

橋面舗装のレベリング層に適用する高耐久アスファルト混合物に関する研究

長岡技術科学大学大学院 環境社会基盤工学分野 ○大川 功真
(一社)日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 橋本 雅行
長岡技術科学大学 環境社会基盤系 高橋 修

1. はじめに

道路橋のコンクリート床版は、車両が繰り返し通行することで疲労が蓄積し、ひび割れなどの劣化・損傷が生じる。特に、床版表面に雨水などの水分が存在する場合、床版の劣化やひび割れの進行が促進されて、橋面舗装の損傷も促進される。このため、橋面舗装と床版の間には、雨水や塩化物イオンが床版内部へ侵入することを防ぐ目的で、床版防水層が設置されている。

近年では、耐久性の高い床版防水層が多く使用されており、その耐用年数は橋面舗装よりもかなり長い。しかし、橋面舗装を打ち換える際には、使用可能な床版防水層であっても舗装体と一緒に撤去され、再施工されることになる。その結果、工事費の増加や工期の長期化につながるものが課題となっている。また、橋面舗装や床版防水層の撤去にはバックホウが使用されるため、その作業によって床版表面のコンクリートにダメージが生じて、床版の耐久性を低下させることが懸念されている。

和田らは、橋面舗装の打換え時に既設のアスファルトコンクリート（以下、アスコン）をすべて撤去せず、床版上に約 20 mm の薄層で残存させ、その上に乳剤を散布、浸透させることで防水中間層として再利用する方法を検討したり、**図-1** に防水中間層の構築イメージを示す。検討では、この防水中間層の不透水性と力学特性について評価した。その結果、多少の損傷を有する切削残存層に改質アスファルト乳剤（以下、改質乳剤）を散布することで、不透水性と力学特性を回復させて、橋面舗装の防水中間層として利用できることを確認した。しかしながら、防水中間層の不透水性は、新規アスコンよりもわずかの劣るものであった。

大谷らの検討では、改質乳剤によって性能回復させた切削残存層の上に不透水性の高いレベリング層を施工した基層（以下、基層複合体）を構築することについて検討した²⁾。レベリング用アスファルト混合物に求められる仕様としては、①最大骨材粒径が小さいこと、②高い不透水性を有すること、③十分な塑性流動抵抗性を有することが挙げられる。特に①の仕様から、最大骨材粒径が 5 mm の混合物が適当と判断した。そこで、既往の文献を調査し、最大骨材粒径が 5 mm で、かつ不透水性と塑性流動抵抗性に優れる混合物として、碎石マッシュアスファルト混合物（以下、SMA）を選定した。そして、既往文献の仕様に基づいた SMA（以下、日本規格）³⁾の配合設計を行い、不透水性と塑性流動抵抗性が新規アスコンと同等以上であることを確認した。

大谷らの研究では、ピンポイントで我が国の既往仕様に準拠して配合を決定しており、諸外国の実績や他の代替混合物も視野に入れた包括的な検討が不十分であった。また、防水中間層とレベリング層を一体化した基層複合体としての物性の評価も実施していなかった。そこで、本研究では、欧州で代表的な最大骨材粒径 5 mm の SMA である独国の SMA5S（以下、独国規格）⁴⁾、米国 AASHTO 規格の Superpave 混合物 5（以下、米国規格）⁵⁾についても配合を検討し、日本規格と比較してレベリング層に適した混合物を再検討した。さらに、選定したレベリング混合物を防水中間層の上に施工して基層複合体を構築し、一般的な新規アスコンによる基層と物性を比較した。そして、この基層複合体の実施工での適用性について考察した。

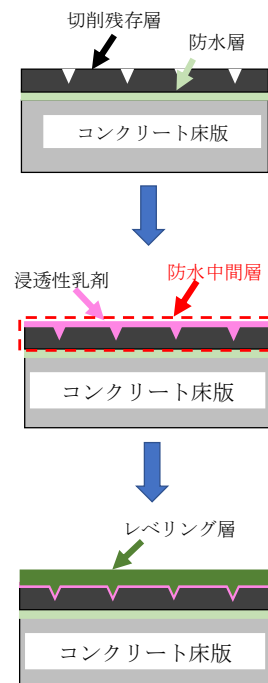


図-1 防水中間層の構築イメージ

2. 各アスファルト混合物の基本物性の評価

2.1. 検討概要

3種類の混合物は異なる規格に基づくため配合条件は異なるが、基本物性の評価では、供試体作製および試験は我が国の舗装調査・試験法便覧³⁾に基づいて実施した。アスファルト量（以下、アス量）は、一般的なSMAのOACを参考に7%とし⁶⁾、バインダーにはストレートアスファルト（以下、ストアス）を使用した。また、各国の規格によって配合設計パラメータが異なるため、本研究では同一の評価指標で基本物性を比較することとし、空隙率、骨材間隙率（以下、VMA）、マーシャル安定度、粗骨材間隙率（以下、 VCA_{MIX} ）および粗骨材のみの粗骨材間隙率（以下、 VCA_{DRC} ）を評価した。各混合物の粒度曲線を図-2に示す。

