

## 7. 各種中温化混合物の室内試験による品質検証

### Quality Verification by the Indoor Examination of Various Temperature Reduction of Asphalt Mixture

技術支援課 峰岸順一、上野慎一郎、橋本喜正

#### 1. まえがき

東京都では、低炭素都市東京の構築に向けた取組みとして、CO<sub>2</sub>排出削減に寄与する舗装技術のひとつである中温化技術を適用したアスファルト混合物（以下、「中温化混合物」という）に注目して昨年度から品質の検討を始めている。この中温化技術は加熱アスファルト混合物において、調整剤を添加することにより必要な品質を確保しつつ製造時の加熱温度を30℃程度低減させるものである。平成22年度には、グリーン購入法の特定調達品目に認定されており、アスファルト舗装の表層・基層材料として、その使用を推進するとされている。しかし、当面の間、新規骨材を用いることと、ポーラスアスファルトには使用しないとされている。中温化混合物は、すべてのアスファルト混合物に適用されて始めて大きなCO<sub>2</sub>排出削減効果が得られると考えられることから、リサイクルへの適用やポーラスアスファルトへの適用検討が必須である。

東京都においても中温化技術を本格導入するに当たっては、リサイクル材やポーラスアスファルト

混合物への適用が不可欠であり、各種混合物に市販されている中温化材を用いて中温化混合物を作製し品質を検証しておく必要がある。中温化技術を評価するに当たっては、混合物製造温度を下げてでも耐久性や品質、施工性が確保できるかどうかを最も重要な点である。

本文では、最も基本となる混合物として密粒度、粗粒度、再生粗粒度アスファルト混合物に注目して、各種中温化材を用いて中温化混合物を作製し室内試験により品質を確認した結果について報告する。

#### 2. 中温化混合物の室内試験

##### (1) 使用した材料と室内試験内容

##### 1) 使用したアスファルト混合物

東京都建設局土木材料仕様書の基準を満足する「アスファルト混合物事前審査制度」の認定混合物の中から、表-1に示す5種類の混合物を使用した。また、混合物の基本性状は、表-2に示すとおりである。

##### 2) 使用した中温化材

表-1 使用したアスファルト混合物

番号	本文で用いる呼称	混合物の種類	アスファルトの種類	アスファルト量%
①	密粒度(40/60)	密粒度アスファルト混合物(13)	ストレートアスファルト40/60	5.5
②	密粒度(改質Ⅱ型)		ポリマー改質アスファルトⅡ型	5.5
③	粗粒度(40/60)	粗粒度アスファルト混合物(20)	ストレートアスファルト40/60	4.5
④	粗粒度(改質Ⅱ型)		ポリマー改質アスファルトⅡ型	4.5
⑤	再生粗粒度(40/60)	再生粗粒度アスファルト混合物(20)	ストレートアスファルト40/60	4.6 (旧アスファルト量2.7) (再生添加剤量0.2) (新アスファルト量1.7)

表-2 混合物の基本性状

種類 項目	①	②	③	④	⑤
	密粒度(13)		粗粒度(20)		再生粗粒度(20)
	(40/60)	(改質II型)	(40/60)	(改質II型)	(再生40/60)
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.377	2.378	2.396	2.397	2.392
理論最大密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.472	2.47	2.509	2.507	2.515
空隙率 (%)	3.8	3.7	4.5	4.4	4.9
飽和度 (%)	76.7	77.3	69.6	70.3	68.6
安定度 (kN)	11.04	13.44	11.52	14.12	12.82
フロー値 (1/100mm)	28	29	30	31	28

表-3 プラントミックスタイプの中温化剤

プラントミックス タイプ	種類	外観	添加方法	添加量
A	複合系 (粘弾性調整系+滑剤系)	茶色の粒状固体	ウエットミキシング中に添加	アスファルトに対して1.5%(外割)
B	発泡系	淡黄色微粉末	アスファルトと同時に添加	アスファルトに対して2.5%(外割)
C	粘弾性調整系	茶色粘土状	事前にアスファルトに添加	アスファルトに対して4.0%(内割)
D	滑剤系	淡黄色フレーク状	ウエットミキシング中に添加	アスファルトに対して1.5%(内割)
E	発泡系	灰色半固体状	アスファルトと同時に添加	混合物に対して0.2%(外割)
F	滑剤系	白色フレーク状	アスファルトと同時に添加	非公開(開発者が立会いで添加)
G	粘弾性調整系	褐色フレーク状	ウエットミキシング中に添加	アスファルトに対して2.0%(内割)
H	粘弾性調整系	白色顆粒状	ウエットミキシング中に添加	アスファルトに対して3.0%(内割)

表-4 プレミックスタイプ中温化アスファルトの性状

プレ ミックス タイプ	アスファルトの種類	針入度 (1/10mm)	軟化点 (°C)	伸度 (cm)	引火点 (°C)	薄膜加 熱質量 変化率 (%)	薄膜加 熱後の針 入度残 留率(%)	タフネス (N・m)	テナシ ティ (N・m)
a	ポリマー改質アスファルトII型	46	59.0	50	342	-0.04	73.9	24.7	14.2
b	ポリマー改質アスファルトII型	46	58.0	92	324	0.01	82.6	28.7	21.7
c	ポリマー改質アスファルトII型	46	60.0	78	329	0.04	76.1	18.0	10.0
d	ポリマー改質アスファルトII型	55	74.0	78	330	0.02	81.8	16.3	12.1
e	ポリマー改質アスファルトII型	49	57.5	55	326	0.03	73.0	12.8	6.6
f	ストレートアスファルト60/80	67	45.5	100+	343	-	-	-	-

アスファルト混合物の製造・施工温度を約30°C低減できる中温化剤、中温化混合物、あるいは中温化アスファルトの中から、表-3、表-4に示すプラントミックスタイプの中温化剤8種類、プレミックスタイプの中温化アスファルト6種類を選定した。

