ISSN 0912－0793

# アスファルト

第50巻　第221号　平成19年４月発行

# 221

**特集・我が国の舗装研究の現状と今後**

**特集にあたって**　笠原　篤　1

**（独）土木研究所つくば中央研究所における舗装研究の現状と今後の展望**　久保和幸　3

**（独）土木研究所寒地土木研究所における積雪寒冷地の舗装技術の研究**　田高　淳　7

**（独）港湾空港技術研究所におけるアスファルト舗装に関する最近の研究**　八谷好高　10

**わが国の国立大学における舗装研究の現状と今後**　丸山暉彦　14

**中央大学における舗装研究の現状と今後**　姫野賢治　18

**石川工業高等専門学校における舗装の汎用性能予測モデルの開発**　西澤辰男　22

**東京都における環境負荷軽減に寄与する舗装研究の現状と今後の課題**　小林一雄　29

**大阪市における舗装維持管理計画の取り組みと保水性舗装の効果について**　髙島伸哉・永井　茂・平野みゆき　33

**高速道路舗装研究の現状と今後**　七五三野茂　39

**民間における舗装の研究開発の現状と今後の展望**　原　富男・根本信行　43

＜アスファルト舗装技術研究グループ・第５３回報告＞　佐々木厳　48

**NCHRP Synthesis 325「実物大舗装促進載荷試験による重大な発見」の紹介**　岩塚浩二・金井利浩・岸田正憲・鎌田孝行・小柴朋広・清水泰成・高橋光彦・森石一志　49

**舗装関連の機関からインターネットに発信されている情報について**　岩永真和・大場拓也・加納孝志・千原正規・塚越智浩・林　信也・増山幸衛・森嶋洋幸　67

＜統計資料＞石油アスファルト需給統計資料　76

ASPHALT

有限責任中間法人 日本アスファルト協会

THE JAPAN ASPHALT ASSOCIATION

# 特集にあたって

笠　原　　篤
北海道工業大学　社会基盤工学科　教授　工博

『研究』とは，ある特定の物事について，Study（人間の知識を集めて考察）し，Research（実験，観察，調査などを通して調べる）し，その物事についての事実を深く追求することにより，新しい事実や解釈を発見する一連の過程のことである。すなわち，研究は，「知の発見」であると定義される。それゆえ，研究の遂行者は，得られた研究成果が，既に解明されていないことを示し，それが新発見であることの承認を得るために公表しなければならないとされている。研究には基礎研究と応用研究の２つがあり，それらを厳密に区分することはできないが，前者は理論や知識の進展を目的にしており，後者は具体的な問題の解決を目指し，産業や社会の発展のために行われる。舗装に関する研究は応用研究と位置づけられ，どのような研究にあっても，研究には研究者・研究施設・研究費が不可欠となる。さらに，応用研究の分野においては研究マネジメントが最も重要となる。

我が国の舗装研究の現状を見るに，官学民のそれぞれの立場で精力的な研究を進めているが，各々の役割分担が明確にされていないように思われる。「学の研究」は応用研究の基礎部門を受け持ち，「民の研究」は企業活動におけるコストパフォーマンスの追求にある。「官の研究」は学民では行え得ない大規模調査や大規模施設の提供が役割であり，その研究目的は節税にある。たとえば，（独）土木研究所は舗装走行実験施設や苫小牧寒地試験道路を，また（独）港湾空港技術研究所も原型荷重走行車を所有している。試験道路としては国道36号線（新千歳空港近傍）に美々新試験道路が1990年に建設されて以来，パフォーマンス観測が続けられている。一方，米国のミネソタ州では世界最大の試験舗装であるMnRoad（全長６マイル，40試験区間，4572個の埋設センサー）を1990年に建設し，20年間のパフォーマンス観測を行っている。この試験目的の第一に，納税者のためにとある。さらに，大型トレーラを走行させるWestrack，NCAT Test Trackなどの試験道路が各地に建設され，試験が実施されている。

戦後，我が国の道路技術の幕開けは，1953年11月に完成した国道36号線「札幌－千歳間道路」である。特記すべきは，この道路を基本設計から竣工までわずか１年余という短期間で延長34.5㎞の改良・舗装工事を完成させたことにある。舗装技術として，凍上対策，AEコンクリート，転圧コンクリート，細粒式アスファルトコンクリートなどが始めて取り入れられた。

アスファルト舗装要綱が昭和25年に始めて発刊されて以来，度重なる改訂が行われ，平成13年６月に「舗装の構造に関する技術基準」が通達されるまで，事実上アスファルト舗装に関する規範となっていた。それは仕様規定であったことから，当時の官民の研究は，その枠内で行われていたと言える。この通達により，性能規定へと大きく舵が切られたことから，コストパフォーマンスに優れた材料・構造・工法など研究が進むはずである。しかしながら，米国で実施されたSHRPの研究成果（米国民の税金で実施）は，AASHO道路試験の成果を凌ぐと言われていながら，我が国は無関心であり続けている。

我が国の舗装研究の将来は，現在の状況が続けば，暗いと言わざるを得ない。公共投資の減少により，舗装界全体が縮小傾向にある。「学」について，舗装を研究対象としている教員は20名にも満たない現状にあり，舗装の研究室は駆逐され続き，将来危機的な状態になると推測される。「民」について，売上，利益の減少に悩まされている道路会社は「研究部門」の縮小に向かっている。石油メーカーは，市場が「アスファルトは黒くて安価であれば良い」と考えていたことにより，アスファルト研究に投資する意欲を失っている。「官」について，新設から維持修繕の時代へ移行しているにも関わらず，舗装マネジメントシステムの開発に手間取っている。

これからの舗装研究は，舗装の性能を中心においたライフサイクルコストの算定，環境改善，地球温暖化対策などが大きなテーマとなり，材料・構造・施工法･維持修繕工法などとパフォーマンスの関係を求め

続けることとなる。そのためには，官学民の研究の役割分担を明確にし，研究者の育成・研究施設の充実・研究費の適切な配分などの「研究マネジメント」を行う組織を構築しなければならない。

本特集の「我が国の舗装研究の現状と今後」が，舗装のあるべき姿を浮き彫りにし，舗装関係者のすべてにとって「舗装研究とは何か？」を再考する機会となることを祈念するものである。

NEWS

## 第85回 アスファルトゼミナール　開催報告

**去る2月15～16日，メルパルク広島（広島市）にて第85回アスファルトゼミナールが開催されました。**

**今回は＜舗装維持管理の新しい方向＞との副題を設けまして，今後日本にて大きく議論が必要と思われる「保守・維持問題」をテーマとして，講演頂きました。**

**当日は天候にも恵まれ、多くの関係者の方にお越し頂きました。**

**ゼミナールでは「＜荒廃するアメリカ＞の教訓を踏まえ，今後日本にて多く発生する老朽建設物の維持管理に，より一層力を入れていく必要がある。」との冒頭挨拶で始まり，講演者はそれぞれの分野にて非常に分かりやすいご説明を頂きました。**

**また入札制度の講演にて発表された新入札制度内容が翌日の日本経済新聞朝刊一面に掲載されるなど，大変有益な情報をいち早く提供して頂きました。**

**来年度も2月中旬に開催を予定しております。詳細が決定次第，ホームページにて掲載したいと思います。**

**皆様のお越しをお待ち申し上げます。**

### プログラム

| 第1日目　平成19年2月15日（木） | | |
|---|---|---|
| 1．挨　拶 | 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 | 舗装技術委員会　委員長 | 矢野 善章 |
| 3．「舗装管理目標の考え方」 | 独立行政法人 日本高速道路保有・債務返済機構 | 菊川　滋 |
| 4．「新時代の道路管理」 | 国土交通省 道路局国道・防災課　企画専門官 | 森田 康夫 |
| 5．「新しい入札契約制度への取り組み状況」 | 国土交通省 大臣官房 技術調査課　課長補佐 | 常山 修治 |

| 第2日目　平成19年2月16日（金） | | |
|---|---|---|
| 6．「平成19年度道路予算」 | 国土交通省 道路局　道路経済調査室長 | 縄田　正 |
| 7．「アスファルト乳剤による維持修繕工法の動向」 | 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 |
| 8．「舗装の維持管理に向けた改質アスファルトの利用」 | 日本改質アスファルト協会　技術委員 | 村山 雅人 |

# （独）土木研究所つくば中央研究所における舗装研究の現状と今後の展望

(Current State of Pavement Research and View of The Future in Public Works Research Institute (Tsukuba))

久　保　和　幸*

舗装チームでは，大切な資産を長期にわたり有効に活用するため，舗装の合理的・経済的なマネジメントに資する研究，舗装の性能評価に関する研究，舗装の耐久性向上に関する研究などを行っている。また，快適で災害の少ない街づくりや，循環型社会の形成に対応するため，環境の改善を目的とした舗装技術に関する研究などを行っている。**表－１**に舗装チームで今年度行っている研究課題と研究期間を示す。環境に関わる課題が７課題と一番多く，維持管理に関わる課題が２課題，設計，性能評価，道路雪氷に関わる課題がそれぞれ１課題ずつ研究を行っている。また，以下にその研究課題の概要を示す。

**表－１**　舗装チームで今年度行っている研究課題と研究期間

| 区　分 | 研究課題名 | 研究期間 |
|---|---|---|
| 道路雪氷 | 雪氷路面の分類方法に関する試験調査 | H15～18 |
| 環　境 | 道路路面雨水の地下浸透技術実用化に関する研究 | H16～20 |
| 環　境 | 排水性舗装の適用条件に関する研究 | H17～19 |
| 環　境 | 溶融スラグ等の舗装への適用性評価に関する研究 | H17～20 |
| 維持管理 | 舗装の管理目標設定手法に関する研究 | H17～22 |
| 環　境 | 劣化アスファルト舗装の再生利用に関する研究 | H18～21 |
| 環　境 | 環境負荷軽減に寄与する舗装技術の評価方法に関する研究 | H18～20 |
| 維持管理 | 効率的な舗装の維持修繕手法に関する研究 | H18～22 |
| 設　計 | 舗装構造の理論設計の高度化に関する研究 | H18～22 |
| 性能評価 | 舗装路面の性能評価法の高度化に関する研究 | H18～22 |

## １．研究課題とその概要

### 1.1　雪氷路面の分類方法に関する試験調査

安全で効率的な冬期道路ネットワーク確保のためには，冬期道路の路面状態を的確に把握することが必要である。冬期道路管理を行う指標として，冬期道路の路面状態を17分類する方法が提案されているが，より現場で利用しやすい，簡便な分類方法が求められている。本試験調査では，現場で利用しやすく路面状態を簡易に示す指標として，すべり摩擦係数等を考慮した簡便で新しい路面分類方法を提案する。

### 1.2　道路路面雨水の地下浸透技術実用化に関する研究

平成15年６月に成立した「特定都市河川浸水被害対策法」では，新設の道路舗装を対象として，舗装面積部分の降雨が都市河川の雨水処理に負担を与えないことを事前に証明する必要がある。この対応としては車道透水性舗装を導入し，雨水を一時的に貯留，または浸透させることにより，ピーク流量をカットする方法が考えられる。しかし，舗装体内に水を浸入させた場合の影響や，地中への浸透能力についてはほとんど検討がなされていない。本研究では車道での雨水浸透による影響や浸透メカニズムを解明，路面雨水の地下浸透技術とその設計基準を確立する。（**図－１**参照）

### 1.3　排水性舗装の適用条件に関する研究

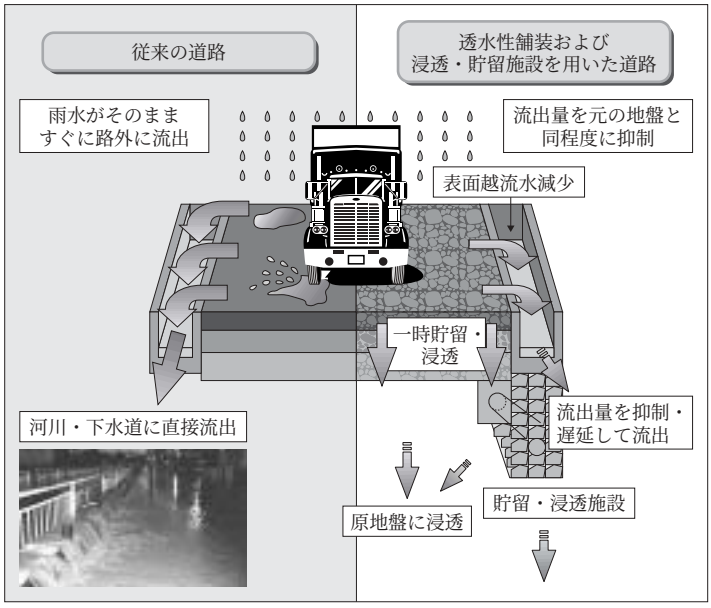
平成８年に「排水性舗装技術指針（案）」が発行され，平成13年に通達された「舗装の構造に関する技術基準」にも舗装の「環境への負荷の軽減」が明記され

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

たことにより，その施工量が急速に伸びている。一方では，限られた予算を有効に運用するためにも適材適所での施工が必要であり，排水性舗装の適用条件の整理が望まれている。そこで，本研究では，騒音低減機能，路面雨水排除の両観点から，排水性舗装を設置することが望ましい適用箇所の条件を提案する。（**図－2**参照）

### 1.4　溶融スラグ等の舗装への適用性評価に関する研究

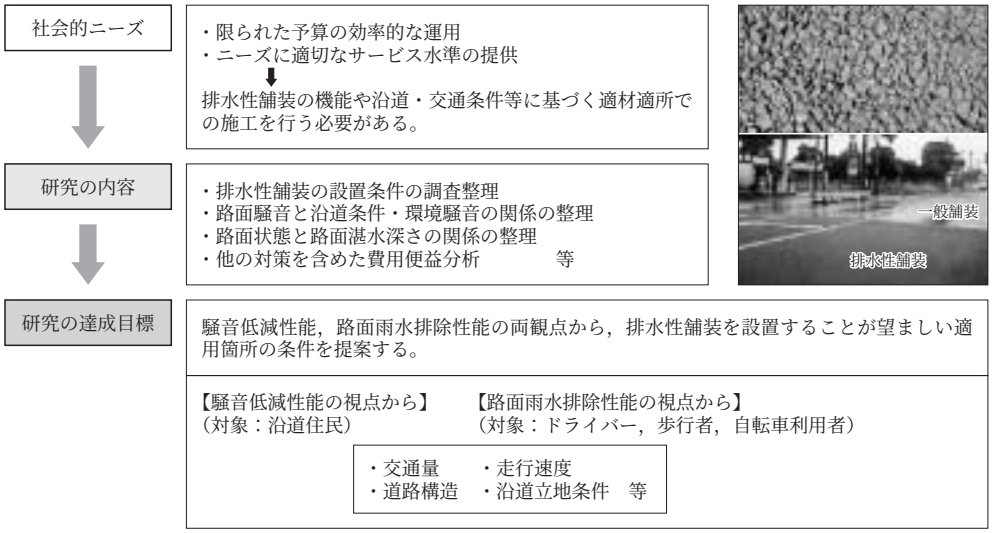
資源の有効活用，最終処分場の枯渇などを背景として，再生資材の開発が盛んとなっており，中でも舗装用として他産業からの再生資材の開発が発生者を中心に多くなっている。しかし，これらの他産業再生資材は，リサイクルにはなっているものの，製造時から廃棄に至るまでのトータルでの環境負荷低減に寄与しているかが不明なのが現状である。再生資材の採否を判断するためには，リサイクルの観点だけでなく，有害物の拡散，耐久性の低下，エネルギーの消費などの観点も含め，総合的に判断することが必要である。このため，本研究では，溶融スラグ等他産業再生資材の舗装への適用性について検討を行い，適用性評価手法を提案する。




**図－1**　道路路面雨水の地下浸透技術実用化に関する研究

### 1.5　舗装の管理目標設定手法に関する研究

舗装をどのようなタイミングで舗装修繕等を実施するかは，現場の維持管理にとって重要である。また，設計期間の長い舗装構造等を計画する際に，ライフサイクルコスト分析を行うこともあるが，分析にあたっては，維持すべき舗装状態の目標を設定する必要がある。このように管理目標は，舗装に関する計画・設計・管理する上で重要な要素となる。そこで，本研究では，路面の状態（わだち掘れ，平たん性等）と不安感や乗り心地との関係の把握等を行い，舗装の管理目標の設定手法を提案する。




※「舗装設計施工指針」等の改訂に反映

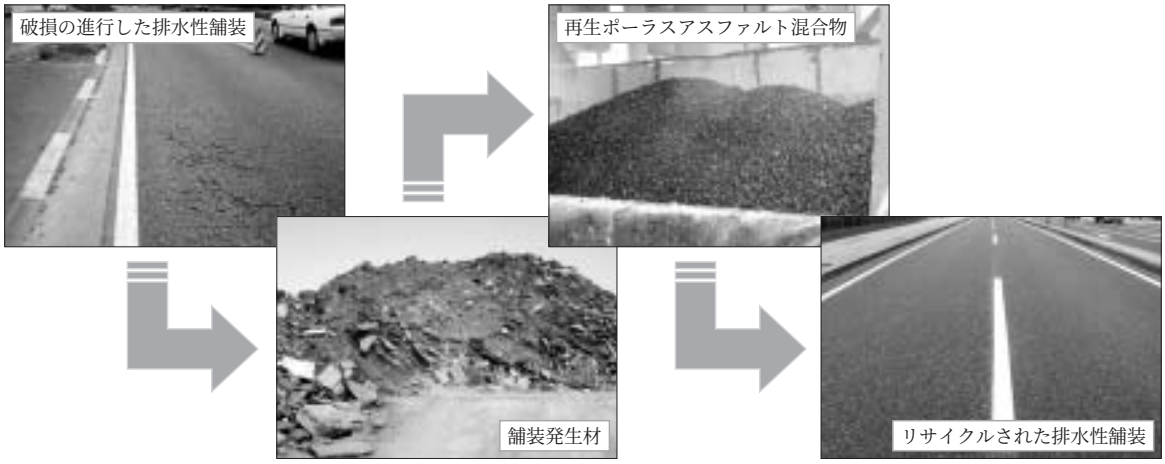
**図－2**　排水性舗装の適用条件に関する研究

### 1.6　劣化アスファルトの再生利用に関する研究

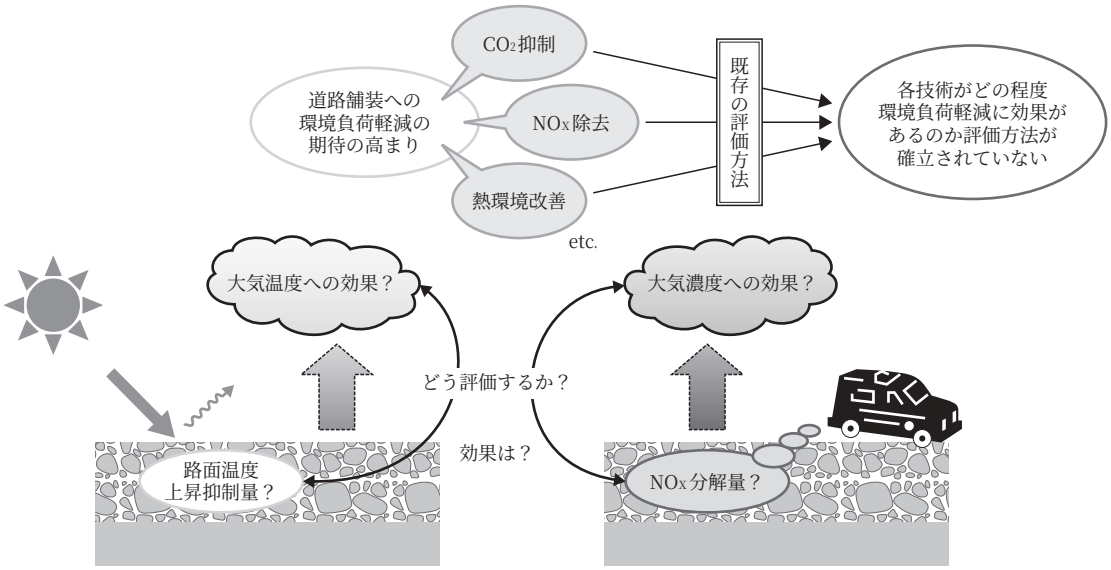
昭和60年頃に本格化したアスファルト舗装のリサイクルは広く普及しており，発生材の99%以上が再利用（H14年）されるようになってる。このため，繰返し再生され材料劣化が進行した発生材が増え，低針入度材の有効活用が求められるようになっている。あわせて，改質アスファルト混入の影響も懸念されている。そこで，本研究では，低針入度材の評価法，再生利用技術，耐久性などの検討を行うとともに，ポーラスアスファルト舗装（排水性舗装）の施工面積の増加に伴い，その再生利用が課題となっているポーラスアスファルト舗装の再生利用技術についても検討を行う。（**図－3**参照）

### 1.7　環境負荷軽減に寄与する舗装技術の評価方法に関する研究

近年，環境への関心の高まりやニーズの多様化を背景として，道路舗装においても環境負荷軽減を目指した舗装技術の開発が各種行われている。これら技術開発については民間会社が主体で進められているが，その効果については様々な評価方法で行っており，実際に現場に適用する際はどの判断基準で採用すべきかわからないのが現状である。よって，本研究では，様々な環境負荷軽減に寄与する舗装技術について，影響要因とその対策技術について体系的に整理するとともに，その評価方法（指標，手順等）について提案する。（**図－4**参照）




**図－3**　劣化アスファルトの再生利用に関する研究




**図－4**　環境負荷軽減に寄与する舗装技術の評価方法に関する研究

### 1.8　効率的な舗装の維持管理手法に関する研究

道路構造物の老朽化の進行，限られた予算や管理体制の制約を背景として，より合理的かつ効率的な管理が要請されており，舗装の分野においても，適切な補修工法の選定によるライフサイクルコストの低減など，効率的な管理に向けた取り組みが求められている。本研究では，舗装の各種補修工法の効果や性能持続性等の分析やライフサイクルコストを踏まえた合理的な工法選定方法等の検討を実施し，効率的な舗装の維持修繕手法の提案を行う。

### 1.9　舗装構造の理論設計の高度化に関する研究

限られた予算を有効に運用するためには，適材適所での自由でかつ合理的な設計が不可欠であり，現在の暫定的な舗装の理論設計の精度向上による高度化が強く求められている。本研究では，アスファルト舗装，コンクリート舗装に関して，既存の調査データを利用した理論解析を基に不足している情報の整理，使用材料や実道の路面状態等の実態調査および実規模舗装による実験的検証を行うことで，信頼性に基づいた理論設計法を提案する。（**図－5**参照）

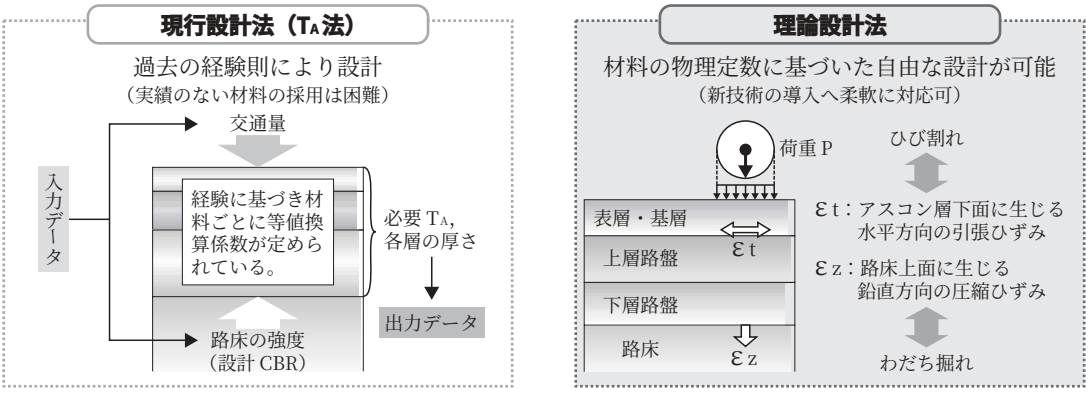
### 1.10　舗装路面の性能評価法の高度化に関する研究

平成17年度に「舗装性能評価法（日本道路協会）」が発行されたが，その中で定められているFWDを用いた疲労破壊輪数評価法は，適用条件が限定されており，騒音値とすべり抵抗値は，基準値がなく，装置も高価で数が限定されている。よって，本研究では，疲労破壊輪数は，データを補完し，軽交通道路及びコンクリート舗装等全ての舗装に適用できる評価法を，騒音値は，環境騒音を評価できるタイヤ／路面騒音評価法と性能基準値を，すべり抵抗値は，すべり抵抗測定車と整合が取れる簡便で安価な測定ができる評価法と性能基準値をそれぞれ提案する。また，併せて特定の材料を想定しない表層用バインダ及び表層用混合物の性能評価法を提案する。

## 2．今後の展望

以上，平成18年度に舗装チームで行っている研究の概要について紹介した。現在，舗装を取り巻く情勢は，直轄・地方を問わず，厳しい財政事情であり，舗装工事は引き続きコスト縮減が求められる傾向にある。さらに，「舗装の構造に関する技術基準」（国土交通省局長通達）が平成13年に道路管理者に通知され，舗装工事の性能規定化の方針が示されてからすでに５年が経過しており，騒音低減効果に関する性能規定発注以外にもさまざまな性能規定化のニーズが拡がってくると考えられる。一方，近年の環境への関心の高まりにより環境改善型の舗装技術に対するニーズが高まっており，都市部を中心に環境負荷軽減，リサイクルなど環境に配慮した新たなニーズへの対応は喫緊の課題であると思われる。

このような状況のもと，重要なキーワードとしては「性能規定化」「コスト縮減」「環境」が挙げられ，これらのキーワードに対応する，コスト縮減のために路面の性能評価法や，構造の理論設計法など性能規定化の促進を支援する研究，排水性舗装を含めた効率的な維持修繕方法に関する研究，劣化アス，排水性舗装，他産業資材などリサイクル材の再利用に関する研究，環境負荷軽減として気温，騒音の低減，ヒートアイランド現象の緩和，$NO_x$，$CO_2$発生の削減，雨水の地下浸透などに対応できる技術，工法およびそれらを適切に評価できる評価方法に関する研究を行っていく。また，積雪寒冷地域における安全・安心の確保の観点から排水性舗装や凍結抑制舗装の有効性の研究，評価も行っていく。




**図－5**　舗装構造の理論設計の高度化に関する研究

# (独)土木研究所寒地土木研究所における積雪寒冷地の舗装技術の研究

(Pavement Technology in Cold and Snowy Regions)

田　高　　淳*

寒地土木研究所で行った積雪寒冷地の排水性舗装に関する研究成果を紹介する。排水性アスファルト混合物は空隙が多い構造のため密粒度等と比較して温度管理が厳しいことから寒冷期施工は極力避けることとされているが，やむを得ず舗設を行う場合がある。従来の混合物よりも低温度での混合・施工を可能にする中温化舗装技術を利用し，排水性混合物の寒冷期施工への適用性を検討した。また，粗い路面テクスチャをもつ排水性舗装と機能性SMAについて，室内試験，試験道路および供用中道路におけるすべり測定を行い，凍結路面対策としての効果を検証した。

## 1．はじめに

厳しい経済状況の下で公共事業の一層のコスト縮減と品質を確保するには，その地域の条件にあった技術を用い，ローカルルールを適切に設定することが必要である。積雪寒冷地では厳しい気象特性に対応するため，非積雪寒冷地での一般的な技術に加え積雪寒冷環境下に対応できる舗装技術が求められ，融解期の路床支持力の低下，厳冬期の凍上，低温による温度応力クラック，凍結融解作用や融雪剤等による舗装表層の劣化など，積雪寒冷環境下におかれる舗装に特有の厳しい条件への対応が必要となる。

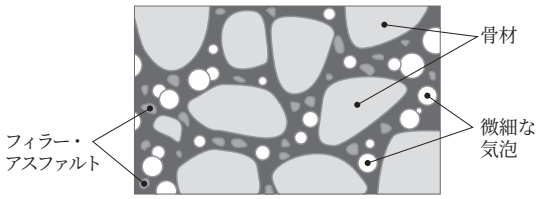
寒地土木研究所では積雪寒冷地に適した舗装技術に関する研究を行っており，本稿では積雪寒冷地の排水性舗装に関する研究成果を紹介する。

## 2．排水性アスファルト混合物の寒冷期施工[1)]

北海道における舗装の寒冷期施工では，低い外気温が品質に与える影響が懸念されるため，排気熱利用車および二重シートによる運搬時の保温や，混合温度を上げること等により施工温度を確保している。特に，高規格道路や都市部で利用が増加してきている排水性アスファルト混合物は，空隙が多い構造のため密粒度アスコン13F等と比較して外気の影響を受けやすく，温度管理が厳しいことから寒冷期施工は極力避けることとされているが，やむを得ず舗設を行う場合がある。そこで，従来の混合物よりも低温度での混合・施工を可能にする中温化舗装技術を利用し，排水性混合物の寒冷期施工への適用性を検討した。

中温化舗装技術とは，特殊添加剤をアスファルトバインダーに加えることにより施工温度の低下によるワーカビリティーの低下を抑える技術であり，通常の加熱アスファルト混合物よりも混合および施工温度を30℃程度低減することができる。また，混合温度を低減することにより重油などのエネルギーを節約するだけでなく，発生する$CO_2$を削減することが可能な技術である。

中温化剤は発泡剤系と添加剤系の２種類に大別される。今回使用した発泡剤系中温化剤の概念を**図－１**に示す。この中温化剤は混合物中のアスファルトビチュメン内に微細な気泡を一時的に発生させることにより気泡が潤滑剤として作用し，アスファルト混合物の低温下での転圧作業を容易にする。また，添加剤系中温化剤はアスファルトバインダーを直接改質し軟化させることによって，低温下での転圧作業を容易にする。添加剤系の中温化剤は添加成分が混合物中に残留するが，常温域での粘度に対する影響が小さく，アスファ




**図－１**　発泡系中温化剤概念図

*たこう　じゅん　独立行政法人土木研究所寒地土木研究所　寒地道路保全チーム　上席研究員

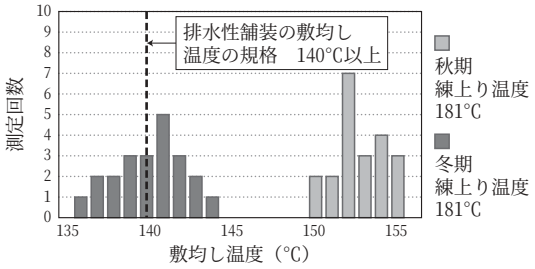
ルト混合物の性状は無添加のものとほぼ同じである。

建設中の高規格幹線道路において排水性混合物の試験施工を行い，冬期に中温化舗装技術を用いて施工した舗装と，秋期に中温化舗装技術を用いずに通常の加熱アスファルトを施工した舗装の追跡調査を行い，現場透水量等の舗装体の状態を比較した。また，これに先立ちアスファルトプラント敷地内において，中温化剤を使用した排水性混合物と中温化剤を使用しない排水性混合物の試験練りを行い，１次転圧温度，２次転圧温度を変化させ，排水性混合物の品質および最適転圧温度を確認した。さらに，室内および試験施工時において排水性混合物の温度低下傾向の把握を行った。調査項目を**表－１**に示す。

中温化舗装技術の適用について明かとなったことについて以下に示す。

①寒冷期施工では，排水性混合物の敷均し温度下限値(140℃以上)を確保できない場合がある(**図－２**)。

②排水性混合物の品質確認の結果，中温化剤を使用しない排水性混合物では品質を満足させるために初期転圧温度は140℃以上が必要となるが，中温化剤を使用した排水性混合物では初期転圧温度130℃程度以上で品質の確保ができた。




**図－２**　敷均し温度の比較

③供用開始２年経過後も中温化剤を使用して寒冷期施工を行った排水性混合物は，秋期に施工された排水性混合物と同程度の品質を示している。

以上のことから排水性混合物の寒冷期施工において中温化舗装技術を用いることは有効であると言える。この結果をもとに，寒冷期にやむを得ず排水性混合物を舗設する場合は，施工性，および品質の確保のため中温化舗装技術を使用することとする「排水性舗装の寒冷期施工（案）」（北海道開発局 道路建設課 事務連絡）を平成17年４月に作成し，現場において活用されている。なお，排水性混合物以外の混合物については，一般的な寒冷期施工対策での対応が可能なため適用外とした。また，今回の検討では長期的供用性や機能の持続性等の検証が済んでいないため，今後追跡調査を継続して行っていく予定である。

## ３．排水性舗装等による冬期路面対策[2)]

積雪寒冷地において冬期の安全・円滑な交通環境を確保するためには，路面のすべり摩擦抵抗力の確保が重要な課題である。排水性舗装は，降雨時の安全性向上や沿道環境改善を目的として施工されているが，特徴である表面の粗いテクスチャにより，路面凍結時にも比較的高いすべり抵抗を持つことが期待される。本研究では，排水性舗装に加えて，同様に粗いテクスチャを有する機能性SMAについて，室内試験，試験道路における効果検証，供用中の道路における実態調査を行い，冬期路面対策としての効果を検証した。

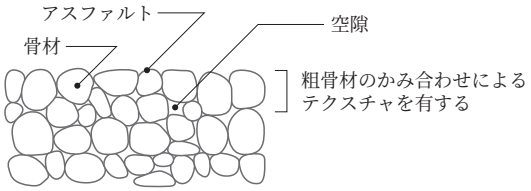
今回検討を行った舗装の断面図を**図－３**，**４**に示す。排水性舗装は一般的なアスファルト舗装と比較して粗骨材の配合割合が高く，６号砕石（4.75～13.0㎜）を80％程度使用しており舗装表面に大きなテクスチャを

**表－１**　調査項目

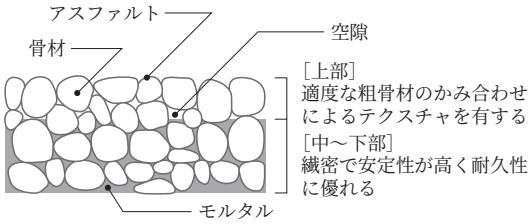
| 調査項目 | 小項目 | 調査時期 | 試験方法・使用機器 |
|---|---|---|---|
| 混合物の温度低下傾向の把握 | 温度の低下状況 | 室内試験 | 棒状温度計 |
| | 敷均し温度 | 試験施工時 | 棒状温度計 |
| | 混合物表面の敷均し後の温度分布 | | サーモグラフィー（Avio Neo Thermo TVS-600） |
| 混合物の品質確認 | 混合物強度 | 室内試験 | マーシャル試験 |
| | 空隙率 | 試験練り | 切り取り供試体測定（舗装試験便覧） |
| | 透水性 | | 現場透水量試験（舗装試験便覧別冊） |
| | 耐流動性 | | 切り取り供試体によるホイールトラッキング試験（舗装試験便覧） |
| | 骨材の飛散特性 | 室内試験 | 低温カンタブロ試験（舗装試験便覧別冊） |
| 供用性評価 | わだち掘れ量 | 試験施工箇所 | 横断プロフィルメーター（舗装試験便覧） |
| | 路面のきめ深さ | | MTM（舗装試験便覧別冊） |
| | 現場透水量 | | 現場透水量試験（舗装試験便覧別冊） |
| | 路面状態 | | 目視観察 |

有する構造となっている。また，機能性SMAの上部は空隙率の高い多孔質層，下部はかみ合わさった砕石の間隙をモルタルが充填する緻密層を持つ構造で，テクスチャを持つと共に耐久性に優れる舗装である。

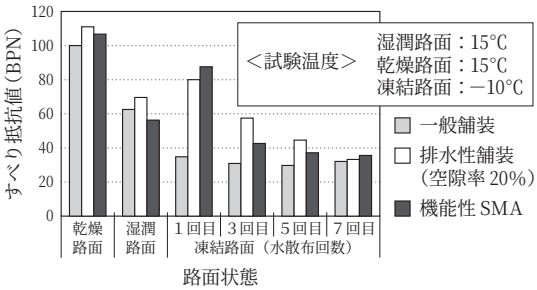
室内試験では，凍結路面における氷膜の剥離抵抗性を検証するための氷着強度試験とポータブルスキッドテスタによりすべり抵抗を測定した。路面状態は40×40×５㎝（縦×横×厚さ）の供試体に45㎖の水を１時間毎に７回に分けて全面に塗布し，乾燥，湿潤，ブラックアイス，および氷版状態を人為的に作製した。試験道路および供用中の道路ではブラックアイス，氷板，



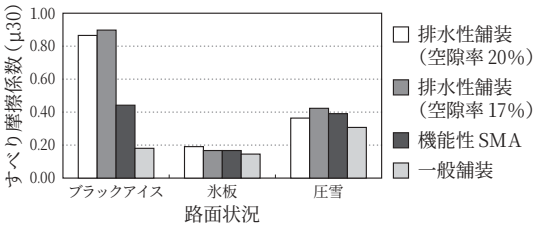

**図－３**　排水性舗装




**図－４**　機能性SMA




**図－５**　すべり試験結果（室内）




**図－６**　すべり試験結果（試験道路）

および圧雪の３種類の雪氷路面で大型のすべり試験車によるすべり抵抗測定を行った。検討の結果明らかとなったことを以下に示す。

①室内試験では，水散布回数が増えて路面上の氷膜が厚くなるにしたがって，テクスチャが平滑となり，すべり抵抗値が低下する（**図－５**）。氷着強度は，一般舗装と比較して低い値を示し，路面の氷が剥がれやすいことを確認した。

②試験道路における検証試験では，各種開粒度舗装のすべり摩擦係数は，氷板，および圧雪路面では，一般舗装と変わらない値を示したが，ブラックアイスでは高いすべり抵抗値を示し，優位性を確認した（**図－６**）。

③供用中の道路における調査では，圧雪および氷版路面では，排水性舗装は舗装表面のテクスチャが雪によって覆われるため，一般舗装と変わらないすべり抵抗性を示した。シャーベット路面では，排水効果により表面のテクスチャが確保され，一般舗装よりも高いすべり抵抗性を示した。ブラックアイス路面では，テクスチャが確保され一般舗装よりも高いすべり抵抗性を示した。

