

アスファルト

第44巻 第208号 平成13年7月発行

208

特集・舗装を測る

特集にあたって	吉田 武	1
構造設計に必要な計測		
路床・路盤材料の物理特性	阿部長門	2
アスファルト混合物の疲労特性		
	丸山暉彦・中村 健・雑賀義夫	9
舗装の構造的耐久性	八谷好高	16
機能の設計に必要な計測		
わだち掘れ抵抗性能	久保和幸	24
ひびわれ抵抗性能	松野三朗・内田喜太郎	28
平坦性	峰岸順一	38
高速道路におけるすべり摩擦の概要	大野滋也・佐藤正和	48
騒音低減性能・透水性能	阿部忠行・光谷修平	52

<アスファルト舗装技術研究グループ・第41回報告>

	峰岸順一	59
・第8回アスファルト舗装に関する国際会議論文抄録(その1)		
	アスファルト舗装技術研究グループ	60

<用語の解説>

マイクロサーフェシング (Micro Surfacing)	小島逸平	72
有効数字 (significant figures)	瀬尾 彰	75
<資料>平成12年市販アスファルトの性状調査		77
<統計資料>石油アスファルト需給統計資料		81

ASPHALT

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

特集にあたって

吉田 武

独立行政法人土木研究所
基礎道路技術研究グループ上席研究員

「滑りにくく平坦」であることが路面に求められる最低限の要求であった。これは交通主体が歩行者であっても、自転車や自動車であっても変わらない。平成13年4月25日に公布された改正道路構造令第23条第3項では、都市内の道路の舗装は、必要がある場合においては「雨水を道路の路面下に円滑に浸透させ、かつ、道路交通騒音の発生を減少させる」こととされた。舗装の機能として、安全、円滑、快適な交通を確保することに加えて、環境の保全と改善を考えるべきことが共通認識となった。

さらに、道路構造令第23条第2項では、「車道及び側帯の舗装」について、「自動車の安全かつ円滑な交通を確保することができるものとして国土交通省令で定める基準に適合するもの」と規定している。この省令では、「車道及び側帯における舗装の構造が備えるべき性能を示す指標、基準値およびその測定方法」を定めることが予定されており、その「性能」としては、「疲労破壊に対する抵抗性能」、「塑性変形に対する抵抗性能」、「平坦性」、「すべりに対する抵抗性能」および「透水性能」の5つが考えられている。

道路において、利用者に対しサービスを提供する場が路面であり、その路面を形成する手段として舗装が存在する。このように考えると、省令で規定されると考えられる5つの性能のうち、「平坦性」、「すべりに対する抵抗性能」および「透水性能」は舗装の路面における性能、「塑性変形に対する抵抗性能」は舗装の構造のうち特に表層の性能、「疲労破壊に対する抵抗性能」は舗装の構造全体の性能、と整理することができる。利用者に提供するサービスの維持・向上が目的であるという点では路面の性能が第一であるが、舗装構造が塑性変形したり疲労破壊したりすると路面の性能が急激に低下するので、路面の性能のみによる管理では不十分であることは、舗装に関係する者の常識であろう。

一方、厳しい気象条件の下で交通荷重を実際に支持するのが路面（構造でいうと表層）であることを考えると、路面（表層）の性能と舗装構造全体の性能（疲労破壊に対する抵抗性能）を分けて考えることが合理的である。すなわち、前者は短期間で低下するが、維持工事により回復可能であり、後者は長期間持続するが、維持工事では回復不可能である。また、前者は実物の性能の確認が可能で、手直しも容易であるのに対し、後者は構造物ができあがってからでないと確認できない上に、手直しも容易ではない。したがって、設計段階で性能照査を行い、その仕様を施工時に確認することで構造物の性能を保証するという性能照査型のアプローチが後者には現実的である。このとき、設計方法は自由である。経験的であれ、理論的であれ、その有効性が証明されている確認方法（設計方法）により、提案された断面が所要の性能を有することを確認する。これが「性能規定」の本質である。

最後に、道路構造令は、「道路を新設し、又は改築する場合における道路の構造の一般的技術的基準」を定めたものである。道路の平面線形や縦断線形は時間の経過とともに変化することはないが、路面の性能や舗装の性能は時間の経過とともに低下していく。何度も述べたように、利用者に対するサービスの質が重要であり、管理段階の路面の性能が重要である。国土交通省令で規定される性能の基準値も管理段階の初期値としてとらえるべきである。

今回の特集は、構造設計への経験的力学設計法の導入、アスファルト舗装のトップ・ダウン・クラッキングへの対策、路面の性能の測定・設計と望ましい管理レベルにまで踏み込んで述べられるとのことである。極めて先進的かつ野心的な特集となると期待している。

構造設計に必要な計測

路床材と路盤材料の物理特性

(Physical Property of the Sub-base Course and Subgrade Materials)

阿部長門*

路床材および路盤材料は、上部を構成するアスファルト混合物層を支えるもので、これらの材料の強度や変形特性が上層の材料を生かすために重要となっている。このため、これらの材料の強度や変形特性を把握し、必要な性能を把握した上で舗装構造を決定することが期待されている。

1. はじめに

舗装の厚さ設計は、平板載荷試験結果やCBR試験の結果に基づき計算が行われてきた。近年は、定性的な検討のみでなく、線形および非線形構造解析を行い、パフォーマンスを考慮した舗装設計を行う動きがある。この場合に、構造計算に用いる材料の変形係数（弾性係数）を算定する方法や疲労試験などを行う方法として三軸圧縮試験などがある。

一般に、舗装材料は、交通荷重の繰返しにより永久変形が累積することがあり、完全な弾性体でないことが良く知られている。ただし、小さな荷重による多くの繰返しでは、1回の荷重による荷重と変形量の関係とほぼ類似しており、変形量のうちほとんどが復元するので、この関係より弾性と見なすことができる。このため、繰返し三軸圧縮試験で得られる変形係数は、復元弾性係数（Resilient Modulus, レジリエントモジュラス）と呼ばれ、線形弾性理論で取り扱われる弾性係数と同等に使われている。

米国のSHRP計画においては、粒状材料の復元弾性係数試験を同一現場から得られた材料による比較試験を実施した結果、試験機の差や復元弾性係数としてのバラツキが大きいことが明らかとなった¹⁾。このため、FHWAから粒状材料のレジリエントモジュラス試験及び品質管理手順（LTPP実施要領P46、以下LTPP P46と略す）や路床材料の設計手順が1997年に発行された^{1), 2)}。これらの資料の詳録は、参考文献^{3), 4)}にまとめられているので、参考にされたい。

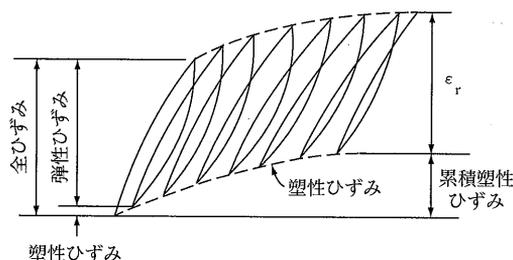


図-1 繰返し載荷試験による供試体の軸ひずみ

2. 室内における試験方法

繰返し載荷試験による供試体に発生するひずみを図-1に示す。適用荷重の初期値は、図中の塑性ひずみの蓄積で表される永久変形を考慮する。繰返し回数の増加により、供試体が締め固められ、それぞれの荷重で発生する塑性ひずみが減少する。100から200回の繰返し載荷により、塑性ひずみはほとんど発生しなくなる。弾性係数は、繰返し荷重下で復元ひずみに基づいて算定されるので、復元弾性係数（レジリエントモジュラス：以降Mrと呼ぶ）と言われている。

路盤材・路床土ともに荷重や変形量を計測し、両者の関係から変形係数を求める試みは1960年以降に行われている。一般に、ひずみ速度一定で荷重を載荷する試験を静的とし、荷重波形に正弦波を適用した試験を動的とし、衝撃波（ハーバーサイン波）を適用した試験を繰返しとしている。ハーバーサイン波とサイン波の荷重波形を図-2に示す。

ハーバーサイン波は、サイン波を等価と見なしたものと定義され、式(1)の様なsin関数で表される。さら

*あべ ながと 東亜道路工業株式会社技術研究所主任研究員，工学博士

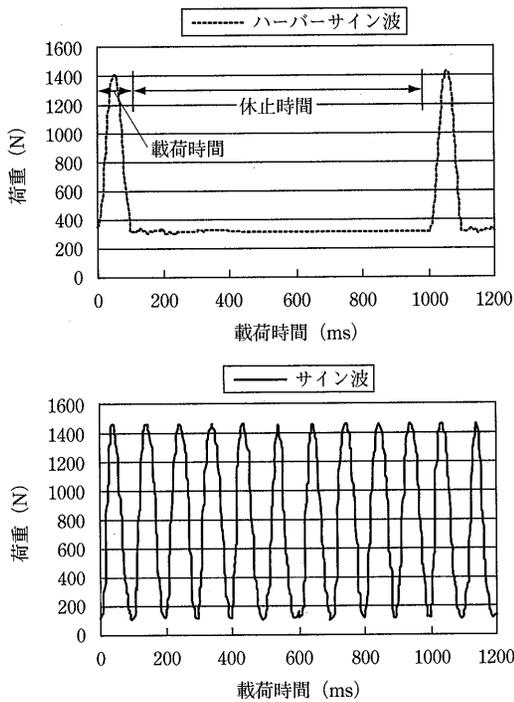


図-2 ハーバーサイン波とサイン波の波形

に、動的解析ソフトでは、式(2)の \sin^2 の関数で表されている。

$$\sigma_v = \sigma_{\max} \sin \left(\frac{\pi}{2} + \frac{\pi t}{d} \right) \quad (1)$$

$$\sigma_v = \sigma_{\max} \sin^2 \left(\frac{\pi}{2} + \frac{\pi t}{d} \right) \quad (2)$$

車両速度の速い箇所(時速30~70km)をシミュレートした荷重時間は0.02~0.06秒とされ、低速となる交差点部(時速2~20km)では0.1~1秒になると提案された。Mr試験の確立に当たって、これらの試験結果と解析結果に基づき、荷重時間0.1秒、休止時間0.9秒の1サイクルを1秒間と言う荷重条件が決定された。

路盤材や路床土の静的な変形係数は、一般に一軸圧縮試験により算定されてきた。一方、動的な変形係数は、荷重波形の違いや拘束条件の違いにより3種類の動的一軸圧縮試験、動的三軸圧縮試験、繰返し三軸圧縮試験が使われてきた。細かい試験関係の歴史やAASHTOの試験法の変遷に関する内容は、参考文献³⁾を参照していただきたい。

2.1 試験手順

供試体寸法は、最大骨材粒径の4~5倍のものを使うことになっている。このため、一般に路盤材で $\phi 150 \times 300$ mm、路床土で $\phi 50 \times 100$ mmもしくは $\phi 100 \times$

200mmが使われている。三軸室は図-3に示すようなものであり、パルスジェネレータを用いて荷重時間0.1秒、休止時間0.9秒、周波数1 Hzのハーバーサイン波を発生させる。

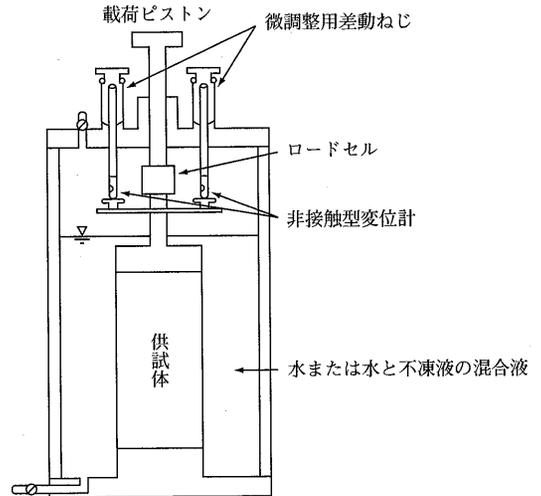


図-3 三軸室の概念図

供試体の軸ひずみを測定する変位計測器は、微少変形量をサンプリングする関係から、非接触のレーザーセンサーやギャップセンサーが使われている。また、試験開始当初の供試体とキャップの不陸によるベッティングエラーが軸ひずみを大きく評価するため、龍岡ら⁵⁾はヒンジを用いて隣青銅板にひずみゲージを貼り付けた局所変位計(LDT)を適用し、 10^{-5} 以下のひずみにおけるばらつきが5%以下となることが報告されている。

供試体の作成は、JIS A 1210に準拠し、ランマーで締め固め、プロクターの突固めエネルギーで管理する方法が主流であるが、供試体のサイズが大きい路盤材料では供試体の密度のばらつきが多きく粒子破砕が生じる場合もあるため、上部加振もしくは下部加振による振動締め固めが推奨される。

英国⁶⁾では、振動締め固めに関する研究についてまとめており、図-4に示す石灰岩系の粒調砕石の層当たりの加振時間と乾燥密度の関係から、60 sないし120 sの振動をかけなければならないとしている。さらに、円柱供試体($\phi 150$ mm \times h 300mm)とCBRモールドを用いて、振動ハンマーで締め固めた結果を図-5に示す。いずれの供試体も最適含水比付近で60 s以上の締め固めであれば密度は類似することが明かである。これらの

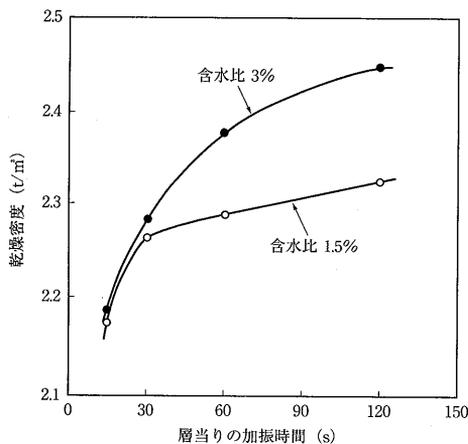


図-4 粒調碎石の加振時間と乾燥密度の関係⁶⁾

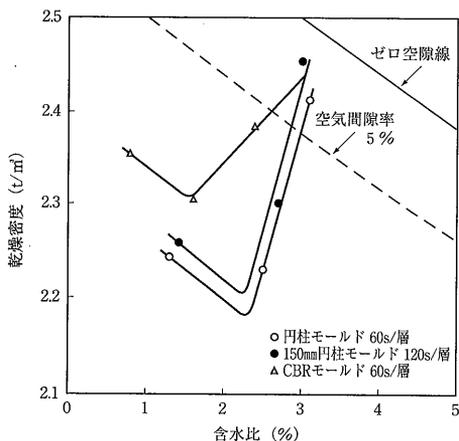


図-5 モールドの違いによる締固め特性の違い⁶⁾

結果から、振動ハンマーによる締固め方法 (BS 1377, 1992) では電圧230-250V, 消費電力600-750Wの装置で直径152mmのモールドに対して振動148mmで60秒以上の振動をかけることと規定されている。

同様に、スウェーデンにおける上載振動締固め機の規定を表-1に示す。英国に比べ消費電力が小さいものの、振動タンパーにかかる静的圧力まで規定されている。路床土の下部加振による締固めとしては、ASTM D 4253に規定がある。

供試体寸法

Mr試験法 (AASHTO T-294) では、骨材の最大粒径に応じ、供試体寸法が直径75mm, 100mm, 150mmの3段階で規定されていたが、改訂により骨材最大粒径の5倍以上のモールドの直径が必要とされ、供試体寸法が表-2に示すように変更されている。

表-1 スウェーデン式振動締固めの規定

消費電力	250 W
周波数	50 Hz
振動による遠心力	2.45 kN
タンパーの直径	150 mm
モールドの内径	152 mm
タンパーとモーターの質量	35.4 kg
タンパーにかかる静荷重	19.6 kN/m ²

表-2 試験に用いる供試体寸法

	骨材最大粒径 (D)	供試体寸法 (mm)	
		直径	高さ
路盤材	38mm以上	Dの5倍以上	直径の2倍以上
	31.5mm以下	150	300
路床土	12.5mm以下	71	142

試験方法

Mr試験中に供試体と載荷ピストンやキャップが離れたり跳ねたりしないように、供試体を固定するための静的応力を最大軸応力の10%を必要としている。

また変位測定では、左右のLVDTからの測定値の垂直変形比率 (Rv) が1.1より大きくなると、供試体が偏向して圧縮した (傾いた) と判断し、再度試験を行わなければならない。

タイプ1の路盤材の試験は、表-3に示す15段階の応力レベルで行い、タイプ2の路床土の試験は表-4に示す15段階の応力レベルで行う。

表-3 タイプ1 (路盤材料) の試験手順

試験番号	拘束圧 kPa	最大軸応力 kPa	繰返し応力 kPa	静的応力 kPa	繰返し回数
0	103.4	103.4	93.1	10.3	500-1000
1	20.7	20.7	18.6	2.1	100
2	20.7	41.4	37.3	4.1	100
3	20.7	62.1	55.9	6.2	100
4	34.5	34.5	31.0	3.5	100
5	34.5	68.9	62.0	6.9	100
6	34.5	103.4	93.1	10.3	100
7	68.9	68.9	62.0	6.9	100
8	68.9	137.9	124.1	13.8	100
9	68.9	206.8	186.1	20.7	100
10	103.4	68.9	62.0	6.9	100
11	103.4	103.4	93.1	10.3	100
12	103.4	206.8	186.1	20.7	100
13	137.9	103.4	93.1	10.3	100
14	137.9	137.9	124.1	13.8	100
15	137.9	275.8	248.2	27.6	100

表-4 タイプ2 (路床材) の試験手順

試験番号	拘束圧 kPa	最大軸応力 kPa	繰返し応力 kPa	静的応力 kPa	繰返し回数
0	41.4	27.6	24.8	2.8	500-1000
1	41.4	13.8	12.4	1.4	100
2	41.4	27.6	24.8	2.8	100
3	41.4	41.4	37.3	4.1	100
4	41.4	55.2	49.7	5.5	100
5	41.4	68.9	62.0	6.9	100
6	27.6	13.8	12.4	1.4	100
7	27.6	27.6	24.8	2.8	100
8	27.6	41.4	37.3	4.1	100
9	27.6	55.2	49.7	5.5	100
10	27.6	68.9	62.0	6.9	100
11	13.8	13.8	12.4	1.4	100
12	13.8	27.6	24.8	2.8	100
13	13.8	41.4	37.3	4.1	100
14	13.8	55.2	49.7	5.5	100
15	13.8	68.9	62.0	6.9	100

各応力段階のMr試験終了後に、軸方向の累積永久変形量が5%を越えていなければ、ひずみ速度1%/分の試験条件で静的な(ひずみ速度一定)せん断試験を行い、最大せん断強度を求めることが規定されている。これは、繰返し試験を行う前のせん断強度と繰返し試験を行った後の供試体のせん断強度を測定し、繰返し試験の強度増加の比率を求め、施工後の交通荷重による強度増加がある材料であるかなどを検討するために必要である。

2.2 試験結果

Mrの算定は、偏差応力と軸ひずみから式(3)を用いる。主応力和θとレジリエントモジュラスMrの関係は、両対数グラフの横軸に主応力和(θ = σ₁ + 2σ₃)を、縦軸にMrをプロットすることにより、回帰式(式(4))から得られる材料係数(k₁, k₂)が得られる。礫の多い路盤材などは式(4)、砂以下の材料が多い細粒土は拘束圧の影響により変形特性が異なるため式(5)が使われる。

$$Mr = \sigma_d / \epsilon_a \quad (3)$$

ここで、Mr: レジリエントモジュラス (MPa)

σ_d: 偏差応力 (σ₁ - σ₃) (kPa)

σ₁: 全軸応力 (最大主応力) (kPa)

σ₃: 拘束応力 (最小主応力) (kPa)

ε_a: 復元軸ひずみ

1) 礫質土

$$Mr = k_1 \theta^{k_2} \quad (4)$$

2) 細粒土:

$$Mr = k_1 \sigma_d^{k_3} \quad (5)$$

ここに、Mr: レジリエントモジュラス (MPa)

θ: 主応力和 (σ₁ + 2σ₃) (kPa)

k₁, k₂, k₃: 材料係数

Uzanによって、粒状路盤や細粒土の区別なくどの材料でも適用できる方法として、式(6)が提案されている。さらに、BoudaliとRobert⁷⁾は、k-θモデル(5)とθ-σ_dモデル(6)を比較し、危険率10%に対する変動係数を求め、式(5)の変動係数が±25%で式(6)の変動係数が±16%であることから、精度的にも式(6)が良いとしている。

$$Mr = k_1 \times \left(\frac{\theta}{P_a}\right)^{k_2} \times \left(\frac{\sigma_d}{P_a}\right)^{k_3} \quad (6)$$

ここに、P_a: 大気圧

3. 現場試験による方法

3.1 舗装面の載荷における推定方法

舗装面における載荷試験結果を用いて路盤材料や路床土の設計Mrを求めるには、土圧に依存する舗装内部の拘束圧や垂直応力を知る必要がある。それらの値を決定するために材料の密度と層厚から構造計算により内部応力を算定し材料の設計Mrの算定方法がまとめられている^{1), 4)}。阿部ら⁸⁾は、FWDで算定した弾性係数から図-6の方法で舗装内部の応力を算定し、この載荷条件におけるk-θモデルから調査時の舗装体内部のMr試験で得られた材料係数により弾性係数を推定し、図-7の様に逆解析で得られた弾性係数と比較し、一致度が高いことを示している。

舗装技術基準や理論設計を行う上で、材料物性や特性を把握し設計することが必要であることを示している。

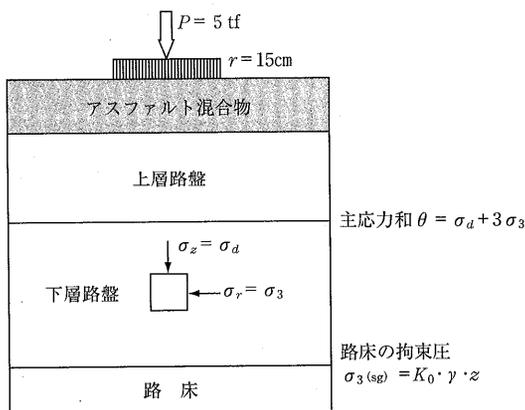


図-6 主応力和θの算定方法⁸⁾

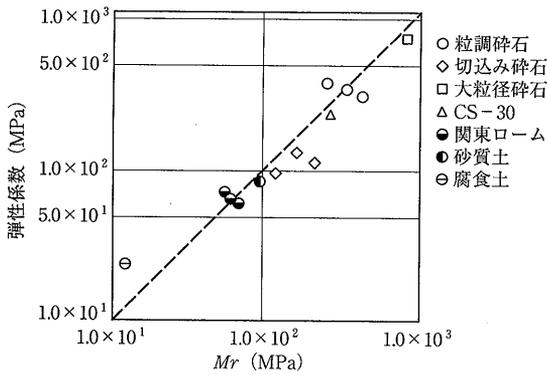


図-7 MrとFWDから算定した弾性係数の関係⁸⁾

3.2 路床や路盤面における方法

新設や補修における設計や現場の施工管理に使うために、小型FWDタイプの試験器が開発されている。

英国⁹⁾やドイツでは、図-8に示す動的平板載荷試験(DPLT)と呼ばれる試験機にて、路床や下層路盤の弾性係数およびCBRを推定する方法が確立され、設計マニュアルに弾性係数の基準が決められている。

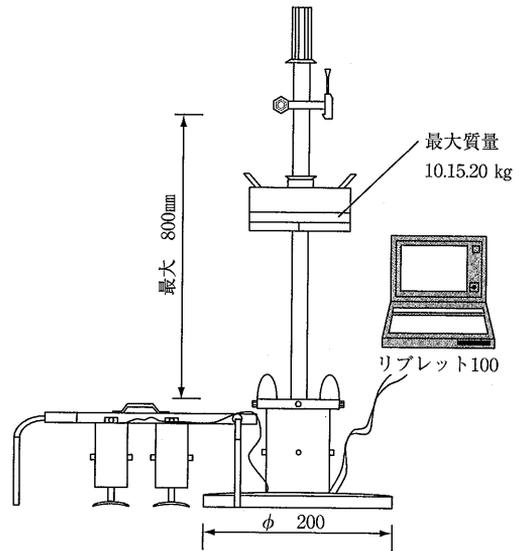


図-9 小型FWD装置の概念図

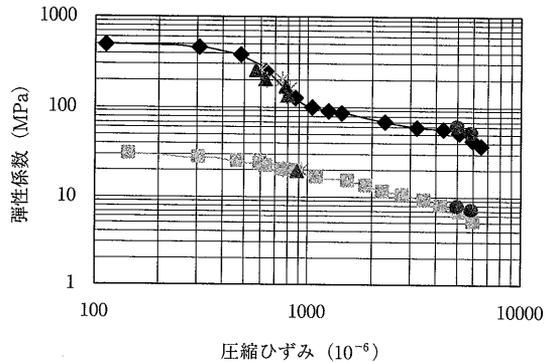
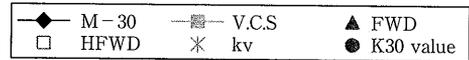


図-10 復元圧縮ひずみと弾性係数の関係¹⁰⁾

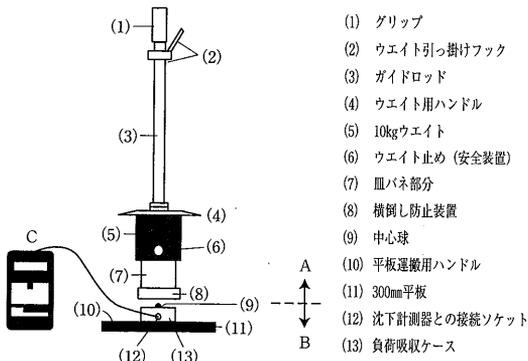


図-8 動的平板載荷試験の概要図⁹⁾

阿部ら¹⁰⁾は、図-9に示した小型FWDにて地盤上の荷重とたわみから支持力係数K30値や弾性係数の算定を行い、三軸試験から求めたMrと平板載荷試験や小型FWDで求めた弾性係数の比較を図-10に示す。この結果から、路床材や路盤材はひずみレベル(変形レベル)に依存し弾性係数が変化することから、非線形性を考慮し設計に用いる弾性係数を定め舗装設計を行う必要がある。また、各種現場試験で得られる弾性係数と繰返し三軸圧縮試験で得られるMrとの一致度が高いことも明らかである。

4. まとめ

今後は、舗装に関する技術基準や舗装試験法の改訂など、新しい技術を取り入れ、自由度の高い構造設計に基づいた舗装の設計などが行えるようになっていく。このため、個々の材料のバラツキや試験法としてのバラツキを判断した上での算定や設計定数の適用が望まれる。

海外で推奨されている近年の試験方法^{1), 10)}では、骨材粒径が38mm以上の路盤材では供試体の寸法が直径200mm以上の供試体で試験することとなる。日本においては、ダム用の碎石材料などの試験を行っている機関にφ300×h600mmの試験機があり、舗装関係に関してもこのような大型試験機に関する導入の検討が必要

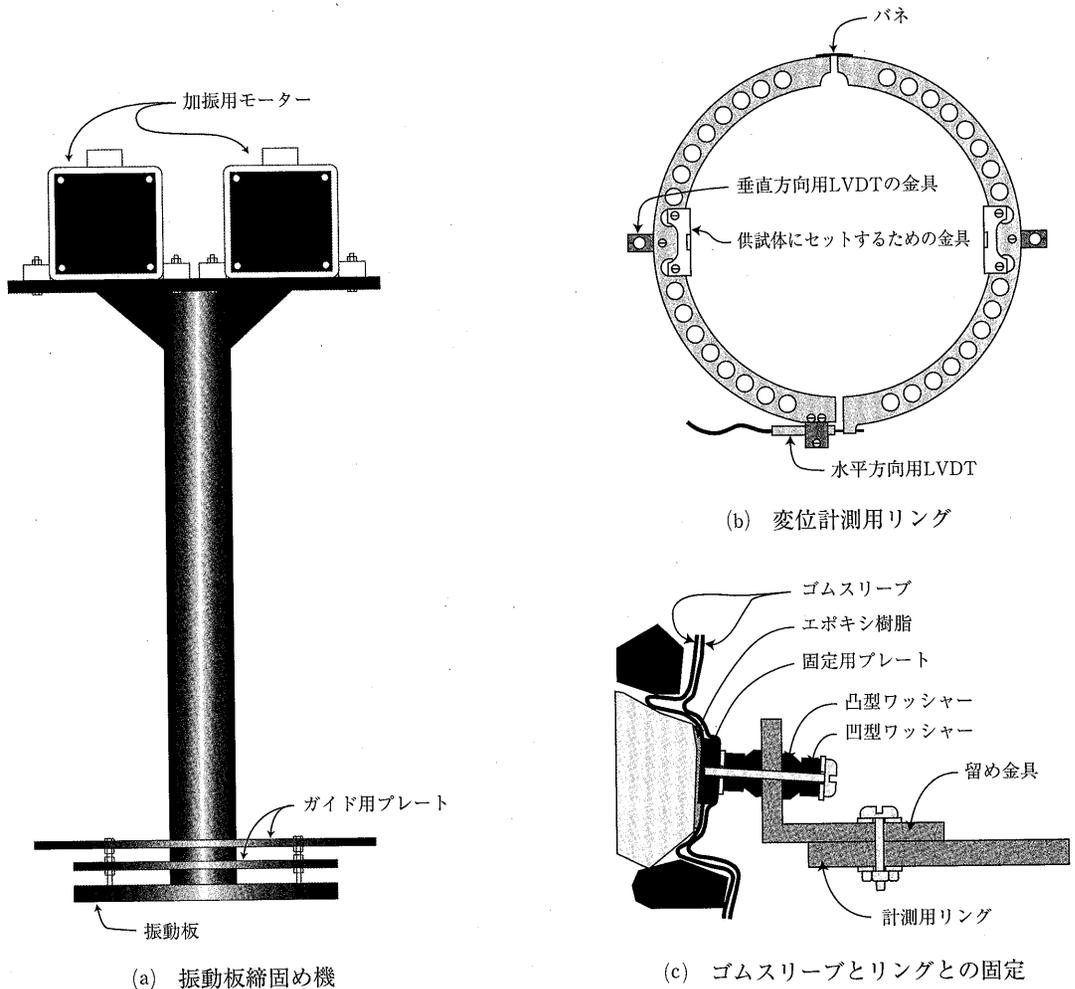


図-11 大型供試体のための試験器具¹²⁾

であろう。参考として、Skoglundら¹²⁾が検討を行っている大型供試体用の締固め用振動板、変形量計測用リング、ゴムスリーブとリングとの固定に関する図-11に示す。供試体の重量が約100kgとなるため、最大慣性力16kNを出力させるために回転数2870rpmの加振用モーターが2個必要であるとしている。

— 参考文献 —

- 1) FHWA : LTPP Materials Characterization Program: Resilient Modulus of Unbound Materials (LTPP Protocol P46) Laboratory Startup and Quality Control Procedure, FHWA-RD-96-176, January 1997.
- 2) FHWA : Design Pamphlet for the Determination of Design Subgrade in Support of the AASHTO

Guide for the Design of Pavement Structures, July 1997.

- 3) 阿部長門：繰返し三軸圧縮試験を用いた路床土と路盤材の復元弾性係数，アスファルト，Vol.42，No.201，pp.29-42，1999.10.
- 4) 谷口聡他：舗装の長期供用性（LTPP）調査に関する報告書，アスファルト，Vol.42，No.200，pp.39-54，1999.7.
- 5) Tatsuoka, F. et al. : Importance of Measuring Local Strains in Cyclic Triaxial Tests on Granular Materials, Dynamic Geotechnical Testing, Vol.II, ASTM STP 1213, 288-302, 1994.
- 6) Parsons, A. W. : Compaction of Soils and Granular Materials, TRRL, pp.256-266, 1992.
- 7) Boudali, M. and Robert, C. : Laboratory

- Determination of Base Material Resilient Moduli, 5th on the Bearing Capacity of Roads and Airfids, pp.1235-1245, 1998.
- 8) 阿部長門, 雑賀義夫: 路盤材料のレジリエントモジュラス, 舗装, Vol.29, No.6, pp.9-13, 1994.
- 9) TRL: Design of long-life flexible pavements for heavy traffic, TRL Report 250, Appendix B Pavement foundations, 1997.
- 10) Nagato Abe, Masaki Kamiura, Etsuo Sekine and Teruhiko Maruyama: Evaluation of Bearing Capacity of Base Course and Subgrade by Falling Weight Deflectometer, Third International Conference on Road & Airfield Pavement Technology, Beijing, P. R. China, April, 1998.
- 11) AASHTO: Standard Specification for Transportation Material and Methods of Sampling and Testing, Resilient Modulus of Unbound Granular Base/Subbase Materials and Subgrade Soils - SHRP Protocol P46, T 294-94, 1994.
- 12) Skoglund, K. A., Hoseth, S., and Vaernes, E.: Development of a Large Triaxial Cell Apparatus with Variable Deviatoric and Confining Stresses, Proceedings of the 5th International Symposium on Unbound Aggregates in Roads (UNBAR5), pp.145-152, June 2000.

— 社団法人 日本アスファルト協会 創立40周年記念出版 —

アスファルトの利用技術

B 5 版・290ページ・実費頒価 ¥4,000 円 (送料実費)

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

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

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

百科事典として、また関係者必読の書としてご購入をお勧めいたします。

目 次

第1編 アスファルト

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

第2編 アスファルトの道路舗装への利用

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

第3編 アスファルトの各種舗装への利用

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

第4編 防水・その他への利用

- 第1章 防水・防湿
 - 1. 土木防水
 - 2. 屋上防水 (陸屋根防水)
 - 3. 屋根防水 (勾配屋根防水)
 - 4. ターポリン紙 (防湿紙)
- 第2章 建築
 - 1. 木造住宅用床防音材
 - 2. 床材
 - 3. 鋼管塗布
- 第3章 原料
 - 1. 酢酸原料用アスファルト
 - 2. 石油コークス原料
 - 3. 製鉄用コークスバインダー
- 第4章 燃料
- 第5章 その他
 - 1. 電気絶縁用
 - 2. レンズ研磨
 - 3. のり面緑化用アスファルト乳剤
 - 4. ノウサギ忌避剤
 - 5. トンネル断熱材
 - 6. 放射性廃棄物の固化材
 - 7. その他への利用

構造設計に必要な計測

アスファルト混合物の疲労特性

(Fatigue Properties of Asphalt Mixtures)

丸山 暉彦*・中村 健**・雑賀 義夫***

アスファルト混合物の疲労破壊に関する研究は1940年代から始められ、これまでに多数の試験方法が開発されている。供試体の形状、寸法、載荷方法、荷重波形などは様々であり、疲労破壊の定義さえ明確でない。これら室内疲労試験結果を舗装構造設計にどのように取り入れるべきかを論じた。また、舗装表面から発生する縦表面ひび割れも疲労破壊ととらえ、その検討例も紹介した。

1. はじめに

ある材料に荷重を加えるとき、1回の載荷で破壊できるほど大きな力でもなく、繰返し加えられることによって、その材料は最終的にはこわれてしまう場合がある。これを疲労破壊といい、破壊に至るまでの載荷回数を疲労寿命という。一般的には、疲労破壊は、力によってひずみが生じている部分にひび割れが発生して破断するという形態をとる。

舗装は、その上を通る車から、絶えず繰返し荷重を受けている。1回、2回の通行でこわれることはないが、何年か供用されるうちに、ひび割れが生じることがある。わだち掘れや温度ひび割れによって破壊することもあるが、舗装の寿命を考えると、疲労寿命を無視することはできない。このために古くから舗装用アスファルト混合物に対する疲労試験が実施されている。

Monismith¹⁾によると、交通荷重の繰返し作用が舗装に悪影響を与えることを初めて認めたのはPorter²⁾ (1942)とGrumm³⁾ (1942)であるが、彼らは疲労の概念には至らなかった。彼らは交通荷重の通過回数の増加にしたがって、舗装のたわみ量も大きくなり、ある限界たわみ量を超えるとひび割れが生じることを確かめたのである。以後しばらく、米国ではたわみ量と荷重載荷回数との関係を調べる研究が各所で行われる。Hennesら⁴⁾ (1950)は5×5×30cmの梁状アスファルト混合物を板ばねの上に置いて、中央部に繰返し荷重を加え、載荷回数の増加によりアスファルト混合物の

弾性係数が低下することを見出した。

アスファルト舗装に対して疲労破壊という用語を最初に用いたのはHveemら⁵⁾ (1948)である。彼らを用いた疲労試験装置は、図-1に示すように5×5×25cmの梁の下にスポンジラバー支持層を置いて曲げ荷重を加えるものである。開通後5年経過しても全くひび割れを生じなかった舗装と、開通後1年でひび割れを生じた舗装から、それぞれ切り出した供試体に対して、本試験を実施し、図-2⁶⁾を得た。たわみ量と疲労寿命とが両対数座標上で直線関係にあること、ひび割れを生じなかった材料と生じた材料の疲労特性に明確な差のあることを見出した。

その後今日に至るまで、種々の試験装置が考案され、アスファルト混合物に対する疲労試験が多数実施されている。これらの疲労研究の流れを紹介したものに替

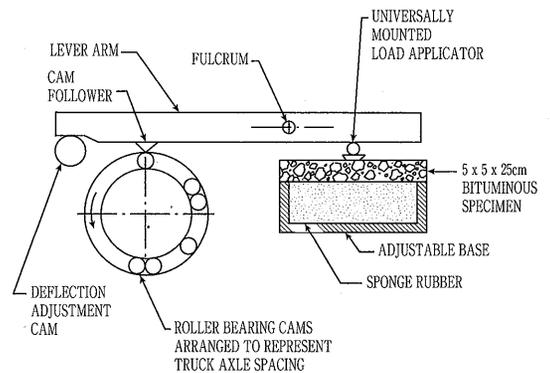


図-1 Hveemによる疲労試験装置⁶⁾

*まるやま てるひこ 長岡技術科学大学環境・建設系教授

**なかむら たけし 長岡技術科学大学環境・建設系助手

***さいか よしお 東亜道路工業株式会社技術研究所副所長

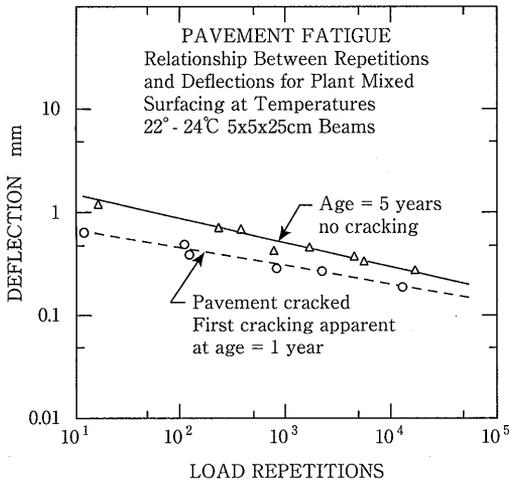


図-2 たわみ量と疲労寿命の関係 - Hveem⁶⁾

原・笠原の報告⁷⁾ (1972) と田井の報告⁸⁾ (1978) がある。また、最近のものとしてはSHRPの報告⁹⁾ (1990) がある。

2. 疲労試験の種類

アスファルト混合物に対する疲労試験は、供試体の形状、荷重方法、荷重の性質、試験環境、実際の舗装との相似性など様々である。

2.1 供試体の形状

まず、供試体の形状として一般的なものは直方体の梁状のものである。これに対する荷重方法は曲げ荷重が多いが、「2点支持1点荷重」によるものと、「2点支持2点荷重」によるものがある。下部にゴム板な

どの支持層を置いて荷重する「支持曲げ (supported flexure)」と呼ばれるものもある。2点支持2点荷重のものは、中央荷重点の間で曲げモーメントが一定になり、その間の一番弱いところで破壊するために合理的であり、試験結果のばらつきが小さいといわれている。これに反し、2点支持1点荷重では曲げモーメントが中央荷重点に頂点をもつ三角形となり、常に荷重点で破壊する。骨材等の配置によっては結果がばらつくことがある。しかしながら、2点支持2点荷重において中央部の曲げモーメントが一定となるためには、曲げを受けている供試体と荷重ヘッドとの間に摩擦がなく、ヘッドの供試体に対する横方向移動が可能でなければならない。しかるに、アスファルト混合物では、荷重ヘッドが押し付けられている部分に塑性変形を生じることがあり、この横方向移動が保証されない。このような状況では、2つの荷重ヘッドの間で曲げモーメントが発生せず、ヘッド直下で破壊することが多い。とくに20℃以上の高温領域で試験を行う場合は、2点支持1点荷重の疲労試験を実施する方が無難である。

供試体の形状を台形とし、底部を固定し頂部に荷重を加える片持ち梁方式もある。台形の形状によって、曲げモーメントの最大点が供試体中央部にくるように工夫している。台形供試体による試験は、ベルギー研究所 (Verstraeten¹⁰⁾, 1972), オランダShell研究所 (Van Dijk¹¹⁾, 1975), フランスLCPC (Bonnot¹²⁾, 1986), イギリスNottingham大学 (Rowe¹³⁾, 1993) などが実施している。Van Dijkが用いた供試体は、底面が55×20mm, 上面が20×20mm, 高さ250mmである。図-3にノッティンガム大学で使用している装置を示す。

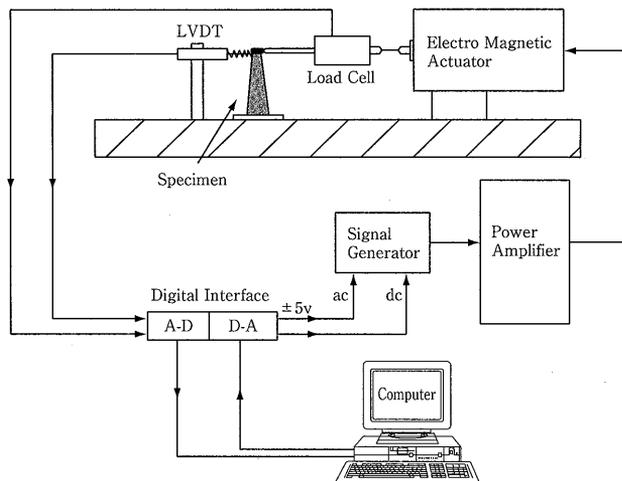


図-3 台形片持梁疲労試験装置¹³⁾

供試体として円筒形のものを用いるのが、繰返し間接引張り試験および繰返し3軸試験である。間接引張り試験では直径10cm、高さ5cmのものを用い、マーシャル供試体と同様に作製または既設舗装からコアカッターで切り取ったものを使用する。この試験方法は供試体作製および計測が容易で、かなりの実績もあり、再現性のよいことが確認されている¹⁴⁾。イギリスでは標準化試験として規格化されている¹⁵⁾。

