

各種加熱アスファルト混合物への 中温化技術の適用検討

吉 中 保¹ ・ 根 本 信 行²

¹正会員 日本舗道株式会社 技術研究所 (〒140-0002 東京都品川区東品川 3-32-34)

²正会員 日本舗道株式会社 技術研究所 (〒140-0002 東京都品川区東品川 3-32-34)

筆者らは、通常の舗装材料として広く使用されている加熱アスファルト混合物に対し、地球温暖化防止などの環境保全の観点からの対策を取るべく、製造時あるいは舗設時における温度条件の低減が可能な、新しい概念を導入した技術を開発してきた。この技術は、その特長を活かしたさまざまな用途への適用が考えられ、従来の技術では対策が取りにくい事案の改善が図れる可能性がある。ここでは、排水性舗装用アスファルト混合物、半たわみ性舗装用アスファルト混合物、着色舗装用カラーアスファルト混合物、および碎石マチックアスファルト混合物について、適用の有効性を検討した。その結果、本技術の適用により、製造や舗設におけるさまざまな課題の改善を図ることが可能であることがわかった。

Key Words : *hot asphalt mixtures, micro bubbles, reduced heating, drainage pavement, colored pavement, semi-flexible pavement, stone matrix asphalt*

1. はじめに

1997年12月に京都で開催された気候変動枠組み条約（地球温暖化防止条約）会議、いわゆるCOP3では、二酸化炭素を含む温室効果ガスの排出削減に関する世界的な合意がなされた。日本国内においても環境問題に対する世論の関心は高く、COP3の開催に相前後して、二酸化炭素（CO₂）の排出削減に向けた取り組みが各産業から数多く公表された。

筆者らは、道路建設に携わる者として、一般的な道路舗装材料として年間約8,000万ton弱製造されている加熱アスファルト混合物（以下、加熱アスコンと称す）について、製造時あるいは舗設時における温度条件の緩和を可能とする新しい技術（以下、中温化技術と称す）を開発し、これまでにこの中温化技術の適用に関して、混合物製造温度の低減によるCO₂排出量の削減、締固め効果を利用した舗設機械編成の簡略化（転圧ローラの簡略化）とそれに伴うCO₂排出量の削減、そして再生アスファルト混合物における再生骨材の増量化によるリサイクル技術の向上など、主として環境面での効果について報告した¹⁾。

中温化技術は、それら以外にも、特長を活かしたさまざまな用途への適用が考えられ、従来の技術では対策が取りにくい事案の改善が図れる可能性を多く秘めている。

そこで本研究では、各種用途の混合物について中温化技術の適用を図り、排水性舗装用アスファルト混合物、半たわみ性舗装用アスファルト混合物、着色舗装用カラーアスファルト混合物、および碎石マチックアスファルト混合物（以下、それぞれ排水性アスコン、半たわみ性アスコン、カラーアスコン、SMAと称す）について、製造や舗設におけるさまざまな課題等の改善を図ることを目的として検討を行った。

2. 中温化技術について

中温化技術とは、加熱アスコンの粗骨材を被覆するアスファルトモルタル内に微細な泡を存在させ、加熱アスコンの製造時には微細泡の発泡により混合性を向上させ、さらに舗設時には、微細泡の一種のベアリング的な働きによって転圧ローラによるニーディング作用を効果的に増幅させて締固め性の向上

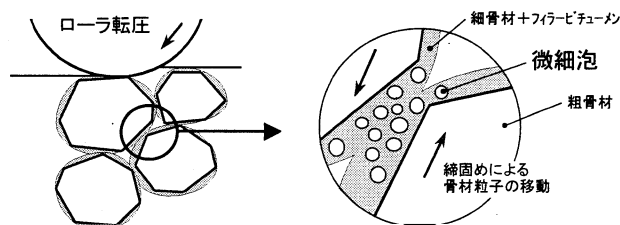


図-1 中温化技術による締固め効果

を図るものであり、その結果として、製造および舗設における温度条件を従来よりも約 30℃程度低減しても混合性および締固め性が確保され、従来と同等の品質および施工性を得ることができる。図-1に締固め効果の概念図を示す。

中温化技術では、加熱アスコンを製造する過程で特殊添加剤を添加することにより、アスファルトモルタル内に微細泡を発生、分散させる。特殊添加剤は、発泡剤および発泡強化剤などの数種の材料を組み合わせたもので、発生する微細泡には製造から舗設までの間に消滅しにくい熱に対する安定性があることに特長があり、舗設が終了するまでの時間にわたり混合物内に保持させることが可能である。

このように、中温化技術は、微細泡の働きによって混合性のみならず締固め性をも向上させた、新しい概念を導入した技術であり、特に舗設時においては、微細泡による高い締固め効果が得られることに大きな特徴がある。

3. 排水性アスコンへの適用

排水性アスコンには高粘度アスファルトが多く使用され、製造時における混合温度は、ストレートアスファルトを使用した通常の混合物よりも 20～30℃程度高められる。舗設においては、適切な温度条件下での転圧が重要となるが、混合物の温度低下が促進される寒冷期等の施工では、舗設が可能な時間が短くなるため、所要の締固め度を得るための細心の注意が必要となる。

ここでは、排水性アスコンの寒冷期施工における所要締固め度の確保の観点から、中温化技術によって締固め温度条件の低減を図り、舗設許容時間の拡大に関する検討を行った。そして、プラントから現場までの合材運搬に時間を要する場合についての検討も加えた。

(1) 舗装体温度の経時変化

ここでは、舗設時の気温が舗装体温度の経時変化にどのような影響を与えるかを、気温 20℃および

表-1 排水性アスコンの配合

材 料	配 合 (%)	摘 要
6号砕石	77.9	—
粗 砂	12.3	—
石 粉	4.8	—
高粘度アスファルト	5.0	—
植物性繊維	0.05	混合物に対する重量比
特殊添加剤	0, 7.0	アスファルトに対する重量比

