

3. 中温化混合物の品質に関する検討

Examination Concerning Quality of Temperature Reduction of Asphalt Mixture

技術支援課 峰岸順一、上野慎一郎

1. まえがき

東京都においては、低炭素都市東京の構築に向けた挑戦として各種取組が行われている。舗装技術においても低炭素社会に向けた取組が重要となっており、プラントでの化石燃料からバイオ燃料等への転換や中温化技術、弱加熱技術、常温製造技術、リサイクル技術、長寿命化技術等の適用が挙げられる。ここでは、中温化技術に着目して検討を行った。中温化技術は、アスファルト混合物の製造温度を通常より当面約30℃ 低下することによって製造時のCO₂排出量削減を期待する技術として注目している。本文では、各種混合物に最近市販されている中温化剤を用いて30℃ 混合温度を下げた作成した混合物の品質を確認して、適用性を検討した結果を報告する。

CO₂排出抑制と舗装技術の関係を表 - 1に示す。舗装の場合は、原材料採取、素材の製造、舗装材料の製造、施工、維持補修、リサイクル、廃棄の舗装のライフサイクルの各段階でCO₂を排出している。ライフサイクルでの各段階でのCO₂を削減するためには、燃料の消費量や材料の使用量を減らしたり、舗装工事や維持補修工事の頻度を減らす必要がある。

また、CO₂排出抑制する舗装技術としては、加熱アスファルト混合物の製造時温度低下技術の中温化技術（中温化剤等添加剤を用い、製造温度を通常の場合より30℃ 程度低下させる技術）、弱加熱技術（水分などを潤滑剤として用い、混合物の製造時の温度を60～100℃ とする技術）、常温製造技術としてのチップシール、マイクロサーフェシング、リサイクル技術としての再生加熱混合物、路上表層再生工法、路上路盤再生工法、維持補修の頻度を減少して廃棄

2. CO₂排出抑制と舗装技術の関係

表 - 1 CO₂排出抑制と舗装技術の関係

ライフサイクルの段階	段階の内容	CO ₂ 排出抑制メカニズム	CO ₂ 排出抑制機能を有する舗装技術	
原材料の採取	原油、原石、石灰石等の採取時	燃料の使用量の少ない採取方法		
素材の製造	砕石、アスファルト、セメント等の製造時	燃料の使用量の少ない製造方法		
舗装用材料の製造	アスファルト混合物、アスファルト乳剤、生コンクリート等の製造時	燃料の使用量の少ない製造方法	加熱アスファルト混合物の製造時温度低下技術	中温化技術 弱加熱技術
			常温製造技術	チップシール マイクロサーフェシング
施工	原料・材料の運搬時、施工機械稼働時	燃料の使用量の少ない工法により材料の使用量を減らす、舗装工事の頻度を減らす		
供用・維持補修・リサイクル	維持補修材料の運搬時、施工機械稼働時	維持補修の頻度を減少、資材の使用量を減らす	リサイクル技術	再生加熱アスファルト混合物 路上表層再生工法 路上路盤再生工法
				コンボジット舗装 改質アスファルトの適用
廃棄	廃棄物の運搬時	長寿命化し解体処分までの期間を長くする	長寿命化技術	

表 - 2 使用したアスファルト混合物の種類及び混合物の配合

混合物名 骨材名		密粒度アスファルト混合物(13)	粗粒度アスファルト混合物(20)	再生粗粒度アスファルト混合物(20)	ポーラスアスファルト混合物(13)
		ポリマー改質アスファルト 型	ポリマー改質アスファルト 型	ストレートアスファルト40/60	ポリマー改質アスファルトH型
配 合 比 %	5号砕石	-	21.0	17.0	-
	6号砕石	34.5	34.0	14.0	83.0
	7号砕石	15.5	11.0	3.0	-
	砕 砂	23.0	15.0	5.0	12.0
	スクリーングス	11.0	7.0	-	-
	細 砂	11.0	7.0	-	-
	石 粉	5.0	5.0	1.0	5.0
	再生骨材	-	-	60.0	-
	計	100.0	100.0	100.0	100.0
設計アスファルト量%		5.4	4.5	4.5	4.7
密 度 g/cm ³		2.365	2.390	2.394	2.015
理論密度g/cm ³		2.456	2.491	2.497	2.482
空隙率 %		3.7	4.1	4.1	18.8
飽和度 %		77	71.7	71.5	-
安定度 kN		13.708	13.876	11.221	5.544
I ₀ -値 1/100cm		27	30	30	-
動的安定度 回/mm		7,880	7,880	-	9,000

