

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

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 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 東京都品川区東品川 3-32-34)

21世紀を目前に控え、地球規模での環境保全の重要性はますます高まっており、地球温暖化の抑制の観点から、省資源、省エネルギーなど環境保全の推進が必要とされている。このような状況の中で、筆者らは、舗装の分野でこれらへの対策を、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て取るべく、製造および施工時の温度条件の緩和が可能な、新しい概念を導入した技術を開発してきた。ここでは、環境保全を指向したアスファルト舗装技術の適用性について検討した。その結果、本技術は、製造および施工に伴うCO₂排出量の削減や、舗装のリサイクル技術の向上等に寄与でき、環境保全に対し有効な対策となることがわかった。

Key Words : *environmental conservation, hot asphalt mixtures, micro bubbles, carbon dioxide, recycle technique, reduced heating*

1. はじめに

地球規模での環境保全の重要性はますます高まり、地球温暖化の抑制の観点から、省資源、省エネルギーなど環境保全の推進に対して世界的な世論の高まりをみせている。このような社会環境の中、一般的な道路舗装材料として使用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）は、全国で年間約8,000万ton製造されており、環境保全の観点から、その対策の取り組みが必要である。

加熱アスコンに用いられるアスファルトは、舗装の目標性能によって、さまざまな種類が使用され、アスファルトの温度-粘度特性に応じた目標温度が設定され、適切な混合性と締固め性を確保するようにしている。このため、加熱アスコンの製造においては、混合性や締固め性を考慮した適切な目標温度にするべく加熱するための燃料が必要であり、そして舗設においても、敷均し機械や転圧機械を稼働するために燃料が使われている。この製造および舗設に必要な所要燃料の削減、つまりCO₂排出量の削減は、地球温暖化の抑制対策となる。

また、道路舗装は補修の時代に入り、供用中の道

路における修繕工事では、交通渋滞の発生や、暑中施工の場合における初期わだちの発生が問題となっている。このような交通規制を伴う工事では、加熱アスコンの製造および舗設時の温度を従来よりも低減できれば、交通開放までの規制時間の短縮（交通渋滞の緩和）、あるいは初期わだちの抑制による次期補修までのサイクルの延長が図れることとなる。そして、交通渋滞の緩和は、車両から排出されるNO_xの削減にもつながる。

一方、舗装発生材のリサイクルに関しては、加熱アスコンに再生骨材を使用した再生アスファルト混合物（以下、再生アスコンと称す）の製造が行われてきており、全アスコン製造量に対する比率は年々増加してきている。再生アスコンの製造方法の一つに、常温の再生骨材と、高温に加熱した新しい骨材（以下、新材と称す）との熱交換を行って混合する方式（以下、間接加熱方式と称す）がある。「プラント再生舗装技術指針」¹⁾によれば、再生骨材の配合率は、新材の加熱温度の限界、再生アスコンの温度確保、ドライヤの耐熱性等から通常20%程度以下とされている。全国的には、この間接加熱方式による再生アスコンのプラントが多数存在し、再生骨

材の増量化に対する問題点を技術的に改善すれば、再生資源の利用促進につながる。

筆者らは、このような現状認識から、舗装の分野で環境保全への対策を講ずるべく、通常の舗装材料として広く使用されている加熱アスコンおよび再生アスコンに対し、新しい技術（以下、中温化技術と称す）を開発²⁾・³⁾・⁴⁾し、適用検討を行った。その結果、この技術は環境保全を目指した用途に有効に適用することを示した。

2. 中温化技術の概要と適用方法

中温化技術は、加熱アスコンの製造時の混合性や舗設時の締固め性、および作業性等を向上させ、製造および舗設における温度条件を通常よりも低減させることが可能である。

(1) 中温化技術の概要

中温化技術は、加熱アスコンを製造する過程で特殊添加剤を使用することによって、アスファルト内に微細泡を発生、分散させ、更には舗設終了までこれを保持させることによって、製造時には混合性が向上し、舗設時には締固め機械によるニーディング作用を効果的に増幅させることができるために締固め性の向上も図る、新しい概念を導入した技術である。この微細泡には、一種のベアリング的な効果があることから、同一温度でのアスファルトの粘度を見掛け上低減し、混合性や締固め性を向上させることができる。加熱アスコンの混合と締固めにおける温度を従来よりも約30℃程度低減しても、同程度の品質、施工性を得ることが可能となる。図-1に締固め効果の概念図を示す。

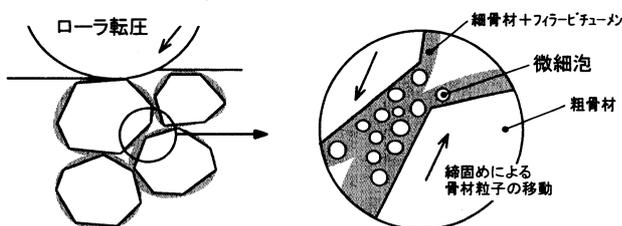


図-1 中温化技術による締固め効果

(2) 特殊添加剤による微細泡の発泡特性

特殊添加剤によって発生した微細泡は、製造から舗設終了までの間は消滅しない、熱安定性があることに大きな特徴がある。この微細泡の存在によって、高い締固め性の確保が可能となる。アスファルトに