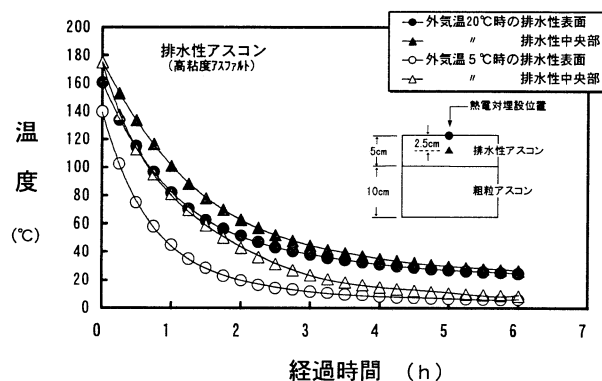


図-2 舗装体温度の経時変化

5℃に想定した恒温槽内でシミュレーションした。温度の測定は、厚さ 5cm に締め固めた排水性アスコンの中央部と表面に熱電対を設け、乾燥炉内で 180℃になるまで養生した後、厚さ 10cm の粗粒アスコン上に設置して行った。なお、供試体の側面は発泡スチロールで囲み、側面からの熱移動を抑制した。排水性アスコンの配合を表-1に示し、舗装体温度の経時変化についての測定結果を図-2に示す。

図-2より、測定開始から 30 分後（通常の条件下で、混合物数均しから転圧終了までに要する時間）では、槽内温度が 20℃の場合よりも 5℃の場合の方が中央部温度で約 20℃、表面温度で約 40℃低く、このことから、気温が低い寒冷期の舗設では温度低下による締固め度確保が難しい方向となることがわかる。

(2) 排水性アスコンの締固め温度と混合物特性

ここでは、特殊添加剤の添加有無と締固め温度および養生時間をパラメータとして、マーシャル密度試験、カンタブロ試験、ホイールトラッキング試験、およびダレ試験を実施した。

排水性アスコンの配合は表-1と同様である。供試体の作製条件を表-2に示し、マーシャル供試体の締固め温度と空隙率との関係を図-3に、空隙率とカンタブロ損失率との関係を図-4に、空隙率と動的安定度との関係を図-5に示す。

図-3より、空隙率は締固め（突固め）温度の低下

表-2 供試体の作製条件

混合物種	供試体作製温度 (℃)		特殊添加剤 添加量 (%)	養生条件	
	混 合	締 固 め		時間 (h)	温度 (℃)
排水性アスコン (13mmTop)	180	160, 140, 120	7.0	0	180
				2	
			0	0	
				2	

注) ・密度試験およびカンタブロ試験のマーシャル供試体の突固め回数は両面50回とした。
・養生時間とは混合後締固め開始までの経過時間であり、ここでは運搬時間が比較的低くかかる場合を想定して2時間とした。

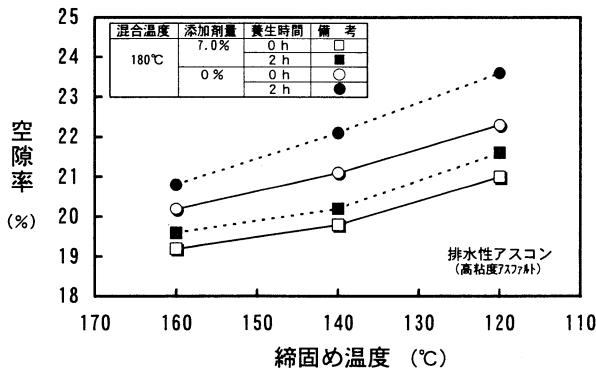


図-3 締固め温度と空隙率の関係

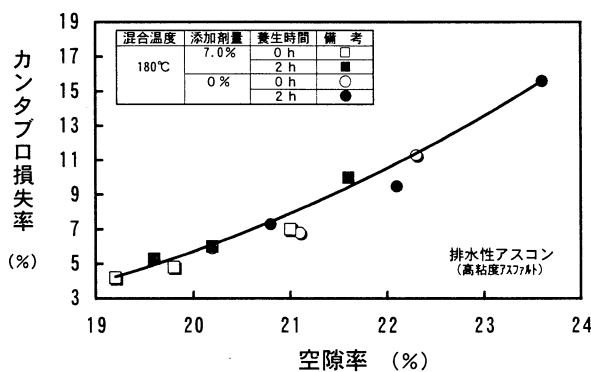


図-4 空隙率とカンタブロ損失率の関係

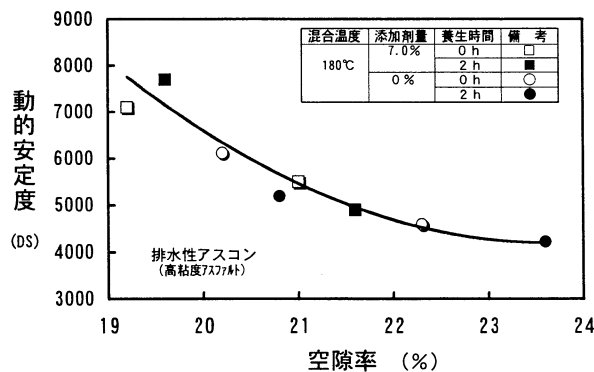


図-5 空隙率と動的安定度の関係

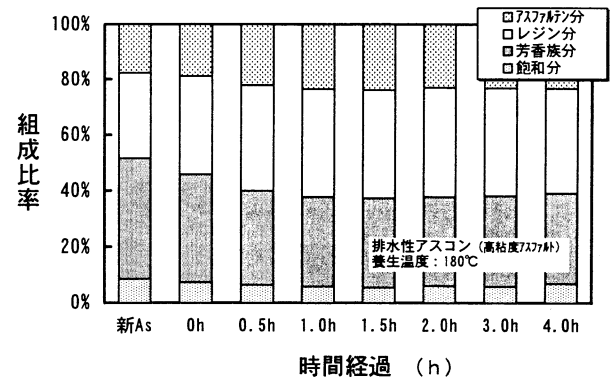


図-6 混合後の時間経過に伴う組成変化 (添加剤なし)

