

アスファルト

第42巻 第203号 平成12年4月発行

203

特集・舗装と水

特集にあたって	蒔田 實	1
はく離防止への対策	牛尾俊介・今井博文	3
フォームドアスファルトを使用した安定処理 (セメント・瀝青安定処理) 工法について	海老澤秀治・五伝木 一	9
アスファルト乳剤	浅田 弘	15
都市の水循環と透水性舗装	守田 優	22
排水性舗装 ～排水機能と効果～	大川 秀雄	29
都市の高温化の解消を図る保水性舗装の開発	徳本行信・岡田恒夫 松下守雄・吉田孝介	34

<アスファルト舗装技術研究グループ・第36回報告>

峰岸 順一 44

第3回路面性状に関する国際シンポジウム

高橋光彦・関口英輔・安井由喜夫・鈴木康豊
美馬孝之・黒田 智・山脇宏成・清水浩昭 45

<用語の解説>

構内舗装	小島逸平	62
アスファルトマット工法	青木秀樹	66
総目次		68
<統計資料>石油アスファルト需給統計資料		70

ASPHALT

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

特集にあたって

蒔 田 實

ニチレキ㈱副社長

アスファルト舗装と水とは、本来、いろいろな点で深い関わりを持っている。近年、舗装に対する社会の要請が高度化、多様化する中で、両者の関係は、より一層の重要性を増してきている。この様なことから、今回本誌の特集号として、「舗装と水」が取り上げられたことは、大変意義深いことと言える。

舗装と水との関係で、特に話題としてクローズアップされているものについて、その道の専門家に、技術開発の現状と課題など、詳しく紹介していただくこととなっている。ここでは、いささか技術的な厳密さを欠き、独断と偏見に過ぎるかも知れないが、舗装と水との関係を概括的に論じてみたい。

本拙論が、専門家の各論の理解の一助になり、今後の技術開発の参考にもなればと、願う次第である。

遮水性と排水性、透水性

舗装と水は、従来、敵対関係にあるとされている。舗装に水が浸透すると、路床が軟弱になり、舗装が破壊され易くなることから、舗装には雨水を遮蔽する機能をもつことが期待されてきた。

アスファルト舗装の遮水性は、舗装の耐久性を確保するためには利点となるが、このことは同時に交通安全の点で欠点となる。すなわち、遮水性故に雨水が路面に溜まったり、夜間に結露して湿潤になるなど路面がすべり易くなり、交通事故発生の原因となる。しかもこれが凍結するときには、一層その危険性は増大する。こうした遮水性の欠点を補うため、近年、排水性舗装が着目され、高速道路をはじめ幹線道路を中心に、広く利用されてきている。

しかし、現在の排水性舗装は、路床への水の浸透を防止するため、表層は排水性を持たせるが、基層の舗装は相変わらず遮水性を持つものされて

いる。そこで、発想を広げてみると、これで良いのかが問題となってくる。自然環境を保護する観点からすれば、降った雨水はそのまま現位置で地下に還元するのが理想であろう。地表、地下を含めた水の存在状態が、道路建設によって変化しない技術が開発されれば、今後の道路整備はより広く国民に受け入れ易いものとなるであろう。

新たな技術として、車道においても雨水をそのまま透水させて、なお舗装が破壊しない技術の開発が進められていると聞いている。この様な技術開発に大いに期待したいものである。

水密性と保水性

アスファルト舗装混合物は、元来水密性の高いものとされてきた。その第一の理由は舗装に遮水性を持たせるためであるが、同時に、含水した状態に混合物が長く置かれると、せっかく良く付着したアスファルトと骨材が剥離し易くなるからである。明確に剥離に至らないまでも、水はアスファルトと骨材の付着力を弱め、交通荷重の作用もあって、結果として舗装を破壊させることになる。

しかし、交通安全および自然環境保護の点から、排水性あるいは透水性舗装が着目されている。今ひとつ論を進めて、舗装に常時保水させることができれば、コンクリートジャングルと言われる市街地の夏場のヒートアイランド現象解消に役立つことが期待される。この様な期待を実現するには、湿潤時のアスファルトと骨材の付着力に関する課題解決が必要とされる。すなわち、常時ぬるま湯に浸た状態で破壊しないアスファルト舗装を実現しなければならない。と同時に、水蒸気蒸留によるアスファルトの劣化に関する研究が不可欠となる。水蒸気蒸留によるアスファルトの劣化は、世界中で誰も話題にしていない。SHRPでも研究対象にはされていず、筆者の妄想かも知れない。

しかし、昨今のわが国のアスファルトを考えると、こうした研究が不可欠と考えざるを得ない。

なにも保水性舗装に限らず、高温多湿のわが国でアスファルト舗装の長寿命化をはかるとき、従来の技術の壁を破るためにも、この様な視点の研究開発が必要と考えるのは、筆者一人であろうか。

水と油

アスファルト乳剤による舗装の表面処理や簡易舗装は、水と油の性質を巧みに利用したものだが、分離した水分が影響するなど、加熱アスファルトのような性能が発揮され難いのが、欠点とされている。しかし、常温で製造、施工でき、エネルギーの削減や炭酸ガスの発生の抑制など、近年の国際的な関心事となっている地球環境の保全の点では、大変期待される材料と言える。

さらに水と油の関係を利点とする利用法が、種々あると期待される。例えば、近年フランスで開発されたデュアルエマルジョンは、異なる性状のアスファルトを同一液中に共存させたもので、細骨材と粗骨材とに選択的に異なるアスファルトを被覆させた混合物をつくようにしたものである。

さらに筆者の思いつきだが、細骨材と粗骨材とで区分するばかりでなく、分解時間をずらせることにより、骨材に異なるアスファルトを層状に被覆させることも可能となるはずである。加熱アスファルトでは、異なるアスファルトが相互に溶解して、この様な混合物をつくることは困難である。アスファルト乳剤ならではの新しい舗装材料の開発が期待できる。

水の存在と作用

紀元前7世紀、古代ギリシャのミレトスの自然哲学者のタレスは、エジプトのナイル河の氾濫のあとデルタ地帯に豊かな実りがもたらされるのを見て、水がすべての物の起源と考えたと言われている。さらに紀元前6世紀、シチリアのエンペドクレスは、木が燃えるのを見て発想したと言われるが、すべての物質は、土、空気、火と水がまじりあってできていて、水は元素の一つと考えたとされる。

水は、大気中に水蒸気、降水（雨や雪）として存在し、陸上に河川水、地下水など、海洋に海水、氷山として存在している。そして、水は、気体、液体、固体に容易にその姿を変えることができ、地球上を広く循環している。ギリシャの自然哲学者たちは、こうしたことを良く観察し、水が根元的なものであると洞察したのであろう。

舗装と水との関係を考えると、水が酸素と水素の化合物であるとの知識は必ずしも重要でない。単に、水は広く地球上に分布し循環していて、基本物質として多くの物質の組成の一部をなし、気体、液体、固体に容易に変化し、種々の作用をするものとして認識するだけで十分である。むしろ、ギリシャの自然哲学者たちのように、良く観察し考察することこそ必要と考えるが、如何だろうか。例えば、加熱アスファルトに少量の水を加え、気化させて流動性を持たせたフォームドアスファルトなどは、その典型的な例であろう。

今までに述べてきた舗装と水との関わりも、すべてこうした観察、考察で発想できるものばかりである。先入観に囚われない単純な発想で、舗装技術の可能性が広がることを期待したい。

☆

☆

☆

☆

☆

☆

はく離防止への対策

(ADDITIVES TO PROMOTE ADHESION OF BITUMINOUS MIXTURES)

牛尾俊介*・今井博文**

排水性舗装（低騒音）舗装が普及するにつれて、水によるアスファルト舗装のはく離対策が注目され始めている。アスファルト舗装の剥離について、骨材表面電位及び水の親和力からその発生メカニズムと現在使用されている各種添加剤の特徴を分類して説明し、最近話題になっている新技術添加剤（酸性有機リン化合物）の、骨材表面の原子と化学結合して付着を改善する方法について紹介する。

1. はじめに

アスファルト舗装の破壊にはひび割れ、わだち堀れ、破損等があるが、アスファルト混合物の荷重に対する抵抗力及び強度の不足あるいは耐久性の低下が起因するといわれている¹⁾。アスファルト混合物は骨材（粗骨材、細骨材、フィラー）とアスファルトを加熱混合して製造されたものであるが、配合されている骨材の品質（比重、吸水率、硬さ等）とアスファルトの品質（粘度、伸び等）により適否、合否が左右されている。アスファルト混合物は製造時の貯蔵・混合・舗設を通じて高温加熱工程の後、供用後は長年月の自然条件に暴露されている。配合設計或いは工程管理では何ら欠陥の無いアスファルト舗装が開通間もなく、設計寿命に満たない期間で壊れる現象がたびたび指摘され、問題になっている。前述の如く、アスファルト舗装の破壊には色々な要因があるが、アスファルト混合物の耐久性の低下の大きな要因の一つとして骨材とアスファルトのはく離現象がある。はく離現象は骨材からアスファルト皮膜が剥がれて結合力を失い破壊の原因となるもので骨材の品質に大きく影響される。一方舗装用骨材は資源開発の規制・輸送事情の制約等からやむを得ず低品質骨材を適宜使用せざるを得ない環境もある²⁾。はく離現象を誘因する要素は交通荷重、滞水状態にもよるが使用骨材の表面組成とアスファルト皮膜の付着性の低下によるものが大きいといわれている。アスファルト舗装の新設・維持補修に関わらず、寿命の長期化を図るため、はく離防止対策が検討される場合

が多くなっている。骨材事情により止むを得ずはく離を起こし易い材料を用いざるを得ない場合、地下水位が恒常的に高い場合、橋面舗装で排水処理が困難な場合、排水性舗装（低騒音舗装）で滞水が過酷な状態になる設計の場合等において、可能な限り安価な材料を用いて、長寿命のアスファルト舗装を建設する為の方策の一つとして、はく離防止対策が注目されている。

2. アスファルト舗装のはく離とは

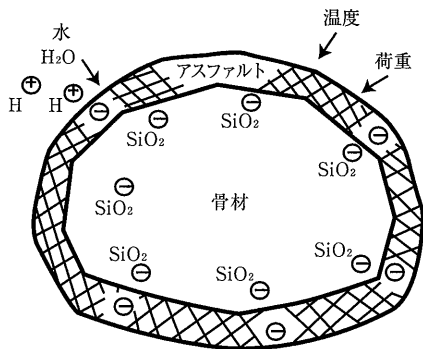
アスファルト舗装を構成するアスファルト路盤、基層、表層に用いられているアスファルト混合物への水の作用、又は水と交通の相互作用によって骨材の表面からアスファルトがはがれる現象のことをはく離という。はく離を防止する方法にはアスファルト混合物のフィラーの一部をセメント又は消石灰に置きかえる方法、アスファルトに添加剤を混入する方法があるが、はく離防止対策の根拠となっている骨材の表面電位の観点から、その発生メカニズムと対処方法について述べる。

3. はく離のメカニズム

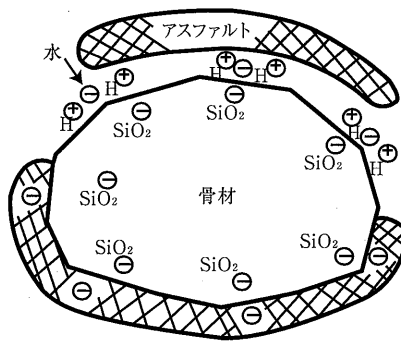
図-1は、はく離現象のイメージ図である。一般にシリカ（ SiO_2 ）を主成分とする骨材は、表面がマイナスに帯電している。シリカ分の多い程はく離し易い傾向にあるが、本質的にはシリカの分子構造によって定まる表面電位に影響されている。図-2にシリカの表面電位のモデルを示し、図-3に水分子の電位モデル

*うしお しゅんすけ 昭石商事㈱代表取締役社長

**いまい ひろふみ 昭石商事㈱アスファルト部次長



水の親和力<骨材・アスの結合力



水の親和力>骨材・アスの結合力

図-1 はく離のイメージ

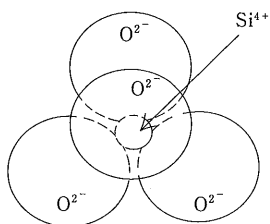


図-2 シリカの表面電位³⁾

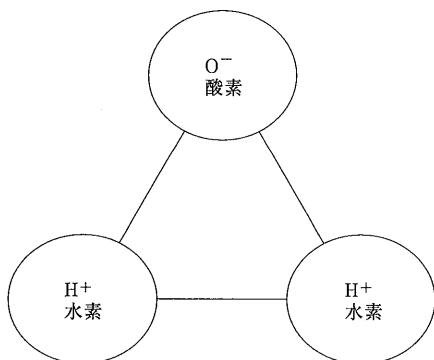


図-3 水分子の電位⁴⁾

を示す。

水の分子構造は H_2O であるが、水素側はプラス、酸素側はマイナスの極性を持った構造となっている。水の骨材との親和力は水の分子構造と骨材表面の電位に起因するもので、骨材表面がプラスであればマイナスのイオンが、マイナスであればプラスのイオンがそれぞれ吸着する。しかし表面電位がマイナスであればあるほど、はく離は大きくなる傾向にある⁵⁾。この事は、水の分子構造の H^+ と骨材の表面電位の O^- (SiO_2)に起因する水素結合の大きさにより、はく離の程度が左右されることを示している。小林³⁾は、はく離現象を

表-1に示す力学表現でわかり易く説明している。骨材とアスファルトの結合パワーを P_1 、骨材からアスファルトをはがすパワーを P_2 とすると、はく離は P_1 より P_2 が大きくなったときに発生する。

表-1 主な結合パワー及びはく離パワーの要因³⁾

結合パワー (P_1)	・ファンデルワールス力 ・機械的結合力
はく離パワー (P_2)	・骨材と水の親和力 (はく離パワーの主力) ・温度の上昇 (機械的結合力のダウン) ・荷重/外力 (機械的結合力のダウン)

3.1 結合パワー (P_1) の要因

①ファン・デル・ワールス力

どんな物質でも短い距離においてミクロに近づくと、互いに引き合う力がある。この力をファン・デル・ワールス力というが、骨材・アスファルトの種類による差はあまり無い。

②機械的結合力

骨材表面の粗密さによるアスファルトとの結合力で代表され、骨材表面が粗い方が結合力が大といわれている。そしてアスファルトの方から見れば、アスファルトの凝集力の大きい (粘度の高い/針入度の低い) 方が結合力が大きくなるといわれている。最近新しい発明としてケイ素質の酸性骨材から石灰質で塩基性骨材までいかなる種類の骨材に対してもよく付着し、しかも感温性と耐久性、さらにはく離防止性を兼ね備えた酸性有機リン化合物が見いだされ、著しいはく離防止効果がある添加剤として注目されている⁵⁾。

3.2 はく離パワー (P_2) の要因

①骨材と水の親和力

水は図-3のとおり極性をもった分子で、この分子

は静電場におかれると配向をしめすため、プラス・マイナスどちらの電極をもった表面にでもくっつくことができる。骨材表面の電極は主にマイナスの為、それに付着しようとする力が親和力。

②温 度

外気温により舗装体にかかる温度。温度が高くなると、アスファルトの機械的結合力が低下する。

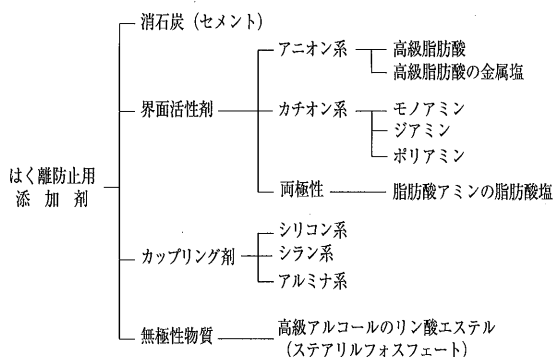
③荷 重

車両の通過による輪荷重。繰り返し荷重が多い程、アスファルトの機械的結合力が低下する。

4. はく離防止対策

骨材の表面からアスファルトがはく離する原因は、水と骨材の親和力に起因するものである。この親和力エネルギーを表-1に説明した結合パワー(P1)すなわち機械的結合力、ファン・デル・ワールス力よりも小さくすることがはく離防止対策である。現在用いられている又は考えられているはく離防止用添加剤を表-2に示す。

表-2 はく離防止用添加剤の分類⁶⁾



以下にその特徴を述べる。

4.1 骨材表面電位を低減させる方法として従来より用いられているもの。

①フィラーの一部に消石灰/セメントを用いる方法

(特徴) 消石灰の表面電位はプラスであり、フィラーの使用量の内骨材重量比1~3%を消石灰に置き換えることで、骨材の表面がマイナス電位を呈することによって誘引される水との親和力を、消石灰のプラス電位が遮断することではく離を押さえる方法である。又セメントは水と接した直後はマイナス電位であるが、すぐにプラス電位を呈してはく離現象を防止する。以

上の特徴があるが、添加量が多いためミキサーへの投入操作が煩雑になることや、均一に混合することが難しいという意見もある⁶⁾。

②アミン類などのカチオン系界面活性剤を用いる方法。

(特徴) 分子中に水との親和力の強い親水基(マイナスに帯電)と、油に対して親和力を示す親油基を持つ化合物である。図-4に界面活性剤と骨材の結合状態のイメージ図を示す。アスファルト中に溶解すると親油基がアスファルトに引き込まれた形となり、又親水基(骨材表面と接触する)は突き出た形となり、骨材表面のマイナスイオンと界面活性剤の親水基(H^+ /プラス電位)が水素結合することで、水の親和力を押さえる。以上の特長があるがこの方法は塩基性岩にはほとんど効果が無いといわれている⁶⁾。又高温に対して不安定で、耐久性の低下が起きるという問題点も指摘されている³⁾。

③シラン系のカップリング剤(無機質と有機質の材料の結合を助ける材料)を用いる方法。

(特徴) 骨材表面のマイナス電位をカップリング処理することにより、マイナス電位を遮断する表面処理方法が特徴であるが、アスファルトに添加する際有害な臭気及び蒸気発生があるという安全衛生面での問題と高価で実用性にかけるという現場の声もあり、あまり使われていない。

4.2 次に3.1.②の項で説明した新しい技術である骨材表面電位を低減させ、且つ骨材表面の原子と化学結合し、強固な疎水性の被膜を形成することではく離を防止する方法について述べる。

①酸性有機リン化合物のステアシルフォスフェート系超耐熱性の無極性物質を用いる方法。

(特徴) 分子中にR-O-で表される親油基とP-OHで表される親水基を有する酸性有機リン化合物で、はく離防止メカニズムを図-5に示す。

骨材表面のマイナス電位とP-OH基が水素結合を形成し、さらに加熱されることによって水素と骨材表面のシリカ分(SiO_2)の酸素が結合/脱水し、加えて骨材表面の原子(Si等)と化学結合を起こし、且つ化合物自身も重合し強固な疎水性の被膜を形成するもので優れたはく離防止効果を示す。

又、P-OHの親水基は塩基性岩(Ca^+)に対しても O^- の結合を行って疎水性被膜を形成し、はく離防止効果を発揮する。又同時に超耐熱性能をも兼ね備えている⁵⁾。表-3に耐熱性試験及び耐久性試験の例を示す。

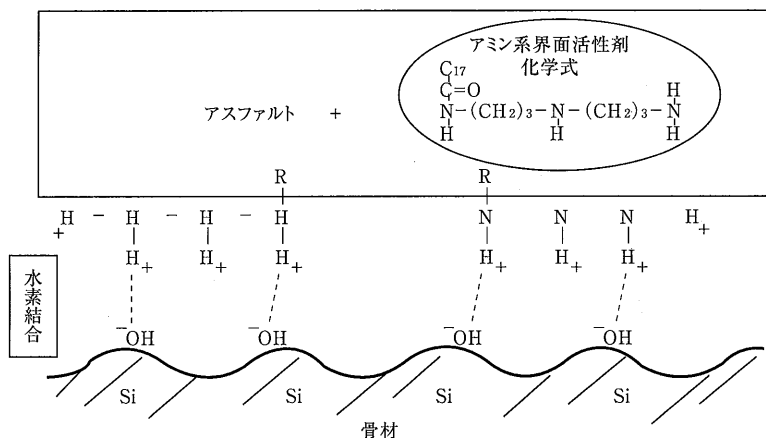


図-4 アミン系界面活性剤水素結合のイメージ

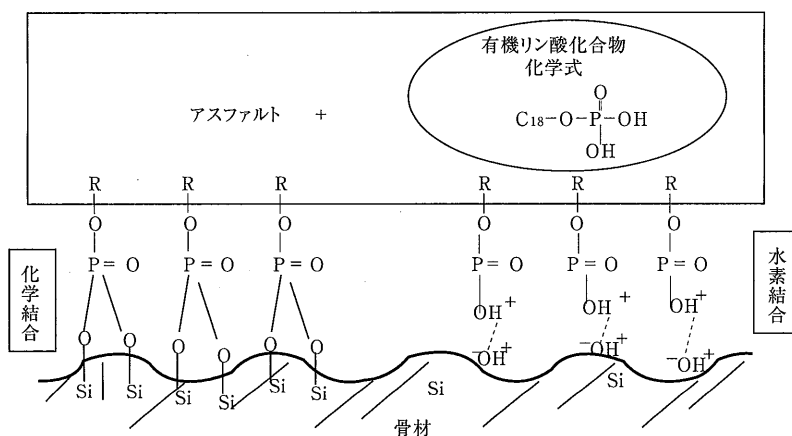


図-5 有機リン酸化合物のはく離防止メカニズムのイメージ

表-3 フォスフェート系添加物の耐熱性及び耐久性

骨材：石英粗面岩（産地：家島）
アスファルト：スレート60/80

1. 耐熱性（アスファルト中での高温保管中の剥離効果経時変化）

JPI法／条件変更 静的剥離試験 5時間水浸		無処理	フォスフェート系 はく離防止剤 添加量0.3%
180℃での 高温貯蔵	7日後	80%	0%

2. 耐久性（舗装体として供用性推定試験）

JPI（石油学会法） 静的剥離試験		無処理	フォスフェート系 はく離防止剤 添加量0.3%
オリジナルアスファルト		40%	0%
TFOT+PAV処理 アスファルト		35%	0%

*静的剥離試験

この試験はアスファルト被膜の骨材からの剥離に対する抵抗性を測定するもので、アスファルトを被覆した試験用骨材を80±2℃の水槽に30分いれて、水中の被覆骨材を観察しアスファルト膜の骨材よりのはく離面積百分率を評価する。

5. 各種添加剤の効果の比較とまとめ

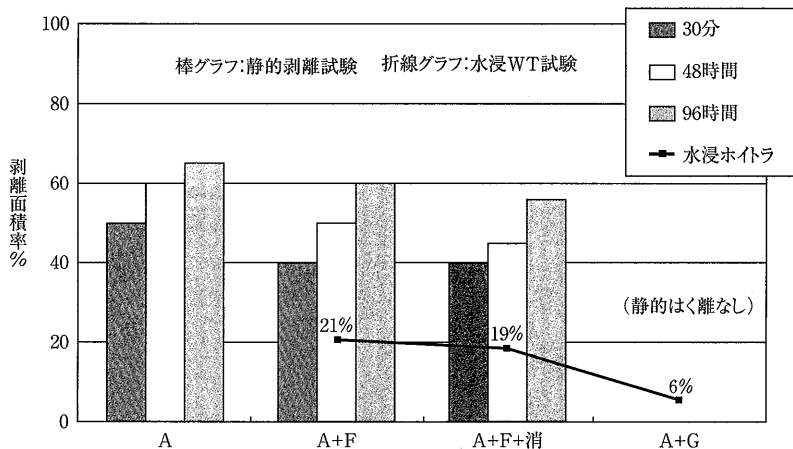
表-4に現在市販されている各種はく離防止用添加剤の特徴を示す。

最近では超耐熱性及び耐久性を兼ね備えた有機リン酸化合物が、作業性や経済性から、高速道の新設工事での採用が増えてきている。図-7に東九州道の工事に用いられた現地材料によるはく離防止効果の実例を示す⁷⁾。

表-4 各種はく離防止用添加剤の比較⁶⁾

項目 添加剤	はく離防止の メカニズム	添加対象	経 済 性			作業性 (添加方法)	熱安定性	アスファルトの品 質に対する影響	耐久性 (混合物性状に対す る影響)	骨材との相性	使用実績
			添加量	材料単価	混合物 1t当りの 単価増						
消石灰	水素結合	骨材	混合物全量 に対して 3% (密粒13)	18,500/t (名古屋地区)	555円	加熱混合時にフィ ラーと同様にミキ サーに投入する。 混合むらが懸念さ れる。	問題なし	粘度の増加があり 設計アスファルト 量が若干多くなる。	耐久性が向上する。 供用中のアスファ ルトの硬化を遅ら せる働きがある。	岩種に無関係。 湿潤な骨材に も有効。	多い
界面活性剤 (アミン系)	水素結合	アスファルト	アスファルト 重量に対 して0.3%	1,120/kg (比重0.9)	224円 (アス量6%)	プラントのケット ルで混合すること は手間がかかり、 均一混合は難しい ので、アスファル トプラントで混合 することが望まし いが、少量の場 合は困難である。	問題あり	粘度の変化殆ど無 し。	耐久性に劣るもの もある。	酸性岩に有効。 塩基性岩には あまり効果な し。	北陸では 多い。
カップリン グ剤	エイオンを 遮断	アスファルト	粗骨材 1 kg 当り15 g (密粒13)	9,000/kg	770円	アスファルトに直 接添加する場合ア スファルトタンク への攪拌翼の設置 が必要となる。 1%の水溶液とし て骨材に噴霧し、 骨材表面の処理を する。	-	-	-	岩種に無関係	なし (建設省 開発中)
剥離防止剤 (フォスフェート系)	水素結合 +化学結合	アスファルト	アスファルト 重量に対 して0.3%	1,500/kg	270円 (アス量6%)	フレック状の固体 で、融点が70℃と 溶解が簡単。 (大量使用時) ローリー車又はタ ンクへの投入。 (少量使用時) アスファルト計 器への投入。	問題無し	粘度とアスファル トの性状変化殆ど 無し。	殆ど影響無し。	岩種に無関係	高速道の 新設工事 で実績。

(注) 2000年2月現在の物価版による。(消費税含まず)
混合物1t当りの単価増は、材料単価の増加についてののみ考慮。
プラントでの添加時の手間賃等は考慮していない。



A:ストアスのみ A+F:ストアス+石粉 A+F+消:ストアス+石粉+消石灰 A+G:ストアス+フォスフェート系剥離防止剤

図-6 鹿児島産骨材の静的はく離試験と**水浸WT試験

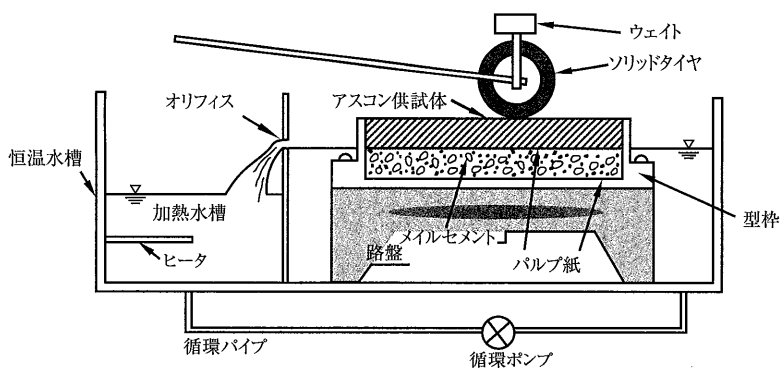


図-7 水浸ホイールトラッキング試験機断面図⁸⁾

**水浸ホイールトラッキング (WT) 試験

図-7に示すように、水浸状態で一定温度に保った模擬路盤上に固定したアスファルトコンクリート供試体上をゴム車輪で載荷走行させ、路盤と接するアスコン層にはく離を起こさせるタイプのものである。

6. あとがき

以上、はく離防止対策の現状についてのべたが、骨材とアスファルトのはく離に関する評価試験及び基準値の充実と対策の仕様の制定が望まれる。今後舗装用骨材の枯渇も危惧されており、品質の補強による経済性も期待出来、アスファルト舗装の長寿命化にも有効な対策として重要性が益々増大するものと思われる。

参考文献

1) 山之口浩・丸山暉彦：「超舗装入門-アスファル

ト舗装修繕技術」山海堂、1997

- 2) 江良誠至：報文「碎石・砕砂」、セメントコンクリート、No.618, Aug, 1998
- 3) 小林：骨材の特性とアスファルトのはく離を考える、舗装15-6, June, 1980
- 4) 岡田他：骨材の諸性質（瀝青混合物の骨材について／その2）、アスファルト、Vol.4, No.23
- 5) 花王：特許公報 特公平8-32832
- 6) 峰岸：はく離防止用添加剤、アスファルトVol.32, No.161, 1989
- 7) 栃木他：九州における高速道路舗装のはく離抵抗性の検討、発表論文No.5237, '99年日本道路会議
- 8) 南雲他：水浸ホイールトラッキング試験によるアスファルト混合物のはく離性状、舗装14-8, Aug, 1979

フォームドアスファルトを使用した安定処理 (セメント・瀝青安定処理) 工法について

(The stabilization method (icement-bituminous stabilization) using foamed asphalt)

海老澤 秀治*・五伝木 一**

一定の条件下で高温のアスファルトに少量の水 (1.5~2.5%) とエアを添加すると、アスファルトの体積は10~20倍に膨張し、フォームド (泡状) 化する。フォームド化したアスファルトは粘性および表面張力が減少し、常温で湿潤状態の骨材と混合が可能となる。本文では、フォームドアスファルトを用いた常温混合工法の1つであるセメント・瀝青安定処理工法について、特徴、配合試験方法、施工方法などについて紹介する。

1. はじめに

1997年12月に京都で開催された「気候変動枠組条約第3回締約国会議」において、日本では温室効果ガスを2008~2012年の平均で、1990年に比較して最低6%削減するという議定書が採択された。温室効果ガスの一つにCO₂があり、道路建設分野においてもCO₂排出量の削減が重要な課題の1つになっている。また、省エネルギー、省資源、リサイクル、コスト削減も関連する大きな社会的ニーズとして上げられている。

これらの課題を解決できる工法の1つとして、常温混合工法であるフォームドアスファルトを用いたセメント・瀝青安定処理工法 (以降、CFA工法と呼ぶ) があり、平成10年度には約30万m²が施工されている。

CFA工法には、「プラントによる中央混合方式」と「スタビライザによる路上混合方式」の2方式があるが、本文では我国における施工実績が多い路上混合方式による再生路盤工法を主として記述する。

2. フォームドアスファルトの概要

2.1 フォームドアスファルトの歴史と現状

1957年アメリカのアイオワ州立大学サニー (Csanyi) 教授は、高温 (液状) のアスファルトに一定の条件下で水蒸気を添加して微細な泡にすることで、アスファルトの持つ粘性を減少させ、常温で湿潤状態の骨材とアスファルトが混合できることを示した。

その後、水蒸気の代わりに常温の水を用いてフォームドアスファルトを製造する方法が考案され、路上混合方式にも適用できるようになった。現在では、さら

に改良が進められ、欧米をはじめとする建機メーカーがフォームドアスファルト製造装置を搭載したスタビライザを販売するようになり、世界各国で広く使われるようになってきている。

日本においても、常温安定処理工法として既に20年以上の施工実績¹⁾があり、平成4年度版「アスファルト舗装要綱」(社)日本道路協会)からはセメント・瀝青安定処理工法の一つとして採用されている。

2.2 添加水量とフォームドアスファルトの性状

添加水量 (水アスファルト比) とフォームドアスファルトの性状との関係は図-1に示すとおりであり、アスファルトに添加する水の量を多くすると膨張率は大きくなるが、泡の容積が最大を示してから半分の容積になるまでの時間 (半減時間) は短くなる。逆に水の量を少なくすると膨張率は小さくなるが、半減時間は長くなる。そのため、良好な混合性が得られる膨張率 (10~20倍程度) および半減時間 (10~20秒程度) を満足する範囲内で水アスファルト比を決定する必要

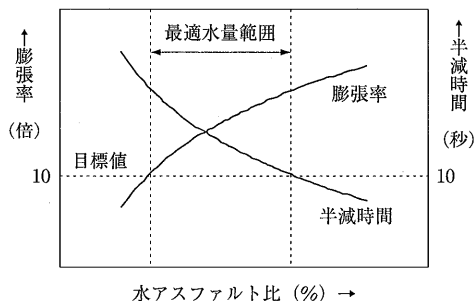


図-1 膨張率と半減時間の関係

*えびさわ ひではる 鹿島道路舗装技術研究所

**ごでんき はじめ 鹿島道路舗装技術研究所



写真-1 発泡状況

があり、通常は1.5%~2.5%程度の水アスファルト比となる。また、アスファルトの温度もフォームドアスファルトの性状と密接な関係があり、150~180℃程度の温度を確保することが望ましい。

2.3 水の硬度とフォームドアスファルトの性状

硬水を使用するとフォームドアスファルトの発泡が悪くなると言われており、我国では問題ないものの、カナダなどでは軟水化装置を装着したフォームド化装置が使用されている例もある。

2.4 フォームドアスファルトによる常温混合の機構

アスファルトはフォームド（泡状）化することにより、粘性および表面張力が減少するため、常温で湿潤状態の骨材との混合が可能になるが、混合時は粗骨材を被覆せず、細粒分とフィラービチューメンを形成し、混合物中に小さな塊となって均一に分散する。このフィラービチューメンが、締固め時に粗骨材間を点溶接のように固着して、混合物の強度を発現するメカニズムとなっている（図-2参照）。

なお、CFA工法では、セメントとフォームドアスファルトの相乗効果によりフォームドアスファルトを単独で用いた場合よりも、さらに安定性や耐久性が向上している。

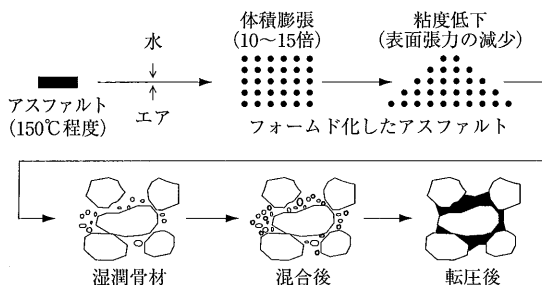


図-2 フォームド混合物の模式図

3. CFA工法の特徴

CFA工法の特徴は以下のとおりである。

- ① 常温混合であり加熱の必要がないため、省エネルギーであり、炭酸ガス発生量も削減できる。
- ② 舗装発生材などの建設副産物の再利用および加熱混合物に使用できない低品質骨材の利用が可能であり、リサイクル工法として活用できる。また、路上混合方式の場合には、現地発生材料をそのまま活用するため、路盤材の搬入や切削材等を搬出することも少なく、工事車両による交通公害も軽減できる。
- ③ 安定材としてストレートアスファルトを使用しているため、施工性に優れており施工中に降雨があっても流出することがない。
- ④ 初期強度が高く、施工直後に交通開放が可能であり、交通規制の時間が短縮できる。
- ⑤ 支持力が大きく、たわみ性を有しているため、ひび割れが生じにくく、耐久性に優れている。
- ⑥ フォームドアスファルトを混合するスタビライザ以外は従来の施工機械が使用でき、施工方法も従来の路上安定処理工法と変わらない。

4. 設計²⁾

4.1 舗装厚の決定

舗装厚さの設計は「路上再生路盤工法技術指針（案）」（社）日本道路協会）に準じて行うが、等値換算係数はアスファルト舗装要綱に示されている0.65とする。

CFA工法の厚さは表-1を標準とする。

表-1 CFA工法の厚さ（標準）

最大厚さ (cm)	最小厚さ (cm)
30	15

また、路上再生路盤用骨材の品質（修正CBR：20%以上）を確保するためには、図-3に示すよう既設アスファルト混合物の混入率を50%以下となるように設計することが望ましい。

4.2 配合設計

路上再生路盤工法におけるCFA工法の配合設計は、路上再生路盤工法技術指針（案）に準じ、図-4に示すフローにしたがって行なう。

(1) フォームドアスファルト量の決定

フォームドアスファルトの添加量は、路上再生路盤用骨材の粒度から、(1)式により算出する。なお、アスファルトの分散形態がアスファルト乳剤の場合とは異なるため、既設アスファルト混合物の混入率によるフ

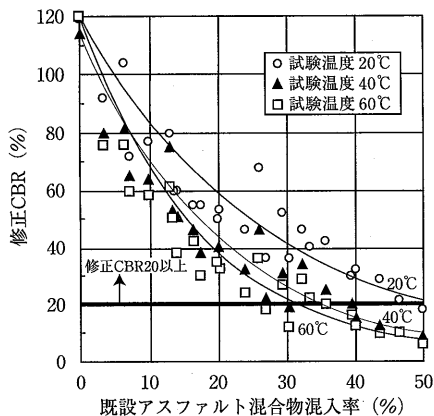


図-3 既設アスファルト混合物混入率と修正CBRの関係³⁾

フォームドアスファルト量の補正はしない。

$$p = 0.03 \times a + 0.05 \times b + 0.2 \times c \dots\dots\dots(1)$$

p: 路上再生路盤用骨材量に対するフォームドアスファルトの質量百分率 (%) ただし、アスファルト量の下限值は3.5%, 上限値は5.5%とする

a: 2.36mmふるいに残留する路上再生路盤用骨材の質量百分率 (%)

b: 2.36mmふるいを通り、0.075mmふるいに残留する路上再生路盤用骨材の質量百分率 (%)

c: 0.075mmふるいを通り、0.075mmふるいを通る路上再生路盤用骨材の質量百分率 (%)

