

アスファルト

第49巻 第220号 平成18年10月発行

220

有限責任中間法人 日本アスファルト協会 会長挨拶 青木 秀 樹 1

特集・舗装と安全

特集にあたって	中村 俊 行 2
安全な舗装とは	笠原 篤 3
樹脂系すべり止め舗装の現況と今後の展開	筒井 伸 和・増田 真 一 8
排水性舗装	久保 和 幸 18
凍結抑制舗装の性能現況と冬期の交通安全	中原 大 磯・吉 中 保・青木 政 樹 林 信 也・森 嶋 洋 幸・山 崎 剛 24
トンネル内舗装と照明方法	神谷 恵 三 30
新しい正面衝突事故対策としてのランブルストリップスの開発と実用化	浅野 基 樹・平澤 匡 介 34
学校で用いられる舗装材の安全性評価について	牧 恒 雄 39

<アスファルト舗装技術研究グループ・第52回報告>

佐々木 巖 44

Tyre/Road Noise Reference Bookの紹介

加納 孝 志・岸田 正 憲・塚 越 智 浩

森 嶋 洋 幸・焼 山 明 生 45

<統計資料>石油アスファルト需給統計資料

58

ASPHALT

有限責任中間法人 日本アスファルト協会
THE JAPAN ASPHALT ASSOCIATION

第85回 アスファルトゼミナール開催のご案内

有限責任中間法人 日本アスファルト協会

拝啓 時下ますますご清栄の段、お慶び申し上げます。

当協会主催の「アスファルトゼミナール」を下記要領にて開催致します。

皆様、お誘い合わせの上ご参加くださいます様お願い申し上げます。

敬 具

記

- 1.主 催 有限責任中間法人 日本アスファルト協会
- 2.協 賛 社団法人 日本アスファルト乳剤協会、日本改質アスファルト協会
- 3.後 援 国土交通省、社団法人 日本道路建設業協会、社団法人 日本アスファルト合材協会
- 4.開催月日 平成19年2月15日(木)～2月16日(金)
- 5.開催場所 メルパルク広島
〒730 - 0011 広島県広島市中区基町 6 - 36 ☎082 - 222 - 8501 (代)
- 6.内 容 裏面「プログラム」をご覧ください。
- 7.申込方法 平成19年1月31日までに、下記ホームページより、申し込みフォームを使用して
お申し込み下さい。
<http://www.askyo.jp/zemi2007>
折返し(7日以内)E-mailにて参加受講券をお送りいたします。
- 8.申込問合せ キュービシステム株式会社 アスゼミ担当 村井まで
☎03 - 5256 - 0051 E-mail: asphalt@qbs.co.jp
- 9.内容問合せ コスモ石油販売株式会社コスモアスファルトカンパニー
企画部 保 康一郎・今井 優喜まで ☎03 - 3551 - 8018 (代)
- 10.参加費 無料
- 11.参加人数 300名(締切日以前でも定員になり次第締め切らせていただきます。)
- 12.その他 当日申込受付はできませんので、必ず上記方法でお申し込み下さい。



開催日時

平成19年2月15日(木)～2月16日(金)

開催場所

メルパルク広島

広島市中区基町 6 - 36 ☎082 - 222 - 8501 (代)

会場案内図

J R広島駅から路面電車で15分(紙屋町西下車)

J R広島駅からバス(9番乗り場)で10分

広島バスセンター下車 徒歩1分

山陽自動車道 広島インターより約30分

プログラム

- 舗装の維持管理の新しい方向 -

第1日目 平成19年2月15日(木) 13:10~17:40

(敬称略)

1. 挨拶 13:10~13:15
有限責任中間法人日本アスファルト協会
ゼミナール委員長 熊本正義
2. 挨拶 13:15~13:20
財団法人駐車場整備推進機構
専務理事 矢野善章
3. 舗装管理目標の考え方 13:20~14:40
独立行政法人日本高速道路保有・債務返済機構 菊川 滋
(休憩 14:40~14:50)
4. 荒廃する日本としない為の道路管理 14:50~16:10
国土交通省道路局国道・防災課 道路保全企画官 茅野牧夫
(休憩 16:10~16:20)
5. 新しい入札契約制度への取り組み状況 16:20~17:40
国土交通省大臣官房・技術調査課 建設技術調整官 笹森秀樹

第2日目 平成19年2月16日(金) 9:30~12:50

6. 平成19年度道路予算 9:30~10:30
国土交通省道路局 道路経済調査室長 深澤淳志
(休憩 10:30~10:40)
7. アスファルト乳剤による維持修繕工法の動向 10:40~11:40
ニチレキ株式会社 研究開発センター 製造設計部長 伊藤 亮
(休憩 11:40~11:50)
8. 舗装の維持管理に向けた改質アスファルトの利用 11:50~12:50
日本改質アスファルト協会 技術委員 村山雅人

(講師は都合で変更になる場合があります)

有限責任中間法人 日本アスファルト協会 会長挨拶

有限責任中間法人 日本アスファルト協会
会長 青木 秀樹
(昭和シェル石油株式会社 技術商品部)

本年5月26日に開催されました当協会第5回定時会員総会におきまして、会長に推挙され、就任いたしました。アスファルトのユーザーの皆様、関係者の皆様には、今後共尚一層のご支援、ご指導を賜りますようお願い申し上げます。

日本アスファルト協会は、昭和32年に社団法人としてスタートし、平成15年4月からは有限責任中間法人としてアスファルトに関する品質の改善、使用技術の向上、アスファルトに関連する産業の健全な発展と公共の福祉の増進に寄与することを目的として活動を行っております。

アスファルトを取り巻く環境の変化は内外ともに激変しております。アスファルトのベースとなります原油価格は国際的に供給への不安感が根強く、世界的な高騰が続いております。国内におきましては、公共投資予算の削減と舗装工事における再生合材の増大により、アスファルトの国内需要は毎年減少しております。

一方、米国では「荒廃するアメリカ」の事実を教訓に、予防的安全対策を含めた道路施設整備5カ年計画の規模を前回のほぼ倍としていますし、英国でも90年末期に比較して交通施設の投資額を約3倍に伸ばしております。このように先進国でも社会のインフラ整備は国民生活の重要な基盤と位置付けております。

日本におきましても、都市部でのCO₂削減を目標とした交通渋滞解消のための道路・土木予算が漸増しております。これからの時代は、自動車だけではなく、自転車・歩行者への配慮を含めた文化の香りの高い道づくりも志向され始めています。

皆様ご高承の通り、アスファルトの歴史は非常に古く、車のドライバーからは、

アスファルト舗装は、舗装表面に目地が無いので、走行感が快適で、運転しやすい。

また道路管理者からは、

アスファルト舗装後、交通開放までの時間が短いので、舗装の維持/管理が容易。

との評価がなされており、優れた特徴が広く認められています。

最近では、排水性舗装・低騒音舗装、明色舗装、リサイクル舗装等、技術の革新も進んできております。

アスファルト協会の定款である「アスファルト利用技術の向上、アスファルトに関連する産業の健全な発展に寄与することを目的」として、災害に強い国土、安全・安心な暮らしの確保、地球温暖化対策等、これからのアスファルトに対する多様なニーズを的確に捉え、関係者の皆様と共にアスファルト協会として、機関紙「アスファルト」の内容充実、アスファルトセミナーの開催、ホームページによる情報発信を展開していきますので、ユーザーの皆様、関係者の皆様には今後共アスファルト協会の活動に一層のご支援を賜りますようお願い申し上げます。

また当協会の事務局は、下記の通りですので宜しく御願い致します。

〒135-8074 東京都港区台場2-3-2(台場フロンティアビル)

昭和シェル石油株式会社 技術商品部アスファルト課内

電話：03-5531-5765 FAX：03-5531-5769

特集にあたって

中村 俊行

道路交通情報通信システムセンター常務理事

「安全」という言葉は、最近ではマスコミ報道で聞かない日はないほど頻繁にかつ多方面に使われている。テロに対する安全、食の安全、地震等自然災害に対する安全、交通安全等々である。国土交通省においても「安全・安心基盤の確立」が五つの重点施策の一つとして取り上げられており、安全に対する広範囲の施策が進められている。

舗装と関係の深い交通安全については、今年の3月に「第8次交通安全基本計画」が策定され、「究極的には交通事故のない社会を目指す」ことが基本理念で示されている。具体的な目標としては「平成24年までに交通事故死者数を5千人以下とし、世界一安全な道路交通の実現を図る」ことなどが掲げられている。

ところで「舗装と安全」を考えた場合には、交通事故だけではなくさらに広い観点からの分類も考えられる。安全を確保する対象からは、一般的に舗装利用者の安全、周辺住民の安全、社会・地球環境への安全の3に分類できると思う。

舗装利用者の安全は舗装の主要機能であり、利用者により自動車（場合によっては飛行機）、自転車利用者・歩行者の安全に分けられる。

周辺住民の安全では、舗装が原因で周辺に及ぼす危険の排除である。例えば、舗装の破損によって生じる振動、騒音、さらには極端な例かもしれないが破損した舗装の一部が沿道に飛散することや、舗装からの有害物質の流出などからの安全が考えられる。

社会・地球環境の安全は、舗装による環境への危険性、例えば舗装によるヒートアイランド現象、地下水の枯渇等を低減または除去することである。

このように「舗装と安全」の範囲は広いが、本特集では基本的には舗装利用者の安全に絞っている。利用者の中で自動車の走行に対する安全が現在まで大きな課題として取り上げられ、多くの技術開発が行われてきた。自動車の走行に対する安全では、路面のすべり抵抗性と視認性が大きな影響を与える。すべり抵抗性については日本道路協会刊行の「舗装設計施工指針」では「すべり止め機能を有する舗装は、路面のす

べり抵抗性を高め、車両の走行安全を向上させる舗装である。すべり抵抗性を高める工法には、混合物自体のすべり抵抗性を高める工法、樹脂系材料を使用し硬質骨材を路面に接着させる工法、グルーピングやプラスト処理等によって粗面仕上げをする工法などがある。」と記述され、多くの種類の舗装が使われてきている。凍結抑制舗装についても冬季の路面のすべり抵抗性を高めるものとして安全を考慮した舗装と位置づけられる。

視認性も走行の安全の面からは大きな課題である。照明効果や夜間の視認性を高める明色舗装として、コンクリート舗装やアスファルト舗装の表層部分に可視光線反射率の大きい明色骨材を使用した舗装などがある。排水性舗装に見られるように、雨天時の走行車両による水はね、水しぶきの緩和による視認性の向上や、路面標示の視認性の向上も、舗装による走行車両の安全性向上に寄与する。

さらに、間接的に安全に寄与するものとして、トンネル内舗装の照明への影響や、注意喚起のための舗装の切削等があげられる。

自転車利用者・歩行者の安全については、路面のすべり抵抗や平坦性さらには路面の切り下げ等が問題となる。また、自転車、歩行者の転倒時の安全性を考えれば路面の堅さも重要となり、土系舗装や弾性舗装の適用事例も多くなってきている。視覚障害者のためのICタグを埋め込んだインターロッキングブロックなども安全に寄与する舗装といえる。

排水性舗装が、高速道路での特に晴天時より事故発生率が9～10倍高いといわれていた雨天時の交通事故の削減に大きく寄与したことは事実である。技術開発と併せて、舗装による交通安全を含めた安全に対する効果を客観的に評価するための手法の研究や、それを用いた効果のPRが今後重要だと思われる。

本特集では、「舗装と安全」の観点から、上述したように利用者の安全をテーマにしている。今後の研究、技術開発、現場での適用に寄与することを祈念するものである。

安全な舗装とは

(What is a safety pavement ?)

笠原 篤*

安全な舗装，それは，舗装とタイヤとの接触による相互作用に帰着することになることから，タイヤと舗装の双方の機能と特徴を理解することが求められる。そのために，まず，タイヤの構造，タイヤの種類，およびタイヤがグリップ力（駆動と制動）を発揮する機構について述べている。路面対策として，ポーラスアスファルト，グレーピング，凍結抑制舗装などについても言及し，安全な舗装とは，すべり抵抗の高い舗装であるとしている。

1. はじめに

安全と安心は，似通った用語として使用されるが，その定義は広辞苑によれば次のようになる。

安全：物事が損傷したり，危害を受けたりするおそれのないこと。

安心：心配・不安がなくて心が安らぐこと。

これを私なりに工学的に解釈すると，危険率が数%以下となれば安全であるのに対し，安心は危険率がゼロ，すなわち絶対を求めていると言える。それはBSE問題に代表される。話が冒頭から逸れたが，安全な舗装について以下に述べてみたい。それは，舗装とタイヤとの接触による相互作用に帰着することになる。そのためには，タイヤと舗装の双方の機能と特徴を理解することが求められる。

2. 車輪とタイヤ

車輪（Wheel）は紀元前3500年前に，チグリス・ユーフラテス文明下のシュメル人によって発明された。それ以来，車輪は，自動車・自転車・オートバイ・モノレールや新交通システムなどの一部の鉄道車両・航空機（飛行機）・建設機械など地上を移動する多方面の輸送機器に，今日まで使用され続けてきている。その歴史において画期的な出来事は，タイヤの発明であった。1867年に車輪の外周にゴムを取り付ける手法が用いられるようになり，それまでの金属、木の車輪から脱皮する事になる。当時のゴムタイヤは空気入りではなく、ソリッドゴムタイヤであった。

空気入りタイヤは1845年にイギリスのロバート・ウィリアム・トムソンが発明し特許を取得していたが実用化には至らず、1888年にイギリスの獣医師John Boyd Dunlopが自転車の空気入りタイヤを実用化するまで待たなければならなかった。

自動車用の空気入りタイヤとしては、フランスのミシュラン兄弟が1895年に開催されたパリからボルドーまでを往復する全行程1200kmのレースに使用したのが最初であった。このレースでミシュラン兄弟は100回近いパンクにもめげず完走した。耐久性に問題があるとは言え、乗り心地、グリップ力、安定性に格段に優れた空気入りタイヤは、これ以降急速に普及する事になる。トムソンの1845年の発明にもかかわらず、ダンロップが現代のゴムタイヤの発明者として賞賛されている。1905年には、タイヤトレッドに横溝がつけられた。1960年には、ダンロップ社の研究所によって濡れたガラス板上を高速で通過できる実験装置をつくり、ハイドロプレーニング現象を世界で初めて明かにしたことも特記される。

3. タイヤの構造

タイヤには、大きく分けて構造の異なる2種類のタイヤがある。タイヤ内部のカーカス（タイヤ構造を保持しタイヤの骨格の役割を持つもの）がタイヤの回転方向に対して垂直になっている「ラジアルタイヤ」と、斜め方向になっている「バイアスタイヤ」である。一般的に、ラジアルは操縦性・安定性が優れており、対

*かさはら あつし 北海道工業大学 社会基盤工学科 教授 工博

摩耗性も良く、タイヤからの発熱が少ないなどの利点がある一方、パイアスは変形追従性に優れていることから、未舗装道路が多い場合に用いられている。

タイヤの名称について、「150/70R 17 69W」とあった場合、最初の150はタイヤの幅（mm）、70は扁平率（%）、Rはタイヤ構造、17はリム径（inch）、69はそのタイヤが支えられる荷重を示した指数、Wはそのタイヤで保証される最高速度を表している。

一般的には、空気入りタイヤと称されているが、航空機用タイヤには、窒素ガスが充填されている。その理由としては、着陸時にタイヤが摩擦熱で煙が上がるほど高温になるが、火災や爆発の危険性を回避できる。また、水分を含まないことから腐食や変質を起こさないことによる。レーシングタイヤにも窒素ガスが充填されることが多い。それは、タイヤ温度が上昇しても内圧があまり上昇せずグリップ力の変化が抑えられることによる。

4. タイヤの種類

車輪が遭遇する路面状況（乾燥・湿潤・積雪・結氷）に合わせて、表-1に示すようなタイヤが選択される。この分類以外に、乾燥・湿潤・泥（雪）に対応した全天候タイヤ（all-weather tire）も供給されている。

表-1 路面とタイヤ

路面状況	タイヤの種類
乾燥	Sleek tire
湿潤	Rain tire
泥・雪	Mud & Snow tire
結氷	Studded tire

4.1 スリークタイヤ（Sleek tire）

トレッドが無いことから、路面とタイヤとの接触面積が大きく乾燥状態でのみ大きなグリップ力を発揮することのできるタイヤであり、自動車レースに主に用いられている。以前はF1レースで多用されていたが、湿潤路面での安全性の面から1997年限りで禁止され、現在では4本の縦溝がなければならぬと規定されている。

札幌市の地下鉄は鉄輪ではなくゴムタイヤ方式であるが、地上部でも降雪対策のため覆いがかけられていることから、路面が湿潤・積雪状態にならないことからスリークタイヤが装着されている。

4.2 レインタイヤ（Rain tire）

降雨に備えたタイヤであり、地上を移動するすべて

の輸送機器は装着している。路面とタイヤ間に存在する水の排水時間を、極短時間とするためにタイヤに溝（トレッド）が彫られている。縦溝は直進安定性を、横溝は駆動力および制動力を高めるための役割を担っている。飛行機のタイヤは縦トレッドのみが付けられている。オートバイの前輪には縦トレッドを卓越させ直進安定性を、後輪には横溝を重視し駆動力発揮させるなど、前後輪のトレッドは異なる。

水膜が存在している路面とタイヤの接触面は、図-1に示すような3つの領域から成り立っている。

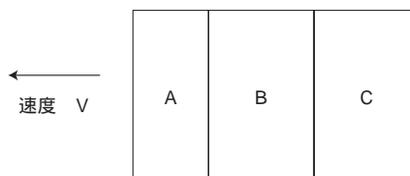


図-1 路面とレインタイヤの接触面

路面とタイヤが、速度 $V=0$ で接触している場合の面積を $A+B+C$ とする。面積Aは、動水圧がタイヤに作用している領域であり、速度Vでタイヤに水が衝突していることから、タイヤが変形し路面とタイヤが接していない部分である。面積Bは、タイヤが路面に圧着する過程で水が排除され、トレッドに水が貯留する領域であり、水膜が未だ存在し、路面とタイヤが接していない部分である。面積Cは、路面のマクロテクスチャおよびマイクロテクスチャにより、水膜が破れ、タイヤと路面が接している領域である。このことから、走行速度が増加すると $A+B$ の面積が大きくなり、真にタイヤと路面が接触する面積Cが小さくなっていくことが分かる。また走行速度が一定であるとき、路面に滞留する水深が大きい場合には、 $A+B$ の面積が大きくなる。C=0となったときにハイドロプレーン現象が生ずることも理解される。

4.3 泥・雪タイヤ（M&S tire）

一般にスノータイヤやオフロードタイヤと呼ばれているが、このタイヤが対象とするのは、積雪路面およびぬかるんだ泥路面である。タイヤのグリップ力（駆動または制動）が発揮される機構は図-2に模式的に示されている。輪荷重により圧縮された高密度の雪（または泥）がタイヤのトレッドに充填され、タイヤが駆動または制動をすることによって生ずるせん断力に抵抗する。

従って、発進時のタイヤ空転、制動時のタイヤロッ

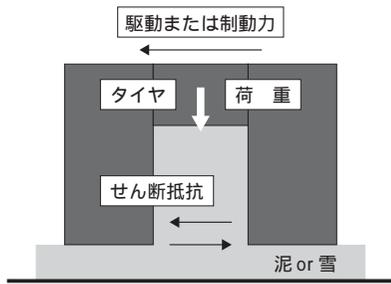


図 - 2 M&Sタイヤのトレッド部

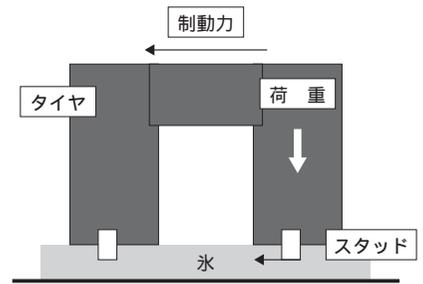


図 - 3 スタッドタイヤのトレッド部

クが生ずれば、トレッドに充填された雪（または泥）がせん断破壊され、もはや、せん断抵抗を期待することができなくなる。また、固い圧雪路面においては、この作用が期待できないことから、駆動および制動性能が劣ることは頷ける。

4.4 スタッドタイヤ (Studded tire)

一般にスパイクタイヤ (和製英語) と呼ばれているが、わが国では法規制により雪氷路面以外では、装着できないことになっていることから、市販されていない。

このタイヤが対象とするのは、結氷路面であり、タイヤのグリップ力 (駆動または制動) が発揮される機構は図 - 3 に模式的に示されている。輪荷重によりタイヤに打ち込まれたスタッド (スパイクピン) が氷に食い込み、タイヤが駆動または制動をすることによってスタッドと氷との間にせん断力が発生する。氷のせん断破壊強度に駆動または制動性能が支配されることになる。なお、ピンが打ち込まれていないスタッドレスタイヤ (和製英語) は、前述のM&Sタイヤに分類される。

5. 路面対策

5.1 テクスチャ

タイヤのグリップ力 (駆動または制動) が発揮されるためには、タイヤと路面とが直接接触することが重要である。それを阻害するのは、水や雪氷の存在である。

テクスチャの無いガラス板の間に存在する水に大きな圧力をかけ、排水しようとしても、それは不可能に近い。水膜を破壊するには圧力ではなく、テクスチャの存在が不可欠である。すなわち、濡れた圧雪や氷の上では、タイヤのグリップ力 (駆動または制動) が発揮されないのは、圧雪や氷にはテクスチャが無いことによる。

水膜を破るためのテクスチャは、マクロテクスチャとマイクロテクスチャに区分される。図 - 4 には、PIRAC による路面の波状特性による分類が示されている。マクロテクスチャは舗装表面における骨材大きさによる凹凸、マイクロテクスチャは骨材表面における凹凸を表

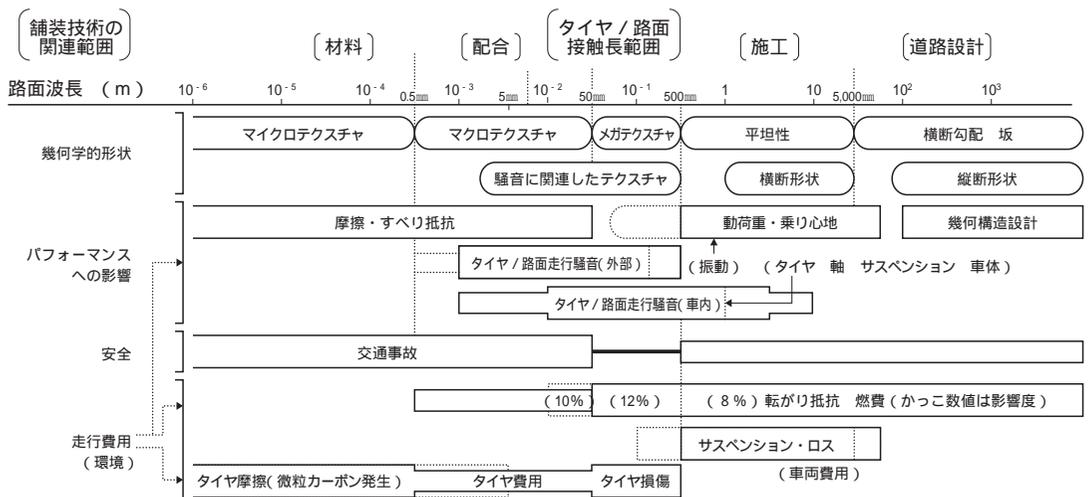


図 - 4 路面の波状特性についてのPIARCの分類¹⁾

している。マクロテクスチャは表層材料の粒度組成と表面仕上げに依存し、ミクロテクスチャは骨材の組成に依存する。骨材の表面はタイヤと接触することから、常に磨かれるが（ポリッシング）、骨材の組成が種々な硬度の鉱物からなる火成岩はミクロテクスチャを失わないが、石灰岩など単一の鉱物からなる骨材はミクロテクスチャを失う。表層に石灰岩を用いてはならない理由がここにある。

アスファルト舗装の新設またはオーバーレイ直後においては、骨材がアスファルトで被覆されていることから、ミクロテクスチャが出現せず、雨天時には極めて滑りやすいことに注意が必要である。

高速道路の料金所付近、一旦停止のある交差点部などでは、漫然とした運転に注意を喚起するために、路面に凹凸を施したり、線を描いたり、色調を変化させるなどの方策が取られている。

5.2 ポーラスアスファルトコンクリート

空隙率が20%程度のポーラスアスファルトコンクリートを用いた排水性舗装が、降雨時の安全性を高めていることは衆知の事実である。米国ではその層をOGFC（Open Grade Friction Course）と呼んでいる。同一降雨強度において、通常の密粒度アスファルトコンクリートに比較してポーラスアスファルトコンクリートが異なる点は、路面に滞水する水膜の厚さが薄いことと、路面がタイヤのトレッドと同じ働きを持っていることである。そのことを、前述の図-1に基づいて考えてみる。同一速度において、水膜の厚さが薄いことから面積Aが小さく、また面積Bも路面がタイヤのトレッドと同じ働きを持っていることから小さい。したがって、タイヤと路面が直接接している面積（C）が大きくなる。その差は、わだち掘れが生じている路面において顕著であると言える。

路面に滞水する水膜の厚さが薄いことが、自動車の前照灯、ネオンサイン、街路灯などの光の反射を押さえる効果を持ち、またタイヤによる水跳ね（Splash）や水煙（Water spray）の発生が抑制され、雨天時の安全性が極めて高いといえる。

5.3 グルーピング

グルーピングが施された路面（Grooved surface）は、ポーラスアスファルトコンクリートと比較して、排水抵抗が小さいことから降雨強度が大きい地域に施されるのが一般である。すなわち、同一雨量強度の場合、ポーラスアスファルトコンクリートに比し、グルーピングが施された路面の方が舗装表面水の水膜厚は薄

いことになる。路上のグルーピングには縦グルーピングと横グルーピングに分類される。縦グルーピングは、タイヤの縦トレッドと同様に進行方向安定に寄与することから、ジャンクションなどカーブで高速走行する場合に、横グルーピングは、タイヤの横トレッドと同様にタイヤのグリップ力（駆動または制動）を高めるために施される。横グルーピングのエッジ部で水膜を破壊し、ハイドロプレーニング現象を生じさせないように、わが国の民航空港の滑走路には全て施されている。

また寒冷地の道路や空港の誘導路では路面結氷を抑制する目的でグルーピングが施されている場合もある。

5.4 凍結抑制舗装

路面上に雪氷が存在することは、すべり抵抗が極端に小さいことを意味し、それに対処するため路面状況に見合ったタイヤを装着し、自己防衛を図っている。しかしながら、冬季における路面管理の基本は、舗装上の雪氷の排除であり、機械除雪が最も費用対効果の高い方法であることは広く認知されている。舗装表面に雪氷が一旦付着すると、雪氷の付着強度はそれ自体の強度より大きいことから、その付着を破壊させることは極めて困難となる。付着防止の観点から、凍結抑制舗装が施され、機械除雪を容易とさせることに有用性がある。凍結抑制舗装の機能が発揮されるのは積雪時であり、その他の季節においては紫外線・赤外線・降雨などにより、その機能劣化は避けられない。従って、晩秋において常にフレッシュな面が露出する工夫が求められよう。

6. すべり摩擦係数

タイヤが走行方向と同一方向に回転しているときに、タイヤに制動力を加えると走行方向に逆向きの摩擦力が発生する。この摩擦力とタイヤ荷重との比を縦すべり摩擦係数という。図-5に示されているように、縦すべり摩擦係数は走行速度と路面状況に依存している。

また、タイヤの周速度と車両の走行速度が一致している場合は、タイヤのすべり率は0、タイヤがロックしている場合にはすべり率は100%と定義される。縦すべり摩擦係数はすべり率に大きく依存し、湿潤状態においてすべり率が15~20%のとき縦すべり摩擦係数が最大となる。車両の走行方向とタイヤの回転方向に差が生ずるとタイヤに横向き力が発生する。このときの横すべり抵抗力とタイヤ荷重の比を横すべり摩擦係数という。

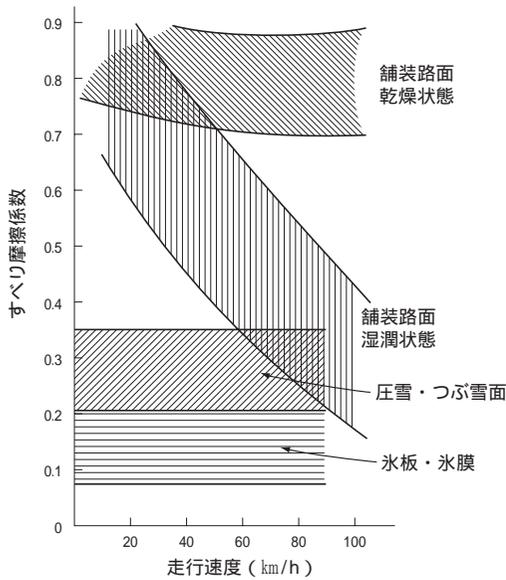


図 - 5 縦すべり摩擦係数²⁾

乗り物が直進運動から、旋回し始める場合には、何らかの向心力を作用させる必要がある。二輪車・鉄道・飛行機などが旋回する場合には図 - 6 に示されているように車体を傾けることにより、この向心力を得ている。

ハンドルを切るとどうして自動車は旋回するかとの質問に的確に答えられる人は少ない。それは、図 - 7 に示されているように、タイヤが進行方向から水平にわずかに角度（スリップアングル）を持つと、接地面（図 - 7 の灰色部分）がその方向に引き延ばされる。引き延ばされたゴム（弾性せん断変形）が元に戻るするので、タイヤに横向き力（コーナリングフォース）が発生する。このことは、路面に対するタイヤのグリップ力が確保されないと旋回ができないことを意味し、ゴムタイヤは重要な役割を担っている。すなわち、路面とタイヤとの間に、埃・砂・水・雪氷などの物質が介在するとグリップ力が確保されず、ハンドルを切っても直進したり、制動が効かなかったりするのである。

