

アスファルト

第32巻 第160号 平成元年7月発行

160

特集・舗装技術に関する研究の動向・大学等における舗装の研究活動

特集にあたって	姫野賢治	2
研究雑感	荻野正嗣	3
アスファルト舗装に関する研究	笠原篤	5
コンピュータ時代とアスファルト実験研究	上島壯	9
弾性沈下論によるアスファルト舗装構造の設計考察	齋藤総一郎	12
アスファルト舗装とRCCP	菅原照雄	15
地方の一私大の教育・研究	武市靖	18
アスファルトマスチックを用いた連続止水壁工について	建部英博	21
米国留学の回想	西勝	24
コンクリート舗装の構造解析について	西沢辰男	26
アスファルトとの出会い	姫野賢治	29
スパイクタイヤ問題を中心として	藤原忠司	32
農業工学における舗装の研究	牧恒雄	35
最適化と舗装	松井邦人	38
長岡技術科学大学建設系道路工学研究室	丸山暉彦	41
「アスファルト」と舗装との30年のおつきあい	三浦裕二	43
アスファルト雑感	三瀬貞	46
舗装とのつきあい	村井貞規	48
私はたわみ性舗装になれるか?	山田優	50
雑感	吉田隆輝	52
私のアスファルト研究の概要	渡辺隆	54

会長就任のご挨拶	坂本整士	1
〈報文〉		
非破壊試験としてのたわみ測定装置とたわみデータの利用	笠原篤	57
〈工事事務所長シリーズ・その37〉北の道路	下平尾 節	69
〈用語の解説〉		
軟弱路床上の舗装	小島逸平	72
アスファルトの溶剤	高橋正明	73
三塩化エタン可溶分 (Solubility in Trichloroethane)		
〈出版物紹介〉		
ハース、ハドソン著「舗装マネジメントシステム」の翻訳出版について	笠原 篤	75
〈統計資料〉石油アスファルト需給統計資料		76
主な石油アスファルト製造用原油の輸入状況		78

ASPHALT

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



会長就任のご挨拶

社団法人 日本アスファルト協会

会 長 坂 本 整 士

5月末日、通常総会後の臨時理事会において当協会の会長に選任され、お引受することになりました。

鹿島前会長は、4年間もの長きに亘ってその職責を全うされた名会長であり、その後を受けることは身に余る光栄であり、またその責任の重さに身の引き締まる思いであります。誠心誠意当協会の発展に尽くす所存でございますので、会員各位の一層のお力添えをお願いする次第であります。

当協会は、北海道から沖縄に至る石油メーカー及びディーラー136社の会員で構成されており、実質的には全国の生産、販売の殆どをカバーしているものと考えられます。発足以来30余年、数々の成果をあげて参りました。特にその中にありまして「アスファルト」誌の技術的内容は、斯界で極めて高い評価を賜っており、今後も関係各位のご協力を得て尚一層の充実を計ることを考えておりますので、ご愛読の程お願い申し上げます。

さて、当協会全般の事業は、アスファルトに関する研究の推進、需要と供給、生産と消費の調査等、幅広くまた地味な仕事であります。しかしこれらの事業は、生産販売の業界のみにとどまらず、消費業界を含む広範な業界を支える基礎となるものであります。

消費者のニーズも多様化しつつあります。この傾向はこれからも強まってくるでしょう。道路資材としてのアスファルトだけでなく様々な消費者の要望に対応していく姿勢が問われています。改質アスファルト、建築資材としてのアスファルト等、アスファルトの守備範囲は時代と共に広がっていくものと思われます。従って当協会が、関係する業界に果たさなければならない役割は、極めて大きいものと考えられます。

平成元年度のアスファルト需要見通しは、道路用407万トン、工業用、ブローンを加えても481万トン、前年比97.5%となっております。昭和53、54年は500万トンを越えておりました。道路用に限って云えば、僅かながら減少傾向にあり、長期的にみても、大勢は横這い傾向にあると云われています。

アスファルト及びその製品価格は、かつて、大幅なコスト割れの状況が続き、生産マインドの減衰に伴う供給の不安定という問題が生じたことがあります。しかしながらここ数年は、関連業界各位のご尽力、ご協力もあり、安定的な供給が確保される比較的平穏な状況で推移してきておりました。

しかし本年度は、原油価格の上昇、円安等のコストアップ要因が現実のものとなってきており、私たちを取りまく環境は必ずしも樂觀できる状況ではありません。精販業界、需要業界が共に安定的な発展を続けるためには、これを超えて行かなければなりません。

今後ともこれまで同様の状況が維持されますよう期待するものであります。

さて、当協会を支える力は、会員の皆様から産まれるものでなければなりません。中央、地方であることを問わず、斯界発展のために、全国の会員各位の新たなご認識と、ご協力をお願い申し上げます。次第であります。

また、アスファルトをご使用戴いている需要家各位、研究・販売にたずさわっておられる関係各位にも、当協会の発展、並びにアスファルト業界に対する充分なご理解を賜り、更なるご支援をお願い申しあげましてご挨拶と致します。

(三菱石油株式会社 常務取締役)

特集にあたって

姫 野 賢 治

北海道大学工学部土木工学科助教授

「舗装工学は経験工学であり、実務が中心なので、大学での研究は不要である」とか、「舗装要綱があればそれで足りるし、大学で新しい研究をしてもその成果が実務に生かされにくい」というような議論がしばしばなされる。さらには、そのような理由により大学の舗装研究者は非常に数少ないと結論され、誰もがそれを疑わないように思える。確かに回りを見渡してみても、学会の年次学術講演会や学協会の各種の委員会などで顔を合わせる大学の舗装研究者の方々の数が限られているようである。ましてや、官庁や業者の方々には非常に特定の先生方しか馴染みがないのではなからうか。

今回の特集は、全国の大学にはどのような舗装研究者がいてどのような研究をしているのか、あるいは何がきっかけで舗装の研究を始めるようになり、いまどのようなことに関心があるのかなどを幅広く知って戴くことを目的とした。今回の特集を企画するに当たり、編集委員会では、土木工学にたずさわっている数多くの助手以上の先生方に執筆をしていただけるよう心掛けたが、依頼する期間も短く、またご多忙な時期とも重なり残念ながらご執筆いただけなかった方々もいらした。それにもかかわらず、今回20名を超える先生方に執筆をして頂くことができた。数少ないと言われてきた大学の研究者もこれほど大勢いたのかと嬉しく思っている次第である。もっともこのこと自体、大学の舗装研究者同士の間でさえ情報の交換があまり活発ではないことを物語っているといえようか。

ほぼ10年前の本誌118号で今回とほぼ同様な特集が企画されたが、その中で日本大学の阿部先生が、大学の研究者の仕事には、教育と研究のほかに社会活動もあるということを述べられているが、大学でどのような研究が行われているのかが知られていないためにこの社会活動の機会が失われているケースが結構あるように思える。これは、大学の研究者側からの宣伝不足もあるであろうし、大学の研究者を必要としないとも言われる舗装業界の体質もあろう。ただ、東京界隈に住んでいれば忙しすぎるくらいのその社会活動の場は提供されるのであるから、単に東京から遠く情報が粗であるというだけの理由で機会が失われてしまうとしたら非常に残念である。

大学の舗装研究者同志の間ですら情報の交換があまり活発ではないのだから、官学間、民学間ではなおさらであろう。今回の特集が、各種委員会の委嘱や、共同研究の開始など、少しでも官・民・学の接触の場になり舗装界全体の活性化の一助にでもなれば幸いに思う。

研究雑感

荻野正嗣

おぎの しょうじ
大阪産業大学工学部土木工
学科教授・工博。昭和43年立
命館大学大学院理工学研究
科修士課程修了。
勤務先〒574 大阪府大東市
中垣町3-1-1。
☎0720-75-3001



1. コンクリートおよびアスファルト混合物における 骨材粒度の表示

恩師の研究上、最初に着手したのはコンクリート舗装に関するもので、マイクロクラックからコンクリートの繰返し曲げ疲労の挙動を解明したり、フレッシュコンクリートのセグリゲーションのものであった。そのうち、後輩が前者を、小生は後者を研究することになった。研究も一段落して、さて次に何をしようかと考えた結果、セグリゲーションに関係するものとしてアスファルト混合物のギャップ粒度を選ぶことにした。当時ほとんど研究されていなかったこともあるが、恩師が小生の能力を見越して重労働？だけでなんとか出来そうなものと指導してくれたからである。最初の間はコンクリートに未練をもち両刀使いをしていたが、一本に絞ることにした。所持している文献資料はほとんどなかった時代、全く面識のなかった北海道大学教授菅原照雄博士に手紙を出したところ、文献と御助言をいただき、また学会でおめにかかった折にはわざわざ多くの文献資料を持参いただき感激したことも懐しい思い出の一コマである。

研究の最初にコンクリートの配合を取り扱ってきた者がアスファルトのそれとは随分違うことに戸惑いを感じたものである。

1-1 細骨材の定義

周知のとおり、コンクリート用骨材（土木学会）では、粗骨材とは5mmふるいに少なくとも85%残留する骨材をいい、細骨材とは10mmふるいを100%通過し、5mmふるいを85%以上通過する骨材であると定義している。これに対してアスファルト用骨材（アスファルト舗装要綱）では2.5mm区分として、2.5mm以上を粗骨材、それ以下のものを細骨材と呼んでいる。コンクリート用骨材の最大粒径は40mm程度のものを標準的に使用し、アスファルト用は高々20mm程度である。この差が呼び名に違い、慣習として今日まで来ているのであろうが、なんとかならないものか。両者に関する骨材粒度の論文を書く場合、表現法に困惑することがある。

1-2 骨材比重

コンクリート用の骨材比重は一般的に表乾比重を、アスファルト用では見かけ比重を基にして計算する。これは言うまでもなく理にかなっている。ところで、室内実験でコンクリート供試体を作成する場合、時と場合によって出来るだけバラツキの少ない均一な供試体を作成せんがために、アスファルト用骨材の準備と同様、気乾状態に近い骨材にするため2・3日天干しする。この骨材を7～8種類にふるい分け貯蔵しておく、必要に応じて粒度配合し、コンクリート練りをする。コンクリートの配合は表乾比重で計算するので、その水量の差だけ水増して調合する。慣れない最初の間は奇異に感じたが、こうすることによって非常に均質なコンクリート供試体を作れることが理解できた。

1-3 標準粒度と合成粒度

コンクリート用の標準粒度はそれぞれ細骨材および粗骨材について、アスファルト用では合成粒度を規定している。ドイツのDIN1045では細骨材粒度と合成粒度と規定している。どれが最も合理的であろうか。

1-4 粒度曲線

コンクリート用の粒度曲線は0.15mm (No100) までを示すが、アスファルト用では0.074mm (No200) まで表示しなければならない。

アスファルトの論文を最初投稿した時、コンクリート用のそれが頭に残っており、0.074mmまで示さなければならないことを指摘された苦い経験がある。

2. 現在の研究課題

現在、アスファルト混合物の疲労挙動を種々の角度から検討しているが、その一つにポアソン比がある。アスファルト混合物のポアソン比は一体どの程度の値であろうか。層弾性解析する場合、これまでの多くの文献では0.5を採用していたが、最近では0.35程度で計算することが多いようである。筆者の研究では、試験温度19～25℃で静的試験¹⁾の場合、ポアソン比0.2程度から応力が増すにつれて破壊近傍では0.5になる。一

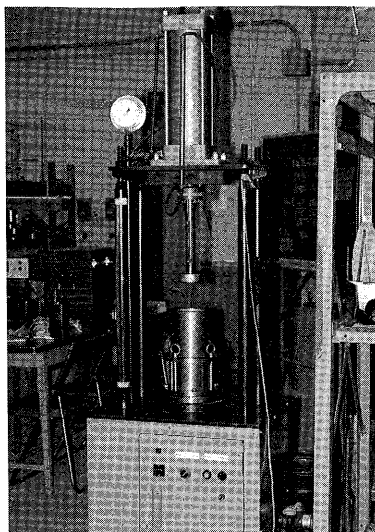
方、繰返し载荷の場合²⁾は、供試体が全く破壊に至っていないものでも0.5以上、時には1近くになることがある。最近、これに関して非破壊試験³⁾からも検討しているが、この場合は温度変化(−20℃~60℃)によって、0.22~0.35程度の値が得られている。ポアソン比について地道に研究したいと願っている。また御諸兄の御知恵を拝借したいと存じている。

ところで、アスファルト混合物の疲労挙動を非破壊試験法から検討していると、供用されている道路等にシュミットハンマのようなものを充ててバツと一瞬に疲労の程度を推定できるような装置が発明できないものかと願っている昨今である。

3. 締固め装置

当研究室には自慢できるような装置は何もないが、必ずといっていいほど、外国からの見学者、また一部の製作者から写真に示すニーディングコンパクタ⁴⁾の設計図面を欲しいと言われる。製作所に発注した段階では性能と簡単なスケッチだけで、詳細な設計図面は業者が引き受けてくれ、小生の手元にはないので、お断りするのに一苦労する。簡単にその機能を紹介すると以下のとおりである。

締固め動力部はエアコンプレッサからの圧縮空気を、予め調整弁によって調整されたエア圧を本体のエアシ



リンダに送りこみ、シュー面(こね返し部分)に伝達されるようになっている。このシューの表面は扇形(表面積33cm²)で、圧力は0~40kgf/cm²可能で、圧力計によって検出される。締固め回数は1分間当たり10回である。また、モールド支持版は、シュー面が载荷されていない間にエアシリンダの圧力によって0~60℃の範囲内で自動的に回転する装置となっている。

—— 参考文献 ——

- 1) 荻野正嗣, 大前達彦: アスファルト混合物の応力-ひずみ曲線, 第36回土木学会, V-214, 1981.
- 2) 大前達彦, 荻野正嗣: 繰返し圧縮载荷によるアスファルト混合物のポアソン比, 第42回土木学会, V-26, 1987.
- 3) 第18回日本道路会議 舗装部会に投稿予定.
- 4) 荻野正嗣, 大前達彦: ニーディングコンパクタによるアスファルト混合物の締固め特性, 舗装, Vol. 16, No.3, 1981.

☆

☆

☆

☆

☆

☆

笠 原 篤

かさはら あつし
北海道工業大学土木工学科
教授・工博。昭和49年北海道
大学大学院工学研究科博士
課程修了。
勤務先：〒006札幌市西区
手稲前田419-2
☎011-681-2161



アスファルト舗装に関する研究

1. まえがき

アスファルト混合物の力学的性状、アスファルト舗装の構造、舗装マネジメントシステム (PMS) などをテーマとした研究に携わってきて、およそ20年の歳月が経過した。私がアスファルト舗装の研究をすることになったきっかけは、卒業論文作成のために北大の菅原教授の講座に配属が決定した昭和42年であった。

振り返れば、道路に興味を持ちだしたのは、高校1年のとき京都山科にあった名神高速道路のモデル区間を、父の運転する車で走行した時であったかもしれない。当時、父（篤三）は、名神高速の山科地区の現場所長（地崎組）をしており、土工工事を担当していたことから、その現場を見学に行ったことを思い出す。

アスファルト誌編集委員会から執筆依頼を戴いた機会に、私自身の頭を整理する意味を含めて、私のアスファルト舗装についての研究の流れを述べ、これからの舗装の研究について私見を述べさせて戴いた。

2. 国際的に見た最近の研究

世界的に見たアスファルト舗装に関する最近の研究については、アスファルト誌に詳しく示されている。私の見聞によれば、テーマの大小はあるものの優先順位の高い研究は、次の3つであるとされている。

- 1) 舗装マネジメントシステムに関する研究
- 2) アスファルト混合物の再生に関する研究
- 3) リフレクションクラックに関する研究

PMS²⁾は、舗装に関するすべての事項、すなわち計画・設計・建設・維持・補修・修繕・評価・データバンク・経済解析などを有機的に結合させた総合的なシステムであることから、アスファルト舗装に関する研究のすべてはPMSに組み込まれることになる。そこで、舗装構造の理論設計法の確立、舗装のパフォーマンスの把握および予測、ライフサイクルコストの算定などが必須な事項となる。

さらに、アメリカ合衆国の戦略的道路研究計画

(SHRP: Strategic Highway Research Program)³⁾

においては6つのテーマが取り上げられており、その中で舗装に関連するテーマとして次の3つがある。

- 1) アスファルト
- 2) 舗装の長期パフォーマンス
- 3) 維持の費用効果

ここにリストアップした6つの研究テーマは、そのまま現在のアスファルト舗装の分野で問題となっている事項であると受け取れる。ハースらは、『舗装に関する研究マネジメントにおいて重要なことは、研究予算がすべての問題を研究するのに十分であることは殆どないことから、実施すべき研究に優先順位を付けることであるが、過去において優先順位は研究のニーズよりむしろ研究スタッフの興味や能力によって決められることが多かった』と指摘している。

特にわが国の学校関係者においては、この『研究マネジメント』についてじっくり考える必要があろう。

3. 研究の流れ

私が携わってきた研究テーマを時系列的にあげるとおよそ次の通りとなる。

- ☆ アスファルトとアスファルト混合物の力学的性状
- ☆ アスファルト混合物の疲労性状
- ☆ アスファルト舗装の構造評価
- ☆ 舗装のマネジメントシステム

約20年間にわたる研究において、研究の意義および研究の立場について留意しながら、自分なりに研究を進めてきたつもりであったが、振り返って見ると研究相互に密接な関連性が意外とあると感じられた。

はじめに、車両の走行速度に対応した載荷時間におけるアスファルトおよびアスファルト混合物のレオロジーの挙動を明かにし、粘弾性体としての動的応答の規則性を見い出した。

次に、当時土木の分野では殆ど導入されていなかった油圧サーボ式の試験機を用い、アスファルト混合物の疲労試験を行ない、アスファルト舗装の理論設計に

不可欠なアスファルト混合物の疲労曲線を求めた。

フォーリング・ウエイト・デフレクトメータ (FWD)を導入し、アスファルト舗装についてたわみ測定を行ない、アスファルト舗装の理論設計に不可欠な支持力評価を行っている。

PMS についての世界的権威であるカナダ・ウォータールー大学のハース教授のもとに1982年に留学し PMS についての勉強をした成果をもとに、舗装の構造評価をベースとした研究を進めている。またわが国においては、PMS を体系的に紹介した書物がなく PMS についての解釈に差がでるなど、一部で混乱が生じてるようであったことから、PMS を啓蒙する意味で北海道土木技術会舗装研究委員会において、Dr. Haas と Dr. Hudson による PAVEMENT MANAGEMENT SYSTEMS の日本語版²⁾を出版するお手伝いをした。

3-1 アスファルトとアスファルト混合物の力学的性状

電磁式加振機による共振法および油圧サーボ载荷試験機による強制振動非共振法により、アスファルトおよびアスファルト混合物のスティフネスの温度ならびに载荷時間による規則性を求めた。アスファルトおよびアスファルト混合物は線形粘弾性挙動を示し、温度・時間換算則が成立することも明らかとした。図-1は、密粒アスファルトコンクリートの動的応答を示したものである。これらのデータは、車両の走行時のアスファルト混合物の弾性係数を推定することを容易にしておき、これは層構造の理論解法への入力となった。

3-2 アスファルト混合物の疲労性状

舗装構造の理論設計における規準は、その1つにアスファルト混合物の疲労寿命であり、もう1つには路床の塑性変形に対する許容ひずみの考え方がある。ここでは、油圧サーボ式の試験機を用い、アスファルト混合物に両振の強制曲げ振動を与え、ひずみ制御方式の疲労試験を実施した。図-2は、密粒アスファルトコンクリートの疲労曲線を示したものである。

アスファルト混合物の疲労曲線は、舗装の構造評価を行う場合の基礎データとして利用された。

3-3 アスファルト舗装の構造評価

近年、各国において、たわみ測定の精度向上、層構造理論との対応性、迅速科、省力化の観点から種々の装置が開発されてきている。その中で、FWDがPMSにおける舗装支持力評価サブシステムの確立、層構造理論を用いた理論設計法の確立に最適であるとの判断から、昭和58年12月に導入した。FWDの有用性がアメ

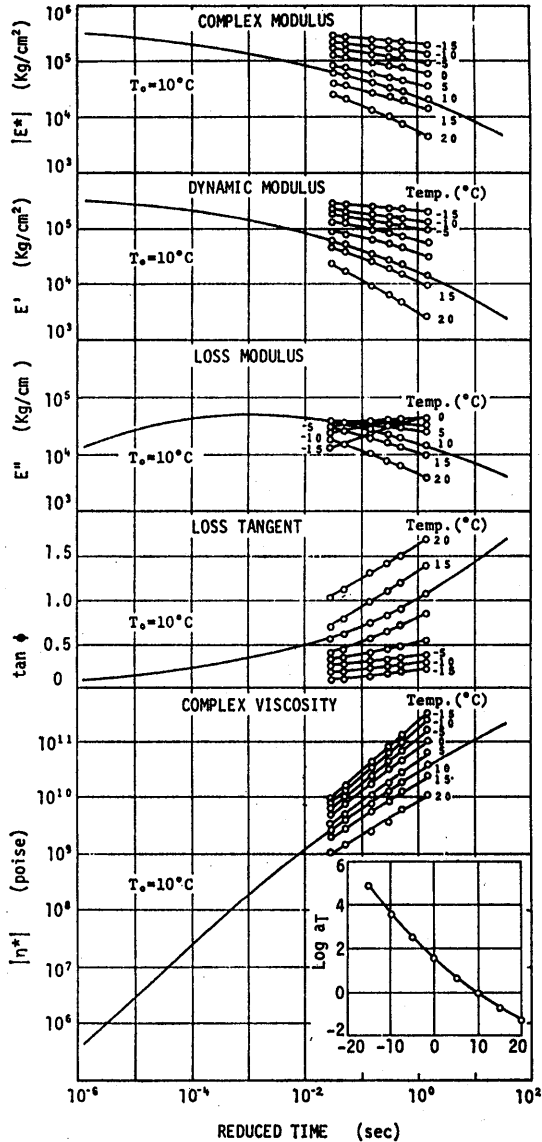


図-1 複素弾性率、動的弾性率、損失弾性率、損失正接、複素のび粘性率と载荷時間の関係⁴⁾

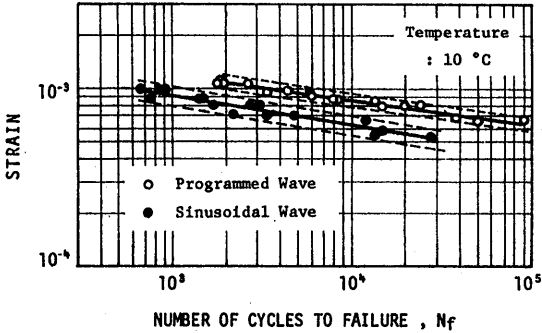


図-2 プログラム波および正弦波におけるひずみと破壊回数との関係(10°C)⁵⁾

リカでも認められ、SHRP(1987年4月に予算化された)の『舗装の長期パフォーマンス』の中で実施されるたわみ測定に、それが用いられている。また、わが国においても既に6台のFWDが稼働しており、中国も3台導入している。このことからして、FWDはたわみ測定機として世界的にその主流を占めることになるであろう。図-3は当研究室で所有のFWDを示している。



図-3 フォーリング・ウェイト・デフレクトメータ

各種の舗装について、FWDによるたわみ測定結果と層構造の弾性理論解析法の1つであるBISARとを組み合わせて、逆解析を行い各舗装構成層の『現地での弾性係数』を推定してきている。図-4は、図解法に基づく逆解析により求めたアスファルト混合物の『層としての弾性係数』と室内試験による弾性係数の関係を示したものである。北海道の舗装について多くのたわみ測定結果から、路床の弾性係数は300~1300kgf/cm²、粒状路盤の弾性係数は1,000~3,500Kgf/cm²程度であるとの知見を得ている。

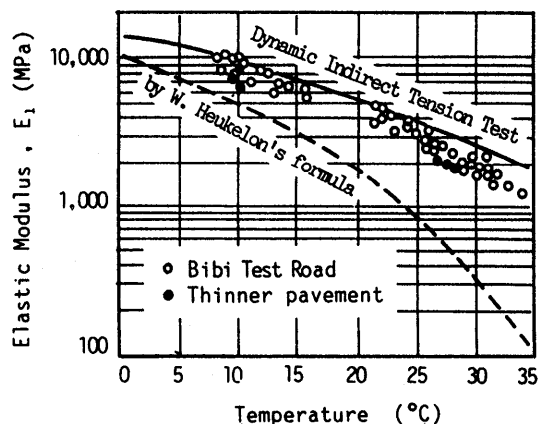


図-4 荷重時間30msecにおけるアスファルト混合物とアスファルト層の弾性係数⁶⁾

舗装構成層の『現地での弾性係数』が推定可能となったことから、対象とする舗装についてのアスファルト混合物層に生ずる引張りひずみ量および路床の上面に生ずる圧縮ひずみ量を算出することができ、その舗装の耐久性を評価することができた。

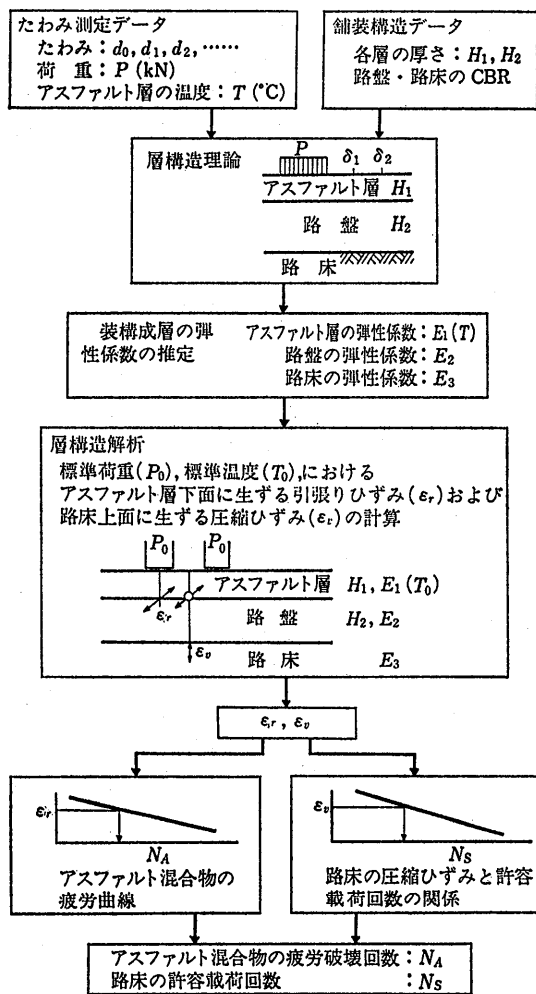
3-4 舗装マネジメントシステム

前述したように、PMSは舗装に係わるすべての行為を統合したシステムであり、舗装に関する研究のすべてはPMSから包括されると言っても過言ではない。そのことからして、PMSの開発研究を1人の研究者で行うことは困難であり、プロジェクトとして行う必要がある。また、舗装のサービス性能、ライフサイクルコストなどPMSに必要な不可欠な事項を明かにするためには、大々的な試験舗装を舗設とし、長期観測に基づいたパフォーマンスの把握が是非とも必要である。

これらのことから、FWDによる支持力評価をベースとした研究を現在のところ実施しており、PMSの1つのサブシステムである層構造解析サブシステムを構築することを試みている。図-5はそのフローを示したものである。このサブシステムを通して得られるアスファルト層の疲労破壊回数(N_A)と路床の許容載荷回数(N_S)についてのデータは、舗装データベースシステムの中へ舗装支持力データとしてフィードバックされ、舗装構造の健全度評価の指標として利用される。表-1は、舗装データベースシステムにおける支持力データを具体化し一括して示したものである。

表-1 舗装データベースシステムにおける支持力データの項目⁷⁾

支持力データ
*たわみ測定データ - たわみ: $d_0, d_1, d_2, \dots$ - 荷重: P - アスファルト層温度: T *構造データ - 各層の厚さ: H_1, H_2 - 各層の弾性係数: E_1, E_2, E_3 *荷重データ - 標準荷重: P_0 - 標準温度: T_0 *ひずみデータ - アスファルト層下面に生ずる引張りひずみ: ϵ_r - 路床上面に生ずる圧縮ひずみ: ϵ_s *許容載荷回数 - アスファルト混合物の疲労破壊回数: N_A - 路床の許容載荷回数: N_S



図一 5 層構造解析サブシステム⁷⁾

4. 研究者としてのこれからの仕事

わが国における舗装に関する研究のすべては、わが国に適合した PMS の開発に統合される。前述したように PMS 開発は、舗装のみならず交通、自動車、計測、コンピュータ、社会経済などの関係者による幅広いプロジェクトを必要とする。世界の一級品とも言うべき路面性状測定車⁹⁾を持つわが国であることからしても、PMS を開発することが可能である。このようなことか

ことから、PMS に関する研究の一部でも担うことができれば幸いであると考えています。

また、アスファルト舗装の理論設計確立に不可欠な舗装の構造評価のために、FWD の有用性が認められ、データの蓄積が進み、わが国のアスファルト舗装設計法が理論設計に転換されるような研究を進めたいと思っています。

— 参考文献 —

- 1) アスファルト, 日本アスファルト協会, 第30巻, 155号, 昭和63年4月, p5
- 2) ハース, ハドソン: 舗装マネジメントシステム, 北海道土木技術会舗装研究委員会訳, 1989
- 3) 安崎裕: アメリカの新道路研究計画 (SHRP), 道路, 日本道路協会, 昭和61年9月号, P36
- 4) 笠原篤, 菅原照雄: アスファルト混合物の動的応答に関する研究, 土木学会論文報告集, 第215号, 1973.7, p75
- 5) 笠原篤, 岡本秀幸, 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, 1976.10, p107
- 6) A. Kasahara, H.Kubo and T. Sugawara: Estimation of In Situ Elastic Moduli of Pavement Structural Layer with Falling-Weight-Deflectometer Deflection Basin, Sixth International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements, University of Michigan, USA, 1987.7, p590
- 7) 菊川滋, 笠原篤: 舗装マネジメントシステムにおけるデータベースの役割と支持力データの利用, 道路, 日本道路協会, 昭和62年9月, p53
- 8) T.Fukuhara, K.Terada, M. Nagao, A.Kasahara and S.Ichihashi: Automatic Pavement Distress Survey System, First International Conference on Applications of Advanced Technologies in Transportation Engineering, ASCE and California DOT, USA, 1989.2, p33

☆

☆

☆

☆

☆

☆

コンピュータ時代と アスファルト実験研究

上 島 壯

かみじま つよし
北海道大学工学部土木工学科助手。昭和40年北海道大学理学部物理学科卒。
勤務先：〒060 札幌市北区北13条西8丁目。
☎ 011-716-2111-6206



1. アスファルトの力学試験とコンピュータ

筆者は昭和40年に、菅原照雄教授の下にアスファルトの研究に携わるようになった。与えられた仕事は、アスファルト混合物の高速曲げ試験のシステム開発に関するものであった。この試験は電磁オシログラフに荷重・変異一時間曲線を記録し、それを解析するものである。記録されたオシロペーパーには上下に記録された5から10mm間隔（1/100秒に相当）のタイムマーク以外にはよりどころがない。データ処理の手順を示すと、i) 荷重の基線を引く、ii) 荷重の原点を定める、iii) タイムマークをよりどころに荷重基線に垂直に等時線を所定の載荷時間ごとに引く、iv) 等時線と交わる荷重線、変位線はかなりの太線なのでその中心に虫ピンで印を付け、基線との間隔をスケールで読み取る、となる。強度のみを解析する場合と荷重曲線を解析する場合では労力が数倍異なる。ミリ秒のオーダーの短時間領域では虫ピンの穴のわずかな狂いが算出される弾性係数に数十パーセントも影響した。さて、当時、大学では共同利用の計算機が設置されていた。紙テープ方式のものである。筆者が試験データの計算機処理を思い立ったのは、特に必要性を感じたためでなく、新しい時代の流れに取り残されたくないという心情からである（今の学生の計算機志向の気持も同じ発想のようである）。プログラムとデータをシートに記入し計算センターに持参すると計算機にかけてもらうことができた。手作業のデータを計算機データ化する上での最初の問題は、較正值データと曲線データとの形式の異なるデータの組み合わせ法である。較正值を乗じた値を入力するのは計算機利用のメリットがない。行なったことは、較正データ群と曲線データ群を分離し、使用する較正データの通し番号を曲線データが指定するという方法であった。この方法は、較正データと曲線データでテープを分離してしまうと後には対応が分からなくなるので、あまりよくない。計算機の利用らしきとしては二つ一組の較正值を用いて記録の振幅の非直線性を補正したことである。

さて、データ処理上最も大きな問題は原点データである。荷重一時間曲線の原点位置というのは推定に近いものである。そして、最初のデータ処理システムでは時間の基準が荷重点なので、それを変更するとすべてのデータが読みなおしの対象となった。

このようなことから次のような改良を行った。

i) タイムマークを用いて曲線とは独立の時間系を基準とする、ii) 必要な時間の値は補間法で求める。この改良によって、原点の修正によって他のデータを読みなおす必要はなくなり、曲線を再現できる程度に読みやすいところでデータを取ればよくなった。なお、曲線の形を解析して原点位置を自動修正する機能も設けたが後でやめた。これはデータを“作る”感じになり行き過ぎである。もう一つ重要な改善は、iii) データを実験年月日と、（較正と試験を区別せず）実験通し番号により管理したことである。実験は多くの場合卒業研究で行われるが、学生に限らず人間の作業に入るところには必ず誤りが大きな頻度で発生する。したがって、作業システムを計画する際には、人間の特性に基づいて、できるだけ誤りが発生しづらい方式を考える必要があろう。そして、誤りは発生するものとして、作業の経過のトレースが容易な方式を考える必要がある。データを原票のとおり生のまま、スムーズに入力できる方法であればその両方に有効である。また、作業者にシステムとして必ず日付と通し番号を記入させたことは後者に大変有効な方法であった。これによってデータに疑問が生じた時に、年月が経過していても実験当日の作業がかなり把握できるようになった。

昭和45年頃、共同利用計算機は大型計算機センターとなり、パンチカード方式となった。そして、カードと共に試用段階ではあるが磁気ディスク装置がユーザーに開放された。これに筆者は驚嘆した。大量のデータが数枚のカードで自由に操作できるのである。磁気ディスクの利用によって自ずからデータベースの発想が生ずることになり、従来の測定データ処理システム他、研究解析用のデータシステム構築の動機とな

った。新しいシステムは、i) 計測データと解析用データとを別系統とする、ii) 静的試験データのフォーマットを統一する、iii) 解析用データは磁気ディスク上に置き、データバンクとする、iv) 装置系の剛性データを変位の補正のためにプログラムに組み込む、v) 解析データ集合を階層化し、階層レベルを指定することによりきめ細かい解析ができるようにする（これはあまりよい発想ではなかった）vi) 特性値を柔軟に組み合わせで解析できるようにする、vii) 解析結果を迅速、自由に図的表示できるようにする、viii) 粘弾性特性のマスターカーブを自動作成する、などを目標に構築を行った。このようなシステムの必要性を感じたのは、新しいちょっとした解析の発想が浮かんだときに直ちに図的に表示できたら、という欲求からである。たとえば、グラフを描がいてアイデアを試してみたくとも、そのための労力が少なくとも数週間はかかり、しかも、成果の見通しがはっきりしないとしたら、どなたも手を付けまいであろう。というよりも、自分に可能でないことについての発想は浮かび難いように思う。このシステムは“道具”としてのサブプログラムの集合であったが、その利用例を一つ示す。

【データ条件】圧縮試験。試験のレベルは4温度、5変形速度程度の組合せ。荷重・縦方向変位・横方向変位-時間曲線の3曲線について手作業でデータのサンプリングを行なった。サンプリング間隔は補間法で曲線を再現できる程度とした。

【解析】縦横のひずみから供試体の体積変化を推定し、“応力/強度”対“圧縮による体積変化”の図を作成する。各温度ごとにグラフを作成し、(変形速度が異なる)曲線群をそれぞれ滑らかに描がき、体積が各曲線で極小点を持つことを図示する。(昭和49年度土木学会全国大会概要集掲載)

これは手計算では行なおうという意欲がなかなか生じない計算量であるが、プログラムは表面的には100行程度となり一日二日の作業量である。

測定データ処理システムは、曲げ・引張り・圧縮試験、定速・応力緩和・クリープ試験とそれらの繰り返しモード、荷重・力方向変位・側方変位の測定、複数の較正データの利用などを可能としたが、データの検査、修正用のシステムとしての意味合いが強くなった。データの検査の段階でも仮のマスターカーブ(シフトファクター)を用いて図示すると、温度・ひずみ速度が共通でないデータに関しても異常値を発見しやすい。幸いアスファルトの力学特性は法則性が強いので、あ

らゆる規則性を利用することにより誤りの多くは発見できる。その例であるが、実験結果が一つの曲線に乗らないので古い供試体で追試を繰り返し、結局、その古さに問題があることに気が付いた。供試体が常温で硬化することを軽視していたのである。それ以降は必ず低温室で保管するようにした。