表 - 3 中温化剤の種類

記号	中温化剤の分類	添加量		
		ストレートアスファルト	ポリマー改質アスファルト 型	ポリマー改質アスファルトH型
A	発砲系	混合物に対して0.2%	混合物に対して0.2%	混合物に対して0.3%
B	発砲 + 粘弾性系	アスファルト量に対して1.5%	アスファルト量に対して2.0%	アスファルト量に対して2.5%
C	滑剤系	アスファルト量に対して1.5%	アスファルト量に対して2.0%	アスファルト量に対して2.5%
D	粘弾性調整系	アスファルト量の3%置換添加(ポーラスアスファルト混合物用とその他の混合物用がある)		
E	プレミックス	-	5.4%(アスファルト量)	-

(解体処分)までの期間を長くする長寿命化技術としてコンポジット舗装、改質アスファルトの適用などが挙げられる。

本文では、CO₂排出抑制する舗装技術として中温化技術に着目して検討を行った。常温施工技術、リサイクル技術、長寿命化技術については、東京都においてコスト縮減等を目的として試験施工を実施してきたものもある。中温化技術においても、冬期の混合物の施工性の向上等を目的に利用されることもある技術である。今回は、CO₂排出抑制する舗装技術として中温化技術を取り上げた。中温化技術は、混合物の製造温度を160 から130 に低下させた場合、製造プラントからのCO₂排出量が約15%削減できると試算されているものである¹⁾。

3. 室内試験内容

各種混合物に最近市販されている中温化剤を用いて、30 混合温度を下げて作成した混合物の品質を、室内試験で確認し適用性を検討した。

(1) 使用したアスファルト混合物

使用したアスファルト混合物の種類及び混合物の配合比とアスファルト量は、表 - 2に示すとおりである。混合物の配合は、東京都建設局土木材料仕様書(以下土木材料仕様書と記述する)に従い、アスファルト混合物事前審査認定混合物を用いた。

(2) 中温化剤について

1) 使用した中温化剤

使用した中温化剤は、表 - 3に示す5種類とした。プレミックスタイプのEについては、密粒度混合物についてのみ試験を実施した。添加量については、



写真 - 1 A: 発砲系 (黄土色、あんこ状)



写真 - 3 C: 滑剤系 (乳白色、フレーク状)

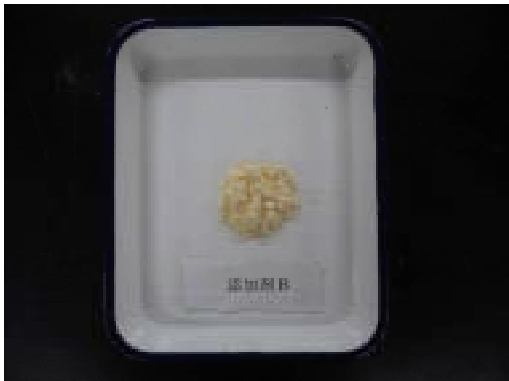


写真 - 2 B: 発砲 + 粘弾性系 (淡黄色、微粉末状)



写真 - 4 D: 粘弾性調整系 (白色、微粒状)