繰返し3軸試験は、実際の舗装が受けている応力状態を再現でき、材料の力学的評価を行う基礎研究としては最適なものである。しかし、汎用性のある装置は大型で高価となり、大型円筒形供試体の作製が容易でないこと、試験に時間がかかることなどのため一般的な普及は望めない。

円筒形供試体に対して、一軸圧縮引張り応力を加えるもの¹⁶⁾や、ねじりによるせん断ひずみを加えるもの²⁰⁾も研究されている。

供試体の締固め度と疲労寿命の間には大きな関係があり、締固めが一樣でない試験結果はばらつく。しかしながら、締固め度と疲労寿命の関係を論じた研究は見あたらない。

2.2 載荷方法

載荷方法には応力制御とひずみ制御がある。繰返し荷重を加えられている供試体の内部にはマイクロクラックが発生し、それが次第に大きくなってヘアクラックとなり、さらに小さなヘアクラックが連結して大きなクラックとなり、破壊に至る。したがって、載荷とともに、みかけの弾性係数あるいはスティフネスは次第に小さくなる。応力制御試験では、載荷中に供試体のスティフネスが低下しても応力を一定に保つために、ひずみが載荷とともに大きくなっていく。実際の試験では応力を測定することはできないので、荷重を一定に保っているに過ぎない。マイクロクラックが生じると供試体の有効断面積は小さくなるのに、荷重は一定に保たれるため、実際の応力は増加していることになる。供試体内部に一度欠陥が生じると、試験は破壊を促進する方向に動く。このため応力制御試験は破壊点が明瞭で、ひずみ制御試験よりも寿命が小さい。

ひずみ制御試験では載荷中のひずみが一定に保たれる。供試体内部にマイクロクラックが発生して、みかけの弾性係数が小さくなると、応力も小さくなる。実際の試験ではひずみを制御することは困難なので、変位を制御しているに過ぎない。ひび割れ幅の動きも変位の中に含まれるので、実際のひずみは小さくなって

いる。このため、ひずみ制御試験では、供試体内部に欠陥が生じて、試験条件は破壊を遅らせる方向に変化するため、破壊点が明瞭でない。多くの研究者は、スティフネスの変化に着目し、初期値から50%に低下した時点を破壊と定義している。ひび割れ成長時間を含む寿命評価であるといわれる。

このように、応力制御試験とひずみ制御試験では破壊の定義が異なり、ひずみ制御試験では、破壊点の定義さえ明確でない。問題があるようであるが、実際の舗装でも、疲労破壊だけしか生じていない場合を考えると、表面にどれだけのひび割れが生じたときを破壊とするのか定義するのは困難である。疲労試験から得られる疲労寿命と実際の舗装の設計寿命を対応させようとする努力もなされているが、厳密に一致させる必要はないと考えられる。

アスファルト混合物の疲労試験について、セメントコンクリートや鋼材などとは異なる特徴がもう一つある。それは、弾性係数(スティフネス)の異なる材料を比較する場合に問題となるものである。

応力 σ とひずみ ε の関係は、スティフネスを E として $\sigma = E\varepsilon$ で表される。応力制御の場合 $\sigma = \sigma_0$ (一定)であるから、 $\varepsilon = \sigma_0/E$ で E が大きいほど ε は小さい。すなわち、異なる材料を同じ条件で試験した場合、スティフネスが大きいものほど発生するひずみは小さく、疲労寿命は長くなる。

ひずみ制御の場合は、 $\varepsilon = \varepsilon_0$ (一定)だから $\sigma = E\varepsilon_0$ より、 E が大きいほど σ も大きい。すなわち、異なる材料を同じ条件で試験した場合、スティフネスが大きいものほど、発生する応力が大きく寿命は小さくなる。

より疲労寿命の長い、すなわち耐久性の高い材料を開発しようとした場合、スティフネスの大きいものの方がよいのか、小さいものの方がよいのか、試験法によって全く逆の結果が得られるのである。また、温度の高いときと低いときを比べる場合、どちらの疲労寿命が長いのか、このままではわからない。このことは、スティフネスの異なる材料の疲労寿命を比較する場合、応力またはひずみだけで評価することはできず、応力、ひずみ、スティフネスのいずれか2つを同時に考慮しなければならないことを示している。スティフネスとひずみで整理したのが図-4に示すShellの設計法¹⁶⁾(1977)であり、応力とひずみで整理したのが図-5に示す疲労破壊包絡線¹⁷⁾の概念である。

ASPHALT FATIGUE STRAIN

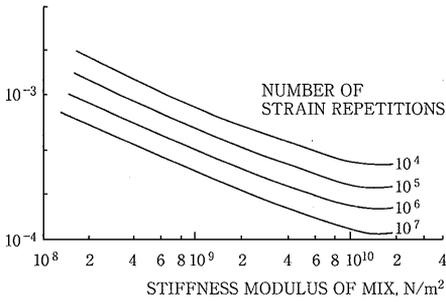


図-4 Dense bitumen macadamの許容疲労ひずみとスティフネスの関係 - Claessenら¹⁶⁾

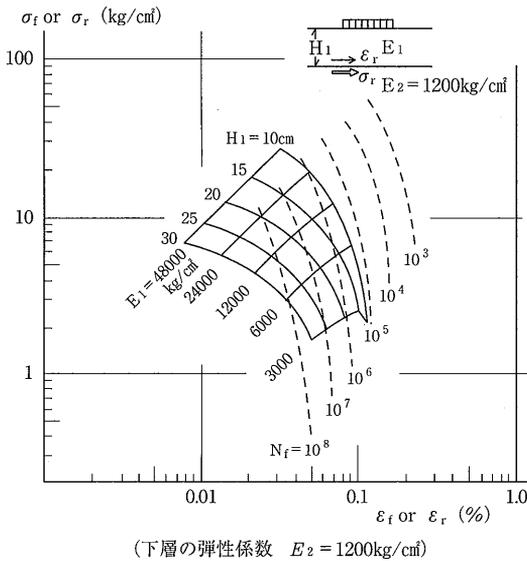


図-5 アスファルト層下面に発生する応力・ひずみと疲労破壊包絡線¹⁷⁾

2.3 荷重の性質

荷重の性質とは、おもに繰返し荷重の波形に関する事で、サイン波かどうか、片振りか両振りか、休止時間はあるかないか、載荷周波数はどれくらいが適当かなどについて考察する。

応力波形としてサイン波以外に三角波や矩形波が用いられることもあるが、結果には差がないとされている。両振りか片振りかについては、実際の荷重に模した片振り波形として、ハーバーサイン波が用いられることがある。実際の舗装のアスファルト層下面に生じる水平方向応力は、車輪が接近してきたとき最初に圧縮応力を受け、車輪が真上に来たとき引張り応力を、遠ざかるとき再び圧縮応力を受ける。下面に生じる最

初の圧縮ひずみは引張りひずみの約1/7の大きさである¹⁸⁾。最初の小さな圧縮ひずみがない場合、疲労寿命は10~15%減少する⁹⁾。両振り試験の方が永久変形が小さく寿命が少し長くなるとされている。

各載荷を連続して与えるか、間欠的に与えるかも検討されている。Raithby¹⁹⁾ (1972)によれば、非常に短い休止時間から疲労試験を開始したとき、休止時間が0.4 sまでは、休止時間の増加により疲労寿命は急速に増加する。これを超える休止時間ではほとんど影響を受けないとしている。間欠的に荷重を加える場合、パルスを圧縮から始めるか、引張りから始めるかも疲労寿命に影響する。引張りから始める方が長い寿命が得られるとのことである。

実際の舗装において、走行する車の速度に対応するアスファルト層下面に生じる応力の載荷時間は、アスファルト層の厚さによって異なり、図-6のような関係が示されている²⁰⁾。

この図から、30~50km/h (15~30mph)の速度に対応させる場合、載荷速度は0.04~0.1 sが適当なようである。

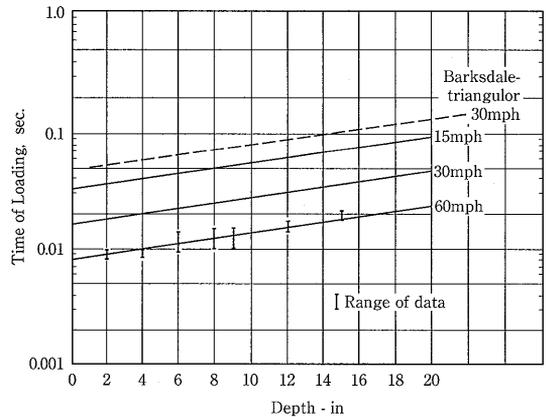


図-6 水平応力に対する等値載荷時間と深さの関係 (McLean, 1974)²⁰⁾

2.4 試験環境、実際の舗装との相似性

前述したように、室内試験と実際の舗装の双方について、疲労破壊の定義を一致させることは難しく、疲労試験における載荷荷重や休止時間を現実の交通荷重に近づけようと努力しても、あまり報われる作業ではない。実際の輪荷重分布や車軸の通過頻度を正確に再現するのは不可能だからである。

また、室内試験は温度を一定に保って実施されるのが普通であるが、実際の舗装は、夏期の40℃以上から

冬期のマイナス数十度まで、幅広い温度変化を受ける。異なる温度における疲労試験結果から、それぞれの温度における舗装のダメージを計算して、合計するマイナー則が用いられるが、マイナー則の正しさが認められている訳ではない。また、交通荷重の横方向位置分布は車線幅によって異なり、この影響も考慮しなければならない。これを考慮すると疲労寿命は2.5倍長くなるという報告もある⁹⁾。

SHRPの報告書⁹⁾には、室内疲労試験結果と実際の舗装のパフォーマンスを結び付ける係数(シフトファクター)が紹介されている。種々の研究者によって提案されているシフトファクターは、試験の種類、試験条件によって、1から440までの広範囲な値が提案されており、意味のある結果とは思えない。

3. 上から入るひび割れ

わが国では、ホイールトラッキング試験はわだち掘れに対する耐久性を評価するために使用されているが、Van Dijk¹⁰⁾(1975)は、これを疲労ひび割れの発生と伝播を検出するために使用している。試験装置は図-7に示すように、供試体をゴムマット(弾性係数約25Mpa)の上に置き、アスコン層下面のひずみが200~1000 μ になるようにしている。供試体底面に貼ったストレインゲージによりひずみを計測する。姫野ら²²⁾(1987)も同様な試験を行い、15~20 $^{\circ}$ Cにおいては、ひび割れはアスファルト混合物層底面から発生し、載荷回数とひずみの関係からひび割れ発生時と、ひび割れ成長後の版の破壊を明瞭に認識できるとしている。

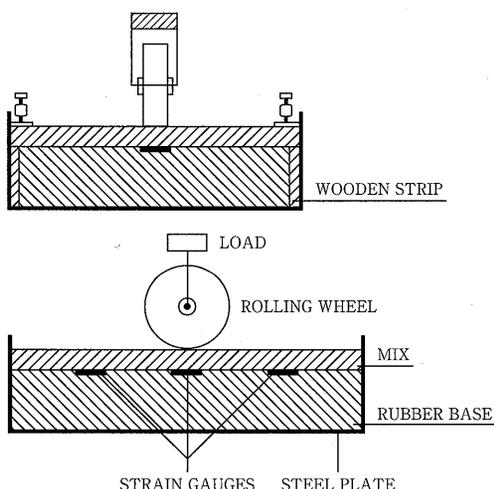


図-7 ホイールトラッキング装置の一般的な模式図(van Dijk, 1975)

姫野らは、さらにこれを上から入るひび割れの検証に用いた。アスファルト舗装の縦表面ひび割れは、アスファルト混合物のスティフネスが低下した場合にタイヤ走行部に働くひずみが原因で発生すると推定されている²³⁾。車輪走行により混合物内部に発生するひずみ振幅は、混合物が一度の載荷で破壊するほどは大きくないと推定されることから、一種の疲労破壊と考えることができる。このひび割れは主に中国、九州地方など温暖地域によくみられること²⁴⁾、高架橋直下のように陽のあたらないところでは発生しないこと²⁵⁾、基層に比べて表層のスティフネスが相対的に小さい場合には表層表面近くに最大ひずみが発生すること²⁶⁾などから、比較的高温時に発生しやすいと考えられる。

この破壊現象をシミュレートするため、実際の舗装表面のほぼ最高温度に相当する60 $^{\circ}$ Cにおいてホイールトラッキング試験を実施した。アスファルト混合物供試体下部には鋼板を置いて、下層スティフネスの大きい状態を模した。実験中の微小な表面変形を測定するため計測用写真機によってアスファルト混合物表面をステレオ撮影し、空中三角測量の技法によって解析し、混合物表面の三次元的変形量を測定した。図-8は車輪の走行方向に直角の断面における横断方向変位を示したものである。縦軸 Δy が正の部分は右側への、負の部分は左側への移動を表している。これより、混合物表面では幅約4cmのタイヤ走行部分は内側へ、それ以外の部分は外側へ移動しており、タイヤ外縁部に大きな引張りひずみの生じることがわかる。試験中に板の両面を観察したところ、約2500回の載荷で、タイヤ折り返し点付近の表面からひび割れが発生し、これが成長して10000回載荷後には連結したひび割れとなることが認められた。この種のひび割れも一種の疲労破壊であると考えられ、本試験は表面ひび割れの発生しにくい材料を開発できる可能性を示している。

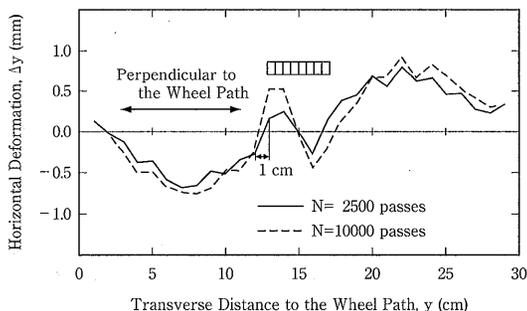


図-8 写真測量から求めたアスコン層表面の側方変位

4. おわりに

これまでも述べたように、室内疲労試験結果を現実の舗装の疲労寿命に一致させる必要はない。それよりも標準材料を定め、これに対する各種疲労試験を実施しておき、別の材料の疲労寿命は標準材料に比べて、長いのか短いのかを判定できるようにしておくべきであろう。標準材料としては、たとえばもっともよく用いられている密粒度アスファルト混合物を選び、使用材料、骨材粒度分布、アスファルト量、締め度などを指定する。これに用いる材料は、いつでもどこでも容易に入手できるものとする。この標準材料を用いて、指定された温度条件、荷重条件における疲労試験を実施し、標準疲労寿命の平均値、標準偏差などをデータベース化しておく。新しい材料が開発された場合、その疲労寿命を標準材料の寿命と比較すればよい。

疲労試験機は、どんな材料に対しても評価可能なこ

と、すなわち、ポーラスアスファルト、半たわみ、弾性舗装などに対しても実施できるものが望ましい。また、試験可能な温度範囲は広い方がよい。試験法が簡便でコストが安いこと、他の試験にも流用できることなども必要な条件であろう。

また、AASHO道路試験などの実物試験舗装の供用結果は、舗装構造設計に大きな影響を与えている。現在、SHRP LTPPデータに対する解析が進行中であるが、結果が期待されている。実物大試験舗装に対する促進荷重試験（フルスケール試験）は、独立法人土木研究所の舗装走行実験施設をはじめ世界各国で活用され、重要なデータを提供している。これらの試験結果と室内疲労試験結果を比較しながら、より耐久性のある舗装材料、舗装構造を見出していくことがこれからも必要であろう。

参考文献

- 1) Monismith, C. L.: Flexibility Characteristics of Asphaltic Paving Mixtures, Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists, Vol.27, pp.74-106 (1958)
- 2) Porter, O. J.: Foundation for Flexible Pavements, HRB Research Record, No.22, pp.100-143 (1942)
- 3) Grumm, F. J.: Designing Foundation Courses for Highway Pavements and Surfaces, California Highway and Public works, Vol.20, No.3, pp.6-9 (1942)
- 4) Hennes, R. G. and Chen, H. H.: Dynamic Design of Bituminous Pavements, The Trend in Engineering, University of Washington, pp.22-25 (1950)
- 5) Hveem, F. N. and Carmany, R. M.: The Factors Underlying the Rational Design of Pavements, HRB Research Record, No.28, pp.101-136 (1948)
- 6) Hveem, F. N.: Pavement Deflection and Fatigue Failures, HRB Bulletin, No.114, pp.43-87 (1955)
- 7) 菅原照雄, 笠原篤: アスファルト合材の動的応答と疲労について, 道路建設, No.295, pp.43-53 (1972.8)
- 8) 田井文夫: アスファルト舗装の疲労クラック, アスファルト, Vol.21, No.117, pp.24-36 (1978.11)
- 9) SHRP: Summary Report on Fatigue Response of Asphalt Mixtures, SHRP-A/IR-90-011, National Research Council (1990)
- 10) Verstraeten, J.: Moduli and Critical Strain in Repeated Bending of Bituminous Mixes, Application to Pavement Design, Proceedings of Third International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, London 729 (1972)
- 11) Van Dijk, W.: Practical Fatigue Characterization of Bituminous Mixes, Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists, Vol.38 (1975)
- 12) Bonnot, J.: Asphalt Aggregate Mixtures, Transportation Research Record, No.1096, pp.42-50 (1986)
- 13) Rowe, G. M.: Performance of Asphalt Mixtures in the Trapezoidal Fatigue Test, Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists, Vol.62, pp.344-384 (1993)
- 14) Read, J. M. and Collop, A. C.: Practical Fatigue Characterization of Bituminous Paving Mixtures, Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists, Vol.66, pp.74-108 (1997)
- 15) British Standard Institution: Method for the Determination of the Fatigue Characteristics of Bituminous Mixtures Using Indirect Tensile Fatigue, Draft for Development ABF, 1995

構造設計に必要な計測

舗装の構造的耐久性

(Structural Condition of Pavements)

八谷好高*

供用中の舗装の構造的耐久性に関する計測・評価技術の現状について概説した。舗装評価における構造評価の位置づけについて述べたあと、建設時に用いられた設計法に基づいた評価となる解体調査法について示した。そして、新しい設計法に基づくものとして、非破壊評価法について、荷重車両（ベンケルマンビームによるたわみ測定併用）による低速移動荷重、ダイナフレクト等振動荷重、FWD等衝撃荷重による方法を紹介した。

1. はじめに

舗装には、構造的耐久性、走行時操縦性・安全性、周辺環境低負荷性といった性能が要求される。供用中における舗装の評価は、性能低下の度合、測定の容易さ等を考慮して、まず後者に関わる項目について実施されたあとで、必要に応じて前者の構造的耐久性について実施されるとの流れになっている。

構造評価は、対象となる舗装の建設時の設計法に基づいて行われる必要がある。ただし、その時点で設計法を変更するか、その後続く補修設計で建設時と異なるものを採用するといった場合には、新しい設計法の前段としての観点から評価が実行されるべきである。そのため、舗装建設時の設計法としてCBR法を採用した場合で、それに基づいて評価を行うときには、路床CBRならびに舗装各層材料特性を把握して、設計時との差異を評価することが必要になる。また、建設時の設計法を変えて、多層弾性理論を用いる場合には、路床ならびに舗装各層の弾性係数・ポアソン比等を把握することが必要となる。

本節は、こういった供用中の舗装の構造的耐久性に関する計測・評価技術の現状について概説するものであり、空港舗装を対象にしたものを中心に述べることにする。以下では、まず舗装評価における構造評価の位置づけについて述べたあと、建設時に用いられた設計法に基づいた評価となる解体調査法について示す。そして、新しい設計法に基づくものとして、非破壊評価法について重点的に記すことにする。

2. 舗装評価における構造評価の位置づけ

舗装では、繰返し作用する車両等の荷重、気象等の履歴によってその表面性状や構造に関する所要の機能が維持できなくなると、それを回復するために何らかの手当が行われる。

空港舗装の場合、その基本方針は、まず舗装の表面性状の評価により補修の必要性の判断を行い、これにより補修が必要となったものについて、必要に応じて舗装構造の評価を行い、構造上問題があるかどうかを判断し、これらに基づき適切な補修方法を選定し、設計するという流れである¹⁾。図-1にはそれを示している。

これによりオーバーレイ・打換えといった補修が必要となった場合には、次のような構造調査が実施される。

- 1) 解体調査：路床ならびに舗装各層のCBRや強度といった、主として従来型設計法に基づく材料特性値の評価
- 2) 非破壊調査：たわみや路床ならびに舗装各層の弾性係数等、新しい設計法に基づく材料特性値の評価

道路舗装の場合、補修工法は、供用性指数、ひび割れ率、破損の種類等を総合的に判断して行うことになっている²⁾。その結果、オーバーレイ、打換えといった補修工法が必要となった場合には、上記の空港舗装の場合と同様な方法により構造調査を行うことになっている。

*はちや よしたか 国土交通省国土技術政策総合研究所空港研究部空港施設研究室長

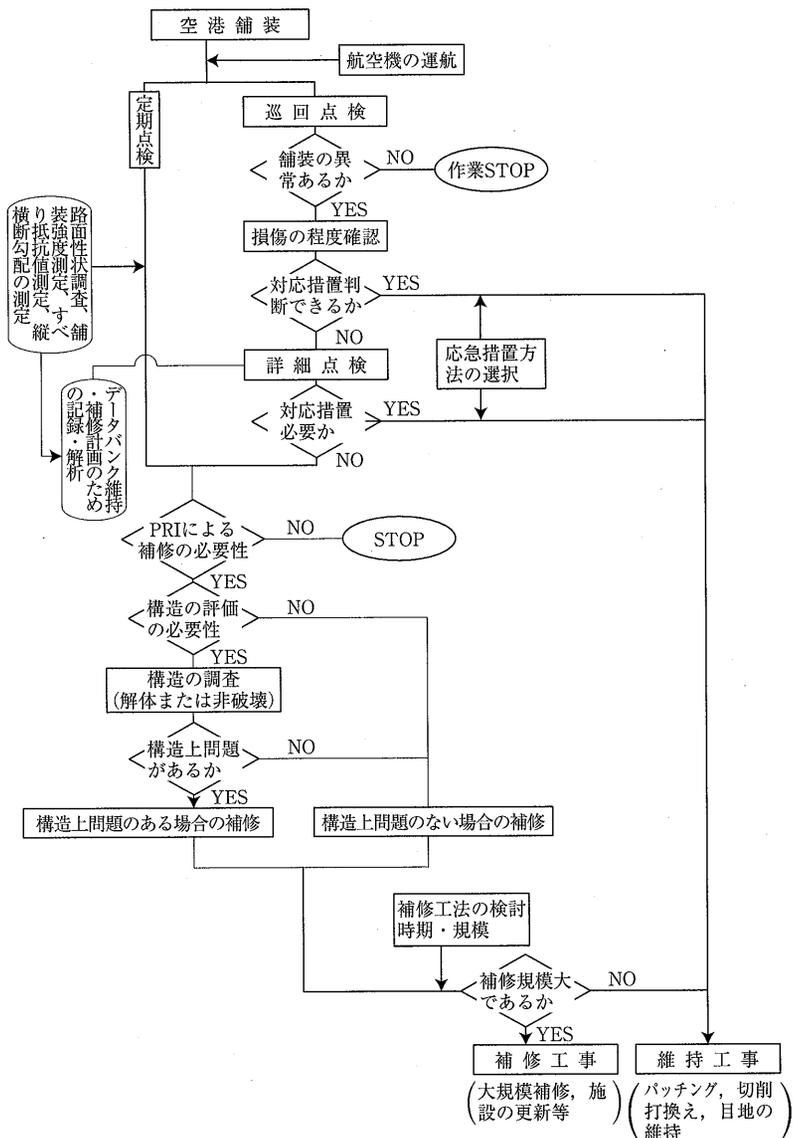


図-1 空港舗装の維持・補修のフロー

3. 解体調査

解体調査は、舗装構造を掘削・解体し、舗装各層の材質、密度および路床の強度等を調べるものである。この調査の長所は、いうまでもなく、原設計法に即した形での、舗装現況の把握、破損原因の究明等が可能ということである。一方、短所としては、この方法が、掘削、調査、舗装の原形復旧の三段階からなるため、一箇所あたりの調査の時間が長く、また費用も高くなるので、試験箇所が限定されるという点が挙げられる。

空港では、解体調査の試験項目および頻度は表-1が標準とされている。テストピットの数は、舗装の状

況を把握するのに適切なものとされるが、最少でも2箇所とされている。テストピットの寸法は、原位置試験を行う場合は2m×1m、試料の採取のみを行う場合は1m×1mが標準とされている。

この解体調査に基づく舗装構造の調査は、アスファ

表-1 解体調査の試験項目と頻度

試験項目	試験対象	頻度
CBR試験	路床	1箇所あたり3個
現場密度試験	上層路盤, 下層路盤	1箇所あたり3個
室内試験	アスファルトコンクリート層	10,000㎡に1個以上

ルトによるオーバーレイ厚の算定法と密接に結びついている。まず、解体調査結果ならびに設計条件から設計荷重に対する所要基準舗装厚 t' を求める。次に、解体調査の結果に基づいて既設舗装の換算基準舗装厚を求め、それに上記の設計条件に対応する表基層厚を加えた厚さ t'' を(1)式により算定する。この場合、 $t' > t''$ ならば舗装構造としては強度が十分でないと判断されるが、 $t' < t''$ であっても既設舗装の表基層の構造状態に応じてオーバーレイ厚が算定される。

$$t'' = t'_1 + \sum_{i=1}^n a'_i t'_{2i} + t'_3 \quad (1)$$

ここに、

t'_1 : オーバーレイ舗装の所要表基層厚、

t'_{2i} , n : 既設舗装で、オーバーレイ舗装の上層路盤として考えられる層の厚さ、その数(表-2参照)、

t'_3 : オーバーレイ舗装において下層路盤と考える範囲の厚さ。

オーバーレイ厚は、次のように決定される。

① $t' < t''$ で、しかも既設舗装の表基層がオーバーレイ後の基層として使用できる場合

$$h = t'_1 - \frac{t'' - t'}{a_1} \quad (2)$$

② $t' < t''$ ではあるが、既設舗装の表基層が新しい舗装の基層としては不相当で上層路盤とみなされる場合

$$h = t'_1 \quad (3)$$

③ $t' > t''$ の場合

$$h = t' - (t'' - t'_1) \quad (4)$$

道路舗装の場合は、設計法でアスファルトコンクリート等値換算厚 T_A を算定するようになってきていることから、まず既設舗装の T_A (T_{A0} と表記) を求め、所

要 T_A との差、すなわち $T_A - T_{A0}$ が必要オーバーレイ厚となる。このとき既設舗装が舗装各層の構造状態に応じて評価されることは空港の場合と同様であり、各層の(アスファルトコンクリート)等値換算係数として表-3が用いられている。なお、所要 T_A は路床設計CBRと5年後の交通量に基づいて算定される。

表-3 既設舗装各層の等値換算係数

層	構成材料	係数
表基層	アスファルトコンクリート	0.9~0.5
	アスファルト安定処理材	0.8~0.4
上層路盤	セメント安定処理材	0.55~0.3
	粒度調整碎石	0.35~0.2
下層路盤	切込碎石・砂利	0.25~0.15
	セメント・石灰安定処理材	0.25~0.15

4. 非破壊調査

非破壊調査は、舗装を損傷することなく比較的短時間で数多くの地点で行えるため、時間的制約の厳しい供用中の調査にとって非常に有効な手段である。また、これは経済性の点からみても望ましいことはいうまでもない。

舗装構造の非破壊調査においては、舗装に荷重を加えたときの応答を測定して、その結果から構造状態が推定される。この場合の応答として一般的にはたわみが用いられる。用いられる荷重の形式は、荷重車両(ベンケルマンビームによるたわみ測定併用)で代表される低速移動荷重、ダイナフレクトで代表される振動荷重、FWDで代表される衝撃荷重の三つに大別される。

(1) 荷重車両

載荷重による舗装のたわみを測定する装置としては

表-2 既設舗装各層の上層路盤としての等価値

材 料	状 況	等価値
アスファルトコンクリート	ひび割れがなく、マーシャル安定度が5 kN以上	2.0
	ひび割れがなく、マーシャル安定度が3.5kN以上	1.5
	ひび割れが多い	1.0
アスファルト安定処理材	マーシャル安定度が5 kN以上	2.0
	マーシャル安定度が3.5kN以上	1.5
	粒度調整碎石なみ	1.0
セメント安定処理材	一軸圧縮強さが3 N/mm以上	1.5
	粒度調整碎石なみ	1.0
粒度調整碎石	修正CBR \geq 80	1.0

ベンケルマンビームが従来より用いられてきている。道路舗装を対象に規定されている測定方法は、いわゆる復元たわみ法であり、はりの先端を荷重車後輪（複車輪の間）に設置した状態を初期値とし、荷重車が十分離れたときの測定値との鉛直変位の差（復元たわみ）を求めるといったものである。この方法は、載荷速度の規定が難しい、はりの支持脚自体も移動荷重の影響を受けるといった問題点が指摘されているが、測定方法の簡便さのために多用されてきている。

道路維持修繕要綱では、輪荷重50kNに対するベンケルマンビームたわみに基づく舗装評価法ならびにオーバーレイ厚算定法が示されている。このときに使用されるたわみ D は(5)式で計算される。

$$D = (\bar{d} + 2\sqrt{V}) \times f \quad (5)$$

ここに、

\bar{d} : 測定値の平均,

\sqrt{V} : 測定値の不偏分散の平方根,

f : アスファルトコンクリート層の平均温度による補正係数。

たわみがアスファルトコンクリートの温度によって変化してしまう点が、このようなアスファルト舗装の原位置調査における最大の問題点である。そのため、たわみ補正係数 f が導入されているが、アスファルトコンクリート層の平均温度の測定が困難なときには、午前8～10時頃にたわみ測定を行うこととし、そのときの表面温度を平均温度としてよいとされている。このようにして得られた D から、交通量に応じて、表-4に示すように、オーバーレイ厚が算定できる。

(2) ダイナフレクト

ダイナフレクト (Dynaflect) はわが国の空港アスファルト舗装を対象にして一時期使用されていた。こ

表-4 たわみと交通量に基づく所要オーバーレイ厚

たわみ D (mm)	交通量区分 (単位: cm)				
	L	A	B	C	D
0.6未満				4	4
0.6以上			4	6	8
1.0以上		4	6	10	12
1.5以上	4	6	10	12	15
2.0以上	6	10	12	15	

の試験機は、振動荷重を舗装に加え、それに対するたわみを測定するものである。荷重の載荷は、直径41cm、幅10cmの鉄輪2個（鉄輪幅員中心で50cm間隔）を介して、自重(7.25kN)を中心に振幅2.25kNの荷重を振動数8 Hzで繰り返すことにより行われる。たわみは荷重輪間隔中心位置から30cm間隔（車軸直角方向）に配置された5個のたわみセンサーにより計測される。

測定結果を解釈する方法は、ベンケルマンビーム同様たわみの値そのものに注目するもの、曲率や二点間のたわみの差に注目するもの、複数のたわみから舗装各層の力学定数を推定して舗装内のひずみ・応力に注目するものの三種類がある。

前二者は、それぞれ単独ではたわみ曲線が定量化できないことから、解析手法としては不十分であるといえる。これを解決するために、たとえば図-2に示すような、両者を併用する方法³⁾が提案されている。

わが国の空港舗装で用いられていた方法は、たわみに注目する方法と多層弾性理論による構造解析法を併用するものである⁴⁾。前者では二車輪間における最大たわみ (Dynaflect Maximum Deflection, DMD) に注目し、DMDを標準温度(20℃)のものに補正した値 (DMD₂₀) ならびに図-3に示した判定規準に基づいて、舗装の構造状態が判断されるようになっている。

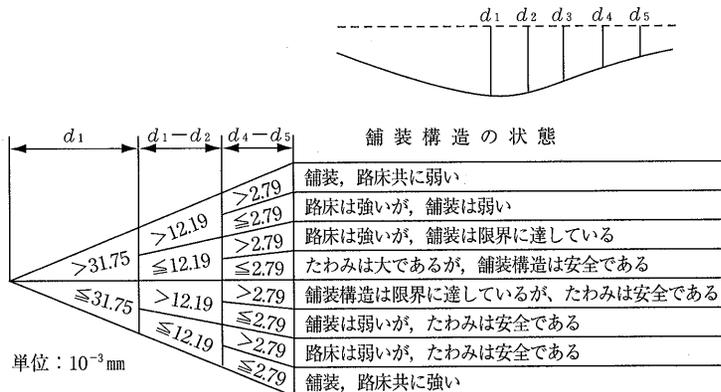


図-2 ダイナフレクトたわみによる舗装構造評価法

この図では舗装健全部とひび割れ部におけるたわみの間に規準値（規準DMD）が設定されている。なお、舗装表面温度が標準温度でない場合におけるDMDに対する補正係数 F_T も図-4のように示されている

$$(\text{DMD}_{20} = \frac{1}{F_T} \text{DMD})$$

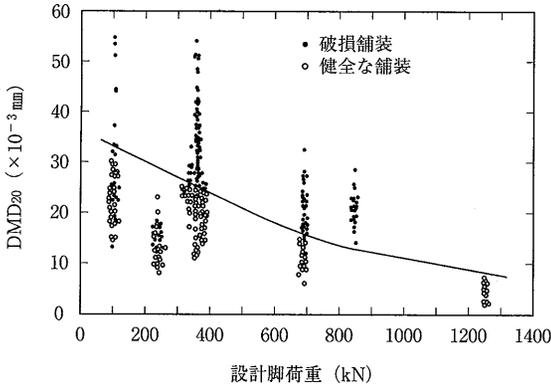


図-3 DMD₂₀による舗装構造評価法

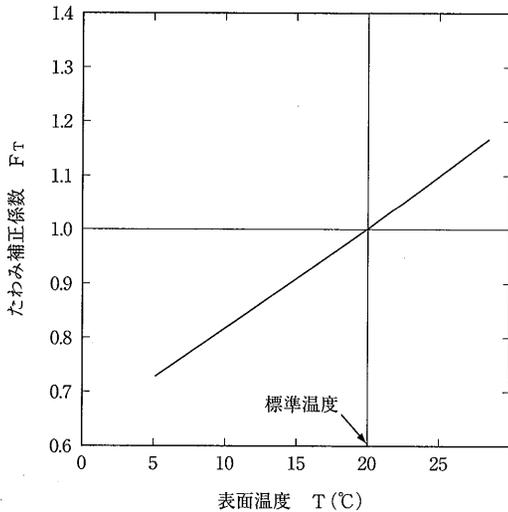


図-4 DMDに対する温度補正係数

DMD₂₀が図に示した規準DMDを超えている場合には、次のような多層弾性理論を用いた構造解析法に基づいてオーバーレイ厚が算定される。

①既設舗装をアスファルトコンクリート層（アスファルト安定処理材路盤も含む）とそれ以下の部分に分け、複数のダイナフレクトたわみに基づいて、二層弾性理論を適用して上下各層の弾性係数を計算する。これにより、路面温度が $T^{\circ}\text{C}$ のときの既設アスファルトコンクリート層の弾性係数 E_1 と

それ以下の層のもの E_2 が得られる。

②路面温度が $T^{\circ}\text{C}$ のときのオーバーレイ用アスファルトコンクリートの弾性係数 E_0 を次式から計算する。

$$\log E_0 = 5.237 - 0.02688 T \quad (6)$$

ここに、

E_0 : アスファルトコンクリートの弾性係数 (kgf/cm²),

T : 表面温度 ($^{\circ}\text{C}$)。

③オーバーレイ厚 h_0 を仮定する。

④厚さ h_0 のオーバーレイがなされた後の舗装を三層構造とみなし、表面温度が $T^{\circ}\text{C}$ のときのDMDを計算する。

⑤図-4を用いて④で得られたDMDを 20°C における値に変換する。

⑥オーバーレイ後の 20°C におけるDMDを基準DMDと比較し、両者が等しくなるときの h_0 が所要オーバーレイ厚となる。

この方法の検証として、種々の厚さでオーバーレイが実施された場合の実測DMDを、オーバーレイ前の測定値から推定されたDMDと比較している。その結果を示した図-5から両者がかなりよく一致していることがわかるとされている。

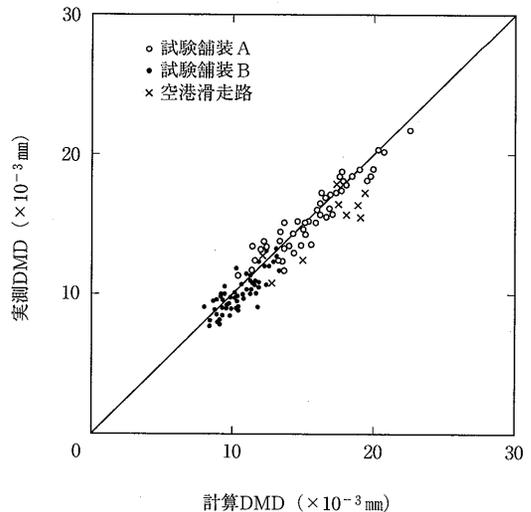


図-5 オーバーレイ後におけるDMDの実測値と推定値

(3) FWD

上記のダイナフレクトを用いた方法は、実務としてはほとんど使用されておらず、近年FWDに取って代わられている。このFWDは、その荷重特性が実際の車両や航空機のものに近いこともあって、世界的にみ

て非破壊試験機の標準となっている。

FWDによる構造評価方法も、たわみをそのまま用いるものが数多く発表されている。たとえば、最大たわみ (D_0) ならびにたわみ差 ($D_0 - D_{150}$, 添字はたわみセンサの荷重中心からの距離 (cm)) を用いることにより舗装構造全体が評価可能とされている⁵⁾。また、AASHTOのオーバーレイ厚設計法では、 D_0 ならびに荷重から十分離れた点のたわみから有効構造指数 (SN_{eff}) を算定することによって、既設舗装の構造評価ができるようになっている⁶⁾。

これらのたわみに着目する方法は、複雑な計算を必要としないという利点を有するものの、使用材料が異なったり、舗装厚が大きく異なるといった場合にはその適用が難しくなる恐れもある。そのため、複数のたわみから舗装各層の力学特性値を推定する、いわゆる逆解析に基づく構造評価法が開発されている。たとえば、路床の弾性係数を推定してCBR設計法を適用する方法⁷⁾、各層の弾性係数を推定した上でオーバーレイ厚を算定する方法⁸⁾といったものが発表されている。また、FWD研究会により、たわみを逆解析することによって弾性係数を推定して、順解析により舗装内部のひずみを算出し、舗装寿命を推定する方法が提案されている⁹⁾。

わが国の空港の場合は、たわみの逆解析に基づく構造評価法を行って補修の必要性を判定し、最終的に所要オーバーレイ厚を算定するというシステムを用いている¹⁰⁾。具体的には、まずFWD最大たわみ D_0 に注目した概略調査を行い、構造的に問題があると判断された箇所についてアスファルトコンクリート層ならびに路床のひずみに注目して詳細調査を行うものである。そのフローチャートは図-6に示すようなものである。なお、この場合のFWDは標準荷重が200kN (載荷板直径450mm) である。

概略評価は次のようになる。まずFWDによる実測値 (載荷板中心たわみ D_0) を標準状態のものに補正する。具体的には、温度については補正係数 (粒状材路盤の場合は図-7) により実測値を除すことによりアスファルト混合物層平均温度20℃のものに、また荷重については線形補正により荷重200kNのものにする。そして、このようにして補正したたわみを規準値と照合し、規準を満足しないようであれば、次の詳細評価へと進む。規準値は、路盤材料が粒状材とアスファルト安定処理材とで使い分ける必要がある (図-8は粒状材路盤の場合)。

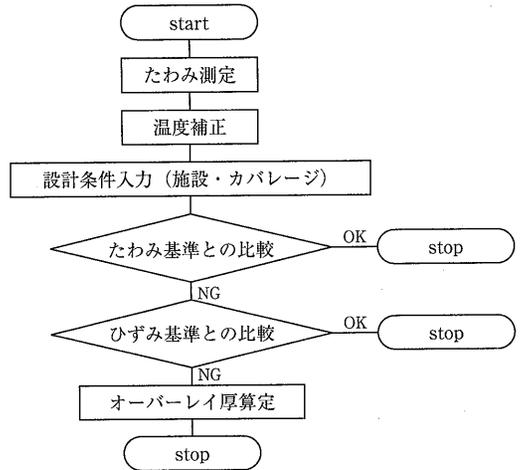


図-6 アスファルト舗装構造評価のフロー

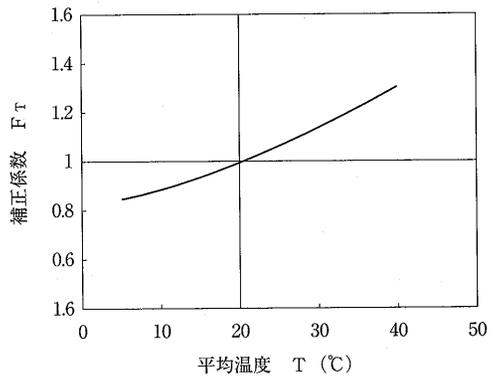


図-7 温度補正係数 (粒状材路盤)

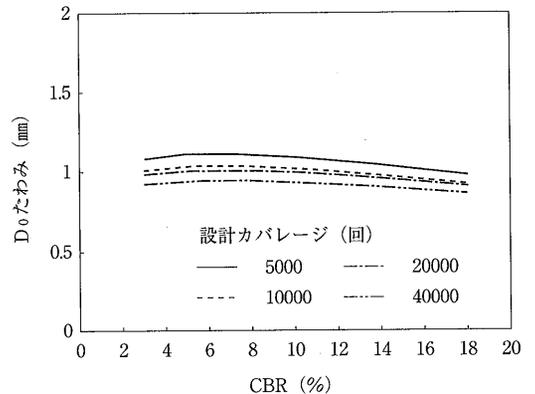


図-8 粒状材路盤の D_0 規準

詳細評価は、①実測たわみ曲線の逆解析による各層弾性係数の推定、②表基層弾性係数の設計条件に対応するものへの変換、③設計荷重に対するひずみの計算、

④設計荷重・設計カバレッジに対応したひずみ規準との比較といった手順からなる。③のひずみとしては、アスファルト混合物層下面水平ひずみ (ϵ_t)、路床上面垂直ひずみ (ϵ_v) に注目する。詳細評価においては、路盤材料が粒状材とアスファルト安定処理材の2種類である場合、施設が滑走路と誘導路・エプロンの2種類である場合に分けて考える必要がある。粒状材路盤の場合の規準値を、滑走路を対象にした舗装については図-9に、誘導路を対象にした舗装については図-10に示した。

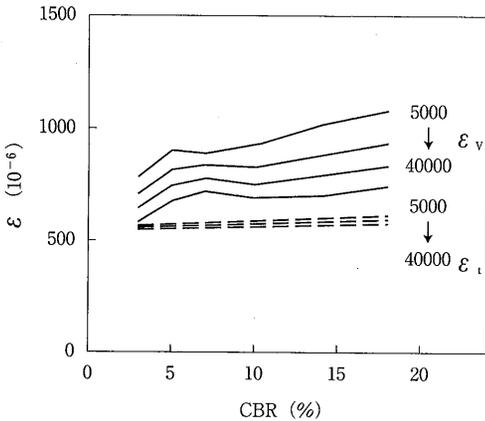


図-9 粒状材路盤滑走路のひずみ規準

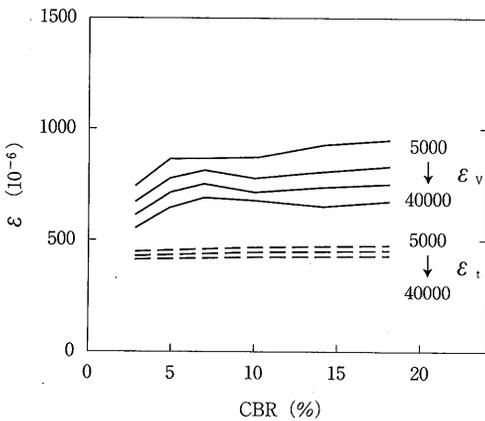


図-10 粒状材路盤誘導路のひずみ規準

その結果、得られたひずみの値が規準値を超える場合には、オーバーレイ厚とひずみの関係を算出して、必要なオーバーレイ厚を決定すればよい。図-11には国際空港の滑走路を評価した結果として所要オーバーレイ厚を示している。

このほか、最近では、以上に述べた静的逆解析に加

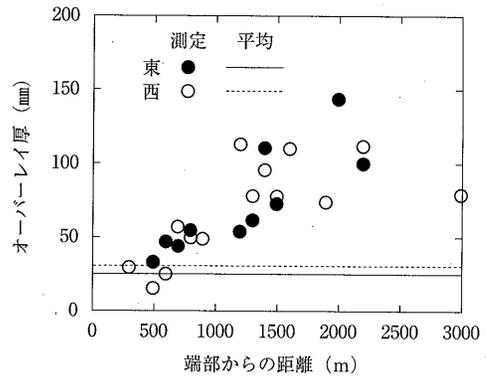


図-11 所要オーバーレイ厚

えて、動的逆解析による弾性係数の推定も行われるようになってきており、最終的な評価結果である必要オーバーレイ厚の差異に関する研究が行われている¹¹⁾。

5. おわりに

舗装構造の評価法の現状について、わが国の空港舗装を中心に述べた。その方法は、上記のように、解体調査からFWDによる非破壊調査へと変わってきているが、それを実務へ取り込むためには舗装の設計から補修・補強までを統一的に考えられるPMSの整備が急がなければならない。このPMSでいうところのネットワークレベルでの調査法も新たな課題として注目を集めている。これに関しては、RWD (Rolling Wheel Deflectometer) の研究が開始され、いくつか報告もなされている¹²⁾。これらの課題を早急に解決するためには産学官一体となった研究開発を今後も継続していく必要があると考えている。

参考文献

- 1) 運輸省航空局：空港舗装補修要領 (案), 1999, P60.
- 2) 日本道路協会：道路維持修繕要綱, 1978, P361.
- 3) 福手 勤, 井上武美, 栃木博：アスファルトコンクリート舗装上のオーバーレイ, アスファルト, Vol.25, No.132, 1982, P42.
- 4) 佐藤勝久, 福手 勤：ダイナフレクトによる空港アスファルト舗装強度評価とかさ上げ厚設計, 土木学会論文報告集, 第303号, 1980, P109.
- 5) 阿部長門, 丸山暉彦, 姫野賢治, 林 正則：たわみ評価指標に基づく舗装の構造評価, 土木学会論文集, No.46/V-18, 1993, P41.
- 6) American Association of State Highway and

- Transportation Officials : Guide for Design of Pavement structures. 1993.
- 7) Uzan, J. : A Pavement Design and Rehabilitation System, Transportation Research Record, No.1539, 1996, P110.
- 8) Sebaaly, P. E., Lani, S., Bemanian, S., Cocking, C. : Flexible Pavement Overlays-The State Experience, Transportation Research Record, No.1568, 1997, P139.
- 9) FWD研究会 : FWDに関する研究 (2000年度報告書), 2000, P112.
- 10) 八谷好高, 高橋 修, 坪川将丈 : FWDによる空港アスファルト舗装の非破壊構造評価, 土木学会論文集, No.662/V-49, 2000, P169.
- 11) 坪川将丈, 八谷好高, 董 勤喜 : 動的解析を用いた空港アスファルト舗装健全度評価に関する検討, 土木学会, 第56回年次学術講演会講演集第V部, 2001 (予定) .
- 12) Rolling Wheel Deflectometer-for Highway Pavements, 1999 (http://www.fwdjapan.org/fwdj_doc.htm) .