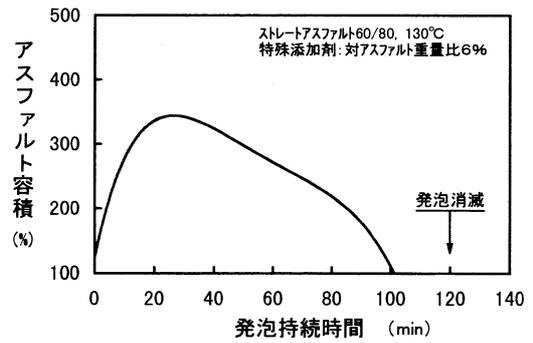


図-2 特殊添加剤による微細泡の発生

特殊添加剤を添加したときの、微細泡の発泡による時間経過に伴うアスファルトの容積変化を、図-2に示す。

図-2より、アスファルトの容積は発泡によって見掛け上増加し、ある程度時間が経過すると元の容積値へ収束するが、発泡持続時間は120分程度確保される。このため、実施工においても、転圧時における締固め性の向上を発揮できる。

(3) 微細泡による締固め効果

微細泡による締固め効果を実証するため、表-1に示す供試体の作製条件で、ジャイレトリ試験機（米国 RAINHART 社製、表-2）およびマーシャルオートランマを用いて締め固めた場合の、標準の加熱アスコンに対する締固め度の結果を図-3に示す。なお、

表-1 供試体の作製条件

配合種	特殊添加剤の使用	As量	混合温度	締固め温度	特殊添加剤
密粒度アスコン (13mmTop)	なし(標準混合物)	6.0%	160℃	140℃	0%
	使用(中温混合物)		130℃	変化	6%

注：・アスファルトはストレートアスファルト60/80を使用した。
・オートランマは両面50回突固めとし、ジャイレトリは旋回数60回とする。
・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。
・中温混合物の締固め温度は120℃、110℃、100℃、80℃とした。

表-2 ジャイレトリの試験条件

条件	旋回角度	締固め圧力	モールド直径	旋回速度	旋回数
	1.25°	600KPa	10cm	30rpm	60回

注：旋回数は、締固め温度120℃でマーシャルオートランマと同等の締固め度が得られるものとした。

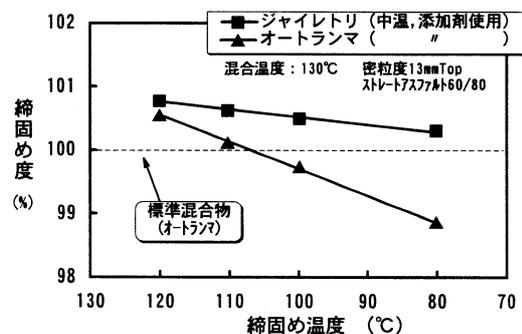


図-3 ジャイレトリとオートランマによる、締固め温度と締固め度の関係

特殊添加剤を使用した加熱アスコンの混合温度は、使用しない場合よりも30℃低減させた130℃とした。（以下、30℃低減させたものを中温混合物と称す。）

図-3より、特殊添加剤を使用した中温混合物は、締固め方法の違いによって締固め度が異なり、オートランマよりもジャイレトリを用いた方が、締固め温度の変化に伴う締固め度の低下が緩やかであり、得られる締固め度は高い結果となった。これは、オートランマによる突固めよりも、実際の転圧に近いといわれるジャイレトリによる締固めの方が、その効果が発揮されやすいことを示している。しかも、ジャイレトリとオートランマの締固め度の差が、低温側に向かって大きくなる傾向がみられる。この結果は、温度が低下してバインダの粘度が増大する場合においても、ニーディングを伴う方法で締め固めた方が、その効果はより有効に作用することを示している。

なお、オートランマによる突固め方法での締固め度の結果からみても、特殊添加剤を使用することにより、混合温度および締固め温度を標準混合物における設定温度よりもそれぞれ30℃低減しても、同程度の締固め度が得られている。

（4）中温化技術の適用方法

中温化技術は、加熱アスコンの混合温度の設定により、2つの利用方法がある。

一つは、混合温度を通常よりも低減するものであり、加熱燃焼に伴うCO₂排出量の削減や、夏期等の施工において舗装体温度の早期低下を必要とする場合に対応できる。

他方は、混合温度を通常と同様にするものであり、再生アスコンの製造における再生骨材の増量化に伴う温度の低下や、締固め性や施工性の向上による締固め機械編成の削減、あるいは寒冷期の混合物の温度低下が顕著な条件等における舗設許容時間の拡大

に対応できる。

ここでのアスファルト舗装の環境保全対策に関する研究では、当該技術を表-3に示すような適用方法とする場合について検討した。

3. 加熱アスコンの製造時の温度低減化に関する検討

中温化技術を利用し、加熱アスコン製造時の混合温度の低減によるCO₂排出量の削減（所要燃料削減による省エネルギーともなる）について検討を行った。温度低減による混合物の締固め性と品質、そしてCO₂排出量を試算した。

（1）中温化技術による混合物の品質

a) ストレートアスファルト使用の場合

ストレートアスファルトを使用した密粒度アスファルト混合物(13mmTop)について、特殊添加剤を使用した中温化技術による混合物の締固め性や品質を検討した。供試体の作製条件等は表-1に準拠した。締固め温度と締固め度の関係を図-4に、マーシャル安定度試験とラベリング試験の結果を図-5に示す。

