

アスファルト

第32巻 第161号 平成元年10月発行

161

特集・アスファルト舗装の添加剤（材）

特集によせて

- ～改質アスファルト雑感～
- 高分子系改質材
- 天然アスファルト
- 再生用添加剤
- 多孔質骨材
- 繊維質補強材メチルセルロース
- 凍結抑制舗装用添加材
- 剥離防止用添加剤

蒔田 實	1
斎藤 隆志・小林 耕平	3
向後 憲一	19
荒木 美民	24
杉 智光	28
根本 信行	31
坂本 浩行	34
峰岸 順一	38

〈アスファルト舗装技術研究グループ・第2回報告〉

「第6回アスファルト舗装の構造設計に関する国際会議」(1/2)

セッションI：構造設計および材料	姫野 賢治	43
セッションII：舗装評価	笠原 彰彦	44
南沢 輝雄	57	
〈報文〉		
パソコンによる舗装の多層弾性構造解析	姫野 賢治	65
〈工事事務所長シリーズ・その38〉		
新任所長の静岡レポート	藤本 貴也	73
〈用語の解説〉		
簡易舗装	小島 逸平	76
伸度試験(Ductility Test)	高橋 正明	78
〈資料〉昭和63年市販アスファルトの性状調査	技術委員会	80
〈統計資料〉石油アスファルト需給統計資料		84

ASPHALT

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

特 集 に よ せ て

～改質アスファルト雑感～

時 田 實

日満化学工業㈱常務取締役技術研究所長

改質アスファルトは本当に効果があるのか？

昭和48年の第一次オイルショックの際、建設省道路局で資源およびエネルギー的観点から、改めて道路舗装について種々の検討がなされた。当然のこととして、アスファルト舗装（黒）とコンクリート舗装（白）どちらが有利かが検討の中心となつたが、この時標題の、改質アスファルトは本当に効果があるのか？も問題とされた。ゴム入りアスファルトが使用されはじめて、当時既に10年以上経っており、種々の改質アスファルトが開発され使用され始めていた。しかし、これらの改質アスファルトが本当に効果があるのか否かについては多くの議論があり、その効果についても疑問視する人々も多かった。事実、改質アスファルトについての文献を調べてみると、室内試験ではいずれも効果があるものの、現場試験施工では効果がある場合と効果が判然としない場合のあることが報告されていた。したがって、当時の結論は、ゴムなどの改質材は、室内試験などの管理された条件のもとで使用した場合にはアスファルトの性質を改善する効果をもつものの、種々の施工条件の影響を受ける実際の施工現場で使用した場合にはアスファルト混合物として必ずしもその効果を發揮するとは限らない、ということになったと記憶している。

昨年のアスファルト舗装要綱の改訂で、従来特殊材料として扱われていた改質アスファルトが一般的な材料として取り上げられている。これは、改質アスファルトが舗装用アスファルトの高々5%程度しか使用されていないが、近年、確実にその使用量が増加してきていることを反映したものである。このことは、また、現在の道路舗装は非常に苛酷な条件にさらされており、アスファルトそのものだけでは舗装の耐久性が確保できず、耐流動性、耐摩耗性などの優れた舗装を得るために何等かの対策が必要とされていることを示している。

アスファルトは製品か、滓か？

オイルショックの時の建設省道路局の白か黒かの議

論の際、アスファルトは本当に製品なんだろうか、あるいは滓なんだろうか、が問題とされた。当時石油アスファルトは年間約510万トン製造され、そのうち460万トン近くが道路舗装に使用されていた。しかるに、石油年鑑等によればアスファルトの得率は原油の約20%あるのに対して、実際の生産量は約1.8%ほどであることが解り、更にアスファルトをまったく製造していない精製装置が数多くあることを知った。また、当時の石油の精製技術の開発は白油化（アスファルトなどの重質分を分解して、出来るだけガソリンなどの軽質分の得率を高めること）を目標としていることを知った。舗装関係者はアスファルトは原油の減圧蒸留の残留物としてどうしても出来てしまうものと思っていただけに、このことは大きな驚きであった。

アスファルトの生産量はもっと少なくすることも可能であるだけに、1.8%といえども生産しようと思って製造されており、こういった点ではアスファルトはまさに製品である。しかし、1.8%の製品のために積極的な技術開発が行われている筈もなく、その他石油産品に比べればアスファルトは滓のようなものである。以上が当時の議論の結果であったと記憶している。

新しい改質アスファルトの開発

以上のことから、種々の精製装置で多種多様の原油から製造されるアスファルトのすべてが本当に道路舗装に適したものであろうか、が改めて問題とされ、特に、耐流動性に関して多くの疑惑がもたらされた。そこで、アスファルト協会の舗装技術委員会ではセミブローン・アスファルトに関する研究をスタートさせ、耐流動舗装用のAC-100およびAC-140を開発した。

一方、昭和54年の第2次オイルショックを契機に、建設省土木研究所では当時市販されているアスファルトの性状試験を実施している。どうも最近のアスファルト混合物はぎらつくなどの施工者側の意見もあり、同一規格のアスファルトであってもその性状にかなりの幅があることがわかったものの、供用性との関係か

らアスファルトをその性状から区分することはできなかった。

また、アスファルトにゴム、樹脂などの改質材を加えても、アスファルトの性状によってはその効果が必ずしも発揮されるとは限らないのではないかとの考えから、改質に適したアスファルトを選定して改質アスファルトをつくる研究が、建設省土木研究所、(財)土木研究センターおよびゴムアスファルト協会の共同研究として実施された。この結果、同じ改質材を加えてもアスファルトによって改質効果が顕著であるものもあれば、殆ど改質効果の得られないものがあることが明らかにされた。そこで、改質効果の高いアスファルトを選んで、ムーニー値の高いSBRなど各種の改質材を加え、耐流動性と同時に耐摩耗性にも優れた改質アスファルトの開発に取り組み、筑波1号なる改質アスファルトが開発された。試験施工の追跡調査がなお継続中だが、東北地方においては耐摩耗性、耐流動性に優れていることが明らかにされたものの、その他の地方では今のところその効果が必ずしも判然としていない。

SHRP（戦略的路研究計画）

米国では、昨年から1億5000万ドルの予算で、5ヶ年計画のSHRP（戦略的路研究計画）をスタートさせている。米国では現在200種にもなる原油からアスファルトが製造されており、これらのすべてが舗装に適したものであるとは考えられないことから、この計画では、舗装に適したアスファルトを得るために、アスファルトの物理化学的性状と舗装の長期の供用性との関係を明らかにしようとしている。また、より長期の供用性の得られる舗装を得るために、アスファルトの改質材の開発研究を進めようとしている。

米国のSHRPで進めようとしている研究の一部は、前述のように、日本では既に検討されていたのである。しかし、残念ながら日本におけるこれまでの研究では未だ十分な成果が得られていない。日本においても、なお今後、改質アスファルトに関する総合的、系統的な研究の推進が必要とされている。

何故、今日本でRCCP？

第一次オイルショックを契機に、欧米諸国では RCCP に関する研究が始まられている。主として資源問題からその取り組みが始まられたが、現在の取り組みは国

によってそれぞれ異なっており、フランスのように既に RCCP を中止している国もあれば、スペインのように地方の道路ばかりでなく高速道路にまで積極的に拡大策をとっている国もある。しかし、いずれにしても RCCP を採用するか否かは、資源的あるいは経済的な観点から判断されている。すなわち、フランスではアスファルトに関する資源的問題が解消されたことからその採用を中止し、スペインではその経済的有利さからその積極的拡大策を取っているのである。

現在日本では RCCP に関して各方面で積極的な検討が進められている。しかし、それは決して資源的、経済的な理由からではない。日本の道路舗装のおかれている環境条件は極めて厳しく、アスファルト舗装ではもはや長期の耐久性が確保できないのではないかの観点からである。コンクリート舗装はアスファルト舗装に比べてはるかに耐流動性、耐摩耗性に優れている。コンクリート舗装の欠点は養生期間を長くとする必要がある点であり、狭い国土の日本では工事期間を長くすることは決して許されることではないことから、これまでコンクリート舗装が普及できなかつたのである。しかるに、RCCP は養生期間を長くとする必要がなく、早期に交通解放できると言われている。すなわち、RCCP は従来のコンクリート舗装の欠点もなく、その長所だけが利用できると期待されているのである。換言すれば、我が国の重交通道路にはもはやアスファルト舗装は適さないのではないかと考えられているからであろう。

アスファルトの添加材に対する今後の期待

アスファルトの性質を改善するための各種の添加材が開発され、すでに実用的に使用されてきている。これらについては、本誌の各論で詳しく紹介されよう。我が国の道路舗装の延長は60万kmにも達し、これらの舗装を健全に維持しながら、なお舗装延長を延ばして行かなければならないのである。そのためには、より優れた舗装を得るためにアスファルトの開発、すなわち、アスファルトの添加材の開発が求められている。

更に、近年の社会ニーズは多様化しており、舗装は単に長期の供用性が確保できるばかりでなく、新しい機能をも具備することが求められている。舗装に新しい夢を与える、より積極的なアスファルトの添加材の研究開発の一層の推進を期待したい。

高分子系改質材

斎藤 隆志*・小林 耕平**

1.はじめに

日本経済の発展は交通量の増大をもたらし、特に物流の量的拡大、高速化により大型車の増加が著しい。これらの自動車の通行に供する道路舗装をみると、舗装率はかなりのレベルに達しているものの整備率は遅れており、交通量の増大に追いつけない状況にある。この要因と併せて車線の区分化も舗装の破損を早め、補修費用が年々増加している。これに対応すべく各機関ではより耐久性のある舗装の検討を行っているが、アスファルト舗装に関してはストアスでは限界があり、改質アスファルトがなくてはならない材料になってきている。

日本に於ける改質アスファルトは昭和27年に初めて試験的に使われ、それ以降も試験的あるいは実用的に使われてきたが、急速に普及し始めたのは官学民の有識者で構成された「ゴムアスファルト研究会」(ILSRP 極東部会内に昭和43年発足)の活動からである。この先輩諸氏の功績を引継いでより良いアスファルト舗装を実現すべく改質材、改質アスファルトが百花齊放の如く上市されている。

アスファルト舗装要綱では改質アスファルトとしてゴム入りアスファルト(改質I型)、樹脂入りアスファルト(改質II型)及びセミブローンアスファルトに区分して一般材料として位置付けされている。しかし前二者に関しては、新しい材料が多く上市された今日ではゴムと樹脂の定義が明らかにされていないため、業界として混乱しているように思える。

そこで、本稿を記すにあたり、現在使用されている高分子系改質材がゴムと樹脂に単純に区別することが

困難と判断し、むしろ性能や用途によって区別する方が妥当と考え、高分子系改質材あるいは改質アスファルトとして一括して記述することにした。第二節では改質材の全般的な事項、第三節でスチレン・ブタジエン共重合体を中心とするラテックス系を、第四節でエチレン・酢酸ビニル共重合などの固形・粉末状の高分子系について述べることにする。

2.高分子系改質材の概要

2-1 改質材の種類

現在日本で使用されている高分子系アスファルト改質材の主なものを表-1に示す。これらは一部を除きプラントミックス、プレミックスの使用形態区分に拘らず単独又は2種以上の併用系で使われている。

表-1に示す改質材のうちエポキシ樹脂を除きゴムとか樹脂とかに区別することは難しい。その理由は、①常温ではすべてゴム弾性を示す。②SBRは一般にはゴムの範疇に入るが、ゲル分を含有しているものは、アスファルトに添加するとその性質がゲル分を含まないものに比べて相当異なり、タフネス、テナシティや流動抵抗性が著しく大きくなり、改

表-1 主な高分子系アスファルト改質材

ポリマー分類	略号	形状
天然ゴム	N R	ラテックス
スチレン-ブタジエン系重合体 (ゲルフリータイプ) 〃 (ゲル含有タイプ)	S B R 〃	〃
ポリクロロブレン	C R	〃
スチレン-ブタジエンブロック共重合体	S B S	ペレット又は粉末
スチレン-イソブレンブロック共重合体	S I S	〃 又は 〃
スチレン-エチレン-ブタジエンブロック共重合体	S E B S	〃 又は 〃
エチレン-酢酸ビニル共重合体	E V A	ペレット
エチレン-エチルアクリレート共重合体	E E A	ペレット又は粉末
ポリウレタン	P U	液状
エポキシ	〃	〃

*さいとう たかし 日本ゼオン㈱ラテックス事業部製品技術部課長

**こばやし こうへい 日濃化学工業㈱技術研究所主任研究員

質II型の物性、性能を十分に満足する。

③特許を見ると樹脂物質とかエマルジョン樹脂の例としてスチレン・ブタジエン共重合体があったり、スチレン・ブタジエン共重合体樹脂やSBラテックス樹脂などの表現がかなり見受けられる¹⁾。

④CRはクロロブレンゴムと称されるが、SBRに比べてやや熱可塑的な性質を有している。

⑤SISやSBSは熱可塑性エラストマーとか熱可塑性ゴムと呼ばれている。ゴム工業会や国際ゴム生産者協会ではゴムとして扱っている^{2),3)}。

⑥EVAはエチレン量が60~85%程度のものがアスファルト用に使われ、これは常温ではゴム弾性を示し、熱可塑性エラストマーに分類できる。EEAも同様である⁴⁾。なおEVAを合成ゴムと合成樹脂の両方の分類内で記述している資料もある⁵⁾。

⑦ウレタンは一液タイプと二液タイプがあるが、いずれも反応してポリウレタンとなりゴム弾性を示す。

こうしてみると表-1の高分子系改質材のうちエポキシを除きすべてゴム系と云っても過言ではない。これらをすべて熱可塑性エラストマーとしてまとめてい る文献もある⁶⁾。

しかし、高分子改質材がすべてゴム系であるとしても、アスファルトに添加したり、アスファルト混合物にした時の性質や性能がかなり異なるので、その特性に応じた区分をする必要がある。即ち改質材の性能(タフネス、テナシティの大小、低温伸度の大小)あるいは用途(耐流動、耐摩耗、すべり止め用など)で区分することが合理的であり、またこうした区分ならば新しい材料開発の門戸を開けておくことにもなる。

2-2 改質アスファルトの現状と動向

改質アスファルトは全国で使われており、その需要動向は表-2の通りである。

表-2 ゴム入りアスファルトの需要動向

材料	年度	アスファルト換算 TON					
		1983	1984	1985	1986	1987	1988
ブレミックス	ゴム入りアスファルト	28,500	25,100	26,400	29,100	30,750	30,600
	筑波1号			391	339	44	0
	樹脂ゴム入りアスファルト	22,000	25,100	26,500	26,100	35,000	37,300
小計		50,500	50,200	53,291	55,539	65,794	67,900
プラントミックス		57,500	61,000	59,350	66,250	72,500	74,400
総計		108,000	111,200	112,641	121,789	138,294	142,300

注) この他舗装業者のオーナー品等アスファルト換算で 12000トン程度見込まれる
<日本ゴムアスファルト協会調べ>

改質アスファルトとストアスの需要量との関係をプロットすると図-1に示すように、ストアスの需要量が多いければ即ち舗装工事が多いほど改質アスファルトの需要量も多い。また、ある時点を境にして相対的に改質アスファルトの比率が大きくなっていることが判る。

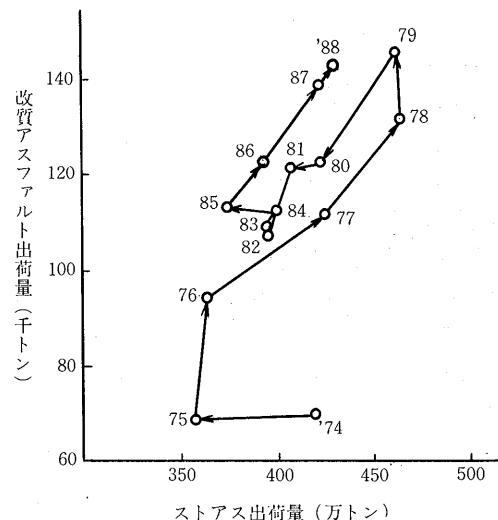


図-1 ストアスと改質アスファルトの出荷量

ところで1988年度のストアス、改質アスファルト(舗装業者のオーナー品等を含む)の需要量はそれぞれ約430万トン、15.4万トンである。ストアスの1/3、改質アスファルトの全量が表層に使用されたと仮定すると(実際には温暖地の重交通道路では基層にも使われることが多い)、表層工事の10%強は改質アスファルトを使用していることになる。これは高速道路、国道、都道府県道、市町村道の全てを含んでいるので相当な量と云えよう。逆に日本の道路のおかれた条件(気象条件、交通条件等)が厳しく改質アスファルトへの期待も大きいのではないかと思われる。

このような状況下で改質材、改質アスファルトの種類は多くなり、高分子材料メーカー、プレミックスメーカー、舗装会社のブランド品を含めると41品種にもなり⁷⁾、発注者としてもこれらを理解、整理することは大変なことと推察する。従って改質アスファルトが一般化された今日では、施工者あるいは合材製造者が性能は勿論、施工性、実績などを考慮して自社の責任に於て選択し、発注者の承認を得ているのが現状であろうから、納入メーカーは安定した品質のものを提供し、かつ自社製品の長所・短所を認識してユーザーに理解

して載くなどの努力が一層必要となる。一方施工者も合材製造者も慣れだけでなく、その材料の特性を把握して工事に当ることによって改質アスファルトの信頼性が更に高まるものと考える。

改質アスファルトの使用形態はプラントミックスとプレミックスの両タイプがあり、それぞれ長所・短所を有し、使用するユーザー（合材製造者）がこれらを考慮して選択している。

改質アスファルトの用途は表-3に示すように一般的な舗装から特殊な舗装まであり、その目的はあくまで耐久性の向上にあるので、一面的な改質（主目的）だけでなく全体的にバランスがとれていることも重要である。

表-3 改質アスファルトの用途と求められる機能

用 途	改質アスファルトに求められる機能
耐 流 動 舗 装	流動抵抗性、クラック抑制、粗骨材離脱抑制
耐 摩 耗 舗 装	摩耗抵抗性、低温脆性改良
すべり止め舗装	粗骨材離脱抑制、クラック抑制、耐候性
橋 面 舗 装	たわみ性（鋼床版）、流動抵抗性（コンクリート床版）
透 水 性 舗 装	耐水剥離性、耐候性、粗骨材離脱抑制
吸 音 舗 装	耐水剥離性、耐候性、粗骨材離脱抑制

3. ラテックス系改質材

ラテックスとは、 $0.05\sim1.0\mu\text{m}$ のゴムや樹脂の微粒子が水の中に分散しているもので、エマルジョンと呼ぶこともある。一般的にはゴムや樹脂を乳化したものではなく次に述べるように乳化重合法によって製造する。アスファルト改質材に使用されるラテックスは表-1に示すように NR, SBR, CR がある。NR は東南アジアではプラントミックスとして使われることもあるようであるが、日本ではプレミックス用に使われている。SBR, CR はプラントミックスにもプレミックスに

も単独又は他の高分子改質材と併用して使用されている。以下最も使用量の多い SBR を中心に述べることにする。

3-1 ラテックスの製造方法

SBR ラテックスの製造方法は図-2に示すように、界面活性剤を含む水溶液中にスチレン、ブタジエン、重合調整剤（分子量調整剤）及び重合開始剤を加え、一定温度にコントロールしながら反応させる。特定の反応率で反応を停止させ、未反応のモノマー（スチレン、ブタジエン）を回収し、安定剤等を加えて濃縮し、固形分量の調整、PH 調整を行って製品にする。

耐流動用の SBR ラテックスは重合調整剤の量や反応条件を変えることによってポリマー鎖をリニアな構造のものだけでなく、三次元的な網目構造（これを一般にゲルと称している）を含有させたものである（図-1）。

CR ラテックスの製造方法も概ね同様である。

NR ラテックスはヘペア・ブラジリエンス樹から採取した樹液を濃縮してアンモニアを加えて安定化したものである。

3-2 ラテックス添加アスファルトの性状

3-2-1 SBR の質の違いの影響

スチレン（S）とブタジエン（B）の比率を変えてアスファルトに添加した時の諸性質は文献^⑨を参照されたい。

一般にアスファルト改質用は S/B 比が 25/75 前後のものが使用されるが、ムーニー粘度（分子量の大きさの尺度）を変えてアスファルトに添加した場合の性状を表-4^⑨に示す。表-4 からムーニー粘度が大きくなるほどタフネス、テナシティが大きくなり、針入度はやや小さくなる傾向がある。ムーニー粘度が 150 では

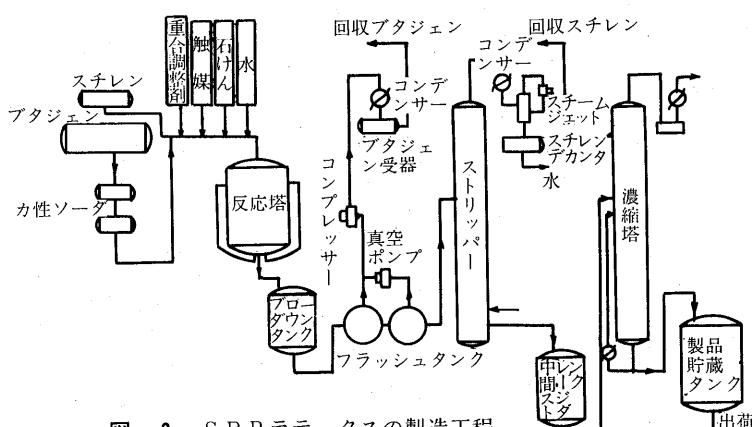
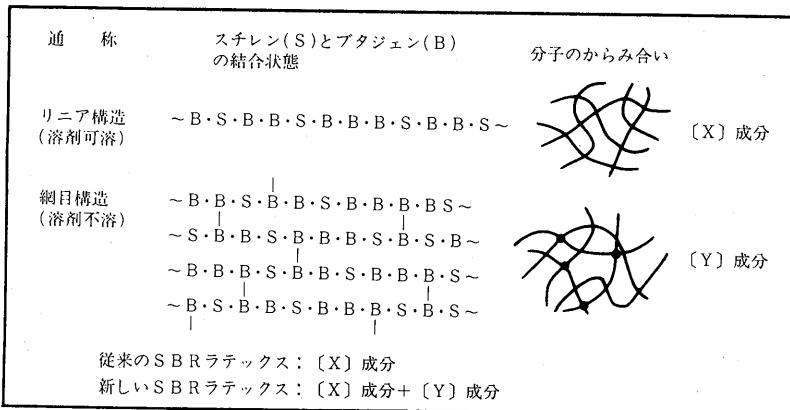


図-2 SBR ラテックスの製造工程



図一3 SBRの結合状態のモデル図

表-4 SBRのムーニー粘度とアスファルト性状⁹⁾

ムーニー 粘度	添加量 %	針入度	軟化点 ℃	伸度 cm ⁷ ℃	タフネス kg·cm	テナシティ kg·cm
ストアス	0	67	47.5	6	56.1	14.6
50	3	63	52	100+	73.6	21.7
	5	59	57	100+	76.3	30.9
70	3	58	53	100+	82.3	33.6
	5	55	58	100+	95.5	46.7
100	3	61	54	100+	96.3	52.5
	5	55	57	100+	111.3	71.5
125	3	61	54	100+	101.3	56.3
	5	53	61.5	100+	122.5	71.2
150	3	58	57.5	21	153.4	94.2
	5	54	63	58	290.6	240.7

タフネス、テナシティ及び軟化点が極端に大きい値を示している。これはムーニー粘度以外の要因がありそうなことを示唆している。

3-2-2 ストアスの違いによる影響

改質アスファルトに使用するストアスは80~100, 60~80のグレードが多く、時には40~60も使われることがある。同一グレードのストアスでもメーカーにより組織や性状が異なるが⁹⁾、最も多く使用されている60~80について一般に使用されているSBRラテックス(ムーニー粘度50, ゲル無)を添加した場合のバインダ性状を表-5⁹⁾, 6¹⁰⁾に示す。表-5から、ストアスA

表-5 アスファルトの違いによるラテックス3% (固体分)

添加バインダの性状と改質効果-その1-⁹⁾

メー カ ー	バ イ ン ダ 性 状					改 質 効 果*				
	針入度	軟化点	伸度(7°C)	タフネス	テナシティ	針入度	軟化点	伸度	タフ ネ ス	テナ シ テ ィ
A	68/64	46/49.5	0/11	55.6/75.9	14.9/28.6	4	3.5	11	20.3	13.7
B	67/60	49/55	6/100+	58.4/70.7	12.7/21.8	7	6.0	100+	12.3	9.1
C	66/61	48.5/53.5	5/100+	54.2/71.0	10.2/22.7	5	5.0	100+	16.8	12.5
D	72/65	47/52	6/100+	56.7/71.2	14.4/21.8	7	5.0	100+	14.5	7.4
E	67/63	47.5/52	6/100+	56.1/74.0	14.6/26.1	6	4.5	100+	17.9	11.5

数値はストアス/SBR 3% (固体分) 添加

混合条件: 165±5°C, 添加時間20分, 搅拌時間1.5~2.0 hr, 練り量10kg

*改質効果は筆者が追加した。

表-6 アスファルトの違いによるラテックス5% (固体分)

添加バインダの性状と改質効果-その2-¹⁰⁾

メー カ ー	バ イ ン ダ 性 状					改 質 効 果*				
	針入度	軟化点	伸度(7°C)	タフネス	テナシティ	針入度	軟化点	伸度	タフ ネ ス	テナ シ テ ィ
F	70/60	48/57.5	13/100+	57/84	18/40	10	9.5	100+	27	22
G	67/58	48.5/58.5	12/100+	54/82	17/39	9	10.0	100+	28	22
H	69/59	49/59.5	14/100+	56/84	18/42	10	9.5	100+	28	24
I	69/60	47.5/56.5	8/100+	52/78	15/38	9	9.0	100+	26	23

数値はストアス/SBR 5% (固体分) 添加 混合条件: 165±5°C 添加時間15分 搅拌時間40分 練り量2kg

*ストアスのメーカーF, G, H, Iは日本の代表的メーカーであるので表-6のメーカーと一部は同じ可能性がある。

が他に比べて異質であるが、これに少量のSBR(固形分3%)を添加した場合にも他とは異なる傾向がある。A~Eのストアスの組成分析結果⁹⁾からも異なる性質を有する可能性があることが推定される。表-6はデータの出典が表-5と異なるが、添加量を多くした場合(固形分5%)には絶対値はストアスの値に引張られてバラツキはあるものの改質効果のバラツキは小さいと云える。

なお、ストアス80~100の場合の改質効果は60~80%に比べてやや大きくなる傾向がある⁹⁾。

3-2-3 改質のメカニズム

SBRがアスファルトを改質するメカニズムは未だ解明されていない。いつまでもこの状態では前進しないので、筆者の考え方、推測を述べることにした。かなり的を外れているかもしれません、読者諸兄のご意見を戴ければ幸である。

さて、先に述べたりニア構造のSBR分子は、アスファルト中のマルテン成分に溶解ないし膨潤して、その粘性を高めると同時にアスファルトのコロイド構造を変えることにより高温性状、低温性状を改善しているのではないかと考える。分子量が大きいと、一般の高分子溶液の粘度が高くなるのと同様にマルテン成分の粘度を高めそれがアスファルトの粘度をより高くし、コロイド構造の変化は分子量にあまり依存しないので低温性状には影響しない。一方ゲル構造の分子は溶剤に溶けないが膨潤する。この膨潤度(分子が膨らむ度合)が大事な要素と思われる。膨潤度の小さい比較的硬いゲルは主に充填剤的な役割しか果さない為軟化点やタフネス、テナシティの上昇が小さいことは理解できるが、非常に大きいDSが得られる理由が見出せない。大胆な推測をすれば、SBR粒子の表面はマルテンに膨潤し芯はそのまま弾性体として残り、骨材表面の非常に薄いアスファルト膜が流動しようとしても粒子のところで押え込まれてしまうために、あるいは少し変形しても元に戻ってしまうために見掛け上流動抵抗が大きくなることが考えられ、軟化点やタフネス、テナシティ試験のようにバルクのアスファルトを測定するものとは挙動が異なるのではないかと推定される。これらについては今後の研究課題として残されている。

3-3 ラテックスの使われ方とその考え方

3-3-1 すべり止め舗装

アスファルト舗装のすべり抵抗性を上げるために、硬質で研磨されにくい骨材を使用し、舗装表面を粗面に仕上げるとかサンドペーパー状に仕上げるなどの工

法が効果的とされる¹¹⁾。粗面に仕上げる場合には通常開粒度や密粒度ギャップアスコンが採用される。これに対し、改質材の役割は車輌交通による粗骨材の離脱やクラックの発生を抑制して耐久性の向上をはかることがある。また比較的バインダ量の多い寒冷地に於いてはすべり抵抗の向上も見られる¹²⁾。これは改質材の分だけストアス量が少ないためと考えられるが明確でない。

3-3-2 耐摩耗舗装

タイヤチェーンとスパイクタイヤによる舗装の摩耗機構は異なるといわれており、改質材がどのような役割を果すのかは必ずしも明確でない。恐らくバインダの低温時の脆性の改善が寄与しているものと思われるが硬さも影響しているのかもしれない。一方寒冷地とはいっても夏期の流動もあるので、これの抑制効果と併せ改質材が使用されている。また凍結融解に対する抵抗性も大きいことが報告されている¹³⁾。

耐摩耗性について、文献¹²⁾のデータを用いて作図すると図-4が得られた。同一の日交通量で比較すると改質材を用いると年間わだち掘れ量、1冬摩耗量が小さいことがうかがえる。表-7は路線毎の100万台当りの摩耗量のデータ¹²⁾をストアス、改質アスファルトに分けて整理したものであるが、施工箇所が違っているものを集計したとはいえ改質材の効果が大きいと判断できる。一方室内のラベリング試験(チーン)と現場での横断凹凸量のデータ¹⁴⁾をそれぞれ改質アスファルトと

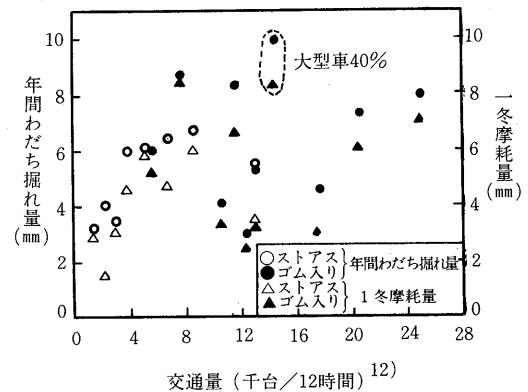


図-4 日交通量と年間わだち掘れ量、1冬摩耗量
(注) 文献12)より作図した

表-7 100万台(路面露出時)当たりの摩耗量¹²⁾

バインダ	施工箇所毎の摩耗量(mm)								平均	
ストアス	4.6	5.6	7.2	14.0	13.0	12.7	8.4	17.9	10.4	
ゴム入り	4.4	10.1	9.4	5.9	15.9	9.8	2.5	3.1	6.1	5.2

ストアスの比を求めて作図すると図-5が得られた。多少バラツキはあるものの改質材の効果がみられる。

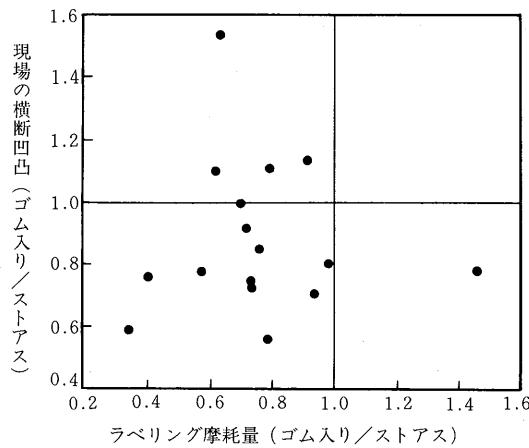


図-5 ゴム入りアスファルトの室内試験及び現場における効果¹⁴⁾

(注) 文献14) より作図した

最近のスパイクタイヤに対する摩耗対策としてバインディング以上に重要な要素である骨材側からのアプローチで最大粒径を20mmにするとか、ギャップ型か連続型かの骨材粒度の再検討もなされているようである。

また耐摩耗舗装では締固めを十分に行うことが最も

重要であり^{15),16)}、改質材を使用した場合も同様なことから¹⁷⁾、改質材を生かすも殺すも施工時の温度管理であるといつても過言ではない。

3-3-3 耐流動舗装

改質材を使用する場合の耐流動舗装は①骨材配合を粗いものにして流動抵抗を高め、これの欠点であるクラックや粗骨材の離脱を抑制するためにねばり気のある改質材を使用する。勿論改質材自体にも流動抵抗性を付与する機能を持つことが要求される。②バインダ自体に大きな流動抵抗性を付与する改質材を用いる。という2つの考え方があり、それぞれが採用されている。前者については一般のSBRラテックス等比較的軟かい改質材が使われている(従来の表現をすればゴム)。混合物としては開粒度(東京都)、粗粒度ギャップ(首都高速)、粗粒度(中国地建、九州地建)、密粒度ギャップ(九州地建、その他)がある。現場追跡調査の例を図-6^{18), 7¹⁹⁾に示す。}

一方後者②については現在樹脂、熱可塑性エラストマーと称している改質材が多く使われている。これらに相当するSBRラテックスやCRラテックスも開発され室内試験(図-8²⁰⁾)、試験施工(図-9²¹⁾)、を積み重ね^{22),23)}、現在では一般的に耐流動舗装にも供されている。

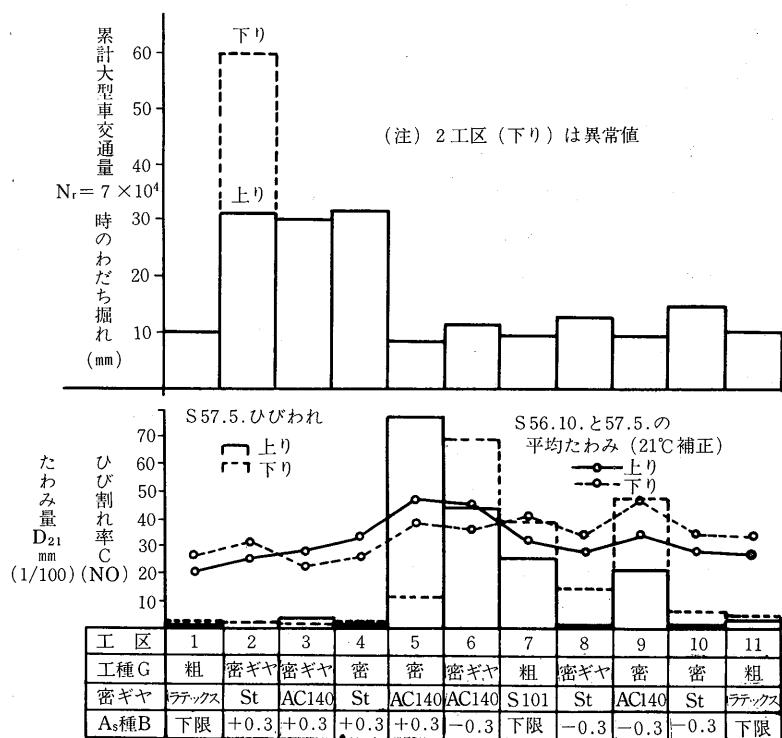


図-6 改質アスファルトの試験施工の追跡調査結果¹⁸⁾

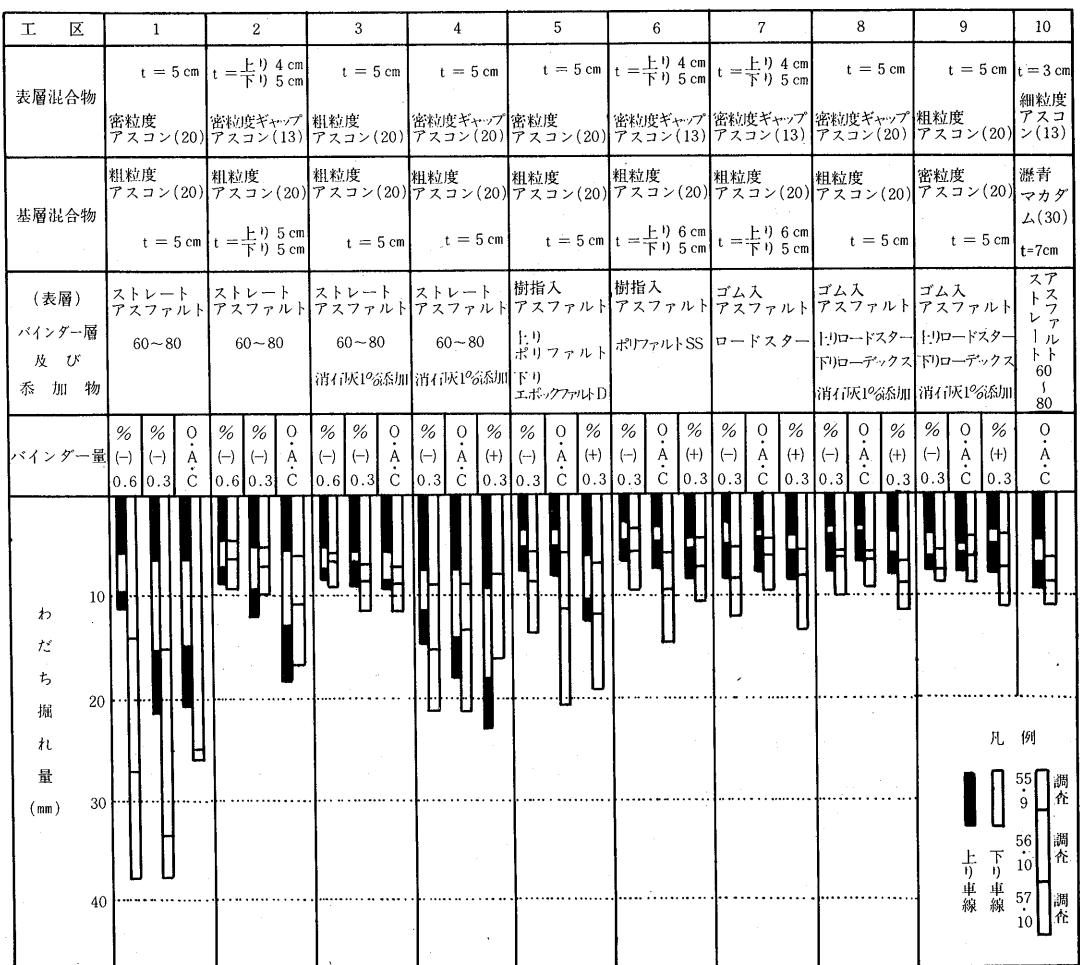


図-7 改質アスファルトの試験施工の追跡調査結果¹⁹⁾

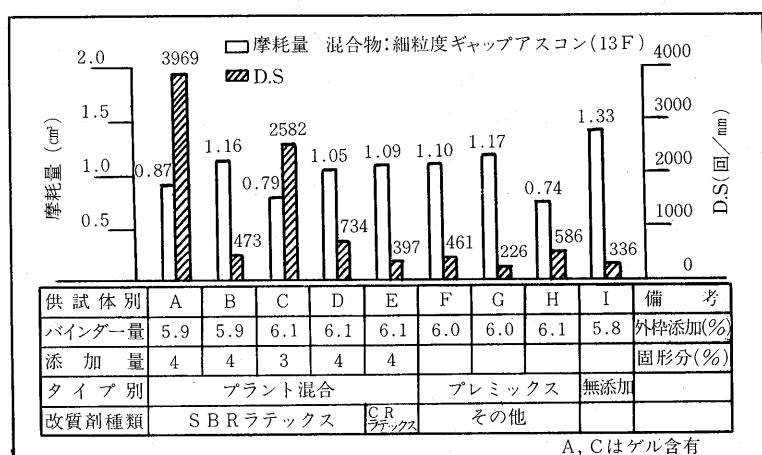


図-8 改質材別混合物の摩耗量とD.S²⁰⁾

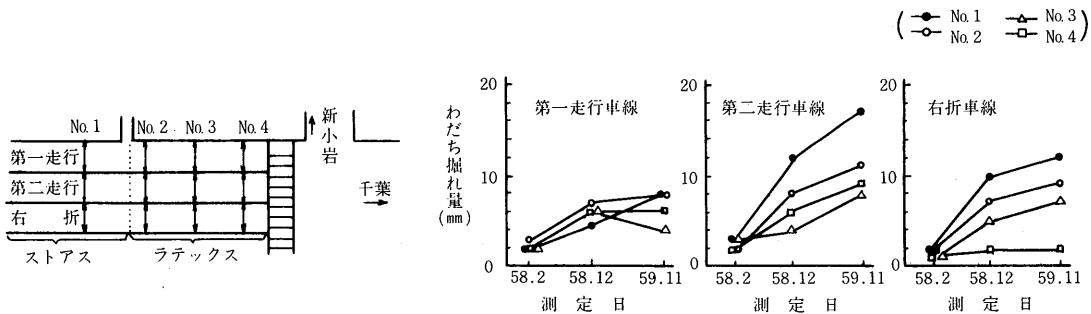


図-9 ラテックス使用試験施工(国道14号線)の追跡調査結果²¹⁾

3-3-4 特定のプレミックス系改質アスファルト

CRラテックスを添加した本四架橋公團の「改質アスファルト」については長期の検討が実り、実際の施工報告や調査報告がなされているので文献を参照されたい^{24),25),26)}。

最近開発されたSBRのムーニー粘度を変えた2種類のラテックスを添加した「筑波1号」は、昭和60~63年度に全国の49箇所で試験施工を行い、その供用性を調査中である。試験施工時に指摘されたアスファルトタンクの持込みや貯蔵安定性などの諸問題について改良も進んでおり、次の段階即ち本施工への移行が期待される。

4. 樹脂系改質材

4-1 樹脂系改質材の概要

アスファルトの高分子系改質材として、樹脂系といわれる高分子材料が使用されるようになったのは、ゴム系に比べて遅く、1960年代以降である。高分子系改質材は当初ゴムで出発したが、その後樹脂によるアスファルトの改質効果が認められ、高温時の流動抵抗性に対する特性を利用するため耐流動を目的に使用され始め現在では樹脂系の使用量はかなり大きくなっている。

我国における樹脂全体をながめてみると、産業素材から土木建築資材までを含めて使用されている樹脂は、現在主として熱可塑性樹脂と熱硬化性樹脂に大別され、これら樹脂の生産量は約780万トン(1983年)に達している。生産されている樹脂の種類の内訳は図-10に示され²⁷⁾、全体の約80%は熱可塑性樹脂で、しかもポリエチレン、ポリ塩化ビニル、ポリスチレン、およびポリプロピレンの4樹脂が全体の70%を占めているのが現状である。

ここで、舗装業界で一般的に樹脂系改質材として分

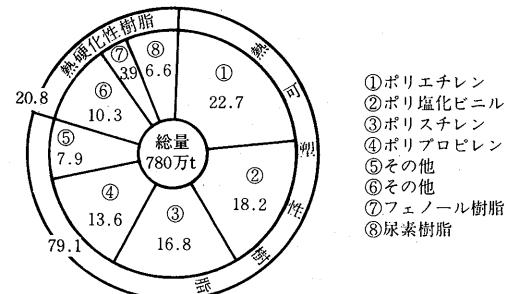


図-10 日本における樹脂の生

産割合(%)²⁷⁾

(通産省、化学工業統計
(1983)より)

類されているものは、ポリエチレンなどの熱可塑性樹脂、スチレン系ブロックコポリマーなどの熱可塑性エラストマー、熱硬化性であるエポキシ樹脂、湿気硬化型のウレタン樹脂などが挙げられる。前にも述べたように熱可塑性エラストマーは名前の通りゴムに近い性状を持ち、ポリマー業界ではゴムに分類されるものである。従って樹脂系と言わなくても純粹に樹脂として分類されるものはポリエチレンやエポキシである。しかしここでは一般的に通り易い分類としてエラストマーも樹脂系に含めることとし、樹脂系と言われるアスファルト改質用の高分子材料を分類すると図-11のように考えられる。

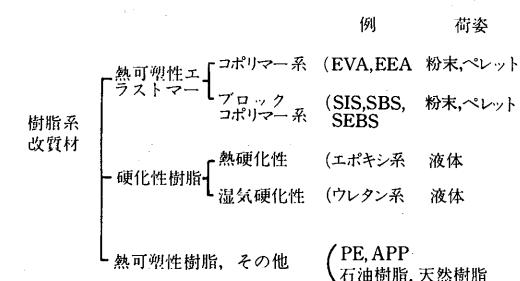


図-11 樹脂系改質材の分類

このような樹脂系材料の利用方法は、ゴム系の場合と同様、プラントミックスとプレミックスがある。また現在は樹脂系単独の利用方法だけでなく、樹脂の欠点を補うため、ゴム系改質材を併用して巾広い改質を目的としたゴム・樹脂入り改質アスファルトや、複数の樹脂を併用した樹脂入り改質アスファルトなども広く使用されるようになっている。

