルト混合物を剥離紙に薄く広げ放冷した後、側面に通気用の小穴を明けたペール缶に3.7kg入れ、加圧促進劣化試験機(写真-1)を用いて、表-3に示す条件で加圧促進劣化を行った。加圧促進を行う時間は12時間及び24時間の2水準とした。加熱促進劣化後の各試料について、アスファルト抽出試験によりアスファルトを回収し、バインダ性状試験(針入度、軟化点、伸度)、ならびに圧裂試験により圧裂係数を測定した。



写真-1 加圧促進劣化試験機

表-3 アスファルト混合物の加圧促進劣化条件

温度(°C)	圧力(MPa)	試験時間(時間)
100	2.1	12, 24

### 3.3 実験結果

#### 3.3.1 アスファルト混合物性状

アスファルト混合物性状試験結果を図-3～図-5に示す。混合物作成においては、試製 B、C では異常は確認されなかったが、試製 A は設定した混合温度範囲であっても混合時に白煙が生じた。

##### (1) マーシャル安定度

試製 3 種のアスファルトのマーシャル安定度及び残留安定度は標準と同等程度以上であった。いずれの試製アスファルトにおいても、残留安定度は 75%以上となっており、耐水性に問題は確認されなかった。

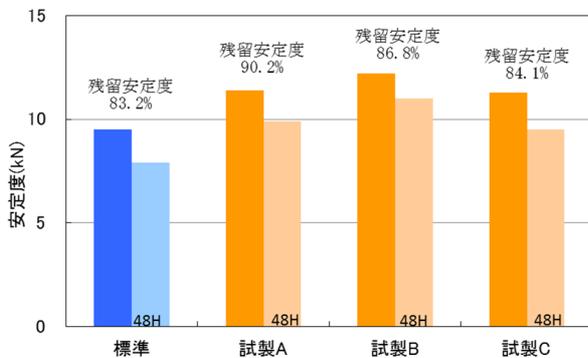


図-3 マーシャル安定度試験結果

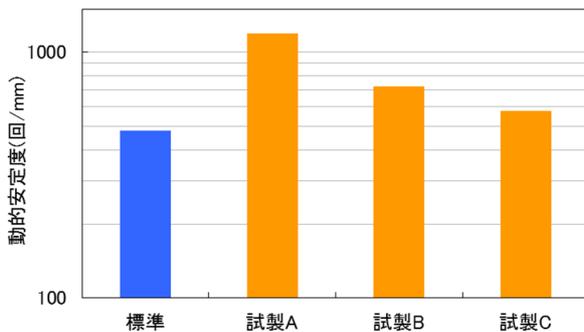


図-4 ホイールトラッキング試験結果

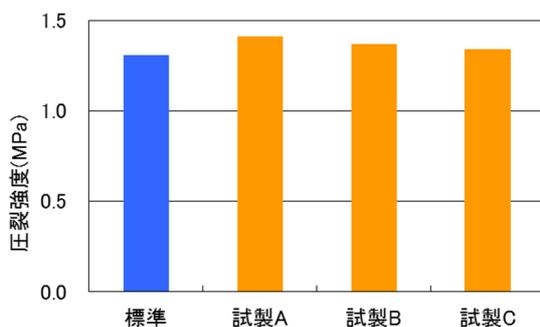


図-5 圧裂試験結果 (20°C)

##### (2) 動的安定度

試製アスファルト 3 種の動的安定度は標準 StAs と同等程度以上であり、残留安定度と同様に試製 A で最も大きくなった。試製 A では加熱混合時に白煙が生じていることから 3 種の中で最も熱劣化の影響を受け硬くなった可能性も考えられる。

##### (3) 圧裂強度

試験温度 20°C における圧裂強度は標準 StAs と同等程度であり差異はみられない。

#### 3.3.2 加圧促進劣化後のバインダ性状

加圧促進劣化後のバインダ性状試験結果を図-6～図-8に示す。

##### (1) 針入度

各試製アスファルトの加圧劣化 12 時間後の針入度は標準 StAs と同等程度以下の 20 程度、加圧劣化 24 時間後の針入度は標準とほぼ同等の 16 程度となった。試製 A は初期値が 72 と若干大きめであるが、加圧劣化 12 時間後、24 時間後には標準 StAs よりも小さい針入度に達している。標準 StAs と比べ劣化しやすい傾向があり、促進劣化後の評価が必要であるといえる。

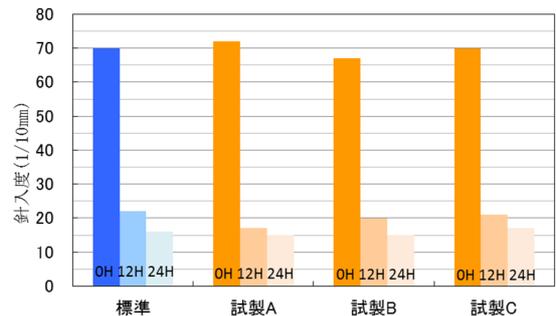


図-6 加圧促進劣化後の針入度試験結果

##### (2) 軟化点

試製 A では標準 StAs と同等程度の軟化点の変化となった。試製 B では加圧劣化 12 時間後の段階で標準 StAs の 24 時間相当の値となり、24 時間後は 76.5°C に達し劣化挙動が異なる。一方、試製 C では標準および他 2 種の試作アスファルトに比べ軟化点の上昇は緩やかで熱劣化の影響が比較的小さいものと考えられる。

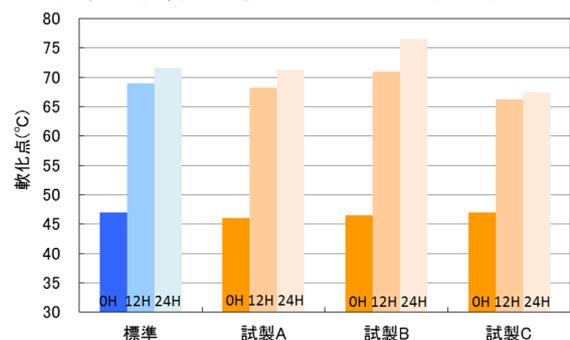


図-7 加圧促進劣化後の軟化点試験結果

### (3) 伸度

試製 A では加圧劣化 24 時間後であっても標準 StAs と比べ大きい伸度となっている。試製 B は標準と同等、試製 C は加圧劣化 12 時間後までは試製 A と同等程度であり、24 時間後では同等となった。

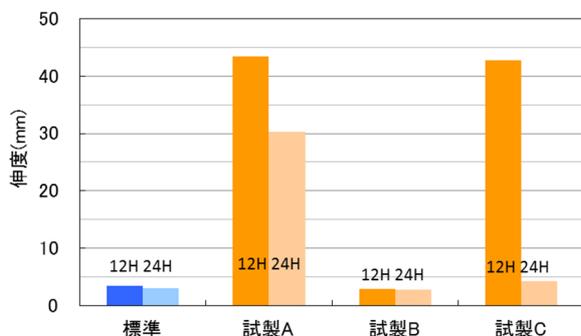


図-8 加圧促進劣化後の伸度試験結果

### 3.3.3 加圧促進劣化後の圧裂係数

加圧促進劣化 12 時間後及び 24 時間後の圧裂係数を図-9 に示す。試製アスファルト A では標準 StAs とほぼ同等の値となった。また試製アスファルト B および C の圧裂係数は標準 StAs よりやや小さい傾向を示し、劣化後の性状が異なり、促進劣化後の評価も重要であろう。