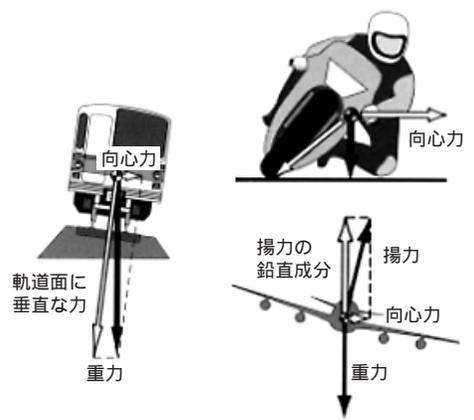


図 - 6 旋回に必要な向心力³⁾

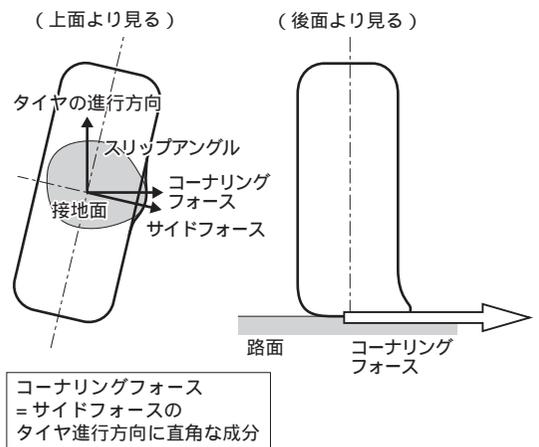


図 - 7 コーナリングフォース³⁾

7. まとめ

安全な舗装とは、すべり抵抗の高い舗装である。

参考文献

- 1) 舗装機能の評価法, 土木学会, 1992年5月, p5
- 2) 市原薫・小野田光之, 路面のすべりとその対策, 技術書院, 平成9年, p68
- 3) 家田仁・他, それは足からはじまった, 技報堂出版, 2000年, p102-106

樹脂系すべり止め舗装の現況と今後の展開

(Anti-skid Resin Pavement, today and Development)

筒井伸和*・増田真一**

樹脂系すべり止め舗装で代表されるすべり止め舗装について述べる。舗装路面の摩擦係数、またはすべり摩擦係数を高くして車両の制動距離を短くし、対象物への衝突を避ける、或いは衝突力を抑えて、交通事故の件数・程度を低減・緩和する手段は、現在では多くの交通安全対策の中で通常の方策として利用されている。すべり止め舗装全般、及び幾つかある樹脂系すべり止め舗装の系統、その機能・効果、利用方法、更に今後への展開について紹介する。

1. はじめに

すべり止め舗装の実用化は、かなり早くから着手されている。戦後道路網の整備が開始され、各種の産業・経済の興隆とともに、交通事故は、顕著に増加する展開となり、昭29年度を初年度とする道路整備5ヵ年計画の発足を追いかけるようにして、昭41年度から交通安全施設等整備事業3ヵ年計画が展開された。これに先立つ1955～57年頃米国、英国でシェル社の開発によるエポキシ樹脂を利用したすべり止め舗装が施工され、わが国では、昭36年（1961）阪奈国道に適用されている。交通事故の低減、交通安全確保の機能を発揮する樹脂系すべり止め舗装は、現在では耐久性の優れたカラー舗装の代表格として、景観、住環境の確保及び、ドライバーへの視認、誘導をサポートする機能を併せ持つ多機能手段として位置付けられてきている。

2. すべり止め機能

特定の重量を持ち移動している物体を、路面との摩擦力によって静止させようとするとき（図-1）、この物体を静止させようとする力（制動力F）と物体の重力（重力W）との比を、すべり摩擦係数（ μ ：ミュー）という。

$$\mu = F/W$$

μ が1.0のときは、重力と同じ制動力（すべり抵抗力）であり、氷結面上のように0.1程度のときは重力の1/10

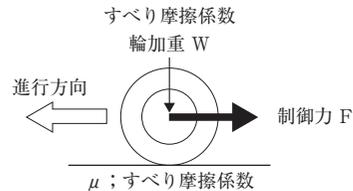


図-1 車輪の制動

のすべり抵抗力であり、きわめて小さい力で物体を移動させることが可能となり、滑りやすく危険であるということになる。

制動停止距離Sは次式で計算される¹⁾。

$$S = V_0^2 / 2 \cdot g \cdot \mu$$

ここで V_0 ：車両の走行速度

g ：重力加速度

μ ：すべり摩擦係数

実用上の計算単位では、

$$m = (\text{km/h})^2 / (254 \times \mu)$$

制動停止距離 (m) は、車両走行時速 (km/h) の2乗に比例し、すべり摩擦係数 (μ) に反比例する。すべり摩擦係数が2倍になると、制動停止距離は1/2になる。

すべり移動抵抗または抑制効果がすべり摩擦抵抗である。路面或いは、舗装表面形状のすべり摩擦抵抗についての研究は、昭40年代から平成初期にかけて、数多く行なわれている。

*つつい のぶかず 樹脂舗装技術協会 専務理事

**ますだ しんいち 樹脂舗装技術協会 技術委員長

表層混合物の種類，車両走行速度，供用後の交通量による影響などが調査され，開粒アスコンは密粒系より湿潤高速時のすべり摩擦抵抗の低下が少ない²⁾とされた。舗装表面を砂式粗さ計で0.1～1.1mmの範囲で平均きめ粗さを測定し，計測速度を変えてすべり摩擦係数が観察された。時速40kmではきめ粗さが変化してもすべり摩擦係数は0.6で変わらず，60kmではきめ粗さが大きくなるに従い0.50から0.55へ微増，80kmでは0.40から0.52と増加した。この結果から，時速80～100kmの高速では0.6mm以上のきめ粗さが必要³⁾としている。また別の報告では，時速40km付近の低速ではきめ粗さとの相関は低いという観察，20～60kmの範囲で，開粒，半たわみ性，密粒ギャップのすべり摩擦係数が0.8から0.5に低下するのに対して，エメリ骨材を配設した樹脂系すべり止め舗装は0.9から0.8と低下が少ないという結果⁴⁾などがある。

すべり摩擦抵抗の湿潤時の走行速度依存性は，タイヤ及び路面の特性にある。タイヤ側の要因は，粘着性とヒステリシスとされる。路面側の凹凸即ちテクスチャは，骨材表面の凹凸である0.5mm以下のマイクロテクスチャと，骨材の形状，配置に該当する0.5～50mmのマクロテクスチャとがある。マイクロテクスチャはタイヤの粘着性に関係し低速範囲で影響を及ぼし，マクロテクスチャは路面に溝を作るとともにタイヤのヒステリシスと関係し，高速範囲のすべり抵抗を左右する⁵⁾。

湿潤状態で高速になるとともにすべり摩擦係数が低下するのは，計測またはタイヤ走行の速度により，路面にある水膜厚が変化し，すべり摩擦抵抗を左右することによる。特定の大きさ以上のテクスチャをもつ路面では，タイヤ接触部分に介在する水の排出が速やかに行なわれ，水膜厚を最小限にし，路面とタイヤとの直接接触に近い状態となり，高いすべり摩擦抵抗を示す。凹凸度が小さく平滑に近い路面での湿潤高速状態では，路面とタイヤ間での水膜破壊が遅れ，路面とタイヤの直接接合度合いが小さくなり，すべり摩擦抵抗が低下する。

通常の樹脂系すべり止め舗装に使用されている着色磁器質骨材の粒径及び測定速度（時速相当）によるDFテスト読み取り値を図-2に示す。

粒径グレード	粒径範囲mm
B	1.0～0.5
A	2.0～1.0
A-1	3.3～2.0
A-2	5.0～3.3

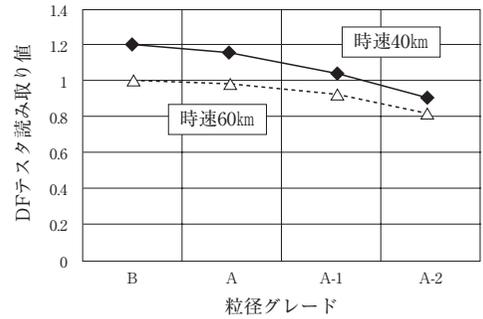


図-2 粒度，測定速度に依存するDFテスト読み取り値

3. すべり止め舗装の効果

昭46年の調査で道路種別，幅員，縦断勾配，曲線半径による事故件数の解析があり⁶⁾，直線道路での幅員が大きい場合事故率は小さいとしている。昭38年の警察庁交通局で安全施設を設けた1,000箇所での，対策前後各5ヶ月の事故調査結果がある。一覧を表-1に示すが，道路面の整備（すべり止め舗装）は事故減少率82.7%，踏切り事故対策を除けば効果順位第2位であり，事故対策有効性の高いことがわかる⁷⁾。

東京都では，交差点における事故が，全事故の半数に達していることに鑑み，主要12交差点に各種のすべり止め舗装を施し，施工前後各1年間，晴雨天候別の事故状況の観察を行い，ほぼ50%以上の事故減少率を得ている。表-2に代表的な事例を引用する⁸⁾。ここでは，すべり止め舗装の事故低減への効果を見ることが出来るが，すべり摩擦係数を見るとその変化が小さく，この範囲では管理手段としてやや難しく思われる。

表-1 昭38年各種安全施設の効果

安全施設設置1,000箇所設置前後5ヶ月事故状況

安全施設	事故件数		減少率 %
	対策前	対策後	
踏み切り事故の防止	90	3	96.6
曲がり角交差点の隅切り	155	11	92.9
道路整備（すべり止め）	544	94	82.7
ガードフェンス設置	533	97	81.8
障害物の撤去	313	64	79.5
街路照明、道路鏡	697	175	74.8
幅員拡幅、線形改良	131	37	71.7
歩道、横断歩道橋	690	239	65.3
交通規制	813	296	63.5
停留所移動、待避所	104	38	63.4
中央分離帯、警戒標識	114	44	61.4
信号機、横断歩道	1322	511	61.3
計	5506	1609	70.7

表-2 昭46年度東京都におけるすべり止め舗装の施工

主要交差点でのすべり止め舗装施工による事故低減効果

施工地点	すべり止め 対策	摩擦係数		事故件数		事故 減少率%
		事 前	施工後	事 前	施工後	
二重橋前	開 粒	0.37~0.43	0.48~0.52	44	21	52
夫婦坂	〃	0.45~0.46	0.46~0.49	9	2	78
仙寿院前	〃	0.45~0.50	0.49~0.51	7	5	29
大手門前	〃	0.42~0.46	0.50~0.52	21	8	62
坂下門前	グルーピング	0.43~0.45	0.43~0.48	21	8	62
目黒郵便局前	樹脂舗装	0.45~0.47	0.53~0.55	23	11	52

また樹脂系すべり止め舗装の施工実態について詳細が不明であるが、施工前に対して施工後のすべり摩擦係数は高い値になっているが、現在通常の樹脂舗装の例に見る状況からは、低過ぎる値である。

平3年には(財)国際交通安全学会から、交通事故低減への効果的施策の探査を目的として、関係道路管理者、公安関係からのデータ提出を求め、まとめられた資料が発表された⁹⁾。この調査の全容は、対象524地点、各対策前2年間で1,368件であった交通事故が867件/対策後2年間に減少。死者は1,661人から1,022人となった。殆どの施策は、事故の対策事前総数の標準偏差以下になり(表-3)、有効と判断されている。

高いすべり摩擦係数を持つ舗装面が連続している場合、車両の制動距離はすべり摩擦係数に反比例して短縮されるが、その実測された結果が報告されている。観測されたすべり止め舗装施工前後の路面の、ポータブルスキッドレジスタンステストの値(BPN)と走行速度を変えての制動停止距離が示されている(図-3)¹⁰⁾。

特定の粒径を配合し相応の厚みをもつ薄層すべり止め舗装は、居眠り防止対策として効果を発揮する。各地の高速道路において不定期的の間隔、または、三三七拍子のリズムを示す間隔で帯状に施工し、車両通過の際に軽い衝撃感をドライバーに与え、居眠り運転の防

表-3 路面改良による交通事故抑止対策

路面改良策	施 工 箇所数	各2年間	事 前		事 後		
			事 故	死 傷 者	事 故	死 傷 者	
段差舗装	86	事 故	256	165	死 傷 者	315	201
			256	165		315	201
グルーピング	14	事 故	63	61	死 傷 者	77	73
			63	61		77	73
すべり止め	108	事 故	196	132	死 傷 者	247	157
			196	132		247	157
減速標示	244	事 故	583	334	死 傷 者	693	383
			583	334		693	383
チャッターバー	45	事 故	180	89	死 傷 者	200	91
			180	89		200	91

止に役立っている。平10年の朝日新聞に、163箇所を設置された段差舗装により、設置前の623件の事故が353件に減少したと報じられている。図-4に代表的な施工箇所における事故低減状況を示す¹¹⁾。

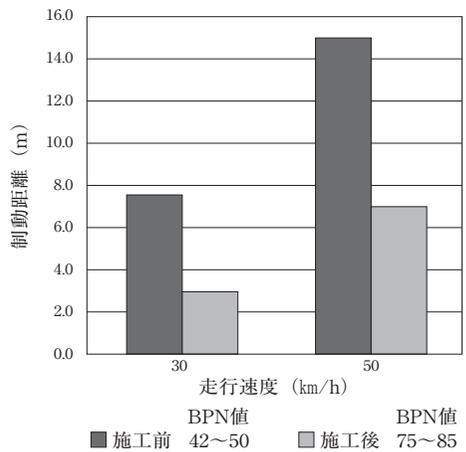


図-3 樹脂系すべり止め舗装による制動距離の短縮

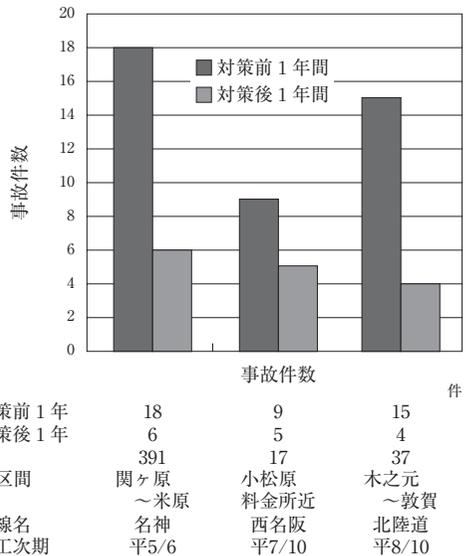


図-4 高速道路段差舗装の事故低減効果

4. すべり止め舗装の種類

路面を粗くしてすべり摩擦抵抗を得ようとする手段には各種あり、形成層の種類、骨材の粒度範囲、バインダの組成などから構成される。大別して舗装体系と表面処理系とがある。

○舗装体系は、厚みが30～50mmであり、路体表層自体にすべり摩擦抵抗を持たせるもので、次のようなアスファルト混合物及び工法からなっている。

- ・開粒度
- ・密粒度ギャップ
- ・排水性
- ・全部または一部に硬質骨材を使用する工法
- ・ロードアスファルト工法（碎石を圧入）
- ・グルーピング工法（平行溝により排水）

通常密粒アスファルト混合物に対する、上記混合物における骨材配合の粒度分布を図-5に対比する。示されている混合物配合における¹²⁾骨材の通過質量百分率範囲の中央値をとり、それぞれの篩目範囲に分布するものとして作図した。開粒度、排水性混合物が、密粒に比べて大粒径の骨材を図示している程度に多く配合していることがわかる。

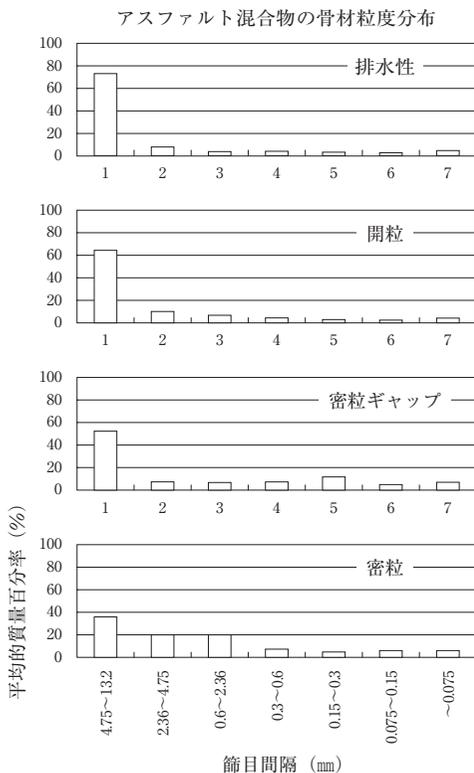


図-5 舗装体系すべり止め舗装の骨材粒度分布

○表面処理系（薄層舗装系）は、3～8mmの厚みであり、一般的には通常の表層の上に施工される。

- ・ニート工法
 - 熱硬化性樹脂
(エポキシ樹脂, アクリル樹脂)
- ・モルタル工法
 - エポキシ樹脂, アクリル樹脂
熱可塑性樹脂 (ロジン, 石油樹脂)
- ・主要別機能付随系
 - エポキシ樹脂, アクリル樹脂
熱可塑性樹脂 (ロジン, 石油樹脂)

ニート (neatであり, NEETではない) とは、モルタル (混ぜる, しっくい) に対比するような意味合いを持つ用語であり、骨材とバインダと分離して施工する手法を指す。本来、他のものと混合しない、生一本の、といった意味であり、ニートセメント、ニートレジンという用語もある。

この表面処理系では、これ自体の施工層の厚みもmm単位であることから、自ずと使用される骨材の粒径は小さいものとなる。0.1～5.0mmの範囲であり、前述のマクロテクスチャの中で微粒側に位置している。

先行した舗装体系すべり止め舗装に比べ、バインダに合成樹脂を用い、高温焼成によって調製される硬質骨材を利用する表面処理系は高価である。従って一般的には、前者は広域、長距離で利用され、後者は、曲線部、交差点および流入部、傾斜部など短距離、特定部分の利用が多い。

すべり摩擦はすべり易さへの抵抗であり、すべり摩擦抵抗測定ヘッドおよび車両タイヤ表面のすべり移動を抑制する抵抗は、その臨場における総合抵抗であることは間違いない。例えば、骨材の粒径大小が、骨材とタイヤ両物体表面の会合頻度（衝突頻度）を支配するとともに、総合絶対面積をも決定づける。実際に接触、すり合わせに預かるマイクロテクスチャ要素とともに、更なる現象やメカニズムの追求が必要と思われる。今までに観察されているところ、マクロテクスチャの範囲では微粒側、そして当然ながら鈍角よりも鋭角での接触が、高いすべり摩擦係数をもたらしている。先の2項“すべり止め機能”の欄で参照できる、開粒、半たわみ性、密粒ギャップに対する樹脂系すべり止め舗装の優位性がある。

舗装体系のすべり止め舗装は、舗装体最表面がすべり止め機能を有しているため、表面処理系すべり止め舗装に時に見られる層間剥離や、施工層の薄さからく

る耐久性の遜色はない。しかしながら最近では、それぞれの長短はあるものの、交通事故多発または誘発の恐れのある地点については、施工区域を限定してすべり摩擦係数の高い表面処理系が多用されるようになってきている。これは、表面処理系は絶対厚みが薄いため、注意喚起、誘導目的の施工部分への着色コストが抑制できるという側面的評価も加えられている結果と考えられる。

表面処理系すべり止め舗装の骨材の配合は、ニート工法と称する、樹脂接着層を下層に、骨材をその上層に配置する手段と、モルタル工法と呼ぶ、あらかじめ樹脂と骨材とを混合しておき、この混合物を舗装体の表面に敷設する方法とがある。

すべり摩擦係数は、表層が稜角をもつ骨材のみで形成されるニート工法がより高い。

表面処理系に使用される樹脂は、大別して、熱硬化系と熱可塑性とがある。

前者は硬化剤による、または加熱に基づく化学反応によって高分子化し、再度の加熱によっては、熱膨張により軟化することはあっても液状化することはない。

この熱硬化系には、アミン系、イソシアネート系の硬化剤と付加重合するエポキシ系樹脂、ウレタン系樹脂、及び過酸化合物によるビニル重合によって高分子化するアクリル系樹脂、ビニル系樹脂などがある。

後者の熱可塑性系は、施工の際加熱混合、冷却して固化し、供用された後、再び施工時と同程度の加熱にあうと、軟化を過ぎて液状化する。ロジン系樹脂、石油系樹脂、クマロン・インデン樹脂などがあり、常温で固形、高温で熱溶解する。

熱可塑性系の樹脂は高分子であっても熱硬化性樹脂のように3次元化されておらず、それだけ加熱による分子の自由度が大きいとされている。従って、供用時夏季の重車両通過による変形や、骨材捕捉力の低下は避け難い。反面供用までの冷却硬化時間は反応硬化型より短く、短時間施工に適している。

この表面処理系の重要な施工品質は、骨材の捕捉永続性と下地舗装体への密着耐久性である。

骨材捕捉性については、殆どバインダ樹脂の接着性に依存する。物理的な溶解接着より化学的または分子極性(CN基, OH基, NCO基等)による接着力が優位とされている。これは即ち樹脂の種類ということになる。

下地である舗装表面との密着耐久性は、硬化樹脂自体の粘弾性、舗装体層からの蒸発物による蒸気圧抵抗性、車両走行による接着機構破壊への抵抗、温冷サイ

クルの膨張・収縮に基づく物性劣化耐性などに支配される。実用的には、樹脂層自体の伸び率を高め、剛直性を抑制した可塑性技術、並びに舗装体アスファルトの高粘度化、硬質化に伴う蒸発物の低減、及び供用中の伸縮抑制と推定されるが、これ等の条件好転化に伴い、現在では剥離、膨れのトラブルは大きく減少している。

過去に観測されている着色磁器質骨材と熱硬化性樹脂エポキシ系及びアクリル系との接着強度は、それぞれ10~16, 4~13N/mm²であり、従前の密粒度アスファルト層の凝集破壊は、凡そ1.2~1.5N/mm²である。軽減したとはいえまだ時に発生する不正常な状態について、原因、現象のモデル化とともに長期の保証特性の設計指針を追及する必要がある。

主要別機能付随系とは、施工される樹脂系材料の本来の目的はすべり止めでなく、排水性舗装の構造補強、或いは排水性能や識別性能を損なわずにカラー舗装を施すに当り、当該部分のすべり止め機能を低下させることなく、むしろその施工とともにすべり止め特性を向上・強化させる機能を付与したものの一群をさす。0.5mm前後の微粒骨材を施工表面処理層の上層に散布する手段がとられている。結果として、すべり止め舗装と同様の手法をとることとなるが、当該主要機能を舗装体に付与する際に、すべり摩擦抵抗を低下させる事態を伴わせないようにしている。

表面処理系のすべり止め舗装は、事前の骨材の混合の有無(ニート方式/モルタル方式)、バインダ樹脂の硬化方式(熱硬化型/熱可塑性)、並びに樹脂種類(エポキシ、アクリル、ウレタン、ロジン等)及び施工方式(こて、レーキ、吹きつけ方式、特定アプリケーション方式等)の要素がさまざまに組み合わせられ、各種の工法、製品となっている。重要なことは、目的とする機能付与が均一に行なわれること、舗装路面の機能を低下させないこと、及びすべり止め機能を低下させず、強化させることと言えよう。

5. ニート工法の本質

この工法名の意味は、本来骨材とバインダとを分離させて施工することである。基本となっている仕様は、熱硬化性樹脂(エポキシ系、アクリル系)と、硬質骨材(エメリ「モース硬度8または9」、着色磁器質骨材「同7または8」)を使用することである。即ち、骨材の捕捉力、舗装面への接着力が大きく、骨材の耐磨耗性が強大であるため、長期の耐磨耗性を伴ったす

べり止め舗装面を提供できる。

加えて、各種、各所のすべり止め舗装のモデルパターンを整備し、標準工程、標準工数、材料の標準量を決め、これを工法規格としている。

5.1 施工断面

先に塗布された例えば1.4mm厚みの樹脂層に、上部から散布された骨材が重力落下しつつ樹脂を押しつけて配置交換する。粉碎骨材のかさ容積の約40%である空隙を樹脂によって充填された構造となっている（図-6）。

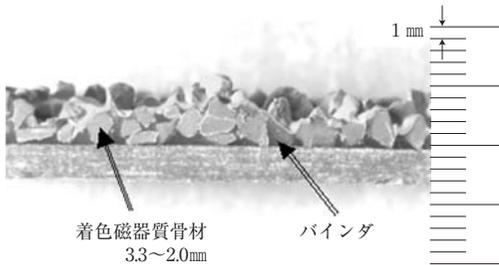


図-6 ニート工法の断面

5.2 摩耗耐久性

東京都内の交通量調査が行なわれている都道に、ニート工法が施工されたケースについて、供用後の摩耗進捗度合いを追跡した。

すべり摩擦係数測定器による測定とともに、樹脂系すべり止め舗装・ニート工法（以下ニート工法）の表面の鋭利な凹凸状態から、車両通過による摩耗を受けての平滑化への平面外観変化を、6段階の標準グレードとし、これと対比しながら、供用経過を追った。

標準グレードの作成については、約100枚の事例状況写真を摩耗程度によって6分割し、各グループの中から代表的な1枚を抽出し、各標準グレードとした。各標準グレードに近い施工現場でスキッドレジスタンステストによる摩擦抵抗の測定を行なった。ニート工法による処理層が、下地の舗装体表面が見える程までに摩耗損失した程度をグレード「0」、すべり摩擦係数が密粒系舗装のレベル近くまでに到達し、再度のニート工法による補修が必要と思われる状態にまで摩耗が進んだものを、グレード「2」と決めている。評価グレード6段階のうち、代表的な施工直後の「5」と、密粒度に近いすべり摩擦係数となる「2」を図-7に参照する。

評価グレードとBPNおよびDFテスト値との関係を図-8に示す。相関は小さくなく、目視による摩耗状

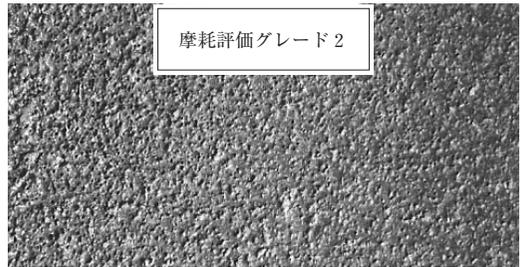
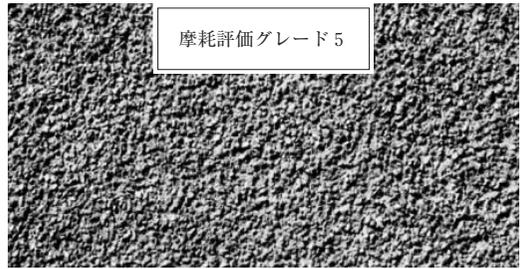


図-7 摩耗評価グレード「5」と「2」

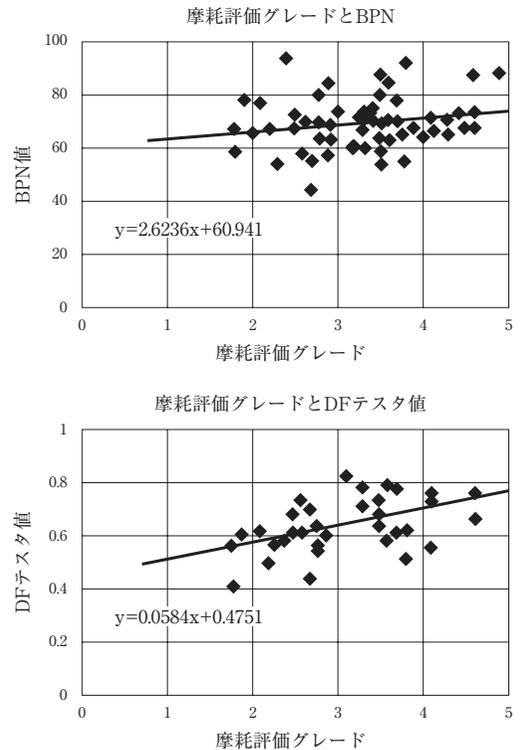


図-8 摩耗評価グレードBPN及びDFテスト値

態変化と摩擦抵抗の変化とは必ずしも一致しない、または、測定再現性に工夫が必要と思われる。

対象地点の摩耗グレードの評価は、数人の評価値を平均して決められる。

交通量調査の中から、大型車の通行量を算出、年間の休・平日及び、車線数、更に実道の平均的駐停車状況等を勘案して、月間、昼12時間、車線当りの大型車通行量を得た。これに、ニート工法施工後の経過月数を乗じ、施工後の大型車累積通行台数とし、更に夜間の交通量を昼間の0.3～0.5倍であると類推して、横軸にとった累積台数を副軸化させて読み取ることにした。

都内の供用追跡調査の中で、同じ地点の2～3年おきの観測を実施した事例を打点した。その結果、およそ夜間の通行量も推定加算して、施工後250～300万台の大型車が通過すると、施工直後評価「5」であったものが評価「2」を示し、すべり摩擦係数も密粒舗装に近い常態になるだろうことが把握できた(図-9)。

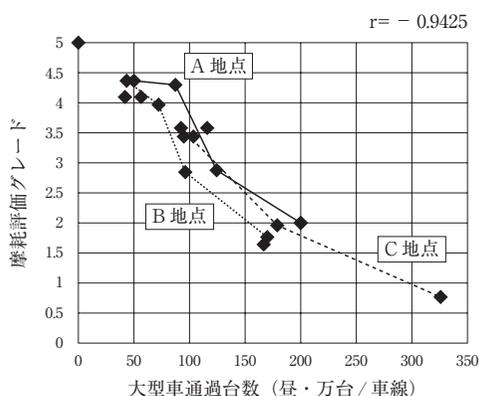


図-9 大型車通過台数と摩擦評価グレード

この標準グレード対比は、目視による官能判定であるが、標準写真パネルを用意して、判定が短時間で可能なこと、湿潤状態で測定するすべり摩擦係数または抵抗測定器は、ばらつき度合いが小さくなく、この方法による判定も相応の有用性を備えると考えている。

5.3 氷結面での観測

ニート工法施工表面に散水し氷結させてすべり止め係数を測定した。外観判断上、表面骨材の空隙凹部の1/3、2/3程度に相当すると思われるかさまで覆水し、-20℃のチャンパー内で氷結、DFテストで測定した。60cm角15mm厚みの合板パネルを使用した。ニート工法系は、覆水程度が2/3程度までであり骨材の頭部近くが露出していれば、ニート工法本来のすべり摩擦抵抗状態を維持している結果であった¹³⁾。当然のことながら十分な冠水氷結状態であれば、密粒度と同様に氷盤状態と同じ大変危険な状態になる。図-10にその様相を示す¹³⁾。

覆水に用いた水量 (ml)

覆水状態	1/3	2/3	3/3<	散水量
ニート工法	350	700	1,200	
密粒舗装	90	180	360ml /60cm角平面	

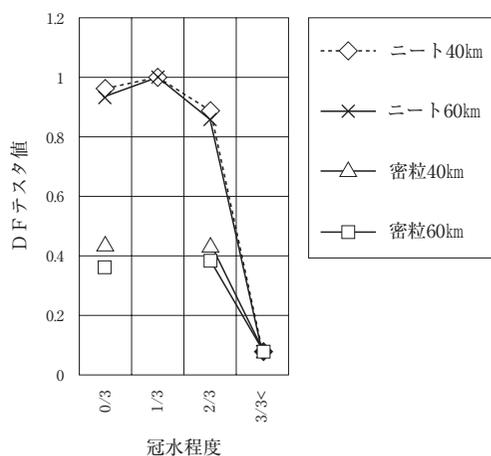


図-10 覆水氷結状態のDFテスト値

6. ニート工法による遮熱効果

生活環境改善及び放出CO₂量低減のため路面温度上昇を抑制する遮熱舗装が進められている。表面のテクスチャという形状による物理的な効果を狙うすべり止め舗装は、着色による識別、安全意識の喚起をも意図しているが、この着色効果において、明度を高くして太陽光反射の機能を付与させるべく検討した。