図-4より、締固め度は締固め温度の低下に伴って低下し、同一温度で比較すると、特殊添加剤なしよりも使用した場合には得られる締固め度は高い結果となっている。特殊添加剤を使用した中温混合物は、締固め温度が110℃以上であれば、140℃で締め固めた標準混合物と同等の締固め度が得られている。

図-5より、特殊添加剤を使用した中温混合物のマーシャル安定度およびラベリングすり減り量は標準混合物と同等であり、添加剤なしの中温混合物よりも良好な値である。また、残留安定度および動的安定度も、標準混合物と同程度の値である。

この結果から、中温混合物は、特殊添加剤を使用することによって標準混合物とほぼ同等の力学性状

表-3 中温化技術の適用方法とその効果

混合温度	適用方法など	効果
従来より約30℃低減	①製造時の温度低減化	省エネルギーおよび製造時のCO ₂ 排出量の削減
	②規制内修繕工事における舗設時の温度低減化	規制時間の短縮（工事渋滞の緩和） 初期わだちの抑制（補修サイクルの延長）
従来と同一	③再生アスコンの利用促進（再生骨材配合率の増量化）	再生骨材の利用促進、施工性改善（リサイクル技術の向上）
	④舗設機械編成の簡略化	省力化、施工時のCO ₂ 排出量の削減

注：③は、新骨材の加熱温度を従来と同一とするので、上記のように分類した。

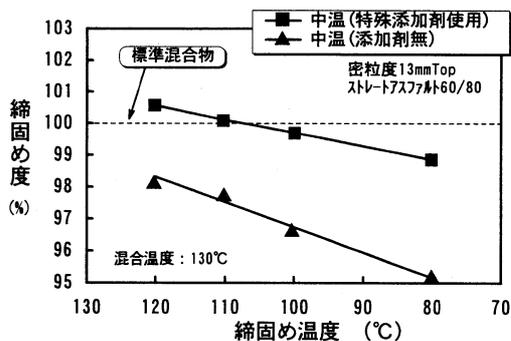


図-4 中温混合物における、
縮固め温度と縮固め度の関係

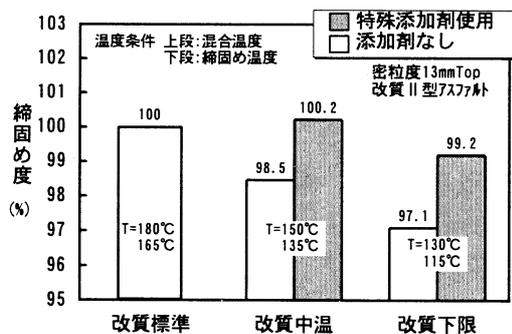


図-6 改質アスコンにおける、
供試体作製温度条件と縮固め度の関係

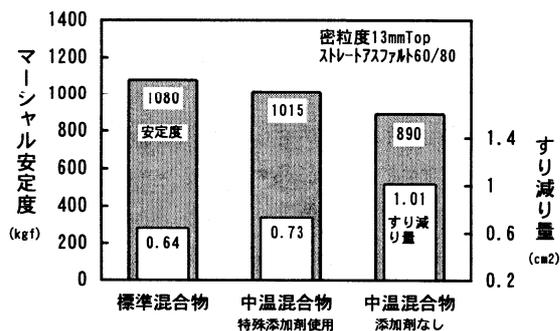


図-5 中温混合物の力学性状

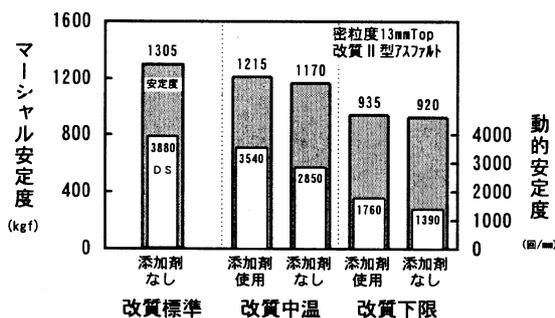


図-7 改質アスコンにおける、
供試体条件と力学性状の関係

が得られ、中温化による混合物特性に及ぼす影響は殆どないといえる。

b) 改質アスファルト使用の場合

改質アスファルトを使用した加熱アスコン（以下、改質アスコンと称す）の混合温度は、加熱劣化を考慮して通常 180℃付近に設定されており、中温化技術を適用した改質アスコンの製造と施工が可能となれば、温度低減によって加熱劣化の抑制や燃費削減、および CO₂ 排出量の削減効果を期待できる。

改質 II 型アスファルトを使用した密粒度アスファルト混合物（13mmTop）の供試体作製条件を表-4 に、温度条件と縮固め度の関係を図-6 に、マーシャル安定度試験とホイールトラッキング試験の結果を図-7 に示す。

図-6 より、縮固め度は、特殊添加剤なしが温度条

件に影響されるのに対して、使用の場合は温度条件を 30℃低減させた改質中温が改質標準とほぼ同程度の縮固め度を示し、更に温度を低減させた改質下限においても、わずかな縮固め度の低下にすぎない結果となっている。同一温度で比較すると、特殊添加剤を使用したときに得られる縮固め度は高く、温度条件の低減に対する縮固め度の確保に特殊添加剤が有効であることがわかる。