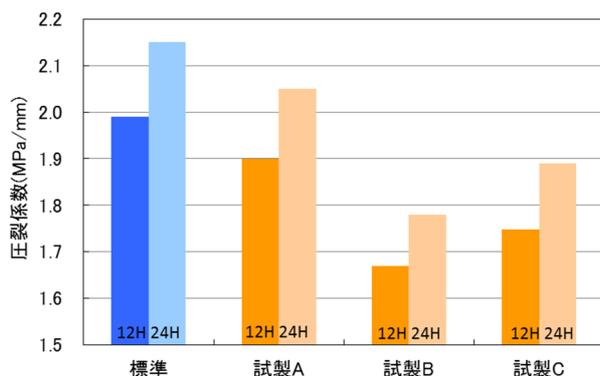


図-9 加圧劣化後の圧裂係数

## 4. AsButon の舗装用アスファルトへの適用に関する検討

インドネシア産の天然アスファルトは AsButon と呼ばれ、アスファルト分を 20~30% 含むロックアスファルトである。埋蔵量は、スラウェシ州ブトン島周辺に 1.6 億トンと推定され、写真-2 に示すように地表露頭から直接採掘できることから、その利用用途が確立できれば、比較的安価な舗装用アスファルト資源になるものと期待され、その利活用が注目されている。土木研究所では、二国間技術協力として同国の道路研究所とこれら資材の利用技術の開発を進めてきている。

利用形態として、低コスト利用(表面処理や補修用材



写真-2 AsButon 採掘鉱床

料)、標準利用(改質剤等を組み合わせた混合物)、高度利用(アスファルト抽出精製)の 3 形態で技術開発が進められてきている。

### 4.1 アスファルト品質の評価試験

天然アスファルトの利用技術の開発においては、この天然アスファルトが結合材料としてどのような性能を有しているか把握しておく必要がある。まず、品質の基礎調査として、アスファルト分を抽出し、その物理性状及び化学性状の物性試験を行った。

#### 4.1.1 試験方法

結合剤としてどのような性能を有するのか把握するための評価として、AsButon 粒状材から抽出したアスファルト分の物理性状と化学性状を試験した。アスファルトの回収試験方法(JPI-5S-31-1988)に準拠し、溶剤を用いてバインダ分を回収した。性能評価試験は、物理性状については舗装調査・試験法便覧にもとづき一般的なアスファルト試験を実施した。化学性状については、化学分析機器を用いてアスファルト 4 成分の組成分析(TLC/FID 法)と分子量分布の測定(GPC)、赤外吸光による化学構造解析を実施した。

#### 4.1.2 試験結果

##### (1) 一般性状

物理性状は、表-4 に示すとおりであり、AsButon は StAs に比べると常温で硬く、高温で粘度が高いことがわかる。2 種の AsButon を比較すると、LAWELE より KABUGKA の方が針入度は低く、軟化点や粘度は高い傾向であった。低温性状は、表-5 に示すとおりであり、KABUNGKA は一般性状と同様に StAs に比べるとかなり硬く脆い特性を示した。一方、LAWELE は 10°C における曲げ試験では StAs と同等の柔軟性を有することが分かった。

表-4 アスファルトの一般物理性状

試験項目	KABUNGKA	LAWELE	StAs60/80
針入度 1/10mm	3	41	67
軟化点 °C	84.0	55.5	48.0
15°C伸度 cm	0	33	150+
60°C粘度 Pa·s	113,000	1,030	205
引火点 °C	測定不能	206	334
密度 g/cm <sup>3</sup>	1.109	1.063	1.039

鉱脈等によりアスファルト性状が異なるほか、天然材であり品質のバラツキも想定されるものの、LAWELE は硬めの舗装用アスファルト相当、KABUNGKA はブローンアスファルト相当の素材であるものといえる。

### (2) 薄膜加熱試験による劣化

薄膜加熱劣化後の性状は、表-6 に示すとおり針入度は小さく／軟化点は高くなり、劣化性状としてはいずれも同様の傾向を示した。一方、質量変化については、StAs が酸化により質量増となるのに対し、AsButon はいずれも減少する傾向であった。

表-6 薄膜加熱劣化後の性状変化

薄膜加熱試験 (163°C, 5h)	KABUNGKA	LAWELE	StAs60/80	
質量変化率 %	-0.79	-3.45	0.19	
針入度残留率 %	51.2	66.7	68.7	
軟化点 °C	before	84.0	55.5	48.0
	after	90.5	66.0	52.0

### (3) 4成分組成

表-7 に示す通り、StAs に比べると AsButon は芳香族分が少なくレジンとアスファルテン分を多く含む重質なアスファルトであることがわかる。また、AsButon は TLA に近い組成となっており、物理性状の試験結果とも整合する傾向を示している。

### (4) 分子量分布

AsButon は、StAs と比較すると幅広い分子量分布を持ち、とくに高分子量成分を多く含むことが図-10 からわかる。これは、前述したアスファルト組成分析に

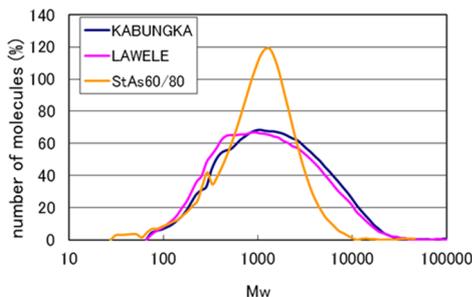


図-10 分子量分布

表-5 アスファルトの低温性状

試験項目	KABUNGKA	LAWELE	StAs60/80	
曲げ試験 (10°C)	workload kPa	10.5	362	167
	strain kPa	4.7	274	259
	Stiffness MPa	486	4.8	2.5
フラス脆化点 °C	11	-1	-12	

においてアスファルテン分やレジン分が多く含まれていることと一致する。また、低分子成分の含有量も比較的多く、StAs よりもブロードな分子量分布を示した。2種の AsButon を比較すると、分布形状は似ているものの、LAWELE より KABUNGKA の方が平均分子量は大きい。

表-7 アスファルトの4成分組成

	KABUNGKA	LAWELE	StAs60/80	Gilsonite	TLA
Saturated	1.6	3.6	3.6	0.5	1.9
Aromatic	15.5	20.2	67.0	1.3	26.5
Resin	45.0	49.3	14.6	80.9	40.6
Asphaltene	37.8	26.9	14.8	17.3	31.0

### (5) 酸化生成物(赤外吸光分析)

赤外吸光分析結果は、図-11 に示すとおり、AsButon は StAs とほぼ同じピークであるものの、カルボニル基に由来する 1700 cm<sup>-1</sup> 付近の吸収域が StAs とは異なる特徴として検出された。一般に StAs では、製造時の熱や供用中の紫外線などによりアスファルトが酸化してカルボニル基が生成し変質するため劣化硬化が問題となる。一方、AsButon はブローンアスファルトのように酸化がすでに進んだ材料であり、初期性状はかなり硬いものの供用中の性状変化は少ないと想定される。

### (6) AsButon の性状

インドネシア産天然アスファルト(AsButon)は、常温～高温域で硬く高粘度な性状を有し、改質剤等として耐流動性などの性能向上が期待できる。一方、低温域での脆性には留意する必要がある。その物性や組成から TLA やブローンアスファルトのようにグース混合物や防水用途の素材としても利用可能であると考えられる。