### 3) 室内試験内容

室内試験は、標準混合物(中温化材添加なし)と中温化混合物について、マーシャル安定度試験、圧裂試験(0°C)、圧裂試験(60°C)、圧裂試験(20°C:再生粗粒度アスファルト混合物のみ)を実施した。なお、試験は、(社)日本道路協会舗装調査・試験法便覧及び(社)日本道路協会舗装再生便覧に従って

行った。

室内試験結果から、密度、空隙率および飽和度、安定度およびフロー値、0°C、60°Cにおける圧裂強度、圧裂強度比(0°C/60°C)、圧裂係数(20°C:再生粗粒度アスファルト混合物のみ)の項目についてデータ整理し、中温化材の有無および種類による性能比較を行った。マーシャル安定度試験の密度、空隙率および飽和度は、締固め性状把握の目的で、マーシャル安定度試験の安定度は、基本的な混合物性状把握の目的で、圧裂試験による圧裂強度比は、ひび割れ性状や耐流動性把握の目的で、圧裂係数は、再生混合物の品質確認の目的で実施した試験であるので、

これら試験目的についての考察を加えた。

## (2) 供試体作製内容

### 1) 供試体作製

安定度試験および圧裂強度試験用の供試体は、①骨材計量②骨材・アスファルトの加熱③中温化剤の添加④ミキサで骨材とアスファルトを混合⑤突固め温度+3℃で30分養生⑥モールドに詰める⑦突固め(両面75回)⑧1日放置冷却し脱型の手順で作製した。

標準混合物と中温化混合物の混合温度及び混合条件は、表-5に示すとおりとした。標準混合物に比べて、中温化混合物は骨材の加熱温度を35℃低く設定し、アスファルトは同じ温度とした。これは、中温化混合物を実際に混合所で製造する場合を考慮して設定した。

### 2) 中温化剤の添加方法

プラントミックスの中温化剤の添加方法については、表-3に示すように開発メーカーの指示に従って添加した。

アスファルトと同時に添加する方法は、骨材のドライミキシング終了後、ミキサ内の中央部にアスファルトを投入し、そのアスファルトに中温化剤を添加、その後ウェットミキシングを80秒間実施した。

中温化剤 E (発泡系) については、中温化剤を添加し、小さじでアスファルトと混合して発泡させた後、ウェットミキシングを開始した。

ウェットミキシング中に添加する方法は、アスファルトを投入してウェットミキシングを20秒行い、骨材にある程度アスファルトが被膜した状態になった後、中温化剤を添加し、さらに60秒間ウェットミキシングを実施した。

事前にアスファルトに添加する方法は、中温化剤を120℃に加熱して溶解させ、150℃に加熱したアスファルトに添加後、数分間混合してプレミックスアスファルトを製造した。その中温化剤入りアスファルトを用いて、通常方法により混合物製造を実施した。

また、プラントミックスの中温化剤は、混合物の種類や使用骨材によって、その都度、最適添加量を配合設計で決定するものもあるが、本試験での添加量は、表-3に示すように開発メーカーの指示に従った。

## 3. 室内試験結果

### (1) 密度試験結果

密度試験結果及び標準混合物に対する中温化混

表-5 混合物の混合温度及び混合条件

種類	項目	①	②	③	④	⑤
		密粒度(13)		粗粒度(20)		再生粗粒度(20)
		(40/60)	(改質Ⅱ型)	(40/60)	(改質Ⅱ型)	(再生40/60)
標準混合物	新規骨材温度(℃)	165	185	165	185	165
	再生骨材温度(℃)	-	-	-	-	165
	アスファルト温度(℃)	150	170	150	170	150
	ドライミキシング(s)	15				
	ウェットミキシング(s)	70				
	目標製造温度(℃)	153	173	153	173	143
	養生温度(℃)	148	168	148	168	148
	突固め温度(℃)	145	165	145	165	145
中温化混合物	新規骨材温度(℃)	130	150	130	150	130
	再生骨材温度(℃)	-	-	-	-	130
	アスファルト温度(℃)	150	170	150	170	150
	ドライミキシング(s)	15				
	ウェットミキシング(s)	80				
	目標製造温度(℃)	123	143	123	143	123
	養生温度(℃)	118	138	118	138	118
	突固め温度(℃)	115	135	115	135	115

表-6 密度及び密度の比

混合物名	①密粒度 (40/60)	②密粒度 (改質Ⅱ型)	③粗粒度 (40/60)	④粗粒度 (改質Ⅱ型)	⑤再生粗粒度 (40/60)
基格値(g/cm <sup>3</sup> )	2.33 以上	2.33 以上	2.35 以上	2.35 以上	2.33 以上
標準	2.379	2.390	2.386	2.405	2.389
A(複合系)	2.371(99.7)	2.369(99.1)	2.384(99.9)	2.376(98.8)	2.397(100.3)
B(発泡系)	2.371(99.7)	2.383(99.7)	2.384(99.9)	2.376(98.8)	2.374(99.4)
C(粘弾性調整系)	2.377(99.9)	2.376(99.4)	2.392(100.3)	2.394(99.5)	2.394(100.2)
D(滑剤系)	2.362(99.3)	2.375(99.4)	2.392(100.3)	2.391(99.4)	2.389(100.0)
E(発泡系)	2.382(100.1)	2.388(99.9)	2.375(99.5)	2.375(98.8)	2.382(99.7)
F(滑剤系)	2.369(99.6)	2.376(99.4)	2.372(99.4)	2.385(99.2)	-
G(粘弾性調整系)	2.372(99.7)	2.386(99.8)	2.382(99.8)	2.394(99.5)	2.374(99.4)
H(粘弾性調整系)	2.373(99.7)	2.378(99.5)	2.380(99.7)	2.390(99.4)	2.387(99.9)
a	-	2.376(99.4)	-	2.378(98.9)	-
b	-	2.370(99.2)	-	2.366(98.4)	-
c	-	2.363(98.9)	-	2.373(98.7)	-
d	-	2.375(99.4)	-	2.376(98.8)	-
e	-	2.384(99.7)	-	2.385(99.2)	-
f	-	-	-	-	2.380(99.6)