白色(酸化チタン)骨材の配合量による効果を確認した。路面へのすべり止め層としての施工効果による平滑性阻害から、実測明度は白色骨材の重量配合比に基づく平面での明度の上昇より、10～25%低くなる。通常密粒系、排水性系アスファルト舗装体の明度が20～25であるのに対し、高亮化したニート工法処理表面の実測明度は、50～65となった。このような操作によって無処理のブロック表面が55℃のとき、実測明度の上昇に従い、密粒系で9.8℃、排水性系で5.2℃の昇温抑制効果を得た(図-11)¹⁴⁾。

7. ニート工法のタイヤ/路面騒音の検証

住環境ならびに操車中の音響状況から車両走行騒音の抑制が求められ、排水性舗装(高機能舗装)の普及が進む。タイヤトレッド凹部への空気圧縮、これに続く開放破裂のポンピング効果を回避し、音を吸収する特有の空隙をもつ排水性舗装が、騒音低減に有効とさ

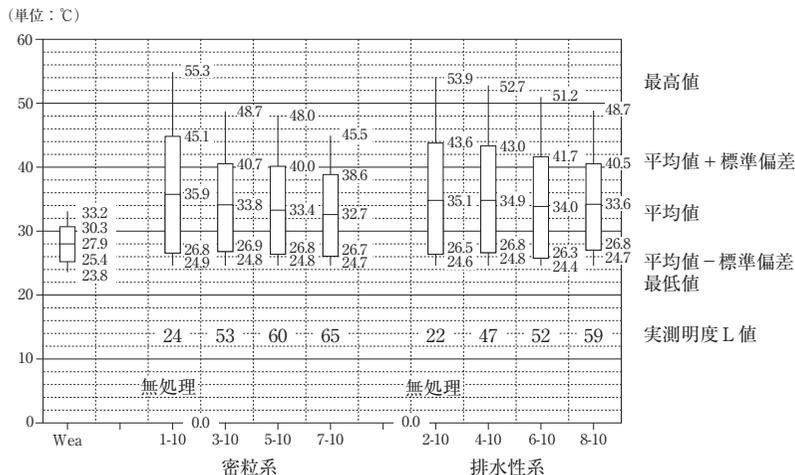


図-11 高強度ニート処理による路面温度低減分布
(平成15年8月21日~24日東京都江東区新砂)

れている。骨材の大きさに従う特有のテクスチャをもつすべり止め舗装にあって、走行振動を伴う程の大きさでない、マクロテクスチャからマイクロテクスチャにまたがる領域の骨材粒径に対し、タイヤのポンピング効果を弱めているのではないかと、また別に、段差舗装という手段をとるニート工法の走行騒音の実態はどうか、などについて把握するため、ニート工法処理の摩耗程度に沿ったタイヤ/路面騒音の調査を行なった¹⁵⁾。

総合的な結論として、排水性舗装ほどの有効な、密粒舗装に対する騒音低減効果はないが、ニート工法は密粒舗装と同等或いは若干下まわる騒音値が観察された。

各調査地点で、隣接する密粒舗装とともにニート工法について、ホイールハウス内にセットしたマイクロフォンにより、走行騒音を収録した。ニート工法処理

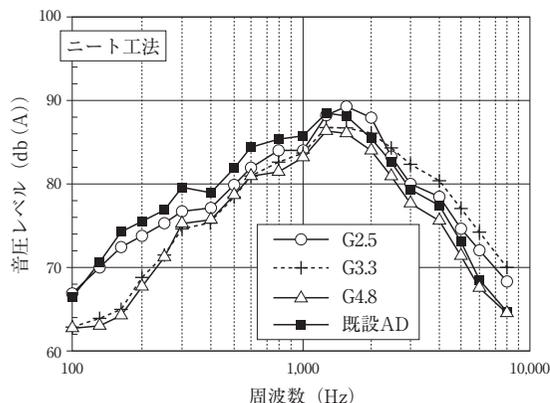


図-12A ニート工法の騒音周波数分布

部分は施工後の供用程度により、前述した摩耗評価グレード「4.8」から「1.0」の地点が供試された。同じ密粒舗装でも地点の違うサンプルによって93から95.5dB(A)のものがある。図-12Aに密粒舗装(既設AD)と対比してのニート工法の周波数分析カーブを示す。ニート工法舗装面上の騒音は、密粒に比べて、幾分高い周波数側にシフトしていること、及び施工後まだ稜角の摩耗が進んでいないサンプル(G4.8)は、摩耗の進んだものより全音圧レベルにおいて騒音エネルギーの幾分小さいことが

読み取れる。図-12Bに供試された路面の、CTメーターにより測定した路面粗さを示す。

居眠り運転を防止する段差舗装での周波数分析を図-12Cに示す。段差を乗り上げる瞬間に1~2dB(A)の騒音が増えられ、総合的な騒音値としては、既設密粒舗装が93.7dB(A)であるのに対し、ニート工法段差舗装では94.5dB(A)であった。

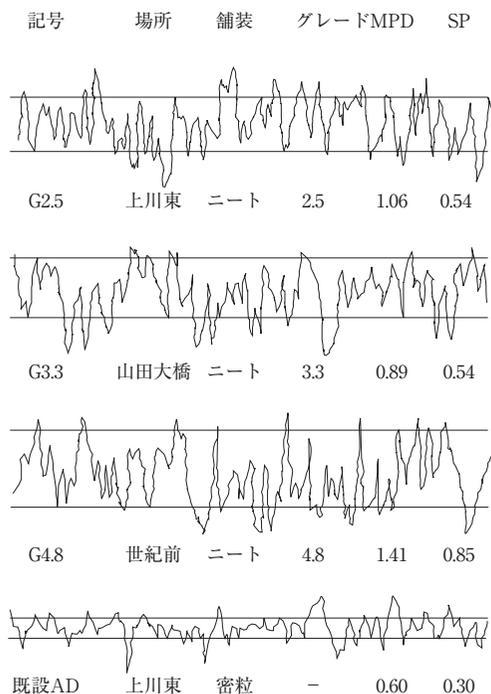


図-12B タイヤ/路面騒音試料の路面粗さ

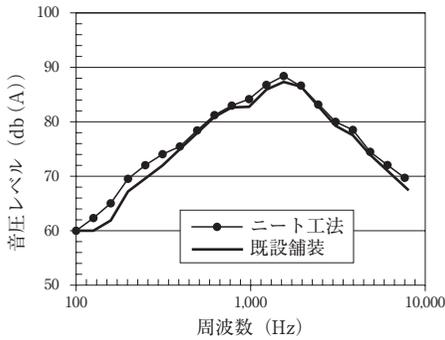


図-12C ニート工法段差舗装の騒音周波数分布

8. 排水性舗装へのニート工法の適用

排水性舗装上にニート工法処理を行なうことは困難であるとされていた。排水性舗装の空隙内部に樹脂液を浸透・硬化させる「排水性トップコート工法」、および透水性樹脂モルタルを排水性舗装表面の孔隙部に充填する「PRMS工法」は、ともに排水性舗装の構造補強を主目的としている。

前者では、表面に細かいC粒 (0.5~0.15mm) を散布してすべり止め機能をもたせている。また後者は、モルタル工法によるすべり止め機能を敷設しているものである。しかしながらこの2工法は、主目的を排水性舗装の骨材飛散、空隙つぶれ、空隙づまりの抑制にしている。

従前のニート工法を排水性舗装に適用しようとする場合、施工樹脂量が標準の2倍近くを必要とする、施工された箇所は排水性機能が消滅する、などの難点がある。一方排水性舗装においては、密粒舗装よりすべり摩擦機能は高いといえども、更に交通危険箇所においてより高いすべり摩擦機能を得る好適な工法が求められていた。

13mmトップの排水性舗装の表面に、塗布する樹脂量を変化させ透水量を観測したのが図-13である。単位面積当りの樹脂塗布量が増加すると透水量が低下するが、必要とされる排水性舗装の透水量の目安1,000ml/15sは、樹脂塗布量1㎡当り0.9~1.2kg付近にあることが判明した。

これを基本にして、散布する骨材の粒径、樹脂・骨材の1㎡当りの施工量を検討し、更に現場施工に適正な特性をもたせた樹脂による「排水性ニート工法」を考案、幾つかの実路試行を行い、透水量、すべり摩擦係数、施工層の状況推移を追跡、観測している。

通常のニート工法に比べ、単位面積当りの塗布量が

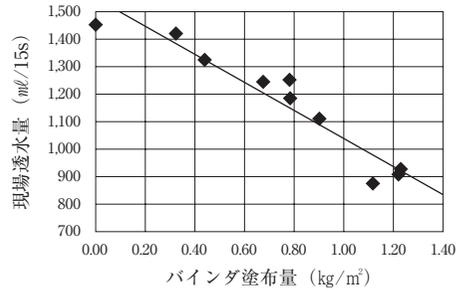


図-13 排水性舗装ブロック供試体上でのエポキシ樹脂塗布量と現場透水量

少ないため、同じような耐久寿命は期待できないが、これも大型車通過台数に対比させて経過を追っている。この排水性ニート工法は、塗布量が少なくなっていることからの、より均一な施工を行う技能・手法、これに基づく施工管理が求められる。

施工後、13、16ヶ月を経過して得たすべり摩擦係数を従前のニート工法のものに対比する(図-14)。

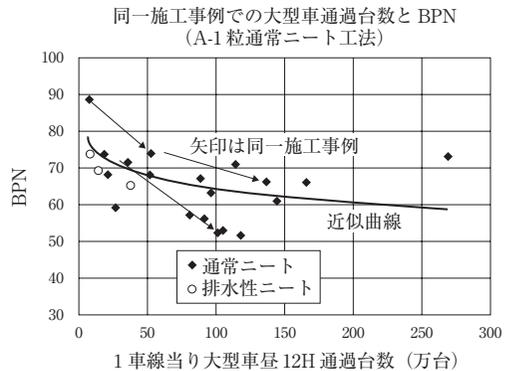


図-14 排水性ニート工法すべり摩擦抵抗の経過

9. 樹脂系すべり止め舗装(ニート工法)の経過

硬化剤反応型エポキシ樹脂の道路土木分野への応用開発が提案され、米英国での発祥、わが国への導入、高いすべり摩擦係数およびすべり止め舗装としての事故低減への有効性確認などの経過を経て、樹脂系すべり止め舗装(ニート工法)は、今ではわが国各所において有彩色のすべり止め舗装として認められ、利用されている。

昭49年に樹脂舗装技術協会が設立され、その後協会加入会員を対象に施工実績の集計が続けられている。施工面積および各用途向けの経過を図-15に示す。協会集計の施工面積は、平5年以降50~55万㎡を維持している。

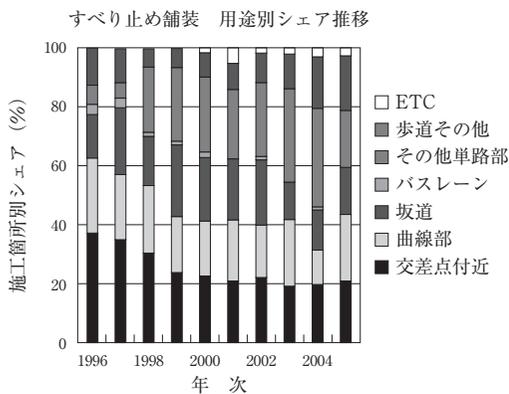
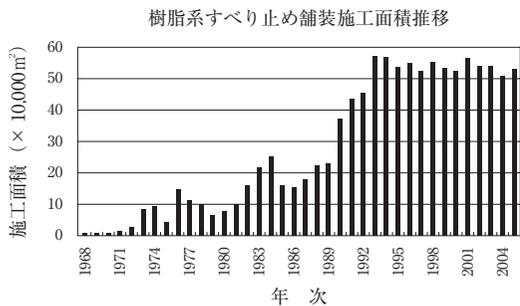


図-15 ニート工法の施工面積および用途別の推移

用途別では、交差点付近、曲線部、坂道が多く、最近では単路部も増えている。

10. まとめと今後の課題

すべり止め舗装は、降雨時或いは高速時にタイヤと路面の摩擦抵抗を密粒舗装に比べて高くし、制動距離を短くすることが出来る。傾斜部、曲線部、交差点流入部に多く使われているのも、この機能が利用されていることによる。

しかし近年ではこの機能だけでなく、ETCの青・白交互色の路線誘導、高速道路において走路変化の少ない部分の断続段差舗装による居眠り運転の防止、注意喚起、冠水に及ばない程度での凍結路面における側道転落防止、更に学校周辺地区での安全色施工による学童保護のように、すべり止め機能に識別機能等を加えて活用されている。

識別を発揮している彩色を、通常の塗料着色技術に基づく顔料でなく、内奥部まで同色に焼成されている着色磁器質骨材であることによる彩色長期耐久性も、重要な機能発揮の要因となっている。

薄膜であるために、高価な合成樹脂をバインダに利用し、長期耐久性に期待できる彩色性を持つことを基

本にして、高いすべり抵抗性だけに留まらず、識別、誘導、遮熱、制音、耐久、舗装体との機能調整、環境整備、ひいては道路インフラの総合的な機能向上、各個対応可能な機能制御という展望を組み込むには、絶好なスタンスに立つと考えたい。素材、設計、工法、機械化に更なる考案を取り入れて、より有用な“複合機能すべり止め舗装”に発展することを期する。

— 参考文献 —

- 1) 市原 薫, 小野田光之, 新訂版 路面のすべり (86) 技術書院
- 2) 南雲貞雄, 西谷 晃, 路面のすべり抵抗性と表層混合物, 土木技術資料12-12 (70) P9-13
- 3) 溝口 忠, 小野田光之, 路面の粗さとすべり抵抗, 土木技術資料13-6 (71) P21-25
- 4) 内田喜太郎, 田中輝栄, 各種舗装路面のすべり抵抗と騒音低減効果, 平2 都土木技研年報 ('90) P55-63
- 5) 安部裕也, 山本賢二, 斉藤和夫, 山之口浩, 舗装 34-11, ('99) 路面のすべり抵抗とテクスチャの関係に関する研究, P8
- 6) 栗本典彦, 荒牧英城, 土木技術資料16-7 (74), 交通事故と道路要因, P15-18
- 7) 蓑輪健二郎, 交通安全施設等の2, 3の問題, 道路1967-4, P8-10
- 8) 富田辨蔵, 都内交差点流入部のすべり止め試験舗装, 舗装8-7, (63), P18-23
- 9) 国際交通安全学会, 「交通規制と路面改良の組み合わせによる交通事故抑止対策に関する研究」(91)
- 10) 飯野忠雄, 山下規彦郎, 舗装9-7, (74) 首都高速道路の補修の一例, P14~17
- 11) 樹脂舗装技術協会「樹脂系すべり止め舗装」, ゼブラ薄層舗装の設置場所と交通事故低減効果(99) P48
- 12) (社)日本道路協会, 「舗装施工便覧」, (01) P92
- 13) (財)土木研究センター, 「ニート工法表面の氷結時摩擦係数」, (96)
- 14) 樹脂舗装技術協会, アスファルトブロック供試体におけるニート工法処理による遮熱効果の検討, 舗装40-8, (05), P15-19
- 15) 鹿島道路(株)技術研究所, 「樹脂系すべり止め舗装(ニート工法)における騒音測定(タイヤ/路面騒音)」, (05)

排水性舗装

(Drainage Pavement)

久保和幸*

1996年に「排水性舗装技術指針（案）」が発刊され、全国各地で排水性舗装が施工されるようになった。加えて、2001年の「舗装の構造に関する技術基準」の通達により、排水性舗装の機能や性能がそれまで以上に注目されるようになっている。本文では、排水性舗装と安全をキーワードとして、現段階の取り組み状況を取りまとめるとともに、これまでに得られている知見や課題についても整理して示した。

1. はじめに

排水性舗装とは、空隙率の高い材料を表層または表・基層に用いて排水機能層を形成し、雨水等を速やかに路面下に浸透させ排水させる舗装である。下層には不透水層を設けることから、路盤以下に水は浸透しない構造となる¹⁾(図-1)。排水機能層には、ポーラスアスファルト混合物を用いることが多く、その他の材料としてポーラスコンクリート等も検討されている。以下では、排水機能層にポーラスアスファルト混合物を用いた舗装を「排水性舗装」と定義して記述する。

1930年代にアメリカで初めてポーラスアスファルトが登場して以来、アメリカでは主に薄層のすべり止め舗装として、またヨーロッパでは主に低騒音舗装として広く普及している。我が国においては、1987年5月に東京都が環状7号線において初めて本格的な施工を

行い、国道では同年11月に一般国道171号で、高速道路では1989年7月に東北自動車道で施工されている。その後蓄積された多くの調査・研究の成果を受けて1996年に(社)日本道路協会から「排水性舗装技術指針（案）」が発刊されたことで、全国各地で幅広く施工されるようになった。直轄国道における各年度当初時点の排水性舗装総面積²⁾を図-2に示す。

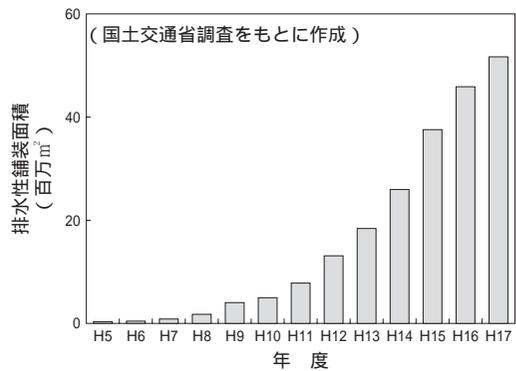


図-2 直轄国道の各年度当初時点の排水性舗装面積²⁾

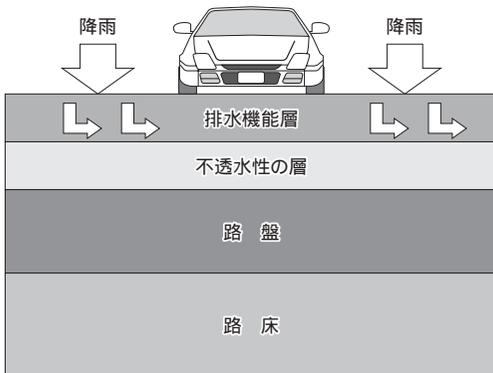


図-1 排水性舗装の構造例¹⁾

排水性舗装には、路面雨水排除機能によって雨天時の車両の走行安全性を向上させたり、騒音低減機能によってタイヤ/路面騒音を減少させたりする効果があることはよく知られるところであるが、本文では、安全に係る排水性舗装の機能・性能に着目して、現在の取り組み状況、これまでに得られている知見や課題を整理して示す。

*くぼ かずゆき 独立行政法人土木研究所 つくば中央研究所 道路技術研究グループ 舗装チーム 上席研究員

2. 排水性舗装における安全に係る機能

上述のとおり排水性舗装が有する機能には、路面雨水排除機能や騒音低減機能等がある。その中でも安全に係る機能と言えば、路面雨水排除機能であることは周知のとおりである。

これを踏まえて、現段階で明らかとなっている当該機能の性能あるいは効果を整理すると図-3のようであり、排水性舗装が雨天時の走行安全性において優れた効果を発揮するものであることがよく分かる。

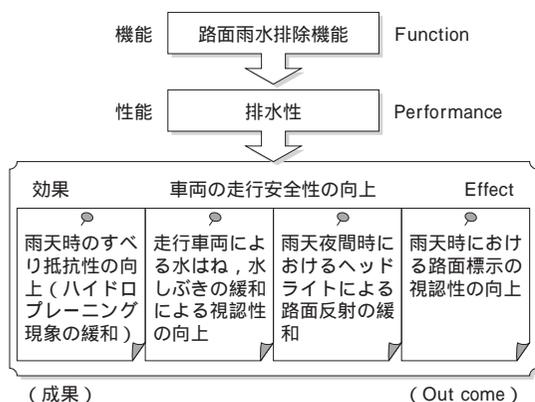


図-3 排水性舗装の機能と性能、効果

3. 安全性の確保・向上に向けた取り組みと課題

排水性舗装における安全性の確保・向上に向けた取り組みには、機能的なものや構造的なものがある。

一般に排水性舗装は、供用とともに空隙詰まりや空隙つぶれ、骨材飛散等が生じ、路面雨水排除機能が低下する²⁾(図-4)。その路面雨水排除機能を維持するための取り組みとして、①機能回復機器による排水機能の回復作業、②表面強化による対策、③高性能バインダの開発、などが行われている。

また、その他の検討として、④舗装構造の高機能化、⑤特殊乳剤による基層表面の遮水、⑥新しい混合物配

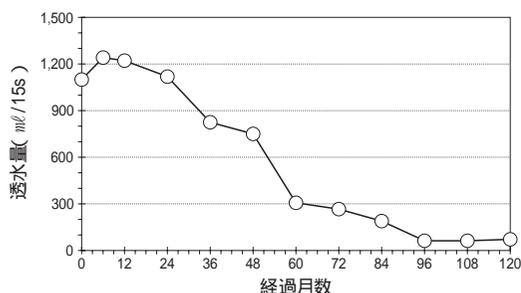


図-4 排水性舗装における透水量の経年変化の例²⁾

合の検討、⑦路面温度低減機能の付加、⑧路面凍結抑制機能の付加、なども行われている。

以下に、それらの検討の概要と課題を整理して示す。

3.1 機能回復

(1) 概要

排水性舗装の空隙詰まりに対する方策として機能回復機器による方法がある。機能回復機器の開発初期には、高圧水とバキュームを併用したものが主流であったが、最近では、洗浄効果を大きくして回収効率を高くするための高真空タイプの機器³⁾(図-5)や維持作業向けの高い作業効率を目指したトルネードタイプの機器⁴⁾(図-6)なども開発されている。

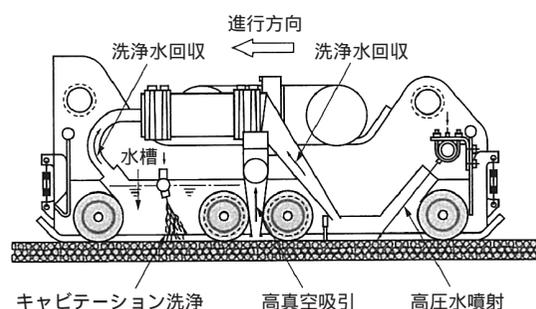


図-5 高真空タイプの機能回復機器の機構³⁾

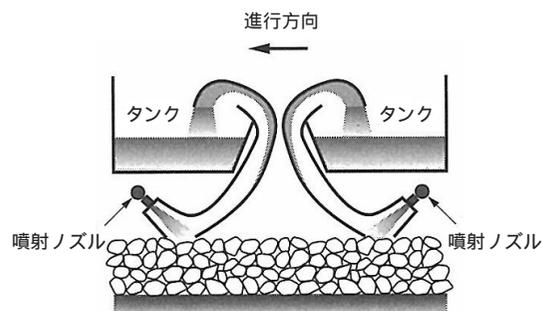


図-6 トルネードタイプの機能回復機器の機構⁴⁾

(2) 課題

空隙詰まりが軽度であれば、ほぼ初期性能に近い状態まで回復できるが、重度の場合には回復効果は期待できない。また、空隙つぶれによる排水機能の低下を回復させることはできない。

機能回復機器を有効に活用するためには、各路線条件に応じた、費用対効果を加味した機能回復作業の最適頻度を見出すことが必要であろう。

3.2 表面強化

(1) 概要

排水性舗装の骨材飛散や空隙詰まりの対策として舗装表面を強化する工法が開発されている。具体的には、表面に樹脂を塗布する方法⁵⁾(樹脂トップコート工法, 図-7),あるいは多孔質の樹脂モルタルを表面に配置する方法⁶⁾(透水性樹脂モルタル工法, 図-8)である。

樹脂トップコート工法とは、特殊なMMA樹脂を表面から散布・含浸させることにより、表面付近の骨材周囲に強固な樹脂硬化膜を形成させ、骨材間の結合力を補強しようとするものである。

透水性樹脂モルタル工法とは、樹脂バインダと特殊粒径の細骨材から成る透水性樹脂モルタルを排水性舗装の凹部にくさび状に充填することにより、表面骨材の動きを抑制するとともに、透水性樹脂モルタルのフィルター効果により、土砂等による空隙詰まりを抑制しようとするものである。

(2) 課題

表面強化による効果は認められているが、耐久性やそれに基づく費用対効果が明らかになっていないため、今後の継続した調査が必要であろう。

3.3 高性能バインダ

(1) 概要

積雪寒冷地、鋼床版舗装および小粒径排水性舗装などにおける課題を解決するために、骨材把握力などを

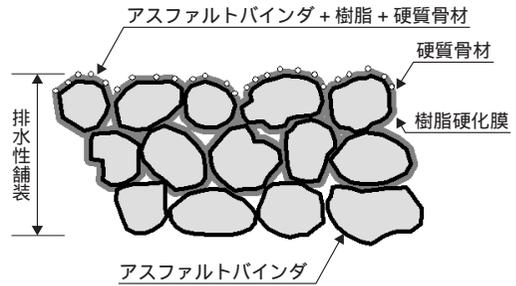


図-7 樹脂トップコート工法⁵⁾

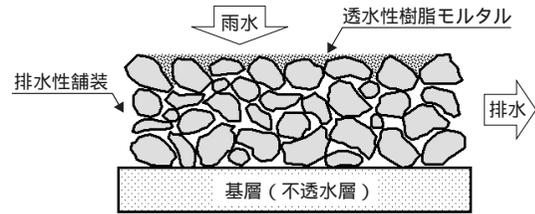


図-8 透水性樹脂モルタル工法⁶⁾

高めた特殊グレードのバインダが開発されている。現在市販されている改質アスファルトの種類と使用目的の目安⁷⁾を表-1に示す。また、表-1には記載されていないが、エポキシ樹脂入りバインダ(通称、エポキシアスファルト)の適用も行われている。

表-1 改質アスファルトの種類と使用目的の目安⁷⁾

	種 類	ポリマー改質アスファルト							セミプローンアスファルト	硬 質アスファルト	
		付加記号	I型	II型	III型	III型-W	III型-WF	H型			H型-F
混合物機能	適用混合物		密度度, 細粒度, 粗粒度等の混合物に用いる。I型, II型, III型は, 主にポリマーの添加量が異なる。					ポーラスアスファルト混合物に用いられる。ポリマーの添加量が多い改質アスファルト。		密度度や粗粒度混合物に用いられる, 塑性変形抵抗性を改良したアスファルト。	ゲースアスファルト混合物に使用される。
	主な適用箇所										
塑性変形抵抗性	一般的な箇所										
	大型車交通量が多い箇所										
	大型車交通量が著しく多い箇所										
摩耗抵抗性	積雪寒冷地域										
骨材飛散抵抗性											
耐水性	橋面(コンクリート床版)										
たわみ追従性	橋面(鋼床版)	たわみ小								(基層)	
		たわみ大								(基層)	
排水性(透水性)											

付加記号の略字 W:耐水性(Water-resistance), F:可撓性(Flexibility)
 凡例 :適用性が高い, :適用は可能, 無印:適用は考えられるが検討が必要

(2) 課題

排水性舗装用のバインダは、ある程度完成の域に達した感もあるが、交差点部などでの骨材飛散問題については解決されたとは言い難く、費用対効果に優れたバインダの開発が望まれている。また、今後は、新しく開発された多くのバインダの再生技術についても、併せて検討を進める必要があるであろう。

3.4 その他

3.4.1 舗装構造の高機能化

(1) 概要

排水性舗装下面の不透水層に適切な横断勾配を設け、走行路面横断勾配と排水路面横断勾配を別にするにより、走行安全性と排水性の向上を同時に図ろうとする舗装構造がある⁹⁾(図 - 9)。当該舗装構造では、路面の横断勾配を0%に近づけることが可能であり、バリアフリー対策、広場やイベント等に使用する道路などのユニバーサルデザイン化に寄与できるとされている。

また、排水路面に勾配を設けることで、雨水の排水量増大と滞水時間短縮を可能にし、安全で耐水性の高い舗装を提供することができるとしている。

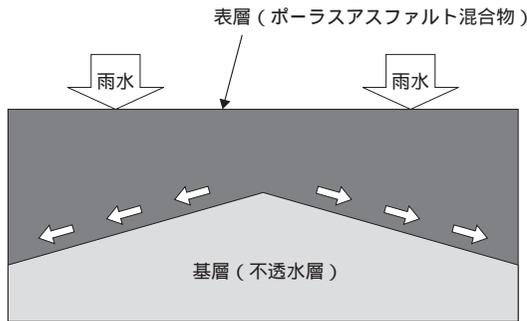


図 - 9 舗装構造の高機能化の例⁹⁾

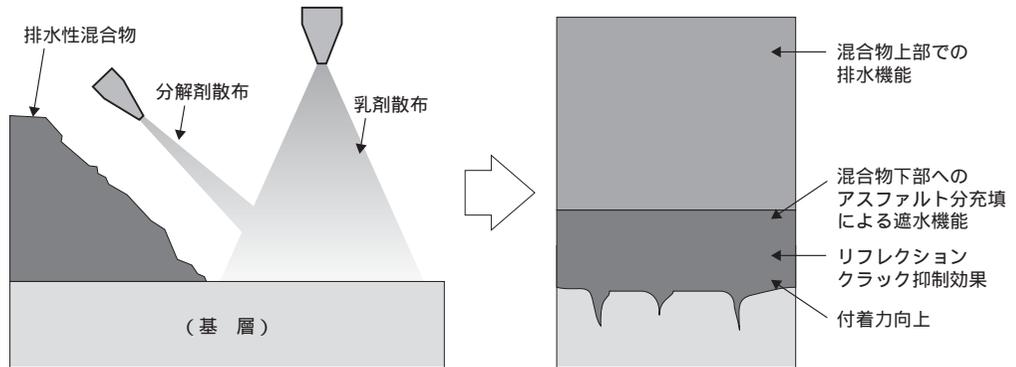


図 - 10 特殊乳剤による基層表面の遮水工法⁹⁾

(2) 課題

本技術は、これまでの発想を大きく転換したものであり、舗装のユニバーサルデザイン化に向けて有用な工法と思われる。今後は、従来の舗装構造との耐久性の比較が必要であろう。

3.4.2 特殊乳剤による基層表面の遮水

(1) 概要

当該工法は、乳剤散布装置付アスファルトフィニッシュャで、高濃度改質アスファルト乳剤を多量かつ均一に散布するのと同時に、排水性混合物を敷き均すというもの⁹⁾である(図 - 10)。これによって、排水性混合物層の下部に遮水層が形成され、浸透してくる雨水等から基層面を保護するとされている。