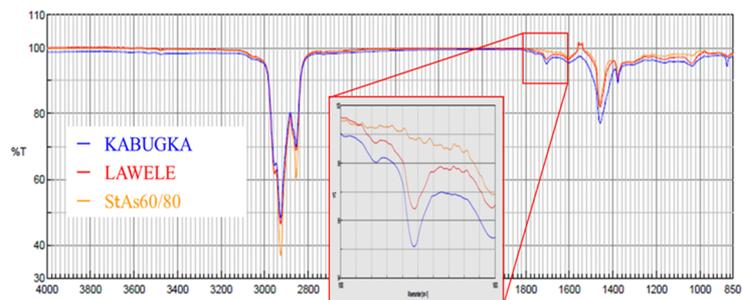


図-11 赤外吸光スペクトル

## 4.2 抽出精製に関する検討

AsButon は、前述の3形態で技術開発が進められてきている。高度利用の一方策として溶剤による抽出精製が検討されており、インドネシア国内ではアスファルト分を抽出精製して石油アスファルトの代替資材として利用する試みがなされている。同国道路研究所では調査研究用の抽出プラントで実験検討を進めているほか、ブトン島では精製プラントの建設が模索されている。そこで、ロックアスファルトを抽出精製してアスファルトバインダとして高度利用するための技術開発の一環として、各種溶剤に対する溶解性や、精製されたアスファルトの性状を評価試験した。

### 4.2.1 試験方法

抽出にはさまざまな溶剤を利用しうが、規制対象物質、引火性や有害性にもとづく安全性、単価をはじめとした工業化にかかる調達等の関係を考慮する必要がある。本検討での抽出試験に用いた溶剤には、これらを考慮して表-8に挙げたものを用いた。このうちテレピン油（松根油）は、松科の樹木や松ヤニを水蒸気蒸留することによって得られる精油で、インドネシアで容易に入手できることから同国道路研究所の試験用プラントで用いられている溶剤である。n-ヘプタンは、組成分析においてアスファルテン分とマルテン分を分別する溶剤であることから選定した。

表-8 抽出試験に用いた溶剤

溶剤名	沸点	引火点	規制対象
トリクロロエチレン	87°C	—	安衛法(発癌性)
トルエン	110°C	4°C	第一石油類, 劇物
ナフテン系炭化水素	194°C	71°C	第四石油類
d-リモネン	176°C	48°C	第二石油類
テレピン油	149°C	35°C	第二石油類
n-ヘプタン	98°C	-4°C	第一石油類

舗装調査・試験法便覧【G029】を参考に、図-3の手順で抽出回収したアスファルトについて、針入度、軟化点、伸度、分子量分布(GPC)、4成分組成(TLC-FID法)の試験を実施した。

### 4.2.2 試験結果

#### (1) 針入度・軟化点

溶剤を変えた場合の抽出アスファルトの針入度および軟化点を図-12に示す。トリクロロエチレンは、試料中のアスファルト分をほぼ全て回収できていると考えられ、針入度は25程度、軟化点は60°C程度であった。トルエンやテレピン油で抽出回収されたアスファルトも、これとほぼ同じ性状を示した。これに対して、リモネン、ナフテン系炭化水素、ヘプタンの順で、針

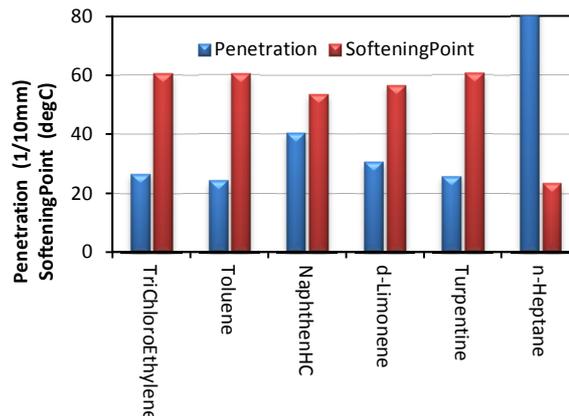


図-12 抽出溶剤とアスファルトの針入度/軟化点

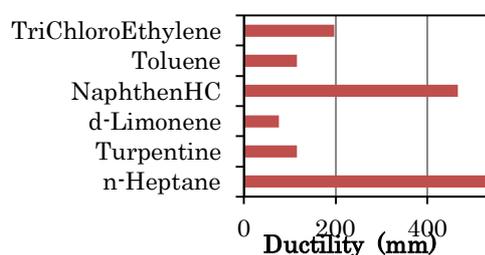
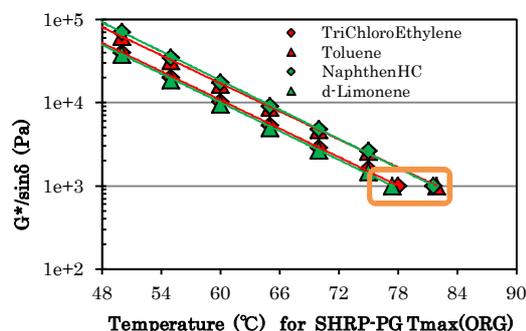


図-13 抽出溶剤と伸度(15°C,5cm/mmin)



(SHRP 塑性変形抵抗性指標温度:枠内)

図-14 抽出溶剤と DSR 動的弾性率

入度が増大し、軟化点が小さくなった。すなわち、溶剤によっては軟らかいアスファルトが得られることがわかる。

#### (2) 伸度

抽出回収アスファルトの伸度は、図-13に示すように、溶剤により大きな差異が見られた。前項の傾向とは異なり、針入度や軟化点で軟らかい抽出アスファルトが伸びるとは一概に言えない結果であった。

#### (3) DSR塑性変形抵抗性

ダイナミックシェアレオメータで測定した動的弾性率を図-14に示す。この値が1kPaとなる温度がSHRP

の示す塑性変形抵抗性指標であるが、溶剤により、6℃程度、PG グレードとして1段階に相当する差異がみられた。

#### (4) 4成分組成

TLC-FID法で測定した4成分（飽和分、芳香族分、レジン分、アスファルテン分）の組成分析結果を図-15に示す。回収アスファルトの組成は溶剤によりやや異なり、特にヘプタンはアスファルテン分とそれ以外の成分を分別するための溶剤であることから、アスファルテン分を除いたものが抽出回収されている結果になっていることがわかる。トリクロロエチレンがほぼ全ての成分を抽出できていると仮定すると、溶媒の相違によってレジン分を中心に溶出性が異なり、回収アスファルトに占める割合が異なるものと考えられる。これは、重合度が高くコロイド化した大分子量成分に対する、抽出溶剤の極性等に起因する溶解性の差によるものと思われる。

#### (5) 分子量分布

ゲル浸透クロマトグラフィ(GPC)で測定した回収アスファルトの分子量分布を図-16に示す。ヘプタンで抽出回収されたアスファルトは、大分子量成分の含有率が極端に少なく、これは前述のアスファルテン分をほとんど含まないという結果や、物理試験での軟らかい性状と整合する。その他の溶剤についても、レジン分をはじめとした極性成分の溶出性が異なるため、全体に占める分子量分布に相違が生じ大分子量成分の構成比が増える試料が生じるものと思われる。

#### (6) 溶剤抽出のまとめ

AsButonをはじめとした天然アスファルトは一般に針入度が小さく硬いバインダ性状を示す。本検討での知見等を参考に、天然油脂や鉱油等を選定し、採掘地周辺でロックアスファルト中の軽質分を回収するような精製方法を構築できれば、豊富な天然資源から使用目的に応じたアスファルト材料を安価に取得できる可能性がある。ミネラル分を含む天然アスファルトの精製を検討する上では、舗装材としての使用目的（たとえば硬質化のための改質剤なのか、単なる石油アスファルトの代替なのか）等を勘案し、精製プロセス、安全性、経済性に適した溶剤を選定することが必要であるといえる。