樹脂系改質アスファルトの最近の需要動向は表-2に示される通りである。また改質アスの中で樹脂系改質アスの占める割合は図-12に示され²⁸⁾、ゴム・樹脂併用改質アスを併せると昭和60年度で全体の30%である。昭和56年では25%であったことから樹脂系の割合は近年増加の傾向にある。昭和63年のアスファルト舗装要綱の改訂で改質アスファルトの扱いは一般化され、樹脂系は改質II形として位置づけされ、今後共その増加が予想されるものと考えられる。

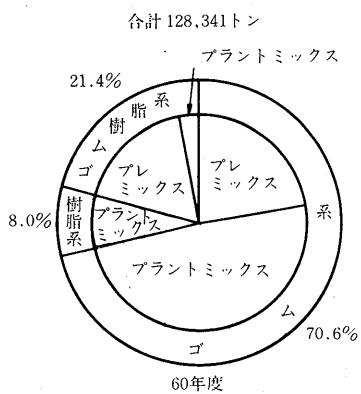


図-12 バインダー区分別製造量の割合²⁸⁾

以下に樹脂系改質材の内容について、またアスファルトまたはアスファルト混合物への改質効果の一端について述べることとする。

4-2 樹脂系改質材と改質効果

4-2-1 熱可塑性エラストマー

熱可塑性エラストマーは TPE (Thermo Plastic Elastomer)とも呼ばれ、常温では加硫ゴムの性質を示すが、高温では可塑化（軟化）し成形が可能となる高分子材料である。樹脂系改質材の中では熱可塑性エラストマーの使用が最も多い。

ここで熱可塑性エラストマーを説明する前に、高分子の構造について知っておく必要がある。高分子は単位分子の集合体であるが、元になる分子は单一でも2種類以上の複数の分子でも良い。エラストマーの場合には一般的に2種類の分子から構成されており、このよ

うな高分子はコポリマー、ブロックコポリマーと言われ、その構造は図-13²⁹⁾のような模式図で示される。

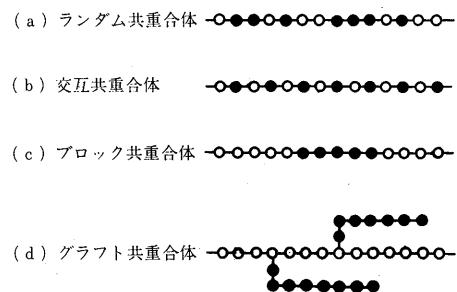


図-13 A(○), B(●) 2種類の単量体からなる共重合体(コポリマー)における繰り返し単位の配列²⁹⁾

熱可塑性エラストマーは一つの高分子の中で軟質部分（ソフトセグメント）と硬質部分（ハードセグメント）を持っている。そのため常温では軟質部分が拘束されて加硫ゴムと同様の挙動を取り、高温では硬質部分が軟化して可塑性を持つことから、熱可塑性のゴムと言われる訳である。ここで工業的に用いられている材料の中で熱可塑性エラストマーの強度を比較すると図-14のようになり²⁹⁾、その特性が伺われる。

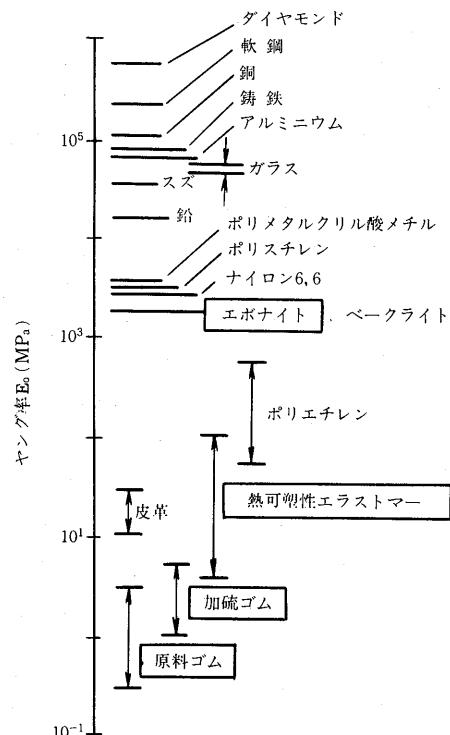


図-14 各種工業材料のヤング率 E_y ²⁹⁾

このような熱可塑性エラストマーの場合、ソフトとハードの分子数の比率を変えることにより、高分子全体の物性を変化させることが可能となる。同種の分子を使用したエラストマーであっても、伸び、硬さの異なる性状を持つポリマーが製造され、例えばEVA(エチレン酢酸ビニル共重合体)についてみると、ある程度硬い性状のものから、軟いガムのようなものまで市販されている。また同じエチレン系のEVAとEEA(エチレンエチルアクリレート共重合体)でもコポリマー部分が異なるため、両者の間には硬さ、耐熱性などの点で差がある。以上のようなことから、エラストマーをアスファルトに添加した場合、改質アスファルトの物性や、アスファルトとの相溶性が異ってくるため、使い方に注意すると共に、使い分けが必要となる。

(1) コポリマー系

この系の中でアスファルトの改質材として用いられているものの代表はEVAとEEAで、EVAの方が古くから使用されている。EVAはエチレンと酢酸ビニルの、EEAはエチレンとエチルアクリレートの共重合体で、共にエチレンという硬質部分を持ち、EVAではVA(酢酸ビニル)、EEAではEA(エチルアクリレート)が軟質部分と言われている。従ってVA、EA含量を増せば軟質となることから、各種のグレードが市販されている。EVAとEEAはエチレンを共通としたエラストマーであるため良く似た性質を持っているが、ポリエチ等と比較した物理特性を図-15に示す³⁰⁾。縦軸のモジュラスは柔軟性を表わし、低い方が柔軟性があることを示している。EEAとEVAでは常温での物性は似ているが、低温時には差が出てくるようである。EEAとEVAを比較した場合、最も大きな差は耐熱性にあり、EVAは200°C付近から分解傾向を示すが、EEAはその温度でも充分安定している。ここで市販されているEEAとEVAの性状範囲の例をみると表-8のようになる。EVAはEEAよりグレードの範囲が広いが、EEAはあまり軟質のものは市販されていない。このような性状からEEAは一般に硬いという印象が持たれて

表-8 EVAとEEAの性状範囲の例

	EVA	EEA
MI(メルトイインデックス)	1~350	1~20
コモノマー含有量 %	10~28	8~20
引張り強さ kg/cm ²	28~150	70~120
伸び %	500~800	150~700
硬度ショアA	80~95	88~92

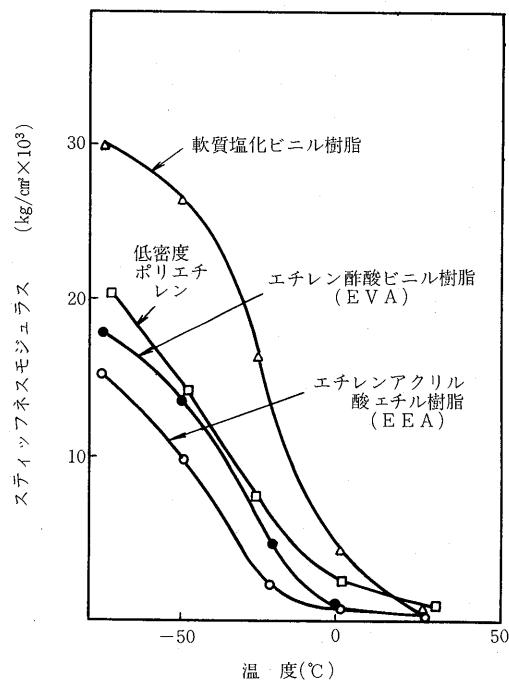


図-15 軟質プラスチックの弾性率と温度特性の比較³⁰⁾

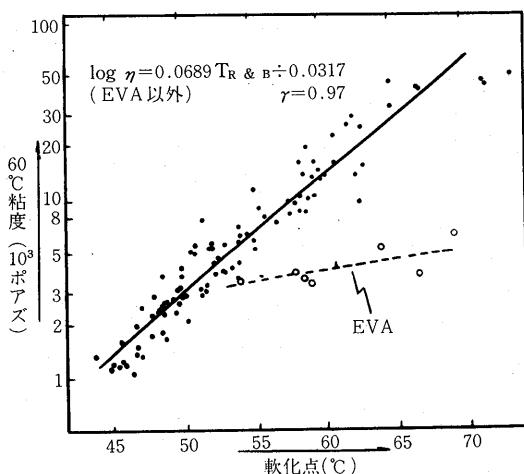
おり、現実にはエラストマーというより樹脂とみられることもある。

EVAとEEAをアスファルトに添加した場合の性状については過去に報告されているが³¹⁾、ここではゴム系のSBR、CRと比較した例についての結果を表-9に示す³²⁾。これよりEEA、EVAがゴム系に比べ針入度は低く、軟化点は高くなるが、タフネス、テナシティは小さい数値となり、特性の違いが見られる。EVAとEEAを比較した場合、EEAの方が針入度は低く軟化点はかなり高くなる傾向があり、アスファルトに対する改質効果には差が認められる。

表-9の結果より軟化点と60°C粘度の関係をみたのが図-16である³²⁾。ストアスを含めて一つの回帰直線で表わされるが、EVAだけは非常に特異な傾向が見られ、60°C粘度はあまり上昇せず、EEAと同じコポリマー仲間とは思われない。ところがこれらのバインダを使用した混合物の動的安定度はEVAにおいてもそここの値が出ており60°C粘度の結果を反映していない。EVAの粘度は速度依存性があると思われ、このような場合混合物の高温物性を60°C粘度、軟化点で判断することは難しいと考えられ、高分子系の改質アスファルトの粘弹性状はかなり複雑であると思われる。

表-9 特殊バインダーの物理性状³²⁾

項目	年度	ベースアスファルト		特殊バインダー									
		st 80/100	st 60/80	SBR 3%	SBR 5%	CR 3%	CR 5%	EEA 3%	EEA 5%	EEA 7%	EVA 3%	EVA 5%	EVA 7%
比重	53	1.029	—	1.027	1.025	1.033	1.038	1.026	1.025	—	1.027	1.025	—
	54	1.028	—	1.027	1.027	1.036	1.040	1.026	1.022	—	—	—	—
	55	—	1.033	1.032	1.031	1.040	1.044	1.031	1.029	1.026	1.031	1.030	1.026
針入度	53	66	—	76	69	89	91	62	50	—	69	57	—
	54	85	—	75	73	94	99	60	46	—	—	—	—
	55	—	65	59	57	68	71	46	44	31	52	45	39
軟化点 (℃)	53	47.0	—	52.0	55.5	48.5	50.0	51.5	58.5	—	51.5	59.0	—
	54	46.0	—	50.0	54.0	47.0	48.5	52.5	62.5	—	—	—	—
	55	—	49.5	54.0	59.0	53.5	53.0	53.0	61.0	71.5	54.0	58.5	66.5
60℃粘度 (ボアズ)	53	2,400	—	5,090	9,150	3,670	3,980	7,580	17,730	—	3,260	3,420	—
	54	1,150	—	2,880	4,390	1,880	2,590	4,530	10,790	—	—	—	—
	55	—	2,690	6,170	9,190	4,070	4,660	11,900	26,000	56,600	3,440	3,560	4,230
伸度(10℃) (cm)	53	100 ⁺	—	100 ⁺	100 ⁺	78	80	13	10	—	13	10	—
	54	100 ⁺	—	100 ⁺	100 ⁺	100 ⁺	100 ⁺	17	16	—	—	—	—
	55	—	27	100 ⁺	100 ⁺	58	74	13	10	6	12	10	7
タフネス (kg·cm)	53	34	—	49	58	94	121	52	74	—	43	53	—
	54	34	—	51	59	100	129	63	93	—	—	—	—
	55	—	72	77	88	174	217	98	87	70	75	92	81
テナシティ (kg·cm)	53	7	—	14	19	71	100	9	21	—	9	6	—
	54	5	—	14	22	74	105	17	13	—	—	—	—
	55	—	16	28	36	140	183	29	9	6	22	20	7
三塩化エタン 可溶分(%)	53	99.9	—	99.9	99.9	不能	不能	不能	不能	—	99.8	99.8	—
	54	99.9	—	99.9	99.9	不能	不能	不能	不能	—	—	—	—
	55	—	99.9	99.9	99.8	不能	不能	不能	不能	不能	98.9	99.9	99.9
針入度指数 (PI)	53	-0.6	—	+0.4	+0.9	-0.1	+0.4	-0.3	+0.7	—	-0.0	+1.2	—
	54	-1.0	—	-0.2	-0.3	-0.4	+0.2	-0.1	+1.3	—	—	—	—
	55	—	-0.7	+0.2	+1.2	+0.4	+0.4	-0.2	+0.9	+1.9	-0.2	+0.5	+1.6

図-16 軟化点と60℃粘度の関係³²⁾

(2) ブロックコポリマー系

この系では SBS(ステレンブタジエンスチレン), SIS(ステレンイソプレンスチレン), SEBS(ステレンエチレンブダジエンスチレン)などが使用されている。

ステレン系コポリマーは熱可塑性エラストマーの中で最もゴムに近い性状を持っている。(図-17参照³³⁾)これらのステレン系ブロックコポリマーはS(ステレン)がハードセグメント, B(ブダジエン)やI(イソプレン)がソフトセグメントである。従ってソフト/ハードの比率を変えることによりそれらの硬さを硬度(ショアA)で40A~80A程度の範囲に変えられ、オイルを加えることにより硬さの巾をさらに広げることが可能となっている。さらに他の熱可塑性エラストマーに比べゴム的であるにもかかわらず、低硬度で高強度という特徴を持っている。しかしながらハードセグメントがステレンであるため耐熱性、耐油性に若干劣

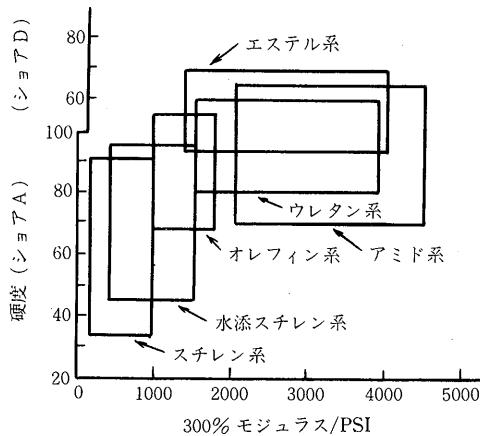


図-17 各種熱可塑性エラストマーの位置付け³³⁾

っていると言われている。耐候性、耐熱性を改善したものがSEBSであるが、これはコスト的にSBSより高いものとなっている。

SBS、SISの一般的な用途は靴底、ホットメルト粘着材、樹脂改質材などであるが、SBSは特にアスファルトの改質材としての用途が非常に大きい。SBSはヨーロッパにおいて防水材用の改質材としてかなり古くから使用されており、最近ヨーロッパやアメリカなどで、ローンアスファルトに変るものとしてルーフィング用への伸びが大きくなっている。

なお同じ分子からなるSBSとSBRの性状の違いについてみると表-10のようになる³⁴⁾。先に述べたように

表-10 SBRとSBSブロック共重合体の比較³⁴⁾

諸特性	単位	SBR	SBS
(η) %		約 2.0	1.4
スチレン含有率	w t %	25	27
成形温度	°C	160	140
500%引張り応力	psi	60	740
引張り強さ	psi	60	1,560
伸び	%	> 1,000	660
残留ヒズミ	%	> 100	8

SBSはブロックコポリマー、SBRはランダムコポリマーと構造が異なっている。この表ではS/Bの比が同じものについて比較を行っているが、SBSの方が分子量は小さいにもかかわらず、引張り強度が非常に大きいことが認められる。

スチレン系ブロックコポリマーをアスファルトに添加した場合の性状の一例を表-11に示す³⁵⁾。これは米国の例であるため原アスの針入度は120/150を使用している。この表よりSBS、SIS、SEBS共軟化点、タフ・テナに対する効果が顕著であることが認められ、特に低温伸度が増加する特徴が見られ、これらの材料はかなりゴム的であることが理解される。ソフト/ハードすなわちS/Bの比や直鎖か側鎖かの構造によって改質効果は異っている。また同じグレードのSBSで原アスを変えた場合をみると(表でNo.2とNo.10)、軟化点の上昇度がAアスで30°C近くもあったのが、Bアスではわずか5°C程度と改質効果は低い。このことからスチレン系ブロックポリマーは原料アスファルトに対する選択性もかなりあるようで、使用にあたっては充分注意する必要がある。

4-2-2 硬化性樹脂

硬化性樹脂としては熱硬化反応を利用したエポキシ樹脂、湿気硬化反応を用いたウレタン樹脂が代表例である。

エポキシ樹脂は熱硬化性樹脂の一つである。熱硬化性樹脂は熱により硬化して分子間の橋かけと分子の不溶不融の三次元構造となるのが特徴で、熱により軟化する熱可塑性樹脂とは基本的な違いがある。熱硬化性樹脂にはフェノール樹脂を始め数種あるが、土木建築に良く使用されるのはエポキシ樹脂である。この樹脂は熱硬化性樹脂の中でも、接着性、寸法安定性等に優れ、電気特性も良くバランスが取れており、またエポキシ樹脂と硬化材の種類が多く、組み合せ方で各種の作業性と特性が得られる特徴を有している。

表-11 スチレン系ブロックコポリマーのアスファルト改質効果³⁵⁾

項目	No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		原アスA	SBS				SIS			SEBS	原アスB	SBS
構造			直鎖	直鎖	側鎖	側鎖	直鎖	直鎖	直鎖	直鎖		直鎖
スチレン%			31	28	21	31	14	21	14	28		31
針入度		164	115	124	84	124	104	97	102	88	128	100
軟化点(°C)		41	72	51	64	49	57	57	51	66	44	49
伸度(4°C)		10	53	28	48	36	26	45	12	20	31	98
タフネス		30	170	61	123	101	109	146	71	103	20	98
テナシティ		7	135	30	75	70	73	111	35	83	12	77

エポキシ樹脂の硬化反応機構は、主剤にあるエポキシ基と硬化剤のアミン基などとの橋かけ反応により三次元的網目構造となるものであるが、硬化剤の種類により反応機構も異なるので、反応の機構は複雑である。詳細については他書を参照されたい。

エポキシ樹脂はアスファルトと組み合せてエポキシアスファルトとして加熱硬化型で用いられるが、最近はエポキシ単独と骨材による常温硬化型のエポキシ樹脂モルタルとしてカラー舗装などにも用いられるようになり、この分野での使用がむしろ多い。

エポキシアスファルトの物性はエポキシ樹脂とアスファルトの配合割合により変化するもので、その一例として図-18にエポキシ混入率と物性変化を示す³⁶⁾。エポキシ樹脂は配合比が低いとアスファルト中に分散しているが、ある配合割合を超えるとエポキシが連続相となり物性は一定となる。従って一般的にエポキシ樹脂の量は連続相を形成する30~40%付近となっている。アスファルトの種類によっては所定の性状が出ない場合もあり、原料アスファルトの選択は必要である。エポアスはアスファルト混合物に比べ強度、感温性、耐久性など優れているものであるが、コストの関係から

薄層で耐久性の要求される橋面舗装材として主に用いられてきている。エポアスおよび混合物の基準としては本四橋公団において規定されているものがある。しかし最近はエポアスによる舗装はあまり行なわれず、本四橋公団においても試験的に使用された程度である。これの原因は主として反応性であるため管理が難しいことにあると思われる。エポキシ樹脂は熱硬化反応であるため、混合物の温度、運搬時間、転圧までの時間などが硬化後の物性に大きく影響するため、厳密な温度管理と工程管理が要求される。過去の例でも室内での物性は良好であるにもかかわらず、実際の供用性は悪く失敗するケースがあり、現場での管理の難しさが指摘されている。しかし外国の例では20年以上も供用され耐久性が立証されている橋もあり、長大橋や非常に厳しい道路状況の所では、薄層で耐流動性、耐摩耗性、耐久性に富むエポキシアスファルト舗装が再度注目されていくものと思われる。

もう一つの湿気硬化型ウレタン樹脂は、ポリブタジエンの末端にイソシアネートを付加させてあり、この部分が空気中の水分等と反応して網目構造を形成し硬化していくもので、アスファルトの改質用としての使用は比較的新しい。ポリブタジエンが基本構造なので弾性も有していると考えられる。アスファルトに添加後反応は進行していくが、使用方法はプラントミックスが基本でプレミックスでの使用は難しい。

4-2-3 熱可塑性樹脂およびその他の樹脂

熱可塑性樹脂やその他の樹脂として実績があると考えられるものは、PE(ポリエチレン)、APP(アクリチックポリプロピレン)、EPDM(エチレンプロピレンゴム三元共重合体)、天然ゴム、石油樹脂などがある。

ポリエチレンは古くからアスファルトの改質材として考えられたが、アスファルトとの相溶性が悪く、伸度や低温性状もあまり期待できないため、我国では実用化されていない。APPもPPの副産物としてかなり研究されたが、接着性、収縮性など欠点があり、道路用材料としては実用化されなかった。しかしAPPは近年アスファルトルーフィング用として注目され、現在SBSと並んで相当量この分野で使用されている。

天然ゴムや石油樹脂などについてみると、アスファルトに添加した性状が過去に報告されている。これらは改質アスファルトの接着性改善にゴムや樹脂と併用されるなど単独での使用は少ないと考えられるが、実態は明確ではない。

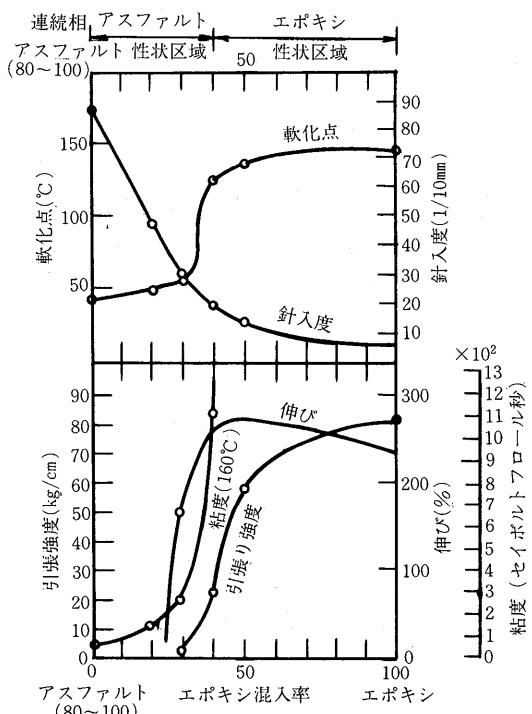


図-18 エポキシの混入量とアスファルトエポキシ樹脂の物性³⁶⁾

4-3 樹脂系改質アスファルト混合物の物性

樹脂系改質アスファルト混合物の物性については今までに各種の室内試験や、メーカーに対するアンケート集計結果等で報告されている³⁷⁾ので、ここではこれらの物性に関する最近のいくつかの例を示す。

一般地向けの密粒度(13)の粒度を使用し、(2)aで述べたコポリマー系の EEA と EVA、ゴム系の SBR と CR について、ホイールトラッキング試験による動的安定度の比較を行った例を図-19に示す³²⁾。この結果をみるとゴム系より EVA、EEA は DS が高くなっている。特に EEA の DS はかなり高い数値である。この図では薄膜後の 60°C 粘度で整理されているが、EVA は 60°C 粘度が低いにもかかわらず DS は出ており、60°C 粘度との相関が他とは異った傾向を示している。

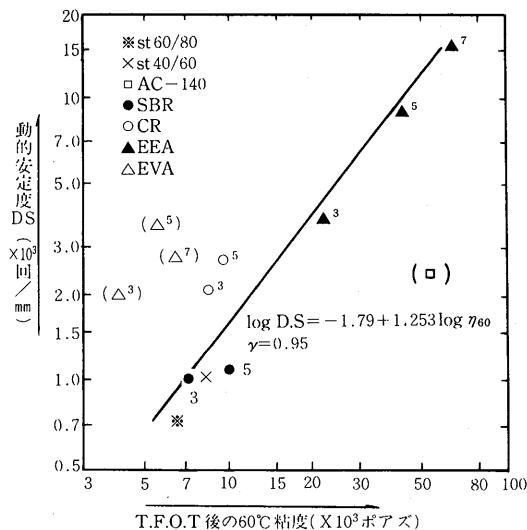


図-19 薄膜加熱後の 60°C 粘度と動的安定度の関係³²⁾

一方寒冷地に使用されている細粒度ギャップ粒度での改質アスファルト混合物の物性例を表-12に示す³⁸⁾。寒冷地の舗装は当初タイヤチェーンによる摩耗対策としてゴム入り改質アスが実用化されたが、スパイクタイヤに移行すると共に、交通量の増大から夏期の流動についても対策を立てる必要が生じ、耐摩耗、耐流動を併せ持った材料として、樹脂またはゴム樹脂改質アスも検討されるようになった。この表はスパイクラベリングによる摩耗量と動的安定度の結果である。改質アス混合物の摩耗量は全体の平均としてはストアスよりも低いようであるが、改質の効果は動的安定度程明確ではなく、中にはストアスよりも悪いものもあり、個々の改質材によってかなり差が認められる。動的安定度

表-12 スパイクラベ摩耗量および動的安定度³⁸⁾

No.	種類	スパイクラベ 摩耗量 cm ²	動的安定度 (回/mm)	備考
1	ストアス13F 40% ゴム系		122	
2		7.50	257	
3		6.87	367	プラントミックス
4		6.75	644	〃
5		6.88	872	〃
6		7.50	3150	〃
7		6.88	1616	〃
8		7.21	3063	〃
9		6.79	1034	プレミックス
10	樹脂系	6.56	2363	プラントミックス
11		6.16	9750	〃
12		7.66	560	〃
13		6.71	2573	プレミックス
14	ゴム・樹脂系	6.36	955	〃
15	吸油性硬化材	9.77	725	プラントミックス

は F タイプの粒度であっても改質の効果が現われ、改質材間における差はあるがストアスの 2 倍から 10 倍以上である。なおスパイクによる摩耗に対しては、骨材の質、粒度、最大粒径などの影響もかなり大きいことが、室内試験や現場調査から報告されており、摩耗対策では改質と併せて石質、粒径等の検討が必要である。

樹脂系改質材を使用したアスファルト混合物の供用性については今までに数多く報告されているが、前出の文献³⁷⁾の中でもユーザーサイドへのアンケート調査から供用性についてまとめられているので参考にもらいたい。ここでは都市内での一つの例として耐流動を目的とした樹脂系改質アス舗装の追跡調査結果を図-20に示す³⁹⁾。この図によれば、わだち掘れ量は 100 万台通過時でストアスの 60~70% である。

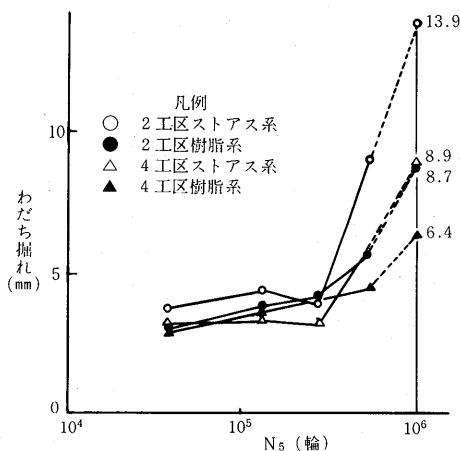


図-20 N₅ とわだち掘れ (ストアス系と樹脂系の比較)³⁹⁾

5. 改質アスファルトの施工性および留意点

改質アスファルト混合物を使用した舗装の供用性結果の中には、改質アスファルトの効果が必ずしも判然としない場合も報告されており、室内試験性状と現場供用性が一致しないこともある。これらの結果に対する要因として改質アスファルトの作業性、施工性の問題が考えられる。寒冷地の摩耗を例に取ると、摩耗量と締固め度の間には相関が認められ、現場での締固めは供用性にとって重要であることが示されている。一般地においても所用の物性値を得るために締固め度の確保は大切なことである。これらから、改質アスファルトは高粘度バインダであるため、舗設にあたっては混合、転圧温度は厳密に管理し、施工時期、気温等にも注意を払う必要がある。改質アスファルト混合物の施工性、留意点などについては先の文献³⁷⁾を参考にしもらいたい。

一方、上記の諸条件の他に既設舗装の条件も供用性に与える要因の一つと考えられる。オーバーレイ工事等で既設の基層が流動し易い所や、既設舗装のたわみが大きい所などでは、これら既設舗装条件が直接表層の供用性に影響を与えるので、改質アスファルトを適用するに当っては事前のチェックが必要である。

なお、改質アスファルトの場合は、温度粘度曲線より施工時の混合締固め温度を設定することは適当でなく、室内実験、現場施工実験を通して、それぞれの改質アスファルトにあった混合温度、施工条件を選定し

て適用すべきであると考えられる。さらに改質アスファルトの長期に渡る高温貯蔵や、混合物の貯蔵等でもバインダの劣化は起り得るので、使用に当ってこれらのことを見検討すべきである。

6. まとめ

以上高分子系改質材の内容およびアスファルトへの改質効果について述べてきた。改質アスファルトは、アスファルト舗装要綱が昭和63年に改訂され、特殊な材料から一般的な舗装材料となったため、今後共増大することが予想されるものである。

諸外国での動向をみると、改質アスファルトは最近の学会や論文の中に見られるように、我国と同様かなり注目されてきている。ヨーロッパではチップシールやスラリーシールなど薄層舗装の骨材把握力を高めるために使用されてきたが、最近わだち掘れ対策や透水性舗装への使用も増加しているとのことである。米国においても SHRP の中で改質アスファルトが取り上げられており、PIARC においても改質アスファルト舗装のセッションが持たれるなど、改質アスファルトの議論はますます活発化していくものと思われる。

今後は、改質アスファルトの選定方法、施工条件の標準化など残された課題と併せて、最近の都市内道路での補修工事の困難性などから道路利用者のコストを含めたトータルコスト面への改質アスファルトの効用等についても考えていく必要がある。

参考文献

- 1) 特開昭60-13511, 特開昭60-28461
特開昭60-84340, 特開昭62-263270
特開昭63-39974, 特開昭63-59480 など
- 2) 「ゴム年鑑」、1989年版、ポスティコーポレーション、P.231
- 3) The Synthetic Rubber Manual, 10th. Edition, 1986. International of Synthetic Rubber Producers, Inc., P.79
- 4) David Dworkin : Changing markets and technology for speciality elastomers, Rubber World, vol. 171 Feb., P.43, 1975
- 5) 「10188 の化学商品」化学工業日報社 昭和63年1月, P.663, P.828
- 6) 太田：改質アスファルトの特性(その1), アスファルト誌, 22巻118号, P.17, 1979
- 7) アスファルト舗装技術委員会：特殊アスファルトの実態調査(メーカー対象), アスファルト誌, 31巻156号, P.27, 1988
- 8) 笠原, 植村：ゴムアスファルトの性質に及ぼすラテックスの組成の影響, 石油誌, 17巻8号, P.672, 1974
- 9) T. Tada, M. Makita, T. Iijima, H. Sakamoto : Modified asphalt in Japan and research into the development of new rubberized asphalts, Pav-ing in Cold Areas, II, P.305, 1982
- 10) 日本ゼオン未発表データ
- 11) Tentative Skid-Resistance Requirements For Main Rural Highways, NCHRP Rept, P.37 1967
- 12) 久保, 熊谷, 佐藤：北海道の国道における舗装摩耗について, 北海道開発局土木試験所月報No.347, 4月, P.1, 1982
- 13) 久保：改質アスファルト混合物の凍結融解作用に

- 対する抵抗性について, 石油誌, 21巻 4 号, P. 257, 1978
- 14) 東北技術, No.44, 東北地方に適した舗装は P.2, 1980, No.55, 試験舗装の追跡調査について P.2, 1983
- 15) 久保: 北海道における国道舗装の摩耗とスパイク ラベリング試験による室内試験, 第2回北陸道路舗装会議, P.19, 1982
- 16) 本田, 山本, 上田: アスファルト舗装の締固め実態について, 第3回北陸道路舗装会議, P.83, 1985
- 17) 原, 鈴木: ゴム入り混合物の密度と特性についての一考察, 第1回北陸道路舗装会議, P.155, 1979
- 18) 福村: 中国地建におけるアスファルト舗装のわだち掘れと耐久性に関する研究, 道路技術シンポジウム「アスファルト舗装のわだち掘れ」, P.27, 1983
- 19) 米村: 九州地方建設局管内アスファルト舗装わだち掘れの実態と対応, 「アスファルト舗装のわだち掘れ」に関するシンポジウム, P.29, 1983
- 20) 「ゴム入りアスファルト舗装設計施工資料」, (社)日本道路建設業協会北陸支部, P.4, 昭和61年1月
- 21) 斎藤, 杉村: 特殊ラテックスを使用した耐流動性舗装, 第16回日本道路会議, P.373, 1985
- 22) 坂下, 和田: 耐流動舗装材料の建試協における調査例, 舗装, 21巻11号, P.20, 1986
- 23) 松木, 中村, 大竹, 大滝: 高濃度SBRラテックスを用いた試験舗装～その2～, 第3回北陸道路舗装会議, P.181, 1985
- 24) 福井, 旭: 大三島橋の橋面舗装, 道路, 2月, P. 53, 1980
- 25) 山口, 渕田, 鈴木, 中尾: 本四連絡橋大鳴門橋及び関連区間の舗装工事, 舗装, 20巻 7 号, P.30, 1985
- 26) 成田, 坂田: 舗装, 17巻 5 号, 新二子橋橋面舗装の追跡調査(上) P.10 (1982), 17巻 6 号, 新二子橋橋面舗装の追跡調査(下) P.22, 1982
- 27) 高分子学会: 入門高分子材料, 共立出版, P.10, 1986
- 28) アスファルト舗装技術委員会: 特殊アスファルトの現状, アスファルト, 31巻, 第156号, 1988
- 29) 山下, 小松: エラストマー, 共立出版, P.6 1989
- 30) 松永, 林: エチレン-エチルアクリレート共重合樹脂の特性と応用, プラスチックス, Vol.21, No.11, P.30, 1970
- 31) 太田: 舗装用改質アスファルト, 日本ゴム協会誌, 56巻第3号, P.69 1983
- 32) 酒井, 棚木: バインダーによる混合物の諸性状について(その3), 日本道路公団試験所報告, P.117 昭和56年11月
- 33) 高分子学会: 入門高分子材料, 共立出版, P.49, 1986
- 34) 特公昭40-23798, 24914, 24195
- 35) J.H. COLLINS, W.J. MIKOLS : BLOCK COPOLYMER MODIFICATION OF ASPHALT INTENDED FOR SURFACEDRESSING APPLICATIONS, A.A.P.T, Vol.54, P.1 ~15, 1985
- 36) 林, 山本, 岡島: エポキシアスファルトによる橋面舗装の施工, 舗装, Vol.18, No.2, P.5, 1983
- 37) アスファルト舗装技術委員会: 特殊アスファルトの現状, アスファルト, 31巻第156号, 1988
- 38) 梅津, 熊谷, 佐藤: 改質アスファルトの耐摩耗効果に関する実験的研究, 土木試験所月報, No.415, P.1~11, 1987.12
- 39) 阿部, 峰岸, 小沢: 舗装の耐流動性に関する試験舗装による検討, 東京都土木技術研究所年報, P. 45, 1987

☆

☆

☆

☆

☆

☆

天然アスファルト

向後憲一*

1. まえがき

天然アスファルト (Native Asphalt) が道路用材料として本格的に使用されるようになったのは、1800年代の前半であるといわれている。当時は Seyssel Asphalt (フランス), Val de Travers Asphalt (スイス) 等のロックアスファルトが多く用いられ、それらは単独または簡単に加工した形で使用されていた^{1,2)}。

1900年代に入ると、品質の安定した石油アスファルトの出現により天然アスファルトの使用量は急速に減少し、鉱床が大きく、品質的にも優れたトリニダッドレーキアスファルト (以下 TLA という) を除き、現在ではほとんどが使用されなくなった。

しかしながら、近年、車両の大型化と交通量の増大にともない、より硬質なアスファルトが望まれるようになり、アスファルトの添加材として天然アスファルトの価値が見直されてきている。

以下、本稿では、アスファルトの添加材として利用可能な天然アスファルトのうち TLA およびギルソンイト (Gilsonite) について、その一般性状およびアスファルトに添加した際の性状などについて述べる。

2. 天然アスファルトの種類と特徴

天然アスファルトは、アスファルト基原油が熱、圧力、酸素、触媒、バクテリア等の作用により長時間かけて変成したものである。その変成過程は図-1¹⁾に示すようなものと考えられており、レーキアスファルト (Lake Asphalt), ロックアスファルト (Rock Asphalt) などのいわゆる天然アスファルト (狭義の天然アスファルト) と、より変成の進んだアスファルタイト (Asphaltite) を含めて天然アスファルト (広義の天然アスファルト) と称するのが一般的である。

天然アスファルトの種類は多く、その産出状態により瀝青分含有量および性状が異なる。産出状態には、浸透鉱床、湧出鉱床、割目充填鉱床などがあり、それ

らの代表的なものを表-1^{1,2)}に示す。また、各種天然アスファルトの二硫化炭素 (CS_2) 可溶分と軟化点の関係を図-2 に示す。この図にみられるとおり、浸透鉱床 (ロックアスファルトなど)、湧出鉱床 (レーキアスファルト)、割目充填鉱床 (アスファルタイトなど) の順に瀝青分含有量 (CS_2 可溶分) が多く、硬質となる傾向がある。

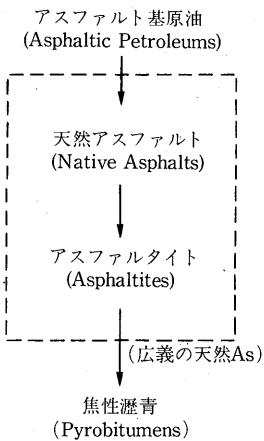


図-1 天然アスファルトの変成過程

表-1 天然アスファルトの代表的な性状

名 称	Val de Travers	TLA	Gilsonite
国 名	スイス	トリニダッド トバゴ	アメリカ
鉱床区分 (原鉱成分)	浸透鉱床	湧出鉱床	割目充填鉱床
CS_2 可溶分 %	9.2	39.0	98.0以上
CS_2 不溶非鉱物 %		0.3	—
鉱物質 (結晶水含む) %	90.8	31.5	0.7
自由水 %	—	29.0	0.3
(性 状)	抽出As	精製品	原鉱
比重 (25°C)	1.02	1.41	1.05
針入度 (25°C)	軟質	2	0
軟化点 (R & B) °C	26	97	162
CS_2 可溶分 %	—	54	98.0以上

*こうご けんいち 日本舗道技術研究所副主任研究員

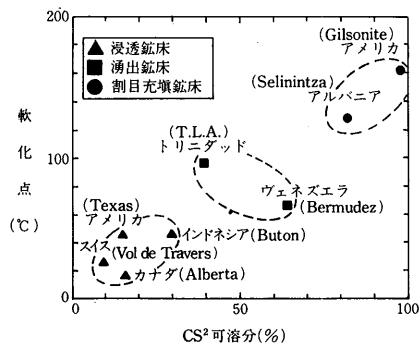


図-2 CS₂可溶分と軟化点の関係(文献²⁾より図化)

アスファルトの添加材として利用する天然アスファルトとしては、硬質で改質効果が高く、品質が安定しており、しかも埋蔵量の多いものが望ましい。そのような観点から見ると利用可能な天然アスファルトは比較的少なく、その代表的なものとして TLA およびギルソナイトがあげられる。

3. TLA

3-1 TLA の利用

TLA は、1876年にアメリカのワシントン D.C. でシートアスファルトに使用されたのを機に道路舗装用バインダーとして認められるようになった。その後(第二次世界大戦後)、ヨーロッパを中心にストアスの添加材(改質材)として広く用いられている¹⁾。

日本には、1921年(大正10年)初めて輸入された。戦後はしばらく輸入が中断したが、1972年(昭和47年)立山有料道路のホットロールド舗装工事に使用されて以来、グースアスファルト、ロールドアスファルトなどにストアスの添加材として利用されるようになった。その後、このような TLA 添加バインダーは、昭和53年版アスファルト舗装要綱(日本道路協会)に改質アスファルトの1つとして、また本州四国連絡橋の橋面舗装基準(案)にはグースアスファルト用バインダーとして規格化されるに至った³⁾。

世界各国で使用されている TLA 添加バインダーを表-2⁴⁾に示す。使用方法の考え方は国により異なる

表-2 世界の代表的な TLA 添加バインダー

国名	混合物タイプ	ブレンド比			合成 針入度	備考
		TLA	ストアス (針入度)	合成ゴム		
イギリス	ロールド	50%	50% (200)	—	40/60	モーターウェー、幹線道路
	"	55%	45% (200)	—	28/42	バスストップ、重交通路
	特殊ロールド	50%	50% (40/60)	—	21	重交通路
	マスチック	50%	50% (60/70)	—	20/30	長大橋鋼床版
	"	50%	50%	—	10/20	重交通市街路
西ドイツ	グース	24%	76% (45)	—		アウトバーン
	"	42%	58% (45)	—		重交通市街路
	"	39%	61% (65)	—		ライン橋鋼床版
	アスコン	34%	66% (80)	—		国道
	"	25%	75% (80)	—		ミュンヘン空港
	特殊アスコン	28%	72% (80 or 65)	—		トリアスファルト 0/11mm
スイス	アスコン	21%	79% (130/150)	—		アウトバーン
	ロールド	39%	61% (60/70)	—		国道 N 6 号線
オーストリア	グース	25%	75% (40)	—		主要幹線道路
	アスコン	20~25%	75~80% (70)	—		"
スウェーデン	グース	33%	67% (135)	—		ストックホルム市街路
ベルギー	特殊アスコン	22%	78% (50/60)	—	44	国際高速道路 E 3 号線
トルコ	マスチック	50%	50% (60/70)	—	20/30	第1、第2ボスピラス橋鋼床版
カナダ	マスチック	30%	70% (85/100)	—		インディアンリバー橋鋼床版
アメリカ	アスコン	25%	75% (60/85)	—		ケネディー空港
	特殊アスコン	20%	80% (60/85)	5%		橋面、トンネル
	シートアス防水層	40%	60% (60/85)	—	45/55	ジョージワシントン橋
香港	ロールド	50%	50% (200)	—	40/60	クロスハーバトンネル
日本	ロールド	30%	70% (80/100)	—	46	国道49号線中山峠など
	グース	25%	75% (20/40)	—	15/30	本四連絡橋
	シートアス防水層	40%	60% (60/80)	—		長崎県旭大橋

が、イギリスのように TLA 量を一定としストレートアスファルト（以下ストアスという）の針入度により合成針入度を調整する方法、逆にアメリカのようにストアスの針入度は一定とし TLA 量を変える方法、そのほか西ドイツや日本などのようにその中間的な方法をとっている国もある。

3-2 TLA 添加バインダーの性状

各針入度級のストアスに TLA を添加したバインダーの針入度を図-3⁵⁾に示す。TLA は鉱物質を多く含んでいるため添加量と針入度の関係は直線とはならず、図のような曲線となる。

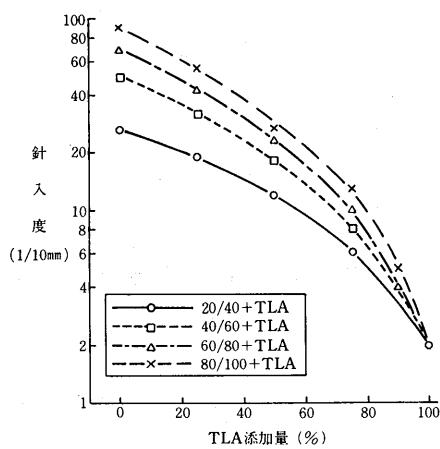


図-3 TLA 添加バインダーの針入度

TLA は、その組成に以下のような特異な性質があるとともに、今日でも完全には解明されていない諸特性がある⁶⁾。

- ① 石英約40%、イライト約45%、カオリナイト約15%よりなる鉱物質(特に0.1ミクロン以下のコロイド粒子として存在する平板状のイライト粒子)と約4%の水和水がある種の安定構造物を形成し、これがアスファルト粒子を包み、油中水滴型エマルジョン独特の安定性をもたらしている。
- ② TLA 澄青分中のマルテン成分は、石油アスファルトに含まれるものとくらべて粘着性、接着性に富む。

それらによって、TLA 添加バインダーは単に硬質なアスファルトというだけでなく、例えばグースアスファルトに使用すると、作業性(流動性)を高めながら安定性(貫入量、動的安定度)の向上がはかれる⁷⁾。

