

# アスファルト

第47巻 第216号 平成16年10月発行

## 216

谷藤名誉会長追悼文 谷藤さんと私

多田 宏行 1

### 特集・橋面舗装

特集にあたって	多田 宏行	2
橋面舗装におけるアセットマネジメント	伊藤 正秀	3
鋼床版舗装の構造解析のためのモデル	西澤 辰男・小林 隆志	5
水密性の高いISMAの施工方法	神谷 恵三	14
長期供用している橋面舗装の経済性評価	鈴木 利幸・佐藤 憲二・井原 務	18
鋼床版舗装の長期保全を考慮したマイクロサーフェシング工法について	宮脇 幸男・下前 隆雄	23
首都高速道路の鋼床版上の高機能舗装	山本 泰幹	27
橋面舗装の維持修繕へのマイクロサーフェシング工法の適用性について	武田 雄	34

### <アスファルト舗装技術研究グループ・第48回報告>

峰岸 順一 40

### 各国の舗装促進載荷試験機の現状

江向 俊文・金井 利浩・鎌田 孝行・小関 裕二

佐々木 巖・高橋 茂樹・高橋 光彦 41

### 道路交通騒音に関する各国の研究動向 (Inter Noise 2001)

加納 孝志・岸田 正憲・舟根 毅

森嶋 洋幸・焼山 明生 57

### <統計資料> 石油アスファルト需給統計資料

73

## ASPHALT

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

## 第83回 アスファルトゼミナール開催のご案内

有限責任中間法人 日本アスファルト協会

拝啓 時下ますますご清栄のこととお慶び申し上げます。

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

内容等参考の上、奮ってご参加くださいますようご案内申し上げます。

敬 具

### 記

- 1.主 催 有限責任中間法人 日本アスファルト協会
- 2.協 賛 社団法人 日本アスファルト乳剤協会、日本改質アスファルト協会
- 3.後 援 国土交通省、社団法人 日本道路建設業協会、社団法人 日本アスファルト合材協会
- 4.開催月日 平成17年2月17日(木)～2月18日(金)
- 5.開催場所 アクトシティ浜松 中ホール  
浜松市板屋町111-1 ☎053-451-1123
- 6.内 容 裏面「プログラム」参照
- 7.申込方法 平成17年1月15日までに、下記ホームページより、申し込みフォームを使用して  
お申し込み下さい。  
<http://www.qbs.co.jp/asphalt>  
折返しE-mailにて参加受講書をお送りいたします。
- 8.お問い合わせ 昭 and 瀝青工業株式会社 アスゼミ担当 有田克郎まで  
☎0422-55-2584
- 9.参加費 無料
- 10.参加人数 300名(締切日以前でも定員になり次第締め切らせていただきます。)
- 11.その他 当日申込受付はできませんので、必ず上記方法でお申し込み下さい。



### 開催日時

平成17年2月17日(木)～2月18日(金)

### 開催場所

アクトシティ浜松 中ホール

浜松市板屋町111-1 ☎053-451-1123

### 会場案内図

J R 浜松駅下車 徒歩すぐ

# プログラム

## - 新時代の維持管理について -

**第1日目** 平成17年2月17日(木) 13:00~17:40

(敬称略)

1. 挨拶 13:00~13:05  
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 濱本英己
2. 光で何がわかり、何ができるか 13:05~14:05  
浜松ホトニクス 中央研究所長 鈴木義二  
(休憩 14:05~14:10)
3. 挨拶 14:10~14:15  
有限責任中間法人 日本アスファルト協会  
アスファルト舗装技術委員長 矢野善章
4. 海外における舗装のマネジメントについて ~舗装の管理目標とマネジメント~ 14:15~15:00  
国土交通省道路局国道・防災課 企画専門官 岩崎信義  
(休憩 15:00~15:05)
5. 地方自治体におけるアセットマネジメントへの取り組み 15:05~16:35  
コーディネーター: 国土交通省道路局国道・防災課 企画専門官 岩崎信義  
パネラー: 東京都建設局道路管理部 副参事 加藤直宣  
パネラー: 三重県県土整備部 総括室長 曽根学  
パネラー: 大阪府土木部交通道路室 道路環境課長 竹内廣行  
(休憩 16:35~16:40)
6. 排水性舗装の維持管理と再生技術について 16:40~17:40  
社団法人 日本道路建設業協会  
技術委員会 技術及び施工管理部会長 井上武美

**第2日目** 平成17年2月18日(金) 9:30~12:40

7. 平成17年度道路予算 9:30~10:30  
国土交通省道路局 道路経済調査室長 深澤淳志  
(休憩 10:30~10:35)
8. アスファルト乳剤と維持修繕工法 10:35~11:35  
社団法人 日本アスファルト乳剤協会 技術委員長 雑賀義夫  
(休憩 11:35~11:40)
9. 改質アスファルトの舗装維持への貢献 11:40~12:40  
日本改質アスファルト協会 技術委員 黄木秀実

(講師は都合で変更になる場合があります)

## 谷藤さんと私

多田 宏行

財団法人 道路保全技術センター理事長

永い間（1969年～2003年）当協会の名誉会長をお引き受け頂いたジョルジオ谷藤正三氏が、去る6月30日早朝に逝去され、葬儀ミサ告別式がカトリック松原教会で行なわれた。その後、7月21日にはお別れの会がロイヤルパークホテルで開催され、筆者も弔辞を述べた。

その原稿をまとめていて初めて知ったが、氏は1914年1月6日生れで、それから丸13年後の同月同日、私もこの世に生を受けている。何かと馬が合い、お世話になったのもこの為かも知れない。

谷藤さんが土木研究所道路研究室長から関東地方建設局の建設専門官として赴任して来られたのは、1956年の暮れだから、もう半世紀近く昔のことである。

当時の関東地建の本局庁舎は、東海汽船発着所のある竹芝棧橋に建つ戦前の海軍施設本部で、木造2階のバラックの廊下の床は継ぎはぎだらけであった。

その階段を上った突き当たりの先輩の個室に、私は殆ど毎日の様に呼びつけられ、米軍放出のカットバックアスファルトMCの活用を命ぜられた。

降雨量が多く、湿度が高い日本では、MCの有効利用は結局不成功に終わったが、その作業を通じて、アスファルトが何たるかを学ぶ幸運に恵まれたのである。

2階の小部屋の窓の直ぐ外は東京湾で、波間には塵が漂っていた。議論の合間に私たちは、水面にキラキラと照り返す陽の光をボンヤリと眺めたものである。

そんな時に谷藤さんがおっしゃった。

「役所のポストなど果かないものだ。技術屋は技術だけが頼りだ。若いうちから勉強を怠るな。」

私の舗装技術者としての今日は、この谷藤さんとの出会いによって決定づけられた。アスファルト協会との縁が密接になったのも、これが動機だった。

その頃の谷藤氏が、どの様な境遇にあったのか、新米の私には知る由もなかったが、その後間もなく、氏はカトリックの洗礼を受けていらっしやる。

谷藤氏は建設省道路局国道課長、土木研究所長、都市局長を歴任の後、北海道開発事務次官を務めら

れた。退官後は日本大学理工学部教授、セントラルコンサルタント株式会社社長としても活躍された。

いわば、官、学、民の各分野に輝かしい実績を残されたが、私にとっての谷藤さんは舗装の先達である。

わが国最初のアスファルト舗装要綱は1950(昭25)年3月に(社)日本道路協会から刊行されているが、この原案作成にあたったのは、当時の谷藤技官であった。氏は将に日本の近代舗装技術を切り拓いた第一人者であり、1968年から84年にかけては道路協会の舗装委員長として我々を指導された。

1960年、(社)日本アスファルト協会の設立に尽力され、当時の会長南部勇氏(1895～1981)を補佐して機関誌「アスファルト」の編集委員を務められた。退官後は名誉会長として、毎年2月に各地で開催されるアスファルトゼミナールの冒頭挨拶が恒例になっていたが、いつも所定の時間に納まらぬ話に、関係者は気をもまれた。

その後の旅行を楽しみにされ、お供するのはというより、氏の昔話のお相手を押し付けられるのは何時も私だった。そして帰途の車中では「来年は何処だね」とご下問があるのが常であった。

氏は大雑把に見えながら、心配りの人でもあった。私が1982年に建設省を退官の際、日大教授のポストを黙って用意して下さったのも谷藤先生で、将来、民間企業に勤めた場合でも、大学教授の肩書きで現役の後輩達と交流できる様にとのご配慮であった。

舗装における氏の最後の仕事は(社)インターロッキングブロック舗装技術協会の会長である。1996年、テルアビブで「国際会議の日本誘致」を宣言してしまい、これを挺に10年来懸案だった協会の社団法人化をもたらす算段であった。

イスラエルから帰国後、突然来訪されて「実行委員長は君だ」と、協会には無縁であった私に命令された。

永年お世話になった谷藤さんに逆らうわけにも参らぬ。社団化も成り、2000年9月のコンクリートブロック舗装国際会議・東京大会はもちろん大成功であった。

## 特集にあたって

多田 宏行

財団法人 道路保全技術センター理事長

私は今、分厚い橋の本を開いている。

(社)日本橋梁建設協会が設立40周年を記念してまとめた「日本の橋」(A4版, 213ページ)は、その“あとがき”にも述べているが、一般の人が橋梁の技術、橋の歴史と文化性に興味を抱いてもらえる様に編集され、美しいカラー写真をふんだんに用い、また内容も充実している。

さらに巻末の付録には、統計はもとより、橋の分類と構造から、橋の構成部分の名称まで親切に解説しているので教育的資料価値もあり、門外漢にとっても極めて有用である。そこで、橋梁の専門家でない筆者も入念に読むことになる。

無意識のうちに、橋面舗装に係る記事を探すが何処にも見当らず、僅かに、3. 大正の橋 道路橋の発展 において“床版構造の変化”(p.61)として30行程度の記述に、「木材の床版の上に橋面舗装として砂や砂利を敷いていたものが、明治末期になってバックルプレート付きコンクリート床版が、さらに大正末期から昭和にかけて鉄筋コンクリート床版が用いられるようになった」とあるのみである。

何故、橋面舗装は採り上げてもらえないのか。私に言わせれば、橋梁(道路橋)は橋面舗装によって、初めて道路として完成する。本書のみならず、橋に関する書物には、この視点が全く欠落しているのである。

舗装が容易に破損するような道路橋は、その姿が如何に美しくとも、その設計に如何に高度な理論が適用されようとも、欠陥橋梁なのである。

橋面舗装の耐久性は、床版の構造とその仕上げ精度に大きく左右されるから、舗装は床版と同時に一体的に設計するとともに、床版工事においては所定の施工管理水準が厳格に確保されなければならない。

筆者は何も「日本の橋」を論評するために、ここに引いたのではなく(冒頭に述べた様に、本書は必読の書である)、日本の橋梁技術を代表する団体が発刊する書物においてさえ、橋面舗装が実質的に無視されている事実を述べたいのである。

百歩譲って、この本は他の類書と同様に橋面舗装に深入りしない編集方針だとしても、5. 現代の橋 橋をまもる(p.138~)における“維持・管理システム化への働き”、“アセットマネジメントシステム”、“ライフサイクルコストの視点”、“点検・維持・補修技術”などの記述において、橋面舗装が全く意識されてない様に読みとれるのは舗装屋のヒガミであろうか。

路面は風雨にさらされるばかりでなく、直接、交通荷重などの外力も受ける。したがって、橋の構成部分の中で一番傷み易い。交通を通すという機能に着目した場合、橋面舗装の維持管理は最も重大であり、補修工事の交通規制に伴う外部経済を考慮すれば、“橋をまもる”上で第一に考慮すべきではなかろうか。

筆者は、このことについて一般の理解を得るべく、十数年来、雑文や図書で訴え続けて来たつもりであるが、手応えはいま一つというのが実感である。

ところで、橋面舗装も補修を要するものが少なくない。舗装が破損した場合には打替えも考えられるが、補修費もさることながら、一般部と異なって工事の影響するところが極めて大きい。

またジョイントがあるため、オーバーレイを適用することも出来ず、結局、路面の表面処理による予防的維持こそが活路となる。

たまたま本年5月末、供用十数年を経た瀬戸中央自動車道の橋面舗装を点検する機会を得たが、材料の選択または設計の不備と思われる欠陥は発見されず、施工むらによるヘアクラックの他は、バインダーが老化気味ながら美しいキメであった。

もちろん、これ以上放置することは許されず、クラックのシールとマイクロサーフェシングによる表面処理におよそ2億円を投ずれば、今後10年間は無事と筆者は試算した。

わが国の橋面舗装の技術を飛躍的に向上させた本四架橋が、その保全技術においてもリーダーシップをとることを期待して止まない。

# 橋面舗装におけるアセットマネジメント

(Asset management for pavement on bridge decks)

伊藤 正 秀\*

近年、道路構造物の老朽化の進行、公共事業を取り巻く厳しい財政事情や管理体制の制約を背景として、道路管理におけるアセットマネジメントの議論が急速に高まっている。しかし、具体的なシステムづくりは緒についたばかりであり、様々な道路管理者、研究機関等で検討が進められている。本稿では、道路舗装におけるアセットマネジメントの現況について紹介するとともに、橋面舗装を想定した場合のポイントについて述べることとする。

## はじめに

実は「橋面舗装におけるアセットマネジメント」はおろか、「舗装におけるアセットマネジメント」という表現ですら、不適切との指摘をされかねない。

なぜならば、アセットマネジメントとは資産、人材、予算等を効率的に運用しようとするものであり、道路管理に限定したとしても、舗装、橋梁、トンネル、法面等の道路資産全体の中で効率的な方策を求めること本来の趣旨に沿ったものだからである。したがって、「橋面舗装」に限定せず、舗装一般としてのアセットマネジメントを中心に述べることとする。

なお、本内容は、私見を含むものであり、行政的にオーソライズされたものではないことをお含みおき頂けると幸いです。

## 1. アセットマネジメントの概念

紙面の都合もあり、アセットマネジメントの一般論については省略する。興味ある方は文献<sup>1)2)</sup>を参考にされたい。ただし、アセットマネジメントには、「どのような種類の構造物を対象とするのか」ということだけでなく、構造物の新設から管理、更新のどの段階まで取り上げるのか、あるいはコストやリスクとしてどのようなものを取り扱うのか等、様々な概念（土木学会では「基本的アセットマネジメント」、「発展的アセットマネジメント」の2段階を提示<sup>2)</sup>）がある。現在、検討されているものは、主に「維持管理のオプション・予算計画立案」を対象とした前者のものといえる。

## 2. アセットマネジメントの検討状況

ライフサイクルコスト（LCC）等の個別要素については多くの検討事例はあるが、前書きにも述べたように、アセットマネジメントをトータルに捉えた検討は始まったばかりである。

具体的なシステム構築に向けた国レベルでの取り組みは、2003年、(社)日本道路協会の維持修繕委員会に道路資産管理小委員会が設置されスタートした。ただし、道路構造物は各々によって劣化診断方法、データベース整備の程度、劣化程度とユーザーサービスの関わり等に大きな差異があり、全ての構造物を包含した包括的なシステムを構築することは容易ではないことから、当面は舗装、橋梁等、個別分野ごとに具体的なシステム構築の検討が進められている。

また、道路関係公団、東京都、三重県、大阪府等の地方自治体においても取り組みが始まっている。

## 3. 舗装アセットマネジメントの概念

前置きが長くなったが、現段階における舗装アセットマネジメント体系の概念を図-1に示す。

## 4. 舗装アセットマネジメントを構成する要素

図-1に示した各ステップの内容を概説する。

### (1) モニタリング

一定の区間単位で舗装の状態を計測する。直轄国道においては、3年サイクルでわだち掘れ、ひび割れ、平坦性のモニタリングを行っている。

\*いとう まさひで 独立行政法人土木研究所 基礎道路技術研究グループ 上席研究員

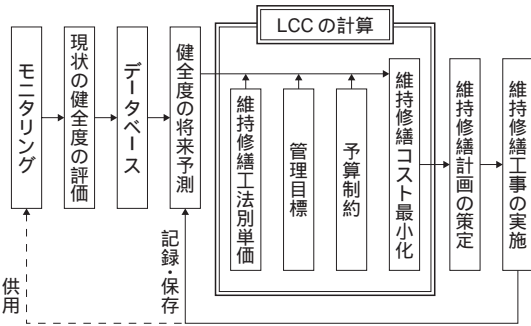


図 - 1 舗装アセットマネジメント体系の概念図

(2) 現状の健全度の評価

計測されたデータに基づいて、舗装がどの程度劣化しているのが評価する。舗装の性能から考えると、舗装の健全度評価は、本来は、表面状態（路面性能）と支持力（構造性能）と分けて考える必要がある。

①路面性能

わだち掘れ、ひび割れ、平坦性をを用いることが多いが、それぞれの個別値だけでなく、MCI等、3指標から算出される総合指標を用いる場合もある。

②構造性能

残存疲労破壊輪数进行评估することになる。FWD（Falling Weight Deflectometer）を用いた、たわみ量による評価方法等が研究機関等で検討されているが、実際の現場における実用には至っていない。

(3) データベース

計測されたデータ、評価結果をデータベース化する。直轄国道では、「舗装管理支援システム」として整備・運用している。本システムは、データ収録だけでなく、区間ごとのMCIと路面性状値のグラフ等、アウトプット機能も備えている。

(4) 健全度の将来予測

健全度の低下（劣化進行）の予測を行う。ライフサイクルコスト（LCC）を算出する上で必要となる。

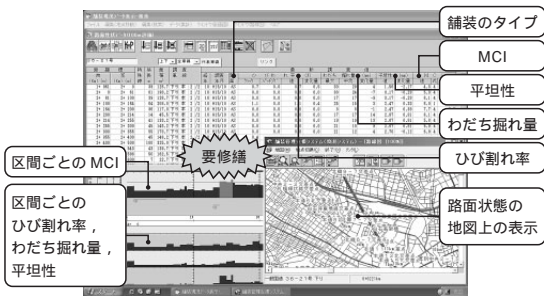


図 - 2 舗装管理支援システムの表示例

(5) ライフサイクルコスト（LCC）の計算

LCCの定義は「舗装の構造に関する技術基準・同解説」に述べられている。実際には、様々な維持修繕パターンを想定してLCCを計算し、与えられた管理目標の下で個別区間（プロジェクトレベル）のLCC最小となる維持修繕パターンを見出す。さらに、予算制約の中で管理ネットワーク全体についてのLCC最小となるよう、プロジェクトレベルの維持修繕パターンを修正することになる。なお、LCC計算においては、コストとしてどこまでを含めるのが課題である。

(6) 管理目標

舗装の状態がどの程度になったら維持修繕工事を実施すべきか、LCC計算上の「しきい値」である。

(7) 維持修繕計画の策定

LCC計算結果に基づく維持修繕計画（工事場所、時期、工法）である。

(8) 維持修繕工事の実施

(7)に基づいて工事を行い、その結果はデータベースに記録、保存する。なお、予期できない事情等により、工法や時期、実施有無等の変更が有り得る。

5. 橋面舗装を考えた場合のポイント

橋面舗装が一般の舗装と異なる点を列挙すると、

- ①健全度評価において、一般舗装のような構造性能を考慮する必要は少ない。
- ②一方、床版のたわみ、湛水等による剥離等、橋面舗装の特性を踏まえた健全度評価が必要。健全度予測においても同様。
- ③代替路が少ない等の特性から、LCCにおいて、外部コスト等について配慮が必要。
- ④最後に全般論として、床版のメンテナンスの際には舗装も対象となること等を踏まえ、橋面舗装の場合こそ、舗装、橋梁一体の検討が必要。等があげられる。

私どもも一般的な舗装アセットマネジメントについての検討を進めていくが、並行して橋梁構造を多く抱える道路管理者による検討を期待したい。

参考文献

- 1) 道路構造物の今後の管理・更新のあり方に関する検討委員会：道路構造物の今後の管理・更新のあり方，2003.4
- 2) 土木学会アセットマネジメント研究小委員会：アセットマネジメント導入への挑戦，2003.8

# 鋼床版舗装の構造解析のためのモデル

(A Model for Structural Analysis of Pavements on Steel Bridge Decks)

西澤辰男\*・小林隆志\*\*

鋼床版舗装の挙動は、鋼床版の構造や荷重の作用位置によって大きく影響を受けるため、鋼床版舗装の解析には、これらの条件を正確に考慮できるものでなければならない。本稿においては、荷重による鋼床版舗装のひずみや応力を計算するための力学モデルを紹介している。デッキプレート、縦リブおよび主桁からなる鋼床版を帯板要素に、その上の舗装を角柱要素で表し、両者を特殊な接着要素にて連結するものである。角柱要素は曲げ変形だけでなく、舗装自体の局部変形をも考慮することができる。この構造モデルの有効性を平板構造および実橋の解析によって示した。さらにモデルの利用例として、散逸エネルギー規準に基づいた疲労解析によって、鋼床版舗装において問題となる縦ひび割れの発生原因について検討した。

## 1. はじめに

鋼床版はデッキプレートとそれを裏から補強する縦リブ、横リブからなる橋梁の床版である。鋼床版の上がグースアスファルトや改質アスファルトによって舗装され、その上を交通車両が走行することになる<sup>1)2)</sup>。このような鋼床版舗装に交通荷重が作用すると、縦リブや腹版接合部には局部的な曲げ変形が生じ、それに追従している舗装にも大きな曲げ引張ひずみが生ずることになる。その結果、比較的早期に縦ひび割れが発生する。このような縦ひび割れを防止する対策としては、あらかじめ縦ひび割れが発生すると予想される場所に目地を設置する方法がある<sup>1)</sup>。適切な位置に目地を設置するためには、設計段階において少なくとも最大引張ひずみが生ずる位置を予測しなければならない。そのために、鋼床版舗装の力学モデルが必要となる。

鋼床版の構造や交通荷重の作用位置の微妙な組み合わせによって鋼床版舗装の挙動が大きく異なる。したがって、鋼床版舗装の解析においては、鋼床版の構造と交通荷重を同時に考慮しなくてはならない。このような解析手法の1つとして、有限帯板要素法 (Finite Strip Method: FSM) によるものがある。この手法に

おいては、デッキプレートとアスファルト混合物層 (以下、アスファルト層) から成る複合平板として取り扱う方法が取られている<sup>3)4)</sup>。しかしながら、この方法では、アスファルト層にのみ設置されている縦目地の効果や、アスファルト層の厚さ方向の変形を考慮することができない。そこで、これらの問題を克服するために帯板要素をオーバーレイするモデル (Overlaid Finite Strip Method: OFSM) が開発された<sup>5)</sup>。このモデルによれば、舗装の厚さ方向の変形や縦目地も考慮することができる。しかし OFSM では舗装自体の挙動を曲げ変形で表現するために、舗装自体の (特に高温時の) 局部的な変形を細かく考慮できない。特に舗装自体の剛性が低くなると、タイヤ端部に大きなひずみが発生することが知られており、このような局部変形を解析する必要がある。そこで、舗装の局部的な変形を考慮できる角柱要素と帯板要素を結合したモデルを開発した<sup>6)7)8)</sup>。

この構造モデルの有効性を、平板構造の解析および実橋における載荷実験の解析によって示した。この構造モデルの利用例として、散逸エネルギー規準に基づいた疲労解析によって、鋼床版舗装において問題となる縦ひび割れの発生原因について検討した<sup>9)</sup>。

\*にしざわ たつお 国立石川工業高等専門学校 教授

\*\*こばやし たかし 国立石川工業高等専門学校 専攻科

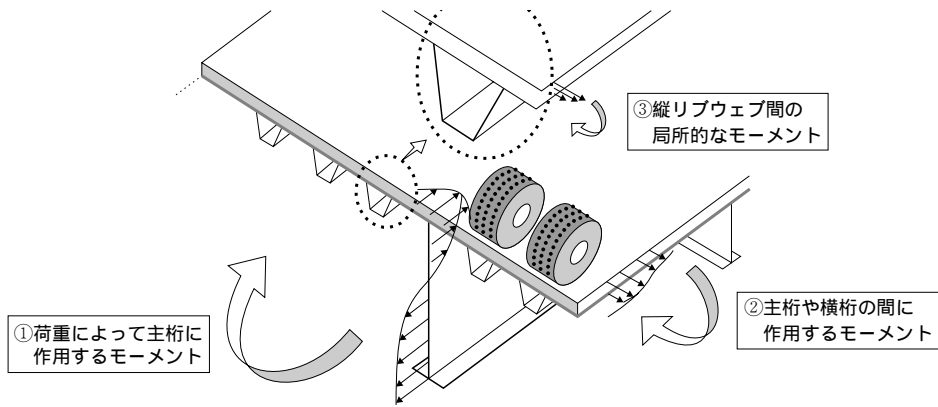


図 - 1 鋼床版に発生する応力

## 2. 鋼床版舗装の基礎理論

鋼床版舗装に発生する応力は、図 - 1 に示すように、次の3つに分けて考えることができる<sup>2)</sup>。

- ① 橋梁全体の变形による橋軸方向の応力で、主桁のフランジとしての役割からくるもの。
- ② 横リブと主桁の間の変形による主に橋軸直角方向の応力。
- ③ 縦リブウエブ間の局所的な曲げによる応力。

②と③による応力あるいはひずみが舗装のひび割れの原因となる。②の応力の計算にあたっては、横リブ間隔や主桁、縦リブの剛性などを考慮した解析が必要になる。また③のような局所的な応力については、舗装の曲げ以外の变形も問題となる。

まず、基本となる弾性平板の曲げ理論の考え方について簡単に説明する。鋼床版舗装の解析では、デッキプレートと舗装を同時に扱うため、二層構造（複合平板）として扱う。その場合、2つのモデルが考えられる。一つは舗装とデッキプレートが完全に接着されている場合であり、他の一つは両者の接着が不完全で舗装とデッキプレートの水平変位が異なるような挙動を示す場合である。前者を接着（ボンド）構造、後者を非接着（アンボンド）構造と呼ぶことにしよう。両者の挙動の違いを図 - 2 に示す。接着構造では、デッキプレートと舗装が一体となって挙動するために、中立軸は1つだけ形成される。一般に弾性係数が大きく曲げ剛性の大きなデッキプレートに中立軸が形成されるので、正の曲げモーメントが作用した場合、舗装は圧縮状態となる。一方、非接着構

造では、舗装、デッキプレートにそれぞれ中立軸が形成される。したがって、正の曲げモーメントが作用した場合、舗装下面には引張応力が発生する。デッキプレートと舗装の厚さや弾性係数が同じであっても、曲げ剛性は接着構造のほうが非接着構造よりも格段に大きいので、荷重に対して非接着構造の变形は大きく、発生する応力やひずみも大きくなる。このことから、デッキプレートと舗装の接着は非常に重要なポイントとなる。

さて、先に述べた②と③による舗装の応力やひずみを計算する場合には複合平板の境界条件を定めなくてはならない。③については縦リブウエブ間をスパンとし、両端固定の平板構造にモデル化される。②については、縦リブや主桁横リブの剛性を平板全体の剛性に何らかの形で換算して、直交異性板の理論に基づいてモデル化が行われるが、これはあくまでも近似的な手法となる。最近では、それらをそのまま扱える数値解析手法が開発されている。これについて、次章において詳しく紹介する。

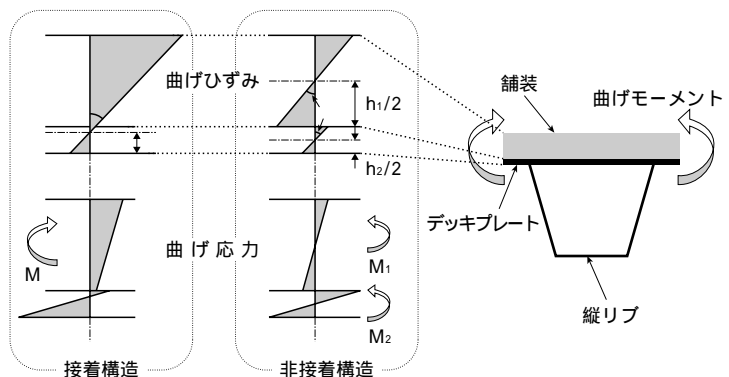


図 - 2 複合平板のひずみ応力分布

### 3. 有限要素法によるモデル

鋼床版舗装の解析にあたっては、縦リブを含む鋼床版の構造を考慮して、舗装の3次元な挙動を求める必要がある。そこで、このような要求を満たすために開発されたモデルを図-3に示す。このモデルは、帯板要素 (Strip element) と角柱要素 (Prism element) を接着要素 (Link element) で結合したもので、これをSLPE (Strip-Link-Prism Element) モデルと呼ぶことにする<sup>8)</sup>。帯板要素は、平板の曲げ変形をモデル化した要素であり、デッキプレート、縦リブを含む鋼床版全体の構造を細かく考慮することが可能である。また、角柱要素は舗装を代表し、8節点の要素なので厚さ方向の変形を含む局部的な変形を表現することができる。接着要素は帯板要素と角柱要素を接合する役割を持ち、ちょうどデッキプレートと舗装の間に施される接着層の機能をモデル化することになる。接着要素は、図-4に示すように、板に平行な方向の2つのばねと、板に垂直な方向のばねからなる。これらのばね係数の値を変えることによって、デッキプレートと舗装の間の接着状態をモデル化することができる。

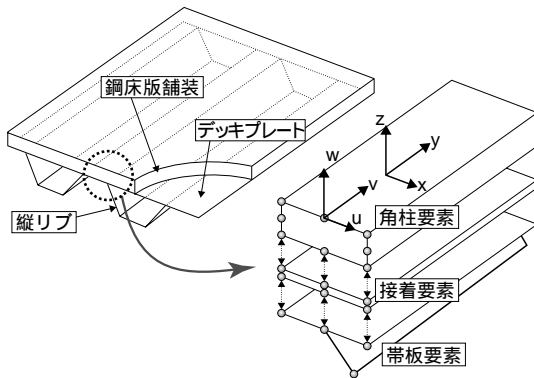


図-3 SLPEモデル

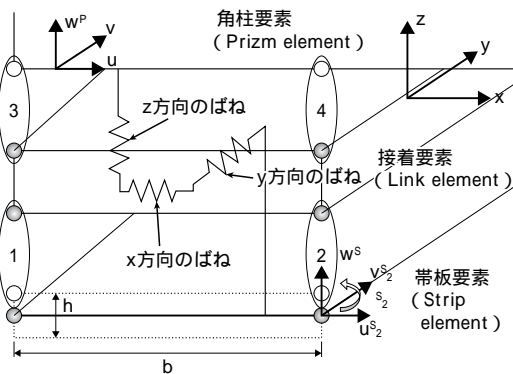


図-4 接着要素のモデル化

### 4. 例題による検証

ここでは、開発したプログラムの妥当性を検討するために、いくつかの構造について本モデルによる計算結果を示す。

#### 4.1 例題1：4辺が単純支持された平板

図-5に示すように、4辺単純支持された正方形平板に等分布荷重が作用している単純な構造を考える。平板の弾性係数は10000MPa、ポアソン比は0.2、荷重強度は0.05MPaとした。

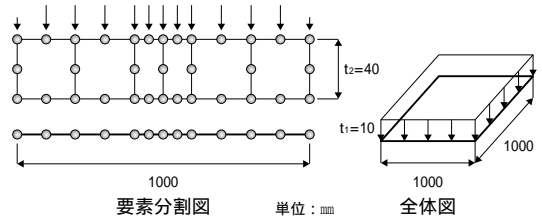


図-5 例題1の要素分割

この場合、厚さ50mmのうち上40mmを角柱要素で、下10mmを帯板要素で表現することにした。SLPEモデルにおいては、接着要素のばね係数の値を変えることによって、接着構造と非接着構造を扱うことができる。そこで、接着構造の場合、境界面のすべてのばね係数の値を10000MN/m<sup>2</sup>とした。非接着構造の場合、水平方向のばね係数の値を0とし、鉛直方向のばね係数の値のみを10000MN/m<sup>2</sup>とした。

図-6は平板中央部の厚さ方向のひずみ分布を示している。接着構造の場合、1層目のやや下側(-25mm)に中立軸が形成され、層の境界面のひずみは1層目と2層目で同じ値となるため、ひずみ分布は上下2層の間で連続している。また1層目の上端のひずみと2層目の下端のひずみは値が等しく符号が反対となる。すなわち、厚さ50mmの1枚の板の曲げ挙動を示している。一方、非接着構造の場合、1層目と2層目のそれぞれの中央に中立軸が形成され、層の境界面のひずみは不連続になる。この場合、それぞれの層の上下端のひずみは値が等しく符号が反対となっている。すなわち、40mmと10mmの重ね板の挙動を示している。この例での最大引張りひずみは、接着構造で85μ、非接着構造ではその約1.5倍の131μとなる。このように同じ厚さの板であっても、境界面の性状によってその挙動は大きく異なる。

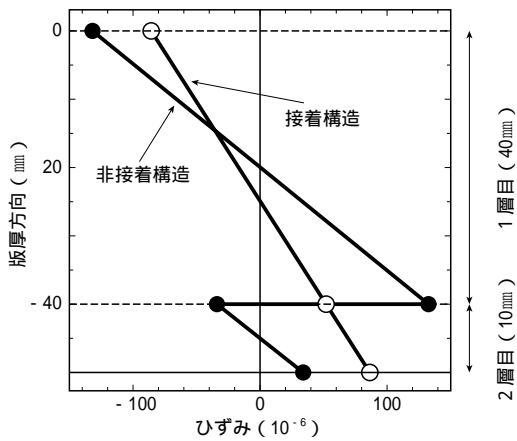


図 - 6 平板内の厚さひずみ分布

#### 4.2 例題 2：実橋における载荷試験

##### 4.2.1 载荷試験概要

例題として、神奈川県湘南銀河大橋（3 径間連続鋼斜張橋）で実施された载荷実験結果を解析する。図 - 7 は、本橋の左半分の構造および载荷実験のタイヤ位置を示している。本橋では、厚さ12mmのデッキプレートにグースアスファルト混合物40mmと改質 I 型アスファルト混合物40mmの 2 層の舗装構造であった。横げた間隔10mのスパン中央部の舗装表面横断方向にひずみゲージを貼り付け、大型車トラックの後軸を近づけてひずみを計測した。この計測では、箱げた腹板接合部に縦目地を設置する前後で実施し、縦目地の効果を確認した。後軸中心を縦目地設置位置に合わせた A 測定と、一方の複輪の中心を箱桁腹板接合部に合わせた B 測定という形で载荷を行った<sup>5)</sup>。

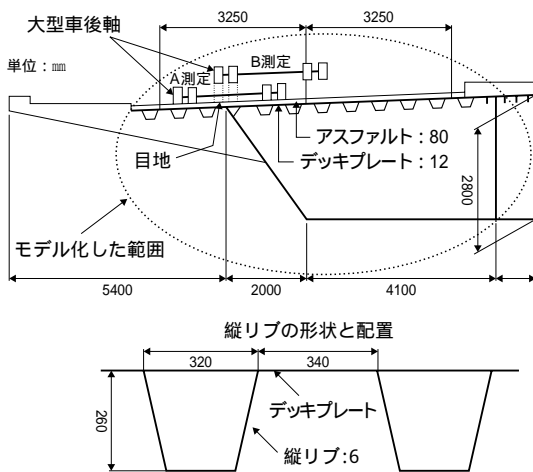


図 - 7 载荷実験の行われた橋の断面

図 - 8 はこの载荷試験に対する SLPE モデルの要素分割である。鋼床版については、断面のほぼ半分の片側車線のみについて帯板要素にて分割した。舗装部分は 1 層として扱い、タイヤが作用する位置に合わせて、要素分割を行った。縦目地は図 - 9 に示すように、縦目地設置部に節点を一つ追加し、その部分で隣り合う要素の 1 部を切り離すことによってモデル化した。材料定数は表 - 1 に示すとおりである。特にアスファルト混合物の変形係数は载荷速度や温度によって変化するので、その値の設定が問題となる<sup>10)</sup>。通常のアスファルト混合物であれば、荷重载荷時間を 2 秒、混合物温度を 10 とした場合、1000MPa 程度である。一方、最近用いられている改質系のアスファルト混合物やグースアスファルト混合物の場合はそれよりもやや高い<sup>11)</sup>。そこで、アスファルト層の剛性の影響をみるために、1000MPa および 5000MPa の 2 種類を設定した。アスファルト層とデッキプレートは接着構造とし、接着要素のばね係数の値は例題 1 と同じとした。

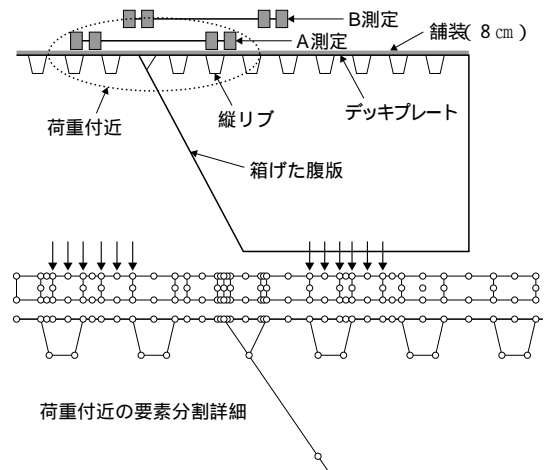


図 - 8 例題 2 の要素分割図

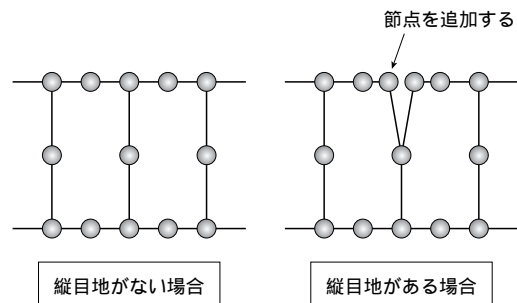


図 - 9 縦目地のモデル化

表 - 1 例題2の計算条件

項目	アスファルト層	デッキプレート	縦リブ
弾性係数 (MPa)	1000, 5000	208000	208000
ポアソン比	0.35	0.3	0.3
厚さ (mm)	80	12	6

4.2.2 実験結果との比較

図 - 10は目地設置前における横断面に沿ったアスファルト表面のひずみ分布を示している。左の図は後軸の中心を箱桁腹板接合部に一致させたA測定の結果、右の図は一方の複輪の中心を箱桁腹板接合部に一致させたB測定の結果である。黒丸は横断方向の実測ひずみ、白丸は橋軸方向の実測ひずみを示している。SLPEによる計算値は、横断方向のひずみを実線で、橋軸方向のひずみを破線で表している。細い線がアスファルト層の弾性係数を1000MPaとした結果で、やや太い線はアスファルト層の弾性係数を5000MPaとした結果である。A測定の場合、実測によれば腹板接合部に大きな横断方向の引張ひずみが発生している。一方、タイヤ直下においては圧縮ひずみが生じている。計算値はこのような傾向をよく表現している。とくに、アスファルト層の弾性係数

を5000MPaとした場合には、腹板接合部における実測の値とほぼ一致している。ひずみ分布は、荷重作用位置付近以外の縦リブ接合部において引張となっている。B測定の場合には、腹板接合部の引張りひずみはA測定の場合ほど大きくはならないが、それでもやや大きな引張りひずみになっている。また、後軸中心付近の縦リブ接合部にやや大きな引張りひずみが観測された。アスファルト層の弾性係数が5000MPaの場合のひずみ量は、アスファルト層の弾性係数が1000MPaの場合の半分程度になっている。特に1000MPaの場合、ひずみ分布は縦リブ接合部で大きく変化する。