排水性舗装，機能性SMAの供用中の道路における調査は，現在のところ１カ所での測定データのみであるため，今後は各種雪氷路面のすべり摩擦抵抗のデータを蓄積し，より定量的な評価を行う予定である。また，構造体としての耐久性等についても評価を行い，排水性舗装および機能性SMAの冬期路面対策としての適用性についてまとめる予定である。

## ４．おわりに

寒冷期における排水性舗装施工時の品質確保技術と，排水性舗装の副次的効果として路面凍結時のすべり摩擦抵抗に関する調査結果を紹介した。一般地域と比べてより厳しい条件である積雪寒冷地での研究成果と，その中で確立された寒冷地舗装技術の中には一般地域にとっても有用な知見が多数あるものと思われる。

―― **参考文献** ――

１）上野千草，田高淳，安倍隆二：排水性アスファルト混合物の寒冷期施工について，寒地土木研究所月報平成18年４月号，2006.4，pp10-18

２）千葉学，田高淳，安倍隆二：開粒度舗装の冬期路面対策としての効果について，寒地土木研究所月報平成19年１月号，2007.1，pp21-27

# (独)港湾空港技術研究所における アスファルト舗装に関する最近の研究

(Recent Study on Asphalt Pavements in Port and Airport Research Institute)

八　谷　好　高*

港湾空港技術研究所におけるアスファルト舗装に関する最近の研究テーマのうち，アスファルト・コンクリート塊の全量再生をめざした空港舗装への再利用方策について紹介する。

一連の室内試験による検討の結果，具体的な方策として次のものを提案している。アスファルト・コンクリート塊は，まず表層・基層アスファルトコンクリートとして適用し，次に安定処理路盤材として再利用を考えるべきである。前者の場合，空港舗装に使用されていたアスファルトコンクリートを原材料とし，再生率を70%までにすると，基層には適用可能であり，場合によっては表層への適用を考えてもよい。後者の場合は，セメント安定処理材とするのが有効である。

## 1．はじめに

港湾空港技術研究所においては，空港舗装に関連する種々の技術開発を行っている。空港の場合は，滑走路・誘導路にはアスファルト舗装，エプロンにはコンクリート舗装といった具合に使い分けがなされているため，アスファルト，コンクリートの両方が技術開発の対象になっている。

アスファルト舗装に関する最近のテーマは,アスファルト・コンクリート塊の空港舗装への再利用方策，グルービングの耐久性向上方策，オーバーレイ方法の合理化といったものである。このうち，現在も研究を実施中ではあるが，成果を徐々に外部に発表してきている，アスファルト・コンクリート塊の空港舗装への再利用方策，特に完全再生方策について紹介させていただくことにする。

循環型社会の実現に向けて，いわゆるリサイクル法,建設リサイクル法といったリサイクルに関する法体系の整備が進められている。空港舗装の建設ならびに補修工事における再生材料の利用方策についても積極的に取組みが行われてきている。現時点では，主としてアスファルト・コンクリート塊は再生加熱アスファルトコンクリートとして利用されている。ただし，高速で走行する航空機の安全性を確保するとの観点から，再生加熱アスファルトコンクリートは再生率40%を上限として，表層以外の箇所に限って使用されている[1)]。

この方法では空港内で発生するアスファルト・コンクリート塊の全てに対処できない恐れが強いことに加え，空港外からの材料の受け入れにも対処しなければならないことから，これらの空港舗装への新たな適用性について検討を行っている。具体的には，再生セメント安定処理路盤材料と表・基層を対象とした加熱アスファルトコンクリートの二つを対象とし，アスファルト・コンクリート塊の再生率を100%とする，いわゆる全量再生方法についての検討である。

## 2．路盤材料としての再生利用

アスファルト・コンクリート塊（以下ではアスファルト破砕材と称す）を再生セメント安定処理材として再利用することを目的として試験を行った[2)]。

### 2.1　使用材料

使用したアスファルト破砕材は，東京国際空港の既設アスファルト舗装の解体により発生したものである。これを骨材再生プラント施設で破砕して，20～13㎜，13～５㎜，５～０㎜の３種類の粒度に分級し，所定の割合で再配合した。これらの破砕材からアスファルトを抽出して，測定したアスファルト含有量は，20～13㎜，13～５㎜，５～０㎜のそれぞれで，2.3%，3.0%，6.2%であった。

*はちや　よしたか　独立行政法人　港湾空港技術研究所空港研究センター

なお，補足材としてはクラッシャラン（C-40）を用いた。また，セメントには普通ポルトランドセメントを用いた。

再生セメント安定処理材は，アスファルト破砕材に補足材を混入し，セメントで安定処理することにより製造した。その流れは，再生率（アスファルト破砕材混入率）を数種類に変えた場合について検討してから，再生率を100％とした場合について詳細に検討するものである。

### 2.2　再生率を種々に変えた場合

まず，アスファルト破砕材と補足材の配合比率を種々に変えた場合の再生セメント安定処理材の配合試験を行い，その配合に基づいて作製した試料を用いて一軸圧縮試験を実施することにより，路盤材としての適用性について検討を行った。材料の配合比率として，全骨材に占めるアスファルト破砕材の割合，すなわち再生率は100％，75％，50％，25％の４種類とした。

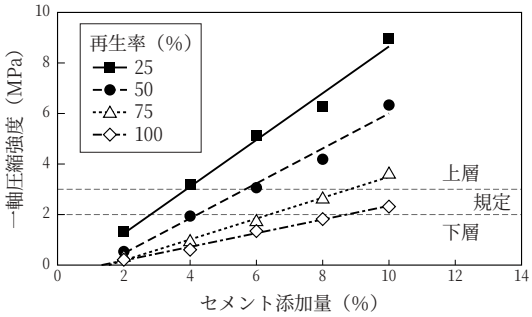
この試験では，突固め試験により最適含水比等を決定してから，一軸圧縮試験により配合を定めた。この配合試験においては，材齢７日の一軸圧縮強度が上層路盤材で３MPa以上，下層路盤材で２MPa以上とするセメント安定処理材に関する材質規定を適用した[3)]。突固め試験では2.5kgランマを用いて３層25回ずつ突き固めた。このときの材料温度は20℃である。

一軸圧縮試験により，それぞれの再生率の場合の所要一軸圧縮強度に対するセメント添加量を検討した（試験時の温度は20℃）。セメント添加量は２％，４％，６％，８％，10％の５種類とした。そのときの含水比としては突固め試験結果の最適含水比，すなわち，セメント添加量２～６％のときは突固め試験時の４％のものを，８％，10％のものは突固め試験時の８％のものを用いた。

その結果得られた，セメント添加量と一軸圧縮強度の関係を**図－１**に示す。これにより，再生率によらず，セメント添加量が増加するにつれて一軸圧縮強度が増加することがわかる。したがって，いずれの再生率においても，セメントを添加することにより所要強度は容易に確保できることになる。

### 2.3　破砕材混入率100％の場合

2.2において，再生率を100％とした場合であってもセメント安定処理路盤材として利用可能であるとの見通しが得られた。いうまでもなく，資源の有効利用という点ではこの方法が有利なので，ここでは，再生率100％の場合に限定して，材料の製造，施工方法といった観点から詳しく検討をする。なお，試験に使用した材料のうちアスファルト破砕材については，入手時期等が異なるため，その品質が一部異なっている。




**図－１**　セメント添加量と一軸圧縮強度の関係

セメント安定処理材のセメント添加量は，2.2と同様に，突固め試験を行って最適含水比を定めてから，上・下層路盤材としての規定を満足するために必要となるものを決定した。その結果を**表－１**に示す。

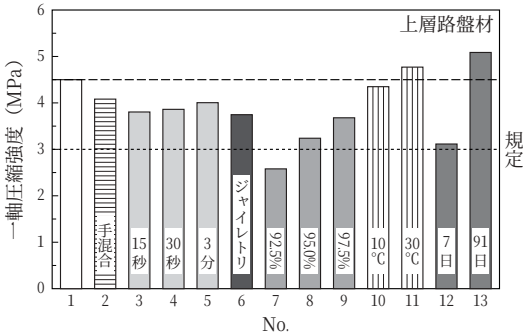
**表－１**　セメント添加量と最適含水率

| | 上層路盤 | 下層路盤 |
|---|---|---|
| セメント添加量（%） | 10.1 | 8.1 |
| 最適含水比（%） | 6.3 | 6.2 |

材料の製造ならびに施工の観点から，試験条件として，混合方法，混合時間，締固め方法，締固め度，養生温度，養生時間の６種類を考えた。これらを適当に組み合わせて種々の条件（No.１～12）を定め，それぞれに従って供試体を作製して，一軸圧縮試験を行った。これらの試験条件のうち標準的なものは，一般的に行われていると考えられるNo.１である。すなわち，材料の混合方法としてはミキサを使用して１分間混合し，供試体の作製方法としては2.5kgランマを使用した３層25回突きにより締固め度100％とし，養生方法としては温度20℃で28日間気中養生するものである。No.２～５は混合方法・時間を変更したもので，No.２は手混合，No.３～５はミキサ混合であるが時間を15秒，30秒，３分としている。No.６ではジャイレトリによる締固め方法を用い，No.７～９はランマ突固めではあるが，締固め度を92.5％，95％，97.5％としたものである。No.10，11は養生温度を10℃，30℃とし，No.12，13は養生期間を７日，91日としたものである。

一軸圧縮強度について**図－２**に示した（上層路盤）。混合方法の違いをみると，ミキサ混合のほうが手配合

よりも一軸圧縮強度は大きくなっていることから，均一な混合を確保するためにはミキサの使用が不可欠であるとわかる。また，混合時間についてみると，混合時間を１分間としたものが一軸圧縮強度は大きい値となっている。このことは30秒間以下では骨材とセメントの混合が十分行われないこと，混合時間を１分間以上としても強度はあまり変わらないことを意味しているものと考えられる。




**図－２**　条件別一軸圧縮強度

締固め方法について比較すると，ジャイレトリにより締固めたほうがランマ突固めに比べて，一軸圧縮強度は小さい結果となった。これは，ランマ突固めが供試体を３層に分けてそれぞれで突固めるのに対し，ジャイレトリでは，全体を一層で締固めることから，締固めの効果が供試体下部まで伝わらなかったためであると推定される。また，締固め度が小さければ一軸圧縮強度は小さくなることも明らかである。路盤材としての所要強度を確保するためには，締固め度としては，約94%以上を確保する必要のあることがわかった。

養生方法の違いとしては，養生温度による影響がいく分みられた。具体的には，養生温度の高いほうが一軸圧縮強度は大きくなっている。このほか，養生時間による影響の大きいことも明らかである。

## ３．表・基層材料としての再生利用

既設舗装の解体等に伴って発生する不要なアスファルト・コンクリート塊の表・基層用アスファルトコンクリートとしての再利用化方策を検討するため，再生率を100%まで高めた再生アスファルトコンクリートについて室内試験を実施した[4]。

### 3.1　使用材料ならびに試験方法

使用したアスファルト破砕材は，再生路盤材料の検討と同様に，東京国際空港の旧ターミナル地区における舗装の撤去に伴って発生したものである。これを，13～５㎜，５～０㎜に分級して，空港舗装用材料としての規定を満足するように配合比を調整した。なお，再生骨材から回収した旧アスファルトの品質は，プラント再生舗装技術指針にある針入度の規定[5]を満足している。

アスファルト再生用添加剤としては比較的使用実績の多いものを使用した。旧アスファルトの針入度をこのアスファルト再生用添加剤を用いて調整し，再生率100%，70%それぞれの最適アスファルト量をマーシャル安定度試験の結果に基づいて決定した。得られた最適アスファルト量を用いて作成した，再生アスファルトコンクリートに対するマーシャル安定度試験の結果を**表－２**に示す。

**表－２**　マーシャル安定度試験の結果

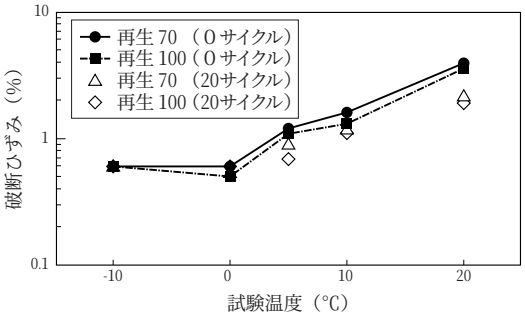
| 項　目 | 再生率（%） | |
|---|---|---|
| | 70 | 100 |
| 最適アスファルト量（%） | 5.7 | 6.0 |
| 密度（g/㎤） | 2.412 | 2.420 |
| 空隙率（%） | 3.0 | 3.3 |
| 飽和度（%） | 81.6 | 80.9 |
| 安定度（kN） | 13.9 | 14.2 |
| フロー値（1/100㎝） | 37 | 38 |
| 残留安定度（%） | 95.9 | 96.0 |

再生アスファルトコンクリートの力学的性状について，曲げ試験により検討した。曲げ試験用供試体は，ローラコンパクタで締固めて作製した，幅・長さ300㎜，厚さ50㎜の試料から幅50㎜，長さ300㎜，厚さ50㎜のものを５本切り出した。曲げ試験は，支間を200㎜とした２点支持・１点中央載荷方式で，載荷速度を10㎜/min，試験温度を－10～20℃として実施した。なお，アスファルトコンクリートに老化作用を与える場合は，供試体を切り出す前の試料に対して実施した。

### 3.2　アスファルトコンクリートの性状

アスファルトコンクリートについては，最大20サイクルまで促進老化作用を与え，曲げ試験により力学的性状を調べた。

促進老化作用を与えない場合と20サイクル与えた場合の再生アスファルトコンクリートの破断ひずみを**図－３**に示す。老化の有無によらず，アスファルト破砕率を100%にまで高めると，70%のものと比較して，破断ひずみがいく分小さいものとなるが，その差は大きいとはいえないことがわかる。20サイクルの促進老化の影響はこれ以外の特性においても現れており，高




**図－3**　試験温度と破断ひずみ

温域で曲げ強度が大きく，破断ひずみが小さくなって，その結果としてスティフネスが大きくなっている。

### 3.3　回収アスファルトの性状

再生率を70%ならびに100%とした再生アスファルトコンクリートから回収したアスファルトの物理特性を調べた。**表－3**に針入度，軟化点と伸度をまとめた。いずれの特性をみても，再生率を100%としたもののほうが老化の進行していることが明らかである。ただし，促進老化により値が変化するような状況はほとんどみられず，材料製造時の特性はこの程度の老化作用が与えられても保持されることも明らかである。

**表－3**　回収したアスファルトの性状

| 項　目 | 材　料 | 促進老化サイクル | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 0 | 5 | 20 |
| 針入度（1/10㎜） | 再生70<br>再生100 | 44<br>35 | 40<br>36 | 42<br>39 |
| 軟化点（℃） | 再生70<br>再生100 | 54.5<br>56.5 | 55.5<br>56.5 | 54.5<br>55.5 |
| 伸度（㎝） | 再生70 | 17 | 12 | 12 |

## 4．まとめ

アスファルト・コンクリート塊を空港舗装材料として利用する方策として，再生率を100%としたいわゆる全量再生による再生セメント安定処理路盤材料と再生アスファルトコンクリートの二種類について，一連の室内試験により検討した。その結果は次のようにまとめられる。

①再生セメント安定処理路盤材とする場合，再生率を100%としても利用可能である。この場合，一軸圧縮強度は混合方法，時間の影響を受け，前者では手混合よりミキサ混合のほうが，後者では時間を１分間とした場合が大きい値を示した。また，締固め方法も一軸圧縮強度に影響を及ぼし，ジャイレトリよりもランマ突固めのほうが強度は大きい。

②再生アスファルトコンクリートとする場合，再生率を100%まで高めたものと70%のものを比較すると，曲げ特性の違いはほとんどみられないが，回収したアスファルトには老化の回復が不十分である傾向もみられる。このことから，再生率を100%までとした場合は，表層への適用は難しいと考えられる。

以上の結果に基づき，アスファルト・コンクリート塊の空港舗装への有効利用の促進を図るための方策については次のようにまとめられる。

アスファルト・コンクリート塊は，まず表層・基層アスファルトコンクリートとして適用し，次に安定処理路盤材として再利用を考えるべきである。前者の場合，空港舗装に使用されていたアスファルトコンクリートを原材料とし，再生率を70%までとした場合には，基層として十分適用可能であり，場合によっては表層への適用を考えてもよい。後者の場合は，セメント安定処理材とするのが有効である。

## 5．おわりに

以上示したように，アスファルト・コンクリート塊の空港舗装への再利用方策について明らかにした。これらは室内試験のみによる検討であることから，現地試験による実証が今後必要となると考えている。

### ―― 参考文献 ――


1）国土交通省航空局（監）：空港土木工事共通仕様書，㈶港湾空港建設技術サービスセンター，2001.

2）Yoshitaka Hachiya, Peiwen Hao: Utilization of Waste Asphalt Concrete as Cement-Treated Base Course for Airport Pavements, International Journal of Road Materials and Pavement Design, Vol.7/2，2006.4，p.247.

3）国土交通省航空局（監）：空港舗装構造設計要領，㈶港湾空港建設技術サービスセンター，1999.

4）Yoshitaka Hachiya, Osamu Takahashi, Yukitomo Tsubokawa: Laboratory and Field Studies of Recycled Asphalt Concrete for Airport Pavement Surface Courses, 10th International Conference on Asphalt Pavements，2006.8.

5）㈳日本道路協会：プラント再生舗装技術指針，1992.

# わが国の国立大学における舗装研究の現状と今後

(Present and Future Circumstances of Pavement Research in National University of Japan)

丸　山　暉　彦*

国立大学における研究の現状として，2004年度に実施された国立大学法人化について述べ，これに関連して競争的研究資金獲得の重要性，文部科学省21世紀COEプログラムへの参加，科学技術振興調整費獲得の体験について述べている。舗装研究の将来については，海外との研究協力，リーダーシップの発揮，若手人材育成などの重要性について述べた。

## 1．大学の独立法人化

2004年４月，国立大学は国立大学法人となった。独立行政法人との相違は，学長の任命や中期目標の作成について大学の自主性をある程度認めていることである。国立大学の個性を尊重して法人格を与え，優れた教育や特色ある研究に各大学が工夫を凝らせるようにし，より個性豊な魅力ある大学になっていけるようにするためである。このため，JABEE制度※の受審や大学評価・学位授与機構などの外部評価を積極的に実施し，教育研究水準を一定レベル以上に保つ努力が成されている。

一方で就学年齢人口の減少（少子化）に伴い，有名大学以外では定員を維持するのがせいいっぱいのところが多い。このため受験生にとって魅力ある大学をつくり，入学志願者を増やす必要があるのだが，JABEE認定や外部評価だけでは他大学との差別化を図ることができない。理科系離れの傾向もあり，工学部の存続自体が危機にさらされている。

他大学との競争に勝ち抜き差別化を図るには競争的研究資金の獲得以外にない。法人化以前から文部科学省から国立大学に支給される予算はそれほど多くなく，事務用消耗品費，光熱費，文献購入費でほとんどが消えてしまい，それ以上は，文部科学省科学研究費を申請するか，企業との共同研究に頼るしかなかった。長岡技術科学大学では科学研究費を申請して認定授与される確率は約３割で比較的高いほうである。しかしながら，アスファルト舗装に関連するテーマで申請しても，審査員にアスファルト舗装の専門化が皆無のため，認可される確率は非常に低いのが現状である（申請書の内容が悪い可能性は十分にあるが）。

※JABEE（技術者教育認定制度）

大学などで実施されている授業カリキュラムが，社会の要求水準を満たしているかどうかを日本技術者教育認定機構が評価し認定する制度で，認定されたプログラムの修了者は技術士の第一次試験が免除され，４年以上の必要経験を積んだ後に第二次試験を受験することができる。

## 2．COEプログラム

2002年，筆者の所属する大学が文部科学省に申請した「ハイブリッド超機能材料創成と国際拠点の形成」と題する教育研究課題が21世紀COEプログラムに採択された。COEプログラムとはCore of Excellenceの略で，わが国の大学が，世界のトップレベルの大学と伍して教育研究活動を行っていくために，第三者評価に基づく競争原理により競争的環境を一層醸成し，国公私を通じた大学間の競い合いがより活発に行われることが重要であるとの観点から，このプログラムによって，わが国の大学に世界最高水準の研究教育拠点を形成し，国際競争力のある個性輝く大学づくりを推進することを意図するものである[1)]。

公募は2002年度と2003年度に分けて実施され，上記の「ハイブリッド超機能材料」は2002年度の「化学・材料科学」分野に応募したものである。土木関係は2003年度の「機械・土木・建築・その他の工学」分野

*まるやま　てるひこ　長岡技術科学大学　環境・建設系　教授

にくくられている。「化学・材料科学」分野の申請件数は82件，採択件数は21件であった。われわれの研究チームには５年間，約５億円の予算が支給された。

筆者の担当するアスファルト舗装材料は有機物のアスファルトとセラミック骨材を混合したハイブリッド材料であり，ポーラス舗装のように種々の機能をもつものであるから，「ハイブリッド超機能材料」の課題にふさわしいとして仲間に入れていただいた。主力メンバーは化学，電気，機械系の教員で，金属と有機薄膜，あるいはプラスチックと金属薄膜のような組み合わせをもつ材料の専門家たちである。

このプログラムは研究だけでなく人材育成を重視しており，世界のトップレベルの大学に伍するために，優秀な博士課程の学生を多数世の中に送り出すことを重要な業務としている。したがって博士課程の学生をリサーチアシスタントという有給研究者として扱い，学生にも研究費を支給する。奨学金がなくても，十分に学業を達成できる金額を支援している。ポスドクの採用も可能で，日本人だけでなく，海外から優秀な研究者を呼んで育てることができている。

総額５億円の研究費は，大部分を初年度の高額試験装置の購入にあてて，研究拠点を強化し，以後は年４～５回，海外で主催する研究発表シンポジウムまたはワークショップの運営費として使用している。これまで，中国，ベトナム，タイ，マレーシア，インドネシア，メキシコなどで会議を開催した。会場費，論文集印刷費のほか，招待講演を依頼する欧米の有名研究者の旅費，研究発表をさせる学生の旅費などで毎回数百万円を要する。

筆者の研究室の課程博士は社会人学生で仕事をもっているため，このプロジェクトにはなかなか参加できず，修士の学生を連れていった。意欲さえあれば一人で何度も出かけることができる。最初はポスター発表で，質問されてもうまく答えられないが，次第に上手になって質問者と肩を並べて記念写真をとったりしている。最後には口頭発表，質疑応答までできるようになる学生もいて，英語によるコミュニケーション能力のある学生を育てることに成功している。とくに論文を書くこと，それを海外で発表することの教育効果は大きい。舗装に関する専門家がまったくいない環境での研究発表であるが，古タイヤ粉末をアスファルトに混入して，高品質の改質アスファルトにするというアスファルトラバーの研究はわかりやすいと好評であった。

また，シンポジウムを開催した国々のいくつかの大学と学術交流協定を締結し，教員や学生の相互交流，共同研究等がスタートし，留学生数も増加し，長岡を材料科学研究の拠点とする目的は達成できている。このようなことを国内の高校生たちにPRできればこの分野の勉強をしてみたいという若い人たちも増えると思う。しかし，21世紀COEプログラムは2007年３月で５年経過し終了する。ここで教育研究経費を打ち切られてしまうと，せっかく築いた拠点が消滅してしまう。

2007年２月23日，文部科学省ホームページに「平成19年度『グローバルCOEプログラム』の申請状況について」と題する報告が掲載された。平成19年度は，「生命科学」，「化学，材料科学」，「情報，電気，電子」，「人文科学」，「学際，複合，新領域」の５分野について公募を行い，111大学から281件の公募を受け付けたというものである。２月15日に締め切り，３月上旬～５月中旬に審査を行い，５月下旬に採択結果が公表される。採択数は全部で60件程度で，競争率は4.7倍である。土木工学に関連する分野は，「機械，土木，建築，その他工学」と一括して来年度公募される予定である。

21世紀COEの採択件数と比べると半分に減ってしまうが，予算規模は１件あたり５千万～５億円／年とされ，原則として５年間継続的に交付される。規模は21世紀COEよりはるかに大きい。グローバルCOEの目的は，平成17年９月の中央教育審議会答申「新時代の大学院教育－国際的に魅力ある大学院教育の構築に向けて」や，平成18年３月の閣議決定「科学技術基本計画」等を踏まえ，わが国の大学院の教育研究機能を一層充実・強化し，世界最高水準の研究基盤の下で世界をリードする創造的な人材育成を図るため，国際的に卓越した教育研究拠点の形成を重点的に支援し，もって，国際競争力のある大学づくりを推進することにある。

このプロジェクトに採択されるか否かは大学にとって死活問題である。我々も，１月末から休日返上，徹夜の作業を続けて48ページの申請書を作成，提出した。

### ３．競争的研究資金

文部科学省が独立行政法人「科学技術振興機構（JST）」に委託して執行している研究補助金制度に科学技術振興調整費があり，①科学技術の戦略的重点化，②科学技術システムの改革，③科学技術活動の国際化の推進，という３つの施策に沿って運用されている。文部科学省だけでなく，各府省の施策の先鞭となるもの，各府省の施策では対応できていない境界的・融合

的なもの，複数機関の協力により相乗効果が期待されるもの，機動的に取り組むべきものなどで，その成果がさらに新たな施策や他の研究のシーズとなって発展するなど，政策誘導効果が高いものに活用される経費であり，毎年公募されている[2)]。

「科学技術システムの改革」分野の中に「産官学連携の促進」という項目があり，民間企業が自らの研究資金を活用し，大学，独立行政法人等の研究機関と共同研究を行う場合に，当該研究機関に対してその分担に応じた経費を助成する制度であり，大学等の研究シーズと民間企業の研究ニーズの積極的なマッチングを支援するものである。大学・独立法人等において既に出願されている基本特許等を実用化につなげるような取り組みを重視する。支給される経費は原則年間２千万円～１億円程度とされ，共同研究機関の負担する経費の総額が，科学技術振興調整費により大学等に対して支給される経費の総額以上でなければならない[3)]。

平成17年度は，ライフサイエンス分野３件，情報通信分野３件，環境・エネルギー分野２件，ナノテクノロジー分野３件，社会基盤分野１件が採択されている。環境・エネルギー分野で採択された課題の一つは中央大学姫野賢治教授を研究代表者とする「リサイクルゴム活用による舗装の高耐久化」で３年間の研究期間を与えられている。筆者も分担研究者として参加させていただいている。共同研究機関はタイヤ会社５社，改質アスファルト製造会社３社，道路建設会社５社であり，日本AR研究会を組織して活発な研究活動を続けている。アスファルトラバー技術は米国等の特許がすでに切れており，大学等が有する基本特許ではないが，有効に活用されているとはいえない技術を実用化ステージに上げて環境保全，省資源に役立てるという意味で，大学の研究シーズと民間企業の研究ニーズのマッチングに相当すると解釈されたものである。

舗装に関連する研究課題は他にもこのようなシーズとニーズをもつものがたくさんあると思う。プロジェクトチームをつくって，外部研究資金の獲得に積極的にトライする必要があろう。

各種先端科学技術のうち医療技術（生命科学），情報技術，ナノテクノロジー，環境関連技術が，政府の科学技術政策における重点４分野として，研究費も優先的に配分されている。長岡技術科学大学が獲得した競争的研究資金の内訳をみると，独立行政法人「新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）」から支給される研究費の占める割合がかなり高い。エネルギー技術だけでなく環境関連技術（地球温暖化対策）等も選考対象になっているので，舗装をテーマとした応募も可能である。

企業と大学との共同研究については，企業側の実用化につながりそうな研究テーマが少ない，共同研究のゴールに対する大学と企業との間の意識に相違がある，研究開発のスピードに対する意識に相違がある等，いくつかの問題点も指摘されている[4)]。特許など知的財産権は「産業活力再生特別措置法」第30条第１項により一部を委託者に帰属することができるので，積極的な活用が望まれる。

## ４．大学における舗装研究の将来

舗装工学の分野で競争的研究資金を申請して採択される可能性はあるのだろうか。わが国の舗装工学に関する研究は世界最先端であると言えるであろうか。ポーラスアスファルト舗装，各種改質アスファルト，中温化技術，雨水浸透型舗装，凍結抑制舗装等，ほとんどがその起源は欧米に依存している。唯一，路面温度低減舗装がわが国のオリジナルであると言えるのではないか。しかし，ポーラス舗装は騒音低減，交通事故減少等の機能をもち環境改善，安全・安心・快適な生活に寄与する技術である。中温化技術は省資源，省エネルギー技術であり，再生アスファルト混合物はリサイクルの優等生である。これらの研究開発に思い切った研究費をつぎ込めば，世界最先端の技術をもてる可能性は十分にある。

本稿では舗装分野における高額研究費の獲得可能性について述べている。研究は金ではないという意見もあるが，優秀な人材を育てるには，若い人たちが活き活きと活躍できる環境づくりが必要である。大学独法化のために雑用が増えて，研究に当てる時間が減少している。学会，委員会に出席して最先端の情報交換をしようにも，時間と旅費がない現状では，若い研究者がなかなか育たない。大学の差別化は獲得研究費の大小で決まり，学内における評価も個々の教員の獲得研究費が物指になっている。今後は，集まるところに集まり，集まらないところには集まらないという２極化が進むであろう。このような状況が続けば，土木工学そのものが大学から消えてしまう。

20年ほど前は，舗装工学など学問のうちに入らないと言われていたが，FWDによる舗装診断技術，ポーラス舗装の多機能化等の研究によって，大学における舗装の研究も活発になり，若手研究者も育っている。

民間企業から博士号の学位をとる人も増加した。企業との共同研究も盛んになり，舗装関係の委員会に大学からも積極的に参加するようになった。しかし，大学の研究費に占める産業界資金の割合は。まだ日本では２％である。アメリカ８％，ドイツ11％，イギリス９％という数字と比較するとかなり小さい[5)]。建設業は，他の業種に比べると，企業の支出全体のうち研究費の占める割合は非常に小さいといわれているので，日本２％という値は，舗装の分野ではもっと小さいであろう。人材育成のために，産官学の共同研究活性化が不可欠である。

最近，中国における高速道路建設延長の増加が著しい。これに伴って，大学の道路研究室の活動も大変活発である。2005年９月に中国のある大学で，日本の舗装技術について２時間の講演をした。受講者は学部学生，大学院生の他，役所の人も何人かいた。驚いたのは講義終了後の質疑応答が大変活発であったことである。とくに若い学生から次から次へと質問が浴びせられた。講演内容以外のこともインターネットなどでよく調べており，それだけでは得られない情報について徹底的に説明を求められた。筆者の知識だけでは十分な解答はできなかったが，質疑応答だけで２時間があっという間にたってしまった。舗装研究に携わる教員の数は多く，学生数も多い。また，官民の研究者との交流も活発である。近い将来，中国は舗装の研究大国になるのは間違いない。

韓国，インドネシア，タイ，マレーシア，メキシコも，日本のポーラス舗装，FWD調査等の技術に対する関心は非常に高く，訪問のたびに質問攻めに合う。平成18年度から科学技術振興調整費の「産学官共同研究の効果的な推進」プログラムの新規募集はなくなってしまったが，新たに「アジア科学技術協力の戦略的推進」等のプログラムが創設されている。わが国も大学における舗装研究の活性化と若手研究者の育成を組織的に考えていかなければ，世界のリーダーシップを発揮するのは困難になるであろう。

## ―― 参考文献 ――


１）独立行政法人 日本学術振興会，21世紀COEプログラムの概要，2006.7

２）科学技術振興機構，科学技術振興調整費とは，2005

３）文部科学省，科学技術振興調整費公募要領，2004.12

４）文部科学省，平成13年度民間企業の研究活動に関する調査報告，2002.9

５）西尾好司，これからの産業界と大学の連携，早稲田大学理工学研究所，ASTE 10周年記念シンポジウム，2003.7

# 中央大学における舗装研究の現状

(Recent Study Topics Carried Out in Highway Laboratory, Chuo University)

姫　野　賢　治*

中央大学理工学部土木工学科道路研究室に勤務する一教員が，25年を超える教員生活を通じて実施してきた舗装工学について関心を持ってきた研究テーマを列挙し，それらにどのように取り組んできたかを概観している。具体的に取り上げたテーマは，①アスファルト舗装の疲労破壊，②感性評価を利用した舗装の評価，③アスファルトラバー（AR）に関する研究，④廃プラスチックを用いたバインダの改質，および，⑤トラック型ドライビングシミュレータを用いた舗装の耐久性の評価である。

## 1．はじめに

このたび，アスファルト誌より，わが国の舗装研究の現状と今後という特集記事を企画したので，中央大学理工学部土木工学科の道路研究室で行っている研究を紹介するようにとの依頼を受けた。目次を見てみると，前後に国土交通省関係の研究機関，地方公共団体関係の研究機関など，大きな研究機関が組織的に行っている研究がずらりと紹介される様子であり，一研究者が教育の片手間に細々と行っている研究を列記して良いものかとやや抵抗感があったが，内容はともかく，研究テーマの選択に当たっては，経済的な事情以外には何の制約もなく，自由な発想でともかくも10年間何かをやってきたことも事実であり，サボって論文として公表していない研究内容も増えてきたので，一文をものすのも悪くないであろうと思うに至ったしだいである。

本研究室は，茨木龍雄先生の施工研究室を引き継いで平成９年の４月に設立したものである。爾来，今年の３月に卒業する学生を含めて，182名（昼間部128名，夜間部54名）の学生が卒業研究を行ったことになり，内容はともかく，それだけの卒業研究のテーマがあったわけである。また，そのうちの２～３割の学生は博士前期課程へ進学をして修士論文を書き上げ，さらに，社会人を中心とした博士後期課程の学生による博士論文も片手に余る数だけ生み出されたわけであり，テーマの数はかなりの数になる。

本稿では，これらのテーマを大まかに分類して，どのような問題意識をもってどのような研究を行ってきたかを，具体的ないくつかの研究成果を示すことによって紹介することとする。

## 2．道路研究室の今までの研究テーマの分類

現在も継続しているものも含めて，当研究室で過去に実施してきた研究をざっと分類すると，**表－1**のようになる。本来は，この分類にしたがって本研究室で行っている代表的な研究内容を紹介することが筋かも知れないが，たとえば，フェロニッケルスラグを骨材の一部に用いたすべり抵抗性を高めたアスファルト混合物の開発などというテーマは，舗装材料のテーマでもあり，舗装機能のテーマでもあって，厳密には分類できないのであり，自分の研究歴を振り返って時系列的に，ここでも本研究室で継続している研究内容を紹介することとする。

**表－1**　中央大学道路研究室の研究テーマの分類

| | |
|---|---|
| Ⅰ 舗装材料 | ①舗装と環境<br>②バインダ・骨材・混合物<br>③特殊舗装 |
| Ⅱ 舗装の構造評価 | ①FWD・表面波<br>②構造評価一般 |
| Ⅲ 舗装の機能評価 | ①ラフネス<br>②すべり・騒音<br>③歩行者系・スポーツ系舗装<br>④わだち掘れ<br>⑤ひびわれ |
| Ⅳ その他 | ①他機関との共同研究<br>②その他 |

* ひめの　けんじ　中央大学　理工学部土木工学科　教授　工博

## ３．道路研究室の具体的な研究テーマの紹介

### 3.1　アスファルト舗装の疲労破壊

舗装の世界に足を踏み入れて以来，永遠の課題のひとつと考えているものに，「アスファルト舗装の疲労破壊」がある。この問題に関心を持つようになった最大の理由は，世界中でいろいろな疲労破壊規準が提案されているにもかかわらず，どの規準式を用いるかで予測される舗装の疲労寿命が全く異なることであり，特に多くの規準では高温になるほど寿命が短くなるという傾向を持つのに対して，ある規準では逆の傾向を示していたことである。さらに，実際の路面温度は60℃を遙かに超えるのに対して，室内での疲労試験は，せいぜい20℃程度しか温度を高めることができず，この矛盾を実験的に確認することもできなかったからである。この疲労破壊規準が仮に正しかったとしても，これを実際の舗装に適用する際に，有名なアスファルト混合物層下面の引張ひずみという，座標系に依存する１成分に着目することにも大きな違和感があった。そして，東京の真夏の実測路面温度を用いて舗装の寿命を計算すると，なんとほとんどの規準で，１回未満の走行回数で破壊してしまうという予測結果の前に，これはやりがいがあるなと感じた次第である。

現在，本研究室では，一般的に用いられているビーム状の供試体に対する３点または４点曲げの疲労試験のみならず，**写真－１**に示すような円筒形の供試体に対するpush-pull型と呼ばれる一軸の繰返し試験に着目し，これを用いた実験を行っている。この試験の特徴は，全断面に一様な応力とひずみが作用することであり，

**写真－１**　push-pull型疲労試験機の供試体

曲げ試験のように支点で治具が供試体に食い込むようなことも起きず，治具の締直しをせずに無人で長時間実験ができることである。もっとも，最近の曲げ試験機でも自動で治具の締直しをしてくれるようになっているが。ひずみ量も写真－１のように変形量を直接測定することによって正確に実測することもできるし，応力とひずみの波形の位相差も測定できる。

アスファルト混合物の疲労破壊特性は，前述のように混合物の温度によって大きく変化するが，それ以外にも，載荷波形が正弦波ではない場合には同一の振幅と周波数であっても異なることがわかっているし，それに昔からいわれているように休止時間の影響がとても大きいことがわかっていながら，これらを説明する統一理論がない状態でいる。これは載荷されているときに疲労ダメージが単純に増え続けていくという古典的な考えとは異なり，混合物は絶えず疲労ダメージを回復しつつあり，載荷されていてもそのひずみが極めて小さければダメージは全く増えていかないというendurance limitの存在を予感させるものであるが，これを定量的に示した研究はまだない。このほかにも，いわゆるtop-downクラッキングと呼ばれる，舗装の表面から入るひびわれの存在が欧米でも声高に叫ばれるようになり，これも疲労現象の一種であろうと推定されながらも，未だにinconclusiveである。

