

# インドネシア産天然アスファルト「アスブトン」の 利活用に向けた取組み

川上篤史・佐々木 巖・藪 雅行・久保和幸

## 1. はじめに

インドネシアでは、「AsButon（以下「アスブトン」という。）と呼ばれる天然ロックアスファルトが産出される。このアスブトンは、現在、インドネシア国内において主に軽交通道路における浸透式マカダム舗装やアスファルトの改質剤として用いられている。その埋蔵量は、1億6,300万tと見積もられていることや地表から直接採掘できることからコストも抑えられ、様々な舗装材料への利活用方法の開発が強く望まれている。また、日本においても石油アスファルトの供給量や供給体制等の変化、舗装材料の高度化や多機能化が進められており、新たな資源・用途として天然アスファルトの有効利用が期待されている。そこで、土木研究所では、2010年よりインドネシア道路研究所（以下「IRE」という。）とアスブトンの利用用途の拡大に向けて共同研究を進めている<sup>1)</sup>。本稿では、筆者らがこれまでに検討してきたアスブトンの道路舗装用アスファルトとしての性状試験結果、橋面舗装材料への適用可能性の検討結果、日本およびインドネシア国における試験施工結果等について紹介する。

## 2. アスブトンとは

インドネシアの天然ロックアスファルトであるアスブトンは、スラウェシ州ブトン島（図-1）を中心に産出されている。地表から直接採取（写真-1）することができ、採掘した後、粒状に一次加工（写真-1右下）して主にマカダム材料やアス



図-1 インドネシア国ブトン島の位置

ファルトの改質材として用いられている。アスブトンの成分は、ブトン島内の採掘場により多少異なるが、アスファルト分20～30%、残りがミネラル分で構成されている。

## 3. 共同研究での取組み

### 3.1 共同研究概要

本共同研究では、このアスブトンの利用拡大を目指して、①低コスト利用（表面処理や補修用材料）、②標準利用（改質材等を組み合わせた混合物）、③高度利用（アスファルト抽出精製）の3つの利用形態に分類して技術開発を行っている。例えば、インドネシアでこれまで行われてきたマカダム材料として利用することは、①低コスト利用に分類される。一方、②標準利用では、後述する鋼床版橋面舗装の水密性が高い基層材料であるグースアスファルト混合物として用いることを検討している。また、③高度利用では、アスブトンから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として用いることを検討しており、インドネシア国内の民間企業も含めて研究開発が行われている。



写真-1 アスブトンの採掘鉱床と加工後外観

### 3.2 アスブトンの一般性状

まず初めにアスブトンを舗装用アスファルト（結合材）としての性状を把握するための各種性状試験を行った<sup>2)</sup>。ここでは、一般的な物理性状および低温性状、化学性状として4成分組成分析結果を紹介する。

分析に用いた試料は、埋蔵量が多い採掘場であるKABUNGKA地区およびLAWELE地区で採取されたアスブトンを用い、アスファルトを抽出して試験を行った。なお、比較対象として舗装用石油アスファルト(以下「StAs」という。)60/80を用いた。

一般的な物理性状の試験結果を表-1に示す。アスブトンは、StAs に比べると常温で硬く、高温で粘度が高いことがわかった。2種のアスブトンを比較すると、LAWELE よりKABUNGKAのほうが針入度は低く、軟化点や粘度は高い傾向であった。

低温性状は、表-2に示すとおり、KABUNGKAは一般性状と同様にStAs に比べると硬くもろい特性を示した。一方、LAWELE は10℃における曲げ試験ではStAs60/80と同等の柔軟性を有することがわかった。アスブトンは、鉱脈等によりアスファルト性状が異なるほか、天然材であるため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は防水材等に用いられるブローンアスファルト相当の素材であるものといえる。

よって、アスブトンは、常温～供用温度領域で硬く、粘度が高いことから、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、低温域でのぜい性には留意する必要があることがわかった。

表-1 抽出した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	℃	84.0	55.5	48.0
15℃伸度	cm	0	33	150+
60℃粘度	Pa・s	113,000	1,030	205
引火点	℃	測定不能	206	334
密度	g/cm <sup>3</sup>	1.109	1.603	1.039