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 実費頒価 800円 (送料は実費) ・申込先 (社) 日本アスファルト協会
〒100-0014 東京都千代田区永田町 2-10-2
秀和永田町TBRビル514号室

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

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

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

目 次

- | | |
|-----------------------|-----------------|
| 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 |

機能の設計に必要な計測

わだち掘れ抵抗性能

(Rut-resistance)

久保和幸*

わだち掘れとは何かを再確認するとともに、その測定法に関する動向を整理した。また、わだち掘れの直轄国道における発生の現状をとりまとめるとともに、管理基準の考え方や操舵性への影響に関する調査結果を整理した。アスファルト混合物の耐流動性評価手法として従来のホイールトラッキング試験の改善や新しい評価手法の開発に関する検討状況を紹介した。

1. わだち掘れとは

わだち掘れとは道路の車輪走行位置（わだち部）に帯状の凹部が生じる現象である。

わだち掘れの主たる発生原因は自動車等による繰り返し載荷であるが、その変形個所によりわだち掘れの種類は以下の3つに大きく分けられる。

1) 圧密沈下

路床及び舗装全層が繰り返し載荷により圧縮されることにより発生するわだち掘れ。「アスファルト舗装要綱」¹⁾に記述されている多層弾性理論に基づく舗装の構造設計においては、この圧密沈下によるわだち掘れ量が13mm、すなわち1インチに達した時点路床の破壊として想定している。多層弾性理論に基づく構造設計において、アスファルト混合物層の薄い軽交通道路では、繰り返し曲げによるアスファルト混合物層の疲労破壊よりもこの圧密沈下による路床の破壊の方が舗装の破壊の支配的要因になる傾向にある。

2) 摩耗わだち

舗装表面がスパイクタイヤもしくはタイヤチェーンによる摩耗作用を受けることにより発生するわだち掘れ。積雪寒冷地においては摩耗わだち掘れ対策としてアスファルト舗装の表層用混合物として細粒度ギャップ13Fというアスファルト混合物を使用してきたが、スパイクタイヤの使用禁止や耐摩耗用に開発された改質アスファルトの品質の向上を背景に、温暖地域で一般に使用されている密粒度アスファルト混合物を使用する例が増えてきている。

3) 流動わだち

表面付近のアスファルト混合物が高温下（50～60℃程度）において自動車による繰り返し載荷を受けることにより塑性変形して発生するわだち掘れ。高速道路や直轄国道など交通量が多くアスファルト混合物層厚が厚い道路において発生するわだち掘れは流動わだちであることが多い。

2. わだち掘れの測定方法

「舗装試験法便覧」²⁾では、わだち掘れ量を測定する方法として、以下の4つの方法が提示されている。

- ① 横断プロフィールメータによる方法
- ② 直線定規による方法
- ③ 水糸による方法
- ④ 路面性状測定車による方法

わだち掘れ量の定義は図-1のとおりであり²⁾、上記の4つの方法はいずれもこの定義にしたがいわだち掘れ量を測定するものである。

②の方法は米国においてSHRP（新道路研究計画）より提示されたマニュアル³⁾でも取り上げられており、もっとも基本的な方法として位置づけられる。しかし、測定に際して必要となる労力を考えると、道路を管理するために多くのデータを取り扱わなければならない場合には適切とは言えない。国土交通省直轄国道の路面を管理する際にはMCI（維持管理指数）が用いられるが、直轄国道全線に対して舗装データバンクに蓄積されている100mごとの路面性状データを測定するためには④の方法がもっとも現実的である。従来の路面

*くぼ かずゆき 国土交通省総合政策局建設施工企画課課長補佐

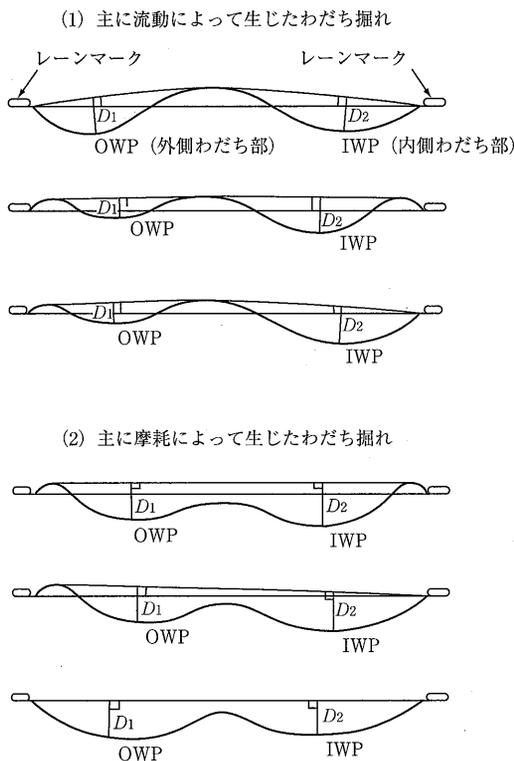


図-1 わだち掘れ量の定義²⁾

性状測定車では、路面をCCDカメラで撮影し、これを画像処理してわだち掘れ量を求めるという方法が一般的であるが、処理するデータが膨大となる。したがって、図-1に概念的に示したわだち掘れの形状を想定し、あらかじめ路面の頂部と底部が存在しそうな5~7個所にレーザー変位計を取り付けて簡易にわだち掘れ量を測定する方法が国内外において検討されている。

3. わだち掘れの現状

国土交通省では3年に1度のサイクルで直轄国道の全延長において100mごとにわだち掘れ量、ひび割れ率、平坦性を測定し、これらの測定値から算出されるMCI (Maintenance Control Index, 維持管理指数) などとともに舗装データバンクにデータを蓄積し、舗装の合理的な維持管理に利用している。

図-2に舗装データバンクに蓄積された最大わだち掘れ量のデータのうち新設もしくは修繕工事から10年後までの関東地方整備局管内で測定された実測値を示す。この図ではわだち掘れ量の経年変化に影響を与えそうな要因として新設・修繕の別ならびにストレート

アスファルト・改質アスファルトの別でデータを区別している。また、施工直後からの経過月数でデータを整理しているために図中には傾向は現れないが、ストレートアスファルトを使用している区間のデータが10年以上前のものが多いのに対し、最近施工された舗装個所では耐流動対策として一般的に改質アスファルトが使用されている。

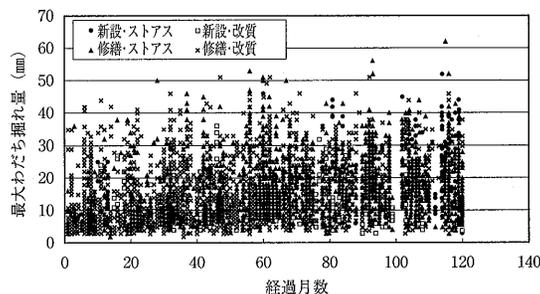


図-2 最大わだち掘れ量の経年変化

図-3に新設・修繕の別ならびにアスファルトの種類に分類したわだち掘れ量の回帰直線を示す。新設工事で改質アスファルトを使用しているケースがもっともわだち掘れの進行が遅い傾向にある。新設工事と修繕工事を比較すると新設工事後のわだち掘れの方が進行が遅い傾向にあるが、ストレートアスファルトと改質アスファルトの間には明確な違いはみられない。これは前述のデータの測定時期が異なることから、交通量の深刻さなどに差があるのではないかと推測される。

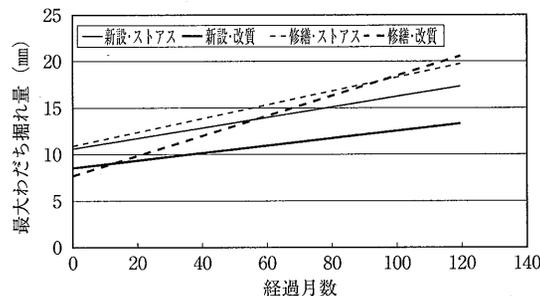


図-3 最大わだち掘れ量の回帰直線

4. わだち掘れ量の管理基準

「維持修繕要綱」⁴⁾によると、維持修繕要判断の目標となるわだち掘れ量は表-1のとおりであり、車両の走行速度の高い自動車専用道路では一般道路よりも高い目標値が設定されている。これは、わだち掘れは車両の操舵性に影響を及ぼすとともに、雨天時には

水たまりの原因となり、ハイドロプレーニング現象の発生によるすべり抵抗性の低下など車両の走行安全性に大きな影響を及ぼすためである。

表-1 維持修繕要否判断の目標値⁴⁾

道路の種類	わだち掘れ量
自動車専用道路	25mm
大型車交通量の多い一般国道	30~40mm
大型車交通量の少ない一般国道	40mm

5. わだち掘れと走行特性等の関係に関する調査

建設省土木研究所では、わだち掘れ量の妥当な管理水準について検討するために平成3~4年度にわだち掘れと走行特性等に関する調査を行った。

(1) わだち掘れと車線変更時の走行特性

常磐自動車道および一般国道408号の乾燥路面において車線変更時の操舵性の指標である横方向加速度とわだち掘れ量の間関係を調査した。実験条件は表-2のとおりである。

表-2 実験条件

測定箇所	一般国道408号	常磐自動車道
わだち掘れ量	10, 20, 30, 40mm程度	5, 10, 15, 20mm程度
走行速度	60km/h	100km/h
車線変更距離	60, 80m	100, 140m
路面状態	乾燥	
タイヤ種別	ラジアルタイヤ 185/70R14	

図-4にわだち掘れ量と横方向加速度の関係を示す。一般国道、高速道路ともわだち掘れ量が大きくなるにしたがって、横方向加速度も増加する傾向がみられるが、高速道路では最大0.2程度にとどまっているのに対し、一般国道ではわだち掘れ量が40mmの場合、0.4を超える値となっている。土木研究所構内の試験

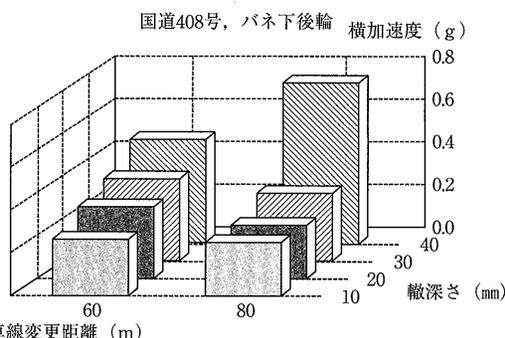
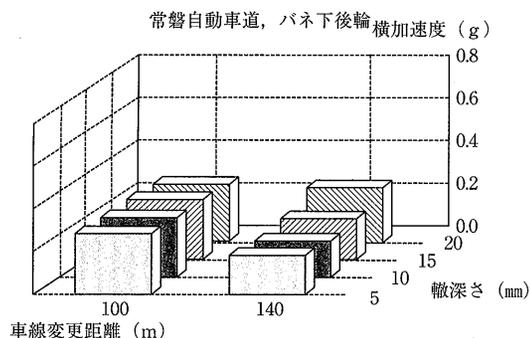


図-4 わだち掘れ量と横方向加速度の関係

走路において調査された横すべり角と横すべり摩擦係数の関係は図-5のとおりである。この図より湿潤路面においては、車が横方向に滑り出す際の横すべり摩擦係数の上限は0.4程度であり、前述の横方向加速度と併せて考えると、一般国道においてわだち掘れ量が40mmの場合、横方向にスリップする可能性があることが示唆される。

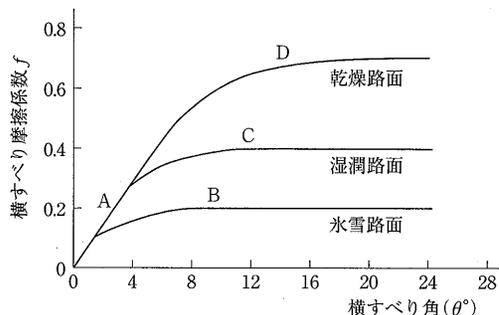


図-5 横すべり角と横すべり摩擦係数

(2) わだち掘れと事故率

昭和61および62年度の直轄事故データと路面性状データに基づき、わだち掘れの発生と事故率の間関係を調査した。図-6に調査結果を示す。全体的な傾向としては、わだち掘れが大きいほど事故率が低いという結果となった。これは、特にわだち掘れが発生しにくいセメントコンクリート舗装の場合、20mm程度以下のわだち掘れ量の個所がほとんどであり、わだち掘れ量別の道路延長の分布が一様でないこと、わだち掘れ量のデータが100mごとに測定されているのに対し、直轄事故データの位置検出精度が1mであることなどが原因であると考えられる。今回の調査では、わだち掘れの発生が直接交通事故につながっているかどうかまでの判断はできなかった。

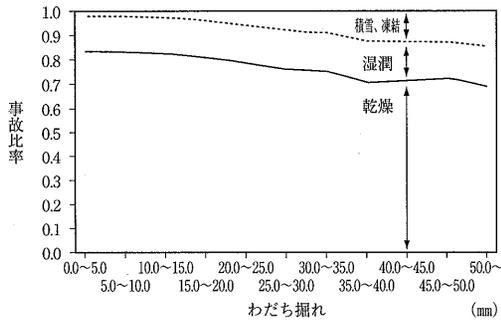


図-6 わだち掘れと事故比率

6. アスファルト混合物の耐流動評価

アスファルト混合物の耐流動性を評価するためのもっとも一般的な方法はホイールトラッキング試験である。建設省技術研究会において、各地方建設局の設定例を基に、表-3のように大型車交通量別に動的安定度の目標値が設定されるなど⁵⁾、耐流動対策を図る上で、動的安定度に目標値・規格値を設定することは一般化している。

表-3 大型車交通量と動的安定度の目標値

大型車交通量 (台/日・方向)	動的安定度 (回/mm)
1,000未満	-*
1,000以上3,000未満	3,000
3,000以上	5,000

※耐流動対策の必要なし

耐流動対策として改質アスファルトの採用が一般化してきたこと、排水性舗装の普及に伴い高粘度改質アスファルトが普及してきたことなどを理由に、5,000

(回/mm)以上の動的安定度が測定・報告されるケースが増えてきている。動的安定度のとりうる値はホイールトラッキング試験器の変位計の最小目盛りが0.01mmであった場合、図-7のとおりであり、動的安定度で7,000と9,000を示すアスファルト混合物を変位量で比較すると0.09mmと0.07mmの差でしかない。

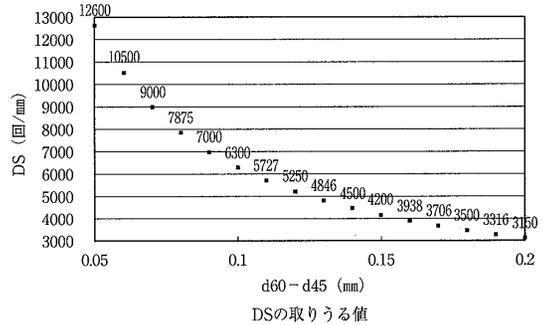


図-7 動的安定度のとりうる値

一方、ホイールトラッキング試験の試験温度は60℃であるが、我が国における路面の最高温度はこれを上回っているケースも報告されており⁶⁾、つくば舗装技術交流会(事務局:財土木研究センター)をはじめとする研究機関等でホイールトラッキング試験の試験温度をはじめとする試験条件の見直しの検討が行われている。

このほか、アスファルト混合物の新しい耐流動性評価手法としてSHRPで開発されたSST (SUPERPAVE Shear Tester) の適用を検討する⁷⁾などの新しい試みも行われている

参考文献

- 1) アスファルト舗装要綱, (社)日本道路協会, 平成4年
- 2) 舗装試験法便覧, (社)日本道路協会, 昭和63年
- 3) Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Studies, Strategic Highway Research Program, National Research Council, 1990
- 4) 維持修繕要綱, (社)日本道路協会, 昭和53年
- 5) 耐流動耐摩耗対策の選定手法に関する調査研究, 第43回建設技術研究会報告, pp.375-388, 平成元年
- 6) 佐々木, 坂本, 塚越: 気象観測データを利用したアスファルト舗装の最高路面温度推定地図の作成, 第21回日本道路会議論文集, pp.238-239, 平成7年
- 7) 江向, 池田, 小森谷: アスファルト混合物の新しい耐流動性評価試験に関する検討, 第23回日本道路会議一般論文集 (C), pp.96-97, 平成11年

機能の設計に必要な計測

ひびわれ抵抗性能

(Cracking - Topdown)

松野三朗*・内田喜太郎**

この項はひびわれ抵抗性能に関するものであるが、編集部のご要望は“わだち割れ”に特定されている。わが国では今日まで、わだち割れについてまとめた報告が少ないので、本稿では、わだち割れとは何か、研究の現状はどうか、などについて記述する。本稿の主題である、ひびわれ抵抗性能については、一部しか取り扱っていない。

1. 概要

“わだち割れ”は、1992年のアスファルト舗装要綱の改訂において、ひびわれの分類に登場した新しい概念である¹⁾。以下に詳しく説明するようにアスファルト舗装の表面から深さ方向に、車の走行方向に入るひびわれである。このような表面からのひびわれについては、わが国では1974年に土木研究所舗装研究室が幕張試験舗装の報告書の中で、その存在を指摘している²⁾。しかし、国際的に指摘されたのは、欧米を含めても、1977年の第4回アスファルト舗装の構造設計に関する国際会議（以下ISAPという）に日本道路公団から発表されたものが、初めてではないかと思われる³⁾。その後もわが国では、高速道路や国道を中心に、多くの調査が行われてきた。

2001年1月にワシントンで開かれたアメリカの運輸研究協会の年次総会（2001 TRB Annual Meeting）で、2002年に改訂、発行される、AASHTOの舗装設計要領についての概要説明が行われた。その中で、アスファルト舗装の構造設計において、唐突にも“わだち割れ”（欧米ではTopdown CrackingあるいはSurface Cracking、また時にはLongitudinal Wheelpath Crackingという）について対応することが示された^{4, 5, 6)}。これまでの国際会議などで、日本、欧州、南アフリカあるいは地元アメリカからいくつかの研究報告があったにもかかわらず、ほとんどこれらを見捨ててきた多くのアメリカの技術者や研究者が、膝を屈したとも思われる変化にはいくらかの理由がある。

それは、自国内においても、フロリダ州^{7, 8)}やワシ

ントン州⁹⁾などから、わだち割れの報告が相次ぎ、現場の技術者からも認識されてきたことが大きい。したがって、日本やオランダ、イギリスなどの欧州諸国や南アフリカの研究結果が、正当に評価される雰囲気になってきたことは喜ばしいことである。

個人的には、イギリスの運輸研究所（TRL）の報告がアメリカに対して決定的な影響をもったものと推定している^{10, 11)}。このイギリスの報告の結論は以下のようである。

- ① 必要最小限の強度を持った、正しく施工された舗装は、非常に多くの大型車の、長期にわたる交通に曝されても、構造的な破壊は示さないようである。（著者註：ここでいう、構造的な破壊とは、従来のBottomup Crackingや路床の変形によるわだち掘れを指すものと思われる。また、以下破壊と破損を特に区別しないで用いる）
- ② 交通量の多い道路での、アスファルト上層路盤（著者註：イギリスではRoadbaseといい、一般には加熱混合の密粒アスファルトマカダム、DBM、が用いられる。わが国の加熱アスファルト安定処理に相当しよう）の疲労による弱体化やひびわれ、また、舗装構造の深い部分から発生する変形、などによる構造的破壊の兆候はみられない。
- ③ 観察された破壊は、構造的なものではなく、アスファルト表層のわだち掘れや表面ひびわれ（Surface Cracking）のいずれかに起因する。それらの破壊は舗装の構造的な健全性に深刻な影響を与える前に、調査し、修繕する必要がある。

*まつの さぶろう 佐藤道路株式会社相談役

**うちだ きたろう 佐藤道路株式会社技術研究所所長

この報告は、わだち割れを仔細に観察、調査しており、これからアスファルト舗装のわだち割れに取り組む研究者には必読のものである。また、これに基づく研究は、欧州の国立道路研究所のフォーラムでも、アメリカのWitczak教授を交えて検討されている¹²⁾。

いずれにしろ以上のような結論は、これまで従来型の構造的破壊を目標に研究してきた舗装技術者に対して、かなりのショックを与えずにはおかない。ただ、アスファルト混合物層が20~60cmと厚く、また、わが国より舗装の最高温度の低いイギリスの舗装の結論なので、細部については異論のある方もおられよう。しかし、同じような結論はオランダにおいても出されているとのことであり、また、わが国の重交通道路でも、舗装の破壊に対して、30年以上にわたって表層、基層の切削オーバーレイ、すなわち”量の表替え”で対処されてきたことを考えると、大筋では異論がないように思われる。

この報告は以上の事柄を踏まえて、著者らが過去に行ったわだち割れに関する調査研究を基に解説的に述べたものである。まだ、未解決の部分が多く、著者らの主観的な判断によらざるを得ないことが多いのをお断りしておかねばならない。なお、アスファルト舗装要綱では”わだちわれ”となっているが、仮名文字だけでは紛らわしいので、ここでは”わだち割れ”と記述する。

2. わだち割れとは

わだち割れについては、すでに多くの報告があるので、ここでは、写真を示すにとどめる^{13, 14, 15, 16)}。写真-1はこの報告で言うわだち割れの典型的なものである。ひびわれがアスファルトでシールされているのでその形が分かりやすい。走行車線の車輪走行位置に縦方向にひびわれが入り始め、少しずつ左右に広がっていくのが普通である。OWPから先に入ることが多いが、IWPから入ることもあり、両方同時に入ることもある。必ずしも一定ではない。また、車輪走行位置の中央のこともあれば、サイドに位置する場合もある^{17, 18)}。また、時には横断方向のひびわれを伴うこともある。写真-2は網状ひびわれになっている極端な例である。写真-1では追越車線にはひびわれがないので、わだち割れが交通荷重に影響されていることは間違いない。

写真-3はこの種のひびわれ部分のコアである。表層の表面から、ひびわれが入り始めているのがわかる。

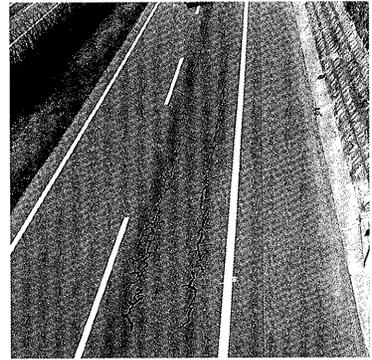


写真-1 走行車線の典型的なわだち割れの形状



写真-2 わだち割れが網状に発達した舗装の表面。基層や安定処理層は健全であった。

このひびわれの深さは、表層や基層までとするものや、加熱アスファルト混合物全層に入るとするものなど、様々である^{9, 17)}。著者らの観察によれば、ひびわれ深さは、その舗装の構成や、アスファルト混合物の各層の性状、そしてその舗装の供用年数や交通量などによって異なるようである。

わだち割れには形状から大きく分けて2つの型がある。また、これらに似た紛らわしいものもあるので、観察や調査にあたって注意を要する。写真-1はほとんど車両交通によってひびわれが入ったものと推定されるが、中には写真-4のように、直線的に入るものもある。この写真-4のひびわれはアスファルトフィニッシャのワイドナの境目に入ったもので、アスファルトフィニッシャの中央に入る場合も多い。著者らはこの種の舗設機械によるものを、ペーバクラック(Paver Cracking)と呼んでいるが、この用語は著者らの造語である。著者らはペーバクラックを一般的なわだち割れと区別しているが、写真-1でも、直線的な部分もあるので、通常のをだち割れとペーバクラック



写真-3 わだち割れから採取したコアのひびわれ状況 (厚さ25cm)



写真-4 典型的なペーバクラック、これから直線上につながる

クを見分けることが難しい場合が多い。ペーバクラックについては、後で簡単にふれることにする。

わだち割れと紛らわしいものに、盛土や切土の縦方向の不等沈下によるひびわれや、埋設物上のリフレクションクラックなどがある¹⁹⁾。これらは写真-3と異なって、全てのひびわれがアスファルト混合物の全層を貫いて入っている。また、大部分は道路の切り盛りや、埋設物の有無などの状況から、わだち割れと区別することも可能である。

3. わだち割れを生じたアスファルト舗装の特色

わだち割れに関する調査、研究論文をまとめて、そ

の特色を示すと以下の通りである。

① 交通解放後早期に入るものが多いこと

南アフリカでは、早期表面ひびわれ (Premature Surface Cracking) と呼称している^{19), 20)}。また、その他の国の報告でも早期破壊と呼んでいるものがある。わが国でもアスファルト舗装の設計期間の10年どころか、交通解放後1~3年でひびわれが入り始めることが報告されている^{21), 22)}。交通解放後どの程度の年月でわだち割れが入り始めるかは、その国の交通量や混合物の性状などによって変わるようで、わが国は比較的早い方に属する。イギリスでは重交通道路の加熱アスファルト混合物層の厚さが厚いこともあってか、10年単位のようにある。

② アスファルト混合物層の厚さがある程度厚いこと

写真-3に見られるように、わだち割れの入るアスファルト舗装の加熱アスファルト混合物層の厚さは15cm以上と書かれているものが多い²³⁾。このようなアスファルト舗装は比較的に重交通道路に多いので、重交通道路で発生しやすいと言ってもよいかもしれない。しかし、南アフリカのアスファルト舗装の混合物層厚は5~10cmと薄いのが一般的であるので、加熱アスファルト混合物の層厚が必ずしも厚い必要もなさそうである。

③ わだち割れの入った舗装ではたわみ量は特に大きいことはない

このことは多くの報告に見られており^{9), 10), 11), 24)}、一般論として述べたものや、個々のデータの示されているものもある。先に示したイギリスの報告では、たわみ量とわだち割れの間には、明確な関係がないと述べている。

舗装のひびわれが、たわみ量の大小に影響されると判断されてきたことは、わだち割れには通用しないと言ってよいのではないか。通常、ひびわれが入り始めると、路床、路盤の支持力が悪い、と言われることが多かったが、このこともわだち割れに関しては必ずしも真実ではない。著者らは、たわみ量よりも、混合物の性状などの方がより大きな影響を有している、と考えている。

④ 表層のアスファルト混合物の老化

表層表面のアスファルト混合物が老化していることは、このことを調査したほとんどの報告に見られる^{19), 20)}。図-1はいくつかの文献から著者らが作成したものであるが、わだち割れの入った舗装の表層の針入度や軟化点から、この層のアスファルトの老化が進行してい

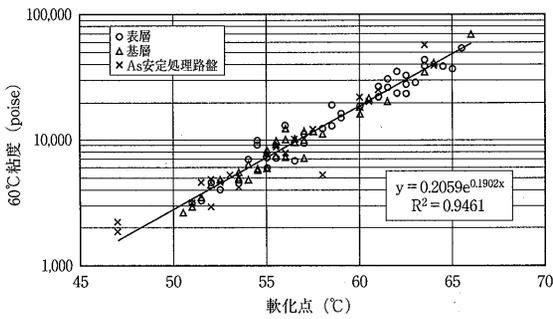


図-1 アスファルト混合物各層の老化試験結果 (ストレートアスファルト)

ることが分かる。面白いのは、下層の方にあるアスファルト安定処理層でも、かなり老化したのが見られることである。著者らは、老化の進んだアスファルト安定処理層を持つアスファルト舗装では、全層に貫通したわだち割れが入りやすいのではないかと考えている。

図-2は表層をスライスして、厚さ方向の粘度を測定した1例である¹⁹⁾。表層表面の劣化の著しいことが分かる。このような結果はわが国でも得られている^{24, 25)}。

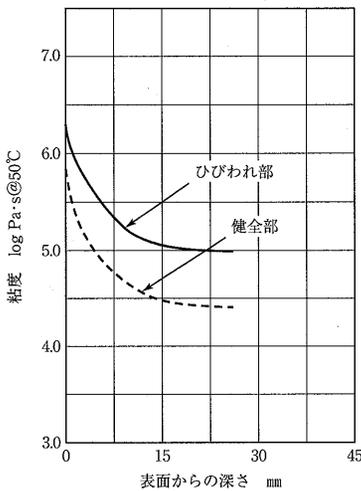


図-2 表層のアスファルトの深さ方向の老化 (Hugo)

⑤ わだち割れした舗装では、わだち掘れは小さい。逆にわだち掘れした舗装では、わだち割れは少ない。したがって、両者は二律背反の関係にある²¹⁾。勿論、舗装の現象に100%はないが。わだち掘れの大きなアスファルト舗装について、表層の老化の程度を調べる

と、流動を起こすような表層混合物の老化は一般に小さい²⁶⁾。わだち割れには表層混合物の老化は不可欠の条件のように思われる。著者らは”ボレにワレなし、ワレにボレなし”(ボレ：わだち掘れ、ワレ：わだち割れ)が、かなりの確率で真実ではないかと思っている。

⑥ わだち割れは日陰に影響を受ける

この現象は、著者らの観察によるもので^{27, 28, 29, 30, 31)}、まだ世界的に広く認められているわけではない。写真-5はオーバーブリッジの下の日陰で、日向部にあったわだち割れが消滅している状況である。写真-5は夏期の真昼に撮ったもので、この時わだち割れが日陰部分でくっきり消えている。これらから著者らは、日向のわだち割れが夏期の高温時に発生するのではないかと推論している。従来の概念では、たわみ性舗装は高温時にはたわみ性が大きく、ひびわれが入るのは常温以下の低温と考えることが多かったから、これもこれまでの常識とは異なる。オーバーブリッジの下の表層混合物の老化が小さいのではないかと、とか、日陰の支持力が大きいからではないかと、などの反論もある。写真-6は、逆に夏期の日陰部分にのみわだち割れがある。このような逆の例は非常に珍しいが、ただ、両方の写真から、夏期の舗装温度が関係していることは間違いないと言って良いであろう。両者の違いは混合物の性状によって、説明できるのではないかと。日陰でわだち割れが消えることについては、著者らはアメリカの道路でも観察している。また、この現象は一度オーバーレイや切削オーバーレイした舗装では、あまりはっきりとしていないことをお断りしておく。



写真-5 真夏の日陰の部分でわだち割れが消えている状況



写真-6 真夏の日陰の部分にのみわだち割れがある

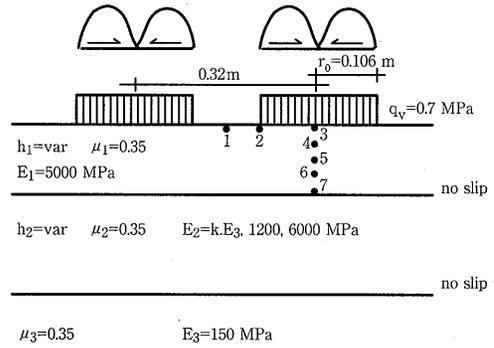


図-3 表面のタイヤ水平力によるわだち割れの説明 (Molenaar)

が大きく、薄いときには底面の7の点の歪みが大きくなる。この h_1 の限界は約20cmである。さらに、オランダではわだち割れに関する試験舗装の観測も行われており、

- a. わだち割れが疲労現象であること
- b. ひびわれの発達は温度応力によること (引き金はタイヤ応力によるひびわれ)
- c. 表層のアスファルトの老化が条件であること
- d. 粘弾性モデルによる応力緩和や残留応力の研究が必要なこと

などを示している。ただ、アスファルト混合物層の stiffness からみて、彼らの場合は路面温度として、せいぜい30℃程度を考慮しており、それほど高温を対象にしていない。

タイヤと路面の間の応力については、タイヤメーカー以外にわが国での姫野らの研究がある³⁴⁾。さらに、南アフリカにおいては水平応力も測定した詳細な研究がある^{35, 36)}。このようなタイヤと路面の相互の応力関係を求めることは、舗装の変形量などを、どこまで実際の道路に忠実に再現するかについて、難しい面があるように思われるが、取りあえずの検討には有用であろう。南アフリカのタイヤ応力に関する研究では、水平応力について、Molenaarと同じような結果を示している。また、後述するタイヤの縁部における垂直応力について、オーバーロードの場合にタイヤの stiffness のためタイヤ圧の2倍近い荷重が加わることを示している。

③ Hugoの残留応力説

南アフリカでは、早期の表面ひびわれについて、大規模な現場試験施工やHVS (Heavy Vehicle Simulator) による現場テスト、さらに特殊な室内試

4. わだち割れの理論的な説明

① 概要

スラブが垂直方向の荷重を受けて、底面からひびわれが発生するのは、弾性論に従う限り常識である。したがって、荷重によってスラブの上面からひびわれが入るという現象は全く予想外のことであり、この現象に直面した技術者達が、その取り扱いにとまどったのも無理からぬところがある。それでも、オランダ、南アフリカにおいては早くから試験施工を実施して調査し、加えて理論的な検討を行ったことには敬意を表さねばならない。著者らも現場観察の結果を基に、いくらかの解析を行ってきたので、ここでは、これらの概要について示すことにする。なお、理論的な取り扱いの要因が研究者ごとに重複して絡み合っているので、各研究者個人の説を中心に述べる。しかし、弾性論を超えて、粘弾性論となると著者らの手には負えないので、ここに示すのはこれまでの検討結果の概要であることをお断りしておく。さらに詳しくは読者各自が検討されたい。

② Molenaarのタイヤの水平応力説

オランダのMolenaarのグループは、わだち割れを理論的に解明しようとした最初の研究者のように思われる^{23, 32, 33)}。彼はタイヤメーカーの研究者の論文を基に、路面とタイヤの間に働く水平方向の力によってひびわれが入るとしている。図-3はその説明である。混合物厚さ h_1 が大きくなるほど表面の2の点の歪み

験をもとに解析している^{19, 20)}。理論的にはまだ結論を出していないが、いくつかの結果を順不同に以下に示す。

- a. 図-2は表層のアスファルト混合物の劣化の状況を示すもので、わだち割れ表面の劣化の程度は大きい。
- b. 粘弾性解析は完全なものではないが、表層の残留応力がひびわれとなるのではないか。
- c. 夏期にひびわれは再接着して、ひびわれは見えにくい。
- d. ギャップ粒度の混合物に、わだち割れが発生しやすく、表層にチッピングすることは、ひびわれを防ぐには有効である。

著者らは、この理論的な取り扱いの中で、残留応力説には捨てがたい魅力を感じている。表層に荷重が加えられて、取り去られた時に、表層のたわみはほとんど完全に元の状態に戻る。戻らない部分は、わだち掘れとなる。もし、わだち掘れが無視出来るほど小さければ、荷重による圧縮応力の粘性変形部分が残留応力となって、引張り応力や歪みを発生させる可能性がある。このようにして、発生したマイクロクラックが引き金となって、繰返し疲労と温度応力により目に見えるひびわれに発達するのであろう。

このことは、鋼床版舗装のひびわれの解釈にも適用できる可能性がある。写真-7は鋼床版舗装のひびわれと縦リブ間の位置の関係を示した一例である。ひびわれが、縦リブ間において発生し始めていることが分かる。このような例はかなりあるようで、文献にも示されている^{37, 38, 39, 40, 41)}。この場合、弾性計算では説明できないので、上述の粘弾性体の残留応力説が有力となる。

同じように、残留応力で説明できないと思われる

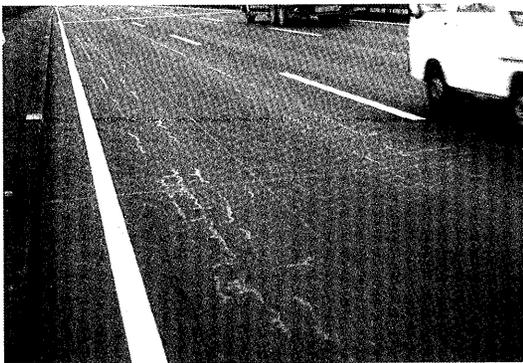


写真-7 鋼床版舗装の縦リブ位置とひびわれの関係

ものに、オーバーレイの表面のリフレクションがある。一般には、わだち割れを切削オーバーレイした時に、このオーバーレイに入るひびわれをリフレクションクラックと見るのが常識である。しかし、観測によれば、更にこのオーバーレイの表面からひびわれが入り、コアを抜くと、ひびわれが2階建てになっていることがある¹²⁾。

以上の2例は今後の検討に待たねばならないが、わだち割れの理論的解析の突破口になるかもしれないと考えている。ただ、Hugoは解析の舗装温度として、一部の試験以外にほぼ常温に近い温度を用いている。

④ 松野、西澤の高温時のタイヤ縁部応力説

すでに述べたように、オーバーブリッジの下の舗装にわだち割れが少ないという観測結果から、松野、西澤はわだち割れが夏期の舗装表面の高温、すなわち55℃前後の温度で入るのではないかと推論し、このような低いスチフネスの時に、図-4のように、タイヤ縁部に大きな引張り歪みが発生すると計算した^{27, 28, 42, 44, 45, 46)}。ただ、これらの計算は弾性論によるもので、粘弾性は考えていない。また、タイヤ圧分布は、接地面に均等であるとし、実測結果を用いていない。この場合もひびわれは、交通荷重による疲労と、秋から冬にかけての温度応力によって発達する。また、わだち掘れを生ずるような混合物では、マイクロクラックのヒーリング作用（自癒作用、あるいは自着作用。疲労試験の休止時間によるヒーリングとは異なる）や混合物のニーディング作用により、ひびわれは発生しにく

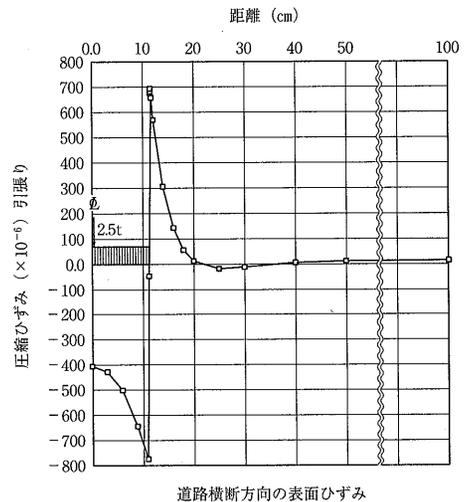


図-4 高温時のタイヤ縁部における引張り歪みの計算例

い、と考えている。

川島らも、高速道路の試験結果を基に上述と同様な計算を行っており、高温時にタイヤ縁部に大きな歪みが生ずることを示している⁴⁷⁾。高温時に表面の応力、歪みが大きくなることについては、同様にいくらかの研究報告がある^{48, 49)}。特に、姫野は高温時の曲げ疲労試験から、散逸エネルギーを求め、疲労破壊との関連を報告している^{50, 51, 52, 53)}。この考え方は、圧縮応力による残留応力説の説明にも用いることが出来るという。この報告の著者らのおえない部分であるので、姫野先生らから直接のご説明をいただければ幸いである。

