

環 境 ・ 持 続 可 能 性 の 追 及 に 寄 与 す る ポ リ マ ー 改 質 ア ス フ ァ ル ト

浅井 和明*

本報文では、令和2年2月20、21日に、福岡県福岡市博多区で開催された「第97回アスファルトゼミナール」で報告した内容について、一部加筆修正して掲載します。

1. はじめに

我が国における道路総延長は、120万kmを超え、経済の発展とともにその道路網を構築してきた。そして、舗装に求められるニーズに対応しながら、ポリマー改質アスファルトは様々なグレードが開発されており、当協会では、多様化するニーズに対応すべく、技術開発に取り組むとともにその技術情報を広く利用者に発信してきた。

第97回アスファルトゼミナールでは「環境・持続可能性を追求した舗装」というテーマのもとで、道路整備の現状、維持管理の課題や環境対策などについて各機関より紹介があった。当協会においても、環境・持続可能性に寄与するポリマー改質アスファルトについて、その性能と活用について発表を行ったので、ここでは補足事項を加えて、その内容を報告する。

2. ポリマー改質アスファルト

2.1 ポリマー改質アスファルトとは

改質アスファルトは改質手法の違いにより、ポリマー改質アスファルト（以下、PMA）とセミプローンおよび硬質アスファルトに分類される。PMAは図-1に示す通り、ストレートアスファルトに高分子材料（ポリマー）や添加剤等を使用することにより、アスファルト性状の向上を図り、特定の効果を付与させたものである。舗装

を構成する骨材を接着する役割を担うアスファルトを改質することにより、アスファルト混合物に塑性変形抵抗性やすり減り抵抗性の向上、たわみ性の付与や脆さの改善など、様々な効果を与え、舗装の耐久性を向上させることが可能となる。



図-1 ポリマー改質アスファルトとは

2.2 改質材の変遷とSBS樹脂

改質材には、ゴム系としてSBR（スチレン・ブタジエンゴム）、熱可塑性樹脂としてEVA（エチレン・酢酸ビニル共重合体）、熱可塑性エラストマーとしてSBS（スチレン・ブタジエン・スチレンブロック共重合体）、SIS（スチレン・イソブレン・スチレンブロック共重合体）など多数のポリマーが用いられてきた。その中でもSBSは低温から高温まで優れた性能を有することから、

*あさい かずあき 一般社団法人 日本改質アスファルト協会 技術委員

現在では主流の改質材として使用されている。写真-1にその外観を示す。SBS樹脂にはクラムやペレット、粉末状のものがあり、これをストレートアスファルトに混合溶融させて、PMAを製造する。

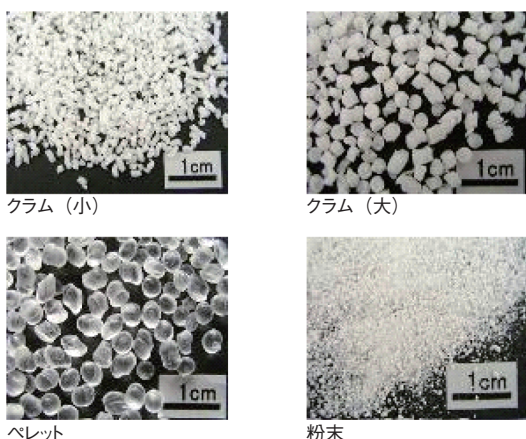


写真-1 SBSの外観

写真-2に改質アスファルト製造過程におけるSBSの分散状態の顕微鏡写真を示す。このように、SBSはアスファルト中で徐々に分散していき、SBS相が微分散した状態で安定した性能を発揮するようになり、PMAが完成する。

SBSは、製造過程でアスファルト中のマルテン分を吸収し5～7倍に膨張する。SBS添加量と相溶形態を、写真-3に示す。SBSの添加量が少ないとアスファルトが連続相の状態であるが、多くなるとSBSの連続相へと相転移を起こし、その性質も変化する。