表-2 抽出したアスファルトの低温性状

試験項目	KABUNGKA	LAWELE	StAs60/80		
曲げ試験 (10℃)	曲げ応力	kPa	10.5	362	167
	ひずみ	kPa	4.7	274	259
	スティフネス	MPa	486	4.8	2.5
フラス脆化点	℃	11	-1	-12	

次に、4成分組成分析結果を表-3に示す。比較対象としてStAsのほか、天然アスファルトで印刷インク等にも用いられているGilsoniteや、グースアスファルト混合物に用いられているトリニダードレイクアスファルト (TLA) も試験に用いた。その結果、アスブトンは、StAs に比べると芳香族分が少なく、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。その一方で、アスブトンはTLA に近い組成となっていることがわかった。

以上より、アスブトンはTLA やブローンアスファルトのように、橋面舗装材料として用いられるグースアスファルト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た。

表-3 4成分組成試験結果

	KABUNGKA	LAWELE	StAs60/80	Gilsonite	TLA
飽和分	1.6	3.6	3.6	0.5	1.9
芳香族分	15.5	20.2	67	1.3	26.5
レジン分	45	49.3	14.6	80.9	40.6
アスファルテン	37.8	26.9	14.8	17.3	31

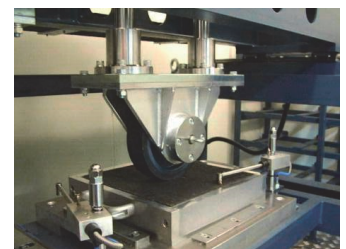
### 3.3 橋面舗装材料への適用可能性の検討

#### (1) 室内試験による混合物性状の検討

上記の材料試験結果を踏まえ、アスブトンの「②標準利用」として、橋面舗装材料(グースアスファルト混合物)への適用可能性の検討を行った<sup>3)</sup>。本検討でもアスブトンの中で埋蔵量の多いKABUNGKA産とLAWELE産の2種類を用いるとともに、比較試料としてTLAも試験した。実施した試験は、グースアスファルト混合物として求められる性能として、表-4および写真-2に示す作業性や塑性変形抵抗性、たわみ性、接着性、防水性について検討した。基準値については、「本州四国連絡橋橋面舗装基準(案)」(以下「本四基準値」という。)と「道路橋床版防水便覧」等に示される値を参考に設定した。

表-4 試験項目および基準値等

性能	試験項目	試験温度	基準値または 合否判定の目安	準拠した 基準
作業性	リュエル流動性試験	240℃	20秒以下	本州四国連絡 高速道路基準
塑性変形抵抗性	動的安定度	60℃	300回/mm以上	
低温時のたわみ性	曲げ試験 (破断時のひずみ)	-10℃	8.0×10 <sup>3</sup> 以上	
接着性	引張接着試験 (床版と混合物間)	23℃	0.6N/mm <sup>2</sup> 以上	道路橋床版防 水便覧
		-10℃	1.2N/mm <sup>2</sup> 以上	
防水性	加圧透水試験	常温	不透水	舗装調査・試験 法便覧



a) 作業性評価試験 b) 塑性変形抵抗性試験

写真-2 主な混合物試験の実施状況

混合物性状試験結果を表-5に示す。グースアスファルト混合物として求められる性能に対して、各種基準類を満足することが明らかになった。これにより、室内試験レベルの検討結果ではあるが、アスブトンはTLAと同様に江綿の防水舗装に利用可能であることが明らかになった。

表-5 アスブトンを用いたグースアスファルトの混合物性状

試験項目	基準値または 合否判定の目安	試験結果
リュエル流動性試験	20秒以下	10秒
動的安定度	300回/mm以上	417回/mm
曲げ試験 (破断時のひずみ)	$8.0 \times 10^{-3}$ 以上	$9.5 \times 10^{-3}$
引張接着試験 (床版と混合物間)	[23℃] 0.6N/mm <sup>2</sup> 以上	1.64 N/mm <sup>2</sup>
	[-10℃] 1.2 N/mm <sup>2</sup> 以上	1.69 N/mm <sup>2</sup>
加圧透水試験	不透水	不透水

