

アスファルト

第41巻 第196号 平成10年7月発行

196

特集・排水性舗装への取り組み

特集にあたって	河野 宏	1
排水性舗装の取り組み	平出 純一	2
一般国道43号における環境対策と排水性舗装について	大嶋 勝彦	6
エポキシアスファルトを用いた排水性舗装	村松 正明・山本 晋也	11
日本道路公団における排水性舗装の現況と課題	七五三野 茂・皆方 忠雄	17
阪神高速道路における排水性舗装の現状と課題	川村 勝	25
冬期間の排水機能維持を図った排水性舗装の路面凍結抑制効果	武市 靖・伊藤 仁	30
東京都の低騒音舗装	阿部 忠行	35
大阪市における低騒音舗装（排水性舗装）の取り組み	酒井 昇	42

第9回日本アスファルト協会論文賞発表

<第9回論文賞入選第2席>

ジャイレトリーコンパクタの締固め特性とその適用性

高田 祥子・浜田 幸二・橋本 修治 51

<アスファルト舗装技術研究グループ・第29回報告>

峰岸 順一 61

アスファルト混合物の永久変形に関するSHRPの研究成果

深沢 邦彦・小林 正利・飯田 健一 62

<用語の解説>

農道舗装

小島 逸平 84

排水性舗装用エポキシアスファルト

青木 秀樹 87

<統計資料>石油アスファルト需給統計資料

89

主な石油アスファルト製造用原油の輸入状況

91

ASPHALT

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

特集にあたって

河 野 宏

(旧)日本道路協会舗装委員会委員長

(日新舗道建設㈱専務取締役)

排水性舗装との関り合いは約10年前から始まった。道路協会のアスファルト舗装要綱の改定に携わっていた時、ベテランの委員の方々から幹事団に対して苦情がでた。その内容は「意見をいう機会が少ない」「意見をいっても採用されないことが多いし、その理由も明らかでない」というようなものであった。ベテランの方々の発言は、具体性に欠けた評論家的なものであったり、根拠となるデータがなく個人的な経験に基づくものであったりすることもあり、場合によっては採用にならないのも仕方がないとも感じてはいた。しかし意見をいう機会が少ないのは良くないことであるので、発言意欲の盛んな方々を中心として非公式な勉強会を設けた。ゴルフのシニアトーナメントを見習ったわけではないが、年は取っても、若い人と互角に張り合うためには、口先だけでなく体でもプレーをしなければという気持ちであった。そしてその会の検討テーマとして選んだのが「排水性舗装」である。

排水性舗装は、我が国でも東京都が低騒音性に注目し昭和58年に環状7号線で試験舗装をして以来調査・研究が続けられていた。また、当時国際的にはヨーロッパを中心として盛んに行われていて、その実績・経験が我が国に紹介され、それに基づく試験舗装も各地で実施され始めた所であった。勉強会では、世界道路会議 (PIARC) のアスファルト舗装委員会と路面性状委員会が作成中であった「ポーラス舗装」の原案なども参考にして、国内外の情報を集め、問題点の抽出と取り組みについて議論した。

約2年間の成果をまとめたものが「排水性舗装に関する報告書」(平成5年1月 日本道路協会)である。そして同年7月にはシェーンバッハ・砂防で「排水性舗装の現状と今後の課題」のシンポジウムを開催した。報告書およびシンポジウムの内容は決してハイレベルではない。しかし本邦最初の報告書、シンポジウムという思い上がりのた

めか、大変楽しく仕事をさせてもらった。特にシンポジウムでの、道路公団の青木さんの報告「排水性舗装の施工箇所の事故率は通常の所の1/10程度である」はこの舗装の将来性を示唆するように思え、非常に感銘して聞いたことを覚えている。

土木研究所舗装研究室の作成した排水性舗装施工実績によると、勉強会を始めた平成3年度は20万㎡強、シンポジウム開催の5年度は約100万㎡、そして8年度は300万㎡余りである。約5年間で15倍の伸びを示しているし、特に6～8年度は倍々の増加である。

また排水性舗装は昨年開催された第22回日本道路会議の舗装部会・特定課題に取上げられている。その結論は「材料、配合、施工の改善により、技術的な完成度は高くなっている。今後の課題としては、騒音低減機能などの機能のさらなる向上、適用箇所の拡大、洗浄による機能回復等合理的な維持方法および建設コストの縮減などが挙げられる。」とされている。

施工実績の伸び、特定課題の結論から推察されるように、我が国の排水性舗装は試験施工の段階を過ぎ、本格的な実用段階に入ってきたといえるのではないだろうか？平成9年度の集計は出されていないが、施工実績は500万㎡近くになろうといわれているし、当面する課題も、既に施工の可否ではなく、機能の向上、施工後の維持、経済性などである。

今回の特集では、このような情勢を認識し、多様な道路の管理者から「排水性舗装の現状と課題」について執筆していただいた。これらの情報を集成・通読すれば、実用段階に入った、我が国の排水性舗装の全体像が浮かび上がってくるのではないかと考えたからである。この特集が排水性舗装に関心を持たれている方々にとってよき情報源となるとともに、排水性舗装の技術が進展し道路利用者へのサービス向上が図られることを心から期待するものである。

排水性舗装の取り組み

(Present Situation of Drainage Pavement)

平 出 純 一*

排水性舗装は、近年、特に都市部における道路交通騒音対策として採用されることが多くなってきている。本稿は、排水性舗装について、機能と施工目的、騒音低減効果、施工実績、今後の展開について紹介するとともに、排水性舗装に関する課題とその解決に向けての各方面の取り組み状況について、排水性舗装技術指針（案）をはじめとする既存の文献からとりまとめ紹介したものである。

1. はじめに

排水性舗装とは、表層に多孔質なアスファルト混合物を舗設することにより、雨天時の車両の走行安全性を向上させ、また、車両の走行騒音を低減させることを目的とした舗装である。アメリカで1930年代に初めてポーラスアスファルトが登場して以来、アメリカでは薄層の滑り止め舗装として、ヨーロッパでは低騒音舗装として普及してきている。

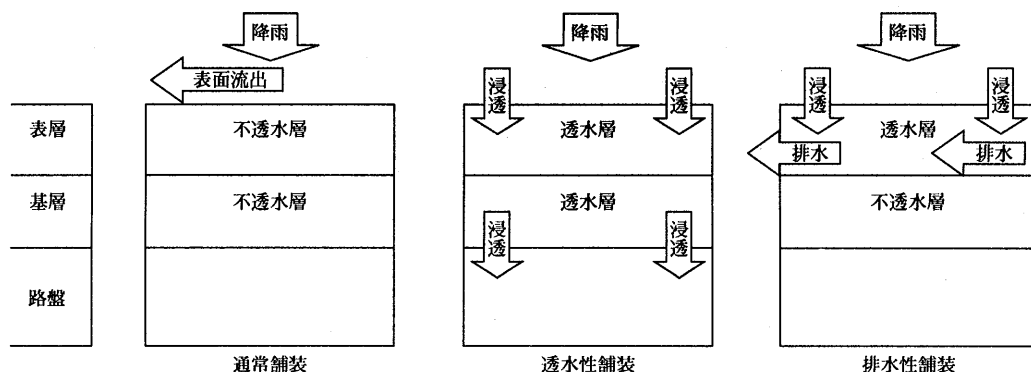
我が国では、昭和62年度の東京都での初施工の後、着実に施工実績を伸ばしてきている。排水性舗装の持つ走行安全性の向上、走行騒音低減といった機能は、交通安全、環境の両面から今後の道路整備において一層重要なものになると考えられる。

2. 排水性舗装の機能と施工目的

排水性舗装は、空隙率の高い多孔質なアスファルト混合物（排水性混合物）を表層または表層と基層に用

い、排水性混合物層（排水機能層）の下に不透水性の層をもうけることにより排水機能層に浸透した水が不透水性の層の上を流れて排水処理施設に速やかに排水され、路盤以下へは水が浸透しない構造としたものである（図－1 排水性舗装の概念図）。これに対し、空隙率の高いアスファルト混合物を用い、路盤以下へ水が浸透する構造とした舗装として透水性舗装がある。透水性舗装は、都市域の歩道においてすでに多くの施工実績があるが、これを交通量の多い車道に適用することについては、路盤への水の浸透による舗装の耐久性への影響等について現在では研究段階であるため、車道においては路盤以下へは水を浸透させない排水性舗装を採用している。

排水性舗装は、以下の2つの機能を有しており、特に近年は、都市部の幹線道路沿道の騒音低減を目的として採用される場合が多くなってきている。
〔車両の走行安全性の向上〕



図－1 排水性舗装の概念図

*ひらいで じゅんいち 建設省道路局国道課特定道路専門官

- ・雨天時のすべり抵抗性の向上（ハイドロプレーニング現象の緩和）
- ・走行車両による水はね、水しぶきの緩和による視認性の向上
- ・雨天夜間時におけるヘッドライトによる路面反射の緩和
- ・雨天時における路面表示の視認性の向上

〔沿道環境の改善〕

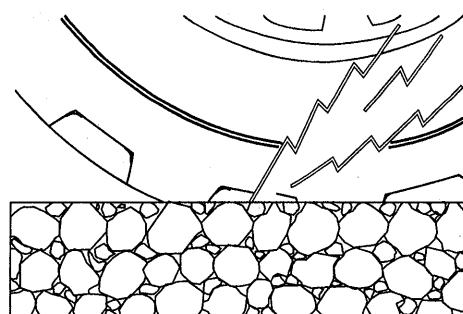
- ・車両走行による道路交通騒音の低減（エンジン音などの機械音の吸収、エアポンピング音の発生抑制）
- ・沿道への水はね抑制

排水性舗装の騒音低減効果は、自動車の走行により発生するタイヤ路面騒音を発生源において低減することと、エンジン騒音、吸排気騒音等を伝搬過程で吸収することによりもたらされている。発生源としては、自動車の走行時にタイヤのトレッドと路面の間の空気が圧縮、膨張することにより、タイヤ路面騒音の一部であるエアポンピング音が発生するが、多孔質な舗装の連続した空隙により空気の圧縮、膨張が押さえられエアポンピング音が減少することにより騒音が低減する（図-2 エアポンピング音の抑制原理）。伝搬過程においては、自動車のエンジン、吸排気騒音等が路面で反射して沿道地域へ伝搬するが、排水性舗装の表面にある空隙が騒音の一部を吸収する事で沿道に伝搬する騒音を低減している（図-3 路面反射音の吸収原理）。

3. 騒音低減効果

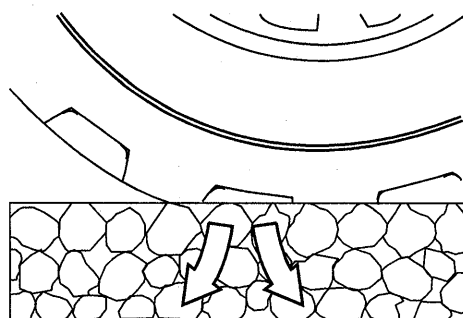
建設省土木研究所における排水性舗装の騒音低減効果の調査では、以下の結果が得られている。なお、調査には、排気量2000ccの乗用車、積載重量2tの小型貨物車、積載重量10tの大型貨物車を使用している。

- ・排水性舗装の騒音低減量は、乗用車では0～5



〔通常舗装〕

タイヤ溝と舗装面の間に挟まれた空気の逃げ道がなく、空気圧縮音、膨張音が発生する



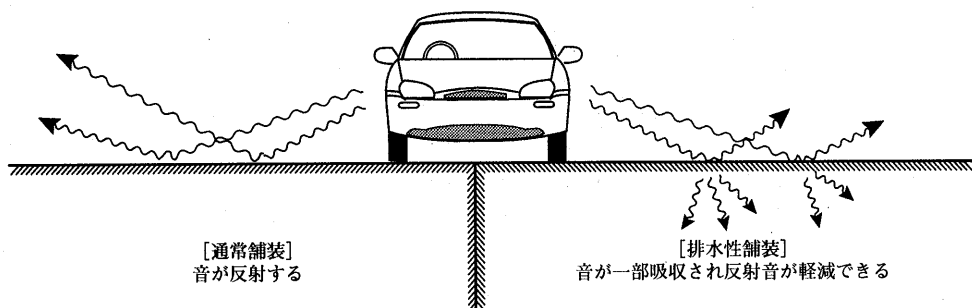
〔排水性舗装〕

空隙に空気が逃げ、音が生じにくい

図-2 エアポンピング音の抑制原理

dB、小型貨物では2～4 dB、大型貨物車（定積載）では2～5 dBである。

- ・排水性舗装の空隙率の違いによる騒音低減量の差はあまり大きくはないが、騒音低減効果を任意の車種に対して期待するには、空隙率は20%程度以上を確保する必要がある。
- ・吸音効果によるエンジン音は、エネルギーベースで密粒舗装の場合の40～60%に低減する。
- ・高速度域では、タイヤ音に占めるエアポンピング音の発生量が密粒舗装に比べてかなり小さく、エ



〔通常舗装〕
音が反射する

〔排水性舗装〕
音が一部吸収され反射音が軽減できる

図-3 路面反射音の吸収原理

アポンピング音の低減が大きな騒音低減要因となっている。

このような結果や施工実績を踏まえ、アスファルト混合物内の連続空隙を利用した低騒音舗装は、新設時における密粒度アスファルト混合物を表層とする従来のアスファルト舗装に比較して、3～5 dBの騒音低減効果があるとされている。

4. 施工実績

排水性舗装の施工初期の段階では、主に雨天時の車両の走行安全性の向上を目的として施工され、施工実績にしめる高速道路の割合が高かったが、最近では環境問題への対応から舗装に対しても騒音低減機能などの環境性能を求める傾向が徐々に強くなってきており、建設省直轄国道をはじめとする都市域の幹線道路での施工実績が伸びてきている。

平成8年12月の排水性舗装技術指針(案)(社団法人日本道路協会)の刊行もあり、現在では正確な施工面積を把握することができないほど施工実績が増えており、平成8年度末時点の推定で800万㎡を越えている(図-4 排水性舗装の施工実績)。今後解決しなければならない課題があるにせよ、喫緊の課題となっている道路の騒音対策の一つとして、一層導入が進められるものと見込まれる。

建設省では、道路交通騒音対策については、長期構想として夜間要請限度を概ね達成又は夜間において屋内保全目標を達成する水準の概成を図ることとし、平成10年5月に策定された新たな道路整備五箇年計画では、平成10～14年度の五箇年間で低騒音舗装を3400km施工することとしている。

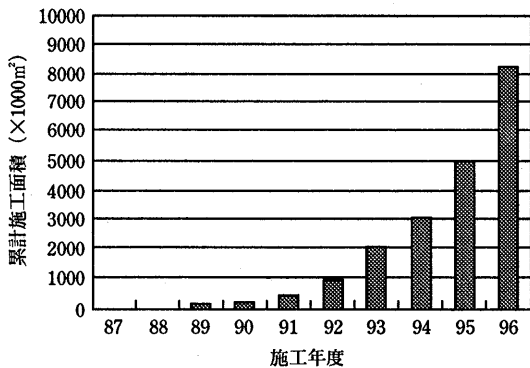


図-4 排水性舗装の施工実績

5. 今後の課題

排水性舗装技術指針(案)には、以下の課題が掲げられている。これらの課題については、建設省土木研究所をはじめ多方面で検討が進められており、一部についてはその検討状況をあわせて示す。

5.1 適用箇所に関する課題

中・軽交通量道路には、不透水性の層として瀝青安定処理路盤、バインダとしてストレートアスファルトや改質アスファルトⅠ型・Ⅱ型を採用するなどの簡素化・低廉化に向けた検討が期待される。

また、鋼床版上への適用、積雪寒冷地等での適用にあたっては、たわみ追従性や床版防水効果への影響、タイヤチェーンによる空隙づまり等の配慮が必要であり、技術的研究・開発が期待される。

鋼床版舗装用の高粘度改質アスファルトの試作も行われており、建設省土木研究所で行った調査によれば、通常の高粘度改質アスファルトより大きな曲げ疲労抵抗を有することが確認されている。また、床版面の排水対策については、導水パイプの設置や水抜き孔の適切な配置によって対処している。

5.2 仕様に関する課題

中・軽交通量の道路における構造の簡素化の検討や、排水機能層厚についての検討が必要である。また、排水性の機能確保に関しては、粗骨材の性状による影響が大きい。骨材の性状を定量的に規定するまでの知見が得られていないことから、今後、骨材の性状について新たな評価指標も含め、満たすべき性状を確定していく必要がある。

混合物の空隙率については、同じ数値であっても空隙の形状によって騒音低減機能が異なり、空隙の形状は粗骨材の形状に大きく左右され、理想的な粗骨材形状としては、扁平なものや細長いものを含まない、立方体や球に近いものとされている。しかし、砕石をこのような形状に修正することは、技術的には可能であるが、産業廃棄物となる砕石スラッジの発生により粗骨材単価が上昇することとなる。

また、骨材の粒径については、排水機能や騒音低減機能を高める目的で空隙率を上げるには、最大粒径を小さくし、最小粒径を大きくした、粒度範囲が非常に狭い骨材が理想的である。しかし、現在の粗骨材製造方法では、特定の粒径の砕石だけを製造することはできないので、砕石の製造バランスを崩し砕石の価格に影響することとなる。

5.3 機能の持続性に関する課題

排水性舗装の管理上の課題としては、空隙つぶれや空隙づまりによる機能の低下が挙げられる。空隙つぶれは、骨材を被覆するアスファルトが夏期の高温時に流動を起こしたり、走行車両のタイヤによってアスファルトモルタルが引きずられることにより生じる。したがって、このような機能の低下をできる限り避けるための機能の持続性の向上ならびに低下した機能の回復手法の開発も今後の大きな課題である。

しかし、一旦空隙つぶれを起こしてしまった排水機能層の機能を改善する方法はなく、切削オーバーレイ等によって排水機能層を更新するしか対策はない。空隙つぶれは、アスファルト混合物の配合設計に誤りがあった場合や、バインダが十分な耐流動性を有していない場合に発生するが、現在では、バインダメーカーの工夫により、高粘度改質アスファルトの性状は初期のものよりかなり改善されており、配合設計方法が確立されたこともあいまって、空隙つぶれは発生しにくくなっている。

空隙づまりは、排水機能層の空隙を車両が持ち込んだ土砂等が埋めてしまうことにより生じる。空隙づまりは、空隙に詰まっている土砂を取り除けば解消することができる。このため、圧力をかけた水を路面に噴射し、空隙を埋めた土砂等を水とともに回収する機能回復車が実用化されている。空隙の機能を示す指標として現場透水試験が用いられている。現場の透水量は施工から1年程度でおおよそ半減することが多く、洗浄によりある程度回復するが、現場透水量がある程度以上低下すると洗浄による機能回復が望めなくなる。実際の道路管理においては、

①どの程度まで透水量が低下したら洗浄すべきか

②洗浄の頻度

③洗浄によりどの程度の機能回復を期待するかが重要となるが、これらについては今後のデータの蓄積と分析に期待するところである。

5.4 騒音低減効果に着目した適用

排水性舗装の騒音低減効果に着目した施工例は急速に増加しているが、我が国における施工事例はまだ限られており、排水性舗装の騒音低減機能については未解明な部分も多い。排水性舗装が施工直後で数dBの騒音低減効果を有していることは定性的には確認されているが、排水機能層の厚さや粗骨材最大粒径といった排水性舗装の仕様と初期の騒音低減効果や効果の持続性との間を定量的に把握できる段階には至っていない。さらに本格的に排水性舗装の騒音低減効果を活用していくためには、その騒音低減効果、効果の持続性に関する調査研究を一層進めるとともに、効果的に騒音を低減し、機能を持続させるための仕様、施工法、管理方法などについての技術開発を行い、施工実績を積み重ねるとともに種々のデータを蓄積、解析していくことが必要である。

排水性混合物を使用した舗装は、密粒度アスファルト混合物を思量した舗装より、新設時においては低騒音であることが知られているが、定量的にどの程度の効果となっているのかは確認できない。タイヤからの発声音、路面での吸収音についての測定方法も検討されてるが、規格として定められるに至っていない。今のところ、施工直後の現場透水試験の結果をもって間接的に騒音低減効果があるものと推定しているが、本来は定量的に確認することが望ましい。

— 参考文献 —

- 1) (株)日本道路協会：排水性舗装技術指針(案)、平成8年10月
- 2) 池田拓哉：低騒音舗装の現状、アスファルト Vol. 40 No.195、1998年
- 3) 久保和幸：排水性舗装、アスファルト Vol.39

No.189、1996年

- 4) 大西博文：最近の低騒音舗装技術について、道路建設、平成9年8月
- 5) 鈴木克宗：道路舗装研修テキスト、(財)全国建設研修センター、平成9年7月

☆

☆

☆

☆

☆

☆

一般国道43号における環境対策と排水性舗装について

(Drainage Pavement in National Highway 43 as an Environmental Measure)

大 嶋 勝 彦*

一般国道43号における環境対策は、平成7年7月7日の最高裁判決を受け、道路構造における環境対策だけでなく、沿道対策、交通流対策といった総合的な観点からの環境対策を実施しており、排水性舗装は環境対策の一環として約40万㎡実施している。

排水性舗装の概要は、舗装厚5cm、高粘度改質As、骨材最大粒径13mm、目標空隙率20%で、道路端部の排水処理にあたっては工期の短縮及びコスト縮減を図るため、プレキャスト縦断管渠、柵を用いて排水性舗装を実施している。

1. はじめに

一般国道43号は、大阪市西成区出城(一般国道26号)から神戸市灘区岩屋南町(国道2号)までの延長約30kmの阪神間の大動脈として沿線地域の主要交通に欠くことのできない道路である。

一般国道43号は、昭和21年5月に戦災復興都市計画街路として計画され、同年9月に戦災復興区画整理事業として用地取得に着手し、昭和38年10月に兵庫県側の20.2kmを供用開始し、大阪府側の延長9.7kmのうち、

昭和45年に8.9km、平成元年9月には残りの0.8kmを供用し全線供用となった。

なお、昭和45年2月には国道43号の上に高架構造で阪神高速道路西宮線が大阪万国博覧会に併せて供用開始している。

また、この頃から環境問題が浮上し、昭和51年8月30日には一般国道43号線 阪神高速道路騒音・排気が

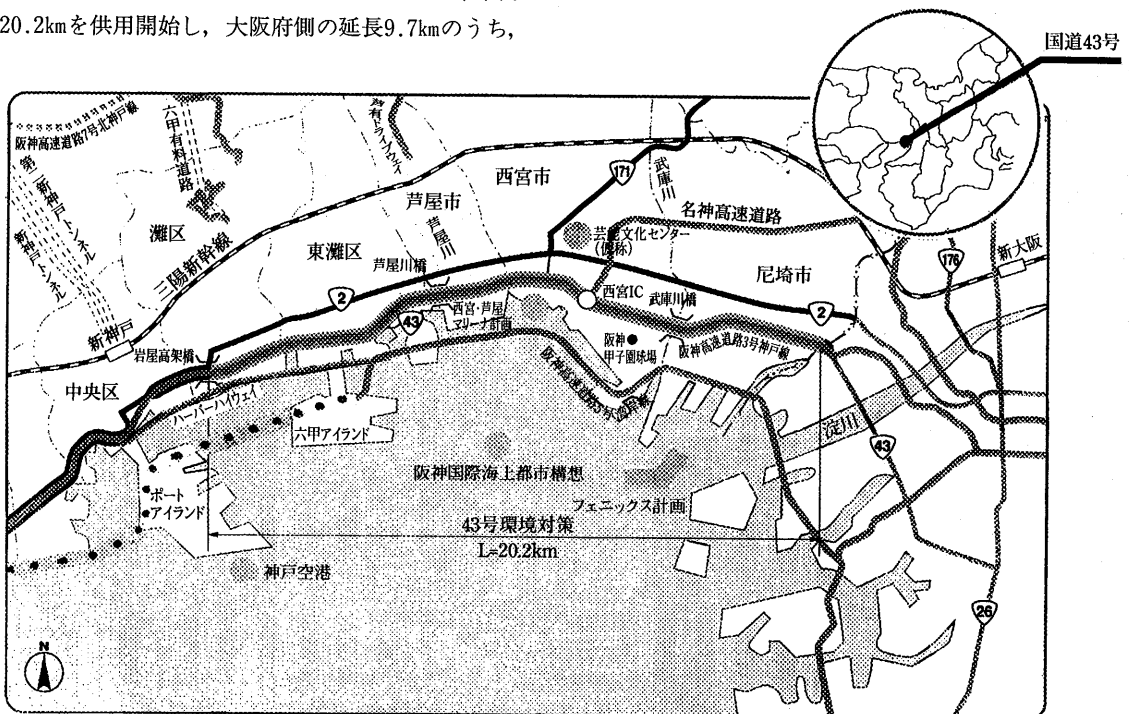


図-1 一般国道43号環境対策区間

*おおしま かつひこ 建設省近畿地方建設局兵庫国道工事事務所調査課専門職

ス規制等請求事件が152名から訴訟提起され、平成7年7月7日に最高裁判決が下された。その概要は、騒音65ホン以上の原告及び道路からの距離が20m以内の60ホンを超える原告に対し騒音による睡眠・会話等の生活妨害を認容するものであった。

道路管理者としても最高裁の判決が下るまでにも種々の環境対策を実施しており、また、判決後においては道路構造における対策だけでなく、沿道対策、交通流対策といった総合的な観点からの環境対策を実施している。

本報告では、一般国道43号における総合的な観点から実施している環境対策について報告するとともに、環境対策の一環である排水性舗装についても併せて報告する。

2. 国道43号における環境対策

2.1 経緯

当初（昭和32～45年）の国道43号は、幅員50mの10車線（片側5車線）の平面道路（図-2）であったが、昭和45年2月から43号の上に4～6車線の高架構造の阪神高速道路西宮線が完成し複断面構造となった。

（図-3）

昭和50年からは、沿道環境の改善を図るべく外側の1車線ずつを削減して緑地帯を設置し、緑地帯設置後の国道43号は8車線（片側4車線）の道路となった。

（図-4）

その後、平成6年4月の阪神高速道路5号湾岸線の供用に伴う交通量の減少等を踏まえ、平成6年12月には片側直進4車線を3車線化することで一部工事に着手したが、平成7年1月17日の阪神・淡路大震災により国道43号も被害を受け早期復旧工事に取り組んだ。

そういった中、平成7年7月7日の最高裁判決を受け、関係省庁及び自治体等により「国道43号・阪神高速神戸線環境対策連絡会議」を設置し、国道43号の環境対策について総合的な観点から推進すべく検討し、平成10年3月には道路構造における環境対策工事は概ね完成した。（図-5）

2.2 環境対策

国道43号の環境対策にあたっては、道路構造対策、沿道対策、交通流対策といった総合的な観点から検討を進めている。

(1) 道路構造対策としては、国道43号においては3車線化によって生み出された空間を活用し、緑地帯を拡幅整備するとともに路面から5mの遮音壁を設置

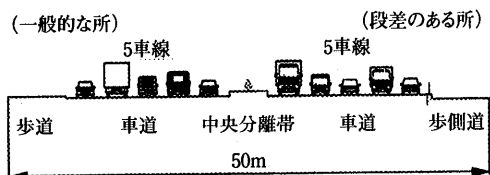


図-2 10車線（片道5車線）の国道43号

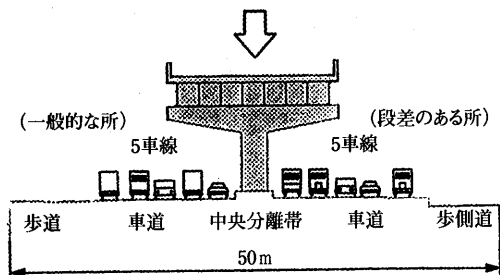


図-3 阪神高速道路と複断面構造になった国道43号

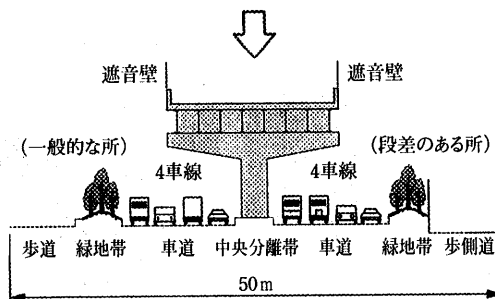


図-4 緑地帯を設置した片道4車線の国道43号

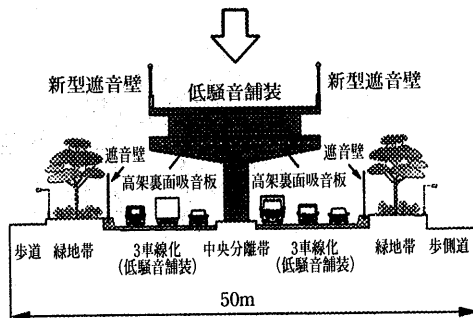


図-5 片道3車線の国道43号

した。また、低騒音舗装としてタイヤ騒音やエンジン音を吸収する効果のある排水性舗装を敷設した。

阪神高速3号神戸線においては、従来の遮音壁の上に新型遮音壁や高層住宅への対応として高遮音壁を設置している。また、高架裏面吸音板による国道43号の反射音並びに高架橋からの音抜け対策を行うとともに、国道43号同様に低騒音舗装を敷設し、より一層の沿道環境の改善に努めている。

(2) 3車線化等の道路構造と併せて関係機関と連携を図り、沿道対策として国道43号沿道における住民発意に基づくまちづくり等を支援するとともに、「幹線道路の沿道の整備に関する法律」の拡充を図ることとしている。また、環境防災緑地の積極的整備や道の駅等の計画的整備を進めることとしている。

(3) 交通流対策として発生交通量の低減や道路網整備による代替機能の確保や交通管理・交通規制・運用による対策を実施していくこととしている。また、これらについて道路利用者への協力要請を進めていく。さらに、防災機能の向上と併せて環境対策として広域防災帯の整備を進めている。(図-6 広域防災帯)

3. 排水性舗装

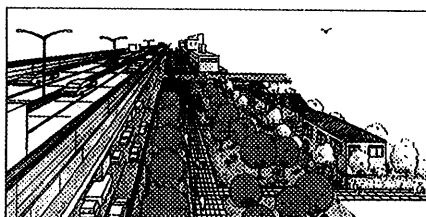
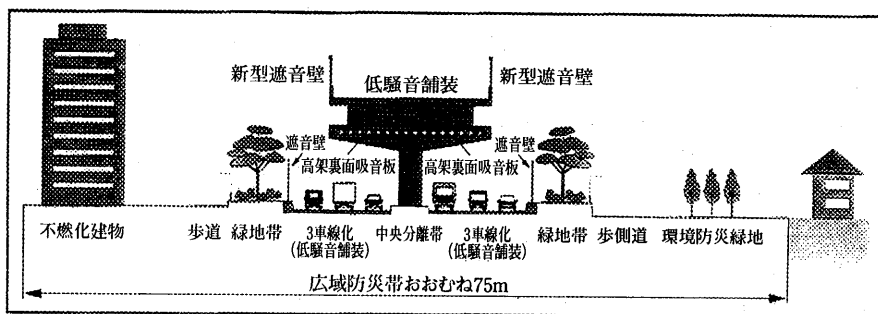
3.1 概要

国道43号の環境対策としては、道路構造対策、沿道対策、交通流対策について実施しているところであるが、本報告では道路構造対策の一環として騒音を低減するために行った「排水性舗装」について報告する。

なお、国道43号は神戸～大阪を結ぶ重要幹線道路で交通量（特に大型車が多い）も多く、排水性舗装の施工にあたっては、交通の確保とともに震災復旧を早期に行うため、プレキャストの管渠等を用いて工期の短縮とコストの縮減等を考えながら施工を行なった。

3.2 排水構造

排水構造は、基層（再生粗粒度 $t=5\text{cm}$ ）表面にタックコートを散布したうえで不透水層を設け、厚さ5cmの排水舗装を敷設し、舗装端部の縦断管渠へ排水している。なお、国道43号は4車線から3車線にするため既設排水管の利用はできないので、工期の短縮及びコスト縮減を図りながら、新たにプレキャスト管渠(20



国道43号広域防災帯イメージ図

広域防災帯は

- ① 国道43号とこれに隣接する環境防災緑地、公園及び不燃化建物等から構成している。
- ② 標準幅員は概ね75m。
- ③ 環境防災緑地や不燃化建物で市街地大火時における延焼を防ぐ。
- ④ 避難者を炎や輻射熱から守る避難者通行路となる。
- ⑤ 道路環境を改善し、たまりの空間を提供する。

図-6 広域防災帯

路線名：一般国道43号

施工規模：約40万 m^2 (20.2km $\times$ 3.25m $\times$ 6車線)

交通量：84,000台/日 (大型車混入率20~30%)

排水性舗装：高粘度改質アスファルトコンクリート ($t=50\text{mm}$)

骨材の最大粒径 13mm

目標空隙率 20%

目標透水係数 10^{-2}cm/sec

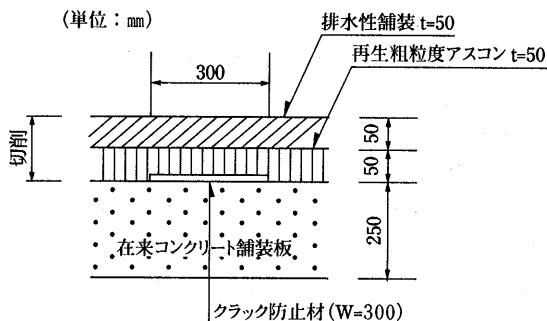


図-7 排水性舗装構成

cmピッチの有孔管)等を用いて排水処理する構造とした。

図-8に国道43号における排水構造を示す。

3.3 材 料

排水性舗装は、重交通での実績のある高粘度改質アスファルト(針入度 40° 以上、軟化点 80° 以上、 60°C 粘度におけるアスファルトの絶対温度が $20,000\text{P}\cdot\text{S}$ 以上)、粗骨材は騒音低減効果のある最大粒径 13mm (6号砕石)、バインダーの標準量は 5.0% とし、バインダーのダレ防止として植物性繊維を混合物重量に対し 0.1% 程度添加した。

タックコートはゴム入りアスファルト乳剤(PKR-T1)とし使用量は m^2 あたり $0.4\sim 0.6$ リットルで、性状はJEAAS(日本アスファルト乳剤協会規格)を満足するものとした。

3.4 施 工

国道43号の排水性舗装の施工にあたっては、交通量が多く主要幹線道路とも数多く交差しており、関係機関と交通規制等について調整した結果、片側直線3車線区間については1車線規制を行い、主要交差点部においては原則として6分割施工で実施した。なお、国道43号は環境対策面から昼間施工で行った。

施工手順としては、既設のアスファルト舗装の切削を行うとともに、既存コンクリート舗装版のクラック防止の処置を行い、基層(粗粒度アスファルト $t=5\text{cm}$)を敷設した上にタックコート(アスファルト乳剤PKR-T1)を m^2 あたり $0.3\sim 0.6$ リットル散布した。

なお、国道43号の兵庫県下 20.2km のうち約 $2/3$ の区間の下層にはコンクリート舗装版($t=25\text{cm}$)があり、既設舗装面にクラックが生じている箇所についてはコンクリート舗装版1枚あたり3孔を標準として直径 $50\sim 60\text{mm}$ の削孔を行い、コンクリート舗装版下へブローンアスファルトを注入しクラックが生じないように対策している。さらに、リフレクションクラックがあ

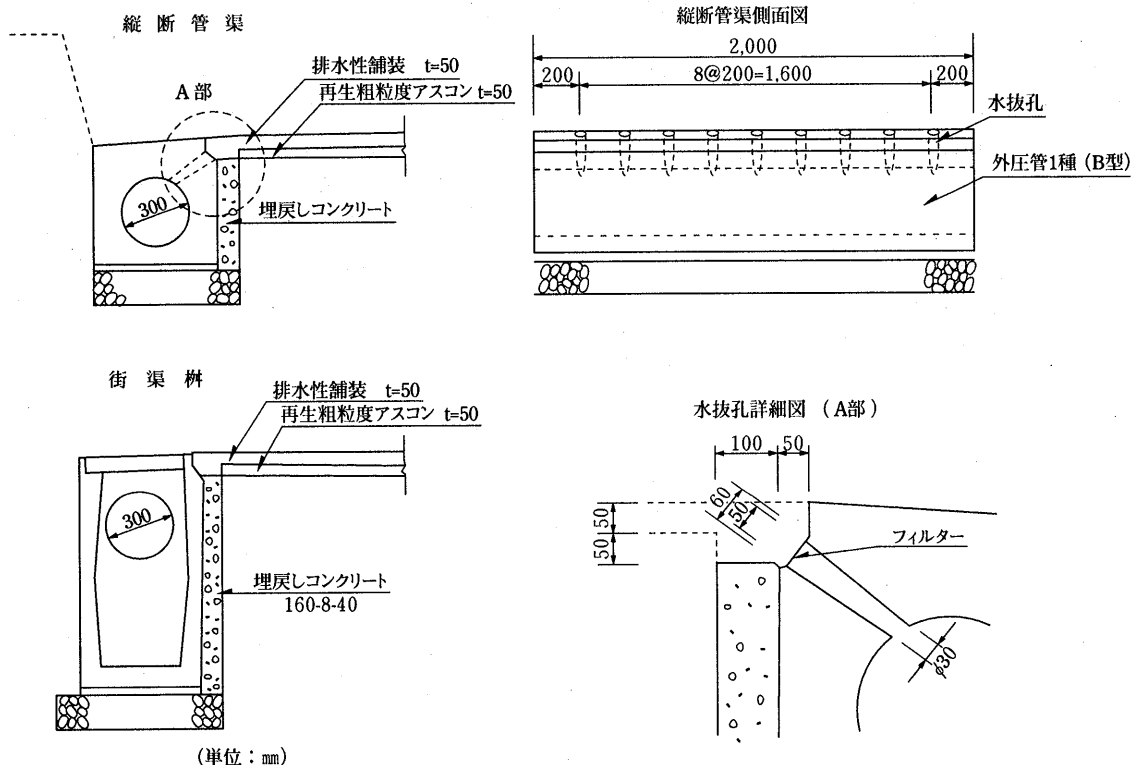
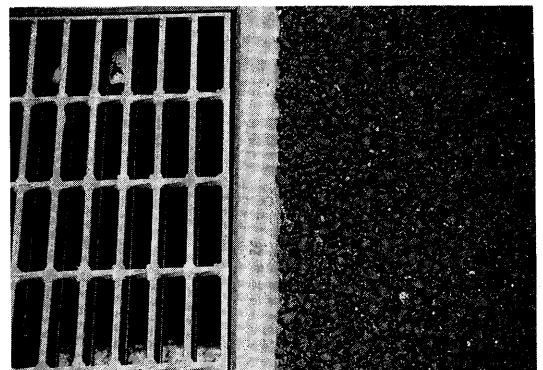


図-8 排水構造一般部

る箇所についてはクラック防止材(PMシート W=300mm)を設置し、クラックが生じないように施工している。

排水性舗装の合材の混合・運搬については、アスファルトプラントにおいて生産した合材(目標出荷温度 $175^{\circ}\text{C}\pm 10$)に異物の混入を防ぐためにあらかじめダンプロックを清掃し保温のため二重シート等で保護した。

合材到着後は、合材温度を確認し速やかにアスファルトフィニッシャーにて縦横断勾配に気を付け平坦になるように敷き均した。なお、開粒タイプの合材であるため人力敷き均しは極力さけ、敷き均し合材温度は 160°C を目標とし $\pm 10^{\circ}\text{C}$ で管理した。

合材敷き均し後、マカダムローラによる一次転圧(片道4回)で規定の密度を得るようにしてタンデムローラにて仕上げ転圧(片道4回)を行い排水性舗装の施工を実施した。

なお、車両解放温度は 50°C 以下とした。

4. 環境対策の効果

国道43号における環境対策効果としては、総合的な観点からの環境対策を行っているため、排水性舗装施工後の騒音の低減効果については測定していないが、一般に、最大粒径13mm、空隙率20%、舗装厚5cmにおける排水性舗装の騒音低減効果は、密粒舗装と比較して3~5dBの騒音低減効果があると云われている。

排水性舗装の騒音低減効果を含んだ総合的な観点での環境対策効果については、以下のとおりと考えられる。

- ① 各種の環境対策の効果がどの程度あるか把握するため、基本条件(震災前後の交通量は変わらない各市を代表する地点の1, 2階相当の高さ)に基づき

試算した結果、国道43号の震災前の現況騒音(計算値)は、 $\text{Leq}(24\text{h})$ で72~75dBとなっている。

- ② 国道43号の3車線化等の道路構造対策(排水性舗装、遮音壁、緑地帯の拡幅等)を実施した場合、騒音値(Leq)は6~7dBの低減効果が考えられる。また、道路構造対策と併せ環境防災緑地の整備が進めば8~9dBの低減効果がある。

さらに、沿道対策が進み緩衝建築物(5階以上)が整備されたとすると9~10dBの低減効果が考えられる。

- ③ 交通流対策による騒音の削減効果についてみると、交通規制により大型車の交通量が半減したと仮定した場合1~3dBの低減効果が期待できる。また、国道43号の規制速度(40km/h)が遵守された場合、約2dBの低減効果が考えられる。

今後は、これらの環境対策に加えて自動車単体対策、道路網の整備による交通の転換、物流対策等の総合的な環境対策に向けて検討しているところである。

5. 今後の課題

国道43号の環境対策としては、道路構造における対策だけでなく、沿道、交通流対策の観点から総合的に対策を行っているところであり、沿道環境の改善効果については、今後、検証等の実態調査を順次行っていくこととしている。

また、排水性舗装の維持管理については、空隙づまり、空隙つぶれ等が考えられ、排水及び吸音率の機能低下に大きく影響することから維持管理が重要となる。

さらに、一般舗装の補修のようにポットホール、ひびわれ、骨材の剥離・飛散、そして、占用物件埋設工事などに対処するための技術開発が今後の大きな課題といえる。

☆

☆

☆

☆

☆

☆

エポキシアスファルトを用いた排水性舗装

(Drainage Pavement using Epoxy Asphalt)

村 松 正 明*・山 本 晋 也**

排水性舗装の有する機能は、空隙率の大きな多孔質のアスファルト混合物を用いるため、供用後は塵埃などによる空隙づまりや交通荷重による空隙つぶれによって機能が低下することが確認されている。このような機能低下を改善するため、従来の高粘度改質アスファルトをさらに高性能化した排水性舗装用エポキシアスファルトを用いた排水性舗装の室内試験～試験施工に至る経緯の概略をとりまとめたものである。

1. はじめに

排水性舗装は、雨天時の車両走行の安全性向上や車両走行により発生する騒音の低減、歩行者への水はね防止など多くの機能を有することが認められている。その施工実績は、我が国ではすでに約800万㎡に達したと云われている。平成8年11月「排水性舗装技術指針(案)」(財)日本道路協会により配合設計や施工方法など基本的な考え方が示されたことも加わり、建設省九州管内でも約40万㎡(平成9年度までに)の施工実績に到り、今後もさらに増え続けることが予想される。しかしながら、排水性舗装の有する機能は交通荷重による空隙つぶれや塵埃等による空隙づまりによって比較的早い時期に低下することが確認され、機能の持続性の確保と低下した機能の回復方法の開発は大きな課題である。

このような機能の低下をできるだけ避けるための対策として、各機能の向上と空隙つぶれに対しては、混合物の配合設計やバインダの高性能化の検討が進められている。一方の空隙づまりに対しては、高圧噴射水を用いた機能回復機械が開発され、一部で実用化されている。

本文は、これらの経緯を背景として従来の排水性舗装をさらに高性能化する混合物を見だし、実路での試験施工とその追跡調査に至るまでの経緯を概略とりまとめたものである。

2. 室内試験

2.1 試験方針

排水性舗装は、排水機能を維持するとともに耐流動性や耐離脱飛散などの力学特性と耐水性や耐候性など耐久性に優れているものでなければならない。一般的には、排水性舗装の機能効果と耐久性はともに舗装混合物の空隙率に大きく依存するが、それぞれの関係は図-1のようになると考えられている。すなわち、空隙率には両者(耐久性と機能効果)を満足する範囲が存在し、その下限は機能効果(透水性)によって、上限は耐久性(耐摩耗性、耐剥脱飛散性)によって決定される。

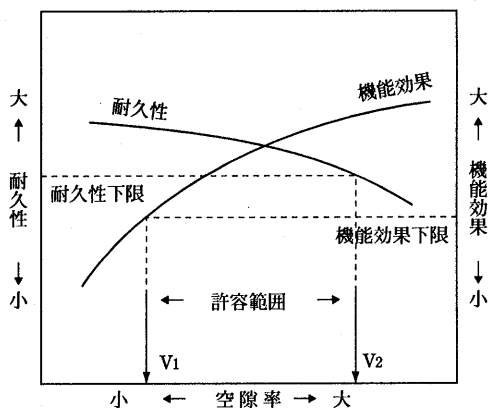


図-1 機能性舗装として必要な条件

また、実用的な混合物特性を得るためには、とくに適切なバインダー量を選定する必要がある。図-2示すように所要の空隙率が確保され、しかも混合物の安定性が確保できる骨材間結合力を持つバインダ量とすることが必要である。

*むらまつ まさあき 建設省九州地方建設局九州技術事務所長

**やまもと しんや 建設省九州地方建設局九州技術事務所調査試験課材料試験係長

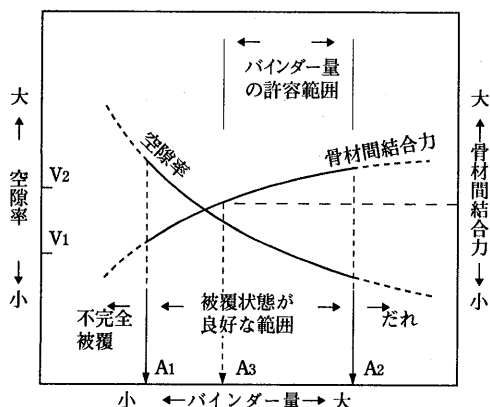


図-2 実用的な混合物特性を得るための条件

従来の排水性舗装をさらに高強度化、高機能化する排水性混合物を見いだすため今回の試験では、以下の検討を行った。

- 1) 排水性混合物の配合設計方法は、「排水性舗装技術指針(案)」(この時点では、まだ原案で以下、指針原案という)に示される方法を採用して、混合物の最適アスファルト量(以下、OACという)を設定するが、その適用性も併せて検討する。
- 2) 従来の高粘度改質アスファルト(以下、高粘度アスという)をさらに高性能化した排水性舗装用エポキシアスファルト(以下、エポアスという)を使用することによって骨材間結合力の強化を図る。
- 3) 高粘度アスの排水性舗装体にトップコート材(樹脂含浸)を施し舗装体を強化する。
- 4) 目標空隙率を従来の排水性混合物の20%から25%に大きくして機能を増大させる。
- 5) 排水性混合物に使用する骨材を単粒化(13~10mm, 10~5mmに分級して粒径を均一にする)して連続空隙率を増加させる。

2.2 試験配合の種類

これまでに述べた検討条件に基づいて、室内試験に供する排水性混合物の配合は表-1に示す11種類とした。ただし、混合物の性状試験は配合No.②③⑧(備考欄に※印を付す)を除く8種配合について実施した。

2.3 使用材料

表-2は、試験配合の使用材料を示したものである。なお、単粒化骨材(13~10mm, 10~5mm)は、室内において碎石6号(13~5mm)を粒度調整したものを試験に用いた。

2.4 試験方法

室内試験は、指針原案に示された配合設計フローに

準拠した。混合物の性状試験としては、マーシャル安定度試験、室内透水試験、ホイールトラッキング試験を実施した。各試験に対する目標値は表-3のとおりである。また、表-4はエポアスの供試体作成時の試験条件を示したものである。

表-1 試験配合の種類

配合No.	骨材最大粒径(mm)	目標空隙率(%)	バインダ種別	備考
①	13	20	高粘度アス	
②	13	20	エポアス	*
③	13	25	高粘度アス	*
④	13	25	エポアス	
⑤	20	20	高粘度アス	
⑥	20	25	エポアス	
⑦	13~10	25	高粘度アス	
⑧	13~10	25	エポアス	*
⑨	10~5	20	高粘度アス	
⑩	13	25	高粘度アス	樹脂含浸
⑪	20	25	高粘度アス	樹脂含浸

表-2 使用材料

材 料 名	産地および納入者
骨	碎石5号 熊本県鹿本郡鹿北町
碎石6号	〃
単粒碎石(13~10)	〃
単粒碎石(10~5)	〃
材	細砂 長崎県杵岐島沖
石粉	熊本県玉名郡玉東町
消石灰	田川市大字位登
バインダ	高粘度アス ㈱ブリヂストン
エポアス	昭和シェル石油㈱
トップコート材	鹿島道路㈱