2.2. 試験結果および考察

試験結果を表-1に示す。AASHTOのSMA基準⁷⁾では、粗骨材同士のかみ合わせを確保するため、 VCA_{MIX} が VCA_{DRC} を下回ることが求められている。 VCA_{MIX} が VCA_{DRC} を上回る場合は、細骨材やモルタルが粗骨材の間隙を過度に充填し、粗骨材同士のかみ合わせが十分に形成されてないことを意味する。本試験では、3種類の混合物すべてにおいて VCA_{MIX} が VCA_{DRC} を上回り、AASHTOの基準を満足しなかった。これは、本研究で対象とした混合物は最大骨材粒径が小さいため、図-3に示すように粗骨材の粒子同士の接触が減少してモルタル中に浮いた状態となり、粗骨材のインターロッキング効果が十分に形成されなかったと推定される。

日本規格は3種類の混合物のなかで空隙率が最も小さく、マーシャル安定度が最も高い値であった。また、VMAについては、3種類の混合物すべてが各規格で定められた基準値を満足していた。レベリング用アスファルト混合物には高い不透水性が求められ、空隙率が小さいほど水が浸透しにくくなる。このため、空隙率が小さく、かつ高いマーシャル安定度を有する日本規格がレベリング用混合物として最も妥当と考え、あらためて選定した。

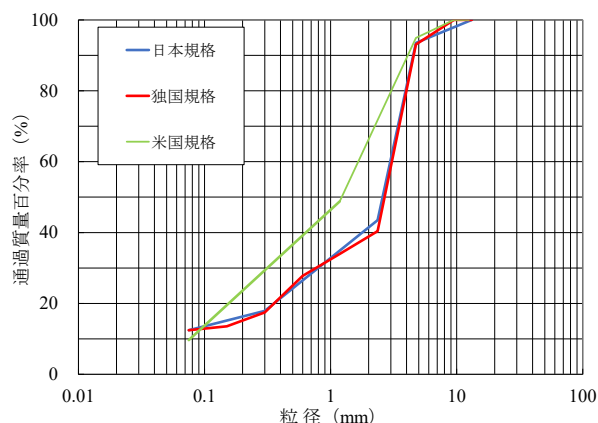


図-2 各混合物の骨材粒度曲線

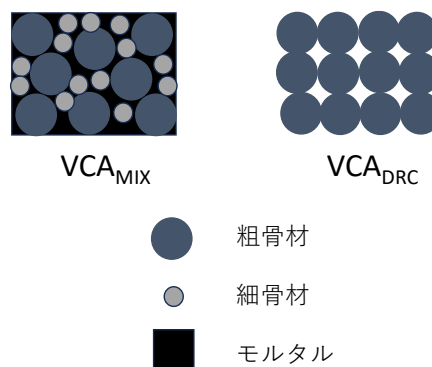


図-3 VCA_{MIX} と VCA_{DRC} のイメージ

表-1 各評価指標に対する試験結果

種類	No.	空隙率		VMA		VCA _{MIX}		VCA _{DRC}	VMA≥ 17%	VCA _{DRC} > VCA _{MIX}	MS安定度(kN)	
		測定値	平均	測定値	平均	測定値	平均		測定値	平均		
日本規格	1	2.70	2.54	18.13	17.99	46.18	46.61	42.34	○	×	10.10	10.30
	2	2.37		17.85		46.91			○	×	9.70	
	3	2.54		17.99		46.75			○	×	11.10	
ドイツ規格	1	3.65	3.17	18.98	18.57	47.45	47.18		○	×	8.30	8.70
	2	3.41		18.77		47.31			○	×	7.90	
	3	2.45		17.96		46.79			○	×	9.90	
アメリカ規格	1	5.39	5.15	20.33	20.13	60.45	60.35		○	×	7.60	7.77
	2	5.09		20.08		60.33			○	×	8.20	
	3	4.97		19.97		60.28			○	×	7.50	