北海道大学の共同利用計算機は昭和54年にTSSシステムに移行し、ユーザーが自ら端末の前に坐ることになった。従来は試料の作成・実験とデータの作成・入力とは別の作業として分離していたが、オンラインの時代には、データは発生した順に発生した形態で蓄積するという考え方が重要になってくる。当然、供試体寸法データなどと力学試験データの入力時期が異なり、データも別々になる。諸特性を計算するためにはこれを計算機の中で合成しなければならなくなったので、供試体の名称は異種のデータを結び付ける重要な項目になった。この時筆者が試作したシステムは、供試体比重測定、寸法測定、ホイールトラッキング試験、静的力学試験などをサブシステム化したものである。力学試験では較正データ、曲線データも測定順に入力するようにした。寸法測定などは、ひとりでフリーハンドで測定できるようにテープレコードを用い、マイク、イヤホン、フットスイッチの小道具により測定から入力までノートなしのデータ作成を行った。比重や寸法の値に統計学的判断をマークして一覧表を作成することにより、試験で供試体を破壊してしまう前にデータのチェックを行うことができた。

筆者は計算機環境に恵まれていたので早くからその恩恵に浴することができたが、現在では実験データの処理は多くの場合パソコンで十分であり、操作性は大型機よりずっとよい。パソコンにA/Dコンバータボードを装着することにより1台で、電磁オシログラフ、ペンオシログラフ、ペンレコード、打点レコードの領域をカバーする記録計として利用できる。ただ、採取したデータをデータベースとして蓄積する場合の問題点はデータ圧縮の方法と思われる。A/Dコンバータによる入力は打点レコードの性格を持っているので現象の立ち上がりの変化の大きいところに合わせて密にサンプリングする必要がある、現象の緩やかな領域では過剰にサンプリングする傾向があるのではないかと思う。現在、コンピュータの記憶装置は大容量化のすう勢にあるがそれでもデータはコンパクトな方がよい。

2. アスファルト混合物の配合の研究

筆者は昭和50年頃よりアスファルト混合物の配合への関心が強くなった。アスコンの配合、グースアスファルトの配合、または、舗装要綱の何という配合に準拠しているということで、我々研究者自身が定められた枠に安住している傾向を感じていた。アスコンがアスコンであるゆえんは何かというような素人の発想からの研究であった。最初は従来の力学試験の手法でアスファルト量などを中心に配合を限定して実験を行った。OACといわれる付近を境にアスファルト混合物の性質は感覚的には大きく変化するのであるが、残念ながらレオロジー的手法でそれを明快に説明するには到らなかった。その理由については、粘弾性的手法は高分子材料などの主として線形粘弾性をモデルとしていたが、アスファルト混合物の安定度はむしろ骨材のかみ合わせに基づく非線形性に特徴があるためと考えている。また、緩和スペクトルなどの微細構造を論ずるには解析技術とデータの蓄積が不十分であった。その後、卒論などで、マーシャル供試体のみで、しかも、総て相異なる骨材配合で、期間の許す限り作成するという横暴なテーマを課し、筆者自身も作成に立ち合っ

て混合物の光沢など主観的項目の観察を含めて実験を行った。このような実験を数年行なったがデータの整理はもちろん配合表群の作成にもコンピュータの利用が役立った。最初はデータの整理にSPSSを用いた。SPSSは表形式データについて処方せんを書く感じでプログラムし、自由自在に統計解析を行おうという米国製の理想主義的な言語の一つであるが作図機能はあまり強力でなかった。筆者は、SPSSの国内普及の推進者のひとりである中野嘉弘北海道教育大学教授（現在北海道情報大学教授）の奨めで筆者の作成した作図プログラムをSPSS北大版に組み込む作業を行っていたので、作図にはこれを用いた。しかし、計算機がIBM互換機時代になると共に、データ処理機能のより優れたやはり米国製のSASが導入されたのでこちらを用いるようになった。OAC付近の性質としてはアスファルト量の増加に伴う混合物の体積変化が筆者には興味深い。

3. 研究者データベース

配合に関するデータの蓄積量は多くなったがそれでも自身のデータのみでは解析に限界を感じるようになり、文献などもデータとして利用したいという願望が強くなった。研究論文や報告書は研究者が投入したア

イデアと費用と歳月の結晶であり、貴重な資源である。研究論文を配合研究のデータとして見ると、i) 研究内容の記述（文献データベースに相当）、ii) 材料の記述（配合）、iii) 試験データ、などの部分からなる。データの形態は論文ごとに異なるのであるが、それを統一的に扱うように入力データ形式の設計などを試みたが今もって挫折したままである。このような研究者データベースは北海道大学でもカード方式の時代からいろいろな分野で試みられてきているが、内容が単純でないものはなかなか実用化が難しいようである。ただ、筆者は文献的データについては用語辞書とシソーラスを基本に検索を行う構想で、道路用語辞典などを参考に作成した用語辞書についてのみは北海道大学の大

型計算機上で公開している。

このような活動の流れに沿うことであるが、筆者の不勉強を計算機の支援で補おうという意図もあって、小さな組織の少ない労力で実用的な文献データベースを作成し過去の研究活動を把握する方法がないか、という目的の模索を卒業研究などのテーマとして行ってきた。それらは、i) AAPTの図表タイトルのデータ化（10巻分程度）ii) AAPT論文の引用文献の記号化と解析、iii) AAPTの章・節の見出し語のデータ化と解析、iv) HRIS ABSTRACTSの索引のデータ化とその傾向に関する解析（3年分）、などである。これらは学部学生程度の専門知識と判断力で入力できるものである。卒業研究はデータの収集ではなく解析が目的であるからデータとしては不十分になるのは止むを得ない。解析はキーワードの分類などを手法に行うのであるが、舗装工学の歴史に予備知識を持たない学生が研究の流れを菅原先生もどきにレビューするようになり、データベースの威力を示唆して興味深い。

4. 今後のアスファルト研究環境への課題

実験データでも作成したソフトウェアでも、年月と共に大きな蓄積となる。それを強力な資産として活用できるか、廃品の山にしてしまうかは組織の盛衰に影響することになる。研究論文と学協会との関係も同じである。筆者など大学の研究者はこういう技術に関してはどちらかという苦手である。データベースは強力な資産とするためのシステムであるが、構築の費用・労力とそれによる効果のバランスは悪い。したがって、これからは同じ分野の研究者が協力し労力を分担して共有財産を築くことが必要になってこよう。

齋 藤 總一郎

さいとう そういちろう
 国土館大学工学部土木工学科教授。昭和24年早稲田大学理工学部土木工学科卒。
 勤務先：〒154 世田谷区世田谷4-28-1。
 ☎03-422-5341



弾性沈下論によるアスファルト舗装構造の設計考察

1. 過去の研究

昭和24年4月、舗装会社に入社し、新入社員研修ではじめて地耐力試験の現場実習を受けた。当時の載荷板直径は20cmであり、載荷重は約2tであった。そのとき教えられたことは、アスファルト舗装路盤は3mm以下の沈下量でなければならないとのことであった。よって $K_{20}=20\text{kgf/cm}^2/\text{cm}$ 以上の支持力が必要である。その後、多くの施工現場の地耐力試験を行ない、砂利層厚さと K_{20} 値の関係や、舗装の亀裂発生箇所の K_{20} を測定するなどの調査研究を行なった。

昭和30年代になり、載荷板の直径が30cmとなった。しかしコンクリート舗装設計には、 K_{75} 値が用いられることから、 K_{30} 値を K_{75} 値また K_{20} 値を K_{30} 値に換算する検討をし、換算値を用いた。

その後CBR法が導入されて、舗装の設計法はCBR法となった。よってCBR法と K_{30} の関係を求める実験を行なった。CBR法が一般化し、現場密度が重視されるようになり、昭和40年以降は、載荷板試験が行なわれないようになった。

時代の変遷により、交通量は増大し、アスファルト舗装面に「わだち掘れ」や「流動現象」が多くなった。

そこで、アスファルト混合物の耐流動に関する実験研究を行なった。即ち高温(60℃)における安定性に関するマーシャル試験、直接せん断試験、ホイットラッキング試験による検討である¹⁾。

過去の研究は、アスファルト舗装の問題点などが発生した都度、その解明の実験研究であり、それは断片的で系統的なものではなかった。

2. 現在の研究

2-1 路面沈下による路面の曲率半径

昭和50年代に、文部省よりの研究助成金が受けられたので、アスコン各種の低温(0℃)の繰返し曲げ試験機を導入することが出来た。数年に亘り「タワミ性」について実験研究に専心した。その結果0℃における繰返し載荷回数(N)と破壊亀裂を生ずる限界

の曲率半径(ρ)との関係実験式を次の通り得た²⁾。

$$\ln N = A \ln \rho + B \cdots \cdots (1)$$

(A, Bは混合物の種類による定数)

次に路面の弾性沈下により生ずる沈下曲面(図-1)の主要点の曲率半径を、弾性沈下理論式より計算して求めた。

路面の沈下による最小曲率半径(ρ_x)は、複輪タイヤの中心部の横断方向に生ずることが判明した。路体の仮定弾性係数(E)、ポアソン比(V)、接地圧(q)と、接地面の形状により定まる係数 $f(A)$ との関係は、次式の通りである³⁾。

$$\rho_x^{-1} = 1.27(1 - V^2)E_i^{-1} \cdot q \cdot f(A) \cdots \cdots (2)$$

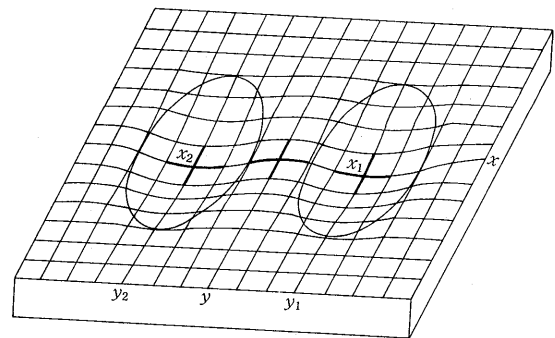


図-1 複輪荷重による沈下曲面

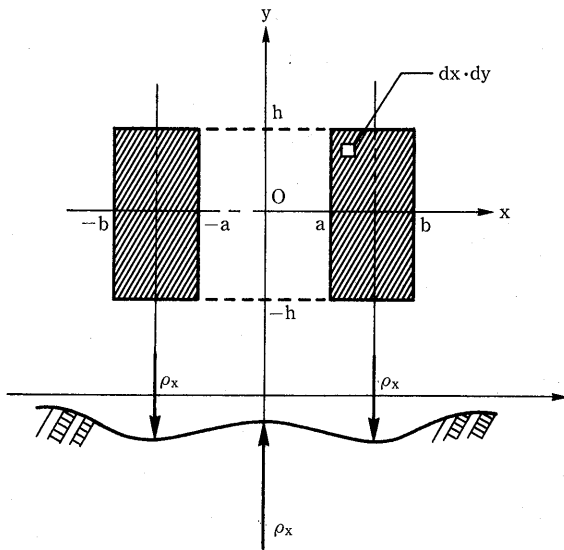
$f(A)$ は図-2に示す複輪タイヤの接地面を2ヶの矩形面とし、中心軸よりそれぞれ、 a , b , h , の数値で表現した。

$$f(A) = \left[\frac{h}{a \cdot \sqrt{a^2 + h^2}} - \frac{h}{b \cdot \sqrt{b^2 + h^2}} \right] \cdots \cdots (3)$$

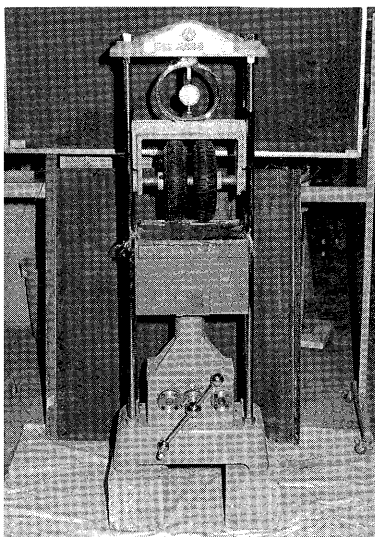
しかし(2)式は理論式であるので、現在(2)式の適正について、小型模型実験装置を考えて、実験を実施中である。実験装置は写-1に示す。

2-2 K値と弾性係数

路体の弾性係数(E)、ポアソン比(V)の弾性半無限体に、載荷板半径(a)、単位荷重(q)が作用した場合の沈下(W)は次の式で示されている⁴⁾。



図—2 複輪タイヤの矩形接地面



写真—1 複輪タイヤによる沈下曲面
成型小型模型実験装置

$$W = \pi/4 \cdot (1 - V^2) \cdot E^{-1} \cdot 2a \cdot q \quad \dots\dots\dots (4)$$

(4)式よりK値は次の通りとなる。

$$K = q/W = \{\pi/4 \cdot (1 - V^2) \cdot 2a\}^{-1} \cdot E \quad \dots\dots\dots (5)$$

$V = 0.4$, $a = 15\text{cm}$ と仮定すると

$$E_{0.4} \doteq 20K_{30} \quad \dots\dots\dots (6)$$

となる。過去において地耐力試験結果の考察は、路体の支持力的概念のみであったが、現在では、路体の平均弾性係数を求めるものとしている。そして小型の載荷板試験のK値より、路盤、路床土の弾性係数を求める実験を実施している。

(5)式より、載荷板直径 ($D = 2a$) と -1 と E の関

係は、次式となる。

$$K_D \cdot D = \{\pi/4 \cdot (1 - V^2)\}^{-1} \cdot E = \text{一定} \quad \dots\dots\dots (7)$$

よって任意の載荷板による K_D 値より、 K_{30} 値を推定している。しかし路体は完全弾性体ではないから、実験的に換算係数が示されており、例えば $K_{75} = K_{30}/2.2$ とされている⁵⁾。(7)式からは $K_{75} = K_{30}/2.5$ となり、少し相違する。

2-3 路盤材と路床土の弾性係数

実験の結果より、粒調路盤材は、1000~2000kgf/cm²、路床土の砂質土は、1000~500kgf/cm²、粘性土は500kgf/cm²以下の弾性係数値を得たが、粒度、締固め密度、含水比等の条件によって異なるので実験結果を整理する段階に至っていない。

2-4 CBR 値と弾性係数

載荷板試験は、CBR 試験より容易でないで、 E 値と CBR 値との関係の実験も実施している。昭和30年頃故竹下春見先生が、土木研究所報告で、関係図表を発表されており⁶⁾、また $E = 50\text{CBR} \sim E = 1000\text{CBR}$ (動弾性係数) などに関する多くの参考文献があるので、それ等と比較検討している。

2-5 多層構造路面上の K_{30} 値

2層系弾性理論を用いて、多層系の舗装構造路面上の K_{30} 値を推定する方法として、昭和30年代は竹下春見先生が、星埜先生の研究である2層系地盤の沈下式(8)式を利用して、多層系の問題を解明しており、昭和40年代は、港湾技術研究所の須田・佐藤両氏による「多層系のK値推定法」⁷⁾など、多くの研究者によって多層構造の解析が行なわれている。著者も星埜先生の次式⁴⁾より、多層構造路面上の K_{30} 値を過去に推定したが⁸⁾、現在も利用している。

上層の弾性係数 E_1 、ポアソン比 V_1 、下層のそれ等を夫々、 E_2 、 V_2 、上層の厚さ h 、下層は下方無限の深さを有する場合、等分布載荷面 (直径 $= 2a$) の中心部の沈下 (W_1) は次の式である。

$$W_1 = F \cdot (1 - V_1^2) \cdot E_1^{-1} \cdot 2a \cdot q \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$F = \frac{(1 - V_2^2)E_1}{(1 - V_1^2)E_2} \cdot \left\{ 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + (h/a)^2}} \right\} + \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{1 - V_2^2}{1 - V_1^2} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot \left(\frac{E_2}{E_1} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot (h/a)^2}} \quad \dots\dots\dots (9)$$

載荷板の沈下 (W) と等分布荷重による沈下 (W_1) の関係は、 $W = \pi/4 \cdot W_1$ であるから、 W_1 を載荷板沈下 (W) に換算することが出来る。以上のことから、舗装を構成する各材料の弾性係数が定まれば舗装面お

よび各層面上の K_{30} を推定することが可能となると考えた。

2-7 舗装構造の弾性沈下論より検討

(1)式より、 N を 0°C の大型車交通量(台/日、一方)と仮定して ρ を計算し、その値を(2)式に代入する。(2)式の $(1-V^2)E^{-1}$ を(5)より K_{30} に変換すれば、 a 、 b 、 h で表示されるタイヤの接地寸法を決定することにより、 $f(A)$ が(3)式より計算され、さらに(2)式より舗装面上の沈下亀裂を生じないための最小 K_{30} が算定出来る。次にアスファルト舗装要綱に示されている交通区分に N 台/日を適合させ、設計CBRを仮定して舗装構造を設計する。各層の弾性係数を設定し、更に設計CBR値を路床土の弾性係数に換算すれば、多層系構造の手法により K_{30} を計算することが出来る。この K_{30} とあらかじめ(2)式より算定した K_{30} と比較して、舗装構造を検討している。

昭和35年以降、AASHOの道路試験の報告による、アスファルト舗装要綱の経験的設計法である現行CBR- T_A 法と弾性沈下理論などから考える設計手法と比較検討することを学生教育のゼミの課題として、興味をもって研究している。

3. 今後の研究

円形分布載荷の路体内の応力は、既に計算されているが、複輪タイヤによって生ずる路体内の圧縮や剪断応力は解明されていないので、研究テーマとしたい。

また繰返し荷重による、路盤材や路床土の圧密沈下も研究したいなど多くの研究項目が考えられるが、著者は、すでに老化現象を自覚する年代となり、停年で研究室を去る日も遠くではない。よって今後の研究課題は“夢”と消えるような気がしている。

(平成元年5月記)

— 参考文献 —

- 1) 齋藤總一郎：「アスファルト混合物舗装の高温度における安定性に関する実験的研究」国土館大学工学部紀要第16号，1983，p112
- 2) 藤總一郎：「アスファルト混合物の低温度(0°C)における繰返し曲げ回数と破壊時の曲率半径について」土木学会，昭和56年度発表講演集
- 3) 齋藤總一郎：「複輪荷重による弾性路面上の沈下曲率半径に関する研究」土木学会，昭和62年度発表講演集
- 4) 星埜和：「基礎の支持力論」コロナ社，昭和27年
- 5) 松野三朗
南雲貞夫 } : 「アスファルト舗装に関する試験」
三浦裕二 } 建設図書，昭和48年版
山之口浩 }
- 6) 竹下春見：「道路構造の安定性について」建設省土木研究所報告，昭和30年
- 7) 須田熙・佐藤勝久：「多層系路盤上における K 値の推定方法に関する研究」港湾技術研究所報告第11巻，1972
- 8) 齋藤總一郎「 K_{30} 値に関する二三の演習」日本舗道研究所報，昭和32年

☆

☆

☆

☆

☆

☆

アスファルト舗装とRCCP

菅 原 照 雄

すがわら てるお
北海道大学工学部土木工学科教授・工博。日本学術会議会員。昭和25年北海道大学土木工学科卒。
勤務先：〒060 北海道札幌市北区北13条西8丁目。
☎011-716-2111内線6204



1. まえがき

ローラ転圧コンクリート舗装〈Roller Compacted Concrete Pavement. RCCP〉への関心が高まっている。舗装技術にとっては久々の新工法であり、多くの機関、多くの研究者が本格的な取り組みを見せている。

著者もアスファルト舗装の研究を進める一方、ここ数年来 RCCP 研究も手掛けてきた。セメントとアスファルトは如何にも異質な材料のように見えるが、RCCP については著者自身は両方の材料を手掛けることに別に違和感を持っていない。舗装という同じ舞台での研究だから、両方を手掛けることのメリットも少なくはない。著者自身、昭和20年代の後半に転圧コンクリートの研究に取り組んだ時代があり、TRB(当時の HRB)に論文を発表したりしていたので、むしろ当時不可能だったことでも、今なら可能と思われることが少なくないので、もう一度と言う気持ちも強かった。

手掛けてみると RCCP はコンクリート舗装技術よりはむしろアスファルト舗装技術の方に近いのではないかと思うようになってきた。

私の仕事は頭の中の棚の仕切りを組替えることから始まった。つまりコンクリート舗装とかアスファルト舗装というディレクトリーで仕分けしていたものを、例えば配合設計、混合、転圧、物性などというディレクトリーに組替えて必要に応じて引き出して、組合せ、新しいシステムにまとめようという訳である。

2. いまなぜ RCCP か

〈なぜいま RCCP か〉は直ちにアスファルト舗装の問題点に直結する。

高速道路や重交通用舗装、中程度の交通量の舗装、簡易な舗装など、それぞれがいろいろな課題を抱え解決を迫られている。また古くなった舗装や、気象のきびしい地域ではこれらに加えて横断亀裂の多発という問題を抱えている。いろいろな課題を整理してみると、それは共通的に経済性問題、メンテナンス問題である。アメリカで〈ゼロメンテナンス〉という言葉が

産まれたのは15年前である。いま日本でもゼロメンテナンスが期待される道路は激増している。

日本の舗装は世界に全く例を見ない過酷な使われ方をしている。交通量、荷重はもちろん、タイヤの空気圧も世界に例を見ない上昇ぶりである。幅員の小さな道路が多いこともこれらに拍車をかける。舗装技術者の解決の努力の成果を上回る速度で、交通が激化し舗装に大きな被害を与えている。〈国民へのサービス施設〉としての道路の威信が問われることにもなりかねない事態である。このような状況のもとで、〈検討に値すると見られる〉RCCP が登場した。RCCP が全ての問題解決の救世主になるとは考えられないが、これらの課題解決に向けて有力な候補にあげられた。

RCCP へのヨーロッパの国々の本格的な取り組みは第一次オイルショックに始まった。省エネの流れのもとで軽交通用アスファルト舗装の代替工法の一つとして取り上げられたのがこの RCCP であった。もちろんイギリスでは伝統的な方法としてリーコンクリートが大規模に利用されていた。一方、カナダ、アメリカは大型化するオフロード重車両への安価な舗装の提供が課題だった。さしあたり選ばれたのが木材土場であり、駐車場、空港の駐機場などでであった。

何れの国もホワイトベース工法で古い歴史を持っていたので、特に新工法として肩を張った捉え方をしているわけではない。

いま時代は変わって、RCCP の省エネのための代替工法としての意義はいささか色あせたものになってしまった。Corps of Engineers の肩入れもあって、アメリカでのオフロード車を対象とした RCCP 工法は未だ健在だが、なぜかアメリカは道路への利用については冷淡である。

それらと対称的に最近になってドイツ、オーストラリア、日本などが後発組として熱心に取り組み始めたというのが現状である。日本やドイツなどの後発組の狙いが先発組のそれとはいささか異なっており、用途の拡大、幅広い技術の展開が目論まれている。

わが国の技術者がいま RCCP に意欲を示すのは、単にもの珍しいものに飛びつくというだけではない。多くの舗装技術者の心の中に従来の舗装に飽きたらないものを感じ、切実な要求を持っているためと考えた方が良いだろう。

3. アスファルト舗装の魅力, RCCP の魅力

アスファルト舗装の良いところは何か。一言で言えば、〈適度な硬さを持つ一方、適度な応力緩和性状を持つ〉舗装だからである。従って適度なたわみ性を持ち、幅広い適応性を持つ。残念ながら一般論としてこの硬さと応力緩和性状の両立は難しい。ある限界以上緩和すれば過度の流動が生じ、ある限界以下しか緩和しなければ、ひび割れが発生する。材料の老化は当然緩和性能を低下させる。

もちろん必要とされる緩和性状は、交通条件、気象条件、材料の性質などによって変化する。〈適度な緩和性状、必要な緩和性状〉の幅からはずれてしまったのが重交通用道路のアスファルト舗装であり、同時に寒冷地に多発している横断亀裂である。

重交通道路に見られる多くの現象は、どれをとって見ても、なまじアスファルトの改良では切り抜けれないことを教えている。このような状況のもとで、あまり条件のきびしくない場合は従来のアスファルト舗装の延長線上でものを考えることが出来るにしろ、条件のきびしい場合には、何か抜本的な対策が必要と皆が考えても無理はない。少し過激な表現をすれば、現在盛んに試みられている程度のアスファルトの改質といった方法の延長線上で、解決を期待するのはきわめて困難と言わざるを得ないだろう。

RCCP の魅力はコンクリート舗装のそれと共通する部分が多い。加えてコンクリート舗装で弱点に挙げられている問題のいくつかをクリア出来る可能性が期待される。建設費が小さい、施工速度が早い、道路の閉鎖期間が短縮されるなどを挙げることが出来るだろう。

弾性係数が大きく感温性がないのも、いま日本の道路が直面している課題から見ればプラスに作用する。

ヨーロッパの国は耐候性の大きいことを理由に住宅地の舗装としても利用している。必ずしも重交通だけが対象ではない。

そうであっても決していいところばかりではない。平坦性、収縮亀裂、路盤変形への追従性の欠如、現在の方法ではタイバー、スリップバーがい入れられないなどのことも、やはり大きな問題として残る。凍上対策

の必要な舗装での困難も予想される。これらの魅力を如何に引き出していくかが、これからの課題である。

4. アスファルト舗装の改良

RCCP の出現がアスファルト舗装の足元を脅かすなどとおおげさな表現をするつもりもない。

しかし条件のきびしいアスファルト舗装についてはかなりドラスチックな改良が必要と思われる。

その一つの方法はアスファルトに基本的に全く別の性状を持たせてしまう方法である。もう一つは表層はともかく、上層路盤にかなり強度の高いセメント系材料の助けを借りる方法である。かりにこれを高強度セメント安定処理とでも呼んでおこう。

これらの舗装はコストが大きいものになることは避けられないかも知れない。アメリカがいまシャープ計画でアスファルトの改良を目論んでいるが、その方向はまだはっきりとは見えていない。市販のアスファルトを集め、その性質を見極めると言う段階にとどまっている。しかしその研究グループの意見を総合してみると、期待される性状は非常に高い水準の所にあり、日本の改質アスファルトに比べると数段高い所を狙っているように見受けられる。シャープの隠れた目的の一つに、〈現在の仕組みからの脱却〉がある。長期的なコストパフォーマンスを考え、建設コストの枠を外そうとする考えが根底にある。もしこの様な発想で進めるとすれば、高価な材料も利用が可能になり、かなり思い切ったアスファルトの改良が実現することになる。いまシャープ計画が投入している研究費は、改良研究と言うよりもっと基礎的な、化学性状、物理性状の把握に向けられている。それだけに出て来るものは不気味でもある。

画期的なバインダーが開発出来たとすれば、その使用の方法の技術開発が必要である。材料が変わればそれに対応した構造の設計法なり、施工法を考えることになる。従来のアスファルト舗装の常識にはこだわらない方がいい。いま流に言えば戦略的な工法の開発が必要である。

5. アスファルト舗装と RCCP の組合せ

RCCP 工法には大きく分類して、

- a. 1層もしくは2層の RCCP で舗装を構成する方法
- b. RCCP の上にもう一層のアスファルト系の舗装でオーバーレイする方法

c. RCCP を若干貧配合で経済的なものにして路盤として利用する方法

などが考えられる。

a はヤードなどでは広範に利用されているものの、重交通道路での利用例はほとんどない。

b の事例も比較的少ない。しかしわが国のように重交通道路への適用を考える場合には、オーバーレイが不可欠とする意見も多く、すでに大規模な試験舗装も実施されている。ここでは荷重に抵抗する上で、アスファルト層が大きく寄与する場合と余り大きく寄与しない場合の2つの組合せが考えられる。表層に力学効果が期待出来るだけの厚いアスファルト層をおいたとき、流動が大きくなるように思われ勝ちだが、RCCP のオーバーレイの場合、かなり硬質のアスファルトが利用出来ると考えられ、厚いオーバーレイでも流動はさして大きくはならないと予想される。

力学的な効果を考えないオーバーレイもある。表面性状の改善だけを目指すものであり、水密性、平坦性、表面の摩耗抵抗性を補う意味でのオーバーレイである。

表面性状の改善だけを期待する場合には、5センチ程度のオーバーレイのほか、2センチ程度の表面処理、あるいはスラリーシーラなども候補にあがる。

これらの表層用材料の開発はアスファルト舗装の側の責任だろう。筆者は北海道で RCCP にスラリーシーラ、碎石マスチックなどの舗設実験を行い現在経過を観察中である。

c は従来のセメント安定処理の延長線上にある。イギリスのリーンコンクリートはこの分類に入るが、トラブルも結構多い。筆者らもこの分類に入るものとして、ここ数年フライアッシュ量の大きな転圧コンクリートの研究を進めている。これは RCCP に対して RCCB

とも呼べる工法である。

6. 第3の舗装への期待

さきに述べたドラスチックに改質された新型のアスファルト舗装、RCCP は何れも在来のコンクリート舗装、アスファルト舗装に続く〈第3の舗装〉の候補である。

筆者は新しい舗装では、今までの舗装とは全く違ったコンセプトにもとづいた層の構成が考えられてもいいと思っている。力学解析手法、構造の評価手法も進んでいるので、層の構成の最適化に関する研究の進展も期待したい。いま求められているのはいわゆるタガをはずした、戦略的研究といってもよいのだろう。

おわりに

世界各国からいろいろな報告が届いてくる。面白いのはどの様な技術が開発されたかではなく、展開の〈トレンド〉がどうなっているかである。ヨーロッパでは〈舗装の設計寿命40年〉も大きな話題の一つである。最近面白かったのは RCCP についてのドイツの研究である。非常によく練られた試験計画が組まれており、よく読んで見ると彼らが今何で苦しみ、何を目指しているのかがだんだん見えてくる。外国の論文にもよく目を通しておくことも欠かせない。

限られた紙面で十分に意を尽くすことは出来ないが、RCCP の出現がアスファルト舗装にとってよい意味での刺激になり、またそれを契機として、発想を変えた新しい〈アスファルト系舗装〉が生まれることを期待し、また RCCP とどの様にコンビを組むかについての技術開発も、アスファルト舗装技術の向上につながるものではないか期待している。

☆

☆

☆

☆

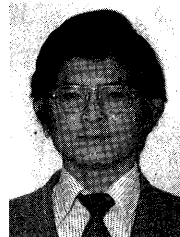
☆

☆

地方の一私大の教育・研究

武 市 靖

たけいち きよし
北海学園大学工学部土木工
学科教授。昭和48年北海道
大学大学院工学部修士課程
修了。
勤務先：〒064 札幌市中央
区南26条11丁目。
☎011-841-1161



1. 大学について

札幌には、“札幌”と名のつく大学が2校ある。これらの大学の方が道外ではむしろ知られているかもしれない。ここで、あえてピーアールさせて頂くと、私が在職している北海学園大学も札幌にあり、道内の私大では最も歴史が古い。札幌がこれほどの大都市になるのだったら、札幌〇〇大学とすべきだったと言う人もいるくらいである。

大学は、明治18年の北海英語学校(のちの北海中学)の創設に始まり100年の歴史がありますが、私が所属する工学部は昨年、開設20周年を祝ったばかりの若い学部である。

2. 研究室の現状

研究室といっても講座制をとっていないので、道路工学を担当しているのは私一人である。実験室は学生実験を優先した器具、装置が主体となっている。研究面からの実験装置については、低温室、凍結融解試験機、凍上試験機、熱伝導率計の他、路面雪水を含む道路気象観測用の計測器等、低温領域における道路材料の熱的性状の実験・計測に使用するものが主である。

道路工学に関する講義、学生実験及び卒論指導等は、ほぼ一手に引き受けなければなりません。地方の私大であれば当然かもしれません。しかし、自分の研究テーマを卒論の一部に組み込んでいるので、卒論生がかわる度に、いわば新規まき直しで基本的な事項の指導にかなりの時間をさかなければならない。毎年、卒論時期がくる度になんとか工夫しようと考えているが、なかなか名案が浮かばない。

3. 研究のテーマ

本学が雪寒地に位置していることもあって、開講科目として一般的な専門科目の他に、雪寒地道路工学、雪氷学、冬期施工法及び寒地建築等、雪と寒さに係わる寒地工学を本学の一つの目玉としている。

私自身の研究もこれにそったかたちで、道路ヤトン

ネルの凍上対策^{1),2)}、道路材料の熱的性状^{3),4)}、現場計測データや AMeDAS データに基づく凍結深さの理論推定⁵⁾及び路面の凍結検知⁶⁾等のテーマについて研究を進めている。これらの研究テーマの大部分は、実験室をいわば野外に設けることができるので、研究室の実状にも合致している。しかし、実験条件はどうしても自然まかせで、単に現象を追う形になったり、観測小屋で半年間収録したデータがトラブルでながれてしまった等の苦い経験もした。

上記したテーマのうち、最近、中間結果をまとめた路面の凍結検知器の実用化研究について、図と写真で簡単に紹介すると、次のとおりである。

この研究は、路面の雪氷状態(圧雪、粒雪、水べた雪、氷板、氷膜等)を路面に埋設した凍結検知器の静電容量や路面温度から判別して、道路情報や雪氷管理に役立てようとするもので、検知器自体はコンデンサーの原理を応用している。

写真-1は埋設した凍結検知器と路面の雪氷状態を、図-1は雪氷状態と静電容量との経時観測結果の一部

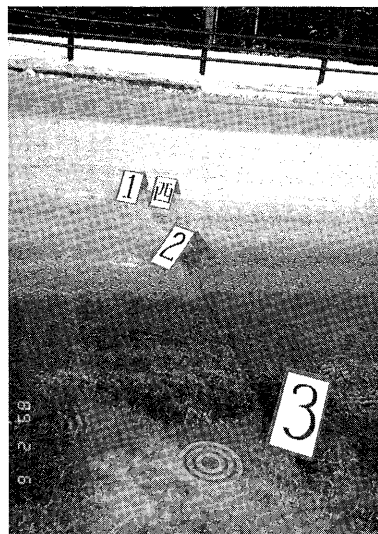


写真-1 埋設した凍結検知器と路面の雪氷状態

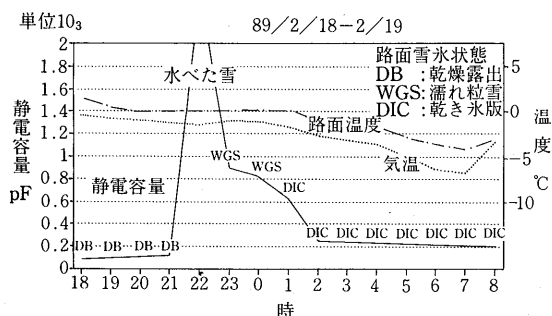


図-1 路面雪氷状態に対する静電容量の変化

を示したものである。今回の観測で、両者の関係をかなり明らかにすることができたが、今後、データの蓄積により明確に定量化できれば、路面凍結検知の有効な方法になりうるだろうと考えられる。

アスファルトの観点から、この研究で問題になっている点は、路面と検知器面で発生する雪氷状態の違いが生じないようにするため、検知器の極板を除いた表層部にアスモルないしアスコンを用いた場合、どのような性状のものが適当であるかについてである。特に、誘電体としての電気的性質の他、雪氷の付着の点から表面の肌理(きめ)、耐久性の点から剥離・摩耗等が問題となる。また、写真-2に示すように、検知器を埋設した周辺のアスコン層は十分な加熱や締固めができないため、スパイクタイヤ等により破損を受けやすいので、検知器埋設時の修復方法をどのようにしたいいか等の施工上の問題もある。



写真-2 検知器周辺の表層部の破損

4. 今後の教育・研究の方向

地方の大学の学生は、一般に就職に際して地元志向が強いといわれる。本学でもその傾向が見られ、多くの卒業生は地元の中堅企業の土木技術者や公務員として就職している。従って、就職後すぐに現場での実務

を担当する機会が多いので、教育面でもその点を無視できない。

例えば、道路材料実験では、写真-3と4に示したアスファルトの物性試験や平板載荷試験、そして現場密度試験、CBR試験及びマーシャル安定度試験等、実際に材料や試験装置に触れると同時に、現場に即応した内容を盛り込んでいる。これらの学生実験は研究とは直接結び付かないが、各地で活躍している卒業生から現場での問題の相談を受けたり、逆に現場観測の協力を依頼する際のパイプ役になっている。

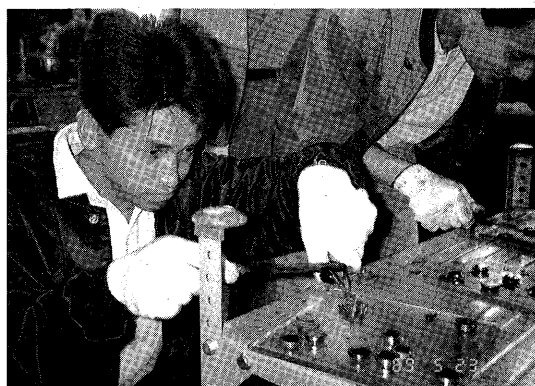


写真-3 軟化点試験の供試体作成

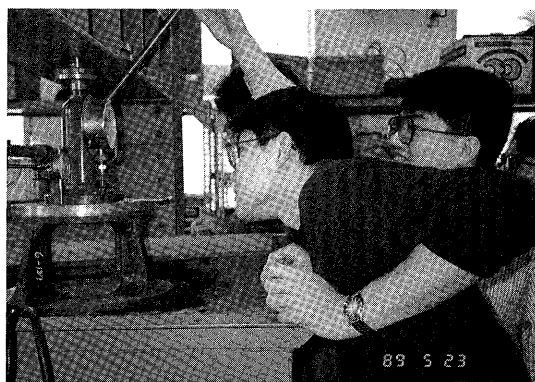


写真-4 平板載荷試験

研究面において、道路の凍上や凍結の問題はローカルな要素を非常に多く含んでいる。各地のデータをより多く解析に取り込もうとすると、データのとりまとめに終始してしまう。個々の現象を明確にしようとなれば、道路工学とかけ離れ、しかもその研究からぬけられなくなってしまうようである。また、日本の積雪寒冷地そのものが高緯度にある北方圏諸国と比較すると、世界的にはローカルな地域に位置づけられる。このようなことは他の研究分野でも共通することではあ

るが、ローカルの問題を引続き研究の対象とする場合でも、周りを見失わないようにしたい。大学の教育においても同様な側面をもっていると思う。

本誌の主旨から多少わき道にそれてしまいましたが、地方の一私大の教育・研究について、その一部を紹介させていただきました。この様な機会を提供して頂いた編集担当者に感謝致します。

—— 参考文献 ——

- 1) K. Takeichi, H. Kubo, A. Kasahara: A Pavement Design for Low-Volume Roads That Considers the Antifrost Effects of Thickly Packed Snow, TRR1106, 1987.8, p237.
- 2) K. Takeichi, H. Kubo: Study on Preventing

Measure Against Frost Action of Existing Road Tunnels with Insulation Method, ISSMFE, 1989. 3, p721.