表 - 4 中温化剤の効果と供試体作成時の添加方法

中温化剤の種類	中温化剤の効果	マーシャル供試体作製時の添加方法
A: 発砲系	製造時に特殊な添加剤を混入し混合物内部に微細な気泡を発生させ、この気泡がベアリングのような働きをすることで従来より低い温度でも混合がスムーズになり、施工時の締固めが容易になる。	鍋の中でアスファルトを攪拌し、所定量の中温化剤を分散させ発泡させる 骨材投入 ウエットミキシング終了後、締固め温度に調整した乾燥炉で1時間養生 養生終了後、マーシャル供試体作製
B: 発砲 + 粘弾性系	加熱アスファルト混合物の製造工程で添加することにより、アスファルト内に炭酸ガスを含まない良質な微細気泡が発生し、舗装が終了するまで2~3時間にわたり混合物内に安定的に保持されます。その結果、製造時の骨材との混合性の向上、ベアリング効果による高い締固め性の向上、温度条件を既往比30程度程度の低減が可能。	ドライミキシング アスファルト添加 中温化剤添加 ウエットミキシング マーシャル供試体作製
C: 滑剤系	100以上の温度においてアスファルトより粘度の小さい液体状となってアスファルト中に溶解分散することによりアスファルトの粘度を低減する内部滑剤効果と、骨材表面に吸着し骨材表面付近の中温化剤濃度が増すことでアスファルトと骨材界面のすべり性を向上させる外部滑剤効果が複合的に作用し混合温度・締固め温度を低減できる。舗設後はこうした滑剤効果が無くなるので混合物の品質は確保される。	ドライミキシング アスファルト添加 中温化剤添加 ウエットミキシング マーシャル供試体作製
D: 粘弾性調整系	通常のアスファルトに所定量添加することにより、混合・施工温度領域(80程度~185)においてはストレートアスファルトと同程度の粘度(柔らかさ)を示しながら、供用温度領域(60以下)においては改質アスファルトに近い粘度(硬さ)を示す。中温化剤は、石油精製物でありながら揮発成分をほとんど含んでいないため、熱劣化に対する抵抗性が高く、また供用後も中温化剤による改質効果が発揮される。	ドライミキシング アスファルト添加 ウエットミキシング 全混合時間の半分経過後 中温化剤添加 残りの混合時間までミキシング マーシャル供試体作製

メーカー提示に従った。なお、中温化剤の分類の名称は、メーカー技術資料の名称とした。また、中温化剤の外観を写真 - 1から4に示す。

2) 中温化剤の効果と供試体作成方法

プレミックスタイプのE以外の中温化剤の効果と供試体作成時の添加方法は、表 - 4に示すとおりである。中温化剤の効果については、各社の技術資料から抜粋した。

(3) 試験項目

各種混合物について通常どおりの配合設計で作成した混合物（以下標準混合物と記述する）と中温化剤を用いて30 混合温度を下げて作成した混合物（以下中温化混合物と記述する）の試験項目は、マーシャル安定度試験、圧裂試験（0）、ホイールトラッキング試験、カンタブロ試験（ポーラスアスファルト混合物のみ実施、20）である。試験項目と数量は、表 - 5に示すとおりである。なお、試験は、舗装調査・試験法便覧（(社)日本道路協会）によった。

4. 試験結果

(1) マーシャル安定度試験の密度

マーシャル安定度試験の密度は、締固め性状把握の目的で実施した。マーシャル安定度試験の結果は、図 - 1に示すとおりである。また、中温化剤別の標準に対する密度の百分率（以下、密度比）を図 - 2に示す。

図 - 1より、中温化剤毎の中温化混合物のマーシャル密度は、全ての中温化混合物が標準混合物に比べ若干の低下傾向が認められた。

中温化剤毎の中温化混合物の密度は、土木材料仕様書の基準値である密粒度アスファルト混合物2.33 g/cm³以上、粗粒度アスファルト混合物2.35 g/cm³以上、ポーラスアスファルト混合物1.95 g/cm³以上を満足していた。一方、再生粗粒度アスファルト混合物における滑剤系2.342g/cm³および粘弾性調整系2.346g/cm³は、土木材料仕様書の基準値である2.35 g/cm³以上をやや下回る結果であった。

図 - 2から、中温化剤別の標準混合物に対する各混合物の密度比は下記のとおりであった。

- ・発泡系の各中温化混合物の密度比は、99.1～99.9

表 - 5 試験項目と数量

試験種別	数量(試料)	備考
マーシャル安定度試験	4種×5種×3個	60 中温化剤：なし
ホイールトラッキング試験	4種×5種×3個	60 (標準)、A、B、
圧裂試験	4種×5種×3個	60 C、D
カンタブロ試験	1種×5種×3個	15 ポーラスアスファルト混合物のみ