⑤ ペーパークラック

松野が1984年のPICAで、わだち割れについて発表した時に、カナダのある技術者からそれはペーパークラックであろうと、嘲笑されたことを思い出す。事の正否は別として、当時すでに、ペーパークラックの存在が知られていたことは間違いない。このペーパークラックはアスファルト舗装の施工法や施工機械に関するものなので、舗装技術の研究者から等閑視され、研究がなおざりにされてきたことは否めない。1987年のAAPTにおけるシンポジウムにおいても、通り一遍の議論が行われているに過ぎない^{54, 55)}。著者らもいくらかの調査研究を行ったが、中断したままになっている^{56, 57)}。結論の大きなものは、アスファルトフィニッシャでは、混合物の分離が生じやすい、ということである。また、分離がなくても、ワイドナの継ぎ目などでは、一種のホットジョイント効果があるのではないかと、とも考えている。わだち割れに関して、ペーパークラックは非常に重要なテーマであると思うが如何であろうか。

⑥ 結 論

以上に各説の概要を述べたが、とにかく、未知の分野であるために、未だに明確な結論を出しえないのが実情である。著者らは、以上に示した理論的説明の全てが相互に関連し合って、わだち割れが発生するのではないかと考えている。

このような現状の中で、2002年のAASHTOの基準がどのようになるのかについては、大変に興味がある。Monismith教授はすでに3次元の有限要素法に粘弾性を組み込んだプログラムを開発しているそうであるから、その辺りから、糸口が開けるかも知れない。しかし、いずれにしろ、計算に用いるアスファルト混合物の物性については、明らかにしておくべきであり、SHRPの研究結果が反映されるかどうかにも注目している。

5. 調査方法と対策

① 調査方法

わだち割れの調査については、過去に多くの事例があるので、これらを参照すればよい。また、アスファルト舗装要綱にも、簡単に示されている。現在の段階では、補修の基礎資料を得るための調査には、ひびわれ率（ひびわれ長さも必要では?）、支持力、コアの採取、必要あれば横断方向の開削調査と混合物の観察と分析など、の常識的なもので充分ではないかと考えている。

ひびわれ深さを超音波、電磁波、電気抵抗などを用いて測定しようとする試みはあるが、アスファルト混合物の特性からなかなか簡単にはいかないのが現状のようである⁵⁸⁾。ひびわれの目視観察による発見もまた、非常に難しい。どうも、ひびわれは目視できるようになる、かなり以前からマイクロクラックとして、存在するのではないかと考えている。したがって、路面観察のひびわれは、ある程度成長した後のものであろう。

写真-2はある舗装の表面のひびわれの状況である。この舗装のコアを採取したところ、ひびわれは表面の約3cmに限られていて、30年以上を経過した基層から安定処理層までは極めて健全であった。したがって、表面の観察だけから、わだち割れは判断出来ない。これまでの構造破壊論からみれば、写真-2のような網状のひびわれは、極端な支持力不足と判断されよう。このように、現状では、コアや横断方向の開削などにより、ひびわれ状況を入念に観察することは不可欠のようである。特に、わだち割れを生じた舗装の安定処理層には、混合物の剥離を生じていることが多いので²⁰⁾、混合物を開いて十分に観察することが必要である。このような混合物の観察については、アスファルト舗装要綱にも述べられていない。入念な観察は、舗装工学の必須条件である。

② 設計上の対策

わだち割れの原因が明確でない以上、具体的に設計上の対策を述べることは難しい。わが国の重交通道路では、アスファルト混合物層の厚さも大きく、また、路盤の支持力も大きいので、当面、舗装構造上は問題は少ないであろう⁴³⁾。となれば、対策は、アスファルト材料や混合物の性状に集約されるのではないかと。しかし、わだち割れを対象とした舗装構造が、どのようにあるべきかは大きな課題ではある。ただ、これまで述べたことの中にはいくらかのヒントが含まれていると考える。これらはあくまでもヒントであって、具体

性に乏しいことは残念である。著者らもこれ以上責任を持った記述が出来ないので、あとは各読者のご判断にお任せしたい^{59, 60, 61)}。

③ 維持修繕上の対策

わだち割れが発生したときの補修対策として、ひびわれ部分を粒状路盤までカットして、修理する工法が用いられてきたことがあった。しかし、ひびわれのない部分に、ひびわれに相当するような不連続面を入れることになるので、この工法には賛成できない。リフレクションクラックが2本になって入ることが多く、破壊を広げるようである。

わだち割れが出た時には、なるべく早くに、まずアスファルトでシールすることで、雨水が安定処理層以下にまで入ることを極力防がねばならない。ついで、予算の許す限り早目に、ひびわれ深さが浅い内に切削オーバーレイするのが最良の方法であろう。イギリスでも畳の表替えて対処するのが良い、というのが結論のようである。ただし、安定処理層などが剥離し、支持力を失った時は構造的な破壊と考へねばならない。この修理には膨大な費用がかかるであろう。したがって、アスファルト安定処理層の剥離対策を、新設時から考えておくことも重要である。イギリスでは、DBM層が耐久的事であることから、畳の表替えによって、アスファルト舗装の設計寿命を40年に出来るとしている。

あとがき

わだち割れ現象が明確に解明されていないなりに、著者らの見解を述べた。最初にお断りしたように、表題に沿った部分はこの報告の終わりのわずかに過ぎない。しかし、わだち割れは、これまでの弾性論と疲労破壊による理論では説明できない、いわばパラダイムの変更を強いるものである。したがって、わだち割れそのものが、ひびわれ抵抗性能の記述と見ても良いように思う。

わだち割れは、わが国でも古くから認識されてきた現象であり、また、重交通道路における調査結果も数多いことから¹⁰⁾、今すぐに全力を上げて研究に着手すれば、欧米に遅れをとることはないであろう。わだち割れに関する、勉強会やワークショップを早急に立ち上げることが望まれる。

報告の中に、多くの主観が入ったことをお許しいただきたい。今後の研究によって、主観的判断が正しかったかどうかは自ずから明らかにされよう。また、著

者らの不勉強から、引用した文献の内容や取り上げ方に間違いがあるかもしれない。失礼をお詫びするとともに、ご指摘、ご教示いただければ幸いである。文献等の調査について、多くの方々に大変お世話になった。心から御礼申し上げる。

— 参考文献 —

- 1) 日本道路協会：アスファルト要綱：1992, p.236.
- 2) 建設省土木研究所舗装研究室：アスファルト混合物の配合設計，材料に関する幕張試験舗装および室内試験による研究，土木研究所資料923号，1974/3.
- 3) Nihon Doro Kodan : The Analyses of Asphalt Pavement Research Results on the TOMEI and CHUO Expressways, Proc.4th International Conference Structural Design of Asphalt Pavements (以下ISAP) , 894-902p. Aug.1977.
- 4) McGhee, K.H., : Summary of the Proposed 2002 Pavement Design Guide, NCHRP Project 1-37A Presented at 2001 TRB Annual Meeting.
- 5) Hallin, J.P., : Development of the 2002 Guide for the Design of New and Rehabilitated Pavements, Project Overview, NCHRP Project 1-37A Presented at 2001 TRB Annual Meeting.
- 6) Witzczak, M.W., : Development of the 2002 Guide for the Design of New and Rehabilitated Pavements, Flexible Pavement, NCHRP Project 1-37A, Panel Meeting, Slide, Oct.2000.
- 7) Myers, L.A., Roque, R. and Ruth, B.E., : Mechanisms of Surface-Initiated Longitudinal Wheel Path Cracks in High-Type Bituminous Pavements, Proc. AAPT 401-432p. Mar. 1998.
- 8) Myers, L.A., Roque, R. and Birgisson B., : Propagation Mechanisms for Surface-Initiated Longitudinal Wheel Path Cracks, Presented at 2001 TRB Annual Meeting.
- 9) Uhlmeier, J.S., Willouchby, K., Pierce, L.M. and Mahoney, J.P., : Top-Down Cracking in Washington State Asphalt Concrete Wearing Courses, Presented at 2000 TRB Annual Meeting.
- 10) Nunn, m. : Long-Life Flexible Roads, Proc. 8th ISAP, 3-16p. Aug. 1997.
- 11) Nunn, M.E., Brown A., Weston D. and Nicholls, J.C.:

- Design of Long-Life Flexible Pavements for Heavy Traffic, TRL Report 250.1997.
- 12) European Highway Agencies Draw on Superpave Research: Focus, Nov/Dec.1997.
 - 13) 松野三朗, 西澤辰男: アスファルト舗装の破損の分類, 第20回日本道路会議論文集, 1995/10, pp.516.
 - 14) Nishizawa, T., Matsuno, S. and Hara, T. : Classification of Distress of Asphalt Pavements, Proc.PICA, 1993/9, p.1-385-401.
 - 15) 松野三朗: アスファルト舗装の破損とパフォーマンス, 写真集, 1993.9, 佐藤道路.
 - 16) 土木研究所舗装研究室: アスファルト舗装の縦ひび割れ(わだち割れ) 実態調査参考資料-わだち割れとは何か-, 1986/10.
 - 17) 小森谷一志, 新田弘之, 吉田武: アスファルト舗装の表面縦ひび割れに関する研究, 第8回北陸道路会議, 2000/6.
 - 18) Komoriya, K., Yoshida, T. and Nitta, H. : "WA-DA-CHI-WA-RE" Surface Longitudinal Cracks on Asphalt Concrete Pavement, Presented at 2001 TRB Annual Meeting.
 - 19) Hugo, F. and Kennedy, T.W. : Surface Cracking of Asphalt Mixtures in Southern Africa, Proc. Association of Asphalt Paving Technologists (以下AAPT), 454-501p., 1985.
 - 20) Malan, G.W, Straus, P.J. and Hugo, F. : A Field Study of Premature Surface Cracking in Asphalt, Proc. AAPT, 143-162p. 1989.
 - 21) 谷芳樹, 櫻井宏: アスファルト舗装のひびわれ修繕工法の検討-中国自動車道津山管内の試験施工-, 舗装, 1983/10, pp.3-10.
 - 22) 由井大介: アスファルト舗装のわだち割れの原因究明と予防策の提案, 日本道路公団技術情報, 1987/10, pp.8-13.
 - 23) Molenaar, A.A.A. : Fatigue and Reflection Cracking due to Traffic Loads, : Proc. AAPT, 440-474p. Feb. 1984.
 - 24) 川口敏之, 高田澄夫: 高速道路の舗装性状の実態-日本道路公団福岡管理局管内-, 舗装, 1983/7, pp.8-17.
 - 25) 近藤紀: アスファルト舗装の老化に関する研究, 博士論文, 1982.
 - 26) 青木秀郎, 西尾宗雄: アスファルト舗装の流動わだち掘れ, 舗装, 1995年3月, pp.18-24.
 - 27) Matsuno, S. and Nishizawa, T. : Longitudinal Surface Cracking of Flexible Pavement, Proc. Paving in Cold Areas, Mini-Workshop, 779-796p. Oct.1984.
 - 28) Matsuno, S. and Nishizawa, T.: Mechanism of Longitudinal Surface Cracking of Asphalt Pavements, Proc.7th Isap, vol.2, pp.277-291, 1992.
 - 29) 柳川薫, 新垣繁, 西澤辰男: 日陰および橋面のアスファルト舗装の温度, 第20回日本道路会議論文集, 1993/10, pp.526.
 - 30) Brown S.F.: Achievements and Challenges in Asphalt Pavement Engineering, Keynote Lecture of 8th ISAP, Aug.1997. (翻訳: 道路建設, 1998年6月, 7月)
 - 31) 野口洋一, 田口恭久, 西澤辰男: アスファルト舗装のわだち割れに関する一現地調査, 第19回日本道路会議論文集, 1991/10, pp.406.
 - 32) Gerritsen, A.H., van Gurp, C., van der Heide, J. Molenaar, A. and Pronk, A.: Prediction and Prevention of Surface Cracking in Asphaltic Pavements, Proc. 6th.ISAP,1987, p.379- 391.
 - 33) Molenaar, A.A.A. and Potter J., : Assessment and evaluation of the Reflection Crack Potential, RILEM Report 18, 16-42p. 1997.
 - 34) Himeno, K., Kamijima, T., Ikeda, T. and Abe, T.: Distribution of Tire Contact Pressure of Vehicles and Its Influence on Pavement Distress, Procs.the 8th ISAP, pp.129-139, Vol.1, Aug.1997.
 - 35) de Beer M., Fisher, C. and Jooste F.J. : Determination of Pneumatic Tyre/ Pavement Interface Contact stresses under Moving Loads and some Effects on Pavements with Thin Asphalt Surfacing Layers, Proc. 8th ISAP, 179-227p. Aug.1997.
 - 36) Romanoschi, S.A. and Metcalf B.: The Effects of Interface Condition and Horizontal Wheel Loads on the Life of Flexible Pavement Structures, Presented at 2001 TRB Annual Meeting.
 - 37) Proc. Symposium on Wearing Surfaces for Steel Bridge Decks of Lightweight Construction, International Association for Bridge and Structural Engineering, N.Y. 1968.
 - 38) Uchida, K., Matsuno, S., and Nishizawa, T.: Study

- on Logitudinal Surface Crack in Pavement on Steel Plate Deck, Presented at 7th Workshop on Paving in Cold Area, Sept. 1999.
- 39) Uchida, K., Matsuno, S., and Nishizawa, T.: Study on Logitudinal Surface Crack in Pavement on Steel Plate Deck, Proc. 10th REAAA Conference, Sept. 2000.
 - 40) 内田喜太郎, 西澤辰男, 姫野賢治, 野村健一郎: 鋼床版舗装の表面縦ひびわれに関する研究, 土木学会舗装工学論文集, 第4巻, 1999年12月.
 - 41) 内田喜太郎, 松野三朗, 西澤辰男: 首都圏における鋼床版舗装の破損現況, 第23回日本道路会議, 一般論文集(C), 1999年11月.
 - 42) 松野三朗: わだち割れ(1), (2), 舗装, 1984/2, pp.3-8, 1984/3, pp.14-21.
 - 43) Nishizawa, T., Shimeno, S. and Sekiguchi, M.: Fatigue Analysis of asphalt Pavements with Thick asphalt Mixture Layer, Proc. 8th ISAP, 969-976p. Aug.1997.
 - 44) 西澤辰男, 松野三朗: アスファルト舗装におけるわだち割れ周辺のひずみ状態に関する研究, 第19回日本道路会議論文集, 1991/10, pp.402.
 - 45) 西澤辰男, 松野三朗: アスファルト舗装におけるわだち割れ周辺のひずみ状態に関する研究, 道路建設, 1992/11, pp.56-62.
 - 46) 西澤辰男, 松野三朗: アスファルト舗装の車輪走行位置に生ずる縦表面ひびわれについて, 土木学会論文集, No.478/V-21, pp.71-80, 1993/11.
 - 47) 川島義昭, 福島公, 三好康夫: 高速道路におけるアスファルト舗装のひび割れ-実態と発生機構に関する一考察-, 日本道路公団試験所報告, 昭和58年度, 1984年11月, pp.67-75.
 - 48) 阿部頼政: アスファルト舗装の構造設計における最近の動向(1), アスファルト, No.114, 1978/1, pp.28-34.
 - 49) 西 勝: Structural Analysis and Design of Flexible Pavements, Dr.Thesis, 1981,11.
 - 50) Himemo, K., Watanabe, T. and Maruyama,T.: Estimation of Fatigue Life of Asphalt Pavement, Proc. 6th ISAP vol.1, 272-289p. July 1987.
 - 51) 姫野賢治, 渡辺隆, 丸山輝彦: 低スティフネス状態におけるアスファルト混合物の疲労破壊特性に関する研究, 土木学会論文集, 第366号/V-4, 1986年2月.
 - 52) 姫野賢治, 渡辺隆, 丸山輝彦: アスファルト混合物の拡張された疲労破壊規準に関する研究, 土木学会論文集, 第378号/V-6, 1987年2月.
 - 53) 姫野賢治, 渡辺隆, 丸山輝彦: アスファルト舗装の疲労寿命予測システムに関する研究, 土木学会論文集, 第378号/V-6, 1987年2月.
 - 54) Brock, J.D., Segregation of Asphalt Mixtures, Symposium on Construction Effects on Performance, Proc. AAPT, 269-277p.1986.
 - 55) Kennedy, T.W., McGennis,R.B. and Holmgreen R.B.: Asphalt Mixture Segregation; Symposium on Construction Effects on Performance, Diagnostics and Remedies, Proc. AAPT, 304-329p. 1986.
 - 56) 浅生和彦, 新垣繁, 土門昭三: アスファルト混合物舗設時の性状の変動, 道路建設, 1993年11月, p.46-55.
 - 57) 田口恭久, 浅生和彦, A.M.ファイーズ: 小供試体による曲げ試験の適用性, 道路建設, 1991年8月, p.50-59.
 - 58) 松尾宗幸, 黒川勤, 内田喜太郎: アスファルト混合物の表面クラック深さの非破壊測定, 日本道路会議一般論文集, 1999.
 - 59) 片脇清士, 川西礼緒奈: アスファルト舗装のわだち割れ発生原因に関する一考察-室内試験方法の提案と発生条件の検討-, 道路建設,1993/1.
 - 60) 松野三朗, 西澤辰男: わだち割れの発生原因解明への提案, 第19回日本道路会議論文集, 1991/10, pp.400.
 - 61) 松野三朗: アスファルト舗装の” わだち割れ” とは, 土木技術解決ノウハウ, 近代図書, 1995/4.

機能の設計に必要な計測

平坦性

(Roughness)

峰岸順一*

平坦性の測定は、施工の品質管理、検査及び維持管理計画の立案、また試験舗装の調査等の為に必要な項目である。機能面の設計においては、主に表層に使用する舗装用混合物の種類、要求される性能と供用性との関係把握のために必要不可欠である。平坦性には、縦断凹凸、段差、IRIなどが含まれるが、本文では縦断凹凸に限定して述べる。平坦性の測定方法、表層に使用する混合物の種類と平坦性の関連、平坦性と振動及び騒音との関連、技術の現状から見た確保可能な平坦性のレベル、望ましい管理レベルについて記述する。なお、各文献を引用した場合平坦性、縦断凹凸が混在しているが原文のままの表記とした。縦断凹凸＝平坦性と読みかえていただきたい。

1. 平坦性の測定方法

(1) 舗装路面の平坦性測定方法¹⁾

平坦性の測定目的は、車両の走行時における乗心地に影響する道路の縦断方向の凹凸の度合を把握するためである。この測定方法は、主にアスファルト混合物やセメントコンクリートで舗装した車道舗装の平坦性の測定のため現場で実施する。測定器具の違いにより、以下の4種類の測定方法が用いられている。

1) 3mプロフィールメータによる方法

3mプロフィールメータは、主に舗装の出来形管理や舗装の路面性状調査で、平坦性についての詳細調査に用いられる。測定方法及び解析手順は、次のとおりである。

- ①測定区間の始点と終点の間を踏査し、始点および終点の位置を確認するとともに、橋梁取付部、マンホールなど、平坦性測定障害となる構造物の位置を確認する。また、路面の清掃を行い石やゴミを除去する。
- ②1車線につき1本の測定線を、区間の始点から終点まで連続して測定車線の中心線に沿って平行に設ける。測定位置は、出来形管理や検査を目的とする場合は、車線の縁から80～100cmの付近とし、試験舗装の調査や道路管理のための路面性状測定では、右または左わだち底部とする。
- ③測定開始点と測定終了点の間を、通常の歩行速度

でプロフィールメータ(図-1)を牽引し、路面の凹凸を記録する。

- ④測定線の全線を100～300mの区間に分割する。
- ⑤記録紙に記録された波形に、任意の基準線を設け、1.5m間隔で基準線よりの波高を読み取る。
- ⑥各区分ごとに、式-1によって標準偏差を計算し、平坦性の測定値とする。単位はmmとし、小数点以下2桁までとする。ただし、平坦性測定障害となるマンホール等の部分のデータは除外する。

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum d^2 - (\sum d)^2/n}{n-1}} \cdots \text{式-1}$$

σ：平坦性 (mm)
d：波高の測定値 (mm)
n：データ数

- ⑦求められた平坦性、測定区間の始点と終点、測定区間の長さ、測定器具を報告する。

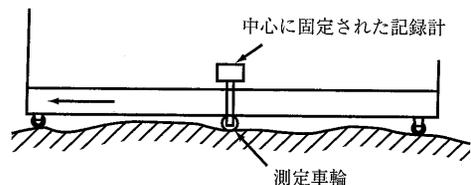


図-1 3mプロフィールメータ

*みねぎし じゅんいち 東京都土木技術研究所技術部主任

2) 3m直線定規による方法

平坦性の詳細な調査には、3mプロフィールメータを用いることが最も望ましいが、3mプロフィールメータほど精密な調査を必要としない場合や、比較的小規模な調査を行う場合、また3mプロフィールメータによる調査に先立って予備調査を行う場合などに3m直線定規(図-2)による方法が用いられる。測定方法及び解析手順は、次の点を除いて3mプロフィールメータによる方法と同様である。

測定開始点と測定終了点の間を、図-3に示すように直線定規を移動させながら、1.5m間隔で路面と定規の間の隙間を直接測定する。この値を式-1のdとして解析する。

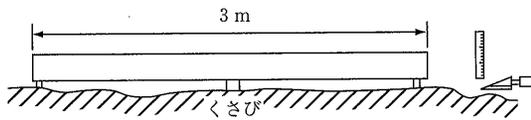


図-2 3m直線定規(足付き)

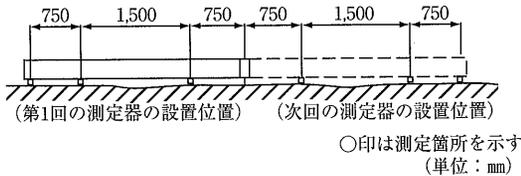


図-3 直読式の測定方法

3) 路面性状測定車による方法

路面性状測定車は、舗装の維持修繕計画等に必要データを収集するため、数km以上の延長にわたって、高速かつ大量の測定を行う場合に用いる方法である。

中型のマイクロバス等の側面の前輪および後輪を結

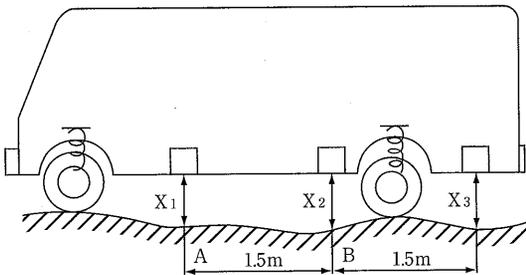


図-4 路面性状測定車の平坦性測定装置

んだ線上付近に1.5m間隔で3個の非接触型の変位計を取り付け、路面からの距離を計測するようにした車

両(図-4)である。車両には正確な走行距離計が取り付けられており、車両が1.5m走行するごとに変位測定器に信号を発信し、3個の変位計からの測定値を取り込むようになっている。測定方法及び解析手順は、次のとおりである。

- ①測定区間の始点と終点の間を踏査し、始点および終点の位置や距離標を確認するとともに、橋梁取付部、マンホールなど、平坦性測定の障害となる構造物の位置を確認する。また、必要に応じて路面にマーキングを行う。
- ②測定開始点に測定車を移動する。
- ③計測装置を始動し、測定車の走行を開始する。走行位置は、変位計がわだちの底部に合う位置とする。
- ④測定終了点に達した時点で測定を終了する。
- ⑤測定区間の長さや測定した点数を比較し、整合していない場合には、再計測や距離計の検査を行う。
- ⑥3個ある変位計の出力を前から X_1 、 X_2 、 X_3 とし、式-2によって、中間の変位計の基準線からの偏差dを求める。ただし、平坦性測定の障害となるマンホール等の部分のデータは除外する。
- ⑦道路管理での区間長ごとに、標準偏差を式-3によって計算し、その区間の平坦性とする。単位はmmとし、小数点以下2桁まで報告する。
- ⑧求められた平坦性、測定区間の始点と終点、測定区間の長さ、測定器具を報告する。

$$d = \{(X_1 + X_2) / 2\} - X_3 \dots \dots \dots \text{式-2}$$

$$\sigma = \sqrt{\{\sum d^2 - (\sum d)^2 / n\} / (n - 1)} \dots \dots \text{式-3}$$

σ : 平坦性 (mm)

d : 偏差 (mm)

n : データ数

4) 8mプロフィールメータによる方法²⁾

8mプロフィールメータは、通常自動車専用道路で用いられる。8mプロフィールメータは、図-5に示すように両端に各々4つの基準輪からの上下方向の凹凸を中央の測定輪で測定する。測定方法及び解析手順は、次のとおりである。

- ①測定位置は、舗装外側端、又は、各走行車線の外側のレーンマークから75cmから100cm内側の車輪通過頻度の最も高い位置を選ぶ。なお、広巾員2車線道路においては車輪通過頻度の最も高い位置を選ぶ。

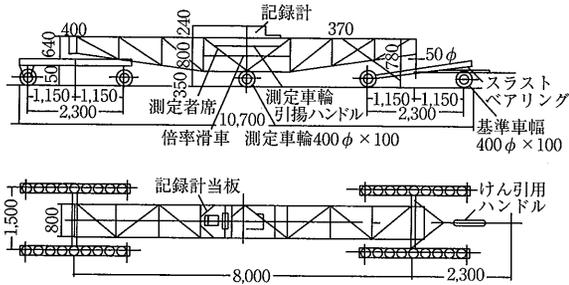


図-5 8mプロフィールメータ

- ②測定速度は、10km/hrを標準とする。
- ③測定倍率は原則として走行方向や上下方向の距離が正確にわかっている区間で走行縮尺や上下方向の精度をチェックする。
- ④測定の際、キロポスト、橋梁、トンネル等を記録紙に記入する。
- ⑤PrIは、プロフィールメータによるプロファイル記録用紙の中心付近に6mmバンドをあてて、このバンドの外側にはみ出た頂部及び底部の最大距離(a_i cm)を加算し、これを区間距離(Lkm)で除して求める(式-4)。

$$PrI = (\sum a_i / L) \dots \dots \dots \text{式-4}$$

$\sum a_i$: 6mmバンドからはみ出し量 (cm)
L : 区間距離 (km)

- ⑥TCR (cm/km) 測定輪の下方向積算変位量 (cm) を2倍した値を区間距離で除して求める(式-5)。

$$TCR = (\text{下方向積算変位量 (cm)} \times 2 / L) \dots \dots \dots \text{式-5}$$

- ⑦PrI, TCRを求める場合の区間距離は原則として200m毎に行う。

(2) 平坦性測定の精度と装置間の比較¹⁾

1) 平坦性測定の精度

平坦性の測定は、測定の対象とする区間の長さによってその精度が変化する。日本道路公団の調査によると、同一の区間を測定延長を変えて測定したところ、測定区間を短くした場合は平坦性が大きく、測定区間を長くした場合は平坦性が小さくなり、区間長を長くするにつれ一定の値に漸近していくとしている(図-6)。この図より判断して、精度の良い平坦性の測定

値を得るためには、区間長を100m以上とすることが必要であるとしている。

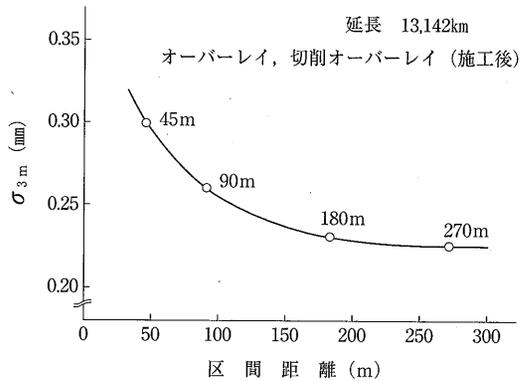


図-6 区間距離と標準偏差の関係

2) 平坦性測定装置間の比較

使用されている3mプロフィールメータを調査した結果によれば、基準輪が4輪式、8輪式および16輪式の3種があり、このうち、現在広く普及しているものは8輪式および16輪式である。8輪式と16輪式の違いによる、 σ の結果は表-1に示すとおりであり、形式の違いによる有意差は認められないとしている。

表-1 8輪式と16輪式の σ

距離	195m		525m	
	8輪	16輪	8輪	16輪
σ (mm)	2.060	2.048	2.055	2.069

また、足付き3m直線定規の測定結果と、3mプロフィールメータの測定結果とは、高度な相関があることが認められているとされている。

3mプロフィールメータの σ と8mプロフィールメータのPrIの関係は、図-7に示すとおりである。格調査毎の結果を並べて図示したものであるが、PrIと σ の関係は、各調査毎に異なりPrIを σ に換算することは適当でないとされている。

2. 平坦性と表層混合物の種類との関係

東京都の環状7号線における試験施工の結果で、表層混合物の種別と平坦性の経年変化を示したものが図-8²⁾である。施工直後、表層混合物による差は見られない。ゴム入り粗粒度ギャップ以外は、4年後においても $\sigma = 2.0\text{mm}$ 以下と良好な平坦性を保持している。

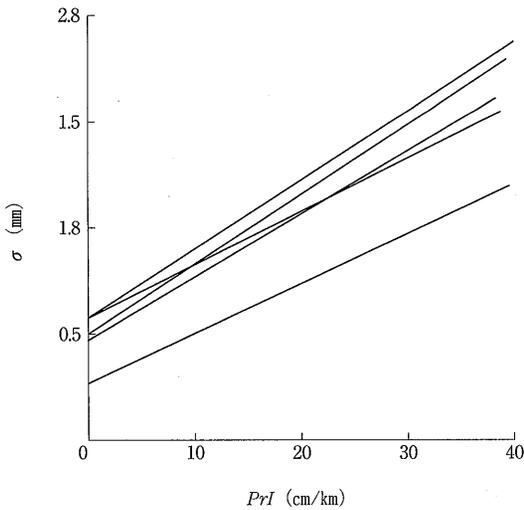


図-7 PrIとσの関係

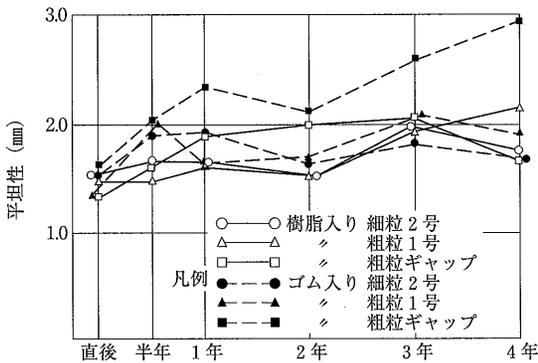


図-8 平坦性の経年変化

3. 平坦性と振動及び騒音等との関係

(1) 平坦性と振動との関係

国土交通省(旧建設省)では、交通振動を交通量、車両の平均走行速度、路面の平坦性などから予測している^{4) 5)}。その中で路面の平坦性の補正項 a_{σ} は、

$$a_{\sigma} = 4(\sigma - 2.2) \dots \dots \dots \text{式-6}$$

σ : 路面の平坦性

で示されている。適用範囲は、 $\sigma < 5$ とされている。これからもわかるように、平坦性2.2mmを境にして、それ以下の場合には振動に対して低減させる方向に向かい、その効果は、4dB (A) /mmとしている。

3mプロフィールメータの σ と交通振動の関係⁴⁾を図-9に示す。図-9は、路面の補修工事が実施され

る前後に於ける同一箇所の振動レベルを実測したものである。工事前後に於いて同時時間帯に測定された24回の L_{10} の平均値を縦軸にとり σ 値との関係を示したものである。これより平坦性が振動レベルに与える影響は、4dB (A) /mmであるとしている。

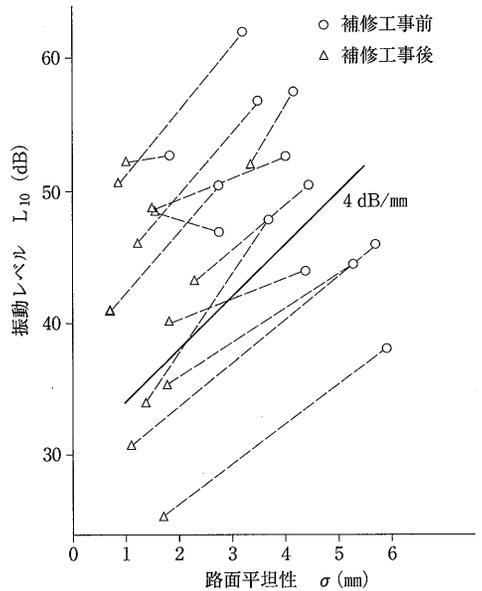


図-9 路面補修工事前後の平坦性と振動レベル

また、東京都での調査例として道路敷境界における振動レベルのピーク値 V_L と平坦性の関係は、図-10である⁶⁾。平坦性の改善による効果は、4~6 dB (A) /mmであるとしている。

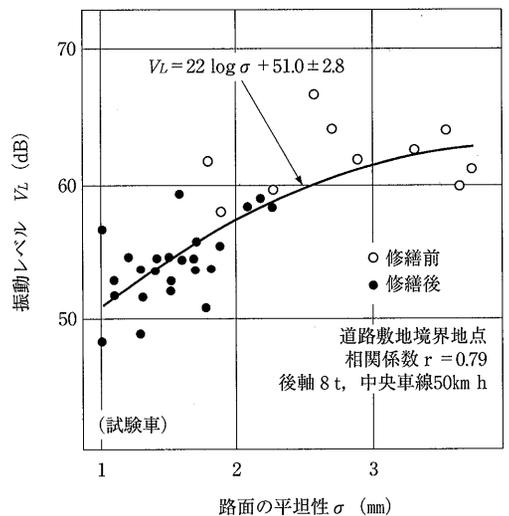


図-10 振動に及ぼす平坦性の影響

東京都の環状7号線での測定例で、車道端からの距離5mの位置の振動を比較した結果(図-11)、平坦性が $\sigma = 1\text{mm}$ と $\sigma = 5\text{mm}$ では約12dB(A)の差があるとし、路面の平坦性が振動に大きく影響しているとしている³⁾。

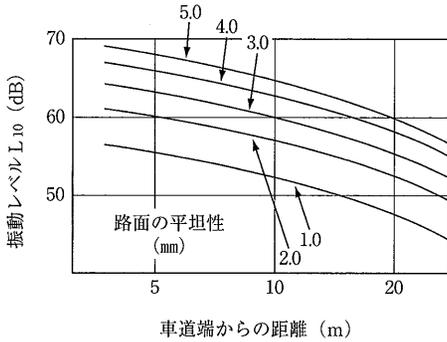


図-11 平坦性と道路交通振動の変動

また、東京都の環状7号線における試験施工の結果で、補修前と補修直後の振動の変化を示したものが図-12である³⁾。平坦性1.0mmの改善で4 dB(A)の振動低減しているとしている。歩道端における振動レベルの経年変化を図-13に示す³⁾。これによっても供用後4年では補修前の振動レベル以下であるとしている。

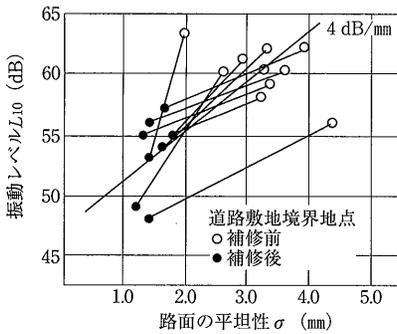


図-12 補修前後の振動変化

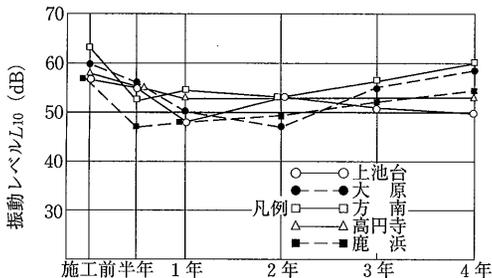


図-13 歩道端の一般車走行による振動の経年変化

(2) 平坦性と騒音との関係

騒音値と平坦性の関係を示したものが図-14である⁷⁾。交通量による影響を取り除くために、交通量を一定(400台/10min)にして、同条件で関係を把握している。平坦性は騒音値に影響を与えていないとしている。

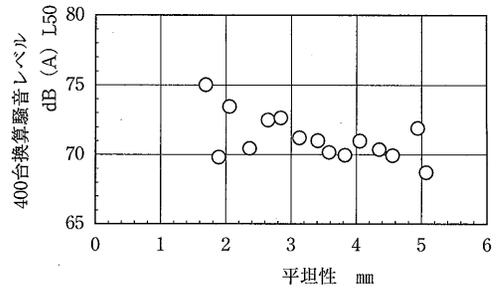


図-14 平坦性と400台換算騒音レベルの関係

(3) 平坦性と乗り心地との関係

日本道路公団で行った3mプロフィールメータの σ と乗り心地の主観評価の関係⁸⁾を図-15に示す。この調査では、道路利用者のアンケート調査及び従来の測定方法による路面性状の調査と、加速時計による平坦性の測定が行われた。この結果、道路利用者の乗り心地と平坦性に強い相関があるとしている。

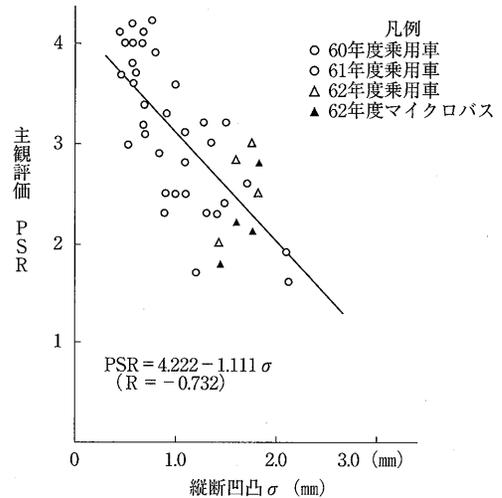


図-15 3mプロフィールメータの σ と乗り心地の主観評価の関係

(4) 平坦性と動的荷重との関係

車軸に取り付けたひずみゲージによる軸荷重の測定装置であるオンボード式の軸重測定装置を用いた3軸

車の2路線における測定から図-16に示す平坦性と動的軸荷重の変動量の標準偏差は、相関があり平坦性が悪いと舗装に載荷される動的軸荷重も大きくなる傾向であり、平坦性が5.0mmでは、2.4mmの時の約2.5倍の動的軸荷重の変動があることを示している⁹⁾。

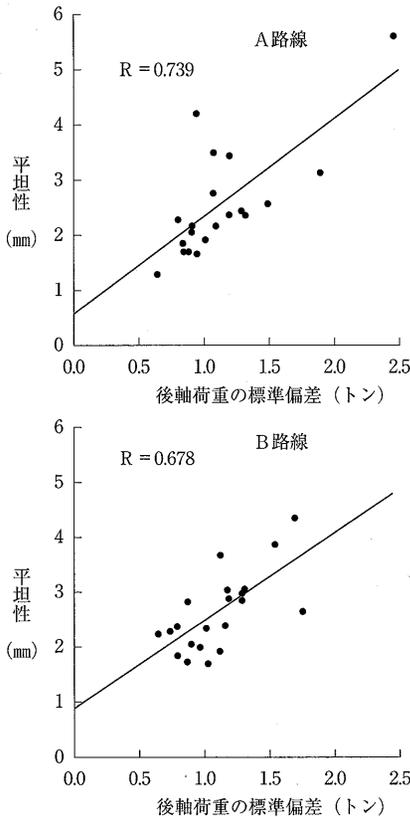


図-16 平坦性と動的軸荷重の変動量の標準偏差との関係

(5) 平坦性と事故率との関係

建設省で昭和61, 62年度の直轄事故と路面性状との関係から、路面の平坦性と事故率を比較した結果、平坦性が大きい箇所において事故率が高いとしている。アスファルト舗装とコンクリート舗装について、平坦性 σ と事故率の関係は、図-17に示すとおりである。コンクリート舗装では、 σ が3.5mmを越えると事故率が大きくなっている¹⁰⁾。

以上のことから、車両の走行速度などにより異なることも考えられるが、3mプロフィールメータでの測定結果が、交通振動、乗り心地、動的荷重の変動や交通事故と大きく関連していることがわかる。そして、平坦性が振動レベルに与える影響は、4dB(A)/mm程度であることがわかる。

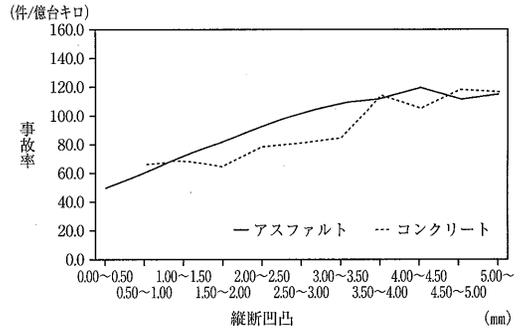


図-17 平坦性 σ と事故率の関係

3. 技術の現状からみた確保可能な平坦性のレベル

(1) 平坦性と供用年数との関係

舗装の新設後又は打ち換え後の平坦性の経年変化は、図-18に示すとおりである¹¹⁾。平坦性は、直線的に増加する傾向にあり、1年間に0.2mm程度増加するとしている。これから、施工直後平坦性が2.4mmであった場合、設計期間10年とすると10年後の平坦性は、4.4mmと推定されるとしている。

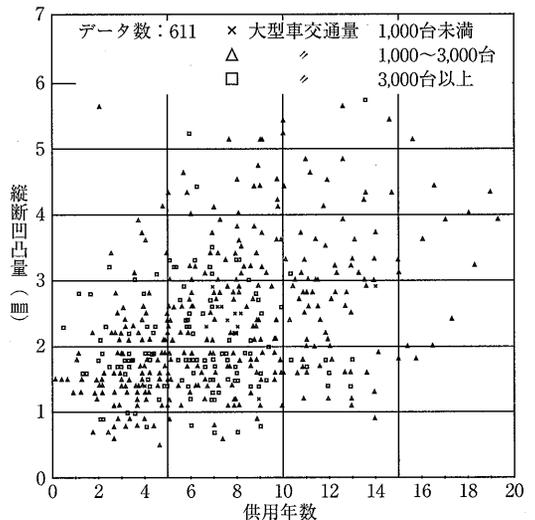


図-18 平坦性と供用年数との関係

(2) 施工目標値の設定根拠

足付き直読式凹凸計のデータについて ± 5 mm以内となる個数とばらつき(標準偏差)の関係は、図-19に示すとおりである。凹凸がある程度以下になると ± 5 mm以内の個数は、すべて100%近くなり、いろいろの場所で測定した結果、標準偏差で示すほうが合理的だとしている。昭和42年のアスファルト舗装要綱では、直読式(足付き) $\sigma < 1.75$ mmの基準は、多くの工事の

