

施工性改善型 PMA の粘弾性状とその発現メカニズムについての一考察

昭和シェル石油（株） 中央研究所 ○野口 健太郎
瀬尾 彰

1. はじめに

老朽化する道路インフラを適切に維持・修繕し、長寿命化を実現していくためには、修繕の際の舗装品質の向上が必須である。その手段の一つが、耐久性（耐流動性、耐水性など）の高いポリマー改質アスファルト（以降、PMA）混合物の適用である。しかしながら、PMA 混合物の施工には、「適切な温度管理が必要」という課題があった。

課題の要因となるのが、PMA 混合物の温度低下（例えば、140℃以下）に伴う、施工性の悪化である。施工性の悪化した PMA 混合物は、所定の密度を確保することが難しくなり、期待される性能（耐流動性、耐水性、平坦性など）を発揮できなくなる恐れがある。すなわち、施工性の悪化した PMA 混合物を用いた場合、舗装品質低下の原因となる可能性がある。特に寒冷地の施工においては、温度低下が顕著となるため、舗装の品質を確保しながら、PMA 混合物の温度管理を容易とする手段が求められている。

本報では、上記課題を解決する施工性改善型 PMA の性能とその効果について、SBS 分散状態の可視化および粘弾性状測定結果を用いて報告する。

2. 施工性改善型 PMA の開発コンセプト

PMA 混合物を用いた舗装の品質を考える際に重要となるのが、「施工可能な固さ」と「供用時の強度」である。一般的に PMA は供用時の強度を確保するために SBS を配合している。

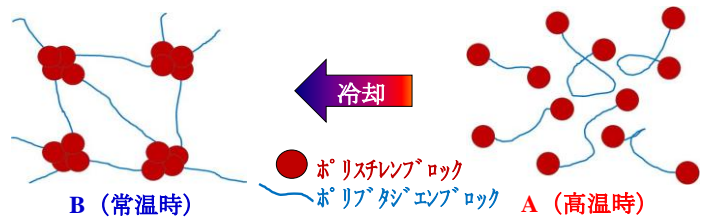


図 - 1 SBS の構造の概念

SBS の構造概念図を図 - 1 に示す。PMA 中

の SBS は、混合物温度の低下（骨材と混合する 180℃程度から施工時の 100℃程度までの温度低下）とともに、その分散状態を図 - 1A から図 - 1B へと緩やかに変化させる¹⁾。そのため、PMA は道路供用時に高い強度を発現する一方で、施工時にポリスチレンブロックが凝集を開始すると大きく増粘し、施工性が悪化すると考える。

現実に、従来の PMA を用いた舗装施工に於いては、混合物の温度が 140℃程度を下回ると施工を行うことが難しくなり、適切な温度で施工されなかった従来 PMA 混合物は、平坦性の確保ができない、密度が低いなど、舗装品質の確保ができなくなるという課題があった。

このような課題に対して、アスファルト混合物の製造および施工可能な温度を低下させることを目的とし、発泡系、粘弾性調整系および滑剤系等の利用が中温化技術として提案されている²⁾。これらの手法は、ストレートアスファルト、もしくは従来 PMA に中温化剤と呼ばれる添加剤を加えることで、施工時の温度低下によって増粘してしまったアスファルトの粘度を低下させる、または、骨材との潤滑を高めるなどして施工性を確保することを目的としている。

しかしながら、PMA 混合物の施工性を悪化させる要因は、SBS の凝集による増粘が主要因と考えられるため、中温化剤を加えて PMA の粘度を低下させる手法では、温度低下に伴う PMA の増粘の傾向を

大きく変化させることは難しいと考える。

そこで筆者らは、供用時の強度を確保しつつ、施工温度域における粘度上昇を抑えるため、SBSの分散状態を制御し、PMA そのものの粘弾性状を改善する技術を開発した。本技術を適用した施工性改善型 PMA の性能概念図を図 - 2 に示す。施工性改善型 PMA は、混合物温度 100℃程度までは SBS の凝集を抑制することにより施工のしやすさを確保し、100℃以下では SBS が凝集することで供用時の強度を発現するよう設計した。すなわち、従来 PMA に中温化剤を添加して施工性の改善をはかるのではなく、PMA そのものの粘弾性状を改良することによって、施工性改善型 PMA として理想的な性能を実現した。