このように，舗装の疲労破壊はとても複雑であり，舗装の温度や車輪の走行位置がどのように分布しているかを考慮せずに，アスファルト混合物層下面に作用する引張ひずみのみに着目した寿命予測は，工学的に見てほとんど意味がないと考えている。

### 3.2　感性評価を利用した舗装の評価

国や地方自治体が莫大な資金を投入して道路を整備し続けているのは，その投資に見合った便益があると判断しているからに他ならない。その便益をどのように判断するかという問題は，永遠の課題と言っても良いほど大きな問題であり，舗装に限ってみても，良い舗装と悪い舗装の区別を如何に定量的に行うかについて，昔からいろいろな努力が行われてきた。

有名なものは，AASHO道路試験であり，目隠し試験によって得られた被験者からの主観的なアンケート調査結果から，かの有名なPSIと称する路面の評価指標が生まれたわけである。これを受けて世界中で様々な類似の指標が生み出され，わが国でもMCIという指標が広く用いられてきた。

これはこれでひとつの成果ではあろうが，このよう

な主観的な評価手法を用いた場合，たとえば，高速道路だけを対象にしたとき，被験者が独自の判断で比較的乗り心地の良い道路のデータの中で優良可を判断し，また，傷みのひどい道路だけを対象にしたときは，同様に比較的乗り心地の悪い道路の中で優良可を判断するようになり，これらを直ちには同一の尺度で比較できないのではないかと考えるようになった。

そこで，数年前から，被験者による主観に頼らずに，もう少しブレの少ない評価ができないものかと考え，脳波を用いた舗装の機能評価ができないものかと考えるようになり，室内や実道で実験や調査を実施している。脳波はμV（マイクロボルト）レベルの微弱な電圧であり，これを筋肉の収縮時に発生するmV（ミリボルト）程度のノイズ電圧の中から検出するために非常に工夫が必要であり，被験者の個体差もかなり大きいが，とてもおもしろい取り組みであると考えている。

一般的には，10個の脳波計を頭皮に貼り付け，これらから得られる脳波から感性マトリックス演算を行うことにより，喜怒哀楽の４つの感性スペクトル値を抽出して，乗り心地の評価に利用している。

### 3.3　アスファルトラバー（AR）に関する研究

現在，わが国では毎年100万トン，本数にして１億本を超える廃タイヤが発生しており，このうちの約44%がセメントキルン用の燃料としてサーマルリサイクルされ，また，43%が国内外で更正タイヤの台タイヤ等としてマテリアルリサイクルされ，ほぼ適正に再利用されているが，残りの13%は中間流通在庫等となり，その一部は不法投棄の予備軍となっている可能性があるといわれている。

このような廃タイヤから発生するリサイクルゴムを種々の方法で道路舗装に有効利用する試みが国内外で散発的に行われてきたが，広く知られているように，ゴムを骨材の一部として密粒度・開粒度アスファルト混合物等に用いた舗装は，弾性係数などの材料特性が極端に異なるゴムと骨材が力学的にマッチせず，強度や耐久性が損なわれるとの指摘がなされており，これが遠因となって，舗装技術者にはゴムは舗装には向かないとの共通の認識があるようにも思える。

しかしながら，昨今，アメリカを中心として，天然ゴムを主成分とする大型車用の廃タイヤを注意深く破砕して得られる特定の小粒径のゴム粉をベネズエラ産原油から得られるアスファルトと混合し，特定の条件下で一定時間熟成することにより，ゴム粉がアスファルト中の主として芳香族の軽質成分で膨潤し，高粘度化した改質バインダが得られることが報告されるようになった。これをアスファルトラバー，略してARと呼ぶが，これをバインダとして骨材と混合することで，骨材周りに厚いバインダ皮膜を持つ特性が得られ，骨材と骨材の噛み合せが強化された高耐久性舗装が得られること，さらには，道路騒音低減効果のあることが認められるようになった。

予備実験により中東産原油から得られるわが国のアスファルトを用いた場合も同様な効果があることをある程度確認されており，この技術をさらに高度化して，わが国で密粒度アスファルト混合物やSMA混合物に広く用いられている改質バインダのType Ⅱ型や排水性舗装に広く用いられているType H型の高粘度バインダと同等の性質を持つ改質アスファルトを開発できないかと研究を続けている。

この研究テーマの目指すところはかなり深遠なものであり，到底本研究室だけで遂行できるわけもなく，長岡技術科学大学の丸山暉彦教授からの助言や，多くのタイヤメーカー，道路会社，改質アスファルト製造メーカーなどのご協力を頂きながら実施している。

### 3.4　廃プラスチックを用いたバインダの改質

上でも触れたとおり，もともと，ゴム粉とアスファルトの相容性はそれほど高いものではなく，外国でARバインダの成功例が報告されているのは，アスファルト混合物を製造する前にゴム粉とアスファルトを高温で数時間養生するという，いわゆるウェットプロセスの発見によるものであり，アスファルト内の比較的分子量の小さい軽質部が如何にゴム粉の表面部に吸収されてゴム粉を膨潤させるかにかかっており，ゴム粉の本体は混合物内ではほぼ原型のまま存在し，一部は骨材として挙動していると考えられている。

このゴム粉の表面に吸収されるアスファルト内の比較的分子量の小さい軽質部が何らかの理由で十分ではない場合があり，このことがARバインダの品質が場合によっては意図したとおりの水準に達しないことがあることの大きな原因となっているのではないかと考え，予めゴム粉をアスファルト以外の油分となじませておくことによってこの問題が解決できるのではないかと推定した。

一方で，タイヤのみならず，この消費型社会では様々な消費財から大量のプラスチックも廃棄されている。廃プラスチックはさまざまな生産物から発生し，その種類もさまざまであるが，毎年1,400万トンほど発生するこの廃プラスチックのうち，約４%を占める，

使用済みのパソコン，電気機器，自動車部品，旅行用トランク等から発生するABS樹脂を，主として外食産業から廃棄される食用油と混合して熱分解することによってオリゴマ（モノマーの低い程度の重合体）が生成できることが報告されており，現時点では，このオリゴマ単体で，アスファルトの改質剤としての性質を持たせることは困難で，SBS等の高価な樹脂との混合を前提として，食用油と廃プラスチックを改質バインダType ⅠまたはType Ⅱとしてアスファルトの改質材としてリサイクルする試みがある。

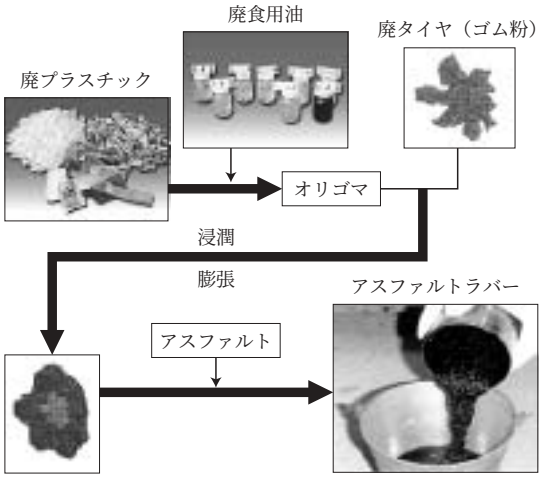
そこで，**図－1**に示すように，ARおよびABSオリゴマのそれぞれがSBSの助けを借りてその性能を発揮しているわけであるが，この両者の特徴を合体させ，廃材のみから改質バインダのType Ⅱ型相当のものが製造できないかと研究を実施している。

### 3.5　トラック型ドライビングシミュレータを用いた舗装の耐久性の評価

ドライビングシミュレータといえば，一般には自動車の運転技術を向上させるために自動車教習所に設置されているものを思い浮かべることが多いであろう。事実，乗用車タイプのドライビングシミュレータの多くはそのような目的で作られており，ドライバの前面に映し出される前方の道路の映像には，歩行者や自転車が飛び出してきたり，信号機の色が突然変わったりするものが多い。

しかしながら，北見工業大学の川村彰教授が数年前にこの乗用車タイプのドライビングシミュレータを導入し，運転中の車体の運動などから路面性状を評価する試みを始められ，過日見学させていただいたときに，上記の感性評価手法と組み合わせて乗り心地の評価が行えるのでは思い，このシミュレータを卒論の研究のために何度か使わせていただいた。もし大型のトラックタイプのシミュレータがあり，そのときの車体の振動のみならず，トラックが路面に及ぼす荷重の変動もモニタリングできれば，舗装の構造的破損の評価に使えるのではないかと考えた。

このために，昨年，**写真－2**に示すようなトラック型のドライビングシミュレータを導入し，舗装のさまざまな評価に役立てようとしている。基本的には，路面の縦断プロファイルをコンピュータに入力し，その路面上でトラックの運転を行うと，トラックはその運転に従って６自由度で車体が運動をするので，そこから得られる情報を利用すればかなりいろいろな舗装の評価に役立つであろうと思われる。




**図－1**　ABSオリゴマによるARの改質

**写真－2**　トラック型ドライビングシミュレータ

具体的には，運転席や助手席に座った人間の主観評価や感性評価を通じて乗り心地や路面性状そのものを評価することも可能であろう。また，トラックの荷台の運動をシミュレートすることによって，荷台の上に置いた生鮮食料品や破損しやすい荷物の傷み具合を実験的に調べることも可能である。さらに，路面性状によってトラックが路面に及ぼす力がどのように変化するかを調べれば，車体の動的な荷重が及ぼす舗装の構造的な破壊の評価も可能となろう。

## 4．おわりに

以上述べたほか，本研究室で実施してきた研究は多数あるが，いろいろな方々のサポートを受けてきたとは言え，所詮，一私立大学の一教員が行ってきたものであり，限界はあるが，興味を持たれる方がいらっしゃれば，下記をご参照いただければ幸甚である。

**http://www.civil.chuo-u.ac.jp/lab/highway/**

# 石川工業高等専門学校における舗装の汎用性能予測モデルの開発

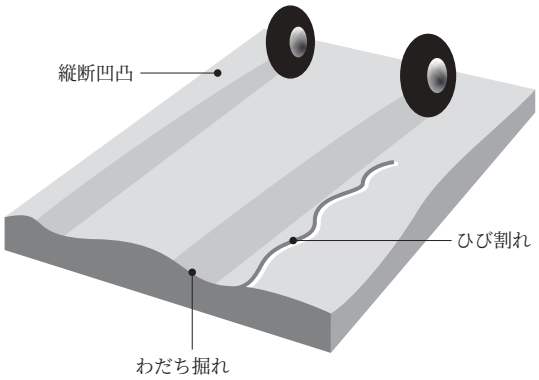
(Development of a Comprehensive Model for Prediction of Long-term Performance of Pavements)

西　澤　辰　男*

舗装の長期的な性能の変化や破壊を予測するために，３次元有限要素法に基づいた構造解析プログラムPave3Dを開発した。材料モデルとして，アスファルト混合物に対しては粘弾性，粒状材料や土質材料に対しては拡張SMP規準修正Cam-clayモデルを用いている。このモデルを用いて，アスファルト舗装のひび割れ，わだち掘れ，コンクリート舗装のひび割れ，路盤の塑性変形などの解析を行った。またアスファルト舗装とコンクリート舗装を組み合わせたコンポジット舗装の解析には最も威力を発揮する。

## １．まえがき

舗装は，アスファルト混合物などの路面（表層）の下に，表層を支える路盤，および路床（地盤）から成り立っている。歩行者や車両の安全で快適な通行を確保するために，表層は均質で丈夫かつ適切なきめ（テクスチャー）を持ち，荷重を適切に路盤以下の層に分散して伝える役割がある。また路盤は荷重を分散させて，路床に伝わる力を減少させて路床を保護する。舗装に用いられる材料は，温度や載荷速度に敏感なアスファルト混合物，砂利や砂などの粒状材料，現地の土などがある。それらの挙動は複雑でばらつきが大きく，挙動を正確に表現することは容易ではない。しかも交通荷重や気象条件の変動もきわめて大きいので，舗装全体の時間経過に伴う挙動の変化や破壊を理論的に予測することは困難とされてきた。当研究室では，コンピュータ上で舗装全体の挙動を直接シミュレートするモデルの構築を目指してきた。ここでは，その研究の一端を紹介したい。




**図－１**　研究の対象とする舗装の性能

## ２．舗装の性能

舗装の性能は次のようなもので評価される。

①路面の平坦性（わだち掘れや縦断凹凸）

②路面のテクスチャー（すべり抵抗，騒音，排水性能）

③ひび割れの程度（構造的な耐久性）

①は交通荷重の作用によって舗装構造の変形が残留する結果といえる。③は舗装を構成する層の破壊とみなすことができる。いずれにしろ①と③の性能は，力学的な応答に関係している。本研究の目的はこのような性能を，構造条件，気象条件，交通条件から予測するシステムを開発することである。そのための基礎となるのは，舗装の汎用的な構造モデルである。

## ３．舗装構造モデル

本研究では，舗装の性能を，交通荷重や気候にさらされた舗装構造やそれを構成する材料の力学的な応答と捉える。このような応答を表現するために３次元有限要素法（3DFEM）を基本としたモデルを開発した。

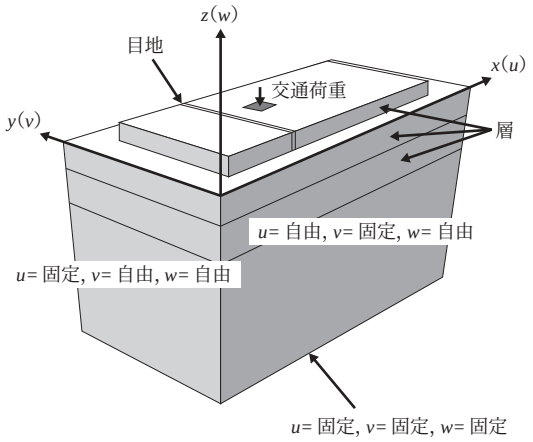
**図－２**は舗装構造解析用に開発された３次元有限要素法（3DFEM）プログラムPave3Dで想定している構造モデルである[1)]。舗装全体を多層構造として層単位

*にしざわ　たつお　石川工業高等専門学校　環境都市工学科　教授

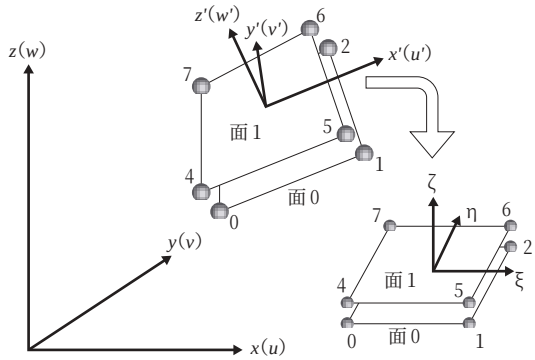
で処理することにより，要素分割，境界条件，荷重条件などの設定を自動化している。表層，路盤および路床は８節点のソリッド要素に，層と層との境界面や目地は後述する境界面要素に分割される。各層は有限の広がりを持ち，その端部の断面では広がり方向の変位はその方向に固定されている。荷重は表層表面に作用する等分布面荷重とし，x，y，z方向の荷重を取り扱うことができる。

層と層との境界面には，**図－３**に示す汎用境界面要素を挿入した。境界面要素は２つの面を持ち，その面の間の相互作用を面に平行な２つのばねと面に垂直な１つのばねでモデル化する。それぞれのばね定数をks, kt，knとすると，これらの値が大きいほど境界面での力の伝達が大きくなる。

このような構造モデルで交通車両が走行したときの挙動を解析するために，動的問題として定式化した。動的解析を行うことにより，舗装を構成する材料の荷重速度の影響や粘弾性効果を考慮した解析を行うことができる[2)]。




**図－２**　3DFEMモデル

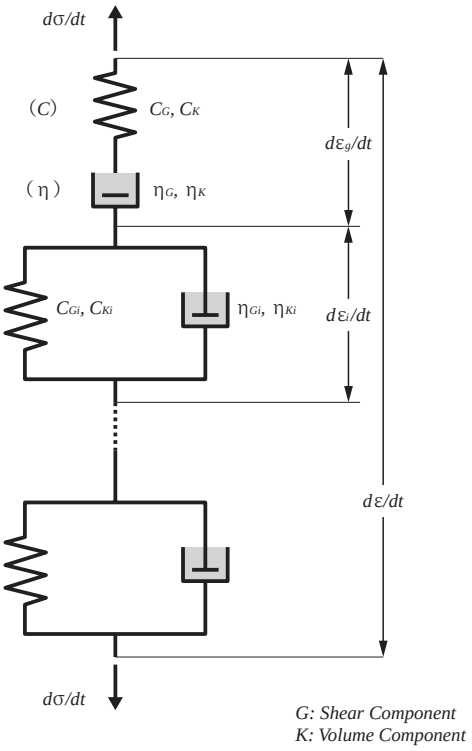



**図－３**　境界面要素

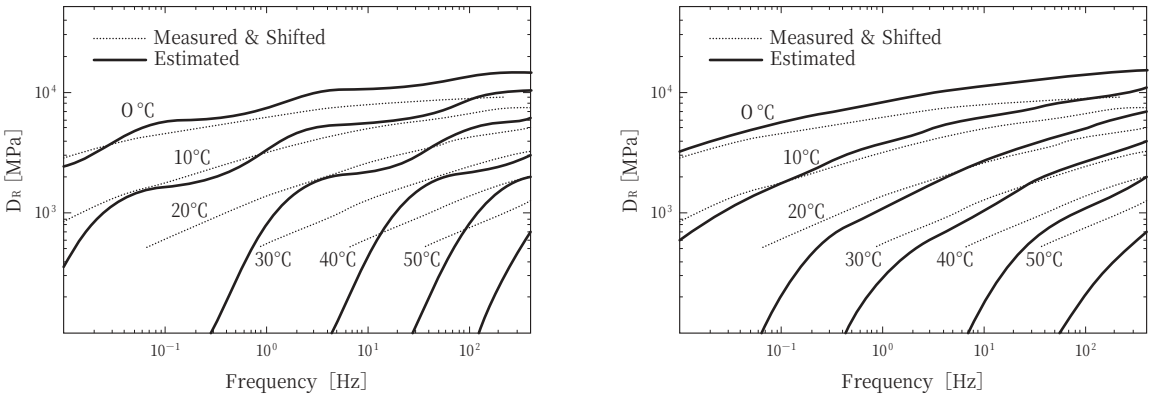
## ４．舗装材料モデル

舗装を構成する材料は多岐にわたる。一般に舗装の構造解析においては，材料を線形弾性体と仮定する。弾性体であれば，荷重が通り過ぎると舗装の変形は元に戻るはずであるが，実際にはいくらかの変形が残留する。これは，アスファルト混合物の粘性，粒状材料，土質材料の塑性による。線形弾性体理論ではこのような現象を取り扱うことができない。そこで本研究では，できる限り個々の材料の特性を，現在のいろいろな材料分野の理論を用いてモデル化することを目指している。

よく知られているように，アスファルト材料は粘弾性体である。このような粘弾性材料のモデルとしては，レオロジーモデルがある。本研究においても，**図－４**のような一般化フォークトモデルを採用している。レオロジーモデルでは，ばねとダッシュポットの組み合わせで，複雑な粘弾性挙動を表現することができる。**図－５**は，載荷周波数（振動数）とアスファルト混合物の動弾性係数の関係を表している。一般に周波数が高




**図－４**　一般化フォークトモデル



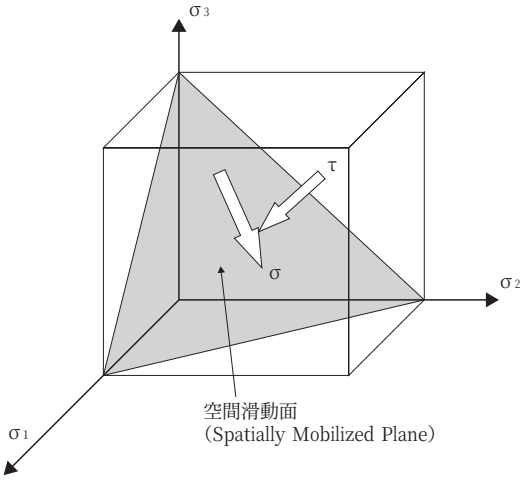

（a）４要素　　（b）８要素

**図－５**　要素数によるモデルの精度

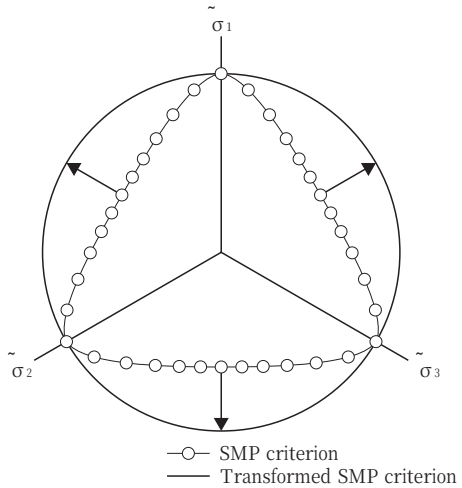
く温度が低いほど動弾性係数は高くなる。レオロジーモデルの要素数（ばねとダッシュポットの組み合わせを１要素としている）を決めると，実験結果から各要素の粘弾性パラメータを同定することができる。ただし，要素数が少ないと狭い範囲の周波数領域でしか一致しない。舗装が受ける交通荷重に相当する周波数の範囲では，８要素程度で十分である[3]。しかしながら，８要素のレオロジーモデルをFEMに定式化することは困難であり，現実的には荷重条件の範囲を決めて少ない要素でモデル化することが望ましい。縦表面ひび割れなどのアスファルト混合物の破壊は，散逸エネルギーに関係するという見解が有力であり，その際にはこのようなモデル化が非常に重要となる[4, 5]。

路盤に用いられる粒状材料，路床を構成する土質材料の挙動も複雑である。本研究においては，拡張SMP規準修正Cam-clayモデルを適用して，これらの材料の挙動を調べている。このモデルは，**図－６**に示すような３次元応力状態におけるすべり面あるいは空間滑動面（SMP）上でのせん断応力と垂直応力の比を破壊基準としたもので，引張，圧縮状態に関わらず統一的に材料の塑性挙動を記述できるとされている[6]。適当な変換を施してやると，**図－７**のように３主応力空間で滑らかな破壊局面になるため，数値計算の中で扱いやすい。

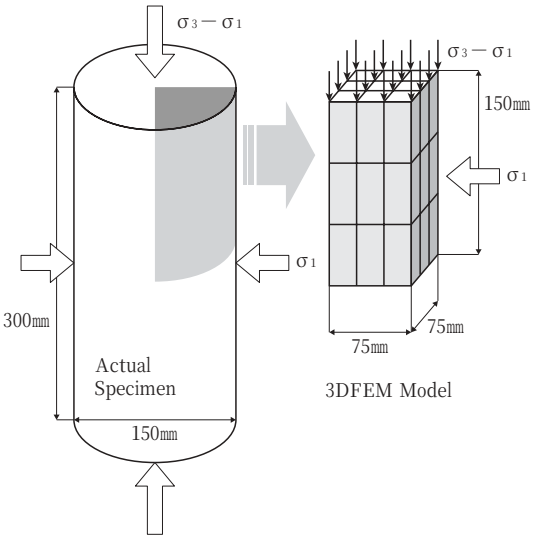
このモデルを用いて，粒状材料の繰返し３軸試験をシミュレーションしてみた[2]。**図－８**に示すような円柱供試体を3DFEMでモデル化し，繰返し回数と塑性軸ひずみの関係を求めた。その結果が**図－９**である。いくつかのパラメータをうまく決めなければならないが，実験結果との対応は良好である。



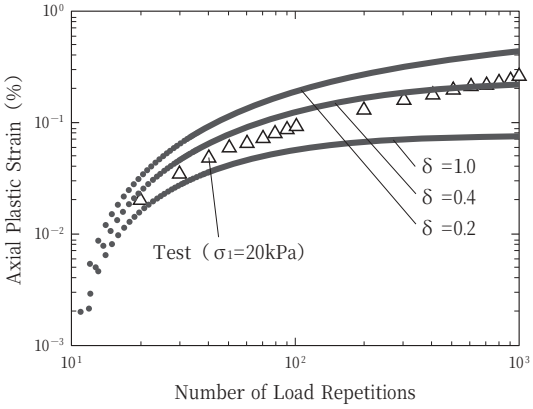

**図－６**　滑動面における破壊基準




**図－７**　SMP規準における破壊曲面




**図－8**　３軸圧縮繰返試験のモデル化



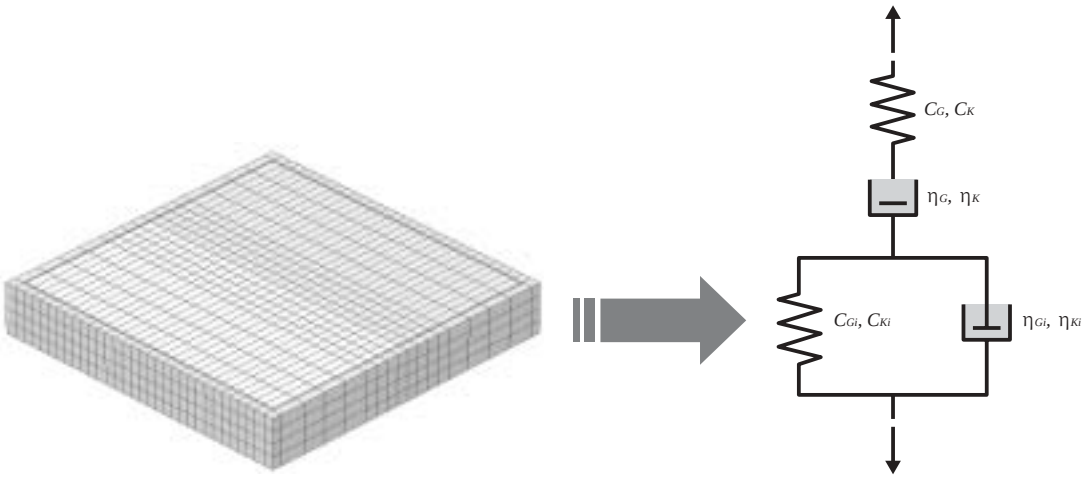

**図－9**　実験結果とシミュレーションの比較

このように，個々の材料レベルでは適切な構成則用いることによって，その挙動をかなり正確に表現することが可能になっている。FEMの利点は，このような材料レベルの構成則をそのまま構造解析に利用できることである。

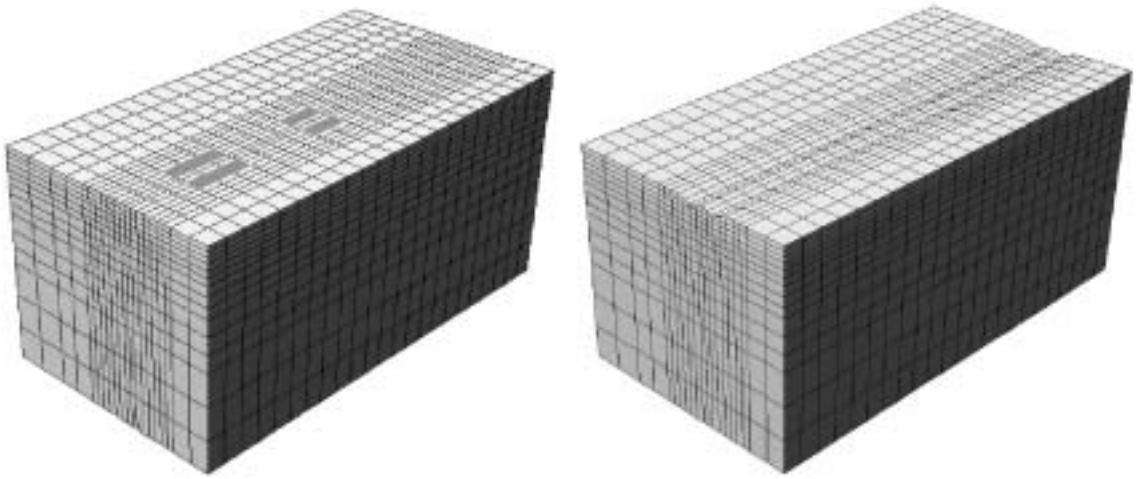
## ５．アスファルト舗装の解析

アスファルト舗装の構造設計においては，まずアスファルト混合物層内の応力やひずみを計算する。そのために，アスファルト舗装に対応した構造モデルに交通荷重を作用させ，各層内の応答を計算する。一方で，応力やひずみと材料の破壊の関係すなわち破壊規準を求めておく。アスファルト舗装においては，アスファルト混合物に発生する引張ひずみと破壊までの繰返し回数の関係が破壊規準となる。計算された引張ひずみから，その引張ひずみを発生させる荷重の破壊に至るまでの繰返し数，すなわち交通量がわかる。

一方わだち掘れのような永久変形については，粘弾性モデルを用いる。何らかの方法で粘弾性パラメータを決定すると，構造モデルを用いて交通荷重が通過した際に残留する変形を計算することができる。この残留変形が累積することによって，わだち掘れが発生すると考えるのである。例えば，室内試験であるホイールトラッキング試験を，**図－10**に示すようなFEMによってシミュレートして，モデルに必要な材料パラメータ値を求める。その結果を用いて実際の交通荷重下の舗装の挙動をシミュレートし，**図－11**のような残留変形からわだち掘れ形状を予測することができるようになろう[7)]。



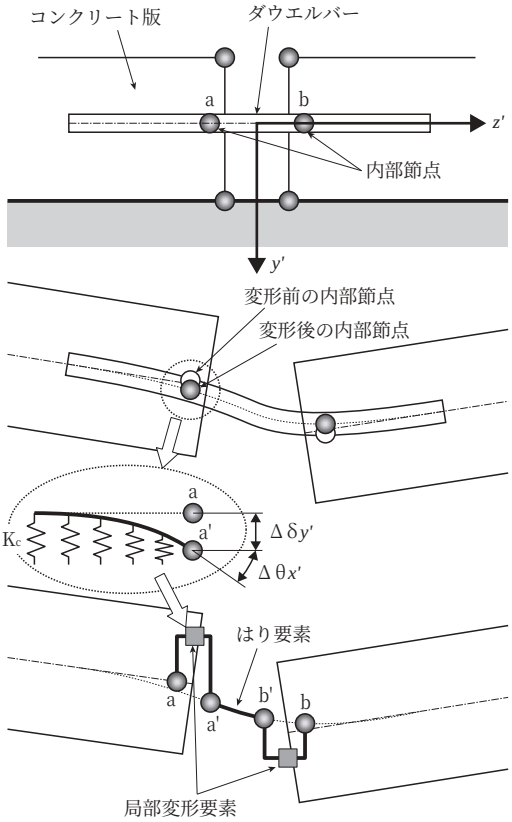

**図－10**　ホイールトラッキング試験のシミュレーション



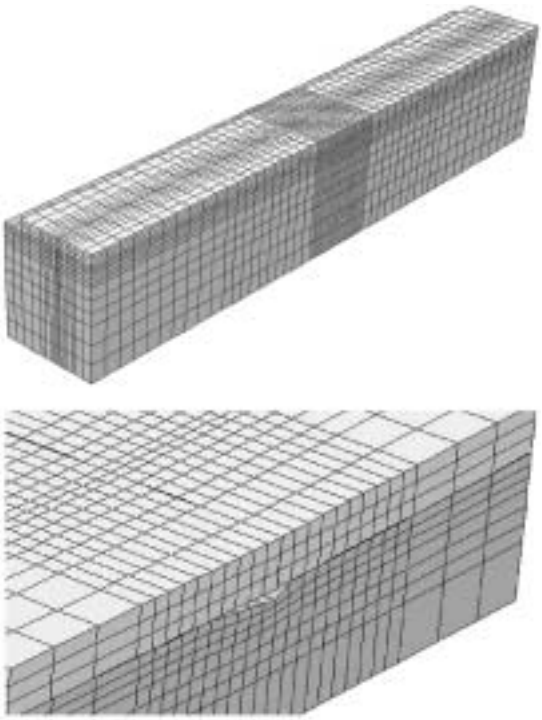
**図－11**　わだち掘れの予測シミュレーション

## 6．コンクリート舗装の解析

コンクリート舗装において問題となるのは，目地やひび割れの取扱いである。本研究では，目地やひび割れ部における骨材の噛み合わせを境界面要素で表現する。また目地部の鉄筋による補強については，**図－12**のような特殊な目地要素を開発して，鉄筋のダウエル効果を考慮することにした[8]。また，路盤の塑性変形を考慮するために，前述した拡張SMP規準修正Cam-clayモデルを組み込んだ。これらのモデルを用いて，コンクリート舗装の動的な挙動を解析したところ，**図－13**に示すような目地部の空洞を再現できた[9]。




**図－12**　目地のダウエルバーモデル

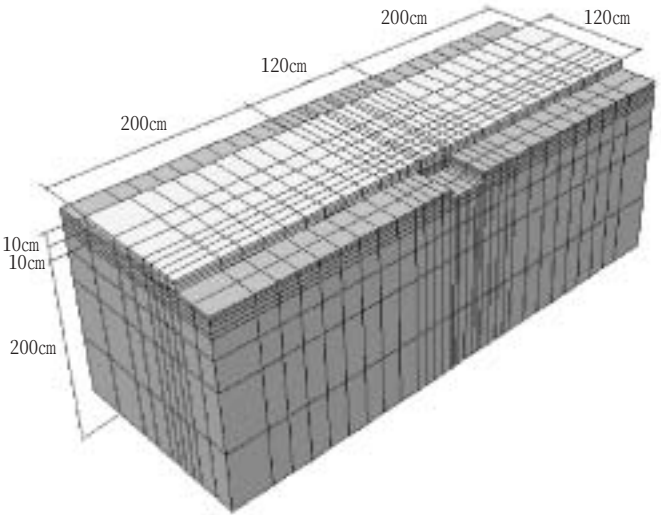


**図－13**　目地の下の空洞のシミュレーション

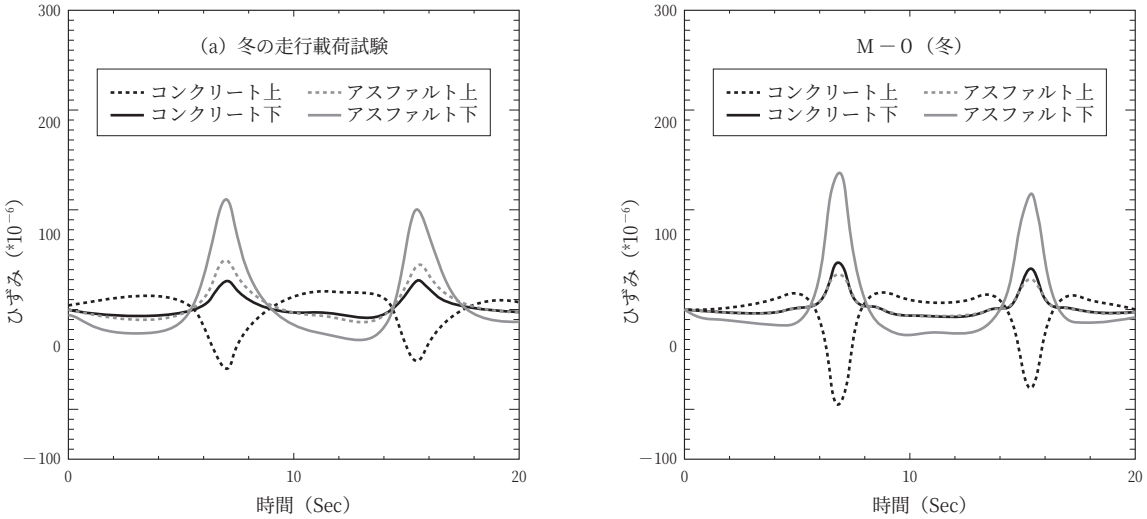
## 7．ホワイトトッピング構造の解析

アスファルト混合物とコンクリートを組み合わせ，それぞれの短所を補完した舗装構造として，コンポジット舗装がある。コンクリート版を基層として構造的な支持性能を受け持たせ，その上に薄いアスファルト層を設けて良好な路面を確保するというやり方が一般的である。ところが，通常のアスファルト舗装の上に薄いコンクリート版を施工するという方法もある。特に重交通道路においてはアスファルト層の厚さを厚くしても，表層部においてわだち掘れなどの流動変形が避けられない。そこで，表面部分を薄いコンクリートで覆ってしまおうというわけである。コンクリート版は塑性変形を起こさないので，流動変形防止になる。これも一種のコンポジット舗装であるが，このような舗装をホワイトトッピングと呼んでいる。

このようなコンポジット舗装では，コンクリート版とアスファルト層を同時に扱わなければならない。またコンクリート版には必ず目地があるため，この挙動も表現する必要がある。このような比較的複雑な舗装構造に対しては，Pave3Dが唯一適用可能なモデルであるといってよい。**図－14**は，厚さ100㎜のアスファルト層の上に，厚さ100㎜のコンクリート版を敷いた薄層ホワイトトッピング構造をPave3Dでモデル化したものである[10]。ここに交通荷重を作用させて，コンクリート版のひずみを計算した。同様の構造で載荷試験を実施しており，この結果と比較したものが**図－15**である。シミュレーションは実験結果をよく捉えている。このモデルでは，コンクリート版の応力ばかりでなく，下のアスファルト層のひずみを計算することも可能である。ホワイトトッピングの構造設計には，コンクリート版だけでなくアスファルト層の応答にも注意を払わなければならない。Pave3Dはこのような解析に適している。




**図－14**　ホワイトトッピングの構造モデル




(a) 載荷実験結果　　(b) シミュレーション結果

**図－15**　載荷実験結果とPave3Dによるシミュレーション結果の比較

## ８．まとめ

本研究において開発を進めている汎用舗装構造解析モデルPave3Dについて紹介した。Pave3Dを適切に使用すれば，舗装のさまざまな現象をコンピュータ上で再現できる。ただし，現状においてはいくつかの課題を抱えている。それらの課題を挙げて，本小文のまとめとしたい。

①要素分割などできる限り自動化してはいるが，完全ではない。FEMの場合，解析結果が要素分割にかなり依存するために，要素分割についての知識が必要である。

②１回の車輪の通過時間数秒であっても，数時間の計算時間を要する。長期的な性能を評価するためには，何らかの工夫が必要である。

③舗装のように広範な気象条件の下で材料の挙動を完全に表現するモデルは，今のところ存在しない。特に，粒状材料，土質材料の場合，水分の影響が大きい。舗装では，地下水，降雨など水が材料に浸入してくることは避けられないので，その影響を適切にモデル化する必要がある。

④舗装の破壊自体に不明な点が多い。FEMといえども，ある程度実際の破壊現象のメカニズムを理解しておかないと，適切なシミュレーションを行うことはできない。結局のところ，技術者の現場の観察力と解析能力が最も大切ということである。

## ―― 参考文献 ――


１）西澤辰男：３次元有限要素法に基づいたコンクリート舗装構造解析パッケージの開発，土木学会舗装工学論文集，第５巻，pp.115-124，2000

２）西澤辰男，竹内康，小梁川雅：コンクリート舗装の粒状路盤における塑性変形の解析法，土木学会舗装工学論文集，第７巻，pp.137-143，2002

３）西澤辰男，笠原篤，姫野賢治：アスファルト混合物の動的解析へのレオロジーモデルの適用性，土木学会論文集，No.760/V-63，pp.231-240，2004

４）姫野賢治，渡辺隆，丸山暉彦：アスファルト混合物の拡張された疲労破壊規準に関する研究，土木学会論文集，No.378/V-6，pp.259-268，1986

５）Nishizawa, T. et al.: Longitudinal Surface Cracking in Asphalt Pavement on Steel Bridge Decks, Proceedings, 5th RILEM International Conference on Cracking in Pavements, 2004

６）松岡元：地盤工学の新しいアプローチ，京都大学学術出版会，2003

７）横川尚佳，西澤辰男：3DFEMによるホイールトラッキング試験の解析，土木学会第57回年次学術講演会概要集，2002

８）西澤辰男：３次元FEMに基づいたコンクリート舗装の横目地におけるダウエルバーモデル，土木学会論文集，No.683/V-52，pp.145-156，2001

９）Nishizawa, T., Y. Takeuchi and M. Koyanagawa: Modeling of development of plastic deformation in granular base course of concrete pavement due to traffic loads, Proceedings, 6th International DUT-Workshop on Fundamental Modelling of Design and Performance of Concrete Pavements, 2006.