に伴って増加傾向を示し、また養生時間の経過によっても同様の傾向となる。同一養生時間でみれば、特殊添加剤を使用することによって、締固め温度が添加剤なしよりも25～30℃低下しても同程度の空隙率が得られる。これから、混合物敷均し後の舗設許容時間の拡大が可能となるので、寒冷期の舗設においては締固め度の確保に有効である。一方、特殊添加剤なしで混合直後に作製したものよりも、添加剤ありで2時間経過後に作製したものの方が空隙率が小さいことを考えれば、運搬時間が長くなる場合においても特殊添加剤の締固めに対する効果が期待できる。また、ダレ試験(養生:180℃, 2時間)の結果についても、特殊添加剤ありが1.8%, なしが1.9%であり、特殊添加剤の使用によるダレへの影響もみられない。

図-4より、カンタブロ損失率は空隙率との関係がみられ、空隙率が小さいほど損失率が小さく、図-3と関連付けて考えれば、特殊添加剤の使用による空隙率の減少に伴って損失率は低減されるので、締固め温度の低下に対する損失率の抑制が可能である。また図-5より、動的安定度(供試体密度は各試験条件におけるマーシャル密度の100%とした)も空隙率との関係がみられ、空隙率が小さくなるほど動的安定度は向上する傾向がある。このように、排水性アスコンのカンタブロ損失率および動的安定度は空隙率との関係が認められるので、寒冷期の舗設や運搬時間が長くなるような厳しい施工条件下においては、耐久性確保の観点から特殊添加剤の使用が有効である。

(3) 高粘度アスファルトの組成

混合後4時間経過までの高粘度アスファルトの組成について、アスファルト組成分析試験(イアトロスキャン, ヤترون社製)による結果を図-6に示す。

図-6より、混合後の時間経過に伴う高粘度アスフ

ァルトの組成変化は、混合直後から 30 分程度までに芳香族分が減少してレジ分とアスファルテン分が増加する傾向が認められたが、それ以降、今回試験をした 4 時間までの変化は特にみられない。

(特殊添加剤を使用した場合も同様の傾向であった)。

(4) 排水性アスコンへの適用検討結果

- ①特殊添加剤の使用によって、排水性アスコンの締固め性が向上する。
- ②締固め温度の低下に伴う空隙率の増加は、特殊添加剤の使用により抑制できるので、骨材飛散抵抗性や流動抵抗性の確保に有効である。
- ③混合からの時間経過に伴う空隙率の増加は、特殊添加剤の使用により抑制可能である。また、高粘度アスファルトの組成変化は、混合初期の段階でみられるが、それ以降の変化は少ない。(今回実験は 4 時間まで)。

4. 半たわみ性アスコンへの適用

舗装の長寿命化の観点から、厚層の半たわみ性舗装を基層に用いたコンポジットタイプの舗装が適用されてきている。しかし、施工においては、半たわみ性アスコンの舗設終了からセメントミルク注入までの温度低下に要する時間は厚層になるほど長く必要となり、特に規制を伴う補修工事では時間の短縮を図ることが望まれる。

ここでは、重交通路線を対象とした場合の高粘度アスファルトを使用した半たわみ性アスコンについて、セメントミルク注入までの養生時間の短縮化の観点から、中温化技術による混合温度の抑制に関する検討を行った。

(1) 半たわみ性アスコンの混合温度の低減化

ここでは、高粘度アスファルトを用いた半たわみ性アスコンの標準的な混合温度(製造温度)を 180℃と考え、特殊添加剤を使用して混合温度を 160℃、140℃と低減させた場合の混合物性状への影響について、マーシャル密度試験、圧裂試験、ホイールトラッキング試験を実施し検討した。半たわみ性アスコンの配合を表-3に、供試体作製の温度条件を表-4に示し、マーシャル供試体の空隙率の測定結果を図-7に、圧裂試験(試験温度-10℃、変位速度 50 mm/min)の結果を図-8に、そしてホイールトラッキング試験の結果を図-9に示す。

図-7より、PA-1の締固め温度が 160℃(標準温度条件)における空隙率を基準と考え、これと同等の空隙率が得られる締固め温度は、PA-2 およ

表-3 半たわみ性アスコンの配合

項 目		配合種	PA-1	PA-2	PA-3	PA-4
		標準混合温度	特殊添加剤による混合温度低減			
配 合 (%)	5号碎石		48.1			
	6号碎石		39.4			
	粗 砂		4.8			
	石 粉		3.9			
	高粘度アスファルト		3.8			
	特殊添加剤	0		7.0		14.0

注)・特殊添加剤の添加量はアスファルトに対する重量比である。

表-4 供試体作製の温度条件

条件	温度条件 (℃)	
	混 合	締 固 め
PA-1	180	180, 160, 140, 120, 100
PA-2	160	160, 140, 120, 100
PA-3	140	140, 120, 100
PA-4		140, 120, 100