### 4.3 鋼床板舗装への適用性に関する検討

現在、日本では、鋼床板舗装の基層に用いられるトリニダットレイクスファルト（以下、TLA）が多く使用されている。そこで、AsButonについて、グースア

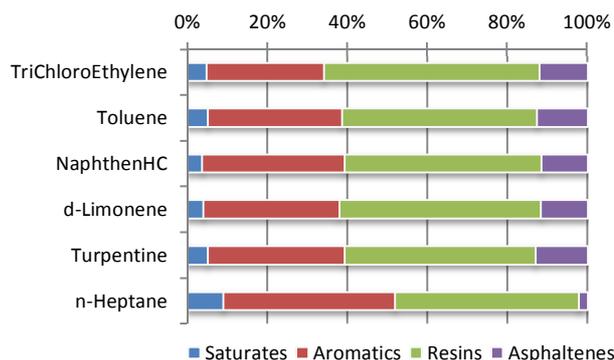


図-15 4成分組成分析結果(TLC-FID法)

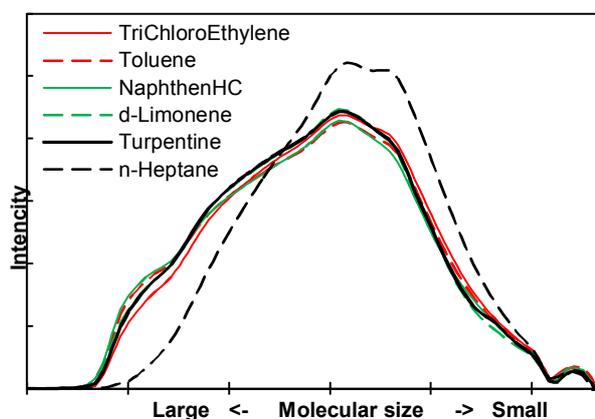


図-16 分子量分布(GPC)

スファルト混合物に用いる有効性について混合物性状の検討を行った。

#### 4.3.1 試験方法

##### (1) 試験材料

試験に用いたAsButonは、インドネシアのブトン島周辺で産出する天然アスファルトで地表露頭から直接採掘できることから、比較的安価な舗装用アスファルト資源になるものと期待されている。AsButonは、ミネラル分を70~80%含む天然ロックアスファルトで、写真-3に示すように袋詰めされ市販されており粒状である。本検討では、AsButonの中でも埋蔵量の多いKABUGKA産とLAWELE産の2種類を用いた。また、比較試料としてTLAも試験した。検討に使用した混合



写真-3 AsButonの状態

表-9 合成粒度

ふるい目の開き	合成粒度	粒度範囲
通過	19.0mm	100.0
質量	13.2	99.3
百分率 (%)	4.75	72.5
	2.36	52.7
	0.6	42.4
	0.3	36.8
	0.15	28.5
	0.075	23.6
アスファルト量	9.5	7~10

表-10 混合割合

試験項目	天然アスファルト(%)		ストアス 20/40(%)
・リュエル流動性試験 ・動的安定度 ・曲げ試験	AsButon	・KABUNGKA産	15
		・LAWELE産	20
	TLA	25	75
引張接着試験	AsButon	・KABUNGKA産	20
		・LAWELE産	20
	TLA	25	75

物の合成粒度は、表-9に示すとおりである。なお、一般に日本では、グースアスファルト混合物のアスファルトとして、ストアス 20/40 を 75%と TLA を 25%混合して用いられている。よって、本検討では、TLA の代わりに AsButon を用い表-10 に示す混合割合で混合した混合物と TLA を 25%使用した混合物とを比較した。

(2) 試験項目

検討した試験は、表-11 に示す本州四国連絡橋橋面舗装基準 (案) (以下、本四基準値) と道路橋床版防水便覧に定められている 4 項目の試験を行った。引張接着試験はホイールトトラッキング試験用型枠に 5mm 厚の鉄板を敷き図-17 に示すよう供試体を作製し、φ 10cm のコアをカットしてから万能試験機で試験を行った。また、AsButon を使用した混合物が表-11 に示す基準値を満足するか評価した。

表-11 試験項目と基準値

項目	試験温度	基準値または合格判定の目安	準拠した基準
リュエル流動性試験	240°C	20s以下	本四基準
動的安定度	60°C	300回/mm以上	
曲げ試験(破断時のひずみ)	-10°C	$8.0 \times 10^{-3}$ 以上	
引張接着試験	23°C	強度0.6N/mm <sup>2</sup> 以上	道路橋床版防水便覧
	-10°C	強度1.2N/mm <sup>2</sup> 以上	

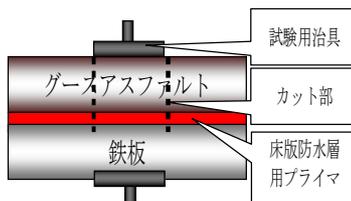


図-17 引張接着試験方法

4.3.2 試験結果

(1) リュエル流動性試験結果

リュエル流動性試験結果を図-18 に示す。AsButon の KABUNGKA 産と LAWELE 産とも混合割合が増加するに伴い、リュエル流動性が大きくなる傾向を示した。施工性については、既存の評価基準で評価でき、何れの AsButon とも混合割合が 20%以下であれば本四基準値を満足し、同じ条件で評価した TLA25%のリュエル流動性とも同等以下となることが分かった。

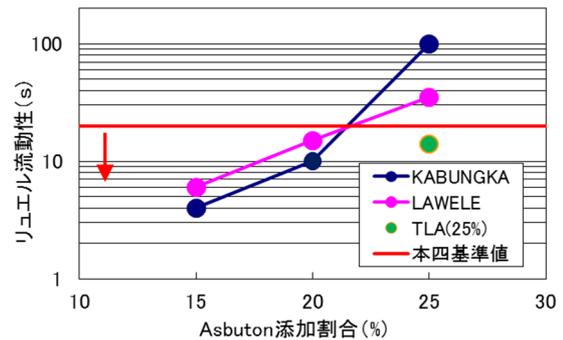


図-18 リュエル流動性試験結果

(2) 動的安定度試験結果

動的安定度試験結果を図-19 に示す。AsButon の KABUNGKA 産と LAWELE 産とも混合割合が増加するに伴い、動的安定度が大きくなる傾向を示した。何れの AsButon とも混合割合を 20%以上とすれば本四基準値(300 回/mm以上)を満足し、25%混合すれば、同じ条件で評価した TLA25%以上の動的安定度が得られる結果であった。

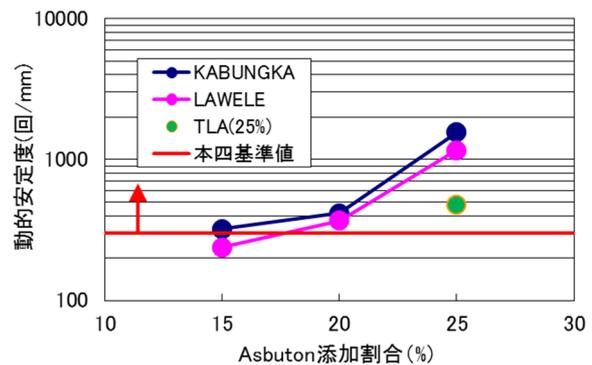


図-19 動的安定度試験結果

(3) 曲げ破断時のひずみ試験結果

曲げ破断時のひずみ試験結果を図-20 に示す。破断時のひずみは、AsButon の KABUNGKA 産と LAWELE 産とも混合割合を変えても変化は見られず 15~25%の混合割合であれば本四基準値を満足する結果となった。

