

アスファルト

第34巻 第169号 平成3年10月発行

169

特集・新たな舗装技術への取り組み

特集にあたって	河野 宏	1
日本における新道路研究計画(SHRP)の概要	伊藤 正秀	2
理論解析を取り入れたアスファルト舗装構造設計	阿部 忠行	6
景観を加味した歩行者系舗装材料	永田順一郎	12
アスファルトコンクリート舗装の合理化	福田 実	18
舗装機能の新しい評価方法	笠原 篤・丸山暉彦・姫野賢治	25
道路保全技術に関する最近の動向	川井 優	32
排水性舗装	和田 三男	39

〈アスファルト舗装技術研究グループ・第9回報告〉

アスファルト舗装工学の発展を目指して(6)	姫野賢治	48
アスファルト混合物のはく離	石井広明・伊藤達也・笠原彰彦・久下晴巳	49
	佐々木 巖・菅野伸一・鈴木秀輔・谷口豊明	

〈用語の解説〉

ライフサイクル	小島逸平	68
酸化・蒸発による硬化	高橋正明	69
〈統計資料〉石油アスファルト需給統計資料		70

ASPHALT

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

第64回 アスファルトゼミナール開催のご案内

社団法人 日本アスファルト協会

拝啓 時下ますますご清栄のこととお慶び申し上げます。

さて、恒例の弊協会主催の「アスファルトゼミナール」を下記要領にて開催致します。

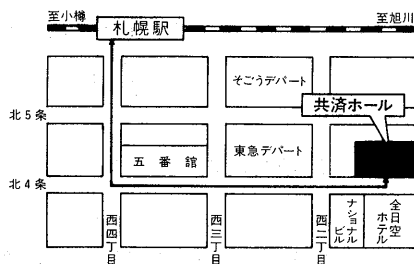
内容等参考の上、奮ってご参加くださいますようご案内申し上げます。

敬 具

記

1. 主 催 社団法人 日本アスファルト協会
2. 協 賛 社団法人 日本アスファルト乳剤協会
3. 後 援 建設省、社団法人 北海道舗装事業協会、
社団法人 日本道路建設業協会、社団法人 日本道路建設業協会北海道支部、
社団法人 日本アスファルト合材協会、北海道アスファルト合材協会
4. 開催日時 平成4年2月4日（火） 9：30～17：15
5. 開催場所 共済ホール（案内図参照） 札幌市中央区北4条西1丁目 ☎011-251-7333
6. 内 容 裏面「プログラム」参照
7. 申込方法 平成4年1月20日までに下記参加申し込み書に必要事項をご記入のうえ参加費を添えて現金書留でお申し込み下さい。申し込み受付次第受講券、領収書をお送りいたします。
8. 申 込 先 社団法人 日本アスファルト協会 アスゼミ係
〒105 東京都港区虎ノ門2-6-7 和孝第10ビル
☎03-3502-3956 FAX 03-3502-3376
9. 参 加 費 4,000円
10. 参加人数 600名（締切日以前でも定員になり次第締め切らせていただきます。）
11. そ の 他 ①払い込み済みの参加費は、不参加の場合でも払い戻し致しません。参加者の変更をすることは差し支えありません。なお、不参加者には後日テキストをご送付致します。
②宿泊のあつ旋は、勝手ながら弊協会では致しませんので、各自にてお願いします。
なお、2月5日～11日にかけて札幌雪まつりが開催される予定のため、宿泊施設・航空券等の取得が困難であると予想されますので、早めにお手配下さい。
③会場には駐車設備がありませんので、車でのご来場は、ご遠慮願います。

会場案内図



交通のご案内

〔徒歩〕JR札幌駅→共済ホール（所要7分）

キ リ ト リ 線

第64回 アスファルトゼミナール 参加申込書

勤 務 先			
所 在 地	〒		Tel
申込責任者氏名			
所 属 ・ 役 職			
参 加 人 数	合 計		名

プログラム

開催月日 平成4年2月4日(火) 9:30~17:15

開催場所 共済ホール

札幌市中央区北4条西1丁目 ☎011-251-7333

- | | |
|------------------------------|-------------|
| 1. 挨拶 | 9:30~9:45 |
| 社団法人 日本アスファルト協会会長 | 高 島 陽 一 |
| 北海道開発局長 | 戸 部 智 弘 |
| 北海道土木部長 | 品 川 忠 豁 |
| 札幌市建設局長 | 平 賀 岑 吾 |
| 2. 講演にあたって | 9:45~10:00 |
| 社団法人 日本アスファルト協会名誉会長 | 谷 藤 正 三 |
| 3. 最近の道路行政の課題と平成4年度道路整備予算案 | 10:00~11:00 |
| 建設省道路局企画課道路経済調査室長 | 井 上 啓 一 |
| 4. 改質アスファルトを用いた混合物の設計・施工の手引き | 11:00~12:20 |
| 建設省道路局市町村道室建設専門官 | 矢 野 善 章 |
| (昼食休憩 12:20~13:10) | |
| 5. 表層用舗装材料の現状について | 13:15~14:35 |
| 建設省土木研究所地質化学部化学研究室主任研究員 | 坂 本 浩 行 |
| 6. 北海道における道路整備の動向と今後の課題 | 14:35~15:55 |
| 北海道開発局建設部長 | 柳 川 捷 夫 |
| 7. アスファルト乳剤の新しい利用法 | 15:55~17:15 |
| 北海道大学土木工学科助教授 | 森 吉 昭 博 |

(講師は都合で変更することがあります)

特集にあたって

河野 宏

建設省土木研究所研究調整官

今回の特集は「新たな舗装技術への取り組み」である。現在、我が国でも新材料・新工法・自動化など新しい時代に向けて、舗装技術の革新を目指して、いろいろな取り組みが展開されている。

今回の特集は、そのような取り組みを行っている機関の調査・研究・技術開発の活動状況を紹介しようとするものである。

あと10年足らずで20世紀から21世紀に変る頃ともなると、それに合わせて様々な動きが出てくる。「21世紀に向けて」「21世紀には？」とかの語句を冠して種々の議論がなされる。世紀が変われば時代の流れにも大きな変化があるだろう、21世紀がどんな時代になるかを見通しそれに合わせて準備しなければならない、今までの延長線上で物事を進めていたのでは駄目で、何か新しいことを考え実行しなければ……。実際は時の流れは連続していて、たまたま暦の上で数字上大きな変り目に当るだけなのに、あたかも本当に大きな変化が起きると考え、何か新しいことをしないと時代に取り残されてしまいそうな切迫した気持ちになる。このような切迫感、世紀の変り目だけに生じるものではなく、暦年が80年代から90年代に変る時も、もっと頻繁な例では毎年年末になり新年を迎える時にも、そして個人的には誕生日の近く、特にその誕生日が30才台、40才台……などに突入するという節目に当たる時は同じようなプレッシャーに捕われることが多い。これは1種の世紀末現象、年末現象とも云うべきもので、客観的には暦上の大きな節目が必ずしも大きな時代の変化を伴うとは限らないのだから、無闇に切迫感を感じる必要はないのかも知れない。

それでは、我々の技術の世界でも同じ事が云えるであろうか。否、技術の世界では、暦や誕生日に関係なく常に新しいものを求めて行かなければならないと思う。技術が10年1日の如くであれば、それは技術以前のものということになろう。「革新」「改革」を目指し断え間なく努力を重ねてきたことが、今日の技術の社会的地位を築いたのは間違いない。そして技術が常に新しさを求められるのは、人類は常によりよい状態になることを求めているし、その進歩のためには自由な

競争が必要であるという原理原則がその根底にあると思う。自由競争の社会では競争に勝つ武器が重要視される。そして客観性を旨とする技術は自由競争では極めて有力な武器となるはずであるし、その場合進歩に寄与することを強く求められる。

社会の発展のために「競争の自由」が必要であることは、最近のソ連、東欧の社会体制の行き詰まりからも広く認識された。今後はますます「競争の自由」が謳歌され、国際間、企業間、そして同一企業内でも部局間あるいは個人間の競争は激しいものになるであろう。そうなれば、「競争に強い技術」の時代が来るであろう。暦が21世紀になった途端か否かは別にして、技術至上の時代、技術者全盛の時代が到来するという気がしないでもない。

しかし、決して「棚から牡丹餅」というわけには行かないであろう。技術の時代を実現するためには、それはそれなりに戦略を立て戦術を練ることが大切である。自動車の運転に例えるなら、先を見たハンドル捌き、強力なアクセル、正確なブレーキということになろう。ハンドルは目標に向っての方向付け、アクセルは推進力、ブレーキは過度を慎む節度とも云うべきものである。日本の社会もごく最近まではザイテク全盛の時代であった。そして今年になってザイテク関係者、銀行界証券界は大変なスキャンダルに遭遇することになった。その原因の1つは「ブレーキ」が適切に機能しなかったからではなかろうか。舗装においても、たとえ技術の時代を迎えたにしろ、「ハンドル」「アクセル」「ブレーキ」が適切に働かなければ、世のため人のためにはならず、却って悪い結果になるかも知れない。あるいはそれらがうまく機能しなければ、技術の時代がやって来ることもないかも知れない。

読者諸氏におかれては、今回の特集を読んで、単に知識・情報として取得されるだけでなく、この機会に「本当に技術の時代が来るか」「そのためには何をなすべきか」あるいは「最良の技術の時代とは？」というようなことに思いを巡らせて頂けたら有難いことと思う。

日本における新道路研究計画（SHRP）の概要

伊 藤 正 秀*

1. SHRPの概要

1980年代の前半、米国において公共施設の荒廃が叫ばれた時期があった。特に道路関連施設の荒廃は著しく、このような状況に対し、道路の設計、管理、保全技術を向上させるため、集中的な研究投資を行うことを目的として1987年10月、NRC（国家研究会議）の下に設立されたのが、SHRP（Strategic Highway Research Program）である。

その詳細については、既に各種の報告¹⁾²⁾³⁾があるのでここでは触れないが、およそSHRPの研究の概要については紹介しておきたい。SHRPには4つの主要な研究テーマがあり、その下に各種の研究サブテーマが設定されている。4つの主要なテーマとは、次のものである。

①アスファルト

アスファルトの品質の改善、供用性と関連したアスファルトおよびアスファルト混合物の仕様を作成する。

②舗装の長期供用性（LTPP）

材料条件、構造条件、交通条件、気象条件等が舗装の長期の供用性に及ぼす影響を明らかにし、合理的な舗装設計法を見いだす。

③コンクリート、構造物

コンクリート構造物の耐久性向上技術、保全技術の開発

④道路管理

これはさらに2つに分けられる。

a) 維持管理の効率化

効果的な維持修繕工法、管理技術の開発。

b) 雪氷対策

路面凍結防止や道路気象情報提供システムの開発

これら各テーマにおける研究内容はさらに細分化され、個々の研究者またはグループと研究契約の形式をとって研究が遂行されている。

2. 舗装の長期供用性（LTPP）の概要

LTPPはSHRPの根幹を成す研究テーマである。その研究手法は端的に言えば、試験舗装を設置し、広範なデータの解析を行うというものである。

ここで、試験舗装は、その性格により2つに大別される。舗装の設計に関する一般的な事項を研究するための一般舗装調査（GPS）、ある特定の要因（構造や環境等）が舗装の供用性に及ぼす影響を研究するための特定舗装調査（SPS）の2つである。GPSは舗装の種類によって、SPSは検討する影響因子によって、さらに細かく分類されている。両調査でとり上げる試験舗装の水準は以下のとおりである。

（1）GPS試験舗装

- ①粒状路盤上のアスファルト舗装
- ②安定処理路盤上のアスファルト舗装
- ③目地あり無筋コンクリート舗装
- ④目地あり鉄筋コンクリート舗装
- ⑤連続鉄筋コンクリート舗装
- ⑥アスファルト舗装上のアスファルトオーバーレイ
- ⑦コンクリート舗装上のアスファルトオーバーレイ
- ⑧コンクリート舗装上のコンクリートオーバーレイ（付着型）
- ⑨コンクリート舗装上のコンクリートオーバーレイ（非付着型）

（2）SPS試験舗装

- ①たわみ性舗装の構造要因研究
- ②剛性舗装の構造要因研究
- ③たわみ性舗装の予防的維持の効果
- ④剛性舗装の予防的維持の効果
（③④は「道路管理」の課題）
- ⑤アスファルト舗装の修繕
- ⑥目地ありコンクリート舗装の修繕
- ⑦付着型コンクリートコンクリートオーバーレイによる修繕

*いとう まさひで 建設省関東地方建設局横浜国道工事事務所調査第一課長

⑧重交通作用がない場合の環境要因の研究

各試験舗装タイプに属する試験舗装は、例えば気温の高低、交通条件の軽重といった第1階層のマトリックスにより区分けされ、第1階層の1つの枠目（セルという）の下にはさらに舗装構造等にもとづいた第2階層のマトリックスが設定されている（図－1）。理想的には、各試験舗装タイプについて第2階層の各セルに属する試験舗装箇所が2箇所ずつとされており（現実には各州等の事情により崩れているが）、LTPP全体ではいかに膨大な試験舗装の数になるかが想像できる。

なお、LTPPはその研究性格上、非常に長い（おそら

く最終的には20年程度の）研究期間を要する。SHRP自体は5年の時限設立機関であるため1992年度で終了となる。したがって、SHRP終了後、LTPPはFHWA（連邦道路局）が引き継ぐことになっている。

3. 日本におけるSHRPへの取り組み

日本のアスファルト舗装の構造設計法は、1960年台初頭のAASHO道路試験の影響を強く受けている。いずれSHRPの成果が発表されたとき、その成果は再度、日本のアスファルト舗装の構造設計法に大きな影響を与えるところは容易に想像される。しかし、路床条件、気象条件、交通条件等が異なる結果をすぐに日本の構造設計に導入する訳にはいかない。また、LTPPの成果を利用しようとする場合、事前にその詳細を理解しておく必要があると予想された。一方でSHRPはLTPPに関して世界的に協力を求めている。このようなことから、日本でも特にLTPP試験舗装について協力する旨SHRPに申し出、日本側の窓口登録（事務局長：建設省土木研究所道路部長、事務局：同舗装研究室）を行うとともに、試験舗装区間の設置を行ってきた。現在、SHRPに関する全ての情報（LTPPに限らず）はSHRPより土木研究所へ送付されており、LTPPについては舗装研究室において逐次の対応を、また、他の分野については、関連研究室への情報提供を行っている。

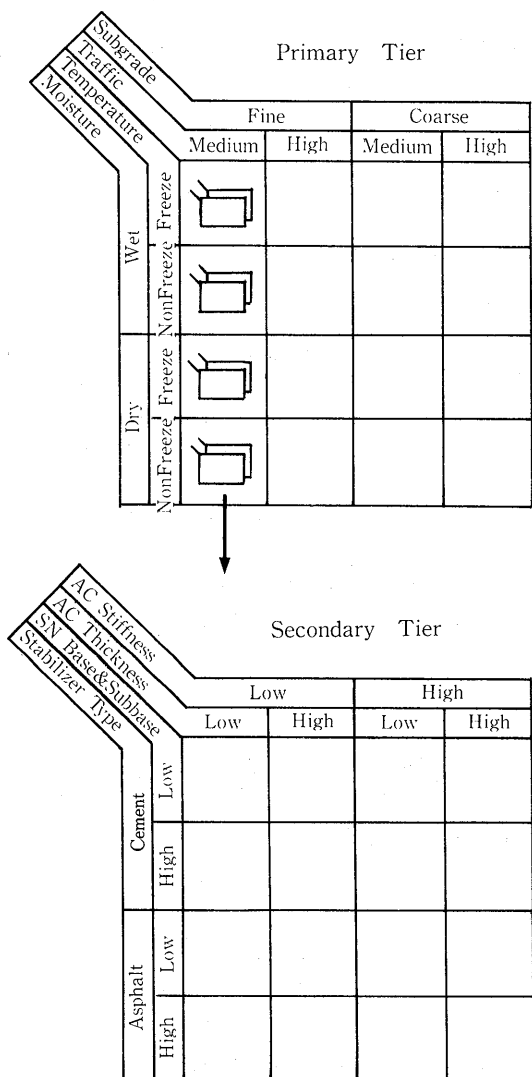
4. 日本におけるLTPP試験舗装

4.1 調査区間の設定

日本ではLTPPのうち、GPSのアスファルト舗装のみに限り、1988年度より試験舗装の設置を行ってきた。当初は他のタイプの試験舗装も設置する予定であったが、直轄国道において試験舗装箇所を選定したため、舗装タイプが限定される結果となった。また、同様の理由で第1階層、第2階層の各セルのうち、気温高、湿潤、重交通に試験舗装が偏っている。しかし、これらの箇所はかえって日本の舗装の置かれている条件を代表していると考えらる。また、米国等他の国で得られないセルのデータを与え、試験舗装としては有益なものと考えられる。

試験舗装の箇所選定に当たっては、原則として下記の条件を満たすものとした。

- ①新設のアスファルト舗装
- ②単路部（信号による停止の影響がない区間）
- ③縦断勾配はないか極めて小さい。
- ④路床内に地下埋設物が存在しない。



$$\frac{4}{\text{Primary Cells}} \times \frac{16}{\text{Secondary Cells}} \times 2 \text{ Replications} = 128 \text{ Total Sections}$$

図－1 試験舗装のセルの例（安定処理路盤上のアスファルト舗装）

⑤同一断面の延長が300m確保できる。

これは、日本における舗装工事としては非常に厳しい条件であり、その選定は非常に苦労した。しかし、各地建等の協力により、一部の条件に例外はあるものの、概ね条件を満足する試験舗装が設定できた。表-1に設定した試験舗装箇所を示す。現在、28箇所の試験舗装において調査を継続中である（建設省内部では、これら試験舗装を「新基準調査」と称している）。

表-1 日本における長期供用性試験舗装箇所

BP:バイパス			
地建名	昭和63年度	平成元年度	平成2年度
北海道		36号 白老BP 228号 木古内BP	337号 銭函道路
東北	13号 山形北BP	4号 柴田BP	108号 湧谷BP
関東	246号 大和厚木BP	17号 深谷BP 51号 佐原BP	4号 新4号国道
北陸	8号 長岡東BP	7号 新新BP	8号 くりからBP
中部	23号 南勢BP		1号 沼津BP 1号 亀山BP
近畿	175号 小野BP	8号 福井BP	161号 高島BP
中国		54号 上根BP	9号 北条BP 188号 下松BP
四国	11号 松山東道路	11号 西条BP	55号 徳島南BP
九州		3号 岡垣BP	10号 椎田BP 203号 東多久BP
箇所計	6	10	12

4.2 調査内容

LTPP試験舗装については、SHRPより「Data Collection Guide」が発刊されており、データ収集の方法・頻度、データ記入様式等が細かく規定されている。LTPPに関してはこの他に、「Laboratory Material Handling and Testing」、「Field Materials Sampling, Testing, and Handling」、「Distress Identification Manual」等のマニュアルが発刊されており、試料の採取方法や試験方法、破損の判断基準、データの保存方法等が詳細に規定されている。

日本のLTPPにおいては、「Data Collection Guide」を中心に翻訳を行い、日本の事情を考慮した試験舗装マニュアル（以下、日本版マニュアルという）を発行している。試験舗装箇所の選定、施工時のデータ、供用後のデータ収集等はすべて、この日本版マニュアルに従って実施している。ちなみに、LTPPについては多くの国が参加表明をしているが、米国、カナダを除いて、日本のように、SHRPの条件に沿う形で箇所選定、調査を行っている国は少ないと考えられる。また、諸外国のGPS試験舗装は既存の供用中の舗装を試験区間

として取り上げているものがほとんどで、すべて新設として設定させた日本の試験舗装は精度的にも高いものと考えられる。

LTPPにおける調査は、大別して以下の6つの調査項目からなっている。

- ①初期調査：施工に使用した材料の性状調査や施工直後の状態の調査
- ②路面調査：路面の破損やたわみ量の追跡調査
- ③環境調査：気温、降水量、日照量等の調査
- ④交通調査：交通量や車両重量に関する調査
- ⑤維持調査：維持作業の内容や使用材料に関する調査
- ⑥修繕調査：修繕作業の内容や使用材料に関する調査

以上の各調査について、どのような調査項目があるか、表-2、3に示す。なお、維持調査、修繕調査については、初期調査と類似する項目が多い。

表-2 初期調査項目の概要

対 象		主な測定項目
施 工 時 試 験	路床、路盤	土質試験、弾性係数、平板載荷試験
	切取りコア	弾性係数、密度、引張強度 回収バインダ性状試験
	バインダ	性状試験、劣化後の性状試験
	アスファルト混合物	ビーム試験、剥離抵抗性
施 工 後 試 験		FWD測定、すべり抵抗測定

表-3 路面、環境、交通調査

調査種類	調 査 概 要
路面調査	すべり抵抗、平坦性、段差 わだち掘れ、FWDたわみ
環境調査	気温、降水量、日照量、 凍結指数
交通調査	交通量、車両重量

4.3 米国調査との整合性

日本版マニュアルは原則として米国のマニュアルに準拠しているが、一部の調査項目については、両国の試験規定（例えばASTMとJIS）の違いや、米国で規定されていても日本では極めて特殊な試験もあり、完全にその内容が一致しているとは言い難い。表-4に米国で実施するものの日本で実施しない調査項目、表-5に両国で実施するものの試験条件等の違いがあるものを示す。これらのうち、今後の解析上で問題点が大きいと考えられるのは、初期調査では弾性係数試験、路面調査ではすべり抵抗、FWDたわみ量等である。こ

表－5 試験条件に差がある試験

区分	試験・測定項目	測定・試験方法		
		差のある項目	U S A	JAPAN
アス混合物	Resilient Modulus (ASTM D 4123)	試験温度	15, 25, 40 ℃	5, 25, 40 ℃
		載荷周波数	0.33, 0.5, 1.0 Hz	1.0 Hz
		載荷時間	0.1 sec	0.4 sec
		休止時間	0.9 sec	0.6 sec
	Indirect Tensile Strength (ASTM E 274)	載荷荷重	間接引張強度(25℃)の 15℃ : 35% 25℃ : 20% 40℃ : 5%	5℃ : 100kgf 25℃ : 40kgf 40℃ : 10kgf
路面性状等	すべり抵抗測定室 (ASTM D 4123)	試験温度	25℃	5, 25, 40℃
		載荷面の形状	円弧状	平面
	FWDたわみ量	測定方法	すべり抵抗測定車	DFテスト (毎年) すべり抵抗測定車(1回/5年)
		センサ数	7	4
		センサ位置	0, 20, 30, 45, 90, 150	0, 20, 45, 90
		測定荷重	26, 7, 40, 0.53, 3, 71.1kN	5000kgf (49.6kN)
		測定種別	最大たわみ、たわみ時系列の2種類	最大たわみのみ

表－4 米国で実施し日本で実施しない試験・測定

区分	試験・測定項目	試験・測定方法
骨材性状	Aggregate Durability	
	Polish Value	AASHTO T279
アス混合物	Moisture Susceptibility	
	Tensile Strength Ratio	AASHTO T283
	Retained Strength	AASHTO T165
路盤	Calcium Carbonate Content	ASTM D 4373
路床材	Soil Suction	AASHTO T273
	Expansion Index	
	Swell Pressure	AASHTO T190, ASTM D 2844
交通	Vehicle Classification	FHWAによる13階層区分

れらについては、今後、測定機器の改造、その影響度の検討を行い、両国のデータの整合性を高めていく予定である。

5. 今後の方向

LTPPについては、現在のところ米国を含め、いずれの参加国においても試験舗装を設定している段階にあり、まだ、解析の段階まで到っていない。今後、SHRPにおいて、解析の方向づけが行われ、順次、解析が行われるものと思われる。日本でもSHRPでの解析と並行

して、独自の解析を行っていく予定である。

LTPPは前述のように、世界各国が参加している試験舗装である。したがって、今後、そのデータをどのようにして1つのデータベースに統合していくか、という点がLTPPの現在の問題である。これについては、SHRP内でIMS (Information Management System) というシステムの開発が行われており、データ記入・保存のためのシステム選定、記入様式等が検討されている。個々のデータの互換性等、問題はあるものの、これまで、舗装についてのこの種の全世界的なデータベースが構築されたことはないと思われる。それだけにLTPPのデータベースが持つ意義は非常に大きいといえよう。

このように、LTPPは、その一部にいくつかの問題を抱えているものの、AASHO道路試験が日本のアスファルト舗装の構造設計に及ぼした影響を振り返ると、LTPPの成果も今後の舗装技術に多大な影響を与えるものと考えられる。日本としても可能な限りの貢献をしていくとともに、よりよい成果が生み出せるよう、国内の研究も進めていきたいと考えている。

— 参考文献 —

- 1) 舗装委員会：アメリカの新道路研究計画 (SHRP) について、道路、No.545, (社)日本道路協会, PP. 63～67, 1986.7,
- 2) 菊川：米国の新道路研究計画 (SHRP) について、舗装, vol.21, No.3, 建設図書, 1986.3, PP.13～18
- 3) 加治屋安彦：SHRP計画の現状、舗装, vol.26, No.2, 建設図書, 1991.2, PP.3～7

理論解析を取り入れた アスファルト舗装構造設計

阿部 忠行*

1. はじめに

我が国のアスファルト舗装の構造設計はCBR- T_A 法によっている。アスファルト舗装要綱の昭和36年版では路床の支持力をCBRで評価し、交通量との関係から舗装厚さを決定するCBR法を採用し、昭和42年版では1961年に刊行されたAASHO道路試験の成果を全面的に取り入れ、 T_A 法とCBR法を併用する現行の方法を採用した経緯がある。これらの手法は、実験や現場計測結果を統計的に解析して得られた経験的な側面を重視したものである。CBR- T_A 法については我が国特有の諸条件に沿って改良が加えられており、構造設計手法としての妥当性も十分確認されてきている。

しかし、CBR法と T_A 法の併用の是非については議論がなされ平成4年に刊行予定のアスファルト舗装要綱ではその検討結果が採り入れられる予定である。

一方、交通荷重の重量化や低速化などの特殊性や舗装への多面的な要望への対応結果としての多機能化等から舗装の破損形態や使用材料も大きく変化しており、これまでの経験的な手法のみでの対応が困難となってきた。また、舗装ストックの増大に伴い、より合理的な投資運用の必要性から維持管理のシステム化も切望されている。このため破損の予測、新技術の評価が可能となる理論的な新設計方法の開発が望まれているのも事実である。

このような背景を踏まえて、(社)日本道路協会内の道路舗装設計法分科会（分科会長：飯島 尚）では、より合理的で論理的な設計手法の開発について検討がなされている。しかし、未だ具体的なイメージの提案まで至っていない。とりあえず、新しいアスファルト舗装要綱では、従来の設計方法では設計することが困難な場合への対応として理論的な設計手法による設計を例示することも予定されている。ここではそこで取り上げられた理論的な設計方法の具体的な内容について概説するものである。

2. 開発目標

理論的な設計方法の開発目標の主な点は次のとおりである。

- ①新技術（新材料・新工法）や舗装構成のシミュレーションが行え、新技術の取り入れや評価が可能であること。
- ②破損の原因究明や破損の予測が可能であること。
- ③理論展開に論理性があること。
- ④なるべく平易な方法であること。
- ⑤既存の設計方法とのすりつけが行えること。
- ⑥設計の信頼性の向上が図られること。
- ⑦他の分野の研究成果の導入や利用が容易となること。

3. 新設計方法の概要

ここで紹介する設計方法は載荷重によって生じる応力やひずみを多層弾性理論により計算する事が特徴となっている。しかし、その中核となるのは破損解析モデルの構築と破壊規準の設定であるが、我が国独自で開発されたものは少ないのでここでは他の機関で開発されたものを参考としている。

ここで紹介する設計方法の内容は図-1に示すとおりであり、以下このフローに沿って概説する。

(1) 入力条件の設定

入力条件としては、路床条件、交通条件、材料条件、環境条件およびその他の不確定要素が考えられる。

1) 路床条件①（この数字は図-1のフローに対応している。）

理論解析を行うためには路床土の弾性係数やポアソン比を定めることが必要である。これらの定数を求める方法としては一軸圧縮試験、三軸試験あるいは弾性波試験等がある。AASHTOの道路舗装設計指針¹⁾では路床土の評価として動的荷重に対する路床土の弾性係数と考えることができるレジリエント係数 (M_R) が導

*あべ ただゆき 東京都土木技術研究所主任研究員

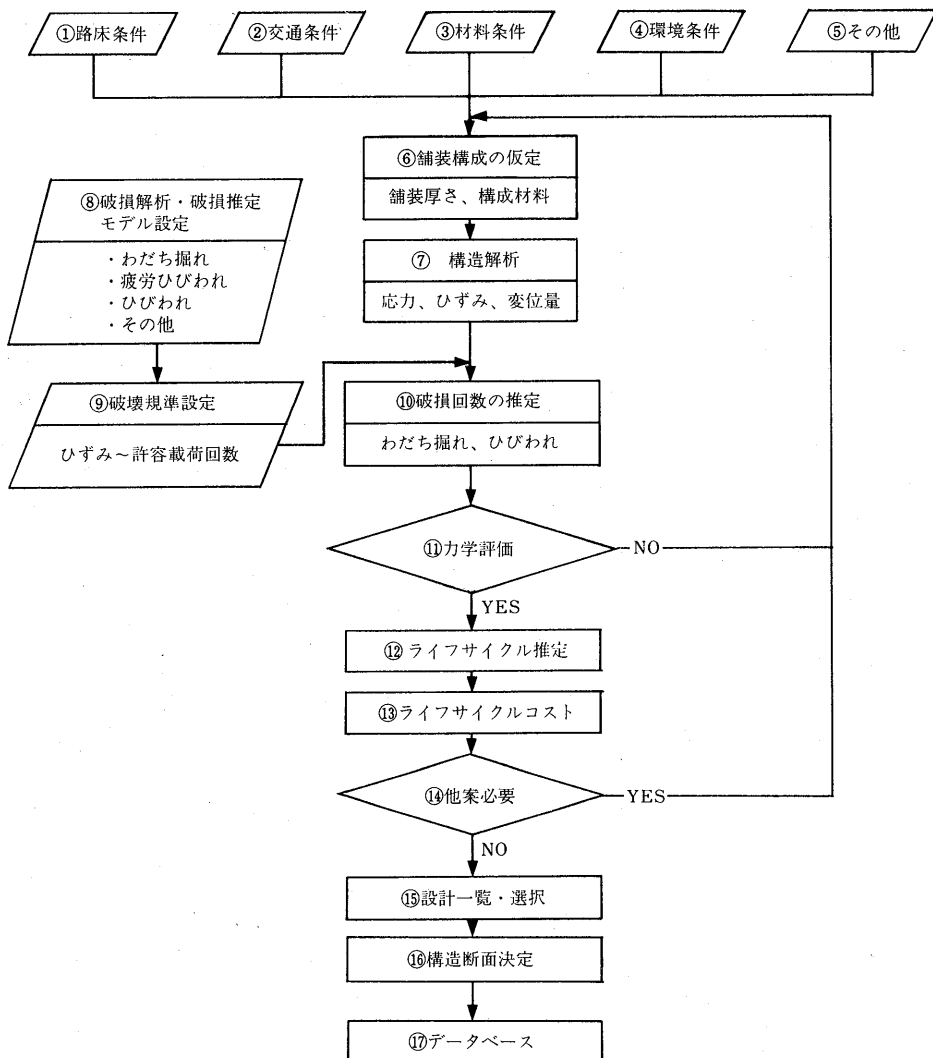


図-1 新設計法の概要

入されている。同指針には、路床土の支持力値に関連するレジリエント係数のガイドラインが示されているが、それぞれの機関でレジリエント係数の測定装置を設置し測定することを推奨している。この推奨を受けて自国にあった測定方法によるレジリエント係数の結果を報告した事例もみられる²⁾。

レジリエント係数とCBRの関係はHeukelomとKlompによって(1)式のように報告されている³⁾。

$$M_R(\text{psi}) = 1500 \cdot \text{CBR} \cdots \cdots (1)$$

このように路床土の支持力指標として従来より最も多く用いられてきているCBRから換算する方法などがある。(1)式の関係は我が国で弾性係数とCBRの関係式として利用されている。

$$E(\text{kgf/cm}^2) = 100 \cdot \text{CBR} \cdots \cdots (2)$$

日本道路公団では次のような関係を用いている。

$$\text{地山および上部路体材では、} E(\text{kgf/cm}^2) = 20 \cdot \text{CBR} \cdots \cdots (3)$$

$$\text{路床材では、} E(\text{kgf/cm}^2) = 40 \cdot \text{CBR} \cdots \cdots (4)$$

また、近年FWDの逆解析などによって路床土の弾性係数の推定を行った報告がなされている⁴⁾。

いずれにしても、我が国の土質に適合した弾性係数の測定方法の確立が急がれている。

2) 交通条件②

交通条件として考慮すべき因子は、輪荷重、載荷速度、接地荷重、載荷回数、走行位置分布、標準荷重に対する破壊係数等があげられる。しかし、ここで取り上げるのは標準輪荷重として5tfと接地半径および荷重の載荷位置である。載荷速度はアスファルト混合物の

流動変形によるわだち掘れには関連するため、粘弾性的な取扱をするかアスファルト混合物の弾性係数を変化させることによって検討することとなる。

交通条件としてもっとも重要なことは実際に通行する輪荷重の載荷回数をいかに正確に把握することである。現行の大型車交通量による方法ではかなりの誤差が生じることとなる。軸重計⁵⁾などの活用によって路線毎の輪荷重の実態把握が必要である。さらに標準輪荷重に対する破壊係数の再検討も重要である。

ここでは、大型車交通量あるいは輪荷重別の日台数を入力し、それを4乗則によって5tf輪数に換算し、設計期間内の総輪数(N)を計算する。

3) 材料条件③

舗装構造の理論的な解析を行うには材料物性として舗装各層の弾性係数とポアソン比を設定する必要がある。これらの定数は路床土と同様にそれぞれの材料について実験などを行って定めるべきであるがこれまでの多くの研究結果から表-1に示す値が一般的に採用されている。表-1に示した値は、それぞれが設定条件によって定数が変化するため幅をもった表示となっている。

表-1 舗装材料の物性の標準値

材 料 種 類	弾性係数(kgf/cm ²)	ポアソン比
アスファルト混合物	6,000~100,000	0.25~0.45
セメント系混合物	10,000~150,000*	0.10~0.20
粒 状 材	1,000~ 6,000	0.30~0.40
路 床	40~100×設計CBR	0.30~0.50

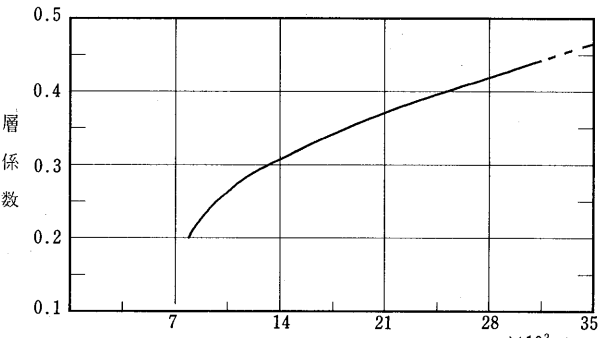
* 圧縮強度は30~150kgf/cm²

①アスファルト混合物の弾性係数

アスファルト混合物の応力~ひずみ関係は温度および載荷速度依存性がありセメントコンクリートのような弾性体に近いものとは異なる挙動を示す。温度や載荷速度を考慮して、アスファルトのスチフネス(弾性係数)からアスファルト混合物のスチフネスを求める方法がVan der PoelのノモグラフおよびHeukelomの式⁶⁾として示されている。AASHTOではアスファルト混合物ノレジリエント係数を実測する(ASTM D 4123)ことを推奨し、層係数(等値換算係数)との関係を図-2のごとく示している。これによると我が国でのアスファルト混合物は20℃ではほぼ30,000kgf/cm²程度と考えられる。

②セメント系混合物

ここでは、セメント安定処理やサンドイッチ工法で使用するリーコンクリートの弾性係数を示してある。



アスファルト混合物の弾性係数(kgf/cm²) 20℃

図-2 アスファルト混合物(密粒度)の層係数と弾性係数(レジリエント係数)

セメント系混合物の弾性係数は圧縮強度に比例するためここでは、圧縮強度で、30~150kgf/cm²を想定した値である。

③粒状路盤材

我が国の解析例では表に示された範囲の値を採用することが多いが、AASHTO道路試験における粒状上層路盤および下層粒状路盤の弾性係数は層内の主応力と($\theta = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$)の関数として次式の関係が与えられている。

$$E = k_1 \theta^{k_2} \dots\dots\dots(5)$$

ここで、 k_1 , k_2 : 回帰式の係数で、材料の種類の関数。この関係を我が国の路盤材料について検討した結果、表-2のようにAASHTOに比較して下層路盤ではほぼ等しく、上層路盤では小さめな値となると報告がなされている⁷⁾。

表-2 回帰式の係数と相関係数

単位: kgf/cm² ()内psi

層名	項 目	平均値	範 囲	AASHTO提唱値
下層路盤	K ₁	1513	1140~2715	372~1520(1500~6000)
	K ₂	0.48	0.32~0.68	0.4~0.6
	相関係数	0.863	—	—
上層路盤	K ₁	1672	1070~2491	1037~2766(3000~8000)
	K ₂	0.36	0.07~0.53	0.5~0.7
	相関係数	0.763	—	—

4) 環境条件④

環境条件とは自然環境が舗装に影響を与える因子について考慮することであるが、とくに舗装構造解析において考慮すべき因子としては温度と水分に大別することができる。気温の変化に対してアスファルト混合物の物性が変化することと、含水量の変化によって土の支持力が変化すること、さらに路床土の凍結融解作用による支持力の変化に対して配慮する必要があるこ

とである。AASHTOでは季節による路床土の含水比の変化による支持力値を年間にわたって合成する係数として有効レジリエント係数を導入している¹⁾。

しかし、我が国の場合は凍結深については考慮するものの路床土の支持力の季節変動についてはほとんど考慮していないのが実情である。

通常、環境条件としては、対象地域の温度条件について入力する。温度条件として時間別、日別、月別、季節別、年間の頻度分布などさまざまな整理方法が考えられる。

例えば、温度条件として月別の平均値を考える場合は、温度条件 $k=12$ として月別の平均値を入力する。

5) その他⑤

他の入力条件とは異なり、各条件のバラツキや施工上の拘束などその他の制約条件を包含したものであることを考慮したものである。

(2) 舗装構成の仮定と構造解析

入力条件をもとに舗装構成を仮定し、その仮定断面に対して構造解析を行う。

1) 舗装構成の仮定⑥

対象とする道路の諸条件を十分に考慮して舗装の構成を仮定する。考慮する要件として掘削可能深さ、使用可能な材料、表・基層の最小厚さ、上層及び下層路盤の構成比などがある。