注)・マーシャル供試体の突固め回数は両面50回とした。
・ホイールトラッキング供試体の締固め温度は表中下線の温度とした。

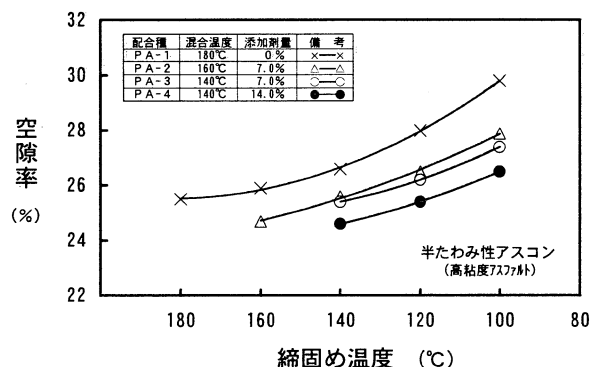


図-7 締固め温度と空隙率の関係

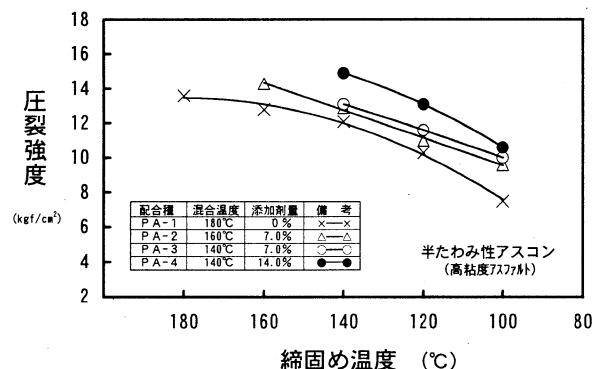


図-8 締固め温度と圧裂強度の関係

び PA-3 が 130℃程度、PA-4 が 110℃程度であり、特殊添加剤を使用した効果が認められる。

図-8より、空隙率の場合と同様に、PA-1の締固め温度が 160℃における圧裂強度と同等の値が得

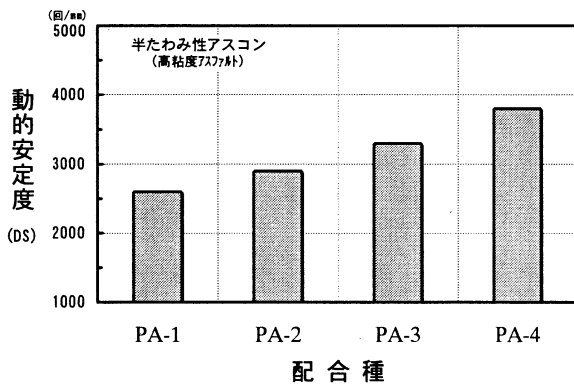


図-9 ホイールトラッキング試験結果

られる締固め温度をみると、PA-2が140℃程度、また混合温度を140℃とした場合でも特殊添加剤量が14%であるPA-4が120℃程度であり、圧裂強度は確保される。また図-9より、動的安定度（締固め温度は、それぞれ混合温度よりも20℃低い温度とした）は、特殊添加剤を使用して混合温度を低減したPA-2、PA-3、PA-4の方が、PA-1よりも若干大きい値を示す傾向がある。

これらの結果から、特殊添加剤を使用することによって、半たわみ性アスコンの混合温度を通常の180℃よりも40℃程度低減しても、締固め性および混合物性状の確保は可能であると判断できる。なお、混合温度を140℃とする場合の特殊添加剤量は、アスファルトに対して14%程度必要である。

(2) 舗装体温度の経時変化

混合温度低減によるセメントミルク注入開始までの養生時間短縮への効果をみるため、混合温度条件の違いが舗設時の舗装体温度の経時変化にどのように影響するかを室内でシミュレーションした。

測定は、熱電対を埋設した厚さ15cmの半たわみ性アスコン供試体を乾燥炉で180℃あるいは140℃となるまで養生し、これを厚さ20cmの粗粒アスコン供試体上に設置して、20℃の恒温室内で行った。なお、供試体側面は発泡スチロールで囲い、側面からの熱移動を抑制した。

舗装体内部温度の経時変化を図-10に示す。これより、セメントミルクが注入可能な半たわみ性アスコンの内部温度を50℃と考えれば²⁾、この温度低下に要する時間は140℃設定の場合で約4時間30分、180℃設定の場合で約6時間30分が必要となり、約2時間の差がある。これから、特殊添加剤を使用してプラント製造時の混合温度の低減を図ることは、半たわみ性舗装の舗設時間の短縮化に有効である。

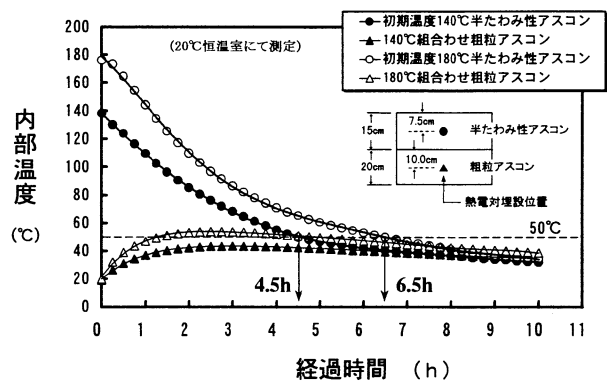


図-10 舗装体内部温度の経時変化

(3) 半たわみ性舗装への適用検討結果

- ①高粘度アスファルトを使用した半たわみ性アスコンの混合温度は、特殊添加剤を使用することによって通常よりも40℃程度低減できる。
- ②半たわみ性アスコンの混合温度を低減することによって、半たわみ性舗装におけるセメントミルク注入開始までの養生時間の短縮が図れる。これによって舗設所要時間の短縮ができ、特に時間的制約を受ける補修工事では有効である。

5. カラーアスコンへの適用

加熱アスコンに色彩機能を付加したカラーアスコンは、景観を重視した箇所や、車線を区分して安全で円滑な交通を図るなどの注意喚起を図る必要がある箇所等に多く使用され、道路環境の改善目的に応じてさまざまな種類のカラー舗装材料が用いられている。カラーアスコンの色彩は、顔料を添加する方法や着色骨材を使用する方法、脱色バインダを用いる方法、あるいはこれらを組み合わせる方法等によって付加される。顔料にはマロン色や黄色、緑など多くの種類があり、また、バインダには通常のアスファルト（顔料を併用）の他、自然的な色彩を求める場合や、顔料を用いた場合の良好な発色を施すことを目的として石油樹脂系の脱色バインダも使用される。

カラーアスコンが適用される箇所は、例えばバスレーンなど通常の施工方法で行える場所もあるが、歩道部のように狭小な場所もある。現場での積替え運搬や人力施工を要する箇所では、特に寒冷期における舗設では、混合物の温度低下によって締固め度などの品質確保が難しくなる。その対策として、製造時の混合温度を上げることが考えられるが、色調変化が懸念されることから、通常の加熱アスコンよりも制約を受けやすい。

表-5 カラーアスコンの配合

材 料	配 合 (%)	摘 要
6号砕石	35.3	—
7号砕石	18.8	—
砕 砂	13.2	—
粗 砂	21.6	—
石 粉	2.8	—
顔 料	2.3	—
脱色バインダ	6.0	改質Ⅱ型相当を使用
特殊添加剤	0, 3.5	アスファルトに対する重量比