10）西澤辰男，村田芳樹，國府勝郎：交通荷重に対する薄層ホワイトトッピング構造の動的挙動，土木学会論文集，No.725/V-58，pp.183-195，2003

# 東京都における環境負荷軽減に寄与する舗装研究の現状と今後の課題

(The Present Condition of Pavement Research and The Future Subject which Contribute to The Environmental Load Mitigation in Tokyo)

小　林　一　雄*

東京都では、道路の舗装分野においても環境に対する取り組みを積極的に進めてきた。耐久性・安全性・快適性の舗装本来の機能に加えて、①騒音低減、②雨水浸透、③路面温度低減、④$NO_x$濃度低減などの環境改善効果に期待した舗装技術の開発・普及に積極的に取り組んできた。

各機能に関する舗装技術の開発経緯、主な検討結果、今後の課題について報告する。

## 1．はじめに

東京都では，道路の舗装分野においても環境に対する取り組みを積極的に進めてきた。

騒音低減機能の開発は，昭和62年度から低騒音舗装，10年度から二層式低騒音舗装，15年度から低騒音舗装のリサイクルを行ってきた。雨水浸透機能の開発は12年度から，$NO_x$濃度低減性能の開発は13年度から，路面温度低減の開発は，13年度から保水性舗装，14年度から遮熱性舗装を行ってきたので，以下に報告する。

## 2．二層式低騒音舗装

### 2.1　開発経緯

東京都では，平成７年度から低騒音舗装を本格実施している。特に，環状７号線や環状８号線等の優先的対策道路（重点的な道路交通騒音対策）区間については，平成12年度までに全線低騒音舗装化が完了し，既に２巡目に入っているところもあり，より一層の騒音低減，機能の持続性の図れる低騒音舗装の開発が求められている。

平成10年から各種低騒音舗装を用いた試験施工を行ってきたが[1)]，この中で騒音低減機能，専用のアスファルトフィニッシャーが開発されたことによる施工の容易さ，施工コスト等の面から二層式低騒音舗装に注目した。

### 2.2　主な検討結果

①二層式低騒音舗装の最適な層構成は，各選定条件で傾向が異なり，上層の最大粒径５㎜又は８㎜で厚さ２㎝，下層は骨材最大粒径13㎜の二層構造が期待できる。

②路面性状は経年とともに悪化するが，５年経過後では，平たん性６㎜以上，ひび割れ率（パッチング＋クラック）15%以上，わだち掘れ（最大値）25㎜以上という東京都の舗装の要補修判断の目安までには至っていない。

これらの検討結果から，上層５㎜又は８㎜のタイプに，バインダーに改良を加えることにより，環状７号線，環状８号線など優先対策道路区間等の重交通道路への適用が可能と考え，平成17年度から本格実施に踏み切った。

### 2.3　今後の課題

今後は，騒音低減機能の持続性の確認と機能を持続するための維持管理手法の確立及び舗装としての供用性能の検証を行うとともに，環境騒音との関係も明らかにしていく必要があると考えている。

## 3．低騒音舗装のリサイクル

### 3.1　開発経緯

低騒音舗装は補修の時期を迎え，リサイクル方法の確立が急がれている。

平成15年度は，現道の低騒音舗装の混合物と改質粗粒度混合物からなる混合切削材を13～０㎜に破砕分級した混合再生骨材及び従来の一般再生骨材13～０㎜を

* こばやし　かずお　東京都土木技術センター　技術調査課　道路環境調査係

使用した再生密粒度アスファルト混合物にする低騒音舗装のプラント再生工法による検討を行った[2)]。

平成17年度は，高粘度改質アスファルトを使用した低騒音舗装を低騒音舗装にリサイクルし，騒音低減機能の回復を目的とした路上再生工法の適用性を検討した[3)]。

### 3.2　主な検討結果

①一般発生材，改質及び低騒音舗装の発生材を組み合わせて得られた再生骨材を配合し，一般再生用添加剤で針入度調整した再生密粒度混合物は，製造及び施工が可能であり，低騒音舗装発生材を使用したプラント再生工法の可能性が確認できた。

②路上再生工法の試験施工は，東京都土木技術センター構内の供用９年の低騒音舗装（幅員３m，延長20m，D交通相当の構造で交通未供用）で行った。表層２㎝を事前切削後に下層３㎝を加熱し，再生用添加剤と改質剤を散布し，路上再生機によりかきほぐし，撹拌・敷き均しを行い，その上層に骨材最大粒径５㎜の新規低騒音舗装を２㎝敷き均すリペーブ工法とした。混合物性状は新規混合物と同程度に改善し，騒音低減機能も改善され，低騒音舗装のリサイクルへのリペーブ工法の適用の可能性が確認できた。

### 3.3　今後の課題

プラント再生工法によるリサイクルでは，５㎝切削でも維持管理上問題のない方法を検討すると共に高粘度改質アスファルト混合物のみのストックヤードの確保が必要であると考えている。

低騒音舗装は交通量の多い都心で必要な舗装であり，交差点が多く，既設舗装を暖めるために施工延長を長くとる路上再生工法については，交通規制方法の検討及びヒーターの改良が必要と考えている。騒音低減機能の回復を目的とした路上再生工法は，騒音低減機能の持続性を確保するための維持管理手法が確立されていない現在，検討に値する工法と考えている。

## ４．車道透水性舗装

### 4.1　開発経緯

車道透水性舗装は，①地下水涵養や雨水流出抑制効果，②排水施設への雨水流出量低減，③走行性の改善，④道路端への水はね防止等を目標として，平成12年度から交通量の少ない車道での試験施工を行ってきた[4)]。

### 4.2　主な検討結果

①透水性舗装と密粒度舗装の表層の内部温度差を比較すると，路面温度低減効果は０～２℃程度であり，後述する路面温度低減舗装と比べ少なかった。

②降雨の影響を受けるのは，透水性舗装の路盤層であり，他の層は受けなかった。

③道路下には埋設物があり，砂による埋戻しが行われているが，供用５年後の箇所でも空洞の発生はなかった。

### 4.3　今後の課題

現在は交通量の少ない箇所での検討を行っているが，谷底や下水道の改善の遅れている箇所では，降雨により道路が冠水する箇所もあり，貯留型の車道透水性舗装についての検討も必要と考えている。

また，透水機能の持続性の確認，機能を持続するための維持管理手法を検討する必要があると考えている。

## ５．保水性舗装

### 5.1　開発経緯

都市部のヒートアイランド現象緩和を目指して，路面温度を低減させる舗装としての保水性舗装の試験施工を平成13年度から行ってきた[5)]。平成14年度は遮熱性舗装の試験施工を行った[6)]。

平成14年度は，路面温度低減量，保水量，路面のすべり抵抗値，現場透水量等の性能を設定し，夏期施工の性能要件発注（都では性能規定を性能要件と呼ぶ）を行った。

性能要件発注は，舗装本来の要求性能の他に，①路面温度低減，②路面温度低減と排水（騒音低減）機能を要求性能とする２ケースで行った。②のケースは，上層に空隙があり保水材が少なく，降雨を貯留しやすく，施工直後の粉塵が発生しない。

平成16年度は，保水性舗装の路面温度低減効果を室内でのランプ照射により評価する方法を検討した。この結果から，冬期施工における性能要件発注を平成17年度に行った。

平成17年度からは，仕様要件発注における設計施工要領（案）を作成し，本格実施を行っている。

### 5.2　主な検討結果

夏季施工における性能指標は**表－１**に示し，冬季施工における路面温度低減効果の性能指標は室内照射試験で４℃以上とした。

路面温度低減と排水（騒音低減）機能を要求性能とする舗装の施工直後の路面温度の低減効果は９℃以上であり，供用４年後では６～７℃とやや低下した。

**表－１**　夏季施工における保水性舗装の性能指標

| 性能要件 | 測定方法 | 夏季施工の完成時の基準値 | |
|---|---|---|---|
| 要求性能 | | 路面温度低減 | 路面温度低減<br>＋<br>排水（騒音低減） |
| 路面低減温度 | 接触型で路面温度測定 | 12℃以上 | ９℃以上 |
| 保水量 | 24時間水浸後測定 | 6.5kg/m²以上 | 5.0kg/m²以上 |
| すべり抵抗値 | 振子式スキッドレジスタンステスター | 60BPN以上 | |
| 浸透水量 | 現場透水試験 | － | 500mℓ/15sec以上 |

### 5.3　今後の課題

路面温度低減効果の持続性は，供用後の採取コアによる室内照射試験により確認する必要があると考えている。

## ６．遮熱性舗装

### 6.1　開発経緯

遮熱性舗装は，散水の必要がないためランニングコストが低く，温度低減効果も期待される。

土木技術センター構内のモデル実験に引き続き，平成14年度にヒートアイランド現象の緩和を目指して，「散水を必要としない舗装路面温度の上昇を抑制する新技術」を一般に公募し，都との共同実験方式で３種類の遮熱性舗装の試験施工を実施した。

### 6.2　主な検討結果

①2003年の真夏日は48日間であり，日最高温度の差から求めた昼間の低減温度は最大値で4.2～7.3℃，平均値で3.0～4.7℃の路面温度低減効果であった。

②2003年の熱帯夜は24日間であり，日最低温度の差から求めた夜間の低減温度は最大値で0.2～1.8℃，平均値で－0.3～1.0℃の路面温度低減効果であった。

③RAC車による特殊タイヤ音は，低騒音舗装よりも約０～２dB（A）低減しており，騒音低減効果があった。

④すべり抵抗は，供用初期に走行車両により，すべり止め骨材の摩耗で若干低下するが，供用11ヶ月後でBPN54以上，DFT（60km/h）で0.40以上を維持していた。

### 6.3　今後の課題

より一層の騒音低減効果が求められている現在，騒音低減機能を損なわないで路面温度低減性能のある遮熱性舗装の開発が求められている。

そこで，「交通量が多い車道において低騒音舗装の機能を損なわない遮熱性舗装に関する技術募集」を平成19年１月29日（月）～２月９日（金）に行った。応募者に都道での試験施工箇所を提供し，都と応募者の共同実験として１年間程度の追跡調査を行う予定である。

## ７．$NO_x$除去舗装

### 7.1　開発経緯

東京都の幹線街路においては，大気汚染対策の一つとして$NO_x$濃度低減のために土壌による大気浄化システムの検討など各種施策を試みてきた。舗装からの対策として，光触媒を舗装表面に固着する$NO_x$除去舗装の試験施工を平成13年度に環状５号線と環状７号線で行った[7)]。

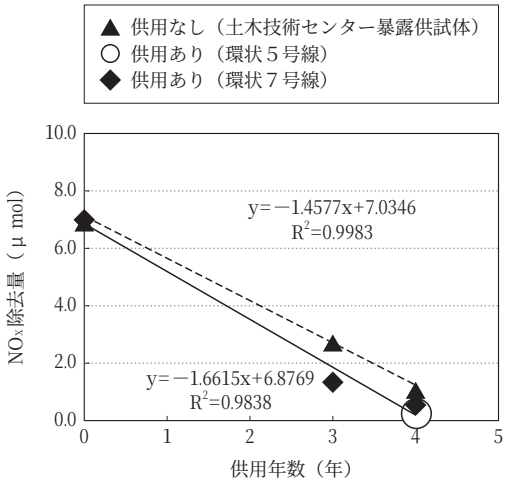
### 7.2　主な検討結果

①コア採取を前提とした性能評価においては，縦８cmの供試体で$NO_x$除去性能を測定できることが判った。このことより室内評価試験法のJIS R 1701-1:2004を応用した試験法（**写真－１**参照）は，現場切り取りコアを用いての性能評価試験として十分適用可能であることを確認できた。

②**図－１**に示すセメント系$NO_x$除去舗装は，供用後４年で摩耗や気象条件（降雨や，紫外線）等の影響により性能が施工直後の10%程度に低下した。また，未供用の供試体も性能が低下していることから気象条件のみの影響による機能低下も大きいことが判った。

③調査の結果を用いて，環状７号線の$NO_x$除去舗装試験施工箇所（施工面積475m²）の大気浄化量の試算を行った。その結果は，供用初期の浄化量の割合は4.8%，供用後３年後では1.0%，供用後４年後で0.4%であった。

**写真－１**　空気浄化性能試験装置反応装置部




**図－１**　供用年数とNOx除去量との関係

### 7.3　今後の課題

現段階では，NOx除去舗装の大気浄化量は少なく，効果の持続性が悪いと考えられる。これらを改善することにより，道路という対象面積が広いことから，他のNOx除去施設を用いた大気浄化量との費用対効果についても検討する必要があると考えている。

## ８．環境舗装発生材の再生

### 8.1　開発経緯

環境舗装として，現在積極的に取り組んでいる中から騒音低減機能としての低騒音舗装，路面温度低減機能としての保水性舗装・遮熱性舗装，NOx低減機能としてのNOx除去舗装を選定し，これらの発生材の再生路盤材及び再生骨材への適用性を検討した[8)]。

### 8.2　主な検討結果

①切削材の重金属等の含有量試験結果は，有害物質10項目全ての項目が基準値を大幅に下回っていた。

②７種類の切削材を粉砕した再生骨材（粉砕材）の品質は，建設局土木材料仕様書の単粒度採石１種の品質を満たすものであった。

③低騒音舗装，遮熱性舗装（樹脂系）及びNOx除去舗装（樹脂系）のダイオキシン類及びコプラナPCBの総TEQ濃度は，定量下限値以下であった。

④低騒音舗装，遮熱性舗装（樹脂系）及びNOx除去舗装（樹脂系）の粉砕材の加熱発生ガスの成分分析においては，じんあい量，アルデヒド類及び炭化水素類，一酸化炭素，二酸化炭素が検出された。

### 8.3　今後の課題

室内試験条件とプラントによる加熱条件とが異なるため，発生ガス成分の挙動や発生濃度の計測は，プラントでの測定方法等を確立した上で再検討する必要がある。

## ９．あとがき

NOx除去舗装は，低騒音舗装に光触媒等を塗布する方法であり，反射塗料等を塗布する遮熱性舗装と同様な方法である。したがって，騒音低減性能，路面温度低減性能，NOx除去性能，路面排水性能の４性能を併せ持つ舗装の開発が可能であり，都市型の多機能舗装として求められるものである。

さらに，二層式低騒音舗装への性能付加の可能性についても検討する必要があると考えている。

今後は，各性能の評価方法の確立と効果確認，機能の持続性を確保するための維持管理方法の確立，耐久性やリサイクルについての検証が必要と考えている。

### ――　参考文献　――

１）峰岸順一，竹田敏憲：二層式低騒音舗装の最適な層構成に関する検討，土木学会舗装工学論文集，第10巻，2005年12月

２）武本敏男，峰岸順一，小林一雄：低騒音舗装発生材のプラント再生に関する検討，東京都土木技術研究所年報（平成16年）

３）峰岸順一，小林一雄，大野正宏：低騒音舗装のリペーブ工法によるリサイクルの検討，東京都土木技術研究所年報（平成17年）

４）峰岸順一，小林一雄，竹田敏憲：車道透水性舗装の耐久性と透水機能，東京都土木技術研究所年報（平成16年）

５）小林一雄：東京都における保水性舗装の性能指標と評価方法，アスファルト，第49巻，第219号

６）小林一雄, 峰岸順一, 竹田敏憲：遮熱性舗装の路面温度低減効果と供用性能―民間との共同実験による検討―，東京都土木技術研究所年報（平成16年）

７）峰岸順一，小林一雄：NOx除去舗装の性能評価法と機能の持続性，東京都土木技術センター年報（平成18年）

８）峰岸順一，小林一雄：環境舗装発生材の再生に関する検討,東京都土木技術センター年報(平成18年)

# 大阪市における舗装維持管理計画の取り組みと保水性舗装の効果について

(Pavement Maintenance Management System in Osaka City
and Effectiveness of WATER-RETAINMENT PAVEMENTS)

髙　島　伸　哉*・永　井　　茂**・平　野　みゆき***

本市では厳しい財政状況が続く中，土木施設の維持管理費の圧縮や今後見込まれる既存施設の更新費の増大といった課題に対応していくため，土木施設の維持管理方針として橋梁や道路舗装の長寿命化を図る予防保全型維持管理の導入を検討している。また，本市ではヒートアイランド対策として，平成10年度より様々な保水性舗装の検証及び実施工を行ってきた。本稿では，道路舗装における予防保全型維持管理計画の概要と保水性舗装の温度低減効果の検証結果について紹介する。

## 1．予防保全型舗装維持管理計画について

### 1.1　はじめに

道路施設の維持管理については国土交通省をはじめ多くの自治体が予防保全型維持管理の導入を始めているが，予防保全型維持管理の具体的な取り組み内容は各自治体によって様々である。特に維持管理水準や補修工法の選択などは，舗装の損傷の仕方や損傷程度によっても異なってくるため，各自治体の維持管理の特色が現れる部分である。

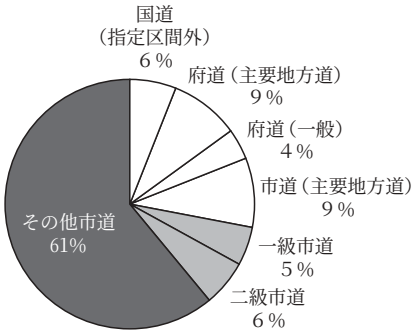
本市の道路は大きく分けて重量車両などの通行や大交通量を担う幹線系道路と歩行者や自転車，一般車両の通行を担う生活系道路に分けられる。延長比では４：６であり，全く異なる性質をもつ道路の維持管理を一律的に行うことは効率的ではない。

本市では予防保全型の維持管理を本格的に導入するため，データ収集から補修要否判断基準，維持工法の導入と補修工法の選択，データ蓄積までをルール化した舗装維持管理方針（案）を平成18年度に策定した。

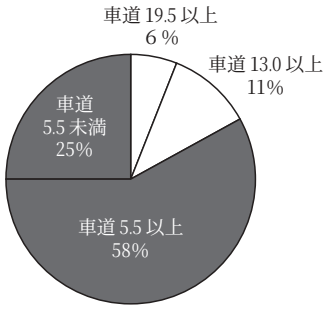
### 1.2　道路現況

大阪市の認定道路は平成17年４月１日現在，路線数11,773，延長3,827㎞，面積36.7㎢で道路率は約17％である。大阪市管理道路のうち国道（指定区間外），主要地方道（府道・市道），一般府道，一般市道（一級，二級，その他）の割合を**図－１**に示す。

本市管理道路の内訳をみると全体延長に占める幹線道路（国道（指定区間外），主要地方道，一般府道）の割合は28％，準幹線道路（一級，二級市道）は11％，生活道路（その他市道）は61％である。また，生活道路（その他市道）の車道幅員別内訳は**図－２**のとおりである。




**図－１**　舗装面積の道路種別内訳




**図－２**　その他市道の車道幅員（m）別内訳

*たかしま　しんや　大阪市建設局　土木部道路課　課長
**ながい　しげる　大阪市建設局　土木部道路課　担当係長
***ひらの　みゆき　大阪市建設局　土木部道路課　担当係長

### 1.3　舗装の維持管理方針（案）

#### 1.3.1　これまでの舗装補修と課題

これまでは，本市職員によるパトロールや市民要望を基に舗装の損傷状態を現地で確認した結果，補修が必要な状態であれば補修工事を実施してきた。また，補修工事の完了後，舗装の補修情報として工事履歴データを舗装情報管理システム（平成13年度より本格稼動）へ蓄積している。

こうした補修方法では市内の舗装状態の経年変化や今後の補修量，必要な補修費などのデータが得られない。また，損傷が進んだ箇所に対して機能復旧のための補修を行っている結果，１工事あたりの規模や工事費が大規模な傾向があった。今後，限られた予算の中で，舗装の長期供用や補修費のコスト縮減などによる補修事業の効率化を図るためには，市内の舗装状態を一元的に管理し，補修が必要な箇所へ適時に補修費が投入されることが重要であり，補修の時期を判断する補修要否の判断基準とその判断に用いる舗装性状データが必要となる。また，市内の約６割は生活道路であり，幹線道路とこれらの道路の損傷状況は交通量や沿道利用状況などにより全く異なっている。通行の安全性を確保するための補修要否の判断値も道路の規格で異なってくるため，管理道路を道路種別で３グループに分類し，それぞれの道路に求められる安全性の機能を満足できる補修方針と補修要否判断基準値を定めることとした。

#### 1.3.2　補修方針（案）について

幹線道路，準幹線道路，生活道路の補修方針を**表－１**に示す。

本市の幹線道路で行った過去の路面性状調査より，幹線道路の補修原因はほとんどがわだち掘れによるものであることや，その進行スピードが早いことから表層の切削OLを標準工法として適用するものとした。

準幹線道路では，わだち掘れとひび割れがほぼ同程度に進行し，補修原因はひび割れなどによるがたつきやわだち掘れなどの部分的な損傷となっている。このため，注入工，パッチングなどの維持工法により部分的な損傷箇所を手当てすることで，損傷の進行を一時的に抑制し，その分舗装の寿命を延ばすものとする。

生活道路では年数万件にのぼる埋設企業体による舗装の掘り返しが発生し，舗装のつぎはぎ状態が発生することとなる。補修サイクルを早めたとしても，こうした舗装の掘り返しにより短期間でつぎはぎ状態となる可能性が高いため，部分補修や維持工法などにより損傷の進行を一時的に抑制しながら供用し，維持工法では機能が保持できない状態になった時点で舗装版の打換えにより舗装を一新させる。

#### 1.3.3　補修要否判断基準値（案）について

1.3.2で述べた補修方針を適用するにあたり，具体的に舗装の評価に用いる指標と補修の要否を判断する基準値を**表－２**に示す。舗装状態の評価は，わだち掘れとひび割れにより行う。ただし，生活道路についてはわだち掘れの発生要因である大型車交通量がほとんどないため，ひび割れのみで評価するものとする。補修要否判断基準値は道路維持修繕要綱[1)]の維持修繕要否判断の目標値に準じて以下の値を設定した。

**表－２**　補修要否判断基準値（案）

| | わだち掘れ量（㎜） | ひび割れ率（％） | 補修工法 |
|---|---|---|---|
| 幹線道路 | 30 | 30 | 切削OL |
| 準幹線道路 | － | 30 | 注入工等 |
| | 40 | 40 | 切削OL |
| 生活道路 | － | 30 | 注入工等 |
| | － | 50 | 版打換え |

#### 1.3.4　維持管理方針（案）について

幹線道路，準幹線道路，生活道路それぞれの補修方針と補修要否判断基準値の関係を**図－３～５**に示す。図の作成にあたっては国土交通省の『予防的修繕工法』の導入についての手引き[2)]を参考にした。

**表－１**　幹線・準幹線・生活道路の補修方針（案）

| 道路の種類 | 道路種別 | 補修方針 |
|---|---|---|
| 幹線道路 | 国道（指定区間外）<br>府道（主要地方道，一般）<br>市道（主要地方道） | 損傷の程度を表層部分にとどめ，表層の切削OLを繰り返す |
| 準幹線道路 | 一級市道<br>二級市道 | 注入工などの維持工法でできる限り延命化させ，その後さらに損傷が進んだ時点で切削OLを実施 |
| 生活道路 | その他市道 | 注入工などの維持工法でできる限り延命化させ，その後さらに損傷が進んだ時点で版打換えを実施 |

| ひびわれ率＼わだち掘れ量 | 0㎜以上10㎜未満 | 10㎜以上20㎜未満 | 20㎜以上30㎜未満 | 30㎜以上40㎜未満 | 40㎜以上 |
|---|---|---|---|---|---|
| 0%以上10%未満 | | | | | |
| 10%以上20%未満 | | | | | |
| 20%以上30%未満 | | | | | |
| 30%以上40%未満 | | | 『修繕候補』切削オーバーレイ | | |
| 40%以上50%未満 | | | | | |
| 50%以上 | | | | | |

**図－3**　幹線道路の補修方針と補修要否判断基準値

| ひびわれ率＼わだち掘れ量 | 0㎜以上10㎜未満 | 10㎜以上20㎜未満 | 20㎜以上30㎜未満 | 30㎜以上40㎜未満 | 40㎜以上 |
|---|---|---|---|---|---|
| 0%以上10%未満 | | | | | |
| 10%以上20%未満 | | | | | |
| 20%以上30%未満 | | | | | |
| 30%以上40%未満 | 『予防的修繕』注入工法 | | | | |
| 40%以上50%未満 | | | 『修繕候補』切削オーバーレイ | | |
| 50%以上 | | | | | |

**図－4**　準幹線道路の補修方針と補修要否判断基準値

| ひびわれ率＼わだち掘れ量 | 0㎜以上10㎜未満 | 10㎜以上20㎜未満 | 20㎜以上30㎜未満 | 30㎜以上40㎜未満 | 40㎜以上 |
|---|---|---|---|---|---|
| 0%以上10%未満 | | | | | |
| 10%以上20%未満 | | | | | |
| 20%以上30%未満 | | | | | |
| 30%以上40%未満 | 『予防的修繕』注入工法 | | | | |
| 40%以上50%未満 | | | | | |
| 50%以上 | 『修繕候補』打換え | | | | |

**図－5**　生活道路の補修方針と補修要否判断基準値

### 1.4　データ収集と蓄積について

わだち掘れとひび割れデータの収集は以下の方法ににより平成19年度から調査を予定している。

路面性状調査の１巡目は２ヵ年をかけて初期値を調査し，２巡目以降は調査結果を分析した結果，舗装の劣化傾向から調査回数を削減していく予定である。生活道路の調査方法に目視点検を採用した理由は，①劣化速度が遅く補修サイクルが長いため小規模補修跡が部分的に点在したり，つぎはぎができやすいこと，②ひび割れ以外の市民要望が多くその内容が多岐にわたること，③街区を構成する道路の延長や幅員が小規模で線形も複雑な箇所が多く含まれることなどであり，道路の保全巡視を兼ねた目視点検を定期的に行いデータを収集するものとした。目視点検における課題として，点検者の判断基準のばらつきが発生することが挙げられ，この課題に対しては現在のところ調査項目の簡略化と判定の選択化を検討しているが，判定の統一化や点検の効率化に向けた工夫が求められる。調査結果については現在稼動している舗装情報管理システムに入力し，舗装性状を示すデータと工事履歴の蓄積を検討している。これらのデータが確実に蓄積されることにより，舗装の補修サイクルや劣化曲線などの舗装特性データが得られる。

**表－3**　わだち掘れ，ひび割れ率の調査方法

| | 幹線道路 | 準幹線道路 | 生活道路 |
|---|---|---|---|
| わだち掘れ | 路面性状測定車 | 路面性状測定車 | － |
| ひびわれ率 | | | 目視点検 |

### 1.5　今後の検討課題

舗装の維持管理方針（案）として，補修要否判断基準，維持工法の導入と補修工法の選択基準などを取りまとめた。しかし注入工法などについては，試験実施段階であり実施後の検証が必要である。また，補修要否判断基準についても蓄積されたデータから得られる舗装特性と照合し検証を重ねていく必要があり，平成19～20年度の２ヵ年を短期検証期間として，データの収集と検証計画の立案，試験実施などの取り組みを予定している。

## ２．保水性舗装の効果検証について

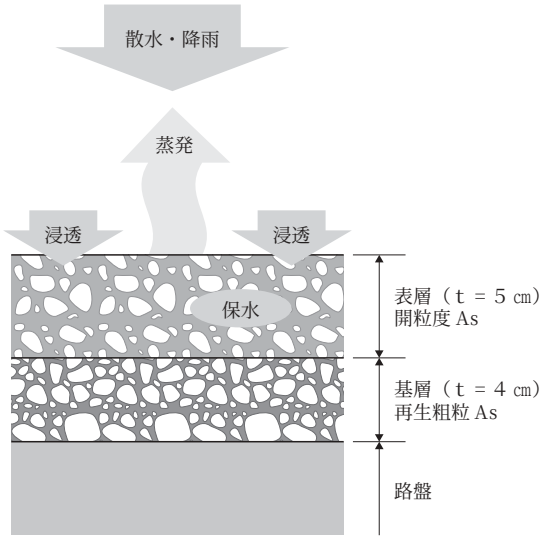
### 2.1　はじめに

近年、都市部ではヒートアイランド現象が問題となっている。大阪市域においても、８月の平均気温が周辺部より１～２℃高いことが確認されており[3)]、市民生活に悪影響を与えている。その一因として、道路のアスファルト舗装が地面からの水分の蒸発散を妨げること、舗装体が日射等により蓄熱しやすく、熱源となっていること等があげられている。その対策の一つとして蒸発効果により路面温度の上昇を抑制する保水性舗装が注目されている。本市では平成10年度に，全国に先駆けて試験舗装を実施し，保水性舗装が優れた路面温度低減効果を有していることを確認した[4)]。その後の技術開発により保水性舗装の施工性や保水力が向上したことに伴い，平成15年度から市内の生活道路を中

心に保水性舗装を実施し，その温度低減効果の検証を行っている。

### 2.2　保水性舗装について

本市において，車道用舗装として施工されている保水性舗装の標準的な断面ならびに路面温度低減について模式図を**図－6**に示す。路面温度低減のメカニズムは，降雨あるいは散水による舗装表面の水分が表層に浸透し，保水材に蓄えられ，その水分が蒸発する際，気化潜熱により舗装体の温度が低減するものである。路面温度や舗装体の温度が低下することにより，舗装からの輻射および表面から伝達する熱が減少し，道路上の気温が低下する。




**図－6**　保水舗装の断面図および模式図

### 2.3　効果測定

#### 2.3.1　現地測定

##### 2.3.1.1　測定箇所および測定概要

測定を実施した箇所は平成15年７月に保水性舗装を施工した大阪市内の道路で，施工延長は209.9m，施工幅員は5.5ｍ～12.7mである。測定概要を**表－4**に示す。なお，測定は平成15～18年の夏季に実施した。

**表－4**　測定概要

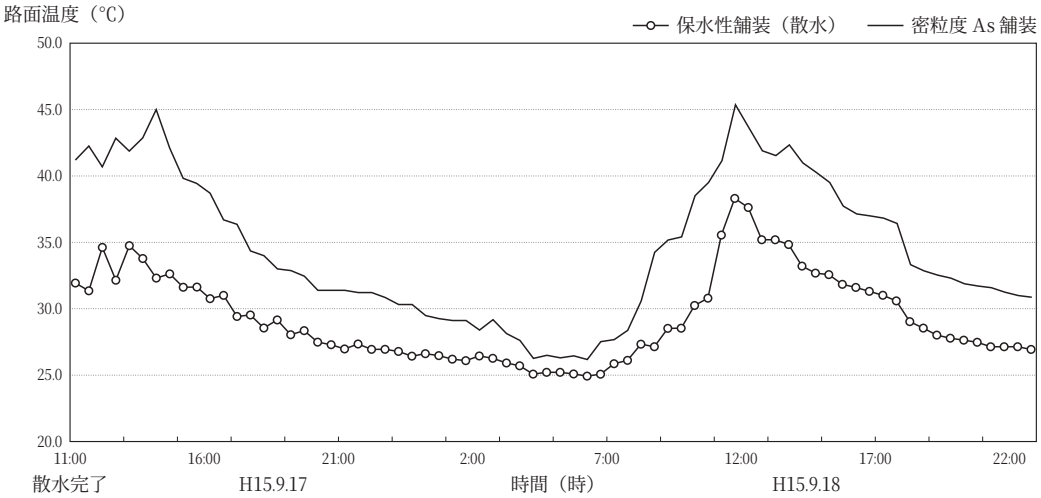
| 調査項目 | 試験方法 | 備　考 |
|---|---|---|
| 路面温度測定 | 接触式温度計を用いて測定。１×１ｍの平面で５点を測定し平均値を算出。 | 散水※後調査<br>雨天後調査<br>晴天時調査 |
| 道路上の測定 | 気温（６段階の高さで測定） | |

※散水は散水車を用いてAM９：00～11：00の間に５ℓ/㎡を保水性舗装のみで実施した。

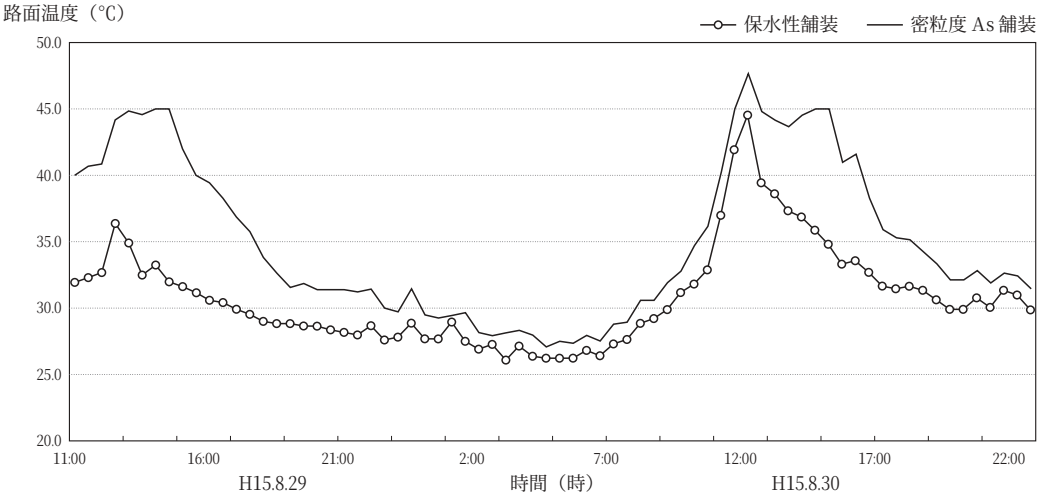
##### 2.3.1.2　路面温度測定結果

**図－7**に散水後における路面温度の経時変化を示す。散水を行った保水性舗装は，非散水の密粒度アスファルト舗装（以下，密粒As舗装）と比較して，最高温度の差で10.1℃低いことが確認された。

**図－8**に降雨後（計測前に2.0㎜の降雨）における路面温度の経時変化を示す。こちらも，保水性舗装は，密粒As舗装より最高温度の差で8.8℃低いことが確認された。両測定ケースとも，路面温度が上昇するのに伴い，密粒As舗装との温度差が大きく，すなわち，保水性舗装の温度低減効果が大きくなることがわかる。また，保水性舗装が，密粒As舗装より路面温度の低い状態が36時間以上継続していることも確認された。



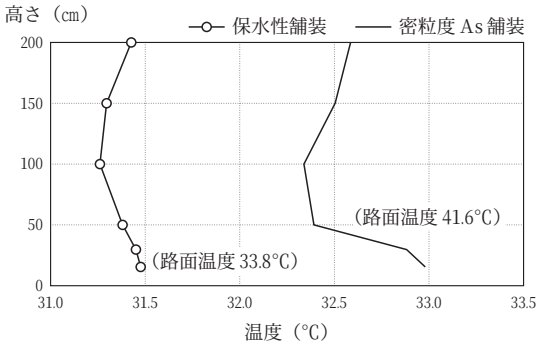

**図－7**　散水後における路面温度の経時変化




**図－８**　降雨後における路面温度の経時変化

#### 2.3.1.3　気温測定結果

保水性舗装の路面温度低減効果が道路上の気温に及ぼす影響を把握するため，散水後，道路上の気温を６段階の高さ別に測定した。結果を**図－９**に示す。なお、図中の温度は散水実施日の11：00～16：00の平均値である。保水性舗装は，密粒As舗装と比べ，気温も平均で1.2℃低くなる結果が得られた。特に路面付近（15㎝，30㎝）では保水性舗装上と密粒As舗装上の気温差がより大きくなっている。これから，路面温度の低い保水性舗装には，道路上の気温を抑制する効果があることが分かる。