2) 構造解析⑦

これまでに定められた入力条件や仮定断面の任意の箇所における応力、ひずみあるいは変位量を計算する。計算理論としては多層弾性理論が一般的に適用されるが一部アスファルト混合物層の挙動解析には粘弾性理論が適用される。これらの計算は電子計算機を利用するための様々のプログラムが開発されている⁸⁾。

ここでは、破壊規準に必要な因子として荷重直下のアスファルト混合物下面の引張りひずみと路床面の圧縮ひずみを計算する。

(3) 破損解析・破損推定モデルと破壊規準

1) 破損解析・破損推定モデル設定⑧

交通荷重やその他の外力によって舗装が破損していく過程を推定するモデルを設定する必要がある。そのモデルを用いてわだち掘れや疲労ひびわれの進行を発生応力やひびわれの関数として表示する。すなわち、構造解析で求めた応力やひずみからわだち掘れやひびわれに対するダメージの程度を推定する。それには、それぞれの破壊に対応するサブプログラムが準備されていないと行けない。ここが理論的な設計方法の実

用性を高める上で最も重要なプロセスである。理論的な構造設計プログラムのDAMA⁹⁾、VESYS¹⁰⁾、SAMP¹¹⁾などにはそれぞれこれらのサブプログラムが組み込まれている。とくに、VESYSでは T_A 設計法の破壊規準であるPSIを推定し破壊規準としているので我が国にとっても大いに参考となるものと考えられる。

2) 破壊規準の設定⑨

理論的な設計手法の導入に当たって最も重要でクリティカルな課題として破壊規準の設定があげられる。舗装の任意の位置に発生する応力やひずみに対する層を構成する材料の抵抗特性によって破壊規準が設定される。その設定にあたってはさまざまな実験による検証が不可欠となる。諸外国の例をみると、AASHTO道路試験の解析結果を基にした、アスファルト混合物層下面における曲げ疲労破壊や路床上面の垂直ひずみ等を対象として規準値を設定していることが多い。いずれにしても舗装の破損形態に則した破壊規準の設定が理論的設計方法の基本となることに留意する必要がある。

ここでは、破壊規準として多く利用されているアメリカアスファルト協会の規準⁹⁾を図-3に示す。縦軸には発生するひずみを横軸には破壊に至までの標準荷重(我が国では5tf輪荷重)の載荷回数が与えられている。

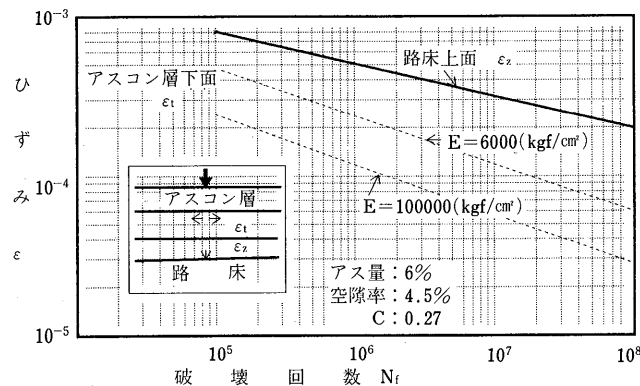


図-3 ひずみと破壊回数

アスファルト混合物層の疲労クラックには(6)式が全層圧縮によるわだち掘れに(7)式が適用される。図中では、(6)式は点線で弾性係数が6000と100000kgf/cm²について、また(7)式は実線で示してある。

$$N_{fA} = 8.108 \cdot 10^{-3} \cdot 10^M (1/\epsilon_t)^{3.291} \cdot E_A^{-0.854} \dots \dots \dots (6)$$

ここで、 N_{fA} : 破壊回数

ϵ_t : アスファルト混合物層下面の引張りひずみ

E_A : アスファルト混合物の弾性係数
(kgf/cm²)

M : アスファルト混合物の空隙率 (V_v)
とアスファルト量 (V_b) の関数

$$M = 4.84(V_b / (V_v + V_b) - 0.69)$$

$$N_{fs} = 1.365 \cdot 10^{-9} \cdot (1/\epsilon_z)^{4.477} \dots \dots \dots (7)$$

ここで, N_{fs} : 破壊回数

ϵ_z : 路床面の圧縮ひずみ

(4) 破壊回数の推定と力学評価

1) 破壊回数の推定⑩

構造解析⑦で求められたひずみや応力に対する許容回数を求める。ここで示す例は⑨で設定した規準(図-3)と構造解析で求めたアスファルト混合物層下面の引張りひずみと路床面の圧縮ひずみからそれぞれの弾性係数に対する破壊回数を推定する。弾性係数は環境条件で入力された温度条件に対するアスファルト混合物の弾性係数に対応するものである。

2) 力学評価⑪

仮定した断面の破壊回数が交通条件から求められる設計期間内の繰り返し載荷回数以上であるか否かについて検討する。環境条件による舗装の温度変化に対するアスファルト混合物層の弾性係数の変化に対する疲労寿命の検討にはマイナー則¹²⁾が利用されることが多い。マイナー則の適用例は表-3に示すとおりである。温度条件 t_i に対して弾性係数 E_{Ai} としたときのひずみ ϵ_i から破壊回数 N_{fi} を求めこれに対して交通条件から実際に載荷する5tf換算輪数との比からダメージを推定する。温度条件が $k=12$ であれば i を12回繰り返すこととなる。そして $\sum N_i / N_{fi} > 1$ ならば舗装構成を再検討する。 $\sum N_i / N_{fi} > 1$ となれば、力学的評価を満足したものと採用断面の候補とする。

表-3 温度条件とダメージ

温度条件	アスコンの弾性係数	検討対象のひずみ	破壊回数	5tf換算載荷輪数	回数比
t_i	E_{Ai}	ϵ_i	N_{fi}	N_i	N_i / N_{fi}

以上が理論的設計方法で仮定断面に対する力学的評価までのプロセスである。実際には図-1の後段に示すようにライフサイクルの推定を行うとともに舗装に関係する様々な費用であるライフサイクルコストを計算する必要がある。そして、多くの設計案から最も費用の最小となる構造を採用することになる。

さらに、ここで採用された設計断面はデータベース化し維持補修計画の立案などに活用することとなる。

4. あとがき

舗装構造の設計に多層弾性理論が利用されことは目新しいことではない。アスファルト舗装においてもバーミスターが2層体に円形等分布荷重が載荷した場合の表面中心軸上における変位量の解析結果を1943年に発表¹⁴⁾して以来舗装へ応用されてきている。

しかし、本格的に多層弾性理論が舗装の挙動解析に使用されるようになったのは電子計算機の発達した1970年代に入ってからである。アスファルト舗装構造の理論的な設計法としては、米国アスファルト協会¹²⁾、シェール・インタナショナル¹⁵⁾等があげられる。

我が国においては、設計法としてよりもたわみ量からの構造解析等に利用されことは多いが構造設計に用いられることは少ない。アスファルト舗装要綱においてもサンドイッチ工法を経験的に定めた断面との荷重分散の検証に利用した例があるのみである。これは、入力定数の設定が不明確なことで破壊規準が開発されていないことが主原因と考えられる。しかし、理論的な設計方法の導入は先に述べたように多くの利点をもつものであり、今後更なる普及が望まれる。また、舗装構造の設計のみならず舗装の運用管理においてもより論理性を高めることが肝要と考えられる。

分科会においても破損モデルの構築や破壊規準の開発に努力する所存であるので、諸兄の貴重なご意見を頂ければ幸いである。

— 参考文献 —

- 1) AASHTO, "AASHTO GUIDE for DESIGN of PAVEMENT STRUCTURES", 1986.
- 2) 文 洪得, "韓国の代表的な路床土の回復弾性特性", 第2回 日・韓建設技術セミナー論文集, 1991.
- 3) W.Heukelom and A.J.G.Klomp, "Dymnic Testing as a Means of Controlling Pavement during and after Construction", Proceedings of the First I.C.S.D.A.P, 1962.
- 4) K.Himeno, T.Maruyama, N.ABE, M.Hayashi, "The Use of FWD Deflection Data in Mechanistic Analysis of Flexible Pavement", 3rd BCRA, 1990.
- 5) 峰岸, 金井, 村山, "交通荷重の測定とその利用", アスファルト, Vol.33, No.165, 1990.
- 6) W.Heukelom and A.J.G.Klomp, "Road Design and Dynamic Loading", AAPT, 1964.

- 7) 伊藤, 伊佐, 安崎, "舗装用材料の弾性係数推定法の比較", 土木学会第46回年次学術講演会, 1991.
- 8) 姫野賢治, "パソコンによる舗装の多層弾性構造解析", アスファルト, Vol.32, No.161, 1989.
- 9) 阿部 (忠), 田中, "アスファルト舗装の寿命予測～コンピュータ・プログラムDAMA", アスファルト, Vol.29, No.149, 1986.
- 10) 阿部忠行, "アスファルト舗装の構造設計における最近の動向(5) 舗装設計システム-VESYSIIMについて", アスファルト, Vol.22, No.118, 1979.
- 11) 竹田敏憲, "舗装管理システムについてSAMP-5", アスファルト, Vol.23, No.126, 1981.
- 12) M.A.Miner, "Cumulative Damage in Fatigue", J.Appl, Meck, 12 (1945) A-159.
- 13) Burmister, D.M. "The Theory of Stress and Displacements in Layered Systems and Application to the Design of Runways", Proc. HRB.Vol. 23, 1943.
- 14) The Asphalt Institute, "Thickness Design Asphalt Pavements for Highways and Streets", Manual Series No.1 (MS-1), 1981.
- 15) Shell International Petroleum Company, "Shell Pavement Design Manual", 1978.

☆1991年版発行のお知らせ☆

皆様からご好評をいただいている下記出版物は、
毎年改訂発行しております。
ただいま発売中です。

日本アスファルト協会・発行

『アスファルト・ポケットブック』 1991年版

ポケットブック版・表紙ビニール製・本文72ページ・実費価額 1部 800円(送料実費は申込者負担)
ハガキにてお申込み下さい。

主 な 内 容

- | | |
|---------------------|--------------|
| ○石油アスファルトの生産実績 | ○昭和61年度の道路予算 |
| ○石油アスファルトの需要推移 | ○道路の現況 |
| ○石油アスファルトの需要見通し | ○道路整備5ヵ年計画 |
| ○石油アスファルトの製造及び流通 | ○参考資料 |
| ○石油アスファルトの生産場所及び油槽所 | ○石油供給計画 |
| ○石油アスファルトの製造原油 | ○主要諸国の道路事情 |
| ○石油アスファルトの品質規格 | ○データシート |
| ○石油アスファルトの用途 | ○住所録 |
| ○石油アスファルトの価格 | ○会員名簿 |
| ○道路投資額と石油アスファルト需要 | ○関連官庁・関連団体 |

景観を加味した歩行者系舗装材料

永 田 順一郎*

1. はじめに

近年、道路舗装に求められるニーズは、人が歩き車が走行する条件に適した力学的性質ばかりではなく、景観との調和あるいは高い演出性が必要とされるなど、多様化・高度化してきている。

昭和61年（財）土木研究センター内に、舗装新材料研究会が設立された。当研究会では、国内外の文献及びアンケート調査、有識者の意見などをもとに、舗装に関するニーズ、舗装材料の技術動向を調査し¹⁾、この調査結果を基に、歩行感が良好で弾力性や安全性、透水機能を有する歩行者系カラー舗装材料に着目して、新しい景観舗装材料の研究開発を進めてきた。

一般に、ゴムチップを樹脂バインダーで結合した弾力性舗装は、スポーツ施設などに使用されているが、歩行者系舗装材料としては柔かすぎて長時間の歩行では疲れ易いなどの問題があり、一方、セメント系舗装などの舗装では、硬いため足膝への負担がかかりジョギングや長時間の歩行に適当でなく、かつ転倒時、特に高齢者の場合には、重傷事故へつながる等の問題もある。

ここでは、当研究会が行ってきた舗装材料に関する技術動向調査、道路舗装に関するニーズ調査の結果および弾力性、安全性、透水性を有する歩行者系カラー舗装新材料の室内試験から試験施工に至るまでの開発経緯について報告する。

2. 舗装材料に関する技術動向調査

2.1 調査方法

国内における雑誌、書籍等は、1981～1987年に発行

された①道路 ②都市計画 ③公園緑地 ④建築 ⑤スポーツ・運動 ⑥自転車 ⑦自動車 ⑧警察 ⑨運輸 ⑩その他（新聞・雑誌・レジャー等）の59種類から抽出された483件に対して行った。

海外における道路の変遷および材料の利用方法は、1981～1986年のJICST（日本科学技術情報センター）の抄録された574件に対して行った。

先端技術および新材料と舗装に関する調査は、「新素材便覧」（通産資料調査会）等を利用して調査した。

2.2 国内における雑誌・書籍等の調査結果および考察

舗装材料について記述している文献は、道路および舗装関係で約85%とほとんどを占めていた。

文献内容は、図-1より、舗装の機能が約50%を占めていた。

バインダーの種類は、車道では瀝青質、セメント、高分子系が、歩道では各種のバインダーが用いられている。

車道を対象とした舗装のニーズは、耐摩耗と耐流動が圧倒的で、その手段としてアスファルトの改質が行われている。

歩道対象ではアメニティを主眼点に研究されているものが多く、その材料もバラエティに富んでいる。

2.3 海外における道路の変遷および考察

文献の内容は、道路行政、安全対策、道路景観、舗装の機能に関するものの順に多く、各国とも多くの問題を解決していかなければならない状況にある。

歩行者系道路のニーズは、歩き易さ、安全性、景観、快適性が主として挙げられていた。

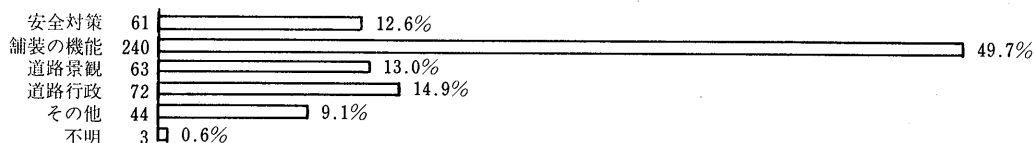


図-1 国内文献内容

*ながた じゅんいちろう 財団法人土木研究センター舗装新材料研究会

道路舗装の変遷は、各時代、各国における政策、交通事情、経済社会情勢、道路環境の問題と密接に関係しており、時代の要請を先取りした舗装材料の開発が望まれている。

2.4 先端技術および舗装新材料に関する調査結果および考察

現状では、新素材の応用例は少ないが、高機能性高分子材料、ファインセラミックス、新金素材料、複合材料等は、特色ある機能が期待できる。

舗装への多様化するニーズ、高機能化、高耐久化等の要求を満足するには、従来の舗装材料で対応するには限界があり、新しい舗装材料の開発を推進する必要があるが、コストパフォーマンスが優れていれば、コストアップは容認されるものと考えられる。

3. 道路舗装に関するニーズ調査

3.1 調査対象者

調査対象者は本研究会の所属する企業の従業員ならびに家族(2000名)を対象とし、地域は東北・北海道(10%)、関東・甲信越(25%)、中部・北陸(15%)、近畿(20%)、中国(10%)、四国(10%)、九州(10%)、の7ブロック、年代は20歳未満(20%)、20~40歳(40%)、40~60歳(30%)、60歳以上(10%)、性別は男(50%)、女(50%)、である。

3.2 アンケートの内容

アンケートの内容は道路に対する関心度、関心の高い道路、道路の整備状況、道路整備の復元順位、道路の安全性、歩道を利用する時の不満、履き物の種類、歩きやすい歩道舗装の種類、歩道の舗装の色等がわかる内容になっている。

3.3 調査結果および考察

道路に対する関心は非常に高く、約73%の人が関心があると答えており、その対象は、歩道が32%、車道が29%と歩く箇所に利用者の関心が高い。

道路の整備状況は、約50%以上の人が遅れていると考えており、特に歩道の整備が急がれている。

道路整備の優先順位は、歩道、車道、自転車道、生活道路、公園、遊歩道の順であり、歩道の安全性に関しては、約70%の人が安全とは思っていない。

利用者が歩きやすい歩道舗装は、図-2より、アスファルト系(アスファルト、透水アスファルト)が、約35%と高い支持を示した。

道路に関する要望は、図-3より、歩道舗装の機能、安全対策に関するものが高く、歩道舗装では、ノンスリップ性、透水性、弾力性に対する要望が多かった。

以上の結果より当研究会は、歩行感が良好で弾力性や安全性、透水機能を有する歩行者系舗装材料に着目し、研究開発を実施した。

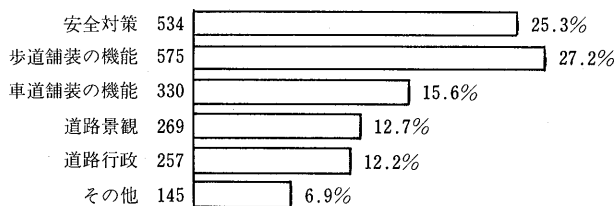


図-3 道路に関する要望

4. 試作品の特性評価

4.1 試作品の材料選定と構造

バインダーは弾力性、作業性の面から一液型の湿気硬化ウレタン樹脂を使用し、フィラーはEPDMゴムチップとセラミックを使用した。

表-1に試作品として使用した材料の内容を示す。施工方法、舗装混合物および基盤材は次のとおりである。

(1)表層：エチレンプロピレンゴム(EPDM)とセラミック(球状)の樹脂モルタル混合物

(2)基盤：透水性のあるコンクリートブロック(形状：

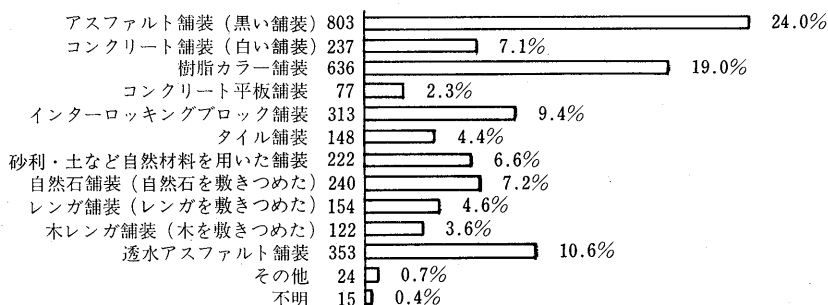


図-2 歩きやすい歩道区分

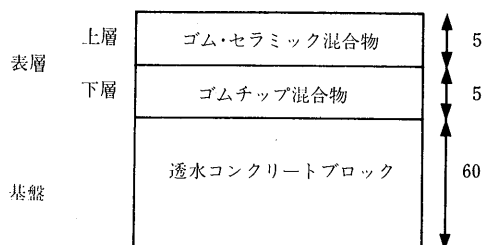
表－１ 試作品の使用材料

材料の名称		材料の内容			
バインダー		一液湿気硬化型ウレタン			
EPDM ゴム チップ	①	硬度	63	粒 径	1.0～3.0
	②		57		1.3～3.3
セラミック		球状	mm	0.5～3.0	
透水基盤				透水性コンクリートブロック	

300×300×60mm)

ただし、試作品の表層は、舗装混合物を金属金型に注入し、150℃×10分で加熱プレス成型し、透水係数が 10^{-2}cm/sec 以上を満足するものを作成し、コンクリートブロックに接着剤で張り付けたものを試験体とした。

試作品は良好な歩行感を得るために、①表層を単独でゴムチップとセラミックの混合物で仕上げるタイプ(単層 10mm)と、図－４に示すように②表層を上下２



図－４ 試作品の概略（複層）（mm）

層に分け下層にゴムチップ層を、その上に、ゴムチップとセラミックを併用した混合物の層を設けたタイプ（複層）などを検討し、それぞれ、ゴムチップとセラミック比やその厚さを変化させた配合で作製した。

4.2 試作品の特性評価

試作品の歩行感や安全性の評価として、東京工業大学 工学部 小野教授が提案されている、歩行時の床のかたさ試験、転倒衝突時の床のかたさ試験、建築物床のすべり試験を行った²⁾。

また従来から舗装材料で一般に実施されているSB（スチールボール）、GB（ゴルフボール）反発試験やBPNすべり抵抗試験、圧縮試験についても検討を行った。圧縮試験は試作品の上を人間が歩行した際に最大1mmの変形を受けると仮定し、1mm変形時の圧縮強度（1mm/min、60mm径）を測定した。

試験結果を表－２に示す。

これから、以下の事柄が判明した。

- (1) 単層・複層とも同じ厚さでは、ゴムチップ量が増加する程、歩行時のかたさが増加し、逆に転倒時のかたさは減少する。
- (2) SB係数はゴムチップ量が増加するにつれて大きくなり、逆にGB係数や圧縮強度は小さくなる。(図－５)
- (3) ゴムチップ単層の比較では、厚さが厚いほど歩行時のかたさ、SB、GB係数、圧縮強度は小さくなり、転倒時のかたさは大きくなる。

表－２ 試作品の内容とその性状結果

試 料 No	試 料 名 称	表層厚 mm	表層の 層構成		ゴムチップの 容積割合%		ゴ ム 種	小野式試験			一般試験				
			単	複	上層	下層		かたさ試験G		すべり抵抗	BPN式すべり		反発%		1mm圧縮 時の強度 kgf/cm ²
								歩行時	転倒時		泥水時	乾燥	湿潤	SB	
1	単0	10	○		0	—	①	－0.081	135.6	0.797	80	62	7	55	測定不能
2	複0	10		○	0	100		－0.078	131.8	0.812	83	63	16	43	15.6
3	単25	10	○		25	—		－0.146	130.2	0.819	94	54	5	51	測定不能
4	複25	10		○	25	100		－0.026	98.3	0.795	87	55	20	34	13.1
5	単50	10	○		50	—		－0.106	108.7	0.848	67	50	14	38	22.6
6	複50C	15	○		50	—		－0.014	111.0	0.765	73	45	7	37	47.7
7	単50A	5	○		50	—		－0.028	106.0	0.919	91	48	15	32	16.7
8	複50	10		○	50	100		－0.009	94.0	0.824	87	50	19	33	8.3
⑨	単75	10	○		75	—		0.008	93.4	0.853	85	44	21	33	9.3
10	複75	10		○	75	100		0.070	92.9	0.846	83	55	25	33	5.7
11	単100	10	○		100	—		0.252	91.3	0.757	93	49	31	35	4.8
12	複100C	15	○		100	—		0.165	107.2	0.769	75	50	23	33	9.9
13	単100A	5	○		100	—		0.266	73.0	0.917	80	43	33	38	3.4
14	複A	20		○	0	50		－0.142	134.1	0.816	79	53	8	51	測定不能
15	ゴム硬度	10	○		50	—	②	0.177	87.4	0.791	81	44	30	34	4.5

(注) 測定不能：1mm圧縮以前に破壊

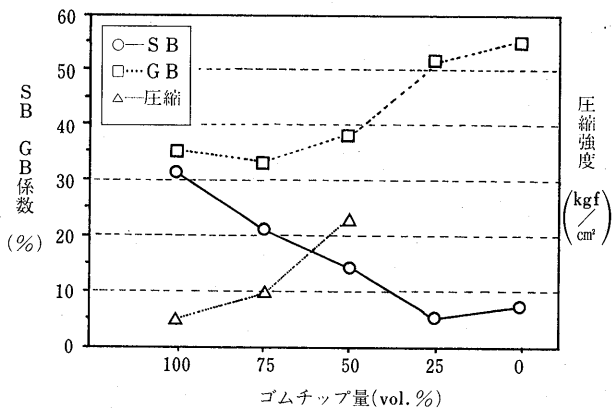


図-5 ゴム量とSB, GB, 圧縮強度の関係
(表層厚10mm)

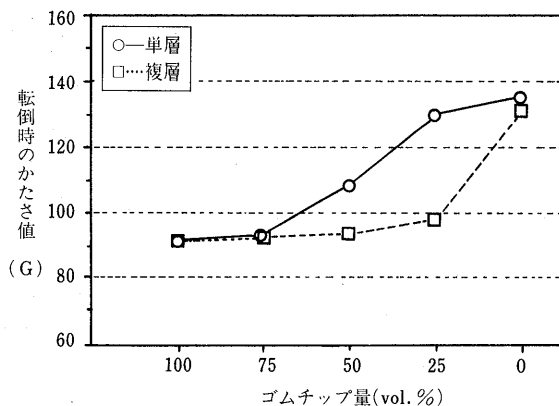


図-6 ゴム量と転倒時のかたさ値の関係
(表層厚10mm)

(4) ゴムチップの硬度の比較では、硬度値の小さい方が歩行時のかたさや圧縮強度が小さくなる。

(5) 一般にこの系の材料ではBPN式すべり抵抗は、乾燥時で65以上、湿潤時で40以上となる。また、泥水時のすべり摩擦係数は、すべて0.7~0.8の範囲に入っている。

5. 開発品の目標特性値の設定

以上の結果から開発品である歩行者系舗装材料の目標とする特性値を以下のとおりを設定した。

- (1) 歩行時のかたさは0以上とする。
- (2) 転倒時のかたさは安全性から100G以下とする。
- (3) 泥水時のすべり摩擦係数は0.6以上とする。
- (4) 透水係数は 10^{-2} cm/sec以上とする。

歩行時のかたさについては、小野教授の資料²⁾から歩行者に好まれる弾力性の共通範囲は0.5~1.0前後と言われているが、アスファルト混合物やコンクリートは0.5~0.3であり、今回設定した目標値でも充分軟らかさを確保できる。

開発品の特徴は、転倒時における安全性である。すなわち、アスファルト混合物やコンクリート等の通常の舗装体が130~150Gの範囲であるのに対し、ゴム・セラミックはその混合比により100G以下に調整できる。(図-6)

この(1)~(4)の性状を全て満足する試作品は試料No.10の単75であった。複層タイプの中には(1)~(3)を満足するものもあったが、工場生産性が悪く、透水性能が劣ることから今後の検討課題とした。

6. 試験施工および特性評価

平成3年3月に土木研究所の屋外暴露場の歩道において10m²ずつ試験施工を実施した。

開発品として試料No.10の単75の工場製造タイプと現場施工タイプを、比較品として既存の弾性舗装材およびインターロッキングブロック、アスファルト混合物などの各種のカラー舗装材料を施工した。さらにこれらの材料についても試作品と同様な各種試験を実施した。その試験施工内容とその性状結果を表-3にその舗装構成を図-7に示す。

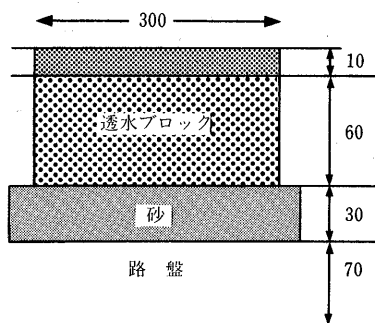


図-7 開発品の舗装構成 (mm)

開発品である試料No.16の単75(工場製造タイプ)もNo.17の単75(現場施工タイプ)ともに、目標物性を満足し、定水位による透水係数も 2.61×10^{-2} cm/secと透水機能も満足した。

7. 各種舗装材料の特数値に関する考察

7.1 小野式試験のかたさと一般試験との関係

表-2, 3の歩行時および転倒時のかたさとSB, GB係数, 圧縮試験との関連性を検討した結果、以下の事柄が判明した。

表－３ 試験施工内容とその性状結果

試料 No	試料 名 称	試験施工品 の内容	色 彩	小野式試験			一般試験				
				かたさ試験 G		すべり抵抗 泥水時	BPN式すべり		反発%		1mm圧縮 時の強度 kgf/cm ²
				歩行時	転倒時		乾燥	湿潤	SB	CB	
⑬	単75 試作品	単75(①)の 工場製造品	赤、グレー	0.018	90.9	0.637	81	54	25	38	9.2
⑰	単75 現場施工	単75(①)の 現場施工型	グレー	0.001	90.9	0.637	89	44	30	38	6.3
18	ゴムチップ ウレタン	単100(①)の 現場施工型	グレー	0.193	81.6	0.652	98	51	42	47	3.5
19	ゴムブロック	単100(②) 工場製造品	赤	0.410	64.8	0.665	107	54	51	58	2.5
20	セラミック ウレタン	単0の現場施工型	グレー	-0.494	145.0	0.628	91	35	2	59	測定不能
21	透水基板	透水性コンク リートブロック	グレー	-0.489	149.8	0.645	88	80	11	64	測定不能
22	透水ブロック	砕石＋エポキシ、 平面カッティング	黒系	-0.480	141.0	0.578	77	30	3	61	測定不能
23	自然色舗装	緑系自然石＋ エポキシ	緑系	-0.225	134.8	0.714	97	44	1	56	測定不能
24	インターロッキ ングブロック		赤と黄	-0.367	149.6	0.572	84	60	9	62	測定不能
25	開粒度アスコン		黒	-0.351	146.4	0.721	72	68	1	61	26.9
26	密粒度アスコン		黒	-0.308	133.0	0.582	87	64	3	63	26.9
27	セメント コンクリート		グレー				63	61	11	62	測定不能

(注) 測定不能：1mm圧縮以前に破壊

(1) 歩行時，または転倒時のかたさとSB係数とは高い
相関関係にある。(表－４，図－８)

表－４ 歩行時および転倒時のかたさとSB係数の相関関係

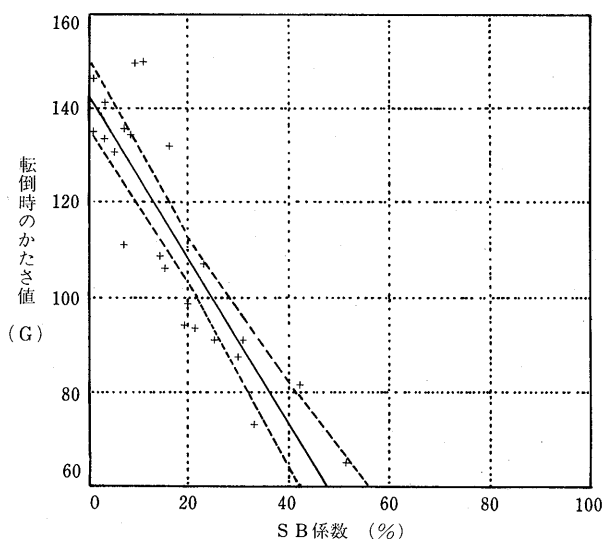
試験項目	一次相関式	相関係数R	F検定
歩行時のかたさ	$0.015 \times (SB) - 0.30$	0.813	1%
転倒時のかたさ	$-1.73 \times (SB) + 142$	-0.894	1%

(2) 研究会が設定した歩行者系舗装材料の歩行時のかたさが0以上，転倒時の硬さ100以下という特数値に対して，一般試験では， $20 \leq SB \text{係数} \leq 24$ となり，この範囲あたりに，歩行者が良好な歩行感を享受でき，かつ転倒時での安全性を確保できる一つの指標があるものと考えられている。

(3) 重相関分析より，歩行時または転倒時のかたさの説明変量として，それぞれSB係数と圧縮強度，SBとGB係数の因子が強く，なかでもSB係数が与える影響が大きい。(表－５)

7.2 各種舗装材料のSB係数とGB係数の関係

日本体育施設協会の「屋外体育施設の建設指針で示



図－８ SB係数と転倒時のかたさ値の散布状況

されているようなSBとGB係数の図に各種舗装材料のデータをあてはめてみた。(図－９)

試験施工を行った既存の舗装材料はゴム系(試料No.18, 19)とエポキシ，コンクリート，アスファルト

表-5 歩行時および転倒時のかたさと各特性値との重相関関係

試験項目	重 相 関 式	重係数 R^2
歩行時のかたさ	$1.164 \times 10^{-2} (SB) + 2.796 \times 10^{-3} (\text{圧縮}) - 2.401 \times 10^{-1}$	0.875
転倒時のかたさ	$-1.410 (SB) + 7.785 \times 10^{-1} (GB) + 1.014 \times 10^2$	0.949

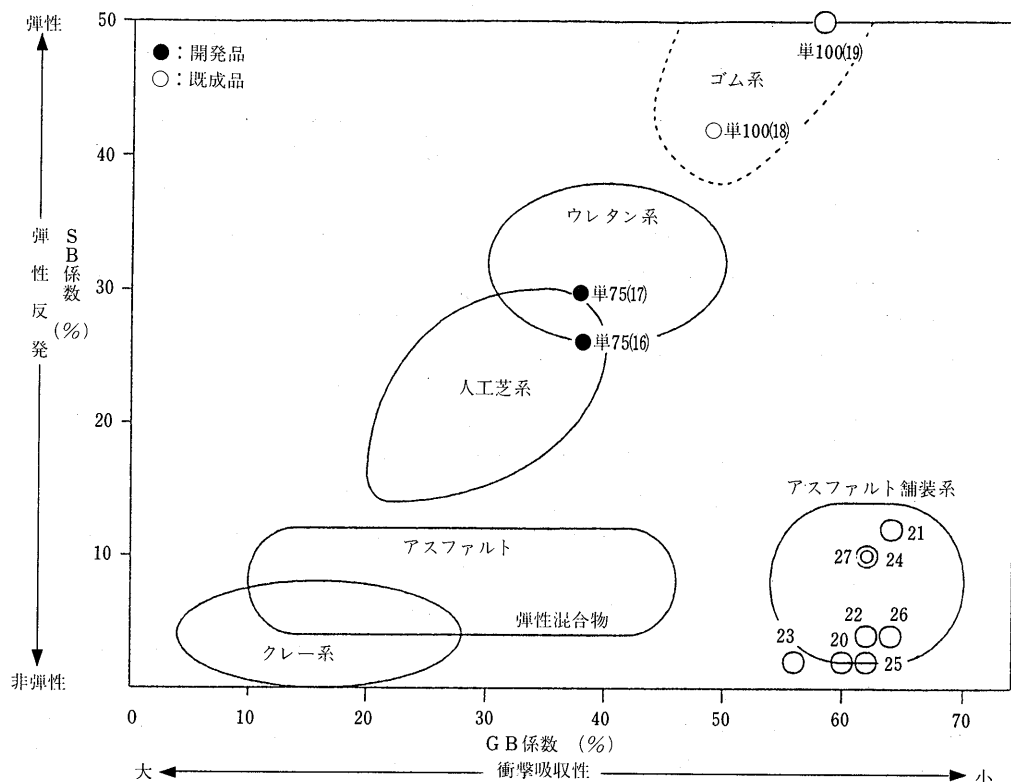


図-9 各種舗装材料のSBとGB係数の関係

系（試料No20～27）に大別される。

今回の開発品であるNo16の単75（工場製造タイプ）とNo17の単75（現場施工タイプ）は弾力反発性（SB）で既存品の中間に、衝撃吸収性（GB）で両者よりも大きいところに位置しており、歩行時に疲れにくく、歩きやすい舗装材料であり、人工芝系に類似している。

8. おわりに

近年、歩行者系道路も単なる着色だけでなく、適切な弾力性、透水性、安全性などの付加機能も要求されてきている。このような状況を踏まえて、当研究会ではそれらのニーズに対応した舗装材料の研究開発を行い、一応開発目標値を満足するものが得られた。

今後は、試験施工したものについて供用性評価や、歩行感、色の好みなどのアンケート調査および解析を行うとともに、規格化商品の安定供給や施工性を加味した工場製造品の実用化に向いての研究を進め、歩行

者系舗装材料の規準値等が提案できれば幸である。

参考文献

- 1) 財土木研究センター 舗装新材料研究会：舗装新材料に関する報告書、1988/9
- 2) 小野英哲 スポーツサーフェイスのすべりの評価方法に関する研究他 日本建築学会論文報告集 321号、1982/10、358号、1985/12、373号、1987/3、396号、1989/2
- 3) 財日本体育施設協会 屋外体育施設部会「屋外体育施設の建設指針」

アスファルトコンクリート舗装の合理化

福田 実*

1. 概要

日本国内における道路の実延長は111万kmで、舗装率は一般国道：約98%，都道府県道：約92%，市町村道：約63%となっており、道路整備は確実に進展してきている。また、一般国道における舗装別の割合はアスファルト系舗装：81%，セメント系舗装：4%，簡易舗装等：15%となっている。

このようにわが国のアスファルト舗装は施工性、経済性、維持・管理の容易性に加え、道路を利用する車両等の走行上からの安全性、快適性によりその特性が認められ急速に進展し、道路整備の重要な担い手となっている。一方、最近の建設事業は一般労働者の不足と高齢化に加えて技能熟練工等の不足、さらに若年労働者の減少が大きな問題となっており、特に国内の生活基盤を支える道路整備事業では尚更である。

これらの道路をとりまく労働力のきびしい環境のなかで、舗装工事の現状は、施工の機械化が促進されてきた割には一般労働者や熟練者に依存する要素が多く残されており、施工機械の自動化、ロボット化が提唱され強く望まれている。

今回は、これらの社会的な背景のもとで（財）先端

建設技術センター内に設置された「建設ロボット研究会：舗装分科会」及び建設省土木研究所・舗装研究室と共同研究開発として発足した「総合技術開発プロジェクト：舗装における合理化施工技術の開発に関する研究」の討議、研究内容に基づきアスファルトコンクリート舗装の施工における合理化（自動化、ロボット化）について記述する。

2. アスファルト舗装の現状

2.1 新設（改築）工事

新設（改築）舗装は道路舗装構造を道路構造令およびアスファルト舗装要綱等に基づき検討するが、地域の特性を考慮して全体の構造が決定される。

新設舗装の施工方法は路床工から表層舗装工まで一連の作業として施工する。なお、施工手順と主な使用機械をまとめると表－1に示すとおりである。

2.2 修繕工事

アスファルト舗装の修繕は次のように各工種に分類される。

（1）路面被覆（オーバーレイ）

路面被覆は、既設舗装のアスファルト舗装又はコン

表－1 アスファルト舗装の新設工法

作業内容	主な使用機械
路床整正	グレーダ、ローラ（タイヤ、スチール）
下層路盤工（クラッシャーラン）	ダンプトラック、ブルドーザ、グレーダ、ローラ（タイヤ、スチール、振動）
上層路盤工 （1）粒調砕石	ダンプトラック、ブルドーザ、グレーダ、ローラ（タイヤ、スチール、振動）
（2）As安定処理	ダンプトラック、アスファルトフィニッシャー、ローラ（タイヤ、スチール）
アスファルト舗装 （1）基層工 （中間層工：基層）	デストリビュータ、ダンプトラック、アスファルトフィニッシャー、ローラ（タイヤ、スチール）
（2）表層工	同 上

*ふくだ みのる 財団法人先端建設技術センター企画部長

クリート舗装に、アスファルトの表層、又は基層及び表層で路面被覆を施工する工法で、施工方法は新設舗装のアスファルト表層工と同様に施工する。

なお、既設舗装がコンクリート舗装の場合は注入工法（舗装版下にアスファルト等を注入し補強する）を併用して施工することが多い。

（注 層厚 3 cm 未満を維持の薄層舗装としている。）

（2）アスファルト舗装打換え（切削）

路面切削によるアスファルト舗装打換えは、表層又は表層および基層を切削し、アスファルト舗装（表層又は表層および基層）を施工する工法で、使用する機械により表-2に示す工法に分類される。