( )内は、密度の比

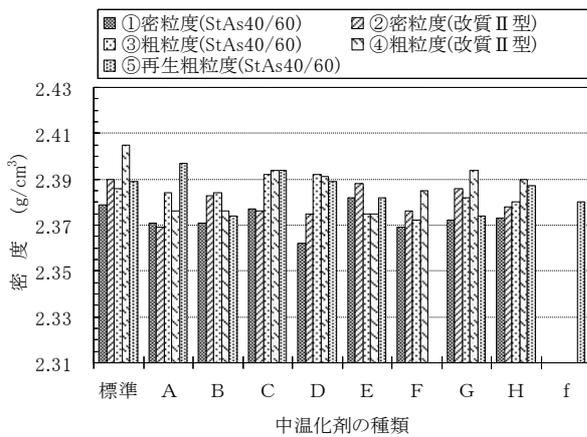


図-1 密度

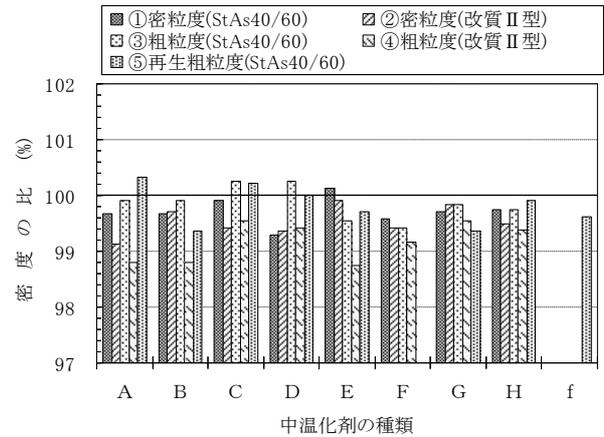


図-3 密度の比

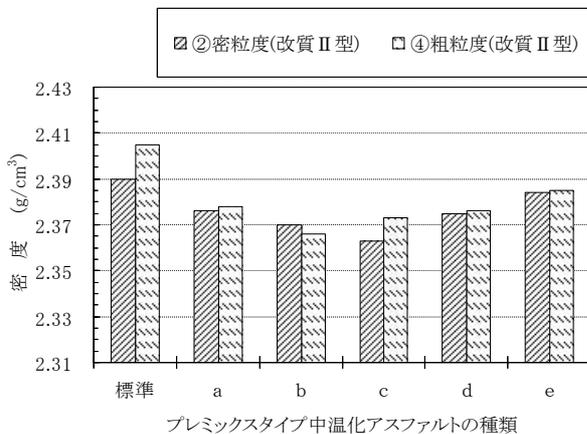


図-2 密度

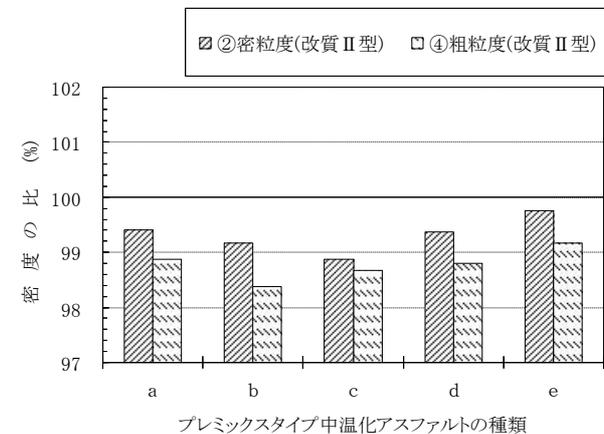


図-4 密度の比

混合物の密度比率（密度の比）を表-6に示す。標準混合物と各中温化混合物の密度試験結果を図-1、図-2に示す。また、密度の比を図-3、図-4に示す。密度は、すべての中温化混合物について、土木材料仕様書の規格値を満足する結果であった。ストレートアスファルトの混合物（①と③）において、中温化混合物の密度は、標準混合物とほぼ同等の値となった。改質アスファルトの混合物（②と④）では、若干の密度低下がみられるものの、一部を除いて密度の比は99%以上の高い水準であった。

また、一部の中温化混合物を除いて、各混合物の配合設計書の理論最大密度を用いて空隙率と飽和度を求めた結果、表-7に示す配合設計時の規格値の範囲内であった。

表-7 中温化混合物の密度、空隙率、飽和度

項目	種類	密粒度	粗粒度	再生粗粒度
		アスファルト混合物	アスファルト混合物	アスファルト混合物
密度	g/cm <sup>3</sup>	2.33以上	2.35以上	2.35以上
空隙率	%	3~6	3~7	3~7
飽和度	%	70~85	65~85	65~85

プレミックスタイプの中温化アスファルトcの粗粒度アスファルト混合物（改質Ⅱ）の飽和度で規格値を外れたが、これは、密度が規格値の下限であったことに起因しており、標準混合物の配合設計時に密度に留意する必要があることを確認できた。

混合物毎に密度試験結果を以下に示す。

・密粒度（40/60）

密粒度（40/60）の密度は、発泡系Eを除く中温化混合物において、密度の比が100%を下回る結果となったものの、他は、99.5%前後と高い水準にあることが確認できた。中温化剤の種類では、発泡系B、Eと粘弾性調整系C、G、Hの密度が高い結果であった。

・密粒度（改質Ⅱ型）

密粒度（改質Ⅱ型）の密度は、発泡系Eがほぼ標準混合物と同じ値であり、その他の中温化混合物では密度の比が100%を下回る結果となった。しかしながら、プレミックスタイプの中温化アスファルトcを除いて、99%以上の高い水準であった。中温化剤の種類では、プラントミックスタイプの密度が高