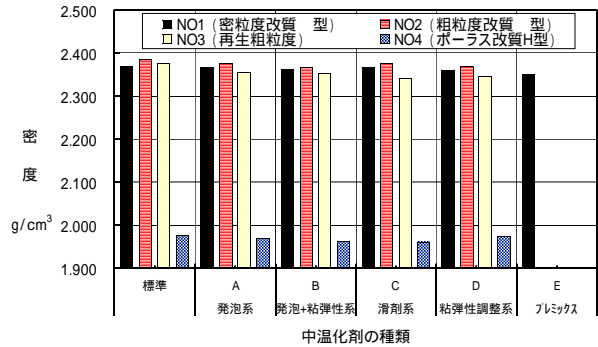


図 - 1 マーシャル安定度試験(密度)

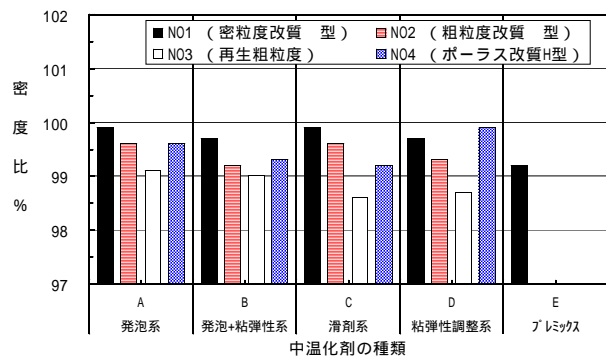


図 - 2 マーシャル安定度試験(密度比)

％の範囲で、平均値は99.6%であった。

- ・発泡 + 粘弾性系の各中温化混合物の密度比は、99.0～99.7％の範囲で、平均値は99.6%であった。

- ・滑剤系の各中温化混合物の密度比は、98.6～99.9％の範囲で平均値は99.3%であった。

- ・粘弾性調整系の各中温化混合物の密度比は、98.7～99.9％範囲で平均値は99.4%であった。

- ・プレミックスタイプの改質アスファルトによる密粒度アスファルト混合物で行った結果は、密度比が99.2%であり、他の中温化剤を添加するプラントミックス型より低い結果であった。

以上より、各中温化剤とも各中温化混合物は、若

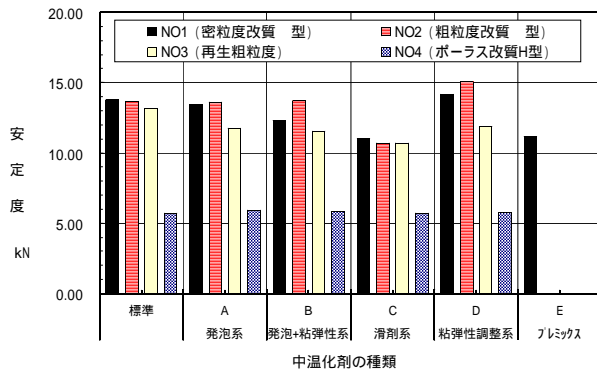


図 - 3 マーシャル安定度試験(安定度)

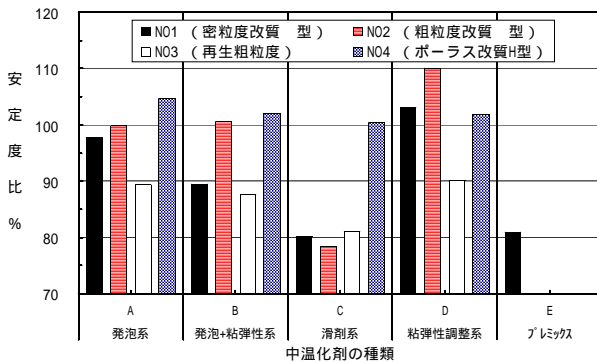


図 - 4 マーシャル安定度試験(安定度比)