**図－９**　道路上の高さ別の気温の変化

#### 2.3.1.4　供試体を用いた効果測定

保水性舗装と通常舗装の現地計測結果の比較では、それぞれの測定箇所が異なるため、建物の影や車両等による影響があり、厳密には同一の測定条件とは言い難い。そこで、同一の材料を用いて舗装の供試体（30㎝×30㎝×５㎝）を作成し、保水性舗装の乾燥状態及び保水状態と，比較対象として密粒As舗装の乾燥状態の表面温度を測定した。その測定概要を**表－５**に，測定結果を**図－10**に示す。

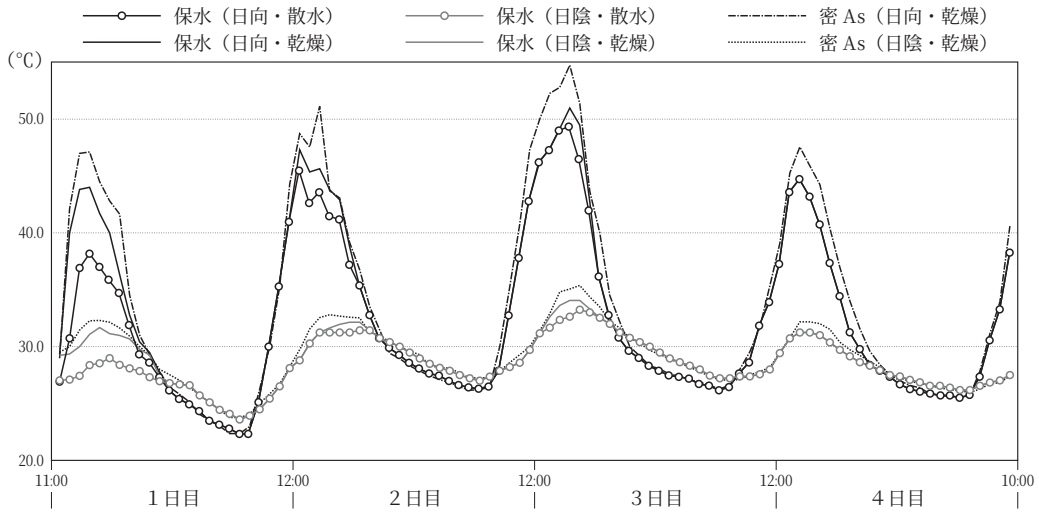
**表－５**　供試体を用いた測定概要

| 測定項目 | 調査方法 | 測定条件 |
|---|---|---|
| 表面温度測定 | ・30㎝×30㎝×５㎝の供試体（保水性舗装・密粒As舗装）を作成<br>・午前11時から96時間試験を実施<br>・１時間ごとに計測。接触式温度計を用いて測定。 | 日照条件：日向・日陰<br>保水条件：乾燥・飽和 |
| 重量測定 | ・１時間ごとに計測。保水量を測定する。 | |

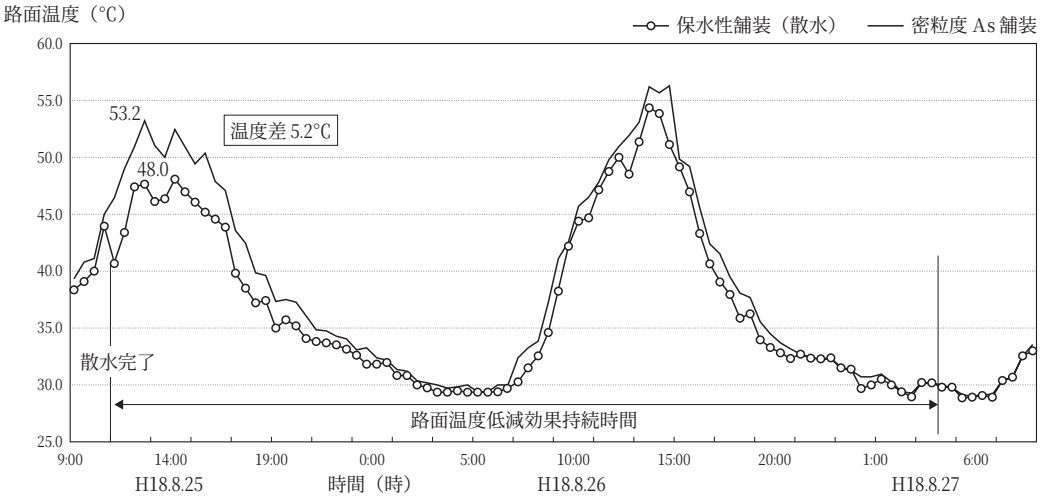
測定結果より，保水性舗装は密粒As舗装よりも表面温度が低く，保水性舗装の温度低減効果が認められた。また，日陰に比べ日向の方が密粒As舗装との温度差が大きいことから，日照条件の良い方が，効果が顕著であると考えられる。効果の持続性は，４日目に散水した供試体と乾燥状態の供試体の温度変化が同じであることから，保水力としては３日程度持続し，保水による温度低減も同程度持続するものと考えられる。

### 2.3.2　経年変化について

平成18年度の夏期に，保水性舗装の性能の経年変化を把握するため路面温度測定を実施した。その結果を**図－11**に示す。保水性舗装と密粒As舗装との最高温度差は，散水後5.2℃であり，保水性舗装の方が温度の低




**図－10**　供試体の表面温度の経時変化




**図－11**　施工３年後における路面温度の経時変化

い状態が，約44時間持続することが確認された。気象等測定条件の違いにより，施工直後との厳密な比較はできないが，施工後３年を経過した保水性舗装であっても，一定の性能が継続していることが確認された。

### 2.4　おわりに

現地測定および供試体を用いた測定より，本市が施工した保水性舗装に関して次のことが言える。①散水によって密粒As舗装より路面温度が10℃程度，気温が1.2℃程度低くなる。②保水力の持続性は３日程度である。③性能の経年変化は，３年を経過後も温度低減効果が持続しているものと考えられる。

### ―― 参考文献 ――


１）社団法人日本道路協会，道路維持修繕要綱，S53.7，P68

２）国土交通省道路局国道・防災課，直轄国道の舗装における「予防的修繕」工法の導入について,道路,社団法人日本道路協会，vol.786，2006.8，P36

３）大阪市都市環境局：大阪市環境白書（平成18年度版），2006.11

４）徳本ほか：保水性舗装の開発－大阪市における試験施工－，舗装，pp.8～15，2001.6

# 高速道路舗装研究の現状と今後

(The Status Quo of Pavement Technology on Expressways)

七五三野　茂*

NEXCO３社は舗装保守率などのアウトカム指標を明確にした経営計画を公表しており，高速道路等の舗装に対しては，安全で快適な路面，工事渋滞の減少など，低コストで良質なサービスの提供が求められている。NEXCO中央研究所は，NEXCO３社の共有の研究機関であり，主な研究内容として，舗装の調査，構造設計や補修材料など効率的な補修方法，高機能舗装用基層の耐久性向上，乗り心地評価，PMSの構築などに取り組んでいる。環境保全なども今後の重要なテーマである。

## １．はじめに

旧日本道路公団の民営化により東日本，中日本，西日本高速道路株式会社（Nippon Expressway Company Limited：NEXCO）の３社が発足して１年半が経過した。NEXCO３社の高速道路および一般有料道路（以下，高速道路等という）の総延長は約8,300㎞である。３社は経営計画の中でアウトカム指標，例えば舗装に関する指標として舗装保守率や総合顧客満足度を明確にするとともに，安全性や快適性の向上策のひとつとして高機能（排水性）舗装面積の増加を掲げている。

NEXCO中央研究所は，NEXCO３社の共有の研究機関として設立された組織である。母体は，旧日本道路公団試験研究所であり，名神高速道路建設以来，約50年間にわたって高速道路等の研究開発を実施している。研究所の研究体制は，交通環境研究部，道路研究部および緑化技術センターであり，約100名の職員が研究開発，技術協力，技術基準類の整備，知的財産管理，研修などの業務に携わっている。舗装研究室は道路研究部に属し，舗装の材料・配合，構造，路面性状に関する研究開発のほか，すべり摩擦の測定やFWDによる測定と構造診断などを実施している。

高速道路等の舗装に対して，安全で快適な路面の提供は勿論のこと，工事渋滞の減少など維持管理業務の効率化や低コスト化，更には環境保全などが求められており，実現に向けて積極的に研究開発を進めている。

以下に，NEXCO中央研究所における舗装技術に関する研究開発の現状と今後の動向について述べる。

## ２．研究開発の現状

### 2.1　研究開発の進め方と主な研究施設

研究開発のテーマについては，アスファルトおよびコンクリート舗装の材料・配合，構造および路面性状に関する調査試験などに関して，年間10～15件程度に関して２～３年をひとつのサイクルとして実施しているものが多い。最近では，高速道路の管理延長に比例して保全技術に関する研究テーマが多くなっている。

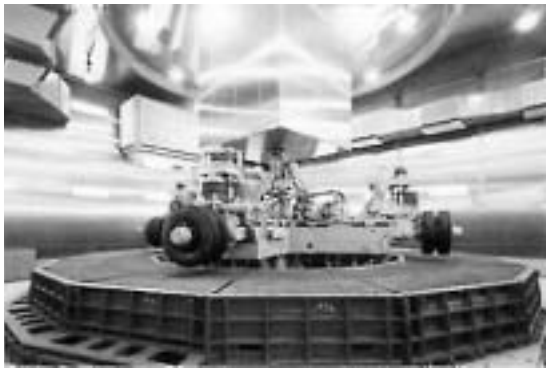
また，研究内容については，NEXCO３社と調整の上，実施効果の高いものを選定して実施しており，研究成果は中間および最終段階で評価を受けた後，技術基準などの形で早期に現地に反映される。

研究開発の実施に当たっては，研究室直営によるほか，調査・試験に関する補助業務の発注や大学や民間企業との共同研究などにより効率的に取り組んでいる。

主な研究施設のひとつである回転式舗装試験機（**写真－１**）は，材料や配合に関する促進耐久性試験を行い，実路に近い環境と載荷条件により短時間で材料と配合に関する性能の確認などに活躍している。

また，大型すべり測定車（**写真－２**，通称Road Tester）は全国の高速道路等のすべり摩擦の測定とモニタリングに使用し，安全性の確保に重要な役割を果たすとともに，収集されたデータはすべり摩擦やテクスチャの分析などに活用している。すべり測定車に搭

*しめの　しげる　中日本高速道路㈱中央研究所　保全・舗装研究主幹　博士（工学）
（４月より㈱高速道路総合技術研究所に組織変更）



**写真－1**　回転式舗装試験機

**写真－2**　Road Tester（FWD測定状況）

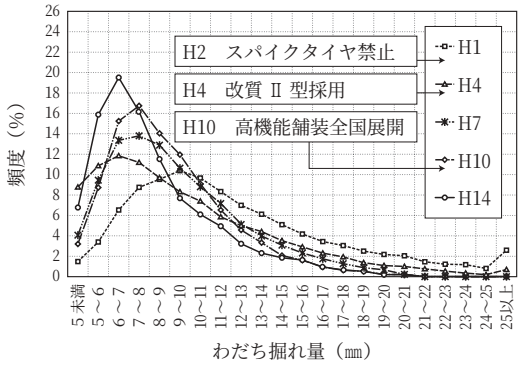
載したFWDはたわみ量の測定に使用し，データは舗装構造の診断と補修工法の提案に活用している。

### 2.2　舗装の耐久性の現況

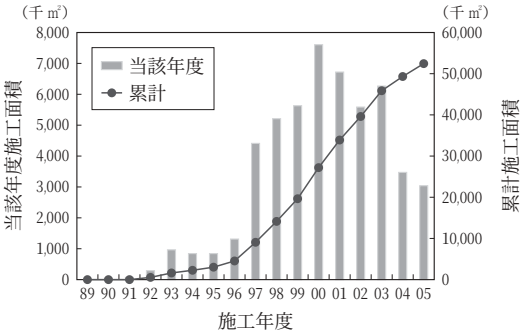
**図－1**は高速道路等のわだち掘れ量の経時変化と分布を示したものである。わだち掘れ量は，改質アスファルトや高機能舗装の適用を契機として平均値，最大値とも小さくなる傾向を示している。

中～軽交通量で供用期間が長い路線を中心に，ひびわれによる損傷が目立っている。わだち割れなどの形態をとって路盤まで達しているものも見られ，わだち掘れに代わって耐久性上の課題のひとつとなっている。

**図－2**は高機能舗装の施工実績を示したものである。高速道路の表層の標準となって10年近くが経過し，全国の舗装面積の約６割が高機能舗装で占められている。積雪寒冷地において骨材飛散が見られるが，全般的には高機能舗装の耐久性や排水機能は満足できる状態である。しかし，最近では雨水の浸透による基層以下のはく離に起因すると思われる噴泥や流動わだちが一部で見られ，基層以下の耐水性の改善が重要な課題となっている[1)]。




**図－1**　わだち掘れ量の分布状況




**図－2**　高機能舗装の施工実績

### 2.3　主な研究内容

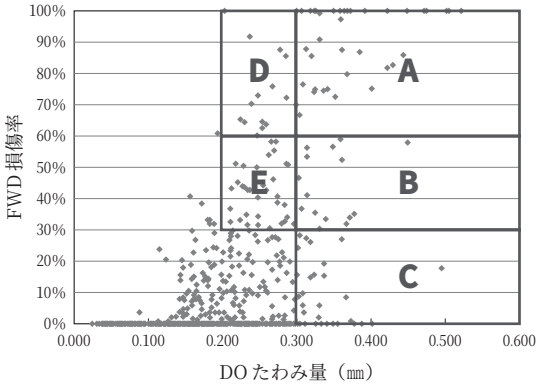
#### 2.3.1　合理的な補修工法の確立

**(1)　ひびわれ箇所の調査と診断**

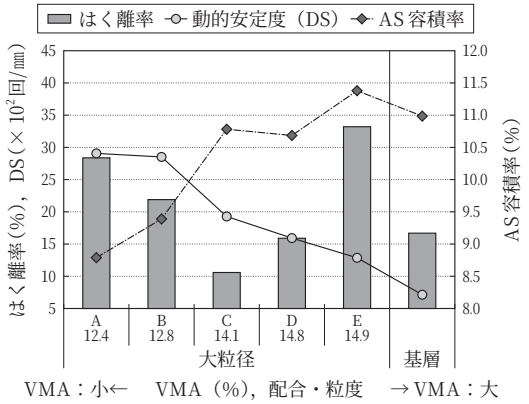
ひびわれによる舗装の耐久性の低下に対して，舗装構造を長期間健全に保つために早期の調査と診断による適切な補修が重要である。

**図－3**は，FWD損傷率，たわみ量（DO）および損傷ランクの関係を示したものである。測定されたたわみ量（DO）と推定されたFWD損傷率から損傷ランク（A～E）を判定するものである。FWD損傷率とは，健全な状態でのたわみ量とアスファルト層全体にクラックがおよんだ状態でのたわみ量を基準たわみ量として，評価地点のたわみ量との相対比較による損傷程度を表したものである。また，基準となるたわみ量については，全国で調査された累積10ton換算軸数，損傷レベルとたわみ量（DO）の分析に基づき，長期的に健全な舗装構造の目安となるたわみ量（DO＝0.2㎜程度）と補修対象となるたわみ量（DO≧0.3㎜）を設定している[2)]。

いろいろな損傷レベルでのたわみ量の測定とコア採取による損傷程度の詳細調査を実施しており，調査結




**図－3**　FWD損傷率とたわみ量による損傷レベル判定




**図－4**　大粒径混合物のAS容積率とDS，はく離率の関係

果を分析してFWD損傷率算出方法や損傷区分の検証を進め，診断精度の向上を図っている。

⑵　**構造設計法の検討**

損傷区間の補修に当たっては，残存TA法により舗装構造を決定しているが，過去の交通履歴や多様化している使用材料などの観点から必ずしも合理的な設計方法とはいえない。

そこで，FWDにより測定したたわみ量をもとに逆解析により求めた弾性係数と現地で採取された供試体のレジリエントモジュラス試験から求めた弾性係数の比較などを通して，構造設計への交通や環境条件の適用方法について検討している。

⑶　**材料・配合の検討**

大粒径混合物については，SMAなどとともにひびわれ箇所での補修工事への適用事例があり，厚層施工による効率化が期待されるが，温度低下が遅く，交通開放への影響が懸念される。最近では，中温化技術の開発などにより適用性が高くなっているが，アスファルト量の少ない大粒径混合物を高機能舗装の直下に用いる場合にははく離抵抗性の確保が重要である。

**図－4**は，大粒径混合物のはく離率やDS（動的安定度）などの試験結果をまとめたものである。異なるVMA（骨材間隙率）の粒度でAS（アスファルト）容積率を変化させた時のはく離率とDSの関係を示したもので，相反する性能を満足させる粒度とアスファルト量を求め，耐久性を確保できる配合を検討している。

また，ポットホールなどの損傷に対する小規模補修材料について，耐久性や品質管理などの基準が不明確である。このため，回転式舗装試験機により，試験条件を統一した耐久性試験を行い，材料の評価や品質管理方法の検討を行っている。

**2.3.2　基層の耐久性向上**

高機能舗装の基層のはく離に起因すると思われる損傷が現れている。高機能舗装の導入の際，基層用混合物の耐水性を向上させる基準としたが[3]，旧基準による基層も多く，長期的な舗装の耐久性を考慮すると基層以下の耐水性を高めることが重要である。

このため，交通量や地域別に高機能舗装施工箇所でのFWDやコア採取などの定期的な調査を行い，基層以下の耐久性についての経時変化の把握に努めている。

また，配合や材料を変えた基層混合物の耐久性やタックコートの材料や散布量を変えた場合の基層の耐久性について，回転式舗装試験機による促進試験を実施してはく離抵抗性の評価を行っている。

**2.3.3　ハイブリッド舗装**

ハイブリッド舗装は，高機能舗装並みの空隙（表面付近）とSMA（砕石マスチックアスファルト）並みの密実さ（下層部）を併せ持った舗装である。従来の舗装構成に比べて，基層以下の耐久性を維持する上で優れた混合物である。また，高機能舗装と比べて骨材飛散に対する抵抗性が高く，積雪寒冷地での適用により高い耐久性が期待できる[4]。

排水や視認性などの機能について高機能舗装との違いを把握するとともに，試行から本格的な適用のための品質管理手法の改善などを図っている。**写真－3**は既設舗装のオーバーレイにハイブリッド舗装を適用した事例である。

**2.3.4　走行快適性の向上**

平坦性については，プロフィロメータによる測定結果をもとに，σ（標準偏差）やPI（プロファイルインデックス）といった指標を求めて評価しているが，必ずしも乗り心地との関係が明確ではない。最近では，

**写真－3**　ハイブリッド舗装によるオーバーレイ

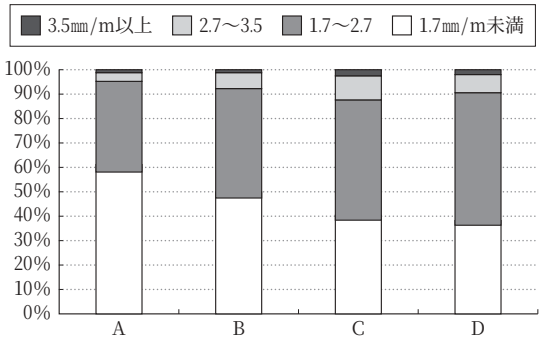
特にCS（顧客満足度）の向上が求められ，密接な関係のある乗り心地の把握が重要となっている。

そのため，これまで大学との共同研究などによりIRI（国際ラフネス指数）の適用性についての研究を進めるとともに，プロファイルの測定区間と同じ区間でパネルレーティングによる乗り心地の評価を行い，乗り心地の良否とIRIの関係を分析してきた[5)]。

**図－5**は，４箇所の管理事務所管内でのIRIの分布を示したものである。図中ではIRI＜1.7（乗り心地が良い）とIRI≧2.7（乗り心地が悪い）の分布に差が見られる。IRIは，供用年数，交通量，本線構造などにより影響を受けることが考えられ，全国のデータを収集・分析しており，IRIの管理指標への適用を検討している。

### 2.3.5　PMS（舗装マネージメントシステム）の構築

LCCを考慮した修繕シナリオの作成や客観的・体系的な意思決定などのための経営インフラとしての道路保全情報システム（RIMS）の整備を進めている。このシステムのマネージメント系の一部として，PMSの構築を行っている。データベースと基本的な機能の構築がほぼ終了し，LCCの算出や修繕シナリオ作成の基本となる劣化曲線について，大学との共同研究により舗装種別ごとに地域性の影響などの分析を行っている。




**図－5**　地区別IRI分布状況

## 3．今後の研究開発

以上，NEXCO中央研究所で取り組んでいる舗装の研究開発の現状について述べたが，今後取り組むべき研究内容については，現況テーマに関係するものを中心に次のようなものが考えられる。

①損傷調査の効率化と舗装診断手法の確立
②補修時の合理的な構造設計法
③耐久性の高い補修材料・配合
④基層耐水性確保のための材料・仕様の決定
⑤効率的なコンクリート舗装の調査・補修方法
⑥IRIの路面管理への適用
⑦劣化曲線の精緻化とPMSの多機能化
⑧リサイクル技術の確立

## 4．おわりに

高速道路等の舗装路面は，お客様に直接的に安全や快適性を提供し，評価を受ける，いわば高速道路等の顔である。この顔を健康で美しく保つためにも舗装のPDCAサイクルによる適切な管理が必要である。調査から始まるサイクルの各プロセスにおいて現地に役立つ技術開発を目指しており，限られた資源を有効に使いながら，民営化された組織としての柔軟性を十分に発揮して，今後も研究開発を積極的に推進してゆきたいと考えている。

### ―― 参考文献 ――


1）神谷恵三，内藤政男，高機能舗装の下層損傷に関する一考察，舗装工学論文集，第10巻，2005年12月，P17～P22
2）阿部勝義，神谷恵三，佐藤正和，高速道路舗装の構造的損傷に関する一考察，舗装工学論文集，第９巻，2004年12月，P177～P183
3）東日本，中日本，西日本高速道路株式会社，設計要領第１集，舗装編，平成18年４月，P46
4）本松資朗，神谷恵三，松本大二郎，山田優，ハイブリッド舗装混合物の配合設計手法に関する研究，土木学会論文集，No.802，V-69，2005.11，P197～P208
5）熊田一彦，佐藤正和，神谷恵三，路面性状と乗り心地評価に関する検討，日本道路公団試験研究所報告，第42巻，平成17年９月，P61～P68

# 民間における舗装の研究開発の現状と今後の展望

(Current State and The Future Prospects of Pavement Reserch and Development in The Private Sector)

原　富　男*・根　本　信　行**

近年，環境に関する社会的関心が高まるなか，舗装でも様々な環境問題への対応が求められている。また，最近では技術提案型の総合評価方式の導入が進められており，各種性能に優れた付加価値の高い舗装技術が以前にも増して求められてきている。本文では、こうした社会的要請に応えるべく，民間各社で主に2000年以降に多岐にわたって取り組んでいる研究開発の現状を紹介し、最後に今後の展望について触れる。

## 1．はじめに

近年，地球の温暖化や都市のヒートアイランド現象など環境に関する社会的関心が高まるなか，舗装でも地球規模から都市・沿道環境に至るまで様々な環境問題への対応が求められている。また，平成13年の「舗装の構造に関する技術基準」の制定以来，舗装の性能規定化が進み，最近では技術提案型の総合評価方式の導入が盛んに行われてきている。このため，舗装に要求される安全で快適な走行性の確保は勿論のこと，環境負荷の少ない経済性や機能性，耐久性，施工性などに優れた舗装技術が以前にも増して求められてきている。そこで，民間各社ではこうした社会的要請に応えるべく，多岐にわたり舗装の研究開発に鋭意取り組んできているのが現状である。

ここでは，主に2000年以降の舗装における取り組みを中心に，⑴環境負荷軽減，⑵コスト縮減，⑶維持管理と修繕，⑷施工機械・プラント，⑸安全対策の関連技術について研究開発の現状を紹介し，最後に今後の展望についても触れる。

## 2．研究開発の現状

### ⑴　環境負荷軽減技術

①　$CO_2$抑制技術

舗装では，材料や混合物の製造，運搬，施工時のエネルギー消費で$CO_2$が排出される。このうち，製造段階での$CO_2$抑制技術としては，加熱不要の常温型舗装や加熱アスファルト混合物より製造温度を低減したセミホット型舗装，中温化技術の開発が進められている。

常温型舗装は，骨材とバインダを常温で混合し舗設するもので様々なものがある。そのなかでは，マイクロサーフェシング工法の開発が精力的に行われ，今では老化路面のリフレッシュ対策などの予防的維持工法[1]や明色化によるトンネル内コンクリート舗装のすべり抵抗回復工法[2]として実績を重ねている。

セミホット型舗装は，80℃以下で混合物を製造し施工するもので，フィンランドの舗装技術を応用してわが国の気象・交通条件に合うように開発が進められてきている。現状では，各地で試験施工を実施し，わが国での適用性について検討が行われている[3]。

中温化技術は，加熱アスファルト混合物の製造や舗設時の温度を約30℃低下させるもので，50℃低減タイプのものも開発されてきている[4]。

②　再生利用技術

舗装は，他産業に比べてもリサイクルは進んでおり，アスファルト舗装発生材の再資源化率は99%と高い水準にある。現在は，排水性舗装発生材の再生技術の確立に向けて各機関で検討が進められているが，他産業資材の有効利用についても検討を重ねてきている。なかでも，建設廃木材や間伐材，剪定材などは処分に苦慮することが多く，これらを活用した歩行性や景観性に優れた木質系舗装の開発は各社とも注力している。これは木質系発生材を繊維やチップ状などに細かく破砕し，それに樹脂やアスファル

*はら　とみお　㈳日本道路建設業協会　技術委員・技術および施工管理部　会長／福田道路㈱　取締役常務執行役員
**ねもと　のぶゆき　同副部会長／㈱NIPPOコーポレーション技術研究所　所長

ト乳剤，セメント系固化材などのバインダー，砂などを混合したものである。すでに多くの実績があるが，材料や配合面などから各地域に応じた多様な検討が今なお進められている[5), 6)]。

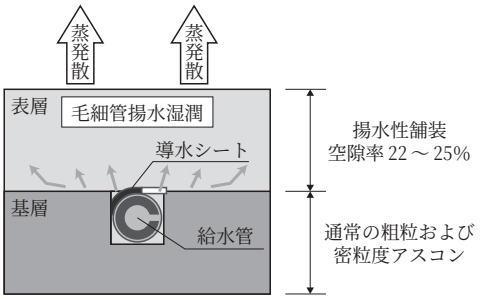
一方，路上再生利用技術では，路上路盤再生工法が以前から盛んに行われている。近年では，フォームドアスファルト技術を導入したセメント・フォームドアスファルト安定処理工法が開発され，その実績は平成16年度末で400万㎡にまで及んでいる。こうしたなか，最近では機械削減による施工の合理化や，路盤の再々生における効率的な施工法の開発が進められてきた。その結果，予備破砕とすきとりを同時に行える機械により機械編成が簡略化され（**図－1**）[7)]，また強固に固結した再生路盤を破砕・混合できる機械により路上路盤再々生工法の施工の効率化が図られている[8)]。

③　路面温度上昇抑制技術

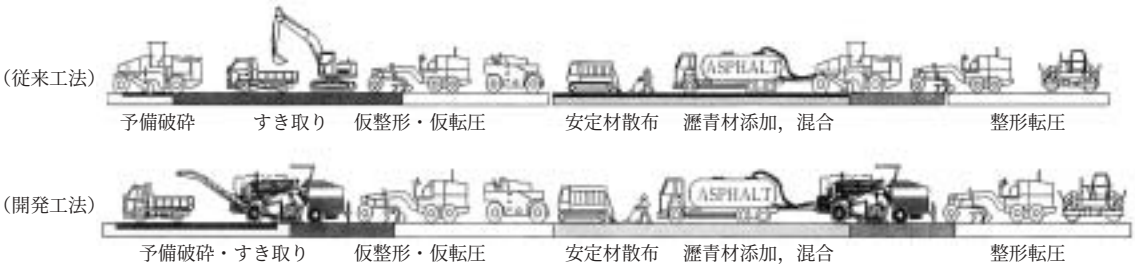
舗装路面の高温化は，都市のヒートアイランド現象の一因とされている。このため，その抑制対策として，保水性舗装や遮熱性舗装の開発が進められてきている。

保水性舗装は，舗装体内に保水された水分が蒸発する際の気化熱で路面温度の上昇と蓄熱を抑制しようというものである。最近では，機能の持続性向上を目的に，表層下面から水分を供給する給水型の保水性舗装（**図－2**）[9)]や揚水性舗装（**図－3**）[10)]が新しく開発されてきている。

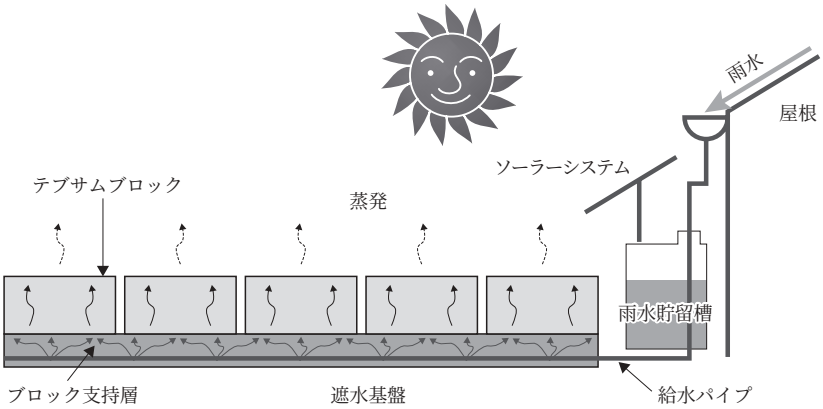
遮熱性舗装は，舗装表面に遮熱塗料を塗布し，日射エネルギーの約50%を占める近赤外線を反射させて舗装への蓄熱を防ぐことで，路面温度の上昇を抑制しようというものである（**図－4**）[11)]。排水性舗装に適用すれば，排水性や低騒音機能も維持できるのが特徴である。最近では，混合物型も実用化されている[12)]。



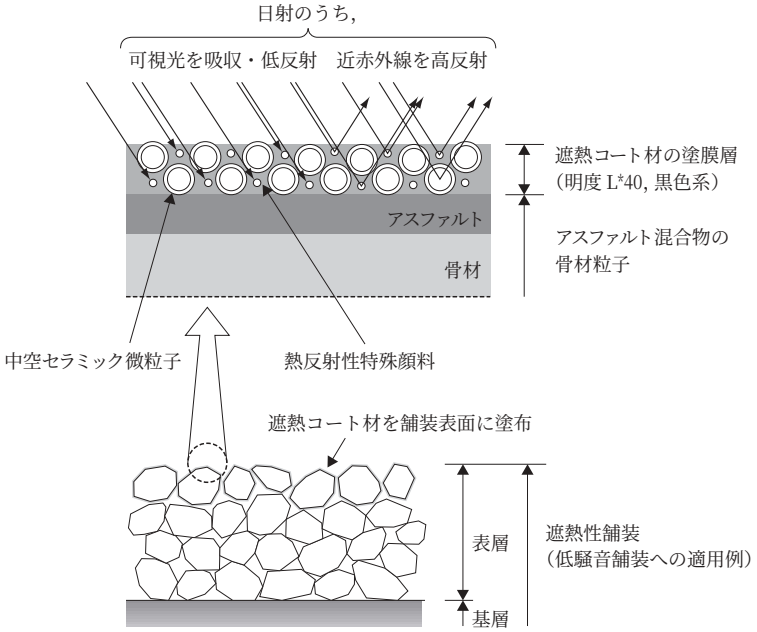

**図－3**　下面給水型揚水性舗装の概略図




**図－1**　施工の合理化を図った路上路盤再生工法の機械編成例




**図－2**　給水型保水性舗装の例




**図－4**　遮熱性舗装の断面と温度低減機能の概念

④　ポーラス舗装

排水性舗装は，昭和62年に初めて施工されて以来，雨天時のすべり事故対策や低騒音対策などにより広く普及してきている。騒音の性能規定工事が開始されてからは，性能確保対策の研究開発が進められ，小粒径化や２層式排水性舗装が検討されてきた。それに合わせて，２種類の異なる混合物を同時に敷均せる２層同時舗設型アスファルトフィニッシャが開発された[13]。

一方，積雪寒冷地における耐久性と機能の持続性の確保も重要な課題であった。このため，各種検討がなされ，その一つとして，SMAの耐久性と排水性のキメを兼ね備えた機能性SMAが開発された[14]。また最近では，雨水の浸透による排水性舗装の表基層界面や基層での剥離が問題とされている。このため，その対策として，ポーラス混合物に遮水機能を持たせた遮水型排水性舗装が新たに開発されてきている（**図－5**）[15]。

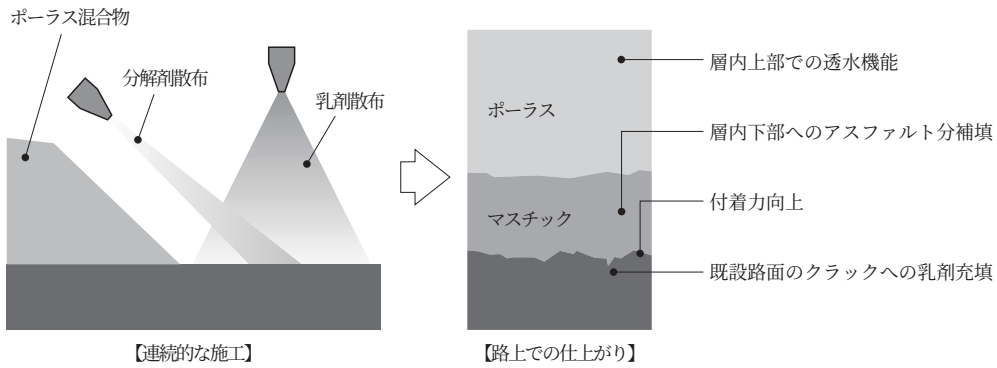
そのほか，ポーラスコンクリート舗装の開発も進められ，各地で試験舗装と追跡調査が行われている[16]。

⑤　振動軽減対策

従来の舗装での対策は，路面の平たん性の改善や路床・路盤など舗装構造の強化による方法が採られてきた。しかし，前者では効果の持続性に課題があり，後者では厚層打換えにより長期間交通渋滞を招くなどの問題がある。このため，工期が短く効果の持続性がある振動軽減型舗装の開発が進められ，最近では表基層対応型のものが新しく実用化されている[17]。

⑥　NOx除去対策

主に自動車の廃ガスから排出されるNOx（窒素酸化物）は酸性雨や光化学スモッグの原因となり，なかでも$NO_2$（二酸化窒素）は人体に有害なため環境基準が定められている。しかし，未だ十分に達成されていないことから，その対策として光触媒を用いたNOx除去舗装の開発が進められ，試験舗装で効果検証がなされている[18]。最近では，遮熱機能を兼ね備えた新しいNOx低減型遮熱性舗装も開発されてきている[19]。




**図－5**　遮水型排水性舗装の概略図

### (2) コスト縮減技術

コスト縮減では，排水性舗装などの薄層化や舗装の長寿命化，工期短縮などの研究開発が行われている。

排水性舗装の薄層化では，下面との接着性確保が重要となる。このため，高濃度の改質乳剤と舗設時にそれを多量に同時に散布できる乳剤散布装置付きアスファルトフィニッシャが開発されてきている[13]。

舗装の長寿命化技術に関しては，急速施工型の厚層半たわみ性舗装[20]などが開発されている。また，工期短縮技術では，トンネル内のコンクリート舗装を従来のセットフォーム方式からスリップフォーム方式で効率的に行える施工法[21]などが開発されている。

### (3) 維持管理・修繕技術

舗装ストックが増大するなか，限られた予算のなかで，効率的で経済的な維持修繕が求められている。こうしたなか，補修断面の設計や舗装の維持修繕計画を支援する技術の開発が進められている[22), 23]。

一方，修繕技術では，新しいものとして既設アスファルト舗装上に薄層でコンクリートをオーバレーイするホワイトトッピング[24]や高強度RCプレキャスト版舗装[25]，フォームドアスファルトを利用した表面処理工法[26]の開発などが行われている。

### (4) 施工機械およびプラント

施工では，品確法や熟練技能者不足を背景に，品質の向上や省力化が図れる高精度の測量機器を活用した情報化施工の開発が進められている[27]。また，排水性舗装関係では，前述した機械のほかに，路面強化処理工法用の機械や機能回復車が開発されてきている[13]。

一方，プラントでは，都市部での建設や，原油価格高騰に伴う合材製造販売コスト，再生合材混入率を高めた場合の加熱温度上昇に伴う製造時の対策などが問題とされている。このため，最近では，貯蔵サイロや計量装置を主な設備とするサテライトサイロとその無人出荷システム，熱効率改善の開発がなされている[28]。

### (5) 安全対策

交通事故の原因としては，路面のすべり，速度違反，不注意運転などが挙げられる。このため，すべり対策としては，排水性舗装のほか凍結抑制舗装が検討されてきている。これには化学系や物理系など様々なものがあるが，安全性評価にも利用できる定量的な効果の評価手法について検討を重ねている[29]。また，速度抑制対策では，制限速度を超えると不快を感じるような正弦波路面の舗装が開発されている[30]。最近では，注意喚起型舗装として，舗装路面を削り凹凸を連続的に配置することで，運転者に振動や音で車線逸脱を警告するランブルストリップスが開発されてきている[31]。

## 3．今後の展望

持続可能な社会を実現していくためには，将来に向けて環境の保全や質の高い効果的な社会基盤の整備が不可欠である。このためには，人や環境に優しく，経済的で耐久性のある舗装技術を材料，設計，製造，施工，評価など多方面から今後とも検討していく必要がある。また，これまでは主に海外の舗装技術を導入して日本に合った技術に改良していくといういわゆるキャッチアップ型のものもあったが，今後はわが国で開発した独自の舗装技術を海外へ積極的に発進して世界をリードしていくことが大切であると考える。