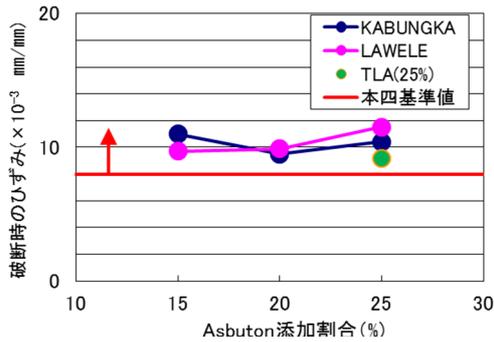


図-20 曲げ破壊時のひずみの試験結果

(4) 引張接着試験結果

引張接着試験結果を図-21 に示す。いずれの測定温度とも AsButon の KABUGKA 産と LAWELE 産とも混合割合を変えても TLA より大きな値であり、AsButon の混合割合を20%以上とすれば問題ない引張接着強度が得られる結果であった。道路橋床版防水便覧の評価指標と目標値を適用すればよいものと考えられる。

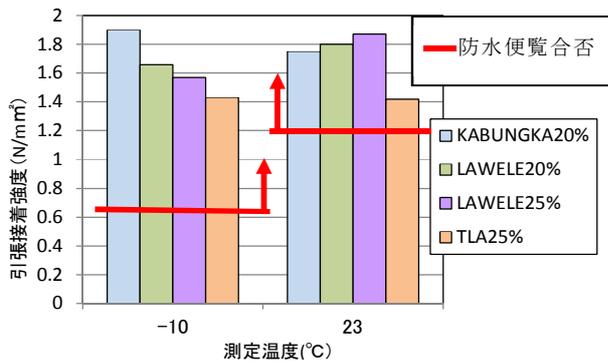


図-21 引張接着試験結果

4.4 補修材への適用性に関する検討

AsButon は、地表露頭から直接採掘できるアスファルトモルタルであることから、比較的安価な舗装補修用アスファルト材料になるものと期待されている。

4.4.1 簡易ポットホール走行試験

(1) 使用材料

1) 試験材料

AsButon は、ミネラル分を 70~80%含む天然ロックアスファルトで、写真-4に示すように破碎した粒状材を袋詰めしたものが市販されている。本検討では、埋蔵量の多い KABUGKA と LAWELE で製造された3種類 (BRA-1, BRA-2, BRA-M) を用いた。また、比較試料として日本で一般的に用いられている常温補修用混合物 1 種類も試験した。AsButon 3 種類の外観を写真-5~7に、表-12 にアスファルト付着状態でのみかけの粒度と抽出後の針入度、軟化点の結果を示す。最大粒径が一番大きいのは

BRA-M の 13 mm、次に BRA-1 の 5 mm、BRA-2 はほとんど細粒の 2.5mm であった。針入度は3種類とも 42 以下と硬く、BRA-2 は 0.5 と非常に硬かった。  
2) ホイールトラッキング供試体を製作用の母体混合物

表-12 粒度、針入度、軟化

ふるい目の呼び寸法 (mm)	通過質量百分率 (%) (アスファルト抽出前)		
	BRA-1	BRA-2	BRA-M
19	100	100	100
13.2	100	100	98.2
4.75	60.5	100	57.9
2.36	33	98.5	34.9
0.6	7.8	50.4	8.5
0.3	2.1	18.8	2
0.15	0.1	4.7	0.2
0.075	0	1	0.1
針入度	28.0	0.5	42.0
軟化点	61.0	85.4	78.2

疑似ポットホールを空ける母体混合物は、密粒度アスファルト混合物 (13) を使用した。

(2) 簡易ポットホール走行試験方法

試験は、ホイールトラッキング供試体 (WT 供試体) に疑似ポットホールの穴を開け、この穴に今回試験する AsButon 等を転圧し WT 走行試験を行った。その方法は、東京都の簡易ポットホール走行試験<sup>2)</sup> やつくば舗装技術交流会 (TPT) で提案<sup>3)</sup> されている方法を参考に下記の方法で行った。

1) 母体混合物の作製

型枠高さ 10cm の WT 供試体用型枠に 3cm 分の鉄板を敷き、3.5cm 分の混合物を型枠に投入し振動タンパで平らに転圧し 1 層目を作製する (写真-8①②)。その後、中央部に疑似ポットホールを模した軸付き円柱板 (φ 14.8×高さ 3.5cm) を設置 (写真-8③) し、2層目として軸付き円柱版分を減じた重量の混合物を投入 (写真-8④) し、ローラコンパクトで転圧し (写真-8⑤) 母体混合物を作製する (写真-8⑥)。

2) 供試体の作製

作製した母体混合物の疑似ポットホールへ AsButon 等の混合物を投入する (写真-8⑦)。投入時の混合物温度は、事前に基準密度になりやすい温度をマーシャル供試体で確認し、AsButon (BRA-1, BRA-M) : 60°C、AsButon (BRA-2) : 100°C、常温補修用混合物 : 20°C とした。混合物投入後、ローラコンパクトで転圧し、WT 供試体を作製する。転圧後の供試体外観は写真-8⑧に示すとおりである。

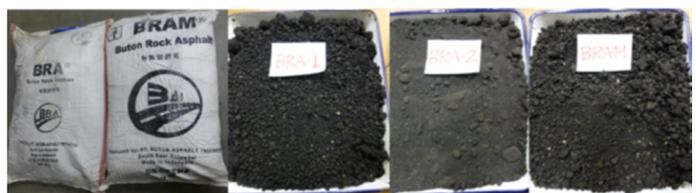


写真-4 袋詰めされた AsButon

写真-5 AsButon (BRA-1)

写真-6 AsButon (BRA-2)

写真-7 AsButon (BRA-M)

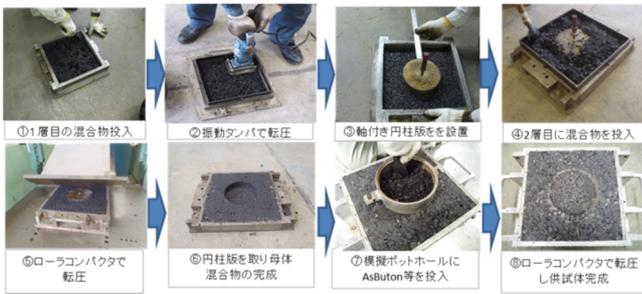


写真-8 母体混合物の形状(平面図および断面図)

3) WT 走行試験

- ① AsButonのWT 走行試験は $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ で5時間以上養生した後、常温補修用混合物の走行試験は転圧後ただちに実施した。
- ② 走行試験は、60分とし、走行試験時の試験温度は $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ とした。その他の条件(載荷荷重, 接地圧, 走行速度)は通常のWT試験と同じとした。
- ③ 変形量の測定は最初に中心部を通過した時のダイヤルゲージの読みを原点とし、走行試験によって得られた変形曲線から変形量を読み取った。

4.4.2 耐久性走行試験

(1) 試験材料

耐久性試験に用いたAsButonは、簡易ポットホール走行試験に用いた同じ3種類(BRA-1, BRA-2, BRA-M)とした。

(2) 耐久性走行試験方法

土木研究所構内の舗装走行実験場でポットホールを擬似的に作製した穴にAsButonを施工し施工性を調



写真-10 耐久性試験の施工手順



写真-9 耐久性試験に用いた無人荷重車



写真-11 走行試験状況

査するともに耐久性試験として、写真-9に示す無人荷重車を49kN換算で70,000輪走行(N4交通で約5年相当)した後の破損状況を目視調査した。写真-10に施工した手順を示す。