干の密度低下が認められ締固め性状に留意する必要があることが分かった。中温化剤別の各中温化混合物の密度比の平均値は、発泡系99.6%、発泡 + 粘弾性99.6%、滑剤系99.3%、粘弾性調整系99.4%の順であった。なお、再生粗粒度アスファルト混合物に滑材系と粘弾性調整系を用いた中温化混合物が2.35 g/cm³の基準値をやや下回ったが、他のものは、基準値以上であった。

(2) マーシャル安定度試験の安定度

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実施した。安定度試験結果は、図 - 3に示すとおりである。中温化剤別の標準混合物に対する安定度の百分率(以下、安定度比)を図 - 4に示す。

中温化剤毎の中温化混合物のマーシャル安定度は、図 - 3より土木材料仕様書の基準値である密粒度アスファルト混合物10kN以上、粗粒度アスファルト

混合物10kN以上、再生粗粒度アスファルト混合物8kN以上、ポーラスアスファルト混合物4kN以上を満足していた。

図 - 4から、標準混合物に対する各混合物の安定度比は下記のとおりであった。

- ・発泡系の各中温化混合物の安定度比は、89.3 ~ 104.6%の範囲で平均値は97.9%であった。
- ・発泡 + 粘弾性の各中温化混合物の安定度比は、87.6 ~ 102.1%の範囲で平均値は94.9%であった。
- ・滑剤系の各中温化混合物の安定度比は、78.4 ~ 100.4%範囲で平均値は86.1%であった。
- ・粘弾性調整系の各中温化混合物の安定度比は、90.0 ~ 110.1% の範囲で平均値は101.2%であった。
- ・プレミックスタイプの改質アスファルトによる密粒度アスファルト混合物の結果は、安定度比が80.9%であり滑剤系に次ぐ結果であった。

以上より、中温化剤別の各中温化混合物は、安定度比の平均値が86.1 ~ 101.2%であり中温化剤別に安定度比にバラツキがあった。この安定度比の大きい順は、粘弾性調整系101.2%、発泡系97.9%、発泡 + 粘弾性系94.9%、滑剤系86.1%であった。ただし、全て土木材料仕様書の基準値を満たすものであり、基本的な混合物性状は良好であった。

(3) ホイールトラッキング試験

ホイールトラッキング試験は、流動抵抗性把握の目的で実施した。ホイールトラッキング試験結果を図 - 5に示す。また、標準混合物に対する動的安定度の百分率(以下、動的安定度比)を図 - 6に示す。

動的安定度は、図 - 5より土木材料仕様書の基準値である密粒度アスファルト混合物、粗粒度アスファルト混合物、およびポーラスアスファルト混合物の3,000回/mm以上を満足していた。

図 - 6から、標準混合物に対する各混合物の動的安定度比は以下のとおりであった。

- ・発泡系の各中温化混合物の動的安定度比は、74.2 ~ 100.0%の範囲で平均値は91.2%であった。
- ・発泡 + 粘弾性系の各中温化混合物の動的安定度比は57.1 ~ 114.7%の範囲で平均値は86.8%であった。
- ・滑剤系の各中温化混合物の動的安定度比は、61.4 ~ 114.7%の範囲で平均値は89.0%であった。
- ・粘弾性調整系の各中温化混合物の動的安定度比は、69.6 ~ 117.9%の範囲で平均値は96.1%であった。

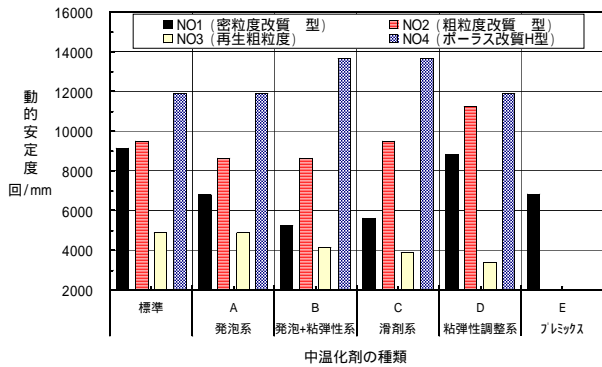


図 - 5 ホイールトラッキング試験(動的安定度)

