

アスファルト

第45巻 第211号 平成14年5月発行

211

特集・特殊な機能を持たせたアスファルト

改質アスファルトの変遷とその背景	栗谷川裕造	1
最近の排水性舗装用高粘度改質アスファルト ～鋼床版用および積雪寒冷地用高粘度改質アスファルトについて～	菅野 宏	7
排水性舗装用エポキシアスファルト	伊藤達也	14
低温クラック抑制アスファルト	焼山明生・小島睦司・丸山記美雄	21
再生用改質アスファルトの現状	石川 洋・光谷修平・小澤光一	28
シェルマルチファルト（熱可塑性ゴム，樹脂を 配合しない改質アスファルト）について	日浅浩次	36

<アスファルト舗装技術研究グループ・第44回報告>

改質アスファルトについて ～Xiaoho Lu氏の学位論文より～	峰岸順一	42
立石大作・佐々木昌平・武本敏男・佐々木 徹		43
<用語の解説>		
歩道および自転車道等の舗装の性能	小島逸平	52
二酸化炭素（CO ₂ ，Carbon dioxide）	瀬尾 彰	53
総目次		55
<統計資料>石油アスファルト需給統計資料		57

ASPHALT

社団法人 日本アスファルト協会
THE JAPAN ASPHALT ASSOCIATION

改質アスファルトの変遷とその背景

栗谷川 裕 造*

1. 改質アスファルト開発の背景

日本における道路用アスファルトの研究は古く1950年代以前から行われてきた。ここでは戦後の舗装事業が拡大するなかでアスファルト混合物のバインダーについて考えてみることにする。一般にアスファルト舗装の破損の主なものとしては今昔問わずに地域特性・交通特性による「ひび割れ」と「わだち掘れ」に代表される。さらに経済成長などの影響の元で時代の流れのなかで「ひび割れ」と「わだち掘れ」が繰り返され、その対応課題の中で舗装の技術進歩はなされてきた。ここでその技術変遷の要因となるそれぞれの時代の課題についてアスファルト舗装要綱（以下要綱と言う）の改訂を軸に追って見ることにする。アスファルト舗装要綱の初版が発刊（1950年）された当時は自動車交通量も未だ多くなかったため、混合物の安定性に視点が注がれ、ひび割れ抑制のためにはアスファルトは出来るだけ多くすることが耐久性に富んだ混合物とすることが設計アスファルト量の選択方針の主流となっていた。1961年の要綱では約10年間の実績を検討し、改訂され配合設計方法にマーシャル安定度が導入され、以前に比べてアスファルト量は減少の傾向となった。しかし、その後の日本の経済成長は急激に発展し、それともない物流を担う道路交通は輪荷重が大きい大型車によるものとなり、その結果としてわだち掘れの発生が生じた。これの抑制を考慮してアスファルト量は少な目にする方向であったことが全国的に多くのひび割れの発生を見ることとなった。その後、ASSHO道路試験報告を参考にして、わが国でも独自に試験舗装を行い調査検討し、その成果をもとに1967年要綱は抜本的に改定された。これは配合設計でひび割れ対策のためにアスファルト量は以前に比べて多く設定されるように変更されている。その成果として、以後確かにひび割れの発生が原因となる舗装の破損は減少した

が、1970年代初期の高度経済成長期の急激な物流量の増加を担う大型車交通の伸びとともに重交通道路における路面には塑性流動によるわだち掘れが顕在化し、新たな問題となった。この原因の一要因としては1967年の要綱改訂ではひび割れ防止に視点を置いたためにアスファルト量を多くした、あるいは予想を超えた大型車交通量の伸びや走行位置などによるものと推察される。このような事情を踏まえて1975年に要綱は改訂され、重交通路用の混合物の配合設計方法、あるいは流動によるわだち掘れシュミレーション方法としてのホイールトラッキング試験を用いた動的安定度などの確認方法が参考として紹介され、重交通路の流動対策に視点を置いた舗装用混合物に関する内容となっている。ゴム入りアスファルトの標準的性状をプレミックスタイプ（アスファルト製造所で改質材を混合する方式）とプラントミックスタイプ（アスファルトプラントで改質材を投入混合する方式）に分けて認定される。1978年に要綱はさらに重交通路用の混合物を重視した内容となり、動的安定度の具体的推奨値の提案がなされ、初めて流動によるわだち掘れ抑制を目的とした60℃粘度を高めた改質アスファルトが要綱に「特殊材料」として軟質アスファルトにブローイング（空気を送る）して物性を変えたセミブローンアスファルトAC-140、ゴム入りアスファルト、熱可塑性樹脂入りアスファルトなどの採用が推奨されている。しかし、改質アスファルトが要綱に記述されるに至るまでには国産ラテックスの製造、ラテックス利用技術の確立をめざした「ゴムアスファルト研究会1968年発足；後に改質アスファルト協会」とともに建設省道路局は試験舗装を大々的に行うとともに東名高速道路でゴム入りアスファルトの使用、東京都、北海道開発局でも試験舗装が行われ、追跡調査結果をもとにその成果が検証された。この背景には1970年前後から重交通路における

*くりやがわ ゆうぞう 日本大学生産工学部土木工学科教授

流動によるわだち掘れ対策や寒冷地のスパイクタイヤによる摩耗への対応がわが国の道路舗装の緊急課題となっていたため、既存の材料より優れたものへの研究開発が必要となり、混合物の種類、あるいはストレートアスファルトに代わる改質アスファルトなどの開発、試験施工が実施された。これらの成果の結果として1988年の要綱改訂では一般材料として、ゴム入りアスファルトを改質アスファルト（Ⅰ型）、樹脂入りアスファルトを改質アスファルトⅡ型のプラントミックス、プレミックスを一本化した標準的性状を設定し、セミブローンアスファルト（AC100）を含めて一般材料となった。この改訂に前後して道路に関する社会ニーズは走行の安全性、快適性に加え、沿道環境がクローズアップされた結果、舗装に排水、騒音抑制、わだち掘れ抑制など特別な機能が求められる特殊な混合物、あるいは循環型社会の形成のために舗装発生材の再生利用などに用いる改質アスファルトの研究が盛んに行われていた。1992年の要綱改正では熱可塑性樹脂の呼称を熱可塑性エラストマーとし、改質材の種類による区分を性状区分に変更し、粘度－温度曲線が廃止された。わが国における改質アスファルト開発研究の背景の一部をアスファルト舗装要綱の改訂を軸に主立った関連事項について記述した。ここに記述した以外に橋面舗装用の改質アスファルト、また天然アスファルトを混合することでストレートアスファルトの物性を硬化させたものなどが改質アスファルトとして挙げられるがここでは省略する。また、改質アスファルトの発展にはアスファルトプラントや施工機械の研究開発も忘れてはならない。（表－１に改質アスファルト協会が作成した舗装用改質アスファルトの年表を記載する）。

2. 改質アスファルトの種類と規格

わが国における改質アスファルトの使用は1966年アスファルト改質材のゴムラテックスSBRの国産化が始まり、当時の主たる使用目的はゴムラテックスの特長を生かし低温時の物性、特に脆性を改善し、寒冷地舗装の耐ひび割れ性、耐摩耗性、骨材付着性などの向上にあった。これはアスファルトのミキサーに改質材を直接投入し、使用出来るプラントミックスタイプという簡便性もあり、1970年代に普及した。また、70年代後期には高度経済成長による影響で交通荷重の増加による流動わだち掘れが全国の幹線道路で発生し、重交通舗装用セミブローンアスファルトの研究が(社)日本アスファルト協会と建設省などによって行われた。さら

表－１ 舗装用アスファルト改質の歴史

西暦(年号)	内 容
1898(明31)	フランスでゴム添加の試み
1947(昭22)	米国で合成ゴムラテックス入りアスファルトを試験施工
1952(昭27)	東京都で天然ゴム粉末を試用 神戸市で層ゴムを試用
1954(昭29)	北海道開発局が天然ゴム粉末を国道36号で試験舗装
1955(昭30)	北海道大学がゴム入りアスファルト混合物の本格的研究を開始
1960(昭35)	天然ゴム・アスファルトマスターバッチを商品化 天然ゴム入りアスファルトの市販を開始
1962(昭37)	IISRP（国際合成ゴム生産者協会）がアスファルト舗装へのゴム利用の積極的研究を開始
1965(昭40)	札幌市で輸入SBRラテックスを使用して試験施工を実施 (プラントミックスタイプ)
1966(昭41)	北海道開発局が輸入SBRラテックスを使用して国道36号で試験施工を実施 アスファルト改質用国産SBRラテックスの市販を開始
1967(昭42)	北海道開発局が国産SBRラテックス使用プラントミックスタイプアスファルト混合物製造方式を実用化
1968(昭43)	FHWA（アメリカ合衆国連邦道路局）の提案によりユタ州でSBRラテックスを使用して試験舗装を実施 IISRP極東部会は合成ゴムラテックスのアスファルト舗装への利用技術の確立をめざして「ゴムアスファルト研究会」を発足
1969(昭44)	建設省道路局が千葉県でSBRラテックスを使用して試験舗装を実施 東名高速道路で大々的にゴム入りアスファルトを使用 (プレミックスタイプおよびプラントミックスタイプ) IISRPが初のゴムアスファルト舗装国際会議を開催
1971(昭46)	北海道開発局が特定箇所へのゴム入りアスファルト使用を認定 東京都がゴム入りアスファルトの大規模試験舗装を開始 樹脂入りアスファルトの市販を開始
1975(昭50)	アスファルト舗装要綱でゴム入りアスファルトの標準的性状をプレミックスとプラントミックスに分けて認定
1978(昭53)	当協会の前身であるゴム入りアスファルト懇話会を設立 アスファルト舗装要綱でゴム入りアスファルト、樹脂入りアスファルトおよびAC-140を特殊材料として採用
1987(昭62)	排水性舗装が低騒音を目的に東京都環状7号線で施工
1988(昭63)	アスファルト舗装要綱で改質アスファルトを一般材料とし、ゴム入り（Ⅰ型）樹脂入り（Ⅱ型）アスファルトのプレミックスとプラントミックスを一本化した標準的性状を設定、セミブローンアスファルト（AC-100）も一般材料となる
1992(平4)	日本ゴムアスファルト協会の名称を日本改質アスファルト協会に変更 アスファルト舗装要綱が改訂される ・熱可塑性樹脂の呼称を熱可塑性エラストマーに変更 ・改質材の種類による区分をその性状による区分に変更 ・改質アスファルトⅠ型を一本化した標準的性状を認定 ・粘度－温度曲線の廃止 など
1993(平5)	「改質アスファルト」誌を発刊 関東地建で表層に再生改質Ⅱ型の試験舗装を実施
1995(平7)	「ゴム・熱可塑エラストマー入り改質アスファルトポケットガイド」を発行
1996(平8)	排水性舗装技術指針（案）が発行され、標準的な場合高粘度改質アスファルトを推奨し、その標準的性状を設定 日本改質アスファルト協会規格を制定
1997(平9)	日本道路公団の設計要領第一集「舗装編」で高機能舗装が新規に加わり、高粘度改質アスファルトの使用が原則とされる

にこの時期には耐流動性に優れた改質材として、スチレン系熱可塑性エラストマー（SBS、SIS）が注目され、アスファルトへの熔融・混合性に富んでいるため、プレミックスアスファルトに広く使用された。前述したが1988年の要綱の改訂で改質アスファルトが一般材料として取り上げられてからの需要は大幅な伸びを示している。それには塑性流動によるわだち掘れ抑制、あるいは道路環境に配慮した排水性舗装（騒音抑制）の採用が全国的に広がったためである。特に改質アスファルトの中でも排水性舗装用高粘度改質アスファルトは他に比べて伸びは大きくなっている。さらに高速道路、高規格道路等においては今後この舗装が基本となっていることから需要は増加すると推察される。

2.1 改質アスファルトの種類

改質アスファルトには1. で記述したがセミプロードンアスファルト、熱硬化性樹脂を用いたエポキシアスファルトや天然アスファルトを混合した硬質アスファルトなどがある。改質材の種類を分類すると図-1に示すようにゴム系、熱可塑性エラストマー、熱可塑性樹脂に大別されるが1992年要綱変更に合わせて熱可塑性樹脂の呼称を熱可塑性エラストマーとし、改質アスファルトは改質材の区分から性状区分となった。ここ

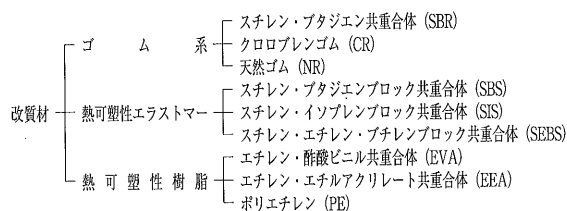


図-1 改質材の種類

では現在改質材の大部分を占めているゴム・熱可塑性エラストマー（SBR、SBS、SIS、EVA、EEA）を用いたポリマー改質アスファルトについて記述する。改質アスファルトの種類と用途は表-2に示す。

(1) 改質アスファルトⅠ型

改質アスファルトⅠ型は改質材としてその殆どがSBR単独あるいは熱可塑性エラストマーを使用しているため、軟化点や低温伸度などの温度特性、タフネス・テナシティーなどの粘弾性特性や骨材粘着力等に優れている。主な用途としては寒冷地の密粒度、開粒度、ギャップ粒度混合物に用いられ、耐摩耗性や滑り止めを目的とした箇所に用いられている。

(2) 改質アスファルトⅡ型

改質アスファルトⅡ型は改質材に主としてSBS、SIS、EVA、EEA等の熱可塑性エラストマーが使用されているため、性状はゴムのな性状と樹脂的な性状を有し、特に軟化点、粘度、タフネス・テナシティーなどの粘弾性特性がⅠ型に比較してより高い性能を有しているため用途は幅広く、重交通道路の耐流動性、耐摩耗性を目的とした混合物に使用されている。

(3) 高粘度改質アスファルト

高粘度改質アスファルトに使用される主な改質材はSBR、SBS、SIS、SEBS、EVA、EEAなどで60℃粘度が20,000Pa/s以上のものである。高粘度改質アスファルトは排水性、低騒音など高機能を有する開粒度タイプの混合物で空隙率が20%前後と高いものの骨材把握力、耐候性、はく離抵抗性を必要とするものに使用される。さらに高機能性舗装の積雪寒冷地あるいは鋼床板舗装用に性能向上させた特殊高粘度改質アスファルトも製造されている。

表-2 改質アスファルトの種類およびその主な特徴、用途

種 類	特徴および用途
改質アスファルトⅠ型	すべり止め、耐摩耗、耐流動
改質アスファルトⅡ型	耐流動、耐摩耗、すべり止め
高粘度改質アスファルト	排水・透水性、低騒音舗装
特殊高粘度改質アスファルト ・ 積雪寒冷地用高粘度改質アスファルト ・ 鋼床版用高粘度改質アスファルト	積雪寒冷地排水性舗装 鋼床版排水性舗装
特殊改質アスファルト ・ 超重交通用改質アスファルト ・ 付着性改善改質アスファルト ・ 鋼床版舗装用改質アスファルト ・ 薄層舗装用改質アスファルト ・ 再生用改質アスファルト	耐流動 橋面舗装（コンクリート床版） 橋面舗装（鋼床版）、高たわみ性 薄層舗装 再生混合物

(4) その他

その他には超重交通用改質アスファルトとして耐流動性を更に向上させたものやコンクリート橋面舗装用に接着性を高め、耐はく離抵抗性を強化した付着改善改質アスファルト、再生用改質アスファルトなどがある。

2.2 改質アスファルトの規格

改質アスファルト規格は、1975年の要綱にゴム入りアスファルト標準的性状が記述された。その後1988年に一般材料と認められ、ゴム入り（改質Ⅰ型）、樹脂入（改質Ⅱ型）として、その標準的性状が設定された。その後の多様化した舗装のニーズに応えるべき研究が進み、現在の日本改質アスファルト協会の品質規格は表-3に示すものとなった。この規格は主にアスファルトの粘度特性に視点を置いたものとなっており、軟化点、タフネス・テナシティー、60℃粘度などとなっている。これらの規格値は舗装の使用箇所が要求する混合物の性能である耐流動性、骨材把握力、耐摩耗性、付着性などが考慮され決められている。しかし、規格は既存の試験方法によるものであり、改質アスファルトの全ての性能を把握したものではない。したがって、改質アスファルトを利用するに当たっては各機関が試験施工等による実績から、品質規格値等を決定しているのが現状である。

以下に品質規格の例として本州四国連絡橋公団橋面舗装基準（案）改質Ⅰ型、日本道路公団設計要領改質

Ⅱ型の参考値（2000年）、同高粘度改質アスファルト品質規格を表-4、5、6に示した。今後は「舗装の構造に関する技術基準」2001年6月が策定され、その方針の中での性能規格（混合物性能）とともに近年の縮減される予算の中で道路舗装の性能に期待した社会ニーズは多種多様化し、規格は差別化されることは十分予想され、品質に関しても適材適所で使用できる品質規格の区分も考える必要がある。米国では周知のように気候温度区分によるアスファルトの性能が1993年

表-4 本州四国連絡橋公団橋面舗装基準（案）で規定する改質Ⅰ型

項 目		規格値	試験法	
針入度 (25℃)		1/10mm	60～80	JIS K 2207
軟化点		℃	55～65	JIS K 2207
伸度 (10℃)		cm	50以上	JIS K 2207
フラスゼい化点		℃	-12以下	JIS K 2207
タフネス (25℃)		kgf・cm	120以上	舗装試験法便覧
テナシティ (25℃)		kgf・cm	100以上	
粘 度	60℃	poise	4,000以上	ASTM D-2171
	100℃	SFS	500以下	JIS K 2207
	200℃	SFS	200以下	
引火点 (C.O.C.)		℃	280以下	JIS K 2274
灰分		%	1.0以下	JIS K 2272
比重 (25℃/25℃)			1.000以下	JIS K 2249
薄膜加熱後 (180℃×2.5時間)	蒸発後	%	0.3以下	JIS K 2207 条件変更
	残留進入度	%	65以下	
	軟化点	%	80～110	

備考：混合温度は200℃を超えない範囲とする。

表-3 改質アスファルトの品質規格

種 類		改質アスファルトⅠ型	改質アスファルトⅡ型	高粘度改質アスファルト	付着性改善改質アスファルト	超重交通用改質アスファルト	ストレートアスファルト60/80
項 目							
針入度 (25℃)	1/10mm	50以上	40以上	40以上	40以上	40以上	60を超え80以下
軟化点	℃	50.0~60.0	56.0~70.0	80.0以上	68.0以上	75.0以上	44.0~52.0
伸度 (7℃)	cm	30以上	—	—	—	—	—
伸度 (15℃)	cm	—	30以上	50以上	30以上	50以上	100以上
引火点	℃	260以上	260以上	260以上	260以上	260以上	260以上
薄膜加熱質量変化率	%	—	—	0.6以下	0.6以下	0.6以下	0.6以下
薄膜加熱針入度残留率	%	55以上	65以上	65以上	65以上	65以上	55以上
フラスゼい化点	℃	—	—	—	-12以下	—	—
タフネス (25℃)	N・m	5.0以上	8.0以上	20.0以上	16.0以上	20.0以上	—
テナシティー (25℃)	N・m	2.5以上	4.0以上	15.0以上	8.0以上	15.0以上	—
密度 (15℃)	g/cm ³	報告	報告	報告	報告	報告	1.000以上
60℃粘度	1 × 10 ⁴ Pa・s	—	—	2.00以上	0.15以上	0.30以上	—
最適混合温度	℃	報告	報告	報告	報告	報告	—
最適締固め温度	℃	報告	報告	報告	報告	報告	—
粗骨材のはく離面積率	%	—	—	—	5以下	—	—

- (1) 改質アスファルトⅠ型および改質アスファルトⅡ型は、アスファルト舗装要綱（平成4年版）で規定するものと同じである。
(2) 高粘度改質アスファルトは、排水性舗装技術指針（案）で規定するものと同じである。

表－5 日本道路公団設計要領（平成11年7月）での改質Ⅱ型の性状（参考値）

種 類	項 目	改質アスファルトⅡ型	
		一般用	寒冷地域Ⅰ・Ⅱ用（タイプG）
針入度（25℃）	1/10mm	40以上	40以上
軟化点	℃	56.0～70.0	56.0～70.0
伸び（15℃）	cm	30以上	30以上
薄膜加熱針入度残留率	%	65以上	65以上
タフネス（25℃）	N・m（kgf・cm）	14.0（140）以上	17.0（170）以上
デナシティ（25℃）	N・m（kgf・cm）	8.0（80）以上	12.0（120）以上

（注）（1）①引火点及び密度（15℃）は、試験表に付記すること。
 ②最適混合温度範囲及び最適締め温度範囲を試験表に付記すること
 （2）プラントミックスタイプの場合は、使用するアスファルトに改質材を所定量添加し調整した改質アスファルトに適用する

表－6 JH設計要綱（平成11年7月）高粘度改質アスファルトの品質規格

項 目	試験法	高粘度改質アスファルト
針入度（25℃）	1/10mm JIS K 2207	40以上
軟化点	℃ JIS K 2207	80以上
伸び（15℃）	cm JIS K 2207	50以上
薄膜加熱質量変化率	% JIS K 2207	0.6以下
薄膜加熱針入度残留率	% JIS K 2207	65以上
タフネス	N・m（kgf・cm） JHS 241	20.0（200）以上
デナシティ	N・m（kgf・cm） JHS 241	15.0（150）以上
60℃粘度	Pa・s（poise） JHS 242	40,000（400,000）以上

（注）（1）①引火点および密度（15℃）は、試験表に付記すること。
 ②最適混合温度範囲および最適締め温度範囲を試験表に付記すること
 （2）プラントミックスタイプの場合は、使用するアスファルトに改質材を所定量添加し、調整した改質アスファルトに適用する。また、配合試験および試験練り時において、改質材の分散性の確認を行う。

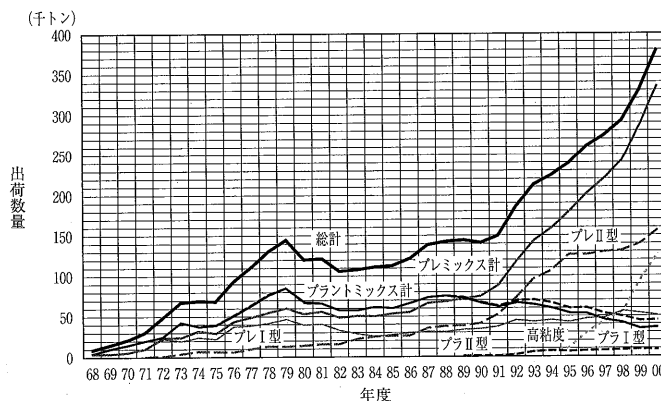
にSHRPのSuperpave規格となり、ASTMやAASHTOの性能規格として採用されており、バインダーに要求される粘弾性物性値となり、わが国においてもこの規格との比較試験が実施されている。また、欧州規格委員会（CEN）では2000年に欧州規格が作成され、施行されている。これらには多少の課題もあるが主たる目的は改質アスファルトの性状把握（品質、試験方法）と使用混合物の実路での相関性を求めることとなっており、わが国でも早急に検討しなければならない課題である。

3. 改質アスファルトの需要動向と今後の課題

3.1 改質アスファルトの需要と価格

改質アスファルトの出荷量の年度推移を図－2に示す。1970年代に高度経済成長による大型自動車交通の増加が原因となる流動わだち対策、あるいは寒冷地におけるスパイクタイヤの路面摩耗対策などで大きな伸

びが見られるが、その後約10年間は改質アスファルト（ブローンアスファルトを含む）の開発研究、試験施工などが多く行われていたが大きな伸びはなかった。しかし、この期間の研究・開発実績、データの集積あるいは高度経済成長を支える陸上交通輸送による舗装の塑性流動によるわだち掘れの破損対策などが課題となっていた、1988年の要綱に「一般材料」として記述され、ニーズに応えるため、使用は大幅に伸び、また同時期には社会のニーズは多様化し、高速道路における走行性、快適性、安全性とともに道路の環境保全などの課題が顕在化し、騒音抑制など特殊な機能を持った開粒度タイプの混合物が必要となり、1990年初期から現在に至る伸びとなっている。特筆しなければならないことはこの伸びは舗装の機能化、すなわち排水性舗装、低騒音性舗装、耐流動性舗装などは高粘度改質アスファルトが必要不可欠な材料となったためである。



図－2 改質アスファルト年度別出荷量の推移

図-3に高機能舗装の施工実績を示したがこの動向からもさらなる改質アスファルトの必要性が伺いしれる。図-4に改質アスファルトおよびストレートアスファルトの価格の推移を示した。これは図-2, 3に示すように各時代のニーズのもとに需要と供給のバランスで決まるもので(他に原因は考えられるが一般に), 初期の価格は供給側の製品開発費への投資および初期の需要不安による価格設定で, 現在のように更に機能化された舗装が要求される時, 将来需要が予想できることが当初の約1/2となった要因と考えられる。

3.2 改質アスファルトの今後の課題

改質アスファルトの将来を考える上で欠かせないことは従来一般に使用されてきた重交通路, 高規格道路の舗装の耐流動性, 耐久性に視点を置いた混合物に改質アスファルトが選定されてきたが, 「舗装の構造に関する技術基準」では①舗装の構造の原則②舗装の設計期間③舗装の計画交通量④舗装の性能指標の設定⑤施工時の留意事項⑥積雪寒冷地における凍上対策など,

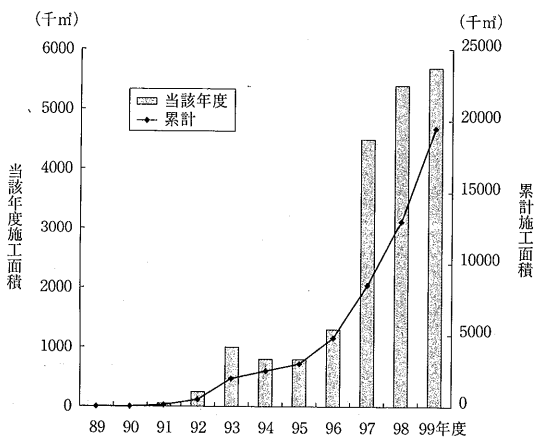


図-3 高機能舗装の施工実績

舗装を計画する上での必要要件である性能を設定する基準となった。したがって, 従来の改質アスファルトの使用目的は更に拡大すると同時に今後は様々な規模・規格の道路における沿道環境(騒音抑制, 水跳ね防止), 都市環境(ヒートアイランド抑制, 都市型洪水防止), 自然環境(雨水の涵養, 生態系の保全), etcが求められ, これら機能を保持する舗装の多くには改質アスファルトが必要となり, その適用(性能)区分による品質規格が求められることが予想される。さらに今後の大きな課題は多大な道路ストックをどのようにして長く, 経済的に性能を持続させることにある。そのためには新しい工法, 材料の研究開発の負うところである。しかし, 省エネルギー, 循環型資源, CO₂の削減による自然環境保全, 高耐久性等を視野に入れたものでなくてはならない。これらの多くの部分は改質アスファルトに関係するものであり, 関係機関(者)が体系的に課題を究明することが改質アスファルトの用途拡大につながり, また期待されるところであるがその責任は重いものとなる。

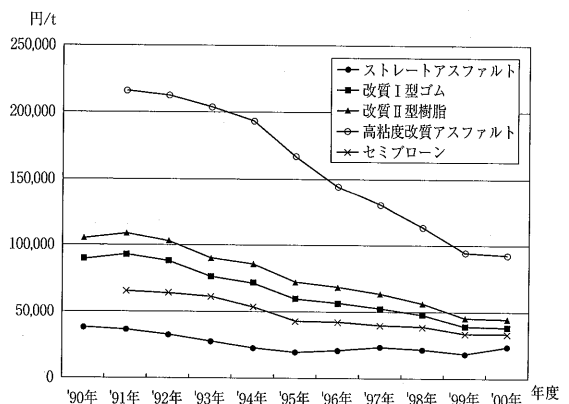


図-4 スト・アス, 改質アスファルトの年度別価格推移

参考文献

- 1) 多田宏行編著 語り継ぐ「舗装技術」, 鹿島出版会, 2000年11月, p59~67
- 2) 大野滋也, 高速道路舗装の現況について, 改質アスファルト, No.17, 2001, p6
- 3) 井町弘光, 最近の改質アスファルトの動向と今後の課題, 改質アスファルト, No.18, 2002, p8
- 4) 多田宏行編著 橋面舗装の設計と施工, 鹿島出版会, 1996, 3, p54~59
- 5) 排水性舗装技術指針(案), (社)日本道路協会, 1996, p12~14
- 6) アスファルト舗装要綱, (社)日本道路協会, 1999
- 7) 舗装設計施工指針, (社)日本道路協会, 2001, 12,
- 8) ゴム・熱可塑性エラストマー入り改質アスファルトポケットガイド, 2001, 1998, 1995年版
- 9) 建設資材月報, (社)日本アスファルト合材協会
- 10) アスファルト販売数量・道路用タンカル消費数量月次統計, (社)日本アスファルト合材協会

最近の排水性舗装用高粘度改質アスファルト ～鋼床版用および積雪寒冷地用高粘度改質アスファルトについて～

(State of the Art High-Viscosity Modified Asphalt for Drainage Pavement.

