

## 2. 中温化再生アスファルト混合物（機械式フォームド方式） による試験施工結果と技術検証

### Examination of Warm Mix Recycled Asphalt Mixture using Mechanical Foamed Method

技術支援課 田村 哲也、○上野 真誉

#### 1. はじめに

東京都では、2050年までに二酸化炭素排出量を実質ゼロにすることを目指す「ゼロエミッション東京戦略」を2019年12月に発表、都内温室効果ガス排出量を2030年までに50%削減（2000年比）する等の「ゼロエミッション東京戦略2020 Update & Report」を2021年3月に策定、「カーボンハーフ」の取組を強化している。

また、東京都建設局（以下、「当局」という。）では、CO<sub>2</sub>排出抑制技術として、加熱アスファルト混合物の中温化技術に着目し、実用化に向けた検討を進めてきた。2018年度まで室内試験における各種中温化混合物の性状確認を行い、概ね東京都の規格値を満足する混合物を製造可能であることが明らかとなった<sup>1)</sup>。このことから、2020年度に機械式フォームド方式を用いた中温化アスファルト混合物（新材）（以下、「中温化混合物（新材）」という。）による試験施工を主要地方道東京所沢線（青梅街道）（練馬区関町南三丁目地内）にて実施し、各種強度試験等を行った結果、標準的な加熱アスファルト混合物と同程度の性能を有することを確認した<sup>2)</sup>。その後、2021年11月に、機械式フォームド方式による中温化混合物（新材）をアスファルト混合物事前審査制度における審査対象混合物となるよう申請し、2022年6月に承認を受けた。

本稿は、中温化混合物（新材）に続き、機械式フォームド方式による再生材を用いた中温化アスファルト混合物（以下、「中温化混合物（再生材）」という。）の実用化に向けた検討結果を報告するものである。

#### 2. 試験施工および試験概要

##### (1) 試験施工の概要

試験施工は、一般都道上野原八王子線（陣馬街道）八王子市上恩方町地内の路面補修工事にて、下り車線を切削オーバーレイにより実施した。

適用した中温化技術は、機械式フォームド方式によるもので、中温化混合物の製造は機械式フォームドアスファルト発生装置が設置されている合材プラントにて行った。試験施工で用いた混合物は、表-1に示す4種類である。

区分のうち、「標準」は中温化技術を用いていない通常混合物であり、比較のため施工したものである。「中温化」は、機械式フォームド方式を用いて、温度を標準より20°C下げて製造した混合物である。

施工時期は、標準の基層が2022年10月24日、中温化の基層が同年10月19日、標準の表層が同年11月22日、中温化の表層が同年11月24日であった。

表-1 試験施工に適用した混合物の種類

区分	グラフ名称	層	混合物の種類	中温化技術	製造・施工温度
標準	標準	表層	再生密粒度As混合物(13)	—	通常温度
		基層	再生粗粒度As混合物(20)		
中温化	中温	表層	再生密粒度As混合物(13)	機械式フォームド	通常温度 -20°C
		基層	再生粗粒度As混合物(20)		

##### (2) 現場試験

現場で行った試験項目及び数量を表-2に示す。

なお、現場試験は施工の1か月後に実施し、各試験は外側車輪通過部で実施した。

表-2 現場試験項目及び数量

試験種類	単位	試験機	数量
すべり抵抗試験	BPN	振り子式スキッド レジスタンステスタ	6箇所
	動摩擦係数 $\mu$	DFテスタ	6箇所

表-3 室内試験項目及び試験条件

試験名	試験方法	試験条件			
		温度 (°C)	養生	載荷周波数 (Hz)	ひずみ ( $\mu\text{m}$ )
ホイール トラッキング 試験	舗装調査・試験法便覧 B003ホイールトラッキング試験方法	60	5時間以上 24時間以内	—	—
			—	—	
標準マーシャル 安定度試験	舗装調査・試験法便覧 B001マーシャル安定度試験方法	60	30~40分	—	—
水浸マーシャル 安定度試験			水浸48時間	—	—
圧裂試験	舗装調査・試験法便覧 B006圧裂試験方法	20	20時間	—	—
曲げ試験	舗装調査・試験法便覧 B005曲げ試験方法	-10	6時間以上	—	—
曲げ疲労試験	舗装調査・試験法便覧 B018Tアスファルト混合物の曲げ疲労試験方法	20	2時間以上	5	600