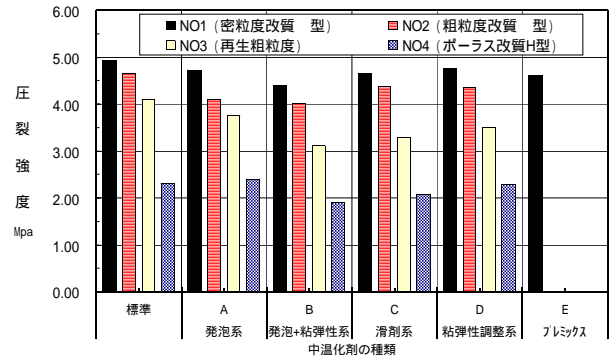


図 - 7 圧裂試験(圧裂強度)

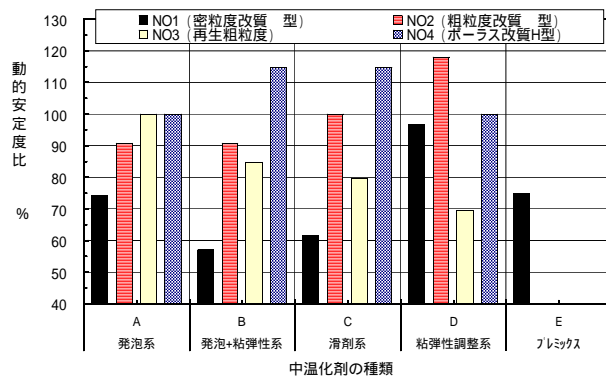


図 - 6 ホイールトラッキング試験(動的安定度比)

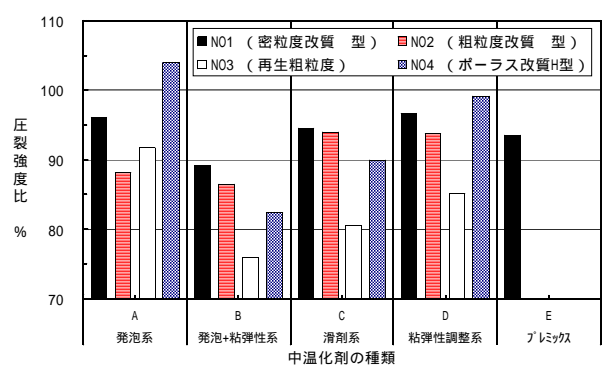


図 - 8 圧裂試験(圧裂強度比)

・プレミックスタイプの改質アスファルトによる密粒度アスファルト混合物で行った結果は、動的安定度比で74.8%であり、発泡系に次ぐ結果であった。

以上より、中温化剤別の各中温化混合物は、動的安定度比の平均値が89.0～96.1%であり、中温化剤毎に動的安定度比にバラツキがあった。この動的安定度比の大きい順は、粘弾性調整系96.1%、発泡系91.2%、滑剤系89.0%、発泡+粘弾性系86.8%であった。なお、各中温化剤を添加した密粒度アスファルト混合物、粗粒度アスファルト混合物およびポーラスアスファルト混合物の動的安定度は5,000回/mm以上の値を示し、土木材料仕様書の混合物毎の動的安定度の基準値3,000回/mm以上を満足しており、流動抵抗性は良好であった。また、再生粗粒度アスファルト混合物(ストレートアスファルト40～60)の動的安定度は、3,390～4,870回/mmであり、流動抵抗性は良好であった。