く、中でも発泡系B、Eと粘弾性調整系C、G、Hが良好な結果であった。

・粗粒度（40/60）

粗粒度（40/60）の密度は、粘弾性調整系Cと滑剤系Dにおいて標準混合物と同等以上であり、ほとんどの混合物で99.5%前後の高い水準にあることが確認できた。中温化剤の種類による傾向はみられないが、①密粒度（40/60）で密度が高かった発泡系Eの値が低くなっていた。

・粗粒度（改質Ⅱ型）

粗粒度（改質Ⅱ型）の密度は、すべての中温化混合物で標準混合物に対して100%未満となっており、99%を以下の値も多くみられた。これは、前述までの①~③の混合物に比べても低い値となっていた。このことから、使用するアスファルトの粘度が高いほど、骨材の粒度が粗いほど、中温化剤の効果が得られにくいことが考えられる。中温化剤の種類では、プラントミックスの粘弾性調整系C、G、Hと滑剤系D、Fが良好な結果であり、プレミックスタイプは低めの値であった。

・再生粗粒度（40/60）

再生粗粒度（40/60）の密度は、粘弾性調整系のC、H、滑剤系のDにおいて、標準混合物とほぼ同等の値となっていた。また、その他においても密度の比が99.5%前後であり、高い水準であった。

標準混合物に対して30℃低い温度で突き固めたマーシャル供試体の密度試験において、得られた結果をまとめると、以下のとおりである。

1) 中温化混合物は、標準混合物に対して30℃低い温度で突き固めた場合でも、規格値（密粒度：2.33g/cm<sup>3</sup>、粗粒度2.35g/cm<sup>3</sup>）を上回る密度が得られた。

2) 密粒度（40/60）では、発泡系（B、E）と粘弾性調整系（C、G、H）で高い密度が得られたが、粗粒度（40/60）ではその傾向はみられなかった。このように、混合物の種類（骨材の最大粒径、粒度分布、アスファルト量、アスファルトの種類）の違いによって、締固め特性に違いがみられた。

3) ストレートアスファルト40/60とポリマー改質アスファルトⅡ型を比較すると、ストレートアス

ファルトの方が中温化混合物の密度が高く、30℃低減における締固め性が優れる結果であった。

4) ポリマー改質アスファルトⅡ型の混合物では、すべての中温化混合物で密度の比が100%を下回っており、99%前後であった。特に粗粒度アスファルト混合物で低くなっており、密度の比が99%未満のものもあった。

5) 再生混合物においても、新規混合物と同様に密度の比が99.5%程度と標準混合物と同等の密度が得られた。

6) 密度の少しの変動によって、空隙率と飽和度の値が変化することから、標準混合物の性状に着目した上で中温化剤を使用する必要がある。

## (2) マーシャル安定度試験結果

マーシャル安定度試験結果及び標準混合物に対する中温化混合物の安定度の比率（安定度の比）を表-8に示す。標準混合物と各中温化混合物の安定度試験結果を図-5、図-6に示す。また、安定度の比を図-7、図-8に示す。

中温化混合物のマーシャル安定度試験における

安定度は、標準混合物よりも小さい安定度を示したものの、土木材料仕様書の規格値（表-9）は満足する結果であった。中温化剤の種類によっては、標準混合物と同等の安定度を示したが、中には70%程度のももあった。同じ粒度の混合物では、ポリマー改質アスファルトⅡ型の方が安定度の低下がみられる。また、再生混合物では、すべてにおいて安定度が低い結果となった。

また、中温化混合物のフロー値は、標準混合物よりも小さい値となるものが多いが、土木材料仕様書の規格値は十分満足する結果であった。

混合物毎に安定度の結果を以下に示す。

### ・密粒度（40/60）

密粒度（40/60）の粘弾性調整系Hの中温化混合物では、標準混合物と同等の安定度となった。他の中温化混合物では、標準混合物に対して80%~90%であるが、規格値の8.0kNは上回る結果であった。

### ・密粒度（改質Ⅱ型）

密粒度（改質Ⅱ型）では、一部を除いて、標準混合物の80%~90%程度の安定度であった。プラント

表-8 マーシャル安定度及び安定度の比

混合物名	①密粒度 (40/60)	②密粒度 (改質Ⅱ型)	③粗粒度 (40/60)	④粗粒度 (改質Ⅱ型)	⑤再生粗粒度 (40/60)
基格値(kN)	8.0以上	10.0以上	8.0以上	10.0以上	8.0以上
標準	11.9	15.700	10.2	13.3	13.4
A(複合系)	10.6(89.1)	13.1(83.4)	9.1(89.2)	10.2(76.7)	8.9(66.4)
B(発泡系)	9.8(82.4)	12.9(82.2)	8.4(82.4)	10.0(75.2)	8.9(66.4)
C(粘弾性調整系)	10.5(88.2)	13.1(83.4)	9.1(89.2)	11.8(73.1)	9.8(73.1)
D(滑剤系)	10.1(84.9)	13.5(86.0)	8.8(86.3)	11.5(86.5)	10.5(78.4)
E(発泡系)	10.4(87.4)	14.2(90.4)	8.9(87.3)	10.6(79.7)	9.4(70.1)
F(滑剤系)	10.5(88.2)	14.0(89.2)	8.5(83.3)	11.9(89.5)	-
G(粘弾性調整系)	9.6(80.7)	14.5(92.4)	8.7(85.3)	12.5(94.0)	10.1(75.4)
H(粘弾性調整系)	11.9(100.0)	13.3(84.7)	10.5(102.9)	11.1(83.5)	10.7(79.9)
a	-	13.7(87.3)	-	11.5(86.5)	-
b	-	13.1(83.4)	-	10.5(78.9)	-
c	-	11.8(75.2)	-	10.6(79.7)	-
d	-	12.7(80.9)	-	10.3(77.4)	-
e	-	13.7(87.3)	-	10.3(77.4)	-
f	-	-	-	-	10(74.6)