この式は、CFA工法技術研究会各社のこれまでの実績に最も近似するように求めた式であって、施工実績とは図-5に示すような相関がある。

(2) 最適含水比 (OMC) の決定

セメント量を2.5%とし、粒度から求めたフォームドアスファルトを混合する。この時、最適含水比と

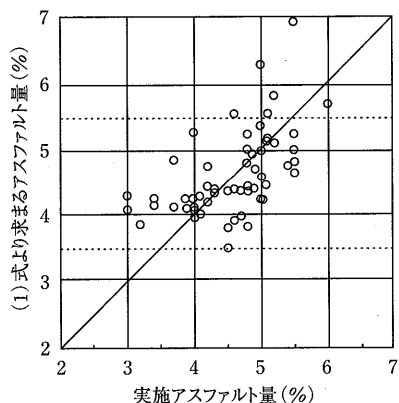


図-5 計算式と実施アスファルト量の比較

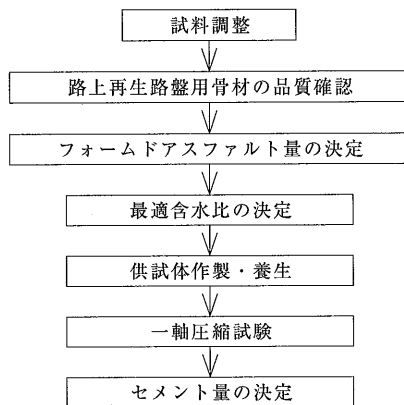


図-4 CFA工法の配合設計フロー

思われる含水比を中央に1%きざみに5点含水量を変化させ、含水比と乾燥密度の関係から最大乾燥密度が得られる含水比 (OMC) を求める。なお、供試体は、骨材、セメント、水 (加水調整)、フォームドアスファルトの順に混合し、マーシャルランマにより50回両面突固め、供試体厚が 68.0 ± 1.3 mmとなるように作製する。

(3) 一軸圧縮試験用供試体の作製・養生

一軸圧縮試験用供試体の作製は(2)項に準じて実施するが、セメント量は1.0, 2.5, 4.0%の3配合とする。供試体は、6日間25℃空中養生する。その後、25℃の水中で1日間養生を行ない、水浸前後の供試体質量から吸水率を算出する。

(4) 一軸圧縮試験

所定の供試体養生が終了した後、 30 ± 1 ℃の水槽に30分間水浸する。水浸終了後直ちに1mm/分の圧縮速度により一軸圧縮試験を行い、図-6に示す荷重強さ-変位量曲線から一軸圧縮強さ、一次変位量を求め、式(2)から残留強度率を算出する。

$$\sigma_r = \sigma_{\ell 1} / \sigma_m \times 100 \dots\dots\dots(2)$$

ここに、 σ_m : 一軸圧縮強さ (N/mm²)

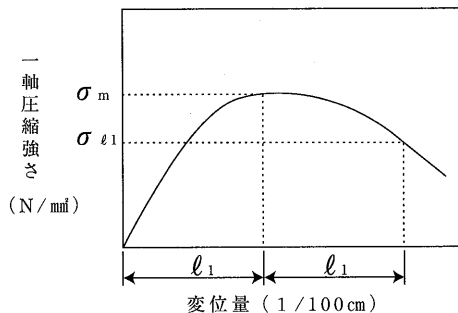


図-6 荷重強さ-変位量曲線

$\sigma_{\ell 1}$: 2 ℓ_1 時の荷重強さ (N/mm²)

ℓ_1 : 一次変位量 (1/100cm)

σ_r : 残留強度率 (%)

(5) セメント量の決定

表-2に示した路上再生路盤工法技術指針(案)の規準値を満足するセメント量の共通範囲を求め、その中央値を最適セメント量とする。

表-2 一軸圧縮試験の基準値

特性値	基準値
一軸圧縮強さ (N/mm ²)	1.5~3.0
一次変位量 (1/100cm)	5~30
残留強度率 (%)	65以上

(6) 安定材添加量と特性値の関係⁴⁾

フォームドアスファルト量およびセメント量と一軸圧縮試験によって得られた各種特性値には次のような傾向がある。また、その一例を図-7, 8に示す。

①一軸圧縮強さは、フォームドアスファルト量の増加とともに減少し、セメント量の増加とともに増大する。

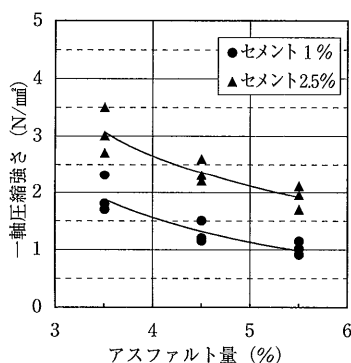


図-7 アスファルト量と一軸圧縮強さ

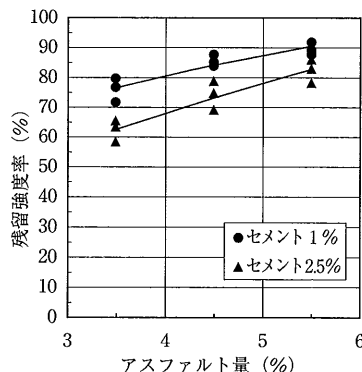


図-8 アスファルト量と残留強度率との関係

②残留強度率は、フォームドアスファルト量の増加とともに増大し、セメント量の増加とともに減少する。

③一次変位量とフォームドアスファルト量・セメント量との間には、明確な相関はない

5. CFAによる路上再生路盤工の施工

5.1 フォームドアスファルトの製造装置

フォームドアスファルトの製造方法は、図-9に示すように、ミックスチャンバ内でアスファルトをフォームド化した後に配管で各噴霧ノズルに分配する方式(分配型)と、噴霧ノズルとミックスチャンバを一体化し、それぞれ独立した噴霧ノズルの先端でフォームドアスファルトを製造する方式(独立型)の2方式がある。

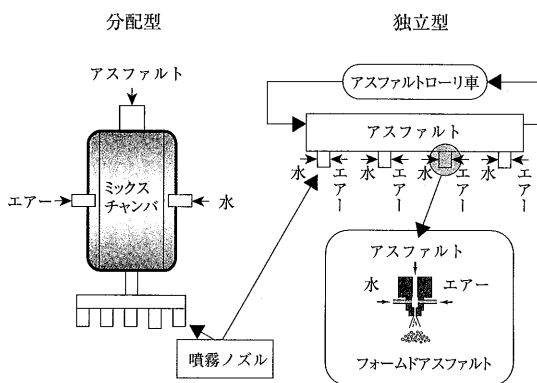


図-9 フォームドアスファルト製造装置

5.2 路上破碎混合機

路上での既設舗装材等の破碎混合には、フォームドアスファルトの発生装置を装着したスタビライザを使用する。このスタビライザには、アスファルトをアスファルト供給車から供給しながら施工するタイプ(写真-2)と、アスファルトタンクを装備しアスファルトローリから供給後単独で施工するタイプの2種類がある。いずれもホイール型であり、現場内の移動は容易に行うことができる。なお、スタビライザにはアスファルト乳剤の混合も可能な兼用型^{5), 6)}も開発されている。

5.3 施工手順

路上混合方式による一般的な施工方法は、図-10に示すとおりであり、既設アスファルト混合物層が厚い場合には必要に応じて予備破碎や切削を行う。

5.4 施工事例⁶⁾

セメント・瀝青安定処理工法にはフォームドアスフ

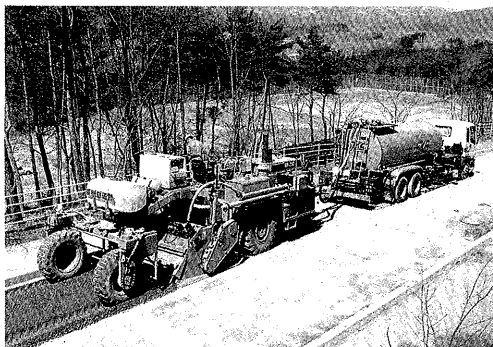


写真-2 スタビライザ（供給車併走タイプ）

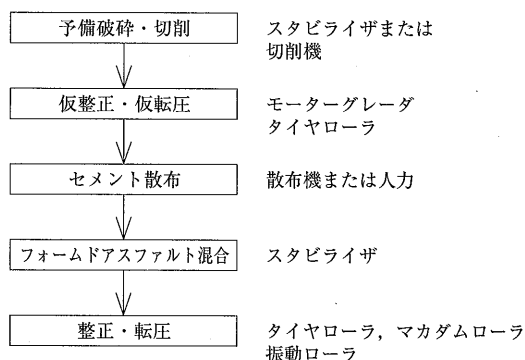


図-10 施工方法

ァルトを用いたCFA工法と混合用アスファルト乳剤を使用したCAE工法がある。以下に、同一路線で両工法を施工した事例について紹介する。

5.4.1 施工概要

- (1) 施工場所：長野県中野市，市道片塩－壁田線
- (2) 施工年月日：平成10年3月23日～3月25日
- (3) 施工断面：施工断面は図-11に示すとおりであり，交通量の増大によって破損した既設舗装（A交通断面）を路上再生セメント・瀝青安定処理工法により，B交通に対応した舗装構造に補修したものである。

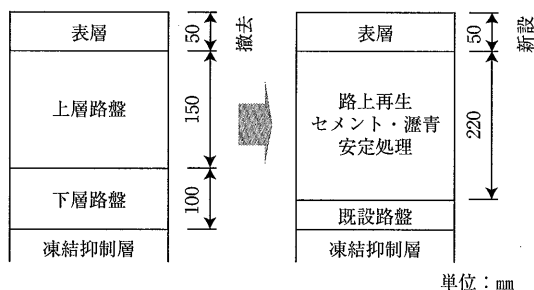


図-11 施工断面

(4) 施工面積：CFA工法2,041㎡，

CAE工法1,360㎡

(5) 施工方法

施工は，CFA工法およびCAE工法ともに図-10のフローに準じ，既設表層を切削した後，路上混合方式により既設路盤材22cmを再生セメント・瀝青安定処理した。

(6) 混合物の配合

CFA混合物およびCAE混合物の配合を表-3に，混合物の性状を表-4に示す。

表-3 混合物の配合

混合物の種類	配合割合（%）	
	セメント	瀝青材
CFA混合物	2.5	4.0
CAE混合物	2.9	5.1

表-4 混合物の性状

混合物の種類	一軸圧縮強度 (N/mm)	一次変位量 (1/100cm)	残留強度率 (%)
CFA	2.4 (2.5)	13 (15)	76.8 (79.8)
CAE	2.7 (2.7)	14 (28)	77.1 (83.0)
基準値*	1.5～3.0	15～30	65以上

*基準値は，路上再生路盤工法技術指針（案）による。

**（ ）内の数値は配合試験時の値である。

5.4.2 施工結果

CFA工区およびCAE工区の施工後1年間の支持力（たわみ量）変化をFWDにより測定した結果を図-12に示す。

この結果からは，以下のことが言える。

- ①既設舗装のたわみ量 D_0 は900 μ m程度であり，舗装支持力はA交通以下⁷⁾と判定される状態であったが，施工直後のたわみ量 D_0 は両工区ともに300 μ m程度で

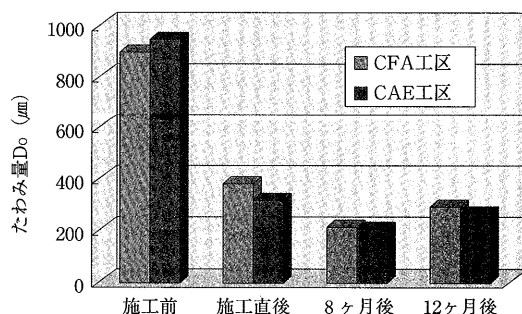


図-12 支持力（たわみ量）の測定結果

あり、セメント・瀝青安定処理工法を施工したことにより設計交通量（B交通、たわみ D_0 ：600 μm 以下⁷⁾）に対して十分な支持力が確保されている。

②たわみ量 D_0 は両工区ともに、施工直後に比べ施工8か月後および12か月後の方が小さな値となっているが、これは供用日数の増加に伴い混合物中に分散したアスファルトが伸展し、結合力がさらに増加したものであると考えられる。

③施工1年後の両工区のたわみ D_0 の差は28 μm と極めて小さく、かつ施工後のたわみ D_0 の経時変化もほぼ同等であり、舗装体の支持力には使用する瀝青材料（フォームドアスファルトおよび混合用アスファルト乳剤）による差異は認められない。

6. おわりに

セメント・瀝青安定処理工法には、本文で紹介したフォームドアスファルトによるCFA工法と混合用アスファルト乳剤を使用したCAE工法がある。両工法は性状的には同等であり、等値換算係数も0.65と同じである。したがって、どちらの工法を採用するかは、施工現場の条件によってコスト等が異なるので、両工法の有する特徴を十分理解した上で決定すべきである。

セメント・瀝青安定処理工法（CFA工法およびCAE工法）は、省エネルギー、省資源、リサイクル、コスト縮減といった観点から、今後がますます広く活

用されることが期待される。

なお、本文の執筆に当たっては、CFA工法技術研究会（日本道路㈱、日本舗道㈱、鹿島道路㈱）でとりまとめたセメント・瀝青安定処理工法（フォームドアスファルト方式）技術資料から多くの部分を引用させていただいた。

— 参考文献 —

- 1) 岡林，久下：フォームドアスファルト工法の現況，道路建設，No.584，1996.9
- 2) CFA工法技術研究会：セメント・瀝青安定処理工法（フォームドアスファルト方式）技術資料，1999.7
- 3) 佐藤，三浦：路上再生路盤工法の問題点とその対策，道路建設，1986.5
- 4) 松浦，海老澤，泉：CFAを用いた路上再生路盤工法の設計・施工，第23回日本道路会議一般論文集（C）
- 5) 相田，泉，羽山：兼用型フォームドスタビライザの開発，第23回日本道路会議一般論文集（C）
- 6) 原，海老澤，大沢：CFA工法とCAE工法の供用性について，第23回日本道路会議一般論文集（C）
- 7) FWD運用マニュアル（案）：財道路保全技術センター，1996.3

☆

☆

☆

☆

☆

☆

アスファルト乳剤

(Asphalt Emulsion)

浅田 弘*

早くから水を仲立ちにした材料であるアスファルト乳剤は、古くは砂利道の防じん処理や簡易舗装に活躍し、近年ではプライムコート、タックコートや路上再生路盤工法、マイクロサーフェシングなどに使用され、環境問題、省エネルギー対策の一つとして期待されている。本稿では、水との共生により生まれたアスファルト乳剤を取り上げ、乳化技術、水とのかかわり、役割と評価について概説するとともに、今後の課題と対策について諸外国での現状や新技術を含めて述べる。

1. はじめに

アスファルトは、常温で粘稠性の大きな半固体の材料であるため、このままではバインダとして使用できない。アスファルトを使用するための主な手段としては、①加熱溶融して粘性を下げる、②溶剤でカットバックして粘性を下げる、③乳化して粘性を下げる、の3つの方法がある。

加熱溶融する方法が最も一般的に行われており、加熱アスファルト混合物はこの方法に分類される。溶剤を用いてカットバックする方法は補修用常温混合物などに使用されたが、最近では環境保護の点から、あまり使われなくなってきた。乳化する方法は、水中にアスファルトを分散させることにより、見かけの粘性が大幅に低下することを利用したもので、常温で散布や混合が可能となる¹⁾。

アスファルト乳剤（以下、乳剤とする）は、界面活性剤、酸、添加剤等を溶解した水と加熱溶融したアスファルトに機械的なせん断力を与え、アスファルトを微細な粒子（ $1 \sim 3 \mu\text{m}$ ）として水中に分散させた常温で茶褐色の液体（エマルジョン）である。アスファルト舗装のプライムコート、タックコートとして広く用いられるほか、路上再生路盤工法、マイクロサーフェシングなどに使用されている。

本稿では、水を最大の仲間としたことにより生まれた乳剤を取り上げ、乳剤の製造技術、水とのかかわり、乳剤が果たしてきた役割とその評価について概説するとともに、今後の課題と対策について乳剤先進諸国に

おける事例や新たな技術を含めて述べるものである。

2. 乳化について

乳剤がアスファルトと水から構成されていることは先にも述べた。ここでは、乳剤の基本技術である乳化について概要を述べる。

乳剤の主原料であるアスファルトは、原油の精製工程における最終産物であり、ガソリンや灯油などと同じ油の一種である。したがって、通常は水と混じり合うことはないが、同一分子内に親水基（水に近い性質）と親油基（油に近い性質）を併せ持つ界面活性剤（図-1）を用いることにより、両者の界面張力を大幅に低下させ、安定な状態で分散させることができる。これを乳化と呼ぶ。



図-1 界面活性剤の模式図²⁾

舗装に用いられる一般的な乳剤は、写真-1に示すように水の中にアスファルトが分散した水中油滴型（O/W型）となるが、このとき界面活性剤は、親水基を水側に親油基をアスファルト粒子側に向けて配列し、水とアスファルトをつなぎとめるとともに直接接触する（合一する）ことを防いでいる（図-2）。イオン性界面活性剤（水中で解離して親水基が極性を持

*あさだ ひろし ニチレキ㈱技術部長

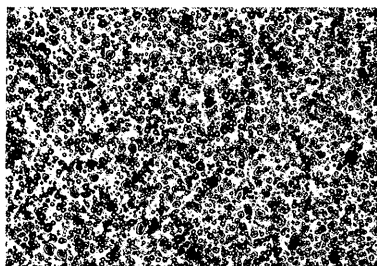


写真-1 乳剤の顕微鏡写真

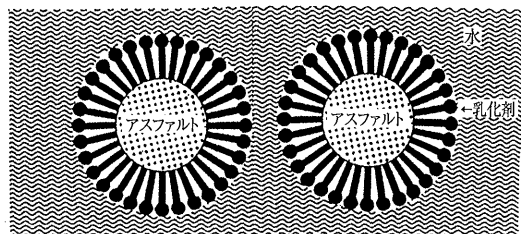


図-2 界面活性剤の配列²⁾

つ界面活性剤)は、アスファルト粒子表面に吸着し、その表面を同一電荷とするため粒子同士が反発し合いさらに安定性は向上する。

イオン性界面活性剤には、カチオン系(親水基の電荷が陽(+))であるものとアニオン系(親水基の電荷が陰(-))であるものの二種類があるが、現在、道路用乳剤のほとんどは、カチオン系を使用している。

なお、これら乳化の詳細については専門の書籍に譲るが、入門編として(社)日本アスファルト乳剤協会の機関誌「あすふあるとにゅうざい」(No.120~124)に「やさしいコロイドの科学」として解説されているので、興味のある方は参照いただきたい。

3. 乳剤と水とのかかわり

このように乳剤にとって水は必要不可欠なものといえるが、その反面、最終の舗装とした場合には、水の存在が物性面等に悪影響を及ぼすことも多い。ここでは、乳剤と水とのかかわり(利点、欠点)について、いくつかの観点から記述してみたい。

3.1 乳剤性状への影響

乳剤の特性は、界面活性剤の種類と量によって決まるといっても過言ではないが、水の影響も無視することはできない。

乳剤の製造には、一般に水道水あるいは軟水が使用されるが、井戸水、特に硬水を用いる場合には、含有する金属イオンなどにより、乳化性や安定性、付着性

などを著しく損なう場合があるので水質には注意する必要がある¹⁾。

また、乳剤中に占める水の量は、乳剤の粘性に大きく影響するばかりでなく、乳剤の特性を決定づける一つの要因ともなる。

乳剤中のアスファルト粒子を単一径と仮定した場合、水中油滴型乳剤における理論上の限界濃度は、最密充填構造となる充填率74%(濃度と読みかえてもほぼ間違いはない)となる。実際にはアスファルトの粒子径はある程度の範囲と分布を持つため、より高濃度とすることも可能である。しかし、濃度の上昇は急激な粘度増加をもたらす、常温で取り扱えるという乳剤の特長を阻害することから、実用上は70%程度が高濃度化の目安と考えられる³⁾。

さらに、界面活性剤の種類、乳化温度、乳化方法、乳化装置などにより異なるが、前述の水中油滴型乳剤の油相(アスファルト相)を増すことにより、アスファルト中に水が分散した油中水滴型(W/O型)に転相させることも可能である。このタイプの乳剤は、連続相がアスファルトであるため表面張力が小さく、濡れ、浸透性に優れるという特性を持ち建材などの工業製品に使用されるが、舗装では、粘性が大きく常温で散布することが難しいことから使用されていない^{4, 5)}。

3.2 分解性、物性への影響

乳剤は、製造時には精密な化学品のメカニズムが要求され、貯蔵時は安定であり、散布や混合後は速やかに元のアスファルトに還元(分解)し、所定の接着性や強度を発現する、という相反する性能が求められる。

乳剤の分解は、①水の蒸発、②骨材との接触、③骨材との化学的作用、④骨材との電気的作用、などが相互に組み合わせられて起こるものと考えられ、分解が進み水が排除されるにつれて接着性や強度など、バインダとしての機能が発現される。

乳剤中の水は分解性、混合性に影響を与えると同時に制御する要因の一つである。水の割合が多い(濃度が低い)と分解は遅くなり、混合性は良好となるが、逆に高濃度乳剤のように水の割合が少ないと分解は速く、混合性は悪くなる。一例として、欧米諸国では表面処理(チップシール)用の乳剤として、濃度65%以上の高濃度乳剤を50~80℃に加温して使用している³⁾。これは、高濃度化し水を少なくするとともに、加温により蒸発作用の促進を意図したものである。

また、乳剤工法は加熱工法に比べて、①省エネルギーである、②CO₂の排出抑制に寄与する、③ブルース

モーク等の発生がない、など環境に優しいだけでなく、④火傷や火災の危険がなく安全である、という利点がある。その反面、①乳剤の分解、硬化に時間がかかる、②最終強度が小さく、耐久性に劣る、という欠点も指摘されている。これらの欠点の多くは、乳剤混合物の分解過程における水の存在に起因するものであり、いかに速く不要となった水分を除去するかにかかっている。反面、水の分散媒としての働きを利用して、各種の材料を混和、組み合わせるなどして要求する性能を満足させることもできる。このように、いかに水を上手に使うかが乳剤を活かすことにもなる。

4. 乳剤が果たした役割と評価

乳剤の歴史は1906年（明治39年）に米国のカールマンが特許を得たことに始まる。1909年（明治42年）にはドイツのレインホルド・ウオルマンが防塵、防水用に製造したという記録があるが、道路用材料として市場に出たのは1915年（大正4年）頃、イギリスにおいてコールドスプレーの名称で、砂利道の瀝青路面処理に使用されたのが最初といわれている。

一方、我が国における乳剤舗装の幕開けは、1926年（大正15年）に東京市が実施した輸入乳剤（クレイタイプ）による簡易舗装であった。これは、乳剤と砂をコンクリートミキサで混合して「こて」で仕上げる、という簡単なものであった⁶⁾。

その後も首都圏を中心に試験舗装が実施され、1938年（昭和13年）には、東京市における乳剤規格および標準車道簡易舗装構造（図-3）が定められた。当時、東京市ではこれを簡易舗装と称して、軽交通と中交通路線に用いていた。この構造は今でいうところの表面処理に相当するものであり、当時の交通量と交通荷重（大部分が1～2t車であり、4t車といえば軍用のものぐらいであった）からすれば、十分に供用できるものであった。1942年（昭和17年）頃までの東京市内における舗装面積の70～80%は、このような乳剤舗装で占められていた^{7, 8)}。

乳剤舗装は、施工が簡便であることおよび安価であ

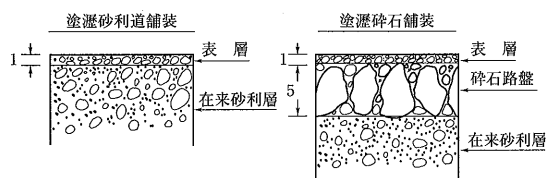


図-3 東京市における標準車道簡易舗装⁸⁾

ることから、東京市などの市街地舗装を中心に広く使用された。1960年（昭和35年）には、それまでのアニオン系に代わり、舗装用として優れた性能を有するカチオン系乳剤が開発されたこと、また、1964年（昭和39年）に簡易舗装要綱⁹⁾が発刊され、国の施策（特殊改良第四種事業：道路整備五箇年計画の改良計画に含まれない車道幅員3.5m以上の未改良区間の現道についての簡易舗装）とも合致したことも手伝って、常温混合式工法および常温浸透式工法による砂利道の防じん処理や簡易舗装が大量に施工された。これによって乳剤舗装は、全国の地方道の整備に採用されるようになり、高度経済成長を支える大きな力となった⁷⁾。

このような背景から、乳剤の出荷量も順調に伸び続け、昭和20年代までは6万t未満で推移していたものが、昭和36年には約10万t、同40年には約30万tに達し、1970年（昭和45年）には最高値ともなる約71万tの出荷量を記録した（図-4）。

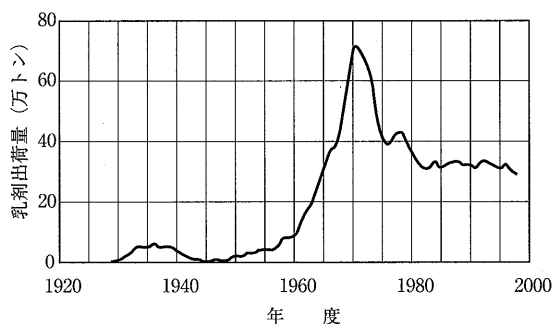


図-4 乳剤出荷量の推移

乳剤舗装は、我が国における戦後の復興と経済発展に多大なる貢献をしてきた訳であるが、モータリゼーションの発展による交通量の増大と車両の大型化に伴い、舗装に一層の耐久性が求められるようになり、それまでの乳剤舗装では交通に耐えられなくなった。さらには、加熱アスファルトプラントが各地に設置され、加熱アスファルト混合物が容易に入手できるようになったことも加わり、乳剤舗装の需要は徐々に減少していった。

近年の乳剤出荷量は、30万t前後で推移しているが、その内容はプライムコート、タックコートに用いる浸透用乳剤が約80%を占め、残りの20%程度が路上再生セメントアスファルト乳剤安定処理路盤工法に使用されるノニオン系混合用乳剤という構成になっている。

(社)日本アスファルト乳剤協会では、平成9年9月に乳剤工法の先進国であるフランス、スペインを対象に

したヨーロッパ常温舗装調査団を派遣した。調査の主たる目的は、①欧州の中でも常温舗装が盛んな二カ国を巡り、マイクロサーフェシング工法や常温混合物およびコールドリサイクリング工法の実態を調査すること、②我が国における常温混合物と加熱混合物との共存の見通しをつけること、③コストパフォーマンスに優れた表層用常温混合物の開発の可能性を探ることであった。調査の結果、いずれの訪問国においても常温化技術の普及が、環境保全を始めとする時代の要請に対する解決策の一つであると結論づけ、官民が協力して既に対応していることが判明した^{9, 10)}。詳細については報告書等に譲るが、これらの国々では乳剤工法を予防的維持 (Preventive Maintenance) 工法として位置づけ、破損する前に適切なメンテナンスを実施していることも我が国の現状と異なる点であった。

5. 乳剤の新技術

乳剤技術は、環境問題を解決する手段の中でも有力な候補の一つであり、21世紀を目前に控えた今、本格的に検討すべき課題といえる。ここでは、前述のヨーロッパ常温舗装調査団の調査結果から、乳剤工法における先進国の一つである、フランスでの新技術を中心に幾つかを紹介するとともに、我が国における現状について概説する。

5.1 欧州諸国の現状

欧州においては、省エネルギー工法として加熱アスファルト舗装に代わる乳剤舗装に関する研究が積極的に行われている。

5.1.1 マイクロサーフェシング

マイクロサーフェシングは、予防的維持工法として世界的に注目されているものであり、表-1に示すとおり欧米主要国の実績に限っても7,430万㎡ (1996) に達している。本工法は、1940年代にドイツで開発さ

れたスラリーシールの欠点である分解性、耐摩耗性、すべり抵抗性などを急硬性改質乳剤 (改質剤にSBSやEVAを使用) の開発により改善し、耐久性を飛躍的に高め、重交通道路や高速道路への適用も可能としたものである。

マイクロサーフェシングは骨材、急硬性改質乳剤、セメント、分解調整剤および水を専用の機械で混合し、一層あたり3～10mmに薄く敷きならすものであり、この混合物は、骨材表面での化学的な反応により急速に分解し、通常1～2時間程度で交通開放が可能となる。ISSA (International Slurry Surfacing Association) では骨材の最大粒径により、タイプⅠ、Ⅱ、Ⅲの3種類を規定している。

1990年代に入り欧州では、繊維入りマイクロサーフェシングが開発された。繊維にはポリアクリル系、ポリエチレン系の有機繊維やガラス繊維などが使用されており、これを添加することにより、混合物の曲げたわみ性が改善され、ひびわれ箇所での耐久性をさらに向上させ混合物の分離防止にも効果を発揮している¹¹⁾。

これまでのところ、我が国におけるマイクロサーフェシングの実績は少ないが、チップシールなどとともに今後の維持修繕の時代に向けて、その活用が大いに期待されるものである。

5.1.2 デュアル乳剤混合物

2種類の乳剤をブレンドして使用する方法は、古くから混合用乳剤の分解調整などに用いられてる。デュアル乳剤は、フランスのCECA社が開発した技術であり、軟質アスファルト (針入度300/500または500以上) を用いた速分解型乳剤と硬質アスファルト (針入度20/30～40/50) による遅分解型乳剤からなる混合用乳剤である。乳剤中のアスファルト粒子の分散状態は、図-5のモデルで表され、軟質乳剤と硬質乳剤の

表-1 欧米主要国の施工実績¹¹⁾ (×100万㎡)

国	スラリーシール		マイクロサーフェシング	
	1992年	1996年	1992年	1996年
北米/USA&カナダ	120.0	95.0	28.9	37.0
欧州/フランス			7.0	1.0
ドイツ			12.0	6.4
イギリス	1.5	1.2	3.3	3.5
イタリア			3.5	3.5
スペイン	6.0	6.2+	10.0	6.2+
他13カ国	2.2+	3.4+	5.8	6.7
小計	9.7+	10.8+	41.6	37.3
合 計	129.7+	105.0+	70.5+	74.3+

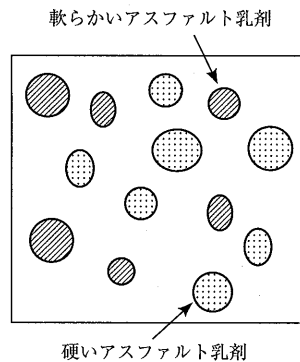


図-5 アスファルト粒子の分散状態¹⁰⁾

標準的なブレンド比は40:60である。

骨材と混合した場合の分解プロセスは、図-6に示すように、①軟質乳剤が先に分解し、骨材表面を被覆することにより、作業性や締固め性を確保する、②次に硬質乳剤が分解することにより、混合物としての強度が付与される、というものである。

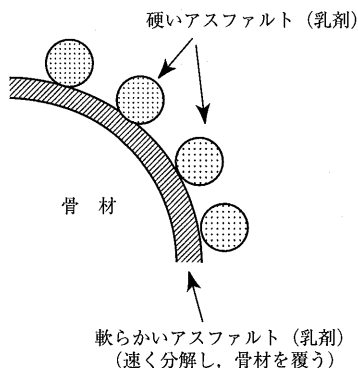


図-6 アスファルトの被膜状態

デュアル乳剤は、密粒度、半密粒度あるいは開粒度混合物として、軽交通道路の表層（表面処理が必要）や基層に使用されている。また、新たな取り組みとして、本乳剤にポリマーを添加すること（3相乳剤）により一層の強度向上を図り、重交通道路へ適用することも検討している^{9, 10)}。

5.1.3 ダブルコーティング常温混合物

SCREG社（フランス）では、混合方式に特徴を持つ常温混合物を開発している。これは「ダブルコーティング（ミキシング）プロセス」と呼ばれる方法で、密粒度混合物の粗骨材、細骨材に乳剤を均一に被覆させる方法である。まず、細骨材と乳剤（または軟質アスファルト）を混合してプレコート細骨材とし、これに新規の粗骨材および乳剤を加えて混合する（図-7）。この混合物は、加熱混合物と同等の性状が得られるとされ、表層、基層やレベリング（修繕）などに使用される^{7, 9, 10)}。

5.1.4 タイヤに付着しないタックコート乳剤

フランスのCOLAS社、LEFEBVRE社では、タイヤに付着しないタックコート用乳剤を開発している。路面に散布された乳剤が、ダンプトラックやアスファルトフィニッシャのタイヤに付着して剥がれてしまうことは、接着力の低下が懸念されるだけでなく、舗装現場の周辺を汚す原因ともなっていた。

この課題を解決するハード面からの技術としては、

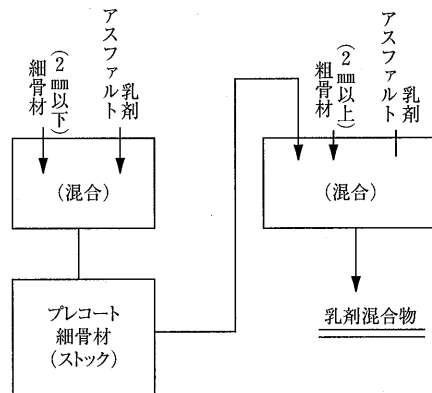


図-7 ダブルコーティング（ミキシング）プロセス⁷⁾

乳剤散布装置付きアスファルトフィニッシャがフランス、ドイツなどで開発されているが、ここでは乳剤自体からのアプローチとして、針入度の小さい硬いアスファルトを乳化することにより、付着を防止しようとするものである。すでに我が国でも、専用ペーパー、薄層排水性舗装用を含めた用途別に高濃度タックコート用改質乳剤が開発、実用化され活躍を始めている。

なお、フランスにおける乳剤の種類には、①一般乳剤、②分解時間を制御可能な乳剤、③改質乳剤、④マイクロ乳剤、⑤高濃度乳剤、などがあり、目的、用途に応じて使い分けている。この中でも、②～⑤は比較的最近開発されたものである¹⁰⁾。

これまで紹介したものの以外では、スウェーデンで開発されたTow Stage Process（2段階混合方式：粗骨材と高粘度軟質乳剤を混合した後、細骨材と低粘度軟質乳剤を混合する方法）、イギリスで開発されたDouble Treatment Process（遅分解性カチオン乳剤によるセメント乳剤混合物）などがある⁷⁾。

5.2 我が国の現状

我が国においても、省資源、省エネルギーあるいは環境保全の観点から常温工法が見直されてきており、新たな乳剤舗装技術の研究開発が進められている。

建設省土木研究所では、1994～95年度にかけて、民間企業および協会との共同研究方式で乳剤舗装の研究を行った。その成果は建設省技術活用パイロット事業として各地で施工され、供用性を追跡調査により確認しているところである。本共同研究において検討された常温混合物は、①マイクロサーフェシング系、②常温型排水性、③セメント改質乳剤系、④エポキシ改質乳剤系、⑤エポキシ樹脂系、の5種類であり、エポキシ樹脂系を除く4種類に乳剤が使用されている。いず

れの混合物も重交通道路（C、D交通）を対象としたものであり、十分な耐流動性（DS=3,000回/mm以上）を有するとともに、エネルギー消費量およびCO₂の排出量は、加熱混合物と比較して20～50%削減できるとされている^{12, 13)}。

また、日本道路公団試験研究所においては、ポリマーを併用した密粒度ギャップ型セメント乳剤混合物に関する共同研究を民間、協会とともに進め、高速道路のサービスエリアおよび一般有料道路のパーキングエリアにて試験舗装を実施している¹⁴⁾。

一方、昨年10月に開催された第23回日本道路会議において、乳剤の新技术に関する論文が20編発表されており、高耐久性常温混合物の骨材に転炉スラグを使用、骨材がマイクロサーフェシングに及ぼす影響、チップシール用改質乳剤、改質乳剤混合物の供用性、路上再生路盤工法の設計方法、等値換算係数の推定などについて報告されている^{15～26)}。

6. 残された課題

従来の乳剤舗装は、加熱舗装に比べ、強度発現に時間がかかる、最終強度が小さく耐久性に劣る、などの課題を抱えている。このことは、交通量や交通荷重の増大に伴い、耐久性に優れ、容易に入手できる加熱混合物が広く普及する要因ともなっている。

しかしながら、昨今、地球温暖化を始めとする環境問題が叫ばれるようになり、今一度、乳剤工法を見直そうという機運が高まってきている。前述のように欧州諸国では、乳剤そのものの開発はもちろんのこと、混合プロセスの検討など、様々な観点からの研究が進められている。