図-7 より、特殊添加剤を使用した改質中温のマーシャル安定度および動的安定度は、同一温度条件の添加剤なしに比べて良好な値を示し、改質標準と遜色ない結果である。一方、改質下限は、特殊添加剤を使用しない場合と比べてやや高い値であるが、改質標準と比べると、若干劣る結果である。

これらの結果から、改質アスコンに対しても、中温化技術の適用が可能と判断される。

表-4 改質アスコンの供試体作製条件

供試体名称	As量	空隙率	混合温度	縮固め温度	特殊添加剤
改質標準	6.0%	5.3%	180℃	165℃	0%
改質中温（特殊添加剤使用）			150℃	135℃	6%
改質中温（添加剤なし）					0%
改質下限（特殊添加剤使用）			130℃	115℃	6%
改質下限（添加剤なし）					0%

注：・アスファルトは改質 II 型アスファルトを使用した。
・マーシャル供試体は、オートランマ（両面75回）による突固めとする。
・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。
・改質中温および改質下限の配合は、改質標準と同一である。
・改質下限の温度条件は、特殊添加剤の発泡状態を考慮して定めた。

(2) 製造時の温度低減による効果

加熱アスコンの製造においては、アスファルト、碎石、および砂等を所定温度まで加熱し、混合する。その際、加熱のための燃焼に伴って CO₂ が発生し、大気中に排出される。加熱アスコンの CO₂ 排出量は、加熱温度（混合温度）によって変化する。アスファルトプラントにおける混合温度別の CO₂ 排出

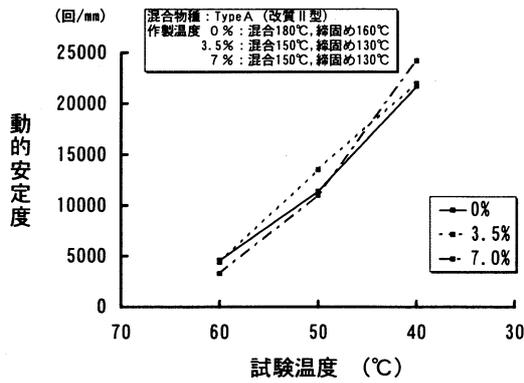


図-11 Type A混合物における、試験温度と動的安定度との関係

表層材に使用する Type A 混合物について、試験温度を 60℃、50℃、40℃と変化させた場合の動的安定度を図-11に示す。

図-11から、試験温度が低くなるほど動的安定度は大きい値を示し、交通開放時の舗装体温度の低減は初期わだちの抑制に寄与できることがわかる。特殊添加剤量の違いでは、7%よりも3.5%の動的安定度が若干高い傾向を示した。

これらの試験結果から、特殊添加剤の添加量は3.5%が適当と判断し、この配合の混合物を(2)に示す現場での適用検討に使用した。

(2) 現場での適用検討⁵⁾

施工概要は、図-12に示す2種類の舗装断面である切削オーバーレイであり、通常温度条件による区間(以下、標準区間)と、中温化技術を適用した区間(以下、中温化区間)とを設けた。

製造は、アスファルトプラントにて表-8に示す混合条件で行い、舗設は、敷均し機械にTV型アスファルトフィニッシャを、初転圧に振動ローラを、二次転圧に25ton級タイヤローラを使用して表-9に示す締固め条件で行った。

表-10に示す現場切り取りコアでの測定結果から、設定した混合条件における中温化と標準の締固め度はほぼ同等であり、中温化技術の適用に問題はみられなかった。

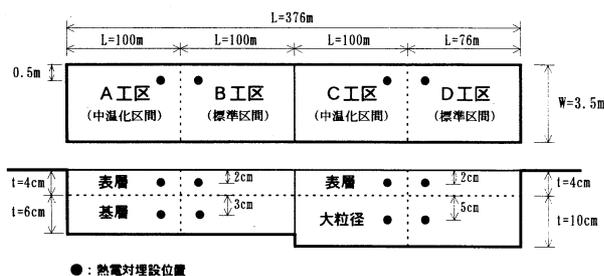


図-12 施工区割

表-8 混合条件

項目	混合物種		表層 (Type A)		基層		大粒径	
	標準	中温化の別	標準	中温化	標準	中温化	標準	中温化
特殊添加剤 (%)	0	3.5	0	3.5	0	3.5	0	3.5
混合条件	混合量	2,000kg/バッチ						
	Dry混合 (秒)	5						
	Wet混合 (秒)	35						
	混合温度 (°C)	180	150	155	130	155	130	155

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-9 締固め条件

混合物種	転圧条件	初転圧			二次転圧		
		転圧回数 (回)	目標温度 (°C)		転圧回数 (回)	目標温度 (°C)	
			標準	中温化		標準	中温化
表層	無振 3	160±10	135±10	7	120以上	100以上	
基層	無振 3	140±10	110±10	7	110以上	80以上	
大粒径	無振 2, 有振 7	140±10	110±10	7	110以上	80以上	