3-3 TLA 添加混合物の性状

TLA は前述のようにグースアスファルト、ロールドアスファルトなどに使用されているが、ここでは TRRL

により検討されたロールドアスファルトの性状例を示す⁸⁾。針入度50のストアスと TLA をブレンドしたバインダーを使用したロールドアスファルト(碎石量30%)のホイールトラッキング試験による変形率は図-4⁹⁾に示すおりであり、TLA による安定性の改善効果は極めて満足すべきものであるとしている。英国ではこの結果および施工性等を勘案し、重交通道路用の特殊ロールドアスファルトのバインダーとして、ストアス40/60と TLA を50:50にブレンドしたものを使用している(表-2 参照)。

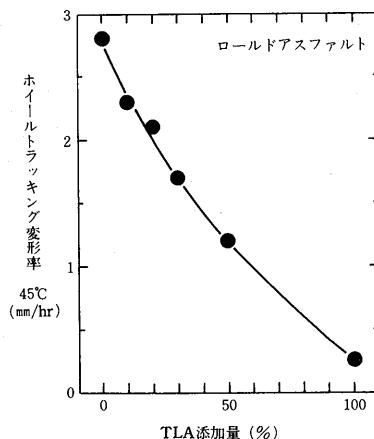


図-4 TLAを添加したロールドアスファルトのホイールトラッキング変形率

3-4 使用上の留意点

TLA とストアスを混合する際は、アスファルトケトル等のブレンド装置が使われている。ただしグースアスファルトについては、特に小規模な工事などでは TLA を小割りしてミキサまたはアスファルトクッカに直接投入することもある。

その際、TLA とストアスの溶融・混合には時間と労力を要すること、TLA の塊を小割りするのに粉塵の発生があることなど、ハンドリング性に難があるため、それらの改善が望まれている。

4. ギルソナイト

4-1 ギルソナイトの利用⁹⁾

アスファルタイトの一一種であるギルソナイトは、従来、主に自動車のシーリング材、印刷用インクの添加材、鋳物の生砂型の添加材、建材などの用途に使用されてきた。

近年、このギルソナイトが、高純度であるとともに

軟化点が非常に高いという特徴に着目して、アメリカ、ヨーロッパ（西ドイツ、フランス、ノルウェーなど）、オーストラリアなどで、重交通道路用の添加材として使用され始めており、耐流動性の改善効果が確認されている⁹⁾¹⁰⁾。わが国でも今後、舗装用ギルソナイトの利用が見込まれることから、以下に筆者らの検討結果を一部紹介する。

4-2 ギルソナイト添加バインダーの性状¹¹⁾

各針入度級のストアスに、ギルソナイトを添加したバインダーの針入度を図-5に示す。また、ストアス60/80にギルソナイトを添加したバインダーおよび相応の針入度級のストアスの性状例を表-3に示す。ストアス60/80にギルソナイトを4 Wt %（内割）および10Wt %添加し、ストアス40/60および20/40相当に針入度調整したバインダーは、それぞれストアス40/60および20/40と同等の性状である。このようにギルソナイト添加バインダーは針入度の調整が容易であるため、高針入度のストアスにギルソナイトを添加して、より低針入度のストアスの代替として一般混合物およびグースアスファルトなどに利用できる。

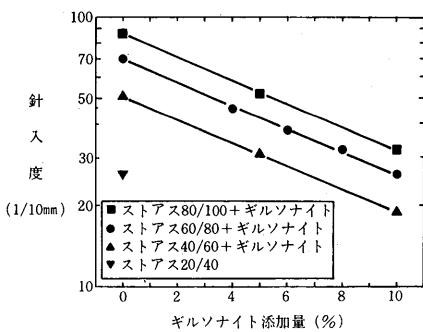


図-5 ギルソナイト添加バインダーの針入度

4-3 ギルソナイト添加混合物の性状¹¹⁾

ストアス60/80を使用した密粒度アスファルト混合物（13）にギルソナイトを添加した混合物のホイールトラッキング試験結果を図-6に示す。ギルソナイトを添加した混合物は耐流動性の改善効果が顕著であり、相応の針入度級のストアスを使用した混合物よりも優れた結果である。その他の混合物性状に関しては、相応の針入度級のストアスを使用した混合物と同等であった。

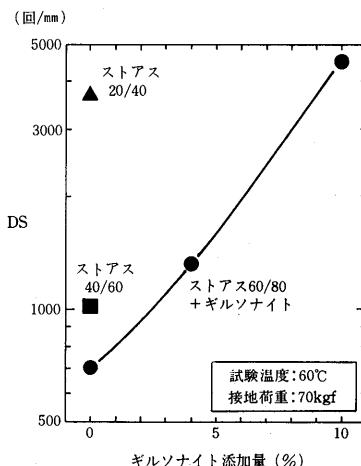


図-6 ギルソナイト添加混合物のDS(密粒13)

4-4 使用上の留意点

ギルソナイトの使用方法は、ストアスとあらかじめ混合して使用する方法と、アスファルト混合物製造時にミキサへ直接投入する方法のいずれも可能である。

ギルソナイト添加混合物の製造および施工に関しては、試験練り、試験施工より以下のようなことが確認されている。

- ① 混合物製造温度は、バインダーの温度粘度関係

表-3 ギルソナイト添加バインダーの性状例

項目 \ バインダー種	ストアス 60/80	ストアス 60/80 + ギルソナイト 4%	ストアス 40/60	ストアス 40/60 規格値	ストアス 60/80 + ギルソナイト 10%	ストアス 20/40	ストアス 20/40 規格値
針入度 25°C, 1 / 10mm	70	46	51	40~60	26	26	20~40
軟化点 °C	47.5	52.5	50.0	47.0~55.0	59.0	58.0	55.0~65.0
伸度 15°C (or 25°C), cm	140 ⁺	140 ⁺	140 ⁺	100以上	(100 ⁺)	(100 ⁺)	(50以上)
三塩化エタン可溶分 %	99.9	99.7	99.8	99.0以上	99.3	99.8	99.0以上
引火点 °C	352	348	356	260以上	342	355	260以上
薄膜加熱質量変化率 %	+0.08	+0.09	+0.09	0.6以下	+0.07	+0.07	0.3以下
薄膜加熱針入度残留率 %	68.6	71.7	72.5	58以上	80.8	73.1	—
蒸発後の針入度比 %	98.4	105.0	101.1	110以下	104.2	100.0	—
密度 15°C, g / cm ³	1.029	1.030	1.028	1.000 以上	1.031	1.030	1.00以上

より求めた混合温度でよい。

- ② ミキサへ直接投入する方法ではギルソナイトの均一な溶融を勘案し、混合物製造温度は170℃を下まわらないようにするのがよい(170℃以下の場合には混合時間が長くなる)。
- ③ ギルソナイト添加混合物の施工は相応の針入度級の混合物に準じて行うことができる。

5. あとがき

以上、アスファルトの添加材としての天然アスファ

ルトの利用について述べた。これらの材料は、長期間にわたり自然に熟成されたものであり、人工的には造り得ない特徴を有している。また、同じ瀝青系であるためアスファルトとのなじみがよく、安定した効果が得られている。アスファルトの添加材として合成改質材が主流となっている今日、これらの優れた天然資源をより有効に活用していくためには、合成改質材と天然アスファルトの目的に応じた使い分け（および組合せ）についてさらに研究していく必要があろう。

— 参考文献 —

- 1) H.Abraham : Asphalt and Allied Substances, Vol.1,D.Van Nostrand Company, INC. (6th Edit), Sep., 1960.
- 2) 羽山：天然アスファルト，アスファルト，Vol.29, No.149, 1986.
- 3) 沢：トリニダッドレーキアスファルト，アスファルト，Vol.24, No.129, 1981.
- 4) 東亜貿易㈱資料
- 5) 日本鋪道㈱資料
- 6) Trinidad Lake Asphalt, Technical Information No.5, No.7, 三菱商事㈱資料
- 7) 本州四国連絡橋橋面舗装基準(案), 本州四国連絡橋公団, 1983.
- 8) ギルソナイト, ㈱トーメン資料
- 9) K.Dokken, T.Evensen : Resin Modifier Helps Oslo Streets Fight Harsh Clime, Road and bridges, Nov.1987.
- 10) J.E.Baldassare, E.E.Romagosa : Gilsonite Resin -A Modifier for High Stability Pavements, 7th AAPA International Asphalt Conference, 1988.
- 11) 向後, 石倉, 秋葉：ギルソナイトの舗装材料としての利用, 第18回日本道路会議(1984)投稿中

日本のアスファルト事情 1989年版

B5・48ページ・実費額価 ¥700(送料実費)

当面するアスファルト事情を
わかりやすく解説した資料です。
広くご利用いただけるよう編
纂致しました。

ハガキにてお申込み下さい。
申込先 社団法人 日本アスファルト協会
105 東京都港区虎ノ門2丁目6番7号
和孝第10ビル

目次

★需 要	★課 題	臨時石油アスファルト需給等対策会議
用 途	★参考資料	道路予算
需 要の推移	品質規格	世界の原油確認埋蔵量
供 給	試 験 法	原油輸入量の推移
生 産	品質管理	原油価格
流 通	アスファルト舗装の特長	石油需給計画
施 策		

再生用添加剤

荒木 美民*

はじめに

舗装廃材再生利用技術指針(案)および路上表層再生工法技術指針(案)が発刊され、混合所および路上表層再生工法両者によるアスファルト舗装廃材の再生利用に関する技術基準が全て整えられた。これらの技術基準では、「再生されたアスファルト混合物の品質が、アスファルト舗装要綱等に示される加熱アスファルト混合物の品質に適合すること」を原則に、それぞれの工法に適用する再生用添加剤の品質を示している。

本文は、再生用添加剤の品質の現状を紹介するとともに、再生用添加剤によるアスファルトの再生のメカニズム、ならびに再生用添加剤により再生したアスファルト混合物の性状等を整理して紹介し、今後の検討課題等について述べるものである。

1. 再生用添加剤の品質の現状

再生用添加剤の標準的な品質は、前述したように舗装廃材再生利用技術指針(案)¹⁾および路上表層再生工法技術指針(案)²⁾に示されており、これが現時点での標準と云える。

両指針(案)では、再生用添加剤は、労働安全衛生法施行令に規定されている特定有害物質を含まないので、その品質は表-1～表-3に示すものを標準とするとしている。

表-1に示される品質は、日本道路協会で行った再生用添加剤に関する現況調査の結果等を参考に定められたもので、アスファルトの再生にふさわしくない廃油、重油等を排除するとともに、施工性、針入度等の性状の回復、および作業時の安全性を考慮して、動粘度(60℃)と引火点を規定している。また、再生用添加剤自体の耐久性を評価するために、薄膜加熱後の粘度比、薄膜加熱質量変化率を定めている。

更に、比重および組成分析結果についても今後の検討課題として報告を義務づけている。

一方、表-2、3に示される品質は、表-1の品質を勘案するとともに、路上表層再生工法における再生用添加剤の使用実績や施工時の加熱作業条件、環境等を考慮して定められたものである。

なお、再生の対象とする旧アスファルトの針入度は、両指針(案)とも20以上としており、再生用添加剤を使用する場合、これを順守することになる。

表-1 混合所用再生用添加剤の品質¹⁾

項目	試験法	品質
動粘度(60℃) cSt	JIS K 2283	80～1,000
引火点 ℃	JIS K 2265	230以上
薄膜加熱後の粘度比(60℃)	JIS K 2283	2以下
薄膜加熱質量変化率 %	JIS K 2207	±3以下
比重	JIS K 2249	報告
組成分析	付録-2	報告

表-2 路上表層再生工法用再生用添加剤の品質
(エマルジョン系)²⁾

項目	単位	規格値	試験方法
密度(15℃)	g/cm³	報告	JIS K 2249
エングラー度(25℃)		15～85	舗装試験法便覧参照
蒸発残留分 %	%	60以上	"
密度(15℃)	g/cm³	報告	JIS K 2249
引火点(COC) ℃	℃	200以上	舗装試験法便覧参照
粘度(60℃) cSt	cSt	50～300	"
薄膜加熱後の粘度比(60℃) %	%	2以下	"
薄膜加熱質量変化率 %	%	6.0以下	"
組成分析		報告	石油学会規格

表-3 路上表層再生工法用再生用添加剤の品質
(オイル系)²⁾

項目	単位	規格値	試験方法
密度(15℃)	g/cm³	報告	JIS K 2249
引火点(COC) ℃	℃	200以上	舗装試験法便覧参照
粘度(60℃) cSt	cSt	50～300	"
薄膜加熱後の粘度比(60℃) %	%	2以下	"
薄膜加熱質量変化率 %	%	6.0以下	"
組成分析		報告	石油学会規格

*あらき よしたみ 大成道路技術研究所開発研究担当部長

2. 再生用添加剤の組成と再生のメカニズム

再生用添加剤は、劣化したアスファルトの性状を回復するために用いられる。この場合、コンシステンシーの回復だけでなく、耐久性を含めた総合的な性能の回復が要求されることは、1で述べた再生用添加剤の品質からも明らかである。

ここでは、石油学会法に代表されるクロマト法¹⁾ならびに再生用添加剤の研究に広く利用されている Rostler により開発された方法（以下、ロスラー法と称す）による組成の面から³⁾、アスファルトの劣化、および再生用添加剤の組成の再生効果等について述べる。

なお、石油学会法およびロスラー法で分別する組成を表-4に示した。

表-4 石油学会法、ロスラー法による組成

分析法	成 分	分 别 法
石油学会法 クロマト法	アスファルテン	温n-ヘプタンに不溶で、温トルエンに可溶な物質
	飽和分	アルミカラムクロマトグラムにより、n-ヘプタンで展開溶出する物質
	芳香族分	アルミカラムクロマトグラムにより、飽和分の次にトルエンで展開溶出する物質
	レジン分	アルミカラムクロマトグラムにより、飽和分、芳香族分の次にメタノール-トルエンで展開溶出する物質
ロスラー法	アスファルテン A	n-ペンタン不溶解物質
	窒素塩基 N	85%硫酸との反応沈澱物質
	第1アシダフィン A ₁	98%硫酸との反応沈澱物質
	第2アシダフィン A ₂	発煙硫酸(30% SO ₃)との反応沈澱物質
	パラフィン P	未反応物質

2-1 アスファルトの劣化

一般に、アスファルトが劣化すると組成が変化し、これに伴い針入度等の物理性状に変化を生じることになる。

劣化による組成の変化を、クロマト法についてみると、飽和分は、一部蒸発による現象と、高分子成分の一部の分解による増加が認められるものの、その程度は小さい。また、芳香族分はレジン分に、レジン分はアスファルテンへと変化する。このため、芳香族分が減少し、アスファルテンが増加することになる。また、レジン分は芳香族分からの移行と、アスファルテンへの移行のバランスから、その増減は一様ではない⁴⁾。

ロスラー法による組成の変化をみると、パラフィンと第2アシダフィンは安定な成分のためほとんど変化せず、窒素塩基がアスファルテンに、第1アシダフィンが窒素塩基に移行する。更に、窒素塩基はN₁とN₂に

分別でき、アスファルテンに変化するのは反応性に富むN₁と考えられている³⁾。

2-2 再生用添加剤の組成

2-1でアスファルトの劣化をクロマト法およびロスラー法による組成の両面から述べたが、再生用添加剤として望ましい組成を整理して以下に示す。

(1) クロマト法による組成

再生用添加剤の組成は、アスファルトが劣化すると芳香族分が減少すること、ならびにレジン分が凝集したアスファルテンを解こうし、解こうしたアスファルテンを芳香族分が分散させることから、レジン分および芳香族分に富むものが望ましいと云える。

ちなみに、前述した両指針(案)においても、再生用添加剤は、芳香族分が多いものが望ましいとしている。

(2) ロスラー法による組成

再生用添加剤の組成は、アスファルトが劣化すると第1アシダフィンが減少すること、ならびに窒素塩基が凝集したアスファルテンを解こうし、解こうしたアスファルテンを第1アシダフィンおよび第2アシダフィンが分散させることから、窒素塩基、第1アシダフィン、および第2アシダフィンに富むものが望ましいと云える。

さらに、ロスラー法による組成の面から再生用添加剤の組成を研究した、Davidson, Rostler, Dunningらの報告³⁾⁵⁾⁶⁾によると、以下の条件を満足することが望ましいとしている。

- ①アスファルテンを解こうする窒素塩基を9%以上含むこと。
- ②解こうしたアスファルテンを分散させる第1アシダフィンと第2アシダフィンを合計で60%以上含むこと。
- ③サイネリシス(離液現象)を防ぐために、N/Pが1.0以上であること。
- ④耐久性を優れたものとするため、CRR (Chemical Reactive Ratio) = (N + A₁) / (P + A₂) が0.4~1.0(望ましくは、0.4~0.8)であること。
- ⑤再生用添加剤の添加量のわずかな変化が、再生アスファルトの性状に大きく影響しないよう、アスファルテンを含むこと。

また、これらの条件を参考に再生用添加剤の組成を検討したところ、1) N/Pは針入度及び軟化点の回復にはほとんど影響しないが、伸度の回復に影響を及ぼし、この値が1以上であれば、ほぼ満足のできる伸

度の回復が得られる、2) CRR の大きいものほど薄膜加熱試験による粘度変化率が大きく、CRR と再生用添加剤の熱劣化に対する抵抗性との間に相関があると考えられる結果を得ている⁹⁾。

このように、再生用添加剤の選定にあたっては、組成の面から検討する必要があると云える。なお、ここに示した考え方は、劣化により生成したアスファルテンを、解こう・分散させることを基本としており、酸化反応に対する還元反応のように、元の成分に戻そうとするものではない。

3. 再生アスファルトおよび再生アスファルト混合物の性状

日本道路公団が表-5 に示す市販の 5 種類の再生用添加剤を用いて実施した室内試験によると⁹⁾、

- ①組成は回復しないが、針入度、軟化点、伸度は新規アスファルトと同等まで回復する。
- ②針入度、軟化点が新規アスファルトと同等にまで回復しても、60°C 粘度は同等にまでは回復しない。
- ③耐流動性は、新規アスファルト混合物と比べて優位と考えられる。
- ④ひずみ速度 5×10^{-3} の曲げ試験によると、曲げ強度および脆化点は、新規アスファルト混合物と同等である。また、曲げひずみは、10°C (脆化点付近) を境に高温域では新規アスファルト混合物と同等、低温域では新規アスファルト混合物と同等以上である。
- ⑤ひずみ制御の繰返し曲げ試験によると、破壊までの繰返し載荷回数は、新規アスファルト混合物と比べて同等以上を示す。

としている。

表-5 評価に用いた再生用添加剤⁸⁾

試料	比重	60 °C 粘度 (Poise)	組成分析				種別
			アスファルテン (%)	飽和分 (%)	芳香族分 (%)	レジン分 (%)	
A	0.928	48.7	1.0	60.0	31.2	6.2	石油潤滑油系
B	1.015	643.0	0.1	22.6	65.3	8.7	"
C	0.998	38.5	0.3	41.3	52.1	5.2	"
E	0.991	190.0	3.3	40.5	41.6	10.7	"
F	0.990	22.2	0.1	47.5	35.3	13.2	"

参考文献 9) に示す研究でも同様の傾向が得られているほか、混合物の屋外暴露により耐候性を検討した結果を報告している。これによると、再生アスファルトと新規アスファルトでは、老化により変化する成分

に差が認められるものの、針入度等のコンシステンシーの変化は同程度と考えられる。

これらの結果から、指針(案)に示される品質を満足するものであれば、十分使用に耐えるものと考えられる。しかし、表-5 からも明らかなとおり、それぞれの再生用添加剤間の組成には差異が認められる。また、再生アスファルトと新規アスファルトとでは老化により変化する成分に差が認められるなど、組成に着目した長期的な耐久性の評価が、今後必要になるものと考えている。

4. 今後の検討課題

舗装廃材の処分などの問題を背景に、アスファルト舗装の再生が定着し、今後再生用添加剤の需要は増加するものと予想される。これに伴い発生する問題として、再々生が挙げられる。

これに関する研究としては、建設省道路局国道第一課と建設省土木研究所が、舗装廃材の再生利用に関する研究の一貫として実施したものがある¹⁰⁾。これは、薄膜加熱試験を応用して、アスファルトの性状の面から、何回の再生が可能かについて検討したものである。

この研究では、再々生を議論する場合に、再生用添加剤の品質の検討がきわめて重要であると指摘している。このことは当然ながら、3 で述べた組成に着目した長期的な耐久性の評価にも関わるものである。

また、前述の両指針(案)では、事例が少ない等の理由から、植物油系の再生用添加剤をとりあげていない。しかし、劣化したアスファルトに添加した場合のアスファルテンの減少をみると、石油潤滑油系の再生用添加剤では希釈効果以上のものが認められないのに對し、ある種の植物油系の再生用添加剤では、希釈効果以上の効果が認められる⁴⁾。このことから、植物油系の再生用添加剤は、アスファルトの組成を回復させる要素を含んでいる可能性があり、今後の検討課題として興味深いものと考える。

おわりに

以上、再生用添加剤の品質の現状、再生用添加剤による再生のメカニズムなどについて簡単に述べた。施工例については、実績は多いものの体系的に取りまとめた資料が少ないため割愛させていただいたことをお詫びするとともに、本文がわずかでも参考になれば幸いと考えている。

— 参考文献 —

- 1) (社) 日本道路協会：舗装廃材再生利用技術指針
(案), 昭和59年7月, P11.
- 2) (社) 日本道路協会：路上表層再生工法技術指針
(案), 昭和63年11月, P18.
- 3) Rostler.F.S and White.R.M : Composition and Changes in Composition of Highway Asphalt, 85-100 Penetration Grade, AAPT, Vol.31, 1962, P35.
- 4) 雜賀義夫, 川野敏行 : 再生アスファルト混合物に関する一考察 - 主として添加剤について-, 道路建設, 昭和56年11月, P56.
- 5) Davidson.D.D,Cannesa. W and Escobar.S.J. : Recycling of Substandard or Deteriorated Asphalt Pavements - A Guideline for Design Procedures, AAPT, Vol.46, 1977, P496.
- 6) Dunning.R.L and Mendenhall.R.L : Design of Recycled Asphalt Pavements and Selection of Modifiers, ASTM, STP662, 1977, P35.
- 7) 野村健一郎, 藤栄次 : 再生用添加剤の評価に関する2.3の検討, 第15回日本道路会議論文集, 昭和58年, P317.
- 8) 川島義昭, 岩田久志, 寺嶋悟 : 路上表層再生用添加剤を用いたアスファルト混合物の評価, 日本道路公団試験所報告 (昭和59年度), 昭和60年12月, P73.
- 9) 野村健一郎, 西田正樹, 坂井典治 : 再生アスファルトの耐久性に関する検討, 第17回日本道路会議論文集, 昭和62年, P500.
- 10) 建設省道路局国道第一課, 建設省土木研究所 : 舗装廃材の再生利用に関する研究, 第38回建設省技術研究会報告 (昭和59年度), 昭和60年10月, P383.

皆様からご好評をいただいている下記出版物は、
毎年改訂発行しております。

日本アスファルト協会・発行

『アスファルト・ポケットブック』1989年版

ポケットブック版・表紙ビニール製・本文72ページ・実費領価 700円(送料実費)
ハガキにてお申込み下さい。

主な内容

- 石油アスファルトの生産実績
- 石油アスファルトの需要推移
- 石油アスファルトの需要見通し
- 石油アスファルトの製造及び流通
- 石油アスファルトの生産場所及び油槽所
- 石油アスファルトの製造原油
- 石油アスファルトの品質規格
- 石油アスファルトの用途
- 石油アスファルトの価格
- 道路投資額と石油アスファルト需要
- 平成元年度の道路予算
- 道路の現況
- 道路整備5ヵ年計画
- 参考資料
- 石油供給計画
- 主要諸国の道路事情
- データーシート
- 住所録
- 会員名簿
- 関連官庁・関連団体

多孔質骨材

杉智光*

1. 多孔質骨材について

本材はアスファルト舗装の耐流動用添加材であり、路面温度が高温になると、アスファルト中の余剰の軽質油分を選択的に微細な空隙面から吸収し、アスファルトの流動化を従来技術と全く異なる観点から解決¹⁾したものである。本材は、昭和63年11月改訂されたアスファルト舗装要綱²⁾に吸油性骨材として、また、路上表層再生工法技術指針(案)³⁾に人工骨材として、耐流動性改善の材料として新たに加えられた。本材はプラント混合用の「OR-60」と路上再生用の「OR-60SR」及び「OR-200」(グースアスコン用)の商品名で市販されている。

1-1 物理的性質

形状は粒状または顆粒状で、粒径はOR-60及びOR-60SRは0.1~5mm、OR-200は5~20mmの範囲にある。物理的性質は表-1の通りである。本材は微細な空隙を有することに特徴がある。その細孔分布を図-1に示す。全細孔容積は $7,500 \times 10^{-2} \text{cm}^3/\text{g}$ を示

表-1 物理的性質

項目	測定例	測定方法
かさ比重	2.225	JIS A 1109
吸水率(%)	8.70	JIS A 1110
スリヘリ減量(%)	23.3	JIS A 1121
安定性(%)	1.7	JIS A 1122

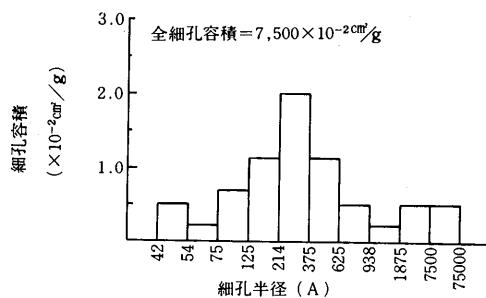


図-1 OR-60の細孔分布

し、一般骨材に比し約10倍の大きな値である。

1-2 吸油性能

本材は、路面温度が40°C以上となり、過剰の軽質油分が浸出してきたとき、これを吸収しアスファルトモルタルの軟化を防止して路面の安定を保つ。養生日数と吸油率の関係を図-2に示す。養生温度が高くなる程、吸油量が増加する。また、混合直後の吸油量はごく微量であり、混合性及び舗設性は低下しない。吸油成分は微細な空隙に吸油するため、アスファルト中の

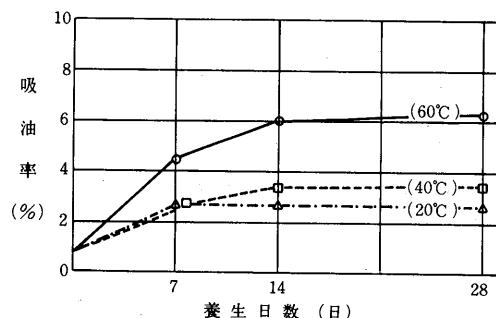


図-2 養生日数の進行に伴う吸油率の変化

[アスファルト: 60~80
混合比: アスファルト/OR-60=1/1]

2. 多孔質骨材添加アスファルト混合物の性状

2-1 添加量と動的安定度

密粒度及び粗粒度混合物でのOR-60添加量と動的安定度との関係を図-3に示す。添加量が密粒度で6%, 粗粒度では4%で動的安定度の値が最大となる。

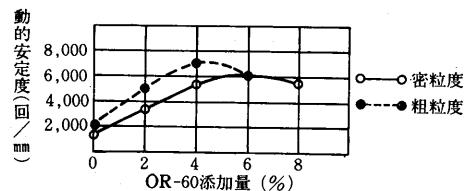


図-3 OR-60添加量と動的安定度との関係

(M-13密粒度、アスファルト量5.7%、60°C 14日間養生)
(粗粒度アスファルト量4.8%、60°C 14日間養生)

*すぎともみつ 大阪セメント開発部長

軽質油成分である飽和分を優先的に吸油する⁴⁾。

2-2 養生日数と動的安定度

高温養生(60°C)における動的安定度をOR-60添加混合物と無添加混合物について比較し図-4に示す。無添加混合物では養生日数の増加に伴う動的安定度の伸びはほとんど認められないが、OR-60添加混合物では著しく増加することがわかる。供用道路では、車の通行による転圧効果のため舗設後の早い時期から動的安定度が増加する。

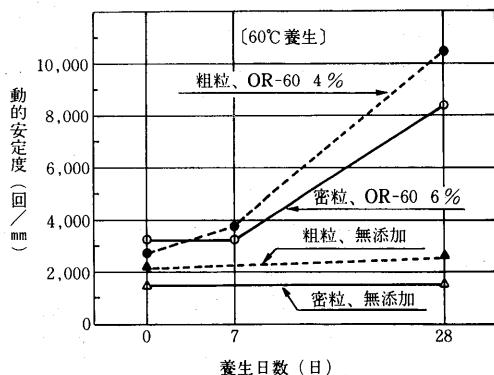


図-4 養生日数と動的安定度の関係
〔密粒度：M-13、アスファルト量5.7%〕
〔粗粒度：アスファルト量4.9%〕

2-3 吸油率の異なる骨材の添加混合物の比較

OR-60を添加した混合物と同一粒径の吸油特性の少ない人工砂(風碎、吸水率=0.5%)を添加した混合物との動的安定度の挙動を図-5に示す。吸油特性を

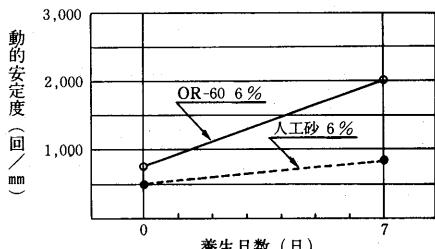


図-5 OR-60と人工砂との比較
(M-13密粒度：アスファルト量6%: 60°C養生)

有するOR-60添加混合物は養生日数の経過とともに動的安定度の増加の割合が大きくなる。

2-4 OR-60添加混合物のマーシャル安定度

OR-60(6%添加)混合物のマーシャル安定度試験結果(例)を表-2に示す。OR-60添加供試体は無添加供試体に比較して空隙率、S/F及び残留安定度が大きな値を示し、密度、飽和度、フロー値が小さい値を示す。

2-5 OR-60添加混合物のその他の性状

OR-60を6%添加した密粒度混合物(M-13、AS量=5.4%)の単純曲げ試験、繰り返し曲げ試験、ラベリング試験の結果、及び、すべり摩擦係数は無添加混合物と同程度の値を示し、OR-60を添加してもこれらの性能は損なわれることはない。

3. 配合設計

3-1 プラント混合の場合

OR-60を添加する基本的な配合は

- ① OR-60を添加する前の基本アスファルト混合物(ベースアスコン)については、舗装要綱による従来の設計と同様に行う。
- ② OR-60は、ベースアスコンに対して、外割りで最適量を添加する。OR-60の添加量を表-3に示す。

表-3 OR-60の添加量

混合物の種類	OR-60添加量	
	添加量*	添加率
密粒度アスコン(M-20、M-13)	60kg/t	6%
密粒度アスコン	40kg/t	4%

*アスファルト混合物1tに対して

OR-60の外割り添加によって、実質アスファルト量が設計アスファルト量より多少減少する。特にアスファルト量の補正を要する場合は、密粒度で0AC+(0~0.3)%、粗粒度で0AC+(0~0.2)%の実質アスファルト量の調整を行う。実質アスファルト量の調

表-2 OR-60添加混合物のマーシャル安定度試験結果(例)

合材の種別	養生日数(日)	供試体密度(g/cm³)	理論最大密度(g/cm³)	空げき率(%)	飽和度(%)	V.M.A.(%)	安定度S(kg f)	安定度F(1/100mm)	フロー値	S/F	残留安定度(%)
普通密粒度	0	2.389	2.484	3.8	77.6	17.0	1005	31	32.4	86.1	
OR-60 6%添加	0	2.369	2.470	4.1	75.0	16.4	1242	30	41.4	88.9	
	7	2.367		4.2	74.5	16.5	1361	31	43.9	90.5	
	14	2.368		4.1	75.0	16.4	1370	30	45.6	90.3	

(M-13密粒、AS = 5.7%)

整が動的安定度に及ぼす影響を図-6及び図-7に示す。

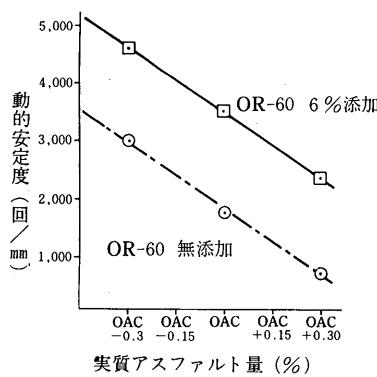


図-6 密粒度アスコンのOR-60添加によるアスファルト量と動的安定度の関係

[M-20密粒度アスコン]
OAC=5.3%
60°C 14日間養生

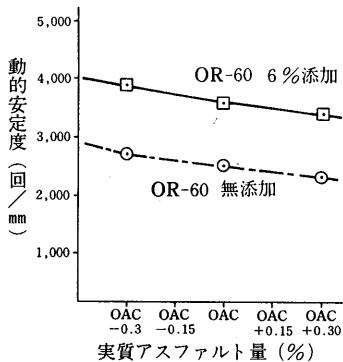


図-7 粗粒度アスコンのOR-60添加によるアスファルト量と動的安定度の関係
[粗粒度アスコン]
OAC=4.8%
60°C 14日間養生

3-2 路上表層再生工法の場合

路上表層再生工法において、既設流動路面の耐流動性の向上のため、OR-60SR及びOR-200が再生用添加材料（人工骨材と呼ばれる）として使用される。

再生用添加材料は、リミックス方式では新規アスファルト混合物と併用して、リペーブ方式では単独で既設表層混合物に添加混合して用いる。日本道路協会「路上表層再生工法技術指針（案）」に記載されている人工骨材の使用量の設定⁵⁾では

- ① 既設表層混合物の品質試験結果より、アスファルト量及び抽出後の骨材粒度より余剰アスファルト量を求める。
- ② 求められた余剰アスファルト量に基づいて、人工骨材の添加量を表-4より求める。

表-4 余剰アスファルト量と人工骨材の添加量

余剰アスファルト量 (%)	添加量 (%)
0.50 未満	3
0.50~0.64	4
0.65~0.74	5
0.75~0.90	6
0.91 以上	7

4. 施工実績

昭和53年から昭和62年3月までの実績累計によると、プラント混合が887件2,056,671m²、路上表層再生工法が300件、798,113m²の施工がある。プラント混合では、切削オーバレイから表・基層打換まで、路上表層再生工法では表層から、基層の改質まで多岐に及ぶ維持・修繕工事に適用されている。

5. まとめ

アスファルト舗装の耐わだち掘れ工法について、多孔質骨材OR-60、OR-60SR及びOR-200を用いたアスファルト混合物の性状、配合等について述べた。本材を添加したアスファルト混合物を用いた耐流動工法は従来の改質材等を添加したものに比較して、

- ① 混合物製造時あるいは舗設時の温度が一般のアスファルト混合物と同様に低く管理がしやすい。
- ② 一般のアスファルト混合物と同じ施工方法が採用できる。
- ③ 路面温度の上昇に伴い吸油効果が発揮される。
- ④ 路面のひびわれ発生が著しく少ない。

などの特性がある。

以上のように、従来のアスファルト耐流動材にない特徴をもった多孔質骨材（OR-60等）は、今後、更に耐用年数や吸油機構等について研究を進めなければならない部分も多くあるが、新しい原理によるアスファルト舗装のわだち掘れ防止材料である。

参考文献

- 1) 杉 智光、安藤 豊：大阪セメント技報、No.48, 1981, 7, p.14
- 2) 日本道路協会：アスファルト舗装要綱 64年版 1988, 11, p.158
- 3) 日本道路協会：路上表層再生工法技術指針（案），1988, 11, p.17 & 24
- 4) 安藤 豊、人見周二、久保広志：大阪セメント技報、No.51, 1984, 10, p.5
- 5) 日本道路協会：路上表層再生工法技術指針（案），1988, 11, p.80 & 81

纖維質補強材メチルセルロース

根本信行*

1. 使用状況

アスファルト混合物（以下アスコンという）への纖維質補強材（以下纖維という）の使用は、わが国では耐流動性・耐摩耗性等の向上のために用いられたアスベストに代表される実績がある¹⁾。また、アスファルト舗装要綱²⁾では、アスコンを補強するために用いる特殊添加材料の1つに纖維の記述があり、合成纖維の例としてポリビニルアルコール、ポリエステル、芳香族ポリアミドなどが紹介されているが、これらの使用実績はまだ少ないので現状であろう。

一方、欧州における纖維の使用は、アスコンのバインダー量の増加による耐久性の向上を主目的としているようである。路面排水および低騒音化に用いるドレーンアスファルト混合物³⁾や耐摩耗性・耐流動性を特長とする碎石マスチック混合物⁴⁾に適用されており、纖維の種類は木質纖維であるメチルセルロース（以下MCという）が比較的多く使用されている。

2. メチルセルロースの一般性状⁵⁾

MCは天然木に化学的処理を施すことにより得られる有機質纖維であり、処理温度250℃程度までは変質しない。化学的にも極めて不活性な物質であり、通常の条件下であれば溶剤、酸およびアルカリに対する耐性も高い。外観は灰色系で、形状的には微細な纖維である。また、食品添加物原料として用いられる種類もあり、生理学的には危険性がなく、環境に対する影響もない。

MCの一般性状は表-1の通りである。

表-1 MCの一般性状

項目	特性値
α-セルロース分	75~80%
PH	7.5±1
耐酸・アルカリ性	PH 1~11
かさ密度	25~30g/l
比重（実測値）	1.58
最長纖維長	5000μm
平均纖維長	1100μm
平均纖維幅	45μm

3. 改良効果⁶⁾

各種アスコンにMCを混入した改良効果を以下に示す。なお、混合物の種類は表-2に示す通りであり、ストレートアスファルト60~80を使用し、MCの混入量は全て0.5%（混合物に対する外割り重量比）での結果である。

表-2 各種アスファルト混合物の配合

混合物の種類		密粒度アスコン(13)	碎石マスチックアスコン(13)	透水性アスコン(13)
通	20mm	100	100	100
過	13	99.1	98.3	97.9
重	5	68.0	34.9	21.8
量	2.5	42.5	24.8	18.3
百	0.6	26.3	19.3	9.2
分	0.3	15.1	14.6	8.5
率	0.15	8.4	11.9	5.4
(%)	0.074	6.1	10.3	4.5
アスファルト量(%)	繊維なし 繊維入り	5.80 6.50	6.35 6.80	4.55 5.15

3-1 耐流動性

動的安定度は表-3の通りであり、MCの混入による耐流動性の改善効果は顕著である。特に、歩道などへ適用される透水性舗装用アスコンが²⁾、MCの混入により通常の密粒度アスコン以上の耐流動性を発揮することは注目できる。

表-3 各種混合物の動的安定度(DS)

混合物の種類	DS(回/mm)
密粒度アスコン	716
密粒度アスコン+MC	2,625
碎石マスチックアスコン	389
碎石マスチックアスコン+MC	3,316
透水性アスコン	292*
透水性アスコン+MC	1,575

(注) * 印は変形量が15分と30分の時の値。

*ねもと のぶゆき 日本舗道技術研究所主任研究員

この耐流動性の向上は、図-1に示すように、アスファルトへMCを混入することにより（両者がフィラービチューメンのようなマトリックスとして）見掛け上の軟化点が上昇し、改善効果が生じるものと考えられる。MCの混入量7.4~9.7%（対アスファルト比率で混合物の種類により異なる）では、軟化点が原アスファルトよりも100°C以上も上昇する。

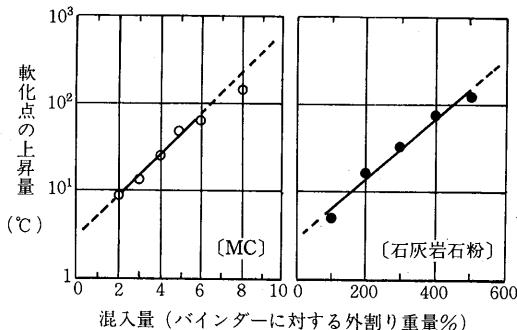


図-1 MCおよび石灰岩粉の軟化点への影響

3-2 耐摩耗性

摩耗試験結果は表-4の通りである。試験方法および混合物の種類の違いにより結果に差異がみられ、MCの混入による耐摩耗性の向上の効果は明確ではない。耐摩耗性への影響要因は、バインダーの特性よりも骨材配合面での影響が大きいことに起因するものと考えられる。しかし、混合物の種類別にみると、通常の密粒度アスコンに比べて碎石マスチックが耐摩耗性に優れ、その碎石マスチックではMCを混入すると耐摩耗性が更に向上的傾向が認められる。

表-4 各種混合物の摩耗試験結果

試験項目 混合物の種類	ラベリング試験 すりへり量 (cm ³)	回転ラベリング試験 摩耗量 (cm ³) (20,000回転)	トレーガ試験 摩耗量 (cm ³) (16サイクル)
	密粒度アスコン	2.39	6.53
密粒度アスコン+MC	2.07	6.80	22.24
碎石マスチックアスコン	1.83	4.94	17.26
碎石マスチックアスコン+MC	0.87	3.71	16.90
透水性アスコン	5.58	5.05	—
透水性アスコン+MC	6.55	5.16	—

3-3 破壊特性

アスコンの耐流動性を高める場合は、一般に硬質化するため、他の破壊、特にひび割れの懸念が持たれる。図-2は種々の条件で行った曲げ強度と破断歪との関

係を示したものであり、MCの混入による脆化といった破壊特性への影響はみられない。

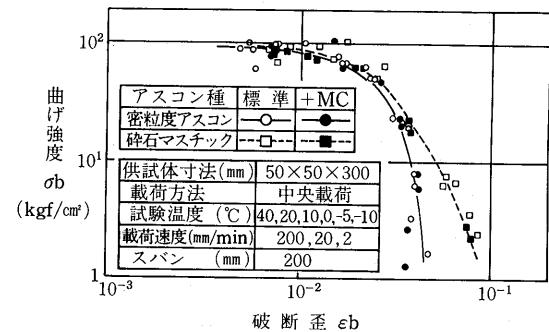


図-2 曲げ強度と破断歪との関係

4. 施工実績

MCは西ドイツなどではかなりの使用実績がある。わが国では、昭和62年から開粒度型のアスコンおよび碎石マスチックへ適用されている。MCを混入した開粒度型のアスコンは、混合物中に存在する空隙による交通騒音の低減を目的とした試験施工⁷⁾や大型車の通行する駐車場で降雨時の路面排水を目的とした箇所に適用され、MCはアスファルト量の増加による耐水性の改善と耐流動性の改善とを意図して用いられている。また、MCを混入した碎石マスチックは、積雪寒冷地におけるスパイクタイヤによる路面摩耗の問題を改善するための試験施工⁸⁾などで適用され、耐摩耗・耐流動性に優れた混合物として検討されている。

現在使用されているMCは西ドイツからの輸入品であり、通常の荷姿は1kgずつのプレパックタイプである。MCを混入したアスコンの製造は、所定量のMCをミキサに投入するプラントミックス法で行われており、MCの分散性は良好である。

MCを混入したアスコンの施工は、通常のアスコンの舗設方法に準じて行え、MCの混入によるアスファルト量の増加は、ローラ転圧での締固めの容易さに有効にはたらく。このため、改質アスファルトのように高めの温度での転圧作業は、特に必要とならない。MCを混入した碎石マスチックの施工結果の一例を表-5に示す⁸⁾。

5. 課題と今後の展望

MCを混入したアスコンは、MCをミキサに投入すること以外は通常のアスコンの場合と同様の製造および舗設方法で品質の確保が可能であるが、その供用性

表-5 施工結果の一例

混合物 項目	M C 碎石 マスチック (13)	改質密粒度 アスコン (20 F)	細粒度 アスコン (13 F)
アスファルト量 (StAs80~100, %)	7.2	—	7.0
改質アスファルト量 (%)	—	6.0	—
MC混入量 (合材重量比, %)	0.5	—	—
	練上り	172	185
合材温度 (°C)	敷均し	152	167
	初転圧	144	160
現場締固め度 (%)	100.4	98.6	98.4
舗設機械	敷均し	Asフィニッシャ (住友HA-45W)	
	初転圧	マカダムローラ (酒井R-2)	
	二次転圧	タイヤローラ (ダイナパックTS-290)	
	仕上げ転圧	振動ローラ (酒井SW-70,無振で使用)	

については、わが国の環境条件が実績のある欧州と異なるので、今後の追跡調査によって評価、確認されることになろう。

アスコンへの纖維の使用は、バインダー性状の改善や纖維自体の拘束力による混合物特性の改善などの補強効果が期待できる。補強効果は、纖維の種類や形状(径、長さ)によっても異なるはずであり、また補強効果を得るためにには混合時の分散性、耐熱性および施工性なども要求される。

現在、纖維の種類は、MCのような植物纖維以外にも天然岩石、スラグ、炭素、アラミドなど数多くあるが、アスコンに用いる材料の1つに纖維を加え、纖維の性状を活かしかつ適切な舗設ができる混合物となれば補強効果が期待できる。

異質な材料が持つそれぞれの特長を相乗的に發揮する材料として纖維は有効であり、従来のアスコンとは異なった視点からの材料の組合せ(配合)も考えられ、なお一層の研究が望まれる。

参考文献

- 1) 赤津、村上：アスペストを使用した試験舗装、舗装8-11, 1973, P27
- 2) 日本道路協会：アスファルト舗装要綱、昭和63年, P159
- 3) International Workshop on Porous Asphalt, Study Center For Roadconstruction S.C.W. Record 6, Netherland, 1989. 9.
Siegfried Ullrich, "Roll-und Fahrgeräuschmesungen auf Offenporigen Asphaltbelägen-Erprobungsstrecke Dormagen B9", Strasse und Autobahn, 1986. 12, P533.
- 4) O.Kast : Asphaltsonderberläge für hochbelastete Stadtstrassen, Strasse und Autobahn, 1985. 3.
- 5) 西ドイツ J.RETTENMAIR & SÖEHNE社: ARBOCEL® Catalogue.
- 6) 井上、内田：アスファルト混合物の流動特性と耐流動材料に関する一検討、道路建設、昭62年9月, P54.
- 7) 達下、森、阿部：低騒音舗装の試験施工と結果(上), (下), 舗装23-11 (P 3), 23-12 (P 33), 1988.
- 8) 菅原、井幡、福士：札幌市におけるMC碎石マスチックの試験施工、第18回日本道路会議論文集, 1989.