表-3 排水性混合物の目標値

項 目	目 標 値
突固め回数(回)	両面各50
空隙率(%)	目標値±1
透水係数(cm/sec)	10 ⁻² 以上
安定度(kgf)	350以上
動的安定度(回/mm)	1500以上

表-4 エポアスの試験条件

項 目	条 件
バインダ(A液)温度	150℃
バインダ(B液)温度	常 温
骨 材 温 度	150℃
混 合 温 度	140℃
加熱貯蔵温度	140℃
加熱貯蔵時間	1時間
試 験 温 度	室 温

2.5 室内試験結果

2.5.1 配合設計

排水性混合物の配合設計は、基本的には指針原案に示される方法をいくつか修正することで適切なOACを得ることができると判断される。

試し突き用の暫定アスファルト量については、暫定アスファルト量計算式の仮定膜厚を指針原案では14 μ mとしているが、図-3で示すように九州管内におけるOACの実績と対比すると仮定膜厚12 μ mの値がこれまでの実績とほぼ合致している。また、図-4で示した仮定膜厚14 μ m時の所要アスファルト量でも明らかに過剰と観察されることから、本試験では、仮定膜厚12 μ m時のアスファルト量を採用した。

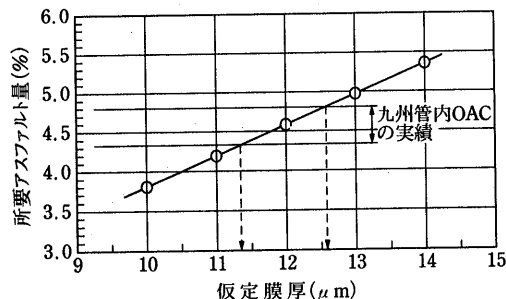


図-3 13mm top空疎率20%の配合での1例

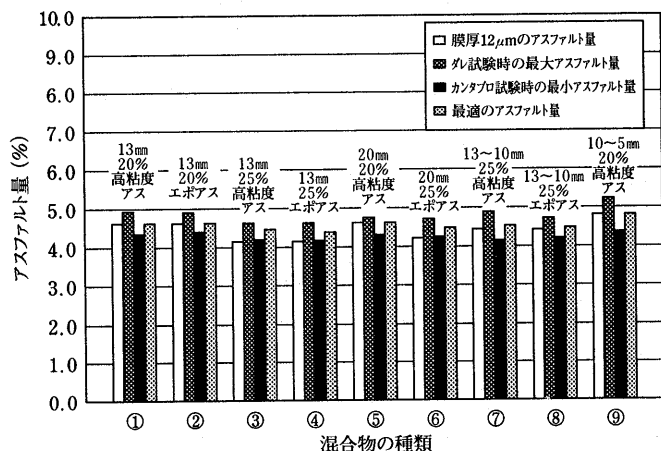


図-4 混合物の種類と最適アスファルト量

2.5.2 骨材間結合力

エボアスによる骨材間結合力については、図-5で示す空隙率25%のカンパロ損失量の20mm topの配合でその効果が見られるが、図-6のマーシャル安定度

では顕著な強化現象は認められない。ただ、樹脂の反応が進行した後の性状ではその効果が十分期待できると考える。

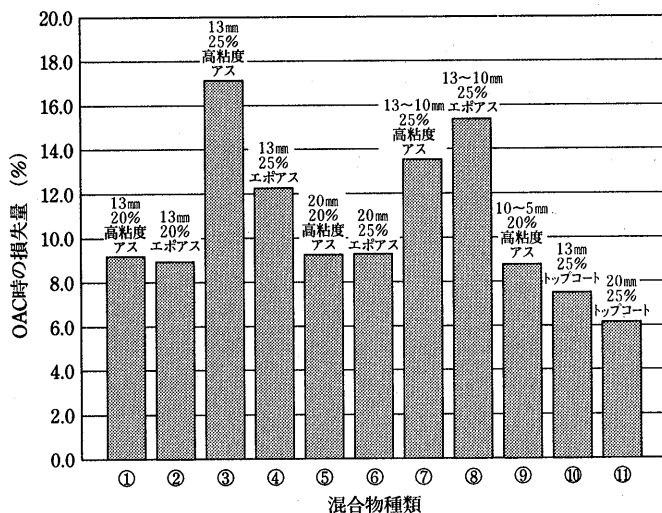


図-5 OACにおけるカンパロ損失量

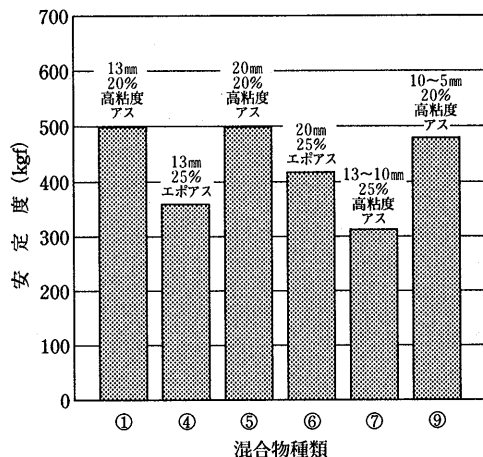


図-6 OACにおけるマーシャル安定度

トップコート材については、施工時期を寒冷期と想定して、MMA樹脂を選定した。懸念されたトップコート材による透水係数の低下も機能を損なうほどのものではなく、カンパロ損失量では最も良好な飛散抵抗性が得られている。

2.5.3 単粒化骨材

単粒化骨材を用いた排水性混合物は、空隙の質的な改善（連続空隙率を増す）を図り高機能化を目指したものである。2.36mm通過率と空隙率の関係を示す図-7より、単粒化骨材の配合は、目標空隙率25%でも通

常の13mmや20mm tpoの骨材配合の場合よりも容易に設定できることから、その機能性の向上が期待される。この場合、製品自体が従来のJIS製品ではないので、実際の現場で単粒化骨材を生産すると新たな設備が必要となる。また、2種類に分級（碎石6号の13～5mmを13～10mmと10～5mm）した碎石を効率的に使用するためには、排水性舗装を2層構造（下層は13～10mm、上層は10～5mm）とする舗装構造の工夫などが望まれる。

2.5.4 混合物の透水係数

透水係数を示す図-8より、各配合はいずれも 10^{-1} オーダーの値を示し目標値である 1×10^{-2} を十分満足している。当然ではあるが、空隙率を大きく設定した配合の方が大きい傾向にある。また、空隙率を25%でトップコート材を施した配合⑩、⑪の透水係数は樹脂含浸の影響で低下し空隙率20%と25%の中間的な値を示している。

2.5.5 動的安定度

動的安定度を示す図-9では、各配合はすべて5000回/mm以上の値を示し、耐流動性に対し何ら問題ない結果が得られた。空隙率25%のエポアス使用の配合については、3条件（供試体作成直後の養生0日、60℃1日養生、7日養生）による動的安定度で15000回/mm以上の結果を得た。初期のわだち掘れや飛散抵抗性など室内試験ではとくに問題ないことが確認された。

3. 試験施工

3.1 施工性の確認

エポアスを用いた排水性舗装は、はじめての試みとして1994年12月建設省土木研究所内走行試験所において試験施工を実施した。この結果から、施工は通常の排水性舗装と同様にでき、施工性および供用性について大きな問題がないと判断した。これを踏まえて、九州技術事務所では3回にわたる構内での試験施工を実施し、新たに以下のような知見が得られ実路の試験施工へ反映するに至った。

1) エポアスに及ぼす消石灰の影響

従来の高粘度アスでは、剥離防止対策として消石灰を添加しているがエポアスの場合は、消石灰を添加することにより、エポアス樹脂の硬化反応を促進させる可能性がある。したがって、エポアスを使用する場合、施工性

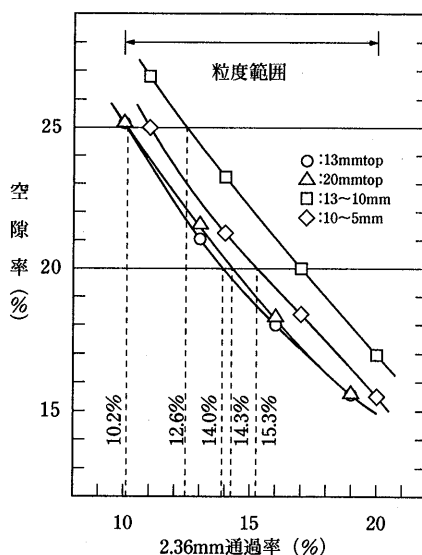


図-7 2.36mm通過率と空隙率の関係

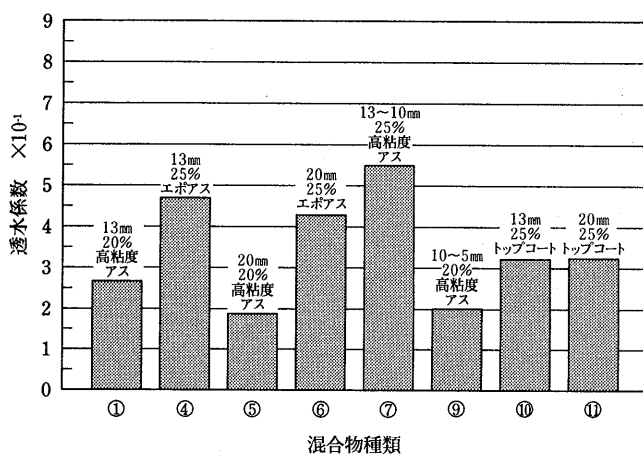


図-8 OACにおける透水係数

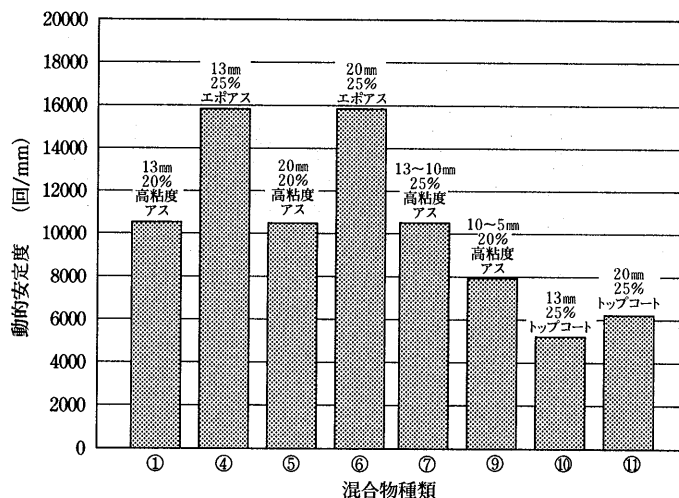


図-9 OACにおける動的安定度

(敷き均しが悪くなる)を悪化させないために消石灰は添加しないことが望ましい。

2) 混合温度

混合温度を140℃から180℃に変化させてエポアスの硬化反応による粘度上昇を調べた結果、160℃以上で鈍くなり、混合温度を170℃に上げることで可使時間を長くすることができた。なお、混合温度の上昇によるアスファルト混合物の初期強度が低下しないことを確認した。

3.2 試験施工の概要

表-5は、1996年8月、熊本帯山地区(一般国道57号)で行った排水性試験舗装の施工条件を示したもの

表-5 施工条件

項目 \ 工区	5 工区					
	1 工区	2 工区	3 工区	4 工区	下 層	上 層
バインダ の 種 類	高粘度 ア ス	高粘度 ア ス + 樹 含 浸	エポアス		高粘度アス	
骨材の最大 粒径 (mm)	13				13~10	10~5
空 隙 率 (%)	20	25	25	20	25	20
施 工 厚 (cm)	5				4	3
					7	

である。1工区は従来の高粘度アスを使用、2工区は高粘度アスにトップコート材(樹脂含浸)を施し舗装体の強化を図ったものである。3工区は高粘度アスをさらに高性能化したエポアスを使用している。5工区は高粘度アスに単粒化骨材を使用し連続空隙率を高めようとするものである。

空隙率は、舗装体の機能向上および強度増加を図ったものについては25%とし、従来の高粘度アスは20%とした。ただし、4工区は、高粘度アスとエポアスとの比較を行うため空隙率は20%とした。

3.3 追跡調査

追跡調査は、縦横断凹凸量、ひびわれ率、すべり抵抗、現場透水量、騒音測定などを実施し、現在で供用後14ヶ月となる。路面性状は、どの工区も塵埃などによる空隙づまりやひびわれおよび骨材の離脱飛散などは見られない。表-6に示す横断凹凸量は、施工直後から僅かに増加しているが3.5~5.5mm程度と全体的に低い値であり、路面の状態は良好に維持されている。

現場透水量は、各工区とも1250~1350ml/15s程度の値を示しており、施工直後からの低下も少なく十分な排水機能を有している。表-7に各工区の現場透水量を示す。現時点では施工条件の違いによる工区間には差はない。

表-8はこれまでの騒音測定結果を整理したもので

表-6 横断凹凸量

(単位: mm)

経過月数 \ 工区	施工直後	2ヶ月後	14ヶ月後	最大粒径(mm)	バインダ種	空隙率(%)	舗装厚(cm)	
1工区	—	2.8	3.5	13	高粘度アス	20.0	5.0	
2工区	—	4.3	5.4		高粘度アス + 樹脂含浸	25.0	5.0	
3工区	—	5.0	5.2		エポアス	25.0	5.0	
4工区	—	3.8	4.7			20.0	5.0	
5工区	—	3.6	4.6	上層 10	高粘度アス	20.0	3.0	7.0
				下層 13		25.0	4.0	

表-7 現場透水量

(単位: ml/15sec)

工区 \ 経過月数	施工直後	2ヶ月後	14ヶ月後	最大粒径(mm)	バインダ種	空隙率(%)	舗装厚(cm)	
1工区	わだち部	1200	1395	13	高粘度アス	20.0	5.0	
	非わだち部		1344					
2工区	わだち部	1364	1418		高粘度アス + 樹脂含浸	25.0	5.0	
	非わだち部		1406					
3工区	わだち部	1333	1406		エポアス	25.0	5.0	
	非わだち部		1385					
4工区	わだち部	1277	1406			20.0	5.0	
	非わだち部		1364					
5工区	わだち部	1304	1418	上層 10	高粘度アス	20.0	3.0	7.0
	非わだち部		1453	下層 13		25.0	4.0	

ある。騒音の低減効果は、排水性舗装工区の騒音と比較対象工区の騒音レベル差 (dB) を減音量として評価した。

排水性舗装の減音効果は、施工直後をピークに供用後しだいに薄れていくものと考えられるが今回の調査では、施工後半年のレベル差 4～6 dB 程度であったのが、施工後 1 年になると逆に 6～9 dB と減音量が増加しており通常とは異なる矛盾した測定結果となった。これらの原因には、周辺環境（大型車交通量が多い、店舗への車の出入りが煩雑など）の影響が少なくない。したがって、今後の調査では、夜間測定に変えるなど影響をできるだけ少なくする測定方法も考える必要がある。

4. まとめ

これまでの調査では、それぞれに施工条件（空隙率～骨材の粒径～バインダなど）が異なるいずれの工区も排水性舗装としての機能（排水機能、騒音の低減など）は十分に発揮されており、路面の性状も良好に保たれている。施工条件の違いによる評価では、まだ供用の時間的経過（現時点では供用後 1 年 2 ヶ月）が不足していると思われ、工区間に明確な差は見られない。

今後の計画としては、さらに継続調査によるデータの蓄積、解析を行うとともに、低下した機能の回復方法の技術開発にも取り組んでいく予定である。

表－8 熊本帯山地区騒音測定

(単位: dB)

工 区	排水性舗装の混合物	測定種目	施工前	施工後半年	減音量	施工後一年	減音量
1 工区	高粘度アス, 20%, 13mm, t = 5cm	L50	71.8	68.0	-4.8	68.4	-6.2
		Leq	73.0	70.1	-4.5	70.1	-4.5
2 工区	高粘度アス+樹脂, 25%, 13mm, t = 5cm	L50	68.2	66.2	-6.6	66.0	-8.6
		Leq	70.2	68.0	-6.6	67.9	-6.7
3 工区	エポアス, 25%, 13mm, t = 5cm	L50	70.6	67.4	-5.4	65.6	-9.0
		Leq	72.3	69.1	-5.5	67.8	-6.8
4 工区	エポアス, 20%, 13mm, t = 5cm	L50	68.6	68.6	-4.2	66.6	-8.0
		Leq	70.9	70.5	-4.1	69.3	-5.3
5 工区	高粘度アス, 20%, 25%, 10, 13mm, t = 7 cm (3 cm, 4 cm)	L50	71.0	67.4	-5.4	65.2	-9.4
		Leq	72.6	69.0	-5.6	67.9	-6.7

— 参考文献 —

- 1) 「排水性舗装技術指針 (案) 原案」(社)日本道路協会 (平成 7 年 8 月)
- 2) 「排水性舗装の現状と今後の課題シンポジウム」(社)日本道路協会 (平成 5 年 7 月)
- 3) 笠原ほか「排水性アスコンの配合設計に関する一検討」第 19 回日本道路会議論文集
- 4) 井上ほか「吸音型透水性アスコンの検討」舗装 23-6, 1988
- 5) 原ほか「開粒度アスコンの評価試験方法に関する一検討」土木学会第 45 回年次学術講演会 (平成 2 年 9 月)
- 6) 「排水性舗装用エポキシアスファルト技術資料」昭和シェル石油(株) (平成 7 年 11 月)

☆

☆

☆

☆

☆

☆

日本道路公団における排水性舗装の現況と課題

(The Status quo of Drainage Pavement in Japan Highway Public Corp.)

七五三野 茂*
皆 方 忠 雄**

排水性舗装は、雨天時の視認性改善や騒音低減効果など、大きな付加価値を有しており、快適な走行や環境保全の面からも注目されている。JHにおいても、雨天時の交通安全対策として大きな効果が得られており、施工実績は年々増加している。

排水性舗装の耐久性は、排水性舗装用高粘度改質アスファルトの使用や、排水性舗装独自の配合設計手法を確立したことにより、当初より大きく改善されてきた。しかし、摩耗の影響が大きい地域においては、これまでの追跡調査結果より、わだち掘れの進行や機能低下が早いことが確認されている。

JHにおいて、今後より積極的に全面展開していく予定である。しかし、雪寒地域の機能・耐久性向上や、橋梁部の防水対策、ローコスト化、メンテナンス方法などの課題が残されており、現在、これらの早急な解決に向けて、取り組んでいるところである。

1. はじめに

高速道路のように高速走行する場合、安全性の確保は最優先のテーマであり、舗装路面の果たす役割は特に重要である。そのため、日本道路公団（以下、JHという）では早くから排水性舗装の安全面での機能に着目し、排水性舗装の研究開発に取り組むとともに、施工実績を着実に伸ばしてきた。これまでは、縦断勾配のサグや反点など排水が不良となりやすい箇所を中心に排水性舗装を適用し、大変大きな効果が得られている。

また、排水性舗装は雨天時の視認性の改善や騒音低減効果など大きな付加価値を有しており、快適な走行や環境保全の面からも注目されている。

JHにおいても、このような排水性舗装の高機能、多機能な面に着目して、利用者へのより安全で快適な舗装路面の提供ができるよう、排水性舗装を標準的な表層として位置づけ、積極的に施工面積の増大を図ろうとしている。

本文では、JHの排水性舗装の配合設計手法や排水機能などの現況と、今後より積極的に全国展開してゆくための課題やそれに対する取り組み状況の一部について述べるものである。

2. 開発の経緯

図-1は、JHにおける排水性舗装の施工実績を示したものである。JHでは平成元年より試験的に排水性舗装の施工を開始し、施工面積は年々、着実に増加し、平成9年度末には約900万㎡に達している。

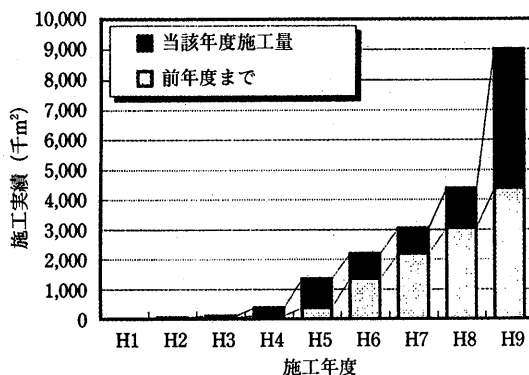


図-1 施工実績の推移

この間、表-1に示すように様々な試験を通して排水機能や耐久性の向上を図り、合わせて設計施工要領などの整備を進め、施工の拡大に対応してきた。

排水性舗装の施工開始当初は、配合設計方法が定められておらず、バインダーも専用のものが開発されていなかったため、試行錯誤を繰り返したが、徐々に安

*しめの しげる 日本道路公団試験研究所舗装研究室長・工博

**みなかた ただお 日本道路公団試験研究所舗装研究室

表－１ 配合設計方法の推移

年度	施工実績 (千㎡)	要領等の制定	内 容	備 考
元	12.7			JHで最初の施工（東北道）
3	55.3	排水性舗装施工要領 (案) H 3. 12	・マーシャル法による 配合設計 ※ただし、H4.7に カンタプロ試験と 付着試験による配 合設計を導入	・高粘度改質バインダーの使用 ・骨材粒度、最低アスファルト量の設定 ・目標空隙率（全体）の設定 ・マーシャル試験基準値、現場透水時間等の設定 ・タックコートにゴム入り乳剤の使用 ・橋梁では、床版防水工を義務化
5	974.0	排水性舗装設計施工 要領（案）の改訂 （第1回） H 6. 3	配合設計手法の確立 （カンタプロ試験と付 着試験による配合設 計）	・高粘度改質アスファルトの標準的仕様の決定 ・配合設計手法の改訂 粒度範囲の見直し 混合物の粒度設定：5 粒度 最適アスファルト量：カンタプロ試験、付着試験 空隙率の区分（全体、連続、独立） カンタプロ損失量の設定 目標空隙率（全体、連続）の設定 耐久性試験の実施（ホイールトラッキング、ラベリング）
		排水性舗装設計施工 マニュアル H 6. 3		・排水処理、橋面排水・防水工のマニュアル化 ・材料、諸基準等の解説 ・施工方法の確立 ・耐久性試験結果の記載（付着、カンタプロ、耐流動性、耐摩耗性） ・追跡調査結果の記載（排水機能、騒音低減効果、すべり、視認性） ・補修フロー（修繕、維持管理）
9	4,615.7	排水性舗装設計施工 要領（案）の改訂 （第2回） H 9. 6	配合設計の簡略化、 地域区分化	・配合設計の簡略化（5 粒度→1 及び 3 粒度） ・雪寒地用の配合設計手法制定（低温カンタプロ試験の導入） ・路肩等の排水処理事例の記載 ・クラック対策の義務化（調査兼ねる）

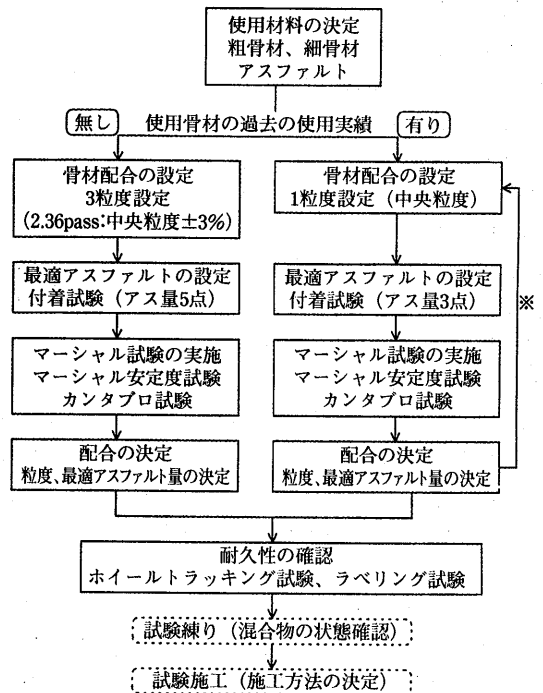
定した施工が可能となった。

そこで、平成3年度にはそれまでの実績を基に、目標空隙率（約20％）や骨材粒度などを定めて設計施工要領の原案を作成した。これにより、より安定した排水性舗装の施工が可能となり、平成4年度以降、全国展開が進み、施工面積が急激に増加する要因となった。

また、平成5年度には付着（ダレ）試験とカンタプロ試験によって最適アスファルト量を決定する配合設計方法を確立するとともに、排水性舗装用高粘度改質アスファルトの標準性状を定めた。これにより、JHの排水性舗装の配合設計方法と材料規格の基本が整備され、それ以降の排水性舗装の排水機能および耐久性向上に重要な役割を果たした。

更に、平成5年度には排水性舗装設計施工マニュアルをとりまとめ、配合設計や材料のみならず、施工方法、排水処理や防水などに関する留意事項を整備した。

平成9年度には、骨材配合時の粒度設定の見直し（5粒度から3粒度へ）、最適アスファルト量の決定方法の見直し（付着（ダレ）試験とカンタプロ試験から付着（ダレ）試験のみへ）など配合設計方法を大幅に簡略化し、現場での配合試験の効率化を図った。図－2は現在の配合設計手順の概要を示したものである。また、表－2に標準粒度範囲を、表－3に排水性舗装用高粘度改質アスファルトの標準性状を示す。



図－2 配合設計の手順

表－２ 配合設計粒度範囲

呼 び 寸 法	粒 度 範 囲 (%)	
	最大粒径 13mm	最大粒径 20mm
26.5 mm	—	100
19.0 mm	100	95 ～ 100
13.2 mm	92 ～ 100	53 ～ 78
9.5 mm	62 ～ 81	35 ～ 62
4.75 mm	10 ～ 31	
2.36 mm	10 ～ 21	
600 μm	4 ～ 17	
300 μm	3 ～ 12	
150 μm	3 ～ 8	
75 μm	2 ～ 7	
アスファルト量	4.5 %以上	

表－３ 排水性舗装用高粘度改質アスファルトの標準的性状

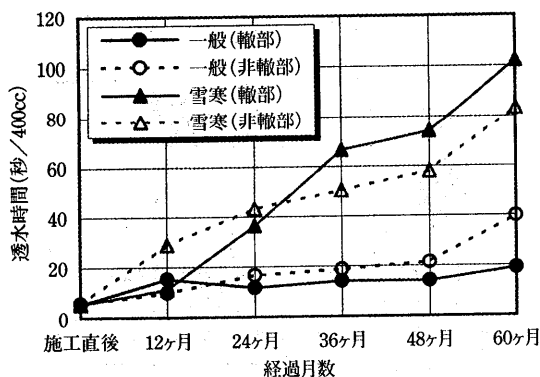
項 目	単 位	標 準 性 状
針 入 度 (25℃)	1/10mm	40 以上
軟 化 点	℃	70 以上
伸 度 (15℃)	cm	50 以上
薄膜加熱質量変化率	%	0.6以下
薄膜加熱針入度残留率	%	65 以上
タフネス	N・m	20.0以上
テナシティ	N・m	15.0以上
60℃ 粘 度	Pa・s	20,000 以上

３．排水性舗装の現況

以上のような開発の経緯の中で施工された排水性舗装のうち、設計施工要領が制定された平成３年度以降に施工された舗装について、追跡調査に基づく排水機能や耐久性の状況は以下のとおりである。

３.１ 排水機能

図－３は、冬期に降雪や温度低下の影響をほとんど



図－３ 地域別の現場透水時間

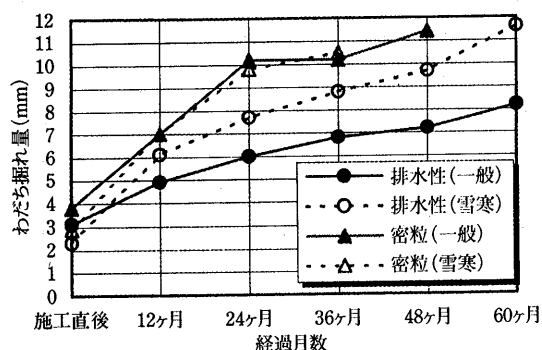
受けない地域（以下「一般地域」という）と積雪寒冷地域（ただし、北海道を除く、以下「雪寒地域」という）における現場透水時間の経時変化を示したものである。現場透水時間とは、排水性舗装体内を透して水400ccを流下させるのに要した時間(秒)であり、JHが用いている排水機能の指標である。なお、交通量による区分は設けず、全体の平均値により表示している。

一般地域においては、わだち部は施工直後より12ヶ月経過時点で若干の低下が認められるが、その後60ヶ月経過まで大きな変動がなく、良好な状態を保持している。非わだち部では、時間とともに徐々に低下する傾向にある。なお、60ヶ月経過時点で著しい低下が認められるが、これは一部箇所において大きく低下したことが影響しており、この箇所を除くと48ヶ月時点とはほぼ同じである。

これに対し、雪寒地域においては、わだち部、非わだち部とも時間とともに機能の低下が見られ、60ヶ月経過時点では平均で100秒程度まで低下している。この要因としては、摩耗作用や除雪作業などにより発生した粉塵等が空隙づまりを引き起こしていることが考えられる。なお、機能低下の程度は、道路線形や気象条件、チェーン規制時間等の交通条件の影響を大きく受けており、地域によって大きく異なっている。

３.２ わだち掘れ量

図－４は、地域別のわだち掘れ量の経時変化を示したものである。



図－４ 地域別のわだち掘れ量

一般地域においては、経時に伴い徐々に増加しているが、その進行量は年間1mm程度であり、従来用いられてきた密粒舗装よりも良好な耐久性を有している。

これに対し、雪寒地域の進行量は年間2mm程度となっており、一般地域よりも大きな進行量となっているが、密粒舗装と同等以下の進行量である。雪寒地域の

わだち掘れ量は、前述の排水機能と同様に道路線形や気象・交通条件等の影響を大きく受けており、特に、低温あるいはチェーンや除雪作業による骨材の飛散が主な原因であると考えられる。

3.3 騒音低減効果

図-5は、高速道路上において、路肩部で交通騒音測定を実施した結果を示したものである。これより、排水性舗装は密粒舗装に比べ路側騒音で2～5 dB程度の減音効果があることが確認されている。この効果は、地域や層構造によって異なっている。排水機能と同様に北陸道のようなチェーン規制時間の長い雪寒地域において早く効果が低下している。

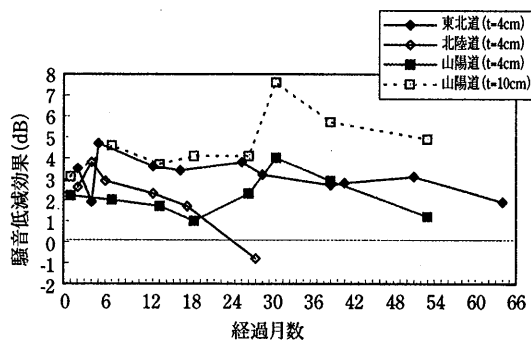


図-5 高速道路における交通騒音測定結果

また、山陽道では舗装厚が厚いほうが騒音低減効果が高い傾向にある。

現在は、これまでの測定データを分析し、排水性舗装の減音効果に関する予測式の構築を図っている。

3.4 事故低減効果

図-6は、排水性舗装施工前後の事故率の変化を示したものである。雨天時の事故が多い110箇所において、排水性舗装の施工前後1年間における事故件数を比較したものであり、総事故件数は排水性舗装の施工

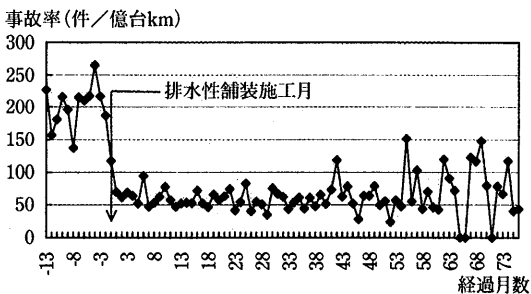


図-6 排水性舗装施工における月別総事故率の推移

後に67%減少している。特に雨天時の事故件数は施工前に比べ86%の減少が認められている。

また、6年(72ヶ月)経過後も排水性舗装施工前に比べ、低い事故率で推移している。

4. 新たな取組み

排水性舗装は、安全で快適な走行を可能とし、高速道路のユーザーからも高い評価を得ており、今後も従来以上に積極的に全国展開が図られる予定である。

ただし、前述のように排水機能や耐久性に地域差が見られるとともに、橋梁高架部における防水対策工など、まだ残されている検討課題もある。以下に主な取組みの概要を述べる。

4.1 機能回復手法の確立

排水機能は、3.1で述べたとおり、空隙つぶれや空隙づまりが発生することにより低下していく。空隙つぶれに起因するものについては、現在のところ回復させるのは困難である。しかし、空隙づまりに起因するものについては、舗装体内に堆積している土砂・粉塵などの異物(以下「空隙づまり物質」という)を除去することにより、機能回復が可能となる。一度低下した機能を回復させることは、排水性舗装の長寿命化に繋がり、その結果、ライフサイクルコストの低減が可能となる。そこで、排水性舗装の排水機能を長期間持続させるためのメンテナンス手法の開発を実施した。

開発に当たっては、図-7に示す「高圧水+吸引」方式の高圧洗浄車を所有し、かつ、当手法のノウハウを有している民間6社(高圧洗浄車5台)とともに、平成8・9年度の2年間にわたり、共同研究を実施した。標準的な試験条件は、表-4に示すとおりである。試験箇所は、より大きな機能回復効果(以下「効果」

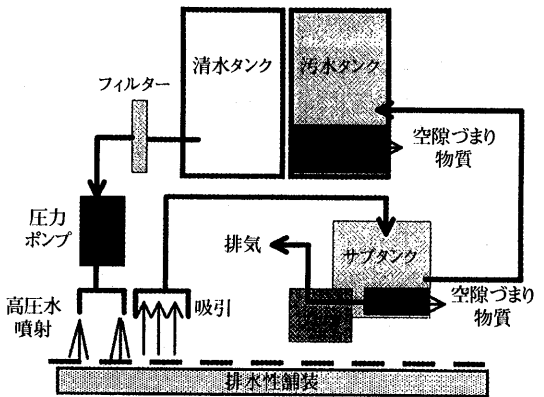


図-7 高圧洗浄車の一般的な機構

表-4 高圧洗浄車の標準的設定条件

高圧洗浄車	高圧水圧力 (MPa)	作業速度 (m/min)	作業幅員 (m)	備考
A	8	10	2.0	洗浄回数 1~2回
B	5	10	2.0	
C	8	10~15	2.0	
D	6	10	2.0	
E	26	7.5	2.2	

という)が得られる現場条件、最適なタイミング、及び回復目標値などを見出すために、供用中の高速道路上の15箇所(一般地域8箇所、雪寒地域7箇所)の排水性舗装を選定した。

図-8は、両地域における機能回復試験結果を示したものである。横軸に機能回復前の現場透水時間(t_1)、縦軸に機能回復後の現場透水時間(t_2)を示しており、 t_2 が t_1 よりも小さい場合、つまりグラフ中の対角線よりも下側にプロットされているデータが、効果があったと評価される。

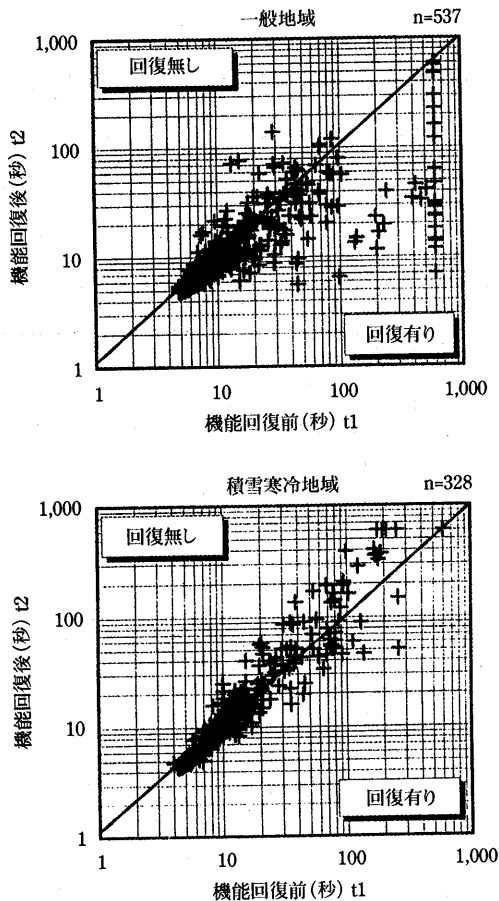


図-8 地域別の機能回復効果

一般地域では、 t_1 が20秒以下の箇所では明確な効果は認められない。しかし、20秒以上の箇所になると効果が確認されている。また、ほとんど不透水な状態($t=600$ 秒)の箇所において、 t_2 が10秒程度になるなど、非常に大きい回復効果があった箇所もある。

これに対し、雪寒地域では、現場状態(t_1 の大小)に関わらず、ほとんどの点が対角線付近にプロットされており、今回の試験結果からは明確な効果が認められなかった。

図-9は、空隙内から取り除かれた物質を分類したものと、機能回復の程度との関係をしめたものである。箇所Aは砂分を多く含み、機能回復が見られるが、箇所Bではシルト分が多く、機能回復が見られない。このことから、空隙内に詰まっている物質の種類によっても機能回復の程度が異なることがわかった。

箇所	回収物質質量 (g/m^2)	機能回復率 (%)	回復箇所数 (回復箇所/全箇所)
A	203.8	80.1	20/24 (83%)
B	33.7	20.9	4/20 (20%)

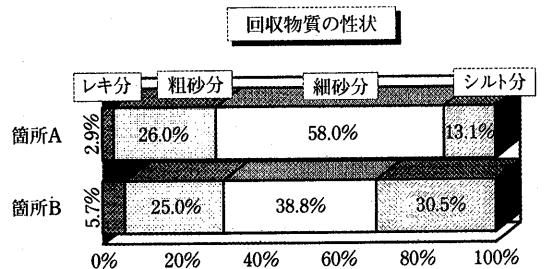


図-9 空隙づまり物質と機能回復の関係

以上の結果より、地域性、空隙内に詰まった物資の種類や詰まった状態などによって機能回復の程度が異なるため、これらを勘案した機能回復条件の設定が必要であることが明らかとなった。

4.2 雪寒地域における排水機能・耐久性向上

3.1及び3.2で述べたとおり、雪寒地域における排水機能及び耐久性は、一般地域に比べ早期に低下する傾向にある。耐久性に関しては、冬期の気象及び交通条件が特に厳しい地域において、「低温カンタブロ試験」を採用し、向上を図っている。これは、図-10に見られるように気象条件に合わせて試験条件を厳しくすることにより、厳冬の骨材飛散などの耐久性の向上を図ったものであり、結果として空隙率が3%程度低めに設定される。

しかし、この場合、空隙率は16~18%となっており、排水機能及びその持続性は従来配合($V_a=20\%$)

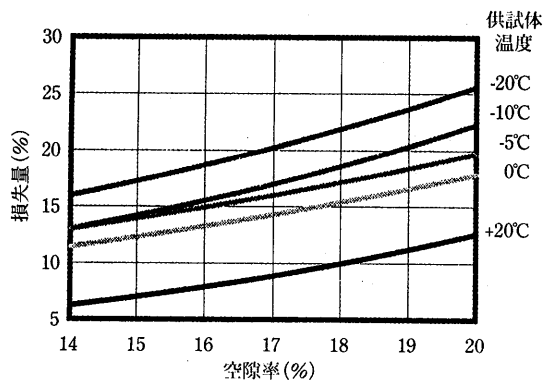


図-10 供試体温度とカンタプロ損失量の関係

よりも劣るものとなる。したがって、排水機能と所要の耐久性の両方を有する雪寒地域に適した配合を確立する必要がある。

そこで、ひとつの対策として6号碎石を13~10mmに粒度調整した排水性舗装（以下「単粒化配合」という）に着目して試験を実施した。その配合を表-5に示す。

表-5 検討対象混合物の配合内容（通常単粒化配合）

配合種別	目標空隙率	最大粒径	合成粒度 (%)		アス量 (%)	空隙率 (%)	
			2.36mm	74 μ m		全体	連続
通常配合	17%	13mm	18.5	4.1	5.0	17.6	13.0
	20%		15.5	4.0	5.0	20.6	16.1
	23%		13.3	4.0	4.8	23.0	19.1
	25%		10.4	3.9	4.6	25.7	21.5
	27%		8.5	3.8	4.5	26.8	22.5
	30%		5.2	3.7	4.0	29.1	25.5
単粒化配合	17%	13mm	18.3	4.1	5.0	18.7	14.2
	20%		15.3	4.0	4.9	21.8	17.5
	23%		13.1	4.0	4.0	24.5	20.4
	25%		10.2	3.9	4.0	28.0	25.0

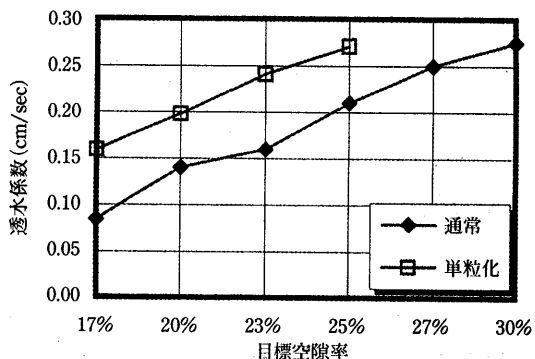


図-11 室内透水試験による排水機能評価

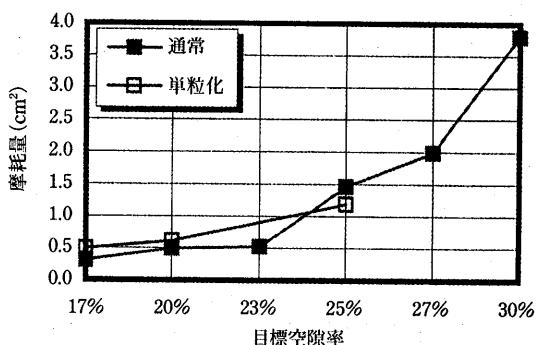


図-12 ラベリング試験による耐摩耗性評価

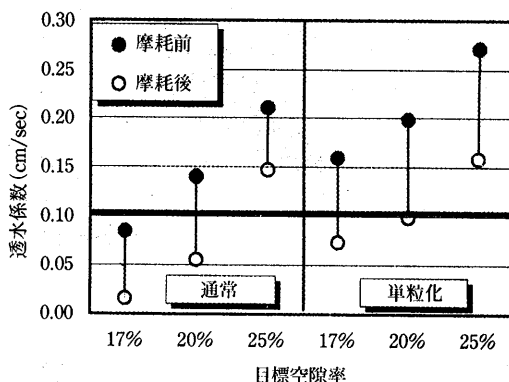


図-13 ラベリング試験後の透水係数の変化

図-11及び12は、単粒化配合と通常配合の透水係数とラベリング摩耗量を示したものである。この結果より、同一の目標空隙において、単粒化配合は、通常の6号碎石を使用した配合（以下「通常配合」という）と同等の耐摩耗性を確保しつつ、排水機能は大きく改善されることが確認された。

図-13はラベリング試験による摩耗を受ける前後の透水係数を示したものである。耐久性重視配合である目標空隙17%と比較した場合、通常配合は摩耗を受けることによりほぼ不透水状態となる。これに対し、単粒化配合は当初の透水係数が大きいため、摩耗を受けても通常配合（Va=17%）の当初の透水係数と同程度を保持している。

4.3 橋梁防水層の機能強化

排水性舗装の施工面積が増加するにつれて、橋梁上での排水性舗装の施工箇所が増えることが明らかである。しかし、橋梁床版の長期耐久性を考慮した場合、従来以上に床版の防水対策が重要となってくる。このため、JHでは、橋梁部において排水性舗装を施工する場合、シート系や塗膜系の防水工を義務づけている。

しかし、これらの防水工は防水効果が非常に優れている反面、工事費や施工時間に課題が見られる。

橋梁部の舗装構成は、図-14に示すとおり、表層と

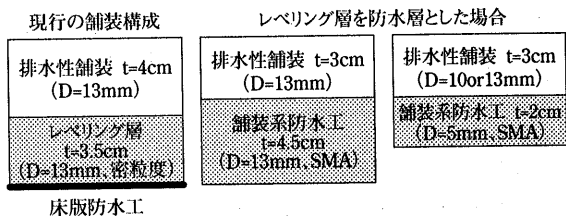


図-14 橋梁部の舗装構成

床版の間にレベリング層が設けられているが、この層の不透水性を高めることにより、防水工を省略し、ローコスト化及び工期短縮ができる。そこで、ここではレベリング層への碎石マスチック混合物(以下「SMA」という)の適用の可否について検討結果を述べる。表-6は、今回の検討で使用したSMAの配合内容である。

図-15は混合物種別毎の加圧式透水試験(水圧 5 kgf/cm², H=6.35cm)による24hr後の透水量を示したも

表-6 検討対象混合物の配合内容

混合物種別	SMA (13)	SMA (5)	タイプA (密粒度)	基 層 (粗粒度)
最大粒径 (mm)	13	5	13	20
2.36mmpass (%)	27.5	41.5	42.5	41.5
75µmmpass (%)	10.5	11.5	6.0	5.0
空隙率 (%)	3.5	3.4	3.3	5.1
アスファルト量 (%)	6.3	7.8	6.1	5.2
植物繊維量 (%)	0.3	0.3	無	無
アスファルト種別	ストアス	改質II型	ストアス	ストアス

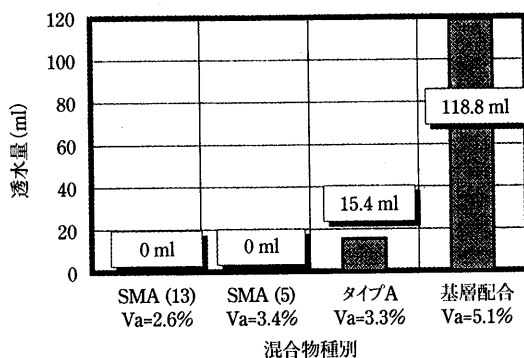


図-15 加圧式透水試験による24hr後の透水量

のである。粗粒度混合物や密粒度混合物は供試体下部から透水しているのに対し、SMAは最大粒径を問わず透水していない。また、密粒度混合物とSMAは空隙率が両者とも3%程度とはほぼ同じであるが、防水性は大きく異なっている。舗装体が吸水した減水量より透水係数を算出したところ、SMAは $2 \sim 3 \times 10^{-7}$ 程度であり、シート防水工よりは劣るものの、高い水密性を有

している。

以上の結果より、SMAの防水層としての可能性が室内レベルにおいて確認できたため、今後は試験施工を通して実用性の検討を進める予定である。

4.4 ローコスト化

排水性舗装は、耐久性確保のために高価な排水性舗装用高粘度改質アスファルト(以下「高粘度アス」という)を使用するため、コストが密粒舗装に比べ割高となる。前述のとおり、JHにおいては表層として排水性舗装が基本となり、施工面積が飛躍的に増大するため、早急にローコスト化を図る必要がある。ローコスト化の方法としては、材料費と舗装厚さの面からの対応が考えられる。

材料費に関しては、材料費の大きな割合を占めるバインダーについて高粘度アスよりも安価な改質アスファルトII型(以下「改質II型」という)を使用することにより、コストダウンが可能と考えられる。

図-16は、高粘度アス、改質II型、改質I型使用の排水性舗装、及び比較のために密粒舗装について、回転式舗装試験機により耐流動性の評価を行ったものである。この結果より、改質II型は高粘度アスよりも耐流動性は劣る傾向にあるが、その差はわずかである。また、これまで一般に用いられてきた密粒舗装に比べると、非常に良好な耐流動性を有している。また、以上のような検討にあたり粘度の違いによるアスファルトの骨材被膜厚などについても十分考慮している。

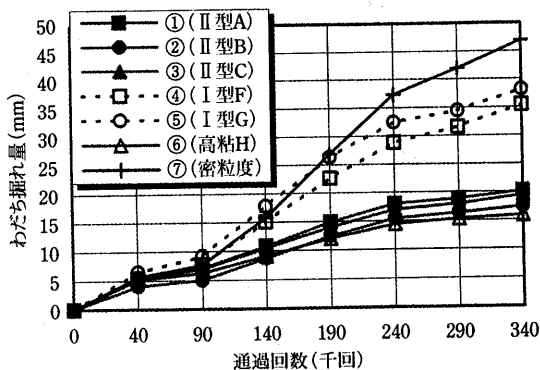


図-16 回転式舗装試験による耐流動性評価

以上の結果より、改質II型を用いた排水性舗装については、交通量や気象条件を勘案のうえ、試験施工を実施して耐久性の確認を行っている。

舗装厚さに関しては、通常は4cmで施工されているが、これをより薄層とすることにより、やはりコスト

ダウンが可能となる。これまでJH内では、ローコスト化を目的として、2～3cmに薄層化した排水性舗装の試験施工が行われている。なお、薄層化に伴い、保水・排水能力の低下や骨材飛散等の耐久性低下が懸念されるが、その対策として次の方法が取られている。