4.4.3 試験結果と考察

(1) 簡易ポットホール走行試験結果

WT 走行試験状況を写真-11に、試験後の供試体状況を写真-12に示す。また、各混合物の走行時間と変形量の関係を図-22に示す。この結果から60分走行後の変形量は、常温補修用混合物は9mmであったが、AsButonは3種類とも変形量は、1mm以下で殆ど変形はしなかった。AsButonは高い変形抵抗性を有することが分かった。なお、BRA-2は、写真-12で示したように60分走行試験後に母体混合物との界面で層間剥がれが生じていた。BRA-2は粗骨材がなく非常に細かい粒度の混合物であり、アスファルトも針入度0.5と非常に硬いため、既設混合物との接着性が劣り、母体混合物との層間で剥がれが生じたものと考えられる。補修材としての適用性指標の一つとして、当該試験での評価が可能である。

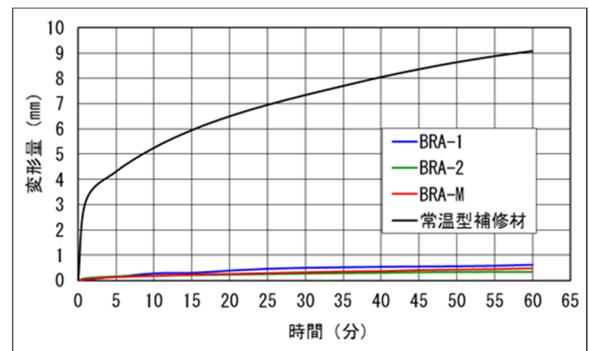


図-22 各混合物の走行時間と変形量の関係

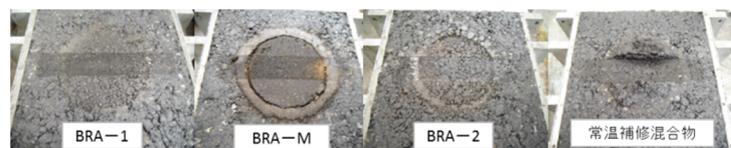


写真-12 試験後の供試体状況

(2) 耐久性走行試験結果

耐久性走行試験結果として、AsButon施工前の疑似ポットホール、施工直後、荷重車走行14,000輪後、21,000輪後及び70,000輪後の路面状況を写真-13に示す。

施工性はBRA-1およびBRA-Mは、適度の粒度とアスファルト量を有しているため常温でも問題なく施工ができたが、BRM-2は非常に細かい粒度の混合物で表面積に対するアスファルト含有量が少ないため、バーナーで温ためても落ち着きが悪かった。耐久性の結果は、BRA-1およびBRA-Mは、14,000輪通過後で細かいひび割れと若干の飛散が見られたが、70,000輪通過後まで大きな損傷は発生しなかった。これに対して、BRA-2は、14,000輪通過後でひび割れと飛散が見られ徐々にひび割れと飛散が増加していき、70,000輪通過後では破損した状態となった。BRA-2は、施工性が悪く既設混合物との接着性が劣ったため早期に破損したものと思われる。

5. 高針入度アスファルトの舗装用アスファルトへの適用に関する検討

平成22年11月に改訂された舗装再生便覧には、再生合材用の新アスファルトとして高針入度のアスファルトが追加され、再生合材への利用が期待されるものの、ほとんど使用されておらず現状では実道での供用性などが確認されていない。そこで、(独)土木研究所、東京都土木技術支援・人材育成センターおよび(一社)日本アスファルト合材協会の三者で高針入度のアスファルトの舗装への適用性を検証するための共同研究を平成25年8月から開始した。そこで、高針入度のアスファルトを用いた再生合材の試験施工を実道で行い、適用性について検討を行った。研究分担を表-13に示す。

表-13 研究分担

研究項目	研究細目	試験施工研究分担		
		土研	合材協会	東京都
(1) バインダ混合物性状の確認	バインダ混合物性状の確認	○	○	
	再生方法の検討	○	○	
(2) 再生骨材の性状確認	粒度、旧アスファルトの確認	○	○	
(3) 配合設計法の検討	配合設計法の検討	○	○	
	混合物性状の確認	○	○	
(5) 試験施工	プラント再生合材の性状確認		○	○
	施工性と供用性の確認		○	○

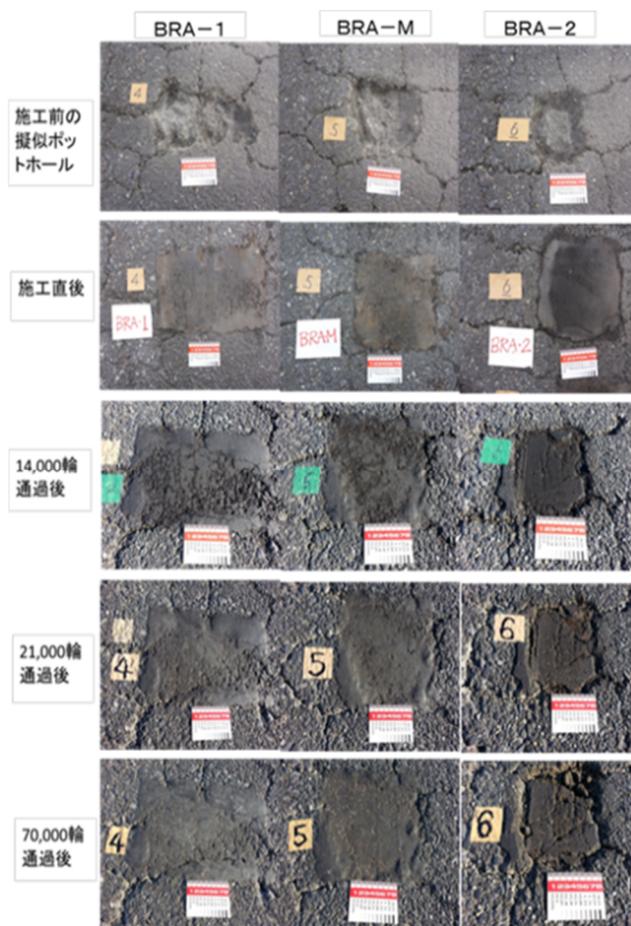


写真-13 耐久性走行試験の路面状況結果

5.1 高針入度アスファルトによる再生舗装試験施工

5.1.1 試験施工の概要

試験施工の概要を表-14に示す。試験施工は既設の表層・基層(厚さ150mm)を打ち換えるもので、基層(厚さ100mm)には一般的な再生粗粒度アスファルト混合物(20)、表層(厚さ50mm)には表-15に示す4種類の混合物を用いた。試験施工の工区割りを図-23、施工断面を図-24に示す。

表-14 試験施工の概要

実施年月日	平成26年4月5日～8日(表層の施工)
実施場所	主要地方道青梅入間線(第63号) 東京都青梅市今寺二丁目～藤橋二丁目
施工規模	延長 L=640m 2車線 幅員 W=5.40～7.05m
設計交通量	N5