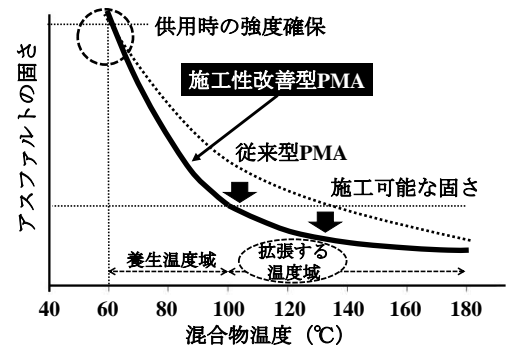


図 - 2 施工性改善型 PMA の性能概念図

3. 施工性改善型 PMA の性能

施工性改善型 PMA (以降、施工性改善Ⅱ型) を用いた混合物 (密粒 (13) [75]、中央粒度、OAC5.2%) の施工性、耐久性 (耐流動性および耐水性) を評価した。また性能を比較するために、従来のポリマー改質アスファルト (以降、従来Ⅱ型) を用いた混合物の性能も評価した。なお、両 PMA ともに日本改質アスファルト協会 (JMAA) の定めるポリマー改質アスファルトⅡ型規格を満足する。

3.1 施工性

締固め特性評価の結果を図 - 3 に示す。なお、締固め特性は、締固め温度を変化させた際のマーシャル供試体の密度として評価を行った。密度が高いほど、施工性が良いと判断した。測定結果より、施工性改善Ⅱ型を用いた混合物は、従来Ⅱ型を用いた混合物と比較して、締固め温度に関わらず、高い密度を確保することを確認した。これより、施工性改善Ⅱ型を用いることで、混合物の施工性を向上することを確認した。

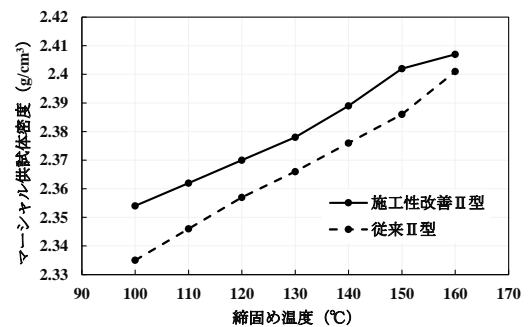


図 - 3 締固め特性 (175℃混合)

3.2 耐流動性

耐流動性 (DS) の評価結果を図 - 4 に示す。測定結果より、施工性改善Ⅱ型を用いた混合物は、混合および締固め温度に関わらず、従来Ⅱ型を用いた混合物と同等の耐流動性を発揮することを確認した。

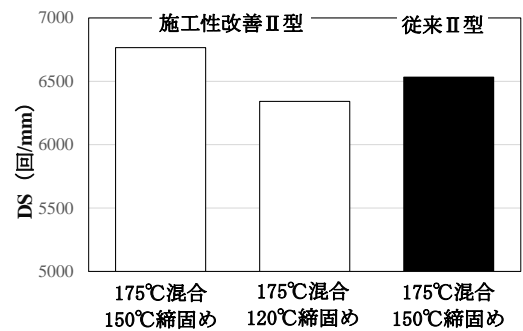


図 - 4 耐流動性

3.3 耐水性

耐水性は、残留安定度によって評価した。結果を図 - 5 に示す。測定結果より、施工性改善Ⅱ型を用いた混合物は、混合および締固め温度に関わらず、従来Ⅱ型を用いた混合物と同等の耐水性を発揮することを確認した。