2.3. 日本規格 SMA の仕様に関する検討

レベリング用混合物として、あらためて日本規格 SMA を選定したが、骨材粒度や使用バインダーの仕様について再検討した。日本規格 SMA には表-2 に示す基準⁸⁾を満たすこと、およびホイールトラッキング試験（以下、WT 試験）の動的安定度（以下、DS）が新規基層アスコンである最大骨材粒径 13 mm の密粒アスファルト混合物（以下、新設密粒 13）に相当することが求められる。基本物性の評価ではストアスを使用したが、この場合、水浸マーシャル安定度が基準値を下回っていた。また、日本規格 SMA の DS が新設密粒 13 より低くなった。そこで、レベリング層として必要な耐久性を確保するため、本研究では日本規格 SMA のバインダーには改質アスファルトⅡ型（以下、改質Ⅱ型）を使用することにした。

表-2 日本規格 SMA の物性基準

項目	基準値	
	I 型 又は III 型	II 型
マーシャル安定度	6 以上	
空隙率	2~3	
水浸マーシャル残留安定度 60℃ 48 時間	75 以上	
骨材間隙率	17 以上 (望ましい値)	14 以上 (望ましい値)

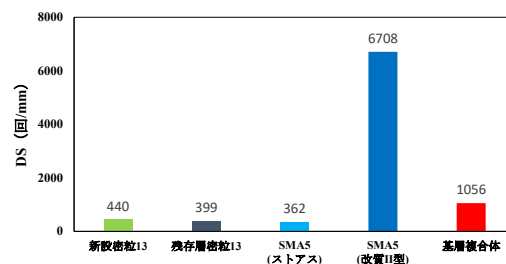


図-4 各混合物供試体の DS の比較

3. 基層複合体の評価

3.1. 塑性流動抵抗性の評価

基層複合体の塑性流動抵抗性を評価するため、WT 試験を実施して DS を求めた。供試体の作製および载荷試験は、舗装調査・試験法便覧³⁾に基づいて実施した。試験には、改質Ⅱ型を使用したレベリング層の基層複合体に加えて、比較対象として新設密粒 13 単体、切削残存層を想定した空隙率 7.5% の密粒度アスファルト混合物（以下、残存層密粒 13）単体、および改質Ⅱ型を使用した日本規格 SMA 単体の計 4 種類を用いた。供試体の厚さはいずれも 50 mm に統一した。

WT 試験から得た DS および変位量の結果を図-4、図-5 に示す。基層複体の DS は新設密粒 13 単体よりも大きく、変位量も小さい。これより、基層複合体は新設密粒 13 と同等以上の塑性流動抵抗性を有することが確認される。

3.2. 変形追従性の評価

アスコン層の基本的な力学的性能として、低温時における変形追従性を静的曲げ試験によって評価した。試験は舗装調査・試験法便覧³⁾に基づいて実施し、曲げ強度および破断時ひずみを測定した。試験温度は-10℃とした。供試体は WT 試験と同様の方法で作製した後、ダイヤモンドカッターを用いて 300×100×40 mm に成形した。試験には、WT 試験と同様の計 4 種類の供試体を用いた。

各供試体の曲げ強度を図-6 に、破断時ひずみを図-7 に示す。基層複体の曲げ強度は残存層密粒 13 を上回り、新設密粒 13 と同程度の値であった。また、破断時ひずみについても、基層複合体は新設密粒 13 と同程度の値であった。以上より、基層複合体は新設密粒 13 と同程度の曲げ特性を有することが確認される。

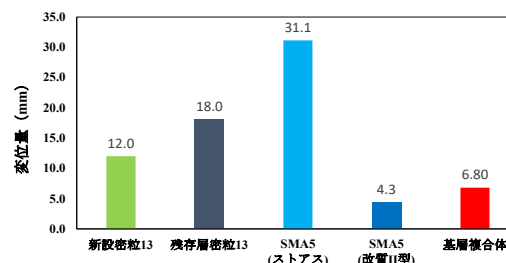


図-5 各混合物供試体の変位量の比較

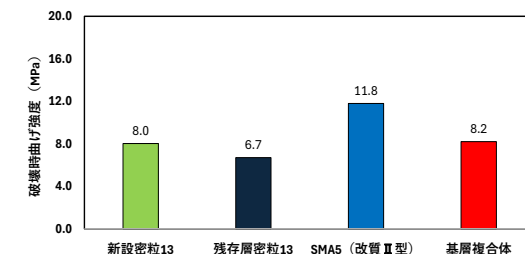


図-6 各混合物供試体の曲げ強度の比較

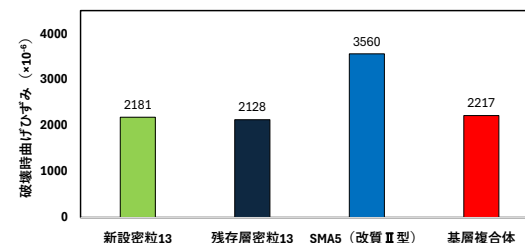


図-7 各混合物供試体の破断時ひずみの比較

3.3. 疲労抵抗性の評価

繰返し荷重に対する基層複合体の疲労抵抗性を曲げ疲労試験によって評価した。試験温度は 20℃とした。供試体は WT 試験と同様の方法で作製した後、ダイヤモンドカッターを用いて 400×40×40 mm に成形した。試験には、基層複合体に加え、比較対象として新設密粒 13 単体および残存層密粒 13 単体の計 3 種類を使用した。