☆

☆

☆

☆

☆

☆

凍結抑制舗装用添加材

坂本浩行*

1. まえがき

冬期の道路においては、降雪や路面凍結によって車両交通に支障をきたす場合がある。わが国の産業および社会構造は自動車に依存している部分も多く、降雪や路面凍結防止対策等の路面の維持管理は、円滑な交通確保と交通事故防止のために極めて重要なものになっている。

冬期の道路における降雪と路面凍結防止対策としては、機械による除雪、凍結防止剤散布、ロードヒーティング、散水による消雪等がある。また、近年においては、アスファルト混合物製造時に塩化物や粒状のゴム等を添加して、舗装に凍結抑制の機能を付与した凍結抑制舗装が試みられ、冬期の道路における路面の維持管理に有効になるのではないかと関心が持てている。

本文では、これらの凍結抑制添加材入り舗装（以下、凍結抑制舗装という）について述べる。

2. 凍結抑制舗装の種類と概要

冬期の道路における降雪と路面凍結防止対策工法比較を表-1に示す。このうち、わが国では一般的に、降雪対策としては機械による除雪、路面の凍結防止対策としては凍結防止剤散布が行われている。しかし、これらの工法は、維持管理が繁雑になること。また、凍結防止剤散布工法では、定期的に塩化物を散布することから、道路構造物や沿道環境等への塩害の影響が懸念されている。

これに対して、凍結抑制舗装は、その原理から見てこれらの工法と比べて除雪や路面凍結防止性能は低くなると思われるが、適用地域の気象条件を適格に把握して使用すれば、維持管理の容易性から非常に有効になるものと期待される。

凍結抑制舗装は、添加材の種類から次の2つに分類される。

表-1 道路における降雪と路面凍結防止工法

工法区分	使用目的	特徴	問題点
機械による除雪	除雪	・積雪量が多い場合にも対応できる。	・凍結防止には期待できない。
凍結防止剤散布	凍結防止	<ul style="list-style-type: none"> ・ある程度の積雪には対応できるが、融雪を目的とした場合は大量に薬剤の散布をしなければならないので不経済。 ・路面温度-20℃程度までは、薬剤の選択および散布量で対応可能。 ・薬剤散布によって路面と雪の氷結防止が図られるので除雪作業が容易になる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・薬剤として塩化物が用いられるので定期的かつ大量に散布される地域では塩害の問題に注意する必要がある。
ロードヒーティング	融雪 凍結防止	<ul style="list-style-type: none"> ・融雪、凍結防止の効果の信頼性は高い。しかし、時間当たりの降雪量が多い場合には限界がある。 	・他の工法と較べて経済性が悪い。
消雪パイプによる散水	融雪	<ul style="list-style-type: none"> ・気温があまり低下しないところでは有効 ・温泉水、加温水および塩水の場合は、気温の低い場合でも有効であり、かつ凍結防止も可能 	・地下水散水では、地盤沈下の問題に注意する必要がある。
凍結抑制舗装	凍結防止	・維持管理が容易である。	・凍結抑制効果の持続性および舗装の耐久性。

*さかもとひろゆき 建設省土木研究所地質化学部化学研究室主任研究員

- ① アスファルト混合物に塩化カルシウム、塩化ナトリウム等の塩化物および特殊な石粉、特殊な骨材、油等を添加したもの。
- ② アスファルト混合物に粒状ゴムを添加したもの。舗装構造の模式図を、図-1に示す。

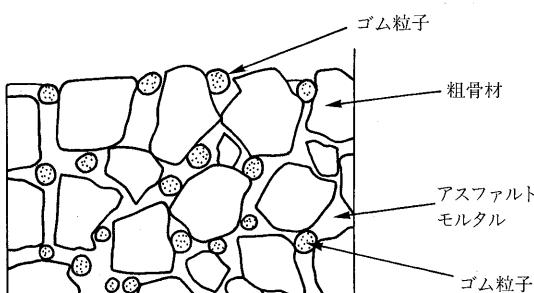


図-1 ルビット舗装模式図¹⁾

これらの凍結抑制舗装用添加材の種類、組成、形状、凍結抑制の原理と特徴、凍結抑制温度、標準添加量、施工実績等の概要を表-2に示す。

3. 凍結抑制舗装の性状

3-1 混合物性状

塩化物系の添加材を混入したものの混合物特性は、添加しないものと較べて多少の相違はあるが基本的に大きく変わるものではない。一例として、ベルグリミットを添加した混合物のマーシャル安定度試験およびラベリング試験結果を図-2～3に示す。

粒状ゴムを添加した混合物の性状は、表-3に示すように添加しないものに較べて、マーシャル安定度は低い値となっているが動的安定度、摩耗量、すべり抵抗値等では良好な値を得ている。

表-2 凍結抑制舗装用添加材の種類とその概要

添加材区分	商品名	組成形狀	凍結抑制の原理および特徴	凍結抑制温度	標準添加量	施工実績	備考
化学薬品 (塩化物系)	ベルグリミット	塩化カルシウムの表面を亜麻仁油でコーティングしたもので、粒径0.1～5mmの顆粒状。	<ul style="list-style-type: none"> ・塩化物の氷点降下（化学物質を水に溶解した場合の氷点は、0℃より低くなるという現象）を利用して路面の凍結抑制をする。 ・路面凍結抑制の形態は、次の2つが考えられている。 	-3℃ 程度まで	5～6%	スイスで1974年に開発されたもので、欧米等で多数の実績がある。国内では約240箇所で施工されている。	・塩化物を油でコーティングすることによって、塩化物の溶出をコントロールしている。
	マフィロン	塩化ナトリウム、塩化カルシウム等の無機塩に粘土、石粉を混合したもので、微粉状。	<ul style="list-style-type: none"> ①混合物中の塩化物が外界の気象条件によって、浸透圧や毛細管現象作用で舗装表面に溶出されるケース。 ②舗装の摩耗によって、混合物中の塩化物が舗装表面に出現するケース。 		7～8%	西独で開発されたもので、国内の実績は数例。	・塩化物の他粘土、石粉を混入して、混合物の耐久性向上を図っている。
	ノンフリーズ	特殊塩化物を特殊セメントに混入固化した後これを破碎したもので、10mm以下の骨材状。	<ul style="list-style-type: none"> ・舗装の耐久性は、添加材を混入しないものと比べて若干悪くなる。 ・融雪にもある程度の効果はあるが、使用目的は凍結抑制主体である。 ・降雪が路面に氷結しにくくなるので除雪作業が容易になる。 		8%	国内での実績は約20例。	・塩化物をセメントで固化させたものを破碎して骨材として使用している。
	原塩	原塩（塩化ナトリウム）で粒状	<ul style="list-style-type: none"> ・凍結防止剤散布においては、その量および頻度を軽減できる。 		5%	国内での実績は数例。	・原塩をそのまま使用するのでコストの低減が図れる。
粒状ゴム	ルビット	廃タイヤを急冷粉碎して製造したもので、粒状。	<ul style="list-style-type: none"> ・添加するゴム粒子のたわみ性を利用して舗装に弾力性を付与する。 ・弾力性の舗装は、走行車両の荷重により路面の氷結層を破壊する。 		3～4%	1960年代スエーデンで開発されたもので、国内の実績は約10例。	・塩分物混入の化学的凍結抑制作用に対して粒状ゴム添加のものは、ゴムの弾性力と車両荷重による物理的な凍結抑制作用である。

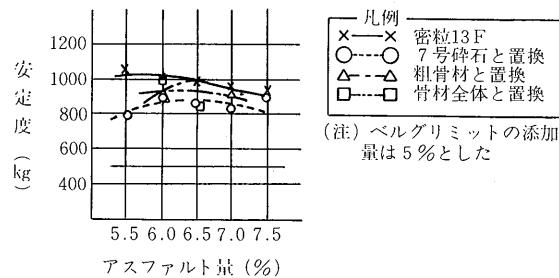


図-2 マーシャル安定度試験結果²⁾

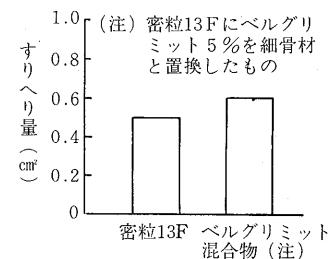


図-3 ラベリング試験結果²⁾

表-3 粒状ゴム添加混合物の性状³⁾

項目	試験条件	粒状ゴム(3%)	細粒G(13F)
マーシャル安定度(kg)	アスファルト舗装要綱 (60°C, 30分水浸)	100~200	800~1000
フロー値(1/100 cm)		70~90	25~35
動的安定度(回/mm)	60°C, 接地圧 6.4kg/cm ²	500~800	300~600
摩耗量(cm ³)	-10°C, 90分, 5mmクロスチェーン	0.4~0.6	0.7~0.9
すべり抵抗(BPN)	ポータブルテスター, 常温, 濡潤	70~80	65~75

3-2 現場の凍結抑制効果と舗装の供用性

3-2-1 凍結抑制効果

塩化物系のベルグリミットを4.5%添加したものの凍結抑制効果は、一般国道53号線（愛媛県上浮穴郡久万地区）の試験舗装結果によると、積雪時の融雪効果はないものの夜間の路面凍結防止と圧雪を路面から除去する場合の作業が容易であると報告されている³⁾。同様に、仙台地区でベルグリミットを添加した舗装の追跡調査結果によると、凍結抑制効果は図-4に示すようく概ね外気温-4°C以上、積雪量5cm以下の領域であるとしている²⁾。また、マフィロン、ノンフリーズ、原塩添加の舗装についても各所で試験舗装が実施され、路面の凍結抑制に効果があることが報告されている⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾。

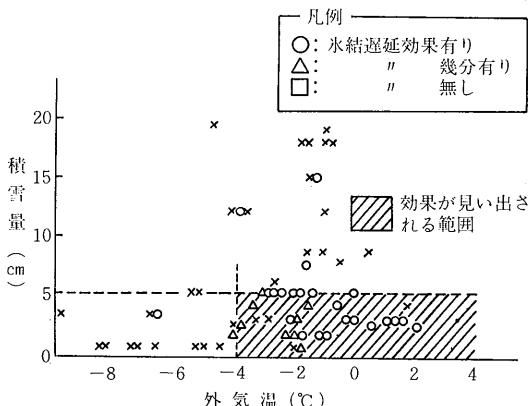


図-4 外気温および積雪量と効果の関係²⁾

粒状ゴムを添加したルビット舗装では、一般国道5号線（函館市近郊）の試験舗装において、凍結抑制効果が顕著であったと報告されている¹⁾。

3-2-2 舗装の供用性

塩化物系の添加剤を混入した舗装では、添加しないものに較べてわだち掘れ、摩耗等の供用性が悪くなるのは否めない。しかし、これは本舗装自体の特性に由来するものであり、ある程度は容認せざるを得ないものと思われる。

一方、粒状ゴムを添加した舗装では、添加しないものに較べて舗装の耐摩耗性等は向上するといわれている¹⁾。

4. 施工上の留意点

塩化物系の添加剤を混入した混合物の施工上の主な留意点は、①添加物の品質劣化を防止するために混合温度を守ること、②転圧時に塩化物の流出を防止するために、ローラーの付着防止には軽油を使うこと。また、粒状ゴムを添加した混合物では、混合温度、転圧温度等の温度管理が舗設混合物の品質に影響を及ぼすので厳密にすることが重要である。

5. まとめ

凍結抑制舗装の現況および問題点をまとめて見ると次のとおりである。

- 1) 凍結抑制舗装用添加材としては、塩化物系と粒状ゴム系がある。凍結抑制の原理は塩化物系が塩

- 化物の氷点降下、粒状ゴム系がゴムの弾力性を利用したものである。
- 2) 凍結抑制効果には限界があるので、その特性をよく把握して、適用場所を選択して使用する必要がある。
- 3) 試験舗装の結果の一例から、塩化物系のものの使用範囲について言及すると、外気温-4℃以上、降雪量5cm以下においては概ね有効である。
- 4) 凍結抑制機能の他、凍結防止剤を散布する場所では薬剤散布量の軽減、除雪作業においては作業が容易になる。

5) 凍結抑制効果の持続性および舗装の耐久性について、さらに向上させる必要がある。

6. あとがき

凍結抑制舗装は、他の凍結防止工法に比べて維持管理が容易である等の面から、今後さらに進展するものと考えられる。一方、適用するに当っては、その機能を十分発揮できる場所を適切に選択することが重要である。現時点でさらに向上が求められる事項として、凍結抑制効果の持続性と舗装の耐久性がある。今後、これらについてはさらに検討、改善が望まれるところである。

— 参考文献 —

- 1) 石川、古川：積雪寒冷地用特殊舗装とその氷結防止効果、道路建設、昭和61年3月。
- 2) 三浦、森田、早川：氷結遅延剤入りアスファルト混合物の基本性状について、第16回日本道路会議論文集、昭和60年10月。
- 3) 谷口、堀、古川：ゴムチップ入りアスファルト混合物の変形特性とすべり止め効果、第16回日本道路会議論文集、昭和60年10月
- 4) 近藤：凍結防止剤を添加した舗装補修について、アスファルト、Vol 31, No.158. 1989.
- 5) エムアンドイー株：マフィロン技術資料
- 6) 岩淵、小林、茂野：凍結防止舗装の特徴と効果について、第17回日本道路会議論文集、62年10月。
- 7) 安達、前川、盛田：原塩入り舗装の試み、第17回日本道路会議論文集、昭和62年10月。

日本アスファルト協会試験方法 JAA-001-1978. 石油アスファルト絶対粘度試験方法 Testing Method for Absolute Viscosity of Asphalt

1. 適用範囲	5 - 1 - 1. 粘度計校正用標準液による方法
2. 試験方法の概要	5 - 1 - 2. 標準減圧毛管粘度計による方法
3. 用語の意味	6. 試料の準備
3 - 1. 絶対粘度	7. 操作
3 - 2. ニュートン流体	8. 計算および報告
4. 装置	9. 精度
4 - 1. 粘度計	9 - 1. くり返し精度
4 - 2. 温度計	9 - 2. 再現性
4 - 3. 恒温そう	
4 - 4. 減圧装置	
4 - 5. 秒時計	
5. 校正	
5 - 1. 粘度計の校正	

実費領価 400円(送料実費)

申込先 社団法人 日本アスファルト協会
東京都港区虎ノ門2丁目6番7号
〒105 電話 (03)502-3956

剥離防止用添加剤

峰岸順一*

1. アスファルト舗装混合物の剥離のメカニズム

アスファルト舗装のひびわれ等から水が浸入し粒状路盤に滲水した場合に交通荷重の繰返しにより、アスファルト混合物に剥離（Stripping）が生じる可能性が高い。ここでの剥離とは、アスファルト混合物から骨材表面を被覆しているアスファルトが剥がれる現象をさす。剥離を起こした混合物は、アスファルトと骨材との結合がなくなり、ひびわれや流動等が起こり易くなり、これが舗装の早期破損につながる原因のひとつとなると考えられている。

剥離を考える為には、骨材、アスファルト及び水の3者間の界面の性状を知る必要がある。ここでは、剥離について物理化学的アプローチや文献上で知り得たことについて述べることとする。

1-1 界面（表面）張力からの説明¹⁾

アスファルト混合物に水が浸入した際の界面の状態をモデル化したものが図-1である。界面張力のバラ

ンスから、 $\sigma_{wa} = \sigma_{ab} + \sigma_{bw} \cos \theta$ で表される。

$$\cos \theta = \frac{\sigma_{wa} - \sigma_{ab}}{\sigma_{bw}}$$

となる。

ここで、 $\cos \theta > 0$ すなわち $0 < \theta < 90^\circ$ の場合は、剥離は起きないが、 $\cos \theta < 0$ すなわち $90^\circ < \theta < 180^\circ$ の場合は、剥離が起きると考えられる。骨材の上にアスファルトのドロップを作り、水の存在下で接触角 θ を測定すれば、剥離が起きるかどうか予測可能である。しかし、現実には、骨材表面性状も均一ではなかったりアスファルトの粘度が温度によって変化する等の理由から接触角 θ の測定は難しいとされている。

1-2 表面電位からの説明²⁾

まず、アスファルトと骨材の付着力について考えることにする。アスファルトと骨材の付着力は、アスファルトと骨材の機械的結合力とアスファルト分子と骨材分子間のファン・デル・ワールス力（熱力学的に液体 1 mol を気化させるのに必要な熱量 kcal で表す）に分類される。また、一般にケイ素を主成分とする骨材は、表面がマイナスに帯電していると考えられる。そして水は、分子構造の H_2O の水素側はプラス、酸素側はマイナスの極性を持った構造となっている。そのため、骨材表面のマイナス電位と水の水素分子のプラスの極性が引合って結合する（水素結合）。図-2 に示すように骨材とアスファルトの界面に水が浸入した場合、水素結合力が大きいため、アスファルトと骨材を剥がすように作用すると考えられている。

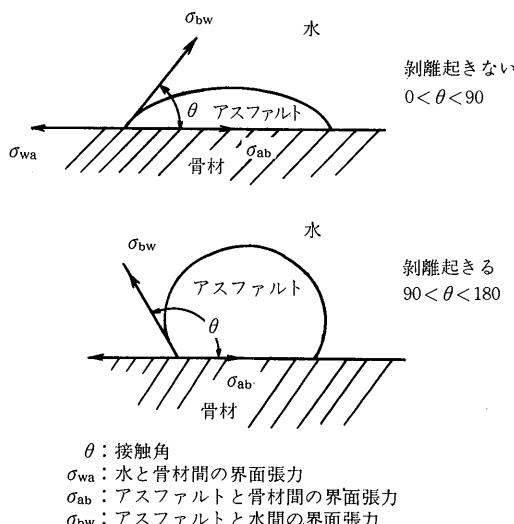


図-1 界面張力による剥離のモデル化

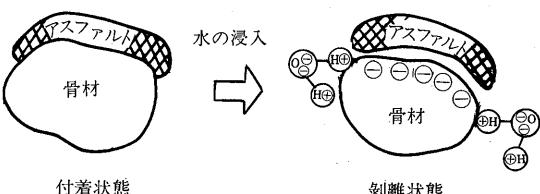


図-2 表面電位による剥離のモデル化

*みねぎし じゅんいち 東京都土木技術研究所技術部舗装研究室研究員

1-3 その他のメカニズム

上記1-2, 1-3の他に剥離を現象的に説明したものとして、交通荷重が作用すると、骨材とアスファルトの間隙にある水に過剰間隙水圧が生じ、舗装の力学的な挙動との作用により、剥離が生じるとするものがある³⁾。しかし、実交通下での舗装の剥離を説明することは、交通荷重、気温、降雨等の外的条件も加わり、材料条件や配合条件、施工条件等の複数の要因が複雑にからみあっているため難しい。

2. 剥離防止用添加剤

アスファルト舗装要綱（日本道路協会昭和63年版）では、特別な対策として剥離防止対策が示されている。それによると、①フィラーの一部に消石灰を用いる。その使用量はアスファルト混合物全重量に対する百分率で、粗粒度アスファルト混合物で2%，密粒度アスファルト混合物で3%を標準とする②剥離防止剤として油脂を基体としたアミン類、アミド類、第4級アンモニウム塩などのカチオン系界面活性剤を用いる。その使用量はアスファルト全質量に対する百分率で0.3%以上とする③針入度の小さいアスファルトを用いる。この場合の針入度は40~60のものが望ましいとされている。

このように、一般的な剥離防止対策として、アスファルトに界面活性剤を添加する方法と、骨材に消石灰やセメント等の活性フィラーを添加する方法が取られてきた。

表-1に剥離防止用添加剤の主な分類を示す⁴⁾。剥離防止用添加剤として、有機系では界面活性剤、無機系では消石灰、セメントなどが用いられている。この他に金属塩やタールなどが過去に用いられたこともあつた。また、シラン系のカップリング剤（無機質と有機

質の材料の結合を助ける材料）で剥離抵抗性の劣る骨剤の表面処理（骨材表面のマイナス電位をカップリング処理し電位加工を行うことにより、マイナス電位の遮断をする）を行ない剥離抵抗性を改善する方法も提示されている⁵⁾。

3. 剥離防止用添加剤の効果

3-1 界面活性剤

界面活性剤としては、カチオン系のアミン系活性剤が主に用いられている⁶⁾。これは、剥離が起き易いとされているシリカ (SiO_2) の含有量の多い酸性岩を対象としているためである。酸性岩は、表面がマイナスの電位（アニオン）を取っていることから、アニオンと親和性のあるカチオン系（プラスの電位を取っている）が有効と考えられているからである。その効果をモデルで示すと図-3の様になる。界面活性剤は分子内に

界面活性剤（カチオン系の場合）

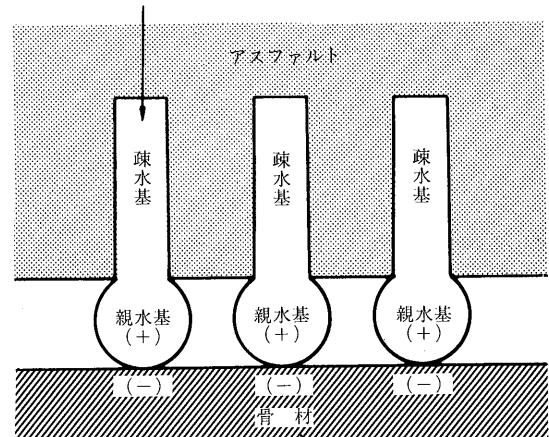
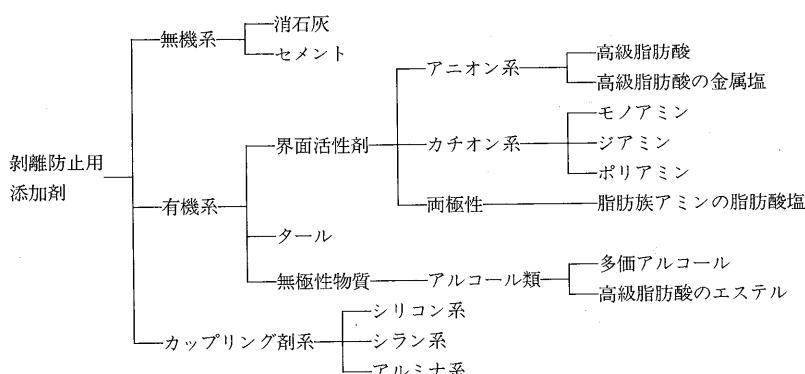


図-3 界面活性剤の効果

表-1 剥離防止用添加剤の分類



水との親和力の強い親水基と、油に対して親和力を示す疎水基をもつ化合物である。疎水性であるアスファルトの中に溶解すると、アスファルト表面に於いて、界面活性剤の疎水基の部分がアスファルトの中に引き込まれた形となり、また親水基は突き出た形となり、親水性である骨材の表面は界面活性剤の親水基と結合することになる。骨材が水分の影響を受けた場合でも、殆どの骨材はマイナスに帯電することから、剥離防止効果があるとされている。

しかし、カチオン系の界面活性剤は、塩基性岩にはほとんど効果を示さないことから、この欠点を補うためにアニオン、カチオンの両極性を持つ両性界面活性剤も開発されている。

そして、アミン系活性剤は高温に対して不安定である（耐熱性に劣る）ことや⁷⁾、耐久性の低下が報告されている⁸⁾。特にアスファルト混合物では、180°C近い混合温度になることから、アミンの一部が分解し、添加効果が減少すると考えられている⁹⁾。

3-2 消石灰

無機系の剥離防止剤としては、消石灰が用いられてきた。その効果についても過去追跡調査等で確認されている¹⁰⁾。消石灰の剥離防止効果は、①アスファルトと消石灰が一体化しフィラービチューメンとなりアスファルト表面に極性をもつことにより、骨材との間に接着効果が¹¹⁾。②消石灰と骨材との間のポゾラン反応（水の存在により常温で起る水酸化カルシウムとポゾランとの化学反応）等により、強度増加効果が¹²⁾。③消石灰添加によるアスファルトの経時劣化の低減が¹³⁾等によって説明されている。

しかし、消石灰は添加量がフィラーフーの50%程度置き換えるないとその効果は十分でなく、他の剥離防止用添加剤に比較して添加量が多いため、ミキサへの投入等の操作が繁雑になることや、混合時の均一性を確保することが難しい。また、最近この混合時の均一性を確保する為にスラリー状あるいは少し水分を含んだ消石灰を用いることが有効であるとする報告がある¹²⁾。この場合、加えられた水分を乾燥させる為の燃料が増大し、生産速度の低下となり経済的には、やや問題がある。

3-3 剥離防止用添加剤の効果の比較

剥離防止用添加剤の作業性や経済性を含めた効果の比較を表-2に示す。消石灰は、熱安定性や耐久性の面から、剥離防止剤（アミン系）より効果が認められ、適用されることが多い。しかし、一度に出荷する混合

物が多い場合は、添加量が多いため投入経費がかかり（ドライミックスする混合時間を充分に取る必要があるため）、また添加操作が繁雑になることや、混合時の均一性を確保することが難しいので選定に当っては、注意が必要である。

4. 留意点及び今後の動向

アスファルト舗装の剥離を防止するためには、①水を遮断すること②浸入した水を排水すること③混合物中の水分を可能な限り少なくすること④混合物を耐水性のあるものにする（使用骨材、アスファルトの選定、粒度の検討）の面から対策が重要であるが、それらが困難な場合は、添加剤による剥離防止を考慮する必要がてくる。最近良質な骨材が減少する傾向の中で、剥離抵抗性が通常の骨材より劣るものを使用しなければならない状況もあり⁵⁾、骨材によっては、剥離防止用添加剤等によって品質改善を考慮することが必要な場合もある。また東京都では、界面活性剤（従来からのアミン系の剥離防止剤）及び消石灰の欠点を補うため耐久性を改善した剥離防止剤を改質アスファルトにプレミックスし、付着性を改善したアスファルトを使用して、橋面舗装の剥離防止対策を行なった事例もある¹⁴⁾。

そして、AAPTにおける舗装用混合物の耐剥離添加剤に関するシンポジウム¹⁵⁾においても、1958年には、アメリカの19州で混合物に剥離防止用添加剤が用いられていたが、1982年には27州に増加し、その内3州ではすべての表層基層混合物に用いていると報告されている。剥離を骨材の性状、アスファルトの粘度、混合物の粒度、剥離防止用添加剤等の面から検討を行なう等、剥離がクローズアップされてきた。

このような状況の中で、剥離防止用添加剤の選定に当っては、水浸ホイールトラッキング試験等の各種室内試験の中から適切な試験方法を選択し、その効果を確認することが重要である。また、粗骨材と同様に細骨材についても剥離防止効果に対する検討を行なうことや、剥離防止用添加剤の添加方法と剥離防止効果の検討及び施工後に混合物の効果持続性等を確認し、総合的に判断を行なっていくことが必要である。

本報告をまとめるにあたって、日瀬化学工業㈱技術研究所の小林耕平氏に資料提供と御指導をいただきましたことに紙面を借りて感謝致します。

表-2 剥離防止用添加剤の比較例

項目	添加対象	添 加 量	経 済 材 料 単 価	混 合 物 1 t 当りの単 価 増	作 業 性 (添加方法)	熱 安定 性	アスファルト の品質に 対する 影響	耐 久 性 (混合物性状に 対する影響)	骨 材 と の 付着 性	使 用 実績
添加剤 消石灰	骨材	混合物全重量に対しても3% (密粒(13))	21,500円／t	645円	加熱混合時にフライヤーと同様にミキサーに投入する。混合むらが懸念される。	問題なし	粘度の増加があり設計アスファルト量が若干多くなる。	耐久性が向上する。供用中のアスファルトルトの硬化を遅らせる働きがある。	岩種に無関係。湿润な骨材にも有効。	多い、
剥離防止剤 (アミン系)	アスファルト	アスファルト重量に対して0.3% (比重0.9, アスファルト量6%)	1,070円／l	214円	プラントのケットで混合することは手間がかかり、均一混合は難しいので、アスファルトプランで混合することが望ましいが、少量の場合には困難である。	問題あり	粘度の変化殆ど無し。	耐久性に劣るものもある。	酸性岩に有効。塩基性岩にはあまり効果なし。	北陸では多い、
カップリング 剤	アスファルト 骨材	粗骨材1kg 当り15g (密粒(13))	9,000円／kg	770円	アスファルトに直接添加する場合アスファルトタンクへの搅拌翼の設置が必要となる。 1%の水溶液として骨材に噴霧し、骨材表面の処理をする。	—	—	—	岩種に無関係	なし (建設省開発中)
剥離防止用 添加剤入り 改質アスファルト	アスファルトにプレミックスする	—	—	—	プレミックスタイブで通常のアスファルトと同様の作業性である。	問題なし (180°Cで室内試験により確認)。	粘度等の性状変化殆ど無し。	追跡調査中	岩種に無関係 (水浸ホイールトランクリ試験で確認)	橋面舗装に試験的に使用されている(東京都)

参考：密粒ストレートアスファルト混合物(13) 6,850円／t (300t以上)
 参考：密粒ストレートアスファルト混合物I型 8,600円／t (10t以上)
 改質アスファルト混合物II型10,200円／t (10t以上)
 改質アスファルト混合物III型10,200円／t (10t以上)

(注) 1989年9月現在の積算資料、物価版による(消費税含まず)
 混合物1t当りの単価増は、材料単価の増加についてのみ考慮
 プラントでの添加時の手間費等は考慮していない、

— 参考文献 —

- 1) 近藤保：界面化学，三共出版，1986.
- 2) 藤田晃弘，小林恒己：骨材の表面電位の測定とアスファルトの剥離試験，土木学会第35回年次学術講演会概要集，第V部，1980，p404.
- 3) 三瀬貞，山田優：アスファルト舗装混合物のストリッピングに関する一考察，第15回日本道路会議論文集，1983，p257.
- 4) アスファルト同業会：アスファルト及びその応用，1965.
- 5) 安崎裕，池田拓哉，岩崎尚義：アスファルト混合物用骨材の品質改善に関する研究，建設省土木研究所資料第2523号，1987.
- 6) 日本道路建設業協会北陸支部：はく離防止剤入りアスファルト舗装，1980. 10.
- 7) 南雲貞夫：アスファルトはく離防止添加剤を含んだ混合物の安定度，土木技術資料，Vol.6-5，1964，p183.
- 8) 谷本誠一：アスファルト混合物のはく離に関する試験舗装とその観測結果，舗装，Vol.6-5，1971.
- 9) 岩崎信行，太田昌昭，谷茂樹：アスファルトハク離防止剤の効果について，北海道開発局土木試験所月報No.183，1968.8.
- 10) 建設省道路局国道一課，土木研究所：アスファルト混合物のはく離現象に関する調査研究(II)，第26回建設省技術研究会報告，1972，p281.
- 11) 三浦裕二，渋谷勉，堀忠雄：消石灰添加によるアスファルト混合物のはくり効果について，第11回日本道路会議論文集，p223.
- 12) Thomas. W. Kenndy：アスファルト合材における消石灰の利用，米国石灰協会，1987.
- 13) A.C.Elder, M.M.Hattingle, V.P.Servas, and C.P. Marais.: "Use of Aging Tests to Determine the Efficiency of Hydrated Lime Additions to Asphalt in retarding its Oxidative Hardening", Association of Asphalt Paving Technologists, Vol.54, 1985, p118.
- 14) 阿部忠行，峰岸順一，小林耕平：耐剥離性を向上させたアスファルトの橋面舗装への適用について，土木学会第44回年次学術講演会概要集，第V部，1989，p136.
- 15) David.G.Tunncliff, Richard.E.Root : "Antistripping Additives in Asphalt Concrete-State-of-the-Art 1981", AAPT Vol.51, 1982, p265.

石油アスファルト統計月報

B5：16ページ・実費頒価 ¥500（送料実費）毎月1日発行

アスファルトに関する統計
資料を網羅し、月毎に発行す
る統計月報です。

広くご利用いただけるよう
編纂致しました。

ハガキにてお申込み下さい。

申込先 105 東京都港区虎ノ門2丁目6番7号
和孝第10ビル

社団法人 日本アスファルト協会
アスファルト統計月報係

— 目 次 —

- 石油アスファルト需給実績
- 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
- 石油アスファルト地域別月別販売量
- 石油アスファルト品種別通産局別月別販売量
- 石油関係諸元表

「第6回・アスファルト舗装の構造設計に関する 国際会議(1/2)」

“The 6th International Conference on Structural Design of Asphalt Pavements”

新制「アスファルト舗装技術研究グループ」も、昨年6月に産声をあげてから、早いもので1年と数ヶ月が経った。この間、30数名のメンバーが5つの班に分かれ各班が独自に活発な研究活動を行い、その成果は2回の夏合宿を含む全体の勉強会で報告されてきた。その一方で、主要外国文献の体系的な分類作業を終え、パソコン上でデータベースとして形を整えるに至った。今後はこれを利用する技術を完成させれば研究にも実務にも有用な強力な武器となることが期待される。このようなパワーフルな活動がほとんど勤務時間外に行われているのだから、そのバイタリティには脱帽の思いである。

さて、第159号では、標記国際会議に発表された全論文の概要を報告させて頂いた。本論文集は全体が

I. Pavement Design Materials (舗装設計材料)

II. Pavement Performance and Evaluation

(舗装のパフォーマンスと評価)

III. Pavement Management and Rehabilitation

(舗装のマネジメントと修繕)

の3つのセッションに分かれて構成されている。今回の研究報告では、このうち、セッションIおよびIIを日本舗道㈱の笠原さんおよび㈱パスコの南沢さんにそれぞれとりまとめて頂いた。単に提出された論文を再配置するだけでなく、それぞれの論文が書かれた背景やその分野における研究の流れや位置づけまで掘り下げて筆をふるって（正確にはキーボードをたたいて）頂いた。次号は、セッションIIIを同様に取りまとめる予定である。是非御一読願いたいと思う。

新制グループも数名のメンバーを加え、益々意気盛んである。次々号より、いよいよ独自の研究成果の発表をさせて頂く所存である。願くば御期待を裏切らんことを。

(姫野賢治)

アスファルト舗装技術研究グループ名簿

* グループ長 ** 班長

* 姫野 賢治 北海道大学工学部土木工学科

* * 野村 健一郎 大成道路㈱技術研究所開発研究室
榎戸 靖暢 日本道路公団建設第一部建設第一課
大久保 高秀 首都高速道路公団工務部工務企画課
田中 輝栄 東京都土木技術研究所舗装研究室
中村 州章 日本道路公団技術部道路技術課
野村 敏明 日瀬化学工業㈱技術研究所
八谷 好高 運輸省港湾技術研究所滑走路研究室
南沢 輝雄 ㈱パスコ道路技術センター情報技術部

* * 田中 輝栄 東京都土木技術研究所舗装研究室
小沼 貞雄 ㈱パスコ道路技術センター情報技術部
金井 利浩 鹿島道路㈱技術研究所
神谷 恵三 日本道路公団試験所舗装試験室
亀田 昭一 新東京国際空港公団工務部舗装課
鈴木 秀輔 大成道路㈱技術研究所開発研究室
田中 耕作 鹿島道路㈱技術部
峰岸 順一 東京都土木技術研究所舗装研究室
村山 雅人 東亜道路工業㈱技術研究所

* * 吉村 啓之 前田道路㈱技術研究所
伊藤 邦彦 大成道路㈱技術研究所開発研究室
岡藤 博国 世紀東急工業㈱技術部技術開発課
竹井 利公 熊谷道路㈱技術研究所
横山 稔 昭和シェル石油㈱アスファルト室

* * 久下 晴巳 日本道路㈱技術研究所
伊藤 達也 日瀬化学工業㈱技術研究所
笠原 彰彦 日本舗道㈱技術研究所第二研究室
高橋 義一 常盤工業㈱技術研究所
谷口 豊明 大林道路㈱技術研究所施工研究室

* * 藤田 仁 日本道路㈱技術研究所
泉 秀俊 日本舗道㈱技術部技術第二課
小林 孝行 昭和シェル石油㈱中央研究所
富田 弘樹 日本舗道㈱経営企画部企画課
増山 幸衛 世紀東急工業㈱技術部技術開発課
吉村 啓之 前田道路㈱技術研究所

セッションI：構造設計および材料

笠原彰彦*

1. まえがき

Session I では、構造設計および材料に関して全部で31編の論文が発表されている。それぞれの内容を傾向別に分類すると、構造設計では、新しく開発あるいは改良した構造設計手法の包括的内容の紹介が9編、構造設計に用いる際の設計条件（荷重条件、材料特性）をより実際の状態に近いものとし設計結果への影響を検討したものが8編、供用性（わだち掘れ、疲労破壊）の予測に関するものが7編となっている。また、材料では、リサイクリング材に関するものが2編、アスファルトの特性に関するものが3編、配合設計に関するものが2編である。これら全体としての特徴は、特殊舗装を対象とした設計手法や設計条件の特定部分に着目した検討、特殊材料の適用等、包括的概念よりも具体性のある特定の適用例について着目したものが多いことといえる。本稿では、これらの論文を中心に、構造設計と材料の二つに分けて取り纏め紹介する。

2. 構造設計

構造設計は、従来の経験的設計手法から弾性理論による設計法へ変化しつつあるが、その手法は図-1に示すフローによって概略表すことができる。『第6回アスファルト舗装の構造設計に関する国際会議』（以下、第6回構造会議と略称する。）の各論文では、これらの各部分において現場状態をより適確に反映するための検討やユーザーの取扱い易さを考慮した提案および改良等がなされている。そこで本章では、これらを構造設計プログラム、設計条件、設計基準、供用性の予測といった観点より取り纏めることとした。

2-1 構造設計プログラムの概要

多層弾性理論による設計法は基本的にアスファルト舗装を線形弾性体からなる多層構造としてとらえており、使用材料の特性は弾性係数およびポアソン比によって表される。また各層は等方等質で基本的に水平方

向に無限であり、荷重は等分布円形荷重で垂直あるいは水平方向に作用すると仮定するのが一般的である。

以上のような仮定において構築された構造設計プログラムは、通常、舗装各部の歪みや応力を求めるための多層弾性解析プログラムや有限要素法による解析プログラムを中心として構成されている。多層弾性解析プログラムの代表的なものとしてはCHEVRONあるいはShellのBISARが挙げられるが、その後、各国における研究によって各種のプログラムが開発されている。最近の構造設計プログラムでは、設計条件や破壊の予測に対しての解析プログラム等、いくつかのサブプログラムが用意されており、設計基準の許容判定に対してもサブプログラムによる結果を基準に判定する例が多くなっている。第6回構造会議においても、表-1に示すような各種の解析プログラムが用いられており、著者らはこれらによる設計結果を他のプログラムによる結果と比較検討している。また設計結果のフィード

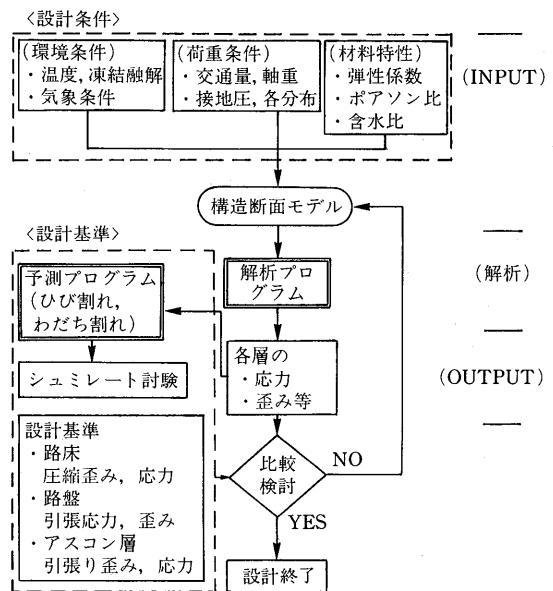


図-1 構造設計のフロー

*かさはら あきひこ 日本舗道㈱技術研究所第二研究室副主任研究員

表-1 各国の構造設計プログラム

著者名 (国名)	プログラム名 (解析プログラム)	特徴
M.R.Thompson ²⁹ (アメリカ)	ILLI-PAVE	Illinois大学が開発した構造設計プログラムで、非線形弾性体モデルによる有限要素法を用いることによって、舗装体は軸対称回転体として解析される。
C.Sarafら ¹⁵⁾ (アメリカ)	(TEXGAP-3D)	線形弾性体モデルによる有限要素法を用いた三次元連続構造体の解析プログラムである。規定された各要素の交点における各応力および変位を求めることが可能で、層間の付着程度も考慮することができる。
H.Goacolouら ¹⁶⁾ (フランス)	(CASTOR)	有限要素法を用いた二次元モデル（横断方向と深さ方向）の解析プログラムで、わだち掘れの解析に用いている。プログラムはFORTRAN77で組まれており、入力データを予備的に処理するモジュールを備えている。
M.Dauzatsら ²⁰⁾ (フランス)	(ELIP)	L.C.P.C (Public Works Research Laboratory) が開発したROSALIE システムのサブプログラムで、二次元モデルの弾性体に作用する静的荷重に対して有限要素法を用いて解析している。各要素は線形補間法による3交点の三角形で示される。
F.Lehovecら ²⁵⁾ (チェコスロバキア)	(TANLAY)	解析プログラムLAYMED (垂直荷重のみ考慮) を水平荷重も考慮できるようにSlovak Academy of Science が改良したもので、他に異なる点はない
C.L.Monismithら ²⁷⁾ (アメリカ)	(ELSA) (ACDAM)	ELSAはELSYM5を改良した解析プログラムで三次元弾性体モデルで解析される。このプログラムは層の数を10層まで設定可能で、10種の異なる荷重を含む100箇所同時載荷を処理することができる。アウトプットはx, y, z 軸座標の任意の二座標に対して20点まで応力、変位、歪みが計算でき、空港舗装等の設計に適する。また、ACDAMはアスファルト舗装の疲労破壊やわだち掘れを解析するプログラムで、ELSAと組み合せることによって、ほぼ構造設計プログラムに近いものとしている。
J.T.Bruntonら ²⁸⁾ (イギリス)	ANPAD (PONOS) (CHEVRON) (CUDAM) (CUDNA)	包括的な構造設計システムで、数種類のサブプログラムを含んでいる。メインプログラムでは、設計年数から舗装厚を算出する手法と舗装構造から舗装寿命を予測する二つの解析方法が用意されており、どちらかを選択できる。主なサブプログラムとして、アスファルト混合物のスティフネスを算出するプログラムPONOS や温度条件による舗装のダメージを解析するCUDAM、多層弾性解析システムCHEVRONが組み込まれている。

バックとして、実際の現場をシミュレートした大型の実験装置による検証手法が多くなっており、その実験自体がシステムの一部となっている例¹³⁾もある。

2-2 設計条件

2-2-1 環境条件

環境条件としては、温度やその他の気象条件、凍結融解、排水状態等を考慮する。特に温度はアスファルト混合物（以下、アスコンと略称する。）の弾性係数や許容歪みに大きく影響する重要な因子としてとらえられており、各種の方法によって設計に取り入れている。

舗装体の設計温度は気温の代表値や係数等を用いて設定するのが一般的で、気温の代表値としては月平均気温（MMAT）を用いている例が非常に多い。

Shell の設計法⁹⁾（以下、SPDM と略称する。）では気温に対して重み付けした係数を設定し、MMAT のデータから重み付けした年平均気温（weighted MMAT）を算出して設計の指標としている。同様に M.R.