図 - 11は目地設置後におけるアスファルト表面のひずみ分布を示している。図中の凡例は先の図と同様であり、縦目地の位置を破線で示した。この場合、縦目地位置における実測された引張りひずみは大きく減少している。計算値は、目地近傍でひずみが激減しているが、それ以外では目地がない場合とほとんど同じひずみとなっている。すなわち、目地の効果は目地設置近傍のきわめて限られた場所のみであって、それ以外の腹板接合部周辺には、依然として比較的大きな引張りひずみが生じていることになる。

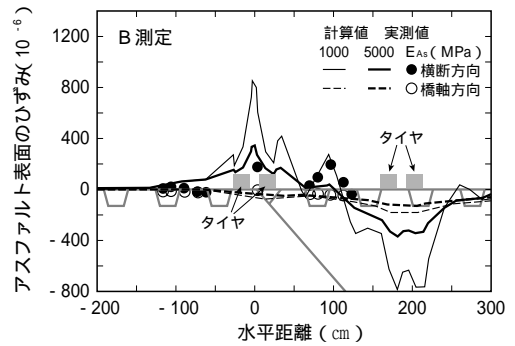
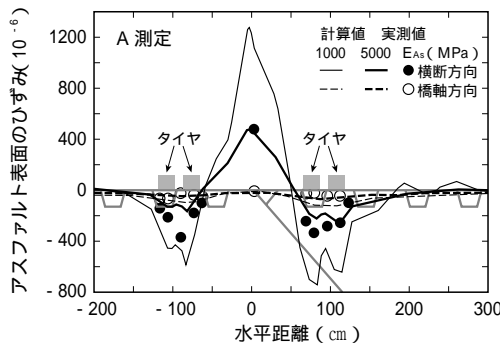


図 - 10 目地設置前における横断面に沿ったアスファルト表面のひずみ分布

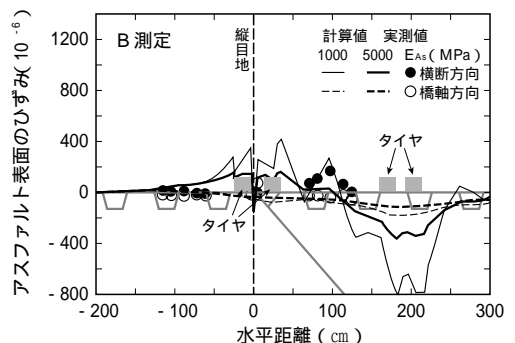
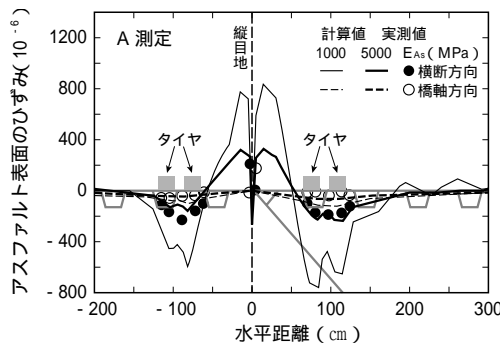


図 - 11 目地設置後における横断面に沿ったアスファルト表面のひずみ分布

先に述べたように、SLPEモデルはアスファルト層の局所的な変形を解析することができる。図 - 12は、箱桁腹板接合部周辺における横断方向の水平ひずみの分布を示したものである。色が濃いほど、このひずみの値が大きいことを示している。図から明らかなように、目地がないとひずみの分布は厚さ方向で引張から圧縮に変化しており、ほぼ様な曲げの状態になっているといえる。一方、目地があると、目地の周辺のひずみが極端に減少するが、ひずみが減少している領域は非常に小さな範囲に限られていることがわかる。

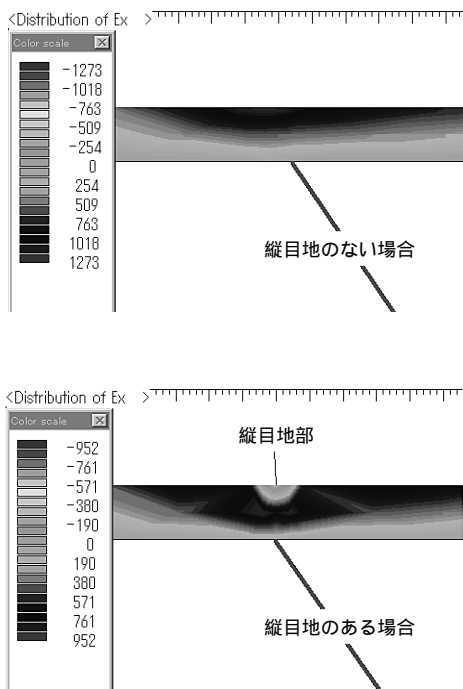


図 - 12 縦目地設置前後の横断方向のひずみの分布の違い

## 5 鋼床版舗装の縦ひび割れ

### 5.1 鋼床版舗装のひび割れ

荷重が舗装に繰返し作用することによって、疲労ひび割れが生ずる。鋼床版舗装も例外ではなく、荷重走行位置の縦方向にひび割れが生ずることがある。ただし、鋼床版舗装の場合、縦ひび割れの発生は鋼床版の構造に大きく依存する。特に表面から生ずる縦ひび割れは、縦リブの配置間隔に対応した間隔で橋軸方向に直線状に生ずる<sup>1)</sup>。このようなひび割れは縦リブや腹版のウェブの直上ばかりでなく、その間にも生ずるこ

とがあり、その発生原因は明らかではない<sup>12)13)</sup>。

ここでは、開発された構造モデルの適用例として、表面縦ひび割れの発生原因について検討してみる。基本的な考え方としては、まず構造モデルによってひずみや応力を計算する。計算されたひずみや応力にアスファルト混合物の疲労曲線を適用して疲労度を計算する。この疲労度から疲労ひび割れの発生を予測する。これまで、通常のアスファルト舗装で用いられている引張りひずみ規準の疲労曲線を用いて、このような表面縦ひび割れの発生を予測することが可能かどうかについて検討してきた。その結果、ウェブ間に生ずるひび割れの発生原因については不明のままであった<sup>14)</sup>。そこで今回は散逸エネルギー規準に基づいた疲労解析によってその発生原因を探ることとした。

### 5.2 散逸エネルギー規準による疲労曲線

姫野らは、荷重の走行に伴うアスファルト混合物の粘性による散逸エネルギーと、アスファルト混合物の疲労破壊の関係を実験的に求め、両者の間に温度や速度によらないユニークな関係があることを見出した<sup>15)</sup>。ここで散逸エネルギーとは、アスファルト混合物の応力 - ひずみ曲線が描くヒステリシスループの面積である。このようなヒステリシスループは、アスファルト混合物の粘性によるもので、その面積は1回の荷重によって失われるエネルギーを示している。鋼床版舗装の散逸エネルギーを算定することによって、疲労破壊の可能性を評価することができる。本研究においては、散逸エネルギーによる破壊までの荷重回数によって計算する。

$$N_f = \left( \frac{1}{a_0} \sum_{ij} \sigma_{ij} \sin \theta_{ij} \right)^{\frac{1}{a_0}} \dots \dots \dots (1)$$

ここに、

$N_f$ : 破壊までの荷重回数,  $a_0 = 149000$  (密粒度アスファルトの場合),  $a_{10} = -0.419$  (密粒度アスファルトの場合),  $\sigma_{ij}$ : 静的弾性解析によって計算された応力,  $\theta_{ij}$ : 位相角であり、姫野らの実験から

$$= a_3 + a_4 \cdot \log Si + a_5 (\log Si)^2 \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 $a_3 = -40.043$  (密粒度アスファルトの場合),  $a_4 = 9.209$  (密粒度アスファルトの場合),  $a_5 = -0.518$  (密粒度アスファルトの場合),  $Si$  = アスファルト混合物の弾性係数 ( $1.035 \times 10^8 < Si < 1.591 \times 10^9$ ) である。

また、疲労度は次式によって計算する。

$$F_d = \frac{n}{N_f} \dots \dots \dots (3)$$

ここに、 $F_d$ ：疲労度、 $n$ ：実際の载荷回数である。この計算の中で、 $F_d$ は軸重分布、荷重走行位置分布、温度分布を考慮して行う。疲労度が1を超えたらひび割れが入るものとする。

### 5.3 計算条件

対象とした鋼床版舗装は平成4年11月に供用を開始した幸魂大橋の外回り片側2車線の三径間連続鋼箱桁橋部である。外回り車線は内回り車線が完成するまでの5年4ヶ月間、対面交通で暫定供用された。この鋼床版舗装では、交通供用開始後2ヶ月より数ヶ月ごとに路面調査が実施され、ひび割れ状況が記録されている<sup>13)</sup>。

鋼床版の構造を図-13に示す。図に示すように、片側部分のみを解析の対象とした。横リブ間隔は2450mmである。厚さ12mmの鋼床版の上に厚さ75mmの改質型アスファルト混合物が施工されている。アスファルト混合物以外の弾性係数は一定とし、表-2に示す値を用いた。アスファルト混合物の弾性係数はShell法<sup>16)</sup>により求めた。そのときの条件としては、载荷時間=0.036(速度30km/h相当)、軟化点65度、PI=1.5、アスファルト量(体積比)=12.5%、空隙率=3.9%、骨材容積率=87.0%とした。また舗装体温度は表-3に示す各月の平均気温から秋山の式<sup>17)</sup>を用いて表面35mmまでの部分を推定した。それ以下の部分は気温と同じと仮定した。それらの温度に基づいて弾性係数を表-3のように算定した。

荷重位置は図-14に示すとおりである。荷重位置1を基準として右左に200mmずつずらした位置を、荷重位置2、3とした。荷重は大型車後軸98kNとし、その荷重をスパン中央に载荷した状態を考える。また、

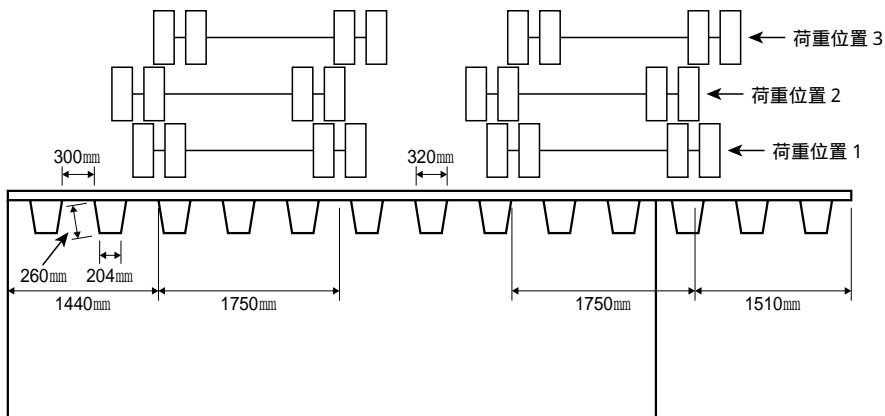


図-13 鋼床版の構造

荷重は図-14に示すように鉛直方向の等分布荷重だけでなく、タイヤの剛性によって生ずる横断方向の荷重を三角分布荷重として作用させた<sup>18)</sup>。

荷重の1日の軸重分布を表-4に示す。この軸重分布はC交通相当のものである<sup>19)</sup>。毎日同じ軸重が载荷するものと仮定した。また、荷重位置1には軸数の2分の1が通過し、荷重位置2、3には4分の1が通過するものと仮定した。

表-2 各材料の弾性係数及びポアソン比

部材	厚さ(mm)	弾性係数(MPa)	ポアソン比
舗装	75	温度による	0.35
デッキ	12	210000	0.3
腹板	10	210000	0.3
縦リブ	6	210000	0.3

表-3 各月のアスファルト舗装の弾性係数

月	平均気温(°C)	舗装表面の推定温度(°C)	舗装内部の弾性係数(MPa)	舗装表面の弾性係数(MPa)
1月	4.5	6.7	9566	8474
2月	6.8	9.4	8428	7294
3月	9.8	12.9	7104	5770
4月	17.2	21.9	4331	3129
5月	20.3	26.0	3499	2353
6月	22.4	29.0	3021	1924
7月	26.8	36.0	2231	1102
8月	28.5	39.0	1990	941
9月	24.7	32.5	2568	1465
10月	19.9	25.5	3598	2432
11月	12.1	15.6	6091	4808
12月	8.2	11.0	7807	6559

表-4 軸重分布

軸荷重(kN)	通過軸数
9.8 ~	19995
19.6 ~	4386
29.4 ~	3603
39.2 ~	1959
49 ~	1009
58.8 ~	659
68.6 ~	365
78.4 ~	162
88.2 ~	72
98 ~	37
107.8 ~	28
117.6 ~	7
127.4 ~	2

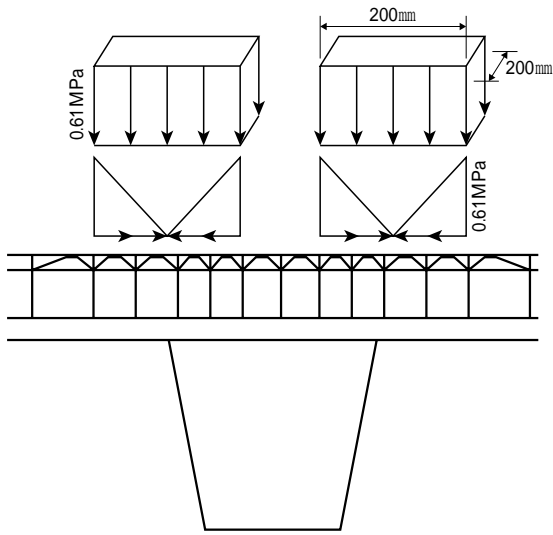


図 - 14 荷重モデル

#### 5.4 計算結果

図 - 15は、この鋼床版舗装において実施されたひび割れ調査の時期にあわせた季節の温度、交通量から疲労度を計算し、横軸に横断方向の距離をとって、疲労度とひび割れ発生位置およびその延長率と比較したものである。図中、疲労度は実線で表され、ひび割れ発生位置および延長率は で表されている。ここで、ひび割れ延長率とは調査区間に対して縦ひび割れが発生

している割合である。縦ひび割れは荷重走行位置に発生しているため、疲労度が大きくなっている位置とほぼ対応している。また、疲労度が大きくなる位置は必ずしも縦リブウェブばかりでなく、その間にもある。このように、散逸エネルギー規準によれば、縦リブウェブ間のひび割れを予測することが可能である。

縦ひび割れの発生している位置の疲労度とひび割れ延長率の関係をみたものが図 - 16である。ひび割れの開きは冬と夏では異なるため、調査時期ごとに区別して示した。ばらつきはやや大きいものの、ひび割れ延長率と疲労度には正の関係があることがわかる。

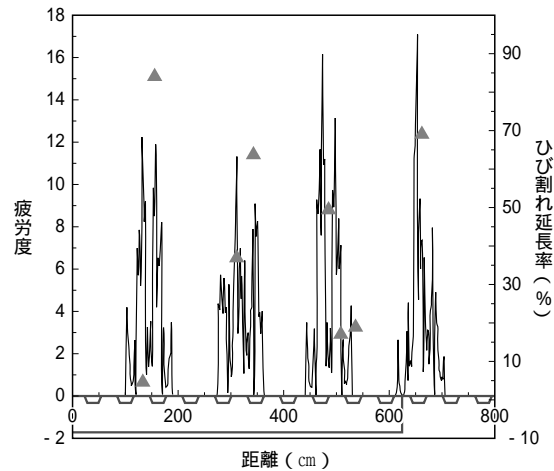


図 - 15 疲労度と縦ひび割れの延長率との関係

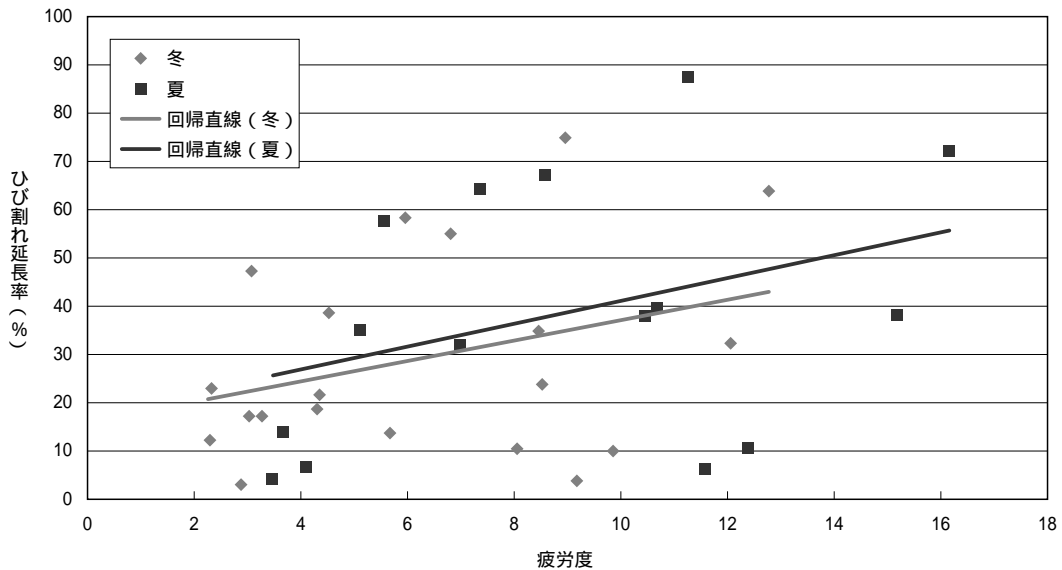


図 - 16 疲労度とひび割れ延長率

## 6. まとめ

本稿においては、鋼床版舗装に生ずる応力について、そのメカニズムおよび新たに開発された構造モデルを用いた解析法について述べた。さらにこのモデルの適用例として、散逸エネルギー規準による疲労解析から鋼床版舗装特有な表面縦ひび割れの発生原因を探った。鋼床版舗装のきわめて複雑な挙動を予測する技術は、ここで述べたモデル以外にも商用のFEMパッケージを用いたものもある。本モデルはそれらに比べて非常にコンパクトであり、必要なコンピュータ資源も小規模のもので十分である。いずれにしろ、これらのツ

ルをうまく使うことによって鋼床版舗装の力学的な挙動を予測し、合理的な設計を行うことが可能である。ただし、本稿で述べたモデルは、静的弾性解析であり、鋼床版舗装で使われるアスファルト混合物の材料的な性質が既知であることを前提としている。したがって、アスファルト舗装の材料定数や破壊規準を別途何らかの方法で求めなくてはならない。構造解析に必要なこのようなアスファルト混合物の材料的な性質に関する情報は残念ながら非常に限られているが、その正確な情報を得ることが特に重要であることを強調しておきたい。

## 参考文献

- 1) 多田宏行：橋面舗装と設計施工，鹿島出版会，1996
- 2) 佐々木道夫：橋面舗装と鋼床版，アスファルト，Vol.38，No.187，pp.44-53，1996
- 3) 飯島尚，小島逸平：鋼床版舗装の疲労曲線，第15回日本道路会議論文集，pp.383-384，1983
- 4) 岩崎雅紀，永田考，西川武宏，小塩達也，山田健太郎：アスファルト舗装が鋼床版の疲労に及ぼす影響，土木学会論文集，No.563/I-39，pp.161-171，1997
- 5) 西澤辰男，姫野賢治，佐藤亮一，佐藤育正：鋼床版舗装の構造解析法に関する研究，土木学会論文集，No.627/V-44，pp.103-112，1999
- 6) 草間晴幸，谷山健：有限帯板要素法，日刊工業新聞社，1994
- 7) ツィエンキーヴィッツ，吉識雅夫，山田嘉昭監訳：マトリックス有限要素法，培風館，pp.371-378，1996
- 8) 西澤辰男：帯板要素と角柱要素を結合した鋼床版舗装構造解析モデルの開発，土木学会舗装工学論文集，Vol.4，pp.111-120，1999
- 9) 小林隆志，西澤辰男，散逸エネルギー理論に基づいた鋼床版舗装縦ひび割れの発生予測，土木学会第59回年次学術講演会概要集，2004
- 10) 笠原篤，岡川秀幸，菅原照雄：アスファルト混合物の動的性状とその舗装構造の力学解析への利用，土木学会論文報告集，第254号，pp.107-117，1976
- 11) 中西弘光：鋼床版舗装への碎石マスチック混合物の適用について，舗装，Vol.33，No.8，pp.4-11，1998
- 12) 内田喜太郎，松野三朗，西澤辰男：首都圏における鋼床版舗装の破損状況，第23回日本道路会議一般論文集（C），社団法人日本道路協会 平成11年
- 13) 藤枝英男，中澤健，光谷修平：鋼床版上のアスファルト舗装に関する調査一事例，第23回日本道路会議一般論文集（C），社団法人日本道路協会 平成11年
- 14) 小林隆志，西澤辰男：疲労解析に基づいた鋼床版舗装の表面縦ひび割れの発生予測，土木学会舗装工学論文集，Vol.8，pp.215-222，2003
- 15) 姫野賢治，渡辺隆，勝呂太：散逸エネルギー理論を用いたアスファルト混合物の疲労破壊規準，東京工業大学土木工学科研究報告，No.35，pp.51-72，1985年12月
- 16) Yang, H.Huang: Pavement Analysis and Design, Prentice-Hall, 1993
- 17) 秋山政敬：アスファルト舗装体内温度の推定に関する研究，土木学会論文集，No.246，pp.105-115，1976年6月
- 18) Jacobs, M.M.J., et al.: Cracking in Asphalt Concrete Pavements, Proceedings, 7th International Conference on Asphalt Pavements, Vol.1, 1992
- 19) 建設省土木研究所：土木研究所資料 第3321号 車両重量調査の解析（その4），平成7年2月

# 水密性の高いISMAの施工方法

(Construction of Stone Mastic Asphalt with Higher Impermeability)

神谷 恵三\*

SMAは、国内において表層用混合物として使用されているが、粗骨材の間隙を多量のマスティックモルタルにより充填し空隙率を小さくすることで、水密性およびたわみ追従性にも優れる混合物にもなる。JHではこれに鑑みて表層用のSMAを配合修正し水密性を向上させる仕様とした上で、橋梁のレベリング層やコンポジット舗装の中間層として適用している。

本報告は、これまでの施工事例と供用状況を振り返りながら、水密性の高いISMAの要求性能とその標準化に向けた施工方法の留意点をいくつか報告するものである。

## 1. はじめに

砕石マスティックアスファルト(Splittmastixasphalt：以下「SMA」という)は、1960年代にドイツで摩耗対策用の混合物として開発された表層用の加熱アスファルト混合物である。SMAは、骨材間の噛合せとアスファルトモルタルの働きにより、従来使用されてきた混合物に比べ、重交通路線での優れた耐久性を発揮するものである。以来、数十年を経て、この混合物は、交通量と通行車両の軸重の増大化に伴い、ドイツでは最も使用されるアスファルト表層用混合物の一つになった<sup>1)</sup>。

しかし、日本でSMAが使用され始めたのはここ15年程度と他の表層用混合物に比べると歴史がまだ浅い。また、粗骨材を多量に使用しつつその間隙をアスファルトモルタルで充填させるという特殊な配合であるために、材料の管理から製造、運搬、施工という一連の品質管理も困難となる。さらに、JHでは水密性の高さに着目して、表層ではなくコンポジット舗装の中間層や橋面舗装のレベリング層にSMAを規定していることは注視すべき点である。

本文は水密性の高いISMAの要求性能を述べると共に、JHにおけるこれまでのSMAの施工を振り返り、施工に関する留意点を述べるものである。

## 2. SMAの要求性能

図-1に示すとおり、SMAは密粒度アスコンに比べて多量の粗骨材を使用するが、粗骨材間隙を細骨

材・アスファルト・石粉・必要に応じて添加される繊維で形成される多量のマスティックモルタルにより充填し、空隙率を小さくすることで、水密性に加えたわみ追従性にも優れる混合物とすることができる。この観点から、JHではSMAを橋梁のレベリング層やコンポジット舗装の応力緩和層としてコンクリート版上に適用している(図-2)。

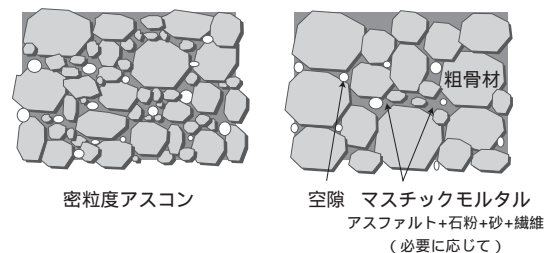


図-1 密粒度アスコンとSMAの構造

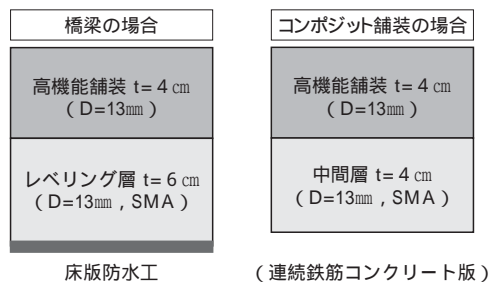


図-2 JHにおけるSMAの適用

\*かみや けいぞう 日本道路公団試験研究所 道路研究部 舗装研究室長

これらの適用に対するSMA混合物の要求性能は、以下に示すとおりである。

- ①水密性の要求性能として、加圧透水試験（水圧500kPaで24時間測定）から空隙率を定めるとした。透水係数は水利用アスファルト混合物の目安値である  $1 \times 10^{-7}$  cm/sec以下とし、図-3<sup>2)</sup>の空隙率と透水係数の関係から空隙率を2～3%に規定した。

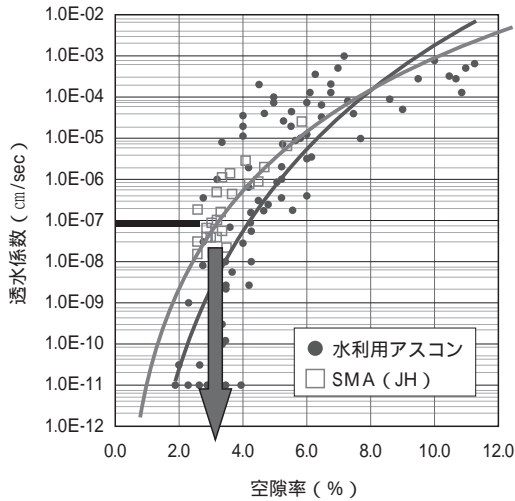


図-3 空隙率と透水係数の関係<sup>2)</sup>

- ②表層となる排水性舗装（以下、「高機能舗装」という）用混合物が流動を起こさないように、下層部に十分な耐流動性を確保するため、目標とする動的安定度を1000回/mm以上とした。
- ③骨材とアスファルトがはく離を起こさないように、従来の水浸マーシャル試験に加えて、骨材の静的はく離試験と共に水浸ホイールトラッキング試験を規定した。

ドイツではSMAを表層用混合物として使用しており、その空隙率は3～4%と規定している。日本国内ではこの基準を採用している例が多いと思われるが、JHでは水密性を確保するために空隙率を2～3%と規定しているので注意を要する。また、高機能舗装の基層として機能させるために動的安定度も規定しているので、水密性と耐流動性のバランスを保つという点も極めて重要である。

このような要求性能に適合する混合物の許容領域は狭くなるので、要求性能を現場で実現させるためには、混合物の製造から運搬、そして施工に至るまでの各工

程において入念な品質管理が必要となる。以下には、これまでに室内及び現場で確認したSMAの施工に関する問題点とそれに対する留意点をいくつか紹介する。

### 3. 施工に関する留意点

#### 3.1 SMAの仕上がり例

図-4はJHの要求性能が現場において達成された時と、そうでない時の仕上がり面である。良い例ではマッシュクモルタルが表面まで浮上しており、高い水密性が予見される。一方、悪い例では表面の空隙が大きいために水密性が期待できない。また、高機能舗装に浸透した雨水がSMAの粗くなった凹部に滞水するため、骨材とアスファルトのはく離を促進させることとなり、SMAの側方流動やそれに伴う高機能舗装のひび割れなどの損傷へ至る恐れがある。

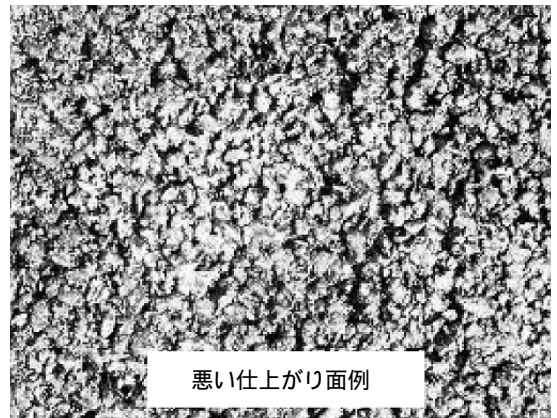


図-4 SMAの仕上がり例

#### 3.2 混合物の温度管理

図-5<sup>2)</sup>は、PAVによる促進加圧劣化をさせたアスファルトと未劣化のアスファルトを使用した場合の

低温時（-10℃）における曲げ破断ひずみを比較したものである。

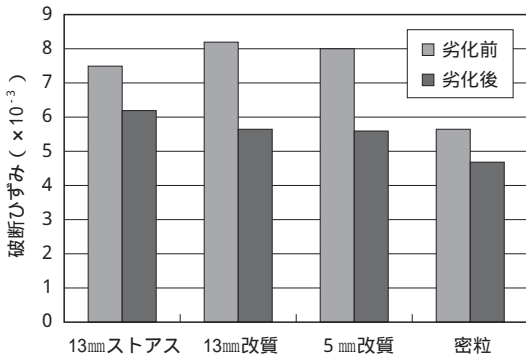


図 - 5 SMAの劣化前後の曲げ破断ひずみ<sup>2)</sup>

3種類のSMAは密粒よりも大きなひずみを示しているが、劣化後の破断ひずみは減少する傾向が見られる。PAVは供用時の長期的な劣化を再現するものであるが、混合物の製造から施工までの間に、過度な加熱や酸化を与えるとアスファルトが急速に劣化するので注意を要する。例えば、合材を長時間にわたって運搬する場合に起こる混合物の温度低下を防ぐために、プラントでの混合温度を過度に上げることで対応すべきではない。また、夏場の施工においても、混合物の運搬中にシートを使用すべきであるのは、酸化劣化を防止するためである。

### 3.3 施工機械と厚さ

図 - 6<sup>2)</sup>は、施工機械の組み合わせによる転圧効果を過去に試験したものである。研究開発当初の試験であったために目標空隙率3%を達成することができなかったが、以下の所見を得ることができた。

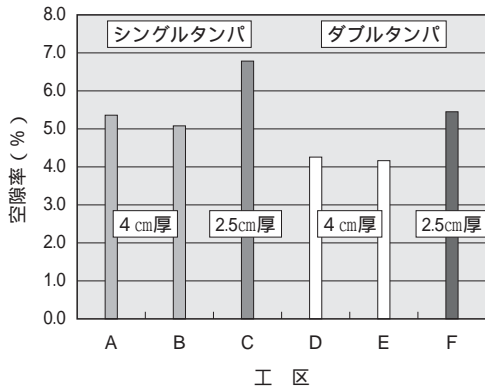


図 - 6 SMA (13mm) の施工方法と空隙率の関係<sup>2)</sup>

- ① シングルタンパ式のフィニッシャーよりもダブルタンパ式の方が締め易く(図 - 7), より緻密な仕上がり面が得られた。
- ② 薄層の転圧は温度低下が早いので、温度管理には注意を要する。
- ③ 温度低下に対しては、混合物の運搬時に二重の保温シートを使用する。
- ④ 舗装表面の剥がれ(図 - 8)に対しては、ローラーに付着防止剤を適量塗布する。



図 - 7 ダブルタンパ式フィニッシャーによる敷均し

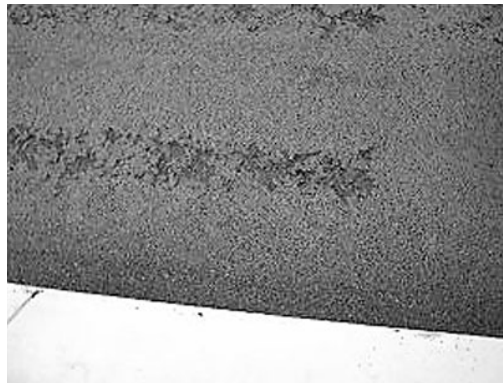


図 - 8 ローラーへの混合物付着による剥れ

### 3.4 転圧時の注意

図 - 9は、SMAの一次転圧に水平振動ローラーを用いた施工状況である。丸印内は散水過多を示している。散水過多は温度低下を早めるので、少量の間欠散水とするべきである。

図 - 10は、水平振動ローラーによる一次転圧後の表面であるが、マスチックモルタルの浮き上がりが見られない。これを達成するためには水平方向の振動ではなく垂直方向の振動ローラーを使用するのが好ましい。

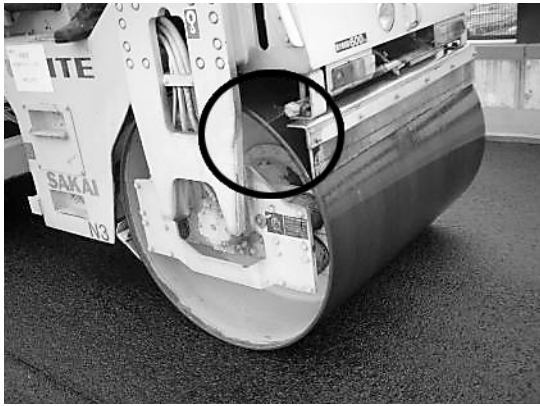


図 - 9 散水過多の状況

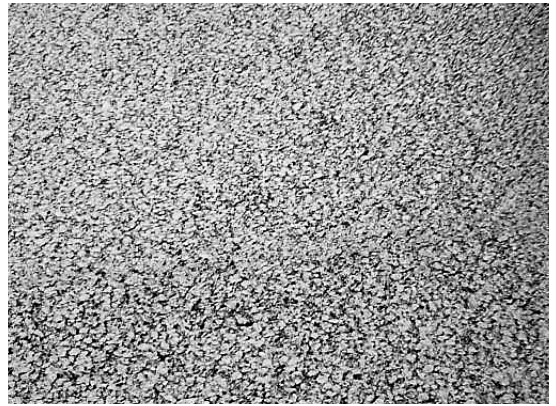


図 - 10 水平振動ローラーによる仕上り

図 - 11は壁高欄付近の転圧が不足しているために、タイヤローラーによる二次転圧時のローラーマークが残っている状況である。端部には雨水が滞水しやすいので、車線部と同様に十分な転圧が必要である。この対応としては、壁面の防護テープに擦り寄り位置までタイヤローラーを通過させることである。

また、転圧不足のためにマスチックモルタルが表面まで浮かび上がってこないので、配合設計で確認した空隙率を期待することはできない。水密性を確保するための対策としては、混合物温度が100℃を下回らない間にタイヤローラーによる二次転圧を行い、そのニーディング作用でアスファルトをブリージングさせることである。この時、高温でタイヤローラーを使用することとなるので、ローラーには骨材が付着しないように付着防止剤を適量塗布する必要がある。

図 - 12は、付着防止剤の散布状況である。骨材がタイヤへ付着しないようにローラーにはマットが装着されているが、3枚のマットが跳ね上がっている状態となっており、これでは十分な効果が望めない。また、付着防止剤の散布量が過度であり、剤が路面に多量に残っている状況が見受けられる。このような状況では、混合物の温度低下を早めるだけでなく、カットバックさせる恐れもあるので注意を要する。

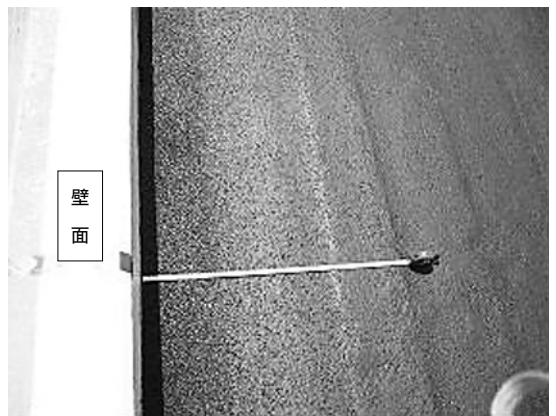


図 - 11 端部の転圧不足（タイヤローラー）



図 - 12 付着防止材の使用

#### 4. おわりに

高機能舗装の全面展開に伴いSMAの施工量も増えているが、施工技術はまだ定着しているとは思えない。最大の理由は、SMAの水密性に富む本来の仕上がり面が周知されていないことによる。現在作成中の施工マニュアルが普及することにより、施工改善が図られることを期待したい。

#### 参考文献

- 1) Michael Kreide 他：THE 'ORIGINAL' STONE MASTIC ASPHALT : "GERMAN EXPERIENCE", 第11回REAAAセッション11 (2003年5月)
- 2) 高橋, 皆方, 大野, 佐藤：砕石マスチックの橋梁部における適用性, JH試験研究所報告, Vol.37, pp22-31, 平成12年11月

# 長期供用している橋面舗装の経済性評価

(Economic evaluation of the bridge deck pavements in long service)

鈴木 利幸\*・佐藤 憲二\*\*・井原 務\*\*\*

盛岡市近郊において、20年以上の間未補修で良好な供用性を保持している橋面舗装がある。この舗装材には、密粒度アスコンに比べ、耐久性に優れた特殊G型アスコンが使用されている。ここでは、この特殊G型アスコンの性状を紹介するとともに、現状路面のMCIを求め、これをもとに回帰統計により舗装の修繕サイクルを想定し、ライフサイクルコストの試算から経済性評価を行った。

## 1. はじめに

我が国における車輛の保有台数は、昭和40年代後半より急速に増加し、これにともなって道路交通網の整備が進み、また円滑な交通流の確保として立体交差のための高架橋や河川橋梁が多く建設されてきた。

橋面舗装は、死荷重などの関係から舗装厚に制約を有し、土工部とは異なった舗装構成となっている。さらに、快適な走行性を確保するとともに、維持補修工事が容易に出来にくいことから、より高度な耐久性が求められる側面もある。

本報は、岩手県盛岡市近郊において、橋面舗装材として一般の密粒度アスコンに替え、より耐久性に優れた特殊G型アスコンを使用した結果、約20年以上経過しても修繕工事を行わずに長期供用している橋面舗装の例があり、このことは舗装の長寿命やコスト縮減、さらには環境負荷の低減につながるものと考えられることから、そのライフサイクルコスト（Life-Cycle Cost；以下、LCCと称す）を試算し、当該混合物の有効性を紹介するものである。