（3）アスファルト舗装打換え（全層打換え）

アスファルト舗装の全層打換えは表層、基層、上層路盤、下層路盤を掘削排除し路床を整正して舗装全体を新設する工法で、表-3に示す置換え工法が一般的である。

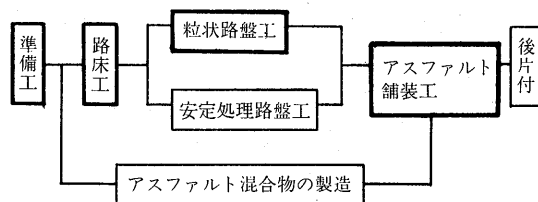


図-1 新設工法の工程

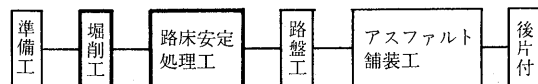


図-2 打換え工法の工程（修繕）

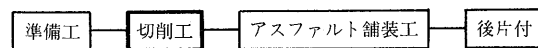


図-3 切削打換え工法の工程（修繕）

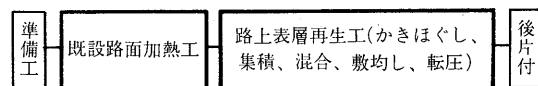


図-4 路上表層再生工法の工程（修繕）

3. 現状工法の分析と問題点

現状のアスファルト舗装における施工方法から施工機械の性能と組合せ、及び人力施工等について分析と問題点の抽出をおこない考察を加えて検討することとして、新設（改築）と修繕について図-1～4に示す一連の作業工程のなかからそれぞれ太枠の工種について検討を行った。

3.1 新設工法

3.1.1 調査及び分析

アスファルト舗装の新設工事を対象に工種別の作業区分について、作業手順を分析し結果を取りまとめる」と表-4となる。

表-2 アスファルト舗装打換え（切削）工法

工 法	作 業 内 容	主 な 使 用 機 械
切削オーバーレイ	既設アスファルト舗装切削 廃材（切削層）の搬出 アスファルト舗装（新設）	ロードカッター ロードフィーダ、ダンプトラック デストリビュータ アスファルトフィニッシャ ローラ（タイヤ、スチール）
路上表層再生 （リミックス方式）	（既設表層混合物（かきほぐし）+再生用添加材） +新規混合物=新規表層	再生用路面ヒータ、路上表層再生機 ローラ（タイヤ、スチール）、 ダンプトラック
路上表層再生 （リベープ方式）	（既設表層混合物（かきほぐし）-再生表層） +新規表層=新規表層（二層）	再生用路面ヒータ、路上表層再生機 ローラ（タイヤ、スチール）、 ダンプトラック

表-3 アスファルト舗装打換え（全層打換え）工法

工 法	作 業 内 容	主 な 使 用 機 械
置換え	As 舗装ハギ取り （表層、基層、As 安定） 路盤ハギ取り（上層：粒調、下層） 新規舗装（全層：路床～表層）	カッター、バックホー、 ダンプトラック、グレーダー デストリビュータ、 アスファルトフィニッシャ ローラ（タイヤ、スチール）

表－４ アスファルト舗装（新設）分析表

工 種	作業区分	内 容
路床工	作業手順	測量→測量杭設置→丁張の設置→モータグレーダ搬入→路床面かき起し→敷均し→敷均し高さの調整→ローラ搬入→路面締固め→仕上り高さの検測→路床の密度、含水量の測定
粒状路盤工	作業手順	路盤材搬入→モータグレーダ、ブルドーザの搬入→敷均し→路盤締固め→仕上り高さの検測→路盤の密度、含水量の測定
アスファルト舗装工	作業手順	デストリビュータ搬入→歴青材散布→養生→型枠搬入設置→（型枠設置高さの測量）→（センサーロープの設置）→アスファルトフィニッシャのセット、ローラ搬入→合材の搬入→敷均し→ローラ転圧→舗装路面の放冷→高さ、平坦性、厚さの測定→締固め度の測定

3.1.2 問題点の抽出と分析

各工種別の作業区分について現状の問題点を抽出し、分析した結果を取りまとめると表－５，６となる。

表－５ 作業員の作業内容と環境の問題点

工 種	項 目	内 容
路床工	安全性	不陸整正以後の作業は重機（ローラ）近接作業となり非常に危険である。
	苦渋性	単純なくり返しが多く、作業環境面では騒音、粉塵による苦渋性が高い。
粒状路盤工	安全性	各作業は重機近接作業となり非常に危険である。特にローラ転圧作業では事故が多い。
	苦渋性	機械による敷均しの補足として、作業員が必要であり、作業も単純なくり返しが多く、さらに作業環境面では騒音、粉塵による苦渋性が高い。
アスファルト舗装工	安全性	敷均し作業では、合材ダンプの後進時とローラ転圧時が特に危険で事故が多い。
	苦渋性	歴青材の散布では飛沫、飛散、汚れがひどく、敷均し作業では、重量物運搬、高温、油煙、単純なくり返しが多く苦渋性が高い。

3.2 修繕工法

3.2.1 調査及び分析

アスファルト舗装の修繕工事を対象に工種別の作業区分について、作業内容及び作業手順を分析し結果を取りまとめると表－７となる。

3.2.2 問題点の抽出と分析

各工種別の作業区分について現状の問題点を抽出し、分析した結果を取りまとめると表－８，９となる。

4. 施工合理化の検討

4.1 合理化の方向

アスファルト舗装施工の現状工法に対する分析及び

表－６ 施工上の技術的問題点

工 種	項 目	内 容
路床工	施工能率	①路面の形状、縦横断勾配、道路の線形によって施工能率が変化する。 ②構造物、マンホール周囲等がある場合は人力施工となるため施工能率が低下する。 ③現状の施工機械はオペレータの熟練度によって施工能率が変化する。
	環境対策	作業周囲等に施工機械の騒音、振動を与え苦情の元となる。
	品 質	オペレータの熟練度により左右されるとともに、締固めは施工中に確認ができず、確認も点測定で面的な測定管理ができない。
粒状路盤工	施工能率	①、②、③：同 上
	環境対策	同 上
	品 質	同 上
アスファルト舗装工	施工能率	①、②、③：同 上
	環境対策	作業周囲等に施工機械の騒音、振動、油煙悪臭等を与え苦情の元となる。とくに市街地では問題となる。
	品 質	品質確認が全て事後検査であり、舗装体の厚さ、密度等が施工中に確認ができず、確認も点測定で面的な測定管理ができない。

表－７ アスファルト舗装（修繕）分析表

工 種	作業区分	内 容
打換え工 掘削工	作業手順	舗装版の切断→バックホー搬入→破砕積込み→搬出（アスコン塊処理）→路盤掘削→仮置き→路床掘削→残土積込み→搬出→出来形の検測→施工記録写真撮影
路床安定 処理工	作業内容	路床整正→安定材散布→モータグレーダ搬入→混合→不陸整正→ローラ搬入→締固め→出来形の検測→施工記録写真撮影
切削打換え工 切削工	作業内容	切削量の表示（測量）→切削機搬入セット→切削→切削深さチェック→積込み機搬入セット→積込み搬出→路面清掃車搬入→清掃→切削深さ・幅の測定
路上表層 再生工	作業内容	既設路面清掃→再生用路面ヒータ・路上表層再生機搬入セット→新規合材搬入→既設路面加熱→（再生用添加材散布）→かきほぐし・集積・混合→敷均し→転圧→養生→解放

問題点の抽出により、多くの開発検討すべき事項が見出されたが、その主なものは①作業員の安全性、苦渋性、②作業環境の騒音、振動粉塵、③作業の効率化、等である。

これに対する合理化の方向として①施工の合理化：機械化施工、②施工機械の多機能化とロボット化、③作業工程の改善があり、その主要部分を「機械の開発」と「管理システム等の開発」に分類して取りまとめると次の各項になる。

表－ 8 作業員の作業内容と環境の問題点

工 種	項 目	内 容
打換え工 掘削工	安全性	掘削作業は重機近接作業であり、機械掘削後の細部掘削では人力施工を伴い、掘削面の崩壊などの危険性がある。
	苦渋性	人力の補助作業は、残土の小運搬など重量物の取扱いや、単調な作業のくり返しであり、作業環境は、騒音、振動、粉塵の発生する悪環境下での作業となり苦渋性が高い。
路床安定 処理工	安全性	重機近接作業が多く、異物処理、重機誘導、混合状況及び仕上り高さのチェック、細部処理、さらに安定材等の重量物の運搬など危険性の高い作業が多い。
	苦渋性	安定材（特に粉末）の取扱い時は粉塵の発生が多く、混合時には騒音、振動を伴い苦渋性が高い。
切削打換 え工 切削工	安全性	作業全般について、施工区域が各車線ごとの狭小部であり、多くの付帯施設や反対車線の交通に挟まれ、かつ大型施工機械に近接しての作業のため危険性が高い。
	苦渋性	各作業の大部分は重機に近接しているため騒音、振動、粉塵等の悪影響下での作業であり、さらに単純作業を長時間連続するため苦渋性が高い。
路上表層 再生工	安全性	既設路面を加熱するため火傷を負ったり、交通規制内での作業が多いため交通事故の危険に晒される。
	苦渋性	ヒータによる加熱を行うため高温下での作業であり、加熱時の油煙、騒音、振動を伴い苦渋性が高い。

(1) 機械の開発（省力化施工機械）

- ① オートレベリンググレーダ
- ② 高締固め型オートレベリング路盤フィニッシャ
- ③ 省熟練型ワンマンフィニッシャ
- ④ 高締固めフィニッシャ
- ⑤ ワンパス型厚層切削積込み機（切削、積込、清掃を1台で施工）
- ⑥ ワンパス型掘削積込み機（路床、路盤）
- ⑦ 高性能リミキサ（各作業装置の自動制御型）
- ⑧ 再生路面ヒータ（遠隔操作型）

(2) 管理システム等の開発

- ① 自動測量システムの開発（測量データのコンピュータ処理）
- ② ローラ締固めリアルタイム管理方式（管理機器の開発）
- ③ リアルタイム施工、出来型管理（管理機器の開発）

4.2 合理化に必要な要素技術

各工種の開発検討すべき施工機械及び管理システム等に必要の要素技術について「測量、測定」と「施工機械」に分類して取りまとめると次の各項になる。

表－ 9 施工上の技術的問題点

工 種	項 目	内 容
打換え工 掘削工	施工能率	①路面の形状、縦横断勾配、道路の線形によって施工能率が変化する。 ②構造物、マンホール周囲等有る場合は人力施工となるため施工能率が低下する。 ③施工面積が少ない場合は人力に依存する率が高く、非能率的である。 ④現状の施工機械はオペレータの熟練度によって施工能率が変化する。
	環境対策	作業周囲等に施工機械の騒音、振動、油煙悪臭等を与え苦情の元となる。とくに夜間作業や市街地では問題となる。
	品 質	掘削の精度はオペレータの技量によるところが多く、個人差が大きい。
	そ の 他	地下埋設物設置箇所の予知が困難の場合、掘削時に不注意により損傷、破損することがある。
	路床安定 処理工	
路床安定 処理工	施工能率	①混合時の作業能力は混合深さにより変化する。 ②混合速度、混合時間は施工深さや添加材の混合量によって変化するが、その判断は人間が行うため熟練度の高低により大きく変化する。
	環境対策	同 上
	品 質	安定処理の対象となる混合深さの管理、混合の均一性、安定処理材添加精度、締固めの均一性等に問題が生じる。
切削打換 え工 切削工	施工能率	①路面の形状、縦横断勾配、道路の線形によって施工能率が変化する。 ②構造物、マンホール周囲等有る場合は人力施工となるため施工能率が低下する。
	環境対策	同 上
	品 質	①出来形管理は単調作業のためルーズになり精度が低下する。 ②現状の施工機械では操作の熟練度により品質に差がでる。
路上表層 再生工	施工能率	①、②：同 上
	環境対策	同 上
	品 質	かきほぐし深さ、加熱温度、添加材の使用量等の各管理の良否によって、品質の良否が左右される。

(1) 測量、測定関係

- ① 測量技術
 - ・非接触式変位形測定
 - ・座標表示路面形状測定装置
 - ・レーザ測量システム
 - ・横断形状測定器（レーザスキャンニング）
 - ・レーザレベラー（高さ測定）
 - ・光波距離計（位置計測）
- ② 締固め度測定
 - ・R I 密度計

- ・コンパクションメーター
- ・インピーダンスヘッド落下法
- ・土質による固有振動
- ・電波レーダ法

③ 出来形測定

- ・地中レーダの利用
- ・敷均し厚，路盤不陸，平坦性測定装置
- ・切削深さチェックシステム

(2) 施工機械関係

① 敷均し，不陸整正（グレーダ，フィニッシャ）

- ・セルフローディング機構
- ・敷均し合材の自動供給システム
- ・エンドプレートの改良
- ・高密度サイドカットプレート
- ・カッティングブレードの切削抵抗の軽減
- ・オートレベリング路盤フィニッシャ
- ・自動高さ調節装置
- ・自動仕上がり高さ管理システム
- ・高締固めスクリーン
- ・端部処理装置
- ・ベースペーパー

② 締固め（ローラ）

- ・転圧軌跡の管理
- ・CDS（コンパクションドキュメントシステム）

高締固め振動転圧機構

- ・可変振動技術
- ・特殊端部（路肩含む）転圧装置

③ その他

- ・自動走行システム
- ・リモコン技術
- ・切削深さの自動コントロール装置
- ・強制冷却機
- ・気化熱の大きい養生剤
- ・施工管理データの保管
- ・検査データの自動作製

以上の各要素技術に開発技術の文献資料を加えて，今後の開発検討の資料とした。

4.3 合理化検討の構造

4.3.1 全体構造

アスファルト舗装道路の施工の合理化は①基礎資料の収集処理（データベース）②施工の合理化（測量システム）③機械施工の合理化と機械の開発④施工管理の見直し等，多くの検討と開発が必要であり，これらの検討事項は個々に検討するものではなく，一連のもの

のとして検討すべきものであり，かつ段階的に進めるものであると考えられる。

(1) 基礎資料の収集処理

道路の基本資料（基本多角測量，中心線，縦横断面測量，構造物の出来形，用地等）は工事の完成と共に整理されているが，特に用地→改良（土工）→舗装（路床～As表層）の各段階において位置の関係資料は明確にしておく必要があり，施工の合理化には欠くことのできない資料である。

(2) 施工の合理化

施工の合理化を図るには，作業する機械の位置決め（自機の位置的情報）が必要であり，その位置の確認によって基本資料と作業機械の施工すべき作業内容の照合あるいは検索が可能となり，施工の自動化，半自動化が可能となる。この自機の位置決め方法に，路側情報交換処理による自己制御方法と，作業機械の位置的情報をレーザ等を利用して追尾確認，あるいは無線誘導等によって確認し，作業機械を制御する中央処理制御方法（集中管理方式）が考えられる。

道路は線状の作業であることから当面の課題として，路側情報交換処理による施工システムを開発検討することとし，広域情報処理とも言うべきGPSの利用やレーザ灯台方式による移動体自動追尾の方法によるシステム開発については，次の段階での開発事項とした。

この路側情報交換処理による施工システムの概念は道路の両路側に受光器（バーコードをもつ標尺等）を適当な間隔に設置し，作業機械（発振器側）からの交信により位置決めして，中央処理装置との情報交換によって作業を実行する。

なお，このシステムは路床，路盤（下層，上層），As舗装（基層，表層）の各施工段階で共通の測量システムとなる。

(3) 合理化と機械の開発

アスファルト舗装道路を構築するのに必要な一連の建設機械とその合理化（自動化，ロボット化）についての対象機械は，「4.1(1) 機械の開発」のところであげているが，これらの機械に対する現状での開発状況と開発の検討は次の通りである。

1) オートレベリンググレーダ

レーザレベルを基準にしてブレードを自動制御する装置が開発され試行されている。

今後はこのシステムを機能アップさせると共にグレーダ操作そのものを自動化する方向で検討されると思われるが，作業の走行速度が早く，難しい問題が多い。

2) 自動転圧ローラ

転圧ローラは、施工する材料及び構造に応じて振動ローラ、スチールローラ、タイヤローラを使用する。

振動ローラは、オペレータにとって最も過酷な苦渋性の高い作業である。

自動化については、建設省関東地方建設局の宮ヶ瀬ダムにおけるRCDコンクリート締固め機械の自動群制御システムの開発が行われており、ダム本体工事に使用する予定とのことである。

(＊詳細については別途紹介があると思います)

スチールローラは、一般的に一番よく使用されるローラであるが、As安定処理及びAs舗装(基層、表層)では高締固めフィニッシャの開発により、スチールローラの施工を省略することが検討される。

タイヤローラは舗装(路床～As表層)の各層の仕上げの段階で使用されることが多く、品質管理は一般的に転圧回数によって管理されているが、同一面の転圧回数の過不足や転圧面(レーン)の重ねはオペレータの技量によるところが多く、また転圧回数のチェックは単調な作業のためルーズになりがちとなる。

現在は、ローラにマイコンを搭載し、転圧走行パターンを記憶装置にインプットして転圧距離、道路巾員及び通過回数等のデータから自動操舵に必要なデータを演算させ、発進停止及び車線変更の操舵を含めた自動転圧システムが開発され試行されている。

ただし、このシステムは緊急時及び誤差修正のための操作をオペレータが操作する必要がある。

今後の課題は、締固め密度の自動測定の開発検討と合わせて無人走行(ロボット化)を目処に検討することと思われるが、実務に使用するまでには種々の問題が生じてくるものと考えられる。

3) 多機能型スタビライザ

スタビライザによる路上再生路盤工法は、既設アスファルト舗装体を現位置で破碎、これを骨材として再利用すると共に、既設粒状路盤材料を添加材(セメント、アスファルト乳材、フォームドアスファルトなど)と混合して安定処理を行い路盤強度の増加を図るなど、舗装廃材処理の面からも有効な工法と言える。

今後の課題は、①添加材のロータ内直接供給と供給量の自動制御、②混合後の高締固め敷均し装置、③混合材の一部すき取り機構、④破碎能力のより一層の向上、⑤混合深さの自動制御、等の機能を検討し追加するとともに、各種センサーとコンピュータを用いたシステムにより施工精度の向上と運転操作の省熟練化を

目指すことが必要と考えられる。

4) 高締固めアスファルトフィニッシャ

高締固めアスファルトフィニッシャは、フィニッシャによる締固め能力の増加により品質を向上させると共に、その付加機能を活用することよりローラ転圧コンクリート舗装(RCCP)での敷均し機として使用されている。

また、アスファルト舗装では、ローラによる二次転圧が困難な急登坂道路や路肩成型機能を持たせ多層施工による急勾配の築堤工事等に用いられるなど今後の使用範囲はより広がって来ると考えられる。

しかし、従来よりアスファルト混合物の舗設は使用するバインダー(アスファルト及び必要により添加する添加材等)等により最適混合温度、最適敷均し転圧温度、が異なるとともに、「温度－転圧－密度－舗設厚さ」の関係は現場施工の仕上がりを左右するので、特に温度管理と締固め及び転圧力についての検討が必要となる。

今後の課題は、厚舗装から薄舗装までの施工に対応するための高締固め可能なスクリードとスクリュウの上下機構、スクリード面圧調整装置等の開発検討を進めるとともに、各種センサーとコンピュータを用いたシステムにより施工精度の向上と運転操作の省熟練化を図ることにある。

5) 省熟練型ワンマンフィニッシャ

省熟練型ワンマンフィニッシャの研究開発は、現在のアスファルト舗装を対象に、品質・施工管理基準等を現状の基準とした施工機械の機能及び施工体制(舗設作業)を分析し、オペレータ、スクリードマンおよび作業員の苦渋性の解除、安全性の確保と高齢化対策、さらに、省熟練化を目処として研究開発が進められている。

その開発構想は、アスファルトフィニッシャを主体とした舗設作業をビデオメモーション(IE手法の一つ)による現状分析及びエキスパートに対するアンケート等による調査、検討により開発コンセプトは、①作業員を削減でき、かつ安全なアスファルトフィニッシャ、②オペレータのワンマン化、③クリーンで快適な作業環境、を目指したアスファルトフィニッシャを開発すべく研究が進められている。

(注、この研究開発は建設省東北地方建設局と大手の舗装会社、製造会社及び(財)先端建設技術センターとの共同研究によって進められており、近々にその詳細について紹介があると思われます。)

6) 路上切削混合機等

路上切削混合機等による道路の舗装修繕は、ワンパス型、遠隔操作等、種々検討すべきことが多いと考えられるが、現状では使用機械の開発も最近であることから省略することにする。

7) 舗装の締固め度の管理システム

現状における締固め度管理は、路盤では砂置換法による密度の測定結果を基準としており、アスファルト混合物は切取供試体による密度を基準とするのが一般的である。

しかし、これらの測定方法は、堀り起こし、穴開け等何等かの破壊作業が伴うとともに労力、時間など多くの負担を要するのが実態である。

上記の測定方法は、いずれも現行の品質管理基準への適合を意図したものであり、測定値は単に品質管理データとして取り扱われ、締固め作業へのフィードバックがリアルタイムで行えない。

このため、締固めから品質管理に至る一連の作業を、リアルタイムで一体的に管理するシステムの測定方法として①インピーダンスヘッド方式、②CDS方式、③散乱型RI方式、の3方法を選定し、実用化に向けての研究開発が検討されている。

5. まとめ

わが国のアスファルト舗装は、概要でも述べたとおり、その特性が認められ急速に伸展し、道路整備の重要な担い手となっているのが現状であり、今後とも道路需要の増大に対応して進展するであろうことも疑問の余地がないと言える。しかし、最近における建設事業は労働者の不足と高齢化、が深刻な問題となってい

るのもまた事実である。

以上のようなことから今後の研究開発は、これからのアスファルト舗装工事における労働環境の改善、省力化、省熟練化、そして生産性の向上等を目処に、どのようにして合理化を図るべきなのか、また何を提案すべきなのかを調査検討し、現場に適した機械の開発と合理的な施工システムの開発を実施することとした。

平成3年度からは前述の3者による本格的な共同研究にはいり、当面の課題として、次の3項目を選定し「(財)日本測量調査技術協会」との技術協力、関係開発機関の現地視察等を積極的に行い研究を進めている。

① フィニッシャの敷均し厚の自動制御

フィニッシャに現在高及び敷均し厚のリアルタイム自動測定装置を開発して搭載し、オペレータが施工状況を把握しながら作業を行うことができるとともに、スクリードの自動調整によって敷均し厚を自動制御できるフィニッシャの開発を行う。

② フィニッシャの合材供給の自動制御

前工区の舗装厚、締固め度の非破壊測定装置を開発し、測定結果をフィードバックすることによって、オペレータが施工結果を把握しながら作業を行うことができるとともにフィーダ、スプレッドの自動制御によって合材供給量を自動制御できるフィニッシャの開発を行う。

③ ローラの締固め制御の合理化

アスファルト舗装工事の施工中に、締固め度を非破壊でかつ迅速に測定することによって、オペレータがリアルタイムで施工状況を把握しながら作業を行うことができるとともに、締固め度を自動制御することができるローラの開発を行う。

☆

☆

☆

☆

☆

☆

舗装機能の新しい評価方法

笠原 篤* 丸山 暉彦** 姫野 賢治***

はじめに

わが国の道路は、今日では111万にも及ぶ全国的な道路網を形成するに至り、計画段階にある一部の高規格幹線道路等を除き、ほぼ新設の時代から維持、修繕の時代へと移行しつつあるといえよう。このように、面的にも大きな広がりを持つ道路は、機能的にも旅客輸送や貨物輸送を担う本来の交通路としての役割だけではなく、都市構造を形作る骨格としての機能、上下水道、ガス管、電力、電信電話のケーブル、地下鉄などの地下埋設物や公共施設などの設置場所としての機能、あるいは、都市、地域の景観を形成する機能など多様な価値を有しており、今後はこれをますます高度に機能化し、利用する技術の開発が必要になるものと考えられる。

一方、1951年にゼロの状態から再出発したわが国の航空輸送は、旅客数、貨物量ともに年々増加の一途をたどっており、各地に着々と空港整備が進められてきたが、空港の建設には、航空機の運行の安全を確保するために必要な空域をも含めて、平坦でかつ広大な土地を必要とし、都心に近いほど便利で望ましいという利用者のニーズと、宅地から遠いほど静かで望ましいという周辺住民の相反する要望を受けて、近年は都市近郊の海上や山岳地帯などの特殊な地盤条件をもった地域に用地を求めざるを得ないことが多くなっている。さらに、このような空港に滑走路、誘導路、エプロン等として設けられた舗装の下には、排水構造物、共同溝、地下道、給油施設等の地下構造物が建設され、敷地全体の地盤に不同沈下が生じ易く、その平坦性の確保にはますます高度な技術が必要とされるようになってきている。

このような状況を踏まえて、舗装の機能を高度に利用するためのノウハウを確立するために、特に舗装お

よびそれを支える地盤の利用、評価に焦点をあて、平成元年12月に、(社)土木学会の「土地構造および基礎委員会」の下に、「舗装機能の評価技術に関する検討小委員会」が設置された。

本研究委員会で扱うテーマは非常に幅広く、到底すべてを解決することは困難であるが、当面は、舗装が本来具備すべき機能にはどのようなものがあるかを明らかにし、それら进行评估するにはどのような道具を用いてどのような理論に基づいて行うべきかという非常に根本的な問題を手がけている。

具体的な研究内容は、委員会活動を通じて明らかになったことがらによっても多少変動をするが、舗装機能の評価は、構造的な健全度と、その表面が利用者へ提供し得るサービス性能という2つの側面から考える必要があるため、現段階ではこのような問題の理論的な対応を中心に、大きく分けて以下のような3つの検討項目をたて、それぞれに対応した3つのワーキンググループを設けて活動を行っている。

- ①舗装機能評価試験機の現状についての調査研究
- ②舗装構造の力学理論についての研究
- ③舗装表面の評価方法についての研究

以下、それぞれの項目について、本研究委員会がどのような点に着目しているか、あるいは着目しようと考えているかについて、簡単に紹介をしてみよう。

1. 舗装機能評価試験機の現状についての調査研究

舗装の機能を評価するための試験機には、大きく分類して、構造的な健全度を評価するためのものと、舗装表面のサービス性能を評価するものがあり、どちらも非常に数多くの装置が開発され、また利用されている。

1.1 構造的な健全度を評価するための試験機

舗装の構造的な健全度を評価することは、外力や自然環境にさらされた結果その舗装がどの程度傷んだかを、舗装表面に症状が現れる前から定期的に調べることである。これは、舗装の維持修繕時期や工法を経済

*かさはら あつし 北海道工業大学工学部教授工博

**まるやま てるひこ 長岡技術科学大学建設系教授工博

***ひめの けんじ 北海道大学土木工学科助教工博

的、かつ合理的に行う上でとても重要なことである。

舗装が構造的にどの程度しっかりしているかを知ることが困難で、どうしても知りたければ、かつてはその舗装を開削して内部を調べるくらいしか方法はなかったであろう。ところが、平板載荷試験のように、地盤に外力を加えた場合のレスポンスをその地盤の支持力の何らかの指標と考えるような試験法が確立されると、舗装の全体の支持力評価にも、路面に外力を加えた場合のたわみ量に着目した試験方法や、路面を伝播する波動の特性に着目した試験方法が次々に研究されるようになった。

たわみ量の主要な測定装置は、以下のように分類できる。

①静的荷重または低速移動荷重によるもの

- ・ベンケルマンビーム
- ・ラクロワデフレクトメータ
- ・トラベリングデフレクトメータ

②定常波振動荷重によるもの

- ・ロードレータ
- ・ダイナフレクト
- ・16kip-バイブレータ

③任意荷重によるもの

- ・FHWAサンパー

④衝撃荷重によるもの

- ・FWD

⑤実走行荷重によるもの

- ・Multidepth Deflectometer

当初は、荷重をかけた位置でのたわみのみに着目していたが、層構造をなしている舗装の各層の傷み具合にいろいろな差があっても載荷位置でのたわみの大きさが等しくなり得ることが認識されるに及び、たわみの形状、すなわちDeflection Basinに注目した測定装置が次々に開発されるようになった。1970年代にアメリカで開発されたダイナフレクトは、30cm間隔に5つのたわみセンサーをもっており、これらの隣合ったたわみの大きさの差によりいろいろな指標が作られ、これらと舗装のどの部分が傷んでいるかの関連についての研究が活発に行われるようになった。この装置は、荷重波形が正弦波で、荷重が500kgfと実車両に比べてやや小さ目であるが、このような考え方は現在盛んに行われている弾性係数の逆解析のはしりと言えよう。

ところが、より厳密な解析の必要性が認識されるようになると、輪荷重や荷重波形がより実際のものに近いたわみ試験機の開発が叫ばれるようになり、1970年

代の後半にオランダでFWDが生まれた。笠原、丸山らの調査によれば、現在、全世界で保有されているFWDは255台余りにのぼり、このうちわが国にも1983年以来、約10台が輸入され改良されている。

本研究委員会では、主に、このFWDに着目し、そのハードウェアやそれにより得られたデータの処理面を中心に非常に重きをおいて活発に研究を行っている。本年の3月には、当時国内で稼動し得るすべてのFWDをつくば市の建設省土木研究所の走行実験場に集め、建設省が実験中であったさまざまな舗装をお借りして多数の測定を実施した。現在はこの膨大なデータの解析にかなりの精力を傾けている。

このほか、舗装に孔をあけ、荷重を加えた場合の各層のたわみ量を直接測定しようとするMultidepth Deflectometerという装置が南アフリカで開発され、現在研究段階に入っていることを付記しておく。

1.2 舗装厚測定装置

たわみ量を測定し、これに基づいて舗装を構成する各層の弾性係数を推定するいわゆる「逆解析」の手法について研究が進むと、各層の厚さを正確に知ることが逆解析の結果に大きな影響を及ぼすことが明らかになってきた。厚さの正確な情報は道路台帳に記されていないことも多く、また、設計厚さとの微妙な食い違いが無視し得ない場合もあるのである。

言うまでもなく、このような場合に、舗装の各層の厚さを調べるにはボーリングをしたり、開削をすれば良いが、近年は地中レーダーのように全く舗装を破壊することなく、高速で移動しながらかなりの精度で厚さを調べたり、あるいはボアホールカメラのように直径数cmの穴をあけるだけで非常に正確に層厚を知る装置も開発されている²⁾。この装置は一般のボーリングのように採取したコアを用いるのではなく、地盤に残った穴の内面を写真撮影するという特徴をもっているため、粒状材を用いた層のようにコアが崩れ易い場合にもかなり正確に厚さを知ることができる。

なお、このような方法は、近頃の道路陥没などでも問題になっているような、なんらかの理由で地下に発生した空洞の検知にも有効である。

1.3 自動路面性状測定車

舗装の路面損傷は、わが国では、①ひび割れ、②わだち掘れ、③平坦性の3大要素により表現され、これらの路面損傷が生ずる要因は、交通と環境に大別される。

ひび割れにも種類が多く、施工ジョイントによるひ

び割れ、寒冷地における横断ひび割れなどは、温度要因により生ずるのに対し、亀甲状ひび割れは走行車両によるアスファルト混合物層の疲労に基づくものであり、究極的な舗装破壊現象の1つである。

わだち掘れは、アスファルト混合物層の流動、粒状路盤の塑性変形、路床の塑性変形、寒冷地におけるスパイクタイヤなどによる磨耗などによるものである。一方、平坦性の喪失は、路体の不等沈下、路床・路盤の支持力の不均一性、アスファルト混合物層のウェーピングなどに起因する。

これらの路面損傷データは、それぞれ、ひび割れ率、わだち掘れ深さ、縦断凹凸量によって表され、人手による収集から自動測定へと移行してきている。その長所を列記すれば、

- ①作業が早い
 - ②作業が一貫している
 - ③安全である
 - ④通過交通に影響を及ぼさない
 - ⑤測定完了時期が予測される
 - ⑥精度が高い
 - ⑦大きなサンプリングができる
 - ⑧データ処理が自動化できる
- などである。

自動路面性状測定車の開発に世界で最初に着目し、その実現化に成功したのはわが国であり、その後種々の改良がなされてきている。ひび割れ率の測定には、スリットカメラおよびレーザビデオ方式が用いられている。わだち掘れ深さの測定には、条線投影機により投光されたエアーラインをパルスカメラにより撮影する方法やレーザビデオ方式が採用されている。また縦断凹凸量は、車体下部に1.5m間隔に取り付けられた3組の非接触変位計により路面の凹凸を測定する方式が主に用いられている。

近年、米国で開始されたSHRPおよび連邦道路局による各州へのPMSの導入義務付けが引き金となり、米国においても、各種の自動路面性状測定車の開発が進んできている³⁾。

1.4 動荷重測定装置

舗装破壊に大きく関係する外力は車両の軸重であり、これが舗装に及ぼす影響がその大きさの4乗に比例することは有名である。さらに、舗装のパフォーマンスを把握する上では、等値換算軸重数の累積を高い精度で推定することが不可欠である。このことから、道路上を走行する車両の重量(Weigh-in-motion, WIM)

を直接的に測定する目的で様々な種類の動荷重測定装置が開発されてきており、中でも、ポータブル軸重計が近年注目されるようになってきている。これは、測定対象路線または車線上に手軽に設置でき、またその撤去も容易であることによる。このような背景により、これらWIMの測定装置は、1990年、ASTMによって規格化された⁵⁾。

最近では、単にWIMだけではなく、軸間距離の自動測定、車種の自動分類などの機能を如何に付加するかについての議論がASTMのE-17委員会で行われている。

2. 舗装構造の力学理論についての研究

上でも述べたように、舗装を構造的に評価する場合には、路面に何らかの荷重を加えた場合のたわみ、あるいはたわみ形状に着目した方法が近年主流になってきている。これらのたわみデータから舗装を構成する各層の弾性係数や厚さを推定するための逆解析のみに関する国際会議³⁾すら開催されるに及んでいる。わが国でも、松井ら⁷⁾、岳本ら⁸⁾、阿部ら⁹⁾、姫野ら¹⁰⁾などによって、主にFWDたわみデータをもとにさまざまな考えで逆解析を行うための検討が進められており、本研究委員会でも中心に取り挙げている課題である。

2.1 舗装の解析理論

舗装に外力が作用した場合にその内部や表面に発生する応力、ひずみ、変位等を計算する手法は、古くはBoussinesqの理論に始まり、現在では各層が複雑な構成則に従う場合も随分と手軽にFEM解析などが適用できるような環境が整いつつある。このような解析手法は、層構成をどのように考えるか、層の構成則をどのように考えるか、解析的に解くか数値的に解くかなどに応じて、さまざまな種類のものがある。

最も原始的な仮定は、舗装が等方等質な線形弾性体からなる半無限一様地盤からなっていて、荷重が集中荷重であるとするものであり、このような条件に対して解を与えたのがBoussinesq理論であり、現在でも概略の値を得るためにしばしば用いられる。これに対して、地盤が層構造をなしていて、しかも、荷重が円形、方形あるいは帯状に分布したり、水平成分を持っていたりする場合には、一般に多層弾性理論が用いられる。この程度の複雑さに対してはほぼ厳密解が得られているのであるが、各層の弾性係数の値が応力に依存したり、線形な弾性体でなくなったり、あるいは、地盤が半無限の広がりを持たなくなったりすると、解が求め

られなかったり、計算が非常に複雑になってしまう。このような場合には、いろいろな特殊な条件を取り込み易い有限要素法を用いるのが一般的である。

2.2 舗装の逆解析理論

一般に、測定は、①独立な直接測定、②条件付きの直接測定、③独立な間接測定、④条件付きの間接測定に分類される。①はいわゆる普通の測定で、独立な未知量を直接に測る場合である。②は、三角形の内角の和のように、直接測った量の間にいくつかの条件が成立しなければならない場合である。③は、星のスペクトルの赤方偏位量を観測することによってその星までの距離を測るように、経験や理論と組み合わせる間接的に知りたい量を測る場合である。④は実際にはあまり起きないものであるが、②と③を組み合わせような測定条件である。いずれの場合も、一般に未知量よりも多くの情報を測定し、最小自乗法という手法を用いて最確値を求める。

FWDのたわみデータから舗装構成各層の弾性係数を逆解析により求めるということは、この分類でいえば③の種類の測定方法にあたる。すなわち、直接には測れない各層の弾性係数を、荷重を加えたときの舗装表面（Multidepth Deflectometerでは舗装内部）におけるたわみを正確に測定することによって間接的に調べようとする試みである。

2.2.1 逆解析理論

たわみデータから弾性係数を逆解析するというイメージを分かりやすく表現すると、たとえば、

$$y = f(x)$$

という関数があって、 x の値がわかっているときには y の値がすぐ計算で求められるのに、逆に、 y の値が分かっているけれども、そのときの x の値がいくつかははっきりしないような場合を考えてみるとよいであろう。この x を求めることがすなわち逆解析である。FWDのデータを用いた逆解析では、 x が直接には測れない弾性係数で、 y がFWDたわみであって、関数 f が何らかの仮定のもとにモデル化された多層構造理論であると思えば良い。ただし、 x は1つだけではないし、 y も1つだけではないし、また、同じ y の値を与える x がたくさんあるかも知れない。後者はいわゆる解の一意性の問題である。

このような場合、単純に考えられるのは、いろいろな x の値に対してやみくもに y の値を計算してみて、与えられている y の値に比較的近い結果をもたらす x を探そうとすることだろうが、このような作業をもう

少し能率的かつ正確に行うために世界中の学者が努力をしており、本小委員会でも、真剣に議論をしているテーマでもある。

逆解析を行うためには基本的には最小自乗法を用いると述べたが、これは推定された弾性係数を用いて計算されたたわみが実測値になるべく近い値になるようにするという感覚を定量的に示したものであって、この目的をどのような方法で達成すべきであるかという手法については何らの制限を与えるものではない。実際には、たわみを、多層弾性理論とか、粘弾性理論とか、複雑な構成式に対してFEM解析を行うかなど、上で述べた解析理論のうちどれを用いて計算するかという問題の他に、それぞれのモデルについて、最急降下法、Newton法系の方法、Gauss-Newton法系の方法、拡張カルマンフィルター法、ベイズ法等、数々の方法があって、舗装のこの分野に最も適した方法はなにかについては、定説がない状態である。しかも、これらの手法は基本的にある推定値から出発して最確値に至るまでの繰り返し計算、いわゆるイタレーションになるのだが、その初期値にどのような値を選ぶべきか、あるいは解の唯一性が保証されるのかなど、実用上は支障がなくとも、最終的には解決されるべき問題も結構残されている。