### (3) 室内試験

各区分の混合物の品質が当局の基準を満足するか、同等かを検証するため、試験施工において区分毎に練り落とし混合物を採取し、表-3に示す試験を実施した。

なお、ホイールトラッキング試験は、練り落とし混合物による試験 ( $t=50\text{mm}$ ) のほか、現場採取供試体 (表・基層一体  $\phi=200\text{mm}$ 、 $t=100\text{mm}$ ) を用いた試験も実施した。

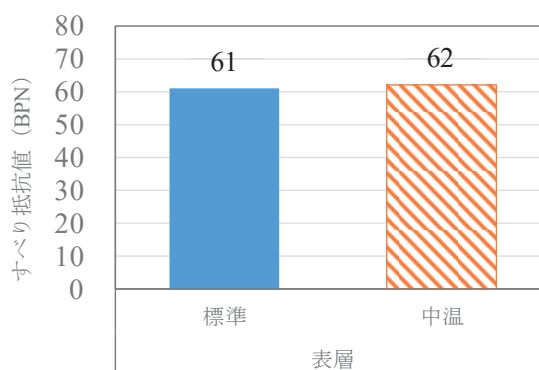


図-1 すべり抵抗試験 (BPN) 結果

## 3. 試験結果

### (1) 現場試験結果

#### 1) すべり抵抗試験 (BPN) (図-1)

すべり抵抗試験 (BPN) の測定結果は全ての区分で 60BPN 以上であり、標準混合物と中温化混合物で明確な差異を確認することができなかった。

#### 2) すべり抵抗試験 (DFT) (図-2)

すべり抵抗試験 (DFT) の測定結果は、20km/h ( $\mu 20$ ) で 0.47 程度、40km/h ( $\mu 40$ ) で 0.44 程度、60km/h ( $\mu 60$ ) で 0.4 程度、80km/h ( $\mu 80$ ) で 0.33 程度であり、標準混合物と中温化混合物で明確な差異を確認することができなかった。

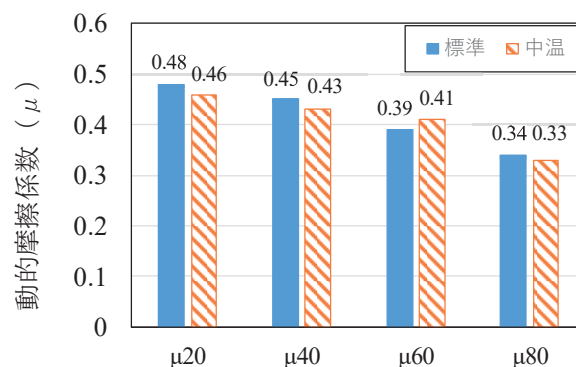


図-2 すべり抵抗試験 (BPN) 結果

## (2) 室内試験結果

### 1) ホイールトラッキング試験(t=50mm) (図-3)

試験施工時に、練り落とし合材で作製した供試体を用いて実施したホイールトラッキング試験(t=50mm)における動的安定度(DS)の結果を図-3に示す。

今回用いた混合物は、ストレートアスファルトによる混合物であり、当局では、当該混合物に対する基準値を定めていない。

DSは、表層・基層ともすべての混合物で3,000回/mm以上の結果を示した。表層の中温化混合物で標準混合物と比較し、20%程度低い結果であった。しかしながら、今回使用した混合物がストレートアスファルトによるものであることや基層部のDSを考慮すると、中温化混合物は、標準混合物と比較し、同程度の耐流動性を有しているものと考えられる。