Thompson²⁹が発表しているフルデプス舗装の構造設計法でも舗装厚を12inch と仮定し、その舗装体温度をMMAT との関係より求めており、舗装体温度に対する舗装厚の効果は小さいとしている。また、J.M.Brunton ら²⁸⁾は設計温度を年間平均気温に係数を乗じた形で求めている。この係数は路床とアスコン層の許容歪みを求める場合とで異なっており、路床の場合は1.47で、アスコン層の場合には1.92としている。これらの係数は日々の舗装体温度、車両の通行回数を考慮した集積ダメージプログラム（CUDAM）を用いて求めており、路床（わだち掘れ）に比べてアスコン層（疲労破壊）の係数が大きいのはダメージの累積による影響が考慮されているためとしている。他に設計温度を簡略に設定する手法として、単純に季節ごとに分けて代表する場合がある。L.Heleven ら¹¹⁾および C.L.Monismith ら²⁷⁾は温度や凍結融解の影響を季節毎（春と秋、夏、冬）に分けて考慮している。

以上の様に代表値を用いて設計温度とする手法は様々であるが、B.Eckman¹⁸⁾はわだち掘れの予測に関して、気温データ処理の違いによる差を確認している。その結果、高温時の影響は比較的短時間の場合でも大きく、長期間の代表値による処理は過小評価につながるとして、日中の時間を6分割(2時間毎、AM 8:00~PM 8:00)して処理している。姫野²²⁾らは、舗装体の温度分布は月変動の他に時刻変動を考慮して評価するのが望ましいとして、気温や日射量、風速、降水量等の気象データを用いて推定した舗装体温度から月別、時刻別の頻度分布を求めて、各月における各時間毎の温度の変動分布を算出している。

凍結融解の影響を取り上げたものとしては、J.F.Shook ら¹⁹⁾が、路床土が凍上の影響を受ける場合と受けない場合とで地域的に区別している。著者らは凍結融解の影響を受ける場合には路床の表面だけがその影響を受けるとして、路床上部の弾性係数を春には設計に用いる弾性係数の50%とし、その後次第に増加して秋に100%となるよう設定している。凍結融解の影響を受けない場合には年間を通じて一定であり、試験から求まる値の85%を使用している。

2-2-2 荷重条件

荷重条件としては、交通量、軸重、軸重分布、接地圧、載荷時間等を考慮する。しかし、一般的には設計計算を簡略化するために、構造設計プログラムで述べたような種々の仮定を設ける場合が多い。第6回構造会議では、これらの仮定による影響も含めて荷重条件の違いが設計結果へ及ぼす影響を詳細に検討している論文が多くみられる。

実際の交通における荷重は一定ではなく様々なに変化し、舗装に与えるダメージもその大小によって異なっている。したがって、設計計算を行う際の交通量は統一的な標準軸重を考え、これに換算した換算輪数の形で取り込むのが一般的で、次式によって求めることができる。

$$N = 2.2 \times 10^{-8} \cdot L^4 \quad \dots \dots (1)$$

L: 交通量で対象となる軸重

この様な関係は AASHO 道路試験結果に基づいたもので、かなり広く使用されている。

また実際の交通量調査から、地域性を考慮して設計に用いる交通量を設定している例もある。L.Heleven¹¹⁾は軸重の大小による影響をより簡略に取り入れるため、多くの現場データから交通量に対する各軸重の標準的な割合を求め、これを設計計算に用いている。さらには

著者らは幅員の大きさによる影響を以下のように係数を乗じることによって考慮しており、その値は1車線の幅員が3m以下の場合には1で、それ以外の場合には0.4としている。

$$N = k \times N_c \quad \dots \dots (2)$$

k : 道路幅員による係数

N_c : 供用期間における1方向の商業車予想台数
換算輪数を求める際に使用する標準軸重の大きさは、それぞれの国や著者によって異なり表-2に示すような値が用いられている。これらの標準軸重は一般的には単輪あるいは複輪として設定されているが、J.F.Shook ら¹⁹⁾は重荷重下での舗装設計では、対象となる車両が多輪を有する場合が多く、輪荷重および輪間隔特性によっては通常の舗装設計は適用できないとして、多輪による影響を考慮した舗装設計を行っている。それによると多輪であるか否かの判断は軸間隔と接地荷重半径との関係によって決定され、軸間隔が接地荷重半径の8倍以上離れている場合には単輪として扱っている。複輪以上の設計では、基本的に路床上面で同等な撓みとなる単輪荷重(等価単輪荷重)に基づいて舗装厚を求めており、複輪の場合を例にとると荷重、接地圧、接地面積、複輪間の距離等の因子より図-2のような設計チャートを作成し、等価単輪荷重曲線と許容単輪曲線の交点から舗装厚(T_a)を求めている。多輪の場

表-2 標準軸重と接地圧

項目 著者名	標準軸重 ()内はton換算値	接地圧 ()内はkg/cm ² 換算値
H.F.Southgate ら ⁸⁾ (アメリカ)		
A.H.Gerritsen ら ⁹⁾ (オランダ)	80kN (8.2ton)	—
N.W.Lister ら ¹⁹⁾ (イギリス)		
J.M.Brunton ら ²⁸⁾ (イギリス)		
M.R.Thompson ²⁹⁾ (アメリカ)	18kips (8.2ton)	80psi (5.6kg/cm ²)
C.Saraf ら ¹⁸⁾ (アメリカ)	18kips (8.2ton)	—
C.L.Monismith ら ²⁷⁾ (アメリカ)	18kips (8.2ton)	100psi (7.0kg/cm ²)
B.Eckmann ¹⁸⁾ (フランス)	10ton	0.7MPa (7.1kg/cm ²)
F.Lehovec ら ²⁵⁾ (チェコスロバキア)	10ton	0.65MPa (6.6kg/cm ²)
A.Gerlach ら ⁷⁾ (西ドイツ)	50kN (5.1ton)	0.707N/mm ² (7.2kg/cm ²)
A.H.Gerritsen ら ²⁹⁾ (オランダ)	50kN (5.1ton)	700kpa (7.1kg/cm ²)

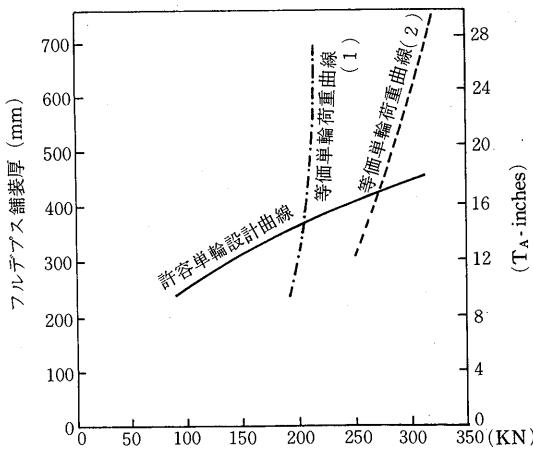


図-2 等価単輪荷重曲線を用いた設計チャート

合も同様な過程で行うが、等価単輪荷重曲線は Huuag が 2 層弾性システム用に開発した界面たわみ係数を利用して求めている。

また、H.F.Southgate⁸⁾らは歪みエネルギー密度を積分した歪みエネルギーを考え、多軸の際の車軸間での荷重分散やタイヤ接地圧の影響について検討している。著者らは多軸での荷重分散を以下に示すパラメータによって表し、これとダメージ係数 (DF) の増加率との関係を示している。

(2 軸の場合)

$$\frac{\text{軸重(No.1)} - \text{軸重(No.2)}}{2 \text{ 軸の総軸重}}$$

(3 軸の場合)

$$\frac{3 \text{ 軸の最大軸重} - 3 \text{ 軸の最小軸重}}{3 \text{ 軸の中間軸重}} \\ DF = N_{18} / N_L \quad \dots \dots (3)$$

DF : ダメージ係数

N_{18} : 4 輪の単軸荷重を想定した場合の繰返し回数

N_L : 対象となる荷重、軸数での繰戻し回数

その結果によると、2 軸で軸重が異なる場合舗装の疲労は 40% 増加し、3 軸では 230% の増加になるとしている。また、接地圧に関しては、タイヤ接地圧の増加は舗装に対して打撃作用によるダメージを増加させるが、この作用を設計上考慮することが難しく、調査結果から実測値として平均 102psi、最高 130psi という大きな値が得られているため問題があるとしている。

タイヤ接地圧の条件として、通常は円形等分布と仮定して設計計算を行うが、C.Saraf ら¹⁵⁾は実際のタイヤ接地圧分布を圧力感知フィルムを用いて調査し、有限

要素法解析プログラム (TEXGAP-3D) および多層弾性解析プログラム (ELSYM5) を用いて非円形非等分布と円形等分布の場合の歪み、その他の差を比較している。その結果によると表層下面の引張り歪みでは、非円形非等分布よりも円形等分布による計算値の方が大きく、タイヤ空気圧の増加に対する歪みの増加割合も円形等分布の方が大きいが、輪荷重の増加に対してはその逆の傾向が得られている。路床上面の垂直圧縮歪みでは、非円形非等分布よりも円形等分布の方が小さく、タイヤ空気圧の増加による影響は両者とも小さいが、輪荷重の増加に対しては共に歪みが増加する傾向が得られている。

F.Lehovec ら²⁵⁾は荷重の作用する方向（垂直および水平方向）と舗装を構成する層界面での付着による影響を検討している。それによると水平荷重を考慮した場合には、層界面の付着度による影響も含めて、垂直荷重のみの場合よりも舗装の寿命が短くなるため、設計時にその影響を考慮すべきとしている。

M.Siffert¹⁷⁾らは実際の交通要因（荷重、車速、軸間距離等）の分布を詳しく調査するため、荷重の検出機（ピエゾエレクトリックセラミックケーブル）を開発し、実道において計測している。

2-2-3 材料特性

弾性計算を行う際の舗装モデルはコンピュータプログラムの発達によって、かなり自由に設定することができるが、一般的にはアスコン層—路盤層—路床の 3 層構造として取り扱う場合が多い。したがって、舗装材料も通常は路床土、路盤材料、アスコンの 3 つに分類し、その特性値を設定している。

(1) 路床

路床の弾性係数を求める手法として、最も簡略で実用的なものは CBR 値から換算する方法である。これは実際の舗装において現場実験を行い、振動波の伝達速度より路床土の動的弾性係数を推定した結果から、設計 CBR と比例関係にあるとするもので、次式によって表される。

$$E(\text{MPa}) = C_g \times \text{CBR} \quad \dots \dots (4)$$

この式における係数 (C_g) は通常 5 ~ 20 の範囲で用いられ、著者によって異なっている。姫野ら²²⁾や J.M. Brunton ら²⁸⁾は、この係数に 10 を用いており、E.R. Brown²⁴⁾は 15 を用いている。J.M.Brunton らは種々の路床土を三軸圧縮試験によって調べた結果、この関係式は、高い可塑性を示す土や評価の低いシルト系の土に対して非常によく適合するとしている。N.W.Lister¹⁹⁾

らも同様に設計 CBR から路床の弾性係数を求めており、その関係は次式を採用しており、これを(4)式と比較した場合、設計 CBR が 5% 近辺で一致している。

$$E(\text{MPa}) = 17.6(\text{CBR})^{0.64} \quad \dots \dots \dots (5)$$

室内で弾性係数を評価するには三軸圧縮試験より求めるのが一般的であり、M.R.Thompson ら²⁾は歪み制御の三軸圧縮試験を行って粒度の細かい路床土の弾性係数を求めており、著者らは三軸圧縮試験から求まる路床土の弾性係数には応力依存性がある、双一次の曲線を示すことに着目しており、その代表値として曲線の“break-point”(図-3)における値が適当であるとしている。

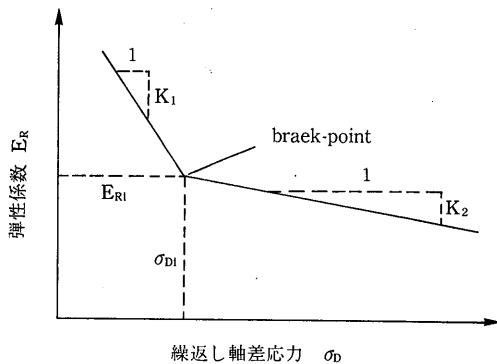


図-3 繰返し軸差応力と弾性係数の関係

(2) 粒状路盤材料

SPDM⁹⁾では理論解析と多くの現場データから、粒状路盤の弾性係数と路床の弾性係数との関係を求め、これを用いて粒状路盤の弾性係数を算出している。A.H. Gerritsen ら⁹⁾によると、これまでの使用実績から判断して若干の差異は生じるもの、実測値と特に大きな違いはないとしている。

$$E_2 = k \times E_3 \quad \dots \dots \dots (6)$$

$$k = 0.2 \times h_2^{0.45} (2 < h < 4) \quad \dots \dots \dots (7)$$

h_2 : 路盤厚 (mm)

E_2 : 粒状路盤の弾性係数,

E_3 : 路床の弾性係数

J.M.Brunton ら²⁸⁾は非線形弾性モデルに基づき、有限要素解析プログラム (SENOL) を用いて解析した結果から、路床上の粒状路盤材の弾性係数は全て一定値 (100 MPa) として扱っている。

室内試験から弾性係数を求める方法については、G.T.H.Sweere ら⁴⁾や P.Jouye ら⁵⁾が三軸圧縮試験による検討を行っている。P.Jouye らは、三軸圧縮試験の結果を BOYCE のモデルを用いて検討しており、次式によ

って粒状路盤材料の弾性係数を求めており、

$$(圧縮弾性係数) K = K_1 \cdot p^{(1-n)} \cdot \{1 + \gamma(q/p)^2\} \dots \dots \dots (8)$$

$$(剪断弾性係数) G = G_1 \cdot p^{(1-m)} \dots \dots \dots (9)$$

p : 主応力の平均値

q : 剪断応力

K_1, G_1, m, n, γ : 試験より求まる係数

さらに著者らは、上式における各係数は図-4 に示すように材料の偏平率が深く関係しているとして、各係数を偏平率の関数として表している。

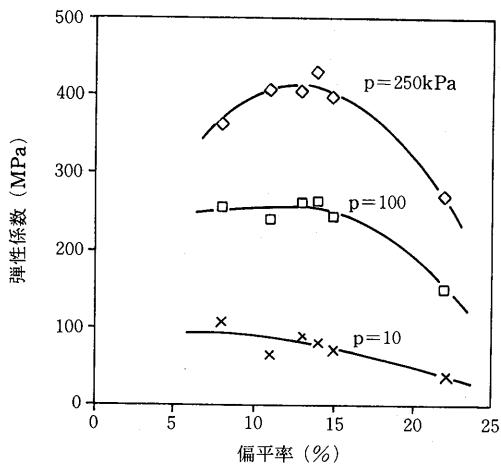


図-4 骨材の偏平率と弾性係数の関係

(3) アスファルト混合物

SPDM⁹⁾では、アスファルトのスティフェネスと混合物の各性状によるノモグラフを作成し、混合物のスティフェネスを求めており、しかし、通常の使用に対しては、図-5 に示すような各混合物特性の中央に位置するような 2 種類の混合物特性 (S_1, S_2) を想定し、これによって代用している。M.R.Thompson ら²⁾によるフルデプス舗装の設計法では混合物種類と 2 種類のア

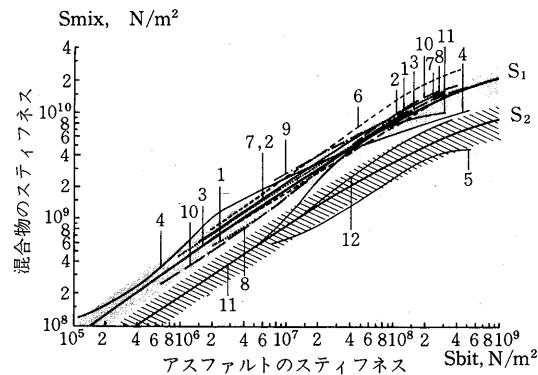


図-5 S_1, S_2 混合物のスティフェネスと各種混合物のスティフェネスとの関係

スファルトグレード (A C-10, A C-20) を設定し, 米国アスファルト協会 (A I) の式に基づいて舗装体温度との関係から弾性係数を求めていた。また, L. Heleven ら¹¹ C.L.Monismith ら²⁷は各季節毎に弾性係数を設定 (春, 秋期: 10000 MPa, 夏期: 5000 MPa, 冬期: 25000 MPa)¹¹ しており, ポアソン比については全て 0.3 としている。B.Eckmann¹⁸ は動的弾性試験を行って検討した結果から, アスコンの弾性係数を舗装体温度の二次関数として表し, 次式によって求めている。

$$\text{LogE(MN/m}^2\text{)} = a + b \cdot T + c \cdot T^2 \quad \dots \dots (10)$$

a, b, c : 係数

以上に関しては材料特性の初期値としてのものであるが, 舗装は供用を始めた時点から交通荷重等の履歴によって疲労ダメージを受ける。したがって, 舗装を構成する各材料の特性も, その舗装の状態や疲労の程度によって当然変化していく。C.R.Freeme ら²⁶ はアスコン, 粒状路盤およびセメント安定処理路盤の構成による舗装の破壊モデルを示し, 各種の因子 (温度, バインダーの劣化, 剥離, 疲労クラック, 浸食等) による舗装の挙動変化を検討している。さらに重交通模擬試験 (HVS 試験) から補修時に用いる概略の弾性係数を破損の状態によってクラス分けしている。

2-3 設計基準

2-3-1 設計基準

弾性理論による構造設計では, 設計基準として表層下面の引張り歪みおよび路床上面の圧縮歪みを用いている場合が最も多く, これらはそれぞれ疲労破壊, わだち掘れに対応する基準としてとらえられている。

J.M.Brunton ら²⁸ は, 舗装の破壊状態に「臨界」と「破壊」の二つを設定しており, 「破壊」は, わだち掘れが 20mm あるいはクラックが広範囲に生じて供用が不可能な状態, 「臨界」は, わだち掘れが 10mm あるいはクラックが生じ始めた状態と定義している。したがって, 疲労破壊および永久変形に対しても, 二つの基準が設けられており, それぞれの許容歪みを以下によって求めている。

(路床: 永久変形)

$$\text{臨界: } \varepsilon_z = 250 / (N/f_r)^{0.27} \quad \dots \dots (11)$$

$$\text{破壊: } \varepsilon_z = 451.3 / (N/f_r)^{0.28} \quad \dots \dots (12)$$

ε_z : 路床上面の圧縮歪

N : 荷重の繰回事数

f_r : 混合物による因子 ($1 \leq f_r \leq 1.56$)

$$(\text{表層: 疲労クラック}) \quad \dots \dots (13)$$

$$\text{Log}\varepsilon_t = \frac{14.39 \text{Log}V_B + 24.2 \text{Log}S_{P_i} - k - \text{Log}N}{5.13 \text{Log}V_B + 8.63 \text{Log}S_{P_i} - 15.8}$$

なお疲労破壊に対しての関係は室内試験より求めたものであるため, 設計に用いる際の疲労寿命は実際の供用における載荷休止時間や走行分布, クラックの伝達速度を考慮した補正係数を乗じて算出している。

M.R.Thompson ら²⁹ の提案するフルデプス舗装の設計法では設計基準に表層下面の引張り歪みと路床上面の圧縮歪みを採用しているが, この様なアスコン層の厚い舗装構造では路床に与える影響は小さく, 基本的にはアスコン層の歪みに対する影響の方が大きいとしている。また, 著者らはマイナー則を用いた "Design Time Concept" を導入している。これは破壊基準である疲労破壊が生じる年間を通じての繰回事数を次式によって求め, 図-6 に示すように環境要因を考慮して月毎に求めた許容繰回事数と年間での許容繰回事数とが同等となる時期を, 年間を通じての設計対象となる時期として代表させたもので, この手法を取り入れることによって構造計算が非常に簡略化できたとしている。

$$N_f = \frac{12}{\sum_{a=1}^{12} (1/N_a)} \quad \dots \dots (14)$$

N_f : 1 年間を通しての許容繰回事数

N_a : ある月での許容繰回事数

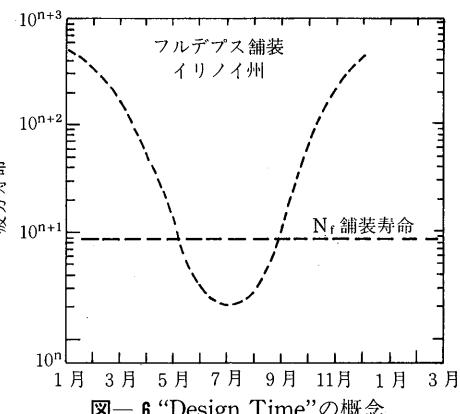


図-6 "Design Time" の概念

一方, J.F.Shook ら¹⁹ は重交通に対する舗装構造としてフルデプス舗装の適用を考え, A I の設計法を紹介しているが, この設計法での設計基準は路床上面の圧縮歪みのみを採用している。これは超重荷重の低速車両の場合, アスコン層の疲労による破壊よりも下層の過大な応力によって大きな変形を生じさせると考えるのが適当としているためである。同種の舗装に対する設計法において, 対象となる荷重の違いによって設計基準が異なることは非常に興味深く, 設計方法に及ぼす設計条件の影響が顕著な例といえる。

L.Franken ら¹²⁾は繰返し曲げ試験の結果から許容歪みに対する混合物特性の影響を検討しており、次式を提案している。

$$\epsilon R(N) = G(B') \cdot \frac{V_1}{(V_1 + V)} \exp \left(-5 \cdot \frac{V_A}{100} \left(\frac{N}{106} \right)^{-a} \right) \quad \dots \dots (15)$$

$$a = 0.194B' + 0.3(V_A/100) - 0.109 \quad \dots \dots (16)$$

V_1 : バインダー容積, V : 空隙率

V_A : 骨材容積率, G : バインダーによる定数

F.Lehovec ら²⁵⁾は舗装を構成する層界面での付着程度による影響について検討している。それによると、層界面での付着程度を変えた場合、舗装構成層の中で最初に疲労破壊する層が変化し(図-7)，完全な付着を仮定して設計した場合よりも舗装寿命が短くなるため、施工時において十分な配慮がなされるべきとしている。

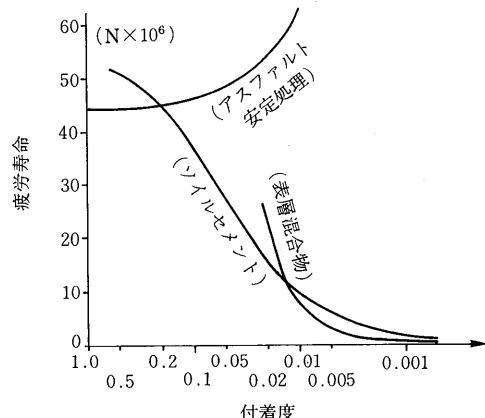


図-7 付着度と各層の疲労寿命の関係

以上、種々の設計基準について述べてきたが、基本的に設計基準は設計年数に対応する舗装の終局的状態に、ある一定のものを定義し、この舗装性能が確保されるような特性を量量化したものを考えることができる。終局的状態とは、供用性の水準によって示され、一般的には補修が必要となる状態を意味しているが、その判断基準としてはわだち掘れ量やクラックの発生等を単一に採用する場合や、これらを総合的に評価した供用性(PSI等)を採用する場合など様々である。したがって、終局的な供用性水準としてどの様な状態を定義するかによって設計基準は異なってくる。現在使われているもの多くは構造上の機械的な判断基準や経験的評価を主体としているが、今後の方向としてはトータルコストや利用者および沿道住民側から見た道路管理水準の評価等を取り入れた舗装管理システム(PMS)の概念が、判断基準の基本になってくるものと

推察される。

2-3-2 信頼性

これまで述べてきたように、構造設計は種々の因子を考慮して行われており、現場条件ができるだけ反映されるよう考慮されている。しかし、これらの因子によって実際の現場条件を全て把握することは困難で、当然、設計での寿命と実道での舗装寿命にはばらつき(誤差)が生じる。この様な誤差を含めた形で構造設計を行うために、信頼性の概念を取り入れられている。

P.Irick ら¹⁴⁾が紹介しているAASHOの舗装設計指針では、信頼性を「設計された舗装が、その設計期間以上に供用される確率」と定義しており、その概念は図-8によって示される。信頼性は、舗装の供用性を示す d (疲労の尺度、例えば PSI) および舗装の性能を示す ESAL (累計等価軸重輪数) の二つの指標の関係によって表される。ここでいう舗装の性能 (N_t) とは、終極的な供用性水準 (d_t) に達するまでの実際の ESAL を示す。

設計指針では、舗装の信頼性 (R) を Log (ESAL) 軸上の 4 つの基礎的なポイントの関係によって考えている。

N_t : 実際の設計期間の ESAL

w_t : 設計期間の ESAL で軸重の分散、等価軸重因子、交通量の増加等の各交通因子の関数として表される。

N_t : d_t での実際の ESAL

W_t : 構造設計公式による d_t での ESAL の予測値で、信頼性設計係数 F_R および w_t とによって示される。

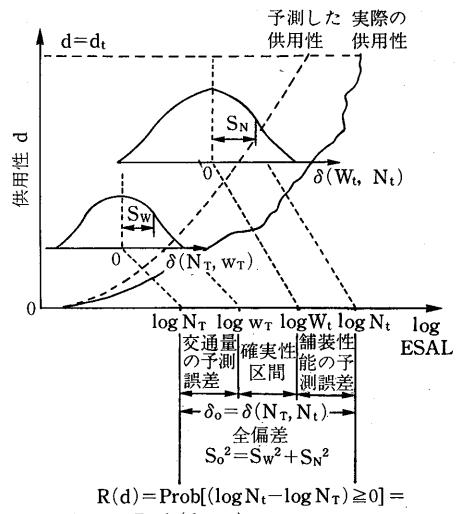


図-8 信頼性の概念

$$W_t = F_R \times w_T \text{ あるいは } F_R = W_t / w_T$$

$$(F_R \geq 1)$$

ここで構造設計公式とは供用性指標、環境因子、路床因子、交通因子、構造設計因子等による関数として示される。また、信頼性設計係数 F_R は 1 以上の制御された変数である。したがって、前段の定義に基づく舗装の信頼性は、以下のように表すことができる。

$$R(d) = \text{Prob}(\text{Log}N_t \geq \text{Log}N_T) \quad \dots \dots \quad (17)$$

設計段階において設計者は信頼性に応じた $\text{Log} F_R$ を用いることができるが、他の偏差については全て確率変数であり、その偏差は正規分布する。したがって、基本的に舗装の信頼性 ($\text{Log} N_t$ が $\text{Log} N_T$ を超過している確率的保証) は、交通量の予測誤差と舗装性能の予測誤差に支配されるとしている。

信頼性を設計に取り入れている例としては M.R. Thompson²⁾ が "Design Reliability Concept" をフルデプス舗装の設計に導入している。著者は、アスコン層の撓みと歪みの関係を利用してアスコン層の撓みと舗装寿命の関係を求め、図-9 に示すように、撓みによって信頼性を設定している。また、要求される信頼性に対応した乗数が設定されており、標準軸重換算輪数に、これを乗じた輪数で設計することによって信頼性が確保される。その例として、80% の信頼性を得るために 2 倍の標準軸重換算輪数を用いて設計する必要があり、信頼性が 90% に対しては 3 倍となる。

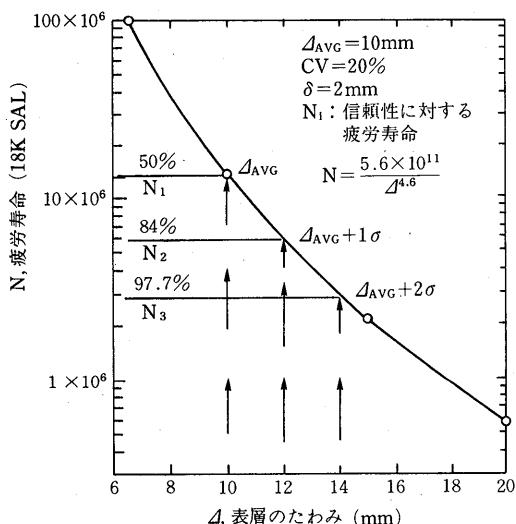


図-9 "Design Reliability"²⁹⁾ の概念

2-4 供用性の予測

アスファルト舗装の破壊は、永久変形(わだち掘れ)によるものとクラックによるものがほとんどであり、

これらは供用性を示す指標の PSI においても主な要因として取り入れている。したがって、これらの破壊形態に対する適確な予測は構造設計だけでなく、PMS の確立においても重要な検討課題といえる。

2-4-1 疲労破壊の予測

姫野ら²²⁾は疲労破壊に影響を及ぼす全ての因子について疲労被害への線形性が確証されない場合、各因子を単独に取り上げ代表化することは困難であり、他の因子と関係づけて評価を行う必要があるとして、アスファルト舗装の疲労寿命の推定に疲労被害関数 (D) を導入している。この疲労被害関数はアスコンの破壊時の散逸エネルギーが応力振幅や歪み振幅およびこれらの波形の位相角等によって表されることから、間接的に輪荷重、車速、走行分布、表層および基層温度による関数として表される。それぞれの因子による独立変数は、実際には分布をもった確率変数であることから、各変数の確率密度関数を用いて、疲労被害の期待値 D^{ij} を以下によって表している。

$$\tilde{D}^{ij} = \int_{-\infty}^{+\infty} f_p(P) \int_{-\infty}^{+\infty} f_u^{ij}(v) \int_{-\infty}^{+\infty} f_r^{ij}(\gamma) \int_{-\infty}^{\infty} f_{\theta_1}^{ij}(\theta_1) \int_{-\infty}^{\infty} f_{\theta_2}^{ij}(\theta_2) D d\theta_2 d\theta_1 dr dv dp \quad \dots \dots \quad (18)$$

f_p : 輪荷重分布の確率密度関数

f_u^{ij} : 車両走行速度分布の確率密度関数

f_r^{ij} : 車輪通過位置分布の確率密度関数

$f_{\theta_1}^{ij}$: 表層代表温度分布の確率密度関数

$f_{\theta_2}^{ij}$: 基層代表温度分布の確率密度関数

著者らは、さらに各月および時刻における交通量の変動を考慮し、最終的に、舗装が破壊に至るまでの総交通量を多層弹性解析プログラムによって求めている。またアスファルト舗装の疲労破壊の形態はアスコン層下面からの曲げ疲労破壊だけでなく、舗装表面からの縦表面ひび割れも一種の疲労破壊として取り上げており、それらの特性の違いを検討している。そして著者らは提案した予測手法を検証するために、実道での供用データを利用して、疲労破壊が表層下面のみから生じるとした場合および舗装表面からも生じるとした場合の二つの破壊形態を想定して、舗装の寿命を推定し比較している。その結果、破壊が舗装表面からも生じると考えた方が実際の疲労被害を理論的に説明できる(図-10)として、提案した手法および理論の妥当性を確認している。

同様に、M.Dauzats ら²⁰⁾もクラックが摩耗層の表面より進行する現象に注目し、そのメカニズムやクラックの進行を推定している。著者らの検討結果では、表

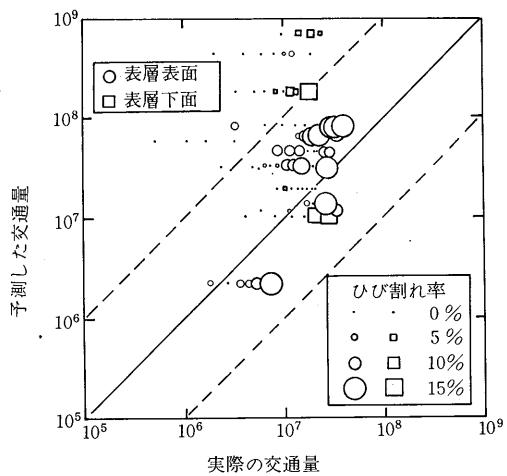


図-10 実際の交通量と予測した交通量の比較

層面より発生するクラックは温度応力の繰り返しによる疲労によって発生すると考えられるが、実際の現場状況を考慮した場合、その進行は温度疲労による影響のみで説明できない場合がある。このため、さらに交通荷重による応力の影響を有限要素法による解析プログラムを用いて検討し、この2つのモデルを重ね合わせることによってクラックの進行メカニズムを説明している。最初の温度疲労によるクラックの発生はShahinのモデルを適用しており、温度による応力を次式によって求めている。

$$\sigma(t, T_{min}) = \sum \alpha(T_{min}) \Delta T \cdot E_{max}(t, T_{min}) \dots \dots (19)$$

σ : 温度応力, α : 温度収縮係数, T : 温度

E_{max} : 弹性係数, t : 載荷時間

破壊基準は次に示す一般的な関係より求めているが、その傾きBは実際の挙動を考慮して、弾性係数の大きな混合物については5を設定し、小さいものは3を設定している。また、種々の歪みや弾性係数におけるダメージにはマイナーリー則が適用されている。但し、iは、1日を通じて同じ歪みレベルの生じる回数を示し、jは同じ弾性係数レベルの生じる回数を示している。

$$N_{ij} = A_j (1/\epsilon)^{Bi} \dots \dots (20)$$

N_{ij} : 許容歪レベルにおける破壊までの繰返し回数の平均値

ϵ : 歪み, A_j , B_i : 係数

クラックの進行を深さ毎に解析した結果では、深さの増加と共に、その進行は急激に低下しているが、実際には局部的にクラックが下層にまで進行している箇所があるため、交通荷重による影響を考慮した解析が必要と判断している。クラック進行の解析は有限要素法による解析プログラム(ELIP)を用いて行い、複輪

による載荷状況を三種類想定(①複輪でクラックをはさんで載荷、②複輪のうちの一つがクラック上に載荷、③クラックの横に載荷)して計算した結果では、②の場合のダメージが最も大きいとしている。

2-4-2 わだち掘れの予測

B.Eckmann¹⁹⁾は動的クリープ試験によってアスコン層の永久変形に対する特性を求め、ESSOの設計法を用いて多層弹性理論からわだち掘れ深さを推定している。わだち掘れの推定を行う際には、動的クリープ試験により求まる特性が基本となる。著者は、通常の予測計算の場合クリープ曲線の安定している部分の係数を取り上げ代表しているが、わだち掘れの初期においてはクリープ曲線の最初の部分が関与するものとみて、予測計算の場合には2つの部分に分けて行っている。動的クリープ試験によるこれらの歪み特性は、諸条件(混合物種類、温度、荷重等)を変えた試験結果を回帰して求めている。

アスコン層のクリープ特性は種々の応力と舗装体温度によって変化する。したがって、より正確な予測計算を行うにはアスコン層を深さ方向にできるだけ細分化し、それぞれの状態に応じたクリープ特性を選択する必要がある。著者は以上の考えに基づいて細分化したそれぞれの層について、各時間での温度や応力状態を計算し、得られたクリープ曲線群と対応する載荷時間より、その歪みを段階的に算出している(図-11)。

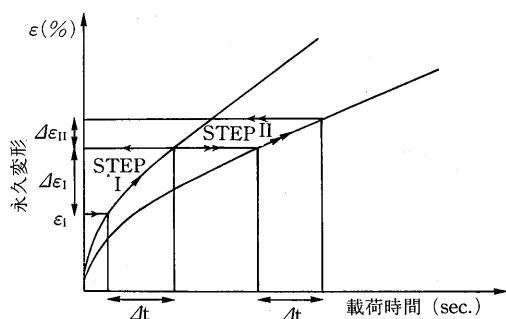


図-11 わだち割れ深さ計算の原理

また、この予測手法を検証するため二種類のオーバーレイを行った試験区間について予測結果を実際のわだち掘れ量と比較しており、その検討結果から、舗装体温度や荷重の詳細なデータの必要性を挙げている。

A.Gerlachら²⁰⁾は舗装各層のスティフェネスを荷重載荷回数と関係付けて算出し、これを基にわだち掘れ深さおよび形状を予測するとともに、材料特性や舗装構造がこれらに及ぼす影響を検討している。著者らは、わ

だち掘れの形成は、交通荷重の繰返しに起因する弾性係数の変化によって生じる各層の永久変形によるものと考え、予測計算を行っている。荷重の載荷による弾性係数の変化は次式によって表され、

$$\bar{E}^*(N) = E / (1 - \mu + \mu / N^\alpha) \quad \dots \dots \quad (21)$$

E : 載荷中の一定な弾性係数

N : 載荷回数

μ, α : 載荷状態によって異なる変数

等方等質な半無限空間での変形解析に基づく変形量(W)の関係式より、k層目の永久変形量($\Delta w(N)$)は以下の式で表される。

$$w(r=z=0) = 2(1-\nu^2) \cdot a \cdot (p/E) \quad \dots \dots \quad (22)$$

w : 変形量, ν : ポアソン比, a : 載荷半径

p : 接地圧, E : 弾性係数

$$\Delta w(N) = w - w^*(N) \quad (w \geq w^*) \quad \dots \dots \quad (23)$$

$$w = g(E_k = \text{const.}, \nu_k, h_k, p_l, a_l) \quad \dots \dots \quad (24)$$

$$w^* = g^* [E_k^*(E_k, \alpha_k, \mu_k, N), \nu_k, p_l, a_l] \quad \dots \dots \quad (25)$$

第6回構造会議における永久変形の予測は、主としてアスコン層での変形に重点が置かれており、その多くが粘弾性理論に基づく材料特性を用いて永久変形量を推定しているようである。しかし、実道データを用いた検証結果等から判断した場合、まだ実用的な域には達しておらず、さらに影響要因などの種々の検討が必要な状況と思われる。

3. 材料

材料に関する論文は、リサイクリング材、アスファルトの特性、配合設計など、その内容は多岐にわたっている。しかし、これらの論文の主たる目的はバインダー特性、配合設計方法、混合物の物理的特性、環境履歴など、アスコンの特性を支配する種々の因子のうち特定の因子について検討し、その影響を明確にするとともに、構造設計における設計条件をより適確なものにすることを考えることができる。よって、本章では、アスコンの特性を支配する最も大きな因子であるアスファルトの特性に着目し、各論文の内容について述べることとする。

A.Wolfgang⁶⁾は、Saalらが提案した曲げ試験による破壊特性を基本として、アスファルトの針入度が舗装の疲労特性に及ぼす影響を、荷重や舗装厚等の因子も考慮して検討している。著者は、混合物の温度収縮に対するアスファルト針入度の影響を示した後、温度収縮によって生ずる引張り応力と荷重による応力の重合をを行い、BISARを用いて疲労特性を評価してい

る。それによると、温度と疲労寿命との関係(図-12)における針入度の影響は5°C近辺を境に、それ以上の場合には針入度の低いものが疲労寿命に対して有利であり、それ以下の場合には針入度の高いものが有利であるとの結果を得ている。また、舗装厚を考慮した場合には、舗装厚の減少によって、この関係の境となる温度が低温側(-1°C近辺)に移動し、ある温度領域では舗装厚の厚い方が疲労寿命に対して有利との結果が得られたことから、舗装厚による影響も無視できないことを示している。荷重を考慮した場合には、荷重の減少によって、この温度が高温側に移動し、また、低温領域での針入度の影響は高温側よりも比較的大きいとしている。針入度も含めてアスファルトの各特性は、供用中における種々の環境要因によって変化することが一般的に知られており、この現象は老化として位置づけられている。

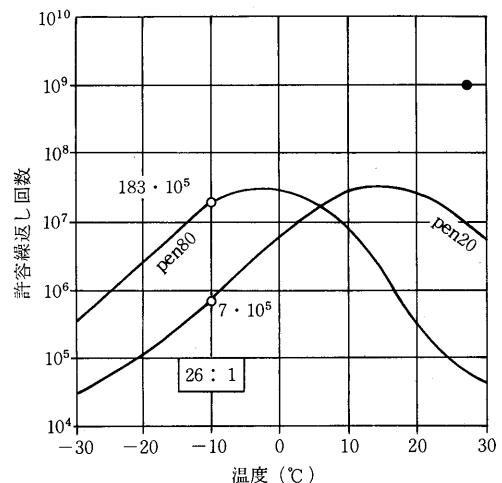


図-12 各針入度での温度と許容繰返し回数

F.Hugo²³⁾は、路面に生じるクラックに関する研究結果から、アスコンの老化は供用中におけるバインダーの硬化および容積変化に起因するものとしているが、さらに詳細な研究による検証が必要であるとして、重車両シミュレータ(Heavy Vehicle Simulator)による実験を行っている。著者は、混合物の老化を温度や紫外線の履歴を人為的に与えることでシミュレートし、履歴によるアスファルト粘度や弾性係数の特性変化を示した後、この実験によって急激な温度降下に対するアスファルト舗装の挙動について検討した。その結果、履歴を受けることによって粘度や弾性係数が増加し、この特性の変化がアスコン層における残留応力をもたらす原因となり、舗装の寿命を短くするとしている。

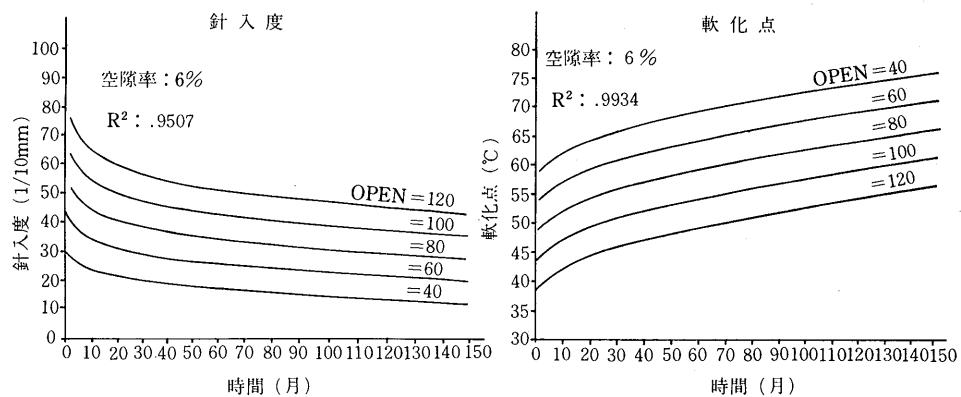


図-13 針入度および軟化点の経時変化

同様に M.Dauzats ら²⁰⁾もクラックの生じる要因の 1 つとしてアスファルト特性の経年変化を挙げており、バインダーの針入度および軟化点の変化(図-13)を以下に示す時間、初期針入度、空隙率による関数で表し、アスファルトの弾性係数を Van der Poel のノモグラフあるいは Heukelom のノモグラフを用いて求めている。

$$\text{PEN}(t) = 11.9925 - (1.2578 \sqrt{t}) + (0.3322 \times \text{OPEN}) - (2.9965 \times \text{VIDE} \times X_t) + (0.765 \times \text{OPEN} \times X_t) \dots \dots (26)$$

$$\text{TAB}(t) = 64.4448 + (1.5755 \sqrt{t}) - (0.2531 \times \text{OPEN}) - (0.5518 \times \text{VIDE}) \dots \dots (27)$$

t : 時間, OPEN : 初期針入度, VIDE : 空隙率
 X_t : 時間係数 ($X_t = 1 / (\sqrt{t} + 1)$)

こういった老化に対する対応策として混合物のリサイクリングが挙げられる。V.P.Servas ら³⁾は、ホットミックスサイクリングにおける添加剤の種類や量を決定する際の手法に関して提案している。著者らの提案する決定手法の基本的考えは、添加剤の種類や量および新バインダーの特性等の組み合わせによって、旧バインダーの性状を針入度の調整のみならず化学成分に関しても適正なものに改善しようとするものである。この種の手法では、再生アスコンと旧アスコンのバインダーの化学組成において、何らかの関係の成り立つことが前提となるが、著者らはバインダーの組成分析を行い、両者の間に数学的関係が成り立つことを確認している。そして、その際の因子としては新旧アスファルトおよび添加剤の混合割合、それらの化学組成、新旧アスファルトの針入度、添加剤の再生成効果を挙げている。また、一連の作業は液体クロマトグラフィーによる組成分析とコンピュータプログラムによる計算によつて簡略化を図っている。

4. あとがき

構造設計および材料について第 6 回構造会議 Session I の論文から取り纏めたが、構造設計では、その概念や設計手法およびシステムの形はほぼ確立されたものと考えられる。今後は理論的設計法によって、どの程度まで現場の状態を説明し得るか、言い換えれば、設計結果をどの程度まで実際の舗装性能に近づけることができるかといった点に関して、その汎用性も含めた形で検討されるものと推察される。そのためには、第 6 回構造会議においてもみられるような、現場条件をさらに正確に反映するための検討や改良、舗装寿命をより正確に予測する手法の検討および大型シミュレータ試験の活用、信頼性の概念の導入といった研究が、実路での多くの検証結果とも関連づけて行われることが必要と考えられ、これらは PMS の確立においても、当然重要な検討として位置づけられるものである。また、材料に関するも基本的には、これと同じ方向で考えることができる。

我が国においても、近年、アスファルト舗装における理論的手法への関心が高まるなか、FWD の適用などはかなり検討されているようであるが、弾性理論を用いた構造設計法に関しては実際に試みた例が少なく、今後の進展に期待するところである。