表-6 供試体の作製条件

条件 混合物種	供試体作製温度 (°C)		特殊添加剤 添加量 (%)	摘 要
	混 合	締 固 め		
密粒度アスコン (13mmTop)	170	150	3.5	標準温度条件 (A)
			0	標準混合物 (a)
	140	120	3.5	混合、締固め30℃低減 (B)
			0	" (b)
	130	110	3.5	混合、締固め40℃低減 (C)
			0	" (c)
		80	3.5	混合40℃低減、締固め70℃低減 (D)
			0	" (d)

注) ・混合物には脱色バインダ(改質Ⅱ型相当)および顔料(黄色又はエリドラン)を使用した。
・ジャイレトリ回転数は40回とした。
・メーカー推奨の混合温度は170℃、締固め温度は150℃である。

表-7 GTM の仕様

	旋回角度	締固め圧力	モールド直径	旋回速度
条件	1.25°	600kPa	10cm	30rpm

ここでは、石油樹脂系の脱色バインダと顔料を用いたカラーアスコンへの中温化技術の適用について、混合物の温度低減に対する品質確保、および諸条件に伴う色調への影響の観点から検討を行った。

(1) 脱色バインダへの適用性および温度低減化

ここでは、表-5に示す配合のカラーアスコン(脱色バインダと顔料を使用した密粒度アスコン13mmTop)を用い、表-6に示す供試体作製条件においてジャイレトリ試験機(RAINHART社製、仕様は表-7、以下GTMと称す)による締固め性(回転数40回における比較)、およびホイールトラッキング試験による動的安定度について検討した。なお、脱色バインダは改質Ⅱ型相当のものを、顔料は黄色を使用した。GTM回転数が40回における各種温度条件の空隙率の結果を図-11に示し、動的安定度の結果を図-12に示す。

図-11によれば、添加剤なしの空隙率は温度条件の低下に伴い増加し、標準混合物(a)の空隙率4.9%に対して混合および締固め温度条件をそれぞれ30℃低下した場合(b)には5.6%、40℃低下

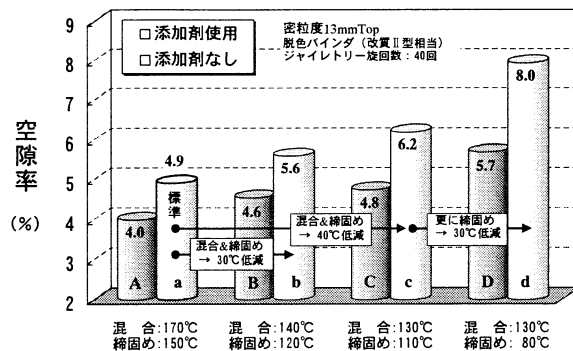


図-11 GTMによる空隙率の比較

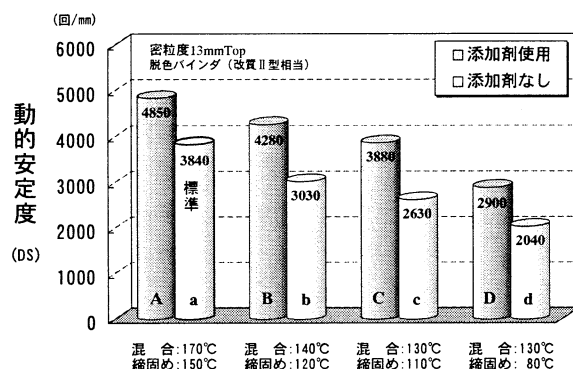


図-12 温度条件と動的安定度の関係

した場合(c)には6.2%となる。それに対し、特殊添加剤を使用した場合の空隙率の低下は、添加剤なしに比べて緩やかであり、混合および締固め温度条件をそれぞれ40℃低下した場合(C)においても標準混合物と同等の空隙率4.8%が得られ、さらに混合温度130℃で締固め温度80℃の場合(D)でも5.7%である。このことから、中温化技術の適用によって、温度低下に伴う空隙率増加の抑制ができ、特に寒冷期施工や人力施工での締固め度確保に有効な対策となりうる。図-12より、標準混合物(a)と、特殊添加剤を使用して(a)よりも温度条件を40℃低減した(C)とは同等の動的安定度を示している。このように、締固め温度が低下した場合でも、特殊添加剤の使用によって締固め性の向上が図れるため、動的安定度が確保できる。

以上のことから、脱色バインダを使用したカラーアスコンに対しての中温化技術の適用は可能であり、特殊添加剤の使用による締固め効果が得られる。

(2) 各種要因の色調への影響

ここでは、下記に示す要因に対するカラーアスコンの色調への影響について、測色色差計(日本電色

表-8 供試体作製および測定条件

混合物種	供試体作製温度 (°C)		特殊添加剤 添加量 (%)	測定面温度 (°C)	摘 要
	混 合	締固め			
密粒度アスコン (13mmTop)	185	165	3.5 0	20	上限温度
	170	150	3.5 0		標準温度条件
	140	120	3.5 0		標準混合物
					混合, 締固め30℃低減

注) ・混合物には脱色バインダ(改質Ⅱ型相当)および顔料(黄色又はエメラルドグリーン)を使用した。
・測定面はホイールトラッキング供試体とした。
・測色のサンプリングは1つにつき4ポイント以上とした。

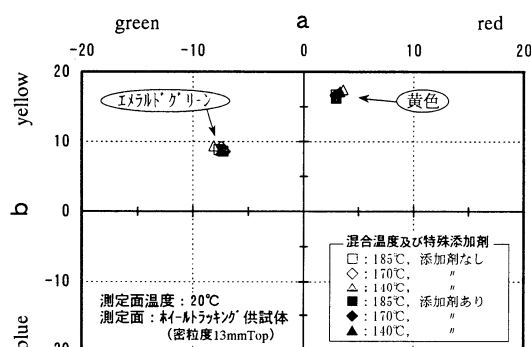


図-13 混合温度及び特殊添加剤の使用有無と色調変化

工業社製)を用いて色調の差異(JIS Z 8730に定めるハンターの色差式における明度指数L, およびクロマティックネス指数a,b)を検討した。カラーアスコンは表-5に示す配合のもので, 顔料は黄色とエメラルドグリーン(鮮やかな緑, 以下エメラルドGと称す)を用いた。