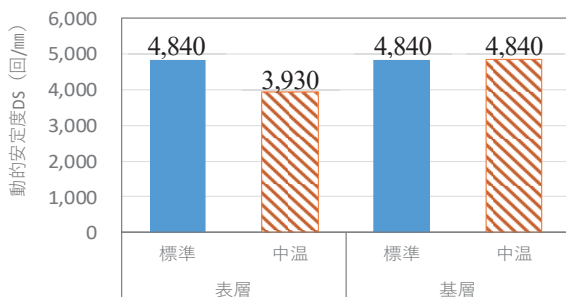


図-3 ホイールトラッキング試験結果  
(練り落とし混合物供試体 t=50 mm)

### 2) ホイールトラッキング試験(t=100mm) (図-4)

練り落とし合材で作製した供試体での試験のほか、実際に現場で施工された舗装から抜取ったコア供試体(表基層一体、φ200 mm、t=100mm)を用いた試験も実施した。この採取した供試体を、φ300mmの鉄製の型枠の中心に設置し、周りに石膏を流し込んで成形した試験供試体にてホイールトラッキング試験を実施した。

切り取り供試体によるホイールトラッキング試験の結果を図-4に示す。

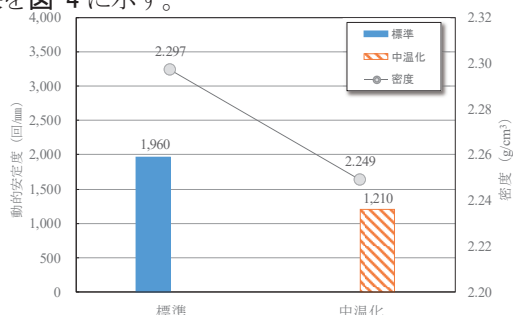


図-4 ホイールトラッキング試験結果  
(現場抜き取り供試体 t=100 mm)

標準のホイールトラッキング試験と試験厚さや供試体形状が異なるため参考値ではあるものの、中温化混合物のDSが標準混合物と比較し、40%程度低い結果であった。各供試体の密度を確認すると標準混合物が2.297g/cm³であったのに対し、中温化混合物が2.249g/cm³であった。このことから、中温化混合物の密度(締め度)が低かったことが、標準混合物と比較し、DSが低くなった原因と考えられる。

また、参考として今回用いた供試体を一般的なホイールトラッキング試験の結果に換算した場合<sup>3)</sup>、標準混合物で1,470回/mm、中温化混合物で907回/mmとなる。この結果から、中温化混合物も十分な耐流動性を有しているものと考えられる。

### 4) マーシャル安定度試験(図-5, 6, 7)

標準マーシャル安定度の試験を図-5, 6に、水浸マーシャル試験結果を図-7に示す。

標準マーシャル安定度の結果は、すべての混合物で約13~15kNであり、ほぼ同程度の値かつ当局の定める基準値である8kN以上を満足する結果であった。また、フロー値は、表層で33程度、基層で39程度であり、当局の定める基準値である20以上40以下を満足する結果であった。