このように乳剤に対する期待は大きいものがあり、欧米の技術の活用を初めとして、新素材、新技术を駆使し、幅広い視点での技術開発によって、従来の課題を解決することは決して難しいことではないと考える。

7. おわりに

乳剤に限らず舗装は、水との戦いであったと言っても過言ではない。水との共生という観点から、乳剤について述べてきたが、現状の乳剤技術は、共生とはいえない点が多々残されている。しかしながら、乳剤は時代ニーズに合った、まだまだ秘められた可能性のある材料である。乳剤技術者には、今一度、水との共生という新たな観点から、乳剤技術を見直し、目前に迫った21世紀の大きな課題である環境保全、省資源、省

エネルギー対策の大きな柱に、また次代に伝える技術としての乳剤技術の開発、確立を期待したい。近年、乳剤を知らない世代も増加し、乳剤技術者の不足も問題となっている。本稿によって少しでも乳剤に興味を持って戴けたなら幸いである。

— 参考文献 —

- 1) ㈱日本アスファルト乳剤協会、技術委員会：アスファルト乳剤 一般的な性質とその応用、㈱日本アスファルト乳剤協会、1997、12
- 2) 森山 登、田中 新吾：やさしいコロイドの科学（最終回）、あすふあるとにゅうざい、No.124、1996、pp33
- 3) 伊藤 亮、丸島 孝和、保荊 昭仁：乳剤工法の現状とタックコート用新規改質アスファルト乳剤の開発、あすふあるとにゅうざい、No.132、1998、pp4
- 4) 早坂 啓、塩尻 謙太郎、原田 豊：新規な逆型アスファルト乳剤について—プライムコートへの応用—、あすふあるとにゅうざい、No.85、1986、pp16
- 5) KAO：乳化について、technical information、1983
- 6) ㈱日本アスファルト乳剤協会、編集委員会：アスファルト乳剤の技術の変遷（その一）、あすふあるとにゅうざい、No.119、1995、pp6
- 7) 蒔田 實：乳剤舗装の変遷と新たな技術開発、あすふあるとにゅうざい、No.124、1996、pp5
- 8) 石井 圭治：アスファルト乳剤舗装のうつりかわり、あすふあるとにゅうざい、No.7、1961、pp3
- 9) ヨーロッパ常温舗装調査団：ヨーロッパにおける常温舗装技術の現状、あすふあるとにゅうざい、No.130、1998、pp17
- 10) ヨーロッパ常温舗装調査団：欧州における常温舗装事情、㈱日本アスファルト乳剤協会、1998、1
- 11) ㈱日本アスファルト乳剤協会、技術委員会：マイクロサーフェシング技術マニュアルについて、あすふあるとにゅうざい、No.133、1998、pp3
- 12) 木村 慎、池田 拓哉、寺田 剛：省エネルギー型工法としての常温型舗装の開発、あすふあるとにゅうざい、No.131、1998、pp4
- 13) 建設省土木研究所（材料施工部化学研究室、道路部舗装研究室）、(財)土木研究センター、昭和シェル石油㈱、日本舗道㈱、住友大阪セメント㈱、ニ

- チレキ(株), 東亜道路工業(株), 日本道路(株), ポリマ
ー舗装材料協会: 常温型舗装の利用技術の開発に
関する共同研究報告書, 共同研究報告書第167号,
1996, 3
- 14) 七五三野 茂: 日本道路公団における常温舗装用
混合物の開発, あすふあるとにゅうざい, No.131,
1998, pp12
- 15) (社)日本アスファルト乳剤協会, 技術委員会: 第23
回日本道路会議発表論文について, あすふあると
にゅうざい, No.138, 2000, pp22
- 16) 石川 古志郎, 伊藤 敏男, 松井 伸頼: 表層に
適用した常温混合物の試験舗装追跡調査, 第23回
日本道路会議一般論文集, 1999, pp294
- 17) 矢野 博之, 浜崎 拓司, 菅野 幸浩: 転炉スラ
グ骨材を使用した舗装用常温複合混合物の供用性
状, 第23回日本道路会議一般論文集, 1999,
pp398
- 18) 高橋 知, 福満 雅之, 国枝 晋二: 骨材粒度に
着目したマイクロサーフェシング混合物の基礎性
状, 第23回日本道路会議一般論文集, 1999,
pp424
- 19) 瀬尾 彰, 向後 憲一: 明色マイクロサーフェシ
ング, 第23回日本道路会議一般論文集, 1999,
pp402
- 20) 召田 紀雄, 伊藤 亮, 保苅 昭仁: 散布式表面
処理工法における結合材の一考, 第23回日本道路
会議一般論文集, 1999, pp110
- 21) 斉藤 徹, 稲葉 七生, 安藤 政浩: 急速分解法
の検討とフォームド乳剤の開発, 第23回日本道路
会議一般論文集, 1999, pp106
- 22) 前田 利明, 藤永 弥, 成田 守男: 分解促進型
速乾性アスファルト乳剤の開発, 第23回日本道路
会議一般論文集, 1999, pp396
- 23) 野津 昭, 中村 壽浩, 古谷 薫: QRP工法と
セーフペープ工法の組み合わせによる施工事例,
第23回日本道路会議一般論文集, 1999, pp222
- 24) 丹羽 孝一, 森岡 新吾, 藤本 正明: 一般国道302
号における高付着型薄層排水性舗装の施工につい
て, 第23回日本道路会議一般論文集, 1999,
pp224
- 25) 安岡 忠義, 藤永 弥: 路上再再生セメントアスフ
ァルト乳剤安定処理の検討, 第23回日本道路会議
一般論文集, 1999, pp208
- 26) 平野 哲男, 大森 秀紀: 再々生路盤安定処理工法
の等値換算係数の推定, 第23回日本道路会議一般
論文集, 1999, pp338

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

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

都市の水循環と透水性舗装

(Urban Hydrologic Cycle and Permeable Pavement)

守田 優*

都市における水循環は、洪水の増大や湧水の枯渇など不健全な状態にあり、特に、アスファルト・コンクリート面などの不浸透域は、自然な水循環を阻害する最大の要因である。そのため、水循環を保全するには、人工的な雨水浸透を促進することによって水収支の改善を図っていくことが要求される。透水性舗装は、そのような雨水浸透施設のひとつであり、水循環の改善や水環境の向上に大きく貢献するものと期待されている。

1. はじめに

河川流域における都市化の進行、また自然の林野を切り開く宅地開発は、洪水の増大や不圧地下水位の低下、湧水の枯渇などの問題を引き起こしている。このような水循環をめぐる環境の悪化に対して、水循環の保全が環境庁をはじめ国の省庁で議論され、そのためのさまざまな対策が実施にうつされている。特に、雨水浸透施設は、洪水流出抑制のみならず、地下水涵養効果も期待され、水循環の保全のための重要な施設として位置づけられており、都市部をはじめ地方の自治体でも積極的に取り組まれるようになってきた。

雨水浸透施設には、浸透ます、浸透トレンチなどいくつかの種類があるが、なかでも透水性舗装は比較的古くから開発されてきた。従来のアスファルト舗装は、都市域で20%近くを占め、目に付きやすいため、不浸透域の代表として、また水循環を阻害するものとして真っ先に挙げられてきた。そのため透水性舗装は、自然にやさしい技術のひとつとして、今後の普及が強く期待されている。本報では、透水性舗装について水循環の立場から解説する。まず、都市化と水循環の変化について、実証的なデータを示しながら、都市域における水循環の特徴を説明し、雨水浸透施設、なかでも透水性舗装が何故必要なのかについて述べる。

2. 都市の水循環

2.1 水循環のフローと地表面の役割

都市における水循環は地球規模の水循環の小さなサブシステムとして存在しており、そのフローは図-1

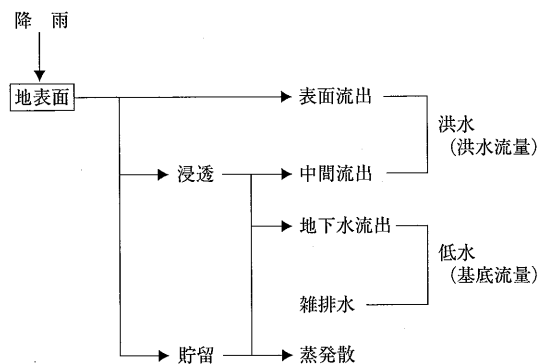


図-1 降雨から流出への水循環のフロー

に示したとおりである。流域に降った雨は、表面流出として下水管を通り直接河川へ洪水として流出する成分、地表面を浸透して地下水となり、ゆっくり河川へ流出し、平常時の流量となる成分、さらに凹地にたまり、あるいは地表面を湿らせたあと蒸発散によって大気中へ逃げていく成分に分かれる。ここで、降雨量、降雨形態とともに、降雨がどのような割合でこの3つの成分に分かれていくかが、その流域の水循環の特性を表している。そして、この配分を支配しているのが、図-1から明らかなように地表面である。つまり、地表面こそは都市の水循環を支配するかなめであると言えることができる。透水性舗装の重要性もここにある。

2.2 都市流域の特徴

図-1の水循環のフローは一般的な流域のフローとして示したものである。本来は自然の豊かな流域も都市化が進むと水循環が変化し、都市流域の特徴が顕在

*もりた まさる 芝浦工業大学工学部土木工学科教授

化してくる。水循環の観点から、都市流域の主要な特徴として、以下の三つがまず挙げられる。

- ①不浸透域の増大
- ②下水道（雨水排水）の普及
- ③河道の改修整備

不浸透域は、流域の都市的土地利用を意味し、通常のアスファルト・コンクリート面や建物の屋根面など、水を浸透させない地表域を表す。具体的には、道路と建物の部分が不浸透域となる。下水道は、ここでは、雨水排水施設としての下水道である。これによって、図-1の表面流出は、地表面の下的人工的な水路を流れることになる。最後の河道整備は、「コンクリート三面張り」の河川に象徴されるように、河道の断面拡大と摩擦粗度の減少によって洪水疎通能力の増大を図るものである。

これらの三つの要因によって、水循環のフローがどのように変化するかは、2.3において実際にデータを用いて示す。

2.3 都市化による水循環の変化

都市化によって水循環がどのように変わるのか。昭和40年代から始まる首都圏の大規模宅地開発として知られている多摩ニュータウンと近年開発が着手された八王子ニュータウンのケースを対象に、宅地開発（都市化）による水循環の変化について述べる。

2.3.1 多摩ニュータウン開発による洪水流出の変化

ここでまず取り上げるのは、一級河川多摩川の支川、乞田川流域のケースである。乞田川流域は、東京都南西部多摩丘陵に位置し、流域面積が13.47km²である。多摩ニュータウン開発当初の昭和45年当時、全体の70%が山林で占められていた。しかしその後、急激に開発が進み、5年後の昭和50年には山林は3割を切り、都市的な土地利用に変わってしまった。乞田川流域の50年代の土地利用の変化を図-2に示した。

ここで、都市流域の三つの特徴に対応して、不浸透域率、下水道普及率、河道改修率を流域の都市化の指標として設定し、これらによって乞田川流域の都市化による流域の変化を表示したものが図-3である。乞田川流域では、三つの都市化指標の急激な増加が顕著である。特に、昭和45年から50年の開発には激的なものがある。

ここで都市化による洪水流出の変化を評価するため、乞田川流域の実績の降雨・流量データから流出係数と洪水到達時間の変化を計算した。流出係数 f_p は、都市河川の河道断面を決めるための基本的な方法である合

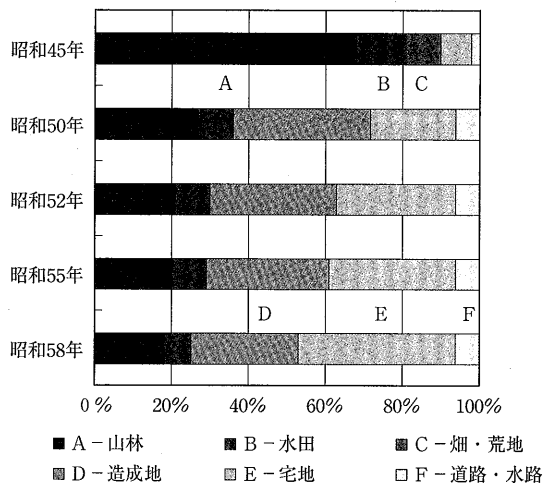


図-2 乞田川流域の土地利用の経年変化

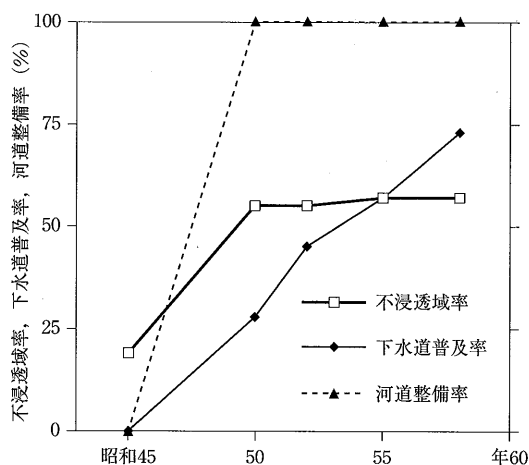


図-3 乞田川流域の都市化要素の経年変化

理式で用いられる。

(1) 流出係数の算出方法

まず、流出係数 f_p は、実績ピーク流出高 r (mm/hr)と、洪水到達時間内平均降雨強度 r_m (mm/hr)から、次式によって求める。

$$r_e = f_p \cdot r_m \quad \dots\dots\dots (1)$$

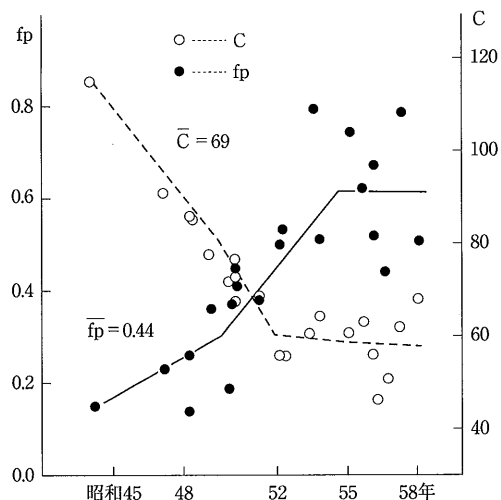
ここで、上式の r_m を求めるためには洪水到達時間 t_e が必要になる。 t_e は、実績の時間-降雨曲線（ハイドログラフ）、時間-流量曲線（ハイエトグラフ）から求めた。ところで、洪水到達時間は、同じ流域であっても有効降雨によって異なる。そこで、有効降雨の影響を除去し、流域の特性値としての洪水到達時間を検討するため、角屋らの式¹⁾におけるC値を洪水到達時間の指標として用いる。

$$t_c = C \cdot A^{0.22} \cdot r_e^{-0.35} \text{ (min)} \dots\dots\dots(2)$$

ここに、A：流域面積（km²），r_e：実績ピーク流出高（mm/hr）である。上式に代入するr_eは、(1)式で用いたものと同じ値である。

(2) 都市化と流出定数の変化

上述の方法で算出した流出定数f_pとCの値を、乞田川流域についてプロットしたものが、図－4である。

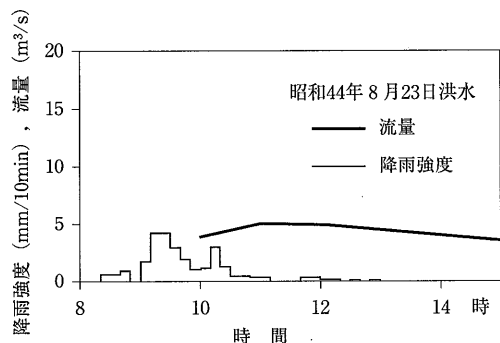


図－4 乞田川の流出係数と洪水到達時間の変化

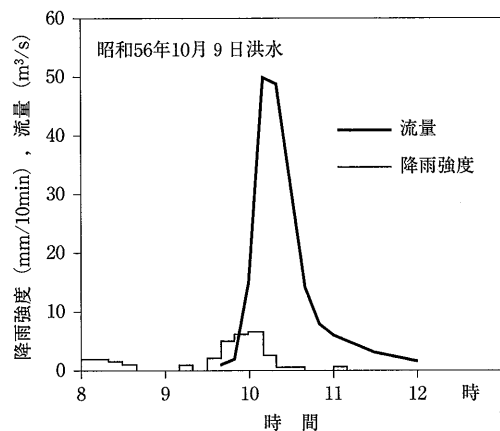
図－3の都市化要素の変化と対比させるため、5カ年代の平均値の変化も実線・点線で図示している。

まず、経年的な変化の全体的な傾向として、流出係数f_pが上昇、洪水到達時間指標C値が減少の傾向にある。この2つの流出定数の変化は、図－3の都市化指標の総体的な増加と対応している。都市化が進むと、流出係数が増加し、同時に洪水の集中時間が短縮されることが明らかである。合理式の流出係数は、一般に総降雨のうち有効降雨の割合、概略的には不浸透域率と関係がある。昭和45年から50年にかけての流出係数の増大には、不浸透域の増大、下水道の普及、河道改修がともに影響しているが、特に、不浸透域の拡大が最も大きく寄与していると考えられる。

この都市化による洪水流出の変化を劇的なかたちで示しているのが、図－5、図－6のハイドログラフの変化である。これらは、いずれも乞田川流域車橋地点におけるハイドログラフであるが、図－5は、流域が開発前では山林に覆われていた昭和44年の自然流域の状態、後者の図－6は、すでに開発がほとんど終了した昭和56年のものである。降雨はそれほど変わらない



図－5 乞田川の開発前のハイドログラフ



図－6 乞田川の開発後のハイドログラフ

のに、それに対する同じ流域の流量の応答は全く異なっている。図－5はゆっくり洪水流量が増加し、中間流出も含みながら緩やかに減少している。それに対して、図－6の開発後の都市化した状態では、急激に流量が増加し、鋭いピークを持ち、降雨が止むと短時間で流量が減少している。前者は自然流域のハイドログラフ、後者は都市化した流域のハイドログラフの典型である。

2.3.2 都市化による水収支の変化

都市化による流出の変化、特に洪水流出に関する変化を見てきたが、都市の水収支を調べることで、都市化による水循環の変化が明らかになる。水収支においては、洪水だけではなく、平常時の流量についても情報を得ることができる。また、水収支を計算することは、図－1に示した水循環のフローを定量的に明らかにすることになる。

首都圏の最後の大規模宅地開発といわれる八王子ニュータウンは1980年代に計画され、そのなかで平成3

年、水循環保全システムの基本計画が提案された。その計画のなかで、水収支解析が行われ、開発前の状態、従来型の開発を行った場合、水循環再生システムを導入して開発を行った場合について水収支を調査し、最適な水循環保全計画について検討が行われた。ここでは、都市化による水収支の変化を見る目的で、開発前の自然丘陵地の状態（これは多摩ニュータウンの乞田川流域の開発前の状態に対応する）での水収支を図-7に、従来型の宅地開発を行った場合（これは乞田川流域の急激な開発後の状態に対応する）の水収支を図-8に対比して示す²⁾。これらの水収支を見る予備知識として、日本の国土の平均の水収支について、降水量1800mmが、洪水流出、地下水流出、蒸発散にほぼ1/3ずつ配分されることを知っておくと水収支の特徴が読める。

自然丘陵地の状態では、図-7に示されたように、

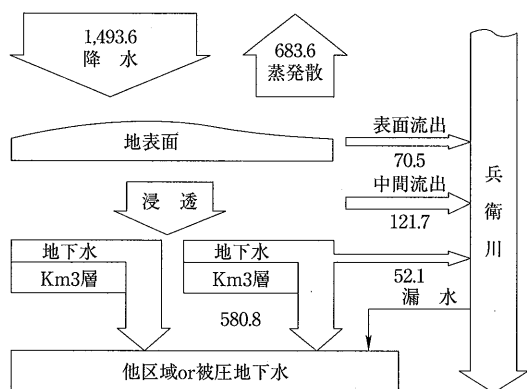


図-7 開発前の兵衛川流域の水収支
(雨水貯水浸透技術協会の資料²⁾による)

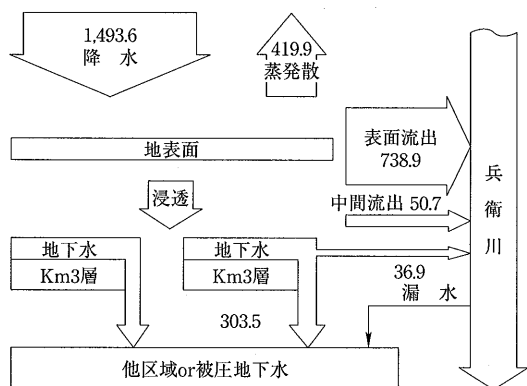


図-8 従来型宅地開発後の兵衛川の水収支予測
(雨水貯留浸透技術協会の資料²⁾による)

年降水量約1500mmのうち、兵衛川に洪水として流出するのが約190mm、蒸発散が約700mm、残りの地下水への成分が610mmとなっている。この自然流域の特徴としては、洪水流出の割合が1割強であり小さいこと、また、蒸発散が半分近くを占め、その割合が大きいことである。洪水流出のこの特徴は、図-5のハイドログラフがよく物語っている。蒸発散が多いことは自然流域の特徴であり、これは森林による蒸散が大きく寄与している。一方、宅地開発が終わり、都市化した流域では、図-8のように、洪水流出が約800mmと降雨の55%程度となり、蒸発散は420mmになり自然流域に比べ少なくなっている。この洪水流出は、図-6のハイドログラフと対応している。地下水成分は、280mmとなり、やはり日本の平均から見ると少ない。

ここに示した八王子ニュータウンの自然流域状態と都市化流域状態の水収支は、都市化による水収支あるいは水循環の変化を示す典型的なパターンである。ただ、地下水流出が河川へ行かず、下部の被圧帯水層へ漏出することはこの地区の特殊性であり、一般的には、降水量から洪水流出と蒸発散を減じた量は地下水流出として河川へ平常時の流量として流出すると考えてよい。最後にまとめると、自然流域と都市化流域の水収支の違いが生じる原因は、図-1のフロー図から明らかのように、地表面すなわち土地利用であり、ここでも不浸透域率の増加が水収支悪化の原因となっている。

3. 都市の浸透域・不浸透域

流域の都市化が進むと、洪水の流出が増加すること、平常時の流量が減少することが2. から明らかになったと思う。特に、不浸透域の増加は、洪水になる有効降雨総量を増加させ、直接的にピーク流量を押し上げる。同時に、不浸透域は地下水流出成分を減少させるため、平常時の流量にも負の影響を及ぼし、水環境の悪化の原因になる。このため、不浸透域率を低下させることは水循環再生の重要な指針である。

3.1 水循環の都市化指標としての不浸透域率

都市河川流域に降った雨は、まず、不浸透域と浸透域に分配される。不浸透域とは、道路や建物・住居の屋根面、駐車場等であり、浸透域は、公園・緑地や建物・住居の敷地内における裸地や緑地をさす。不浸透域率は都市域における不浸透域の割合である。図-9には、東京の代表的な都市河川である神田川流域と目黒川流域、そして自然丘陵地の大規模宅地開発として知られる多摩ニュータウンの乞田川流域と大栗川流域

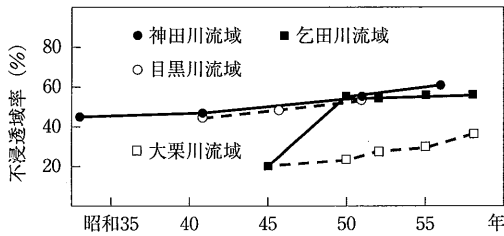


図-9 都市河川流域の不浸透域率の経年変化

の不浸透流域の経年変化を示した。神田川と目黒川は既成市街地を流れる典型的な都市河川であり、不浸透域率は50～60%である。この不浸透域率は、都市河川流域の標準的な数値と考えてよい。大栗川流域は、当時まだ開発前の自然流域であり、不浸透域率は20～30%である。乞田川流域は2.3においてすでに詳しく述べている。

3.2 都市の浸透域は本当に浸透するか？

都市域における水循環悪化の原因として不浸透域の拡大があるならば、一方において、都市に残る浸透域は水循環の改善あるいは再生において保全すべき貴重な存在である。しかし、都市の浸透域は表面が踏み固められている裸地であり、同じ浸透域でも畑地や草地などの浸透域とは異なる点に注意しなければならない。

ここで都市の浸透域の浸透能について実験結果³⁾をもとに述べる。都市域における浸透施設の効果を評価するさい、その比較対象として、さまざまな土地利用ごとの表層浸透能を知っておくことは必要である。地表面の浸透能力を調べる方法として、大きく二つの方法がある。一つは冠水型浸透計による方法であり、水を張って定水位に保ち、冠水状態で浸透量を計るものである。もう一つの方法は、降雨シミュレータあるいは散水実験によって、降雨強度と流出量、貯留量を測定し、浸透量を求めるものである。この方法は、冠水型と異なり、実際の雨に近い条件で浸透量の測定ができ、降雨波形を変えることもできる。表-1は、東京

都の多摩ニュータウンで実施した土地利用別の終期浸透能について、冠水型と散水型の実験結果を示したものである。

この表-1で、冠水型による終期浸透能 f_c をみると、畑や林地などの数100mm/h_rのオーダーの浸透能に対して、公園草地、運動場、造成地など都市的な浸透域の終期浸透能が数10mm/h_rとなり、オーダーが1桁小さいことがわかる。この傾向は散水実験でも同様である。ただ、終期浸透能の値は、全体に散水型が冠水型の結果に比べて1桁小さいことがわかる。この両実験方法についてのその後の調査においても、冠水型による終期浸透能は、散水型によるそれに比べて過大という結果となり、実際の浸透能としては散水型による浸透能を適用すべきであることがわかった。このことは、透水性舗装の浸透能を測定するときも同様であって、浸透能のデータを見るとき、常に注意しなければならない。

以上の実験結果から、運動場、造成地などは、浸透域とはいふものの踏み固めによって浸透能は低下し、数mm/h_rという低い浸透能であることがわかる。表-1の公園草地もほぼ同程度の浸透能であるが、ここは人の通りに近い場所であり、踏み固めによって浸透能が低下していると考えられる。洪水の計画に用いる降雨は、1時間数10mm/h_rというオーダーである。これから、都市の浸透域は、計画降雨強度と比較して考えると、不浸透域といっても過言ではないことがわかる。このことは、透水性舗装をはじめ都市域における浸透施設の役割の重要性をあらためて確認させるものである。

4. 雨水浸透施設としての透水性舗装

都市においては不浸透域が拡大し、残された浸透域もすでに見たように浸透能がそれほど期待できない。このような条件を考えると、雨水浸透施設による人工的な浸透は都市域においてきわめて大切な役割を担う

表-1 土地利用と終期浸透能 (多摩ニュータウン)

(mm/h_r)

土地利用	地点数	f_c の範囲 冠水型実験結果	平均	散水実験結果	土 質
畑	9 地点	130 ~ 1430	677	—	ローム
林	7 地点	60 ~ 1400	736	63 ~ 65	ローム, 腐植土
道路路面	8 地点	14 ~ 760	327	—	ローム, 砂混じりローム
芝 生	7 地点	4 ~ 210	64	—	ローム, 砂混じりローム
公園草地	7 地点	5 ~ 70	24	3 ~ 7	ローム, 砂混じりローム
造成地	8 地点	2 ~ 50	15	2 ~ 5	ローム, 稲城砂層
運動場	9 地点	3 ~ 40	18	4 ~ 6	ローム, (締固め), 砂質ローム

ことになる。

雨水浸透施設は、図-10に示したように大きく拡水法と井戸法に分かれ、拡水法は、浸透ます、浸透トレンチなど雨水を土壌の不飽和帯を通して浸透させる方法であり、井戸法は井戸を通して直接雨水を地下水帯水層へ注入する方法である。井戸法は目詰まりによって洗浄が必要になるなど問題も多く、現在は後者の拡水法が主流になっている。拡水法は、その利点として構造が比較的簡単であり、コストも井戸法に比べて安い。また、維持管理の点でも、目詰まりに対して浸透面の表面を掻きとる、あるいは洗浄するだけでもなどの長所がある。なによりも拡水法の雨水浸透の原理そのものが自然の浸透に近いことが最大の利点である。

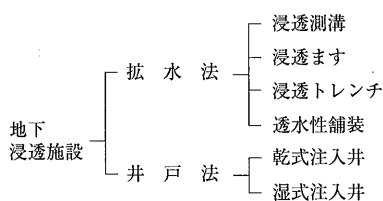


図-10 雨水浸透工法の種類

透水性舗装は、雨水を透水性の舗装体を通して直接路床へ浸透させる機能を持つ舗装である。同じ拡水法でも、透水性舗装は、浸透ます・浸透トレンチ・浸透側溝など他の拡水法と比べ、地表面から雨水を浸透させるという点で基本的に異なっている。また地表面の施設ということから、人々の目に触れやすく、その存在をアピールできる利点がある。さらに、透水性舗装は道路という公的な施設に施工されるため、民間の敷地が主体となる雨水浸透ますなどに比べ、制度上も実施しやすいということが有利である。

透水性舗装の浸透能力は、施工直後はすり抜けるように水が通過するが、その共用後、浸透能は時間とともに低下する。しかしその場合でも10mm/h程度の浸透能は残ると報告されている⁴⁾。この浸透能は冠水状態での浸透能と考えられるが、散水状態でも数mm/h程度の浸透能が期待でき、少なくとも都市域の浸透域のレベルの浸透能力はもっている。また、共用後の機能劣化や目詰まりによる浸透能力の低下も、高压洗浄によって土砂等の空隙つまりも除去でき、浸透能力も回復する。このため定期的な維持管理が必要である。

透水性舗装の雨水浸透に関して、もうひとつ注意しなければならない点は、透水性舗装の浸透能力が、路

床の浸透能力によって制約されることである。もし、表層や路盤の浸透能力よりも路床のそれが小さい場合、特に施工時の踏み固めなどにより透水係数が低下している場合、透水性舗装は浸透施設というより貯留施設として考えなければならないことになる。この場合、雨水の流出抑制の効果はあっても、地下水涵養の効果は期待できない。

5. 透水性舗装の適用にかかわる問題点

5.1 歩道舗装と車道舗装

透水性舗装は、耐久性についてやや問題があり、基本的には荷重条件が厳しくない歩行者系の道路に適用される。歩行者系の道路には、街路の歩道部分、駅前広場や公園のオープンスペースがある。さらに、車道系でも、軽交通道路である駐車場や歩行者と自動車が同じ道路を通行する歩者共存道路などにも適用される。

車道への透水性舗装については、建設省土木研究所において荷重車による舗装走行実験による検討が行われている。その結果、通常の透水性舗装では、路盤が浸透した水で侵食されたり軟弱化したりして沈下し、それによるわだち掘れの発生が認められ、耐久性の点で問題があることが明らかになっている。路盤に透水性コンクリートを用いて強度を高めることも検討されているが、コストが高い点で問題がある。現在の段階では、車道においては排水性舗装を用いるのが一般的である。

5.2 透水性舗装と水質の問題

水循環の保全という観点から透水性舗装を考えると、4. で述べたように路床の浸透能が透水性舗装総体としての浸透能力を制約するという問題があるが、もう一つ水質について注意する必要がある。水循環は常に物質の循環を伴っている。そのため、舗装面から浸透する雨水に何らかの有害物質、たとえば重金属などが混入していると、透水性舗装そのものが地下水汚染の原因となることもありうる。透水性舗装を施工した後、雨水の浸透量のみならず、水質についてもモニタリングすることが望ましい。

6. おわりに

都市において水循環を再生させるための基本的な方向は、不浸透域の拡大による雨水の浸透量の減少と地表面の保水性の低下をいかに抑えるかにある。舗装面は、建物の屋根とともに都市の不浸透域の主要な部分を構成しており、今後、透水性の技術的な改良、特に、

耐力や浸透能・保水性の向上，そして効率的な維持管理が進めば，都市の水循環や水環境の改善に大きく貢献すると考える。さらに，水循環のみならず，保水性の改善によってヒートアイランドの抑制や土壌の生態系改善も期待できる。それによって，都市空間の人工性の象徴のひとつである舗装面が，浸透という機能によって自然に近い素材としてよみがえることができるだろう。

— 参考文献 —

1) 角屋 陸，福島 晟：中小河川の洪水到達時間，

京都大学防災研究所年報，第19号B，1976，P143
2) 雨水貯留浸透技術協会：雨水浸透施設技術指針（案）調査・計画編，(社)雨水貯留浸透技術協会，1995，P108
3) 守田 優，安藤義久，和泉 清：都市河川流域の表層浸透特性，第32回土木学会水理講演会論文集，1988，P59
4) 小山隆紹，藤田昌一：新しい下水道方式の計画と設計－雨水流出抑制型下水道－，鹿島出版会，1984，P22

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 施工個所と舗装構成
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

排水性舗装 ～排水機能と効果～

(drain asphalt ～ function and effect of drain ～)

大 川 秀 雄*

排水性舗装の排水機能について、貯留機能と流出機能の二つに分けて概略的な説明を加え、二つの機能に大きく関係する空隙率と透水係数について基本的事項を解説し、次に、排水性舗装の透水係数が有する特徴について述べた。また、排水性舗装の水に関する以外の諸性質についても簡単に紹介した。

1. まえがき

排水性舗装は、その名称が示す通り、雨水を舗装体内の空隙に取り込み、その水を空隙の中で路肩方向へ流し去って排水することに第一義的な意味がある。この機能によって、路面上の雨水が無くなるか少なくなつて、また視認性の向上もあいまって、雨天時に多発するスリップ事故に対して大きな効果を有することとなる。

透水性舗装は、雨水を路盤そして路床へと重力の作用方向へ浸透させる舗装を指す。排水性舗装は、その表層部分は透水性舗装と基本的には同じで多孔質構造となつていて、その下には水を通さない通常の密粒度舗装がある。そのため、水は下へ行かずに横断勾配に従つて路肩方向へ排水される。この点が透水性舗装との違いであるが、交通機能上は両者とも同じ効果を有している。

排水性舗装の排水に関する性状や能力、そのメカニズムについて、以下に述べよう。

2. 排水性舗装の性状^{1), 2)}

2.1 使用骨材と空隙率

なるべく多くの水を流すという観点から、排水性舗装の空隙に要求される条件は以下の3点である。

- ①なるべく空隙率が大きいこと。
- ②空隙の大きさが大きいこと。
- ③空隙が連続していること。

多くの水を流すためには、空隙率（全体積に占める空隙の割合）が大きくなければならないことは説明を要しないであろう。しかし空隙率が大きくても、その

空隙が微細なものの集合であつては水を効率良く流すことは困難である。細いパイプを束ねて水を流すのに比べ、流す断面積を一まとめにした太いパイプ1本の方が断然多くの水を流せる道理である。また、空隙が独立している、すなわち空隙の周りが完全に閉じられていたり、袋形、すなわち途中で閉塞している空隙は、水を流す機能に関与しない無駄な空隙になってしまう。

空隙率を大きくすれば舗装の強度が低下するため、自ずと空隙率には上限がある。上記の3条件を満たしながらいかにして強度を保つか、排水性舗装開発時の技術的課題であつたし、更なる改良も試みられている。一つ目に強力なアスファルト・バインダーの開発、二つ目に比較的大粒径で単粒径の碎石の使用が開発の鍵となつたと言えよう。なお、現在のところ実用に供せられている車道用排水性舗装の空隙率の上限は20%台の前半といったところである。

2.2 透水係数の値

空隙内の水の流れ易さの指標である透水係数を見てみよう。図-1は排水性舗装の比較的大きな空隙率での透水係数を、空隙率を横軸にとって示している。ここでの透水係数は、供試体に大きな動水勾配で水を流して空気をできるだけ追い出し、その後、脱気水を用いて透水実験を行い、道路の横断勾配0.02を動水勾配と見なした場合の値である。透水係数がおおむね0.8 cm/sより大きいこと、空隙率が大きくなると透水係数も大きくなる傾向があることが読み取れる。なお、図中の番号は、後述の表-2中の番号と同一である。

次に、6号碎石をふるいに掛けて最大粒径を違えた骨材を用いたとき、排水性舗装の透水係数がどのよう

*おおかわ ひでお 新潟大学工学部建設学科教授

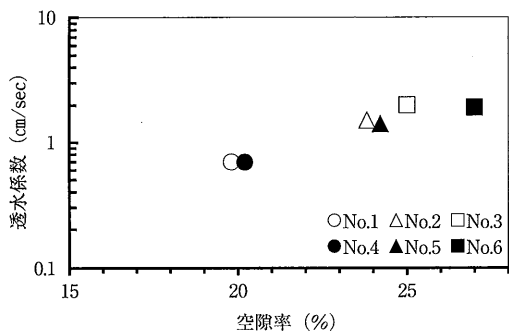


図-1 空隙率と透水係数

になるかを見たのが図-2である。図中の数字は空隙率で、ほぼ24%前後の値を示している。この場合も動水勾配0.02に対しての透水係数で示している。最大粒径が大きくなると、透水係数も少しではあるが大きくなる傾向が読み取れる。この理由として、このような大きな空隙率の舗装では空隙のほとんどが連続した空隙であり、粗骨材の最大粒径を大きくすることによって、同じ空隙率であっても空隙のパイプが太くなるためと考えられる。