(4) 圧裂試験

圧裂試験は、ひび割れ性状把握の目的で実施した。圧裂試験の結果を図-7に示す。また、標準混合物に対する圧裂強度の百分率(以下、圧裂強度比)を図-8に示す。

図-7から、発泡系の中温化剤を添加したポーラスアスファルト混合物を除く、他の中温化混合物は標準混合物に対し圧裂強度が低下する傾向であった。

図-8に示した、中温化剤別の各中温化混合物の圧裂強度比は下記のとおりであった。

- ・発泡系の各中温化混合物の圧裂強度比は、88.2～103.9%の範囲で平均値は95.0%であった。
- ・発泡+粘弾性系の各中温化混合物の圧裂強度比は、75.9～89.2%の範囲で平均値は83.5%であった。
- ・滑剤系の各中温化混合物の圧裂強度比は、80.5～94.5%の範囲で平均値は89.8%であった。
- ・粘弾性調整系の各中温化混合物の圧裂強度比は、85.1～99.1%の範囲で平均値は93.7%であった。

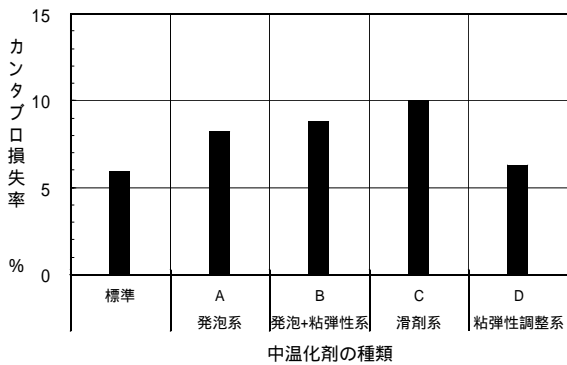


図 - 9 カンタブロ試験 (カンタブロ損失率)

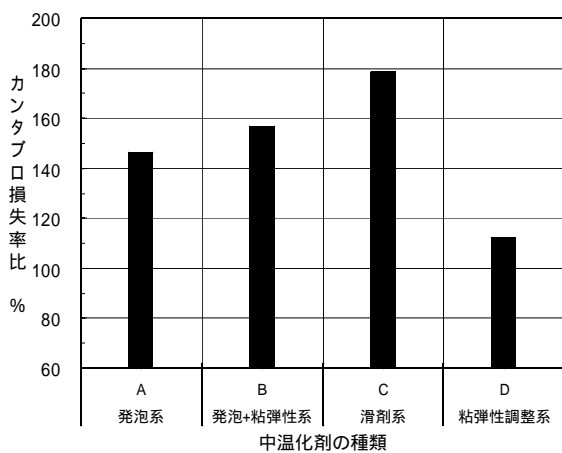


図 - 10 カンタブロ試験 (カンタブロ損失率比)

・プレミックスタイプの改質アスファルトによる密粒度アスファルト混合物で行った結果は、圧裂強度比が93.5%であり発泡 + 粘弾性系に次ぐ結果であった。

以上より、中温化剤別の各中温化混合物は、圧裂強度比の平均値が83.5～95.0%であり、標準混合物に対し圧裂強度が低下する傾向であり、ひび割れ性状に留意する必要があることがわかった。各中温化混合物の圧裂強度比の大きい順は、発泡系95.0%、粘弾性調整系93.7%、滑剤系89.8%、発泡 + 粘弾性系88.5%であった。

(5) カンタブロ試験

カンタブロ試験は、骨材の飛散抵抗性把握の目的で実施した。カンタブロ試験結果を図 - 9に示す。

標準混合物に対する損失率の百分率（以下、カンタブロ損失率比）を図 - 10に示す。

図 - 3.9から、中温化剤を添加したポーラスアスファルト混合物のカンタブロ損失率は、各中温化剤とも標準混合物を上回る結果であった。

図 - 10に示した、標準混合物に対するカンタブロ損失率比の順位は下表のとおりである。

ポーラスアスファルト混合物のカンタブロ損失率比の小さい順は、粘弾性調整系112.5%、発泡系146.4%、発泡 + 粘弾性系157.1%、滑剤系178.6%であった。中温化剤別のポーラスアスファルト混合物の損失率は、発泡系8.2%、発泡 + 粘弾性系8.8%、滑剤系10.0%、粘弾性調整系6.3%であり、東京都では、カンタブロ試験の損失率の基準値はないが、NEXCOのカンタブロ損失率(20)の基準値20%以下（設計要領の「高機能舗装 型用混合物の配合試験基準値」）を満足しており、骨材の飛散抵抗性は高いと考えられた。