基層混合物のアスファルト皮膜のはく離によって排水性舗装が早期に破損する事例が報告されているが、当該工法の耐久性次第では、排水性舗装の延命化措置としても有用な手段となり得るであろう。また、既設の基層を有効に活用できれば、二層構築に比べてコスト縮減にも繋がる。

(2) 課題

本工法についても、長期的な効果の持続性については明らかとなっておらず、今後の適切な調査に期待したい。

3.4.3 機能性SMA¹⁰⁾

(1) 概要

積雪寒冷地における排水性舗装は、凍結融解による影響やタイヤチェーンによる路面の損傷などにより、機能低下が早いことが指摘されている。走行時の安全性(特に冬期)、騒音の抑制、耐久性(耐流動性、耐摩耗性、耐低温性、耐水性など)のいずれにも優れた混合物として開発されたのが機能性SMA¹⁰⁾である(図 - 11)。

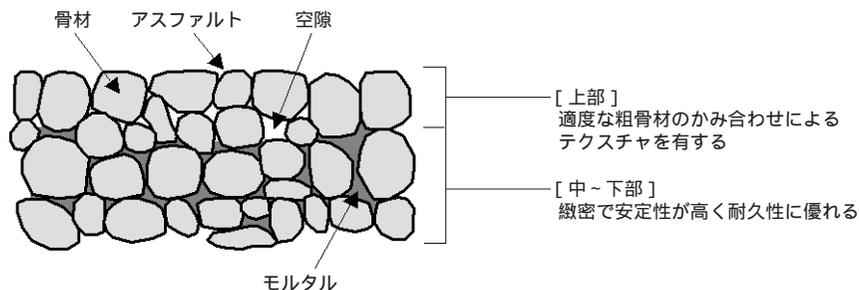


図 - 11 機能性SMA⁽¹⁰⁾

機能性SMAは、通常の表層厚さの中に、排水性舗装のキメ深さと不透水性を併せ持つことから、従来の排水性舗装に比べて、凍結防止剤や融雪剤の滞留時間が長くなるとも言われている。

(2) 課題

機能性SMAは、北海道を中心に数多く施工されているが、供用に伴う路面性状の推移については、現在調査段階にあり、今後の報告が待たれるところである。

3.4.4 路面温度の低減

(1) 概要

路面温度を低減する方策として、排水性舗装を母材とした遮熱性舗装⁽¹¹⁾(図 - 12)や保水性舗装⁽¹²⁾(図 - 13)がある。遮熱性舗装は、舗装表面に遮熱塗料を塗布あるいは充填するものであり、最近ではアスファルト混合物製造時に遮熱性材料を混合するものも開発されている。保水性舗装は、ポーラスアスファルト混合物の空隙に、吸水・保水性能を有する材料(保水材)を充填したものであり、それ以外にもセメントコンクリート系のものやブロック系のものも開発されている。

(2) 課題

開発されて間もない技術であり、これについても、効果の持続性や舗装としての耐久性、費用対効果については明らかになっていないことから、今後の継続した調査が必要であろう。

3.4.5 路面凍結の抑制

(1) 概要

排水性舗装における冬期路面のすべり抵抗性の低下を防ぐことを目的として、路面凍結抑制機能を付加した舗装がある。具体的には、排水性舗装にゴムチップを混入したりあるいは表面に配置したりするもの(図 - 14)で、より高い効果を期待してそれらに凍結抑制材を混入した舗装もある⁽¹³⁾。当該舗装を敷設することで、凍結防止剤の散布量が低減されれば、副次的に塩化物による環境への影響の低減も期待できる。

(2) 課題

凍結抑制効果は認められるものの、効果の持続性や舗装としての耐久性、費用対効果については不明な点もあることから、これについても今後の継続した調査に期待したい。

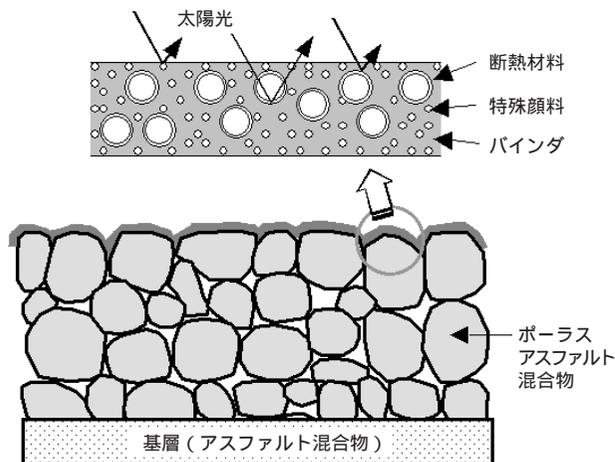


図 - 12 遮熱性舗装(塗布タイプ)⁽¹¹⁾

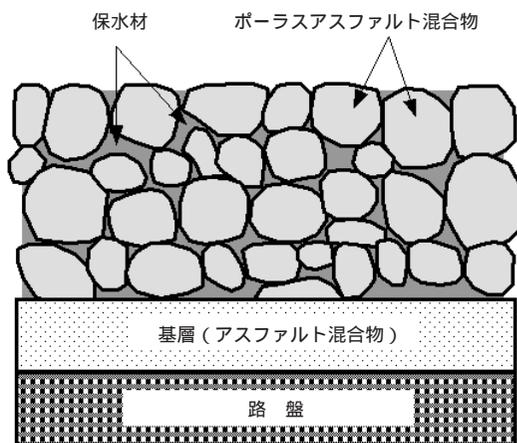


図 - 13 保水性舗装⁽¹²⁾

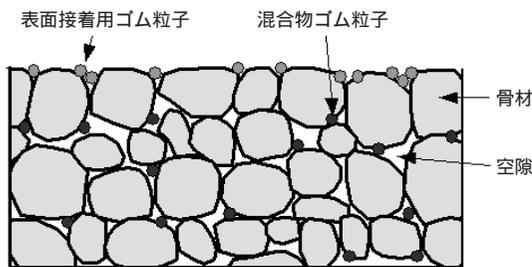


図 - 14 凍結抑制機能を付与した排水性舗装の例¹³⁾

4. おわりに

あるインターネットの検索エンジンで「舗装」,「安全」と入力して日本語のページを検索したところ約1,020,000件がヒットした。次に「舗装」を「排水性舗装」に換えて検索すると約224,000件がヒットし,舗装の中でも特に排水性舗装と安全の関係が広く認知されていることが窺い知れる。

今回,排水性舗装における安全性の確保・向上に向けた取り組み等について報告したが,舗装に求められ

るものは以前にも増して多岐にわたっている。車両が安全に走行できれば良いだけの舗装ではなく,環境保全に寄与できる舗装であったり,都市型洪水を軽減できる舗装であったり,そこには様々な要求がある。加えて,限られた予算の下で適切な道路整備を推進するために,道路舗装のライフサイクルコストを考慮したアセットマネジメントや効率的な維持修繕等も求められている。

それらに対処するためには,道路利用者に理解され,かつ信頼される舗装技術の構築が不可欠である。今回報告した技術・工法には長期的な耐久性の確認に課題が残るものが多く,試験舗装のような試行を通して有用性を整理して行くことも必要であろう。また,舗装の性能規定化をより推進するためには,性能の予測技術の精度向上が不可欠である。このような舗装技術の構築に伴って生じる諸課題の解決に向けては,産学官一体となった取り組みがこれまで以上に重みを増してくるであろう。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会,舗装施工便覧(平成18年版),2006.2
- 2) 小長井彰祐,新田弘之,久保和幸,西崎到:排水性舗装発生材のリサイクル,土木技術資料,2006.7
- 3) 岸幸雄,後藤春樹,鈴木信一郎:低騒音(排水性)舗装機能回復車の新型洗浄システムとその効果,舗装,2002.5
- 4) 勝敏行,斉藤徹,佐々木昌平,鈴木宏:高速型排水性舗装機能回復車の開発とその効果の検証,舗装,2004.11
- 5) 排水性トップコート工法研究会,排水性トップコート工法技術資料
- 6) 原富男,島原辰利,松野晃:透水性レジンモルタルシステム工法(PRMS工法)による排水性舗装表面の補強,舗装,2001.10,P.15
- 7) (社)日本道路協会:舗装設計施工指針(平成18年版),2006.2
- 8) 橋本修治:超高機能舗装について(舗装構造を工夫した排水性舗装),アスファルト合材,2005.7
- 9) 櫻野誠,井上彰,伊藤春彦,松村高志,松本大二郎:遮水型排水性舗装工法の開発~下層への遮水機能を兼ね備えた排水性舗装~,道路建設,2005.7
- 10) 市原和昭,早坂保則,森川友紀:排水性舗装のキメ深さを持つ積雪寒冷地用SMAの試験施工,第22回日本道路会議論文集,1997.12
- 11) 遮熱性舗装技術研究会:遮熱性舗装技術資料
- 12) 保水性舗装技術研究会:保水性舗装技術資料
- 13) 凍結抑制舗装技術研究会:凍結抑制舗装ポケットブック,2003.10

凍結抑制舗装の性能現況と冬期の交通安全

(An Effect for Road Safety of the Winter Season of Freeze Restraint Pavement)

中原大磯*・吉中保**・青木政樹***
林信也****・森嶋洋幸*****・山崎剛*****

凍結抑制舗装の施工実績は、平成17年度末までに累計で約560万㎡に達している。しかし、凍結抑制舗装の性能評価については、これまでのところ定性的な評価にとどまっており、その有効性を定量的に評価する方法については検討が始まったばかりというのが現況である。

本報では、「舗装と安全」といった観点から、現行の凍結抑制舗装の種類や期待される性能などを紹介するとともに、研究の著に就いたばかりではあるが「凍結抑制舗装技術研究会」で得られた最新の知見の幾つか、例えば定量的な評価が可能と判断された氷着強度試験方法（案）や当該強度とすべり摩擦係数との関係などについても紹介し、これらにより凍結抑制舗装が冬期交通の安全性確保に有効であること、および将来的な課題などについて概観することとした。

1. はじめに

我が国の積雪寒冷地域は国土面積の約60%を占め、総人口の約30%の人が住んでいる。この地域を中心に、降雪時には除雪作業を実施し、路面凍結が予想される際には凍結防止剤を散布するなどの措置が行われている。これに加えて更に道路交通の安全性を確保するために凍結抑制舗装が使用されている。

凍結抑制舗装は、路面の凍結遅延・防止を目的に開発された舗装である。我が国においては昭和50年代に海外から基本技術が導入され、平成2年に施行された「スパイクタイヤ粉じんの発生防止に関する法律」を契機に、当該舗装への取組みが本格化した。平成17年度までの施工実績は、累計で約560万㎡に達している。

一般に、車両が安全に走行するためには、路面との

すべり摩擦が確保されていることが重要であり、積雪寒冷期など路面に雪氷が固着した箇所が発生するとタイヤのグリップ力が低下して滑りやすくなり、その結果、走行安全性が低下する。凍結抑制舗装は、こうした現象に対処すべく氷点降下作用を有する材料を表層内に混ぜたり、ゴムなどの弾性材を舗装表面に配置することで雪氷の路面への固着を防ぎ、はく離を促進させる機能を付与した舗装である。

凍結抑制舗装の性能評価については、現在までのところ定性的な評価（例えば目視評価）にとどまっており、定量的な評価（例えば数値評価）については、凍結抑制効果を数値測定する時期の予測が難しいだけでなく、気象や現地の諸条件が絶えず変動するため再現性が極めて低いなどの理由により、確立するまでには至っていない。

*なかはら だいき 凍結抑制舗装技術研究会技術部会長
日本道路(株)技術研究所 主任研究員

**よしなか たもつ 凍結抑制舗装技術研究会評価法WG
長 (株)NIPPOコーポレーション技術研究所 主任研究員

***あおき まさしげ 凍結抑制舗装技術研究会評価法WG
大成ロテック(株)技術研究所 係長

****はやし しんや 凍結抑制舗装技術研究会評価法WG
鹿島道路(株)生産技術本部技術研究所 研究員

*****もりしま ひろゆき 凍結抑制舗装技術研究会評価法WG
前田道路(株)技術研究所 研究員

*****やまざき たける 凍結抑制舗装技術研究会評価法WG
世紀東急工業(株)技術研究所 研究員

そこで当研究会では、凍結遅延・防止などの凍結抑制効果を簡便かつ定量的に評価する方法として、「油圧式引張試験機を用いた氷着強度試験方法」の検討を進めている。本報では、これまでに実施した氷着強度試験による評価結果を示し、さらに冬期舗装路面のすべりモデルを構築して、氷着強度とすべり摩擦係数との関係を検討した結果などを示すこととする。

2. 凍結抑制舗装の性能評価

実路における凍結抑制舗装の評価は、一般的に、積雪寒冷期における路面露出率の測定や目視調査など、一般舗装との比較によって行われることが多い。しかし、上述したように実際には凍結抑制効果を測定する時期の予測が難しいことや、諸条件の影響を受けて路面の状態が変化しやすく安定した評価を行うことが難しいことなどのため、これまで実道で凍結抑制舗装の効果を詳細に調査した事例¹⁾は極めて少ない。

2.1 性能評価試験を確定するための留意点

凍結抑制舗装には大きく分けて化学系と物理系とがある。ここに化学系は、塩化ナトリウムなどの氷点降下作用を有する材料を表層内に含有して、それが舗装の空隙を通じて路面に徐々に溶出してくることで

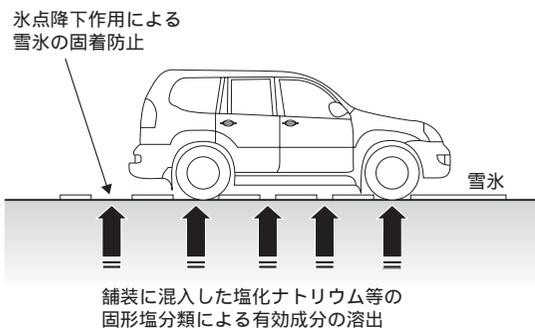


図 - 1 化学系凍結抑制舗装の効果の概念

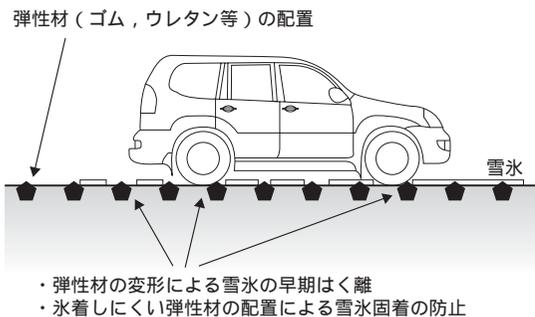


図 - 2 物理系凍結抑制舗装の効果の概念

雪氷との固着を防止する舗装であり（図 - 1）、物理系は、ゴムやウレタンなどの弾性材を舗装表面に配置したもので、走行車両の荷重で弾性材が変形することによる雪氷固着の防止、あるいは同弾性材の氷着度合いが周囲のアスファルト舗装よりも小さいことにより、雪氷のはく離や破碎を促進する舗装である（図 - 2）。

当研究会では、凍結抑制舗装の性能評価方法を確立するにあたり、両技術の凍結抑制概念が雪氷の固着防止という点で類似していると考え、氷着度合いを何らかの方法で把握することができれば、凍結抑制舗装の性能評価が可能になると考えた。したがって、比較的簡便で安定した評価ができるように油圧式引張試験機を基本にするとともに、治具に氷着のための簡単な加工を施して行う必要があると考えた。

なお、現地位置で評価することについては、試験可能な時期が冬期間の一時期に限られること、安全対策上からも測定のための交通規制は非現実的であること、さらには繰返し再現性のある安定した試験データを得ることは困難であることなどの理由により、現地で作製した供試体や切取コアを室内に持ち込み、低温環境下で試験を実施することが合理的と考えた。

2.2 氷着強度試験

氷着強度試験は、室内で作製したホイールトラッキング試験用供試体や、現地から採取した舗装の切取コア（直径15cm）を恒温室のマイナス5程度度の低温環境下に設置して、舗装表面に油圧式引張試験機の治具を氷着させた際の氷着強度を測定し、その強度の大きさによって路面の凍結抑制性能を評価しようとするものである。油圧式引張試験機と治具の設置方法を図 - 3に、試験条件を表 - 1に示し、試験手順を図 - 4に示す。

表 - 1 氷着強度試験条件

項目	試験条件	
試験機	油圧式引張試験機	
治具の加工	不織布	ニードルパンチ加工されたポリエステル製不織布、 $t = 5 \text{ mm}$
	接着剤	2液硬化型エポキシ接着剤、使用量約10g
氷着用の水	水道水（常温）	
不織布への吸水量	最大量	
氷着温度	-5 ± 1 （供試体表面）	
氷着養生時間	4時間	
治具の載荷荷重	4 kPa（治具と重り）	
鋼球質量	420g（標準）	
鋼球落下高さ	25cm	
落下回数	10回	
引張速度	13mm/min（ハンドル回転数60回転/min）	

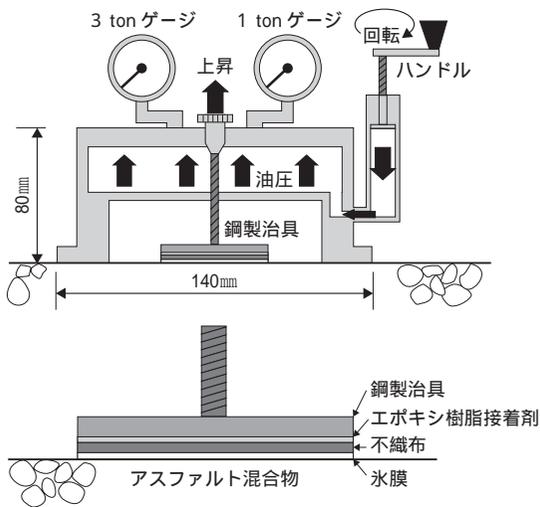


図 - 3 油圧式引張試験機と治具の設置方法

すなわち、図 - 3 に示すとおり鋼製治具の表面に貼り付けた不織布に水を含ませて舗装表面に設置して氷着させ、完全に氷着したのち交通荷重の作用を考慮して鋼球落下による衝撃を与えて（図 - 5）、油圧式引張試験機を治具にセットして氷着強度を測定する仕組みのものである。

2.3 凍結抑制舗装の評価結果例

当研究会の参加各社が保有している凍結抑制舗装15種類（化学系4種類、物理系8種類、物理化学系3種類）について、氷着強度試験を実施した結果を図 - 6 に示す。

同図より、各種の凍結抑制舗装は性能を発揮する材料や舗装の構造が細部でそれぞれ異なるため、化学系あるいは物理系のグループの中でも氷着強度は異なる結果となっている。化学系の氷着強度は0.07～0.39MPa（平均0.23MPa）、物理系では0.10～0.49MPa（平均0.33MPa）、物理化学系では0.22～0.35MPa（平均0.30MPa）であり、参考として試験した一般的な密粒度アスファルト舗装（13mm TOP）が0.78MPaおよびコンクリート平板が1.0MPa程度であるのに対して、平均では約42%以下、最も大きいものでも約62%以下の氷着強度となっている。このことから、路面上に雪氷がある場合、凍結抑制舗装は一般舗装よりも雪氷が固着しにくく、同程度の交通量がある場合には雪氷のはく離が容易に促進されて、路面が露出しやすい状態（写真 - 1）になることが明らかといえる。

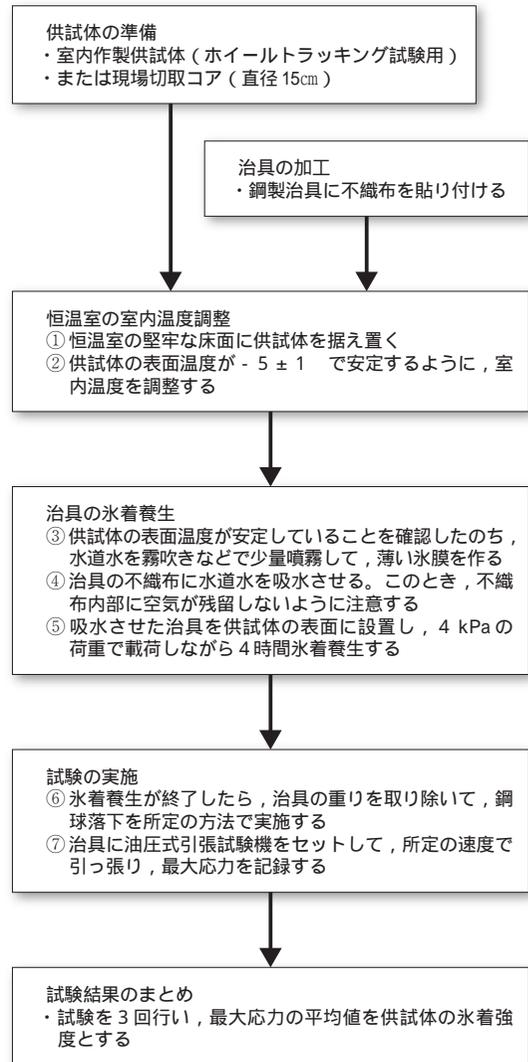


図 - 4 氷着強度試験の試験手順

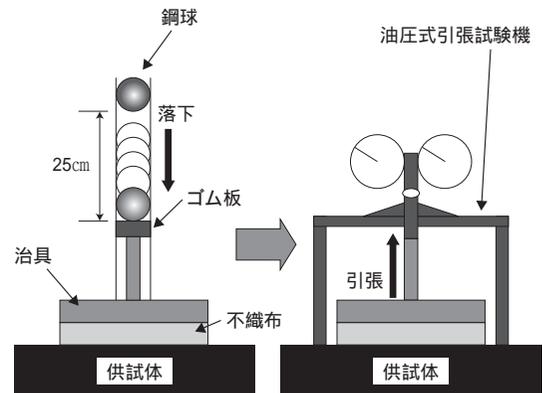


図 - 5 鋼球落下による衝撃の付与

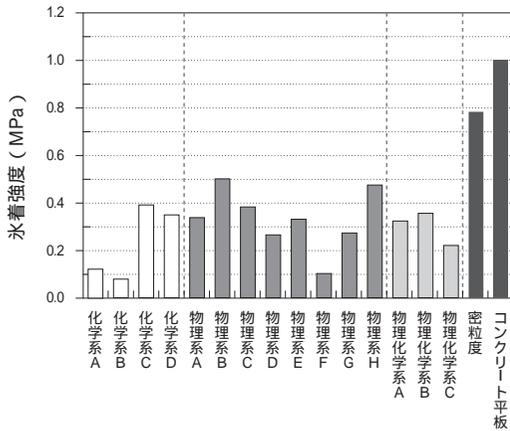


図-6 凍結抑制舗装の氷着強度



写真-1 凍結抑制効果による早期の路面露出

3. モデル構築による氷着強度と安全性の関係

道路交通の安全性を示す重要な指標に、路面のすべり摩擦係数がある。凍結抑制舗装は冬期道路交通の安全性確保を期待して導入されているものであるが、性能評価法として示した氷着強度と、すべり摩擦係数の関係については、理論的な関連付けがまだなされていない。そこで、ここでは凍結抑制舗装と冬期におけるすべり現象をそれぞれモデル化し、氷着強度とすべり摩擦係数の関係を考察することとした。

3.1 モデル実験による氷着強度と路面露出率の関係

凍結抑制舗装には化学系と物理系とがあるが、当該舗装をモデル化するにあたり、氷着強度と路面露出率の関係が示しやすい物理系を選択した。

物理系凍結抑制舗装のモデルは、アスファルト舗装（以下、アスファルト）の表面にゴムやウレタンなどの弾性材が所定量配置されていることを考慮し、図-

7に示すとおりとした。ただし、各材料単体での氷着強度は、当研究会の実験値より、弾性体が0.1MPa程度（ウレタンの例）、アスファルトが0.8MPa（密粒度舗装の例）と設定した。以上のことより、舗装に占める2つの材料の面積率を変化させて行ったモデル実験の結果は図-8に示すとおりであり、弾性材面積率が大きいほど氷着強度は小さい結果となった。

一方、雪氷が固着した道路に車両が通行する状況を想定すると、2つの材料のうち早期に雪氷がはく離して路面が露出しやすいのは弾性材の方であり、アスファルトのみの場合には露出しにくい。このことより、車両が一定量通過した時の弾性材の露出率が100%、アスファルトの露出率が0%であった場合には、路面露出率と弾性材面積率は等しいから、路面露出率から氷着強度を推定できることになる。

3.2 モデル構築によるすべりと路面露出率の関係

積雪寒冷期の路面状態は、状況によって乾燥したり湿潤化したり、あるいは圧雪や氷板が形成されるなど、時々刻々に状況が変化する。すなわち、走行する自動車のタイヤは、刻々とすべり摩擦係数が変化する路面に接触していることになる。ちなみに、図-9は湿潤

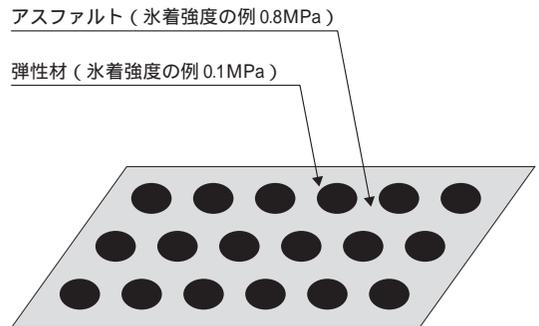


図-7 物理系凍結抑制舗装のモデル

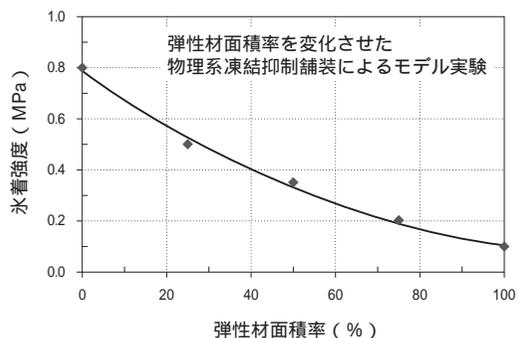


図-8 弾性材面積率と氷着強度の関係

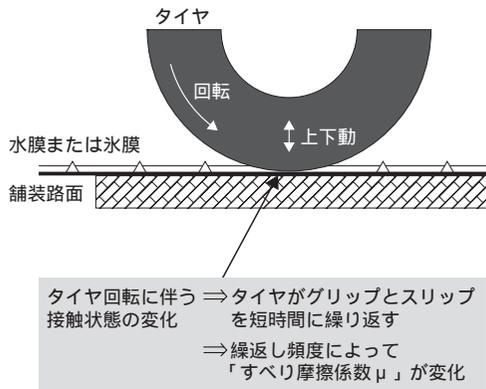


図 - 9 タイヤと雪氷路面との接触

モデル 1：凍結初期（湿潤が多い場合）

湿潤 $\mu_1=0.50$	氷膜 $\mu_2=0.05$	湿潤 $\mu_3=0.50$	氷膜 $\mu_4=0.05$	湿潤 $\mu_5=0.50$
$L_1 = 6 \text{ cm}$	$L_2 = 3 \text{ cm}$	$L_3 = 6 \text{ cm}$	$L_4 = 3 \text{ cm}$	$L_5 = 6 \text{ cm}$
$\text{合成 } \mu = \frac{\mu_1 L_1 + \mu_2 L_2 + \mu_3 L_3 + \dots}{L_1 + L_2 + L_3 + \dots} = \frac{9.30}{24} = 0.39$				
$\text{路面露出率} = \frac{(L_2 + L_4 + L_6 + \dots) \times \text{単位幅}}{(L_1 + L_2 + L_3 + \dots) \times \text{単位幅}} = \frac{18}{24} = 75\%$				

注)・氷膜 μ は DFT 実験値 (0.035 ~ 0.052) を参考に設定した。
・湿潤 μ は、アスファルトよりも弾性材の方が早期に路面露出しやすいことを考慮して、ウレタンの DFT 実験値 (約 0.5) を参考に設定した。

モデル 2：湿潤と氷膜の割合が同程度の場合

氷膜 $\mu_1=0.05$	湿潤 $\mu_2=0.50$	氷膜 $\mu_3=0.05$	湿潤 $\mu_4=0.50$	氷膜 $\mu_5=0.05$	湿潤 $\mu_6=0.50$	氷膜 $\mu_7=0.05$	湿潤 $\mu_8=0.50$
$L_1 = 3 \text{ cm}$	$L_2 = 3 \text{ cm}$	$L_3 = 3 \text{ cm}$	$L_4 = 3 \text{ cm}$	$L_5 = 3 \text{ cm}$	$L_6 = 3 \text{ cm}$	$L_7 = 3 \text{ cm}$	$L_8 = 3 \text{ cm}$
$\text{合成 } \mu = \frac{6.60}{24} = 0.28$							
$\text{路面露出率} = \frac{12}{24} = 50\%$							

モデル 3：凍結が進んだ状態（氷膜の割合が多い場合）

氷膜 $\mu_1=0.05$	湿潤 $\mu_2=0.50$	氷膜 $\mu_3=0.05$	湿潤 $\mu_4=0.50$	氷膜 $\mu_5=0.05$
$L_1 = 6 \text{ cm}$	$L_2 = 3 \text{ cm}$	$L_3 = 6 \text{ cm}$	$L_4 = 3 \text{ cm}$	$L_5 = 6 \text{ cm}$
$\text{合成 } \mu = \frac{3.90}{24} = 0.16$				
$\text{路面露出率} = \frac{6}{24} = 25\%$				

モデル 4：かなり凍結した状態（氷膜が多い場合）

氷膜 $\mu_1=0.05$	湿潤 $\mu_2=0.50$	氷膜 $\mu_3=0.05$
$L_1 = 9 \text{ cm}$	$L_2 = 3 \text{ cm}$	$L_3 = 12 \text{ cm}$
$\text{合成 } \mu = \frac{2.55}{24} = 0.11$		
$\text{路面露出率} = \frac{3}{24} = 13\%$		

図 - 10 雪氷路面のすべりモデル

と滑りやすい氷膜が混在している路面上をタイヤが高速で回転しながら通過する状態を模式的に示したものであるが、もし上記 2 路面の混在の頻度あるいは比率がわかれば、当該路面の平均的なすべり摩擦係数が推測できることを示したものである。

ここに図 - 10は、湿潤と氷膜の出現パターンが異なる 4 種類（凍結初期～かなり凍結した状態までを想定）の雪氷路面の、それぞれの平均的なすべり摩擦係数（以下、合成 μ）を求めたものである。また図 - 11は、図 - 10のモデル 1 から 4 で得られた合成 μ と路面露出率の関係を示したものである。同図より、当然のことながら、路面露出率が高いほど合成 μ が大きい結果となっている。

3.3 氷着強度とすべりの関係

図 - 12に、弾性材面積率（路面露出率）と氷着強度の関係（図 - 8），および路面露出率と合成のすべり摩擦係数の関係（図 - 11）から得られた、氷着強度とすべり摩擦係数との関係を示す。同図より、両者には反比例の関係があり、氷着強度が小さいと路面のすべり摩擦係数は大きいことが分かる。