- 3) 武市 靖: 積雪寒冷地における舗装体温度の変動に関する研究, 土木学会年次学術講演会概要集(第42回), 1987. 9, p109.
- 4) 武市 靖: 路面凍結と舗装体の熱伝導と熱収支解析に関する研究, 北海学園大学開発論集(第41号), 1982, 2, p113.
- 5) 武市 靖, 久保 宏: 凍結深さの推定に関する研究, 土質工学研究発表会講演集(第23回), 1988, 6, p400.
- 6) 武市 靖, 前野紀一: 道路雪氷の新分類による雪氷状態の経時観測結果について: 日本雪氷学会全国大会講演予稿集, 1988, 10, p99.

フルデプス・アスファルト舗装設計施工指針(案)

B5版 42ページ 実費頒価 800円(送料は実費)・申込先 (社)日本アスファルト協会
〒105 東京都港区虎ノ門2-6-7

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

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

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

目次

- | | |
|-----------------------|-----------------|
| 1. 総説 | 3-4 アスファルト混合物 |
| 1-1 フルデプス・アスファルト舗装の定義 | 4. 路床および路盤 |
| 1-2 適用範囲 | 4-1 概説 |
| 2. 構造の設計 | 4-2 路床 |
| 2-1 舗装の構造 | 4-3 路盤 |
| 2-2 設計の方法 | 5. 表層および基層 |
| 2-3 排水 | 6. 品質管理および検査 |
| 3. 材料 | 6-1 概説 |
| 3-1 概説 | 6-2 出来形および品質の管理 |
| 3-2 瀝青材料 | 6-3 検査 |
| 3-3 骨材 | 7. 記録 |

建 部 英 博

たてへ ひでひろ
愛知工業大学土木工学科教授・工博。昭和41年中央大学大学院修士課程土木工学専攻修了。
勤務先：〒470-03 豊田市八草町八千草1247。
☎0565-48-8121



アスファルトマスチック を用いた 連続止水壁工について

本学土木工学科では大根義男教授を中心としてフィルダムに関する研究テーマに取り組んでいる先生が多い。本論ではこの研究グループと三重県、愛知県等と協力しフィルダム建設に当たり、アスファルトマスチックを用いた連続止水壁工法を採用し成功をおさめてきた。本論でその1部を紹介する。

1. はじめに

アースダムやロックフィルダムは透水性の基礎地盤上に建設されることもあり、この場合浸透水を抑制するために連続止水壁が設けられる事が多い。従来連続止水壁にはセメントコンクリートが多く用いられていたがこの工法に対し問題点が指摘されている。それは止水壁周辺の不等沈下や応力集中、あるいは地震時に振動性状が異なることによって生ずる止水壁周辺の土の緩みや亀裂の発生等があげられる。これ等の問題点は止水壁の剛性を堤体や基礎地盤の剛性に近づけることにより解決することが可能である。その材料として水密性であるアスファルト混合物の使用が注目されてきている。アスファルト混合物は温度変化に伴いその性質は大きく変るが、地中連続止水壁の場合は施工時には高温で流動性が得られ、地中埋設後は年間を通してほぼ一定の温度に保たれているため配合いかんにより所定の剛性を得る事が可能である。以下3つのダムで採用されたアスファルトマスチックによる連続止水壁の設計と施工に関しその概略を述べる。

2. 止水壁の設計条件

2-1 止水壁の剛性

堤体又は基礎地盤中に剛性が大きく異なる構造物が設置されると特に地震時にはその振動挙動が複雑になる事が予想される。剛性の違いによる影響を調べるため堤体部分の剛性を一定としコア部分の剛性 G_c と止水壁部の剛性 G_w の比を変化させた模型振動実験を行った¹⁾。実験では G_w/G_c を10から100まで変化させ振動数も変化させその振動挙動を調べた。その結果 G_w/G_c が

40以上になると止水壁付近でコアの側方変形に急激な違いが生じたり、堤体とコア部の接合部においても急激な変位差等が身受けられた。また G_w/G_c が25以下の場合には前記の様な急激な変化は見られず、堤体、コア、止水壁が一樣な動きを示す事が確認された。この実験は相似則を完全には満たしていないので即、実ダムに適用出来るとは言い難いが、別に行った有限要素法による解析結果からも同様な振動性状が得られていることを考え、止水壁としてのアスファルトマスチックの剛性は $G_w/G_c \leq 25$ を採用し、以後の配合条件とした。

2-2 アスファルトマスチックの配合

連続止水壁としてアスファルトマスチックを採用する際に要求されることは材料の剛性のほかに基礎地盤の浸透水を抑制するための水密性、打設された止水壁中のアスファルトが水圧等によって溶出しないうこと、また施工はトレミー管により打設されるが、その際十分なウワーカビリティを確保する事等である。アスファルトマスチックの剛性は一定の配合の下では主として温度と拘束圧に支配される。このため剛性の決定に当っては地下水温度の最低値を12℃と想定し、それぞれのダムに適応した拘束圧（山村ダム50KN/m²）佐布理ダム、前山ダム（200KN/m²）で振動三軸試験により剛性を決定した。アスファルトの溶出に対する安定性については、地下水温度の最高値を16℃と想定し、最大水圧の2倍の圧力下で溶出試験を行い、溶出の認められない事を条件とした。又ウワーカビリティはアスファルトマスチックの流動性に支配されることからスロープフロー試験で100cm/min以上に設定し打設温度は110℃以上としパラフィンの混入量により流動性を調整した。

3. アスファルトマスチック止水壁の施工

3-1 山村ダムの施工²⁾

山村ダムは堤高37mの傾斜コア型アースダムでありその基礎地盤は砂層と粘土層との互層からなっており

ここにアスファルトマスチックによる連続止水壁が採用された。止水壁の深さは最大12m（平均8m）でその延長は247mである。基礎地盤の砂層内には地下水が殆ど存在しなかったため、ここではロングアーム型クラムシェルを用い巾50cmの素堀りでトレンチを掘削した。1スパンの長さは打設能力から7mとし1スパンおきに掘削し表-1に示す配合のアスファルトマスチック打設を行った。打設には水中コンクリート施工に通常使用されているブランジャー型トレミー管を用い打設温度は160℃とした。隣接するスパンは打設した止水壁が冷却硬化後に1スパンおきに掘削打設を順次行った。ジョイント部は種々の弱点となる事が予想されるためその部分の巾は150cmに増し安全度を増した。この工事は空中打設であったためか施工に対して大きな問題点も発生せず工事が完了し、現在もその機能を果している。

表-1 マスチック合材の配合（山村ダム）

砂	63.6%
フィラー	21.2%
ストレートアスファルト	15.2%
針入度	36
軟化点	71℃

3-2 佐布理ダムの施工³⁾

3-2-1 佐布理ダムの概要

佐布理ダムは堤高21m、堤頂長180mの中心コア型アースダムで1966年に完成している。このダムの基礎地盤は砂層と風化泥岩の互層で、特に左右岸地山部には透水性の高い砂層が水平に存在している。この砂層からの漏水を防止するため両岸アバットにアスファルト舗装が施されていたが、施工後何年か後に舗装面に亀裂が発生し、止水効果が失われ、堤体下流部や地山部に多量の漏水が発生した。この対策を検討した結果コア部上流側の粗粒砂層を遮断する形で左岸側に延長142m、右岸側に87m、深さ最大24m（平均17m）のアスファルトマスチックによる連続止水壁を施工する事となった。この計画によれば止水壁の一部は堤体上流側の斜面上から施工しなければならず、またこのダムは灌漑や上水の供給を維持する必要がある、施工中貯水地を空にする事は許されなかった。このためトレンチ掘削やアスファルトマスチックの打設は水中施工にせざるを得なかった。

3-2-2 トレンチ掘削工法

トレンチの掘削工法の決定にあたってはいくつかの

条件がつけられた。深さが24mまで掘削可能なこと。N値50～100の固結シルトと砂層が互層となっている地山の掘削が可能なこと。鉛直精度が良いこと。側壁崩壊の点からも大きな振動、衝撃が少なく、出来るだけ薄く掘削出来ること等が要求された。これ等を検討した結果、多軸ビットロータリー方式（掘削巾43cm）を採用する事とし、掘削中は側壁崩壊防止のためベントナイト溶液を満たしながらの水中掘削とした。

3-2-3 施工維持

施工維持はエレメントに打設されたアスファルトマスチックをいかに一体化させるかが重要であり、この処理方法によって止水壁の成否が決定される。維持方式としては種々の方法が考えられるが、アスファルトマスチックの場合はインターロッキング方式が一番適応していると考え、本工事では紙パイプインターロッキング方式を採用した。この工法は長さ8m内径40cmの紙製円型空洞型枠を接続し使用するもので、下端には碎石を投入し浮力によりパイプが浮き上がる事を防止した。紙製のパイプを利用した理由は先行スパンに打設された合材の硬化した後に行われる後行スパンの掘削を容易にするためであり、後行掘削時に同時に削り取るのに一番良好な結果が得られたからである。

3-2-4 アスファルトマスチックの水中打設

水中打設については当初からいくつかの問題点が考えられた。すなわち、高温のマスチック材料が水に接すると水の温度が急に上昇し沸騰し、合材中に進入し材料分離の可能性がある、また少ない水にマスチック材料の大きな熱量が一気に水に移ると瞬間的に気化し爆発を起こす事も想定された。しかし室内実験の結果マスチック合材は水と接する面だけに多少の沸騰が生じ材料分離は起きるが連続的に打設を行えば表面以外の材料分離は見られず水中打設が可能である事が判明した。又水蒸気爆発に対しては低い温度でウワーカビリティが得られる様にパラフィンを混合し（表-2）水の漏水防止策として、図-1に示す様トレミー管先端部にスライド式油圧開閉弁を取り付けた。これはマスチック材料を初めて注入する時や材料の供給停止時

表-2 マスチック合材の配合（佐布理ダム）

砂	61.0%
フィラー	20.0%
ストレートアスファルト	15.5%
パラフィン	3.5%
針入度	81
軟化点	49℃

に弁を閉じて水の浸入を防ぐ事を目的としている。打設中のトレミー管は常に打設済みのマスチック材料中に埋設させる（約1m）様にし、新しい合材が直接水に接しない様にして打設を行った。しかし施工中トレミー管内でしばしば小規模な水蒸気爆発が発生した。この原因はトレミー管の継手や油圧弁からのわずかな漏れによるものと思われた。当面トレミー管内に空気抜きパイプを設け作業の危険を防止した。

以上の様にアスファルトマスチックによる連続止水壁工事は危険を伴いながらも終了したが、止水壁の工事が進行するにつれて当初の目的であったアバット部からの漏水は徐々に減少し始め、工事終了時点では漏水を遮断する事に成功し現在もその機能を十分に果たしている。

3-3 前山ダムの施工

このダムは堤高18m、堤頂長280mの均一型アースダムである。このダムにも右岸側地山部に何層かの砂層が分布しており貯水後に漏水が予想され、アスファルトマスチックによる連続止水壁が採用された。この止水壁は深さ16~25m（平均20m）で延長140m区間である。掘削と合材の打設は佐布理ダムとほとんど同様に行なわれた。配合を表-3に示す。しかしここでは水蒸気爆発を完全に抑えるためトレミー管の改良を行った。すなわち図-2に示す様に管の先端にテーパーをつけこれに円錐形鋼球製の開閉弁を取り付け、油圧シリンダーで密着固定するようになった。またトレミー管の継手にはパッキンとして耐熱アスベストを用い、1回ごとに新品に取り替える事にした。この改良によりトレミー管への漏水は完全に防止出来、十分に安全な施工を行う

表-3 マスチック合材の配合（前山ダム）

砂	53.3%
フィラー	28.7%
ストレートアスファルト	14.5%
パラフィン	3.5%
針入度	89
軟化点	46.5℃

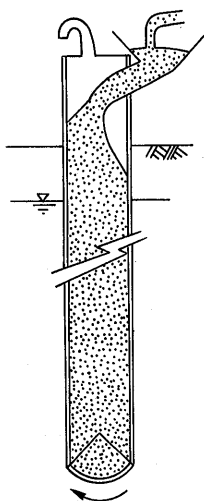


図-1

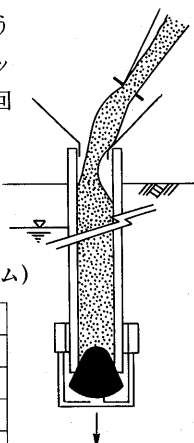


図-2

ことが出来た。本ダムでは打設中のトレンチ内の温度測定を行った。これによれば水とマスチック材の接触面から10cm以下の場所では打設温度に近い140℃が保たれていた。接触面から4~5cm下では120℃~135℃の範囲で温度変化の繰返しが見られマスチック材が表面付近で対流を起こしているものと思われる。一方水と接している面ではほぼ100℃程度であり水の温度も同様であるが、接触面から5cm程上部では水温は60~70℃、10cm上部では約20℃となりその上方では変化が見られなかった。

4. まとめ

以上3つのダムについてアスファルトマスチックによる連続止水壁の設計、施工に携わったが、基礎地盤に対し適度な剛性を持ち、現場の静水圧に対しアスファルトの溶出もなく、またトレミー管を通して打設出来るウワーカビリティを確保出来る配合が可能であった。また高温なアスファルトマスチックを水中打設で行っても、実際には打設されたマスチック材は水を上へ押し上げ、表面の一部を除いては水と接触せず結果的には空中施工と同じ条件で施工する事が出来た。その結果、材料の分離も見られず止水壁としての役割を十分に果たす事が可能となった。尚、現在は材料費をより節約する事を目的とした施工法の研究開発に取り組んでいる所である。

— 参考文献 —

- 1) 木村勝行・岡田昇・大根義男（1972）剛性の異なる止水壁を有するアースダムの振動実験 第7回土質工学研究発表会 pp647~650
- 2) 三重県企業庁 山村ダム工事誌（1975）
- 3) 愛知県企業庁 佐布理池技術誌（1982）
- 4) Ohne・Tatebe. Narita. Akutsu. Okayama（1988）Design and Construction of Asphalt Mixture Cut off Wall 15th International Congress on Large Dams, Vol1

米国留学の回想

西 勝

にし まさる
神戸大学工学部土地造成工
学研究施設教授・工博。昭和
41年カリフォルニア大学大
学院修了。
勤務先：〒657 神戸市灘区
六甲台町。
☎078-881-1212



平成元年5月8日、既処理の大型郵便物を開封して驚いている。協会誌「アスファルト」の送付だと早とちりをして、日台セミナー（舗装材料への鉄鋼スラグの適用に関するセミナー（5月22日～27日））からの帰国後にゆっくり拝読させていただこうと思っていたのが、同誌160号の特集へ稿をおこせとの指令だとは、しかも5月20日迄にと。前記セミナーへの準備、雑用繁多等を理由にお断りしたいのが本音ではあるが、そのような貫禄もなく、やむを得ずペンをとることにした。日時に余裕がなく結果に自信はないが、随筆風にまとめるという執筆内容をよりどころにして、米国留学の回想という形でお茶を濁させていただく。

昭和39年9月から41年7月迄カリフォルニア大学に留学した筆者の身分は半分研究助手で半分大学院生（修士課程）であった。当時は米国全盛期の頃で、国策か研究機関独自の方針かさだかではないが、後進国（わが国も含まれていた）からの留学生を対象にしてこのような制度の門戸が広く開放されていた。月給はハーフタイムで約350ドル（1ドル＝360円）であった。日本での助手としての給料が70ドルをきっていたので、申請書の記入に際して、わが国では70ドル以上の価値があるのだと括弧書きで意地を張ったのを思い出す。この金銭感覚は今でも残っており、中国、東南アジア等からの留学生を迎えるたびに、日本人学生にむかってコンパ等の分担金を軽減してやるように注意するのが常となっている。

研究助手として与えられた課題は「室内繰返し載荷試験に基づく舗装変位の予測」というものであった。これは博士論文の研究テーマを引き継いだもので、当時としては脚光を浴びた斬新な研究であった。その終局的な目標は、2.4m四方のテストピット内に布設した模型舗装（粘性路床、粒状路盤、アスファルト表層の三層構造）の中央で繰返し平板載荷試験を実施し、その復元変位を室内繰返し載荷試験の結果と層状弾性論（三層理論）によって追従できるかどうかを検証するということであった。

粘性路床土に関する実験としては、テストピット内での繰返し平板載荷試験に加えて、室内繰返し三軸試験、CBR試験、及び物理的試験を実施した。また、他の材料特性化試験に関する文献調査も行った。

ピット内での平板載荷試験では、コココーラに似た樹木の臭気と腹這いでダイヤルゲージを読むときのひんやりとした土の感触が強く印象に残っている。得られた復元変位と載荷応力の関係はすべて、直線とはならず、下に凸の曲線となることが認められた。換言すれば、弾性論によって逆算（ポアソン比は一定で0.5と仮定）される復元変形係数は載荷応力に依存することが確認された。変形係数が、ある載荷応力の値まで、載荷応力の増大とともに減少し、その後一定となる、この応力依存性は路床土の飽和度が低いほど顕著であった。また、室内繰返し三軸試験の結果によっても、この特性の妥当性が確認された。付言すれば、この特性は、線形弾性論（弾性定数一定）によって無限粘土層の変位解析を試みる場合には、有限層厚の仮定を行うほうがより良い結果を与えることを示唆するものである。何故なら、深さの増加とともに伝播応力は減少し、しかも変形係数は増大するからである。

学生実験の頃より、他の土質試験と比較して、CBR試験はかなり大雑把な試験法だと感じていたが、舗装厚あるいは他の土質定数との相関性を学ぶにいたり、その適用についてもその感を深くした。反面、相当に合理的でもあり、アメリカ人的な発想法だと関心をしていたものである。不満と言えば、昭和10年代の日本人にとって、45cmというランマーの落下高は高すぎるということぐらいであった。それがわが国では摩擦を軽減するために3本足のガイドを採用することになったとは、どうも本末転倒のような気がしてならない。

粒状路盤材を対象とする実験においては、テストピット内での繰返し平板載荷試験、室内繰返し三軸試験、及び物理的試験を実施した。また、粒状材に関する材料特性化の文献調査も行った。

繰返し平板載荷試験では、路盤層の締固め、路床変

位の測定、載荷板の設置等、試験前の準備に苦勞をした。得られた路盤面変位と載荷応力の関係は、路床変位の場合とは異なり、すべて上に凸の曲線となった。この傾向は、路床変位を差し引いた路盤変位のみを考慮することにより、さらに顕著となることが認められた。路盤厚及び載荷板径に左右されるこの曲線関係は、繰返し三軸試験の結果より確認された復元変形係数の応力依存性によって説明が可能となった。すなわち、載荷応力が増加する場合、それに伴う拘束圧の増加によって変形係数が増大し、その結果変位の増加率も小さくなると結論できた。また、他の文献に紹介されている粒状材に関する広範囲の変形係数も、この応力依存性によって説明可能となることがわかった。

アスファルト表層を打設した模型舗装に関しては、繰返し平板載荷試験を実施するとともに、層状理論に前記特性化試験の結果及びアスファルトビーム曲げ試験の結果を結合することにより、その変位解析を行った。また、路盤浸水の影響を調べるために、水浸路盤及び飽和供試体を対象とした同様の試験と解析も試みた。なお、ここで実施した文献調査は、主として、アスファルト表層材の材料特性化及び層状理論の展開に関するものであった。

アスファルト表層の打設に際しては、黒人労働者との会話が通じず同僚のアメリカ人に通訳を頼んだこと、既設表層との打継ぎ目に注入するアスファルト材を加熱するため乾燥炉の温度を急に上げて同僚のランチを没にしたこと等の思い出がある。一方、ビーム曲げ試験に関しては、スティフネスの温度依存性というような試験結果よりも、供試体の切り出しから成形にいたる試験準備のほうが得がたい経験として記憶に残っている。

二層構造の結果と比較すれば、表層の応力分散効果によって表層変位の値は小さくなるとともに、上に凸の変位・載荷応力関係もその傾向が大きく緩和されることが認められた。これらの変位解析にあたっては、まず、熱電対によって測定した舗装温度及びビーム曲げ試験より得られたスティフネス・温度関係に基づい

て、各試験時の表層スティフネスを設定した。このスティフネスのもとで路床及び路盤の変形係数を仮定し、層状理論解（ポアソン比=0.5）によって載荷条件に対応した各接面での垂直応力及び水平応力を算定する。次に、各算定応力に対応する路床・路盤の変形係数を前記実験結果より求め、これらの定数のもとでふたたび各接面での応力解を内挿する。この手順を変形係数が収束するまで繰返し、最後に、それらの収束値に基づいて各試験変位を試算するというものであった。算定結果は測定結果とそれなりの対応を示したことを記憶している。

なお、路盤層の変形係数は路盤上面及び下面での各変形係数の平均値として求めた。この仮定を通して、粒状路盤層の変形係数を一定とすることの矛盾、ある厚さ以上に使用する場合のその効果の低減等を理解することができた。

以上、研究の内容そのものはとりたてて記載するほどのものではなかったが、終始一貫した試験内容と諸種の文献調査を通して舗装工学の一端に接し得たことは望外の喜びであった。

紙面の都合で付記すれば、この留学に関連して身についた財産が二つある。一つは、舗装工学の礎は「粗に走るも密に過ぎるも可とせず」という格言にありそうだと理解できたことである。もちろん、粗・密の内容は時代とともに変動するであろうが。もう一つは、人間関係の業とか大事さを学べたことである。「日本語での会話を望んでいる」といって紹介されたのが山内豊聡先生であり、「一人でやられているのですか、大変ですね」と励まして下さったのが赤井浩一先生であった。大先生方とは知るよしもなく当時は気楽に應對させていただいたが、現在は、特別な意味を含めた師として仰がせていただいている。とくに、赤井先生には、後日、同様のテーマで学位論文の審査をしていただこうとは。

老いたりという文意の散在を気にしながらペンを置くことにする。

☆

☆

☆

☆

☆

☆

西 沢 辰 男

にしざわ たつお
石川工業高等専門学校土木
工学科講師・工博。昭和56年
金沢大学大学院修了。
勤務先：〒929-03石川県
北郡津幡町北中条。
☎0762-89-3111



コンクリート舗装の 構造解析について

舗装と始めて本格的にかかわり合いを持ったのは、大学を終えて松野三朗先生（現在、佐藤道路株式会社技術研究所所長）の講座に助手として採用されたときです。それまで舗装といっても、ただ漠然と道路の表面部分ぐらいの認識しかありませんでした。ですから、舗装の研究といわれても何をやってよいのやら皆目見当がつかず、ただ松野先生のお手伝いがてら舗装関係の論文を読んでいたわけです。

もともと構造系の出身なので、舗装の構造解析のようなことをやったらよいという松野先生の勧めで、FEMを使って舗装の弾性応力解析をやってみることにしました。舗装を構造物として見た場合、その構造は比較的単純です。路床の上に路盤、路盤の上に表層といった層構造であり、しかもその層厚は一定で、層の数もそれほど多くはありません。しかし、実際に解析を行うにあたっては、各層の材料の性質を明確にしなければならぬわけですが、これが難しい。路床や路盤の材料は粒状材料であり、必ずしも弾性的な挙動を示すとはいえないし、アスファルトにいたっては、そもそも弾性係数なるものがない（わけではないが、アスファルトの分野ではスティフネスというそうです）。構造は単純だが材料は複雑となれば、舗装の研究の中心は材料の研究になるのではないだろうか、という感じを持ったわけです。材料の研究では緻密な材料実験を積み重ねねばならず、それには熟練した実験技術と相当の忍耐とお金が必要です。

これに恐れをなして、とりあえず材料的にはアスファルトより扱いやすいコンクリートのほうに目を向けることにしました。コンクリート舗装においては、表層であるコンクリート版は弾性体と考えてよいし（もちろん、厳密に言えば非線形の弾塑性体ですから、そんなに単純ではないのですが）、路盤以下は単なるばねで置き換えることができ（というのも議論の余地があるでしょう）、解析モデルが考え易いといったことがあります。そこで、コンクリート舗装の構造解析を研究のテーマとすることにしました。幸い、コンクリート舗

装に関しては、東北大学の福田正先生がおられますので、福田先生の御指導を仰ぎながら現在までどうにか研究を続けさせていただいております。

このように、私の研究は舗装関係といっても主にコンクリート舗装であり、本誌の内容とはいささか趣を異にします。が、コンクリート舗装の研究の一端も理解していただければと思い、簡単に研究の内容について述べてみることにします。

コンクリート舗装は、比較的剛性の低い路盤の上に剛性の高いコンクリート版が施工された構造になっています。このような層構造の場合、その荷重の支持機構は、主にコンクリート版の曲げ作用に依存することになります。すなわち、コンクリート舗装に交通荷重が作用すると、コンクリート版はいわゆる平板構造の曲げ作用によって荷重を支持し、これを路盤に分散させます。剛性の低い多くの層によって荷重を下層に徐々に伝達するアスファルト舗装とは、その荷重伝達機能が異なっています。したがって、コンクリート舗装の層構造においてはコンクリート版が主要な構造要素であり、一般的にはコンクリート版の破壊をもって舗装の構造的破壊と考えられています。

コンクリートは引張作用に弱い材料であるため、コンクリート版の破壊は主に曲げ引張応力によるひびわれに起因します。一旦ひびわれが発生すると、そのひびわれは急速に成長してコンクリート版を分断し破壊に至らしめます。このため、コンクリート版の曲げひびわれの発生を防ぐことがコンクリート舗装の構造設計の原理となります。現行の多くのコンクリート舗装の構造設計の考え方^{1),2)}は、設計寿命内に発生する交通荷重による曲げ応力が、コンクリートの疲労限界を超えないように版厚を決定することが基本となっています。したがって、設計の中心となるのは交通荷重によるコンクリート版の応力の解析であり、コンクリート舗装の合理的な構造解析法が重要となります。

従来からコンクリート舗装の構造解析法としては、Westergaardによる平板理論^{3),4),5)}が用いられていま

す。これは、ばね支承 (Winkler 路盤) 上の弾性平板という構造モデルの仮定によって、コンクリート版を解析したものです。この平板理論はコンクリート舗装の荷重伝達機構をよく近似しており、コンクリート舗装の実用設計に広く利用されてきました。しかしながら交通条件、舗装構造条件などの変化に伴い、この構造モデルでは対処しきれない諸問題が生じてきています。

コンクリート版には、乾燥収縮や温度変化による体積変化を許容するために横目地が設けられています。しかしながら、横目地は交通荷重に対しては構造的な弱点となり、コンクリート舗装の荷重伝達能力を低下させることになります。このような構造上の弱点を補強するために、横目地には荷重伝達装置すなわちスリップバー (Slip-bar, Dowel-bar) を配して荷重伝達を図り、コンクリート版の構造的な一体性を確保しようとしています。Westergaard 式を始め、これらより派生した実用式、例えば Spangler⁶⁾、Pickett⁷⁾、岩間⁸⁾らの応力式においては、このような横目地構造の荷重伝達機構が明確でないため、横目地の設計はほとんど経験に頼っています。このようなことから、コンクリート版のとくに横目地における荷重伝達機構の研究が必要となります。

また、コンクリート舗装において路盤はコンクリート版に均一な支持を与えるといった役割を持ちますが、前述のようにコンクリート版は荷重に対する支持機構が高いことから、従来の構造解析法において路盤の荷重伝達機能はそれほど重視されていませんでした。しかしながら、交通荷重の増大に伴うコンクリート版厚の増加は温度応力を増加させること、また施工上にも問題のあることが明らかになってきています。さらに降水に伴うエロージョンにより路盤の支持機能が失われ、これがコンクリート舗装を破壊させるといった問題も生じてきています。そこで、路盤を安定処理するなどして路盤の耐久性を高め、同時にこの種の路盤の

高い荷重分散能力に着目した舗装構造も用いられるようになってきました。このような舗装構造の合理的な設計を行うためには、従来の Westergaard 理論における Winkler 路盤の荷重分散機能の仮定を拡張した解析法が必要になります。

近年のコンピューターによる構造解析手法が大きく進歩する中で、舗装の構造解析にもこれらの手法を積極的に導入する試みがなされています。コンクリート舗装の構造解析に用いる解析法としては、Huang⁹⁾、Chou¹⁰⁾、Majidzadeh¹¹⁾らに見られるように、Westergaard 理論に基づく平板有限要素法を用いた構造モデルがあります。これらの構造モデルは、コンクリート舗装の構造的性質を比較的簡便に考慮することができる最も実用的なモデルとされています。

コンクリート舗装の構造モデルにおいては、路盤と横目地の取り扱いが最も重要です。これらに関してはいくつかの構造モデルが提案されていますが^{10), 11), 12)}、高品質路盤の取り扱いや、横目地の構造モデルには現状では満足できるものがありません。そこでわれわれは、コンクリート舗装の荷重伝達機構を十分に表現した構造モデル^{13), 14)}を考案し、平板有限要素法を用いることによってコンクリート舗装の力学的解析法を確立し、設計への適用を念頭においた解析システムの構築を試みております。

現在は、構造モデルを中心としたコンクリート舗装構造評価システム (Evaluation System of Concrete Pavement : ESCOP) を開発中です。このシステムは構造計算、疲労計算、それら計算結果の図形表示を、パソコンベースに行えるようにしたものです。また、金沢大学の梶川康男先生と協同で、交通荷重を自動的に計測するシステム (TLAM)¹⁵⁾も開発しています。

今後これらのシステムを用い、疲労を中心としたコンクリート舗装の長期的な挙動、特に設計条件に本質的に含まれる不確定性の影響について研究を進めたいと考えています。

— 参考文献 —

- 1) 日本道路協会：セメントコンクリート舗装要綱，1984.
- 2) Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements, Portland Cement Association, 1984.
- 3) H. M. Westergaard : Computation of Stresses in Concrete Roads. HRB, Vol.5, 1925.
- 4) H. M. Westergaard : Stresses in Concrete Runways of Airports, HRB, Vol.19, 1939.
- 5) H. M. Westergaard : New Formulas for Stresses in Concrete Pavements of Airfields, Trans. of ASCE, Vol.113, 1948.
- 6) M. G. Spangler and F. E. Lightburn : Stresses in Concrete Pavement Slabs, HRB, Vol.17, 1937.

- 7) G. Pickett and G. K. Ray, Influence Charts for Concrete Pavements, Trans. of ASCE, Vol.116, 1951.
- 8) 岩間滋：コンクリート舗装の構造設計に関する実験的研究，土木研究所，1963.
- 9) Y. H. Huang and S. T. Wang : Finite Element Analysis of Concrete Slabs and Its Implications for Rigid Pavement Design, HRR, Vol.466, 1973.
- 10) Y. T. Chou and Y. H. Huang : A Computer Program for Slabs with Discontinuities on Layered Elastic Slabs, Proc. of 2nd International Conference on Concrete Pavement Design (ICCPD), 1981.
- 11) K. Majidzadeh, G. I. Ilves and R. McComb : Mechanistics Design of Rigid Pavements, Proc. of 2nd ICCPD, 1981.
- 12) 福手勤，八谷好高，山崎英男：コンクリート舗装の目地部における荷重伝達機能，港湾技術研究報告，Vol.21, No.2, 1982.
- 13) 西沢辰男，松野三朗：コンクリート舗装の構造解析における有限要素法の適用性について，土木学会論文報告集，第338号，1983.
- 14) 西沢辰男，福田正，松野三朗：コンクリート舗装版の横目地における力学的挙動の解析，土木学会論文集，第378号／V-6，1986.
- 15) 梶川康男，西沢辰男，杉本正信：可搬式自動車交通流自動観測システムの開発，土木学会論文集，第391号／VI-8，1988.