2.2.2 推定弾性係数に影響を及ぼす因子

現在わが国が所有しているFWDは約10台と述べた。「約」とつけたのは、この原稿を脱稿して、出版されるまでにも台数が変わってしまうのではないかという懸念からばかしている次第である。ASTMにFWDの仕様が規定されたこともあって、これらの装置の仕様はもともとメーカーのプロトタイプにほぼ準じており、多少の改良を加えるにしてもあまり理論的な裏付けなしに行われてきたふしがある。これらの装置を用いながらも、実用的には解が得られる段階に至ってはいるのであるが、

- ・たわみセンサーの個数はいくつにすべきか
- ・センサーの位置をどこにすべきか
- ・センサーの精度はどの程度であるべきか
- ・センサーには変位計、速度計、加速度計のどのタイプがよいか
- ・載荷時間はどの程度にすべきか
- ・載荷板の直径はいくつにすべきか
- ・1度の測定で何回測るべきか

などなど、より良い解析を行うために解決されなければならない問題はまだまだ多いと言えるであろう。

現在、道路舗装においては法制上の最大輪荷重が5tfであることを受けて、FWDでも、道路用では5tfの荷重を加えられ、路盤や路床のようにたわみが大きい場所ではその $\frac{1}{2}$ や $\frac{1}{4}$ の大きさの荷重にも対応できるのが一般的である。一方、航空機では、全備重量の場合、脚荷重で80tf、輪荷重では20tfを超える場合もあるため、空港で使用されるFWDは最大20tfまで載荷可能なものが普通である。このような場合、同一の舗装に対し異なる荷重でたわみを測定し、逆解析を実施した場合に同じ解が得られるか否か、いわゆる荷重に対するたわみの線形性の問題も解決されなければならない。

2.3 静的解析と動的解析

現在世界的に行われている逆解析は、静的な条件下での多層弾性理論や、それに準ずる解析に基礎をおいているのであるが、FWDで落下させる質量は、たとえば250kgなど、数百kg程度のもので、これが路面に衝撃的に加わるために5tfとか20tfのような衝撃荷重を加え得る訳で、もともとの現象はダイナミックなものである。このような動的な現象を本当に静的に解析してしまっても良いのかという疑問が当然湧いてくるであろう。このため、西澤¹¹⁾の研究にもあるように、両者を比較し、両者の関係を明らかにすることも本委員会が重点を置いている分野の一つである。

2.4 線形解析と非線形解析

逆解析の多くは、舗装を構成する各層の物理性状を線形弾性体と仮定している。しかし、アスファルト混合物は言うまでもなく粘弾性体であるし、路盤や路床の粒状材は受ける応力の値によってその弾性係数が変化をするという特徴を持っている。それに、これは静的な解析の場合と同様に、実用性とも絡んでくるため、大変にやっかいな問題である。このように現実とは異なった仮定に基づいた解析では、その妥当性が問題となる。

3. 舗装表面の評価方法についての研究

舗装はその利用者に与えることのできるサービス水準が命であり、上で述べた構造的な評価は、あくまでもこの路面の性状を確保するための必要条件として理解される必要がある。

3.1 路面の持つべき機能および評価に必要な要因

前述のように、道路、空港等の舗装は、本来の交通を支えるという機能の他にも、様々な機能を有しており、その評価の尺度も、道路管理者から見なのか、道路利用者が見るのか、あるいは沿道住民から見なのか

などによってまちまちである。本研究委員会では、主に道路利用者が乗り心地の観点から路面を評価する場合を中心に検討を進めている。

舗装あるいはそれを取り巻く環境が道路利用者の評価に及ぼす影響因子としては、

- ①舗装の種類
 - ②路面のテクスチャー
 - ③路面の縦断方向の平坦性
 - ④路面の横断方向の平坦性
 - ⑤段差
 - ⑥ひび割れ
 - ⑦道路構造条件
 - ⑧天候
 - ⑨季節
 - ⑩時刻
 - ⑪滞水、積雪条件
- などが考えられる。

3.2 路面の評価方法の概念

如何に美しい舗装であっても、車の乗り心地が悪ければ車道には向かないであろうし、如何に車の乗り心地がよくとも、滑り安い危険な舗装も交通路としては不合格であろう。

道路であっても車道と歩道とでは評価の尺度は異なるし、空港舗装の考え方ともまた視点が違う。これらの条件のもとに置かれた舗装の上を走行する車両を運転している道路利用者にとってみれば、

- ①揺れない
- ②振動しない
- ③静かである
- ④滑らない
- ⑤ハンドルを取られない
- ⑥まぶしくない
- ⑦水ハネがない
- ⑧交通量が多くない
- ⑨沿道に（人を含めて）危険物が少ない

などの事柄を期待しているであろう。いずれも興味深いテーマではあるが、本研究委員会では、このような事実をいろいろと検討しながら、とりあえずこれらのうち、主に乗員が路面および車両系の振動から受ける乗り心地、あるいは快適性に着目した分析を行っている。

車の乗り心地は、上に述べた道路の条件だけではなく、路面上を通る車両の特性と、振動を受けたときの乗員の感性にも強く依存する。このため、従来より一

般に路面の物理性状のみから路面の総合評価を行うおうとしてきたのに対し、近年はIRIという指標のように走行車両の振動加速度に着目した基準や、ISOという機関が定めている基準のように、乗員がその状態に何時間耐えられるか、すなわち許容暴露時間という形でその振動状態を評価するものである。

3.3 路面評価の新しい視点

現在行われているの路面の評価方法のほとんどは、上でも述べたように、わだち掘れ深さやひび割れ率などの単純な物理量で舗装の破損の程度を代表させており、これらが定まれば路面性状も一義的に決定すると仮定している。ところが、複雑でいろいろな発生形態を持つこのような破損が利用者の快適性に及ぼす因子はそれほど単純なものではないだろうし、また、同じ舗装に対しても利用者の満足の度合いもまちまちであろうことが容易に想像される。すなわち、路面に限らず一般に評価というものは良い、悪いの2つにはっきりと別れるものではなく、「どちらかといえば良い」というような気持ちを持つ場合が少なくない。このため、Fuzzy理論を応用した評価方法が提案されている¹²⁾。

また、ひび割れの発生程度を表すのに、メッシュ法を用いてひび割れ率という指標が用いられているが、この数字だけではひび割れの原因や形態をイメージすることが困難であり、このため阿部¹³⁾、村井¹⁴⁾は、フラクタル理論を応用して、新しい観点からのひび割れの評価方法を提案している。

おわりに

いくつかの委託委員会を別にすれば、土木学会に舗装技術全般に関わる常置委員会が設置されたのは、この小委員会が始めてのことである。必ずしも直接的な実用性を強くは意識せずに、産学官から広く参加していただいている有識者によって、ことがらの本質に立ち帰った活発な議論が行われてきた。既に研究成果の中間報告書をまとめる段階に入っており、来年5月15日に、土木学会主催のセミナーを開催し、報告書の配布とともに外部の方々幅広く意見交換を行う予定でいる。詳細は、年末か年始あたりの土木学会誌でアナウンスされる予定であるので、参加頂ければ幸甚である。

— 参考文献 —

1) Himeno, K., Maruyama, T., Abe, N. and Hayashi, M.: The Use of FWD Deflection Data in Me-

chanistic Analysis of Flexible Pavements, Proc. of 3rd International Conference on Bearing Capacity of Roads and Airfields, pp.401-410, 1990

- 2) Inagaki, M., Tada, H., Kasahara, A., Tomita, H. and McGregor, T.: Subsurface Pavement Structure Inventory Using Ground Penetrating Radar and a Bore Hole Camera, Proc. of the 2nd International Conference on Applications of Advanced Technologies in Transportation Engineering, pp.453-457, 1991
- 3) 秋本隆, 福原敏彦, 笠原篤: 舗装破損データ自動収集装置のセミナー, 舗装, Vol.26, No.2, 1991年
- 4) 峰岸順一, 金井利浩, 村山雅人: 交通荷重の測定とその利用, アスファルト, Vol.33, No.165, 1990年
- 5) ASTM E-1318-90, Vol. 04.03, 1991年
- 6) Proc. of 1st International Symposium on Non-destructive Testing of Pavements and Backcalculation of Moduli, STP 1026, ASTM, 1989
- 7) 松井邦人, 井上武美, 三瓶辰之: 舗装各層の弾性係数を表面たわみから推定する一手法, 土木学会論文集, 第420号/V-13, pp.107-114, 1990年8月
- 8) 岳本秀人, 笠原篤: フォーリング・ウェイト・デフレクトメータによるアスファルト舗装のペイメント・マネジメント・システムへの利用 (第1報), 北海道開発局土木試験所月報, No.386, pp.12-22, 1985年7月
- 9) 阿部長門, 丸山暉彦, 姫野賢治: 凍上の影響を受けた舗装のFWDたわみ測定について, 土木学会第43回年次学術講演会講演概要集, 第5部, V-34, pp.116-117, 1988年10月
- 10) Himeno, K., Kasahara, A. and Sugawara, T.: Structural Evaluation of Roller Compacted Concrete Pavements Based on FWD Deflection Data, Proc. of 3rd International Conference on Bearing Capacity of Roads and Airfields, pp.559-566, 1990
- 11) 西澤辰男: 衝撃荷重による舗装の動的挙動について, 土木学会第46回年次学術講演会講演概要集, 第5部, V-16, pp.48-49, 1991年9月
- 12) 姫野賢治, 菅原照雄, 八谷好高: Fuzzy数量化理論第II類を用いた舗装の路面評価に関する研究, 土

木学会第45回年次学術講演会概要集, V-9, pp.44-45, 1990年9月

- 13) 阿部忠行, 小川進: 舗装ひびわれのフラクタル解析, 土木学会第46回年次学術講演会概要集, V-

9, pp.34-35, 1991年9月

- 14) 村井貞規, 高橋彦人: アスファルト舗装のひび割れに関する幾何学的分析, 土木学会第46回年次学術講演会概要集, V-10, pp.36-37, 1991年9月

重交通道路の舗装用アスファルト 「セミブローンアスファルト」の開発

B5版・132ページ・実費頒価 3000円(送料実費)

当協会において, 昭和50年の研究着手以来, 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 ホイー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

道路保全技術に関する最近の動向

川 井 優*

1. はじめに

わが国の道路は、永年にわたり整備されてきた結果、その蓄積である道路ストックは、今や膨大なものとなった。このため、この国民全体の貴重な財産である道路を良好に保全し、安全かつ円滑な道路交通を確保することが、従来にも増して強く求められている。

一方、経済社会の進展に伴って、人・物の移動がますます活発化したため、交通量の増大や車両の大型化による道路の損傷が激化し、また都市とその周辺地域における交通の渋滞や事故の増加等は大きな社会問題となっている。

こうした状況下において、時代の要請に適切に応えていくためには、高度な保全技術を駆使することにより、道路を常に良好な状態に維持していくことが肝要である。

そのためには、道路の保全に関する情報を組織的に収集・蓄積し、それらを活用して調査研究を進めることが必要であり、また道路保全の効率化の観点から技術開発を推進するとともに、これに関わる技術者の官民における人材不足にも対処することが急がれる。

このような要請に応え、官学民が協力して道路保全技術の諸問題に取組み、総合的な技術の開発、普及、指導を行い、効率的な保全技術を提供するために、平成2年11月、財団法人道路保全技術センターが設立された。

2. 財団法人道路保全技術センターの役割

(財)道路保全技術センターは、安全で信頼され、快適な道路機能を維持するため、次の事業を行う。

(1) 道路保全に関する総合センター

道路保全に関する調査研究や情報の収集・提供等の総合的な業務を行う。なお、調査・研究・点検・診断には官学民の専門家が協力する。

(2) 道路保全の効率化

道路保全に関する技術を有効に活用し、各種システム等の開発を図り、道路保全の効率化を推進する。また、システム開発の協力を行う。

(3) 保全技術の高度化

基礎的な調査ばかりでなく、受益が広範囲にわたる事業を行い、その成果を関係者に還元することにより、道路保全技術の高度化に貢献する。

(4) 信頼されるアドバイジング

道路保全に関する相談をひき受ける。課題に応じた専門家（道路保全アドバイザー）の適切な助言により、高度で専門的な問題の解決に協力する。

3. 事業の概要

(財)道路保全技術センターが上記の役割を果たすため、現在取組んでいる業務のうち、舗装に関連の深いものについて以下紹介する。

3.1 舗装の維持修繕計画に関する調査検討業務

3.1.1 業務の目的

近年、道路の維持管理に関する状況は、道路施設の増加と老朽化による維持修繕作業量の増大、交通量の増加と車両の大型化による道路施設の早期損傷、ならびに社会的ニーズの多様化・高度化によるサービスレベルの向上が求められている。

また、維持修繕にあっては、都市部と地方部、雪寒地域と一般地域によって周辺環境の相違もあり、限られた予算の中ではその管理のあり方も異なってくることが考えられる。

このような背景を踏まえ、本業務では現状の維持修繕の実態から、地域差を考慮した維持修繕のあり方を整理分析し、効率的な舗装の維持管理を目的とした維持修繕システム構築のための調査検討を行うものである。

なお、本業務は平成2年度より、建設省関東地方建

*かわい まさる 財団法人道路保全技術センター専務理事

設局の委託により、当センターに「舗装の維持修繕計画に関する調査検討委員会」(委員長：建設省土木研究所企画部長、飯島尚氏)を設け、調査検討を行ってきた。

3.1.2 業務内容

平成2年度は、関東地方建設局管内の舗装を対象として、都市部、地方部等の地域特性に着目した維持修繕の実態調査・分析、および路面の点検マニュアルの検討を行った。

平成3年度は、維持修繕の実態調査・分析結果に基づき、現場で利用することを目的とした路面の点検マニュアルを作成するとともに、修繕工法と周辺条件の検討、路面の評価手法、管理水準の検討、ライフサイクルコストの検討を行う。

これにより関東地方建設局における舗装の維持修繕の優先順位決定法および維持修繕工法の選定法を提案し、舗装の維持修繕システム(マニュアル)を作成するものである。

なお、調査検討の作業フローは、図-1に示すとおりである。

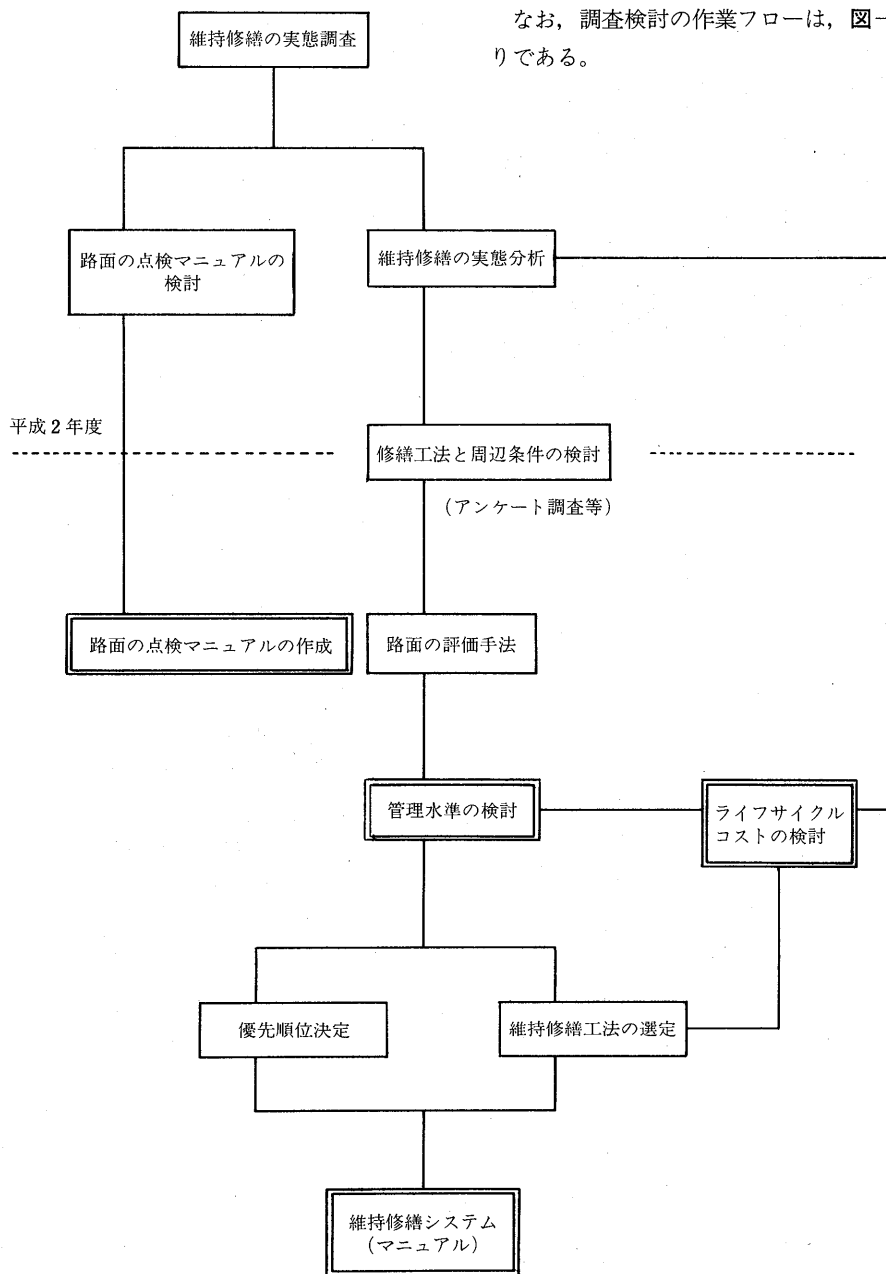


図-1 調査検討全体フロー

3.2 路面下空洞探査に関する調査検討業務

3.2.1 業務の目的

近年、都市部において道路の陥没がしばしば発生し、それに伴う事故も報告されている。このため、路面下の空洞を非破壊で調査し、事前に保全対策を講じる必要が生じ、建設省関東地方建設局において従来に比べ高速度、高精度化した路面下空洞探査車（写真－１）を平成２年10月に開発した。



写真－１ 開発された路面下空洞探査車

（財）道路保全技術センターでは、この探査車に関連する最新技術も併用して現場調査を行い、データの収集を図ってきたが、今後、収集データを基に路面下空洞の発生状況の把握と原因を究明し、あわせて実際の運用面を考慮した実用的な路面下空洞探査手法の確立と調査点検マニュアルの策定を行うものである。

なお、本業務は平成２年度より、建設省関東地方建設局の委託により、当センターに「路面下空洞探査に関する調査検討委員会」（委員長：建設省道路局道路保全対策官、泉堅二郎氏、平成３年度より奥野晴彦氏）を設け、調査検討を行ってきた。

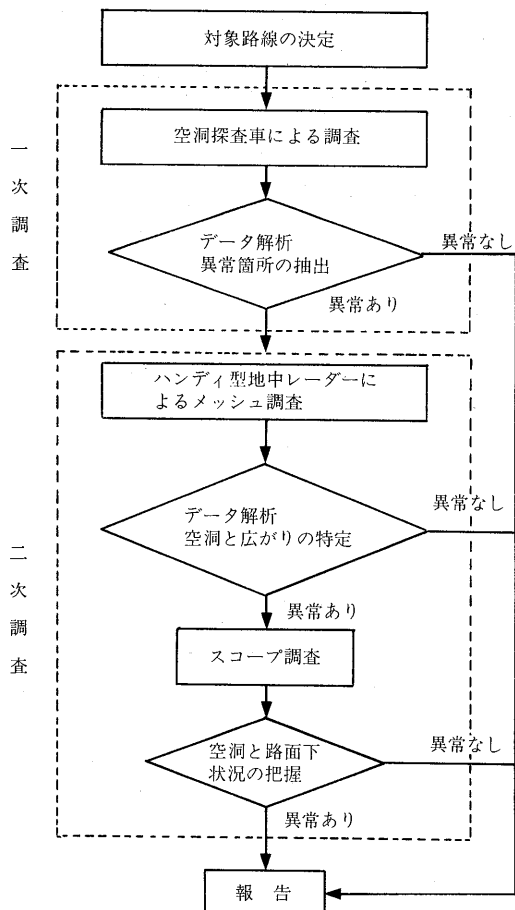
3.2.2 業務内容

平成２年度は、都内の国道（調査延長約45km）において現地調査を行い、空洞の検出とその確認を行った。また、探査手法と探査システムの検討を行い、探査点検マニュアル骨子（案）を作成した。

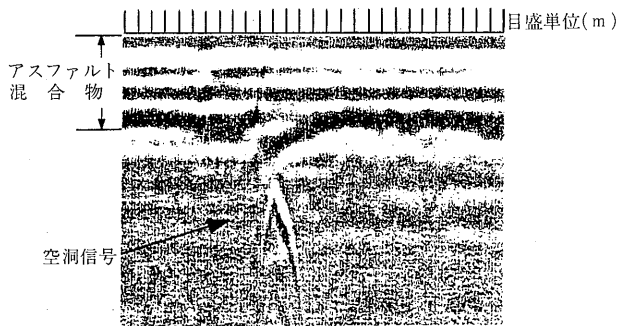
提案された調査点検フローは、図－２に示すとおりである。この図からわかるように調査点検手法としては、一次調査と二次調査により構成される。

一次調査は、探査車を用いて、一般交通の流れの中で、広範囲に亘り効率よく走査し、異常箇所を抽出することを目的とした概査的調査である。

二次調査は、一次調査より抽出された異常箇所（図－３参照）において、空洞の存在状況の詳細把握を目的



図－２ 調査点検フロー



図－３ 異常箇所データ例

とした調査であり、メッシュ調査とスコープ調査より構成される。

メッシュ調査は、一次調査により抽出された異常箇所において、ハンディ型地中レーダーを用いて空洞の有無とその広がりを特定する調査である。（写真－２参照）

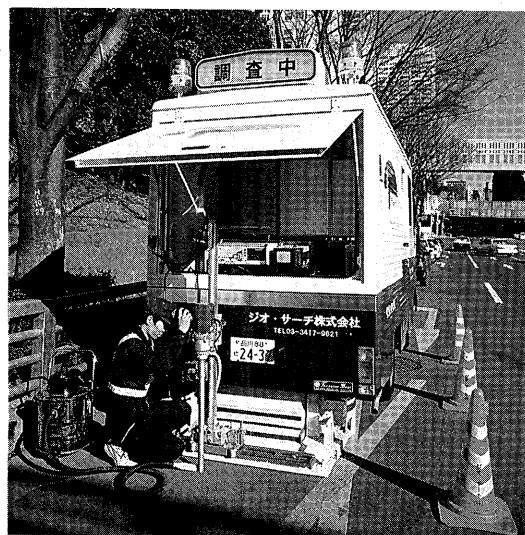
スコープ調査は、メッシュ調査により空洞の存在とその広がりが特定された箇所において、ドロースコ

ブを用いて空洞と路面下状況を確認する調査である。

(写真－3 参照)



写真－2 メッシュ調査作業状況



写真－3 スコープ調査作業状況

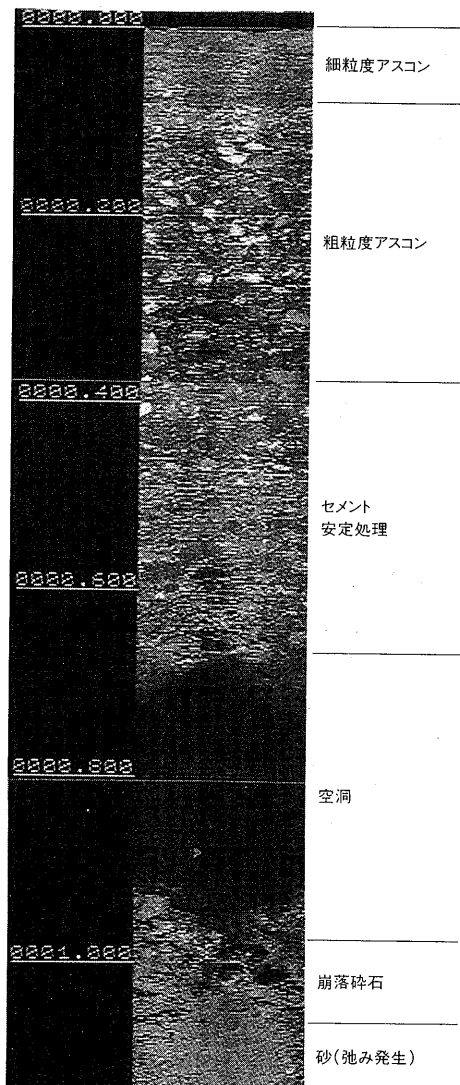
この調査は、小口径ボーリングと特殊カメラにより孔壁面を画像として記録するもので、路面下の状況が正確に把握できる。(写真－4 参照)

平成3年度においては、前年度までの検討結果をもとに、さらに現地調査を通じてデータの蓄積を行い、あわせて道路管理者からのヒアリング等を通じて、調査点検マニュアル骨子(案)の見直し、実用的な調査点検マニュアル(案)の作成を行う。

3.3 路面性状調査に関する検討業務

3.3.1 業務の目的

建設省においては、舗装の合理的な維持管理に向けて、舗装データバンクを中核として、各種の調査研究



写真－4 スコープ調査による路面下状況

を行い、これらを維持修繕計画作定のための基礎資料として活用してきたところである。

路面性状調査は、舗装データバンクの中でも必要不可欠な調査として位置づけられ、「舗装データバンク運用細則(案)」に基づいて実施されてきた。

すなわち、本調査は、公的機関による測定精度の検定を受けた路面性状測定装置によって、ひびわれ、わだち堀れ、平坦性を測定し、これらの測定値を函数とするMCI(維持管理指数)により路面性状の評価を行い、維持修繕計画を立てるための有力な手法として活用されてきた。

しかしながら、日々の業務における経験等から、現在の調査方法とデータの利用方法についていま一つ見

直しの必要があるのではないかと意見が出されている。

本業務は、適切な舗装の維持管理の推進に資するため、平成3年度より建設省（東北・関東・中部・近畿・九州各地方建設局）の委託により、当センターに「路面性状調査に関する検討委員会」（委員長：建設省道路局道路保全対策官、奥野晴彦氏）を設け、検討を行うものである。

3.3.2 業務内容

本業務の概要は次のとおりであり、また業務フローを図-4に示す。

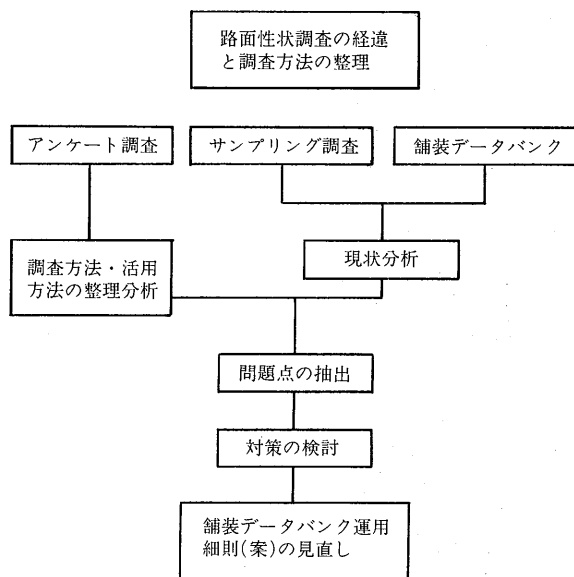


図-4 路面性状調査業務フロー

- (1) 路面性状調査の過去の経緯と調査方法の整理を行う。
- (2) 道路管理担当者に対してアンケート調査を行い、この結果から調査方法とデータ活用方法について整理分析を行う。
- (3) サンプリング調査(全車線を対象とする測定調査)を行い、調査対象車線および調査頻度についての現状分析を行う。
- (4) 現状分析の結果から問題点を抽出し、その対策を検討する。
- (5) 検討された対策により、舗装データバンク運用細則(案)に位置づけられている路面性状調査の方法についての見直しを行う。

3.4 道路管理データベースの整備に関する調査業務

3.4.1 業務の目的

道路管理データベースシステム（以下「MICH」と呼称する）については、建設省が昭和60年度よりシステムの設計に着手し、以来、直轄国道を対象としてシステムの構築が進められてきた。

平成3年度当初においては、全国の約50箇所の工事事務所でデータ整備が進められ、約30箇所の工事事務所にシステムが導入されている。

しかしながら、道路管理の現場においては、まだMICHが十分に利用されている状況にはなく、システムの利用しやすさの改善、具体的な適用範囲の拡張、データベースの円滑な更新体制の確立等、今後の実用化に向けてさらに詰めなければならない事項が多く残されている。

また、同時にMICHを普及させ、これを中心とした道路管理業務の遂行を徹底させるための各種の広報・研修活動の実施も必要不可欠な事項である。

こうした状況を踏まえ、本業務は平成2年度より建設省8地方建設局、北海道開発局、沖縄総合事務局の委託により、当センターに「道路管理データベース運営委員会」（委員長：建設省道路局道路保全対策官、泉堅二郎氏、平成3年度より奥野晴彦氏）を設け、調査検討を行ってきたものである。

3.4.2 業務内容

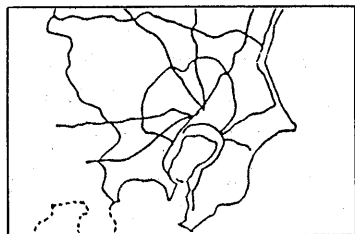
平成2年度は、これまでに開発されたMICHの基本システムに対し、全国の工事事務所への早期定着と利用促進を図るため、次の業務を実施した。

- (1) MICHと関連する他のシステム(舗装データバンクシステム、特認システム、占用システム)を対象に、運用上の整合を図って行くための方策を検討した。
- (2) 建設省として全国共通の仕様が構築したシステムに対し、各地方建設局独自のニーズに応じたシステムの改良や拡張計画が生じた際の運用ルールを検討し、定めた。
- (3) 道路管理の効率化のために、今後MICHとして整備すべき項目を検討し、デジタル地図の活用等を含めた整備計画を立案した。
- (4) MICHの利用マニュアルのうち、検索・出力部分を簡略化した一般利用者向けの「早わかりマニュアル」を作成した。
- (5) 道路管理者間でのMICHに対する認識度、およびシステムを利用する上での問題点等に関するアンケート調査を実施し、次年度以降の重点策を抽出した。

(6)その他、非定型検索結果のフロッピー出力機能の開発や更新用データ出力システムの開発を行った。図-5は道路管理者として望ましいMICHIのインターフェ

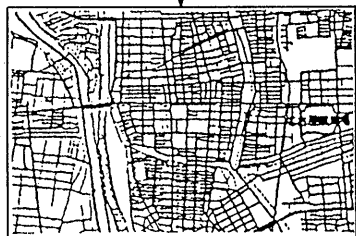
イスを示す。

平成3年度においては、前年度までの成果を踏まえ、さらにMICHIの利用促進を図るため、次の業務を行う



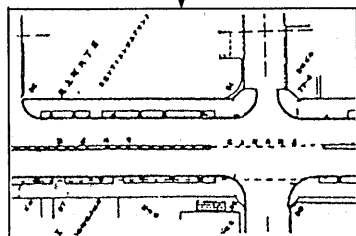
◎ 地方建設局内の全体を把握

○ デジタル道路地図を活用した道路網上に、主要構造物、主要管理物件を重ね合わせて表示

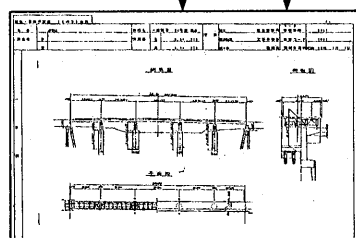


◎ 工事事務所内の全体を把握

○ デジタル道路地図を活用した道路網上に、主要構造物、主要管理物件を重ね合わせて表示
1/2500スケール程度



◎ 1/500 スケールの道路台帳
附図にて状況を把握



2301 * 非定型検索 (検索条件・出力条件) * 91/03/27

出力項目を番号で選択して下さい

(025) (030) (031) (036) (485) ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ (18/23)

項目	項目名	項目	項目名	項目	項目名
400	上り	408	減速	417	478
401	方法	410	RE-EV	479	1-下部
402	清浄度	412	道路台帳	480	橋脚
403	道路台帳	414	管理物件	481	先
404	道路台帳	416	ガード	482	月
405	道路台帳	418	管理物件	483	日
406	道路	419	ガード	484	区分
407	道路台帳	420	管理物件	485	道路台帳
408	道路台帳	421	区分	486	道路台帳

(P.D.操作: 約画面=8, 次画面=9, 終=1, 再入力=11, 実行=入力)

◎ 図面によらない数値的な検索等が必要な時に利用

○ 各種の分析、集計表の作成及び利用

◎ 基本台帳や非定型検索等の利用

◎ 関連資料の引用

○ 設計図書等の参照

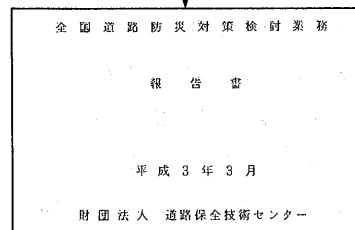


図-5 望ましいMICHIの利用インターフェイス

こととしている。

(1)道路管理業務に利用しやすい資料のあり方に関する検討を行う。

(2)延長方向に連続している管理物件の検討とシステム修正を行う。

(3)登録・更新・削除システムおよびその周辺システム等について改良を行う。

(4)データ作成・チェック支援システムの開発を行う。

(5)MICHlと舗装データバンクの関連について将来構想の検討を行う。

(6)デジタル道路地図の利用に関する検討を行う。

(7)システムの処理レスポンス(応答時間)について、道路管理者として望ましい水準の検討を行う。

(8)マニュアル類のグレードアップを行う。

(9)広報および研修活動の充実を図る。

4. おわりに

本稿においては、(財)道路保全技術センターが現在実施している業務のうち、舗装に関連が深いと思われるものについて紹介してきた。

このほか、当センターの重要な課題として、道路防災対策、トンネル等構造物の点検診断、道路保全に関する情報システム、交通安全対策、道路附属物の維持管理等に関する検討業務に取り組んでいる。

当センターは、間もなく創立一周年を迎えるが、まだ、態勢も十分ととのったとはいえない。

しかし、本年東北支部と中部支部が設立され、今後その他の地域にも支部設立をめざしており、文字通り「道路保全に関する総合センター」として機能するよう努めてまいり所存であるので、関係各位のより一層のご支援を賜りたいと考えている。

石油アスファルト統計月報

B5:16ページ ¥500(送料は実費) 毎月1日発行

アスファルトに関する統計資料を網羅し、月毎に発行する統計月報です。

広くご利用いただけるよう編纂致しました。

ハガキにてお申込み下さい。

申込先 105 東京都港区虎ノ門2丁目6番7号
和孝第10ビル
社団法人日本アスファルト協会
アスファルト統計月報係

—目 次—

- 石油アスファルト需給実績
- 石油アスファルト品種別月別生産量・輸入量
- 石油アスファルト品種別月別内需量・輸出量
- 石油アスファルト品種別月別在庫量
- 石油アスファルト品種別荷姿別月別販売量
- 石油アスファルト品種別針入度別月別販売量
- 石油アスファルト地域別月別販売量
- 石油アスファルト品種別通産局別月別販売量
- 石油関係諸元表

排水性舗装

和田 三 男*

はじめに

モータリゼーションの発達に伴ない、今や我国は自動車保有台数5500万台、運転免許証保有者数5700万人の時代に突入している。しかし、この反面自動車事故といういたましい現実があることは見逃せないことである。このような身近な車社会では、道路は単に存在するばかりではなく、より質の高いものが望まれるようになって来ており、新しい時代のニーズとして透水性の高い開粒度タイプのアスファルト混合物（以下アスコン）を表層に用いた排水性舗装が注目を集めている。

排水性舗装とは、舗装路面の滞水による水はね防止や連続した水膜の除去による走行安全性の確保、更にはエンジン音やタイヤと路面の接触に起因する交通騒音を低減させる効果をねらった舗装としてとらえられている。この舗装は、欧米を中心として1980年代から普及し始めているが、我国では1987年に東京都での試行を最初に、建設省や日本道路公団でも検討が進められてきているところである。

このような状況から、関東地方建設局（以下、関東地建）では（財）先端建設技術センターに「道路舗装改良の研究開発」の業務委託を行い、関東地方の地域特性を考慮した重交通道路用排水性舗装工法の技術確立を目指している。当調査業務は平成元年度からスタートしており、平成4年度以降に計画している標準仕様書（案）とりまとめのための資料整理を目的としている。以下にこれまでの検討結果の概要を紹介する。

1. 排水性舗装の機能と現況

排水性舗装に関する定義は未だ定まったものは無いが、調査業務では概念として車道を対象にした舗装で表層にポーラスなコンクリート層を設け、この層によって路面排水を行い、路肩部分に設けた排水施設と一

体で機能する舗装のことを排水性舗装とし、従来から有る透水性舗装とは区別することとした。

なお、排水性舗装用の表層にはアスコンの他コンクリート製品、プラスチック製品等が考えられるが、調査業務では対象をアスコンに限定してとりくむこととした。

排水性舗装に関する現況を把握するために文献等による現状調査を行った結果、以下の点が整理された。

1.1 舗装工法の現状

欧州道路調査レポートおよび国内の建設省、日本道路公団を中心とした試験工事を含めた資料等の調査から次のような事がわかる。

(1) 欧州の実態

①排水性舗装の位置付けとしては、排水機能に着目する国と交通騒音対策に着目する国があるようであり、前者は西ドイツ、フランス、イタリア等、後者はオーストリア、ベルギー、オランダ等がある。

②排水機能を重視するグループは、アスコンのトップサイズを大きくし14～16mmを、交通騒音対策を重視するグループは8～11mmを用いている。

③排水性舗装を目的とするアスコンにはほとんどの場合、改質アスファルト（SBR、SBS、EVA、EPDM等を添加）を使用しており、さらに耐久性を高めるために植物繊維を添加している。

④排水性アスコンの空隙率は15～25%の実施例があり、中でも20%以上を目指す傾向がうかがえる。

⑤舗装厚は4～5cmで施工している。

⑥施工はタイヤローラを使用せず、鉄輪ローラを主体に行っている。

⑦開粒度アスコンと基層の接着、排水機能をスムーズにし、合わせて応力緩和効果をもたせるSAMI（Stress Absorbing Membrane Interlayer）を設ける例が多い。

(2) 国内の実態

①設計関係で考慮している点として、舗装厚は施工

*わだ みつお 建設省関東地方建設局
道路管理課課長補佐

上の考慮からアスコン用骨材の最大粒径の2.5倍以上を目安とする排水施設を合わせて整備すべきである等がある。

②排水性アスコンの配合関係では、マーシャル安定度は500kgf以上を目安としており、合わせてアスコン供試体の動的安定度、すりへり量、剥離性状等を検討するようにしている。

③施工関係では、タックコートにゴム入り乳剤を使用する、ホットビンの粒度管理、転圧時の温度管理、転圧機種を選定等の施工管理を十分に行うようにしている。

1.2 舗装の機能

排水性舗装の表層に用いるアスコンの品質には、以下に示すような要因の検討が必要である。

(1) 排水性の確保

ポーラスで排水性機能をもった舗装を設計施工するためには、アスコンの品質の検討が重要である。このため、車両走行騒音低減のための改良目標とそれにふさわしい重交通用の吸音性及び排水性アスコンの品質の目標値を探る必要がある。