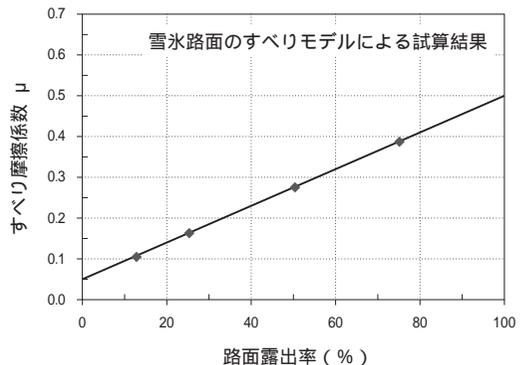


図 - 11 路面露出率とすべり摩擦係数 (合成 μ) の関係

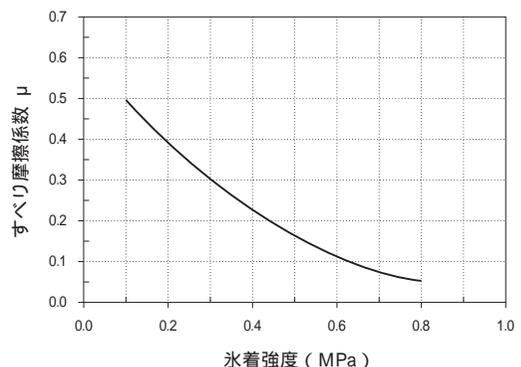


図 - 12 氷着強度とすべり摩擦係数の関係

以上のように、雪氷路面のすべりモデルを構築して検討することによって、氷着強度とすべり摩擦係数との関係がほぼ明らかになったが、今回示したのは湿潤と氷膜のみのパターンによる簡易モデルであり、実路に見られる複雑な路面変化や、タイヤと路面間の接触状態(例えば有効接触長)などを考慮すると、正確性に欠けると言わざるを得ない。しかし、凍結抑制舗装による第一の効果が、氷膜形成によるすべり摩擦係数の低下の回避にあるとすれば、簡易モデルとしての妥当性は高いと考えられる。換言すれば、凍結抑制舗装の性能評価に関し、これまでは定性的評価を越えることは少なかったが、今後は現場の切取コアなどにより路面の氷着強度を把握し、精度の高いモデル解析によってすべり摩擦係数の概略値が予想できるようになれば、冬期道路の安全性確保について、より有効な対策を講じ得ることになると期待できる。

4. まとめ

本報をまとめると、次のとおりである。

- ・凍結抑制舗装技術研究会が見出した「氷着強度試験方法」は、舗装路面に固着した雪氷のはがれにくさ(氷着力)を定量的に評価できるだけでなく、精度と再現性にも優れた試験方法である。
- ・氷着強度試験による氷着強度は、雪氷路面のすべりモデルにおける数値解析から、舗装路面のすべり摩擦係数と高い相関関係にあること、したがって冬期の交通安全確保を目的とした凍結抑制舗装の性能評価に有効であることがわかった。
- ・氷着強度試験により各種の凍結抑制舗装の性能を評価したところ、氷着強度は0.07～0.49MPaと差があることがわかった。しかし、一般的な密粒度アスファルト舗装に対して平均では約42%以下、最も大きいものでも約62%以下の氷着強度であることから、凍結抑制舗装は冬期の交通安全確保に有用であることがわかった。
- ・氷着強度試験は、氷着力を評価する試験であるため、凍結抑制舗装の種類(化学系と物理系)を問わず適用可能である。

- ・氷着強度試験は、雪氷路面のすべりモデルの高度化(例えば交通条件の組込み)により更なる改善が必要である。

5. おわりに

これまでの凍結抑制舗装の性能評価は、路面露出率の測定や目視調査など一般舗装との比較(定性的評価)によって行われることがほとんどで、効果を測定する時期の予測が難しいことや、積雪寒冷期の路面状態が変化しやすく安定しないなどの理由により、詳細な調査事例は極めて少ないのが現状であった。

ここで示した氷着強度試験は、当該舗装の現地評価の難しさを解決して定量的評価を可能にするものであり、現地で作製した供試体や切取コアを室内に持ち込み試験することで、年間を通じて安定した性能評価を行うことができる。

さらに本報では、雪氷路面のすべりモデルを構築して検討を行った結果、氷着強度とすべり摩擦係数との間に関連性があることを示した。すなわち、氷着強度を把握することで、冬期道路交通の安全性評価の可能性を示しているといえる。

今後、精度の高いモデル解析を行い、すべり摩擦係数の概略値が予想できれば、安全性を確保するための有効な対策を講じていくことが可能となり、凍結抑制舗装の一層の活用を期待するものである。

なお、当研究会は当該技術の向上と普及、性能評価方法の確立などを目的として平成8年7月に設立され、現在、下記13社により構成されている。

大林道路(株)、(株)ガイアートT・K、鹿島道路(株)、(株)佐藤渡辺、世紀東急工業(株)、大成ロテック(株)、東亜道路工業(株)、日本道路(株)、(株)NIPPOコーポレーション、福田道路(株)、前田道路(株)、(株)エムアイテック、北海道技建(株)(順不同)

参考文献

- 1) 細井和生, 青木政樹, 砂田良和: 凍結抑制舗装の機能評価と評価法の検討, 第10回北陸道路舗装会議技術報文集, pp.398~401, 2006.6

トンネル内舗装と照明方法

(Pavement and Lighting Method in Tunnel)

神谷 恵三*

トンネル内の安全性確保として、道路ユーザーの視点による「見えやすい」というニーズを追求することは非常に重要であると考えられる。ここで注意すべきことは、トンネル内の視認性は路面の輝度だけでなく、空間内における視覚対象物とその周囲のコントラストでとらえるべきという考え方である。

本報告は、トンネル内にアスファルト舗装を採用した場合でも照明方式の工夫により、視環境は改善されるという事例を紹介するものである。

1. はじめに

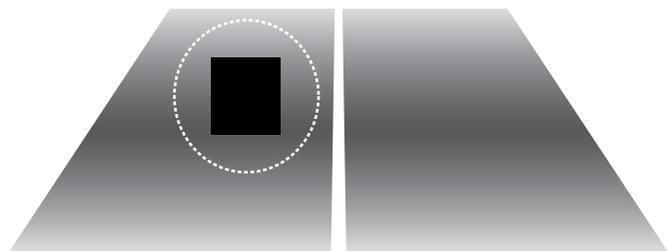
トンネルの延長がある程度長い場合、その内部に採用される舗装は、耐久性の確保や、照明費用の低減を図るという目的から、コンクリート舗装を採用されることが一般的である。

耐久性については、コンクリート舗装の設計期間がアスファルト舗装よりも長いこと、またトンネル内照明のランニングコストについては、高い路面輝度を提供するコンクリート舗装の方が有利であることは明らかである。しかしながら、耐久性はさておき、後者の視点は、道路管理者の管理コスト縮減には直結するものの、道路ユーザーであるドライバーにとっての「見えやすい」というニーズに直結するかについては、やや疑問である。これは、トンネル内の視認性は路面だけでなく、空間内における視覚対象物とその周囲のコントラストでとらえるべきという考え方¹⁾による。

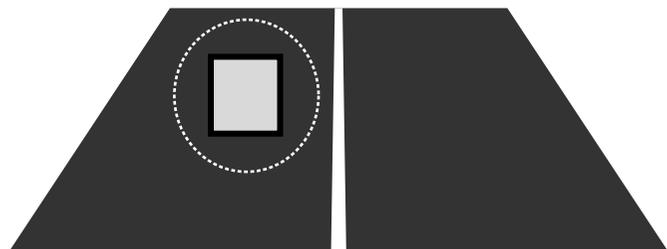
図-1はシルエット視と逆シルエット視の例を示している。照明されている道路が明るい背景となり、先行車との間に輝度差が生じることにより、障害物の存在を確認する方法をシルエット視という。逆に、背景を明るくせずに障害物を明るくして背景との輝度差

を生じさせる方法を逆シルエット視という。図-1に示した両図は、共に先行車を見えやすくしていることが分かる。つまり、路面輝度だけではなく光の当て方(照明方式)を工夫することにより、トンネル内の視認性を改善することは可能であると思われる。

本文は、トンネル内にアスファルト舗装を採用した場合でも、照明方式の工夫により、視環境は改善されるという事例を紹介するものである。



シルエット視の例



逆シルエット視の例

図-1 シルエット視と逆シルエット視の例

*かみや けいぞう NEXCO中央研究所 道路研究部 舗装研究室長

2. トンネル照明設備について²⁾

トンネルの照明設備はトンネル内に障害物や故障車等走行の障害となる物体をドライバーが見つけ、安全に走行できる明るさを作り出すことを目的としている。ドライバーが安全に走行するためには、障害物を見つけた後、ブレーキやハンドル等の操作を行う必要があるが、走行速度が大きくなると同じ操作時間でもより多くの距離を進むことになるので、より遠くから障害物が見えなければならない。

障害物の視認性を高めるためには、トンネル内を明るくすると効果的であるが、トンネル断面積が大きくなると、照明する範囲が広がるので、より多くの照明設備が必要となる。

また、照明は見え方によっては眩しさを感じたり、走行中に明暗リズムが発生すれば不快感を感じたりすることがあるので、快適性にも配慮する必要がある。

清水第三トンネル（上り線）は、第二東名高速道路のうち最初に貫通したものである（図 - 2、写真 - 1）。トンネル内に設置される照明設備、非常用施設、喚起設備は超大断面の影響を大きく受けることから、これらの検証実験が行われた。このうち照明設備については、安全で快適な走行環境を実現すると共に、建設・管理コストも意識した最適な照明手法を見出すことを目的として、特に「光の当て方」に注目して各種実験が実施された。舗装については、明かり部との連続性確保の観点から高機能(排水性)舗装が採用されていた。



写真 - 1 清水第三トンネル位置図



図 - 2 清水第三トンネル位置図

3. トンネル照明実験²⁾

清水第三トンネルの実験では、照明方式と灯具取り付け方式等についての実験を行った。

(1) 照明方式

照明方式は、光を照射する方向を進行方向に対して以下の3種類を設定した。

- ①対象照明方式（直角）
- ②プロビーム照明方式（前方）
- ③カウンタービーム方式（後方）

従来、高速道路のトンネルでは明るさや物の見え方が平均的な対象照明方式が採用されていたが、路面と障害物のコントラストが取りやすいプロビーム照明方式やカウンタービーム照明方式を試行した。これらのイメージを図 - 3 に示す。

(2) 灯具取り付け方式

灯具取り付け方式は、広いトンネル断面を効率的に照明できる手法を検討するために、以下の取り付け方式とした。

- ①トンネル壁面に斜めに取り付けるタイプ（斜め取り付けタイプ）
- ②側壁に路面に対して水平に取り付けるタイプ（水平取り付けタイプ）
- ③側壁から側線上まで張り出したタイプ（側線上水平取り付けタイプ）

これらの設備状況を図 - 4 及び写真 - 2 に示す。

トンネル内における運転者からの落下物の見え方

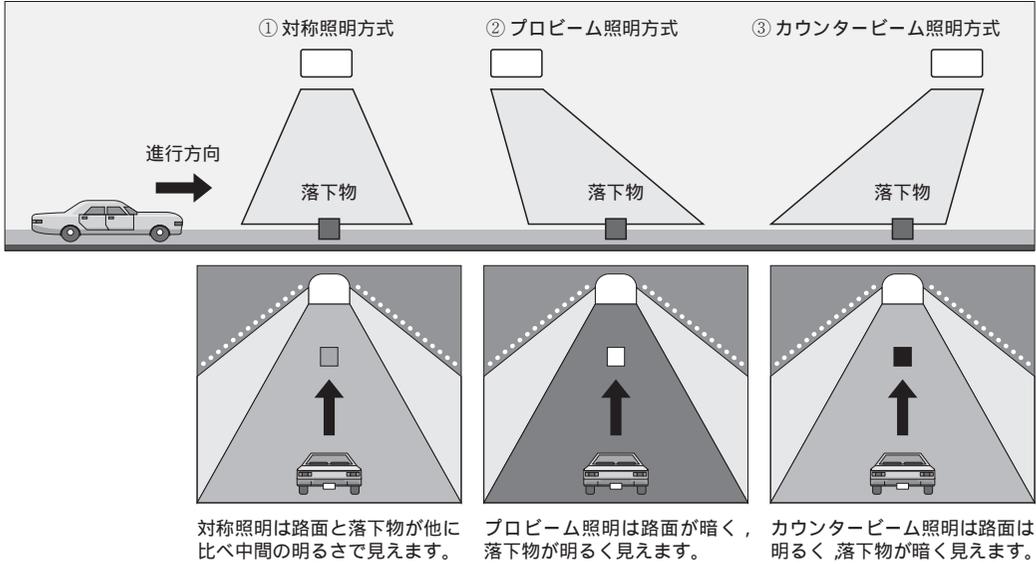


図 - 3 トンネル照明方式のイメージ

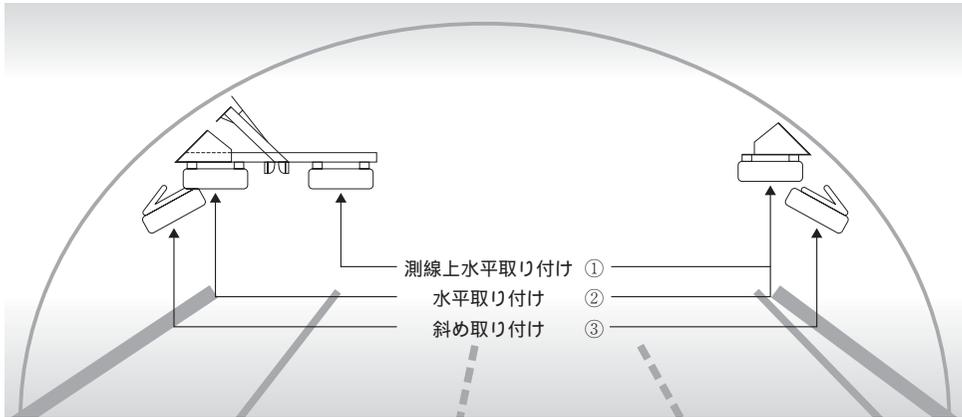


図 - 4 灯具取り付け方式



写真 - 2 斜め取り付け方式の例

4. 実験の結果²⁾

以上のような条件の中で、障害物の視認性や先行車の見え方、トンネル内部の総合的な視環境などの評価については、10代から50代の一般被験者20名にご参加いただいた。写真 - 3 及び写真 - 4 は本試験で得られた結果の一例である。

側線上水平取り付けとした対象照明方式(写真 - 3)では、路面は明るく先行車はやや暗く見えるという結果が得られた。一方、側線上水平取り付けとしたプロビーム照明方式(写真 - 4)では、路面は暗く車は明るく見えるという結果であった。



写真 - 3 側線上水平取り付けとした対象照明方式



写真 - 4 側線上水平取り付けとしたプロビーム照明方式

5. その他の事例³⁾

写真 - 5 は、都市部周辺の重交通量区間においてトンネル入り口部での渋滞や事故対策として、プロビーム照明方式を採用したものである。ここでは、トンネル進入時の先行車両の視認性を向上させることを目的として、トンネル入り口の照明に車両の進行方向に光を照射させている。

写真 - 6 は道路の路肩部や壁面部の視認性を重視し直下に照明器具を取付けたものである。ここでは、照明だけでなく、壁面に反射性能の良いタイルや視線誘導用発光帯を採用しているほか、トンネル内の色彩統一が図られた。



写真 - 5 プロビーム照明方式（青海トンネル）

6. おわりに

都市間高速道路を担う3つの高速道路株式会社NEXCOでは、お客様に安全性と走行快適性を提供するために、新規の建設区間ではトンネル内の舗装はコンポジット構造としている。連続鉄筋コンクリート版を路盤とし、中間層に砕石マチックアスファルト混合物を、表層には高機能舗装混合物を採用してきた。最近では、表層にハイブリッド舗装混合物を採用しているが、これは中間層の水密性と表層のマクロテクスチャを兼ね備えた複合機能であるので、アスファルト層の考え方は従来と同様である。これらはいずれもアスファルト舗装系であるので、上述のような視環境の検討は各所で行われている。

トンネル内にコンクリート舗装が採用されていた場合、その補修に際しては、オーバーレイ等により路面が白系から黒系に変ることとなる。このような路面輝度の低下は全国のトンネル内舗装に共通の問題であるが、照明方法の工夫により視環境は改善されるので、今回の事例が参考になれば幸いである。



写真 - 6 直下型照明方式（青海トンネル）

参考文献

- 1) 前川雅則：道路・トンネル照明における視認性について，建設電気技術，Vol.143，pp20-21，2003年9月
- 2) 建設技術新聞：第二東名高速道路の施設技術紹介，平成13年11月
- 3) 大屋和幸：高速道路における照明技術の変遷，建設電気技術，Vol.143，pp12-15，2003年9月

新しい正面衝突事故対策としての ランブルストリップスの開発と実用化

(Development and practical use of rumble strips as a new measure for highway safety)

浅野基樹*・平澤匡介**

一般国道においてランブルストリップスを2車線道路のセンターライン上または路肩に導入するために、施工機械、施工法の開発および試験施工を行い、日本の道路事情にあった規格の開発を行った。その後、実道において施工を行い、その導入結果について検証を行った。その結果、ランブルストリップスは、従来の正面衝突事故対策に比べ、設置、施工および維持管理上の制約が少ない工法であり、かつ、安価である。また、バイクに対する安全性も、センターポールやチャッターバーに比べ高い。そして正面衝突事故の削減効果は、非常に高いことがわかった。

1. はじめに

北海道の交通事故の特徴は、事故件数に対して死亡事故の割合が高く、特に正面衝突事故による死亡事故が多いことが挙げられる。正面衝突による死亡事故の割合は全国に比べ約2倍で、全死亡事故の約2割を占める。正面衝突事故が多発する区間は、郊外部の2車線道路であり、従来の対策として、中央分離帯、センターポール、チャッターバーなどの設置があるが、中央分離帯は、設置費用が高いために特例として設置される。またセンターポールやチャッターバーは、除雪作業の支障となるので、毎シーズンの取り外しなどの課題があり、広く普及していない。また路外逸脱事故の死亡事故件数も絶対数は少ないが、全体に占める割合は全国の約2倍発生しており、正面衝突事故と合わせて、これらの車線逸脱事故に対して、新しい対策の開発が期待された。

2000年、北海道開発局開発土木研究所（現（独）土木研究所寒地土木研究所）は、北海道開発局から、正面衝突事故が多発している一般国道5号の八雲町の対策について技術的検討を依頼され、従来の対策の課題を解消する新たな正面衝突事故対策としてランブルストリップスを導入することを提案した。

米国では、近年高速道路の路肩にランブルストリップスを設置して、路外逸脱事故を防止する対策が急速に普及している¹⁾。ランブルストリップスは、舗装路

面に凹状の溝を直線的に設置したものである（写真-1）。その上を通過する車両に対し不快な振動や音を発生させることにより、ドライバーに車線を逸脱したことを警告するものであり、うっかり・ぼんやりや居眠りによる交通事故に対し有効な対策である。

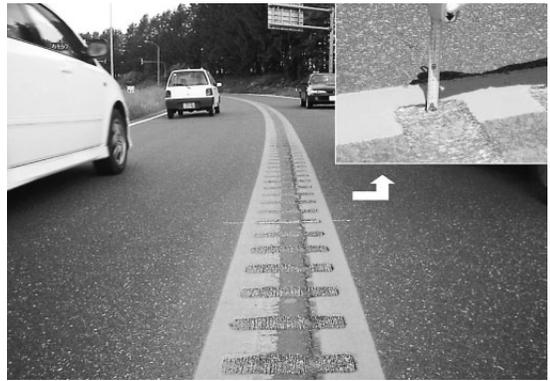


写真-1 ランブルストリップス (R237)

米国のランブルストリップスは、州毎に設置基準や規格が異なっており、どの規格が最適なのかは、明らかになっていない。また米国の高速道路の路肩幅員は5m以上あり、自転車への影響を考慮されていないので、日本の一般国道における2車線道路のセンターライン上にそのまま設置するには、溝が深く、大きいことが懸念された。

*あさの もとき 独立行政法人土木研究所 寒地土木研究所 寒地交通チーム 上席研究員

**ひらさわ まさゆき 独立行政法人土木研究所 寒地土木研究所 寒地交通チーム 主任研究員

中央分離帯やチャッターバー等の事故対策手法の課題を解消する新たな対策として、2車線道路のセンターライン上や路肩にランブルストリップスを導入した。本稿では、日本の道路事情に合った規格の開発、施工方法の開発、一般国道における設置状況、および導入結果としての事故対策の評価について報告する。

2. 施工方法の開発

我が国におけるランブルストリップスの施工方法の例は、日本道路公団により北海道の道央道において、転圧式ランブルストリップスの設置が報告されている²⁾。そこで、本研究では、切削式のランブルストリップスの施工機械を開発することから着手した。

切削溝を連続的に設置するためには、様々な方法が考えられたが、施工性、経済性の観点から検討を重ねた結果、既存の切削機の案内輪を異径車輪に改造し、異径車輪の回転による異径差を利用し切削ドラムを連続的に上下動させる方式が最適と判断された。

施工機械は、上記検討を踏まえ既存の切削機の案内輪を異径車輪に改造し、進行時に回転して生じる上下動を利用する機構とした。機械の選定においては、わが国の道路状況を勘案して極力小型なものとした。異径車輪切削機の全景を写真 - 2 に、主要諸元を表 - 1 に示す³⁾。

表 - 1 主要諸元

本体製造元	Wirtgen社 (独)
型 式	W350
走行方式	3輪ホイール (1輪に異径車輪装着)
本体寸法	L = 2.79m, W = 1.15m, H = 1.87m
車両重量	4.10t
出 力	32kw
専用切削ドラム	W = 350mm, = 460mm
ビット本数	118本



写真 - 2 施工機械全景

3. 設置規格の研究開発

施工方法の確立、日本の道路環境にあった適切な規格の検討のため、2001年に苫小牧寒地試験道路で3種類の規格 (切削幅: 350mm, 深さ: 9mm, 12mm, 15mm) のランブルストリップスを試験施工し、一般道路利用者による走行実験を行った。その結果、深さ12mmの規格が自転車やバイクに対する危険性が少なく、音や振動の警告効果もある程度高いことから、実道の追越禁止黄色2条線のセンターライン上に設置する規格として提案した (図 - 1)。2002年には、ランブルストリップスを一般国道5号八雲町に初めて設置した。2003年には、苫小牧寒地試験道路において追越禁止黄色1条線や路肩への設置に対応した規格の開発を行い、図 - 2、図 - 3 に示す規格を実道へ施工する規格として提案した。2004年には、実道において追越禁止1条線のセンターライン上と路肩に試験施工を行い、その効果や安全性を検証した。

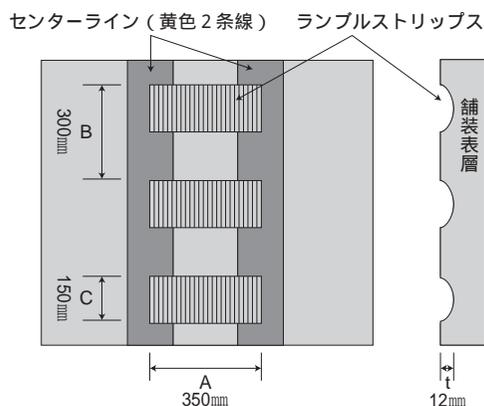


図 - 1 追越黄色2条線用設置規格

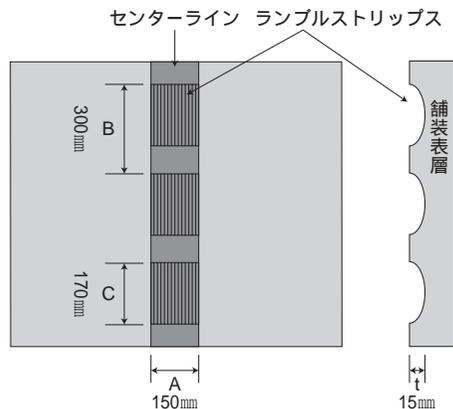


図 - 2 追越黄色1条線用設置規格

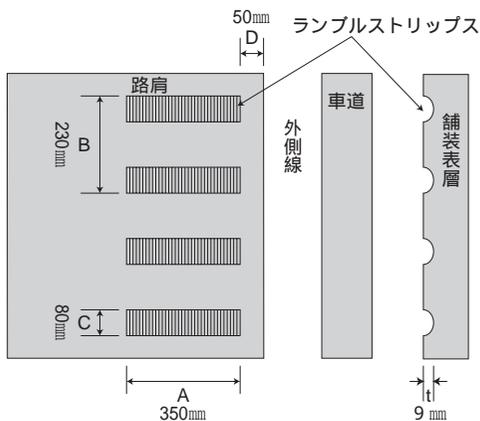


図-3 路肩用設置規格

4. 車内騒音と車内振動

ランブルストリップス上を走行した時に、ドライバーに与える音と振動の効果を騒音計と振動計により測定した。測定方法は、乗用車（ワゴンタイプ1800cc，タイヤサイズ185R14）で各ランブルストリップス上を走行させ、車内に設置した計測器で測定した。騒音計は、助手席のヘッドレストに集音マイク，振動計は、ハンドル軸上にピックアップを固定した。

騒音の測定値は、ランブルストリップス上を各走行速度（40km/h，60km/h，80km/h，100km/h）で，3回走行して測定し，それぞれの走行で測定された最大値を平均して各走行速度の測定値とした。また振動測定方法は，JISの「振動レベル測定法」における周期的または間欠的に変動する場合の測定方法を適用し，記録した時の上位10個の値を平均して1回走行した時の測定値とし，3回測定の平均値を測定値とした。比較のために，通常路面（何も設置されていないアスファ

ルト路面）と高視認性区画線の車内騒音・振動も測定した。

図-4に車内騒音の測定結果を示す。ランブルストリップスによる車内騒音の大きさは，いずれの走行速度でも，通常路面を走行した時に比べ，17dB以上大きな値を記録した。また高視認性区画線に対しても，大きな値を示したが，路肩用では差が僅かであった。2条線用と1条線用では，ほぼ同じ値を示した。図-5に車内振動の測定結果を示す。車内振動は，いずれの走行速度でも通常路面の値よりも10dB以上大きかった。なお，60km/hの時に最も低い値を示す結果となった。

ランブルストリップスは，多少の積雪でも音と振動による効果を体感で確認することができた。写真-3は，冬期路面条件下のランブルストリップス（一般国道274号，平成16年1月20日）の状況で，その時の車内騒音と車内振動の測定結果を図-6に示す。路面状態は，シャーベット状態であったが，センターラインは，全く見えない状況である。騒音の大きさは，通常の路面を走行すると60～65dBであったものが，ランブルストリップス上を走行すると75～80dBと大きくなった。また振動も90～95dBが95～105dBに大きくなり，シャーベット状の路面でセンターラインが見えない状況でも，車線を逸脱したことをドライバーに警告する効果があることが確認された。

5. 設置による正面衝突事故削減効果と費用便益

2002年7月22日に一般国道5号の八雲町で初めて施工されたが，その後ランブルストリップスは，設置費用の低廉性や事故削減効果等が大きく評価され，2003年度から北海道開発局に正面衝突事故対策として積極的に採用された。懸念されていた周辺住民からの騒音

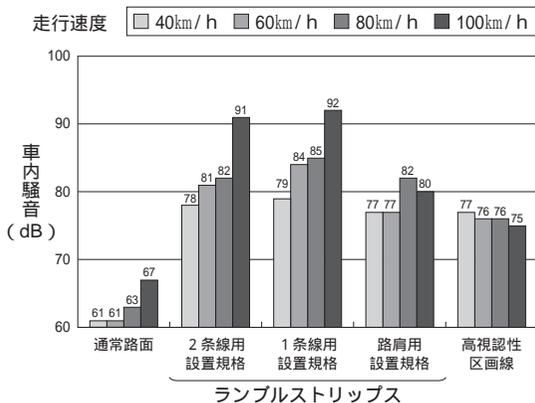


図-4 車内騒音データ測定結果

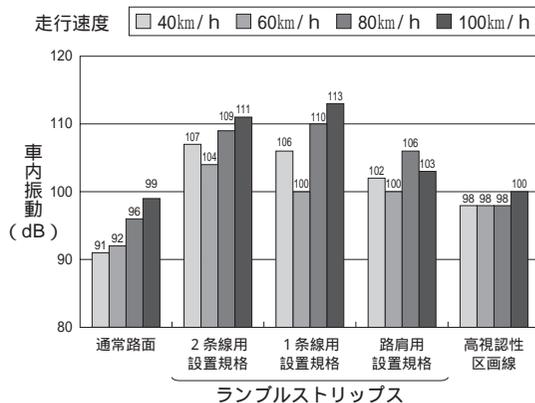


図-5 車内振動データ測定結果



写真 - 3 冬期条件下におけるランブルストリップス (R274 H16.120)

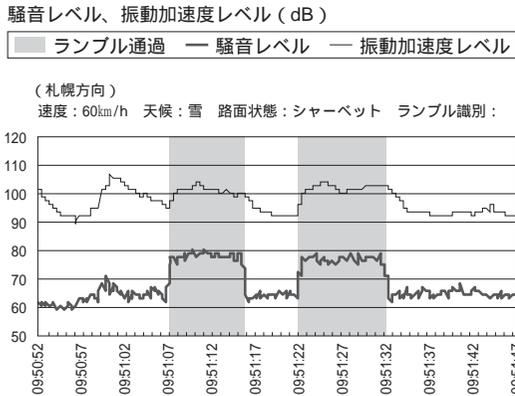


図 - 6 冬期路面条件下の車内騒音・車内振動

等の苦情もなく、ランブルストリップスの累計整備延長は、平成15年度末に39km、平成16年度末に142kmを記録し、平成17年度末には31路線の402kmとなり、急速に普及した(図 - 7)。

表 - 2は、平成14～15年における設置した24箇所、延べ39kmの施工前2年間と施工後2年間の正面衝突事故発生状況を示す。事故件数は、42件から20件に減少

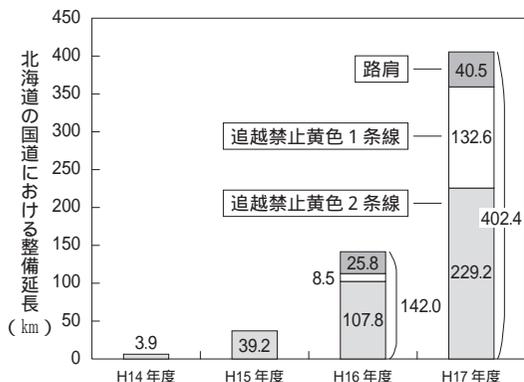


図 - 7 北海道の国道センターライン上におけるランブルストリップス整備延長の推移

し、減少率は52.4%であった。同様に死者数は20人から6人に減少し、減少率は70.0%、重傷者数は24人から19人に減少し、減少率は20.8%、軽傷者数は89人から55人に減少し、減少率は38.2%であり、死者数の減少率が最も高い結果となった。ランブルストリップスは、積雪路面でもある程度効果があることが