(2) 実大試験施工による施工性等の検討

アスブトンを用いたグースアスファルト混合物の実機での施工性の確認として、プラントでの混合物作製およびグースアスファルトクッカ車による練り混ぜ、グースアスファルトフィニッシャによる舗設を行った<sup>4)</sup>。なお、本検討はアスブトンの日本での適用に向けて、大成ロテック（株）との「未利用アスファルト材料を用いた床版舗装の適用性に関する共同研究」において行ったものである。

グースアスファルト混合物の製造は、埼玉県深谷市にあるアスファルトプラントにおいて、200℃でクッカ車に練り落とした後、試験施工箇所まで運搬・混練した。試験施工箇所は、同県鴻巣市にある大成ロテック（株）技術研究所構内で、プラントから1時間の距離である。現場到着後も240℃に達するまで混練し、その後リュエル流動性の確認を行った。

その結果、リュエル流動性は13秒となり、目標値の20秒以下を満足した。この際、プラント製造やクッカ車での運搬による混合物の熱劣化は特段見られなかった。その後、グースフィニッシャを用いて既設アスファルト舗装の上に敷きならしを行った。その状況を写真-3に示す。

また、クッカ車からグースフィニッシャへの混合物の投入状況やグースフィニッシャから既設路面への舗設状況を観察した結果、通常のTLAを用いたグースアスファルト混合物と施工性は特段変わらないことを確認した。現地でのリュエル流



写真-3 アスブトンを用いたグースアスファルト混合物の施工性の確認

動性および作業性の確認により、アスブトンを用いたグースアスファルト混合物はグースフィニッシャでの施工が可能であり、通常のTLAを用いたグースアスファルト混合物と同等の製造・取扱いが可能であることを確認できた。

試験施工現場において混合物の採取および供試体を作製し、後日試験室において動的安定度および曲げひずみ等の混合物試験を行った。

試験施工時の混合物試験結果を表-6に示す。動的安定度は下限値であるものの、いずれも目標値を満足した。以上より、施工性からもアスブトンはTLAと同様に橋面の防水舗装として適用可能であることを確認した。

表-6 試験施工時の混合物性状

項目	(単位)	アスブトン	目標値
配合比(StAs20/40:AsButon)		80:20	-
アスファルト量	(%)	9.50%	-
リュエル流動性	(秒)	13	20以下
動的安定度	(回/mm)	300	300以上
曲げひずみ(-10℃)	( $\times 10^{-3}$ )	8.7	8.0以上

なお、本試験施工時には、インドネシア国IREでアスブトン研究の責任者であるHermadi博士も現地を視察した（写真-4）。インドネシアでは橋面舗装に用いるグースアスファルト混合物の実績が少ないため、同氏には現場施工に関する留意事項等の説明も行った。

アスブトンの日本への適用に関する本共同研究は、現在、交通荷重に対する耐久性評価として土木研究所舗装走行実験場において促進載荷試験を進行中である。耐久性評価の詳細については、本号に掲載されている「新しい橋面舗装材料の開発へ向けた取組み」を参照頂きたい。



写真-4 Hermadi博士によるリュエル流動性試験



写真-5 Cisadane橋の外観

### (3) インドネシア国での試験施工の実施

インドネシアでは橋面舗装にグースアスファルト混合物の適用実績はまだ少ないが、今後インドネシア国においてアスプトンを用いた橋面舗装の適用が期待される。このため、これまでのアスプトンの性状に関する検討結果や日本におけるグースアスファルト混合物の利用方法や橋面舗装に関する文献等を整理し、「グースアスファルト混合物としてのアスプトン利用マニュアル(案)」を作成した。目次構成および各章の概要を表-7に示す。本マニュアル(案)では、アスプトンの材料選定から配合設計、施工、管理と検査、維持管理、補修、その他について、とりまとめている。