〔諸要因〕

- ・混合温度の差異
- ・特殊添加剤の使用の有無
- ・混合から締固めまでの養生時間(高温保持)

a) 混合温度および特殊添加剤による影響

ここでは, 混合温度の差異, および特殊添加剤の使用の有無によるカラーアスコンの色調への影響について検討した。混合温度を185℃(上限), 170℃(メーカー推奨温度), および140℃(30℃低減)の3点とし, それぞれ特殊添加剤を使用したも

表-9 供試体作製および測定条件

混合物種	供試体作製温度 (°C)		特殊添加剤 添加量 (%)	養生時間 (h)	測定面温度 (°C)
	混 合	締固め			
密粒度アスコン (13mmTop)	170	150	3.5	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6	20

注) ・混合物には脱色バインダ(改質Ⅱ型相当)および顔料(黄色)を使用した。
・養生時間とは混合後締め固めるまでの時間である。
・養生温度は混合温度と同一とした。
・測定面はジャイレトリコアとし, 20℃の測定は供試体作製の翌日とした。
・測色のサンプリングは1つにつき4ポイント以上とした。

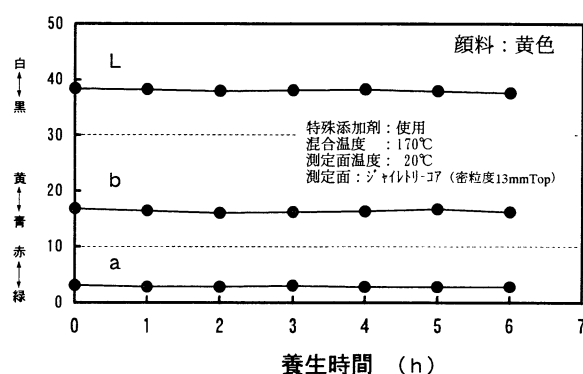


図-14 養生に伴う色調変化

のとなしについてホイールトラッキング供試体を作製した。測色は, 作製した供試体を20℃の恒温室内で1日養生し, 供試体上面で行った。供試体作製および測定条件を表-8に示し, 測色色差計による測定結果を図-13に示す。

図-13によれば, 混合温度の差異による指数a,bの変動はほぼみられないが, 指数Lは混合温度の低下に伴って増加する傾向がある。すなわち, 混合温度が上昇した場合には, 色の変動はほぼないものの明度が若干低下する(暗くなる)。顔料の違いでは, 黄色の方がエメラルドGよりも指数Lの変動幅が大きい。また, 特殊添加剤の使用有無による指数a,b,Lの変動はほぼみられず, 中温化技術の適用による色調への影響はないものと判断できる。

以上のことから, 中温化技術を適用して混合温度を低減すれば, 指数a,bはほぼ変化せずに指数Lが上昇する傾向となるので, 得られる色彩は若干明るく, 鮮やかになる方向となる。

b) 混合から締固めまでの時間経過による影響

ここでは, 混合から締固めまでの時間経過が色調へ与える影響について検討した。混合温度は170℃で特殊添加剤を使用するものとし, 表-9に示す養生時間を設定してGTMにより締固めた供試体を使用した。測色色差計による測定は, a)の場合と同様に, 20℃の恒温室内で行った。測定結果を図-14に示す。

図-14によれば, 混合温度と同一温度で養生した

場合の時間経過に対する指数 a,b,L の変動は、ほぼみられない。このことから、人力施工等で舗設に時間がかかる場合などで、カラーアスコンが高温の状態で保持されても、色調への影響はほぼないものと考えられる。

(3) カラーアスコンへの適用検討結果

- ①脱色バインダを使用したカラーアスコンは、通常の加熱アスコンと同様に中温化技術による締固め効果が得られ、特殊添加剤を使用することによって製造および舗設における温度条件の低減化が可能である。色調については、中温化技術の適用による影響はみられず、混合温度を低減することにより若干精彩な色調を得ることが可能となる。
- ②中温化技術を適用すれば締固め性の向上が図れるので、寒冷期や人力施工などの厳しい施工条件下でも、製造時の混合温度を通常よりも高めなくても品質や施工性が確保できる。

6. SMAへの適用

耐流動性や耐摩耗性のある SMA は、我が国においても施工実績が伸びてきており、また防水効果が高いため、最近では橋面舗装用材料としても適用されている。特に、橋面への適用においては、舗設した舗装体の締固め度を十分に確保し、防水性の高い層を形成することが求められている。

ここでは、橋面舗装における防水層としての SMA の適用に関し、混合物の締固め性の向上を図り、高い締固め度を確保するという観点から、中温化技術の適用および混合物配合に着目した検討を行った。

(1) 締固め性の向上

SMA の基本配合（標準配合）は、これまでの施工実績等を参考として、骨材合成粒度の 2.36mm 通過量の目標値を 30% と設定した。締固め性向上の検討は、この基本配合に特殊添加剤のみを使用した場合と、SMA のモルタル分（砂と石粉とアスファルト）の配合割合を変えて特殊添加剤を使用した場合について行った。なお、バインダには改質Ⅱ型アスファルトを使用し、混合温度は 180℃ とした。SMA の配合と骨材合成粒度を表-10 に示す。

ここでは、設定した 5 種類の配合について、GTM を用いた締固め試験を実施した。基本配合の SMA-1、これに特殊添加剤を使用した SMA-2、およびこれらと同一のアスファルト量で砂量を減ら