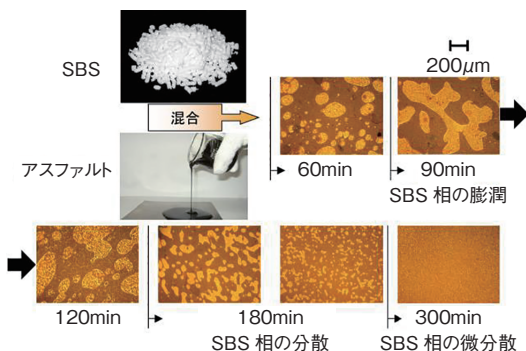


写真-2 時間経過におけるSBSの分散状況

ポリマー改質アスファルトⅠ型(以下、Ⅰ型)および

ポリマー改質アスファルトⅡ型(以下、Ⅱ型)はアスファルトの連続相であり、アスファルトの粘性が優勢な性状を示す。ポリマー改質アスファルトⅢ型(以下、Ⅲ型)はSBS連続相でありSBSの特性であるゴム弾性が優勢な性状を示すようになる。

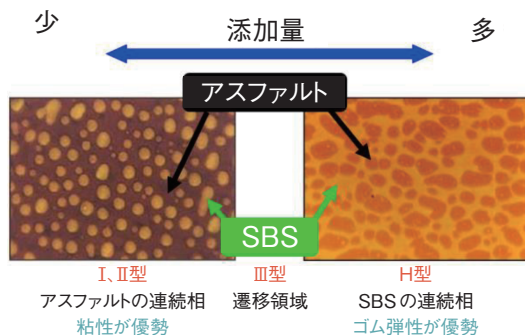


写真-3 SBS添加量と相溶形態

3. ポリマー改質アスファルトの種類と適用箇所について

3.1 ポリマー改質アスファルトのタイプ

PMAにはプレミックスタイプとプラントミックスタイプの2種類がある。前者は、前述で説明したように、あらかじめストレートアスファルトに改質材を混合溶融させたものであり、事前にタンクに貯蔵もしくは、ローリー車で直接供給することで、大量、連続での合材製造が可能となる。後者は、アスファルト混合物の製造工場において、写真-1に示すような改質材を、混合ミキサに直接投入して使用する。専用のタンクが不要であり、一般的に、少量や緊急での合材製造に適している。このように、PMAには使用方法に応じてタイプを選択することが可能である。

3.2 ポリマー改質アスファルトの種類とその性状および、舗装設計指針に定める適用事例

日本改質アスファルト協会に定めるPMAの品質規格(JMAAS-01)を表-1に示す。そのPMAは、適用箇所および要求される混合物の機能に応じて選定する必要がある。表-2に当協会にて品質規格を設けているPMAの主な適用箇所の目安を示す。基本的にPMAはⅠ型、Ⅱ型、ポリマー改質アスファルトⅢ型(以下、Ⅲ型)

及びH型に分類される。Ⅰ型、Ⅱ型、Ⅲ型は密粒度、細粒度、粗粒度などの混合物に主に用いられ、大型車の交通量に応じた塑性変形抵抗性を有するPMAが適用される。また、橋面舗装に、耐水性に優れたポリマー改質アスファルトⅢ型-Wや可撓性に優れたポリマー改質アス

ファルトⅢ型-WFがあり、コンクリート床版及び鋼床版上の舗装に適用される。ポーラスアスファルト舗装用のバインダには一般地域用のH型と積雪寒冷地用のポリマー改質アスファルトH型-Fがある。

表ー1 ポリマー改質アスファルトの品質規格¹⁾

項目		種類	I型	II型	III型		H型	
		付加記号			—W	—WF		—F
軟化点		℃	50.0以上	56.0以上	70.0以上		80.0以上	
伸 度	7℃	cm	30以上	—	—		—	—
	15℃	cm	—	30以上	50以上		50以上	—
タフネス (25℃)		N・m	5.0以上	8.0以上	16以上		20以上	—
テナシティ (25℃)		N・m	2.5以上	4.0以上	—		—	—
粗骨材のはく離面積率		%	—	—	—	5以下	—	—
フラース脆化点		℃	—	—	—	—	—12以下	—12以下
曲げ仕事量 (−20℃)		kPa	—	—	—	—	—	400以上
曲げスティフネス (−20℃)		MPa	—	—	—	—	—	100以下
針入度 (25℃)		0.1mm	40以上					
薄膜 加熱後	質量変化率	%	0.6以下					
	針入度残留率	%	65以上					
引火点		℃	260以上					
密 度		g/cm ³	試験表に記載					
最適混合温度		℃	試験表に記載					
最適締固め温度		℃	試験表に記載					