表-10 現場切り取りコア等の測定結果

項目	混合物種		表層 (Type A)		基層		大粒径	
	標準	中温化の別	標準	中温化	標準	中温化	標準	中温化
現場コア密度 (g/cm ³)	2.314	2.309	2.369	2.363	2.379	2.378		
空隙率 (%)	5.7	5.9	4.1	4.3	4.6	4.6		
締固め度 (%) (対標準, %)	98.1	98.0 (99.8)	100.2	100.0 (99.7)	99.6	99.3 (100.0)		

注: 締固め度は基準密度に対する値であり、() は同一混合物種の標準を100%とした。

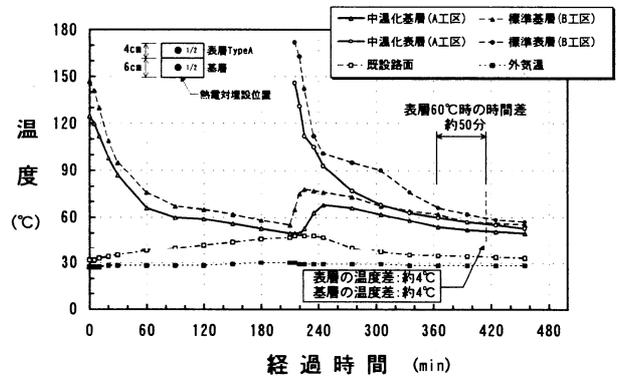


図-13 舗装体温度の経時変化 (表層+基層)

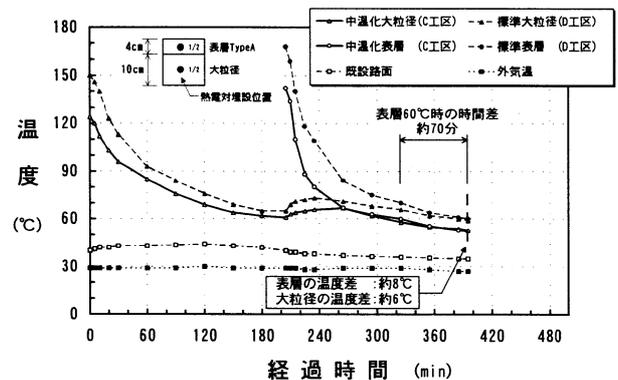


図-14 舗装体温度の経時変化 (表層+大粒径)

舗設時の舗装体温度の経時変化について、A, B工区の結果を図-13に、C, D工区を図-14に示す。

図-13および図-14によれば、舗装体の温度は敷均し直後から約1時間後までに急速に低下し、その後緩やかに低下する。図-14の大粒径層は、図-13の基層に比べて舗設直後からの温度低下が遅く、表層の温度低下を妨げる方向で影響していることがわかり、特に舗装厚が温度低下に影響することが伺えた。

標準表層の内部温度が60℃まで低下した時点における中温化表層の内部温度は、A, B工区では約4℃、C, D工区では約8℃低い結果となっており、図-11の試験温度による動的安定度を考慮すれば交通開放時の初期わだちの抑制が期待できる。また、表層敷均し後3～4時間経過した時点（養生時間帯に相当）での温度低下が30分間で約1～2℃程度であることを考えると、早期に舗装体温度の低減が図れる中温化の効果は大きい。

舗設後、表層の内部温度が60℃に低下するまでの中温化と標準との時間差は、A, B工区では約50分、C, D工区では約70分となっており、特に大粒径の層を含むC, D工区は養生時間の短縮化に有効といえる。

5. 再生アスコンにおける再生骨材配合率の増量化に関する検討

ここでは、間接加熱方式による再生アスコンの再生骨材配合率の増量化について、従来の温度条件の低減が可能である中温化技術を適用し、リサイクル技術の向上の観点から検討した。

(1) 締固め性および力学性状

再生骨材の配合率を20%、30%、40%として、特殊添加剤の添加有無による締固め性と混合物性状の検討を行った。なお、ここでは、再生骨材の配合率が20%（特殊添加剤なし）のものを標準とした。

再生アスコンは密粒度13mmTopとし、室内での混合方法は実際の再生プラントでの手順に従い、小型パグミルミキサを使用した。特殊添加剤は、新アスファルトを投入する直前に添加した。

供試体の作製条件、および新材の加熱温度を220℃に設定して製造した混合物の温度測定結果（混合温度）を表-11に示す。

表-11より、再生骨材の配合率増加に対する混合温度の変化は、再生骨材の10%の増加に対して約10℃の温度低下となり、配合率30%では混合温度は153～155℃程度、配合率40%では143～145℃

表-11 供試体の作製条件、および再生骨材の配合率による混合温度の変化

項目	混合物配合 (%)					混合物製造条件			混合温度 実験値			
	骨材		アスファルト量		再生用添加剤	特殊添加剤 (対全As量)	骨材加熱温度			混合時間 (sec)		
	R材	新材	旧As	新As			R材	新材				
A-1	40.0	56.6	2.1	3.3	0.11	6	常温 (20℃)	220℃	Dry 20	145℃		
A-2						0						143℃
B-1	30.0	66.2	1.5	3.8	0.09	6						155℃
B-2						0			Wet 40	153℃		
C-2	20.0	75.5	1.0	4.4	0.06	0				160℃		