( )内は、安定度の比

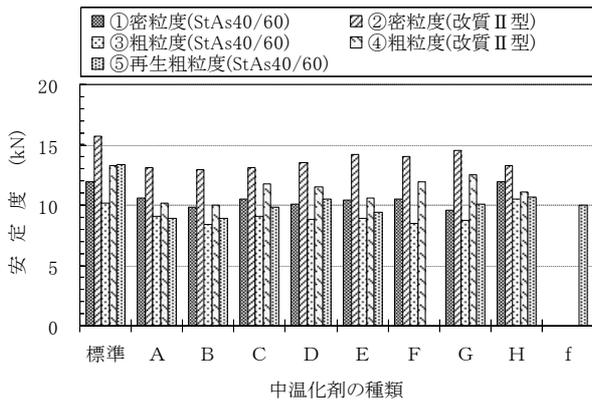


図-5 安定度

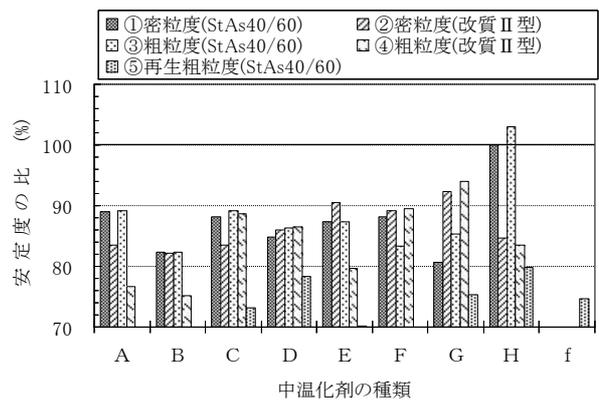


図-7 安定度の比

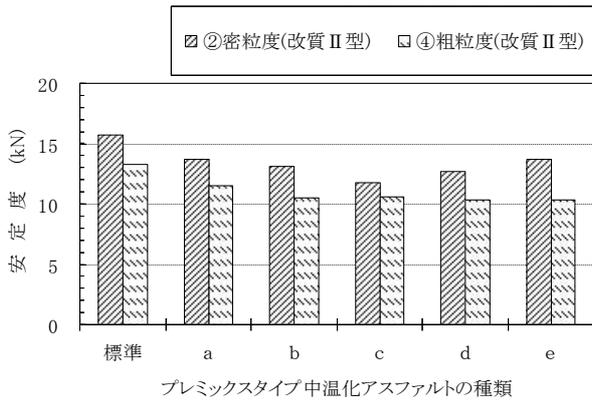


図-6 安定度

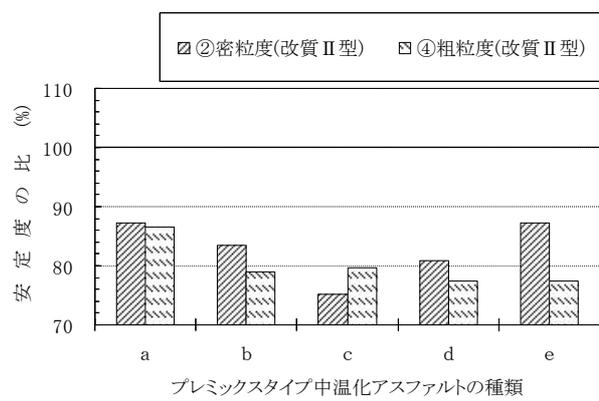


図-8 安定度の比

表-9 土木材料仕様書の規格値

項目	種類	密粒度	粗粒度	再生粗粒度
		アスファルト混合物	アスファルト混合物	アスファルト混合物
安定度	g/cm <sup>3</sup>	8.0(10.0)以上	8.0(10.0)以上	8.0以上
フロー値	1/100cm	20~40	20~40	20~40

( )内はポリマー改質アスファルトII型

ミックスタイプとプレミックスタイプでは、どちらも同程度の値であった。

・粗粒度 (40/60)

粗粒度 (40/60) では、粘弾性調整系 H の中温化混合物では、標準混合物と同等の安定度となり、①密粒度 (40/60) と同等の結果となった。他の中温化混合物の安定度の比は、80~90%であった。すべての中温化混合物で規格値は上回る結果であったが、規格値と同等の値であった。

・粗粒度 (改質II型)

粗粒度 (改質II型) では、すべての中温化混合物の値が標準混合物よりも低く、標準混合物に対して70~90%の範囲にあるものが多かった。①~③の混合物に比べて、若干低めの傾向にあった。これは、密

度試験結果と同様の傾向にあり、安定度不足の原因のひとつに密度の影響があると考えられた。

・再生粗粒度 (40/60)

再生粗粒度 (40/60) では、安定度の比は、60~80%となっており、新規混合物に比べて低い値であった。最も安定度が大きい粘弾性調整系 H においても80%であった。密度が極端に小さくないにも関わらず、安定度が小さいのは、再生骨材の混入率が70%と高いことが考えられた。

中温化混合物の安定度試験において、得られた結果をまとめると、以下のとおりである。

- 1) 中温化混合物の安定度は、標準混合物に対して30℃低い温度で突き固めた場合でも、規格値(ストレートアスファルト:8kN以上、ポリマー改質アスファルトII型:10kN以上)を上回る値が得られた。
- 2) 中温化混合物のフロー値は、標準混合物に対して30℃低い温度で突き固めた場合でも、規格値内(20~40 (1/100cm))の値が得られた。
- 3) 中温化混合物の安定度は、標準混合物と同等

の値が得られるものもあるが、全体的にみて、新規混合物よりも低下する傾向にあり、その傾向は再生粗粒度アスファルト混合物で顕著であった。

4) 密粒度アスファルト混合物では、ストレートアスファルト、ポリマー改質アスファルトⅡ型のどちらのバインダにおいても、同程度（標準混合物に対して85%以上）の安定度を得られた。

一方、粗粒度アスファルト混合物では、ポリマー改質アスファルトⅡ型の安定度の低下度合いが若干大きく、安定度の規格値10kN以上を満足しているものの、規格値と同程度の値であった。