石油アスファルト統計月報

B5：16ページ ¥500（送料は実費）毎月1日発行

アスファルトに関する統計資料を網羅し、月毎に発行する統計月報です。

広くご利用いただけるよう編纂致しました。

ハガキにてお申込み下さい。

申込先 105 東京都港区虎ノ門2丁目6番7号
和孝第10ビル

社団法人日本アスファルト協会
アスファルト統計月報係

—目 次—

- 石油アスファルト需給実績
- 石油アスファルト品種別月別生産量・輸入量
- 石油アスファルト品種別月別内需量・輸出量
- 石油アスファルト品種別月別在庫量
- 石油アスファルト品種別荷姿別月別販売量
- 石油アスファルト品種別針入度別月別販売量
- 石油アスファルト地域別月別販売量
- 石油アスファルト品種別通産局別月別販売量
- 石油関係諸元表

アスファルトとの出会い

姫 野 賢 治

ひめの けんじ
北海道大学工学部土木工学
科助教授・工博。昭和54年東
京大学工学部土木工学科卒。
勤務先：〒060 札幌市北区
北13条西8丁目。
☎011-716-2111内線6864



15年前の4月、私は胸を躍らせて大学に入学した。ひたすら天文学のことばかりを考えながら。そして今、道路工学の研究に携わる一研究者としてこうしてアスファルト協会の原稿を物している。

共稼ぎの家庭で育った私は、昼間は家にいても一人ぼっちで、また今日のように学習塾があったわけでもなく、毎日真っ暗になるまで外で友達と遊んで幼少時代を過ごした。机に向かって勉強や読書などをした経験がほとんどなく、勉強嫌いでいわゆる腕白坊主であった。ところが小学校高学年になって、ふと友達から1冊の天文学の本を借りたことから、それ以来取り付かれたように宇宙に思いを馳せる空想的な少年に変貌したのである。たとえば、銀河系には約千億の恒星があり、しかもこのような銀河系が宇宙には数えきれないくらいあることや、夜空の星の光は気が遠くなるほど昔に放たれたものがやっと今地球に届いたものであることなどを知り、色々な空想に興奮しながら星の写真を眺めてばかりいた。中学生になると、多少科学的なトーンで記された書物を手にするようになり、われわれの宇宙には限りはあるが果てはなく無限に遠くが見える望遠鏡があれば自分の頭の後ろが見えるだろうとかいうようなことをノーベル賞クラスの学者が本気で議論していることを知って、自分の一生を捧げる道はこれだと信じて疑わなかった。それ以来、小遣いを貯めては天文学書を買ひ、読みあさった。

このような状態は高校を卒業するまで変わらず、当然のこととして、大学では天文学を専攻するつもりでいたしそのつもりで大学に入学した。もし、大学入学時に自分の専攻が確定するシステムであったならば、私は間違いなく現在は天文関係の仕事に携わる人間になっていたと思う。しかし、たまたま大学入学後1年半経った時点で所属学科を選択するシステムであったこともあり結果的にそうはならなかった。それは天文学を専攻する以上、修士課程、博士課程と進学し、どこかの大学や研究所で採用してもらったことがその後の活躍の暗黙の要件であったが、たとえこちらがその気

であっても現実には大学院へ進学できない学生や、大学院を出てもオーバードクターとして就職もできずに大学に残る研究者が多数いる事実を知るようになったからである。そして、目を理学から工学へ転じ、土木工学を選択した。まだ天文学に対する未練を捨てきれず、どうせなら一番大きなことをやりたいということと、土木ならば地球物理学あたりの分野を媒介として将来天文学に関わる仕事ができるかも知れないという淡い期待を抱いていたからである。

土木工学科に進学してみると、それ自身なかなかおもしろく、また、思ったよりも居心地が良かったので次第に天文学への未練は薄れて気持ちの上でも土木にドップリとつかうようになった。技術職にもかかわらず比較の出世しやすいということから当時の土木の学生は就職に官庁を志向する傾向が強く、半数以上が国鉄を含めた官公庁に就職した。私もその例に漏れず国家公務員志望であったが、考えてみるとどの省庁ではどんな仕事をしているのかという情報を集めることもなく大勢に流されてボンヤリと建設省にでも入れればいいなあと考えていたのは今思うと怠慢であった。結果的に建設省以外の選択を迫られたわけだが、慢然と、土木屋としては非常にマイナーな防衛庁に就職することになったのである。制服組と私服組の役割分担もよく理解せず、土木職である以上、全国の防衛施設の最適な配置計画とか、戦闘中の輜重^{しちよう}の最適な輸送計画とかを担当するのだろうと勝手に解釈して意思決定をしたのだが、そもそも実際に採用された防衛施設庁という組織の存在すら全く知らなかったのだから相当いい加減な態度でいたものである。

こんな状態であったから、実際に就職してみると想像と実際の乖離は大きく、大変な失望を覚えたものである。結局理屈の上で、「自分は行政的なセンスやバランス感覚を著しく欠いた人間であり、大きな組織の一部で組織全体の目的のためにその職務を全うするのは不得手である。」と結論づけて、およそ2年半後、転職を決意したのである。本音では、「自分の一生をかけた

仕事をやる以上、楽しいか、金になるか、名誉になるか、その他何らかの見返りがないと耐えられないはずで、純粋に国のため、組織のためという大義名分のために人間は滅私奉公できるわけがない。たとえば戦時中の神風特別攻撃隊ですら、自分が体当りしたことを報告してくれる随伴機がいた。自分は金儲けの才能はないし、名誉職などそんなにどこにでも転がっているわけではないし、残るはやっていて楽しい仕事しかあるまい。」と思い、天文学と土木工学の違いはあるものの、とにかく子供の頃からの夢であった大学での研究生活に入ったのである。当時は他の省庁に就職していればこんな思いはしなかったであろうと多少の悔念も抱きはしたが、今思うにどの役所に勤めていても自分は満足のいく仕事はできなかっただろうと思い勝手に納得している次第である。

大学での職探しも大変に軽い気持ちで考えていて、良い職がすぐ見つかると思い込んでいたのだが、母校の恩師である中村英夫先生に大変な尽力をして頂き、7年半勤めた東京工業大学の助手のポストを紹介して頂いた次第である。今となってみれば大学院も出ていないのによくもこんなに恵まれたポストに就けたものだと思っているが、当初は「アスファルトをやってくれと言われている」と聞かされて、正直申し上げて一瞬お断りしようかと迷ったものである。自分の学生時代の卒業研究は計画系であり、舗装という未知な分野に不安を覚えたためであろう。ともあれこれが私とアスファルトとの最初の出会であった。かつて、某誌の大学の若手舗装研究者の座談会に出席させて頂いたとき、なぜアスファルトを研究対象とするようになったのかという質問に対しての出席者の回答はたまたまその講座の助手のポストが空いていたというような偶然の結果によるものがほとんどであったことが印象的であった。

さて、大学の学部を出て2年半、この間土木の専門に関わる仕事はほとんどせずにしかも未知の舗装という分野に飛び込んでみると、自分から選んだ道とはいえ、艱難辛苦、あまり楽なものではなかった。なにしろ、初めて実験室でアスファルト混合物を作る作業を見学させてもらったときにはまさか白い粉を入れるなどと考えてもいなかったから、混合前のチリのように積もった石粉を見てたくさんゴミが混ざっていると信じていたくらいだし、せめて研究室で4～5箇月先輩にあたる4年生の前では恥をかかないようにと必死になっていたというような状態である。対外的にも最初

のうちは「まだ何もわかりませんから」という言い訳も通用したが次第にその技も使えなくなり、一時期ひどく落ち込んだこともあった。しかし、プレッシャーは多々感じはしていたがそれなりに充実していたように思う。

私が東京工大で所属していた講座の正式名称は交通工学講座であったので、舗装以外にも交通工学や交通計画といった分野の研究を行うこともある程度は可能であったと思うが、舗装の分野での居心地もだんだんよくなり、また研究が進むほどやりたい舗装関係のテーマも増えてきて、他分野へ手を広げる余力もなくなってしまった。今、形式的にも実質的にも1つの区切りを迎え、学際的な研究にも種々手を伸ばしたいと思っているが、その場合でも舗装、あるいはもう少し幅広くとらえて道路という分野に片足だけは突っ込みながら動き回りたいと考えている。もっとも、舗装を取り去ると何も残らないので仕方がないのであるが……。

私は学部の2年生の時に教育用の大型コンピュータというものに初めて接して以来、その仕組みも使い方もよくわからないままに不思議な魅力に取り付かれてしまい、未だに冷めていない。学部の3年生の時にはアルバイトで貯めた20万円近い大金をはたいて今からみればおもちゃのようなプログラム電卓を買ってみたり、卒業研究のテーマも与えられた中で一番コンピュータを使えそうなものを選んだりしていた。東京工大に移ってから実験データの加工や、モデル解析の道具としてコンピュータを多用したけれども、当時、実験室で体を使う作業と研究室でコンピュータを使う作業とを対立的にとらえる風潮が強く、一部の方々からもっと実験をやるようにと直接間接にしばしば言われたものである。そもそも、土木全般の傾向として、既往の研究成果を整理統合して大きなシステムを組み上げるような研究はなかなか評価されにくかったように感ずる。特に舗装の分野ではコンピュータを用いただけで、そんな研究は現場では何の役にも立たないとか、舗装は理学ではなく工学だとか信じられない発言をする人が今でもいることが残念である。工学にも個々の現象を要素別に観察しこれをできるだけ正確に記述する側面や、これらの知見を統合してより複雑な現象をシステムティックに説明する側面、そしてさらにこれをブレイクダウンしてフィジブルな形で実用化する側面など種々の段階があり、各段階にコンピュータなしでは困る部分が多々あると思う。どうもじっくり考えずにすぐ最後の実用上の問題に取り組もうとする傾

向が強すぎるような気がするが私の視野の狭さのゆえだろうか。もっと基礎的な研究に力が注がれるべきだし、逆にそのような基礎的な研究を行う際にはそれがいずれは実用化される姿をたとえばやりとでも俯瞰しアピールする努力を怠ってはならないであろうが。

さて、東京工大に奉職中、現武蔵工業大学教授渡辺隆先生や入れ代わり立ち代わり卒業していった優秀な学生連中を始めとして多くの方々のご助力を得ながら手掛けた研究を振り返ってみたい。当初研究室では、現長岡技術科学大学助教授丸山暉彦先生が助手をなさっていた頃よりアスファルト舗装の疲労破壊に関する研究成果がかなり蓄積されており、新しい材料を用いたり、新しいシミュレータを考案したりしてその基礎固めを行っていた。他方で俗に謂う流動わだち掘れの研究が徐々に進められており、私もこれからの重要なテーマとしてとりあえずこれを手掛けようと考えようになった。自分なりに基礎的な部分から問題を解決していく研究計画を練ったのであるが、アスファルト混合物の構成則の確立だけでも大仕事で、線形、非線形を含めて粘弾性理論の勉強を初歩から始め、2年程種々の実験、解析を試みたのであるが、外国における既往の研究範囲から抜け出すことができず、このテーマにこだわるならばアプローチの方法を変えざるを得ないと思うようになった。そのうち、ほぼ理論的に完成された感のあった疲労破壊包絡線も、細かく検討してみると舗装の温度が高くなり混合物のスティフネスが非常に低くなると、解析上の疲労被害が非常に大きくなる可能性があるという問題に直面するようになった。これを突き詰め整理した結果、アスファルト混合物の高温時の疲労破壊規準を確立する問題を始めとして、時間別、地域別に舗装の温度がどのように変化するかを正確に推定する問題、車両の走行位置や走行速度が変化した場合に混合物内部にどのような応力やひずみが発生するかという問題など次々にテーマが生まれ出て、結局これらを順次解決し組み合わせながら最終的に実舗装の疲労破壊を予測するシステムを構築すべく悪戦苦闘したわけである。赴任以来約5年、実質的に後半の3年間で一応の成果を取りまとめたのであるが、自分としてはこの間かなり充実した研究生活が送れたと思う。恵まれた環境にいても、今後このような生活を常に続けて行くのは困難であろうが、生涯にこれ位充実した時期が何度かはないといけないなどと考え始めているのは最早若手と呼ばれる年ではなくなったと

いうことか。しかし、より若い大学の舗装研究者が多数生まれて一つの世代を形成するまでは自ら若手と称するつもりでいる。

ところで、3年程前に渡辺先生が停年退官をされ、いわゆる舗装の研究室が東京工大から消滅した時点で私は他の研究室への配属を命ぜられ、希望に従って中瀬明男教授および木村孟教授が率いる土質研究室でお世話になることになった。舗装しかわからない役立たずの助手をその後3年間も養って頂いた寛大さに対して大変感謝している次第である。この間、一時は舗装を捨て、完全な土質プロパーな研究者になろうと努力もしたが、当初は学位論文の完成と国際会議への参加を始めとする過去の研究の後始末、その後は長岡の丸山暉彦先生とのFWDに関する共同研究、さらには日本大学教授阿部頼政先生のご高配により参加させて頂いている日本アスファルト協会でのアスファルト舗装技術研究グループの活動など、その他の学協会での各種の委員会活動と相俟って舗装との関わり合いを絶つどころか、逆に途中で土質の勉強をする余裕がなくなり、結局今こうして北海道大学の菅原照雄先生、森吉昭博先生のもとで快適に舗装の研究をさせて頂いている次第である。

現在の研究環境は申し分なく、実験設備も豊富で周囲にも研究仲間が沢山いるので、かなり大きなテーマにじっくりと取り組むことが可能である。また、この上でできればなるべく若いうちに海外留学ができれば良いなどと虫の良いことも考えている。30年来住み慣れた東京を離れ、今こうして初めて北海道という土地での生活を始めた訳であるが、札幌～東京間の距離は現在の研究生活にとって余り大きな障害ではなく、その気になれば日帰りも苦にならないので、心理的には東京にいるのと何らの違いも感じていない。これから北海道ならではのテーマも含めて幅広く研究活動を続けていきたいと考えている。いずれにしても大学だけでできる研究は限られてしまうし、やはりアスファルト舗装を中心とした道路工学という研究分野の性格上、官、民、学一体とならないとどうしようもない部分が多いと思うので、これをきっかけに色々な分野の方々とお互いに気軽にコンタクトをとりあえるようになれば望外の歓びである。浅学の駆け出しの研究者ではありますが、どうぞ御支援の程をよろしくお願い申し上げます。

藤原 忠 司

ふじわら ただし
岩手大学工学部土木工学科
助教授・工博。昭和45年東北
大学大学院工学研究科修士
課程修了。
勤務先：〒020 盛岡市上田
4-3-5。
☎0196-23-5171



スパイクタイヤ問題を 中心として

1. スパイクタイヤ問題考

“車粉公害”という造語に象徴されるように、スパイクタイヤの使用による種々の弊害は、ここしばらく大きな社会問題となってきた。岩手県においても例外ではない。資料が多少古くなるが、2年半ほど前に行った盛岡市民対象のアンケート調査の結果を簡単に紹介しよう。

スパイクタイヤによる最も深刻な被害としては、粉塵の発生を挙げる回答が過半数を占めており、目・鼻・喉の身体の異常や商品の埃を払う厄介さを通じて、スパイクタイヤによる多大な迷惑を感じている人が多い。たしかに、“車粉”はスパイクタイヤ問題の代名詞とも言えようか。次いで、わだち掘れ、道路表示の消失、騒音が挙げられているのは、主に運転者および歩行者の立場からの指摘であろう。害をほとんど感じないとする回答は、僅か数パーセントであり、問題の深刻さがうかがわれる。

スパイクタイヤによる被害をこのように痛感しながらも、運転者の立場になると、スパイクタイヤを手放せない点に、市民のジレンマがある。何故スパイクタイヤかとの設問には、当然のことながら冬期間の安全運転確保を挙げる答えが多く、調査の時点で、6割以上が今後もスパイクタイヤを使用したいと希望していた。そして、この問題への対策としては、耐摩耗性に優れた舗装の開発や除雪の徹底よりも、新しいタイヤの開発を切望する声が圧倒的に多く、スパイクタイヤを信奉しながらも、その使用に後ろめたさを感じている姿が見え隠れする。

衆知のように、このスパイクタイヤ問題は今、大きな転機を迎えている。1991年4月以降、スパイクタイヤの製造・販売を中止するとの方針を大手タイヤメーカーが既に決定しており、また環境庁も、使用禁止の法制化を急いでいると言われる。同庁がこの方針を打ち出すにあたっては、自治体を対象にしたアンケート調査を実施し、たとえば道府県で7割近くが使用禁止に賛成であったとしている。たしかに、大勢がスパイ

クタイヤ追放の方向にあるのは疑いないが、同庁の調査では、現時点での判断は困難とする意見も含め、現状のままを望む回答が3割近くも占めている点を看過できまい。

スパイクタイヤがわが国で急速に普及したのは、昭和40年代の半ば。その頃、欧米諸国では、スパイクタイヤによる弊害が問題となり、国によっては、全面禁止の強い規制が既になされていた。そのような先例がほとんど伝わることもなく、わが国の寒冷地における普及率はほぼ100%に達していく。そして、弊害が認識され、喧伝されるようになると、今度は原則禁止の方向を一挙に打ち出す。わが国におけるスパイクタイヤの経緯を概観するならば、そのあまりに性急である点が気になる。普及の段階で、その害を指摘し、抑制する声が強くなかったのは何故だろう。また、禁止にあたっては、例外とする地域を設けるなどの配慮が必要ではあるまいか。

この冬、岩手県は、スタッドレスタイヤのモニター調査を行ない、約7割がこれに及第点をつけたとして、スタッドレスタイヤの普及促進を図る方向にある。しかし、アイスパーンの生じやすい気象条件や、山間部の多い地形的条件を考慮すると、少なくとも、現段階ではスタッドレスタイヤの性能に対する不安が強く、事実、モニター調査でも、3割近くがその不安を訴えている。“スパイクタイヤの普及を放置し、その利便さに慣れさせておきながら、一挙に使用禁止にするのはおかしい。”“岩手県のような厳しい条件にある地域は禁止の例外にすべきだ。”そのようなつぶやきが身近で聞えてくる。しかし、それを声高に叫ぶには勇気が要る。

2. 舗装の摩耗に及ぼすタイヤ種別の影響

市民の立場とは別に、スパイクタイヤによる舗装の摩耗は、岩手県においても道路技術者の重大な関心の的であり続けてきた。岩手県舗装協同組合は、スパイクラベリング試験機を岩手県土木部に寄贈。この二者

に岩手県土木技術振興協会と岩手大学とが加わって、耐摩耗性に優れた舗装の開発を目指すこととなった。研究は緒についたばかりであり、現段階で見るべき成果は少ないが、タイヤ種別の影響に着目した実験の一端を紹介しよう。

図-1は、走行回数90,000回後におけるアスファルト混合物の摩耗量を示している。

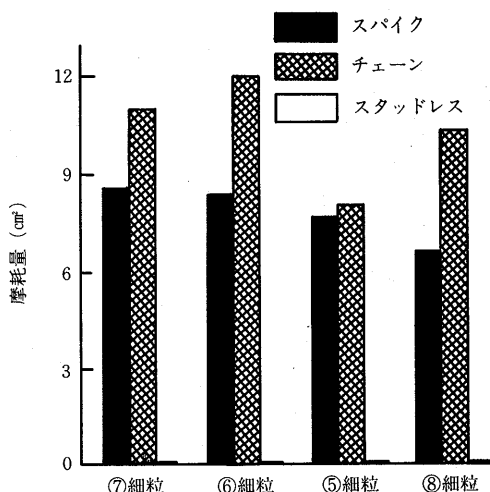


図-1 摩耗量の比較

スパイクタイヤによる摩耗量には、混合物によって違いがみられるものの、その差は比較的小さい。スパイクピンとアスファルト混合物との相対的な硬さを考えれば、舗装が摩耗するのはある意味でやむを得ず、極論すれば、幾分でも摩耗量を軽減するというのが、舗装技術者として対応できる唯一の方策であったとしてよい。耐摩耗用として開発された各種の混合物も、技術者の苦心の結晶であり、それが摩耗の軽減に果たした役割は大きいと評価できるが、根本的解決にはほど遠かったのも、これまでの経緯が如実に物語るところであろう。

チェーンによる摩耗量は、従来チェーン型のラベリング試験機を用いて測定するのが一般的であった。これに対し、本実験では、ノーマルタイヤにチェーンを装着し、スパイク型ラベリング試験機を用いて測定しており、スパイクタイヤとの比較が、より厳密となる。得られた結果によれば、チェーンによる摩耗量が、スパイクタイヤをおしなべて上回っており、舗装を損傷させるチェーンの作用が強いことを示唆している。とくに、粗目の混合物では、摩耗後の表面の凹凸が著しく、粗骨材の剥脱も見られた。脱スパイクに伴う走行安全への配慮や簡便に装・脱着できるチェーンの開発

により、チェーンの使用機会が増えるとするれば、これによる摩耗がスパイクタイヤに代わって問題となる可能性がある。ただし、この点を定量的に検討するには、将来予測されるチェーンの使用頻度を把握しておく必要があるが、現段階では見通しが立ちにくい。

スタッドレスタイヤについても、その摩耗作用を懸念する声の一部に聞かれる。この点を確認するため、スタッドレスタイヤを用いてのラベリング試験も実施してみたが、予想された通り、混合物の摩耗はほとんど生じない。したがって、スタッドレスタイヤへ完全に移行すれば、長い間舗装技術者が苦慮してきた摩耗の問題は、一挙に解消されることになる。

ただし、このスタッドレスタイヤについては、走行によるそれ自体の摩滅が懸念される。図-2は、ラベリング試験に用いたタイヤについて、スパイクタイヤおよびスタッドレスタイヤの溝の深さの減少量を測定した結果であり、スタッドレスタイヤの摩滅量が大きい。走行回数に対するこの摩滅量の変化を指数関数型と想定し、その回帰曲線からスタッドレスタイヤの寿命とされる5mmの摩滅に相当する走行回数を求め、それを走行距離に換算したところ、約8,000kmの値が得られた。日常的に長距離を走行する車にとって、この距離は1冬で消化してしまう可能性があり、換言すれば、毎冬スタッドレスタイヤを取り替える必要のあることを意味する。この距離は、あくまで目安に過ぎないが、スタッドレスタイヤの寿命には充分な注意を要しよう。

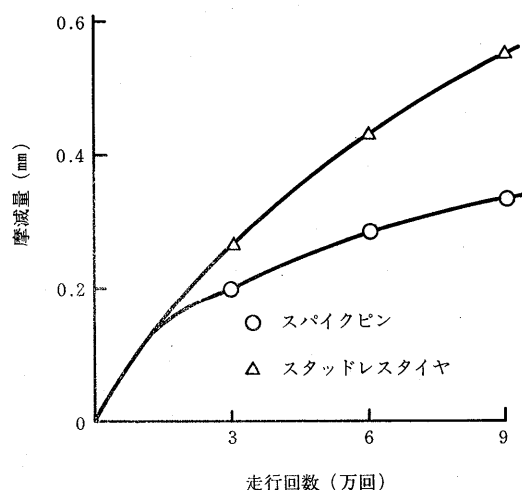


図-2 タイヤの摩滅量

3. 今後の課題

アスファルト舗装要綱によれば、気象条件、地域区分、交通量区分などを考慮して、混合物を選定するとある。そして、具体的には、一般地域と積雪寒冷地域とに大別して、それぞれに適切な混合物が示されている。

岩手県は紛れもなく積雪寒冷地域に属する。しかし、県土があまりに広く、しかも山間・平野・沿岸と地形の変化に富んでおり、これを単に同一の地域区分で処理するのは果たして妥当であろうか。混合物の選定に関しては、交通量等も考慮し、よりきめ細かな地域区分で対処することが望まれ、これを具体化するには、多くの研究と経験とを要する。

脱スパイクともなれば、混合物の選定方法が疑いもなく一変する。耐流動性と耐摩耗性との相いれない二つの性格をいかに両立させるかで苦慮してきた寒冷地の舗装技術者にとって、一方の耐摩耗性への配慮が不要となれば、混合物の選定は非常に楽になる。しかし、前述のように、チェーンの使用が舗装を摩耗させる可能性もあり、この点はよく確認しておく必要がある。

たとえ、耐摩耗性への配慮が不要になるとしても、耐流動性ばかりが舗装に望まれる性質ではない。たとえば、岩手県のような寒冷地の場合、耐流動性に優れた粗目の混合物にとって、凍結融解の作用に対する抵抗性が懸念され、それが新たな問題となる可能性も否定できない。総合的な観点から、脱スパイク後の望ましい舗装とは何かを、今から検討しておく必要がある。

材料の面から見た場合、岩手県は良質の碎石に比較的恵まれているものの、砂とくに細目砂が極端に不足しており、隣県からの供給に頼らざるを得ない状況にある。砕砂の利用を含め、この隘路の打開も重要な検討項目であるのは疑いない。

前述した4者の共同研究では、以上の点を当面の課題として、岩手県におけるアスファルト舗装の適切な在り方を追求しようとしている。

4. あとがき

岩手大学工学部土木工学科においては、岩佐正章、

竹崎忠雄、伊東茂富の各先生が道路工学を担当されてきた。その間の研究テーマは、アスファルト混合物の耐流動性・耐久性や道路の騒音等であり、それぞれに貴重な成果が挙げられている。また、学生の教育に関しても、実験を含めて道路工学の講義を一時は4科目とするなど、本学科では道路工学をきわめて重視してきたといえる。そのためか、いわゆる道路会社に就職し、この分野で活躍している卒業生も少なくない。

この道路工学を筆者が引き継いだのは、3年ほど前。本来の専門がコンクリート工学であるため、まず道路のイロハから学ばなければならず、諸先生方の実績が重荷となる出発であった。今日でも、教育・研究において、本学科における道路工学の伝統を正しく踏襲しているかは、はなはだ心もとない。

このような道路の駆出しとも言える筆者に、本特集の執筆依頼があったのは、おそらく学科のこれまでの成果を披露せよとの御用命であったように思われるが、それを誤りなく紹介する力量に乏しく、そのため本稿では、筆者がこれまでに直接携わってきた研究や調査のみの記述に終始した。諸先生方にこの点を御了解願いたい。

たしかに、道路工学を重視してきてはいるが、本学科の実験設備が充実しているとは言い難く、アスファルトの基本的性質の試験とマーシャル試験が満足に出来る程度であろうか。このような状況のため、前述の岩手県舗装協同組合が岩手県土木部に寄贈したスパイクラベリング試験機は魅力の装置であり、これを用いての研究に積極的に参加させて戴いている。脱スパイクともなれば、この高価な試験機も御用済みとなる恐れがあるが、車の走行を比較的忠実に再現している装置であり、他の目的でも使用可能ではないかと考え、現在それも検討中である。この装置の外にも、ホイールトラッキング試験機が寄贈されており、今後重要になると予想される耐流動性の研究に大いに威力を発揮するものと期待される。装置を寄贈したばかりでなく、舗装協同組合は研究遂行の一翼を担っており、岩手県の舗装の向上を目指すその真摯な姿勢に敬意を表したい。

☆

☆

☆

☆

☆

☆

農業工学における舗装の研究

牧 恒 雄

まき つねお
東京農業大学農学部農業工
学科講師。昭和46年東京農
業大学農業工学科卒。
勤務先：〒156 世田谷区桜
丘1-1-1。
☎03-420-2131



農業に関連する舗装技術と言うと、ダムや貯水池のアスファルトフェイシング、干拓堤防の法面舗装、農道舗装などの技術があげられます。地方を旅行すると突然田んぼの中に立派に舗装された道路に出会うことがあります。この道路は農業生産性の向上と流通の合理化、及び農村環境の改善を目的とした広域農道整備事業で作られた農業用道路です。昭和63年頃からは、この事業に加えて農作業の効率化や高速輸送体制を整備するために航空機を活用し、航空機の発着の可能な離着陸場を農道と一体的に建設しようとする農道離着陸整備事業も始まりました。この様に農業土木関係でも多くの舗装技術が利用されています。

さて、私の所属している「農業造構学研究室」とはどんな研究をする分野なのか？。その内容を簡単に説明すると「農業の生産性を向上させるための各種構造物の設計法・施工法・土木材料について研究をおこなう分野」となります。従ってコンクリートやアスファルトなどの材料実験や舗装関連の研究も行っており、舗装会社やアスファルト関係の会社に就職する学生もいます。

舗装の研究としては、10年ぐらい前から「アスコン舗装が植物によって破壊される原因の究明とそれを防止する対策工法の開発」をテーマに取り組んできました。農業土木で行われている八郎潟干拓や中海干拓などの干拓堤防では砂による築堤工法を行っています。これらの堤防は緩傾斜で築堤後は波の浸食や風食を防止するために、海側の法面はサンドグラベルアスファルト等で舗装を行います。しかし、堤防は築堤後に徐々に不等沈下を起こすので、表面の舗装も設計厚さ15cm前後の場合、当初に7～8cmの厚さを施工し、堤防の沈下がほぼ終了し干拓工事が完成近くになると、最終の施工厚さに舗装を仕上げるのが一般的となっています。この間、堤防の法面ではヨシやガマなどの水生植物や、チガヤやカヤなどの植物が繁茂します。堤防の裸地部では飛砂防止のためにも草が茂ることは好ましい事です、アスコン舗装側ではこれらの植物が舗装

下に伸長しアスコン舗装を突き破り繁茂している現象が多く見られます。本研究室では、これら植物によるアスコン舗装破壊のなかで根系が大きく繁茂力の強いヨシを選び、ヨシによるアスコン破壊のメカニズム解明と、これを防止する対策工法の開発を行ってきました。アスコン舗装下に侵入したヨシは、堤防内部にむかって根を伸ばすのではなく、アスコン舗装の真裏を舗装に沿って伸びて行き、舗装下で分けつを繰り返しながら広がり、アスコン舗装の弱い部分から地上に芽を出して広がっています。その面積は1年間で50～100㎡にもなります。そこでアスコン舗装下の植物生育環



写真一 ヨシによるアスコン舗装破壊の状況



写真二 干拓堤防の法面舗装破壊(初期)

境を調べてみると、アスコン舗装直下は、土壌水分、温度、土中酸素量などいずれをとって見ても舗装下の土部より環境が良く、これが植物の根系が集まる原因であることが判りました。これを防止する方法としては、侵入してきた植物の生育環境を悪化させて防除する方法や、アスコンを厚く施工して物理的に防除する方法が効果あるようです。前者の方法としてアスファルトシートを基材とした防草シートを開発しました。防草シートは溜池や水路法面の舗装、あるいは鉄道の路盤部や送電線の鉄塔下の防草などに使われ良好な結果を得ています。



写真-3 鉄塔下の防草に使用された防草シート

近年、歩道舗装は舗装材に様々な素材が用いられ、街の景観を作り出す重要なファクターとして関心が持たれています。これら人のための舗装は、歩道やジョギング道、公園の園地、あるいは建物周辺の広場や商店街のように人が多く集まる場所など、舗装される条件がそれぞれ異なっています。従って安全で快適な舗装材の選定、舗装構造の検討あるいは舗装材料が歩行者に与える影響など、今後研究していかなければならない問題が数多くあります。

最近、多摩ニュータウンのように、街並が整備されて10数年経過している場所の歩道舗装破壊について調査する機会がありましたが、そのなかで街路樹の根が舗装を持ち上げているために歩行しにくくなっている場所が多く見られました。歩道の街路樹は、歩行者の安全と快適性、道路の緑化などを考えて植栽されていますが、樹木が大きくなると根が歩道部に伸長して舗装を破壊する現象がよく見られます。その原因として、道路脇の植栽樹は樹木の成長を助けるために土壌改良がなされていますが、樹木が大きくなり根がさらに拡大していくと、歩道下の土壌が硬い場合根が伸びてい

かず、植栽樹と歩道側の間に設けてある縁石のサンドベット部に根が伸長し、ここから舗装直下へ伸びてアスコンなどの舗装材を持ち上げ破壊させている状況が確認出来ました。現在これを防止する対策工法の施工実験を行っています。

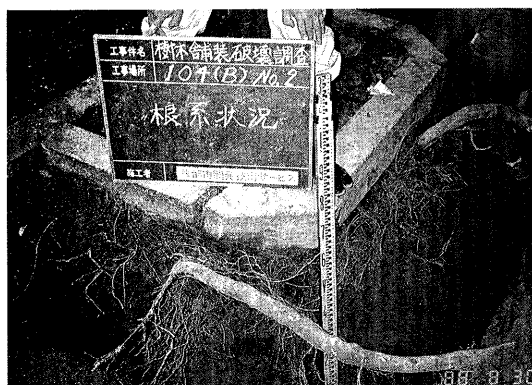
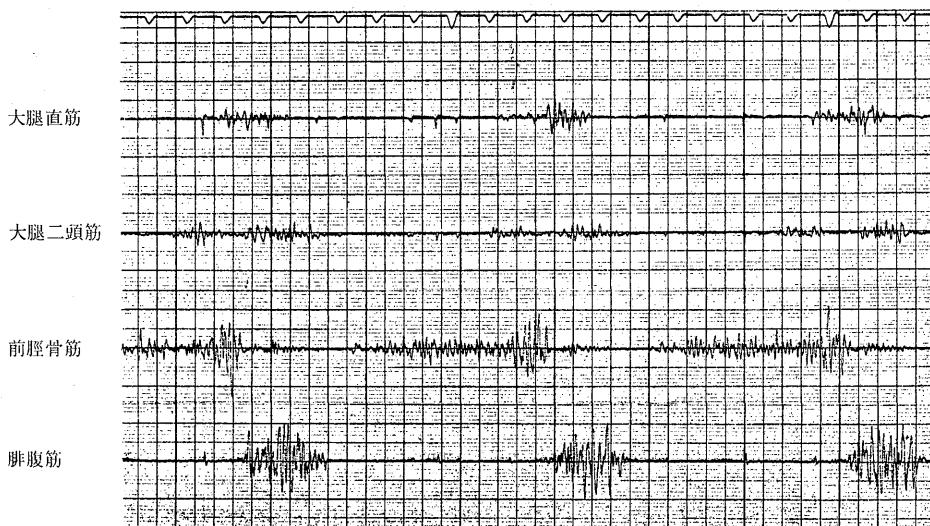


写真-4 歩道舗装下の根系伸長状況

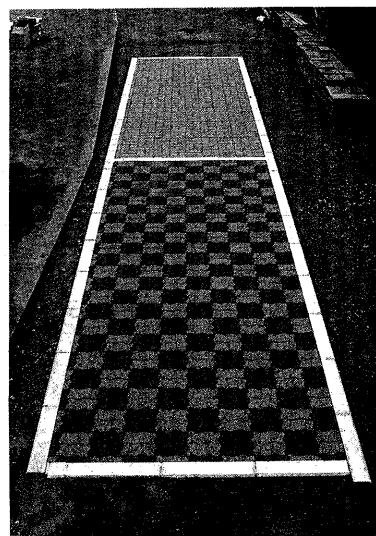
また、歩道の舗装材は特徴を出すために様々な種類のものが使用されていますが、舗装材が持つ性質を十分に理解せず、表面のテクスチャーや色彩などで舗装材が選択されている事例もあります。最近之余暇の増大や運動への関心が高まり、手軽にジョギングなどをする人がふえています。施設が整備されていないこともあり、一般の道路で行なっている人をよく見かけます。これらの舗装を走る人は腰や膝を痛める人が多く、舗装材の持つ弾力性や衝撃吸収性が問題になっていますが、舗装材が人体に与える影響についての研究はほとんど行なわれていません。当研究室では数年前から「人のための舗装」、特に「舗装が人体に与える影響について」の研究を行っています。その内容として、(1)舗装の弾力性測定法とその評価法についての研究(2)筋電図を使った舗装の歩行性、走行性の研究、(3)舗装の色彩の研究、(4)ゴムチップ舗装材の研究、などがあります。舗装の弾力性を測定する方法として、テニスコートなどで用いられているゴルフボールとスチールボールを使った反発係数試験や、重錘を落下させ衝撃加速度や反発時間を測定する方法、あるいは人体が受ける衝撃を人体に取り付けた小型加速度計から測定する方法などがありますが、これらのデーターを比較検討しています。また歩行や走行する場合に、人体が感じる歩行感や走行感を判定するのは難しいので、足の筋肉が歩行、走行時に靴の種類や舗装の種類によりどのような動きをするのかを、筋電図を解析し判定



図—1 歩行時の筋電図

する方法を試みています。人の筋肉は疲労してくると他の筋肉群を使用したり筋電の周波数が変化します。これらの現象を応用して舗装の人体への影響をコンピュータで解析検討しようとするものです。また、人のための舗装材はカラー化が進み舗装を着色して使用するケースが多くなっています。しかし、舗装の色彩が舗装体の表面温度や、舗装を利用する人に与える影響についてのデータが不足しています。そこで、人のための舗装に用いられる舗装材の中で、コンクリートとアスコン舗装について塗料を塗布した場合の舗装の表面温度の変化、舗装の色彩の劣化、舗装の持つ視感反射率などについて研究を行なっています。併せて、弾力性のある舗装材料として、ひじき状ゴムチップをウレタン樹脂で固めた舗装材の物性やその利用法の研究を行っており、ゴムチップのカラー化やブロック舗装化などを試みています。

以上、私共の研究室で行っている舗装に関する研究を簡単に紹介しましたが、歩道舗装のための技術開発は始まったばかりで、特に舗装とそこを利用する人との研究あるいは歩道舗装のデータ測定方法の開発、歩道用新素材の開発などは今後ますます研究が盛んになっていくものと思われます。



写真—5 ゴムチップブロック舗装材の施工状況

☆

☆

最適化と舗装

松井邦人

まつい くにひと
東京電機大学理工学部建設
工学科教授・工博。昭和49年
アイオワ大学工学部博士課
程修了。
勤務先：〒350-03 埼玉県比
企郡鳩山町。
☎ 0492-96-2911



1. はじめに

舗装の研究者の一人としての扱いで原稿依頼を受け、驚くと共に恐縮しております。筆者は元々構造力学を学び、途中鉄筋コンクリート、バイオメカニクスを寄り道し、最適化理論を経て構造最適化（通称最適設計）の研究を行ってきたのです。しかし何ひとつ極めた分野もなく、専門は何かと尋ねられる度に返答に窮してきたのですが、しかし最近「最適化手法の建設工学にかかわる諸問題への応用」と答えることにしております。

ここ数年、舗装技術の専門家の協力を得て、また指導を受けながら、この分野の研究に取り組んでいます。そして一見簡単に見える舗装技術に、いかに複雑な問題が内在しているかと言うことで認識を新にいたしました。このような有様で舗装の専門家としての意識を持ち合せておりません。しかし舗装には、構造力学だけでなく最適問題の立場からも、強く興味がひかれる問題があります。そこでこの分野の研究との出会い、また最適化問題との関連について思いつくまに書き留めさせていただきたいのです。

2. 舗装技術の研究との出会

筆者が勤務している大学は、土木とは全く関係がないと言うイメージを与えがちですが、「建設工学科」と称し土木系の学科です。昭和52年4月に開設されたのですが、当初授業の担当が決まらない科目があり、その一つが道路工学だったのです。遂に押し付けるような形でお願いしたのが日本舗道協会の井上武美氏なのです。週一回講義に来ていただくうちに、道路と言う誰にも親しみやすい問題を卒業研究のテーマとして取り入れることができればと思い、同窓生のよしみで、あつかましくも手当無しでお願いしたのです。早いもので最初に講義をお願いして以来、今年で10年目です。やっと筆者の研究室からも、舗装の分野で研究発表が行えるようになったところです。

3. 最適化の概念

3-1 数学・力学と最適化

私共は高等学校で、関数の最大値・最小値問題を教った。変数は通常唯一であり、平面上に図を描くと一目瞭然にその位置と大きさが分かったものです。

空間内の任意の2点を結ぶpathの中で最も短いものは直線である。また凸面上の任意の2点を結ぶ最短距離は、その2点の一方を始点、他方を終点としてロープを張ると、そのロープの長さに等しい。これ等はいずれも比較的簡単な最適化の問題です。

学生時代に頭を悩まし続けた古典力学も、根底には最適化の概念が横たわっています。Newtonの「運動の法則」により、ベクトル力学の基礎が確立されました。Leibnizは、今日で言う「運動エネルギーと仕事」の概念を提唱しています。その後、EulerとLagrangeは、保存系に対し「最小仕事の原理（the principle of least action）」を発見し、力学に最適化の概念を導入しています。更にHamiltonはこの概念を非保存系に拡張し、現在の解析力学の体系が確立されたのです。これらが基になり、Einsteinの相対性理論やSchrödingerの波動理論に発展して行くとのことです。

しかしこれ等の理論を用いて複雑な問題を定量的に解けるようになるのは、その後のコンピュータの出現を待たねばなりません。

3-2 最適化理論の誕生

人間社会では、常に何らかの「意思決定」を行うことが要求されています。問題が重要であればある程、そのインパクトや影響範囲も大きく、軽率に判断を下すことができません。その結果「合理的」な意思決定法についての研究が必要となるのです。その代表的な例が、第2次世界大戦中にイギリスやアメリカ合衆国で飛躍的な進歩を遂げた「ORの理論」です。これは、「軍事作戦を立案し、それを最も効率的に遂行するためにはどうすれば良いか」と言う問題を解決するものです。その頃Dantzigにより開発された線形計画法が、問題解決の有力な武器になっています。一方非線形計

画法は、1951年にその核心となる「Kuhn Tucker の定理」が発見され、コンピュータの出現と相俟って種々の解法が考案されてきました。しかし問題点は、残念ながらカードゲームのジョウカーのようなオールマイティとなる解法が存在しないのです。現在もなお、数学だけでなく、計画学、制御工学、構造設計等の分野においても、それぞれ対象とする問題に対し、より効率的な解法の開発に向け努力されています。