写真-6 アスプトングースアスファルトの舗設

表-7 アスプトン利用マニュアル(案)の構成

章構成	概要
1.はじめに	・グースアスファルトの性能や橋面舗装の舗装構造など
2.材料	・グースアスファルト混合物用アスファルトや骨材、混合物性状など
3.配合設計	・配合設計の具体的手順など
4.施工	・グースアスファルト舗装の施工体制や運搬、施工手順など
5.管理と検査	・基準試験や施工管理、検査方法など
6.維持管理	・日常点検や調査項目など
7.補修	・補修工法の選定など
8.その他	・アスプトンを用いたポットホール補修材としての利用など



写真-7 表層工(密粒度アスファルト混合物)

- ・橋梁構造：トラス橋・延長 150m (50m×3 スパン)、道路幅員 6m、2000 年 12 月竣工
- ・施工規模：グース工区／延長 50m、幅員 6m  
非グース工区／延長 100m、幅員 6m
- ・舗装構成：グース工区／接着層、基層(グース) 4 cm、表層(密粒) 3 cm  
非グース工区／接着層、表層(密粒) 3 cm

IREは本マニュアルを参考に鋼床版防水層の試験施工を実施した。試験施工概要は以下のとおりである。また、施工等の状況を写真5～7に示す。

#### 【試験施工概要】

- ・施工場所：インドネシア国ボゴール州  
Cisadane Bridge
- ・施工時期：2017 年 12 月

今後、インドネシアにおいても試験施工箇所での供用性等に関する追跡調査を行うとともに、更なる実道での試験施工を通じて実用化に向け検討を進めていく予定である。

また、本マニュアル(案)については、今後IREがインドネシア国のアスファルトの性状や施工機械の保有状況等を反映して更新を行い、インドネシア版のアスプトン利用マニュアルとして運

用を行っていく予定である。また、本マニュアルに示された基準値等についても、現時点では日本の規格をそのまま採用しているため、気象環境をはじめインドネシア国に適した技術基準類にするべく検討する予定であり、引き続きマニュアルのフォローアップを行う予定である。

### 3.4 アスプトンの低コスト利用、高度利用に関する検討について

先に示したアスプトンの3つの利用形態のうち、①低コスト利用および③高度利用についても検討を行っている。その概要を以下に紹介する。

#### (1) 低コスト利用

低コスト利用では、アスプトンが粒状に加工されていることから、そのままポットホール補修材として利用することを検討した<sup>5)</sup>。試験に用いたアスプトンは、表-8に示す、粒状材料として製品化されている3種類（BRA-1、BRA-2、BRA-M）とした。最大粒径が一番大きいのはBRA-Mの13mm、次にBRA-1の5mm、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。

表-8 みかけの粒度、針入度、軟化点

ふるい目の呼び寸法 (mm)	通貨質量百分率 (%) (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

これらの耐久性を確認するため、ホイールトラック（WT）試験機を用いた簡易ポットホール走行試験<sup>6),7)</sup>および土木研究所舗装走行実験場における無人荷重車走行による耐久性試験を行った。

簡易ポットホール試験は、WT試験供試体に疑似ポットホールの穴（直径14.8×高さ3.5cm）を開け、この穴にアスプトンを転圧して一定時間養生した後、車輪を走行させてその沈下量を計測するものである。比較対象の試料として、一般的にポットホール補修材として用いられている常温補

修用混合物を用いた。試料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確認し、BRA-1およびBRA-2は60℃、BRA-Mは100℃、常温補修用混合物は20℃とした。

WT試験の結果、60分走行後の変形量は、常温補修用混合物が9mmであったのに対し、アスプトンは3種類とも1mm以下であった（図-2）。このことから、アスプトンは高い変形抵抗性を有していることがわかった。ただし、BRA-2については母体となるWT供試体との界面で層間で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、母体混合物との接着性が劣り層間で剥がれが生じたものと考えられる。