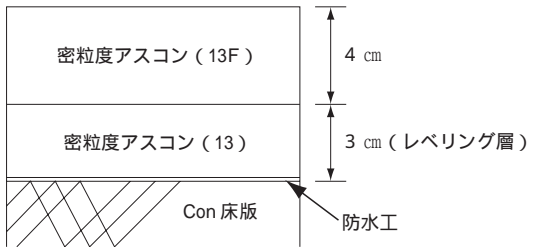


図-1.1 一般的な橋面舗装構成

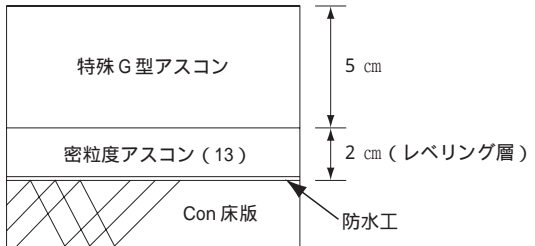


図-1.2 特殊G型の橋面舗装構成

## 2. 橋面舗装の構成

盛岡市近郊において施工されている一般的な橋面舗装の構成は、図-1.1に示すとおりである。

他方、長期間供用されている特殊G型アスコンを使用した場合は、図-1.2のとおりである。

## 3. 特殊G型アスコンの特徴

### 3.1 特殊G型アスコン採用の経緯

盛岡市は、地形的に北上川、雫石川および中津川などの一級河川が合流する位置にあり、このため橋梁の数も多く、交通の要となっている。

橋面舗装の表層は、通常、密粒度アスコン(13F)を使用しているが、昭和50年代後半、スパイクタイヤによる摩耗わだち掘れの発生が著しく、10年未満程度

\*すずき としゆき (株)NIPPOコーポレーション 東北試験所 所長

\*\*さとう けんじ 岩手県盛岡市役所

\*\*\*いはら つとむ (株)NIPPOコーポレーション 技術研究所 調査設計課長

の頻度で修繕がなされていた。

わだち掘れは、積雪寒冷地においては、機械除雪によっても当該部に圧雪が残り、交通の安全性や冬期交通流を確保する上での障害となっていた。また、舗装路面の摩耗は、春先の粉塵公害といった社会問題を招き、特に耐摩耗性に優れた表層混合物の開発が急務とされていた。

このような社会情勢を背景に、当時、耐摩耗性、耐流動性および水密性に優れた橋面用表層混合物として特殊G型アスコンを開発し、試験的に適用した結果、供用性は十分に良好であると判断され、その後当該地域の橋面舗装に波及したものである。

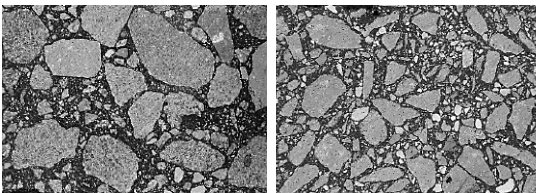
### 3.2 特殊G型アスコンの性状

特殊G型アスコンの骨材配合および性状を、表 - 1 に示す。同アスコンの骨材組成は、最大粒径を20mmとし、6号砕石を使用しない不連続な粒度分布で、5号砕石を主骨格としたものである（写真 - 1）。

表 - 1 特殊G型アスコンの骨材配合および性状例

項目		特殊G型アスコン	密粒度アスコン (13F)
配合比率 (%)	5号砕石	42.0	-
	6号砕石	-	36.5
	7号砕石	19.0	9.5
	粗砂	9.0	22.3
	細砂	14.0	18.0
	石粉	11.0	8.0
特性値	アスファルト量	5.0	5.7
	空隙率 (%)	2.5	3.6
	飽和度 (%)	85.5	86.0
	安定度 (kN)	15	11
	フロー値(1/100cm)	50	31
	Ds (回/mm)	900	300
	摩耗量 (cm <sup>3</sup> )*	0.5	1.1
破断歪み (10 <sup>-2</sup> )	7.3	6.7	

注) 表中\*印は、クロスチェンによる測定値。



特殊G型アスコン 密粒度アスコン (13F)  
写真 - 1

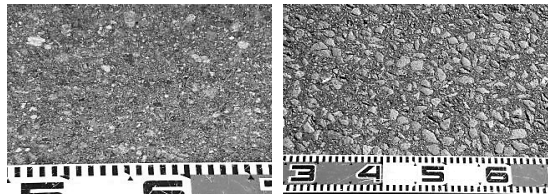
### 3.3 特殊G型アスコンの特徴

特殊G型アスコンの特徴は、以下のとおりである。

- (1) 20~13mm級の粗骨材配合割合が多く、かつ不連続粒度であること、また、F/Aが大であることから、摩耗に対する抵抗性が大きい。
- (2) 低針入度級のストレートアスファルトを使用していることから、一般の密粒度アスコン(13F)に比べて耐流動的である。
- (3) 空隙率が小さく、水密性に優れる。
- (4) 曲げ破断ひずみが多いことから、たわみ性、ひびわれ抵抗性が大きい。

このように、特殊G型アスコンは、橋面舗装のアスファルト混合物に求められるさまざまな性能を有しており、橋面用表層混合物として有効な混合物である。

一般的な密粒度アスコン(13F)と特殊G型アスコンの同年数(17年)経過した路面状態を写真 - 2 に示す。



一般的な密粒度アスコン 特殊G型アスコン  
写真 - 2

特殊G型アスコンは、20mm級の粗骨材が凸状に露出し、表面を覆っている。このような粗骨材のかみ合わせ効果と、その間隙を富配合なアスファルトモルタルが充填することにより、混合物の特性が発揮されている。

### 3.4 特殊G型アスコンの製造および施工

#### (1) 製造

特殊G型アスコンは、通常のアスファルトプラントにおいて混合・製造が可能である。また、その製造工程は、一般の混合物と同様であるが、ミキシングタイムを通常よりも長くする必要がある。

#### (2) 舗設

混合物の舗設は、一般の混合物とほぼ同様の施工機械および編成で行うことができるが、タイヤローラの転圧やその付着防止等に注意・工夫が必要である。

## 4. 橋面舗装の現状

特殊G型アスコンの供用状況を、表 - 2 に示す。特殊G型アスコンは、盛岡市近郊の橋梁(約20橋)のうち8橋に施工実績がある。ここでは、供用中の橋面舗装(特殊G型アスコン: 6橋, 密粒度アスコン(13F):

表 - 2 橋面舗装の現状 (岩手県盛岡市, 釜石市およびその周辺)(上り車線)

橋名	表層混合物	供用年数	ひびわれ率 (%)	わだち掘れ量 (%)	平坦性 (mm)	MCI	片側車線数	日大型車交通量(台)	大型車混入率 (%)
旭橋	特殊G型	22年	8.2	10.0	2.57	5.5	2	770	10
御厩橋	特殊G型	20年	0.8	12.7	2.55	7.1	1	710	10
太田橋	特殊G型	17年	3.0	22.6	2.34	5.1	2	1,640	9.2
夕顔瀬橋	特殊G型	12年	12.5	10.2	2.93	5.0	2	1,970	7.1
盛南大橋	特殊G型	7年	7.7	6.7	1.50	5.8	2	880	10
釜石高架橋	特殊G型	17年	0	11.9	1.59	7.3	1	1,560	25.7
舟場橋	密粒度	17年	1.6	36.8	3.28	3.9	1	850	10
長徳橋	密粒度	13年	2.5	8.0	2.85	6.6	1	570	9.7

注 - 1) 橋梁床版は、いずれもコンクリート床版である。  
 2) 基層混合物は、いずれも密粒度アスコン(13)である。  
 3) 表中のひびわれ率, わだち掘れ量, 平坦性は, 20mごとに測定した値を平均したものである。

2橋)を対象に路面性状を測定し, 式①~式④により MCI (維持管理指数) <sup>1)</sup> を求めた。

$$MCI = 10 - 1.48C^{0.3} - 0.29D^{0.7} - 0.47 \dots \dots \dots \text{式①}$$

$$MCI_0 = 10 - 1.51C^{0.3} - 0.3D^{0.7} \dots \dots \dots \text{式②}$$

$$MCI_1 = 10 - 2.23C^{0.3} \dots \dots \dots \text{式③}$$

$$MCI_2 = 10 - 0.54D^{0.7} \dots \dots \dots \text{式④}$$

ここに,  
 C : ひびわれ率 (%)  
 D : わだち掘れ量 (mm)  
 : 縦断方向凹凸量 (平坦性) (mm)

このように, 特殊G型アスコンを使用した舗装は, 20年程度を経過してもMCIが5.0以上を示し, '望ましい管理水準' が保持されている。

5. MCIの経年変化

5.1 大型車交通量とMCIの変化

日大型車交通量および累積大型車交通量とMCIとの関係を, 混合物の種類ごとに図 - 2, 3に示す。

なお, 図 - 3の丸印は, 橋面舗装の直後に近隣で大型建設工事があり, その通行に供したことによる影響と推察される。

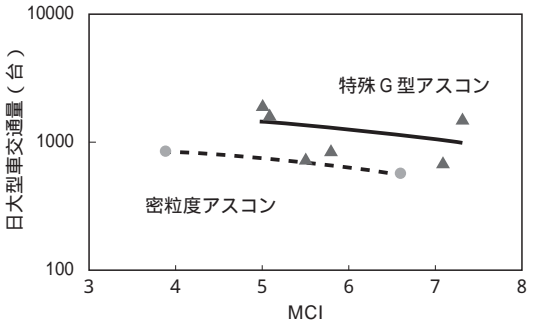


図 - 2 日大型車交通量とMCI

5.2 供用性の予測

供用性の予測にあたっては, 積寒地域におけるオーバーレイによる修繕を想定した場合のMCIの予測式(式⑤<sup>2)</sup>)を参考として, 表 - 2に示した橋面舗装の現状から回帰統計処理を行い, 特殊G型アスコンについては式⑥が, また, 密粒度アスコン(13F)については式⑦が得られた。

式⑥および式⑦を用いて, 修繕が必要とされるMCI = 4となるまでの経年数を予測した結果(図 - 4), 密粒度アスコン(13F)は15年, 特殊G型アスコンは38年の経過で, 修繕が必要になると予測される。

積寒地域 ----- オーバーレイ

$$MCI = 9.7 - 0.42a - 0.27 \times 10^{-3}b - 0.45 \times 10^{-1}c \dots \dots \dots \text{式⑤}$$

ここに,  
 a : 経年数 (年)  
 b : 車線当りの交通量 (台/日・方向・車線)  
 c : 大型車混入率 (%)

特殊G型アスコン

$$MCI = 9.8 - 0.109a - 0.14 \times 10^{-3}b - 0.021c \dots \dots \dots \text{式⑥}$$

密粒度アスコン

$$MCI = 9.8 - 0.176a - 0.27 \times 10^{-3}b - 0.045c \dots \dots \dots \text{式⑦}$$

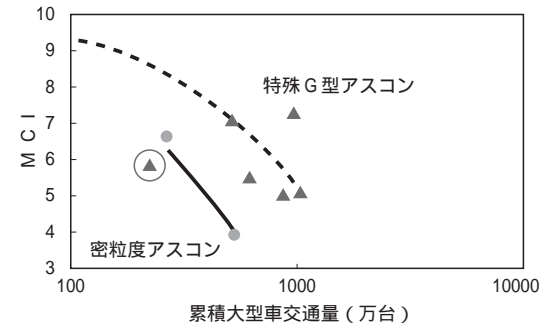


図 - 3 累積大型車交通量とMCI

ここに、

MCI：維持管理指数

a：経年数（年）

b：車線当りの交通量；10,000（台/日・方向・車線）

c：大型車混入率；10（%）

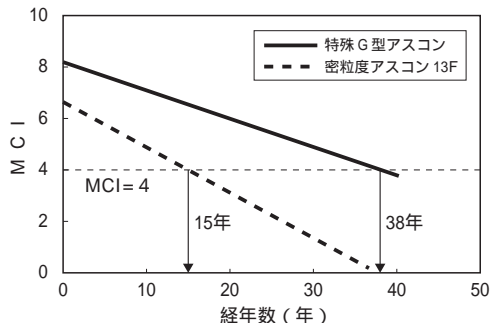


図 - 4 供用性の予測

## 6. LCCの試算

### 6.1 修繕サイクル

橋面舗装の修繕を、5.2節で求めた供用性予測の経過年数によるサイクルで行うこととすれば、図 - 5 に示すような修繕サイクルとなる。

通常、アスファルト舗装の供用年数は約10年として計画されていることを考えれば、橋面部の供用性は土工部とは異なった低下傾向を示していると言える。

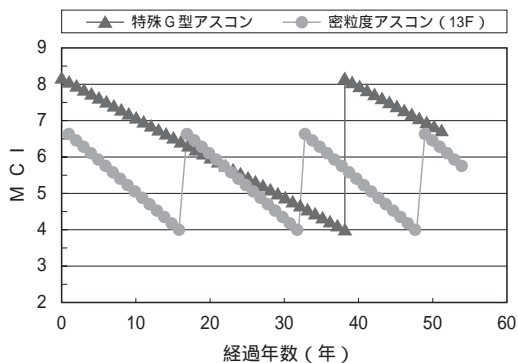


図 - 5 修繕サイクル

### 6.2 LCCの試算

舗装のLCCは、建設コストから始まり、日常の維持管理費や次に訪れる修繕費などの管理者側からみた費用、道路を走行する利用者の便益に係る費用など多岐にわたる費用が算入される。

ここでは、前項で求めた舗装の経過年数による修繕

サイクルをもとに、以下に示す費用項目<sup>2)</sup>と条件設定を行い、LCCを試算する。

なお、修繕費に係る割引率および舗装の残存価値に係る評価は、算定方法が十分に一般化されていないことから、ここでは考慮しないものとした。

#### (1) 費用

##### 1) 建設費および修繕費

盛岡市近郊における7cm舗装（切削含まず）の直接工事費。特殊G型アスコン = 2,462円/m<sup>2</sup>、密粒度アスコン = 1,754円/m<sup>2</sup>

##### 2) 維持費

1m<sup>2</sup>当りの年間維持費用をMCIの水準により設定（表 - 3参照）。

表 - 3 MCIと維持費の関係

MCI	維持費（円/m <sup>2</sup> ）
10.0 ~ 9.0	27
8.9 ~ 8.0	44
7.9 ~ 7.0	62
6.9 ~ 6.0	79
5.9 ~ 5.0	96
4.9 ~ 4.0	113
3.9 ~ 3.0	130
MCIが3に落ちて2年目	148
MCIが3に落ちて3年目	165
MCIが3に落ちて4年目以降	182

##### 3) 車輛走行費用（VOC：Vehicle Operating Cost）

大型車と小型車とによって異なり、MCIの水準により変化する。ここでは、各車両の走行速度を時速40kmとして、式⑧～⑨にて試算する。

大型車；VOC（円/100km）

$$= 46.589 \times \text{MCI}^2 - 683.08 \times \text{MCI} + 7414.9 \dots\dots \text{式⑧}$$

小型車；VOC（円/100km）

$$= 11.623 \times \text{MCI}^2 - 183.85 \times \text{MCI} + 2029.1 \dots\dots \text{式⑨}$$

##### 4) 時間損失費用

時間損失費用は、舗装工事の路上作業に伴う道路利用者の損失費用として、式⑩により試算する。

$$\text{TCL} = \text{STL} \times [31 \times (1 - t) + 46 \times t] \times \text{TV} \times \text{P} \dots\dots \text{式⑩}$$

ここに、

TCL：時間損失費用（円/工事）

STL：工事区間の走行時間の遅れ（2車線 = 2分、4車線 = 1分）

31, 46：単位時間当たりの損失額（31円/分；小型車、46円/分；大型車）

t：大型車混入率（%）

TV : 路上作業の影響を受ける24時間交通量 ( 2  
車線 ; 全交通量 , 4 車線 ; 全交通量の50% )

P : 作業日数 ( 日 )

(2) 試算条件の設定

1) 工事規模

試算する工事規模は、2車線区間で1,000m<sup>2</sup>の規模とし、作業日数を2日間とする。

2) 交通量

交通量は、車輛交通台数を10,000 ( 台/日・方向・車線 ) とし、このうち大型車混入率は10 ( % ) とする。

3) 解析期間

解析期間は、修繕サイクルなどを考慮し50年とする。

(3) 解析結果

解析期間内における1m<sup>2</sup>当りの総コストの推移は、前述費用項目および設定条件より、図-6に示すとおりである。

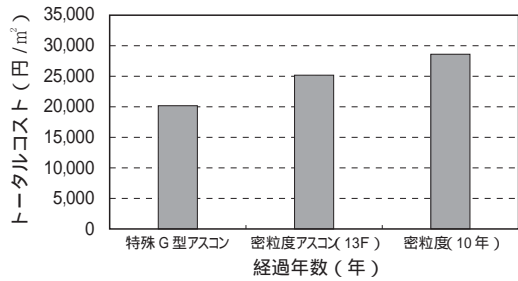


図-7 50年経過時m<sup>2</sup>当り総コスト

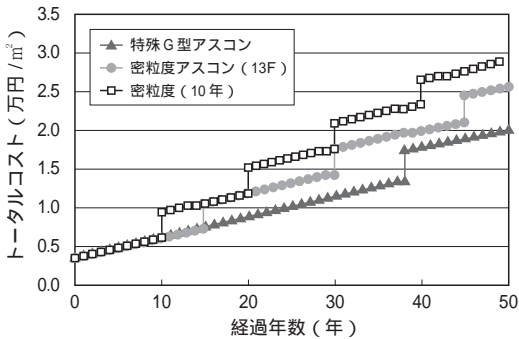


図-6 m<sup>2</sup>当り費用の経年推移

なお、ここでは、密粒度アスコンで10年の修繕サイクルとした場合を参考ケースとして併記した。

この結果、建設から15年目までは、密粒度アスコン(13F)の方が安価となるが、15年目で修繕工事を行った以降、特殊G型アスコンの方が安い費用で維持管理ができることとなる。

また、50年経過した時点での総コストは、密粒度アスコン(13F)が25,146円/m<sup>2</sup>となるのに対し、特殊G型アスコンは20,223円/m<sup>2</sup>である。これより、特殊G型アスコンは、約20 ( % ) のコスト縮減となり、長期的な経済性において優位となることがわかる。

ちなみに、参考ケース(密粒度:10年サイクル)の50年後の総コストは、28,676円/m<sup>2</sup>と求められ、特殊G型アスコンはその70 ( % ) 程度となり、有効性はさらに大きく評価される。

7. まとめ

- (1) 特殊G型アスコンは、20年程度の経過後も良好な供用性が保持されており、十分に耐久的な混合物である。
- (2) 特殊G型アスコンがMCI = 4に達するまでの供用年数は、38年と試算され、密粒度アスコン(13F)の約2.5倍の年数が期待できる。
- (3) 特殊G型アスコンの建設費は、密粒度アスコン(13F)の約1.4倍となるが、維持管理費用等を含む総コストは16年経過以降に安価となり、50年経過時には約2割のコスト縮減となる。

8. おわりに

舗装ストックの増大は、その維持管理費用の急増をともない、これらを背景に建設段階から舗装のLCCに着目した検討の必要性が指摘されて久しい。

ここでは、長期間、未補修で供用されている橋面舗装を取り上げ、そのLCCを試算し、特殊表層混合物の有効性を評価したものであるが、このことはアセットマネジメントの観点からも有益なものと考えられる。

なお、ここで参考とした車輛走行費用や時間損失費用に係るデータは、20年ほど前の調査、研究資料に基づいていること、利用者や沿道住民のニーズの多様化・高度化により、便益性が変化していること等から、基礎資料の見直しやLCCの評価費目とその算定方法などを確立するための検討が望まれるところであり、本報がその一助となれば幸いである。

最後に、資料収集や調査にご協力を戴いた方々に対し、この場を借りて謝意を申し上げる次第である。

参考文献

- 1) 設計施工マニュアル(案): 東北地方建設局, 河川編・道路編, P2-9-2
- 2) 舗装の管理水準と維持修繕工法に関する総合的研究: 第41回建設省技術研究会報告, P16~18

# 鋼床版舗装の長期保全を考慮した マイクロサーフェシング工法について

(A micro-surfacing method in consideration of the long-term preservation of pavement on a steel deck)

宮脇幸男\*・下前隆雄\*\*

本州四国連絡橋公団の海峡部長大橋の鋼床版舗装は、供用を開始してから古いもので20年を経過しているが、大きな損傷はなく良好な供用性を保っている。しかし、10数年経過した頃より舗装表面は老朽化による荒れとひびわれが散見される状態となってきた。このようななか鋼床版舗装の予防保全として最適な工法を確立することを目的に、予防的維持として表面処理工法であるマイクロサーフェシング工法を適用し、瀬戸中央自動車道の下津井瀬戸大橋と西瀬戸自動車道の因島大橋において施工した。

本文では、鋼床版舗装の長期保全としてのマイクロサーフェシング工法の適用性について、マイクロサーフェシング施工前後の路面性状等から検証した。

## 1. はじめに

本州四国連絡橋公団（以下、本四公団）の海峡部長大橋は死荷重軽減の目的から鋼床版が用いられている。鋼床版上の舗装は、鋼床版の変形に十分追従でき耐ひびわれ性、流動抵抗性に優れ、また鋼床版の防錆面から防水機能が要求されることから、下層にグースアスファルト舗装、上層に改質アスファルト舗装を採用している。鋼床版の構造を図-1に、鋼床版舗装の構成を図-2にそれぞれ示す。鋼床版舗装の施工数量は、全体で約47万m<sup>2</sup>である。

鋼床版舗装は、供用開始から古いものでは20年を経過しているが、大きな損傷はなく良好な供用性を保っている。しかし、供用後10年を過ぎたあたりから舗装の表面は老朽化による荒れと、縦ひびわれを主とするひびわれが散見される状態となった。このような状態を放置すれば切削オーバーレイなどの大規模な補修を実施せざるを得なくなることが予想された。したがって、損傷が比較的軽微なうちに表面処理工法のような予防的維持工法を適用することで、大規模な補修を行うまでの期間を長くし、舗装補修に係るライフサイクルコストを低減できるものと考えられる。

このような観点から、鋼床版舗装の予防的維持として表面処理工法であるマイクロサーフェシング（以下、MS）工法を選定し、瀬戸中央自動車道の下津井瀬戸

大橋、西瀬戸自動車道の因島大橋で施工した。両橋梁におけるMS施工前後の路面性状等を比較し、本工法の予防的維持としての適用性について検討する。

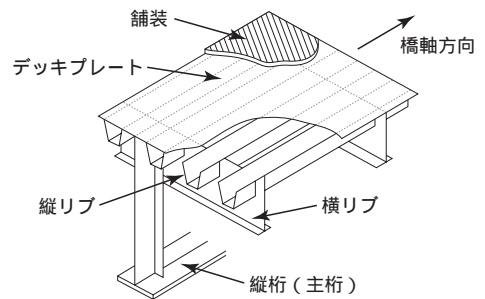


図-1 鋼床版の構造

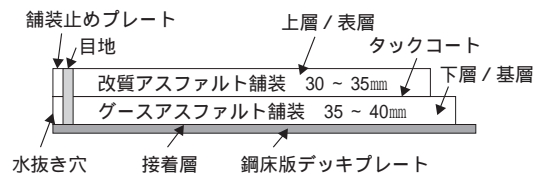


図-2 鋼床版舗装の構成

## 2. 鋼床版舗装の維持管理

鋼床版舗装は、鋼床版の防錆面から防水機能が要求されており、特に基層のグースアスファルトが損傷を

\*みやわき ゆきお 本州四国連絡橋公団第二管理局 保全部道路維持課

\*\*しもまえ たかお 本州四国連絡橋公団第二管理局 保全課

受けないように、適切な維持管理を実施しなければならない。

グースアスファルトは施工コストが高く、施工には高い施工温度を必要とし、高度の品質管理技術が要求される。

鋼床版舗装の維持管理に関する基本的な考え方は以下のとおりである。

- ① 基層であるグースアスファルトは、打ち換えを行わない。
- ② 基層への雨水の浸入を防止するため、表層である改質アスファルトを常に調査し補修を行う。
- ③ 通行車両の影響及び雨水等の自然条件の影響を直接受ける改質アスファルト層が供用限界に近づいた場合は、表層のみ切削オーバーレイを行う。

以上の基本方針から、鋼床版舗装の維持管理においては、特に表層に対し適切に予防的維持管理を行い、舗装全体の健全性を長年に保つことが重要である。

### 3. MS工法の施工

MS工法は、骨材、急硬性改質アスファルト乳剤、水、セメント及び分解調整剤を専用のマイクロサーフェシングペーパーでスラリー状に混合したうえで既設路面に薄く敷き均す工法である。

本四公団の鋼床版舗装におけるMS工法の施工実績を表-1に、施工状況を写真-1に示す。MS工法の施工にあったては、骨材飛散対策、交通解放時期、施工時期及び気象急変時の養生補助工法等の検討を行った<sup>1)2)</sup>。その概要は以下のとおりである。なお、ひびわれについては、MS施工に先立ちクラック注入材を用いて補修を行っている。

表-1 MS工法施工実績

橋梁名	供用年月	施工数量	施工年月
下津井瀬戸大橋	S63.4	5,640m <sup>2</sup>	H11.11(供用後12年)
		14,910m <sup>2</sup>	H13.10(供用後14年)
因島大橋	S58.12	23,900m <sup>2</sup>	H12.5(供用後16年)



敷き均し                      タイヤローラによる転圧  
写真-1 MS施工状況

- ① 骨材飛散対策として、設計敷き均し厚さ以上の骨材を排除する。
- ② 交通解放時期は、すり減り量540kg/m<sup>2</sup>(ウェットトラック摩耗試験)以下<sup>3)</sup>となるような含水比で現場管理を行った。
- ③ 施工時期は、気温、湿度及び天候等の検討を行い過去の気象データから3月下旬から6月上旬、又は9月下旬から12月上旬が望ましい。
- ④ 気象急変時の養生補助工法として、バーナー加熱及び赤外線ヒーター加熱養生工法を検討し、いずれも含水比低下に有効であり、長時間加熱でなければ混合物への影響も大きくない結果であった。

### 4. MS施工前の路面状況

#### 4.1 路面性状

MS施工前の鋼床版舗装の路面性状調査結果は表-2のとおりであった。

表-2 施工前の路面性状

	わだち掘れ(mm)	すべり抵抗(BPN)	ひびわれ率(%)
下津井瀬戸大橋	6	60	10.6
因島大橋	7	59	8.7
維持修繕管理目標値	20	45	20

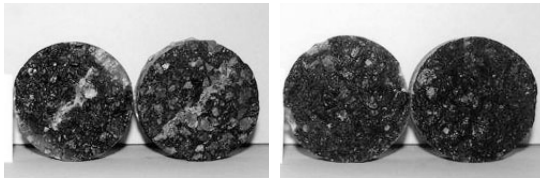
路面性状値は、維持修繕管理目標値に比べ小さな値であり、路面状況は比較的健全である。

#### 4.2 接着力試験

下津井瀬戸大橋において、ひびわれ発生箇所(以下、ひびわれ部)とひびわれの発生していない箇所(以下、一般部)で接着力試験を行った。その結果、破断箇所は引張り金具接着面、改質アスファルト層内及び改質アスファルトとグースアスファルトの境界であり、グースアスファルトと鋼床版との破断はなかった。

改質アスファルトとグースアスファルトの境界の引張り強さは、ひびわれ部で5.6kgf/cm<sup>2</sup>、一般部で10.9kgf/cm<sup>2</sup>あり、ひびわれ部は一般部に比べかなり弱くなっている。また、破断面の観察では、ひびわれ付近において骨材からアスファルトがはく離している現象がみられる。破断面の状況を写真-2に示す。このことは、ひびわれからの雨水等の浸入により、アスファルトのはく離現象が徐々に進行し、接着力を低下させていると推定される。

因島大橋では、接着力試験は実施していないがコア観察の結果は、改質アスファルトとグースアスファルトの接着性は良好であった。



ひびわれ部 一般部  
写真 - 2 破断目の状況

#### 4.3 ひびわれ部の開削調査

下津井瀬戸大橋においてひびわれの著しい部分の開削調査を行った結果、ひびわれはグースアスファルトの上面で止まっており、グースアスファルト及び鋼床版には異常は認められなかった。

#### 4.4 アスファルトの物理的性状

回収したアスファルトの性状試験結果を表 - 3 に示す。改質アスファルトは、ひびわれ部、一般部とも劣化していると考えられる。

グースアスファルトは、ひびわれ部、一般部とも各試験値は規格値の範囲であり、比較的良好な状態を保っていると考えられる。

#### 4.5 まとめ

上記の試験結果から、改質アスファルトについては、

表 - 3 回収アスファルトの物理性状  
改質アスファルト

試験項目	下津井瀬戸大橋		因島大橋	規格値
	ひびわれ部	一般部	(ひびわれ部)	
針入度 (1/10mm)	32	39	21	60 ~ 100
軟化点 ( )	66.5	63.5	70.5	55 ~ 65
伸度(10 ) (cm)	2	6	-	50以上
タフネス・テナシティ (kgf/cm <sup>2</sup> )	タフネス	85.3	94.3	120以上
	テナシティ	12.0	20.0	100以上
60 粘度 (ポアーズ)	49,700	29,300	300,383	4,000以上

#### グースアスファルト (下津井瀬戸大橋)

試験項目	ひびわれ部	一般部	規格値
針入度 (1/10mm)	22	25	15 ~ 30
軟化点 ( )	66.0	64.5	58 ~ 68
伸度(10 ) (cm)	31	32	10以上

路面性状は比較的健全な状態であるが、回収アスファルトの物理性状結果と総合的に判断すれば、劣化している状態であると考えられる。グースアスファルトについては、コア観察、開削調査及び物理性状試験結果から比較的健全な状態を保っていると考えられる。

### 5 . MS施工後の追跡調査

MS施工後の路面性状の追跡調査結果を図 - 3 に示す。

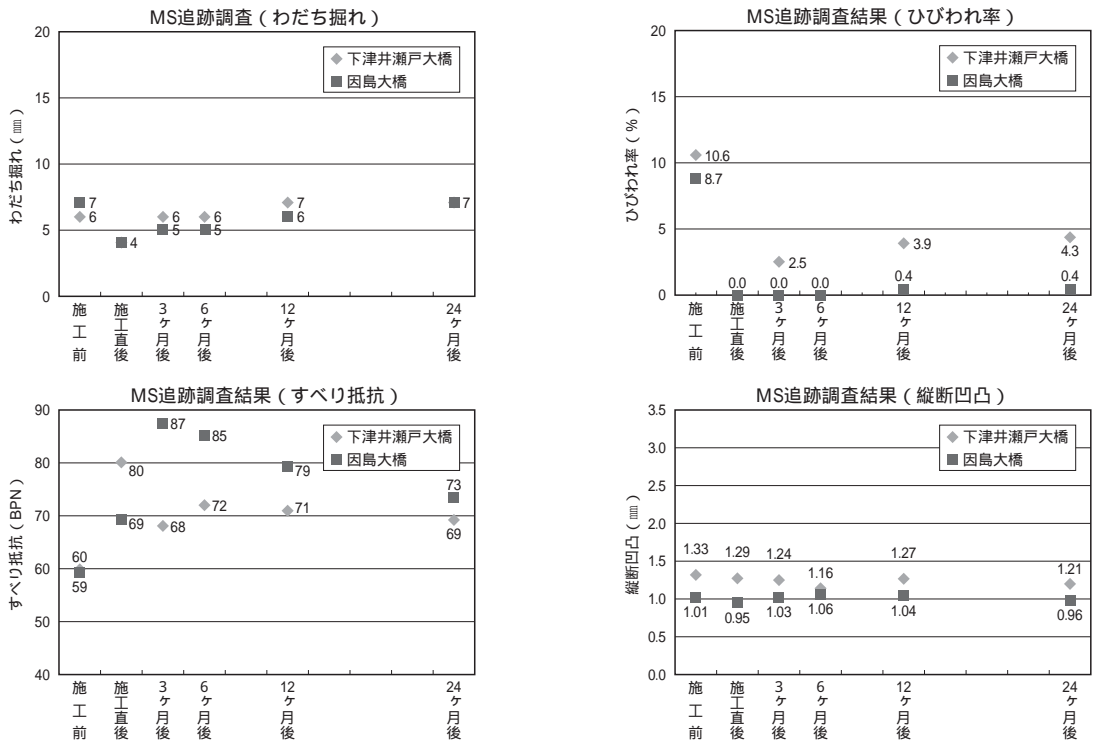


図 - 3 MS施工追跡調査

MS施工により、すべり抵抗、ひびわれ率については改善がみられた。わだち掘れ、縦断凹凸については、MSの施工厚が5mmと薄いことから改善することは困難である。なお、発生しているひびわれはリフレクションクラックと思われる。

## 6. MSの効果

MS施工による効果は、路面性状の追跡調査結果からすべり抵抗の改善、ひびわれ発生の抑制に対し有効であったと考えられる。

MS施工後の改質アスファルト物理性状の追跡試験は実施していないが、両橋梁とも新たなひびわれは発生していないことから、MSによる改質アスファルト層の保護効果があったものと考えられる。

MSの再施工時期（耐久性）は、すべり抵抗、ひびわれ率がMS施工前の値（すべり抵抗：60、ひびわれ率：10%）に達した時と考えると、追跡調査結果から予測すると図-4に示す近似式が得られ、再施工時期は約4.6～5年と考えられる。

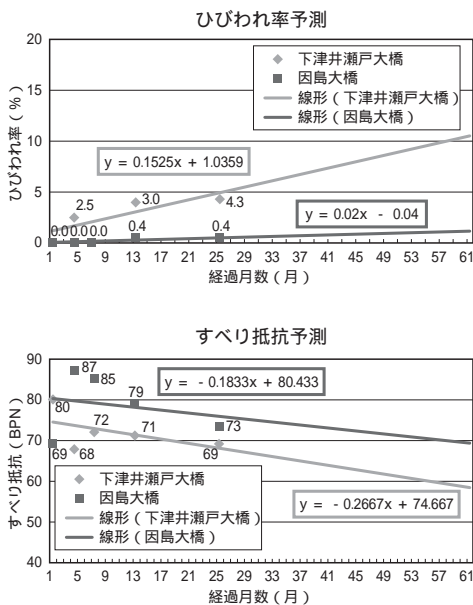


図-4 路面性状予測

## 7. 今後の課題と取り組み

MS工法については、追跡調査の結果から鋼床版舗装の予防保全として有効であると考えられるが、今後さらに下記について検討を行う。

(1) 路面性状、アスファルトの物理性状による補修判断基準の検討。

鋼床版舗装のMS施工前の路面性状、物理性状とMS施工後の追跡調査結果からMS工法による補修の判断基準を検討する。

(2) 追跡調査結果に基づく、MSの再施工時期の検討

追跡調査の結果に基づき、MS工法の耐久性及び再施工時期等を検討する。

(3) コスト評価

MS工法の耐久性の検討から、ライフサイクルコスト(LCC)の評価を行い、鋼床版舗装の予防保全として最適な工法を確立する。

## 8. おわりに

下津井瀬戸大橋、因島大橋のMS施工実績及び追跡調査結果から、鋼床版舗装の予防的維持工法としてのMS工法の適用性は確認できた。今後さらなる追跡調査によってMS工法の耐久性等を検証していくとともに、鋼床版舗装の状況を調査し、MSの施工を実施する予定である。

最後にこの稿を発表するにあたり、ご協力いただいた(財)道路保全技術センター多田理事長をはじめ関係各位に心より感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 森本則行, 辻居勇, 鋼床版舗装における予防的維持へのマイクロサーフェシング工法の適用, アスファルト乳剤, 2001.10
- 2) 田向和則, 荒尾慶文, 因島大橋の薄層舗装工事 - 鋼床版舗装の予防的維持 -, 橋梁と基礎, 2002.2
- 3) (社)日本アスファルト乳剤協会, マイクロサーフェシング技術マニュアル, 1998

# 首都高速道路の鋼床版上の高機能舗装

(Drainage Pavement on Steel Deck in Metropolitan Expressway)

山本 泰幹\*

高機能舗装は、車両の雨天時走行安全性や視認性が向上し、低騒音性も期待できるため、近年、急速に施工量が増加している。雨天時の交通安全対策、騒音低減による沿道環境対策等を目的に、首都高速道路の最近開通した建設路線については、鋼床版上を含めて高機能舗装を適用している。鋼床版上に高機能舗装を適用する場合は、輪荷重に対して比較的たわみやすく、たわみ追従性や繰返し曲げ応力の作用にも十分耐えうる高品質な性状が要求される。首都高速道路の鋼床版上の高機能舗装は、表層には、鋼床版用高粘度改質アスファルトを使用した排水性混合物、基層にはグースアスファルト混合物を標準としている。本報告は、この舗装材料、および舗装構成を決めるにあたり、曲げ試験、ホイールトラッキング試験、水浸ホイールトラッキング試験、および疲労試験等の室内試験により、各種混合物の鋼床版上への適用性を検討した結果について報告するものである。

## 1. はじめに

首都高速道路は、平成16年5月の埼玉新都心線（与野～新都心）の開通により、総延長約283.3kmとなった。このうち高架橋の延長は、約232.4kmであり、全体の約82%を占めている。また、鋼床版の部分は、約42kmあり、高架橋の約18%を占めている。一方、一日当たりの通行台数は、平均約112万台に達し、設計交通量の区分は、ほとんどの路線がD交通にあたる。

高機能舗装の表層には、空隙率の大きいポーラスなアスファルト混合物が用いられる。舗装表面の雨水は表層内に浸透し、基層上面を排水勾配にしたがって路肩まで速やかに排水されるため、雨天時の走行安全性や視界が向上する。また、表層に多数存在する空隙により、タイヤと路面の間に空気が挟まれて発生するエアポンピング音が抑制され、低騒音性が期待できるとされている。

近年の道路建設にあたっては、交通安全対策および環境対策に一層の配慮が求められている。このため、雨天時の交通安全対策、騒音低減による沿道環境対策等を目的に、首都高速道路では、平成8年度に最初の鋼床版上の高機能舗装（排水性舗装）の試験施工を実施し<sup>1)</sup>、平成13年度以降に開通した建設路線については、鋼床版上を含めて高機能舗装を適用している。

RC床版上の表層のポーラスアスファルト混合物には、60 粘度を向上させた改質アスファルト（以下、高粘度バインダと呼ぶ）と、粗粒分の多いギャップ粒度の骨材からなる混合物（以下、排水性混合物と呼ぶ）が用いられる<sup>2)</sup>。一方、排水性混合物は、粗骨材のかみ合わせにより荷重を支持するため、耐流動性が高く、バインダの性状も改質されているが、高い空隙率をもつため、一般のアスファルト混合物と比較して日光、空気、水などの影響を受けやすい。また、とくに鋼床版上の高機能舗装では、輪荷重に対して比較的たわみやすく、たわみ追従性や繰返し曲げ応力の作用にも十分耐えうる高品質な性状が要求される。

本報告は、鋼床版上へ高機能舗装を適用するにあたり、上述の問題点を考慮し、候補となる数種類のバインダと混合物に対して、各種の室内試験による性状の確認を行ったものである。

## 2. 試験概要

### (1) 試験方法

鋼床版上の高機能舗装に着目した試験項目と確認する舗装性能について、表層・基層別に表-1にまとめる。試験方法は、一次試験と二次試験の2段階に分け

\*やまもと やすみき 首都高速道路公団 工務部 設計技術課

て実施し、一次試験で選定された舗装材料、舗装構成に対して、二次試験では実橋により近い状態を想定した試験を行うこととした。

表 - 1 鋼床版上の高機能舗装の試験項目と確認する舗装性能

印：実施した試験

試験項目	要求される性能	表層	基層
曲げ試験	たわみ追従性		
疲労試験	疲労耐久性		-
水浸ホイールトラッキング試験	耐はく離性		
ホイールトラッキング試験	耐流動性		
2層ホイールトラッキング試験			
カンタブロ試験	骨材飛散抵抗性		-
加圧透水試験	遮水性	-	
接着性試験	鋼床版との接着性	-	