分かっているため、事前事後の冬型事故による正面衝突事故件数を比較したところ、事前：16件、事後：6件、減少率は、62.5%となり、冬型事故による正面衝突事故対策としても効果があることが確認された。

表 - 3は、平成14～15年に整備したランブルストリップスの費用便益算出結果を示す。人的損失額は、「交通事故減少便益の原単位の算出方法」⁴⁾から、死亡：36,359千円/人、重傷(後遺障害)：12,660千円、軽傷(傷害)：1,542千円、事故1件の渋滞損失額は1,318千円を使用した。

ランブルストリップス設置による便益は、施工前2年間で人的損失額：1,168,258千円、渋滞損失額：55,356千円と算出され、施工後2年間では、人的損失額：543,504千円、渋滞損失額：26,360千円と算出された。24箇所の施工費は、施工延長39,284mと施工時の単価1,500円/mにより58,926千円である。ランブルストリップスの耐久性を10年と仮定し、社会的割引率を4%として、事故減少効果の便益を計算すると、1年

表 - 2 設置前後における正面衝突事故

一般国道24カ所、延べ延長39.284km

正面衝突	事前2年間	事後2年間	減少数	減少率
事故件数	42	20	- 22	52.4
死者数	20	6	- 14	70.0
重傷者数	24	19	- 5	20.8
軽傷者数	89	55	- 34	38.2
冬型事故件数	16	6	- 10	62.5

表 - 3 整備による費用対効果

施工前(2年当たり)		施工後(2年当たり)	
人的損失額(千円)	渋滞損失額(千円)	人的損失額(千円)	渋滞損失額(千円)
1,168,528	55,356	543,504	26,360

	1年目	2年目	...	10年目	計
便益(千円)	329,638	316,960	...	231,599	2,780,606
施工費(千円)	58,926	58,926

表 - 4 ランブルストリップス設置区間の正面衝突事故死者数

	施工延長 (km)	正面衝突事故死者数					
		H13	H14	H15	H16	H17.11.23	
ランブルストリップス 施工年	H14	3.9	1	0	0	1	0
	H15	35.3	3	2	6	4	1
	H16	68.8	3	5	4	5	1
	H17.11未	215.7	7	9	6	6	7

■ 施工前 □ 施工後
 斜線より左側は施工前、右側は施工後の死者数等の集計である。
 平成17年の事故データは、11月23日現在のデータである。

目の便益は3.3億円となった。10年間の便益は27.6億円となり、費用便益は46.8と計算された。

また、表 - 4 は、ランブルストリップス設置区間における正面衝突事故の死者数を示す。各施工年において施工後の死者数が、減少していることが明らかである。特に、平成16年までにランブルストリップスが設置された区間では、平成16年の11人から平成17年は1人となり、10人の減少となった。

一般ドライバーにアンケート調査を行った結果でも、約7割の人が踏んだ経験があると回答しており、その内42%の人は「居眠りをしていて」、「ぼんやりとしていた」と答えている。このことからランブルストリップスの普及の効果が確認された。(図 - 8)

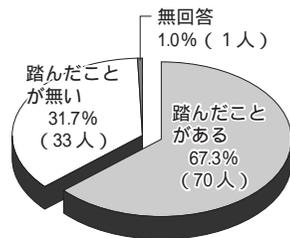
6. おわりに

センターライン上にランブルストリップスを設置した区間の正面衝突事故件数は、約52%減少し、事故死者数は約70%と大きく減少した。ランブルストリップスは、中央分離帯のように物理的に正面衝突を防ぐことができないが、施工費用は、チャッターバーの1/5以下、センターポールの1/3以下と安価で、維持管理費用も掛からない。その結果費用便益が高くなる。さらに、積雪寒冷地域における除雪作業の支障とならないので、特に積雪寒冷地域における正面衝突事故対策としてきわめて有用であると考えられる。一方、正面衝突事故は居眠りやぼんやり運転ばかりで発生するものではないため、設置された区間で線形が厳しい峠等では、正面衝突事故が減少していない区間も見られる。今後は、ホームページ (<http://www2.ceri.go.jp/rumble/>) による情報提供や平成18年8月に刊行したランブルストリップス整備ガイドライン(案)の普及を図り、ランブルストリップスに対する正しい理解と適切な運用や整備推進を支援して行く次第である。

参考文献

- 1) FHWA (Federal Highway Administration) web site (http://safety.fhwa.dot.gov/roadway_dept/rumble/)
- 2) 佐藤孝, 田辺昭信, 長沼洋: 注意喚起舗装の施工, ハイウェイ技術, No.10, 1998.4
- 3) 平澤匡介, 相田尚, 浅野基樹, 斎藤和夫, 新しい事故対策手法としてのランブルストリップスの開発と実用化に関する研究, 土木学会論文集 第4部門 NO.800 / IV - 69, 平成17年10月
- 4) 国土交通省道路局ホームページ, 道路事業評価手法検討委員会, 配付資料, 交通事故減少便益の原単位の算出方法, 平成15年1月, (<http://www.mlit.go.jp/road/ir/iinkai/1pdf/s1-57.pdf>)

Q: ランブルストリップスを踏んだことはありますか (N=104)



ランブルストリップスを踏んだときの状況 (複数回答) N=70

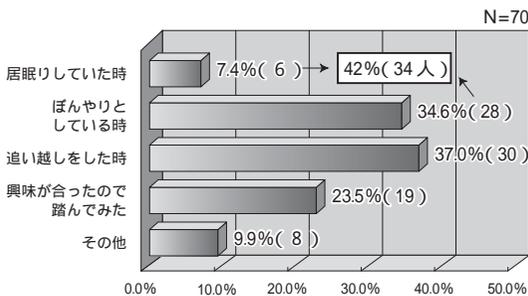


図 - 8 一般ドライバーにおけるランブルストリップスを踏んだ経験

学校で用いられる舗装材の安全性評価について

(Safety evaluation of Pavement Materials in Schools)

牧 恒 雄*

学校で使われる舗装材の中で、トラックやフィールドに使われるスポーツ系の材料、落下時の安全性を確保するために遊具や運動用具の下に敷設される舗装材について、わが国ではそれぞれの安全基準が制定されていない。そこで、本文では、国外の事例を参考に、その基準や評価方法等を紹介する。また、これからの運動競技用のフィールド舗装として利用される可能性の高いロングパイル人工芝について、サッカーやラグビー競技場で使用されている性能基準を示す。

1. はじめに

舗装材は、車道や歩道などの公共空間だけでなく、公園の園路や広場、あるいは遊園地などの公共施設、学校や幼稚園などの教育施設に多く使われている。特に、学校の校庭や幼稚園の園庭、公園や広場などの子供が遊具などで遊ぶ場所等の舗装は、安全性の確保という重要なキーワードが求められている。また、体力的成熟していない青少年が運動に使うスポーツ系舗装にも同様のことが言える。従来、これらの舗装材としては、土系の舗装が多く用いられてきたが、学校では、近隣住民から土ぼこりの問題で苦情が多く寄せられ、維持管理上の問題もあって、学校内のグラウンド舗装が土系舗装からコンクリートやアスファルト、あるいはアンツーカーやゴムチップなどの舗装になった時代もある。しかし、子供のけがが多いことや環境面を考慮して、現在は昔の土系舗装に戻している学校もある。また、中学や高校では、スポーツへの関心が高く、校庭を多くの種類のスポーツに耐える舗装にしたいとの要望も多い。しかし、本来スポーツにはそれぞれ動きの特徴があり、野球場やサッカー場などの専用施設を持つ学校も増えている。

これらの施設に使われる舗装材に対しては、専門的な施設は各スポーツ団体が定めた仕様に基づき材料の選定や施工が行われているが、一般の小中学校で用いられている土系舗装では、舗装で子供が大怪我をする確率も少ないことから、維持管理上の目安はあるものの、安全性などのチェックなどは殆ど行われていない。

しかし、構内全体を見ると、鉄棒などの各種運動施設があり、それらを利用する場合の安全性について検討することは重要である。また、公園の遊具の下や小さい子供を中心にした遊園地等では、子供が転んでもけがをしにくいゴムチップ等の弾力性舗装材を使った場所も最近目立つようになってきた。しかし、子供が遊具から落下した場合、けがをしないための安全性基準や、遊具等から振り落とされても安全性が確保できる、舗装材の施工範囲等の基準は制定されていない。

一方、アメリカやドイツなどでは、子供が利用する遊具の下に使用する舗装材には一定の基準があり、安全性が十分に検討されている。これらの国々では、安全性を評価する試験方法が確立されており、衝撃が子供の頭に与える影響など、バイオメカニクス等と連携した調査研究が行われている。

スポーツで利用される代表的な舗装材として、陸上競技場の走路に用いられるウレタンやレジンなどの樹脂系舗装がある。国際陸上競技大会を行う場合、これらの舗装材は、国際陸上連盟（IAAF）の認可をうけた舗装材であることが求められるが、十分な体力のない高校生ぐらいが、国際競技大会クラスで使用される舗装材で競技会を行うと、舗装材が硬すぎてからだを壊すといわれている。陸上競技場のトラック評価試験では、平坦性やすべり抵抗などの表面的な形状や性状を評価する以外に、舗装材の持つ衝撃吸収性や変位量など、直接競技記録に影響する硬さの評価試験がある。この試験は特に厳しい基準が設けられており、陸上競

*まき つねお 東京農業大学 地域環境科学部生産環境工学科 教授

技場のランクにも影響する。

また、サッカーでは、ワールドカップ開催を契機に、国内でもクラブチームの試合が多くなっている。これら競技大会で使用されるグラウンドは天然芝が一般的に使われているが、天然芝は常にベストコンディションにするための維持管理が難しく、日頃の練習場としては人工芝のサッカー場が使われることが多い。ここで使われている人工芝は毛足の短い人工芝から、近年開発された毛足が長く天然芝の性状に近くなるように改良されたロングパイルが使われている。ロングパイルは毛足の長い人工芝に、砂とゴムチップを混合したものを積めたもので、高校や大学のグラウンドにも最近利用されている。

本文では、これらの状況を踏まえ、学校などで子供が利用する場所の舗装材として、陸上競技場などのトラック舗装、校庭のグラウンドなどでこれから利用が期待できる人工芝のロングパイル、遊具等の下に敷かれた安全確保のためのクッション系の舗装の評価について、その概要を述べると共に、トラック舗装の基準については国際陸上連盟で使われているトラックの衝撃吸収性や変位などの弾力性評価試験の概要、ロングパイル人工芝については、欧州サッカー連盟がつくった基準等について、遊具下の弾性系舗装材評価については、アメリカ等で用いられている落下衝撃時の安全性評価に用いられているHIC (Head Injury Criterion) 試験について、その概要を述べる。

2. 陸上競技のトラック

陸上競技が行われるトラックでは、レジンやウレタン等の樹脂系舗装材が使われているが、国際陸上連盟 (IAAF)¹⁾では、走路の舗装材に対し厳しい性能検定を行っている。陸上競技場が公認認定を受けるための試験項目としては、室内試験で行う舗装材そのものの検定と、陸上競技場で施工後に行われる現場検定がある。

室内検定では、企業から提出された材料について、①引張強度が非透水性表層で 0.5MPa、透水性表層で 0.4MPa以上であること、②切断時の伸びが40%以上であること、③試験材料の厚さの平均が12.0mm以上で、厚さのばらつきが $\pm 0.5\text{mm}$ の範囲にあること、④Berlin Artificial Athlete試験機で測定した衝撃吸収率の値が $35 \pm 1\%$ ~ $50 \pm 1\%$ の間にあること、⑤Berlin Artificial Athlete試験機で測定した変位量が $0.6 \pm 0.1\text{mm}$ ~ $1.8 \pm 0.1\text{mm}$ の範囲にあること、⑥BPST (英国式ポータブル スキッドレジスタンス テスター)



写真 - 1 Berlin Artificial Athleteによる衝撃吸収試験



写真 - 2 Berlin Artificial Athleteによる変位試験

で測定し、湿潤時の値がWET47以上であることが条件となり、評価試験が行われる。これに合格すると、国際陸上連盟から認定された陸上競技用舗装材となる。

競技場における現場の検定試験は、IAAF認定機関が日本に来て競技場での現場検定試験を行う。その項目としては、室内試験で行った項目以外に、①気泡、亀裂、剥離等の瑕疵の有無、②4 m直線上定規で平坦性が6 mm以下であるかを調べる平坦性評価、③舗装材の厚さの平均が12mm以上あり、その適切とされる厚さから最大で - 10%を下回らないこと、④デザインや色調が形式に合うものであること、⑤水を張って20分後に水が表面の凸部を上回らないこと、等が測定される。この中で特に厳しいのが、衝撃吸収性と変位量の試験である。これらの値は、競技会記録に影響することから、世界大会が行われるような競技場では、できるだけ硬めの材料が使われる傾向にある。当然のことであるが、主催者は世界記録が出た競技場の名前が欲しいし、選手もそこで競技会を行いたい。そのような思惑

があるが、1回の世界大会のために硬くしすぎると、日常行われる国内の競技大会クラスの選手には、体に負担がかかるようで、大会後に故障者が出やすくなると言われている。従って、学校での練習グラウンドでは、体力にあわせたあまり負荷のかからない硬さの舗装材を選択する必要がある。



写真 - 3 陸上競技場での測定状況



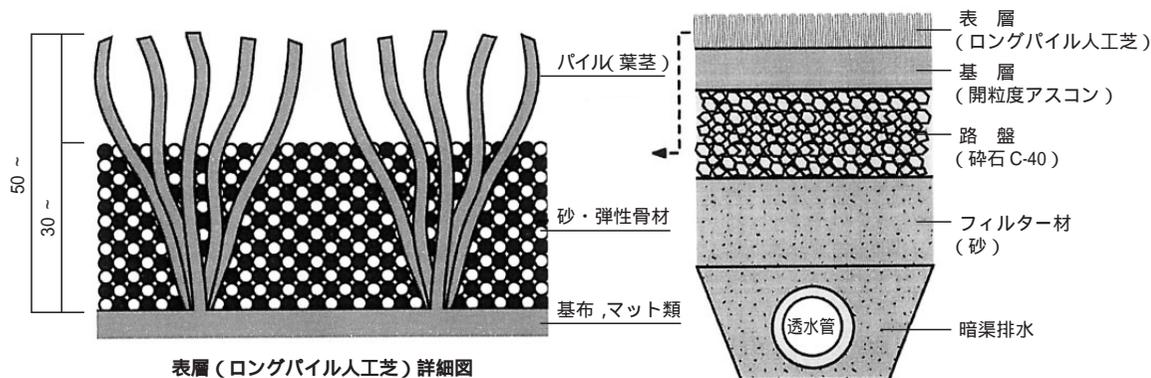
写真 - 4 DIN厚さ測定試験機

また、IAAFでは、室内検定に合格した材料を用い、実際の競技場に施行した後に競技場で評価検定を行う現場の検定試験がある。この試験に合格した競技場には、国際陸連の認証競技場として、CLASS 1の認証が与えられる。現在世界でも、20ヶ所程度の競技場しか認証されていないといわれているが、我が国では、新潟スタジアムビッグスワンと神戸総合ユニバー記念競技場がこの検定に合格している。国際陸連では、この基準に合格した競技場でのみ国際競技大会が開催できるとしている。

3. ロングパイル人工芝

人工芝は、1966年にアメリカのヒューストンにアストロドームが建設されたことがきっかけで、室内でも芝の感触がある競技場の要望が人工芝を生み出した。当時の人工芝は、ナイロン製で芝の葉の形状をした繊維を敷設したものであったが、その後改良が進み、ドイツで耐久性があるポリプロピレンを素材とした人工芝が開発され、弾性パッドを備えたものは、1976年に後楽園球場に採用された。その後、開発が進みパイル状の人工芝や砂を充填した砂入り人工芝が使われ、特に、テニスコートに多く採用されている。1990年代後半になるとサッカーブームも一役買い、繊維の長い人工芝に砂とゴムチップをつめたロングパイルが用いられるようになってきた。

国際サッカー連盟（FIFA）と（財）日本サッカー協会²⁾は、ロングパイルの公式戦での採用を目的に、基準化作業をおこない、ロングパイルに厳しい品質基準を課している。国際サッカー連盟ではラボテストとフィールドテストを行ない、ラボテストに合格したら3ヶ月



(注) 舗装構成および舗装厚さは、地域の状況、利用目的により決める。

図 - 1 ロングパイルの一般的な断面図

以内に競技場でピッチテストを行なう。これに合格すると3年間のライセンス契約が結ばれる。ラボテストは人工芝の製品の品質が確認され、単位面積当たりのパイルの数や糸の品質、人工芝につめる充填物の確認などが行われるほか、アンダーパットを利用する場合は圧縮弾性試験を実施し、衝撃吸収層のボールの反応などを調べる。また、摩耗抵抗性試験として、5年間摩耗した状態での衝撃吸収性やボールの反発などを調べる。これ以外に色落ちや摩耗強さを測定し耐候性の検討が行われる。欧州サッカー連盟（UEFA）は、2002年に人工芝マニュアルをつくり、公式戦での導入を検討した。欧州サッカー連盟では、衝撃吸収力、変形、劣化性、ボールの転がり、ボールの跳ね返り、ロングパスの弾み、スパイクの安定性、スライディングタックル時の摩擦抵抗、衝撃等を試験して評価することになっている。

（財）日本ラグビーフットボール協会³⁾は、天然芝での競技会開催を原則に行ってきたが、わが国気象条件が芝には厳しいこともあって、ベストコンディションでの試合を基本方針とし、平成17年7月に人工芝であるロングパイルのラグビー競技への使用を決め、「ロングパイル人工芝導入に関するガイドライン」を定めた。これは、平成16年にInternational Rugby Board（インターナショナル・ラグビー・ボードとは、定款に従って、ボードのメンバーとなっている各協会が結成した団体）が、人工芝に関する性能の仕様書⁴⁾を決めたことから、これを基に日本ラグビーフットボール協会も仕様書を決めている。

これら球技場での各種試験方法は、ISOやEN（European Norm）などの試験規格を用いて構成されており、合格するには数多くの試験を実施しないと採用されない。

一般に、ロングパイルは天然芝やクレイ舗装の特徴により近い性質を持ち、高いボールのパウンドが要求されないが、クッション性が要求される野球、サッカー、ホッケーに適しているといわれている。東京農業大学第一高等学校のグラウンド（写真-5）では、排水性が良く雨の直後でも授業ができるし、なにより生徒が校庭で遊ぶ事が楽しくなった様だとの話である。また、メンテナンスもほとんどかからないとのことで、今後、学校等での採用が増えると予想される。ロングパイルの検討は、（財）日本体育施設協会の中に「ロングパイル人工芝研究会」⁵⁾が設けられ、ここで検討されている。



写真 - 5 学校グラウンドでのロングパイル使用例
（東京農業大学第一高等学校グラウンド）



写真 - 6 ロングパイルの表面

4．HIC試験

子供が学校などでけがをする事例は、遊具からの落下が多い。遊具に関する事故の50%が落下事故といわれているが、わが国でも遊具そのものの安全性に関する基準はあるが、遊具の下に敷く舗装材の基準はない。国土交通省は、アメリカ合衆国消費者安全委員会（CPSC）で定められた基準を基に、「都市公園における遊具の安全性確保に関する指針」を設けている。CPSCでは、遊具から子供が落下した場合に生じる可能性のある、落下時の脳への損傷程度を表すHIC値⁶⁾を用いて、この値を満足する衝撃吸収が可能な舗装材の施工を義務付けている。HIC値は遊具だけでなく、ヘルメットなどの頭部を保護する道具などの安全基準値としても使われている。

HIC値では、衝撃時に頭部に生じる減速度と減速して停止するまでの時間の両方が頭部打撲傷に関係するとして、減速度は200 G（重力加速度）、頭部打撲傷基準（HIC）が1000以下なら安全としている。



写真 - 7 HIC試験機

試験方法は、遊具等からの最大落下高さを設定し、その高さから半球形状の頭部形状のセンサーを落下させ、この中に組み込まれた加速度計から得られた値を計算し、HIC値と重力加速度を求め、その値が基準を超えなければ安全と判断している。測定位置は、ジャングルジムなどは構造上の最大高さを取り、ブランコなどは、ブランコをこく時最大で支持されている旋回軸の高さまで上がるとして、この高さをHIC値試験での落下高さとしている。

この試験機は、ASTM-F1292-99 (Standard Specification for Impact Attenuation of Surface Systems Under and Around Playground Equipment) で指定



写真 - 8 HIC試験機の測定部（ヘッド）

されており、日本国内にある米軍関係の施設に遊具を設置する場合などは、この試験結果の証明書がないと納入できない。この試験は床材の衝撃減衰程度を評価する試験機で、遊具の下に敷くゴムチップ舗装の硬さや厚さを評価するときには欠かせない試験機である。また、ASTMでは、遊具下の舗装材をどの範囲まで施工をすればよいか記されている。また、試験方法は、ASTM F355-86 (Standard Test Method for Shock-Absorbing Properties of Playing Surfaces Systems and Materials) に掲載されている。

5. まとめ

子供が利用する場所の舗装材の安全性は、スポーツを行うグラウンドの安全性と、遊具等の落下事故を防止する安全性に基準がある。スポーツ系の舗装材は歴史的な経緯もあると思うが、多くがヨーロッパの基準を柱に、DIN, ISO, ENなどで構成されており、特に衝撃吸収性能や変位量のデータが重みを持ち、これが柱になって評価システムを構成している。アメリカでも同様で、ASTMを柱にスポーツ関係の基準がある。一方、遊具の基準はヨーロッパでもDINを中心に基準が作られているが、遊具下の舗装材の安全性については、HIC値を用いた評価を行うことが多いことから、ここにその内容を簡単に紹介した。国際的な競技会が開催される場合、国際基準にあった競技場が必要になる。それ以外に、高校や大学のグラウンドもそろそろ、国際基準に準拠した整備が必要な時代になってきた。利用する人の体力等も考え、安全に運動ができるグラウンドを作って欲しい。

参考文献

- 1) FIFA Quality Concept for Artificial Turf : FIFA Marketing AG : 2001
- 2) 人工芝ピッチ公認に関するガイドブック : (財)日本サッカー協会 : 2003
- 3) ロングパイル人工芝導入に関するガイドライン : (財)日本ラグビーフットボール協会 : 2006
- 4) ラグビー競技場人工芝に関するIRB 公認性能仕様書 : (財)日本ラグビーフットボール協会 : 2004
- 5) ロングパイル人工芝 技術検討報告書 : (財)日本体育施設協会 : 2004
- 6) Impact Attenuation of Playground Surfaces : Martyn R. Shorten : Bio Mechanica,LLC : Skydex Cushioning Technologies : 1998

Tyre/Road Noise Reference Bookの紹介

アスファルト舗装技術研究グループは、昭和52年に設置されてから30年の長きにわたり、アスファルト舗装にかかわる技術者が自由な立場で勉強し、その成果を報告するための場として活動が続いています。その間、阿部頼政先生（第1期）、姫野賢治先生（第2期）、峰岸順一氏（第3期）と代表者が引き継がれてきましたが、活動の基本は一貫しており、本来業務や社命などによることなく自主的に集った若手研究者が、原点に立ち返った知見の整理や時代の要請などの様々な課題について、海外の情報等をもとに調査して議論を重ねてきております。

私は阿部先生の示された引退年齢に今年達したため辞する頃かかと考えていた矢先、峰岸代表幹事から世代交代を要請され、代表の大役を引受けることとなりました。代表の役割は、1、2期では指導的な立場でしたが、3期からはともに勉強してゆくための取りまとめ役が主となっています。社会情勢や業界事情の変遷とともに、舗装研究部門の人員や年令構成も変化しつつあります。これらの変化にも対応しつつ、代表幹事として微力ながら努めてまいり所存ですので、引き

続き皆様の御支援御協力をお願い申し上げます。

さて今回の研究報告ですが、アスファルト舗装における重要な問題である交通騒音のうち、特にタイヤ/路面騒音に係わる事項について体系的に取りまとめた「Tyre/Road Noise Reference Book」と題する図書の要約紹介です。

本書は、路面騒音を幅広く体系的にまとめた大書で、音響と路面状態に関する理学的な現象論、騒音の測定方法や影響因子、低騒音舗装のアプローチと技術の紹介などについて、図表や事例を含めて細かく解説されています。本報告では最初に図書の概要と章構成を概説し、引き続き“タイヤ/路面騒音に影響する路面特性”についての記述内容を抽出して紹介します。

低騒音舗装の技術開発は各所で進められ、舗装性能評価法等で路面騒音の測定方法が規定され、また性能規定発注の実績も増えております。アスファルト舗装の騒音問題の整理と解決に、今回の報告が役立てば幸であると考えています。

（研究グループ代表幹事：佐々木巖）

アスファルト舗装技術研究グループ名簿

佐々木巖	独立行政法人土木研究所舗装チーム	高馬克治	ニチレキ(株)研究開発センター
峰岸順一	東京都土木技術センター技術調査課	小柴朋広	世紀東急工業(株)技術研究所
阿部長門	東亜道路工業(株)技術開発部	森石一志	大林道路(株)技術研究所
市岡孝夫	前田道路(株)技術部技術課	清水泰成	前田道路(株)技術研究所
伊藤大輔	大成ロテック(株)技術研究所	鈴木 徹	大林道路(株)技術研究所
井 真宏	西日本地研(株)	鈴木秀夫	昭和シェル石油(株)アスファルト課
岩岡宏美	世紀東急工業(株)技術研究所	高橋光彦	大成ロテック(株)技術研究所
岩塚浩二	(株)パスコ道路センター	千原正規	日本道路(株)技術研究所
岩永真和	鹿島道路(株)技術研究所	塚越智浩	常盤工業(株)技術研究所
大場拓也	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
金井利浩	鹿島道路(株)企画部	中村 健	長岡技術科学大学環境・建設系
加納孝志	大成ロテック(株)技術研究所	林 信也	鹿島道路(株)技術研究所
鎌田 修	鹿島道路(株)技術研究所	増山幸衛	世紀東急工業(株)技術研究所
鎌田孝行	常盤工業(株)技術研究所	森嶋洋幸	前田道路(株)技術本部技術研究所
鎌田義秋	ニチレキ(株)道路エンジニアリング部	焼山明生	日進化成(株)技術研究所開発グループ
岸田正憲	(株)パスコ道路センター	山脇宏成	(株)ガイアートクマガイ技術研究所

計32名

Tyre/Road Noise Reference Bookの紹介

加 納 孝 志* 岸 田 正 憲** 塚 越 智 浩***
 森 嶋 洋 幸**** 焼 山 明 生*****

1. はじめに

わが国の自動車保有台数は、調査を開始した昭和41年の812万台から、高度経済成長を経て平成18年4月末現在で7,570万台に達し、約30年間で9倍以上に増加している¹⁾。これに伴い、特に都市部の幹線道路においては交通量が大幅に増加し、交通騒音問題が慢性化している。このため、発生源である車両での対策などが実施されている一方で、舗装技術からの交通騒音対策として、タイヤ/路面騒音を低減する低騒音舗装の適用事例が増加している。低騒音舗装には、ポーラスアスファルト舗装やポーラスコンクリート舗装のように空隙率の大きい材料を表層に用いたものや、小粒径骨材露出工法、多孔質弾性舗装など様々なものが開発されている²⁾。

海外においても、わが国と同様に交通騒音の対策が行われており、低騒音舗装などに関する研究開発が盛んに行われている。

今回紹介する「Tyre/Road Noise Reference Book」(以下、Reference Book、(図-1参照))は、Ulf SandbergとJerzy A. Ejsmontにより2002年に刊行されたものである。Ulf Sandbergは、VTI(The Swedish National Road and Transport Research Institute)の上席研究員であり、またChalmers University of Technology(Sweden)でタイヤ/路面騒音に係わる助教授でもある。一方、Jerzy A. Ejsmontは、TUG(The Technical University of Gdansk(Poland))の機械学部の教授で、自動車や大型機械に係わるグループの責任者である。

Reference Bookは、交通騒音のうち、特にタイヤ/路面騒音に係わる事項について体系的に取りまとめたもので、日本を含めた世界中からの情報を集約したものととなっている。Reference Bookでは、音響工学的な

解説や、タイヤ/路面騒音の発生メカニズム、タイヤ/路面騒音に影響を与える要因、世界各国で取り組まれてきたタイヤ/路面騒音の測定方法や測定結果などを写真やグラフなどを数多く使用して、分かりやすく紹介している。本文は、Reference Book各章の概要を紹介するとともに、その中から「タイヤ/路面騒音に影響する路面特性」についての記述内容を抽出し、紹介するものである。

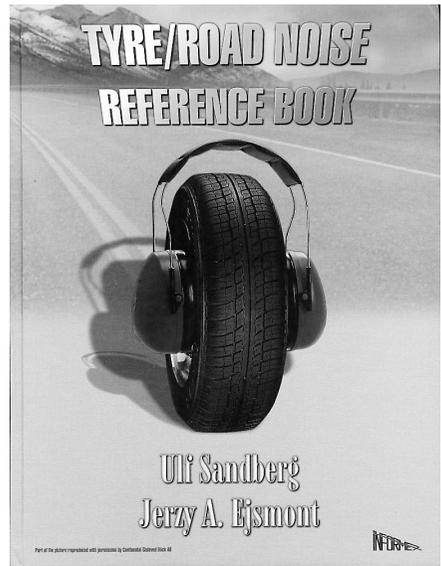


図 - 1 Tyre/Road Noise Reference Bookの表紙

2. 概要

Reference Bookは、「タイヤ/路面騒音」をキーワードに、その内容は多岐にわたっており、全34章で構成され、索引までを含めると616ページに及び刊行物である。表-1は、Reference Book各章の概要をまとめたものである。