(2) 安定性の確保

排水性舗装の耐久性を高めるためには、構造設計、配合設計、施工の面で各種要因の検討が必要であるが、この内アスコンの配合設計上の検討要因としては、以下の点があげられる。

①アスファルトの品質

アスファルト舗装が目づれを起こすと透水性は著しく低下するので、これを改善するためには高温時(60℃)の粘性や常温におけるタフネス・テナシティに着目したアスファルトの選択が重要といえる。このため、ゴム・樹脂系、ゴム系の改質アスファルトやエポキシ樹脂、ウレタン樹脂等の検討が必要になる。

②骨材の品質

硬質でかみ合わせ抵抗に優れた骨材の選定は排水性舗装の耐久性にとって重要といえる。この意味から天然産又は人工産の硬質骨材の選定や骨材の偏平率、細長率等形状に着目した検討が必要になる。

(3) 耐久性の確保

①添加材

アスコンはウエザリングを受けると品質が変化するが、耐久性を高めるためには、適正なアスファルト量を配合することが重要である。しかし、開

粒度タイプは密粒度タイプに比較してアスファルト量はかなり少ないことから、ウエザリングに対する品質の変化が大きい傾向にある。したがって、排水性舗装の耐久性を高めるのに特殊な添加材を配合し、性能を高めている例が多い。添加材としては植物繊維、鉱物繊維、プラスチック繊維等があるのでその検討が必要である。

②剥離防止材

骨材は、水で飽和されたり濡れた状態におかれるとアスファルトとの付着力が低下して、次第に剥離(Stripping)現象を起こす。このため、排水性舗装では剥離対策の検討が特に重要であり、これまでの実績ではフィラーの一部を消石灰やセメントで置き換えた特殊フィラーやカップリング材で骨材の表面処理をしたり、アスファルト中に各種のアミン類から成る剥離防止材を溶解させた特殊アスファルトがあるのでこれらの検討も必要といえる。

2. 研究概要

当調査業務は排水性舗装工法の標準仕様書(案)をまとめるための基礎資料の収集と整理を目的としているが、関東地方という条件を十分考慮した内容にすることをねらっている。

研究開発は図-1に示すフローに従って実施中である。

3. 排水性舗装用混合物の性状

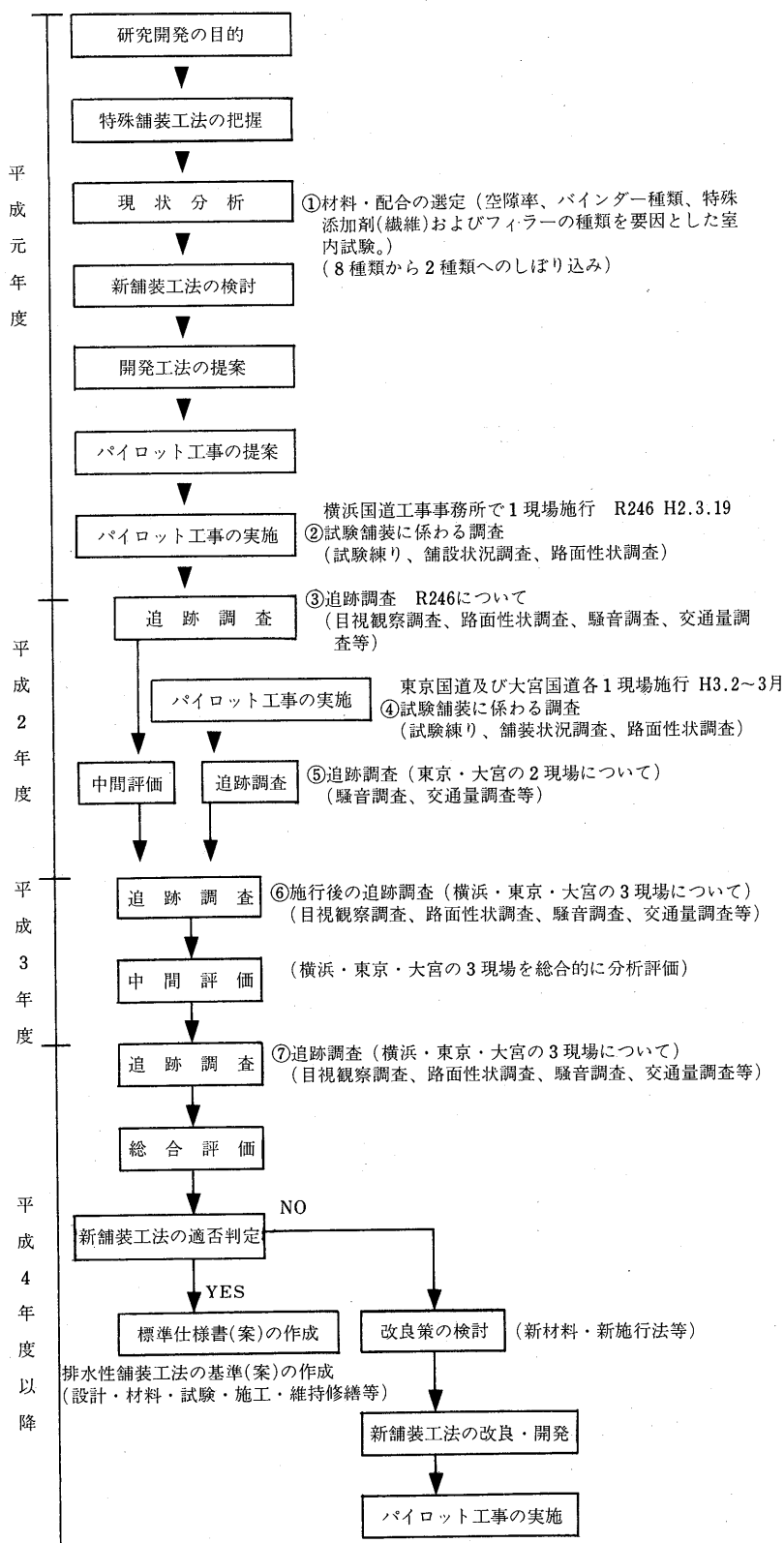
3.1 混合物性状(予備試験)

混合物の性状を確認するため、目標空隙率、バインダーの種類あるいは植物性繊維等の要因を変化させた8種類の混合物の予備試験を行った。なお、文献及び施工実績調査より骨材最大粒径は13mmとし、またフィラー量の50%を消石灰で置き換えた。

これらの混合物の選定バインダー量におけるマーシャル特性値を表-1に示す。

このうち、空隙率と透水係数の関係を図-2に示すが、これによれば各混合物の透水係数は全て 10^{-2} cm/sec以上であるが、同一空隙率において植物性繊維を使用した場合は、使用しないものより小さい傾向が認められた。

図-3に混合物の種類別の動的安定度(Dynamic Stability以下DS)を示すが、改質アスファルトを使用した場合は $DS \geq 6000$ 回/mm以上であり、また植物



図－1 研究開発フロー

表-1 マーシャル特性値

項目 混合物種	目標 空隙率 %	目標空隙率 に対する バインダ量%	密 度 g/cm ³	空隙率 %	安定度 kg	フロー値 1/100 cm	残 留 安定度 %	透水係数 ×10 ⁻² cm/sec
①ストレートアスファルト添加材料有	15.0	5.2	2.118	15.3	545	22	91.5	3.3
②ストレートアスファルト	15.0	4.5	2.120	16.4	621	24	88.4	7.6
③改質アスファルト(A)添加材料有	15.0	5.1	2.129	15.0	586	27	90.1	3.9
④改質アスファルト(A)	15.0	4.5	2.130	16.0	791	33	84.7	7.2
⑤改質アスファルト(B)添加材料有	15.0	5.2	2.123	15.0	822	30	87.6	3.5
⑥改質アスファルト(B)	15.0	4.5	2.130	15.9	773	36	90.2	8.1
⑦改質アスファルト(A)添加材料有	20.0	5.2	2.004	19.9	476	21	89.9	7.4
⑧改質アスファルト(B)添加材料有	20.0	5.3	1.994	20.1	588	21	84.1	7.7

注) 改質As(A)は、改質Ⅱ型(As舗装要綱)規格のバインダである。
改質As(B)は、高粘度の透水性舗装用バインダである。

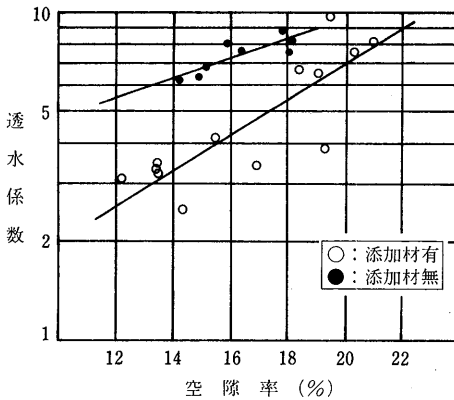


図-2 空隙率と透水係数の関係

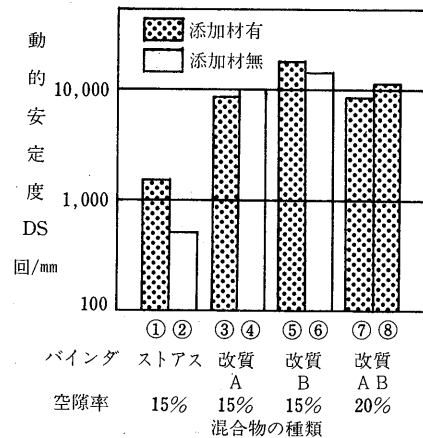


図-3 動的安定度

性繊維の耐流動効果も見うけられる。

以上の結果より、排水性舗装用混合物の標準仕様(案)を表-2のように設定し、試験施工に臨んだ。

表-2 混合物の標準仕様(案)

項 目	標 準 値	備 考
空隙率 %	15~20	ノギス法
透水係数 cm/sec	1×10 ⁻² 以上	
安定度 kgf	500以上	
動的安定度 回/mm	1500以上	D交通では3000回/mm以上が望ましい

3.2 混合物性状(配合試験)

予備試験結果を踏まえて実施した3箇所の試験施工における配合試験時の混合物性状を表-3に示す。尚、3箇所とも目標空隙率は15%及び20%の2種類とし、耐久性を増大させるため改質アスファルトⅡ型、及び植物性繊維を使用すると共に、剥離抵抗性の向上のためフィラーの50%を消石灰に置き換えた。

骨材の最大粒径はいずれも13mmとしたが、2.36mm通過量は目標空隙率15%が19~21%、目標空隙率20%が12~14%となった。

表-3 最適アスファルト量における混合物性状

試験 区分	目標 空隙率 (%)	As量 (%)	密 度 (g/cm ³)	空隙率 (%)	安定度 (kgf)	フロー値 (1/10mm)	透水係数 1×10 ⁻² cm/sec	動的 安定度 (回/mm)
R246 号	15	5.4	2.136	14.4	679	28	7.4	6000以上
	20	5.2	2.007	19.8	605	22	2.4	6000以上
R14 号	15	5.5	2.095	14.8	693	32	4.7	5490
	20	5.0	1.988	19.8	542	29	8.1	4680
R17 号	15	5.2	2.101	15.3	651	24	7.1	6000以上
	20	5.1	1.996	19.7	606	26	9.3	6000以上

3.3 混合物性状(試験練り)

排水性舗装用混合物は通常のアスファルトプラントで製造するが、植物性繊維や消石灰のミキサへの投入、骨材配合のアンバランスに起因する計量待ちやロスあるいはオーバーヒートなどの問題点が認められた。

現場配合の設定あるいは混合物性状の確認等を目的として配合試験の結果を基に試験練りを実施したが、目標とする空隙率15%と20%を得られる骨材配合は、

それぞれ2.36mm通過量が約20%及び13%が適正であると判断された。

アスファルト量は、開粒度タイプであるため最適な量を求めることは難しいが、試験練りにおける観察結果では、室内試験での目標空隙率におけるアスファルト量とその目視観察結果がほぼ一致しており、目標空隙率におけるアスファルト量を選定アスファルト量としても妥当であると判断された。

4. 試験施工

排水性舗装の試験施工は、以下に示す3箇所の国道においてパイロット工事として修繕工事の一部に採用され施工した。

排水性舗装の厚さは表－4に示すように4cmと5cmとしたが、タックコートにはいずれもゴム入り乳剤を使用した。試験施工は以下の時期に実施した。

表－4 試験施工箇所の概要

項 目		一般国道246号 伊勢原市	一般国道14号 江戸川区	一般国道17号 熊谷市
延長	空隙率15%	100m	104m	100m
	空隙率20%	100m	141m	100m
車 線 数		2	4	4
施 工 幅 員(m)		標準4.25(1車線)	標準15.55(4車線)	標準7.0(2車線)
表層工施工厚(cm)		5.0	4.0	5.0
横 断 勾 配(%)		2.0	2.0	2.0
縦 断 勾 配(%)		2.0(密粒:0.9%)	0	0
交 通 量(台/日)		27,000(20.0%)	46,000(21.8%)	42,900(36.9%)
施 工 年 月		平成2年3月	平成3年1月	平成3年3月

注) 交通量の()は、大型車混入率を表す。

4.1 事前準備

排水性舗装の表層は透水性タイプの混合物となるが、基層以下は通常混合物であり透水機能を有していない。従って、表層に浸透した水は速やかに排水するためには集水樹の改良、あるいはその他の排水処理対策が不可欠になる。この意味から、事前準備で行った排水処理対策は、表－5及び図－4に示す構造仕様のものを設けることとした。

表－5 排水処理対策

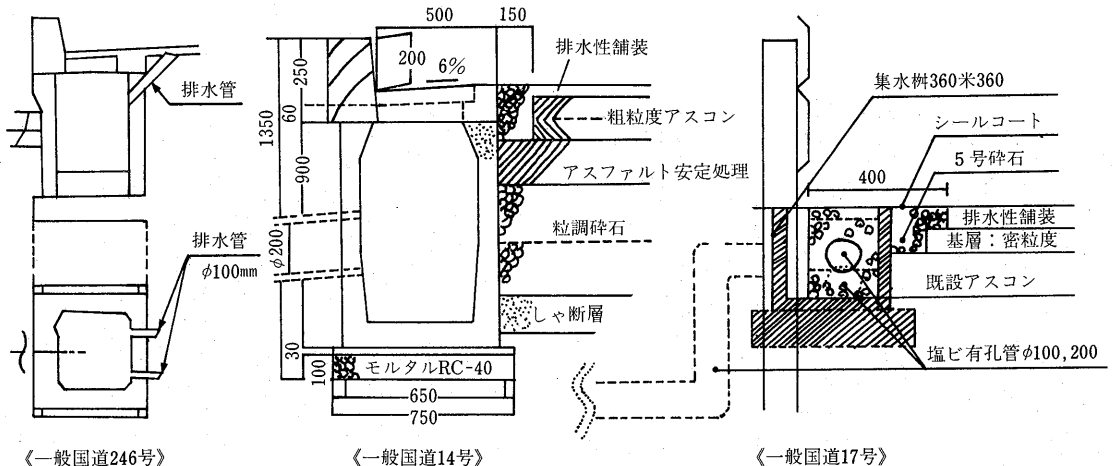
一般国道246号 伊勢原市	一般国道14号 江戸川区	一般国道17号 熊谷市
・集水樹間隔：20m ・集水樹前部の基層を70×70cm程度排水性舗装に打換、排水管を埋設	・集水樹間隔：20m ・集水樹前部の基層の一部を15×100cm程度のプレキャスト透水性樹脂コンクリートとした	・路肩部に暗渠を設け暗渠の廻りは6号砕石で埋戻す、表面はプライムコード処理 ・約60mごとに集水樹設置

4.2 施工状況

排水性舗装用の混合物はアスファルトフィニッシャーに敷き均し、ロードローラとタイヤローラを用いて締固めを行った。

開粒度タイプの混合物の舗設は、混合物の急速な温度低下が懸念され、敷き均し後の速やかな転圧が必要になる。1例として、一般国道14号における施工時の混合物の温度測定結果を表－6に示すとおり、敷き均し時の温度165℃から初期転圧終了時の温度120℃のように比較的早い時間で混合物の温度が低下していることが判った。

施工後の表面のきめの状態は写真－1に示すとおり



図－4 排水構造

表－6 混合物の温度

項 目	目標温度	測 定 値		
		密粒度アスコン	配合①	配合②
出荷温度	180±5	164～168	181～184	181～185
到着温度	—	158～163	177～180	177～180
敷均し温度	165±5	150～155	164～168	165～169
初転圧温度	155±5	143～145	154～158	152～158
二次転圧温度	105±5	95～105	95～105	93～103
仕上げ転圧温度	90以下	75～87	75～87	71～85
開 放 時	—	35	35	28

注1) 施工時の外気温は配合①が6℃で、配合②は7℃であった。

注2) 表中の目標温度は、排水性アスコンに対するものである。

であり密粒度の混合物に比較し著しく大きな空隙を有していることや空隙率20%の方が15%の表面より粗い傾向であることが判かる。

4.3 路面性状

施工直後における排水性舗装の路面性状は、表－7に示すとおりである。尚、比較のため密粒度混合物の舗装についても測定を行った。

表－7 路面性状

路 線	上下車線	舗装の種類	平坦性 (σ mm)	透水量 (ml/15sec)	すべり抵抗性 (BPN)
国道246号	上り	空隙率15%	1.94	667	69
		空隙率20%	1.92	994	69
国道 14号	上り 下り	空隙率15%	1.44	588	85
			1.49	679	89
	上り 下り	空隙率20%	1.30	997	87
			1.28	1009	88
	上り 下り	密 粒 度	1.44	—	57
			1.28	—	56
国道 17号	下り	空隙率15%	1.03	435	79
		空隙率20%	1.05	1440	90
		密 粒 度	1.30	—	69

平坦性は路面の種類によって差はあるが、一般の舗装と同程度の値が得られている。また、現場透水試験による透水量は空隙率15%が435～679ml/15sec、空隙率20%が994～1440ml/15secで3箇所とも同様な傾向である。すべり抵抗性は通常舗装と比較し排水性舗装の方がやや大きな値が得られているが、空隙率15%と20%では大差は認められなかった。

5. 追跡調査

排水性舗装の機能あるいは耐久性等を把握するため、施工後半年及び1年経過時において、路面性状調査と騒音調査を行った。尚、当追跡調査結果は施工時期の関係でとりあえず一般国道246号についてのみ記したが1ヵ年のみの調査で試料数も少ないので断定は出来ないが、以下の傾向がうかがえる。

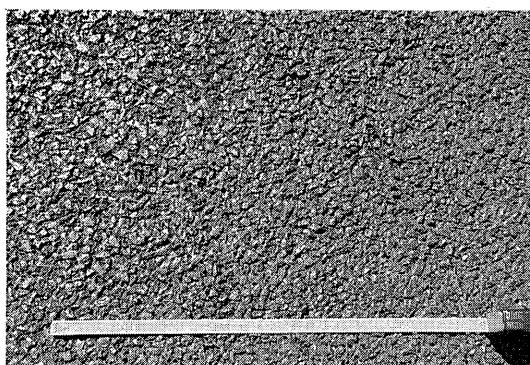
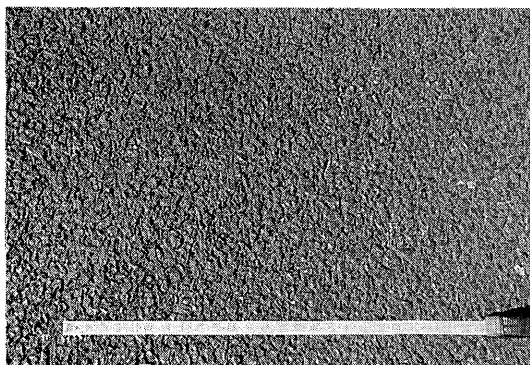
5.1 路面性状調査

一般国道246号における路面性状調査は表－8に示す項目について行った。

表－8 路面性状調査項目

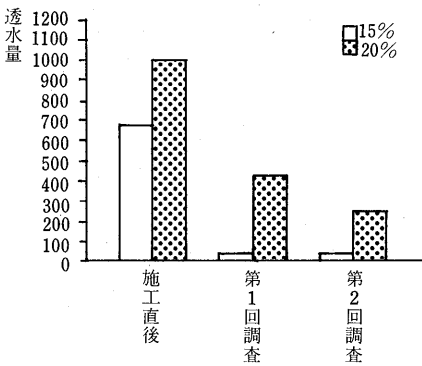
調査項目	試験方法	頻 度	備 考
現場透水試験	舗装試験法便覧	2箇所／断面 3断面／区間	車輪走行部、非走行部
すべり抵抗測定	ポータブルスキット テスター	3箇所／区間	車輪走行部 (OWP)
平 坦 性 測 定	3mプロファイルメータ	2箇所／区間	車輪走行部 (OWP、IWP)
横断形状測定	横断プロファイルメータ	4断面／区間	20m間隔
路面性状の観察	目視および写真真	適 宜	

現場透水試験結果は図－5に示すとおり供用6ヶ月あるいは1年後の透水量は施工直後に比較して著しく減少している。特に、空隙率15%と20%を比較すると、



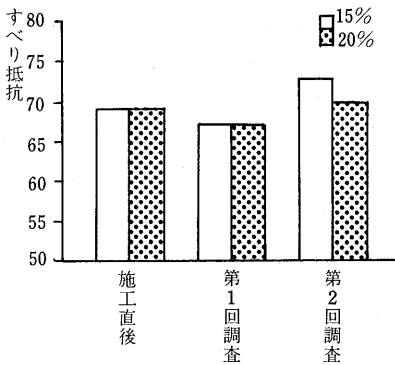
写真－1 路面の仕上り状況

20%が大幅に透水量は大きく、また経時変化による減少の度合いも小さい傾向にある。



図－5 現場透水試験

すべり抵抗性は図－6に示すようにおおそ67～73 BPNであり、空隙率15%と20%の差はほとんどない。



図－6 すべり抵抗 (BPN)

また、密粒度混合物を用いた表層と比較した場合、排水性舗装の方が多少すべり抵抗性は大きい傾向にある。

横断プロファイルメータによって測定したわだち掘れ量の結果によると、日交通量が約13,000～17,000台、大型車混入率約20%という交通条件にもかかわらず、わだち掘れは交差点近辺においてもほとんど見うけられず良好な路面状態を維持している。

また路面の観察結果では、わだち掘れや骨材の飛散等はほとんど見られないが、目ずまり状態が見られ、特に空隙率15%においては排水性舗装としての機能が極端に低下している様子が認められた。

5.2 騒音調査

表－9は各試験舗装区間の騒音の平均的な値と変化量を示すものである。区間ごとの平均差は理論的には

表－9 騒音特性

項目	区間	中央値 L ₅₀ (dBA)	パワーレベル L _w (dBA)	タイヤ騒音 L _e (60)(dBA)	粗さ R(mm)
年間を通した平均的な差 (C区間に対する差)	A (15%)	-1.5	-2.0	-0.5	0.5 (0.8～1.4)
	B (20%)	-2.0	-4.0	-1.5	1 (1.0～1.9)
	C (密粒)	0	0	0	0 (0.2～1.0)
竣工1年後の増加量	A (15%)	2.5	乗用 5.0 大型 1.5	1.0	0.4
	B (20%)	2.0	乗用 4.0 大型 -0.5	1.5	0.3
	C (密粒)	2.0	乗用 3.0 大型 2.0	2.0	0.4

注) ・A区間：排水性舗装（排水性アスコン、空隙率15%）
・B区間：排水性舗装（排水性アスコン、空隙率20%）
・C区間：通常舗装（密粒度アスコン）

L₅₀とL_wは同一の値で現れるべきものではあるが、道路全体に試験舗装されているのではなく、下り側は通常舗装であることを考えれば、中央値L₅₀はパワーレベルL_wに現れた効果よりも少なめであって当然である。またタイヤ騒音の測定にはラジアルタイヤを用いているため、ノーマルタイヤや装着車の混入している一般車におけるL_wよりも効果は控えめに現れたものと解釈できる。

次に年間の変化であるが、L_wの乗用と大型を混合したものがL₅₀に現れるはずであるから、両者の整合は保たれており、タイヤ騒音についても前述の理由により若干小さめに現れているものと思われる。

以上から、1ヶ年間の調査期間内での結論は次のようである。

- ① 排水性舗装区間（空隙率15%のアスコン）では通常舗装区間（密粒度アスコン）に比べて1～2 dBAの減音効果がある。
- ② 排水性舗装区間（空隙率20%のアスコン）では通常舗装区間に比べて2～4 dBAの減音効果がある。
- ③ 年間の舗装の変化に伴う騒音の上昇は、3区間ともに2 dBA程度である。

さらに周波数分析の結果によれば、排水性舗装の騒音低減効果は主に高音域（2000Hz以上）に現れることが判明した。また、その傾向と程度はL₅₀やタイヤ騒音においても同様になっていることから、沿道騒音はそのほとんどがタイヤ騒音である（排気音等の寄与は少ない）と思われる。

6. 今後の課題

2ヵ年間にわたって、排水性舗装工法に係わる検討を行って来たが、今後この舗装工法の標準化を目指すには、さらに以下のような検討が必要と考えられる。

6.1 構造設計に係わる課題

(1) 舗装厚

排水性舗装は新設及び維持修繕のいずれの工事においても適用される工法といえる。しかし、これまでの試験舗装は全て修繕工事において検討されたものであり、厚さの決め方は排水性舗装特有の決め方というよりは従来の切削オーバーレイにおける厚さの検討手法が適用されている。今後はこのような手法の他に、排水構造と合わせて降雨強度、流出係数等を考慮した舗装厚の決め方の検討も行い、双方の比較からより実状に適合した厚さの決め方について検討する必要がある。

(2) 排水構造

排水性舗装における表面排水は、路床に雨水を浸透させずに路肩部の排水構造物に排水処理することを前提としていることから、排水構造の決め方が重要といえる。これまでの試験舗装では既設の排水施設の利用を前提に路面の縦横断勾配を利用した集水ますへの導水構造としているが、今後はこれらの機能の耐久性を評価しつつ、路面排水に係わる構造細目の検討が必要である。

(3) 遮水層

試験舗装ではタックコートにゴム入りアスファルト乳剤を使用する事例が多いが、これは接着性だけでなく基層以下への浸透を防止する効果をねらっているものである。しかし、海外では同様の目的のために高弾性瀝青材料を塗布した後、プレコートチップを散布圧入するいわゆるSAMIを採択している事例が多いので、これらを含めた遮水層に関する検討が必要である。

6.2 アスファルト混合物の配合設計に係わる課題

(1) 配合設計の確立

排水性舗装用混合物の配合設計は、ほとんどの場合ノギスによってマーシャル供試体の寸法を測定しその値から計算した体積と、乾燥状態における供試体の空中重量から計算される密度をもとに空隙率を計算し、所要の空隙率に相当するアスファルト量と混合物の観察結果をもとに最適アスファルト量を決める手法を適用している。しかし、この手法は、試験者の主観的判断に大きく影響されるため、今後はより一般化された合理的な配合設計手法の検討が必要である。

(2) 材料の選定

排水性舗装用混合物は十分に締固めた後でも所要の空隙率を保持する必要があることから粗骨材、すりへり減量、軟石量、偏平率、細長率が出来るだけ小さい骨材を選定することが重要である。又、排水性舗装は供用中に目つぶれが生じにくいことが重要な性質であることから、使用アスファルトは60℃粘度やタフネス・テナシティの改善につながるものを選定することが重要である。このような事から骨材は粒度、粒径に着目し、アスファルトは60℃粘度に着目した材料の選定に関する検討が必要である。

6.3 施工法に係わる課題

(1) 製造・運搬

排水性舗装用混合物は骨材配合比が一般のアスコンに比べ、偏った配合にならざるを得ないことから、プラントにおいても3ピン（骨材粒度：13～5mm）と1ピン（骨材粒度：2.36mm以下）のみを用い、しかも3ピンの使用量が圧倒的に多いことによるふるい効率の低下、使用しない2ピン（骨材粒度：5～2.5mm）のオーバーフローを防ぐための骨材の抜き取りが必要になる。さらには、植物繊維の添加によって混合時間が伸びる事等の影響があることからプラントの製造能力が極端に低下する（3ヵ所のフィールド試験における実績では、通常混合物の40～50%になる）ことが認められた。したがって、これらの事柄に対する実績調査を行い、適正な製造能力の評価や対策に関する検討が必要である。

又、運搬においても使用アスファルト（バインダ）の種類によっては混合温度がかなり高温になることから混合物が冷えやすい傾向にあり、保温装置付きの運搬車が必要になる場合もある。このようなことから施工マニュアルの全般的な検討が必要である。

(2) 舗設

試験舗装の評価によれば、排水性舗装用混合物は混合物の合成粒度や使用アスファルトの種類等の影響から通常のアスコンに比較してすりつけの際のレーキングワークや表面の手直しが難しい傾向にある。このようなことから、施工マニュアルの詳細な検討が必要である。また、表面の目つぶれや締固め密度の確保の上で、転圧時の適切な温度管理についても合わせて検討する必要がある。

6.4 維持管理に係わる課題

(1) 機能評価方法

排水性舗装工法ではまず、透水性の評価が重要となる。しかし、試験舗装の調査によれば透水性アスコン

の目標空隙率や施工条件の影響によって現場における透水量の評価がかならずしも透水性アスコンの目標空隙率と定量的な関係にならない傾向が認められた。したがって、より適切な現場透水能試験方法の検討を行い、面的な透水性を容易かつ正確に評価した上で回復時期の判定ができるようにする必要がある。

また、交通騒音の追跡調査によれば、排水性舗装は一般の舗装に比較してパワーレベルが小さく交通騒音の低減という面では現時点では効果が見られる。しかし、今後の目づまりを考慮すると、パワーレベルの減少のみで判断できない上、騒音機能の評価手法の検討が必要と考えられる。

一方、路面粗さと交通騒音には着目すると試験舗装における両者の相関はほとんど認められ無いので、今後、騒音との相関を取り易い路面の凹凸評価に関する新たな試験法の検討が必要と思われる。

なお、雨天時の騒音低減やスリップ防止等の効果の確認も重要な調査課題である。

さらに、車両走行にともなう水滴等によるスモークやスプレーニングの低減効果と雨天走行時の路面

表示の視認性評価手法の検討も必要と思われる。

(2) 維持管理手法

路面性状調査によれば、前述のように排水性アスコンの空隙率が15%のものはわずか1年間の供用で透水量が極端に低下しており、機能回復措置を試行しても良い時期に達している。このように排水性舗装では目づまり現象はさけられないことから、それらの機能回復のシステム、舗装の維持修繕工法の検討を行い、維持管理手法をまとめる必要がある。

あとがき

「道路舗装改良の研究開発」は前述のように平成4年度まで継続するが、排水性と吸音性という両方の効果をねらった都市型の排水舗装の仕様を是非とも完成させたいところである。

おわりに本報告をまとめるにあたり、協力いただいた(財)先端建設技術センター、阪本参事、熊谷道路(株)技術研究所、小島第一研究部長、大林道路(株)、高橋技術部次長、に深甚の謝意を表する。

砂利道の歴青路面処理指針（59年版）増刷

第3刷 B5版・64ページ・実費頒価500円（送料実費）

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

アスファルト舗装工学の発展を目指して(6)

姫 野 賢 治*

今月の始め、逗子で本研究グループの夏合宿を行った。1988年の夏に新制の研究グループが発足してから、早いものでもう4回目になる。日頃の研究活動も既にもう3年間続けられてきたことになる。前にも触れたが、現在は5つのワーキンググループを設け、すべてのメンバーがこのうち2つに属するというルールを基本にしながら各グループが独自に自由に活動をしている状況である。小生が北大に移ってからは、残念ながら具体的な、活動の内容までは余り議論する時間がとれないので、班長さんを中心とした各グループの努力によって補って頂いているというのが現状であろうか。

自分の余り得意でない分野は当然として、そうでない分野でも、本研究グループで発表される成果のほとんどは、小生にはいろいろな意味で毎回大変に重要な情報源であり、本当にありがたいことであると常々感じている次第である。特に、今回取り扱われている「はく離」のような、どちらかと言えば材料に近い分野には、あまりなじみがなかったので、その内容に感心すること頻りである。大学を出て間もないフレッシュな方々の研究成果であっても驚くほどレベルが高いし、ましてや、今回のレポートの取りまとめの中心になって頂いた大林道路の谷口さんや日本道路の久下さんなどのベテランの方々に対しては、ただただ脱帽の限りである。

小生は大学の人間であるから、教育だけでなく、研究や社会活動も自分の正規の仕事に属すると思っており、この研究グループの仕事も、勤務時間内に行うことは当然と考えているが、聞くとところによると、この研究グループの活動は、勤務時間を終えてから残業をしたり、自宅に持ち帰ってせざるを得ない方々も多いらしい。このような環境下でこのような立派なレポートが毎回報告されるというのは本当に素晴らしいことであると思う。これは日本大学理工学部の阿部先生の時代からの伝統であり、このようなスタイルを確立するのはさぞかし大変でご努力が必要であつたであろうと慮んばかれる。ちなみに、小生の座右の銘としている書籍は、アスファルト誌の第155号、言わずと知れた、阿部先生時代の研究グループの総決算号である。当時の円熟したメンバーが総出で手掛けた完成品と言えようか。今でも、講義の準備とか、雑誌の原稿などのために読み返してみると、驚くほどレベルが高いと今さらのように感心する。

さて、今回の研究グループの報告は、当時からの熟練メンバーと、これからが楽しみなフレッシュな若手メンバーとの合作で、それぞれの良さが微妙ににじみでている力作である。必要な文献などはほとんど漏れなく参照されており、その取組の姿勢には本当に感心させられる。是非熟読のほどを。

*ひめの けんじ 北海道大学土木工学科助教授

アスファルト混合物のはく離

石井 広明* 佐々木 巖*****
 伊藤 達也** 菅野 伸一*****
 笠原 彰彦*** 鈴木 秀輔*****
 久下 晴巳**** 谷口 豊明*****

1. はじめに

アスファルト混合物のはく離は古くて新しい問題である。わが国では昭和40年頃、九州地方の国道で発生したはく離現象を契機として関心が高まった経緯がある。はく離は供用後短期間で発生する例が多く、これに伴ってわだち掘れやひび割れが発生して供用性が急激に低下したり、ポットホールの発生により、交通の安全に支障をきたすこともあるが、他の原因によるわだち掘れやひび割れに比べるとこの問題に対する認識が低いのも事実である。

従来から、はく離現象のメカニズム、はく離の評価方法あるいはその防止対策については様々な検討がなされ、それらの成果は種々の文献等で示されているとおりである。しかしながら、この問題が未だにどの一つのメカニズム、評価方法あるいは防止対策でも解決されない部分があると考えられることは、この問題が非常に複雑であり、また冒頭で述べたように古くて新しい問題と位置づけた所以である。

今回の報告は、できるだけ多くの内外の文献を調査し、はく離の問題に関する研究の現状をメカニズム、評価方法および防止対策に大別してとりまとめを試みたものである。

2. はく離現象

2.1 はく離現象の定義

アスファルト混合物のはく離は一般に良く知られている現象であり、種々の文献では次のような定義が示されている。

"Cause and Prevention of Stripping in Asphalt Pavements" Asphalt Institute

「はく離 (Stripping) は、アスファルトと骨材表面との付着が失われることであり、混合物の種類、アスファルトの性状、環境、交通、施工方法、はく離防止剤の有無など様々な要因の影響を受ける複雑な問題であるが、水の存在はどの様なはく離現象においても共通する要因である。(抜粋)」

「道路舗装用語の解説」山海堂

「歴青材料で被覆された骨材が水に接したとき、水の作用あるいは水と交通との複合した作用によって、骨材の表面から歴青材料がはがれる現象。この他、表面処理やシールコートの骨材が飛散したり、表面の混合物が薄くはがれることを言う場合がある。はく離は骨材表面のきめの荒さやアスファルトの硬さなどの物理的な要因、骨材やアスファルトの組成など化学的な要因および気象、交通条件など種々の要因により支配されるが、中でも骨材の種類による影響が比較的大きいと言われている。(抜粋)」

「道路用語辞典」丸善

「アスファルト混合物中のアスファルトが水の影響によって骨材面からはがれること。不明な点が多いが、親水性骨材を使用した基層混合物に多く見受けられる。(抜粋)」

以上のように、はく離は「アスファルトが骨材の表面からはがれること、あるいはアスファルトと骨材表面との付着が失われる」現象であり、水の存在が重要な役割を果たしている。はく離に関する種々の評価試験において水浸という条件を設定しているのは、この「水の存在」を考慮したためと考えられ、水ははく離において不可欠の条件と言える。

一方、アスファルト混合物に対する外力の作用も、

*いしい ひろあき 世紀東急工業㈱技術研究所

**いとう たつや 日産化学工業㈱技術研究所

***かさはら あきひこ 日本舗道㈱技術研究所

****くげ はるみ 日本道路㈱技術研究所

*****ささき いわお 建設省土木研究所地質化学部化学研究室

*****すがの しんいち 常盤工業㈱技術研究所

*****すずき しゅうすけ 大成道路㈱技術研究所

*****たにぐち とよあき 大林道路㈱技術研究所

はく離現象においては重要な問題の一つと考えられる。はく離が原因で起きる舗装の破壊は、まず第一段階で混合物中のアスファルトが骨材表面からはがれ、バインダとしての機能を失う。次に第二段階でこのはがれた状態に対し交通荷重が作用して層としての破壊が起こる¹⁾。この過程において、水と外力は常に作用していると思われ、特に外力は混合物層を急激に破壊に至らしめるものである。NAPA (全米アスファルト舗装協会) のレポートに²⁾よると、近年はく離によるとと思われる舗装の破壊現象が増えていることの説明として、上記の第一段階において、せん断破壊によって骨材が他の骨材の表面を滑る際に、滑り面のアスファルト被膜をこすり落とすという考え方が示されている。なお、ここで言うせん断破壊は、やはり近年急激な増加傾向を示している大きなタイヤ圧によるものだとしており、この破壊が起きると舗装は膨張し、結果的に広がった間げきに水が浸入してはく離と同じ状態になるというものである。先に述べたような一般的に良く知られたはく離現象が、供用開始後、比較的短時間にしかも急激に起きるのは対照的に、この外力を主原因とするものは、それまで何年間も異常の無かった舗装が荷重条件の変化に抗しきれず突然破壊しはじめる点が特徴的である。締固めたアスファルト混合物に対して、いわゆるクーロンの式で表されるせん断抵抗の状態を適用できるのか疑問のあるところではあるが、はく離現象の初期の段階で水が関与しない例として、また最近わが国でも注目されているタイヤ圧の問題と併せて興味深いものである。