付加記号の略字 W：耐水性 (Water Resistance), F：可とう性 (Flexibility)

表ー2 ポリマー改質アスファルトの主な適用箇所²⁾

	種類		Ⅰ型	Ⅱ型	Ⅲ型		H型		
		付加記号				—W	—WF		—F
混合物機能	適用混合物		密粒度、細粒度、粗粒度等の混合物に用いる。 Ⅰ型、Ⅱ型、Ⅲ型は、主にポリマーの添加量が異なる。					ポーラス混合物に用いる。 ポリマー添加量が多い	
	主な適用箇所								
塑性変形抵抗性	一般的な箇所		◎						
	大型車交通量が多い箇所			◎				◎	◎
	大型車交通量が著しく多い箇所及び交差点				◎	○	○	○	○
摩耗抵抗性	積雪寒冷地域		◎	◎	○	○	○		
骨材飛散抵抗性								○	◎
耐水性	橋面（コンクリート床版）			○	○	◎			
たわみ追従性	橋面（鋼床版）	たわみ小		○	○		◎		
		たわみ大				◎			
排水性（透水性）								◎	◎

◎：適用性が高い、○：適用は可能

3.3 特殊グレードのPMAの種類と適用

舗装設計指針に定めるPMAの表に示されていない特殊グレードのPMAの種類と適用を表-3に示す。

①高耐久型ポーラスアスファルト舗装用

H型の骨材把握力をより高めることにより、ポーラスアスファルト混合物の塑性変形抵抗性の向上を目的としたPMAである。また、骨材把握力を高めたことから、高空隙率化及び小粒径化が可能となり、排水機能の持続性や騒音低減の向上が期待できる。

②寒冷地高耐久型ポーラスアスファルト舗装用

ポリマー改質アスファルトH型-Fよりも低温時の骨材飛散抵抗性にさらに優れたバインダである。積雪寒冷地域の耐久性向上に使用される。

③ねじれ抵抗性改善型ポーラスアスファルト舗装用

高温時における強度が非常に高く、重交通路線の交差点部や大型車の出入り口などで発生する、タイヤのねじりによる骨材飛散の抑制を目的としたPMAである。

④鋼床版用ポーラスアスファルト舗装用

可撓性を向上させたバインダであり、ポーラスアスファルト混合物のたわみに対する追従性及び疲労抵抗性が向上するため、鋼床版上のポーラスアスファルト舗装に適している。

3.4 中温化技術を活用したPMA

中温化の実現は、中温化剤と呼ばれる添加剤を用いることにより行われる。この中温化剤は得られる作用機構の違いにより添加方法が異なり、事前にアスファルトと均一に混合するプレミックスタイプと中温化剤を合材工

場で投入するプラントミックスタイプの2つの方法がある。また、中温化剤の種類に主には発泡系、粘弾性調整系および滑材系の3種類に大別される。

中温化技術によって、加熱アスファルト混合物の縮固め特性を改良し、通常より混合および縮固め温度が低下しても縮固め性が変化しないことより、舗装の品質を確保することが可能となる。現在、中温化技術を活用したPMAには「中温化ポリマー改質アスファルト」と「施工性改善型ポリマー改質アスファルト」の2つがある。いずれも中温化技術を活用しているので、その特徴や効果は似ているが、使用目的に違いがある。

前者は、中温化アスファルト舗装や低炭素アスファルト舗装などの施工に使用するPMAであり、製造及び施工温度を通常より30℃程度下げる事が可能である。これにより製造および施工時の省エネルギー対策だけでなく、早期交通開放時の初期わだち掘れの抑制や作業環境の改善などにも効果を発揮する。