注：・理論最大密度(g/cm³)：配合A=2.482、B=2.480、C=2.478
 ・再生骨材の配合率の変化に伴う改訂投入量の調整は、再生用添加剤で行った。
 ・新アスファルトはストレートアスファルト60/80を使用した。
 ・特殊添加剤の添加量は、合成アスファルト量に対する重量比である。
 ・R材：再生骨材

程度である。

それぞれの混合物の締固め温度と締固め度の関係を図-15に、動的安定度を図-16に示す。

図-15より、締固め度は、特殊添加剤の有無にかかわらず締固め温度の低下に伴って低下するが、特殊添加剤を使用し、配合率を30%、40%とした再生アスコンの締固め度は、標準(C-2)と比較して、締固め温度が30℃程度低下しても同等の値が得られている。この結果から、再生骨材を増量化する場合における混合温度の低下に対する締固め度の確保には、特殊添加剤の使用が有効であることがわかる。

図-16より、動的安定度は、標準と比較して、特殊添加剤なしで配合率40%のA-2が低い値であったが、それ以外のものはほぼ同程度の値が得られた。その他の混合物性状についても、特に問題はみられなかった。

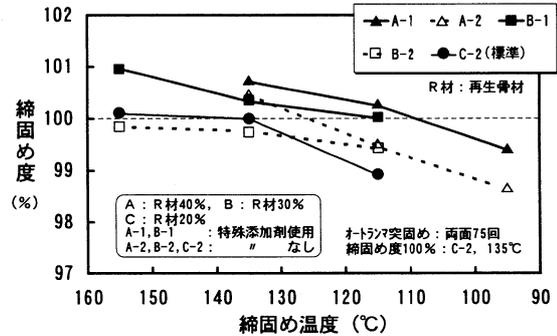


図-15 締固め温度と締固め度との関係

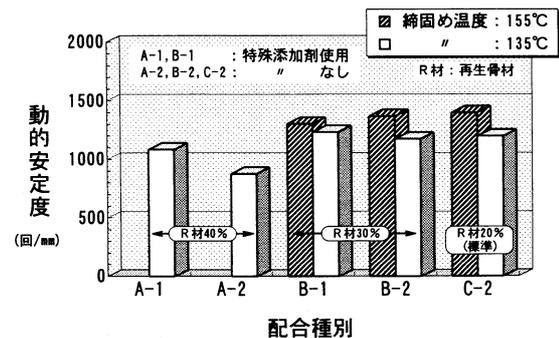


図-16 供試体の配合種別と動的安定度との関係

(2) 再生アスコンのアスファルト性状

再生アスコンは、再生骨材の旧アスファルトと新たに加える新アスファルトとの十分な混合が、品質確保の上で重要である。そこで、混合した再生アスコンから少量ずつアスファルトを採取し、イアトロスキャン（ヤトロン社製）を用いて、アスファルトの組成分析（アスファルテン分、レジン分、芳香族分、飽和分）を行った。図-17に芳香族分の分析結果を示す。

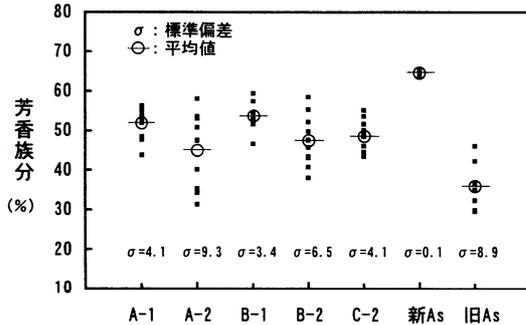


図-17 イアトロスキャンによる芳香族分の分析

図-17より、芳香族分の割合（平均値）は新アスファルトが約65%、再生骨材中の旧アスファルトが約35%であり、再生アスコンから採取したものはそれらの間に存在する。芳香族分の変動は、特殊添加剤を使用しないものが大きい傾向にあり、特殊添加剤を使用したものは標準とほぼ同程度で、特殊添加剤による微細泡の発泡が再生アスコンのアスファルトの均一性にも寄与しているものと考えられる。

再生アスコンを間接加熱方式で製造する場合、新材の加熱温度の上限を設定すれば、再生骨材の配合率が多くなるほど再生アスコンの製造温度は低下する。配合率が40%程度としても、特殊添加剤を使用することによって締固め度の確保ができ、しかも、再生アスファルトの均一性を含め、混合物特性にも特に問題がないことがわかった。

(3) 現場での適用検討

間接加熱方式のバッチ式再生プラントを使用し、表-12に示す条件で再生アスコン（密粒度13mmTop）を製造して、現場での検討を行った。各再生アスコンの混合物性状、および舗設後の切取りコアから求めた締固め度等を表-13に示す。

表-13より、各再生アスコンの混合物性状はほぼ同等である。締固め度はいずれも97%以上の値が得られた。また、ミキサから排出された混合物の含水比は0.021～0.036%であり、混合直後には少量の残留水分が認められたが、残留安定度や施工状況

表-12 再生アスコンの混合条件

項目	混合物配合(%)						混合物製造条件			
	骨材		アスファルト量		再生用添加剤	特殊添加剤	骨材加熱温度		混合時間(Sec)	
	R材	新材	旧As	新As	(対全As量)	R材	新材	Dry	Wet	
A-1	40.0	56.6	2.1	3.3	0.11	6	常温 (10℃)	220℃	20	40
B-1	30.0	66.2	1.5	3.8	0.09	6				
C-2	20.0	75.5	1.0	4.4	0.06	0				