なお、本報告では上記のような特殊な例は対象外とし、はく離現象は“水の存在”の下にアスファルト被膜が骨材表面からはがれることと定義して以下の議論を進める。

2.2 はく離のメカニズム

前項で示したように、はく離はアスファルト被膜の骨材表面からはがれであり、アスファルトと骨材の付着が失われたことを意味するものである。つまり、はく離は付着の問題に置換えて考えることができる。

アスファルト混合物の強度はアスファルト自体の粘着力と骨材同士のかみ合わせ効果および摩擦抵抗力とから得られるものとする、骨材との付着が良好な場合にのみ、バインダの粘性抵抗は十分に発揮されることになる。従って、アスファルト／骨材間の付着に問題がなければ、混合物としての破壊はバインダ内部で発生するはずである。逆に、付着に問題があれば破壊

は当然アスファルト／骨材の付着面で起こることになり、混合物としての強度が得られないために舗装の早期破壊につながる³⁾。この付着の損失は舗装におけるひび割れやわだち掘れの原因と考えられる。つまり、はく離はまず水が骨材とアスファルトの付着面に入り込んで付着を失わせ、その結果としてバインダとしての結合力がなくなり、混合物の耐久性が急激に失われることと言える。

一方、はく離に関する要因は、混合物を構成する材料の性質等の内部要因と混合物に作用する水や交通荷重等の外部要因に分けられる⁴⁾。

内部要因

- a 骨材岩種
- b 骨材の吸水性
- c アスファルトのコンシステンシー
- d アスファルト量
- e 骨材粒度
- f 骨材の乾燥状態
- g 施工温度
- h はく離防止剤の有無 など

外部要因

- a 切土・盛土の別
- b 地下水位
- c 縦横断勾配
- d 路盤排水
- e 路盤の含水比
- f 路盤工種
- g 交通荷重
- h 気温 など

以上の要因のうち特に内部要因は、骨材のシリカ含有量と水に対する親和力の関係（酸性岩、塩基性岩）^{5,6)}、骨材のキャラクタリゼーション（組成、表面組織、表面付着成分、粒形、表面積、気孔率、吸着率、化学反応性、表面エネルギーなど）^{7,8)}（図-1）、アスファルトの粘性や改質の程度⁹⁾（図-2）などが骨材とアスファルトの付着性に関して従来からはく離のメカニズムの説明によく用いられている。それらの主なものは、界面張力（ぬれの問題）、分子間引力（ファンデルワールス力）、機械的付着性（骨材の表面組織）、化学反応性（親水／疎水性、酸／塩基性）などで、その概要を表-1にまとめて示す。各々の説明はいずれもアスファルトと骨材の界面に働く力やアスファルトによる被覆の状態に根拠を置いたもので、表中に問題点として示したように、各々単独でははく離の問題を十

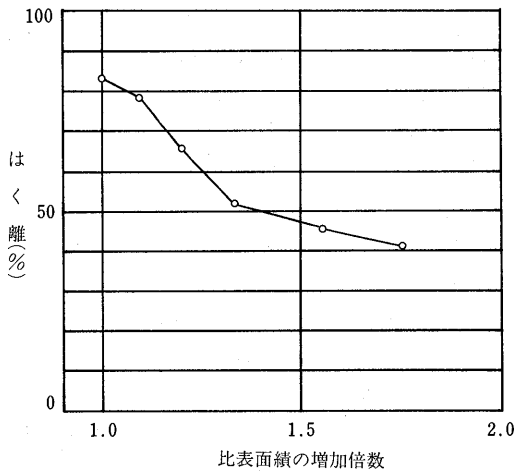


図-1 骨材の比表面積（気孔数）の増加倍数⁹⁾

分に説明しきれないのが現状である。むしろこれらの複数の要因が同時もしくは段階的に影響して進行する現象と考えるのが妥当であろう。また、これらの説明はどれも骨材／アスファルト／水の3者の状態を極めて単純にモデル化したものであるため、混合物（種類、配合、環境、外力等）に同様の説明を拡張して適用できない難点がある。これは、後述するはく離の評価試験方法においても大きな問題であり、メカニズムが複

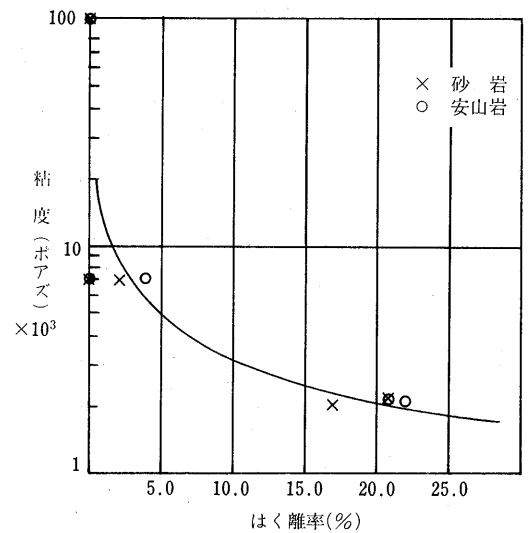


図-2 アスファルトの粘度とはく離率の関係⁹⁾

雑であるために適正な評価方法は未だ確立されていないのが現状である。いずれにせよ、骨材およびアスファルトの性状に関する多くの因子を一つにまとめて“はく離”を説明するのは極めて難しいことと言える。

一方、Taylorとkhoslaは⁹⁾、はく離のメカニズムを次の5つに分類し説明を加えている。

表-1 付着／はく離の説明（主要なもの）^{10,11)}

説 明		問 題 点
界面張力	骨材(固体)、アスファルト(液体)、水(液体)の3相間における界面張力および付着張力の釣り合いにより、アスファルトが骨材表面上に“ひろがる”“ぬれる”あるいは“ぬれない”の異なった状態が生じる。 通常、骨材－水間の付着張力は、骨材－アスファルト間のそれより大きいので、水はアスファルト膜を骨材からはがそうとする傾向にある。	“ぬれる”“ぬれない”の説明であるが、供用中のアスファルトの粘度領域において左記の状態の説明は困難。粘稠なアスファルトを骨材表面から引き離すには相当の力が作用しなければならない。 平滑な固体表面をモデルとした説明であり、実際の複雑な表面組織の骨材においては機械的な付着力も無視できない。
機械的付着	骨材の表面組織、例えば気孔性、表面積、粗さ、形状、表面被覆などにより付着性に違いが生じる。 (例) 骨材の鋭角部のアスファルト膜は、かみ合わせにより破損し易い。 表面積が大きいほど付着性が高い。 骨材表面に生成した異物の層が付着を阻害する。	骨材表面を表す性質が多岐にわたり、また各々の定量化が難しい。 (例) 気孔度の大きいものは機械的付着を大きくする反面、気孔の中に水を含んでいると付着を損う可能性がある。
化学反応	アスファルト中の酸性成分が塩基性鉱物と反応して水に不溶性の化合物を生成する。塩基性鉱物を多く含む骨材（塩基性岩）は疎水性であり、逆に酸化物を多く含む骨材（酸性岩）は親水性ではなく離れやすい。	酸性、塩基性の区別は化学反応性の強弱を一概に示すものではない。界面に生成される水に不溶性の物質による結合が実証されていない。
極 性	物質の極性による吸引力で付着／はく離を説明。 アスファルトは無極性もしくは弱い極性を持つ。これに対して水は強い極性を持つ。一方、骨材の極性の強さは様々であるため、水分子同士の結合力より、骨材－水間の吸引力の方が大きい時、はく離が起きる。 静的にはく離試験による評価と比較的に一致する点から一般によく受け入れられている。	純粋な石英が良好な付着性を示す場合がある。
分子間引力	ファンデルワールス力と呼ばれるもの。 分子間の距離の7乗に逆比例して作用する。	アスファルトが骨材をぬらした状態で初めて作用するが、他の結合力に比べ小さく、またこの力だけではく離は説明出来ない。

① 脱離 (Detachment) ^{1,3,12)}

アスファルト被膜が水膜によって骨材表面より分離する現象で、アスファルト被膜はほとんど破壊されず、骨材よりきれいにはがすことができる状態となる。界面張力は水の方がアスファルトより小さいことや、岩石の極性によっては骨材は水（水素原子）とより強く結合すること、などがこの状態の説明となる。

② 置換 (Displacement) ^{13,14)}

アスファルト被膜の欠損部から水が浸入する状態で、欠損部は不完全な被膜もしくは被膜の破壊 (Rapture) によるもので、例えばダストなどが付着した骨材をアスファルトでコーティングした場合に発生するピンホールや、骨材の鋭角部における被膜が他の骨材とのかみ合わせにより外力を受け破損して起こる。一旦欠損が生じた後は、①で示した界面張力や化学反応による吸着ではなく離が説明される。化学反応による吸着は、欠損部から浸入した水が骨材と接触すると骨材の表面に負の電位をもつ層が徐々に形成され、これを平衡状態に戻そうとするためにより多くの水が骨材表面に引き寄せられる。

③ 瞬間的なエマルジョン化 (Spontaneous Emulsification) ¹³⁾

アスファルトと水が短時間にエマルジョン化（アスファルトが連続相、水が不連続相を形成）し、骨材表面からアスファルト被膜をはく離させる。このエマルジョン化はアスファルト被膜を水浸させると起こる現象と言われており、粘土分やある種の添加剤が存在すると助長され、またアスファルトの性質などによってエマルジョン化の速度は異なるようである。このエマルジョン化がアスファルト被膜と骨材との界面部分まで到達すると、付着は完全に失われる。はく離現象の中に可逆性のもの、すなわち一旦はがれたアスファルト被膜が再付着する、があるとすれば、それはこのエマルジョン化におけるエマルジョンから水が蒸発し、アスファルト被膜が元の状態に戻ることで説明できる。

④ 間げき圧 (Pore Pressure) ^{3,12)}

連続した空げきを水が自由に移動するような、空げきの大きな混合物のはく離現象を説明するのに用いられる。この種の混合物は、交通荷重の作用で圧密が起ると、それ以前には水が自由に移動できた空げきに水が閉じ込められてしまう。そして、この閉じ込められた水には交通荷重の作用で間げき圧が発生し、骨材からのアスファルト被膜のはく離を引き起こす働きを

する。

⑤ 洗い流し (Hydraulic Scouring) ^{12,13)}

表層の混合物に限定される説明である。水で飽和した舗装表面に自動車のタイヤが通過する時、表面の水はタイヤの前部（転がる方向）では圧縮され、タイヤの通過後直ちに吸い上げられる。この圧縮と吸い上げの繰り返しにより骨材表面からアスファルト被膜がはがされる。

以上はTaylorらがまとめたはく離のメカニズムである。これらははく離現象の説明として有用なものではあるが、最大の問題はどれも室内における検証が難しい点である。また、アスファルトの粘度がどの程度の大ききの時にこれらの説明が成り立つのかも定かではなく、アスファルトの性質（品質）がどの程度影響するのかという議論も欠けている。アスファルトの粘度に着目した研究も一部に見られるが、バインディングとしての重要性に比べると、付着性に関する検討が極めて少ないのが現状である。米国では1950年代に比べ1980年代にははく離防止剤を使用する州が確実に増え、使用の頻度も多くなっているという報告¹⁵⁾もある。米国におけるこの変化が必ずしもアスファルトの質の変化と結びつかないかも知れないが、原油供給が複雑な現状から見ても、この分野の研究は重要かつ必要と考えられる。

一方、現実にはこれらのメカニズムを解明することの他に、混合物としての耐久性がどう変化するのかを究明し、はく離の影響を最小限にする方策を評価試験により見出そうとする傾向があることである。これまで、はく離に関して多くの研究者が労力を費やしたにもかかわらず、未だに問題の解明が十分でないのは、この現象が極めて複雑で要因も多岐にわたることの他に、骨材表面からアスファルト膜がはがれるというメカニズムと混合物の耐久性という実用上の問題とのギャップが大きいためではないかと考えられる。むしろ、工学的見地からは混合物の耐久性に重点を置いた評価および対策的検討が重要と思われる。

3. はく離の評価試験

3.1 試験方法の概要

はく離の評価方法は室内評価と屋外評価に大きく分けられる。室内評価に用いられている主な試験は、表-2に示すように静的はく離試験、静的載荷試験、動的載荷試験の3種類に概ね分類することができる。

静的はく離試験には、粗骨材のはく離抵抗性試験¹⁶⁾や Texas Boiling Test^{6,17,18)}があり、前者はわが国で実施

表-2 はく離に関する試験法一覧

試験法分類	評価試験名	供試体種	供試体養生条件	試験条件	評価手法
静的はく離試験	・はく離抵抗性試験 ¹⁶⁾	・単粒骨材(13-10mm)をアスファルトコーティング	・コーティング後、室温で1hr冷却	・熱湯(80±1℃)の中に30分間水浸	・はく離面積を目視(標準写真を参考)で評価 ・はく離面積を目視あるいは計測によって評価 ¹⁶⁾
	・Texas Boiling Test ^{6,17,18,19,20)}	・単粒骨材をアスファルトコーティング ・粒度調整した骨材をアスファルトコーティング	・163℃で24-26hr加熱したアスファルトを使用しコーティングした後、室温で2hr冷却	・10分間煮沸後、冷却	
	・Stress Pedestal Test ^{6,18,19,20,21)}	・0.85~0.5mmの骨材を円柱状に締固めたもの(φ41.33mm×19.05mm)	・脱型後、常温で3日間放置	・荷重板+水浸状態で凍結融解(1サイクル:-12℃/12hr, 49℃/12hr) ²¹⁾ (1サイクル:-12℃/24hr, 60℃/24hr) ²¹⁾ (1サイクル:-12℃/15hr, 49℃/9hr) ^{18,19,20)}	・クラックが供試体に生じたサイクル数で評価
動的載荷試験	・Indirect Tension Test ^{6,19,20,22,23,24,25,26,30,32,33)} ・Split-Tension Test ²⁷⁾	・粒度調整した骨材を円柱状に締固めたもの(φ100mm×50.8mm) ・マージナル供試体 ²²⁾ (断面12,20,50,75突き) ²⁶⁾	・湿潤条件: (a)減圧強制水浸+水浸の場合 水浸温度:各24℃ 水浸時間:30分+30分 ¹⁹⁾ 2日間+7日間 ^{19,24)} (b)減圧強制水浸+水浸+凍結融解の場合 水浸条件:温度各(24℃)、時間(各30分) 凍結融解サイクル: -18℃、15hr/60℃(水浸)、24hr(1サイクル) ^{19,24,26,30,32,33)} -18℃、4hr/49℃、4hr(18サイクル) ^{19,24,27,33)}	・引張り強度で評価 ^{22,24,27)} →乾燥と湿潤の強度比 ^{19,20,23,25,30,32,33)} ・E-Modulusで評価 ²²⁾ →乾燥と湿潤の比 ^{19,32,33)}	
	・Immersion-Compression Test ^{6,28)}	・円柱状に締固めたもの(φ100mm)	・水浸条件:60℃、24hr→25℃、2hr	・載荷条件:歪制御、温度25℃ ・0.05in./min/in. of height	・軸圧縮強度で評価→乾燥と湿潤の強度比
	・水浸マージナル試験 ²⁹⁾ ・Marshall Immersion Test ^{6,30)}	・通常のマージナル供試体	・水浸条件:60℃、48hr	・通常のマージナル安定度試験と同じ(載荷速度:50±5mm/min)	・残留安定度で評価
動的載荷試験	・English Trafficking Test ³⁾	・12in(30.5cm)×4in(10.2cm)×5/8in(3.2cm)	・水浸条件:60℃、1hr	・水浸走行 荷重:101b(4.53kg) 走行速度:25回/min 試験温度:40℃	・破壊するまでの走行回数あるいは時間で評価
	・水浸ホイールラッキング試験 ^{9,31,34,35,36)}	・アスコン供試体(上層)(500cm×300cm×50cm) ・模擬路盤(下層)		・水浸走行 接地圧:5.5kg/cm ² 走行速度:35回/min トラバース速度:10cm/min 試験温度:60℃ 試験時間:6hr	・はく離面積を目視で評価 ・DSで評価している例有 ³⁴⁾
	・Test Tracks ³⁾	・円形走路面積 走路幅:2ft(61cm) 半径:16ft(4.88m)		・水浸走行 荷重:1000lb(450kg) 走行速度:4.54mile/h(7.3km/h) 試験温度:90±1F(32.2℃)	・破壊するまでの走行回数あるいは時間で評価
その他	・Sonic Testing ³⁾		・水浸養生		・供試体の共鳴周波数より固有振動数を求め、これから算出した弾性係数で評価
現地開削調査	・目視調査 ^{4,37,38,39,40)} ・間接引張り試験 ^{24,32,33,39)}	・通常の開削 ・切取りコア ^{24,32,39)}	・Indirect Tension Testの覧に準じる	・Indirect Tension Testの覧に準じる	・はく離の程度を目視で評価 ・引張り強度で評価 ^{24,39)} →乾燥と湿潤の強度比 ^{32,33)} ・乾燥と湿潤のE-Modulusの比で評価 ^{32,33)}

されているものである。これらの試験はアスファルトを被覆した粗骨材を熱湯に水浸させ、この時のはく離を目視あるいは測定機器³⁾によって評価するもので、供試体種やその養生条件、試験条件などは、両者で若干異なっているが、その基本的な考え方は変わらない。

静的載荷試験には、Stress Pedestal Test^{18,19,21)}や Indirect Tension Test^{19,23,26)}、水浸マーシャル試験²⁹⁾など種々の試験が用いられている。

Stress Pedestal Testは、Laramie Energy Technology Centerで開発された手法をテキサス州が改良したもので、締固めた混合物に載荷版を載せ、水浸状態で凍結融解の繰り返しを与えてはく離抵抗性を評価する試験である。その評価は供試体にクラックが生じた凍結融解のサイクル数で行っているが、凍結融解の条件は実施機関で若干異なっているようである。

Indirect Tension Testは混合物を湿潤養生し、養生後の引張り強度低下によってはく離を評価しており、米国では、はく離の評価試験として比較的頻繁に用いられている。この評価試験は、供試体の養生条件に特徴があり、減圧強制水浸や凍結融解などの組合わせでいくつかの養生条件¹⁹⁾が設けられている。載荷は歪制御で行っているが、その際の速度や温度は実施機関によって異なっている。評価の手法は、乾燥養生した供試体と湿潤養生したものの強度比で行うのが一般的ようであるが、弾性係数の比で評価する場合^{19,32,33)}もある。

その他として、Immersion-Compression Test^{6,28)}や水浸マーシャル試験などがあるが、どちらも60℃の水中に供試体を一定時間水浸させた後に強度を測定し、水浸させていないものとの強度比ではく離を評価している。

動的載荷試験には、English Trafficking Test³⁾や水浸ホイールトラッキング試験^{9,34,36)}、Test Track³⁾などがあり、いずれの場合もタイヤを走行させて実道での状況をシミュレートしたものである。現在わが国で実施されている水浸ホイールトラッキング試験は英国のEnglish Trafficking Testを、混合物下層に水浸状態の模擬路盤を設けるなど、国内向けに改良したものの³⁶⁾である。この試験法の特徴は現場に近い条件での評価が可能なことで、はく離に対する影響検討のため、接地圧や試験温度などの試験条件を変化させている。Test Trackは、大型の回転走行試験機を用いたもので、回転走行するといった点を除けば実道における状態に最も近い試験といえる。はく離の評価については、わが国では

供試体断面を目視評価する場合が一般的であるが、海外では供試体が破壊に至るまでの走行回数あるいは時間で行っており、耐久性の低下に重点を置いたものといえる。

Sonic Testing³⁾は、水浸させた供試体に種々の周波数の純音を放射し、最も共鳴する周波数から混合物の固有振動数を求める試験である。その評価は固有振動数との関係より弾性係数を算出し、その残存率によって行っている。

屋外評価は、試験舗装などの追跡調査による現地開削や路面性状調査を主体に実施されており、試験舗装における要因設定は混合物だけでなく路盤材料や工法の選定も配慮されている。はく離の評価は開削調査による目視観察や路面性状調査による供用性で行っており、一定の基準を設けたランク付けを行ってはく離度を評価している例^{4,40)}が多い。切取り供試体で評価を行う場合には、間接引張り試験や水浸マーシャル試験を用いている。

3.2 試験方法の意義と実用性

はく離の評価には種々の試験が実施されており、各試験ともはく離に関する最も根本的な要因である水の存在が十分考慮されているのが特徴といえるが、その目的や意義は各試験で異なっている。

静的はく離試験は骨材とアスファルトの付着性に着目していることから、特に使用する材料に対しての評価試験といえるが、試験方法も比較的簡便であるため、使用材料のはく離性を確認するといった点では有効である。Texas Boiling Testでは試料を作製する際に、24時間加熱したアスファルトの使用や混合回数などの条件を設定しているが、これらは現場におけるアスファルトの劣化を想定したものである。このようなアスファルトの劣化に対する配慮は、Texas Boiling TestだけでなくStress Pedestal Testにおいても供試体作製条件に取り入れられており、アスファルトの劣化もはく離に関連する要因の一つとして挙げられることを意味している。

静的および動的による各載荷試験は、混合物としてはく離抵抗性を評価するものであるが、ほとんどの場合がはく離現象自体の評価というよりは、むしろはく離にともなう耐久性の低下を主眼として評価している。したがって、評価手法はいずれもはく離が生じ易い条件を設定し、その時の強度低下などによってはく離を相対評価している。わが国では、はく離が生じ易い条件として高温での水浸を設定しているが、Stress

Pedestal TestやIndirect Tension Testなどでは凍結融解を取り入れた結果、現場との相関が良好との報告¹⁹⁾もあり興味深い。また、載荷試験における供試体の作製条件として混合物の締固めを考慮している例²⁰⁾もあるが、空隙率がはく離に大きく影響を及ぼす混合物特性として挙げられることから、本来配慮されるべき点であろう。動的載荷試験は、現在実施されている試験の中では最も現場の状態に近いものといえるが、はく離の促進過程では水の存在や温度条件の他に、交通による繰り返し荷重が複雑に影響していることから、特に水浸と繰り返し載荷を同時に与えた試験として注目できる。ただし、この種の試験は供試体が比較的大型となるため作製に時間と労力を要し、要因をいくつか組み合わせるような場合には、供試体個数が多くなるため適さない。したがって、供試体の作製を考慮した試験法の改良が望まれる。また、実用性を高めるといった意味では、こうした試験条件を供試体が比較的小型である繰返し間接引張り試験や圧縮試験へ適用する検討も今後必要であろう。

前述したように評価手法には、はく離面積を評価する場合と力学特性で評価する場合がある。はく離面積の評価には、目視で定性的に行う場合と光学的な試験機によって定量的に行う場合の2つの手法⁹⁾があるが、実用性を考慮すると目視での評価は個人差が生じ易く、試験機による評価が望ましい。わが国では、目視観察と標本写真によってはく離率を評価しており、いわば定性的なものと定量的なものとの中間的な位置づけといえるが、より定量的な評価ができる測定機器の開発

が望まれる。

力学特性による評価は強度比で行う場合が一般的であるが、Lottman²³⁾は、引張り強度比を用いた残存強度の考えを、はく離防止剤のコストも含めてライフコストに反映した手法を提案しており興味深い。他の力学特性としては混合物の弾性係数を指標として選定している場合^{3,19,33)}がある。弾性係数は載荷による変位によって求める手法が一般的であるが、Sonic Testingでは弾性係数を混合物の音響特性によって算出しており、非常にユニークな手法といえる。また、こうした弾性係数による評価は、弾性理論による構造設計手法の展開とともに今後注目されていくものと思われる。

以上のように現在実施されている評価試験は第一に水の存在を配慮し、これに種々の要因を組み合わせた条件ではく離を評価しているものであり、はく離現象を的確に再現し評価し得る試験は未だ確立されていないのが現状といえる。これは、2章でも述べたように、はく離という現象には種々の要因が影響しており、はく離の状態に至るまでの過程がそれぞれの現場で異なっているためといえる。したがって、はく離を一つの試験で評価すること自体が本来難しく、はく離の影響を最小限に抑えるといった実用性を勘案した場合には、いくつかの試験を組み合わせた体系的な評価が必要と考えられる。

こうした手法の例として、Kennedy¹⁹⁾らは図-3に示すように2種類ないしは3種類の試験を組み合わせた評価を提案している。彼らの提案するシステムは、初めにTexas Boiling Testを行って使用材料の適否を

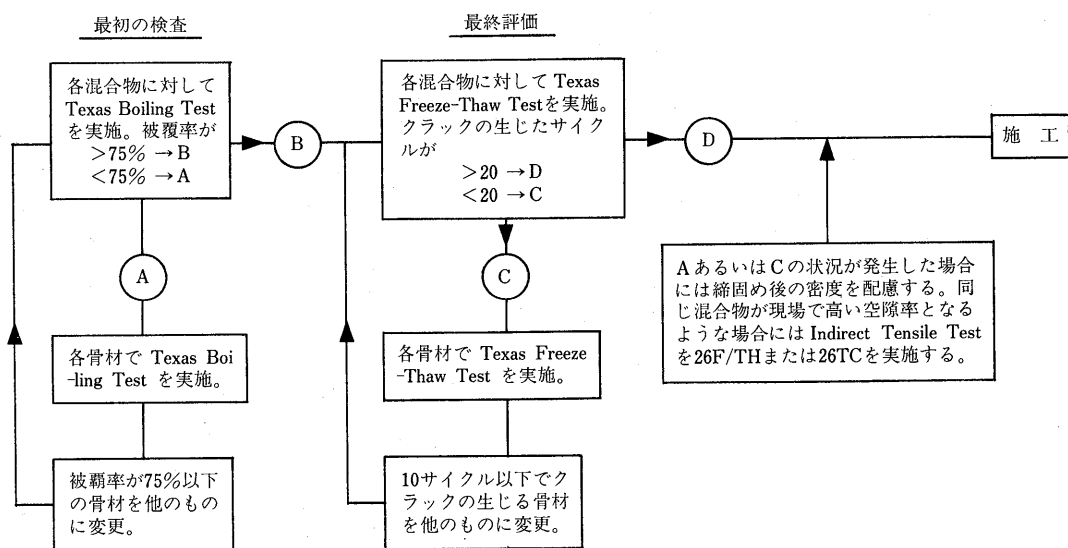


図-3 はく離の体系的な評価方法の一例¹⁹⁾

判定し、これが満足された場合に混合物としての評価をStress Pedestal Testによって行っており、配合の適否やはく離防止剤の必要性も同時に検討される。さらに現場施工において空隙率の高くなることが予想される場合には、この他に間接引張り試験による確認が必要としている。わが国においても、現在実施している各試験をシステムの組み合わせることは可能であり、今後検討されるべき点と考えられる。

4. はく離の防止対策

はく離は2章で定義されたように「アスファルト被膜が骨材の表面からはがれることであり、水の影響(水の作用)もしくは交通荷重の複合した作用が働いて起こる現象である」。

したがって、防止対策としては、アスファルト混合物に水の影響がないようにという観点で考えられており、防止対策は大きく分けるとアスファルト混合物がなるべく水に接しないようにするものと、アスファルト混合物が水に接しても骨材表面からアスファルト被膜がはがれ難くするものの2つになる。前者は工法選定上の対策、施工上の対策であり、後者は材料・配合面の対策となる。

以下ではこれらはく離の防止対策の手法ごとに分けて述べることとする。

4.1 工法選定上の対策

設計時における工法選定上の対策としては遮水工法の採用と地下排水工の採用の2つがある。

4.1.1 遮水工法

アスファルト混合物の吸水率が高い場合、地下水位が高い場合あるいは上層路盤が水を含み易い粒状材料の場合等に、はく離を防止するための遮水工法として次の3つが報告されている。

- ① アスファルト混合物層の最下層に遮水層として働くようなアスファルトを富配合としたアスファルトモルタルなどを用いる
- ② アスファルト混合物層の最下層に空げきが大きく、骨材のかみ合せによって安定する開粒度アスファルト混合物または混合式アスファルトマカダムを用いる
- ③ フルデプス工法を用いる

①、②は1976年制定のはく離防止対策基準(案)⁴⁰⁾に示されているものである。なお、1976年以降、(案)が取れた基準は制定されていない。

この基準(案)の適用範囲は次のとおりであり、こ

れは全国の一般国道を対象として行われたはく離の実態調査結果において、どのような場合にはく離が起こり易いかを分析して得られたものである。

適用範囲

- 1) 吸水率が2.5%以上の骨材を用いる場合。
- 2) 既設舗装に著しいはく離現象が見られる箇所における打ち換えやオーバーレイの修繕工事をおこなう場合。
- 3) 水田地帯の低盛土区間あるいは地下排水施設を有しない切土区間。
- 4) 水を含みやすい粒状材料を上層路盤に用いる場合。

また、この基準(案)において、はく離防止対策を施すべき対象工種は次の様に定められている。これは、アスファルト混合物のはく離は、実態調査結果によると、一般に粒状材料層に含まれている水の作用によって下部から発生し、上部へ進行することが多いため、その防止対策は水の作用を直接受ける層を対象とすることが最も効果的であることによる。

対象工種

- 1) 粒状材料およびセメント安定処理層上の基層とする。ただし、アスファルト安定処理層を設ける場合は、原則として防止対策を必要としない。
- 2) オーバーレイの場合は最下層とする。ただしレベリング層は除く。
- 3) 表層または摩耗層に開粒度アスファルト混合物を用いる場合はその下層とする。

このことを裏付けるデータとして、路盤含水量と混合物のはく離の関係⁴⁾、基層混合物のアスファルト量とはく離の関係⁴⁾をそれぞれ図-4、図-5に示す。遮水工法の①においてアスファルトモルタルは、空隙率が1%以下で、厚さは施工性から2.5cm程度が必要であるとしている。また、アスファルトモルタルの代わりに合成樹脂あるいはゴムなどのシートの利用も考えられるとしている。

遮水工法②において、最近混合式アスファルトマカダムが用いられることはないが、開粒度アスファルト混合物が有効であるのは、混合物の空げき量が大きいため、毛管現象による水の上昇が少ないこと。また、はく離してもその安定性は主に骨材のかみ合せにあるため、層の働らきはさほど低下しないなどによるもの

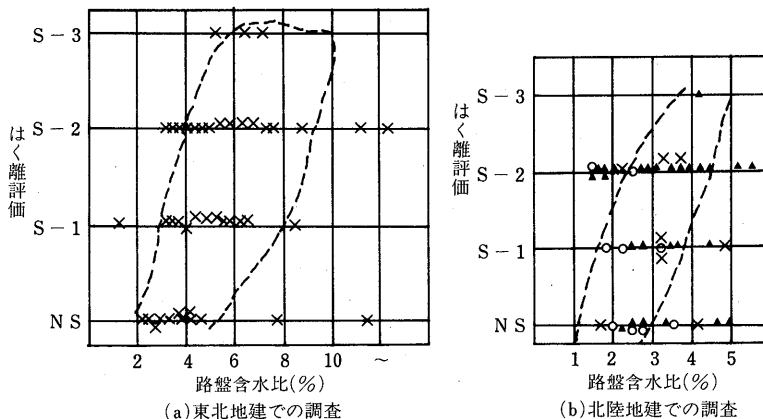


図-4 路盤含水量と混合物のはく離⁴⁾

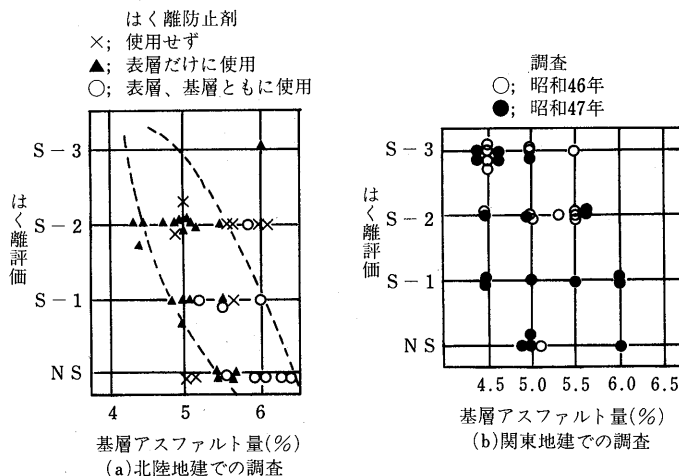


図-5 基層混合物のアスファルト量とはく離⁴⁾

である。この場合の開粒度アスコンは基層に用いられるものであるが、表層に用いられるすべり止めや排水を目的とした開粒度アスコンとは用途が異なる。

遮水工法③のフルデプス工法の利用^{6,12)}は、外国の報告であるが、先程の基準(案)の対象工種の中にも、アスファルト安定処理層を設ける場合は、原則として防止対策を必要としないとしており、両者は同じ考えに基づくものと思われる。

4.1.2 排水工法

適切な排水工法を採用することは、はく離を防止する上で重要な対策である^{6,12,41)}。さらに舗装体中に浸入した水が排除されるよう、路盤・路床材料は適当な透水係数を持つものを選定することが必要である。文献によると路盤材料の透水材料は $1 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$ より大きいことが必要としている⁴¹⁾。路床材料については透水係数の望ましい値は示されていないが、粘土分やシルト分の多い材料は避けるべきであろう。

4.2 材料・配合面の対策

国内外の文献に見られるはく離評価試験結果は、表-3, 4に示すとおりである。これから、材料・配合面の対策をとりまとめて以下に述べる。

4.2.1 材料面の対策

(1) 骨材

一般にはく離しやすい骨材は、シリカ (SiO_2) の含有量が多い、吸水量が大きい、すりへり減量が大きい等の性質を持っている。

アスファルト舗装要綱には、一般に酸性岩より塩基性岩の方が歴青材料との付着が良好であると述べられている。ここで、酸性岩とはシリカ含有量が66%以上の岩石(骨材)をいい、花崗岩、石英斑岩、石英粗面岩などがこれにあたる。またシリカ含有量が52%以下のものを塩基性岩といい、斑れい岩、輝緑岩、玄武岩などがある。そして、これらの中間のもの(シリカ含有量52~66%)は中性岩といわれ、閃緑岩、ひん岩、

表-3 国内文献にみるはく離評価試験結果(その1)

評価試験名	材料特性、配合特性		はく離防止剤 (フィラー種)	評 価	文 献 番 号
	(骨材種、骨材物性、アスファルト種、混合物 の種類、粒度、アスファルト量、その他)				
静的はく離 試験	骨材種	(A)安山岩、(B)石灰岩 (C)けい石、(D)石灰岩+けい石	無添加	はく離率：(A)>(C)>(D)>(B) はく離面積率(振とう式はく離試験)： (A)、(C)25%以上、(B)25%以内	37
	骨材種	(A)硬質砂岩、(B)安山岩 (C)花崗片麻岩、(D)玉砕	(a)消石灰 (b)超耐熱性はく離 防止剤 (c)無添加	はく離率：(a)・(B)>(C)>(D) (b)・(B)、(C)、(D)すべて0% (c)・(C)>(B)>(D)>(A)	43
	A s 種	ストアス 80~100			
	骨材種	(A)安山岩(すりへり減量が規格外) (B) " (粒度が規格外)	シランカップリング剤 (骨材表面電位加工)	はく離 処理前 処理後 パターン：(A) IV-2 → I (石油学会)(B) III → I	45
	骨材種	(A)砂岩(奥多摩産)、(B)石灰岩(葛生産)、 (C)ホーン・フェルス(米沢産)、 (D)安山岩(小豆島産)、(E)片麻岩(大鹿産)、 (F)花崗岩(黒部産)、(G)砂岩(高槻産)、	無添加	はく離率：(E)>(F)>(A)≥(G)>(C)>(B)>(D) 岩種によるはく離率は明確な差が認められる。 アスファルトメーカーによるはく離率は岩種によっ て異なり、その傾向は明確でない。	46
	A s 種	ストアス 80~100(5社)	・イミダゾール核 (親水基)の置換基 の異なる4種。 ・アルキル基の異な る6種 合計24水準。	アルキル基の長さの長いほうがはく離抵抗性が大き いが、長すぎると効果は薄い。 イミダゾール核だけでも効果はあるが、置換基に-NH ₂ 、あるいは、-NH-を有すると、これらが親 水基として働き、更に効果は大きい。	52
	骨材種	多摩川産 6号砕石			
A s 種	ストアス 60~80				
水浸マーシ ャル試験	骨材種	(A)安山岩、(B)石灰岩 (C)けい石、(D)石灰岩+けい石	無添加	残留安定度：基層61.2%、表層47.9%	37
	骨材種	安山岩(多孔質)	(a)消石灰 2% (b)無添加	残留安定度：(a)>(b) (切取供試体による) (96時間) 90% 75%	39
	骨材種	(A)花崗質片麻岩 茶(酸性) (B) " 黒(中性) (C) " 青(塩基性) (大鹿産)	(a)消石灰 (b)アスコート (c)デハイドロ (d)無添加	残留安定度：(a)13.8%→(d)85.3% (1%添加) (48時間) (A)・(c)>(b)>(d)；(d)59.2% (B)・(b)>(c)>(d)；(d)68.9% (C)・(b)>(c)>(d)；(d)90.5%	42
	骨材種	(A)硬質砂岩、(B)安山岩 (C)花崗片麻岩、(D)玉砕	(a)消石灰 (b)超耐熱性はく離 防止剤 (c)無添加	残留安定度：(B)・(b)>(a)>(c) 97.2 83.5 79.1(%) (C)・(b)>(a)>(c) 92.3 91.6 59.0(%)	43
	A s 種	ストアス 80~100			
	骨材種	(A)安山岩(すりへり減量が規格外) (B) " (粒度が規格外)	シランカップリング剤 (骨材表面電位加工)	残留安定度： 処理前 処理後 (A) 67% → 90% (B) 75% → 98%	45
	骨材種	(A)砂岩(奥多摩産) (B)石灰岩(葛生産) (C)ホーン・フェルス(米沢産) (D)安山岩(小豆島産) (E)片麻岩(大鹿産)、(F)花崗岩(黒部産)	無添加	残留安定度：養生時間 12、24、48、96時間 (パラメーター) 養生温度60℃：(B)>(F)>(D)>(A)>(C)>(E) " 70℃：(D)>(B)>(F)>(C)>(B)>(E) " 80℃：(B)≥(D)>(F)>(C)>(B)>(E)	46
	骨材種	(A)砂岩 (B)安山岩	(a)消石灰 (石粉量の1/2) (b)はく離防止剤 (対A s 0.3%) (c)無添加	残留安定度：(A)、(B)ともに(b)>(a)>(c)	48
	吸水量	(A)1.1% (B)3.5%			
骨材種	(A)石灰岩 (B)石英はん岩 (C)花崗岩	(a)はく離防止剤 (アミン系)	残留強度率：(A)>(B)>(C)…岩種別 (A)=(A)×(a) (B)≤(B)×(a) (C)<(C)×(a) (A)×(a)>(B)×(a)>(C)×(a)	防止剤添加時	50
	骨材種	砂岩	(a)消石灰 粗 (b)消石灰 細 (c)高炉セメント (d)普通セメント (e)防止剤 (グラコート)	残留強度率 : (d)>(b)>(e)>(a)>石粉>(c) 残留指示力指数：(e)>(d)>(b)>(a)>石粉>(c) $\text{指示力} = \frac{\text{安定度}}{\text{フロー値}} \left(\frac{120 - \text{フロー値}}{100} \right)$	51