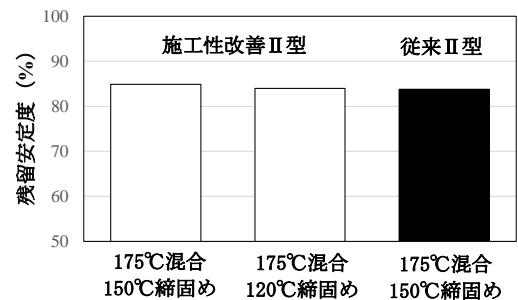


図 - 5 耐水性

3.3～3.3 より、施工性改善Ⅱ型を用いることで、混合物の施工性の向上と耐久性（耐流動性および耐水性）の確保を両立することが可能と考える。

4. 施工性改善型 PMA の性能発現メカニズム

2.で述べたように、本検討に用いた施工性改善型 PMA は、SBS の分散状態を制御し、粘弾性状を改善した PMA である。本節では、施工性改善型 PMA の性能発現メカニズムについて、PMA 中の SBS 分散状態および粘弾性状を関連づけて説明する。

4.1 SBS 分散状態の可視化および粘弾性状測定条件

PMA 中の SBS 分散状態は、光学顕微鏡を用いて観測した。ここで、アスファルト相は暗い色で、SBS 相は明るい色で観察される。

粘弾性測定条件を表 - 1 に示す。本評価では、位相角を評価することとした。ここで、位相角とは、物体がどれだけ粘性体に

表 - 1 粘弾性状測定条件

測定装置	Anton Paar社製 MCR101
測定温度	160～100℃（降温測定）
サンプリング温度から測定温度までの降温速度	5℃/min
歪み	1.00%
角速度	10rad/s
評価項目	位相角 δ (°)

近いを示す値である。位相角が 90° の場合、PMA が粘性体（液体）であることを示し、90° 未満の場合は PMA が弾性的（固体的）な性質を持つことを示す。位相角が 90° の場合は、PMA は粘性体として振る舞うため、施工が容易であると考えられる。位相角が 90° 未満になると、PMA は弾性的になり、転圧の際に反発する、レーキが戻される（重くなる）など施工が難しくなると考える。

なお、本検証では、アスファルト混合物の混合から施工に伴う PMA の性状変化を評価するために、バインダの温度を一定の降下率で低下させて評価を行った。

4.2 測定結果

PMA 中の SBS 分散状態の光学顕微鏡による可視化結果および粘弾性状測定結果を図 - 6 に示す。

これらの結果より、温度低下に伴い PMA 中の SBS の分散状態および粘弾性状が変化することが分かった。すなわちアスファルト混合物を製造するような高温時（160℃）には、PMA 中の SBS は 10 μ m 以下の微粒子となって分散し、アスファルト中で自由に動けるため、流動性を示すと考えられる。また温度低下とともに、PMA 中の SBS がネットワークを形成するため、PMA はゴム弾性を発揮するようになり、固体として振る舞うようになると考えられる。

さらに、温度低下に伴う PMA 中の SBS 分散状態の変化が PMA によって異なることを確認した。従来Ⅱ型は、バインダ温度が 140℃を下回ると、アスファルト中の SBS がネッ