(6) 中温化剤の総合評価

各試験結果から、標準混合物に対する百分率（密度比、安定度比、動的安定度比、およびカンタブロ損失率比）は、中温化剤別にバラツキはあるものの、概ね基準値を満足している。各中温化剤は混合物の種類や試験項目により、性能が異なることから、各中温化混合物の試験項目別に順位を付けて、中温化剤別の適用性を検討した。

各混合物毎の中温化剤別の順位は、次のとおりであった。

密粒度アスファルト混合物：粘弾性調整系、発泡系、滑剤系、発泡 + 粘弾性系の順

粗粒度アスファルト混合物：粘弾性調整系、滑剤系、発泡系、発泡 + 粘弾性系の順

再生粗粒度アスファルト混合物：発泡系、粘弾性調整系、発泡 + 粘弾性系、滑剤系の順

ポーラスアスファルト混合物：発泡系、粘弾性調整系、発泡 + 粘弾性系、滑剤系の順

総合順位は、発泡系および粘弾性調整系、滑剤系、発泡 + 粘弾性の順であった。なお、密粒度アスファルト混合物で行ったプレミックスタイプの中温化改質アスファルトの順位は、発泡 + 粘弾性系と同程度であった。

5. まとめ

試験結果を総括すると以下のとおりである。

中温化混合物の標準混合物に対する密度比は、98.6～99.9%であり、中温化混合物は若干密度低下がみられ締固め性状に留意する必要がある。なお、再生粗粒度混合物に滑材系と粘弾性調整系を用いた中温化混合物が $2.35\text{g}/\text{cm}^3$ の基準値をやや下回ったが、他のものは、基準値以上であった。

中温化混合物の標準混合物に対する安定度比は、78.4～110.1%であり、中温化混合物は安定度がバラツクことがわかった。ただし、全て土木材料仕様書の基準値を満たすものであり、基本的な混合物性状は良好であった。

中温化混合物の標準混合物に対する動的安定度比は、89.0～96.1%であり、中温化混合物は若干動的安定度の低下がみられた。ただし、全て土木材料仕様書の3,000回/mmの基準値を満たすものであった。また、ポリマー改質アスファルトを用いた中温化混合物では、5,000回/mm以上の値であり流動抵抗性は良好であった。

中温化混合物の標準混合物に対する圧裂強度比は、82.3～103.9%であり、中温化混合物は圧裂強度の低下がみられひび割れ性状に留意する必要がある。

中温化混合物の標準混合物に対するカンタブロ損失率比は、112.5～178.6%であり、中温化混合物は

カンタブロ損失率の増加がみられた。ただし、カンタブロ損失率の値は、8.2～10.0%であり、骨材の飛散抵抗性は高いと考えられた。

中温化混合物においては、基本的な混合物性状、流動抵抗性、骨材の飛散抵抗性（ポーラスアスファルト混合物のみ）は、高いと考えられるが、締固め性状とひび割れ性状に留意する必要性を把握した。また、中温化剤を混入することによって標準混合物の品質と同程度以上を示したものは、混合物種類により異なった。密粒度アスファルト混合物には、粘弾性調整系、発砲系が、粗粒度アスファルト混合物には、粘弾性調整系、滑剤系が、再生粗粒度アスファルト混合物には、発砲系、粘弾性調整系が、ポーラスアスファルト混合物には、発砲系、粘弾性調整系が良好な結果であった。

6. あとがき

中温化混合物の性状を確認した結果、中温化剤毎および混合物毎に性状のバラツキがあるが、標準混合物に近い性状を示すことが確認できた。

今後、CO₂排出抑制に向けて中温化剤の適用条件を明らかにして、本格導入に向けて検討を進める予定である。また、プラントでの化石燃料からバイオ燃料等への転換等と組み合わせると総合的に対策を検討して、CO₂排出の削減量を試算していく必要がある。

参 考 文 献

- 1) 吉中、根本、市原(1999)：中温化技術の適用温度の低減化に関する検討、土木学会舗装工学論文集、第4巻、135-142