～On the High-Viscosity Modified Asphalt for Steel Plate Deck and Snow Cover Cold Area.～

菅 野 宏*

排水性舗装は各地に広まりつつあり、その機能は車両の運転者や沿道住民の双方に便益をもたらしている。近年の研究開発の進展により、鋼床版用と積雪寒冷地用の高粘度改質アスファルトの普及が始まり、排水性舗装の適用範囲は拡大しつつある。ここではこれらのアスファルトが現れるまでの経緯、それらが持つ性状の特徴および現在の使用状況などについて概説するものである。

1. はじめに

道路網整備の進展により、今日では一般国道の舗装率が98.9%に達するなど、日々の我々の暮らしは便利なものとなった¹⁾。しかし、近年車両の走行安全性向上や都市部の道路周辺に暮らす住民に対する騒音問題等への対処も重要な問題となっており、舗装には機能の付与が求められている。

その解決策の一つとして、近年排水性舗装が注目を浴びている。排水性舗装は湿潤路面時における事故件数の低下やタイヤから発生する騒音の低減が図られることから、全国各地で施工され、実績を増やしている。

使用される場所も市街地や都市周辺のみならず、郊外や山間部、果ては橋梁上や寒冷地域にまでおよび事となった。それらの箇所では都市部や温暖地域などとは異なった環境や条件が加わるため、その適用には困難が伴い、その改良は現在も継続中である。

本稿では排水性舗装用のバインダとして使用される高粘度改質アスファルトの変遷と、近年使用が開始された鋼床版用および寒冷地用高粘度改質アスファルトについて現在までの経緯や特色および使用状況を紹介する。

2. 高粘度改質アスファルトの変遷

高粘度改質アスファルトは、その原型ともいえるものが1989（平成）年の土木学会年次学術講演会において報告されている²⁾。同年に北陸自動車道柏崎IC～西山IC間の試験施工で使用されたのをはじめとして³⁾、その後も施工実績を増し、1996（平成）年には排水性

舗装技術指針（案）が発刊され、その中で高粘度改質アスファルトの使用が推奨され、標準性状が示された⁴⁾。

また、1999（平成11）年には日本道路公団の設計要領第一集「舗装編」に高機能舗装が新規に加わり、高粘度改質アスファルトの使用が原則とされている⁵⁾。

図-1に、改質アスファルトの出荷量の推移を示す⁶⁾。改質アスファルトの総計は右肩上がりで出荷量の増加を示している。1995（平成7）年以降プレミックスタイプの改質アスファルトⅡ型出荷量の伸びは鈍化しているが、代わってプレミックスタイプの高粘度改質アスファルトが順調な伸びを示しており、プレミックスタイプの改質アスファルトⅡ型に迫る勢いである。

なお、2000年度の高粘度改質アスファルトの全出荷数量に対する鋼床版用および積雪寒冷地用の高粘度改質アスファルトの割合を施工面積実績から換算すると、鋼床版用が約0.1%、積雪寒冷地用が約0.5%となっている。

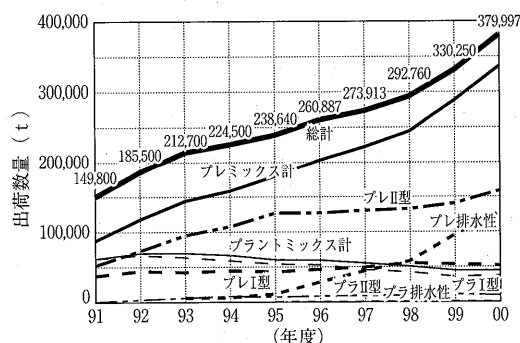


図-1 改質アスファルトの出荷量推移

*かんの ひろし 東亜道路工業(株)技術研究所主任研究員 日本改質アスファルト協会技術委員

3. 鋼床版用高粘度改質アスファルト

3.1 適用上の問題点

鋼床版上の舗装は車両の通行によって鋼構造物が大きく変形することから常に損傷が問題となってきた⁷⁾。

損傷の主たるものは舗装表面の縦ひび割れで、時間経過に伴いそれが数本つながり、亀甲状のひび割れに成長し、路面の破壊が発生する。ひび割れ発生箇所を観察すると、土工部の場合とは異なり、表層の路面側から発生し、これが基層側へと成長していく。健全部を調査した結果では、基層側からのひび割れの発生・成長は確認されない⁸⁾。ひびわれの発生は上記の様な交通荷重による要因のほか、鋼構造物であるが故に舗装版へ熱が伝わりやすく、また鋼床版の厚さが薄い箇所では裏にある縦リブが放熱板の役目を果たす為、鋼床版上の舗装の温度を局部的に変化させることなども原因となりうる⁹⁾。また、破損部については骨材とアスファルトの剥離が観察される。一般に骨材はアスファルトに比べ水との親和性に富んでおり、混合物中の骨材は水と接するようになると、アスファルトとではなく水と結び付こうとする性質がある。舗装上ではこれらの働きに加え、交通荷重による力学的な挙動が剥離に拍車をかける模様である。

鋼床版上で使用する表層混合物の一つの目安として、本州四国連絡橋公団橋面舗装基準（案）で規定する改質アスファルトⅠ型（本四改質Ⅰ型）があり、そのアスファルト・混合物物性が、排水性舗装を鋼床版上に使用する際の一応の目安となっている。

鋼床版上の舗装は、上記の様な変形・ひずみおよび剥離に耐える必要があるが、従来の高粘度改質アスファルトを使用する場合、鋼床版上のアスファルト混合物に必要とされる曲げ試験時のひずみ量『 6.0×10^{-3} 』を満たす事が出来ず、排水性舗装の適用が難しいとされていた¹⁰⁾。

3.2 鋼床版用高粘度改質アスファルト

現在のところ鋼床版用高粘度改質アスファルトの標準性状を定めている機関は首都高速道路公団のみである。そのバインダ性状を表-1¹¹⁾に示す。

表-2⁴⁾に示す一般用の高粘度改質アスファルトの性状と比べ伸度、引火点、薄膜加熱質量変化率、薄膜加熱針入度残留率および60℃粘度の値が引き上げられている。ここで一般用高粘度の項目にあったタフネス・テナシティ試験の項目が外されているが、高粘度改質アスファルトの様に改質材の凝集力によって切断前にバインダが試験用治具から剥脱する様な場合には

そのバインダ性状を正しく評価出来ないために除外されたものと思われる。

表-1 鋼床版用高粘度改質アスファルト標準性状
(首都高速道路公団)

試験項目	鋼床版用標準性状
針入度 (25℃)	1/10mm 40以上
軟化点	℃ 80.0以上
伸度 (15℃)	cm 70以上
フラース脆化点	℃ -20以下
引火点	℃ 280以上
薄膜加熱質量変化率	% 0.3以下
薄膜加熱針入度残留率	% 75以上
粗骨材のはく離面積率	% 5以下
60℃粘度 ($\times 10^4$)	Pa·s 4.0以上
曲げひずみ (-20℃) ^{※)}	cm/cm 80×10^{-3} 以上
密度 (15℃)	g/cm ³ 付記

※) バインダの曲げ試験については、下記の条件で試験を実施する。

- ①供試体寸法:
- ②スパン: 8 cm
- ③載荷方式: 2点支持集中載荷
- ④載荷速度: 100mm/min
- ⑤試験温度: -20℃

表-2 一般用高粘度改質アスファルト標準性状

試験項目	一般用標準性状
針入度 (25℃)	1/10mm 40以上
軟化点	℃ 80.0以上
伸度 (15℃)	cm 50以上
引火点	℃ 260以上
薄膜加熱質量変化率	% 0.6以下
薄膜加熱針入度残留率	% 65以上
タフネス (25℃)	N·m 20以上
テナシティ (25℃)	N·m 15以上
60℃粘度 ($\times 10^4$)	Pa·s 2.0以上
密度 (15℃)	g/cm ³ 付記

タフネステナシティ試験で表される粘結把握力の替わりとして採用されたのが、バインダの曲げ試験による曲げひずみ試験である。本試験の低温領域における試験結果を図-2¹²⁾に示す。一般用が-15℃で脆性破壊を起こすのに対し、鋼床版用改質アスファルトは-20℃の時点においても破断を起こさず、低温領域におけるたわみ追従性に優れていることを示している。そのほか新たに加えられた試験項目として、フラース脆化点試験および粗骨材の剥離断面積率測定試験があり、それらは鋼床版舗装に必要とされる低温性状および水に対する剥離抵抗性を確認する項目に対応している。

図-3¹³⁾に、低温領域における伸度試験結果を示す。

ストアスや改質Ⅱ型が0℃付近で伸度が0であり、一般用も-10℃で伸度が0になるのに対し、鋼床版用は伸びを示している。これらのことから、鋼床版用高粘度改質アスファルトは他のバインダに比べ、低温領域での性状に優れている。

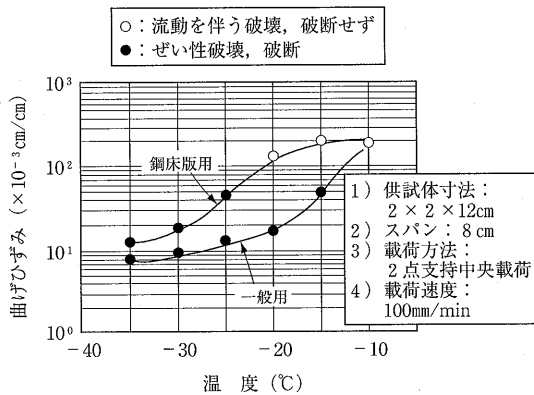


図-2 バインダの曲げ試験による曲げひずみ

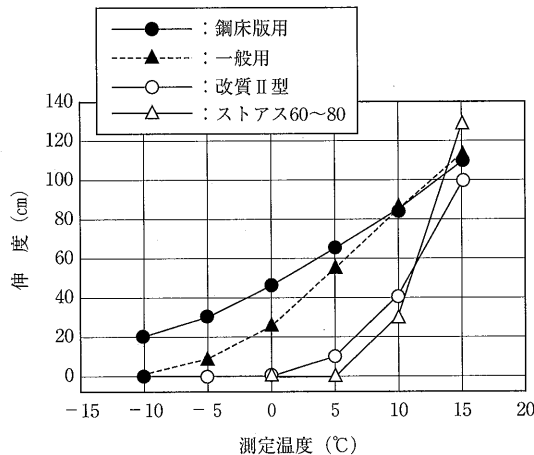


図-3 バインダ伸度試験結果

3.3 混合物物性

表-3¹⁴⁾、図-4¹⁵⁾ および図-5¹⁶⁾ に、鋼床版用高粘度改質アスファルトを使用した混合物の性状を示す。

一般用の高粘度改質アスファルトを使用した混合物のひずみ量は 6.0×10^{-3} よりも小さいのに対し、鋼床版用アスファルトを使用した混合物は、これを大きく上回るひずみ量を示している。また全浸状態で行われた水浸ホイトラッキング試験の剥離率は2.0%と耐水性に優れ、5℃でのカンタブロ試験の結果も一般用に較べほぼ半分の値で、骨材飛散抵抗性にも優れている。

繰り返し曲げ試験の結果からも、鋼床版用高粘度改

表-3 混合物性状一覧

	鋼床版用	一般用	本四改質Ⅰ型 密粒度混合物
破断時の曲げひずみ (cm/cm)	11.6×10^{-3}	5.8×10^{-3}	6.0×10^{-3}
水浸ホイトラッキング試験剥離率 (%)	2	1.3	0
カンタブロ損失率試験 (5℃) (%)	11.7	27.5	—

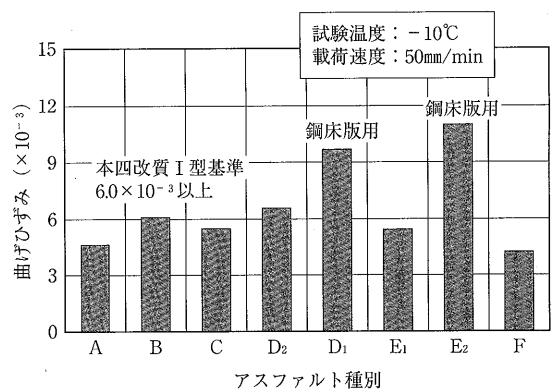
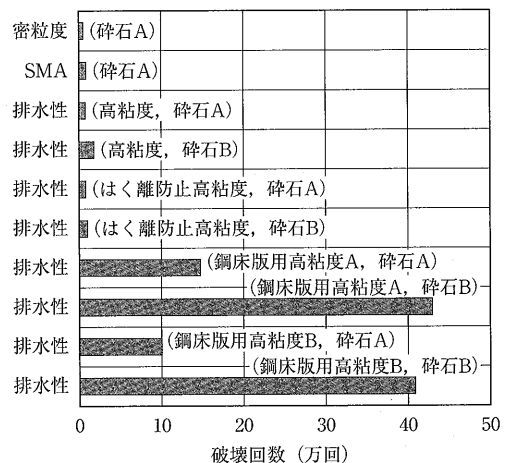


図-4 混合物曲げ試験結果 ひずみ量



注) 砕石A (はく離抵抗小), 砕石B (はく離抵抗大)
10℃, 2点支持2点載荷, ひずみ300μm, 5Hz, 両振り

図-5 混合物繰り返し曲げ試験結果

質アスファルトを使用した混合物の曲げ疲労特性の高さがうかがえる。

3.4 製品規格

日本改質アスファルト協会会員が製品として販売している鋼床版用高粘度改質アスファルトについて、各社が示す社内規格値を表-4に示す。鋼床版用高粘度改質アスファルトについては一般に指標となるような標準値が示されていない。よって各社とも要求される性状については各々判断して試験項目に加えている。

鋼床版用高粘度改質アスファルトに要求される性状のうち、低温性状は伸度(-10℃)試験またはフラス脆化点試験により確認され、曲げたわみ性についてはバインダ曲げ試験(-20℃)の曲げひずみ量で、また剥離抵抗性に関しては粗骨材の剥離面積率によってそれぞれ表されている。

表－４ 鋼床版用高粘度改質アスファルト社内規格一覧

試 験 項 目	一般用	A社	B社	C社	
針入度	1/10mm	40以上	40以上	80以上	40以上
軟化点	℃	80以上	80以上	80以上	80以上
伸度 (15℃)	cm	50以上	50以上	70以上	50以上
タフネス	N・m	20以上	20以上	－	－
テナシティ	N・m	15以上	15以上	－	－
60℃粘度 (×10 ³)	Pa・s	40以上	20以上	40以上	20以上
薄膜加熱質量変化率	%	0.6以下	0.6以下	0.3以下	0.6以下
薄膜加熱針入度残留率	%	65以上	65以上	75以上	65以上
密度	g/cm ³	試験表付記	付記	付記	付記
引火点	℃	260以上	260以上	－	260以上
伸度 (－10℃)	cm	－	10以上	－	－
フラース脆化点	℃	－	－	－20以下	－20以下
バインダ曲げひずみ (－20℃, ×10 ^{－3})	cm/cm	－	－	80以上	80以上
粗骨材の剥離面積率	%	－	－	5以下	5以下

なお、このような特殊箇所について使用するバインダの性状は、基本的には受注者側の提案と発注側承認によって使用が決定しているが、社内規格値以外の試験性状を求められることもある。その際は発注者側の要望に応じて試験性状の報告を行っている。

3.5 施工実績

日本改質アスファルト協会会員内で確認した、鋼床版用改質アスファルトの現在までの施工実績を表－５に示す。

鋼床版用として開発された高粘度アスファルトの供給および使用は、1997年から実施され現在に至っている。使用地域は関東地方を中心とした地域が大部分を占めているが、福岡、山口、愛知および福島などでの使用実績も存在している。1999年度に一度使用量が落ち込んだが、2000年度には年度内の施工面積が3万㎡を越え、2001年度は12月までの時点で8万㎡に届かんとする伸びを示している。

4. 寒冷地用高粘度改質アスファルト

4.1 適用上の問題点

寒冷地での排水性舗装の施工は1989（平成）年に東北自動車道で行われたのが最初である。当時スパイクタイヤやチェーンによって引き起こされる舗装の摩耗わだち掘れが降雨時における水はね、スモークキングによる視界の低下およびハイドロプレーニング現象を引き起こす原因となった。排水性舗装はこれらのわだち掘れが発生しても維持修繕が実施されるまでの期間内

表－５ 鋼床版用高粘度改質アスファルト施工実績

施工年月	都道府県	事業主体	施工面積 (㎡)	年度別小計 (㎡)
1997年 5月	山口県	山口県下関土木事務所	4000	24956
1997年 5月	山口県	山口県下関土木事務所	4000	
1997年 7月	千葉県	千葉県道路公社	4326	
1997年12月	静岡県	県道路公社	3590	
1997年12月	岡山県	岡山県岡山振興局	700	
1998年 1月	静岡県	県道路公社	3750	
1998年 1月	千葉県	千葉県道路公社	531	
1998年 1月	千葉県	千葉県道路公社	2233	
1998年 2月	千葉県	千葉県道路公社	1826	
1998年 4月	東京都	首都高速道路公団	1500	
1998年 9月	長野県	J H 東三管 佐久管理事務所	22500	25300
1998年10月	東京都	首都高速道路公団	1300	
1999年 4月	福島県	郡山市役所	400	
1999年 8月	栃木県	県	2707	5107
1999年12月	栃木県	宇都宮土木	2000	
2000年 9月	東京都	首都高速道路公団	2000	34794
2000年10月	東京都	建設省 東京国道工事	3300	
2000年12月	愛知県	J H 中部支社	2500	
2001年 2月	東京都	首都高速道路公団	3624	
2001年 3月	静岡県	天竜土木事務所	4780	
2001年 3月	神奈川県	首都高神奈川建設局	11000	
2001年 3月	埼玉県	越谷土木事務所	590	
2001年 3月	神奈川県	横浜市道路建設事業団	7000	
2001年 5月	東京都	首都高速道路公団	30000	
2001年 6月	神奈川県	首都高速道路公団	37500	
2001年 9月	福岡県	北九州高速道路公社	5587	79337
2001年10月	神奈川県	首都高速道路公団	6250	

の安全性と快適性を確保する手段として、適用が検討されたものである。

その際に用いられた排水性舗装混合物はプラントミックスタイプの改質アスファルトに植物繊維を加え、積雪寒冷地の摩耗対策として最大粒径を20mmとし、空隙率がおおよそ15%のものであった¹⁷⁾。

初期の排水性舗装混合物の摩耗量は室内試験においてもF付き密粒度アスコンの2倍から4倍におよび、空隙つぶれや空隙詰まりにより排水能力が急激に低下する傾向が見られた¹⁸⁾。

その後、1992（平成4）年にスパイクタイヤが禁止され摩耗わだちの発生が減ったことや、基本的な配合設計方法が確立されたこと、排水性舗装用に開発された高粘度改質アスファルトの使用が一般的になったことなどによって寒冷地における排水性舗装の性状低下が押さえられる事となった¹⁹⁾。

寒冷地における排水性舗装の機能維持に関しては、空隙率を標準より小さくする事による骨材飛散の防

止²⁰⁾、樹脂による表面の処理²¹⁾、単粒化した粗骨材を使用することによる連続空隙の確保²²⁾、繊維添加によるアスファルトモルタルの膜厚の増加²³⁾、凍結防止剤の使用や混合物中への凍結防止剤および弾性体の添加²⁴⁾、融雪用散水パイプの設置²⁵⁾、高圧水や過酸化水素水を使用した機能回復の取組み等が行われている²⁶⁾。

寒冷地における機能低下のうち、最も深刻なものは空隙詰まりによる排水機能および吸音特性の減少であると思われる。寒冷地では一般地域に比べ空隙詰まりが進行しやすく、機能回復効果が小さいという報告例が多い²⁷⁾。

寒冷地における空隙詰まりの進行と、回復のしにくさについて詳しいことはまだ判っていないが、融雪の為に散水によって空隙詰まりの進行が低減したという報告があることから降雪や間隙水の氷結等による舗装体の排水能力低下が空隙詰まりの進行に関係していると考えられる。

また、舗装路面表面の樹脂コーティングが空隙詰まりの進行遅延に効果があることから、寒冷地における排水性舗装の機能低下を防ぐには、冬季における路面上からの空隙詰まり物の発生を極力防ぐこと、つまりは薬品や水の影響を受けにくく、低温状態における混合物の飛散、摩耗、剥離が起こりにくい混合物を使用する必要がある。

4.2 寒冷地用高粘度改質アスファルト

現在のところ、寒冷地用高粘度アスファルトの規格・標準性状としての値は無く、バイндаメーカーは今までに報告された寒冷地の実体を踏まえてそれぞれ社内規格による提案を行っている。

4.3 混合物物性

寒冷地用高粘度改質アスファルトを用いた排水性舗装混合物による低温カンタブロ試験の結果を図-6に、曲げ試験の曲げ強度と曲げひずみの結果を図-7および図-8に示す²⁸⁾。

カンタブロ試験では試験温度が低下するに従い損失率が上昇するが、一般用高粘度改質アスファルトを使用した場合に比べ寒冷地用高粘度アスファルトを使用した混合物の損失率は低温域においても低く押さえられている。また、曲げ試験における曲げ強度およびひずみ量とも一般用を使用した場合よりも良好な性状を示し、低温域において舗装体の破壊が起きにくい事を示している。

4.4 製品規格

日本改質アスファルト協会会員が製品として販売し

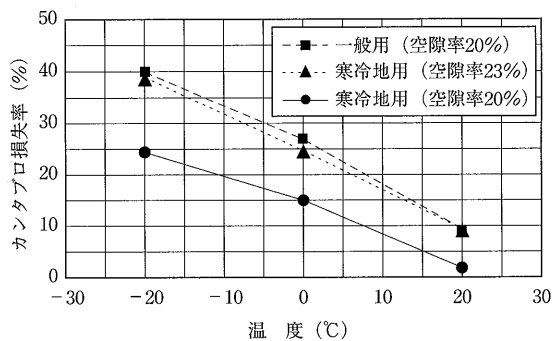


図-6 低温カンタブロ試験結果

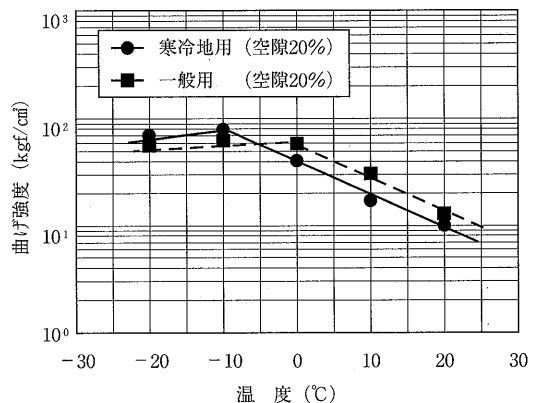


図-7 混合物曲げ試験結果 (曲げ強度)

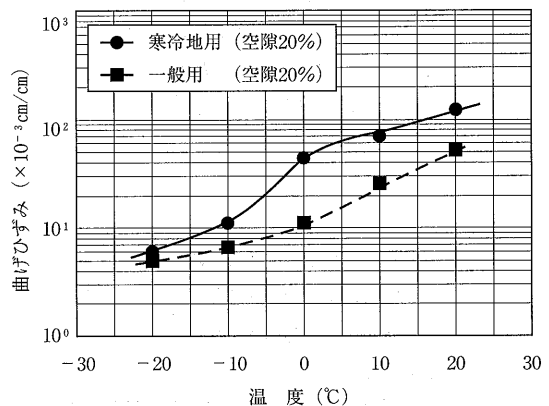


図-8 混合物曲げ試験結果 (ひずみ量)

ている積雪寒冷地用高粘度改質アスファルトについて、各社が示す社内規格値を表-6に示す。積雪寒冷地用高粘度改質アスファルトに要求される性状は低温時における性状であり、伸度 (4℃, -10℃)、フラース脆化点、バイнда曲げ試験 (-20℃, 曲げ歪みまたは曲げ仕事量) 等で実施し、全体的な観点から評価されている。

表－6 積雪寒冷地用高粘度改質アスファルト社内規格一覧

試験項目	一般用	a社	b社	c社	d社
針入度 1/10mm	40以上	40以上	40以上	60以上	40以上
軟化点 ℃	80以上	80以上	80以上	80以上	80以上
伸度 (15℃) cm	50以上	60以上	50以上	70以上	50以上
タフネス N・m	20以上	25以上	20以上	—	20以上
テナシティ N・m	15以上	15以上	15以上	—	15以上
60℃粘度 (×10 ³) Pa・s	40以上	40以上	40以上	40以上	20以上
薄膜加熱質量変化率 %	0.6以下	0.6以下	0.6以下	0.3以下	0.6以下
薄膜加熱針入度残留率 %	65以上	65以上	70以上	75以上	65以上
密度 g/cm ³	試験表付記	付記	付記	付記	付記
引火点 ℃	260以上	—	260以上	280以上	260以上
伸度 (4℃) cm	—	—	50以上	—	50以上
伸度 (－10℃) cm	—	15以上	—	—	—
フラス脆化点 ℃	—	－20以下	－20以下	—	—
バインダ曲げひずみ (－20℃, ×10 ^{－3}) cm/cm	—	—	80以上	—	—
バインダ曲げ仕事量 (－20℃), N/mm	—	—	—	10×10 ^{－1} 以上	—

4.5 施工実績

日本改質アスファルト協会会員内で確認した、積雪寒冷地用高粘度改質アスファルトの現在までの施工実績を表－7に示す。

寒冷地における施工自体は以前から行われていたものの、寒冷地を対象としたバインダの使用実績は銅床版用よりも新しい様である。使用されている地域は準寒冷地や寒冷地、または山間地に近い毎年降雪が発生する地域である。1999年度は7万㎡弱であったが、2000年度で約18万㎡、2001年度は12月末までに約12万㎡となっている。

5. おわりに

排水性混合物に使用される高粘度改質アスファルトのうち、今回は特に銅床版用と積雪寒冷地用のバインダについて、登場前後の経緯やその特徴と、現在までの実績等を概説した。

これらの他にも現在、流動・空隙潰れが問題となる様な最大粒径が13mmより小さい、おもに低騒音を目的とした開粒度混合物用の高耐久性高粘度改質アスファルトや、交差点部分における停止もしくは徐行状態の車両がハンドルを大きく切ることによって発生する骨材飛散対策用の高粘度改質アスファルト等が現れ使用が開始されている。このように、研究と改良の進展に伴い、今後も機能性や耐久性に優れた排水性舗装用材料が現れるものと期待される。

表－7 積雪寒冷地用高粘度改質アスファルト施工実績

施工年月	都道府県	事業主体	施工面積 (㎡)	年度別小計 (㎡)
1999年6月	北海道	日本道路公団	750	68647
1999年8月	長野県	JH佐久管理事務所	32000	
1999年11月	神奈川県	JH小田原管理事務所	210	
2000年1月	栃木県	真岡土木	1500	
2000年1月	秋田県	建設省 秋田工事事務所	17790	
2000年2月	三重県	建設省 三重工事事務所	15000	
2000年2月	埼玉県	和光市	647	
2000年2月	北海道	札幌土木現業所	750	
2000年4月	岐阜県	岐阜県大垣土木事務所	16400	
2000年5月	長野県	諏訪建設事務所	5422	
2000年6月	長野県	諏訪建設事務所	8500	186512
2000年6月	新潟県	新潟国道	6800	
2000年6月	新潟県	長岡国道	3600	
2000年7月	栃木県	国土交通省	11000	
2000年7月	北海道	函館開発建設部	5733	
2000年7月	長野県	諏訪建設事務所	4700	
2000年8月	長野県	諏訪建設事務所	5800	
2000年8月	長野県	国土交通省長野国道工事事務所	2800	
2000年8月	岩手県	岩手県胆沢町役場	1800	
2000年9月	北海道	日本道路公団	1457	
2000年10月	北海道	札幌土木現業所	4000	
2000年10月	北海道	日本道路公団	1400	
2000年10月	岩手県	盛岡地方振興局土木部	3500	
2000年11月	岩手県	国土交通省岩手工事事務所	9500	
2000年11月	北海道	札幌土木現業所	500	
2000年12月	宮城県	国土交通省 仙台工事	3250	
2000年12月	北海道	室蘭土木現業所	7350	
2001年3月	岩手県	盛岡地方振興局土木部	1000	
2001年3月	岩手県	盛岡地方振興局土木部	8000	
2001年3月	岩手県	久慈地方振興局土木部	26000	
2001年3月	岩手県	岩手県盛岡振興局土木部	48000	
2001年5月	新潟県	日本道路公団	50000	
2001年6月	千葉県	船橋市役所	700	
2001年6月	山形県	国土交通省 酒田国道工事	8000	
2001年6月	山形県	国土交通省 酒田国道工事	4000	
2001年7月	福島県	国土交通省 郡山国道工事	6000	
2001年7月	新潟県	日本道路公団	30000	
2001年8月	福島県	国土交通省 郡山国道工事	4000	
2001年10月	福島県	国土交通省 郡山国道工事	7000	
2001年11月	秋田県	国土交通省秋田工事事務所	3200	
2002年1月	北海道	共同舗装 上磯合材工場	5000	117900

参考文献

- 1) 全国道路利用者会議編：道路統計年報2001, 2001.10, P3
- 2) 荻浩三, 原富男, 金野諒二：開粒度アスコンへの適用を考慮した改質アスファルトについて (第一報), 第44回土木学会年次学術講演概要集, 1989.10, P122