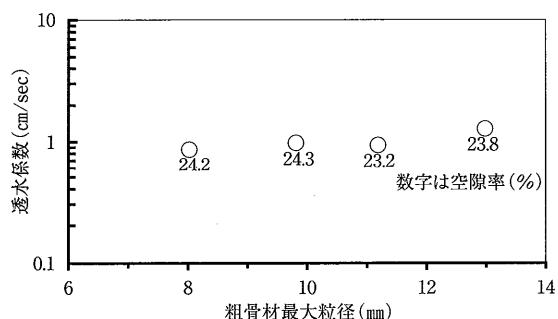


図-2 6号碎石の最大粒径と透水係数

ここで、注意すべき点が二つある。一つは、空隙率が20%を超え、かつ動水勾配が0.02程度以上であれば、透水流れはダルシー則から外れてしまっていることである。すなわち、流速は動水勾配と比例関係ではなく、透水係数は定数ではなくて動水勾配の関数として扱われる。他の一つは、野外の実道においては、実験室内での透水実験とは違って、空隙に多くの空気を保有した不飽和状態での透水であることである。このため、透水係数は空気を保有していない飽和状態での透水係数のおおむね7割程度にまで減少することがある。

2.3 透水係数の異方性

排水性舗装は、通常の密粒度舗装の表面に厚さ2から5cm程度で舗設されることが多く、2%の横断勾配

を有する場合が一般的である。この薄い層が施工時に転圧されることによって、骨材（碎石）の長軸が水平方向に並ぶ傾向を示すことが、図-3に示す舗装断面イメージ図から見て取れる。図で白抜きで描かれている部分が骨材である。そのため、鉛直方向と水平方向とでは透水係数が異なっている。

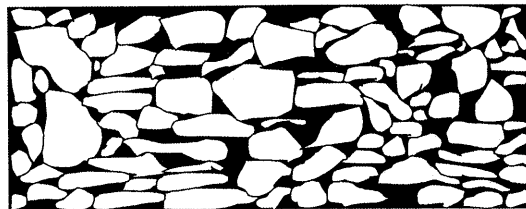


図-3 排水性舗装の断面

表-1にその一例を示す。水平方向の透水係数が鉛直方向に比べて大きく、比で示すと1.1~3.4倍で、単純平均で約2.0倍である。これは転圧によって、水平方向の空隙のパイプが鉛直方向のそれに比べ、曲がり方が少ないからと解釈されている。このように水平方向の透水係数の方が大きいという結果は、実際の舗装での排水方向が水平方向であることから、大変に都合の良いことである。すなわち雨水が舗装体内にいったん鉛直方向に入ってしまうと、路肩方向には流れやす

表-1 空隙率と透水係数

供試体	空隙率 (%)	骨 材 偏平率	鉛直方向 k_v cm/s	水平方向 k_h cm/s	k_h/k_v
1-a	22.0	17.3	0.78	1.62	2.07
1-b	20.4		1.03	2.84	2.75
2-a	20.6	8.7	0.75	1.51	2.02
2-b	19.8		0.64	1.17	1.84
3-a	24.6	39.5	0.44	1.49	3.42
3-b	22.5		0.56	1.15	2.05
4-a	19.3	10.2	0.86	1.70	1.97
4-b	21.3		0.70	1.56	2.24
5-a	20.3	11.8	0.53	1.27	2.41
5-b	20.6		0.79	1.43	1.80
6-a	20.4	15.9	0.76	1.14	1.51
6-b	21.0		0.58	1.30	2.22
7-a	18.5	21.6	0.40	0.99	2.48
7-b	18.3		0.34	0.70	2.08
8-a	19.4	14.6	0.71	0.98	1.38
8-b	19.5		0.75	0.88	1.17
9-a	22.4	23.7	1.00	1.16	1.16
9-b	22.4		1.05	1.18	1.13
10-a	23.6	26.0	0.77	1.51	1.95
10-b	22.5		1.08	1.60	1.48

いことを意味しているのである。

なお、この表中での偏平率は、個々の骨材の長径を短径で除した値が3以上の骨材が、全体の骨材重量に占める割合を%で表示したものである。

3. 透水係数の数値表現³⁾

3.1 ダルシー則

2.2節の最後に述べたことを、少し詳しく説明しよう。透水と呼ばれる多くの現象、例えば地盤中や密粒度舗装中の透水などは、その空隙が僅かであったり空隙の大きさが非常に小さかったりするため、透水はダルシー則に従う。すなわち、透水速度 u 、透水係数 k 、動水勾配 i と置けば、よく知られた、

$$u = ki \dots\dots\dots(1)$$

の関係がある。これは、空隙中の流れが層流であることを意味している。しかし、排水性舗装では空隙率も空隙の寸法も大きく、流れは乱流となるため、もはやこの線形関係では記述できず、

$$i = a u + \beta u^2 \dots\dots\dots(2)$$

のように表される。ただし、 a と β は個々の舗装に固有の定数である。したがって、透水係数は定数ではなく、透水速度、あるいは動水勾配の関数で以下のように示される。

$$k = \frac{1}{a + \beta u} \dots\dots\dots(3)$$

または、

$$k = \frac{2}{a + \sqrt{a^2 + 4\beta i}} \dots\dots\dots(4)$$

どちらの式にしても、透水速度や動水勾配が0に近づ

くと、流れは乱流から層流へと変化し、

$k \rightarrow 1/a$ ただし、 $u, i \rightarrow 0$ のとき
となってダルシー則に漸近することが分かる。

3.2 排水性舗装の a と β

表-2に、産地の異なる骨材を用いて骨材配合を変化させた場合の透水試験結果が示されている。配合と空隙率の関係で言えば、粗骨材配合率が増えれば空隙率が大きくなっている。

透水実験から、透水速度と動水勾配の関係が直接得られることとなる。同一の試験片で4ないし5個の導水勾配を与えて、それぞれに対する透水速度が得られれば、最小二乗法で精度よく a と β を求めることができる。得られた a と β が表-2の右側に示されている。前述したように、排水性舗装では水平方向と鉛直方向とでは透水性能が異なるため、 a と β の値も透水方向によってかなり異なっていることが読み取れる。 a も β も透水の抵抗性を表現する係数であり、鉛直方向の値が水平方向の値より大きくなっている。また、鉛直方向の a と β の値の差が大きいことから、鉛直方向の流れの方が非線形性の強い流れであることも窺がえる。これらの a と β を用いて動水勾配と透水係数の関係を表したものが図-4と5中の曲線である。図中のプロットは測定値である。いずれの曲線も導水勾配の増加、すなわち透水速度の増加に伴って、透水係数が急激に小さくなることが理解されると思う。

4. 排水性舗装の排水機能⁴⁾

4.1 貯留機能

排水性舗装を形容するのに、お菓子の「おこし」がよく引き合いに出される。粒と粒の隙間が多く、色を除外すればまさに言い得ていると思う。筆者はスポンジを例えによく使う。降雨があると、雨水はすぐに空隙部分に浸透する。この場合は、鉛直下方への動きである。そして徐々に空隙が水で満たされて行き、水平方向に雨水が連続してくると、底面の僅かな勾配に沿

表-2 配合諸量と a 、 β

No.	骨材 産地	骨材配合率 (%)			アスファルト 量 (%)	空隙率 (%)	水平方向		鉛直方向	
		6号	粗砂	石粉			a	β	a	β
1	名古屋	80	16	4	4.8	19.8	1.49	2.63	4.28	14.5
2		85	11	4	4.8	23.8	0.73	1.25	1.59	3.30
3		90	6	4	4.8	25.1	0.55	0.73	1.56	1.85
4	山形	80	16	4	4.8	20.3	1.47	2.47	3.89	9.72
5		86	10	4	4.8	24.3	0.84	0.60	2.13	3.12
6		90	6	4	4.8	27.0	0.58	0.74	1.30	2.07

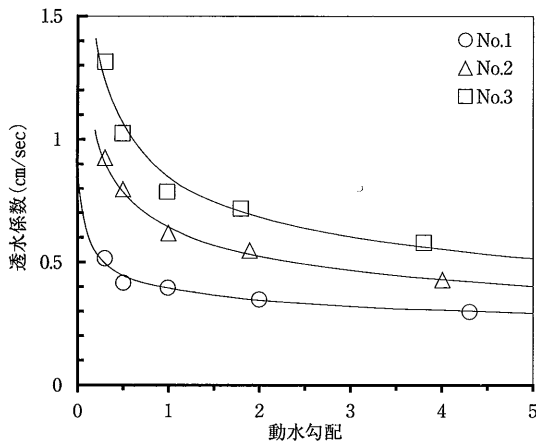


図-4 動水勾配と透水係数

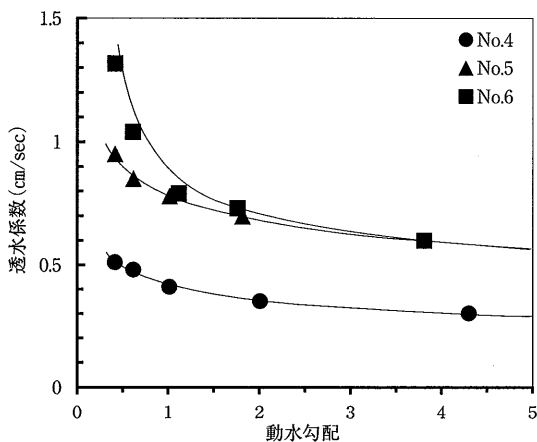


図-5 動水勾配と透水係数

うようなかたちで水平方向、すなわち路肩方向への流れ、つまり透水が始まる。このような透水が始まるまでの時間は、降雨強度や舗装の初期の濡れ具合によって異なるが、数分から数十分といったかなりの時間である。それまでの時間は、降雨が排水性舗装体内に溜め込まれていると見ることができる。あたかもスポンジが水を吸収しているが如きイメージである。この機能を河川工学や水文学の分野での用語に倣って貯留機能と呼び、その能力を貯留能力と呼ぶことにしよう。

4.2 流出機能

貯留機能が満杯になると、排水性舗装中を透水してきた雨水が舗装の縁部、すなわち路肩等で流れ出てくることとなる。この機能を同じく流出機能と呼び、その能力を流出能力と呼ぶことにしよう。ただし、この流出する雨水、すなわち透水による流出量は、時間に対してほぼ一定量であるという特徴がある。ただし、

多量の降雨があつて、舗装表面を普通の密粒度舗装のように水が流れるようなことが無いとしたときのことである。

雨が止んだ後も、数時間から十時間ほどにわたって排水性舗装からの流出が、流量を徐々に減らしながら続く。

4.3 排水機能

排水性舗装の排水機能は、上述の貯留機能と流出機能の両者で成り立っていると解釈すれば、雨が降り始めてそして止み、それから排水性舗装からの流出が終わるまでの一連の水の動きの挙動を、明快地理解することができる。排水能力の用語も前の2項と同様に定義しておこう。

5. 排水挙動に及ぼすパラメータ⁴⁾

排水性舗装の機能を評価したり、設計に必要となるパラメータについて、簡単に述べる。

5.1 空隙率

排水性舗装の第一義的なパラメータであり、排水機能の面からは大きいほど好ましい。空隙率が大きければ、舗装体の貯留能力と流出能力の両者が大きくなり、全体として排水能力が大きくなる。

5.2 透水係数

流出能力を支配するパラメータである。すなわち、流出の速度、言い換えれば透水速度と、雨が止んでから流出が終了するまでの時間を規定するパラメータである。

5.3 舗装勾配

排水性舗装の下に密粒度アスコンの勾配、すなわち排水性舗装の底面の勾配が近似的に透水の動水勾配と考えることができ、多くの場合は横断勾配の0.02に等しい。縦断勾配も存在する場合は、流れは合成勾配の最大の方に向かう。勾配が大きいほど排水はすみやかに行われる。

5.4 舗装厚

排水性舗装は表面処理の一つと考えられているから、2～5 cm程度が一般的のようである。降雨強度が大きな場合に対処するためには、舗装厚を大きくする方法がある。貯留能力と流出能力が舗装厚に比例するからである。

5.5 排水距離

横断勾配があるだけなら道路片側の幅が排水距離である。車線数が増えて排水距離が長くなると、排水条件としては不利となる。路肩での排水速度は排水距離

によらず一定であり、排水距離、すなわち排水面積が大きくなれば比例的に排水すべき降雨水が多くなり、排水に要する時間も比例的に長くなるからである。

5.6 降雨強度

上述の5つのパラメータとは異質であり、設計条件あるいは想定された降雨の条件としてのパラメータである。ただし、降雨時の路面状況を推定するためには、降雨強度のみならず降ったり止んだりの降雨パターンも考慮しなければならない。

6. 排水性舗装の諸機能

これまで、排水性舗装の排水に関する観点から述べてきたが、排水性舗装の持つ他の代表的な機能について、以下簡単に触れる。

6.1 車両騒音の低減⁵⁾

車両走行に伴って発生する騒音の低減効果が知られている。その低減メカニズムには、空隙内に入射した音波の乱反射の繰り返しによるエネルギー減衰、空隙による曲がりくねったパイプ内を往復して出てきた音波と舗装表面で反射した音波の位相のずれによる打消し合いなどの説があり、2～5 dBほどの低減が見られる。特に耳障りな500～1000Hz範囲での低減が大きいことが知られている。また、雨天時の水はね音の低減効果も大きい。

6.2 視認性の向上⁶⁾

舗装表面の凹凸によって光が乱反射するため、対向車や自車のヘッドライトの反射光が減り、路面の記号等が見やすくなり、雨天時のぎらつきも減ることが知られている。

6.3 その他の効果

夏季の路面温度の上昇の抑制、都市での流出係数の低減やヒートアイランド化した都市で見られる集中豪雨による都市型洪水の緩和、車両事故による有害・危険液体の流出や拡散の低減効果⁷⁾などが知られており、

種々の観点からの研究が続けられている。

7. あとがき

排水性舗装の日本での施工は、1987年の東京都によるものが最初である。しかし、研究が本格化してから漸く10年と日が浅く、まだまだ研究すべきことがたくさんあるが、その施工実績の進捗には目を見張るものがある。高速道路の標準仕様に組み入れられるなど、今後ますます発展して行くことは明かであり、筆者も含め、より良い排水性舗装の開発に向けての研究を怠ってはならないと思う。

—— 参考文献 ——

- 1) 大川秀雄, 佐藤隆宏, 帆刈浩三: 排水性舗装の透水係数評価に関する研究, 土木学会論文集, No.478/V-21, 1993.11, p.101
- 2) 帆刈浩三, 丸山暉彦, 大川秀雄, 小山 清: 排水性舗装の空隙構造に関する実験的研究, 土木学会論文集, No.484/V-22, 1994.2, p.69
- 3) 大川秀雄, 佐藤隆宏, 田口 仁: 透水係数と適用上の問題点, ポーラスアスファルト研究会, 1992.11, p.22
- 4) 大川秀雄, 佐藤隆宏, 田口 仁: 排水挙動に及ぼすパラメータと適用法, ポーラスアスファルト研究会, 1992.11, p.30
- 5) 例えば, 島 広志: 騒音低減効果の持続性, ポーラスアスファルト研究会第2回研究発表会資料, 1996.1, II-1
- 6) 藤田晃弘: 排水性舗装の視認性に関する研究, ポーラスアスファルト研究会, 1992.11, p.39
- 7) 石田博樹, 佐藤勝久, 原 富男, 帆刈浩三: 液体燃料が流出した排水性舗装道路上の火災の拡がり現象: ポーラスアスファルト研究会第2回研究発表会資料, 1996.1, IV-2

☆

☆

☆

☆

☆

☆

都市の高温化の解消を図る保水性舗装の開発

(The Development of Water-absorptive Pavement Extinguished High Temperature in the City)

徳 本 行 信^{*}, 岡 田 恒 夫^{**}
松 下 守 雄^{***}, 吉 田 孝 介^{****}

近年、都市部で問題となっているヒートアイランド現象の原因の1つが、舗装体が蓄える熱にあると言われている。この舗装体の蓄熱量を減少させるために、蒸発散量の多い保水性舗装材を用いて、舗装体内に水分を保持し、その蒸発散により舗装体の温度を下げるるとともに、舗装体の熱放量を低減する保水性舗装の開発を進めている。ここでは、まず、屋外において保水性舗装材の温度変化、保水能力、蒸発量等を観測し、その結果から蒸発量と温度低減の関係を分析するとともに舗装材の熱収支と体感温度について考察を行った。次に、供用中の道路における試験施工及び1年間を通じての追跡調査についての概要と、現段階での調査結果について述べる。

1. 保水性舗装開発の背景

近年、人間活動を原因とする地球温暖化問題やオゾン層の破壊などが顕在化し、良好な地球環境の持続が危ぶまれている。特に都心部では既に急速な環境の悪化が生じていると言われており、熱環境において、局所的に気温が上昇する一方、湿度が低下し潤いが失われる「ヒートアイランド現象」¹⁾が問題となっている。

大阪では、図-1に示すように、周辺部に比べ都心部においては2度程度気温が高い。また、内陸部になるほど気温は高くなっている。このように大阪都心部の高温化、すなわち、ヒートアイランド現象が現れていると考えられる。

ヒートアイランド現象は、都市への人口集中による人工廃熱の増大や建造物による大気循環の遮断、樹林や草地の減少など、種々の原因によると考えられている。ヒートアイランド現象に対する人工的要因に着目した大阪市における調査²⁾では、舗装体等の人工地被（不透水面）の増加、緑被の減少による蒸発散の減少等が最も大きな要因であると確認されている。緑地等では、土中の水分の蒸発散や空気の循環等により、日射等による熱の蓄えられる量が少なくなるため、地面から放射される熱量が緩和されるが、舗装体等の人

工地被では緑地等よりも熱循環が不活発であり、蓄積される熱量も多く、大気中に放射される熱量も多い。アスファルト舗装も人工地被の1つであり、ヒートアイランド現象の要因の1つになっていると指摘されて

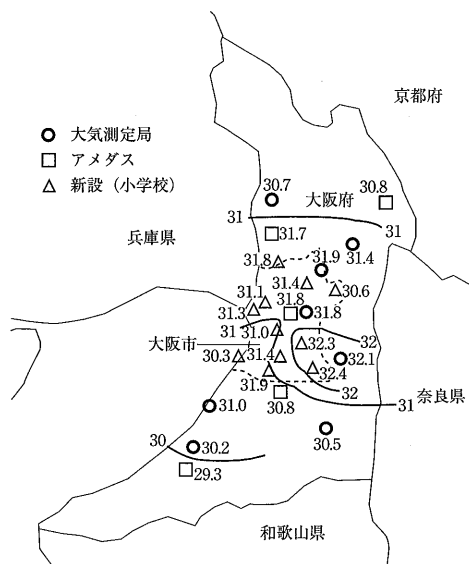


図-1 夏季における大阪市とその周辺の14時の気温分布(°C)
(平成3年8月22日～9月8日の平均)

^{*}とくもと ゆきのぶ 大阪市建設局土木部道路建設課長

^{**}おかだ つねお 大阪市建設局土木部道路建設課第1設計係長

^{***}まつした もりお 大阪市建設局土木部道路建設課第2設計係長

^{****}よしだ たかゆき 大阪市建設局土木部道路建設課第1設計係

いる^{3), 4)}。また、日射量の多い夏期には道路上では非常に暑く感じられ、歩行環境の悪化を招いている。

このような現象を改善する方策の1つに、舗装体内に水分を貯え、その蒸発散により舗装体の温度上昇を抑制するとともに舗装体の放熱量を低減する方法が考えられる。大阪市の調査^{5), 6)}では、暖められている通常のアスファルト舗装に散水すると、一時的に路面温度を10度程度、路面上の気温を1～2度下げることが確認されている。また、排水性舗装に散水すると、同様に路面温度が下がり、効果が通常舗装以上に持続することが確認されている。しかし、排水性舗装では、舗装体に水は浸透しやすいが、滞留しにくく、長時間の効果は期待できない。そこで、舗装体内に水分を浸透し、継続して保持できる舗装材を用いた舗装として、排水性舗装の開発を進めている。

ここでは、まず、屋外において供試体を用い、保水性舗装材の温度変化、保水能力、蒸発量等を観測し、その結果から蒸発量と温度低減の関係を分析するとともに舗装材の熱収支と体感温度について考察を行った結果を述べる^{7), 8)}。次に、供試体により得られた結果を検証するため、供用中の道路において試験施工を行った概要、及び、施工後1年間を通じて行っている追跡調査の概要について述べる⁹⁾。また、追跡調査において行った降雨試験の結果について述べる。

2. 保水性舗装材の屋外試験

2.1 保水性舗装材

保水性舗装材により供試体を作製し、屋外において暴露試験を行った。

試験に用いた舗装材は表-1に示す14種類とした。

表-1 試験で用いた供試体

種類	用途	名 称	材 料	透水係数	表面色	番号
保水性舗装材	車道	セメント系保水材充填 開粒度アスファルト混合物	開粒度As混合物にセメントと鉱物質粉末の混合材を充填	不透水	灰	1
		開粒度アスファルト混合物 +砂	開粒度As混合物にケイ砂を充填	∞	黒・灰白	2
		開粒度アスファルト混合物 +イソライト	開粒度As混合物にイソライト (粒状珪藻土セラミック) を充填	∞	黒・茶	3
		開粒度アスファルト混合物 (7号砕石)	開粒度As混合物の骨材に7号砕石を使用	9.14E-1 cm/sec	黒	4
	歩道	セラミック平版	陶器を高温焼成・骨材粒度細(市販品)	不透水	灰茶	5
		セラミック透水性 インターロッキングブロック	陶器を高温焼成・骨材粒度粗(市販品)	1.41E-1 cm/sec	灰	6
		透水性 インターロッキングブロック	(市販品)	1.06E-1 cm/sec	茶	7
		下水汚泥焼成ブロック	下水汚泥焼却灰を陶器粉と混ぜ、約 1,050℃で焼成	5.64E-2 cm/sec	赤茶	8
		セピオライト混入ブロック	天然玉砂利、セピオライト(天然繊維 状鉱物)エポキシ樹脂バインダの混合	1.70E-2 cm/sec	薄茶	9
通常舗装材	車道	密粒度アスファルト混合物	骨材最大粒径20mm	6.99E-3 cm/sec	黒	10
		開粒度アスファルト混合物	骨材最大粒径13mm	∞	黒	11
	歩道	インターロッキングブロック	(市販品)	不透水	灰茶	12
		コンクリート平版	(市販品)	不透水	灰	13
		砂	客土(粒径25mm以下)	-	灰茶	14

車道に適用することが可能な保水性舗装材として、開粒度アスファルト混合物（以下、開粒度As）の空隙に保水材を充填することにより、水との接触面積を大きくし保水力を持たせた舗装材を3種類と、通常より粒径の小さい7号碎石を骨材とすることにより水との接触面積を大きくした開粒度As、1種類を用いた。歩道に適用することが可能な保水性舗装材として、空隙が微細な舗装材を5種類とした。また、通常舗装材としては、車道用2種類、歩道用2種類、さらに裸地との比較として砂による供試体1種類を用いた。

各舗装材により供試体（30cm×30cm×6cm）を作製し、周囲の温度や風などの影響を少なくするために、断熱材である発泡スチロールにより周囲を囲った。各供試体はあらかじめ24時間浸水し、保水させた後、屋外の地表面（砂地）に設置し、平成9年9月29日10：00より翌30日18：00までの2日間に各種の測定を行った。測定当日は晴天であり、ほとんど風はなかった。

2.2 測定項目と方法

測定項目と方法について、表-2に示す。各測定については、地上気象観測法に準じて行った。

表-2 供試体の測定項目と測定方法

測定項目	測定方法	測定間隔
舗装体温度	供試体表面より3cmの深さに熱電対温度計を設置、瞬間値を自動計測し、データロガに記録	2日間を通じて15分毎
蒸発量	電子天秤により断熱材ごと供試体の重量を測定、前回重量との差により、算定	各日の10：00、13：00、15：00、17：00の計8回
最大保水量	電子天秤により測定した乾燥重量と24時間浸水後の重量との差より、算定	-
反射率	色彩色差計により、測定	各日の10：00、11：00、13：00、15：00、17：00の計10回
日射量	全天日射計により、15分積算値を自動計測し、データロガに記録	2日間を通じて15分毎
気温	自記通風温湿度計により、瞬間値を自動計測し、データロガに記録	2日間を通じて15分毎
湿度	自記通風温湿度計により、瞬間値を自動計測し、データロガに記録	2日間を通じて15分毎

3. 試験結果と考察

3.1 舗装体温度の変化

車道用の保水性舗装材である供試体1、2と密粒度アスファルト混合物（以下、密粒度As）である供試体10の温度変化と日射量の変化を示したのが、図-2である。日射量の増加とともに各供試体とも舗装体温度

度が上昇しており、日射量のピークから2時間遅れて舗装体温度のピークが現れている。ピーク時の温度については、保水性舗装材である供試体1、2は通常舗装材である供試体10に比べ、1日目は最大で15℃程度の差を示している。また、2日目においても10℃程度の差を示している。歩道用材料でも同様の結果が得ら

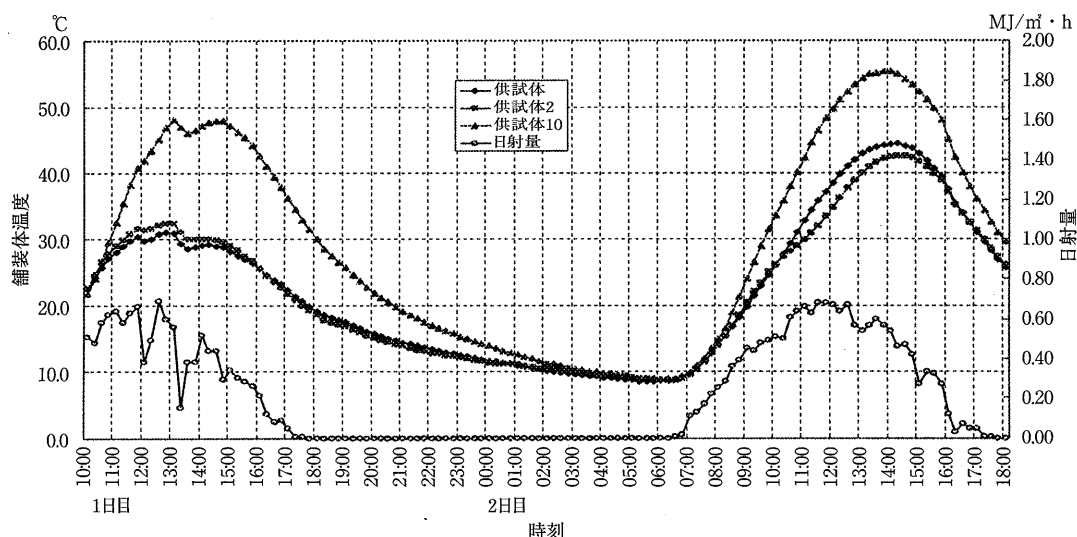


図-2 保水状態にある車道用材料の舗装体温度の変化

れ、保水性舗装材が舗装体温度低減に有効であることが確認された。表－3は2日目の試験終了時である18：00の各供試体の温度を示したものであるが、車道用の保水性舗装材ではすべて密粒度As（供試体10）よりも温度が低くなっており、試験を行った保水性舗装材は2日もしくはそれ以上の時間で温度低減効果を保つことが認められた。しかし、舗装材によって温度低減量に差が現れており、持続性も異なっている。以上の結果より、保水していても舗装材料の素性や舗装体の物性の違いにより、温度低減効果に差が現れることが確認できた。また、保水直後の温度低減量が大きい舗装材が、必ずしも温度低減効果が大きい舗装材であるとは言えず、持続性をも考慮した舗装材料の選択が必要であると言える。

表－3 2日目18：00における供試体の舗装体温度

供試体	1	2	3	4	5
舗装体温度(℃)	25.6	26.1	27.5	28.7	18.5
供試体	6	7	8	9	10
舗装体温度(℃)	23.6	25.4	21.2	23.0	29.5
供試体	11	12	13	14	
舗装体温度(℃)	28.0	26.1	27.7	16.7	

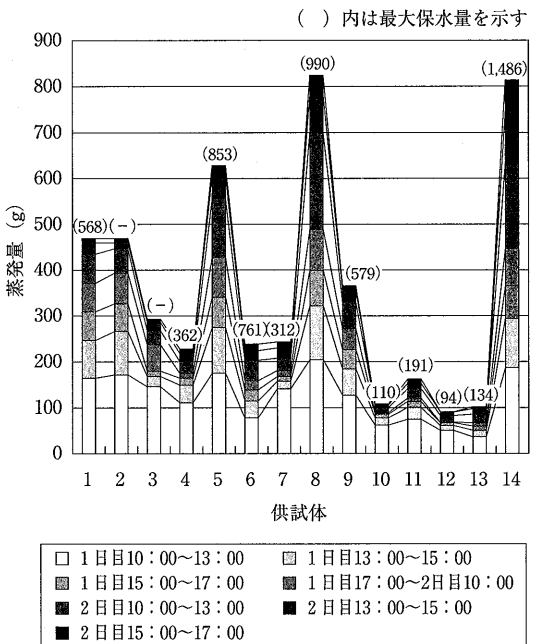
3.2 蒸発量の変化

舗装体の最大保水量と水分蒸発量の測定結果を図－3に示す。保水性舗装材の最大保水量は、通常舗装材よりも大きな値を示しており、特に、供試体8は最大保水量が1,000 g 近く、砂と同様、大きい保水能力を有することが分かる。蒸発量をみると、保水性舗装材である供試体8は蒸発量が2日間で800 g を越しており、次いで、供試体1, 2, 5は蒸発量が400 g 以上となっている。また、通常舗装材である供試体は蒸発量が100 g 前後と、小さな値を示している。以上より明らかに保水量が多いほど蒸発量は多くなっている。しかし、保水量が多くても蒸発が持続するとは限らず、材料により蒸発に特性があると考えられる。

3.3 温度低減効果の持続性

表－4に蒸発量の持続性の検討結果を示す。持続性は最大保水量より1日目、2日目の蒸発量を引き、残った保水量を2日目の蒸発量で割って、持続性を日数として算出した。ただし、1日の蒸発可能量が1,000 g /㎡を下回った場合には、持続日数には加えていない。この結果、蒸発量が多く、舗装体温度も低下した保水性舗装材1, 5, 8, 9は、持続性が3日程度となった。これらの供試体は、いずれも最大保水量が

6,000 g /㎡以上であり、厚さ6 cmの舗装体で、この程度の保水量があれば、3日程度の持続性が期待できると考えられる。通常舗装材は、持続性が0～1日とほとんど持続性がみられない。



注) 供試体2, 3は最大保水量の測定時に開粒度Asに充填している保水材(砂, イソライト)が浸水時に一部抜けてしまったため、正確に測定ができなかった

図－3 供試体の蒸発量

表－4 蒸発量の持続性

供試体 No.	保水量 (g/㎡)	蒸発量 (g/㎡·day)		持続性 (1,000 g 以上)
		1日目	2日目	
1	6,311	3,422	1,811	3日
* 2	2,767	3,644	1,589	2日
* 3	2,467	2,000	1,256	2日
4	4,022	1,822	700	1日
5	9,478	3,778	3,211	3日
6	8,456	1,533	1,089	6日
7	3,467	1,844	833	1日
8	11,000	4,450	4,700	3日
9	6,433	2,522	1,544	3日
10	1,222	911	267	0日
11	2,122	1,233	556	1日
12	1,044	711	278	0日
13	1,489	622	478	0日
14	16,511	4,067	4,967	4日

注) *の付いている供試体は、蒸発量が保水量を上回っているが、実際の保水量は2日間の蒸発量以上考えられる。

4. 舗装体の熱収支

4.1 熱収支の考え方

通常舗装材を使用している道路と保水性舗装材を使用している道路では、道路上にいる人が受ける熱量がどの程度異なり、それにより人が感じる温度、すなわち、体感温度がどの程度異なるのかを分析するため、舗装体に対する熱の出入り（熱収支）を算出する。舗装体に対する熱の出入りには、舗装体へ流入する熱として、太陽からの日射と大気から舗装体に放射される大気放射、また、舗装体から放出される熱として、舗装体からの赤外線放射としての長波放射、日射の舗装体表面からの反射としての短波放射と舗装体が周辺の大気を直接熱する熱量である顕熱がある。また、保水されている水が蒸発する時、蒸発熱、すなわち、潜熱が発生し、その結果、顕熱は小さくなる。これらの熱量は、舗装体温度、蒸発量、日射量、舗装体の反射率、気温、及び、湿度から算出することができる。

4.2 熱収支モデル

熱収支の算出結果を図-4に示す。ここでは、1日目の10:00から15:00の時間平均値による算出結果を示している。舗装体に加わる熱量（流入熱量）は、日射量が $2.0\text{MJ}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ 、大気からの放射量が $1.2\text{MJ}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ で、合わせて $3.2\text{MJ}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ である。これに対し、舗装体より放出される熱量（放出熱量）が供試体14の砂と同程度であるのは、保水性舗装材である供試体1、2、5、8であり、放出熱量は $2.0\text{MJ}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ 以下となっ

ている。したがって、 $1.2\text{MJ}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ 以上の流入熱量が潜熱として、解消されており、舗装体の熱源効果が低下している。一方、通常舗装材である供試体10、11、12、13は放出熱量が $2.7\text{MJ}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ 以上を示しており、流入熱量に近い熱量を放出している。

次に、最も舗装体からの放出熱量の小さかった歩道の保水性舗装材である供試体8により、日射量を100とした場合の熱収支状況を模式的に図-5に示す。ここでは、閉鎖空間を仮定し、空気の移流はないものとする。通常舗装材では、日射と大気から受ける熱量160とほぼ同量の熱量である160を放射熱や顕熱として放出するのに対して、保水状態にある保水性舗装では70の熱量が潜熱によって減少し、放出される熱量は90となる。よって、流入熱量の約44%（ $70/160$ ）が蒸発により解消されたこととなる。同様に車道用の保水性舗装材である供試体2について求めると、60の熱量が蒸発により解消され、約38%（ $60/160$ ）の熱量が蒸発により解消されたこととなる。

5. 体感温度

5.1 体感温度

道路の舗装に保水性舗装材を使用することにより、道路上の人が舗装より受ける熱のために感じる温度、すなわち、体感温度がどのように変化するかを前章の結果より算出する。ここでは体感温度を表現する式として、次式に示す「リンケの式」を用いた。

$$t_g = t_a - 4\sqrt{V + 2.5J}$$

t_g : 体感温度 (°C) V : 風速 (m/s)

t_a : 気温 (°C) J : 放射熱 ($\text{MJ}/\text{m}^2\cdot\text{h}$)

今回、測定時間あたりの日射量が約 $2.0\text{MJ}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ であったことから、前章において供試体8を保水性舗装材として用いた場合、潜熱により解消される熱量が $1.4\text{MJ}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ （ $2.0\text{MJ}/\text{m}^2\cdot\text{h} \times 70/100$ ）と求めることができる。そこで、気温・風速に変化がないとすると、通常舗装上と保水性舗装上での体感温度の差は放射する熱量の差に比例し、低下する体感温度は、 3.5°C と求まる。同様に、供試体2を保水性舗装材として用いた場合は、体感温度は 3.0°C 低下すると求まる。すなわち、通常舗装材で舗装されている道路上と比較し、保水性舗装材で舗装された道路上では、人は、歩道用材料で最大 3.5°C 、車道用材料でも最大 3.0°C 涼しく感じるという結果が得られ、保水性舗装材の有効性が期