一方、後者は低温環境下における施工において、舗装の品質確保を目的としたPMAである。加熱アスファルト混合物は温度低下とともに施工性、縮固め性が悪化することで品質が低下する。そこで、中温化技術により温度低下時における施工性、縮固め性を向上させることで、舗装の品質確保が可能となる。しかし、前者と異なる点は、製造温度は通常温度範囲で行う事である。

両者ともに通常のPMAと同様の各種グレードがあるため、道路補修の維持、修繕とそのコスト削減、舗装の長寿命化、舗装品質向上による快適で安全な路面の維持や補修工事による渋滞の抑制などが期待できると考えら

表-3 ポーラスアスファルト用特殊グレードの種類と適用¹⁾

混合物機能	主な適用もしくは箇所	特殊グレード			
		高耐久型	寒冷地高耐久型	ねじれ抵抗性改善型	鋼床版用
塑性変形抵抗性	一般的な箇所	◎	◎	◎	◎
	大型車交通量が著しく多い箇所	◎	○	◎	○
骨材飛散抵抗性	寒冷地の骨材飛散抑制	○	◎		○
	極寒冷地の骨材飛散抑制		◎		
	交差点部の骨材飛散抑制	○	○	◎	
疲労破壊抵抗性	鋼床版のたわみ追従性確保	○	○		◎
騒音低減、排水性(透水性)	高空隙率な小粒径混合物	◎	◎		

◎：適用性が高い、○：適用は可能

れる。

4. 「環境・持続可能性の追求」に寄与するPMA

4.1 環境・持続可能性な社会と舗装

近年、「持続可能な社会」という言葉を頻繁に耳にするが、世界中では実現に向けた様々な活動が行われている。この「持続可能な社会」とは何であろうか。今まで技術革新や経済発展などにより、人々は豊かさと便利さを手に入れてきた。その代り、温室効果ガス増加に伴う大規模な気候変動、汚染物質排出による環境汚染を招き、資源争奪による紛争を引き起こすなど、地球環境は悪化の一途をたどっている。これを回避すべく、地球環境が適切に保全され、将来の世代が必要とするものを損なうことなく、現在の世代の要求を満たすような開発が行われている社会が「持続可能な社会」と理解する。そこで、道路は経済活動を支える社会基盤の1つであり、その道路を構成する舗装は重要な役割を果たすものである。

4.2 環境・持続可能性を追求した舗装

持続可能な社会における舗装とはどんなものであろうか。先に述べた環境保全と経済活動を鑑みて、PMAが寄与できるのは主に、以下の4項目が考えられる。これらについて、以下に紹介する。

- ①ライフサイクルコスト（以下、LCC）の削減
- ②舗装の高耐久化・長寿命化
- ③環境負荷の低減・省資源
- ④効率化と生産性向上

4.2.1 PMAによるLCCの削減

図-2に示すパフォーマンスカーブはPMAを用いることによるLCCの削減に関して、本誌で紹介された報文より抜粋したものである³⁾。図-2はストレートアスファルトとⅡ型を用いた場合の累積大型車交通量と累積わだち掘れ量の関係である。累積大型車交通量の増加に伴い、累積わだち掘れ量は直線的に増加しているが、Ⅱ型混合物を用いることで、その値は半分程度となっている。

図-3に累積大型車交通量に伴うⅡ型の維持管理指数（以下、MCI）の変化を示す。Ⅱ型はストレートアスファルトよりも緩やかである。維持管理指標MCI

（Maintenance Control Index）は、舗装の供用性をひび割れ率、わだち掘れ量、平坦性によって定量的に評価したものであり、4以下を修繕の必要な目安としている。MCIが4以下となる場合のⅡ型の修繕期間はストレートアスファルトに対して1.8倍程度長寿命であると評価されている。