なお、論文の豊富さに加えて、筆者にとって非常に難解な論文も多々あったことから適切な表現や十分な紹介ができなかったものもあったが、構造設計における最近の動向をうかがう上で参考となれば幸いである。

最後に、本稿を取り纏めるにあたり、御指導をいただいた北海道大学姫野賢治助教授に、厚く御礼申しあげます。

— 参考文献 —

- 1) J.F.Shook and J.A.Burton : Structural Design of Asphalt Pavements for Heavy Loads, pp.3-12
- 2) M.R.Thompson : ILLI-PAVE Based Full-Depth Asphalt Concrete Pavement Design procedure, pp.13-22
- 3) V.P.Servas, A.C.Edler, M.A.Ferreira and E.J. Van Assen : An Integrated Approach for Determining Additive Requirements in Hot Mix Recycling, pp.23-33
- 4) G.T.H.Sweere, A.Penning and E.Vos : Development of a Structural Design Procedure for Asphalt Pavement with Crushed Rubble Base Courses, pp.34-49
- 5) P.Jouve, J.Martinez, J.L.Paute and E.Ragnea : Rational Model for Flexible Pavements Deformations, pp.50-64
- 6) A.Wolfgang : Influence of Bitumen Hardness on the Fatigue Behaviour of Asphalt Pavements of Different Thickness due to Bearing Capacity of Subbase, Traffic Loading and Temperature, pp. 65-71
- 7) A.Gerlach, A.Loizos and H.Lucke : The Influence of Stiffness-Progress of the Different Pavement Layers on the Size and Shape of Rut Depth in the Pavement Surface, pp.72-81
- 8) H.F.Southgate and R.C.Deen : Effects of Load Distributions and Axile and Tire Configurations on Pavement Fatigue, pp.82-93
- 9) A.H.Gerritsen and R.C.Koole : Seven Years' Experience with the Structural Aspects of the Shell Pvement Design Manual, pp.94-106
- 10) T.Brooker, M.D.Foulkes and C.K.Kennedy : Influence of Mix Design on Reflection Cracking Growth Rates through Asphalt Surfacing, pp. 107-120
- 11) L.Heleven, J.Verstraeten and V.Veverka : Latest Developments in the Analytical Methods for the Design of New Pavements and Strengthening Overlays in Belgium, pp.121-129
- 12) L.Franken and C.Clauwaert : Characterization and Structural Assessment of Bound Materials for Flexible Road Structures, pp.130-144
- 13) H.Buseck and H.Hurtgen : A Design Procedure Based on Experimental Results, pp.145-162
- 14) P.Irick, W.R.Hudson and B.F.McCullough : Application of Reliability Concepts to Pavement Design, pp.163-179
- 15) C.Saraf, K.Marshek, H.Chen, R.Connell and W.R.Hudson : The Effect of Truck Tire Contact Pressure Distribution on the Design of Flexible Pavements, pp.180-190
- 16) H.Goacolou : Calculation of the Rutting of Structures-CASTOR Program Method for Prediction of Permanent Deformations in Asphaltic Structures, pp.191-199
- 17) M.Siffert and B.Lescure : Evaluation of Heavy -Vehicle Traffic and its Application to Pavement Structural Design, pp.200-208
- 18) B.Eckmann : Rut Depth Prediction : A Practical Verification, pp.209-219
- 19) N.W.Lister and W.D.Powell : Design Practice for Bituminous Pavements in United Kingdom, pp.220-231
- 20) M.Dauzats and A.Rampal : Mechanisms of Surface Cracking in Wearing Couses, pp.232-247
- 21) N.W.Mcleod : Employing Paving Asphalt Temperature Susceptibility in the Structural Design of Asphalt Pavements, pp.248-271
- 22) K.Himeno and T.Watanabe and T.Maruyama : Estimation of Fatigue Life of Asphalt Pavement, pp.272-289
- 23) F.Hugo : Catering for Long Term Changes in the Characteristics of Asphalt during the Design Life of a Pavement, pp.290-304
- 24) E.R.Brown : Evaluation of Fatigue Properties of Recycled Asphalt Concrete, pp.305-322
- 25) F.Lehovec and F.Luxemburk : Higher Accuracy in Flexible Pavement Construction Design, pp. 323-332
- 26) C.R.Freeme, M.de.Beer and A.W.Viljoen : The Behaviour and Mechanistic Design of Asphalt Pavements, pp.333-343
- 27) C.L.Monismith, F.N.Finn, G.Ahlborn and N. Markevich : A General Analytically Based Approach to the Design of Asphalt Concrete

- Pavements, pp.344-365
- 28) J.M.Brunton, S.F.Brown and P.S.Pell : Developments to Nottingham Analytical Design Method for Asphalt Pavements, pp.366-377
- 29) A.H.Gerritsen, C.A.P.M.van Gurp, J.P.J.van der Heide, A.A.A.Molenaar and A.C.Pronk : Prediction and Prevention of Surface Cracking in Asphaltic Pavements, pp.378-391
- 30) J.Eisenmann and A.Hilmer : Influence of Wheel Load and Inflation Pressure on the Rutting Effect at Asphalt-Pavements-Experiments and Theoretical Investigations, pp.392-403
- 31) G.Lees : Asphalt Mix Design for Optimum Structural and Tyre Interaction Purposes, pp. 404-417

重交通道路の舗装用アスファルト 「セミブローンアスファルト」の開発

B5版・132ページ・実費頒価 3000円(送料実費)

当協会において、昭和50年の研究着手以来、銳意検討されてきた重交通道路の舗装用アスファルトについての研究の集大成です。本レポートが、アスファルト舗装の耐流动対策の一助となれば幸いです。

目	次
1. 研究の概要	
1.1 文献調査	4.4 高速曲げ試験
1.2 室内試験	4.5 水浸マーシャル安定度試験
1.3 試験舗装	4.6 試験結果のまとめ
1.4 研究成果	4.7 品質規格の設定
2. 舗装の破損の原因と対策	5. 試験舗装による検討
2.1 アスファルト舗装の破損の分類	5.1 概説
2.2 ひびわれ (Cracking)	5.2 実施要領
2.3 わだち掘れ (Rutting)	5.3 施工個所と舗装構成
3. セミブローンアスファルトの開発	5.4 追跡調査の方法
3.1 概説	5.5 使用アスファルトの性状
3.2 市販ストレートアスファルトの60℃粘度調査	5.6 アスファルト混合物の性状
3.3 製造方法の比較	5.7 第1次および第2次試験舗装の供用性状
3.4 セミブローンアスファルトの試作	5.8 第3次試験舗装の供用性
3.5 試作アスファルトの特徴	5.9 アンケート調査
3.6 60℃粘度と他の物理性状の関係	5.10 試験舗装のまとめ
3.7 薄膜加熱による性状変化	6. むすび
4. セミブローンアスファルトを用いた混合物の性状	資料
4.1 概説	1. セミブローンアスファルトの規格(案)
4.2 マーシャル安定度試験	2.1 石油アスファルト絶対粘度試験方法
4.3 ホイールトラッキング試験	2.2 60℃粘度試験の共通試験
	3. 舗装用セミブローンアスファルトの舗装施工基準

セッションII：舗装評価

南沢輝雄*

1. まえがき

舗装は、交通荷重や気象条件等の外的作用を受け、経年とともに徐々にその機能が低下し、やがて維持または修繕が必要となる。舗装を常に良好な状態で管理するためには、適時適切な維持修繕を行う必要があり、そのためには現状の舗装状態を的確に評価するとともに、その状態が将来どのように変化するかを予測することが重要である。

「第6回アスファルト舗装の構造設計に関する国際会議、セッションII：舗装評価」では、合計26編^{1)~26)}の論文が発表されている。それらの内容は舗装の評価に関するものと舗装のパフォーマンスに関するものが含まれている²⁷⁾。以下、本稿では、舗装マネジメントシステム(以下PMSと略す)からみた舗装評価の一般的概念を述べたあと、このセッションで発表された論文を、測定技術を中心とした舗装の評価と構造挙動を中心とした舗装のパフォーマンスに分けて、その評価手法の現状と課題について述べる。

2. 舗装評価の一般的概念

近年、PMSの重要性が注目されており、その目的は、「限られた予算を最も効率的に使用して、利用者のために安全、快適かつ経済的な舗装を提供すること」である²⁸⁾。PMSは、図-1に示すように舗装の計画、設計、建設、維持、評価、研究などを検討する包括的な一連の行為から構成されている。したがって、舗装の評価は、それ自体が独立して存在するものではなく、PMSの中の1つの要素として位置付けることができ、PMSの中でも特に重要な部分となっている。それは、舗装評価が、ネットワーク段階での欠陥を評価する計画グループと詳細なプロジェクト段階での解析を行う設計グループの両方に情報を提供するものであることを示している。舗装評価の過程で得られたデータは、舗装が所定の機能を満足しているか否かの評価ならび

に将来の維持修繕計画の立案および設計・建設・維持修繕の技術改良等に利用されることになる。

舗装評価は、一般に図-2に示すように以下の4種類に分類できる²⁸⁾。

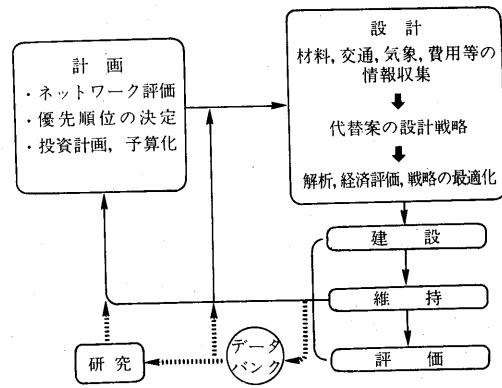


図-1 舗装マネジメントシステムの全体構成²⁸⁾

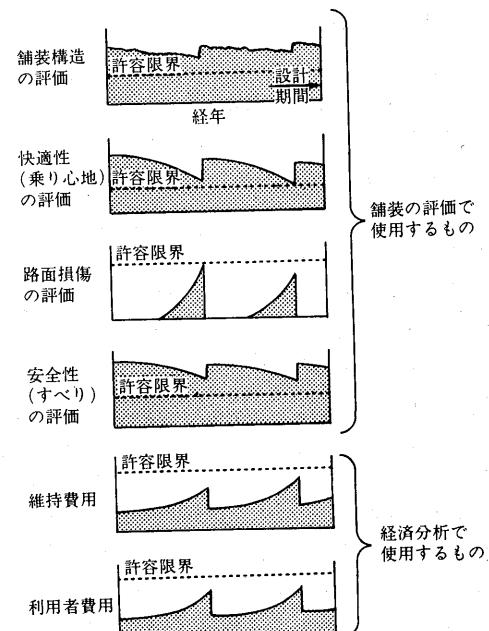


図-2 舗装評価の概念²⁸⁾

*みなみさわ てるお (株)バスコ道路技術センター 技術課長

- ① 快適性（乗り心地）の評価
 - ② 安全性の評価
 - ③ 路面損傷の評価
 - ④ 舗装構造の評価
- ①の快適性（乗り心地）は、利用者の主観的判断によるサービス性能であり、一般には、路面性状（主に平坦性）と関連付けしたサービス性指数（PSI : Present Serviceability Index）、乗り心地指数（RCI : Riding Comfort Index）等の客観的評価指標で表わされる。②の安全性は、路面のすべり抵抗、視界があるが、主に、定量測定が可能な路面のすべり抵抗により評価される。③の路面損傷は、ひびわれ、変形（わだち掘れ等）、材料の表面欠陥等の路面性状を測定することによって取り扱われる。④の舗装構造は、舗装の構造状態（荷重支持力）を示すもので、舗装厚、各層の材料強度、たわみ量等で表わされる。①、②は、舗装利用者からみた評価に対し、③、④は舗装管理者からみた評価が主体となっている²⁹⁾。

これらの他に経済分析に利用するものとして、管理者費用（維持費、修繕費）と利用者費用（車両走行費、工事渋滞による時間損失費）がある。なお、舗装のライフサイクルコストの分析、社会的便益等の経済効果を評価する研究は、最近始まったところである^{30),31)}。

3. 舗装の評価

3-1 舗装の評価手法

舗装の評価手法は、1960年ごろから進歩し、近年、非破壊測定装置、路面性状測定装置等の各種測定機器の自動化、高速化、複合化、さらにはパーソナルコンピュータの高速化、大容量化の促進が図られたことにより、急速に進展している。

舗装の評価手法の1つには、図-3に示すように、機能的評価と構造的評価を行うものがある²⁷⁾。機能的評価とは、自動車が走行する上での舗装の機能を示すもので、①安全性（すべり抵抗と視界）、②乗り心地（平坦性）、③美観があり、主に道路利用者に対して提供するサービス性に関する評価である。構造的評価は、維持修繕計画を立案する上で必要な舗装の健全度を示すもので、①路面のたわみ、②路面の損傷、③舗装材料の強度、弾性係数があり、主に道路管理者の立場からの評価である。これら2つの評価の相互関係を明らかにすることはきわめて重要であるが、まだこれらを明確に立証した研究は少ないようである。

また、舗装の評価レベルを分類すると、①ネットワ

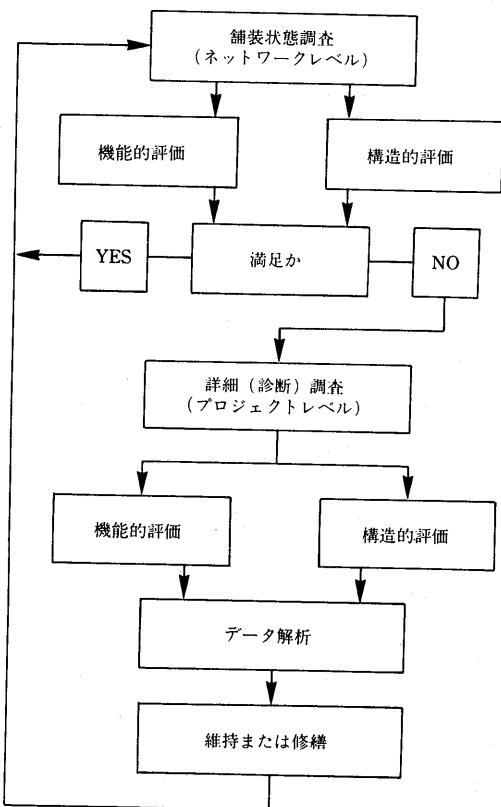


図-3 舗装評価の基本的流れ²⁷⁾

ークレベル、②プロジェクトレベル、③研究レベルがある。管理対象区間内のすべての舗装を一括してとらえるネットワークレベルでは、迅速な評価、低成本が要求され、個々の区間の舗装を対象とするプロジェクトレベルおよび研究レベルでは、維持修繕の必要性や舗装のパフォーマンスの低下をうらづける詳細なデータが要求される。

3-2 舗装の評価手法の現状と課題

セッションIIにおける「舗装の評価」に関する論文は16論文あり、その内容は、①路面のたわみ、②路面の損傷、③平坦性、④その他（舗装厚、応力・ひずみ等）の4種類の視点から整理できる。①～④の視点のもとで各論文の評価方法、データの収集と処理、データの利用方法等についてまとめた結果を表-1～4に示す。

舗装の評価では、全般的に測定技術に関する論文が多く、特にたわみ測定による構造評価に関するものが大勢を占めている。また、一般に舗装の評価に関する測定技術は、次の条件を満足していることが望ましいといわれている²⁷⁾。

表-1 「路面のたわみ」に関する論文概要

論文番号	測定装置	データの収集と処理	データの利用方法
5)	FWD, ロードレイタ WE S 16-kip バイブレータ ダイナフレクト	・文献によるたわみの理論研究	・動的解析と静的解析の評価方法の比較 ・各種たわみ装置の評価
6)	ベンガルマンビーム	・各季節での温度を考慮した WASHO方法 ・手作業	・弾性係数の逆計算 ・耐疲労, 耐わだち掘れのオーバーレイ設計
8)	ダイナフレクト FWD	・自動化 ・温度と時期による補正	・弾性係数の逆計算 ・耐荷力の評価 ・舗装厚設計の検証 ・パフォーマンス低下の原因
9)	FWD	・自動化	・弾性係数の逆計算 (ELMOD) ・弾性係数の比較 ・パフォーマンスの予測
10)	WE S バイブレータ等種々	・文献によるたわみの理論研究	・弾性係数の逆計算 ・材料変動の評価
12)	コログラフ (動的たわみ)	・データ自動収集システム	・構造挙動の評価
14)	FWD ベビーバイブルエタ	・試験走路データ	・舗装の均一性の評価 ・弾性係数の計算
15)	FWD	・試験道路データ ・年3回24時間のたわみ	・弾性係数の逆計算 (回帰法) ・寒冷地, 簡易舗装への適応 ・支持力の季節変動の測定
17)	ローリングホイール	・4つの計器の最大たわみ	・舗装の均一性の測定 ・構造強度の推定
	FWD	・強度不足箇所の詳細調査	・弾性係数の逆計算 (ELMOD) ・各層の構造的な相互関係
18)	ロードレイタ 400, 2000 ダイナフレクト FWD	・73箇所での試験 ・各種装置によるたわみ	・装置間の相関式 ・信頼性の高い装置の指針
19)	FWD	・分析手法の現場検証データ ・弾性係数の理論的処理	・弾性係数の逆計算 (回帰法) ・舗装寿命の推定 ・オーバーレイ設計法
20)	WE S 16-kip バイブルエタ	・空港舗装の中心線上のたわみ	・空港舗装の支持力評価 ・FAA空港舗装設計法の改良

表-2 「路面の損傷」に関する論文概要

論文番号	損傷項目	評価方法	データの収集と処理	データの利用方法
3)	わだち掘れ	直線定規 水準測量	・手作業	・わだち掘れと荷重の関係 ・構造設計理論の検証
	ひびわれ	目視評価	・手作業	・構造設計理論の検証
6)	ひびわれ ブリージング等	PAVER による目視評価	・手作業 ・PCI	・維持修繕計画の立案
8)	ひびわれ 変形 ラベリング	サンプリング による目視評価	・手作業	・舗装状態の評価 ・構造挙動の評価
17)	わだち掘れ マクロテキスチャ	高速道路モニタ (HRM)	・最高80km/hの高速調査 ・コンピュータへの データ登録	・路面性状調査
20)	ひびわれ, 変形等 複数の破損	PAVER によるFAA手法	・手作業 ・PCI	・FAA設計法の検証

表-3 「平坦性」に関する論文概要

論文番号	評価方法	データの収集と処理	データの利用方法
3)	NAASRAラフネスマータ	・手作業	・平坦性の経時変化の評価
8)	メイズライドメータ	・8箇所での試験 ・手作業	・舗装の乗り心地評価 ・PSRとの関連性
12)	縦断プロファイル(変位計) 横断プロファイル	・コンピュータへのデータ登録	・試験施設の評価 ・平坦性の経時変化の評価
17)	高速道路モニタ(HRM)	・最高80km/hrの高速調査 ・コンピュータへのデータ登録	・ネットワークレベルでの路面性状調査
21)	レスポンスタイプメータ (ロードメータ) 水準測量 高速プロフィルメータ	・49箇所での試験 ・20,32,50,80 km/hrでの試験 ・路面は、アスファルト、表面処理、砂利道等	・平坦性の標準化(IRI) ・測定手法の比較

表-4 「その他」に関する論文概要

論文番号	測定項目	評価方法	データの収集と処理	データの利用方法
12)	舗装体の水分と温度 応力とひずみ	センサー、特殊装置	・コンピュータへのデータ登録 ・デジタルとアナログデータ	・設計法の検証
13)	舗装厚	パルスレーダ	・連続測定 ・コンピュータへのデータ登録	・表層厚の変動 ・多層には不適合
	車道と歩道の状況	ビデオカメラ	・ビデオテープ ・位置のコード化	・舗装評価は不明
14)	ひずみ	9種類のゲージ	・試験走路データ	・種々のゲージ比較
17)	横断勾配、縦断勾配、平面曲線	高速道路モニタ(HRM)	・ネットワークレベル ・コンピュータへのデータ登録	・道路状態の評価
22)	路床土の強度	動的貫入試験(DCP) (ダイナミックコーンペネトロメータ)	・半破壊方法による支持力評価	・DCPとCBRの相関 ・既設舗装の有効厚の評価

- ① 低コスト
ランニングおよびメンテナンス費用が少ない。
- ② 高い精度
信頼性、再現性があり、較正が容易である。
- ③ 作業性
操作が容易で、作業時に交通に対する安全性が確保でき、天候に左右されない。
- ④ 装置の多機能性
同時に複数のデータ収集ができる。
- ⑤ データ収集の自動化
コンピュータへのデータ格納ができる。
- これらの条件を踏まえ、現状の評価法の問題点と課題を整理すると次のとおりとなる。
- ① 路面のたわみに関するもの
・測定データの解釈に相違がある。
・データの再現性の確保、測定の標準化および高
- 速化を図る。
・弾性係数の逆計算（たわみ量から弾性係数を推定する）手法の信頼性を高める。
・たわみに対する水分、温度等の影響因子を明確にする。
- ② 路面の損傷に関するもの
・主観的な目視評価が多い。
・高速測定システムによるデータ収集の自動化、高速化を図る。
- ③ 平坦性に関するもの
・データの国際的な統一化、標準化を図る。
・測定データの装置間の互換性を図る。
・平坦性の経時変化を明確にする。
- ④ その他に関するもの
・解析に必要な十分なデータが収集されていない。
・非破壊測定装置の開発および精度の向上。

舗装の評価技術は、前回会議より注目されていたが、論文の焦点がたわみ測定による構造評価であることから、今後の研究すべきテーマとして、次のものがあげられている²⁷⁾。

- ① プロジェクトレベルとネットワークレベル間のニーズ、利用法の相違の明確化
- ② 國際的に統一かつ共有できる評価技術の開発
- ③ 測定値に対する測定時期の影響
- ④ 測定技術の迅速性と生産性の改良
- ⑤ 収集した舗装データの処理方法とその解釈
- ⑥ 構造モデル逆計算手法の信頼性

4. 舗装のパフォーマンス

4-1 パフォーマンスの予測手法

パフォーマンスとは、利用者に対して提供するサービス性能の履歴であり、一般に乗り心地で評価される²⁸⁾。ただし、パフォーマンスの定義は、まだ各國の認識に相違があり、我が国では、管理者による評価も含めた舗装の総合的な性能を供用性として使用することが多い。本章でのパフォーマンスの予測とは、舗装の構造状態を評価し、交通や環境の変化を考慮して経時的な舗装の性能を決定することである²⁷⁾。例えば、現在の舗装支持力が低ければ、たとえ現在のサービス性能が高くとも、将来のサービス性能が急速に低下する。このように、パフォーマンスを予測する上で舗装の構造状態を評価することは不可欠であり、構造状態を評価するためには、舗装と材料のタイプ、表層・基層への水分・温度の影響、過去と将来の交通量等の詳細なデータを把握する必要がある。

パフォーマンスの予測手法に必要な要素は、一般に既設舗装の逆解析的な分析、あるいはパフォーマンス予測のための試験舗装や新設舗装により導き出される²⁷⁾。既設舗装の逆解析的な分析には次の問題がある。

- ① 材料の種類、設計の方法論・概念は、時代とともに変化する。
- ② 舗装の各層の状態は、新設時とは異なり、次第に悪化していく。
- ③ 施工機械、人の経験は、変化する。
- ④ 新しい材料は、評価することができない。
- ⑤ 損傷のタイプと程度は、使用材料、環境と交通の相互作用等の特殊要因により限定され、他の条件、環境への適用が難しい。

また、試験・新設舗装による場合には、次の問題がある。

- ① 特殊な目的で建設された舗装は、現実の舗装として再現できない恐れがある。
- ② パフォーマンスを把握するためには、多くの年数がかかる。特に、寿命を長く設計した良好な舗装の評価には、多くの年数を必要とする。
- ③ 舗装の弱さの認識は、材料、技術、人等が変わった後だけしか利用できない。

4-2 パフォーマンス予測手法の現状と課題

1960~70年ごろから、A I (アメリカ)、TRRL (イギリス)、CGRA (カナダ)を中心とし、たわみによるオーバーレイ厚設計法が開発され、種々のパフォーマンス予測手法が研究されている。オーバーレイ厚を決定するためには、将来の交通量、現状の舗装のタイプ、たわみの情報が必要である。

セッションIIにおける「舗装のパフォーマンス」に関する論文は、16論文あり、その概要を表-5に示す。

論文に示される大部分の手法は、力学分析によるたわみに関するものである。パフォーマンスの予測手法は、各國の情勢、アプローチの視点等により広範囲にわたっている。しかし、各手法は、特定の環境のもとでは非常に役立つが、すべての環境に適用できるものとはなっていない。それは、現在のところ、たわみは舗装体のすべてのひずみが測定できないこと、各國によりたわみに関する解釈の相違があること等の問題があるためである。

舗装のパフォーマンスの認識を改良するためのフローを図-4に示す²⁷⁾。まず、パフォーマンスを考慮した

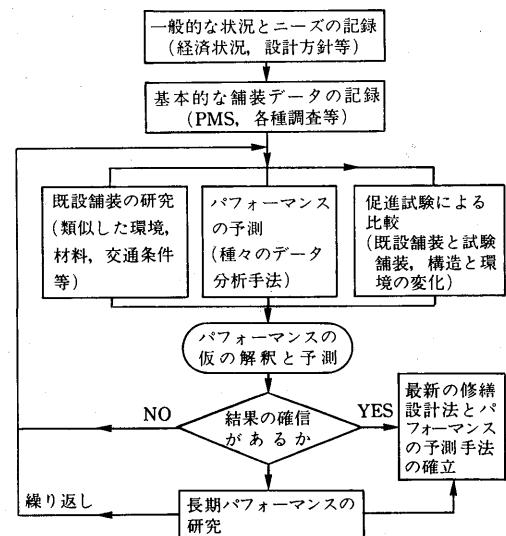


図-4 舗装パフォーマンスの認識を改良するためのフロー²⁷⁾

表-5 「舗装のパフォーマンス」に関する論文概要

論文番号	対象とした既設舗装	パフォーマンスの予測	促進試験	長期パフォーマンス
1)	空港舗装	CBR 設計法による感度分析, 確率論		離着陸回数
2)	250 マイル	PSI と影響因子の回帰分析		PSI (平坦性)
3)	2種類の路床条件 2種類のAs混合物	格子形力学解析 粘弾性材料の挙動		ひびわれ, わだち掘れ, 平坦性
4)	再生加熱As混合物	材料の疲労変形特性による力学解析	HVS	Heavy Vehicle Simulator 1982~1986年のパフォーマンス
6)	8箇所 (種々の表層厚)	BISAR によるオーバーレイ厚設計と力学解析		舗装状態指数(PCI)
7)	5箇所	VESYS IIIA 構造システム		1976~1983年のわだち掘れ, ひびわれ, PSI
8)	5箇所	EPEDD1, RPEDD1プログラムによる力学解析		舗装状態データ (目視, PSR)
9)	157 箇所 (253km)	ELMOD システムによる解析的経験的手法		PSI, PSR
10)		Boussinesq, 2層構造システムによるランダム変数理論		たわみ
11)	3種類の重車両舗装	Boussinesq, CIRCLYプログラムによる力学解析	ALF	Accelerated Loading Facility
16)	30箇所の試験舗装	ALIZE 構造設計システム		20年間の追跡調査 (たわみ, ひびわれ, すべり)
17)	ネットワーク評価	ELMOD システムによる力学解析		高速道路モニタ(HRM)とFWD
23)	13箇所	VESYS 3H構造システム		PSI, わだち掘れ, ひびわれ
24)	30箇所	交通荷重による補正支持力と現実との比較		8年間のたわみ
25)	14箇所の試験舗装 (Co版上のAs舗装)	力学解析とひびわれの動き (リフレクションクラック)	HVS	Heavy Vehicle Simulator 4年間のパフォーマンス
26)	33箇所	多層弾性理論と非線形シンプレックス法		たわみ, ひびわれ, わだち掘れ

道路の重要度, 経済状況, 寿命, 設計方針の考え方等の一般的な状況とニーズの記録を行う。次に, 舗装タイプ, 交通, 気象, 損傷データ等の調査を行い, PMSに必要な基本的な舗装データの記録を行う。

一方, 既設舗装の研究では, 類似した環境, 材料, 交通状況のもとで, 破損メカニズム, 有効な舗装のタイプ, 強度, 支持力等を分析検討する。パフォーマンスの予測には, 表-5に示したような BISAR, VESYS 等の構造解析システム, 弾塑性構造理論, 力学解析, サービス性等の種々の分析手法がある。促進試験では, 現在の予測手法と舗装の挙動を比較し, ①種々の道路, 舗装厚, 材料, 建設時の欠陥等の構造要因と②舗装体への雨水の侵入, 温度, 凍結の影響等の環境要因の両方を検討し, 各種の修繕設計法の妥当性を検証する。

最後に, 環境, 材料, 交通状況を考慮したパフォーマンスの仮の解釈と予測を行い, その結果により設計, 建設, 修繕手法を改良することができるか否かを判断する。長期パフォーマンスの研究は, 前述の手法で繰り返し行われるべきもので, その目的は, 種々の環境,

交通状況のもとで, 予測したパフォーマンスと現実の舗装の挙動との相違を解決することである。

今後, 舗装のパフォーマンスに関して研究すべき内容として次のことがあげられている²⁷⁾。

① パフォーマンスの予測手法の改良

測定された長期パフォーマンス, 促進試験, パフォーマンスの予測を循環的に繰り返し行うことにより, パフォーマンスの検証, 予測手法の改良を行う。

② 材料欠陥, 損傷の進行の把握

現場での舗装構成, 材料は完全でないものが多い。そのため, 交通荷重, 雨水の侵入により, ひびわれ, 変形等が加速的に進行する。また, 舗装に対する交通荷重, 気象条件等の影響は, 多種類かつ複雑であることから, 試験舗装だけでは真の評価ができない^{8), 23)}。

③ ネットワークとプロジェクトレベル間の整合

ネットワークレベルのニーズ^{2), 24)}とプロジェクトレベルのニーズ³⁾の整合を明確する必要がある。

④ エキスパートシステムの開発

専門知識を有効に利用できるエキスパートシステムは、今後、評価技術を向上させる上で重要な道具となる。

5. あとがき

以上、「セッションII：舗装評価」で発表された論文を中心に、舗装の評価とパフォーマンスに分けてとりまとめた。舗装の評価では、①交通荷重、環境、使用材料等の変化の舗装に対する影響を的確に把握できること、②優先順位決定、工法選定等の維持修繕計画の立案ができること、③現行および新設計法の妥当性を検証することができること、等の評価手法が要求されている。今後、予防的な維持修繕へと転換を図るためにも、舗装の評価・予測はきわめて重要な課題となっている。

また、最近の道路技術の動きの中で、注目すべきものとして、アメリカの新道路研究計画（SHRP: Strategic Highway Research Program）がある³²⁾。SHRPで取り扱う研究課題のその1つに「舗装の長期パフォーマンス」があり、今後、20年にわたって研究を行うこととなっている。我が国も積極的にこの研究に参画するようであり、今後の研究成果が期待される。

最後に、本稿を取りまとめるにあたり、御指導をいただいた北海道大学姫野賢治助教授、ならびに当研究グループ評価班長の野村健一郎氏に、厚く御礼申し上げます。

— 参考文献 —

- 1) Yu T.Chou : Probabilistic and Reliability Analysis of the California Bearing Ratio (CBR) Design Method for Flexible Airfield Pavements, pp.421-427
- 2) Tien-Fang Fwa and Kumares C.Sinha : An Analysis of Load and Non-Load-Related Effects on Flexible Pavement Performance, pp. 428-442
- 3) R.B.Smith and W.O.Yandell : Predicted and Field Performance of a Thin Full Depth Asphalt Pavement Placed Over a Weak Subgrade, pp.443-454
- 4) V.P.Servas, M.A.Ferreira and P.C.Curtayne : Fundamental Properties of Recycled Asphalt Mixes, pp.455-465
- 5) Michael S.Mamlouk : Dynamic Analysis of Multilayered Pavement Structures - Theory, Significance and Verification, pp.466-474
- 6) Madan G.Arora and Faisal Saleem : Structural Evaluation of Asphalt Pavements in the Eastern Province of Saudi Arabia, pp.475-485
- 7) N.Paul Khosla : A Field Verification of VESYS III A Structural Subsystem, pp.486-499
- 8) Waheed Uddin, John F.Nixon, B.Frank McCullough and J.Kabir : Diagnostic Evaluation of In-Service Pavements Performance Using Pavement Condition Data, pp.500-520
- 9) P.Ullidtz, G.Battiato, B.K.Larsen and R.N.Stubstad : Verification of the Analytical-Empirical Method of Pavement Evaluation Based on FWD Testing, pp.521-532
- 10) Jacob Uzan, David G.Zeitoun and Raphael Baker : Derivation of Pavement Material Variability From Nondestructive Testing, pp.533-542
- 11) P.Kadar : Accelerated Full Scale Testing of Heavy Duty Pavements-Experience With the Australian Accelerated Loading Facility (ALF), pp.543-549
- 12) P.Autret, A.Baucheron De Boissoudy and J.C.Gramssammer : The Circular Test Track of the "Laboratoire Central Des Ponts Et Chaussees" (L.C.P.C.) Nantes-First Results-, pp.550-561
- 13) M.Cuvillier, J.F.Godard and P.Retour : New Methods Developed in France for Road Network Survey and Maintenance, pp.562-573
- 14) I.F.Scazziga, A.G.Dumont and W.Knobel : Strain Measurements in Bituminous Layers, pp.574-589
- 15) A.Kasahara, H.Kubo and T. Sugawara : Estimation of in Situ Elastic Moduli of Pavement Structural Layer With Falling-Weight-Deflectometer Deflection Basion, pp.590-596
- 16) M.Siffert : The Verification of Design Methods -Test Sections, pp.597-606
- 17) P.G.Jordan, B.W.Ferne and D.R.C.Cooper : An Integrated System for the Evaluation of Road Pavements, pp.607-617
- 18) J.K.Lindly, N.D.Pumphrey, Jr., T.D.White and V.L.Anderson : Evaluation and Comparison of

- Various NDT Devices in Side-By-Side Testing on Indiana Highways, pp.618-627
- 19) A.Marchionna, M.G.Fornaci and M.Malgarini : Evaluation of Flexible Pavements and Overlay Design Based on F.W.D.Tests, pp.628-637
- 20) Starr D.Kohn and Ross A.Bentsen : Performance of Flexible Airfield Pavements Subjected to High Traffic Volumes, pp.638-654
- 21) Michael W.Sayers, Thomas D.Gillespie, and Cesar A.V.Queiroz : Application of the International Roughness Index to Response-Type Measuring Systems, pp.655-664
- 22) Moshe Livneh and Ilan Ishai : Pavement and Material Evaluation by a Dynamic Cone Penetrometer, pp.665-676
- 23) H.Beckedahl, A.Gerlach, H.Lucke and W.Schwaderer : On Improvements of the Existing VESYS-Concepts, pp.677-691
- 24) Laszlo Gaspar, Jr.and Erno Toth : Structural Design and Prediction of Asphalt Pavement Life-Time in Hungary, pp.692-700
- 25) A.W.Viljoen, C.R.Freeme, V.P.Servas and F.C.
- Rust : Heavy Vehicle Simulator Aided Evaluation of Overlays on Pavements With Active Cracks, pp.701-709
- 26) M.G.Sharma, W.J.Kenis and M.Mirdamadi : Evaluation of Mechanical Parameters of In-service Pavements from Field Data, pp.710-724
- 27) R.G.Hicks, C.R.Freeme : Theme II Lecture : Pavement Evaluation And Performance, 6th ICSDAP Vol II, pp.221-258
- 28) Ralph Haas, W.Ronald Hudson : Pavement Management System, McGraw-Hill, 1978
- 29) 八谷好高 : アスファルト舗装の構造設計に関する国際会議(4), セッションIII, 評価, アスファルトNo.139, 1984, pp.56-66
- 30) 全米アスファルト協会 : 舗装のライフサイクル・コスト分析, (社)日本道路建設業協会訳, 1987.7
- 31) 建設省道路局国道第一課, 建設省土木研究所 : 舗装の管理水準と維持修繕工法に関する総合的研究, 第41回建設省技術研究会報告, 1987.10
- 32) 安崎裕, 池田拓哉 : アメリカ合衆国における新道路研究計画 (SHRP), 土木技術資料30-8, 1988, pp.50-53

砂利道の歴青路面処理指針（59年版）増刷

第3刷 B5版・64ページ・実費頒価500円（送料実費）

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			

パソコンによる舗装の多層弾性構造解析

姫野賢治*

1.はじめに

わが国においてアスファルト舗装が本格的に建設されたのは、昭和28年の札幌～千歳間の弾丸道路が最初であるとされる¹⁾。昭和29年に第1次道路5箇年計画が発足して各地で国道の整備が実施されるとともに、昭和35年にはわが国初の高速道路である名神高速道路が完成して、わが国のアスファルト舗装技術は飛躍的な進歩を遂げるに至った。また、昭和36年には、AAHSO道路試験の成果をはじめとする多くの研究成果を取り入れ、日本道路協会よりいわゆる「アスファルト舗装要綱」の初版が出版され、その後の数度の改訂を通じてその内容の更新が行われてきたことは周知の事実である。

この「アスファルト舗装要綱」がもたらした最大の功績は、当時は全く曖昧模倣としていた舗装の設計という概念をそれなりに体系化し、誰もが簡単に質の高いアスファルト舗装の設計をなし得る体制を作り上げたことにあったと言えよう。この「要綱」がわが国の道路整備に及ぼした寄与は大きく、外国の調査団をして、「先進国でこれほど道路をないがしろにしている国はない」と言わしめたほどの道路を今日のような高い水準に引き上げさせた最大の原動力であったと言い得るであろう。

2. 設計基準はいかにあるべきか

ところで、話を一般論に転じ、舗装の設計基準といふものはいかにあるべきかについて感じていることを述べさせて頂く。

ある何らかの大変取扱い易いシステムがあって、しかもある入力に対する出力が正確でかつその目的にかなつたものであるならば、これは一般には優れたシステムと言ってよいであろう。ところが、そのシステムが作られた当時には想定もされなかつたような入力に対してどこまでフレキシブルに回答を与えるかとい

う能力は、その性能を評価する上で非常に重要なポイントである。

簡単な例として、ある材料で作ったバネがあつて、おもりの重量とバネの伸びがある条件のもとでは経験的に表-1のようであることがわかっていたとする。

表-1 仮想バネの伸び性状

おもりの重量	バネの伸び
0 kgf	0 cm
10	0.99
20	1.96
30	2.98
40	3.98
50	5.10

ここで、この現象をモデル化し、おもりの重量に対するバネの伸びを的確に表現し得るシステムを作成しなければならないと仮定する。この範囲のおもりの重量に対してもは上の表をそのままの形でシステムとしても、結果は当然のことながら良好であるはずだし、この関係が得られた理由が経験的であろうが解析的であろうが、この目的に対しては非常に良いシステムであるといえよう。このような考え方は経験則に基づく典型的なものである。

さて、このシステムにより、おもりの重量がこの表にはない60kgfのときのバネの伸びはいくらであるかを知らなければならなくなつたときに、どのような対策を講ずるべきであろうか。もしこの問題を解決する理論がないのならば、実際に伸びがいくらであるかを確かめそれを基準に取り入れるしか方法はあるまい。ところが、別の研究の成果として、

・バネの伸び=0.1 [cm/kgf]×おもりの重量
というような理論的な式が明らかになっているのならば、これを導入することが賢明であり、おもりの重量が60kgfのときのバネの伸びは約6cmと推定することが

*ひめの けんじ 北海道大学工学部土木工学科助教授

できる。もっとも、理論的な式とは言いながら、工学の宿命で、帰納的な法則から理論が導かれた以上、本質は経験的なものだし、検証を行わずにすぐ実用に供することは危険であろう。60kgfの荷重に対してはバネが降伏してしまうかも知れない。ただ、これもより広範囲な条件で実験を繰り返すことにより一種の法則として定着させ、この理論的な法則を補正できるようになるであろう。

現代においては、フックの法則とか、降伏の概念などは少しばかり工学をかじった人間にはあたりまえのことであるが、それが一般的でなく、電卓もない時代には、きっと難しくてユーザの負担であったはずである。だから、誰が見てもすぐにわかるような表にしておいた方が良かったかも知れない。ところが、気温が高いときにはどうもバネの伸びがこの表に書いてある値よりも大きそうだし、逆に気温が低いときには伸びは小さそうだとまわりの人が騒ぎだしたとすると、どうやらこの関係は気温にも影響されそうだということがわかってきて、いろいろな気温に対して同じような表を作らなければならないことになろう。さらに、経験的な実績が蓄積され、気温よりもバネそのものの温度の方がどうやら重要そうだということがわかってきたりすると、こんどは気温とバネ本体の温度の関係もまた表にしなければならなくなるに違いない。

さて、このあたりまでは何とか対応してみたものの、別の材料に対しては1からやり直して別の表を作成しなければならないし、技術力の進歩につれてシステム作りの作業量が膨らんでしまうという結果になろう。もし、フックの法則と降伏の概念を知っていれば、僅かな実験を行うだけでバネの伸びはかなり容易に求められるに違いない。つまり、バネ定数と降伏点という2つの概念をバネの温度の関数として導入するだけで、システムの自由度が飛躍的に高まる事になる。もっとも、ここで気をつけなければならないのは、フックの法則に従わない材料や、降伏という概念を持たない材料も存在し得ることである。せっかく理論的な一般化を行ったのに、理論に従わない材料がたくさん現れたのでは、すぐにまたその理論を拡張するための研究に莫大な投資が必要となるであろう。

以上のようなことは、舗装の設計の場合にもそのままあてはまると思われる。すなわち、過去の経験上だけの知識に従って舗装を設計した場合でも、設計期間中ある条件下では非常に満足のいく挙動を示したとするならば、その設計方法はそれが確立された根拠が経

験的であろうが解析的であろうが、それは優れた設計方法と呼ばれるべきである。ところが、その設計方法では予想もしなかったような全く新種の材料が現れたり、設計期間が変化したり、その上を走行する車両の特性が変化したりすると、そのような設計方法では歯が立たなくなる。

最近、再生合材、スラグ、ゴム、樹脂、石炭等々、従来からの設計方法ではカバーしきれない新材料が次々に取り入れられたり、ライフサイクルという概念の導入に伴い、10年後だけでなく5年後とか20年後とかの舗装の供用性をも評価しなければならなくなったり、あるいは、車両の接地圧や輪荷重が多用性を帯びるにつれ、設計基準がこのような変化にも適正に対応するニーズが次第に高まりつつあると思われる。そのためには、上の例のフックの法則や降伏の概念に対応する理論的なバックボーンがあると大変にフレキシブルな発想ができると期待される訳である。諸外国では、このバックボーンとしていわゆる「多層弾性理論」を採用した設計方法が増え始めている^{2),3),4)}。わが国でもこの理論を取り入れた設計方法の確立を意識した検討が始まられつつある。

ここで問題になるのは、フックの法則ならいざ知らず、多層弾性理論なんて理屈では納得しても、実際にそれを設計に取り込むのは無理であるという自然な感情である。すぐ答えがほしいのに、いちいちコンピュータなどを使っての暇がないというような感情である。いくら正確でも、たとえば1時間後の気象予測を行うのに計算時間に5時間かかってしまうとするならば、そのようなシステムは当面は実用的ではない。そのような場合には、多少正確さを欠いても簡略化した手法を用いたり経験的な図表を用いたりすればよいと思われる。ただ、そのような場合でも、正確な出力が期待できるならば実用的な設計方法を作成する上で強力な支援になるに違いない。

本報文は、この「多層弾性理論」とはどのようなものか、また、舗装工学ではどのように利用できるかについて、筆者が感じていることを簡潔に述べることを目的とする。また、これを1つの道具としてパソコン上で容易に実行しうるシステムを作成したので紹介する。

3. 多層弾性理論とは

多層弾性理論そのものは決して新しい理論でなく、最も単純な2層構造については今から58年前の1931年

にすでに松村⁵⁾により解析的な解が得られている。次いで、1933年に Marguerre⁶⁾、1943年には Burmister⁷⁾も同じ問題を取り扱った。特に Burmister は実用に便利な図表を広範に作成しよく利用されたのでその名は有名である。それは、数学的に解析解が得られても、その解の中には、ベッセル関数あり、異常積分あり、それらの組み合わせ全体を包含する無限級数ありと、すぐには数値解が得られるようなしきものではないからである。その後、コンピュータの発達に伴い、これらの解の数値解析手法の開発や、層数が増えた場合の解法の完成に伴い、BISAR, CHEV5Lなどの有名なコンピュータプログラムも開発されるようになった。これらは一部の研究者には重宝されたものの、これらを実行するためにはメインフレーム（いわゆる大型計算機のこと）またはミニコンクラスのハードウェアを必要としたため、行政機関や道路会社の技術部などでは容易に利用できる環境にはなかった。