(2) 使用材料

① バインダ

高機能舗装の表層用に用いられるアスファルト混合物は、高い空隙率をもつために、一般のアスファルト混合物と比較して、骨材に対する把握力、粘着力、はく離抵抗性が大きく、骨材を厚く被覆できることなど、より高品質な性状が要求される。また、鋼床版上では、輪荷重による繰返し曲げ変形に耐え

られるような材料とする必要があるが、空隙つぶれ、およびわだち掘れ対策の面から、骨材の飛散抵抗性が低下しない範囲でアスファルト量を少なくすることが望ましい。試験に使用したバインダの種類と各々の標準的性状を表 - 2 に示す。

② 骨材

排水性混合物は、一般のアスファルト混合物に比較して、粗骨材が主体の配合であり、空隙率が高い点に特徴がある。したがって、高機能舗装としての耐久性および機能の持続性が高い混合物とするためには、とくに骨材の品質、形状等の影響が大きいので、良質の骨材を選定することが重要である。

試験に使用する骨材の選定にあたり実施した調査結果を表 - 3 に示す。試験には、JIS規格に適合する首都圏9産地の骨材の中から、静的はく離率、および吸水率が共に大きいNo.1 砕石を使用した。静的はく離率や吸水率が大きいものは、舗装材料として耐久性が劣る場合が多いが、ここでは、骨材の品質のバラツキを考慮しても十分な高機能舗装としての耐久性が確保できることを確認する試験とした。

③ 混合物

試験に使用した混合物とバインダの組み合わせを表 - 4 に示す。

表 - 2 バインダの種類と標準的性状

性状	バインダ種	高粘度	鋼床版用高粘度A社	鋼床版用高粘度B社	飛散改善高粘度	改善Ⅱ型	付着改善	鋼床版用改質	ゴム入り	硬質アスファルト
針入度(25) 1/10mm		40以上	80以上	40以上	60以上	40以上	40以上	60以上	50以上	15~30
軟化点( )		80.0以上	80.0以上	80.0以上	80.0以上	56.0~70.0	68.0以上	70.0以上	50.0~60.0	58.0~68.0
タフネス(25) N・m		20以上	-	20以上	-	7.8以上	15.6以上	-	4.9以上	-
テナシティ(25) N・m		15.0以上	-	15.0以上	-	3.9以上	7.8以上	-	2.5以上	-
粘度(60) poise		20,000以上	40,000以上	20,000以上	40,000以上	-	1,500以上	20,000以上	-	-
曲げ破断歪み(-20)		-	80×10 <sup>-3</sup> 以上	-	80×10 <sup>-3</sup> 以上	-	-	120×10 <sup>-3</sup> 以上	-	-
備考		排水性指針 <sup>3)</sup>	社内規格	メーカー社内規格	メーカー社内規格	舗装要綱 <sup>4)</sup>	東京都規格 <sup>5)</sup>	メーカー社内規格	首都高規格 <sup>6)</sup>	首都高規格 <sup>6)</sup>

表 - 3 首都圏における骨材の調査結果

No.(産地)		1	2	3	4	5	6	7	8	9
比重 (g/cm <sup>3</sup> )	表 乾	2.645	2.641	2.635	2.688	2.687	2.664	2.651	2.652	2.677
	か さ	2.622	2.620	2.617	2.665	2.671	2.643	2.634	2.627	2.654
	見 掛	2.683	2.676	2.667	2.726	2.715	2.700	2.680	2.695	2.689
吸水率 (%)		0.87	0.80	0.72	0.84	0.61	0.79	0.65	0.95	0.50
すり減り量 (%)		13.8	14.1	13.6	13.3	13.8	10.8	10.2	16.0	13.3
静的剥離率 (%)		27	24	21	25	23	22	26	22	29

表 - 4 実験に使用した混合物とバインダの組み合わせ

バインダ種		高粘度	鋼床版用 高粘度A社	鋼床版用 高粘度B社	改善Ⅱ型	付着改善	鋼床版用 改質	ゴム入り	硬質 アスファルト
表層	排水性(13)	ア	イ	ウ	-	-	-	-	-
	粗粒ギャップ	-	-	-	-	-	-	エ	-
基層	SMA(13)	-	-	-	オ	カ	-	キ	-
	SMA(5)	-	-	-	ク	ケ	-	コ	-
	密粒(13)	-	-	-	サ	シ	ス	-	-
	グース	-	-	-	-	-	-	-	セ

表中のア～エは、表層を想定したものである。アは一般的な高粘度改質アスファルトを使用した比較用、イ、ウは鋼床版用高粘度バインダを使用した表層材の候補、エは鋼床版上の従来舗装表層材との比較用である。

表中のオ～セは、基層を想定したものである。オ～キは防水性、および耐流動性等に優れるとさ

れているSMA(砕石マスチックアスファルト)混合物を検討するためのものである。サ～スは骨材の粒度等は従来の密粒とし、バインダの改善による効果を検討するものである。カは従来舗装基層材との比較用である。

配合設計方法を表 - 5 に、配合試験結果を表 - 6 に示す。

表 - 5 配合設計方法

混合物種	準拠した配合設計の要領	機関名	主とする試験方法
排水性(13)	コンクリート床版上の排水性舗装設計・施工要領	首都高速道路公団	カンタブロ・ダレ試験の中央値
粗粒ギャップ	舗装要綱	日本道路協会	マーシャル安定度試験
SMA(13)	砕石マスチック混合物(舗装系防水工)の配合設計	同上	同上
SMA(5)	同上	同上	同上
グース	舗装要綱	同上	貫入量, リュエル流動性

表 - 6 配合試験結果

混合物種		表 層				基 層			
		排水性(13)				密粒(13)	SMA(13)	SMA(5)	グース
項目	バインダ種	高粘度	鋼床版 高粘度A社	鋼床版 高粘度B社	鋼床版改質	改質Ⅱ型	改質Ⅱ型	改質Ⅱ型	硬質 アスファルト
	配合割合(%)	6号砕石	83.0	83.0	83.0	37.0	37.0	63.0	-
7号砕石		-	-	-	19.0	19.0	9.0	61.5	21.0
粗 砂		-	-	-	26.0	26.0	9.5	17.5	15.0
細 砂		12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	7.0	10.0	14.0
石 粉		5.0	5.0	5.0	6.0	6.0	11.5	11.0	25.0
植物繊維(%)		-	-	-	-	-	0.3	0.3	-
アスファルト量(%)		4.8	4.8	4.8	5.4	5.4	6.2	6.7	8.7
基準密度(g/cm <sup>3</sup> )		1.966	1.965	1.972	2.365	2.365	2.348	2.331	-
理論密度(g/cm <sup>3</sup> )		2.471	2.471	2.470	2.448	2.448	2.421	2.404	-
空隙率(%)		20.4	20.5	20.2	3.8	3.8	3.0	3.0	-
骨材空隙率(%)		29.6	29.7	29.4	-	-	17.1	18.1	-
飽和度(%)		31.0	30.9	31.3	76.8	76.8	82.5	83.4	-
マーシャル安定度(kN)		7.02	7.34	7.66	11.80	11.80	8.40	7.89	-
フロー値(1/100cm)		27	32	25	32	32	26	42	-
安定度/フロー値(kg/cm)		27	23	31	38	38	33	19	-
残留安定度(%)		90.7	89.7	88.9	-	-	-	-	-
透水係数(cm/sec)		17.3 × 10 <sup>-2</sup>	20.1 × 10 <sup>-2</sup>	20.7 × 10 <sup>-2</sup>	-	-	-	-	-
貫入量(cm)		-	-	-	-	-	-	-	1.48
リュエル流動性(sec)		-	-	-	-	-	-	-	6.2

表 - 7 一次試験方法

試験名	準拠した試験方法の要領	機関名
曲げ試験	舗装試験法便覧	日本道路協会
水浸ホイールトラッキング試験	コンクリート床版上の排水性舗装設計・施工要領	首都高速道路公団
ホイールトラッキング試験	舗装試験法便覧	日本道路協会
カンタブロ試験	舗装試験法便覧別冊	同上
加圧透水試験	コンクリート床版上の排水性舗装設計・施工要領	首都高速道路公団
接着性試験	道路橋鉄筋コンクリート床版防水層設計・施工資料	日本道路協会

### 3. 試験方法

#### (1) 一次試験方法

一次試験における試験項目および準拠した試験方法の要領等を表 - 7 に示す。なお、水浸ホイールトラッキング試験については、床版上の滞水を考慮して、表 - 8 に示すように厳しい試験条件とした。はく離率の基準値は、東京都の「土木材料共通仕様書」を参考に5%以下を標準としている<sup>5)</sup>。

#### (2) 二次試験方法

##### ① 疲労試験による耐久性の確認

鋼床版上の高機能舗装は、とくに曲げ変形が大きいため、疲労耐久性に問題があると早期の破壊につながる恐れがある。したがって、実橋への適用にあたり、曲げ疲労試験による疲労耐久性の確認を行うことは重要と考えられる。

疲労試験装置の概略図を図 - 1 に、試験条件を表 - 9 に示す。試験は両端にある2つの治具で供試体を固定し、中央にある2つの治具で供試体に変位を与える。中央の治具の変位量をダイヤルゲージで調整し、供試体に与えるひずみを制御する。また、供試体にかかる荷重を中央の治具に取り付けたロードセルにより測定し記録する。梁の計算により、供試体中央部に生じる曲げ応力 間と曲げひずみ を、供試体中央部の変位量と供試体にかかる荷重から求め、見掛け上の弾性率 $E^*$ （複素弾性率： $E^* = \frac{\sigma}{\epsilon}$ ）を算出する。複素弾性率と繰返し回数を両対数グラフにプロットし、複素弾性率が低下する点（曲線の変曲点）における繰返し回数を破壊回数 $N$ とする。

##### ② 2層ホイールトラッキング試験

首都高速道路の舗装は、非常に重交通にさらされるため、わだち掘れが進行し易く、現状では舗装の打換えを行う際の原因の多くがわだち掘れである<sup>7)</sup>。したがって、実際の舗装構成に近い状態で耐流動性（耐わだち掘れ性）の確認を行うことは重要と考えられる。そこで、2層ホイールトラッキング試験を

表 - 8 水浸ホイールトラッキング試験条件

本試験条件		舗装試験法便覧別冊条件	
浸漬状態(60 )	12時間	気乾状態(60 )	12時間
		浸漬状態(60 )	1時間
水位	供試体の上面	水位	模擬路盤の上端

表 - 9 疲労試験条件

制御方式	ひずみ
試験方式	2点支持2点荷重 (スパン10+10+10=30cm)
波形	正弦波
周波数(Hz)	5
ひずみ(μ)	600
試験温度( )	10
供試体寸法(cm)	4 × 4 × 38

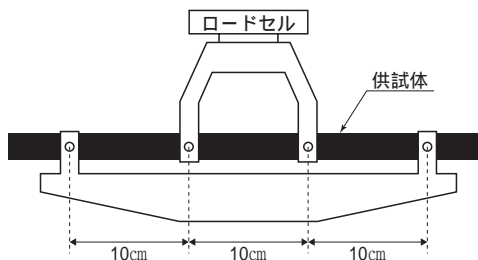


図 - 1 疲労試験方法

「舗装試験法便覧」<sup>8)</sup>に準拠して行い、2層の動的安定度を調べることとする。

### 4. 試験結果および考察

#### (1) 一次試験結果

一次試験結果を表 - 10 に示す。この試験結果から、表層に鋼床版用高粘度バインダを用いた排水性混合物、基層に鋼床版用バインダを用いた密粒度混合物を使用することにより、たわみ追従性が大きくなると考えられる。

ただし、基層の密粒度混合物は、従来のグースアスファルト混合物に比べ流動性が小さく、密着性が劣ることが考えられるため、ボルト等の突起物が多い鋼床

表 - 10 一次試験結果の一覧表

試験名		曲げ試験	水浸ホイール トラッキング 試験	ホイール トラッキング 試験	カンタプロ 試験	加圧透水 試験	接着性試験	
混合物種	バインダ種	曲げひずみ ( $\times 10^{-3}$ )	はく離率 (%)	動的安定度 (回/mm)	カンタプロ 損失率 (%)	透水係数 ( $\times 10^{-7}$ ) (cm/sec)	接着強度 (N/mm <sup>2</sup> )	
表 層	排水性(13)	高粘度	5.3	2.4	7000	6.5	-	-
		鋼床版高粘度A社	11.4	0.9	5700	3.4	-	-
		鋼床版高粘度B社	10.3	1.3	9000	3.4	-	-
	粗粒ギャップ	ゴム入り	5.7	4.4	740	9.9	-	-
基 層	密粒(13)	改質Ⅱ型	5.2	1.2	8400	-	0.7	1.33
		付着性改善	5.5	0.0	9000	-	0.4	1.35
		鋼床版改質	8.3	0.0	13000	-	0.3	1.40
	SMA(13)	ゴム入り	5.3	5.6	2200	-	0	1.03
		改質Ⅱ型	5.8	0.0	9000	-	0	1.24
		付着性改善	6.2	0.0	7000	-	0	1.32
	SMA(5)	ゴム入り	5.3	9.2	680	-	0	1.27
		改質Ⅱ型	5.2	0.7	4200	-	0	1.40
		付着性改善	6.2	0.0	4500	-	0	1.44
	グースアスファルト	硬質アスファルト	5.4	0.0	540	-	0	1.41

版では防水性に懸念がある。したがって、この舗装構成の実橋への適用は、現時点では補修時などで時間的制約があり、別途防水層を設けることができる場合に限られると考えられる。

一方、基層の付着性改善SMA(13)で比較的良好な結果が得られたが、ギャップ粒度であるため、入念な現場施工を行わないと舗装端部が粗く仕上がりが、遮水性を損なう等の問題も発生しやすく、室内試験データが現場に反映しない可能性も考えられる。

以上のことから、鋼床版上に適用する高機能舗装の建設路線における基層混合物には、遮水性、新設時の施工性および施工実績を考慮して、現時点の標準としては、グースアスファルト混合物を選択することとした。なお、グースアスファルト混合物の曲げひずみの値が低めであったのは、使用骨材(石粉を含む)の性状が良くないことが大きく起因していると考えられる。

## (2) 二次試験結果

### ① 疲労試験

一次試験の結果から、二次試験の疲労試験の対象混合物は、表層の鋼床版用高粘度バインダを用いた排水性混合物、および比較用として従来舗装表層材の粗粒ギャップアスファルト混合物(13)(ゴム入り)の2種類とした。

疲労試験結果を表-11に示す。疲労耐久性の指標である破壊回数は、具体的な基準値を現時点で定めることが難しいが、鋼床版用高粘度バインダを用いた排水性混合物は、従来の粗粒ギャップアスファルト

表 - 11 疲労試験結果

	混合物種	バインダ種	破壊回数(N)	備考
表 層	排水性混合物 (13)	鋼床版 高粘度A社	660,000	
		鋼床版 高粘度B社	200,000	
	粗粒ギャップ (13)	ゴム入り	350	

ト混合物(13)(ゴム入り)以上の値となっており、実橋に高機能舗装を適用した場合の疲労耐久性は、より向上すると考えられる。

### ② 2層ホイールトラッキング試験

一次試験の結果から、二次試験の2層ホイールトラッキング試験の対象混合物は、表層に鋼床版用高粘度バインダを用いた排水性混合物で、基層にはグースアスファルト混合物の舗装構成、および比較用として従来舗装構成の表層に粗粒ギャップアスファルト混合物(13)(ゴム入り)、基層にグースアスファルト混合物(13)の舗装構成の2種類とした。

2層ホイールトラッキング試験結果を表-12に示す。2層の状態での耐流動性の具体的な基準値を現時点で定めることが難しいが、表層に鋼床版用高粘度バインダを用いた排水性混合物を用いた舗装構成は、従来の舗装構成より大きい値となっており、実橋に高機能舗装を適用した場合の耐流動性は、より向上すると考えられる。2層DSの値は1,050回/mmと低かったが、これは基層のグースアスファルト混合物(13)の性状の影響と考えられる。

表 - 12 2層ホイールトラッキング試験結果

混合物種 / バインダ種	厚さ	2層DS (回/mm)	備考
表層 排水性混合物(13) / 鋼床版高粘度A社	40mm	1,050	
基層 グースアスファルト混合物	40mm		
表層 粗粒ギャップ(13) / ゴム入り	40mm	768	従来舗装構成
基層 グースアスファルト混合物	40mm		

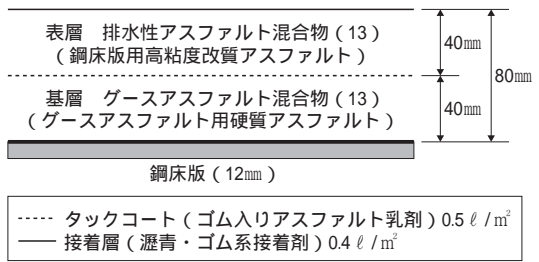


図 - 2 鋼床版上の高機能舗装構成 (案)

### 5. 鋼床版上の高機能舗装構成 (案)

以上の検討結果をふまえて選定した、首都高速道路の建設路線の高架橋に適用する鋼床版上の高機能舗装の標準構成を図-2に示す。舗装厚は80mmであり、表層40mm、基層40mmの舗装構成である。表層の排水性混合物は、最大粒径13mmの開粒タイプ、目標間隙率は20%で鋼床版用高粘度改質アスファルトを用いることを標準とした。基層には防水性の高いグースアスファルト混合物(13)を用いることを標準とした。

表基層間のタックコートは、表層が空隙率の大きい排水性アスファルト混合物で、基層との接着面積が少ないことから、接着性の高いゴム入りアスファルト乳剤を用いることを標準とした。

また、高機能舗装は、雨天時の路面排水を促進させることを目的の一つとしているため、図-3、4に示すように、高機能舗装の端部には導水管を設置し、これを排水枡または水抜き孔に導く構造を標準とした。

### 6. 鋼床版用高機能舗装材の品質基準 (案)

#### (1) 排水性アスファルト混合物

以上の検討結果、および「排水性舗装技術指針(案)」を参考にして、鋼床版用排水性混合物の品質基準(案)を現時点における標準として、表-13のように定めた。

ホイールトラッキング試験による動的安定度の基準値は、首都高速道路の特徴の一つである大型車交通量が多いことに関係する耐流動性を重視して、従来の表層舗装材よりも大きい14,000回/mm以上とした。

また、橋梁における高機能舗装は土工部と異なり、床版防水及び床版排水処理を施しても、雨量の多い場合は処理能力を超えて帯水し、表層まで冠水した状態で交通荷重が作用することが想定される。このような現場状況を再現して評価するために、動的安定度と同様に、室内試験結果に基づき、水位を供試体の上面とした水浸ホイールトラッキング試験を行うこととした。

曲げ破断ひずみ値については、本州四国連絡橋の橋

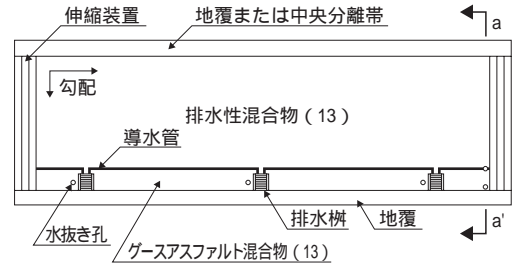


図 - 3 排水処理の平面図

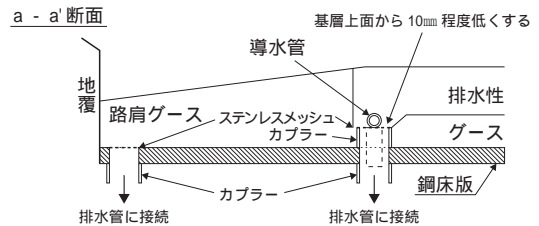


図 - 4 排水処理の詳細図

面舗装基準(案)を参考に暫定的に定めているが、舗装材の種類や供用条件等が異なり、今後の研究や施工済箇所の供用状況等により検証していく必要があると考えられる。

#### (2) グースアスファルト混合物

鋼床版上のグースアスファルト混合物の品質基準(案)を表-14に示す。従来舗装の基準値に加えて、表層の排水性アスファルト混合物と同様に、曲げ破断ひずみ値を暫定的に定めている。

#### (3) 鋼床版用高粘度改質アスファルト

高機能舗装に使用する鋼床版用高粘度改質アスファルトの標準的性状は、「排水性舗装技術指針(案)」に準じ、表-15に示すとおりである。このうち、排水性混合物の性状は、骨材の品質や形状等の影響を大きく受けるため、粗骨材とバインダの接着性の評価を目的として、はく離抵抗性の試験項目を加えている。

表 - 13 排水性アスファルト混合物の品質基準 (案)

項目	基準値	試験名	試験方法
安定度	kN	3.5以上	マーシャル安定度試験
空隙率	%	20程度	透水性アスファルト混合物の密度試験
動的安定度	回/mm	4,000以上	ホイールトラッキング試験
透水係数	cm/s	$1 \times 10^{-2}$ 以上	定水位透水試験
はく離率	%	5以下	水浸ホイールトラッキング試験
曲げ破断ひずみ ( - 10 )	cm/cm	$8 \times 10^{-3}$ 以上	曲げ試験

表 - 14 グースアスファルト混合物の品質基準 (案)

項目	基準値	試験名	試験方法
貫入量 (40 )	mm	1 ~ 25	貫入試験
リュエル流動性	sec	20以下	リュエル流動性試験
動的安定度	回/mm	300以上	ホイールトラッキング試験
曲げ破断ひずみ ( - 10 )	cm/cm	$8 \times 10^{-3}$ 以上	曲げ試験

また、鋼床版は、輪荷重に対して比較的たわみやすく、とくに、主桁ウェブ上には局部的な変形が生じるため、これに追従して舗装にも大きなひずみが発生する。また、ポーラスな混合物のため、バインダの品質は非常に重要である。アスファルト舗装にとって致命的な損傷となりがねないぜい性割れの発生を抑制するため、フラスぜい化点の試験項目を加えた。低温下のぜい性割れを防ぐには、フラスぜい化点の温度を冬季の路面最低温度よりも低くする必要がある。- 20については、試験に使用したいずれの鋼床版用高粘度改質アスファルトの性能も満足する標準値として示したものであるが、今後、より首都高速道路の供用状態に見合った、基準値を検討していく必要があると考えられる。

## 7. まとめ

鋼床版特有の局部変形量の大きいことを考慮した高機能舗装について、各種混合物の性状の面から検討した結果について述べた。これらの検討結果をもとに、建設路線の鋼床版上の排水性混合物の舗装材料、舗装構成、および品質基準の標準を作成した。ただし、あくまで施工上必要となる最低限の標準を示したものであり、今後、施工済箇所の供用状況の調査等により、追加又は改定しなければならない部分も多いと考えられるため、現在は暫定的な仕様としている。また、新たな研究や知見を含めた鋼床版上の高機能舗装の材料や品質の改良、およびコストダウンを含めた技術開発についても重要であり、今後さらに検討を進めていく必要があると考えている。

表 - 15 鋼床版用高粘度改質アスファルトの標準的性状

試験項目	標準的性状
針入度 (25 )	1/10mm
軟化点	40以上
伸度 (15 )	cm
フラスぜい化点	80.0以上
引火点	50以上
薄膜加熱質量変化率	- 20以下
薄膜加熱針入度残留率	260以上
粗骨材のはく離面積率	0.6以下
60 粘度 ( $\times 10^4$ )	%
曲げ破断ひずみ ( - 20 )	65以上
	%
	5以下
	Pa · s
	2.0以上
	cm/cm
	$80 \times 10^{-3}$ 以上

## 参考文献

- 1) 中込, 半野, 大塚, 金成: 高速埼玉大宮線における排水性舗装の試験施工, 舗装, pp.3-9, 1999.2
- 2) 首都高速道路公団工務部・保全施設部: コンクリート床版上の排水性舗装設計・施工要領, 2000.1
- 3) (社)日本道路協会: 排水性舗装技術指針 (案), 1996.11
- 4) (社)日本道路協会: アスファルト舗装要綱, 1997.4
- 5) 東京都建設局: 土木材料共通仕様書, 1995.8
- 6) 首都高速道路公団工務部: 舗装設計施工基準 (高架橋・トンネル編), 1994.10
- 7) 川田, 牧田: 首都高速道路公団における橋面舗装, アスファルト, Vol38, No.187, pp.8-13, 1996.4
- 8) (社)日本道路協会: 舗装試験法便覧, 1988.11
- 9) (財)海洋架橋調査会: 本州四国連絡橋 橋面舗装基準 (案), 1980.3

# 橋面舗装の維持修繕への マイクロサーフェシング工法の適用性について

(Micro-Surfacing for Maintenance of Bridge Deck Pavement)

武田 雄\*

橋面舗装の維持修繕工法としては、死荷重の増加を抑制するため加熱アスファルト混合物を用いた切削オーバーレイ工法または薄層のオーバーレイ工法が一般的である。しかしながら、工事中に発生する衝撃等で床版本体に悪影響を与えることや環境への負荷が危惧されるため、近年、常温型薄層舗装のマイクロサーフェシング工法が採用されるようになってきた。本文では、その耐久性および橋面舗装の維持修繕工事に対する適用性の検討結果を報告する。

## 1. はじめに

橋面舗装は、交通荷重の床版への伝達、床版の保護、および交通車両の良好な走行性を確保するために設けられる。

橋面舗装にひび割れや段差等が発生し路面状態が悪化すると、快適な走行ができなればかりか、振動・衝撃の増加、雨水の浸入などにより床版、伸縮装置等の橋梁上部構造にも重大な影響を及ぼすことになる。したがって、橋面舗装の良好な供用性を確保するためには常に適切な工法で適切な時期に維持修繕を行う必要がある。

橋面舗装の維持修繕工法は土工部と異なり、死荷重の増加を極力抑えることが重要である。そのため、道路維持修繕要綱<sup>1)</sup>ではパッチング等の部分補修を除いた維持工法としてカーベットコート工法（薄層加熱アスファルト舗装 舗装厚1.5～2.5cm）、修繕工法として切削オーバーレイ工法を取り上げている。

カーベットコート工法は薄層舗装ではあるが、舗装厚は最低でも1.5cm以上を確保する必要があるため、伸縮装置への擦り付け作業が必要となり、道路維持修繕要綱では伸縮装置の高上げまたは隣接する既設舗装の切削（幅：1.5m以上、厚さ：2～3cm）などの処置が必要であるとしている。また、切削オーバーレイ工法の場合は、既設舗装切削時の切削機械による床版本体の損傷や伸縮装置および橋梁取り付け部の破損の危険性がある。これらの危険性を回避するためには人力による作業が必要となり、その際に発生する騒音・振動

が環境問題となるばかりか、作業効率が悪くなるため工期が長くなり、特に迂回路の少ない橋梁部では交通渋滞の問題も発生する。さらには、近年、省資源、省エネルギー、環境保全等に配慮した工法の選定要求もある。

これらの課題を解決する目的で橋面舗装の維持工法としてマイクロサーフェシング工法が、数年前から表-1に示すように本州四国連絡橋を中心に採用されるようになってきている。

本文では、マイクロサーフェシング工法およびその耐用年数、省エネルギー並びに炭酸ガス排出抑制効果、およびライフサイクルコストの検討を行い、橋面舗装の維持工事への適用性について述べる。

## 2. マイクロサーフェシング工法

マイクロサーフェシング工法（以下、MS工法）は、1960年代後半から1970年代前半にかけてドイツで開発され、既設舗装の延命化を図る予防的維持工法（表面処理工法）として、1980年代から欧米をはじめ、オーストラリア、東南アジア等世界各地で採用されている。我が国では1990年代の始めから導入され、既に60万<sup>m</sup><sup>2</sup>の実績がある。

MS工法はスラリーシーリング工法によく似た工法であるが、スラリーシーリング混合物は水分が蒸発することによりアスファルト乳剤が分解し強度発現が起こるのに対し、MS混合物は化学的な反応で乳剤が分解し強度発現する点が異なる。

\*たけだ ゆたか 日本道路(株)技術研究所 研究部長

表 - 1 マイクロサーフェシング施工実績（橋面舗装上）

施工年月	発注者	工 事 名	工事場所	施工面積 (m <sup>2</sup> )
1997/06	作 東 町	町道大環境橋面補修工事	岡山県作東町	1,210
1997/09	生 野 町	町道山神橋等橋面舗装補修工事	兵庫県生野町	329
1999/03	本 四 公 団	大三島橋面補修工事	愛媛県大三島	5,000
1999/08	郡 山 国 道	小高舗装修繕工事	福島県小高町	900
1999/10	本 四 公 団	瀬戸中央自動車道鋼床版補修工法実橋試験	下津井瀬戸大橋	4,411
2000/05	本 四 公 団	因島大橋薄層舗装工事	広島県因島市	23,867
2000/10	関 東 地 建	国道298号舗装修繕工事	埼玉県戸田市	555
2001/07	大 塔 村	加茂橋舗装補修工事	和歌山県大塔村	627
2001/10	本 四 公 団	下津井瀬戸大橋鋼床版舗装補修工事	下津井瀬戸大橋	14,914
2002/09	那賀振興局	荒見粉河橋補修工事	和歌山県粉河町	1,980

MS工法の施工は専用ペーバを用いて行われる。施工に必要な急硬性改質アスファルト乳剤，選定された骨材，セメント，水，分解調整剤を専用ペーバに搭載し，車両の後部に取り付けたミキサにより連続的にスラリー状の混合物を製造し，牽引しているスプレッドボックスに投入する。投入された混合物は専用ペーバが前進することにより敷きならされる。混合・敷ならしの概念図を図 - 1 に，橋面舗装上における敷ならし状況を写真 - 1 に示す。

MS工法の特長は以下に示すとおりである。

- ① 予防的維持工法として最適な工法<sup>2) 3)</sup>であり，予防的維持をタイムリーに行うことで舗装の供用性を高いレベルで保持し，トータルコストの低減を図ることができる。
- ② MS工法で維持を繰り返す場合，通常加熱舗装と異なり，切削はほとんど必要ない。したがって舗装材料の使用量は少なく，舗装発生材を抑制す

ることができる省資源工法である。

- ③ 1層の施工厚が3～10mmと薄層なため<sup>4)</sup>，施工後の路面高さへの影響が少なく，付帯構造物や建築限界等の制限により路面の高上げができない箇所への適用が可能である。また，既設舗装の状態に応じて2，3層の重ね施工が可能である。
- ④ 施工速度が10～20m/min.と速いため，1日当たりの施工面積が大きく効率的である。さらに施工後，数時間で交通開放が可能のため交通渋滞を軽減できる。
- ⑤ 路面テクスチャを改善し，すべり抵抗性等の機能回復ができる。
- ⑥ 常温施工のため，多くのエネルギーを必要とせず，地球環境の保全に役立つだけでなく，夏期の施工において加熱アスファルト混合物から発生する熱に曝されないため作業環境の改善ができる。
- ⑦ 老朽化した既設路面のリフレッシュができる。
- ⑧ 荒れた既設路面上に施工することで交通騒音や振動を軽減できる。
- ⑨ 改質アスファルト乳剤を使用しているため，重交通路線への適用が可能である。

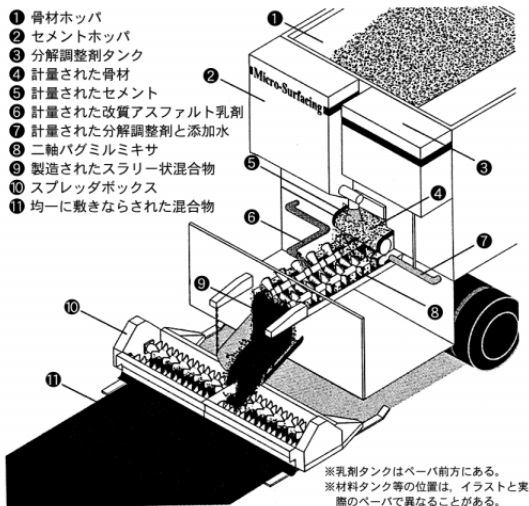


図 - 1 混合・敷きならしの概念図



写真 - 1 敷きならし状況（橋面舗装上）

さらに、MS工法を橋面舗装の維持工事に適用した場合、これらに加え、

- ①超薄層舗装のため死荷重の増加を軽減でき、重ね施工も可能である。
  - ②既設舗装の切削工程が無いため、床版等を損傷する危険性が少ない。
  - ③伸縮装置の嵩上げ等の工程を省くことができる。
  - ④予防的維持工法として最適な工法であることから、施工期間が長くなる修繕工事の回数を減らすことができ、利用者負担を軽減できる。
  - ⑤迅速施工で工期が短縮できるため、迂回路の制約がある橋梁部では交通規制を大幅に緩和できる。
  - ⑥橋面舗装の維持工法として道路維持修繕要綱に取り上げられているカーペットコート工法より安価である。
  - ⑦常温舗装のためゴム製の伸縮装置に損傷を与えない。
- 等の利点がある。

### 3. MS工法の耐用年数

耐用年数は、追跡調査結果をもとにMS工法の路面性状、MCIの経時変化を評価し推定した。ここでの耐用年数とは、MS工法を適用することにより一旦改善された路面性状が再び適用前のレベルに達するまでの期間とした。

MS工法が橋面舗装の維持工事に採用された実績<sup>5) 6) 7) 8)</sup>は多いが、供用期間が短く供用性能を評価するためのデータが少ないため、土工部におけるMS工法の供用性の追跡調査結果から耐用年数を推定した。

耐用年数を推定するために追跡調査を実施した工事は、一般国道180号の試験施工工事<sup>9)</sup>である。この工事を選定した理由は土工部ではあるが、①交通量が高いレベルにある、②適用区間がひび割れまたはわだち掘れが進行した区間に区分され、破損形態ごとの適用評価が可能である、③切削オーバーレイの区間が設置され供用性の比較ができる、④供用期間が長いこと等である。以下に工事内容、追跡調査および耐用年数の推定結果を示す。

#### 3.1 工事内容

- ①工事名：常温型速硬性薄層試験施工工事
- ②路線名：一般国道180号（岡山県高梁市内）
- ③施工時期：平成9年10月
- ④交通量：舗装計画交通量1,000以上、3,000台未満（旧C交通区分）

#### ⑤施工内容

- ・ 1 工 区：わだち掘れが発生している区間であり、既設舗装の隆起部を切削後、MS工法（8 mm + 7 mmの2層施工）を適用
- ・ 2 工 区：ひび割れが発生している区間であり、既設舗装のひび割れを処理後、MS工法（5 mm + 5 mmの2層施工）を適用
- ・ 比較工区：1工区と同様にわだち掘れが発生している区間であり、既設舗装を5 cm切削後、改質Ⅱ型アスファルト混合物による5 cmのオーバーレイを適用

#### 3.2 追跡調査結果および耐用年数の推定

各路面性状の追跡調査結果およびその結果をもとに推定した耐用年数を以下に示す。なお耐用年数の推定には、過去に行われたMS工法の追跡調査結果も考慮に入れた。

##### (1) ひび割れ

ひび割れが進行していた2工区のひび割れ率の追跡調査結果を図-2に示す。

MS工法を施工する前の既設舗装のひび割れ率（9.6%）に達するまでの期間、すなわち耐用年数は、6.5年程度と推定される。

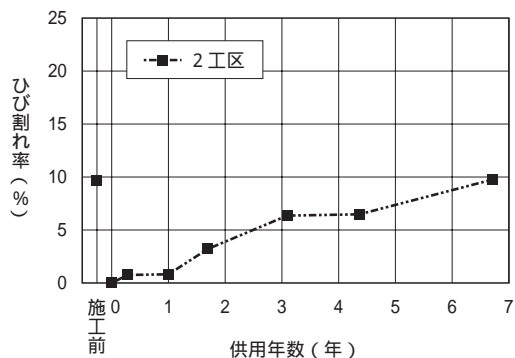


図-2 ひび割れ率追跡調査結果

##### (2) わだち掘れ

既設舗装にわだち掘れが進行していた1工区と比較工区の間わだち掘れ量の追跡調査結果を図-3に示す。

MS工法は既設舗装のわだち掘れを完全に無くすることが困難なため、1工区の間わだち掘れ量は、供用初期の段階では比較工区に比べ大きいですが、その後のわだち掘れの進行割合は小さい。そのため、比較工区の間わだち掘れ

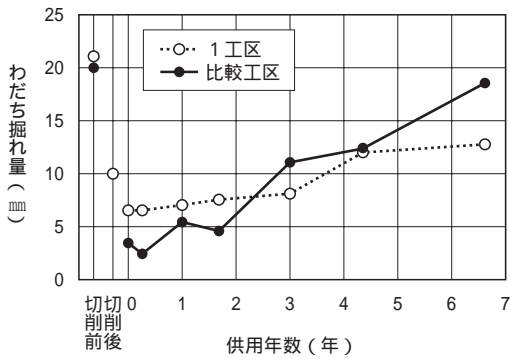


図 - 3 わだち掘れ量追跡調査結果

ち掘れ量は数年後には1工区より大きくなった。追跡調査結果からは、既設舗装のわだち掘れ量に達するまでの期間は進行割合(約1.0mm/年)から15年程度と推定される。しかしながら、本工事に前に既設舗装の隆起部を数回切削しているため正確なわだち掘れ量は定かではない。したがって、以下に示すように過去の実績をもとに耐用年数を推定した。

過去の実績から求めたMS工法の施工前・後のわだち掘れ量の関係<sup>10)</sup>を図-4に示す。既設舗装のわだち掘れ量を20mmと仮定した場合、MS工法を採用することにより約11mmとなり9mm減少させることができる。1工区の追跡調査結果ではわだち掘れ量は、1年に1mm程度進行することから、耐用年数は9年程度と推定される。

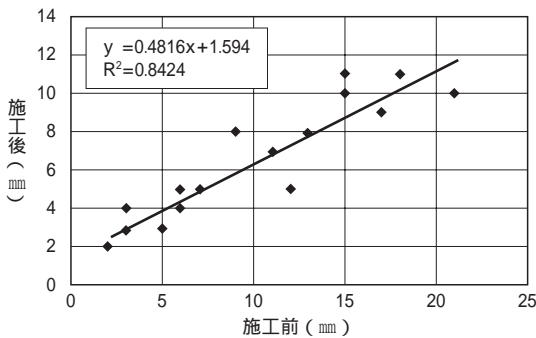


図 - 4 施工前・後のわだち掘れ量の関係

(3) 平坦性

1工区、2工区および比較工区の平坦性の追跡調査結果を図-5に示す。既設舗装の平坦性が = 3.05mmと大きい1工区はMS工法の採用により = 1.49mmまで改善されたが、 = 1.29mmと良好な2工区は殆ど改善されていない。

1, 2工区とも施工時に発生した小さな凹凸が交通車両による圧密作用で平滑になるため、一時的に平坦性は僅かに改善されるものの、その後は1年に0.1mm程度ずつ徐々に低下している。比較工区も同様な傾向にあるが2年経過後頃から急激に低下し、1, 2工区より悪くなり、6年経過後には既設舗装と同程度となっている。