- 3) 原富男, 中村勝司, 金野諒二: 車道用開粒度アスコンの試験施工結果について, 第18回日本道路会議論文集, 1989, P606
- 4) (社)日本道路協会編: 排水性舗装技術指針(案), 1996.11, P14
- 5) 日本道路公団編: 設計要領第一集 舗装編, 1999.7, P3
- 6) 改質アスファルト編集委員会: 改質アスファルト, 17号, 2001.9, P39
- 7) 例えば, 羽入昭吉, 田中正義: 橋面舗装用付着性改善改質アスファルト, アスファルト, Vol.39, No.189, 1996, P19
- 8) 大井正美, 五島耕一, 黒澤弘文: 東京外環道路における鋼床版舗装の試験舗装結果からの一考察, 舗装, 2001.1, P28
- 9) 佐々木道夫: 橋面舗装と鋼床版, アスファルト, Vol.38, No.187, 1996, P44
- 10) 池田拓哉, 久保和幸: 排水性舗装の評価と取組みの方向, 第22回日本道路会議論文集, 1997, P31
- 11) 首都高速道路公団編: 鋼床版上の排水性舗装設計, 施工要領(原案), 2000.6, P21
- 12) 奥田浩二, 松下征司, 羽入昭吉: 鋼床版排水性舗装用高粘度バインダの開発, 第22回日本道路会議論文集, 1997, P432
- 13) 蒔田学, 村山雅人: たわみ性に優れた排水性舗装用アスファルトバインダの開発, 第22回日本道路会議論文集, 1997, P342
- 14) 中込秀樹, 半野久光, 大塚敬三, 金成克弘: 高速埼玉大宮線における排水性舗装の試験施工, 舗装, 1999.2, P3
- 15) 樋口敦見: 鋼床版における排水性舗装, 土木施工, 1998.7, P68
- 16) 池田拓哉: 低騒音舗装の現状, アスファルト, Vol.40, No.195, 1998, P32
- 17) 安斎康雄, 秋山典幸, 白木敏明: 排水性舗装の試験施工, 日本道路公団技術情報, 第101号, 1990.1, P33
- 18) 鶴窪廣洋: 質疑応答, 舗装, 1992.12, P26
- 19), 27) 神谷恵三, 七五三野茂, 皆方忠雄: 積雪寒冷地における高速道路の排水性舗装の現況と課題, 改質アスファルトNo.8, 1997.1, P6
- 20) 問谷邦利: 寒冷地における排水性混合物の耐久性評価試験—低温カンタブロ試験—, 第21回日本道路会議論文集, 1993, P446
- 21) 西槇重博, 堀修平, 菅原賢司: 寒冷地の排水性舗装について, 第19回日本道路会議論文集, 1991, P652
- 22) 一瀬久光, 山田浩稔, 佐藤峰夫: 積雪寒冷地における高機能舗装(排水性舗装)の実施, 舗装, 35-9, 2000.9, P10
- 23) 岡崎真二, 松本慎一郎, 多田悟士: 各種アスファルト混合物に対する繊維添加の効果, 第23回日本道路会議論文集, 1999, P98
- 24) 例えば, 尾崎辰, 安部和隆, 姫野賢治: 寒冷地における排水性舗装の検討, 第8回北陸道路舗装会議技術報文集, 2000, P263
- 25) 池田久一郎, 伊藤勝夫, 大竹和彦: 積雪寒冷地における車道用排水性舗装の供用性について, 第6回北陸道路舗装会議技術報文集, 1994, P203
- 26) 加藤仁, 藤川博明, 門澤忠雄: 雪寒地域・排水性舗装の修繕工法に関する一考察, 道路建設, 5/10, 1993, P48
- 28) 稲垣寿也, 高戸二三男, 田中正義: 高耐久性排水性舗装用バインダの開発と積雪寒冷地域への適用例, 第8回北陸道路舗装会議技術報文集, 2000, P361

☆

☆

☆

☆

☆

☆

排水性舗装用エポキシアスファルト

(Epoxy Asphalt for Porous-Asphalt Pavement)

伊 藤 達 也*

我が国におけるエポキシアスファルトは、1970年頃より、アスファルト混合物の耐久性向上を主目的に開発され始めた。しかし、エポアス混合物は優れた性状を有しているにもかかわらず、製造温度、可使時間および硬化時間など施工面での課題があり、あまり普及していかなかった。

最近、これらの課題をある程度克服したエポアスが開発され、排水性舗装を始めトンネル内舗装、橋面舗装などへ適用され始めている。

本報告は、エポアスの歴史を振り返り、排水性舗装用エポアスについて概説するとともに、エポキシ樹脂を使用した排水性舗装用補修材料についても紹介するものである。

1. はじめに

排水性舗装は、透水機能、騒音低減機能など多機能を有する舗装として、ここ数十年で飛躍的に増加してきた。

しかし、重交通量路線においては、空隙つぶれによる機能性の低下や交差点部における骨材飛散などが早期に起こるなどの課題を有している。

これらの解決方法の一つとして、バインダ面からはエポキシアスファルト（以下、エポアス）が採用され始めている。

ここでは、エポアスの歴史を振り返り、排水性舗装用エポアスについて概説するとともに、エポキシ樹脂を使用した排水性舗装用補修材料についても紹介する。

2. エポアスの歴史

一般的にエポアスといわれている材料は、ベースアスファルト、主剤（エポキシ化合物）および硬化剤（以下、主剤と硬化剤を合わせてエポキシ樹脂という）の3液からなり、アスファルトプラントでこれらのバインダ材料と骨材とを混合し、エポアス混合物を製造する。

2.1 従来のエポアス

我が国におけるエポアスは、1970年頃よりアスファルト混合物の耐久性向上を目的に開発され始め、室内試験結果では、改質アスファルト混合物よりも優れた

力学性状を有していることが確認されている¹⁾。

これは、添加された主剤と硬化剤が化学的重合により硬化することで、バインダ自体の機械的強度を増加させるためである。

したがって、エポアス混合物の特性は、使用するエポキシ樹脂の性能や添加量に依存するのは当然だが、エポキシ樹脂の硬化度合いにより大きく異なるといったことである。

すなわち、エポアス混合物はエポキシ樹脂が硬化しないと所定の性状が得られないことになる。

硬化特性に影響を与える硬化剤は、①室温以下でも硬化可能な低温硬化型、②室温～50℃で硬化する室温硬化型、③50～100℃の範囲の中温型、④100℃以上の加熱を必要とする高温硬化型の4種類に大別される²⁾。

しかし、何れの硬化剤も高温域においては反応が起こるため、低温硬化型を高温域で使用すると瞬時に硬化してしまう。逆に、高温硬化型を低温、中温領域で使用すると、硬化時間が極端に長くなったり、硬化しなくなったりしてしまう。

通常アスファルト混合物は150℃以上の高温で製造し、施工後は60℃以下の温度で供用される。そのため、エポアスに使用する硬化剤には、高温時に硬化が遅く、常温域で硬化の速いものが望まれるが、このような材料は存在しなかった。

そこで、当時はエポキシ樹脂の粘度を調整しエポア

*いとう たつや ニチレキ㈱技術研究所主任研究員

スの粘度を低くすることで混合物の製造温度を極力下げ(110℃程度)、可使時間の確保(90分程度)と室温域での硬化をある程度可能にし、実際の現場に適用してきた³⁾。

しかし、エポアス混合物は優れた性状を有しているにもかかわらず、以下のような課題を克服できなかったことから、あまり普及していかなかった。

- ①混合物製造温度が低く、加熱プラントでの温度管理が難しい。
- ②可使時間が短く、施工時の気温にも左右されやすい。
- ③強度発現が遅く、交通開放までに長時間の養生を必要とする。

2.2 最近のエポアス

1980年代に入ると主剤や硬化剤を改良し新たな分子構造を有するエポキシ樹脂が開発され始め、硬化剤においては常温でも高温でも反応する活性の高い材料が得られるようになった。またエポキシ樹脂硬化体の構造も従来の網目構造から鎖状構造とすることが可能となってきた。

鎖状構造となるエポキシ樹脂は、反応がある程度進行しても作業性が確保でき、網目構造硬化体よりも可撓性に富み、主剤の選択によってはゴム弾性を付与することも可能である⁴⁾など、エポアス用としてはとても都合の良い材料である。図-1⁴⁾に、網目構造と鎖状構造の一例を示す。

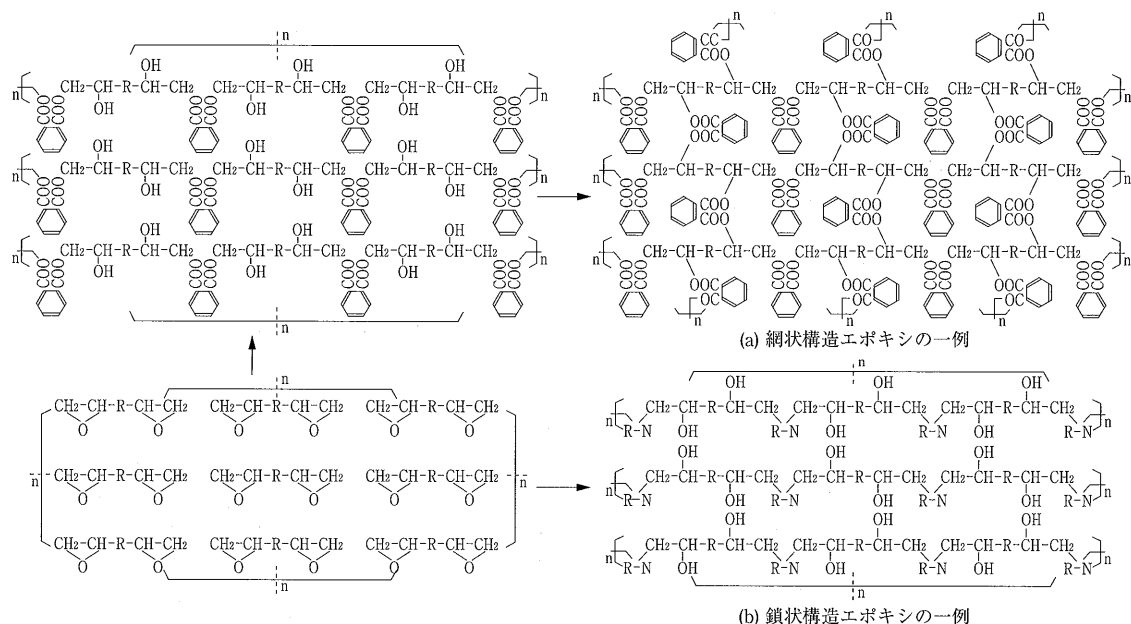


図-1 網目構造と鎖状構造の一例

さらに、エポキシ基を2個から3個にした鎖状構造のエポキシ樹脂硬化体が開発されている⁵⁾。この材料は、前述の鎖状構造となるエポキシ樹脂よりも粘度が低く、柔軟性があり、ある温度範囲(60~100℃)で硬化反応を速くさせることができるなどの特長を有している。

このように、エポキシ樹脂の改良、開発により従来の課題を克服したエポアスが開発され、排水性舗装を始めトンネル内舗装、橋面舗装などへも適用され始めている。

3. 排水性舗装用エポキシアスファルト

エポアスによる排水性舗装の検討は、数社のバイндаメーカーによって独自に進められていたが、1992年には(社)日本アスファルト協会材料開発研究分科会において「超重交通道路の排水性舗装用バイндаの開発」をテーマにした共同研究がスタートした。そして、1994年には独立行政法人土木研究所構内において試験施工を実施し、1996年より実道での施工実績を重ね、1997年には同協会より「排水性舗装用エポキシアスファルト混合物施工の手引き」(以下、手引き)が発刊されるに至った。

研究開発当時の目的は、空隙つぶれによる早期の機能低下対策を主眼においていた。

その後、排水性舗装は、交差点内部やサービスエリアの駐車帯などにも適用されていき、特に大型車が右

左折する箇所においては、供用早期から骨材が飛散してしまう場合が見られるようになった。

そのため、現在では、このような骨材飛散対策としてエポアスを適用することも多くなってきている。

3.1 バインダ

排水性舗装用エポアスは先に述べたようにベースアスファルト、主剤および硬化剤の3液からなる。

ベースアスファルトには高粘度アスファルトを使用する人が多いようだが、エポアス専用のアスファルトを用いることもある。

また、エポキシ樹脂の配合量はベースアスファルトに対して10～40%と幅広い。

これは、使用可能なエポキシ樹脂が多岐にわたり各社で異なるためである。

どのようなベースアスファルトやエポキシ樹脂を使用するか、またエポキシ樹脂添加量をどの程度にするかについては、各社がエポアス混合物に必要な施工性、混合物特性を考慮しながら設計しておりノウハウとなっている。

(1) 可使用時間

手引きでは、エポアスの可使用時間（混合物の製造から初期転圧（1次）後までの舗設可能な時間）を90分程度としている。

図-2⁶⁾は可使用時間を室内試験で評価した結果の一例を示したもので、エポアス混合物を製造した後、製造温度を保持した恒温槽内にルーズな状態の混合物を静置し、経過時間とマーシャル供試体を作製したときの空隙率（密度）の関係を求めている。

可使用時間の短い従来のエポアスは、短時間のうちにバインダの反応硬化による粘度増加によって施工性が低下し、60分以上では所定の空隙率を確保できなくなっている。しかし、最近の材料は120分を経過しても、

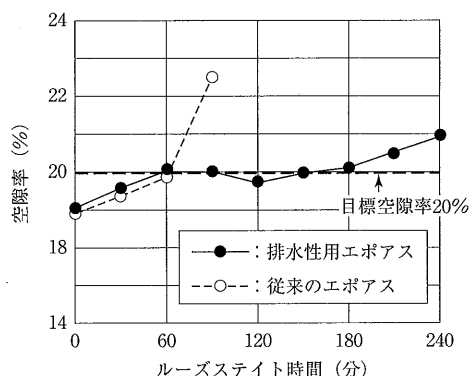


図-2 ルーズステイト時間と空隙率の関係

所定の空隙率を得ることができ、十分に可使用時間を確保し得るものといえる。

また、(社)日本アスファルト協会材料開発研究分科会が、独立行政法人土木研究所内の舗装走行実験場で行った試験施工では、混合物製造後120分を経過した後、混合物の敷きならし、転圧を行ったが、通常の高粘度改質アスファルト混合物と同様の施工性で、特に問題が認められないとの結果が得られている⁷⁾。

(2) 硬化時間

図-3⁸⁾は養生日数と動的安定度の関係を示した一例である。エポアスの動的安定度は養生日数の増加に伴い大きくなり、10,000回/mm以上の無限大領域に到達する日数は、60℃の場合でわずか数日、20℃の場合でも2週間ほどとなっている。したがって硬化に要する時間は、冬期を除けば1ヶ月程度と推測される。

また、施工直後の初期の段階にあっても改質アスファルトを使用した密粒度混合物と同様の動的安定度が得られていることから、反応が終了していない段階にあっても、初期わだち掘れなどの心配はほとんどないといえる。

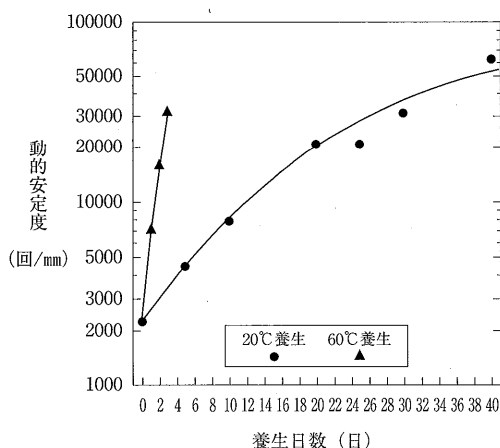


図-3 養生日数と動的安定度との関係

3.2 混合物特性

(1) 一般特性

エポアスを使用した排水性舗装混合物の性状については、多くの報告例^{9) 10) 11) 12) 13) 14) 15) 16)}がある。

基本的な性状の代表例を表-1⁷⁾に示す。

ここで検討された3種類のエポアスの性状はほぼ同等で、マーシャル安定度は反応開始初期で4.9～5.49kN、硬化後で12.74～30.28kN程度、カンタブロ損失率は12～15%程度、動的安定度は初期で1500～2500

表－１ エポアス混合物の基本性状例

バインダ種別		I	II	III	高粘度	ストアス
最適バインダ量 (%)		4.8	4.5	4.5	4.9	4.3
マーシャル	初期	4.90	5.49	5.09	6.37	4.02
	硬化後	12.74	19.6up	30.28		
安定度 (kN)						
カンタブロ試験 (%)		12.7	14.6	14.0	9.4	28.5
動的安定度 (回/mm)	初期	1,500	1,880	2,423	4,290	100以下
	硬化度	—	—	—		

注)：エポアスの硬化後の動的安定度は測定限界を超えている。

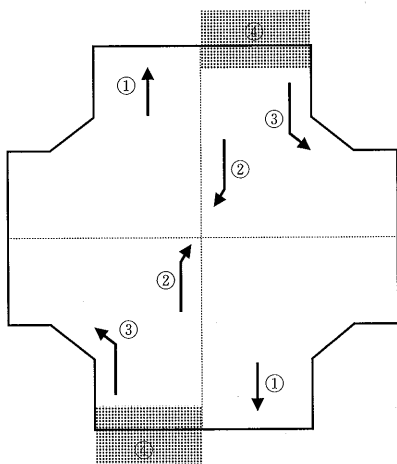
回/mm程度、硬化後の動的安定度は測定限界を超えほぼ無限大といえる数値を示している。

(2) ねじれ抵抗性

排水性舗装における破損の一つに交差点部での骨材飛散があげられる。

その原因の一つとして、排水性混合物は、密粒度アスファルト混合物よりも表面に働くせん断力のような水平荷重に対する抵抗力が小さいためと考えられている¹⁷⁾。

交差点部では、図－４に示すように概ね４種類の交通の流れに区分でき、これらの路面に生じる水平方向の力は以下ようになる。



図－４ 交差点部における交通の流れ

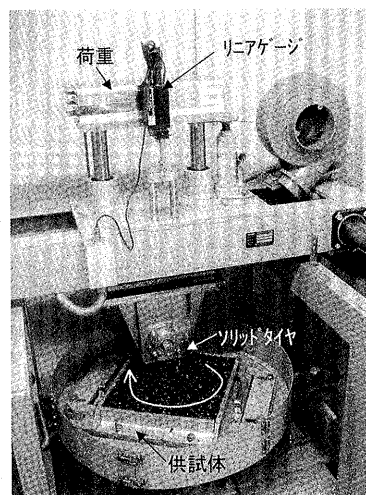
- ①直線部（車両が直進する交差点流出箇所）では、主にくらがり摩擦。
- ②交差点中央部（右折車がハンドルを切りながら停発進あるいはコーナリングする箇所）では、くらがり摩擦に加え、発進・制動、遠心力やすえ切りといった力。
- ③左折部軌跡部（左折車がハンドルを切りながらコーナリングするあるいは停発進する箇所）では、交差点中央部と同様な力であるが、回転半径の大

小により発生する力の大きさは異なる。

- ④交差点手前の停止線から交差点内に至る停発進箇所）では、くらがり摩擦、発進・制動といった力。

そして、大型車の通常走行時における水平方向のせん断力を1（686kN/m²）とすると、制動・駆動時では1.4（961kN/m²），コーナリング時では1.1（686kN/m²），すえ切り時では1.6（1079kN/m²）になるとの計算例がある¹⁷⁾。

こうしたすえ切り作用に対するアスファルト混合物のねじれ抵抗性を評価する試験が、各社で実施されている。試験機の一例を写真－１および表－２に示す¹⁸⁾。



写真－１ ねじれ抵抗性試験機

表－２ 標準仕様

項	目	型式・寸法等
試験輪	型 式	ソリッドタイヤ
	寸 法	直径200mm×幅50mm
	ゴム硬度	JIS硬度78（60℃）
載荷荷重		686N（接地圧627KPa）
載荷方式		垂直式
走行回転数		10.5回/分
走行半径		10.0cm
試験温度		60℃
試験時間		120分

この試験機は、30×30×5 cmの供試体の上にホイールトラッキング試験用のタイヤを半径10cmで繰り返し回転させることによって、供試体表面に強制的なねじれ作用を加え骨材を飛散させる機構になっている。そして、骨材飛散が進行してくるとタイヤの沈下量が大きくなることから、沈下量の小さいものほどねじれ抵抗性に優れていると判断されている。本試験機を用いた試験結果の一例を図－５¹⁷⁾に示す。

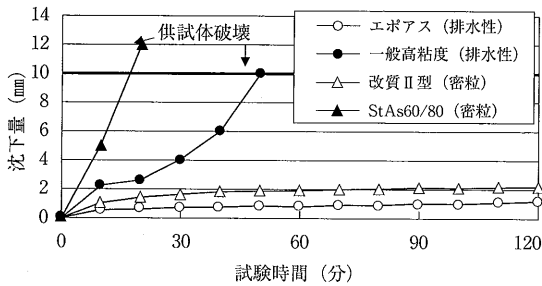


図-5 ねじれ抵抗性試験結果

高粘度改質アスファルトを使用した排水性混合物は約40分で沈下量10mmに達し供試体が破壊しているのに対し、エポアスを用いた排水性混合物は、試験時間120分においても沈下量が1mm程度と小さく、その値は改質II型を用いた密粒度混合物と同程度である。このことから、エポアスを用いた排水性混合物は、この種の骨材飛散抵抗性に優れているといえる。

また、本試験機以外の評価においても、エポアスを用いた排水性混合物のねじれ抵抗性は、高粘度改質アスファルトを使用したものよりも優れているとの結果を得ている^{17) 19)}。

(3) 空隙つぶれに対する抵抗性

空隙つぶれに対する抵抗性として、ホイールトラッキング試験機によるトラバース走行試験を実施し、トラバース時間と現場透水量の変化を調べたのが図-6¹⁴⁾である。トラバース走行時間を長くすることで、高粘度改質アスファルトを使用した混合物の空隙は閉塞が進行し透水時間が長くなっていくのに対し、エポアスにおける透水時間の変化はわずかである。この結果からエポアスを使用した排水性混合物は、繰返し走行荷重による空隙つぶれに対する抵抗性に優れ、排水性、低騒音性などの機能を長期間に渡って保持できると考

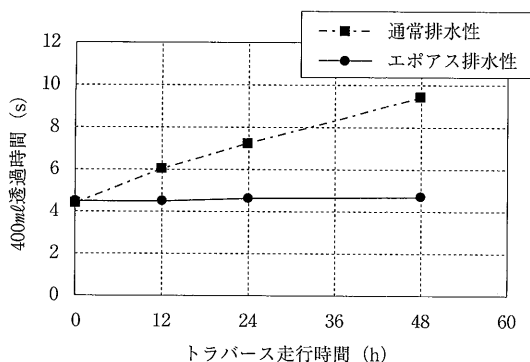


図-6 トラバース走行時間と透水量との関係

えられる。

3.3 施工事例

(1) 混合物の製造

エポアス混合物の製造方法の代表例⁷⁾を図-7に示す。エポキシ樹脂は袋詰めされた主剤および硬化剤をミキサへ人力投入するケースと、主剤と硬化剤を混合した後、専用の供給装置でミキサへ供給するケースがある。なお、主剤または硬化剤の一方がベースアスファルトに既に添加されていて、アスファルトプラントで1液のみ添加する材料もある。

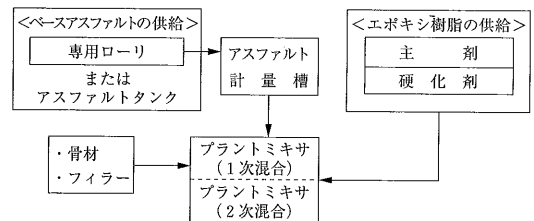


図-7 バインダの供給および混合物の製造フロー

混合物の製造温度は、使用するエポキシ樹脂の種類と添加量およびベースバインダによって異なるが、140℃～175℃程度の間で各社設定しており、プラントで管理しやすい温度となっている。ただし、製造温度が最適温度より高くなると可使時間が短くなるので、製造温度管理は重要なポイントとなる。

使用するアスファルトプラントの選定にあたっては可使時間を考慮し、運搬時間が長くないように現場に近いプラントを選ぶ必要があり、また、混合物の運搬においては、一般の高粘度改質アスファルトと同様に、保温対策を行うなど必要な処置をとることも重要なことである。

その他の留意点として、混合物に使用するフィラーに消石灰のようなアルカリ成分を含むものを使用すると、エポアスの硬化を速め、可使時間を短くする可能性があるとの報告²⁰⁾もあり、配合設計時に必ず可使時間を確認しておくことが重要である。

(2) 施工と供用性

施工は通常の高粘度改質アスファルトを使用した排水性舗装と同様の機械編成、転圧回数で行うことができる。

エポアスを使用した排水性舗装の実際の現場における実用性評価は、九州地方整備局¹⁶⁾などで行われており、今後の追跡調査によってその供用性状など明らかになってくるものと思われる。

一方、交差点部など骨材飛散対策を主目的とした現場の供用性は、人力施工箇所や施工ジョイント部などで一部骨材飛散が見られたとの報告もあるが概ね良好である^{12) 13) 14)}。

特に交差点部は、分割施工を余儀なくされることが多いことから、人力施工箇所や施工ジョイント数が増え、また細かな交通規制のため転圧が不十分になりやすい。

エポアスの性能を100%引き出すためには、人力施工箇所や施工ジョイント数が少なくなるよう、また転圧が十分に行えるよう施工計画を立案することが重要であり、場合によっては施工ジョイント部の側面にタックコートを塗布したり、上面にトップコートを施すなどの工夫が必要といえる。

4. 排水性舗装用補修材料

排水性舗装は、高空隙の混合物を使用するため密粒度混合物と比較して骨材飛散を起こしやすく、また自動車の排気とともに滴下した油分などによりブリーディングを起こし、ポットホールへと進展しやすい²⁰⁾。

このようなポットホールから数mまでの比較的小規模な補修には、現場内で常温で製造・施工できる材料が好ましく、エポキシを用いた排水性舗装用補修材料が開発されてきている。

表-3は、バインダに特殊アスファルト乳剤とエポキシ樹脂を用いた常温混合物の性状である²²⁾。

本混合物の完全硬化(20℃・48時間)後の性状は加熱混合物と同程度の値が得られている。

施工は、骨材とバインダを強制練りミキサで混合し、鉄輪ローラやハンドガイドローラで転圧する。なお、混合量が10kg程度以下では、ビニール袋内に材料を入れ、それを人力で搗するだけで混合物の製造が可能である。

表-3 特殊アスファルト乳剤とエポキシ樹脂を用いた混合物の性状

	乳剤系混合物	加熱混合物
空隙率(%)	20.1	20.4
安定度(kN)	9.0	5.4
フロー値(1/100cm)	23	35
損失率(%)	18.7	11.1
透水係数(cm/s)	1.0×10 ⁻² 以上	
動的安定度(回/mm)	6,000以上	4,800

そして、材料温度が20℃の場合には30～45分程度の可使時間を有し、混合物製造後3時間程度で交通開放

が可能であると報告されている。

表-4は、バインダにエポキシ樹脂を用いた常温混合物の性状の一例である²³⁾。

表-4 エポキシ樹脂を用いた常温混合物の性状

試験項目		開発品	一般高粘度*
密度	(g/cm ³)	1.915	—
空隙率	(%)	22.0	20.2
透水係数	(×10 ⁻² cm/s)	16.0	11.0
マーシャル安定度試験	安定度(kN)	43.1	5.5
	フロー(1/100cm)	28	32
カンタプロ損失率(5℃)	(%)	11.5	24.5
カンタプロ損失率(20℃)	(%)	9.1	10.4
動的安定度	(回/mm)	10,000以上	5,200
ラベリング試験 ²⁴⁾	すり減り量(cm)	0.76	1.23

*) 高粘度改質アスファルトを用いた排水性混合物

注) サイドチェーン使用

本混合物は、骨材とバインダを手練りあるいはミキサー混合し転圧するものである。特長の一つとして、転圧後の混合物をバーナー加熱することで早期交通開放を可能にしていることである。図-8はバーナー加熱後の時間に対する混合物のGB反発係数を調べたもので、GB反発係数が一定となる時間を硬化時間としている。これによると、バーナー加熱等により混合物温度を100℃まであげた時の硬化時間は約100分、175℃では20分程度とかなり短縮できるとしている。なお、混

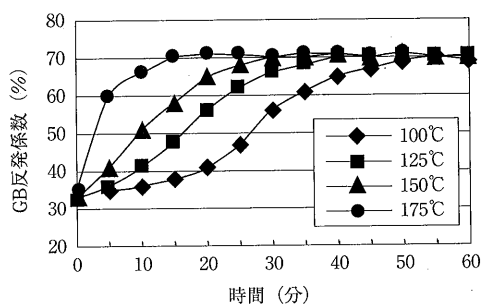


図-8 バーナー加熱による硬化時間

合物温度25℃における硬化時間は210分である。

5. おわりに

エポアスは、これまでの課題であった製造温度、可使時間および硬化時間などが改善され、実用化レベルに達しつつある。

本材料は、特筆すべき混合物性状を有しており、現場で再現性が得られるならば、新たな高耐久型舗装材料として期待されるものである。また、新たな思想のもとに導入された性能規定、総合評価方式、ライフサ