曲げ疲労試験の結果を図-8 に示す。基層複合体の疲労破壊回数は、新設密粒 13 単体と同程度であった。これより、基層複合体は新設密粒 13 と同程度の疲労抵抗性を有するものと評価される。

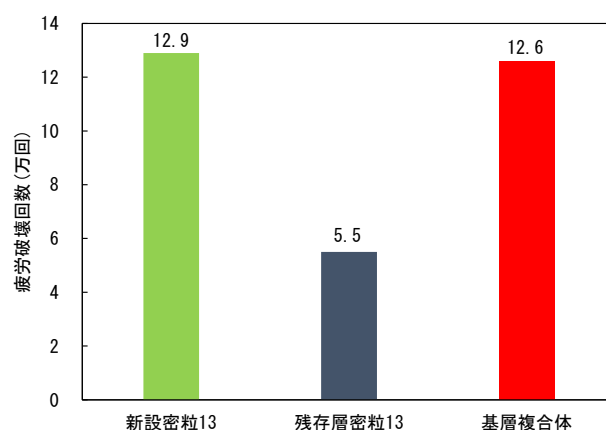


図-8 各混合物供試体の疲労破壊回数の比較

4. まとめ

本研究では、橋面舗装の切削残存層の上に施工するレベリング用アスファルト混合物の物性を比較し、レベリング層に適した混合物を選定した。さらに、選定した混合物を防水中間層の上に施工した基層複合体は、新設密粒 13 と同等以上の性能を有しているのか検討した。本研究で得られた知見を以下に示す。

- ① 3 種類の混合物を比較した結果、日本規格の SMA は空隙率が最も小さく、かつマーシャル安定度が最も高いことから、レベリング用アスファルト混合物に選定した。また、ストアスを使用した SMA では十分な耐久性が期待できないことから、バインダーに改質Ⅱ型を使用した。
- ② WT 試験の結果、基層複合体は新設密粒 13 よりも DS が大きく、変位量も小さかった。このことから、基層複合体は新設密粒 13 と同等以上の塑性流動抵抗性を有するものと評価された。
- ③ 静的曲げ試験の結果、基層複合体の曲げ強度および破断時ひずみは、新設密粒 13 と同程度の値であった。このことから、基層複合体は新設密粒 13 と同程度の曲げ特性を有するものと評価された。
- ④ 曲げ疲労試験の結果、基層複合体の疲労破壊回数は新設密粒 13 と同程度であった。このことから、基層複合体は新設密粒 13 と同程度の疲労抵抗性を有するものと評価された。

以上より、日本規格 SMA と防水中間層で構成される基層複合体は、新設密粒 13 と同等以上の物性を有することが確認された。したがって、既設の切削残存層を基層の一部として有効活用することで、橋面舗装の打換工事における工費削減、工期短縮、および床版保護が期待できる。

参考文献

- 1) 和田悠太，橋本雅行，高橋修：橋面舗装の切削残存層を再利用する乳剤浸透工法の最適仕様に関する研究，第 42 回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会セッション別プログラム，V-103，2025。
- 2) 大谷捷人，橋本雅行，高橋修：橋面舗装の切削残存層上に使用するレベリング用アスファルト混合物に関する研究，第 43 回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会セッション別プログラム，V-107，2026。
- 3) (公社)日本道路協会：舗装調査・試験法便覧〔第 3 冊分〕2019。
- 4) Deutscher Asphaltverband (DAV) e. V.: Stone Mastic Asphalt: Guidelines, Bonn, Germany, 2023。
- 5) AASHTO M 323-13: Standard Specification for Superpave Volumetric Mix Design, 2013。
- 6) 神谷恵三：水密性の高い SMA の施工方法，アスファルト，vol.47，No.216，pp.14-17，2004。
- 7) AASHTO R 46-08: Standard Practice for Designing Stone Matrix Asphalt (SMA), 2008。
- 8) 東日本高速道路株式会社・中日本高速道路株式会社・西日本高速道路株式会社：設計要領・第一集・舗装編，pp.53-57，2013。