3-3 最適化と工学問題

最適化問題を大別すると、線形問題と非線形問題に分類でき、それぞれ線形計画法と非線形計画法を用いて解くことが可能です。それぞれを数学モデルで示すと次のようになります。

$$\left. \begin{array}{l} \text{線形最適化問題:} \\ \text{目的関数} \quad f_0 = \sum_{j=1}^M a_{0j} X_j \rightarrow \min. \\ \text{制約条件} \quad \sum_{j=1}^M a_{ij} X_j \leq b_i \quad (i=1 \sim N) \end{array} \right\} (1)$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{非線形最適化問題:} \\ \text{目的関数} \quad f_0 = h(X_1, X_2, \dots, X_M) \rightarrow \min. \\ \text{制約条件} \quad g_i(X_1, X_2, \dots, X_M) \leq 0 \quad (i=1 \sim N) \end{array} \right\} (2)$$

X_j ($j=1 \sim M$) は本問題で決定したい未知パラメータで、通常設計変数と呼ばれています。線形最適化問題は、目的関数も制約条件も共に線形の場合であり、非線形最適化問題は、目的関数と制約条件のどちらか一方あるいは両方が非線形の場合です。現在最適手法が適用されている主な分野は下記の通りです。

- a) 構造最適設計
- b) 最適制御
- c) 逆問題 (システム同定)
- d) 非線形方程式の解法 (微分・偏微分方程式を含む)
- e) エネルギー原理に基づく解法
- f) 実験計画法
- g) システム分析

上記の分野の中には、最適化問題でない複雑な問題を、変換することにより最適化手法を適用し、答を求めることが可能となる問題も含まれています。

残念ながら最適化問題を解く方法が、どちらかと言うと少し難解であるため、この理論が持っている潜在的なポテンシャルを十分に活用しているとは言えないでしょう。

4. 最適化理論の舗装技術への適用の試み

筆者の研究室では、最適化理論を舗装技術の諸問題に適用し、問題解決の一助になればと考えているので

す。現在成果が得られている分野について、以下に述べることにいたします。

4-1 舗装剛性の推定

舗装の非破壊試験法として、舗装表面に載荷し、その周辺の変異から各層の剛性を推定する試みがなされています。舗装表面の変形状態は、各層の特性を反映したものと考えられます。表面の変形状態をユニークに記述しようとする、無限個の点で変位を測定する必要があるでしょう。しかしそのようなことは時間のロスであり経済的にも高価なものとなります。

層剛性推定の基本的な考え方は、舗装を弾性多層構造でモデル化出来るものと考え、それから得られる解析変位が、測定変位と良く一致するようにモデルの層剛性を決定すれば、それが正しい剛性である、と言うことです。即ち本問題を非線形最小2乗法で定式化し、ガウスニュートン法を用いて解いているのです。数個の点での測定値を用いる場合、変位が例え厳密でも、得られる結果はユニークとは限りません。何故なら、その数個の着目点を含む曲面は無限個有り、その中に荷重各件等を満足する層剛性の組合せが、複数存在すると多分に考えられます。解の唯一性が保証されないため、場合によれば工学的判断が必要でしょう。

4-2 舗装の最適維持管理

我が国の高速道路の総延長距離は、現在約4500km、2010年には14000kmが予定されています。舗装は維持・修繕を前提として設計・施工されており、総延長距離が長くなればなる程、それに要する費用も膨大になってきます。従って経済的に、合理的に維持・管理を行えるシステムの開発が一層重要になると言われています。この「最も経済的に」あるいは「最も合理的に」は、正に最適化問題です。本問題には、ORの一手法であり、配分過程、取り替え過程、在庫管理過程等に強力な手法であると考えられているダイナミックプログラミングが適していると考えられます。この手法を用いて、舗装の機能のあるレベル以上に保持し、かつ、管理者経費、利用者経費が最小になるように対策を講じることが出来るかを検討しています。

5. あとがき

鋼やコンクリートと比べ、舗装の材料特性のばらつきは、はるかに大きくなっています。また材料強度をフルに活用すると考え方も、舗装の設計法の大きな特色です。この違いを踏まえて考えることが重要でしょう。

最適化アルゴリズムは、大きな進歩を遂げてきました。今や工学のあらゆる分野への応用の可能性が、一層広がっています。機械設計や鋼橋設計では、CAD／CAMからCAEに向いつつあり、この潮流の中で、技術的進歩させるためのコンピュータ支援ツールとして、最適化手法が大いに期待されています。土木学会構造工学委員会に設置されている最適性小委員会でも、近年飛躍的に発展してきた最適化手法整理し、刊行物として出版しました。御関心のある方は、是非一読していただきたいものです。

もちろん最適化手法が、すべての問題を解決できるわけではありません。現実の問題は、不確実性を含ん

でいたり、また数学モデルで表わすことが困難な場合があります。現在注目されているFuzzy理論やAIの手法を取り入れることも必要となって来るでしょう。

これまで舗装の研究者の全面的な協力を受け、この分野の研究に取り組むことが可能となっています。今後とも一層の御支援をいただければありがたいものです。

—— 参考文献 ——

- 1) 構造工学委員会 構造最適性小委員会：構造システムの最適化(理論と応用)，土木学会，昭和63年

重交通道路の舗装用アスファルト 「セミブローンアスファルト」の開発

B 5 版・132 ページ・実費頒価 3000 円 (送料実費)

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

目

1. 研究の概要
 - 1.1 文献調査
 - 1.2 室内試験
 - 1.3 試験舗装
 - 1.4 研究成果
2. 舗装の破損の原因と対策
 - 2.1 アスファルト舗装の破損の分類
 - 2.2 ひびわれ (Cracking)
 - 2.3 わだち掘れ (Rutting)
3. セミブローンアスファルトの開発
 - 3.1 概 説
 - 3.2 市販ストレートアスファルトの60℃粘度調査
 - 3.3 製造方法の比較
 - 3.4 セミブローンアスファルトの試作
 - 3.5 試作アスファルトの特徴
 - 3.6 60℃粘度と他の物理性状の関係
 - 3.7 薄膜加熱による性状変化
4. セミブローンアスファルトを用いた混合物の性状
 - 4.1 概 説
 - 4.2 マーシャル安定度試験
 - 4.3 ホイールトラッキング試験

次

- 4.4 高速曲げ試験
- 4.5 水浸マーシャル安定度試験
- 4.6 試験結果のまとめ
- 4.7 品質規格の設定
5. 試験舗装による検討
 - 5.1 概 説
 - 5.2 実施要領
 - 5.3 施工箇所と舗装構成
 - 5.4 追跡調査の方法
 - 5.5 使用アスファルトの性状
 - 5.6 アスファルト混合物の性状
 - 5.7 第1次および第2次試験舗装の供用性状
 - 5.8 第3次試験舗装の供用性
 - 5.9 アンケート調査
 - 5.10 試験舗装のまとめ

6. む す び

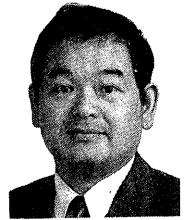
資 料

1. セミブローンアスファルトの規格 (案)
 - 2.1 石油アスファルト絶対粘度試験方法
 - 2.2 60℃粘度試験の共通試験
3. 舗装用セミブローンアスファルトの舗装施工基準

長岡技術科学大学 建設系道路工学研究室

丸 山 暉 彦

まるやま てるひこ
長岡技術科学大学建設系助
教授・工博。昭和46年東京工
業大学大学院理工学研究科
修了。
勤務先：〒940-21長岡市上
富岡町1603-1。
☎0258-46-6000



1. まえがき

昭和53年に長岡技術科学大学が新設され、道路工学の講座を任されることになったが、それまで東京工業大学で行ってきたアスファルト材料学的な路線は、なかなか予算が認められなかった。博士号を取得するまでは、疲労破壊包絡線の研究に集中していたが、学位取得後の研究テーマを開拓する必要もあった。

アスファルト混合物の供試体作成は困難で、毎年変わる学生に均質なサンプルを作らせるのは難しい。そのためデータがばらついて、使いものにならないことが多い。また、アスファルトバインダーの物性が不明で、各種の添加材も中身がよくわからない。骨材も、産地によって多様な性質をもっており、結果として得られるアスファルト混合物に対して、信頼性の高い汎用性のあるデータは得にくい。このようなところを追求するのは、化学屋の領域で、自分の得意とするところではないと思った。

そんな中で始めたことは、東京工業大学時代に、渡辺隆先生から指導を受けていた騒音測定の経験を活かすことであった。また、日本道路公団の長岡工事事務所に、一年間、研修でお世話になり、高速道路建設の現場をかなり突っ込んで勉強させていただいた。その頃出回り始めたマイクロコンピュータについて、ハードウェアから勉強することにした。

当時の研究テーマには、疲労破壊包絡線以外には、騒音低減措置方法に関する研究とか、マイコンによる道路線形設計法がある。長岡技術科学大学は新設の小さな大学であるが、それだけに他学科の先生との交流が活発で、修士論文の指導をお願いすることが多い。産学共同も奨励されており、見込みのありそうな研究テーマを見つけて売り込みに行くということも、重要な研究活動だとみなされている。

現在は、音響振動工学センターという学内共同利用施設の兼任も命ぜられ、立派な設備を自由に使用できるようになっている。以下に、このセンターの概要と、現在行っている研究テーマについて述べさせていただく。

2. 音響振動工学センター

本センターは、図に示すような施設で、鉄筋コンクリート1階建て、平面積504㎡で、無響室、2つの残響室、電気機械音響実験室、聴覚心理実験室、測定室、その他から成っている。各室の概要と、主な研究課題は次の通りである。

(1) 無響室

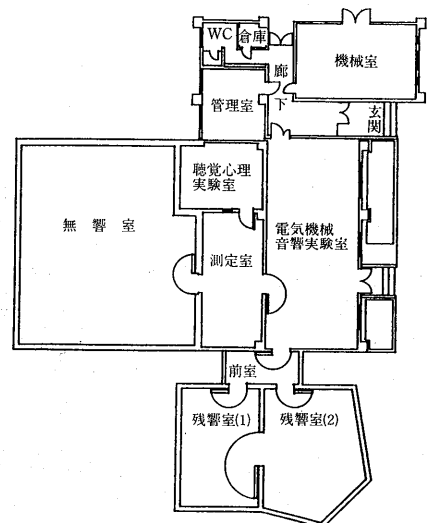
外室寸法 (m)	13×12×15 h
内室寸法 (m)	9×6×7 h
吸音くさび (m)	0.6×0.6×1.3
遮断周波数	60Hz

主な研究課題

- 各種発振器、音源、受音器の精密測定
- 人間の聴覚の精密測定
- 土木構造物の振動特性の測定
- 産業機器の発生騒音の測定

(2) 残響室 (1)

形状	整形 (直法形)
内容積	256.26㎡
残響時間	14.2秒 (1000Hz)



音響振動工学センター平面図

(3) 残響室 (2)

形状	不整六面体
内容積	292.74m ³
残響時間	14.7秒 (1000Hz)
主な研究課題	○室内における音波の伝播特性の測定 ○各種音源の放射パワーの測定 ○遮音材料の遮音率, 吸音材料の吸音率の測定

(4) 電気機械音響実験室

主な研究課題	○機械構造物などの振動特性の測定 ○各種制振方法の検討 ○定在波音響管による吸音率の測定
--------	--

(5) 聴覚心理実験室

主な研究課題	○音響, 画像情報, 及び騒音, 振動に対する人間の心理及び生理的反応の実験
--------	--

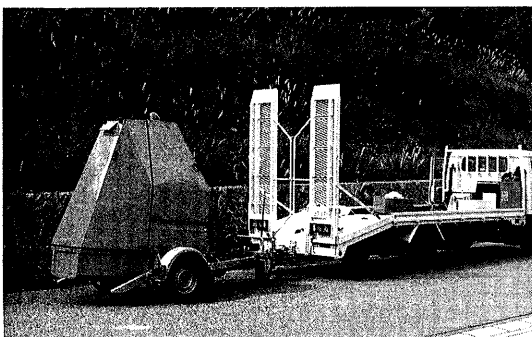
上記の各実験室は, いずれも音響の精密測定と応用測定の両方に対応できるように, 考慮を払って作られている。性能的には, ISO, IEC, 及び JIS に定める音響測定の数値に適合し, ここで得られたデータは国際的なデータとして通用するものである。

3. 研究テーマ

(1) FWD たわみによる舗装構造評価

写真に示すような Falling Weight Deflectometer を用いて舗装のたわみを測定し, 路床, 路盤, アスコン層の弾性係数を算出する。この結果から, 舗装構造の診断を行い, 合理的な維持修繕計画をたてる。現在, 各地の県道を中心にデータを収集し, 各種舗装材料の標準的な弾性係数を調査している。

舗装内部の空洞調査や, 路床路盤の竣工検査への応用も可能である。



測定中のFWD

(2) アスファルト混合物の誘導加熱

アスファルト舗装の路上表層再生工法は, 路面を直接加熱するために, 舗装表面と底部の間かなりの温度差を生じ, 表面部分のアスファルトの熱劣化が著しい。本研究は, この点を改善するために, アスファルト混合物を内部から加熱する電磁誘導加熱方法を開発するものである。小型の模型を用いて実験しているが, 熱効率が高いために, 使用エネルギーは従来の方と差がないことが判明している。

(3) 交通騒音分析

自動車の走行騒音はやかましい音として, 小さくする努力が払われているが, 騒音や路側振動の中には様々な情報が含まれている。この情報を周波数分析などの手段により取り出す研究である。本研究により, 判別可能となった情報は, 車種, 走行方向, 速度, スパイクタイヤ装着の有無などである。さらに, 自動車重量の判別を可能にし, 自動計測システムを作成することを試みている。本方式による交通データ収録システムは携帯性に優れているため, 応用範囲が広い。

(4) 低騒音舗装の音響特性

残響室法によるアスファルト混合物の吸音率測定や, 実際の交通騒音の測定を通じて, 最適な吸音効果をもつ舗装材料の開発を行っている。舗装に吸音性能をもたせることは, タイヤ音やエンジン音を発生源のすぐ近くで吸収することになり, 吸音効果が高い。

4. あとがき

舗装工学の研究の動向を見ると, 研究の範囲が拡大されてきており, これまで扱われていなかった分野との境界領域の課題が増加していることに気がつく。すなわち, 新素材の開発, コンピューターによる構造計算の普及, 施工機械や品質管理装置の開発に伴う機械工学, 電子工学との境界領域, 騒音, 振動, 大気汚染など環境工学の分野, デザインや景観の問題, 透水や吸振を考慮した人間工学的な舗装の開発など, 枚挙すればきりが無い。また, 過去に試みられてうまく行かなかった研究でも, 近年の技術開発によって見直されてよいものがあるかも知れない。

大学における舗装工学の研究は, ますま活発になって行くものと思われる。これまでは外国の技術の導入が多かったが, わが国独自の技術開発を進め, 国際競争力を高める必要もある。今後も, 産業界や官界のご協力をお願いする次第である。

「アスファルト」と舗装との 30年のおつきあい

三 浦 裕 二

みうら ゆうじ
日本大学理工学部交通工学科教授・工博。昭和33年日本
大学工学部土木工学科卒。
勤務先：〒274 船橋市習志
野 台7-24-1。
☎0474-66-1111



魅力的な『アスファルト』との出会い

私が『アスファルト』と知己を得たのは、谷藤正三先生の道路工学の中である。黒板上ではあるが、当時まだ導入されていないマーシャル試験まで講義していただいた。昭和32年のことで、東京都が尾久にアスファルト乳剤の直営工場を持っていた時代である。

一次エネルギーが石炭から石油に移行すれば、道路のプリマドンナは『アスファルト』になると考え、それまでほれ込んでいたダムを捨て、藤井真透先生のご推薦により日本道路に就職する。

昭和33年県道高崎・伊勢崎線の舗装新設工事で本格的に『アスファルト』との付き合いが始まる。当時の彼女はまだ硬いドラム缶に包まれており、その身を溶かすのにおおいに手間どったものである。翌年から36年にかけて、宮城県の国道、県道で彼女等に囲まれるが、当時まだ婿殿になる『碎石』が少なく、潤沢に供給されていた『砂利』との縁組を考え、『砂利アスコン』を提案し認めて頂いた。宮城県の菅原郁郎氏や十倍 傳氏のご協力のもと、配合設計と施工の中で彼女を研究の対象とした最初である。

当時、日本道路には宇都宮寿夫、井上静三両先生がおられたが、もう一度大学で勉強したくなり、浅川美利先生のお世話で、新設された理工学部交通工学科に奉職した。ここで最初に手がけた研究は、色の黒い彼女を白く、明るくすることである。交通工学の面からも、美観の面からも重要なことと考えた。まだ容易に入国できたナフテン系の彼女を、ルチール型の酸化チタンで化粧（ロール混合）すると見事に生まれ変わった。しかしながら高価につくのと、石油樹脂をベースとしたカラーアスファルトがすぐ誕生したことで中断したものの、各種の微粉末を加えることで彼女の性格が微妙に変化することに興味がわき、昭和40年、研究の中心はフィラーに移行した²⁾³⁾⁴⁾。ミシガン大学での修士論文⁵⁾のテーマともされた、この道の大先達、江守保平先生には歴史的にいろいろとご教示頂いた。今でもフィラーの添加方法、つまり彼女の中にいかに分散さ

せるか、そのことによっていかに彼女の能力に差が生じるか、興味を持ち続けている。知っている方がおられたら教えて頂きたい。

材料と構造の研究

同じ時期、それまで路盤工の主役であったソイルセメント（セメント安定処理）がアスファルト舗装のひびわれの一因として凋落傾向にあった。それに拍車をかけたのがAASHO道路試験の結果を踏まえた、アスファルト安定処理の急進である。この問題は私に二つの興味ある課題を提供してくれた。一つはソイルセメントの改良であり、もう一つは材料の力学特性と層構造の問題である。

セメントの持つ剛性と、アスファルトの持つたわみ性を上手に組み合わせて、力学特性が制御できないものかと考えた。そこで注目したのが、素直な彼女をノニオン系のクレイエマルジョンに変身させ、そのみずみずしきでセメントを固めよう、という研究である⁶⁾。昭和41年のことで、乳剤の作成には東亜道路工業の鈴木紀章氏にお世話になった。強度の制御のみならず、疲労特性の改善やリグニンスルフォンサンの添加で吸水性等の物理特性まで改良されることが分かった。浅川美利先生や山内豊聡先生には貴重な助言を頂いた。

舗装を構成する各層の強度特性と、その材料の室内での強度特性を供用性を含めて比較したくなるのは当然のことで、AASHO道路試験の結果と竹下春見先生の研究に刺激されて、多層構造の応力解析に興味を覚える。昭和42年ミシガン大学での第二回アスファルト舗装構造会議に鈴木紀章氏と共に出席し、シェブロン研究所のペインター博士と知り合い、解析プログラムの作成に支援を頂ける幸運に恵まれ、当時大学院生だった巻内勝彦君の協力を得て、99層までの応力と変形の解析が可能となった⁷⁾。そうなる実測値と比較したくなる。当時日本道路公団では東名道の動態調査が精力的に進められており、その成果の一部を拝借し比較した結果、適切に各層の力学定数を与えることで良い

一致をみる事が確かめられた⁷⁾。さらにいろいろな方法で求めた各層の力学定数を与え、応力と変形の解析結果を動態調査結果と比較し、アスファルト舗装の弾性解析の妥当性を、ロンドンで開かれた第三回のアスファルト舗装構造会議に発表した⁸⁾。

たわみと曲率への興味

ロンドン会議に出席する前に、オーストラリアのイングレス博士と、南アフリカ共和国のキューン博士から招待を受けていたことから、ARRB 経由でプレトリアのCSIR に出向いた。そこでデーレン博士から何の変哲もない一本の曲率計を見せられた。同一たわみでも舗装構造によって、その供用性が異なることを、なんとか実証したかった私は、博士から国内での作成の許可を受け、既設舗装の非破壊による構造評価を行うべく、早速調査研究に取りかかった⁹⁾。宮城県は県道二路線を対象とし、路床のサクション、路面性状、たわみ曲率などから、舗装構造の力学定数を推定し室内実験の結果と比較すると共に、路面性状との関係を調べ、良い一致と興味深い相関が得られた。

これらの結果は、ミシガン大学での第四回アスファルト舗装構造会議論文集¹⁰⁾に十倍 傳氏と共に発表すると同時に、伊吹山四郎先生、松野三朗先生、最上武雄先生、浅川美利先生のご指導を得て、学位論文としてお認め頂いた。

この間、昭和50年から52年にかけて、NKK と奥多摩工業の全面的な協力により、スラグ路盤に関する研究に参加でき、これまでの研究成果を利用する機会に恵まれた¹¹⁾。さらに昭和57年には、アスファルト舗装の温度の推定¹²⁾と、構造評価と組み合わせた、たわみの温度補正に関する研究を並行させ、アメリカA I の補正図を構造面から説明した¹³⁾。これらの研究はNKK の近藤佳宏君、静岡県の内田 弘氏、国土道路の川島克美君の協力と努力によるところ大である。

透水性舗装への挑戦

昭和48年、東京都から委託研究を受け透水性舗装の研究に着手する。南ア共和国のポップコーン舗装、英国のフリクションコースを調査していたことと、都市河川や下水道など都市の環境問題に興味を抱いていたことから、街路樹育成という都の要望を踏まえ、若干の危惧を持ちながらも、直ちに雨水を直接地中に還元する構造とすることで研究をスタートさせた。

透水性アスファルト混合物に関する一年間の研究を

経て、直ちに数寄屋橋交差点など都内三箇所の歩道での試験舗装に踏み切った¹⁴⁾。東京都の矢島富広氏を始めとする多くの勇気ある技術者の決断の賜物である。

反響は大きかった。NHK を始め多くのマスメディアに取り上げられ、またたく間に全国的な普及をみるに至る。

その間、試験舗装の追加と5年にわたる追跡調査が行われると同時に、難問だった目づまりもジェット水流によるクリーナーを開発し維持管理を可能とした。この開発に当たっては、日本総合防水の所 武彦氏、東亜道路の川野俊行氏の熱意によるところ大である。

昭和50年には建設省より研究補助金が交付され、日本道路建設業協会に透水性舗装研究委員会(樽井常忠委員長)が設置され、その成果として『透水性舗装ハンドブック』が発刊される¹⁵⁾。さらに昭和53年、アスファルト舗装要綱の改訂時に特殊舗装として加えられるに至り普及に拍車がかけられた。

都市環境と透水性舗装

透水性舗装の数ある利点の一つとして、流出係数の低減があげられる。アメリカ EPA (環境庁) の研究もこの視点から始められている。

豪雨による東京の水害は、ゼロメートル地帯といわれる江東、墨田の両区が主役であったが、昭和45年以降の水害は、かつてあまり問題のなかった山の手や西部地区に移行し、石神井川や神田川などに集中した。

そこで板橋区を対象に、幹線道路を除くすべての道路を透水性舗装とし、さらに住居の屋根からの排水を地域毎に貯溜したさいの流出量と水収支について検討することとした。現在までに透水性舗装とすることで、ピーク流出量の20%をカットできることが見込まれている。

地中に浸透した雨水は晴天時に蒸発する。その時点で潜熱を奪うことにより地表の温度は低下する。地表面の温度の変化率は、熱容量の平方根に反比例する。昭和62年度環境庁の研究に参加する機会を得、透水性舗装の気温低下に及ぼす効果がシュミレーションされた。

その結果透水性舗装上の気温は、蒸発効率を30%としても現状の舗装に比べ、午後2時で2.4℃低下するという結果が得られた。赤外線放射温度計による実測値でも雨上がりの時点で40℃の路面が、透水性舗装の場合長時間にわたり38～42℃と低温を維持するのに対し、通常の舗装は一時間後(14:30)には45℃まで上昇し、

両者の間には最大6℃の差が生ずる¹⁶⁾。この研究は現在も継続中であり、上昇傾向にある都市温度と低下傾向にある湿度の抑制に、幾分かは役立つものと考えている。

都市公害の中で騒音は最も深刻な問題で、環境基準の達成には、発生源である自動車とタイヤを含めた機械系、輸送体形を整える交通系、土地利用と都市計画から道路、舗装までの土木系が一体となって対応しなければ解決できない学際的課題である。

舗装の分野で貢献するとすれば、タイヤと路面から発生する騒音である。多くの連続した空隙を有する透水性舗装は、タイヤトレッドから生ずるエアポッピングノイズのエネルギーを減衰させる働きがあり、通常の舗装に比べ、速度およびタイヤに関係なく1~5db騒音レベルが低下する。特に湿潤時では1.5kHz以上で、5~18dbもの音圧レベルの低下が認められる¹⁷⁾。

社会的に不可欠な自動車交通から発生する騒音に対し、いかに対処するかは今後の都市問題の重要な視点であり、舗装技術の果たすべき役割は決して小さいものではないと考えている。

透水性舗装には、もう一つ利点のあることも確かめられた。表面に水膜を形成しない透水性舗装は、降雨

時夜間の視認性を改善し、対向車の前照灯や尾灯、あるいは周辺の光源によるグレイヤー（眩しさ）の影響も小さくなることが確かめられた。増加傾向にある夜間の交通事故防止に役立つことを期待し実験を進めている。

これらの研究以外に都市環境の重要な視点に景観が上げられる。街路の景観設計のみならず、それを実体化する景観材料に関する研究も当研究室の主要課題である。

魅力的な『アスファルト』との再開を期待して

しばらく疎遠になっていた彼女も30年の月日を経て熟女としての魅力を増したに違いない。風の便りによると、彼女たちの中には景観材料として大いに役立つ、メロウな風情に成長したのもいるという。当方も馬齢を重ね、それなりに彼女の良さを強調するアイディアを持ち合わせているつもりでいる。

研究を英語でResearchという。透水性舗装に適した混合物の開発のために、もう一度魅力的な彼女を探し求めたいと思っている。

— 参考文献 —

- 1) 三浦 轟『ストレートアスファルトの着色について』道路建設, Vol.204, 1965
- 2) 三浦『アスファルト混合物に性質に及ぼすフィラーの影響』道路建設, Vol.215, 1965
- 3) 三浦他『鉦山スライムのフィラーとしての利用』舗装, Vol.3 No.12, 1968
- 4) 三浦『舗装用フィラー』舗装, Vol.5 No.9, 1967
- 5) Emori, Y. "A Study of Mineral Filler in Sheet Asphalt Paving Mixture", Michigan Univ. 1927
- 6) 三浦『添加剤によるソイルセメントの性質改良』舗装, Vol.3 No.11, 1968
- 7) 三浦, 巻内『多層地盤の応力変形解析と東名高速道路動態調査結果の検討』土と基礎, Vol.17 No.1, 1969
- 8) Miura, Y. "A Study of Stress and Strain in the Asphalt Pavements of Tomei Highway" Proc. of 3rd Internal. Conf. of the SDAP, 1972 (London)
- 9) 三浦『たわみ曲線によるアスファルト舗装のオーバーレイ厚さ設計法に関する一提案』土木学会論文報告集No.213, 1973
- 10) Miura, Y., Tobe, T. "Evaluation of Existing Pavement Based on Deflection and Radius of Curvature and Overlay Design" Proc. of 4th Internal. Conf. of the SDAP, 1977 (Michigan)
- 11) 三浦他『スラグを用いた上層路盤に関する試験舗装』舗装 Vol.12 No.2, 1977
- 12) 三浦, 近藤『アスファルト舗装体内温度の推定に関する研究』土木学会論文報告集No.250, 1976
- 13) Miura, Y. et al "Influence of Structure and Temperature on Deflection of Asphalt Pavements-An Approach to Temperature Correction" Proc. of Internal. Conf. on Bearing Capacity of Roads and Airfields, 1982
- 14) 三浦『透水性舗装の現況』土木学会誌 Vol.63 No.6, 1978
- 15) 日本道路建設業協会『透水性舗装ハンドブック』山海堂 1979
- 16) 昭和62年度環境庁委託研究『都市再開発と環境に関する調査…都市エコシステムの再生に向けて』大成建設
- 17) 三浦他『透水性舗装の騒音低減効果に関する実験的研究』第43回土木学会年次学術講演会, (IV-201) 1988

三 瀬 貞

みせ ただし
大同工業大学工学部建設工
学科教授・工博。昭和25年京
都大学理学部化学科卒。
勤務先：〒457 名古屋市南
区白水町40。
☎052-612-5571



アスファルト雑感

学生時代にあの真黒な底光りのするアスファルトを見て、このような得たいの知れないものを研究のテーマに取るとは、将来よもやあるまいと思った。それが研究生の後半に、重要なテーマの一つになって了った。思えば不思議な縁というものであろう。

アスファルトは、比較的高温に堪えて残留した石油産出物である。熱反応に敏感なものは変化して、熱に対して敏感でない部分だけが集まったものであるとも云えよう。その熱に対して不感症な部分の最たるものがアスファルテンである。いうなれば、最もアスファルトらしいもの、アスファルトの中のアスファルトともいえるものであろう。もっとも熱に対して敏感には反応しないといっても、それは比較的な意味であって、アスファルトの中にも感温性の高いものと低いものがあることは衆知のところであろう。

粘土地盤の変形現象の中で、圧密現象 (Consolidation) というものがある。これは粘土地盤の中から水がしぼり出されて行く現象であり、シネリシスとかブリージングとかいう現象と類似のものであるが、多孔質媒体中での透水現象の一形態であることは間違いないところである。しかし、これは現在のわれわれには平明なことであっても、Terzaghi 博士以前では、必ずしも明らかな現象ではなかった。この現象の結果表われる粘土層の沈下が、その当時は、どうして生じるのかも不明であって、従ってその対策のたてようもなく困っていた時代でもあったのである。アスファルト混合物のストリップング現象も結局これと似た現象と考えられるわけで、図-1 にモデルで示したように水と接したアスファルト混合物中にストリップング帯が時日の経過とともに上昇して行く過程を熱伝導方程式で解析することができる。ただアスファルト混合物と水とのかかわりの問題は、古くから経験的に取り組んで来られたもので、この熱伝導式による解釈から出てくる対策も、経験的に既に解答が得られていたわけで、その理論的裏付けを与えたということに終った。

ただこのストリップング現象を研究している過程で、

アスファルトが各種高分子の集合体であること、従ってそのフラクションの性質の違いが色々の場合に現れてくることに改めて気付いたことは収穫であった。これは昔から溶剤によるアスファルトの分別法として衆知のもので、その最も知られているものが、 n -ペンタンと吸着剤によって分別されるオイル、レジン、アスファルテンである。

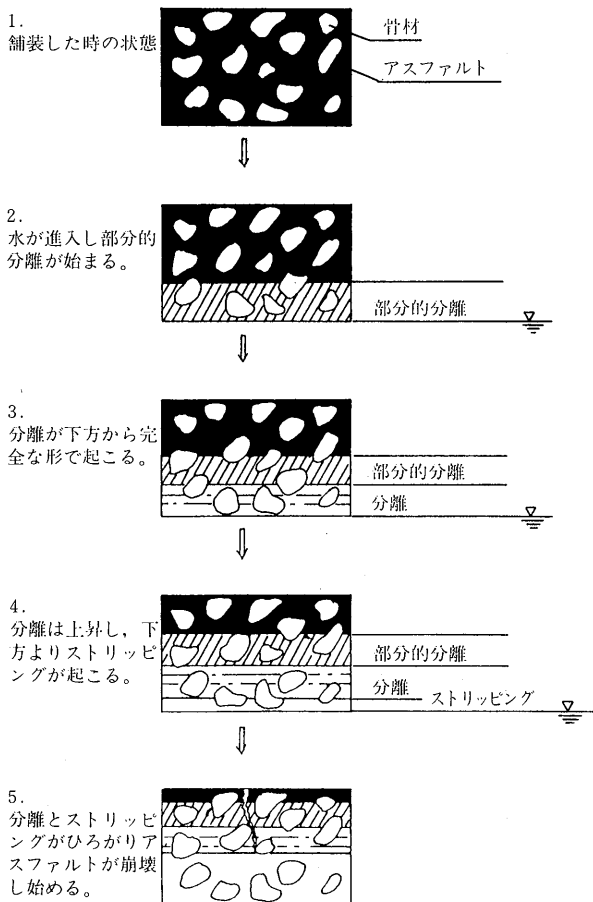


図-1 ストリッピング帯の上昇過程

アスファルトを各種溶剤によって抽出すれば、各種の分子量のものが分別集積される。とすれば、その分別の方法に振動数を持ってくれば、図-2で示すようにある限界の振動数のところで集まってくるものと、自らの孤塁を守って動かないものに分けられるわけで、道路の形態、周辺環境によって、アスファルト混合物の或る種のフラクションと共鳴するものがあれば、それだけを集めることが可能になり、逆にアスファルトだけを抽出して、他の物と置換することも可能となる。これが、松野博士がいわれるアスファルト混合物の縦割れ現象の一つの解釈にならないかと愚論を発表したことがある。

暇があれば、実験で検討してみたいと思いつつ、多忙に取り紛れて果し得ないでいる。

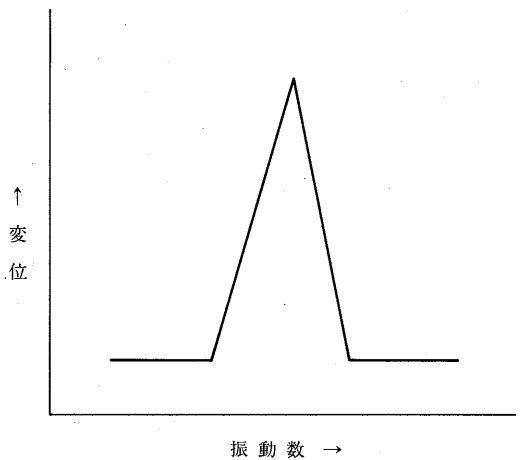


図-2 共鳴現象

— 参考文献 —

- | | |
|---|---|
| <p>1) T. Mise, M. Yamada, H. Negoro, Memo. of F. E. of Osaka City Univ Vol.23, 1982, P.139</p> <p>2) 三瀬貞・山田優, 第15回日本道路会議論文集 433, 1983, P257</p> | <p>3) 小宮正二, 三瀬貞, 山田優, 輪荷重によるアスファルト混合物中のアスファルトの移動に関する一考察, 土木学会年次講演概要集 No.5, 1984, P228</p> |
|---|---|

砂利道の歴青路面処理指針（59年版）増刷

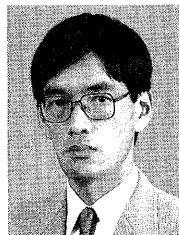
第3刷 B5版・64ページ・実費頒価500円（送料実費）

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

舗装とのつきあい

村井 貞 規

むらい さだのり
東北工業大学土木工学科助
教授・工博。昭和49年東北大
学大学院工学研究科修士課
程修了。
勤務先：〒982 仙台市八木
山香澄町35-1。
☎ 022-229-1151



1. はじめに

私が勤務している東北工業大学土木工学科には舗装工学と関わっている研究室としては高橋彦人教授の研究室と村井研究室の2つがあり、基本的には独立した形式を採っている。しかし研究室間の交流は比較的自由で、この大学に来て4年が過ぎたが、幾つかの共同研究を行ってきた。とは言っても他の研究室の研究内容を十分把握しているとは言いがたいので、その共同研究の内容も含めて私の研究の概要を説明したい。

舗装の研究を始めた経緯は雑誌「舗装」の座談会¹⁾でひととおり申し上げたので省略させていただくことにして、舗装工学と関わり始めたころの印象に残っている研究や調査についてまずお話させていただく。

2. 研究を始めたころの思い出

(1) アスファルト混合物の強度試験

助手になりたての頃まず手を染めたのはアスファルト混合物の強度試験だった。当時東北大学の道路研には温度管理の出来る強度試験機がなく、インストロンを借りて実験するために1回2週間のサイクルで3回、院生、職員と一緒に浦和まで通った。夏休みの期間を利用した実験で、暑いさなかに供試体を集中的に作るのは大変な作業だった。それでもアスファルト混合物がその置かれた条件によって複雑な挙動を示すことが興味深く、実験条件をどの辺に設定するかに頭を悩ませた。この実験は舗装構造として用いられたアスファルト混合物が受ける組み合わせ応力を対象にしたもので、文献(2)としてまとめている。

この時の経験からアスファルト混合物の取り扱いにはきわめて難しいという印象があり、この後直接強度自体を問題にした研究は行っていないが、面白いテーマであることは間違いのないところで、また機会があったら続きをやってみたいものである。

(2) 多変量解析によるアスファルト舗装の要因分析
アスファルト舗装を対象にした研究として思い出深いのは、数量化理論を用いた舗装のわだちばれの評価

である。AASHOの道路試験や道路維持修繕要綱には舗装のサービス指数(P)や供用性指数(PSI)といった指標が用いられている。これらは路面の現状を表現しているが、その舗装の構造や荷重条件と直接関連づけられているわけではない。これらを結び付ける方法として、ようやく一般的になりだした数量化理論を適用し、わだちばれ量と構造要因、環境要因の関係を具体的に求めた。この方法によれば舗装の経時的なわだちばれ量を予測することが出来ることから、舗装のマネジメントシステムの構築においてきわめて有用になると考えられる。現実的にはデータが統一されていないので適用出来る訳ではないが、評価項目や評価規準が確定できれば、多くの舗装をそのまま資料として利用できるなどの利点もある。この成果はノールウェーで開催された舗装の耐荷力に関する国際会議で報告している³⁾。

数量化理論は他の舗装問題にも幾つか適用しており、コンクリート版のひび割れパターンについての分析でも面白い結果を得ることが出来た⁴⁾。

(3) 連続鉄筋コンクリート版のひび割れ測定

東北地方は、他の地域と比較するとコンクリート舗装が多いと言えるが、連続鉄筋コンクリート舗装はやはり珍しい。昭和38年に建設された連続鉄筋コンクリート舗装の供用性調査が昭和52年に実施された。東北大学の福田教授がこの舗装調査委員会のメンバーだった関係で、助手になって間もない私も参加させていだいた。調査は舗装面に水を撒き、表面が乾きかけた頃路面のひび割れを丁寧にスケッチし、合わせてひび割れ幅も測定するという結構根気のいる作業だった。しかしこの調査のおかげで連続鉄筋コンクリート舗装にはひび割れがどのように発生するかといった特性を実際に見ることが出来、また以前の調査と合わせて経年変化を観察する機会を得ることが出来たことは幸運だった。この調査結果は東北地建の報告書としてまとめられている⁵⁾。

余談になるが昨年度の土木学会東北支部技術研究発

表会で「25年経過した連続鉄筋コンクリート舗装」というタイトルで上述の舗装についての最終報告があった。たまたま私が司会をしていたセッションだったが、いよいよオーバーレイされるということで感慨深いものがあった。

3. 現在とこれからの研究の方向

思い出話に随分スペースを割いてしまい原稿も余り残っていないが、現在行っている研究と今後の研究の方向などについてまとめてみたい。

舗装というのはかなりプラクティカルな部門で、大学で研究していることが即実際の設計法に反映するわけではないが、基礎的な内容については大学の研究として多くの面白いテーマかあると思う。その中で現在関心を持っていることを要因別に整理してみる。

(1) 環境 (気象, 荷重)

- ・舗装に対する気象作用の影響は舗装表面、内部の温度変化の問題が中心であるが、もっと舗装路面における熱収支について系統的な研究が必要であると思われる。
- ・輪荷重による舗装の応力を求めるためには、輪荷重自体と輪荷重間の相互作用についてさらに正確な知識が必要である。また東北地方は積雪寒冷地であることから冬期のすべり止めの路面への影響も小さくないと考えられる。そこで感圧紙による輪荷重の接地圧の測定、舗装内応力の分析を共同研究として行っている⁶⁾。

(2) 構造, 材料

- ・舗装構造についてはこれまでの3次元多層構造についての理論解析と、光弾性実験を合わせて行ってきた^{7) 他}。これらについては今後も研究を継続していきたいが、さらにオーバーレイされた舗装構造やブロック舗装を含めて検討したい。ブロック舗装についてはピットでの載荷試験、光弾性実験などを共同研究として実施する予定である。
- ・舗装材料の試験は特定の条件での強度試験が中心だが、実際の供用状態とはかなり隔たりがあるように思われる。この辺りの整合性や舗装材料、特にアスファルト混合物の破壊の微視的な検討が必要であろう。

(3) 供用性, マネージメント

- ・大学の研究としてこれらを直接取り扱うことは実際にはなかなか困難だが、2. で述べたような数学的な手法の適用、合理的なシステムの構築、諸

外国の事例の紹介などによりある程度の対応は出来るのではないだろうか。

(4) 景観, 快適性

- ・これまでは舗装部門ではあまり取り上げられたことがない道路・街路景観、車道や歩行者空間のデザインとドライバーや歩行者との関係などについても今後は積極的に取り込んでいく必要があると思われる。あまり実験に費用をかけられない私学にとっては、コンピューターをグラフィックスなどは商業的なものとは違った意味で魅力のあるテーマといえる。

4. むすび

これまでの自分のささやかな経験を基にしているので、はなはだ不十分なものになってしまい余りお役に立ちそうにはないが、現在舗装に関連して思っていることをまとめてみた。なおこう言った問題のほかに

- ・交通の安全性
- ・東北地域の交通と気象

などについても資料収集とその分析を中心に取り組んでいるところである。

— 参考文献 —

- 1) 座談会「舗装に関連する研究の現状と将来」, 舗装 Vol.21, No.6, 1986, P3.
- 2) 村井貞規, 福田 正: 組合わせ応力によるアスファルト混合物の破壊試験, 土木学会論文集, 第 315 号, 1981, 11, P115.
- 3) Murai, S. and Fukuda, T.: Multivariate Analysis of Damaged Asphalt Pavements, Proc. of the International Symposium on Bearing Capacity of Roads and Air-fields, 1983.
- 4) 福田 正, 村井貞規, 小梁川雅: コンクリート舗装版のひびわれ発生位置に関する研究, 第16回日本道路会議一般論文集, 1985. P333.
- 5) 建設省東北地方建設局: 郡山国道連続鉄筋コンクリート舗装調査報告書, 1978.
- 6) 村井貞規, 高橋彦人, 今楚辰郎: 輪荷重と舗装の荷重伝達に関する基礎的研究, 43回年次学術講演会講演概要集, 1988.
- 7) Murai, S. and Fukuda, T.: Stress Computation of Multi-layered Pavement Structures, The Technology Reports of the Tohoku University, Vol.49, 1984, P163.