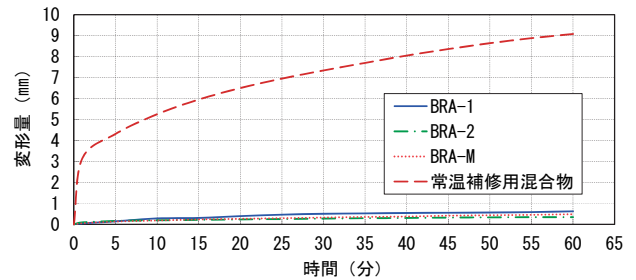


図-2 各混合物の走行時間と変形量の関係

次に、荷重車の走行による耐久性試験では、既設路面のひび割れ箇所に擬似的なポットホールを作製し、アスプトンを充填した。試料はバーナで軽く温めながらプレートで転圧した。荷重車の走行は49kN換算輪数で70,000輪（N4交通で約5年相当）まで行い、目視によりひび割れや骨材等の飛散の状況を観察した。

走行試験の結果、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なく、補修材として利用可能性があることがわかった。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増加していき、70,000輪通過後では破損した状態となった。これは、BRA-2の針入度が0.5と低いことや、骨材粒径が2.5と細かいことが施工性や既設舗装との接着性の低下の原因となり、早期に破損したのと考えられることから補修材として利用可能性は低いと思われる。

#### (2) 高度利用

高度利用については、IREが主体となり、アス

ブトンから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の利用に関する検討を行っている。IREでは調査研究用の抽出プラント(写真-8)を開発して実験検討を行っている。近年、ブトン島にアスブトン研究センター(写真-9)を建設し、製品の品質管理体制の構築や、アスファルトの抽出精製を含めた、総合的なアスブトンの利活用に関する研究を本格的に進めている。

土木研究所では、アスファルトの抽出に用いる溶剤に関して、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試験・評価<sup>8)</sup>してIRE側に報告するなどの技術的支援を行っている。



写真-8 研究用の抽出プラント



写真-9 アスブトン研究センター

#### 4. おわりに

2019年3月5日にインドネシアのジャカルタにおいて、IREと土木研究所、国土技術政策総合研究所の3者で新たな5年間の研究連携に関する覚書が締結された。舗装分野では、アスブトンの利活用に関する研究のほか、さまざまな舗装技術に関する情報交換や共同研究を今後も進めていく。研究連携を通じた両国の舗装技術の発展に向け、当該研究をさらに推進していく予定である。

#### 参考文献

- 1) Anwar Yamin, Kazuyuki Kubo, Iwao Sasaki, and Sadaharu Ueno: JAPAN - INDONESIA COOPERATION ON THE RESEARCH IN ASBUTON, 14th REAAA CONFERENCE 2013, pp.916-922, 2013.
- 2) 西崎到、佐々木巖、久保和幸、川上篤史：インドネシア産天然アスファルトの品質と利用可能性について、3051、日本道路会議、2013.11
- 3) Atsushi KAWAKAMI, Iwao SASAKI, Kazuyuki KUBO, Sadaharu UENO, Madi HERMADI, Willy PRAVIANTO: Possibility to Utilize New Natural Rock Asphalt for Guss Asphalt, Asphalt Pavements, No.997, pp.1513-1520, 2014.6
- 4) Kazunari HIRAKAWA, Atsushi KAWAKAMI, Iwao SASAKI, Kazuyuki KUBO: STUDY ON THE PROPERTIES OF GUSSASPHALT MIXTURE WITH NATURAL ROCK ASPHALT YIELD FROM INDONESIA (ASBUTON), 15th REAAA, pp.416-425, 2017.3
- 5) 寺田剛、川上篤史、丸山陽：インドネシア産天然アスファルトの補修材への適用性に関する検討、第13回北陸道路舗装会議、2015.6
- 6) 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、pp.131~139、2007.12
- 7) 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
- 8) 佐々木巖、川上篤史、久保和幸：インドネシア産天然アスファルトの抽出精製に関する検討、第13回北陸道路舗装会議、2015

川上篤史



土木研究所道路技術研究グループ舗装チーム 主任研究員、博士(工学)  
Dr. Atsushi KAWAKAMI

佐々木 巖



土木研究所材料資源研究グループ 主任研究員、博士(工学)  
Dr. Iwao SASAKI

巖 雅行



土木研究所道路技術研究グループ舗装チーム 上席研究員  
Masayuki YABU

久保和幸



国土交通省近畿地方整備局 大阪国道事務所長、工修  
Kazuyuki KUBO