- ・ 高空隙率化→貯留・排水機能の確保
- ・ バインダーへのゴム粉添加→骨材把握力強化
- ・ 高粘度改質乳剤の使用→下層との付着性向上

現在は、薄層排水性舗装の供用性を確認するために、追跡調査を実施している。

5. 今後の課題

今後は、排水性舗装の施工面積が増大するとともに、老朽化あるいは損傷の表れる舗装も増加してゆくことが明らかである。そのため、補修に関する技術の開発が必要である。そこで、今後、研究開発が必要と思わ

れる主な課題を示すと以下のとおりである。

- ①各種機能（排水・視認性・騒音）評価手法の開発
- ②排水性舗装用骨材基準の確立
- ③排水性舗装独自の補修基準及び補修方法の確立
- ④排水性舗装再生技術の確立
- ⑤難処理物流出時の対応策の確立

6. おわりに

以上のとおり、高速道路における排水性舗装の現況と課題を述べたが、施工面積の増大に伴い一般の道路利用者にとっても、「特殊」から「普通」の舗装となつてゆくことが明らかである。

JHでは、これまで排水性舗装の技術開発に積極的な役割を果たしてきたが、排水性舗装がユーザーフレンドリーな舗装として定着できるように、今後もより積極的に技術開発を進める所存である。

—— 参考文献 ——

- 1) 日本道路公団：排水性舗装設計施工要領（案），1991.12，1994. 3，1997. 6
- 2) 日本道路公団：排水性舗装設計施工マニュアル（案），1994. 3
- 3) 松本：騒音対策のための最新技術，高速道路に関する技術講座（第3回）「日本道路公団試験研究所における研究の動向」，1996. 1
- 4) 宮内ら：高速道路における交通事故の現状分析および交通事故対策とその効果
- 5) 皆方ら：改質II型を使用した排水性舗装の耐久性について，第22回道路会議 一般論文集(B) 1997. 12
- 6) 瀬戸ら：薄層排水性舗装の施工技術に関する一検討，道路建設 No.569，1995. 6
- 7) 佐々木ら：排水性舗装の薄層化の検討，第22回道路会議 一般論文集(B) 1997.12

☆

☆

☆

☆

☆

☆

阪神高速道路における排水性舗装の現状と課題

(The Status quo of Drainage Pavement in Hanshin Expressways)

川 村 勝*

阪神高速道路公団は、3号神戸線の震災復旧時に都市内高速道路の橋面舗装として約44万㎡の排水性舗装を施工した。

走行安全性の改善に加えて低騒音効果を期待しての採用であるが、高架道路上での排水性舗装の耐久性や機能の持続については未知であることから、5ヶ年の予定で追跡調査を実施している。

本稿では、阪神高速道路公団の排水性舗装の概要と現時点での調査状況について述べる。

1. 排水性舗装施工の背景

阪神高速道路3号神戸線は平成7年1月17日の兵庫県南部地震（阪神淡路大震災）に遭遇し、大きな被害を受けた。この路線の復旧を進めていくなかで、平成7年7月7日に交通騒音に関する公害訴訟である国道43号等訴訟に最高裁判決が下った。

この判決を受け、国道43号との複合断面構造である3号神戸線の復旧に際しては、公団および関係機関で構成される「国道43号・阪神高速神戸線環境対策連絡会議」における検討結果を踏まえ、環境改善の一環として、騒音低減効果が期待できる「排水性舗装」を施工することになった。

平成7年当時、国内の排水性舗装の施工実績は約300万㎡とされており、施工事例の多くが土工構造の道路におけるものであり、3号神戸線のような高架構造でかつ重交通の道路において用いるには舗装自体の耐久性や低騒音効果の持続性が未知であった。

そこで、阪神高速道路公団は「舗装の耐久性向上に関する調査研究委員会（委員長：山田 優大阪市立大学教授）」において、排水性舗装の高架道路への適用性を検討するため各種室内試験、試験施工を実施し検討を加えた。

同委員会の審議を受け、平成8年4月に「高架道路上の低騒音舗装 交通騒音の低減を目的とした排水性舗装 設計施工マニュアル（案）」を制定し、約44万㎡の排水性舗装を、コンクリート床版(PC桁を含む)、鋼床版いずれの箇所においても施工した。

被災から約1年8ヶ月後の平成8年9月、3号神戸

線の全線復旧を完了し供用の再開を迎え現在に至っている。

2. 排水性舗装の設計

阪神高速道路公団では、高架道路上の舗装厚は総厚をコンクリート床版上75mm、鋼床版上80mmとし、表層厚35mm（最大粒径13mm）を標準としているが、既存施工例と排水性舗装の厚みの大なる方が騒音低減効果をより期待できることを考慮して、表層厚を40mmとした。

基層は、水密性を高めて耐水性を向上させること、復旧後の供用交通量を勘案してコンクリート床版部では改質密粒度アスファルト混合物を、鋼床版部ではグースアスファルト混合物を用いている。

表層と基層の間の接着層は、排水性舗装が開粒度混合物であり密粒度混合物に比べて基層との接着面積が少ないことから、接着性を高めるためゴム入りアスファルト乳剤を用いた。

また、排水性舗装は従来の舗装とは考え方を異にし、舗装体内部へ水を透水させたものであることから、コンクリート床版の保護を図るため防水層の施工を標準とし舗装内部に浸透する水が床版などの橋梁主構造に悪影響を与えないように、路面の排水構造を工夫した。なお、鋼床版ではグースアスファルトの水密性が高いことから防水層は設けていない。図-1に、阪神高速道路公団の排水性舗装の標準断面を示す。

阪神高速道路公団の排水性舗装の配合方針は以下のとおりである。

①排水性舗装は表層のみとし、舗装厚は40mmを標準と

*かわむら まさる 阪神高速道路公団保全施設部保全技術課保全設計係長

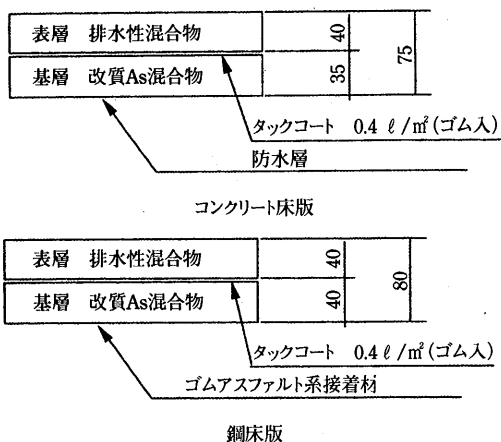


図-1 阪神高速道路の排水性舗装の標準断面

する。

- ②使用する骨材は、最大粒径13mmとする。
- ③バインダーは高粘度改質アスファルトを用いる。
- ④排水性舗装の空隙率は20%を目標とする。

図-2に排水性混合物の配合手順を示す。

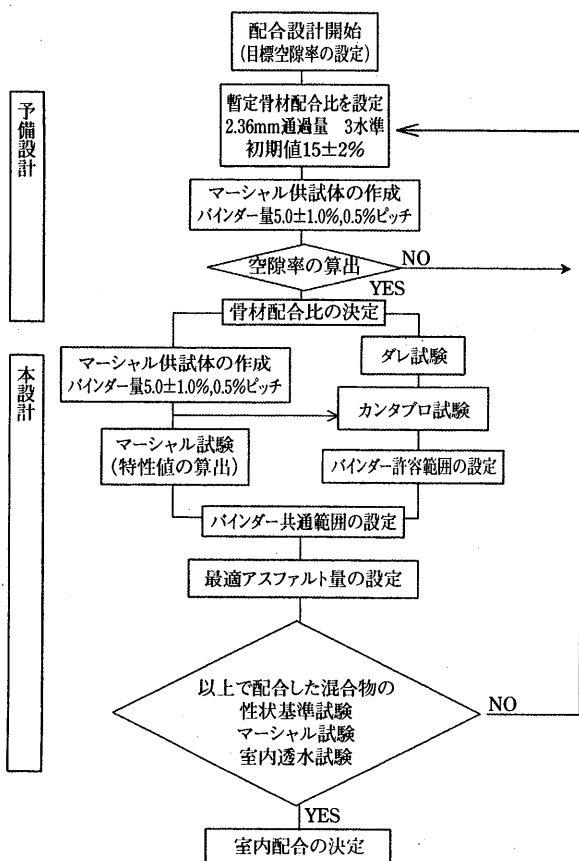


図-2 排水性舗装の配合の手順

3. 排水性舗装の施工

本施工に先立ち、高架道路上における排水性舗装の施工上の問題点抽出とその対策、透水性および騒音低減効果を確認するために3号神戸線現地で試験施工を行った。

試験施工で確認した施工時の留意点を以下に列挙する。

- ①混合物の運搬時には、冬期においても二重にシートで覆うなど温度管理を行うことで、到着温度の下限値170℃、敷き均し温度の下限値150℃を確保できる。
- ②混合物は、レーキによる敷き均し作業が困難であり、アスファルトフィニッシャーによる機械施工を原則とし、レーキの使用は極力避ける。
- ③締め固めは、使用する高粘度バインダーの製造者が推奨する最適締め固め温度に留意し、鉄輪ローラーとタイヤローラーを使用する。
- ④排水性舗装の施工継目には、タックコート塗布しないものとする。

試験施工では、粒径を変えた混合物（6号砕石から8mm以下をカット、5mm以下をカット）を用いて透水性と騒音低減効果を確認したが、粒径による顕著な差は認められなかったことから、混合物に用いる骨材は、震災後の骨材供給事情も勘案して分粒は行わず、6号砕石、砂、石粉の混合とした。

試験施工の見解に基づき、排水性舗装の本施工に着手した。3号神戸線では、ランプ部の規制速度が40km/時であり騒音低減効果が少ないこと、縦断勾配が急なため伸縮継手部での越流などが懸念されることから本線部のみとした。

表-1に、本施工で用いた工区ごとの混合物の配合を重量比率の範囲と平均で示す。各工区の混合物の骨材粒度は、4.75mm通過分14.4～19.4%、2.36mm通過分13.2～16.9%である。

アスファルト量は概ね4.8～5.1%で選定されている。また、ダレ防止に用いた繊維材の添加量は、重量比0.1%とした工区が最も多い。各工区の混合物の空隙率は、19.8～21.3%に分布しほぼ目標空隙率20%を満足している。

防水層は、阪神高速道路公団ではシート系防水を標準としていたが、基層切削後の床版面の凹凸から防水層に空隙が生じやすいこと、施工量が多く専門技術者の確保が困難であること、および早期の供用開始に向けて工期が急がれることから、塗膜系防水工を主に施工した。

表－１ ３号神戸線の排水性混合物の配合

	骨 材			高 粘 度	添 加 剤
	6号碎石	砂	石 粉	バインダー	
最小～最大	79.8～82.6%	7.1～10.5%	4.7～5.2%	4.8～5.1%	0.05～0.1%
平 均	80.8%	9.4%	4.8%	5.0%	0.1%

各工区の骨材の粒度分布	
19 mm	100 %
13.2 mm	94.4 ～ 99.4 %
9.5 mm	64.0 ～ 75.5 %
4.75mm	14.4 ～ 19.4 %
2.36mm	13.2 ～ 16.9 %
600 μm	8.4 ～ 13.3 %
300 μm	6.0 ～ 9.7 %
150 μm	5.0 ～ 5.9 %
75 μm	4.0 ～ 4.5 %

各工区の混合物の性状	
密 度 (g/m³)	1.976 ～ 2.022
理論密度 (g/m³)	2.500 ～ 2.538
空隙率 (%)	19.8 ～ 21.3
安定度 (kgf)	502 ～ 640
フロー値 (10 ⁻² cm)	26 ～ 35
D S 値 (回/mm)	3500 ～ 5800
透水係数 (10 ⁻² cm/s)	6.7 ～ 56.1

４．排水性舗装の供用性と機能性に関する追跡調査

３号神戸線のような高架道路上での排水性舗装の耐久性と機能性を評価するため、複数の地点を対象として、表－２に示す追跡調査を実施している。調査位置は床版種別や橋梁桁種別に応じて任意に選定した。

表－２ 追跡調査の概要

調 査 項 目	調 査 方 法 及 び 器 具
供用性調査	
(1) 平坦性調査	3 mプロフィールメータによる方法
(2) 滑り抵抗測定	DFテストによる方法
(3) 横断凹凸測定	横断プロフィールメータによる方法
(4) 段差測定	横断プロフィールメータによる方法
(5) 路面観察	目視観察
(6) ひびわれ調査	スケッチによる方法
機能性調査	
(1) 現場透水試験	現場透水試験器による方法
(2) 注水調査	排水装置からの流量・時間を計測
(3) 内視鏡調査	内視鏡（ファイバースコープ）による方法
(4) 走行音測定	普通騒音計による騒音レベル測定 a) 一般車走行音測定 b) 試験車走行音測定

追跡調査は供用開始から５ヵ年を予定しているが、ここでは平成10年２月までの供用後約１年半の調査結果について報告する。

４．１ 排水性舗装の供用性調査結果

(1) 交通量

３号神戸線が平成８年２月～９月にかけて段階的に供用したこと、および区間により車線数が異なること等から調査位置により交通量に差はあるが、平成10年２月時点で累積大型車交通量140万台～750万台に達し

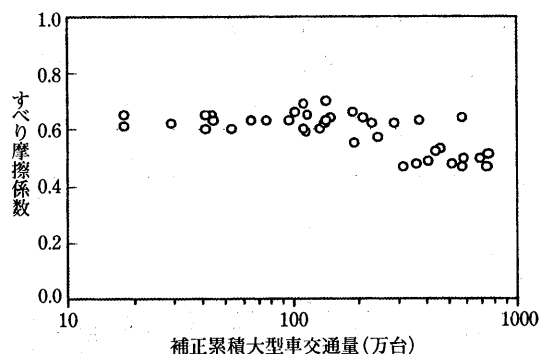
ている。

(2) 平坦性

平坦性はおおむね標準偏差２mm以下に入っており、良好と思われる。現状では、目視観察では離やコルゲーションなどの発生は認められない。

(3) すべり抵抗値

DFテスターによる60km/hのすべり抵抗値と累積大型車交通量の関係を図－３に示す。すべり抵抗値は、供用開始後約150万台でピークを迎えた後、現時点で低下傾向にあり、平成10年２月時点でも最小0.43（時速60km）である。



図－３ DFテスターによるすべり抵抗（60km/h）

(4) わだち掘れ

わだち掘れの進行（平均わだち掘れ量－舗設直後の平均わだち掘れ量）を図－４に示す。比較のため阪神高速道路公団の他路線で実施した改質アスファルト混合物でのわだち掘れの傾向線を併記した。

調査区間で、排水性舗装のわだち掘れの進行量は、現時点では概ね標準的な改質混合物と同等か、これ以

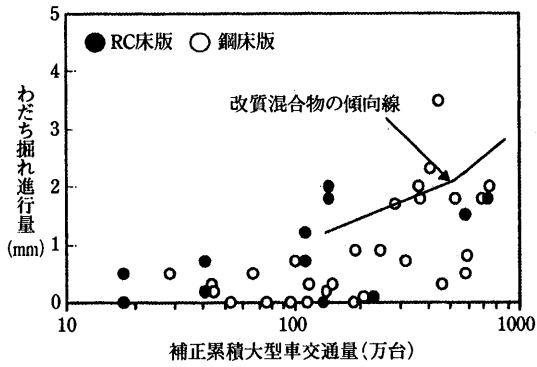


図-4 わだち掘れの進行量

上の耐流動性を示している。

また床版種別すなわち基層混合物の違いによってわだち掘れ進行に顕著な差は認められない。

(5) 伸縮継手部の段差、ひびわれ

伸縮継手部での段差量は、全体としてやや増加傾向にあるが、現在のところ10mm以下に収まっている。また、ノージョイント工法を採用した箇所でも横断方向に若干のひびわれが認められるが、ひび割れ発生に伴うはくり、骨材の飛散は認められない。

4.2 排水性舗装の機能性調査結果

(1) 現場透水性試験

各工区の代表位置 (OWP) の現場透水量測定値と累積大型車交通量の関係を図-5に示す。交通量の増加に伴い、透水量は若干の減少傾向が認められるが、15秒間で1000cc程度を保持している。図中に平成6年に降雨時の走行安全性改善の目的で試験的に施工していた北神戸線での透水量を示している。北神戸線と比較しても、3号神戸線での排水性舗装の透水性能の水準は高いといえる。

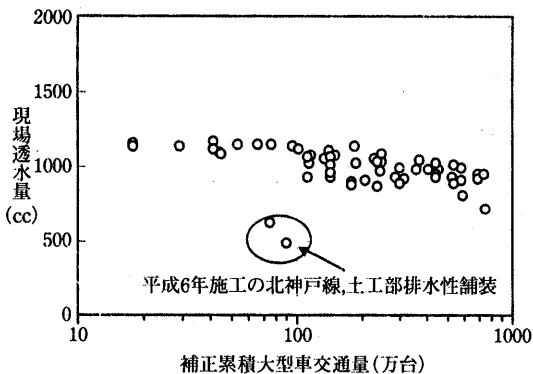


図-5 現場透水性試験結果

(2) 注水試験

阪神高速道路公団では、排水装置としてステンレス

製以外に試験的にプラスチック製のドレーンパイプを用いている。

ドレーンパイプの機能を確認するため、40リットルの水を路面に撒きドレーンを通じて流れ出る量と時間を計測している。現状ではステンレス製の物が若干通水性が良い。

(3) 空隙詰まり

降雨時に滞水の認められる個所が確認されたことから、現場透水性試験、注水試験を実施した。その結果は、OWPと路肩部の透水性が各々1,034cc/15秒と164cc/15秒であった。また同時に行った注水試験も時間を延長して測定したが、30分間の流出量が120ccであったことから、わだち部では比較的良好な透水性を保っている。路肩部で空隙詰まりが生じると路肩部で透水性が阻害され、降雨時に排水性舗装全体としての排水機能が低下してくるといえる。

4.3 車両走行音測定結果

(1) 試験車走行試験

図-6に試験車の走行速度80キロでの走行音の周波数帯域と音圧レベルの関係を示す。供用直後の平成8年9月と平成9年9月の測定結果を比較すると、空隙詰まりが影響するとされる1kHz以上の帯域で、走行音のレベルに顕著な変化は認められない。

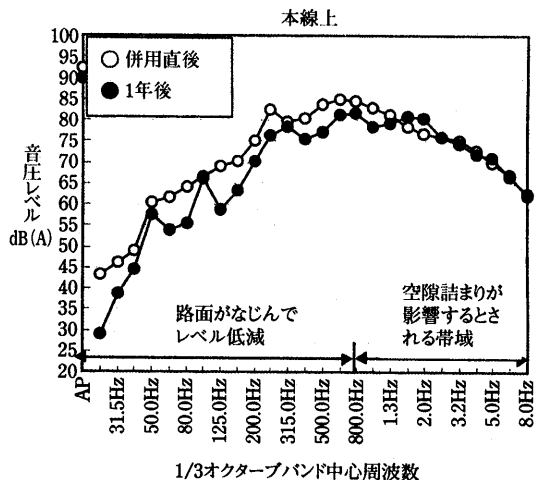


図-6 試験車走行 (80km/h) の周波数帯域と音圧レベル

図-7は元の密粒度舗装、排水性舗装の施工直後、および供用後17ヶ月経過後の試験車走行による走行音ピーク値を示したものである。

走行速度40km/hでは、走行音のピーク値は施工直後に比して上昇傾向にあるが、走行速度が速くなると

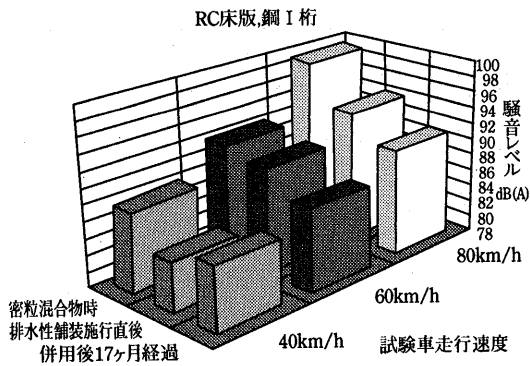


図-7 試験車走行による走行音レベルの変化

施工直後に比して、17ヶ月経過後の騒音レベルが下がっている。

一般に、透水量の低下つまり空隙詰まりの進行するとエアポンピング音が大きくなって1kHz以上の周波数帯の走行音が大きくなる¹⁾²⁾³⁾とされるが、現時点ではわだち部での透水性の低下はないことからエアポンピング音は増大していないと考えられる。

一方、1kHz未満の周波数帯域の走行音は走行タイヤと路面との接触に伴うパターン加振音とされる⁴⁾⁵⁾⁶⁾が、一般車計測でのこの周波数音域の走行音のレベルが低下傾向にある。

現時点ですべり摩擦係数に低下傾向が認められることから、路面凹凸が小さくなり、パターン加振音が小さくなったことによる影響と考えているが、今後の調査結果を待ちたい。

(2) 床版構造の違いによる透過音の比較検討

排水性舗装施工前後の床版直下の透過音を計測した結果、舗装が変わったことで透過音の周波数特性及び音圧レベルのピーク値に顕著な差は認められない。

4.4 まとめ

調査半ばではあるが、阪神高速道路の排水性舗装の現状は以下のとおりである。

- ①現時点では、わだち掘れの進行は改質アスファルト混合物と同等あるいはそれ以上の供用性を示している。またひび割れやはくりの発生も少ない。
- ②現位置透水試験からは、若干の低下傾向が認められる。また、路肩部において透水性の劣る個所が確認され、舗装全体の透水性低下の原因となることが確認された。
- ③供用開始後約一年半での走行音測定の結果からは、排水性舗装の騒音低減効果に顕著な変化は認められず、舗装路面のなじみによる1kHz以下の帯域の低減傾向が認められる。

5. 今後の方針

高架道路の橋面舗装としての排水性舗装の今後については、供用性すなわち舗装としての耐久性、騒音低減効果や走行安全性といった機能がどの程度維持できるかを解明することにあると言える。

この点で、44万㎡規模の排水性舗装を施工した阪神高速道路公団としては、都市内の高速道路が抱える舗装の維持管理、環境改善、走行安全性の確保という課題を解明していくために今後も排水性舗装についての調査を継続していく。

参考文献

- 1) 富田、帆莉、丸山：排水性舗装の騒音低減効果、第19回日本道路会議論文集、pp.606～607、1991、10
- 2) 飯尾、田原、柴田：排水性舗装の道路交通騒音、第19回日本道路会議論文集、pp.32～34、1993、10
- 3) 水野ほか：低騒音舗装の吸音特性に関する研究、第5回北陸道路会議論文集、pp.201～204、1993、10
- 4) 鈴木、岡本：排水性舗装試験施工の追跡調査報告、第20回日本道路会議論文集、pp.730～731、1993、10
- 5) 坂本、福島：タイヤ道路騒音の現状、第19回日本道路会議論文集、pp.47～49、1993、10
- 6) 酒井：タイヤ工学～入門から応用まで～、グランプリ出版、pp.361、1990

☆

☆

☆

☆

☆

☆

冬期間の排水機能維持を図った 排水性舗装の路面凍結抑制効果

(Anti-Freezing Effects of Drainage Pavements in Winter)

武 市 靖*・伊 藤 仁**

札幌市における排水性舗装の試験施工は、CMA散布の併用による凍結路面对策工法として位置づけるための評価が主要な目的である。冬期間の排水機能の維持を図るため、導水管を車道と路肩部の排水層内に埋設すると同時に、路肩部の導水管と併行に凍結防止用の電熱線を設置した。冬期間の調査・観測の結果、氷膜形成の抑制、舗装面の肌理の粗さによる滑り摩擦係数の向上が確認された。

1. はじめに

札幌市において今回、実施した排水性舗装の試験は、本来の排水性・低騒音舗装としてのみならず、CMA散布の併用による凍結路面对策工法の一つとして位置づけるための評価が大きな目的である。特に、排水性舗装の排水機能により夕方以降の氷膜路面の発生を抑制すると同時に、舗装面の粗い肌理がタイヤによる道路雪氷の消耗・路面の露出を助長し、滑り摩擦係数の上昇をねらったものである。

積雪寒冷地における排水性舗装の施工例では、冬期間、路肩部が堆雪帯となり排水層が凍結して路面融解水が排水層内に滞留し、通常舗装より厳しい路面凍結を引き起こすことが検討課題であった。そこで、試験舗装区間では、スパイラルドレーン（導水管）を車道と路肩部の排水層内に埋設して排水を促進すると同時に、路肩部の導水管と併行に電熱線を設置して排水層の凍結防止対策を施した。

ここでは、1997年12月15日から1998年3月20日にわたり、試験区間で実施した調査・観測及び計器による常時観測に基づく解析結果とその評価について述べるものである。

の試験区間として勾配区間を選定したのは、冬期間、路面凍結時の登坂・制動力が問題となる、ロードヒーティング工法の代替工法としての評価をする、導水管を設置した横断排水と縦断排水による排水能力の向上と凍結抑制効果との関係を調べる等の理由からである。

排水性舗装は、施工厚4cm、最大粒径13mm、目標空隙率20%として、高粘度改質バインダーを使用した。排水能力を向上させるために、図-1に示すように、導水管を表層と基層との間に埋設し、排水層内の水は導水管に導かれ雨水桝に流れる仕組みとなっている。さらに路肩に設置された導水管には電熱線を設け、導水管内部及び周辺部の凍結を防いでいる。

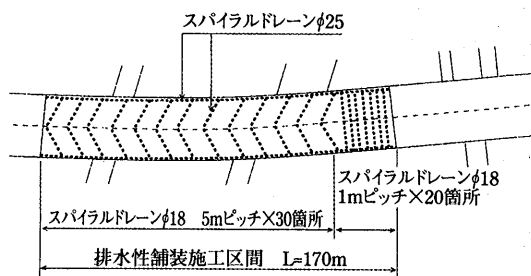


図-1 排水性舗装区間の導水管配置図

2. 試験の概要

2.1 試験区間

試験区間は、市道白石藻岩通における6%の縦断勾配区間150m、平坦な20mの交差点部の排水性舗装と、比較区間としての平坦な通常舗装である。排水性舗装

2.2 調査・観測

- (1) 常時観測：MDカメラによる路面状態の自動撮影、路面凍結検知器による電気容量と路面温度、熱電対による舗装体温度の計測
- (2) 12時間集中調査、4時間夜間調査：試験車によ

*たけいち きよし 北海学園大学工学部教授・工博

**いとう ひとし 札幌市建設局技術センター主査

る滑り摩擦係数の測定, CMA残留濃度測定, 道路雪氷状態・導水管排水状況の目視観測を1時間間隔で実施

3. 各路面状態の発生頻度と滑り摩擦係数

3.1 各路面状態の発生頻度

MDカメラにより15分間隔で自動撮影された路面写真を分類して, 路面状態の発生頻度を月毎にまとめた。道路雪氷分類に基づき, 路面状態は卓越している2つまでの道路雪氷ないし乾燥/湿潤の分類を選択し, 1測定時間に2つの分類が該当する場合には発生回数はそれぞれ0.5となる^{1), 2), 3), 4)}。

冬期間全体では, 図-2に示すように, 排水性舗装区間は通常舗装区間に比較して, 氷膜, 湿潤の発生頻度が低く, 乾燥の発生頻度が多くなっている。排水性舗装では, 写真-1に示すように, 日中の路面融解水が速やかに除去された効果が現れている。特に, 湿潤路面の発生を抑制することは, 夜間の冷え込みによって路面が凍結し, 氷膜, 氷板の発生の抑制・防止に大きな効果があるので, 非常に重要な点である。硬圧雪, 氷板及び粒雪の発生頻度に関しては, 排水性舗装の勾

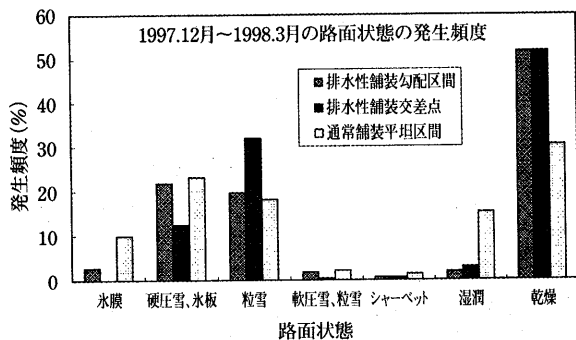


図-2 各路面状態の発生頻度



写真-1 排水性舗装区間(左側)と通常舗装区間(右側)(1997年12月25日7時)

配区間では通常舗装区間と大きな違いは見られない。降雪により厚い圧雪状態になった場合, また, CMAの散布により粒雪になった場合には, ほぼ同様な路面状態になる。

3.2 滑り抵抗試験

北大の滑り抵抗測定試験車による滑り摩擦係数の測定結果を図-3に示した。

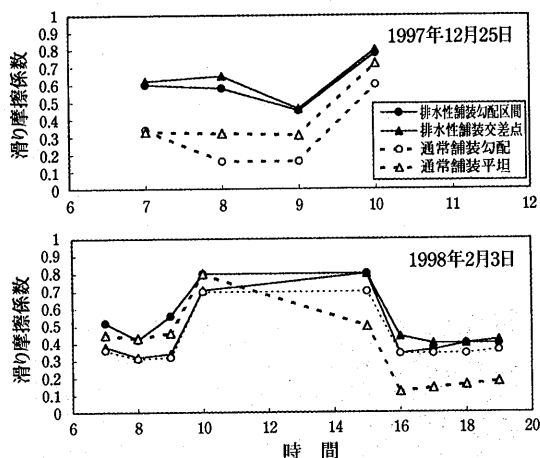


図-3 滑り摩擦係数の時間的变化

- (1) 12月25日: 早朝, 通常舗装区間では, 写真-2に示す氷膜/乾燥路面から乾燥路面に変化し, 排水性舗装区間では交差点部は, 局部的に粒雪が存在していたがほとんど乾燥の状態であった。そのため, 通常舗装区間の7時~9時では, 滑り摩擦係数が0.2~0.3と低いが, 排水性舗装区間では乾燥路面で0.45~0.6と高く, 初冬期の氷膜の発生を抑制している。

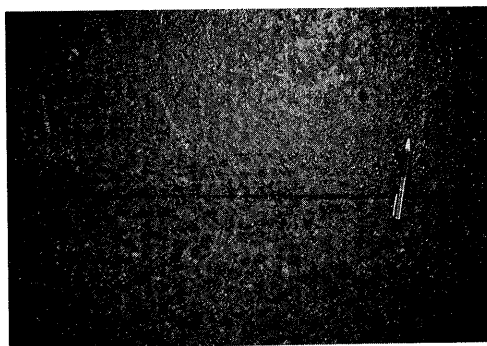
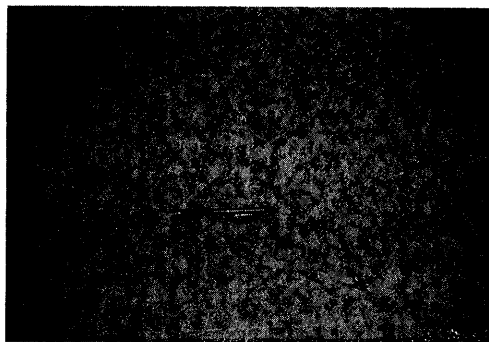


写真-2 氷膜が形成されている通常路面(1997年12月25日7時)

(2) 2月3日：早朝，両区間ともに氷膜／乾燥路面で，昼には乾燥／湿潤となった。午後からの降雪で水べた雪／湿潤路面になり，通常舗装では16時以降氷膜が発生して，滑り摩擦係数が0.2以下の滑りやすい路面になった。排水性舗装では，局部的に硬圧雪／粒雪の状態になった。

(1)と(2)の結果から，排水性舗装区間は通常舗装区間より滑り摩擦係数が0.1～0.2高い。その要因としては，①排水性舗装区間では，湿潤路面になりずらいために氷膜の発生が抑制されている，②排水性舗装に氷膜や薄い硬圧雪が発生しても，写真－3に示すように，舗装面のキメが粗く，大きな凹凸があるため，氷膜や硬圧雪の厚さが一様にならずタイヤによる消耗を受けると，舗装面の凸部が露出して氷膜（硬圧雪）／乾燥→乾燥路面になりやすい等が考えられる。

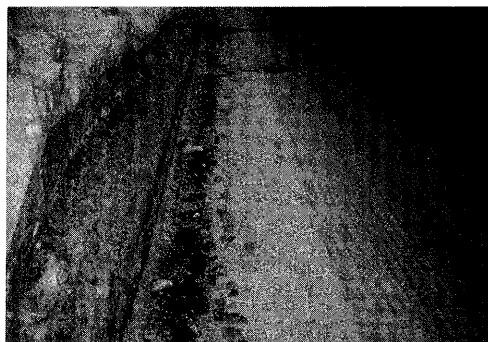


写真－3 舗装面の凸部の雪水が消耗して露出している（1998年2月3日17時）

4. 排水性舗装の舗装体温度と排水状況

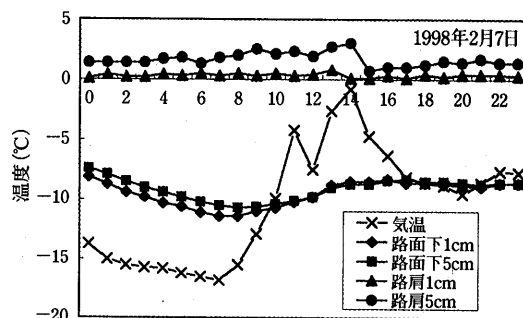
4.1 舗装体温度

導水管と電熱線が埋設されている路肩下1cm，5cmの温度は冬期間を通じて0℃以下にならず，路肩部を除雪すると写真－4に示すように筋状に融解している。



写真－4 除雪をすると路肩部に沿って筋状に融解していた

一方，通常舗装区間の排水柵周辺は凍結し，内部は雪氷が詰まっていた。図－4は，冬期間の最低気温を記録した日の路温と気温との関係である。車道部の舗装体温度は－7～－12℃であるのに対し，路肩部は0℃以上に維持されており，排水層は凍結していないことが分かる。



図－4 最低気温を記録した日の舗装体温度

4.2 排水状況

12時間集中観測時に，導水管の吐き出し口である雨水柵を目視により排水状況を調べた。朝方，導水管の出口付近が凍っており，排水されていない状態であったが，日中にかけて，気温の上昇とともに導水管出口付近で凍っていた氷が融け，水が流れ出した。また，夕方から夜間にかけて，気温の下降とともに，写真－5に示すように，排水柵周辺は凍結していないが，導水管出口付近が凍りはじめ，ついには出口を塞いでしまう。従って，導水管出口付近にも電熱線を設置することにより，排水時間帯を増加させ冬期間の排水機能を一層向上させることができる。



写真－5 排水柵周辺は凍結していないが導水管の吐き出し口につららができていた

5. 誘電式路面凍結検知器による路面状態の検証

5.1 誘電式路面凍結検知器（DPF…Dielectric

Pavement Freezing-detector) の機能

DPFを排水性舗装勾配区間と通常舗装区間の2箇所路面に埋設し、30分間隔で路温・電気容量を自動計測し、各路面状態(乾燥、湿潤、圧雪、硬圧雪、氷板、氷膜)を判別した。これにより、排水性舗装路面での排水状態、各道路雪氷状態、CMA散布後の効果発現状態等を検証した。

DPFは、リング状の平行電極を有するセンサー(φ110mm, h100mm)表面が路面に露出するように設置し、電極間の電気容量と路温を測定する。電気容量は路面上の物質を貫く電気力線によって検知され、雪氷・水分の有無のみならず、雪氷の密度、厚さ、含水量及び薬剤濃度等も信号として識別できるので、予めそれらとの相関を求めておけば、路面状況、散布薬剤濃度の判別が可能である^{3),5),6)}。

5.2 CMA散布の路面状態と排水状態の判別・検証

図-5は、路面状態の変化が大きい初冬期と融解期の解析結果で、路面状態はMDカメラの写真により照合し確認した。全体の解析結果から、路面状態と電気容量との関係は、乾燥→2pF前後、粒雪/乾燥(通常舗装では氷膜)→10pF前後、硬圧雪→40pF前後、硬圧雪/粒雪+CMA→100pF前後、湿潤→湿潤+CMA→100pF~400pF~500pFである。初冬期では、降雪後、不安定な粒雪/乾燥の混在路面から車による締固めで安定した硬圧雪となり、CMA散布後、徐々に効果が発現されて硬圧雪/粒雪+CMAへの変化が分かる。

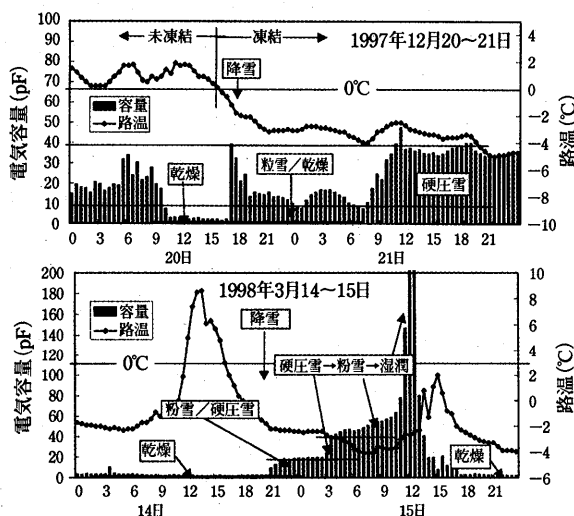


図-5 DPFによる初冬期と融解期の路面状態の判別

融解期では、乾燥路面から、降雪後、硬圧雪→粒雪→湿潤→乾燥路面に変化する過程が示されているが、

3月15日の12時前後に雪が融けて一時、湿潤路面になるが急速に乾燥路面に変化することが分かる。通常舗装区間では、湿潤路面が発生するとその状態で継続し、夕方以降の寒気で氷膜、氷板等の滑りやすい路面を生成しやすいので、排水性舗装の効果が発揮されている一例といえる。

排水性舗装では、凍結防止剤を散布しても“空隙内に入る”、“路面水とともに除去される”等により、効果の発現、持続性が低減するとの指摘がある^{7),8)}。道路気象条件にもよると思われるが、集中観測での残量濃度の経時変化及び図-5の解析結果からもそのような傾向は見られなかった。

6. Winter Indexによる路面管理の評価

6.1 Winter Index (WI) の概要

“同じ冬は、2度ない”という気象変動の自然則から、英国ではWinter Indexの指標で、雪氷管理における冬の厳しさを表現し、管理の効率化と評価を行っている。最近では、経年的に算出したWIにより、塩散布量の適正化や道路気象情報システム(RWIS)導入前・後の散布量低減効果の評価、飛行場の雪氷管理レベルの検討等を実施している。M. Hulmeにより提案されたHulme IndexはThornらによってWinter Indexとして修正され^{9),10)}、SHRPは、更にその算出方法を合理的にしたSHRP WIを提案している。SHRPでは次式を提案し、雪氷管理費の妥当性、予算配分の評価、各州のWIに対する管理費/センターライン・マイルの比較検討等を行っている^{11),12)}。

$$WI = a\sqrt{TI} - b \cdot \ln \sqrt{\frac{S}{10} + 1} - c \sqrt{\frac{N}{R+10}} + 50$$

上式は、a:路面温度(実際には気温を使用)、b:降雪量及びc:相対湿度(露点との関係から路面での霜、氷膜の生成)の3つの要素から構成されている。各要素の重みをa→35%、b→35%、c→30%として、過去20~30年の気象データから、最も厳しい冬と最も暖かい冬の気象条件の時、それぞれWI=-50、WI=+50のように、a=-25.58、b=-35.68、c=-99.50として算出式の係数を決定している。

6.2 排水性舗装区間でのCMA散布管理への適用

北海道全体及び札幌に対して、SHRPの方法と同様の重みづけで、10年間(1987~1996年)のAMeDASデータに基づき、WIの係数a、bを算出し、cは-99.50として同じ値を用いた。全道の係数は、a=-28.39、

b = -14.48, 札幌の係数は, a = -30.70, b = -20.77 となった。

図-6は全道のWIの係数を用いた算出式に,排水性舗装区間の道路気象データを代入して12月~3月の各月毎のWIと散布回数との相関を示したものである。この試験区間では,現場担当者が毎日,朝・夕,路面を調査・観測してCMAの散布管理をしているため,現場のWIと管理の実際が非常によく対応している典型的な例である。このような関係を得て,WIと路面管理レベルの設定をすれば,他の地域でも排水性舗装の凍結抑制効果や路線散布量の定量評価等を行うことができる。

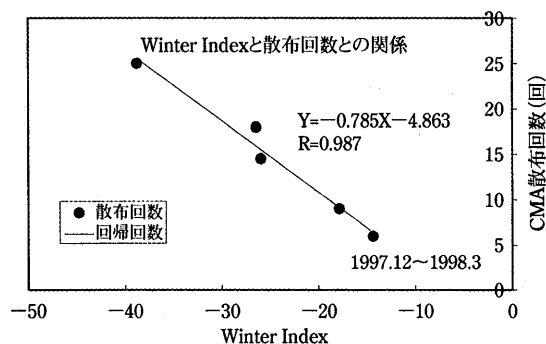


図-6 試験区間のWinter IndexとCMA散布回数との関係

7. おわりに

冬期間の排水機能維持を図った排水性舗装/CMA散布による凍結路面対策工法は,札幌市の幹線道路勾配区間で供用しているロードヒーティング路面管理の代替工法として,今後,位置づけようと検討しているものである。この工法は路面凍結の抑制効果を有していると考えられるが,一冬の調査・観測結果であるので,排水性舗装の耐久性,排水機能・凍結抑制効果の持続性,排水層の構造,管理の水準と方法等の検討課題について,今後とも,調査・観測を継続して検討する必要がある。

排水性舗装の空隙詰まりに関して,一冬経過後,高圧水洗浄とスノーパによる排水性舗装の機能回復を実施し,現場透水試験で効果の確認を行った結果,1回の機能回復作業で50%程度の機能回復効果があった。

従って,通常の道路清掃車両を少し改良しただけで機能回復効果があることが分かったので,この車両による維持管理をきめ細かく実施する予定である。

謝辞:12時間集中調査における滑り抵抗試験に際しては,北海道大学工学部の萩原亨助教授,小野寺雄輝技官には大変お世話になり,心から感謝致します。

— 参考文献 —

- 1) 前野紀一,成田秀器,西村浩一,成瀬廉二:道路雪氷の構造と新分類,低温科学物理篇,1987,P119.
- 2) 成瀬廉二,石川信敬,武市靖,前野紀一:道路雪氷の消耗過程の特性,低温科学物理篇,1987,P135.
- 3) 武市靖,前野紀一,久保宏:路面凍結の検知と推定手法に関する研究:土木学会論文集, No.440/IV-16, 1992, P155.
- 4) 松沢勝,加治屋安彦,石本敬志:新路面分類と94/95冬期路面状況,北海道の雪氷, No.14, 1995, P52.
- 5) 武市靖,前野紀一:誘電式路面凍結検知器(DPF)による路面凍結検知(その2),開発論集第46号, 1990, P15.
- 6) 武市靖:路面凍結の予測に関する研究,土木学会論文集, No.470/IV-20, 1993, P175.
- 7) G.V.Heystraeten,C.Morau:Ten Years' Experience of Porous Asphalt in Belgium,TRR. No.1265,1990,P39
- 8) H.A.Smith:Performance Characteristics of Open-Graded Friction Courses,NCHRP 180, 1992,P17.
- 9) J.E.Thornes:A preliminary performance and benefit analysis of UK national road ice prediction system,The Meteorological Magazine No.1402,1989,P93.
- 10) J.E.Thornes:Cost-Effective Snow and Ice Control for the 1990s,TRR. No.1387,1992,P185.
- 11) R.R.Blackburn他5名:Development of Anti-Icing Technology,SHRP-H-385,1994,P175.
- 12) S.E.Boselly他4名:Road Weather Information Systems Vol.1,SHRP-H-350,1993,P90

東京都の低騒音舗装

(Drainage Pavement for Prevention of Noise in T.M.G.)