注：・新アスファルトはストレートアスファルト60/80を使用した。
・1,000kg/バッチ
・R材：再生骨材

表-13 混合物性状および締固め度

項目	配合	配合率		
		A-1 (R材40%)	B-1 (R材30%)	C-2 (R材20%)
特殊添加剤	6%	6%	0%	
マーシャル安定度 (kgf)	927	1020	949	
残留安定度 (%)	95.3	93.6	91.2	
動的安定度 (回/mm)	1235	1360	1012	
パブリグすり減り量 (cm ²)	2.05	1.83	2.50	
混合物含水比 (%)	0.036	0.021	0.023	
現場締固め度 (%)	97.7	98.4	98.5	

注：・混合物含水比は、再生アスコンを蓋付き缶に採取し、乾燥して測定したもの。
・特殊添加剤の添加量は、合成アスファルト量に対する重量比である。
・R材：再生骨材

をみる限り、この影響は特になくともみなせた。

現場における適用検討結果から、特殊添加剤を使用することによって、間接加熱方式による再生骨材の配合率は40%程度まで可能であり、増量化による再生資源の有効活用が図れた。ただし、使用する再生プラントの機械的能力によっては、配合率の制約を受ける場合があり、また、再生骨材の含水比が高い場合には、混合温度への影響や残留水分による影響等も考慮した適切な対応が必要である。

なお、再生骨材を補助的に加熱する方式でも、同様の中温化技術による温度低減（再生骨材の配合率向上）と再生骨材の劣化防止に有効と考え、検討中である。

6. 締固め性向上による舗設機械編成の簡略化に関する検討

舗設時の締固めエネルギーを低減しても締固め度の確保が可能かを、舗設機械編成の簡略化、すなわち施工の効率化を舗設時のCO₂排出量の削減の観点も考慮し、検討した。

(1) 締固め機械編成の削減

特殊添加剤の有無と温度条件をパラメータとし、ジャイレトリ試験機を用いて密粒度アスファルト混合物（13mmTop）の締固め性の検討を行った。この室内実験では、ジャイレトリ回転数（以下、回転数と称す）の増加に伴う締固めカーブの差異により、特殊添加剤を添加した場合の締固め易さを判断した。

供試体作製の諸条件および種類は表-14に示すとおりである。ジャイレトリの試験条件は表-2に準拠し、回転数は最大300回までとした。ジャイレトリ試験機による締固め試験の結果を図-18に示す。

室内実験の結果を踏まえ、表-14に示すAおよびBに相当する加熱アスコンを用い、表-15に示す条件で、現場で締固め機械の編成の違いによる締固め性の検討を行った。アスファルトフィニッシャーによる敷均し後の締固め方法は、マカダムローラとタイヤローラを組み合わせる締固めたもの（通常の機械編成）、4 ton コンバインドローラのみで締固めたもの、敷均しのみとしたものの合計3種類とした。舗装体から採取した切り取りコアの空隙率を、図-18のジャイレトリでの締固め曲線上に併せて示す。

図-18より、アスファルト舗装要綱に示されている密粒度アスファルト混合物の空隙率の基準中央値（4.5%）を得るための必要回転数は供試体の作製条件によって異なり、同一温度条件で特殊添加剤の有無での違いをみると、特殊添加剤を使用しない場合の方が回転数で50回程度多くなり、特殊添加剤を使用した場合と比べて締固めエネルギーが多く必要であることがわかる。そして、現場の舗装体から採取したコアの空隙率をみると、特殊添加剤を使用

表-14 供試体の作製条件

作製条件	混合物種	As量	空隙率	混合温度	締固め温度	特殊添加剤
A: 標準・特殊添加剤	密粒度アスコン (13mmTop)	6.0%	4.5%	160℃	140℃	7%
B: 標準・添加剤なし				(標準)	0%	
C: 中温・特殊添加剤				130℃	110℃	7%
D: 中温・添加剤なし				(中温)	0%	

注：締固め温度は、ジャイレトリ試験機における締固め開始温度である。アスファルトはストレートアスファルト60/80を使用した。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-15 使用機械および施工条件

使用機械および施工条件	
使用機械	アスファルトフィニッシャー：国産TV型、幅2.5~4.5m マカダムローラ：R2, pass: 2回 タイヤローラ：15ton, pass: 6回 コンバインドローラ：4ton, pass: 4回
施工ヤード	A=30m×3m×2種類, t=4cm, 下層：As舗装（タックコートあり）

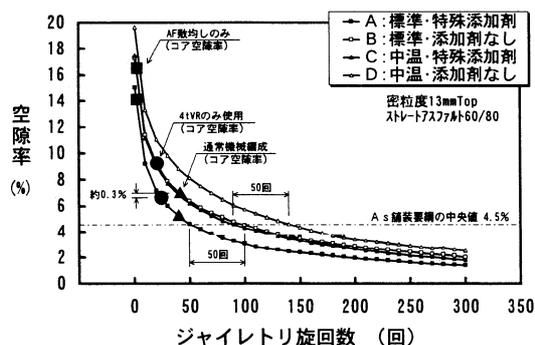


図-18 ジャイレトリ回転数と空隙率の関係

しない加熱アスコン（Bに相当）を通常の機械編成で締固めたものと、特殊添加剤を使用した加熱アスコン（Aに相当）を4 ton コンバインドローラのみで締固めたものとはほぼ同一の値（空隙率で約0.3%の差）が得られており、特殊添加剤の使用によって締固め性が向上するので、締固め機械編成の削減は可能であることがわかる。