表-3 国内文献にみるはく離評価試験結果(その2)

評価試験名	材料特性、配合特性 (骨材種、骨材物性、アスファルト種、混合物の種類、粒度、アスファルト量、その他)	はく離防止剤 (フィラー種)	評価	文献番号
圧裂試験 (間接引張試験)	骨材種: (A)砂岩 (B)安山岩 (C)石灰岩 (D)川砕	(a)防止剤4種 (b)無添加	残留強度率=(水浸供試体の強度) /(非水浸供試体の強度))×100 静的はく離試験、水浸マーシャル試験との関係を検証している。	44
	骨材種: (A)砂岩(奥多摩産)、(B)石灰岩(葛生産)、 (C)ホーン・フェルス(米沢産)、 (D)安山岩(小豆島産)、 (E)片麻岩(大鹿産)、(F)花崗岩(黒部産)、	無添加	本試験結果からはく離の評価をすることができなかった。本試験は低温領域での圧縮試験のため値そのものが大きく、混合物の性状が誤差より小さくなって有意な差が表れなかった。	46
水浸繰り返し一軸圧縮強度試験	骨材種: 石英安山岩	(a)消石灰 (30%置換) (b)消石灰 (50%置換) (c)無添加	繰り返し回数と歪みの関係より、極端に変形の進行する点をもってはく離とする。 繰り返し回数: (a)7000>(b)5000>(c)4000 変位量 (mm): (a)2.4>(b)1.6>(c)0.9	47
水浸ホイールトラックキング試験	骨材種: (A)砂岩、(B)安山岩、(C)石灰岩、 (D)角閃岩、(E)玄武岩 (1)ストアス40~60 (2)ストアス60~80 (3)ゴムアス(プレミックス) (4)樹脂入りアスファルト (5)ゴムアス(ラテックス) (6)ストアス60~80(タール20%) (7)ストアス60~80(タール10%)	(a)消石灰 (b)セメント (c)アスコート (d)デハイドロ (e)無添加	はく離面積率: (2)×(e)→骨材種による比較 乾燥骨材: (C)>(A)>(D)>(E)>(B) 24.8 20.2 19.5 16.6 13.5 湿潤骨材: (A)>(C)>(B)>(D)>(E) 70.0 65.6 55.5 26.7 24.2 (A)×(e)→As種による比較 (1): 18.9% (3)~(7): 0% (A)×(2)→フィラー、防止剤種による比較 (a)37.5%以上、(b)50%以上置換および(c)、(d)添加: 0%	9
	骨材種: (A)硬質破岩、(B)安山岩 (C)花崗片麻岩、(D)玉砕 As種: ストアス80~100	(a)消石灰 (b)超耐熱性はく離防止剤 (c)無添加	はく離率(岩種別): 事前浸漬無し 事前浸漬: 水 (A)×(c): 39.9% (A)×(c): 84.1% (B): (a)>(c)>(b) (B): (c)>(b)>(a) (C): (c)>(a)>(b) (C): (a)≧(c)≧(b) (D): (c)>(b)>(a) (D): (c)>(a)>(b)	43
	骨材種: (A)砂岩(奥多摩産)、(B)石灰岩(葛生産)、 (C)ホーン・フェルス(米沢産)、 (D)安山岩(小豆島産)、 (E)片麻岩(大鹿産)、(F)花崗岩(黒部産)、	無添加	評価方法は通常の変形割合(R.D.)で行っている。 変形割合(R.D.): (D)>(C)>(A)>(F)>(E)>(B) 変形割合は、岩種別のそれより選定したAs量(OAC)の影響がより顕著に表れており、これは混合物にはく離が発生する以前に圧密流動が生じたものと推察される。	46
	骨材種: (A)砂岩 (B)石灰岩 (C)玄武岩	(a)消石灰 (b)セメント (c)防止剤 (デハイドロ) (d)ストアス40/60 (e)無添加	はく離面積率: (e)・(A)>(B)>(C) (A)・(c)>(d)>(a)=(b) 砂岩のみで実施	36
骨材の物性試験	骨材種: 九州地方産骨材 玄武岩 安山岩質玄武岩 緑色片岩 石灰岩 角閃岩 砂岩 角閃安山岩 安山岩		はく離しやすいと思われる骨材 シリカ含有量66%以上……砂岩 吸水量 大……安山岩 すりへり減量 大……石灰岩 軟石量 大……安山岩、砂岩	53
現場観察、目視観察	骨材種: (A)砂岩 □ 鹿児島 (B)玄武岩 (A)砂岩 } 宮崎 (B)玄武岩 (C)安山岩	(a)防止剤 (b)消石灰 (c)アスファルト種 (d)アスファルト量 (e)アスコン厚さ	はく離防止対策(案) 消石灰の添加……粗粒2%、密粒3%(対混合物) はく離防止剤……0.3%以上(対アスファルト) 舗装タール……20%(対アスファルト) 低針入度アスファルト……針入度40/60 アスファルト量……As量範囲の上限值 遮水工法	55
	粒度: 2.5mm通過量 As量: 混合物の種類: 開粒度(特殊)		2.5mm通過量、アスファルト量の多いものにはく離が少ない。 従来の開粒度と比較して、2.5mm通過量が10~20%多い特殊粒度。	4 49

表-4 海外文献にみるはく離評価試験結果(その1)

評価試験名	材料特性、配合特性		はく離防止剤 (フイラー種)	評価	文献 番号
	(骨材種、骨材物性、アスファルト種、混合物の種類、粒度、アスファルト量、その他)				
Texas Boiling Test 10分間煮沸後冷却し付着率がAAPTでは70、TRRでは75%以上が望ましいとしている。	A s 種 AC-20 (日本の60/80に相当) 配合 タイプD アスコン (Texas SDHPT) 豆砂利 (pea gravel) 62% 洗砂 (washed sand) 15% 陸砂 (field sand) 23%		(a) ドライ石灰 (対骨材1.5%) (b) スラリー石灰 水:石灰=70:30 (対骨材1.5%) 骨材貯蔵期間 処理後:5分、2日、30日 (c) 無添加	ほとんどの骨材が耐水性に乏しいと評価された。また、骨材を水洗いし表面の付着物を除去することが、必ずしも耐水性 (はく離抵抗性) を向上させるとはいえない。試験結果に、試験機関によるばらつきが見られる。付着率: (b) > (a) > (c) ... バッチアブラント、ドラムアブラント共 (混合物) (ドライ石灰使用の場合は、飛散した石灰の集塵装置が必要である。)	20
	A s 量 5.0% ビーム試験により決定 骨材種 (A) 砂 岩 (A1) 粗い (A2) 細い (A3) 天然砂 (F) 砕石 (F1) 粗い (F2) 中程 (F3) 粗砂 (F4) 天然砂 (B) 石灰岩 (B1) 粗い (B2) 中程 (B3) 粗砂 (B4) 細砂		(a) 消石灰 (b) " (Asに添加) (c) " (30%水溶液) (d) はく離防止剤 (アミドアミン) (e) はく離防止剤 (アルキルジアミン) (f) はく離防止剤 (g) 硫酸入りAs (h) 無添加	付着率: 骨材種別 (BM) > (AM) (B1~B4) > (A2~A3) > (F2~F4). 防止剤種別 (A2): (c) > (d) = (e) = (a) > (b) > (f) > (g) > (h) (A3): (c) > (d) > (b) > (a) > (e) = (f) > (h) > (g) (AM): (c) > (b) > (e) > (d) > (a) = (f) > (g) > (h) (F2): (c) > (a) > (e) > (f) > (d) > (h) > (g) > (b) (F3): (d) > (e) > (f) > (a) > (h) > (g) > (b) (F4): (d) > (a) > (c) > (h)	17
	骨材種 石灰岩 3種類		(a) 消石灰 1% Hydrated Lime (b) はく離防止剤 液体、3種類	付着率: (b) > (a) (既存の報文と異なり、消石灰の効果が小さいといえる。... 添加量が1%では少なかったのではないだろうか。)	26
Texas Freeze-Thaw Pedestal Test 破壊に至るサイクル数は、AAPTが25サイクル、TRRが20サイクルを限度としている。また、10サイクル以下では全く耐水性が無いとしている。	A s 種 AC-20 (日本の60/80に相当) 配合 タイプD アスコン (Texas SDHPT) 豆砂利 (pea gravel) 62% 洗砂 (washed sand) 15% 陸砂 (field sand) 23%		(a) ドライ石灰 (対骨材1.5%) (b) スラリー石灰 水:石灰=70:30 (対骨材1.5%) 骨材貯蔵期間 処理後:5分、2日、30日 (c) 無添加	破壊サイクル: 混合物として (a) ≥ (b) > (c) また、(b) において 貯蔵 (養生) 時間... 5分 160サイクル以上 2日 160サイクル以上 30日 137サイクル となっており、あまり長期にわたる貯蔵は凍結融解に対する抵抗性を損ねる結果となっている。	20
	A s 量 5.0% ビーム試験により決定 骨材種 川砕 (fine river gravel)		(a) スラリー石灰 (lime slurry) 水:石灰=20lb.:1lb. (b) 特殊添加剤 (21種類)	砂壊サイクル: (a) ... 25サイクル以上 (b) ... シランが10サイクル程度、その他は5サイクル程度で有意差無し。 AAPTの目標値を満足するのはスラリー石灰だけである。	21

表-4 海外文献にみるはく離評価試験結果(その2)

評価試験名	材料特性、配合特性		はく離防止剤 (フィラー種)	評価	文献番号
	(骨材種、骨材物性、アスファルト種、混合物の種類、粒度、アスファルト量、その他)				
Indirect Tension Test 乾燥供試体の引張強度 (T_{dry})に対する湿潤供 試体の引張強度(T_{wet}) の比を、強度比で表す。 $TSR = T_{wet}/T_{dry}$	A s 種	AC-20 (日本の60/80に相当)	(a) ドライ石灰 (対骨材1.5%) (b) スラリー石灰 水：石灰=70：30 (対骨材1.5%) 骨材貯蔵期間 処理後：5分、2日、30日 (c) 無添加	引張強度比： $TPR = T_{wet}/T_{dry}$ 空隙率3%(Standard) 空隙率7%(Modified) (a) 82%($T_{dry}=171psi$) 77%($T_{dry}=114$) (b) 貯蔵時間 5分：92%($T_{dry}=155$) 5分：105%($T_{dry}=95$) 2日：100%($T_{dry}=142$) 2日：100%($T_{dry}=69$) 30日：78%($T_{dry}=150$) 30日：95%($T_{dry}=68$) 42%($T_{dry}=155$) 35%($T_{dry}=105$) スラリー石灰添加後A sと混合前に水分がなくなる必要 があり、またストックヤードの確保等の問題から、貯蔵 時間は2日程度が良い。 プラントは、ドラムプラントの使用が有効である。	20
	配合	タイプDアスコン (Texas SDHPT) 豆砂利 (pea gravel) 62% 洗砂 (washed sand) 15% 塵砂 (field sand) 23% A s 量 5.0% ヒーム試験により決定			
	骨材種	(A) 花崗岩 (B) 玄武岩 (C) 砂 礫	(a) エポキシコーティング (b) クラフトリグニン コーティング (c) 消石灰 (d) 酸洗い (e) アミン (f) 重クロム酸ナトリウム	強度比： 65%以上 50～65% 50%以下 (A) (a), (c) (e) (b), (d) (B) (c) (a), (e), (f) (b), (d) (C) — (a), (c) (b), (d) (e), (f)	30
Indirect Tension Test 「Lottman法」 乾燥供試体の引張強度 (T_{dry})に対する湿潤 供試体の引張強度(T_{wet}) の比を、強度比で 表す。 $TSR = T_{wet}/T_{dry}$	骨材種	(A) 吸水量2.6～3.4% (B) 吸水量1.1～1.8%	添加方法 (a) 消石灰 (a') (Wet骨材) (c) 生石灰 (d) " (As)に添加 (e) " (25%水溶液) (g) 無添加 種類 (a) 消石灰(比重…小) (b) " (比重…大) (c) 生石灰 (f) 石膏 (g) 無添加	添加方法：R.M.比 (25℃) (A)：(e)>(a)>(a')>(c)>(g)>(d) 強度比 (25℃) (A)：(e)>(a)>(a)>(g)>(c)=(d) 種類：R.M.比 (25℃) (A)：(a)>(b)>(f)>(g) 強度比 (25℃) (A)：(a)>(f)>(b)>(g)>(c) 骨材種：R.M.比 (25℃) (A)×(a)>(A)×(b)>(B)×(g) 強度比 (25℃) (B)×(g)>(A)×(a)>(A)×(b)	62
	Immersion Compression Test			(a) 消石灰 (b) セメント (c) 特殊添加剤(液体)	液体のはく離防止剤は室内試験での結果は良好であるが、 現場を検証した結果効果が認められない。

安山岩などがある。

シリカの含有量による分類は火成岩を対象としたものであり、砂岩、石灰岩は堆積岩であるためこの分類法は適用されないが、一般的に砂岩は酸性岩、石灰岩は塩基性岩であるといわれている。

酸性岩がはく離し易い理由としては、骨材表面がマイナス電荷に帯電し親水性になるためであるといわれている。しかしながら、塩基性岩であっても吸水量の大きい骨材は酸性岩よりかはく離抵抗性が劣る例もある³⁹⁾。建設省技術研究会報告でも、一般的に使用されている岩種においてはすべての骨材が少なからずはく離を生じているとしており⁵⁶⁾、必ずしも塩基性岩がはく離抵抗性が大きいとはいえない。また、同一岩種(石灰岩)であっても、石基質組織中に混在する有機炭素含有量が多いものは、骨材表面電位がプラス側に近づくためアスファルトとの親和力が大きくなり、はく離しにくいとの報告もある⁵⁷⁾。

その他、新しく製造した骨材ははく離抵抗性に劣るため、製造後1週間以上ストックしたものをを用いたほうが良いとの指摘があり¹²⁾、このことは時間とともに骨材性状が変化していることを意味しているといえる。

このように、骨材自体の持つはく離抵抗性には種々の骨材性状が関与しており、現在の物理性状試験結果だけからそれを判断することは困難である。したがって、第3章に示したような各種の試験を随時実施し、使用骨材のはく離抵抗性を確認しておく必要がある。

(2) アスファルト

アスファルトの物理性状からはく離防止を考えた場合、アスファルトの粘度とはく離には密接な関係があり、高粘度アスファルトほどはく離抵抗性は大きくなるようである。

例えば、アスファルトの60℃粘度が2000ポアズ程度のもので、7000ポアズ程度のものを使用した場合、混合物のはく離率が前者で20%前後であったのに対し後者では5%以下であったという報告がある⁹⁾。また、ゴムや樹脂による改質アスファルトははく離抵抗性が大きいという報告もある⁵⁹⁾。このことについてはアスファルト舗装要綱においても、はく離防止対策として針入度の小さいアスファルトを用い、この場合の針入度は40~60のものが望ましいとし、さらに、改質アスファルトを使用することがあるとうたっている。

この他、薄膜加熱試験後の軟化点上昇度の小さいアスファルトは、はく離抵抗性が大きいという報告がある⁴⁶⁾。

(3) はく離防止用添加剤

(a) 消石灰

はく離防止剤としてもっとも良く知られており、かつ使用されているのが消石灰である。消石灰を添加した混合物ははく離が少なく、表-3、4に示した結果からもその効果が高いことが伺える。

消石灰がはく離防止効果を持つ理由として定説的なものは無いが、種々の文献には以下のような説明が見られる。

① 消石灰は骨材の表面を改質し、更にアスファルトの粘性を高める⁴⁷⁾。

普通の石灰石粉の表面積が $2500 \sim 3500 \text{ cm}^2/\text{g}$ であるのに対し、消石灰のそれは $7000 \text{ cm}^2/\text{g}$ 以上と大きく、界面エネルギーに差がある。(分子間力の増大)

② 消石灰は骨材表面の電気陰性度を減じ、表面エネルギーの低下をもたらす⁵⁸⁾。

表面エネルギーが小さいと水に対して安定であり、水素結合の発生がない。

③ 消石灰はその粉体が骨材界面を活性にしてアスファルトの付着を高めている⁹⁾。

これは、アスファルトの非極性部分に $\text{Ca}(\text{OH})_2$ がイオン化して極性基が結合した型で安定化させる作用ではない。その理由として、消石灰をアスファルトにあらかじめ混合したものは、消石灰と骨材をドライミキシングした後アスファルトを添加したものよりはく離率が大きくなるという結果を挙げている。

④ 化学的に活性なフィラーがアスファルト中の有機酸と反応して、界面活性剤の働きをするカルシウム塩ができる¹⁾。

⑤ 骨材表面上の水素、ナトリウム、カリウムやその他の陽イオンが消石灰からのカルシウムに置き換えられる反応によって、界面活性剤のような働きをする⁶³⁾。

⑥ 消石灰は骨材粒子間で独立した結晶質の石灰モルタルが結合する形をとる。これはアスファルトの結合作用と相乗的な効果がある⁶³⁾。

わが国では、加熱骨材に消石灰をドライな状態で添加しているが、アメリカでは消石灰スラリー状(20~30%濃度)にして添加したり²¹⁾、あるいはスラリー石灰をあらかじめ骨材に添加(散布)してストックしてから使用する方法²⁰⁾などが行われている。消石灰をこのような方法で添加したアスファルト混合物のはく離抵抗性は、ドライな状態で添加したものよりも良好な結果が得られているとのことであり、興味深い。

(b) はく離防止剤

はく離防止剤は分子内に親油基と親水基を有しており、親油基はアスファルトと、親水基は骨材と結びつき、骨材表面の極性を利用してアスファルトと骨材の付着力を増加させようとするもので、通常界面活性剤が使用される。すなわち、骨材表面がマイナス電位の骨材ではカチオン系の、プラスの電位のものにはアニオン系の親水基を有した界面活性剤を使用すれば電気的に親水基と骨材が結びつき、その結果アスファルトと骨材の付着力が増加する。

骨材の項で述べたように、歴青材料との付着が弱い骨材は酸性岩といわれており、この骨材は表面電位がマイナスであることから、はく離防止剤はカチオン系の界面活性剤が多く、そのほとんどがアミン系のものを使用している。そのため、酸性岩には効果があるが塩基性岩にはその効果がみられない場合がある^{42,50)}。また、アミン類は高温になると熱分解を起こしてはく離防止効果を失うことがあるといわれている。したがって、はく離防止剤としては高温時に安定しており、しかもアニオン・カチオンの両極性を持った界面活性剤がもっとも有効であると考えられる。

はく離防止剤は、メーカーが推奨する使用量を守らなければ逆にはく離をおこしやすくなる可能性があるとの指摘があり¹²⁾、また骨材種によってもその効果が異なる場合があるため、取り扱いには十分注意しなければならない⁴³⁾。

4.2.2 配合面の対策

アスファルト混合物のはく離防止対策を配合面から考えた場合、アスファルト舗装要綱に示してあるように、「アスファルト量は配合試験で得られたアスファルト量範囲の上限値を標準とする」ことが挙げられる。

その他、基層混合物では2.5mm通過量とアスファルト量の多いものにはく離の少ない傾向がある³⁷⁾。また、密粒度アスファルト混合物のほうが密粒度ギャップアスファルト混合物より透水係数が小さいという報告があり⁶⁰⁾、水の浸入の可能性が少なくはく離しにくいと思われる。

4.3 施工上の対策

施工上の対策としては、まず骨材の乾燥および混合を充分に行ないアスファルトと骨材の付着をよくすることが必要である³⁸⁾。骨材はできるだけ乾いたものを用い、もし骨材が濡れている場合は予備乾燥あるいは充分乾燥できるように、プラントの混合容量を落すなど処理が必要であろう。他方ドライヤーの改善あるいは

ストックヤードの上屋の設置など、設備面からも検討されなければならないとしている。参考として、骨材および混合物の含水比の関係を図-6に示す³⁸⁾。また、文献によると、新しく製造した骨材は、はく離抵抗性に劣るので、製造後1週間以上ストックしたものをを用いるようにとの指摘がある¹²⁾。さらに、土のような細粒分が付着した粗骨材を用いるとアスファルトと骨材の付着が損なわれるので、そのような骨材は用いるべきではないとしている¹²⁾。

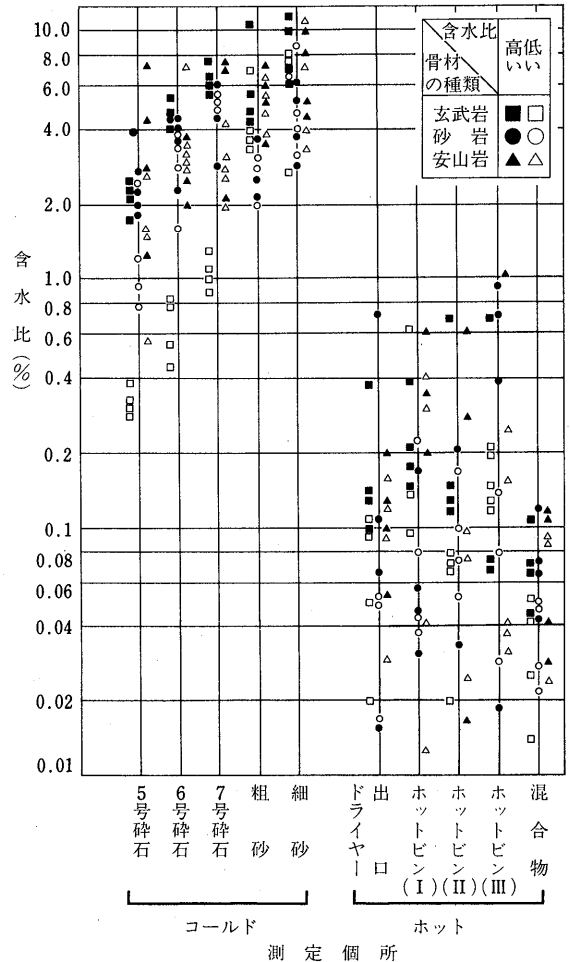


図-6 骨材および混合物の含水比³⁸⁾

また、文献によると、混合物の含水量は0.1%以下であることが望ましいとしている⁷⁾。混合物の含水量とはく離率の関係を図-7に示す⁹⁾。

さらに施工上の対策としては舗設時によく転圧して、混合物の空けきを減らし、連行空隙をなくすことが必要である^{6,12,64)}。

一例として、空隙率3.5%程度では残留安定度は90%

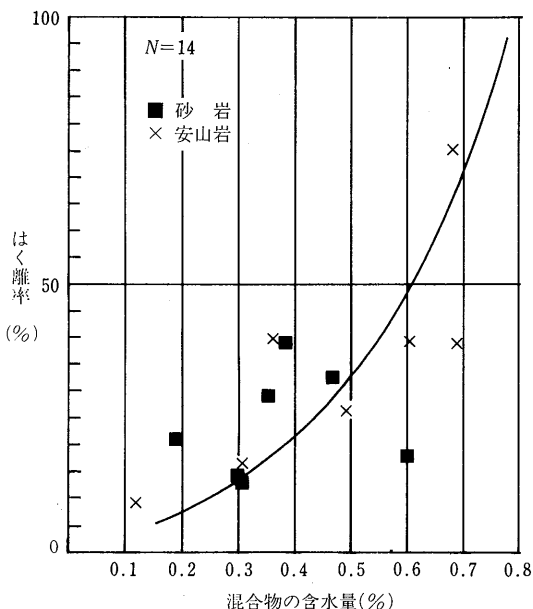


図-7 混合物の含水量とはく離率の関係⁹⁾

の剥脱率（シール材剥脱延長／シール材施工延長）と漏水率（シール材剥脱時の透水量／シール材施工前の透水量）の関係を図-9に示す⁶⁵⁾。ここで透水量は現場透水試験機による15秒間の透水量である。この図よりシール材の剥脱が進行すると舗装体中に浸入する水の量が増えることが明らかであり、剥脱率30%を越えると漏水率が急激に大きくなる。したがってひびわれは進行しないうちにこまめにシールすることが必要である。

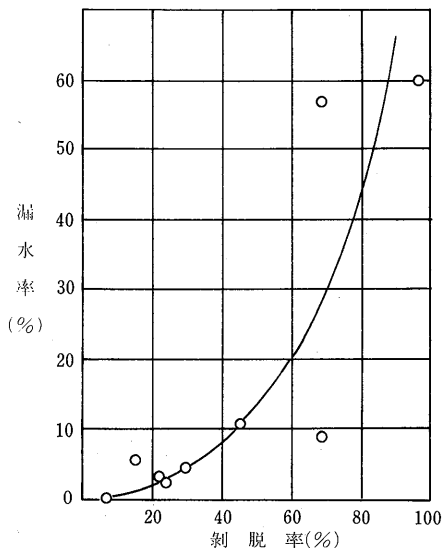


図-9 剥脱率と漏水率の関係⁶⁵⁾

以上を示したが、空隙率7.5%では残留安定度が多く の骨材で80%程度以下であり、75%を満足しないものも あったとの報告もある⁶⁴⁾。水浸時間と残留安定度の関係 は図-8の通りである。

4.4 その他の対策

舗装の供用中に施工ジョイントが開いたり、舗装に ひびわれが発生した場合にはそこから水が浸入し、はく離を起こさせる可能性があるので、施工ジョイントの開きやひびわれはこまめにシール等の処置を行って 舗装体中に水が浸入しないようにすることが重要である⁴¹⁾。

一例として、ひびわれをシールした場合のシール材

5. おわりに

以上、アスファルト混合物のはく離について、メカ

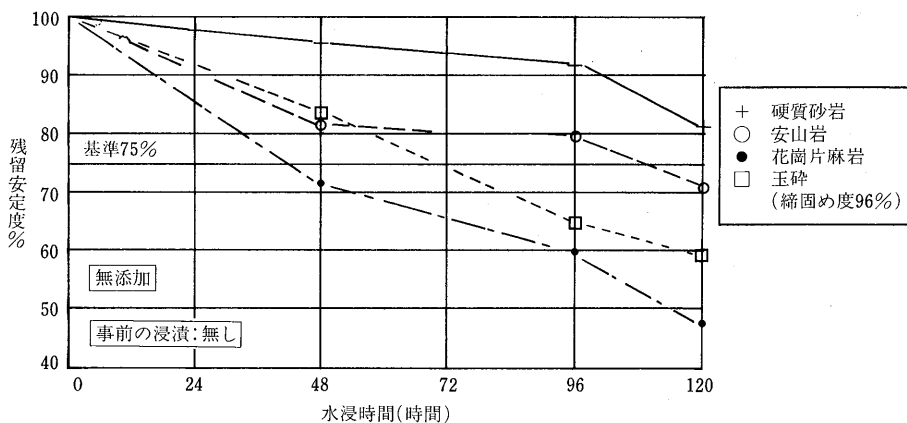


図-8 水浸時間と残留安定度の関係⁶⁴⁾

ニズム、評価方法および防止対策を内外の文献より取りまとめた。今回、はく離について取上げたのは、この問題が昭和40年頃より関心が高まり、一時種々の検討が行われたにもかかわらず、そのメカニズム等が未だに解明されていないと考えたからで、最新の情報も含めて調査してみることにした。

今回の調査により、はく離という現象は非常に複雑であるということが再確認された。従って、評価方法も静的はく離試験、静的載荷試験、動的載荷試験、現地開削調査等多岐にわたるが、はく離を一つの試験で評価すること自体が本来難しく、はく離の影響を最小限に抑えるためにはいくつかの試験を組合せたシステム的な評価が必要と考えられた。欧米ではこうした手

法の例が紹介されているが、水による損傷が多いと思われるわが国においても今後検討されるべき点と考えられる。

また、はく離の防止対策は大きく分けると、アスファルト混合物がなるべく水に接しないようにするものと、アスファルト混合物が水に接しても骨材表面から、アスファルト被膜がはがれ難くするものの2つになる。前者は工法選定上の対策、施工上の対策であり、後者は材料・配合面の対策である。これらの対策は、現状ではそれぞれ独立に考えられたものであるが、はく離現象が解明されるとともにこれらの対策の効果の重み付けを行い、現地の条件に合せて系統的に検討する必要があるものと思われる。

— 参考文献 —

- 1) "Bituminous Materials in Road Construction"
Department of Scientific and Industrial Research, Road Research Laboratory, 1962
- 2) "Large Stone Mixes : A Historical Insight"
National Asphalt Pavement Association, Information Series 103, 1988
- 3) K. Majidzadeh and F. N. Brovold, "State of the Art : Effect of water on Bitumen-Aggregate Mixtures" Highway Research Board, Special Report 98, 1968, pp. 37~55
- 4) 南雲, 谷本, "アスファルト混合物のはく離の実態と対策" 舗装, Vol. 9, No. 6, 1974
- 5) アスファルト舗装要綱, (社) 日本道路協会, 昭和63年版
- 6) M. A. Taylor and N. P. Khosla, "Stripping of Asphalt Pavements : State of the Art" TRR 911, 1983, pp. 150 ~157
- 7) 小林, "骨材の特性とアスファルトのはく離を考える" 舗装, Vol.15, No. 6, 1980, pp. 22~26
- 8) 小林, "着色磁気質骨材" 舗装, Vol. 9, No. 9, 1974, pp.18~22
- 9) 南雲, 小島, "水浸ホイールトラッキング試験によるアスファルト混合物のはく離性状" 舗装, Vol.14, No. 8, 1979, pp.10~15
- 10) 岡田, 金崎, "骨材の諸性質 : 歴青混合物の骨材について その1" アスファルト, Vol. 4, No.23, 1961, pp.12~16
- 11) 岡田, 金崎, "骨材の諸性質 : 歴青混合物の骨材について その2" アスファルト, Vol. 5, No.24, 1962, pp. 5 ~10
- 12) "Cause and Prevention of Stripping in Asphalt Pavements" Educational Series No.10, Asphalt Institute, 1981
- 13) H. j. Fromm, "The Mechanisms of Asphalt Stripping from Aggregate Surfaces" AAPT Vol.43, 1974, pp.191~223
- 14) J. A. N. Scott, "Adhesion and Disbonding Mechanisms of Asphalt Used in Highway Construction and Maintenance" AAPT Vol.47, 1978, pp. 19~48
- 15) D. G. Tunncliffe and R. E. Root, "Antistripping Additives in Asphalt Concrete-State-of-the-Art 1981" AAPT Vol.51, 1982, pp. 265~292
- 16) 「粗骨材の剝離抵抗性試験方法」, 舗装試験法便覧, pp.305~311
- 17) K. W. Lee and M. I. Al-Jarallah, "Utilization of Texas Boiling Test to Evaluate Effectiveness of Antistripping Additives in Saudi Arabia", TRR 1096, 1986, pp. 81~89
- 18) F. Parker. Jr., and M. S. Wilson, "Evaluation of Boiling and Stress Pedestal Test for Assessing Stripping Potential of Alabama Asphalt Concrete Mixtures", TRR 1096, 1986, pp. 90~99
- 19) T. W. Kennedy, F. L. Roberts, and K. W. Lee, "Evaluation of Moisture Effects on Asphalt Concrete Mixture", TRR 911, 1983, pp. 125~133
- 20) T. W. Kennedy, N. Turnham. Jr., J. A. Epps, "Evaluation of Methods for Field Applications

- of lime to Asphalt Concrete Mixtures”, AAPT Vol.52, 1983, pp. 508~534
- 21) T. W. Kennedy, F. L. Roberts, and K. W. Lee, “Evaluation of Moisture Susceptibility of Asphalt Mixtures Using The Texs Freeze-Thaw Pedestal Test”, AAPT Vol.51, 1982, pp. 327~341
 - 22) G. W. Maupin, Jr, “Implementation of Stripping Test for Asphaltic Concrete”, TRR 712, 1979, PP. 8~11
 - 23) R. P. Lottman, “Procedure for Predicting Laboratory Retained Strength Cut-off and Additive Benefit-cost Ratios of Moisture-damaged Asphalt Concrete”, TRR 911, 1983, pp. 144~149
 - 24) T. W. Kennedy, R. B. McGennis, and F. L. Roberts, “Investigation of Moisture Damage to Asphalt Concrete and The Effect on Field Performance-A Case Study”, TRR 911, 1983, pp. 158~164
 - 25) H. W. Busching, S. N. Amirkhanian, J. L. Burati, “Effects of Selected Asphalts and Antistripping Additives on Tensile Strength of Laboratory-compacted Marshall Specimens-A Moisture Susceptibility Study”, AAPT Vol.55, 1986, pp. 120~148
 - 26) E. L. Dukatz, Jr. and R. S. Phillips, “The Effect of Air Voids on The Tensile Strength Ratio”, AAPT Vol.56, 1987, pp. 517~554
 - 27) J. M. Vila and R. L. Terrel, “Influence of Accelerated Conditioning on Split Tension Deformations of Asphalt Concrete”, AAPT Vol.44, 1975, pp. 119~142
 - 28) ASTM D 1075
 - 29) 「マーシャル安定度試験方法」, 舗装試験法便覧, pp.506~516
 - 30) P. D. Cady, P. R. Blankenhorn, D. E. Kline, “Upgrading of Low-quality Aggregates for PCC and Bituminous Pavements”, NCHRP REPORT 207, 1979, pp. 1~13
 - 31) 「水浸ホイールトラッキング試験方法」, 舗装試験法便覧, pp.556~561
 - 32) R. P. Lottman, “Predicting Moisture-Induced Damage to Asphaltic Concrete Field Evaluation”, NCHRP REPORT 246, 1982
 - 33) R. P. Lottman, “Predicting Moisture-Induced Damage to Asphaltic Concrete”, NCHRP REPORT 192, 1978
 - 34) 三瀬, “水浸ホイールトラッキング試験によるアスファルト混合物の剥離”, 舗装, Vol.16, No.7, 1981, pp.17~21
 - 35) 酒井ほか, “アスファルト混合物の水浸ホイールトラッキング試験方法に関する研究”, 土木学会第45回年次学術講演会概要集(1990, 9月), pp.66~67
 - 36) 小島ほか, “水浸ホイールトラッキング試験によるアスファルト混合物の剥離”, 土木技術資料, Vol. 19 (1977, 4月), pp.21~26
 - 37) 川崎ほか, “九州地方におけるアスファルト混合物の剥離現象について”, 舗装, Vol. 2, No. 2, 1967, pp. 7~13
 - 38) 谷本, “アスファルト混合物の剥離に関する試験舗装とその観測結果”, 舗装, Vol. 6, No. 5, 1971, pp. 13~19
 - 39) 瀬谷, “九州縦貫道(加治木~薩摩吉田間)の第1次舗装追跡調査”, 舗装, Vol.11, No.4, 1976, pp. 3~8
 - 40) 南雲ほか, “アスファルト混合物の剥離に関する津奈木試験舗装”, 舗装, Vol.11, No.9, 1976, pp. 3~11
 - 41) T. F. Fwa, “Water-Induced Distress in Flexible Pavement in a Wet Tropical Climate” TRR 1121, 1987, pp. 57~65
 - 42) 井上, 後藤, “中央自動車道伊那地区の舗装”, 舗装, Vol.12, No.1, 1977, pp.14~18
 - 43) 堀田, 山中, 林, “アスファルト混合物の剥離に関する評価試験および防止対策の検討”, 舗装, Vol. 25, No.10, 1990, pp.21~26
 - 44) 片野, 原, “アスファルト混合物の剥離に関する一試験法”, 第10回日本道路会議論文集, No.384
 - 45) 飯島, 小島, 岩崎, “規格外骨材の利用法に関する室内試験”, 第15回日本道路会議論文集, No.456
 - 46) 川島, 松田, “アスファルト混合物のはくりに関する試験”, 日本道路公団試験所報告 昭和50年度, pp.176~182
 - 47) 三浦, 渋谷, 堀, “消石灰添加によるアスファルト混合物の剥離防止効果について”, 第11回日本道路会議論文集, No.349
 - 48) 中島, 出野, 宮, 小野寺, “水浸ホイールトラッキング試験について”, 第12回日本道路会議論文集,

- 49) 佐々木, 細谷, 近藤, “開粒度アスコンのはく離とその対策”, 舗装, Vol.10, No.9, 1975, pp.15~22
- 50) 竹下, 南雲, “各種歴青材料を用いたアスファルト混合物の水浸安定度”, 土木技術資料, Vol.4, No.1, 1962, pp.17~21
- 51) 関, 山之口, ほか, “マーシャル試験によるアスコン合材の水浸安定度に関する実験”, 道路建設, No.185, 1963-6, pp.31~40
- 52) 市川, 邑上, “アスファルトの剝離防止添加剤に関する一考察”, アスファルト, No.58, 1967, pp.7~9
- 53) 谷本, 橋本, “アスファルト舗装における地方骨材の利用と剝離問題”, 道路, 1968-11, pp.23~29
- 54) 秋吉, 谷本, “アスファルト混合物の剝離とその防止対策—主として鹿児島・宮崎両試験舗装の観測結果”, 土木技術資料, Vol.12, No.2, 1970, pp.18~24
- 55) 南雲, 秋吉, “アスファルト混合物の剝離とその防止対策(その2)”, 土木技術資料, Vol.15, No.10, 1973, pp.16~21
- 56) 建設省, 北海道開発局, “アスファルト混合物のはく離現象に関する調査研究(I), (II)”, 第25, 26回建設省技術研究会報告
- 57) 藤田, 小林, “骨材の表面電位の測定とアスファルトのはく離試験(第2報)”, 第36回土木学会年次講演会, 第V部門, pp.449~450
- 58) 小林, “骨材とセメントあるいはアスファルトの付着について”, 舗装, Vol.14, No.4, 1979, pp.8~12
- 59) 阿部, 鈴木, 峰岸, “橋面舗装のはく離に関する基礎的資料”, 東京都土木技術研究所年報, 1987, pp.385~392
- 60) 阿部, 峰岸, “春日橋陸橋の橋面舗装のはく離防止対策”, 東京都土木技術研究所年報, 1988, pp.57~67
- 61) D. A. Anderson, R. Collins, C. S. Hughes, P. V. Kandhal, G. C. Page, L. Scofield, and G. Whited; “Changes in Mix Design to Improve Performance: Selected State Experiences”, AAPT Vol.57, 1988, pp.358~388
- 62) M. S. Gardiner, and J. Epps; “Four Variables that Affect the Performance of Lime in Asphalt-Aggregate Mixtures”, TRR 1115, 1987, pp.12~22
- 63) R. J. Schmidt, and P. E. Graf; “The Effect of Water on the Resilient Modulus of Asphalt-Treated Mixes”, AAPT Vol.41, 1972, pp.118~162
- 64) 堀田, 山中, 林, “アスファルト混合物のはく離対策に関する試験・検討” 第18回日本道路会議, No.433
- 65) 金田, 天野, 久下, “高速道路におけるひびわれシール材の試験施工” 舗装, Vol.25, No.10, 1990, pp.15~20