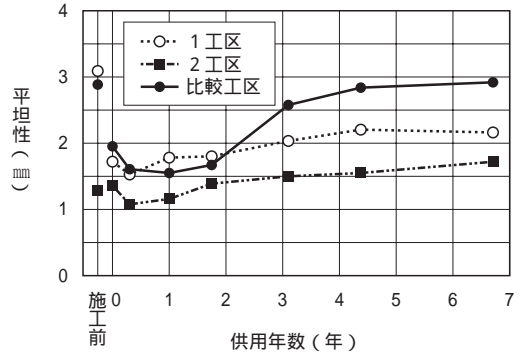


図 - 5 平坦性の追跡調査結果

過去のMS工法の実績から求めた施工前・後の平坦性の関係<sup>10)</sup>は、表-2に示すとおりである。平坦性が = 3.0mm以上の既設舗装上にMS工法を採用した場合、約1mm程度の改善は期待できるが、2.0mm以下の比較的良好状態では、余り改善されていない。

1工区および比較工区のような平坦性が = 3.0mm程度の既設路面上にMS工法を採用したと仮定した場合、平坦性は1.0mm程度改善され2.0mmとなる。追跡調査結果では、供用後は1年に約0.1mm程度低下する傾向にあることから、既設舗装の状態( = 3.0mm)となるまでの耐用年数は10年程度と推定される。

表 - 2 施工前・後の平坦性の関係(単位: mm)

施工前	施工後	差	差の平均
5.34	4.09	1.25	1.21
5.07	4.34	0.73	
3.81	2.81	1.00	
3.07	1.22	1.85	
3.01	1.77	1.24	
2.91	2.36	0.55	0.27
1.58	1.45	0.13	
1.43	1.17	0.26	
1.29	1.16	0.13	

(4) MCI

MS工法(1, 2工区の平均)および比較工区のMCIの推移と舗装の管理水準と維持修繕工法に関する

総合的研究<sup>(1)</sup>(以下、総合的研究)で報告されている路上表層再生工法による表面処理のMCI予測式の値を図-6に示す。MS工法は、施工後も既設舗装のわだち掘れの修復が困難であり、また薄層のため早期に既設舗装のリフレクションクラックが発生しやすく供用初期のMCIは切削オーバーレイ工法の比較工区や表面処理の予測式より小さい。しかし、その後の低下率が小さいため切削オーバーレイ工法に対しては4年、予測式の値に対しては3年経過後から逆転し、部分的な補修が必要となるMCI=5となるまでの期間は、他に比べ長く7年程度と推定される。

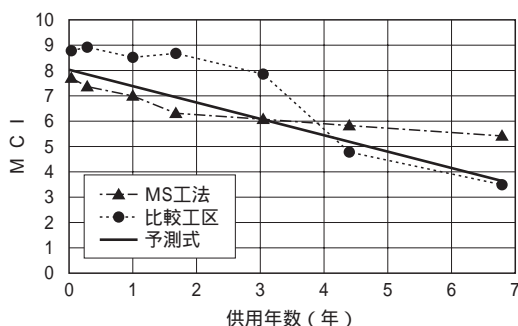


図-6 MCIの推移

(5) 耐用年数

以上のMS工法の各路面性状およびMCIから推定した耐用年数を一覧表にして表-3に示す。表-3から舗装設計交通量が1,000以上、3,000台/日・方向程度の道路であれば、耐用年数は6.5年程度と推定される。

表-3 耐用年数一覧表

項目	耐用年数	備考
ひび割れ	6.5年	
わだち掘れ	9年	
平坦性	10年	
MCI	7年	MCI=5

4. 省エネルギーおよび炭酸ガス排出抑制効果

エネルギー消費量および炭酸ガス排出量の計算<sup>(2)</sup>は、1工区、2工区、比較工区に適用したMS工法(10mm)、MS工法(15mm)、切削オーバーレイ工法(5cm)およびカーペットコート工法<sup>(1)</sup>(2cm)、並びに総合的研究の中で表面処理工法として取り上げられている路上表層再生工法(リミックス:2cm+3cm)について行った。計算結果は図-7、8に示すとおりである。

エネルギー消費量および炭酸ガス排出量は同じよう

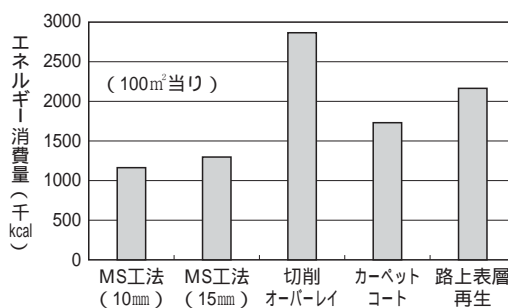


図-7 エネルギー消費量

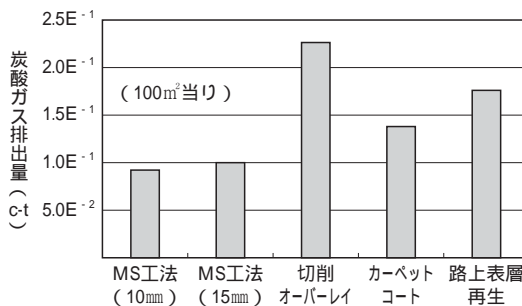


図-8 炭酸ガス排出量

な傾向を示し、5cmの切削オーバーレイ工法に比べ、MS工法は40~45%、カーペットコート工法は約60%、路上表層再生工法は約75%となっている。MS工法は常温工法のため、エネルギー消費量および炭酸ガス排出量の抑制効果があり、地球環境の保全に有効な工法と考えられる。

5. 維持修繕のライフサイクルコスト

維持修繕のライフサイクルコストの検討<sup>(3)</sup>はMS工法(5mm+5mmの2層施工)およびカーペットコート工法(2cm)について行った。しかしながらカーペットコート工法の供用性能履歴(パフォーマンス曲線)が無いため総合的研究で表面処理工法として取り上げられている路上表層再生工法(リミックス:2cm+3cm)の供用性能履歴(図-6に示すMCI予測式)を採用した。なお、施工面積は7,000m<sup>2</sup>(3.5m×2車線×1,000m)と設定した。

設定条件を表-4に、検討結果を表-5示す。

MS工法はカーペットコート工法に比べ修繕費で約8%、走行損失を加えた全体で約13%程度修繕に関するライフサイクルコストは安くなっている。さらに、修繕回数が少ないことから道路利用者の負担も大幅に軽減できる。

表 - 4 設定条件

項目		設定条件	
解析期間		建設後30年	
交通区分		舗装設計交通量：1,000以上, 3,000台未満 2,000台/日・方向, 大型車混入率：20%	
補修目標MCI		5	
MS工法 (供用性能履歴は, 追跡調査結果)	1回目	10年目	MS工法(5mm+5mmの2層)
	2回目	16.5年目	MS工法(5mm+5mmの2層)
	3回目	23年目	MS部切削+MS工法(5mm+5mmの2層)
カーベットコート (供用性能履歴は, 参考文献 <sup>2)</sup> の 表面処理工法)	1回目	10年目	既設舗装切削(2cm)+カーベット工法(2cm)
	2回目	14年目	既設カーベットコート切削(2cm) +カーベットコート工法(2cm)
	3回目	18年目	
	4回目	22年目	
	5回目	26年目	

表 - 5 ライフサイクルコスト検討結果  
(単位：万円/7,000m<sup>2</sup>)

工法	修繕費	維持費	走行損失	合計
MS工法	1,670	970	1,140	3,780
カーベットコート工法	1,810	970	1,570	4,350

## 6. おわりに

MS工法は, 比較工区に適用した切削オーバーレイ工法の供用状態および総合的研究で示されている表面処理の予測式から推定して, 橋面舗装の維持工法として一般的なカーベットコート工法より耐久性があるものと考えられる。また, ①薄層舗装のため死荷重の増加を抑制できる, ②施工時に床版等に損傷を与える危

険性がある振動や衝撃が少ない, ③迅速施工のため交通規制期間が短縮でき, 利用者負担を軽減できる, ④省資源, 省エネルギーおよび地球環境保全に有効である, ⑤維持修繕のライフサイクルコストを軽減できる等の利点がある。さらに, 数年前から橋面舗装の維持工事に実際に適用され良好な供用状態にあることから, 橋面舗装の維持工法として十分に適応できるものと考えられる。

しかしながら, 橋面舗装の挙動は土工部とは異なるためその供用性については更なる追跡調査とデータの収集が必要である。また, 施工時に修復困難なわだち掘れの軽減方法や早期に発生するリフレクションクラックの抑制対策等の検討も必要と思われる。

## 参考文献

- 1) (社)日本道路協会：道路維持修繕要綱, 昭和53年7月
- 2) 坂田耕一：維持修繕の推移と今後, 第78回アスファルトゼミナール, (社)日本アスファルト協会, 昭和12年2月
- 3) 鈴木康雅：舗装の予防的維持のための戦略的計画, あすふぁるとにゆうざい, No.152, 2003-7
- 4) (社)アスファルト乳剤協会：マイクロサーフェシング技術マニュアル, 平成10年10月
- 5) 森本則行, 辻居勇人：鋼床版舗装における予防的維持へのマイクロサーフェシング工法の適用, あすふぁるとにゆうざい, No.146, 2002-1
- 6) 田向和則, 江口敬一, 荒尾慶文：マイクロサーフェシング工法の施工管理技術の改善に関する検討, 第24回日本道路会議一般論文集(C), 平成13年
- 7) 河野英雄, 上田忠夫, 三浦大介：橋面舗装補修計画における予防的維持の検討, 第23回日本道路会議一般論文集(C), 平成11年
- 8) 天野政樹, 足立明良, 只野拓：マイクロサーフェシングによる橋面舗装の若返り事例, あすふぁるとにゆうざい, No.153, 2003-10
- 9) 人見和夫, 国本健司：常温型速硬性薄層舗装の舗装補修工事への適用例, 舗装, Vol.34, No.10, (1999-10)
- 10) 武田雄：マイクロサーフェシングの耐用年数, あすふぁるとにゆうざい, NO.149, 2002-10
- 11) 建設省：舗装の管理水準と維持修繕工法に関する総合的研究, 技術研究報告会, 昭和61年10月
- 12) 建設省：資源・エネルギー消費, 環境負荷の算定手法の開発と実態調査報告書, 土木研究所資料, 第3256号, 平成6年3月
- 13) 山之口浩, 丸山暉彦：アスファルト舗装修繕技術, 山海堂, 平成9年4月

## 各国の舗装促進載荷試験機の現状と 道路交通騒音に関する研究動向

今回は、舗装の性能を評価する手法について海外の現状について報告します。取り上げたテーマは、舗装の疲労破壊や塑性変形を評価するための促進載荷試験機と道路交通騒音の評価手法です。国際会議の文献及びインターネットから最新の情報をとりまとめた報告です。促進載荷試験機は、海外では1912年から検討されており古い歴史があります。我が国では、その歴

史が浅いのが現実です。また、道路交通騒音の評価については、Inter Noise 2001をもとに各国の研究の動向を紹介します。各国で道路交通騒音として沿道騒音やタイヤ路面騒音などについていろいろ検討されていることが把握できます。性能評価手法を検討する際の参考になれば幸いです。

(研究グループ代表幹事：峰岸順一)

### アスファルト舗装技術研究グループ名簿

峰岸順一 東京都土木技術研究所技術部舗装研究室

阿部長門 東亜道路工業(株)技術研究所

井 真宏 西日本地研(株)

市岡孝夫 前田道路(株)技術研究所

岩岡宏美 世紀東急工業(株)技術研究所

岩塚浩二 (株)パスコ道路センター

打田幸平 日進化成(株)事業本部

江向俊文 前田道路(株)技術研究所

鎌田 修 独立行政法人土木研究所基礎道路技術研究  
舗装チーム

鎌田義秋 ニチレキ(株)道路エンジニアリング部

鎌田孝行 常盤工業(株)技術研究所

金井利浩 鹿島道路(株)企画部

加納孝志 大成ロテック(株)技術研究所

岸田正憲 (株)パスコ道路センター

高馬克治 ニチレキ(株)技術研究所

小柴邦広 世紀東急工業(株)技術研究所

小関裕二 大林道路(株)技術研究所

佐々木蔵 独立行政法人土木研究所材料地盤研究グ  
ループ新材料チーム

佐藤雅規 ジオサーチ(株)

佐藤康彦 昭和シェル石油(株)

鈴木 徹 大林道路(株)技術研究所

高橋茂樹 日本道路公団試験研究所舗装研究室

高橋光彦 大成ロテック(株)技術研究所

武本敏男 東京都土木技術研究所技術部

中村 健 長岡技術科学大学環境・建設系

長谷川淳也 日本道路(株)

林 信也 鹿島道路(株)技術研究所

平戸利明 東亜道路工業(株)技術研究所

舟根 毅 常盤工業(株)技術研究所

増山幸衛 世紀東急工業(株)技術部技術一課

焼山明生 日進化成(株)製品技術部

山脇宏成 (株)ガイアートクマガイ技術研究所

矢野辰明 鹿島道路(株)技術研究所

保本敏伸 ニチレキ(株)技術研究所

森嶋洋幸 前田道路(株)技術本部技術研究所

計35名

# 各国の舗装促進載荷試験機の現状

江 向 俊 文\*      金 井 利 浩\*\*      鎌 田 孝 行\*\*\*  
 小 関 裕 二\*\*\*\*      佐 々 木 巖\*\*\*\*\*      高 橋 茂 樹\*\*\*\*\*  
 高 橋 光 彦\*\*\*\*\*

## 1. はじめに

我が国においては、平成13年7月に日本道路協会から「舗装の構造に関する技術基準・同解説」が刊行された。これにより、舗装の設計方法、施工方法を限定せず、所要の性能を実現できる技術を幅広く検討して採用できる性能規定発注方式が導入されるとともに、ライフサイクルコストの考え方も導入されている。

従来、新材料を用いた舗装の長期供用性能は試験施工などにおける長期の追跡調査結果をもとに確認されてきたが、促進載荷試験機を導入することにより、20年分の載荷を2～3ヶ月程度に短縮して行うことも可能である。また、舗装のわだち掘れやひび割れについても、促進載荷による実測の舗装体のひずみや変形データを用いた塑性変形や疲労破壊の予測モデルの確立が急務となっている。日本においても、日本道路公団（以下、JH）や（独）土木研究所などの、施設を保有する一部の機関がこれらの調査研究を行っているが、現状では現位置で促進載荷試験を行える可搬式の試験機を保有している機関はない。しかし、諸外国においては、これら可搬式も含め様々なタイプの促進載荷試験機が開発され、数多く運用されている。

このような背景から、本文では、海外文献やインターネットより調査した中から代表的な促進載荷試験機の概要を紹介する。

## 2. 促進載荷試験機

今回紹介する促進載荷試験機は、走行車輪を持つ道路舗装の評価のための試験機とし、表-1の一覧表に示すとおり、実際の車両が走行する「①荷重車走行型」

と車輪のみが走行する「②荷重輪走行型」に大分類し、さらに②については走行方式や設置方式により小分類した。

### 2.1 促進載荷試験機の歴史

促進載荷試験機の原型となるものは、1912年に英国の道路調査研究所（RRL）において開発された「荷重輪走行型」のRoad Machineである。ロンドン南部のテッディントンに構築されたこの室内円形試験路は、円の中心から放射状に伸ばしたアームの先端に車輪を取り付け、アームを回転させることにより試験輪が舗装上を走行する仕組みの装置である（写真-13）。当時は、シートアスファルト舗装やトベカ舗装が使用されており、これらの舗装を走行する車両は、鉄輪を装着した馬車や自動車であったため、Road Machineでは鉄輪を装着して試験を行っていた。

Road Machineのような室内試験装置に対し、1925年にアメリカ公共道路局により「荷重車走行型」の屋外円形走行路が構築され、写真-1に示すとおり実際に荷重車を走行させる実験が行われた。

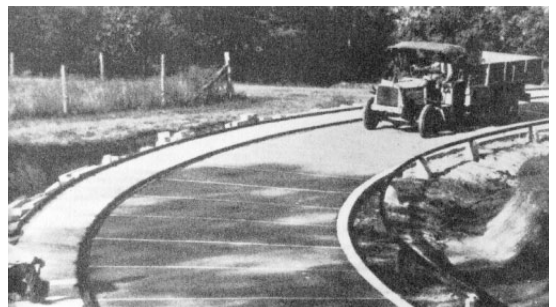


写真-1 公共道路局の実験走行路<sup>1)</sup>

\* えむかい としふみ 前田道路(株)技術研究所

\*\* かない としひろ 鹿島道路(株) 企画部

\*\*\* かまだ たかゆき 常磐工業(株)技術研究所

\*\*\*\* こせき ひるじ 大林道路(株)技術研究所

\*\*\*\*\* ささき いわお 独立行政法人土木研究所

\*\*\*\*\* たかはし しげき 日本道路公団 技術部

\*\*\*\*\* たかはし みつひこ 大成ロテック(株)技術研究所

表 - 1 舗装促進載荷試験機一覧表<sup>1</sup>

試験機タイプ	No	試験機名称	保有国	通用開始年	稼働状況	駆動力	載荷タイプ	ホイールサスペンション	タイヤ空気圧 (MPa)	軸重または輪荷重 (kN)	走行速度 (km/h)	サイクル時間 (秒)	試験路			舗装厚さ (mm)	車輪通過幅 (m)	温度調節	論文No. <sup>3</sup>	
													延長 (m)	直径 (m)	幅員 (m)					
荷重車自走型	1	Mn/Road	アメリカ	1993		トラックエンジン	a b	エア, スチールスプリング	0.7~0.88	365-454 (総重量)	56~104	-	9,600	-	-	-	-	無	CS1(a)	
	2	NARDO	イタリア	1979	x	ディーゼルエンジン	-	エア	-	-	30	-	12,500	4,000	4	-	-	無	-	
	3	PTI	アメリカ	1971	x	トラックエンジン	a b	-	-	71~120	36	-	1,600	-	-	240~730	-	無	-	
	4	舗装走行実験場	日本	1979		トラックエンジン	d	スチールスプリング	-	35-314	<40	-	870(大), 620(小)	-	-	600~800	-	無	-	
	5	WesTrack	アメリカ	1995		トラックエンジン	f	スチールスプリング	-	53,89,178	65	-	2,800	-	3.7	-	-	無	CS13-11	
	6	Virginia Smart Road	アメリカ	1998		トラックエンジン	f	-	0.55~0.72	30~85	8~72	-	9,600	-	-	-	-	無	-	
	7	リサイクル舗装材料耐久性試験施設	日本	2000		油圧モーター	d	スチールスプリング	-	90~250	<30	-	160	-	4	-	-	無	-	
円形試験路型	屋内設置型	8	C-TIC	カナダ	1978	x	電動モーター	a b	ディスクスプリング	-	55	36	3.8	-	12	3.7	600~1200	1.2	温, 冷	-
		9	CAPTIF	ニュージーランド	1987		電動モーター	a b	リーフスプリング	0.56~0.84	21~60	<50	>2.25	-	18.5	4	1500~1600	1.5	無	GS2-3
		10	IUT	アメリカ	1963	x	電動モーター	b	無	-	15~30	3~15	0.6	-	4.8	2.4	~1300	0.8	無	-
		11	回転式舗装試験機	日本	1992		電動モーター	a b	無	-	<69	<100	-	-	8, 10	134~182	500~800	±0.2	-20~60	-
		12	Shell	オランダ	1967	x	電動モーター	-	-	-	1~20	<20	1.7	-	3	0.9	-	0.7~0.9	~60	CS10-5
	屋外設置型	13	UNAM	メキシコ	1970		電動モーター	b	無	0.5~0.57	40~65	<30	>1.25	-	13	3	1450~1550	2	温	-
		14	ISETH	スイス	1979	-	電動モーター	b	無	-	50~80	80	4.5	-	32	1.3	-	1.3	温, 冷	CS13-6
		15	LCPC	フランス	1978		電動モーター	a b c d	エア	0.65~1.0	40~75	30~105	1~3.5	-	38	2	400~800	±0.5	無	GS1-5
		16	Road Machine	イギリス	1963	x	電動モーター	a b	-	-	67	32	12	-	34	-	-	-	無	CS6-7
		17	RRT	ルーマニア	1982		電動モーター	a b c	スチールスプリング	0.7~1.0	100~160	5~40	2~17	-	16.4	-	200~500	-	温, 冷, 凍	-
直線試験路	可搬式	18	S-KSD	スロバキア	1994		電動モーター	a b c	エア	-	83~130	10~70	1.6~12	-	32	-	-	1.9	無	-
		19	UCF	アメリカ	1988		電動モーター	a b	-	0.5~0.57	45~133	24~58	7.2	-	15.6	-	-	-	無	CS1-2
		20	WSU	アメリカ	1965	x	-	b	リーフスプリング	-	50	-	-	-	26	4	-	1.2	無	-
		21	ALF	オーストラリア	1984		電動モーター	a b c	エア	-	40~80	1~20	10	12	-	-	-	1.4	温度調節器装着可能	GS1-1
		22	FHWA-PTF	アメリカ	1986		電動モーター	a b c	エア	0.54~0.99	40~100	1~20	10	12	-	-	-	1.4	10~76	CS1(a,b)
	定置式	23	RIOH-ALF	中国	1990		電動モーター	a b c	エア	0.9~0.95	40~100	1~20	10	12	-	-	-	1.4	温度調節器装着可能	CS8-1
		24	PRF-LA	アメリカ	1995		電動モーター	a b c	エア	0.72	40~100	1~20	10	12	-	-	-	1.4	温度調節器装着可能	GS3-3
		25	HVS	南アフリカ	1971		ディーゼルエンジン	a b	油圧	0.5~0.69	20~200	14	2.5	8	-	-	-	1.5	温, 冷	CS10-3
		26	CAL-APT	アメリカ	1994		ディーゼルエンジン	a b c	油圧	-	30~200	<10	0.48	8	-	-	-	1.5	温, 冷	-
		27	MMLS3	南アフリカ	1997		電動モーター	a	スチールスプリング	0.8	1.9~2.7	90	2	-	-	-	-	-	温, 冷	GS6-6
一方方向型	28	DRTM	デンマーク	1973		電動モーター	a b	-	-	<65	20~30	3.6	9	-	2.5	-	-	-10~40	CS8-2	
	29	EPFL	スイス	1977	-	電動モーター	b c	-	-	120	10	2	5	-	3	-	0.8	温, 冷, 凍	-	
	30	LINTRACK	オランダ	1991		電動モーター	a b	エア	0.5~1.1	15~100	10~20	3.7~7.2	16	-	4	80~150	2	温	GS2-1	
	31	Minne-ALF	アメリカ	1990		油圧ポンプ	-	無	-	<110	88	1~2	2.4	-	3.7	-	0.2	温	CS2-1	
	32	PTF	イギリス	1984		電動モーター	-	-	0.63~0.95	<15	<20	3.6	7	-	2.5	-	1	20~25	CS6-7	
	33	INDOT/PURDUE	アメリカ	1992		電動モーター	a b	無	0.64	<89	8	15	6	-	6	480~600	±0.2	~55	CS8-4	
	34	ロードシミュレーター	日本	2004		電動モーター	b	-	-	<69	5	-	30	-	4	-	-	無	-	
	35	TxMLS	アメリカ	1995		電動モーター	a b c d e f	エア, スチールスプリング	-	22.5~47.5	12~25	7	12	-	-	500~650	0.6	温度調節器装着可能	CS12-3	
	36	CEDEX	スペイン	1987		電動モーター	b	リーフスプリング	-	44~100	8~58	24	305	-	-	370~700	1.1	無	CS8-8	

1 : 一覧表は、1996年にTRBより発行された「Application of Full-Scale Accelerated Pavement Testing」のほか、1999年にアメリカネバダ州リノ市で開催された「International Conference on Accelerated Pavement Testing」等をもとに作成したものである。

2 : a=single wheel, b=dual wheel, c=single axle, d=dual tandem, e=full axle, f=multiple axle

3 : 1999 International Conference on Accelerated Pavement Testing, Paper No.

1940年代後半、アメリカではバスやトラックなどの大型車保有台数が増加し、舗装の損傷が深刻化しつつあった。このような社会情勢を踏まえ、1952年にWASHO (Western Association of State Highway Officials) 道路試験が、また1956年にはAASHO (American Association of State Highway Officials) 道路試験が相次いで実施された。

WASHO道路試験における実験走行路のレイアウトは図-1に示すとおりであり、区間毎に断面を変えた舗装上を荷重車が繰り返し走行し、パフォーマンスの変化が調べられた。AASHO道路試験も立地条件や投資規模は異なるものの、基本的にはWASHO道路試験と同様の考え方に立って行われた試験であり、2年間で100万回を超す走行実験が行われ、当該試験で得られた知見はその後の経験的および理論的舗装設計法に多大な影響を与えた<sup>2)</sup>。

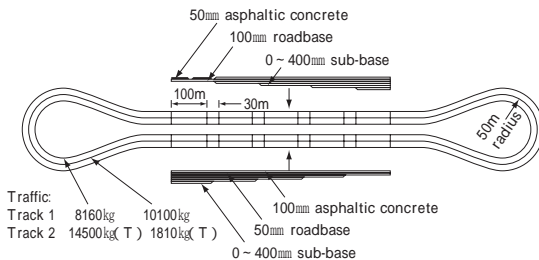


図-1 WASHO道路試験の実験走行路

AASHO道路試験の結果から、舗装材料に関する耐久性の評価、路床支持力や交通量に応じた舗装設計法が導かれたが、一方で気象条件や使用材料の違いから、当該試験で得られた知見を、そのまま他の地域へ適用することには問題があるとの指摘もあった。このような観点から、世界各地で地域に根差した独自の走行実験を行おうとする気運が高まり、各種施設が続々と構築されている。

一方、「荷重輪走型」の試験装置においても、科学技術の進歩に伴い、交通・車両事情を反映した改良を取りつつ進化しており、現在では、特に大型輸送車に装着されつつあるエアサスペンションや幅広シングルタイヤを搭載した促進載荷試験機も運用されるに至っている。

## 2.2 荷重車自走型

前項で述べたとおり、舗装の耐久性を調べる方法のひとつに、実際の車両を走行させ舗装の供用性を調査

する「荷重車自走型」の施設を用いるものがある。本章では、表-2に示す現時点における代表的な「荷重車自走型」実験施設について概要を紹介する。

表-2 荷重車走行型実験場の代表例

No	名称	保有国	運用開始年	稼働状況
1	Mn/Road	アメリカ	1993	稼働中
2	NARDO	イタリア	1979	稼働中止
3	PTI	アメリカ	1971	稼働中止
4	舗装走行実験場	日本	1979	稼働中
5	WesTrack	アメリカ	1995	稼働中
6	Virginia Smart Road	アメリカ	1998	稼働中
7	リサイクル舗装材料耐久性試験施設	日本	2000	稼働中

### (1) Mn/Road (アメリカ)<sup>3)4)</sup>

ミネソタ州が2,500万ドルの工費をかけて1991年に着工し、1993年に竣工した実験施設である。走行実験は1994年に開始されており、現在も継続して精力的な研究が行われている。

実験走行路の全景を写真-2に示す。全延長は9.6kmであり、8タイプの舗装が40区間にわたって施工されている。なお、各区間の延長は143mである。



写真-2 Mn/Roadの実験走行路

荷重車は写真-3に示す実験用の車両と一般の通行車両である。Mn/Roadでは、交通規制を切り替えることによって、実験時には一般車両を試験走行路に誘導し、路面調査時には隣接する一般道へ迂回させることができるようになっている。

荷重車の輪荷重は、356kNと454kNの2種類であり、走行速度は56~104km/hである。

実験走行路には、熱電対を初めとして、水平ひずみゲージ、線形差動トランス型変位計、土圧計、水分計、水位計など、多数の計器類が埋設されている。



写真 - 3 Mn/Roadの荷重車

(2) NARDO (イタリア)

NARDOはイタリアのピリンディジに1979年に構築された実験施設であるが、現在は利用されていない。

実験走行路は、直径4km、延長12.5kmの円形走行路とその内側の1.8kmの走行路からなる。試験区間の幅員と延長は、それぞれ4m(2車線)、40mである。

荷重車は6つの車軸を有しており、走行速度30km/hで1時間当たり22周する。

アスファルト混合物層のひずみを計測しているが、計測にはKYOWAのHBM DA3, HBM LP 2160-120が用いられている。

(3) PTI (アメリカ)

ペンシルバニア州がペンシルバニア州立大学などと共同で1971年に構築した施設である。ただし、NARDO同様、現在は利用されていないようである。

実験走行路は、図 - 2 に示すとおりであり、延長1.6kmである。

荷重車は、セミトレーラおよびフルトレーラ(タンデム軸、トライデム軸)であり、軸重は71kN ~

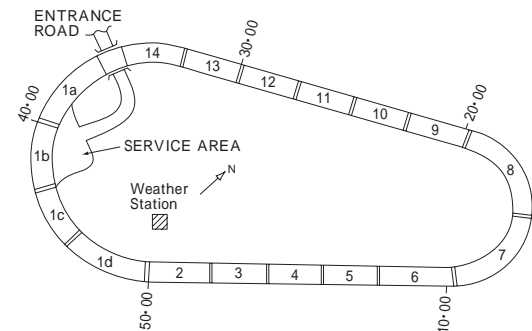


図 - 2 PTIの実験走行路

120kNである。走行速度は36km/hで、時間当たり22.5周する。

計測項目は、ひずみ、応力、水分、温度、凍結深さなどである。

(4) 舗装走行実験場 (日本)

(独) 土木研究所所有の実験施設である。1979年に構築した磁気ケーブルによる無人自動運転システムを、2004年にRTK-GPS + 光ジャイロファイバーを用いた無人自動運転のシステムに更新している。

実験走行路は、図 - 3 に示すとおり大小2つの円形走行路からなっている(大円: 870m, 小円: 628m)

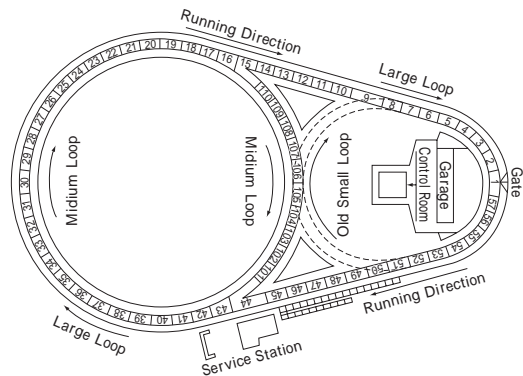


図 - 3 舗装走行実験場の実験走行路

荷重車は無人で走行し、横断方向の走行位置は基準位置に対して±0.25mの範囲で正規分布となるよう制御されている。荷重車の外観は写真 - 4 である。図 - 4 に示すとおり荷台にウェイトを載せる機構になっており、総重量を35~314kNまで調整できる。荷重車の走行速度は最大40km/hである。



写真 - 4 土木研究所の荷重車の外観

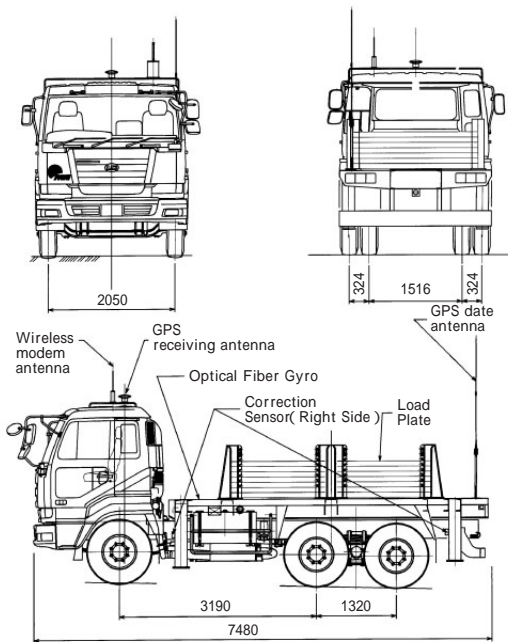


図 - 4 土木研究所の荷重車の機構<sup>5)</sup>

(5) WesTrack (アメリカ)<sup>6)</sup>

FHWA (Federal Highway Administration) がネバダ州のReno (リノ) に1995年に構築した実験走行路である。実験走行路のレイアウトは、図 - 5 に示すとおりであり、全長2800mの楕円形を呈している。直線部に2車線からなる26の試験区間があり、ひとつの区間の幅員は $3.7\text{m} \times 2 = 7.4\text{m}$ 、延長は70mである。ただし、外側レーンのみを試験レーンとして利用する。試験区間のみの延長は1820mである。

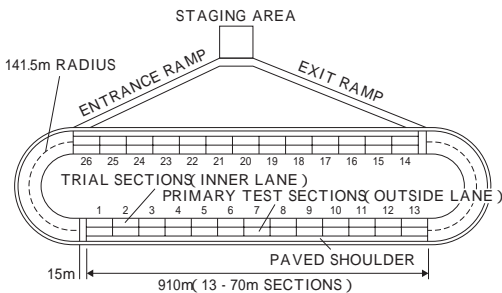


図 - 5 WesTrackの実験走行路

荷重車の車軸は、写真 - 5 に示すとおり、前軸 + タンデム軸 + 5つのシングル軸で構成されており、各軸重は、 $53.4\text{kN} + 178\text{kN} + 5 \times 89\text{kN}$ である。荷重車は、走行速度 $65\text{km/h}$ で時間当たり23周する



写真 - 5 WesTrackの荷重車

(6) Virginia Smart Road (アメリカ)<sup>7)</sup>

バージニア州のブラックスバーグとI-81道路をつなぐ延長 $9.6\text{km}$ のハイウェイであり、一方方向2車線で $3\text{m}$ の路肩を有している。

これまでに述べてきた施設との大きな違いは、人工の降雪や降雨の施設を備えており、環境条件を考慮できる点である。当該施設の目的は、SuperPave混合物の評価、FWD試験における舗装応答のキャリブレーション、地中レーダによる測定結果の解釈ならびに舗装パフォーマンスの予測に関する基礎的な研究等、多岐にわたっている。

荷重車の外観を図 - 6 に示す。軸荷重は表 - 3 に示すとおり3つのレベルに調整可能であり、 $8, 24, 40, 72.4\text{km/h}$ の4段階の走行速度において舗装応答等の計測が行われている。

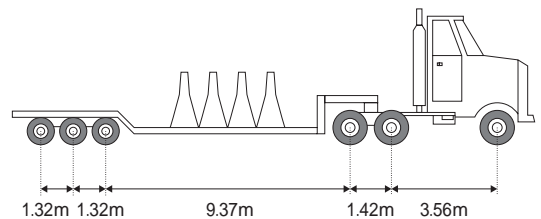


図 - 6 荷重車の外観

表 - 3 荷重車の軸荷重 (3レベル)

	Load L1,kN (1bs)	Load L2,kN (1bs)	Load L3,kN (1bs)	
Steering Axle	50.8 (11440)	47.9 (10800)	44.0 (9900)	
Tandem Axle	1st Axle	83.4 (18780)	62.2 (14000)	41.1 (9260)
	2nd Axle	79.1 (17820)	57.9 (13040)	37.8 (8520)
Tridem Axle	1st Axle	85.1 (19180)	54.2 (12200)	29.5 (6640)
	2nd Axle	71.7 (16160)	48.4 (10900)	31.7 (7140)
	3rd Axle	68.4 (15400)	45.5 (10240)	37.8 (8500)

(7) リサイクル舗装材料耐久性試験施設 (日本)<sup>8)9)</sup>

(独)土木研究所所有の試験施設で、2000年より稼働している(写真 - 6)。当該施設は、長さ $160\text{m}$ 、幅員 $4\text{m}$ の直線試験走路の中央部分 $60\text{m}$ が舗装試験区間となっており、試験台車が走行速度 $10 \sim 20\text{km/h}$  (最大で $30\text{km/h}$ )

で往復する機構となっている。試験台車は、3軸10輪の実際のトレーラ車体を使用したもので、載荷荷重は車体に鋼製の荷重版を載せることで調整を行う。



写真 - 6 リサイクル舗装材料耐久性試験施設

### 2.3 荷重輪走行型（円形試験路型）

円形試験路をアームに装着された車輪が通過する構造の試験機について紹介する。往復型に比べてサイクル数を速くできるので、繰返し載荷を短時間で実施できる。このタイプには、室内に設置して環境を制御できるものやアームの数などに違いがある。

#### (1) 屋内設置型

##### ① JH試験研究所（日本）

JHでは1970年に稼働開始した「回転式舗装試験機」が、1992年から2代目に更新され（写真 - 7<sup>10)</sup>参照）、排水性舗装の評価などに用いている。

アームの本数は4本である。試験は直径8m、10mの2軌道での実施が可能で、最大試験速度100km/h、ダブルタイヤの輪荷重は最大69kNまで可能である。また、路面温度を-20~60に調節でき、散水装置により湿潤状態にすることもできる。

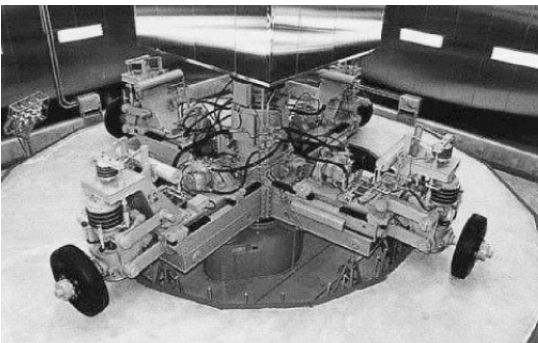


写真 - 7 JH試験研究所所有試験機

##### ② Shell調査研究センター（オランダ）

1960年代から写真 - 8<sup>11)</sup>に示す試験機でアスファルト混合物の評価を行っている。文献<sup>12)</sup>ではLTT（Laboratory Test Track）と記載されている。

アームの数は2本である。外側の直径は3.25mであり、輪荷重20kN、速度16km/hで試験を行っている。試験路は最大60まで制御できる。

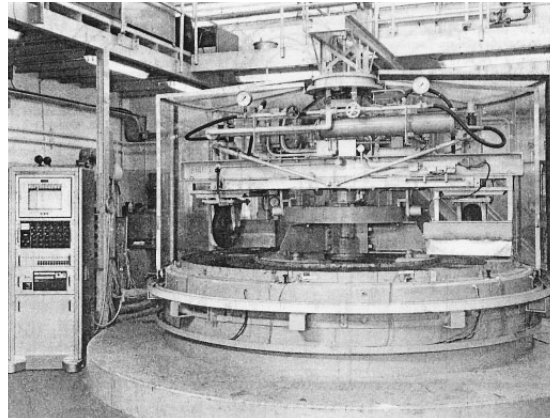


写真 - 8 Shell調査研究センター所有試験機

##### ③ Canterbury大学（ニュージーランド）

Canterbury大学では1969~1983年に屋外の円形促進載荷試験機が稼働していた。これを1986年から屋内試験機である「CAPITF（Canterbury Accelerated Pavement Testing Indoor Facility）」にアップグレードした（写真 - 9<sup>13)</sup>参照）。

アームの数は2本である。試験路の直径は車輪中央部で18.5m、最大輪荷重60kN、最大速度50km/hである。試験路は高さ6mの六角形の建物の中にあり、幅4m、深さ1.5mの環状のコンクリート槽に舗装を構築して試験を実施する。