イクルコストなど社会の要請にも十分対応できる可能性がある材料でもある。

そのためには、さらなる開発努力を行うことは当然のこととして、材料管理、製造管理、施工管理の標準

化を図る必要性を強く感じている。

今後、さらなる高機能化、長寿命化などに向け、エポアスが応用展開されることを期待する。

— 参考文献 —

- 1) 間山正一：エポキシアスファルト混合物の力学挙動に関する研究，石油学会誌，21巻，1978.1，P68
- 2) 室井宗一，石村秀一：入門エポキシ樹脂，(株)高分子刊行会，1988，P72
- 3) 山梨安弘，太田健二，小黑幸市，エポキシアスファルト混合物による試験舗装，舗装，16巻，1981.3，P24
- 4) 菅原秀造：舗装用エポキシアスファルトおよびその混合物の検討，舗装，17巻，1982.11，P22
- 5) 佐々木俊祝：エポキシアスファルト混合物について，アスファルト合材，2000.10，P30
- 6) 建設図書：舗装技術の質疑応答第8巻，2001.10，P227
- 7) 池田拓哉：排水性舗装用エポキシアスファルトの開発，第72回アスファルトゼミナールテキスト，(社)日本アスファルト協会，1996.2，P127
- 8) 朝武正夫，佐藤昇，高木清美：排水性舗装用エポキシアスファルトの開発，第21回日本道路会議論文集，1995.10，P474
- 9) 細貝晃一，青木秀樹，板垣和芳：排水性舗装用エポキシアスファルトの開発，第21回日本道路会議論文集，1995.10，P476
- 10) 上野貞治，羽入昭吉，保刈昭仁：排水性舗装用エポキシアスファルトに関する一検討，第22回日本道路会議論文集，1997.10，P310
- 11) 川村正明，朝武正夫，佐藤昇：エポキシアスファルトを用いた排水性舗装用混合物の性状と試験施工，第22回日本道路会議論文集，1997.10，P316
- 12) 峰岸順一，阿部忠行，北沢博：交差点での低騒音舗装の適用に関する検討，第23回日本道路会議論文集，1999.10，P238
- 13) 若杉芳昭，翠昭博，田中慎次：交差点内の骨材飛散抑止を意図した硬化性排水性舗装について，第23回日本道路会議論文集，1999.10，P266
- 14) 稲葉行則，戸谷勇喜夫，藤田義憲：重交通道路におけるエポアス排水性舗装の適用事例，第24回日本道路会議論文集，2001.10，P34
- 15) 森久保道生：エポキシアスファルトの排水性舗装への適用事例，第31回石油・石油化学討論会函館大会，2001.11，P309
- 16) 松村正明，山本晋也：エポキシアスファルトを用いた排水性舗装，アスファルト，41巻，196号，1998，P11
- 17) (社)日本道路建設業協会舗装技術基準問題検討ワーキンググループ：特殊荷重を受ける箇所の舗装設計について，道路建設，2000.1，P44
- 18) 上野貞治，羽入昭吉，小野寺陵太郎：排水性舗装の耐久性に関する一検討，第23回日本道路会議論文集，1999.10，P42
- 19) 峰岸順一：低騒音舗装のねじれ抵抗性評価，東京都土木技術研究所年報，2000，P1
- 20) 池田拓哉，中川博勝，青木秀樹，遠西智次：エポキシアスファルト排水性舗装の実用性評価，第22回日本道路会議論文集，1997.10，P440
- 21) 峰岸順一，田中輝栄：低騒音舗装のポットホールによる破損実態と原因，第24回日本道路会議論文集，2001.10，P36
- 22) 青木正樹，小林秀行，加納孝志：小規模補修に対応した排水性舗装補修用常温混合物の検討，第24回日本道路会議論文集，2001.10，P246
- 23) 小野寺陵太郎，上野貞治，相場道郎：排水性舗装用補修材料の開発，第24回日本道路会議論文集，2001.10，P40

低温クラック抑制アスファルト

(Low Temperature Cracking Preventive Binder)

焼 山 明 生*・小 島 睦 司**・丸 山 記美雄***

北海道を中心とした寒冷地区などでは、横断方向にクラックが発生する現象が数多く見られる。このクラックは舗装体温度の低下による収縮などが原因となって発生する。この低温クラックの発生要因としては、アスファルト量、アスファルトの種類、骨材の吸水率、F/A、空隙率等が挙げられる。本稿では、とくに寒冷地における低温クラックの発生要因とその対策としてのアスファルト (Low Temperature Cracking Preventive Binder) について、事例を交えながら紹介するものである。

1. はじめに

アスファルト舗装の供用性低下としては、流動・摩耗・クラックなどが挙げられる。とくに寒冷地区などでは、舗装体の収縮などに伴う低温クラックが発生する。これらアスファルト舗装のクラックは、決して表面だけに入るものではなく、アスファルト層の全てに渡る場合が多い。このように発生したクラックより舗装表面から雨水などが浸透し、舗装体内部はもとより路盤・路床の支持力低下や凍上などを誘発し、構造的破壊を引き起こす原因となっている。

本稿では、とくに積雪寒冷地における低温クラックの発生要因とそれを抑制するアスファルト (Low Temperature Cracking Preventive Binder) について、事例を交えながら紹介するものである。

2. 低温クラックとは

道路用語辞典によれば、低温クラック (温度ひび割れ) は、アスファルト舗装のひび割れの一種で、温度低下に伴う収縮応力の増大と温度変化による伸縮の繰り返しに対する疲労とによって道路横断方向に規則的に生ずる。凍結指数の大きいところ、交通量が少なくアスファルトコンクリート層厚が比較的薄いところ、アスファルトが硬く、アスファルト量が少ないところで生じやすい。ひび割れは路肩に始まって中央部分に伸び、また舗装表面から発生して深さ方向に成長する。供用年数と共にひび割れ幅は広がり、本数も増える¹⁾。

と定義されている。

すなわち、舗装の温度 (気温) が低下して、舗装体が収縮する時、舗装体内に引張り応力が発生する。材料が伸びるか、移動して応力を解放すれば破壊せず、また、応力が破壊強度よりも小さく均等に分散されていれば破壊はしない。しかし、更なる温度低下や供用後のバインダの疲労 (劣化) 等により、応力の限界を超えたときアスファルト舗装に亀裂が生じる現象²⁾を指している。

3. 低温クラックの事例

日本国内における低温クラックの事例の多くは北海道を中心に、本州では積雪寒冷地区に見られる。そこで、北海道を中心に、低温クラック発生事例を紹介する。

3.1 北海道におけるクラック分布地域

1978年に北海道開発局にて、北海道の国道、県道におけるクラック調査を行った事例³⁾がある。そのときの調査結果より得られた分布状況は図-1の通りである。この図では、未舗装部分やオーバーレイによるクラック補修箇所は含まれていないが、おおむね北海道のクラック発生状況について正確に表しているものであると考えられる。

この図より、北海道の温度応力クラックは、調査時までの10年間ににおける最大凍結指数が約 $1000^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ の厳寒地域に多発していることがわかる。しかし、気温の

*やきやま あきお 日進化成株式会社技術研究所開発グループ

**こじま むつし 日進化成株式会社事業本部製品技術部長

***まるやま きみお 独立行政法人北海道開発土木研究所
道路部維持管理研究室

凡 例		クラック分布
国道	道道	クラック間隔 10m以下
●	■	10～30m
○	□	30～100m
10		凍結指数 (×100℃・日) 1967～1976年の最大値



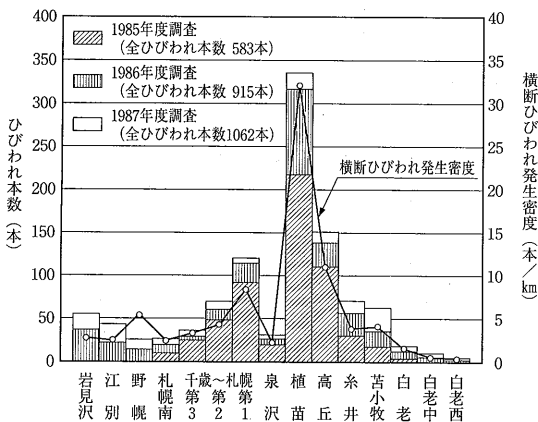
図－1 北海道地区におけるひび割れ発生状況

調査からこのクラックは単に凍結指数の大きさだけに
関係するものではなく、このような地域でも最低気温、
日温度差、温度勾配などが影響しているようである。

また、クラック間隔が10m以下に多発している箇所
は、クラックが発生している道路全体の35%にも及ん
でおり、その状況は深刻なものである。

北海道地区における高速道路の調査結果を図－2⁴⁾
に示す。やはり高速道路であっても、ひび割れの発生
には地域的な特徴があることがわかる。

このことから、低温クラックとは極寒地域を中心
に、深刻な舗装機能の低下の一つとして位置している
現象であるといえる。



図－2 調査箇所ごとのひび割れ本数

3.2 北海道におけるクラック発生事例⁵⁾

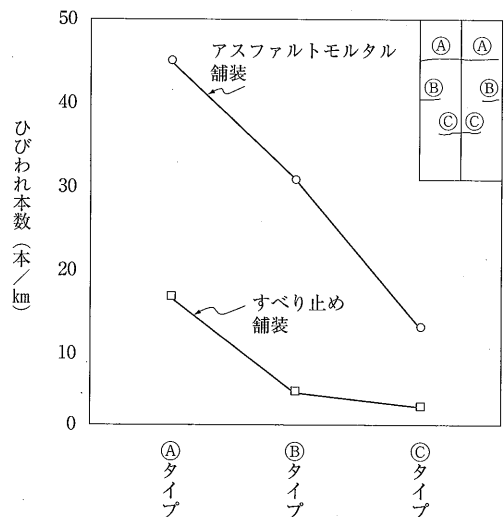
北海道一般国道38号南富良野町落合～狩勝峠（通称
狩勝国道）において、低温クラックの現地調査を行っ
た事例がある。この地域は、北海道内においても厳
寒・多雪地帯に属し、凍結指数は1250℃・日である。

現地は昭和42年に施工され、調査時は一般供用後11
年経過しており、多数のクラックが横断方向に発生し
ている。現場の混合物構成を表－1に示す。

表－1 勝狩国道舗装の配合

工 種	材 種	アスファルト (%)	石粉 (%)	洗砂 (%)	砕石 (%)
アスファルトモルタル		12.0	20.0	68.0	—
すべり止め舗装		5.4	8.7	25.9	60.0
中粒度アスファルト コンクリート		6.5	6.5	37.0	50.0
粗粒度アスファルト コンクリート		4.5	4.5	27.3	63.7
アスファルト安定処理		4.0	3.0	—	93.0*

このときの調査によれば、表層混合物の種類並びに
曲線部と直線部の違いによって、クラック発生に差が
出ていることがわかった。この現場における横断方向
のひび割れ形態を調査した結果を図－3に示す。なお、
Aタイプとは、1車線全幅にわたってひびわれが生じ
ているケースを指し、外側線または中央線から車線の
途中まで伸びているひびわれをそれぞれBタイプ、C
タイプとしている。



図－3 表層混合物の種類とひびわれ数

この結果は、表層にアスファルトモルタル舗装を用いた直線部に多く発生し、表層にすべり止め舗装を用いた場合には少ない傾向にある。表層混合物の大きな違いは、アスファルト量であり、アスファルト量が多いほどクラック発生が多くなっている。また、クラックは直線部に多く見られており、決して交通加重などに起因するものではなく、その他の要因が含まれているからであると考えられる。

3.3 本州積雪寒冷地区における事例⁶⁾

本州の事例として、中央自動車道（伊北IC～諏訪南IC間）がある。表-2はその調査結果を表しており、施工後1年も満たない時期に横断方向へのクラック発生が認められた。しかし、交通加重にのみ要因があるとは考えにくく、また、標高が高くなるにつれて、クラック発生本数は増加している。また、クラックの発生状況も前に示した北海道地区の事例と類似しており、地形や気象条件などが関係しているものと思われる。さらに、凍結防止剤に含まれる塩化カルシウムの持つ潮解性により長期湿潤状態となり、さらにアスファルトの剥離を誘発するなどの要因も重なってクラック発生に拍車をかけているような状況である。

4. 低温クラック発生の特徴

これらの事例や様々な研究成果⁷⁾をまとめると、クラック発生の特徴は以下ようになる。

- ①道路の横断方向に直線的に発生する
- ②アスファルトおよび骨材の性状や混合物の配合と関係があり吸水量の多い骨材や硬いアスファルト

を使用した場合、アスファルト量の多い配合にした場合に発生しやすい。

- ③寒冷地でアスファルト舗装混合物の層の厚さが薄く、交通量の少ない道路に多く発生する。
- ④路床の土質や路盤材料と関係があり、粘土質のものよりもむしろ岩や砂質系のものに多い。
- ⑤舗装用混合物の伸縮は、路盤との摩擦の大小に影響を受ける。
- ⑥舗装の端部にある区画線のペイントや雨水升の角などからクラックが発生して車線中央へ進み、経年変化と共にクラックの本数が増え、その幅も拡大する。

そして、低温クラックの発生は表-3⁸⁾に示す気象条件、材料の性質、その他の要因が影響して起こると考えられている。

表-3 クラック発生要因

要 因		低温クラック発生割合 少 多	
気象条件	最低温度	高	低
	日最大温度差	小	大
	温度勾配	小	大
	凍結指数	小	大
材料の性質	バインダ	針入度	大
		PI	大
		脆化点	低
		膨張係数	小
		応力緩和性状	大
	混合物	骨材の吸収率	小
		混合物の種類	アスモル少
		アスファルト量 (F/A)	少
		応力緩和限界温度	低
	その他	舗装厚	厚
		排水構造物、舗装継目	少

表-2 中央自動車道での調査結果

工区	位 置		クラック の有 無	見掛け密度 (kg/cm ²)	空隙率 (%)	回収アスファルト性状			アスファ ルト量	粒 度 (通過量%)		
						針入度	軟化点	PI		5.0	2.5	0.074
A	路 肩		無	2.366	3.9	39	54.0	-0.8	5.98	69.3	47.6	8.0
	追 越 し	IWP	有	2.380	3.3	43	55.8	-0.2	6.25	65.8	48.9	7.4
		BWP	有	2.371	3.7	50	53.1	-0.5	5.99	64.0	47.1	5.5
		OWP	無	2.381	3.3	57	51.8	-0.5	6.33	67.6	50.1	7.3
B	路 肩		無	3.329	5.4	37	54.5	-0.8	6.17	68.5	49.0	7.6
	追 越 し	IWP	有	2.357	4.3	43	54.8	-0.5	6.16	60.4	46.0	7.7
		BWP	有	2.373	3.6	47	54.6	-0.5	6.05	63.4	48.0	7.3
		OWP	無	2.391	2.9	58	51.4	-0.3	5.88	60.5	46.0	7.7
C	走 行	BWP	無	2.373	3.8	59	50.8	-0.6	5.96	66.4	43.1	6.7
		OWP	無	2.401	2.6	64	49.1	-0.6	6.00	69.9	45.9	6.8
	センター	正常部	無	2.380	3.5	48	52.7	-0.8	5.76	64.7	40.8	5.9
		クラック部	有	2.367	4.0	32	57.2	-0.6	5.68	63.9	40.5	5.6
D	走 行	BWP	無	2.372	4.9	58	51.0	-0.6	5.95	67.3	49.2	7.3
		IWP	有	2.332	6.5	33	56.5	-0.6	5.82	64.9	46.9	6.8
		IWP	無	2.384	4.4	52	53.7	-0.2	5.92	62.5	48.5	7.2

5. 低温クラック抑制対策

低温クラックが発生しているアスファルト混合物の特徴を観察すると、アスファルト量やF/Aなどの影響が挙げられ、なおかつ、針入度グレードの高い軟質なアスファルトを用いることで、低温クラックの抑制が可能であるといえる。そこで、アスファルト混合物での低温クラック抑制対策の研究として、図-4～図-6⁹⁾に示すような、各種アスファルト混合物の応力緩和試験によって評価されている事例が報告されている。

軟質改質アスファルトは、一定ひずみを与えた場合、応力減衰時間が短く、発生する内部応力も小さくなっている。

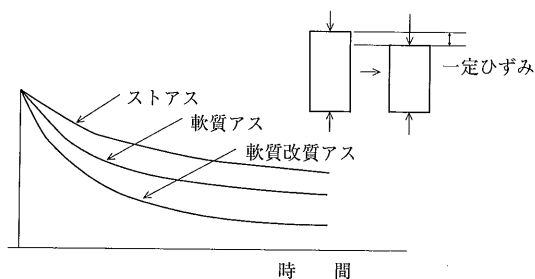


図-4 応力緩和試験

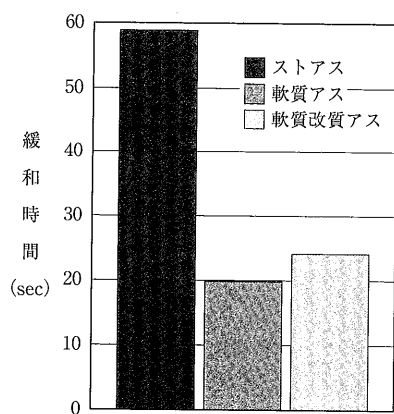


図-5 アスファルト混合物の応力緩和時間

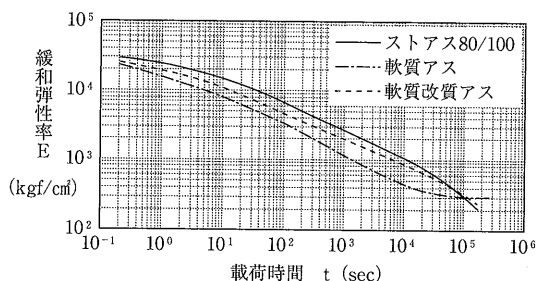


図-6 アスファルト混合物の応力緩和弾性率

また、図-7⁹⁾はアスファルト混合物の曲げ試験結果であり、この場合もストレートアスファルトに比べ、軟質アスファルトや軟質改質アスファルトは脆化点が低く、曲げひずみは大きくなっていることがわかる。

また、アスファルトの老化を防ぐ目的で最適アスファルト量 (OAC) + 1%での混合物試験結果から、アスファルト量が増えるために熱膨張係数は増加するものの、応力緩和弾性率は小さくならないとしており、過剰量でなければ有効であると述べている。

さらに八谷ら¹⁰⁾は吸水率の大きな骨材を使用した場合、温度変化も大きくなり発生する温度応力も大きくなるとしており、このような要因も加味しながらアスファルト混合物面での対策を講じることも有効であると言える。

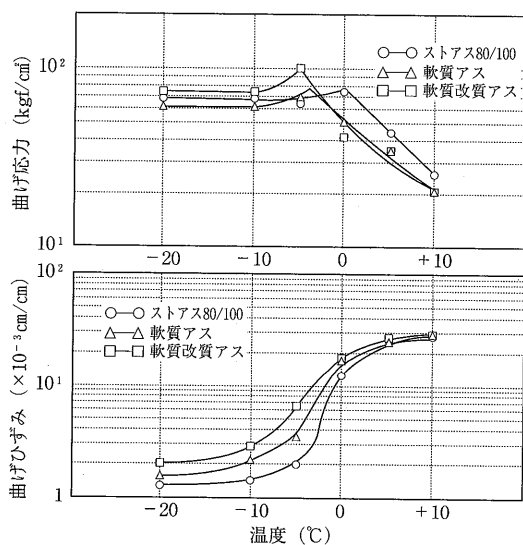


図-7 曲げ試験結果

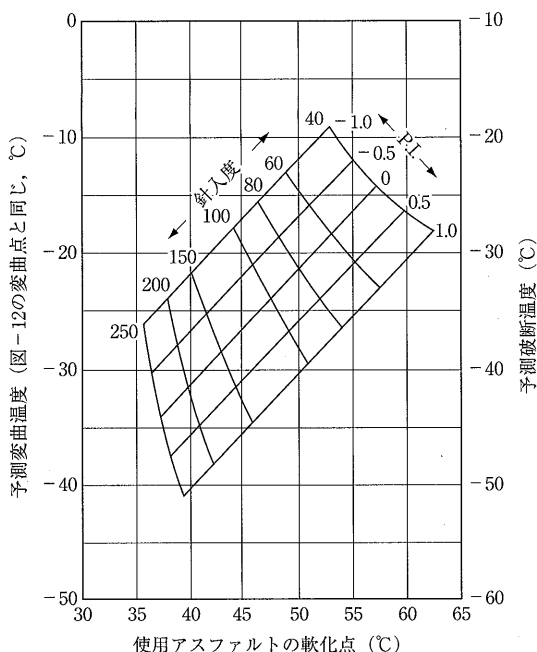
6. 低温クラック抑制アスファルト

アスファルト混合物の性質を左右する材料として、アスファルトバインダー自身の性質が重要である。

アスファルトの低温性状を評価する手法としてはフランス脆化点試験があるが、それ以外にも軟化点と温度応力の関係¹⁰⁾や、図-8に示すようなアスファルトのPIから破壊(クラック)を予測する研究も行われている¹¹⁾。

また、日本道路公団においては、このようなクラックを抑制するために、軟質アスファルトの規格を提案している¹²⁾。その規格と理由を表-4に示す。

これらのことより、低温クラックを抑制するために



図－８ アスファルト・コンクリートの温度応力破壊温度推定のためのモノグラフ

は、アスファルト混合物に次のような条件が必要となる。

- ①脆化点を低下させ、低温時のたわみ性を大きくする。
- ②低温時の緩和弾性率を低下させる。
- ③混合物製造時および供用後の劣化特性を改善する。
- ④低温時の応力緩和性状を改善し、かつ高温時の耐流動性も確保する。

これら条件を有効に満たす手段として、熱可塑性エラストマーを添加した、軟質な改質アスファルト適用や、ゴム入りアスファルトなど様々な試みもされてお

表－４ 規格とその理由

アスファルト規格	規格値提案理由
フラース脆化点 －10℃以下 注)、 薄膜加熱 「TFOT後」	●アスファルト混合物の破壊温度－30℃以下を考慮する（試験結果から脆化点と対応） ●かつて北海道開発局での規格値は、針入度100～120で－12℃（TFOT前）であった ●西欧では多数の国々がフラース脆化点を規定し、北欧委員会の提案規格値は、針入度70～100で－10℃（TFOT後）、100～145で－12℃（TFOT後）である等
軟化点40℃以上	●夏期の流動によるわだち掘れを考慮する ●現行針入度100～120の下限値の40℃を下限とする
針入度指数（PI） －0.7以上	●施工から供用時までの温度変化の対応を考慮（PIが高いと感温性が小さい） ●ひび割れ発生調査よりPIの小さい方がひび割れが多い（配合設計時の値）

り、その効果を発揮しているという事例¹³⁾も報告されている。

7. 低温クラック抑制アスファルト施工事例

北海道開発局において、低温クラック抑制対策として、針入度グレードの異なるアスファルトを用いて施工を行っている。その追跡調査結果¹⁴⁾を表－５に示す。この中には、高針入度のストレートアスファルトの他に、高針入度改質アスファルトも含まれている。表－５中の針入度級140、150、160などと記載されているのがそれに当たる。

この結果によれば、針入度とクラック率にはあまり相関が見られないが、フラース脆化点－17℃以下のバインダでクラック抑制効果が見られるようである。また、高針入度改質アスファルトを用いた施工箇所ではクラックの発生が低いと言える。

表－５ クラック抑制対策試験施工結果

	施工年度	針入度級	当初	抽 出			クラック率 (本/km)
			針入度 (1/10mm)	針入度 (1/10mm)	フラース脆化点 (℃)	年最低気温 ²⁾ (℃)	
R 242 陸別	H 1	80/100	89	40	－14	－30.0	20.0
		160	164	95	－18		3.3
		140	120	52	－15		13.3
		140 (打換)	120	56	－16		0.0
R 273 糠平	S 56	80/100	91	83	－17	－26.8	8.5
		150	168	119	－19		11.5
R 273 幌加	S 60	80/100	88	66	－13	－26.8	40.8
		100/120	—	67	－16		11.9

そこで、低温クラックを抑制するアスファルトとして、高針入度改質アスファルトを用いた施工が行われた具体例¹⁴⁾を紹介する。

施工場所 : 幌加内町母子里地区国道273号線
 施工時期 : 昭和63年7月
 混合物種類 : 細粒ギャップアスコン
 密粒度ギャップアスコン
 使用バインダ : 高針入度改質アスファルト
 ゴム入りアスファルト
 ストレートアスファルト80/100

高針入度改質アスファルトの性状を表-6に示す。この値は表-4に規定される規格値を全て満足するバインダであった。

施工後2年経過時の各アスファルトを用いたクラック発生状況を表-7に、現場状況写真を写真-1に示す。これによると、高針入度改質アスファルトのクラック間隔がもっとも大きく、次いでゴム入りアスファルト、ストレートアスファルト60/80の順となった。このように、高針入度改質アスファルトを用いることにより、低温クラックの発生の抑制効果が確認された。その中でも、高針入度改質アスファルトにおいて顕著な改善効果が認められた。また、わだちほれなども認められず、高針入度のアスファルトを用いても、流動などに大きな支障を与えていない。

表-6 高針入度改質アスファルト性状

試験項目		性 状
針入度 (25℃)	1/10mm	162
軟化点	℃	43.5
伸 度 (7℃)	cm	100+
フラース脆化点 (薄膜加熱後)	℃	-17

表-7 表追跡調査結果

バインダ種	ストレート アスファルト	高針入度改質 アスファルト	ゴム入り アスファルト
クラック間隔	36m	207m	65m

8. まとめ

今回は、低温クラックと、それを抑制するためのアスファルトについて論じてきた。しかし、その他の舗装材料などの要因も加味する必要がある。特に、経験的にアスファルト混合物中に含まれるアスファルト量、石粉の量に比例しクラックも増加する傾向にあり¹⁵⁾、これらの比であるF/Aが小さな混合物ほどクラック発生が少なく、1.3以下が望ましいとする報告もある。

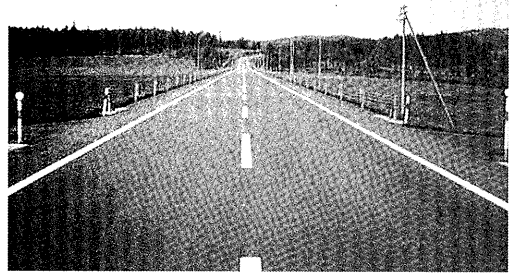


写真-1 高針入度改質アスファルト施工2年後

このように、アスファルトの機能低下の一つである「クラック (ひび割れ)」を考えた場合には、様々な要因があり、様々な研究事例がある。

また、アスファルトの低温性状に関する評価方法としては、既存の針入度・(低温) 伸度・フラース脆化点だけではなく、さらに従来の脆化点測定方法よりも精度を高め、アスファルト混合物との相関も高い森吉式脆化点¹⁶⁾や、米国SHRPでも規定されている、ベンディングビームレオメータなど、全く新しい評価方法¹⁷⁾も取り入れられている。このように、低温クラックなど、寒冷地の舗装に関する技術は、これからの課題を多く含んでおり、今後一層活発な研究活動を必要とする分野の一つであるといえる。

— 参考文献 —

- 1) 日本道路協会編：第3版道路用語辞典，P91～P92
- 2) 北海道開発局土木試験所舗装研究室：アスファルト舗装の横断ひび割れ対策に関する提案，昭和60年5月，P1～3
- 3) 久保宏他：日加科学技術協議「寒冷地舗装」第3回ミニワークショップ発表論文集，P221～「アスファルト舗装のクラック挙動と補修」
- 4) 小川孝雄他：北海道の高速道路における舗装の破損とその対策，土木研究所資料，日加科学技術協議第4回寒冷地舗装会議発表論文集－日本側発表論文－，平成2年9月，P167～177
- 5) 久保宏他：狩勝国道の横断方向ひびわれ，土木試験所月報，1979年1月，No.38，P1～7
- 6) 堀田宣道他：寒冷地舗装のひび割れ－凍結防止剤および温度応力の影響－，舗装，1987年2月号，P3～P9

- 7) 北海道開発局土木試験所舗装研究室：アスファルト舗装道路の横断ひびわれに関する調査研究報告書，昭和61年3月
- 8) 田中正義他：低温クラックに関する一検討，第7回北陸道路舗装会議，技術論文集，1997，P101～
- 9) 水島達朗他：土木研究所資料，日加科学技術協議，第5回寒冷地舗装舗装会議 発表論文集，平成5年9月，低温クラック抑制を考慮した舗装材料，P171～180
- 10) 八谷他：老化にともなうアスファルトコンクリートの性状変化，港研報告書22-2，pp268～287，1983年6月
- 11) 菅原他：アスファルト混合物の温度応力破壊に関する研究：日加科学技術協議「寒冷地舗装」第2回ミニワークショップ発表論文集，P82～
- 12) 後藤英一等：温度応力による横断ひび割れ対策－軟質アスファルトの使用事例－，舗装，1990年2月号
- 13) 阿部篤他：アスファルトのフラス脆化点とアスファルト舗装の低温クラック発生について，開発土木研究所月報，1996年3月，P2～P10
- 14) 日進化成株式会社資料「ロードマイティー追跡調査」，平成2年6月
- 15) 菅原照雄他：日加科学技術協議「寒冷地舗装」ミニワークショップ発表論文集，P5，「アスファルト舗装の低温クラックについて」
- 16) 森吉昭博他：日加科学技術協議 第5回寒冷地舗装舗装会議 発表論文集，平成5年9月，アスファルト単体とアスファルト混合物の低温性状，P153～
- 17) (社)日本道路協会：舗装試験法便覧別冊（暫定試験方法），平成8年10月，P81～87

フルデプス・アスファルト舗装設計施工指針（案）

B5版 42ページ 実費頒価 800円

申込先（社）日本アスファルト協会
〒100-0014 東京都千代田区永田町2-10-2
秀和永田町TBRビル514号室

路床の上のすべての層にアスファルト混合物を用いたフルデプス・アスファルト舗装は，昭和40年代半ばから積極的な試みとして市街地道路を中心にシックリフト工法により施工され，実施例は数十例に及んでいます。

フルデプス舗装は，舗装厚が薄く，工種が単一化されることから，工期が非常に制約される箇所等に適用して有効であるが，またアスファルト舗装の修繕に伴って発生する舗装廃材の利用方法の一つとして，フルデプス舗装の路盤への再生加熱アスファルト混合物の利用が考えられ，省資源の観点から今後普及する可能性も大きい。

本指針（案）を，フルデプス舗装の設計施工に従事する関係者必読の書としておすすめします。

目 次

- | | |
|--|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. 総 説 <ol style="list-style-type: none"> 1-1 フルデプス・アスファルト舗装の定義 1-2 適用範囲 2. 構造の設計 <ol style="list-style-type: none"> 2-1 舗装の構造 2-2 設計の方法 2-3 排 水 3. 材 料 <ol style="list-style-type: none"> 3-1 概 説 3-2 歴青材料 3-3 骨 材 | <ol style="list-style-type: none"> 3-4 アスファルト混合物 4. 路床および路盤 <ol style="list-style-type: none"> 4-1 概 説 4-2 路 床 4-3 路 盤 5. 表層および基層 6. 品質管理および検査 <ol style="list-style-type: none"> 6-1 概 説 6-2 出来形および品質の管理 6-3 検 査 7. 記 録 |
|--|---|