5) 再生粗粒度アスファルト混合物では、他の新規混合物と比べても安定度の低下度合いが大きく、標準混合物に対して70%程度の値である。供試体の密度は、他の混合物と同程度であることから、旧アスファルトがバインダ（結合材）として有効に活用されていないことが考えられる。

6) 一部の中温化剤では標準混合物と同等の安定度を示したが、標準混合物よりも低い安定度を示す場合が多く、再生混合物では顕著に安定度が低下することがわかった。この原因としては、やや密度が低いことも考えられるが、中温化剤の影響も考えられる。さらに、密度試験と同様に、中温化剤の本

来の締固め向上性能を発揮しにくいマーシャル突固めによって作製された供試体であることなどが原因として考えられる。また、本調査では、再生混合物の製造条件として、再生骨材の加熱温度を30℃低減させる方法を採用したが、新規骨材と再生骨材の加熱温度のバランスを変更することで、旧アスファルトを有効活用でき、安定度の低下を抑制することも考えられるので、今後の検討課題としたい。

### (3) 圧裂試験結果

試験温度0℃と60℃の圧裂強度の比率（圧裂強度比）及び標準混合物と中温化混合物の値の比率（圧裂強度比の比）は、表-10及び図-9、図-10に示す。

圧裂強度比は、路面性状と相関があり、圧裂強度比が大きいものはわだち掘れが大きく、逆に小さいものはひび割れが発生しやすいとされている。<sup>1)</sup>

表-10に示すように標準混合物および中温化混合物の圧裂強度比は、ほぼ20～40の範囲内に入っていることが確認できた。ストレートアスファルトの混合物①③では、圧裂強度比が30～40、改質Ⅱ型の混合物②④では20～30となっており、値が小さいほどわだち掘れ量が小さくなるという既往の研究と合致した。

また、中温化混合物の圧裂強度比の比は、標準混

表-10 圧裂強度比及び圧裂強度比の比

混合物名	①密粒度 (40/60)	②密粒度 (改質Ⅱ型)	③粗粒度 (40/60)	④粗粒度 (改質Ⅱ型)	⑤再生粗粒度 (40/60)
標準(%)	30.6	23.8	33.7	27.5	21.2
A(複合系)	31.2(101.8)	26.1(109.9)	38.5(114.4)	30.6(113.1)	26.5(124.8)
B(発泡系)	38.3(125.3)	20.1(84.6)	41.4(123.1)	32.8(119.5)	20.5(96.8)
C(粘弾性調整系)	34.1(111.4)	29(122.0)	34(101.0)	30.4(110.5)	26.2(123.7)
D(滑剤系)	34.2(111.7)	27.1(113.9)	39.9(118.5)	26.4(95.9)	22.4(105.5)
E(発泡系)	31.9(104.3)	24.8(104.5)	35.1(104.3)	30.7(111.7)	27.4(129.1)
F(滑剤系)	35.9(117.4)	28.2(118.5)	36.2(107.6)	30.7(111.8)	-
G(粘弾性調整系)	29.6(96.6)	24.9(104.6)	37.7(112.0)	30.5(111.0)	22.4(105.6)
H(粘弾性調整系)	27.5(90.0)	23.4(98.6)	34.5(102.3)	28.9(105.3)	22.3(105.2)
a	-	24.3(102.3)	-	30(109.2)	-
b	-	24.3(102.3)	-	26.3(95.8)	-
c	-	26.8(112.6)	-	28.2(102.5)	-
d	-	20.6(86.7)	-	26.5(96.5)	-
e	-	21.4(89.9)	-	24.3(88.6)	-
f	-	-	-	-	30.1(141.8)

( )内は、圧裂強度比の比

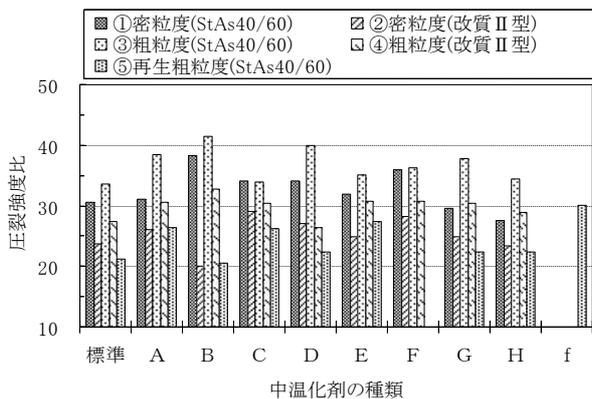


図-9 圧裂強度比

合物に比べて、大きくなる傾向であった。圧裂強度比が大きくなるということは、わだち掘れ量が大きくなる傾向を示すため、中温化混合物は耐流動性が低下することに留意する必要があることを把握できた。

圧裂試験のまとめは、以下に示すとおりである。

1) 中温化混合物の圧裂強度比(0℃の圧裂強度/60℃の圧裂強度)は、ストレートアスファルト40/60をバインダとする混合物では30~40程度、ポリマー改質II型と再生40/60では20~30程度であり、標準混合物と比較するとやや大きくなる傾向であった。圧裂強度比が大きいほど、わだち掘れの発生に影響があることが考えられる。別途、ホイールトラック試験や、曲げ試験等による検証が必要である。

2) 中温化混合物の圧裂強度は標準混合物に比べて低い傾向があり、低温時よりも高温時の方が低下している。低温時の圧裂強度はひび割れ抵抗性、高温時の圧裂強度は流動抵抗性を表すとされていることから、中温化混合物では、標準混合物に比べて、ひび割れや、わだち掘れ量に対する抵抗性が劣ることが想定された。

#### (4) 圧裂係数

(社)日本道路協会「舗装再生便覧(平成22年版)」では、再生アスファルト混合物の設計圧裂係数による配合設計方法が記載された。設計圧裂係数の値は、一般地域0.6~0.9MPa/mmである。