*かのう たかし 大成ロテック(株)技術研究所
 **きしだ まさのり (株)パスコ 道路センター
 ***つかこし ともひろ 常盤工業(株)技術研究所

****もりしま ひろゆき 前田道路(株)技術研究所
 *****やきやま あきお 日進化成(株)技術研究所

表 - 1 Reference Book各章の概要

章	英文題名	和文題名	概要
1	INTRODUCTION	序論	-
2	BASIC TERMINOLOGY	基本的な用語	基本的な用語についての解説がされている。
3	BRIEF FACTS ABOUT SOUND AND NOISE	「音」と「騒音」について	音響学の方野で使われている基本的な「音」の概念と定義を紹介し、「騒音」が人体へ与える一般的な影響について記述されている。
4	HISTORICAL PERSPECTIVES	道路交通騒音の取組み	古代から近代、現代の道路交通騒音の歴史と現在の「国際騒音制御工学会」の取組みについて紹介されている。
5	TYRE/ROAD NOISE AS PART OF VEHICLE NOISE	車両騒音の一部としてのタイヤ/路面騒音	車両から発せられる「エンジン騒音」と「タイヤ/路面騒音」を区別し、両者の関係について解説されている。
6	BASIC INFORMATION ABOUT TYRES AND ROAD SURFACES	タイヤと路面についての基礎情報	乗用車やトラックなどのタイヤと様々な路面（舗装）の基本的な情報について紹介されている。
7	TYRE/ROAD NOISE SOURCES AND GENERATION MECHANISMS	タイヤ/路面騒音の音源と発生機構	タイヤ/路面騒音の音源と発生機構について詳細に紹介されている。また、シミュレーションモデルについても紹介されている。
8	TYRE/ROAD NOISE EMISSION-GENERAL INFLUENCES AND TYPICAL DATA	タイヤ/路面騒音の排出-影響する項目と代表的なデータ	タイヤや路面の違いにより騒音値にどのような差が生じるのか、代表的なデータを使用して紹介されている。
9	DRIVER INFLUENCE ON TYRE/ROAD NOISE EMISSION	走行時のタイヤ/路面騒音への影響	車両走行時にタイヤ/路面騒音へ影響する因子としては、速度、タイヤと路面間に作用する力、タイヤにかかる荷重、空気圧がある。速度に関しては、ドラム法による測定結果から、簡単な式で騒音との関係が示されている。タイヤと路面間に作用する力に関しては、車両の定常走行時、加減速時、コーナリング時、横滑り時に作用する力と騒音との関係が示されている。タイヤにかかる荷重と空気圧に関しては、タイヤの種類と荷重、ならびにタイヤの種類と空気圧についての様々な調査結果から、発生メカニズムが示されている。
10	INFLUENCE ON NOISE EMISSION OF VARIOUS TYRE-RELATED PARAMETERS	タイヤに関する要因が騒音に及ぼす影響	タイヤ/路面騒音に影響するタイヤに関する因子としては、タイヤの数、タイヤの幅や径、内部構造、材料特性、トレッドパターンの形状や方向性、摩耗と劣化の状態、再生タイヤ、スタッドタイヤなどの種類がある。タイヤの数に関しては、タイヤがすべて同一の場合の、タイヤの数と騒音への影響を表す式が示されている。また、タイヤの幅が大きくなると騒音は増加するが、タイヤの径が大きくなると騒音が減少し、タイヤのサイズにより騒音への影響が複雑化することが記述されている。
11	ROAD SURFACE INFLUENCE ON NOISE EMISSION	路面特性が騒音に及ぼす影響	路面特性としては、テクスチャ、橋梁またはコンクリート路面のジョイント、床版、路面の色、平坦性、空隙、スティフネス、劣化と摩耗、舗装体内の残存水分がある。各路面特性は、タイヤ/路面騒音の発生と密接に関係しており、特に、マクロテクスチャ、メガテクスチャ、空隙、層厚が、タイヤ/路面騒音への影響度合いが高いことが記述されている。
12	INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL PARAMETERS ON TYRE/ROAD NOISE EMISSION	タイヤ/路面騒音における環境要因の影響	環境に関する要因としては、温度、湿度、風がある。温度が10 上昇すると、タイヤ/路面騒音が約1 dB減少する。外気温や路面温度、タイヤ温度と騒音の関係を調査し、各種温度と各種舗装の補正係数が示されている。湿度については、タイヤ/路面騒音に影響しない。風については、測定速度が速くなると風による騒音（風雑音）が、測定値に影響を与えることが懸念される。しかしClose-Proximity (CPX) 法では、風速が約10m/sまでの風では測定値に影響のないことが記述されている。
13	INFLUENCE OF VEHICLE CONSTRUCTION ON NOISE EMISSION	自動車構造の騒音への影響	自動車の構造は、自動車自体から発生する騒音とタイヤ/路面騒音の測定の両方にとって重要である。発生する騒音を減少させるために自動車を設計し、またタイヤ/路面騒音の評価において、自動車構造の違いによって測定結果に影響を与えないようにしなければならない。自動車構造のタイヤ/路面騒音への影響について、ホイールベース、リムの幅と質量、材料、タイヤハウスについて調査し、測定時の注意項目が示されている。
14	STANDARDS AND METHODS FOR VEHICLE AND TYRE/ROAD NOISE MEASUREMENT	自動車とタイヤ/路面騒音の測定に関する基準と方法	タイヤあるいは路面の特性を評価する主な測定方法として、Acceleration Pass-By (APB) 法、Coast-By (CB) 法、Controlled Pass-By (CPB) 法、Statistical Pass-By (SPB) 法、Close-Proximity (CPX) 法、Trailer Coast-By (TCB) 法、室内ドラム (DR) 法の特徴が紹介されている。また、ISO 10844の路面の仕様、ISO 13472-1の原理を示し、路面測定に関する基準が紹介されている。

章	英文題名	和文題名	概要
15	MEASURING METHODS-DISCUSSION OF SOME MAJOR TOPICS	測定方法における外的要因について	騒音測定に影響を及ぼす外的要因として、風、周囲の騒音、反射音、マイクロホン設置箇所等の影響について記述されている。各要因について実験を行い、騒音への影響度合いについて調査されている。マイクロホン設置箇所を例に挙げると、設置高さ、方向、音源の大きさ、音源からの距離等について検討されている。また、騒音測定のための基準路面（ISO路面等）や基準タイヤ（PIARCタイヤ等）について紹介されている。
16	MEASURING INSTRUMENTS AND OTHER EQUIPMENT	測定方法とその他の装置	各国のタイヤ/路面騒音の測定に使用される測定車および室内測定装置について紹介されている。測定車は主にCPX法の測定車について紹介され、牽引式、一体式、乗用車を使用した例等、年代を追って各測定車の特徴について述べられている。また室内測定装置として、回転ドラムに実路を模した複製路面等を貼付けた実験装置や、それに伴う複製路面の作製方法やISO路面について紹介されている。
17	RELATIONSHIPS BETWEEN THE METHODS	各種騒音測定方法の関係	タイヤ/路面騒音の測定に関する要因として、マイクロホンの数、騒音源との距離や方向、路面形状、騒音レベルの尺度等が挙げられる。タイヤ/路面騒音における各種測定方法（CPX法、SPB法、CPB法、室内ドラム法等）に対して相関を得るための条件として、交通車種の分類、マイクロホンの設置角度、測定速度、路面の形状等の条件を満たすことで高い相関が得られると述べられている。
18	LOW NOISE COMPROMISING SAFETY OR OTHER IMPORTANT	低騒音と安全性などの関連	タイヤ/路面騒音に影響を及ぼす要因として、タイヤと路面間に生じる摩擦やタイヤが回転する際の抵抗力について述べられている。摩擦に関しては夏冬用タイヤ、走行速度、路面の状態等の条件に対する騒音への影響について、回転抵抗性に関してはタイヤのゴム硬度やトレッドパターン、走行速度等の条件に対する影響について述べられている。双方ともタイヤ/路面騒音と相関が低く、重要な要因ではないと位置づけられている。
19	TYRE/ROAD NOISE ISSUES RELATED TO METHODS AND MODELS	方法と予測モデルに関するタイヤ/路面騒音	トレッドパターンの形状が、タイヤ/路面騒音に与える影響について検討されている。コンピュータを用いたパターン解析によるタイヤ衝撃音の予測や、基準路面に対する各種路面の騒音値の予測・評価が行われている。また、実道における騒音値の予測も行われている。テクスチャ、舗装種類、大型車混入率等の様々な条件に対し評価する上で、換算式を用いて減じられる騒音値を算出している。
20	NOISE REDUCTION MEASURES RELATED TO TYRES	タイヤに関する騒音低減方法	騒音低減効果が発揮できるトレッドパターンの形状について、検討が行われている。例えば、タイヤ衝撃音が同調しないトレッドパターンの検討、タイヤの摩耗、ゴム硬度等について述べられている。また、タイヤ自体に騒音低減効果を与える方法として、トラス穴へのウレタン樹脂の充填や内部に鋼板を貼り付けステイフネスを高める等の騒音を低減する方法が紹介されている。
21	DESIGN GUIDELINES FOR NOISE REDUCTION RELATED TO ROAD SURFACES	路面に関する騒音低減のための設計ガイドライン	テクスチャなどの路面特性が、騒音低減に与える効果について述べられている。アスファルト舗装の路面において、骨材の最大粒径の上限は10mm（重交通路線は12mm）とし、できる限り小粒径にすることで効果が得られる。さらに、路面のテクスチャレベルが10～500mmの波長帯が低く、1～8mmの波長帯が高いほど効果がある。一方、コンクリート舗装の路面においては、ほうき仕上げのようにグルーピングの幅や間隔を狭くすることで効果が得られる。
22	LOW NOISE ROAD SURFACES-A STATE-OF-THE-ART REVIEW	低騒音路面 - 最近の話題	各国の低騒音舗装の取組みや騒音測定結果を踏まえ、低騒音路面と位置づけられる様々な舗装が紹介されている。低騒音路面を、「透水性」と「不透水性」に区分し、前者は排水性舗装やポーラスコンクリート舗装、後者は「Pavetex」（日本）や「Italgrip」（イタリア）などの舗装が含まれる。また、排水性舗装の空隙まりの回復方法として、オランダやスイスの機能回復車が紹介されている。
23	POTENTIAL NOISE REDUCTION BY CHANGED DRIVING BEHAVIOUR	運転挙動の変化による騒音低減の可能性	車両の走行状態と騒音の関連性について、速度、加速時や減速時およびコーナリング時の観点から述べられている。速度は騒音に大きく関連しており、速度と騒音値の関係式が紹介されている。速度を抑制すれば騒音は低減でき、道路にハンブを設けたり、Intelligent Transportation Systems（ITS）やIntelligent Speed Adaptation（ISA）の技術を導入することも有効であると記述されている。また、道路の縦断勾配は、加速時や減速時にタイヤにトルクがかかるため騒音が発生し、5%の縦断勾配までで、騒音は1～3dB程度増加する。この場合、4輪駆動車はタイヤのトルクが約半分になるため有効であると記述されている。

章	英文題名	和文題名	概要
24	OTHER TYRE/ROAD NOISE REDUCTION METHODS	その他のタイヤ/路面騒音の低減方法	車両走行時に発生する騒音伝播を、車輪部に取付けたカバーで低減させる方法が紹介されている。カバーの取付け方法は、5種類検討され、そのうち、車両の周囲を完全にゴム製のスカートで囲う方法では、5～10dBの騒音低減効果があった。また、トラックの車輪に鉄製のカバーを取付ける方法では、3～8dBの騒音低減効果があり、カバーの内側に吸音材を取付ければ、より高い騒音低減効果があった。これらカバーを取付ける方法は、水しぶきの発生防止や、タイヤ温度の低下によるタイヤの摩耗量の減少といった効果も併せ持つ可能性があるものの、さらなる長期の研究が必要であると記述されている。
25	FUTURISTIC TYRE DESIGNS	未来のタイヤ設計	現在の一般的な空気タイヤ(ホイールとタイヤラバーが別々のタイヤ)に変わる、ホイールとラバーが一体となった合成ホイールタイヤ(ホイールの円周部がラバートレッドで覆われているタイヤ)の研究結果と、ラバー部にポーラス構造を有するトレッドを備えたポーラストレッドタイヤの研究結果が紹介されている。合成ホイールタイヤは、良好な騒音低減効果が得られているが、構造的な耐久性に課題が残っている。ポーラストレッドタイヤのラバーは、小さなゴム粒子で形成され、空隙を有しているため、タイヤ回転時に発生するエアポンピングが低減することから騒音低減の効果を有している。
26	FUTURISTIC ROAD SURFACE DESIGNS	未来の路面設計	多孔質弾性舗装が紹介されている。多孔質弾性舗装は、振動で誘発されるタイヤ/路面騒音に対して非常に効果的である。一般的な密粒舗装に対し、約10dBの騒音低減効果があり、防音壁を建設するような騒音低減の方法に対し、聴覚的にも経済的にも匹敵するものである。また、走行車両に伴う路面の弾性体の挙動で、空隙つまりが減少する可能性もある。現在までに、多孔質弾性舗装の耐久性や安全性を向上させるための研究が行われており、今後は、供用中のメンテナンス方法の研究が必要であると記述されている。
27	ASPECTS OF HUMAN PERCEPTION AND SOUND QUALITY RELATED TO TYRE/ROAD NOISE	タイヤ/路面騒音に関連する人間知覚と音質の特徴について	タイヤ/路面騒音の聞こえ方について、騒音を受ける側(人間)から考察を加えている。具体的には騒音の音質と音調による聞こえ方の違いやそれを検証するために、日本およびTRLの研究事例を比較し紹介している。また、2層式ポーラスアスファルトの適用例を挙げている。
28	THE EU DIRECTIVE ON TYRE/ROAD NOISE EMISSION	タイヤ/路面騒音の発散に関するEU令	EUにおけるタイヤ/路面騒音に関する条例が紹介されている。EUでは、騒音に関する条例が細かく決められており、それらの効力やタイヤに対する影響などについても述べられている。
29	COSTS & BENEFITS OF LOW NOISE TYRES AND ROAD SURFACES	低騒音タイヤと低騒音路面のコストと恩恵	騒音低減のためのアプローチとして、タイヤを主として考察がされている。この「低騒音タイヤ」の性能やその評価手法に加え費用対効果について述べられている。
30	OVERVIEW OF STANDARDS, REQUIREMENTS AND ENVIRONMENTAL LABELLING SYSTEMS	規格、必要条件および環境表示システムの概要	騒音を広く一般に表示するシステムの事例が、紹介されている。dBやエネルギー量などの表示方法の有効性に加え、規格動向についても述べられている。
31	TYRE/ROAD SOUND-USEFULNESS OF THE SOUND EMISSION	タイヤ/路面音 - 音を発生させることの有効性	タイヤ/路面騒音を逆説的に捕らえ、騒音を発生させることによる有益性について紹介されている。具体的には、ハンブやグルーピングによりドライバーへの注意喚起を行う有効性について述べられている。
32	SEARCHING THE LITERATURE	文献調査	騒音に関する文献が、紹介されている。
33	CONCLUDING DISCUSSION	結論	-
34	REFERENCES	参考文献	-

3. タイヤ/路面騒音に影響する路面特性

本章では、Reference Bookのタイヤ/路面騒音に関する記述内容のうち、路面の特性に関するトピックスについて着目し、整理したものである。なお、本章中の図表に関しては、Reference Bookの図表を一部加筆・修正し、掲載している。

タイヤ/路面騒音に影響する路面特性に関しては、表 - 2 に示すとおりである。表 - 2 によれば、路面のテクスチャ、空隙、および層厚がタイヤ/路面騒音への影響度合いが高いようである。そこで以降の節では、影響度合いが高い路面特性を主に抽出し、タイヤ/路面騒音との関連性について詳述する。

3.1 テクスチャ

テクスチャは、表 - 3 に示すとおり、その波長範囲によりマイクロテクスチャ、マクロテクスチャ、メガテクスチャに分類される。これら3種類のテクスチャを模式的に示すと、図 - 2 のように表すことができる。

テクスチャの違いが、車両走行時に及ぼす結果との関係は、図 - 3 のようにまとめられる。

テクスチャの波長が長い領域である不陸やメガテクスチャは、運転者や同乗者への不快感や疲労に関係する。一方、テクスチャの波長が比較的短い領域へシフトすると、タイヤと路面間で発生する騒音や、摩擦抵抗への影響度合いが高くなっていく。

タイヤ/路面騒音を検討する場合、マクロテクスチャとメガテクスチャは、それぞれ関連づけて考える必要がある。一般に、キメの細かい舗装を走行する場合に比べ、キメの粗い舗装を走行する場合はタイヤ/路面騒音が大きくなる。その例は、車内騒音と舗装表面のテクスチャの関係を示した図 - 4 である。図から、平均キメ深さ (MTD) が大きくなるに従って車内騒音も大きくなる傾向があり、このことは、車外で測定される騒音 (タイヤ/路面騒音) も相対的に大きくなることを示している。

また、1998 ~ 1999年にスウェーデンで、様々なMPD (Mean Profile Depth) を有する舗装上のタイヤ/路面騒音をCPX (Close-Proximity) 法により測定

表 - 2 路面特性の影響度合い

路面特性	タイヤ/路面騒音への影響度合い
マイクロテクスチャ	低い(中)
マクロテクスチャ	非常に高い
メガテクスチャ	高い
不陸	低い
空隙	非常に高い
層の厚さ	高い(ポーラスアスファルト舗装)
付着性	低い(中)
すべり抵抗	マイクロテクスチャ参照
スティフネス	不明

表 - 3 ISO 13473-1やISO/DIS 13473-2に定義される路面のテクスチャの範囲の違い

範囲	テクスチャの波長範囲	1波長の代表的な振幅	コメント
マイクロテクスチャ	< 0.5mm	0.001 - 0.5mm	路面を形成するテクスチャは多少粗いように感じるが、たいてい肉眼で観察するには小さすぎる。タイヤが直接接する路面の個々の骨材や他の粒子片の路面特性(鋭角度や粗度)によって得られる。
マクロテクスチャ	0.5 - 50mm	0.1 - 20mm	タイヤと路面の接触面において、タイヤのトレッドと同じサイズの波長。路面は一般的に、タイヤと路面の接触面において適切な排水を得るために、一定のマクロテクスチャで設計する。マクロテクスチャは、骨材とモルタルの適切な配合比率によって、あるいは適切な施工技術によって得られる。
メガテクスチャ	50 - 500mm	0.1 - 50mm	タイヤと路面の接触面と同じサイズの波長。しばしば、くぼみや波として現れる。路面にとっては、一般に、不必要な特性であったり、思わしくない結果の状態である。メガテクスチャより長い波長をもつ路面のラフネスは、不陸とよばれる。

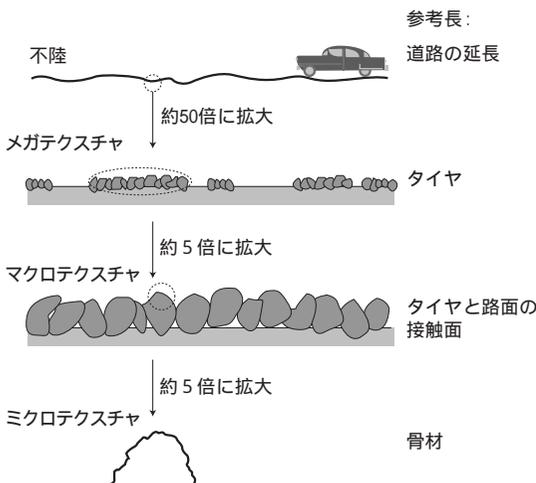


図 - 2 様々なテクスチャ範囲の略図

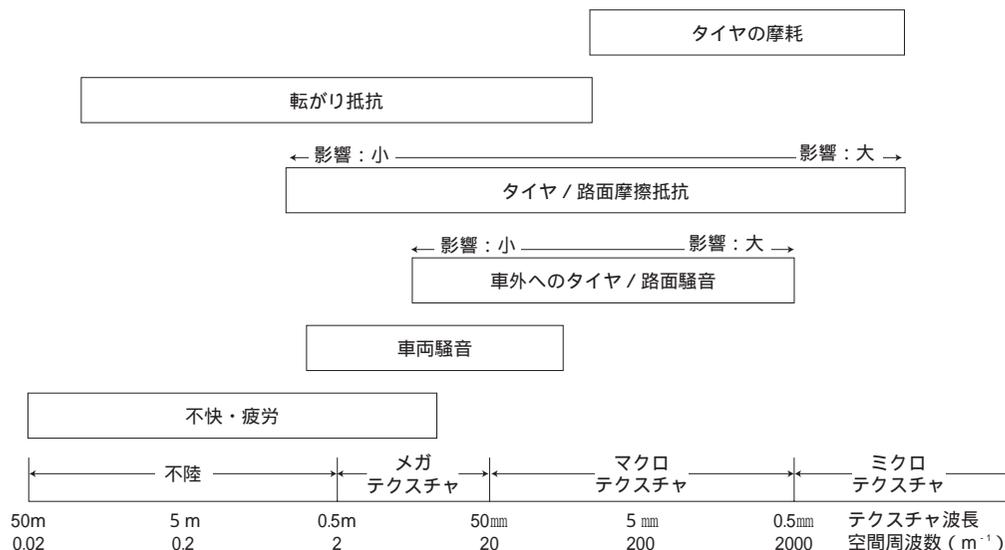


図 - 3 テクスチャの違いにより予想される結果

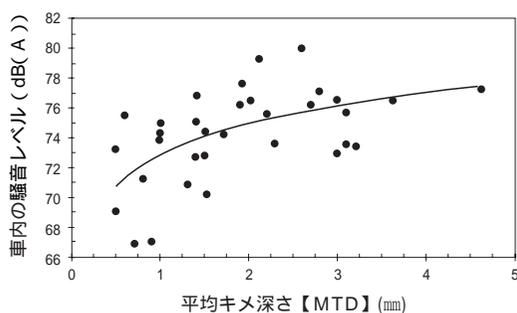


図 - 4 MTDと車内騒音の関係

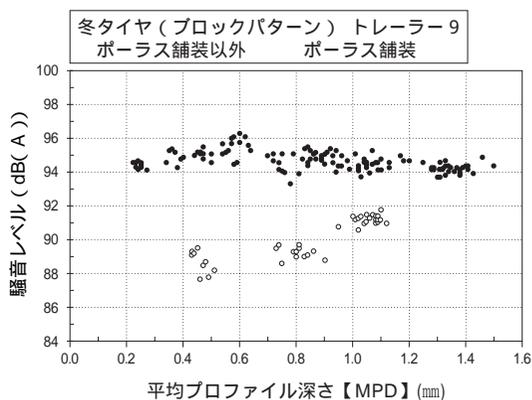
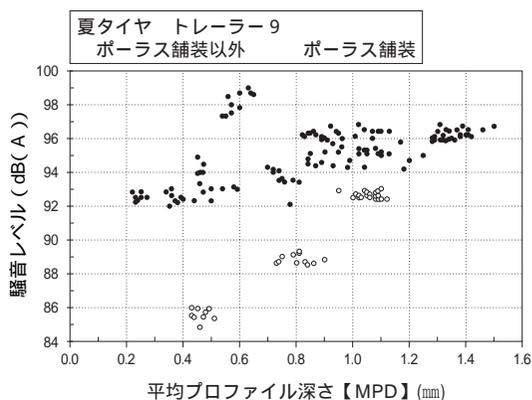


図 - 5 CPX法によるMPDとタイヤ/路面騒音の関係

10 ~ 500mmのテクスチャの波長領域を可能な限り下げ、1 ~ 8mmのテクスチャの波長領域を可能な限り上げることである。

している。この測定結果を図 - 5に示す。図から、同じMPDの場合でもポラス舗装はその他の舗装に比べ測定値が2 ~ 6 dB小さくなっている。また、ポラス舗装はMPDが大きくなるに従って測定値が大きくなり、MPDとタイヤ/路面騒音の関係が明確である。

次に、密粒路面のような代表的なテクスチャスペクトル(図 - 6参照)を例にとり、テクスチャの側面から低騒音化を図るための方策について説明する。

図 - 6中の白棒範囲のテクスチャは望ましくなく、最小限低いレベルにするべきであり、逆に黒棒範囲では、最大限高くするべきである。スペクトルは、可能な限り明確なピークを有するべきであり、そのピークは、図中の右側に最大限移動するべきである。つまり、下向きの矢印のように白棒範囲の波長のテクスチャレベルを下げ、上向きの矢印のように黒棒範囲の波長のテクスチャレベルを上げることである。理想的には、

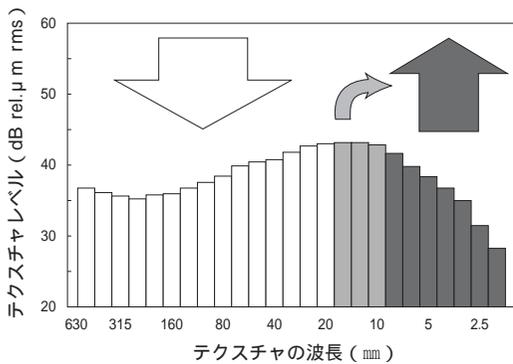


図 - 6 平坦なテクスチャである密粒路面と同質の代表的なテクスチャスペクトル（図中の矢印は、交通騒音を低くするための好ましい方向を示す）

具体的な方策の一つとしては、骨材の最大粒径を小さくすることである。これによりスペクトルのピークも右側に移動する。しかし、注意すべき事項は、すべてのテクスチャレベルを犠牲にしないで行われなければならないことである。

(1) マクロテクスチャ

マクロテクスチャは、次のガイドラインを満たさなければならない。

<小型車の場合>

マクロテクスチャは、1～8mmの波長領域で振幅を大きくし、10～50mmの波長領域で振幅を小さくする。

<大型車の場合>

マクロテクスチャは、0.5～12mmの波長領域で振幅を大きくし、16～50mmの波長領域で振幅を小さくする。

一般的に上記のガイドラインは、相反している。ある範囲を抽出したとき、5mmや50mmのような異なる波長のテクスチャの相互関係は、相関係数で約0.7～0.9である。これは、50mmで粗いテクスチャを有している路面は、一般的に5mmでも粗いテクスチャを有しており、逆に5mmで粗いテクスチャを有している路面は、50mmでも粗いテクスチャを有していることを意味する。実際の問題としては、50mmのテクスチャが増加せずに、5mmのテクスチャが増加することである。このことは、骨材の粒径や形状の選定によって、かなりの範囲に対して、テクスチャ領域を合わせることが可能である。

①最大粒径

最大粒径は、次のガイドラインを満たさなければならない。

<小型車の場合>

骨材の最大粒径は、可能な限り小粒径のほうが

よい。良好な低騒音を得るためには8mmを上回らないほうがよく、4～6mmがよりよい。すべての場合において、10mm以上の粒径は避ける。

<大型車の場合>

骨材の最大粒径は、可能な限り小粒径のほうがよい。良好な低騒音を得るためには12mmを上回らないほうがよく、6～10mmがよりよい。すべての場合において、12mm以上の粒径は避ける。

マクロテクスチャのガイドラインと最大粒径に関するガイドラインは相反している。最大粒径に小粒径骨材を選定した場合、振幅は最大粒径におおよそ比例するため、振幅はより小さくなる。この場合、マクロテクスチャのガイドラインと最大粒径に関するガイドラインのどちらを優先させるかについては、最大粒径を優先させることを推奨している。これは、小粒径骨材の場合、1～8mmの波長領域における振幅は小さくなるが、より重要な10mm以上の波長領域における振幅も小さくなるからである。

したがって、最大粒径を小粒径にするか、あるいは1～8mmの波長領域で大きい振幅にするかの選択においては、小粒径を選択する。

②骨材形状と混合物粒度

骨材形状もまた、テクスチャに影響する。可能な限り鋭角を維持し、ポリッシング作用に抵抗があり（タイヤと路面間の低摩擦に起因する安全面からの検討も含めて）、破碎骨材のような鋭角な骨材を選ぶ。

混合物粒度に関しては、混合物の表面に空隙を有する骨材粒度を使う。その理由としては、骨材間のテクスチャの凹部分は、空気の逃げ場をもたせ、エアポンピング音の発生が低減するからである。なお、この粒度は必ずしもポーラスな舗装ではない。その良い例としては、SMAがあげられる。しかし最大粒径は、8mm以下（小型車対応）あるいは12mm以下（大型車対応）とすること。

(2) メガテクスチャ

メガテクスチャは、低周波数帯の騒音に影響する。

メガテクスチャ領域では、可能な限り平滑にして振幅を小さくする必要がある。このためには、骨材の最大粒径を小さくし、均一なテクスチャを構築することが非常に重要で、骨材飛散等を起こさないよう対策を講じる必要がある。

①骨材形状と骨材配列

低騒音化の重要な要因として、骨材の配列が挙げられる。偏平・細長な骨材を用いた場合には、不均

一な骨材配列となる。したがって、骨材形状は、立方体のもをなるべく選択する。仮に偏平な骨材を用いるならば、均一な骨材配列を得るために十分な転圧を行うことが重要である。

骨材の代表的な形状例と配列例を図 - 7 に示す。この例では、a が最も良く、次に c、b の順で、d が最も好ましくない状態である。

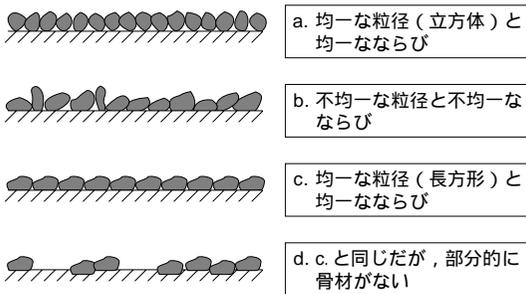


図 - 7 骨材の形状と配列の例

3.2 空隙

テクスチャとともに、空隙は、“低騒音路面”を構成する上で重要なパラメータの一つである。空隙により、タイヤ/路面騒音とともに駆動機関音も減少する。駆動機関音の減少は、舗装の空隙による吸音効果を意味し、高速道路の場合が1000Hz、一般道路の場合が600Hzで最大吸音率が「1」となるように設計されることが望ましく³⁾、可能な限り幅広い周波数帯で吸音されるべきである。

しかし、空隙率を大きくした場合には舗装の耐久性が低下する。混合物の耐久性が確保できる最大の空隙率は、25～30%³⁾、あるいは30～32%⁴⁾といわれているが、実用的な空隙率の範囲は15～25%程度と考えられる。

空隙に関するガイドラインは、以下のとおりである。

- ・連続空隙率が10%以上の場合に吸音効果が期待できるが、音響上で有効となる連続空隙率は20%以上である。なお、空隙率は耐久性さえ確保できれば、それが大きいほど吸音効果が高まる。
- ・最適な流出抵抗（空気が空隙を通過するときの空気の抵抗）は、高速道路で20～50kNsm⁻⁴、低速道路で12～30kNsm⁻⁴である。
- ・骨材の最大粒径が10～11mmの場合に、最適な流出抵抗が得られる。
- ・路肩や歩道、駐車場などをポーラス舗装とすることで吸音効果が高くなる。

3.3 層厚

層厚に関するガイドラインは、以下のとおりである。

- ①層厚は、高速道路で38mm、低速道路で63mmにするべきである³⁾。
- ②層厚は、少なくとも40mmにするべきであり、なるべくなら、可能な限り厚くするべきである⁵⁾。