☆

☆

☆

☆

☆

☆

ライフサイクル

舗装は新設の後車両走行の累積やウエザリング作用(Weathering)等によって供用性の水準が低下するため、ある時点で補修を施してその水準の回復が図られるが、その後再び供用性が低下するという状態の変化を示すのでこのパフォーマンスのくり返しを舗装のライフサイクルといい概念的に図-1のように理解されている。

ここで、横軸は累積大型交通量や年数を指標にする例が多い。また、縦軸のサービス性能はある特定の時点で舗装が道路利用者に提供する性能のことであり、路面のわだち掘れ量とかひびわれ率等の単一の指標が用いられる場合や舗装の構造的な破損の程度に対する判断と、わだち掘れ量、ひびわれ率、および平坦性を組合せて指標化したPSI (Present Serviceability Index) なりMCI (Maintenance Control Index) が用いられることがある。

一方、供用限界は道路の種別、地域、交通量等の差異に応じて、道路利用者、道路管理者に加えて最近では沿道住民のニーズを考慮して決められる補修基準とそれにいたるまでの予測曲線(マスターカーブ)から決定される。

さらに、解析期間とはライフサイクルコストの解析を行う期間のことであり、10~30年程度を考慮している例が多い。

舗装のトータルコスト(ライフサイクルコスト)の計算には建設費、維持費、補修工事にもなっている便益等をトータルした値で評価する必要があるが、補修工事にもなっている道路利用者の便益や車両走行費の増加等の計算は複雑な要因が多いことから、これらを除いて建設費と補修費という最も単純なトータルコストの比較を行う場合が多いのでその手順を例示すると以下になる。

- ① 先ず、軽交通道路区間でのアスファルト舗装とコンクリート舗装を表-1に示すような条件に仮定し、ライフサイクルの解析期間として30年を設定し、図-2、図-3のパフォーマンス曲線をモデル化する。
- ② 次に補修工法として採用を予定するアーマーコート(6~7号チップ入り)、4cmのオーバーレイ、クラックシールの補修費をそれぞれ1,000円/㎡、1,200円/㎡、300円/㎡と仮定し、それぞれの実施時期における費用を金利(仮りに7.5%)を考慮して現在の価格に評価し、将来予測費用として加算すると、ア

スファルト舗装で16,360円/㎡、コンクリート舗装で5,670円/㎡となる。

- ③ トータルコストはアスファルト舗装が18,660円/㎡、コンクリート舗装が14,970円/㎡となり、ライフサイクルコストを検討すると後者が前者より経済的である評価が生まれることになる。

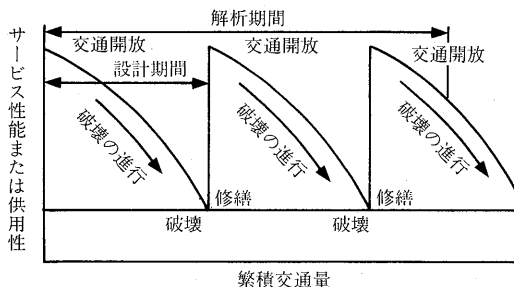


図-1 舗装のライフサイクル (土木研究所)

表-1 舗装構成と直接工事費

	舗装構成(cm)	直接工事費(円/㎡)
アスファルト舗装	表層 (密密度アスコン)	4 1200
	路盤 粒調碎石	5 400
	クラッシャーラン	15 700
コンクリート舗装	表層 コンクリート版 (メッシュ1段)	15 7500
	路盤 粒調碎石	35 1800

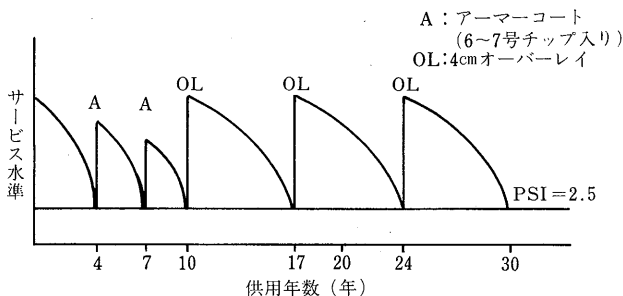


図-2 アスファルト舗装のライフサイクル

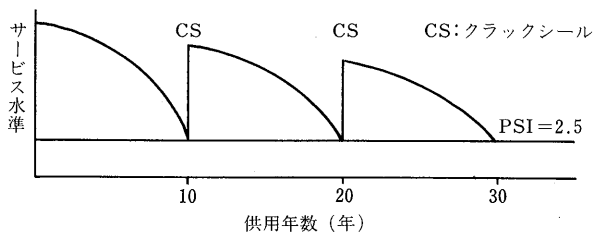


図-3 コンクリート舗装のライフサイクル

〔小島逸平 熊谷道路(株)技術研究所〕

酸化・蒸発による硬化

薄膜加熱試験 (TFOT, 163℃×5時間, 膜厚約3 mm) あるいはそれを更に加速促進した回転式薄膜加熱試験 (RTFOT, 163℃×75分間, 推定膜厚5~10 μ m程度) は蒸発のみならず酸化による硬化を測定するものである。

薄膜加熱試験で質量の減少と硬化の度合をプロットすると図-1のような結果が得られた。質量の減少がゼロ付近の場合, すなわち試料アスファルトからの蒸発がほとんどなかったとき, 硬化現象は酸化によってのみ引き起されていると考えられる。この場合の硬化の度合すなわち粘度比(60℃)は1~3の範囲内にとどまっている。質量の減少量が増大, すなわち揮発性物質が増加していくと, 粘度比も増加すると同時に粘度比の範囲も広がっていく。蒸発減量が1.4%に達すると粘度比は凡そ3~7の値を示す。

揮発性 (volatility) のひとつの目安は引火点であるが, 更に厳密には精密ガス・液体クロマトグラフィー (TBP-GLC……True Boiling Point Gas Liquid Chromatography, ふつうガス・クロ蒸留と呼ばれる) によって求めることができるといわれる。図-2はTBP-GLCにおける揮発量 (recovery, %^w) とRTFOTの質量減少量 (%^w) との関係を示す。質量減少量を0.2%^w程度 (すなわち図-1によれば粘度比約3.5) に維持するにはTBP-GLC揮発量を450℃で約5%^w, 500℃で約11%^w程度におさえることが必要である。

— 参考文献 —

G. van Gooswilligen et al, "Quality of paving grade bitumen-a practical approach in terms of functional tests", paper presented at 4th Eurobitume Symposium, Madrid, 4~6 Oct.(1989)

(高橋正明 瀝青化学株式会社)

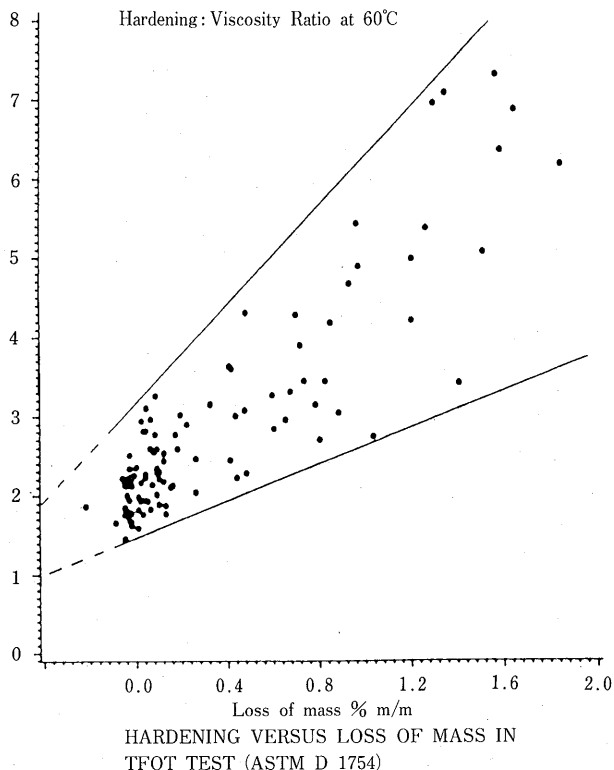


図-1 TFOT試験

蒸発減量と60℃粘度との関係

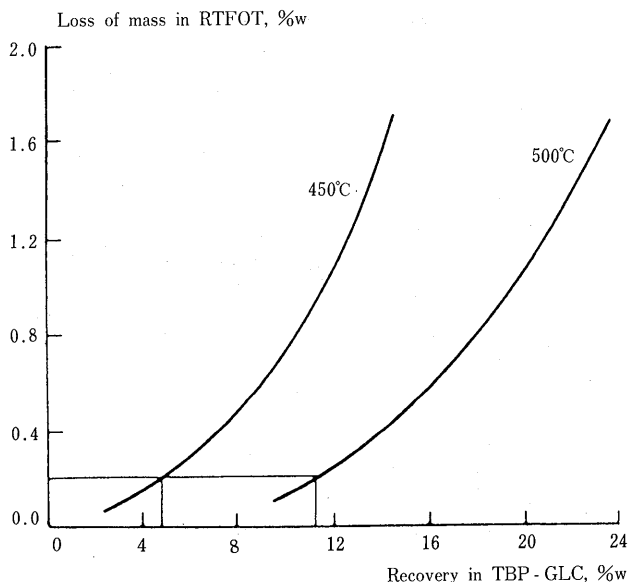


図-2 TBP-GLC試験

ガスクロ蒸留回収量とRTFOT蒸発減量との関係

石油アスファルト需給実績（総括表）

（単位：千 t）

項 目 年 度	供 給					需 要					
	期初在庫	生 産	対 前 年 度 比	輸 入	合 計	内 需	対 前 年 度 比	輸 出	小 計	期末在庫	合 計
54 年 度	297	5,064	(96.8)	1	5,362	5,137	(98.5)	2	5,139	236	5,375
55 年 度	236	4,720	(93.2)	1	4,957	4,703	(91.6)	21	4,724	240	4,964
56 年 度	240	4,598	(97.4)	0	4,838	4,562	(97.0)	19	4,581	226	4,807
57 年 度	226	4,624	(99.2)	0	4,850	4,575	(100.3)	18	4,593	213	4,806
58 年 度	213	4,947	(108.4)	0	5,160	4,921	(107.6)	4	4,925	226	5,151
59 年 度	226	5,235	(105.9)	0	5,461	5,221	(106.1)	0	5,221	240	5,461
60年度上期	240	2,400	(94.5)	0	2,640	2,339	(93.0)	0	2,339	294	2,633
60年度下期	294	2,629	(97.6)	0	2,923	2,696	(99.7)	0	2,696	215	2,911
60 年 度	240	5,029	(96.1)	0	5,269	5,035	(96.4)	0	5,035	215	5,250
61年度上期	215	2,656	(110.7)	0	3,130	2,568	(109.8)	0	2,568	291	2,859
61年度下期	291	3,089	(117.5)	0	3,380	3,128	(116.0)	0	3,128	235	3,363
61 年 度	215	5,744	(114.2)	0	5,959	5,696	(113.1)	0	5,696	235	5,931
62年度上期	235	2,745	(103.4)	7	2,987	2,681	(104.4)	0	2,681	312	2,993
62年度下期	312	3,146	(101.8)	2	3,460	3,181	(101.7)	0	3,181	274	3,455
62 年 度	235	5,892	(102.6)	9	6,136	5,862	(102.9)	0	5,862	274	6,136
63年度上期	274	2,754	(100.3)	3	3,031	2,734	(102.0)	0	2,734	287	3,021
63年度下期	287	3,150	(100.1)	0	3,437	3,219	(101.2)	0	3,219	219	3,438
63 年 度	274	5,904	(100.2)	0	6,178	5,953	(101.6)	0	5,953	219	6,172
元年度上期	219	2,895	(105.1)	0	3,114	2,733	(100.0)	0	2,733	372	3,105
元年度下期	372	3,170	(100.6)	0	3,542	3,259	(101.2)	3	3,262	276	3,538
元 年 度	219	6,066	(102.7)	0	6,285	5,992	(100.7)	3	5,995	276	6,271
2. 4 月	276	581	(99.7)	0	857	525	(106.5)	0	525	330	855
5 月	330	429	(111.4)	0	759	468	(133.7)	0	468	287	755
6 月	287	457	(115.4)	0	744	474	(117.4)	0	474	267	741
4～6 月	276	1,467	(107.6)	0	1,743	1,467	(117.7)	0	1,467	267	1,734
7 月	267	538	(104.1)	0	805	534	(103.3)	0	534	271	805
8 月	271	548	(110.3)	0	819	483	(100.0)	0	483	335	818
9 月	335	493	(95.2)	0	828	490	(101.0)	3	493	323	816
7～9 月	267	1,579	(103.1)	0	1,846	1,507	(101.5)	3	1,510	323	1,833
2 年度上期	276	3,046	(105.2)	0	3,322	2,974	(108.9)	3	2,977	323	3,300
10 月	323	554	(106.9)	1	878	576	(106.1)	0	576	301	877
11 月	301	535	(86.2)	0	836	560	(91.5)	0	560	273	833
12 月	273	593	(103.3)	0	866	617	(100.5)	3	620	242	862
10～12 月	321	1,682	(98.1)	1	2,004	1,753	(99.1)	3	1,756	242	1,998
3. 1 月	242	396	(107.6)	0	628	377	(107.1)	0	377	259	636
2 月	259	484	(118.6)	0	743	445	(107.0)	0	445	298	743
3 月	298	668	(98.1)	0	966	656	(90.6)	0	656	310	966
1～3 月	242	1,548	(106.2)	0	1,790	1,478	(99.1)	0	1,487	310	1,797
2 年度下期	321	3,230	(101.9)	1	3,552	3,231	(99.1)	0	3,231	310	3,541
2 年 度	276	6,276	(96.7)	1	6,553	6,205	(103.6)	0	6,205	310	6,515
3. 4 月	310	530	(91.2)	0	840	531	(101.1)	0	531	309	840
5 月	309	439	(102.3)	0	748	440	(94.0)	0	440	306	746

〔注〕(1) 通産省エネルギー生産・需給統計月報3年5月確報

(2) 四捨五入のため月報と一致しない場合がある。

石油アスファルト内需実績 (品種別明細)

(単位: 千t)

項 目 年 度	内 需 量						対 前 年 度 比					
	ストレート・アスファルト			燃焼用 アスファルト	ブローン アスファルト	合 計	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	合 計
	道路用	工業用	計				道路用	工業用	計			
54 年 度	4,617	177	4,794	—	343	5,137	99.5	67.0	97.8	—	109.2	98.5
55 年 度	4,233	183	4,416	—	287	4,703	91.7	103.4	92.1	—	91.5	91.6
56 年 度	4,082	202	4,284	4	274	4,562	96.4	110.4	97.0	—	95.5	97.0
57 年 度	3,943	185	4,128	187	260	4,575	96.6	91.6	96.4	467.5	94.2	100.3
58 年 度	3,950	177	4,127	540	254	4,921	100.2	95.7	100.0	288.8	98.4	107.6
59 年 度	3,999	162	4,161	806	254	5,221	101.2	91.5	100.8	149.3	100.0	106.1
60年度上期	1,766	72	1,838	389	112	2,339	92.2	91.1	92.2	96.5	94.1	93.0
60年度下期	1,973	67	2,040	522	134	2,696	94.7	80.7	94.1	129.5	99.3	99.7
60 年 度	3,739	139	3,878	911	246	5,035	93.5	85.8	93.2	113.0	96.9	96.4
61年度上期	1,825	66	1,891	565	112	2,568	103.3	91.7	102.9	145.2	100.0	109.8
61年度下期	2,155	175	2,330	673	125	3,128	109.2	261.2	114.2	128.9	93.3	116.0
61 年 度	3,980	241	4,221	1,238	237	5,696	106.4	173.4	108.8	135.9	96.3	113.1
62年度上期	1,949	98	2,047	520	114	2,681	106.8	148.5	108.2	92.0	101.8	104.4
62年度下期	2,304	261	2,565	475	141	3,181	106.9	149.1	110.1	70.6	112.8	101.7
62 年 度	4,253	359	4,612	995	255	5,862	106.9	149.0	109.3	80.4	107.6	102.9
63年度上期	1,987	166	2,153	464	117	2,734	101.9	169.4	105.2	89.2	102.6	102.0
63年度下期	2,319	255	2,574	504	141	3,219	100.7	98.1	100.4	106.1	100.0	101.2
63 年 度	4,306	421	4,727	968	258	5,953	101.2	117.3	102.5	97.3	101.2	101.6
元年度上期	2,043	151	2,194	424	115	2,733	102.8	91.0	101.9	91.4	98.3	100.0
元年度下期	2,317	295	2,612	510	137	3,259	99.9	115.7	101.4	101.2	97.2	101.2
元 年 度	4,360	446	4,806	934	252	5,992	101.2	105.9	101.6	96.6	97.7	100.7
2. 4 月	417	9	426	79	20	525	107.5	100.0	107.3	102.6	105.3	106.5
5 月	326	58	384	64	20	468	118.5	966.7	136.7	123.1	117.6	133.7
6 月	344	49	393	60	21	474	110.6	544.4	122.9	93.8	105.0	117.4
4～6 月	1,087	116	1,203	203	61	1,467	111.6	483.3	120.6	105.2	108.9	117.7
7 月	390	57	447	66	21	534	102.6	121.3	104.7	93.0	110.5	103.3
8 月	336	49	385	79	19	483	99.4	104.3	100.0	100.0	100.0	100.0
9 月	335	47	382	84	24	490	95.7	142.4	99.7	103.7	114.3	101.0
7～9 月	1,061	153	1,214	229	64	1,507	99.3	120.5	101.6	99.1	108.5	101.5
2 年度上期	2,148	269	2,417	432	125	2,974	105.2	178.1	110.2	101.9	108.7	108.9
10 月	408	62	470	81	25	576	96.7	563.6	108.6	95.3	100.0	106.1
11 月	412	42	454	83	23	560	96.5	53.8	89.9	100.0	95.8	91.5
12 月	443	59	502	94	21	617	100.7	93.7	99.8	108.0	87.5	100.5
10～12 月	1,263	163	1,426	258	69	1,753	98.0	107.2	99.0	101.2	94.5	99.1
3. 1 月	219	54	273	84	20	377	115.9	91.5	110.1	100.0	100.0	107.1
2 月	297	55	352	71	22	445	111.7	107.8	111.0	91.0	104.8	107.0
3 月	487	65	552	84	20	656	84.7	19.7	90.8	90.3	87.0	90.6
1～3 月	1,003	174	1,177	239	62	1,478	97.4	121.7	100.3	93.7	96.9	99.1
2 年度下期	2,266	337	2,603	497	131	3,231	97.8	114.2	99.7	97.5	95.6	99.1
2 年 度	4,414	606	5,020	929	256	6,205	101.2	135.9	104.5	99.5	101.6	103.6
3. 4 月	418	10	428	85	18	531	100.2	111.1	100.5	107.6	90.0	101.1
5 月	326	45	371	50	19	440	100.0	77.6	96.6	78.1	95.0	94.0

(注) (1) 通産省エネルギー生産・需給統計月報3年5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。

フルデプス・アスファルト舗装設計施工指針（案）

B 5 版・42ページ・実費領価 ￥800（送料実費）

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

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。

弊協会のアスファルト舗装技術委員会においてフルデプス舗装の厚さ設計の基準化とシックリフト工法の標準化に関して鋭意検討され、ここに「フルデプス・アスファルト舗装設計施工指針（案）」がとりまとめられ出版されました。

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

アスファルト統計史

B 5 版・187ページ・実費頒価 ¥3,000(送料実費)

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

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

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

当協会の調査委員会において、我が国のアスファルト統計について資料の収集・整理に努めて参り、「アスファルト統計史」を30周年記念として出版いたしました。

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

目 次

I. 生産量

1. アスファルト年別生産量
2. アスファルト品種別月別生産量
3. 石油アスファルト月別生産量
4. 石油アスファルト品種別月別生産量

II. 内需量(販売)

1. アスファルト販売量
2. アスファルト品種別月別販売量
3. 石油アスファルト月別内需量
4. 石油アスファルト品種別月別内需量

III. 輸出入

1. アスファルト年別輸入・輸出量
2. アスファルト月別輸入・輸出量

IV. 在庫量

1. 石油アスファルト年別在庫量
2. 石油アスファルト月別在庫量
3. 石油アスファルト品種別月別在庫量

V. 販売量

1. 石油アスファルト品種別針入度販売量
2. 石油アスファルト品種別荷姿別販売量
3. 石油アスファルト地域別月別販売量

社団法人 日本アスファルト協会 会員

(五十音順)

社 名	住 所	電 話
〔メーカー〕		
出 光 興 産 株 式 会 社	(100) 千代田区丸の内3-1-1	03 (3213) 3 1 3 4
エ ッ ソ 石 油 株 式 会 社	(107) 港区赤坂5-3-3	03 (3585) 9 4 3 8
鹿 島 石 油 株 式 会 社	(102) 千代田区紀尾井町3-6	03 (5276) 9 5 5 6
キ グ ナ ス 石 油 株 式 会 社	(104) 中央区京橋2-9-2	03 (3535) 7 8 1 1
キ グ ナ ス 石 油 精 製 株 式 会 社	(210) 川崎市川崎区浮島町3-1	044 (288) 8 4 4 5
九 州 石 油 株 式 会 社	(100) 千代田区内幸町2-1-1	03 (3502) 3 6 5 1
共 同 石 油 株 式 会 社	(105) 港区虎ノ門2-10-1	03 (3224) 6 2 9 8
極 東 石 油 工 業 株 式 会 社	(100) 千代田区大手町1-7-2	03 (3270) 0 8 4 1
興 亜 石 油 株 式 会 社	(100) 千代田区大手町2-6-2	03 (3241) 8 6 3 1
コ ス モ 石 油 株 式 会 社	(105) 港区芝浦1-1-1	03 (3798) 3 1 2 1
三 共 油 化 工 業 株 式 会 社	(100) 千代田区丸の内1-4-2	03 (3284) 1 9 1 1
昭 和 シ ェ ル 石 油 株 式 会 社	(100) 千代田区霞が関3-2-5	03 (3503) 4 0 7 6
昭 和 四 日 市 石 油 株 式 会 社	(510) 四日市市塩浜町1	0593 (45) 2 1 1 1
西 部 石 油 株 式 会 社	(100) 千代田区丸の内1-2-1	03 (3215) 3 0 8 1
ゼ ネ ラ ル 石 油 株 式 会 社	(105) 港区西新橋2-8-6	03 (3595) 8 4 1 0
東 燃 株 式 会 社	(100) 千代田区一ツ橋1-1-1	03 (3286) 5 1 1 1
東 北 石 油 株 式 会 社	(985) 仙台市港5-1-1	022 (363) 1 1 1 1
日 本 鉱 業 株 式 会 社	(105) 港区虎ノ門2-10-1	03 (3505) 8 5 3 0
日 本 石 油 株 式 会 社	(105) 港区西新橋1-3-12	03 (3502) 1 1 1 1
日 本 石 油 精 製 株 式 会 社	(105) 港区西新橋1-3-12	03 (3502) 1 1 1 1
富 士 興 産 株 式 会 社	(100) 千代田区永田町2-4-3	03 (3580) 3 5 7 1
富 士 石 油 株 式 会 社	(100) 千代田区大手町1-2-3	03 (3211) 6 5 3 1
三 菱 石 油 株 式 会 社	(105) 港区虎ノ門1-2-4	03 (3595) 7 4 1 3
モ ー ビ ル 石 油 株 式 会 社	(100) 千代田区大手町1-7-2	03 (3244) 4 6 9 1

〔ディーラー〕

● 北 海 道

コスモアスファルト(株)札幌支店	(060) 札幌市中央区大通り西10-4	011 (281) 3 9 0 6 コ ス モ
薦 井 石 油 株 式 会 社	(060) 札幌市中央区南4条西11-1292-4	011 (518) 2 7 7 1 コ ス モ
株式会社 トーアス札幌営業所	(060) 札幌市中央区北2条西2	011 (281) 2 3 6 1 共 石
東光商事株式会社札幌営業所	(060) 札幌市中央区南大通り西7	011 (241) 1 5 6 1 三 石
中西瀝青株式会社札幌営業所	(060) 札幌市中央区北2条西2	011 (231) 2 8 9 5 日 石
株式会社 南部商会札幌営業所	(060) 札幌市中央区北2条西2-15	011 (231) 7 5 8 7 日 石
レキセイ商事株式会社	(060) 札幌市中央区北4条西3	011 (231) 4 5 0 1 出 光
株式会社 ロード資材	(060) 札幌市中央区北1条西10-1-11	011 (281) 3 9 7 6 コ ス モ

社団法人 日本 アスファルト 協会 会 員

社 名	住 所	電 話
● 東 北		
有限会社 男 鹿 興 業 社	(010-05)男鹿市船川港船川字埋立地1-18-2	0185(23) 3 2 9 3 共 石
カ メ イ 株 式 会 社	(980) 仙台市青葉区国分町3-1-18	022 (264) 6 1 1 1 日 石
コスモアスファルト(株)仙台支店	(980) 仙台市青葉区中央3-3-3	022 (266) 1 1 0 1 コ ス モ
正興産業株式会社 仙台営業所	(980) 仙台市青葉区国分町3-3-5	022 (263) 5 9 5 1 三 石
竹中産業株式会社 新潟営業所	(950) 新潟市東大通1-4-2	025 (246) 2 7 7 0 昭和シェル
株式会社 トーアス仙台営業所	(980) 仙台市青葉区大町1-1-10	022 (262) 7 5 6 1 共 石
常盤商事株式会社 仙台支店	(980) 仙台市青葉区錦町1-10-11	022 (224) 1 1 5 1 三 石
中西瀝青株式会社 仙台営業所	(980) 仙台市青葉区中央2-1-30	022 (223) 4 8 6 6 日 石
株式会社 南部商会仙台出張所	(980) 仙台市青葉区中央2-1-17	022 (223) 1 0 1 1 日 石
ミヤセキ株式会社	(980) 仙台市宮城野区榴岡2-3-12	022 (257) 1 2 3 1 三 石
菱油販売株式会社 仙台支店	(980) 仙台市青葉区国分町3-1-1	022 (225) 1 4 9 1 三 石
● 関 東		
朝 日 産 業 株 式 会 社	(103) 中央区日本橋茅場町2-7-9	03 (3669) 7 8 7 8 コ ス モ
アスファルト産業株式会社	(104) 中央区八丁堀4-11-2	03 (3553) 3 0 0 1 昭和シェル
伊 藤 忠 商 事 株 式 会 社	(107) 港区北青山2-5-1	03 (3497) 6 6 6 0 九 石
伊 藤 忠 燃 料 株 式 会 社	(107) 港区赤坂2-17-22	03 (3584) 8 5 5 5 共 石
梅 本 石 油 株 式 会 社	(162) 新宿区揚場町2-24	03 (3269) 7 5 4 1 コ ス モ
株式会社 木 畑 商 会	(104) 中央区八丁堀4-2-2	03 (3552) 3 1 9 1 共 石
共 立 石 油 株 式 会 社	(101) 千代田区神田西福田町3	03 (3256) 6 3 5 5 共 石
コスモアスファルト株式会社	(104) 中央区八丁堀3-3-5	03 (3551) 8 0 1 1 コ ス モ
国 光 商 事 株 式 会 社	(164) 中野区東中野1-7-1	03 (3363) 8 2 3 1 出 光
株式会社澤田商行関東支店	(104) 中央区入船町1-7-2	03 (3551) 7 1 3 1 コ ス モ
三徳商事株式会社東京支店	(101) 千代田区神田紺屋町11	03 (3254) 9 2 9 1 昭和シェル
新日本商事株式会社	(101) 千代田区神田錦町2-5	03 (3294) 3 9 6 1 昭和シェル
住商石油アスファルト株式会社	(105) 港区浜松町2-3-31	03 (3578) 9 5 2 1 出 光
株式会社 ケイエム 商運	(103) 中央区八重洲1-8-5	03 (3245) 1 6 3 1 三 石
竹 中 産 業 株 式 会 社	(101) 千代田区鍛冶町1-5-5	03 (3251) 0 1 8 5 昭和シェル
中 央 石 油 株 式 会 社	(160) 新宿区新宿2-6-5	03 (3356) 8 0 6 1 モービル
株式会社 トーアス	(160) 新宿区西新宿2-7-1	03 (3342) 6 3 9 1 共 石
東京レキセイ株式会社	(150) 渋谷区恵比寿西1-9-12	03 (3496) 8 6 9 1 富 士 興
東京富士興産販売株式会社	(105) 港区虎ノ門1-13-4	03 (3591) 3 4 0 1 富 士 興
東 光 商 事 株 式 会 社	(104) 中央区京橋1-5-12	03 (3274) 2 7 5 1 三 石
東 新 瀝 青 株 式 会 社	(103) 中央区日本橋2-13-10	03 (3273) 3 5 5 1 日 石
東洋国際石油株式会社	(104) 中央区八丁堀3-3-5	03 (3552) 8 1 5 1 コ ス モ
東 和 産 業 株 式 会 社	(174) 板橋区坂下3-29-11	03 (3968) 3 1 0 1 三共油化
中 西 瀝 青 株 式 会 社	(103) 中央区八重洲1-2-1	03 (3272) 3 4 7 1 日 石
株式会社 南 部 商 会	(100) 千代田区丸の内3-4-2	03 (3213) 5 8 7 1 日 石
日 石 丸 紅 株 式 会 社	(104) 中央区築地5-4-14	03 (3541) 4 0 1 5 日 石
日 東 商 事 株 式 会 社	(170) 豊島区巣鴨4-22-23	03 (3915) 7 1 5 1 昭和シェル
日東石油販売株式会社	(104) 中央区新川2-3-11	03 (3551) 6 1 0 1 昭和シェル
パシフィック石油商事株式会社	(103) 中央区日本橋蛸殻町1-17-2	03 (3661) 4 9 5 1 モービル
富士興産アスファルト株式会社	(100) 千代田区永田町2-4-3	03 (3580) 5 2 1 1 富 士 興
富 士 鉱 油 株 式 会 社	(105) 港区新橋4-26-5	03 (3432) 2 8 9 1 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
富士石油販売株式会社	(103) 中央区日本橋2-13-12	03 (3274) 2 0 6 1 共 石
富士油業株式会社東京支店	(106) 港区西麻布1-8-7	03 (3478) 3 5 0 1 富 士 興
丸紅エネルギー株式会社	(101) 千代田区神田錦町3-7-1	03 (3293) 4 1 1 1 モービル
三井石油株式会社	(101) 千代田区神田駿河台4-3	03 (3293) 7 1 1 1 極 東 石
三菱商事石油株式会社	(100) 千代田区丸の内2-6-2	03 (3210) 9 7 0 2 三 石
ユニ石油株式会社	(101) 千代田区神田東紺屋町30	03 (3256) 3 4 4 1 昭和シェル
菱東商事株式会社	(101) 千代田区神田和泉町1-13-1	03 (5687) 1 2 8 1 三 石
菱油販売株式会社	(160) 新宿区西新宿1-20-2	03 (3345) 8 2 0 5 三 石
瀝青販売株式会社	(103) 中央区日本橋2-16-3	03 (3271) 7 6 9 1 出 光

● 中 部

コスモアスファルト(株)名古屋支店	(466) 名古屋市昭和区塩付通4-9	052 (851) 1 1 1 1 コ ス モ
株式会社 澤 田 商 行	(454) 名古屋市中川区富川町1-1	052 (361) 7 1 5 1 コ ス モ
三徳商事株式会社静岡支店	(420) 静岡市紺屋町11-12	0542 (55) 2 5 8 8 昭和シェル
三徳商事株式会社 名古屋支店	(453) 名古屋市中村区則武1-10-6	052 (452) 2 7 8 1 昭和シェル
株式会社 三 油 商 会	(460) 名古屋市中区丸の内2-1-5	052 (231) 7 7 2 1 コ ス モ
静岡鉱油株式会社	(424) 清水市袖師町1575	0543 (66) 1 1 9 5 モービル
新東亜交易株式会社名古屋支店	(450) 名古屋市中村区名駅3-28-12	052 (561) 3 5 1 4 富 士 興
竹中産業株式会社 福井営業所	(910) 福井市大手2-4-26	0766 (22) 1 5 6 5 昭和シェル
株式会社 田 中 石 油 店	(910) 福井市毛矢2-9-1	0776 (35) 1 7 2 1 昭和シェル
株式会社 トーアス名古屋営業所	(450) 名古屋市中村区名駅4-2-12	052 (581) 3 5 8 5 共 石
富安産業株式会社	(939) 富山市若竹町2-121	0764 (29) 2 2 9 8 昭和シェル
中西瀝青株式会社名古屋営業所	(460) 名古屋市中区錦町1-20-6	052 (211) 5 0 1 1 日 石
松村物産株式会社	(920) 金沢市広岡2-1-27	0762 (21) 6 1 2 1 三 石
丸福石油産業株式会社	(933) 高岡市美幸町2-1-28	0766 (22) 2 8 6 0 昭和シェル
三谷商事株式会社	(910) 福井市豊島1-3-1	0776 (20) 3 1 3 4 モービル

● 近 畿

赤馬アスファルト工業株式会社	(531) 大阪市北区中津3-10-4	06 (374) 2 2 7 1 モービル
飯野産業株式会社 神戸営業所	(650) 神戸市中央区海岸通り8	078 (333) 2 8 1 0 共 石
大阪アスファルト株式会社	(531) 大阪市北区中津1-11-11	06 (372) 0 0 3 1 出 光
木曽通産株式会社大阪支店	(530) 大阪市北区西天満3-4-5	06 (364) 7 2 1 2 コ ス モ
共和産業株式会社	(700) 岡山市富田町2-10-4	0862 (33) 1 5 0 0 共 石
コスモアスファルト(株)大阪支店	(550) 大阪市西区西本町2-5-28	06 (538) 2 7 3 1 コ ス モ
コスモアスファルト(株)広島支店	(730) 広島市田中町5-9	0822 (44) 6 2 6 2 コ ス モ
三徳商事株式会社	(532) 大阪市淀川区新高4-1-3	06 (394) 1 5 5 1 昭和シェル
昭和瀝青工業株式会社	(670) 姫路市北条口3-51	0792 (77) 5 0 0 1 共 石
信和興業株式会社	(700) 岡山市西古松363-4	0862 (41) 3 6 9 1 三 石
スーパーストロングインターナショナル(株)	(532) 大阪市淀川区西中島2-11-30	06 (303) 5 5 1 0 昭和シェル
正興産業株式会社	(650) 神戸市中央区海岸通り6	078 (322) 3 3 0 1 三 石
中国富士アスファルト株式会社	(711) 倉敷市児島味野浜の宮4051-12	0864 (73) 0 3 5 0 富 士 興
千代田瀝青株式会社	(530) 大阪市北区東天満2-8-8	06 (358) 5 5 3 1 三 石
株式会社 ナ カ ム ラ	(670) 姫路市国府寺町72	0792 (85) 2 5 5 1 共 石
中西瀝青株式会社 大阪営業所	(530) 大阪市北区西天満3-11-17	06 (316) 0 3 1 2 日 石
平井商事株式会社	(542) 大阪市中央区東心斎橋筋1-3-11	06 (252) 5 8 5 6 富 士 興
富士アスファルト販売株式会社	(550) 大阪市西区京町堀2-3-19	06 (441) 5 1 9 5 富 士 興

社団法人 日本アスファルト協会 会員

社 名	住 所	電 話
富士商株式会社	(756) 小野田市稲荷町6539	08368 (3) 3 2 1 0 昭和シェル
平和石油株式会社	(530) 大阪市北区中之島3-6-32	06 (443) 2 7 7 1 昭和シェル
株式会社 松 宮 物 産	(522) 彦根市幸町32	0749 (23) 1 6 0 8 昭和シェル
丸和鉱油株式会社	(532) 大阪市淀川区塚本2-14-17	06 (301) 8 0 7 3 コ ス モ
横田瀝青興業株式会社	(672) 姫路市飾磨区南細江995	0792 (33) 0 5 5 5 共 石
株式会社 菱 芳 礦 産	(671-11) 姫路市広畑区西夢前台7-140	0792 (39) 1 3 4 4 共 石
● 四国・九州		
伊藤忠燃料株式会社 九州支社	(812) 福岡市博多区博多駅前3-2-8	092 (471) 3 8 5 1 共 石
今別府産業株式会社	(890) 鹿児島市新栄町15-7	0992 (56) 4 1 1 1 共 石
大分九石販売株式会社	(870) 大分市中央町1-1-3	0975 (34) 0 4 6 8 九 石
株式会社 カ ン グ	(892) 鹿児島市住吉町1-3	0992 (24) 5 1 1 1 昭和シェル
株式会社 九 菱	(805) 北九州市八幡東区山王1-17-11	093 (661) 4 8 6 8 三 石
コスモアスファルト(株)九州支店	(810) 福岡市中央区鳥飼1-3-52	092 (771) 7 4 3 6 コ ス モ
サンヨウ株式会社	(815) 福岡市南区玉川町4-30	092 (541) 7 6 1 5 富 士 興
三協商事株式会社	(770) 徳島市万代町5-8	0886 (53) 5 1 3 1 富 士 興
株式会社 トーアス高松営業所	(760) 高松市亀井町8-11	0878 (37) 1 6 4 5 共 石
中西瀝青株式会社 福岡出張所	(810) 福岡市中央区天神4-1-18	092 (771) 6 8 8 1 日 石
株式会社 南部商会福岡出張所	(810) 福岡市中央区天神3-4-8	092 (721) 4 8 3 8 日 石
西岡商事株式会社	(764) 仲多度郡多度津町家中3-1	0877 (33) 1 0 0 1 三 石
畑 砒 油 株 式 会 社	(804) 北九州市戸畑区牧山新町1-40	093 (871) 3 6 2 5 コ ス モ
平和石油株式会社高松支店	(760) 高松市番町5-6-26	0878 (31) 7 2 5 5 昭和シェル
九 菱 株 式 会 社	(812) 福岡市博多区博多駅前4-3-22	092 (431) 7 5 6 1 昭和シェル

編集顧問

多 田 宏 行
藤 井 治 芳
松 野 三 朗

編集委員

委 員 長 : 河 野 宏 副委員長 : 真 柴 和 昌
秋 葉 國 造 菅 野 善 朗 田 井 文 夫 山 田 実
阿 部 忠 行 栗 谷 川 裕 造 辻 保 人
荒 井 孝 雄 小 島 逸 平 鶴 窪 廣 洋
安 崎 裕 児 玉 充 生 野 村 敏 明
飯 島 尚 白 神 健 児 姫 野 賢 治

アスファルト 第169号

平成3年10月発行

社団法人 日本アスファルト協会

〒105 東京都港区虎ノ門2-6-7 TEL 03-3502-3956

本誌広告一手取扱 株式会社 廣業社

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

印刷所 アサヒビジネス株式会社

〒107 東京都港区赤坂1-9-13 TEL 03-5563-0123(代)

ASPHALT

Vol.34 No. 169 OCTOBER 1991

Published by THE JAPAN ASPHALT ASSOCIATION