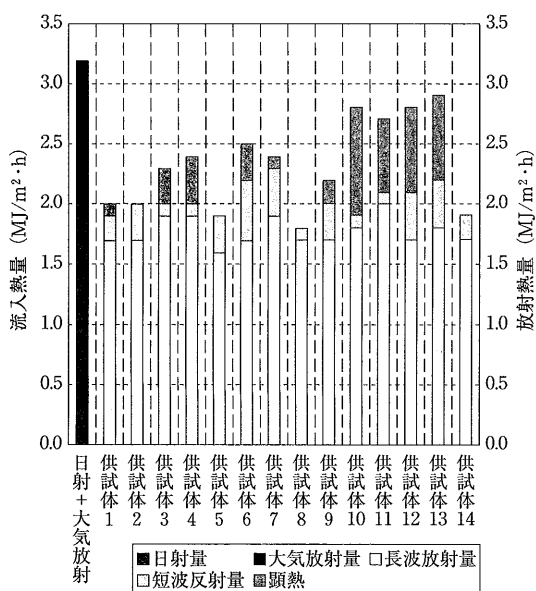
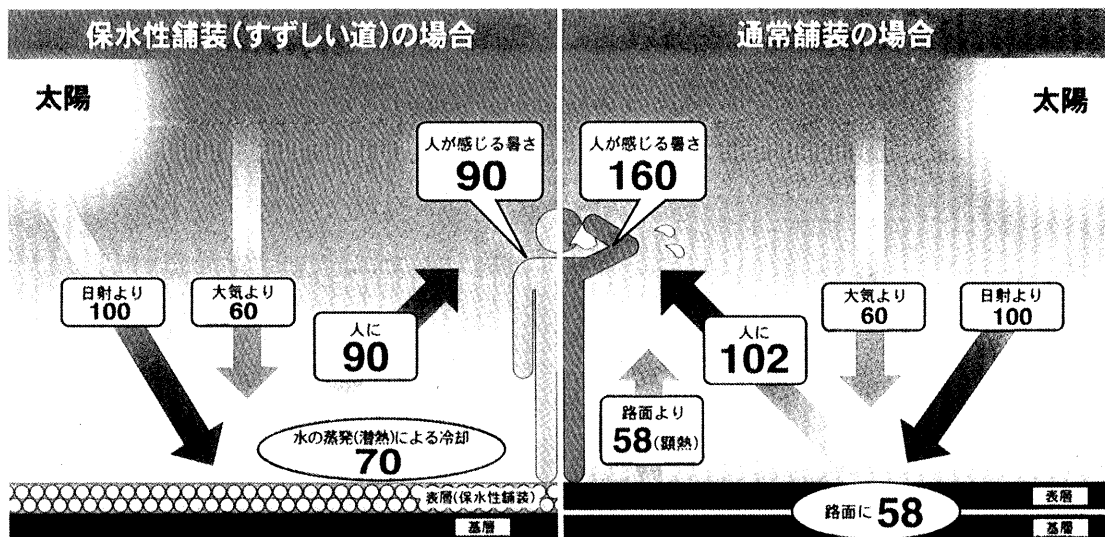


図-4 供試体の熱収支



※太陽からの日射を100とした場合の熱収支のイメージ図です。

日射より 大気より 水の蒸発(潜熱)による冷却 人に 人が感じる暑さ 日射より 大気より 人に 路面より(顕熱) 人が感じる暑さ

100+60-70 ⇨ 90 ⇨ 90 **100+60 ⇨ 102+58 ⇨ 160**

人に与える放射熱 人に与える放射熱 大気を暖める

- ・日射より…日射量
- ・大気より…大気放射量
- ・人に…長波放射量+短波反射量
- ・人が感じる暑さ…人に+路面より=長波放射量+短波反射量+顕熱
- ・水の蒸発による冷却…潜熱
- ・路面より(路面に)…顕熱

図-5 保水性舗装と通常舗装の熱収支状況の比較

待できる。

6. 供試体試験により得られた知見

- (1) 舗装体は保水させることにより、その材質により効果に違いはあるものの、舗装体の温度を低減させることができる。
- (2) 試験を行った保水性舗装材の温度低減効果は、保水後2日目以降にも持続する。今回使用したような舗装厚が6cmである舗装体において、その最大保水量が6,000g/㎡以上であれば、温度低減効果は蒸発量の変化から推測し3日程度持続性があると考えられる。
- (3) 保水性舗装材は十分な保水状態であれば、潜熱の効果により、顕熱の発生を抑制することができる。今回使用した保水性舗装材を道路の舗装として用いることにより、道路上の人が受ける熱量は、1.2MJ/㎡・h程度減少する。
- (4) 今回使用した保水性舗装材を道路の舗装として用いることにより、通常の密粒度アスファルト舗装

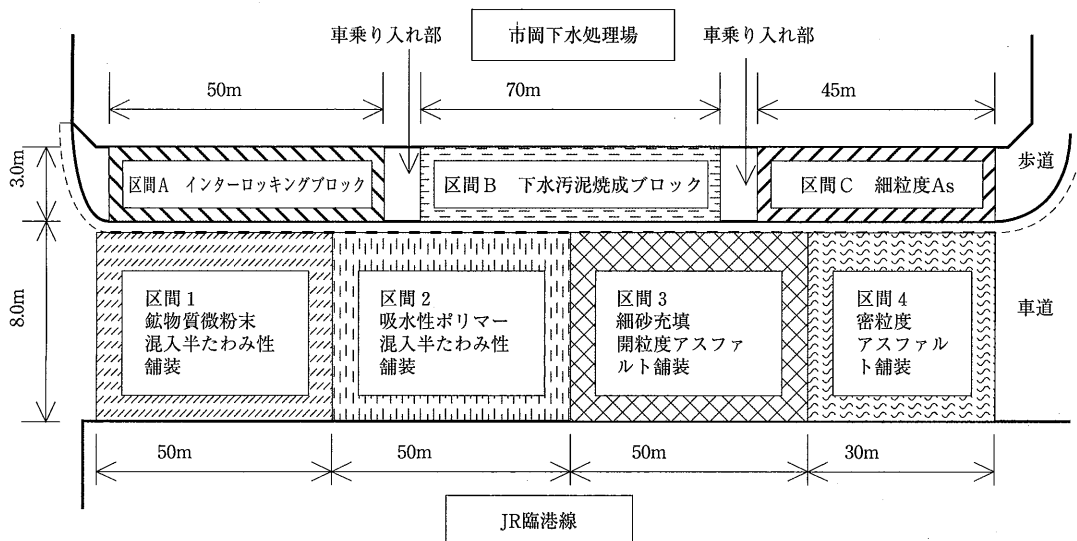
と比較して、道路上における体感温度は歩道用材料で最大3.5℃程度、車道用材料で最大3.0℃程度低下すると予想される。

7. 供用中の道路における試験施工

7.1 試験施工の概要

前述の供試体による調査より、保水性舗装材が舗装体の蓄熱を抑制し、舗装体温度を低減させ、その結果、道路上における体感温度を低下できるという予測が得られた。そこで、供用中の道路において保水性舗装材による試験施工を行い、供試体試験で行われた結果の検証を行うこととした。

平成11年3月に大阪市港区市岡において、車道用舗装材4種類、歩道用舗装材3種類を用いて、図-6に示すとおり試験施工を実施した。使用した舗装材を表-5に示す。車道部の4区間については、路盤上に基層(粗粒度アスファルト)を5cm舗設し、表層に保水性舗装材及び密粒度アスファルトを5cm舗設した。また、歩道部については、区間A及びBでは路盤上に



図－6 試験施工概要図

表－5 試験舗装で用いた舗装材

種類	歩車	名 称	材 料	透水量 (cc/15秒)	表面色	区間	供試体試験 でのNo.
保水性舗装材	車道	鉍物質微粉末混入半たわみ性舗装	開粒度As混合物にセメントと鉍物質粉末の混合材を充填	0	黒・灰白	1	1
		吸水性ポリマー混入半たわみ性舗装	開粒度As混合物にセメントと吸水性ポリマーの混合材を充填	0	黒	2	－
		細砂充填開粒度アスファルト舗装	開粒度As混合物に水道ろ過砂を充填	622	灰・茶	3	2
	歩道	下水汚泥焼成ブロック	下水汚泥焼却灰を陶器粉と混ぜ、約1,050℃で焼成	1,134	濃灰	B	8
通常舗装材	車道	密粒度アスファルト舗装	骨材最大粒径20mm	0	黒	4	10
	歩道	インターロッキングブロック	(市販品)	974	灰白	A	12
		細粒度アスファルト舗装	骨材最大粒径13mm	0	黒	C	－

敷き砂を3cm敷均し、厚さ6cmのブロックを敷設した。区間Cについては路盤上に表層（細粒度アスファルト）を3cm舗装した。

7.2 追跡調査

7.2.1 調査概要

平成11年4月から平成12年3月までの1年間を通じて、供試体での調査において測定した項目について追跡調査を行っている。また、実際の道路での保水性舗装材の供用性を調査するため、路面性状調査及び騒音測定を同時に行っている。

夏季においては、舗装体温度と蒸発量の関係を把握

するため、路面上に散水を行い、蒸発量の測定を行った。舗装面に5mmの降雨に相当する5.0リットル/㎡の水を9:00から2時間連続で散水車により散水した。

7.2.2 測定項目と方法

測定項目と方法について、表－6に示す。環境測定については、地上気象観測法に準じて行った。

8. 降雨実験の結果及び検証

夏季における降雨（散水）実験時の観測結果について、供試体試験との比較を行い、供試体試験で得られた結果についての検証を行う。

表－6 追跡調査の測定項目と測定方法

測定項目	測定方法	測定間隔
舗装体温度	供試体表面、2.5cm、5cm、10cmの深さに熱電対温度計を設置、瞬間値を自動計測し、データロガに記録	1年間を通じて15分毎
蒸発量	舗装体に30cm角の供試体を設置し、電子天秤により、供試体の重量を測定、前回重量との差より、算定	散水実験時に各日の12:00、14:00、16:00、18:00の計4回
最大保水量	電子天秤により測定した乾燥重量と24時間浸水後の重量との差より、算定	－
反射率	色彩色差計により、測定	春季、夏季の1週間に1回及び秋季、冬季の2週間に1回
日射量	全天日射計により、15分積算値を自動計測し、データロガに記録	1年間を通じて15分毎
気温	自記通風温湿度計により、瞬間値を自動計測し、データロガに記録	1年間を通じて15分毎
湿度	自記通風温湿度計により、瞬間値を自動計測し、データロガに記録	1年間を通じて15分毎
路面性状調査	舗装試験法便覧に基づき、滑り抵抗、平坦性、わだち掘れ、ひび割れ、現場透水係数を計測	施工直後、3ヶ月、6ヶ月、12ヶ月
騒音調査	試験車両を走行させ、車両に取付けたマイクロホンと道路側方に設置した騒音計により計測	3ヶ月、6ヶ月、12ヶ月

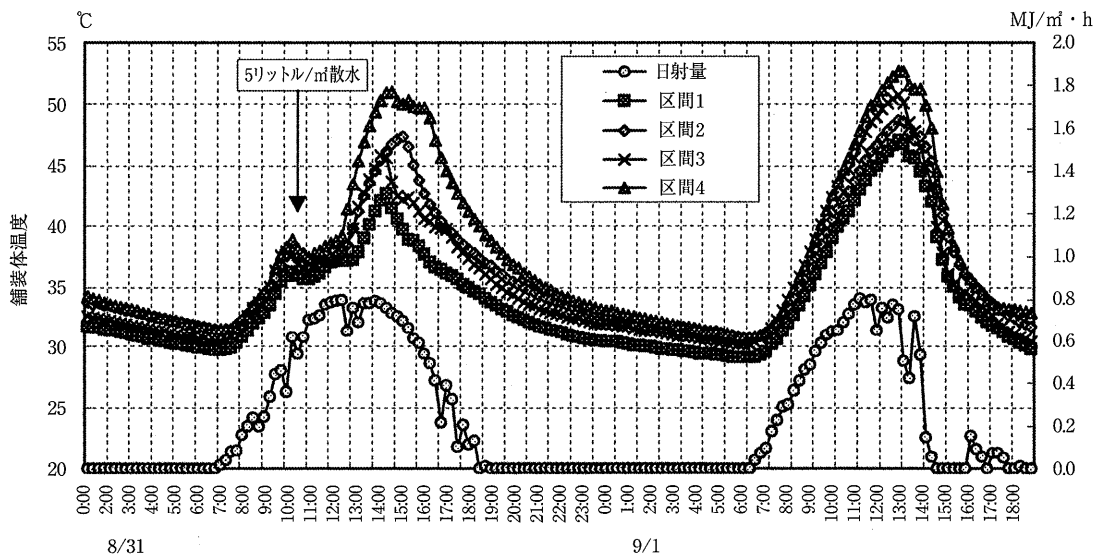
降雨実験当日は晴天であったが、2日目は14:30以降に降雨があったため、降雨処理後より2日目14:30までのデータを対象とした。

8.1 舗装体温度の変化

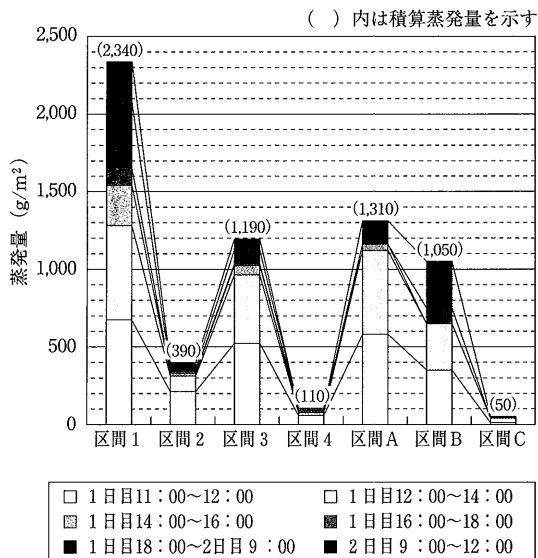
舗装体の温度変化について、図－7に示す。ここでは、車道部の表層部2.5cmの深さでの測定結果のみを示す。ピーク時の舗装体温度については、密粒度アスファルト舗装（区間4）と比較し、保水性舗装である区間1では、1日目で約9℃、2日目で約5℃低く、温度低減効果が確認できる。区間2、3についても、効果は小さいが温度低減が確認できる。

8.2 蒸発量の変化と持続性

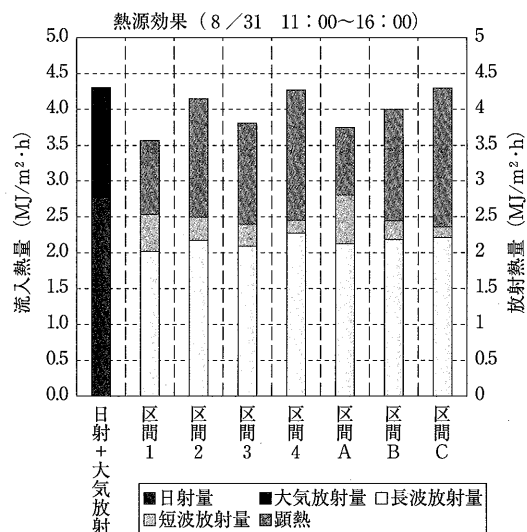
舗装体の水分蒸発量の測定結果を図－8に示す。また、各舗装体の最大保水量、飽水量、散水後の保水量及び積算蒸発量を表－7に示す。ここで、飽水量とは舗装体の空隙を飽和できる水量を表す。区間1を除き、各舗装体とも散水後の保水量が最大保水量に達しておらず、舗装体表面への散水では十分に保水が来ていないことが確認できる。区間1では、散水後の保水量が飽水量に近い値を示しており、最大保水量以上に浸透した水が流出せず拘束された状態で貯留していると考えられる。また、区間1及び区間Bを除き、各保水性舗装材とも1日目の蒸発量と比較し、2日目の蒸発量が極めて少なく、保水量の持続性が低い。しかし、区間1及び区間Bでは、2日目についても前日の半分程度の蒸発が続いており、これにより、2日目にも舗装体温度を低下させていると考えられる。



図－7 舗装体（車道部2.5cm深）の温度変化



図－8 舗装体の蒸発量



図－9 舗装体の熱収支

表－7 舗装体の最大保水量、飽水量、散水後の保水量及び積算蒸発量

	区間1	区間2	区間3	区間4	区間A	区間B	区間C
最大保水量	1,778	1,256	5,644	889	4,808	6,400	500
飽水量	3,556	3,133	9,600	2,000	7,077	13,950	1,444
散水後の保水量	3,100	470	1,420	110	1,310	1,200	60
積算蒸発量	2,340	390	1,190	110	1,310	1,050	50
うち1日目	1,650	330	1,030	110	1,160	650	40
うち2日目	690	60	160	0	150	400	10

8.3 熱収支及び体感温度

供試体試験と同様に舗装体に対する熱収支を算出し、図－9に示す。ここでは、1日目の11:00から16:00の時間平均値による算出結果を示している。舗装体への流入熱量は、日射量が $2.8\text{MJ}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ 、大気からの放射が $1.5\text{MJ}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ で、合わせて $4.3\text{MJ}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ である。これに対し、舗装体からの放出熱量は、区間1が $3.6\text{MJ}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ であり、 $0.7\text{MJ}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ が潜熱として解消されており、最も熱源効果の低下が見られる。次いで区間A、区間3、区間B、区間2の順で熱源効果の低下が見られる。

次に、最も熱源効果の低下が見られる区間1の結果より、通常舗装である区間4上との体感温度の差を算出する。第5章と同様に算出すると、区間1上では、

区間4上と比較し、 1.8°C 体感温度は低くなる。

8.4 検証

今回の試験施工は、供試体試験時と同手法・同規格で作成した舗装材を使用しているが、最大保水量が大きく低下している。供試体と広面積の試験施工では舗装性状が異なったためと考えられる。また、表面散水による保水と浸水による保水では、保水量も大きく異なっている。しかし、保水量の比較的大きい区間1は、供試体1と比較し、舗装体温度の低減効果は小さいものの、同傾向の変化を示している。また、熱源効果についても、蒸発量が少ないため、潜熱の効果による舗装体の放出熱量の低下量は小さいものの、通常舗装と比較すると蓄熱量の低下は確認できる。以上のように、試験施工では供試体試験時と同等の保水量が得られなかったため、温度低減効果及びその持続性が小さくなっているが、通常舗装との比較では効果は確認できる。今後、さらに保水量を向上させることにより供試体試験により近い温度低減効果が得られると考えられる。

9. あとがき

今回の調査で、保水性舗装材からの水分の蒸発量と温度低減効果の関係がある程度定量的に把握できた。また、試験施工箇所での追跡調査により、供試体実験で得られた結果を検証することができた。今後、調査データの集計、分析を行い、保水性舗装材のさらに詳細な特性を把握し、問題点の抽出及び解決策の検討を行い、保水性舗装の実用化に向け、取り組んでいきたい

と考えている。

最後に、本研究は大阪市建設局が実施した調査及び試験施工をもとに筆者らが考察を加えまとめたものであり、調査に際して、指導協力を頂いた大阪市立大学山田優教授、並びに、試験施工に際して、協力を頂いた日進化成株式会社、大成ロテック株式会社、株式会社ガイアートクマガイ、昭和電工株式会社、小野田ケミコ株式会社、並びに関係各位に謝意を表します。

— 参考文献 —

- 1) 小元敬男：都市と気候，日本気象学会（気象研究ノート），第162号別冊，1988，P211-231
- 2) 大阪市環境保健局：大阪市ヒートアイランド対策検討調査報告書，1994.3，PⅡ28-38，PⅢ1-32
- 3) 土木学会：舗装工学小委員会報告書，1997.6，P

Ⅲ-11

- 4) 国立環境研究所環境情報センター：環境白書総説（平成8年度版），1997，P485
- 5) 大阪市建設局：路面温度に関する調査検討業務報告書，1995.10
- 6) 大阪市建設局：路面温度に関する調査検討業務報告書，1997.3
- 7) 大阪市建設局：保水性舗装材に関する調査業務報告書，1998.3
- 8) 徳本行信ほか：舗装体の温度上昇を抑制する保水性舗装材の開発について，舗装工学論文集，舗装工学小研究委員会，1998.12，P191-200
- 9) 大阪市建設局：保水性舗装に関する調査業務報告書，1999.3

石油アスファルト統計年報（平成10年度版）

A 4：26ページ ￥500（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。

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

— 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

第3回路面性状に関する国際シンポジウム

今回は、1996年ニュージーランドで行われた「第3回路面性状に関する国際シンポジウム」について報告します。第4回のシンポジウムは、本年5月に行われますので、報告がやや古い情報となってしまったことを反省しています。

さて、路面性状に関する会議は、1959年に「第1回国際すべり防止会議」がバージニアで、1968年に「湿潤状態における道路のすべり抵抗と交通安全に関する国際討論会」がベルリンで、1977年に「第2回国際すべり防止会議」がオハイオで、1988年に「第1回路面

性状に関する国際シンポジウム」がアメリカで、1992年に「第2回路面性状に関する国際シンポジウム」がドイツで開催されました。今回報告する「第3回路面性状に関する国際シンポジウム」はPIARCの路面性状に関する技術委員会が主催したものです。IRIの提案を含めてタイヤと路面性状との関係の把握などに努力の結果が読み取れ、わが国においても今後の検討資料として有用と考えられます。

(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

市岡孝夫 前田道路(株)技術研究所

伊藤達也 ニチレキ(株)技術研究所

打田幸平 日進化成(株)第一技術研究所

江向俊文 前田道路(株)技術研究所

岡藤博国 世紀東急工業(株)技術部

鎌田孝行 常盤工業(株)技術研究所

**金井利浩 鹿島道路(株)技術研究所

黒田 智 日本舗道(株)技術研究所

*小関裕二 大林道路(株)技術研究所

*佐々木巖 建設省土木研究所材料施工部化学研究室

佐々木昌平 日本舗道(株)技術開発部

佐藤雅規 世紀東急工業(株)技術研究所

清水浩昭 世紀東急工業(株)技術研究所

島崎 勝 大成ロテック(株)技術部

菅野伸一 常盤工業(株)技術研究所

鈴木秀輔 大成ロテック(株)技術研究所

鈴木康豊 (株)パスコ道路技術センター

鈴木 徹 大林道路(株)技術研究所

鈴木俊行 ニチレキ(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

高橋光彦 大成ロテック(株)技術研究所

高田祥子 日本道路(株)技術本部技術研究所

武本敏男 東京都土木技術研究所技術部化学研究室

立石大作 日石三菱(株)中央技術研究所

手塚朗子 東亜道路工業(株)技術研究所

東本 崇 大林道路(株)技術研究所

**玉木琢雄 大成ロテック(株)技術部

早川洋子 (株)パスコ道路技術センター

林 信也 鹿島道路(株)技術研究所

藤井一章 日進化成(株)第一技術研究所

藤谷 篤 昭和シェル石油(株)中央研究所

舟根 毅 常盤工業(株)技術研究所

*増山幸衛 世紀東急工業(株)技術部技術一課

美馬孝之 日本道路(株)技術本部技術研究所

村田信之 日本舗道(株)企画部

安井由喜夫 ニチレキ(株)道路エンジニアリング部

山脇宏成 (株)ガイアートクマガイ技術研究所

吉村啓之 前田道路(株)技術研究所

計40名

第3回路面性状に関する国際シンポジウム

セッション1：シンポジウムの紹介とPIARC国際共通試験の概要

セッション2：PIARC国際共通試験の活用事例

高橋 光彦*

関口 英輔**

セッション1 Introduction to the Symposium and an overview of the International PIARC Experiment to compare and harmonise texture and skid resistance measurements
(シンポジウムの紹介およびテクスチャとすべり抵抗測定と比較と基準化に関するPIARC国際共通試験の概要)

論文番号	論文名	著者 (国名)	概要
1-1	Overview of the International PIARC Experiment to compare and harmonise texture and skid resistance measurements: the International Friction Index	Henry,J.J. (アメリカ)	すべり抵抗およびテクスチャを測定する方法や装置は国ごとに異なっている。本論文は、それらの測定結果を比較するために行った、国際共通実験について紹介したものである。 様々な装置から得られた測定データを基準化することで、国際すべり指標 (IFI) が開発された。
	テクスチャとすべり抵抗測定の比較と基準化に関するPIARC国際共通試験の概要：国際すべり指標		

セッション2 Developments following the international PIARC Experiment
(PIARC国際共通試験の活用事例)

論文番号	論文名	著者 (国名)	概要
2-1	Skid resistance monitoring in Austraria: steps towards National Guidelines and portability of results from the PIARC International Experiment.	Pratt,D. (オーストラリア)	オーストラリアではすべり抵抗の測定をSCRIMにより行っている。本論文では、「SCRIMを利用したすべり抵抗の測定と評価に関する指針」を発行するために行われた研究の概要が述べられている。
	オーストラリアにおけるすべり抵抗の測定：PIARC国際共通試験によるすべり抵抗の指針と運用		
2-2	Skid resistance measurements by two Japanese testers and, their relations to texture and the International Index.	Saito,K. (日本) Henry,J.J. (アメリカ) Horiguchi,T. Kasahara,A. Abe,H. Hukuhara,T. (日本)	PIARC国際共通試験には、日本から、2種類のすべり抵抗測定装置が参加している。本論文では、2種類の測定装置により得られたすべり抵抗と、プロフィールメータおよび容積測定法 (Volumetric method) により得られたテクスチャから、IFIを決定した場合の精度について検討している。
	2種類の測定装置によるすべり抵抗の測定、テクスチャおよび国際すべり指標との相関性について		
2-3	Practical consequences of IFI application.	Jordens,R.A.P. Bennis,T.A. (オランダ)	本論文では、IFIですべり抵抗を評価する場合の精度の向上に関する検討を行っている。
	IFI適用の実用結果		

*たかはし みつひこ 大成ロテック(株)技術研究所

**せきぐち えいすけ 日本大学理工学部阿部研究室助手

1. はじめに

セッション1に収められている論文は1編、シンポジウムの紹介とPIARC国際共通試験の概要として、実験の目的、すべり抵抗とテクスチャの測定方法・装置、実験場所等が示されている。このほか、実験の結果を受け、国際すべり指標（以下、IFI）が提案されている。

セッション2は、3編の論文で構成されており、IFIの適用事例が述べられている。オーストラリア、日本、オランダの3カ国における事例紹介である。

2. PIARC国際共通試験（論文1-1）

すべり抵抗およびテクスチャの測定方法・装置は、国によって異なるものである。PIARCの路面性状に関する技術委員会（TC-1）は、世界各国におけるそれらの測定結果を比較する手法を開発するために、1992年9～10月にベルギーとスペインにおいて国際共通試験を実施した。この実験で得られたすべり抵抗およびテクスチャのデータをもとに、各装置間の共通スケールIFIが提案された。

(1) 実験概要

a) 測定装置

①すべり抵抗測定装置

すべり抵抗測定装置は、車輪ロック（車輪がロックした状態でのすべり抵抗を測定）、スリップ率固定（スリップ率が10～20%でのすべり抵抗を測定）、サイドフォース（車両の進行方向に対し、一定の角度をもたせたタイヤに発生するすべり抵抗を測定）、スリップ率変動（任意のスリップ率でのすべり抵抗を測定）の4つの主なタイプがある。このほか、ピーク摩擦を検出する装置やピーク摩擦レベルの付近で測定するスリップ率を変化させる装置がある。表-1に実験に参加した装置のリストを示す。

②テクスチャ測定装置

本実験では、テクスチャ測定装置として、プロフィールメータ、容積測定装置（本実験では、ガラスビーズを使用）、アウトフローメータの3つのタイプを使用している。

アウトフローメータは、環状のゴムを底部に付着させた透明なシリンダを有する装置で、ゴムと路面の隙間から一定の体積の水が流出する時間を秒単位で測定するものである。表-2に実験に参加した装置のリストを示す。

表-1 すべり抵抗測定装置

装置ID	装置の名称	装置タイプ	タイヤ種類	スリップ率 (%)	測定速度 (km/h)
A12	ROSAN	SLIDER	BLANK	100	10
A13	DF TESTER	SLIDER	BLANK	100	0-80
A14	BRITISH PENDULUM (US)	SLIDER	BLANK	100	10
B1-ABS	STUTT. REIBUNG SMESSER (CH)	OPTIMUM SLIP	RIBBED-P	OPT	30, 60, 90
B1-LKD	STUTT. REIBUNG SMESSER (CH)	LOCKED	RIBBED-P	100	30, 60, 90
B1-SLP	STUTT. REIBUNG SMESSER (CH)	FIXED SLIP	RIBBED-P	15	30, 60, 90
B2-LKD	SKIDDOMETER BV-8 (CH)	LOCKED	RIBBED-P	100	30, 60, 90
B2-SLP	SKIDDOMETER BV-8 (CH)	FIXED SLIP	RIBBED-P	15	30, 60, 90
B3	SKIDDOMETER BV-11 (CH)	FIXED SLIP	PATTERN	15	30, 60, 90
B4E-SLP	NORSEMETE OSCAR (N)	FIXED SLIP	BLANK-A	15	30, 60, 90
B4E-SWP	NORSEMETE OSCAR (N)	VARIABLE SLIP	BLANK-A	0-90	30, 60, 90
B5-ABS	STUTT. REIBUNG SMESSER (A)	OPTIMUM SLIP	RIBBED-P	OPT	30, 60, 90
B5-LKD	STUTT. REIBUNG SMESSER (A)	LOCKED	RIBBED-P	100	30, 60, 90
B5-SLP	STUTT. REIBUNG SMESSER (A)	FIXED SLIP	RIBBED-P	18	30, 60, 90
B6-501	ASTM E-274 TRAILER (US)	LOCKED	RIBBED-A	100	65
B6-524	ASTM E-274 TRAILER (US)	LOCKED	BLANK-A	100	30, 65, 90
B6-CHP	ASTM E-274 TRAILER (US)	DRY PEAK	PATTERN	PEAK	65
B6-ULT	ASTM E-274 TRAILER (US)	DRY LOCKED	BLANK-A	100	10
B7	BRITISH PENDULUM (US)	SLIDER	BLANK	100	10
B10E	MuMETER	SIDE FORCE	PATTERN	13 (7.5)	80
C1	SKID RESISTANCE TESTER (F)	LOCKED	PATTERN	100	30, 60, 90
C3B	FLEMISH SCRIM (B)	SIDE FORCE	BLANK	34 (20°)	30, 60, 90
C3E	CEDEX SCRIM (E)	SIDE FORCE	BLANK	34 (20°)	30, 60, 90
C4	KOMATSU SKID TESTER (J)	VARIABLE SLIP	BLANK-A	10-30	30, 50, 60
C5	DWW TRAILER (NL)	FIXED SLIP	BLANK-P	86	30, 50, 90
C6E	MOPT SCRIM (E)	SIDE FORCE	BLANK	34 (20°)	30, 60, 90
C8	STRADOGRAPH (DK)	SIDE FORCE	BLANK-P	21 (12°)	30, 60, 90
C9	WALOON ODOLIOGRAPH (B)	SIDE FORCE	BLANK-P	26 (15°)	30, 50, 90
C10	CRR ODOLIOGRAPH (B)	SIDE FORCE	BLANK-P	34 (20°)	30, 50, 90
D1E	SCRIM (D)	SIDE FORCE	BLANK	34 (20°)	40, 60, 90
D2	GEOCISA SCRIM (E)	SIDE FORCE	BLANK	34 (20°)	30, 60, 80
D3	SCRIM (F)	SIDE FORCE	BLANK	34 (20°)	30, 60, 90
D4	SUMMS (I)	SIDE FORCE	BLANK	34 (20°)	30, 60, 80
D5	SCRIMTEX (UK)	SIDE FORCE	BLANK	34 (20°)	30, 50, 90
D6	LCPC TRAILER (F)	LOCKED	BLANK-P	100	40, 60, 90
D7B	PETRA (D)	VARIABLE SLIP	PATTERN	0-100	30, 60, 90
D8	GRIPTESTER (UK)	FIXED SLIP	BLANK	145	5, 30, 65, 90

(装置タイプ) LOCKED：車輪ロック、FIXED SLIP：スリップ率固定、SIDE FORCE：サイドフォース、VARIABLE SLIP：スリップ率変動、SLIDER：スライダ、OPTIMUM SLIP：最適スリップ率

(タイヤ種類) RIBBED-P=PIARC ribbed tire, RIBBED-A=ASTM E-501 TIRE
BLANK-P=PIARC smooth tire, BLANK-A=ASTM smooth tire (E-524)
PATTERN=Tires with various patterns

表-2 テクスチャ測定装置

装置ID	装置の名称	測定項目	測定速度 (km/h)
A1	FWHA TEXTURE VAN (US)	RMS	30
A2	VTI MOBILE PROFILOMETER (S)	MPD	36
A3B	ARAN (CAN)	MPD	30, 60, 80
A3E	AEPO RST (E)	RMS	30
A4	CRR MOBILE PROFILOMETER (B)	MPD	18, 36, 72
A5	CRR STATIONARY PROFILOMETER (B)	MPD	0
A8	ASTM E-965 SANDPATCH (US)	MTD	0
A12	ROSAN (US)	RMS	5
B8	OUTFLOW METER (CH)	OUTFLOW TIME	0
B11E	OUTFLOW METER (US)	OUTFLOW TIME	0
D2	GEOCISA SCRIM (E)	RMS	60
D3	SCRIM (F)	MPD	60
D4	SUMMS (I)	RMS	50
D5	SCRIMTEX (UK)	RMS	50

RMS：二乗平均の平方根

MPD：プロフィールメータより求めた平均プロフィール深さ

MTD：容積測定法により求めた平均テクスチャ深さ

OUTFLOW TIME：アウトフローメータにより測定される一定体積の水が流出する時間

b) 実験場所と測定方法

実験場所はベルギーで28箇所（空港2箇所，レース場4箇所，一般道路22箇所）とスペインで26箇所（空港8箇所，一般道路18箇所）の合計54箇所である。参加したすべてのすべり抵抗測定装置を現場に集め，気温の変化等の影響を避けるために，できる限り短時間ですべての測定を終了するようにした。16カ国の装置により，51項目の異なるパラメータが得られた。測定速度は30，60，90km/hの3種類，それぞれの速度につき4回の繰り返し測定が行われた。テクスチャの測定は，路面に散水する前の乾燥路面で行われた。

(2) IFIの開発

前節で紹介した世界各国のすべり抵抗測定装置，およびテクスチャ測定装置から得られたデータを解析することで，IFIを開発した。

IFIは，F60とSpという2つのパラメータで表される。F60は，任意の装置・速度で測定された値を，60km/hの速度におけるすべり抵抗値に変換したものである。またSpは，路面のテクスチャから求められるすべり抵抗の速度依存性を表す速度定数である。

IFIを構成するパラメータは，図-1に示すPIARCモデルを利用して求めることができる。以下にその計算方法を示す。なお，図中の「GOLD（ゴールデン曲線）」とは，本実験において得られたすべり抵抗と速度の相関式である。

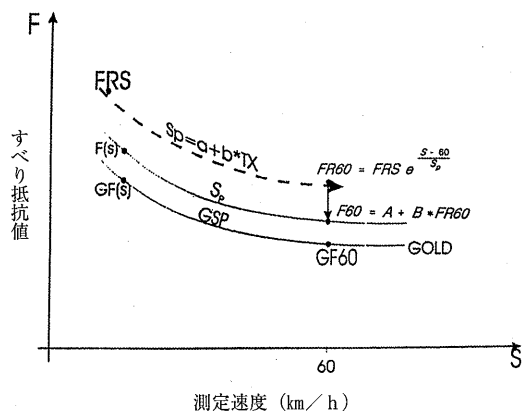


図-1 PIARCモデル

- ①速度定数Spをテクスチャ測定値（TX）から，次式により計算する。

$$Sp = a + b \times TX \quad (1)$$

ここで，a，b：使用したテクスチャ測定装置に固有の定数

- ②60km/hのすべり抵抗測定値（FR60）を，スリップ速度（S）におけるすべり抵抗値（FRS）から，次式を用いて計算する。

$$FR60 = FRS \times e^{((S-60)/Sp)} \quad (2)$$

- ③ゴールド値（GF60）の推定値（F60）を次式から求める。

$$F60 = A + B \times FR60 \quad (3)$$

ここで，A，B：使用したすべり抵抗測定装置に固有の定数

以上の手順により得られたF60とSpを用いて，個々の装置，任意の速度で測定されたすべり抵抗値が速度60km/hにおける基準値に変換される。

(3) 今後の展開

新しく国際すべり指標が提案されたことを受け，今後はASTM，CEN，ISOなどの機関が，F60およびSpを計算するための，PIARCモデルを組み入れた新しい標準を開発すべきであるとしている。

3. PIARC国際共通試験の活用事例

PIARC国際共通試験の成果を活用した，オーストラリア，日本，オランダにおける事例の概要を以下に示す。

(1) オーストラリア（論文2-2）

オーストラリアでは，道路網のすべり抵抗を観察するために，SCRIM（Sideways-force Coefficient

Routine Investigation Machine) と呼ばれるサイドフォースタイプのすべり摩擦係数測定装置を利用している(図-2参照)。SCRIMは、車両の進行方向に対し、一定の角度をもたせたタイヤに発生するすべり抵抗を測定するものである。本論文は、「SCRIMを利用したすべり抵抗の測定と評価に関する指針」を発行するために行われた研究の概観について述べたものである。



図-2 SCRIMによるすべり抵抗測定

3台のSCRIMでキャリブレーションを実施した結果、各々のSCRIMは、PIARC国際共通試験で用いたSCRIMと同等の結果をもたらす信頼性を有していることが確認された。得られたデータは、移動平均処理(スムージング)した波形で評価される。それによって、高い再現性が期待できるとしている。

より高精度の測定を行うには、レーザを用いる必要があるが、現在のところオーストラリアのSCRIMには装備されていない。

測定プロセスや精度について信頼を得るためには、IFIを参考にする必要があるとしている。

(2) 日本(論文2-2)

PIARC国際共通試験には、日本から、DFテストおよびKOMATSU FRICTION TESTERの2種類のすべり抵抗測定装置が参加している。KOMATSU FRICTION TESTERは、牽引される2つのタイヤに回転差を与えて、任意のスリップ率でのすべり抵抗を測定するものである(詳細については、アスファルト誌 Vol.37 No.182 p.57を参照)。本論文では、この2種類の試験機により得られたデータから、以下の3