私はたわみ性舗装になれるか？

山 田 優

やまだ まさる
大阪市立大学工学部土木工
学科助教授・工博。昭和42年
大阪市立大学大学院工学研
究科修士課程修了。
勤務先：〒558 大阪市住吉
区杉本3-3-138。
☎06-605-2728



今ごろこんなことを言うのは、はずかしいことだが、たわみ性舗装と剛性舗装の違いがまだよくわかっていない。アスファルト舗装は前者で、セメントコンクリート舗装は後者だということは知っている。また、それゆえ、アスファルトとセメントを用いた舗装を半たわみ性舗装あるいは半剛性舗装と呼ぶこと自体は何となく理解できる。しかし、「アスファルト舗装は、表層、基層が路盤の沈下に追従できる性質があるので、たわみ性舗装といい、そしてセメントコンクリート舗装は、コンクリート版の曲げ剛性によって交通荷重を広く分散させるので、剛性舗装という。」と言われると、少しむつかしくなってくる。さらに「半たわみ性舗装はアスファルト舗装のたわみ性とコンクリート舗装の剛性と耐久性を複合的に活用しようとするものである。」などと言われると、ちょっと理解するのがむつかしい。

その舗装をたわみ性と剛性のどちらと考えるかは、単に表層に用いる材料の問題ではなく、構造設計の基本方針に関係した事柄であろうと思うのだが、舗装要綱にはそれに関する十分な記述はない。

今、転圧コンクリート舗装が話題になっている。材料の性質だけから考えると、剛性であり、セメントコンクリート舗装的な考えで構造設計したいところだが、それでよいのだろうか。

そもそも、橋梁部などは別として、一般の道路では、舗装はこわれないように設計されるのではなく、ある期間、がまんできなくなるまでにひどくこわれないうようにと考えて設計されるものだと思う。路面にひびわれが生じるかどうかはあまり問題ではない。要は、車の走行性に支障をきたす路面性状の変化がどのように進行するのが重要である。アスファルトとセメントコンクリートのどちらを使おうと同じで、AASHTO道路試験でもそのように考えられていたと思う。

アスファルト舗装の供用性の改善、また舗装への新しい機能などの要求から、いろんな工法、材料の使用が試みられている。それらは傾向として、通常のアスファルト混合物よりも剛性の高い層をつくることにな

る場合が多い。それゆえ、任意のたわみ性あるいは剛性を示す層を有する舗装、すなわち、アスファルト舗装、セメントコンクリート舗装のどちらにも適用できる構造設計法の開発が必要のように思う。また、舗装がどのようにこわれていくかを知るために、各材料の供用中の劣化についての研究が必要である。

私は最近、こんなようなことを考えて、舗装の研究を細々ながらも続けている。

これまで、アスファルトやアスファルト混合物に関しては、特にレオロジー特性について検討してきた。北大の菅原先生やシュルグループなどの研究を手本にさせていただいて、定ひずみ速度及び繰返し曲げ試験やホイールトラッキング試験、またクリープ試験も行ってみた。そして、曲げ試験で測定される比較的低温、短載荷時間での混合物の力学的性質は、アスファルトバインダーのそれに密接に関係すること、一方、ホイールトラッキング試験で測定されるような比較的高温、長時間での力学的性質は、アスファルトだけではなしに、骨材の影響が非常に大きいこと、従って混合物の締固め方法によって大きく変動したり、輪荷重の走行につれて変化する可能性も大きいことなどを自分自身の目で確かめることができた。また、これらの試験手法を用いて、再生アスファルト混合物や耐流動舗装用混合物の性質についても検討した。

そうした種々のアスファルト混合物の実験を行って、混合物のレオロジー的性質は、以前考えていたほどには複雑でなく、意外と単純なものだと思うようになった。むつかしくて、よくわかっていないのは、それと舗装の供用性との関係である。アスファルト混合物の最大の特徴はアスファルトバインダーがもたらす応力緩和性であると考えられるが、どの程度の緩和性状があれば有効なのかについては、わかっていないように思う。混合物のレオロジー性状と舗装の供用性との関係を実験室でどのように研究していけばよいかも、非常にむつかしい問題である。しかし、これらのことは

舗装の研究者の誰もが、大変重要と考え、興味を持っている問題であることに、間違いはない。

まずは、実舗装でのアスファルト混合物の性質の経年劣化に、交通荷重だけでなく、熱、水、光が関係していると考えて、それらの影響について、ウェザーメーターと水浸ホイールトラッキング試験を使って検討することにした。ウェザーメーターは、アスファルトまたはアスファルト混合物の供試体を水平台の上に載せて水平に回転させながら、紫外線と水を与える方式のものである。水浸ホイールトラッキング試験機は、10数年前に購入したものだが、通常のホイールトラッキング試験はその後購入した供試体移動方式の試験機の方を使って行うこととし、こちらは本来の水浸走行試験専用として使っている。水浸ホイールトラッキング試験は温度60~70℃、湿度ほぼ100%の部屋中で行うので、まるで試験機の蒸し風呂の中での耐久性を試験しているようなものである。数度、部分的な修繕を行ったが、まだ何とか動いてくれているのは有難いことと思っている。

ウェザーメーターを用いての紫外線照射は、すでに言われているように、実舗装の場合に比べて、ごく表面に近い部分にしか影響を与えないので、混合物の劣化を実験室で模擬させるのはむづかしいであろうと思っていたが、供試体の内部まで及ぼすことのできる60℃程度の加熱が実舗装に近い劣化を促進させるのに効果的なことが最近わかってきて、喜んでいる。

アスファルトの劣化度の評価には、針入度や軟化点などの物理的性質の試験のほか、赤外分光分析が有効なことがわかった。しかし、混合物からのアブソン法によるアスファルトの回収はむづかしく、どうも安心できない感じがするので、アスファルトを回収しないで混合物のまま直接試験して、混合物中のアスファルトの劣化度を評価する方法の開発をいま急いでいる。アスファルトに関する実験に有機溶剤の使用はつきものだが、できるだけ少なくしたいので、そのためにもアスファルトの回収をできるだけしないでよいようにしたいと思っている。

混合物にとって致命的劣化である骨材からのアスファルトのストリッピングは、繰返し走行荷重と水の相

互作用により起こる現象であり、水浸ホイールトラッキング試験で模擬することができるとは、南雲、小島両氏（現熊谷道路kk）らによりすでに示されており、筆者も恩師三瀬（現大同工大）、根来（現根来組kk）らとともに、そのメカニズムについて考察した。その結果、水浸ホイールトラッキング試験は、相対的ではあるが、実舗装での混合物のストリッピングに対する抵抗を評価するのに非常に有効なことがわかった。ただ、一定した模擬路盤の作製、ストリッピング率の評価が少しめんどろと思うので、TRRL方式の採用なども含めて、試験法の改良について検討したいと思っている。

以上、アスファルトあるいはアスファルト混合物に関することに限って述べた。こわしながら使っていくと考えたの舗装の設計法、またそのための工法、材料の評価法の確立のために、どれだけ役に立つことができるのか、はなはだ自信がない。しかし、やれる範囲のことをできるだけやってみたいと思っている。

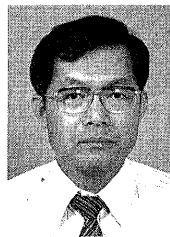
なお、筆者は現在、土木材料及び環境工学という講座名の研究室に所属している。土木材料に関しては、講師の眞嶋がコンクリートおよびコンクリート部材の研究を中心に頑張っている。教授の本多と助手の貫上が廃水処理、廃棄物処理など、環境工学を担当している。小人数ではあるがいろいろなことをやっているのがこの研究室の特徴である。そのほか、研究室には、技術職員1名、アルバイトの美人女性1名、大学院生5名、4回生10名が所属している。

このような研究室の性質を利用して、アスファルト混合物のリサイクルに引き続いて、各種廃棄物の道路材料への利用についても研究している。まず、廃コンクリート、掘削残土、電気炉スラグについて始めているが、下水汚泥や都市ごみの焼却灰および高温熔融スラグ、廃プラスチックなどについても検討したいと考えている。最近、当研究室で、蛍光X線、X線回折、高周波プラズマ分光などの無機分析装置が使えるようになった。例に漏れず、筆者もまた化学に弱い土木技術者の一人ではあるが、路床、路盤材料の水硬性、膨張性、金属溶出など、土木材料への化学的な面からのアプローチに果敢に挑戦したいと思う昨今でもある。

雑 感

吉 田 隆 輝

よしだ たかき
苫小牧工業高等専門学校土木工学科教授：農博。昭和46年北海道大学大学院農学研究科修士課程修了。
勤務先：〒059-12苫小牧市錦岡443。
☎0144-67-0211



1. 高等専門学校

高等専門学校（以下高専と呼ぶ）は昭和37年度に設置が始まり、平成元年度現在で、国立54校、公立4校、私立4校、計62校が全国各地に設置されている。内28高専に土木工学科が設置されている。高専は、戦後の単線型教育制度の反省と実践的技術者の社会的要望の下に設置された新しい制度である。歴史が新しいためか（苫小牧高専は今年で25周年を迎える）多くの卒業生を世の中に送りだしているにも拘わらず、必ずしも熟知されているとはいえない。そこで、高専について若干の説明をさせて頂くことにする。

高専は、実践的な技術者を多量に養成したいという当時の社会的な要請を受け設置されたことは前述のとおりである。最近では大学の数も増え、大学進学率も高く、さらに産業構造も変化してきている。それに伴い、高専においても学科増設、改組が進行し、さらに、科学技術の高度化に伴う教育の高度化、延長化の改革の必要性も盛んに論じられている。

高専のカリキュラムは、実験実習を重視した特徴を有している。授業時間数は、1学年で約36単位（1単位：50分を1単位時間とし、30単位時間）を履修する学年制をとり、5年間で177単位以上を修得し、めでたく卒業の運びになる。このようにカリキュラムは、過密このうえない。卒業研究（大学の卒業論文に相当）は、苫小牧高専土木工学科では8単位で、大学に比べると少ない。勢い放課後の卒業研究も珍しくはない。

卒研生は、5学年に進級した4月初旬に8研究室に希望により振り分けられる。年度により異なるが、道路班には平均4～5名が入ってくる。彼らは教官室に入り浸りになり、卒研に励むことになる。しかし“立ち上がり”は夏季休暇を終えるあたりまでを要し、その後次第にピッチが上がりはじめ、翌年2月にはグッシュがかかり、精魂を遣い果たしまとめあげ、製本、提出、めでたく卒業と相成る。毎年この繰り返しである。

高専卒業生は、大学卒業生に比べ決して見劣りしな

いと確信しているのだが、どうも産業界は、高専卒の社会的な資格を、総て大卒より下位にみているようである。大学と同じ教科書を使用し、カリキュラムも大学に比べ遜色は無い。本校から大学に編入学した学生の評価はおしなべて高い。高専卒業生に暖かなご理解を頂き、一層のご指導をお願いしたい。

なお道路班卒研生の指導は、吉田と昭和61年に赴任した高橋正一技官の二人で行なっている。

2. オイルショック

小生が舗装の研究を行なうようになったのは、昭和50年あたりからである。当時、苫小牧の日本軽金属苫小牧製造所では、ボーキサイトからアルミニウムを製造しており、その製造工程から産業廃棄物である赤泥が多量に排出されていた。赤泥は珪酸や酸化鉄などが沈澱した赤褐色をしており、生産されるアルミナとほぼ同量の赤泥が水分を多量に含んだ状態で排出されていた。また、微粒子であるため、乾燥すると飛散し易いものである。多量に排出されるこの産業廃棄物の処理方法としては、海洋投棄、埋め立てなどが行なわれていたが、種々の問題を含むため効果的な処理方法が模索されていた。その処理方法の一つとして、赤泥を高温で焼成し、骨材として有効利用されるかどうか検討された。昭和48年の第一次オイルショック後でも、赤泥の焼成はまだ研究する価値はあった。我が道路卒研班も、赤泥骨材を用いたアスファルト混合物に関する基礎的な研究をテーマの一つに採り上げ、赤泥まみれになったことが、思い出深い。日軽金の方にもお世話になったが、我が実験室でも篩分けやマーシャル試験など随分と行った。微粉末であるため、作業服も器具も実験室の壁も、赤泥のあるところ総て赤褐色となってしまうことに驚きを禁じえなかったものである。しかし昭和51年の第二次オイルショック後さらにオイルは続騰し、焼成による処理方法はもはや有効な方法ではなくなっていた。オイルの非常に安かった時代の話である。今では到底考えられないことである。

3. パーソナルコンピューター

隔世の感があるといえば、やはりパーソナルコンピューターが身近にあることであろう。16ビットパソコン、1000kbyteのRAMボードがあれば、多くの処理には困らないし、40MHARDDISKを併用している現在、ただただ便利になったものだと感じいつている。

昭和56年度農業土木学会「研究グループ」への助成を受け、「農道舗装の構造と破壊形態に関する研究」にかかわる機会を得た。農道整備事業は、農業生産活動を支える基盤をつくるきわめて重要な事業である。農道の整備実績は非常に大きなものになっており、また年数の経過とともにその維持管理について大きな課題となっている。そこで農道整備事業の発展及び維持管理に関する基礎資料を得るために、昭和57年に北海道の農免農道を主として対象にし、現況調査を行なった。アスファルト舗装の破損の程度は、ひび割れ率で表示するのが一般的であるが、この研究で対象とする農道の総延長は、約820kmに及ぶため、短期間に調査の完了ができるように、区間ひび割れ率を新たに定義し、それにより取りまとめを行なった。当該道路延長を200mを1区間として区切り、16項目を調査した。そして4種類のひび割れとその発生要因について回帰直線により検討を行なったわけである。

もちろん当時大学には大型計算機はあったし、苫小牧高専にも記憶容量48KB中央処理装置より構成される計算機システムは稼働していた。しかし種々の理由により、人海戦術よろしくカウントするのが早いとの結論に達し、原始的な方法により集計し報告書をまとめたものである。しかし幾つもの要因をクロスさせて集計するようになると、さすがこの方法ではきつい。200KB強のデーター群に対し随分と無謀であった。16ビットパソコン導入後、データーファイルを作成し、今ではパソコンのデーターベースにより、僅かな空き時間を利用して集計処理し、農業土木学会で少しづつ発表している。今では、集計、統計計算、原稿、試験問題作成等々パソコン無しでは効率的な仕事はもはや考えられない。我が卒研生も、計算に、ワープロに、パソコ

ンを駆使している時代である。これなども時代の大きな変化を認識するばかりである。

4. 雪とのたたかい

積雪寒冷地において脱スパイクタイヤが進められている。スパイクタイヤの使用が全面禁止されたなら、冬期間の安全走行上、道路の除雪を徹底して行わなければならないが、どのようにして行のか非常に難しい問題である。雪国に住むものとして、知恵を絞り出さなければならないところである。また一般家庭においても、雪かきは大変な仕事である。高齢化社会に移行している現在、お年寄りには雪かきはいへんな苦痛である。

このように雪国の一般家庭での除雪の労苦を解放し、快適な生活環境作りを目指し、今、道路や一般家庭における除雪、融雪に様々な試みがなされている。すなわち電力、ガス、灯油によるロードヒーティング、温水式ロードヒーティング、地熱利用のヒートパイプ、温水、温風式ヒートパイプを用いたもの、家庭用として給湯、暖房ボイラーによる地熱埋設型融雪システム、電熱ヒーターを用いた融雪システム等が考案されている。このうち地熱を利用するヒートパイプによる融雪は、ランニングコストがかからないという長所を有するものの、短所としてボーリングに要する費用が高く、安定した熱を供給できないことが挙げられている。

ヒートパイプによる道路融雪の実験報告は幾つかあるが、10m以上のボーリングを要したり、あるいは温泉水を利用したりあまり一般的でない。そこでヒートパイプによる融雪の可能性を知るために、昭和61年度から、苫小牧高専敷地内にヒートパイプを設置し、その近傍の地温及び融雪状況を観測している。

暖冬がここ数年続いているため、今後の観測結果が待たれるところではあるが、少しの時間は要するが、融雪への効果が認められている。これなどは雪国の一般家庭での除雪の労苦の解放に役立つものと考えている。これから、除雪、融雪に大いに興味をもっていくつもりである。

☆

☆

☆

☆

☆

☆

私のアスファルト研究の概要

渡 辺 隆

わたなべ たかし
武蔵工業大学土木工学科教授・工博。東京工業大学名誉教授。昭和22年東京大学土木工学科卒。
勤務先：〒155世田谷区玉堤1-28-1。
☎03-703-3111



1. はじめに

舗装研究の特集に書く程立派な研究からはかなり遠ざかったような今日この頃なので、いささか恥ずかしい次第であるが、随想風にまとめる企画ということをお願いに、アスファルトとのかかわりや、考えていることなどを思い付くままに述べさせて頂くことにする。

2. アスファルトとの出会い

筆者は大学卒業後土質関係の研究室で過ごしたが、昭和22年卒なので戦争直後のひどい時代であった。しかしアメリカから新しい土質力学の教科書等が入ってきて、我が国も大変刺激を受けた頃でもあったのである。今では当たり前の土の締め固めも、締め固め試験に依って管理する合理性に非常に感心したものである。東大の理工研（戦前の航空研究所）で最上先生に云われてプロクターモールドを所内の工作工場でアルミ鋳物で作ってもらい、多分日本最初のモールドで実験を始めたのが研究の出発であった。

当時は土質工学は大変新しい工学であり、しかも実用性が大きいことから大いに注目され、私のような若輩でも盛んに実際の工事等に関係する機会に恵まれ、また「土と基礎」の発刊にあたり講座で演習問題と解答を連載したり、初版の「道路土工指針」の或る章の原案を作ったりした時が未だ20才代であった。

昭和30年代に入ると日本の高度成長が始まり、技術者の不足を補おうと工学部にもぞくぞくと新設学科が設立された。東大の土木にも道路講座が新設され、私もそちらに移ることとなった。当時土質研究室では土曜の午後に輪講会をやっていて外部の方にも出席していろいろ発表をしてもらっていた。この会に当時土木研究所におられた竹下春見博士も参加されており、舗装に関する話も聞かせて頂いたのであるが、私が道路講座に移るといので、土とアスファルトは似たところも多いから是非やりなさいとすすめられたことがアスファルトと出会うきっかけであった。竹下さんから

土の締め固め曲線と、マーシャル試験の曲線が似ているだろうと云われたことは未だによく記憶している。残念ながら竹下さんは早く亡くなられたのでその後お話がうかがえなくて個人的にも大変残念であったが、我が国の舗装技術にとっても非常に惜しい方を失ったと思っている。

3. アスファルトへの取り組み

いきなりアスファルトといっても実際のところ何も分からずかなり迷っていたが、とにかく実物をいじって実感として味わうことが大切だろうと簡単な実験から始めることとした。

当時研究室に現在日大の阿部教授がいて、マーシャル試験用のサンプルの圧縮試験を始めたのが最初であったと思う。勿論直径に較べ高さが小さいので、端面摩擦の影響のため応力状態が複雑になり解析には不利なことは承知していたが、マーシャル試験よりはましだろうと考えたわけである。土質研究室の試験機では間に合わずコンクリート実験室の機械を借りてとにかく実験を開始した。ところが温度のコントロールがうまくできなかつたりしてなかなか思うような結果が得られず苦勞した。

そのうちに東京工大に土木工学科が設立され、私も移ることとなったので、実験室の整備のみでなくいろいろの雑用に追われる状況になってきた。実験室の方は阿部君が頑張って論文¹⁾をまとめる迄に整備されてきたのでホッとしたことを覚えている。しかし若さの威力を痛感したのもこの頃であり、ある程度の年になるとなかなか新しい分野に移ることの困難さを身にしみて感じた次第である。この頃の雑用の最大のものは例の学園紛争であり、殆ど本業を放りだしてやらざるを得なかった。

阿部君の論文の頃は、前述したようにアスファルトの感じを何とか身に付けようとしていたが、力学的強度の絶対値でなく最大強度を示すときのアスファルト量に着目してから研究が進んでいったことが強く印象

に残っている。このとき我々なりに随分苦勞して発見したつもりであったが、その後最適アスファルト量を容積で与える考え方は、以前に考えていた方もおられたことを知って勉強不足を恥じた次第であった。しかし自分で苦勞して見付けることの意義は決して小さいものではなかったと今でも考えている。

その後静的性質よりも動的な挙動の方が弾性的な取り扱いに都合が良いのではないかと、振動実験を試みたこともあったが、現在東工大の社会開発専攻の教授をしておられる大町君に殆ど全て手細工の装置で、紛争で落ち着かぬ時代に頑張ってもらった。

4. 破壊包絡線

我々の研究室でフィラーや砂のアスファルト被膜の力学的性質を考える時に、ごく薄い厚さのアスファルトは粒子の表面に付着してむしろ個体的な性質を示し、この部分を除いて考えるとアスファルト量と力学的性質の間の関係がよく表現できることが阿部君等の研究からわかってきた。これらの結果をアメリカの化学会のシンポジウムで発表³⁾したが、このときの論文集中のなかに破壊包絡線に関する論文が引用されており、大学院の学生（現在建設省）であった元田君がこれを見付け、早速確かめることとなった。

もともと高分子材料に関する理論であり、アスファルト混合物のように石のように大きな粒子の多い材料で適用できるかどうかはあまり自信がなかった。しかし試験条件例えば温度・载荷速度や、或は圧縮試験で応力を定みずみ、クリープ、応力緩和等の違った方法で行っても関係無く、物質の内部構造のみによって決まるという点に魅力を感じたのである。やってみるとどうやらアスファルト混合物にも使えそうなことが分かって⁴⁾きた。

5. 疲労破壊包絡線

弾性的取り扱いには载荷時間の短い動的性質が具合良さそうな感じをもっていたので、動的な問題の一つとして繰り返し荷重による疲労破壊を取り上げた。これに破壊包絡線の理論が適用できるかどうかを先ず実験的に確かめてみた。その結果破壊時の応力と歪みの間に、破壊迄の载荷回数をパラメーターとして比較的単純な包絡線が求められることが丸山君（現長岡技術科学大学）、吉原君（現東京都）等によって見出された。これを破壊規準として舗装の弾性解析から疲労寿命を予測することを試み⁵⁾、また疲労破壊を対象にして

軸重換算係数を求めたところ、4乗則に近い場合もあることが判明した。

その後実験の温度範囲を広げたところ、以前の包絡線では説明出来ない領域があることがわかり、姫野君（現北大）の散逸エネルギーを考える疲労破壊規準⁶⁾へと発展していった。春先のひび割れは必ずしも路床の含水量のみでなくアスファルトの強度にも影響を受けること、夏に表面から亀裂の入る可能性のあること等が分かった。

6. 結語

前述した通り、年を取ってから新しいことを始めても、ろくなことはできないと身にしみて分かったというのが現在の心境であり、以上述べた研究の殆どは多くの若い人達の努力の成果である。紙面の関係で引用しなかった多くの人々の積み重ねも非常に貴重なものであった。ここにこれら多くの方々に心から感謝する次第である。しかし自分自身ではできなくとも、若い人々を育てることは、ある程度年を取った者の役目であるから、その意味からは良い後輩に恵まれたことに感謝している。

我が国の大学では舗装に関する研究があまり行われず、研究室のある所のほうがむしろ例外的である。これは舗装が学問として取り組む迄に至っていないという認識による為と思われる。ところが欧米諸国を始めその他の国々でも最近では大学で盛んに研究が行われるようになり、例えば1987夏の第6回国際舗装構造会議（Ann Arbor, Michigan）に選ばれた83篇の論文のうち半数以上が大学関係者によるものであった。

そもそも工学は実務と密接に関係した学問であり、理論体系が確立していなければ大学で研究するに適さないとは云えないと思われ、むしろそれこそ研究の必要性を示しているのではなかろうか。土木分野はどちらかというと保守的で、新しいことを取り入れ難いという体質も影響しているかもしれないし、限られた定員で大学を運営するのでそこまで手が回らないこともあるだろう。私自身の経験でも新しい分野を導入しようとして結局舗装研究室で面倒を見ざるを得ないということも起きたので、あまり大きな事は云えないが、大変残念であった。しかし最近では国立大学でも民間資金によって講座ができるようであるので、道路業界のご協力を得られれば大学でも舗装研究が盛んになり、本格的な研究者が我が国からもぞくぞくと生まれることを期待できると思うのである。

またそのうちに我が国も西独のように全道路予算の半分が維持費でしめられるような時代もくることと思われる。その時には舗装に関連しての予算が膨大なものとなり、合理化が強く叫ばれるであろう。それから慌てても遅いので我が国も官側・民間・大学それぞれの長所を生かした協力体制を今から考えて行くべきであろう。この場合大学では長期的視野のもとでじっくりとやることを主に対象とすることになろうが、常に現場との関連を忘れずに研究すべきである。このためには大学と現場との密接な連絡体制ができることが望ましい。

大学に研究室のあることは、学生諸君が舗装を研究対象として意識して次々と育ててゆくので、長い間には我が国の舗装技術の進歩に非常に大きな影響を与え

られるのである。

大学で舗装の講義の行われることも我が国では未だ少ない現状を考えると、研究よりも前に先ず良い教科書を作り、土木の卒業生はある程度の舗装の知識を持って社会に出るようにすることが取りあえず必要なのかもしれない。しかし更に踏み込んだ高い水準の研究が行われなければ、世界的には通用しないのではないだろうか。もはや実務面からのみの見方、或は担当者が次々に代わるような形での取り扱いでは間に合わない時代になってきたように思われるのである。

無責任な放言をしてお叱りを受けることとは思いつながら、思い付くままに勝手なことを述べさせて頂いたが、ご寛容の程よろしくお願いする次第である。

—— 参考文献 ——

- 1) 渡辺隆・阿部頼政「アスファルト薄膜の特異性」東工大・土木・研究報告 No.7. 1969. Nov.
- 2) T. Ohmachi, T. Watanabe, "ON THE DYNAMIC CHARACTERISTICS OF ASPHALT MIXTURES," Proc. J. S. C. E., No.203, July 1972.
- 3) T. Watanabe, Y. Abe, "Special Characteristics of Thin Asphalt Film in Filler-Asphalt and Sand-Filler-Asphalt Mixes," Symposium on the Science of Asphalt in Construction ; Am. Chem. Soc., Los Angeles Apr. 1971, D 74, Div. Petrol. Chem. Inc., Vol.16, No.1.
- 4) 渡辺隆・渡辺暉彦・元田良孝「アスファルト混合物の一軸圧縮破壊特性」土木学会論文報告集, No.243, Nov. 1975.
- 5) 丸山暉彦・渡辺隆・吉原一彦「アスファルト混合物の疲労破壊包絡線」土木学会論文報告集, No.306, Feb.1981.
- 6) K. Himeno, T. Watanabe, T. Maruyama, "Estimation of Fatigue Life of Asphalt Pavement," Proc. 6th. Int. Nat'l. Conf. Struc. Des. of Asph. Pave. Vol. I, p.272 ; Ann Arbor, Mich. July 1987.