阿 部 忠 行*

東京都の幹線街路沿道の道路交通騒音は約半数の地点で要請限度を超過している。その超過している騒音レベルの大きさの約9割は1～5 dB (A)である。東京都が施工している低騒音舗装は、事前事後の調査結果から平均値で約5 dB (A)騒音を低減させている。しかし、騒音低減機能の持続性やその機能を評価する指標など多くの課題を残している。ここでは、路面騒音測定車 (RAC) を導入し既存の低騒音舗装の騒音特性を測定し、騒音低減機能と透水性、吸音特性など舗装の諸物性との関係を明らかにした。

1. はじめに

都市内の道路舗装は、車両走行の快適性や安全を確保することはもとより、沿道環境の保全も重要な機能として要請される。都内幹線道路は人家が連担している地域が多く、かつ交通量が多いため沿道の交通騒音に関する環境は厳しい現状にあり、早急な改善が求められている。平成7年7月の国道43号訴訟の判決に示されたように道路の公共性によるからといって交通騒音による生活妨害は許されなくなっている。このような背景から東京都では、道路整備にあたって遮音壁の設置や緩衝帯の整備とともに低騒音舗装による道路交通騒音の低減に努力しているところである。ここでは、東京都における低騒音舗装の開発の経緯と現状および課題について報告する。

2. 都内の道路交通騒音

東京都の道路整備の柱の一つとして、「良好な沿道環境保全の推進や安全で快適な街づくりなど、良好な地域環境の創出に向けての道路整備」があげられている。この中でも、道路交通騒音の著しい幹線道路については、「幹線道路の沿道整備に関する法律」(以下、沿道法と記述する)に基づき、都知事が区間を定め道路に接する区域を他の機関と協力して建築物の用途制限、緩衝建築物建築費用や防音工事の費用助成など特別の施策を行っている。しかし、都内幹線道路の沿道の道路交通騒音は依然として厳しい状況にある。都内の道路交通騒音の実態を把握するために区及び市が都知事の委任事務で騒音規制法(第21条の2)の規程に基づ

いて都内の道路交通騒音を毎年約500地点で測定している。その調査結果¹⁾をもとに環境基準及び要請限度の基準値等との比較によって都内の道路交通騒音の現状を以下に述べる。

2.1 騒音の環境基準達成率及び要請限度超過率

騒音に関する環境基準は健康を保護し、生活環境を保全するうえで維持することが望ましい数値として提示されている。また、道路に面する地域については環境基準より5から15dB高い騒音レベルを最低限守るべき値として要請限度を定めている。要請限度は、都道府県知事(政令により市町村長に委任)が都道府県公安委員会に対して道路交通法の規定による措置をとるべきことを要請する限度を、命令によって定めている(表-1)。

表-1 自動車騒音の要請限度

(昭和46年6月23日総理府・厚生省令第3号)

区域の区分	車線数	時間の区分		
		昼間	朝・夕	夜間
第1種区域 第1・2種低層住居専用地域	一車線 二車線 二車線を 超える車線	55 dB 70 75	50 dB 65 70	45 dB 55 60
第2種区域 第1・2種中高層住居専用地域、第1・2種住居地域	一車線 二車線 二車線を 超える車線	60 70 75	55 65 70	50 55 60
第3種区域及び第4種区域	一車線 二車線 二車線を 超える車線	70 75 80	65 70 75	60 65 65

※第3種区域：近隣商業地域、商業地域、準工業地域
第4種区域：工業地域

*あべ ただゆき 工博・東京都土木技術研究所主任研究員

騒音測定の実験地点数、環境基準達成率及び要請限度の達成率等は、図-1のとおりである。測定地点数は、昭和62年度で400地点であったが現在はほぼ500地点となっている。このうち、環境基準を達成している地点は2～3%以下とほとんどの地点で環境基準を達成していない。一方、最低限守るべき値である要請限度の達成率をみても測定当初よりも悪化して現在では50%前後となっている。

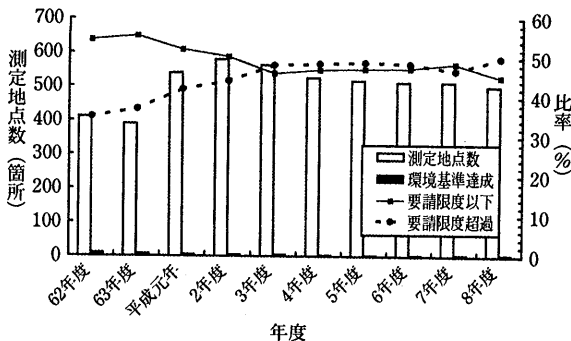


図-1 騒音測定の結果

2.2 時間別の騒音状況

環境基準達成率と要請限度を越えている騒音の時間帯別状況を図-2に示す。この結果から、環境基準を達成している箇所数の割合は夜間（23時～6時）が最も多く、次に夕方（19時～23時）であり朝（6時～8時）と昼間（8時～19時）はほぼ同様な傾向を示していることがわかる。環境基準を達成している箇所は交通量が少なく、特に夜間の交通量が少ない箇所である。一方、要請限度を超過している箇所数では夜間が圧倒的に多く続いて朝、夕方と続き昼間は非常に少ない。

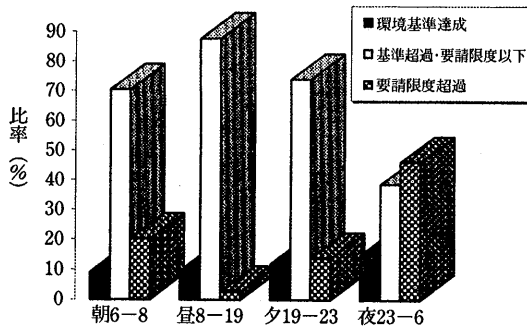


図-2 時間区分別基準達成比率

2.3 要請限度超過の騒音レベル

要請限度を超過している騒音レベルの頻度分布（図-3）にみると朝・昼・夕に要請限度を超過している騒音レベルは約9割は1～5dB(A)である。一方、夜間

に要請限度を1～5dB(A)超過している騒音レベルは65%であり、25%は6～10dB(A)大きな騒音レベルとなっている。すなわち、要請限度を超過している騒音レベルの大半は1～5dB(A)であり、道路交通騒音を1～5dB(A)低減させれば殆どの地点で要請限度内に抑制することが可能となる。このことから、道路交通騒音レベルを1～5dB(A)程度低減させることの重要性和夜間においては6～10dB(A)超過している地点も少なくないためさらに6～10dB(A)の騒音低減を図る必要があることが分かる。

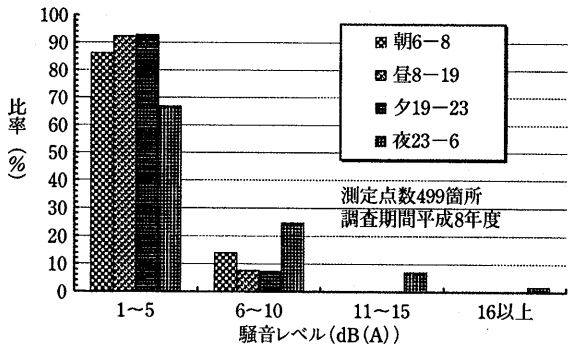


図-3 要請限度超過の騒音レベルの頻度分布

3. 都における低騒音舗装の開発経緯

3.1 開発経緯

東京都での、舗装の面からの道路交通公害対策としては道路交通振動の低減を目標に調査研究を行ってきた²⁾。その結果、道路交通振動対策としては、①舗装路面の平坦性を確保する、②舗装構造として路盤に剛性の高いセメント系の材料を使用する、などの成果を得ている。そして、昭和60年代の前半からは環状7号線など幹線道路を中心に交通騒音の低減対策に取り組んできた。昭和62年には環状7号線の大田区地内で我が国最初の低騒音舗装の試験舗装を実施した。その結果、表層に開粒度アスファルト混合物を使用することによって道路交通騒音を中央値で2～6.5dB(A)低減することが可能であることを確認した³⁾。なお、この時使用したバインダーは、ストレートアスファルトに植物繊維を混合したものと、ゴム入り改質（現在の改質アスファルトI型）を使用した。しかし、その試験舗装は僅か1年足らずで多くのひびわれが発生するとともに騒音低減機能も低下してしまった。その後、平成元年にはバインダーに樹脂入り改質（現在の改質アスファルトII型）や高粘度改質アスファルトを使用した試験舗装を行ってきた⁴⁻⁵⁾。これらの試験舗装や構内試験の追跡調査の検討結果として、混合物の組成、高粘度アス

ファルトの品質およびアスファルト混合物の物理特性を提案してきた。

3.2 舗設実績の推移

都における低騒音舗装の舗設実績は図-4に示すように、昭和62年の試験舗装から平成4年まで試験舗装を実施し、平成6年度から本格的に実施することとなった。平成7年度の土木材料仕様書⁶⁾に高粘度アスファルトの仕様を掲載し現場での採用を容易にし、沿道法で指定された路線を中心として低騒音舗装を舗設した。なお、現在都内で沿道法で指定した路線は平成9年3月現在、環状7号線(55.5km)と環状8号線(9.7km)及び水戸街道(5.1km)の合計74.4kmである。しかし、平成9年3月には道路沿道の環境改善を図る目的で「東京都内における道路沿道環境対策基本方針」(平成8年度に策定)に基づき、低騒音舗装などを優先的に設ける16路線、総延長171.8kmを選定して積極的に実施することが策定された。このため、平成9年度には前年度実績の約2.4倍の面積を舗設し、平成10年度にはさらに約63万㎡の舗設を予定しているところである。

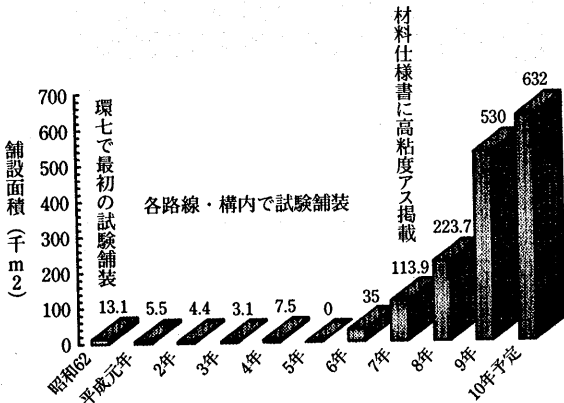


図-4 低騒音舗装舗設の推移

4. 都の低騒音舗装

4.1 標準構造

舗装構造は、従来の密粒度或いは粗粒度アスファルト混合物層の上に5cmの厚さの特殊開粒度アスファルト混合物を舗設する構造を標準とする(図-5)。車道の端部で街渠と接する箇所には街渠に沿って径20mm程度の導水用のパイプを設置し、表層より浸透した雨水を街渠ますへ速やかに導水する構造としている。

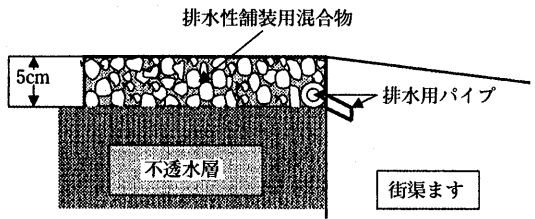


図-5 標準構造

4.2 使用材料

使用材料は表-2~4に示すとおりである。

表-2 高粘度アスファルトの品質

項 目	都土木材料仕様書	排水性舗装技術指針・案
針入度 (25℃) 1/10mm	40以上	40以上
軟化点 ℃	80.0~105.0	80.0以上
伸 度 (15℃) cm	70以上	50以上
薄膜加熱質量変化率 %	0.2以下	0.6以下
薄膜加熱針入度残留率 %	70以上	65以上
タフネス N・m {kgf・cm}	24.0 {240} 以上	20 {200} 以上
テナシティ N・m {kgf・cm}	20.0 {200} 以上	15 {150} 以上
60℃粘度 (×10 ⁴) Pa・s{poise}	4.0 {40.0} 以上	2.0 {20} 以上

表-4 特殊開粒度アスファルト混合物 (低騒音舗装用) の仕様

項 目	都土木材料仕様書	排水性舗装技術指針・案
安定度 N (kgf)	4,000 {400} 以上	
フロー値 ×10 ⁻² cm	20~40	
密度 g/cm³	1.95以上	
空隙率 (ノギス法) %	18~23	20程度
動的安定度 (回/mm)	3000以上	1,500, 3,000以上
透水係数(定水位) cm/S	10 ⁻² 以上	10 ⁻² 以上

表-3 特殊開粒度アスファルト混合物 (低騒音舗装用) の配合

ふるい目	都土木材料仕様書		排水性舗装技術指針・案		備 考
	最大粒径 (20)	最大粒径 (13)	最大粒径 (20)	最大粒径 (13)	
26.5mm	100	—	100	—	
19.0mm	95~100	100	95~100	100	
13.2	64~84	90~100	64~84	90~100	
4.75	10~31	11~35	10~31	11~35	※都も2.36を10~20に変更
2.36	6~23	8~25	10~20	10~20	
75μm	3~7	3~7	3~7	3~7	
アスファルト量	4~6%		4~6%		
用 途	低騒音舗装・排水性舗装				

4.3 騒音低減機能の評価

4.3.1 環境基準測定法による評価

低騒音舗装を舗設した場合には、舗設前と舗設後に騒音調査を行うことを原則としている。騒音測定方法はJIS Z 8731-1983「騒音レベル測定方法」に準じている。施工前と施工後の騒音レベルを比較すると図-6のとおり前後の平均値で5.2dB(A) ($n=354$, $\sigma=3.34$ dB(A))と騒音低減機能が明らかである。さらに、施工前と施工後の関係を求めると多少のバラツキはある

ものの両者には直線関係が見られる(図-7)。この関係式によると、施工前50dB(A)であった箇所では施工後47.2dB(A)と3dB(A)程度低減し、75dB(A)の箇所では69dB(A)と6dB(A)低減していることとなる。しかし、一部のデータは施工前と施工後が同一あるいはかえって大きな騒音レベルとなっている箇所もある。これは、測定時の交通量の相違や暗騒音の影響によるものと考えられ、今後路面とタイヤ間の騒音のみを測定する方法が必要であることを示唆している。

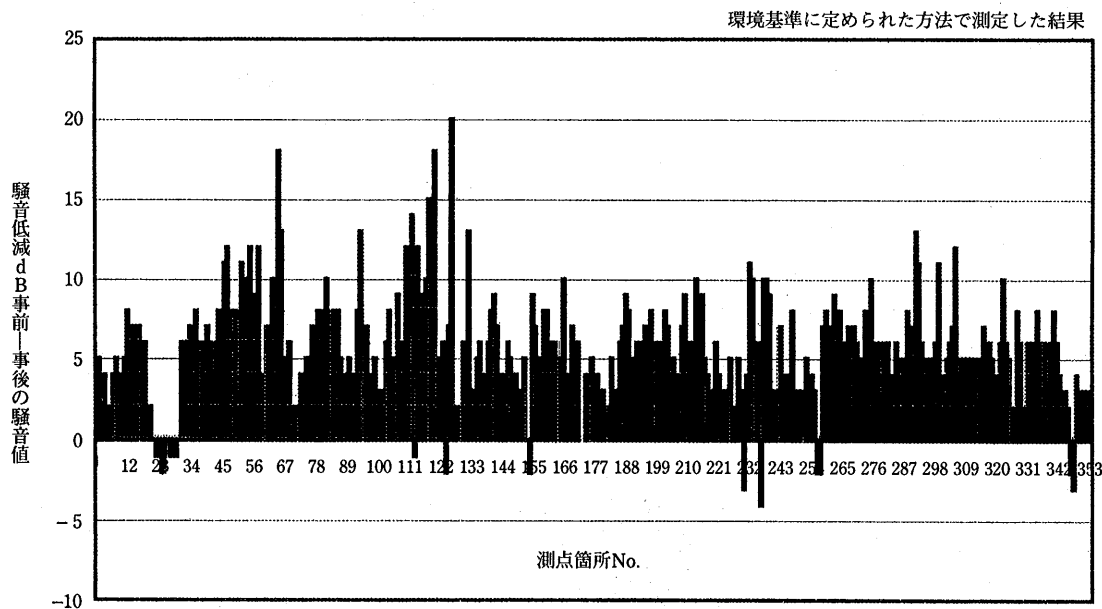


図-6 低騒音舗装舗設前後の騒音

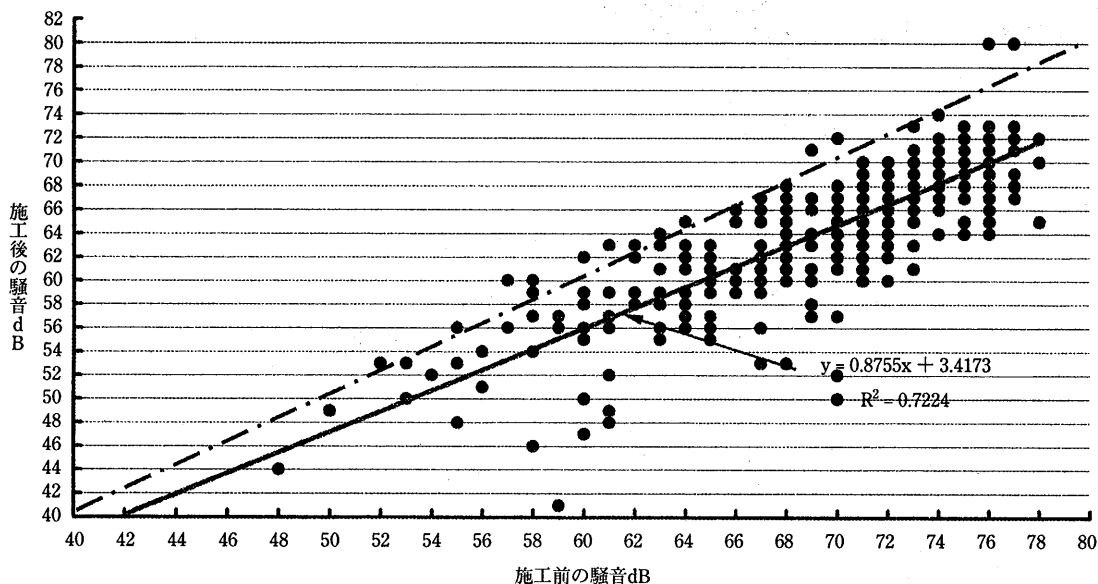


図-7 低騒音舗装舗設前の騒音と舗設後の騒音

4.3.2 路面を中心とした評価方法

道路交通騒音のうち低騒音舗装で対象とする騒音は路面とタイヤの接触面近傍で生じるパターンノイズである。この騒音の詳細を把握するためには出来るかぎり暗騒音を除く必要があり、タイヤ近傍にマイクを設置して騒音測定を試みてきた⁵⁾。

ここでは路面とタイヤのパターンノイズを測定する騒音測定車を使用してこれまで舗装した箇所における騒音測定を行った。

(1) 騒音測定車 (Road Acoustic Catcher)

RAC車は図-8に示すような構造であり、車両の後輪上部に拡散音場(体積:0.484m³,表面積:2.96m²)・音源用スピーカー・計測マイク・特殊タイヤを備えて、次に示す2種類の交通騒音の特性を測定することができる構造となっている⁸⁻¹¹⁾。

① 特殊タイヤ音のエアポンピング音:試験用特殊タイヤに一定荷重(250kgf)を懸けて路面に降下させ走行し、タイヤと路面から発生するエアポンピング音をタイヤ近傍の単一指向性のマイクロホンで計測する。なお、ここで計測した音を特殊タイヤ音と記述する。

② スピーカー音源による路面反射音:試験車に搭載したスピーカー音源から一定音響パワーの人工音(ピンクノイズ)を路面に向けて放射し、路面・シャーシ間で多重反射させた後、拡散音場中央のマイクロフォンによって路面反射音を計測する。

なお、ここで計測した音を路面反射音と記述する。

特殊タイヤ音と路面反射音との比較の結果、特殊タイヤ音による評価が効果的であるとの結果を得たため⁸⁻⁹⁾ここでは、おもに特殊タイヤ音の解析結果について述べる。

なお、RAC車の測定結果は全て等価騒音レベル(Leq)である。

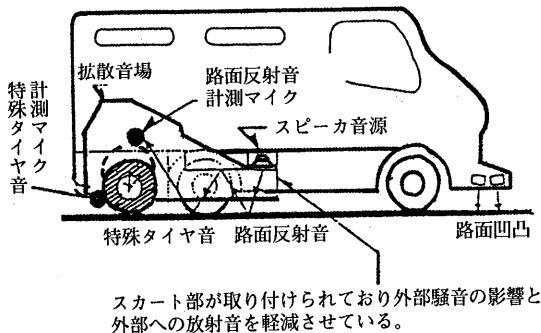


図-8 RAC車

(2) 周波数特性

道路交通騒音の周波数ごとの音圧レベル特性は図-9に示すとおりであった。なお、ここで示した基準値は密粒度アスファルト舗装での代表的な測定値であり、800Hzと1250Hz付近に音圧レベルのピークがある。一方、低騒音舗装では800Hz付近に一つのピークがあり、1250Hz付近の音圧レベルの低減が大きいことが分かる。また、低騒音舗装の各周波数における音圧レベルは経年ごとに増加し、騒音低減機能の低下が見られる。

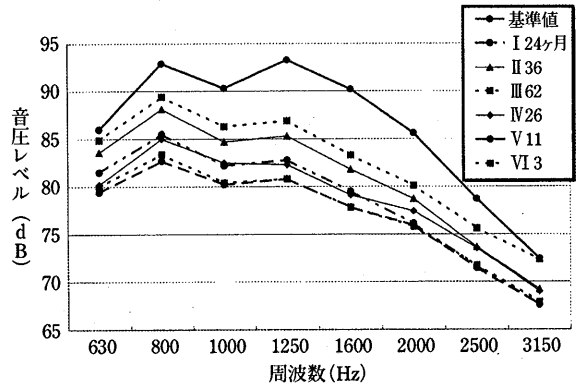


図-9 周波数特性図 (630Hz~3150Hz)

(3) 音圧レベルの経年変化

ここでは、図-9に示した周波数特性図の横軸に示した各周波数における音圧レベルを累積した結果を図-10に示す。この結果、音圧レベルの累積と供用月数の関係は図に示した回帰式で表すことができた。この結果からは、供用月数とともに騒音低減機能は低下するものの約10年間の供用後もある程度の騒音低減機能を有することが推定される。このように、10年間の供用後もある程度の騒音低減機能を有するのは、混合物が開粒度で路面のマクロテクスチャによるものと考えられる。

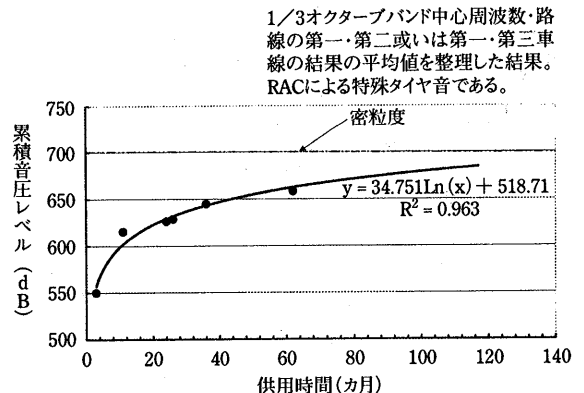


図-10 音圧レベル (630Hz~3150Hz) の経年変化

図-11には、音圧レベルの低減が最も大きい周波数である1250Hzにおける音圧レベルの経年変化を示した。この結果からも、舗設当初は12dBと大きな低減効果があり約10年間の供用後でも4 dB程度の低減効果が残ることが推定される。

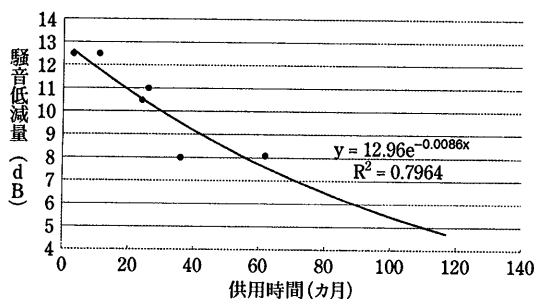


図-11 1250Hzの騒音低減量の経年変化

(4) 音圧レベルと諸特性の関係

① 透水係数と特殊タイヤ音

定水位透水係数と特殊タイヤ音の関係は図-12に示すとおりである。両者の関係は、透水係数 1×10^{-2} を境に大きく異なる結果となっている。 10^{-2} 以上の透水係数の場合には両者には明らかな比例関係があり、 10^{-2} 以下の場合には両者の関係は不明確である。すなわち、透水係数が変化しても特殊タイヤ音は殆ど影響されていない結果となっている。このことは、 10^{-2} 以上の透水係数のレベルでは騒音低減機能の指標として透水係数は有効であるが、 10^{-2} 以下の透水係数は騒音低減機能の有効な指標とならないことを意味している。

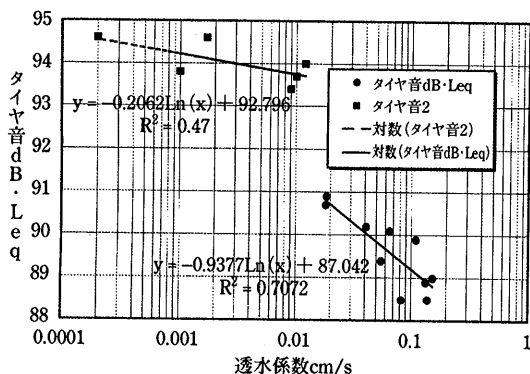


図-12 透水係数と特殊タイヤ音

② ピーク吸音率と特殊タイヤ音

ピーク吸音率はアスファルト混合物の吸音特性を示す指標であり、特殊タイヤ音との関係は図-13に示すようにかなり高い負の関係がある。このことは、特殊タイヤ音を低減する目的でアスファルト混合物を選択

する場合にピーク吸音率は有効な指標であることを示している。

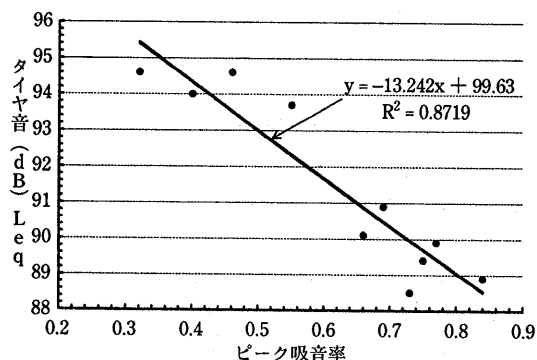


図-13 ピーク吸音率と特殊タイヤ音

③ 空隙率と特殊タイヤ音

空隙率と特殊タイヤ音の関係は図-14に示すとおりである。ここでは、全体空隙率と連続空隙率の両者を一緒に図化してある。この結果からは、特殊タイヤ音と空隙率とはある程度の比例関係はあるもののそれほど高い相関関係ではないことが分かる。これは、騒音低減機能を空隙率のみで一概に評価出来ないことを意味している。また、全体空隙率と連続空隙率を特殊タイヤ音との相関性でみると、全体空隙率と連続空隙率の関係は同程度の相関性であることが分かる。

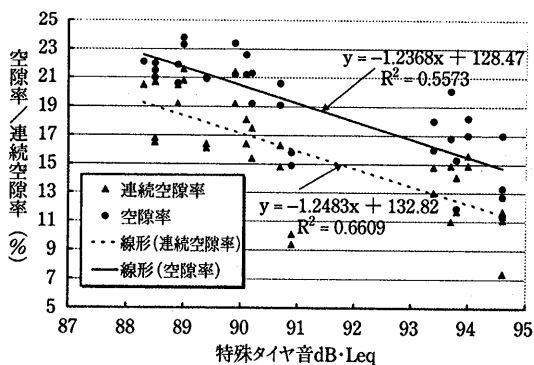


図-14 特殊タイヤ音と空隙率

5. 低騒音舗装の課題

5.1 機能の持続性の向上

低騒音舗装の騒音低減機能は供用年数とともに低下している。その原因は土砂などが空隙を詰まらせる“空隙詰まり”と骨材を皮膜しているアスファルトが流動して空隙を閉塞する“空隙つぶれ”が考えられる。しかし、全体の空隙率の変化などからみると騒音低減機能の低下を空隙率の変化に直接的に結び付けて評価す

ることは難しい。また、表面及び薄く切断した供試体の断面を目視観察しても空隙詰まりと空隙つぶれを区別することは困難である。今後、騒音低減機能の持続性を高める検討を行うためにも両者の区別を明確にする試験手法の開発や空隙の閉塞状態を定量的に評価する方法の開発が急がれる。

5.2 機能回復手法の開発

現在、機能回復のために高圧洗浄などを試験的に行っているが顕著な効果が見られないのが現状である。今後、機能回復のタイミングの設定とともに効率的な機能回復手法の開発が急がれている。

5.3 交差点部での耐久性

交差点部に低騒音舗装を舗装した箇所において、供用直後に骨材が飛散する破損が生じている。その原因は、大型車両がカーブを切る際に生じる水平方向の剪断力によるものと考えられる。当面の対策として、粒度およびアスファルト量を少し多めに变化させる、骨材粒度の細粒部分を増加させるなどの配合面の工夫と共に、舗装直後に樹脂で表面をコーティングするなどの対応をしている。しかし、さらに耐久性の高い材料や配合を検討するために、交差点部で発生する水平方向の剪断力を再現する試験方法の開発を検討している。

5.4 補修工法の開発

交差点部や車道端部の導水パイプを設置した箇所での、骨材の飛散やひびわれあるいは降雪後のタイヤチェーンによる部分的なポットホール等の破損が発生している。このような破損に対して部分的な小規模の補修工法や材料の開発が必要である。

5.5 高粘度改質アスファルト混合物の再生利用

舗装材料は他の建設発生材料に比較して積極的に再利用されているが、高粘度改質アスファルトは従来の改質アスファルトよりも多くの樹脂類が含まれているため再生利用にあたっては供用劣化による高粘度化などについての検討が必要であり、その再生利用方法についても現在調査研究に取りかかっている。

5.6 評価指標の選定

現在、道路交通騒音は道路端あるいは車道端の1.2~1.5mの高さにおける騒音レベルで評価している。しかし、舗装路面の騒音低減機能を評価する指標としては本報文で示したRACのような路面を中心として路面とタイヤ音を連続的に測定する方法を採用すべきである。このためには、両者の関係を明らかにして評価指標を定める必要がある。

6. おわりに

都内幹線道路における道路交通騒音に関する沿道環境は未だ要請限度を越える地点が多く、この解決手段として低騒音舗装が本格的に採用されている。しかし、低騒音舗装は実用化されてからその歴史は浅く、道路舗装としての耐久性、騒音低減機能、機能の持続性及び機能回復技術など多くの課題を残したまま社会の要請に応えている側面は否めない。今後、これらの課題を解決し、さらに高機能の低騒音舗装への改善を行っていく所存である。

最後に、調査の実施にあたって、ご協力を頂いた東京都建設局道路管理部保全課および建設事務所の各位に対して、深く謝意を表します。

— 参考文献 —

- 1) 東京都環境保全局：平成8年度道路交通騒音振動調査報告書，平成9年8月，1997.
- 2) 例えば，達下他：舗装構造と道路交通新道の低減に関する基礎的実験，都土木技研年報，昭53，1978.
- 3) 達下，鈴木，内田：開粒度アスファルト混合物が道路交通騒音に及ぼす影響，都土木技研年報，昭63，1988.
- 4) 内田喜太郎：各種表層混合物の騒音低減効果と排水性，都土木技研年報，平3，1991.
- 5) 内田喜太郎：低騒音・排水性舗装の目潰れによる機能低下，平4，1992.
- 6) 東京都建設局：土木材料仕様書（平成7年），1995.
- 7) 東京都建設局：土木材料仕様書（平成9年），1997.
- 8) 阿部忠行，田中輝栄：低騒音舗装の機能評価，都土木技研年報，平成9，1997.
- 9) 峰岸順一，阿部忠行：低騒音舗装の供用性評価，第2回舗装工学講演会講演論文集，1997.12.
- 10) 阿部・田中・岩田：試験車走行による低騒音舗装の効率的評価，第22回日本道路会議一般論文集，平9，1997.
- 11) 大久保・岩田・平野：都市内道路の低騒音舗装性能の測定方法について，日本騒音制御工学研究会講演論文集，平成8年9月

大阪市における低騒音舗装（排水性舗装）の取り組み

(The Outline of Silent Pavements (Drainage Pavements) in Osaka City)

酒 井 昇*

自動車交通騒音対策として、本市では平成8年度より低騒音舗装を本格導入している。整備にあたっては、住居系地域の幹線道路で、夜間の騒音レベルが要請限度を著しく超え、舗装の補修時期と合致している区間からの整備を考えている。

本文では、本格導入に至るまでの試験舗装による供用性や効果、機能等の追跡調査と、整備実績及び整備路線における舗装構造厚や今後の端部排水処理の構造の検討などを紹介する。

1. はじめに

平成7年7月に、「国道43号及び阪神高速道路の自動車交通騒音」に対する国などの賠償責任を認めた最高裁判決が出され、自動車交通騒音に対する生活環境の改善が急務となっている。

本市では、自動車交通騒音を含めた自動車公害対策を推進するため、「大阪市自動車公害防止計画」を平成7年7月に改定し、自動車交通騒音問題について、具体的な施策を積極的に推進してきた。これを受け、道路構造対策として、排水性舗装の騒音低減効果に着目し、本舗装を「低騒音舗装」と位置づけ、実施に取り組んでいる。

以下、本文では、低騒音舗装実施に至るまでの試験舗装や追跡調査結果、及び本市における低騒音舗装の整備実績等の報告をする。

2. 試験舗装

本市では、近年、日本に導入された排水性舗装について、本舗装の供用性、騒音低減効果や排水機能及びその持続性等を把握するために試験舗装を行い、追跡調査を実施してきた。以下に、試験舗装の概要及び追跡調査結果を報告する。

2.1 試験舗装施工概要

(1) 大阪環状線

試験目的：供用性及び騒音低減効果や排水機能等について、それらを経年測定し、変化を定量的に把握すること。

施工時期：平成3年

施工規模：延長240m、片側車道幅員9.5m（3車線）

の北行・南行の往復道路（合計6車線）

北行車線：高粘度アスファルト（植物繊維無し）、
Top13mm、表層厚 $t = 5$ cm、空隙率18%程度

南行車線：高粘度アスファルト（植物繊維入り）、
Top13mm、表層厚 $t = 5$ cm、空隙率18%程度

骨材の最大粒径についてはTop20mmよりも騒音低減効果の期待できる¹⁾Top13mmを採用した。

(注意) ここでいう高粘度アスファルトとは、改質アスファルトの粘度を高めたアスファルトをいい、排水性舗装技術指針(案)の高粘度アスファルトの規格²⁾と比べて、60℃粘度は劣る。

また、南行車線では骨材の剝離等に対する補強を目的として植物繊維を添加しており、バインダー量も若干多めに配合している。

交通量：C交通

比較工区：北行車線、密粒度アスファルト、Top20mm、表層厚 $t = 5$ cm

(2) 大阪内環状線

試験目的：隣接した区間に耐流動舗装の区間を設け、供用性について比較評価すること。

施工時期：平成5年

施工規模：片側車道幅員8.25m（2車線）の北行・

*さかい のぼる 大阪市建設局土木部道路補修課長

南行の往復道路（合計4車線）
各舗装の舗装種別等の概要を表-1に示す。

交通量：C交通

2.2 追跡調査項目及び試験方法

追跡調査項目及び試験方法は、表-2に示すとおりである。全体計画としては、施工直前、施工直後、3ヶ月後、6ヶ月後、1年後、2年後、3年後、5年後に調査を実施し、5年間行うこととしている。

表-2 追跡調査一覧表

調査項目	試験方法	大阪環状線	大阪内環状線
ひびわれ率	舗装試験法便覧*	○	○
縦断凹凸量	舗装試験法便覧 (3mプロフィールメータ)	○	○
わだち掘れ量	舗装試験法便覧 (横断プロフィールメータ)	○	○
滑り抵抗値	舗装試験法便覧 (振子式スキッドレジスタンステスト)	○	○
現場透水試験	舗装試験法便覧	○	○
たわみ量	舗装試験法便覧 (ベンケルマンビーム法)	○	○
	FWD法	—	○
騒音測定	JIS Z 8731	○	○
室内透水試験	舗装試験法便覧	○	○
密度試験	舗装試験法便覧	○	○
最大比重	舗装試験法便覧	—	○
アス回収	舗装試験法便覧	—	○
針入度	舗装試験法便覧	—	○
軟化点	舗装試験法便覧	—	○
機能回復試験	高圧洗浄及び吸引	○	○

*：社団法人 日本道路協会 出版

2.3 大阪環状線における追跡調査結果及び考察

(1) ひびわれ率

ひびわれは、3年後まではほぼ0%であり、5年後から北行車線で11.3%、南行車線で18.9%発生しており両車線に見られる。このひびわれは事前調査

で確認された位置とほぼ同位置にあり、発生原因として基層部以下の鈹滓路盤及びコンクリート版によるリフレクシオンクラックであると考えられる。

(2) 縦断凹凸量（平坦性）

結果を図-1に示す。1年後までに標準偏差σの値が若干増加し、1年後以降はほぼ横這いの状態で安定している。その変化量は施工直後に比べ1～2mmの範囲内で推移しており、供用上特に問題ないと思われる。

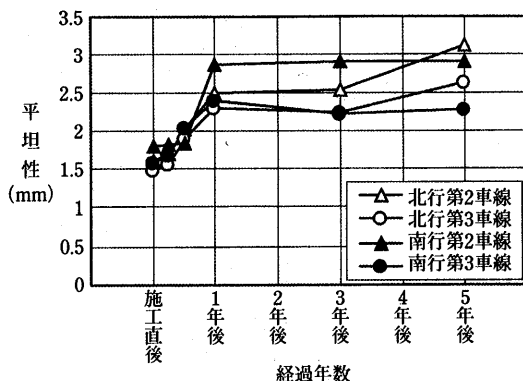


図-1 縦断凹凸量の経年変化

(3) わだち掘れ量

結果を図-2に示す。わだち掘れ量は、経過年数

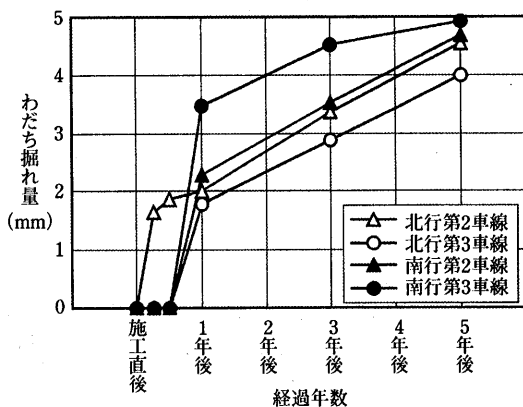


図-2 わだち掘れ量の経年変化

表-1 大阪内環状線施工概要

舗装タイプ	南 行 車 線			両 車 線	北 行 車 線	
	A	B	C		D	F
舗装種別	耐流動舗装 セミブロンAs	耐流動舗装 改質II型As	耐流動舗装 吸油材舗装	半たわみ舗装	低騒音舗装 (バインダー①)	低騒音舗装 (バインダー②)
延 長	100 m	100 m	100 m	30 m	100 m	100 m
最大粒径	20 mm	20 mm	20 mm	13 mm	13 mm	13 mm
表 層 厚	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm
空 隙 率	—	—	—	—	20%程度	20%程度

As: アスファルト

とともに大きくなる傾向にあるが、5年経過の時点で平均して5mmであり比較的良好な状態であるといえる。

(4) 滑り抵抗値

結果を図-3に示す。値にややバラツキがあるものの、3年後以降に滑り抵抗値が低下する傾向を示している。各車線の滑り抵抗には有意差がない状況にある。

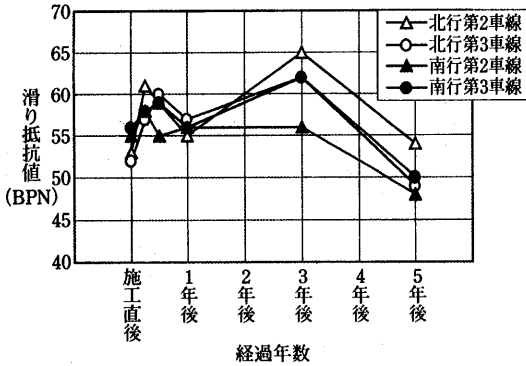


図-3 わだち部におけるすべり抵抗値の経年変化

(5) 現場透水試験

結果を図-4、図-5に示す。1年後までは、北行車線については透水機能の目標値(900cc以上/15sec)³⁾を満たしており、南行車線については、目標値を若干下回る傾向が見られる。しかし、3年後以降は、急激に透水機能が落ち、透水機能を有しているとはいえない。この結果から、透水機能については、遅くとも2年以内に機能回復の手段を講じる必要があると思われる。

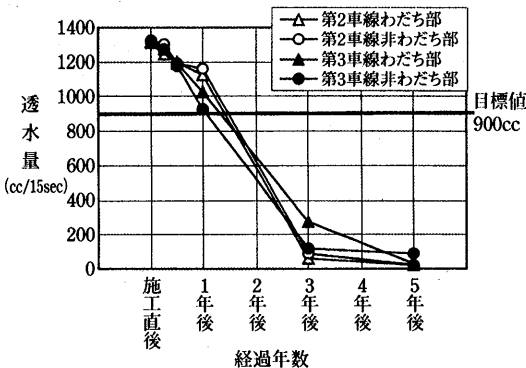


図-4 北行車線における現場透水試験結果の経年変化

(6) たわみ量

結果を表-3に示す。調査時期毎にややバラツキが見られるものの、経年によるたわみ量の変化は無

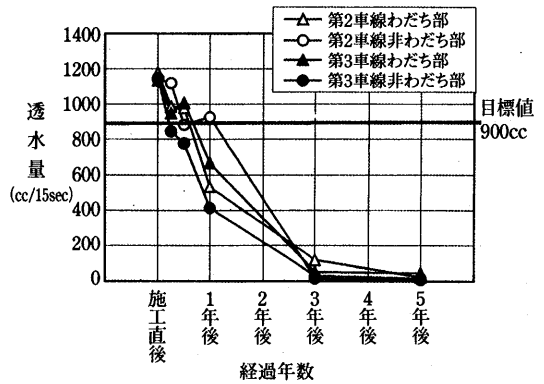


図-5 南行車線における現場透水試験結果の経年変化

く、植物繊維の有無による差も見られない。5年後における温度補正後のたわみ量を見ると、北行車線、南行車線ともに0.25mmとなっているが、たわみ量に経年変化が見られないことから供用性に問題はないものと思われる。

表-3 たわみ量の経年変化

	路面温度 (°C)	北行車線 (mm)	南行車線 (mm)
3ヶ月後	27	0.29 (0.23)	0.35 (0.28)
6ヶ月後	13	0.23 (0.33)	0.30 (0.43)
1年後	25	0.29 (0.25)	0.32 (0.27)
3年後	30	0.30 (0.21)	0.37 (0.26)
5年後	31	0.35 (0.25)	0.35 (0.25)

() は温度補正後の値

(7) 騒音測定及び交通量調査

結果を図-6に示す。経年変化としては、1年後までは比較工区の密粒度アスファルト区間と比較して3dB程度の騒音低減効果が見られるが、3年後以降は騒音低減効果がほとんど見られない。このことから、騒音低減効果については、遅くとも3年以内に機能回復の手段を講じる必要があると思われる。

ここで、参考のために交通量調査の結果を表-4に示す。北行車線、南行車線で比較すると全交通量及び大型車混入率が若干異なっており、南行車線の方が少ない傾向にある。図-6を見る限りでは南行車線の方が騒音低減効果が良い傾向を示しているが、これが交通量に起因しているのか、またはその他の要因によるものかは定かではない。

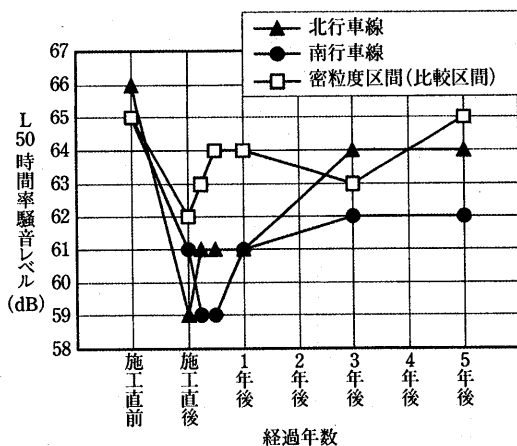


図-6 騒音測定結果の経年変化

表-4 騒音測定時(10分間)の交通量調査

	北 行 車 線			南 行 車 線		
	全交通 量 (台)	大型車 (台)	大型車 混入率 (%)	全交通 量 (台)	大型車 (台)	大型車 混入率 (%)
施 工 前	1,038	68	6.6	1,127	56	5.0
施工直後	1,003	57	5.7	1,100	62	5.6
3ヶ月後	1,095	61	5.6	1,067	61	5.7
6ヶ月後	1,065	84	7.6	999	55	5.5
1年後	998	67	6.7	994	53	5.3
3年後	1,105	75	6.8	1,073	57	5.3
5年後	1,121	77	6.9	999	57	5.7

但し、各車線別交通量の要因の分析は行っていない。

(8) 舗装体の空隙率

結果を図-7に示す。各工区とも施工直後から空隙率は低下する傾向にあるが、3年後以降は横這いの状態で推移しており、空隙詰まりや交通荷重による空隙つぶれがある程度一定化したものと推測される。また、北行車線、南行車線とを比較すると、補

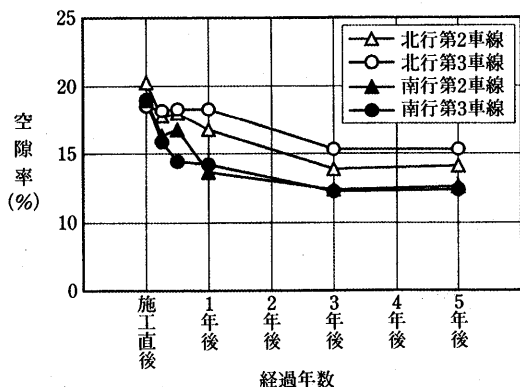


図-7 わだち部における舗装体の空隙率の経年変化

強を目的として植物繊維を添加した南行車線の方が空隙率の低下が大きい結果となっている。

(9) 室内透水試験

結果を図-8に示す。現場透水試験と同様に1年後まではほぼ排水性アスファルトの透水係数の基準値($1.0 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$)⁴⁾を満たしているが、3年後以降はこの基準を満たしていない。

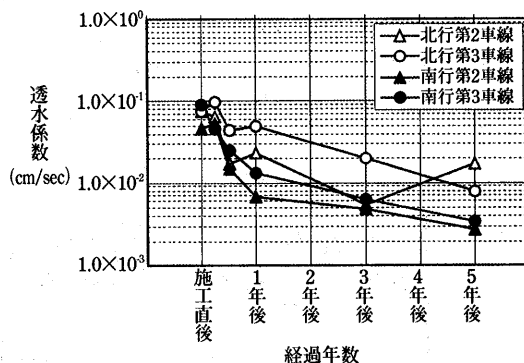


図-8 わだち部における透水係数の経年変化

(10) 機能回復試験

5年後に行った機能回復試験に関して行った騒音測定結果を表-5に示す。比較工区の密粒度アスファルト区間と比較して3 dB程度の騒音低減効果が確認されており、回復効果はあると考えられる。機能回復後、砂状の回収物が確認され、目視観察でも舗装表面の空隙の状態が改善されていた。

表-5 機能回復前後の騒音測定結果

	時間率騒音レベル (L50 : dB)	
	北 行 車 線	密粒度区間 (比較区間)
回 復 前	64	65
回 復 後	61	64

2.4 大阪内環状線における追跡調査結果及び考察

この試験舗装区間では、現在、3年後までの追跡調査を終えており、ここでは実施した追跡調査のうち、各種舗装の供用性に関して比較評価を行うことを目的として、わだち掘れ量における調査結果を報告する。

わだち掘れ量の経年変化を図-9に示す。わだち掘れ量は、経過年数とともに大きくなる傾向にあるが、2年後以降にはやや横這いの傾向を示している。追越車線の方がわだち掘れが進行する傾向にあるのは、追越車線を走行する車両が多いためであると推測される。走行車線平均で見れば、わだち掘れ量が3年後の時点

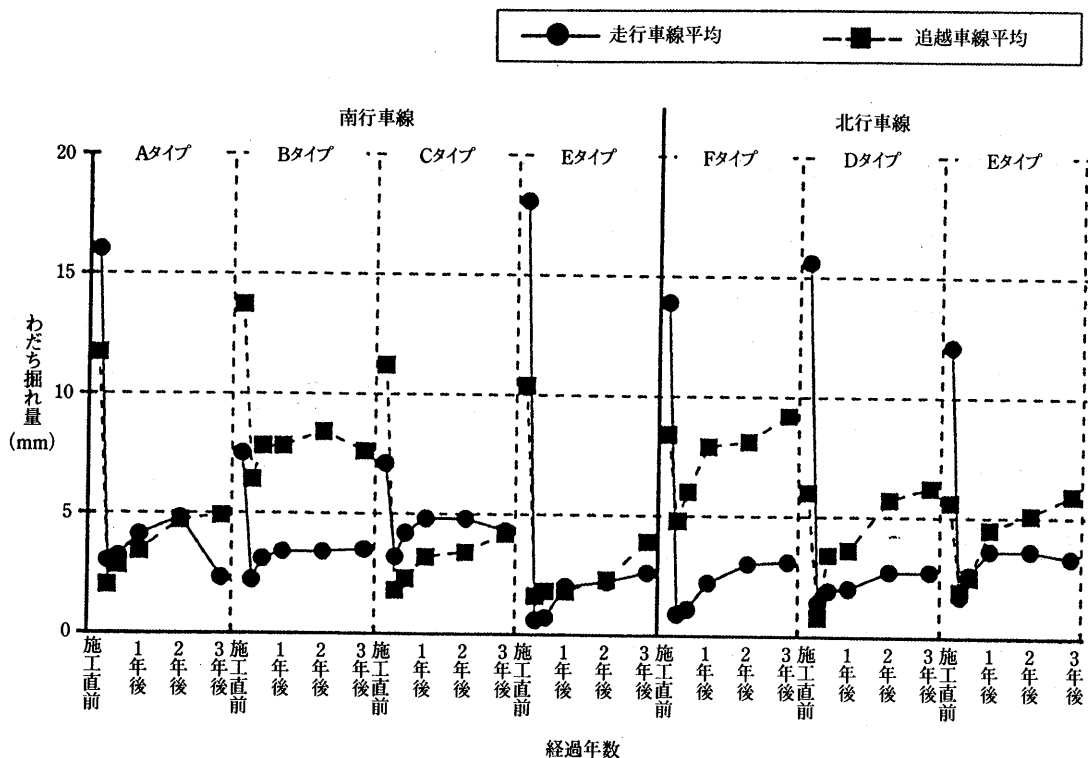


図-9 わだち掘れ量の経年変化

で4mm以内であることから良好な状態であるといえる。追越車線平均でも、Fタイプは10mm以下であるが、Dタイプでは7mm以下であり、供用上問題ないと思われる。

他の舗装と比較すると、Fタイプの追越車線平均は多少わだちの進行が伺えるが、他の耐流動舗装とほぼ同程度の耐流動性があると思われる。

2.5 まとめ

試験舗装の追跡調査等から得られた結果を以下にまとめる。

- ・道路としての供用性については問題なく、改質アスファルト等と同程度の耐流動性を持つ。
- ・騒音低減効果は、3dB程度である。
- ・路線特性によって多少異なるが、騒音低減効果、透水機能は、施工後1年は比較的良好な状態を持続するが、3年を越えるとこれらの機能は著しく低下する。
- ・機能回復による騒音低減効果の回復は確認されたが、持続性については明確ではない。また、機能回復の作業中は騒音があるため、回復作業を行う場合には、沿道への騒音等の事前説明が必要である。

る。

- ・今回の試験舗装では、植物繊維を添加することによる効果について、明確な結果は得られなかった。調査結果全般を見ると、排水性舗装は供用性に問題はなく、騒音対策に有効な舗装であることが確認できた。

3. 整備路線選定基準

本市では、試験舗装の追跡調査結果から、排水性舗装を「低騒音舗装」として、平成8年度より2路線の施工をはじめとして、本格導入している。

実施する整備路線の選定においては、以下に述べるような基準を設けて整備計画を立てている。

- ・夜間の騒音要請限度を大幅に越えている区間であること。
- ・住居系地域であること。
- ・補修サイクルに合致していること。

4. 整備実績

4.1 施工概要

本市で、整備された路線について施工概要を表-6に示す。

表-6 整備実績一覧表

実施年度	路線名	場所	延長(m)	面積(m ²)	交通量
H 8	大阪中央環状線(旧道)	鶴見区	623	3,682	C交通
	大阪高槻京都線	東淀川区	426	6,342	D交通
	大阪高槻京都線	東淀川区	895	10,837	D交通
	大阪高槻京都線	東淀川区	669	8,688	D交通
	合 計	2路線	2,613	29,549	
H 9	大阪中央環状線(旧道)	鶴見区	690	4,140	C交通
	大阪環状線	都島区	560	7,650	C交通
	合 計	2路線	1,250	11,790	