測定結果から判断されたものであって、普通に施工を行えばアスファルト舗装では、決して厳しい値ではないとしている^{12) 13)}。

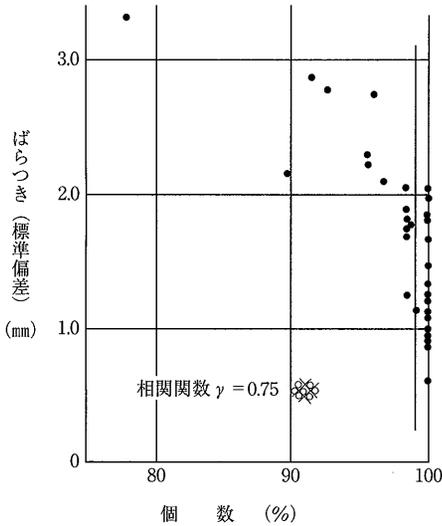


図-19 直読式凹凸計のばらつきと±5mm以内の個数との相関

車道における平坦性に関する施工直後の施工目標値については、アスファルト舗装要綱(社)日本道路協会、平成4年)とセメントコンクリート舗装要綱(社)日本道路協会、昭和59年)における合格判定値が使用されてきた。アスファルト舗装における3mプロフィールメータを用いた場合2.4mm(表-2)とセメントコンクリート版を機械舗設した場合の2.0mm(表-3)である。以上のことから平坦性は、2.4mmが標準と考えられる。

また、歩道における平坦性については、現在施工直後の目標値を設定していないが、今後平坦性の評価手法も含めてデータを蓄積して検討していく必要があると考えられる。

表-2 平坦性の出来形の合格判定値(抜き取り検査による場合):アスファルト舗装¹⁴⁾

工種	中規模以上の工事 10個の測定値の平均値	中規模以上の工事 10個の測定値の平均値
表層	3mプロフィールメータ 2.4mm以下 直読式(足つき) 1.75mm以下	

表-3 平坦性の出来形の合格判定値(抜き取り検査による場合):セメントコンクリート舗装¹⁵⁾

工種	機械舗設の場合	人力舗設の場合
表層	標準偏差2.0mm以下	標準偏差3.0mm以下

4. 望ましい管理水準について

道路維持修繕要綱ではアスファルト舗装(表-4)、セメントコンクリート舗装(表-5)の値が示されているが、ここでは、望ましい管理水準についての文献調査結果から考察する。

表-4 アスファルト舗装の維持修繕要否判断の目標値:道路維持修繕要綱¹⁶⁾

道路の種類	縦断方向の凹凸(mm)
自動車専用道路	8mプロフィール90(PrI) 3mプロフィール3.5(σ)
交通量の多い一般道路	3mプロフィール4.0~5.0(σ)
交通量の少ない一般道路	-

PrIは、プロフィールメータで記録した凹凸の波の中央に±3mmの帯を設け、この帯の外にはみ出す部分の波の高さの総和を測定距離で除した値である。

表-5 セメントコンクリート舗装の維持修繕要否判断の目標値:道路維持修繕要綱¹⁶⁾

道路の種類	縦断方向の凹凸(mm)
自動車専用道路	8mプロフィール90(PrI) 3mプロフィール3.5(σ)
交通量の多い一般道路	3mプロフィール5.0(σ)
交通量の少ない一般道路	-

(1) 路面に求められる要件

車道(自転車道も含む)には、平坦性の確保が要件として求められる。安全な交通の確保のためには、車両の操作性に悪影響を与えないこと、快適な交通の確保のためには、走行時の乗り心地に悪影響を与えないことや、走行時に衝撃を受けないこと、環境の保全・改善のためには、沿道に振動・騒音を与えないことが求められる。

歩道においても、平坦性の確保が要件として求められる。安全な交通の確保のためには、すべりの原因となる滞水がないこと、快適な交通の確保のためには、歩き心地に悪影響を与えないこと、環境の保全・改善のためには、他の歩行者への跳水の原因となる滞水がないことが求められる。

(2) 望ましい管理水準

建設省の舗装の管理水準と維持修繕工法に関する総合的研究¹⁷⁾では、道路利用者からの苦情によって行った維持修繕工事の分布が正規分布すると仮定し、苦情発生確率からみた場合の路面性状の管理基準を、苦情発生確率(100%から控除すれば苦情を減らすことのできる確率)により3水準で設定している。各区分の苦情の特徴的事項は、表-6に示すとおりである。

苦情発生確率の水準を、

- 第1水準：道路利用者の約16%から苦情が発生する水準、
- 第2水準：道路利用者の約50%から苦情が発生する水準、
- 第3水準：道路利用者の約84%から苦情が発生する水準

として設定した管理水準は、表-7である。平坦性量の場合、一般地域で3mm未満、積雪地域で2.6mmとしている。

表-6 苦情の特徴的事項と一般特性、路面特性との関連

区分	特徴的事項
苦情特性	<ul style="list-style-type: none"> ・寒地域に多い ・市街地・平地に多い ・縦断勾配の緩い所（15%未満）に多い
一般的特性との関連	<ul style="list-style-type: none"> ・10~15年を経過した路面に多い ・累積大型交通量1,500~2,500万台余で多い ・混雑度1.0前後に多い
路面性状特性との関連	<ul style="list-style-type: none"> ・MCI 4未満に多い ・わだち掘れ20mm以上に多い ・縦断凹凸1~3mmに多い

表-7 各区分による管理水準の決定

区分	第1水準	第2水準	第3水準
M C I	5.6 (4.8)	4.5 (3.8)	3.4 (2.8)
ひび割れ率 (%)	0 (0)	13.1 (12.8)	30.3 (29.6)
わだち掘れ (mm)	13.0 (17.4)	21.6 (31.0)	30.2 (44.6)
縦断凹凸量 (mm)	1.9 (0.9)	3.0 (2.6)	4.1 (4.3)

※ () 内は雪寒地域にかかる値

M C I	5.0 (4.4)	3.8 (3.1)	2.6 (1.8)
ひび割れ率 (%)	1.2 (0.6)	13.9 (15.3)	26.6 (30.0)
わだち掘れ (mm)	16.3 (23.3)	23.8 (38.0)	31.4 (52.7)
縦断凹凸量 (mm)	2.0 (1.9)	3.1 (2.6)	4.2 (3.3)

※ () 内は雪寒地域にかかる値

沿道住民からの苦情によって行った維持修繕工事の、路面性状と苦情の発生頻度との関係から、苦情発生の低減度合（100% - 苦情発生確率）に対応した路面の管理水準を検討している。苦情発生確率の水準を、10、20、40%として設定した管理水準が表-8である。

表-8より、苦情を約半分に減ずることを想定して水準を考えると平坦性で3mmとしている。走行速度が早いほど凹凸の影響が大きいと考えると、設計速度が50km/h以上の管理水準の参考値は $\sigma \leq 2.5\text{mm}$ 、設計速度が50km/h未満の管理水準の参考値は $\sigma \leq 3.0\text{mm}$ が望ましい（ $\sigma 2.5\text{mm}$ 以下は苦情発生確率20%、3.0mm以下は苦情発生確率40%の値）としている。

なお、建設初期の性能としては、乗り心地で示した

表-8 沿道住民苦情評価指標と管理水準

発生確率 (%)	指標 苦情水準	指標		縦断凹凸 (mm)	MCI	計算MCI*
		ひびわれ率 (%)	わだち掘れ量 (mm)			
10	振動	—	10	2.0	5.5	—
	騒音	5	15	—	5.5	—
	水はね	—	15	—	6.0	—
	評価	5	10	2.0	5.5	5.6
20	振動	—	15	2.5	4.5	—
	騒音	10	20	—	4.5	—
	水はね	—	20	—	5.0	—
	評価	10	15	2.5	4.5	4.6
40	振動	—	20	3.0	4.0	—
	騒音	15	30	—	4.0	—
	水はね	—	25	—	4.5	—
	評価	15	20	3.0	4.0	3.7

* MCI=10-1, 48C^{0.3}-0, 29D^{0.7}-0, 47 σ ^{0.2}

のと同様、従来の基準から、 $\sigma \leq 2.4\text{mm}$ が一般的であるが、より高い性能値としては表-8からも $\sigma \leq 2.0\text{mm}$ が望ましいとしている。

建設省で行った実態調査等より推定された管理水準が表-9に示すものである¹⁷⁾。

この実態調査等より推定される管理水準の設定値を基に、新しい管理水準の検討結果が表-10に示すものである。各立場を考慮した総合的な管理基準の基本的な考え方として、①地域条件、沿道条件、交通条件によりきめ細かく管理水準を設定する必要がある②管理水準は、単に道路管理者からみた水準だけではなく、その条件ごとに決められるウエイトに基づいて、道路利用者、沿道住民の立場からみた管理水準を考慮する必要があるとしている。

そして、実態調査等より推定された管理水準とこれに対して寄せられた各管理者からの意見を基に、新しい管理水準を設定するに当たったの目標値が表-11に示すものである。

(3) 舗装の性能値の設定

舗装の性能値は、交通の状況、現地の状況、周辺の状態を踏まえ、設定された性能が設計期間を通して管理水準を下回らないように適切に設定されなければならない。

以上現在の技術レベルから、車道（もっぱら自動車の走行の用に供する路面）での、平坦性は、完成時に2.4mm以下であることが要求される。管理水準については、①地域条件、沿道条件、交通条件によりきめ細かく設定する必要がある②単に道路管理者からみた水準だけではなく、その条件ごとに決められるウエイトに基づいて、道路利用者、沿道住民の立場からみて考

表-9 実態調査等により推定された管理水準（アスファルト舗装）

	道路管理者からみた場合	道路利用者からみた場合 道路利用者の苦情からみた水準 (苦情の半数に対応するもの)	沿道住民からみた場合 沿道住民の苦情からみた水準 (苦情の半数に対応するもの)
縦断凹凸 (mm)	一般, 雪寒 4.0	維持 一般 3.0 雪寒 2.6 修繕 一般 3.1 雪寒 2.6	3.0

表-10 新しい管理水準の検討（各地建へのアンケート調査）

	道路管理者からみた場合	道路利用者からみた場合	沿道住民からみた場合	総合的管理基準の考え方	
				標準的な管理基準	望ましい管理基準
縦断凹凸 (mm)	一般, 雪寒 4.0	維持一般 3.0~3.5 維持雪寒 2.5~3.0 修繕一般 3.0~4.0 修繕雪寒 2.5~3.5	一般, 雪寒 3.0~4.0	一般 3.0~4.0 雪寒 4.0 自専道 3.5	一般, 雪寒 3.0~4.0 自専道 3.0

表-11 舗装の管理水準を設定するにあたっての目標値

	道路維持修繕要綱		早急に対応すべき水準の下限値		望ましい水準の 下限値
	一般道路	専用道路	一般地域	雪寒地域	
縦断凹凸 (3mプロフィールmm)	4.0~5.0	3.5	4.0	4.0	3.0~4.0

慮する必要がある。

測定方法は、外側わだち部に沿って3mプロフィールメータにより測定された1.5mごとの変位量の標準偏差とし、他の測定装置を用いた場合にはその相当値とすることが妥当といえる。

5. あとがき

今回は、平坦性のうち縦断凹凸に限定して述べた。縦断方向の平坦性は、道路交通の円滑・快適性に大きな影響を与えることを示した。特に路面の平坦性と走行車両の動的応答は、走行速度の影響を受けることから、設計速度が高い路線ほど、より高い平坦性が要求される。さらに、同一の平坦性であっても大型車と乗用車では、両者の乗り心地に差異が生じることが想定され、乗り心地をよりシュミレートさせた形で評価する方法として、コンピュータ上で路面の絶対プロファイル上をクォーターカーモデルを走行させることにより得られる国際ラフネス指数 (IRI)¹⁰⁾ が注目されている。また、路面の平坦性が大型車の動的応答に大きな影響を与え、それが路面への動的荷重の増大を招き、路面の平坦性の急速な悪化、路面の破壊、沿道への振

動をもたらすことになることから、平坦性の管理水準は、走行速度、大型車交通量、地盤強度、沿道開発状況によって決める必要がある。IRIがまだ試験的導入段階にあるが、今後は、乗り心地と関連する評価手法IRI等を用いて平坦性を評価していく方向であると考えられる。

— 参考文献 —

- 1) (社)日本道路協会：舗装試験法便覧，昭和63年11月
- 2) 日本道路公団規格：JHS-220-1992
- 3) 達下，阿部：重交通都市道路舗装の維持管理，舗装16-5，1981
- 4) 成田，桂樹：道路交通振動予測式，土木技術資料20-6，1978
- 5) 建設省道路局企画課，建設省土木研究所：道路交通振動の対策に関する研究，第30，31，32，33回建設省技術研究会報告
- 6) 東京都建設局道路交通振動対策委員会：道路交通振動防止対策についての報告，昭和52年6月
- 7) 竹田，阿部，峰岸，田中：低騒音舗装の機能改善と街路への適用性に関する検討，土木学会舗装工

- 学論文集, 1992.12
- 8) 財高速道路調査会：舗装の費用化に関する研究報告書(3), 昭和63年2月
- 9) 社土木学会：舗装工学研究委員会報告書, 1997.6
- 10) 第32回土木研究所発表会論文集, 平成5年11月
- 11) 建設省道路局, 建設省土木研究所：舗装の維持修繕の計画に関する調査研究, 建設省第34回技術研究会報告書, 昭和56年
- 12) 河野：竣工時の舗装の平坦性検査について(1), 土木技術資料, vol. 9, No. 4, 土木研究会, 昭和42年4月
- 13) 河野：竣工時の舗装の平坦性検査について(2), 土木技術資料, vol. 9, No. 7, 土木研究会, 昭和42年7月
- 14) 社日本道路協会：アスファルト舗装要綱, 平成4年
- 15) 社日本道路協会：セメントコンクリート舗装要綱, 昭和59年
- 16) 社日本道路協会：道路維持修繕要綱, 昭和53年
- 17) 建設省：舗装の管理水準と維持修繕工法に関する総合的研究, 第41回建設省技術研究会, 昭和62年10月
- 18) 東嶋, 池田：舗装の平坦性測定手法の検討, 土木技術資料40-12, 1998

重交通道路の舗装用アスファルト 「セミブローンアスファルト」の開発

B 5 版・132ページ・実費頒価 3000円 (送料実費)

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

目 次

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

機能の設計に必要な計測

高速道路におけるすべり摩擦の概要

(General Statement of Skid Resistance on Highway)

大野 滋也*・佐藤 正和**

日本道路公団（JH）では、道路利用者の安全性・快適性の向上を目的として高機能舗装（排水性舗装）の全面採用を進めている。この高機能舗装は、表面テクスチャが大きく、高いすべり摩擦係数が確保可能な舗装である。この報文では、JHにおけるすべり摩擦測定方法の概要と高速道路舗装でのすべり摩擦特性について報告するものである。

1. はじめに

日本道路公団（以下「JH」という）の管理する高速道路は、平成12年度末で6,851kmの供用延長に達し、この高速道路を1日平均395万台（H11年度）もの車輛が通行している。

JHでは、この交通量を支える舗装路面として高機能舗装（排水性舗装）を全面的に導入し、建設工事のみならず改良工事でも積極的に採用し、より安全性・快適性の高い路面の確保に努めているところである。

安全性に関わる路面性能値の一つとして、路面のすべり摩擦が挙げられる。これは、路面と直接接するタイヤとの間で摩擦力が発生することで、車輛のスムーズな走行性や、制動時の安全性確保に重要となるものである。

本文では、高速道路におけるすべり摩擦の測定方法及び高速道路舗装のすべり特性について報告するものである。

2. すべり摩擦係数の測定手法

高速道路におけるすべり摩擦係数の測定には、JH試験研究所が所有している大型すべり試験車（写真-1）を用いて計測している。この試験車輛の諸元及び計測装置の概要は表-1・2に示すとおりである。

通常の測定では、試験輪を100%制動させた時の縦すべり摩擦係数を測定しているが、測定輪を進行方向に対して20°の角度まで可変させて測定する、横すべり摩擦係数も測定可能な構造となっている。



試験輪格納場所

写真-1 大型すべり試験車

表-1 すべり試験車車輛諸元

全長	8870mm
全幅	2490mm
全高	3150mm
最高測定速度	140km/h
出力	420hp
重量	109.76KN

表-2 測定装置概要

形式	垂直昇降式縦横両用型
測定種類	100%制動時の縦すべり 0~20度の横すべり
検出方法	ロードセル方式
測定時輪荷重	3.9KN
測定時水膜厚	0.5~1.0mm

*おのの しげや 日本道路公団試験研究所舗装研究室長

**さとう まさかず 日本道路公団試験研究所舗装研究室主任

2.1 測定タイヤ

路面のすべり摩擦は、路面性状、気象、速度、タイヤなどの影響を受けるため、すべり摩擦の測定に際して使用するタイヤの条件を統一する必要がある。

そのため、すべり試験車を保有している機関から組織された「路面すべり測定標準タイヤ研究委員会」（平成6年3月）での検討により制定された標準タイヤを用いており、その諸元を表-3、写真-2に示す。

表-3 すべり測定用タイヤの諸元

項目	仕様
タイヤ種類	165/SR-13
タイヤ幅 (mm)	165
偏平率 (%)	82
ホイール径 (in)	13
タイヤ構造	ラジアル
ゴム配合	ASTM (E-501)

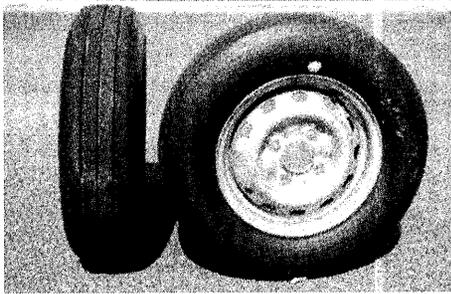


写真-2 すべり測定標準タイヤ

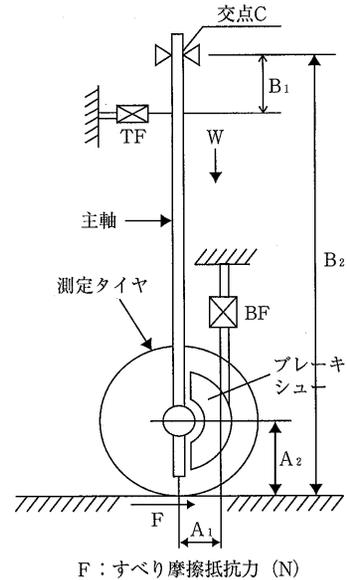
2.2 測定原理

すべり試験車には、図-1に示すようなすべり測定装置（垂直昇降式すべり計）が取り付けられている。

この装置に取り付けている測定タイヤを進行方向に一定速度、一定の上載荷重で走行させているとき、測定タイヤにブレーキをかけると図に示す“主軸”が進行方向とは逆方向に引かれる。そのときブレーキをかけたアームの中間に取り付けてあるブレーキ力検出器（BF）及びそれを止めている“主軸”と車両の中間に取り付けてあるけん引力検出器（TF）より制動時の路面とタイヤ間に働く力（F）を検出する。

これらの検出器で検出されたデータを式-1で処理することによりすべり摩擦係数（ μ ）が算出される。

通常はBFから算出した摩擦係数を用いており、TFから算出した摩擦係数は測定装置精度検証などに用いている。



F：すべり摩擦抵抗 (N)

図-1 すべり試験車測定原理

なお、このときの測定速度は通常80km/hで実施している。

$$\mu (BF) = \frac{BF}{W} \quad \mu (TF) = \frac{TF}{W} \quad \text{式-1}$$

$\mu (BF)$ ：ブレーキ力から算出される縦すべり摩擦係数

$\mu (TF)$ ：けん引力から算出される縦すべり摩擦係数

BF：タイヤに作用するブレーキ力 (N)

TF：タイヤに作用するけん引力 (N)

W：タイヤにかかる上載荷重 (N)

3. その他のすべり測定方法

路面のすべり摩擦を測定する方法としては、前述した大型すべり試験車による方法のほか、簡易な方法としては、振子式スキッドレジスタンステスターや回転式すべり抵抗測定器による方法がある。

3.1 振子式スキッドレジスタンステスター (BPN)

これは写真-3に示すように、ゴム製のスライダが装着した振子を、所定の高さから振り下ろし路面を滑動するときの抵抗値を測定するものである。

この測定器は簡易に測定可能なことから、JHの舗装工事の出来型確認等で広く用いられている。

3.2 回転式すべり抵抗測定器

この測定器は、同一円周上に3個のタイヤゴムピースが装着された円盤を高速で回転させ、一定の荷重を

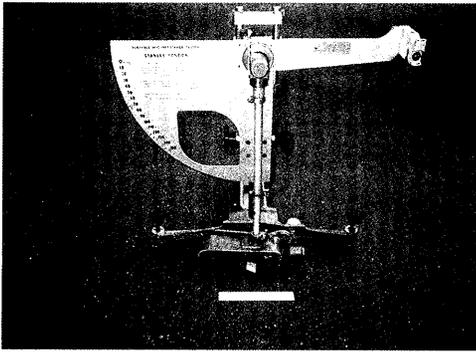


写真-3 BPN

加えて路面に設置させた時のタイヤゴムピースに加わる摩擦力と、そのときのタイヤゴムピースの線速度(円盤の回転速度)を測定し、各速度における動的摩擦係数を測定するものである。(写真-4, 5)

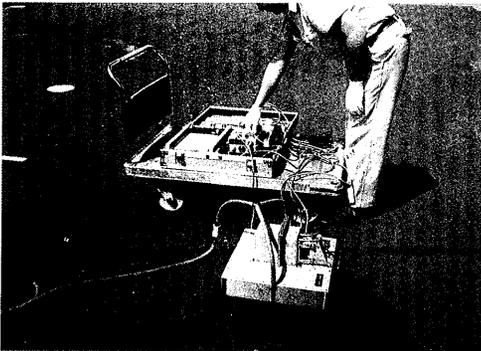


写真-4 回転式すべり抵抗測定器 (外観)

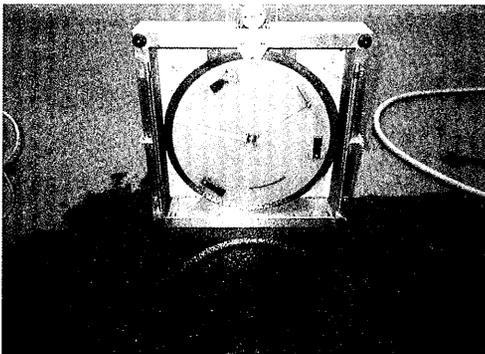


写真-5 回転式すべり抵抗測定器 (円盤部)

4. 高速道路におけるすべり摩擦特性

JHでは建設完了時点や供用中路線において、上述

した大型すべり試験車を用いた方法で、すべり摩擦を測定しており、以下にその特性を述べる。

4.1 表層工種による比較

供用中の高速道路における各種舗装種別毎の平均すべり摩擦係数($\mu(80)$)を図-2に示す。これは、平成9年度に供用中路線で測定した $\mu(80)$ の単純平均である。

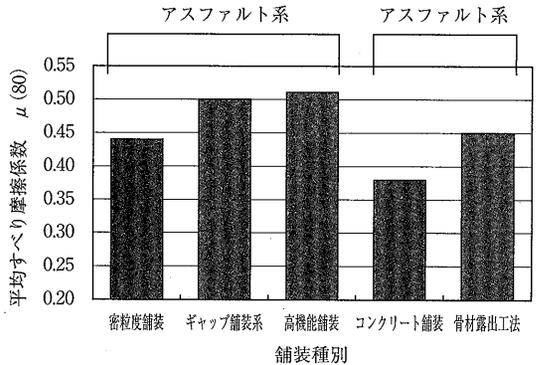


図-2 舗装工種別すべり摩擦係数

現在、高速道路で表層工の標準としている高機能舗装のすべり摩擦係数がかっとも高い値を示しており、コンクリート系舗装の中では、従来のグルーピング工法に比べて骨材露出工法による表面処理が高いすべり摩擦を示している。

路面のすべり摩擦は、マクロテクスチャとミクロテクスチャが影響すると一般に言われており、ギャップ舗装や高機能舗装、骨材露出工法のようにマクロテクスチャが大きい舗装工種が高いすべり摩擦を示す傾向が表れている。

4.2 すべり摩擦の経年変化

図-3に高機能舗装と密粒度舗装の供用開始からのすべり摩擦の経年変化を同一路線で比較したものを示している。

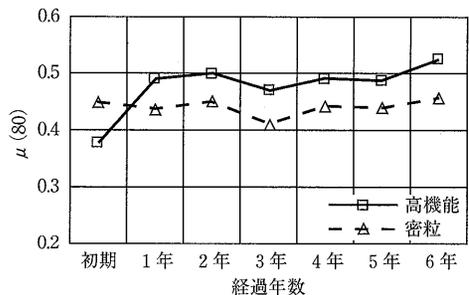


図-3 すべり摩擦の経年変化

施工当初のすべり摩擦の比較では、高機能舗装が密粒度舗装に比べて0.05程度低い傾向が見られる。これは、高粘度改質アスファルトを用いている高機能舗装のアスファルト皮膜が厚く形成されていることや、紫外線等による劣化しにくいこと等が影響していると推定される。

また、経年変化では、密粒度舗装は、新設時から供用6年後まで概ね0.45程度で推移しているのに対して、高機能舗装の初期は密粒度舗装より低めであるが、1年経過後より0.5程度の高い値で推移している。

4.3 測定方法の比較

図-4に高機能舗装路面上で測定した振子式スキッドレジスタンステスターによるBPN値と大型すべり試験車による $\mu(80)$ との比較を示しているが、傾向は見られるものの相関係数は0.411と低くなっている。

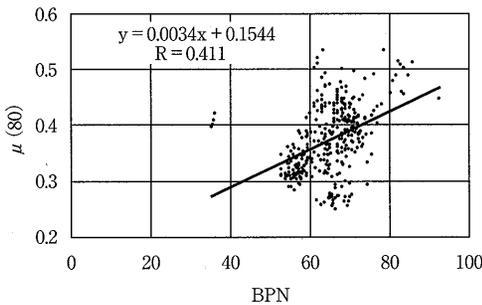


図-4 BPNと $\mu(80)$ の関係

高機能舗装は表面のテクスチャーが大きいことから、BPNのゴムスライダの設置する面積が均一にならず、かつ密粒度より小さくなることから高機能舗装での特

性があらわれにくくなっているためと考えられ、今後の測定手法の検討が必要とされる。

5. すべり摩擦の課題

路面のすべり摩擦は、走行安全性の確保に大きな影響を及ぼす事からますます重要視されてくるものと考えられる。

そのため、路面すべり摩擦に関して以下に示す課題が考えられる。

(1) すべり摩擦測定手法

前述したように高機能舗装のすべり摩擦測定データでは、大型すべり試験車との相関関係が見られないことから、現在、工事管理等で用いるBPNによる測定方法を見直す必要が生じている。

(2) 路面性能値の設定

すべり摩擦に関する路面管理目標値は、維持修繕要綱に提示されている0.25： $\mu(80)$ で運用されているが、ABS装着車両の増加など車輛側の性能変化や高速走行の一般化があり、各種状況に対応した見直しが必要と考える。

6. おわりに

路面の安全性に影響するすべり摩擦について述べてきたが、道路管理者として常に安全な路面の提供に勤めていくことは当然の責務である。また、その管理基準もアカウントビリティを考慮したものとする必要がある。

また、実際に車両を走行させるのは道路利用者であり、気象状況や路面状況に応じた運転を啓蒙し、道路利用者自身の資質を高める継続的な努力も必要である。

参考文献

- 1) 「路面のすべりとその対策」市原、小野田：技術書院
- 2) 「舗装試験法便覧」昭和63年11月 (社)日本道路協会
- 3) 「舗装試験法便覧別冊」平成8年10月 (社)日本道路協会
- 4) 「維持修繕要綱」昭和53年7月 (社)日本道路協会

機能の設計に必要な計測

騒音低減性能・透水性能

(Measurement device of traffic-noise and water-permeabilities on pavements,)

阿部 忠行*・光谷 修平**

舗装は路面と躯体から構成される。躯体は荷重を支持・分散させ、路面は利用者を安全・快適に走行させることを役割とする。利用者がすべり抵抗や視認性を、沿道の住民が騒音の低減性能を求めるのは主に路面に対するものである。これらに応える舗装として排水性舗装等が開発され、高速道路や都市内において舗設面積を拡大している。排水性舗装はポーラスな路面によって自動車騒音を低減するとともに、雨天時には、スプレー現象・ハイドプレーニングの抑制や視認性の向上から安全性・快適性を向上させる。

ここでは、その性能を定量的に評価するための計測装置について、その現状と課題とともにこの性能を更に向上させるための舗装技術の方向性について述べている。

1. はじめに

平成13年7月1日から新しい道路構造令が施行された。その第23条第2項には「第4種の道路の舗装は、当該道路の存する地域、沿道の状況を勘案して必要がある場合においては、雨水を道路の路面下に円滑に浸透させ、かつ、道路交通騒音の発生を減少させる構造とするものとする。」という記述が加えられている。ここにいう「第4種の道路」とは都市部における高速自動車国道及び自動車専用道路以外の道路であり、沿道環境の保持や歩行者への配慮が特に必要とされるものである。「雨水を路面下に円滑に浸透させ」という記述の目的は、第一義的に自動車交通の安全性の確保にあるが、その他にも、歩行者への影響や沿道環境・自然環境の保全といった、多くの意味を有していると思われるであろう。

本特集において、他の項は全て「わだち掘れ抵抗性能」「ひび割れ抵抗性能」「平坦性能」「すべり抵抗性能」と単項目で記述されてきたが、このような舗装の性能を評価することを目的とすることから、ここでは騒音低減性能・透水性能と二つの性能の計測を同一の項とした。

我国において、現在、騒音低減性能と透水性能を有する舗装構造として排水性舗装が採用されている。排水性舗装は、空隙率の高い多孔質なアスファルト混合

物を表層または表層と基層に用い排水機能層とし、そこに浸透した水が下層の不透水層の上を流れて排水処理施設に速やかに排水される構造としたものである。

排水性舗装の機能は、車両の走行安全性の向上と沿道環境の改善に大別される。

車両の走行安全性の向上としては、①雨天時のすべり抵抗性の向上（ハイドロプレーニング現象の緩和）、②走行車両による水はね、水しぶきの緩和による視認性の向上、③雨天夜間時におけるヘッドライトによる路面反射の緩和、④雨天時における路面表示の視認性の向上、などである。

沿道環境の改善としては、①車両走行による道路交通騒音の低減（エンジン音などの機械音の吸音、エアポンピング音の発生抑制）、②沿道への水はね抑制、などである。

このような機能はどのようなメカニズムで発揮されるのか。排水性舗装技術指針（案）を作成する時点においては、表層あるいは表層および基層の多孔性すなわち空隙による吸音と発音抑制とされていた。その空隙も内部に閉塞された空隙ではなく表面から下面まで貫通した有効空隙率が評価指標となる。このため、技術指針では検査時の指標として、空隙率と現場透水量が定められた。なお、空隙率は配合試験時に確認し、品質検査時には締固め度で検査するものとし、出来形

*あべ ただゆき 財団法人道路保全技術センター（現東京都土木技術研究所副参事研究員工博）

**みつたに しゅうへい 財団法人道路保全技術センター（現大林道路株式会社技術研究所第二研究室長）

合格値として現場透水量1000CC/15sを規定している。

一方、舗装の騒音低減性能を直接的に評価する計測装置として路面騒音測定車が利用されている。東京都は道路交通騒音低減を主目的に1987年に環状七号線で試験舗装を実施して以来、低騒音舗装（ここで言う低騒音舗装は排水性舗装と同種のものであるが、東京都では開発目的から低騒音舗装と呼称している）の開発を行ってきた。低騒音舗装の評価には、当初、施工前後の環境騒音の測定結果を用いていた。しかし、環境騒音の測定はあくまでも点の評価であり舗装の性能を評価するには面あるいは線としての連続した手法が必要である。また、舗装の騒音低減性能の高度化を進めるためには、空隙率や、路面のテクスチャー、舗装材料の硬軟など、舗装の品質として直接的に評価する必要がある。このため、騒音低減性能の測定には、騒音測定車両を適用するものとした^{1, 2)}。この騒音測定車両による計測方法は、国土交通省の性能規定による試行工事においても採用されている。

本論は、騒音低減性能および透水性能の計測方法の紹介とともに、排水性舗装の開発状況や今後の動向について述べるものである。

2. 騒音低減性能の測定

(1) 交通騒音の低減の考え方

道路交通騒音は交通車両が引き起こす騒音全てを含め、沿道に対する騒音と定義されている。騒音の発生

要因は、車両特性、交通特性及び道路特性に大別できる。わが国で自動車保有台数が急増した昭和30年代後半において、自動車騒音は大型車のエンジン音が卓越していた。しかし、その後数次にわたる車両の構造改良によりエンジン音の騒音に占める割合は減少した。現在では、定常走行であれば大型車の騒音の80%以上は路面とタイヤとの接触音であるといわれる。

このことから、舗装による道路交通騒音の低減対策として、タイヤが接触した際の音（タイヤ/路面音）を低減する舗装路面の特性が検討対象となった。舗装によるタイヤ/路面音の低減には、発生した音を至近距離で吸収させる吸音性能と、エアポンピング現象の発生を抑制する性能の二つが寄与すると考えられる。タイヤのトレッドパターン内の空気が急激に圧縮・解放されることによって発生するエアポンピング現象は、舗装の空隙でトレッドパターン内の空気の圧縮が緩和されることで抑制されるものと推定される。

また、吸音特性については、道路交通騒音の周波数特性（図-1）と、音響学的な吸音特性（図-2）を検討した結果から、排水性舗装の空隙による騒音低減が期待できるものであることが分かった。

(2) 騒音測定方法の検討経緯

道路交通騒音は、その被害の主な対象が沿道住民や歩行者であることから、官民境界あるいは車道端で測定することが一般的である。

この方法は、JIS Z 8731（騒音レベル測定から1999

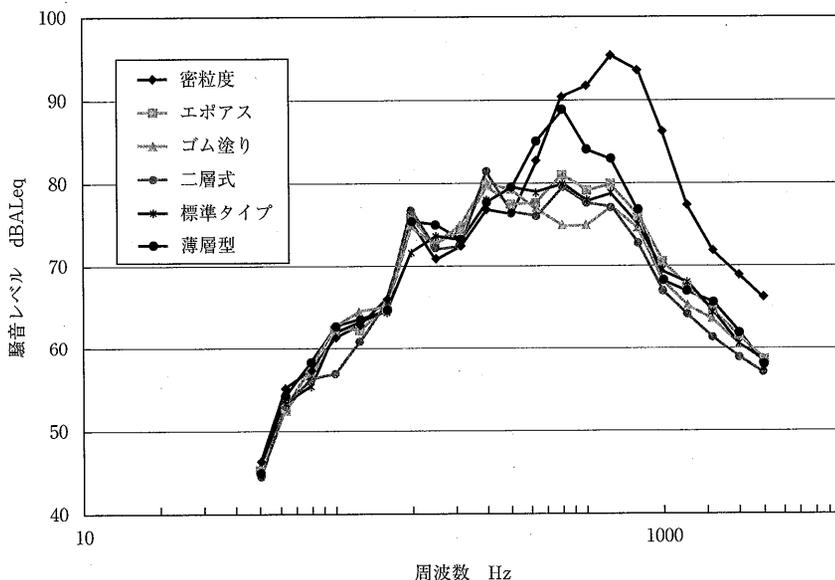


図-1 道路交通騒音の周波数特性

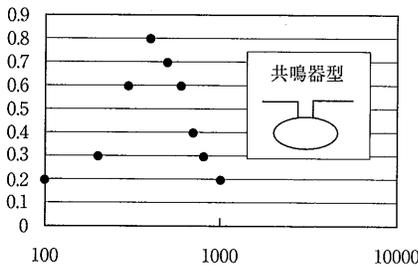
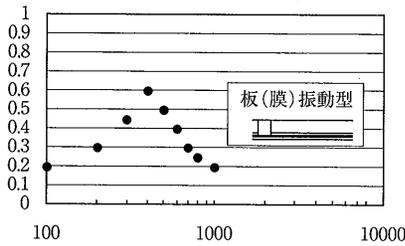
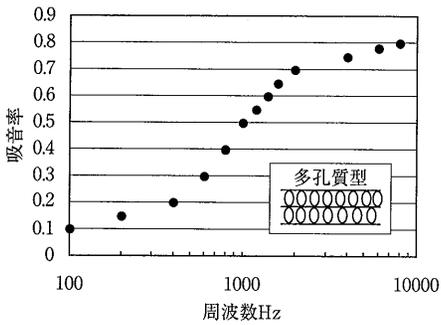


図-2 音響学的な吸音特性

年の改訂で環境騒音の表示・測定方法に改訂された)に準じる方法である。東京都における低騒音舗装の開発にあたっては、その効果の測定は低騒音舗装の舗設前・後にJISの方法で行ってきた(図-3)。

しかし、この方法によった場合、交通特性や自然環境の相違によって数値が大きく変動するため舗装路面に限定した定量的な評価が困難であった。

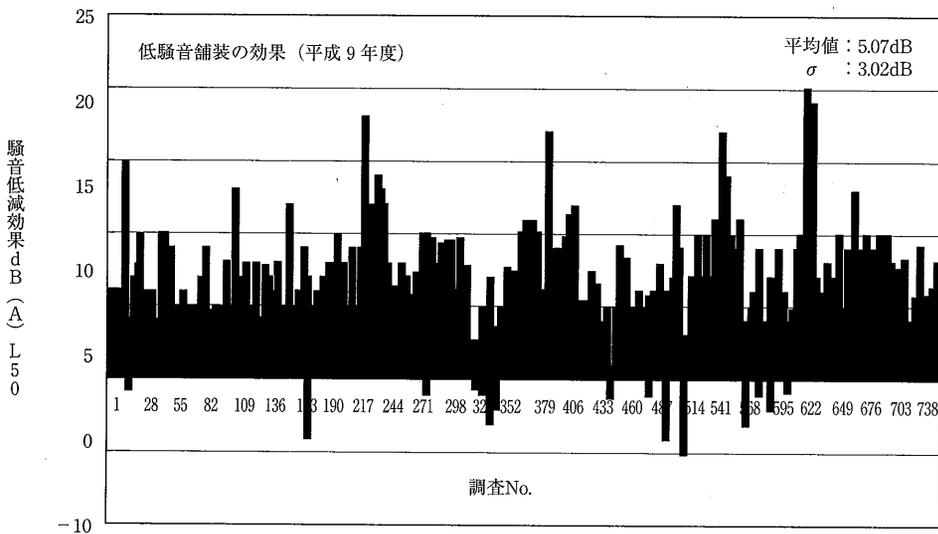
このため、路面に限定した評価測定方法を模索し、人工音源による反射音や小型車によるタイヤ近傍の転がり音を測定する方法を試みた³⁾。

その結果、当時東京都中小企業育成資金で(株)環境工学研究所が開発した路面騒音測定車(Road Acoustic Checker)^{4, 5)}によって低騒音舗装の試験舗装区間を評価するに至った。

路面騒音測定車の計測結果は、当初、「密粒度舗装との相対比較で性能を評価する」という考え方から、都道で一般的に舗設されている密粒度の舗装を測定した結果が平均値で98dBであったので、この数値との比較をもって評価に用いた。

(3) 路面騒音測定車による評価方法

平成10年度に関東地建(現関東地方整備局)が性能規定方式の試行として低騒音舗装を発注した際、その評価方法として路面騒音測定車を採用した。この測定方法の採用は、(社)日本道路協会の舗装委員会・基本問題小委員会(委員長:矢野善章)において多くの論議がなされた結果である。路面騒音測定車の詳細は参考



1測点で6データが原則であるが4データの箇所もあるため
n = 749であるが測点は約125カ所である。

図-3 低騒音舗装舗設による道路騒音の低減量

文献⁶⁾に示してあるので、測定機の機構についてはここではその概要を述べるにとどめ、合格判定用として用いるために検討した精度の検証方法と測定方法の詳細を中心として紹介する。

1) 測定の原理

① 測定器

路面騒音測定車は、特殊タイヤが発するタイヤ/路面音を測定する装置とスピーカー音源から拡散音場内に疑似騒音を発生させその反射音を測定し吸音特性を測定する装置を備えている。このうち、現在低騒音舗装の評価には特殊タイヤ音による測定のみが採用されているので、ここでは特殊タイヤ音による測定方法について紹介する。特殊タイヤ(写真-1)はトレッドパターンを工夫して、1000Hz前後の音圧レベルが5~10dBALeq高くなる特性を持つ。

測定時にはタイヤの浮き上がりを防止するために1輪あたり2.45kNの荷重をスプリングで載荷する。測定用のマイクは写真-2, 3に示すようにタイヤの近傍

に設置する。マイクには風切り防止のフードが取り付けられている。国土交通省・関東技術事務所所有車では、マイクの中心が特殊タイヤ後方の外周部と同じ位置(中心から195mm, 路面から220mm)に取り付けられている。マイクで取音した音は、車内における計測装置を通してデータ化し解析される。

測定時には、車速及び位置情報も同時に収録される。そのブロックダイアグラムの一例は図-4のとおりである。

② 事前のチェック事項

測定時には、騒音計の較正、特殊タイヤへの載荷重、特殊タイヤの空気圧、溝深さ及びマイクの設置

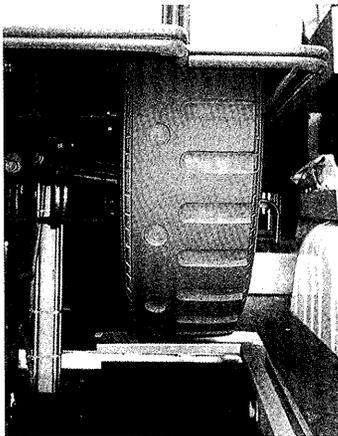


写真-1 特殊タイヤの形状

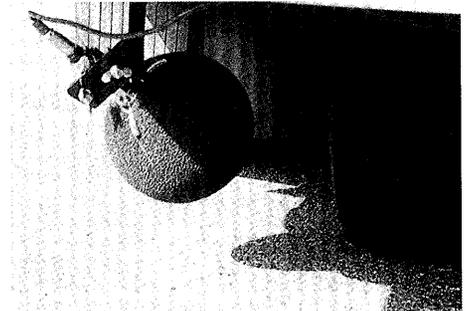
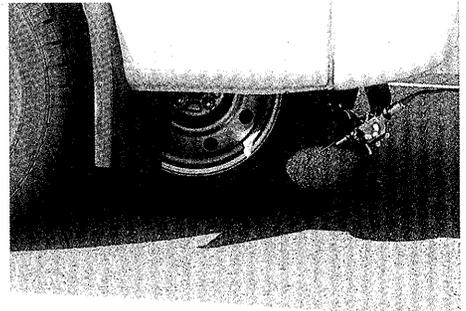