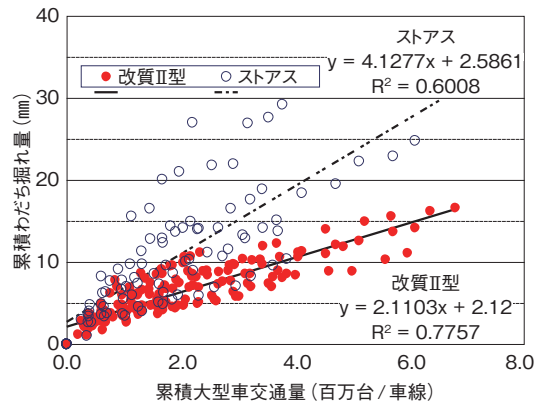


図-2 わだち掘れのパフォーマンスカーブ

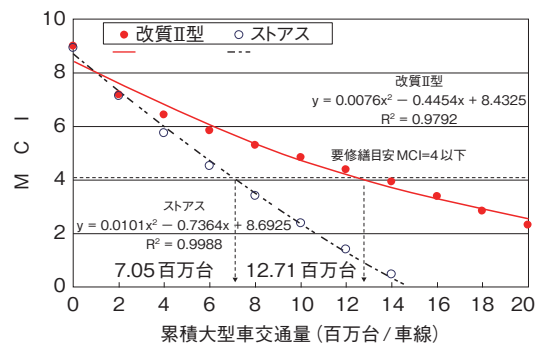


図-3 MCIのパフォーマンスカーブ

4.2.2 舗装の高耐久化・長寿命化

先に述べたⅡ型より高い塑性変形抵抗性能を有するのがⅢ型である。土木研究所内の舗装走行試験場での荷重車による11年間、400万輪の走行試験の結果によると、3年後のわだち掘れ量はⅡ型に比べⅢ型は約半分、11年後は約60%に抑えられ、優れた塑性変形抵抗性能が確認されている⁴⁾。

また、アスファルト舗装は水と交通の相互作用により、骨材表面からアスファルトがはがれる「はく離」と呼ばれる現象により、設計寿命に満たない期間で壊れること

が度々問題となっている。事情によりはく離し易い骨材を使用せざるを得ない場合、地下水位が恒常的に高い場合、橋面舗装やポラスアスファルト舗装で滞水が過酷な場合などに、はく離抵抗性を向上させたポリマー改質アスファルトⅢ型-Wを活用することは対処法の1つとして有効である⁵⁾。

さらに、鋼床版舗装ではたわみの繰返しによるひび割れ等が発生し易いが、たわみ追従性とはく離抵抗性を向上させたポリマー改質アスファルトⅢ型-WFを使用することで耐久性を向上させることが可能である⁶⁾。

4.2.3 環境負荷の低減・省資源

3.4で紹介した中温化ポリマー改質アスファルト(以下、中温化PMA)は合材の製造温度、施工温度を30℃程度低減可能にするものである。180℃でアスファルト混合物を製造すると、1t当たりCO₂が20.3kg排出されるが、製造温度を30℃低減すると、13.7%のCO₂排出量削減ができると報告されている⁷⁾。PMAの出荷量は年間約40万tであり、アスファルト混合物中のアスファルト量を5%とすると、約800万tのPMA混合物が出荷されていると試算される。このことより、PMA混合物の半分の製造温度を30℃低減させることで、CO₂排出量を年間1万t程度削減できることになる。このように、中温化PMAはアスファルト混合物の性能を確保しつつ、省エネルギー化、地球温暖化ガスの排出抑制を可能にするものである。

その事例の結果を表-4に示す。その結果、骨材加熱に使用した燃料は12%程度削減され、30℃程度下げた製造温度におけるミキサーへの負荷は通常と同程度であった⁸⁾。このように、中温化PMAは環境負荷の低減や省資源に対して、効果の高いPMAである。

表-4 プラントにおける合材製造の結果

合材種類		通常合材	中温化合材
練落し温度	℃	176	148
ミキサー負荷	A	111	107
加熱バーナー燃料使用量	L/t	8.91	7.81

4.2.4 効率化と生産性向上

ここでは中温化技術を活用したPMAである施工性改

善型ポリマー改質アスファルト(以下、施工改善PMA)について説明する。

加熱アスファルト混合物はその特性上、温度が低下すると施工性が悪化、締固め度が低下するなどにより、舗装の品質が低下する。その対策として開発されたのが施工改善PMAである。