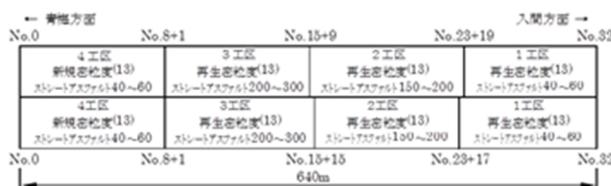


図-23 試験施工の工区割り

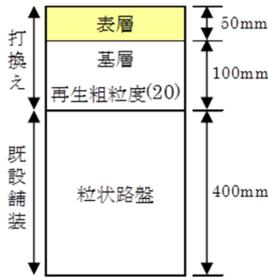


図-24 試験施工の舗装断面

### 5.1.2 表層用混合物の配合設計

#### (1) 使用材料

表層用混合物に使用した材料を表-16に示す。再生骨材はR13~5とR5~0を3:1で混合したものを使用し、旧アスファルトの針入度が20、圧裂係数が1.52MPa/mmであった。また、高針入度のストレートアスファルト150~200および200~300（以下、高針入度アスファルト150~200および200~300）は、表-17に示す性状のものを使用した。

#### (2) 再生骨材の配合率の検討

高針入度アスファルト150~200および200~300を用いた再生密粒度(13)の再生骨材の配合率は、舗装再生便覧に示されている設計圧裂係数への調整を新アスファルトで行う方法により検討した。再生骨材の配合率40, 60, 80%の供試体を作製し、圧裂試験により圧裂係数を求めた。なお、暫定再生アスファルト量は5.4%とした。高針入度アスファルト150~200および200~300を用いた場合の圧裂試験結果は、図-25および図-26に示すとおりである。設計圧裂係数の目標値0.6~0.9MPa/mmを満足する再生骨材の配合率は、高針入度アスファルト150~200を用いた場合で35~65%、200~300を用いた場合で37~67%となった。今回の試験施工では、再生骨材の配合率は、設計圧裂係数の目標値を満足する範囲の中から150~200を用いた場合および200~300を用いた場合ともに東京都の標準的な配合率である60%を選定した。

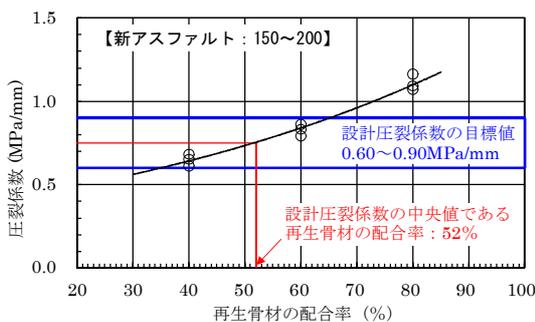


図-25 再生骨材の配合率と圧裂係数の関係 (150~200)

表-15 表層用混合物の種類

工区	混合物の種類	再生骨材 (%)	新材 (%)	新アスファルトの種類	再生用添加剤量 (%)
1	再生密粒度アスファルト混合物(13)	60	40	ストレートアスファルト 40~60	旧アスファルトに対して 8.0
2		60	40	高針入度アスファルト 150~200	—
3		60	40	高針入度アスファルト 200~300	—
4	新規密粒度アスファルト混合物(13)	—	100	ストレートアスファルト 40~60	—

表-16 表層用混合物の使用材料

材料名	材質	製造会社名
砕石 6号	硬質砂岩	菱光石灰工業(株)
砕石 7号		
砕 砂		
細 砂	洗い砂	千葉石産(株)
石 粉	石灰岩	JFE ミネラル(株)
再生骨材	R13~5・R5~0	共同企業体 瑞徳アスコ
新アスファルト	ストレート 40~60	昭和シェル石油(株)
	ストレート 150~200	JX 日鉱日石エネルギー(株)
	ストレート 200~300	昭和シェル石油(株)
再生用添加剤	(フジタック 200)	富士興産(株)

表-17 高針入度アスファルトの物理性状

試験項目	150~200		200~300	
	試験値	品質規格	試験値	品質規格
針入度(25℃) 1/10mm	187	150を超え 200以下	266	200を超え 300以下
軟化点 ℃	38.0	30.0~45.0	35.5	30.0~45.0
伸度(15℃) cm	100+	100以上	100+	100以上
トルエン可溶分 %	99.5	99.0以上	99.9	99.0以上
引火点(COC) ℃	374	240以上	342	210以上
密度(15℃) g/cm <sup>3</sup>	1.028	1.000以上	1.027	1.000以上

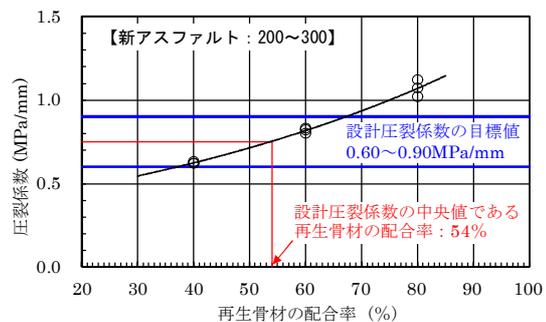


図-26 再生骨材の配合率と圧裂係数の関係 (200~300)



写真-14 敷きならし状況



写真-15 二次転圧

### (3) 設計再生アスファルト量の設定

マーシャル安定度試験を行い、設計再生アスファルト量を設定した。設計再生アスファルト量は、高針入度アスファルト150～200を用いた場合で5.3%、200～300を用いた場合で5.4%となった。なお、1工区の再生密粒度(13)(40～60)および4工区の新規密粒度(13)(40～60)については、事前審査認定混合物であり、事前審査認定アスファルト混合物総括表の値を示している。

#### 5.1.3 表層用混合物の施工

表層用混合物の施工は、一般的なアスファルトフィニッシャ(ホイール型1.9～4.3m)で敷きならし、初転圧をマカダムローラ(10t)、二次転圧をタイヤローラ(13.5t)、仕上げ転圧をコンパインドローラ(4t)で行った。施工状況を写真-14、15に示す。

新アスファルトに150～200および200～300を用いた再生密粒度(13)の施工性を確認するため、施工時に調査を行った。その結果、スコップ作業およびレーキ作業については、各工区ともほぼ同等の作業性であった。アスファルトフィニッシャによる敷きならし面の状態については、各工区とも引きずり、材料分離などの発生が無く良好であった。転圧時の状態については、各工区ともヘアクラック、アスファルトのにじみ出し、骨材の割れなどの発生が無く良好であった。表面のキ

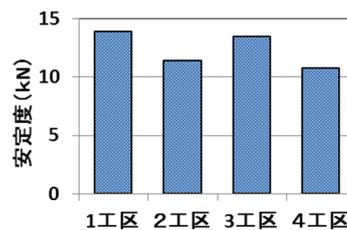


図-27 マーシャル安定度測定結果

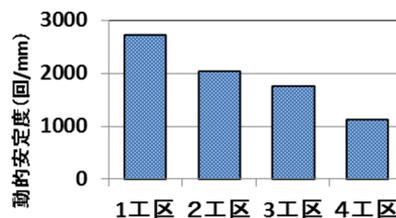


図-28 動的安定度測定結果

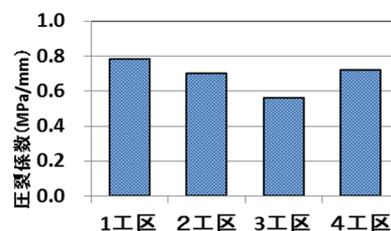


図-29 圧裂係数測定結果

メについては、1工区～3工区はやや細かく、4工区は普通であった。各工区の締固め度は99%以上で十分な締固めがあった。

以上のことから、高針入度アスファルト150～200および200～300を用いた再生密粒度(13)の施工性は、一般的な再生密粒度(13)(40～60)や新規密粒度(13)(40～60)と同等であることが確認できた。