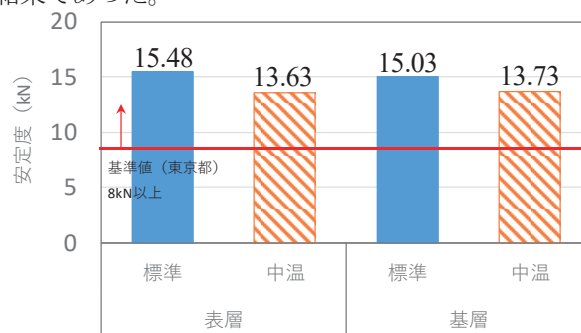


図-5 マーシャル安定度

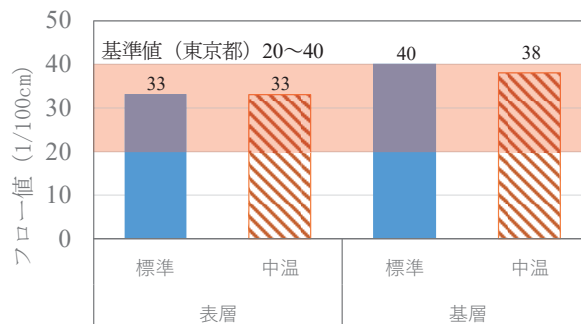


図-6 フロー値

水浸マーシャル安定度試験では、すべての混合物で安定度が13~14程度の結果であった。また、残留安定

度は、93～98%程度であり、舗装の構造に関する技術基準に示されている75%以上を満足していた。

残留安定度は、表・基層ともに中温化混合物が標準混合物より高い値を示した。

マーシャル安定度、フロー値、残留安定度から中温化混合物は、標準混合物と同程度の混合物の安定性と剥離抵抗性を有しているものと考えられる。

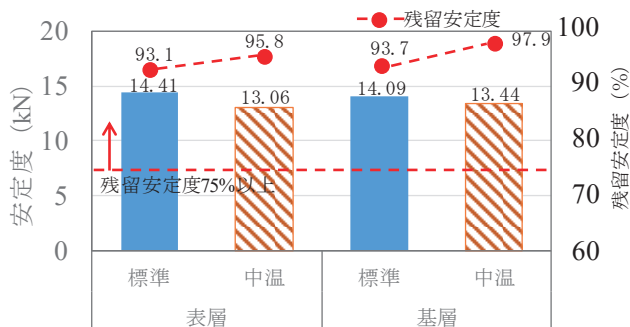


図-7 残留安定度

### 5) 圧裂試験 (図-8)

圧裂試験の結果を図-8に示す。

すべての混合物の圧裂強度は、2.0MPa程度であった。

当局では当該混合物における圧裂強度に関する基準値を定めていない。

中温化混合物の圧裂強度が標準混合物に対し、やや低い傾向を示したが、著しく低下しているともいえない。このため、中温化混合物は、標準混合物と同程度の耐流動性やひび割れ抵抗性を有していると考えられる。

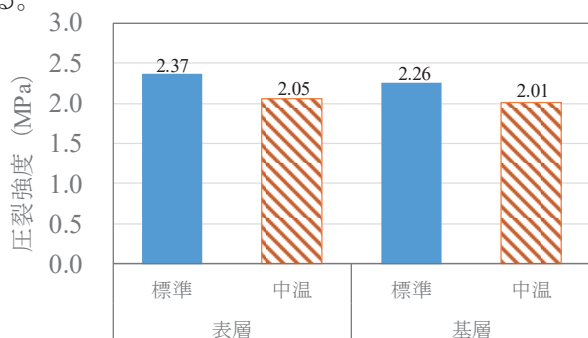


図-8 圧裂試験結果

### 6) 曲げ試験 (図-9, 10)

曲げ試験による曲げ強度の試験結果を図-9に、破断時のひずみの結果を図-10に示す。

当局では、当該混合物に対し、曲げ試験の基準値を定めていない。

曲げ強度は、表層では、標準混合物・中温化混合物ととに約9MPaであった。

一方、基層では、標準混合物と比較して中温化混合物が約19%低い結果であった。

破断時の曲げひずみは、表層が $23\sim 25\times 10^{-3}$ 程度であり、標準混合物と中温化混合物は同程度の結果であった。一方、基層では、 $17\sim 21\times 10^{-3}$ 程度であり、中温化混合物が約14%高い結果であった。

表層では、標準混合物・中温化混合物は同程度のひび割れ(たわみ性)を有していると考えられる。

基層では、曲げ強度は標準混合物がやや高く、破断時のひずみは中温化混合物がやや高い傾向を示したが、総合的に見ると標準混合物・中温化混合物は同程度のひび割れ(たわみ性)を有していると考えられる。