近年、16ビット機、さらには32ビット機に代表されるパソコンの高速化、高機能化などに伴うこれらの急速な普及と、機能の高い各種言語のコンパイラ（プログラミング言語を機械語へ翻訳する道具）の出現により、このようなソフトウェアをほぼそのままの形でパソコン上で実行することも数年前より不可能ではなくなってきたが、マンマシンインターフェースに十分な配慮がなされていないことや、実行時間がかかりすぎることやなど、必ずしも理論的設計方法の支援を行う体制にはなっていなかった。筆者がパソコン用のシステム開発に取り組んだのは、このような事情による。

さて、平面的には前後、左右ともに無限に広がりをもち、空間的には下方向にのみ無限の広がりをもつ仮想的な地盤を「半無限地盤」と呼ぶ。一般に外力に比べて考慮の対象となる区域が十分に広ければ有限地盤も半無限地盤と考えて差し支えない。土質工学や舗装工学では、このような地盤の表面に何らかの外力が作用した場合にその内部や表面に発生する応力、ひずみ、変位等を求めなければならない場合が多い。一般に地盤内には、砂、粘土、シルトなどの天然材料や、碎石、各種安定処理材、セメントコンクリート、アスファルト混合物などの人工材料など、物性の異なる様々な材料が混在しており、深さ方向に層構造をなしている場合が多い。これらの個々の材料の応力～ひずみ関係（これを構成則という）はきわめて複雑であって、負荷時と除荷時の経路は異なるし塑性や粘性に起因する残留

ひずみも無視し得ない（図-1）。すなわち、地盤の変形性状や沈下性状を解析する場合、もしくは、大変形が生じて地盤が破壊する場合などのように高いひずみレベル（図-1のB点近傍）での地盤の挙動を議論する場合には個々の材料の非線形性を考慮に入れて、構成則を厳密に検討する必要がある。このため、地盤工学の分野では地盤の破壊を論ずる際に線形弾性理論が用いられることはほとんどなく、個々の材料に合ったさまざまな構成則を用いた複雑な解析が実施されている。これに対して、アスファルト舗装上を車輌が走行するような場合には、舗装各層の内部、たとえばアスファルト混合物層内に発生する応力やひずみの大きさは破壊時のそれの数%以内（すなわち、図-1のY点よりもかなり左側）であって、材料の塑性に起因する残留ひずみは一般に無視して差し支えない。また、アスファルト混合物に関しては粘性を評価に入れ粘弹性体として取り扱っても、線形性を仮定することにより弾性理論を用いて解析し得るという大変便利な原理がある。舗装工学の世界ではなぜ今でも弾性理論を用いようとしているのかという最大の理由は、このように弾性理論でも十分に足りるからであって、決して学問的にそれ以上の発展がないからではない（と信じたい）。事実、このような線形粘弹性理論を用いたアスファルト舗装の力学的な解析は、1960年代に一種のブームとなった⁸⁾が、弾性理論以上の高い精度が得られにくくこと、実用性に乏しいことなどの理由から、最近は

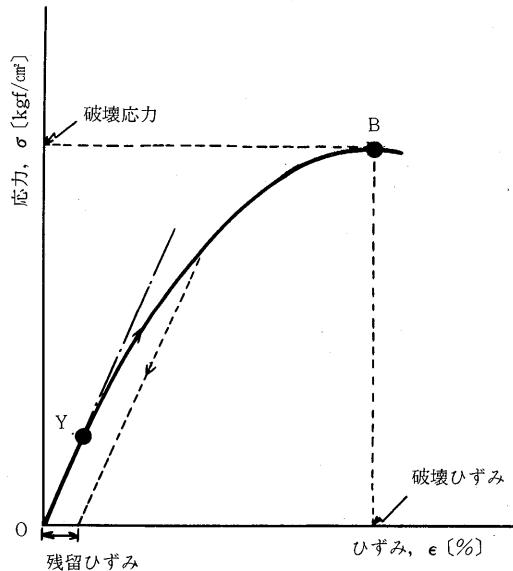


図-1 地盤を構成する材料の典型的な応力～ひずみ関係

このようなアプローチはほとんど見られない。

さて、多層弾性理論そのものの説明をもう少し加えよう。縦に押しても横に押しても同じ挙動を取るような材料の性質は「等方性」といわれ、そうでない性質は「異方性」と呼ばれる。一方、どの部分をとりだしても全体の性質と同じであるような材料の性質は「等質性」と呼ばれ、そうでない性質は「異質性」といわれる。Boussinesq の理論が成り立つような等方でかつ等質な材料からなる地盤は等方等質地盤と呼ばれる。実際の地盤は、舗装において典型的に見られるように、深さにより材料の性質が異なる異質地盤であることが多い。さらに、各層を構成する材料は一般には自重による圧密、外力による転圧などによりある程度の異方性を有すると考えられ、異方地盤でもあると言わざるをえない。

結局、単に多層弾性理論と言っただけでは、各層が弾性材料からなる異質地盤に関する力学的な理論という程の意味合いしかなく、材料が異方性を持つか否か、各層間の接着はどうか、さらには載荷板の形状、載荷の方向、接地部の圧力分布などの荷重条件については非常に大きなバラエティがあり得る訳である。ただし、舗装工学の世界において、現時点で俗にいう多層弾性理論とは、「等方性を有する弾性材料のみによって構成された等方異質半無限地盤に円形な一様圧力をもつた外力が作用した場合に地盤の表面または内部に発生する応力、ひずみ、変位等を解析する理論」であると言って良いであろう。複数個の荷重が作用する場合も基本的にこののようなケースの重ね合わせとして処理し得る。ただし、載荷の方向や層間の接着性についてはさまざまな場合がありうる。すなわち、「多層弾性理論」を用いるといった場合にも多少のバラエティはありうる訳で、これを用いる場合には材料、構造、外力などの条件がどのようにになっているかを常に厳密に意識していかなければならない。

4. 多層弾性理論は何の役に立つか

では、このような多層弾性理論は舗装工学ではどのような使い道があるのであろうか。以下では、ただ1つの円形等分布荷重が鉛直に作用し、層間が完全に接着しているという最も一般的な条件を想定し、この問題を考えてみよう。このような条件を満たす場合は軸対称問題となるので、図-2に示すような円筒座標系を採用することが可能で、また、応力およびひずみのうち $\tau_{r\theta}$, $\tau_{z\theta}$, $\gamma_{r\theta}$, $\gamma_{z\theta}$ の各成分が0となるので都

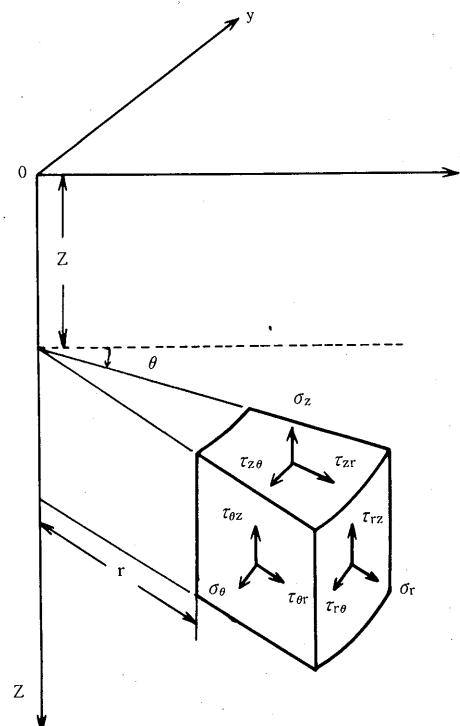


図-2 円筒座標系による応力表示

合が良い。さて、多層弾性理論を適用するためには、層数をnとして、

- ① 材料条件として、各層を構成する材料の弾性係数およびポアソン比 ($E_1 \sim E_n$, $\nu_1 \sim \nu_n$)、
 - ② 構造条件として、各層の層厚 ($h_1 \sim h_{n-1}$)、
 - ③ 外力条件として、荷重の大きさ、接地圧および接地半径の内の2つ (P , p , a の内の2つ)、
- の3つが既知であればよい。これだけのデータが入力されれば、図-3のようなアスファルト舗装において

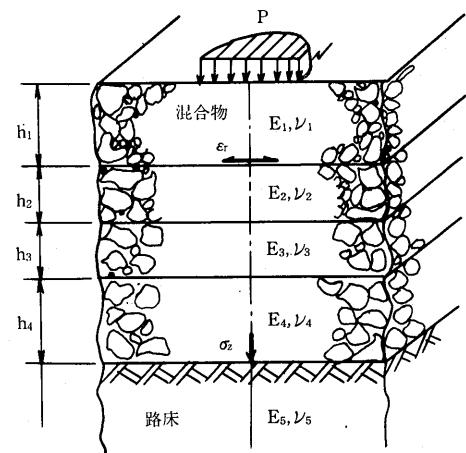


図-3 舗装断面のモデル化

荷重直下におけるアスファルト混合物層下面における水平引張りひずみ ϵ_r であろうが、路床上面での鉛直圧縮応力 σ_z であろうが、あらゆる場所でのあらゆる力学成分が容易に求められるのである。ただし、これらの力学的な応力、ひずみなどが解析的に求められることと、舗装の設計ができるこの間にはまだ相当の乖離がある。例として、アスファルト舗装の曲げ疲労破壊を考えてみる。これは、車輛の走行を繰り返し受けると、アスファルト混合物層の下面から疲労によりひびわれが発生する現象であるが、何台の車輛が走行した後に破壊に至るかという問題が定量的に示されていないと設計には役に立たない。曲げ疲労破壊に至るまでの車輛の走行回数 N_r は、ある理論では ϵ_r 、他の理論では ϵ_r や σ_r 、さらに、別の理論ではすべてのひずみ成分および弾性係数から求まる散逸エネルギーによって規定されると言われている。ここに ϵ_r 、 σ_r はそれぞれ半径方向のひずみ成分および応力成分である。このように、ある形態の破壊が起こるときの条件を何らかの形で示したもののは一般に破壊規準と呼ばれるが、曲げ疲労破壊に関する破壊規準のほかに、他の破壊に関しても同様に破壊規準を考えることが可能である。舗装の設計をするためにはこれらの破壊規準が力学的な応力、ひずみなどと関係づけられている必要があり、また、そうであれば、多層弾性理論を用いた解析を実施するだけで、舗装が破壊に至るまでの期間を理論的に予測または推定することが可能になる。このことは、先に述べたような新しい材料を舗装に用いる場合でもその材料の弾性係数とポアソン比および主に想定される破壊モードに関する破壊規準とが定量化できていればまったく同一の設計方法がこの新材料に対しても適用し得ることを意味している。しかも、弾性係数とポアソン比は理論的な意味が明瞭であり、「要綱」にいう T_A や CBR などに比較してその値の評価が合理的に行えるという利点をもつ。特に CBR は次元もなく、弾性係数に近い概念か否かすら不明である。現在、わが国で理論的設計方法の必要性が叫ばれているゆえんはまさにこの点にあるのである。

設計以外で多層弾性理論を用いてなしうることの1つに舗装の構造的な性状の評価が挙げられる。必要な入力データのうちのいくつかが不足しているだけでも多層弾性理論による解析は不可能となるが、このような場合も出力結果のいくつかが予め得られているならば、この不足している入力データの値を逆解析という手法によって推定できる場合がある。すなわち、たと

えば、輪荷重 P の大きさが不明であっても、ある点での鉛直方向の応力成分 σ_z が既知であれば P を推定することができる場合がある。あるいは、アスファルト混合物の弾性係数 E_1 が不明であっても、ある点での鉛直方向の変位成分 u_z が既知であれば E_1 を推定できる場合がある。ただし、求まった P や E_1 は必ずしも正しい値であるとは限らない点は注意を要する。これは、異なる P や E_1 に対し、 σ_z や u_z が全く同じ値になる場合があり得ることによる。

一般には、舗装の構造条件と外力条件は既知であることが多い、材料条件である弾性係数とポアソン比は、未知である場合が多い。ただし、ポアソン比は、通常の範囲内で値を変えて解析結果に影響を及ぼさないことが多いので、一般には適当な値が仮定されて解析が行われる。結局、舗装各層の弾性係数のみが未知であることが普通である。これに対し、Benkelman Beam, Dynaflect あるいは FWD といったたわみ測定装置によって舗装表面における鉛直たわみを測定しておけば、精度は別にして、理論的にはこのような弾性係数の値の推定が可能になる。このような解析を逆解析という。このようにして求められた原位置における弾性係数は、適当な温度補正を行うことによって舗装の健全度の評価の尺度とすることができ、今や世界的な研究のトレンドとなっている。すなわち、FWD の普及は、この多層弾性理論の有効な利用と密接に関連しているのである。

5. ELSA の紹介

筆者は、数年前より多層弾性理論が誰にも手軽に使えるようにパソコン用プログラム ELSA (Elastic Layer System Analysis の略で筆者が勝手につけた名称) の開発に力を注ぎ、暇をみてはより速く、また、より使いやすくなるように改良を加えてきた。そして、その時々の最新のバージョンを一部の方々に利用して頂き使い勝手についての御意見を賜ってきた。現在の最終的なバージョンでは、入力データの作成、実行時の入力データファイルの選択、実行の高速化、出力結果の図化などに大幅な改良を加え、ほぼ開発当初に期待していたものが完成したと思われる所以ここに紹介をさせて頂く次第である。

ELSA は、半無限多層地盤内の応力、ひずみおよび変位を解析し得る。ELSA が適用できる条件を箇条書にすると、

- ① 層数は 2 以上 5 以内であること、

- ② 各層間は全く滑らないこと、
 - ③ 外力は、一応な応力分布を持った円形荷重が鉛直にただ一つ作用し、したがって軸対象問題であること、
 - ④ 各材料は異方性をもたないこと、
 - ⑤ 解析結果を求める点の数は、水平、鉛直方向とも50点以内であること、
- などである。これらの条件は将来変更される場合がある。特に、⑤は単にプログラム上での配列の大きさの問題であるので容易に変更が可能である。解析のアルゴリズムは CHEV5L を参考にしており、ELSA の適用条件もほぼ同様の設定にしてある。

ELSA では、メインフレーム用の BISAR や CHEV5L に比べ、

- ① パソコン (NEC・PC9801 シリーズおよびその互換機) 上で高速に稼働すること、
 - ② メニュー形式を標準としており、パソコンに関する知識をあまり持たなくとも容易に実行ができること、
 - ③ 計算結果は、表形式でディスプレイ上に出力 (これをソフトコピーという) できるほかに、プリンターにも出力 (これをハードコピーという) できること、
 - ④ 計算結果は、パソコンの特長を活かして、ディスプレイ上およびプリンター上にセンター図として表現できること、
- などの特長を持っている。なお、④の機能を犠牲にすれば、僅かな修正によって他機種上でも実行させることができるのである。

ELSA は、データの入力部、主要解析部およびセンター図描画部は Turbo Pascal V5.0 で、また、これらを統合して動作する部分は Turbo C V2.0 により記述されている。すべてを Pascal 言語または C 言語により記述することも可能であるが、このような使い分けは単に筆者の好みによる。それぞれ、即実行可能なロードモジュールの形になっており、メニュー形式によりパソコンの知識を持たない技術者にも取扱いが容易なように配慮をしてある (つもりである)。

ELSA の入力データは、メニューに従って作成することもできるが、エディター (一種のワープロのようなもの) の機能を備えたツールを用いて独立に作成することも可能である。図-4 は、図-5 に示すような解析条件に対して作成された入力データの例である。エディターでこのようなデータを作成するときは、図

```

行 -----+-----1-----+-----2-----+-----3-----+
1:1
2:<< Sample Data No.1 >>
3:5000 5.5
4:5 1 1 1 1 1
5:5 5000 0.5
6:5 4000 0.45
7:10 2500 0.45
8:15 1500 0.45
9:0 500 0.35
10:9 11
11:0 10 20 30 45 60 90 120 150
12:0 5 10 15 20 30 35 40 50 60 80
13:0
行 -----+-----1-----+-----2-----+-----3-----+

```

図-4 ELSA の入力データ例

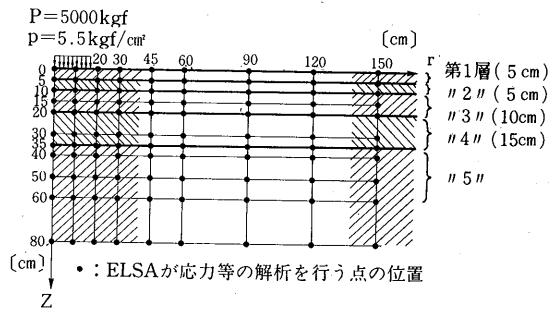


図-5 図-4 の入力データ例が
対象とする舗装構造および解析点

の網掛けを施した部分だけを入力すればよい。各行の意味は、以下のとおりである。なお、単位は必要に応じてすべて cm, kgf を組み合わせて用いるものとする。

第1行：第2～12行目までのデータの組に対して与えられたケース番号。0 でなければ何でもよい。

第2行：コメント行。全角文字でもよい。

第3行：輪荷重および接地圧。接地半径は自動的に計算されるので入力しない。

第4行：舗装の層数と各層の計算条件の数。

第5行：第1層目の層厚、弾性係数、ポアソン比。

第6行：第2層目の層厚、弾性係数、ポアソン比。

第7行：第3層目の層厚、弾性係数、ポアソン比。

第8行：第4層目の層厚、弾性係数、ポアソン比。

第9行：第5層目の層厚、弾性係数、ポアソン比。

最下層の層厚は常に 0 とする。また、第4行目の計算条件の数のいくつかが 1 でなければ第5～9 行目は行数がもっと増える。たとえば、第4行目が

5 2 1 1 1 1

であったとすると、第1層目は計算条件が 2 つあることになるので、第5行目の下にもう 1 行同様な行を加えなければならない。その場合の解析は、第2層目以下の条件は同一で第1層目だけを入れ

換えて再び実施される。

第10行：計算を行う位置が半径方向と深さ方向にそれぞれいくつあるかを示す（図-5の●印のように全部で $9 \times 11 = 99$ 個の格子点すべてで解析が実施される）。

第11行：解析を実施する半径方向の位置。第10行目の9という数字に対応して9つの値を並べる。たくさんある時は好きなところで改行をしてよい。

第12行：解析を実施する深さ方向の位置。第10行目の11という数字に対応して11個の値を並べる。たくさんある時は好きなところで改行をしてよい。

第13行：第1行目と同じ意味。別のケースについて解析を行うときは、この値を0以外にして、第2～12行目までと同様なデータの組を以下に記すことができる。0であれば、解析を終了する。

このような意味をいちいち理解するのが面倒だったり、エディターの使い方を知らない人は、ELSAの持つデータ作成機能を用いればよい。

以上のようなデータに対する ELSA の出力結果を図-6 に示す。これは、スクリーンにたれ流しにすることもできるし、プリンターに直接印刷することもできる。あるいは、ディスク上に記録していろいろな加工を施してユーザーが個別にさまざまな処理をすることもできる。ハードウェアにも依存するが、99点におけるこのような解析に要した時間は僅か120秒程度であった（EPSON PC-286VE 12MHz + 80287 使用時）。

ELSA は、ディスク上に保存されたデータをもう一度読み込んで、スクリーン上に応力やひずみのコンターノットを描いたり、それをプリンターに出力したりする機能も備えている。この場合は、いわゆる有限要素解析などの場合と同様に、格子点をかなり細かく設けないと信頼できる作図が行えない。これはあくまでもコンターノットを描くときだけの問題であって、各格子点での解析結果の精度は、有限要素法とは違って格子点の粗密には無関係である。また、作図する場合には、解析時に層と層の境界には必ず格子点を設けないと誤った結果が得られるので注意を要する。このことは、図-4 の第5～8行目までのデータより、深さ5, 10, 20 および35cmの位置に層の境界の存在することがわかるので、第12行目の解析を行う深さの方向の位置には必ずこの4つの値を含めることを意味する。

図-7～9には、図-4の解析結果から描いたコンターノットのハードコピーの例を示す。

なお、ELSA の出力結果は、メインフレーム上で

..... ケース: 1

..... 条件 : 1

<< Sample Data No. 1 >>

輪荷重 5000.00 kgf

タイヤ接地圧 5.50 kgf/cm²

タイヤ接地半径 17.01 cm

計算条件は以下のとおり:

第1層目は 1 とおり

第2層目は 1 とおり

第3層目は 1 とおり

第4層目は 1 とおり

第5層目は 1 とおり

の材料定数

第1層目の弾性係数	5000 kgf/cm ²	ボアソン比	0.500	層厚	5.0 cm
第2層目の弾性係数	4000 kgf/cm ²	ボアソン比	0.450	層厚	5.0 cm
第3層目の弾性係数	2500 kgf/cm ²	ボアソン比	0.450	層厚	10.0 cm
第4層目の弾性係数	1500 kgf/cm ²	ボアソン比	0.450	層厚	15.0 cm
第5層目の弾性係数	500 kgf/cm ²	ボアソン比	0.350	層厚	半無限の深さ

位置 (cm)	応力 (kgf/cm ²)			変位 (cm)	ひずみ (μ)				
	r z	σz	σt	σr	τrz	uz	εr	εt	γrz
0.0 0.0	-5.500	-10.639	-10.639	0.000	0.1202	-514	-514	0	0
0.0 -5.0	-5.073	-4.115	-4.115	0.000	0.1221	96	96	0	0
0.0 5.0	-5.073	-3.454	-3.454	0.000	0.1221	96	96	0	0
0.0 -10.0	-4.042	0.243	0.243	0.000	0.1181	488	488	0	0
0.0 10.0	-4.042	-1.088	-1.088	0.000	0.1181	488	488	0	0
0.0 15.0	-2.943	0.145	0.145	0.000	0.1120	562	562	0	0
0.0 -20.0	-2.064	1.309	1.309	0.000	0.1057	660	660	0	0
0.0 20.0	-2.064	0.110	0.110	0.000	0.1057	660	660	0	0
0.0 30.0	-1.044	0.670	0.670	0.000	0.0935	559	559	0	0
0.0 -35.0	-0.788	1.086	1.086	0.000	0.0879	635	635	0	0
0.0 35.0	-0.788	0.064	0.064	0.000	0.0879	635	635	0	0
0.0 40.0	-0.653	0.050	0.050	0.000	0.0803	522	522	0	0
0.0 50.0	-0.472	0.032	0.032	0.000	0.0687	372	372	0	0
0.0 60.0	-	-	-	-	0.0601	280	280	0	0
(途中略)									
..	-0.004	-0.031	0.029	0.000			-10	-1574	
... 0.0 -10.0	-0.001	-0.029	-0.009	0.001	0.0186	1	-6	-909	
150.0 10.0	-0.001	-0.018	-0.006	0.001	0.0186	1	-6	-909	
150.0 15.0	-0.001	-0.017	-0.028	-0.001	0.0187	-8	-2	-248	
150.0 -20.0	-0.001	-0.016	-0.058	-0.004	0.0187	-17	3	402	
150.0 20.0	-0.001	-0.010	-0.030	-0.004	0.0187	-17	3	402	
150.0 30.0	-0.003	-0.009	-0.053	-0.009	0.0189	-32	11	1616	
150.0 -35.0	-0.004	-0.009	-0.064	-0.013	0.0189	-39	15	2187	
150.0 35.0	-0.004	-0.001	-0.021	-0.013	0.0189	-39	15	2187	
150.0 40.0	-0.005	-0.001	-0.022	-0.014	0.0190	-41	17	2509	
150.0 50.0	-0.007	-0.000	-0.024	-0.016	0.0190	-43	20	3049	
150.0 60.0	-0.009	0.000	-0.024	-0.018	0.0191	-42	23	3461	
150.0 80.0	-0.013	0.001	-0.023	-0.020	0.0189	-37	26	3952	

図-6 ELSAの計算結果の出力例(図-4に対応)

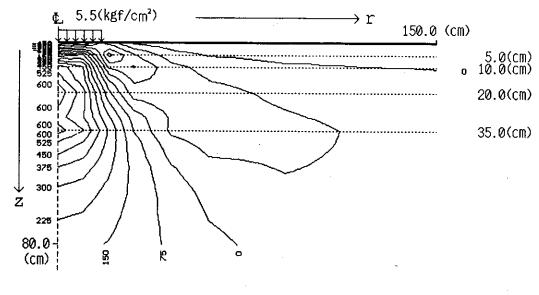


図-7 ELSAによるε_rのコンターノットの描画例

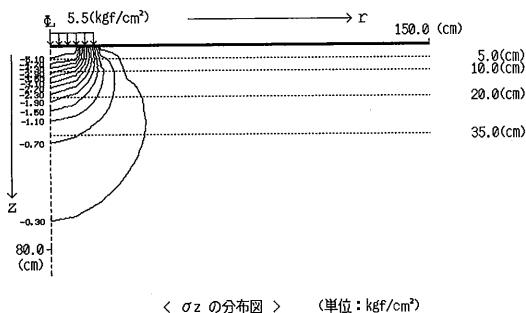


図-8 ELSAによる σ_z のコンター図の描画例

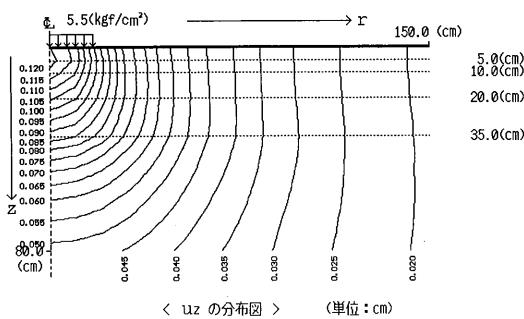


図-9 ELSAによる u_z のコンター図の描画例

BISAR, CHEV5L を用いた出力結果と、ほぼ完全に一致する。

6. おわりに

以上、多層弾性理論とはどのようなものか、そしてそれは舗装工学にどのように利用し得るかについて浅学ながら私見を述べさせて頂くとともに、パソコン上で稼働しうる自作の解析システムを紹介（というよりは宣伝）をさせて頂いた。本文でも述べたように、多層弾性理論は単独では舗装工学に対してほとんど無力である。本システムもそれ自身で完結した1つのシステムではあるが、単なる道具の1つでしかない。これが、舗装工学のさまざまな分野でより有効に活用されるためには、さらに別の視点からの精力的な研究が必要となろう。

ELSA は利益を目的とした商品ではなく、PDS である。すなわち、著作権を留保して配布される無料のソフトウェアであって、無償に限りいつでもその複製を他人に譲ることができるし、むしろ、積極的に普及して頂くことを期待している。また、舗装界全体の発展を祈念して作成したものであって、研究目的に限らず、営利目的にも自由に使用していただきたいと考えている。なお、現在の最終バージョンは6.2(1989年10月23日作成)である。

最後に、旧バージョンより、ELSA の使い勝手についていろいろとご指摘を賜った諸兄に感謝の意を述べさせて頂きます。

参考文献

- 1) 別府道治：除雪作業実施概要、道路、pp.453–456, 1953年11月
 - 2) Claessen, A.I.M., Edwards, J.M., Sommer, P. and Ugé, P. : Asphalt Pavement Design – The Shell Method, Proc. of 4th ICSDAP, pp.31–74, 1977
 - 3) Asphalt Institute : Thickness Design (MS-1)
 - 4) 中華人民共和国交通部：公路柔性路面設計規範、人民交通出版社, 1987
 - 5) 松村孫治：弾性率の深さとともに変化する地盤の
- 基礎の沈下、土木学会誌, Vol.17, No.11, 1931
- 6) Marguerre, K. : Spannungsverteilung und Wellenausbreitung in der dicken Platte, Ing. Archiv., Vol.4, 1933
 - 7) Burmister, D.M. : The Theory of Stresses and Displacements in Layer Systems and Applications to Design of Airport Runways, Proc. of Highway Research Board, Vol.23, 1943
 - 8) たとえば、Proc. of 2nd ICSDAP, 1967

☆

☆

☆

☆

☆

新任所長の静岡レポート

藤本 貴也

建設省中部地方建設局
静岡国道工事事務所長

1.はじめに

私が今年の4月から勤務している静岡国道事務所の歴史は古く、失業対策の一貫として全国で初めて国道工事の直轄施工が行われた年の翌年、即ち昭和7年に由比国道改良事務所が発足したのがそのルーツであると云われている。その後数度の組織改変を経て、昭和44年4月に静岡工事事務所から河川部門が分離し、静岡国道工事事務所と名称を改め現在に至っている。

静岡県は富士川、大井川の二河川により、東部、中部、西部の三地域に大きく分けることができるが、当事務所の所掌範囲は直轄国道の管理としては東部及び中部を、又直轄国道の改築は主として中部を担当している。

具体的には、国道1号、52号、138号、246号の5路線約216kmの管理を行い、本年度は約170億円弱の事業費（改築も含む）で事業の実施を行っている。また改築事業の主力は国道1号の静岡市、清水市を迂回する静清バイパス（BP）であり、通常のバイパスとしては全国でも最高の100億円を越す事業費で平成5年3月末全線暫定供用を目指して鋭意事業に取り組んでいるところである。

さて、本編では静岡の特色と道路交通の課題について紹介したいと考えているが、ここで「静岡」とは主として静岡県中部地区を総称し、この地域に着目して筆を進めたい。

2. 静岡の特色

私はよく静岡のことを「主力商品のない有力企業」であるという例えをする。私が静岡国道へ転勤すると決った時、色々な人から静岡は「気候温暖、風光明媚、自然・文化・歴史に恵まれた非常に良い所である。」と羨ましがられたものである。全国で最も住みたい所についてアンケートをとれば必ずと云って良い程静岡がその上位にランクされるとも云われている。そういう

意味では静岡という街は企業に例えれば優良ブランドと云える。しかしながら、具体的に静岡を代表する物は何かと云われると意外と見当らない。

製造業を見れば江戸時代に集められた宮大工が住みついて発達したと云われる家具、仏壇、雛人形、漆器等の伝統的工芸産業が今でも盛んであり、静岡駅にも常設の展示コーナーがあるが、必ずしもリーディング産業とは云いがたい。強いて云えば、今、全国の子供達に爆発的人気を呼んでいるミニ四駆（プラモデルの一種）の田宮模型が異色である。

農業ではメロンや花は静岡県では有名であるが、いずれも県東部、西部のものであり、主力であるお茶は、ウーロン茶の普及した分シェアを下げ、みかん畠も徐々に減少しつつある。

商業はさすがに県都だけあって県内における地位は高く特に卸売業では高いシェアを占めるが、小売業を見れば、百貨店、大手スーパーの大型店舗の新規立地は少い。5～6年前イトヨーカ堂が進出しようとした時、大型店舗立地に際しての地元商店街との利害調整のため各県に設置されている商業調整協議会が空中分解し、機動隊まで導入してようやく開店に漕ぎつけたことが、大型店舗の新規立地を鈍らせているようである。なお、蛇足ではあるが、商工会議所の尽力で、8月によく商業調整協議会が発足することとなつたが、事前審査が厳しすぎるとの意見も出されている。

このように書くといかにも静岡は沈滞しているようであるが、最初にも述べたように「主力商品」はないが「有力企業」であることに変わりがない。日本の三大都市圏を結ぶ東海道ベルト地帯の中で、しかも、東京と名古屋の丁度真中であるという地の利は何にも代え難く、日本で2番目に広い静岡市内には南アルプスまで含まれ、その中腹にある井川湖や梅ヶ島温泉まで僅か30km～40kmと観光資源にも恵まれている。又徳川家康が隠居所に選んだ気候風土の良さも考えた時、静

岡の発展の可能性、いわゆるポテンシャルは相当高いものがあると云える。従来は、むしろこの地の利の良さが故に、ドラスティクな動きが少なく、静岡で度々聞かされる静岡人気質なるものが生まれたと云われている。

3. 静岡人気質

静岡の人から静岡人気質について話を聞かされることが多い。つい先日も「静岡を考える」というシンポジウムがオールナイトで夜中の12時過ぎから明け方4時頃まで、天野静岡市長を初め10数人が参加して行われた。ここでも最初は“とかく静岡人は”ということが最初に議論されていた。

静岡人気質について語られる時、その遠因は必ずといって良い程江戸時代に逆登る。即ち、江戸時代の静岡（駿府）は幕府の直轄地であり、天領支配に当ったのは中央から任命された代官であった。つまり、中央から派遣されるサラリーマン代官が事なき主義で任期を全うすることが基本となっていた為、領民も変化を求めず、超保守的な考え方が強くなったのが現在まで続いているというものである。又、繰り返し述べるように、静岡は気候温暖で作物も豊富であり、あくせくしなくとも生活に困らないことも、その背景にあるようである。

静岡県は東・中・西に大きく3分されることは先にも述べた。斎藤知事（元建設大臣）は、東・中・西の3地域は人種が違うとよく云われているが、それ程地域性が異なっている。東部地域は東京圏の影響を強く受け、西部地域は名古屋圏の影響を受けつつ独自の地域政策を展開し、中部地域はその中間にあって政治・商業・金融の中心となっていることも、東・中・西の独自性が生まれる背景である。

西部地域は進取の気性に富み、いち早くテクノポリス構想に乗って次々と新しい試みを行っている。この気風は「やらまいか精神」としてつとに有名である。

掛川市の権村市長は、新幹線の掛川駅新設を成功させるとともに、周辺の地域整備に数多くのユニークなアイデアを生かし、やらまいか精神のリーダーとして、つとに有名である。

また東部地域は、首都圏の一大リゾートとして発展

しつつあり、静岡県への観光入込客（年間約1億人）の多くをこの地域で吸収するとともに、リゾート法適用地域にも名乗りを上げようとしている。

一方中部地域はと見ると、このようなダイナミックな動きは少なく、良く云えば落ち着いた街であるが悪く云えば沈滞している。よく静岡の人は静岡人のことを、誰かが何かをやろうとした場合、一緒になってフィーバーすることが少なく、極めてクールである。ひどい場合にはその様な動きの足を引っぱるという。これを称して「やらまいか精神」が強いという人も多い。

しかしながら、私が赴任して僅か半年であるが、その間に感じているのは、これまで述べた伝統的静岡人気質が今大きく変わろうとしているのではないかと云うことである。

幸い建設省の事務所長という名前を戴いている為、地元の経済界の皆さんと話をさせていただく機会が多いが、特に若手（といっても私より年下の人は少ないが）財界人には覇気のある方々が多い。その人達は伝統的静岡人気質をアンチ・テーゼとし何とかその気風を打破しようと様々な形で勉強会をし、着実に成果を上げつつある。静岡・清水の一体化を促すため、両市の経済人の協力を得て日本平マラソンを毎年行っている人、東海道の歴史を現在に生かし地域の活性化を図るため安倍川で連台越し競争（10名余で御輿をかつぎ、上に人を載せて川を往復する）を毎年企画しているグループ、中国との民間ベースでの交流を深めようとするグループ等、具体的な動きとして現われているものも幾つかある。メンバー構成を見れば、伝統産業から先端産業までの地元有力企業の経営者、医者、弁護士、司法書士等の個人経営者から大会社の幹部まで巾広い人が利害を越えて集っており、今後の静岡発展の息吹が伝ってくる。

このような市民の動きの中で、静岡でも遅ればせながらようやく様々なプロジェクトが動き出し、静岡地域の活性化にとって千載一遇のチャンスともいいうべき時期が到来しつつあるように思われる所以、最後に簡単にその動きについて紹介したい。

4. 静岡の主要プロジェクトと道路整備の状況

静岡地域活性化のための千載一遇のチャンスと言ったのは、建設省の最重点課題の一つである第二東名高速道路が整備計画の策定に、又静岡から甲府を経て日本海へ結ぶ中部横断自動車道が基本計画の策定に向けて動き出したことである。静岡の道路を見れば昭和43年に事業化された静岡BPが未だ6割程度が開通されているのみで、その早期供用が全市民から大いに期待されている。しかし静岡が飛躍するためには、静清BPのみでは必ずしも十分ではなく、南アルプス山麓部を中心とする内陸部と中心部との連絡道路、市中心部における南北道路の整備、静岡・清水の連携強化のための東西道路の強化等、道路整備の課題が多い。これらの道路整備を促進するためには、静清BPの早期供用と第二東名の整備の具体化、中部横断道の計画の具体化が市民の意識高揚の大きなきっかけになるのではないかと思う。また、同じ交通インフラである、静岡空港の計画（島田市と榛原町の中間付近）や静岡の北部で用地買収の始った静岡ヘリポートもこれに拍車をかけるであろう。

一方これらのインフラを活用するプロジェクトとしては、国鉄の跡地として貴重な土地である東静岡駅周辺が新都市拠点整備事業として計画が進められており、南口で再開発構想のある現静岡駅とともに静岡の顔として整備されることが期待されている。又、東静岡駅

に近い有度山（日本平、久能山等がある）の総合整備計画の策定も、東静岡駅への期待を大きくしている。又、ヘリポートの計画されている麻機地区には広大な遊水池が計画されており、将来の静岡の発展にとって貴重な空間となる。更に、南アルプスの自然の活用もリゾート時代の大きな遺産であり、人工スキー場が今年冬のオープンを待っている。道路整備が進めば、一層大規模なリゾート基地になる可能性を有している。一方海岸を見れば、日本のコートダジュールとして海洋性リゾート基地としての整備も構想されている。

いずれにしろ、首長さん方と話をすると、地域活性化の為に色々なアイデアを出しても、最後は幹線交通である道路網の整備が大前提になるという話が例外なく出る。そういう意味では今の静岡は、交通インフラと、地域整備のリズムがうまく調和しながら進んでいく可能性を大いに持っていると思われる。

5. おわりに

このように様々な計画、構想が揃っている時期に第二東名高速道路が具体化することは、静岡の活性化にとって千載一遇のチャンスであり、静岡中部地区の市民、行政が一体となって“やらまいか精神”を取り組んで戴けることを、そして、私も非力ながら静岡の活性化に何かお役に立てることを念願して筆を置きたい。



簡易舗装

簡易舗装とは、アスファルト舗装要綱（日本道路協会）によらない簡易な構造の主としてアスファルト舗装のことをいい、次の条件に適合する道路を対象に用いられている。

- ① 原則として車道幅員が5.5m未満の未改良道路で交通量は1000台／日両方向以下で同時に大型車交通が150台／日両方向以下であること。
- ② 排水条件が良好な道路であること。
- ③ 常に良好な維持修繕を行う組織および機械を整えること。

全国の道路の実延長約112万kmのうち簡易アスファルト舗装は約41%を占めている。（この場合の他の路面延長比率は、高級アスファルト舗装が約15%，セメントコンクリート舗装が約4%，砂利道が約40%を占めて

いる）

舗装は表層と路盤から構成され、舗装厚は路床土のCBRの範囲(1.6~20%)に応じて50~10cmとし、この内表層は3~4cm程度としている。また、路盤は通常上層路盤と下層路盤に分け、下層路盤には在来砂利層を含めることを特徴としている。

各々の層は所要の品質が得られる材料を用い、経済的な構成にすることとし、それらの標準を簡易舗装要綱（日本道路協会）で示されている。

舗装の構造設計は①CBRによる方法②たわみ量による方法のいずれかの方法で検討することとしている。

CBR法の場合は図-1に示す手順で路床条件、気象条件等を考慮して、舗装厚および各層の構成を決めるとしている。尚、手順の内、上層路盤の標準厚さ

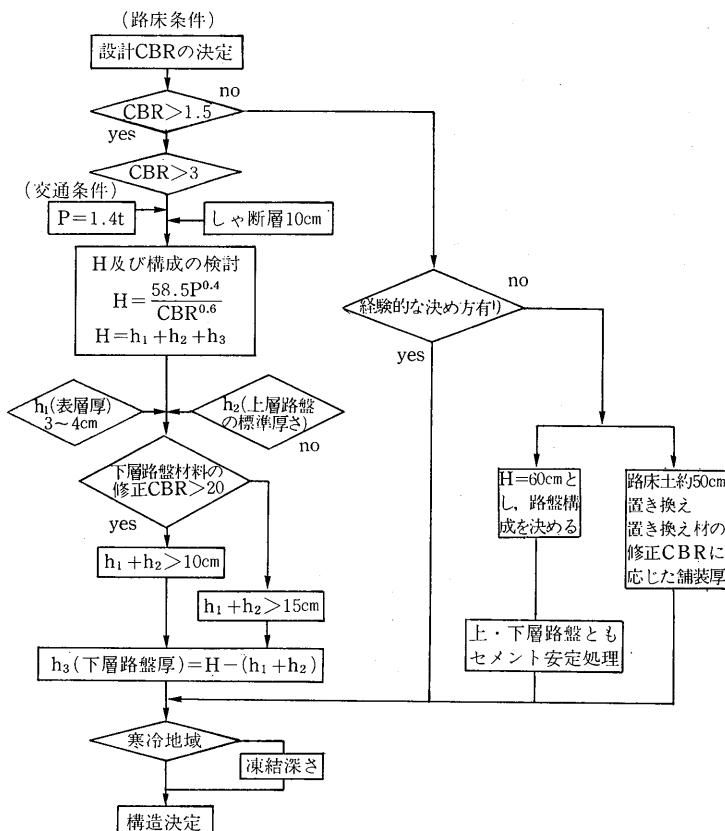


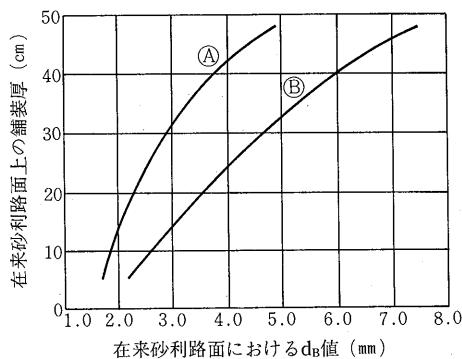
図-1 設計手順

に関する要因は表-1を参考にすることにしている。

表-1 上層路盤の工法別厚さ

上層路盤工法	厚さ(cm)
粒度調整(碎石、スラグなど)、切込碎石	7~12
アスファルト安定処理	常温式 7~12
	加熱式 5~6
セメント安定処理	10~20
石灰安定処理	10~20

一方、たわみ量によって舗装厚を決める場合は図-2によって厚さの決定を行うことにしている。これは土木研究所が実施した簡易舗装の関する畠町試験舗装での舗装前後のたわみ量調査、および昭和40年前後の簡易舗装の施工後約1年間のたわみ量の調査結果をもとに求められた設計曲線である。両調査から、約90%



(注1) d_B値は道路延長方向約10m間隔に求めた10個以上の測定値から次式によって計算する。

$$d_B = \text{全測定値の平均値} + \frac{\text{範囲}}{3.18}$$

全測定値の範囲(最大値-最小値)が約3mmをこえる場合は当該区間延長における舗装厚などの変更を検討する。

(注2) 簡易舗装では一般にA曲線を用いるが、大型車のほとんど通らない道路ではB曲線を用いる。

図-2 ベンケルマンたわみ量による舗装厚の設計曲線

以上の個所で輪荷重4tのたわみ量は2.0mm以下(輪荷重5tで約2.5mm)であり、70~80%の個所で1.5mm以下(輪荷重5tでは約2.0mm)である。さらにこれらの舗装が問題となるような破壊にいたっていないことを考慮してここから推定される1.5~2.0mmが簡易舗装におけるたわみ量の上限値とみなし、設計曲線のⒶは簡易舗装全体のほぼ中央値とみなせる値に対する設計、Ⓑ曲線はⒶ曲線を若干低減した設計曲線であり大型車がほとんど通らないような道路に適用することにしている。

たわみ量による設計は前途の図-2の(注1)の手順で実施する。ここで、範囲を3.18で除した値は標準偏差(v)であり、平均値よりその分だけ大きい値(84%確率)を設計に用いることにしている。例えば、d_B=3.0mmの場合、Ⓐ曲線によれば舗装厚は30cmで表層4cmとすれば、残り26cmが路盤厚となる。このような設計を行えば、Ⓑ曲線では舗装表面のたわみ量は1.5mm付近、Ⓑ曲線では2.0mm付近にある舗装にできる。

積寒地域の凍上対策としての置換深さはアスファルト舗装要綱による凍結深さの80%(理論最大凍結深さの65%)を置換深さとする措置としている。

さらに、上層路盤に用いる安定処理工法のうち、アスファルト安定処理はマーシャル安定度は250kg以上のもの、セメント安定処理では一軸圧縮強度(6日養生1日水浸)が25kg f/cm²、石灰安定処理では一軸圧縮強度(9日養生1日水浸)が7kg f/cm²以上になるそれぞれのセンメート量なり石灰量を決める措置としている。

簡易舗装の全国調査によれば、舗装厚(H)は20~30cm、表層(h₁)は3~4cm、上層路盤(h₂)は5~10cm、在来砂利道厚は10cm未満、補足した下層路盤は5cmが主体であり、表層はストレートアスファルトによる加熱混合式工法、上層路盤工法は粒度調整碎石が多い実態である。

[小島逸平 熊谷道路技術研究所]

伸度試験 (Ductility Test)