## —— 参考文献 ——


1）武田雄：環境に優しいマイクロサーフェシング工法の維持修繕への適用性，あすふぁるとにゅうざい，pp.3-7，2005年１月

2）今村孝志，森岡秀明，徳安芳典：既供用トンネル内コンクリート舗装におけるすべり抵抗回復工法－明色マイクロサーフェシング工法－，あすふぁるとにゅうざい，pp.3-6，2006年７月

3）小関裕二，石川洋，小池俊久：セミホット型アスファルト舗装の試験施工，第9回北陸道路舗装会議技術報文集，pp.73-76，2003年６月

4）吉中保，根本信行，市原利昭：中温化技術の適用温度の低減化に関する検討，舗装工学論文集第4巻，pp.135-142，1999年12月

5）秋永徳昭，梶谷明宏，森清広：流木・風倒木を再利用したウッドチップ舗装の施工例，第26回日本道路会議論文集，No.12136，2005年

6）昆野剛，鈴木利幸，加藤義輝：ウッドチップ舗装の多様化に関する検討事例，第26回日本道路会議論文集，No.12P49，2005年

7）相田尚，片岡直之，梶原覚：路上路盤再生工法の合理化に向けた一検討，道路建設，pp.36-41，2005年８・９月

8）泉秀俊，相田尚：路上路盤再々生工法の効率的施工に向けた新たな取組み，建設の機械化，pp.22-27，2004年５月

9）小栗直幸，藤田広志，辻井豪：再生EPSを用いた

給水型保水性舗装ブロック舗装の開発，第26回道路会議論文集，No.12P32，2005年
10）藤原栄吾，藤田義憲，小宮英孝：下面給水型揚水性舗装の施工事例，第26回道路会議論文集，No.12P28，2005年
11）木内豪，吉中保，深江典之：ヒートアイランド低減効果を目指した高性能の遮熱性舗装の開発，舗装，pp.7-11，2004年10月
12）高畑浩二，吉中保，村岡克明：路面温度の上昇抑制効果に優れた遮熱性舗装，第10回北陸道路舗装会議技術報文集，pp.214-217，2006年６月
13）羽山高義：排水性舗装に関連した新しい施工機械，舗装，pp.23-27，2002年10月
14）市原利昭，松尾久志，岳本秀人，早坂保則；積雪寒冷地の排水性舗装に代わる機能性SMAの検証，舗装，pp.21-25，2002年８月
15）樫野誠，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，pp52-57，2005年７月
16）梶尾聡，村田芳樹，國府勝郎：車道用ポーラスコンクリート試験舗装の施工および長期供用性試験，舗装，pp.5-10，2006年６月
17）尾本志展，山田徳雄，西村拓治：表基層対応の振動軽減舗装に関する実路での検討，第10回北陸道路舗装会議技術報文集，pp.226-229，2006年６月
18）竹谷徹：光触媒舗装の取組み，舗装，pp.26-30，2004年７月
19）尾本志展，吉中保，石村孝一，瀬川裕之：NOx低減型遮熱性舗装に関する検討，第61回土木学会年次学術講演会概要集（CD-ROM），V-107，2006年
20）市岡孝夫，谷口博，松尾憲政：厚層半たわみ性舗装の開発～急速施工型長寿命化舗装を目指して～，道路建設，pp.34-39，2003年８月
21）田中智彦，村岡克明：トンネル内における連続鉄筋コンクリート舗装，舗装，pp.7-12，2000年５月
22）金井利浩，海老澤秀治，佐藤喜久：アスファルト舗装の補修断面設計支援プログラムの開発，第26回道路会議論文集，No.20P04，2005年
23）井原務，中村博康：道路舗装の維持修繕計画支援技術，建設の施工企画，pp.37-42，2006年９月
24）東本崇，小関裕二，濱田秀則，西澤辰男：ホワイトトッピングの空港舗装への適用について，舗装工学論文集第８巻，pp.153-162，2003年12月
25）八谷好高，松崎和博，伊藤彰彦，山脇宏成，田中秀樹，横尾彰彦：高強度RCプレキャスト版舗装の空港への適用性，舗装工学論文集第８巻，pp.183-193，2003年12月.
26）高木幸雄, 武田雄, 岡林正俊：フォームド・ドレッシング工法の開発－アスファルトを用いた表面処理工法－，舗装，pp.19-22，2006年２月
27）勝敏行，片岡直之，梶原覚：舗装工の情報化施工，建設の施工企画，pp.24-28，2006年10月
28）渡辺雅夫：アスファルト合材工場における最近の試み，アスファルト合材，pp.36-41，2006年１月
29）中原大磯，吉中保，青木政樹，林信也，森嶋洋幸，山崎剛：凍結抑制舗装の性能現況と冬期の交通安全，アスファルト，pp.24-29，2006年10月
30）村岡克明，古澤賢一郎，渡辺雅夫：波状路面による速度抑制舗装の開発と展開，道路建設，pp.66-71，1999年９月
31）平澤匡介，浅野基樹，相田尚，斉藤和夫：一般国道におけるランブルストリップスの導入，舗装，pp.17-22，2004年10月

アスファルト舗装技術研究グループ・第53回報告

# NCHRP Synthesis 325「実物大舗装促進載荷試験による重大な発見」の紹介と舗装関連の機関からインターネットに発信されている情報について

アスファルト舗装技術研究グループの活動は，現在，グループ内を３班に分け，各班がそれぞれ研究テーマをもって海外の情報等をもとに調査し議論を重ねています。それらの成果を，概ね隔月に開かれる全体会において報告し，調査結果を共有しさらに理解を深めるとともに，本誌に報告するための原稿作成を進める流れとなっています。

今回の研究報告は，“ NCHRP Synthesis 325「実物大舗装促進載荷試験による重大な発見」の紹介 ” と，“ 舗装関連の機関からインターネットに発信されている情報について ” の２編です。

前者は，実物大の舗装促進載荷試験機を使用した研究に関する調査結果をまとめたNCHRP報告書の要約紹介です。後者は，舗装関連の機関からWEB上に発信される情報を整理したものです。インターネットは調査研究報告のメディアとしても急速に浸透しつつあります。舗装分野においてもほとんどの機関が自身のHPを有しており，組織等の紹介ばかりでなく，ダウンロード可能な報告書を有しているサイトも多くなってきています。そこで，海外の研究機関の分類整理を兼ねて，各機関の情報発信の概要を紹介します。

日本アスファルト協会も従来からHPで情報発信を行ってきておりますが，最近リニューアルされました。研究グループでは，一般向けのアスファルト舗装講座入門編の作成と更新を担当するほか，日々の研究成果を公表するメディアとしても活用する予定です。例えば，本報告の後者は一種のリンク集であり，HP上に公開し機動的な情報更新を進めてゆくつもりです。

（研究グループ代表幹事：佐々木厳）

## アスファルト舗装技術研究グループ名簿

佐々木厳　独立行政法人土木研究所舗装チーム

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

計32名

# NCHRP Synthesis 325「実物大舗装促進載荷試験による重大な発見」の紹介

岩塚浩二*　金井利浩**　岸田正憲***
鎌田孝行****　小柴朋広*****　清水泰成******
高橋光彦*******　森石一志********

## まえがき

本文は2004年にTRBより発刊された実物大の舗装促進載荷試験機を使用した研究に関する調査結果をまとめたNCHRP Synthesis 325「実物大舗装促進載荷試験による重大な発見」を紹介するものである。NCHRP Synthesis 325は，章立ては以下の通りである。

**１章：序論**
**２章：舗装構造設計の評価，妥当性確認，および改良**
**３章：自動車・舗装・環境の相互作用**
**４章：材料の評価と試験**
**５章：舗装工学におけるモデリングの精度向上**
**６章：補修・建設の合理化および補修計画**
**７章：舗装工学への適用と問題点**
**８章：促進載荷試験結果による舗装の経済性・マネジメントの改善**
**９章：おわりに**
**付録：NCHRP Synthesis of Highway Practice 235のアンケート結果および1996年以降に稼働した促進載荷試験機（以下APTとする）の紹介**

記述された内容は世界中の促進載荷試験の成果を集約したものであるが，紹介するに当たり第１章から第９章までを対象とし，付録は除外した。なお，NCHRP Synthesis 325は2007年２月現在，以下のウェブサイトからpdfファイルがダウンロード可能である。

http：//www.trb.org/news/blurb_browse.asp?id=5

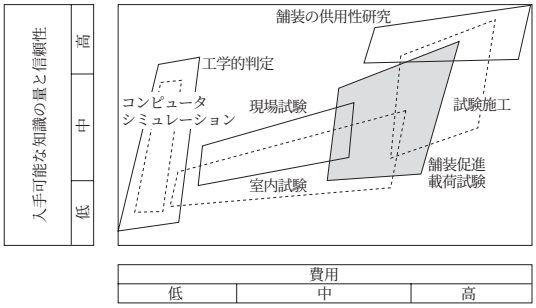
## １．序論

NCHRP Synthesis 325は世界中の現位置における実物大の舗装促進載荷試験の成果を調査・要約したものである。本報告における促進載荷試験とは舗装の長期における供用状況をシミュレートする目的で舗装構造に短期間で輪荷重を与えるものと定義している。

調査対象は過去20年間に活動したものとした。これら装置の概要はNCHRP Synthesis of Highway Practice 235によってすでに紹介されている。アメリカ陸軍工兵隊は1940年代からすでにAPTによる研究を行っていた。ワシントン州立大学では1967年にサークル型のテストトラックがあり1983年まで稼働していた。これは世界で最初の本格的な実物大APT施設である。

南アフリカのAPTは他の大陸，特にアメリカ，ヨーロッパに広まった。オーストラリアの技術は1980年初期に開始されアメリカ，中国などに輸出された。フランスのLCPCは産業界と協力して成功した例である。

APTはそれ単独で舗装のパフォーマンスに対していくつかの知見を得ることが出来るが，室内試験の結果と組み合わせることでより多くの知見を得ることが出来る。




**図－１**　舗装の試験種類と得られる知識およびコストの関係

*いわつか　こうじ　㈱パスコ道路センター
**かない　としひろ　鹿島道路㈱技術研究所
***きしだ　まさのり　㈱パスコ道路センター
****かまだ　たかゆき　常盤工業㈱技術研究所
*****こしば　ともひろ　世紀東急工業㈱技術研究所
******しみず　やすなり　前田道路㈱技術研究所
*******たかはし　みつひこ　大成ロテック㈱技術研究所
********もりいし　かずし　大林道路㈱技術研究所

NCHRP235により装置の詳細はすでに紹介されているのでここでは割愛する。本報告に類似した研究にCOST347があるがCOST347はより広範囲の情報があり，小型のＡＰＴの情報などが含まれる。また，COST347とTRB A2B09（現AFD40）間で情報共有に関する合意があり，ヨーロッパにおけるAPTの情報収集に大いに役立った。

① 本報告における焦点

本報告は，実物大APTの重要な調査結果の収集と成果の要約である。APTは促進載荷試験であるという認識から，本報告にはテストトラックであるMn/ROADは含まれているがAPTが使用されていない研究については除外した。また，付随して行われた室内および現場試験の結果をあわせて記載した。

② 情報収集

第一回APT国際会議の報文が出発点となり，情報が調査された。また未発表の情報を収集するために大規模なアンケートが実施された。アンケートの結果，研究者たちの主要な目的は舗装のパフォーマンスの改善とマネジメントであることが示された。

③ アンケート結果の解析

**表－１**はアンケートに対する回答者のリストである。

アンケート情報は以下のように分類され，本報告に組み入れられた。

・舗装に対する各種の疑問に対する答えを示している図，表，写真など
・APT研究者自身の重要な発見に関する見解
・APTに関連のある参考文献の分類

特に注目すべきは，

・従来にないユニークな舗装構造の評価
・破壊のメカニズムの基礎，疲労メカニズム
・理論，試験室での結果の確認
・設計モデルの進化
・補修，メンテナンスに関する情報

等でありAPTなしではこれらの疑問に答えることは非常に時間のかかることである。

2003年までの10年間においてAPTの新規稼働が多いのはアメリカである。このレポートの意図するところはAPT情報収集の入り口となることである。

## ２．舗装構造設計の評価，妥当性確認および改良

舗装構造設計において，舗装各層の剛性と厚さは，路床の支持力を超えないよう適切なものが選択されている。ここでは，海外におけるAPTの研究のうち，アスファルト舗装の構造設計や評価に関する研究について紹介する。

### 2.1 はじめに

本章では，舗装構成に関連した構造評価の様々な面について検討するために，舗装構造設計におけるAPTの研究について，その概要を紹介する。また，劣化要因に関する研究より，舗装構造設計の評価，妥当性確認および改良のためのガイドラインについて述べる。

### 2.2 アスファルト舗装設計におけるAPTの適用

⑴ フランス

1997年にOdeonらは，LCPCのAPTでの異なるアスファルト路盤による舗装の疲労性能評価について報告している。舗装は，かなり軟弱な路床［CBR５％～10％］に厚さ400㎜の粒度分布の良い未調整の粒状材からなる路盤上に構築されたものである。路盤には，従来のアスファルト，改質アスファルト（BB，GB），高弾性率アスファルト混合物（EME）が使用された。EMEは，一般に非常に堅い路盤上に構成されており，特に変形量の大きい路盤上において，厚さにより大きく挙動が変化することが発見された。EMEの厚さを90㎜から110㎜に増加させると，疲労寿命は2.5倍となる。しかし，ひび割れの発生により急速に劣化することが明らかとなった。また，改質アスファルトの路盤は従来の舗装より性能が優れていた。

⑵ 南アフリカ

南アフリカの荷重輪走行型試験（SA-HVS）試験は，力学的舗装設計法の開発に用いられた（Theyseなど，1996年）。これは，APTが舗装工学全体に貢献している一例であるといえる。ここでは，HVS試験結果から，アスファルトや粒状材の路盤層と同様に粒状材や改良された路床の永久変形の力学的経験モデルによる荷重の伝達関数の開発について述べている。この方法は，南アフリカの異なる気候地域と交通区分において，標準的な舗装構造を確立するために適用された。標準的な舗装構造は，道路業界により施工マニュアルが出版された。また，現場におけるHVS試験により改良され，その妥当性が確認されている。いくつもの舗装構造でのHVS試験から得られた多くのデータより，設計方法の信頼性評価を確立するための信頼限界を得ることができた（都市と地方での道路舗装の構造設計1980年，1985年および1996年）。

1999年にKekwickらは，舗装設計に対するSA-HVSについて報告している。SA-HVSによる試験は，厚い層をもつ舗装構造の性能について妥当性を確認するた

**表－1**　アンケートに回答のあった機関一覧

| アメリカ合衆国のプログラム | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| No. | 名　称 | 試験施設／所在地 | 稼働開始年 | 名　前 | ホームページ |
| 1 | カリフォルニア大学 | CAL/APT／カリフォルニア | 1994 | harvey | http://www.its.berkeley.edu/research |
| 2 | アメリカ連邦航空局 | NAPTE／ニュージャージー | 1999 | Hayhoe | http://www.airporttech.tc.faa.gov/NAPTF |
| 3 | フロリダ州道路局 | FDOT-HVS／フロリダ | 1999 | Choubane | http://www11.myflorida.com/statematerialsoffice/PavementEvaluation/APT/aptprogram.htm |
| 4 | アメリカ連邦道路庁 | FHWA-PTF／ワシントンD.C. | 1986 | Mitchell | www.tfhrc.gov |
| 5 | インディアナ州道路局 | APLF/PURDUE／インディアナ | 1992 | Galal | http://rebar.ecn.purdue.edu/APT |
| 6 | イリノイ大学 | ATLaS／イリノイ | 2000 | Roesler | http://cee.ce.uiuc.edu/atrel/atlas.htm |
| 7 | カンザス州立大学 | K-ATL／カンザス＋５機関* | 1997 | Romanoshi | http://www.engg.ksu.edu/cedept/research |
| 8 | ミネソタ州道路局－材料・道路調査課 | Mn/ROAD／ミネソタ | 1993 | Worel | http://mnroad.dot.state.mn.us/research/Mnresearch.asp |
| 9 | アメリカアスファルト技術センター | NCAT／アラバマ＋10機関** | 1996 | Powell | http://www.pavetrack.com |
| 10 | オハイオ大学 | APLF－オハイオ | 1997 | Edwards | http://webce.ent.ohiou.edu/orite/APLF.html |
| 11 | ルイジアナ運輸調査機関 | PRF-AL／ルイジアナ | 1995 | Rasoulian | |
| 12 | テキサス州道路局 | TxMLS／テキサス | 1995 | Chen | http://mls.sun.ac.za |
| 13 | 陸軍技術研究開発センター | HVA-A（Bigfoot）／ビックスバーグ，ミシシッピ | 1998 | Freeman | http://pavement.wes.army.mil |
| 14 | 寒地陸軍工兵隊 | CRREL-HVS MkⅣ／ハノーバー，ニューハンプシャー | 1997 | Janoo | http://www.crrel.usace.army.mil |
| 15 | アメリカ連邦道路庁 | WesTrack／ネバダ | 1995 | Mitchell 2 | http://www.westrack.com |
| * 州道路局（アラバマ，フロリダ，ジョージア，インディアナ，ノースカロライナ，オクラホマ，サウスカコライナ，テネシー），FHWA<br>** 州道路局（アイオワ，カンザス，ミズーリ，ネブラスカ），FHWA | | | | | |
| そのほかの国のプログラム | | | | | |
| 16 | オーストラリア道路研究委員会（ARRB）輸送研究所 | ALF／オーストラリア | 1984 | Sharp | http://www.arrb.org.au |
| 17 | カンタブリ大学 | CAPTIF／ニュージーランド | 1987 | Steven | |
| 18 | スペイン中央土木研究所 | CEDEX／スペイン | 1987 | Mateos | http://www.cedex.es/ingles/home.html |
| 19 | デンマーク工科大学 | DRTM／デンマーク | 1973 | Ullidtz | |
| 20 | スイス連邦工科大学 | EPLF／スイス | 1979 | Caprez | |
| 21 | フィンランド道路交通研究所（VTT），フィンランド道路庁（FinnRA），スウェーデン道路交通研究所（VIT） | HVS-Nordic | 1998 | Wiman | |
| 22 | Gautrans，南アフリカ科学・工業研究評議会（SA/CSIR）運輸部門 | HVS-South Africa | 1971 | De Beerほか | |
| 23 | フランス橋梁・道路中央研究所 | LCPC／フランス | 1978 | Gourdon | |
| 24 | デルフト工科大学 | LINTRACK／オランダ | 1991 | Houben | |
| 25 | イアシ工科大学工学部 | RRT／ルーマニア | 1982 | Vlad/Zarojanv | |
| 26 | イギリス道路研究所 | PTF（previously Road Machine）／イギリス | 1984 | Blackman | |
| 27 | 交通部公路科学研究所 | RIOH-ALF／中国 | 1990 | Meng | |
| 28 | アルスター大学 | TRACKER／イギリス | 1998 | Woodward | |

めに実施された。これらの舗装は，各層の混合物のスティフネスが，層が深い位置にあるものほど小さくなる舗装構造である。SA-HVS試験は，剛性の大部分が舗装表面に集中するようなバランスの不十分な薄層舗装が荷重の影響を受けやすいことを証明した。これらの舗装は，適正な支持力であるかもしれないが，過負荷の条件下においては急速に劣化する。彼らは，試験における輪荷重レベルを標準設計荷重より増加しない

ように警告している。

これは，通常の交通荷重条件下，特に境界層における破損のメカニズムを明らかにできるかもしれない。

⑶　オーストラリア

1999年にSharpらは，アスファルト含有量（最適条件0.5%以上）の高い混合物を用いた路盤の試験区間における促進載荷施設（ALF）による試験について報告している。ここでは，これらの層が薄層アスファルト舗装構造での使用と，アスファルト量の増加により，疲労寿命を改善することが可能であることを示している。ALFによる試験は，Austroads舗装設計ガイドにおいて，アスファルトやセメント処理砕石（CTCR）の疲労伝達関数の妥当性を確認するために行われた（Austroads，旧NAASRA）。これらは主に海外のデータ（例えばShell）や現場における性能試験データから導かれた経験的な関係に基づいている。

⑷　オランダ

1998年にBhairoらは，異なる厚さの砂質路床上のフルデプスアスファルトにおける疲労性能を評価したLINTRACK試験（APT用の実物大HVS）について報告している。使用した舗装は，総アスファルト厚が150㎜（下層80㎜，および上層70㎜）の２層構造である。もう一方は，１層構造で厚さ75㎜の舗装である。薄層構造において，LINTRACKの荷重は，アスファルト舗装の構造的な疲労ひび割れ（下層から上層へ進行）や表面ひび割れ（上層から下層へ進行）を発生させた。研究者は，Shellによる路床のひずみ基準が，オランダで使用されている砂質路床に適用可能であるとまとめている。

### 2.3　まとめ

この章では，舗装構造設計に関連した研究について紹介した。舗装構造設計は，一般的に試験用施設で評価されるのに対して，補修設計においては通常現場で評価されている。これまでに試験用施設において補修設計を評価した事例がいくつかあるが，いずれも失敗している。

ここでは，アスファルト舗装についてAPTは，EME路盤，耐わだち掘れの混合物，および層を厚くすることによる疲労抵抗性の増大による利点を説明し，舗装の健全さと層構造の重要性について示した。

また，APTは政府機関における舗装構造評価ガイドラインの妥当性確認や改良の手段となっている。さらに，舗装構造設計の改良は，以下に示す舗装の供用性能に関する要因による影響から得た考察よりなされているといえる。

・舗装の供用性と劣化のメカニズムへの水分の影響
・舗装各層の結合とその効果の定量化の重要性
・構造組成と材料特性間の相互作用

## ３．自動車・舗装・環境の相互作用

本章は，アスファルト舗装と自動車，環境の相互作用によるアスファルト舗装の劣化について，APTで実施した研究の結果について述べられている。ここでは，まず舗装，自動車，環境に関係する要因を挙げ，自動車と環境に関係する要因とアスファルト舗装の影響について抜粋して紹介する。

### 3.1　はじめに

自動車・舗装・環境の相互作用は，APTの最も重要なテーマの１つであり，これらはアスファルト舗装の供用中に影響を及ぼす。そのため，設計時の舗装性能の要因になる。

APT研究による荷重と実際の交通荷重の違いから，調査結果の適用性が疑われたが，近年のAPT研究によって，適用性が証明されている。

本章では，文献から自動車・舗装・環境の相互作用に関連した問題と適用性について示す。

### 3.2　自動車・舗装・環境の要因

舗装は次に示す要因の相互作用の影響を受ける。APT研究ではこれらの要因を制御し，調査結果から重要な考察と適用性を得た。舗装材料は交通と環境に関係する要因とともに考慮された。

・舗装材料
・交通（輪荷重，サスペンション，タイヤの空気圧／接地圧，タイヤの種類，速度）
・環境（風，放熱，温度，水）

### 3.3　交通要因による影響

本セクションでは，交通に関するAPTの要因として，輪荷重，サスペンションの種類と動的荷重，載荷方向（片方向，両方向），載荷速度，荷重の分散，タイヤと路面の接地圧，軸数について，実験結果から分析した舗装の影響に着目する。

APT研究では，交通を擬似的に表現するために，普通の貨物自動車と多様な自動車を使用し，サスペンションは数種類用意し，実験に応じて変更され，タイヤ空気圧は普通の空気圧と通常使用されていない高い空気圧で行った。

#### 3.3.1　輪荷重と劣化

輪荷重は舗装に最も大きな影響を及ぼす要因である。これは，AASHO道路試験による４乗則によって示さ

れる。しかし，APTの研究によって，４乗則は層の厚さ，形状，サスペンションの有無・種類，すべり抵抗に依存することが明らかになった。

経済協力開発機構（OECD）は，EUによる現在の標準的な軸荷重と比較して，将来標準になる11.5tの舗装の劣化を算定するために，LCPCで舗装試験を行った。わだち掘れはアスファルト層厚とスティフネスの増加によって減少し，ひび割れは載荷回数に依存し，ある回数まで線形的に劣化し，その後発生量が減少した。

アメリカ，スペインなどのAPTの研究に関与する国々は，LCPCのクロステストを行った。しかし，試験結果はLCPCの結果と一致しなかった。これは，舗装構造，材料特性，路床強度，天候条件，タイヤ種類のためであると考えられた。

### 3.3.2　タイヤ特性と接地圧

近年のAPT調査結果から，タイヤと舗装の接地面が，アスファルト舗装に影響を及ぼすことが明らかになった。

De Beerらは，**図－２**に示したVRSPTA（Vehicle Road Surface Pressure Transducer Array）システムを使用して，タイヤと舗装の接地圧を数値化し３次元化した。この調査から，接地圧は一様でないことが明らかになり，わだち掘れとひび割れの発生原因になることを示した。また，接地圧はタイヤの空気圧に依存し，接地面の中央と外側で変化した。

自動車のコーナリング時に発生するタイヤ横断方向のせん断応力の調査は，試験中にタイヤを7.5～８°回転させた。その結果，接地圧は通常タイヤで30kPa/度，幅広タイヤで50kPa/度増加した。

Bonaquistは，幅広シングルタイヤで発生するわだち掘れが，ダブルタイヤより1.0～2.4倍，ひび割れは４倍大きくなり，わだち掘れ抵抗性を有する舗装では，通常の舗装よりわだち掘れが減少することを報告した。この結果から，幅広シングルタイヤのアスファルト舗装への影響は，アスファルトの性能に依存することが明らかになった。

**図－２**　HVSによるVRSPTAシステム
（タイヤ315/80 R22.5）

Gramsammerらは，タイヤの空気圧の増加量に比例して，アスファルト混合物層のわだち掘れ発生量が増加することを発見し，タイヤの空気圧の増加がAPTによるわだち掘れを増加させることを明らかにした。

### 3.3.3　交通速度（載荷速度）

載荷速度の影響は，他の要因と同様に考慮しなければならないが，ほとんどのAPT装置は速度に関して広範囲にわたる試験を行うことができない。しかし，いくつかの調査結果が報告され，載荷速度はAPT交通を評価するために考慮されなければならないことを明らかにした。

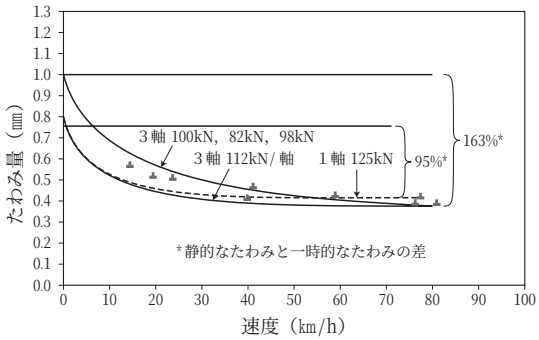
わだち掘れは，40～50㎞/hの範囲内で速度が15%増加すると20～35%減少し，アスファルト舗装のスティフネスが増すと，さらに減少した。

Stevenらは，スプリングサスペンションを使用し，速度が20km/hから45km/hまで増加した時，CAPTIF（Canterbury Accelerated Pavement Testing Indoor Facility）で測定された動的荷重係数が２倍になったことを報告した。

**図－３**は，供用中の幹線道路で計測した舗装のたわみ量の結果である。０～20㎞/hでたわみ発生量が減少した。また，WhiteらによるAPTの有限要素法による分析で，速度がわだち掘れに影響することを証明した。

## 3.4　環境要因による影響

環境要因は，温度，水，風，放射線，酸素であり，アスファルト舗装は，これらの環境要因の影響を受ける。APTの研究では，風と放射線の影響は確認できなかったが，熱と水の影響は多くの調査結果で報告されている。




**図－３**　速度の影響による舗装の変形

### 3. 4. 1　環境要因

温度，酸素，放射線，風にさらされたアスファルト舗装は劣化する。この現象を調査するためには，専用の場所で長期間にわたる研究が必要であるため，APTの研究ではほとんど行われなかった。

Handの研究で，人為的にアスファルト混合物を劣化させ，わだち掘れ発生量がアスファルトの劣化による硬化によって減少したことを報告した。

Ver der Merweらは，アスファルト混合物を100℃で熱し，人為的に劣化させた。劣化後にわだち抵抗性は急激に増加したが，ひび割れ抵抗性は劣化中にひび割れが発生していたため減少した。

Hugoらは，－10℃の低温で劣化させたアスファルトが，劣化後にひび割れ発生量が大きく増加したことを報告した。

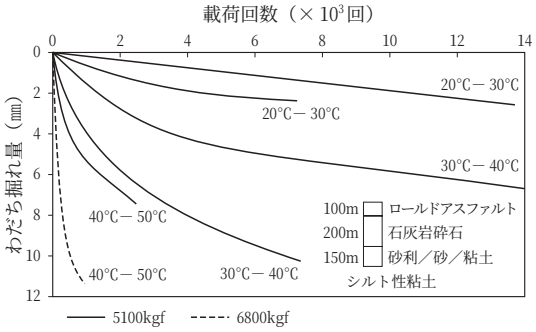
### 3. 4. 2　温度による影響

⑴　周囲の温度と上昇した温度でのAPT試験

Corteらは，温度によるわだち掘れの影響を調査した。アスファルト舗装には，アスファルトの軟化点温度に近い，わだち掘れに影響しやすい温度があることを報告した。この温度より低い場合は，ほとんどわだち掘れが発生しなかった。**図－4**は，輪荷重と温度による舗装への影響を示す。10℃または20℃の温度変化による舗装変形の影響が確認でき，温度がアスファルト舗装の劣化の主な要因であることが明らかになった。

Maccarroneらは，アスファルトにエチレン酢酸ビニル（EVA）改質アスファルトを使用し，高温でのわだち掘れの発生が減少することを明らかにした。

Sharpらは，高温でのアスファルト舗装の変形はアスファルト層の上部に限定されることを明らかにし，高温によるアスファルト舗装の変形を効果的に補修するために，上部をよりわだち抵抗性のある材料に置換える必要があることを示した。




**図－4**　わだち掘れに関する輪荷重と温度の効果

⑵　低温による影響

低温でのひび割れは，主に改質アスファルトによる現象である。舗装が0℃前後の時に，舗装内の水分は凍結と融解を繰り返す。水の凍結融解現象は舗装劣化の重要な要因である。デンマークで行われた凍結融解の影響を調査する実物大試験では，塑性ひずみの全体のおよそ60～70%が，融解時の荷重載荷で発生した。

### 3. 4. 3　水分による影響

アスファルト舗装の水分の影響は，多くのAPTの研究で調査され，舗装内への水の浸透による舗装劣化の影響は大きかった。舗装の寿命は，水分のような環境要因を排除することで，大きく延ばすことができる。

水分の主な劣化の要因は化学的であるため，材料の化学的な崩壊や，層の劣化になる。

⑴　表面水の浸透

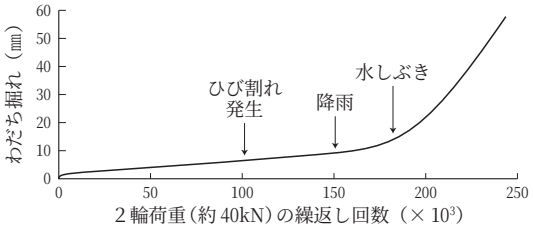
Mareeらは，舗装内に浸透する水が舗装の変形に大きく影響することを明らかにした。これは**図－5**に示され，南アフリカのHVS試験で，30㎜の降雨とその後に発生する自動車などによる水しぶきが，変形の要因になった。また，舗装はクラックシールによって維持される時には，この現象が起こらないことも報告した。

Walkerは，アスファルト舗装の水分の影響について，舗装の種類と水分量に依存することを示すために，南アフリカのフィールド舗装で得られたデータから**図－6**を示した。

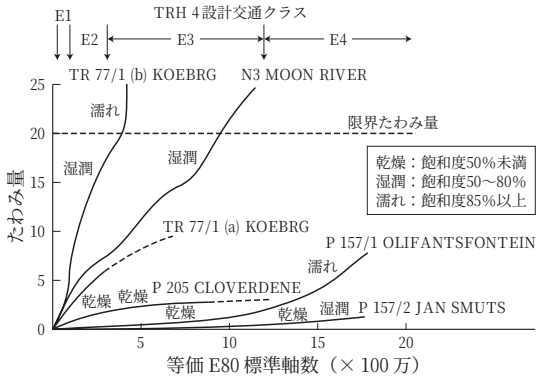
⑵　表面と舗装内の水分

VuongらのAPTの研究で，路床と基層に関する水分の重要性について報告した。

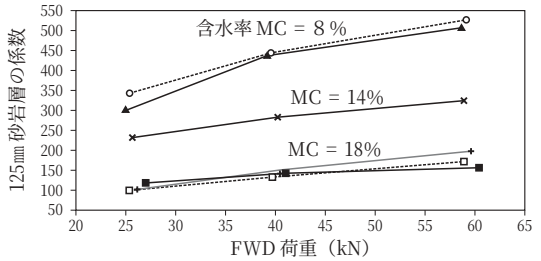
- FWDの測定データは，水分の影響，季節的な環境条件の影響を推定するために役立つ。
- 乾燥状態では，砂岩は荷重を増すことで，非線形的にスティフネスが増加し，湿潤状態では負の効果となる（**図－7**，**図－8**）。この結果は，低コスト舗装に大きく影響するために，季節的な水の変化を調整しなければならなかった。



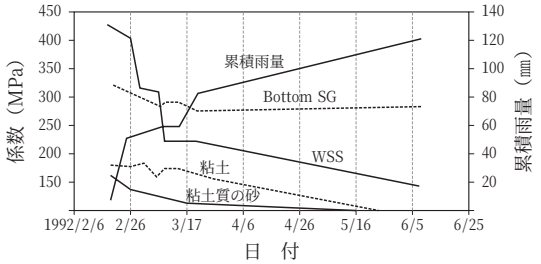

**図－5**　HVSテストによる粒状路盤を持つ舗装の降雨後のわだち掘れ量の変化




**図－6**　砕石路盤舗装を持つ舗装で発生するたわみ量の比較




**図－7**　荷重と水分による砂岩の層係数の変化

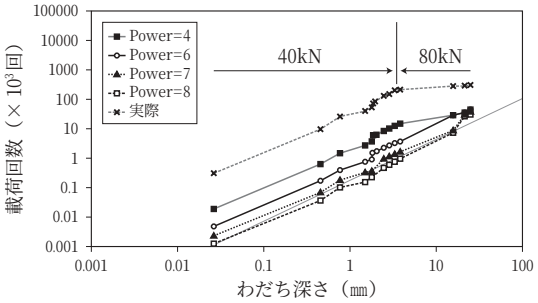



**図－8**　平均層係数の比較と累積雨量

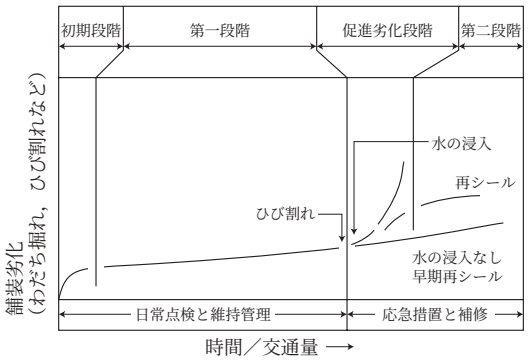
・荷重と環境条件が変化する時，回帰わだち掘れ量の深さモデルは，FHWAのALF試験結果の分析に使用された（**図－9**）。Rustらは，**図－10**のようにアスファルト舗装の水分の影響を示した。

### 3.5　まとめ

引用した研究は，いずれも自動車・舗装・環境の相互作用を示している。この相互作用に関する広範囲の要因が議論され，APTは一般に舗装工学に有益な洞察を与えた。例として，わだち掘れとひび割れによるアスファルト舗装の劣化は変形量，基準，舗装構造，材料特性，舗装の状態に依存することが明らかとなった。同様に，輪荷重に起因する劣化の程度については，サスペンションの種類の影響が大きいことが明らかとなった。




**図－9**　80kN繰返し載荷によるわだち掘れ深さ




**図－10**　水の浸入による舗装への影響

しかし，特に舗装の性能に与える環境要因の影響に関しては，いくつかの結果の違いを取上げる必要があった。環境要因の影響を考慮できなければ，APTのより広い適用を図ることができないためである。輪荷重の分散，交通，表面せん断，速度などの要因と環境要因の関係は，さらに調査が必要である。

自動車と舗装の相互作業について，環境要因の影響の指針を開発するために，広範囲にわたる共同研究でAPTプログラムを実施する必要がある。

## 4．材料の評価と試験

本章は，舗装材料の評価と試験がテーマとなっているが，主に各機関で行われているAPT試験による試験結果の概要のみ述べている。本文では特徴的な内容を含む部分を抜粋して紹介する。

### 4.1　序論

実物大のAPTプログラムは，舗装材料の応答と性能を比較・評価し，各国で重要な知見が得られた。ほとんどのプログラムの第一目標は，新材料，革新的な材料，およびリサイクル材料を評価することであり，第二に，従来の材料の性能を確認することである。また，プログラムのもう一つの重要な目標は，実物大の

荷重下における応答を比較することにより，室内において材料の特性確認をすることである。

### 4.2　表層

これまでAPT試験の大部分が，表層としてのアスファルト混合物や瀝青チップシールの評価のために行われてきた。アスファルト混合物表層に使用された改質アスファルトにより，わだち掘れや疲労ひびわれへの抵抗性が高められたことを示してきた。

オーストラリアのALFプログラムは，アスファルト混合物の永久変形への抵抗性を増した改質アスファルトの使用に関しても検証を行った。実物大の荷重を取り入れたSMA混合物の大規模な室内試験もこの中に含まれている。室内試験には，動的クリープ試験，レジリエントモデュラス試験，ホイールトラッキング試験，およびスーパーペーブバインダーのわだち掘れパラメーターの測定が含まれており，混合物のクリープおよびレジリエントモデュラス試験では，フィラー含有量が混合物に大きな影響を与えることが明らかになった。現場コアによるクリープ試験結果は，アスファルト種類の影響が重要であることを特定した。しかしながら，これらの検証結果は，異なった骨材粒度を用いた混合物の違いを見分けることができなかった。また，高い温度で測定される現場コアの混合物クリープ特性は，実物大荷重の下でのわだち掘れ性能を正確に格付けすることができなかった。