再生用改質アスファルトの現状

(Status of Modified Asphalts for Recycled)

石 川 洋*・光 谷 修 平**・小 澤 光 一***

アスファルト舗装の再生工法は舗装工事に伴う環境問題への有効な対応策であり、アスファルトコンクリート発生材の有効利用が可能となる。一方、耐流動性改質アスファルト舗装や排水性アスファルト舗装の施工が増加するに伴い、今後改質アスファルト混合物の発生材が急激に増大することが予想され、それらを再生骨材として使用する技術が大きな課題となる。本報文は再生改質アスファルトに対する現状および技術的に検討すべき課題について述べ、最近の検討事例として再生用高粘度改質アスファルトを用いた排水性アスファルト舗装用混合物の再生について報告するものである。

1. はじめに

わが国の道路整備は本格的な維持・修繕の時代を迎えており、切削オーバーレイや打換え工事によるアスファルトコンクリート発生材が増大している。一方、これらのアスファルトコンクリート発生材は1991年に「再生資源の利用の促進に関する法律」が制定され、社会的要請も強まったことから、積極的に再生利用が促進されているところである。

わが国のアスファルト混合物の製造量は、平成4年の8,084万tをピークに平成12年では7,096万tと減少傾向にあるが、そのうちの再生アスファルト混合物製造量は年々順調に増えており、平成12年では4,167万tと、製造されたアスファルト混合物に占める再生アスファルト混合物の割合は約60%にも達するようになった¹⁾。

アスファルト舗装の再生工法は舗装工事に伴う環境問題への有効な対応策であり、たとえば路上表層再生工法はアスファルトコンクリート発生材を抑制することができ、また維持・修繕工事により発生するアスファルトコンクリート発生材は再生プラントに運搬することにより有効利用が可能となる。一方、耐流動性改質アスファルト舗装や排水性アスファルト舗装の施工が増加するに伴い、今後改質アスファルト混合物の発生材が急激に増大することが予想され、それらを再生

骨材として使用する技術が大きな課題となる。すなわち、現在の再生工法および再生添加剤は、ストレートアスファルトを使用した混合物を対象にしたものであり、改質アスファルトおよび高粘度改質アスファルトを使用した混合物にそのまま適用するのは問題があると考えられる。

このような状況下で、近年、高粘度改質アスファルトを使用した排水性混合物の発生材を新設当時と同程度の性状を持つ排水性混合物に再生することを目的とした研究が数多く行われるようになってきた。

本報文は再生改質アスファルトに対する現状および技術的に検討すべき課題について述べ、最近の検討事例として再生用高粘度改質アスファルトを用いた排水性アスファルト舗装用混合物（以下、排水性混合物と称す）の再生について報告するものである。

2. 再生改質アスファルトの現状

2.1 再生加熱アスファルト混合物

改質アスファルトは1988年に「アスファルト舗装要綱」（社）日本道路協会）に一般材料として取り上げられ、各用途に合わせた種々の品質のアスファルトが開発され、広く使われるようになった。しかし、各種アスファルトを使用した品質の異なるアスファルトコンクリート発生材が混在して発生していることから、

*いしかわ ひろし 大林道路㈱技術研究所副所長

**みつたに しゅうへい 大林道路㈱技術研究所調査試験室室長

***おざわ こういち 大林道路㈱技術研究所基礎研究室主任研究員

これらを再生利用する多様な研究・技術開発が必要となっている。

表－１に、アスファルトコンクリート発生材に含まれるアスファルト（旧アスファルト）、再生用アスファルト（新アスファルト）および再生加熱アスファルト混合物（再生混合物）の種類を示す。これら新旧アスファルトが組み合わせられて、所定の品質の再生混合物が製造されることとなるが、たとえば、旧アスファルトおよび新アスファルトがストレートアスファルトの組合せで、再生混合物が改質アスファルト混合物というような組合せは考えられない。現実的には、再生混合物の求められている所定の品質と旧アスファルトの種類および品質に合わせて新アスファルトの選択と添加量を決定する方法により配合設計が行われることになる。

表－１ 新旧アスファルトと再生混合物の種類

旧アスファルト	新アスファルト	再生混合物の種類
ストレートアスファルト	ストレートアスファルト	ストレートアスファルト混合物
改質アスファルト	改質アスファルト	改質アスファルト混合物

2.2 再生改質アスファルトの技術的課題

加熱アスファルト混合物の再生に関する種々の問題は、主に発生材の種類および性状に起因しており、それらの問題に対して試行錯誤しながら、リサイクルを推進しているのが現状と考えられる。

現在、改質アスファルトは改質Ⅰ型アスファルトや改質Ⅱ型アスファルトのほか、各用途に合わせた、より高品位のものが開発されている²⁾。また、同一グレードの改質アスファルトといっても、それらに添加されているポリマーの種類および添加量が異なる他に、種々の添加剤が付加されて添加されているため、アスファルトの品質は多種多様といっても過言ではない。したがって、それらを用いた混合物より発生したアスファルトコンクリート発生材の品質は非常に把握しにくい。

特に最近の問題としては、発生材から回収した旧アスファルトの針入度の低下が挙げられる。たとえば、排水性舗装の発生材に含まれるアスファルトは針入度が低く、場合によっては10以下となることがある。このことはアスファルトの劣化が進んだことを意味するのか、改質アスファルトの混入によるものか、あるいは回収試験の問題なのか明らかではない。ただ排水性混合物に限っていえば、その混合物は多孔質であるため空気や水などと接触しやすく、したがってアスファ

ルトの劣化速度は通常の密粒度タイプの混合物に比べて非常に速いとも考えられる。

いずれにしてもアスファルトの劣化が原因であれば、早期ひび割れの発生が予測されるため、アスファルトの品質の低下をどのようにして回復・再生させるかが問題となる。さらに、繰返し再生を行った場合、アスファルト舗装のライフサイクルが短くなることも予想される。

現状では、再生骨材に改質、または高粘度のアスファルトが用いられていたり、繰返し再生などの理由により旧アスファルトの針入度20以上³⁾という品質を満足しない発生材が増加する傾向にあり、再生混合物の材料として制限される結果となっている。このことがアスファルトコンクリート発生材の利用促進の妨げとなることは明らかであり、今後規格の見直しを含めて利用促進を図ることができるような技術的検討が必要と思われる。

3. 再生アスファルトの性状

わが国では幹線道路が住宅地に隣接しているところが多いため、沿道の住民から騒音対策の要求が高まり、騒音低減を目的とした排水性舗装が急速に普及している。この排水性舗装は供用性の低下のみならず、特に機能の低下による維持修繕のサイクルは短いと考えられる。この排水性舗装による発生材に含まれる旧アスファルトは高粘度改質アスファルトであり、ストレートアスファルトや改質Ⅱ型アスファルトに比べて軟化点、60℃粘度およびタフネス・テナシティを高めた改質アスファルトである。

再生用高粘度改質アスファルトは排水性混合物を再生するために開発されたアスファルトであり、劣化した高粘度改質アスファルト（旧アスファルト）の性状を回復させる機能も有するものである。

表－２に再生用高粘度改質アスファルトおよび通常の高粘度改質アスファルトの性状の一例を示す。

表－２ 再生用高粘度改質アスファルトの性状

項 目		再生用高粘度 改質アスファルト	高粘度改質 アスファルト
針入度 (25℃)	1/10mm	91	61
軟化点	℃	95.5	98.0
伸度 (15℃)	cm	100 +	97
伸度 (4℃)	cm	62	—
60℃粘度 (×10 ⁴)	poise	100 +	77.1
密度 (15℃)	g/cm ³	1.025	1.024

表-3 劣化アスファルトの性状

項目	劣化アスファルト
針入度 (25℃) 1/10mm	29
軟化点 ℃	91.0
伸度 (4℃) cm	17

表-3に劣化アスファルトの性状を示す。

再生用高粘度改質アスファルトは一般的な高粘度改質アスファルトと比較して針入度が大きくなっているが、これは劣化した旧アスファルトの性状を回復させるためである。また、アスファルトの低温性状も改善できるよう開発されている。なお、本実験では劣化アスファルトは、高粘度改質アスファルトをPAV試験により促進劣化させたものを使用した。これは、一般に劣化アスファルトはアブソン法によりアスファルトコンクリート発生材から回収するが、この方法はストレートアスファルトを対象としたものであり、高粘度改質アスファルトなどの改質アスファルトはポリマーおよび各種添加剤などが含まれていることにより、それらの性状や構造を変えることなく回収することが難しいと考えられるためである。

図-1～4に針入度、軟化点、伸度（4℃）および複素弾性率と劣化アスファルト混入率との関係を示す。

図より、劣化アスファルト混入率が大きくなると針入度はほぼ直線的に低下する傾向にあるが、軟化点は混入率20%程度で劣化アスファルト（すなわち、混入率100%）程度に低下し、それ以上の混合率ではほぼ一定値となる傾向にある。伸度（4℃）は混入率20%程度までは若干低下傾向が大きく、それ以上の混入率ではほぼ一定割合で低下する傾向にある。すなわち、軟化点および伸度は劣化アスファルトの混入率が20%以下でも、劣化アスファルトの性状に影響を受けやすいことがわかる。また、複素弾性率は劣化アスファルト混入率が大きくなると高くなり、片対数紙上で直線関係（指数関数的に増加）が認められる。

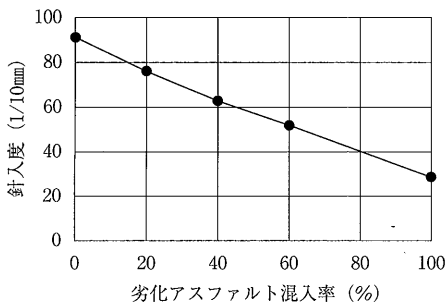


図-1 針入度と劣化アスファルト混入率との関係

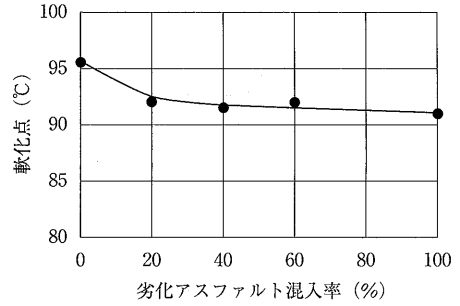


図-2 軟化点と劣化アスファルト混入率との関係

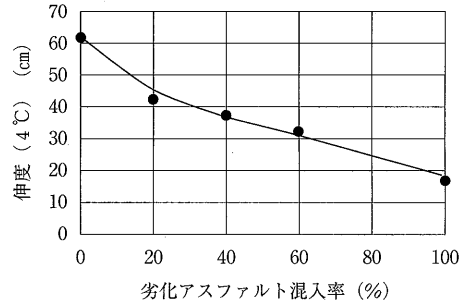


図-3 伸度と劣化アスファルト混入率との関係

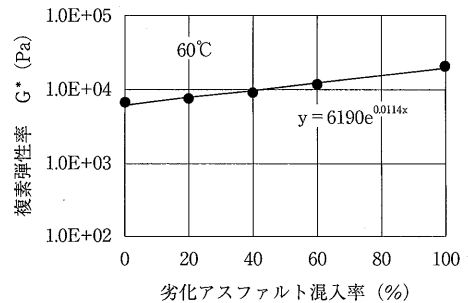


図-4 複素弾性率と劣化アスファルト混入率との関係

改質アスファルトの標準的性状²⁾ 4) により劣化アスファルトの許容混入率を求めると、高粘度改質アスファルトの針入度および軟化点の許容範囲（針入度40以上、軟化点80℃以上）を満足する劣化アスファルトの混入率は80%以下とすることが望ましいと考えられる。

4. 再生排水性混合物の配合設計方法

4.1 配合設計の基本的概念

ストレートアスファルトを対象とした再生工法では、再生骨材からアスファルトを抽出回収し、回収したアスファルトに、設計針入度に適合するように添加剤もしくは、針入度の大きいアスファルトを添加して、その後、マーシャル法による配合設計を行っている³⁾。

しかし、排水性混合物に使用されている高粘度改質アスファルトは、前述したとおり、再生骨材から抽出・回収した段階でアスファルト中に含まれるポリマーなどが分解あるいは凝集し、その結果回収によりアスファルトの性状が的確に把握できないと考えられる。また、実際に混合物を再生する上で、その混合物中のアスファルトが旧アスファルトと新アスファルトが完全に混合されて、均一な品質および被膜のアスファルトとして再生されているとは考えにくい。すなわち、現状における最も現実的な方法として、再生排水性混合物の配合設計は、混合物の性状を把握することで再生骨材の混入率および新アスファルト量を決定する方法で行うのが最も望ましいと思われる。このような混合物性状による配合設計方法の利点は以下のとおりである。

- ①旧アスファルトの性状に関係なく配合を決定するため、たとえば針入度の規格によりそのアスファルトを含む再生骨材が使えないというような問題は生じない。
- ②性状の異なるアスファルトコンクリート発生材が混在した場合も有効である。

なお、従来の配合設計においても混合物の性状の確認や評価が不可欠となっている以上、はじめから混合

物の性状を評価して配合を決める方法は効率的であるし、また、資源を有効利用できる可能性が広がると思われる。

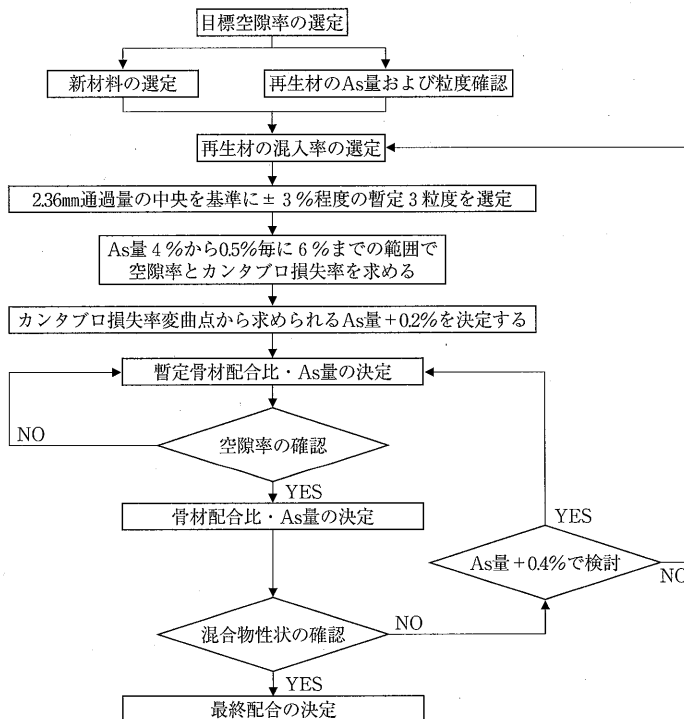
4.2 配合設計法

新規骨材による一般的な排水性混合物の配合設計において、最適アスファルト量は、原則としてダレ試験より求められる最大アスファルト量としている。この考え方は、アスファルト量の増加に伴ってカンタプロ損失率が減少し、ダレ試験によって求められた最適アスファルト量において、カンタプロ試験による質量損失率（以下、カンタプロ損失率と称す）が最も小さくなることによる⁵⁾。

しかし、再生混合物の場合、再生骨材の混入によりダレ試験結果にばらつきが大きくなり、最適アスファルト量を決定するために必要なダレ量の変曲点が見出せなくなるなど問題が生じる。

よって、本報告では、再生排水性混合物の配合設計方法として、カンタプロ試験にて最小アスファルト量を求め、そのアスファルト量から0.2～0.4%程度多いアスファルト量を最適アスファルト量とする方法を提案し、後述する事例ではその配合設計法によって混合物の配合を決定している。

図－5に混合物の配合設計のフローを示す。



図－5 混合物の配合設計のフロー

5. 再生用改質アスファルトを用いた排水性舗装の再生事例

5.1 室内実験概要

5.1.1 発生材の性状

アスファルト混合物の再生工法には、プラント再生工法と路上再生工法の2種類があるが、本事例ではプラント再生工法を行った。

まず、既設排水性舗装の発生材を入手するため、平成11年11月中央自動車道において、既設排水性舗装の切削を行った。現場は平成5年に施工されており、施工後約6年が経過した舗装である。

発生材の抽出試験結果を表-4に示す。発生材の粒度を確認したところ、そのまま発生材を使用することは困難と判断できたため、再生アスファルト混合物を製造するプラントで再生骨材を製造する方法により13-5mmと5-0mmの寸法に分級し、13-5mmのものを使用することとした。

5.1.2 再生用高粘度改質アスファルトによる再生

プラント再生工法では、主に添加剤を使用する方法と新アスファルトを使用する2種類の方法があるが、本報告では再生剤として再生用高粘度改質アスファルトを用いた再生方法について述べる。再生用高粘度改

質アスファルトはプレミックスタイプであるため、新規骨材と再生骨材へ同時に添加することができ、プラント再生を行う上で特殊な添加装置が必要ではなく、従来どおりのアスファルトタンクで対応できるという特徴を有している。

5.1.3 再生排水性混合物の配合設計

本事例では図-5に示した配合設計のフロー図に基づき、混合物のカンタブロ試験を行い、質量損失率を評価することにより配合設計を行なった。

本配合設計においては、予備実験の結果、再生骨材を混入するとダレ試験結果のばらつきが大きく、ダレ量の変曲点が求められないことが明らかとなったため、カンタブロ試験よりアスファルト量を求めた。また、混合物の最適アスファルト量はカンタブロ試験から求められるアスファルト量に0.2%を加えたものを採用している。これは、前述したとおり、カンタブロ試験から求められるアスファルト量が最小アスファルト量を表していると考えられているに基づいている。

5.2 実験結果

5.2.1 混合物の性状試験

図-1に示す方法により配合設計を実施して得られた結果を表-5に示す。再生骨材（13-5mm）の配合割合により、再生骨材40%を40配合、50%を50配合、60%を60配合とした。比較のために、使用した新規骨材（0%）および再生骨材（100%）についても示す。

再生排水性混合物のアスファルト量は、新規骨材に比べ若干多い結果となったが、再生骨材の量による変化はあまり見られなかった。

図-6にカンタブロ試験結果（20℃）を示す。再生排水性混合物の質量損失率は新規骨材の質量損失率6%程度に比べて12~13%程度となっており、質量損失率が大きいですが、排水性混合物のカンタブロ損失率

表-4 発生材の抽出試験結果

種 類	通過質量百分率 (%)								As量 (%)
	19.0 ^m	13.2	4.75	2.36	0.6	0.3	0.15	0.075	
発生材	100.0	98.0	40.2	29.7	18.9	15.3	11.4	7.6	4.73
再生骨材 13-5	100.0	100.0	35.5	23.4	17.2	14.3	10.4	6.9	4.18
再生骨材 5-0	100.0	100.0	94.7	69.4	35.3	26.4	18.9	12.3	6.87
排水性 粒度範囲	100	100 ~92	31 ~10	21 ~10	17 ~4	12 ~3	8 ~3	7 ~2	—

表-5 各混合物の配合

(単位: %)

配合	6号	粗砂	細砂	石粉	再生骨材13-5 (As除く)	As量		合計	目標 空隙率
						新As	旧As		
新規骨材	77.4	12.8	—	4.8	—	5.00	—	100	20
						5.0			
40配合	51.2	0.9	3.3	1.4	37.9	3.65	1.65	100	20
						5.3			
50配合	43.1	2.9	—	1.4	47.3	3.24	2.06	100	20
						5.3			
60配合	36.9	—	0.9	—	56.8	2.92	2.48	100	20
						5.4			
再生骨材	—	—	—	—	95.8	—	—	100	—
						4.2			

(20℃)の基準値は20%以下であり、十分それを満足している。また再生骨材の混合物と比較するとかなり損失率の低減が見られ、再生効果が確認できる。

図-7に低温カンタブロ試験結果(-20℃)を示す。20℃における結果と同様に、再生骨材と比較するとかなり改善が見られる。40配合、50配合、60配合で比較すると、再生骨材の配合率が多くなるにつれて損失率は小さくなっている。

ここで表-6に配合割合から求めた再生用高粘度改質アスファルトの割合を示す。表中の⑥(新規骨材に使われる新アスファルトの割合)は、あくまでも予測値である。つまり、新規骨材のみの合成粒度は再生骨

材を多く使用するものほど粗い粒度となっていることより、これまでの経験から2.36mm通過1%当り約0.2%変化すると考え、⑥の値を予測してみた。すると表に示すように、旧アスファルトに対して使用される再生用高粘度改質アスファルト(新アスファルト)の割合は、再生骨材の使用量が多いほど多くなっており、40配合よりも60配合のほうが再生効果が高いと予想できる。このことが低温カンタブロの質量損失率の結果となって現れたものと考えられる。

いずれにしても再生骨材の配合割合については、再生骨材に対する再生効果が期待できるように十分検討して決定することが必要であり、再生骨材の粒度にもよるが、50~60%程度が望ましいと考えられる。

混合物性状室内試験については、この他曲げ試験、ホイールトラッキング試験、ラベリング試験等を実施した。表-7に混合物の試験結果一覧表を示す。

再生排水性混合物の曲げ強度および圧裂強度は、新規排水性混合物に比べて小さくなる。動的安定度は再生骨材の混入量が増加すると大きくなる傾向を示す。摩耗量は、ラベリング試験の結果では、再生骨材の混入量が増加すると大きくなる傾向を示すが、促進摩耗試験結果では逆に良好な結果が得られた。

以上の試験結果より、再生排水性混合物の性状は新

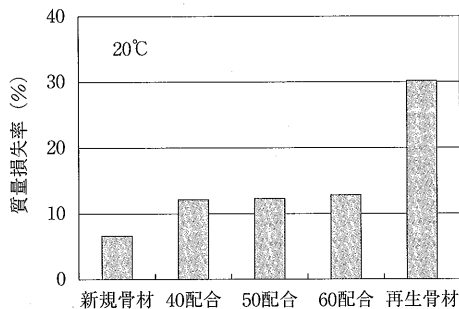


図-6 カンタブロ試験結果(20℃)

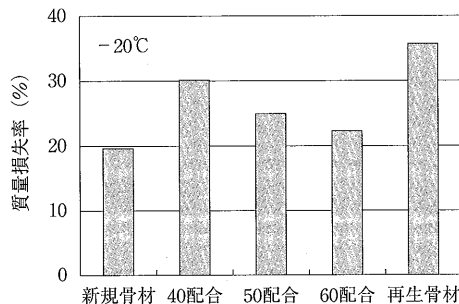


図-7 低温カンタブロ試験結果(-20℃)

表-7 混合物性状室内試験結果一覧表

配合	曲げ強度 MPa	DS 回/mm	ラベリン グ摩耗量 cm	促進摩耗試験 摩耗量 cm	圧裂強度 MPa
新規骨材	7.10	9000	1.2	1376.5	2.52
40配合	5.00	9800	1.4	—	—
50配合	5.10	9450	1.5	1039.6	1.84
60配合	5.24	9750	1.7	—	—
再生骨材	—	12600	—	1864.8	1.55

表-6 再生混合物中の再生用高粘度改質アスファルトの割合

(単位: %)

配合 の 種類	新規骨材 ①	再生骨材		再生用 高粘度 改質As	合計	新骨材の みの合成 粒度 2.36Pass	新規骨材に 使われる新 Asの割合予 測値 ⑥	新規骨材 に使われ る新As	再生骨材 に使われ る新As	旧Asに対 する新As ⑧／ ③×100
		骨材 ②	旧As ③	④				①×⑥ ⑦	④－⑦ ⑧	
40配合	56.8	37.9	1.65	3.65	100.0	10.7	5.3	3.01	0.64	38.8
			(5.3)							
50配合	47.4	47.3	2.06	3.24	100.0	9.8	5.1	2.42	0.82	39.9
			(5.3)							
60配合	37.8	56.8	2.48	2.92	100.0	3.3	3.9	1.47	1.45	58.3
			(5.4)							

規排水性混合物に比べて若干劣る傾向を示しており、再生用高粘度改質アスファルトは再生効果が認められるものの、新規排水性混合物と同一レベルまで性状を回復させるまでには至らない。これは、再生骨材に付着する旧アスファルトと新アスファルトである再生用高粘度改質アスファルトが混合物の中で完全に溶融・均一化しないため、混合物の力学性状が新規混合物に比べて若干劣るものと思われる。

5.2.2 室内耐久試験

日本道路公団試験研究所が所有する大型シミュレータ試験機により、高温時と低温時の耐久性評価を実施した。なお、再生骨材の配合割合は50%である。

試験条件を表-8に示す。

表-8 大型シミュレータ試験の条件

試験条件 項 目		高温試験		低温試験
		①	②	
軌道		内側		外側
タイヤ		ノーマルダブル		シングルチェーン
載荷重	ton	5.0		2.5
路面表面温度	℃	常温	43	0℃
最終到達温度	℃		53	—
シフト長	mm	±200		±100
路面状態		乾燥		湿潤(散水)
通過回数 ()内は累計	1回目測定	30,000+10,000回 (40,000回)		1,500+300回 (1,800回)
	2回目測定	30,000×2回 (100,000回)		1,200+1,500回 (4,500回)
	3回目測定	30,000×2回 (160,000回)		1,500×2回 (7,500回)
	4回目測定	30,000×2回 (220,000回)		1,500×2回 (10,500回)
	5回目測定		30,000×2回 (280,000回)	1,500×2回 (12,000回)
	6回目測定		30,000×2回 (340,000回)	
	7回目測定		30,000×2回 (400,000回)	
	8回目測定		30,000×2回 (460,000回)	

図-8に、シミュレータ試験の内、高温時の走行試験における現場透水量測定結果を示す。なお比較のため、目標空隙率17%の排水性混合物の結果も合わせて示す。

この結果からわかるように、再生排水性混合物は新材100%とほぼ同等の結果であり、通過荷重による空隙つぶれに対する耐久性は、良好であると考えられる。

なお、再生骨材100%のものについては、1回目と

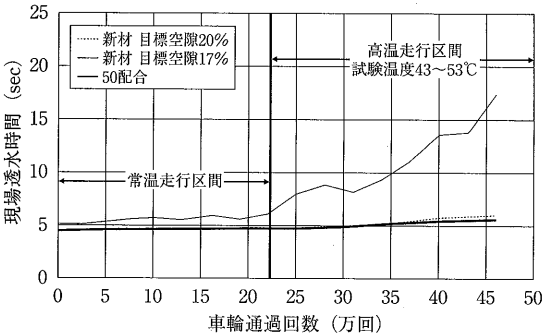


図-8 現場透水試験結果

2回目のところで測定不能の状態となったため、除外した。

図-9に、わだち掘れ量の変化を示す。透水量の変化と同様に、新規骨材100%とほぼ同等の値で推移しており、良好な結果が得られた。

図-10に、低温時における摩耗量の変化を示す。排水性舗装の寒冷地タイプとして使用されている目標空隙率17%の新規排水性混合物の結果が最も良好な値を示していた。しかし今回検討した再生排水性混合物は、目標空隙率20%であり、同じ目標空隙率の新規排

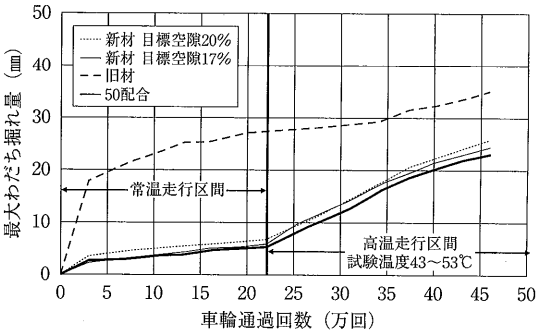


図-9 わだち掘れ量の測定結果

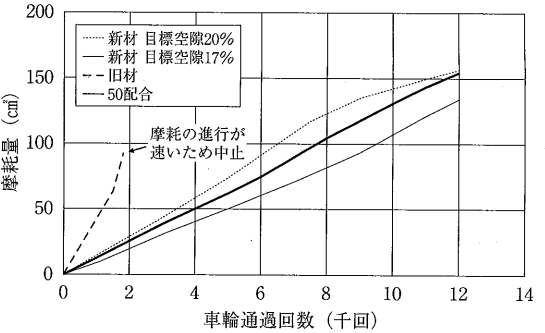


図-10 低温試験における摩耗量測定結果

水性混合物と同等以上の結果を示している。

以上の大型シミュレータによる室内試験結果より、今回開発した再生用高粘度改質アスファルトを使用した再生排水性混合物は、新規混合物とほぼ同等の力学性状を有すると考えても問題ないことがわかった。

5.3 室内試験結果のまとめ

高粘度改質アスファルトを使用した排水性混合物を同程度の性状を持つ排水性混合物に再生することを目的として、各種試験を行った。今回得られた室内試験結果を以下にまとめる。

- ①発生材を再生用骨材として使用する場合、その粒度より、クラッシングと分級が必要である。
- ②再生混合物の配合設計方法としてカンタプロ試験より最適アスファルト量を求める方法を提案、実施した結果、その運用において問題はないと考えられる。
- ③20℃のカンタプロ試験による質量損失率は、再生骨材の配合割合による変化は見られなかった。
- ④低温カンタプロ試験（-20℃）による質量損失率は、再生骨材の配合割合により変化する傾向が見られた。これは旧アスファルトに対する再生用高粘度改質アスファルトの量が関係しているためと思われる。
- ⑤再生排水性混合物の曲げ強度および圧裂強度は、新規混合物に比べ若干値が低いものの、再生効果は認められる。
- ⑥シミュレータ試験結果からは、再生排水性混合物は新規排水性混合物とほぼ同等の値が得られ、現道への適用が可能であるとの結果が得られた。