表-10 SMA の配合

項目	配合種	SMA-1	SMA-2	SMA-3	SMA-4	SMA-5
		基本配合	特殊添加剤使用	特殊添加剤+モルタル配合変化		
配合 (%)	6 号砕石	54.8	54.8	58.4	59.2	59.7
	7 号砕石	6.5	6.5	6.5	6.7	6.7
	細 砂	19.0	19.0	13.3	10.7	8.2
	石 粉	9.3	9.3	15.0	16.1	17.5
	改質Ⅱ型 A s	6.8	6.8	6.8	7.3	7.9
	植物性繊維	0.3				
骨 材 合 成 粒 度 (%)	特殊添加剤	0	7.0			
	4.75mm	40.0	40.0	40.0	38.7	37.9
	2.36	29.9	29.9	30.0	28.6	27.7
	0.3	17.3	17.3	21.2	21.5	22.2
	0.075	9.0	9.0	14.1	15.1	16.5

注)・特殊添加剤の添加量はアスファルトに対する重量比である。
・植物性繊維の配合率は混合物に対する重量比である。

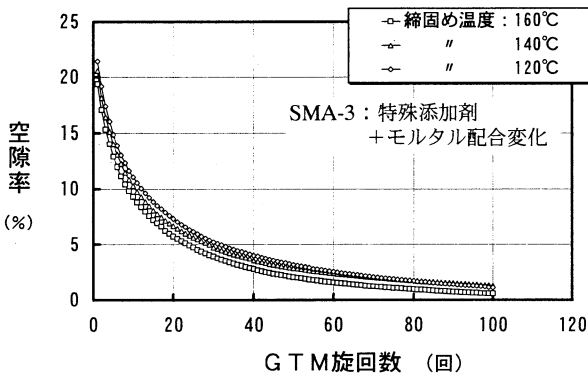
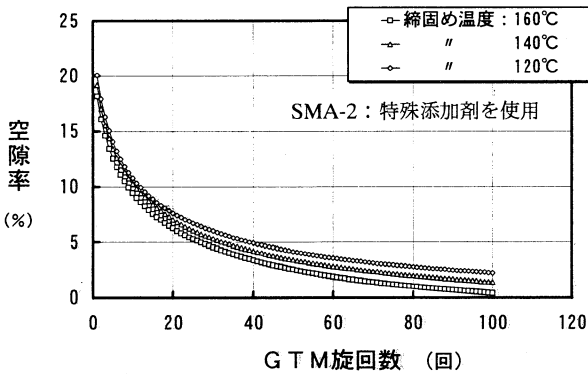
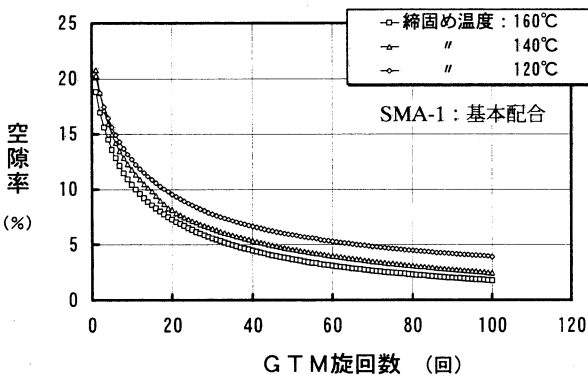


図-15 GTM による回転数と空隙率の関係

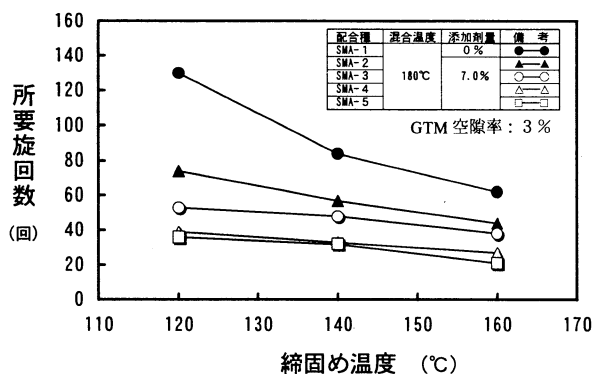


図-16 GTM 空隙率が3% となるのに要する回転数

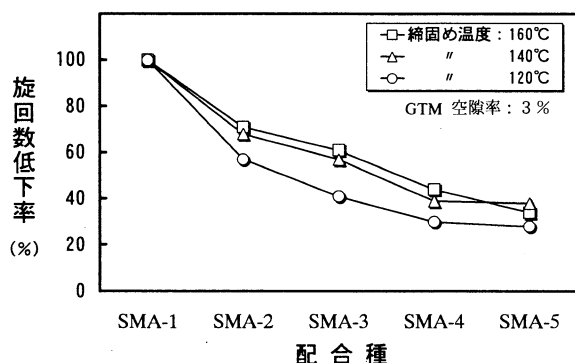


図-17 GTM 所要回転数の低下率

して石粉量を増やした SMA-3 の 3 配合について、GTM による回転数と空隙率の関係を図-15に示す。また、5 種類の配合について、GTM 空隙率が3% となるのに要する回転数を図-16に示し、さらに基本配合 SMA-1 の所要回転数を 100% としたときの各配合における所要回転数の低下率を図-17に示す。なお、GTM の仕様は表-7に準ずる。

図-16より、SMA-2 は、SMA-1 に比べて実験したすべての締固め温度条件で空隙率3% における所要回転数が少なく、特殊添加剤の使用によって締固め性が向上していることがわかる。両者の締固め温度条件に着目すると、SMA-1 の 160 °C における所要回転数は SMA-2 の締固め温度で 130 °C 程度であり、約 30 °C の差がある。

また SMA-3 は、SMA-1 および SMA-2 よりもさらに締固めやすい混合物と評価でき、同一アスファルト量でも特殊添加剤の使用とモルタル配合を適切に選定することによって、締固め性に優れた混合物が得られる。なお、SMA-3 よりもアスファルト量を増した SMA-4 および SMA-5 (アスファルト量と石粉量との比率は SMA-3 と同一) は、当然締固めやすくなっている。