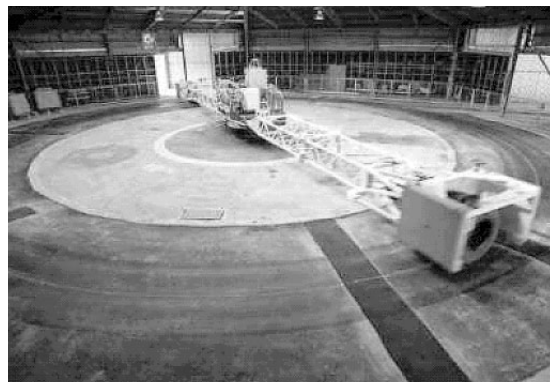


写真 - 9 CAPITF

文献<sup>14)</sup>では、図 - 7 のようなわだち掘れの進行状況を示し、アスファルト舗装の研究を紹介している。

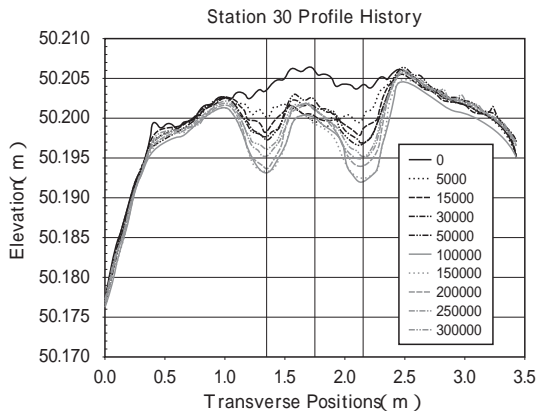


図 - 7 わだち掘れの進行状況

(2) 屋外設置型

①道路橋梁研究所 (フランス)

フランスの道路橋梁研究所 (LCPC : Laboratoire Central des Ponts et Chausees) が所有する試験機は、円形試験路型では世界最大である (写真 - 10<sup>15)</sup> 参照)。

アームの本数は 4 本である。試験路中心の直径 34m, 最大輪荷重150kN, 最大速度100km/hである。



写真 - 10 LCPC

②連邦技術研究所 (スイス)

チューリッヒ郊外のEMPA (連邦工業材料試験研究所) にあるIVT-ETH ( ISETHと表記する文献<sup>16)</sup> もある) を写真 - 11<sup>17)</sup> に示す。なお、本試験機は、チューリッヒ工科大学が所有しているものである。

アームの本数は 3 本である。試験路の平均直径は 32m, 最大輪荷重80kN, 最大速度80km/hである。

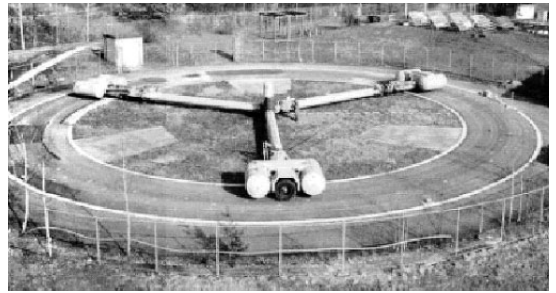


写真 - 11 IVT-ETH

③セントラル・フロリダ大学 (米国)

セントラル・フロリダ大学 (UCF) にある試験路を写真 - 12<sup>18)</sup> に示す。文献<sup>18)</sup>では、CATT (Circular Accelerated Test Track) と表記されている。

アームの本数は 3 本である。試験路の直径は 15.2m, 荷重は装置上にあるタンクに水を入れることによって134 ~ 356kNに調整でき、最大速度は 48km/hである。



写真 - 12 UCF-CATT

(3) 参考 (英国)<sup>19)</sup>

円形試験路型の促進載荷試験機は、英国の道路調査研究所 (RRL) ではRoad Machineとして古くから実施されている。1912年には写真 - 13に示す装置が既に稼働していた。直径10m, 最大荷重12.7kN, 最大速度 14km/hである。

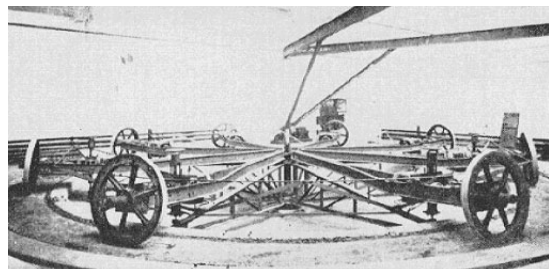


写真 - 13 初期のBritish Road Machine

1933年には、写真 - 14に示すRoad Machineの2号機が稼働していた。試験路は直径34m、走行トラックの最大荷重225kN、最大速度48km/hである。

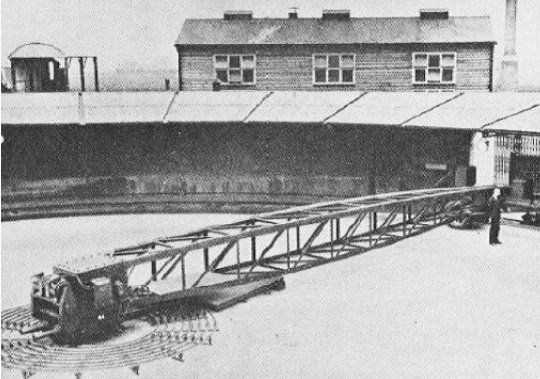


写真 - 14 Road Machine 2号機

1963年に、2号機を改良し3号機とした。3号機は複輪として最大荷重69kN、走行速度25km/hである。しかし、この装置は1960年代後半に研究所の移転に伴い、直線試験路型の施設に代わられた。

#### 2.4 荷重輪走行型（直線試験路往復型）

ここでは、荷重輪走行型のうち、直線試験路を荷重輪が往復する機構を有する促進载荷試験機について、紹介する。

今回取り上げた促進载荷試験機の一覧を表 - 4に示すが、往復型の促進载荷試験機は、屋内または屋外に定置するタイプのもの（以下、定置式とする）および現地に可搬できるタイプのもの（以下、可搬式とする）に分類できる。

表 - 4 促進载荷試験機（往復型）

No	名称	保有国	定置式・可搬式の区分
1	ALF	オーストラリア	可搬式
2	FHWA-PTF	アメリカ	
3	RIOH-ALF	中国	
4	PRF-LA	アメリカ	
5	HVS	南アフリカ	
6	CAL-APT	アメリカ	定置式
7	DRTM	デンマーク	
8	EPFL	スイス	
9	LINTRACK	オランダ	
10	Minne-ALF	アメリカ	
11	PTF	イギリス	
12	INDOT/PURDUE	アメリカ	
13	ロードシミュレーター	日本	

本文では、往復型の促進载荷試験機のうち、定置式の試験機を取り上げ、その代表例として、①DRTM、②LINTRACK、③PTF、④INDOT/PURDUE、⑤ロードシミュレーターの5種類について、その概要を以下に示す。なお、可搬式の促進载荷試験機については、2.6の項で示す。

#### (1) DRTM（デンマーク）<sup>20)</sup>

DRTM（Danish Road Testing Machine）は、Technical University of Denmarkで所有されており、1973年から稼働している（写真 - 15および図 - 8）。

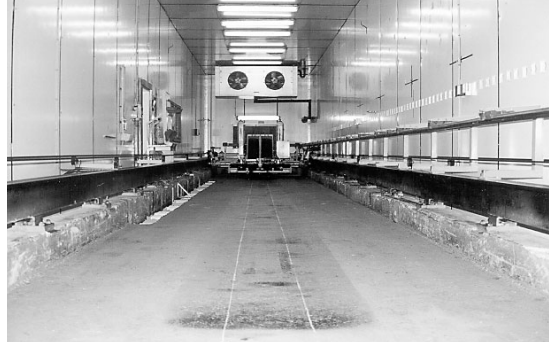


写真 - 15 DRTM

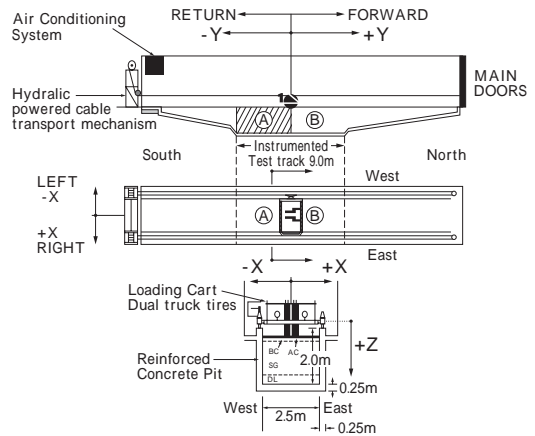


図 - 8 DRTMの仕様

当該試験機は、電動モーターにより駆動するシングルタイヤまたはダブルタイヤが、走行速度20～30km/hで試験走路を往復する機構となっている。試験時の载荷荷重は最大で65kNまで設定することが可能である。試験走路は、長さ27.5m×幅4m×高さ3.8mの温度制御が可能（-10～40）な建物内にあり、長さ9m×幅2.5m×深さ2mの箱形のコンクリート槽に舗装を構築し、試験を行う。

(2) LINTRACK (オランダ)<sup>21)</sup>

LINTRACKはオランダのDelft University of TechnologyにあるRoad and Railway Research Laboratoryで所有されており、1991年から稼働している(写真-16)。当該試験機は、電動モーターにより駆動するシングルタイヤまたはダブルタイヤが試験走路を往復する機構となっており、走行速度は0~20km/h、載荷荷重は15~100kNまで設定できる。

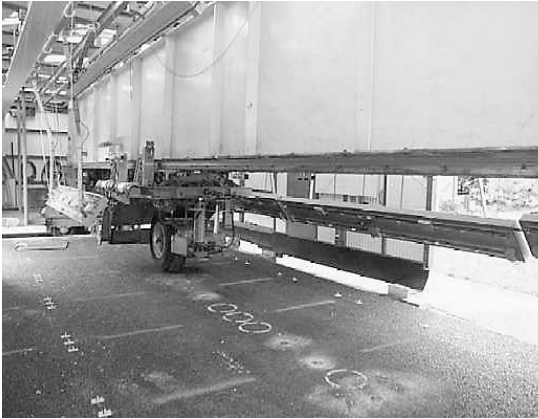


写真-16 LINTRACK

(3) PTF (イギリス)<sup>22)</sup>

PTF (Pavement Test Facility) はイギリスのNottingham Universityで所有されており、1984年から稼働している(写真-17)。電動モーターにより駆動するシングルタイヤまたはダブルタイヤが走行速度0~16km/hで試験走路を往復する機構となっている。試験時の載荷荷重は0~15kNまで設定することが可能である。また、載荷時にタイヤ幅の半分(75mm)がオーバーラップするように横方向へタイヤが移動(最



写真-17 PTF

大移動幅:600mm)する仕組みとなっている。なお、当該試験機も屋内に設置されており、試験時の温度制御が可能である(20~25)。

当該試験機を用いて、アスファルト舗装にジオテキスタイルを適用した場合の耐流動性を評価した検討事例では、不織布タイプのジオテキスタイルよりもジオグリッドを用いるほか、アスコン層中間部よりも底部にジオグリッドを敷設することで、わだち掘れの抑制効果が大きくなることが報告されている(写真-18参照)。



写真-18 200,000回載荷後の切取供試体

(4) INDOT/PURDUE (アメリカ)<sup>23) 24)</sup>

INDOT/PURDUE (Indiana Department of Transportation/PURDUE University) は Indiana Department of Transportationで所有されており、1992年より稼働している(写真-19)。シングルタイヤまたはダブルタイヤが試験走路を往復する機構となっており。走行速度は0~8km/h、載荷荷重は最大で89kNまで設定できる。試験走路は建物内にあり、長さ6m×幅6m×深さ1.8mの試験槽内に舗装を構築し、試験を行う。また、幅1.5mごとに4種類の異なる舗装構造を設けることが可能である。試験槽の

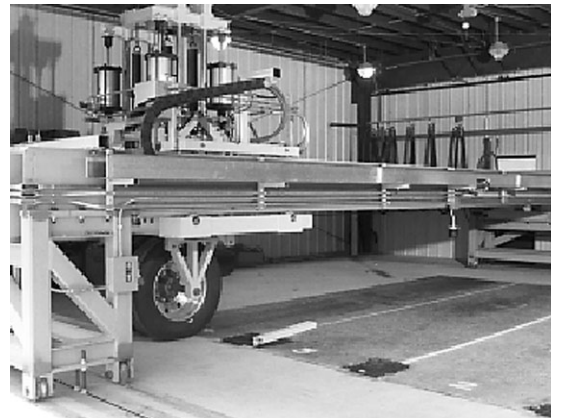


写真-19 INDOT/PURDUE

底部には、厚さ30cm程度のコンクリート版が設置されており、これを加熱することで、舗装体の温度を調節できる（最高温度55℃）。このほか、地下水位の調節も可能となっている。

(5) ロードシミュレータ（日本）

ロードシミュレータは、鹿島道路(株)所有の往復走行型促進載荷試験機であり、2004年4月より稼働している（写真-20）。走行方式は、電動モーターにより駆動輪（複輪）が自走するタイプである。最大輪荷重は69kNであり、走行速度は5 km/hである（写真-21）。試験ヤードの規模は、幅員4 m、延長30mであり、屋外に設置されている。



写真-20 ロードシミュレータ（全景）



写真-21 ロードシミュレータ（走行輪）

舗装に求められる必須性能指標のひとつである「疲労破壊輪数」等の評価試験機として活用するため、2004年7月現在、各種アスファルト舗装を対象とした基礎的な実験が行われている。

2.5 荷重輪走行型（直線試験路1方向型）

直線試験路型の促進載荷試験機は、2.4で述べた往復型が大部分を占める。繰返し載荷を行うには、荷重

輪を元の位置に戻す必要があり、それには試験機の機構上、往復型の方が効率的であると思われる。

しかし、往復型には「実際の走行車両による載荷は一方方向であり、往復型では再現性に疑問がある」との指摘があり、一方、円形試験走路は一方方向載荷ではあるが、回転半径が小さいと荷重輪に遠心力（横断方向のせん断応力）が掛かり、現実の路面との乖離が懸念される、といった一長一短がある。

そこで、走行車両の実荷重に対する最も再現性の高い方式が、ここに示す「直線試験路一方方向型」となる。これには、荷重輪を接地走行させた後、路面から離れた位置（上方）を通過させて元の位置に戻す方式と、楕円形走路を構築し、その中の直線区間のみを評価対象とする方式がある。前者の代表が米国のTxMLSであり、後者の代表がスペインのCEDEXである。

(1) TxMLS（アメリカ）<sup>25)</sup>

テキサス州交通局が所有する促進載荷試験機で、1995年に稼働開始している。シングルタイヤで22～89kN、ダブルタイヤで36～98kNの載荷を時速20kmで行う（写真-22）。

試験機には図-9に示すように複数の荷重輪が設置されており、これを結ぶベルトコンベアが回転することで、一方方向の載荷を1時間に6,000回（輪）行うものである。



写真-22 TxMLSの全景

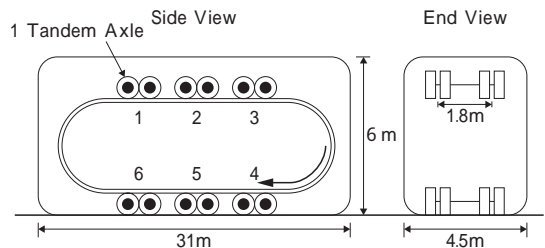


図-9 TxMLSの機構（荷重輪の配置）

評価対象にできる試験路面は、長さ11.1m、幅3mである。また、試験機の総重量は1117kNで、中心線から±25cmの範囲で載荷中に軌跡をシフトすることで、実路に近似したわだち掘れの形状を発生させることができる。本試験機は、トレーラーにより牽引し、現位置での載荷試験も可能である。また、同じ機構で1/10スケールの試験機も所有している。

## (2) CEDEX (スペイン)

マドリードにある1987年稼働の本試験機は、屋外に楕円軌道の試験走路を持ち、そこに写真-23に示す、荷重車の走行ガイドが設置されている。

試験走路の総延長は304mであるが、評価に用いられるのは、直線部2区間の各75mである。ここに、コンクリート壁により周囲の地盤と切り離された、幅8m、深さ2.6mの試験槽が複数配置されており、路床から試験舗装体の構築が可能である。また、試験槽の地下水位も調節ができる。

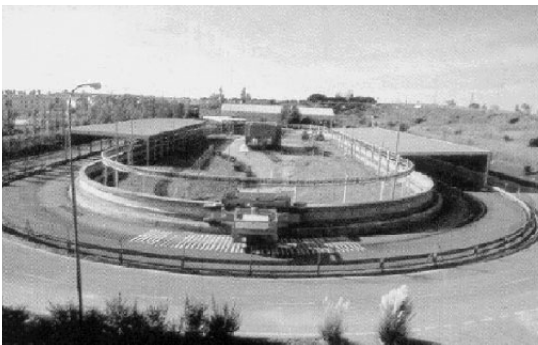


写真 - 23 CEDEXの全景

荷重車による載荷は、ダブルタイヤで最大64kN、速度は8~58km/hである。TxMLS同様に、軌跡を最大40cmシフトすることで、試験輪の影響を幅1.3mに渡り掛けることができる。また、試験走路にはスプリンクラーが設置されており、雨天時(湿潤路面)の再現も可能な設備を有する(写真の屋根が見える箇所)。

文献によると、TxMLS、CEDEXのいずれも、流動わだちの評価に加え、疲労試験(構造評価)も行われているようである。

この他にも、直線試験路1方向型の試験が可能なものもある。例えば、2.6「可搬型」に記載しているMMLSは、TxMLSのミニチュア版とも言えるものであり、荷重車自走型に記載したMn/RoadやWesTrackも試験走路に直線区間を有していることではCEDEXと同じである。

## 2.6 可搬型

本章では、試験現場に搬入可能で、試験時には車両本体は据え置かれ、試験輪が稼働することにより繰り返し載荷を行う、可搬型の促進載荷試験機について、その代表例を紹介する。

### (1) HVS<sup>26)</sup>

HVS (Heavy Vehicle Simulator) は、荷重輪が直線上を走行(一方向または往復が選択可能)するタイプの促進載荷試験機で、20年分の供用載荷を3ヶ月で再現可能である。試験現場へは牽引により移動し、試験工区間のような短い距離であれば自走により移動可能である。

HVSの原型は、1960年代後期に南アフリカCSIRにより大型車の荷重をシミュレーションするために開発されたMark Iである。ただし、この試験機は可搬型である現在のHVSとは異なり、固定されたものであった。その後可搬型の試験機として1970年にHVS Mark IIが、1977年にはMark IIIが開発され、1978年以降、Mark II 1台およびMark III 3台により400ヶ所以上が南アフリカにおいてテストされた。

最新型であるMark IV(写真-24)は、荷重輪がシングルまたはデュアルタイヤで輪荷重30~200kN、試験長は6mまで、荷重輪の移動速度は12km/hまで可能である。また、飛行場用として開発されたHVS-A Mark Vは、輪荷重440kN、試験長は12mまで可能である。ただし、所有機関により若干の仕様変更があるようである。



写真 - 24 HVS Mark IV

HVSの稼働状況は以下の通りである。

#### ① Mark III

南アフリカCSIR 1台、カリフォルニア運輸局(CAL-APT) 2台

#### ② Mark IV

アメリカ陸軍工兵隊 1台、フィンランドVTTと

スウェーデンVTIの共同研究 (HVS-Nordic) 1台, 南アフリカCSIR (MarkIV+) 1台, フロリダ運輸局 (MarkIV+) 1台

③HVS-A Mark V (写真 - 25)  
アメリカ陸軍工兵隊 1台



写真 - 25 牽引されて移動中のHVS-A Mark V

(2) ALF<sup>27)</sup> 28)

ALFは、荷重輪が直線上を往復するタイプの促進載荷試験機であり (写真 - 26), 20年分の供用載荷を6ヶ月で再現可能である (FHWA-PTF)。試験現場への移動にはトレーラーを使用し、また工区間の移動にはクレーンを使用する。

オーストラリアでは1960年代後半から1970年代にかけて建設された舗装の供用性が思わしくなく、メンテナンスに多大な出費を強いられた。1982年, NAASRAは重交通下における舗装の早期破壊, クラックおよびわだちぼれの原因を調査するために, Accelerated Loading Facility (ALF) と呼ばれる試験機を作製し, 1984年から運用を開始した。

ALFはオーストラリア以外に, 1984年にFHWAが2台 (FHWA-PTF) のALFを導入し, 1995年にLTRCが1台 (PRF-LA), 1987年に中国が1台 (RIOH-ALF) をそれぞれ導入した。

図 - 10はALFの概略図である。ALFの輪荷重, 試験長などの仕様は所有機関により若干異なる。以下に

オーストラリアのALFを紹介する (写真 - 27)。

荷重輪はシングルまたはデュアルでトラックタイヤを使用する。輪荷重は40~80kN間を10kN刻みで変更可能である。通常は試験長12m, 荷重輪の移動速度は20km/hで試験を行う。



写真 - 26 クレーンにより搬入されるALF



写真 - 27 ALFの荷重輪

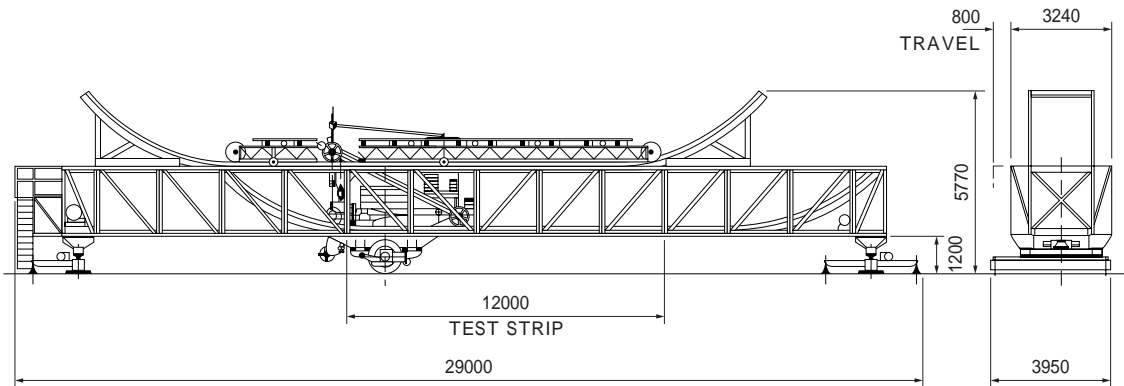


図 - 10 ALF概略図

(3) MMLS<sup>(29) (30) (31) (32)</sup>

MMLS (Model Mobile Load Simulator) は、荷重輪が直線上を一方向に走行するタイプの促進荷重試験機で、TxMLSの小型版といえるものである。試験現場へは車両に積載し運搬する。また、短距離の移動には移動用の車輪またはトラッククレーンを使用する。

MMLSは、南アフリカで開発され、当初は1/10スケールの試験機が製造された。その後、MMLS3 (1/3 scale Model Mobile Load simulator) またはMMLS Mk3と呼ばれる、荷重輪の直径がトラックタイヤの1/3である試験機が開発された。

MMLS3は、長さ2400mm×幅600mm×高さ1150mm、試験機本体の重量が672kgと非常に小型である(写真-28)。

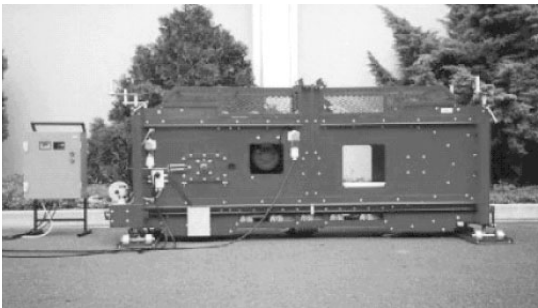


写真-28 MMLS3の外観

荷重輪は直径300mm×幅80mmのものが、ベルトコンベアに1.05m間隔で4個設置されている。輪荷重は1.9~2.7kN、荷重輪の移動速度2.5m/sである。また、供試体を作製する専用ローラコンパクトも製造されている。

MMLSは、テキサス大学CRTやテキサス運輸省、Stellenbosch大学ITT(南アフリカ)等で使用され、室内および屋外で使用されている(写真-29)。また、TxMLSと同一フィールドにおける試験も実施されている。

(4) TxMLS(アメリカ)<sup>(25)</sup>

試験機の詳細については、「2.4 荷重輪走行型(直線試験路一方向型)」を参照のこと。

### 3. 環境計測及び制御

舗装の耐久性に影響を与える第一の要因は交通荷重であるが、舗装体の温度や含水状態などの環境因子も破損を誘発する重要な因子である。したがって、舗装の供用性を実物大試験で的確に評価する際には、交通



写真-29 室内試験に使用されるMMLS

荷重の再現に加えてこれらの環境因子についてもできるだけ忠実に再現することに関心が向けられることが多い。

たとえば、アスファルト舗装のわだち掘れ評価には路面温度の測定が不可欠であることから、試験路面の温度制御を可能とした施設もある。また、凍上対策や混合物のはく離抵抗性等を試験目的とする場合は、舗装の水分制御が不可欠となる。

本文ではこれまで、促進荷重試験施設を載荷形式ごとに分類して紹介してきた。温度や水分等の環境制御機能は載荷形式と独立した共通事項であることから、本項では環境計測および制御機能に注目し、その現状を整理する。

(1) 環境計測・制御の項目

試験中に作用する応力・ひずみ状態を計測して記録する機能を有する施設は多い。また、環境履歴の記録としての路面温度や含水率等の状態測定も、多くの施設で実施している。

これら試験条件の計測にとどまらず、環境因子を意図的に制御して試験するための設備も、屋内型の施設を中心に見られる。促進荷重試験で制御対象となる項目は、温度、含水状態、日射が主なものである。舗装体温度を制御しようとする試みが多く、また、含水状態を制御しようとする施設も見られる。日射(紫外線)については、劣化因子としてその重要性を挙げた報文は多いものの、照射量を制御することにより評価を試みる事例は見当たらなかった。

直接的な環境制御とは異なるが、供用等による一定期間の屋外暴露後に載荷試験を行うことにより環境因子の影響を評価するための調査は、主に可搬型の装置により試みられている。

## (2) 舗装温度

わだち掘れの評価を行う場合には、舗装体の温度が載荷荷重とともに重要な要素となる。本報で収録した施設の多くで温度計測がなされており、NCHRP<sup>16)</sup>の調査によると、約半数の施設で温度測定が可能であると報告されている。舗装温度の計測項目には、気温、路面温度、深度方向の温度分布などがある。

屋内設置型及び可搬型の施設の一部では、温度の制御を可能としているものがある。温度制御対象として舗装表面の温度をコントロールしようとするものがほとんどであり、60℃といった高温状態に注目するものが多い。温度の制御方法には、空調機や赤外線ランプ等の光源を利用するようである。

### ① 屋内設置型

写真 - 30はJHの回転式舗装試験機であるが、夏季の路面状況を再現するために赤外線照射装置により60℃まで制御できるほか、冷凍設備により-20℃までの低温試験も可能であり、散水施設等を併用して冬季の湿潤路面を再現した状態での試験も可能である。Shellの載荷装置も60℃まで温度を制御可能であると報告されている。

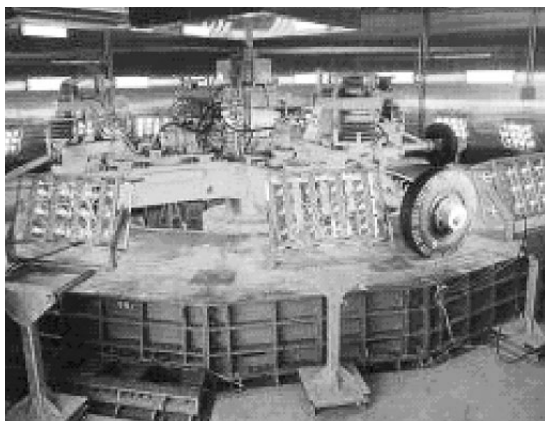


写真 - 30 赤外線照射装置による温度制御

### ② 現場試験

可搬型の促進載荷試験装置でも、試験槽等を付加することにより環境制御を実現している装置もある。たとえばHVSでは、載荷部周辺に断熱材を主体としたチャンバを装着することにより、現位置での耐流

動性(塑性変形輪数)評価が可能である(写真 - 31)。同様にMMLSでは、比較的小型である載荷装置を収容する形状の環境試験槽を付加することにより温度制御が可能である(写真 - 32)。



写真 - 31 HVSの温度制御アタッチメント<sup>33)</sup>



写真 - 32 MMLSの環境制御槽<sup>34)</sup>

### (3) 水の影響

舗装の耐久性に与える水の影響は大きく、特に路床を含めた実物大試験では、降雨、地下水位、路盤含水比等の影響を考慮した実験が目的となることも多い。

主な計測項目は、降雨量、湿度、地下水位、含水比、間隙水圧等であり、温度測定と併せて凍結状態の判断を行うこともある。

施設の形態は、水密性を有するコンクリート製の試験槽を設置して水分量を調節するものが一般的である。試験用のピットは、1車線あるいは載荷輪に応じた幅員と2m程度の深さを有し、その試験ピット内に路床から舗装構造を構築し載荷装置により試験できるようにしているものが大多数である。

HVS-Nordicは可搬型の載荷装置HVSであるが、定

置式の試験施設（試験舗装用のピット）を併せて整備してある。現場試験のために搬出する場合のほかは、この施設を活用した環境制御により、特に北欧で問題となっている凍上関係の試験に活用されている。

水分量の制御方法が明示された報文はほとんどなく、路面への散水が可能であると紹介されたものが多い。したがって、精密な水分量の制御は困難であるのが実情であると推測される。

低温下で散水することにより、冬季路面を再現した例もあるほか、人工降雪機を設置した施設も見られる。

#### (4) 長期供用劣化

耐流動性評価のための試験は、舗装直後の新設路面を試験することにより有意義な成果を得られることが多い。これに対して、ひび割れ、特に表面ひび割れを評価する場合には、供用中の温度履歴や日射による材料の老化を含めた評価が必要となる。

現場可搬型は、そのポータビリティから、供用劣化に即した舗装の耐久性を評価するための試験にも用いられている。

屋外型の試験施設では、比較的長期間にわたり载荷試験を継続する場合が多く、（たとえば、Mn/RoadやWesTrackなど）長期間の供用劣化を含めた大規模なプロジェクトとして実施されているものもある。

#### 4. おわりに

本文で示したように、世界各地には実に多種多様なタイプの促進载荷試験用の施設があることがわかる。どのようなタイプの施設を選択するかについては、各機関とも研究の目的や予算の多寡、敷地の広さといった様々な要因を勘案して決定しているものと思われる。

促進载荷試験のための施設は、屋内外において車輪を取り付けたアームを回転させて舗装の耐久性を評価する簡単な機構のものから始まり、AASHTO道路試験に代表される荷重車自走型の実物大試験走路へと発展した。その後、国家プロジェクトのような大規模施設の構築には多大な費用が必要であることや、舗装の評価にあたっては環境条件を考慮する必要があることなどから、様々な条件下で実験が可能な荷重輪走型型の試験施設が世界各国で構築されるに至っている。

今回紹介した施設のほとんどは、「舗装の構造」に関する評価を行うことを目的として荷重車や荷重輪を走行させるものであるが、最近では図 - 11に示す（独）北海道開発土木研究所の苫小牧寒地試験道路<sup>35)</sup>のように、冬季における路面の凍結やすべり抵抗性など、「路面の機能」を評価するための試験道路も現われ始めている。一般に屋外施設には試験条件が天候や気候に左右されるという特徴があるが、この苫小牧寒地試験道路には、本文で紹介したVirginia Smart Roadと同様、人工降雪機が設置されており、寒冷地

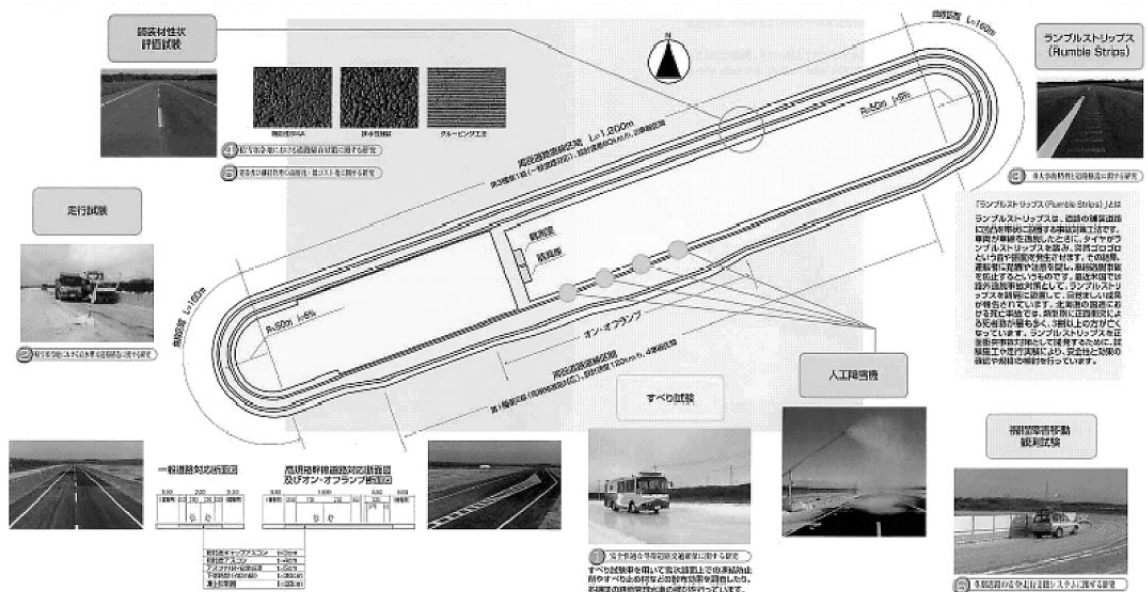


図 - 11 (独)北海道開発土木研究所の苫小牧寒地実験試験道路の概要

における典型的な路面状態を恣意的に創出できるようになっている。

わが国においては、「舗装の構造に関する技術基準」に示されている舗装の性能等に関する評価方法の整備が緊急を要する課題となっており、今回紹介したような試験設備を活用することによって評価方法が確立されるとともに、技術開発の活性化が図られることを期待したい。

最後に、本文では、できるだけ多くの実験施設を紹介することを目的としたために、各施設に関して十分な情報を提供することはできなかった感は否めない。詳細な情報を知りたい方は、各施設に関する情報ソースを参考文献として示しているので参照していただきたい。

以上

#### 参考文献

- 1) Croney D. and Croney Paul: Design and Performance of Road Pavements, McGraw-Hill, 1997
- 2) 社土木学会：舗装工学，1995年2月
- 3) 安崎裕，原富男：Mn/Road（ミナソタ試験道路）の概要，舗装，36-1，pp.23-27，2002.1
- 4) <http://www.dot.state.mn.us/>
- 5) 城戸浩，伊藤正秀，寺田剛：Accelerated Loading Test with Loading Vehicles controlled automatically Using Construction IT, 2nd International Conference on Accelerated Pavement Testing, 2004.9
- 6) <http://www.westrack.com/>
- 7) [http://www.cee.vt.edu/program\\_areas/tise/smart/](http://www.cee.vt.edu/program_areas/tise/smart/)
- 8) 佐々木 巖：土木研究所で稼働する新しい実大舗装走行試験施設，舗装，38-7，pp.30-31，2003.7
- 9) [http://www.pwri.go.jp/jpn/shisetu/d\\_f9/index.html](http://www.pwri.go.jp/jpn/shisetu/d_f9/index.html)
- 10) <http://www.jhri.jhnet.go.jp/jhri/Research/pave/pave-j.html>
- 11) A. Hostra and C. P. Valkering: The modulus of asphalt layers at high temperatures, Proceedings of the Third International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, Vol.1, pp.430-443, 1972.
- 12) CS10-5\*
- 13) [http://www.transit.govt.nz/about\\_transit/captif.jsp](http://www.transit.govt.nz/about_transit/captif.jsp)
- 14) GS2-3\*
- 15) GS1-5\*
- 16) J. B. Metcalf: Application of Full-Scale Accelerated Pavement Testing, Synthesis of Highway Practice 235, National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, National Research Council, 1996.
- 17) CS13-6\*
- 18) CS1-2\*
- 19) CS6-7\*
- 20) GS2-2\*
- 21) <http://vbk.ct.tudelft.nl/LINTRACKhome/index.htm>
- 22) CS6-7\*
- 23) CS8-4\*
- 24) CS8-7\*
- 25) <http://www.utexas.edu/research/ctr/mls.htm>
- 26) <http://www.dynatest.com>
- 27) GS1-1\*
- 28) <http://www.tfhr.gov/pavement/utwweb/utw.htm>
- 29) <http://www.engr.utexas.edu/TxAPT>
- 30) [http://www.civeng.sun.ac.za/itt\\_frame.htm](http://www.civeng.sun.ac.za/itt_frame.htm)
- 31) [http://cee.wpi.edu/newsletter\\_03/mallick.html](http://cee.wpi.edu/newsletter_03/mallick.html)
- 32) GS6-6\*
- 33) <http://www.dynatest.com/hardware/hvs.htm>
- 34) <http://www.engr.utexas.edu/TxAPT/Westrack/index.html>
- 35) <http://www2.ceri.go.jp/jpn/tomakomai.htm>

注) \*印の参考資料は，1999年10月にアメリカネバダ州リノ市において開催されたAccelerated Pavement Testing 1999 International Conferenceの論文番号を示したものである。

# 道路交通騒音に関する各国の研究動向 (Inter Noise 2001)

加納 孝志\*      岸田 正憲\*\*      舟根 毅\*\*\*  
 森嶋 洋幸\*\*\*\*      焼山 明生\*\*\*\*\*

## はじめに

The International Noise Control Engineering Conference and Exhibition (国際騒音制御工学会議, 以下, Inter Noise) は毎年開催されており, 原則として米国, 欧州, 日本を含めたその他の国がホストを務めることになっている。本文で取り上げたInter Noise 2001は, 2001年8月27日~30日にオランダのハーグで開催され, 発表分野は以下に示す10分野, 61のセッションに分類され, 発表論文は全体で774件であった。なお, Inter Noise 2001は, 近年開催されたInter Noiseの中でも道路交通騒音の関連する文献が最も多い会議であった。

- ①費用と効果
- ②アクティブノイズコントロール
- ③タイヤ/路面騒音
- ④騒音による人間への影響
- ⑤規制
- ⑥建築物, 構造物
- ⑦環境騒音
- ⑧測定法
- ⑨構造と低周波数音
- ⑩音源

本文はInter Noise 2001で報告された論文の内, 特に舗装との関係の深い分野として「③タイヤ/路面騒音」と「⑦環境騒音」に注目し, 表-1に示すセッションで報告された論文についての抄訳と, 各セッションの代表的な論文について報告するものである。

## 1. A1 - 3 : 道路交通騒音

### 1.1 概要

本セッションでは, 交通騒音に影響を与える因子の

表 - 1 抄訳を行ったセッションの主題と報告論文数

セッションNo.	主 題	論文数
A1 - 3	道路交通騒音	8
A1 - 4	道路交通騒音の測定	4
B1 - 1	タイヤ/交通騒音のモデル化	11
B1 - 2	低騒音タイヤのデザイン	4
B1 - 3	低騒音舗装の設計とアプリケーション	6
C1 - 1	タイヤ/路面騒音の測定	8