以上より、再生用高粘度改質アスファルトは、排水性混合物をプラントにて再生させることが可能であるとの基礎データが得られた。

6. おわりに

再生改質アスファルトに対する現状および技術的に検討すべき課題について述べ、最近の検討事例として再生用高粘度改質アスファルトを用いた排水性アスファルト舗装用混合物の再生について報告した。室内試験の結果より再生用高粘度改質アスファルトの性能を評価したが、すでに現道における試験施工は実施済みである。現在、追跡調査中で、実用化に向けて鋭意努力しているところである。

最後に、この研究において御指導・御協力を頂いた日本道路公団試験研究所舗装研究室の方々に、この紙面をお借りして厚く御礼申し上げる。

— 参考文献 —

- 1) (社)日本アスファルト合材協会：アスファルト合材の現況，No.60，p.15，2001.10
- 2) 日本改質アスファルト協会：改質アスファルトボケットガイド，2001.7
- 3) (社)日本道路協会：プラント再生舗装技術指針，1992
- 4) (社)日本道路協会：舗装設計施工指針，p.264，2001
- 5) (社)日本道路協会：排水性舗装技術指針（案），1996

☆

☆

☆

☆

☆

☆

シェルマルチファルト（熱可塑性ゴム、樹脂を配合しない改質アスファルト）について

(New type modified binder without mixing with elastomer)

日 浅 浩 次*

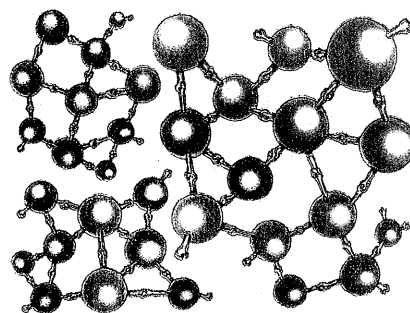
シェルマルチファルトは、従来の改質アスファルトと異なり熱可塑性ゴム/樹脂を全く配合することなく、改質Ⅱ型同等以上のアスファルト混合物特性を示す、環境に優しい新しいタイプのアスファルトです。このシェルマルチファルトは、米国のSHRPの「SUPERPAVE」で規定されるPG（パフォーマンスグレード）で分類され、ヨーロッパ、米国、オーストラリア等では、さまざまなPGが販売されている。現在日本国内で販売されているシェルマルチファルトのPGは、76-28を示す。

またこの「SUPERPAVE」では、アスファルト舗装体が供用中に受ける劣化をシュミレートできる試験方法が示され、これによりシェルマルチファルトは耐ひび割れ、耐ワダチ掘れ性に優れており、ライフサイクルコスト縮減効果が期待出来る。コンクリート橋面舗装に関して新技術に登録され、使用実績も増加している。

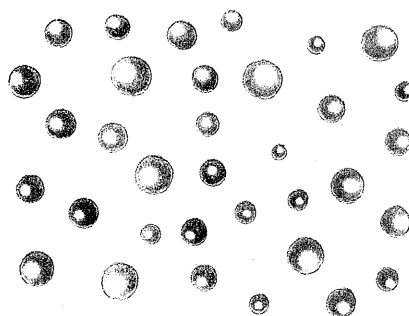
1. はじめに

シェルマルチファルトは、シェルグループで開発された技術を用いてアスファルトを改質し、熱可塑性ゴム、樹脂を配合することなく、優れた供用性能を発揮する全く新しいタイプのアスファルトで、ヨーロッパ、米国、オーストラリアでの実績も多く報告されている。

シェルマルチファルトは、図-1に示す様にアスファルトの原料原油を厳選し、特殊なプロセスを経てアスファルト中に強靱な三次元ネットワーク（概念図）を構成させることにより、従来の改質アスファルトで配合している熱可塑性ゴム/樹脂等を全く配合することなく、アスファルトの感温性（P.I.）を向上させ、高温領域での塑性変形（ワダチ掘れ）抵抗性及び低温領域でのひび割れに対する優れた抵抗性を示します。また熱可塑性ゴム/樹脂を全く配合していないため、リサイクル性にも優れ、環境にも優しいアスファルトと考えられる。



シェルマルチファルト



ストレートアスファルト

2. シェルマルチファルトの性状

シェルマルチファルトの一般性状値とストレートアスファルト60/80、改質Ⅱ型のそれらを表-1に示した。これより低温特性を示す試験のなかで、フラス脆化点において熱可塑性ゴム/樹脂添加の改質Ⅱ型の

図-1 シェルマルチファルトの改質機構（概念図）

*ひあさ こうじ 昭和シェル石油株式会社技術商品部アスファルト課

表－１ シェルマルチファルトの一般性状

試験項目		シェルマルチファルト 代表値	改質アスファルトⅡ型 代表値	ストアス60/80 代表値
針入度 (25℃)	1/10mm	45	55	65
軟化点	℃	63.0	61.0	49.0
針入度指数, PI		1.3	1.5	-0.8
伸度 (15℃)	cm	15	100+	150+
フラース脆化点	℃	-14	-11	-10
引火点	℃	314	320	356
薄膜加熱	質量変化率 %	-0.12	+0.01	-0.01
	針入度残留率 %	69.7	74.3	58.4
密度 (15℃)	g/cnf	1.043	1.049	1.034
動粘度 mm/s	180℃	204	208	74
	160℃	482	397	144
	140℃	1,318	869	332
60℃粘度	Pa・S	2,198	1,420	188
ボイル試験方法による 骨材に対する 剥離面積率 * 1		0	5	98
SHRP試験：				
Tmax	℃	81.4	73.1	65.4
Tmin	℃	-29.1	-22.0	-24.3
パフォーマンスグレード, PG		PG76-28	PG70-22	PG64-22

注) * 1 : 英国TRL方式を簡略化した試験方法で、硬質砂岩に対するアスファルトの剥離面積率を測定した。

脆化温度より、シェルマルチファルトの脆化温度の方が低いのが明らかです。また、シェルマルチファルトの60℃粘度では、AC-100の規格値の2倍の粘度値を示し、AC-100以上の耐流動ワダチ掘れ性能が期待できる。さらにボイル試験法による静的剥離試験結果からも、シェルマルチファルトの骨材に対する優れた付着性能が明らかである。

3. SHRP「SUPERPAVE」について

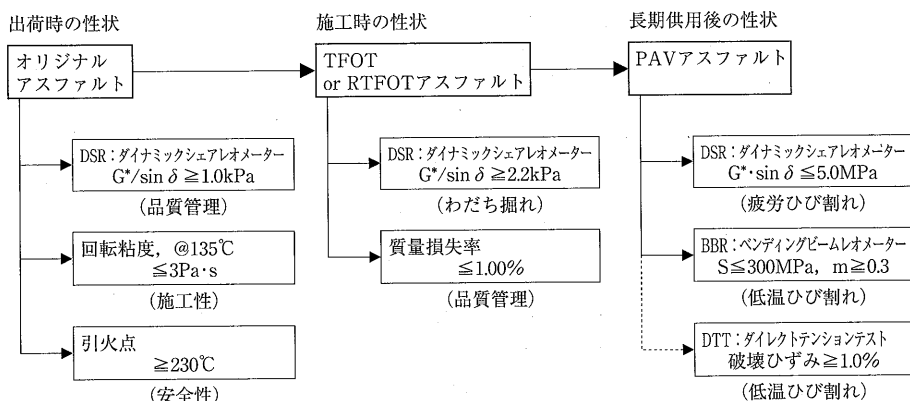
1987年より5年間に亘って米国で実施されたSHRP

(Strategic Highway Research Program) のプロジェクトの中でアスファルトに関する研究「SUPERPAVE」があり、この中では従来の針入度による分類に替えて、新しい試験方法が開発され、その結果により供用可能温度範囲の考え方に基いてアスファルトを分類している。そこではパフォーマンスグレード(PG)の指標が用いられ、そのアスファルトの供用可能最高温度(m℃)と最低温度(-n℃)とすると、PGm-nで表示される。シェルマルチファルトが供用されているヨーロッパ、米国、オーストラリアでは、種々のPGのシェルマルチファルトが販売されているが、現在日本で販売されているシェルマルチファルトはPG76-28で表示され、この場合は供用最高温度が76℃で、最低温度が-28℃を示している。この「SUPERPAVE」では、従来にないアスファルトの性能評価方法が採用されている。図-2に「SUPERPAVE」でのアスファルトの評価フローを示した。これからPAV (Pressure Aging Vessel) 加圧劣化試験により、舗装体で供用5～10年間に相当する劣化をシミュレートできる。レオロジー的な試験方法と、舗装体供用期間5～10年間の劣化を室内でシミュレートさせ、そのレオロジー特性値からPGを決定できる^{1, 2, 3)}。これらの評価フローから、従来の針入度による分類方法よりも現実に近い舗装体の評価が可能となった。

アスファルトをPGで選択する場合は、

- 1) 供用する地域の天候あるいは政策によってきめられる
- 2) 供用する地域の舗装温度
- 3) 供用する地域の気温

等で、決定される。気温で選択する場合は、その供用地域の気温と緯度から舗装温度を導く式も提案され



図－２ 「SUPERPAVE」に規定する評価フロー

ている⁴⁾。

現在使用されている各種バインダーのPGを測定し、その結果を図-3に示した。縦軸は、供用可能最低温度（低温側にあるほど舗装体のひび割れに対する抵抗性が高いと考えられる（-n℃））。横軸は耐流動ワダチ掘れ性能を示しており、高温側（m℃）にあるほど耐流動ワダチ掘れ性に優れている。この図-3からシェルマルチファルトのPG76-28は、非常にバランスの優れた性能を示すのが明らかである。現在舗装体の供用後の評価として、MCI（維持管理指数）やPSI（供用性指数）が用いられ、これらの指数が所定値以下となった場合に舗装体の補修／修繕工事がなされる。これらの指数は、ひび割れ率、ワダチ掘れ深さ、平坦性の実測値から計算式により算出される。ここで、シェルマルチファルトは図-3に示した様に改質Ⅱ型と比較して、低温性（耐ひび割れ性向上（-n℃））、耐流動ワダチ掘れ性（m℃）についてより優れた結果を示している。舗装体に関しても、シェルマルチファルトと改質Ⅱ型を比較した場合、MCI、PSIに関してシェルマルチファルトの舗装体の方が、改質Ⅱ型の舗装体より良好な結果を示すことが予測され、シェルマルチファルトの舗装体の方が、補修期間サイクルを長くで

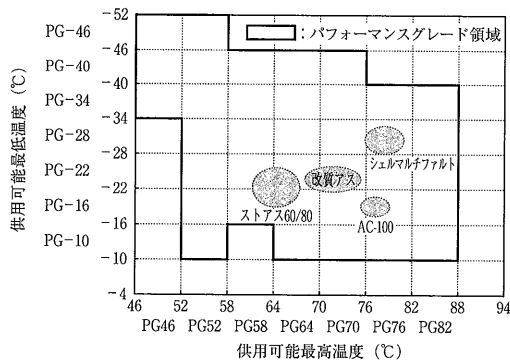


図-3 各種バインダーのパフォーマンスグレード

きる。すなわちシェルマルチファルトの舗装体の方が、供用性能を考慮したライフサイクルコストの縮減効果が、期待できる。

4. 配合試験

4.1 混合物試験

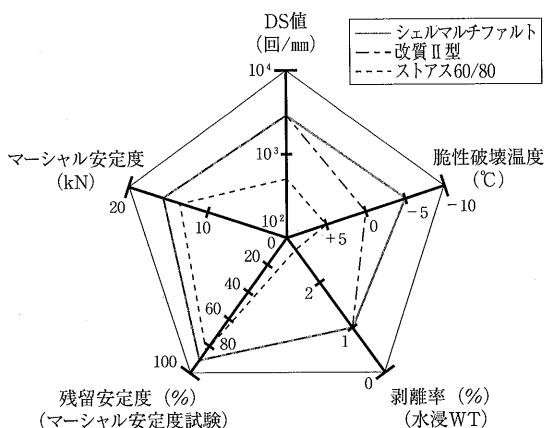
シェルマルチファルトの混合物試験結果を表-2に示した。混合物は密粒（20）で突き固め回数50回とした。また、比較バインダーとしてストレートアスファルト60/80、改質Ⅱ型の試験結果を表-3、図-4に示した。図-4からは、改質Ⅱ型の混合物と、シェルマルチファルトの混合物を比較した時、脆性破壊温度がシェルマルチファルトの混合物の方が5℃低く、耐

表-2 シェルマルチファルト混合物の骨材配合と混合物性状

配合 (wt %)	5号碎石	19.0
	6号碎石	25.0
	7号碎石	12.0
	粗砂	17.0
	スクリーニングス	12.9
	細砂	9.0
	石粉	5.1
	アスファルト量 (OAC, %)	5.5
通過 質量 百分率 (%)	26.5mm	100.0
	19.0mm	98.2
	13.2mm	81.0
	4.75mm	58.2
	2.36mm	45.0
	0.6mm	26.2
	0.3mm	15.3
	0.15mm	8.1
混合物 試験 結果	0.075mm	5.2
	密度 (g/cm ³)	2.367
	空隙率 (%)	4.1
	飽和度 (%)	77.5
	安定度 (kN)	16.2
	フロー値 (1/100cm)	31

表-3 各種バインダーの混合物試験結果

試験項目		シェルマルチファルト	改質Ⅱ型	ストアス60/80
混合物	粒度	密粒アスファルト混合物 (20)		
	アスファルト量 %	5.5		
標準マーシャル試験	安定度 S kN	16.2	16.1	13.8
	フロー値 F 1/100cm	31	30	30
	S/F kN/m	5,226	5,367	4,600
水浸マーシャル試験	残留安定度 %	91.5	92.7	84.3
ホイールトラッキング試験	DS値 回/mm	5,250	5,250	630
水浸ホイールトラッキング試験	剥離率 %	1.0	1.0	2.8
曲げ強度試験	脆化点 ℃	-5	0	5



図－４ シェルマルチファルトの混合物性状

ひび割れ性の向上が期待できる。このことは、前項のライフサイクルコスト縮減効果を予測させるものである。その他の混合物の特性値は、ほぼ同等であるのが明らかであった。

4.2 付着性試験

シェルマルチファルト、改質Ⅱ型、ストレートアスファルト60/80の骨材の違いによる付着性の比較試験を実施した。岩種を硬質砂岩、石英粗面岩とし、試験方法を、JPI法、ボイル法とした。静的剥離試験結果を表－4に示した。これらの結果から、シェルマルチファルトの付着性は骨材の種類に関係無く、良好な結果を示した。また、表－3の水浸ホイール試験結果の剥離率の結果でも、シェルマルチファルトの耐剥離性の良好なことが確認できた。

表－4 付着性試験方法と試験結果

試験法	関連規格	試験内容	評価方法
JPI	石油学会 JPI-5S-27	80℃水槽内で 30分間放置	剥離面積率 (%)
ボイル	英国 TRL方式	炭酸ソーダ1 mol/L 水溶液中で1分間煮沸	剥離面積率 (%)

試験結果

試験法	剥離面積率 (%)			
	JPI法		ボイル法	
	硬質砂岩	石英粗面岩	硬質砂岩	石英粗面岩
アスファルト				
シェルマルチファルト	0	0	0	0
ストレートアス60/80	5～10	90～95	95～100	95～100
改質Ⅱ型	0	5～10	5～10	10～20

4.3 新技術適用

中部地方では、コンクリート橋面舗装においてアスファルト混合物の骨材飛散、剥離がかつて問題となり、

現在は骨材に対する付着性をより向上させた付着性改善バインダーが使用されている。今回この付着性バインダーとシェルマルチファルトの骨材に対する付着性、その他の比較試験を実施し、シェルマルチファルトと付着性改善バインダーでは、混合物試験結果においてほとんど差異が認められなかった。さらにシェルマルチファルトは、付着性バインダーと比べると価格面でメリットがあるために、平成11年3月に中部地方建設局新技術活用評価委員会より試験フィールド事業に活用する新技術⁵⁾として登録された。

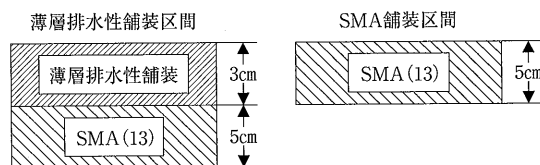
このシェルマルチファルトの新技術登録に伴って採用実績も増加しており、主としてコンクリート橋面舗装に採用され、新技術活用調査・活用後評価結果情報も報告⁶⁾されている。それによると従来の付着性改善バインダーと、シェルマルチファルトとの施工の詳細比較がなされ、シェルマルチファルトの有用性が確認されている。

5. 施工例

シェルマルチファルトは熱可塑性ゴム/樹脂を全く配合していないために、アスファルト合材とした時に、その合材温度が多少低下しても合材の敷き均しが容易なことは、施工業者からも報告されている。そこで、シェルマルチファルトは、最近注目されている碎石マスタックアスファルト（以下（SMA）と略す）合材用のバインダーとして高い可能性を持っていると判断し、そのSMA舗装、合材温度が多少低くても十分施工可能な点より、薄層排水性舗装を実施したので、それらの結果について報告する。

5.1 薄層排水性舗装／SMA舗装

すでに報告⁷⁾の通り、交通量D交通以下（DS要求値1500回/mm以上）の道路で、平成12年3月にシェルマルチファルトを用いて3 cmの薄層排水性舗装と、SMA舗装が施工された。舗装構成は、図－5の通りである。切削深さは、5 cm、9 cmで、5 cm切削部分は主としてコンクリート橋面部を含むために、シェルマルチファルトSMA（13）5 cm施工、9 cm切削部分は



図－5 舗装構成

主として一般道路部分であり、基層にシェルマルチファルトSMA（13）5 cm、その上に3 cmの薄層排水性舗装を施工した。そのときの配合試験の結果は表－5の通りであった。

表－5 シェルマルチファルト混合物の性状

混合物特性	薄層排水性：開粒（13）	SMA（13）
マーシャル安定度（kN）	7.37	7.90
フロー値（1/100cm）	34.0	43.0
残留安定度（％）	89.4	88.6
空隙率（％）	20.1	2.8
透水係数（cm/sec）	2.12×10^{-1}	9.86×10^{-8}
動的安定度：DS（回/mm）	1857	6300
O.A.C（％）	5.0	6.0

平成13年5月に実施した施工後1年経過の路面性状調査結果を表－6に示した。これより、透水量に関し施工厚みが3 cmにもかかわらず、1年経過後の透水量が1000（cc/15sec）を越えている、このことは舗装表面に目つぶれが発生せず、良好な状態で推移している結果と判定された。薄層排水性舗装部分について1年経過後の平坦性、ワダチ掘れについても施工直後とほとんど変化なく、非常に良好な状態と思われた。

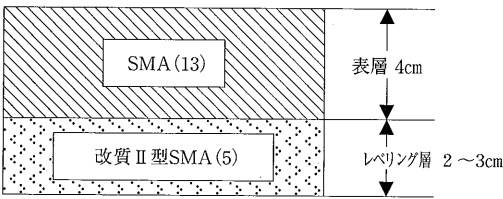
表－6 路面性状調査結果

測定項目	平坦性 (mm)		最大ワダチ掘れ量 (mm)		透水量 (cc/15sec)
	薄層排水性	SMA	薄層排水性	SMA	薄層排水性
施工後	0.81	1.12	2.8	0.9	1,200
3ヶ月後	0.96	1.36	3.2	1.5	1,102
1年後	1.07	1.31	3.8	5.2	1,021

5.2 コンクリート橋面舗装

平成12年9月に愛知県豊橋市内国道1号線吉田大橋の表層にシェルマルチファルトSMA（13）が施工された。橋面のコンクリート床版近くまで切削し、改質Ⅱ型SMA（5）2～3 cmの厚みでレベリング層として施工し、その上にシェルマルチファルトSMA（13）を4 cm表層として施工した。舗装構成は図－6のとおりで、その時の配合試験結果を表－7に示した。これよりシェルマルチファルトSMA（13）は、DS値、透水係数、低温曲げ破断歪等について優れた性能を示すが、明らかとなった。

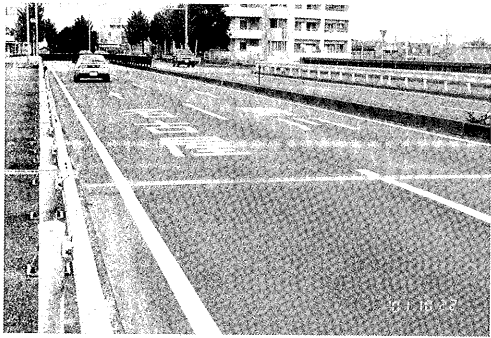
1年経過後の施工現場写真を写真－1，2に示した、これらからは1年経過結果は非常に良好な結果を示している。



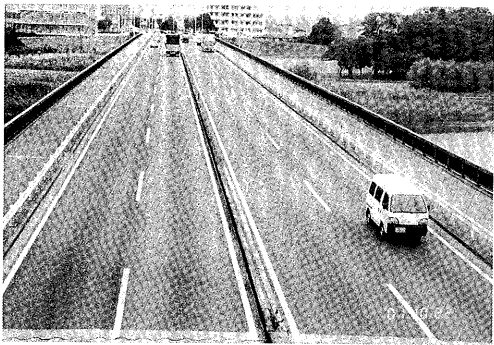
図－6 橋面舗装構成

表－7 シェルマルチファルトSMA（13）
混合物試験結果

試験項目	実測値	参考値
密度（g/cm ³ ）	2.373	
空隙率（％）	3.06	
安定度（kgf）	730	
フロー値（1/100cm）	29	
残留安定度（％）	95.3	
動的安定度：DS（回/mm）	6300	3000以上
水浸ホイール（剥離率：％）	0.0	
透水係数（2.5気圧：15cm/sec）	6.57×10^{-8}	1×10^{-7} 以下
透水係数（1.5気圧：15cm/sec）	不透水	不透水
曲げ破断歪（－10℃）	7.93×10^{-3}	6×10^{-3} 以上
O.A.C（％）	6.3	

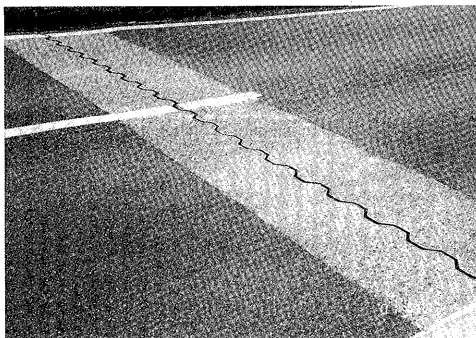


施工後1年経過舗装表面異常無し

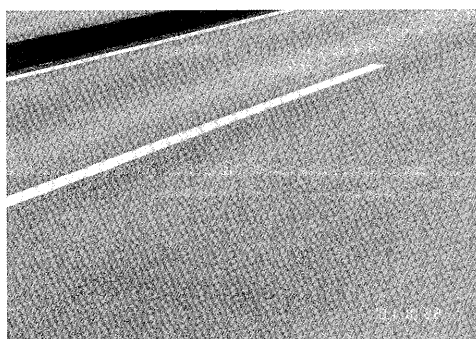


施工後1年経過舗装表面異常無し

写真－1



施工後1年経過ジョイント部異常無し



施工後1年経過舗装表面異常無し

写真-2

6. まとめ

これまでシェルマルチファルトについて紹介した内容は、以下の通りにまとめることができる。

- 1) シェルマルチファルトは、従来の日本の規格にない米国のSHRP「SUPERPAVE」の規格により供用条件に近い条件（PAV）で促進劣化させたアスファルトの粘弾性特性を測定することによりPGを決定した。今回紹介したシェルマルチファルトのPGは76-28で、現在の改質Ⅱ型よりひび割れ性、耐流動ワグチ掘れ性に優れ、MCI、PSIにおいても改質Ⅱ型より優れた結果をもたらし、供用性能で評価した場合、ライフサイクルコスト縮減に寄与できる可能性が高い。
- 2) シェルマルチファルトは骨材に対する付着性に優れているために、中部地区でのコンクリート

橋面舗装について、従来の付着改善バインダーに替えて使用でき、このことは新技術の中でコスト縮減方法として、試験フィールドで認められている。

- 3) 最近注目されているSMA合材について、シェルマルチファルトを配合すると、その合材の特性として、高いDS値、大きな低温破断歪、不透水性等の要求項目を満足させられるSMA舗装が可能になる。
- 4) シェルマルチファルトを使用すると、その合材温度が多少低下しても施工が可能のために、薄層排水性舗装が可能であり、その結果重交通道路以外の道路での環境対策低騒音、交通安全対策用舗装が可能になる。
- 5) シェルマルチファルトは、熱可塑性ゴム/樹脂を全く配合していないために、環境に優しく、リサイクル性にも優れたバインダーである。

最後にこの稿を発表するにあたり、御協力をいただいた伊渡辺組関係者並びに国土交通省名古屋国道工事事務所岡崎国道維持出張所関係者に、心より感謝申し上げます。

—— 参考文献 ——

- 1) 新田弘之，SHRPバインダー試験の測定原理と背景，アスファルト誌39巻，No.190（'97）P3～9
- 2) 塚越徹，SUPERPAVEによるわが国のアスファルトの評価，アスファルト誌39巻，No.190（'97）P10～17
- 3) 遠西智次，新田弘之，坂本浩行，片脇清，アスファルトバインダーの劣化試験方法に関する研究，舗装30-6，1995，P3～7
- 4) 新田弘之，SUPERPAVE最新情報，道路建設，11/10，621巻，P56～57（平成11年10月）
- 5) 建設省中部地方建設局新技術活用委員会事務局，登録No.CB-980113，技術名称：マルチファルトを用いたコンクリート橋面舗装のコスト縮減工法
- 6) www.cbr.mlit.go.jp/chugi/
- 7) 堤弘，源厚，日浅浩次，マルチファルトを使用した薄層排水性舗装の施工について，第24回日本道路会議（'01）一般論文集（C）P204～205

改質アスファルトについて ～Xiaoho Lu氏の学位論文より～

今回は、改質アスファルトに関して、スウェーデンの報文を紹介します。

舗装の供用性を向上させる目的で、プラスチック系やエラストマー系のポリマーをアスファルトに添加して改質する方法が多く用いられています。しかし、ポリマー改質アスファルトの性状については不明確な部分が多く、かつ、今までの試験では適切に性能を評価できていないと報文で指摘しています。SHRPで使用

されるレオメーターなどを用いて粘弾性状に着目して性状評価を試みており、基礎的なデータから体系的に報告がなされています。

我が国においても、SHRPの仕様に基づいたアスファルトの性状について検討を進めて行く際に、非常に参考になると思います。

(研究グループ代表幹事：峰岸順一)

アスファルト舗装技術研究グループ名簿

* は幹事

峰岸順一 東京都土木技術研究所技術部舗装研究室

* 阿部長門 東亜道路工業(株)技術研究所

市岡孝夫 前田道路(株)技術研究所

岩塚浩二 (株)パスコ道路センター

上野貞治 ニチレキ(株)技術研究所

打田幸平 日進化成(株)事業本部

遠藤哲雄 鹿島道路(株)技術研究所

江向俊文 前田道路(株)技術研究所

鎌田孝行 常盤工業(株)技術研究所

* 金井利浩 鹿島道路(株)企画部

小柴朋広 世紀東急工業(株)技術研究所

* 小関裕二 大林道路(株)技術研究所

* 佐々木巖 独立行政法人土木研究所

佐々木昌平 日本舗道(株)技術開発部

佐藤康彦 昭和シェル石油(株)

佐藤雅規 ジオサーチ(株)

島崎 勝 大成ロテック(株)技術部

神野正博 ニチレキ(株)道路エンジニアリング部

鈴木秀輔 大成ロテック(株)技術研究所

鈴木康豊 (株)パスコ道路センター

鈴木 徹 大林道路(株)技術研究所

高橋茂樹 日本道路公団試験研究所舗装研究室

高橋光彦 大成ロテック(株)技術研究所

武本敏男 東京都土木技術研究所技術部化学研究室

* 立石大作 日石三菱(株)中央技術研究所

東本 崇 大林道路(株)技術研究所

* 玉木琢雄 大成ロテック(株)技術部

中村 健 長岡技術大学

長谷川淳也 日本道路(株)

林 信也 鹿島道路(株)技術研究所

舟根 毅 常盤工業(株)技術研究所

前田利明 東亜道路工業(株)技術研究所

* 増山幸衛 世紀東急工業(株)技術部技術一課

村田信之 日本舗道(株)企画部

焼山明生 日進化成(株)製品技術部

山崎 剛 世紀東急工業(株)技術研究所

山脇宏成 (株)ガイアートクマガイ技術研究所

保本敏伸 ニチレキ(株)技術研究所

吉村啓之 前田道路(株)技術研究所

計39名

改質アスファルトについて ～Xiaoho Lu氏の学位論文より～

立 石 大 作*・佐々木 昌 平**・武 本 敏 男***・佐々木 徹****

はじめに

アスファルト舗装技術研究グループ材料班では、ポリマー添加による改質アスファルトに関しワーキングを行ってきました。今日、わが国に限らず諸外国においても改質アスファルトの使用量は増加しており、それに伴い研究開発も活発に行なわれ数多くの論文が発表されていますが、改質アスファルト全般を体系立ててまとめた論文は非常に少ないのが現状と思われます。

このような中、今回紹介する論文はスウェーデン王立大学にてXiaoho Lu氏が取得した学位論文であり、動的粘弾性状、ポリマー改質材の分散状態および相分離、低温性能、劣化特性などをテーマに、改質アスファルト全般を系統立ててまとめられており、改質アスファルトの研究開発に携わる方々、特にこれから研究開発に携わる方々にとっては、おおいに参考になる論文と考えました。