図-4は密粒度アスファルト混合物(13)に施工改善PMAⅡ型を使用した場合のマーシャル供試体における、締固め温度と締固め度の関係を示したものである。施工改善PMAⅡ型は通常のⅡ型より、締固め温度範囲が30℃程度低温領域へ拡大しているのがわかる⁹⁾。

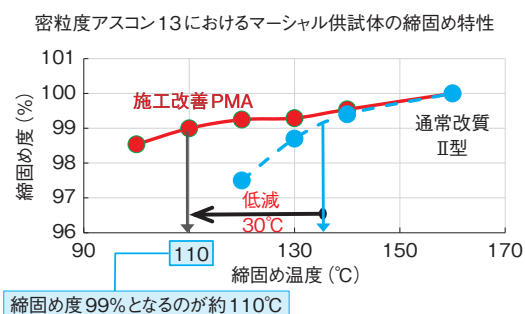


図-4 締固め温度と締固め度の関係1

骨材飛散やポットホールが生じている既設舗装上に、厚さ20mm程度の加熱アスファルト混合物を表面処理工法として舗設する場合、温度低下による締固め度の低下で舗装の品質が低下してしまう恐れがある。これに対して、中温化技術を活用した施工改善PMAをした場合の転圧温度低下に対する締固め度の変化を示したデータを図-5に示す¹⁰⁾。これによると、通常の密粒度アスファ

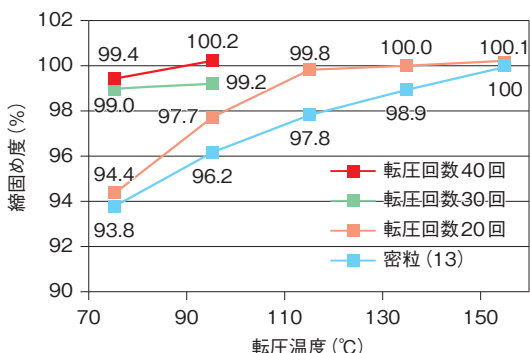


図-5 転圧温度と締固め度の関係2

ルト混合物が温度低下とともに縮固め度が低下するのに対し、施工改善PMAは120℃程度まで縮固め度の低下がなく、100℃を下回っても転圧回数を増やせば縮固め度を確保することが可能なことがわかる。

このように低温環境下でも扱いやすくすることで、舗装の品質を確保するだけでなく、冷えて使用できなくなったアスファルト合材を減らすことも可能となる。

5. おわりに

第97回アスファルトゼミナールでは、環境・持続可能性に寄与するポリマー改質アスファルトについて、その性能と活用について紹介した。当協会では、ポリマー改質アスファルトに関する技術の向上、品質の安定化などを通して社会貢献に努めている。今後も、国民の皆様喜んでいただける道路舗装を目指し、ポリマー改質アスファルトの開発・安定供給に努力するとともに、多様なニーズに応えるべく活発な活動を行う所存であり、今後も継続してご支援のほどお願い申し上げます。

参考文献

- 1) 一般社団法人 日本改質アスファルト協会、「ポリマー改質アスファルト ポケットガイド」(2020)
- 2) 日本道路協会、「舗装設計施工指針」(平成18年版)
- 3) 丸山ら、ポリマー改質アスファルトⅡ型混合物舗装のLCC評価と適用範囲、改質アスファルト、29号、2007
- 4) 寺田ら、「耐流動性評価指標とわだち掘れの関係」、舗装、Vol.54、No.2 2019)
- 5) 土木学会鋼構造委員会、道路橋床版の維持修繕マニュアル2016
- 6) 松野、アスファルト舗装の破損とパフォーマンス、p.95、2011
- 7) 吉中、アスファルト舗装の低炭素化技術(中温化)の動向、石油製品討論会前刷集、石油学会(2010)
- 8) 上坂ら、「再生用中温化アスファルトを用いた再生混合物の施工例」、第29回 日本道路会議
- 9) 金澤ら、施工性改善型ポリマー改質アスファルトⅡ型の開発と特徴、第14回北陸道路会議、2018
- 10) 松下ら、加熱アスファルト混合物を用いた高耐久表面処理工法の開発、第13回北陸道路会議、2015

- 1) 一般社団法人 日本改質アスファルト協会、「ポリ