CAL/APTプログラムでは，ギャップ粒度のゴム改質アスファルト混合物のオーバーレイが，従来のアスファルトを用いた密粒度混合物よりも永久変形量に関して優れていることが分かった。これらオーバーレイは，下層の破損したアスファルト混合物層からのリフレクションクラックに対して大きな抵抗性を示した。

SA-HVSプログラムでは，ひび割れたコンクリート舗装上に，ゴム入りアスファルトを使用した，比較的薄い開粒度アスファルト混合物オーバーレイを適用した事例について調査した。このオーバーレイは，他の多くの修繕用オーバーレイと比較して，リフレクションクラックに関して良好な性能を示した。

フランスのLCPC施設においては，アスファルト混合物のわだち掘れと疲労の両方の影響を決定することを目的とした２つの実験において，改質アスファルトを使用した。

わだち掘れの試験においては，７種類の異なるアスファルトを用いた表層が舗設された。評価したアスファルトは，従来からの改質されていない材料，低温に対して敏感である２種類，SBSエラストマーにより改質された１種類，EVAプラストマーにより改質された１種類，１種類の低針入度アスファルト（針入度20/30），および密度の低いポリエチレンで改質された１種類である。低針入度アスファルトは，非常に薄いアスファルト混合物表層に加えられ，EME混合物に使用された。従来の混合物と比較して，改質アスファルトを用いた混合物は，フランスの装置による室内でのホイールトラッキング試験において，わだち掘れの抵抗性が増加することを示した。さらに，新しく革新的な材料を含む全ての混合物は実物大荷重でのわだち掘れ性能も良好であることを示した。また，非常に薄いアスファルト混合物表層のEME混合物は，交通下において表面のテクスチャを維持した。繰り返し三軸試験や静的，動的クリープ試験を含む他の室内混合物試験結果においても，実物大荷重および室内ホイールトラッキング試験と同等の評価が可能であることを示した。

LCPCの疲労試験においては，５つの異なったアスファルト，および３つの厚さで表層が施工された。使用したアスファルトは，EME混合物に使用される同じ等級の２つの硬いアスファルト（針入度20/30）と，SBSポリマーにより改質された１種類のアスファルトである。異なる製造元の従来のアスファルトを用いた２種類の混合物は，実物大荷重においては，同等の疲労性能を示したが，室内においては非常に異なった疲労挙動が測定された。従来の混合物と比較して，EME混合物は疲労寿命を増加させるが，この材料は比較的硬い支持層の上で使用されなければならない。変形しやすい支持層上では，EME混合物は，薄層では性能を改善しないが，厚さを増すと性能は大きく向上する。適切に使用すれば，EME混合物は疲労ひび割れとわだち掘れの抵抗性に関して良好な性能を提供することができる。この研究の一部として，大規模な室内疲労試験が完成した。室内試験結果は，相対的な疲労性能が特定の試験に依存していることを示した。この研究により，室内での応力制御疲労試験を使用することで，混合物の相対的な挙動を予測することができた。

FHWA ALFプログラム，Indiana DOT/Purdueプログラム，K-ATLプログラムは，スーパーペーブに着目し，研究を行ってきた。それぞれ，スーパーペーブバインダーパラメーターの改質アスファルト使用時の有効性確認，粗粒度スーパーペーブ混合物の永久変形

抵抗性の検証，および細粒度スーパーペーブ混合物の評価を，各機関のAPT施設を用いて行った。

APTは，表層以外のアスファルト混合物の評価についても用いられてきた。オーストラリアのALFプログラムは，軽交通舗装における粘土路床上でのジオテキスタイルで補強されたチップシールの適切な性能を検証した。

### 4.3　路盤・下層路盤

数多くのAPT試験が，舗装の路盤あるいは下層路盤に用いられる通常の，または安定処理された粒状材料の性能を調べるために行われてきた。

ニュージーランドのCAPTIFプログラムにおける最初のAPT試験では，十分に転圧された高密度の砕石路盤の使用がチップシール表層の路盤として有効であることを確認した。また，開粒度アスファルト混合物表層における路盤層の骨材の大きさと形状の影響や，石灰安定処理された下層路盤材料と砕石路盤との比較についても調査を行っている。

SA-HVSプログラムは，伝統的な舗装について試験した。材料評価に関しては，実物大の荷重下における路盤の性能，および静的または動的三軸試験について調査した。乳剤処理自然石，水締めあるいはコンポジットマカダム等について，機械施工による砕石路盤と比較した。その結果，砕石路盤が実物大の載荷試験による永久変形と支持力の評価において最も高い性能を示した。

また，SA-HVSプログラムは，新しい路盤材料の使用におけるガイドラインの作成においてもAPTを使用した。転圧コンクリート，スラグ，再生アスファルト混合物，および乳剤処理された再生骨材など，他の路盤材料については，南アフリカのCSIRプログラムが評価している。

### 4.4　路床

APT試験は，路床の評価においては，比較的わずかしか行われていない。第２章では，砂質路床におけるオランダでのLINTRACK実験が論じられ，研究者達は路床ひずみの評価基準が，国内では一般的である砂質路床へ適用できる可能性があると結論付けている。

HVS-NORDICプログラムでは，凍結融解サイクルに関して，厳しい環境条件下での路床材料の変形限界の設定するため，フィンランドの現場でAPT試験を行った。アスファルト混合物表層，砕石路盤，砂質路床による同じ厚さの舗装構造を，霜の影響を受けやすい軟弱な路床上に３種類舗設し，その中の１種類には路盤の中間に鉄筋メッシュを設置した。凍結融解サイクルの間，地下水位を制御するため，砂のフィルター層を路床の下に設けた。APT試験の結果，３種類全ての構造の表層に，路床の永久変形によるひび割れが生じた。鉄筋メッシュについては路盤の変形量を50%減少させる結果となった。

### 4.5　結論

APTプログラムにより，既存の材料の性能確認，および新しい革新的な材料の実用化を考慮した重要な発見が得られた。APT試験プログラムは，材料の特性や室内試験に関連したこれら材料の性能評価を考慮している。

本章では，荷重・環境条件・測定・解析手法，および破壊の定義等に関して，APTと一般的な室内試験との違いを考慮することの重要性を強調している。

以下は，本章で議論されている，広い範囲に適用されたAPTのフィールドにおける材料試験を通して得た幾つかの知見である。

- 基本的な路盤材料の使用のためのガイドラインが確立された。これは，舗装性能に影響するメカニズムを理解するためのAPTの成果である。
- 凍結融解時の路床の性能における土の種類と含水量の影響が定量化された。
- 多くの材料が舗装構造の各層において使用され，評価された。その過程において，スーパーペーブの性能に関する材料試験のような，新たに定義された室内試験のガイドラインを評価することができる情報が蓄積された。
- 改質アスファルトが従来のアスファルトよりも疲労抵抗性と変形抵抗性に関して優れていることが明らかとなった。

## ５．舗装工学におけるモデルリングの精度向上

舗装のパフォーマンスとは，舗装がその役割をどの程度果たしているかを示す指標である。このパフォーマンスを予測するモデルは，舗装マネジメントシステムに組み入れられる他，舗装の構造評価や，各種仕様の開発に利用されている。

APTは，短期間で実際の交通下における舗装のパフォーマンスを予測するうえで有用であり，数多くのモデルがAPTを通じて開発あるいは検証されている。

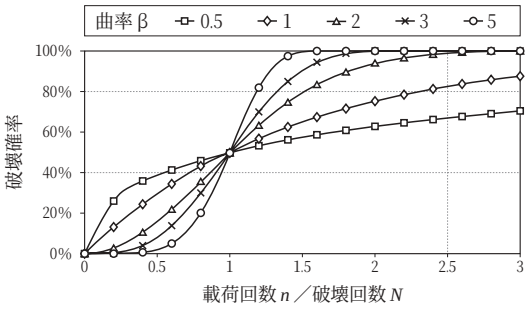
本章では，まず，舗装ダメージのモデリングに用いられる手法と，モデルの無次元化の試みについて述べる。次に，各論として，路床ならびにアスファルト混

合物層のわだち掘れモデルと，アスファルト混合物層に関する疲労ひび割れモデルのいくつかを紹介する。

### 5.1　舗装ダメージのモデル化の考え方

#### 5.1.1　ワイブル分布

舗装のダメージは，交通および環境の負荷によってもたらされる。アスファルト舗装のダメージは，初期段階では緩やかに進行し，除々に加速されていき，最終段階で再び進行速度が低下するという，**図－11**に示すようなＳ型曲線（ワイブル分布）で表すことができる。




**図－11**　βを変化させたときの破壊確率（ワイブル分布）

#### 5.1.2　各種数学モデル

破壊載荷回数Nにおけるダメージ（y）の進行を説明するためには，ワイブル分布の他にも**表－2**に示す各種数学モデルが用いられている。なお，表中のa，b，c，dは回帰係数である。

**表－2**　ダメージを表す各種数学モデル

| モデル | 数　式 |
|---|---|
| $y = a + b \cdot N$ | 一次式 |
| $y = a + b \cdot N + c \cdot N^2$ | 二次式 |
| $y = a + b \cdot N + c \cdot N^2 + d \cdot N^3 + \cdots$ | 多項式 |
| $y = a \cdot \exp(b \cdot N)$ | 指数関数 |
| $y = a + b \cdot \mathrm{In}\, N$ | 対数 |
| $y = a \cdot N^b$ | 指数 |
| $y = a \cdot \mathrm{N}^{(b \cdot N)}$ | 幾何 |
| $y = a^{(1/N)}$ | ルート |
| $y = a / (1 + \exp(b - c \cdot N))$ | ロジスティック |
| $y = a - b \cdot \exp(-c \cdot N^d)$ | ワイブル |
| $y = a + b / N$ | 双曲線 |
| $y = (a + b \cdot N) / (1 + c \cdot N + d \cdot N^2)$ | 有理数 |
| $y = a \cdot \exp(-(N-b)^2 / (2 \cdot c^2))$ | ガウス |

#### 5.1.3　モデルのディメンジョンレス化

上記のような数学モデルにより舗装パフォーマンスのモデル化を行う場合，当該モデルには，それらが開発された条件下でのみ適用が可能であるという利用上の制約が伴う。

これを避けるために，Molenaarら（1999）は，無次元化によってモデルの一般化を図るべきであるとしている。この無次元化とは，ダメージとその原因を，相対比率で関連づけるもので，式①のように示すことができる。

$$\frac{d}{D} = \left(\frac{t}{T}\right)^{\beta} \qquad ①$$

ここに，

$d$：調査時点におけるダメージ

$D$：舗装の終局状態に達したと仮定した時間Tにおけるダメージ

β：ダメージと構造の形式による定数

### 5.2　路床に関するわだち掘れのモデル化

路床に関する永久変形のモデルは，通常の場合，式②，③に示すように，路床上面または内部における応力あるいはひずみで表現され，これらの式は線形の弾性的な材料特性に基づく舗装設計や構造評価に用いられる。

$$\varepsilon_{pz} = \alpha \cdot N^{\beta} \qquad ②$$

$$\sigma_{pz} = \alpha \cdot N^{\beta} \qquad ③$$

ここに，

$\varepsilon_{pz}$：路床上面の許容鉛直方向ひずみ

$\sigma_{pz}$：路床上面の許容鉛直方向応力

$N$：標準軸数

α，β：回帰係数

両式とも指数関数であることから，路床における応力とひずみは載荷の初期段階で急速に増加し，その後，緩やかな速度で増加していくことがわかる。このような傾向は，路床材料のせん断変形や締固めの影響を反映したものであると考えられる。

さらに，上述のひずみや応力によって実際にどの程度の変形量が生じるかを検討した研究事例も多く紹介されている。ここでは，それらの中から代表的なモデル（数式）をいくつか選定して，その概要を述べる。

#### 5.2.1　ひずみによるモデル

**(1)　弾性ひずみによる方法**

Odermattら（1999）は，HVS走行下での舗装表面のわだち掘れ深さを路床変形により推測するモデルを開発した。式④は，路床のわだち掘れモデルが路床上面における鉛直方向の弾性ひずみによって表現できることを示している。

$$RD = 1E-12 \cdot \varepsilon_v^{3.55} \qquad (R^2 = 0.89) \qquad ④$$

ここに，

$RD$：わだち掘れ深さ（mm）

$\varepsilon_v$：路床の鉛直方向の復元ひずみ

$E$：弾性係数

(2) **塑性ひずみによる方法**

Odermattら（1999）は，また，湿潤状態の軟弱な土の場合には，弾性ひずみに基づくわだち掘れモデルは正確さに欠けるとし，融雪期間のような場合には，塑性ひずみを利用した式⑤を提唱している。

$$RD = 0.0545 \cdot \varepsilon_{vp}^{0.49} \qquad ⑤$$

ここに，

$RD$：わだち掘れ深さ（mm）

$\varepsilon_{vp}$：路床の累積永久ひずみ

**5. 2. 2　交通量によるモデル**

わだち掘れ深さは，路床ひずみと同様，交通量とも関連付けられる。Odermattら（1999）は，異なる荷重条件下でHVS試験を行って，わだち掘れ深さと載荷回数が式⑥のように関係付けられることを示した。この式は，式②と形がよく似ているが，定数αが式⑥では荷重の関数となっている点に注意する必要がある。

$$RD = (0.0117 \cdot P - 0.4816) \cdot N^{0.27} \qquad ⑥$$

ここに，

$RD$：路面の平均わだち掘れ深さ（mm）

$P$：輪荷重（kN）

$N$：走行回数

**5. 2. 3　鉛直応力によるモデル**

Theyse（1997）は，HVS試験工区において各層の弾性係数を逆解析等によって推定し，路床の鉛直方向のひずみおよび応力を算定している。

鉛直ひずみに対して永久変形量をプロットしたところ，両者には明確な相関関係は認められなかったため，鉛直応力に対して永久変形量のプロットを試みた。その結果，よりよい相関関係が認められ，式⑦のような鉛直応力に基づくわだち掘れの疲労破壊規準式を得ている。

なお，式⑦中の回帰係数ｃとｓは，材料が異なっても変化しないとしている。HVS試験は，異なる材料で構築した舗装について行っており，材料毎に回帰係数Bが定められている。

$$PD = e^c N^s (e^{B\sigma_c} - 1) \qquad ⑦$$

ここに，

$PD$：永久変形量（mm）

$N$：繰返し載荷回数（E80標準軸数）

$\sigma_c$：路床上面の鉛直方向圧縮応力（kPa）

$c$，$s$，$B$：回帰係数

**5. 2. 4　路床の材料特性の取り込み**

これまでに示したモデルには路床の材料特性のファクタは含まれていない。しかし，Tsengら（1989）のように，路床の含水比やスティフネスなどの材料特性を考慮すべきであるとしている研究事例も散見される。

**5. 3　アスファルト混合物層における永久変形量のモデル化**

アスファルト混合物層の永久変形量に関するモデルの型式は路床のそれとほぼ同様であり，路床上面のひずみに代えて，アスファルト混合物層内部のひずみよって永久変形量を表現するという手法が採られていることが多い。

しかし，アスファルト混合物には粘弾性的な性質があり，温度と載荷速度の影響を考慮する必要がある。

ここでは，アスファルト混合物層の永久変形量を定量的に推定するための代表的な方法としてShellの方法を紹介するとともに，様々な観点で行われている研究事例において取り上げられている検討項目を整理して示す。

**5. 3. 1　Shellの方法**

Shellの設計マニュアル（1978）では，長時間載荷時におけるアスファルトとアスファルト混合物のスティフネスを式⑧のように関係付けている。

$$\log S_{mix,v} = \log b + q \log S_{bit,v} \qquad ⑧$$

ここに，

$S_{mix,v}$：わだち掘れが生じている状態での混合物のスティフネス

$S_{bit,v}$：アスファルトのスティフネスの粘性成分

$b$，$q$：アスファルト混合物毎に定められるパラメータ

アスファルトのスティフネス$S_{bit,v}$は式⑨より得られる。

$$S_{bit,v} = \frac{3\eta_0}{W_{eq} \cdot t_w} \qquad ⑨$$

ここに，

$t_w$：走行速度から得られる車輪の載荷時間

$W_{eq}$：交通データから得られる標準輪の走行回数

$\eta_0$：道路の供用期間中の舗装体平均温度におけるアスファルトの粘度

この式では，気候と交通量の両方の条件が考慮されており，混合物のスティフネスが決定できれば，アスファルト混合物層の永久変形量Δhは式⑩によって計算することができる。

$$\Delta h = k \cdot h \cdot \frac{\sigma_0}{S_{mix,v}} \qquad ⑩$$

ここに，

$h$：アスファルト混合物層の厚さ

$\sigma_0$：標準輪の接地圧

$k$：係数

なお，ShellのLijzenga（1999）は，オランダの試験トラックを使って促進載荷試験を実施し，改質アスファルトを使用したアスファルト混合物の永久変形特性についても調べている。

### 5. 3. 2　その他の研究事例における検討項目

その他の研究事例では，アスファルト混合物層の永久変形量を評価するために，それに影響を及ぼす因子として，促進載荷試験等を通じて以下のものについて検討している。

(1)　環境条件
- 気温および舗装体温度
- 降水量

(2)　材料条件
- Superpaveバインダ特性
- アスファルト混合物の施工時の品質（粒度，アスファルト量，締固め度等）
- アスファルト混合物の弾性と塑性特性
- アスファルト混合物のせん断抵抗性
- アスファルトの劣化と混合物のスティフネス変化

(3)　構造条件
- 層の厚さ
- アスファルト混合物層と路盤の界面の状態
- 路床の含水状態と各層の排水条件
- 舗装構造全体の健全性

(4)　交通条件
- 輪荷重と接地圧
- 車輪走行位置分布
- 休止期間

## 5. 4　アスファルト混合物における疲労ひび割れのモデル化

アスファルト混合物層の疲労は，一般的に層下面に生じる水平方向の引張ひずみと関連付けられる。これは，古典的な下面から表面に進行するひび割れに関する考え方であり，この方法で開発された疲労モデルは，一般にアスファルト混合物の疲労試験結果に基づいている。

一方，FWDのような非破壊試験により得られる路面のたわみ量で舗装構造のパフォーマンスを表現することもある。舗装構造が弱体化すれば，路面のたわみ量は増大することから舗装各層のスティフネス低下の指標となり得る。このスティフネス変化と交通量をモニタリングすれば，舗装の疲労ダメージを定量化するうえで重要な情報が得られる。

以下では，アスファルト混合物層に生じるひずみおよび散逸エネルギと疲労破壊回数を関係づけたFHWAの研究事例と，Molenaarらによる無次元化した疲労破壊規準式を紹介する。

### 5. 4. 1　アスファルト混合物層に生じるひずみおよび散逸エネルギによるモデル

SHRPの一環として，Tayebaliら（1994）は，FHWAの促進載荷装置ALFを用いて薄層のアスファルト舗装の疲労パフォーマンスを評価した。実物大の促進載荷試験とともに，現場から切り出したアスファルト混合物について室内における疲労試験を実施し，疲労寿命と初期単位散逸エネルギあるいは初期ひずみの関係が，それぞれ式⑪，⑫のように得られている。

$$N_f = 425.81 \cdot (w_0)^{-1.846} \qquad ⑪$$

$$N_f = 8{,}959 \cdot 10^{-8} \cdot (\varepsilon_0)^{-3.574} \qquad ⑫$$

ここに，

$N$：寿命

$\varepsilon_0$：初期の引張ひずみ（μ）

$W_0$：１サイクルあたりの初期散逸エネルギ（psi）

### 5. 4. 2　スティフネス比による無次元化モデル

Molenaarら（1999）は，載荷回数の増加につれてアスファルト混合物の弾性係数が減少する傾向は無次元化した式⑬によって説明できるとしている。当該式は，アスファルト混合物層のスティフネスが初期値から50%にまで減少したとき，舗装が破壊したという仮定に基づいている。ただし，現場への適用にあたっては，温度条件やアスファルト混合物層の硬化や圧密の影響を考慮する必要があり，単純にスティフネス比のみで疲労ダメージを表すことができるか否か，さらなる検討が必要であると思われる。

$$\frac{E_n}{E_0} = 1 - 0.5 \cdot \frac{n}{N} \qquad ⑬$$

ここに，

$n$：荷重の繰り返し載荷回数

$N$：弾性係数が初期値の0.5倍になった時点における載荷回数

$E_0$：ダメージを受けていないアスファルト混合物層の弾性係数

$E_n$：載荷回数nにおけるアスファルト混合物層の弾性係数

### 5.5　モデル化にあたっての留意事項

わだち掘れやひび割れといった路面性状の推移を交通量のみでモデル化すると，環境条件などが変化した場合には，当該モデルを利用できなくなるという問題が生じる。舗装のモデル化にあたっては，可能な限り，環境条件を材料特性等に反映させて説明因子として取り込むことが重要である。また，舗装の構造的な応答を考慮できるようにしておくと，より根本的なアプローチが可能となる。

促進載荷試験の結果からモデルを構築する際には，通常，２，３の限られた現場におけるデータを利用することが多く，データの信頼性の面で懸念が残る。そのような場合には，データの変動を考慮すべく，ニューラルネットワーク手法などを含む確率論に基づいたモデルを開発することが望ましいと考えられる。

## ６．補修・建設の合理化および補修計画

この章では，多くの舗装の補修設計に関連した問題に対してAPTを適用した文献調査結果を報告している。コンクリート舗装に関する文献も記載されているが，ここでは主にアスファルト舗装に関連した代表的なAPTを選定して概要を述べる。

### 6.1　補修設計について

APTの主要な目的の一つとして，多層から成る舗装構造物の複雑な性能を評価するためのツールとして役立たせることがある。このような舗装システムの数学的モデル化や解析は，複雑であるばかりでなく，時として不可能であり，このような場合，APTの活用は重要となる。補修計画は，現象学的研究や実践的アプローチにより最も分かり易く説明される。

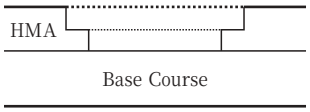
補修設計における必要不可欠な部分として，APTの成功適用事例の文書化された記録が数多くある。

事例研究に関する文献の抜粋は以下のようである。

### 6.2　文献調査結果

(1)　アスファルト舗装上のオーバーレイ

WesTrack（Epps 1999）でのAPTテストでは，早期に破壊してしまったテスト区間の補修が必要となった。ここでは，２つの手法が用いられた。１つは，舗装のわだちに対して，50～75㎜の深さで切削し，新しいHMAを舗設する手法であり，これは舗装の構造的能力を持続させるために有効であった。もう１つは，広範囲な疲労クラックを修繕するための手法であり，**図－12**に示すような，T型パッチは非常に効果的であった。




**図－12**　疲労クラック改善のためのT型パッチ

オーストラリアでのＡＲＲＢ－ＡＬＦテストは，Austroads Pavement Design Guideに含まれる補修方法を評価するために用いられ，またオーストラリア（Sharp 1999）で使用されているアスファルト材料に関する設計入力値を確認するために用いられている。APTテストはフィールド条件下で，改質アスファルトを含む異なる種別の材料性能や利点を評価するための手段となる。改質アスファルトを使用した舗装のAPT試験は，オーバーレイにおいて改質アスファルトの使用が重要な性能の改善をもたらし，通常のアスファルトを用いた場合に比較して２倍の寿命がもたらされることを示した。これは，材料の追加コストより遙かに価値があった。この研究では，オーバーレイの設計のために使用されるAustroadsベンケルマンビームのたわみ量－温度補正曲線がFWDのたわみ量に適用できないことも示した。この結果は，ポリマー改質アスファルトに対して訂正が必要であることを示した。

ARRB－ALF APTテストは，深く切削し，現位置まで戻すリサイクルを含む補修計画を評価するために用いられた（Sharp 1999）。比較的低強度と高強度の路盤上にスラグ／石灰の結合材を用いた厚層打換えによる再生舗装の性能を確立し，これらの舗装の疲労メカニズムをより理解するために研究が行われた。性能が安定処理の深さ（250，300，360㎜）に依存するかどうか，そして400㎜厚の路盤の性能と比較を行うために研究が行われた。研究結果により，この種のリサイクル舗装が軽交通の地方幹線道路に適していることが提起された。さらに，転圧技術で300㎜以下の材料の締固め度を増加させることができるなら，かなりの性能の増加が期待されることを示した。

Vander Merwe（1992）は，南アフリカでアスファルト処理基層（BTB）の補修設計を評価するためのHVSテストを報告している。元の舗装は，自然の砂利

基層上に２層から成る160㎜のBTBで構成されていた。この舗装上に80㎜厚のセミギャップアスファルトがオーバーレイされた。オーバーレイの性能に関して経年劣化の影響が調査された。劣化した舗装と劣化していない舗装のHVS性能の比較は，劣化したアスファルトのテスト区間に関して，わだち掘れは改善されたが疲労性能は劣ることを示した。

⑵　建設と維持の問題

Epps（1999）は，ネバダのWesTrack研究の主目的が仕様に関連した性能の改善であったと報告した。主要な事項として，建設物の品質に関連したペナルティやボーナスの確立があった。ここでは，規格外れの建設物が，早期にコストを伴う補修が必要になるという仮定を概説している。一方，品質の良い建設物は補修が先延ばしにでき，建設物の品質に関連した支払い要因のレベル設定に関する合理的な基準が必要であることを提案した。施工上の変数として，アスファルト量，空隙率，アスファルト層厚，骨材粒度の影響が挙げられた。

モンテカルロシミュレーションは，APTの結果を基にした疲労とわだち性能モデルに関する施工上の変数の影響を評価するために用いられた。このシミュレーションより，規格から外れた建設物の推定と支払い要因の計算が可能になった。

Vuong（1996）は，ARRB－ALF調査が，オーストラリアでセメント安定処理された舗装において大きな変動があったことを述べている。彼らは，クイーンズランドのBeerburumで行われたALFテストが，安定処理あるいは粒状路盤の設計や施工の技術の確立に貢献したと報告し，適切な転圧の重要性が強調された。砕石舗装の品質に関して，これらの材料は低レベルの転圧では，水によるダメージに敏感であるため，転圧が重要であるとしている。このため，最適な転圧と材料の飽和度の管理が必要となる。粒状路盤に対して，設計と補修計画は，短期間の厳しい環境や舗装性能に関する荷重条件の影響をできるだけ考慮しなければならないと報告している。

⑶　ステージコンストラクション

ステージコンストラクションは，舗装設計の経済的な手法であるが，長期資金の有用性に関連したリスクがある。Freeme（1984）は，南アフリカSwinburneの現場において，ステージコンストラクション計画の二段階目のタイミングを決定する情報を得るためのSA－HVSの利用について報告した。建設計画の第一段階は150㎜の安定処理基層と薄層アスファルト層の２層からなっていた。APTの結果は，基層上部の深刻な劣化が発生する前に建設の第二段階を実行する必要性を示した。

AutretとGramsammer（1990，1995）は，フランスでのLCPCが，破損した舗装へ80㎜のオーバーレイ補修の適用が，40㎜の層の適用からなる異なった補修計画を行い，それから第二層目を最初の破壊が起きたときに同じ厚さを適用する補修計画と等しいことを示した。

⑷　施工性

施工性は，APTプログラムで取り組まれた問題である。これは，施工性に関する要因が性能に影響を及ぼすからである。アスファルト混合物に対するこのような要因の例として，粒径や形状，アスファルト量，そして転圧に関連した内容が挙げられる。この問題に関連した文献の概要をここで紹介する。

GalalとWhite（1999）は，施工性について論じており，アスファルト混合物の密度がわだち掘れ性能に影響を及ぼし，この密度に影響を与える配合を発見した。転圧が施工性に影響を及ぼすため，施工性により影響される性能を推測した。当然の結果として，施工性の向上は，性能の向上になる。これより，舗装の設計と建設における要因として施工性を強調しなければならないことが説明される。

最近10年，南アフリカにおいて多くの革新的な材料が導入され，これらの材料のさらなる発展や設計，評価の手段としてHVSテストが利用された。促進試験における発見と結果は，これらの材料の施工性の改善や設計基準の標準化に向けて実行された。これらの材料には，乳剤安定処理路盤材（GEMs）や基層用の大粒径混合物（LAMBs）が含まれている。

De BeerとGrobler（1993）は，GEMsに関する構造設計基準の改善に向けたHVSテストについて報告している。このHVSテストは，疲労破壊や破断に関連したGEMsの構造的能力の決定に焦点を当てている。HVSテストのため，乳剤含有量が１～５％の範囲のGEMsを用いた５つのセクションが建設された。各セクションにおいて，セメント処理路盤上に150㎜厚のGEMs層が舗設された。De BeerとGroblerは，石灰を混合したGEMsが曲げ強度や剛性を増加させると報告した。最も高い強度増加率は，舗設後３，４ヶ月に観察された。間接引張強度は，約300kPaから900kPaへ増加した。乳剤含有量３％のセクションのレジリエントモデュラスは，初期値約800MPaから，HVSテストを適

用する前の舗設10ヶ月後に3000MPaまで増加した。GEMsセクションのHVSテストは，乳剤含有量２％では，少なくとも1,000万ESALsの設計交通レベルを確保する必要があることを示した。最適乳剤含有量は，最終的に，補助的な室内試験を基に推奨された。この研究の結果，GEMsの建設に関して設計図が規定され，異なる交通量と道路分類に対してGEMs舗装の一覧表が作成された。

Emery（1995）は，LAMBsを含む舗装の性能評価のため，３つの試験セクションを南アフリカのProvince of KwaZula－Natalで建設し，HVSによる促進試験による評価が行われたことについて報告した。連続粒度のLAMBsにおけるHVSテストから得られた結果を基に，これらの混合物は，路盤内の変位に関連した破壊が発生しないように標準80kNの軸重で5,000万回以上の交通に耐えなければならないことが示された。Kwazulu－Natalにおいて，これらの大粒径混合物の設計と施工における教訓により，広範囲にわたり使用が導入された。LAMBsでの経験がSabita manual（SABITA 1993）に収集され発表された。

### 6.3　まとめ

構造設計は，一般的に固定した位置でテストされるが一方，補修設計は通常，現場において評価される。構造設計において固定位置で破壊をテストし，その後オーバーレイをし，再テストされるケースもある。構造設計と補修設計の両方を評価するために適用されたAPT研究の文献調査により，適用された手法がそれほど異ならないことが示された。

文献調査は，APTが建設仕様書の確立に貢献していることを示した。しかし，建設許容限度やテストの信頼性のような話題は，世界的に注目を受けなかった。同様に，品質管理や保証の効果も特に調査されてこなかった。これらへのAPTの適用は，建設や補修に対する仕様に関連した性能を改良することができた。

## ７．舗装工学への適用と問題点

本章では，促進載荷試験結果を舗装工学へ活用する場合の問題点および特殊な箇所への適用事例が報告されている。

促進載荷試験結果を舗装工学へ活用する場合の問題点としては，

・促進載荷試験結果と道路の供用性能との関係
・破壊規準（わだち掘れ，ひび割れ）
・促進載荷試験結果と舗装の長期供用性（LTPP）に関する研究成果との関係

特殊な箇所への促進載荷試験機の適用事例として，

・ブロック舗装および空港舗装への適用

が報告されている。

ここでは，興味深いと思われる促進載荷試験結果と道路の供用性能との関係および促進載荷試験結果と舗装の長期供用性（以下，LTPPとする）に関する研究成果との関係について，その概要を紹介する。なお，破壊規準や特殊な箇所への適用事例の詳細については，NCHRP325や第１回舗装促進載荷試験に関する国際会議の論文等を参照されたい。

### 7.1　促進載荷試験結果と道路の供用性能との関係

Metcalfは，促進載荷試験の結果と供用中の道路の挙動が異なることについて，以下の２つの要因を挙げている。

・環境の影響，特に，長期の供用にともなう劣化を促進載荷試験機で再現することが困難である。
・供用中の舗装が受けるような複雑な荷重は，促進載荷試験機では再現することができない。

促進載荷試験により得られた結果を有効に活用するには，これらの２つの要因を考慮しなければならない。このような問題点に対して，本文では，促進載荷試験機を所有するいくつかの機関における促進載荷試験結果の活用事例について，その概要を紹介している。

(1)　LCPCにおける活用事例

LCPCで所有している，「carousel」と呼ばれる円形試験路型の促進載荷試験機による供用性能と，室内試験による理論上の供用性能と実道における供用性能に相関性があることが明らかになっている。３者間の相関性を用いることで新素材の性能の評価が可能であり，新素材を用いた構造設計手法の確立に活用されている。

この相関性を算出する手順は以下のとおりである。

①実際の舗装に使用する材料で疲労試験を行い，その結果をもとに理論設計法により，舗装のたわみを算出する。
②計算された舗装のたわみをもとに得られた理論上の供用性と実道の供用性から「調整係数」を求める。
③理論上の供用性と「carousel」により得られた供用性を用いて「対応率Kc（式⑭）」を算出する。

$$K_c = \varepsilon_{cal}/\varepsilon_{\sigma}(\theta, f) \cdot (NE/10^{\sigma})^{b} \cdot 10^{-ub\delta} K_s \qquad ⑭$$

ここで，

NE：疲労破壊輪数

$\varepsilon_{cal}$：同一舗装構造モデルで算出されるひずみ

$\varepsilon_{\sigma}(\theta, f)$：室内疲労試験（温度θ，頻度f，サイクル100万回）で得られる限界ひずみ

b：材料の疲労曲線の勾配

δ：舗装厚と疲労試験結果に基づく標準偏差

u：一般法則を考慮したリスクに関する変動係数

$K_s$：地盤の均質性に関する校正関数

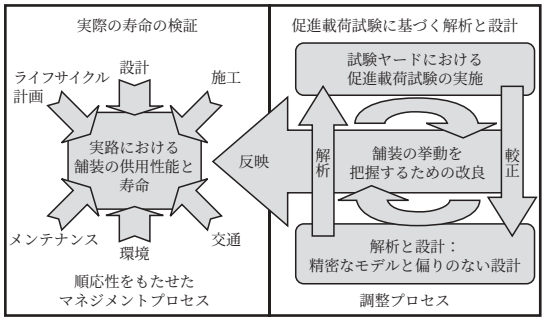
④「調整係数」と「対応率」をもとに，室内試験，「carousel」および実道それぞれの供用性能の相関関係が得られる。

このような手順で得られた相関関係をもとに実路における舗装についての長期供用性を評価している。

また，オーストリアの研究機関であるARRBやLIN-TRACKを所有するオランダのDelft工科大学においても同様に，APTで得られた供用性能と実道における供用性能を関連付け，活用している。

⑵　南アフリカでの活用事例

南アフリカにおけるHVSの活用手法を**図－13**に示す。同国ではHVSで確認された舗装の挙動を実際の舗装における供用性能と関連付ける試みは行われていない。APTによる精密な舗装応答と供用性能の研究から得られた知識を反映させて実用的な舗装設計法を開発するというのが基本的な活用方法である。




**図－13**　南アフリカにおける促進載荷試験結果の活用手法の概要

### 7.2　舗装促進載荷試験とLTPPに関する研究の関係

前述のように直接的または間接的な促進試験による舗装の供用性能に関する詳細なデータが各機関のAPTプログラムを通じて測定されている。

APTとLTPPに関する研究は多くの点で目標を共有しており，以下のような分野に舗装工学の知識を組み込むことを試みている。

・材料試験に関連した室内における供用性能の検証
・疲労と供用性能の観点から供用中の高速道路と室内，ATP，LTTPの研究成果との融合
・舗装の損傷に関連した施工
・正当なプロジェクトリスクの数量化
・維持工法の有効性
・車両－舗装－環境の相互作用
・供用性予測手法の改良による長期供用性を有するたわみ性舗装の開発

オーストラリアでは，APTとLTPPに関する問題に対処することを目的に，Austroadsが出資したプロジェクトが設立されている。このプロジェクトは，SHRPプログラムに直接関係している機会を有効活用することも設立目的の一つであった。すなわち，アメリカのSHRP-LTPP研究への無料のプロジェクトとしてのオーストラリアの試験区間の供用性能のモニタリングを行うことであった。このプロジェクトの目的はLTPPのための供用性予測モデルを改善することにあった。

AustroadsのLTPP研究に関する全体目標は以下のとおりである。

・舗装構造（SHRP-LTPPプログラム）の挙動に関して改善された知見に基づく舗装の供用性能の改良モデルの使用による資産管理戦略の強化。
・促進舗装検試験の結果と実際の道路舗装の供用性能（ALF-LTPPプログラムによる）の比較。

オーストラリアでは，19箇所の試験区間を設け，５年間継続的にモニタリングしている。試験区間の中にはALFによる試験と同時進行しているものもある。

アメリカのAPTプログラムの拡大によって，高速道路における供用性能，LTPPの公式プログラムおよび促進載荷試験結果に関するより詳しい相関性が得られた。

これにより，LTPPの公式なモニタリングとAPTプログラムを合わせた実道の舗装の供用性能に関する結果の相互利用が舗装の供用性能とその予測についての理解が深まったことを証明した。さらに，このことで経費節減が可能となり，建設と修繕を実行することの強化に繋がった。また，結果として，供用性予測においてリスクを減らした。これらの知見は保証プロジェクトの中で使われていて，舗装マネジメントの改良において価値を有することが判明した。

### 7.3　まとめ

促進載荷試験結果は，以下の事項に活用されている。

・設計手順の確認と改良
・供用性能に関する舗装構造比較
・材料性能の評価

・舗装の供用性能予測
・施工方法の評価と改良
・維持および修繕方法の評価

APTにより舗装工学に関する基礎データが収集され，それらの基礎データが多く活用されている。しかし，更なる活用を図るためには，APTにより得られたデータを舗装工学上の設計および建設システムに体系的に組み込んで行かなければならないといった課題がある。