紹介するXiaoho Lu氏の学位論文は総説部と各論部（6編の研究論文）から成りますが、今回、その総説部を取りあげます。紹介に当たっては総説部をさらに2分割し、改質アスファルトに対する一般論をPart I、Xiaoho Lu氏の実験内容をPart IIとします。

なおこれ以降、Xiaoho Lu氏の表現に従いポリマー添加による改質アスファルトをPMB（Polymer Modified Bitumen）と表記します。また掲載した図の多くは、Xiaoho Lu氏が別途Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists（Vol.68）へ投稿した論文中的図から引用しています。これはより鮮明な図を掲載するためであり、図の内容は本学位論文と同一であることは確認済みです。

論文名 ON POLYMER MODIFIED ROAD BITUMENS（ポリマー改質ビチューメン）

著 者 Xiaoho Lu

出 典 PB Report：PB-98-162969

Part I ポリマー改質ビチューメンの一般論

1. イントロダクション

ビチューメンは100年以上前から舗装用バインダーとして使用されてきたが、昨今の交通量、輪荷重およびタイヤ圧の増大により、舗装体が設計期間より早く壊れてしまうことが問題となっている。具体的にはわだち掘れ、ひび割れ、骨材飛散などの発生である。これら問題に対応するためにポリマー改質ビチューメン（PMB）が開発された。PMBはビチューメン中にポリマーを物理的に攪拌すること、または化学反応を利用することで得られ、その性状はビチューメン、ポリマー、ポリマー量、製造方法に大きく依存する。

ビチューメンの改質にポリマーを使用することは新しい知見ではなく、1823年、英国のコークス会社が天然ゴムを含有するバインダーの特許を取得している。また第二次世界大戦後、ビチューメンへの添加材として合成ゴムが天然ゴムと競合するようになり、近年では様々なタイプのポリマーによるビチューメン改質が着目されている。しかし数多くの報告があるにもかかわらず、PMBの性状はいまだ明確になっていない。それはビチューメンは数多くの成分を含む混合物であること、またビチューメンとポリマーの相互作用の複雑さに起因している。

2. ビチューメン改質に用いられるポリマー

ポリマーを用いビチューメンを改質する目的は舗装

*たていし だいさく 日石三菱(株)中央技術研究所

**ささき しょうへい 日本舗道(株)技術開発部

***たけもと としお 東京都土木技術研究所技術部

****ささき いわお 独立行政法人土木研究所材料地盤研究グループ

体の供用性を向上させることにある。ポリマーにはプラスチック系、エラストマー系など数多くの種類が存在するが、ビチューメンの改質に適したものは限られており、その選択においてはビチューメンとの相溶性、貯蔵後の性能、供用後の性能、対費用効果などを考慮する必要がある。

熱可塑性プラスチックとしては、ポリエチレン、ポリプロピレン、エチレンビニルアセテート (EVA) などが一般的である。これらをビチューメンに混合した場合、供用下での粘度やスチフネスが増大する。しかし多くの場合、ビチューメンの弾性率を十分に上げることはできない。また加熱溶融下でこれらポリマーはビチューメンより分離する傾向にある¹⁾。

熱硬化性プラスチックとしては、アミド樹脂、エポキシ樹脂、ポリウレタン樹脂などがあげられる。これらは3次元ネットワークを形成しビチューメンの強度を高める。特にエポキシ樹脂は耐久性の面で際立った性能を示すが、非常に高価なため限られた部分でしか使用されていない^{2), 3)}。

天然ゴムまたはスチレン-ブタジエンコポリマー (SBR)、スチレン-ブタジエン-スチレンブロックコポリマー (SBS) のようなエラストマーがPMBに使用される。この中でSBSがビチューメンの改質材として最も注目されている。SBSはポリスチレン-ポリブタジエン-ポリスチレンの分子構造を持ち、ポリブタジエンのマトリクス中に球状のポリスチレンの凝集部が存在する。この凝集部は物理的架橋点の役割を果たし、ポリスチレンのガラス転移温度 (約100℃) 以上においては消滅するが冷却すると復元する特徴を持つ。ネットワークを形成する能力ならびに熱可塑性を有しているためSBSは改質材として魅力あるポリマーとなっている。

再生タイヤからのクラムもビチューメンの改質材である。しかしながらビチューメン中へ分散させることが非常に難しく¹⁾、クラムを膨潤させるために非常に高温で攪拌を行う必要がある。またこのタイプの材料は、混合物における骨材としての利用も試みられている⁴⁾。

3. PMBの評価法

従来のPMBに対する評価試験方法には、ASTM, DIN, その他認知度の高い試験法、またはこれらを改良した試験法が適用されている⁵⁾。これらの試験方法 (針入度、軟化点など) が採用されてきた理由として、

これらが長年にわたり用いられバックデータが豊富なこと、また試験方法が簡便であり、試験費用が安いことなどが挙げられる。

しかし残念ながらPMBの優れた性状、特にその粘弾性状は従来の試験方法では評価できず、レオメーターによる試験が有効な手法となる。この種の試験装置は幅広い温度領域、周波数領域において測定評価でき、様々な粘弾性パラメーターが得られる。例えば動的弾性率、位相角、クリープスチフネスなどである。

レオメーターは非常に高価で、またルーチン試験としては適さないとみなされてきたが、最近の研究ではレオロジー評価がバインダー性能を評価するには有用であることがわかってきている。

4. PMBのスペック

多くの国において、現在のビチューメンスペックは粘度グレードまたは針入度グレードである。すなわち粘度、針入度、伸度、軟化点などに基づいたものである。しかしこれらの指標では混合物性状と関連付いたビチューメンの性状を十分には評価できない。またAnderson氏らは、これらのスペックや試験法は、低温性状の評価試験が欠落していること、供用性が加味されていないこと、粘度の測定方法が適切ではないこと、長期供用下での劣化を考慮していないことなどの欠点を指摘している⁶⁾。

PMBの試験法はビチューメンを対象としてきた従来の試験法および引張り試験、弾性回復試験のようにこれらを補う試験法で構成されている。また貯蔵時のポリマーの分離程度を評価するため、相溶性試験が取り入れられることもある^{7), 8)}。

理想的には、バインダーのスペックは迅速性、信頼性と共に、簡便に実施できる試験に基づくべきである。従来の試験方法は、迅速性、簡便性には適応しているが信頼性は疑問視されている。これが米国SHRPによる新たなスペック導入の理由であり、またBBR (Bending Beam Rheometer), DTT (Direct Tension Test) のような試験装置が新たに開発された理由である。これら装置は損失弾性率、貯蔵弾性率、スチフネスおよび破断時の変位のような基本的な物理特性を測定し、得られたパラメーターはビチューメンの耐わだち掘れ性、耐疲労クラック特性、耐温度クラック特性に関わる性能に関連付けられている⁶⁾。またビチューメンの劣化を薄膜加熱試験 (TFOT) または回転式薄膜加熱試験 (RTFOT)、さらには加圧劣化試験

(PAV) にてシミュレートしている。これら新しいSHRPスペックおよび試験法は、従来試験方法よりも供用下でのバインダー性能の予測において適したものとなると期待できる。

しかし現時点ではすべてのPMBに対し有効なスペックを作ることは困難である。それはPMBの性状がベースピチューメンの種類および性質、ポリマー種、ポリマー添加量などにより複雑に変化するためである。そのためPMBのスペックを改善するにはさらに研究が必要である。

PartII PMBの実験内容 (概要)

1. 実験に使用した材料について

1-1 材料

1-1-1 ビチューメン

実験に使用した5種類のビチューメンの原産地、物理性状、化学性状を表-1に示す。

表-1 ベースピチューメンの性状

ビチューメンコード	A	B	C	D	E
グレード	B85	B180	B180	B180	B180
産地	ベネズエラ	ベネズエラ	メキシコ	アラビア	ロシア
物理性状					
針入度 @25℃, dmm	84	183	180	149	188
軟化点 ℃	46.0	38.8	41.0	42.8	44.3
動粘度 @135℃, mml/s	354	210	208	236	172
フラース脆化点 ℃	-11	-16	-17	-16	-22
針入度指数 (PI)	-1.00	-0.89	-0.09	-0.10	1.29
化学性状					
飽和分 (%)	11.3	13.0	10.4	10.9	16.9
芳香族分 (%)	54.7	56.4	64.8	63.6	51.1
レジン分 (%)	18.7	17.3	13.1	14.8	18.3
アスファルテン (%)	15.4	13.3	11.7	10.7	13.7
数平均分子量 Mn	650	600	750	740	720
重量平均分子量 Mw	1300	1300	1400	1300	1800
Mw/Mn	2.1	2.1	1.8	1.8	2.5

1-1-2 ポリマー改質材

実験に使用したポリマー改質材を表-2に示す。

表-2 使用したポリマー改質材

改質材	製品名	製造元
SBS	Kraton D1101	Shell
	Kraton D1184	Shell
SEBS	Kraton G1650	Shell
EVA	Elvax 260	Dupont
	Elvax 420	Dupont
EBA	(記載なし)	(記載なし)

1-2 PMBの製造

PMBの製造条件を表-3に示す。

表-3 PMBの製造方法

加熱温度	改質材添加量	攪拌機械	攪拌速度	攪拌時間
175℃	3, 6, 9%	低せん断ミキサ	125rpm	2時間

2. 実験内容

実験は以下の5つの項目に関し行った。

2-1 動的粘弾性試験 (DMA : Dynamic Mechanical Analysis)

レオメーター (RDA II) を使用し、角周波数0.1~100rad/s、試験温度-30~135℃で測定した。測定では直径8mmまたは25mmの平行プレートを使用し、前者の場合、試料厚は1.5mm、後者は1.0mmとした。

2-2 低温クリープ試験 (Creep Test)

低温クリープ試験はSHRPのBBR試験を用い実施した。長さ125mm、幅12.5mm、厚さ6.25mmの供試体を、試験温度-10℃、-15℃、-25℃、-35℃でクリープ試験を実施し、クリープスチフネス (S値)、クリープ率 (Creep Rate : m値) を求めた。

2-3 組成分析 (TLC-FID)

組成分析は薄層クロマト分離-水素炎イオン化検出装置 (TLC-FID) を用いて行った。すなわちシリカゲルまたはアルミナゲルを表面に焼結した石英のロッド上で、極性の異なる3種の展開溶媒にて展開することによりビチューメン成分を分離した。3種の展開溶媒は、n-ヘプタン、トルエン、およびジクロロメタンとメタノールの混合液 (容積比95:5) とし、それぞれの溶媒により、飽和分、芳香族分、レジン分を分離した。その後、水素炎イオン化検出装置を用い各成分の定量を行った。

2-4 貯蔵安定性評価試験

直径35mm、高さ190mmのアルミ製の筒にPMBを90g入れ、180℃で3日間貯蔵した。室温へ冷却した後、供試体を上部、中部、下部へと3分割し、上部と下部におけるPMBの軟化点、レオロジー特性を測定し、貯蔵時のポリマーの分離に対する安定性 (貯蔵安定性) を評価した。

2-5 蛍光顕微鏡観察

蛍光顕微鏡観察によりPMB中のポリマーの相溶性、分散状態を観察した。

3. 実験結果

3-1 動的粘弾性状とポリマーネットワーク

PMBの温度と動的粘弾性状の例を図-1, 2に示す。ポリマーの添加によりビチューメンの貯蔵弾性率 (Storage Modulus) が增大するとともに、位相角 (Phase Angle) の減少が見られる。またこの現象には温度依存性が見られ、ポリマーの種類、添加量、ビチューメンの種類などの影響も受ける。

ポリマーがネットワークを形成するか否かはベースビチューメンの性状、ポリマーの種類および添加量、製造時のブレンド方法などの因子が影響する。例えば図-2において、ポリマー添加量が小さい場合 (SBS: 3%) や、ビチューメンEをベースとしたPMB (SBS: 6%) は位相角の極小値が観察されず、ポリマーネットワークが存在しないか、またはそのネットワークの形成が弱いと判断できる。

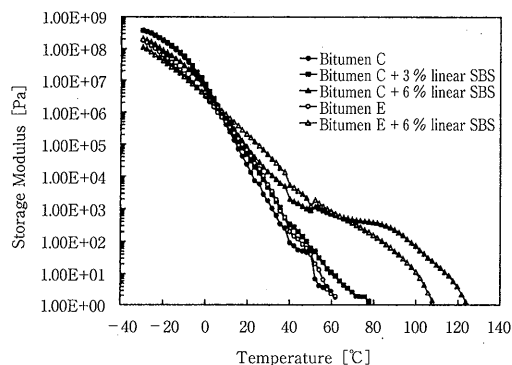


図-1 温度と貯蔵弾性率 (Storage Modulus) の関係

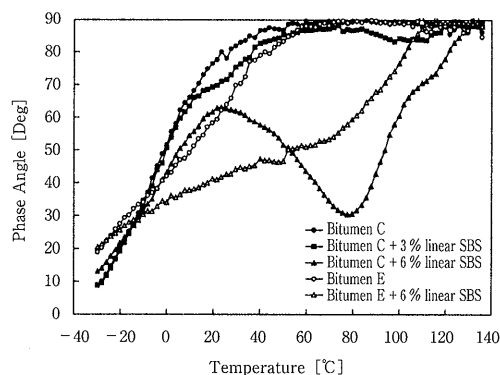


図-2 温度と位相角 (Phase Angle) の関係

SHRPにおけるわだち掘れ抵抗性に対する指標である $G^*/\sin \delta$ は、ビチューメンにポリマーを添加することで上昇する。図-3, 4に示すようにその上昇程度

はやはりビチューメンの性状、ポリマーの種類および添加量に大きく影響される。またヨーロッパではわだち掘れ抵抗性の指標として軟化点を使用する国が存在するが、図-5に示すように軟化点と $G^*/\sin \delta$ 間に相関は見られなかった。ただし、同じビチューメンをベースとして製造したPMBに限定した場合、その相関 ($R=0.84\sim0.95$) は高かった。

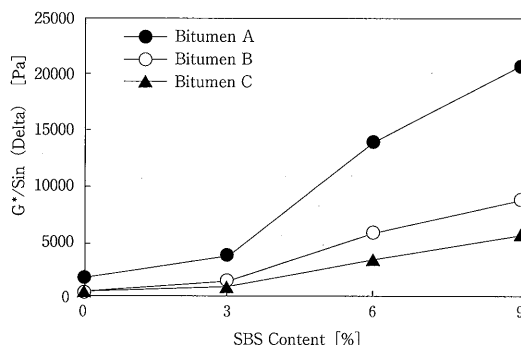


図-3 ベースビチューメンによる改質効果の違い (その1)

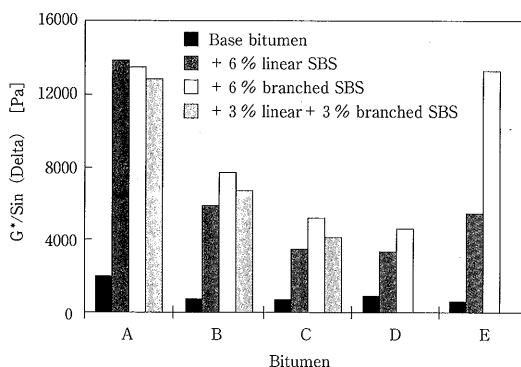


図-4 ベースビチューメンによる改質効果の違い (その2)

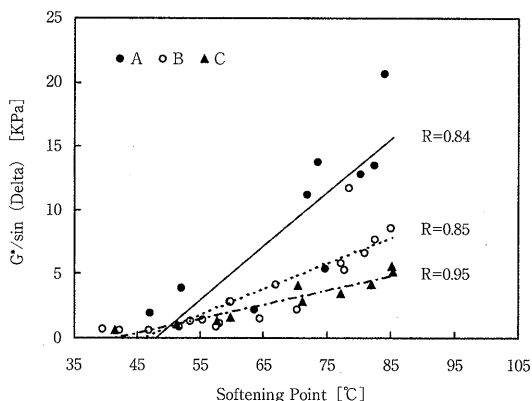


図-5 軟化点と $G^*/\sin \delta$ の関係

図-6, 7は測定温度-30℃～135℃でのPMBの位相角と複素弾性率 (Complex Modulus) の関係を示したものである。ポリマー添加量が少ない場合 (3%), その改質効果は小さくベースピチューメンの性状に近い。一方, ポリマー添加量が大きくなると (6%, 9%), 動的粘弾性状は大きく変化し, 複素弾性率の低下に伴う位相角の低下が見られるようになり, ポリマーのネットワークの形成がやはり観察される (図-6)。

ポリマー種による動的粘弾性状の変化を見た場合, SEBSやSBSを使用したPMBは位相角が小さな領域 (10度程度) より複素弾性率がピチューメンの複素弾性率から外れる。一方, EVAやEBAの場合位相角が約50度まではピチューメンの複素弾性率と同じレベルである (図-7)。すなわちSEBSやSBSはピチューメンの動的粘弾性状特性を幅広い温度領域において改質する一方, EVAやEBAの改質効果は主に高温下においてのみ見られることが確認された。

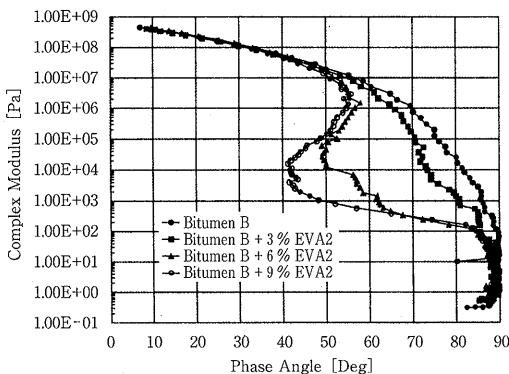


図-6 位相角 (Phase Angle) と複素弾性率 (Complex Modulus) の関係 (その1)

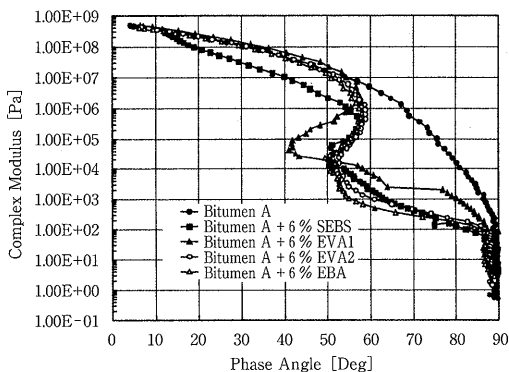


図-7 位相角 (Phase Angle) と複素弾性率 (Complex Modulus) の関係 (その2)

3-2 相分離

PMBは高温貯蔵時にポリマーに富む相とアスファルテンに富む相に分離する場合がある。分離状態は蛍光顕微鏡により直接観察できるが, その分離程度を2相のレオロジー特性の差異を指標に数値化することも可能である。

図-8は複素弾性率 (G^*) を用い分離指数 I_s (Separation Index) を定義した例である。180℃で3日間貯蔵した試料の上層と下層の複素弾性率を測定し, その比の対数を分離指数として定義した。貯蔵時にポリマーが分離しやすいPMBほどこの分離指数は大きくなる。

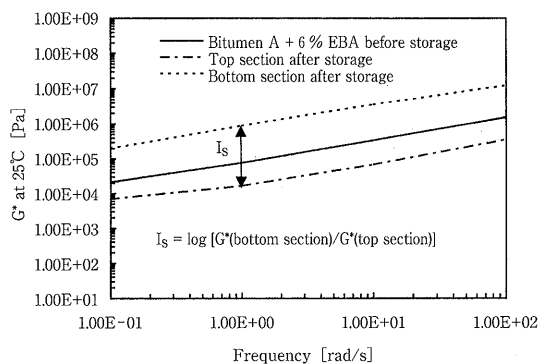


図-8 複素弾性率 (G^*) を利用した分離指数の定義

蛍光顕微鏡による観察の結果, ポリマーが微細に分散したPMBの場合, その分離指数は小さく貯蔵時の安定性が高いことが確認された。すなわち相分離はPMB中のポリマーの分散状態に大きく影響を受けることが確認された。

またベースピチューメンの組成も相分離に大きく影響する。図-9, 10はベースピチューメンの組成と分離指数の関係を示したものである。図より芳香族分 (Aromatics) が少ない場合やアスファルテン分 (Asphaltenes) が多い場合, 分離指数は大きくなる傾向に有り, このようなピチューメンはPMBのベースに適さないことがわかる。

また高温貯蔵下では相分離を抑制するためにPMBを攪拌すること, さらにポリマーの酸化劣化を防止する設備を備えるべきである。

3-3 低温性状

ピチューメンの低温性状のパラメータとしてガラス転移温度 (T_g) が定義される。一般に T_g はDSC (示差熱分析: Differential Scanning Calorimetry) により

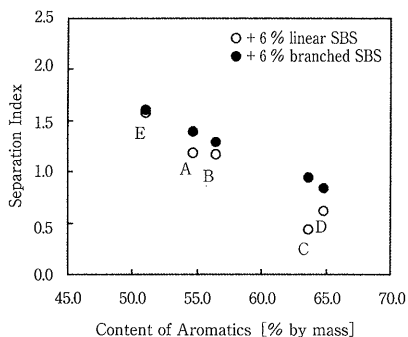


図-9 組成成分(芳香族分)と分離指数の関係

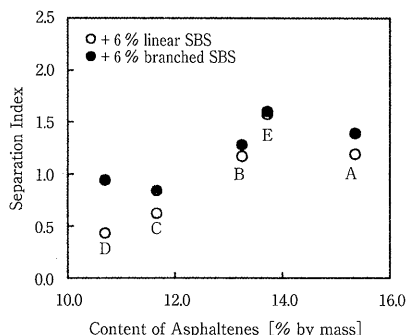


図-10 組成成分(アスファルテン)と分離指数の関係

求められるが、ほとんどのPMBの場合、DSC測定で得られるチャート上に、明確なピークが観察されず T_g を決定することが困難であった。そこで T_g をDMAにより求められる損失弾性率がピーク値となる温度より決定した。図-11に結果を示す。一般にSBSやSEBSで改質したPMBの T_g はベースピッチューメンより低く、低温性能は改善されることがわかる。一方、EVA、EBAの場合、 T_g の低下は小さく低温性状の改善はSBSやSEBSに比べ期待できない。

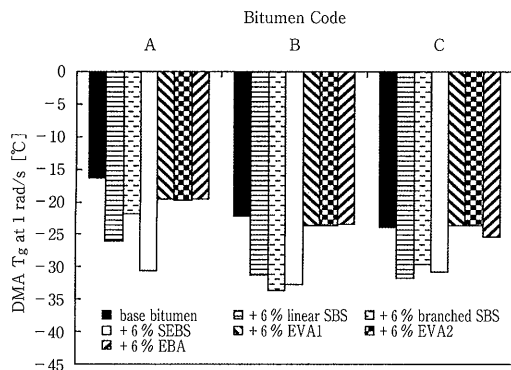


図-11 改質材添加による T_g の低下効果

SHRPではバインダーの低温性状をクリープスチフネス(S値)と応力緩和能力(m値)にて定義する。図-12はPMBのポリマー添加量とS値の関係を示したものであり、ポリマー添加の効果が明確に分かる。PMBのS値はベースピッチューメンより小さく、ポリマーの添加量が多いほどその値はさらに小さくなる傾向がある。

低温性能を示す各種のパラメータ間の相関についても検討を行った。図-13は、低温下におけるS値と複素弾性率の関係であるが、その相関係数は $R=0.80$ と高かった。

また44種の試料を評価した結果、SHRPの供用最低路面温度とフラース脆化点は相関係数 $R=0.86$ 、供用最低路面温度と動的粘弾性試験器によるガラス転移温度(T_g)は相関係数 $R=0.62$ の関係を示した。これらの相関係数を低下させる要因としては、添加ポリマーがSBS、SEBSであること、およびポリマー添加量が多いこと(6%、9%)などが挙げられた。

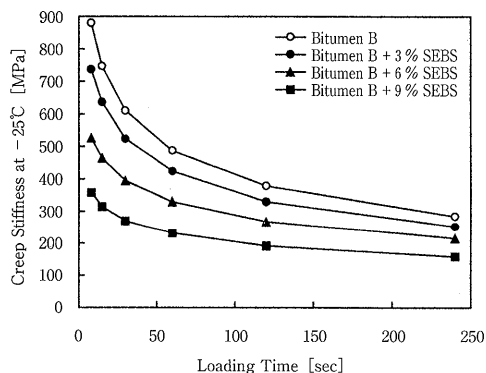


図-12 改質材添加によるクリープスチフネスの低下効果

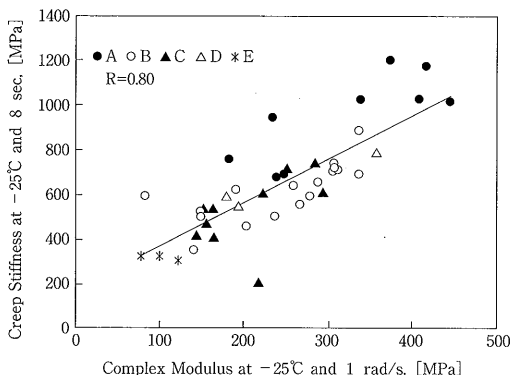


図-13 複素弾性率(Complex Modulus)とクリープスチフネスの関係

3-4 劣化と動的粘弾性状

図-14, 15は回転式薄膜加熱試験(RTFOT)による劣化前後のPMBのレオロジー特性の変化をDMAを用い検討した結果である。図-14に示すように劣化によりベースピチューメンの複素弾性率は上昇するが、SBSを6%添加したPMBの場合、劣化による複素弾性率の変化には温度依存性が見られ、約60℃以上の温度領域ではベースピチューメンより複素弾性率は低下した。

一方、図-15に示すようにベースピチューメンの位相角は劣化により低下するが、約60℃以上となるとほぼ90度に収束した。これに対しPMBの場合、位相角の極小値は劣化により大きく上昇し、その特徴が消失する傾向にある。これは劣化によるポリマーネットワークの破壊、消失を意味すると考えられる。

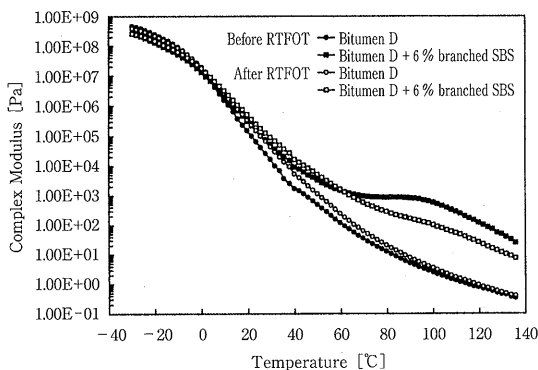


図-14 促進劣化による温度と複素弾性率 (Complex Modulus) の関係の変化

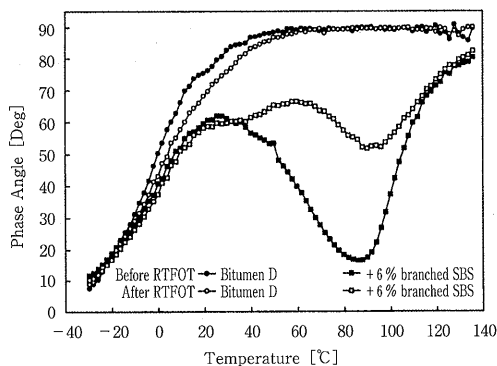


図-15 促進劣化による温度と位相角 (Phase Angle) の関係の変化

図-16は、測定温度と劣化指数の関係を示したものである。劣化指数は、ベースピチューメンが常に1

以上の値を示すことに対し、PMBは測定温度によりその結果が異なる。

従来、ピチューメンの劣化特性は、劣化前後の物理性状やレオロジー特性の比 (劣化指数) で定義され、劣化指数が大きいほどピチューメンの劣化が大きいとされてきた。しかしPMBに対しては、このような劣化指数は有効な指標ではなく、PMBの劣化特性を特徴付ける指標を見出すことは容易でないことが分かる。

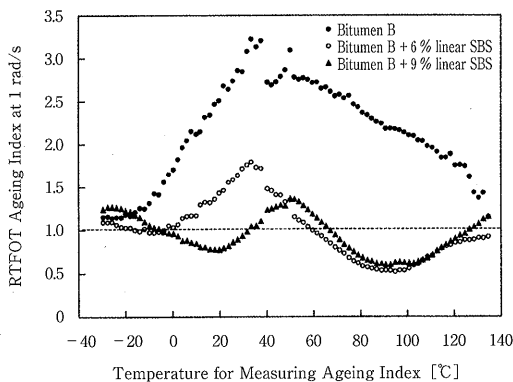


図-16 分離指数の温度依存性

4. 結論

種々のPMBの基本性状を調査し得られた結果より本論文の結論を以下に示す。

- (1)ピチューメンのレオロジー性状はポリマー添加により改良される。粘弾性状の改善は、位相角や貯蔵弾性率などの動的粘弾特性から得られる種々のパラメータで確認される。ポリマー添加量が大きなPMB (6%) の温度-位相角の関係では、その位相角に最大値と最小値が現れた。またこのような弾性挙動に関する特徴はベースピチューメンや添加ポリマーの特性に大きく影響を受けた。一方、ベースピチューメンやポリマー添加量が小さい (3%) PMBでは、このような最大値、最小値は観察されず、単調な変化を示した。
- (2)加熱溶解下ではPMB中のポリマーが浮き上がる、いわゆる相分離が観察される場合がある。この現象はポリマー量、ベースピチューメン、ポリマー性状に影響を受ける。ポリマー量が少量 (3%) では、ピチューメン中にポリマーが分散した形態となり、ポリマー混入量の増加に伴い、連続したポリマー相が観察されるようになる。ポリマーが連続相となるための必要添加量は、ベースピチューメン、ポリマーの性状によるところが大きい。