☆

☆

☆

☆

☆

☆

非破壊試験としてのたわみ測定装置と たわみデータの利用

笠原 篤*

1. まえがき

非破壊試験 (Nondestructive testing : NDT) と呼ばれるものの中に、舗装の支持力を評価する手法の一つとして舗装のたわみ測定がある。

たわみ測定の歴史は、カリフォルニア州道路局が、1938年に GE 社製のトラベルゲージで測定したことに始まる。しかし、この方法は、たわみセンサー (LVDT) を路面に埋め込む方式であることから、定点でのたわみ測定であった。1955年にベンケルマンビームが開発されて以来、非破壊試験法として諸外国に広く普及し、現在でも一般的に利用されている。

非破壊試験は、破壊試験に比較して、次のような利点がある。

- 1) 操作性の良さと費用の軽減
- 2) 必要とする人員の数
- 3) 準備、校正および試験に要する時間の短縮

さらに、得られたたわみ測定データから、次のような事項を把握することができる。

- 1) その地点での環境条件下における材料性状の評価
- 2) 支持力と材料性状の予測
- 3) 路床の支持力状態の把握
- 4) コンクリート版の下空洞の有無
- 5) コンクリート舗装の目地部の荷重伝達の良否
- 6) 連続鉄筋コンクリート舗装のクラック部の荷重伝達の良否

このようなことから、北米、欧州を中心として非破壊試験としてのたわみ測定装置が種々開発されてきており、また将来とも舗装の支持力評価は、舗装のパフォーマンス把握の上で不可欠な事項であることからしても、ここでそれらの装置の概要を整理することには意義があろう。また、得られるたわみ測定データの利用法について整理している。

2. たわみ測定装置の分類

世界各国で種々のたわみ測定が開発されてきており、それらを載荷方式で分類すれば、表-1 のようになる。

以下に各々のたわみ測定装置についての概要と特徴を、『舗装のたわみ測定装置の評価』についての1987年の連邦道路局レポート¹⁾に基づいて、述べることにする。なお、この研究は、SHRP において用いるべきたわみ測定装置の選択の指針を与えたものである。

表-1 たわみ測定装置の分類

載荷方式	たわみ測定装置
静的荷重	・ 平板載荷試験 (Plate Bearing Tests) ・ 曲率計 (Curvature Meter) ・ ベンケルマンビーム (Benkelman Beam) ・ 自動たわみビーム (Automated Deflection Beams) ・ ラクロワ・デフレクトグラフ (La Croix Deflectograph) ・ イギリス舗装たわみデータ収集走行機 (British Pavement Deflection Data Logging Machine) ・ カルフォルニア式走行たわみ測定機 (California Traveling Deflectometer)
定常波振動荷重	・ カービアメータ (Curviameter) ・ ダイナフレクト (Dynaflect)
衝撃荷重	・ ロードレイタ (Road Rater) ・ 16Kipバイブレータ (16Kip Vibrator) ・ フォーリング・ウェイト・デフレクトメータ (Falling Weight Deflectometer) ・ ダイナテストFWD (Dynatest FWD) ・ フェニックスFWD (Phoenix FWD) ・ クラブ FWD (KUAB FWD)
マルチモード荷重	・ 連邦道路局サンパー (FHWA Thumper)
表面波測定	・ 表面波スペクトル解析 (Spectral Analysis of Surface Waves)

3. 静的荷重および移動荷重によるたわみ測定装置

3-1 平板載荷試験 (Plate Bearing Tests)

平板載荷試験²⁾は静的たわみ測定の代表的なものである。それは、油圧ジャッキにより舗装表面に設置されている剛性平板に荷重をかけ、ダイヤルゲージでたわみを測定する方法であるが、試験を完了するまでに30分から1時間以上も時間がかかることから、現在では舗装評価にほとんど用いられていない。

* かしはら あつし 北海道工業大学土木工学科教授・工博

3-2 曲率計 (Curvature Meter)

曲率計は、単純で持ち運びできるほどの大きさであり、長くて薄いアルミの棒の両端に脚、中心にダイヤルゲージを取り付けたものである。静止した複輪荷重の間にそれを設置し、たわみ曲線中の長さ300mmの曲線部の縦座標を測定する方法である。それは、たわみ曲線の曲率と最大たわみを求めるために開発されたが^{3,4)}、合衆国の道路局では現在用いられていない。

3-3 ベンケルマンビーム (Benkelman Beam)

ベンケルマンビームは WASHO 道路試験⁵⁾が行われた1955年に開発されてきて以来、舗装の研究、舗装評価、オーバーレイ設計などに世界各国の道路局で広く用いられてきていることから、装置の詳細な説明は他に譲ることとする。

この装置は、用途が広く、単純で、安価であるが、測定速度が遅く、労働集約的であり、荷重トラックの背後に測定者を配置させなくてはならないなどの欠点がある。また、ビームの脚をたわみ曲線の外に設置する必要があるが、剛性の高い舗装においてはたわみの影響範囲が広いこととたわみの値が小さいことなどから、精度上問題がある。しかし、ベンケルマンビームのたわみと舗装のパフォーマンスとの相関に基づいて、舗装の修繕およびオーバーレイの経験的設計手法が多く開発されてきている点は見逃せない。

3-4 自動たわみビーム (Automated Deflection Beam)

自動たわみビームによるたわみ測定は、ベンケルマンビームの測定速度と人員の欠点を補うために開発されているが、原理はそれと同じである。載荷車に自動たわみビームを設備し、載荷車が一定速度で走行している間に、自動的にビームを測定点に動かす方式である。原則的にはたわみの最大値を測定するのであって、たわみ曲線を得るのは標準となっていない。

3-4-1 ラクロワ・デフレクトグラフ (La Croix Deflectograph)

自動たわみビームの中で、製品として入手できるのは、ヨーロッパで製作されているラクロワ・デフレクトグラフだけである⁶⁾。ヨーロッパで広く利用されているが、合衆国には導入されていない。わが国では、建設省九州地方建設局九州技術事務所に1台導入されているのみである⁷⁾。

本装置の原型は、フランスの道路中央研究所で1956年に製作され、舗装の構造評価のため1960年末から一般的に利用されてきている。現在は、スイスの MAPSA

社によって生産されている。

下部に組み込まれた測定ビームが路上に置かれ、載荷車が一定速度 (3 km/hr) で走行し、ビームの先端が後軸の複輪の間に入ることにより、左右2箇所のわだち部でのたわみが同時に測定される。ある地点でたわみが測定されたら、載荷車前部に取り付けられているウインチにより、測定ビームを路面上を滑らし、前方へ移動させる。これらの操作は完全自動化されており、データは CRT に表示されるとともに磁気テープに収録され、コンピュータ処理される。図-1にその装置の概要を示してある。

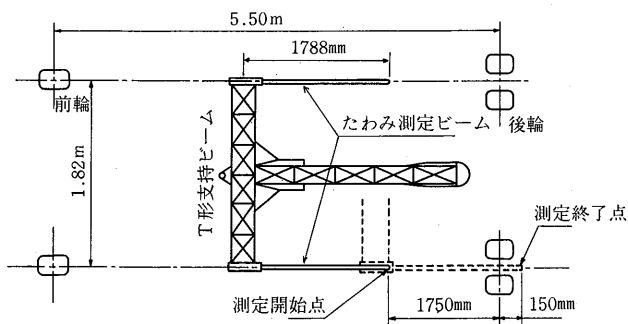


図-1 ラクロワ・デフレクトグラフの測定概要

3-4-2 英国式舗装たわみデータ収集走行機 (British Pavement Deflection Data Logging Machine)

英国の TRRL が、フランスの道路中央研究所からラクロワ・デフレクトグラフを1967年に、2台目を1970年に購入し、英国規格に合致するように、英国で改良を加えたものである⁸⁾。このことから、ラクロワ・デフレクトグラフと同一のものであるとしてもよい。

3-4-3 カリフォルニア式走行たわみ測定機 (California Traveling Deflectometer)

本装置は、舗装のたわみ測定を最初に手掛けたカリフォルニア州道路局が1955~1960年にかけて開発し自作したものであり、ベンケルマンビームの原理を自動化したものである。6.22m離れた地点から、80KNの単軸荷重を0.8km/hrの速度で走行させ、路面たわみゼロから最大値までのたわみ曲線を測定するものである。なお、本装置は、主としてカリフォルニア州内で限定され利用されており、他の機関では入手できないものである。

3-5 カービアメータ (Curviameter)

本装置は、比較的高い速度のもとで連続的にたわみ

を測定するために、フランスで開発されたものである⁹⁾。18km/hr で走行し、最大たわみとたわみ曲線を測定するものである。このシステムは、複輪が載荷したときの舗装表面のある一地点での垂直方向の加速度を測定するとの考え方に基づいて設計された。カービアメータの車両の走行速度を知り、車両の加速度測定が、その点での曲率の値を与え、特にたわみ曲線のピークで最大値となる。たわみはセンサ信号の適切な処理により得られる^{9),10)}。

試験軸重は必要により133KN まで調整される。センサの設置場所の前方4 mから、後方1.5mまで載荷車の複輪が通過するときのたわみ曲線が求められ、12.2m ピッチでたわみを測定することができる。

4. 定常波振動によるたわみ測定装置

定常波振動載荷装置は、動荷重発生装置により舗装表面に正弦波振動を与えるものである。この種の装置としては、ダイナフレクト¹¹⁻¹³⁾、ロードレイタ¹⁴⁻¹⁶⁾、アメリカ陸軍工兵隊水路実験局の16Kip バイブレータ¹⁷⁾があり、商業ベースで入手可能なものはダイナフレクトとロードレイタである。

4-1 ダイナフレクト (Dynalect)

1964年のテキサス運輸局の道路試験の成果をもとに、1965年にドレッサ工業社 (Dresser Industries Inc.) がダイナフレクトを開発した。

それは、動的荷重発生装置およびたわみ検出装置を組み込んだ二輪のソリッドタイヤを持つ自重約900Kgのトレーラである。偏心質量を持つ一組のはずみ車を反対方向に8 Hz で回転させることにより $\pm 225\text{Kg}$ の動的荷重を発生させ、トレーラ自重の分力 (725Kg) に付加し二輪のソリッドタイヤを介し路面に荷重をかける。路面の正弦的たわみ変動を5個のジオフォンにより測定する。ジオフォン (速度センサ) は2つの載荷輪の中間点に1個、そこから各々30cm間隔で4個配置されている。これらのジオフォンによりたわみ曲線を得ることができる。

ジオフォンからの信号は、8 Hz のバンドパスフィルタ、増幅器、整流器、積分器を通り、メータに変位として表示される。これらの測定および制御の作業はコントロールユニットにより1人で行うことができる。

図-2に、ダイナフレクトの概要を

示してある。

4-2 ロードレイタ (Road Rater)

この装置は、電気・油圧サーボ機構により路面に載荷し、たわみをジオフォンで検出するものである。そのことから、荷重および振動周波数を任意に変化させることができる。

モデル2000のロードレイタは、乗用車または小型トラックで牽引できる二軸のトレーラ形式である。11.9 KW のガソリンエンジンで油圧と電力を発生させる機構をもっており、動的荷重として0.88~24.5KN、静的荷重として6.7~15.5KN の範囲で変化させることができる。それらの荷重は、直径450mmの鋼製版を介して路面に加えられ、載荷周波数としては6~60Hz である。たわみ曲線は4個のジオフォンで得ることができる。出力信号は、増幅器、積分器を通し、路面の垂直変位振幅として変換される。ジオフォンは、載荷版中央から、0 mm、300mm、600mm、900mmの所にセットされている。たわみ測定時には、与える動的荷重の周波数と振幅を任意に設定するか、それらを変化させることにより舗装の応答を詳細に求めることができる長所をそれは持っている。図-3に、ロードレイタの概要を示してある。

モデル2008は、周波数5~80Hz、動的荷重2.2~40 KN のデジタル式自動システムである。

モデル400は初期のタイプであり、載荷版として2個の矩形鋼製版 (大きさ100×175mm、中心間距離270mm)

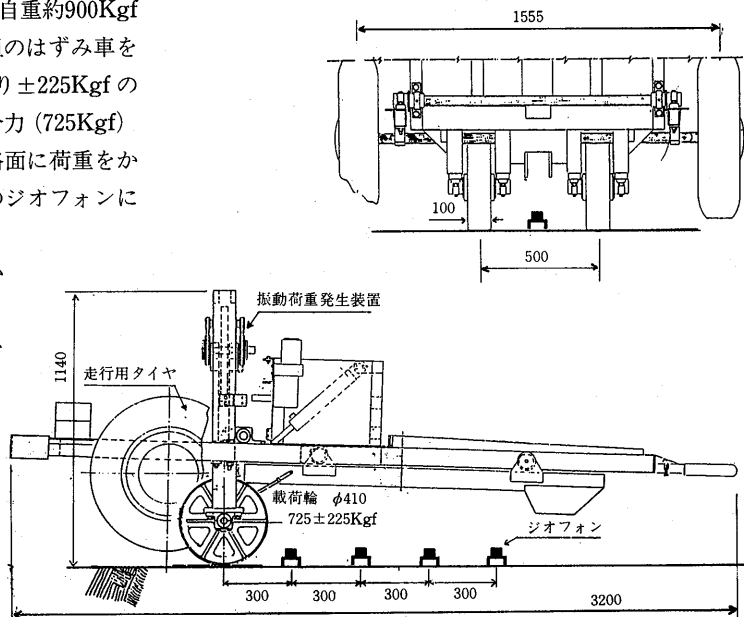


図-2 ダイナフレクトの測定概要 (単位: mm)

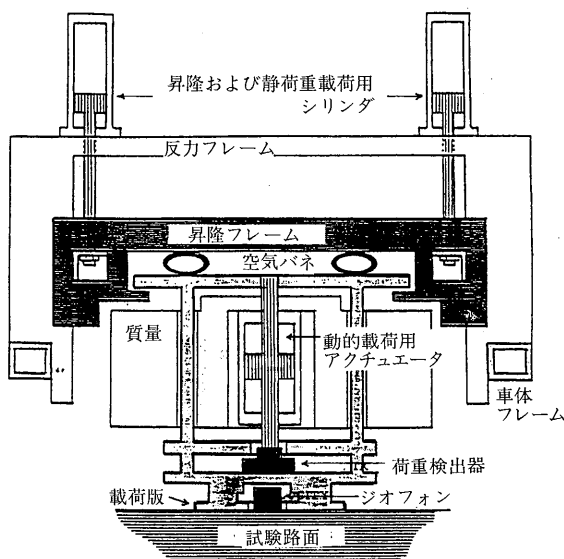


図-3 ロードレタの測定概要

を使用している。動的荷重は比較的小さく0.89~13.3 KNであり、周波数は10, 20, 25, 30, 40Hzから選択できる。ジオフォンは載荷版の中間点、そこから300mm, 600mm, 900mmの所にセットされている。

4-3 16kip バイブレータ (16kip Vibrator)

空港舗装の支持力を評価するために、舗装のたわみ応答の周波数依存性および荷重依存性を把握する目的で、16kip バイブレータはアメリカ陸軍工兵隊水路実験局により開発された大型トレーラに油圧サーボシステムを積み込んだ載荷装置である。原理的にはロードレタと同じであるが、静的荷重として72.5KNまで設定でき、それに動的荷重として0~68KNを付加することができる。荷重は直径450mmの鋼製版を介して路面に加えられ、載荷周波数としては5~100Hzの可変式である。ジオフォンは、載荷版中央、および載荷版中心から任意の場所に任意の個数セットできる。出力信号は、増幅器、積分器を通し、路面の垂直変位振幅として変換される。また、舗装体の周波数依存性は荷重を一定とし周波数をスイープすることにより、荷重依存性は周波数を一定とし荷重をスイープすることにより求めることができる。

5. 衝撃荷重によるたわみ測定装置

衝撃荷重によるたわみ測定装置は、質量をある高さから衝撃緩和機構付の載荷版に落下させる方式である。この方式の典型は、フォーリング・ウェイト・デフレクトメータ (Falling Weight Deflectometer) と呼ば

れている。FWDによる衝撃荷重は、静的および定常振動載荷装置よりも実際の走行輪荷重により近似しているとされている。これらの装置は主に欧州で開発され、近年では合衆国でも普及してきている。

合衆国で利用されているFWDは、フェニックスFWD¹⁸⁾、クアブFWD¹⁹⁾、ダイナテストFWD²⁰⁾の3種であるが、ごく最近ロードレタの製造会社が新しいタイプのFWDを開発してきている。その装置は、正弦波の半分の荷重波形を発生するように、また舗装の応答を測定するために5個のジオフォンを利用できるように設計されている²¹⁾。

さらにわが国においても現在、フェニックスFWDが2台、クアブFWDが4台稼働しているが、ダイナテストFWDは導入されていない。なお中国においても3台のクアブFWDが導入されている。

5-1 ダイナテストFWD (Dynatest FWD)

ダイナテスト社のモデル8000FWDが、合衆国のいくつかの道路局に導入されてきている。工場で校正されたジオホンにより、たわみのピーク値を検出する。ジオホンは、載荷版中心に一個、そこから300mm間隔で6個配列されている。発生させる荷重の大きさは、7~120KNであり、載荷時間は25msecである。たわみ測定に関する操作のすべては自動的に行われる。これよりも若干小さいバージョンのモデル800が、最近合衆国に導入されている。その荷重は30~85KNである。図-4にダイナテストFWDの概要を示してある。

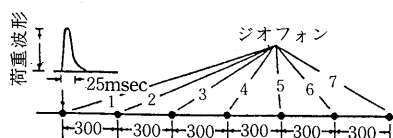
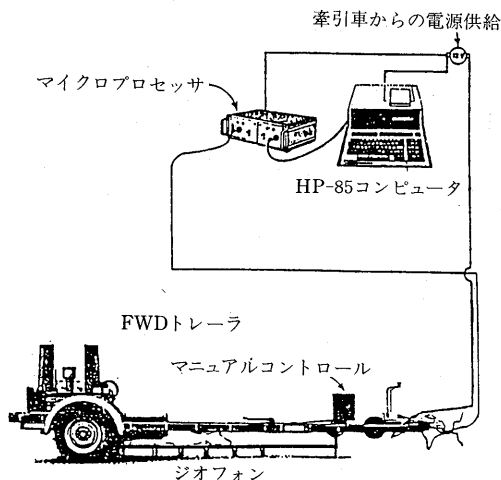


図-4 ダイナテストモデル800FWD

ダイナテスト FWD モデルには、オプションで次のような装置が将来搭載される計画にある。

- 1) 自動化された舗装温度センサ
- 2) 自動化された気温センサ
- 3) コンクリート舗装の目地の試験のために、載荷版後方にジオファンを取り付けた棒を設置する。
- 4) 能率よくかつ高精度でコンクリート舗装の目地の試験を行うために、ビデオ装置を設置する。

5-2 フェニックス FWD (Phonix FWD)

モデル ML10000 FWD の荷重は、10.2~102.3KN であり、昇げ降ろしできる長さ2.4mの棒に2個もしくは5個のジオファンを任意の位置に設定できる機構である。載荷版中央にも当然センサが取り付けられている。電気的制御システムは、マイクロコンピュータ、ソフトウェア、センサから成っており、オプションとして IBM-PC マイクロコンピュータ、気温および表面温度センサ、ペイントマーキングシステムなどが用意されている。図-5 にフェニックス ML10000 FWD のシステムを示してある。

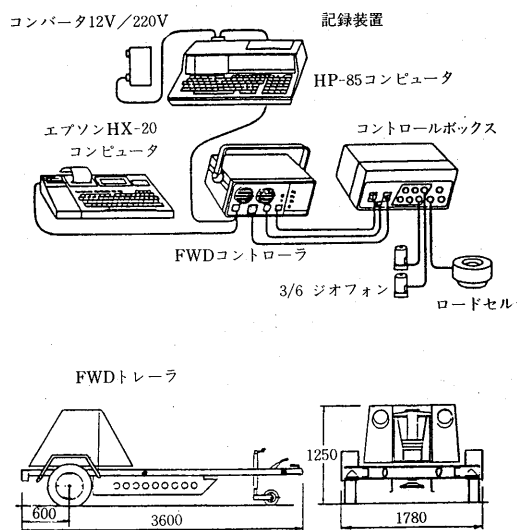


図-5 フェニックス ML10000 FWD

筆者は、1983年にモデル PT5002 を北海道工業大学に導入した²²⁾。それは、アルステルグムのシェル石油中央研究所で開発されたモデル^{23),24)}であり、他の FWD の原型となったものである。このモデルの最大の特徴は、載荷版を路面から最大600mmまでの深さまで降ろすことができることにある。このことにより、ピットを堀り路盤・路床面でのたわみを測定することが可能となる。

PT5002 の荷重は最大で 50KN、たわみの計測範囲は 2mm である。写真-1 は、北海道工業大学の PT5002 であり、図-6 にその概要を示してある。また運輸省港湾技術研究所にも同時期に導入されている。



写真-1 北海道工業大学フェニックス PT5002 FWD

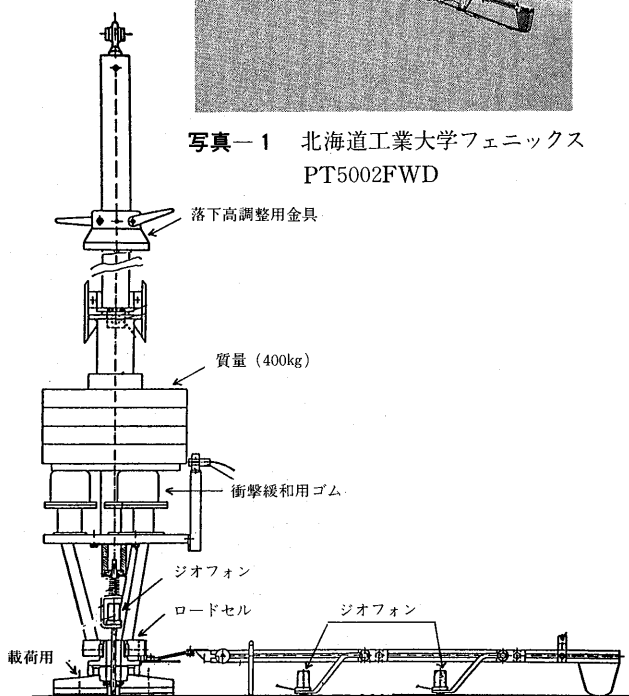


図-6 北海道工業大学フェニックス PT5002 FWD

5-3 クラブ FWD (KUAB FWD)

クラブ FWD の装置一式はトレーラに搭載されており、鋼製ケースに完全に収納されている。たわみ測定時には、装置底のドアが自動的に開き、載荷版が舗装表面まで降される。この鋼製ケースは機械部と電気関係を水、オイル、塵などから保護するのに役立つ。最も普及しているのは、モデル50 (荷重の大きさ12~50

KN) であるが、モデル150 (12~150KN)、モデル200 (100~200KN) もある。特に空港舗装用にはモデル200が使用される。

クアプFWDが他のFWDと大きく異なる点は次の三点である。

- 1) 荷重発生機構が、2つの落錘から成り立っていることである。第一の質量を大きな質量(第二質量)に落下させることにより得られる衝撃荷重で油圧を発生させ、その油圧で載荷することによりスムーズな荷重曲線を得ることができる。

- 2) 多少の凹凸がある路面にも均一に荷重が伝達するように、載荷版が4つに分割されている。
- 3) 差動トランスと質量とを組み合わせた機構の直接変位測定センサを用いていることから、路面のたわみを直接測定でき、かつセンサに校正用のマイクロメータが取り付けられていることから、現地で校正ができる。

図-7にクアプFWDの概要を示した。

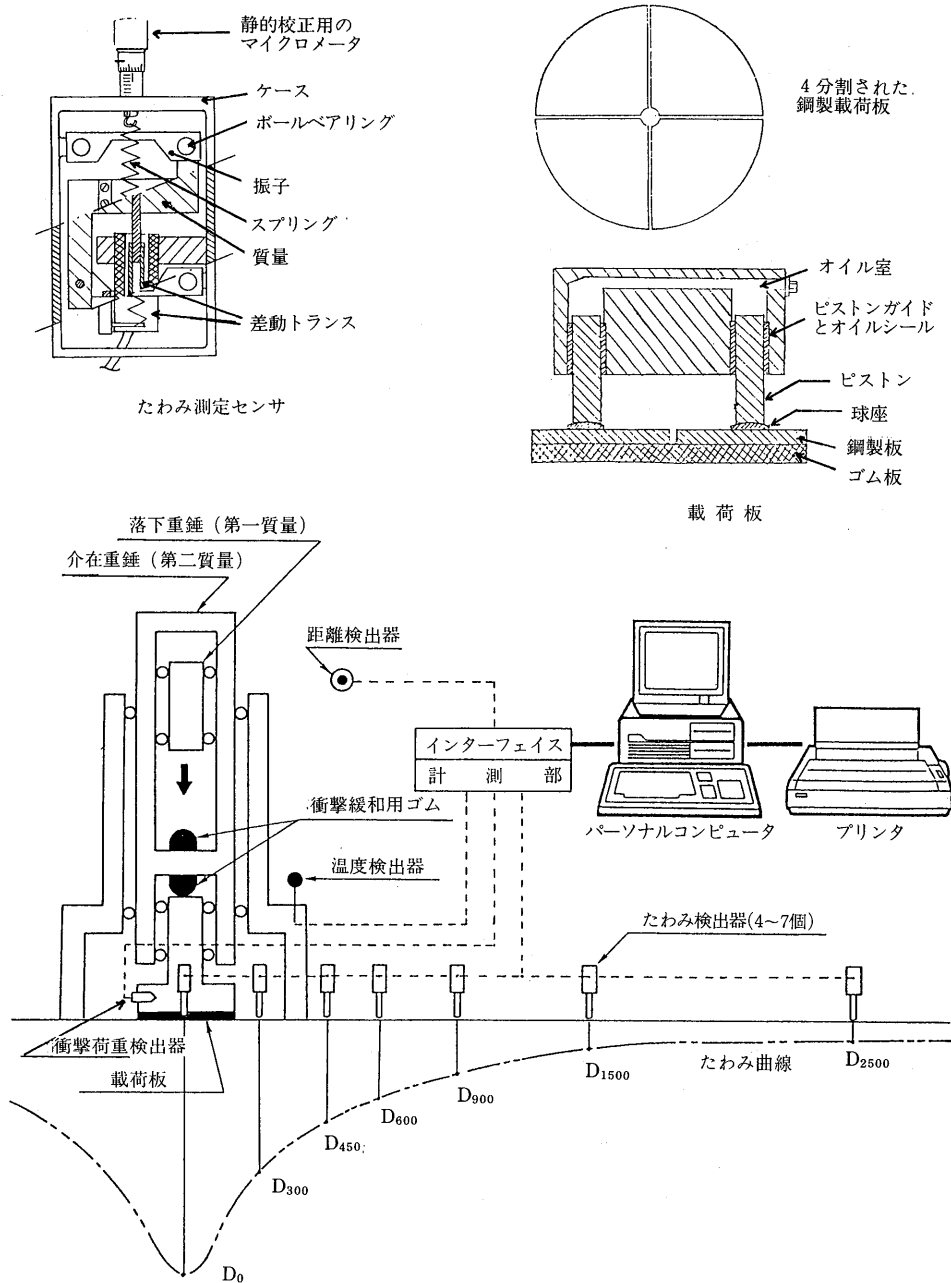


図-7 クアプ50 FWD

1987年にクアブ FWD モデル50が、長岡技術科学大学(図-8、写真-2)に導入されて以来²⁵⁾、建設省土木研究所には車載型(図-9、写真-3)が、また新東京国際空港公団には大型のモデル200が(図-10、写真-4)導入されており、また運輸省第二港湾建設局にも同一のモデルが導入されている。

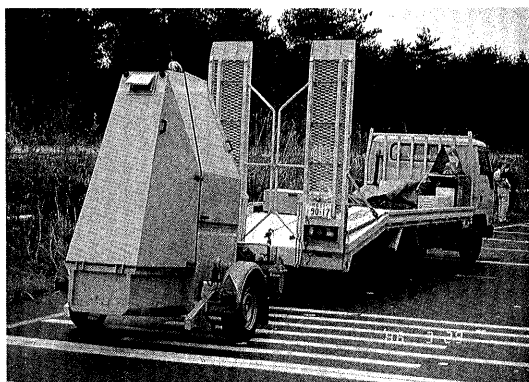


写真-2 長岡科学技術大学クアブFWDモデル50

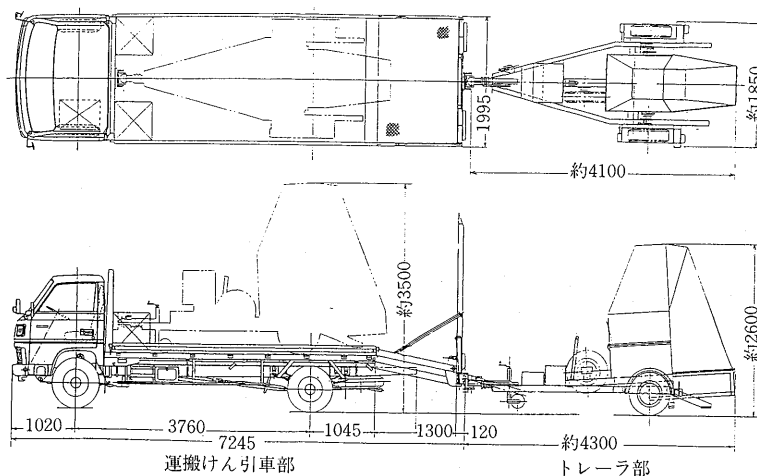


図-8 長岡科学技術大学クアブFWDモデル50

(7162)

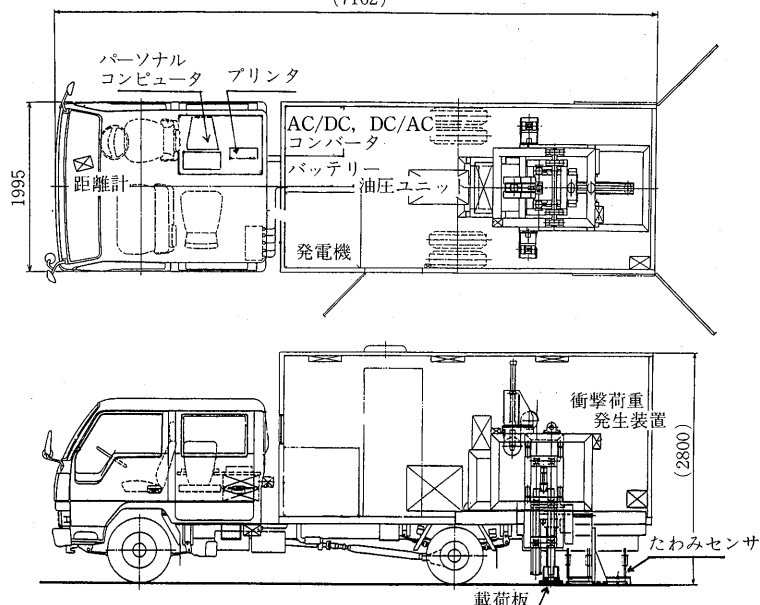


図-9 建設省土木研究所車載形クアブFWDモデル50

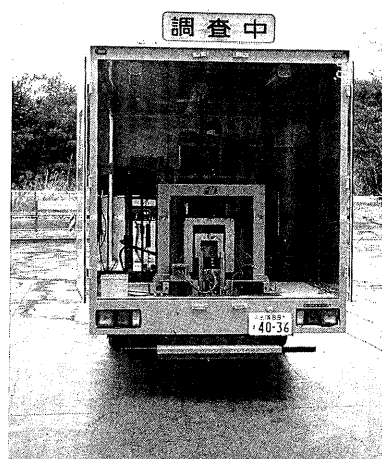


写真-3 建設省土木研究所車載形クアブFWDモデル50

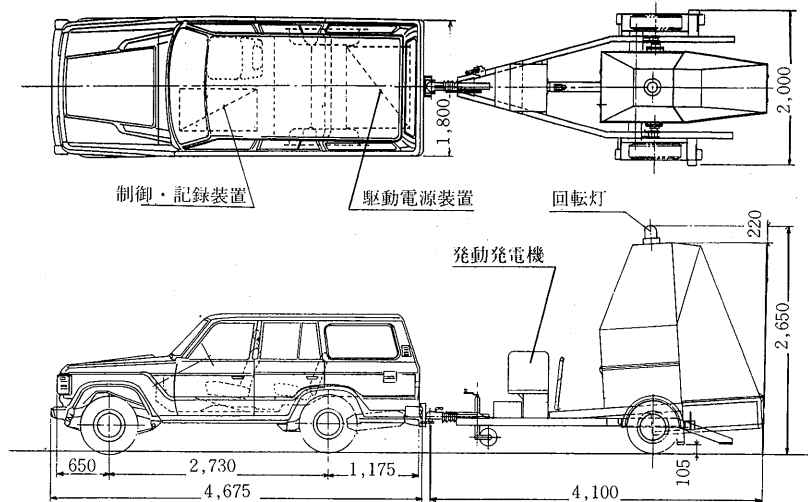


図-10 新東京国際空港公団クアPFDモデル200

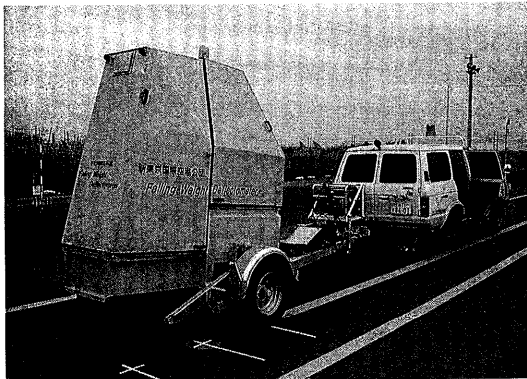


写真-4 新東京国際空港公団クアPFDモデル200

6. マルチモード荷重によるたわみ測定装置

6-1 連邦道路局サンパー (FHWA Thumper)

連邦道路局はマルチモードの荷重をかけられるたわみ測定装置を1977年にカリフォルニアのCox and Sons社に作成依頼をした。連邦道路局のサンパー²⁰⁾は、他のたわみ測定装置が持つ能力のほとんどを組み込むために設計された研究用のたわみ測定装置であることから、商業ベースでの入手はできない。サンパーは完全に自動化されており、1人で全ての装置を操作することができるたわみ測定装置である。さらに、静的、定常波振動、間欠的パルス荷重のもとで路面たわみを測定できるように計画されており、荷重および周波数を変化させることができる。特に静的荷重を舗装に与えることにより、たわみ形状とたわみの絶対値の時間的変化(クリー

プ現象)をも測定することができることから、粘弾性解析手法と相まって舗装の破壊を明確化し設計法および補修法を最適化する手段として役立つことになる。

荷重、載荷波形、周波数を任意に設定できる油圧サーボ装置を車両に搭載し、たわみを長さ3.35mの規準ビームに取り付けられた6個の差動トランス(LVDT)で路面のたわみを直接測定する機構である。たわみは直径300mmの載荷版の中心から、0、300、460、600、910、1200mmの所で測定される。載荷重は最大40KN、周波数は0.1~110Hzに設定可能である。サイン波、ハーバーサイン波、三角波、矩形波の動的載荷、ランプ波荷重、静的クリープ荷重、単発および間欠パルス荷重など、任意の載荷条件を設定することができる。また路面温度は非接触式赤外線温度計により測定される。

図-11には、連邦道路局サンパーを示してある。

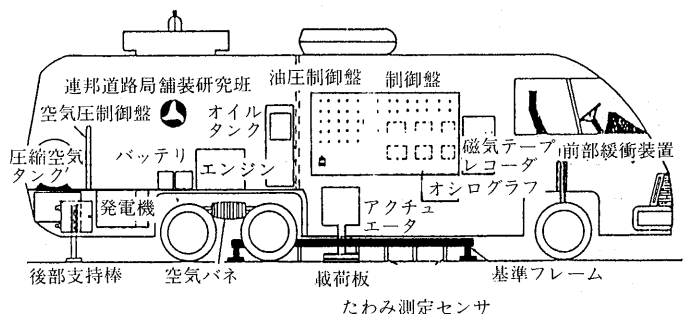


図-11 アメリカ連邦道路局サンパー

7. 表面波による方法

7-1 表面波スペクトル解析(Spectral-Analysis-of-Surface-Waves)

種々の舗装構成層の『現地での材料性状』を把握することが、たわみ測定データの力学解析の最終目標である。それは、層厚を既知とし、弾性体の静的解析、すなわち弾性層理論によって可能となる。しかし、動的解析を舗装の応答に適用することにより、現地での材料性状を求める方法として、波動伝播技術がある。定常波伝播技術がよく知られているが、時間応用解析と処理速度が障害となり、舗装分野への広い応用はなされていなかった。

超高速インパルス技術とスーパーコンピュータを利用した周波数応答解析の開発が、テキサス大学でこの数年間進められてきている。テキサス大学で開発された非破壊技術は、表面波スペクトル解析(SASW)法と呼ばれ、舗装構成層の動的弾性係数と厚さを求めるのに利用されている²⁷⁾。

SASW試験のキイポイントは、表面波(レイリー波)の発生技術と測定技術にある。衝撃により様々な周波数成分を持つレイリー波を発生させる。路面に置かれた2個のジオフォンが、レイリー波エネルギーの伝播

をモニタするために用いられる。ジオフォンからの出力は瞬時に補捉され、フーリエスペクトル分析器に記録され、波動伝播速度を求めるために単調波波形に区分され、そして弾性係数を求める。この方法はたわみを測定するのではなく、現地での弾性係数と層厚を求める手法である。

この研究用装置はまだ商業ベースでは入手できない。

8. たわみ測定装置の現状と将来

前述したように、多種のたわみ測定装置が開発されてきており、アメリカ合衆国の各州では各々の考え方にに基づき各種のたわみ測定を導入してきている。図-12は、1987年現在における各州毎の所有状況を示したものである。

図から、合衆国で開発されてきた定常波振動によるたわみ測定装置としてのダイナフレクトおよびロードレイタを利用している州が多いことがわかり、欧州で開発されたFWDも11州で利用されている現状にある。

さらに、戦略的的道路研究計画(Strategic Highway Research Program: SHRP)のテーマの一つとなっている『舗装の長期パフォーマンス』において、舗装のモニタリングとして、FWDが採用された。

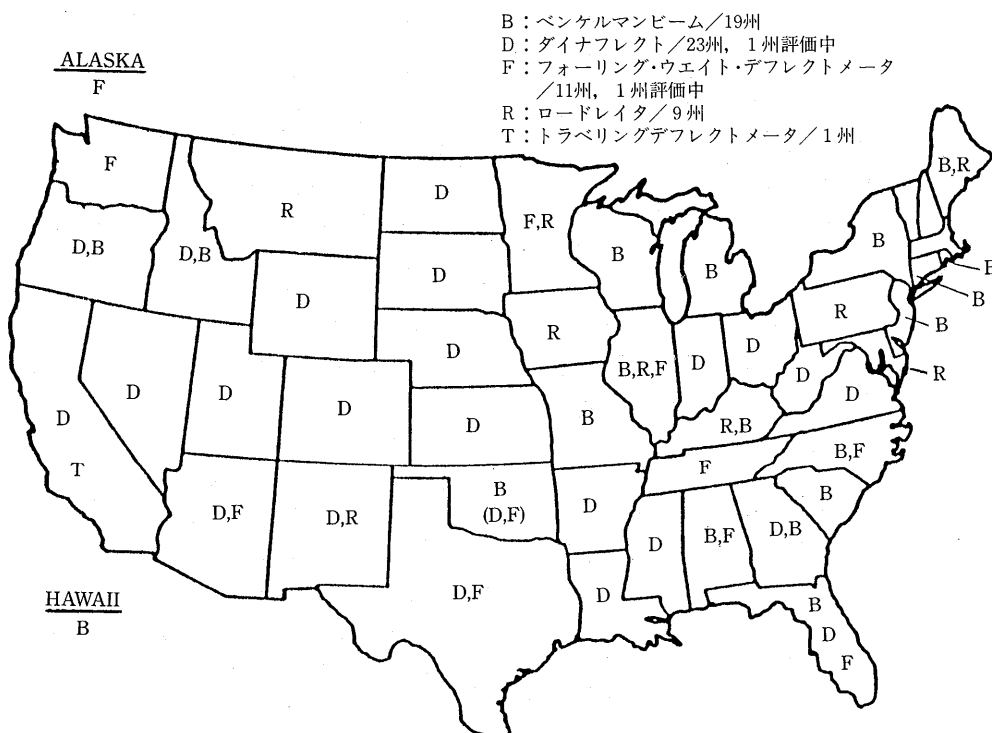


図-12 アメリカ合衆国の各州が用いているたわみ測定装置

このことは、合衆国で開発され普及しているダイナフレクトおよびロードレイタよりも欧州で開発されたFWDの方が総合的に優れているとの判断によるものと思われる。

たわみ測定装置を導入するにあたっては、その利用目的を明確にすることが極めて重要である。しかし、当面の問題は、何等かの層構造理論を用いて各々の舗装構成層の『現地での材料性状』を把握することが、たわみ測定データの力学解析の最終目標となっている。このことから、たわみ測定装置が持つべき特性としては、前述してきたように、また導入されている現状を参考にしてみれば、およそ次のようになるであろう。

- 1) 荷重の大きさとして、道路舗装においては50KN、空港舗装においては200KNが標準となる。さらに載荷曲線もスムーズであることが要求される。
- 2) 層構造理論との対応上から円形載荷版を用い、その直径は、道路舗装において300mm、空港舗装において450mmが標準となる。
- 3) 層構造理論との対応上から、載荷版中心でのたわみ測定が、またたわみ測定曲線を求めるために、300mm間隔程度で、載荷版中心から1～2m離れたところまでのたわみ測定が必要となる。
- 4) たわみ測定時の載荷時間を車両走行速度に対応させる必要がある。すなわち、時速40～60km/hrで走行する車両の載荷時間は30～20msec程度であることから²⁸⁾、たわみ測定時の載荷時間として30～20msec程度を必要とする。さらに定常波振動の周波数(f)と載荷時間(t)の間には、 $t = 1/(2\pi f)$ なる関係が成立することから、ダイナフレクトにおいてはその周波数を8 Hzとしていることが理解される。

- 5) 操作性、耐久性、信頼性、精度、価格など。

以上のことを総合的に勘案するならば、FWDの有用性が浮かび上がってくる。前述したようにSHRPでFWDを利用することをきっかけとして、世界各国では新たに導入するたわみ測定装置としては、FWDが主流を占めてきている。さらに、舗装に関する最近の国際会議での論文においては、使用しているたわみ測定装置はほとんどFWDとなってきている。