条件においてIFIを計算し、それぞれの回帰式の精度について検討している。

①DFテストのみの測定値

②DFテストとテクスチャの測定値

③KOMATSU FRICTION TESTERとテクスチャの測定値

ここで、テクスチャはプロフィールメータおよび容積測定装置によって測定されたものである。

その結果、①では、F60の推定は可能であるが、SPの測定にはテクスチャ測定値が必要であるとしている。②では、MPD(プロフィールメータより求めた平均プロフィール深さ)あるいはMTD(容積測定法により求めた平均テクスチャ深さ)のいずれかを用いて十分にIFIを推定できるが、Spの推定にはMPDを用いた方が良好な結果が得られることが示された。③では、IFIを高い精度で推定できるとしている。

(3) オランダ(論文2-3)

オランダでは、すべり抵抗の測定は、バンとトレーラからなるすべり抵抗測定車両で行われている。テクスチャについては、レーザテクスチャメータを装備しているARANと呼ばれる自動測定装置で測定されている。

IFIを計算するにあたっては、多くの変化しやすい要因(装置、速度、舗装種別)を包含しているので、正確な値を算出するためには、要因のばらつきを小さくする必要がある。舗装種別、測定速度別に分類し、それぞれについてIFIを計算した結果、舗装種別ごとに計算するよりも、測定速度別に計算する方が、精度の高い結果が得られるとしている。

4. おわりに

以上、セッション1および2に収められている論文の概要を紹介した。

今日まで各国独自に測定されてきたすべり摩擦係数のデータが、PIARC国際共通試験で提案されたIFIを用いることで比較できるようになったことは、今後の研究の発展に大きく寄与するものと考えられる。

日本からも2種類のすべり摩擦抵抗測定装置が国際共通試験に参加しているため、データの入手が容易に行えると思われる。

セッション 3 : 路面性状の測定および解析 (テクスチャ, すべり抵抗)

セッション 4 : 路面性状の測定および解析 (ラフネス, 横断形状, クラック)

安 井 由喜夫*
鈴 木 康 豊**

セッション 3 Equipment and methods for measuring pavement surface characteristics:
A - Texture, skid resistance
(路面性状の測定および解析: テクスチャ, すべり抵抗)

論文 番号	論 文 名	著 者 (国 名)	概 要
3-1	A study on skid resistance and surface texture of expressways in Japan	Shimeno,S (日本)	高速道路で測定されたすべり抵抗とテクスチャの分析により, 両者の関係において一定の傾向が見られた。またプロファイルのピーク密度指数とすべり抵抗との相関は大変高く, 舗装路面のすべり抵抗の評価指数として有効であると報告されている。
	日本の高速道路におけるすべり抵抗とテクスチャの研究		
3-2	Significance of SCRIM measurements in vehicle motion simulation models	Domemchini,L Torre,F,L Mancosu,F (イタリア)	SCRIM測定用タイヤと商用タイヤにおいて, タイヤ圧力, 垂直荷重, および走行速度に関する両タイヤの挙動の差を明らかにし, その結果より実際の道路における商用タイヤのパフォーマンスを推定するモデルを示している。
	自動車の挙動シミュレーションモデルとしてのSCRIMの測定値の意味合い		
3-3	Operational limitations of skid resistance testers used in Australasia	Cenek,P,O Brown,D,N Jamieson,N,J Stewart,P,F (ニュージーランド)	すべり抵抗の従来型および新型の試験器について, 丘陵やカーブ箇所でのすべり抵抗の測定が適切であるか評価が行われ, 従来型では適切でないことが判明した。一方新型は有望ではあるが, 開発時期が尚早であったため調査目的を完全に満たされていないと評価している。
	オーストラリアとその周辺で使用されているすべり抵抗試験機の使用上の制限		
3-4	Fractal characterisation of road surface textures for analysis of friction	Rado,Z (ノルウェー)	テクスチャ摩擦の質的, 量的に示すモデルについて, フラクタル幾何学を用いて説明している。
	路面のテクスチャ摩擦の分析におけるフラクタル幾何学		
3-5	New standard tyre for measuring skid resistance in Japan	Ichihara,K Matsumura,T (日本)	新しいすべり抵抗測定用タイヤの仕様を, 現在の市場で広く使用されているものに設定し, ASTMタイヤとの測定値について比較を行った結果について報告している。
	日本における新しいすべり抵抗測定用の標準タイヤ		
3-6	Towards a micro/macro trade-off based on a texture characterisation model	Faure,B Lavand,J,P (フランス)	マクロおよびマイクロテクスチャにより, 路面とタイヤの関係を定義したモデルについて紹介されている。
	テクスチャーの特性に基づくマクロ/ミクロトレードオフモデル		

*やすい ゆきお ニチレキ(株)道路エンジニアリング部

**すずき こうゆう (株)パスコ道路技術センター

セッション 4 Equipment and methods for measuring pavement surface characteristics:
B - Roughness, transverse profile, cracking
(路面性状の測定および解析：ラフネス、横断形状、クラック)

論文 番号	論 文 名	著 者 (国 名)	概 要
4-1	Homogeneity verification of road section roughness characteristics	Divinski,M (イスラエル)	ラフネスデータを用いた道路種別の分割手順に、クラスター分析を取り入れた方法について検討している。
	ラフネスデータ解析による道路種別分割手順の検討		
4-2	Characteristics of pavement surface profile on airport runways	Akimoto,T Kawamura,A Kasahara,A Himeno,K Hachiya,Y (日本)	非接触プロファイルメータを用いて滑走路の測定を行い、スペクトル解析等によりプロファイルの違いによる機体の振動に及ぼす影響について比較検討されている。今後滑走路の維持修繕計画を行うための第一段階となることが期待されている。
	滑走路における舗装路面の特性について		
4-3	Mobile road monitoring system	Soma,K Kato,S (日本)	中軽交通道路に対して、舗装の維持修繕計画を効果的に立案するために必要な舗装の評価、およびPMSに不可欠なデータバンクシステムの構築についての具体的な提案を示し、今後のPMS構築のための方向付けを試みている。
	移動式道路モニタリングシステム		
4-4	Experiences in using the Protograph, a laser-based equipment for profilometric measurements of pavement surfaces	Schmidt,B Taudorf,A (デンマーク)	レーザーによるプロファイル測定装置を用いた場合、舗装の特異な状況や測定異常値などの影響により、計算されたパラメータに影響を及ぼすことがあると報告しており、その及ぼす要因について述べられている。
	レーザーを用いた測定装置によるプロファイルの測定事例		
4-5	High-efficiency measuring method of longitudinal/lateral profiles of expressways	Ito,Y Fukuhara,T Kasahara,A (日本)	高速道路の拡幅計画において、既存の計測技術とGPSを組み合わせた縦横断絶対プロファイル測定が行われた。通常の水準測量と比較して短期間でまた誤差も小さく、長距離にわたる拡幅計画の検討に大きく寄与した事例が報告されている。
	高速道路の縦横断プロファイルの高効率測定方法		

1. はじめに

セッション 3 および 4 では、路面性状の測定および解析の事例について、7 カ国から全11編の論文が報告されている。

発表論文を内容で分類すると、セッション 3 はテクスチャとすべり抵抗に関するものであり、測定装置に係わる論文が2編、解析に係わる論文が4編である。セッション 4 は、ラフネス、横断形状、クラックに関するものであり、測定に係わる論文が3編、解析に係わる論文が2編、データベースの構築、活用に関する論文が1編（一部重複）で構成されている。このセッションの表題ではクラックも併記されているが、それに関する論文は発表されていない。

ここでは、①路面性状測定装置、②路面性状の解析、③データベースの構築・活用に分類し、その概要を紹介する。

2. 路面性状測定装置

舗装の路面特性を把握するために、様々な測定装置

の開発・改良が行われている。ここでは測定装置に関連した報告のうち、すべり抵抗とプロファイルに関して、その概要を紹介する。

(1) すべり抵抗測定用新標準タイヤ（論文3-5）

従来のすべり抵抗測定車に搭載されている測定用 ASTM標準タイヤは、日本においてはあまり使用されていないタイプのものであった。そのため、タイヤの市場を調査し、1994年に新標準タイヤを設定している。その仕様はサイズ165SR13のラジアル構造のもので、トレッドパターンはリブ状タイプと滑らかなタイプがあり、ゴムの材質はASTM標準タイヤと同じものを使用している。旧標準タイヤとの比較では、同速度で補正することによりすべり抵抗係数はほぼ同等であった。論文3-1の報告でも、この新標準タイヤを搭載した装置で測定が行われている。また冬期路面用の標準タイヤも新たに設定されており、その仕様は165／80R13、185／70R14の2サイズのラジアル構造のもので、スタッドレスのトレッドパターンで特殊なゴムを使用している。

(2) 新型すべり抵抗測定装置の評価 (論文3-3)

ニュージーランドにおける従来のすべり抵抗測定装置であるSCRIM, GripTesterに、新世代の測定装置2種を加え、丘陵や曲がりくねった道路におけるすべり抵抗の測定評価を行っている。その新世代2種の特徴は以下のとおりである。

①Yandell-Meeテクスチャメータ

この装置は、路面プロファイルの直接測定により、湿潤および乾燥時のすべり抵抗の計算をする最新システムを搭載したものである。

②NorsemeterROAR

この装置は、車輪スリップの範囲を0～90%に変化させてすべり抵抗を測定でき、ミクロテクスチャとマクロテクスチャの影響を容易に把握することができるものである。

一連の試験の結果、従来の2種はすべり抵抗を上り勾配で過小評価し、下り勾配では過大評価していることが判明した。また急カーブの箇所では、通常の調査速度50km/hでの測定値が信頼性が低いと評価している。一方、新世代の2種はそれらの測定を保証するものであると評価している。

(3) GPSを組み合わせたプロファイル測定装置

第2回路面性状に関する国際シンポジウムのセッションDで発表されている逐次2点法の原理を用いた非接触プロファイル測定装置に、GPSを組み合わせて、縦断方向のプロファイルデータの絶対高さとしての評価を行っている。固定局を計測区間の中央部に、移動局をプロファイル測定装置に設置し連続的に計測を行っている。GPSを組み合わせた測定の概念図を図-1に示す。

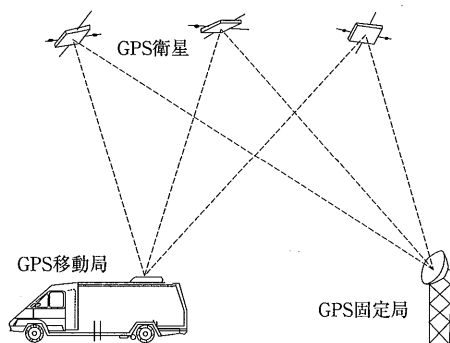


図-1 GPS計測システムの概念図

延長22km、標高差約100mある高速道路の拡幅区間において、この装置を用いて現況路面の縦横断絶対プロファイル測定している (論文4-5)。その結果、通常の水準測量と比較して、計測日数を大幅に短縮することができ、以前に実施されている水準測量によるデータとの測定誤差は概ね±20mm内であった。

3. 路面性状の解析

ここでは路面性状の測定で収集されたデータの解析に関する報告の概要を3編紹介する。

(1) プロファイルとすべり抵抗の関係 (論文3-1)

日本の高速道路において、利用者の安全を確保するための新しい路面管理方法の研究を行っており、その一つとして、プロファイルとすべり抵抗の関係を分析している。プロファイルの深さごとの頻度の加重平均であるピーク密度指数 (PDI: Peak Density Index) を、①最も頻度の高い深さまで、②最も頻度の高い深さ+0.5mmまでの2つの方法で算出している。図-2は、これらの方法で計算されたPDIを混合物ごとに平均した値と、80km/hにおけるすべり抵抗の関係をまとめたものである。

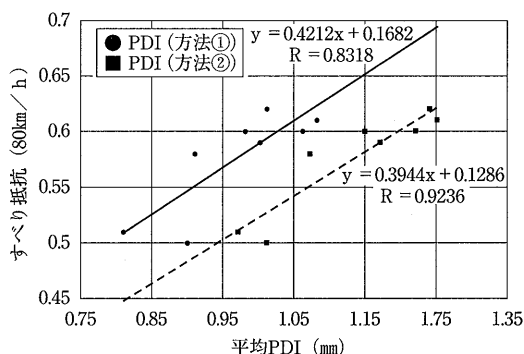


図-2 PDIとすべり抵抗の関係

分析結果より②の方法は、タイヤと路面の接触という観点からも現実的であり、高い相関も得られている。PDIは、舗装路面のすべり抵抗と相関が高く、舗装路面の評価指標として有効であると述べている。

(2) SCRIM測定値による自動車の挙動モデル (論文3-2)

路面と車両挙動の関係から車両走行の安全性を高めるための基礎的な研究がイタリアで行われている。これは英国で開発されたすべり抵抗測定装置SCRIMを用いて、自動車の挙動モデルを検討したものである。専用のタイヤ試験装置により、SCRIM測定用タイヤ

と自動車に用いられる2つの商用タイヤの、横方向にかかる力の係数(SFC)を測定している。

その結果、SCRIM測定用タイヤと商用タイヤにおいて、両タイヤのレスポンス(挙動)の差が明らかとなり、SCRIM測定用タイヤで評価される舗装特性は、実際の商用タイヤで評価されるものとは一致していないことが示された。これよりSCRIMで測定されるSFCに補正係数を与えることで、自動車の挙動をSCRIM測定値より説明できるような新たなモデルを提案している。

(3) 滑走路における舗装路面の特性(論文4-2)

滑走路のラフネスが航空機の安全性や乗り心地に与える影響を検討するため、滑走路の絶対縦断プロファイルの測定を行っている。測定結果の分析はパワースペクトル密度(PSD)、およびライドナンバー(RN)を用いて行われた。その結果、離陸待機位置の静止荷重による路面の沈下が大きく、着陸時の衝撃荷重よりも路面に与える影響が大きいことが確認された。

また航空機の運動モデルによる振動加速度のシミュレーションを縦断プロファイルのデータを組み合わせて試みている。機体が静止していた状況から、徐々に加速を行い、離陸するまでのシミュレーション結果を図-3に示す。これより徐々に上下振動の振幅が増幅していく様子が確認できる。この振動加速度のパワースペクトル特性により、滑走路の縦断プロファイルの長波成分が乗り心地に影響を及ぼす状況を検討している。

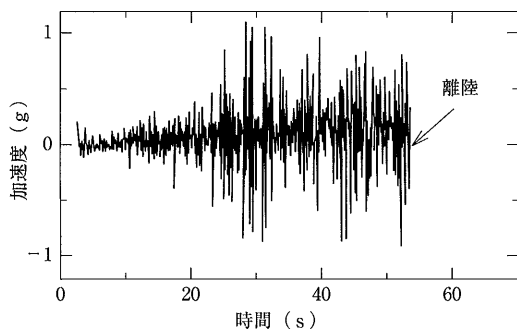


図-3 航空機の重心に作用する振動加速度

4. データベースの構築・活用(論文4-3)

舗装の状態を良好に保つためには、多大な管理者費

用が必要であり、逆に悪い舗装のまま放置しておけば、利用者は莫大な費用を負担することになる。つまり、管理者費用と利用者費用はトレードオフの関係であるといわれる。図-4はそれらの関係を概念的に示したものである。管理者費用と利用者費用の総和が最小になる点(A)に対応する舗装の状態を保つことが、舗装の維持管理上きわめて重要である。その状態を保つためには、乗り心地、路面損傷、すべり抵抗、支持力などの舗装状態を定期的に測定し、評価・把握するためのデータを蓄積するデータベースの構築が必要であるとされている。

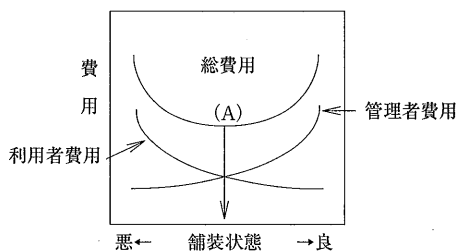


図-4 舗装の状態の良否と費用の関係

しかし、蓄積が続いていくと膨大なデータ量となるため、これを効率的に利用していくための、パソコン上で操作可能な検索システムが開発されている。地図、映像、数値情報の一元管理されたビジュアル表示によって、道路管理者が舗装の現状把握、評価、補修計画の立案などを行えるようになってきている。

5. おわりに

以上、セッション3、4で発表された路面性状の測定および解析に関する論文の概要を紹介した。傾向として、道路における自動車の挙動または滑走路における航空機の運動モデルのシミュレーション等の、実車に近いモデルでの測定、解析が進んでおり、交通事故の減少、乗り心地の改善など、利用者側に大きな利益となることが期待される。

また、路面性状の各特性の測定データを蓄積して構築されたデータベースを活用できるパソコン検索システムが開発されており、計画的・効率的な補修計画の立案の参考になるとと思われる。

セッション5：道路の路面特性と安全性

セッション6：道路利用者，沿道住民の快適性 (騒音，振動，大気汚染)

美馬孝之*
黒田智**

セッション5 Road surface characteristics and road safety (道路の路面特性と安全性)

論文番号	論文名	著者 (国名)	概要
5-1	Potential for hydroplaning on high speed	Gavin S Donald Brain S Heaton Chris L Francis (イギリス)	高速道路上で事故を引き起こす主要因としてハイドロプレーニングが挙げられる。本論文ではハイドロプレーニングをモデル化する各パラメータを用いて、ハイドロプレーニングの起こり得る可能性を回帰方程式から予測している。
	高速道路上のハイドロプレーニングの可能性		
5-2	Investigating surface characteristics for accidents involving emergency braking	Frank Bullen John Ruller Steve Hogan (オーストラリア)	急ブレーキが引き起こす事故の場合，車両には路面の状態とスリップの要因が最も重要とされる。この論文は，車両重量と積み荷の影響による急ブレーキ時の制動距離について，オーストラリアの研究の結果について述べている。
	急ブレーキによる事故と路面特性の調査		
5-3	Evaluation of the photometric characteristics of porous asphalts	C.Brusque J.Peybernard (フランス)	透水性舗装での光度測定は舗装表面の古さや舗装の種類によって影響される。ここでは，数種類の透水性アスファルト舗装での光度の経時変化を調査している。
	透水性舗装での光度測定の特徴の評価		
5-4	Relationship between surface characteristics and accidents	Michel Gothie (フランス)	この研究はぬれた路面状態における，すべり抵抗と事故率との関係について注目したものである。ぬれた路面条件下で事故率が増加し，特に厳しい条件下では，すべり抵抗と重大な事故との間に密接な関係があるという成果が述べられている。
	路面特性と事故との関係		
5-5	Optimisation of skid resistance characteristics with respect to surface	Maarten M.J. Jacobs,Walter Gerritsen,Martin P.Wennink, Folkert van Gorkum (オランダ)	ブレーキ時のタイヤにより発生したエネルギーとすべり抵抗との関係を明らかにし，ブレーキ能力を明らかにする研究の結果を論じている。
	路面に関するすべり抵抗特性の最適化		

セッション6 Comfort of road user and of road frontage residents (noise, vibrations, emissions) (道路利用者，沿道住民の快適性 (騒音，振動，大気汚染))

論文番号	論文名	著者 (国名)	概要
6-1	Characterisation of pavement surface texture IST and influence on tyre/road noise	S.Huschek (ドイツ)	レーザーを用いた固定式の道路表面テクスチャ測定装置について述べたものである。本装置では，道路表面をテクスチャ形状で分類でき，テクスチャ形状により，タイヤ／道路騒音と道路表面テクスチャと関係が示せるとしている。
	路面テクスチャISTの特性とタイヤ／路面騒音への影響		

*みま たかゆき 日本道路㈱技術本部技術研究所

**くろだ さとし 日本舗道㈱技術研究所

論文 番号	論 文 名	著 者 (国 名)	概 要
6-2	Development of low noise pavement surface in Australia	S.Samuels D.Dash (オーストラリア)	ここ数年の間に、高機能な低騒音舗装の開発がオーストラリアや各国で行われている。ここで紹介されている研究開発プログラムは、すべり抵抗や他の重要な特性を損なわずに、低騒音舗装を開発することを目的としている。
	オーストラリアにおける低騒音舗装の開発		
6-3	Design and maintenance of low noise road surfacing	U.Sandberg (スウェーデン)	交通騒音の発生を低減するための道路表面の設計に関するものであり、路面のテクスチャ、チャッピングのサイズや形状、プロファイル、波長、および空隙と吸音性に関する設計について詳細に述べている。
	低騒音道路表面の設計と維持		
6-4	Mobile FIGE Interometer for in-situ measurements University of the accoustic absorption coefficient of road surfaces	A.Ivannikov A.kollmann (ドイツ)	ヨーロッパ諸国ではポーラスな舗装が増加しており、その吸音率の測定はコアによる測定方法が用いられていた。ここでは実際の路面で吸音率の測定が可能な非破壊試験方法による測定方法について述べている。
	現場測定に用いる移動可能なFIGE路面の吸音率測定装置について		
6-5	Surface criteria for exposed aggregate concrete surface (low noise surface for roads)	M.Monazewska (ポーランド)	オーストラリアにおける表層用骨材露出コンクリートは、3つの表面特性として騒音発生、すべり抵抗性、テクスチャに着目している。本論文では、現場調査結果について述べ、路面の基準を提案している。
	骨材露出コンクリートの路面基準（低騒音路面）		
6-6	A prediction model for tyre-road noise emmision	E.Gerretsen F.d.Roo F.van.Gorkum (オランダ)	オランダにおいて道路表面を特徴付ける新しい手法の一部を紹介している。本論文は、騒音発生の構成要因として、動力機軸、タイヤの振動部、タイヤと路面の接触を挙げ、予測モデル開発を行い、道路表面のパフォーマンス特性を統一した指標で示すことを目指したものである。
	タイヤ／路面騒音発生に関する予測モデル		
6-7	Effect of road unevenness on road users comfort	Yves Delanne (フランス)	最近LCPCで完成した道路の平坦性に関する研究プログラムについて紹介している。この論文によれば、2オクターブ波バンドエネルギーを使用した場合、乗用車の振動とバンドエネルギー指数との間に最も高い相関が得られるとしている。
	道路の凹凸が道路利用者の乗り心地に及ぼす影響		
6-8	A systematic approach to the accoustical properties of road surfacings	G.J.van Blokland F.van Gorknm Gorkum (フランス)	舗装表面の低騒音化の応用として、音の特性を評価するための品質基準について述べられている。本論文では設計基準（表面テクスチャ、吸音）と性能基準（騒音低減）を区別し、ポーラス舗装で調査した結果、振動と速度が道路の性能上で重要なパラメータであることが分かったとしている。
	道路表面の聴覚特性に関する体系的なアプローチ		

1. はじめに

セッション5では、「道路の路面特性と安全性」と題して4カ国から5編の論文が、またセッション6では、「道路利用者・沿道住民の快適性」と題して6カ国から8編の論文が収められている。

発表論文を内容別に分類すると、セッション5は、走行車両の安全性とかかわりをもつ路面特性のうち、路面のきめ深さに関する報告が4編、路面の明るさに関する報告が1編である。また、セッション6は、沿道環境の保全対策としての低騒音舗装に関する報告が7編、道路利用者の乗り心地に関する報告が1編である。

本文では、「走行車両の安全性と路面のきめ深さ」、「低騒音舗装による沿道環境の保全対策」に注目して紹介する。

2. 走行車両の安全性と路面のきめ深さ

(1) ハイドロプレーニング現象と安全性（論文5-1）

雨天時の高速走行時に発生するハイドロプレーニング現象は、事故を誘発する原因となっている。走行車両の速度、タイヤと路面間の水膜厚、路面のきめ深さ等からのハイドロプレーニング現象発生予想と、道路設計や維持補修の指針への適用事例が、イギリスより紹介されている。この報告では、ハイドロプレーニング現象は、少なくとも走行車両の速度が100km/h以上かつ水膜厚が4mm以上で発生すると予想されている。しかし、路面や車両の条件によっては、それ以下の速度で発生することが観察されている。図-1にハイドロプレーニング現象を引き起こす走行車両の速度と路面のきめ深さの関係を示す。この図より、舗装のきめ深さが大きくなるにつれて、ハイドロプレーニング現象を引き起こす車両速度は増加することが分かる。ま

た、式(1)に示す路面のきめ深さや降雨強度、排水条件からの水膜厚予測式も紹介されている。

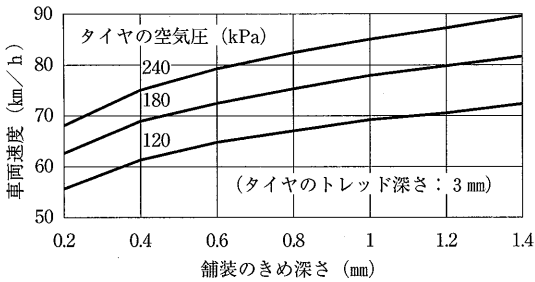


図-1 ハイドロプレーニング現象を引き起こす車両の速度ときめ深さ

$$W = 0.10286D^{0.11}L^{0.43}I^{0.59}S^{-0.42} - D \quad (1)$$

ここで、W = 水膜厚さ (mm)

D = 路面のきめ深さ (mm)

L = 排水路の長さ (m)

I = 降雨強度 (mm/h)

S = 排水路の傾き (%)

(2) 急ブレーキの安全性への影響について (論文5-2)

走行車両の急制動試験を行い、急ブレーキ時の走行車両の事故防止対策に役立てる試みが、オーストラリアより報告されている。ここでの急制動試験は、車両の種類、重量、積み荷や路面の条件をいくつか設定しており、表-1に示すようなスリップ時の車両の挙動や急制動距離のデータが紹介されている。また、図-2に示すように車両の滑走速度と路面との摩擦係数との関係も示している。この図より、車両速度が25~40 km/hの領域では、車両と路面の摩擦はタイヤの影響によるところが大きく、40km/hを超えると路面特性の影響によるところが大きいたことが示されている。また、事故防止対策には路面の状況、特にきめ深さが重

表-1 ドライおよびウエット時におけるスリップテストデータ

ドライテスト			ウエットテスト		
初期速度 (km/h)	制動距離 (m)	平均減速 (g)	初期速度 (km/h)	制動距離 (m)	平均減速 (g)
54.5	14	.853	53.2	23	.718
62.7	18	.820	69.1	27	.710
66.2	20	.832	75.0	33	.681
68.7	21	.851	87.6	47	.670
75.7	25	.843	96.3	60	.640

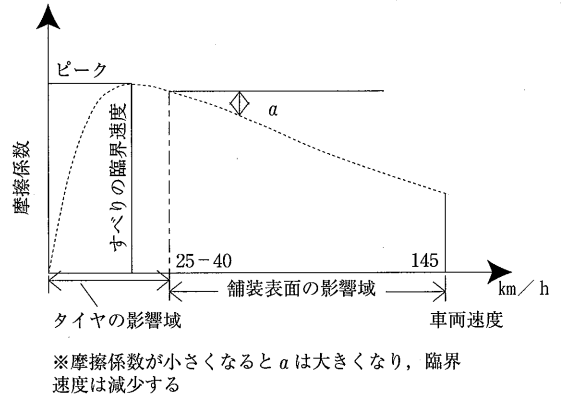


図-2 車両速度と路面の摩擦との関係

要であることが述べられている。

3. 低騒音舗装による沿道環境の保全対策

さまざまなタイプの混合物を用いた舗装区間での騒音測定を行い、その比較検証を行った報告が2件みられる。

まず、オーストラリアからは、都市部での交通騒音対策としての低騒音舗装の開発に関する報告がある(論文6-2)。この報告では、1992~1994年の間に試験舗装も含めた全24カ所の舗装区間の騒音調査(乗用車と荷物を騒音測定車に使用)を実施している。その成果として、表-2に示すような密粒度アスファルト

表-2 各種舗装の騒音レベルの低減量

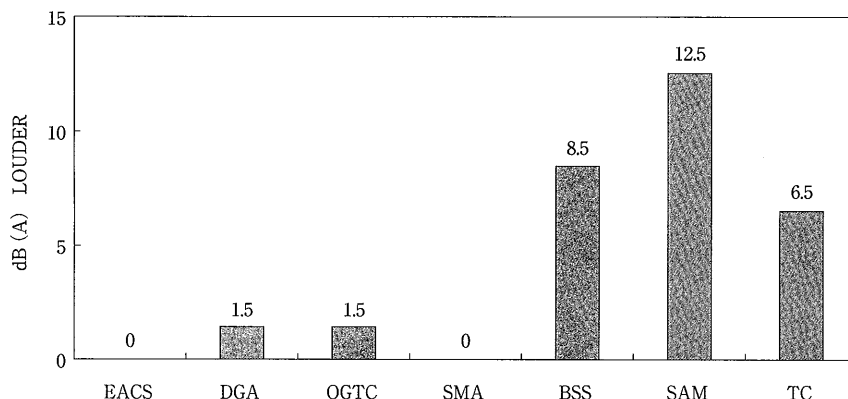
混合物の種類	騒音レベルの低減量 (dB (A))		
	交通騒音	乗用車	荷物車
14mmチップシール	+4	+4.0	+4.0
コンクリート	0~3	+1.0~+3.5	-1.0~+1.0
常温オーバーレイ	+2	+2.0	+2.0
密粒度アスファルト混合物	0	0	0
骨材露出コンクリート	-3	-0.1	-6.7
開粒度アスファルト混合物	-4	-4.2~-0.2	-4.9

混合物を基準とした各舗装混合物ごとの騒音低減量を比較した表を紹介している。

ポーランドからは、低騒音舗装としての骨材露出コンクリートの開発に関する報告がある。この論文では、骨材露出コンクリートの試験施工を実施し、他の表層材を用いた6カ所の試験工区との騒音を比較している(論文6-5)。図-3に車内で行った騒音測定の結果を示す。この論文では、骨材露出コンクリートは施工上

EACS : 骨材露出コンクリート	BSS : 瀝青スラリーシーล
DGA : 密粒度アスコン	SAM : アスファルトマカダム
OGTC : 開粒型表面処理工法	TC : コンクリート
SMA : 砕石マッシュクアスコン	(タイン入り)

乗用車60km/h 走行時の騒音 (車内測定)



※図中の値はEACSを0とした場合、EACSより何dB(A) 大きいを示す。EACSの騒音は、63.5dB(A)

図-3 騒音測定と比較

の課題はあるものの、今後低騒音舗装として有用な混合物となると報告されている。

スウェーデンからの報告では、低騒音舗装における路面や混合物の設計指針について、33項目にわたり具体的に提示されている(論文6-3)。例えば騒音の抑制には、路面のメガテクスチャは最小にすることが重要である。チップングについていえば、図-4のaに示すように、粒径が均質な立方体に近い骨材を使用し、密な散布をすることがよいとしている。このほか、路面のきめ深さについては、マクロ的、メガ的、そしてミクロ的な面から述べている。混合物の空隙については、残留空隙量(residual voids)、ポーラス層の厚さ、或いはフロー抵抗性(flow resistance)からというように、低騒音舗装の設計上もっとも重要な項目とし詳細に述べている。それらを中心にすべり抵抗性、バインダ、色、ゴムの使用、コンクリート路面の処理などについても述べられている。

4. おわりに

以上、セッション5、6に関する論文の概要を紹介した。道路交通の安全、沿道環境の保全に関する内容

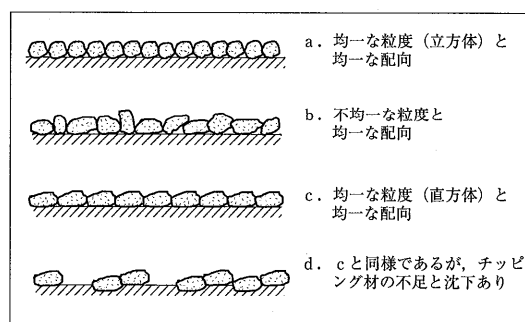


図-4 チップング骨材とその配列

は、今回報告された論文の多さから見ても関心の高いテーマといえる。特に騒音低減を勘案した路面のあり方については、具体的な方策が紹介されているものが見られ、技術者の参考となるものであった。

課題としては、一部の論文に述べられているとおり、交通安全対策については、路面性状を中心とした路面-タイヤ-車両相互からのアプローチが必要である。また、騒音対策については、騒音低減効果がなくなっていくという維持管理の問題があげられており、今後の研究成果に期待したい。

セッション 7 : 舗装表面に要求される条件を満たす材料性能と施工技術

セッション 8 : 車両の運行状態 (タイヤ摩耗, 車両の維持, 燃費) と舗装評価, 舗装の維持と維持管理における表面特性

山 脇 宏 成*
清 水 浩 昭**

セッション 7 Performances of materials and construction technologies to meet surface requirements (舗装表面に要求される条件を満たす材料性能と施工技術)

論文番号	論文名	著者 (国名)	概要
7-1	Can we make better use of road texture profiles? 道路テクスチャプロファイルのよりよい利用	Fong,S. Cenek,P.D. (ニュージーランド)	ニュージーランドのチップシール表層に関して, テクスチャとタイヤの接地圧の関係を計算するとともに, テクスチャと騒音の関係をj得るためにスペクトル分析を行った結果について述べている。
7-2	Friction course-comparisons of 20 and 14 mm mixes 摩擦層-20mmおよび14mm骨材を使用した混合物での比較	Dravitzki,V.K. Wood,C.W.B. (ニュージーランド)	ウェリントンの道路に舗設された最大粒径14mm, 20mmの骨材を用いた2つのタイプの摩擦層について新設時および供用中(6, 12ヶ月後)の性能(騒音低減, すべり抵抗, 透水性等)を比較したものである。
7-3	Quiet bituminous surface courses 低騒音アスファルト表層	Chaignon,F (フランス)	高性能な表層特性を得るために必要な強化策として, 空隙詰まりを抑え長期性能を確保するための高空隙ポーラスアスファルトと都市交通に適したリサイクルされたゴム片を使用する低騒音アスファルトコンクリートを開発している。本文では, 都市地域部と一般道路部で施工されたものの初期の結果を示している。
7-4	Performance of open-textured bituminous surfacings-an Indian experience インドにおける開粒度アスファルト表層の供用性	Ram,A Muraleedharan,T. Sharma,S.D. Nanda,P.K. (インド)	首都デリーにおける最近の調査で, 厳しい気候や環境条件の下で開粒度表層の供用性を調査した。本論文は, 11の典型的な道路区間の調査結果の概要について述べ, 劣化原因を科学的に評価する試みおよび効果的な補修方法により開粒度表層の供用性を改善するための対策を提案している。

セッション 8 Vehicle operating conditions (tyre wear, vehicle maintenance, fuel consumption), and Surface characteristics in pavement assessment, pavement maintenance and maintenance management (車両の運行状態 (タイヤ摩耗, 車両の維持, 燃費) と舗装評価, 舗装の維持および維持管理における表面特性)

論文番号	論文名	著者 (国名)	概要
8-1	Integral evaluation of a road surface and the interaction between road and vehicle 道路の路面に必要な評価および道路と自動車の相互作用	Bennis,T.A. Wit,L.B. Hoogvelt,R.B.J. Jansen,S.T.H. (オランダ)	平坦性やすべり抵抗など道路の路面性状が車両の走行に及ぼす影響は, 一般的に快適性と安全性に分けて評価される。そして, 路面性状が相互に関連して乗り心地や安全性に影響を及ぼしている。本論文ではオランダにおける路面性状の測定状況とシミュレーションによって検討したラフネス, すべり抵抗が安全性に及ぼす影響について報告している。

*やまわき ひろなり (株)ガイアートクマガイ技術研究所

**しみず ひろあき 世紀東急工業(株)技術研究所

論文番号	論文名	著者(国名)	概要
8-2	A condition based maintenance system for Bangkok	Smith,R.B. Payothornsiri,S Bhandkumkomol,J (タイ)	バンコクでは、財源を有効利用するため路面性状に基づいた舗装の維持管理が実施される過程にある。本文は、舗装の路面性状に基づいた財源利用計画の概念（維持管理を必要とするレベルの定義、必要とする労力、材料、装置など）について説明している。
	バンコクにおける維持管理システムの状況		
8-3	Surface texture changes on network level and effect of maintenance activities	Gulyas,A (ハンガリー)	ハンガリーでは、舗装路面のテクスチャをスウェーデンのレーザー式のRSTを用いて6年間測定している。本文は、1991～1995年の測定データから、道路種別毎のマイクロテクスチャの変化とメンテナンスの効果を解析している。
	ネットワークレベルでの路面テクスチャの変化とメンテナンスの効果		
8-4	Effect of pavement deflection on rolling resistance of commercial vehicle tyres	Cenek,P.D. Jamieson,N.J. Ball,G.F.A. (ニュージーランド)	タイヤの荷重でたわみ性舗装のたわみ範囲と形状が、商用車のタイヤの転がり抵抗に影響を及ぼすかをテクスチャと縦断ラフネスが同じ4つの試験区間で測定している。その結果、たわみ量が小さい舗装が商用車の燃料消費量が少ないことを実証している。
	舗装のたわみが商用車タイヤの転がり抵抗に及ぼす影響		
8-5	Understanding pavement roughness from accelerating loading facility trials	Chua,K.M. Tharan,Y. (オーストラリア)	数週間様々な荷重状態の交通量をシミュレーションする長さ12mの実物大の回転輪荷重を適用して、舗装材料、舗装構成の性能を舗装のラフネスとの関係から評価している。
	促進載荷装置による舗装のラフネスの把握		
8-6	Role of surface characteristics in PUMA-RW PMS	Prochazka,M. Herrmann,P. (チェコスロバキア)	チェコスロバキアでは、1992年よりPMSによりハイウェイのネットワーク管理を開始している。本文は、1995年までの路面性状測定データ（すべり摩擦・平坦性・わだち掘れ量）より、将来の路面性状の変化の予測曲線を示している。
	PUMA-RW-PMSにおける路面性状について		
8-7	Tire pavement noise and safety performance	Larson,R.M. Hibbs,B.O. (アメリカ)	新設及び既設ポルトランドセメントコンクリート舗装の交通騒音と安全についての対策を各州で実施された対策およびアメリカ以外での研究についてとりまとめている。また、安全性と騒音について摩擦係数と雨天時の事故率の関係の解明と施工ガイドラインを提示している。
	タイヤと舗装の騒音と安全性能		