また分散相の形態にかかわらず、ポリマー混入量が増えるほどPMBの貯蔵安定性は損なわれた。組成的には芳香族分が多く、アスファルテン量の少ないベースピチューメンを用いることにより、相溶性が良く、貯蔵安定性の高いPMBが得やすかった。

- (3)ポリマーによる改質は、S値、フラス脆化点、ガラス転移温度など低温性状を改善する。改善の程度は、ベースピチューメン、ポリマーの種類、混入量によりさまざまである。熱可塑性樹脂(EVA及びEBA)とエラストマー(SBS及びSEBS)の比較では、後者の方が低温性状を改善しやすい。また同じポリマーを使用しても、ベースピチューメンによりPMBの低温性能の改善程度は異なっていた。
- (4)促進劣化試験はピチューメンの酸化とポリマーの変質を引き起こし、結果としてPMBの微細構造とレオロジー性状に変化が生じた。この変化はポリマー種とその添加量に大きく依存した。熱可塑性樹脂(EVA及びEBA)、低濃度のエラストマー(SBS及びSEBS)添加によるPMBでは、劣化により動的弾性率は上昇し、弾性的挙動が強くなった(位相角が低下した)。劣化程度の指標としての劣化指数はベースピチューメンの場合には適用できるが、PMBの場合、その適用は有用ではない。なぜなら劣化指数は試験温度と測定周波数の影響を大きく受け、条件によって結論が異なるためである。

おわりに

PMBの動的粘弾性状、ポリマーの分散状態および相分離、さらには低温性能特性、劣化特性など、Xiaoho Lu氏に取り上げた各テーマは、PMBの研究開発に携わっている方々にとって経験済みの内容も存在したと思います。しかし冒頭にも述べたように、PMB全般をこれほど体系立ててまとめ上げた論文は数少なく、その価値は大きいものと考えます。

最後にXiaoho Lu氏の学位論文の各論部(6編の研究論文)に関し、文末に研究論文のタイトルを紹介し今回の材料班の報告を終了することとします。さらに興味のある方はこれらの論文を参考にしていただければ幸いです。

- 1) Whiteoak, D. "The Shell Bitumen Handbook". Shell Bitumen UK, 1991
- 2) Downes, J.W. "Modified binders to the year 2000". Proceedings of 6th International Asphalt Conference, Sydney, Australia, January 1986, pp.35-39
- 3) Dinnen, A. "Epoxy bitumen binder for critical condition". Proceedings of Eurobitume Symposium, Cannes, October 1981, pp.294-296
- 4) Lewandowski, L.H. "Polymer modification of paving asphalt binders". Rubber Chemistry and Technology, 67 (1994) 447-480
- 5) Isacsson, U. and Lu, X. "A compilation of test methods and specifications of polymer modified bitumens for road applications". TRITA-IP AR 95-26, Royal Institute of technology (Sweden), 1995
- 6) Adnerson, D.A. and Kennedy, t.W. "Development of SHRP binder specification". Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists, 62 (1993) 481-507
- 7) Berenguer, B. "Significant methods based on traditional tests or based on modern mechanical or rheological tests". Proceedings of RILEM Residential Seminar, Dubrovnik, Yugoslavia, September 1988, pp.259-268
- 8) Muncy, H.W, king, G.N. and Prudhomme, J.B. "Improved rehological properties of polymer-modified asphalts" Asphalt rheology-Relationship to Mixture, ASTM STP 941, Edited by Briscoe, O.E, American Society for testing and Materials, Philadelphia, 1987, pp.146-165

<付 録>

著 者 Xiaoho Lu

出 典 PB Report : PB-98-162969

Paper I : Testing and appraisal of polymer modified road bitumens-start of art (ポリマー改質ピチューメンの試験法および評価法)

Paper II : Compatibility and storage stability of styrene-butadiene-styrene copolymer modified bitumens (SBSにより改質した

ビチューメンの相溶性と貯蔵安定性)

PaperⅢ: Rheological characterization of styrene-butadiene-styrene copolymer modified bitumens (SBSにより改質したビチューメンのレオロジー評価)

PaperⅣ: Characterization of Styrene - butadiene - Styrene polymer modified bitumens - Comparison of Conventional Methods and Dynamic Mechanical Analyses (SBSにより改質したビチューメンの評価: 従

来の試験法と動的評価法の比較)

PaperⅤ: chemical and Rheological Evaluation of Ageing Properties of SBS Polymer Modified Bitumens (SBSにより改質したビチューメンの劣化特性の化学的, レオロジー的評価)

PaperⅥ: laboratory Investigation of Polymer Modified Bitumens Containing SEBS, EVA and EBA (SEBS, EVA, EBAにより改質したビチューメンの研究)

— 社団法人 日本アスファルト協会 創立40周年記念出版 —

アスファルトの利用技術

B 5 版・290ページ・実費頒価 ¥4,300 円

我が国におけるアスファルトの利用は、縄文前期の終わり頃より土器や石槍などの接着剤として使われ始めました。その後、江戸末期には油煙の原料として、明治に入ると防水や防湿および道路用として利用される等、アスファルトの黎明期を迎えております。

現在では、これまでの用途以外にも水利構造物や鉄道、燃料といった多くの分野に利用されるようになっております。

今回、創立40周年を記念し、アスファルトの種類、規格、製造方法、代表的な利用技術に関してわかりやすく執筆した本邦初の解説書を取りまとめました。

百科事典として、また関係者必読の書としてご購入をお勧めいたします。

目 次

第1編 アスファルト

- 第1章 天然アスファルトと石油アスファルト
- 第2章 アスファルト乳剤
- 第3章 改質アスファルト

第2編 アスファルトの道路舗装への利用

- 第1章 アスファルトと舗装
- 第2章 道路の種類と舗装構造
- 第3章 アスファルト混合物の種類と工法
- 第4章 アスファルト混合物の製造と施工
- 第5章 舗装の破損と補修

第3編 アスファルトの各種舗装への利用

- 第1章 空港
- 第2章 港湾
- 第3章 鉄道
- 第4章 鉄道貨物ヤード
- 第5章 構内・駐車場
- 第6章 歩道・自転車道
- 第7章 スポーツ施設
- 第8章 レース場・テストコース
- 第9章 石油タンク基礎
- 第10章 水利構造物
- 第11章 廃棄物最終処分場

第4編 防水・その他への利用

第1章 防水・防湿

- 1. 土木防水
- 2. 屋上防水 (陸屋根防水)
- 3. 屋根防水 (勾配屋根防水)
- 4. ターポリン紙 (防湿紙)

第2章 建築

- 1. 木造住宅用床防音材
- 2. 床材
- 3. 銅管塗布

第3章 原料

- 1. 酢酸原料用アスファルト
- 2. 石油コークス原料
- 3. 製鉄用コークスバインダー

第4章 燃料

第5章 その他

- 1. 電気絶縁用
- 2. レンズ研磨
- 3. のり面緑化用アスファルト乳剤
- 4. ノウサギ忌避剤
- 5. トンネル断熱材
- 6. 放射性廃棄物の固化材
- 7. その他への利用

歩道および自転車道等の舗装の性能

道路構造令第23条によれば、車道、中央帯（分離帯を除く）、車道に接続する路肩の他、自転車道等および歩道は舗装することを原則にしている¹⁾。

歩道及び自転車道等を舗装する目的は、歩行者および自転車、車いす等の通行に対して、安全・快適かつ円滑な通行を確保することはもとより、道路環境を保全し、親しみとのおいなど生活環境へのアメニティを与えることにある。このようなために舗装設計施行指針（社）日本道路協会 平成13年12月²⁾では、歩道及び自転車道等の舗装に求められる性能を図-1のような体系図によって検討する例を示した。これによれば、すべり抵抗性、平坦性というような基本的な性能の他、透水性、景観・周辺環境との調和、街路樹の保護育成等々、歩道等が設置される場所の利用状況に応じて必要になる性能を付加して設計・施工することをすすめている。

またここでは現時点で具体化できる性能指標と、基準値として表-1の内容を記述している。これによれば以下のことがわかる。

- ①すべり抵抗性は湿潤路面で歩行者や自転車がすべりやすさを感じないすべり抵抗値としてBPNで40以上を目標としている。
- ②段差は歩車道境界の段差を車いすが通行する場合の段差と、視覚障害者が必要とする歩車道境界の段差とのバランスから20mmを目標としている。
- ③衝撃吸収性は鋼球を落下させその反発高さを求める測定手法等で評価する例を示す他、人が感じる弾力性に影響する要因（年齢、履物等）を含めて評価す

表-1 舗装の性能指標と基準値²⁾

性能指標	測定手法	基準値
(1)すべり抵抗	振り子式スキッドレジスタンステスター	BPN40以上
(2)段差	水糸方式	20mm
(3)衝撃吸収	鋼球（落下法他）法等	—
(4)透水性	現場透水試験器	300ml / 15 s
(5)保水性	供試体による保水量、蒸発量を計測	—
(6)勾配	勾配計	縦断 5 %（8 %）※1 横断 2 %（1 %）※2
(7)総合的な歩きやすさ	アンケート	—

※1 沿道の状況等によりやむを得ない場合には、8 %以下。

※2 バリアフリー法に基づき整備する場合は、1 %以下。ただし、沿道の状況等によりやむを得ない場合には、2 %以下。

る事を指摘している。

④透水性は、雨水を路面に円滑に浸透させられる施工直後の性能の目安として定めている。

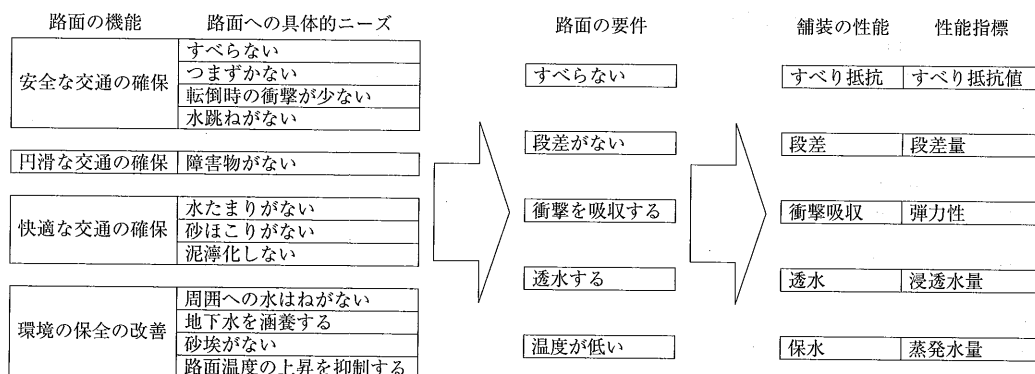
⑤保水性の性能指標は、現状の技術では舗装体の保水量なり蒸発量で評価する事にしている。

⑥勾配には縦断勾配と横断勾配があるが、車いすの利用者を考慮して表-1の値を満足することにしている。

⑦総合的な歩き安さは欠かせない評価であり、多くの被験者に実際に路面を歩いてもらった感触をアンケート調査し、その結果を利用することを指摘している。

— 参考文献 —

- 1) 舗装の構造に関する技術基準・同解説（社）日本道路協会 平成13年9月25日）
 - 2) 舗装設計施行指針（社）日本道路協会 平成13年12月4日）
- 〔小島 逸平（株）ガイアートクマガイ技術研究所〕

図-1 歩道および自転車道等における路面の機能と舗装の性能²⁾

二酸化炭素 (CO₂, Carbon dioxide)

地球温暖化ガスとして、その排出量削減が求められている二酸化炭素（以下CO₂）について説明する。

CO₂と人間

CO₂は人間の血液中に一定濃度存在（分圧で約40mmHg）することが必要で、血中のCO₂濃度が低下すると倦怠感を覚え、あくびをしたりする。また多量に存在すると（分圧で約70mmHg以上）で呼吸中枢の機能低下が始まり、窒息を起こす。通常酸素濃度（約21%）がある場合でも、CO₂濃度0.5%が長期安全限界とされ、7～9%が許容限界（激しいあえぎ：約15分で意識不明）、25%程度で数時間後に死に至るとされている。

CO₂の基本物性

CO₂は常温・常圧で、微弱な酸性臭と酸味を帯びた無色の気体で、密度は空気1.53倍と重く、大気中には約0.03%（=300ppm）存在する。

常圧では昇華性を有し-78.5℃で固体（ドライアイス）から気体へと状態変化する。

表-1にCO₂の性状、図-1にCO₂の状態図を示す。

またCO₂は自ら燃えることなく、炭、硫黄、リンなどの燃焼を止める。さらにCO₂は炭素が最も酸化された状態であり、熱的にも安定で、CO₂のみを1700℃まで加熱しても約4%が解離するのみである。

CO₂は、その分子式から想像される以上に安定な構造を取っており^{注1)}、CO₂を活性化し他の物質に変換するためには、多くのエネルギー（電気エネルギー、放射線など）を投入する必要がある。

表-1 CO₂の性状

項目	値
沸点	-78.5℃
三重点	-56.6℃, 5.11atm
密度	
気体	1.977g/cm ³ @0℃, 1atm
液体	1.030g/cm ³ @-20℃
固体	1.56g/cm ³ @-79℃
昇華熱	6.0kJ/mol@-56℃
臨界温度	31℃
臨界圧力	75.3atm

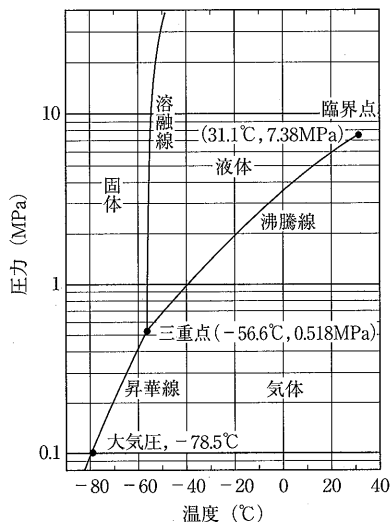


図-1 二酸化炭素の状態図

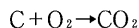
CO₂の生成エンタルピー

ここでCO₂が非常に安定な物質で、他の物質への変換には何らかのエネルギー必要であることを理解するために、生成エンタルピーという考えを導入する。

生成エンタルピーとは、ある化合物を元素から生成した場合、その反応によって発生する、若しくは加える必要のあるエネルギーのことである。

この生成エンタルピーを、標準状態と呼ばれる温度、圧力（25℃, 1気圧^{注2)}）、生成する化合物1モルあたりで求めた値を「標準モル生成エンタルピー」と呼ぶ。

二酸化炭素 (CO₂) はC（炭素）とO₂（酸素）から成る化合物なので、黒鉛（炭素の25℃, 1気圧で最も安定な形）と純粋な酸素（気体）から生成する場合を考えると、



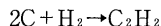
「標準モル生成エンタルピー」は-393.5kJ/molとなり、系からエネルギーが発生する。

これは25℃, 1気圧では、炭素と酸素は、黒鉛と酸素（気体）として存在するよりも、二酸化炭素（気体）として存在した方が、393.5kJ/molだけエネルギー的に低い状態、すなわち安定な状態であることを意味する。

理解のためにアセチレン (C₂H₂) を例に挙げる。

25℃, 1気圧で容易に分解してしまうほど反応性の

高い（不安定な）、アセチレンの「標準モル生成エンタルピー」は+226.8kJ/molである。



これは25℃、1気圧では、アセチレンは、黒鉛と水素（気体）よりも+226.8kJ/molもエネルギー的に高い状態（不安定）であることを意味する。

図-2 に各種の物質の「標準モル生成エンタルピー」

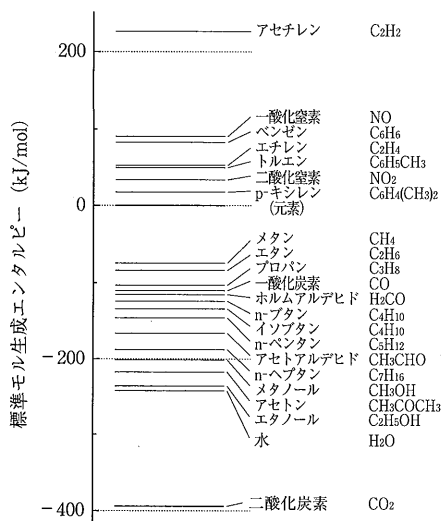


図-2 各種気体の標準モル生成エンタルピー

を示す。図中で「標準モル生成エンタルピー」が大きい物質から小さい物質への転換を行った場合、その系からはエネルギーが取り出せることになる。

このように、CO₂は非常に安定（エネルギー的に低い位置にある）な物質であり、一度CO₂が生成されれば、それを減少させることは非常に難しい。またCO₂を原料として他の物質の生成を試みる場合、何らかのエネルギーが必要であり、そのエネルギーを作るためにCO₂を排出してしまうことになる。

注1) CO₂はほぼ直線分子（O=C=O）であり、π電子による共鳴で安定化し、C=O二重結合が三重結合性を帯びていることに起因している。なおC=Oの結合距離は1.163Å（通常のC=Oは1.22Å程度）

注2) SI単位系を用いるので、正確には10⁵Pa。

参考文献

北野康ら、炭酸ガスの化学、共立出版（1976）

P.W.Atkins, Physical Chemistry second edition
Oxford Univ. Press（1982）

<http://www.showa-tansan.co.jp/>

〔瀬尾 彰 昭和シェル石油㈱中央研究所〕

砂利道の歴青路面処理指針（59年版）増刷

第3版 B5版・64ページ・実費頒価 500 円

目次

1. 総説	3. 路盤	5. 維持修繕
1-1 はじめに	3-1 概説	5-1 概説
1-2 歴青路面処理の対象となる道路の条件	3-2 在来砂利層の利用	5-2 維持修繕の手順
2. 構造設計	3-3 補強路盤の工法	5-3 巡回
2-1 概説	4. 表層	5-4 維持修繕工法
2-2 調査	4-1 概説	付録1. 総合評価別標準設計例一覧
2-3 設計の方法	4-2 浸透式工法	付録2. 材料の規格
2-4 設計例	4-3 常温混合式工法	付録3. 施工法の一例（D-2工法）
2-5 排水	4-4 加熱混合式工法	付録4. 材料の品質、出来形の確認

総目次 第207号～第210号（平成13年度）

アスファルトの研究〔品質・規格・試験など〕

表 題	執 筆 者	号数	ページ P～P	発行年月（西暦）
<資料> 平成12年市販アスファルトの性状調査	技 術 委 員 会	208	77～79	平成13.7（2001）

アスファルト需給・統計関係の解析

表 題	執 筆 者	号数	ページ P～P	発行年月（西暦）
統計資料：石油アスファルト需給統計（総括、内需、品種別、地域別）毎号巻末に掲載 *210号より総括、内需のみ掲載				

特集・アスファルトの利用技術

表 題	執 筆 者	号数	ページ P～P	発行年月（西暦）
特集・排水性舗装－耐久性の向上と機能・用途の拡大－ 特集にあたって 設計面からのアプローチ 技術開発の進む排水性舗装用混合物 材料面からのアプローチ 排水性舗装用バインダの研究開発 施工面からのアプローチ 施工における技術開発 機能維持からのアプローチ 排水性舗装機能回復工法 機能・用途の拡大に向けて① 多孔質弾性舗装の研究開発 機能・用途の拡大に向けて② 車道透水性舗装	中 村 俊 行 新 田 弘 之 日本改質アスファルト協会 (株)日本道路建設業協会 技 術 管 理 部 会 員 稲 垣 竜 興 大 西 博 文 兼 田 実・村 上 勝 利	207	1 2～5 6～13 14～19 20～24 25～30 31～35	平成13.4（2001）
特集・舗装を測る 特集にあたって 構造設計に必要な計測 路床・路盤材料の物理特性 アスファルト混合物の疲労特性 舗装の構造的耐久性 機能の設計に必要な計測 わだち掘れ抵抗性能 ひびわれ抵抗性能 平坦性 高速道路におけるすべり摩擦の概要 騒音低減性能・透水性	吉 田 武 阿 部 長 門 丸 山 暉 彦・中 村 健 雑 賀 義 夫 八 谷 好 高 久 保 和 幸 松 野 三 朗・内 田 喜 太 郎 峰 岸 順 大 野 滋 也・佐 藤 正 和 阿 部 忠 行・光 谷 修 平	208	1 2～8 9～15 16～23 24～27 28～37 38～47 48～51 52～58	平成13.7（2001）
特集・交通バリアフリーと舗装 特集にあたって 交通バリアフリーの概要 交通バリアフリー法とその背景 道路行政におけるバリアフリー施策 交通バリアフリー法に基づく道路の構造基準 利用者からみた交通バリアフリー 身体障害者にとっての交通バリアフリー化 交通バリアフリー推進事例 バリアフリーを目指して ～バリアフリーは都心の新たな魅力づくり～ 諸外国における取組み	中 村 俊 行 秋 山 哲 男 山 本 巧 人 畠 中 秀 人 村 上 琢 磨 藤 澤 常 憲 久 下 晴 巳	209	1 2～6 7～10 11～15 16～18 19～23 24～28	平成13.10（2001）
特集・第1部 座談会 舗装技術基準と今後の対応について 特集・第2部 舗装用ストレートアスファルトの品質規格に関する調査 －材料開発分科会調査中間報告－	<座長> 中 村 俊 行 井 上 武 美・柳 橋 則 夫 吉 田 武 アスファルト舗装技術委員会 材 料 開 発 研 究 分 科 会	210	1～19 20～53	平成14.1（2002）

アスファルト舗装技術研究グループ・研究報告

表 題	執 筆 者	号数	ページ P～P	発行年月（西暦）
＜アスファルト舗装技術研究グループ・第40回報告＞ ・ベルギーとドイツの舗装技術の現況 ・第5回道路・空港舗装の支持力に関する国際会議（その3）	峰 岸 順 一 黒 田 智・鈴木 俊 行 鈴 木 秀 輔 アスファルト舗装技術研究グループ	207	36 37～46 47～60	平成13.4（2001）
＜アスファルト舗装技術研究グループ・第41回報告＞ ・第8回アスファルト舗装に関する国際会議論文抄録（その1）	峰 岸 順 一 アスファルト舗装技術研究グループ	208	59 60～71	平成13.7（2001）
＜アスファルト舗装技術研究グループ・第42回報告＞ ・第8回アスファルト舗装に関する国際会議論文抄録（その2）	峰 岸 順 一 アスファルト舗装技術研究グループ	209	29 30～41	平成13.10（2001）
＜アスファルト舗装技術研究グループ・第43回報告＞ 国際ラフネス指数（IRI）について	峰 岸 順 一 小 関 裕 二・鈴木 康 豊 関 口 英 輔	210	54 55～67	平成14.1（2002）

用語の解説

表 題	執 筆 者	号数	ページ P～P	発行年月（西暦）
総合評価方式工事 等ラウドネス曲線（equal loudness contour）	小 島 逸 平 （舗装関係）	207	61～63 64～65	平成13.4（2001）
マイクロサーフェシング（Micro Surfacing） 有効数字（significant figures）		208	72～74 75～76	平成13.7（2001）
舗装が有すべき性能 最近のSuperpave 試験（Recent Superpave Tests）	瀬 尾 彰 （石油アスファルト関係）	209	42～43 44～45	平成13.10（2001）
設計の信頼性	小 島 逸 平 （舗装関係）	210	68	平成14.1（2002）

その他一般〔協会事業活動・時事解説・随想など〕

表 題	執 筆 者	号数	ページ P～P	発行年月（西暦）
総目次 第203号～第206号（平成12年度）	編 集 委 員 会	207	66～67	平成13.4（2001）

<統計資料>

1. 石油アスファルト需給実績（総括表）

（単位：千 t）

項 目 年 度	供 給					需 要					
	期初在庫	生 産	対前年 度 比	輸 入	合 計	内 需	対前年 度 比	輸 出	小 計	期末在庫	合 計
11 年 度	302	5,587	(99.1)	0	5,889	5,024	(96.5)	243	5,267	251	5,518
13. 3 月	346	626	(95.3)	5	977	672	(99.7)	18	690	255	945
1～3 月	293	1,492	(100.3)	11	1,796	1,382	(99.4)	52	1,434	255	1,689
12 年 度	251	5,510	(98.6)	30	5,791	4,885	(97.2)	222	5,107	255	5,362
4 月	255	437	(92.2)	2	694	385	(106.9)	26	411	252	663
5 月	252	327	(92.6)	2	581	290	(97.0)	30	320	245	565
6 月	245	403	(120.7)	1	649	333	(73.2)	29	362	247	609
4～6 月	255	1,167	(100.4)	5	1,427	1,009	(102.9)	85	1,094	247	1,341
7 月	247	443	(96.1)	2	692	361	(91.2)	28	389	261	650
8 月	261	422	(92.7)	6	689	344	(89.8)	19	363	276	639
9 月	276	429	(102.2)	4	709	372	(94.1)	20	392	266	658
7～9 月	247	1,295	(96.9)	12	1,554	1,077	(91.8)	68	1,145	266	1,411
10 月	266	446	(97.6)	3	715	407	(100.4)	17	424	241	665
13. 11 月	241	556	(105.5)	4	801	477	(102.6)	39	516	252	768
12 月	252	515	(96.2)	2	769	438	(91.7)	21	459	258	717
10～12 月	266	1,517	(99.8)	9	1,792	1,322	(98.1)	77	1,399	258	1,657
14. 1 月	258	389	(98.7)	0	647	314	(106.1)	13	327	263	590

2. 石油アスファルト内需実績（品種別明細）

（単位：千 t）

項 目 年 度	内 需 量						対 前 年 度 比					
	ストレート・アスファルト				ブローン アスフ アルト	合 計	ストレート・アスファルト				ブローン アスフ アルト	合 計
	道路用	工業用	燃焼用	計			道路用	工業用	燃焼用	計		
11 年 度	3,627	173	1,030	4,830	198	5,028	100.8	41.5	103.4	96.4	102.6	96.6
13. 3 月	558	20	79	657	16	672	101.3	95.2	95.2	100.2	88.9	99.7
1～3 月	1,047	47	242	1,336	46	1,382	100.1	104.4	97.2	99.7	92.0	99.4
12 年 度	3,613	189	892	4,698	194	4,892	99.6	109.2	86.6	97.3	98.0	97.3
4 月	277	15	80	372	13	385	104.5	100.0	117.6	107.2	100.0	106.9
5 月	199	11	66	276	14	290	96.6	100.0	97.1	96.8	100.0	97.0
6 月	246	10	63	319	14	333	67.2	71.4	106.8	72.7	87.5	73.2
4～6 月	722	36	209	967	42	1,009	102.7	90.0	107.2	103.1	97.7	102.9
7 月	238	15	93	346	15	361	86.9	88.2	104.5	91.1	93.8	91.2
8 月	223	13	95	331	13	344	84.4	76.5	109.2	89.9	81.3	89.6
9 月	257	13	89	359	14	373	101.3	76.2	116.1	95.3	76.4	94.6
7～9 月	717	41	277	1,035	42	1,077	94.9	81.6	109.4	92.1	83.6	91.8
10 月	299	16	75	390	17	407	93.3	96.7	124.9	100.7	93.6	100.4
13. 11 月	360	18	80	458	18	476	99.1	102.7	123.2	102.6	101.0	102.6
12 月	316	17	90	423	15	438	86.2	96.9	117.9	91.7	87.9	91.7
10～12 月	976	52	246	1,274	50	1,324	93.7	98.8	121.7	98.3	94.6	98.1
14. 1 月	196	15	88	299	15	314	103.7	119.3	110.8	106.3	98.7	106.1

- 〔注〕 (1) 経産省エネルギー生産・需給統計月報 13年11月確報
(2) 工業用ストレート・アスファルト、燃焼用アスファルト、ブローンアスファルトは日本アスファルト協会調べ。
(3) 道路用ストレート・アスファルト＝内需量合計－（ブローンアスファルト＋燃焼用アスファルト＋工業用ストレート・アスファルト）
(4) 四捨五入のため月報と一致しない場合がある。

石油アスファルト統計年報 (平成12年度版)

A 4 : 26ページ ¥800 (送料込) 毎年 8 月発行

アスファルトに関する統計
資料を網羅し、年一回発行
する統計年報です。

広くご利用いただけるよ
う編纂致しました。

目次

- 石油アスファルト品種別月別生産量・輸入量
- 石油アスファルト品種別月別内需量・輸出量
- 石油アスファルト品種別月別在庫量
- 石油アスファルト品種別荷姿別月別販売量
- 石油アスファルト品種別針入度別月別販売量
- 石油アスファルト品種別地域別月別販売量

申込先

〒100-0014 東京都千代田区永田町 2 丁目10番 2 号
秀和永田町TBRビル514号室
社団法人 日本アスファルト協会

お知らせ

ホームページを開設いたしましたので、ご覧下さい。

<http://www.01.246.ne.jp/~askyo/>

編集顧問

多田 宏 行
藤 井 治 芳
松 野 三 朗

編集委員

委 員 長 :	中 村 俊 行		
阿 部 忠 行	栗谷川 裕造	塚 越 徹	溝 口 孝 夫
安 崎 裕	小 島 逸 平	野 村 健 一 郎	溝 渕 優
太 田 亨	柴 崎 隆 次	服 部 潤	吉 村 啓 之
大 野 滋 也	田 井 文 夫	姫 野 賢 治	

アスファルト 第211号

平成14年 5 月発行

社団法人 日本アスファルト協会

〒100-0014 東京都千代田区永田町2-10-2

秀和永田町TBRビル514号室 TEL 03-3502-3956

本誌広告一手取扱 株式会社 廣業社

〒104-0061 東京都中央区銀座8-2-9 TEL 03-3571-0997 (代)

印刷所 キュービシステム株式会社

〒104-0061 東京都中央区銀座1-21-7

GNビル4F TEL 03-3538-3171 (代)

Vol.45 No.211 MAY 2002

Published by **THE JAPAN ASPHALT ASSOCIATION**