ここでは、中温化剤の添加による圧裂係数への影響を確認し、中温化剤が再生混合物に適用可能か

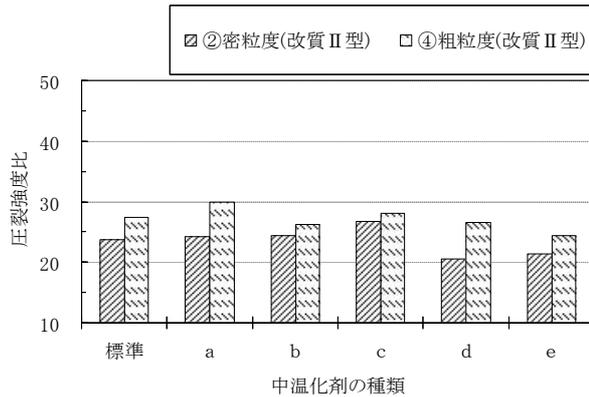


図-10 圧裂強度比

どうかを検討した。検討対象の混合物は、⑤再生粗粒度(40/60)の1種類である。なお、標準混合物は、従来の設計針入度(一般地域50とした)への調整を行う方法による配合設計を行ったものである。

圧裂係数は、「舗装再生便覧(平成22年版)付録-3 再生加熱アスファルト混合物の圧裂係数の求め方」により行った。圧裂係数(MPa/mm) = 試験温度20℃の圧裂強度(MPa) / 最大荷重時の変位量(mm)より求め、1条件当たり供試体3個の平均値とした。

試験温度20℃で圧裂試験の結果と圧裂係数を表-11に、ならびに圧裂係数を図-11に、圧裂係数の比を図-12に示す。

中温化混合物の圧裂係数は、0.59~0.82(MPa/mm)の範囲内にあり、発泡系の中温化剤Bを除いて目標とする範囲内0.60~0.90(MPa/mm)であった。中温化混合物では、試験温度20℃における圧裂強度が標準混合物よりも小さくなり、破壊時の変位量が大きくなる傾向であった。このように、中温化混合物では、圧裂強度(分子)が小さく、変位量(分母)が大きいことから、圧裂係数が小さい値となっていた。

以上のことから、中温化混合物では、中温化剤の影響あるいは他の影響(例えば、混合物の力学性状が通常の混合物とは異なることや、密度が低いこと等)によって、圧裂係数が標準混合物と必ずしも同じにはならないことが把握できた。

再生骨材の混入率の違いや、使用材料の違い、混合物種類の違い等のデータを蓄積した上で、中温化再生混合物の圧裂係数を設定する必要がある。

混合物名	圧裂強度 (MPa)	破壊時の変位量 (mm)	圧裂係数 (MPa/mm)	圧裂係数の比 (%)
標準	1.69	1.92	0.88	-
A(複合系)	1.62	2.15	0.75	85.2
B(発泡系)	1.36	2.33	0.59	67.0
C(粘弾性調整系)	1.30	2.13	0.61	69.3
D(滑剤系)	1.55	2.15	0.73	83.0
E(発泡系)	1.61	2.18	0.74	84.1
F(滑剤系)	-	-	-	-
G(粘弾性調整系)	1.37	1.88	0.72	81.8
H(粘弾性調整系)	1.58	1.93	0.82	93.2
f	1.36	2.27	0.61	69.3

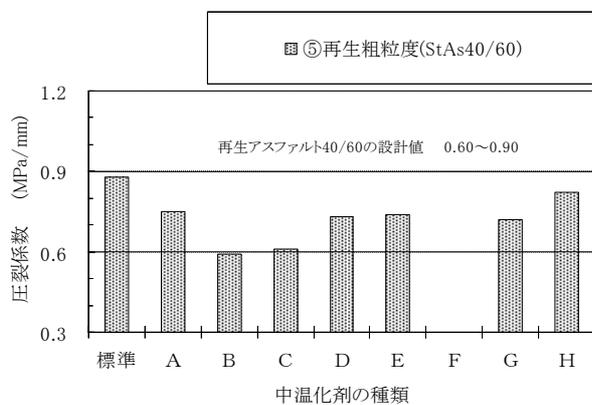


図-11 圧裂係数

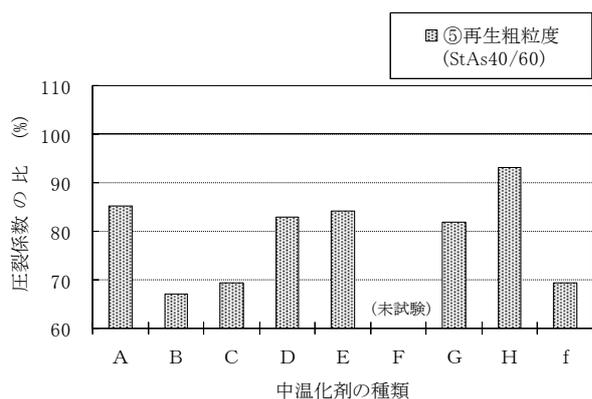


図-12 圧裂係数の比

#### 4. まとめ

検討結果をまとめると以下のとおりである。

##### (1) 密度

①中温化混合物は、突固め温度が 30℃低い条件において、規格値を上回る密度が得られた。しかし中

温化混合物の密度は、標準混合物に比べてやや低くなっていた。

②ストレートアスファルト 40/60 をバインダとする密粒度アスファルト混合物と粗粒度アスファルト混合物において、標準混合物に対する中温化混合物の密度の比は、100%のものもあるが、全体的にみると 99.5%程度であった。

③ポリマー改質アスファルトⅡ型をバインダとする密粒度ならびに粗粒度アスファルト混合物においては、すべての中温化混合物で密度の比が 100%を下回っており、99%前後で推移していた。特に粗粒度アスファルト混合物で低く、99%未満の値を示す中温化混合物もあった。