写真-2, 3 測定用マイクの位置 (側面と後方から)

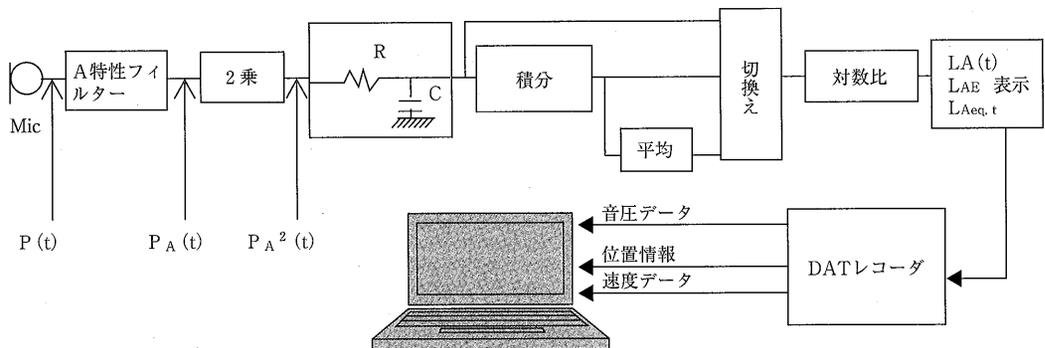


図-4 騒音計内部校正・計測及び分析ブロックダイアグラム

位置などを事前にチェックする。

3) 周波数範囲及び周波数補正回路

測定する周波数範囲は50Hz～5000Hzで、周波数補正回路は音の大きさに関する人間の聴覚を考慮した周波数重みA特性フィルターを用いる。

4) 測定速度

定常走行におけるタイヤ/路面音には、速度依存性があり、高速になるほど音圧レベルが高く（1 km/hあたり0.3dBA程度）なる（図-5）。このため一般道路の規制速度の上限である50km/hを標準速度と定めた。また、速度の許容誤差を0.5km/hとすることにより測定値の誤差を0.2dBA以下に制御するようにした。

5) 測定位置

走行車両のタイヤ/路面音は、タイヤと路面が直接接触する路面からの発音音である。このため、通常、タイヤが通る路面のうち、路側に近い左側輪跡部を測定位置とした。

6) 測定時期

降雨などにより路面が湿潤であったり空際に滞水がある場合には、水切り音や空際の閉塞により測定値が変動する。このため、降雨後24時間以内は測定を行わないものとした。

7) 騒音値の算出

騒音値は連続的に計測されたデータから、0.1秒（走行距離はほぼ1.4m）毎の計測値（全周波数の合計騒音値A.P. (all pass)）の等価騒音レベルを次式で算出する。

$$\text{等価騒音レベル (L}_{Aeq}) = 10 \log \left[\frac{1}{n} (10^{L_{A1}/10} + 10^{L_{A2}/10} + \dots + 10^{L_{An}/10}) \right]$$

ここに、L_{A1}～L_{An}は0.1秒ごとの測定値

なお、等価騒音レベルは、騒音値を時間に対して集計するものもあるが、ここでは距離に対する集計として定義し、等価騒音レベルを表現する、L_{Aeq, t}の計測時間を意味するtは付けなかった。

8) データの除外

路面標示による空際の閉塞やマンホールなど舗装でないものが路面にある場合には、舗装の評価とは異なる測定値となるため（図-6）、下式で示す数のデータを除外して評価する。

$$\text{除外データ数} = (\text{路面標示の実延長 (m)}) / (\text{データ間隔の距離 (1.4m)} + (\text{残響音時間 (0.5 s)})) / \text{データ間隔時間 (0.1 s)}$$

なお、残響音時間は実験により求めた値である。

(4) 今後の課題

排水性舗装は、建設省（現国土交通省）と日本道路

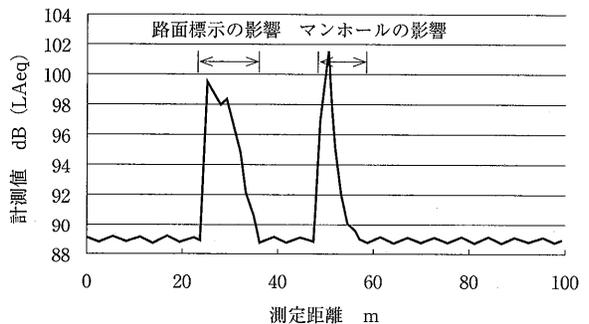


図-6 測定結果の除外区間

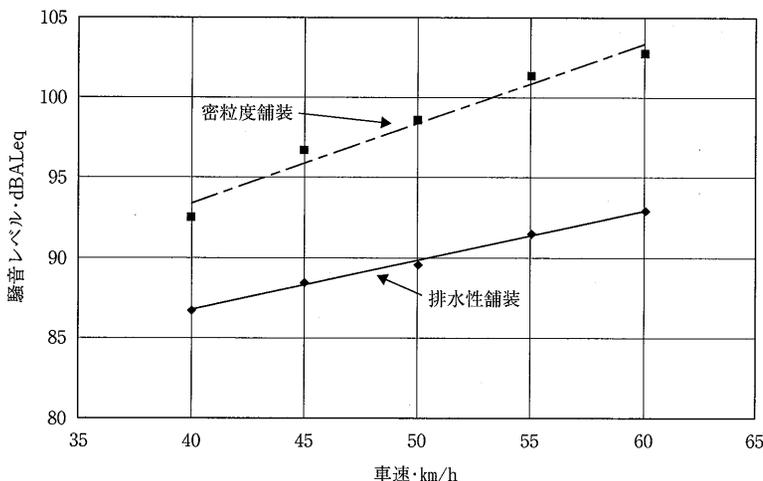


図-5 測定値の速度依存性

公団（JH）が試行した性能発注によって初期性能ばかりではなくその持続性を考慮した改善がなされている。その改善の方向は、①骨材の形状と粒度の工夫：骨材を整粒化するとともに最大骨材寸法を従来の13mmから少し小さくする、②層構成と層厚の工夫：上層の粒径を小さくし、下層の粒径を大きくする二層構造とする、③交差点部など特殊箇所：工区割りを大きくして継目と人力施工部を少なくするとともに、バインダーとして耐久性の高いエポキシアスファルトなどを使用する、などに整理できる。

今後、更に騒音低減機能を高める舗装としてゴム弾性舗装や空隙率を高めたコンクリート系の舗装などの開発が指向されている。

排水性舗装の最大の課題は、機能の持続性が短いことである。現在、想定されている機能の持続性は約5年程度である。このため、その初期の性能とともに持続性を高めることが、排水性舗装に課せられた今後の課題である。機能回復の方法として、現在高圧水による洗浄機械が開発されているが、何れも所定の性能が得られていない状況にある。今後機能回復機器の開発とともに性能の管理水準定め、その水準を維持する維持管理システムの構築が急がれる。

また、路面騒音測定車の台数が増加した場合に、車両毎の精度の較正が大きな課題となる。性能規定あるいは総合評価式落札方式等によって、より厳密な測定結果が評価の対象となることから基準路面による較正が必要となる。

さらに、騒音低減性能の最終的な評価基準は環境騒音をどの程度軽減するかであり、排水性舗装の環境騒音低減への定量的な効果を測定する必要がある。今後、自動車のパワーレベルを介した路面騒音測定車による測定結果と環境騒音の相関性の検討等を行い、排水性舗装が環境騒音の低減に貢献することを定量化し、排水性舗装を採用する意義のアカウントビリティの向上を図ることも重要である。

3. 透水性能の測定

(1) 何故透水性能を測定するのか

舗装工学においては、水密性の確保のためにその不透水性能を問題とすることが一般的であった。路盤から路床へ浸水することで路盤がエロージョン破損する危険性があるため、いかに浸水を防止するかが舗装技術の命題であった。しかし、歩道での透水性能舗装の適用に際して、逆に透水性能が評価対象となった。有

孔媒体あるいは土中の透水については、土質工学の分野では古くから多くの研究がなされてきた。層流の範囲において、次式のように土中の流速は動水勾配に比例するとするダルシーの法則を利用して土や舗装材料の透水係数を求めている。

$$v_x = k * i_x$$

しかし、現場において舗装構成層の透水係数を求めることは困難であるため、現場での測定は比較的容易に計測できる現場透水試験器を使用している。排水性舗装においても、降雨をいかに迅速に路面から排水するかの性能を計測する方法として、これを利用している。ここでは、現在使用されている現場透水試験器による測定方法および、今後の課題について述べる。

(2) 現場透水量試験

1) 試験器の概要

現場透水試験の試験方法は「舗装試験法便覧」に掲載され、さらに、「排水性舗装技術指針（案）」にその測定方法が示されている。

その概略は、400mlの水がφ8mmのバルブを介してφ130mmの開口部から舗装体内に透水する時間を測定し、下記のごとく15秒あたりの透水量を算出するものである（図-7）。

$$\text{現場透水量ml/15秒} = (400\text{ml} / \text{400mlの透水に要した時間秒}) \times 15\text{秒}$$

〔※400mlの水が透水した秒数をそのまま指標として用いている場合もある。〕

2) 適用範囲

この試験方法は、①試験器具が小型で運搬が容易で

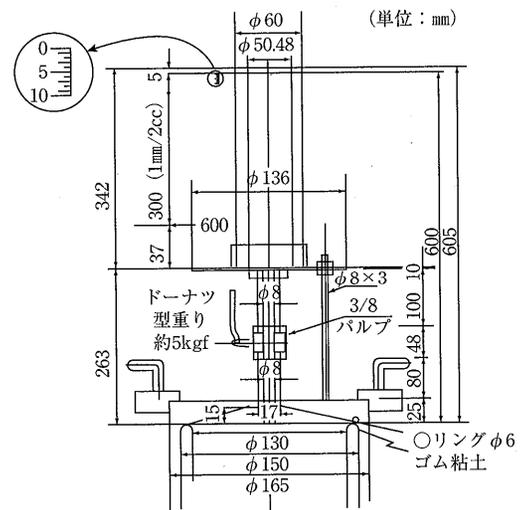


図-7 現場透水試験器

ある、②使用する水量が少ない、③試験結果が即時に判断できるといった利点から、工事の施工管理用として汎用性が高い。このため、工事の仕様に現場透水量を規定している場合が多い。また、追跡調査用としても、機動性に富み、工事完成時の数値と比較しやすいことから、採用されている事例が多い。

3) 留意事項

この試験方法を採用する場合の留意事項を以下に列記する。

①透水性が高い場合の識別能力不足

φ 8 mmのバルブを通過するよりもφ 130mmの路面に透水の方が早いような、高い透水性を有する場合、その透水性の大小を識別することができない。

②ゴム粘土の使い方による試験誤差

試験器の底面開口部の周りからの漏水を防止するために使用するゴム粘土が定められたリングの内側に入り込んで、透水させる接地面積が減少し、試験値に影響する場合があるので注意を要する。

排水性舗装の下側の透水性が減少している場合、一旦、舗装体内に透水させた水が、試験器の周囲から噴き上がってくる場合がある。この場合、試験器開口部の周囲を広くゴム粘土で覆っている場合と狭い場合で差が生ずる可能性があるため注意を要する。

(3) 透水試験方法の改善へ向けて

現在の透水試験器に対する改善意見として、ゴム粘土の使用量によって誤差が生じるためバルブの径を大きくし、ゴム粘土の使用量を均一とするための溝を穿った試験器を使用する⁷⁾。現場測定から透水係数を推定する方法の提案⁸⁾等が挙げられている。

何れにしても現在のように、路面に透水試験器を設置して透水性を測定する方法は、歩道舗装での測定を意識したものであり、車道舗装への適用に当たっては交通渋滞や測定車の危険を伴うという欠点がある。今後、走行しながら容易に計測できる方法の開発が不可欠である。

4. 今後の課題

従来、舗装への浸水は舗装工学上のアンチテーゼであった。しかし、「都市内の舗装の拡張は降雨を短時間に下水や河川に流出させる結果となり都市型洪水を頻発させる」、あるいは「ヒートアイランド現象の原因となる」といった指摘が少なくない。このため、新しい道路構造令にもあるように、今後、車道部において排水性舗装だけでなく透水性舗装の適用も積極的

に進められていくと推定される。この場合、車道の透水性を計測する機器として、これまで述べてきた透水試験器を採用するとしても、せいぜい出来形管理試験での使用に限定されるものであり、騒音測定と同様に線のあるいは面的に測定する計測器の開発が必然となろう。またその開発は、路面騒音測定機が開発時の特許出願では「道路舗装の透水性試験方法と装置」⁹⁾であったことから、さほど困難な課題ではないと考えられる。

5. おわりに

本特集は「舗装を測る」というテーマであり、本章では機能性舗装の性能測定について述べている。機能性舗装には、凍結抑制、すべり止め、騒音低減、振動抑制、雨水の一時貯留や地下水涵養、ヒートアイランド現象の緩和、NOxの吸着など、多岐多様なものがあり、今後更に多くのものが要請・開発されていくであろう。これらの要請に応えるためには、その有する機能・性能を定量的に明確化することが重要であり、アカウントビリティの向上につながる。

ここで紹介した、路面騒音測定車や透水機能の測定方法はあくまでも過渡期的なものであり今後ともその改善・開発への努力が必要である。

— 参考文献 —

- 1) 阿部, 田中, 岩田: 試験車走行による低騒音舗装の効率の評価, 第22回日本道路会議一般論文集(B), pp480-481 (1997.12)
- 2) 阿部忠行: 東京都の低騒音舗装, アスファルト196, pp35-41, 1998.7
- 3) 東京都土木技術研究所: 低騒音舗装に関する調査報告書, 平成6年3月
- 4) 東京都商工指導所: 融合化産学公: 成果事例集, 平成8年度(1996)
- 5) 大久保他: 都市内道路の低騒音舗装性能の測定について, 日本騒音制御工学研究発表論文集, 1996
- 6) 阿部忠行: 低騒音舗装の効率の評価方法, 舗装, pp4-8, vol.33, NO.11, 1998
- 7) 草刈他: 現場透水量試験についての一考察, 舗装, pp18-23, vol.33, No.11, 1998
- 8) 渡辺他: 排水性舗装の現場透水試験, pp24-28, vol.33, No.11, 1998
- 9) 特許公報(第2559658号), 道路舗装の透水性試験方法及び装置, (株)環境工学研究所, 1996.12.4

第8回アスファルト舗装に関する国際会議論文抄録（その1）

今回報告します、第8回アスファルト舗装に関する国際会議は、1997年8月に、米国ワシントン州シアトルのワシントン大学で開催されました。総論文数は119編で、全ページ数1669ページです。全編で23章に分かれており、今回は、次の11章について報告します。舗装設計法、交通と荷重の考察、配合設計と配合特性、施工における品質管理技術、供用性の事例研究、SMA、舗装の維持管理と予防、リサイクリング、リ

サイクルとその材料、舗装モデル、土と粒状材料の特性です。

最近、各国際会議の論文数が多くなる傾向に伴い、抄訳作成に追われて、更に内容を吟味して、より深い内容を報告する余裕が無くなっている状況です。今後、抄訳紹介の方法について検討する必要があると感じています。

(研究グループ代表幹事：峰岸順一)

アスファルト舗装技術研究グループ名簿

* は班長 ** は副班長

峰岸順一 東京都土木技術研究所技術部舗装研究室

- | | | | |
|---------|--------------------|---------|--------------------|
| * 阿部長門 | 東亜道路工業(株)技術研究所 | 高橋茂樹 | 日本道路公団試験研究所舗装研究室 |
| 市岡孝夫 | 前田道路(株)技術研究所 | 高橋光彦 | 大成ロテック(株)技術研究所 |
| 岩塚浩二 | (株)パスコ道路センター | 坂本祥子 | 日本道路(株)技術本部技術研究所 |
| 上野貞治 | ニチレキ(株)技術研究所 | 武本敏男 | 東京都土木技術研究所技術部化学研究室 |
| 打田幸平 | 日進化成(株)第一技術研究所 | 立石大作 | 日石三菱中央技術研究所 |
| 江向俊文 | 前田道路(株)技術研究所 | 東本 崇 | 大林道路(株)技術研究所 |
| 岡藤博国 | 世紀東急工業(株)技術部 | ** 玉木琢雄 | 大成ロテック(株)技術部 |
| 鎌田孝行 | 常盤工業(株)技術研究所 | 中村 健 | 長岡技術大学 |
| ** 金井利浩 | 鹿島道路(株)技術研究所 | 長谷川淳也 | 日本道路(株) |
| 黒田 智 | 日本舗道(株)技術研究所 | 林 信也 | 鹿島道路(株)技術研究所 |
| * 小関裕二 | 大林道路(株)技術研究所 | 藤井一章 | 日進化成(株)第一技術研究所 |
| * 佐々木巖 | 独立行政法人土木研究所 | 舟根 毅 | 常盤工業(株)技術研究所 |
| 佐々木昌平 | 日本舗道(株)技術開発部 | 前田利明 | 東亜道路工業(株)技術研究所 |
| 佐藤雅規 | ジオサーチ(株) | * 増山幸衛 | 世紀東急工業(株)技術部技術一課 |
| 清水浩昭 | 世紀東急工業(株)技術研究所 | 村田信之 | 日本舗道(株)企画部 |
| 島崎 勝 | 大成ロテック(株)技術部 | 山脇宏成 | (株)ガイアートクマガイ技術研究所 |
| 神野正博 | ニチレキ(株)道路エンジニアリング部 | 矢島浩二 | 昭和シェル石油(株) |
| 鈴木秀輔 | 大成ロテック(株)技術研究所 | 保本敏伸 | ニチレキ(株)技術研究所 |
| 鈴木康豊 | (株)パスコ道路センター | 吉村啓之 | 前田道路(株)技術研究所 |
| 鈴木 徹 | 大林道路(株)技術研究所 | | |
| ** 関口英輔 | 日本大学理工学部阿部研究室助手 | | |

計42名

第8回アスファルト舗装に関する国際会議論文抄録（その1）

舗装設計方式

(1)著者名 (2)原文題名 (3)ページ (4)和文題名(抄訳者名) (5)論文概要

- (1) Nunn, M. (イギリス)
(2) Long-Life Flexible Road
(3) pp.3~16
(4) 長寿命たわみ性舗装道路について (武本敏男)
(5) 英国では1950年代初頭よりたわみ性舗装が導入され1984年にマニュアルが改定された。密粒度アスファルト混合物供試体 (DBM) について舗装面のわだち掘れ量, 疲労劣化, 表層ひび割れ, たわみ量に関する調査を実施した。
この結果, 舗装厚とわだち掘れ量の関連性はみられず, 単位交通量あたりのわだち掘れ量でみても, 舗装厚180mmから360mmでは相関はない。針入度は, 供用直後(約70)から15年経過後で約20~50の間に低下し, 混合物のステイフネスは, 供用年数の経過と共に増加する。これらの結果から, たわみ性舗装の機能低下は, 構造的なものではなく, 表層のわだち掘れ, 初期ひびわれによりはじまるとしている。

- (1) Parry, A. R., Phillips, S., Potter, J. F., and Nunn, M. E. (イギリス)
(2) UK Design of Flexible Composite Pavements
(3) pp.17~24
(4) コンポジット舗装の英国の設計 (阿部長門)
(5) 英国の舗装設計ガイドは, 重交通対応のコンポジット舗装の設計を選択できるように改訂された。この新しい設計では, セメント安定処理路盤の曲げ応力は供用期間中の温度曲げ応力と交通量や質による曲げ応力を組み合わせたものより大きくなるという考え方に基づいている。アスファルト混合物の厚さは, これらの応力とリフレクティブクラックを低減し, クラックの発生を抑制するように決定される。
コンポジット舗装の供用中の交通量は標準軸数で1億回に達した。

- (1) Eckmann, B. (ベルギー)
(2) New Tools for Rational Pavement Design
(3) pp.25~42
(4) 新しい手法による合理的なアスファルト混合物配合設計について (飯田健一)
(5) これまで用いられてきた舗装の設計プログラムの問題点である, 入力パラメータの煩雑さ, 信頼性等を改善することを目的とした新たなシステム開発の結果について報告する。システムの概要は, アスファルト混合物のステイフネスおよびびびずみデータなどをROSENBLUETH変換により簡易なデータに変化し, 計算を容易にしている。
このプログラムは, これまで用いられていたNOAHと比較し, より信頼性の高いシステムであり, 各種パラメータ(交通量, 荷重条件, 気温・湿度などの気象条件)も考慮している。

- (1) Hass, R., and Kazmierowski, T. (カナダ, 中国)
(2) Pavement Design and Management Guide
(3) pp.43~59
(4) カナダにおける新たな舗装の設計と管理手法について (飯田健一)
(5) カナダにおける近年の社会情勢を考慮した, 舗装の設計と管理手法を改良する目的で実施した各種研究成果の報告である。カナダでは1950年代より舗装の設計手法に関する指針を策定し, 過去数回にわたって改訂を実施してきた。しかし, 近年の交通環境の大きな変化により, さらなる指針の見直しが必要になった。この指針の変更内容は, 維持修繕に関する基準, 舗装材料及び物性値に関する基準, 舗装の構造設計とその経済性, 将来予測などである。

- (1) He, Z., Kennepohl, G., Cai, Y., and Haas, R.. (カナダ)
- (2) Development of Performance Models for Ontario's New Mechanistic-Empirical Pavement Design Method
- (3) pp.61~77
- (4) **オンタリオ州における新しい舗装設計手法、パフォーマンスモデルの開発** (黒田 智)
- (5) カナダのオンタリオ州では、1970年当初よりOPAC (Ontario Pavement Analysis of Cost) というパフォーマンスモデルを用いた舗装設計手法を適用してきたが、舗装の応力とひずみといった構造的・理論的なモデルと現場で得られる経験的なモデルを長期のパフォーマンスデータで補正して、新たにOPAC2000を構築した。
- 当該設計法の背景にある、道路のパフォーマンス予測式の考え方、解析精度向上のためのクラスタリング手法、環境への負荷も含めたライフサイクルコスト解析の手法なども紹介されている。

- (1) Bayomy, F. M., Al-Kandari, F., and Nassar, W. M. (アメリカ)
- (2) Computer Aided Overlay Design System for Flexible Pavements
- (3) pp.79~92
- (4) **コンピュータを用いたたわみ性舗装のオーバーレイ設計システム** (岡藤博国)
- (5) オーバーレイ設計のためのFLEXOLAYと呼ばれる多層弾性計算プログラムでは、わだち掘れと疲労解析に基づいてオーバーレイ厚さを決定する。必要オーバーレイ厚を決定するための交通条件として、将来の交通量の伸びと交通履歴を考慮している。既設舗装の評価を非破壊試験であるFWDにより行う。他の地域における気候の季節変動もフレキシブルに取り扱うことが可能である。他の設計プログラムとの比較を行った結果、各プログラム間で解析結果に差があることが示されている。

- (1) Corley-Lay, J. B., and Qian, Y. (アメリカ)
- (2) Progress and Pitfalls for a Dot-Developed Mechanistic Design Procedure
- (3) pp.93~103
- (4) **州交通局の開発した舗装の力学的設計法の発展と課題** (関口英輔)
- (5) ノースカロライナ州交通運輸局は、24試験区間での3年間に及ぶFWD試験と舗装の状態評価に基づき、舗装の力学的・経験的設計法を開発した。粒状路盤、瀝青安定処理路盤、セメント安定処理路盤の3タイプの試験区間において、ひずみの実測値と種々の手法による計算値を比較検討している。
- 薄層アスファルト区間でのJungの手法によるアスファルト混合物下面の水平引張りひずみは、ThompsonのAUPP (Area Under the Pavement Profile) と一致した。Jungの手法は、アスファルト混合物層が厚い場合にひずみを過大予測する傾向がある。

- (1) Meny, Y., and Qisen, Z. (中国)
- (2) Research on Design Method of The Asphalt Pavement
- (3) pp.105~114
- (4) **アスファルト舗装の設計方法に関する研究** (古里典久)
- (5) 中国では、最近10年間に数多くの主要道路と高速道路が施工された。そこで、たわみ性舗装設計JTJ014-86に基づいた新しい設計法の研究を行い、アスファルト舗装を設計する際に、疲労破壊、わだち掘れを考慮し、引張り応力、たわみ測定を行うことにより設計式を求めている。
- アスファルト舗装の舗装材料と構造を組合せて層厚を計算する方法を導きだしたことにより、中国における道路舗装の施工を進展させることが出来るとしている。

交通／荷重の考察

- (1) Pidwrbesky, B. D., and Steven, D. (ニュージーランド)
- (2) Dynamic Loading Effects on Flexible Pavement Performance
- (3) pp.117~128
- (4) **たわみ性舗装の供用性に動的荷重が与える影響** (鈴木秀輔)
- (5) 動的軸荷重の舗装レスポンスと劣化への影響を調査するために、カンタベリー促進舗装試験の屋内設備において実験を行った。初期の測定結果から、舗装に影響を与えるものとしてスラブユニットによる動的荷重が指摘されると

もに、動的な車輪の載荷と舗装の疲労には良い相関が見られた。また、舗装の疲労モードと水準は、特殊なサスペンション特性に依存しており、鋼製の板バネ、オイルそしてエアサスペンションの順番にランク付けされた。この結果は、ピークを示す動的荷重と舗装のダメージを直接結びつけたものである。

(1) Himeno, K., Ikeda, T., Kamishima, T., and Abe, T. (日本)

(2) Distribution of Tire Contact Pressure of Vehicles and its Influence on Pavement Distress

(3) pp.129~139

(4) 車両のタイヤの接地圧分布と舗装破損への影響

(金井利浩)

(5) 幅14mm、長さ18mmのピエゾエレクトリックセラミックセンサーを敷き詰めた荷重測定装置上を、速度の水準を変えて様々なタイヤを走行させ接地圧を測定した。測定結果から得られた接地圧と平均接地圧により、散逸エネルギー理論を用いた疲労解析を行い、両者の疲労回数を比較している。

その結果、接地圧分布はタイヤのタイプ、特にトレッドパターンに大きく依存すること、平均接地圧と輪荷重は直線関係にあること、解析に用いる接地圧の設定方法により疲労寿命が大きく異なることなどがわかった。

(1) Dai, S.T., Deusen, D.V., Beer, M., Rettner, D., and Cochran, G. (アメリカ)

(2) Investigation of Flexible Pavement Response to Truck Speed and FWD Load Through Instrumented Pavements

(3) pp.141~160

(4) トラック走行荷重とFWD荷重によるたわみ性舗装の反応

(安井由喜夫)

(5) 舗装設計において、実際の交通荷重の下で舗装性能を把握することが不可欠とし、Mn/ROADではセンサーを埋設したたわみ性舗装において、10~103km/h間の様々な速度でトラック走行試験を行い、速度の違いによるひずみの発生について測定し、FWDによるひずみとの比較を行っている。

走行試験の結果、平坦な舗装 (IRI=0.97m/km) では、トラックの走行速度が上昇すると舗装下部のひずみが減少するのに対し、凹凸のある舗装 (IRI=1.74m/km) では、103km/hの高速走行時におけるひずみは逆に増加することが判明した。また、サスペンションについては、低速では空気式、高速では板バネ式のサスペンションによって、大きいひずみが発生することが判明した。

(1) Prozzi, J. A., and de Beer, M. (南アフリカ)

(2) Mechanistic Determination of Equivalent Damage Factors for Multiple Load and Axle Configurations

(3) pp.161~178

(4) 多数の荷重と軸配置に関する等価損傷係数の力学的決定

(山脇宏成)

(5) 南アフリカでは、過去20年間にわたる重荷重シミュレータ試験により単軸荷重に対する等価損傷係数 (EDF) を開発した。しかし、この方法では多様な軸配置 (タンデム、トライデム軸) のEDFを容易に算出できないため、支持力の異なる舗装において多様な交通荷重および軸配置についてEDFを計算するための方法を検討した。

この結果、従来の4乗則に基づく軸毎のEDFの算出に比べ正確なダメージ評価ができ、舗装の寿命予測、投資コストをより客観的に評価することが可能となったとしている。

(1) de Beer, M., Fisher, C., and Jooste, F. J. (南アフリカ)

(2) Determination of Pneumatic Tyre/Pavement Interface Contact Stresses Under Moving Loads and Some Effects on Pavements with Thin Asphalt Surfacing Layers

(3) pp.179~227

(4) VRSPТАシステムを用いたアスファルト舗装の接地圧測定について

(江向俊文)

(5) 低速で移動するタイヤとアスファルト舗装の接地圧を3次元的に定量化することを試みた研究である。接地圧の測定は、圧力センサーが15~17mm間隔で埋め込まれたマットを組み込んだVehicle-Road Surface Pressure Transducer Array (VRSPТА) システムを用いている。7種類のタイヤの輪荷重と空気圧を変化させ、マット上を通過するタイヤの垂直、横、縦方向の圧力を測定するとともに、有限要素法を用いて数値解析を行っている。測定は主に薄層舗装 (50mm以下) において行われ、接地圧がタイヤ縁部では輪荷重に依存し、タイヤ中央部では空気圧に依存することが証明されている。

(1) Chadbourn, B. A., Newcomb, D. E., and Timm, D. H. (アメリカ)

(2) Measured and Theoretical Comparisons of Traffic Loads and Pavement Response Distributions

(3) pp.229~238

(4) 交通荷重と舗装内ひずみ分布の測定値と解析値の比較

(小関祐二)

(5) 実際に測定された交通荷重による舗装内のひずみ分布と解析値の比較, ならびに多層弾性理論を用いた舗装のパフォーマンスの予測に関する報告である。ミネソタ州のMn/ROAD試験舗装における舗装厚や路盤材料などが異なる6つのアスファルト舗装区間において, 交通荷重によるひずみ分布を測定し, 多層弾性解析プログラムWESLEAで解析した。アスファルト混合物, 路盤材料, 路床材料は室内でレジリエント係数を測定し, 交通荷重は動的荷重を測定するWIMシステムで測定した。一定のタイヤ圧と荷重の大きさを変えた複輪荷重をモデル化すると, 測定されたひずみと解析値は良い相関があるという結果が得られた。測定値と解析値の差は舗装材料の非線形挙動によって説明できるものである。

(1) Blab, R., Molzer, C., and Litzka, J. (オーストリア)

(2) Modification of the Austrian Guideline for Standardized Asphalt Pavements

(3) pp.239~246

(4) オーストリアのアスファルト舗装標準設計基準の改定

(佐々木巖)

(5) オーストリアのアスファルト舗装設計基準 (RVS3.63,1986年) は, 4乗則による換算を適用して3種類5段階の舗装区分ごとに舗装厚を得るが, 連邦道路では重交通化が進み軸重及び軸構成が大きく変化してきているために, 標準設計方法の見直しが必要となっている。疲労破壊基準へのアプローチとして多層弾性理論による応力ひずみ分布を参照し, 横断位置ごとの通過確率分布等により実交通条件の適用を試みている。そして, シングル及びダブルタイヤ, タンデム及びトライデムなどの様々な組合せについて導いた疲労破壊関数を導いて, 設計手法提案のための資料としている。実際の設計基準への適用にあたって, 3種類の車種区分と交通量データを用いて設計を実施できるような換算法を提案している。

配合設計／配合特性

(1) Roque, R., Huang, S., and Ruth, B.E. (アメリカ)

(2) Maximizing Share Resistance of Asphalt Mixtures by Proper Selection of Aggregate Gradation

(3) pp.249~268

(4) 骨材粒度がアスファルト混合物のせん断抵抗性に与える影響

(佐々木巖)

(5) 骨材粒度がせん断抵抗性に与える影響を調べるために, 配合条件を変化させたアスファルト混合物のせん断挙動を調べた, 基礎的な室内実験研究成果の報告である。最密充填状態からSMA粒度までの, 18種類の異なった配合のアスファルト混合物を作製し, ジャイレトリ試験によりせん断挙動を試験した。骨材の大きさ, 形状, 密粒化の程度がせん断抵抗性に与える影響の評価結果から, 細粒分が粗骨材間隔を広げたとしてもなお粗骨材の配合条件がせん断抵抗性を支配することが確かめられた。クラムラバー改質バインダは, SMA等の粗粒度の配合のせん断抵抗性や空隙率にはあまり影響を与えなかった。

(1) Khalid, H. A. (イギリス)

(2) Design and Fatigue Behaviour of Emulsified Bitumen Macadams for Highway Reinstatement

(3) pp.270~pp.282

(4) 高速道路補修用のアスファルト乳剤を用いたマカダム舗装の疲労挙動と配合設計

(伊島浩二)

(5) ポリマー改質アスファルト乳剤を用いたマカダム舗装 (EBM) 材料の性能評価ならびに加熱混合物との比較評価である。ポリマー改質アスファルト乳剤は, 針入度100のアスファルトにEVAおよびSBSポリマーを添加し, 乳化されたものである。これら乳剤を用いたEBM, 従来のEBM, 針入度200のアスファルトを用いた加熱混合物を応力制御可能な3点曲げ疲労試験で試験し, 線形弾性理論のもとにひずみと疲労の関係を導き出した。疲労試験において算出されたひずみから構造等価要素が算出され, 舗装寿命を評価した。改質アスファルト乳剤を用いたEBMは, 加熱混合物と同等以上に優れていることが確認された。

(1) Francken, L., Eustacchio, E., Isacsson, U., and Partl, N.

(2) Recent Activities of RILEM TC 152-PBM "Performance of Bituminous Materials"

(3) pp.283~299

(4) RILEM TC 152-PBM「瀝青材料の性能」の最近の活動 (古里典久)

- (5) RILEMテストプログラムに基づいて14の国から23の研究機関が参加し、バインダー特性を重視した材料試験、配合設計、混合物試験を行った。各研究機関においてRILEM TC 152-PBMに従い、バインダーほか舗装構成材料、混合物配合、舗装構造、混合物性状等の試験を行った。各研究機関により混合物配合設計の試験結果は異なる結果となった。また他の試験結果においても試験機器の相違、再現精度、人的精度等の様々な要因により結果に差が見られた。RILEMテストプログラムは材料試験、配合設計に有用なガイドラインではあるが、今後行われる試験機器、再現精度、人的精度の改善が期待される。

- (1) Harbey, J. T., Deason, J. A., Tayabali, A. A., and Leahy, R. B. (アメリカ)

- (2) A Reliability-Based Mix Design and Analysis System for Mitigating Fatigue Distress

- (3) pp.301~323

(4) 疲労破壊に対する信頼性に基づく混合物設計と解析法 (立石大作)

- (5) 舗装体の設計は混合物性状のみならず、交通条件・気象条件・舗装体構造・施工条件などを考慮すべきである。信頼性に基づいた混合物設計を目標に、特に舗装体の耐疲労性に対する影響因子の検討を行った結果、施工条件の管理が非常に重要であり、特に疲労特性に注意を払いたいのであれば、空隙率の精密な制御が必要であることが判明した。また路盤材の評価においては、アスファルト量を0.5%程度多めに設定し、かつ十分な締め固めを行った舗装体 (Rich Bottom Pavement) は、その耐疲労特性に向上が見られた。

- (1) Serfass, J.P., Bense, P. and Pellevoisin, P. (フランス)

- (2) Properties and New Developments of High Modulus Asphalt Concrete

- (3) pp.325~pp.333

(4) 高弾性アスファルトコンクリートの開発と特性 (鈴木康豊)

- (5) フランスで1970年代前半から研究が行われてきた、高粘度アスファルト、改質アスファルト、ポリオレフィン改質アスファルトなどによる高弾性アスファルト混合物について、室内試験による性状評価と、実道路での供用性モニタリングについてその適用性を述べたものである。さらに、疲労抵抗性の高い新しいタイプの混合物も検討されている。高弾性アスファルト混合物は、強度、わだち掘れへの抵抗性に優れており、重交通路線の新設やオーバーレイ、重車両の駐車場、舗装厚の低減等に適するとしている。疲労抵抗の高いタイプの混合物も検討されている。経済性にも優れた範囲に使用されつつある。

- (1) Button, J. W., Fernando, E. G., and Crockford, W. W. (アメリカ)

- (2) Design and Evaluation of Large Stone Asphalt Mixtures

- (3) pp.335~346

(4) 大粒径アスファルト混合物の設計と評価 (黒田 智)

- (5) バラストと各アスファルト混合所が抱える骨材ストックを有効利用し、配合上適切な骨格構造が得られるような大粒径アスファルト混合物の配合設計手法の確立を目的として、骨材間隙率等を計算し、骨格構造を形成する骨材配合比と適切なバインダー量が出力されるシステムである。試験施工による評価から、①骨材が骨格構造を形成するよう配合設計された大粒径の密粒度タイプの混合物、②骨格構造の形成が不十分な大粒径の密粒度タイプの混合物、③骨格構造が形成された開粒度タイプの混合物のわだち掘れ量は、①、③、②の順に小さく、開発したシステムによる配合設計の有効性が確認されている。

施工特性制御と技術

- (1) Hachiya, Y., and Sato, K. (日本)

- (2) Effect of tack Coat on Bonding Characteristics at Interface between Asphalt Concrete layers

- (3) pp.349~pp.361

(4) アスファルトコンクリート層間付着におけるタックコートの効果 (鈴木 徹)

- (5) アスファルトコンクリート層間の付着力に影響を与えるタックコートの施工に関して、境界面の汚れやタックコートの養生時間などの要因について考察し、新しいタックコート材料を開発する観点から付着を確保する方策について検討している。多層弾性理論により表基層接合面の応力を算出し、せん断ならびに引張の室内試験により境界面に

ける付着強度を評価している。数値解析の結果から、層間剥離からアスファルトコンクリート層の破壊に至る破壊現象を推定するとともに、施工間隔、養生時間、ゴム入りアスファルト乳剤等について破壊防止対策のための試験結果を報告している。

- (1) Kandhal, P. S., and Mallick, R. B. (アメリカ)
- (2) Longitudinal Joint Construction Techniques for Asphalt Pavement
- (3) pp.363~379
- (4) **アスファルト舗装における縦ジョイントの施工に関する研究** (佐藤雅規)
- (5) ミシガン, ウィスコンシン, コロラドおよびペンシルバニア州における31現場で1992年から実施した, 転圧, ジョイント成形手法, 処理法などの12種類の縦施工ジョイント施工方法に関して比較評価を行った研究結果をまとめたものである。この結果, 最初の施工レーンとの縦ジョイントに152mm (6 inch) かぶせて転圧する方法, 最初のレーンが冷える前にグレーダを用いてジョイント部を斜めに削る方法, ゴム入り乳剤を用いる方法などが良好な結果を示したとしている。また, ジョイント部をバーナなどであらかじめ温めておく方法が一番悪い結果であった。

- (1) Dunn, K. D., Gray, J. A., Hicks, R. G., and Gowwer, J. (アメリカ)
- (2) Development of Performance-Related-Specifications for Porous Pavements in Oregon
- (3) pp.381~397
- (4) **オレゴン州におけるポーラスアスファルト舗装の供用性能に与える仕様に関する研究** (佐藤雅規)
- (5) オレゴン州では1990年から1995年に950kmにおよぶポーラスアスファルト舗装が行われたが, 施工直後の降雨での部分的な滞水現象, 早期のわだち掘れ, アスファルトの剥離が問題としてあがった。このため, 各段階の品質管理を調査し, 舗装の供用性に与える仕様が再点検した。オレゴン, フロリダ, ネバダ州の配合設計仕様(骨材粒度, アスファルト量, 混合物温度, 水分量等)の比較検討, および, 現路面の供用性能およびプラント-現場での品質管理について分析を行った。この結果, アスファルト量, 骨材粒度, 水分量, 現場での転圧方法が重要なポイントであると示している。

- (1) Noireldin, A. m. (エジプト)
- (2) Quantifying The Impact of Construction Specifications on Asphalt Pavement performance Life
- (3) pp.399~pp.420
- (4) **アスファルト舗装のパフォーマンスライフにおける施工仕様書情報の数量化** (鈴木 徹)
- (5) 品質管理項目から得られたパフォーマンス特性の各現場での偏差から舗装パフォーマンスにおける損害(あるいは利益)を予想評価するアプローチを報告するものである。各サイトにおけるアスファルト量と弾性係数の関係および実際の骨材間隙率の関係から, 最適アスファルト量と許容範囲を明らかにした。また, ESALs-Achieved/ESALs-Specified=Rと各因子(配合時と実際の現場アスファルト量, 締固め度, 骨材間隙率, アスファルト層厚, 平坦性)の関係性を明らかにした。舗装パフォーマンスライフは初期の舗装の平坦性とアスファルト層厚に影響されることがわかった。各影響因子(アスファルト量, 路床・路盤・表層の締固め度, 骨材間隙率等)の増減に対してのパフォーマンスライフの増減が示されており興味深い。

- (1) Scherocman, J., and Decker, D. (アメリカ)
- (2) Field Management of Hot Mix Asphalt Mixtures
- (3) pp.421~438
- (4) **アスファルト混合物の室内と現場配合の相違点に及ぼす要因分析** (市岡孝夫)
- (5) 室内配合と現場配合の違いに影響を与えている要因を, 骨材, アスファルト, プラント製造工程, 混合物の貯蔵および運搬の各工程別に整理し, それら要因の重要度に応じてランク付けをおこなったものである。混合物の長期強度および耐久性を決定するアスファルト混合物の体積特性(VMA, 空隙率, アスファルト量等)に影響を及ぼす要因について0~10の10段階評価を行い, 室内配合と現場配合の相違を調べている。影響度の高いものとして, サンプル採取, 輸送, 有害不純物, 水洗, 石粉粒度, 粗骨材形状, 納入される骨材の粒度変動などを挙げている。

- (1) Nesichi, S., Choustere, I., and Divinsky, M. (イスラエル)
- (2) Introducing Quality System to Asphalt Mixing Plants - The Israeli Experience
- (3) pp.439~455

- (4) イスラエルにおける品質管理システムの紹介 (市岡孝夫)
- (5) イスラエルが独自に開発した品質管理システムの詳細と研究途中に発生した問題点等について記述したものである。現在最も一般的に用いられている品質管理方法は、かさ密度、アスファルト量、フィラー量等に対して個別に品質管理基準値を設定した統計的評価の品質評点 (QM: Quality Mark) である。しかし、近年のアスファルト混合物製造量の急激な増加により、品質管理に対する発注者側の負担が増大してきたため、製造者に対する要求事項が年々増大している。このため、①アスファルト混合物製造に関するISO9002の要求事項に適合した品質管理システム、②製造管理および文書化の自動化に重点を置いた技術的要求等、ISO9000シリーズに基づいた新しいプラント品質管理システムが注目を集めはじめています。