4.2 低騒音舗装の舗装厚を変えた場合の騒音低減効果

低騒音舗装では、舗装厚を厚くした場合、吸音する周波数帯域が広くなり吸音効果が上がることが報告されている^{5),6),7)}。そこで、前述した大阪高槻京都線の路線の一部で、騒音低減効果を比較検討することを目的として、低騒音舗装の舗装厚を変えて施工を行った。

区間Aでは、1層構造(表層:Top13mm, $t = 5\text{ cm}$)の区間と2層構造(表層:Top13mm, $t = 5\text{ cm}$, 基層:Top20mm, $t = 5\text{ cm}$)の区間を設け、区間Bでは、表層厚 $t = 5\text{ cm}$ の区間と表層厚 $t = 4\text{ cm}$ の区間を設け、それぞれ騒音測定を行った。なお、この施工を行った路線は河川沿いで、区間A、区間Bともに交差点はなく比較工区の交通量は変化しない。

4.2.1 調査結果及び考察

(1) 区間A (1層構造と2層構造) の比較

施工前後にそれぞれの区間で同一日に行った騒音測定結果を表-7に示す。

表-7 区間Aの騒音測定結果

	時間率騒音レベル (L50: dB)	
	1層構造区間	2層構造区間
施 工 前	71.2	70.2
施 工 後	62.3	61.5
騒音低減効果	8.9	8.7

低減された騒音は、1層構造と2層構造とでは差がほとんど見られず、騒音低減効果はほぼ同等と考えられる。

(2) 区間B (表層厚 $t = 5\text{ cm}$ と表層厚 $t = 4\text{ cm}$) の比較

施工前後にそれぞれの区間で同一日に行った騒音測定結果を表-8に示す。

表-8 区間Bの騒音測定結果

	時間率騒音レベル (L50: dB)	
	$t = 4\text{ cm}$ 区間	$t = 5\text{ cm}$ 区間
施 工 前	70.6	70.7
施 工 後	64.3	62.3
騒音低減効果	6.3	8.4

低減された騒音は、表層厚によりかなり差があり、表層厚 $t = 5\text{ cm}$ の方が表層厚 $t = 4\text{ cm}$ よりも約2dBも騒音低減効果が高いとの結果が得られた。

4.3 まとめ

前述の結果を受け、本市では、以降、低騒音舗装としては表層厚 $t = 5\text{ cm}$ の1層構造を標準断面として採用している。

5. あとがき

本文で述べたように、試験舗装及び追跡調査により、効果等の検証を行い、整備路線選定基準に基づき低騒音舗装を実施している。

今後、実施路線においても、いくつかの調査を行う予定である。その一つとして、端部排水処理の構造について、施工面で省力化及びコスト縮減を図るため、通常の透水性樹脂コンクリートを用いた標準構造(図-10)の他に、図-11の構造での施工を考えており、排水能力や耐久性等の調査検討を行う予定である。

またこの外に、現在、一部の高架道路での低騒音舗装の導入も検討しており、排水処理方法等を含めた舗装構造を検討中である。

今後とも、刻々と変化してゆく道路交通環境に対応するため、低騒音舗装をはじめとして、市民のニーズに答えた道路整備の推進に努めてゆきたいと考えている。

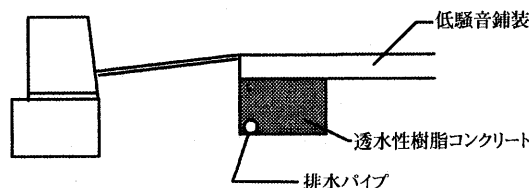


図-10 透水性樹脂コンクリートを用いた排水処理横断面図

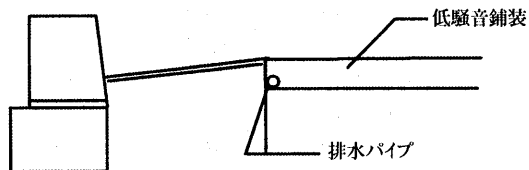


図-11 透水性樹脂コンクリートを用いない排水処理横断面図

— 参考文献 —

- 1) 藤波 督, 原山猛夫: 排水性舗装に関する欧州調査結果, 高速道路と自動車, 第33巻, 第12号, 1990, 12, p.64
- 2) 排水性舗装技術指針 (案), p.14
- 3) 排水性舗装技術指針 (案), p.51
- 4) 排水性舗装技術指針 (案), p.47
- 5) 帆苅浩三, 丸山暉彦, 富田尚隆: 排水性舗装における舗装厚と吸音特性, 舗装27-7, 1992, p.21
- 6) 永関久信, 中崎邦夫, 柴田泰行: 排水性舗装の騒音低減効果, 第20回日本道路会議論文集, p.56
- 7) 大西博文, 明嵐政司: 排水性舗装の騒音低減効果に関する研究, 道路, 1996, 4, p.82

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

B 5 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、鋭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動対策の一助となれば幸いです。

目 次

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

第9回 日本アスファルト協会 論文賞 発表

(注)日本アスファルト協会の論文賞は隔年に実施しており、第9回は、審査の結果、以下の3編が選ばれた。

入選第2席 賞状・賞金10万円

「ジャイレトリーコンパクタの締固め特性とその適用性」

日本道路技術研究所 高田祥子
浜田幸二
橋本修治

〔講評〕

本論文は、従来型のジャイレトリーコンパクタ (CEGC) とSHRP計画の成果のひとつであるSUPERPAVEの配合設計における供試体の締固め装置として開発されたジャイレトリーコンパクタ (SGC) との締固め特性の比較検討を行うとともに、それぞれのジャイレトリーコンパクタのわが国での適用性について検討した結果を報告したものである。

具体的には、CEGCとSGCによる混合物評価試験を行い、それぞれの締固め特性および導入にあたっての適用範囲を明らかにしたことは、わが国でSUPERPAVEによる配合設計法が適用された場合あるいは耐流動混合物の配合設計において改善された技術になり得る。また、ジャイレトリーコンパクタの締固め機構及び混合物の評価を行うシステムについて、CEGC、SGCに分けて図を用いて説明している点は解説書的な意義がある。

しかし、2つのジャイレトリーコンパクタを使用して行った基礎的な実験結果を述べているだけで、新規性に乏しい。また、これらの検証から新しい技術的な提案なり、所見が明確に導き出されておらず、今後の研究が望まれる。

佳作 賞状・賞金5万円

「アスファルトの接着性に関する一研究」

日新舗道建設株式会社 高橋章
半田伸夫
田中豪

〔講評〕

本論文は、一般廃棄物の焼却不燃物 (焼却灰等) であるガラス系不燃物がアスファルト混合物用骨材として試験的に使用されているものの、アスファルトとの接着性が問題になって

いることから、その改善方法を室内試験や試験舗装によって検討した結果を報告したものである。

具体的には、ガラス系の廃棄物の利用の課題の一つである接着性について、剥離防止剤として添加剤（カップリング剤）を使用した研究報告で、100%とまではいかないが、条件を選ぶことによりそれなりの添加効果は認められる。また、骨材を剥離防止剤で前処理した点は、新しい技術である。しかし、混合物の残留安定度の処理による多少の改善効果が認められるが、その結果の普遍性がどのくらいのものか不明な点や添加剤の開発、処理方法の確立など、検討すべき事項がまだ沢山あるので、今後の研究が望まれる。

佳 作 賞状・賞金5万円

「アスファルトの品質性状に影響を及ぼす化学特性に関する一考察」

(株)コスモ総合研究所 田 中 晴 也
川 付 正 明
高 木 清 美

〔講 評〕

本論文は、アスファルトの針入度、軟化点、粘度等の物理特性とアスファルトの化学組成（アスファルテン分、レジン分、飽和分、芳香族分）の割合との相関を多変量解析により調べ、アスファルトの品質改善の効率化を図ろうとしたものである。

具体的には、多数の試料（16+8=24）について多変量解析法をはじめて適用し統計的に明らかにしたものであり、従来以上の実用的な価値が認められる。しかし、アスファルトの針入度、軟化点、粘度などの物理性状と化学性状との相関性は、既に古くから検討され、かなりの部分明らかにされている点や、実際の製造過程において応用出来るかが明らかにされておらず、今後の研究が望まれる。

〔選考委員〕

委員長	多 田 宏 行	(財)道路保全技術センター 理事長
委 員	阿 部 頼 政	日本大学理工学部土木工学科 教授
	飯 島 尚	積水樹脂(株) 常務取締役
	河 野 宏	日新舗道建設(株) 専務取締役
	千 葉 博 敏	グリーンコンサルタント(株) 代表取締役社長
	南 雲 貞 夫	(株)ガイアートクマガイ 常務取締役
	長谷川 宏	日本石油(株)中央技術研究所 主管研究員
	真 柴 和 昌	パシフィック石油商事(株) 取締役社長
	森 永 教 夫	岡山県土木部長

ジャイレトリコンパクタの締固め特性とその適用性

(Compacting procedure using Gyratory Compactors and Properties
of the compacted mixtures)

高 田 祥 子*・浜 田 幸 二**・橋 本 修 治***

アスファルト混合物の配合設計などにあたり、混合物の締め固め方法はそれらの結果に影響する重要な要因の一つである。したがって、室内実験においても、アスファルト混合物が実際の道路に施工される場合を想定し、その締め固め状況により近い締め固め方法が求められる。SUPERPAVEでは全面的にジャイレトリコンパクタを採用するというドラスティックな変更を行っている。

ジャイレトリコンパクタを単にSUPERPAVEの一試験機と見るのではなく、独立した締め固め装置として見た場合の適用性について、二つの異なるジャイレトリコンパクタを経験した筆者らの目でとりまとめたものである。

はじめに

アスファルト混合物の配合設計や、各種試験供試体の作成において、混合物の締め固め方法はそれらの評価結果に影響する重要な要因の一つである。したがって、室内実験においても、アスファルト混合物が実際の道路に施工される場合を想定し、その締め固め状況により近い締め固め方法が求められる。

マーシャル法での締め固めは、モールド内のアスファルト混合物を上面から突固めるため、アスファルト混合物中の粗骨材が主に垂直方向にだけ移動し水平方向の移動は少ない。これに対し、ジャイレトリコンパクタの締め固めは、アスファルト混合物にこね返し作用が加わるため、実際の道路でのローラによる転圧に近い締め固め状況を再現できるとされている。

この観点からSHRP計画の成果であるSUPERPAVEはその締め固め装置として、従来から使用されてきたマーシャル突固め試験機から、全面的にジャイレトリコンパクタに変更するというドラスティックな改革を行っている。

SHRP型のジャイレトリコンパクタ（以下SGC）は、昭和40年代に我が国へ導入されたジャイレトリ試験機（以下CEGC）とは、基本的な締め固め機構は同じであるが締め固め条件などの細かなところで異なっている。CEGCが単に締め固め装置にとどまらずアスファルト混合物の

力学的安定性を評価する機能を持っているのに対し、SGCは締め固め装置としてのみ使用している。

これら双方のジャイレトリコンパクタの経験をふまえ、SGCは締め固め特性およびその適用範囲などについて室内実験で明らかにした。本文ではCEGCの利用法をレビューし、SGCの採用経過を紹介しながらこれらの結果を報告する。

1. ジャイレトリコンパクタの機構について

1.1 ジャイレトリコンパクタ開発の経緯

(1) CEGC（ジャイレトリコンパクタ）

CEGCは、米国テキサス州交通省が開発したものであり、1950年代にその原型が作られ、米陸軍工兵隊(Corps of Engineers)が発展させた。混合物はこね返し作用で締め固められることから、ローラによる締め固めを再現すると考えられ、一時盛んに研究が行われた。1964年頃から日本にも数台輸入され、その成果として「GTMによる配合設計法」が発表された。たとえばマーシャル法の最適アスファルト量が実際の施工性や供用性から推定される最適アスファルト量と著しく異なる場合、CEGCの配合設計法で確認すると現場との整合性が良いなどの特徴があった。しかし、通常の場合はマーシャル法の最適アスファルト量とほぼ同じであることから、研究用の試験機としての位置付けであった。

*たかだ さちこ 日本道路技術研究所研究員

**はまだ こうじ 日本道路技術研究所主任研究員

***はしもと しゅうじ 日本道路技術研究所次長

締固め中の旋回運動の角度、すなわちフランジの最大角度を自記記録する。たとえば最適アスファルト量付近の混合物を締め固めると、混合物が締め固まるにつれ変形抵抗が大きくなり、旋回角度ははじめは大きい、次第に小さくなっていく。また過剰なアスファルト量の混合物では旋回角度は増大していくだけである。すなわち旋回角度は骨材の噛み合わせの良否を判断する指標になる。

②締固め中の混合物の変形抵抗の記録

ローラには圧力ゲージが装備しており、締固め中にローラ（C、D）に働く反力を読みとる。この値を混合物の変形抵抗の指標とする。供試体の変形抵抗は次式で求める。（図-3 参照）

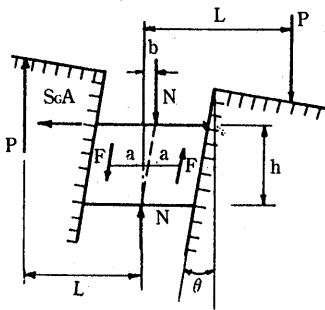


図-3 供試体にかかる応力

$$\text{変形抵抗 } S_g = \frac{2(PL - F \cos \theta \cdot a) + Nb}{Ah}$$

（A：供試体中心軸の断面積）

③締固め中の温度設定

保温装置により、恒温での締固めが可能である。したがって、締固め温度を60℃に設定することにより供用後の交通荷重による影響を再現できる。

④その他付属する装置

- ・ラム圧を表示するラム圧ゲージ
- ・供試体高さを読みとるダイヤルゲージ

(2) SGC

SGCの締固め機構は、図-4のように上方から垂直荷重を加え、底面が旋回する形式である。SGCは、角度、圧力の設定を変えることができるが、一度設定すると締固め中には変化せず、ひずみ制御の締固めとなることが特徴である。出力データは締固め中の供試体高さのみである。また、保温装置を持たないので、旋回中に温度は自然に低下する。供試体サイズは、締固めによる横方向の作用を考慮し、厚さを直径の3分の1とするよう規定されている。

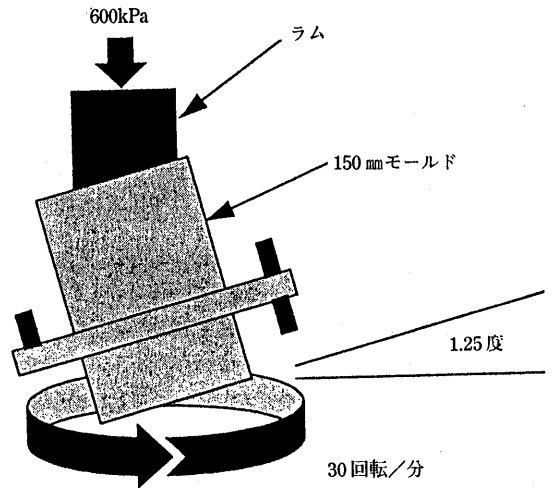


図-4 SGCの締固め機構

2. CEGCによる混合物の評価

2.1 締固め状況

図-5は一般的な密粒度アスファルト混合物についてマーシャル法とCEGCとの供試体密度を比較したものである。なお、締固め条件は、CEGCの場合初期セット角度1°、垂直圧700kPa、締固め回数30回であり、マーシャル法は両面50回突きである。

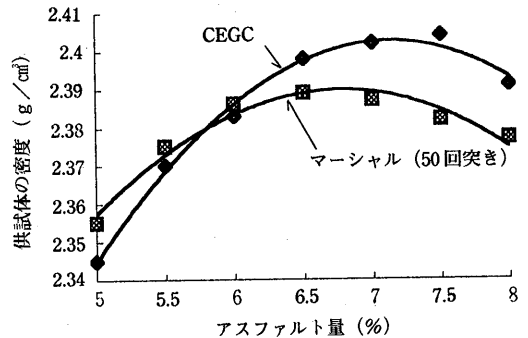


図-5 GCとマーシャルによる締固め密度の比較

アスファルト量の少ない範囲ではアスファルトのルブリケーション（潤滑効果）が少ないためにCEGCのニーディング効果が効きにくい。このためマーシャルタンパによる衝撃による締固めの方が密度は大きくなっている。アスファルト量の多い範囲では、アスファルトがルブリケータとして十分働いたため、CEGCの方がマーシャルによる締固めより骨材の並びを変えやすく、密度が高くなっている。この傾向はSGCでも同様である。

2.2 締固め特性の利用方法

マーシャル配合設計法では、室内試験での密度と現

場切り取りコア密度間に大きな差が生じることがある。この種の現象は、堅硬で稜角に富む骨材、又は偏平な骨材を使用した場合や吸水量の多い骨材で水分の残る場合などに見られ、切り取りコアの方が大きい密度を示す。これはマーシャル法による設計アスファルト量が結果的に過多に選定されているからである。

こうした現象に対し、CEGCの締固め特徴を利用して、以下のような現場に適した最適アスファルト量を求める、CEGC締固め配合設計法が開発された。

(1) 施工時の締固めに対する安定性に着目した設計法 (第一法) ^{4),5)}

本方法は以下に示すCEGC締固め条件で締固めた(以下一次転圧)アスファルト混合物の力学的安定性を旋回角度の変化具合から評価し、最適なアスファルト量を選定する方法である。

本方法には50回突きおよび75回突きマーシャル配合設計法に対応した二つの方法がある。以下、これらの設計方法と実験的に確認したその根拠について述べる。

Mc Raeの報文⁶⁾を参考に、マーシャル50回と同程度の締固め性状が得られる条件は (初期セット角度1°, 垂直圧700kPa, 旋回数30回) としている。両者による

締固めた供試体の空隙特性と締固め終了時の旋回角度を図-6 A~Dに示す。これらの結果により次のことがわかった。

- ①旋回角度は空隙率が限界値付近になるまではほぼ一定に推移するが、限界値に達し、かつほぼ一定に保たれだすと、急激に増大する。(図-6 A)
- ②骨材間隙率との関係も同様で、骨材のかみ合わせが損なわれだすと角度は急激に大きくなる。(図-6 B)
- ③旋回角度が急激に大きくなり出すところのアスファルト量は、骨材間に収容できる限界アスファルト量と考えられる。これはアスファルト量が少ないときの旋回角度よりも14'の増大を示すアスファルト量と一致する。(図-6 C)
- ④空隙率が限界値に達するまでの範囲では、アスファルト量1%の変化は空隙率2~3%の変化に相当する。(図-6 D)
- ⑤マーシャル50回突きに対応する望ましい空隙率を残すには、③に示した限界アスファルト量から1%差し引いた量が適当である。これはCEGCで選定される最適アスファルト量と考えられる。

この方法は、締固め中の供試体の変形抵抗を示す

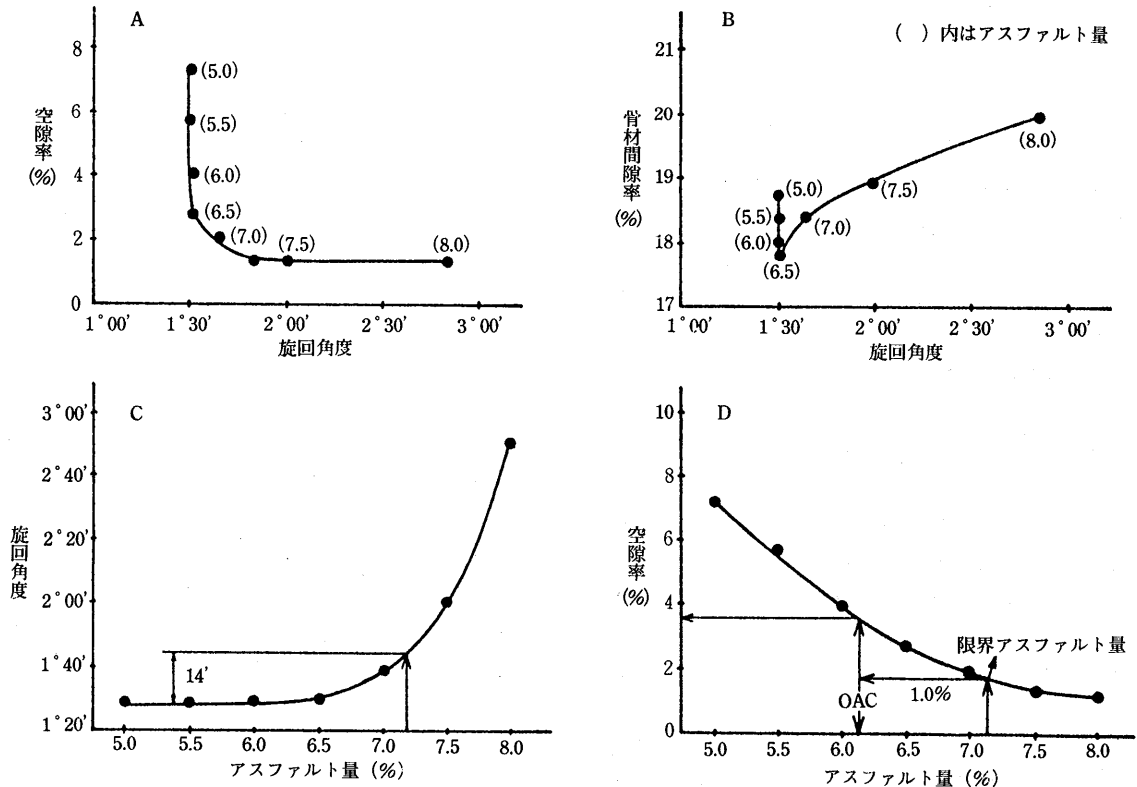


図-6 50回突きに対応するCEGC一次締固め後の各特性値の関係

一つの指標である旋回角度とアスファルト量の関係のみから室内の最適アスファルト量を求めることができるものである。すなわちマーシャル50回突き設計に対応するCEGC設計法の判定基準は、旋回角度が14'上昇した時を限界アスファルト量とし、(限界アスファルト量-1%)を最適アスファルト量とするものである。

同様にマーシャル75回突き固めに対応するCEGC締固め条件を(初期セット角度1°, 垂直圧700kPa, 締固め回数45回)と設定した。マーシャル75回が50回に対し1.5倍の締固め回数になっているように、CEGCでも旋回数を30回から1.5倍の45回におしたものであり、密度比較からもこの締固め回数が妥当と思われる。この条件下で締固めた供試体の空隙特性と45回旋回時のCEGC特性値を図-6と同様に整理して、限界アスファルト量を示す上昇角度は21'と判定された。

また、限界アスファルト量より1.5%のアスファルト量を差し引いた点での空隙率が、マーシャル75回突きでの適当な空隙率に相当する。従って、マーシャル75回突き設計に対応するCEGC設計法の判定基準は、旋回角度が21'上昇した時を限界アスファルト量とし、(限界アスファルト量-1.5%)を最適アスファルト量とするものである。

(2) 供用後の交通荷重の締固めに対する安定性に着目した設計法(第二法)⁷⁾

本方法は現場に舗設されたアスファルト混合物が供用後の交通荷重による圧密現象を受けても十分に安定であるアスファルト量を選定するものである。

本方法は一次転圧終了後の供試体を60℃でCEGC締固めを行うものである。評価は(初期セット角度1°, 垂直圧700kPa)の条件で締固め旋回数200回における供

試体の変形抵抗 S_G で行う。アスファルト量と変形抵抗の関係より、 $S_G=1.9\text{kg}/\text{cm}^2$ となるアスファルト量を求め、これを第二法での最適アスファルト量とする。第二法で得られる最適アスファルト量とは、圧密化現象終了直前のアスファルト量を知ろうとするものである。一般に混合物は圧密を受けながら流動域にはいるが、圧密量と流動量のわだち掘れに対する影響は後者の方が大きい。従って、このアスファルト量はアスファルトのフラッシング現象を起こさず、骨材のかみ合わせを損なわない最大のアスファルト量と考えられる。

図-7は密粒混合物供試体に種々のアスファルト量で200回の二次転圧を与えた時の旋回角度と S_G の関係である。 S_G が小さくなるに従い旋回角度は上昇し、 $S_G=1.9$ 付近でその勾配は大きく変化する、骨材の噛み合わせが大きく減少していることがわかる。このときの合材の空隙率は一次転圧時の限界空隙率とほぼ一致している。

本方法の最適アスファルト量混合物について二次転圧を2000回まで行い、特性を調べた結果を図-8に示

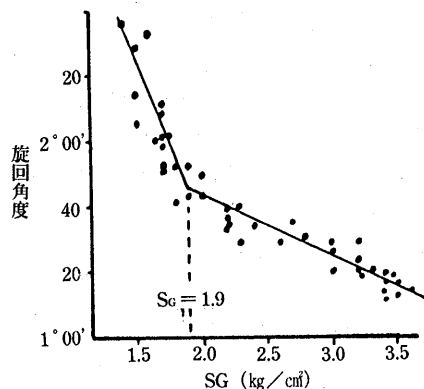


図-7 S_G と旋回角度の関係

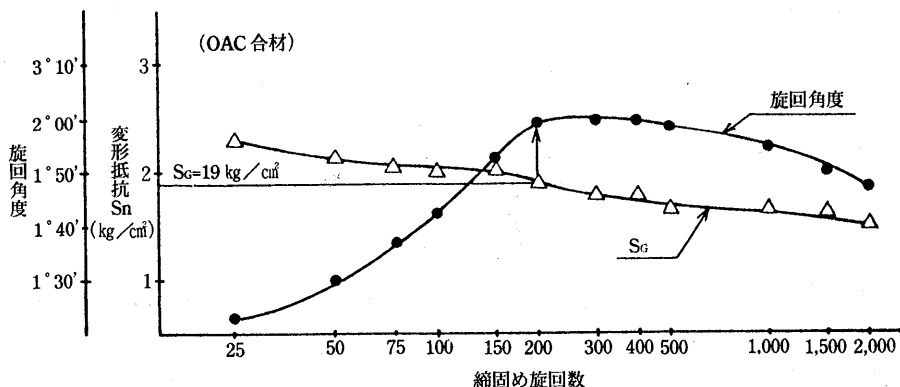


図-8 OAC混合物の二次転圧結果

す。旋回角度は二次締固めを200回つまり圧密化終了時点まで上昇していくが、 $S_G=1.9$ 、つまり限界空隙率に達した混合物をさらに締固めると旋回角度は逆に下降し始める。これはCEGCによる締固めが拘束状態で行われるため、圧密化が終了するとアスファルトがモールド外部に排除され、その結果再び骨材の噛み合わせが強くなることを示している。

本設計法による最適アスファルト量は、合材が供用中の交通荷重に対しても骨材の噛み合わせが損なわれない、すなわち、わだち掘れの発生しにくい最大のアスファルト量を示していると考えられる。

2.3 CEGCの適用範囲

以上のように、第一法は締固めに対する安定性から、最適アスファルト量を選定する方法であり、第二法は供用後の交通荷重に対する力学的安定性にまで着目し、交通荷重の圧密化現象を受けても十分に力学的安定性のあるアスファルト量を選定する方法である。このように供用後の供用性評価まで考慮している点は、SUPERPAVEの配合設計の考え方と同じである。

第一法および第二法とも、アスファルト混合物の安定性を骨材のかみ合いの損失程度で評価し、アスファルト量を選定する方法である。従って、現状ではこの設計法を適用できるのは骨材粒子の噛み合わせとアスファルトの粘性の両方で力学的安定性を確保する密粒混合物に限られる。排水性舗装に代表される連続粒度以外の混合物の安定性をCEGCで評価することは困難であり、相対評価にとどまらざるを得ない。

3. SGCによる混合物の評価

SGCはSUPERPAVEで規定された締固め装置である。SGCを単に規定された試験機として受け止めるなら、SUPERPAVEのマニュアルに従って配合設計をする限り大きな問題はない。しかし、一つの締固め装置として多様な混合物の締固め特性を評価する場合は、SGCの設定条件、粒度等の種々の条件が締固め結果に及ぼす影響を明らかにする必要がある。

そこで、本検討では、SGCの設定条件である旋回角度、垂直圧、旋回数が締固め特性に及ぼす影響を評価した。続いて混合物の粒度が締固め特性に及ぼす影響を調べ、あわせてSGCの適用範囲を見いだした。

3.1 SGC締固め条件の影響^{8),9),10)}

(1) 試験条件

本検討では基本的にはSUPERPAVEレベル1 配合設計法に準じて、最大旋回数を305回として締固めを行っ

た。試験の要因と水準およびSHRP M-002に示されている基準値を表-1に示す。なお、一要因を変化させた場合、その他の要因については標準条件 (SHRP M-002) としている。

表-1 試験項目とSHRP標準条件

	水 準	SHRP M-002
垂 直 圧 (kPa)	200,400,600,800,1000	600
旋 回 角 度 (°)	0.50,0.75,1.00,1.25 1.50,1.75,2.00	1.25°
旋 回 数 (回)	10,50,100,200,350	Ninitial = 7~10 Ndesign = 68~172 Nmax = 104~288

対象とした混合物は密粒度アスコン (13) で、バインダーはストレートアスファルト60/80、アスファルト量はあらかじめマーシャル法で求めた最適アスファルト量 (5.9%) とした。また、締固め特性の評価は旋回回数ごとの空隙率の変化で行っている。

(2) 試験結果

1) 垂直圧の影響

締固め圧が旋回数による空隙率の変化に及ぼす影響を調査した。

結果は図-9に示すとおりで、当然のことながら、垂直圧が増加するほど低い空隙率が得られている。また、垂直圧による初期旋回数における空隙率 (以下、旋回数1回のときの空隙率を初期空隙率という) の差は、旋回数が増加してもそのまま推移する傾向を示している。これは、垂直圧は旋回数の増加による空隙率の低下傾向にさほど影響しないためと考えられる。

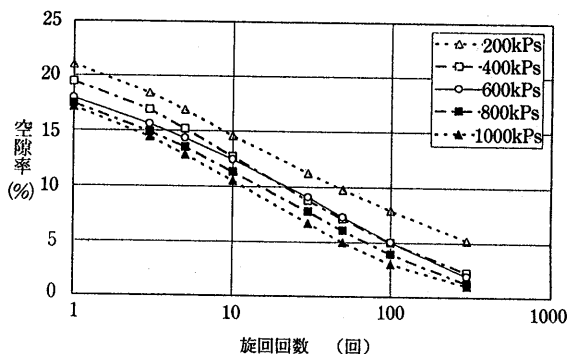


図-9 垂直圧による旋回数と空隙率の関係

2) 旋回角度の影響

旋回角度が旋回数による空隙率に及ぼす影響を調

査した。

結果は図-10のとおりである。空隙率の低下は、垂直圧と同様に旋回角度が大きいほど初期空隙率が低い傾向にあるが、旋回数が増加すると旋回角度による空隙率の差が大きくなっている。旋回角度が大きくなるほど混合物に与えるせん断力が大きくなるため、空隙率は低くなると考えられる。特に旋回角度が1.00°以下の場合は旋回数による空隙率の低下程度が低い。一方、旋回角度が1.25°以上になると、初期空隙率の差はそのまま推移するものの、旋回数による空隙率の低下傾向にさほど大きな違いは認められない。

従って、締固め角度の影響は締固め圧よりも大きいとともに、SUPERPAVEの規定値である1.25°付近は締固め角度が空隙率の低下傾向に影響を及ぼさない限界に近い角度であるといえる。

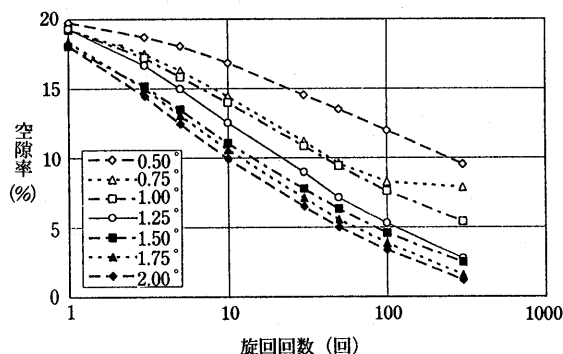


図-10 旋回角度による旋回数と空隙率の関係

3) 締固め旋回数の影響

SUPERPAVEにおいては、締固め最終旋回数に関する規定は定められていない^{11),12),13)}。しかし、締固め過程での供試体密度は以下に示すように最終旋回数の供試体かさ密度を基に計算されるため、実測される最終旋回数におけるかさ密度の値は極めて重要な要素となる。

$$\left[\begin{array}{c} \text{旋回数} \\ N \text{ 回での} \\ \text{修正密度} \end{array} \right] = \frac{\left[\begin{array}{c} \text{最終旋回数での} \\ \text{かさ密度実測値} \end{array} \right]}{\left[\begin{array}{c} \text{最終旋回数での} \\ \text{計算密度} \end{array} \right]} \times \left[\begin{array}{c} \text{旋回数} \\ N \text{ 回での} \\ \text{計算密度} \end{array} \right]$$

そこで、この最終旋回数による密度の影響を調査した。

旋回数10, 50, 100, 200, 350回でのかさ密度実測値と修正密度との比較を図-11に示す。この結果、修正密度は実測密度よりも小さく、その差はアスフ

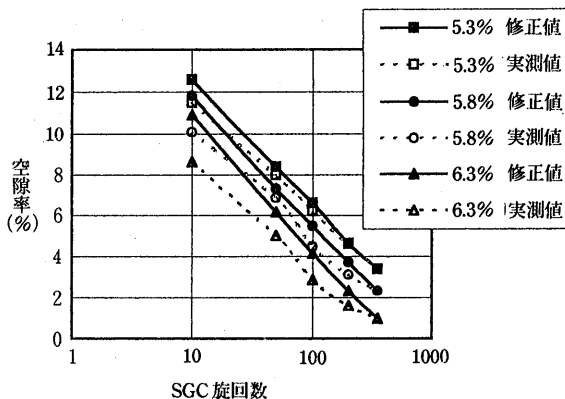


図-11 実測密度と修正密度の関係

ルト量が多いほど、旋回数が小さいほど大きくなっている。

これは旋回数の小さい範囲では、直径と高さから求めた容積は供試体表面とモールドとの隙間が空隙と判断される。また、旋回数の大きい範囲では、骨材の噛み合わせによる体積が最小になり、さらに締固めを続けると、内部のアスファルトモルタル分が骨材間からしみだし、供試体とモールドの間に充填され、体積は大きく変化しないが、供試体の高さに変化する。このため最終旋回数が異なれば、計算で求められる修正密度は異なることがある。

つまり最終旋回数を一定にすると、修正密度により、締固め曲線の傾向は判定できる。しかし、締固め過程での供試体密度を評価する場合は、必要な旋回数での供試体を作成し評価するか、あるいは修正値と実測値との差をあらかじめ確認して、評価する必要がある。

3.2 混合物の粒度の影響

本検討では、粒度とSGC締固め密度とについて締固め曲線と最終旋回数での密度を基に検討した。

締固め条件はSHRP M-002に示されている基準値に従った。試験条件を表-2に示す。ここで締固め旋回数350回は、D交通に相当する締固めである。バインダーは、排水性混合物については高粘度改質アスファルトを、排水性混合物以外にはストレートアスファルト60/80を用いた。試験粒度・アスファルト量は表-2に示す。

評価は骨材粒度(4.75mm, 2.36mm, 0.60mm, 0.075mmフルイ通過量%)と締固め曲線、供試体最終旋回数での実測密度率、骨材間隙率、飽和度との関係から行った。

(1) 試験結果

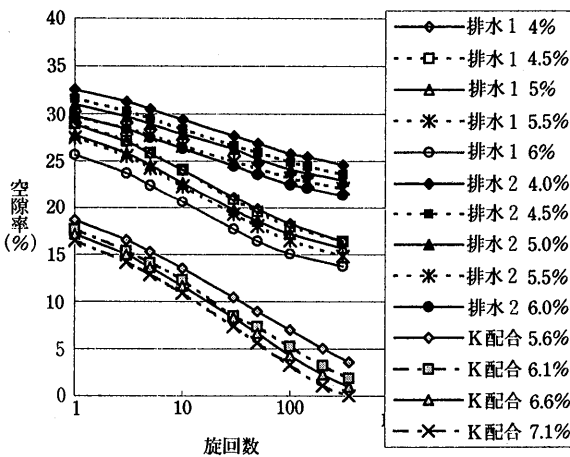
表－２ 評価対象とした粒度とアスファルト量

フルイ (mm)	0.60mm通過20%以上							0.60mm通過20%以下							SMA				排水性	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	1	2	3	4	1	2	
19.0																				
12.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
4.75	70	68	65	62	70	70	60	65	63	62	72	60	60	50	45	40	35	22	14	
2.36	53	49	45	42	40	39	39	39	34	34	32	32	30	35	31.3	27.5	23.8	22	14	
1.18	44.0	41.6	37.4	33.8	32.6	29.8	29.8	24.9	25.1	22.8	25.5	25.1	21.6	28.0	24.5	21.5	18.8	17.4	11.1	
0.60	35.0	32.2	29.9	25.6	25.1	21.6	21.6	19.0	17.1	16.8	18.9	18.2	15.5	21.4	18.3	16.1	14.1	13.4	8.7	
0.300	21.7	20.4	19.3	16.4	16.5	15.8	15.8	13.5	11.6	11.5	13.8	12.8	9.8	15.8	13.8	12.3	10.7	9.4	7.0	
0.150	12.4	12.1	11.6	9.7	9.7	10.7	10.7	8.8	7.0	7.1	9.6	9.2	5.1	11.0	9.8	8.9	7.7	5.9	5.5	
0.075	9.0	8.9	8.6	7.0	6.9	8.0	8.0	6.6	4.9	5.0	7.0	6.9	3.3	8.3	7.4	6.8	5.9	4.5	4.4	
As %	5.3	5.5	5.3	5.2	5.2	5.4	5.3	5.2	5.3	5.2	5.4	5.1	5.1	5.3	5.2	5.2	5.2	*	*	

*排水性混合物に関しては0.5%毎に4～6%を試験

①アスファルト量と締固め曲線の関係

密粒度アスファルト混合物と、排水性アスファルト混合物の締固め曲線の例を図－12に示す。空隙率は旋回数に対し直線的に減少し、初期密度の差が最終旋回数まで変化しない。また、いずれの混合物も、アスファルト量の変化により締固め曲線の傾きは同一であるが、初期空隙率は異なる。



図－12 アスファルト量と締固め曲線

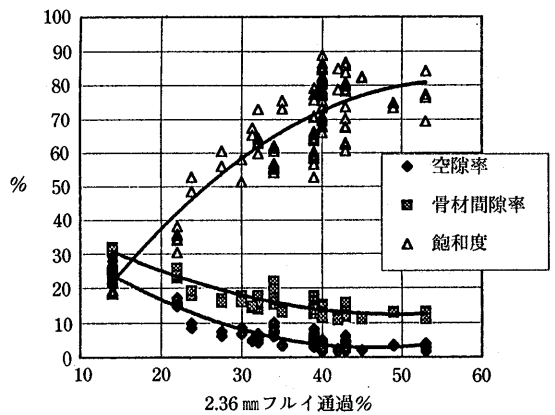
②混合物粒度分布と締固め曲線の関係

初期空隙率及び締固め曲線の勾配と各フルイ通過量%との相関を表－3に示す。このように締固め曲線の傾き、つまりニーディングによる締固めやすさは、ルブリケーションとして働くモルタル量を表す、

2.36mmと0.075mmフルイ通過量%との相関が高い。また、初期空隙率、つまり垂直応力による締固めやすさは、フィラービチューメンの量を表す、0.075mmフルイ通過量と最も相関が高い。

③粒度と空隙率、骨材間隙率、飽和度の近似曲線

2.36mmフルイ通過%と供試体の空隙率、骨材間隙率、飽和度との関係を図－13に示す。旋回数350回では、密粒混合物の粒度範囲(2.36mmフルイ通過%35%以上)においては、空隙率近似曲線は全て5%以下になり、締固めが進みやすい。しかし、2.36mmフルイ通過%が減少するに従い締固めにくくなるのがわかる。



図－13 2.36mmフルイ通過%に対する各地

④粒度と密度率、骨材間隙率、飽和度との相関

表－3 締固め曲線と骨材粒度の相関係数

粒 度 比	4.75mm 以 上	2.36mm 通 過	0.6mm 通 過	0.075mm 通 過	0.075/4.75	0.075/2.36	0.075/0.6	4.75/2.36	0.6/2.36
初期空隙率	－0.644	0.768	0.754	0.791	0.679	－0.242	－0.307	－0.782	0.192
傾 き	－0.398	0.158	－0.013	－0.238	0.031	－0.623	－0.491	－0.445	－0.498

骨材粒度(4.75mm, 2.36mm, 0.60mm, 0.075mmフルイ通過量%)と供試体の空隙率, 骨材間隙率, 飽和度との関係を相関係数で評価した結果を表-4に示す。

表-4 骨材粒度と容積特性値の相関係数

	4.75mm 以上	2.36mm 通過	0.6mm 通過	0.075mm 通過
空隙率	0.929	0.923	0.866	0.606
骨材間隙率	-0.907	-0.928	-0.882	-0.611
飽和度	0.891	0.902	0.883	0.589

この結果から, 2.36mmフルイ通過量%が最も大きな混合物締固め性状との相関を示した。

⑤実測密度と計算密度の関係

SGCが計測した最終旋回数(350回)での高さと同供試体モールド直径により計算した密度と, 実測密度との関係を図-14に示す。図-14より混合物密度によって, 締固め密度は一定の線に近似できる。細粒分の少ない粒度(H~M)については密度が減少してもその差は一定である。細粒分の多い粒度(A~G)と, 碎石マスチック(SMA)粒度については, 密度の減少によりその差が開く。

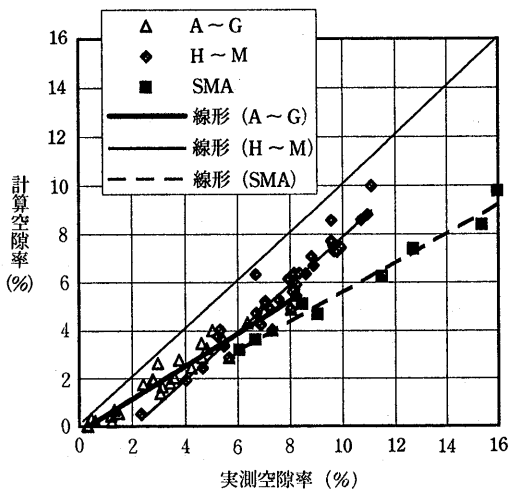


図-14 粒度と実測・修正密度の関係

(4) 試験結果の考察

①, ②より, 締固め曲線は, モルタル量とフィラービチューメン量により変化するものと考えられる。その中でも, 曲線の傾きはモルタル量に, 初期密度はフィラービチューメン量に影響されるものと思われる。また同一混合物においてアスファルト量が変わると

主にフィラービチューメン量が変わるため初期空隙率が変わるものと考えられる。

③, ④より, 旋回数350回でのSGCの締固め度の各成分は, 2.36mm以下の細骨材量%により変化するものと考えられる。混合物の比較をする場合, 2.36mmフルイ通過量%が35%以上の粒度に対しては, 混合物密度は95%以上となり, それぞれの粒度に対し一定旋回数での比較は可能であるが, 35%以下の混合物の場合, 骨材の噛み合わせの影響が大きくなり, 同じ旋回数条件での比較ができなくなる。

⑤より, 細粒度成分が多い粒度と, 碎石マスチック粒度に関しては締固め度が100%に近づくほど実測密度と計算密度との差が小さくなる。従って, 同一の旋回数の場合, 骨材粒度により締固め状態が異なることから, 最終旋回数についても骨材の粒度により設定する必要がある。

3.3 SGCの適用範囲

SGCは締固め装置であり, 締固め容積特性のみから混合物を評価することはできない。SGCの容積特性を利用して, 混合物を評価する方法としては, 旋回数の設定方法として2つ考えられる。

一つは, 一定の旋回数に対してそれぞれの粒度での空隙率, 飽和度などの規定値を定め, 評価する方法である。これらはSUPERPAVEで採用されている手法である。

一つは, それぞれの粒度に対して締固め旋回数を規定し, 空隙率等基準を一定に評価する方法である。SGCでの締固めにおいては, 2.36mmフルイ通過量%が35%以上の連続粒度の混合物に対しては同一旋回数での比較が可能であるが, マスチックや排水性等の不連続粒度混合物に対しては骨材の噛み合わせが締固め作用に強く働き, 締固めにくくなる。

SGC締固め傾向は混合物粒度に影響することがわかる。

まとめ

以上の結果をまとめると次のとおりである。

(1) 締固め機構

①CEGCおよびSGCの締固めの基本的な機構は同じで, 供試体に垂直方向の圧力をかけながらある角度を持たせて旋回させることにより締固める。

②CEGCの締固め中の旋回角度は混合物の安定性により変動するのに対し, SGCは角度が固定になっている。

(2) SGCの締固め特性

- ①SGCの締固め後の混合物の密度は初期密度に大きく影響されるので、混合物のモールドへの充填を一定に行う必要がある。
 - ②SGCの締固め条件は、垂直圧、セット角度、及び旋回数であり、一定の密度を求めるためにはそれぞれ厳密にチェックする必要がある。
 - ③SGCによる締固め過程での密度の上昇の程度、すなわち密度曲線は、アスファルトモルタル量、フィラービチューメン量に影響される。
 - ④350回締固めに対し、空隙率5%以下を得る骨材粒度範囲は2.36mmフルイ通過量%で35%以上である。
- ## (3) 適用範囲
- ①SGCを配合設計に使用する場合、上記(2)④より、対象とできる混合物の骨材粒度は、2.36mmフルイ通過量%で35%以上、すなわち密粒度系のものである。
 - ②その他の骨材粒度の混合物を取り扱う場合は、そ

の都度最適な締固め回数を求める必要がある。

- ③①～②の結果は、CEGCでも同様であり、ジャイレトリコンパクタの締固め機構に起因した特徴と言えそうである。ただし、今回の報告は限られた条件下での検討であり、材料条件により締固め傾向が変化することもわかっている。アスファルトの種類や細大粒径の影響は、報告済みであり⁸⁾、骨材の形状や質についてもすでに確認しているものもあり、機会をみて報告したいと考えている。

おわりに

SHRPの設計法であるSUPERPAVEは21世紀の配合設計法としてアメリカ合衆国では現在普及活動が行われている。我が国においてもその設計法の検証が必要になってくると思われる。SUPERPAVEではSGCがもっとも基本的かつ重要な試験機であることからその特性を理解して使用することが大切である。本報告がその一助になれば幸いである。

—— 参考文献 ——

- 1) 南雲ほか：道路建設講座 (12) 道路舗装に関する試験法，山海堂
- 2) 松野ほか：アスファルト舗装に関する試験，pp238～240，建設図書
- 3) 池田拓哉：講座SHRPで提案された新しい配合設計方法，舗装1997年6，7，8，10，11月号，建設図書
- 4) 鶴田，大野：GTMによるアスファルト合成の配合設計の一定，第9回日本道路会議一般論文集
- 5) 坂田，橋本：マーシャル75回突き設計に対応するGTM設計法，第11回日本道路会議一般論文集
- 6) J.L.Mc Rea and A.R.Mc Daniel, Progress Report on the Corps of Engineers'Kneading Compactor for Bituminous Mixtures, AAPT Proc. vol27
- 7) 橋本，太田：供用中の安定性を考慮したGTM設計法，第12回日本道路会議一般論文集
- 8) 浜田ほか：SHRP型ジャイレトリコンパクタの締固め特性，道路建設，1996年12月，(社)道路建設業協会
- 9) 浜田ほか：SUPERPAVE LEVEL1の適用に関する一検討，土木学会第52回年次学術講演会講演概要集第5部，1997年9月
- 10) 高田ほか：Superpaveレベル1配合設計に関する一検討，第22回日本道路会議一般論文集，1997年12月
- 11) SHRP-A-407, The Superpave Mix Design Manual for New Construction and Overlays, National Research Council
- 12) SHRP-A-379, The Superpave Mix Design Manual of Specifications, Test Method, and Practices, National Research Council
- 13) SHRP-A-408, Level One Mix Design: Materials Selection, Compaction, and Conditioning

☆

☆

☆

☆

☆

☆

アスファルト混合物の永久変形に関する SHRPの研究成果

(Summary Report of the SHRP Study on Permanent Deformation of
Asphalt Mixtures)

1987年から始まったSHRPの研究成果が最近多く発表されてきています。今回は、研究費の約5分の1が費やされているアスファルト混合物の永久変形に関する研究プロジェクトA-003Aの成果報告の中から、永久変形の予測手法に関するSHRP Published Report A-318と永久変形の試験方法に関するA-415の2編について概要を紹介いたします。我が国でも最も関心の深い破壊

形態であるわだち掘れに関して、破損進行の予測、新しい評価試験方法、配合設計手法など参考になる点が多くあると考えられます。また、これらの成果をどのように我が国に取り込んでゆくかがこれからの課題であるといえます。