JIS K2207で規定されており、定形のアスファルト試料を一定温度の水中で引張り、一定の引張速度(5cm/min)で破断したときの長さ(cm)をあらわすものである(図-1参照)。引張られる部分の試料長さは3cmで、試料断面は一様の大きさではなく、中央部が最もくびれていて1cm×1cmの正方形になっている。したがって応力や歪の解析などにはむかず、あくまでも破断時の長さを他試料や基準値と比較しようとするものである。この試験の原点はダウ(Dow)式といい、1921年にASTM暫定規格となって以来70年以上、多くの国々でこの形式の試験が実施してきた。伸度は許

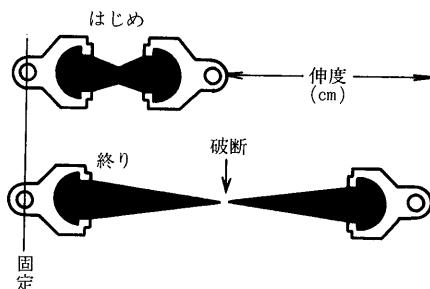


図-1 伸度試験のしくみ

容値(基準値)の定め方も漠然としており、精度も概して不良である。実用との相関についても、舗装破壊時のアスファルトのひずみは 10^{-3} 程度のオーダーであり、これと試料アスファルトが糸のように数10cmのオーダーで伸びる伸度試験とは比較の対象にはなりえないという意見が強かった。しかしながら最近40年間の動向をみると、伸度試験は決して衰退せず、材料規格項目の中に留まっている。ただし試験温度や基準値にはだいぶ変更点がみられ、針入度40から100の舗装用バインダーに例をとると次のような経緯をたどっている。

1. 道路協会規格—舗装用石油アスファルト

1950年の25°C、100cm以上(米国A I規格の紹介)から、10, 15, 25°Cの分類をへて、1978年以降15°Cで100cm以上(針入度60~100)および10cm以上(同40~60)となった。しかし市販品の最近の調査によれば針入度40~100のグレードはすべて15°Cで100以上の伸度を示している実績がある¹⁾。

2. 道路協会標準—ゴム／樹脂入りアスファルト

1978年以降、グレード、タイプにもよるが7°Cで20(または50)以上、伸びにくいものについては、15°Cで30以上といった値を推奨している。

3. 研究動向

回収アスファルトの性状を15°C伸度で調べることが多い。また15~4°C位までの間の任意の温度(例えば7°C, 4°C等)での伸度を重視している研究者もいる。

したがって通常装置を用いた伸度試験については、・試験温度が25°Cから15, 10, 7°C等の低温度域に移行している。

・伸度の下限値が100cmから、50, 20, 10等の小さ目の値に移行しているものが多い。

すなわち「低温では、伸度の大きいアスファルトが実用的に優れている」という考えが定着してきたようである。すなわち引張速度5cm/minを変えるのは、機構的に難かしく、異温度間の比較ができないからこれは変えない。温度を変えて(低温にして)実用との関連からどのへんが下限値かを追求しているようである。

ある温度で非常に伸びたからといって、それより低温度でもよく伸びるかというと必ずしもそうではない(図-2参照)。P.I.の高いアスファルトは比較的高温

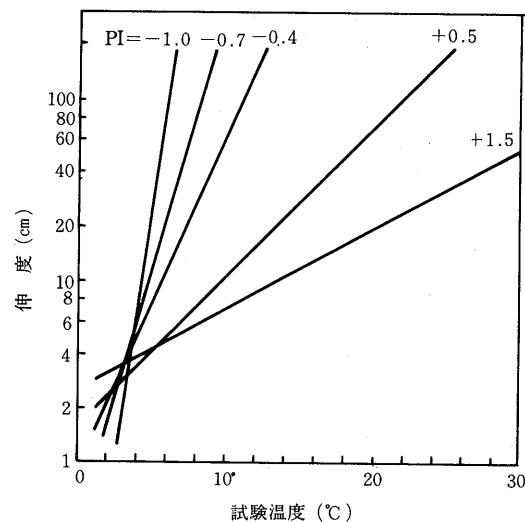


図-2 アスファルトのP.I.の違いによる温度と伸度の関係

においては伸度は小さいが、その代り低温においてもある程度伸びる。P.I.の低いアスファルトは低温においては急激に伸度が減少する。伸度の大小が逆転するのは4°C前後のようにある²⁾。

図-3は名神高速道路における調査の結果で、表層のコアより回収したアスファルトの性状を示したものである。路面性状の良好な部分は針入度および15°C伸度とも50以上が多く、ひび割れの多い箇所は針入度が45以下、15°C伸度は20以下となっている場合が多いことがわかる³⁾。

1980年代後半の時点における伸度試験の意義はなお

不明確ながらも、舗装体中のアスファルトがある伸度レベルに達したとき、舗装ひび割れの発生に関係するのではないか、あるいは回収アスファルトの伸度がTFOT後の伸度と関係がありそうである等の調査例が示すように、今後は供用性に関連した方面への伸度評価が利用できるのではないかと考えられる⁴⁾。

なお本解説はあくまでJIS規格の伸度試験について述べたものであり、類似した引張試験たとえばマイクロダクティリティー（カリフォルニア州規格349-A）についてはその方面的調査研究⁵⁾を参照していただきたい。

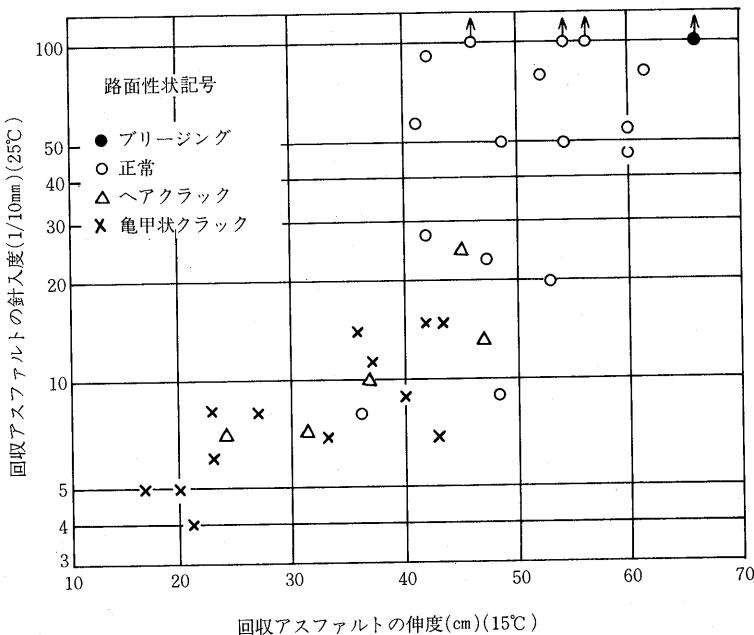


図-3 切取供試体から回収したアスファルトの物理試験結果と路面性状

—参考文献—

- 建設省土木研究所：ストレートアスファルトの性状調査結果、土研試料2398号、p.28 (1986)
- Dormon, G. : Some Observations on the Properties of Bitumen...., Shell International Petro. Co Ltd. p.21 (1968)
- 日本道路公団：名神高速道路調査報告書、p.35 (1967)
- 荒井孝雄：伸度試験、アスファルト誌、148号、p.29 (1986)
- 武市、久保、菅原：アスファルトのマイクロダクティリティー試験について、土木学会北海道支部論文報告集 No.36 p.331 (1979)，他数レポート

[高橋正明 昭和シェル石油㈱ 中央研究所]

昭和63年市販アスファルトの性状調査

(社)日本アスファルト協会技術委員会

1. はじめに

市販アスファルトの性状調査については、JISと(社)日本道路協会規格が、異なっていた昭和49年当時より品質の適合性に関して毎年実施してきており、本年度も市販アスファルトの品質動向を把握するために行った。

2. 調査方法

各製油所毎に各製品の長期間にわたる性状範囲を報告してもらうアンケート方式で行った。

- (1) 調査対象は、ストレート・ブローン・防水工事用アスファルトの全種類とする。
- (2) 製油所毎に、昭和63年1月～12月に製造された当該製品の全ロットを対象に、試験項目毎の最大値、最小値、平均値を報告する。

3. データー提出機関

データーは、下記の各社製油所から本協会へ提出されている。(50音順)

アジア石油	昭和シェル石油	日本鉱業
出光興産	昭和四日市石油	日本石油
鹿島石油	西部石油	日本石油精製
極東石油	谷口石油	富士興産
興亜石油	東燃	富士石油
コスモ石油	東北石油	三菱石油
三共石油化工	新潟製油	歴世鉱油

4. 調査結果

表-1の石油アスファルトの品質要約は、1.ストレートアスファルト、2.ブローンアスファルト、3.防水工事用アスファルトに分類し、全アンケート報告値から品質項目毎に、最大および最小値を抽出してまとめたもので調査期間中に製造された各種アスファルトの品質項目毎の範囲を示したものである。

表-2、3は、製油所毎の各品質項目における全ロットの平均値を、ストレートアスファルトのうち60～80、80～100の2種類について、取りまとめたものである。

5. あとがき

この性状調査は、前述のとおりアンケート方式による報告値を整理したものである。

報告内容は、

- (1) 各製油所の品質項目毎の試験値の最大値、最小値および全ロットの平均値であり、一連の性状が同一ロットの性状でないこと。
 - (2) 調査対象期間が、一年間に渡ったこと。
 - (3) 測定機関が異なっていること。
- などの理由から、品質範囲に幅があるが、JISや(社)日本道路協会規格の品質規格内にあり、適合している。

表-1 石油アスファルト品質調査要約 (1) ストレートアスファルト

項目	種類	0 ~ 10	20 ~ 40	40 ~ 60	60 ~ 80	80 ~ 100	150 ~ 200	200 ~ 300	JIS
	範囲	JIS	範囲	JIS	範囲	道路協会規格	範囲	道路協会規格	JIS
針入度 25°C 1/10mm	—	0以上 10以下	—	20を超え 40以下	43~56	40を超え 60以下	61~80	60を超え 80以下	81~100 100以下
軟化点 ℃	—	55.0以上	—	50.0~65.0	47.0~54.0	47.0~55.0	44.0~52.0	44.0~52.0	43.5~49.5 150を超え 200以下
伸度 15°C cm	—	—	—	100以上	10以上	100以上	100以上	100以上	36.0~44.0 100以上
" 25°C cm	—	—	—	50以上	—	—	—	—	150以上
三塩化エタン可溶分 %	—	99.0以上	—	99.6~100.0	99.0以上	99.2~100.0	99.0以上	99.0以上	99.0以上
引火点 ℃	—	260以上	—	312~370	260以上	268~388	260以上	270~366	260以上
薄膜加熱後の質量変化率 %	—	—	—	-0.07~0.14	0.6以下	-0.33~0.30	0.6以下	-0.22~0.33	0.6以下
薄膜加熱後の針入度変化率 %	—	—	—	62~84	58以上	57~78	55以上	54~71	50以上
蒸発質量変化率 %	—	0.3以下	—	—	—	-0.03~0.02	—	-0.04~0.02	—
蒸発後の針入度比 %	—	—	—	96~104	110以下	83~105	110以下	85~104	110以下
比重 25/25 °C	—	1.000以上	—	1.000以上	1.026~1.043	1.000以上	1.022~1.042	1.000以上	1.019~1.036
動粘度 cSt 120 °C	—	—	—	—	990~1,750	—	600~1,300	475~1,110	466~529
" cSt 140 °C	—	—	—	—	346~550	—	220~452	189~360	188~210
" cSt 160 °C	—	—	—	—	147~236	—	98~195	88~160	90~103
" cSt 180 °C	—	—	—	—	74~116	—	50~100	48~100	52~58

表-2 石油アスファルト品質調査要約 (2) プローンアスファルト

種類 項目	0 ~ 5		10 ~ 20		20 ~ 30		30 ~ 40	
	範囲	J I S	範囲	J I S	範囲	J I S	範囲	J I S
針入度 25°C 1/10mm	2 ~ 3	0以上 5以下	11~20	10を超える 20以下	21~30	20を超える 30以下	36~36	30を超える 40以下
軟化点 °C	135.0~ 138.5	130.0以上	91.0~ 115.0	90.0以上	80.5~ 104.0	80.0以上	77.0~77.0	65.0以上
伸度 25°C cm	0	0以上	2~5	1以上	2~6	2以上	3~3	3以上
三塩化エタン Wt % 可溶分	99.9~ 100.0	98.5以上	99.3~ 100.0	98.5以上	99.4~ 100.0	98.5以上	99.6~99.6	98.5以上
引火点 °C	308~322	210以上	286~340	210以上	284~336	210以上	322~322	210以上
蒸発質量変化率 %	-0.01~ 0.00	0.5以下	-0.04~ 0.01	0.5以下	-0.05~ 0.00	0.5以下	-0.02~ -0.02	0.5以下
針入度指数	3.7~4.5	3.0以上	2.9~5.5	2.5以上	3.0~5.3	2.5以上	3.1~3.1	1.0以上

表-3 石油アスファルト品質調査要約 (3) 防水工事用アスファルト

種類 項目	第一種		第二種		第三種		第四種	
	範囲	J I S	範囲	J I S	範囲	J I S	範囲	J I S
針入度 25°C 1/10mm	—	25以上 45以下	—	0以上 40以下	22~38	20以上 40以下	30~49	30以上 50以下
針入度指数	—	3以上	—	4以上	5.2~7.6	5以上	6.0~8.4	6以上
軟化点 °C	—	85以上	—	90以上	100.0~ 128.5	100以上	98.0~ 127.5	95以上
蒸発質量変化率 %	—	1以下	—	1以下	-0.04~ 0.02	1以下	-0.10~ 0.03	1以下
三塩化エタン Wt % 可溶分	—	98以上	—	98以上	98.7~ 100.0	95以上	98.9~99.9	92以上
引火点 °C	—	250以上	—	270以上	280~328	280以上	280~316	280以上
フーラースゼイ化点 °C	—	-5以下	—	-10以下	-32~-15	-15以下	-31~-20	-20以下
だれ長さ mm	—	—	—	—	0~5	8以下	0~5	10以下
加熱安定性 °C	—	5以下	—	5以下	0~4	5以下	1~5	5以下

表-4 ストレートアスファルト性状表 (60~80)

番号	針入度 1/10mm	軟化点 ℃	伸 度 (15℃)	三塩化 エタン 可溶分 Wt %	引火点 ℃	薄 膜 加 热		蒸発後 の針入 度比 % 25/25 ℃	動 粘 度 (cSt)				
						質 変化率%	針 入 度 変化率%		120℃	140℃	160℃	180℃	
1	64	48.5	150以上	99.9	350	+0.10	65.0	100	1.035	1,010	341	147	70
2	65	48.0	150以上	99.9	360	+0.05	66.0	100	1.0316	1,125	359	150	73
3	71	49.0	150以上	99.6	317	-0.01	65.0	100	1.029	985	347	149	78
4	69	49.5	150以上	99.9	270以上	0	63.0	88	1.026	987	355	145	81
5	71	48.5	140以上	99.8	300以上	+0.09	66.0	101	1.0334	1,010	375	166	82
6	68	47.5	140以上	100.0	300以上	+0.07	71.0	102	1.0353	923	328	133	70
7	72	48.0	150以上	99.9	342	+0.04	65.0	99	1.0303	973	354	154	78
8	69	49.0	140以上	99.9	300以上	+0.06	65.0	96	1.025	784	285	125	65
9	73	49.0	150以上	99.9	358	+0.11	68.0	100	1.030	935	331	144	73
10	70	49.0	140以上	99.8	329	-0.06	63.0	99	1.028	958	320	133	65
11	67.8	49.4	150以上	99.9	343.5	+0.07	66.7	91.2	1.0322	1,005	367	160	79.4
12	69.3	49.0	150以上	99.8	363.8	+0.074	76.2	92	1.0282	991	365.7	158.3	77.4
13	71	47.5	100以上	99.9	301	-0.10	66.0	101	1.0243	889	300	130	64
14	70	48.3	100以上	99.8	323	+0.034	68.7	95	1.0323	960	328	141	71
15	70	48.5	130以上	99.9	307	-0.12	66.0	100	1.0343	1,076	371	156	77
16	72	48.0	130以上	100.0	338	+0.06	65.0	98	1.0287	1,020	357	152	75
17	68	48.0	150以上	99.8	343	+0.10	68.3	98.4	1.030	927	334	146	73
18	70	50.5	100以上	99.8	336	+0.05	72.0	98	1.0307	1,063	376	162	80
19	69	49.0	100以上	100.0	341	+0.01	71.0	94	1.0321	1,194	406	169	82
20	68.5	47.7	150以上	100.0	354.8	+0.047	65.1	98	1.0353	986.9	341.2	144.4	71.3
21	69	46.0	100以上	99.7	363	+0.11	67.0	102	1.0341	858	310	135	68
22	70	49.0	150以上	99.9	338	0	70.0	95	1.029	795	299	133	71
23	71	48.0	150以上	99.8	335	+0.075	59.3	101	1.0261	844	306	135	68
24	65	47.5	150以上	100.0	385	+0.12	69.0	100	1.0235	847	310	132	68
25	67	48.5	150以上	99.9	284	-0.29	60.0	102	1.0249	1,052	395	155	83
26	71	47.0	150以上	99.8	293	+0.24	61.0	83	1.0325	1,029	362	154	100以下

表-5 ストレートアスファルト性状表 (80~100)

番号	針入度 1/10mm	軟化点 ℃	伸 度 (15℃)	三塩化 エタン 可溶分 Wt %	引火点 ℃	薄 膜 加 热		蒸発後 の針入 度比 % 25/25 ℃	動 粘 度 (cSt)				
						質 変化率%	針 入 度 変化率%		120℃	140℃	160℃	180℃	
1	90	45.5	150以上	100.0	354	+0.10	65.0	100	1.0316	799	287	124	62
2	90	47.0	150以上	99.5	314	-0.01	62.0	100	1.0261	807	295	132	69
3	85	47.5	150以上	100.0	270以上	+0.01	65.0	87	1.0234	841	288	135	70
4	88	46.5	150以上	100.0	342	+0.04	63.0	100	1.0282	827	305	137	71
5	90	47.5	140以上	99.9	300以上	+0.05	62.0	96	1.0257	658	248	104	61
6	92	46.0	150以上	99.9	348	+0.10	69.0	100	1.0281	742	272	121	63
7	89	46.5	140以上	99.7	328	-0.09	59.0	97	1.026	783	271	115	57
8	88	45.7	100以上	99.7	311	+0.035	69.6	96	1.0304	807	282	123	63
9	90	45.5	130以上	99.9	307	-0.12	64.0	100	1.0269	843	305	133	67
10	88	48.5	100以上	99.7	324	+0.08	71.0	100	1.027	865	318	140	71
11	88	44.0	100以上	99.7	363	+0.10	66.0	101	1.0295	768	286	128	66
12	85	46.5	100以上	99.9	336	+0.07	65.2	98.5	1.026	741	269	120	62
13	92	45.0	150以上	99.8	328	+0.068	58.0	101	1.0234	707	262	119	62
14	92	47.0	150以上	99.9	281	-0.12	67.0	99	1.0222	939	327	144	77
15	86	45.5	150以上	99.8	287	+0.31	63.0	88	1.0313	793	270	123	100以下

<石油アスファルト需給統計資料> その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
52 年 度	256	4,790	(115.3)	0	5,046	4,765	(116.2)	0	4,765	287	5,052
53 年 度	287	5,229	(109.2)	0	5,516	5,218	(109.5)	0	5,218	297	5,515
54 年 度	297	5,064	(96.8)	1	5,362	5,138	(98.5)	2	5,140	236	5,376
55 年 度	236	4,720	(93.2)	1	4,957	4,703	(91.5)	21	4,724	240	4,964
56 年 度	240	4,598	(97.4)	0	4,838	4,562	(97.0)	19	4,581	226	4,807
57 年 度	226	4,624	(99.2)	0	4,850	4,574	(100.3)	18	4,592	213	4,805
58年度上期	213	2,392	(111.1)	0	2,605	2,357	(110.7)	3	2,360	241	2,601
58年度下期	241	2,555	(103.6)	0	2,796	2,564	(103.8)	1	2,565	226	2,791
58 年 度	213	4,947	(108.4)	0	5,160	4,921	(107.6)	4	4,925	226	5,151
59年度上期	226	2,541	(106.4)	0	2,767	2,516	(106.7)	0	2,517	252	2,769
59年度下期	252	2,694	(105.4)	0	2,946	2,705	(105.5)	0	2,705	240	2,945
59 年 度	226	5,235	(105.9)	0	5,461	5,221	(106.1)	0	5,221	240	5,461
60年度上期	240	2,400	(94.5)	0	2,640	2,338	(92.9)	0	2,338	294	2,632
60年度下期	294	2,629	(97.6)	0	2,923	2,696	(99.7)	0	2,696	215	2,911
60 年 度	240	5,029	(96.1)	0	5,269	5,034	(92.2)	0	5,034	215	5,249
61年度上期	215	2,656	(110.7)	0	3,130	2,568	(109.8)	0	2,568	291	2,859
61年度下期	291	3,089	(117.5)	0	3,380	3,134	(116.2)	0	3,134	235	3,369
61 年 度	215	5,744	(114.2)	0	5,959	5,702	(113.3)	0	5,702	235	5,937
62年度上期	235	2,745	(103.4)	7	2,987	2,681	(104.4)	0	2,681	312	2,993
62年度下期	312	3,146	(101.8)	2	3,460	3,181	(101.5)	0	3,181	274	3,455
62 年 度	235	5,892	(102.6)	9	6,136	5,862	(102.8)	0	5,862	274	6,136
63. 4月	274	507	(98.4)	3	784	499	(104.6)	0	499	284	783
5 月	284	394	(97.8)	0	678	366	(96.6)	0	366	313	679
6 月	313	416	(105.0)	0	729	428	(102.6)	0	428	302	730
4 ~ 6月	274	1,317	(100.2)	3	1,591	1,292	(101.5)	0	1,292	302	1,594
7 月	302	478	(107.2)	0	780	474	(101.7)	0	474	306	780
8 月	306	502	(102.9)	0	808	494	(112.0)	0	494	310	804
9 月	310	458	(92.0)	0	768	475	(94.8)	0	475	287	762
7 ~ 9月	302	1,438	(100.5)	0	1,740	1,443	(102.5)	0	1,443	287	1,730
63年度上期	274	2,754	(100.3)	3	3,031	2,735	(102.0)	0	2,735	287	3,022
10月	287	545	(108.6)	0	832	562	(108.7)	0	562	269	831
11月	269	583	(105.6)	0	852	567	(97.3)	0	567	287	854
12月	287	550	(102.4)	0	837	580	(102.5)	0	580	262	842
10~12月	287	1,678	(105.4)	0	1,965	1,708	(102.5)	0	1,708	262	1,970
1. 1月	262	365	(85.7)	0	627	340	(91.4)	0	340	284	624
2 月	284	453	(94.2)	0	737	438	(93.0)	0	438	300	738
3 月	300	654	(100.9)	0	954	734	(109.4)	0	734	219	953
1 ~ 3月	262	1,472	(94.7)	0	1,734	1,512	(99.9)	0	1,512	219	1,731
63年度下期	287	3,150	(100.1)	0	3,437	3,220	(101.3)	0	3,220	219	3,439
63 年 度	274	5,904	(100.2)	0	6,178	5,954	(101.6)	0	5,954	219	6,174
1. 4月	219	583	(115.0)	0	802	493	(99.0)	0	493	309	802

[注] (1) 通産省エネルギー月報 元年4月確報
(2) 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			燃焼用 アスフ アルト	ブローン アスフ アルト	合 計	ストレート・アスファルト			燃焼用 アスフ アルト		
	道路用	工業用	計				道路用	工業用	計			
52年 度	4,242	235	4,477	—	288	4,765	116.9	112.4	116.6	—	109.1	116.1
53年 度	4,638	267	4,905	—	313	5,218	109.3	113.6	109.6	—	108.7	109.5
54年 度	4,620	175	4,795	—	343	5,138	99.6	65.5	97.8	—	109.6	98.5
55年 度	4,233	183	4,416	—	287	4,703	91.6	104.6	92.1	—	91.5	91.5
56年 度	4,082	202	4,284	4	274	4,562	96.4	110.4	97.0	—	95.5	97.0
57年 度	3,943	184	4,127	187	260	4,574	96.6	91.1	96.3	467.5	94.2	100.3
58年度上期	1,917	83	2,000	236	121	2,357	104.3	86.5	103.4	524.4	98.4	110.7
58年度下期	2,033	94	2,127	304	133	2,564	96.6	106.8	97.0	214.1	98.5	103.8
58年 度	3,950	177	4,127	540	254	4,921	100.2	96.2	100.0	288.8	98.4	107.6
59年度上期	1,915	79	1,994	403	119	2,516	99.9	95.2	99.7	170.8	101.7	106.7
59年度下期	2,084	83	2,167	403	135	2,705	102.5	88.3	101.9	132.6	101.5	105.5
59年 度	3,999	162	4,161	806	254	5,221	101.2	91.5	100.8	149.3	100.0	106.1
60年度上期	1,767	72	1,839	388	112	2,338	92.3	91.1	92.2	96.3	94.1	92.9
60年度下期	1,974	67	2,041	522	133	2,696	94.7	80.7	94.2	129.5	98.5	99.7
60年 度	3,741	139	3,881	910	245	5,034	93.5	85.8	93.2	112.9	96.5	96.4
61年度上期	1,825	66	1,891	565	112	2,568	103.3	91.7	102.8	145.6	100.0	109.8
61年度下期	2,160	175	2,335	673	125	3,134	109.4	261.2	114.4	128.9	94.0	116.2
61年 度	3,985	241	4,226	1,238	237	5,702	106.5	173.4	108.9	136.0	96.7	113.3
62年度上期	1,949	100	2,048	518	114	2,681	106.8	151.5	108.3	91.7	101.8	104.4
62年度下期	2,304	261	2,565	475	141	3,181	106.7	149.1	109.9	70.6	112.8	101.5
62年 度	4,253	360	4,613	995	255	5,862	106.7	149.4	109.2	80.4	107.6	102.8
63. 4月	381	25	406	75	18	499	114.1	208.3	117.3	66.4	100.0	105.9
5月	281	10	291	57	18	366	105.2	111.1	105.4	66.3	105.9	96.6
6月	298	53	351	56	21	428	95.8	378.6	108.0	76.7	110.5	102.6
4～6月	959	88	1,047	188	57	1,292	105.3	251.4	110.7	69.1	103.6	101.5
7月	360	9	369	86	19	474	104.0	28.6	98.7	117.8	105.6	101.7
8月	333	40	373	101	20	494	105.0	166.7	109.4	124.7	105.3	112.0
9月	336	29	365	89	21	475	89.8	223.1	94.3	96.7	95.5	94.8
7～9月	1,029	78	1,107	276	60	1,443	99.1	120.0	100.4	112.2	101.7	102.5
63年度上期	1,988	166	2,154	464	117	2,735	102.0	166.0	105.2	89.5	102.6	102.0
10月	402	71	473	65	24	562	97.8	546.2	111.6	97.0	92.3	108.7
11月	432	29	461	80	26	567	98.9	65.9	95.8	102.6	108.3	97.3
12月	439	27	466	91	23	580	103.8	81.8	102.2	103.4	104.5	102.5
10～12月	1,274	126	1,400	235	73	1,708	100.2	141.1	102.8	101.7	100.0	102.5
1. 1月	177	51	228	91	20	340	83.9	96.3	86.4	107.1	99.9	91.4
2月	267	65	332	84	22	438	90.2	106.6	93.0	93.3	91.7	93.0
3月	601	13	614	94	26	734	114.5	23.2	105.7	138.2	118.2	109.4
1～3月	1,045	130	1,175	269	68	1,512	101.3	76.0	97.7	110.7	100.0	99.9
63年度下期	2,319	256	2,575	504	141	3,220	100.6	98.5	100.4	106.3	100.0	101.3
63年 度	4,307	422	4,729	967	258	5,954	101.2	117.5	102.5	97.4	101.2	101.6
1. 4月	388	9	397	77	19	493	102.1	36.0	98.0	102.7	105.6	99.0

- (注) (1) 通産省エネルギー月報 元年4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。

アスファルト統計史

B5版・187ページ・実費価格 ¥3,000(送料実費)

申込先 (社)日本アスファルト協会
〒105 東京都港区虎ノ門2-6-7
和孝第10ビル

我が国において、アスファルトが利用されてきたのは紀元前にまでさかのぼることが出来ます。

当時の利用目的は、防水・接着剤等に用いられていたようですが、今日では、道路用を始めとして工業用・燃焼用と色々な用途に用いられるようになりました、需要量も増大してまいりました。

当協会の調査委員会において、我が国のアスファルト統計について資料の収集・整理に努めて参りましたが、ここに「アスファルト統計史」を30周年記念として出版することになりました。

アスファルトに関する統計としては、我が国唯一の資料であり、内容的にもきめ細かく取りまとめられており、関係者必携の書としておすすめします。

目 次

I. 生産量	III. 輸出入
1. アスファルト年別生産量	1. アスファルト年別輸入・輸出量
2. アスファルト品種別月別生産量	2. アスファルト月別輸入・輸出量
3. 石油アスファルト月別生産量	IV. 在庫量
4. 石油アスファルト品種別月別生産量	1. 石油アスファルト年別在庫量
II. 内需量（販売）	2. 石油アスファルト月別在庫量
1. アスファルト販売量	3. 石油アスファルト品種別月別在庫量
2. アスファルト品種別月別販売量	V. 販売量
3. 石油アスファルト月別内需量	1. 石油アスファルト品種別針入度販売量
4. 石油アスファルト品種別月別内需量	2. 石油アスファルト品種別荷姿別販売量
	3. 石油アスファルト地域別月別販売量

社団法人 日本アスファルト協会会員

(五十音順)

社 名	住 所	電 話
(メーカー)		
出光興産株式会社	(100) 千代田区丸の内3-1-1	03(213) 3134
エッソ石油株式会社	(107) 港区赤坂5-3-3	03(585) 9438
鹿島石油株式会社	(102) 千代田区紀尾井町3-6	03(265) 0411
キグナス石油株式会社	(104) 中央区京橋2-9-2	03(535) 7811
九州石油株式会社	(100) 千代田区内幸町2-1-1	03(502) 3651
共同石油株式会社	(105) 港区虎ノ門2-10-1	03(224) 6298
極東石油工業株式会社	(100) 千代田区大手町1-7-2	03(270) 0841
興亜石油株式会社	(100) 千代田区大手町2-6-2	03(241) 8631
コスモ石油株式会社	(105) 港区芝浦1-1-1	03(798) 3200
三共油化工業株式会社	(100) 千代田区丸の内1-4-2	03(284) 1911
昭和シェル石油株式会社	(100) 千代田区霞が関3-2-5	03(503) 4076
昭和四日市石油株式会社	(510) 四日市市塩浜町1	0593(45) 2111
西部石油株式会社	(100) 千代田区丸の内1-2-1	03(215) 3081
ゼネラル石油株式会社	(105) 港区西新橋2-8-6	03(595) 8300
東燃株式会社	(100) 千代田区一ツ橋1-1-1	03(286) 5111
東北石油株式会社	(985) 仙台市港5-1-1	022(363) 1111
日網石油精製株式会社	(210) 川崎市川崎区浮島町3-1	044(266) 8311
日本鉱業株式会社	(105) 港区虎ノ門2-10-1	03(505) 8530
日本石油株式会社	(105) 港区西新橋1-3-12	03(502) 1111
日本石油精製株式会社	(105) 港区西新橋1-3-12	03(502) 1111
富士興産株式会社	(100) 千代田区永田町2-4-3	03(580) 3571
富士石油株式会社	(100) 千代田区大手町1-2-3	03(211) 6531
三菱石油株式会社	(105) 港区虎ノ門1-2-4	03(595) 7663
モービル石油株式会社	(100) 千代田区大手町1-7-2	03(244) 4691
(ディーラー)		
● 北海道		
コスモアスファルト(株)札幌支店	(060) 札幌市中央区大通り西10-4	011(281) 3906コスモ
葛井石油株式会社	(060) 札幌市中央区南4条西11-1292-4011	011(518) 2771コスモ
株式会社トーアス札幌営業所	(060) 札幌市中央区北2条西2	011(281) 2361共石
東光商事株式会社	(060) 札幌市中央区南大通り西7	011(241) 1561三石
中西瀝青株式会社	(060) 札幌市中央区北2条西2	011(231) 2895日石
株式会社南部商会	(060) 札幌市中央区北2条西2-15	011(231) 7587日石
レキセイ商事株式会社	(060) 札幌市中央区北4条西3	011(231) 4501出光
株式会社ロード資材	(060) 札幌市中央区北1条西10-1-11	011(281) 3976コスモ

社団法人 日本アスファルト協会会員

社 名	住 所	電 話	
● 東 北			
有限会社 男鹿興業社	(010-05) 男鹿市船川港船川字化世沢178	0185 (23) 3293共	石
カメイ株式会社	(980) 仙台市青葉区国分町3-1-18	022 (264) 6111日	石
株式会社 木畠商会仙台営業所	(980) 仙台市青葉区中央2-1-17	022 (222) 9203共	石
コスモアスファルト仙台支店	(980) 仙台市青葉区中央3-3-3	022 (266) 1101コスモ	
正興産業株式会社 仙台営業所	(980) 仙台市青葉区国分町3-3-3	022 (263) 5951三	石
竹中産業株式会社 新潟営業所	(950) 新潟市東大通1-4-2	025 (246) 2770昭和シェル	
株式会社 トーアス仙台営業所	(980) 仙台市青葉区大町1-1-10	022 (262) 7561共	石
常盤商事株式会社 仙台支店	(980) 仙台市青葉区上杉1-8-19	022 (224) 1151三	石
中西瀝青株式会社 仙台営業所	(980) 仙台市青葉区中央2-1-30	022 (223) 4866日	石
株式会社 南部商会仙台出張所	(980) 仙台市青葉区中央2-1-17	022 (223) 1011日	石
宮城石油販売株式会社	(980) 仙台市宮城野区榴ヶ丘2-3-12	022 (257) 1231三	石
菱油販売株式会社仙台支店	(980) 仙台市青葉区国分町3-1-1	022 (225) 1491三	石
● 関 東			
朝日産業株式会社	(103) 中央区日本橋茅場町2-7-9	03 (669) 7878コスモ	
アスファルト産業株式会社	(104) 中央区八丁堀4-11-2	03 (553) 3001昭和シェル	
伊藤忠燃料株式会社	(107) 港区赤坂2-17-22	03 (584) 8555共	石
梅本石油株式会社	(162) 新宿区揚場町2-24	03 (269) 7541コスモ	
株式会社 木畠商会	(104) 中央区八丁堀4-2-2	03 (552) 3191共	石
コスモアスファルト株式会社	(104) 中央区八丁堀3-3-5	03 (551) 8011コスモ	
国光商事株式会社	(164) 中野区東中野1-7-1	03 (363) 8231出	光
株式会社 澤田商行関東支店	(104) 中央区入船町1-7-2	03 (551) 7131コスモ	
三徳商事株式会社東京支店	(101) 千代田区神田紺屋町11	03 (254) 9291昭和シェル	
新日本商事株式会社	(101) 千代田区神田錦町2-5	03 (294) 3961昭和シェル	
住商石油アスファルト株式会社	(105) 港区浜松町2-3-31	03 (578) 9521出	光
大洋商運株式会社	(103) 中央区日本橋本町3-2-13	03 (245) 1621三	石
竹中産業株式会社	(101) 千代田区鍛冶町1-5-5	03 (251) 0185昭和シェル	
中央石油株式会社	(160) 新宿区新宿2-6-5	03 (356) 8061モービル	
株式会社 トーアス	(160) 新宿区西新宿2-7-1	03 (342) 6391共	石
東京レキセイ株式会社	(150) 渋谷区恵比寿西1-9-12	03 (496) 8691富士興	
東京富士興産販売株式会社	(105) 港区虎ノ門1-13-4	03 (591) 3401富士興	
東光商事株式会社	(104) 中央区京橋1-5-12	03 (274) 2751三	石
東新瀝青株式会社	(103) 中央区日本橋2-13-10	03 (273) 3551日	石
東洋国際石油株式会社	(104) 中央区八丁堀3-3-5	03 (552) 8151コスモ	
東和産業株式会社	(174) 板橋区坂下3-29-11	03 (968) 3101三共油化	
中西瀝青株式会社	(103) 中央区八重洲1-2-1	03 (272) 3471日	石
株式会社 南部商会	(100) 千代田区丸の内3-4-2	03 (213) 5871日	石
日東商事株式会社	(170) 豊島区巣鴨4-22-23	03 (915) 7151昭和シェル	
日東石油販売株式会社	(104) 中央区新川2-3-11	03 (551) 6101昭和シェル	
パシフィック石油商事株式会社	(103) 中央区日本橋蛎殻町1-17-2	03 (661) 4951モービル	
富士興産アスファルト株式会社	(100) 千代田区永田町2-4-3	03 (580) 5211富士興	
富士鉱油株式会社	(105) 港区新橋4-26-5	03 (432) 2891コスモ	
富士石油販売株式会社	(103) 中央区日本橋2-13-12	03 (274) 2061共	石
富士油業株式会社東京支店	(106) 港区西麻布1-8-7	03 (478) 3501富士興	

社団法人 日本アスファルト協会会員

社名	住所	電話
富士油業株式会社東京支店	(106) 港区西麻布1-8-7	03 (478) 3501富士興
丸紅エネルギー株式会社	(101) 千代田区神田錦町3-7-1	03 (293) 4111モービル
三井物産石油株式会社	(101) 千代田区神田駿河台4-3	03 (293) 7111極東石
三菱商事株式会社	(100) 千代田区丸の内2-6-3	03 (210) 6277三石
ユニ石油株式会社	(101) 千代田区神田東糸屋町30	03 (256) 3441昭和シェル
菱東商事株式会社	(101) 千代田区神田和泉町1-13-1	03 (5687) 1421三石
菱油販売株式会社	(160) 新宿区西新宿1-20-2	03 (345) 8205三石
菱洋通商株式会社	(104) 中央区銀座6-7-18	03 (571) 5921三石
瀧青販売株式会社	(103) 中央区日本橋2-16-3	03 (271) 7691出光
● 中 部		
コスモアスファルト(株)名古屋支店	(466) 名古屋市昭和区塩付通4-9	052 (851) 1111コスモ
株式会社 澤田商行	(454) 名古屋市中川区富川町1-1	052 (361) 7151コスモ
三徳商事株式会社静岡支店	(420) 静岡市糸屋町11-12	0542 (55) 2588昭和シェル
三徳商事株式会社 名古屋支店	(453) 名古屋市中村区則武1-10-6	052 (452) 2781昭和シェル
株式会社 三油商會	(460) 名古屋市中区丸の内2-1-5	052 (231) 7721コスモ
静岡鉱油株式会社	(424) 清水市袖師町1575	0543 (66) 1195モービル
新東亜交易株式会社名古屋支店	(450) 名古屋市中村区名駅3-28-12	052 (561) 3514富士興
竹中産業株式会社 福井営業所	(910) 福井市大手2-4-26	0766 (22) 1565昭和シェル
株式会社 田中石油店	(910) 福井市毛矢2-9-1	0776 (35) 1721昭和シェル
株式会社トーアス名古屋営業所	(450) 名古屋市中村区名駅4-2-12	052 (581) 3585共石
富安産業株式会社	(939) 富山市若竹町2-121	0764 (29) 2298昭和シェル
中西瀧青株式会社名古屋営業所	(460) 名古屋市中区錦町1-20-6	052 (211) 5011日石
松村物産株式会社	(920) 金沢市広岡2-1-27	0762 (21) 6121三石
丸福石油産業株式会社	(933) 高岡市美幸町2-1-28	0766 (22) 2860昭和シェル
三谷商事株式会社	(910) 福井市豊島1-3-1	0776 (20) 3134モービル
● 近畿		
赤馬アスファルト工業株式会社	(531) 大阪市大淀区中津3-10-4	06 (374) 2271モービル
飯野産業株式会社 神戸営業所	(650) 神戸市中央区海岸通り8	078 (333) 2810共石
大阪アスファルト株式会社	(531) 大阪市北区中津1-11-11	06 (372) 0031出光
木曾通産株式会社大阪支店	(550) 大阪市西区九条南4-11-12	06 (581) 7216コスモ
共和産業株式会社	(700) 岡山市富田町2-10-4	0862 (33) 1500共石
コスモアスファルト(株)大阪支店	(550) 大阪市西区西本町2-5-28	06 (538) 2731コスモ
コスモアスファルト(株)広島支店	(730) 広島市田中町5-9	0822 (44) 6262コスモ
三徳商事株式会社	(532) 大阪市淀川区新高4-1-3	06 (394) 1551昭和シェル
株式会社シェル石油大阪発売所	(552) 大阪市港区南市岡1-11-11	06 (584) 0681昭和シェル
昭和瀧青工業株式会社	(670) 姫路市北条口3-51	0792 (77) 5001共石
信和興業株式会社	(700) 岡山市西古松363-4	0862 (41) 3691三石
正興産業株式会社	(650) 神戸市中央区海岸通り6	078 (322) 3301三石
中国富士アスファルト株式会社	(711) 倉敷市児島味野浜の宮4051-12	0864 (73) 0350富士興
千代田瀧青株式会社	(530) 大阪市北区東天満2-8-8	06 (358) 5531三石
株式会社ナカムラ	(670) 姫路市国府寺町72	0792 (85) 2551共石
中西瀧青株式会社 大阪営業所	(530) 大阪市北区西天満3-11-17	06 (316) 0312日石
平井商事株式会社	(542) 大阪市中央区東心斎橋筋1-3-11	06 (252) 5856富士興
富士アスファルト販売株式会社	(550) 大阪市西区京町堀2-3-19	06 (441) 5195富士興

社団法人 日本アスファルト協会会員

社名	住所	電話
富士商株式会社	(756) 小野田市稻荷町6539	08368 (3) 3210 昭和シェル
平和石油株式会社	(530) 大阪市北区中之島3-6-32	06 (443) 2771 昭和シェル
株式会社松宮物産	(522) 彦根市幸町32	0749 (23) 1608 昭和シェル
丸和鉱油株式会社	(532) 大阪市淀川区塚本2-14-17	06 (301) 8073 コスモ
横田瀝青興業株式会社	(672) 姫路市飾磨区南細江995	0792 (33) 0555 共石
株式会社菱芳礦産	(671-11) 姫路市広畠区西夢前台7-140	0792 (39) 1344 共石
● 四国・九州		
伊藤忠燃料株式会社 九州支社	(812) 福岡市博多区博多駅前3-2-8	092 (471) 3877 共石
今別府産業株式会社	(890) 鹿児島市新栄町15-7	0992 (56) 4111 共石
株式会社カンド	(892) 鹿児島市住吉町1-3	0992 (24) 5111 昭和シェル
株式会社九菱	(805) 北九州市八幡東区山王1-17-11	093 (661) 4868 三石
コスモアスファルト㈱九州支店	(810) 福岡市中央区鳥飼1-3-52	092 (771) 7436 コスモ
サンヨウ株式会社	(815) 福岡市南区玉川町4-30	092 (541) 7615 富士興
三協商事株式会社	(770) 徳島市万代町5-8	0886 (53) 5131 富士興
株式会社トーアス高松営業所	(760) 高松市亀井町8-11	0878 (37) 1645 共石
中西瀝青株式会社 福岡出張所	(810) 福岡市中央区天神4-1-18	092 (771) 6881 日石
株式会社南部商会福岡出張所	(810) 福岡市中央区天神3-4-8	092 (721) 4838 日石
西岡商事株式会社	(764) 仲多度郡多度津町家中3-1	0877 (33) 1001 三石
畑砂油株式会社	(804) 北九州市戸畠区牧山新町1-40	093 (871) 3625 コスモ
平和石油株式会社高松支店	(760) 高松市番町5-6-26	0878 (31) 7255 昭和シェル
丸菱株式会社	(812) 福岡市博多区博多駅前4-3-22	092 (431) 7561 昭和シェル

編集顧問

多田 宏行
松野 三朗

委員長：舛田誠二	副委員長：真柴和昌
阿部忠行	磯部政雄
荒井孝雄	今井武志
安崎 裕	金田一夫
飯島 尚	菅野善郎
石井一生	河野 宏
	戸田 透
	野村敏明

アスファルト 第161号

平成元年10月発行

社団法人 日本アスファルト協会

〒105 東京都港区虎ノ門2-6-7 TEL 03-502-3956

本誌広告一手取扱 株式会社 廣業社

〒104 東京都中央区銀座8-2-9 TEL 03-571-0997 代

印刷所 アサヒビジネス株式会社

〒107 東京都港区赤坂1-9-13 TEL 03-582-1938 代

ASPHALT

Vol.32 No. 161 OCTOBER 1989

Published by THE JAPAN ASPHALT ASSOCIATION