実績 - 事例研究

- (1) Chan, F. K., and Armitage, R. J. (マレーシア, イギリス)
- (2) Evaluation of Flexible Pavements in the Middle East
- (3) pp.459~469
- (4) 中東におけるたわみ性舗装の評価 (立石大作)
- (5) FWD, DCP (Dynamic Cone Penetrometer), 地中探査機を用いた舗装体の状況 (舗装厚やコンディション) の調査結果を報告している。カタールの3000個所以上の地点で実施されたFWDを使用した調査結果の解析より、たわみレベル, スティフネス, 舗装体の寿命, 修正構造指数 (MSN) らの間の関係を明らかにした。また室内試験であるノッチングアスファルトテスター (NAT) からのデータとの関係を見出すことを試みた。NATとはアスファルト混合物のスティフネス, 変形抵抗性, 耐疲労クラック特性を評価する試験機である。

- (1) Huhtala, M., Pihlajamaki, J., and Halonen, P. (フィンランド)
- (2) Pavement Response due to Dynamic Axle Loads
- (3) pp.471~485
- (4) 動的軸荷重による舗装の応答 (伊藤達也)
- (5) 舗装に加わる動的荷重は、道路の平坦性, 車のサスペンションや速度などに依存すると言われている。そこで、これらの違いにより舗装内に生じるひずみがどのように変化するかをフィンランドのVirttaa試験場で調査した。アスファルト混合物層が厚い場合、試験車の種類に関係なく、アスファルト層下面のひずみはタイヤ荷重と直線関係があるが、段差のサイズによりこの傾きが変化することがわかった。一方、薄い場合、ひずみと荷重との関係は試験車の種類で異なり、この原因として空気圧と荷重で変化するタイヤ接地形状が大きく関与していると考えている。

- (1) Dunn, L. and Gavin, J. (カナダ)
- (2) The C-SHRP Lamont Test Road Five Years of Performance Monitoring
- (3) pp.487~506
- (4) C-SHRP LAMONT試験道路の5年間にわたる低温クラックの追跡調査 (鈴木俊行)
- (5) カナダのアスファルト規格区分が、SHRPスーパーペープのPGグレードとどのように対応するか立証した。ポリマー改質アスファルトを除く、針入度80/100~300/400の7種類のアスファルトを用いて試験施工を行い、5年間の低温クラックの発生本数を調査した。追跡調査の結果、2年目の越冬後からアスファルト種類によって、低温クラックの発生本数に違いが見られ、5年目の越冬後の低温クラックの発生本数は最小が1kmあたり0本、最大が144本であり、SHRPのPG仕様は合理的に舗装の低温時のパフォーマンスを予測すると考えられる。

SMA

- (1) Brown, E. R. and Haddock, J. E. (アメリカ)
- (2) Characterization of Stone Matrix Asphalt Mortars
- (3) pp.509~524
- (4) STONE MATRIXアスファルトモルタルの特徴 (武本敏男)
- (5) ヨーロッパ諸国で使用されているSMA混合物をアメリカに導入するために、舗装材料の検討を行った。

SMA混合物のアスファルトモルタルを、フィラーの種類、配合割合、添加剤の種類を変化させて作製し、super-paveの手法に準拠して、RTFOT及びPAVによりアスファルトを劣化させて、DSR、BBRにより温度の違いによるアスファルトの粘弾性状を検討した。結果は次のとおりである。①中温域でフィラーの種類による差がみられた。②低温から高温領域でフィラーの配合割合、添加剤の種類による差がみられた。③高温領域でフィラー粒子の形状による差がみられた。④フィラーの粒径による差はみられなかった。⑤高温から中温域でフィラーの表面積による差がみられた。

- (1) Scherocman, J. A. (アメリカ)
- (2) The Construction and Performance of Stone Mastic Asphalt Pavements in the United States
- (3) pp.525~534
- (4) **SMAの施工および供用性状に関する検討** (市岡孝夫)
- (5) SMAの室内配合、プラント製造、舗設の各段階における諸問題とその対応策についてとりまとめたものである。
SMAの配合設計はマーシャル特性値の許容範囲で決定するのが困難である。多くのプラントで多量の石粉やダストを添加できるようになっていない。SMAは、転圧中に動いてしまうのではないかと思われ、舗設後すぐに転圧されない傾向にあるが、40mm以下の薄層で施工されることが多いため、舗設時の温度低下が激しいばかりでなく、植物繊維等の添加により粘度が高いので、舗設後直ちに締固めなければならない。しかしSMAの供用性に関しては全く問題なく、追跡調査結果では、SMAが最もわだち掘れが少なく、平坦性や疲労破壊等の問題は発生していない。

- (1) Lown, L., Semmelink, C., and Verhaeghe, B. (南アフリカ)
- (2) Development of a Stone Mastic Asphalt Design Method for South African Condition
- (3) pp.535~556
- (4) **南アフリカにおける砕石マスタックの設計法の開発** (舟根 毅)
- (5) SMAの配合設計について、マーシャル試験器を用いた従来の配合設計法とジャイレトリーコンパクターを用いた容積配合設計法を比較し、南アフリカに適応した配合設計法を開発するとともにわだち掘れ深さと混合物特性の関係を検討した。試験は舗装材料の永久変形について、室内試験結果による予測値と実測値を比較し、混合物特性とクリープ試験によるスティフネスとわだち掘れ深さの関係を検討した。結果はジャイレトリーを用いた方が容積特性を予測しやすく、最大理論密度はマーシャル試験器を用いた方が密度差が少ないことを示した。また、最適アスファルト量を予測し、配合設計時の試験数量を減らすことができる結果が得られた。

舗装維持と予防

- (1) Button, J. W. (アメリカ)
- (2) Effect of Surface Seals on Aging of Underlying Asphalt Concrete
- (3) pp.557~570
- (4) **アスファルト舗装に対する表面シールの劣化防止効果** (増山幸衛)
- (5) アスファルト系の表面シール(スラリーシール、マイクロサーフェシング、チップシール)をアスファルト舗装の表面に施工した場合における劣化防止の効果を室内試験によって確認したものである。
試験は2種類のバインダを使用した混合物を用い、表面シールをした供試体としない供試体を作製し、促進劣化試験によって行われた。評価は粘度及びFTIR解析装置による結果によって行われ、表面シールを行うことによって、アスファルト混合物の寿命を最大2年程度延長できる可能性があるとしている。しかし、その処置は舗装自体の劣化が始まる建設後4年以内に行うことが望ましいとしている。

- (1) Morian, D., Gibson, S., and Epps, J. (アメリカ)
- (2) Study of Maintenance Treatments for Asphalt Pavements
- (3) pp.571~590
- (4) **アスファルト舗装の維持・修繕について** (林 信也)
- (5) どのタイミングで補修を行うことが望ましいか、どの方法で補修を行うことがパフォーマンスのより一層の向上につながるかということが挙げられている。SHRP計画におけるLTPP区間のSPS-3(アスファルト舗装)区間において、不具合個所に5年間様々な維持補修を実施し、路面のプロファイルやたわみの評価、官能性評価を行った。結果とし

て①補修の種類はその破壊形態によって異なる②早期の補修は舗装のパフォーマンスを大きく向上させる③交通量によって補修後のパフォーマンスは大きく変化しないことが示された。

リサイクリングと材料の再利用

- (1) Potter, J. F., and Mercer, J. (英国)
- (2) Full-Scale Performance Trials and Accelerated Testing of Hot-Mix Recycling in the UK
- (3) pp.593~607
- (4) 英国における加熱混合物リサイクリングに関する現場性能試験および加速試験 (早川洋子)
- (5) 再生材を通常使われている材料と置き換えて使用できるかどうかを、英国標準仕様書に準拠しているか否かで判断した。TRLは試験舗装よりコアサンプルを採取し、室内でマーシャル安定試験、ホイールトラッキング試験等を実施した。また供用性は、縦断プロファイル、わだち掘れ深さ、テクスチャ、すべり抵抗および目視調査により評価された。これらの試験結果は、再生材の供用性は通常使われている同等材料と同様であることを示し、英国標準仕様書の条件を満たしていることを示した。

- (1) Terrel, R. L., Joharifard, M., Epps, J. A. and Wiley, P. C. (アメリカ, カナダ)
- (2) Progress in Hot-In-Place Recycling Technology
- (3) pp.609~627
- (4) アスファルト舗装のリサイクリング技術の紹介 (玉木琢雄)
- (5) アメリカにおいて、アスファルト舗装のリサイクリングは80年前から行われており、様々なリサイクル技術が採用されてきた。それらの中で路上表層再生工法(HIR)を中心に、これまでのリサイクリング技術の変遷と現状を調査した。アメリカにおいてリサイクリング技術が始まった頃は、古いアスファルト舗装を破碎し、破碎材を盛土材料等として利用していた。1970年頃からは、加熱タイプと常温タイプ、さらにそれぞれのタイプには原位置による方法とプラントを利用する方法の合計4タイプの施工技術が進歩した。

舗装モデル

- (1) Collop, A. C., and Cebon, D. (イギリス)
- (2) A Teoretical Model of Long-Term Flexible Pavement Performance
- (3) pp.631~646
- (4) アスファルト舗装の長期供用性における理論モデル (水口浩明)
- (5) 舗装の生涯供用性モデル(WLPPM)について、交通荷重のシミュレーション、応力やひずみ、材料破壊の3つの事柄に分けて検討している。WLPPMの初期入力条件は、層厚、混合物特性、経過時間、交通荷重条件、温度とアスファルトの劣化などを挙げている。WLPPMは舗装の疲労を、供用時間を通したわだちとラフネスから予測でき、また舗装の疲労、わだち、ラフネスなどの破壊は、路盤のわだちモデルが大きく影響している。

- (1) Anderton, G., and Ahlrich, R. (アメリカ)
- (2) Resin Modified Pavement: A Composite Paving Material
- (3) pp.647~661
- (4) 樹脂改質セメントグラウトを使用した半たわみ性舗装 (高橋光彦)
- (5) アメリカでは、1987年よりセメントコンクリート舗装に比べ費用効率が高く、施工が簡易な舗装として半たわみ性舗装を導入している。半たわみ性舗装の母体となる開粒度混合物の粒度や最適アスファルト量の算定式、樹脂改質グラウトの配合設計方法のほか、開粒度混合物の施工方法やグラウトの注入方法等について示した。また、エブロン、空港誘導路、港湾施設、燃料貯蔵施設、超重車両の駐車場等、アメリカ国内8カ所における半たわみ性舗装の適用事例を示した。

- (1) Kenis, W., and Wang, W. (アメリカ)
- (2) Calibrating Mechanistic Flexible Pavement Rutting Models from Full Scale Accelerated Tests

(3) pp.663~672

(4) たわみ性舗装におけるわだち掘れモデルの実大舗装促進載荷試験による検証

(村田信之)

(5) たわみ性舗装の設計解析プログラムであるVESYS 5のわだち掘れモデルについて、実大舗装促進載荷試験 (ALF) の測定データを用いて検証した。わだち掘れモデルは、多層弾性理論を用いた永久変形の原理を具体化したもので、たわみに基づくシステムのわだち掘れ、ひずみに基づく層のわだち掘れの2つのモデルがある。両モデルは、測定データから逆解析された永久変形のパラメーターを用いてシミュレーションされ、層のわだち掘れモデルによる予測値は、総わだち掘れ量および舗装各層の永久変形の比率とも測定結果と概ね合致することが確認された。

(1) Scarpas, A., and Al-Khoury, R. (オランダ)

(2) Finite Element Simulation of Damage Development in Asphalt Concrete Pavements

(3) pp.673~692

(4) 有限要素法によるアスファルト舗装の破壊進行状況の推定

(飯田健一)

(5) 様々な荷重が直接作用するアスファルト舗装の表層の破壊を有限要素法を用いてシミュレートするプログラムを開発した。アスファルト混合物を実際に室内で各種試験を実施し、試験データと理論計算結果を対比しプログラムの妥当性を検証している。有限要素法の適用にあたり、舗装構造を要素化したモデルはCAPA-3Dと称している。今回実施した一連の実験で概ね良好なプログラムが構築されたと結論づけているが、粘弾性体であるアスファルト混合物は、温度条件により変化するため、今後さらにデータの蓄積を行い、より確実なプログラムとすると述べられている。

(1) Hopman, P. C., Nilsson, R. N. and Pronk, A. C. (オランダ)

(2) Theory, Validation and Application of the Visco-Elastic Multilayer Program VEROAD

(3) pp.693~705

(4) 多層粘弾性プログラム (VEROAD) の理論、検証および適用

(吉村啓之)

(5) VEROADはアスファルト混合物の粘弾性と車輪の動きを考慮でき、変位、応力、ひずみ、永久変形を3次元で得ることができるプログラムである。モデルは一定速度の動荷重が載荷された4層構造の舗装で、路床以外を粘弾性と仮定している。試験舗装の実測値と計算値は、良好な一致が得られ、さらに車輪配置を変化させたときの永久変形量、縦断方向の水平ひずみを計算し、試験舗装の構造解析から異なる車輪配置によるダメージの解析までが可能であることを示している。

(1) Mamlouk, M. S., and Khanal, P. P. (アメリカ)

(2) Bimodular Analysis of Asphalt Pavements

(3) pp.708~723

(4) アスファルト舗装のバイモジュラー (2つのモジュール) による分析

(長谷川敦也)

(5) アスファルト舗装の老朽化に伴う維持修繕に際し、経済性を加味した舗装の合理的な評価による設計を行うため、舗装の部分的な引張り・圧縮作用に対し、各層のバイモジュラスを考慮した有限要素プログラム (BIMOPAV) を開発するため、典型的な舗装構造3種について、温度条件を変え、応力、ひずみ、変位を算出しシングルモジュラスを用いたプログラムの結果と比較を行った。その結果、特に厚い舗装が高温状態で、より合理的な分析が可能であると同時に、シングルモジュラスによる分析結果は、疲労とわだち掘れを過大評価していることが確認できた。

(1) Uddin, W., Pan, Z., Noppakunwijai, P., Plaxico, C. A., and Hackett, R. M. (アメリカ)

(2) Finite-Element Dynamic Analysis of Distressed Asphalt Pavements

(3) pp.725~739

(4) 疲労した舗装の動的有限要素解析

(東本 崇)

(5) 車の耐衝撃性を解析するときに用いられているコンタクトシミュレーションという動的解析法を用いて、FWD試験をシミュレートする動的3次元有限要素モデルを開発している。多層弾性理論では取り扱えない舗装のクラックや空洞等は、要素にギャップ要素を用いることにより対応し、FWD載荷試験を動的に解析し、実測たわみと解析たわみをマッチさせることにより、原位置の舗装材料のモジュラスを算出している。このモデルを用いてシミュレートした結果、非常に良く一致した。同時に逆解析した舗装材料のモジュラスも、室内試験結果と良く一致した。

(1) Crispino, M., Festa, B., Giannattasio, P., and Nicolosi, V. (イタリア)

(2) Evaluation of the Interaction between the Asphalt Concrete Layers by a New Dynamic Test

(3) pp.741~754

(4) 新たな動的試験によるアスファルト混合物層間の相互作用評価

(前田利明)

(5) たわみ性舗装の層間の動的水平反力作用を検討するため、ケルビンモデルを用い、代表パラメータを、荷重とひずみの絶対値の他に、2点の温度において荷重とひずみの位相角を表すベクトルKIを層間反発複素弾性率とした試験方法を開発した。層間の水平反力作用について検討した結果、統計分析は、研究目的における信頼性はあるものの、たわみ性舗装の層間に発生する相互作用の標準化および評価を行うためには信頼性は低いことを示し、本試験方法とパラメータKIはたわみ性舗装の層間における相互作用の評価に適当であると述べている。

土の特性と粒状材料

(1) Ullidtz, P. (デンマーク)

(2) Modelling of Granular Materials Using the Discrete Element Method

(3) pp.757~769

(4) 離散的要素法を用いた粒状材料のモデル化

(鈴木秀輔)

(5) 粒状材の大部分の変形は、粒子の圧縮変形ではなく、粒子間のすべりに起因する。このことから、離散的要素法を用い、粒状材料の塑性変形、破壊のモデリングを行い、角度を持つ粒子を組成し2軸の繰返し荷重を受ける場合と、円形粒子を組成し平板的な載荷を受ける場合の2つの計算例を示した。その結果、2軸の繰返し荷重を受けた供試体では、塑性ひずみを増加する現象が見られ、その後、塑性ひずみの増加が低下する。平板載荷を受けた供試体の垂直応力の分布は弾性連続体仮定の結果とほぼ同じであり、応力集中の現象はあまり見られなかった。

(1) Belt, J., Ryyanen, T., and Ehrola, E. (フィンランド)

(2) Mechanical properties of Unbund Base Course

(3) pp.771~781

(4) 砕石路盤の物理特性

(伊藤達也)

(5) フィンランドの舗装は、凍上対策として砕石路盤を厚くしており、砕石層の特性が、舗装の供用性に大きく関わってくるため、砕石層の特性を新たな試験機を使用して検討した。最大粒径(8~32mm)と粒度($P = (d/D)^n$)を変数にし、材料の締固め特性をICT(The Intensive Compaction Tester)締固め装置で、荷重に対する変形特性をPTF(Pavement Test Facility)装置にて評価した。その結果、乾燥密度は粒径が大きいほど、粒度はnが小さいほど高い値で、変形量は、骨材粒径の大きい方が、粒度ではnが0.4や0.5のものが小さな値を示した。

(1) Bonaquist, R. F., and Witczak, M. W. (アメリカ)

(2) A Comprehensive Constitutive Model for Granular Materials in Flexible Pavement Structures

(3) pp.783~pp.802

(4) 粒状材料で構成されているアスファルト舗装の包括的な構造モデル

(鈴木康豊)

(5) 舗装舗装のパフォーマンスを推定するために必要とされる、舗装の材料特性を把握し適切に選定するための、粒状材料からなる上、下層路盤および路床土における構造的なモデリング方法について述べている。舗装の構造モデルでは、塑性ひずみ、弾性ひずみ、繰返し荷重、間隙圧等においての一般的な考え方を整理し、モデルのパラメータを材料特性、3軸せん断強さ、路上走行試験、繰返し荷重試験、排水試験等で検討している。舗装の応力解析により求めた弾性係数を用い、弾性理論により応力と変形を計算し、弾性変形と永久変形の関係により損傷予測モデルを検討した。

(1) Khogali, W. E. I., and Anderson, K. O. (カナダ)

(2) Assessing Seasonal Variations in Cohesive Subgrade Soils

(3) pp.803~821

(4) 粘性土路床の季節変動の評価

(鎌田孝行)

(5) 舗装構成を設計するためのガイドラインを提供するための資料を粘性土路床の弾性率の季節による変動、路床の温度、含水率の変化を、室内、路上双方で収集した。路上試験はFWD及び温度、湿度センサーを用いて2年間にわたって行われた。室内試験は繰返し3軸載荷試験を実施し、荷重、温度及び含水率による影響を調査した。繰返し3軸試験から求められるスチフネス率は、3月の凍結時に他の季節に比べ非常に低い値を示した。またFWDにより求め

た3月の弾性率は、他の季節と比較して非常に大きな値を示し、これより路床の状態を的確に把握できるという結果を得た。

- (1) Balay, J., Correia, A. G. Jouve, P. Hornych, P., and Paute, J.
- (2) Mechanical Behaviour of Soils and Unbound Granular Materials, Modelling of Flexible Pavements-Recent Advances
- (3) pp.823~pp.842
- (4) **最新型のアスファルト舗装をモデルとした路床および路盤材料の力学的挙動** (島崎 勝)
- (5) Euroflex'93シンポジウムのプログラムの一環として、路床、路盤材料の力学性状に関する共通試験が実施されており、繰り返し三軸試験の実施装置、一般道路材料に関する試験、路床材料および路盤材料の力学的挙動のモデル化、舗装構成の新しい算出手法の開発、を考慮し、アスファルト舗装の構造設計に関する新手法の開発を実施した。その結果、アスファルト舗装の構造設計をより合理的に短時間で実施できる手法を開発することができたが、路床・路盤材料の永久変形のモデル化、供用下での舗装の挙動をモニターする計算手法、に関する検討が今後の課題である。

- (1) Larsen, H. J. E., and Ullidtz, P. (デンマーク)
- (2) Pavement Subgrade Performance Study in the Danish Road Testing Machine
- (3) pp.843~857
- (4) **デンマーク道路試験機による舗装用路床の供用性** (阿部長門)
- (5) AASHO道路試験に基づく基準の妥当性を検討し、基準を洗練するため、フィンランド、デンマーク、FHWAによって進められた共同研究計画の「国際的な舗装路床性能研究」の最初の試験シリーズに関する報告である。最初のステップは、デンマーク道路試験機による舗装に関するフルスケール試験のまとめであり、ひずみセルタイプの圧力計測器が3方向の応力とひずみを測定するために、路床上面に導入された。その後材料の弾性パラメータを評価するためにFWD試験がなされた。その結果、塑性ひずみで記述した単純なモデルを開発した。

- (1) Puppala, A. J., and Mohammad, L. N.
- (2) A Regression Model for Better Characterization of resilient Properties of Subgrade Soils
- (3) pp.859~866
- (4) **路床土のレジリエント特性に関する改良回帰モデル** (金井利浩)
- (5) 路床土の特性を予測するためのモデルが数多く開発されているが、モデル構築に用いられているサンプル数が少なかったり、説明変数間に多重共線性が存在するなどの問題があるため、多くのサンプルの繰り返し三軸試験結果からこれらの問題を解消したモデルを構築した。粒状材、粘性土およびそれらの混合土に対して繰り返し三軸試験を実施し、拘束応力および偏差応力を説明変数として重回帰分析を行い、回帰定数を求めた。また得られた回帰モデルを用いて、同種の土について検証を試み、良好な結果が得られ、モデルの信頼性が確認できたとしている。

- (1) Baltzer, S., and Irwin, L. H. (デンマーク, アメリカ)
- (2) Specimen Preparation and Repeated Load Triaxial Testing of Subgrade Soils
- (3) pp.867~878
- (4) **路床土に対する繰り返し三軸試験とその供試体作製** (立石大作)
- (5) 路床土の種類、路床土の含水量などは耐わだち掘れ性に影響することが知られている。これらの影響を検討するため独自の試験方法を提案し、供試体の作製方法、そのサイズを報告している。試験においては試料密度や含水量を精密に制御するため実験装置を工夫しており、供試体作製のモールド、試験装置が写真および図により紹介されている。

マイクロサーフェシング (Micro Surfacing)

1. (社)日本アスファルト乳剤協会が1998年にまとめた技術マニュアルによれば、マイクロサーフェシングとは、選定された骨材と急硬性改質アスファルト乳剤、セメント、分解調整剤、および水などからなるスラリー状の混合物をマイクロサーフェシングペーパーによって薄く（3～10mm）敷きならして完成させる、常温薄層舗装工法であると定義している。
2. マイクロサーフェシング工法は、常温薄層舗装工法であり、混合物製造時には当然のことながら加熱しないことから、CO₂の削減や、省資源に寄与する工法であることや、急硬性改質アスファルト乳剤を使用するため、混合物は急硬性（最長で2時間以内

で硬化）があり、かつ耐久性がある特徴を活かして、予防的維持修繕工法（Preventive maintenance technique）としての位置づけと対応が重要といえる。

3. 調査・設計は図-1に示すようなフローに従って行うことを勧めている。

事前調査として既設道路の構造条件、交通条件、気象条件等、表-1の内容を調査し、この工法を適用するか否かの判断を行い、さらに補修の目的を加味して混合物のタイプ（表-2参照）や、1層式、2層式等の設計を行うことが重要である。

特に、適用条件として、①既設路面に構造的な破損（路床、路盤の沈下や支持力不足による破損）が

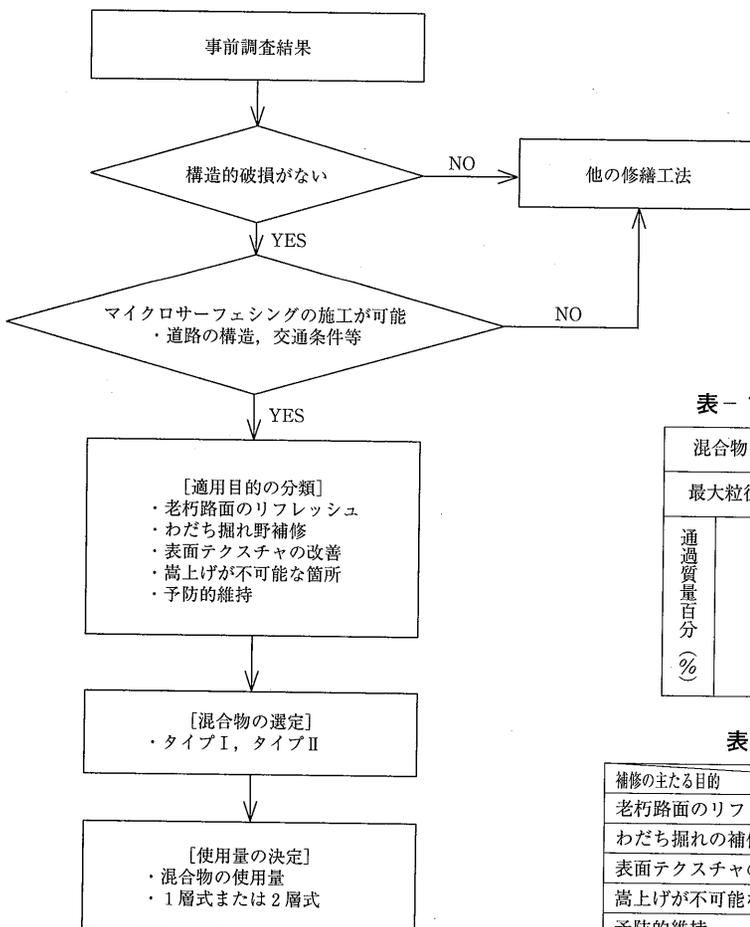


図-1 標準的な設計フロー

表-1 混合物の標準的な粒度範囲

混合物の種類		タイプI	タイプII
最大粒径 (mm)		2.5	5
通過質量百分 (%)	9.50mm		100
	4.75mm	100	90～100
	2.36mm	90～100	65～90
	600μm	40～65	30～50
	300μm	25～42	18～30
	150μm	15～30	10～21
	175μm	10～20	5～15

表-2 混合物の種類選定の

補修の主たる目的	タイプ	タイプI	タイプII
老朽路面のリフレッシュ		◎	◎
わだち掘れの補修		△	◎
表面テクスチャの改善		○	◎
嵩上げが不可能な箇所		◎	◎
予防的維持		◎	◎

注) ◎印：最適，○印：適，△印：可

ないこと、②路面に著しい凹凸がないこと（わだち掘れが3cm以内である）、③曲率半径が100m以下であること、④縦断勾配が6%以下のこと等を見きわめることが重要である。

4. 混合物に使用する材料は骨材（碎石とスクリーニングス）、急硬性改質アスファルト乳剤、セメント、分解調整剤、水などから構成されている。

骨材の品質性状としては、アスファルト舗装要綱（平成4年度版）の『碎石の品質の目標値』や『有害物含有量の目標値』をクリアすることを示しているが、この性状のみでは急硬性改質アスファルトとの相性が判定しにくいと、各社で独自の骨材適合性試験を工夫していることがポイントといえる。

急硬性改質アスファルト乳剤は、この工法を支える基本材料である。乳剤の種類はメーカーによって製造方法に差があり、①改質アスファルトを直接乳化したもの、②アスファルト乳剤にポリマーラテックスを混入するもの、③ポリマーラテックスを乳化液に混入し、アスファルトを乳化したものがあるが、製品の品質はいずれにせよ表-3の品質性状を満足する必要がある。

分解調整剤は、マイクロサーフェシング混合物の可使時間や硬化時間を調整するために、気温や施工条件に合わせて、セメントや特殊添加剤を適宜使用することが重要である。

5. 混合物の配合設計は図-2に示すフローに従って行うことを勧めている¹⁾。特にスクリーニングスの品質、粒度が混合物の施工性（可使時間）、硬化性に影響を与えるので、表-4に示す仮配合によって

適合性試験（International Slurry Surfacing Association；ISSA、TB-113準拠法）により可使時間0.5～3分と硬化時間60～120分のバランスをチェックし、最終的には混合物のウェットトラック摩耗試験（Wet Track Abrasion Test；WTAT、ISSA-TB-100準拠法）による目標値（表-5参照）を満足するように配合の最適化を図る必要がある。これまでの例では単純なスクリーニングスでは目標値をクリアしないので注意を要することといえる。

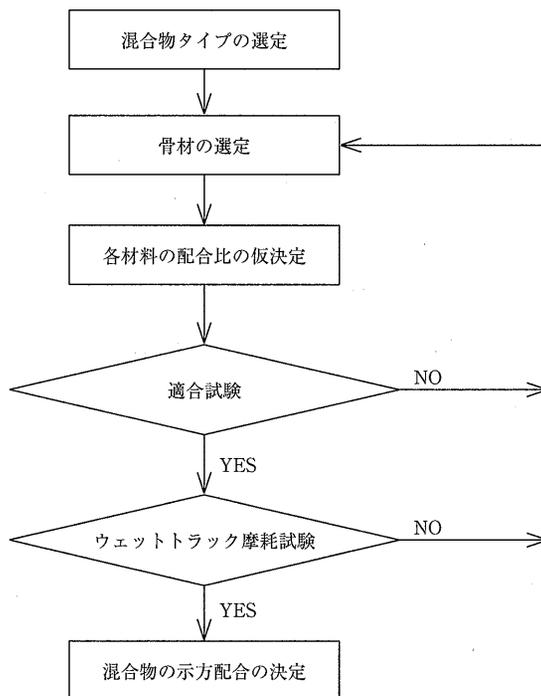


図-2 配合設計の手順の例

表-3 MS乳剤の品質規格

項目		規格値	試験方法
エングレー度 (25℃) ^{注)}		3～60	舗装試験法便覧
ふるい残留分 (1.18mm)		% 0.3以下	
粒子の電荷		陽性 (+)	
蒸発残留分		% 60以上	
蒸発残留物	針入度 (25℃)	1/10mm 40以上	
	軟化点	℃ 50以上	
	伸度 (15℃)	cm 30以上	
	タフネス (25℃)	N・m (kgf・cm) 3.0 (30) 以上	
テナシティ (25℃)		N・m (kgf・cm) 2.5 (25) 以上	
貯蔵安定度 (24時間)		% 1.0以下	

注) エングレー度15以上の乳剤についてはセイボルトフロール秒試験によって求め、エングレー度に換算する。

表-4 各材料の目安

材料	タイプ	重量%	
		タイプ I	タイプ II
骨材		100	100
改質アスファルト乳剤 (MS)		12～15	11～14
セメント		0～3	0～3
水 ^{注)}		7～13	6～12

注) 骨材の含水比を含む

表-5 摩耗量の目標値

項目	目標値	試験方法
WTAT摩耗量	①540g/m以下 または、 ②810g/m以下	ウェットトラック摩耗試験 ①は60℃乾燥後、1時間25℃水浸養生 ②は60℃乾燥後、6日間25℃水浸養生

6. 施工は、図-3に示すフローに従って行うことを勧めている¹⁾。

施工計画の作成にあたっては、①施工時期の選定（望ましくは外気温10～25℃程度の時期を選ぶ）、②材料の供給場所の選定、③作業標準の作成（試験施工等による確認）に注意する必要がある。

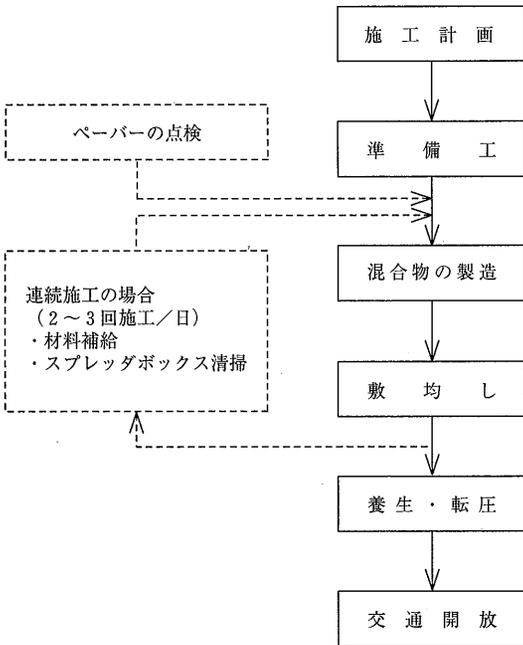


図-3 施工手順の例

準備工としては、既設路面に対する準備工と専用ペーパーの点検・確認を強調している¹⁾。特に既設路面に対する適切な補修（ひび割れの充填、流動わだちのコブ取り）や専用ペーパーの『走行』、『製造』、および『敷均し』に関する点検・確認が重要でありペーパー各部の作動状況、走行スピード、配合等のチェックが大切である。

舗設に関しては、混合物の製造・敷均し用の専用ペーパーと転圧用のタイヤローラーの重要性を指摘している。ペーパーでは①混合物の製造量、②施工幅員、③敷均し厚、④施工速度のコントロールを、タイヤローラーでは①層の厚さ、②供用後の交通量等を考慮して転圧回数の最適化を図る必要がある。

7. 出来形および品質の管理限界としては、それぞれ表-6、表-7に示すような管理限界に収まっているか否かをチェックする必要がある。

8. マイクロサーフェシング工法の新しいニーズとしては、カラー化、明色化が出てきているのが注目される。

— 参考文献 —

- 1) (株)日本アスファルト乳剤協会『マイクロサーフェシング技術マニュアル』（平成10年10月）
〔小島 逸平 (株)ガイアートクマガイ技術研究所〕

表-6 出来形管理項目の参考例

項目	頻度	標準的管理限界	試験方法
アスファルト乳剤量	1日当たり	±10%	厚さとしては平均敷均し厚(mm)を求める ^{注)}
骨材量		±10%	
幅	100mごと	-2.5cm以上	舗装試験法便覧

注) 1日のアスファルト乳剤、骨材、セメントおよび水の各使用量の合計と1日の施工面積から計算により求める。

表-7 品質管理項目の参考例

項目	頻度	標準的管理限界	試験方法
残留アスファルト量	1回/日	±1.0%以内	舗装試験法便覧
粒度	1回/日	2.36mm: ±14%以内	
		75μm: ±5%以内	
WTAT摩耗量	1回/工事	①540g/m ² 以下 または、 ②810g/m ² 以下	ウェットトラック摩耗試験 ①は1時間25℃水浸養生、 ②は6日間25℃水浸養生で、どちらか選択

有効数字 (significant figures)

有効数字とは

JIS Z 8401には「測定結果などを表す数字のうちで、位取りを示すだけの0を除いた、意味がある数字」とある。(小数点以下の桁数ではない。)

ものの大きさ、長さ、時間等を計測器を用いて計量・測定された値は数値化されているが、計測器の正確さを考慮し、その数値がどの桁まで信頼できるのかを明確にしておく必要がある。すなわち測定値のうち「情報として意味のある数字」「あいまいさの残らない位(くらい)」までを有効数字として明確にする必要があり、必要以上に多い桁数の報告、少ない桁数の結果報告は避けなくてはならない。

例えば、温度が163℃と観測された場合、この温度は163.0000...℃丁度を示すものではなく、162.5℃以上163.5℃未満を表しており、±0.5℃の誤差を含むと考えなければならない。あいまいさの残らない桁は163までなので、有効数字は3桁となる。

また163.0℃という観測は、162.95℃以上163.05℃未満を示していると考えられるので、誤差は先の例よりも一桁小さくなり、±0.05℃となり、最後の0は意味のある数字であることが分かる。従って有効数字は163.0の4桁となる。

このように163℃と163.0℃という測定結果は、見かけでは同じようでも、歴然とした区別があることを理解しないとイケない。

有効数字は、具体的にはある数値を左から順に見て、はじめて0以外の数字になった桁から1番右の桁までの桁数をいう。0以外の数字の右側にある0も有効数字に数える。例えば1.234, 12.34, 1234, 0.001234はどれも有効数字4桁である。

有効数字を考慮した演算

測定値など有効数字を考慮すべき値を演算す場合は、算出される結果の有効数字を考慮する必要がある。また、演算中には有効数字を考慮せず、結果に対して有効数字を考慮しないとすなわち誤差を生じることがある。

足し算、引き算：誤差を含まない桁までを有効数字とする。引き算では、桁が無くなることもあるので注意が必要。

($1.23 + 2.352 = 3.582$: 1.23が0.01までしか有効でないので、3.58となる。)

($4.73 - 4.52 = 0.21$: 1の位が無くなり、有効数字2桁になる。)

乗算：演算に用いた数値の中で一番小さい有効数字を、結果の有効数字とする。

($2.15 \times 3 = 6.45 = 6$)

除算：乗算と同じ。割り切れる場合も、有効数字を考慮する。(12.00 ÷ 4.00 = 3.00)

舗装に関する例

例として動的安定度(DS)の算出について有効数字を考慮してみる。

ホイールトラッキング試験では、試験輪の通過回数(42回/分)、変形量測定時間(15分間)、さらに試験時間45分、60分における変形量を d_{60} 、 d_{45} とした場合、

$$\text{動的安定度 (DS)} = \frac{15}{d_{60} - d_{45}} \times 42$$

と表される。

ここで通過回数、測定時間の有効数字を考えると、通過回数は 42 ± 1 回/分と規定されているので有効数字2桁、測定時間は秒の単位まで測定するとして4桁(15.00分)である。

また変形量(d_{60} 、 d_{45})は一般に0.01mm単位で測定されている。測定値の最後の桁には誤差が含まれているが、最近のデジタル式測定器では最終桁まで感度があるので、0.01mmまで有効な数字と考えることが出来る。従って、測定される変形量により d_{60} 、 d_{45} の有効数字は変化する。

表-1に有効数字を考慮したDSを示す。このように有効数字を考慮すると、DSが離散的な値をとることが分かる。

(ここでは供試体の温度、接地圧、骨材、試料作製に関わる、測定値のばらつきは無いと仮定している。また測定の実際を慮すると、0.01mm単位での測定は困難である。)

表-1 有効数字を考慮したDS

変形量 (mm)	有効数字 (根拠)	DS (回/mm)
0.01~0.06	1桁 (変形量)	60000~10000
0.07		9000
0.08		8000
0.09		7000
0.10		6300
0.11		5700
0.12		5300
0.13		4800
0.14		4500
0.15~0.19		2桁 (変形量)
0.20	3200	
0.21	3000	
0.22	2900	
0.23	2700	
0.24~0.38	2600~1700	
0.39~0.40	1600	
0.41~0.43	1500	
0.44~0.46	1400	
0.47~0.50	1300	
0.51~0.63	1200~1000	
0.64~0.69	980~910	
0.70~0.99	900~640	
1.00~9.99	2桁 (通過回数)	
10.00~		63~

— 参考文献 —

- 1) JIS Z 8103-1990
- 2) JIS Z 8401-1961
- 3) (社)日本道路協会編, 舗装試験法便覧
- 4) 分析化学辞典編集委員会編, 分析化学辞典, 共立出版 (1971)
- 5) 今井秀孝, ぶんせき, 2001, 2
[瀬尾 彰 昭和シェル石油(株)中央研究所]

☆

☆

☆

砂利道の歴青路面処理指針 (59年版) 増刷

第3版 B5版・64ページ・実費頒価 500円 (送料実費)

目 次

- | | | |
|--|---|---|
| <p>1. 総 説</p> <p>1-1 はじめに</p> <p>1-2 歴青路面処理の対象となる道路の条件</p> <p>2. 構造設計</p> <p>2-1 概 説</p> <p>2-2 調 査</p> <p>2-3 設計の方法</p> <p>2-4 設計例</p> <p>2-5 排 水</p> | <p>3. 路 盤</p> <p>3-1 概 説</p> <p>3-2 在来砂利層の利用</p> <p>3-3 補強路盤の工法</p> <p>4. 表 層</p> <p>4-1 概 説</p> <p>4-2 浸透式工法</p> <p>4-3 常温混合式工法</p> <p>4-4 加熱混合式工法</p> | <p>5. 維持修繕</p> <p>5-1 概 説</p> <p>5-2 維持修繕の手順</p> <p>5-3 巡 回</p> <p>5-4 維持修繕工法</p> <p>付録1. 総合評価別標準設計例一覧</p> <p>付録2. 材料の規格</p> <p>付録3. 施工法の一例 (D-2工法)</p> <p>付録4. 材料の品質, 出来形の確認</p> |
|--|---|---|

平成12年市販アスファルトの性状調査

(社)日本アスファルト協会技術委員会

1. はじめに

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

2. 調査方法

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

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

3. データ提出機関

データは、下記の各社製油所から本協会へ提出されている。(50音順)

出光興産	三共油化工業	ジャパンエナジー
鹿島石油	昭和シェル石油	日石三菱
九州石油	昭和四日市石油	日石三菱精製
極東石油工業	西部石油	富士興産
興亜石油	東燃ゼネラル石油	富士石油
コスモ石油	東北石油	

4. 調査結果

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

表-4、5は、製油所毎の各品質項目における全ロットの平均値を、ストレートアスファルトのうち60～80、80～100の2種類について、取りまとめたものである。

5. あとがき

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

報告内容は、

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

表-1 石油アスファルト品質調査要約 (1) ストレートアスファルト

項目	種類	40 ~ 60		60 ~ 80		80 ~ 100		150 ~ 200	
		範囲	JIS・日本 道路協会規格	範囲	JIS・日本 道路協会規格	範囲	JIS・日本 道路協会規格	範囲	JIS
針入度 (25℃)		45~57	40を超え 60以下	61~80	60を超え 80以下	81~98	80を超え 100以下	152~200	150を超え 200以下
軟化点	℃	48.0~52.5	47.0~55.0	45.0~52.0	44.0~52.0	43.5~49.0	42.0~50.0	37.5~45.0	30.0~48.0
伸度 (15℃)	cm	75以上	10以上	100以上	100以上	100以上	100以上	100以上	100以上
トルエン可溶分	質量%	99.85~99.99	99.0以上	99.61~99.99	99.0以上	99.60~99.99	99.0以上	99.54~99.99	99.0以上
引火点	℃	270~370	260以上	270~370	260以上	270~366	260以上	280~356	240以上
薄膜加熱質量変化率	質量%	0.04~0.12	0.6以下	-0.09~0.13	0.6以下	-0.13~0.12	0.6以下		
薄膜加熱針入度残留率	%	59.6~75.6	58以上	55.7~81.5	55以上	53.3~83.4	50以上		
蒸発質量変化率	質量%							-0.02~0.01	1.0以下
蒸発後の針入度比	%	87~100	110以下	89~108	110以下	82~103	110以下		
密度 (15℃)	g/cm ³	1.029~1.044	1.000以上	1.020~1.048	1.000以上	1.023~1.038	1.000以上	1.020~1.032	1.000以上
動粘度 (120℃)	mm ² /s	847~1,350		669~1,290		531~1,070			
動粘度 (150℃)	mm ² /s	203~283		154~280		146~222			
動粘度 (180℃)	mm ² /s	57.4~90.7		52.6~106		50.2~78.2			