(研究グループ代表幹事：峰岸順一)

アスファルト舗装技術研究グループ名簿

* は班長 **は副班長

峰岸順一 東京都建設局道路管理部保全課

*阿部長門 東亜道路工業(株)技術研究所
飯田健一 鹿島道路(株)技術部
伊藤達也 ニチレキ(株)技術研究所
岡藤博国 世紀東急工業(株)技術部
小笠幸雄 (株)道路保全技術センター
風林克也 日本道路(株)技術部技術開発課
小林正利 福田道路(株)技術研究所
**金井利浩 鹿島道路(株)技術研究所
鎌田孝行 常盤工業(株)技術研究所
北澤弘明 ニチレキ(株)情報システム部
黒田 智 日本舗道(株)技術研究所
越健太郎 前田道路(株)技術研究所
小関裕二 大林道路(株)技術研究所
*佐々木巖 建設省土木研究所材料施工部化学研究室
佐藤雅規 世紀東急工業(株)技術研究所
清水浩昭 世紀東急工業(株)技術研究所
菅野伸一 常盤工業(株)技術研究所
*鈴木秀輔 大成ロテック(株)技術研究所
鈴木康豊 (株)パスコ道路技術センター
**関口英輔 日本大学理工学部阿部研究室助手

高田祥子 日本道路(株)技術本部技術研究所
高橋光彦 大成ロテック(株)技術研究所
谷口 聡 建設省土木研究所舗装研究室
立石大作 日本石油(株)中央技術研究所
手塚朗子 東亜道路工業(株)技術研究所
玉木琢雄 大成ロテック(株)技術部
浜田幸二 日本道路(株)技術本部技術研究所
早川洋子 (株)パスコ道路技術センター
林 信也 鹿島道路(株)技術研究所
**深沢邦彦 大成ロテック(株)技術研究所
藤谷 篤 昭和シェル石油(株)中央研究所
舟根 毅 常盤工業(株)技術研究所
牧田哲也 ニチレキ(株)技術研究所
*増山幸衛 世紀東急工業(株)技術部技術一課
水口浩明 前田道路(株)技術研究所
水野卓哉 福田道路(株)技術研究所
村田信之 日本舗道(株)企画部
山脇宏成 (株)ガイアートクマガイ技術研究所
吉村啓之 前田道路(株)技術研究所

計40名

アスファルト混合物の永久変形に関する SHRPの研究成果

深 沢 邦 彦*・小 林 正 利**・飯 田 健 一***

まえがき

1987年から5カ年にわたり米国においてSHRP計画が実施された。SHRPにおけるアスファルト研究の予算総額は5千万ドルに及び、そのうちの約949万ドルが永久変形予測評価手法の開発としてカリフォルニア大学バークレー校のProf. Monismithを中心とした研究グループ他に研究委託された。その研究業務はSHRP研究プロジェクトA-003Aと呼ばれ（以下、本文中では本研究と称する）、2編の研究報告（SHRP Published Report A-318及びA-415）がまとめられている。

本研究グループ材料班では、日本における大きな技術的課題であるアスファルト混合物の流動対策の研究資料として、これらの報告書2編をほぼ全訳しその内容理解を行ってきた。本報告は、これらの資料をもと

にSHRP計画において実施されたアスファルト混合物の永久変形に関する研究成果の概要を紹介するものである。

本報は4つの章で構成している。第1章では、A-003Aで実施された永久変形予測に関する既往研究成果とりまとめの抄録、評価試験方法に関する調査及びSHRPにおける試験法の選定過程について述べている。第2章では選定されたせん断試験方法の理論や実験結果を紹介し、第3章では配合設計方法へと確立するために必要な信頼性等の検討結果と配合設計手順の概略について記述した。また、これらの研究成果をベースにSHRP計画の終了時に提案されたSUPERPAVE Shear Testerを第4章で紹介する。

第1章 アスファルト混合物の永久変形の評価

1.1 概要

アスファルト舗装のわだち掘れは、舗装の供用期間を減少させるだけでなく、車輛の走行性に影響を与えると考えられる。このわだち掘れについて、米国のSHRP [A-415: 「Permanent Deformation Response of Asphalt Aggregate Mixes」(アスファルト混合物の永久変形挙動)]のPART Iにおいては、アスファルト混合物の永久変形を評価するための各種試験方法の紹介と実用性について検討を行っている。

第1章は、本研究からアスファルト舗装のわだち掘れのメカニズム、予想手法、わだち掘れ特性に関する評価試験方法とその有効性について抜粋し、紹介する。

1.2 わだち掘れの概要

本章では、わだち掘れ発生状況や、原因、予測について紹介する。

1.2.1 わだち掘れの発生状況

アスファルト舗装におけるわだち掘れは、通過車両

数および車両1台当たりの重量の増加により徐々に進展し、通常は側方へ多少の隆起をとまなう車輪通過部の縦方向の沈下となって表れる。このわだち掘れは、舗装の路床または路床を含む複数の層に、圧密とせん断の応力が作用する事により発生している。1962年、AASHO道路試験において実施された開削調査¹⁾およびHofstra等により報告された試験舗装調査²⁾によると、わだち掘れの主な要因はせん断応力であると報告されている。これらの結果から、舗装のせん断変形を低減するためには、高強度の材料の使用が推奨されている。

また、Eisenmann等の研究³⁾は、わだち掘れは体積変化を伴わない流動変形であると報じている。図-1にアスファルト混合物の試験舗装体（表層5cm+基層18cm）のわだち掘れの増加状況を示す。この図から、タイヤ直下の沈下（凹部）とその近傍の隆起部（凸部）の体積が測定できる。この試験結果から、以下の結論を述べている。

*ふかさわ く に ひ こ 大成ロテック㈱技術研究所

**こばやし まさとし 福田道路㈱技術研究所

***い い だ けんいち 鹿島道路㈱技術部

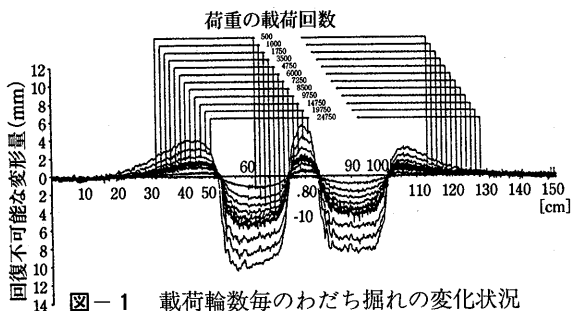


図-1 載荷輪数毎のわだち掘れの変化状況

- 1) 走行の初期段階では、タイヤ直下の変形量（凹部）が隆起部（凸部）よりも大きい。従ってわだち掘れの初期段階の要因は、主に交通荷重による圧密であるといえる。
- 2) 初期段階の後、わだち部の体積減（凹部）がそのまま近傍の隆起部（凸部）の体積増加になっている。これは交通による圧密はほとんど完了し、その後のわだち掘れは同体積のまま流動変形することにより生じる。

Hofstra等は、アスファルト混合物層の変形が、舗装表面で大きく、深い位置ではやや小さくなることを報告²⁾している。すなわちわだち掘れを深さ方向でとらえた場合、深部では塑性流動抵抗が増すと同時にせん断応力が小さくなるとしている。

先に述べたAASHO道路試験の測定では、厚さ25cm (10 in.) のアスファルト混合物層で、表面のわだち深さが一定の値に収束したと示されており、層厚が厚くてもわだち掘れ量は増加しないとしている。

本研究では、これらの結果から、十分強固な支持層の上であれば、ほとんどのアスファルト舗装におけるわだち掘れは抑制できると述べている。

1.2.2 わだち掘れ発生の要因

アスファルト混合物のわだち掘れに関する影響要因を表-1に示す。

わだち掘れ発生の要因を考える際には、アスファルト混合物の材料特性（骨材、バインダ、混合物）と、供用状況（舗装体温度、交通荷重）を正確に把握する必要がある。

1.2.3 わだち掘れの基準

連邦道路局（FHWA）は、1979年にわだち掘れをその程度に応じて表-2に示すような4段階に分けている。

研究者の多くはわだち掘れの程度をハイドロプレーニング現象と関連づけて基準を設定するべきであると報じている。

表-1 アスファルト混合物のわだち掘れに関する影響因子

	要 因	要因の変化	要因の変化による流動抵抗性
骨 材	表面の肌理	滑らか→粗面	向上
	粒度	ギャップ→連続	向上
	形状	丸み →角張	向上
	寸法	最大粒度 増	向上
バインダ	スティフネス a	増	向上
混 合 物	バインダ量	増	低下
	空隙率	増	低下
	VMA b	増	低下 c
	締固め方法	— d	— d
供用条件	温度	高	低下
	応力/ひずみ状態	タイヤ接地圧増加	低下
	交通量	増	低下
	路面の水分	乾燥→濡れ	混合物の水分感応性が大きいと低下

- a : バインダのスティフネスは、わだち掘れが発生する温度に留意して決定する。改質剤は高温でのバインダスティフネスを高め、わだち掘れの発生を抑制する。
- b : 空隙率が3%以下の場合にはわだち掘れ発生の可能性が高くなる。
- c : VMAが極端に小さい混合物（例えば10%以下）は考慮しない。
- d : 室内でも現場でも、締固め方法は舗装構成の決定さらにわだち掘れの発生に影響を及ぼす。

表-2 わだち掘れの基準（FHWA）

番 号	呼 び 名	わだち掘れの深さcm (in.)
①	ハイドロプレーニングが起きる程度	0.5~0.6 (0.2~0.25)
②	小	0.6~1.3 (0.25~0.5)
③	中程度	1.3~2.5 (0.5 ~1.0)
④	大	2.5 (1.0)以上

Barksdaleは、横断勾配が2%で1.3cm (0.5in.) のわだち掘れがあった場合、車が時速80km (50mile/h) 以上のスピードで走行すれば、ハイドロプレーニング現象が発生すると報告⁴⁾している。

また、イギリスでは、標準的な横断勾配2.5%でわだち掘れが1.3cm (0.5in.) 以上になると、ハイドロプレーニング現象の発生や、すべり抵抗性が減少するとしている。

許容わだち掘れ深さは、走行車両の安全と道路構造の両面から決めなければならない。

Listerらは、イギリスで1.8m (6 ft) のストレートエッジで測定したわだち掘れ量が1.9~2.0cm (0.75~0.8 in.) に達していれば、舗装の破壊とみなされると報告⁵⁾

している。このことは、わだち掘れ量が1.0cm(0.4in.)程度であれば、舗装構造上それほど問題ないということも述べている。Verstraetenらは、走行性を良好に保つには、わだち勾配(わだち掘れ量/わだち掘れ幅の1/2)を2%未満にすべきだと報じている⁹⁾。

1.3 わだち掘れの推定

1960年以前、米国ではわだち掘れの予測はほとんど行われていなかった。当時の米国における配合設計方法は経験的に舗装のせん断抵抗性を評価して利用するものであった。それは路床のCBR値等に応じて、適切な舗装厚を確保すれば、設計期間中の舗装にわだち掘れは発生しないであろうという仮定に基づいていた。

しかし、交通荷重の増加とともにわだち掘れも増加するようになり、わだち掘れ予測の研究が行われるようになった。本章では、米国におけるわだちの解析手法および予測手法に関する歴史的経緯を、International Conference on the Structural Design on Asphalt Pavement(以下ICSDAP)、Association of Asphalt Paving Technologists(以下AAPT)およびTransportation Research Board(以下TRB)等から紹介し、さらに、代表的なわだち予測手法について紹介する。

1.3.1 わだち掘れ予測手法の変遷

1962年の第1回ICSDAPで、アスファルト舗装の疲労とわだち掘れの破損メカニズムを考慮した最初の舗装設計法がシェルにより報告された⁷⁾。この設計法では、路床上面の鉛直圧縮ひずみを制限することによってわだち掘れを制御している。また、表層を厚くしてアスファルト量を増す傾向にあった。そのため、表層に疲労破壊が生じることも少なく、わだち掘れ抑制に有効であると思われていた。しかし、時代とともに、走行車両の軸重、タイヤ空気圧、トラックの総重量制限の増大ともなっており、特に25~30cm(10~12in.)以上の舗装に対して、わだち掘れ予測法の改善の必要性が生じてきた。

1972年の第3回ICSDAPにおいて、たわみ性舗装のわだち掘れ予測の方法論が報告された。Barksdale等は、ここで層ひずみ(layer-strain)理論による手法を紹介⁴⁾している。

1977年の第4回ICSDAPでは、舗装表面のわだち掘れをある一定基準に制限する方法と、アスファルト層あるいは舗装構造全体のわだちを予測する方法が報告された。それらは、以下に示す手法に分類される。

- ・観測されたわだち掘れに基づく統計的手法
- ・路床ひずみの制限方法

- ・クリープ試験による弾性解析
- ・線形粘弾性解析

1982年の第5回ICSDAPでは、わだち掘れ予測に関する報告はほとんどなかったものの、その後、輪荷重とタイヤ空気圧による舗装内の応力ひずみの影響を含めた、たわみ性舗装におけるわだち掘れの発生と予測に関する報告がなされた。これは、アスファルト舗装の材料特性とわだち掘れ予測モデルの両面から研究がなされていた。発表された論文も経験的な方法から、粘弾性理論の塑性解析を用いた方法⁹⁾に変わりつつあった。

1987年の第6回ICSDAPにおいて、Eckmannは、実際の舗装のわだち掘れを予測するための層ひずみ解析を、動的クリープ試験に関連づけて行った。その手法は現場再現性に優れていると報告⁹⁾されている。

1.3.2 わだち掘れ予測手法

わだち掘れによる車両走行時の危険性を回避するために、設計段階においても、わだち掘れ予測手法の必要性が高まり、舗装体の応力状態と挙動の解析手法が発達してきた。

これら解析手法の多くは、舗装表面のわだち掘れを防ぐための条件として、路床上面におけるひずみ量の基準を設定している。またその他に、路床における垂直応力の制限¹⁰⁾、統計学にもとづいた予測式からわだち掘れ量を予測する研究者もいる。さらに、弾性層解析から算出される表面のたわみを考慮した数式も提案されている¹¹⁾。

これまでの解析手法は、路床上面における最大鉛直圧縮ひずみ、または応力が許容範囲内であれば、規定載荷数内においては、わだち掘れを許容範囲内に抑えることができるという仮定に基づいている。しかしこれらの手法の欠点として、アスファルト混合物層内のみに生じるひずみを考慮していないということが指摘されている。

本文では、わだち掘れの予測手法として、弾性層解析に基づく層ひずみ法と、粘弾性手法の概要について紹介する。

(1) 層ひずみ法(Layer-Strain Procedure)

層ひずみ法の基本原理は、繰り返し載荷を与えた後に生じるわだち掘れ量を予測するために、舗装体をいくつかの層に分割し、各層の荷重中心位置で弾性解析を行う手法であり(図-2)、Barksdaleらにより提案された⁴⁾。この手法は室内試験から求められる永久変形性状を用いたわだち掘れ量の予測手法、および線形または非線形弾性理論を用いた舗装体構造の解析手法の

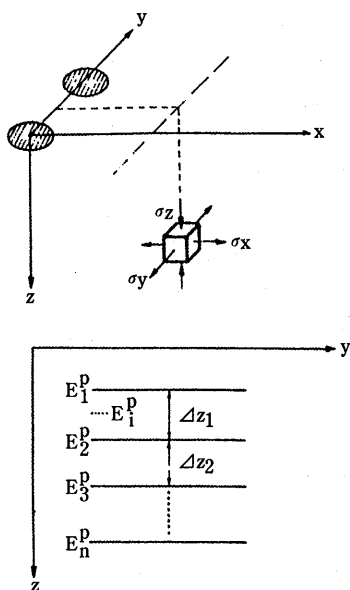


図-2 層ひずみ法概念図

二つに分類される。

層ひずみ法においては、各層の荷重中心位置における平均荷重と塑性ひずみは室内試験により確認しなければならない。繰り返し载荷による全わだち掘れ量は、式1に示すように、各層の中心において生じる平均塑性ひずみと、対応する各層の厚さの積の和により得られる。

$$\Delta p = \sum_{i=1}^n [(\epsilon_{ip}) (\Delta Z_i)] \quad \text{.....式1}$$

Δp : 総わだち掘れ量

ϵ_{ip} : i番目の層の平均塑性ひずみ

ΔZ_i : i番目の層の厚さ

n: 層数

層ひずみ法は、わだち掘れ量の推定手法の中では比較的簡便であり、線形、または非線形弾性解析法の両方に適用できるが、本研究では、非線形弾性理論は精度は高いが、解析があまりにも複雑であるという理由より、線形弾性理論による解析を推奨している。

また、層ひずみ法は荷重中心線上におけるわだち掘れ量の推定であるので、本研究ではわだち掘れ部（荷重接地面および影響範囲）全体のわだち掘れ量推定手法への改良の必要性を強調している。

(2) 粘弾性手法

舗装体の任意の箇所における応力、ひずみ状態は、輪荷重の増加に伴う時間依存性が考慮され、有限要素法等¹²⁾で定義される。この手法の利点は、走行中の輪荷重が直接考慮されるという点である。これにより時間

ごとに各部分の応力状態が明らかとなり、側方流動の推定も可能となる。

非線形粘弾性理論の適用は、より実際に近い舗装体性状を把握できるが、より複雑な解析を必要とすることから、通常は線形解析の適用が一般的に使用されていると述べている^{13),14)}。

(3) わだち掘れ予測手法の評価

本研究では、粘弾性手法は理論的には優れているが、その解析手法が極めて複雑であり、また実測値と推測値との整合性の欠如という理由により、層ひずみ法を推奨している。なお層ひずみ法については、タイヤ接地面全域が舗装体およびその下層の応力を考慮した粘弾性モデルが確立すれば、より正確なわだち掘れ予測が期待できると述べている。

以上のことより、本研究では、アスファルト混合物の永久変形予測のモデル式として、舗装の荷重中心線より離れた位置の応力・ひずみ状態、温度状態を考慮した式2を提案している。これはわだち掘れモデルを与えるだけでなく、総合的な配合設計手法であることを示唆している。すなわち、総括的な試験の後、定型的な配合設計で得られた温度、応力、ひずみ定数

$$\Delta \epsilon_{pij} = f(\epsilon_{pij}, \sigma_{ij}, T, \omega, C) \quad \text{.....式2}$$

ϵ_{pij} : 永久変形状態, σ_{ij} : 応力状態,

ϵ_{ij} : ひずみ状態, T: 温度,

ω : 周波数または载荷タイプ,

C: 限られた試験数を実施することによって決定する混合物係数,

f: 混合物種類, 装置, 応力/ひずみ状態, 温度, 载荷, 等を考慮した広範囲な試験によって決定される因子

の組み合わせにより、個々のアスファルト混合物のわだち掘れ予測を、理論的に可能にしたと述べている。

1.4 わだち掘れ予測における材料評価試験

本章では、アスファルト混合物のわだち掘れ挙動を解析するために必要なパラメータ（弾性、粘弾性、塑性およびせん断強度）を決定するための試験方法の紹介とそれらの適用性について紹介する。

1.4.1 評価試験

アスファルト舗装のわだち掘れの予測式は、基本的な因子として、荷重の载荷回数・方法・時間、温度状況、材料特性等を必要としている。このうち材料特性は、室内試験等により規定している。

以下にわだち掘れ挙動を解析するための弾性、粘弾性、塑性およびせん断強度のパラメータを評価するた

めの試験方法について紹介する。

(1) 単純せん断試験

単純せん断試験は、純粋なせん断応力あるいはそれに近い応力による試験という点で、現道との相関性が高い手法であるとしている。本試験は、応力・ひずみを円柱供試体の主軸方向に対して直角方向で制御できる最もシンプルな構造の試験機を用いている。さらに、クリープの他、応力、ひずみ制御のもとで、幅広い載荷周波数によるレジリエントモデュラスの測定、動的せん断モデュラスの測定、せん断振幅の減衰挙動の測定等に適用が可能である。

単純せん断試験は従来アスファルト混合物の特性を測定する方法としてはあまり用いられていなかったが、混合物のわだち掘れが主に塑性的なせん断変形によって発生することから、わだち掘れ特性の評価に適用されている。なお、単純せん断試験は、SHRPのアスファルト混合物配合設計方法として、正式に採用されたものである。

(2) 一軸、三軸試験

① クリープ試験

アスファルト混合物の圧縮クリープ実験についてvan de looが発表した手法^{15),16),17)}について紹介する(図-3)。これは、平板で両端の面が平行な供試体を2枚の鋼版ではさみ、片方を固定、もう一方を可動とし、一定荷重を可動の鋼版にかけ、供試体の変形量をLVDTにより時間とともに計測するものである。試験温度は一定に保ち、相対変形量(高さの変化量を元の高さで

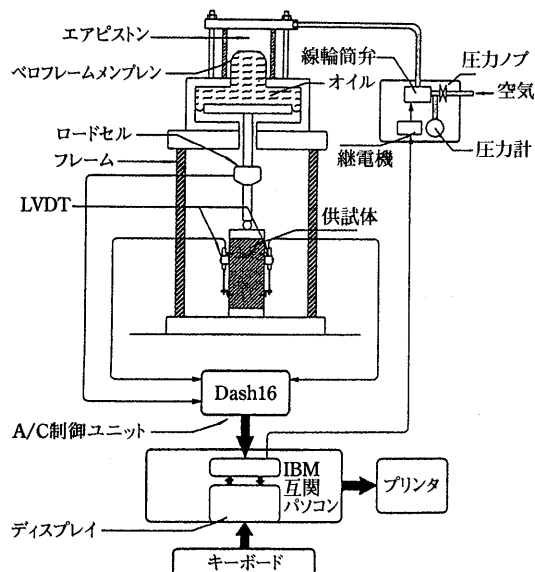


図-3 クリープ試験機の概要

除したもの)を測定する。

本研究では、この試験法は簡便であり、また試験機自体が多くの機能を有していることから、材料特性の予測手法として広く普及していると述べている。

② 繰り返し載荷試験

繰り返し載荷試験により、レジリエントモデュラス、塑性(永久)ひずみおよびポアソン比が測定できる。荷重載荷方法は、垂直方向の繰り返し荷重と連動する繰り返しの拘束圧力を加えることができ、さらに温度制御ができるチャンバーを備えているのが一般的である。本試験の重要な点は、載荷波形と周期が測定値に大きく影響することであり、これらが実際の舗装内部に発生する状況に近似されなければならないとしている。

繰り返し載荷試験はクリープ試験よりも混合物の特性をよりいっそう正確に把握できると報告されている。例えばBarksdaleらは、Shellのクリープ試験において、ある混合物のアスファルト量を4.5%から5.5%に増加させてもわだち掘れ深さの著しい増加は見られなかったが、繰り返し三軸試験では、このアスファルト量の増加がわだち掘れ深さを16%増加させたと報告¹⁰⁾している。

③ 動的三軸試験

この手法はFranckenがアスファルト混合物の円柱供試体を用い、動的およびクリープ特性を求めるものである¹⁸⁾。この試験の拘束圧力は一定で、垂直圧力はサイン波形で周波数を変化されている。試験装置は通常クロズドループ制御で操作される。

(3) 直径方向載荷試験

アスファルト混合物のスティフネスを測定する方法としては、図-4に示すようなSchmidtによって提案された直径方向載荷試験機(間接引張り試験機)がある。

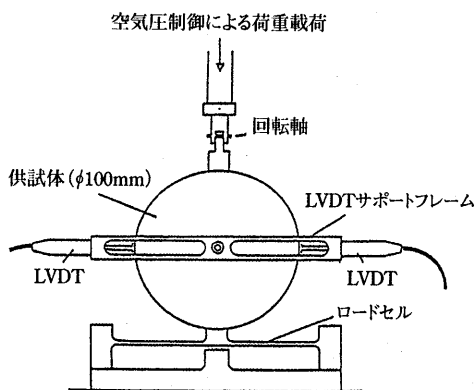


図-4 直径方向載荷試験の概要

この装置では、供試体に荷重をかけることにより、荷重に対して垂直方向に線応力が発生し、载荷に対して直角方向に引張り応力が生じる。その結果、アスファルトの違いによる混合物のスティフネス、または荷重に対する抵抗力を測定することができる。この試験では骨材の影響は三軸試験より小さく、また、クリープ試験のような長時間の測定よりも繰り返し载荷試験のような測定のほうが適している。

(4) ホイールトラッキング試験

わだち掘れを予測する為に提案されている手法は、最終的に現場あるいは試験舗装での適用性の評価が必要である。さらにわだち掘れのメカニズムを解析するためには、深さ方向あるいは水平方向の塑性ひずみ特性を正確に予測できることが必要であるとしている。

フランス中央研究所 (LCPC) の設計法で用いているホイールトラッキング試験は、試験輪を混合物供試体の上を繰り返して通過させ、発生するわだち掘れを測定するというものである (図-5)。供試体の寸法は、長さ50cm、幅15cm、厚さ10cmである。供試体は現場からのサンプリングが可能であるが、主に室内で空気タイヤにより転圧して作製される。

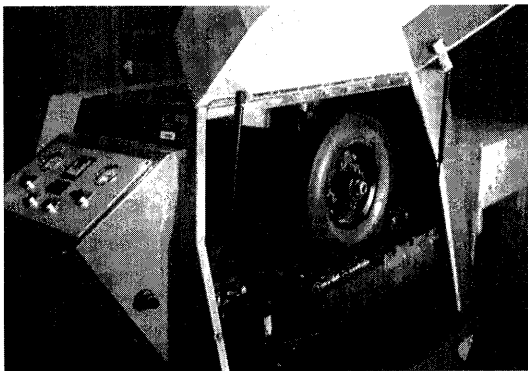


図-5 ホイールトラッキング試験機

わだち掘れ量は、一定の荷重载荷回数毎に測定を行い、最大100,000回まで、またはわだち掘れ量が1.5cmに達するまで行う。試験温度は50~60℃である。試験輪は供試体のセンターを2回/秒 (= 1往復/秒) 通過し、約0.1秒間载荷する。

(5) 中空シリンダーによるねじれせん断試験

この試験は、Sousa¹⁹⁾によって紹介されたものであり、軸方向および軸方向に直角な回転荷重を作用させた時の混合物の動的性状を把握できる。本試験 (図-6) では、中空シリンダー供試体 (図-7) を用い、供試体に軸方向荷重 (W)、トルク (Mr) をかけた場

合、半径方向にそれぞれ $P1$ および $P0$ が作用し、均一なせん断応力が働く。中空シリンダー供試体の対称性のために、垂直およびせん断応力は均一に作用する。

このタイプの装置は、せん断応力に伴って発生する3次元的な応力状態において、混合物の永久変形評価手法として有効である。なお本研究では、本試験装置は複雑であり研究目的には有用であるが、日常的な管理試験としては、あまり適切ではないとしている。

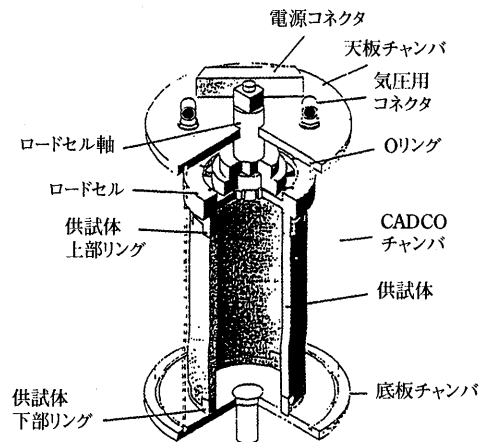


図-6 中空シリンダー試験機

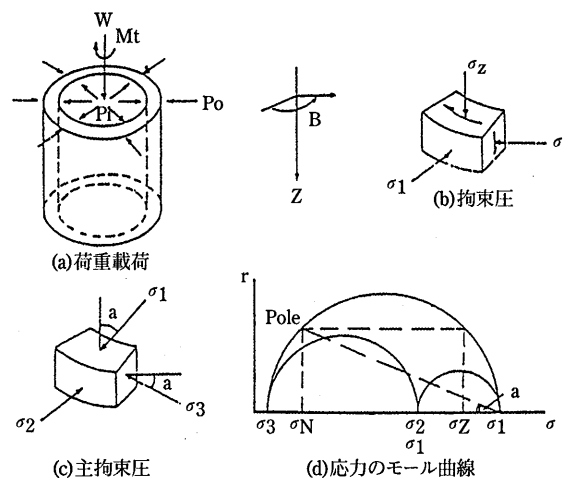


図-7 中空シリンダー試験の概要

1.4.2 試験方法の選択

本研究では、ここに紹介した評価試験について、実際の舗装に発生するわだち掘れを予測するための試験方法としての有効性を比較検討している。評価方法は、実際の応力状態の再現性と、試験の簡便性に着目をしている。その評価結果を表-3に紹介する。なお、トラック試験と中空シリンダー試験は、標準試験として

実用化するのが困難であるため総合評価の対象外としている。

なお、総合ランキング1位のせん断試験については、せん断応力が直接与えられ、応力反転を伴う連続試験

が簡単に実行できる唯一の試験であるとしている。このせん断試験と三軸試験については、第2章において、詳しく紹介する。

表-3 アスファルト混合物のわだち掘れ特性試験

試験法	供試体形状	特 性 値	摘 要	現 場 再現性	簡便性	総合ラン キング
静的単純せん断 (クリープ)	直径10cm (4in.) 高さ 6.3cm (2.5in.)	せん断クリープ係数と時間 せん断永久変形と時間	せん断応力は供試体に直接与えられる 既存舗装からのコア採取が容易			
繰り返し単純せん断		せん断永久変形と載荷数 レジレントせん断弾性率	交通条件をより再現できる	3	3 また は 4	1
動的単純せん断		動的せん断弾性係数 せん断永久変形と載荷数 減衰比	異なる温度条件下で周波数関数として 減衰を決定できる。 装置はあまり一般的でない			
静的三軸 (制限 クリープ)	円筒状 直径10cm (4in.) 高さ20cm (8in.)	クリープ係数と時間 ひずみ量と時間	より多くの応力状態が得られる。 応力状態はMohr-Coulomb 概念における せん断成分を含む。			
繰り返し三軸		レジリエントモデュラス 永久変形と載荷数 ポアソン比	交通状態をよりよく表現する。 装置はより複雑である。 三軸チャンバーが必要である。	4	3 また は 4	2
動的三軸		動的弾性率 減衰比 ポアソン比 永久変形と載荷数	異なる温度条件下で周波数関数として 減衰を決定できる。			
一軸圧縮 (クリープ)	円筒状 直径10cm (4in.) 高さ20cm (8in.)	クリープ係数と時間 ひずみ量と時間	一般性がある 装置が簡便である 装置は一般的に実験室にある。 応力状態はMohr-Coulomb 概念における せん断成分を含む。 より技術的情報が得られる。			
繰り返し一軸		レジリエントモデュラス 永久変形と載荷数 ポアソン比	交通状態をよりよく表現する。 装置はより複雑である。	5	1	3
動的一軸		動的弾性率 減衰比 ポアソン比 永久変形と載荷数	異なる温度条件下で周波数関数として 減衰を決定できる。			
静的直径方向 (クリープ)	直径10cm (4in.) 高さ 6.3cm (2.5in.)	クリープ係数と時間 永久変形と時間	試験が簡単である 現場採取コアが簡単に得られる			
繰り返し直径方向		レジリエントモデュラス 永久変形と載荷数	せん断応力が一方向でない 静的試験装置は比較的単純である	6	2	4
動的直径方向		動的弾性率 減衰比 永久変形と載荷数	繰り返し、および動的試験では、装置 の複雑さは三軸のそれと同じである。 ほとんど全ての応力状態を再現できる			
トラック試験	スラブ	わだち断面と通過回数 深さ方向における ひずみ/応力プロファイル	応力状態は現場状況を再現する本質的 な材料物性が得られない 予測モデルの確認に良い方法である 高価で特別な装置が必要である	1	6	定 常 的 試 験 に 不 適
中空シリンダー	厚さ2.5cm (1in.) 高さ45cm (18in.) 外径22.5cm (9in.)	動的軸弾性率 動的せん断弾性率 軸減衰比 せん断減衰比 軸永久変形と載荷数 せん断永久変形と載荷数	軸方向同様、せん断方向に置いても周 波数の関数として減衰を決定できる装 置は高価である 舗装からコア採取できない	2	5	定 常 的 試 験 に 不 適

第2章 アスファルト混合物の永久変形に関する新しい試験

2.1 概要

第1章において、各種アスファルト混合物の永久変形特性試験を総合的に比較検討した結果、最適な試験方法として単純せん断試験が推奨された。これに従い、本章では、アスファルト舗装の永久変形挙動を記述するモデルを示し、単純せん断試験および、次に有効とされる三軸圧縮試験を実施できる万能試験機 (Universal Testing Machine : UTM) によって評価されたアスファルト混合物の永久変形特性について記述する。

2.2 万能試験機 (UTM) の概略

UTMはアスファルト混合物の永久変形特性を測定するために、SHRP A-003Aに基づきCox and Sons, Inc., によって開発された。その包括的な試験能力により永久変形の評価と同様に疲労破壊やスティフネスの評価が可能である。この試験機はマイクロコンピュータにより、油圧サーボシステム、拘束圧力、試験温度、およびフィードバッククロズドループ制御を行う。

図-8にこの装置の構成要素を、図-9にUTMの概略図を、および図-10に単純せん断装置概略図をそれぞれ示した。

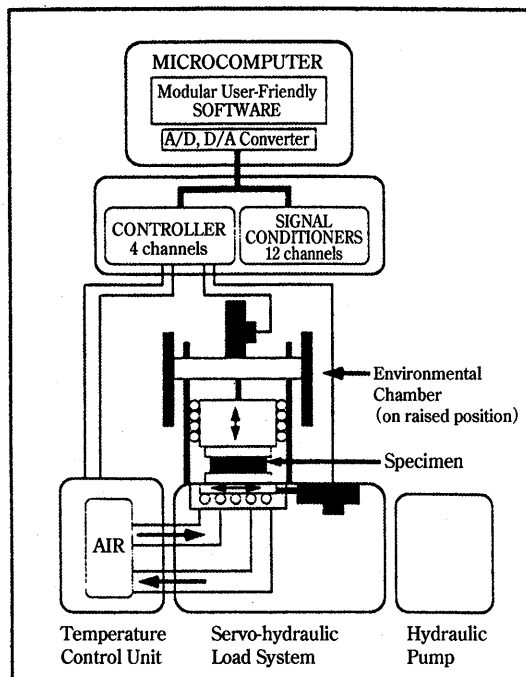


図-9 UTM概略図

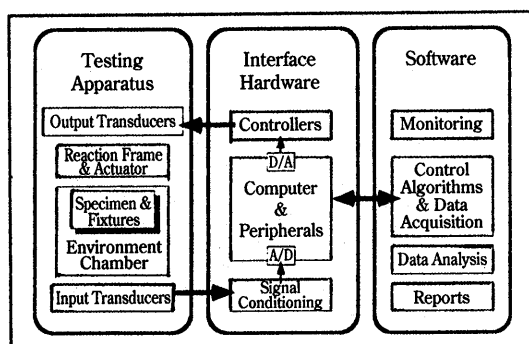


図-8 UTM構成要素

2.2.1 UTMの試験モード

UTMはクリープ、繰返し、動的、および一定数形比の荷重制御によるせん断と軸荷重載荷試験が可能である。

以下にUTMによって可能な試験モードを示す。

- ・拘束圧力を伴う、もしくは伴わない動的鉛直軸載荷試験および動的せん断載荷試験
- ・拘束圧力を伴う、もしくは伴わない鉛直軸クリープ試験およびせん断クリープ試験
- ・拘束圧力を伴う、もしくは伴わない鉛直軸周波数スイープ試験およびせん断スイープ試験

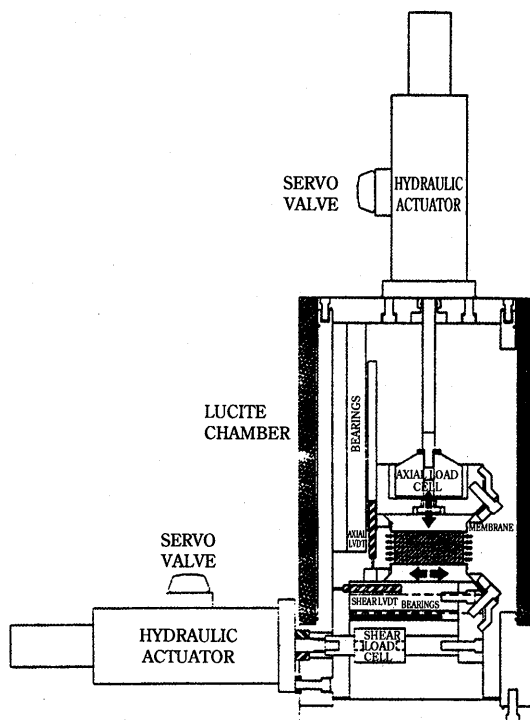


図-10 単純せん断試験装置概略図

- ・鉛直軸荷およびせん断荷において一定応力比または一定ひずみ比による動的荷重試験

2.2.2 供試体

供試体形状は直径20cm (8 in.), 高さ30.5cm (12 in.) まで円柱状供試体が適用可能である。ただし, せん断試験においては, 荷重による供試体の曲げの要素を最小に押さえるために, 直径と高さの比は3を超えてはならないとされている。このため, 本試験では, 直径15cm (6 in.), 高さ5 cm (2 in.) もしくは直径20cm (8 in.), 高さ7.5cm (3 in.) の円柱供試体を用いている。供試体は, 実験室内でローラコンパクタを用いて作製したスラブ供試体からコア採取し, 特殊な二枚歯のカッターにより平行に成形される。

(第4章で紹介されるSUPERPAVE試験プログラムにおいては, 供試体はジャイレトリコンパクタを用いて作製され, 直径15cm (6 in.), 高さ5 cm (2 in.) を標準としている)

供試体はその上下にアルミニウムキャップをエポキシバインダにより接着する。この工程はキャップを平行に接着するため, 専用の治具を用いる(図-11)。変位量測定用のLVDTが取り付けられる(図-12)。

2.3 アスファルト混合物の永久変形挙動の構成則

アスファルト混合物の挙動を予測する構成則として, 非線形粘弾性モデルおよび弾塑性モデルを用いている。ここでは, 次の混合物特性条件を考慮している。

- ・せん断荷重下での体積膨張
- ・圧力増加に伴うスティフネスの増加
- ・体積クリープは無視できる
- ・除荷における残留永久変形
- ・温度および荷重速度依存性

当初, アスファルト混合物の特性を説明するために非線形粘弾性モデルが適していると考えられたが, 十分にアスファルト混合物の挙動を説明し得なかった。このため, 弾塑性モデルを用いたモデルに拡張された。これらのモデルを理解するために粘弾性理論, 塑性理論および流動理論に関する十分な知識が必要であるが, ここではそれらの解説を専門書に譲るとして, 結果として得られたモデルを簡単に紹介する。

2.3.1 非線形粘弾性モデル

非線形粘弾性モデルの適用は先述の混合物特性条件および, 次に示すアスファルト混合物の内部構造に関する特性に基づき提案された。

- ・アスファルト混合物のダイラタンシー (せん断により粒子間2次結合力が増大する現象: ここでは

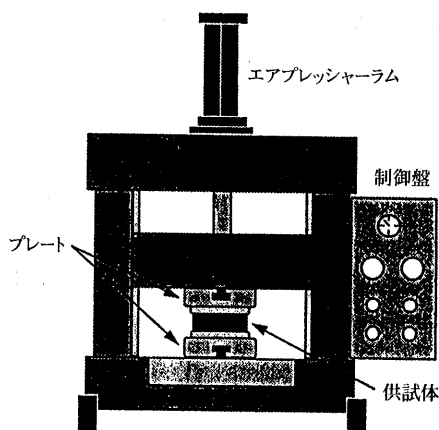


図-11 キャップ装着装置

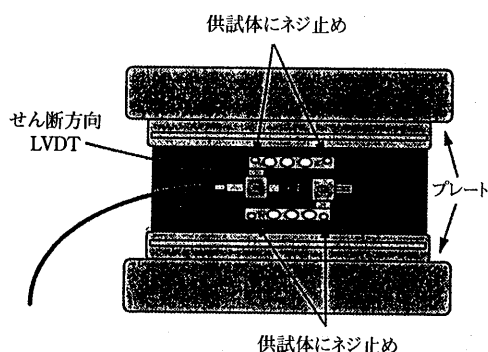


図-12(a) LVDT装着状況 (せん断試験, 側面)

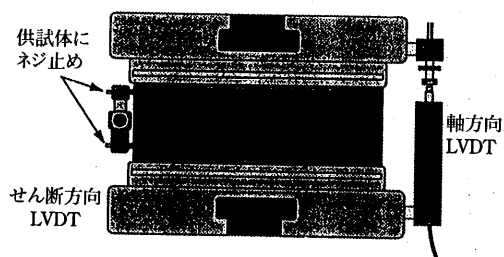


図-12(b) LVDT装着状況 (せん断試験, 全面)

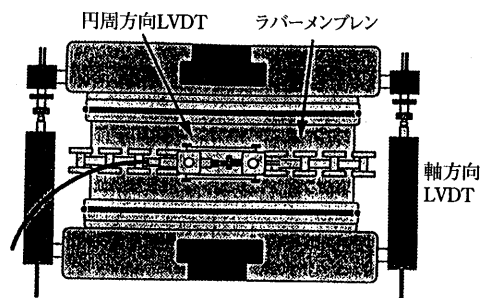


図-12(c) LVDT装着状況 (拘束圧力試験)

粗骨材の噛み合わせを意図している) は骨材骨格に関連している。

・骨材骨格の挙動は温度及び速度依存性が無い。
これに対してアスファルトバインダは温度および速度依存性が高いため、骨材骨格に由来するダイラタンシ—はスプリング要素に、温度および速度依存性はダッシュポット要素に関連づけられ、非線形粘弾性モデルとして、3次元並列マックスウェルモデルから構成されると仮定した(図-13)。それらの構成要素を次に示す。

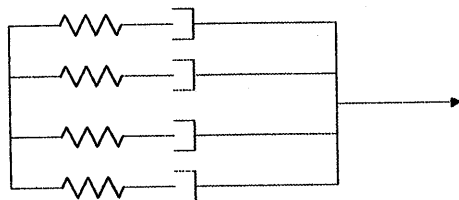


図-13 3次元並列マックスウェルモデル

① マックスウェルモデルの弾性要素

$$W(\epsilon^e) := 1/2 C_1 I_1^2 + C_2 I_2 + 1/3 C_3 I_1^3 + C_4 I_1 I_2 + C_5 I_3 + 1/4 C_6 I_1^4 + C_7 I_1^2 I_2 + C_8 I_1 I_3 + 1/2 C_9 I_2 \quad \text{式 3}$$

$W(\epsilon^e)$: ひずみエネルギー関数

$C_1 \sim C_9$: 材料定数

ϵ^e : 弾性ひずみテンソル

$I_1 \sim I_3$: 弾性ひずみ不変テンソル

② マックスウェルモデルの粘性要素

$$\epsilon^i := [1 - q_n / \alpha_n]^{-1} \eta^{-1} \partial_\epsilon W(\epsilon^e) \quad \text{式 4}$$

α, n : 材料定数

q : ダメージパラメータ

($q = \max(q_r), 0 \leq r \leq t$ 式 5)

η : 粘度

③ 粘弾性体の温度依存性モデル

$$\eta = \eta_0 e^{\frac{G(T - T_0)}{T_0 T}} \quad \text{式 6}$$

η : 粘度

η_0 : 基準温度 T_0 における初期粘度

C_T : 材料定数

T, T_0 : 現在, および基準温度 (K)

④ 粘弾性体の速度依存性モデル

$$\epsilon^i := [1 - q^n / \alpha^n] \eta^{-1} \partial_\epsilon W(\epsilon^e) \quad \text{式 7}$$

ϵ^i : 非弾性ひずみ

q : ダメージパラメータ

α, n : 材料定数

2.3.2 弾塑性モデル

後述する単純せん断試験において膨張挙動が弾性的(除荷時に残留軸応力がない)であることから、J2-塑性に基づく速度依存性のない弾塑性モデルが採用さ

れた。弾性要素に基づくこのモデルは式3のひずみエネルギー関数によって説明され、速度に依存しない古典的なVon Misesの塑性理論に、流動、硬化等の理論を組み合わせたものである。

$$H'(\alpha) := (1 - \beta) H,$$

$$K(\alpha) := \sigma_y + \beta H \alpha$$

$$\beta \in [0, 1] \quad \text{式 8}$$

H' : 動的硬化弾性率

$K(\alpha)$: 等方性硬化弾性率

σ_y, H, β : 材料定数

これらの構成則の定数が、次節で紹介するUTM試験結果より求められる。

2.4 UTMにおける各試験の概要

UTMでは以下の5種類の試験が行われる。

(1) 一定の高さでの単純せん断試験

(2) 一軸ひずみ試験

(3) 容積ひずみ試験

(4) 一定の高さでの周波数スイープ試験

(5) 一定の高さでの繰返しせん断試験

(1), (2), (3)は非線形弾性パラメータ, (4)は粘弾性パラメータの決定に用いられる。また, (3)は塑性パラメータの決定にも用いられる。(5)はわだち掘れ深さの予測に用いられる。

以下にこれらの各試験について解説する。

2.4.1 一定の高さでの単純せん断試験

この試験はせん断力を一定時間供試体にかへ、その結果として生じる供試体の軸方向の変形をLVDTにより検出し、供試体高さを一定に保つための軸応力を与える試験である。この試験での出力データは軸荷重、せん断荷重、軸変位量、せん断変位量であり、結果として非線形弾性定数 C_2, C_4, C_9 , および塑性パラメータが求められる。ここでは、真のせん断ひずみが $\epsilon_{12} = \epsilon_{21} = \epsilon_0$ でその他のひずみはすべてゼロのときに得られるという仮定に基づいている。この状態は式9~11で表され、図-14に供試体にかかる応力状態を示した。

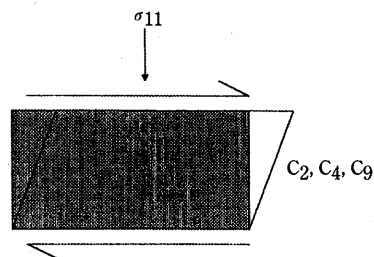


図-14 一定高さでの単純せん断試験の応力状態

$$\sigma_{11} = -C_4 \epsilon_0^2 \dots \dots \dots \text{式9}$$

$$\sigma_{12} = -C_2 \epsilon_0 - C_9 \epsilon_0^3 \dots \dots \dots \text{式10}$$

$$\sigma_{33} = -(C_4 + C_5) \epsilon_0^2 \dots \dots \dots \text{式11}$$

σ_{11} : 供試体高さを一定に保つための軸応力

σ_{12} : せん断応力 σ_{33} : ここでは測定不能

C_5 : この試験では直接求められない

2.4.2 一軸ひずみ試験

この試験は鉛直応力を供試体に载荷し、その結果として生じる体積膨張をLVDTにより検出し、体積膨張を抑制する拘束圧力を与える試験である。この試験での出力データは拘束圧、軸荷重、軸変位置1、軸変位置2、周囲長変位置であり、結果として非線形弾性定数 C_1 、 C_3 、 C_6 、 C_7 が求められる。この応力状態は式12および式13で表される。図-15には供試体にかかる応力状態を示した。

$$\sigma_{11} = C_1 \epsilon_0 + C_2 \epsilon_0^2 + C_6 \epsilon_0^3 \dots \dots \dots \text{式12}$$

$$\sigma_{22} = (C_1 + C_2) \epsilon_0 + (C_3 + C_4) \epsilon_0^2 + (C_6 + C_7) \epsilon_0^3 \dots \dots \dots \text{式13}$$

σ_{11} : 軸応力

σ_{22} : 拘束圧力

ϵ_0 : 軸ひずみ

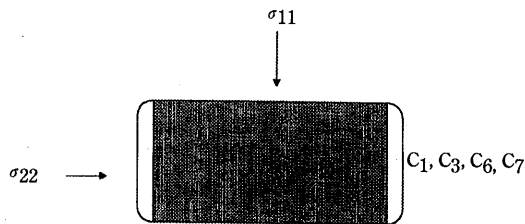


図-15 一軸ひずみ試験の応力状態

2.4.3 容積ひずみ試験

この試験は拘束圧を供試体にかへ、その時の供試体の周長ひずみや軸方向ひずみを計測する。この試験での出力データは拘束圧、軸変位置1、軸変位置2、周囲長変位置であり、結果として式3における非線形弾性定数 C_5 、 C_8 が求められる。