舗装工学の各分野において行うべき研究は多くあり，例えば，以下の事項が実施されるべきである。

・通常の舗装と同様な交通を受けることが可能なAPTにより得られたデータにより将来的な供用性の予測を行うための試験方法の形式化。
・促進載荷試験結果において，環境への影響を数量化させるための改良。これは，舗装の供用性能についての認識を改善することだけでなく，APTの信頼性を有効にするためにも必要である。
・試験結果の再現性と関連した信頼性の限界を確立することが必要である。

## 8．促進載荷試験結果による舗装の経済性・マネジメントの改善

８章は，APTプログラムによる経済効果，マネジメントシステムの改善の他に，アンケート調査の結果，APT関連の技術開発，APTの国際的な傾向なども述べられている。今回はその中でも，前者の２項目の特に注目すべき報告について紹介する。

### 8.1　はじめに

この章は，APTプログラムの核心について述べられている。APTの経済的側面への見識を提供する十分な情報として発表されてきたもののなかには，利用可能でない情報が含まれているものもある。今日までに蓄積されたそれらの情報は，マネジメントを改善するために提供され，それによって危険要因を減らすと同時に，APTシステムのマネジメントの基礎として役立てるべきである。そして，それらは近年開始されたいくつかの特徴的なプログラムにより提供されている。

### 8.2　APTによる舗装の経済的利益の例

NCHRP Synthesis of Highway Practice 235においては，APTプログラムの有効性と費用対効果について概要を報告されており，今回は補足として最近報告された調査結果等を記載した。

ネバダ州のWesTrackによる調査では舗装の機能的なパフォーマンスに関する貴重な情報を提供した。車両／舗装の相互作用に関するデータの解析から路面の粗さがトラックの維持管理コストに影響を与えることが分かった。これは修繕後に，弾性破壊が劇的に減少することより証明された。（Sime & Ashmore 2000）

BrownとPowell（2001）はNCATにおける実験から類似の調査結果を報告した。初期のデータから燃料消費率が直接舗装表面の平均の粗さの変化と関係があることを発見した。最初のESAL500万軸で，平均のIRI（国際ラフネス指数）はおよそ1.08から1.18まで増加した。1.18に増加する前に，最初の５カ月間に1.02にIRIが減少したことが重要である。同じ時間枠で，燃料消費が２％より多少増加した。

Harveyら（2000）は包括的なCAL／APTプログラムの調査結果から，たわみ性舗装技術の次の３つの変更による経済的利益に関して報告した。

①アスファルト混合物の締固め密度の増加
②タックコートの使用による，アスファルト混合物層間の接着を改善することの必要性
③厚い路盤層を含むアスファルト舗装

これらの新しい舗装技術の使用によりフルコストモデルが開発され，カリフォルニア州運輸局に直接工事費節約を計算するために使用された。分析の基礎は，舗装寿命の増加と，必要な維持管理および修繕期間の関係であった。オーバーレイの期間の15％の増加が２車線㎞毎に6,933ドルの節約をもたらす。この節約を道路システムに適用するにより，州全体で５千６百万ドル以上の節約の可能性があるとした。

直接の建設費の節約のほかに，ユーザーコストの節約と安全コスト節約が実現可能である。それには，維持管理と修繕の実施をより少なくするために，通行止めをともなう工事を減らし，道路容量を縮小することが必要とされるであろう。

### 8.3　舗装マネジメントシステムの手順の向上

舗装の性能はPMS（舗装マネジメントシステム）の主要な要素である。そのため舗装の性能に影響を与える要因に対するより深い理解が，PMSの改善つながるものと考えられる。

Rustら（1997）がHVSプログラムから得られた南アフリカのPMSの精度向上の典型的な例を報告した。HVSによる薄い表層にひび割れが発生している舗装への促進載荷試験結果から，舗装がたわみ量の増加により重大な破壊を起こす前に，水の浸入により舗装の劣化を引き起こすあろうことを示した。

水が舗装のパフォーマンスに深い影響を与えたことは第３章で述べた。舗装のパフォーマンスに対する締め固めのような要因と水の影響をより深く理解することは，オーストラリアの研究によって明白な経済的利益を持つ理にかなったアプローチであることが分かった。

Vuongら（1996）は，高品質の砕石を使用した舗装が水分の減少により際立った締め固め効果を得られたことから，飽和度の重要性を見い出した。塑性の小さい粒状材では，飽和度は最適含水比より良い指標であると考えられる。短期間のALF載荷条件の下で，２％のアスファルトと２％のセメントを使った安定処理は，砂岩や高品質の砕石による置き換えよりも効果的であることが判明した。Winton砂岩の使用による舗装厚さの減少は，15%の全体のプロジェクトコストの節約につながることが分かった。

### 8. 4　APT関連データベースの開発と技術移転

APTプログラムは世界的にデータを公開されている。例えばTBRにおけるA2B09プログラムの情報はhttp://www.nas.edu/trb/publicationsで利用可能である。また，各APTプログラムのウェブサイトのリストを付録の表（表－１，原文ではAPPENDIX B）に掲載した。

### 8. 5　まとめ

以下の項目が，種々のプログラムの調査結果を確認し，実行するために使用されていると結論付けている。

⑴　舗装の経済性に関しては，①知識の拡張，②層の設計と施工，③供用寿命の延長，④利益コスト比率の増加が必要である。

⑵　仕様に関しては，①各層の材料の選択，②現実的な許容差の設定，③各層の形状と施工の検討が必要である。

⑶　QC / QA（Quality Control/Quality Assurance，品質管理と保証）システムを活用する。

⑷　①非順応性，②限界／リスク，③可変性などを反映しているペイファクターを確立させる。

⑸　舗装の挙動とパフォーマンスに影響を及ぼすメカニズムを確認する方法を研究する。

⑹　供用性予測の方法を改善する。

## ９．おわりに

APTが研究対象とする範囲は非常に広いが，多くは舗装の供用性向上と経済的な設計に役立つとして結論づけている。

APTは交通量に対する供用性の基礎データを提供できるが，今後環境の効果を測定できるシステムが必要であろう。APTはPMSと供用中の舗装の評価を補う。APTによりPMS評価と供用中の舗装との差異が説明できるようになれば舗装工学は一気に進歩し，超長寿命舗装が開発されるようになるだろう。近年アメリカではAPTの新規稼働が増加しており，ヨーロッパにおけるCOST347の終了により，アメリカにおける研究が加速するだろう。

現在APTの研究は発注者と民間の共同研究へと移行しているが，このことが情報へのアクセスを必ずしも制限するものではなく，インターネットにより劇的な変化が起こりつつあり，世界の研究がリンクされデータと情報の交換が盛んになってきている。

## あとがき

実物大促進載荷試験は舗装に短期間に輪荷重を与えることができるため，新材料の評価や舗装の性能指標の一つである疲労破壊輪数を証明する方法となりうる。

わが国では理論的設計法によって構造設計を行う場合、わだち掘れとひび割れに関する疲労破壊規準式として米国アスファルト協会の提案式（AI式）を援用することが多い。しかし，一般にモデル式は対象となる地域における気候や地理，交通などの条件を踏まえて開発されており，それらの前提条件が異なる地域への適用は慎重に行うべきである。我が国独自のモデルを開発するのが最善であるが，少なくともAI式等を我が国へ適用することの妥当性については早急に検証する必要があろう。さらに、舗装ストックの増大に伴い，新設から維持の時代に大きくシフトしつつあることを勘案し，今後は維持修繕に適したモデル化の検討も重要な課題であると考える。

我が国を含め世界では多くの促進載荷試験機が稼働中であり研究も盛んである。促進載荷試験は，短期間に必要データを収集し構造・補修設計ガイドラインを確認・改良するための手段となりうる。また，促進載荷試験結果を用いた舗装の設計・補修の効果の経済的な評価も行われており，我が国の道路建設においても、今後このような設計から経済効果まで一環した研究開発の発展が望まれる。

最後に，本文が実物大促進載荷試験の情報検索のための入り口となれば幸いである。

# 舗装関連の機関から インターネットに発信されている情報について

岩永真和* 大場拓也** 加納孝志***
千原正規**** 塚越智浩***** 林信也******
増山幸衛******* 森嶋洋幸********

## 1．はじめに

十数年前までは，海外の舗装技術に関する情報収集は容易ではなく，入手した場合でも全てが紙媒体であり，その中から必要な情報を抽出するのは困難な状況であった。しかし，「インターネット」の急速な普及によりその状況は一変し，誰もが簡単に技術情報を収集できるようになっている。

インターネットは，1969年に米国で国防用のコンピュータネットワークとして開発された。その後，急速に普及が進み，2004年の世界でのインターネット契約数は８億6,300万回線に達している[1)]。わが国でも，その利用者数は急増し，2004年末での人口普及率は66.8%に達し[2)]，インターネット上から得られる情報量を示すJPドメインのファイル数は，1998年から2004年の６年間で15倍以上に増加している[3)]。また，インターネット上の検索システムの高性能化により，必要な情報を比較的容易に抽出することが可能となってきている。

このように，インターネットは近年，情報ソースとしての利用価値を急速に高めており，広報や調達ばかりでなく，調査研究においても重要な媒体となっている。このことから，アスファルト舗装研究グループでは，特に海外の「舗装」に関連する機関のホームページ（以下，HP）から，有用な情報をより容易に取得する方法について検討してきた。本文では，海外機関を分類整理し，それら機関のHPの調査概要を示すとともに，その活用方法について検討した結果を紹介する。

## 2．調査目的および整理方法

海外の機関の情報を利用しようとする場合，言語の問題や機関の役割等をよく知らないために，調査すべき機関や得られそうな情報がわからずに躊躇してしまうことがあると考えた。そこで，海外のHPへの“垣根”を低くし情報を入手しやすくするために，海外の舗装関連の機関を組織の種類や役割ごとに整理しリンク集として示すことを試みた。

具体的には，（独）土木研究所のHP[4)]に記載されている研究機関を中心に，各組織を「組織の性格」ごとに分類し，「機関名，HPアドレス」，「主催する会議，現在の主な研究内容」，「ダウンロード可能な情報」などの項目を付加して一覧表に取りまとめた。取りまとめ結果の一覧を次ページ以降に示す。

## 3．おわりに

今回取りまとめた一覧表については，情報の質・量ともに十分でなく「試作版」ととらえているが，アスファルト協会のHP上で公開し“試用”して頂くこととした。これは，利用者の方々から使い勝手や付加すべき最新の情報など様々な意見を頂き改良を加えることで，一覧表をより有益なものにしたいとの考えからである。またこのリンク集は，HPという即時性等の機動力を活かし，形式や収録情報を適宜更新してゆく予定である。多くの方から忌憚の無い意見や有益な情報が寄せられることを期待している。

* いわなが　まさかず　鹿島道路㈱技術研究所
** おおば　たくや　東亜道路工業㈱技術研究所
*** かのう　たかし　独立行政法人土木研究所舗装チーム
**** ちはら　まさのり　日本道路㈱技術研究所
***** つかこし　ともひろ　常盤工業㈱技術研究所
****** はやし　しんや　鹿島道路㈱技術研究所
******* ますやま　ゆきえい　世紀東急工業㈱技術研究所
******** もりしま　ひろゆき　前田道路㈱技術研究所

| No. | 組織の性格 | | | 日本語訳 | 機関名 | 略　記 | URL | 主催する会議等 | 主な研究内容など（調査時期：2006年12月） | 取得可能な情報 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 性格 | 対象エリア | 地域 | | | | | | | |
| 1 | 大学 | ― | アメリカ | ― | The Institute for Safe, Quiet, and Durable Highways | SQDH | http://widget.ecn.purdue.edu/~sqdh/ | | ・交通ネットワーク<br>・音に関する研究等 | ・論文（Full Paper）<br>・論文（概要）<br>・年次報告 |
| 2 | | | | カリフォルニア大学バークレー校舗装研究センター | University of California, Berkeley Pavement Research Center | UCPRC | http://www.its.berkeley.edu/pavementresearch/ | | 交通計画、物流、交通オペレーション、社会基盤管理など | ・各研究テーマの概要<br>・論文等の検索 |
| 3 | | | | ミネソタ大学舗装研究所 | The Pavement Research Institute at the University of Minnesota | PRI | http://www.pri.umn.edu/ | | ・低温クラック，地中レーダーによる舗装評価 | ・各研究テーマの概要<br>・舗装関係研究機関へのリンク（産官学） |
| 4 | | | イギリス | ノッティンガム大学運輸工学センター | Nottingham Transportation Engineering Centre | NTEC | http://www.nottingham.ac.uk/~evzncpe/frameindex.htm | | ・アスファルト混合物の永久変形<br>・アスファルト舗装の疲労クラック解析<br>・鉄道関連 | ・各研究テーマの概要<br>・舗装関係研究機関へのリンク（産官学） |
| 5 | 学会 | ― | アメリカ | アメリカ土木学会 | American Society of Civil Engineers | ASCE | http://www.asce.org/asce.cfm | | | ・論文（Full Paper）（会員のみ）<br>・論文（概要）<br>・論文等の検索<br>・協会誌・機関誌など（会員のみ） |
| 6 | | | | カナダ土木学会 | Canadian Society for Civil Engineering | CSCE | http://www.csce.ca/ | | | ・年次報告 |
| 7 | | | イギリス | イギリス土木学会 | The Institution of Civil Engineers | ICE | http://www.ice.org.uk/homepage/index.asp | | | |
| 8 | | | フランス | フランス科学・技術者会議 | Conseil National des Ingenieurs et des Scientifiques de France | CNISF | http://www.cnisf.org/ | | | |
| 9 | | | 中国 | 中国土木工程学会 | China Civil Engineering Society | CCES | http://www.civil-engrg.com/index.php | | | |
| 10 | | | 韓国 | 大韓土木学会 | Korean Society o f Civil Engineers | KSCE | http://www.ksce.or.kr/new_eng/ | | | |
| 11 | 協会 | 地域 | 欧州 | 欧州道路交通研究所会議※ | the Forum of European National Highway Research Laboratories | FEHRL | http://www.fehrl.org/ | | 交通輸送騒音緩和のための欧州共同プロジェクト（CALM「 ）<br>http://www.calm-network.com/ | ・論文（Full Paper）<br>・論文（概要）<br>・論文等の検索<br>・協会誌・機関誌など<br>・パンフレット |

| No. | 組織の性格 | | | 日本語訳 | 機関名 | 略　記 | URL | 主催する会議等 | 主な研究内容など（調査時期：2006年12月） | 取得可能な情報 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 性格 | 対象エリア | 地域 | | | | | | | |
| 12 | 協会 | 地域 | アジアオセアニア | アジア・オーストラレイシア道路技術会議 | Road Engineering Association of Asia and Australasia | REAAA | http://www.reaaa.com/ | ・REAAA（２～４年ごと） | | |
| 13 | | 国 | アメリカ | 交通運輸研究会議 | Transportation Research Board | TRB | http://gulliver.trb.org/ | 年次総会 | LTPP，SHRPⅡなど | ・論文（Full Paper）<br>・協会誌・機関誌など（会員のみ）<br>・活動計画など |
| 14 | | | | アセットマネジメントウェブサイト※（AASHTOの小委員会運営のWebSite） | Transportation Asset Management Today | TAMT | http://assetmanagement.transportation.org | ・アセットマネジメント全国会議 | ・アセットマネジメント | ・アセットマネジメント関連（他機関の情報含む） |
| 15 | | | | 全米高速道路利用者連盟 | American Highway Users Alliance | AHUA | http://www.highways.org/ | | 市街地の緊急避難能力の評価等 | ・論文（Full Paper）<br>・論文（概要） |
| 16 | | | | アメリカ州道路輸送行政官協会 | American Association of State Highway and Transportation Officials | AASHTO | http://www.transportation.org/ | ・AASHTO年次会議<br>・各専門会議 | | ・協会誌・機関誌など（有償）<br>・発刊済の書籍（有償） |
| 17 | 公的機関 | 地域 | 欧州 | EU輸送委員会道路輸送部門※ | Road Transport：EUROPA | | http://ec.europa.eu/transport/road/index_en.htm | | | ・EUにおける道路輸送政策に関する最新情報 |
| 18 | | | | EU輸送委員会輸送研究情報センター※ | Transport Research Knowledge Centre:EUROPA | TRKC | http://ec.europa.eu/transport/extra/web/index.cfm | | | ・欧州における輸送政策および研究プロジェクトの検索 |
| 19 | | 国 | アメリカ | 連邦道路局 | U.S.Department of Transportation | U.S.DOT | http://www.dot.gov/ | | 高度道路交通システム（ITS），水素自動車 | |
| 20 | | | | 国立運輸研究グループ※ | A National Transportation Research Group | TRIP | http://www.tripnet.org/ | | 各州の幹線道路が住民に与える便益について | ・協会誌・機関誌など（紹介のみ）<br>・各州の道路統計など |
| 21 | | | | アメリカ連邦道路庁 | Federal Highway Administration | FHWA | http://www.fhwa.dot.gov/ | ・ハイウェイ材料工学講習会<br>・舗装管理に関する国家会議 | 舗装材料の品質保証／品質管理手順と仕様の開発，舗装のパフォーマンスとライフサイクルコストの最適化，長寿命舗装（LTPP） | ・論文（Full Paper）<br>・論文（概要）<br>・仕様書（Full Paper）<br>・舗装ソフトウェア |
| 22 | | | | ターナーフェアバンクハイウェイ研究センター※ | Turner-Fairbank Highway Research Center | TFHRC | http://www.tfhrc.gov/ | | 路面マネジメント，LCC，舗装材料，ITS，リサイクル，ドライバーパフォーマンスなど | ・論文（Full Paper）<br>・論文等の検索<br>・協会誌・機関誌など（月刊Focus） |

| No. | 組織の性格 | | | 日本語訳 | 機関名 | 略　記 | URL | 主催する会議等 | 主な研究内容など（調査時期：2006年12月） | 取得可能な情報 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 性格 | 対象エリア | 地域 | | | | | | | |
| 23 | 公的機関 | 国 | アメリカ | アメリカ陸軍技術者 | U.S. Army Corps of Engineers | USACE | http://www.usace.army.mil/ | | マネジメント、解析、材料、施工など | ・News Releases<br>・各種指針類 |
| 24 | | | イギリス | 交通運輸研究所 | Transport Research Laboratory | TRL | http://www.trl.co.uk/ | 国際会議 | 低騒音・低振動等 | ・報告書（一部無料）<br>・TRL News |
| 25 | | | | イギリス交通省※ | Department for Transport | DfT | http://www.dft.gov.uk/ | | | ・研究概要<br>・統計資料 |
| 26 | | | | イギリス道路庁※ | Highways Agency | HA | http://www.highways.gov.uk/ | | 低騒音、路面標示と事故、LCC最小化のための路面管理閾値、FWD、プレキャストコンクリートパネルブリッジデッキ、薄層As舗装、長寿命化舗装、鋼繊維補強コンクリートなど | ・論文（概要）<br>・工事・交通情報<br>・研究概要 |
| 27 | | | | レスターシア州協議会※ | Leicestershire County Council | LCC | http://www.leics.gov.uk/ | | | ・道路交通情報<br>・統計資料など |
| 28 | | | フランス | フランス橋梁・道路中央研究所 | Laboratoire Central des Ponts et Chauss | LCPC | http://www.lcpc.fr/en/home.dml | ・シンポジウムの開催<br>・国際会議の後援 | ・再生アスファルト，寒地研究など | ・研究概要<br>・研究結果（概要）<br>・会議発表資料 |
| 29 | | | スウェーデン | スウェーデン道路管理局※ | Swedish Road Administration | SRA | http://www.vv.se/templates/page3____954.aspx | | 舗装メンテナンスのコンピュータ設計，乗り心地に関する調査 | ・論文（Full Paper）<br>・研究概要 |
| 30 | | | | スウェーデン国立道路・交通研究所※ | The Swedish National Road and Transport Research Institute | VIT | http://www.vti.se/ | 路上の安全に関する国際会議 | 促進載荷試験、ITS | ・報告書<br>・研究概要 |
| 31 | | | デンマーク | デンマーク道路管理局※ | Danish Road Directorate（Vejdiretoratet） | DRD | http://www.vejdirektoratet.dk/roaddirectorate.asp?page=dept&objno=1024 | ・FEHRL道路研究会議 | | ・各種統計資料 |
| 32 | | | | デンマーク道路研究所 | Danish Road Institute | DRI | http://www.vejdirektoratet.dk/dokument.asp?page=document&objno=76888 | | 長寿命舗装，低騒音舗装，リサイクル，アセットマネージメント | ・論文（概要）<br>・研究概要<br>・技術図書 |
| 33 | | | オランダ | オランダ交通省，公共事業と水理研究所 | The Ministry of Transport, Public Works and Water Management | PWWM | http://www.verkeerenwaterstaat.nl/english/ | | ・交通環境，利用者便益等の政策的調査及び研究 | ・調査概要 |

| No. | 組織の性格 | | | 日本語訳 | 機関名 | 略　記 | URL | 主催する会議等 | 主な研究内容など（調査時期：2006年12月） | 取得可能な情報 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 性格 | 対象エリア | 地域 | | | | | | | |
| 34 | 公的機関 | 国 | オランダ | オランダ　社会基盤，交通，輸送，公共施設に関する研究機関 | The national information and technology platform for infrastructure, traffic, transport and public space | CROW | http://www.crow.nl/engels/_t0_p0_m7_i3921.htm | ・シンポジウムの開催<br>・国際会議の後援 | ・長寿命舗装，施工短縮技術，交通体系における輸送システムの構築<br>・アセットマネージメント<br>・乗り心地，すべり測定機器の運用，検定施設<br>・FWDのユーロ較正施設の運用，検定機関 | ・シンポジウム論文（概要）<br>・研究概要<br>・技術図書 |
| 35 | | | ベルギー | ベルギー道路研究所 | Belgian Road Research Centre | BRRC | http://www.brrc.be/ | | ・アスファルトのリサイクル<br>・施工技術の改良<br>・Nox抑制舗装などの環境舗装 | ・研究概要<br>・統計資料 |
| 35 | | | ノルウェー | ノルウェー道路庁※ | Norwegian Public Roads Administration（Statens vegvesen） | NPRA | http://www.vegvesen.no | | 環境舗装（低騒音、低粉塵），Ottaシール（表面処理） | ・「Ottaシール」に関する資料 |
| 62 | | | スイス | スイス連邦材料試験研究所 | Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research | EMPA | http://www.empa.ch/plugin/template/empa/3/*/---/l=2/changeLang=true/lartid=/orga=/type=/theme=/bestellbar=/new_abt=/uacc= | | ・道路舗装用材料全般（加熱，常温再生技術，評価試験法の開発など） | |
| 36 | | | フィンランド | フィンランド道路管理局※ | Finnish Road Administration | Finnra | http://www.tiehallinto.fi/servlet/page?_pageid=68&_dad=julia&_schema=PORTAL30&kieli=en&_pageid=68 | | ・道路管理（2006-2009研究開発プログラム）（2006-2011研究開発ガイド） | ・論文（Full Paper）<br>・論文（概要）<br>・論文検索 |
| 37 | | | | フィンランド技術研究センター※ | Technical Research Centre of Finland（Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus） | VTT | http://www.vtt.fi/ | | | ・論文（Full Paper）<br>・論文（概要）<br>・論文等の検索<br>・協会誌・機関誌など（News Letter）<br>・データベースサービス |
| 38 | | | ドイツ | 連邦道路研究所※ | The Federal Highway Research Institute | BASt | http://www.bast.de/EN/e-Home/e-homepage node.html?__nnn=true | 世界道路会議 | 高速舗装の技術等 | ・研究テーマ一覧 |

| No. | 組織の性格 | | | 日本語訳 | 機関名 | 略　記 | URL | 主催する会議等 | 主な研究内容など（調査時期：2006年12月） | 取得可能な情報 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 性格 | 対象エリア | 地域 | | | | | | | |
| 39 | 公的機関 | 国 | インド | インド道路局※ | National Highways Authority of India | NHAI | http://www.nhai.org/ | | | ・仕様書（概要）<br>・マニュアル類 |
| 40 | | | オーストラリア | オースト・ローズ | Austroads | | http://www.austroads.com.au/ | ・Austroads協議会 | アセットマネジメント，重荷重と舗装の供用性について，その他 | ・出版物の検索<br>・協会誌・機関誌など（News Letter）<br>・年次報告<br>・指針類（有償） |
| 41 | | | ニュージーランド | ニュージーランド運輸省交通局※ | Transit New Zealand | TNZ | http://www.transit.govt.nz/ | | カンタベリー室内促進試験舗装施設，路面性状管理指標SCI | ・仕様書（Full Paper）（一部有償）<br>・仕様書（概要）<br>・協会誌・機関誌など（inTransit）<br>・交通量統計 |
| 42 | | | 韓国 | 韓国建設技術院 | Korea Insisitute of Construction Technology | KICT | http://www.kict.re.kr/eng/index.asp | 各シンポジウムの開催など | CALS/ECプロジェクト，環境関連，道路管理システムの構築 | ・在籍者の発表論文リスト |
| 43 | 民間団体・企業 | 国際 | ― | 国際道路輸送連盟※ | International Road Transport Union | IRU | http://www.iru.org/ | ・Euro-Asian Road Transport Conference<br>・IRU World Congress<br>・International Taxi Seminar<br>・European Bus & Coach Forumなど | | ・協会誌・機関誌など（Road Transport News，動画含む） |
| 44 | | | | アスファルト舗装国際協会 | International Society for Asphalt Pavements | ISAP | http://www.asphalt.org/ | ・ICAP国際会議（４年に１度）<br>・国際シンポジウム（４年に１度） | | ・論文（Full Paper）<br>・ニュースレター（会員のみ）<br>・活動計画など |
| 45 | | | | アスファルト舗装技術者協会 | Association of Asphalt Paving Technologists | AAPT | http://www.asphalt-technology.org/ | ・毎年 Proceedings（現在ジャーナル）<br>・technical sessions（including symposium） | | ・論文（Full Paper）<br>・協会誌・機関誌など（会員のみ）<br>・活動計画など |
| 46 | | | | アスファルト乳剤製造協会※ | International Bitumen Emulsion Federation | IBEF | http://www.ibef.net/ | 国際乳剤製造者会議 | | |
| 47 | | 地域 | 欧州 | ヨーロッパアスファルト協会 | European Bitumen Association | EUROBITUME | http://www.eurobitume.org/ | ・E&E会議<br>・BITSpecセミナー | アスファルトが健康に与える影響について，環境に与える影響について，品質基準について | ・協会誌・機関誌など（紹介のみ） |

| No. | 組織の性格 | | | 日本語訳 | 機関名 | 略　記 | URL | 主催する会議等 | 主な研究内容など（調査時期：2006年12月） | 取得可能な情報 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 性格 | 対象エリア | 地域 | | | | | | | |
| 48 | 民間団体・企業 | 地域 | 欧州 | ヨーロッパアスファルト舗装協会 | European Asphalt Pavement Association | EAPA | http://www.eapa.org/ | ・EAPAシンポジウム | | ・協会誌・機関誌など（News Paper）<br>・年次報告 |
| 49 | | | | ヨーロッパセメント協会 | European Cement Association | CEMBUREAU | http://www.cembureau.be/ | ・コンクリート舗装に関する世界シンポジウム | $CO_2$削減，Nox低減等について | ・協会誌・機関誌など（有償） |
| 50 | | | | ヨーロッパ舗装連合※ | European Union Road Federation | ERF | http://www.erf.be/ | | ・安全な道路 | ・協会誌・機関誌など |
| 51 | | 国 | アメリカ | アメリカ交通・輸送建設業者協会※ | American Road & Transportation Builders Association | ARTBA | http://www.artba.org/ | | 高速建設に関する物価等 | ・論文（Full Paper）<br>・論文（概要） |
| 52 | | | | アスファルト協会 | Asphalt Institute | AI | http://www.asphaltinstitute.org/ | ・年１回の会議（Proceedings ）<br>・アスファルトに関するセミナー | ・改質アスファルトの製造技術やパフォーマンス<br>・アスファルト舗装の設計・解析システムの開発（AI-SW1など）<br>・空港舗装の耐久性向上及び性能設計の提案（FAA，ICAOからの受託） | ・論文（Full Paper）<br>・論文（概要）<br>・協会誌・ニュースレター<br>・試験法（有償） |
| 53 | | | | アスファルト舗装協会 | National Asphalt Pavement Association | NAPA | http://www.hotmix.org/ | ・World of Asphalt Conference<br>・シンポジウム | ・アスファルトの舗装技術に関するマニュアル作成 | ・論文（Full Paper）<br>・論文（概要）<br>・協会誌 |
| 54 | | | | アスファルト技術センター | National Center for Asphalt Technology | NCAT | http://www.eng.auburn.edu/center/ncat | ・アスファルトに関する技術講習 | ・FHWAやNAPAからの委託研究<br>・アスファルトに関する技術講習会<br>・改質アスファルトや再生技術に関する研究 | ・論文（概要）<br>・ニュースレター |
| 55 | | | | 舗装保全財団※ | Fundation for Pavement Preservation | FP2 | http://www.fp2.org/ | ・FP2年次会議 | 道路の安全性や利点に関すること | ・協会誌・機関誌など（News Paper）<br>・年次報告 |
| 56 | | | | ユーエスロードドットコム | USroads.com | | http://www.usroads.com/ | | | ・協会誌・機関誌など |
| 57 | | | | 運輸技術者研究所※ | Institute of Transportation Engineers | ITE | http://www.ite.org/ | ITE Technical Conference（年１回） | 交通工学，ITSの管理・運用，安全 | ・協会誌・機関誌など（会員のみ） |

| No. | 組織の性格 | | | 日本語訳 | 機関名 | 略　記 | URL | 主催する会議等 | 主な研究内容など（調査時期：2006年12月） | 取得可能な情報 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 性格 | 対象エリア | 地域 | | | | | | | |
| 58 | 民間団体・企業 | 国 | イギリス | アスファルト製造協会※ | Asphalt Industry Alliance | AIA | http://www.asphaltindustryalliance.com/ | | アラーム調査 | ・論文（Full Paper）<br>・アラーム調査結果 |
| 59 | | | | 広域輸送情報組合※ | global Transport Knowledge Partnership | gTKP | http://ec.europa.eu/transport/road/index_en.htm | | | ・論文（Full Paper）<br>・論文（概要）<br>・協会誌・機関誌など（gTKP Newsletter） |
| 60 | | | オーストラリア | ARRBグループ※ | ― | ARRB | http://www.arrb.com.au/ | ・ARRB Conferenceなど | ・アセットマネジメント<br>・交通安全 | ・機関誌など |
| 61 | | | 南アフリカ | 南アフリカアスファルト協会 | Southan Africa Bitumen Association | SABITA | http://www.sabita.co.za/index.asp | AsAcの主催（アスファルトアカデミー）<br>南アフリカ道路会議 | 環境保護について，安全性について，アフリカにおける規格の制定 | ・協会誌・機関誌など（紹介のみ）<br>・各州の道路統計など |
| 62 | 国際機関 | 国際 | ― | 国際道路連盟 | International Road Federation | IRF | http://www.irfnet.org/ | ・RF World Meeting<br>・REAAAのサポートなど | | ・道路統計資料 |
| 63 | | | | 世界国際道路協会 | World Road Association | WRA（ロゴ：PIARC） | http://www.piarc.org | ・世界道路会議（４年ごと）<br>・国際冬期道路会議（４年ごと）<br>・セミナーなど | 道路網マネジメントに関する調査（ST1），持続的な移動性（ST2），安全と道路管理（ST3），道路資産の品質（ST4） | ・論文（Full Paper）<br>・論文等の検索<br>・協会誌・機関誌など（概要）<br>・研究テーマの概要<br>・用語集 |
| 64 | | 地域 | 欧州 | 欧州科学技術協力機構 | Co-Operation among Scientists and Technical researchers（COST） Transport | COST Transport | http://cordis.europa.eu/cost-transport/ | | 促進載荷試験機の改良，スチールメッシュやジオシンセティックスを利用した長期供用性舗装<br>・舗装や交通が環境に与えるインパクト調査 | ・論文（概要）<br>・フルペーパーの販売 |
| 65 | 標準化機構 | 国際 | ― | 国際標準化機構 | International Organaization for Standardization | ISO | http://www.iso.org/ | | 規格の改定、立案 | ・規格の検索 |
| 66 | | 地域 | 欧州 | ヨーロッパ標準化委員会 | European Committee for Standardization | CEN | http://www.cenorm.be/cenorm/ | | 規格の改定、立案 | ・規格の検索 |
| 67 | | 国 | アメリカ | アメリカ材料試験協会 | American Society for Testing and Materials | ASTM | http://www.astm.org/ | ・各規格委員会のセミナーなど | 規格の改定、立案 | ・規格の検索 |

| No. | 組織の性格 | | | 日本語訳 | 機関名 | 略　記 | URL | 主催する会議等 | 主な研究内容など（調査時期：2006年12月） | 取得可能な情報 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 性格 | 対象エリア | 地域 | | | | | | | |
| 68 | 開発銀行 | 国際 | ― | 世界銀行 | World Bank | WB | http://www.world-bank.org/transport/r&h_over.htm | | 発展途上国等のための低予算道路の設計，維持管理マニュアル，高度道路交通システム（ITS），道路と環境ハンドブック，国際ラフネス指数（IRI） | ・仕様書（Full Paper） |
| 69 | | 地域 | 欧州 | 欧州復興開発銀行 | The European Bank for Reconstruction and Development | EBRD | http://www.ebrd.com/ | 開発途上国の技術移転を目指したセミナーを２年に１回開催 | 港湾や空港整備のための支援用のマニュアル作りを行っている | ・論文（Full Paper）<br>・論文（概要） |
| 70 | | | | 欧州投資銀行 | EIB:European Investment Bank | EIB | http://www.eib.eu.int/ | | | |
| 71 | その他 | 地域 | 欧州 | 欧州運輸大臣会議 | European Conference of Ministers of Transport | ECMT | http://www.cemt.org/ | ・大臣会合（年１回）<br>・シンポジウム<br>・ワークショップ | 長寿命化舗装に関する経済的評価 | ・論文（Full Paper）：有償<br>・協会誌・機関誌など（ECMT Newsleter） |

注）各機関の日本語訳に付記されている「※印」は日本語訳が不確実なものを示している。

## ―― 参考文献 ――


1）総務省：インターネットの統計
http://www.kids.soumu.go.jp/internet/index.html

2）総務省：平成18年版情報通信白書
http://www.johotsusintokei.soumu.go.jp/whitepaper/ja/h18/index.html

3）佐伯ほか：WWWコンテンツ統計調査報告書～我が国のWeb上のコンテンツ情報量から見たインターネットの発展～（2004年７月）

4）（独）土木研究所：お役立ちリンク
http://www.pwri.go.jp/team/maruro/links.htm

<統計資料>

## 1．石油アスファルト需給実績（総括表）

（単位：千ｔ）

| 項目 / 年度 | 供給 | | | | | 需要 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 期初在庫 | 生産 | 対前年度比(%) | 輸入 | 合計 | 販売(内需) | 対前年度比(%) | 輸出 | 小計 | 期末在庫 | 合計 |
| 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 |
| 7月 | 222 | 413 | (100.4) | 0 | 635 | 210 | ( 97.7) | 29 | 239 | 235 | 473 |
| 8月 | 235 | 511 | (136.3) | 0 | 746 | 268 | (109.3) | 36 | 304 | 258 | 562 |
| 9月 | 258 | 424 | ( 85.5) | 0 | 682 | 301 | ( 96.0) | 23 | 324 | 227 | 551 |
| 7～9月 | 715 | 1,347 | (105.2) | 0 | 2,062 | 778 | (100.7) | 88 | 866 | 720 | 1,586 |
| 10月 | 227 | 440 | ( 95.7) | 0 | 667 | 289 | (108.5) | 18 | 307 | 208 | 515 |
| 11月 | 208 | 474 | ( 96.0) | 0 | 682 | 317 | ( 97.5) | 3 | 319 | 207 | 526 |
| 12月 | 207 | 531 | (107.0) | 0 | 738 | 329 | (108.6) | 7 | 336 | 239 | 575 |
| 10～12月 | 641 | 1,446 | ( 99.7) | 0 | 2,087 | 934 | (104.6) | 28 | 962 | 654 | 1,616 |

## 2．石油アスファルト内需実績（品種別明細）

（単位：千ｔ）

| 項目 / 年度 | 内需量 | | | | | | 対前年度比 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ストレート・アスファルト | | | | ブローンアスファルト | 合計 | ストレート・アスファルト | | | | ブローンアスファルト | 合計 |
| | 道路用 | 工業用 | 燃焼用 | 計 | | | 道路用 | 工業用 | 燃焼用 | 計 | | |
| 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 |
| 7月 | 120 | 9 | 72 | 202 | 8 | 210 | 90.9 | 100.3 | 113.3 | 98.3 | 84.9 | 97.7 |
| 8月 | 165 | 9 | 84 | 258 | 10 | 268 | 105.7 | 100.9 | 119.3 | 109.6 | 101.0 | 109.3 |
| 9月 | 195 | 10 | 82 | 288 | 13 | 301 | 88.2 | 103.6 | 122.0 | 93.6 | 90.3 | 96.0 |
| 7～9月 | 481 | 28 | 238 | 747 | 31 | 778 | 92.7 | 101.7 | 118.3 | 99.9 | 124.2 | 100.7 |
| 10月 | 186 | 10 | 82 | 278 | 11 | 289 | 102.7 | 88.2 | 128.3 | 108.4 | 108.8 | 108.5 |
| 11月 | 215 | 12 | 77 | 303 | 13 | 317 | 89.3 | 88.1 | 130.5 | 97.0 | 112.4 | 97.5 |
| 12月 | 225 | 11 | 82 | 318 | 10 | 329 | 103.9 | 103.3 | 127.7 | 109.2 | 94.1 | 108.6 |
| 10～12月 | 627 | 32 | 241 | 900 | 34 | 934 | 98.1 | 92.8 | 128.8 | 104.5 | 105.3 | 104.6 |

〔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<br>コスモアスファルトカンパニー | (104-0032) 中央区八丁堀3－3－5 | 03（3551）8011 |
| 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) 豊島区巣鴨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**

多田宏行

**編集委員**

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　山本秦幹
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221号
平成19年４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.50　No.221　APRIL 2007
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/