表-2 石油アスファルト品質調査要約 (2) ブローンアスファルト

種 類 項 目	10 ~ 20		20 ~ 30	
	範 囲	J I S	範 囲	J I S
針 入 度 (25℃)	12~18	10を超え20以下	21~29	20を超え30以下
軟 化 点 ℃	94.5~117.0	90.0以上	85.0~108.5	80.0以上
伸 度 (25℃) cm	2 ~ 3	1 以上	2 ~ 4	2 以上
トルエン可溶分 質量%	99.40~99.96	98.5以上	99.17~99.99	98.5以上
引 火 点 ℃	300~360	210以上	300~340	210以上
蒸発質量変化率 質量%	-0.04~0.00	0.5以下	-0.04~0.01	0.5以下
針入度指数	3.3~5.6	2.5以上	3.6~5.6	2.5以上

表-3 石油アスファルト品質調査要約 (3) 防水工事用アスファルト

種 類 項 目	第 三 種		第 四 種	
	範 囲	J I S	範 囲	J I S
軟 化 点 ℃	100.0~125.0	100以上	100.0~120.5	95以上
針 入 度 (25℃)	22~39	20以上40以下	30~49	30以上50以下
針入度指数	5.1~7.5	5.0以上	6.2~7.7	6.0以上
蒸発質量変化率 質量%	-0.06~0.01	1 以下	-0.04~0.01	1 以下
トルエン可溶分 質量%	99.14~99.98	95以上	98.85~99.97	92以上
引 火 点 ℃	296~348	280以上	298~340	280以上
フラスゼい化点 ℃	-27~-15	-15以下	-25~-20	-20以下
だ れ 長 さ mm	0 ~ 8	8 以下	1 ~ 6	8 以下
加熱安定性 (フラスゼい化点差) ℃	1 ~ 4	5 以下	1 ~ 4	5 以下

表-4 ストレートアスファルト性状表 (60~80)

番号	針入度 (25℃)	軟化点 ℃	伸 度 (15℃) cm	トルエン 可溶分 質量%	引火点 ℃	薄 膜 加 熱		蒸発後 の針入 度比 %	密 度 (15℃) g/cm ³	動 粘 度 (mm ² /s)		
						質 量 変 化 率 質 量 %	針 入 度 残 留 率 %			120℃	150℃	180℃
1	65	48.6	150以上	99.95	362	+0.10	64.0	99.5	1.038	986	225	73.1
2	67	48.1	150以上	99.92	341	+0.08	66.0	98	1.035	1,010	231	77.6
3	69	49	100以上	99.98	336	+0.065	67.3	98	1.028	1,065	244	83
4	70	47.0	100以上	99.87	364	+0.07	67.3	98	1.034	883	203	68.3
5	68	47.6	140以上	99.98	300以上	+0.08	70.5	100	1.0393	955	217	72.4
6	67	46.9	150以上	99.98	359	+0.08	70.2	100	1.0415	1,010	223	73.4
7	65	47.6	150以上	99.97	364	+0.12	65.8	98	1.034	962	217	71.2
8	69.2	48.6	150以上	99.86	340.4	-0.040	62.5	99.75	1.032	956.7	223.8	77.8
9	74	50	100以上	99.97	328以上	+0.06	68		1.031	1,141	262	89
10	69	47.6	150以上	99.97	270以上	+0.05	64.6	96	1.030	831	193	65.9
11	72	46.8	100以上	99.85	334	+0.07	64.4	102	1.0313	807	188	63.9
12	72	48.2	150以上	99.92	332	+0.04	64.0	101	1.032	905	212	72.1
13	69	49.0	150以上	99.7	366		69.6	93	1.034	1,022	241	80
14	70	47.5	130以上	99.95	320	0.00	69.0	98	1.035	884	200	66.9
15	69.4	48.40	130以上	99.988	335.2	-0.102	59.36	101.1	1.0320	863.2	192.6	64.1
16	66	48.5	130以上	99.89	339	+0.04	68.9	98	1.033	850	194	65.3
17	69	47.5	150以上	99.96	356	+0.09	67.5	97	1.032	895	211	72
18	69	49.0	150以上	99.98	362	+0.11	68.1	100	1.037	1,020	230	77.0
19	68.1	49.8	100以上	99.84	352	+0.04	66.1	95	1.035	1,123	259	86.9
20	69	47.0	150以上	99.89	327	+0.09	60.5	100.8	1.031	846	200	68.6
21	70	47.5	140以上	99.90	346	0.00	66.1	95	1.036	988	225	75.4

(注) 道路用以外の用途を生産している場合は、測定を行っていない項目もある。

表-5 ストレートアスファルト性状表 (80~100)

番号	針入度 (25℃)	軟化点 ℃	伸 度 (15℃) cm	トルエン 可溶分 質量%	引火点 ℃	薄 膜 加 熱		蒸発後 の針入 度比 %	密 度 (15℃) g/cm ³	動 粘 度 (mm ² /s)		
						質 量 変 化 率 質 量 %	針 入 度 残 留 率 %			120℃	150℃	180℃
1	91	47.0	150以上	99.97	336	+0.05	63	84	1.036	812	193	64.8
2	89	46.0	150以上	99.95	359	+0.10	64	99.7	1.035	776	187	63.1
3	90	46.4	150以上	99.90	350	+0.02	64.0	98	1.032	805	193	67.0
4	89	45.8	100以上	99.98	330	+0.04	65.8	98	1.026	849	206	71
5	88	45.0	100以上	99.87	360以上	+0.07	68.4	93	1.031	743	178	61.7
6	88	45.6	150以上	99.96	300以上	+0.08	73.7	100	1.0338	846	201	69.3
7	88.2	46.1	150以上	99.83	330.2	-0.022	61.7	99.75	1.030	786.7	188.5	65.9
8	87	45.3	150以上	99.98	270	+0.05	66.4	95	1.028	687	167	58.9
9	86	46.3	150以上	99.94	331	+0.05	62.7	101	1.030	734	177	62.1
10	86	46.0	130以上	99.94	323	0.00	69.6	98	1.033	775	180	61.7
11	89.59	46.14	130以上	99.978	334.2	-0.110	61.10	101.9	1.0328	694.9	178.8	64.86
12	89	45.5	150以上	99.96	350	+0.10	65.2	94	1.028	786	198	71
13	91	46.0	150以上	99.98	352	+0.10	67.7	100	1.034	849	190	67.2
14	89	45.2	150以上	99.85	319	+0.10	59.8	99.7	1.028	681	163	57.0
15	89	45.0	140以上	99.81	341	-0.01	61.4	94	1.032	836	200	69.1

(注) 道路用以外の用途を生産している場合は、測定を行っていない項目もある。

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
元年度	219	6,066	(102.7)	1	6,286	5,990	(100.6)	4	5,994	276	6,270
2年度	276	6,277	(103.5)	1	6,554	6,205	(103.6)	8	6,213	310	6,523
3年度	310	5,973	(95.2)	0	6,282	5,944	(95.8)	19	5,963	313	6,276
4年度	313	6,121	(102.5)	1	6,435	6,109	(102.8)	76	6,185	244	6,429
5年度	244	6,119	(100.0)	2	6,365	6,036	(98.8)	105	6,141	238	6,379
6年度	238	6,024	(98.4)	1	6,263	5,834	(96.7)	172	6,006	272	6,278
7年度	272	6,025	(100.0)	1	6,298	5,697	(97.7)	343	6,040	271	6,311
8年度上期	271	2,943	(104.6)	0	3,214	2,735	(104.4)	158	2,892	338	3,230
8年度下期	338	3,129	(97.4)	1	3,468	3,082	(100.2)	131	3,213	268	3,481
8年度	271	6,072	(100.8)	1	6,344	5,817	(102.1)	289	6,105	268	6,373
9年度上期	268	2,791	(94.8)	3	3,062	2,586	(94.6)	167	2,753	318	3,071
9年度下期	318	3,084	(98.6)	1	3,403	3,046	(98.8)	89	3,135	283	3,418
9年度	268	5,875	(96.8)	4	6,147	5,632	(96.8)	256	5,888	283	6,171
10年度上期	283	2,613	(93.6)	0	2,896	2,381	(92.1)	103	2,484	334	2,818
10年度下期	334	3,021	(98.0)	1	3,356	2,825	(92.7)	70	2,894	302	3,196
10年度	283	5,635	(95.9)	4	5,922	5,229	(92.4)	177	5,406	302	5,708
4~6月	302	1,172	(93.3)	0	1,474	1,019	(89.5)	50	1,069	339	1,408
7~9月	339	1,304	(96.1)	0	1,643	1,189	(96.1)	85	1,274	289	1,563
11年度上期	302	2,476	(94.8)	0	2,778	2,208	(92.9)	135	2,343	289	2,632
11月	280	555	(104.9)	0	835	503	(101.4)	13	516	285	801
12月	285	591	(110.1)	0	876	501	(100.4)	14	515	323	838
10~12月	289	1,624	(106.6)	0	1,913	1,426	(98.2)	54	1,480	323	1,803
12. 1月	323	351	(89.8)	0	674	294	(93.3)	13	307	331	638
2月	331	480	(107.6)	0	811	422	(105.2)	17	439	334	773
3月	334	657	(99.7)	0	991	674	(102.0)	25	699	251	950
1~3月	323	1,488	(99.4)	0	1,811	1,390	(101.0)	56	1,446	251	1,697
11年度下期	289	3,112	(103.0)	0	3,401	2,816	(99.7)	110	2,926	251	3,177
11年度	302	5,587	(99.1)	0	5,889	5,024	(96.5)	243	5,267	251	5,518
12. 4月	251	474	(103.3)	0	725	358	(92.5)	13	371	331	702
5月	331	353	(96.5)	0	684	168	(54.7)	16	189	481	670
6月	481	334	(96.3)	3	818	455	(138.7)	14	469	306	775
4~6月	251	1,162	(99.1)	3	1,416	981	(96.0)	43	1,024	306	1,330
7月	306	461	(118.5)	4	771	396	(102.9)	21	417	319	736
8月	319	455	(96.4)	2	776	384	(98.7)	21	405	328	733
9月	328	420	(94.8)	1	749	394	(94.7)	19	413	295	708
7~9月	319	1,336	(102.5)	7	1,662	1,174	(98.7)	60	1,234	295	1,529
12年度上期	251	2,498	(100.9)	10	2,508	2,155	(97.6)	103	2,258	295	2,859
10月	295	457	(95.6)	2	754	406	(96.2)	28	434	282	716
11月	282	527	(95.0)	3	812	464	(92.2)	21	485	292	777
12月	292	535	(90.5)	3	830	478	(95.4)	19	497	293	790
10~12月	295	1,519	(93.5)	8	1,822	1,348	(94.5)	68	1,416	293	1,709
13. 1月	293	394	(112.3)	3	690	283	(96.3)	16	299	353	652
2月	353	472	(98.3)	2	827	427	(101.2)	18	445	346	791

[注] (1) 経産省エネルギー生産・需給統計月報 13年2月確報
 (2) 四捨五入のため月報と一致しない場合がある。

項目 年度	内 需 量						対 前 年 度 比					
	ストレート・アスファルト				プロ- ン ア ス フ ア ル ト	合 計	ストレート・アスファルト				プロ- ン ア ス フ ア ル ト	合 計
	道路用	工業用	燃焼用	計			道路用	工業用	燃焼用	計		
元 年 度	4,360	447	932	5,739	251	5,990	101.2	106.2	96.3	100.8	97.3	100.6
2 年 度	4,416	606	929	5,951	254	6,205	101.3	135.6	99.7	103.7	101.2	103.6
3 年 度	4,317	590	796	5,703	241	5,944	97.8	97.4	85.7	95.8	94.9	95.8
4 年 度	4,559	568	741	5,868	241	6,109	105.6	96.3	93.1	102.9	100.0	102.8
5 年 度	4,337	601	860	5,798	238	6,036	95.1	105.8	116.1	98.8	98.8	98.8
6 年 度	4,129	506	968	5,603	231	5,834	95.2	84.2	112.6	96.6	97.1	96.7
7 年 度	4,011	476	978	5,465	232	5,697	97.1	94.1	101.0	97.5	100.4	97.7
8年度上期	1,890	231	508	2,629	106	2,735	102.8	109.0	108.5	104.4	105.0	104.4
8年度下期	2,156	265	540	2,961	121	3,082	99.2	100.4	105.9	100.5	93.1	100.2
8 年 度	4,046	496	1,048	5,590	227	5,817	100.9	104.2	107.2	102.3	97.8	102.1
9年度上期	1,757	219	511	2,487	99	2,586	93.0	94.8	100.6	94.6	93.4	94.6
9年度下期	2,152	275	508	2,935	111	3,046	99.8	103.8	94.1	99.1	91.7	98.8
9 年 度	3,909	494	1,019	5,422	210	5,632	96.6	99.6	97.2	97.0	92.5	96.8
10年度上期	1,529	232	529	2,290	91	2,381	87.0	105.9	103.5	92.1	91.9	92.1
10年度下期	2,071	185	467	2,723	102	2,825	96.2	67.3	91.9	92.8	91.9	92.7
10 年 度	3,600	417	996	5,013	193	5,206	92.1	84.4	97.7	92.5	91.9	92.4
4～6月	703	41	231	975	44	1,019	95.5	34.2	95.5	88.8	102.3	89.2
7～9月	811	44	285	1,139	51	1,189	102.4	39.3	99.3	95.7	106.3	96.0
11年度上期	1,514	85	516	2,114	95	2,208	99.1	36.6	97.5	92.4	104.4	92.7
11 月	373	14	97	484	19	503	106.3	34.1	119.8	102.3	100.0	102.2
12 月	385	13	86	484	17	501	104.9	54.2	94.5	100.4	100.0	100.4
10～12月	1,066	43	265	1,373	53	1,426	102.7	46.2	100.4	98.5	98.1	98.4
12. 1 月	182	11	85	278	16	294	94.3	32.4	121.5	93.3	61.7	93.3
2 月	313	12	81	406	16	422	110.2	31.1	131.8	105.5	98.7	105.2
3 月	552	21	83	656	18	674	99.3	123.5	115.3	101.5	120.0	102.0
1～3月	1,047	45	249	1,340	50	1,390	101.4	48.9	122.7	100.9	104.2	101.1
11年度下期	2,113	88	514	2,715	103	2,818	102.0	47.6	110.1	99.7	101.0	99.8
11 年 度	3,627	173	1,030	4,830	198	5,028	100.8	41.5	103.4	96.4	102.6	96.6
12. 4 月	262	15	68	345	13	358	95.3	125.0	80.0	92.8	92.9	92.5
5 月	75	11	68	154	14	168	37.7	57.9	90.7	52.6	100.0	54.7
6 月	366	14	59	439	16	455	158.4	140.0	83.1	140.7	100.0	138.7
4～6月	703	40	195	938	43	981	99.7	97.6	84.4	96.0	97.7	96.0
7 月	274	17	89	380	16	396	101.1	141.7	102.3	102.1	106.7	102.9
8 月	264	17	87	368	16	384	102.7	94.4	88.8	98.7	106.7	98.7
9 月	283	17	76	376	18	394	100.0	130.8	76.0	95.0	90.0	94.7
7～9月	821	51	253	1,125	49	1,174	101.2	116.0	88.8	98.8	96.1	98.7
12年度上期	1,524	91	448	2,063	92	2,155	100.7	107.1	86.8	97.6	96.8	97.6
10 月	311	17	60	388	18	406	101.0	106.3	73.2	95.8	96.2	96.2
11 月	364	18	65	447	18	465	97.6	128.6	67.0	92.3	94.7	92.4
12 月	367	18	76	461	17	478	95.3	138.5	88.4	95.2	100.0	95.4
10～12月	1,042	52	202	1,296	53	1,349	97.7	120.9	76.2	94.4	100.0	94.6
13. 1 月	176	13	80	269	15	284	96.7	118.2	94.1	96.8	93.8	96.6
2 月	313	14	83	410	16	427	100.0	116.7	102.5	101.0	100.0	101.2

- [注] (1) 経産省エネルギー生産・需給統計月報 13年2月確報
 (2) 工業用ストレート・アスファルト、燃焼用アスファルト、プロ-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-(プロ-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。

<統計資料>

3. 石油アスファルト品種別針入度別月別販売量

(1) ストレート

(単位：t)

年月	区分	0~10	10~20	20~40	40~60	60~80	80~100	100~120
11	年度	2,685	0	726	101,675	2,528,028	863,235	0
11	年度	2,842	0	619	100,314	2,537,544	886,142	0
	上期	1,379	0	202	48,478	1,083,484	355,160	0
	下期	1,463	0	417	51,836	1,454,060	530,982	0
12	年度	2,641	0	431	87,523	2,485,229	952,014	0
12	年度	1,817	0	542	81,864	2,400,750	970,560	0
	上期	1,219	0	176	39,297	1,075,667	338,240	0
	下期	598	0	366	42,567	1,325,083	582,320	0
12年	1~3	858	0	84	27,800	754,851	252,438	0
	4	232	0	0	5,588	189,644	54,773	0
	5	211	0	35	5,437	147,912	54,630	0
	6	211	0	0	5,751	165,061	64,076	0
	4~6月	654	0	35	16,776	502,617	173,479	0
	7	241	0	11	6,853	191,800	70,240	0
	8	88	0	63	7,271	179,796	69,492	0
	9	236	0	67	8,397	201,454	75,029	0
	7~9月	565	0	141	22,521	573,050	214,761	0
	10	292	0	80	7,051	197,005	85,715	0
	11	261	0	54	6,464	217,614	104,094	0
	12	11	0	37	6,911	240,092	121,527	0
	10~12月	564	0	171	20,426	654,711	311,336	0
13年	1	8	0	0	3,981	112,567	44,809	0
	2	16	0	52	7,280	195,960	79,647	0
	3	10	0	143	10,880	361,845	146,528	0
	1~3月	34	0	195	22,141	670,372	270,984	0
	4	8	0	38	5,838	185,006	67,947	0

(注) 1. 社団法人 日本アスファルト協会調査による。

(単位：t)

年月	区分	120~150	150~200	200~300	工業用	燃焼用	その他	計
11	年度	293	168,233	0	218,257	981,536	2,469	4,869,137
11	年度	2,581	159,721	0	171,273	1,027,565	2,598	4,893,199
	上期	40	71,994	0	84,133	515,869	1,187	2,161,926
	下期	2,541	87,727	0	87,140	511,696	1,411	2,731,273
12	年度	2,288	145,148	0	187,224	898,787	2,321	4,763,606
12	年度	0	143,569	0	189,359	891,559	2,328	4,682,348
	上期	0	60,585	0	89,778	448,089	752	2,103,803
	下期	0	82,984	0	99,581	443,470	1,576	2,578,545
12年	1~3	2,288	44,408	0	45,316	248,905	1,100	1,378,048
	4	0	8,869	0	14,580	67,796	174	341,656
	5	0	9,619	0	10,918	67,853	145	296,760
	6	0	9,479	0	13,551	59,300	121	317,550
	4~6月	0	27,967	0	39,049	194,949	440	955,966
	7	0	11,207	0	17,122	89,317	120	386,911
	8	0	9,518	0	16,688	87,387	98	370,401
	9	0	11,893	0	16,919	76,436	94	390,525
	7~9月	0	32,618	0	50,729	253,140	312	1,147,837
	10	0	12,138	0	16,635	60,277	112	379,305
	11	0	14,530	0	17,503	65,229	124	425,873
	12	0	13,487	0	17,992	76,287	233	476,577
	10~12月	0	40,155	0	52,130	201,793	469	1,281,755
13年	1	0	9,045	0	12,941	79,672	93	263,116
	2	0	13,931	0	14,465	83,221	277	394,849
	3	0	19,853	0	20,045	78,784	737	638,825
	1~3月	0	42,829	0	47,451	241,677	1,107	1,296,790
	4	0	9,983	0	15,470	79,688	272	364,250

(注) 1. 社団法人 日本アスファルト協会調査による。

<統計資料>

(2) ブローン

(単位：t)

年月	区分	0~5	5~10	10~20	20~30	30~40	40~50	アスコンパウダ	特殊アス	道路舗装用	その他	計
		11年度 11年 上 下 期	2,651 2,653 1,174 1,479	40 29 19 10	53,424 54,208 41,014 13,194	31,435 31,176 2,162 29,014	114 98 72 26	402 467 143 324	90,712 89,933 43,207 46,726	3,243 3,374 1,738 1,636	11,909 13,613 4,131 9,482	649 858 353 505
12年度 12年 上 下 期	2,653 2,595 1,157 1,438	10 9 3 6	55,345 55,383 41,236 14,147	29,501 28,219 1,803 26,416	56 75 39 36	745 719 314 405	86,341 85,788 39,445 46,343	3,513 3,551 1,885 1,666	15,070 13,884 5,632 8,252	765 627 337 290	193,999 190,850 91,851 98,999	
12年1~3		813	1	7,980	12,428	6	170	21,646	672	5,652	209	49,577
4		112	0	6,623	420	0	20	4,687	238	590	15	12,705
5		217	0	6,632	178	14	21	6,054	226	995	57	14,394
6		203	0	7,650	193	18	85	5,676	283	1,464	111	15,683
4~6月		532	0	20,905	791	32	126	16,417	747	3,049	183	42,782
7		197	0	6,889	216	4	37	6,876	317	1,081	36	15,653
8		186	0	6,446	147	2	104	7,767	408	677	41	15,778
9		242	3	6,996	649	1	47	8,385	413	825	77	17,638
7~9月		625	3	20,331	1,012	7	188	23,028	1,138	2,583	154	49,069
10		212	6	2,660	4,595	7	122	8,479	423	1,247	67	17,818
11		247	0	1,898	5,589	4	58	8,388	301	1,367	98	17,950
12		224	0	1,571	5,086	0	81	8,383	232	1,172	54	16,803
10~12月		683	6	6,129	15,270	11	261	25,250	956	3,786	219	52,571
13年1		251	0	1,559	4,498	9	23	7,123	148	1,221	10	14,842
2		271	0	1,600	4,546	1	59	7,235	285	2,010	41	16,048
3		233	0	4,859	2,102	15	62	6,735	277	1,235	20	15,538
1~3月		755	0	8,018	11,146	25	144	21,093	710	4,466	71	46,428
4		178	0	6,182	619	5	72	5,946	225	233	27	13,487

(注) 1. 社団法人 日本アスファルト協会調査による。

4. 石油アスファルト品種別荷姿別販売量

(単位：t)

年月	区分	ス ト レ ー ト				ブ ロ ー ン			
		バルク	紙 袋	ドラム	計	バルク	紙 袋	ドラム	計
11年度 11年 上 下 期		4,866,956 4,890,718 2,160,674 2,730,044	695 608 328 280	1,486 1,873 924 949	4,869,137 4,893,199 2,161,926 2,731,273	126,602 128,071 60,612 67,459	67,856 68,228 33,351 34,877	121 110 50 60	194,579 196,409 94,013 102,396
12年度 12年 上 下 期		4,761,649 4,680,847 2,103,115 2,577	648 644 333 311	1,139 687 314 373	4,763,436 4,682,178 2,103,762 2,578,416	129,507 127,931 61,832 66,099	64,342 62,765 29,923 32,842	150 154 96 58	193,999 190,850 91,851 98,999
12年1~3		1,377,150	124	774	1,378,048	33,321	16,230	26	49,577
4		341,570	77	9	341,656	9,265	3,427	13	12,705
5		296,708	38	14	296,760	9,719	4,670	5	14,394
6		317,234	61	214	317,509	11,367	4,302	14	15,683
4~6月		955,512	176	237	955,925	30,351	12,399	32	42,782
7		386,800	69	42	386,911	10,339	5,300	14	15,653
8		370,349	35	17	370,401	10,196	5,559	23	15,778
9		390,454	53	18	390,525	10,946	6,665	27	17,638
7~9月		1,147,603	157	77	1,147,837	31,481	17,524	64	49,069
10		379,076	87	13	379,176	11,564	6,242	12	17,818
11		425,830	30	13	425,873	12,075	5,868	7	17,950
12		476,478	74	25	476,577	10,715	6,079	9	16,803
10~12月		1,281,384	191	51	1,281,626	34,354	18,189	28	52,571
13年1		263,016	52	48	263,116	9,914	4,924	4	14,842
2		394,774	28	47	394,849	10,747	5,298	5	16,048
3		638,558	40	227	638,825	11,084	4,433	21	15,538
1~3月		1,296,348	120	322	1,296,790	31,745	14,655	30	46,428
4		364,149	62	39	364,250	9,106	4,374	7	13,487

(注) 1. 社団法人 日本アスファルト協会調査による。

年月 県別	11 年 度				12 年 度				11年
	11 年	上 期		下 期	12 年	上 期		下 期	7～9月
北 海 道	299,901	288,469	147,538	140,931	285,269	293,955	140,202	153,753	89,875
青 森	101,130	101,266	44,927	56,339	100,596	96,999	45,820	51,179	25,109
岩 手	40,866	44,773	19,346	25,427	53,092	52,233	24,824	27,409	11,218
宮 城	150,166	140,829	56,977	83,852	130,668	122,644	51,514	71,130	31,806
秋 田	58,662	57,771	26,944	30,827	56,886	55,738	25,511	30,227	15,347
山 形	37,260	39,469	17,993	21,476	44,714	44,914	21,257	23,657	11,257
福 島	74,637	72,821	27,892	44,929	74,350	74,502	30,280	44,222	14,750
東 北 計	462,721	456,929	194,079	262,850	460,306	447,030	199,206	247,824	109,487
茨 城	234,926	247,217	91,222	155,995	213,401	231,056	91,298	139,758	62,739
栃 木	38,059	43,053	16,784	26,269	56,927	53,779	19,992	33,787	7,623
群 馬	26,190	25,771	12,216	13,555	26,935	27,773	11,381	16,392	6,809
埼 玉	119,026	120,033	53,484	66,549	121,877	121,161	52,716	68,445	28,361
千 葉	142,504	143,698	57,475	86,223	126,641	121,439	49,996	71,443	33,259
東 京	618,005	636,257	264,582	371,675	657,886	638,431	276,468	361,963	138,262
神 奈 川	124,961	136,935	55,474	81,461	140,150	132,629	60,145	72,484	31,315
山 梨	11,133	11,056	4,467	6,589	13,678	14,103	6,234	7,869	2,277
長 野	40,795	42,831	20,378	22,453	46,326	45,291	21,266	24,025	10,220
新 潟	103,664	105,833	53,649	52,184	103,012	99,714	51,218	48,496	28,450
静 岡	181,392	223,997	93,391	130,606	243,421	245,844	106,316	139,528	59,713
東 計	1,640,655	1,736,681	723,122	1,013,559	1,750,234	1,731,220	747,030	984,190	409,028
愛 知	328,786	325,319	133,697	191,622	314,814	300,459	133,251	167,208	72,044
三 重	50,737	48,942	25,579	23,363	40,028	39,382	16,679	22,703	13,418
岐 阜	38,679	39,432	18,474	20,958	34,159	32,236	17,123	15,113	10,786
富 山	41,684	47,905	19,629	28,276	59,849	53,391	31,413	21,978	10,714
石 川	17,870	18,067	8,557	9,510	16,736	15,700	8,229	7,471	4,585
中 部 計	477,756	479,665	205,936	273,729	465,586	441,168	206,695	234,473	111,547
福 井	14,315	15,060	7,470	7,590	23,962	28,817	8,251	20,566	3,417
滋 賀	28,194	30,908	12,601	18,307	31,758	29,698	13,663	16,035	6,300
京 都	9,037	9,612	4,634	4,978	7,906	7,114	3,481	3,633	2,143
大 阪	338,450	356,304	132,831	223,473	389,456	376,062	178,995	197,067	62,346
兵 庫	222,362	225,095	106,344	118,751	206,896	199,960	93,413	106,547	62,283
和 歌 山	1,373	1,475	614	861	998	1,527	322	1,205	402
近 畿 計	655,199	678,375	282,883	395,492	694,913	675,020	311,463	363,557	145,094
岡 山	262,230	180,377	107,247	73,130	143,801	148,304	73,605	74,699	39,930
広 島	145,470	136,836	63,700	73,136	147,136	152,625	68,483	84,142	32,515
山 口	447,125	461,355	263,309	198,046	353,822	337,908	183,312	154,596	139,174
鳥 取	25,648	25,567	10,797	14,770	22,910	21,022	10,213	10,809	5,689
島 根	26,289	28,495	10,756	17,739	29,616	27,087	14,313	12,774	5,889
中 国 計	906,762	832,630	455,809	376,821	697,285	686,946	349,926	337,020	223,197
徳 島	35,641	36,156	14,803	21,353	32,821	33,543	12,347	21,196	8,476
香 川	62,228	60,245	27,641	32,604	63,315	67,887	29,483	38,404	13,683
愛 媛	62,222	63,446	25,963	37,483	59,475	57,222	24,341	32,881	13,301
高 知	21,409	22,158	8,420	13,738	25,162	25,746	9,904	15,842	4,054
四 国 計	181,500	182,005	76,827	105,178	180,773	184,398	76,075	108,323	39,514
福 岡	202,147	194,271	86,286	107,985	183,193	178,110	75,553	102,557	45,721
佐 賀	10,787	10,964	4,107	6,857	9,773	8,536	3,752	4,784	1,808
長 崎	21,873	22,034	7,605	14,429	23,130	22,891	10,315	12,576	4,002
熊 本	37,699	36,559	14,038	22,521	35,904	35,049	13,590	21,459	7,793
大 分	44,322	50,572	18,219	32,353	45,294	45,315	16,769	28,546	11,452
宮 崎	34,776	36,595	12,658	23,937	38,758	39,696	13,083	26,613	7,192
鹿 児 島	71,738	67,917	21,308	46,609	69,530	68,208	24,903	43,305	13,522
九 州 計	423,342	418,912	164,221	254,691	405,582	397,805	157,965	239,840	91,490
沖 縄	15,880	15,942	5,524	10,418	17,657	15,656	7,092	8,564	2,283
総 計	5,063,716	5,089,608	2,255,939	2,833,669	4,957,605	4,873,198	2,195,654	2,677,544	1,221,515

(注) 1. 社団法人 日本アスファルト協会調査による。

5. 石油アスファルト地域別月別販売量

(単位：t)

11年 10～12月	12年 1～3月	12年 4～6月	12年 7～9月	12年 10～12月	13年 1	2	3	13年 1～3月	4
113,392	27,539	52,278	87,924	117,528	6,604	9,871	19,750	36,225	8,239
35,876	20,463	20,254	25,566	34,313	1,003	1,569	14,294	16,866	6,959
12,835	12,592	9,359	15,465	15,676	1,440	2,248	8,045	11,733	3,949
41,941	41,911	25,406	26,108	37,243	3,654	9,045	21,188	33,887	12,349
19,311	11,516	11,100	14,411	19,859	556	802	9,010	10,368	3,225
13,164	8,312	9,692	11,565	15,145	916	1,500	6,096	8,512	2,878
22,252	22,677	13,882	16,458	21,393	3,619	5,656	13,554	22,829	10,552
145,379	117,471	89,633	109,573	143,629	11,188	20,820	72,187	104,195	39,912
72,962	83,033	28,703	62,595	39,070	29,400	32,675	38,613	100,688	20,977
10,375	15,894	10,494	9,498	21,041	2,494	3,343	6,909	12,746	2,982
7,277	6,278	4,095	7,286	9,276	1,280	2,220	3,616	7,116	2,336
30,444	36,105	24,725	27,991	33,056	8,078	12,153	15,158	35,389	8,556
41,297	44,926	22,551	27,445	31,719	8,175	12,515	19,034	39,724	6,943
167,084	204,591	127,796	148,672	176,807	36,758	59,410	88,988	185,156	48,194
35,009	46,452	24,471	35,674	33,553	7,181	12,536	19,214	38,931	10,782
3,005	3,584	2,625	3,609	3,860	636	1,312	2,061	4,009	1,378
13,225	9,228	10,886	10,380	15,832	757	1,671	5,765	4,489	5,251
30,309	21,875	24,814	26,404	29,919	1,311	4,410	12,856	18,577	8,466
64,116	66,490	41,384	64,932	70,615	20,920	24,324	23,669	68,913	18,748
475,103	538,456	322,544	424,486	464,748	116,990	166,569	235,883	519,442	134,618
88,286	103,336	59,315	73,936	78,227	14,740	26,308	47,933	88,981	22,304
10,541	12,822	7,025	9,654	10,527	2,184	4,066	5,926	12,176	2,492
11,676	9,282	8,785	8,338	7,754	852	2,249	4,258	7,359	2,112
15,016	13,260	15,389	16,024	15,176	284	2,661	3,857	6,802	3,891
5,060	4,450	4,718	3,511	4,048	184	748	2,482	3,414	1,414
130,579	143,150	95,232	111,463	115,741	18,244	36,032	64,456	118,732	32,213
3,978	3,612	4,725	3,526	12,099	1,169	2,228	5,070	8,467	3,725
7,701	10,606	7,028	6,635	7,489	1,510	2,940	4,096	8,546	1,865
2,456	2,522	1,740	1,741	1,903	431	757	542	1,730	584
102,405	121,068	94,237	84,758	89,393	26,916	34,447	46,311	107,674	32,339
58,451	60,300	42,686	50,727	53,183	15,389	16,113	21,862	53,364	17,901
419	442	134	188	234	77	321	573	971	143
9,471	12,061	6,338	7,000	8,538	1,879	3,143	4,944	9,966	324
184,881	210,611	156,888	154,575	172,839	47,371	59,949	83,398	190,718	56,881
38,116	35,014	37,421	36,184	35,182	10,637	12,337	16,543	39,517	12,564
35,783	37,353	31,620	36,863	41,300	9,423	14,105	19,314	42,842	11,460
107,559	90,487	80,961	102,351	80,023	19,531	23,916	31,126	74,573	32,626
7,341	7,429	5,751	4,462	5,268	1,105	1,724	2,712	5,541	1,223
8,454	9,285	7,399	6,914	6,018	1,025	2,311	3,420	6,756	2,587
197,253	179,568	163,152	186,774	167,791	41,721	54,393	73,115	169,229	60,460
9,265	12,088	6,308	6,039	8,386	3,156	3,827	5,827	12,810	2,441
16,504	16,100	13,434	16,049	17,732	5,834	6,700	8,318	20,852	4,896
16,730	20,753	13,748	10,593	14,381	3,865	5,694	8,941	18,500	4,369
5,665	8,073	4,575	5,329	7,185	1,655	2,760	4,242	8,657	1,729
48,164	57,014	38,065	38,010	47,684	14,510	18,981	27,148	60,639	13,435
45,824	62,161	34,880	40,673	45,479	9,624	17,732	29,722	57,078	15,387
3,203	3,654	2,164	1,588	2,367	400	823	1,194	2,417	663
6,682	7,747	6,217	4,098	5,068	780	2,454	4,274	7,508	2,090
8,782	13,739	6,915	6,675	8,575	2,524	3,827	6,533	12,884	1,890
15,098	17,255	9,369	7,400	11,270	2,064	5,031	10,181	17,276	4,044
10,061	13,876	6,122	6,961	11,799	2,478	4,769	7,567	14,814	2,411
18,365	28,244	10,327	14,576	16,383	2,369	8,179	16,374	26,922	4,480
108,015	146,676	75,994	81,971	100,941	20,239	42,815	75,845	138,899	30,965
3,278	7,140	4,962	2,130	3,425	1,091	1,467	2,581	5,139	1,019
1,406,044	1,427,625	998,748	1,196,906	1,334,326	277,958	410,897	654,363	1,343,218	377,737

社団法人 日本アスファルト協会会員

社 名	住 所	電 話
[メーカー]		
出光興産株式会社	(100-8321) 千代田区丸の内3-1-1	03 (3213) 3134
興垂石油株式会社	(105-6124) 港区浜松町2-4-1	03 (5470) 5780
コスモ石油株式会社	(105-8528) 港区芝浦1-1-1	03 (3798) 3874
三共油化工業株式会社	(105-0004) 港区新橋1-7-11	03 (5568) 6411
株式会社ジャパンエナジー	(105-8407) 港区虎ノ門2-10-1	03 (5573) 6000
昭和シェル石油株式会社	(135-8074) 港区台場2-3-2	03 (5531) 5765
東燃ゼネラル石油株式会社	(105-8572) 港区海岸1-16-1	03 (5403) 3111
日石三菱株式会社	(105-8412) 港区西新橋1-3-12	03 (3502) 9122
[ディーラー]		
● 東北		
株式会社男鹿興業社	(010-0511) 男鹿市船川港船川字海岸通り1-18-2	0185 (23) 3293 J O M O
カメイ株式会社	(980-0803) 仙台市青葉区国分町3-1-18	022 (264) 6111 日石三菱
ミヤセキ株式会社	(983-0852) 仙台市宮城野区榴岡2-3-12	022 (257) 1231 日石三菱
● 関東		
朝日産業株式会社	(103-0025) 中央区日本橋茅場町2-7-9	03 (3669) 7878 コスモ
株式会社アスカ	(106-0032) 港区六本木7-3-3	03 (5772) 1505 出光
伊藤忠燃料株式会社	(153-8655) 目黒区目黒1-24-12	03 (5436) 8211 J O M O
梅本石油株式会社	(102-0073) 千代田区九段北3-2-1	03 (5215) 2286 コスモ
エムシー・エネルギー株式会社	(100-0011) 千代田区内幸町1-3-3	03 (5251) 0961 日石三菱
コスモアスファルト株式会社	(104-0032) 中央区八丁堀3-3-5	03 (3551) 8011 コスモ
国光商事株式会社	(164-0003) 中野区東中野1-7-1	03 (3363) 8231 出光
昭石商事株式会社	(107-0051) 港区元赤坂1-1-8	03 (5474) 8511 昭和シェル
住商石油アスファルト株式会社	(105-0011) 港区芝公園2-6-8	03 (3578) 9521 出光
竹中産業株式会社	(101-0044) 千代田区鍛冶町1-5-5	03 (3251) 0185 昭和シェル
エフケー石油販売株式会社	(111-0052) 台東区柳橋2-19-6	03 (5823) 5581 富士興産
東新エナジー株式会社	(103-0027) 中央区日本橋2-13-10	03 (3273) 3551 日石三菱
東洋国際石油株式会社	(104-0032) 中央区八丁堀3-3-5	03 (3555) 8138 コスモ
中西瀝青株式会社	(103-0028) 中央区八重洲1-2-1	03 (3272) 3471 日石三菱
株式会社南部商会	(108-0073) 港区三田3-13-16	03 (5419) 9861 日石三菱
日東商事株式会社	(170-0002) 豊島区巢鴨4-22-23	03 (3915) 7151 昭和シェル
パシフィック石油商事株式会社	(103-0014) 中央区日本橋蛸殻町1-17-2	03 (3661) 4951 モービル

社団法人 日本アスファルト協会会員

社 名	住 所	電 話	
丸紅エネルギー株式会社	(101-8322) 千代田区神田駿河台2-2	03 (3293) 4171	モービル
三井石油株式会社	(100-0011) 千代田区内幸町1-3-1	03 (5510) 5807	極東石油
ユニ石油株式会社	(107-0051) 港区元赤坂1-7-8	03 (3796) 6616	昭和シェル
● 中部			
鈴与商事株式会社清水支店	(424-8703) 清水市入船町11-1	0543 (54) 3322	モービル
富安産業株式会社	(939-8181) 富山市若竹町3-74-4	0764 (29) 2298	昭和シェル
松村物産株式会社	(920-0031) 金沢市広岡2-1-27	0762 (21) 6121	日石三菱
丸福石油産業株式会社	(933-0954) 高岡市美幸町2-1-28	0766 (22) 2860	昭和シェル
● 近畿・中国			
大阪アスファルト株式会社	(531-0071) 大阪市北区中津6-3-11	06 (6442) 0031	出 光
木曾通産株式会社大阪支店	(530-0047) 大阪市北区西天満3-4-5	06 (6364) 7212	コスモ
三徳商事株式会社	(532-0033) 大阪市淀川区新高4-1-3	06 (6394) 1551	昭和シェル
昭和瀝青工業株式会社	(670-0935) 姫路市北条口4-26	0792 (26) 2611	J O M O
千代田瀝青株式会社	(530-0044) 大阪市北区東天満2-10-17	06 (6358) 5531	日石三菱
富士商株式会社	(756-8501) 小野田市稲荷町10-23	0836 (81) 1111	昭和シェル
株式会社松宮物産	(522-0021) 彦根市幸町32	0749 (23) 1608	昭和シェル
横田瀝青興業株式会社	(672-8057) 姫路市飾磨区恵美酒147	0792 (33) 0555	J O M O
● 四国・九州			
伊藤忠燃料株式会社九州支社	(812-8528) 福岡市博多区博多駅前3-2-8	092 (471) 3851	J O M O
今別府産業株式会社	(890-0072) 鹿児島市新栄町15-7	0992 (56) 4111	J O M O
三協商事株式会社	(770-0941) 徳島市万代町5-8	0886 (53) 5131	富士興産
サンヨウ株式会社	(815-0037) 福岡市南区玉川町4-30	092 (541) 7615	富士興産
株式会社ネクステージ九州	(810-0005) 福岡市中央区清川2-20-15	092 (534) 7050	日石三菱
西岡商事株式会社	(764-0002) 仲多度郡多度津町家中3-1	0877 (33) 1001	日石三菱
平和石油株式会社高松支店	(760-0017) 高松市番町5-6-26	0878 (31) 7255	昭和シェル
丸菱株式会社	(812-0011) 福岡市博多区博多駅前4-3-22	092 (431) 7561	昭和シェル

石油アスファルト統計年報 (平成12年度版)

A 4 : 26ページ ¥800 (送料は実費) 毎年 8 月発行

アスファルトに関する統計
資料を網羅し、年一回発行
する統計年報です。

広くご利用いただけるよ
う編纂致しました。

— 目 次 —

- 石油アスファルト需給実績
- 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
- 石油アスファルト品種別地域別月別販売量

申込先

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

編集顧問

多田 宏 行
藤 井 治 芳
松 野 三 朗

編集委員

委 員 長 : 中村 俊 行
阿 部 忠 行 栗谷川 裕造 野村 健一郎 溝口 孝 夫
安 崎 裕 小 島 逸 平 野 村 敏 明 溝 渕 優
太 田 亨 田 井 文 夫 服 部 潤
大 野 滋 也 塚 越 徹 姫 野 賢 治

アスファルト 第208号

平成13年 7 月発行

社団法人 日本アスファルト協会

〒100-0014 東京都千代田区永田町2-10-2

秀和永田町TBRビル514号室 TEL 03-3502-3956

本誌広告一手取扱 株式会社 廣業社

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

印刷所 キュービシステム株式会社

〒104-0061 東京都中央区銀座1-21-7

GNビル4F TEL 03-3538-3171 (代)

Vol.44 No.208 JULY 2001

Published by **THE JAPAN ASPHALT ASSOCIATION**