本試験におけるひずみ状態は $\epsilon_{11} = \epsilon_{22} = \epsilon_{33} = \epsilon_0$ であり、応力状態は式14で表される。図-16には供試体にかかる応力状態を示した。

$$\sigma_{22} = (3C_1 + 2C_2) \epsilon_0 + (9C_3 + 9C_4 + C_5) \epsilon_0^2 + (27C_6 + 36C_7 + 4C_8 + 6C_9) \epsilon_0^3 \dots \dots \dots \text{式14}$$

2.4.4 一定の高さでの周波数スイープ試験

この試験はサイン波のせん断荷重(振幅=0.025mm/mm)を供試体を与え、その結果として生じる供試体の軸方向の変形をLVDTより検出し、供試体高さを一定

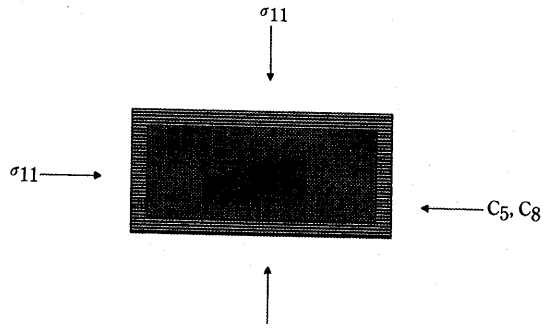


図-16 容積ひずみ試験の応力状態

に保つための軸応力を与える試験であり、結果として粘弾性パラメータが求められる。

この試験での出力データは軸荷重、せん断荷重、軸変位置、せん断変位置、複素弾性率、残留弾性率、損失弾性率、位相角であり、式15～式17で与えられる。一方、アスファルト混合物は純粋なレオロジー体であるという仮定の下にマスターカーブが作成され(この仮定は微小変形量領域で成り立つ)、その結果として式18(WLF式)の定数 C_1 、 C_2 が式15で求められる。また、複素弾性率と C_2 の間に式17の関係が成り立つ。図-17には供試体にかかる応力状態を示した。

$$X = X_a \sin(\omega t) \dots \dots \dots \text{式15}$$

$$P = P_a \sin(\omega t + \delta) \dots \dots \dots \text{式16}$$

$$G^* = P_a / X_n \dots \dots \dots \text{式17}$$

$$\log(aT) = -C_1(T - T_{ref}) / (C_2 + T - T_{ref}) \dots \dots \dots \text{式18}$$

$$C_2 = -2G^* \dots \dots \dots \text{式19}$$

X : 正弦ひずみ

X_a : ひずみ振幅

ω : 周波数

t : 時間

P : 正弦応力

P_a : 応力振幅

δ : 位相角

G^* : 複素せん断弾性率

aT : 水平シフトファクター

T : 対応する絶対温度

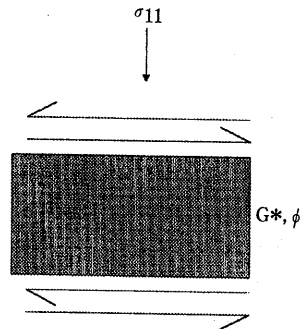


図-17 一定高さ周波数スイープ試験の応力状態

2.4.5 一定高さでの繰返しせん断試験

この試験は、供試体の高さを一定に保ち、ハーバーサイン波の繰返しせん断荷重をかける試験である。試験は载荷回数5000回、もしくは供試体のせん断ひずみが5%に達するまで行われる。

この試験は、わだち掘れ深さを予測する試験である。出力されるデータは軸荷重、せん断荷重、軸変位置量、せん断変位置量である。ここでの応力状態は図-14に等しく、せん断荷重がパルス波で与えられる。

2.5 UTM試験結果

ここでは試験温度40℃における、一定高さでの単純せん断試験、一軸ひずみ試験、容積ひずみ試験および一定高さでの繰返しせん断試験を行った結果を紹介する。

2.5.1 材料

本実験においてはSHRPの材料規格に基づくMRL骨材RD, RHの2種類, MRLアスファルトAAC-1, AAG-1, AAK-1およびAAM-1の4種類を用いた。アスファルト含有量はHveemスタビロメータ試験を基に選定し, RD骨材を用いた場合4.3%, RH骨材を用いた場合4.9%とした。以上, 合計16種類の混合物に対して試験を実施した。供試体形状は直径15cm (6 in.), 高さ5 cm (2 in.) の円柱状とした。

2.5.2 一定の高さでの単純せん断試験

ここでは、同一供試体に、異なるせん断荷重を連続的に3回与えた(①14kPa, 1000sec, ②28kPa, 100 sec, ③70kPa, 100sec)。図-18にせん断荷重履歴を、図-19に軸応力履歴を、および図-20にせん断ひずみ履歴をそれぞれ示した。

結果として、以下の所見が得られた。

- ・せん断荷重に対するレスポンス(アスファルト混合物の体積膨張: 軸応力に反映される)は弾性的であり、残留軸応力は著しく小さい(図-19)。
- ・わずかにクリープ回復が確認される(図-20)。

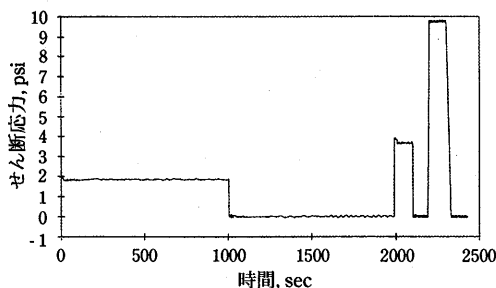


図-18 一定高さでの単純せん断試験におけるせん断荷重履歴

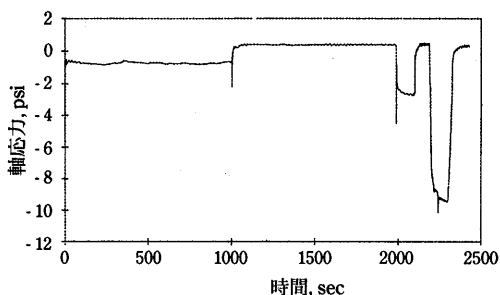


図-19 一定高さでの単純せん断試験における鉛直軸応力履歴

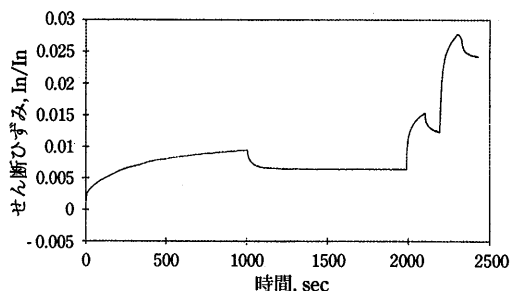


図-20 一定高さでの単純せん断試験におけるせん断ひずみ

軸応力は予想以上に大きく、この傾向から推測すると140kPa (20psi) のせん断荷重では280kPa (40 psi) の軸応力が発生すると考えられる。

2.5.3 一軸ひずみ試験

拘束圧力と軸荷重履歴を図-21に、軸ひずみ履歴を図-22にそれぞれ示した。結果として、最大ひずみ量

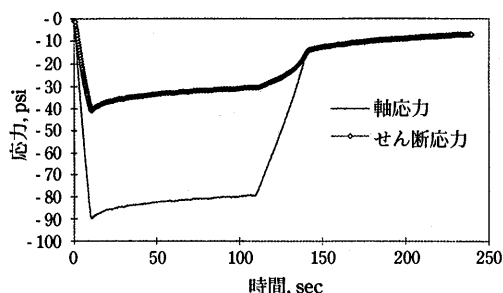


図-21 一軸ひずみ試験における鉛直軸応力履歴

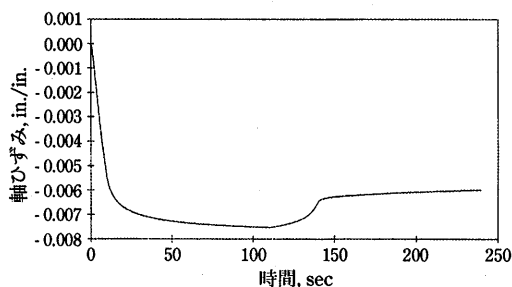


図-22 一軸ひずみ試験における軸ひずみ履歴

の90%以上が残留ひずみとして残った。これは、軸ひずみ発生時に供試体中の空隙が減少することに起因すると説明されている。

2.5.4 容積ひずみ試験

拘束圧力履歴を図-23に、軸ひずみおよび円周方向ひずみ履歴を図-24に示した。軸ひずみと円周方向ひずみに差違があるが、試験後の供試体を実測した場合、両者のひずみは同等であった。理論的には両者のひずみは同等になるはずであるが、ひずみ量の検出方法の違いによる差違としている。材料定数を決定する場合、より信頼性の高い軸ひずみを用いる。

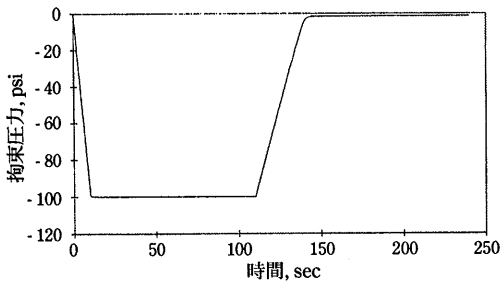


図-23 容積ひずみ試験における拘束圧力履歴

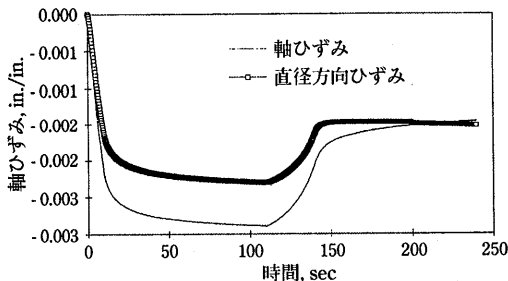


図-24 容積ひずみ試験における軸ひずみおよび円周方向ひずみ履歴

2.5.5 一定高さでの繰返しせん断試験

せん断荷重載荷サイクルおよび軸応力を図-25に示した。単純せん断試験と異なり、軸応力はせん断荷重と比較して著しく小さい。また、軸応力と軸ひずみのサイクル(図-26)を比較すると、せん断荷重サイクルに対して同様の位相のずれを示した。これらの結果

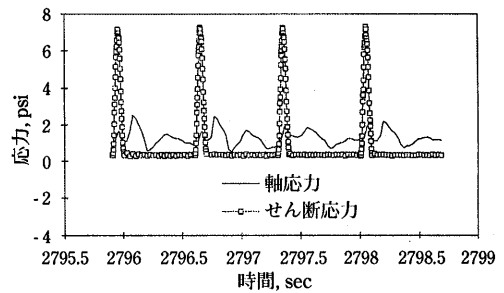


図-25 一定高さでの繰返しせん断試験におけるせん断荷重載荷サイクル

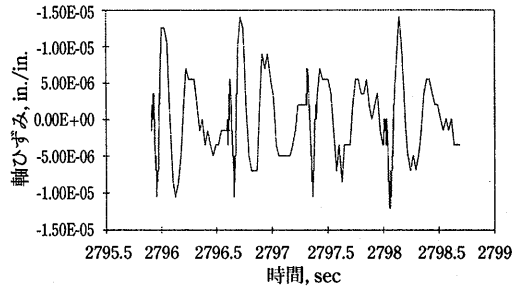


図-26 一定高さでの繰返しせん断試験における軸ひずみ履歴

より、ここで観測される軸応力は軸ひずみに起因し、体積膨張は無視しうる。

試験後の供試体は多くのクラックが確認された。このため、試験の境界条件が不明瞭になり、クラックの発生した時点でデータは有意性を失う。従って、この試験においては、試験終了時の供試体状況を確認し、試験結果に対する影響を考慮する必要がある。

2.6 材料定数

材料定数の決定について、先に定義したモデルは多くの材料定数を含むため非常に複雑であるという問題がある。先述したように一定高さでの繰返しせん断試験においては体積膨張が無視しうることから、速度依存性に関する項目は線形粘弾性モデルによって記述できるため、マックスウェルモデルにおける非線形スプリングモデルを単純な線形スプリングモデルに置き換えられ、モデルが簡素化された。結果として得られた材料定数の一例を表-4に示した。

表-4 決定された材料定数の例

	骨材 RD, 低空隙	骨材 RD, 高空隙	骨材 RH, 低空隙	骨材 RH, 高空隙
C ₁	5.06E+02	5.06E+02	6.38E+03	4.25E+03
C ₂	-2.53E+02	-5.06E+02	-2.13E+03	-2.13E+03
C ₃	-5.06E+04	-5.06E+04	-3.83E+06	-4.25E+06
C ₄	5.06E+04	2.02E+05	1.06E+06	8.51E+05
C ₅	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
C ₆	1.26E+08	2.53E+08	2.13E+08	2.13E+07
C ₇	-5.06E+07	-3.79E+07	-4.25E+07	-4.25E+07
C ₈	5.06E+07	5.06E+07	3.40E+08	4.25E+07
C ₉	5.06E+05	5.06E+05	4.24E+06	4.25E+05

また、これらの混合物について、SWK/UNホイールトラッキング試験を実施し、一定高さでの繰返しせん断試験結果との比較を行った。図-27にせん断ひずみが2%に達する载荷回数とわだち深さの関係を示した。本研究ではこの結果から、両者に相関関係が認められ、一定高さでの繰返しせん断試験はわだち掘れ特性の予測に有効な手段であるとしている。

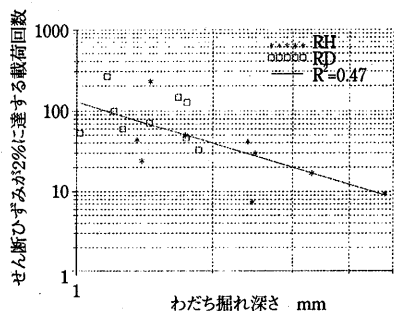


図-27 せん断ひずみが2%に達する载荷回数とホイールトラッキング試験におけるわだち深さの関係

第3章 研究成果と考察

3.1 概要

本研究では、アスファルト混合物の永久変形予測をふまえた配合設計方法の提案を行っている。この手法の開発では、以下に示す関係や設定条件に注目している。

- ① 現場調査結果および室内検証試験により、舗装に作用する永久せん断ひずみとわだち掘れ量にある一定の関係を見出した。
- ② アスファルト混合物の配合設計において施工現場の温度条件を加味すること。
- ③ 一定高さでの繰返しせん断試験により永久変形予測を考慮した配合設計を実施する。

本章では、実験結果から永久変形予測を行う手順の導出過程、温度条件の導入方法、配合設計条件に関する信頼性の検討について述べる。

3.2 永久せん断ひずみとわだち掘れ量

第2章で述べたように本研究では混合物（舗装体）を典型的なマクスウェルモデルと仮定し解析が行われた。さらにアスファルト混合物の永久変形予測方法の妥当性を確認する目的で、室内作製供試体による試験結果と現場調査データの比較を行ったところ、良好な相関が得られたとしている。研究で用いられた混合物は16種類であり、その内容を表-5に示す。なお混合物の設計アスファルト量は、60℃におけるHveemスタビロメータ試験によって決定した。

これら16種類の混合物について、一定高さでの単純せん断試験、一軸ひずみ試験、容積ひずみ試験、一定高さでの繰返しせん断試験の各試験を行い、第2章で述べた材料パラメータの評価・確認を行った。そして、図-28に示すアスファルト舗装厚38cmの舗装モデルを有限要素法により解析する事により、永久せん断ひずみとわだち掘れ量に式20の関係を見出している。

表-5 配合条件

アスファルト	骨材	空隙率 (%)
AAK-1	RD	3.7
AAK-1	RD	6.5
AAK-1	RH	4.5
AAK-1	RH	7.0
AAC-1	RD	3.8
AAC-1	RD	6.5
AAC-1	RH	4.2
AAC-1	RH	6.0
AAM-1	RD	4.6
AAM-1	RD	7.5
AAM-1	RH	4.2
AAM-1	RH	7.6
AAG-1	RD	4.9
AAG-1	RD	7.8
AAG-1	RH	4.7
AAG-1	RH	7.5

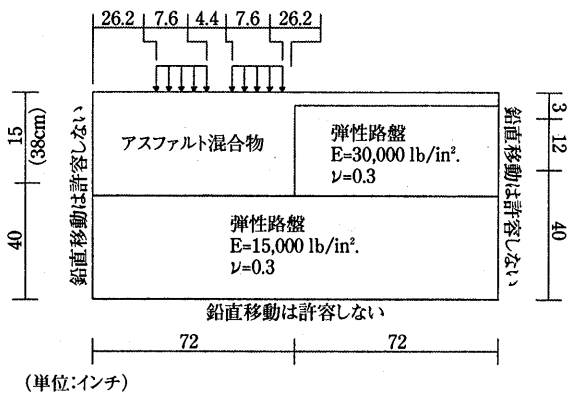


図-28 解析に用いた舗装モデル

$$\text{わだち掘れ量} = 11 \times (\gamma_p)_{\max} \quad \text{式20}$$

ここで、 $(\gamma_p)_{\max}$ ：最大永久せん断ひずみ

式20を、

$$\text{わだち掘れ量} = K (\gamma_p)_{\max} \quad \text{式21}$$

と表せば、

K：アスファルト混合物厚さにより決定される実数

である。研究報告では粒状路盤あるいはセメント安定処理路盤上の10cm厚のアスファルト舗装ではK値が3～4程度となり、アスファルト舗装厚が増加するにつれてK値は大きくなる（舗装厚38cmでは式20の様にK値は11）と論じられている。

3.3 配合設計時における舗装体温度の推定

本研究の特色は、アスファルト混合物の配合設計において、供用中の現場の舗装体（混合物）温度を考慮することである。

舗装体温度の推定にはSHRPの他のプロジェクトでの手法が参考にされた。現場における舗装体温度は、1日における最高温度を連続7日間測定し、その平均値をもって定義することとしている。これを“最高舗装温度”と呼ぶ。こうして最高舗装表面温度は、以下の式22により導かれた。

$$422\alpha\gamma_a^{1/\cos Z}\cos Z + 0.7\sigma T_a^4 - 90k - hc(T_s - T_a) - \epsilon\sigma T_s^4 = 0 \quad \text{.....式22}$$

ここで、Z：およそその天頂角度（緯度-20°，緯度が22°以上の場合）

γ_a ：サンシャインファクター（晴れた日=0.81，曇りの日=0.62）

α ：太陽吸収力（default=0.9）

σ ：ステファン-ボルツマン定数（ $0.1714 \times 10^{-8} \text{Btu}/(\text{hr} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{R}^4)$ ）

hc ：熱変換表面定数（default= $3.5 \text{Btu}/(\text{hr} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{F})$ ）

k ：熱伝導性（default= $0.8 \text{Btu}/(\text{hr} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{F})/\text{ft}$ ）

ϵ ：表面輻射能（default=0.9）

T_a ：Rankineでの最高気温（°R，°R=°F+460）

T_s ：最高舗装表面温度（°R）

さらに、20cmより浅い部分の最高舗装温度は経験式（式23）で求めるとしている。

$$T_d = T_s(1 - 0.063d + 0.007d^2 - 0.0004d^3) \quad \text{.....式23}$$

ここで、d：舗装厚（in.）

T_s ：最高舗装表面温度（°F）

T_d ：深さdにおける最高舗装温度

GPS区間における最高舗装温度を測定するとともに現場よりコアを採取し、計算より得られた最高舗装温度にて室内試験を行った。試験温度は、舗装表面より5cm下部の温度条件として行われた。

5cm下部と決定した理由は、既に行われた“温度あるいは温度勾配と舗装の永久変形”に関する研究で、

5cm下部の温度による試験データの相関が高かったためである。（詳細はSHRP A-415報告書の8章を参照されたい。）

3.4 高さ一定繰返し単純せん断試験の信頼性および解析手法

研究の最終目的は、当該試験をアスファルト混合物の配合設計手法へ適用することであるが、試験により収集されるデータの信頼性の照査が必要である。SHRP A-415報告書の10章では、試験データの信頼性の確認を行っている。ここで言う“信頼性”とは「設計期間において混合物（舗装体）が十分なパフォーマンスを有する確率」のことである。

試験データの解析にあたっては、はじめに以下の2点が着目された。

① 供試体の永久ひずみ量が、5%に達したときの載荷回数。

② 5%のひずみ量に達する回数は、対数正規分布する。

そこで、わだち掘れ量がある限界値（1.25cm [0.5in.]）となるための条件を以下の様に定義した。

$$N_{\text{SUPPLY}} \geq M \times N_{\text{demand}} \quad \text{.....式24}$$

$N_{\text{demand}} = SF \times (ESAL)_{T_c}$

SF：経験的に求められた係数=0.04

$(ESAL)_{T_c}$ ：温度を考慮した設計交通量，
= $N \times$ 温度係数

N：設計交通量（ここで言う設計交通量は等価単軸荷重である）

温度係数：混合物（舗装）温度より求められる係数

ここで、Mは試験データの変動を考慮した関係式から求まる定数で、信頼性を上げる程値は大きくなる。

“ N_{SUPPLY} ”とは、試験で供試体に作用する永久せん断ひずみが5%に達した時の載荷回数である。つまり、上式を満たす混合物であれば、わだち掘れ抵抗性のある混合物（舗装）であると判断され、その混合物のパフォーマンスが優れていることを示すものである。

3.5 試験実施例

ここでは研究で行われた事例をもとに、永久変形抵抗性の予測評価の手順と考え方について紹介する。その試験条件を以下に示す。

試験条件

骨材種類：RB

アスファルト種類：AAG-1

設定アスファルト量：4.5, 4.9, 5.5, 6.0%の4

水準

目標空隙率：2.0～4.5, 5.0～7.0, 8.0～10.0%の

3 水準

試験温度：50℃

せん断応力：345kPa[50psi] (0.1sec載荷, 0.5sec
除荷・ハーバーサイン波)

供試体寸法：φ=10cm, 高さ=5cm
(ローラコンパクタで締固めた平板
から切出す)

供試体締固め方法：ローラコンパクタ
(混合後135℃にて4時間養生した
後, 締固めを行う。)

試験結果の一例は図-29に示すとおりである。さら
に供試体が5%ひずみに達した時の載荷回数等をまと
めたものを表-6及び図-30に示す。この結果, 以下

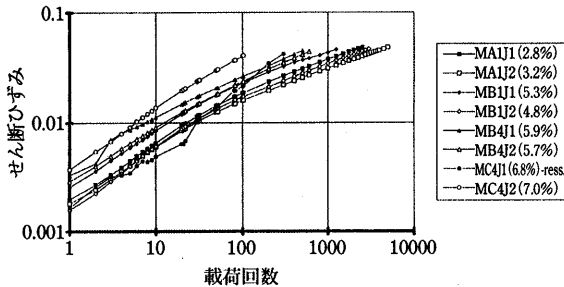


図-29 一定高さでの繰り返しせん断試験の結果

表-6 5%ひずみに達したときの繰り返しせん断載荷回数

アスファルト量 (%)	空隙率 (%)	5%ひずみに達した時の載荷回数
4.5	2.8	2722
	3.2	3598
	4.8	3798
	5.3	1872
	6.0	258
	6.9	1868
	7.1	723
4.9	2.8	1595
	3.0	3979
	4.9	3067
	6.0	671
	6.1	754
	7.1	1580
	7.2	432
	7.5	369
5.5	3.3	2366
	3.7	1900
	3.7	1936
	4.2	1960
	5.5	279
	5.5	422
	7.1	1967
	8.7	812
6.0	1.8	505
	2.5	829
	3.0	468
	5.7	884
	5.9	661
	6.1	152
	6.8	419
	7.0	164

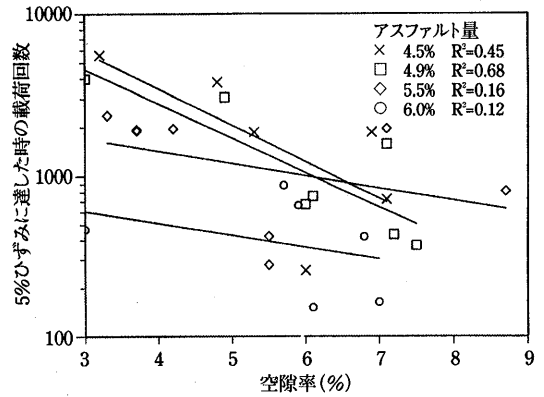


図-30 せん断載荷回数と空隙率の関係

のことを見いだしている。

- ① 同じ空隙率での“載荷回数”は, アスファルト量の増加に伴って減少する。
- ② 全てのアスファルト量において目標空隙率が小さいほど“載荷回数”は大きくなる。
- ③ 上記の傾向は, 供試体の空隙率が3%の場合に顕著である。

そこで, 研究チームは空隙率3%の供試体に着目して解析を実施した。図-31に空隙率3%の試験データを示す。

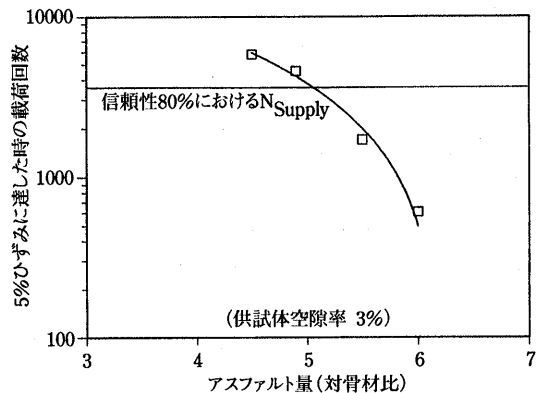


図-31 アスファルト量ごとの永久変形抵抗性

今, 試験混合物が現場における最高舗装温度以上の温度(臨界温度)で 1×10^6 回交通履歴を受けることとすると,

$$N_{\text{demand}} = 1 \times 10^6 \times 0.04 \times 0.04 = 1600 \text{ 回} \cdots \text{式25}$$

(ESAL) × (SF) × (温度係数)

となる。ここで表-7は, サンプル数・variance in Ln (N_{demand}) の統計学における信頼性(確率)水準別の信頼性定数を示したものである。本研究では4つのサンプルで試験を行い, その結果variance in Ln (N_{demand})

表－7 信頼性定数

試験体 個 数	Ln (N _{demand}) の分散	分散の関係式から求まる信頼性定数			
		60%	80%	90%	95%
1	0.2	1.349	2.704	4.545	6.957
	0.4	1.377	2.896	5.046	7.955
	0.6	1.404	3.090	5.567	9.022
	1.0	1.455	3.480	6.673	11.381
2	0.2	1.304	2.416	3.830	5.587
	0.4	1.334	2.609	4.305	6.490
	0.6	1.363	2.802	4.797	7.456
	1.0	1.417	3.188	5.839	9.592
4	0.2	1.280	2.270	3.482	4.945
	0.4	1.312	2.464	3.946	5.805
	0.6	1.342	2.657	4.425	6.723
	1.0	1.397	3.042	5.437	8.754
8	0.2	1.267	2.197	3.313	4.640
	0.4	1.300	2.392	3.772	5.479
	0.6	1.331	2.585	4.245	6.375
	1.0	1.388	2.970	5.243	8.356

は0.2であった。信頼区間つまりわだち掘れが規格値に達する確率＝80%の場合、M値は2.270であると表－7から読みとれる。

よって、

$$M \times N_{\text{demand}} = 2.27 \times 1600 \div 3600 \text{回} \dots\dots\dots \text{式26}$$

第4章 SUPERPAVE試験プログラムにおける供用性モデルについて

4.1 概 要

SUPERPAVEとはSHRPの研究課題の一つであるアスファルト研究計画の主要成果でありSuperior Performing Asphalt Pavements（供用性に基づいたアスファルトおよびアスファルト混合物の新しい仕様）の略称である。

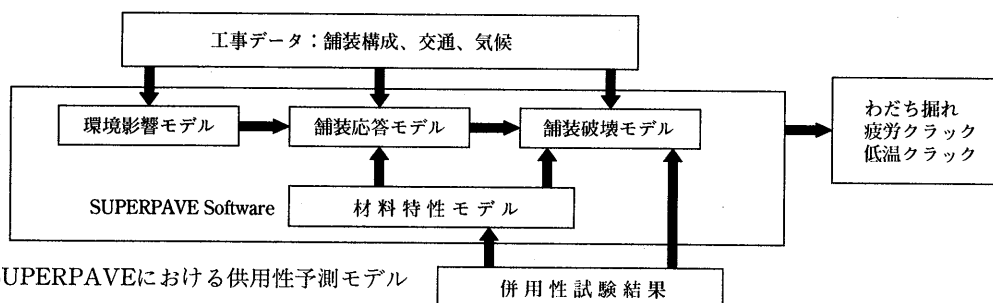
SUPERPAVEはアスファルトやアスファルト混合物が実際に受ける荷重や劣化条件をできるだけ忠実に再現することによりこれらの材料の供用性を予測し、これを舗装用混合物の配合設計に利用するものである。供用性予測のためのモデルは下記の四つの要素を用いる。

- ・材料特性モデル
- ・環境影響モデル
- ・舗装応答モデル

・舗装破壊モデル

材料特性モデルとしてアスファルト混合物の試験結果が入力され、非線形弾性、粘弾性、塑性あるいは破壊特性が決定される。環境影響モデルは舗装厚と材料熱特性の関数として舗装体温度を計算する。舗装応答モデルはFEMにより、舗装構成中の応力とひずみを予測するもので、交通や環境による荷重に対するこれらの応答予測のために材料特性モデルと環境特性モデルからのアウトプットを利用する。

舗装応答モデルおよび材料特性モデルからのアウトプットは破壊モデルに取り込まれ、最終的にこれらのデータは、先述したような混合物試験を含む多くの実験結果に基づいて設計されたSUPERPAVE Softwareによって解析され、わだち掘れ、疲労クラック、低温クラックが予測される（図－32）。



図－32 SUPERPAVEにおける供用性予測モデル

これらの供用性予測モデルに用いる試験は、表-8に示すように等価単軸荷重数 (ESAL) に応じて3段階に分類される。

評価レベル2, レベル3において第2章で紹介したUTMを用いてアスファルト混合物の永久変形特性を評価している。ここでの試験項目および試験条件は第2章の結果に基づき改良され, SUPERPAVE供用性試験に用いられるUTMを特にSUPERPAVE Shear Tester (SST) と称している。(このため本章での試験内容等は, 第2章のものと多少異なるものがある。)

表-8 評価レベルとESAL

評価レベル	ESAL	試験内容
LEVEL 1	100万回以下	GTMによる密度管理
LEVEL 2	100万~1,000万回	永久変形, 疲労抵抗,
LEVEL 3	1,000万回以上	低温クラックの評価

*) ESALとは18,000ポンド (8.1t) に換算した輪荷重の通過回数。例えば
ESAL 1回=18,000ポンド1軸が1回通過。
ESAL 1回=乗用車とすれば約9,000台通過に相当。

4.2 SST装置仕様

ここでは, 建設省土木研究所で購入したInterlarken社製のSSTに基づいて記述する。

4.2.1 試験装置の概要

SSTを構成する装置を以下に示す。また, SST装置外観を写真-1に示す。

- (1) 操作部
- (2) 試験チャンバ
- (3) 環境チャンバ
- (4) 除湿機
- (5) 油圧発生装置
- (6) エアーコンプレッサ, ストレイジタンク1, ストレイジタンク2

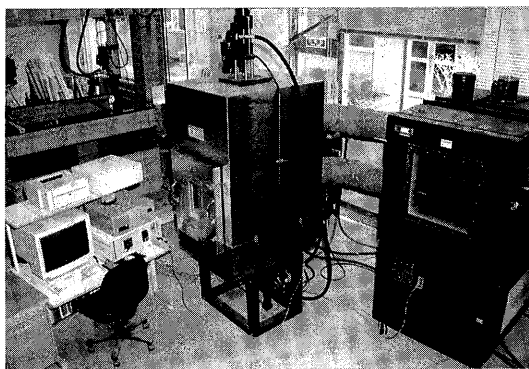


写真-1 SST外観

4.2.2 空気循環システム

試験装置内の空気温度設定を行う空気循環システムを図-33に示す。空気循環経路としては, 環境チャンバ→試験チャンバ→環境チャンバ→除湿機→環境チャンバとなっている。

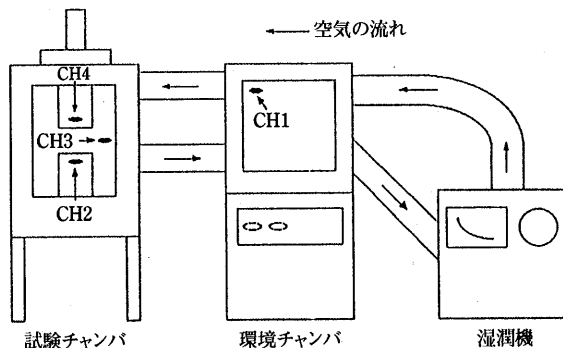


図-33 空気循環システム

4.2.3 油圧システム

供試体に軸荷重, セン断荷重を与える油圧システムを図-34に示す。

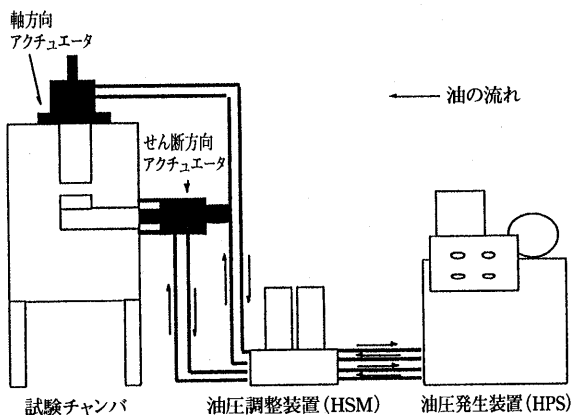


図-34 油圧システム

4.2.4 SST試験装置の主な能力

SST試験装置の主な能力を表-9に示した。

4.3 SSTにおける各試験の概要

SSTでは試験レベルに応じて以下の6種類の試験が行われる。

- (1) 容積ひずみ試験
- (2) 一軸ひずみ試験
- (3) 一定高さでの単純せん断試験
- (4) 一定高さでの周波数スイープ試験
- (5) 一定応力比での繰返しせん断試験
- (6) 一定高さでの繰返しせん断試験

表－9 SSTの主な能力

項 目	性 能
試験温度の制御精度	±0.5℃
試験温度範囲	－10～80℃
鉛直荷重範囲	0～32kN
せん断荷重範囲	0～32kN
拘束圧力範囲	0～830kPa
鉛直方向載荷ストローク	± 5 cm
せん断方向載荷ストローク	± 5 cm
供試体設置LVDTストローク	±0.005～0.05cm
荷重測定精度	±0.1%≧
荷重分解能	±0.05%≧
LVDT測定精度	フルスケールの±0.1%以内
LVDT分解能	フルスケールの±0.05%以内

(1), (2), (3)は非線形弾性パラメータ, (4)は粘弾性パラメータの決定に用いられる。また, (3)は塑性パラメータの決定にも用いられる。(5)及び(6)はわだち掘れによる三次流動^④とわだち掘れ深さの予測にそれぞれ用いられる。

以下にこれらの各試験についてSUPERPAVE試験基準とともに解説する。

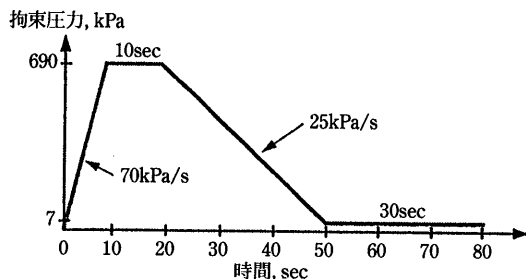
4.3.1 容積ひずみ試験

この試験は表－10に定められた条件で拘束圧を供試体に加え、その時の供試体の周長ひずみや軸方向ひずみを計測する。この試験での出力データは拘束圧、軸変位置1、軸変位置2、周囲長変位置である。

図－35に容積ひずみ試験の拘束圧の時間変化を示した。

表－10 容積ひずみ試験条件

温度℃	圧力kPa (kg/cm ²)
4	830 (8.47)
20	690 (7.04)
40	550 (5.61)



図－35 容積ひずみ試験の拘束圧の時間変化

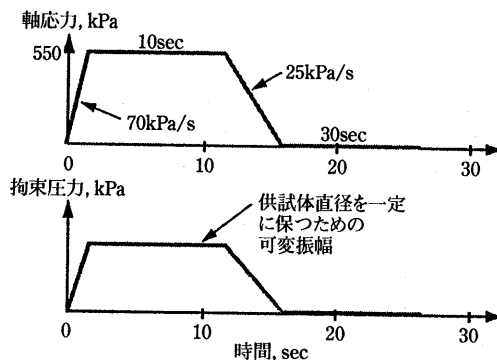
4.3.2 一軸ひずみ試験

この試験は表－11に定めた条件で軸応力を供試体に加え、その結果として生じる体積膨張をLVDTにより検出し、体積膨張を抑制する拘束圧を与える試験である。この試験での出力データは拘束圧、軸荷重、軸変位置1、軸変位置2、周囲長変位置である。

図－36に一軸ひずみ試験の載荷方法を示した。

表－11 一軸ひずみ試験条件

温度℃	圧力kPa (kg/cm ²)
4	655 (6.68)
20	550 (5.61)
40	345 (3.52)



図－36 一軸ひずみ試験の載荷方法

4.3.3 一定高さでの単純せん断試験

この試験は表－12に定めた条件のせん断を一定時間供試体に加え、その結果として生じる供試体の軸方向の変形をLVDTにより検出し、供試体高さを一定に保つための軸応力を与える試験である。この試験での出力データは軸荷重、せん断荷重、軸変位置、せん断変位置である。

図－37に単純せん断試験の載荷方法をそれぞれ示した。

表－12 単純ひずみ試験条件

設計レベル	温度 ℃	せん断応力kPa (kg/cm ²)
2	Teff (PD) *	35 (0.357)
	Teff (FC) **	105 (1.071)
3	4	345 (3.520)
	20	105 (1.071)
	40	35 (0.357)

*永久変形温度：予測した永久変形が複数の温度での解析による予測と等しくなるような温度

**疲労クラック温度：年間の各季節で考慮される疲労による損傷を生じると考えられる温度

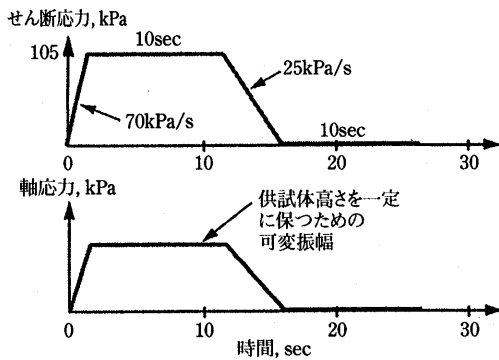


図-37 単純せん断試験载荷方法

4.3.4 一定高さでの周波数スイープ試験

この試験は表-13に定めた条件でサイン波のせん断荷重を $\pm 0.005\%$ のひずみが生じるように供試体に向け、その結果として生じる供試体の軸方向の変形をLVDTにより検出し、供試体高さを一定に保つための軸応力を与える試験である。温度条件は単純せん断試験と同一である。この試験での出力データは軸荷重、せん断荷重、軸変位置、せん断変位置、複素弾性率、残留弾性率、損失弾性率、位相角であり、結果として粘弾性パラメータが求められる。

図-38に一定高さでの周波数スイープ試験の载荷方法を示した。

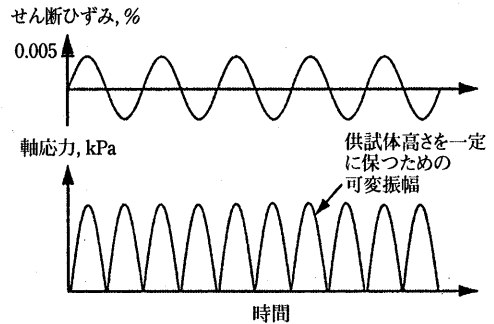


図-38 一定高さでの周波数スイープ試験载荷方法

4.3.5 一定応力比での繰り返しせん断試験

この試験は、三次流動²⁾を起こしやすい混合物を振るい落とすためのものである。軸応力とせん断応力の比を1.2~1.5の範囲で一定に保ち、ハーバーサイン波の繰り返しせん断荷重をかける試験である。試験は荷重回数5000回、もしくは供試体のせん断ひずみが5%に達するまで行われる。

出力されるデータは軸荷重、せん断荷重、軸変位置、せん断変位置である。

表-14に繰り返しせん断試験条件、図-39に一定応力比での繰り返しせん断試験の荷重方法をそれぞれ示した。

表-13 周波数スイープ試験条件

周波数 (Hz)	総サイクル数
10	100
5	100
2	20
1	20
0.5	7
0.2	7
0.1	7
0.05	4
0.02	4
0.01	4

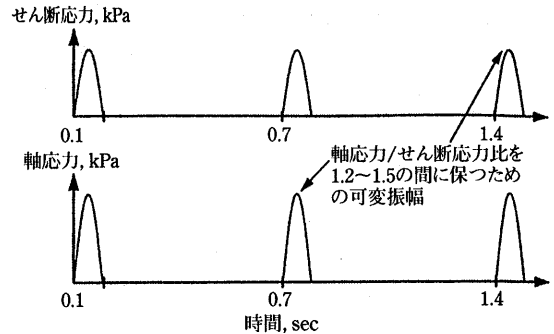


図-39 一定応力比での繰り返しせん断試験の载荷方法

4.3.6 一定高さでの繰り返しせん断試験

この試験は、わだち掘れ深さを予測する試験である。供試体の高さを一定に保ち、設定応力が68または70 kPa

表-14 一定応力比での繰り返しせん断試験条件

路盤条件	アスファルト量					
	多い		中程度		少ない	
	せん断力 kPa(kg/cm ²)	軸応力 kPa(kg/cm ²)	せん断力 kPa(kg/cm ²)	軸応力 kPa(kg/cm ²)	せん断力 kPa(kg/cm ²)	軸応力 kPa(kg/cm ²)
強	83 (0.847)	117 (1.194)	62 (0.633)	97 (0.990)	48 (0.490)	55 (0.898)
弱	97 (0.990)	172 (1.775)	83 (0.847)	103 (1.051)	55 (0.898)	90 (0.918)

のハーバーサイン波の繰り返しせん断荷重をかける試験である。試験は载荷回数5000回、もしくは供試体のせん断ひずみが5%に達するまで行われる。

出力されるデータは軸荷重、せん断荷重、軸変位置、せん断変位置である。

図-40に一定高さでの繰り返しせん断試験の载荷方法をそれぞれ示した。

表-15にSUPERPAVE混合物解析において、各試験結果をどのように使用しているかをまとめる。なお、一定高さでの繰り返しせん断試験は、付加的な試験とされており、その試験結果はSUPERPAVE Softwareでの計算に使用されない。

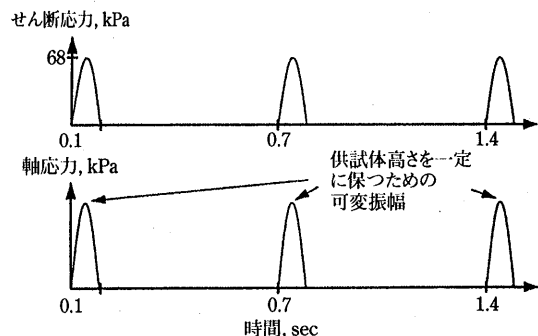


図-40 一定高さでの繰り返しせん断試験の载荷方法

表-15 SUPERPAVE混合物解析試験

試験	決定される特性	予測される破壊モード
(1) 容積ひずみ試験	非線型弾性特性 塑性特性	わだち掘れと疲労クラック
(2) 一軸ひずみ試験		
(3) 一定高さでの単純せん断試験		
(4) 一定高さでの周波数スイープ試験	粘弾性特性	わだち掘れと疲労クラック
(5) 一定応力比での繰り返しせん断試験	決定特性なし	わだち掘れによる三次流動
(6) 一定高さでの繰り返しせん断試験	決定特性なし	わだち掘れ深さの予測

注) 三次流動について

アスファルト混合物の変形例を図-Aに示す。この

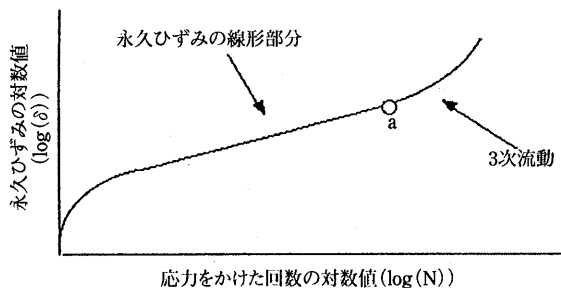


図-A アスファルト混合物の変形例

図では、縦軸が永久ひずみ量を示し、横軸は繰り返し応力の回数を示している。

何回かの初期荷重をかけ終わった後、a点までの载荷回数までは、一般的に直線状の永久ひずみの累積が観察される。しかし、a点を過ぎた後、混合物が配合や材料によって、混合物は不安定な状態となり永久ひずみが回数の増加率に従って増大し始めることがある。このように、a点を過ぎた後の混合物が示す流動状態を3次流動とSUPERPAVEでは定義している。

あとがき

アスファルト舗装の流動対策は我が国において非常に大きな課題であり、アスファルト混合物の永久変形を研究する意義は大きい。SHRPでは多くの技術者及び研究予算を永久変形の研究及び仕様の実用化に投入し一定の成果を得ている。アスファルト量決定における信頼性の考え方や複雑な試験結果を必要とする仕様の実現性などについて疑問点が残るものの、参考とするものは多いと考えている。今回の報告が今後の研究の参考となれば幸いである。

なお報告書原文の翻訳及び本報告の作成は、飯田、小林、佐々木、菅野、高田、立石、谷口、手塚、深沢、藤谷、牧田の他、すでに退会している田口、塚越、遠西の材料班構成員の共同作業として行ったものである。

参考文献

- 1) Highway Research Board. (1962). The AASHO road Test, Special Report 73, Publication No. 1012, Washington, D.C., 117.
- 2) Hofstra, A., and A.J.G. Klomp. (1972). permanent Deformation of Flexible Pavements Under Simulated Road traffic Conditions, Proceedings, Third International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, Vol. I, London, 613-621.
- 3) Eisenmann, J., and A. Hilmer. (1987). Influence of Wheel Load and Inflation Pressure on the Rutting Effect at Asphalt-Pavements-Experiments and Theoretical Investigations, Proceedings, Sixth International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, Vol. I, Ann Arbor, 392-403.
- 4) Barksdale, R.D. (1972). Laboratory Evaluation of Rutting in Base Course Materials, Proceedings,

- ings, Third International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, Vol. I, London, 161-174.
- 5) Lister, N.W., and R.R. Addis. (1976). Field Observations of rutting and Practical Considerations, Paper presented at the Annual Transportation Research Board Meeting, Washington, D.C.
 - 6) Verstraeten, J., J.E. Romain, and V. Veverka. (1977). The Belgian Road Research Center's Overall Approach to Shalt Pavement Structural Design, Proceeding, Fourth International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, Vol. I, Ann Arbor, 298-324.
 - 7) Dorman, G.M. (1962). The Extrenstion to Practice of a fundamental Procedure for the Design of Asphalt Pavements, Ann Arbor, 785-793.
 - 8) Abdulshafi, A.H. (1983). Viscoelastic-Plastic Characterization, Rutting and Fatigue of Flexible Pavements, Ph. D. Dissertation, Ohio State University.
 - 9) Eckman, B. (1987). Rut Depth Prediction : A Partical verification, Proceedings, Sixth International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, Vol. I, Ann Arbor, 209-219.
 - 10) Barksdale, R.D., and J.H. MillerII. (1977). Development of Equipment and Techniques Evaluating Fatigue and Rutting Characteristics of Asphalt Concrete Mixes, School of Civil Engineering, Georgia Institute of Technology, SCEGIT-77-149.
 - 11) Saraf, C.L., W. Smith, and F. Finn. (1976). Rut Depth Predictions, Transportation Research Record, 616, Transportation Research Board, 9-15.
 - 12) Thrower, E.N., (1977). Methods of Predicting Deformation in Road Pavements, Proceedings, Fourth International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, Vol. I, Ann Arbor, 540-554.
 - 13) Barksdale, R.D., and G.A. Leonards. (1967). Predicting Performance or Bituminous Sufaced Pavements, Proceedings, Second International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, Ann Arbor, 321-340.
 - 14) Elliot, J.F., and F. Moavenzadeh. (1971). Analysis or Stresses and Displacement in Three Layer Viscoelastic System, Highway Research record, 345, Highway Research Board, 47-57
 - 15) Van de Loo, P.J. (1976). Practical Approach to the Predictions of Rutting in Asphalt Pavements : The Shell Method, Transportation Research Record, 616, Transportation Research Board, 15-21.
 - 16) Uge, P., and P.J. Van de Loo, (1974). Permanent deformation of Asphalt Mixes, Koninklijke/Shell-Laboratorium, Amsterdam, November 1974.
 - 17) Hills, J.F. (1973). The Creep of Asphalt Concrete Mixes, Journal of The Institute of Petroleum, November 1973.
 - 18) Franken, L., (1977). Permanent Deformation Low of Bituminous Road Mixes In repeated Triaxial Compression, Proceedings, Fourth International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, Vol. I, Ann Arbor, 438-496.
 - 19) Sousa, J.B. (1986). Dynamic Properties of Materials for Pavements, Design, Ph. D. Thesis, University of California, Berkeley, 400pp.
 - 20) Background of SUPERPAVE Asphalt Mixture Design and Analysis, Publication No.FHWA-SA-95-003
 - 21) 坂本：「アスファルト混合物の耐流動性評価のための新しい試験方法に関する研究」,平成8年度建設省土木研究所舗装研究室部外研究員研究報告書,平成9年3月
 - 22) Interlaken Technology Co., ;Quick Test Operator Manual, 3.1996.