1. はじめに

セッション7では、舗装表面に要求される条件を満たす材料性能と施工技術に関して3ヶ国から4編、セッション8では、車両の運行状態（タイヤ摩耗、車の維持、燃費）と舗装の評価、舗装維持および維持管理における表面特性に関して7ヶ国から7編の論文が報告されている。

発表論文の内容をみると、セッション7については、①タイヤとテクスチャの関係、②ポーラスアスファルトの機能向上、③舗装表面の性能に関して取り上げられ、テクスチャ評価手法の開発、配合の検討及び供用性調査結果に係わる論文で構成されている。また、セッション8については、①路面特性と車両の関係、②維持管理システムにおける路面性状の評価、③ラフネスからの舗装の評価、④PCC舗装の騒音と安全性能に関する論文で構成されている。

ここでは、路面の機能性を高める材料性能、路面特性と車両の関係、PMSに関する論文について概要を紹介する。

2. 材料性能

ポーラスアスファルトの特性として、雨天時の走行安全性の向上と騒音レベルの低減が認められるが、良好な透水機能の持続が短期間であるという問題を抱えている。この透水機能を持続させるためのポーラスアスファルトを改善するために粒径および空隙率の検討がなされている。

(1) 粒 径 (論文7-2)

最大粒径の大きな骨材を使用した場合の利点を調査するために、最大粒径14mm、厚さ25mm、空隙率18.9%のポーラスアスファルトと最大粒径20mm、厚さ50mm、空隙率20%のポーラスアスファルトについて新設時および摩耗を受けた後の性能を比較し、透水性能の持続性について検討している。結果を以下に示す。

①図-1に示すように最大粒径20mmの骨材を使用した場合の透水性能は、粒径14mmに比べ持続性がある程度向上しているが、供用12ヶ月後の非わだち部では、最大粒径の違いによる差はほとんど見られない。一方、わだち部の透水性については差が見られ、最大粒径20mmの方がタイヤのポンピング

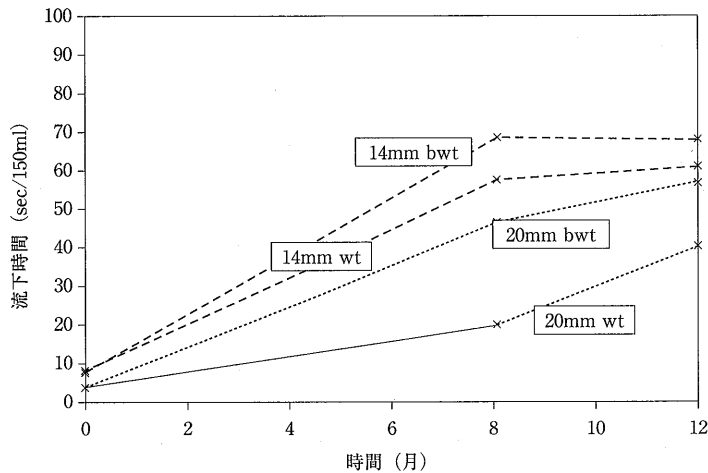


図-1 わだち部 (wt) と非わだち部 (bwt) における透水性能

作用による空隙の洗浄の効果が大きいことを示している。

②図-2に示すように速度とすべり抵抗の関係の経時変化については、最大粒径20mmの骨材を使用した場合では、走行速度にほとんど依存しないことが分かる。

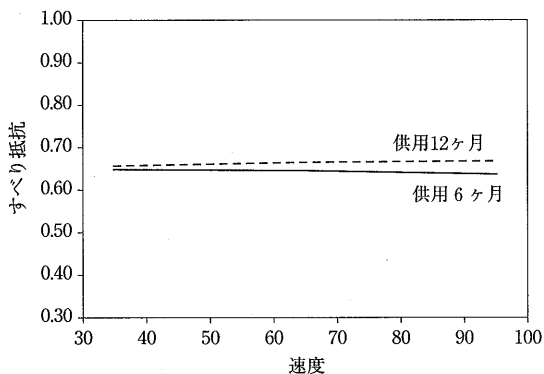


図-2 速度とすべり抵抗の関係 (Grip Testerによる)

③表-1に示すように走行時の騒音については、最大粒径20mmの骨材を使用する場合、最大粒径14mmの場合と比べ騒音レベルはやや高くなると予想されていたが、測定結果からは明確な差は見られない。

(2) 空隙率 (論文7-3)

ポーラスアスファルトの透水性能を向上させるために空隙率が28~30%の高空隙ポーラスアスファルトの配合について、砕砂の使用量の低減および改質アスファルトを使用する方法が検討されている。砕砂の配合

表-1 騒音測定結果 (単位: dB (A))

表面種別	乗用車			トラック		
	速 度	供用時間（月）		速 度	供用時間（月）	
		6	12		6	12
14mm	90	75	78	80	78	79
	80	76	77	70	79	78
	60	70	74	60	81	77
20mm	90	71	76	80	79	80
	80	76	75	70	78	78
	60	72	72	60	76	75

率を変えたものについて、透水性能の持続性と騒音測定およびすべり抵抗の変化を測定した結果、最良な配合は砕砂を使用しないものであったと報告されている。なお、改質アスファルトの検討結果についてはふれられていない。

3. 路面特性と車両の関係

(1) 自動車の操作性 (論文8-1)

自動車の挙動に関して車線変更と直線部でのブレーキングのシミュレーション手法を用いてラフネスとすべり抵抗が安全性に及ぼす影響について報告している。このシミュレーションでは、より現実的な結果を得るために、

①道路の横断勾配や水たまりの深さも測定できる慣性ジャイロシステムを利用したプロファイリングシステムを開発した。

②摩擦の測定方法、測定速度、季節変動についての研究開発をした。

③自動車シミュレーションモデルの開発をした。

これにより既存の測定・評価システムの課題を解消し、これらの3つの開発成果を組み合わせで検討している。表-2は、走行速度27.8m/sで走行している車両のブレーキングシミュレーションを行ったものである。この時のトルクおよび制動距離は、ラフネスの違いによる差より、摩擦の違いによる差の方が大きく、ラフネスより摩擦が車両の挙動に大きな影響を示していることが分かる。

表-2 ブレーキングシミュレーション結果

摩擦	路面プロファイル					
	平 滑		粗 い		きわめて粗い	
	トルク [Nm]	制動距離 [m]	トルク [Nm]	制動距離 [m]	トルク [Nm]	制動距離 [m]
0.3	528	180	488	195	438	217
0.4	716	133	694	137	640	149
0.5	910	105	900	106	824	116
0.6	1110	86	1108	86	1004	95

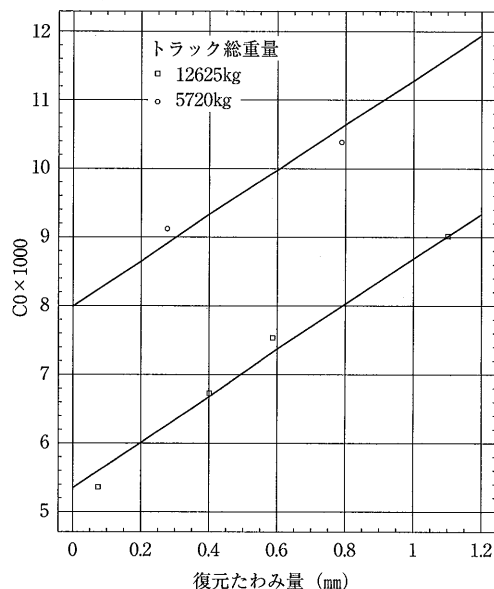


図-3 荷重と復元たわみによる転がり抵抗係数の変化

(2) 車の燃料消費 (論文8-4)

タイヤの転がり抵抗は、車の燃料消費に影響を与えるという観点(転がり抵抗の5%の減少が燃料消費量を1%節約する)から、タイヤの転がり抵抗におよぼす舗装の剛性の影響について、ほぼ同等のきめ深さとラフネスを持ち、たわみ量の異なる舗装での車両の駆動トルクとたわみ量の関係を分析している。

表-3に各舗装の載荷荷重と復元たわみ量の関係および車両の駆動トルクから換算した転がり抵抗係数を示す。たわみ量が1.10mm, 0.07mmの舗装で測定された転がり抵抗は、63%の差があり、燃料消費量に換算すると13%の燃料消費の差となるとしている。

また、転がり抵抗と載荷荷重と最大復元たわみ量を

表-3 各舗装の復元たわみ量の関係と転がり抵抗係数

舗装の種類	載荷荷重 tf	復元たわみ量 mm	転がり抵抗係数 C_0
1	8	0.07	$(5.4 \pm 0.2) \times 10^{-3}$
2	8	1.1	$(9.5 \pm 0.9) \times 10^{-3}$
	3.6	0.79	$(10.4 \pm 0.4) \times 10^{-3}$
3	8	0.4	$(6.7 \pm 0.6) \times 10^{-3}$
	3.6	0.27	$(9.1 \pm 0.3) \times 10^{-3}$
4	8	0.59	$(7.5 \pm 0.2) \times 10^{-3}$

変数にし線形回帰すると、転がり抵抗のモデルは以下に示すとおりであり、図-3はこの関係を図化したものである。この結果、舗装のたわみが荷重による転がり抵抗に大きく影響を与える変数であることが分かる。

$$C_0 = 0.011 + 0.0033D - 0.00045M \quad (r^2 = 0.98)$$

D: 最大たわみ量 (mm)

M: 載荷荷重

C_0 : 転がり抵抗係数

4. PMSと路面性状評価 (論文8-6)

PMSにおいて、舗装表面の性状は、交通量・構造的な残存寿命などと同様に重要なパラメータとして取り扱われる。高速道路及び高規格道路におけるPMSでは、路面性状の各測定データ(すべり摩擦、テクスチャ、わだち掘れ、平坦性)をそれぞれランク付けし、最終的な評価を総合的に判断する方法が行われている。さらに蓄積された路面性状データから経年変化の傾向を整理し、将来における路面性状変化(すべり摩擦、IRI、わだち掘れ量)の予測曲線を作成し、舗装のメンテナンスに関する意思決定を高い精度で行なうことを可能とする取り組みが報告されている。図-4は供用1年後に得られたIRIを基に将来の予測曲線を示すとともに、5段階でIRIを評価したものを点線で図中に示したものである。なお、補修および修繕の判断はレベル4以上としている。

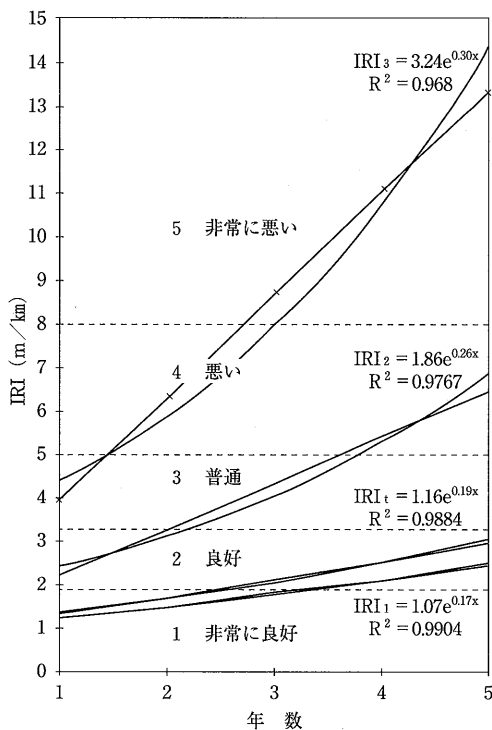


図-4 供用年数とIRIの予測曲線の関係

5. おわりに

路面の機能性を高める材料性能については、ポーラスアスファルトの透水性能の持続性を高める取り組みが行なわれているが、従来のものに比べ若干良くなっている程度であり、材料からのアプローチは難しいことが伺える。

また、路面特性と車両の関係については、自動車の操作性、燃料消費量に関して単純なモデルを使用し、路面特性が車両に与える影響を概ね捉えている。さらに詳細なモデル化が可能になれば、さらに適切な評価ができると思われる。PMSについては、路面性状データの蓄積と分析結果から路面性状の進行の予測曲線を確立し、舗装のメンテナンスにおける意思決定の過程で積極的に利用しようと試みていることが注目される。

☆2000年版発行のお知らせ☆

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

日本アスファルト協会・発行

『アスファルト・ポケットブック』2000年版

ポケットブック版・表紙ビニール製・本文91ページ・実費頒価1部 800円（送料実費は申込者負担）
ハガキにてお申し込み下さい。

主 な 内 容

- アスファルト需要の推移
- 石油アスファルトの生産実績
- 石油アスファルトの需要推移
- 石油アスファルトの需要見通し
- 石油アスファルトの製造及び流通
- 石油アスファルトの生産場所及び油槽所
- 石油アスファルトの製造原油
- 石油アスファルトの品質規格
- 石油アスファルトの用途
- アスファルト合材の製造実績
- 改質アスファルトの出荷実績
- アスファルト乳剤の出荷実績

- 道路投資額とアスファルト需要
- 新道路整備5カ年計画
- 平成12年度の道路予算
- 道路特定財源の推移
- 道路の整備状況
- 石油供給計画
- 世界の石油アスファルト生産量
- 主要諸国の道路事情
- データシート
- 日本アスファルト協会の概要
- 住所録
- 関連官庁・関連団体

構内舗装

建築物や各種施設の構内に付属施設として設計・施行する舗装のことを、構内舗装という。構内舗装に関する技術規準としては、(社)営繕協会から出版された「構内舗装・排水設計基準（平成5年版）」があり、官公庁の施設のみならず一般の施設の構内舗装の設計・施工にも利用できる規準となっている。

ここでは、以下のような仕様を定めている。

(1) 舗装は「車道部」と「歩道部」に分け、それぞれに「一般的な舗装」と+*a*として新たな機能・性能を付加した「特殊な舗装」の構成と種類が選択できるようにしている。

(2) 「一般的な舗装」は、アスファルト舗装とコンクリート舗装の中から選択することになっている。

(図-1および図-2参照)

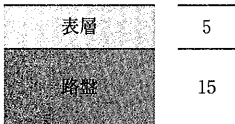
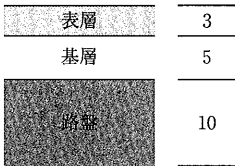
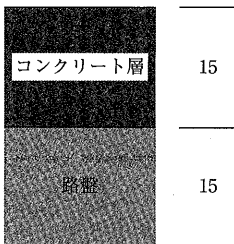
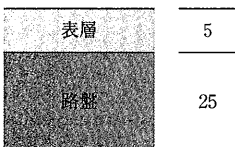
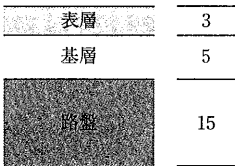
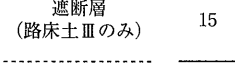
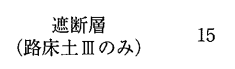
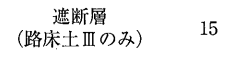
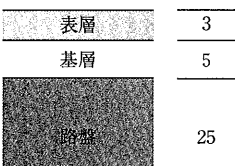
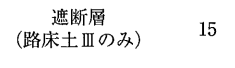
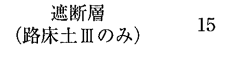
施設区分	路床土の分類	アスファルト舗装		コンクリート舗装
		標準の場合	特に平坦性が要求される場合	
A 一般庁舎	I			
	II			
	III			
B 特殊庁舎	I			
	II			
	III			

図-1 一般地域の舗装厚¹⁾ (単位cm)

施設区分	路床土の分類	アスファルト舗装		コンクリート舗装	
A 一般庁舎	I	表層	3	コンクリート層 路盤	15
	II	基層	5		15
		路盤	10		
	III	凍上抑制層			
B 特殊庁舎	I	表層	3	凍上抑制層	
	II	基層	5		
		路盤	15		
	III	凍上抑制層			

図－２ 寒冷地域の舗装厚¹⁾ (単位cm)

ここで、アスファルト舗装の舗装厚は、「アスファルト要綱（50年版，日本道路協会）」に示された設計式に、庁舎別の平均大型車交通量の実態調査（昭和58年12月）から特殊庁舎内は、 $\bar{x} = 33$ 台／日、 $\sigma = 22$ 台／日のデータを基に、 $\bar{x} + 1\sigma = 60$ 台／日から設計輪荷重1.7tを推定し、同様に一般庁舎も $\bar{x} = 11$ 台／日、 $\sigma = 5$ 台／日を基に21台／日から1.1tを推定し、CBRが2%，4%および6%の時の舗装厚（H），換算舗装厚（ T_A ）をチェックして決めたものである。

また、コンクリート舗装の版厚15cmは、次のような検討結果から決められた。

イ）アスファルト舗装とのバランスから、特に厚すぎる必要はない。しかし、構内舗装は維持補修をほとんど行わないので、特に薄くしない方がよい。

ロ）過去の実態調査から、版厚15cmの例が多く、供用性にも問題がない。

ハ）版厚15cmのコンクリート版の安全性の検討に、「セメントコンクリート舗装要綱（昭和55年版）」の設

計式に、 $E = 3.43 \times 10^4 \text{N/mm}^2$ および $h = 15\text{cm}$ 、 $\mu = 0.25$ 、 $K_{75} = 11.76 \text{N/cm}^2$ および $P = 17 \text{KN}$ 等の条件を用いて、安全性が確認された。

(3) 「特殊な舗装」は、透水性、排水性、景観性等の要求性能に応えられる透水性舗装、排水性舗装、カラー舗装等の中から目的にあったものを選ぶことになっている。(図－3参照)

(4) 「車道部の舗装」は、①施設区分、②路床土の分類、③地域区分および経済性を考慮して、舗装厚を決めることにしている。ここで、①～③は以下の判定を行うことにしている。

①施設の区分を行う。

施設を次の種類に分類する。

A（一般庁舎）：単独庁舎（税務署，裁判所等），合同庁舎（地方合同庁舎，法務局合同庁舎等），研究所，福祉事務所等

B（特殊庁舎）：（陸運事務所，警察学校等）

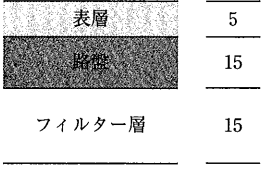
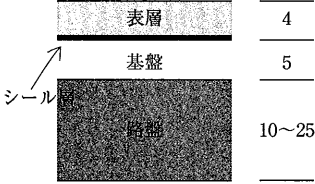
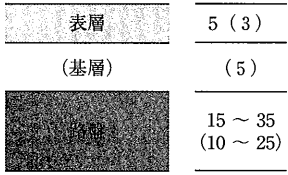
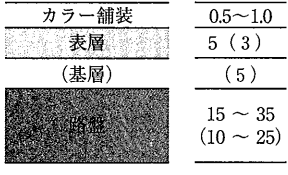
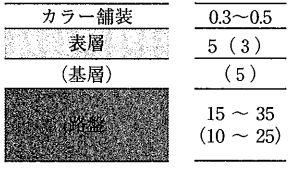
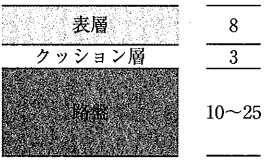
種 類	構 造	留 意 点
透水性舗装		・表層は、透水性加熱アスファルト混合物を用いる。 ・路盤は、透水能の高いクラッシャーランを用いる。 ・フィルター層とは、路盤から浸透した雨水が急激に路床に入らないように敷砂した層をいい、シルト、粘土等の少ない粗砂を用いる。
排水性舗装		・表層は、排水性舗装用アスファルト混合物を用いる。 ・基層は必ず設け、その表面にはシール層を設ける。 ・路盤厚は、[図-1~2]のアスファルト舗装（一般地域では特に平坦性が要求される場合）に示す値を標準とする。
カラー舗装	 () 基層を設ける場合	・表層は、顔料や着色骨材を用いた加熱アスファルト混合物を用いる。 ・基層を設ける場合は、加熱アスファルト混合物を用いる。 ・路盤厚は、[図-1~2]のアスファルト舗装に示す値を標準とする。
	 () 基層を設ける場合	・カラー化には、自然石や着色や着色骨材と石油樹脂を用いた着色舗装かエポキシ樹脂と天然砂利を用いた樹脂系混合物を用いる。 ・表層および基層には、加熱アスファルト混合物を用いる。 ・路盤厚は、[図-1~2]のアスファルト舗装に示す値を標準とする。
	 () 基層を設ける場合	・カラー化には、アクリル系カラー塗布材や樹脂系乳材を用いたスラリーシールによる常温塗布式舗装か、ニート工法による樹脂系舗装を用いる。 ・表層および基層には、加熱アスファルト混合物を用いる。 ・路盤厚は、[図-1~2]のアスファルト舗装に示す値を標準とする。
インターロッキングブロック舗装		・表層は、インターロッキングブロックを用いる。 ・クッション層は、砂またはセメント1：砂3程度の配合の空練りモルタルを用いる。 ・目地材は、砂、乾燥礫砂等を用いる。 ・路盤厚は、[図-1~2]のアスファルト舗装（一般地域では特に平坦性が必要とされる場合）に示す値を標準とする。

図-3 特殊な舗装の舗装厚-1（単位cm）

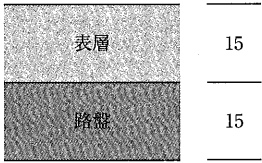
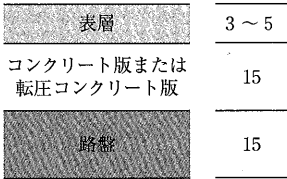
転圧コンクリート 舗装		・表層は、転圧コンクリートを用いる。 ・路盤は、[図-1～2]に示すコンクリート舗装の路盤による。
コンポジット舗装		・表層は、加熱アスファルト混合物を用いる。 ・表層直下の層には、セメント系の版（コンクリート版、転圧コンクリート版等）を設ける。 ・路盤は、[図-1～2]に示すコンクリート舗装の路盤による。

図-3 特殊な舗装の舗装厚-2 (単位cm)

②路床土の分類を行う。

肉眼観察か簡易な試験によって路床土を分類する。

区分Ⅰ：土粒子の大きさによる分類は砂質土に分類できる土で、含水状態としては少ないと判定できる土、設計CBRが5%以上くらの土を対象としており、簡易判定として、手で握ってでも崩れてしまうような土で、真砂土、シラス、山砂、火山砂などがこれに属する。

区分Ⅱ：土粒子の大きさによる分類は粘性土に分類できる土で、含水状態が比較的少ないと判定できる土。設計CBRが2～5%期待できる土を対象としており、手で握ると適度な粘性を有する土で、シルトおよび粘質土等がこれに属する。

区分Ⅲ：土粒子の大きさによる分類は粘性土に分類できる土で、含水状態が高いと判定できる土。設計CBRは2%以下しか期待できない土を対象としており、手で握ると粘りつく土で、関東ローム、黒ボク等がこれに属する。

なお、路床土の分類がでてきても、外構その他の工事で路床土が乱される場合は、1ランク上の舗装構成を選ぶことや、区分Ⅲでは遮断層を15cm程度設けることをすすめている。

③地域区分を行う。

a) 建物や施設の設置地域が寒冷地域（凍結指数が

おおむね500以上の地域）か、それ以外の地域かの区分を行う。

b) 寒冷地域に該当する場合は、車道部、歩道部ともに、凍結深さから求めた必要な置換え深さと舗装の深さを比較し、置換え深さが大きい場合は路盤の下にその厚さの差だけ、凍上を起こしにくい材料で凍上抑制層を設けるようにする。

c) 置換え深さは、「簡易舗装要綱（日本道路協会、昭和54年版）」と同様に、凍結深さの65%の値とする。

d) 置換え深さの最小値は15cmとし、厚さが50cm以上の場合はこの層のCBRの区分を見直すことにしている。

(5) コンクリート舗装は、コンクリート版に鉄鋼を用いたものとし、鉄鋼はコンクリート版厚の1/2の位置とし、鉄筋量は3kg/m²を標準としている。版の収縮に対応して設ける横収縮目地とし、版の膨張に対応して60～120m間隔で設ける横膨張目地、施工上設ける縦目地、マンホール等の構造物周辺に設ける目地は、実合せ目地とすることにしている。

(6) 特殊な機能なり性能を発揮できる舗装にする場合は、図-3の中から選択することになっている。

— 参考文献 —

- 1) (社)営繕協会「構内舗装・排水設計基準」（平成5年版）
〔小島 逸平 (株)ガイアートクマガイ技術研究所〕

アスファルトマット工法

アスファルトマットは水理土木工事に使用され、海岸浸食防止、海岸堤の法面・法先の保護、堤防等の土砂漏洩防止、流出防止、洗掘防止、水路・貯水池の防水、ケーソンの滑動抵抗増大等を目的として使用される。アスファルトマットは補強用芯材と吊り上げ用ワイヤーロープを配置した型枠中にアスファルト、石粉、砂、碎石（2～5mm）からなるアスファルト混合物を陸上において流し込み、マット状に成型したものである。

アスファルトの利用の歴史は古く、旧約聖書にノアの箱船の防水材として使用された記録が残っている。今から約6000年の昔と言われている。

現代において、アスファルトが水理土木に適用されるようになったのは、欧米において1930年代からである。

アスファルトマットは遮水性、水密性、たわみ性、耐久性、耐摩耗性を有し、水理構造物として必要な強度および比重が比較的大であり、特定配合のアスファルトマットはコンクリートや割石および海底の砂等との摩擦係数が高いなどの優れた特性を有する。用いる補強用芯材によっては貫入抵抗性が得られる。また、指定寸法での作成が可能である。

ここではアスファルトマット敷設工法として代表的な洗掘防止工法、土砂の漏洩流出防止工法、ケーソン等の滑動抵抗増大工法の概要について紹介する。

(1) 洗掘防止工法

捨石基礎の地盤が砂質土の場合は海の波力によってのり先の砂地盤が洗掘され、また、捨石には強い波力が働き、その下部の地盤の土砂を流出させて捨石は沈下する。洗掘が進むとのり先の捨石は徐々に沈下していき、捨石全体の噛みあわせが弱くなって個々の捨石は波力によっても容易に移動することとなり、洗掘はさらに進むこととなる。このような洗掘力を受ける砂

質地盤にアスファルトマットを敷設することによって、アスファルトマットの水密性のため洗掘力は地盤におよばず、その部分の洗掘を防ぐことができる。

しかしながら、洗掘はアスファルトマットの先端部のアスファルトマットを敷いていないところに起こることになる。この場合、アスファルトマットはたわみ性が高いため前面先端部の洗掘に応じて垂れ下がり、洗掘の進行を防止することができる。したがって、図-1に示すように、洗掘力に応じた垂れ下がり長さをもつアスファルトマットを使用することによって、構造物への洗掘の被害を予防することができる。

さらに捨石基礎は波力が強いと、のり先部分だけではなく斜面の空隙部から波が侵入して、地盤の土砂を流動させ、捨石中に吸い上げるか流出させ、基礎全体が沈下することとなる。この波力の及ぶ地盤上にアスファルトマットを敷いて、捨石と地盤とを遮断防水することによって土砂の流動、吸い上げを防止し、基礎の捨石の沈下を防止することができる。

また、アスファルトマットを敷くことにより、捨石個々が集中的に地盤にくいこむことなく一体の面荷重となって沈下を軽減する効果が期待できる。

洗掘現象は捨石基礎ばかりではなく、割石の代用のコンクリートブロックでも同様であり、矢板壁等の前面土砂にも生ずることがある。また、波力のほかに河川流の激しい護岸、堤防、導流堤等の基礎にも発生することがある。そのほか、潮流の激しい水門や港口の底地盤、海岸線にも起こることがあるが、洗掘の状況は多少違ってもアスファルトマットを敷設することによってこれらの洗掘を防止することができる。

(2) 土砂の漏洩流出防止工法

水深が深く波力の強い場所に設置される護岸、堤防

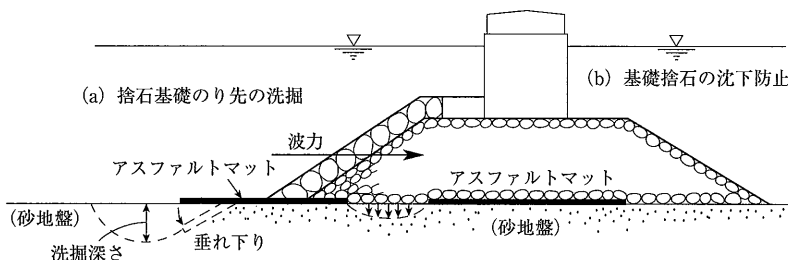


図-1

は捨石基礎の斜面が長くなり、捨石の空隙や堤体のすきまから侵入する波力が大きくなり、引き波の力も強くなって背面の埋め立て土砂を吸い出し、背後の舗装の破壊、堤体の破壊の危険性を有することとなる。これを防止するために捨石斜面の背面または前面にアスファルトマットを敷設することによってこれらの危険を防止することができる。

アスファルトマットは水密性であるから波力による水の侵入を防ぎ、土砂の流出を防止する。アスファルトマットを捨石斜面の前面に敷設するときは波力による影響を直接受けるので、これに対抗するコンクリートブロック等でアスファルトマットを被覆しなければならない。(図-2(a)(b))

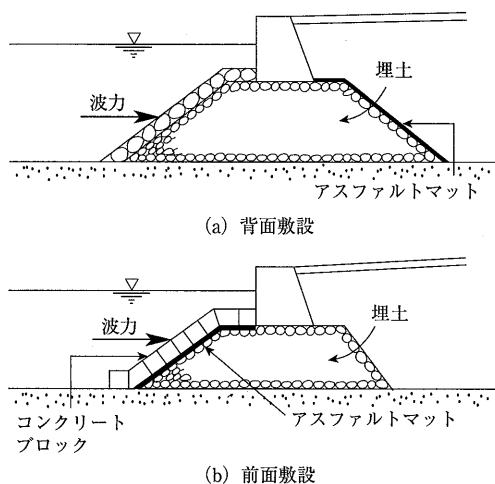


図-2

近年、廃棄物埋め立て護岸が建設されているが、環境汚染の可能性を持つ有害物質を含む土砂や汚水の流水、漏洩を完全に防止するためにアスファルトマットの適切な使用も検討されている。

また、捨石の使用量を節減するために波力の弱い場所等で土砂堤を築造する際にもアスファルトマットが使用されている。アスファルトマットはその水密性によって堤体土砂の流出を防止するとともにたわみ性があるから堤体とのなじみが良く被覆材として優れた性能を発揮する。堤体の斜面および上部が強い波力を受ける場合は、アスファルトマットは重量が不足するためコンクリートブロック等で被覆する必要がある。(図-3(a))

さらに、水深の深いところで捨石の使用量を節減するために基礎の一部を砂にするケースもあるが、そのような場合、砂の流出を防止するためにアスファルト

マットは最適と考えられる。(図-3(b))

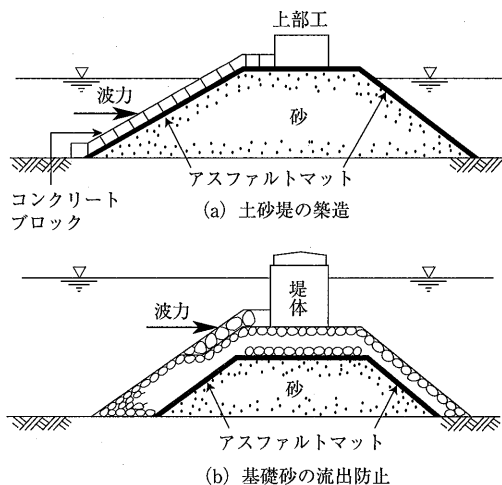


図-3

(3) ケーソン等の滑動抵抗増大工法

ケーソン等の重量構造物の安定をはかるための大きな要素は滑動抵抗である。そのような重量構造物は捨石基礎上にコンクリート堤体をのせるケースが多い。コンクリートおよび割石等との摩擦係数の大きいアスファルトマットをこの捨石基礎上に敷設してコンクリート堤体を載せるか、またはこのアスファルトマットをコンクリート堤体底面に貼り付けて捨石基礎上に据え付ければ、コンクリート堤体の滑動抵抗を大幅に増大させることができる。(図-4)

この工法を防波堤等の構造物に適用することによって構造断面を大幅に節減することができる。

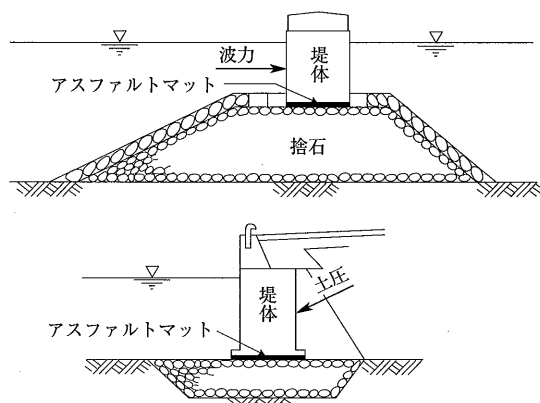


図-4

参考文献：「水工アスファルト」水工アスファルト研究会

〔青木 秀樹 昭和シェル石油(株)中央研究所〕

廃棄物最終処分場アスファルトしゃ水工設計・施工マニュアル（案）

A 4 版・74ページ・実費頒価 ￥800（送料実費）

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

わが国の廃棄物は、廃棄物そのものの発生抑制や再資源化などの積極的な推進によって少しでも発生量を減らす努力がつづけられているものの、現状では最終処分に依存していかなければならない状況にある。しかし、廃棄物の最終処分場については、環境や水質汚染などの観点から住民による反対運動もあり、設置が困難になってきている。

そこで、廃棄物最終処分場にアスファルトを利用したしゃ水壁を設置することが、環境や水質汚染などの改善に十分役立つものと考えたが、アスファルト混合物をしゃ水材料として利用する際の参考となるような技術書が見当たらなかった。

このような背景から、アスファルトを利用した廃棄物最終処分場建設にあたって設計者・施工者の参考に資するため作成されたもので、関係者必読の書としておすすめします。

目 次

- | | |
|--------------------------------|------------------------|
| 1. 概 要 | 5.7 凍上抑制層用材料 |
| 2. 適用範囲 | 5.8 排水層用材料 |
| 3. 最終処分場の調査と考え方 | 5.9 ミネラル層用材料 |
| 3.1 概 説 | 5.10 しゃ水シート層材料 |
| 3.2 調査事項 | 6. 配合設計 |
| 3.3 調査対象地域 | 6.1 アスファルト混合物の配合設計 |
| 3.4 生活環境影響調査のための現況把握、予測および考察方法 | 6.2 マスチックアスファルトの配合 |
| 3.5 しゃ水工必要性の判定基準（底面、斜面、被覆工） | 6.3 ミネラル層用材料の配合設計 |
| 4. 構造設計 | 7. 施 工 |
| 4.1 概 説 | 7.1 概 説 |
| 4.2 アスファルトしゃ水工の舗装構造 | 7.2 施工手順 |
| 4.3 舗装の構成 | 7.3 仮設工 |
| 4.4 法面勾配に対する安定性 | 7.4 基盤の施工 |
| 4.5 基盤の沈下に対する検討 | 7.5 排水層、ミネラル層および支持層の施工 |
| 4.6 アスコン層の不透水性 | 7.6 底面アスファルト混合物層の施工 |
| 4.7 接合部に対する配慮 | 7.7 底面部の表面保護層の施工 |
| 4.8 シート・マットによるしゃ水工 | 7.8 斜面アスファルトしゃ水工の施工 |
| 5. 材 料 | 7.9 施工管理要領 |
| 5.1 概 説 | 8. 最終処理（グラウンドカバー） |
| 5.2 骨 材 | 8.1 概 説 |
| 5.3 アスファルト | 8.2 標準断面 |
| 5.4 アスファルト乳剤 | 8.3 材 料 |
| 5.5 切込み碎石（クラッシャーラン）、切込み砂利 | 8.4 施 工 |
| 5.6 添加剤 | 付録-(1) 付帯施設について |
| | 付録-(2) 土質調査試験結果 |

総目次 第199号～第202号（平成11年度）

アスファルトの研究〔品質・規格・試験など〕

表 題	執 筆 者	号数	ページ P～P	発行年月（西暦）
<資料> 平成10年市販アスファルトの性状調査	技 術 委 員 会	200	58～61	平成11.7（1999）

アスファルト需給・統計関係の解析

表 題	執 筆 者	号数	ページ P～P	発行年月（西暦）
主な石油アスファルト製造用原油の輸入状況		201	47	平成11.10（1999）
（統計資料：石油アスファルト需給統計その1（総括表），同その2（内需，品種別表） 毎号巻末に掲載）				