#### 5.1.4 表層用混合物の混合物性状

表層用混合物の出荷時の性状試験結果を図-27～29に示す。

マーシャル安定度は、各混合物とも規格値を十分満足していた。

動的安定度は、高針入度アスファルトの150～200および200～300(2, 3工区)とも再生アスファルト40～60(1工区)より低いが、新規アスファルト40～60(4工区)より高くなっている。マーシャル安定度と圧裂係数は、比較材の1, 4工区と同等以上であった。

このことから、高針入度アスファルト150～200および200～300を用いた場合でも、新規密粒度(13)と同等以上の流動抵抗性が確保でき、劣化した旧アスファルトを十分に回復させることができるものと考えられる。

#### 5.1.5 追跡調査の結果

路面性状の追跡調査として、施工直後H26年6月と

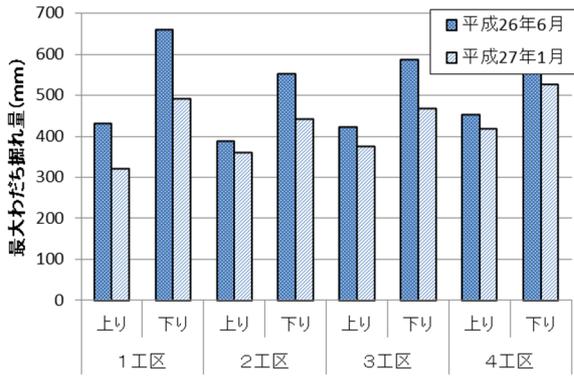


図-30 わだち掘れ量測定結果

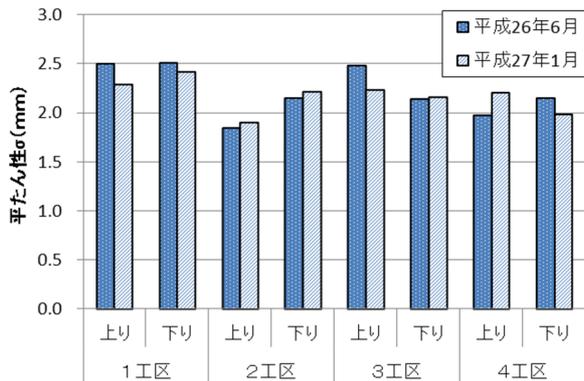


図-31 平坦性測定結果

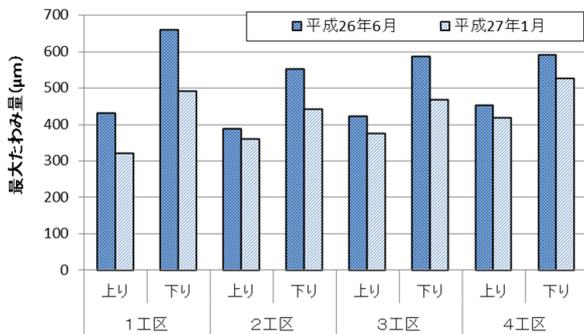


図-32 たわみ量測定結果

7ヶ月後のH27年1月にわだち掘れ量、ひび割れ率、平坦性およびFWD測定装置によるたわみ量を測定した。ひび割れは、7ヶ月後ではまだ発生はなかった。わだち掘れ量、平坦性およびたわみ量の測定結果を図-30～32に示す。この結果、わだち掘れ量、平坦性およびたわみ量とも材料によって差はあるものの、高針入度アスファルト(2, 3工区)は、再生アスファルトや新規アスファルト(1, 4工区)と比べ同等以上であった。

## 6. まとめ

### (1) 燃料用アスファルトの舗装用アスファルトへの適用に関する検討

- ① バインダ性状試験や混合物性状試験では、試作品3試料中2試料は比較の従来材規格に合致する品質であったため、燃料用アスファルトから舗装用アスファルトを製造することも技術的には可能である。
- ② 比較のストアスと比べ劣化傾向が異なるため、燃料アスファルトの品質指標として通常のバインダ及び混合物性状試験に加え劣化後のバインダ及び混合物性状試験の追加を提案する。

### (2) AsButon の舗装用アスファルトへの適用に関する検討

#### 1) 鋼床板舗装への適用性に関する検討

- ① インドネシア産天然アスファルト (AsButon) の混合割合を20%とすることで、日本におけるグースアスファルト混合物の本四基準のうち作業性 (リュエル流動性)、耐流動性 (動的安定度)、低温時のたわみ性 (破断時のひずみ) 及び道路橋床板防水便覧の引張接着強度の品質規格を満足することが確認できた。
- ② 産地や採掘ロットなどにより最適な混合割合が多少前後することは考えられるが、AsButonをグースアスファルト混合物用とすることは、その有効利用の一つとして期待できる。
- ③ AsButonの品質指標として本四基準のリュエル流動性、動的安定度、破断時のひずみ及び道路橋床板防水便覧の引張接着強度を提案する。

#### 2) ポットホール補修材への適用性に関する検討

- ① AsButon2種類 (BRA-1とBRA-M) は、十分な耐久性がありポットホール用補修材への適用は有効と考えられる。
- ② 今後インドネシア国の品質基準、利用マニュアルに反映していく予定である。
- ③ AsButonの品質指標として簡易ポットホール走行試験を提案する。

### (3) 高針入度アスファルトの舗装用アスファルトへの適用に関する検討

- ① 高針入度アスファルト (150/200, 200/300) は、混合物性状、施工性、路面性状とも既存材料 (再生や新規アスファルト) と比べ同等以上であり、再生用アスファルトとして使用可能であることが確認できた。
- ② 高針入度アスファルトの品質指標は従来と同じ品質指標で対応できることが分かった。

**参考文献**

- 1)佐々木巖、峰岸順一：舗装材料の再生利用拡大の現状と高針入度アスファルトの活用に向けて、アスファルト、No.229、pp.43-48、2014.12
- 2)峰岸順一、竹田敏憲：低騒音舗装のポットホールに使用する高性能型常温混合物の評価、舗装工学論文集、第12巻、2007.12、pp131～139
- 3)つくば舗装技術交流会：維持修繕に関する検討、TPT Report、No.13、2013.9

## A STUDY ON APPLICATION OF UNUTILIZED ASPHALT RESOURCES TO PAVEMENT

**Budgeted** : Grants for operating expenses

General account

**Research Period** : FY2012-2014

**Research Team** : Road Technology Research Group, Pavement  
Materials and Resources Research Group,  
Advanced Materials

**Author** : KUBO Kazuyuki, TERADA Masaru

KAWAKAMI Atsushi, HIRAKAWA Kazunari

NISHIZAKI Itaru, SASAKI Iwao

**Abstract** :

Oil wholesale companies are reducing the amount of crude refining due to a downturn in demand, and move to the white oil shift under administrative guidance. Therefore, domestic supply capacity has been decreasing, and pavement works may disturb because of shortage of bituminous asphalt. This study seeks alternative asphalt binders and provides their guidelines to apply pavement materials. As prospective alternative asphalt binders, fuel grade asphalt as a blending source, natural rock asphalt, and high penetration asphalt are selected. In order to examine the applicability of these unutilized asphaltic binders, various binder and mixture tests were conducted including accelerated aging testing. A guideline and scope of application for the three asphalt sources were proposed as alternatives of conventional petroleum asphalt for road pavement.

**Key words** : unutilized asphalt, fuel grade asphalt, AsButon, high penetration asphalt, alternative resources