農道舗装

農道とは、主として農業上の利用に供する道路のことである。

農道を舗装する目的は農業運搬車や農業機械車両の走行性を良くするだけでなく、荷傷み防止、砂塵・砂利等の飛散防止等、農業を営んでいく上で阻害となる要因を除去するために行なうものである。

農道舗装の設計に当たっては、「(社)農業土木学会発行の土地改良事業計画設計基準 設計・農道(その1)舗装」を参考に、地形条件、地質条件、農道の使用条件、現地の施工条件等を考慮して、その種類および断面構成を定め、安定性、耐久性及び経済性が確保できる断面にする必要がある。また、その施工に当たっては、設計を満足するように合理的に作業を進めることが重要である。

1. 舗装の断面構成

舗装の断面は、路床から次の各層で構成することになっている。

- (1) アスファルト舗装の場合
路盤、基層、表層、摩耗層
- (2) コンクリート舗装の場合
路盤、コンクリート版等

但し、農道の使用条件等を考慮し、必要に応じて、

その構成を簡易なものとすることができる。

舗装断面の一般的な構成例が、図-1及び図-2のように示されており、この中から地域に適した構成にする。

(a) 路床は、舗装の下層面から深さ約1mの土の部分であり、盛土部においては盛土仕上り面より、切り土部においては掘削した面より下約1mの部分がこれにあたる。

ただし、軟弱な路床を改良するため、路床の全部又は一部を良質な材料で置換たり、石灰やセメントで安定処理した部分、また軟弱な路床土が路盤に侵入するのを防止する目的で設ける遮断層等は路床に含める。

(b) 路盤は、路面に加わる荷重を分散して路床に伝える機能を持ち、一般的に下層路盤と上層路盤とに分けられる。下層路盤には、切り込み砂利、切り込み砕

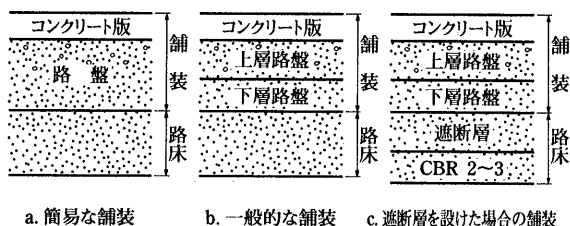


図-2 コンクリート舗装の構成例

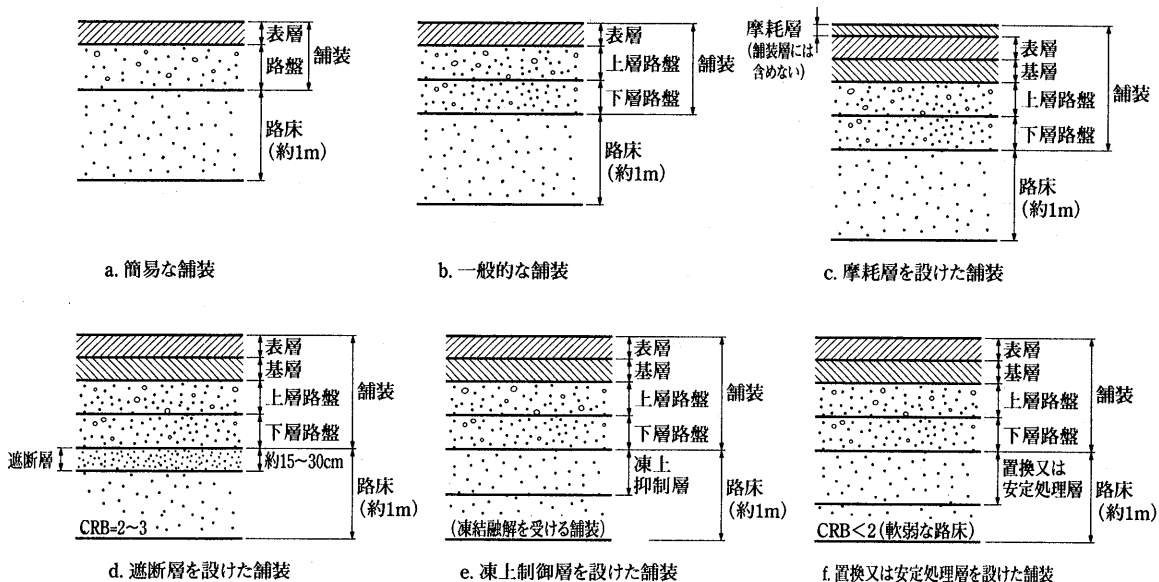


図-1 アスファルト舗装の構成例

石等現地で経済的に入手できる材料を用いる。しかし、これらの現地材料が入手できない場合には、セメント、石灰等で安定処理をして下層路盤とすることがある。上層路盤には、アスファルト舗装の場合、粒度調整、セメント安定処理、石灰安定処理等の工法を用いる。コンクリート舗装の場合には、粒度調整及びセメント安定処理工法を用いる。

既存の在来砂利層は、路盤として利用することが多い。

(c) アスファルト舗装の基層は、不陸を修正し、表層に作用する荷重を均一に路盤に伝える機能を持つ。基層は通常アスファルトコンクリートで造られる。舗装厚さが薄い場合は基層を設けないこともある。

(d) 表層は舗装の最上部にあって、アスファルト又はコンクリートで被膜し、交通車輛による摩耗とせん断に抵抗し、路面を平滑にし、かつ表面を水密にし、雨水等の侵入を防ぐため設けられる層のことをいう。

(e) アスファルト舗装の場合、必要に応じて摩耗や車輛の滑りを防ぐ目的で耐摩耗用混合物による層を設けることもある。なお、摩耗層は舗装厚には含めない。

2. 舗装の構造設計

(a) アスファルト舗装の構造設計は、CBR-T_A法(アスファルト舗装要綱 平成4年10月 日本道路協会)に従った設計を行なうことにしている。

この場合、大型車交通量による方法で対象とする交

通量区分は、要綱というB交通区分までを対象にしている。

(b) 設計に用いる計画交通量は5年後の大型車の1日当たりの推定台数をもとに、表-1のように区分けを行なうことにしている。

表-1 交通量の区分

交通量の区分	大型車交通量 (台/日)
0	大型車の交通が予想されず、軽車両の交通がある程度予想される場合
I	15未満
II-1	15以上 40未満
II-2	40以上 100未満
III	100以上 250未満
IV	250以上 1,000未満

(c) 舗装厚の目標値は表-2を満足にするように舗装構成を検討する。また、表層+基層の最小厚さは表-3に従う。

表-3 表層+基層の最小厚

交通量の区分	表層+基層の最小厚さ (cm)
0	3
I	4 (3)
II-1, II-2, III	5
IV	10 (5)

注) () 内は、上層路盤に瀝青安定処理を用いる場合の最小厚さを示す。

表-2 舗装厚の目標値

設計 CBR	目標とする値									
	O交通	I交通	II-1交通		II-2交通		III交通		IV交通	
	合計厚 (H)	合計厚 (H)	T _A	合計厚 (H)	T _A	合計厚 (H)	T _A	合計厚 (H)	T _A	合計厚 (H)
2	29	39	14	47	17	52	21	61	29	74
3	23	30	13	37	15	41	19	48	26	58
4	19	25	12	31	14	35	18	41	24	49
6	15	20	10	24	12	27	16	32	21	38
8	15	20	9	21	11	23	14	27	19	32
12	15	20	9	21	11	23	13	21	17	26
岩盤部	9	10	7	12	9	13	11	16	15	19

- 注) 1. T_Aとは、舗装の各層を全て表層基層用加熱アスファルト混合物で築造する場合に必要な厚さをいい、各層の材料を加熱アスファルト混合物に換算したときの厚さの合計のことである。
2. ここでいう設計CBRが4とは4以上6未満を示す。
3. 路床が深さ方向に異なる場合で、設計CBRが3未満であっても最上層のCBRが3以上で厚さ30cm以上あれば遮断層を設ける必要はない。
4. 岩盤の取り扱いについては設計CBRを20とした場合の目標値を挙げたものであり、路床が岩盤の場合による。また、0交通の場合には舗装の必要性について十分検討する必要がある。

(d) 表・基層に用いるアスファルト混合物は要綱でいう①～⑨までの9種類を対象に選ぶことにしている。

(e) コンクリート舗装の構造設計は、セメントコンクリート要綱（昭和59年2月 日本道路協会）に示されているように、路盤面の支持力と大型車交通量に基づいて路盤厚を決めている。この場合の路盤面の支持力は、0交通では $K_{30}=10\text{kgf/cm}^2$ 、I、II-1、II-2、III交通では $K_{30}=15\text{kgf/cm}^2$ 、IV交通では、 $K_{30}=20\text{kgf/cm}^2$ を目標に路盤厚の設計を行ない、版厚は12から25cm厚の中から区分に応じた厚さを選ぶことにしている。

(f) コンクリート版は交通量区分に応じて表-4のように決めている。

表-4 コンクリート版の厚さ

交通量の区分	コンクリート版の厚さ (cm)
0 交通	12
I 交通	15
II-1 交通	15
II-2 交通	15 (20)
III 交通	20 (25)
IV 交通	25

注) () 内は、II-2、III交通で設計基準曲げ強度を 40kgf/cm^2 とする場合である。

〔小島逸平 (株)ガイアートクマガイ技術研究所〕

フルデプス・アスファルト舗装設計施工指針 (案)

B5版 42ページ 実費頒価 800円 (送料は実費) ・申込先 (社) 日本アスファルト協会
〒105-0001 東京都港区虎ノ門1-21-8
秀和第3虎ノ門ビル7階

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

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

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

目 次

1. 総 説	3-4 アスファルト混合物
1-1 フルデプス・アスファルト舗装の定義	4. 路床および路盤
1-2 適用範囲	4-1 概 説
2. 構造の設計	4-2 路 床
2-1 舗装の構造	4-3 路 盤
2-2 設計の方法	5. 表層および基層
2-3 排 水	6. 品質管理および検査
3. 材 料	6-1 概 説
3-1 概 説	6-2 出来形および品質の管理
3-2 歴青材料	6-3 検 査
3-3 骨 材	7. 記 録

排水性舗装用エポキシアスファルト

排水性舗装用エポキシアスファルトとは超重交通道路の排水性舗装用バインダーとして使用されるエポキシアスファルトである。

エポキシアスファルトによる排水性舗装の検討は、数社のバインダーメーカーによって研究開発が行われていたが、1992年、(株)日本アスファルト協会材料開発研究分科会において「超重交通道路の排水性舗装用バインダーの開発」というテーマとしてスタートした。

そして、1994年に建設省土木研究所構内において試験施工を実施。その追跡調査・評価結果を踏まえて、1996年より実道での施工実績を重ね、供用性も良好で超重交通道路の排水性舗装用バインダーとして注目されている。

さて、エポキシアスファルトはエポキシ樹脂とアスファルトの組み合わせであるが、エポキシ樹脂は戦後日本に紹介された合成樹脂であり、塗料関係、接着剤、シーリング材等として、航空機、自動車、鉄道車輛、光学機械、電気・電子器機などの様々な分野で使用されている。

エポキシ樹脂は一般に主剤と硬化剤の2液から成り、両者を混合後、反応硬化するもので、常温で反応するタイプと加熱することにより反応するタイプがある。

主剤はその分子末端にエポキシ基を持ち、硬化剤はこのエポキシと反応する多価アミンや有機酸、酸無水物などがあり、反応することにより3次元網状構造体が形成される。

エポキシ樹脂は骨格となる分子構造や分子量の大きさにより、数多くの種類がある。

エポキシ樹脂単体の一般的な特徴について以下に記す。

- ・硬化収縮が小さく、寸法安定性に優れている。
- ・機械的強度が強い。
- ・コンクリートなどに対する接着力が強い。
- ・耐熱性に優れている。
- ・耐摩耗性に優れている。
- ・耐薬品性、耐水性に優れている。

これらの特徴を有するエポキシ樹脂とアスファルトを組み合わせたエポキシアスファルトを用いた排水性舗装用混合物は、エポキシ樹脂の接着力で骨材間の付着を確保しようとするもので、従来のアスファルトが

骨材同士をアスファルトの粘着力で固定していたのに比べ、より強い構造を形成することができる。

エポキシ樹脂の混入によるアスファルトの改質については、従来から研究が行われてきたが、施工性の悪さや舗装のひびわれ発生の問題があり、実用に耐えるレベルまでには到らなかった。

現在の排水性舗装用エポキシアスファルトは、それらの問題を改善しており、従来の高粘度改質アスファルトでは対応の難しい箇所の排水性舗装への適用が可能と考えられる。

エポキシアスファルトは強度や骨材との付着性において優れた物性を有するものであり、これを使用した排水性舗装用混合物は、高粘度改質アスファルト等を使用した在来工法のものより耐久性の向上、機能の持続性が期待されるものである。

1. エポキシアスファルトの混合形態

エポキシアスファルトはエポキシ樹脂（主剤、硬化剤）及びベースアスファルトより構成されるが、このベースアスファルトはエポキシ樹脂と適合するように製造されたアスファルトであり、ベースアスファルトとエポキシ樹脂の混合形態としては一般的には次の2方式がある。

- (1) ベースアスファルトにあらかじめエポキシ樹脂硬化剤を混合しておき、これと骨材を混合プラントのミキサーで一次混合した後、エポキシ樹脂主剤を混合する方式。
- (2) 混合プラントのミキサーで、ベースアスファルトと骨材を一次混合したものに、別にエポキシ樹脂主剤、硬化剤を混合して加える方式。

2. 骨 材

排水性舗装用混合物は通常のアスファルト混合物に比べ粗骨材の使用量が多いため、すり減り減量や吸水率ができるだけ小さく、耐摩耗性、耐久性、エポキシアスファルトとの付着性に優れたできるだけ良質の骨材を選定することが必要である。

碎石の品質目標値は以下の表-1～3に示す。

表－１ 碎石の品質の目標値

項 目	目 標 値
表乾比重	2.45 以上
吸水率 (%)	3.0 以下
すり減り減量 (%)	30 以下

(注) すり減り減量試験は、粒径13.2～4.75mmのものについて実施する。

表－２ 耐久性の目標値

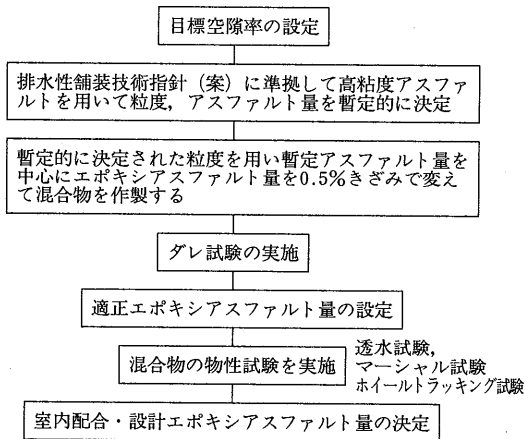
損失量 (%)	12 以下
---------	-------

表－３ 有害物含有量の目標値

含 有 量	含有量 (全試料に対する質量百分率%)
粘土, 粘土塊	0.25 以下
軟らかい石片	5.0 以下
細長, あるいは扁平な石片	10.0 以下

3. 配合設計

配合設計の方法は、基本的には排水性舗装技術指針(案)に従うとされているが、参考のために配合設計の手順の一例を図－１に示す。



図－１ エポキシアスファルト混合物の配合設計手順例

4. エポキシアスファルト混合物の標準的な粒度範囲と物性目標値

エポキシアスファルト混合物の標準的な粒度範囲と物性目標値については表－４、５に示す。

なお、エポキシアスファルトに関しては、道路における長期的な耐久性の確認や配合設計法の確立など、まだ技術的に未解明な点が残されているが、その高い性能から今後適用箇所の拡大が期待されている。

(社)日本アスファルト協会の「排水性舗装用エポキシ

表－４ エポキシアスファルト混合物の標準的な粒度範囲

ふ る い 目		粒 度 範 囲	
		最大粒径 (20)	最大粒径 (13)
通過質量百分率 (%)	26.5mm	100	—
	19.0mm	95～100	100
	13.2mm	64～84	90～100
	4.75mm	10～31	11～35
	2.36mm	10～20	10～20
	75μm	3～7	3～7
エポキシアスファルト量 (%)		4～6	

表－５ エポキシアスファルト混合物の目標値

項 目	目 標 値	備 考
可使時間 ¹⁾ min	90 程度	混合時温度
マーシャル安定度 kN(kgf)	4.9(500)以上	促進硬化140℃, 24h養生後測定
動的安定度 回/mm	6000 以上	促進硬化140℃, 24h養生後測定
空隙率 %	20 程度	促進硬化140℃, 24h養生後測定
透水係数 cm/sec	1×10 ⁻² 以上	促進硬化140℃, 24h養生後測定

¹⁾可使時間：混合物の製造から初期（1次）転圧後までの舗設が可能な時間

アスファルトの開発」に参加したバインダーメーカーは、昭和シェル石油(株)、(株)ニチレキ、コスモ石油(株)の3社である。各メーカーによって各材料の混合手順や温度条件等が異なるので使用に関しては各メーカーの示す手順、温度条件等に従って使用する必要がある。

平成9年3月に(社)日本アスファルト協会より「排水性舗装用エポキシアスファルト混合物施工の手引」(案)が発行されている。興味のある方は(社)日本アスファルト協会へ問い合わせされれば入手可能である。

— 参考文献 —

- 1) 「排水性舗装用エポキシアスファルト混合物施工の手引」(案), (社)日本アスファルト協会
- 2) 「エポキシアスファルト排水性舗装の実用評価」(第22回日本道路会議論文集), 建設省土木研究所 池田拓哉, 建設省福岡国道工事事務所 中川博勝, 昭和シェル石油(株)中央研究所 青木秀樹, 昭和シェル石油(株)中央研究所 遠西智次
- 3) 「排水性舗装の高機能化」(第22回日本道路会議論文集), 建設省九州技術事務所 城戸勝, 同 山本晋也
(青木 秀樹 昭和シェル石油(株)中央研究所)

〈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）

年 度 項 目	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
61 年 度	215	5,744	(114.2)	0	5,959	5,695	(113.1)	0	5,696	235	5,931
62 年 度	235	5,892	(102.6)	9	6,136	5,862	(102.9)	0	5,862	274	6,136
63 年 度	274	5,904	(100.2)	3	6,181	5,953	(101.6)	1	5,954	219	6,173
元 年 度	219	6,066	(102.7)	1	6,286	5,990	(100.6)	4	5,994	276	6,270
2 年 度	276	6,277	(103.5)	1	6,554	6,205	(103.6)	8	6,213	310	6,523
3 年 度	310	5,973	(95.2)	0	6,282	5,944	(95.8)	19	5,963	313	6,276
4 年 度	313	6,121	(102.5)	1	6,435	6,109	(102.8)	76	6,185	244	6,429
5 年度上期	244	2,910	(98.0)	1	3,155	2,803	(96.9)	26	2,829	329	3,158
5 年度下期	329	3,209	(101.8)	1	3,539	3,233	(100.5)	79	3,312	238	3,550
5 年 度	244	6,119	(100.0)	2	6,365	6,036	(98.8)	105	6,141	238	6,379
6 年度上期	238	2,954	(101.5)	1	3,193	2,761	(98.5)	60	2,821	377	3,198
6 年度下期	377	3,070	(95.7)	0	3,447	3,073	(95.1)	112	3,185	272	3,457
6 年 度	238	6,024	(98.4)	1	6,263	5,834	(96.7)	172	6,006	272	6,278
7 年度上期	272	2,814	(95.3)	0	3,086	2,620	(94.9)	175	2,795	300	3,095
7 年度下期	300	3,211	(104.6)	1	3,512	3,077	(100.1)	168	3,245	271	3,516
7 年 度	272	6,025	(100.0)	1	6,298	5,697	(97.7)	343	6,040	271	6,311
7 ～ 9 月	325	1,524	(101.8)	0	1,849	1,435	(104.4)	89	1,524	338	1,862
8 年度上期	271	2,943	(104.6)	0	3,214	2,735	(104.4)	158	2,892	338	3,230
10 月	338	493	(92.3)	0	831	518	(101.0)	29	547	284	831
11 月	284	559	(98.4)	1	844	527	(97.2)	33	560	287	847
12 月	287	548	(96.8)	0	835	519	(93.0)	30	549	289	838
10 ～ 12 月	338	1,600	(95.9)	1	1,939	1,564	(97.0)	92	1,656	289	1,945
9. 1 月	289	411	(96.7)	0	700	357	(102.9)	10	367	335	702
2 月	335	445	(95.7)	0	780	430	(98.6)	10	440	341	781
3 月	341	673	(103.1)	0	1,014	731	(107.3)	19	750	268	1,018
1 ～ 3 月	289	1,529	(99.1)	0	1,818	1,518	(103.7)	39	1,557	268	1,825
8 年度下期	338	3,129	(97.4)	1	3,468	3,082	(100.2)	131	3,213	268	3,481
8 年 度	271	6,072	(100.8)	1	6,344	5,817	(102.1)	289	6,105	268	6,373
9. 4 月	268	551	(97.7)	0	819	428	(86.3)	27	455	365	820
5 月	365	353	(79.1)	0	718	341	(80.8)	22	363	357	720
6 月	357	374	(91.4)	0	731	402	(105.5)	25	427	305	732
4 ～ 6 月	268	1,278	(90.1)	0	1,546	1,171	(90.1)	74	1,245	305	1,550
7 月	305	534	(110.8)	1	840	467	(116.2)	38	505	337	842
8 月	337	478	(91.2)	1	816	453	(100.4)	31	484	333	817
9 月	333	501	(96.7)	1	835	495	(100.4)	24	519	318	837
7 ～ 9 月	305	1,513	(99.3)	3	1,821	1,415	(98.6)	93	1,508	318	1,826
9 年度上期	268	2,791	(94.8)	3	3,062	2,586	(94.6)	167	2,753	318	3,071
10 月	318	514	(104.3)	0	832	505	(97.5)	37	542	293	835
11 月	293	561	(103.2)	0	854	502	(95.3)	29	531	325	856
12 月	325	501	(91.4)	0	826	529	(101.9)	10	539	290	829
10 ～ 12 月	318	1,576	(98.5)	0	1,894	1,536	(98.2)	76	1,612	290	1,902
10. 1 月	290	376	(91.5)	0	666	335	(93.8)	0	335	332	667
2 月	332	459	(103.1)	1	792	454	(105.6)	4	458	336	794

〔注〕 (1) 通産省エネルギー生産・需給統計月報 10 年 2 月確報

(2) 四捨五入のため月報と一致しない場合がある。

〈石油アスファルト需給統計資料〉 その2

石油アスファルト内需実績（品種別明細）

（単位：千 t）

年 度	内 需 量						対 前 年 度 比					
	ストレート・アスファルト					合 計	ストレート・アスファルト				ブローン アスファルト	合 計
	道路用	工業用	燃焼用	計			道路用	工業用	燃焼用	計		
61 年 度	3,979	241	1,238	5,458	237	5,695	106.4	173.4	135.9	114.0	96.3	113.1
62 年 度	4,252	360	995	5,607	255	5,862	106.9	149.4	80.4	102.7	107.6	102.9
63 年 度	4,307	421	967	5,695	258	5,953	101.3	117.3	97.2	101.6	101.2	101.6
元 年 度	4,360	447	932	5,739	251	5,990	101.2	106.2	96.3	100.8	97.3	100.6
2 年 度	4,416	606	929	5,951	254	6,205	101.3	135.6	99.7	103.7	101.2	103.6
3 年 度	4,317	590	796	5,703	241	5,944	97.8	97.4	85.7	95.8	94.9	95.8
4 年 度	4,559	568	741	5,868	241	6,109	105.6	96.3	93.1	102.9	100.0	102.8
5 年度上期	2,022	265	404	2,691	112	2,803	93.9	104.7	108.6	96.9	97.4	96.9
5 年度下期	2,315	336	456	3,107	126	3,233	96.2	106.7	123.6	100.6	100.0	100.5
5 年 度	4,337	601	860	5,798	238	6,036	95.1	105.8	116.1	98.8	98.8	98.8
6 年度上期	1,939	257	455	2,651	110	2,761	95.9	97.0	112.6	98.5	98.2	98.5
6 年度下期	2,190	249	513	2,952	121	3,073	94.6	74.1	112.5	95.0	96.0	95.1
6 年 度	4,129	506	968	5,603	231	5,834	95.2	84.2	112.6	96.6	97.1	96.7
7 年度上期	1,838	212	468	2,518	102	2,620	94.8	82.5	102.9	95.0	92.7	94.9
7 年度下期	2,173	264	510	2,947	130	3,077	99.2	106.0	99.4	99.8	107.4	100.1
7 年 度	4,011	476	978	5,465	232	5,697	97.1	94.1	101.0	97.5	100.4	97.7
7～9 月	968	134	279	1,381	54	1,435	102.4	100.0	114.8	104.5	103.8	104.4
8 年度上期	1,890	231	508	2,629	106	2,735	102.8	109.0	108.5	104.4	105.0	104.4
10 月	360	53	84	497	21	518	102.0	103.9	96.6	101.2	95.5	101.0
11 月	390	41	76	507	20	527	101.3	93.2	85.4	97.9	83.3	97.2
12 月	361	43	96	500	19	519	92.1	86.0	100.0	92.9	95.0	93.0
10～12 月	1,111	137	256	1,504	60	1,564	98.5	94.5	93.8	97.3	89.6	97.0
9. 1 月	205	41	92	338	19	357	101.5	80.4	122.7	103.0	100.0	102.9
2 月	269	41	100	410	20	430	91.2	97.6	129.9	99.0	90.9	98.6
3 月	570	47	93	710	21	731	104.0	180.8	109.4	107.7	95.5	107.3
1～3 月	1,044	129	285	1,458	60	1,518	99.9	108.4	120.3	104.1	95.2	103.7
8 年度下期	2,155	266	541	2,962	120	3,082	99.2	100.8	106.1	100.5	92.3	100.2
8 年 度	4,045	497	1,049	5,591	226	5,817	100.8	104.4	107.3	102.3	97.4	102.1
9. 4 月	323	14	76	413	15	428	83.5	107.7	95.0	86.0	93.8	86.3
5 月	238	8	79	325	16	341	84.7	17.4	103.9	80.6	84.2	80.8
6 月	278	20	78	385	17	402	113.4	52.6	106.8	105.8	100.0	105.5
4～6 月	848	42	233	1,123	48	1,171	92.1	43.3	101.7	90.1	92.3	90.1
7 月	308	57	85	450	17	467	90.1	118.8	102.4	95.1	94.4	116.2
8 月	290	47	100	437	16	453	97.6	127.0	100.0	100.7	94.1	100.4
9 月	311	73	93	477	18	495	94.5	149.0	96.9	100.6	94.7	100.4
7～9 月	909	177	278	1,364	51	1,415	93.9	132.1	99.6	98.8	94.4	98.6
9 年度上期	1,757	219	511	2,487	99	2,586	93.0	94.8	100.6	94.6	93.4	94.6
10 月	365	52	67	484	21	505	101.4	98.1	79.8	97.4	100.0	97.5
11 月	348	52	84	484	18	502	89.2	126.8	110.5	95.5	90.0	95.3
12 月	381	26	104	511	18	529	105.5	60.5	108.3	102.2	94.7	101.9
10～12 月	1,094	130	255	1,479	57	1,536	98.5	94.9	99.6	98.3	95.0	98.2
10. 1 月	182	50	86	318	17	335	88.8	122.0	93.5	94.1	89.5	93.8
2 月	294	52	90	436	18	454	109.3	126.8	90.0	106.3	90.0	105.6

- 〔注〕 (1) 通産省エネルギー生産・需給統計月報 10 年 2 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。

主な石油アスファルト製造用原油の輸入状況

(単位：1,000kl, %)

原油名 年度 項目	アラビアンヘビー		イラン・イランヘビー		クウェート		カフジ		小 計		総 輸 入 量	
	数 量	構成比	数 量	構成比	数 量	構成比	数 量	構成比	数 量	構成比	数 量	構成比
59 年	11,761	7.8	8,866	5.2	2,728	1.8	10,210	6.8	32,465	21.6	150,606	100.0
60 年	10,454	5.3	6,273	3.1	2,578	1.3	9,698	4.9	29,003	14.6	198,330	100.0
61 年	7,174	3.7	7,506	3.9	5,979	3.1	8,482	4.4	29,141	15.0	194,515	100.0
62 年	12,925	7.0	7,789	4.2	10,311	5.6	6,267	3.4	37,293	20.1	185,364	100.0
63 年	9,130	4.7	6,095	3.1	8,124	4.2	6,374	3.3	29,723	15.3	193,850	100.0
元 年	4,500	2.1	8,991	4.3	9,671	4.6	8,910	4.2	32,072	15.3	209,700	100.0
2 年	6,378	2.8	8,921	3.9	7,492	3.3	7,386	3.2	30,177	13.2	228,760	100.0
3 年	11,219	4.6	8,548	3.5	796	0.3	3,839	1.6	24,402	10.1	242,697	100.0
4 年	7,124	2.8	9,127	3.6	8,568	3.4	7,168	2.9	31,987	12.7	251,233	100.0
5 年	7,543	3.0	10,554	4.1	10,816	4.2	7,497	2.9	36,410	14.3	255,135	100.0
6 年	6,707	2.5	12,681	4.7	10,325	3.8	7,496	2.8	37,209	13.7	270,813	100.0
7 年	5,042	1.9	10,490	3.9	11,967	4.5	8,819	3.3	36,318	13.6	266,828	100.0
8 年	4,387	1.7	10,354	3.9	13,706	5.2	7,911	3.0	36,358	13.8	263,445	100.0
9 年	5,500	2.0	10,904	4.0	16,019	5.9	9,021	3.3	41,444	15.3	271,666	100.0
59 年度	13,447	6.3	6,422	3.0	5,130	2.4	10,385	4.9	35,384	16.6	212,911	100.0
60 年度	6,790	3.4	6,232	3.2	3,330	1.7	8,409	4.3	24,761	12.6	197,261	100.0
61 年度	6,422	3.4	7,636	4.1	5,990	3.2	8,952	4.8	29,000	15.5	187,516	100.0
62 年度	13,793	7.3	7,311	3.9	11,758	6.3	4,577	2.4	37,439	19.9	187,886	100.0
63 年度	7,619	3.8	6,406	3.2	7,126	3.6	8,259	4.1	29,410	14.7	199,756	100.0
元 年度	4,736	2.2	9,143	4.3	10,318	4.9	7,966	3.8	32,163	15.3	210,900	100.0
2 年度	8,209	3.4	9,787	4.1	4,522	1.9	6,417	2.7	28,935	12.1	238,480	100.0
3 年度	10,877	4.6	8,756	3.7	2,095	0.9	5,033	2.1	26,761	11.2	238,646	100.0
4 年度	6,534	2.6	8,411	3.3	10,004	3.9	7,551	3.0	32,500	12.7	255,667	100.0
5 年度	7,715	3.0	11,740	4.6	10,930	4.3	7,116	2.8	37,501	14.6	256,444	100.0
6 年度	6,015	2.2	12,773	4.7	10,218	3.7	7,645	2.8	36,660	13.4	273,651	100.0
7 年度	4,835	1.8	9,647	3.6	12,878	4.9	8,854	3.3	36,214	13.6	265,525	100.0
8 年度	4,398	1.7	11,435	4.3	14,448	5.5	8,298	3.1	38,579	14.6	263,792	100.0
9 年度	6,380	2.4	10,242	3.8	15,934	6.0	8,676	3.2	41,232	15.4	267,454	100.0
9 年 1 月	412	1.7	1,111	4.6	1,646	6.8	806	3.3	3,975	16.3	24,314	100.0
2 月	272	1.2	1,433	6.2	1,383	6.0	709	3.1	3,797	16.4	23,223	100.0
3 月	352	1.4	1,236	5.0	1,367	5.6	918	3.7	3,873	15.7	24,594	100.0
1～3 月	1,036	1.4	3,780	5.2	4,396	6.1	2,433	3.4	11,645	16.1	72,131	100.0
4 月	509	2.2	510	2.2	1,534	6.7	696	3.0	3,249	14.2	22,839	100.0
5 月	512	2.5	799	3.9	1,453	7.0	619	3.0	3,383	16.4	20,615	100.0
6 月	453	2.5	415	2.3	1,153	6.4	645	3.6	2,666	14.7	18,095	100.0
4～6 月	1,474	2.4	1,724	2.8	4,140	6.7	1,960	3.2	9,298	15.1	61,549	100.0
7 月	641	2.9	890	4.1	1,129	5.2	638	2.9	3,298	15.2	21,762	100.0
8 月	484	2.2	666	3.0	1,109	5.0	805	3.6	3,064	13.9	22,088	100.0
9 月	316	1.4	659	2.9	1,302	5.8	709	3.2	2,986	13.3	22,413	100.0
7～9 月	1,441	2.2	2,215	3.3	3,540	5.3	2,152	3.2	9,348	14.1	66,263	100.0
10 月	653	2.8	903	3.8	1,264	5.3	754	3.2	3,574	15.1	23,697	100.0
11 月	377	1.6	1,064	4.6	1,205	5.2	907	3.9	3,553	15.3	23,209	100.0
12 月	518	2.1	1,218	4.9	1,475	5.9	814	3.3	4,025	16.2	24,818	100.0
10～12 月	1,548	2.2	3,185	4.4	3,944	5.5	2,475	3.5	11,152	15.5	71,724	100.0
10 年 1 月	306	1.3	844	3.6	1,304	5.6	711	3.1	3,165	13.7	23,149	100.0
2 月	586	2.7	894	4.2	1,369	6.4	666	3.1	3,515	16.4	21,369	100.0
3 月	1,024	4.4	1,380	5.9	1,638	7.0	712	3.0	4,754	20.3	23,401	100.0
1～3 月	1,916	2.8	3,118	4.6	4,311	6.3	2,089	3.1	11,434	16.8	67,919	100.0

(注) (1) 通産省エネルギー生産・需給統計月報 10年3月確報
(2) 四捨五入のため月報と一致しない場合がある。

排水性舗装用エポキシアスファルト混合物施工の手引

A 5 版・26ページ・実費頒価 ¥300 (送料実費)

申込先 (社) 日本アスファルト協会
〒105-0001 東京都港区虎ノ門1-21-8
秀和第3虎ノ門ビル7階

エポキシアスファルトは強度や骨材との付着性において優れた物性を有するので、これを使用した排水性舗装用混合物は、高粘度アスファルト等を使用した従来の排水性舗装用混合物より耐久性の向上、機能の持続性などが期待されるものである。

しかし、エポキシアスファルトは熱硬化性のエポキシ樹脂を含む反応性バインダであるため、使用にあたってはその機能が十分に発揮できるよう、混合物の製造や施工については細心の注意を払わなければならない。

本手引きは、このようなエポキシアスファルトをバインダとする排水性舗装の設計、施工、管理についてとりまとめたものであり、関係者必読の書としておすすめします。

目 次

第1章 総 則

1.1 概 説

1.2 適用にあたっての注意

第2章 材 料

2.1 材 料

2.2 エポキシアスファルト

2.3 骨 材

2.4 その他の材料

第3章 配合設計

第4章 試験練り

第5章 施 工

5.1 施工計画

5.2 製 造

5.3 タックコート

5.4 舗 設

5.5 継 目

第6章 品質管理および検査

第7章 調 査

付録-1 エポキシ樹脂について

付録-2 エポキシアスファルトの構成、混合方法、 代表的性状

社団法人 日本アスファルト協会会員

社 名	住 所	電 話
[メーカー]		
出 光 興 産 株 式 会 社	(100-8321) 千代田区丸の内3-1-1	03 (3213) 3135
鹿 島 石 油 株 式 会 社	(102-0094) 千代田区紀尾井町3-6	03 (5276) 9556
九 州 石 油 株 式 会 社	(100-0011) 千代田区内幸町2-1-1	03 (5512) 8606
極 東 石 油 工 業 株 式 会 社	(104-0031) 中央区京橋1-8-7	03 (5250) 2681
興 亜 石 油 株 式 会 社	(108-8514) 港区芝浦3-4-1	03 (5441) 2516
コ ス モ 石 油 株 式 会 社	(105-8528) 港区芝浦1-1-1	03 (3798) 3874
三 共 油 化 工 業 株 式 会 社	(105-0004) 港区新橋1-7-11	03 (5568) 6411
株式会社ジャパンエナジー	(105-0001) 港区虎ノ門2-10-1	03 (5573) 6000
昭和シェル石油株式会社	(135-0091) 港区台場2-3-2	03 (5531) 5765
昭和四日市石油株式会社	(510-0851) 四日市市塩浜町1	0593 (45) 2111
西 部 石 油 株 式 会 社	(105-0003) 港区西新橋2-1-1	03 (5512) 3417
東 燃 株 式 会 社	(150-8411) 渋谷区広尾1-1-39	03 (5778) 5179
東 北 石 油 株 式 会 社	(985-0901) 仙台市宮城野区港5-1-1	022 (363) 1122
日 本 石 油 株 式 会 社	(105-8412) 港区西新橋1-3-12	03 (3502) 1111
日本石油精製株式会社	(105-8412) 港区西新橋1-3-12	03 (3502) 1111
富 士 興 産 株 式 会 社	(100-0014) 千代田区永田町2-4-3	03 (3580) 3571
富 士 石 油 株 式 会 社	(104-0044) 中央区明石町8-1	03 (3547) 0011
三 菱 石 油 株 式 会 社	(105-8457) 港区虎ノ門1-2-6	03 (5521) 2068
モ ー ビ ル 石 油 株 式 会 社	(108-8005) 港区港南1-8-15	03 (5495) 6700

[ディーラー]

● 北海道

コスモアスファルト(株)北海道支店	(060-0042) 札幌市中央区大通り西10-4	011 (281) 3906	コ ス モ
中西瀝青株式会社札幌営業所	(060-0002) 札幌市中央区北2条西2	011 (231) 2895	日 石
株式会社ロード資材	(060-0001) 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		
株式会社男鹿興業社	(010-0511) 男鹿市船川港船川字海岸通り1-18-2	0185 (23) 3293 J O M O
カメイ株式会社	(980-0803) 仙台市青葉区国分町3-1-18	022 (264) 6111 日 石
コスモアスファルト(株)東北支店	(980-0021) 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	(982-0032) 仙台市太白区富沢1-3-31	022 (244) 9586 三 石
竹中産業株式会社新潟営業所	(950-0087) 新潟市東大通1-4-2	025 (246) 2770 昭和シェル
常盤商事株式会社仙台支店	(980-0011) 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	(980-0021) 仙台市青葉区中央2-1-30	022 (223) 4866 日 石
ミヤセキ株式会社	(983-0852) 仙台市宮城野区榴岡2-3-12	022 (257) 1231 三 石
● 関東		
朝日産業株式会社	(103-0025) 中央区日本橋茅場町2-7-9	03 (3669) 7878 コ ス モ
株式会社アスカ	(104-0032) 中央区八丁堀4-11-2	03 (3553) 3001 出 光
伊藤忠商事株式会社	(107-8077) 港区北青山2-5-1	03 (3497) 6548 九 石
伊藤忠燃料株式会社	(153-0063) 目黒区目黒1-24-12	03 (5436) 8211 J O M O
梅本石油株式会社	(162-0824) 新宿区揚場町2-24	03 (3269) 7541 コ ス モ
エムシー・エネルギー株式会社	(100-0011) 千代田区内幸町1-2-2	03 (5251) 0961 三 石
株式会社JOMO サンエナジー	(104-0032) 中央区八丁堀4-2-2	03 (3552) 3191 J O M O
株式会社ケイエム商運	(103-0028) 中央区八重洲1-8-5	03 (3245) 1626 三 石
コスモアスファルト株式会社	(104-0032) 中央区八丁堀3-3-5	03 (3551) 8011 コ ス モ
国光商事株式会社	(164-0003) 中野区東中野1-7-1	03 (3363) 8231 出 光
澤田商行株式会社関東支店	(104-0032) 中央区八丁堀2-21-2	03 (3551) 7131 コ ス モ
昭石商事株式会社	(107-0051) 港区元赤坂1-1-8	03 (5474) 8511 昭和シェル
新日本商事株式会社	(170-0005) 豊島区南大塚3-32-10	03 (5391) 4870 昭和シェル
住商石油アスファルト株式会社	(105-0013) 港区浜松町2-3-31	03 (3578) 9521 出 光
竹中産業株式会社	(101-0044) 千代田区鍛冶町1-5-5	03 (3251) 0185 昭和シェル
中央石油株式会社	(160-0022) 新宿区新宿1-14-5	03 (3356) 8061 モービル
東京富士興産販売株式会社	(100-0014) 千代田区永田町2-4-2	03 (3591) 3401 富士興産
東光商事株式会社	(104-0031) 中央区京橋2-1-4	03 (3274) 2751 三 石
東新エナジー株式会社	(103-0027) 中央区日本橋2-13-10	03 (3273) 3551 日 石
株式会社トーマン	(107-0052) 港区赤坂2-14-27	03 (3588) 7955 昭和シェル
東洋国際石油株式会社	(104-0032) 中央区八丁堀3-3-5	03 (3555) 8138 コ ス モ
中西瀝青株式会社	(103-0028) 中央区八重洲1-2-1	03 (3272) 3471 日 石
株式会社南部商会	(100-0005) 千代田区丸の内3-4-2	03 (3213) 5871 日 石
日石丸紅株式会社	(105-0003) 港区西新橋2-4-2	03 (5251) 0777 日 石
日東商事株式会社	(170-0002) 豊島区巢鴨4-22-23	03 (3915) 7151 昭和シェル
パシフィック石油商事株式会社	(103-0014) 中央区日本橋蛸殻町1-17-2	03 (3661) 4951 モービル

社団法人 日本アスファルト協会会員

社 名	住 所	電 話	
富士興産アスファルト株式会社	(100-0014) 千代田区永田町 2-4-2	03 (3580) 5211	富士興産
富士鋳油株式会社	(105-0004) 港区新橋 4-26-5	03 (3432) 2891	コスモ
富士油業株式会社東京支店	(106-0031) 港区西麻布 1-8-7	03 (3478) 3501	富士興産
丸紅エネルギー株式会社	(101-8322) 千代田区神田駿河台 2-2	03 (3293) 4171	モービル
三井石油株式会社	(164-0012) 中野区本町 1-32-2	03 (5334) 0730	極東石油
ユニ石油株式会社	(107-0051) 港区元赤坂 1-7-8	03 (3796) 6616	昭和シェル
菱油販売株式会社	(182-0024) 調布市布田 4-6-1	0424 (41) 7611	三石
瀝青販売株式会社	(103-0027) 中央区日本橋 2-16-3	03 (3271) 7691	出光
● 中部			
コスモアスファルト(株)中部支店	(460-0003) 名古屋市中区錦 2-14-21	052 (223) 0711	コスモ
澤田商行株式会社	(466-0015) 名古屋市昭和区御器所通 1-6-1	052 (883) 1881	コスモ
静岡鋳油株式会社	(424-0037) 清水市袖師町 1575	0543 (66) 1195	モービル
竹中産業株式会社福井営業所	(918-8015) 福井市花堂南 1-11-29	0766 (33) 0001	昭和シェル
株式会社田中石油店	(918-8003) 福井市毛矢 2-9-1	0776 (35) 1721	昭和シェル
富安産業株式会社	(939-8181) 富山市若竹町 3-74-4	0764 (29) 2298	昭和シェル
中西瀝青株式会社名古屋営業所	(460-0007) 名古屋市中区新栄 2-2-1	052 (241) 0175	日石
松村物産株式会社	(920-0031) 金沢市広岡 2-1-27	0762 (21) 6121	三石
丸福石油産業株式会社	(933-0954) 高岡市美幸町 2-1-28	0766 (22) 2860	昭和シェル
● 近畿・中国			
赤馬アスファルト工業株式会社	(531-0071) 大阪市北区中津 3-10-4	06 (374) 2271	モービル
大阪アスファルト株式会社	(531-0071) 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	(530-0047) 大阪市北区西天満 3-4-5	06 (364) 7212	コスモ
共和産業株式会社	(700-0816) 岡山市富田町 2-10-4	0862 (33) 1500	J O M O
コスモアスファルト(株)関西支店	(550-0005) 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)中国支店	(730-0022) 広島市中区銀山町 3-1	0822 (44) 6262	コスモ
三徳商事株式会社	(532-0033) 大阪市淀川区新高 4-1-3	06 (394) 1551	昭和シェル
昭和瀝青工業株式会社	(670-0935) 姫路市北条口 4-26	0792 (26) 2611	J O M O
信和興業株式会社	(700-0927) 岡山市西古松 363-4	0862 (41) 3691	三石
スーパーストロングインターナショナル(株)	(532-0011) 大阪市淀川区西中島 2-11-30	06 (303) 5510	昭和シェル
正興産業株式会社	(650-0024) 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	(711-0913) 倉敷市児島味野浜の宮 4051-12	0864 (73) 0350	富士興産
千代田瀝青株式会社	(530-0044) 大阪市北区東天満 2-10-17	06 (358) 5531	三石
ドーロ商事株式会社	(542-0083) 大阪市中央区東心斎橋筋 1-3-11	06 (252) 5856	富士興産
中西瀝青株式会社大阪営業所	(530-0047) 大阪市北区西天満 3-13-3	06 (316) 0312	日石
富士アスファルト販売株式会社	(550-0003) 大阪市西区京町堀 2-3-19	06 (441) 5195	富士興産
富士商株式会社	(756-8501) 小野田市稲荷町 10-23	0836 (81) 1111	昭和シェル
株式会社松宮物産	(522-0021) 彦根市幸町 32	0749 (23) 1608	昭和シェル

社団法人 日本アスファルト協会会員

社 名	住 所	電 話
横田瀝青興業株式会社	(672-0000) 姫路市飾磨区南細江995	0792 (33) 0555 J O M O
株式会社菱芳砒産	(671-1103) 姫路市広畑区西夢前台7-140	0792 (39) 1344 J O M O
● 四国・九州		
伊藤忠燃料株式会社九州支社	(812-8528) 福岡市博多区博多駅前3-2-8	092 (471) 3851 J O M O
今別府産業株式会社	(890-0072) 鹿児島市新栄町15-7	0992 (56) 4111 J O M O
株式会社カンダ	(892-0823) 鹿児島市住吉町1-3	0992 (24) 5111 昭和シェル
株式会社九菱	(805-0017) 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(株)九州支店	(810-0041) 福岡市中央区大名2-4-30	092 (771) 7436 コ ス モ
三協商事株式会社	(770-0941) 徳島市万代町5-8	0886 (53) 5131 富士興産
サンヨウ株式会社	(815-0037) 福岡市南区玉川町4-30	092 (541) 7615 富士興産
中西瀝青株式会社福岡営業所	(810-0001) 福岡市中央区天神4-1-18	092 (771) 6881 日 石
西岡商事株式会社	(764-0002) 仲多度郡多度津町家中3-1	0877 (33) 1001 三 石
平和石油株式会社高松支店	(760-0017) 高松市番町5-6-26	0878 (31) 7255 昭和シェル
丸菱株式会社	(812-0011) 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	編集委員
多田宏行	委員長：河野 宏
藤井治芳	副委員長：真柴和昌
松野三朗	阿部忠行 菅野善朗 鈴木明憲 半野久光
	荒井孝雄 栗谷川裕造 田井文夫 姫野賢治
	安崎 裕 小島逸平 遠西智次 三谷治郎
	池田拓哉 七五三野茂 野村敏明 吉兼秀典

アスファルト 第196号

平成10年7月発行

社団法人 日本アスファルト協会

☎ 105-0001 東京都港区虎ノ門1-21-8 TEL 03-3502-3956

本誌広告一手取扱 株式会社 廣業社

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

印刷所 キュービシステム株式会社

☎ 107-0052 東京都港区赤坂1-9-13 TEL 03-3224-1251 (代)

Vol.41 No.196 JULY 1998

Published by **THE JAPAN ASPHALT ASSOCIATION**