抽出や精度の高い交通騒音の測定手法, 予測手法について検討した結果が報告されている。表-2に本セッションで報告された論文の抄訳を示す。

### 1.2 代表的な論文の紹介

(1) 移動する車両が発する騒音をモデル化するための複合型数値 - 実験的方法 (論文No.753)

#### 1) 概要

本文において, 移動する車両が発する騒音レベルをモデル化する方法が示された。以下では, モデル化の概念, モデル化した音源の騒音レベル算定手順を示す。

#### 2) モデル化

移動車両は, 任意に速度や走行位置, 騒音排出レベルが変化する音源としてモデル化できるが, 一般の音響解析ソフトを用いる場合には, 音源は静止している必要があるため, 連続的な音響解析が難しい。

この問題に対し筆者らは, 移動する音源を極めて微小な区間の集合として捉え, 静的モデルとして取り扱った。各々の分割された区間は, 一定時間dtの間に車両が移動した距離として定義される。音源の平均速度が $v_i$  (m/s) のとき, 音源が時間dtの間に移動した距離 $l_i$  (m) は①式によって与えられる。

$$l_i = v_i \cdot dt \quad \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

\*かのう たかし 大成ロテック(株)技術研究所

\*\*きしだ まさのり (株)パスコ道路センター

\*\*\*ふなね つよし 常磐工業(株)技術研究所

\*\*\*\*もりしま ひろゆき 前田道路(株)技術研究所

\*\*\*\*\*やきやま あきお 日進化成(株)製品技術部

表 - 2 セッション「A1 - 3」の論文概要

論文 No.	論文名	著者 (国名)	概要
563	Continuous monitoring of noise emission from roadways	J. Jabben C. J. M. Potma W. J. R. Swart (オランダ)	オランダでは交通量から騒音を予測することを目的に、路線A2沿道において普通車とトラックを区別して交通量と速度を測定した。その結果、特に普通車では、気温が低下し車両の走行速度が増加することで、騒音が増加することを確認した。
	車道からの騒音の連続的観測		
753	A Hybrid Numerical-Experimental Method for Modeling Sound Emissions of a Moving Vehicle.	F. Borch M. Carfagni (イタリア)	騒音を発しながら移動する車両の動きを連続した微細な動きとして捉え解析するシミュレートモデルを開発した。当該モデルは、移動する車両から発生する騒音を精度良く解析することが可能で、騒音の抑制や管理に妥当な支援道具となり得るとしている。
	移動する車両が発する騒音をモデル化するための複合型数値 - 実験的方法		
12	Diagnostic study for traffic noise problems in Greater Cairo, Egypt	S. A. Ali A. Tamura (日本)	エジプトのカイロにおける交通騒音を低減するために必要な取り組みについて述べられている。カイロの交通騒音を低減させるためには、道路構造の改良、車両の速度、車両の定期検査（エンジンやタイヤなど）などの対策が必要であるとしている。
	エジプトのカイロにおける交通騒音問題に対する診断調査		
2	Accuracy of practical road traffic noise measurements	S. Olafsen H. COWI. AS (ノルウェイ)	比較的短い測定期間で交通騒音を精度良く測定する手法について検討を実施した。その結果、騒音の計測方法（環境条件を含む）や算出に必要な最低限の交通量を満たしていれば、比較的短い測定時間の場合でも、従来の方法と同程度の精度で平均的な交通騒音を算出できるとしている。
	実用的な道路交通騒音の測定精度		
317	Simulation of vehicle exterior noise	R. Sottek W. Krebber K. Genuit (ドイツ)	「SVENプロジェクト」において開発した通過車両の車外騒音をシミュレートする「HEAD 3D音響シミュレータ」について、通過車両のモデル化の手法や適用事例などを紹介するとともに実用性を確認した結果を報告している。
	車外騒音のシミュレーション		
662	Road traffic noise impact model for the Federal Republic of Germany	H. Bartel F. Heidebrunn C. Popp (ドイツ)	ドイツでは、東西ドイツの統合により、旧西ドイツで使用されていた「騒音」に関する計算モデルが使用できなくなっていた。そのため、都市の形態など様々な要因について再調査し都市の形態と騒音の関係について整理された。その結果、ドイツ国内の都市の形態を5種類に要約し、都市の形態ごとに騒音計算モデルを構築した。
	ドイツ連邦共和国における道路交通騒音衝撃モデル		
164 Poster	Passenger car. Power unit and tire-road noise, driving behavior: What are the stakes?	J. Lelong R. Michelet (フランス)	様々な種類の車両の通過騒音を測定した。その結果、低速（50km/h未満）では、エンジンが主騒音源であり発生騒音への寄与が5～7dBに達し、高速域ではタイヤと路面の接触音が主騒音源であり発生騒音への寄与が3dBに達した。なお、ハイブリット車および電気自動車は低速域で10dB程度以上の騒音値を削減することを確認した。
	車両、エンジン、タイヤと走行条件が車両通過騒音に与える影響		
348 Poster	Noise disturbance in the urban sites of high density	S. Quiros, P. E. P. Lpez, M. A A. Serrulla, J. V (スペイン)	都市内の交通騒音の影響範囲を明確にするために、等価騒音レベルと騒音に不快さを感じる人の割合および不快のレベルの関連性を調査した。その結果、騒音を低減するための様々な対策を安価かつ、より効果的に導入できる可能性があるとしている。
	高密度な都市の騒音障害		

この区間 $li$ が微小な場合、車両は区間 $li$ の中央で静止した音源 $Si$ として表すことができる(図 - 1参照)。この近似は、音圧レベルを測定するレシーバと音源の距離が $li$ の10倍以上離れているならば問題ないと判断できる。なお、このモデルでの未知の変数は $Si$ の騒音レベル $Lwi$ となる。

3) 音源 $Si$ の騒音レベル $Lwi$

$Si$ の騒音レベル $Lwi$ は、方程式②によって表されている音波の伝搬則から求めることができる。

$$Lp_i(r) = Lw_i(r) - A_i(r) \quad \dots \dots \quad \text{②}$$

ここで、

$fr$  : 周波数帯の中心周波数 (Hz)

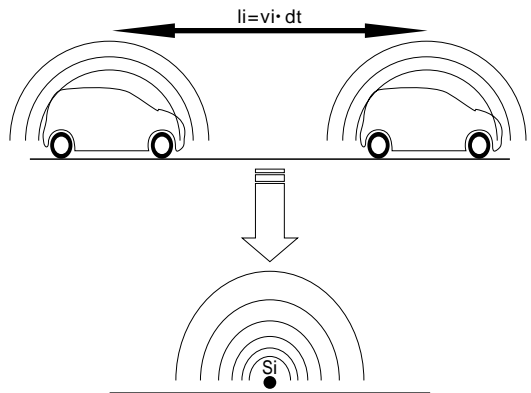


図 - 1 移動音源のモデル化の概念

Lpij : レシーバRjの音圧レベル (dB)

Lwi : 音源Siの騒音レベル (dB)

Aij : SiからRjまで減衰量 (dB)

図 - 2 に Si の騒音レベル Lwi を求めるためのフローを示す。図に示すように、音源 Si とレシーバ Rj の位置、および音源とレシーバの間の音響環境の特性が既知のとき、Lpij は実験的な方法で、Aij は ISO 9613 に示される方法で測定され、Si の騒音レベル Lwi を求めることができる。

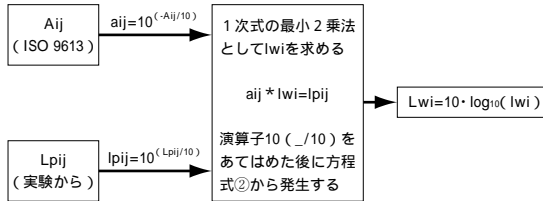


図 - 2 Lwi を求めるためのフローチャート

#### 4) まとめ

開発した手法はすべての移動する車両（レーシングカーから一般的なトラック）の解析に適用できることを確認している。また、本文で示した以外の環境条件の場合でも騒音低減のための分析に活用できることから、当解析モデルはサーキットの周辺地域から一般的な交通騒音が問題となっている地域の騒音抑制マネジメントに有効なサポート手段となり得る。

### (2) エンジン、タイヤおよび走行条件が車両通過騒音に与える影響（論文No.164）

#### 1) 概要

車両の通行による騒音は、車両の型式、車両の走行状態（走行速度や加減速など）、路面性状、道路勾配などを変数とした予測モデルで求めることができる。しかし、現在では予測モデルを開発した当時に存在しない舗装や車両が開発されたため、予測モデルを修正する必要性が生じている。この論文では、車両のエンジン形式やタイヤサイズ、車両スピードなどの様々な要素が騒音値に与える影響を定量化することを目的に検討した結果を述べる。

#### 2) 試験概要

本研究では、表 - 3 に示す車両について、①車両の速度と加速度、②機械的要素（使用ギアなど）、③通過騒音を測定した。

#### 3) 測定結果

表 - 4 に車両種類と使用ギアが騒音値に与える影

表 - 3 使用車両の仕様

LV	エンジン形式	走行距離 (km)	排気量 (cc)	タイヤサイズ
A	ハイブリット	-	-	165/65 R15
B	ガソリン	1,400	1,998	195/60 R15
C	ガソリン	23,200	1,998	195/55 R15
D	ガソリン	32,400	1,170	155/70 R13
E	ディーゼル	16,800	2,100	185/65 R15
F	ガソリン	41,000	1,391	165/65 R13
G	ガソリン	38,000	1,171	155/70 R13
H	ガソリン	81,300	1,564	155/70 R13
I	ディーゼル	21,400	1,900	205/60 R15
J	ガソリン	76,00	1,171	155/70 R13
K	電気	-	-	155/70 R13
L	ディーゼル	26,100	1,500	165/70 R13

表 - 4 各ギア使用時の騒音値への寄与

ギア	ガソリン/ディーゼル		ハイブリット/電気	
	主騒音源	騒音レベル	電気モード	熱モード
1速	エンジン	7 dB	削減量>10dB	削減量>10dB
2速	エンジン	5 dB	削減量> 3 dB	削減量>10dB
3速	エンジン=タイヤ/路面	4 dB	削減量> 2 dB	=
4速	タイヤ/路面	3 dB	=	=
5速	タイヤ/路面	3 dB	=	=

響を取りまとめた結果を示す。表から、低いギアを使用する低速度領域での主騒音源は、エンジンであり、ガソリン/ディーゼルエンジンでは騒音値への寄与が5～7 dBに達する。また、高いギアを使用する高速度領域での主騒音源はタイヤと路面の接触音であり、騒音値への寄与が3 dBに達する。なお、ハイブリッド車と電気自動車は低速度域で2～10dB程度の騒音値を低減した。

#### 4) 結論

様々なエンジンとタイヤが装備された車両について走行条件を変化させ通過騒音を測定した結果、低速域ではエンジンの形式が騒音値に大きく影響し、高速域ではタイヤと路面の接触音が騒音値に影響することを確認した。

## 2. A1 - 4 : 道路交通騒音の測定

### 2.1 概要

本セッションでは、街の通りを交通規制し騒音測定を行った結果や、車両の騒音に関する型式承認と現状の騒音値との関連性などについて報告がされている。表 - 5 に本セッションで報告された論文の抄訳を示す。

表 - 5 セッション「A1 - 4」の論文概要

論文 No.	論文名	著者 (国名)	概要
676	ACEA Proposal for a new method to measure the noise emitted by a car in urban driving conditions	R. Le Salver U. Tornar E. Vivier (フランス)	現在の騒音測定方法はISO362に記されているが、この方法は車両のギアを2速か3速にし50km/hで走行した時の騒音値を測定するため、実際の車両走行状態とは異なっている部分がある。ACEAでは、市街地において道路交通騒音の測定を可能にする新しい測定方法を提案した。この方法は、車両の加速性能(AWOT)や車両パワー質量比(P/M)、ドライバーの運転スタイルを考慮している。また、ハイブリット車や電気自動車などの車にも適用できる。
	市街地の運転条件における車両から発生する騒音の新しい測定方法に関するACEA提案		
565	Improvement of the Type Approval Noise Limitation for Motor Vehicles	H. Steven (ドイツ)	1972年にEUにおいて、自動車の騒音規制値が規定されて以来、今日までにこの規制値は8~12dB(A)厳しくなっている。しかし、人々の交通騒音への不満は増加しており、交通荷重の大幅な増加と騒音測定の方法に関する問題が原因と考えられる。本論文では、試験方法の改善に向けた現在の作業状況と排出騒音減少のために騒音規制値を低減した場合の効果について報告している。
	自動車の騒音規制に関する車両の型式承認の改良		
590	A Speed and acceleration limit in the noise type approval of vehicles will enable silent cars to reveal their silence	Graaf (オランダ)	過去30年で交通騒音が減少しなかったことは、乗用車の騒音規制がゆるく、車両の型式承認の測定方法と現実の交通状況との関連性が低い等の理由があげられる。したがって騒音を低減するためには、より最適な車両の型式承認の方法とより効果的な規制値を設定することが必要である。本文では速度規制や加速度規制が、車両の騒音に関する型式承認において低騒音車の静粛性に与える影響を明らかにする。
	車両の騒音に関する型式承認における速度規制や加速度規制が低騒音車の静粛性に与える影響		
274 Poster	Comparative study of the city of Caceres (Spain) in normal and traffic reduction conditions	J. M. Barrigon, V. Gomez J. A. Mendez R. Vilchez (スペイン)	スペインのカセレスでは、交通量を変化させた時の騒音値を調査するため、車両規制時と通常の交通条件時の交通騒音を比較した。その結果、車両を規制したときの騒音値(L <sub>EO</sub> )は、通常の交通条件時に比べ約3dB(A)小さくなったが、車両規制時の交通騒音は推奨騒音レベルである65dB(A)を上回る結果となった。
	カセレス(スペイン)の街における通常時と交通削減時との比較研究		

2.2 代表的な論文の紹介

(1) カセレス(スペイン)の街における通常時と交通削減時との比較研究(論文No.274)

1) 概要

車両規制日(2000年9月22日)にカセレスの通りにおいて交通規制が行われた。本文は、車両規制日の規制道路と迂回路でそれぞれ騒音測定を実施し、通常の交通条件時の騒音値と比較した結果を紹介するものである。

2) 測定方法

通常の交通条件における測定は、1999年の5月と6月の月曜日から金曜日に、1観測点当たり8時から20時の間の8時間実施された。一方、車両規制日

の測定は、2000年9月22日(金曜日)、1観測点当たり8時から20時の間の朝と夕方に実施された。なお、測定器には、三脚と防風スクリーンを着けたサウンドレベルメーターB&K2231を使用した。

3) 測定結果

表-6は、通常の交通条件時と車両規制時のL<sub>EO</sub>と交通量の測定結果である。なお、観測点②、⑤、⑥は規制道路での測定箇所であり、観測点①、③、④は迂回路での測定箇所である。

車両規制日に測定した騒音値は、通常の交通条件時の騒音値に比べ約3dB(A)低い結果が得られた。しかし、車両を規制し交通量が極端に少ない条件にもかかわらず、観測点③を除いて推奨騒音レベルで

表 - 6 L<sub>EO</sub>と交通量の測定結果

測定箇所	L <sub>EO</sub> (dBA)		交通量(台/時)	
	通常の交通条件時	車両規制日	通常の交通条件時	車両規制日
①Avda. Virg. Guadalupe	71.5 ± 0.5	68.2 ± 0.8	855 ± 80	824 ± 20
②Avda. Gral. PrimoRivera	71.3 ± 0.6	67.1 ± 0.2	809 ± 62	68 ± 12
③C/ Gómez Becerra	66.9 ± 0.4	64.8 ± 1.2	197 ± 10	102 ± 14
④Plaza de América	73.4 ± 0.3	69.9 ± 0.8	1141 ± 25	944 ± 32
⑤Avda. de España	69.6 ± 0.6	67.2 ± 0.6	776 ± 63	54 ± 14
⑥C/ San Antón	70.8 ± 1.0	67.3 ± 0.2	482 ± 32	18 ± 3

ある65dB (A)を上回った。また、車両規制日の交通量は、迂回路においても交通量が低減し、通常時の交通量に比べ、測定箇所全体で40%以上低減した。

#### 4) 結論

車両規制日の規制道路でさえも、推奨される騒音レベル65dB (A)を上回る結果となった。このことは、観測点②では付近の迂回路の影響を受けたこと、観測点⑤と⑥では交通量は減少したが、とても多くの歩行者が通行したことによるものと考えられる。

### 3. B1 - 1 : タイヤ / 交通騒音のモデル化

#### 3.1 概要

本セッションでは11編の発表がなされており、騒音発生原因をタイヤと路面の特性に着目して解析した報告が中心となっている。さらに、それらを統計的にまとめ、いくつかのモデルを示しており、騒音発生の予測を行っている。表 - 7 に本セッションで報告された論文の抄訳を示す。

表 - 7 セッション「B1 - 1」の論文概要

論文 No.	論文名	著者 (国名)	概要
706	Tire/Road noise models in the last two decades: A critical evaluation 最近の20年間におけるタイヤ・路面騒音モデル：重要な評価	Ard Kuijpers Gijsjan Van Blokland ( ニューゼーランド )	回転するタイヤと路面の接触によって発生するノイズをモデル化するために、20年間にわたりデータ収集を行った。その結果、様々な形式のタイヤと交通騒音の関係についての知見と、「各年代のノイズメカニズム」、「周波数範囲」、「スピード指数」、「実験的妥当性検査」などの項目についての知見が得られた。
654	Use of a rolling model for the study of the correlation between road texture and tire noise 路面テクスチャとタイヤ騒音の研究のためのタイヤ回転モデルの運用	J-F Hamet Ph Klein ( フランス )	2次元で測定されている路面テクスチャとタイヤの関係は、2次元の回転モデルで処理されるが、ここでは、どの程度路面テクスチャがタイヤ騒音に影響を与えるかを検証した。横方向と縦方向のプロファイルの違いから、3次元のタイヤと路面の相互の影響を考慮した方法が提案され、2次元と3次元での評価結果が比較された。
655	Prediction of the dynamic response of a tire タイヤの動的応答の予測について	Andrzej Pietrzyk ( ルクセンブルグ )	本論文は、幅広い周波数帯でのタイヤの動的特性について、タイヤと路面騒音の関係を有限要素法によって解析した。その結果、500Hz以下の周波数が車内騒音に大きく影響し、タイヤ表面の振動によって発生する周波数が沿道環境に大きく影響することを確認した。
656	Tire/road interaction noise タイヤ / 路面の相互作用による騒音	R. A. G. Graf Chih-Yu Kuo Ann P. Dowling Will R Graham ( イギリス )	タイヤ騒音はトレッドブロックの路面への衝撃による振動が原因で発生し、タイヤと路面の形状に起因して増幅される。このように、タイヤ騒音は複雑であり、有限要素解析や境界要素法による解析は完全にはできない。本報告では、振動を単純な機械的モデルで推測し、発生する音響の増幅を音響境界要素法にて解析した。その結果、計算結果は実測データと一致したが、モデル化できない項目も存在した。
657	The modeling of tire/road noise-a quasi three-dimensional model タイヤ - 交通騒音の疑似三次元解析モデル	W. Kropp, K. Larsson, F. Wullens, P. Andersson, F-X Becot T. Beckenbauer ( フランス )	従来の道路交通騒音の予測では、有限要素法により解析している事例が多い。本研究では、タイヤ / 路面騒音の予測のために、路面特性を含むタイヤと路面の接触、タイヤの主な物理特性の種類によって解析される疑似3次元モデルを作成した。本モデルによりタイヤ / 路面騒音のモデル化の可能性や入力データの質に関して議論することができる。本モデルの予測結果は、異なる表面特性のタイヤで慣性走行した場合の実際値に匹敵する。
714	Numerical analysis of tire rolling noise radiation-a state of the art review 現在の技術水準から見たタイヤ回転騒音の数値解析について	U. Nackenhorst O. Von Estorff ( ドイツ )	回転するタイヤからの発生音は交通騒音の原因の1つである。数値シミュレーションによって、タイヤと路面の関係についてより深い理解を得ることが可能であるが、この論文では、回転するタイヤから発生する騒音の最先端の数値解析について考察している。
716	Modeling tire tread band vibration タイヤのトレッドバンド振動モデル	Yong-Joe Kim Stuart Bolton ( 米国 )	本文では、タイヤ振動の伝播特性について詳細に理解するために、タイヤは内部に空気圧を有する円筒骨格モデルとして、タイヤの側壁はバネとダンパーを組み合わせたものとしてモデル化し解析を行った。その結果、当該モデルを使用することで、実験結果を再現する解析が可能となった。
717	Prediction of Pass-By levels depending on road surface parameters by means of a hybrid model ハイブリッドモデルによる路面パラメータに応じた通過騒音の予測	Fort de Roo Eddy Gerresten Era H Mulder ( オランダ )	ドイツのハイウェイ調査学会 (Sperenberg project) による調査に基づき、路面性状から騒音値を予測するハイブリッド物理モデルSPERoNを開発した。パラメータである路面性状として、路面の凸凹、路面の形状、接地圧分布などが必要となる。これらのパラメータをSPERoNに入力することで、慣性走行時の騒音値を概ね説明することができる。

61	Radiation Noise for Rotating tire under constant speed using modal analysis and boundary element analysis	Takeshi Toi Naoki Ishi Noriyuki Okubo (日本)	タイヤの回転による騒音は、実走行、ドラムテストでの測定、数値解析などによる方法で研究されているが、その発生メカニズムの解明には十分とは言えないのが現状である。本研究では、一定速度で回転するタイヤの放射音からタイヤの振動変形を予測し、タイヤの構造を変更することにより騒音を低減することが可能か検討した。その結果、騒音に影響を与える要因を抽出し、タイヤの構造を変更することによってタイヤからの発生音を低減できることを確認した。
	モデル分析、境界要素分析を利用したタイヤ回転放射騒音の減少		
102	Predictive performance of the tire-road noise model TRIAS	Foort De Roo Eddy Gerretsen Era H. Mulder (ニュージーランド)	近年、タイヤ/路面の相互作用による音響の解析ツールである「TRIASモデル」の開発は終了し、現在はその実証実験を行っている。このモデルはタイヤ/路面間で発生する騒音のすべての要因を考慮しており、タイヤと路面性状によるパラメータの影響も考慮されており、タイヤの設計にも用いることができる。しかし、より詳細な解析を行うためには更なる研究が必要であることが明らかになった。
	TRIASを用いたタイヤ路面騒音予測		
459	Subjective and objective characterization of tire noise	Sandra Buss Reinhard Weber Werner Liederer Volker Mellert (ドイツ)	タイヤ騒音の主観的な評価は、タイヤ騒音を減少させる研究の参考となる。本研究では、3年間にわたり833本のタイヤについて調査した、主観的印象について検討した。また、乗用車の前座席に設置した特殊な收音装置（人口耳）によって記録した騒音について音響解析した。その結果、主観的な感覚によって分類された騒音と周波数には統計的に相関があり、騒音の種類と強さを分類することができた。
	タイヤノイズの主観的および客観的な特徴付け		

### 3.2 代表的な論文の紹介

#### (1) タイヤノイズの主観的および客観的な格付け（論文No.459）

##### 1) 概要

本文では、タイヤ/交通騒音の主観的な評価の精度を向上させるために、実際のタイヤ/交通騒音の主観的な評価（不快感）と客観的な評価（騒音レベル）の相関関係について800種以上のタイヤを調査した。なお、調査は20～120km/hの速度で走行した車両の車内で行った。

##### 2) タイヤ/交通騒音の主観的な評価

被験者が不快と感じた音の割合の評価結果を図-3に、スピードと不快と感じる音の割合の関係を図-4に示す。図-3から、被験者が最も不快と感じる音はドラム音が最も多く、順にパターンノイズ、轟音、がたがた音の順に不快と感じている。また、図-4から、Drumming音は30～80km/hで最も多くの被験者が不快と感じた音であるのに対し、パターンノイズは100km/h以上で不快と感じる被験者が多くなることが確認できた。

##### 3) タイヤ/交通騒音の客観的解析

騒音のうち、パターンノイズに着目し走行速度を変化させ解析をおこなった。その結果、騒音は20km/h以下で収束した。このことは、タイヤの回転数が減少し振動が低減したためと考えられる。

##### 4) 結論

調査結果により、タイヤ/交通騒音の解析においては、パターンノイズの量および走行速度に伴い発生する音の周波数変化が重要であり、これらの間に

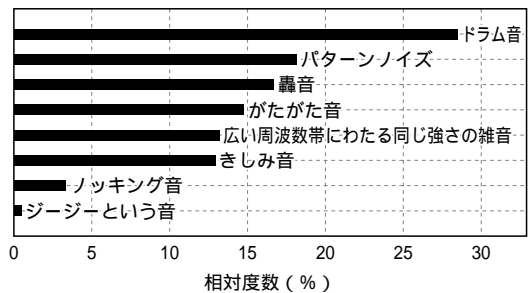


図-3 不快を感じる騒音の相対度数

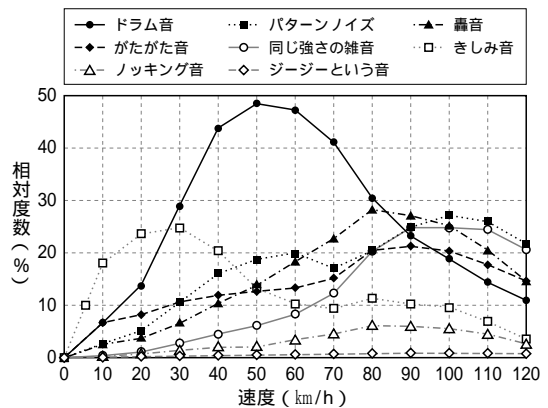


図-4 スピードと目立つノイズの割合

は明白な相関関係が成り立っているとしている。

#### (2) タイヤの動的応答の予測について（論文No.655）

##### 1) 概要

タイヤメーカーでは、タイヤ騒音を車内騒音および車外騒音に区別している。車内騒音は自動車の搭

乗者の快適性に関係し、車外騒音は多くの人々に影響を与える。車内騒音においては一般的な規制値がなく、自動車メーカーが独自に規定しているのが現状である。一方、車外騒音における規制は、ISO 362に示されている。

本文では、タイヤの表面から中心へ伝達させる成分を車内騒音とし、タイヤの表面の振動を交通騒音と仮定して実験を行った結果を報告する。

## 2) 室内実験

荒れた路面においては、タイヤの振動が車内に騒音をもたらしている。そこで、写真-1に示す実験装置を作製し、試験路面に荷重を加え、荷重伝達曲線とその荷重が移動する様子について観察した。試験結果を図-5に示す。図から、220Hz周辺のピークはタイヤの空洞共振が原因と考えられ、80Hz周



写真-1 タイヤ/路面接触音の室内発生装置

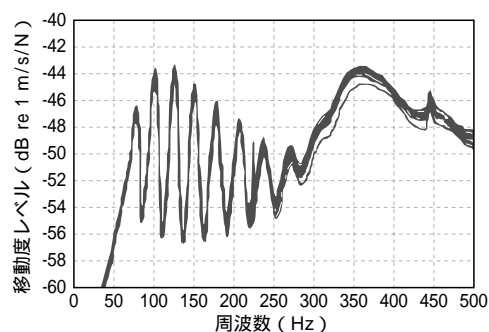
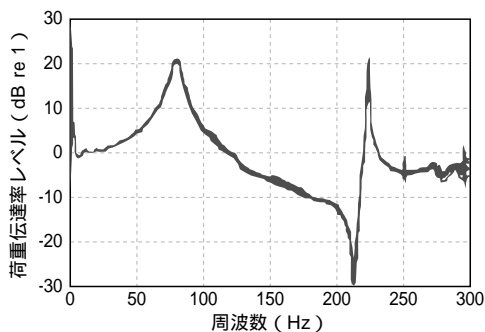


図-5 典型的な荷重伝達性曲線 (左) と騒音発生箇所の移動度曲線 (右)

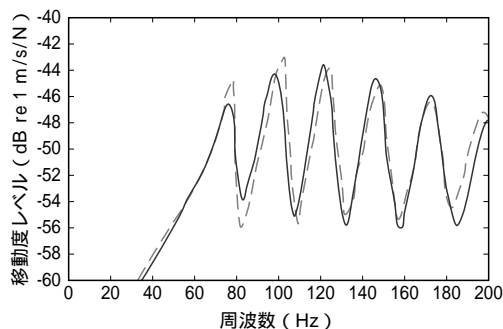
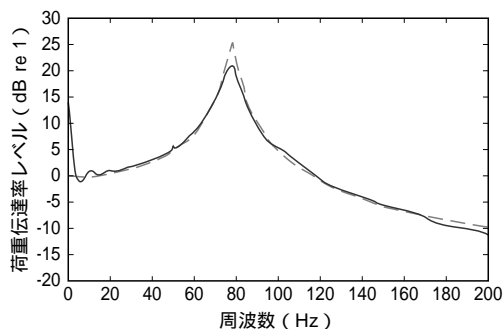


図-6 荷重伝達性と騒音発生箇所の移動性の比較 (実線: シミュレーション, 点線: 実測値)

辺のピークはタイヤの共振が原因と考えられる。特に80Hz周辺のピークはタイヤの路面接触から自動車の車体までの伝達が大い周波数帯として重要な要素である。

また、図-5の右図から、300~400Hzにおいて伝達した振動が増大することを確認した。このことより、騒音低減に着目したタイヤの構造は高周波数帯をカットする構造が望ましいと言えるとしている。

## 3) シミュレーション

実際に、タイヤが受ける高周波数帯の振動をカットするような構造の試作品を作製し、有限要素法によって解析した。解析結果と実験結果の比較を図-6に示す。荷重伝達性そしてまた騒音発生箇所の移動性に関しては、高周波数帯の低減効果が可能となった。さらにシミュレーションと実験結果は、低周波で非常に相関が良く、高周波数においても許容できる妥当な結果であると考えている。

## 4) 結論

今回の結果により、タイヤの構造から騒音を考える上で、高周波数帯を考慮することが重要であり、それを予測するモデルとして有限要素法が有効である。

## 4. B1 - 2 : 低騒音タイヤのデザイン

### 4.1 概要

タイヤの設計は、車両から発生する騒音の低減を考慮する上で欠くことのできない要因である。

本セッションでは、「低騒音タイヤのデザイン」として、実際に使用されている種々のタイヤを使用した騒音測定の結果や、コンピューターを使用したシミュレーション結果などについての報告がなされている。

表 - 8 に本セッションで報告された論文の抄訳を示す。

### 4.2 代表的な論文の紹介

(1) 大型車用の最新タイヤ技術におけるタイヤ / 路面騒音と摩擦係数および湿潤路面での制動距離の関係 (論文No.423)

#### 1) 概要

トラックやバスに一般的に使用されている32種類のタイヤについて、通常走行時と湿潤路面での制動時におけるタイヤ / 路面騒音を測定した。この測定結果は、大型車のタイヤ / 路面騒音を規制するために必要な条件を決定するために有用なものである。

#### 2) 測定方法

タイヤ / 路面騒音の測定は、2000年3月から6月

の間に、TUV Automotive GmbHのタイヤ / ホイールテストセンターで行った。タイヤ / 路面騒音の測定は、EU指令92/23/EECに関連した計画に基づいて実施し、タイヤと路面間の摩擦係数 (CR) の測定は、ISO 8767に準拠した。

#### 3) 測定用タイヤ

表 - 9 に測定に使用したタイヤの一覧を示す。なお、タイヤサイズは車両メーカー、タイヤトレッドパターンは車両メーカーが選択した。

#### 4) 測定用車両と速度

測定は、クラスC3ではアンチロックブレーキシ

表 - 9 測定用タイヤ

クラス	サイズ	種別	種類	用途
C2	225/70 R15C	-	4種類	普通トラック
C3	215/75 R17.5	操舵輪	5種類	中型トラック
		駆動輪	5種類	
	275/70 R22.5	操舵輪	4種類	バス
		駆動輪	4種類	
315/80 R22.5	操舵輪	5種類	大型トラック	
	駆動輪	5種類		

表 - 8 セッション「B1 - 2」の論文概要

論文 No.	論文名	著者 (国名)	概要
423	Tyre/Road Noise Emissions, Rolling Resistance and Wet Braking Behaviour of Modern Tyres for Heavy-Duty Vehicles (State of the Art) 大型車用の最新タイヤ技術におけるタイヤ / 路面騒音と摩擦係数および湿潤路面での制動距離の関係	R. Stenschke, P. Vietzke (ドイツ)	トラックやバスに使用されている一般的な32種類のタイヤについて、タイヤ / 路面騒音などを測定した結果、実測値はEU規制値よりかなり低い結果であった。このことから、タイヤ / 路面騒音をさらに削減する技術を開発するためには、EU規制値をより低く設定するなどの手段を可能な限り早急を実施するべきであると述べている。
167	Tyre/road noise: finite element modelling of tyre vibrations タイヤ / 路面騒音 : タイヤ振動の有限要素法モデル	A. Fadavi, D. Duhamel, H. P. Yin (フランス)	タイヤ / 路面騒音の伝播においては、タイヤの共振が重要な役割を果たしている。本研究においては、実際のタイヤが回転している時の挙動を解析するためのタイヤの接地圧や空気圧などのタイヤ特性、またタイヤの幾何学上のパラメータを考慮した新しい3次元FEMモデルを紹介している。タイヤの特性は、タイヤ路面騒音に重要な影響をもたらす、この特性はFEMモデルでは容易に取り入れることができる。
440	Systematic study of tire design parameters to reduce the vibration noise due to tire-road interactions タイヤと路面の相互の影響による振動騒音を減らすためのタイヤ設計要素の体系的な研究	E. D. Schoen, E. Gerretsen (オランダ)	タイヤ / 路面騒音の低減は、タイヤと路面の接触面での機械的作用による発生音を理解することが必要である。この理解の一助となる方法がシミュレーションモデルを構築することである。本論文では、シミュレーションプログラム「TRIAS」によって、タイヤと路面の相互作用による振動騒音を最小化する9つのタイヤ要素の設定を見つけるための手法が提案されている。
594	Flexural wave propagation and sound radiation of the type shell タイヤ外周のたわみ波の伝播と放射音	G. J. Kim (韓国)	タイヤの振動は、異なる周波数の波形の組み合わせによるものである。乗用車用タイヤは、80 - 300Hzの低周波数領域においてその側壁によって弾性的に支持された梁のような挙動を示す。乗用車用タイヤの波形伝播特性の1次元から2次元の変化点は300Hz以上である。本論文は円筒形モデルを使用してたわみ波の伝播を解析した結果を述べたものである。

ステム付の車両を用い、速度は $70 \pm 10$ km/hとした。また、クラスC2では、商用車のメルセデスプリンターを用い、速度は $80 \pm 10$ km/hとした。

### 5) 測定結果

#### ①タイヤ/路面騒音

図-7は、92/23/EECに準拠し測定した大型車用のタイヤ32種類を装着した時の車両の惰性走行時のタイヤ/路面騒音レベルとその累積度数の関係である。その結果、クラスC2では1.8dB(A)~4.1dB(A)、クラスC3では2.5dB(A)~8.0dB(A)の範囲でEUの規制値よりも測定値が低くなった。

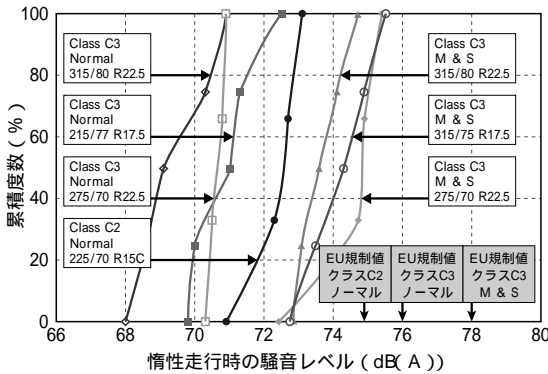


図-7 タイヤ/路面騒音の累積度数

#### ②タイヤ/路面間の騒音と回転摩擦係数

32種類のタイヤについて、タイヤ/路面騒音とタイヤ/路面の回転摩擦係数の関係を測定した。その結果、215/75 R17.5の駆動タイヤを除き、両者の相関関係は見られなかった。図-8に、タイヤサイズ215/75 R17.5についてのタイヤ/路面騒音とタイヤ/路面の抵抗係数の関係を示す。

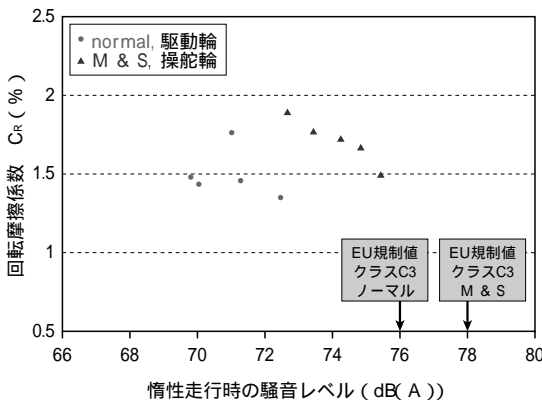


図-8 タイヤ(215/75 R17.5)と騒音と抵抗係数

#### ③タイヤ/路面間の騒音と制動距離

32種類のタイヤについて、タイヤ/路面騒音と湿潤路面での制動距離を測定した。なお、制動距離は人工的に湿潤させた路面で測定した。その結果、225/70 R15Cのタイヤサイズを除き、両者に相関関係は見られなかった。図-9に、225/70 R15Cのタイヤでのタイヤ/路面騒音と湿潤路面での制動距離の関係を示す。

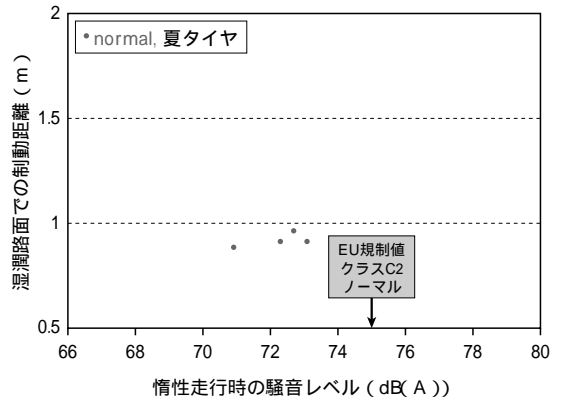


図-9 タイヤ(225/70 R15C)と路面騒音と制動距離

### 6) 結論

タイヤ/路面騒音とタイヤと路面間の摩擦係数および湿潤路面での制動距離の間には、明確な関係が見られなかった。また、タイヤ/路面騒音値は、EU規制値よりもかなり低い結果であった。このことから、タイヤ/路面騒音の低減技術の進歩をもたらすためにもEU規制値を可能な限り早急に見直し、技術の進歩を促す必要があると考える。

## 5. B1-3: 低騒音舗装の設計とアプリケーション

### 5.1 概要

本セッションでは、低騒音舗装の種類の考察と新たな低騒音舗装の開発、試験法の開発、低騒音舗装の物理的特性、路面に凹凸を設置し運転者に警告を与える路面についての論文などが報告されている。表-10に本セッションで報告された論文の抄訳を示す。

### 5.2 代表的な論文の紹介

(1) 低騒音舗装：フランス道路建設産業によって示される解答(論文No.302)