特集・アスファルトの利用技術

表 題	執 筆 者	号数	ページ P～P	発行年月（西暦）
特集・コスト縮減に向けた舗装（技術）の展開 コスト縮減は肅粛と進めましょう 公共工事のコスト縮減に係る動向について 舗装技術に関連したコスト縮減 東北地方建設局のアスファルト舗装の長寿命化対策 東京都における道路舗装に関する「コスト縮減」への取り組み 広島県におけるコスト縮減に向けた舗装の取り組み 民間における舗装技術のコスト縮減への取り組み	光 家 康 夫 安 田 吾 郎 池 田 拓 哉 佐 藤 昭 男 遠 藤 俊 夫・内 田 武 司 池 迫 成 志 井 上 武 美	199	1 2～4 5～9 10～13 14～19 20～23 24～29	平成11.4（1999）
特集・私が考える・望む21世紀の道路舗装 特集にあたって ユニバーサルな視点と道路舗装 高齢社会の仲間入りと道路の快適性 道のお医者さんへ―病を克服して走るライダーより― 事故のない道路を創るために 古代と未来を結ぶ道 人にやさしい道路 快適な現代の道路事情のこれから トラック輸送と道路 情報のたくさんある道路 21世紀へ向けての情報提供	安 崎 裕 小 島 直 子 谷 内 椿 夫 沼 尻 晴 美 工 藤 昇 子 今 井 博 子 本 間 嗣 治 石 田 美 菜 子 小 山 誠 松 山 陽 子 アスファルト舗装技術研究グループ	200	1 2～3 4～5 6～7 8～9 10～11 12～13 14～15 16～17 18～19 20～37	平成11.7（1999）
特集・SHRP 特集にあたって 米国におけるSHRP，SUPERPAVEの現況～現地調査～ ヨーロッパを中心とした諸外国のSUPERPAVEへの対応と規格の動向 日本におけるSUPERPAVEの現況 SHRPに対するメーカーにおける問題点と対応	坂 本 浩 行 渡 邊 光 喜・立 石 大 作 川 付 正 明・武 田 雄 七 五 三 野 茂・鈴 木 秀 輔 小 島 逸 平 新 田 弘 之 樹 青 木 秀	201	1～2 3～11 12～19 20～24 25～27	平成11.10（1999）
特集・諸先輩に学ぶ 特集にあたって 舗装の表面性状について コンクリート舗装に関する随想的回顧 時代とともに，アスファルトの歩み 電力会社のアスファルト研究～最近の私のアスファルト研究～ 海外における契約書，仕様書 草創期の高速道路舗装設計について	河 野 宏 市 原 薫 岩 間 滋 牛 尾 俊 介 菅 原 照 雄 陶 山 武 彦 瀬 戸 薫	202	1 2～3 4～6 7～9 10～11 12～13 14～15	平成12.1（2000）

表 題	執 筆 者	号数	ページ P～P	発行年月（西暦）
現場から学ぼう 試験舗装に関わる思い出 舗装研究をふり返って 技術開発に新たな視点を…先輩達の発想に学ぶ… 技術の取獲 潜在的な力	中 島 清 春 南 雲 貞 夫 福 田 正 實 蒔 野 三 郎 松 野 三 郎 山 下 弘 美	202	16～17 18～19 20～21 22～23 24～25 26～27	
<投稿論文> コンクリートの硬化時に接着コーティングする ポリマー改質アスファルトに対する研究	神 谷 慎 吾・田 坂 茂 稲 垣 訓 宏・田 中 謙 次	202	28～34	平成12.1（2000）

アスファルト舗装技術研究グループ・研究報告

表 題	執 筆 者	号数	ページ P～P	発行年月（西暦）
<アスファルト舗装技術研究グループ・第32回報告> 舗装体内排水システムに関する指針	峰 岸 順 一 阿 部 長 門 小 笠 幸 雄 谷 口 聡	199	30 31～45	平成11.4（1999）
<アスファルト舗装技術研究グループ・第33回報告> 舗装の長期供用性（LTPP）調査に関する報告書	峰 岸 順 一 ア ス フ ァ ル ト 舗 装 技 術 研 究 グ ル ー プ	200	38 39～54	平成11.7（1999）
<アスファルト舗装技術研究グループ・第34回報告> 繰返し三軸圧縮試験機を用いた路床土と路盤材の復元弾性係数	峰 岸 順 一 阿 部 長 門	201	28 29～42	平成11.10（1999）
<アスファルト舗装技術研究グループ・第35回報告> 舗装の材料特性が供用性に及ぼす影響に関する解析	峰 岸 順 一 金 井 利 浩・東 本 崇 岡 藤 博 国	202	35 36～50	平成12.1（2000）

用語の解説

表 題	執 筆 者	号数	ページ P～P	発行年月（西暦）
燃焼式装置によるアスファルト量 アスファルトの組成分析	小 島 逸 平 （舗装関係）	199	46～47 48～49	平成11.4（1999）
ジオテキスタイル工法 明色マイクロサーフェシング		200	55 56～57	平成11.7（1999）
性能規定発注 60℃粘度試験	青 木 秀 樹 （石油アスファルト関係）	201	43 44～46	平成11.10（1999）
骨材露出工法 環境アセスメント法（環境影響評価法）		202	51～52 53～54	平成12.1（2000）

その他一般〔協会事業活動・時事解説・随想など〕

表 題	執 筆 者	号数	ページ P～P	発行年月（西暦）
総目次 第195号～第198号（平成10年度）	編 集 委 員 会	199	51～52	平成11.4（1999）

<統計資料>

1. 石油アスファルト需給実績（総括表）

（単位：千 t）

項 目 年 度	供 給					需 要					
	期初在庫	生 産	対前年 度 比	輸 入	合 計	内 需	対前年 度 比	輸 出	小 計	期末在庫	合 計
63 年 度	274	5,904	(100.2)	3	6,181	5,953	(101.6)	1	5,954	219	6,173
元 年 度	219	6,066	(102.7)	1	6,286	5,990	(100.6)	4	5,994	276	6,270
2 年 度	276	6,277	(103.5)	1	6,554	6,205	(103.6)	8	6,213	310	6,523
3 年 度	310	5,973	(95.2)	0	6,282	5,944	(95.8)	19	5,963	313	6,276
4 年 度	313	6,121	(102.5)	1	6,435	6,109	(102.8)	76	6,185	244	6,429
5 年 度	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
10.4～6月	283	1,256	(98.3)	0	1,539	1,142	(97.5)	40	1,182	343	1,525
7 月	343	456	(85.4)	0	799	420	(89.9)	14	434	347	781
8 月	347	458	(95.8)	0	805	399	(88.1)	24	423	358	781
9 月	358	443	(88.4)	0	801	420	(84.8)	25	445	334	779
7～9月	343	1,357	(89.7)	0	1,700	1,239	(87.6)	63	1,302	334	1,636
10年度上期	283	2,613	(93.6)	0	2,896	2,381	(92.1)	103	2,484	334	2,818
10月	334	457	(88.9)	0	791	457	(90.5)	24	481	290	771
11月	290	529	(94.3)	0	819	492	(98.0)	15	507	290	797
12月	290	537	(107.2)	1	828	499	(94.3)	11	510	292	802
10～12月	334	1,524	(96.6)	1	1,858	1,448	(94.3)	50	1,498	292	1,790
11. 1 月	292	391	(104.0)	0	683	315	(94.0)	6	321	331	652
2 月	331	446	(97.2)	0	777	401	(88.3)	9	410	339	749
3 月	339	660	(98.1)	0	999	661	(91.7)	5	666	302	968
1～3月	292	1,497	(99.3)	0	1,789	1,377	(91.2)	20	1,396	302	1,698
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	5,634	(95.9)	1	5,918	5,206	(92.4)	173	5,378	302	5,680
11. 4 月	302	459	(91.3)	0	761	387	(92.6)	7	394	337	731
5 月	337	366	(96.6)	0	703	307	(88.5)	22	329	362	691
6 月	362	347	(92.8)	0	709	328	(87.0)	17	345	339	684
4～6月	302	1,172	(93.3)	0	1,474	1,022	(89.5)	46	1,068	339	1,407
7 月	339	389	(85.3)	0	728	385	(91.7)	22	407	314	721
8 月	224	472	(103.1)	0	696	389	(97.4)	29	418	334	752
9 月	246	443	(100.0)	0	689	417	(99.3)	34	451	289	740
7～9月	339	1,304	(96.1)	0	1,643	1,191	(96.1)	85	1,276	289	1,565
11年度上期	302	2,476	(94.8)	0	2,778	2,213	(92.9)	131	2,344	289	2,633
10月	207	478	(104.6)	0	685	422	(92.3)	27	449	280	729
11月	195	555	(104.9)	0	750	499	(101.4)	13	512	285	797
12月	208	591	(110.1)	0	799	501	(100.4)	14	515	323	838
10～12月	207	1,624	(106.6)	0	2,234	1,422	(98.2)	54	1,476	323	2,364

〔注〕（1）通産省エネルギー生産・需給統計月報 11年12月確報

（2）四捨五入のため月報と一致しない場合がある。

<統計資料>

2. 石油アスファルト内需実績（品種別明細）

（単位：千 t）

年 度	内 需 量						対 前 年 度 比					
	ストレート・アスファルト				ブローン アスファルト	合 計	ストレート・アスファルト				ブローン アスファルト	合 計
	道路用	工業用	燃焼用	計			道路用	工業用	燃焼用	計		
63 年 度	4,307	421	967	5,695	258	5,953	101.3	117.3	97.2	101.6	101.2	101.6
元 年 度	4,360	447	932	5,739	251	5,990	101.2	106.2	96.3	100.8	97.3	100.6
2 年 度	4,416	606	929	5,951	254	6,205	101.3	135.6	99.7	103.7	101.2	103.6
3 年 度	4,317	590	796	5,703	241	5,944	97.8	97.4	85.7	95.8	94.9	95.8
4 年 度	4,559	568	741	5,868	241	6,109	105.6	96.3	93.1	102.9	100.0	102.8
5 年 度	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
10.4～6 月	737	120	242	1,099	43	1,142	86.9	285.7	103.9	97.9	89.6	97.5
7 月	277	38	88	403	17	420	89.9	66.7	103.5	89.6	100.0	89.9
8 月	246	42	97	385	14	399	84.8	89.4	97.0	88.1	87.5	88.1
9 月	269	32	102	403	17	420	86.5	43.8	109.7	84.5	94.4	84.8
7～9 月	792	112	287	1,191	48	1,239	87.1	63.3	103.2	87.3	94.1	87.6
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 月	319	28	92	439	18	457	87.4	53.8	137.3	90.7	85.7	90.5
11 月	351	41	81	473	19	492	100.9	78.8	96.4	97.7	105.6	98.0
12 月	367	24	91	482	17	499	96.3	92.3	87.5	94.3	94.4	94.3
10～12 月	1,037	93	264	1,394	54	1,448	94.8	71.5	103.5	94.3	94.7	94.3
11. 1 月	193	35	70	298	17	315	106.0	70.0	81.4	93.7	100.0	94.0
2 月	284	40	61	385	16	401	96.6	76.9	67.8	88.3	88.9	88.3
3 月	557	17	72	646	15	661	95.7	39.5	93.5	92.0	78.9	91.7
1～3 月	1,034	92	203	1,329	48	1,377	97.7	63.4	80.2	91.3	88.9	91.2
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
11. 4 月	276	12	85	373	14	387	97.5	26.7	110.4	92.1	107.7	92.6
5 月	199	19	75	293	14	307	94.8	51.4	87.2	88.0	100.0	88.5
6 月	231	10	71	312	16	328	94.7	26.3	89.9	86.4	100.0	87.0
4～6 月	706	41	231	978	44	1,022	95.8	34.2	95.5	89.0	102.3	89.5
7 月	271	12	87	370	15	385	97.8	31.6	98.9	91.8	88.2	91.7
8 月	257	18	98	373	15	389	104.8	43.5	100.1	95.9	105.2	97.4
9 月	283	13	100	397	20	417	105.2	40.6	98.0	98.5	117.6	99.3
7～9 月	811	44	285	1,140	51	1,191	102.4	39.3	99.3	95.7	106.3	96.1
11年度上期	1,517	85	516	2,118	95	2,213	99.2	36.6	97.5	92.5	104.4	92.9
10 月	308	16	82	405	17	422	96.6	57.1	89.1	92.3	94.4	92.3
11 月	370	14	97	481	19	499	105.4	34.1	119.8	101.7	100.0	101.4
12 月	385	13	86	484	17	501	104.9	54.2	94.5	100.4	100.0	100.4
10～12 月	1,063	43	265	1,370	53	1,422	102.5	46.2	100.4	98.3	98.1	98.2

- 〔注〕 (1) 通産省エネルギー生産・需給統計月報 11年12月確報
(2) 工業用ストレート・アスファルト、燃焼用アスファルト、ブローンアスファルトは日本アスファルト協会調べ。
(3) 道路用ストレート・アスファルト＝内需量合計－（ブローンアスファルト＋燃焼用アスファルト＋工業用ストレート・アスファルト）
(4) 四捨五入のため月報と一致しない場合がある。

<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

年月	区分	0～10	10～20	20～40	40～60	60～80	80～100	100～120
9	年	3,619	0	943	139,856	2,790,953	889,220	62
9	上	3,165	0	931	141,320	2,789,646	890,986	21
	下	1,676	0	308	63,109	1,262,533	403,555	10
	期	1,489	0	623	78,211	1,527,113	487,431	11
10	年	2,262	0	691	102,226	2,597,297	805,100	11
10	上	2,371	0	681	101,020	2,544,619	835,889	0
	下	1,118	0	325	41,743	1,093,940	327,640	0
	期	1,253	0	356	59,277	1,450,679	508,249	0
11年	1～3	592	0	201	30,367	798,013	198,742	11
	4～6	554	0	62	18,055	538,601	157,088	0
	7～9	564	0	263	23,688	555,339	170,552	0
	10～12	552	0	165	30,116	705,344	278,718	0
11年	3	311	0	94	14,609	406,072	123,176	0
	1～3月	701	0	191	29,161	745,335	229,531	0
	4	182	0	4	7,397	200,961	56,274	0
	5	152	0	22	6,290	142,435	43,177	0
	6	120	0	0	6,701	159,319	62,195	0
	4～6月	554	0	62	18,055	538,601	157,088	0
	7	190	0	38	8,802	191,299	64,660	0
	8	154	0	27	9,015	183,378	63,136	0
	9	581	0	111	10,273	206,092	65,718	0
	7～9月	925	0	176	28,090	580,769	193,514	0
	10	137	0	134	9,441	209,485	85,741	0
	11	244	0	67	7,154	246,262	89,387	0
	12	224	0	132	7,441	243,462	103,416	0
	10～12月	605	0	333	24,036	699,209	278,544	0
12年	1	218	0	10	5,501	139,209	42,617	0
	2	255	0	46	8,844	220,320	74,906	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
9	年	0	169,218	0	478,192	1,050,577	0	5,522,640
9	上	0	171,896	0	494,950	1,020,044	0	5,512,959
	下	0	71,644	0	219,071	510,627	0	2,532,533
	期	0	100,252	0	275,879	509,417	0	2,980,426
10	年	0	177,933	0	470,583	1,045,239	0	5,522,640
10	上	0	177,882	0	417,531	994,259	0	5,512,959
	下	0	73,058	0	231,743	528,348	0	2,532,533
	期	0	104,824	0	185,788	465,911	0	2,980,426
11年	1～3	0	52,971	0	145,352	253,856	0	1,480,105
	4～6	0	35,290	0	120,011	241,427	547	1,111,635
	7～9	0	37,768	0	111,732	286,921	414	1,187,241
	10～12	0	51,904	0	93,488	263,035	565	1,423,887
11年	3	0	23,184	0	17,229	71,835	627	657,137
	1～3月	0	52,920	0	92,300	202,876	971	1,353,986
	4	0	11,786	0	11,954	84,903	199	373,660
	5	0	10,840	0	18,814	74,587	116	296,433
	6	0	11,432	0	9,777	71,348	108	321,000
	4～6月	0	35,290	0	120,011	241,427	547	1,111,635
	7	0	12,443	0	11,909	87,470	178	376,989
	8	0	11,254	0	18,336	97,597	438	383,335
	9	40	14,239	0	13,343	99,964	148	410,509
	7～9月	40	37,936	0	43,588	285,031	764	1,170,833
	10	106	13,780	0	15,627	81,597	122	416,170
	11	147	14,896	0	13,622	96,734	87	468,600
	12	0	14,643	0	12,575	86,460	102	468,455
	10～12月	253	43,319	0	41,824	264,791	311	1,353,225
12年	1	0	10,184	0	11,407	84,908	119	294,173
	2	1,046	14,116	0	12,417	80,655	216	412,821

<統計資料>

(2) プローン

(単位：t)

年月	区分	0～5	5～10	10～20	20～30	30～40	40～50	アスコンパウンド	特殊アス	道路舗装用	その他	計
9	年度	3,370	3	60,793	34,208	47	242	104,672	1,454	10,021	0	214,810
9	年上期	3,139	4	59,304	30,718	37	241	101,590	1,347	12,210	0	208,590
	年下期	1,571	1	43,813	2,616	21	121	43,944	649	4,457	0	97,193
	計	1,568	3	15,491	28,102	16	120	57,646	698	7,753	0	111,397
10	年度	2,394	38	52,907	30,479	75	291	97,543	1,477	15,628	0	200,832
10	年上期	2,476	49	51,746	30,549	87	336	93,642	1,700	14,286	0	194,871
	年下期	1,119	19	38,938	1,766	47	131	43,045	698	6,958	0	92,721
	計	1,357	30	12,808	28,783	40	205	50,597	1,002	7,328	0	102,150
11年	1～3	729	1	8,357	12,617	10	60	26,326	318	5,290	0	53,708
	4～6	543	2	19,383	609	23	40	19,276	383	3,556	0	43,815
	7～9	576	17	19,555	1,157	24	91	23,769	315	3,402	0	48,906
	10～12	546	18	5,612	16,096	18	100	28,172	461	3,380	0	54,403
11年	3	275	3	4,743	2,450	18	17	6,219	235	1,109	0	15,069
	1～3月	811	12	7,196	12,687	22	105	22,425	541	3,948	0	47,747
	4	228	3	6,354	364	30	3	6,213	346	232	28	13,801
	5	168	4	6,726	137	0	20	5,913	255	651	72	13,946
	6	145	3	7,414	140	8	20	6,741	226	782	105	15,584
	4～6月	543	2	19,383	609	23	40	19,276	383	3,556	0	43,815
	7	177	3	6,693	109	20	20	6,941	290	772	39	15,064
	8	196	3	6,677	198	2	20	7,146	265	706	28	15,241
	9	260	3	7,150	1,214	12	60	10,253	356	988	81	20,377
	7～9月	633	9	20,520	1,521	34	100	24,340	911	2,466	148	50,682
	10	112	6	2,256	5,148	4	20	7,749	313	1,064	95	16,767
	11	268	3	1,532	6,076	13	42	8,714	363	1,622	108	18,741
	12	286	0	1,426	5,362	3	92	8,617	288	1,144	93	17,311
	10～12月	666	9	5,214	16,586	20	154	25,080	964	3,830	296	52,819
12年	1	230	0	1,103	4,956	4	60	7,350	240	1,627	57	15,627
	2	217	1	1,501	4,980	0	40	6,649	187	2,182	61	15,818

(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				プ ロ ー ン			
		バルク	紙袋	ドラム	計	バルク	紙袋	ドラム	計
9	年度	5,518,963	906	2,771	5,522,640	136,742	77,329	739	214,810
9	年上期	5,509,827	885	2,247	5,512,959	132,906	74,935	749	208,590
	年下期	2,530,377	416	1,740	2,532,533	64,598	31,985	610	97,193
	計	2,979,450	469	507	2,980,426	68,308	42,950	139	111,397
10	年度	5,199,865	873	2,130	5,202,868	130,220	70,398	214	200,832
10	年上期	5,073,638	861	2,250	5,076,749	128,283	66,422	166	194,871
	年下期	2,297,461	444	971	2,298,876	62,237	30,408	76	92,721
	計	2,776,177	417	1,279	2,777,873	66,046	36,014	90	102,150
11年	1～3	1,479,615	223	267	1,480,105	33,789	19,834	85	53,708
	4～6	1,110,962	210	463	1,111,635	30,368	13,410	37	43,815
	7～9	1,186,499	234	508	1,187,241	31,869	16,998	39	48,906
	10～12	1,422,789	206	892	1,423,887	34,194	20,156	53	54,403
11年	3	656,724	92	321	657,137	10,397	4,661	11	15,069
	1～3月	1,353,388	211	387	1,353,986	31,852	15,858	37	47,747
	4	372,897	58	705	373,660	9,032	4,763	6	13,801
	5	296,277	44	112	296,433	9,229	4,796	11	13,946
	6	320,921	57	22	321,000	10,696	4,882	6	15,584
	4～6月	1,029,521	210	463	1,111,635	30,368	13,410	37	43,987
	7	376,848	80	61	376,989	9,698	5,359	7	15,064
	8	383,208	40	24	383,272	10,255	4,974	12	15,241
	9	410,460	49	0	410,509	11,702	8,667	8	20,377
	7～9月	1,170,516	169	85	1,170,770	31,655	19,000	27	50,682
	10	416,046	47	4	416,097	11,143	5,613	11	16,767
	11	468,522	42	36	468,600	12,450	6,287	4	18,741
	12	468,253	67	135	468,455	10,545	6,747	19	17,311
	10～12月	1,352,821	156	175	1,353,152	34,138	18,647	34	52,819
12年	1	314,020	33	120	314,173	10,699	4,914	14	15,627
	2	412,752	52	7	412,811	10,922	4,891	5	15,818

(注) 1. 社団法人 日本アスファルト協会調査による。

県別	年月	9 年	9 年 度		10 年	10 年 度			10年 7～9月	
			上 期	下 期		上 期	下 期			
北 海 道		352,313	350,167	188,201	161,966	296,449	313,535	146,149	167,386	87,558
青 森	森	113,442	113,905	59,259	54,646	98,043	97,479	45,448	52,031	25,218
	手	33,625	33,047	16,596	16,451	38,250	39,239	14,368	24,871	7,890
	宮	201,953	199,153	94,654	104,499	164,899	168,816	69,427	99,389	36,587
	城	80,434	79,126	42,687	36,439	63,859	64,511	29,843	34,668	15,709
	田	29,121	26,864	14,072	12,792	26,750	27,726	13,113	14,613	6,872
山 形		29,121	26,864	14,072	12,792	26,750	27,726	13,113	14,613	6,872
福 島		78,470	85,277	35,684	49,593	81,725	80,270	31,420	48,850	15,842
東 北 計		537,045	537,372	262,952	274,420	473,526	478,041	203,619	274,422	108,118
茨 城	城	173,409	153,855	68,921	84,934	176,705	209,062	79,400	129,662	59,789
	木	32,679	32,910	12,873	20,037	32,069	31,926	12,577	19,349	6,111
	群	33,072	33,722	15,206	18,516	29,703	27,107	13,686	13,421	6,206
	馬	113,115	109,426	47,549	61,877	116,492	120,015	51,686	68,329	27,150
	埼	120,429	129,261	49,485	79,776	134,802	133,392	52,945	80,447	28,564
	玉	727,205	682,873	320,096	362,777	627,591	629,797	272,831	356,966	139,070
	千	116,811	124,200	46,893	77,307	121,275	114,700	49,112	65,588	24,396
	東	13,582	11,664	6,111	5,553	10,093	11,137	4,699	6,438	2,368
	京	45,378	42,497	22,676	19,821	36,594	37,113	17,664	19,449	8,388
	奈	125,556	122,464	66,029	56,435	101,406	100,480	44,445	56,035	23,813
	川	163,028	160,505	73,627	86,878	162,856	139,415	72,919	66,496	38,831
	梨	1,664,264	1,603,377	729,466	873,911	1,549,326	1,553,884	671,704	882,180	364,686
山 梨	野	327,069	343,359	139,021	204,338	347,202	339,624	134,150	205,474	69,755
	渥	46,378	49,320	20,018	29,302	52,119	50,909	22,170	28,739	11,011
	新	29,162	28,870	12,211	16,659	29,300	30,201	11,895	18,306	6,478
	静	37,449	39,838	19,674	20,164	37,511	34,914	17,435	17,479	9,128
	岡	21,001	19,928	9,439	10,489	18,718	18,493	8,433	10,060	4,153
関 東 計		461,059	481,315	200,363	280,952	484,850	474,141	194,083	280,058	100,525
愛 知	知	14,959	14,817	7,525	7,292	14,604	14,315	7,075	7,240	3,156
	三	39,175	37,952	17,596	20,356	31,859	28,855	12,829	16,026	5,732
	岐	12,486	12,415	5,306	7,109	8,838	7,329	3,082	4,247	1,320
	富	390,727	383,758	170,896	212,862	359,565	352,854	155,630	197,224	73,187
	山	280,119	271,380	130,578	140,802	221,227	205,741	93,979	111,762	49,971
石 川	川	2,083	1,533	1,312	221	1,079	1,276	787	489	628
	中	49,351	49,361	21,180	28,181	46,856	44,755	19,228	25,527	9,326
	部	788,900	771,216	354,393	416,823	684,028	655,125	292,610	362,515	143,320
	福	573,060	601,423	267,541	333,882	592,897	534,780	297,673	237,107	141,982
	滋	144,851	149,477	67,203	82,274	153,250	153,474	68,530	84,944	35,948
京 都	都	527,692	519,662	267,071	252,591	500,184	451,479	259,241	192,238	129,126
	大	33,809	34,535	14,608	19,927	30,044	27,975	12,931	15,044	6,204
	兵	27,708	28,387	12,039	16,348	25,784	23,993	9,859	14,134	4,176
	奈	1,307,120	1,333,484	628,462	705,022	1,302,159	1,191,701	648,234	543,467	317,436
	和	48,334	51,842	23,570	28,272	38,715	36,673	14,255	22,418	7,226
歌 山	山	67,432	66,638	31,731	34,907	59,824	60,525	26,265	34,260	12,611
	近	56,267	56,481	24,529	31,952	56,528	58,023	23,569	34,454	12,350
	畿	21,981	24,147	8,815	15,332	23,333	22,007	8,982	13,025	4,549
	計	194,014	199,108	88,645	110,463	178,400	177,228	73,071	104,157	36,736
	岡	200,440	209,646	89,378	120,268	201,971	198,159	79,289	118,870	36,145
広 島	島	11,513	11,115	4,981	6,134	12,008	12,016	5,796	6,220	3,376
	山	23,882	21,306	8,041	13,265	22,992	22,221	6,494	15,727	3,693
	口	41,725	42,314	17,347	24,967	40,152	39,604	14,259	25,345	7,334
	取	32,886	34,162	14,485	19,677	33,275	32,068	12,927	19,141	6,694
	根	36,871	34,637	13,444	21,193	32,467	33,183	12,971	20,212	6,560
島 根	島	65,996	69,494	22,897	46,597	72,751	73,888	23,753	50,135	11,983
	中	413,313	422,674	170,573	252,101	415,616	411,139	155,489	255,650	75,785
	国	19,422	22,836	6,671	16,165	19,346	16,826	6,638	10,188	1,983
	徳	5,737,450	5,721,549	2,629,726	3,091,823	5,403,700	5,271,620	2,391,597	2,880,023	1,236,147
	香									
愛 媛	媛									
	高									
	知									
	四									
	国									
福 岡	岡									
	佐									
	長									
	崎									
	本									
大 分	分									
	熊									
	本									
	宮									
	崎									
鹿 児 島	島									
	九									
	州									
	計									
	沖									
縄										
総 計		5,737,450	5,721,549	2,629,726	3,091,823	5,403,700	5,271,620	2,391,597	2,880,023	1,236,147

(注) 1. 社団法人 日本アスファルト協会調査による。

(単位: t)

10年 10～12月	11年 1～3月	11年 4～6月	11年 7～9月	10	11	12	11年 10～12月	12年 1	2
128,415	38,971	48,074	89,875	37,857	44,422	31,113	113,392	4,023	7,869
31,704	20,327	19,818	25,109	9,799	11,746	14,331	35,876	1,907	1,900
16,186	8,685	8,128	11,218	3,251	4,955	4,629	12,835	1,940	2,160
48,141	51,248	25,171	31,806	11,648	15,223	15,070	41,941	7,911	9,483
22,261	12,407	11,597	15,347	5,865	6,789	6,657	19,311	655	787
8,510	6,103	6,736	11,257	4,542	4,020	4,602	13,164	1,167	1,205
24,357	24,493	13,142	14,750	7,116	6,523	8,613	22,252	3,446	5,499
151,159	123,263	84,592	109,487	42,221	49,256	53,902	145,379	17,026	21,034
58,920	70,742	28,483	62,739	18,824	26,477	27,661	72,962	27,292	22,371
8,449	10,900	9,161	7,623	2,572	3,651	4,152	10,375	2,688	5,413
6,724	6,697	5,407	6,809	2,258	2,446	2,573	7,277	1,137	2,043
33,231	35,098	25,123	28,361	9,191	10,570	10,683	30,444	8,042	11,724
36,715	43,732	24,216	33,259	11,775	13,967	15,555	41,297	8,540	14,399
170,627	186,339	126,320	138,262	49,856	56,060	61,168	167,084	42,276	65,168
31,110	34,478	24,159	31,315	11,016	12,124	11,859	35,009	10,042	14,975
2,777	3,661	2,190	2,277	834	994	1,177	3,005	571	1,006
12,257	7,192	10,158	10,220	3,822	4,325	5,078	13,225	1,286	1,868
36,329	19,706	25,199	28,450	9,487	10,748	10,074	30,309	3,510	4,818
42,611	23,885	33,678	59,713	23,628	14,373	26,115	64,116	21,451	25,107
439,750	442,430	314,094	409,028	143,263	155,735	176,105	475,103	126,835	168,892
98,671	106,803	61,653	72,044	27,988	29,149	31,149	88,286	20,019	31,112
14,122	14,617	12,161	13,418	3,404	3,248	3,889	10,541	2,969	3,950
9,777	8,529	7,688	10,786	3,812	4,106	3,758	11,676	1,441	2,824
10,440	7,039	8,915	10,714	4,398	5,740	4,878	15,016	2,569	2,739
5,807	4,253	3,972	4,585	1,687	1,824	1,549	5,060	389	843
138,817	141,241	94,389	111,547	41,289	44,067	45,223	130,579	27,387	41,468
4,373	2,867	4,053	3,417	1,097	1,405	1,476	3,978	751	829
8,134	7,892	6,301	6,300	2,414	2,568	2,719	7,701	2,129	2,960
2,300	1,947	2,491	2,143	582	825	1,049	2,456	610	682
94,010	103,214	70,485	62,346	32,055	34,214	36,136	102,405	26,545	37,591
54,195	57,567	44,061	62,283	17,961	19,657	20,833	58,451	15,112	20,090
149	340	212	402	93	74	252	419	59	167
11,919	13,608	10,186	8,203	2,873	3,735	2,863	9,471	2,516	4,084
175,080	187,435	137,789	145,094	57,075	62,478	65,328	184,881	47,722	66,403
120,240	116,867	67,317	39,930	6,247	19,726	12,143	38,116	8,575	14,422
38,957	45,987	31,185	32,515	10,313	13,764	11,706	35,783	9,290	11,349
115,981	76,257	124,135	139,174	40,073	41,125	26,361	107,559	24,977	28,083
7,534	7,510	5,108	5,689	1,895	2,729	2,717	7,341	1,299	1,316
7,055	7,079	4,867	5,889	2,961	2,484	3,009	8,454	1,572	2,505
289,767	253,700	232,612	223,197	61,489	79,828	55,936	197,253	45,713	57,675
10,845	11,573	6,327	8,476	2,700	3,116	3,449	9,265	2,440	4,057
16,177	18,083	13,958	13,683	5,396	5,457	5,651	16,504	3,854	5,081
14,925	19,529	12,662	13,301	5,433	5,137	6,160	16,730	4,909	6,388
5,701	7,324	4,366	4,054	1,901	1,802	1,962	5,665	1,600	2,402
47,648	56,509	37,313	39,514	15,430	15,512	17,222	48,164	12,803	17,928
48,833	70,037	40,565	45,721	14,030	13,305	18,489	45,824	10,458	18,909
2,743	3,477	2,299	1,808	1,037	1,022	1,144	3,203	672	1,156
8,141	7,586	3,603	4,002	3,159	2,264	1,259	6,682	2,011	2,564
10,466	14,879	6,245	7,793	2,926	2,440	3,416	8,782	2,164	3,580
8,136	11,005	13,012	11,452	5,202	5,992	3,904	15,098	2,498	6,233
8,155	12,057	5,466	7,192	2,989	3,233	3,839	10,061	2,535	3,956
18,070	32,065	7,786	13,522	3,964	6,776	7,625	18,365	6,841	9,091
104,544	151,106	67,731	91,490	33,307	35,032	39,676	108,015	27,179	45,489
3,110	7,078	3,241	2,283	1,006	1,001	1,261	3,278	1,112	1,881
1,478,290	1,401,733	1,034,424	1,221,515	432,937	487,341	485,766	1,406,044	309,800	428,639

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 亜 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 株 式 会 社	(150-8411) 渋谷区広尾1-1-39	03 (5778) 5179
日 石 三 菱 株 式 会 社	(105-8412) 港区西新橋1-3-12	03 (3502) 9122
富 士 興 産 株 式 会 社	(100-0014) 千代田区永田町2-4-3	03 (3580) 3571

[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
常盤商事株式会社仙台支店	(980-0011) 仙台市青葉区上杉1-8-19	022 (224) 1151	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	(104-0032) 中央区八丁堀4-11-2	03 (3553) 3001	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
株式会社ケイエム商運	(103-0028) 中央区八重洲1-8-5	03 (3245) 1626	日 石 三 菱
株式会社JOMOサンエナジー	(105-0004) 港区新橋4-24-8	03 (5400) 5855	J O M O
コスモアスファルト株式会社	(104-0032) 中央区八丁堀3-3-5	03 (3551) 8011	コ ス モ
国 光 商 事 株 式 会 社	(164-0003) 中野区東中野1-7-1	03 (3363) 8231	出 光
澤田商行株式会社営業本部	(104-0032) 中央区八丁堀2-21-2	03 (3551) 7131	コ ス モ
昭 石 商 事 株 式 会 社	(107-0051) 港区元赤坂1-1-8	03 (5474) 8511	昭和シェル
新 日 本 商 事 株 式 会 社	(170-0005) 豊島区南大塚3-32-10	03 (5391) 4870	昭和シェル
住商石油アスファルト株式会社	(105-0011) 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
中 央 石 油 株 式 会 社	(160-0022) 新宿区新宿1-14-5	03 (3356) 8061	モ ー ビ ル

社団法人 日本アスファルト協会会員

社 名	住 所	電 話
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
日石丸紅株式会社	(105-0001) 港区虎ノ門1-19-10	03 (5251) 0777 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) 中央区日本橋蛸蛸町1-17-2	03 (3661) 4951 モービル
富士興産アスファルト株式会社	(111-0052) 台東区柳橋2-19-6	03 (3861) 2848 富士興産
富士鉱油株式会社	(105-0003) 港区西新橋1-18-11	03 (3591) 2891 コスモ
富士油業株式会社東京支店	(111-0052) 台東区柳橋2-19-6	03 (5823) 8241 富士興産
丸紅エネルギー株式会社	(101-8322) 千代田区神田駿河台2-2	03 (3293) 4171 モービル
三井石油株式会社	(164-8723) 中野区本町1-32-2	03 (5334) 0730 極東石油
ユニ石油株式会社	(107-0051) 港区元赤坂1-7-8	03 (3796) 6616 昭和シェル

● 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

赤馬アスファルト工業株式会社	(531-0071) 大阪市北区中津3-10-4	06 (6374) 2271 モービル
大阪アスファルト株式会社	(531-0071) 大阪市北区中津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	(672-8064) 姫路市飾磨区細江995	0792 (33) 0555 J O M O
株式会社菱芳砵産	(671-1103) 姫路市広畑区西夢前台7-140	0792 (39) 1344 J O M O

● 四国・九州

伊藤忠燃料株式会社九州支社	(812-8528) 福岡市博多区博多駅前3-2-8	092 (471) 3851 J O M O
今別府産業株式会社	(890-0072) 鹿児島市新栄町15-7	0992 (56) 4111 J O M O
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

社団法人 日本アスファルト協会会員

社 名	住 所	電 話
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

編集顧問

多田宏行
藤井治芳
松野三朗

編集委員

委 員 長 : 河 野 宏	塚 越 徹	姫 野 賢 治
阿 部 忠 行 大 野 滋 也	野 村 健 一 郎	吉 兼 秀 典
荒 井 孝 雄 栗 谷 川 裕 造	野 村 敏 明	若 林 登
安 崎 裕 小 島 逸 平	服 部 潤	
太 田 亨 田 井 文 夫		

アスファルト 第203号

平成12年4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

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

Vol.42 No.203 APRIL 2000

Published by **THE JAPAN ASPHALT ASSOCIATION**