いくつかのケースで、大変良好な音響結果が、きわめて厚い表層(700mmまで)で得られているため、①には多少の議論の余地があるものと、著者は考えている。

3.4 バインダ

現在まで、舗装のスティフネスが騒音に影響を及ぼすことは示されていない。スティフネスについては、ある程度広範囲にわたり議論はされているものの結論は出ていない。

図 - 8 は、平滑に仕上げられたコンクリート舗装上にサンドペーパー（目の粗さ0.6/1.0mm）を敷いた舗装と、コンクリート舗装上に柔らかいゴムシートとサンドペーパーを敷いた舗装を走行した際のCB（Coast-By）法によるタイヤ/路面騒音の測定結果である。

騒音値がピークを示す周波数800～1250Hzで、ゴムシートを貼り付けた路面は5dB低い結果となった。このように、極端に柔らかい（スティフネスの小さい）素材を舗装表面に使用した場合には、騒音を低減することができる。このことから、舗装表面のスティフネスが、騒音値へ影響を与えることが予想される。

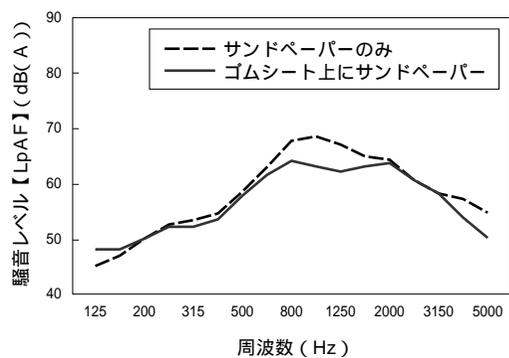


図 - 8 舗装表面のスティフネスの違いによるタイヤ/路面騒音測定結果

バインダに関するガイドラインとしては、以下の事項が挙げられる。

- ・硬質なバインダは避ける。
- ・ポーラス路面の場合、連続空隙率が可能な限り高くなるバインダを使用する。

- ・ポーラス路面の場合、可能な限り空隙つぶれに抵抗性のあるバインダを使用する。
- ・ポーラス路面の場合、バインダの選定に際し、連続空隙の確保と空隙つぶれへの抵抗性の両者の特性を同時に満足できない場合は、空隙つぶれへの抵抗性を優先すること。

3.5 コンクリート舗装

コンクリート舗装の路面は、特別な表面処理が行われる場合を除いて、雨天時の安全な高速走行を確保するために、グルーピングを施した特殊なテクスチャとなっている。その理由は、グルーピングなどの表面処理を施していないコンクリート舗装の表面排水能力が、決して高くないためである。

路面が新しく、グルーピングが有効であれば、それが摩耗するまでの間は、機能を保持できる。しかし、グルーピングは「音響」の見地から見ると好ましくなく、コンクリート舗装が“うるさい”というイメージを植えつけてしまった。したがって、コンクリート舗装にグルーピングを施す際には、タイヤ/路面騒音について考慮する必要がある。

そこで本節では、コンクリート舗装の交通騒音を減少させるために有益なケースについて紹介する。なお、これらの情報については、「第7回セメントコンクリート舗装国際会議（1994年）」で報告されている。

(1) グルーピング

コンクリート舗装上の横断方向のグルーピングは、等間隔に掘るよりも、むしろほうき仕上げのようなランダムな間隔で表面処理した路面のほうが騒音の低減に効果がある。この場合、全体の騒音量はあまり低減しないものの、耳障りな周波数領域の騒音が低減する。

また、可能な限りグルーピングの幅は、狭くすべきである。騒音の観点からいえば、同一の表面排水能力の中では、溝の幅を広くするよりは、溝の深さを深くしたほうが望ましい。その際、グルーピングの間隔を狭くする方法も有効である。

縦断方向のグルーピングは、ほうき仕上げがよい。ほうき仕上げのようなグルーピングの場合、溝の角度が波のような滑らかな表面となり、タイヤの振動やエアボンピング音が減少する。この技術は、カリフォルニア、およびスペインで使われている。

潜在的な欠点としては、タイヤと路面の接触面における排水能力はあるものの、大雨の時に排水機能が低下してしまうこと、オートバイのステアリングへいくらかの影響が発生するかもしれないということである。

また、期待される効果が絶えず得られるわけではないということに注意が必要である⁶⁾。

(2) 表面研磨

コンクリート舗装の表面を研磨することは、非常に特別なケースである。しかし、意図的に表面を研磨した舗装表面は、広義の表面形状としては滑らかであり、実際には2～3mmの狭いパターンの溝を持つ表面形状となる。

この技術は、1965年にカリフォルニアで初めて使われ、新設路面でも既設路面でも適用可能であるため、米国で長年にわたり用いられてきた。さらに、ヨーロッパにおいても用いられている。これにより、達成され得る平滑のレベルは、新設の舗装に匹敵する。付帯効果としては、すべり抵抗性の向上と騒音低減効果である。

(3) 骨材露出工法

新設のコンクリート舗装を施工した場合には、舗装表面は緻密な状態となり、平滑な路面が形成され、しばしば高いレベルのエアボンピング音が発生する。事実、VTIで測定された最も“うるさい”舗装は、平滑でポリッシング作用を受けたコンクリート舗装であった。この原因は、大変古い舗装面の骨材飛散によってできた小さな穴により、エアボンピングが増大したためであろう。

このように音響の観点から、非常に平滑なテクスチャのコンクリート舗装は避けるべきである。しかし、特殊な舗装表面を得る手法として、舗装表面の骨材を露出する技術がある。このような処置を施した舗装は、Expose Aggregate Cement Concrete (EACC) と呼ばれている。

骨材が小粒径の場合に限定されるが、骨材を露出することにより、騒音低減に対して効果がある。オランダにおいて最大で32～20mmの骨材を使用したコンクリート舗装を研磨することで、騒音低減効果が大きいという結果が得られている。

この工法は、大きなマクロテクスチャと小さなメガテクスチャを得ることが重要である。小さなメガテクスチャは、総合的に滑らかなテクスチャを得るように工夫することであり、可能な限り小粒径の骨材を使用することによって得られる。

さまざまな供用年数のEACCにおいてVTIおよびTUGで測定を行った結果によれば、最も良いタイプのEACCは、SMAよりも優れた騒音低減効果を示していた。

3.6 舗装体内の残存水分量

騒音に関して、水の影響は重要な問題であると認識されているものの、騒音に対する舗装体内の残存水分量の影響を示す有効なデータがない。今までの研究では路面が“乾いている”あるいは“濡れている”かを比較するものであり、残存水分量を定量化する必要がある。

図 - 9 は、SMAの降雨時間の経過と騒音レベルの関係を示したグラフである。騒音レベルは雨が降り始めるとかなり急速に上昇し、最大降雨量後、乾いた路面と濡れた路面では最大6 dBの差が生じている。また、雨が止んでから数時間は騒音レベルの増加が続いている。最大1 mm/hという、あまり降雨量が多くないときでも、騒音レベルの増加や、その持続性が高い。

また、騒音レベルと降雨量に関するデータを図 - 10 に示す。図 - 10の上の図は、路面の乾いた状態が1週

間以上続いたときの騒音レベルの変化を示したものである。下の図は、降雨があったときの騒音レベルの変化を示したものである。

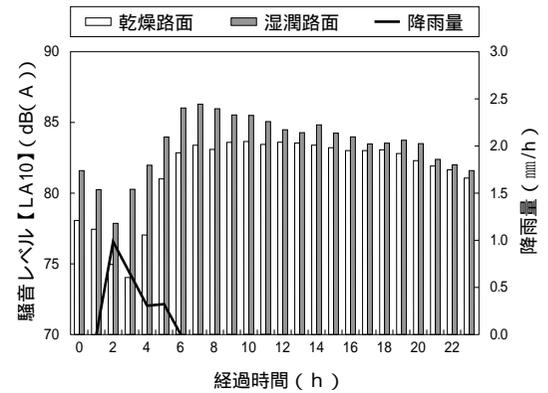


図 - 9 乾燥路面と湿潤路面での騒音レベルの比較⁷⁾

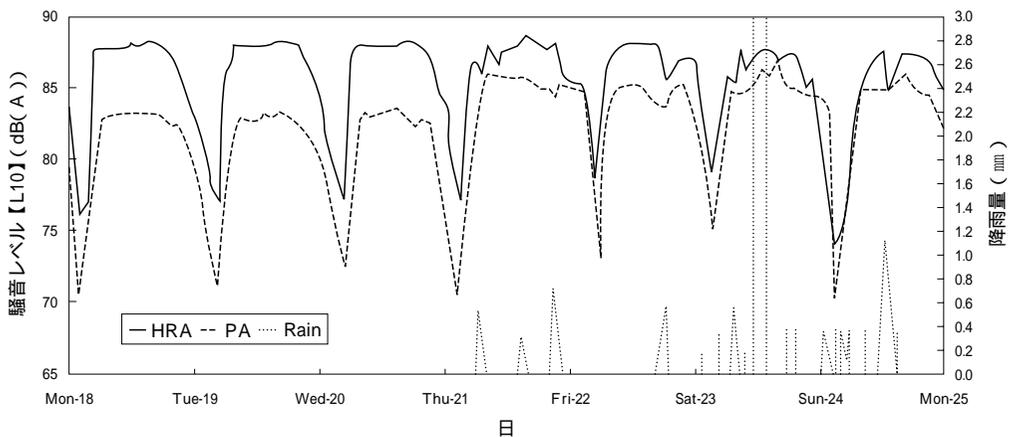
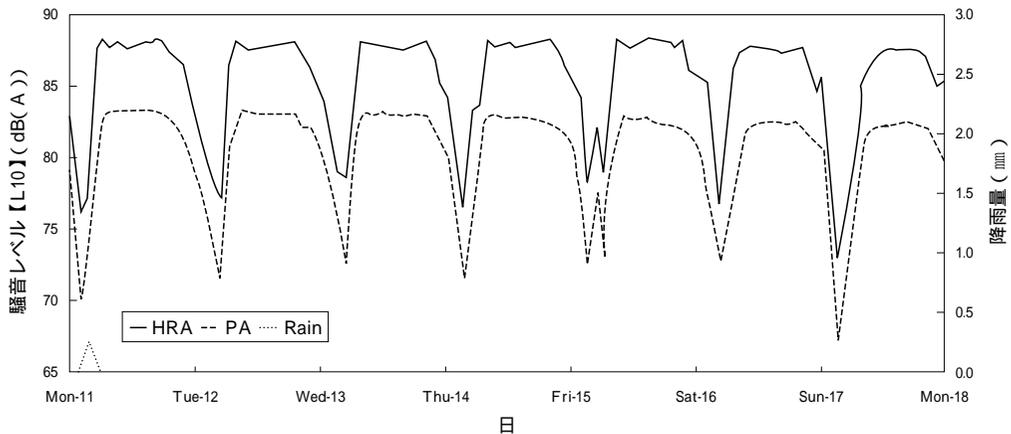


図 - 10 ポーラスアスファルト舗装 (PA) およびホットロードアスファルト舗装 (HRA) の降雨による騒音レベルの影響⁷⁾

降雨の前後でポーラスアスファルト舗装（PA）の騒音レベルの変化がはっきりとわかり、最大で3～4 dB増加している。図中のFri-22のように雨が降らない状態が18時間続いたとき、ポーラスアスファルト舗装の騒音レベルは乾燥路面のときの騒音レベルまで回復している。

ホットロードアスファルト舗装（HRA）に関しては、騒音レベルは降雨によって著しく増加するということはない。逆に騒音レベルは降雨により減少している。しかし、著者によれば、その原因は降雨により車の速度が減少したためであると考えられている。ポーラスアスファルト舗装の場合、“視覚的に”路面が乾いた状態のままなので車の速度が減少しないからである。

少なくともポーラスアスファルト舗装では空隙にたまった水が騒音レベルに影響を及ぼすと結論づけられる。ポーラスアスファルト舗装における水の影響は水が空隙を満たしエアポンピング音の減少を妨げているためである。騒音の発生や伝播に影響を及ぼす残存水分は、ポーラスアスファルト舗装の空隙内にその量が若干であっても考慮する必要がある。

テクスチャの粗い舗装において、少量の降雨の降り始め前後で、VTIやTUGによりタイヤ/路面騒音をCB（Coast-By）法で測定した（図-11参照）。測定は70km/hと90km/hで行い、90km/hの結果は70km/hに補正した。横軸は走行回数であるが、走行回数20回は、おおよそ30分間に相当するため、横軸は時間スケールとも解釈できる。

雨によりわずかに路面が濡れた直後（走行回数11回目）、騒音レベルは多少減少するが、降雨量が増加すると騒音レベルも増加する。

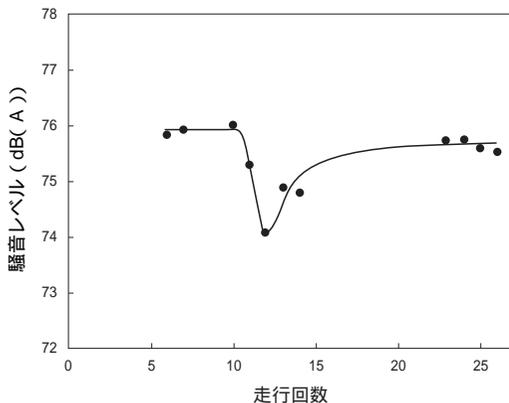


図-11 少量の降雨時における騒音レベルの時間変化量

騒音レベルが最も低くなった時の路面は、濡れて黒くなってはいるものの、手で触った時にまだ手をぬらさない状態であった。その後、雨が降り路面がさらに湿潤状態になった時でも、乾燥路面の時まで騒音レベルは増加しなかった。これは、路面のテクスチャが大変粗いためである。

もう一つの非常にわずかな霧雨時の騒音減少に関する測定は、1998年に行われた国際CPX実験⁹⁾である。この実験は、ポーラス路面において、霧雨後の軽く湿った路面と、完全に乾燥した路面でCPX法により、80km/hで測定を行った。測定結果は、試験タイヤの両サイドに位置するマイクロホンから得られたデータの平均である。周波数スペクトルで測定結果を比較したところ、マイクロホンの位置が後方において、軽く湿った路面のほうが2000Hz以上の高周波数帯で騒音レベルが数dB減少した（図-12参照）。

マイクロホンの位置が後方の高周波数帯で発生した乾燥路面での騒音レベルの増加は、予想されたすべり抵抗の影響によく適合する。しかしながら、低周波数帯で増加する騒音レベルについては説明することが困難である。

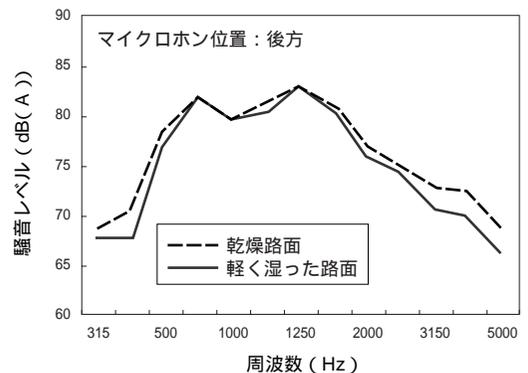
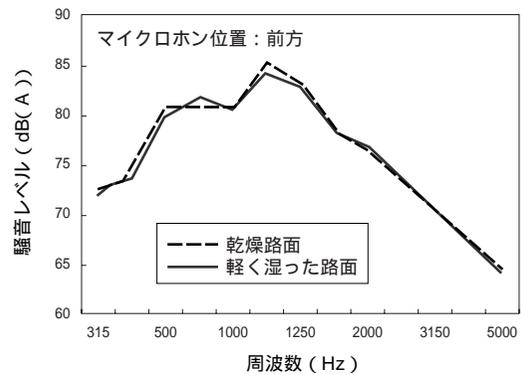


図-12 軽く湿った状態と、完全に乾燥した状態の同一路面でのタイヤ/路面騒音測定結果⁹⁾

3.7 低騒音特性の維持

ポリッシング作用による路面の摩耗によって、高周波の騒音が増加することが知られている。この対策としては、比較的鋭角な骨材を使うことである。

さらに、安全性の面からいえることだが、ブリージングやフラッシュを発生させないことである。これは、タイヤと路面間でエアポンピングが発生するためである。

ポーラス舗装の空隙がつまった場合には、定期的に路面を清掃することが必要である。いくつかの機能回復車が、製造され、試験されたが、明確な成功例はない。

もっとも見込みのあるものは、2層式ポーラス舗装（発明者によってTwin-Layと呼称される）である。2層式ポーラス舗装は、上層に小粒径骨材を用いることから“フィルター”としての機能を有する。小粒径の骨材と適切な転圧により、比較的容易に平滑なメガテクスチャが得られる。下層には、大きな粒径の骨材と大きな空隙があり、下層の骨材の粒径は、ここではマイナス要因とはならない。

3.8 路面の劣化と摩耗

路面の劣化と摩耗により影響する路面特性を列記すると、以下のとおりである。

- ・混合物中のアスモル分が摩耗するにつれ、メガテクスチャとマクロテクスチャは変化する。
- ・渋滞により舗装路面はスティフネスだけでなく路面自体が変形するため、メガテクスチャとマクロテクスチャが変化する。
- ・マイクロテクスチャは、主に路面を通過するタイヤによる摩耗で変化する。（ただし、ピンを打込んだスタッドタイヤを除く。）
- ・路面の劣化により、骨材の風化や破砕作用が生じ、アスモル分の損失によりマイクロテクスチャとマクロテクスチャの両方に悪影響を及ぼす。雨もまたマイクロテクスチャの変化に影響を与える。
- ・表層がポーラスならば、空隙がつまることを考慮する必要がある。

路面特性の経時変化によるタイヤ/路面騒音への影響を列記すると、以下のとおりである。

- ・密粒度アスコンの路面は滑らかなテクスチャを有しているため、一般に施工直後の1, 2年は騒音レベルが高くなるものの、その後、数年先の舗装の寿命まで、騒音レベルは一定のままである。
- ・粗粒度アスコンの路面の場合、当初は高いレベル

のマクロテクスチャを有しているが、タイヤの摩擦やエアポンピング作用により、徐々に平滑化していく。しばしば供用直後より騒音レベルは低減し、その後一定になる。

- ・ポーラスな路面の場合、空隙づまりが発生する。そのため、元々の粗いテクスチャが平滑になり、タイヤと接触する路面の骨材表面は摩耗し粗くなる。これは継続して起こり、騒音の悪化する度合いは、早くなったり遅くなったりする。
- ・平滑なテクスチャを有するコンクリート舗装の場合、騒音レベルは一般的に時間とともに安定してくる。
- ・グルーピングやほうき仕上げされたコンクリート舗装の場合、それらが時間経過とともに浅くなる。また、グルーピングの溝部分が欠けて幅が広がる場合もある。後者の方が騒音は増加する傾向にある。

3.9 まとめ

路面の特性が、タイヤ/路面騒音へ及ぼす影響についてまとめると、以下のとおりである。

- ・マクロテクスチャとメガテクスチャは、それぞれ関連づけて考える必要がある。
- ・平均キメ深さ（MTD）やMPD（Mean Profile Depth）の数値が増加すれば、騒音も増加する。
- ・テクスチャの波長のうち、10～500mmの領域を可能な限り下げ、1～8mmの領域を可能な限り上げるにより、騒音低減につながる。これは、骨材の最大粒径の小粒径化を意味する。
- ・マクロテクスチャのガイドラインについては、骨材の粒径や形状を選定することによって、テクスチャ領域を合わせることが可能である。
- ・メガテクスチャについては、可能な限り平滑にして振幅を小さくする必要があり、このためには骨材の最大粒径を小粒径化し、均一なテクスチャを構築することが非常に重要である。
- ・空隙により高い吸音効果が得られるため、耐久性に関する必要条件が確保できる範囲内で、空隙は高いほうがよい。
- ・耐久性が確保できる混合物として満足する最大空隙率は、25～32%³⁾⁴⁾といわれているが、実用的な空隙率の範囲は15～25%程度と考えられている。
- ・層厚は、厚いほうが騒音低減に効果があると考えられている。
- ・ポーラス混合物の場合、空隙率の大きい混合物と

なるため、連続空隙の確保とともに、空隙つぶれに対して抵抗性があるバインダを選定する。

- ・コンクリート舗装のグルーピングは、ほうき仕上げのようなランダムな間隔で配置したほうが騒音低減に効果がある。グルーピングの幅や間隔を狭くする方法も騒音低減に効果がある。
- ・コンクリート舗装表面の研磨や、骨材露出工法（EACC）は、騒音低減効果がある。
- ・舗装体内の残存水分について、ポーラス舗装では、空隙にたまった水が騒音に影響を及ぼす。ポーラス舗装における水の影響は、水が空隙を満たしエアポンピング音の減少を妨げているためである。
- ・舗装体内の残存水分は、騒音の発生や伝播に影響を及ぼすため、ポーラス舗装の空隙内の残存水分量が若干であっても考慮する必要がある。
- ・ポーラス舗装において、非常にわずかな霧雨後の少し湿った路面では、乾燥路面に比べて騒音が低下したという結果もある。
- ・低騒音特性を維持するためには、ポリッシング作用に抵抗のある骨材の使用や、ブリージング、フラッシュの発生防止がある。

- ・ポーラス舗装の空隙づまりが発生した場合に使用する機能回復車は、現在のところ、明確な成功例がない。
- ・現在、低騒音特性の維持において期待できる舗装は、2層式排水性舗装である。この理由は、上層部の小粒径骨材によるフィルター効果と平滑なメガテクスチャの確保、および下層部の大きな粒径の骨材による空隙の大きさによる効果である。

4. おわりに

Reference Bookは、タイヤ/路面騒音をキーワードに多彩な内容が記載されており、本稿ではその中から路面特性が及ぼす影響について紹介した。わが国においても舗装の性能評価の一つとしてタイヤ/路面騒音の測定が行われており、その際に本稿が参考になれば幸いである。

なお、Reference Bookで掲載しているタイヤ/路面騒音の測定方法については、平成18年12月頃に発刊予定の舗装工学ライブラリー4（社土木学会）で紹介される予定であることを最後に付記する。

参考文献

- 1) 財自動車検査登録協会ホームページ：自動車保有台数，<http://www.aira.or.jp/number/index.html>
- 2) 社日本道路協会：舗装施工便覧（平成18年版）
- 3) von Meier, A. (1992-2): "Thin Porous Surface Layers-Design Principles and Results Obtained". Proc. of Eurosymposium "The Mitigation of Traffic Noise in Urban Areas", LCPC, Nantes.
- 4) Jamieson, N. J.; Patrick, J. E. (2001): "Increased Effective Life of Porous Asphalt". Transfund New Zealand Research Report (ISBN 0-478-11595-4), Wellington, New Zealand (report produced by Opus International Consultants Ltd, Lower Hutt, New Zealand).
- 5) Sandberg, Ulf (1992-3): "Low Noise Road Surfaces A State-of-the-art Review". Proc. of the Eurosymposium "The Mitigation of Traffic Noise in Urban Areas", LCPC, Nantes, France.
- 6) Samuels, Stephen (1996): "Some Aspects of Tyre/Road Noise from Rigid Pavements". Proc. of Noise-Con 96, Seattle (available on CD-ROM, see [I-INCE, 2001]).
- 7) Phillips, S.; Abbott, P. (2001): "Factors affecting Statistical Pass-by measurements". Proc. of Inter Noise 2001, The Hague, The Netherlands.
- 8) CPX (2000)= Steven, H.; Kupperts, D.; van Blokland, G. J.; van Houten, M. H.; van Loon, R. (2000): "International Validation Test for the 'Close Proximity Method' (CPX)". CDROM from M+P Raadgevende ingenieurs bv, Bruistensingel 232, NL-5232 AD's-Hertogenbosch, the Netherlands.
- 9) van Houten, Rier(1999): Personal communication with Mr Rien van Houten, M+P Raadgevende ingenieurs b. v., Netherlands.

<統計資料>

1. 石油アスファルト需給実績（総括表）

（単位：千t）

年 度	供 給					需 要					
	期初在庫	生 産	対前年 度比(%)	輸入	合 計	販 売 (内需)	対前年 度比(%)	輸出	小 計	期末在庫	合 計
16 年 度	262	5,671	(103.3)	1	5,934	3,693	(94.9)	299	3,993	250	4,243
17. 7 月	265	411	(81.2)	0	676	215	(80.3)	44	258	279	537
8 月	279	375	(83.7)	0	654	245	(87.7)	33	278	258	536
9 月	258	495	(113.6)	0	753	313	(106.0)	33	346	231	577
7～9 月	265	1,281	(92.2)	0	1,546	773	(91.8)	109	882	231	1,114
10 月	231	460	(95.9)	0	692	267	(82.7)	49	316	238	554
11 月	238	494	(106.7)	0	732	325	(86.4)	35	359	220	580
12 月	220	497	(84.1)	0	717	302	(83.4)	28	331	233	564
10～12 月	231	1,451	(94.6)	0	1,682	894	(84.2)	112	1,006	233	1,239
18. 1 月	233	415	(90.9)	0	648	211	(79.5)	22	233	247	480
2 月	247	488	(96.2)	0	735	288	(91.4)	34	322	263	585
3 月	263	636	(94.4)	0	899	466	(96.0)	29	495	231	726
1～3 月	233	1,539	(94.0)	0	1,772	965	(90.5)	85	1,050	231	1,281
17 年 度	250	5,373	(94.7)	0	5,623	3,342	(90.5)	411	3,754	231	3,984
18. 4 月	231	396	(101.0)	0	627	206	(86.5)	45	251	270	521
5 月	270	309	(94.6)	0	579	183	(83.9)	37	220	287	508
6 月	287	371	(97.0)	0	659	254	(99.5)	44	298	222	520
4～6 月	231	1,077	(97.7)	0	1,308	642	(90.4)	127	769	222	991

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 ア ル ト	合 計	ストレート・アスファルト				ブ ロ ー ン ア ス フ ア ル ト	合 計
	道路用	工業用	燃焼用	計			道路用	工業用	燃焼用	計		
16 年 度	2,863	119	561	3,543	150	3,693	93.0	106.0	102.3	94.8	99.0	94.9
17. 7 月	132	9	64	205	10	215	68.1	122.5	116.7	80.0	87.6	80.3
8 月	156	9	71	235	10	245	78.0	109.7	116.8	87.7	87.8	87.7
9 月	230	10	67	308	5	313	96.3	105.1	213.2	109.8	36.0	106.0
7～9 月	519	28	202	748	25	773	81.9	111.7	137.6	92.9	66.8	91.8
10 月	182	11	64	256	10	267	74.5	97.2	115.8	82.7	82.3	82.7
11 月	241	13	59	313	12	325	82.8	91.3	106.4	86.8	76.9	86.4
12 月	216	11	65	292	11	302	75.6	86.8	128.0	83.6	78.8	83.4
10～12 月	639	35	187	861	33	894	77.8	91.6	116.4	84.4	79.2	84.2
18. 1 月	133	9	59	201	10	211	69.3	89.0	117.0	79.7	76.1	79.5
2 月	204	13	60	278	10	288	84.7	110.9	118.7	91.4	90.6	91.4
3 月	385	15	54	454	12	466	93.6	106.3	114.2	96.1	95.8	96.0
1～3 月	721	38	173	933	32	965	85.5	102.8	116.7	90.7	87.0	90.5
17 年 度	2,374	126	717	3,217	125	3,342	82.9	105.4	127.9	90.8	83.6	90.5
18. 4 月	132	8	56	196	9	206	81.3	89.4	101.1	86.5	87.3	86.5
5 月	124	12	37	173	10	183	84.8	166.5	67.9	83.3	97.9	83.9
6 月	181	13	46	240	13	254	97.2	152.8	102.7	100.2	88.9	99.5
4～6 月	437	33	139	610	33	642	88.3	133.1	89.9	90.3	91.0	90.4

〔注〕(1) 内需量合計は、石油連盟発行「石油資料月報」より引用。

(2) 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）

有限責任中間法人 日本アスファルト協会会員

社 名	住 所	電 話
-----	-----	-----

(平成18年9月1日現在)

[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
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	(103-0025) 中央区日本橋茅場町1-7-7	03(5847)2611
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
新日本石油株式会社	(105-8412) 港区西新橋1-3-12	03(3502)9122

[ディーラー]

東北

株式会社男鹿興業社	(010-0511) 男鹿市船川港船川字海岸通り1-18-2	0185(23)3293
カメイ株式会社	(980-0803) 仙台市青葉区国分町3-1-18	022(264)6111

関東

株式会社アスカ	(106-0032) 港区六本木4-11-4	03(5772)1505
伊藤忠エネクス株式会社	(153-8655) 目黒区目黒1-24-12	03(5436)8211
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
コスモ石油販売株式会社	(104-0032) 中央区八丁堀3-3-5	03(3551)8011
コスモアスファルトカンパニー		
関東礦油エネルギー株式会社	(107-0051) 港区元赤坂1-1-8	03(5474)8511
株式会社ジェイエック	(103-0028) 中央区八重洲1-2-1	03(3272)3471
竹中産業株式会社	(101-0044) 千代田区鍛冶町1-5-5	03(3251)0185
日東商事株式会社	(170-0002) 豊島区巢鴨4-22-23	03(3915)7151
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
ユニ石油株式会社	(107-0051) 港区元赤坂1-7-8	03(3796)6616

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
松村物産株式会社	(920-0031) 金沢市広岡2-1-27	0762(21)6121

有限責任中間法人 日本アスファルト協会会員

社 名	住 所	電 話
近畿・中国		
出光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
三徳商事株式会社	(532-0033) 大阪市淀川区新高4-1-3	06(6394)1551
昭和瀝青工業株式会社	(670-0935) 姫路市北条口4-26	0792(26)2611
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
富士商株式会社	(756-8501) 小野田市稲荷町10-23	0836(81)1111
株式会社松宮物産	(522-0021) 彦根市幸町32	0749(23)1608
横田瀝青興業株式会社	(672-8057) 姫路市飾磨区細江995	0792(33)0555
四国・九州		
今別府産業株式会社	(890-0072) 鹿児島市新栄町15-7	0992(56)4111
三協商事株式会社	(770-0941) 徳島市万代町5-8	0886(53)5131
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
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

編集顧問	編集委員
多田宏行	委員長：中村俊行 安崎 裕 小島逸平 野村健一郎 森久保道生 大坪義治 下田哲也 姫野賢治 山本泰幹 神谷恵三 田井文夫 溝渕 優 吉村啓之 栗谷川裕造 武田将人 峰岸順一

アスファルト 第220号

平成18年10月発行

有限責任中間法人 日本アスファルト協会

☎ 135-8074 東京都港区台場2-3-2

昭和シェル石油株式会社 技術商品部内

問い合わせ先

・コスモ石油株式会社 広域販売部 武田 将人

TEL 03-3798-3112

・昭和シェル石油株式会社 中央研究所 森久保道生

TEL 046-285-0829

印刷所 キュービシステム株式会社

☎ 101-0041 東京都千代田区神田須田町1-12-6

マルコビル4F TEL 03-5256-0051

Vol.49 No.220 OCTOBER 2006

Published by **THE JAPAN ASPHALT ASSOCIATION**

有限責任中間法人 日本アスファルト協会 ホームページ <http://www.askyo.jp/>