#### 1) 概要

フランスでは沿道で測定した等価騒音レベルで交通騒音を評価し、蓄積したデータをもとに低騒音舗

表 - 10 セッション「B1 - 3」の論文概要

論文 No.	論文名	著者 (国名)	概要
302	Low-Noise Pavements: The solutions offered by the French roadbuilding industry	Y. Meunier (フランス)	フランスではタイヤ/路面騒音と舗装に関するデータベースから、低騒音舗装の吸音性は、粒径と空隙率に起因することが明らかとなった。近年では、2層排水性舗装および薄層アスファルトを用いた低騒音の新しい概念を開発した。この舗装構造は、十分な機能とすべり抵抗性を有すると共に、基準のアスファルト舗装に比べ、タイヤ/路面騒音が約3～4 dB改善されることを確認した。
	低騒音舗装：フランス道路建設産業によって示される解答		
337	Classification of low noise road surfacings	S. M. Philips S. Kollamthodi P. A. Morgan (ドイツ)	イギリスでは、任意の路面の音響特性を測定可能にするため、CPX (close-proximity) 測定に基づいたシステムが開発された。これは、TRLによって開発されたTRITON車両測定システムを使用して行われる。これらのシステムは日常的に高速道路のネットワークを調査するために使用され、将来の騒音マップを作成することができる。
	低騒音路面の分類		
457	Two-layer Drainage Asphalt-Noise Reduction and Clogging	B. Hans L. Lars K. Jorgen (デンマーク)	コペンハーゲンにおいて、密粒度舗装、表層砕石、および層厚の異なる3種類の2層排水性舗装において、騒音値などの調査を毎年行った。新設時に6 dBであった舗装の騒音低減量は、供用後4 dBになった。なお、最大粒径8 mmの排水性舗装は同じ5 dBの減少であった。
	2層排水性舗装の騒音減少量と空隙詰まり		
695	Type-approval and COP tests for low noise surfaces	G. Y. Blokland A. Kuijpers (オランダ)	開発された新しい舗装は、供用期間中の音響特性を評価するための一般的な試験法が必要である。この論文では、7種類の舗装から得られたデータを使用し、低騒音舗装の音響性能の評価方法について検討した結果を報告している。
	低騒音舗装によるタイプ認可とCOP試験		
707	Physical characteristics of road pavements and noise emission	M. Losa G. Licitra M. Berengier M. Cerchiai (イタリア)	過去10年間、排水性舗装の騒音低減効果と安全性、安定性を確認するために、騒音低減効果と表面性状が測定された。騒音低減効果は、CPX (close-proximity) 法により測定され、騒音低減効果はテクスチャー深さとその標準偏差と関連していることが明らかとなった。
	舗装の物理的特性と騒音伝播		
120	Optimisation of traffic calming surfaces	G. R. Watts R. Stait N. S. Godfrey R. E. Layfield (イギリス)	路面に凹凸を設けたTRLの交通騒音対策路面 (TCSs) は主要地方道での事故軽減を目的に導入されたが、住民から良好な反応が得られなかった。このため、交通騒音対策路面を都市部に採用するためには、住民への被害がなく運転者に警告できるようにTCSsを改良することが必要であった。本報告では、適切なTCSsの設計のための基本的なアプローチについて報告する。
	交通騒音対策路面の最適化		

装の設計要因を示した。近年、フランスの道路会社ではこれらのデータや情報をもとに低騒音舗装を開発した。

2) 舗装の分類と低騒音舗装の条件

フランスの標準的な騒音測定であるCPB (The Controlled Pass-by) 測定によって得られたデータから、舗装を騒音の程度によって図 - 10に示したように3段階に分類した。図 - 10から、低騒音舗装の設計に関しては「粒径」と「多孔性」が重要であることが明らかになり、低騒音舗装としては、①費用対効果を考慮すると表層の厚さは2.5～4 cm程度が適当である、②フランスで一般的に用いられている舗装と比較して3 dB低減できることが必要である。

また、低騒音舗装としての混合物として、①小粒径、②多孔質、③平均0.7から1 mmのサンドパッチ深さを有しすべり抵抗に優れること、④十分な骨材

間の結合力を確保するため樹脂バインダを使用すること、などが望ましいとしている。

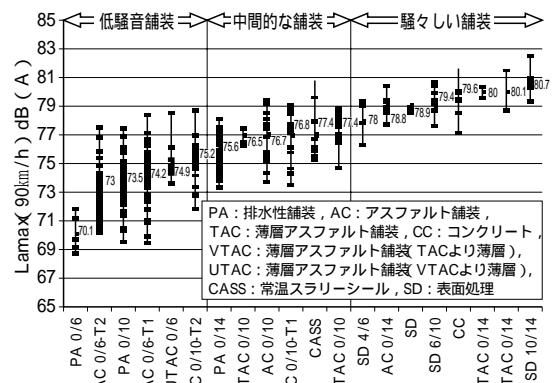


図 - 10 CPB測定によるデータベース

#### 4) 道路会社が提案する舗装

フランス道路会社は、空隙詰まりを緩和し、タイヤ/路面騒音をより減少させるため、最大粒径6mmの薄層アスファルトコンクリートに近い性質を有する薄層排水性舗装を提案する。この舗装は専用のバインダと骨材を使用し、10~20%の空隙を有するもので、通常の排水性舗装と比較して空隙詰まり傾向が減少し、理論的に音響性能の持続性が向上する。

#### (2) 舗装の物理的特性と騒音伝播 (論文No.707)

##### 1) 概要

過去10年間にわたり、排水性舗装の騒音低減効果、すべり抵抗、透水性、耐久性などの項目について評価した。本論文では、2層式排水性舗装の機能の持続性と安全性能を調査した結果を報告する。

##### 2) 舗装の性能試験

排水性舗装(層厚:40mm)と2層式排水性舗装(上層厚:25mm 下層厚:40mm)の性能を調査した。

供用開始後、2か月および8か月後に行った調査結果を表-11に、インピーダンス管による吸音率測定結果を図-11に示す。表から、2層式排水性舗装は、上層がフィルタの役割を果たし、通常の排水性舗装に比べ、機能が低下し難いことが確認できた。また、図から、1999年12月時点での吸音率は、排水性舗装では0.8kHzでピークになり、周波数が高くなるにつれ減少した。一方、2層式排水性舗装は0.6kHzと1.4kHzで吸音率がピークになり、広い周波数帯域で吸音効果が認められた。

表-11 物理性能試験結果

年/月	空隙率(%)		連続空隙率(%)		透水性(cm/s)	
	DDL	SDL	DDL	SDL	DDL	SDL
1999年12月	23.9	23	15.5	14.7	3.6	3.4
2000年7月	23.7	21	15.3	13.9	3.4	2.8
差	-0.2	-2	-0.2	-1.2	-0.2	-0.6

(DDL: 2層式排水性舗装 SDL: 排水性舗装)

##### 3) タイヤ路面騒音

タイヤ路面騒音の測定はCPX測定を行った。結果を図-12、図-13に示す。パワースペクトル密度の各周波数の最大値と最小値の差は、排水性舗装が2層式排水性舗装よりも大きく、パワースペクトル密度のピークは排水性舗装で1kHz、2層式排水性舗装で0.8kHzであった。また、排水性舗装のパワースペクトル密度は2層式排水性舗装より周波数が広範囲であった。

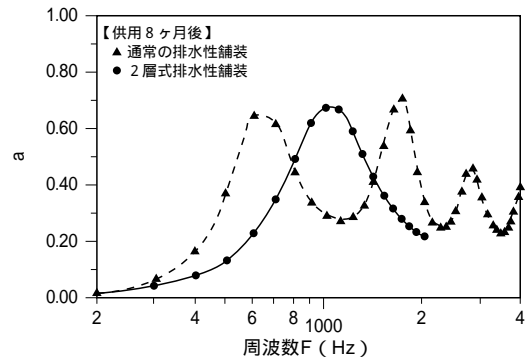
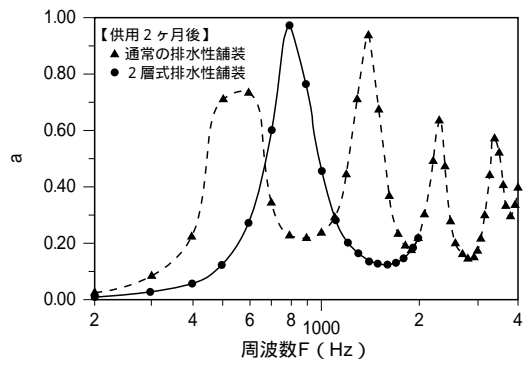


図-11 インピーダンス管による吸音測定結果

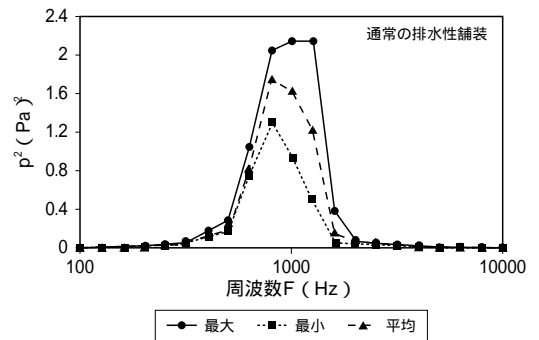


図-12 CPXによるパワースペクトル密度

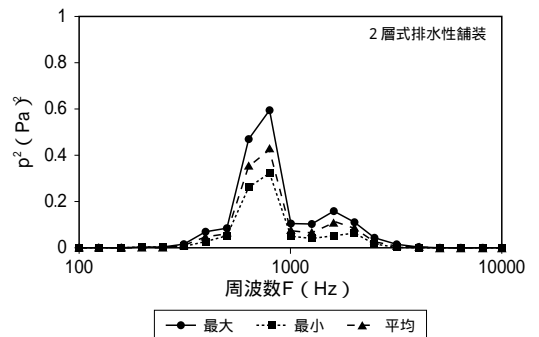


図-13 CPXによるパワースペクトル密度

#### 4) 騒音レベル性能

道路の沿線から10m離れた位置で通過騒音を測定した。結果を図-14に示す。図から、各舗装とも音響特性は時間の経過とともに劣化するが、2層式排水性舗装は、排水性舗装より優位である。今後は、特に夏季にも調査を実施し、夏季の騒音低減効果を確認する必要がある。

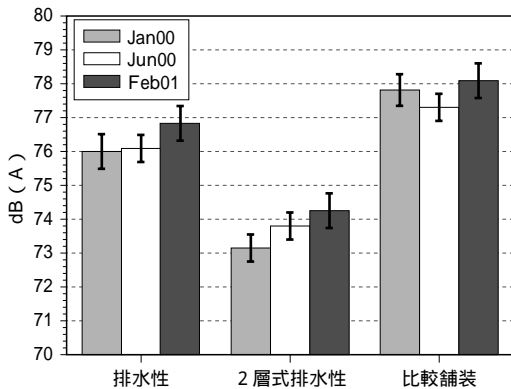


図-14 音響レベル(自動車速度:90km/h)

#### 5) まとめ

2層式排水性舗装は、排水性舗装より排水機能および吸音性の持続性に優れている。また、CPX測定は異なった舗装のタイヤ/路面騒音を比較できることを確認した。今後、路面性状とタイヤ/路面騒音の関係を評価するために、継続的に測定を行う必要がある。

### 6. C1-1: タイヤ/路面騒音の測定

#### 6.1 概要

本セッションでは、6カ国から8編の論文が収められている。これらの論文にて評価に用いられている自動車の走行騒音を対象とした試験方法は大きく分けると3種類あり、道端にて測定された騒音値から路面の騒音特性を評価する規格であるISO 11819-1: SPB (Statistical Pass-by) 方式、タイヤ/路面騒音の測定規格であるISO/CD 11819-2: CPX (Close-Proximity) 方式、その他の独自方式に分類できる。発表論文を測定法別に分類すると、SPB測定による評価が2編、CPXによる評価が4編、その他の独自方式が2編であった。表-12に本セッションで報告された論文の抄訳を示す。

表-12 セッション「C1-1」の論文概要

論文No.	論文名	著者(国名)	概要
50	The roemer as an instrument for control of noise production of tires on highways	P. andmos C J (オランダ)	オランダではタイヤによる騒音発生量が多いため防音道路を採用しており、道路沿線の住民に快適な環境を保証している。本報告では、環境の保証には音響特性も検証が必要であるとしており、ISOは道路表面の音響特性検証に有効な測定基準も規定している。また、音圧レベルの測定にトレーラ型試験車ROMERを開発し、音響特性の検証に必要なタイヤ近接音CPXの測定条件や再現性も検討した。
	高速道路でのタイヤ/路面騒音を制御するための装置: ROMER		
17	Noise Measurement trailer HUT NOTRA-Means for measuring noise during evolution of road surface	Sainio P Halen I (フィンランド)	騒音の発生削減は、自動車産業界でより重要な問題となっている。本報告はヘルシンキ工科大学によって設計された、牽引式騒音測定車HUT NOTRAによるタイヤと路面の相互作用による騒音の全国調査の一部である。試験は8種類の舗装にて行われ、その結果、舗装の種類の違いは、騒音特性に大きな違いがあるとしている。また、交通騒音を削減するには、タイヤメーカーと道路舗装会社との長期の共同研究が必要としている。
	騒音測定用トレーラHUT NOTRA - 路面開発期間の騒音測定手段		
163	Measurement of Tyre/Road Noise in Longitudinal Slip Conditions	Wozniak R (ポーランド)	近年行われているタイヤ/路面騒音の多くは、縦すべりのない状態で測定されている。一方で、タイヤに作用する考慮すべき縦横方向の力は、タイヤ/路面騒音を増加させることが一般的に知られている。Gdansk技術大学では、試験用タイヤに約±10%の大きな縦すべりを適用した、特別なトレーラを作りタイヤ/路面騒音を測定した。調査は30, 50, 70km/hの速度で±10%の縦すべりにより行われ、異なるアスファルト舗装路面にて試験された。
	縦すべりでのタイヤ/路面騒音の測定		
105	Certification of Vehicles Designed to Perform Close Proximity Tests of Tire/Road Noise	Ejsmont J A (ポーランド)	タイヤ/路面騒音測定には基本的に2つの方法がある。ひとつは道端にマイクロフォンを置き、その騒音レベルを測定する方法。もう一つはCPXと呼ばれるタイヤ近接音を測定する方法であり、この方法で評価する場合、測定車両の性能が結果に影響せず、良好な測定条件を定義することが重要である。本報告では、タイヤ/路面騒音のCPX試験のために使用される測定車両が有すべき条件について議論している。
	タイヤ/路面騒音試験を実施するために考案された車両		

336	Factors affecting Statistical Pass-by measurements	Phillips S M Abbott P G (ドイツ)	ISO標準のSPB(統計的Pass-by)方法は道路交通騒音に及ぼす路面の影響解析に利用されるが、車両やタイヤ特性が変化するとデータの信頼性が低下する。本報告では、測定データの影響因子を詳細に解析するために、5箇所の地域を走行する2万台以上の車両の実体を調査した。実験はタイヤサイズや車軸構造別に測定し、車両タイプや走行条件が混在している状態の騒音レベルも測定した。
	統計的Pass-by測定に影響する因子		
257	Analysis of tire/road noise results on bituminous and block pavements surfaces obtained by SPB method	Gardziejczyk W (ポーランド)	タイヤ/路面騒音レベルは、路面の種類や路面の使用条件およびタイヤのトレッドパターンに依存している。本報告はISO標準のSPB法により、ポーランドにて実施された乗用車とトラックのアスファルト舗装、ブロック舗装での測定結果を示す。また、選定した乗用車により、ウエットおよびドライ路面における50~110km/hまで10km/hづつ変化させて行ったCPB(制御Pass-by)方法の測定結果も示している。
	SPB方法によって得られたアスファルト舗装面やブロック舗装面におけるタイヤ/路面騒音の分析		
183	Study of road surface indices for the assessment of tire/road noise	Oshino Y Mikami T Tachibana H (日本)	タイヤ/路面騒音が路面の違いにより大きく変化するため、これらの関係を調査し最適な路面指数を決定することは必要とされている。この目的のために2種類の調査が実施され、タイヤ/路面騒音をタイヤ近接音法にてヨーロッパと日本で実施され、路面特性とタイヤ/路面騒音の相互関係を調査するために、日本の様々な種類の路面にてMPD(推定キメ深さ)およびすべり抵抗測定が実施された。
	タイヤ/路面騒音の評価のための路面指数の研究		
405	Trials of a mobile MLS technique for characterising road surface absorption	Morgan P A Watts G R Phillips S M (イギリス)	MLS(Maximum Length Sequence)試験は、ポーラス舗装における吸音率の現場測定のために利用されてきた。この試験は面積が比較的大きな路面にも適応でき、コアサンプルを抜き取らずに高周波で吸音特性を評価できる。また、騒音信号の割合が高いため、道端でも試験が可能である。本報告は、静的および動的MLS測定の両方の測定が可能な特殊トレーラを利用し、多くの舗装種での試験結果を示す。
	路面吸収を特徴づけるための可動装置MLSの試み		

## 6.2 代表的な論文の紹介

### (1) SPB測定に影響する因子(論文No.336)

#### 1) 概要

SPB法は、道路交通騒音に及ぼす路面の影響解析に利用され、広く認められた方法である。しかし、車両、タイヤ特性、気候条件が変化するとデータの信頼性低下が懸念されている。本論文では、これらの要因を調査することを目的に5箇所の現場にて2万台以上の大型、小型車両について調査し、車両の種類およびタイヤが騒音レベルに与える影響を調査した。また、気温と雨による影響についても調査し、雨水が騒音に与える影響が無視できる乾燥期間についても検討した。

#### 2) タイヤ幅の影響

検討の結果、小型車両のSPBレベルは、表-13に示すように、タイヤの幅に強く影響を受けることが分かった。その増加割合はタイヤの幅が10mm増加すると約0.3dB増加し、この関係は路面の種類から独立していることが分かった。従って、SPB測定結果に補正を適応することは適切であると考えられる。

#### 3) 車軸数の影響

軸数別に大型車両を3種類に分類し、騒音レベルを比較した。結果を表-14に示す。表から、2軸の大型車両の騒音レベルは、マルチ軸車両よりも低い結果となり、その差は平均で3/4軸で1.7dB、

表-13 タイヤ幅と騒音レベルの関係

路面種類	タイヤ幅(mm)			
	146~165	166~185	186~215	216以上
ポーラス アスファルト	79.5	79.5	80	80.7
ホットロールド アスファルト	85.2	85.9	86.4	87.4
骨材露出 コンクリート	82.5	83.1	83.3	84.5
砕石マスチック	81.5	81.9	82.3	84.1
磨き出された コンクリート表面	89.1	89.7	90.3	91

表-14 大型車の車軸と騒音レベルの関係

路面種類	タイヤ軸数		
	2軸	3/4軸	5/6軸
ポーラス アスファルト	82.8	84.8	85.1
ホットロールド アスファルト	87	88.6	89.7
骨材露出 コンクリート	85.5	87	87.5
砕石マスチック	84.9	86.9	86.7
磨き出された コンクリート表面	90.4	93.1	93.9

5/6軸で2.4dBであった。これらの結果から、車両の種類が測定結果に大きく影響を与える可能性があり、3つのカテゴリーの車両を考慮する必要がある。

#### 4) 温度補正

測定の結果、温度の変動が、すべての路面に影響を示すことが分かった。以下に示す式③により小型車両の温度は補正され、気温、路面温度の両方から決定される。また、舗装路面の認証評価において補正されるべきである。

$$\text{温度補正} = 0.03 \times 1/2 (Ta + 0.7Ts - 20) \quad \cdots \text{③}$$

ここで、

Ta: 気温, Ts: 路面温度

#### 5) 雨水の影響

測定の結果、図 - 15に示す結果のように、降雨直後の騒音レベルは路面乾燥時に測定した騒音レベルに比べ、透水性舗装（ポラスアスファルト）、薄層機能性舗装（マスターペイブ）でそれぞれ、3.5, 3.2dB増加し、時間の経過とともに騒音レベルが減少していく傾向が見られた。しかし、不透水性舗装（ホットロールドアスファルト：HRA）路面は乾燥時と降雨時と目立った差は見られなかった。

これらの結果から、マスターペイブ、ポラスアスファルトを評価する場合、水による影響を無視できる乾燥時間は、少なくともそれぞれ24, 36時間が必要であることが分かった。

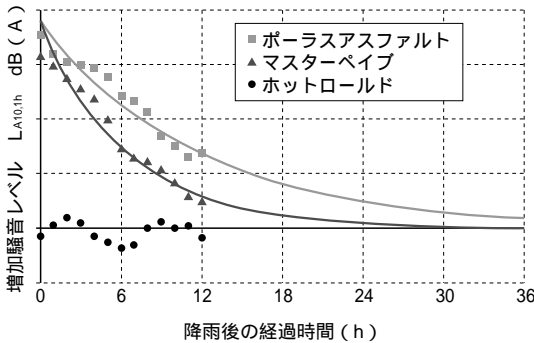


図 - 15 路面乾燥と騒音レベルの関係

#### 2) 騒音測定トレーラーHUT NOTRA

HUTは、写真 - 2に示すような構造となっており、2つのサポート車軸を持ち、測定時には後車軸が持ち上げられ、代わって測定車輪が下がる構造となっている。測定車輪の周りは、音が反響しにくい素材で作られており、最大で6,000Nまで荷重をかけることができる。測定用タイヤは、比較的広い範囲に対応しており、165-R13~245-R20の範囲に対応している。総重量は構造がやや複雑になっているため最大で1,300kgとなりやや重くなっている。

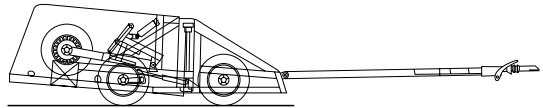


写真 - 2 騒音測定トレーラーHUT NOTRA

#### 3) 舗装種別の騒音レベル差

図 - 16に8種類の舗装での走行速度50, 80km/hにおける騒音レベル測定結果を示す。試験結果から、舗装種毎の騒音レベルの差が大きく見られ、速度の増加と共に騒音レベルも増加する傾向を示すことが分かった。このことから、本騒音測定トレーラーを用いて路面の騒音評価に利用できると考えられる。

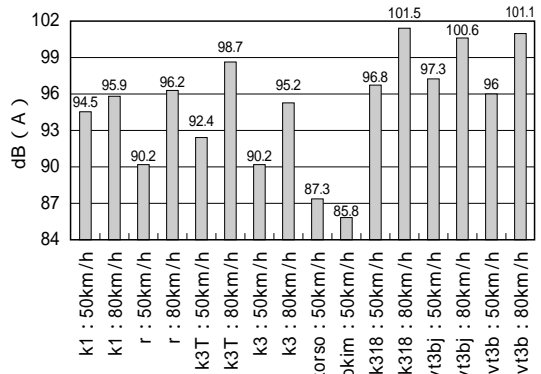


図 - 16 舗装別騒音測定結果

#### (2) 騒音測定用トレーラーHUT NOTRA - 路面開発期間の騒音測定手段 (論文No.17)

##### 1) 概要

ヘルシンキ工科大学の自動車産業エンジニアリングは、CPX法によりタイヤ/路面騒音を測定するHUT NOTRA (Helsinki University of Technology, Noise Trailer) を開発した。本論文では、HUTを利用してタイヤ/路面騒音について、3年間調査研究した結果の一部を報告するものである。

#### 4) 騒音レベルの経年変化

図 - 17に異なる舗装路面における騒音レベルの経年変化を調査した結果を示す。測定方式は、TINO方式を用い、4つのマイクロホンを用いて評価した。ただし、本試験結果は、同一の現場の経年変化ではなく、同種類の舗装について施工年の違う現場にて調査している。そのため、施工条件、交通条件等の現場条件も大きく影響していると思われる。調査の結果、典型的なフィンランドの環境と交通条件下では、施工後1～2年の間に2～3dB騒音レベルが増加し、施工後2年の騒音レベルの増加は速いと思われる。

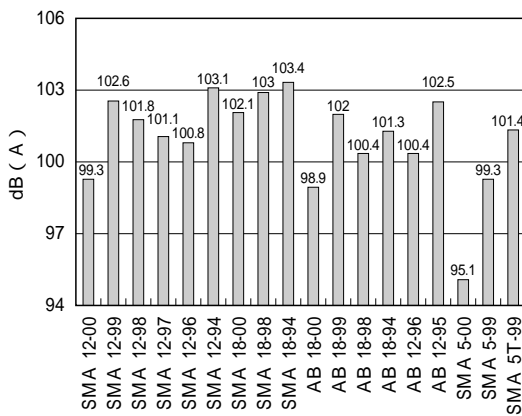


図 - 17 騒音レベルの経年変化

### (3) 路面吸収を特徴づけるための可動装置MLSの試み (論文No.405)

#### 1) 概要

MLS (Maximum Length Sequence) 方式に基づく試験は、ポーラス舗装における吸音率の現場測定に利用され、測定手法はISO 13472-1にて規格されている。本論文では、通常用いられている静的MLS測定法に加えて、動的MLS測定も可能な特殊トレーラーを用いて、他方式の測定法との比較および異なる路面にて比較検討された結果を報告する。

#### 2) 測定方法

写真 - 3および図 - 18に示す概念図のように、信号発生器、マイクロホンがトレーラーに設置されており、信号発生器から発生した入射信号と反射信号音から吸音係数を導き出している。

吸音係数は、以下の式により導き出される。

$$\begin{aligned} \text{吸音係数}(f) &= 1 - |R(f)|^2 \\ &= 1 - \frac{1}{Kr^2} \left| \frac{H(f)}{H(f)} \right|^2 \\ Kr &= \frac{ds - dm}{ds + dm} \end{aligned}$$

ここで、

$H(f)$ : 直接進路の伝達関数

$H(f)$ : 反射進路の伝達関数

$ds$  : 信号発生器の高さ

$dm$  : マイクロホンの高さ



写真 - 3 MLSトレーラーの外観

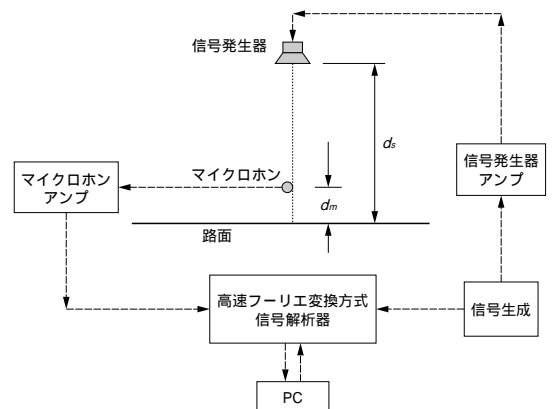


図 - 18 MLSトレーラーシステム概念

#### 3) 試験結果

図 - 19に異なる二つの原位置試験方と静的MLS試験との比較結果を示す。これらの結果から、本装置によるMLS試験方法は他の原位置試験法と同様の傾向を示していることが分かり、路面評価試験として利用できるであろう。また、他方式の測定法は、測定の時に規制が必要であったり、コアを抜き取る必要があるが、本方式は、それらの必要がないため、他方式と比較して、有効な方法と思われる。

また、図 - 20に異なる3種類の路面にて測定された静的、動的MLS測定結果を示す。試験結果が

ら、800Hzは速度に依存しないことが分かり、動的測定法は、ブラッシュドコンクリート（ほうき仕上げによりすべり抵抗性を高めた舗装）のような反射性の路面には向いておらず、ポラス路面においては静的測定法との最も良い相関が得られ、ポラス路面の評価に適用できる可能性が証明された。

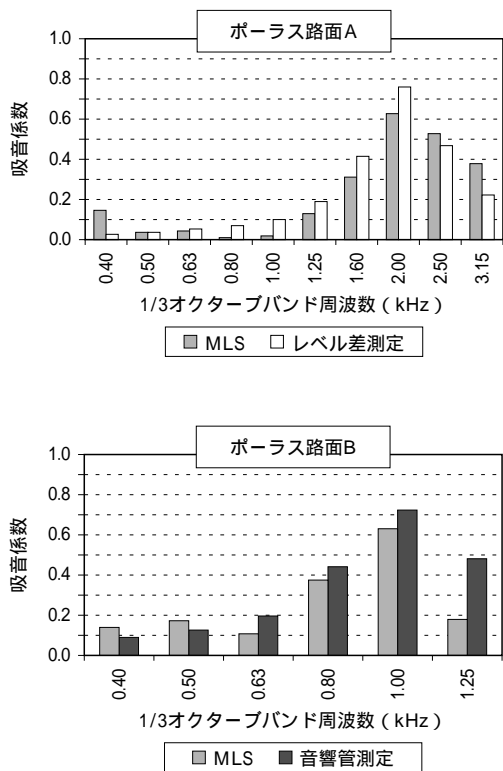


図 - 19 試験法別の比較

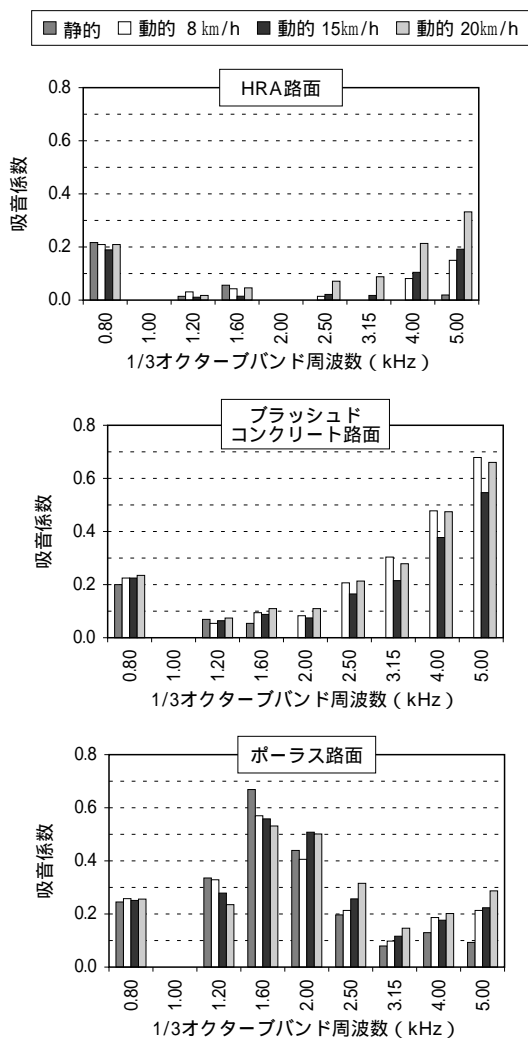


図 - 20 静的と動的測定方式の比較

おわりに

今回、Inter Noise 2001に報告された数多くの論文の中から、6セッション、41編の論文について概要を紹介した。本文はInter Noiseを紹介することを第一の目的としたため、論文の紹介数が非常に少なく、紹介した論文も十分な説明ができていない。しかし、本文がInter Noiseという会議を知って頂く機会になればと

考えている。

なお、Inter Noiseの2001年以降の開催概要および開催予定は以下の通りとなっている<sup>1)</sup>。

参考文献

- 1) <http://www.soc.nii.ac.jp/asj/KOKUSA1/inter-noise.html>

開催期日	開催場所	URL
2002年8月19日～21日	Hyatt Regency hotel Dearborn, Detroit, USA	<a href="http://www.atlasbooks.com/marktplc/00726.htm">http://www.atlasbooks.com/marktplc/00726.htm</a>
2003年8月25日～28日	ICC( International Conventoncenter jeju ) 済州, 韓国	<a href="http://www.internoise2003.com/index.asp">http://www.internoise2003.com/index.asp</a>
2004年8月22日～25日	Czech Technical University Prague, Czech Rep.	<a href="http://internoise.feld.cvut.cz/">http://internoise.feld.cvut.cz/</a>
2005年8月6日～10日	Sheraton Rio Hotel & Towers Rio de Janeiro, Brazil	<a href="http://www.internoise2005.ufsc.br/">http://www.internoise2005.ufsc.br/</a>
2006年12月3日～6日	Sheraton Waikiki Hotel Honolulu, Hawai'i, U.S.A.	-

<統計資料>

1. 石油アスファルト需給実績（総括表）

（単位：千t）

年 度	供 給					需 要					
	期初在庫	生 産	対前年 度比(%)	輸入	合 計	販 売 (内需)	対前年 度比(%)	輸出	小 計	期末在庫	合 計
14 年 度	214	5,243	( 96.6)	8	5,471	4,470	( 95.0)	218	4,688	226	4,919
15 . 7 月	290	390	(102.5)	0	680	285	( 83.9)	32	318	265	583
8 月	265	413	(101.7)	0	678	284	( 83.3)	30	314	263	577
9 月	263	413	( 92.4)	0	676	317	( 86.6)	31	348	245	593
7 ~ 9 月	291	1,217	( 98.6)	0	1,508	887	( 84.6)	93	980	245	1,225
10 月	245	496	(110.9)	0	741	364	( 91.6)	25	388	245	634
11 月	245	482	( 99.1)	0	728	351	( 82.4)	18	369	250	618
12 月	250	561	(109.7)	0	810	383	( 92.3)	18	400	269	669
10 ~ 12 月	245	1,539	(106.5)	0	1,784	1,097	( 88.6)	60	1,157	269	1,426
16 . 1 月	269	416	(108.9)	0	685	263	( 88.7)	21	284	269	553
2 月	269	548	(122.0)	0	817	361	( 91.8)	28	388	267	655
3 月	267	678	(102.9)	0	945	518	( 85.4)	23	542	262	804
1 ~ 3 月	269	1,642	(110.2)	0	1,910	1,142	( 88.1)	71	1,214	262	1,476
15 年 度	226	5,492	(104.6)	10	5,729	3,888	( 86.9)	283	4,171	262	4,433
16 . 4 月	262	415	( 97.9)	1	678	229	( 84.4)	31	261	295	556
5 月	295	334	(107.3)	0	629	212	( 86.5)	40	252	307	559
6 月	307	362	(100.6)	0	670	283	(115.5)	32	315	243	558
4 ~ 6 月	262	1,110	(101.5)	1	1,374	724	( 95.1)	103	828	243	1,071

2. 石油アスファルト内需実績（品種別明細）

（単位：千t）

年 度	内 需 量						対 前 年 度 比					
	ストレート・アスファルト				ブ ロ ー ン ア ス フ ア ル ト	合 計	ストレート・アスファルト				ブ ロ ー ン ア ス フ ア ル ト	合 計
	道路用	工業用	燃焼用	計			道路用	工業用	燃焼用	計		
14 年 度	3,172	189	937	4,299	171	4,470	93.0	110.5	99.2	94.9	96.5	94.7
15 . 7 月	226	9	38	273	12	285	97.3	56.9	48.1	83.4	95.4	83.9
8 月	222	9	42	272	11	283	98.1	62.2	47.9	83.1	87.4	83.3
9 月	258	10	37	304	14	317	103.5	61.2	41.9	86.3	92.2	86.6
7 ~ 9 月	705	27	117	849	38	887	99.7	60.0	45.9	84.3	91.7	84.6
10 月	291	11	46	348	16	364	101.1	62.5	61.1	91.4	96.2	91.6
11 月	273	10	54	337	14	351	86.4	60.6	70.1	82.3	84.9	82.4
12 月	308	9	53	370	13	383	102.9	60.6	61.5	92.4	91.1	92.3
10 ~ 12 月	871	31	153	1,055	42	1,097	96.5	61.3	64.2	88.6	90.7	88.6
16 . 1 月	194	9	46	249	14	263	111.2	58.1	49.8	88.3	98.0	88.8
2 月	291	12	46	349	12	361	104.2	71.4	55.7	92.2	86.8	92.0
3 月	451	13	42	506	12	518	94.9	62.5	43.4	85.3	83.8	85.3
1 ~ 3 月	936	34	134	1,104	38	1,142	100.7	64.0	49.4	88.1	89.6	88.1
15 年 度	3,077	112	549	3,737	151	3,889	97.0	59.1	58.5	86.9	88.8	87.0
16 . 4 月	182	7	30	219	10	229	92.6	97.6	52.3	83.9	95.1	84.3
5 月	164	5	32	201	11	212	91.2	87.0	65.7	85.8	98.5	86.4
6 月	218	7	43	268	14	282	115.9	100.1	110.4	114.5	123.3	115.3
4 ~ 6 月	564	19	105	688	35	724	99.9	95.4	72.4	94.3	105.9	95.0

〔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
[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	(105-0004) 港区新橋1-7-11	03(5568)6411
株式会社ジャパンエナジー	(105-8407) 港区虎ノ門2-10-1	03(5573)6000
昭和シェル石油株式会社	(135-8074) 港区台場2-3-2	03(5531)5765
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		
朝日産業株式会社	(103-0025) 中央区日本橋茅場町2-7-9	03(3669)7878
株式会社アスカ	(106-0032) 港区六本木7-3-3	03(5772)1505
伊藤忠エネクス株式会社	(153-8655) 目黒区目黒1-24-12	03(5436)8211
エムシー・エネルギー株式会社	(100-0011) 千代田区内幸町1-3-3	03(5251)0961
コスモ石油販売株式会社	(104-0032) 中央区八丁堀3-3-5	03(3551)8011
コスモアスファルトカンパニー		
国光商事株式会社	(164-0003) 中野区東中野1-7-1	03(3363)8231
昭石商事株式会社	(107-0051) 港区元赤坂1-1-8	03(5474)8511
住商石油アスファルト株式会社	(105-0011) 港区芝公園2-6-8	03(3578)9521
竹中産業株式会社	(101-0044) 千代田区鍛冶町1-5-5	03(3251)0185
東新エナジー株式会社	(103-0027) 中央区日本橋2-13-10	03(3273)3551
中西瀝青株式会社	(103-0028) 中央区八重洲1-2-1	03(3272)3471
株式会社南部商会	(108-0073) 港区三田3-13-16	03(5419)9861
日東商事株式会社	(170-0002) 豊島区巢鴨4-22-23	03(3915)7151
パシフィック石油商事株式会社	(103-0014) 中央区日本橋蛸殻町1-17-2	03(3661)4951
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
<b>近畿・中国</b>		
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) 姫路市飾磨区網江995	0792(33)0555
<b>四国・九州</b>		
今別府産業株式会社	(890-0072) 鹿児島市新栄町15-7	0992(56)4111
三協商事株式会社	(770-0941) 徳島市万代町5-8	0886(53)5131
西岡商事株式会社	(764-0002) 仲多度郡多度津町家中3-1	0877(33)1001
平和石油株式会社高松支店	(760-0017) 高松市番町5-6-26	0878(31)7255

編集顧問	編集委員			
多田宏行	委員 長 : 中村 俊行			
	安崎 裕	大坪 義治	服部 潤	峰岸 順一
	神谷 恵三	田井 文夫	姫野 賢治	森久保 道生
	栗谷川 裕造	塚越 徹	溝口 孝夫	吉村 啓之
	小島 逸平	野村 健一郎	溝淵 優	

アスファルト 第216号

平成16年10月発行

有限責任中間法人 日本アスファルト協会

☎ 105-8412 東京都港区西新橋1-3-12

新日本石油株式会社 エネルギー・ソリューション1部内

問い合わせ先

・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

・新日本石油株式会社  
エネルギー・ソリューション1部 塚越 徹  
TEL 03-3502-9134

印刷所 キュービシステム株式会社

☎ 104-0061 東京都中央区銀座1-21-7

GNビル4F TEL 03-3538-3171 (代)

Vol.47 No.216 OCTOBER 2004

Published by **THE JAPAN ASPHALT ASSOCIATION**