④再生アスファルト 40/60 をバインダとする再生粗粒度アスファルト混合物では、新規の混合物と同様の 99.5%程度の密度の比となっていた。

⑤バインダがストレートアスファルトの場合では、中温化剤の添加による締固め性能の向上効果が得られやすく、ポリマー改質アスファルトでは効果が得られにくい傾向があることがわかった。

⑥密粒度アスファルト混合物で高い密度が得られた中温化剤が、必ずしも粗粒度アスファルト混合物で同じ結果が出るとは限らず、最大粒径や粒度ならびにアスファルト量等の違いによって、中温化剤の締固め性能の向上効果に違いが出るのが把握できた。

## (2) マーシャル安定度

①マーシャル安定度とフロー値については、すべての中温化混合物において、規格値を満足する結果であった。

②中温化混合物の安定度は、標準混合物に比べて低下する傾向があり、特に再生粗粒度アスファルト混合物で顕著となっていた。粗粒度アスファルト混合物（改質Ⅱ型）では、他の混合物よりも若干ながら低下度合いが大きく、規格値 10kN に対して余裕がなかった。

③再生粗粒度アスファルト混合物では、新規の粗粒度アスファルト混合物に比べても、安定度の低下度合いが大きくなっていった。規格値は上回るものの、標準混合物に対する中温化混合物の安定度の比が 70%以下と、かなり低い中温化混合物も確認された。

## (3) 圧裂強度比

①中温化混合物の圧裂強度は、標準混合物に比べて、すべての試験温度において低下する傾向があった。試験温度 0℃では、圧裂強度の比が 90%程度となっており、標準混合物に近い値を示していた。試験温度 60℃では、粗粒度アスファルト混合物で圧裂強度の比が 80%程度となっており、その低下度合いが大きかった。さらに、再生粗粒度アスファルト混合物でも 80%以下であり、高温域でのわだち掘れに対する抵抗性が懸念される結果となった。

②中温化混合物の圧裂強度比は、ほとんどの混合物で 20～40 の範囲であった。一方で、若干ながら標準混合物よりも圧裂強度比が大きい傾向があり、わだち掘れに対する抵抗性が懸念された。

## (4) 圧裂係数

①中温化混合物（再生粗粒度アスファルト混合物）の圧裂係数は、目標とする 0.60～0.90 (MPa/mm) の範囲内にあることがわかった。

②標準混合物と比較すると、圧裂係数は小さくなる傾向であった。20℃における圧裂強度が小さく、破壊時の変位量が大きくなったことから、その比率で計算される圧裂係数が小さくなっていった。このことは、中温化剤を添加すると混合物が軟化する傾向にあることを示している。

## 5. 今後の課題

以下試験方法と再生粗粒度アスファルト混合物の課題について示す。

### (1) 試験方法の課題

本検討では、供試体の作製方法にマーシャル突固めを採用した。この方法は、ローラ転圧のようなニーディング作用は発生せず、上下方向の衝撃荷重を繰り返し与えることで締め固めている。このため、中温化技術の本来の効果（発泡系の中温化剤では、ベアリング効果による締め固め性の向上を挙げている）が得られない条件で作製され、その結果、各種性状値の低下を招いたと考えることもできる。このように、本検討では、温度条件のみ 30℃低下によって、規格値や標準混合物と比較し、中温化混合物の性状を評価したが、今後は、中温化混合物に適する供試体の作成方法によって（例えばジャイレトリコンパクタで供試体を作製する）、その性状を評価することや施工性を考慮したコンシステンシーを定量評価する方法（例えばミキサー混合時のトルクの測定）などの試験法の検討も必要であると考えている。

また、ひび割れ抵抗性を確認する試験方法として曲げ試験、疲労抵抗性の確認として繰り返し曲げ試験、ポーラスアスファルト舗装の基層混合物については耐水性を評価する試験である水浸ホイールトラック試験等を検討する必要がある。

### (2) 再生粗粒度アスファルト混合物の課題

本検討結果では、再生粗粒度アスファルト混合物の性状が、標準混合物に比べて低下することがわかった。しかし、以下に示す課題があることから、再生アスファルト混合物への適用に当たっては、さらなる検討をする必要がある。

①本検討では、再生骨材の混入率 70%と比較的高い比率の再生混合物を用いて評価を行った。混入率が高いことは、全アスファルトに対する新アスファルトの比率が低くなるため、中温化剤の種類によっては、その効果が得られにくいことが想定される。再生アスファルト混合物では、旧アスファルトと再生用添加剤と新アスファルトの 3 種類（配合によっては再生用添加剤を用いないこともある）が均質に混ざり合い、再生アスファルトとなることが基本で

ある。その混合は、混合物を製造段階のウェットミキシング中に行われる。

これらのことを考慮すると、例えば発泡系では泡の量が少なくなる、粘弾性調整系では均質なアスファルトが得られない等、再生骨材混入率が高いほど中温化技術が適用しにくくなることが想定される。

②本検討では、新規骨材と再生骨材の両方の加熱温度を下げる条件で、中温化混合物の作製を行った。再生骨材の加熱温度が 130℃の場合、付着している旧アスファルトが十分に溶解しているとは考えにくく、結合材として作用しにくくなることが想定された。その場合、安定度や圧裂強度等、力学性状に悪影響を及ぼすことが考えられる。

再生骨材の混入率にもよるが、新規骨材の加熱温

度を大幅に下げ（110℃程度）、再生骨材の加熱温度を通常と同じ温度（160℃程度）で混合物を作製すれば、その性状も本調査結果とは異なることが想定される。CO<sub>2</sub>削減効果も考慮しながら、中温化剤の特性を考慮した、再生混合物の最適な作製条件を見出す必要がある。

## 6. あとがき

中温化混合物については、まだいろいろ課題が残されていることがわかったが、室内試験である程度の結果を得た後、標準混合物と中温化混合物の両方を実道で試験施工し、追跡調査を行うことが必要であると考えている。

## 参 考 文 献

- 1) 建設省関東技術事務所（1982）：昭和 56 年度試験道路における試験調査報告書、56-57