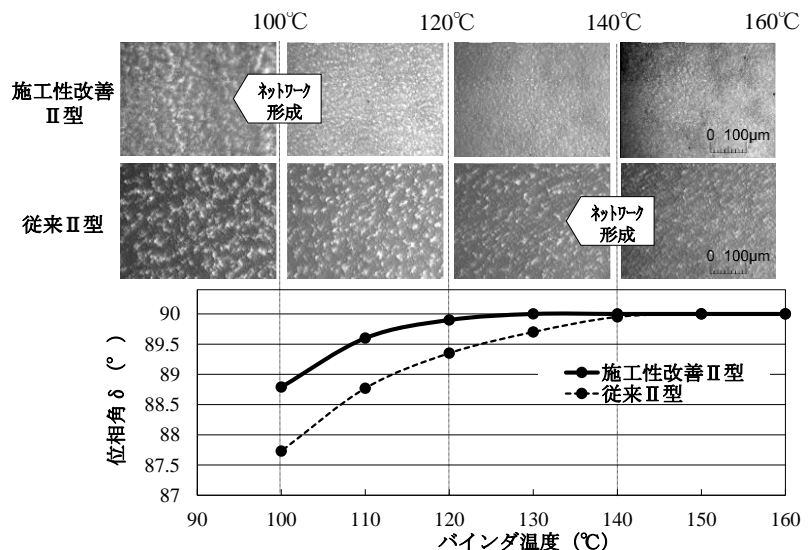


図 - 6 SBS 分散状態の可視化および粘弾性状測定の結果

トワークを形成し始め、位相角が 90° 未満となった（固体的な性質を示しはじめた）のに対し、施工性改善Ⅱ型は、120℃までアスファルト中の SBS は 10μm 以下で均一に分散し、ネットワークを形成せず、位相角が 90° を保った（液体的な性質を示した）。

以上より、施工性改善Ⅱ型は、バインダ温度が 120℃を下回るまで、アスファルト中で SBS が微細に分散し、液体的に振る舞うため、良好な施工性を発揮すると考える。一方、バインダ温度が 100℃以下になると、アスファルト中の SBS がネットワークを形成し、固体的な性質を強めるため、供用時に必要な耐久性を確保すると考える。

5. 施工性改善型 PMA のバインダ性状および施工実績

本報にて説明した施工性改善型 PMA のバインダ性状を表 - 2 にまとめる。3. で述べた通り、施工性改善型 PMA は、JMAA の定めるポリマー改質アスファルトⅡ型規格を満足する PMA である。

また、施工性改善型 PMA の施工実績例を表 - 3 にまとめる。これらの施工実績より、施工性改善型 PMA は、国道や空港の施工においても、年間を通して良好な施工性および高い耐久性を発揮することを確認した。

表 - 2 施工性改善型 PMA のバインダ性状

項目	単位	代表性状	JMAA規格
軟化点	℃	58.0	56.0以上
伸度@15℃	cm	100+	30以上
タフネス@25℃	N・m	30.3	8.0以上
テナシティ@25℃	N・m	22.5	4.0以上
針入度@25℃	1/10mm	49	40以上
薄膜加熱質量変化率	%	+0.04	0.6以下
薄膜加熱後の針入度残留率	%	76	65以上
引火点	℃	356	260以上
密度@15℃	g/cm ³	1.034	報告

表 - 3 施工性改善型 PMA の施工実績

時期	案件
2012年2月	国道8号 逢谷内IC改良工事
2012年11月	国道49号 楊川改良津川地区舗装工事
2016年6月	大阪国際空港 W6C2誘導路改良工事
2017年11月	東京国際空港 N地区エプロン舗装等工事
2017年11月	東京国際空港 A誘導路等舗装補修工事

6. まとめ

PMA 混合物の施工時の課題を解決する施工性改善型 PMA の性能とその発現メカニズムについて報告した。以下にまとめる。

- ・報告した施工性改善型 PMA は、従来

PMA に中温化剤を添加して施工性の改善をはかるのではなく、PMA そのものの粘弾性状を改良することによって開発した。

- ・施工性改善型 PMA を用いた混合物は、従来の PMA を用いた混合物と比較して、良好な施工性を発揮する一方で、同等の耐久性（耐流動性および耐水性）を確保した。

- ・SBS 分散状態の可視化と粘弾性状測定の結果より、高温時には、SBS がアスファルト中で均一に分散するため、PMA は流動性を示すことを確認した。温度低下時には、SBS がネットワークを形成するため、PMA は固体的な性質を示すことを確認した。さらには、温度低下に伴う PMA 中の SBS 分散状態の変化は、PMA の配合、およびその設計思想によって異なることが分かった。

- ・施工性改善型 PMA は、約 120℃までアスファルト中の SBS が均一に分散し、ネットワークを形成せず、液体的な性質を示した。そのため、良好な施工性を発揮すると考える。一方、バインダ温度が 100℃以下になると、アスファルト中の SBS がネットワークを形成し、固体的な性質を強めるため、供用時に必要な耐久性を確保すると考える。

参考文献

- 1) 秋山、ポリマーブレンドー相溶性と界面、pp.259~259 (1981)
- 2) 一般社団法人 日本道路建設業協会：中温化技術（低炭素）アスファルト舗装の手引き、pp、5-7