(2) 施工における燃料消費量の低減化

舗設機械編成の簡略化により、舗設時の燃料消費量を低減できる。試験施工において、加熱アスコンを通常の機械編成で締固めたもの（通常施工）と、特殊添加剤を使用して4 ton コンバインドローラのみで締固めたもの（編成削減）との燃料消費量の比較例を表-16に示す。

表-16 現場施工における、舗設機械の編成による燃料消費量の比較

機械種類	燃料消費量 (リットル/h)	施工形態	
		通常施工	編成削減
アスファルトフィニッシャー	6.5	○	○
マカダムローラ	6.8	○	
タイヤローラ	7.8	○	
4 ton コンバインドローラ	4.2		○
計=		21.1 (リットル/h)	10.7 (リットル/h)

注：燃料消費量は、舗設前後の満タン計測により求めた。燃料消費量は一例であり、施工状況、機械の新旧、運転方法等により異なる。

表-16に示す例によれば、舗設機械の編成台数の削減により燃料消費量は1時間あたり10.4ℓ減となり、通常施工の場合よりも約50%低減が可能である。したがって、機械運転に伴うCO₂の排出量は燃料消費量の低減に伴って削減が可能と推測され、CO₂排出量の削減ならびに省資源にも寄与できる。

7. まとめ

本研究は、環境保全を指向したアスファルト舗装技術として開発した中温化技術の適用性を検討し、以下の結論を得た。

- ①中温化技術を適用した加熱アスコンの品質は、通常温度の加熱アスコン（再生アスコンを含む）とほぼ同等の品質である。したがって、製造時の温度低減に伴うCO₂排出量の削減が可能である。
- ②舗設時の舗装体内部温度の経時変化をみると、中温混合物は通常の加熱アスコンに比べて、所定温度まで低下するのに要する時間が短く、交

通規制時間の短縮に有効である。そして、舗装体の内部温度は通常の場合よりも低くなるので、初期わだちの抑制を図ることが期待できる。

- ③間接加熱方式による再生アスコンを、再生骨材の配合率を40%程度まで増加し、特殊添加剤を使用すると、締固め度や再生アスファルトの均一性が確保でき、再生アスコンの信頼性の向上に寄与する。再生骨材の配合率の増加により、再生資源の有効活用となる。
- ④加熱アスコンの製造時の温度条件を通常の場合と同一として中温化技術を適用すれば、必要とする締固めエネルギーは少なく、舗設機械編成の簡略化が図れ、燃料消費量の削減すなわち機械運転に伴うCO₂排出量の削減が可能である。

以上より、加熱アスコンへの中温化技術の利用は、地球温暖化の抑制の観点からのCO₂排出量の削減（仮に全国の年間アスコン製造量を8,000万tonと考え、ストレートアスファルトを使用した加熱アスコンにおいて通常よりも約30℃低減した中温化を図った場合、表-5より、製造時の燃焼に伴うCO₂排出量は約20.8万tonの抑制が可能となる）、省資源、省エネルギーなど様々な用途への適用が可能であり、環境保全の推進に寄与することができると思われる。

謝辞：最後に、交通開放温度の抑制に関する検討は、受注工事の一部として実施した結果であり、日本道路公団東京第二管理局谷和原管理事務所の関係各位に、深く感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：プラント再生舗装技術指針，1992
- 2) 吉中保，根本信行：アスファルト舗装の中温化施工に関する研究，土木学会舗装工学論文集 第1巻，pp.129～136，1996
- 3) 吉中保，石正和夫，根本信行：中温化技術を利用した再生加熱アスファルト混合物に関する一検討，道路建設，(社)日本道路建設業協会，No.594 pp.34～40，1997
- 4) 吉中保，根本信行：アスファルト混合物の締固め性向上に関する検討，土木学会第52回年次学術講演会講演概要集，pp.36～37，1997
- 5) 小林芳則，貫井武，吉中保：アスファルト舗装の切削オーバーレイにおける交通開放温度抑制に関する一検討，(社)日本道路協会 第22回日本道路会議，1997

STUDY ON THE ASPHALT PAVEMENT TECHNOLOGY INTENDED TO ENVIRONMENTAL CONSERVATION

Tamotsu YOSHINAKA and Nobuyuki NEMOTO

With the 21th century coming soon, the environmental conservation in global size becomes increasingly important, therefore it is required to promote saving-energy, saving-resources and repression of global warming. Considering this situation, we have developed a new technology by introducing the concept which is the mitigation of temperature conditions for hot asphalt mixture generally used, in both of production and execution. This technology is effective to reduce the amount of carbon dioxide made in process of asphalt paving, and to improve recycle technique in field of pavement engineering. As the results, it is confirmed that the new technology is applicable to various purposes in environmental conservation.