一方、GTM 回転数で舗設における所要転圧回数

表-11 各配合の混合物特性

項目		SMA-1	SMA-2	SMA-3	SMA-4	SMA-5
マーシャル試験	理論密度 (g/cm ³)	2.432	2.433	2.428	2.410	2.387
	マシキ密度 (g/cm ³)	2.369	2.386	2.391	2.378	2.363
	空隙率 (%)	2.6	1.9	1.5	1.3	1.0
	マシキ安定度 (kgf)	840	810	880	770	543
	フロー値 (1/100cm)	37	39	40	45	42
透水係数 (cm/sec)		10 ⁻⁷ 以下				
動的安定度 (回/mm)		3300	3100	3400	2200	2000
曲げ試験	強度 (kgf/cm ²)	103.7	106.5	108.1	111.5	101.0
	破断ひずみ (×10 ⁻³)	6.43	6.48	8.04	9.06	9.13

注) ・マーシャル供試体の突固め回数は片面50回とした。
・混合温度は180℃、締固め温度は160℃とした。

(空隙率3% が得られる転圧エネルギー) を評価できるものと考えれば、図-17より、SMA-1 の場合に比べて SMA-2 では 60 ~ 80%, SMA-3 では 40 ~ 60%, SMA-4 および SMA-5 では 30 ~ 40% 程度の転圧エネルギーで可能と推察される。

(2) 混合物特性

ここでは、各配合の混合物特性を検討するため、マーシャル試験、ホイールトラッキング試験、および曲げ試験を行った。その結果を表-11に示す。

空隙率3% を得る GTM の所要回転数が少ない配合ほどマーシャル供試体の空隙率も小さい値を示しており、その結果からも、特殊添加剤の使用とモルタル配合が混合物の締固め性に影響することが判る。また、マーシャル供試体を用いた加圧型定水位法によって測定した透水係数は、いずれの配合とも 1×10^{-7} cm/s 以下であり(この値以下であれば不透水であると判断できると考え、試験は打切った)、水密性の確保は十分に期待できる。

動的安定度は、SMA-1、SMA-2、および SMA-3 (これらは同一アスファルト量) が 3000 回/mm 以上の値が得られているが、SMA-4 および SMA-5 ではこれらよりも若干小さくなる傾向があり、アスファルト量の影響がみられる。なお、作製した供試体を目視観察すると、SMA-4 および SMA-5 は、グースアスファルト混合物と同様の肌理を示しており、使用する場合には基層としての適用が望ましいと考える。

曲げ強度(試験温度-10℃、载荷速度50mm/min、供試体寸法 30 × 10 × 5cm) は、103.7kgf/cm² ~ 111.5kgf/cm² の範囲である。また、破断ひずみに着目すれば、SMA-1 および SMA-2 よりも、SMA-3、SMA-4 および SMA-5 の方が若干大きい値であり、モルタル配合の影響が見受けられる。

(3) SMA への適用検討結果

①特殊添加剤を使用することによって SMA の締

固め性の向上が図れる。締固め性の向上は、舗設における高い締固め度の確保につながるので、橋面舗装の防水層形成の上で有効である。

- ② SMA のモルタル配合は締固め性に対する影響がみられ、適切なモルタル配合を選定することによって、締固め性に優れた混合物を得ることができる。ただし、配合によっては舗設面が緻密になり、表層としての適用は難しくなるので、防水性を重視した基層への適用が望ましい。

7. まとめ

本研究では、各種用途の混合物への中温化技術の適用性を検討し、以下の結論を得た。

- ①排水性アスコンは、特殊添加剤の使用により締固め性が向上するので、締固め温度の低下に伴う空隙率の増加が抑制でき、骨材飛散抵抗性や流動抵抗性の確保に有効である。また、排水性アスコンでの混合からの時間経過に伴う空隙率の増加は、特殊添加剤を使用することによって抑制が可能である。
- ②高粘度アスファルトを使用した半たわみ性アスコンの混合温度は、特殊添加剤を使用することによって通常よりも 40℃程度低減できるので、半たわみ性舗装におけるセメントミルク注入開始までの養生時間の短縮化が図れる。よって、舗設所要時間の短縮が可能となり、特に時間的制約を受ける補修工事では有効である。
- ③脱色バインダを用いたカラーアスコンも中温化

技術の適用が可能であり、製造および舗設における温度条件の低減化が可能である。したがって、寒冷期や人力施工などの早期温度低下が予想される場合でも、特殊添加剤の使用により混合温度を必要以上に高めなくてすむので、品質や施工性の確保と同時に色彩への影響も抑制できる。

- ④特殊添加剤の使用によって SMA の締固め性は向上し、舗設における高い締固め度の確保につながる所以、橋面舗装への適用では防水層形成の上で有効である。また、SMA のモルタル配合は締固め性に対する影響がみられ、適切なモルタル配合を選定することによって、締固め性に優れた混合物を得ることができる。

以上より、中温化技術は、さまざまな混合物への適用が可能であり、混合物の製造や施工から派生する各種の課題に対して改善を図っていくことが可能である。つまり、特殊な機能を持つ舗装などに使用される混合物の施工上の制約を緩和することができ、施工性の改善を図ることによって、良好な品質を持った舗装の構築がしやすくなるものと考えられる。

参考文献

- 1) 吉中保, 根本信行: 環境保全を指向したアスファルト舗装技術に関する研究, 土木学会舗装工学論文集, 第2巻, pp.239 ~ 248, 1997.12
- 2) 東京都土木技術研究所: 長期供用舗装の調査研究, 東京都土木技術研究所年報, pp.75 ~ 89, 1997

STUDY ON APPLICATION OF A NEW PAVEMENT TECHNOLOGY TO HOT ASPHALT MIXTURES

Tamotsu YOSHINAKA and Nobuyuki NEMOTO

We have developed a new technology on asphalt pavement from a point of view of the environmental conservation in global size. The technology have realized the mitigation of asphalt mixture temperature both in production and execution of pavement as compared with hot asphalt mixture generally used.

This paper presents the results of application of our developed technology to asphalt mixtures for drainage pavement, for colored pavement, for semi-flexible pavement and for stone matrix asphalt. In conclusion, it is shown that it is possible to improve and solve many difficult problems pending in pavement engineering by adopting the technology.