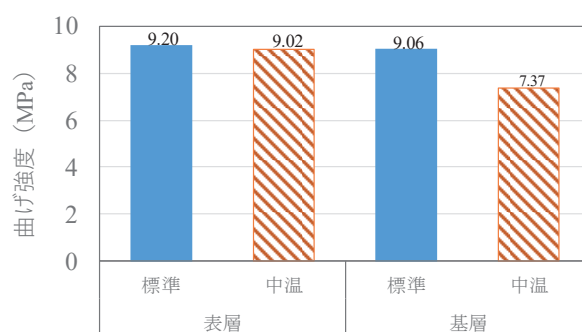


図-9 曲げ強度

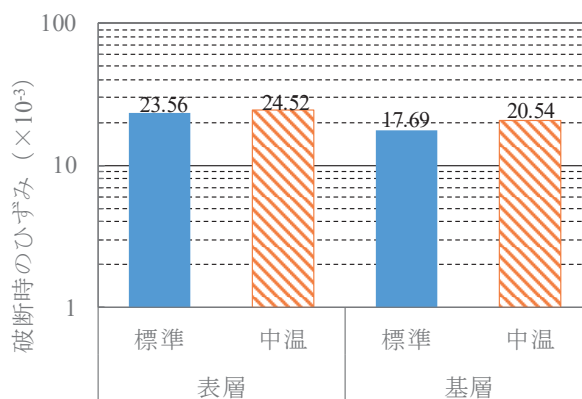


図-10 破断時のひずみ

### 7) 曲げ疲労試験 (図-11)

曲げ疲労試験の結果を図-11に示す。

ひずみの条件は、 $600\mu$ で行った。

表層では、標準混合物・中温化混合物ともに破壊回数は約4,000回であった。一方、基層では、中温化混合物の破壊回数が約21%高い結果であった。

表層・基層の結果を総合的に見ると標準混合物は中温化混合物と同程度の疲労抵抗性を有しているものと考えられる。

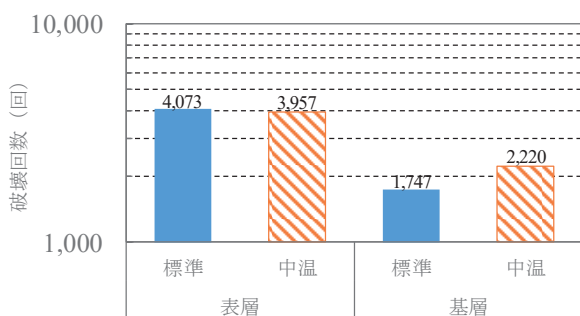


図-11 曲げ疲労試験結果

#### 4. まとめ

本検討における各種現場試験、室内試験の結果から中温化混合物は、標準混合物と同程度の品質・性能を有するものと考えられる。

#### 5. おわりに

本検討では、再生材を用いた機械式フォームド方式の品質検証を行った結果、一部今後のデータの蓄積による検証が必要な部分もあるものの、中温化混合物は、

標準混合物と比べ品質上大きな差異はなく、当局の品質基準値のある試験に対し全て基準値を満足していた。

このため、今回検証を行った再生材を用いた機械式フォームド方式による混合物は、全体としては標準混合物と概ね程度の品質が確保でき、標準的な適用が見込める混合物であると考えられる。引き続き、現場の路面性状追跡調査により供用性を把握していく。

また、本成果を踏まえ運用面で効率化が期待できるアスファルト混合物事前審査制度における審査対象混合物となるよう2023年5月申請し、承認された。

本調査の実施に当たっては、道路管理部保全課及び南多摩西部建設事務所補修課・八王子西工区には試験施工の実施に際し多大な協力を頂いた。ここに記し、感謝の意を表する次第である。本成果が、今後の中温化技術の普及拡大の一助となれば幸いである。

なお、本件は、東京都と（一社）日本アスファルト合材協会の共同研究にて行った成果をとりまとめたものである。

#### 参 考 文 献

- 1) 橋本喜正、関根淳（2019）：中温化混合物の適用性に関する調査報告，令元 都土木技術支援・人材育成センター年報、47-56
- 2) 橋本喜正、安藤哲明（2021）：機械式フォームド方式を用いた中温化アスファルト混合物の試験施工による技術検証，令3 都土木技術支援・人材育成センター年報、15-20
- 3) 鈴木勲、田中邦則（1992）：アスコン円形供試体の動的安定度-品質管理試験への適用-，平4 都土木技研年報、135-142