商業ベースで入手可能であり合衆国に導入されているたわみ測定装置を用い、測定されたたわみデータの変動係数の比較結果が表-2に示されている¹⁾。また、表には、北海道工業大学のフェニックスPT5002FWD、長岡科学技術大学のクアプFWDモデル50の変動係数

をも同時に示してある。

表-2 たわみ測定装置とたわみデータの変動係数

たわみ測定装置	変動係数
テキサス・ダイナテスト FWD	0.6%
ダイナフレクト	2.0%
ダイナテスト FWD	2.5%
ロードレイタ	4.9%
クアプ FWD	5.2%
フェニックス FWD	20%
ベンケルマンビーム	20%
カーピアメータ	39%
北海道工業大学 フェニックスPT5002 FWD	2.6%
長岡科学技術大学 クアプFWDモデル50	1.5%

- ・ テキサス州道路公共運輸局用に供給されたダイナテスト社製のモデル8000
- ・ 変動係数が大きいのは試験地点での荷重変動があったためと思われる。荷重と舗装表面温度を勘案すれば他のFWDと同程度まで変動係数が低下した。

表から、ベンケルマンビームによるたわみ測定データの変動係数は20%と大きく、FWDのそれは0.6～5.2%程度であることから、FWDの優位性は疑いない。さらに、テキサス州道路公共運輸局で実施しているように、信頼性および精度をより高める努力が必要となろう。

高速で走行しながら非接触でたわみ測定を行う装置について可能性調査のプロジェクトが、カナダ運輸省の運輸開発センターがスポンサとなり、すでに発足している²⁹⁾。このたわみ測定装置が開発されれば、今日まで開発されてきたすべてのたわみ測定装置が置き換えられることになるであろう。

9. たわみ測定データの利用

舗装の支持力を評価する目的で、従来からたわみ測定が行われ、たわみと舗装のパフォーマンスとの関係を求めることに努力が払われてきた。Hveemらによれば、設計上許容される表面たわみは舗装型式と層厚により異なるが、限界たわみ量で規定した。しかしながら、たわみの絶対値は路床強度に依存することから、限界たわみ量のみでは問題があった。

層構造理論の開発とコンピュータの発展により、舗装の層構造解析が過去20年の間に一挙に進んだ。舗装構成層の弾性係数、厚さ、ポアソン比、層間のすべり程度を入力変数とし、任意の数の荷重のもとでn層構造について任意の地点における応力・ひずみ・変形量

を計算することが可能となってきた。

実際に舗装が置かれている環境条件下での舗装体の応答を求めるためには、各舗装構成層の『現地での層としての弾性係数』を把握することが不可欠であるとの認識が広まってきた。そのために、ある載荷条件のもとでのたわみ測定データを入力変数とし、各舗装構成層の『現地での層としての弾性係数』を、ときには『層厚』をも求める逆解析 (Back Analysis) の手法が種々開発されてきており、それをテーマとした国際会議が開催されているほどである。

このような背景により、逆解析のためには、走行車両の載荷時間によりシミュレートした形で、より高精度のたわみ測定、より多くの個数のたわみ測定 (5～7 点) を必要とする。さらに、層構造理論との対応性をよくするために、載荷版は円形、荷重の大きさは 50KN であるべきである。このようなことから、FWD がたわみ測定装置の主流となってきたことがわかる。

逆解析法を用いた各舗装構成層の『現地での層としての弾性係数』の推定は、次のような事項を把握することに利用される。

- 1) アスファルト混合物層の疲労破壊回数の推定
- 2) 路床の塑性変形に対する許容載荷回数の推定
- 3) アスファルト混合物層の荷重分散性能 (弾性係数) の経年変化
- 4) 特殊アスファルトのアスファルト混合物の荷重分散性能への寄与
- 5) 再生アスファルト混合物の荷重分散性能
- 6) 路床・路盤の支持力の季節変動および経年変化
- 7) 各種安定処理材を用いた路盤・路床の荷重分散性能
- 8) オーバーレイ厚の合理的設計
- 9) アスファルト舗装の理論設計の確立
- 10) 舗装マネジメントシステムにおける舗装構造評価サブシステムの確立

10. まとめ

たわみ測定装置として、これからその主流を占めるのは FWD であるとしても過言ではない。たわみ測定データを逆解析することにより、各舗装構成層の『現地での層としての弾性係数』を推定し、標準荷重が載荷したときの舗装体に生じる応力・ひずみを算出することが重要となる。特に、アスファルト混合物層下面に生ずる引張りひずみとアスファルト混合物の疲労破壊回数との関係、および路床上面に生ずる圧縮ひずみと塑性変形に対する許容載荷回数との関係から、アスファルト舗装の理論設計法が可能となる。当然のことながら、理論設計による舗装体について、大々的な試験舗装を実施しパフォーマンスとの関連性を把握して始めて理論設計法が確立されることとなる。さらに、舗装のライフサイクルコスト、舗装利用者費用などの経済解析手法を組み込むことにより、舗装マネジメントシステムが稼働することとなる。

— 参考文献 —

- 1) Hudson W. R., G. E. Elkins, W. Uddin and K. T. Reilley : EVALUATION OF PAVEMENT DEFLECTION MEASURING EQUIPMENT, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Report No. FHWA-TS-87-208, March 1987
- 2) Moore W. M., J. W. Hall Jr. and D. I. Hanson : State-of-Art on Nondestructive Structural Evaluation of Pavements, the 55th Annual Meeting of the TRB, January 1976
- 3) Methods of Test to Determine Overlay Requirements by Pavement Deflection Measurements, California Test 356, 1978
- 4) Dehlin, G. L. : A Simple Instrument for Measuring the Curvature Induced in a Road Surfacing by a Wheel Load, Transactions, South Africa Institute of Civil Engineers, 1962
- 5) The WASHO Road Test, Part 2 : Test Data, Analysis and Findings, HRB Specoal Report22, 1955
- 6) Laboratoire Central des Ponts et Chaussees : Lacroix Deflectographs - Product Bulletin, France
- 7) 建設省九州地方建設局九州技術事務所：道路維持修繕工用機械に関する調査試験報告書，昭和55年3月
- 8) Norman, P. J., R.A. Snowdon and J.C. Jacobs : Pavement Deflection measurements and their Application to Structural Maintenance and Overlay Design, TRRL Report 571, 1973
- 9) Centre Experimental de Recherches et d'Etudes du Bâtiment et des Travaux Publics : The

- CEBTP Curviameter, Product Bulletin, France
- 10) Paquet, J. : The CEBTP Curviameter-S New Instrument for Measuring Highway Pavement Deflection, 1977
 - 11) Scrivner, F. H., G. Swift and W. M. Moore : A New Research Tool for Measuring Pavement Deflection, HRR 129, 1966
 - 12) Geo-log, Inc. : Operations Manual for Dynaflect Dynamic Deflection Determination System, Granbury, Texas
 - 13) 阿部洋一, 菅野勉, 安藤儀幸 : 舗装の非破壊探査機-ダイナフレクター, 舗装, Vol. 9, No. 8, 1974
 - 14) Foundation Mechanics Inc., : Road Rater Operating Manual, El Segundo, California
 - 15) 三井晃 : 舗装の無破壊調査方法の一例, 舗装, Vol. 9, No. 7, 1974
 - 16) (財)高速道路調査会維持補修研究班 : 路面たわみ測定機(ロードレータ)による実測結果, 舗装, Vol. 9, No. 8, 1974
 - 17) Green, J. L. and J. W. Hell : Experimental Test Results and Development of Evaluation Methodology and Procedure, Nondestructive Vibratory Testing on Airport Pavements Vol.1, Federal Aviation Administration, 1975
 - 18) Pavement Consulting Services, Inc. : Phonix ML10000 Falling Weight Deflectometer-Instruction Manual, College Park, Maryland, 1986
 - 19) KUAB, Konsult and Utreckling AB : KUAB50 Shop Repair Manual, Rattvik, Sweden
 - 20) Dynatest Consulting, Inc., : Dynatest 8000 FWD Test System Owner Manual, Part 1 and 2, Ojai, California
 - 21) Foundation Mechanics Inc. : JILS10 FWD-Product Information, El Segundo, California, 1986
 - 22) 笠原篤, 岳本秀人, 伊藤保彦, 古川真男 : フォーリング・ウェイト・デフレクトメータについて, 舗装, Vol.20, No. 6, 1985
 - 23) Claessen, A. I. M., C. P. Valkering and R. Ditmarsch : Pavement Evaluation with Falling Weight Deflectometer, AAPT Vol.45, 1976
 - 24) Thomsen, T. M. : Phonix Falling Weight Deflecto-meter and registration Equipment, Proceedings of International Symposium on Bearing Capacity of Roads and Airfield, Vol.1, 1982
 - 25) 丸山輝彦, 姫野賢治, 林正則 : FWD による舗装診断システム, 舗装, Vol.23, No.11, 1988
 - 26) McMahon, T. F. and May, W. M. : Solving the Mysteries of Pavement Deflections with Thumper, Public Roads, Vol.42, No.4, March 1979
 - 27) Mazarian, S. and K. H. Stokoe II : Evaluation of Moduli and Thicknesses of Pavement Systems by Spectral - Analysis - of - Surface - Waves Method, CTR Report No.256-4, Center for transportation research, The University of Texas at Austin, December 1983
 - 28) 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解析への利用, 土木学会論文報告集, 第254号, 1976年10月
 - 29) Pavement Deflection Testing Vehicle - A Feasibility Study, Clayton, Sparks & Associate Ltd., Saskatchewan, Canada, 1980

☆

☆

☆

☆

☆

☆

北 の 道 路

下 平 尾 蒔

前北海道開発局札幌開発建設部
札幌道路事務所長

地球があつい

「日本の北の拠点都市。人口163万人。降雪量が5mを越える積雪寒冷地に立地する世界にも稀な大都市。」予算獲得時などにいつも用いられる札幌の地域特性を強調する言葉である。しかし、いつまでもこの常とう句が通用するのだろうか？ 最近地球の様子がおかしい。

先般気象庁が発表した「異常気象リポート 89」によると、二酸化炭素、フロンなど温室効果気体の増加や森林破壊などの人間活動が大きな要因となって、今後十数年で人類がかつて経験したことのない急速な地球規模の温暖化が予想され、約40年後の2030年には温室効果気体の濃度が倍増し、その結果地球の温度は1.5～3.5度上昇し、森林の再生産能力の減少、干ばつの深刻化、海面水位の上昇など社会経済に与える影響は大きい、と警鐘を鳴らしている。

また、世界70ヵ国から環境担当相らが出席してケニヤのナイロビで開催された国連環境計画においても、温暖化防止条約づくりが合意された、と新聞が伝えている。

雪が少ない

地球温暖化の前ぶれかどうか、今年の北海道は異常気象に見舞われ、道路管理者はギリギリ舞いをさせられた。私たち札幌道路事務所は、札幌市と北海道内各地を結ぶ一般国道8路線、合計延長160kmを管理しているが、まず12月、まだ除雪体制が十分に整わないうちにドカ雪の先制パンチを受けた。その後も雪の日が多く、12月中の降雪量としては平年値を81cmも上廻る180cmの雪が降り積り、札幌市内では前例の少ない正月前の運搬搬雪も一部実施した。ところが、年を越すと一転暖冬少雪模様となり、1月の降雪量は54cmで平年の104cm減、2月は44cmで64cm減といった具合で、路側の雪の山はただ黒くなるだけで増えていかない。毎年2

月初旬の最厳寒期に大通公園で開催される「札幌雪まつり」の大雪像も見ると無残にやせ細ってしまった。雪が少なく、自然に融けて減っていくことは、除雪を担当している者としては（請負業者を除いては）誠に有難いことであるが、一方では、道路のアスファルト面が常に露出しているために、スパイクタイヤによる摩耗損傷が激しく、わだち掘れにより安全走行に支障をきたすうえに、削り取られたアスファルト粉塵がもうと舞い上がり、これまた前例のない冬期除雪期間中の舗装補修と清掃車の出動という事態になった。



写真—1 スパイクタイヤによるわだち掘れ

スパイクタイヤは、2年後には製造販売が中止されることになっており、徐々にスタッドレスタイヤへの履き替えが進みつつあるが、この冬の札幌市でのスパイクタイヤ装着率はピーク時で75%となっており、まだまだスパイクタイヤが主流で、路面に与える影響は大きい。雪道、とくにアイスバーン状に凍結した道路を走行する際に、スパイクタイヤは優れた安全性を発揮するが、その原理は、氷面に鉄の爪を食い込ませることによって制動性を高めるという極めて即物的、原始的な仕組みであり、これ程科学技術が進歩した今日においては、もう少しなんとかならないものかと思う。

かって「ベン・ハー」というチャールトン・ヘスト

ン主演聖書史劇の一大スペクタクル映画があったが、この映画のハイライトは、コロッセウムでの4頭立て戦車による戦闘競技の場面である。悪役の乗る戦車の車軸には巨大なドリルが着けてあって、ライバルの戦車に接触してはそのドリルで相手の戦車の車輪を破壊するという憎たらしい仕掛けになっていた。今のスパイクタイヤはこれと同じ原理である。時代は下って、英国諜報部員007ジェームス・ボンド氏の乗るスーパーカーには、恐らく「ベン・ハー」にヒントを得たと思われる同様の装置がついていたが、こちらの方は自分の身を守る必要があるときだけ、ボタン一つでドリルが飛び出すハイテク仕様になっており、カーチェイスシーンでは敵国スパイを痛快にやっつけていた。同じ破壊装置でも善玉が使えば良いというわけでもないが、スパイクタイヤもせめて路面状況に応じて自動的にピンの出方が変わる程度の技術革新は図ってもらいたいものである。

冬道を安全に

スパイクタイヤは、昭和38年に登場し、40年頃から普及しはじめ、札幌では50年代には100%近い装着率となった。それに伴い、舗装路面の損耗、区画線や道路標示の消滅による交通障害、アスファルト粉塵による生活環境の悪化と健康への影響等、いわゆる「スパイクタイヤ問題」が顕在化してきた。これに対し、北海道や札幌市など地方自治体では条例等による使用期間の規制を図ってきたが、昨年の6月に国の公害等調整委員会で国内タイヤメーカー各社との間で、平成2年12月末で製造中止、3年3月末で販売中止との調停が成立しており、また環境庁はスパイクタイヤの全面禁止を盛り込んだ法案の国会提出を急ぐなど、スパイクタイヤは規制強化、全面禁止の方向にある。

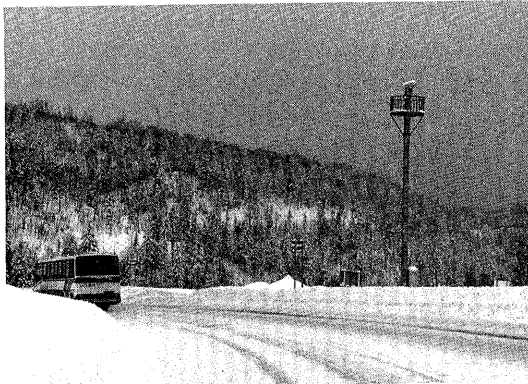
スパイクタイヤに代るものとしてスタッドレスタイヤの普及が図られている。スタッドレスタイヤは、凍結路での制動性能にまだ問題があるといわれており、冬期における交通安全と円滑な交通確保にむけて、道路管理者のみならず関係各方面が総合的な対策に積極的に取り組むことが必要となっている。

道路管理者としてとるべき方策としては、第1に、冬期の路面管理の一層の向上が挙げられるが、現在の

幹線道路の除雪水準はほぼ最高の域に達しており、機械除雪によって今以上に雪氷のない路面とすることは困難と考えられる。また凍結防止剤の散布については、気温低下によって再凍結の恐れがあることや、人体、植物、構造物などに副次的影響が考えられることから、当事務所では峠部や勾配のきつい交差点部などに限定して散布していきたいと考えている。凍結防止剤を散布することより、路面氷結防止やスベリ抵抗性の高い舗装材、舗装方法の早期開発と普及が待たれるところである。

第2に、施設面の整備については、雪崩、吹雪による交通障害、視程障害の著しい地域では、スノーシェッド、スノーシェルター、防雪柵、防雪林などこれまで実施してきた施策を推進するとともに、気象条件が厳しく、路面状況の急変する峠部にはチェーン着脱所を整備することとしており、当事務所では昭和63年度と平成元年度に国道230号中山峠の上下線に2ヶ所設置することになっている。また、水利の確保、地域住民の協力など条件が整った地域では流雪溝を整備する方針であり、当事務所管内では札幌市藻岩下地区に水力発電の放流水を利用した流雪溝を札幌市と共同で昨年度完成させた。この冬は先にも述べたように雪が少なかったもので、完成した流雪溝の効用はいま一つ実感されなかったが、今後偉力を発揮するものと期待している。また、最新技術を使ったものとしては「道路交通情報提供システム」の導入がある。これは峠部など標高の高い道路や気象変化の激しい道路に監視用テレビ、視程計、積雪深計などの各種感知機器を設置し、気象状況、交通状況を常時観測、監視して、交通障害の早期発見と効率的な除雪に役立てるとともに、道路情報板やカーラジオを通じてドライバーへ峠の状況をリアルタイムで提供するものであり、管内では昭和62年に230号中山峠に完成させた。

以上が道路管理者としてとりうる脱スパイクタイヤ対策の一部であるが、路面状況に応じた制限速度の設定や、冬道での運転技術向上のための訓練強化、タイヤの溝深さの規制強化、車のブレーキ系統の改良など、関連する多くの分野の総合的な施策が相俟って初めて、スパイクタイヤが禁止された後も冬道での円滑な交通確保と交通安全が達成されるものと考えている。



写真—2 監視用テレビ



写真—3 路側通信システム

冬を楽しむ

北海道開発庁では昭和60年度から“ふゆトピア”事業を展開している。これは雪や寒さのために産業経済の発展や生活の向上が阻害されている北海道の生活環境を風土にあったものに改善し、四季を通じて活力ある地域社会を形成しようとする事業の総称である。北国のまちづくり、公営住宅、公園、雪対策など各事業が競ってアイデアを出し合い、自治体でも積極的に導入し、事業化する気運にある。道路部門では、「北海道地方道路整備五箇年計画」において、“北国の豊かさを創造する道づくり”のキャッチフレーズの下に、“雪に強い道づくり”を大きな柱として事業を推進している。

☆

流雪溝の面的整備、防風、防雪林の造成、チェーン着脱所の設置、道路交通情報システムの整備など先に述べた当事務所の各事業はすべてこの柱に沿ったものである。

北海道に住む者にとって、雪はこれまでは正直いって厄介者であった。しかし、今年の冬のように暖冬少雪になると産業経済社会のあらゆる場面に不都合が生じてくることを体験した。雪と寒さを友達とし、本当の“ふゆトピア”を実現するためには、風土にあったまちづくり、道路づくりが必要である。そのためにも地球の温暖化は是非ともご遠慮願わねばならない。

☆

☆

☆

☆

☆

軟弱路床上の舗装

路床土の CBR 試験(自然含水比の状態で 3 層 67 回に突固めた路床土の 4 日水浸後の CBR 値を原則とする)によって求まる“区間 CBR”(各地点の CBR の平均値からその標準偏差の値を差引いて求まる CBR 値)が 2 未満の場合は、軟弱路床土であると評価し、特別な舗装構造の検討が必要になるが、このような区間に用いる舗装のことを軟弱路床上の舗装という。

軟弱路床上の舗装の 1 例を、多層弾性理論プログラムの 1 つである BISAR プログラムによって解析した結果の例を図-1 に示す。これによれば以下の特徴がわかる。

- ① 軟弱路床上の舗装は、路床の弾性係数が小さいため、イ路面の鉛直応力が通常の路床より 1 オーダー以上小さい。路面のたわみ量が 3～4 倍大きくなる。このため、一定の輪荷重を支えるためには、舗装厚を厚くするか、荷重分散性の高い舗装構成にする必要がある。
- ② たわみ量の影響範囲は、通常の路床上の舗装では 3～5 m 程度であるが、軟弱路床上の場合は 10 m 以上になり差がある。

アスファルト舗装要綱(昭和 63 年版)では、軟弱路床上の舗装工法として、以下に示す工法の比較検討をすすめている。

- a 路床土の一部又は全部を良質な材料で置換える。
- b 路床土の土質性状に応じて、石灰又はセメント系の材料で安定処理を行う。
- c 路床土の上に砂層や碎石層を設け、その上に 10～20cm の貧配合コンクリートやセメント安定処理層を設け、さらにその上に粒状路盤と、表・基層を設ける“サンドイッチ工法”にする。
- d その他、フルデプスアスファルト舗装や、鉄鋼スラグを用いた路盤構造にする。

これらの舗装構造の検討は、イ過去の実績比較、ロ工期、ハ施工単価等を考慮して行われるが、最近では、さらに多層弾性解析プログラムを用いて、ニ舗装表面のたわみ量、ホアスファルトコンクリート下録のひずみ量、ヘ路床土の鉛直応力、等舗装構造の検討も合わせて行う傾向にある。特に、サンドイッチ工法では、後者の比較検討によって表-1 の設計例を参考にすることを示している。

一方、置換え工法において、下部 20cm について強度低減を行っているのは、軟弱路床では、その一部を良質な材料で置換えを行っても、締固めに限界があったり、供用後に軟弱な在来路床土が混入し、置換え層下部が軟弱化することを考慮してとられた経験的な措置が付加されている。

さらに、置換え材料の CBR を有効に利用するために 120 cm の置換えによる舗装の検討も進められたが、舗装厚さを薄くできるメリットよりも、耐久性に難点がある傾向のため、置換え厚は 100cm を限度としている。

また、安定処理工法においても、処理層の下方部分の混合の均一性と密度確保のために矢張り、下部 20cm は在来路床土の CBR との平均 CBR をとることにしているので、これら 2 つの工法を採用する場合には、合わせて検討すべき要因と言える。

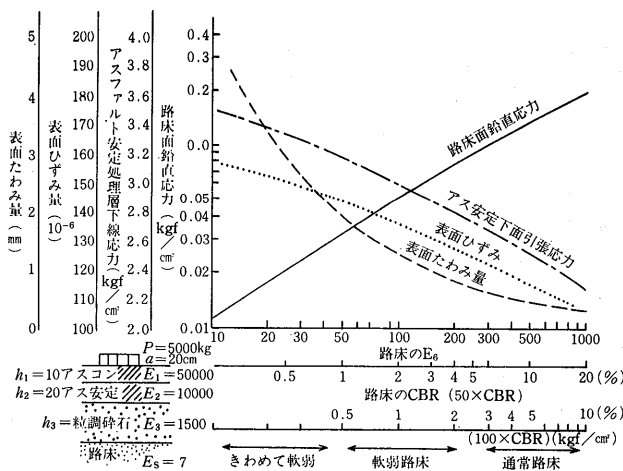


図-1 路床の E の影響(土研)

表-1 サンドイッチ工法の設計の一例(日本道路協会)

単位: cm

交通量の区分	区間の CBR の範囲	加熱アスファルト混合物	粒度調整砕石	セメント安定処理	クラッシュラン	遮断層	舗装厚
B	1.2未満	15	20	10	15	30	60
	1.2以上2.0未満	15	15	10	15	25	55
C	1.2未満	25	20	15	20	30	80
	1.2以上2.0未満	25	15	15	15	25	70
D	1.2未満	35	20	20	30	30	105
	1.2以上2.0未満	35	15	20	20	25	90

(小島逸平 熊谷道路技術研究所)

アスファルトの溶剤

高温で熔融状態になっているアスファルト自身は他のアスファルトのすぐれた希釈剤としてはたらく。したがってアスファルトもまた溶剤と考えられるわけである。しかしここではアスファルトの溶剤を「常温でアスファルトをほとんど完全に溶解させ、溶液にする能力をもった物質」と定義する。すなわち抽出、回収に用いることができる薬品で、これらは数多くあるがすべて有機溶剤である。

アスファルトの溶剤は当然、常温で無色透明の液体で、一定の沸点をもち、粘度が低く、浸透性、溶解力に富んでいることが条件になる。またこれらはほとんど揮発性で毒性および／または引火性をもっているもので、この程度なるべく低いものがのぞましい。使用にあたっては、労働安全衛生法、有機溶剤中毒予防規則、消防法、危険物規制規則等の制約をうけるかが多いので注意が必要である。

よく用いられているアスファルトの溶剤は表-1に示されるようなものがある（1989年3月現在）。

ただしベンゼンは強い造血障害をおこすことが知られてきて、最近は特定化学物質として扱われているのでこの表から除いた。試験法などでも従来のベンゼンの記述はおおむねトルエンに置きかえられていること

が多い。トルエンやキシレン等の芳香族炭化水素は、高濃度では中枢神経系に作用し、興奮状態を経て意識消失をひきおこす。また引火性もあり、消防法上の第4類危険物の第1石油類（トルエン、*o*-キシレン）および第2石油類（*m*-および*p*-キシレン）に相当する。ちなみにアスファルトは従来の第4類第4石油類の準危険物という名称が変って指定可燃物となっている。

二硫化炭素は、第1種の有機溶剤であるとともに、第4類危険物の特殊引火物であって可燃性液体の中では最も着火温度が低い（100℃）ので、その取扱いはに厳重な注意が必要である。

ハロゲン炭化水素は、塩素化することによって得られ、難燃性あるいは不燃性であるというすぐれた特性を示すが、同時に毒性も高く麻酔作用、吐き気、皮膚刺激にはじまって、体内蓄積が進めば深刻な肝機能障害をひきおこす。体内にとりいれられた塩素系溶剤はなかなか排出されず、10年以上体内にとどまっている例もある。この中でも特に四塩化炭素は危険度が高い。

塩素系溶剤を肝障害性の高いものからならべると次のようであるといわれる。（中央労働災害防止協会）

四塩化炭素>1,1,2 トリクロロエタン>トリクロロエチレン>テトラクロロエチレン>1,1,1 トリクロロエタン>ジクロロメタン

表-1 アスファルトの有機溶剤

(1989年3月現在)

法的名称	化学式	法的区分	蒸気圧 (20℃)mmHg	沸 点 (760mmHg)℃	液体密度 (d ₄ ²⁰)g/cm ³	蒸気密度 (空気=1)	引 火 点 ℃	許 容 濃 度 PPM
二 硫 化 炭 素	CS ₂	第 一 種 有 機 溶 剤	360	46.5	1.263	2.7	-30	10皮 (日) 20皮 (米)
四 塩 化 炭 素	CCl ₄		90	76.8	1.575	5.3	—	10皮 (日, 米)
トリクロロエチレン	ClCHCCl ₂		60	86.7	1.465	4.5	—	50 (日) 100 (米)
1,1,1トリクロロエタン	CH ₃ CCl ₃	第 二 種 有 機 溶 剤	101	74.1	1.349	4.2	—	200 (日) 350 (米)
テトラクロロエチレン	Cl ₂ CCCl ₂ *		14	121.1	1.620	5.8	—	50 (日) 100皮 (米)
ジクロロメタン	CH ₂ Cl ₂ **		350	39.8	1.326	2.9	—	500 (日) 200 (米)
ト ル エ ン	C ₆ H ₅ CH ₃		22	110.6	0.87	3.1	4	100 (日) 100皮 (米)
キ シ レ ン	C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂ ***		6.4~16.4	138.4~144.4	0.86~0.88	3.7	17~25	150 (日) 100皮 (米)

*別名 パークロロエチレン **別名 二塩化メチレン ***o, m, pの3種類あり

しかしながら実用上における有害度は、許容濃度だけでなく、蒸発速度(拡散速度)、蒸気密度等とのかね合いで考慮されるべきであろう。たとえば許容濃度の高いジクロロメタンは沸点が低いから気化しやすく、さらに蒸気圧が高いから蒸発速度も大きい。またテトラクロロエチレンなどのように蒸気密度の大きい重いものは、作業現場で高濃度の吹きだまりを作りやすいことに注意するべきである。

揮発性をもつこれら有機溶剤の使用にあたっては、その溶剤の物性をよく知った上で、有機溶剤の使用取扱い規則をよく守り、作業環境を十分整備して行なっていくことが必要である。

三塩化エタン可溶分 (Solubility in Trichloroethane)

JIS K2207 で規定する溶剤可溶分測定試験である。以前は四塩化炭素 (CCl₄) 可溶分として規定されていたが、1980年以降、毒性がそれよりも低い三塩化エタン (1,1,1 トリクロロエタン, CH₃CCl₃) 可溶分に改訂されている。

通常われわれが使っているアスファルトは瀝青 (Bitumen) に包含され、これは二硫化炭素 (CS₂) に溶ける物質と定義されている (ASTM)。そこで歴史的には二硫化炭素を用いて有機、無機の夾雑物が混入しているかどうかの確認が外国では行なわれてきたが、毒性、引火性がきわめて高いので四塩化炭素、次いで三塩化エチレン (トリクロロエチレン, ClCHCCl₂)、三塩化エタン等に移行してきた背景がある。これら溶剤の溶解性は実用を目的とした場合ほとんど同じであると考えてよい。

建設省土木研究所で行なったストレートアスファルトの性状調査結果 (1986) によれば、針入度40~100の舗装用石油アスファルトのほとんどが、三塩化エタン

可溶分99.5%以上であることを示している。したがって市販ストレートアスファルトについては、不純物はほとんどないと言ってよく、実用上もあまり意味のない試験である。

しかしながら高度にブローイングされたブローンアスファルトや防水工事用アスファルトでは、三塩化エタンに溶けない高分子成分のカーペンが増大していること、また触媒等が存在している場合もあって、不溶解分の値はいく分増大してくる。またアスファルト乳剤の固型残留物や、ゴム/樹脂入りアスファルト、コンパウンド等では、三塩化エタンに不溶(一部は可溶)の高分子材料、添加剤等を含有しているものがあり、したがってこれらのアスファルト材料では、三塩化エタン可溶分によって必ずしも瀝青 (Bitumen) 分の純度を判断することができない。むしろ特殊なアスファルトあるいはアスファルトコンパウンドと称されるものが、無機質の充填材 (フィラー) をどの位含有しているかというような場合に三塩化エタン可溶分が意味をもってくるようである。

市販製品について実測した結果を一例として以下に示す。

三塩化エタン可溶分—市販製品の実測例

アスファルト種類	針入度	軟化点	三塩化エタン可溶分(%w)	
			測定値	規格値
ストレート 60 ~ 80	71	48.5	99.9	≥99.0
セミブローン AC-100	49	57.5	99.9	≥99.0
ブローン 10 ~ 20	15	96.0	99.3	≥98.5
ブローン 20 ~ 30	24	86.5	98.9	≥98.5
防水工事用 3 種	36	111.0	98.5	≥95
防水工事用 4 種	39	105.0	97.4	≥92
ゴム入りアスファルト	60	59.5	99.8	—
ゴム/樹脂入りアスファルト	68	52.5	98.8	—
トリニダッド・アスファルト	2	98.0	53.7	55前後

〔高橋正明 昭和シェル石油(株)中央研究所〕

☆

☆

☆

☆

☆

☆

ハース、ハドソン著

『舗装マネジメントシステム』の翻訳出版について

北海道土木技術会舗装研究委員会*

PMSグループ 主査 笠原 篤

本書は、PAVEMENT MANAGEMENT SYSTEMS by Ralph Haas & W. Ronald Hudson の全訳本であり、北海道土木技術会舗装研究委員会 PMS グループが翻訳した。

まず最初に、北海道土木技術会をご紹介します。本会は、北海道における土木事業ならびに土木技術の進展を図ることを目的として、北海道在住の官・学・民の土木技術者で主旨に賛同した者の参画により、昭和29年に設立された任意団体である。現在、その中には舗装研究委員会を含め6研究委員会があり、各々、調査・研究・出版・講習・講演など幅広い活動を行っている。舗装研究委員会は昭和55年に設立され、菅原照雄北大教授を委員長として活発な活動を行なってきた。本年度からは久保宏北海道開発局開発土木研究所長が委員長となり、北海道における舗装技術の進展に寄与すべく活動を行っている。

舗装は、維持修繕なしには一般に設計寿命を全うできないが、オーバーレイなどの維持修繕が適切な間隔で施されると供用寿命が延びるなど特殊な性格を持つ土木構造物である。このことから、舗装の計画・設計・建設と維持修繕とを結び付けて検討する必要があると認識されてきた。1967～1968年に舗装システムの基本概念が提案されて以来、システム的な考え方が舗装設計のみならず、舗装の全過程に適用する必要があることが明らかにされてきた。連邦道路局・テキサス大学・HRBの共同開催による『アスファルト舗装システムの構造設計』に関する会議（1970年12月）において、舗装システムをさらに発展させ『舗装マネジメントシステム』なる新しい概念を基礎として舗装を捉えることが明確化された。すなわち、『PMS』なる言葉が生まれたのは、まさにこの時であった。

1970年代の石油ショックを引金とした世界的な低成長時代が到来し、公共施設の維持補修費の支出が抑えられ、『荒廃するアメリカ』なる書で指摘されたように公共施設の機能が極端に低下した。このことは、適切な時期に適切な維持修繕を施すことが公共施設にとっていかに重要であるかを、我々に強烈に印象付けた。

まさにこのような時期に、カナダ・ウォータールー大学のハース教授とアメリカ・テキサス大学のハドソン教授達の長年の研究成果として、『PAVEMENT MANAGEMENT SYSTEMS』なる書が、1978年にMcGRAW-HILL社から出版された。この書は、出版直後からわが国の舗装関係者の間で注目を浴び、アスファルト誌122号にその概要が翻訳され掲載された経緯がある。その後、舗装研究者間では翻訳の出版について幾度となく話題に上ったが、経費などの問題で立消えていた。

わが国においても近年PMSの重要性の認識が広まり、関連する調査研究が行われてきているが、PMSを体系的に紹介した書や適切な参考書がないため、PMSと言う用語だけ一人歩きをし、解釈に差がでるなど一部で混乱が生じている気配さえ感ぜられた。わが国においてもPMSがこれからの舗装にとって不可欠であることから、PMSの概念を正しく認識して戴くために、舗装研究委員会の幹事会において、経費を度外視し、翻訳出版することの決定が成された。

ハース教授のもとで、舗装マネジメントシステムについて勉強をしてきた笠原および菊川滋氏（現、建設省近畿地方建設局奈良国道工事事務所長）が中心となり、舗装研究委員会の中にPMSグループを結成し、10人のメンバーで2年の歳月をかけて翻訳をした。

PMSを理解する上で重要な概念は、舗装のサービスアビリティ、サービスレベル、パフォーマンスであるが、翻訳担当者の中でもそれらの概念の捉え方に差があった。それは、わが国において『舗装の機能』を表現するこれらの語句に『供用性』という語が使われており、その概念に混乱があることを意味していた。

本書は舗装マネジメントシステムのみならず、完成度の高い舗装の教科書であり、かつマネジメントシステムの考え方を示した良い参考書であると認識した。翻訳出版するにあたり、両教授の好意により版權契約もスムーズに行われ、また日本語版に対する序文も執筆して戴いたことに感謝を申し上げる。

*札幌市中央区南2西5、メゾン本府4F

（社）北海道舗装事業協会内、Tel 011-222-1921

<石油アスファルト需給統計資料> その1

(単位: 千 t)

項 目 年 度	供 給					需 要					
	期初在庫	生 産	対 前 年 度 比	輸入	合 計	内 需	対 前 年 度 比	輸出	小 計	期末在庫	合 計
52 年 度	256	4,790	(115.3)	0	5,046	4,765	(116.2)	0	4,765	287	5,052
53 年 度	287	5,229	(109.2)	0	5,516	5,218	(109.5)	0	5,218	297	5,515
54 年 度	297	5,064	(96.8)	1	5,362	5,138	(98.5)	2	5,140	236	5,376
55 年 度	236	4,720	(93.2)	1	4,957	4,703	(91.5)	21	4,724	240	4,964
56 年 度	240	4,598	(97.4)	0	4,838	4,562	(97.0)	19	4,581	226	4,807
57 年 度	226	4,624	(99.2)	0	4,850	4,574	(100.3)	18	4,592	213	4,805
58年度上期	213	2,392	(111.1)	0	2,605	2,357	(110.7)	3	2,360	241	2,601
58年度下期	241	2,555	(103.6)	0	2,796	2,564	(103.8)	1	2,565	226	2,791
58 年 度	213	4,947	(108.4)	0	5,160	4,921	(107.6)	4	4,925	226	5,151
59年度上期	226	2,541	(106.4)	0	2,767	2,516	(106.7)	0	2,517	252	2,769
59年度下期	252	2,694	(105.4)	0	2,946	2,705	(105.5)	0	2,705	240	2,945
59 年 度	226	5,235	(105.9)	0	5,461	5,221	(106.1)	0	5,221	240	5,461
60年度上期	240	2,400	(94.5)	0	2,640	2,338	(92.9)	0	2,338	294	2,632
60年度下期	294	2,629	(97.6)	0	2,923	2,696	(99.7)	0	2,696	215	2,911
60 年 度	240	5,029	(96.1)	0	5,269	5,034	(92.2)	0	5,034	215	5,249
61年度上期	215	2,656	(110.7)	0	3,130	2,568	(109.8)	0	2,568	291	2,859
61年度下期	291	3,089	(117.5)	0	3,380	3,134	(116.2)	0	3,134	235	3,369
61 年 度	215	5,744	(114.2)	0	5,959	5,702	(113.3)	0	5,702	235	5,937
62年度上期	235	2,745	(103.4)	7	2,987	2,681	(104.4)	0	2,681	312	2,993
10～12月	312	1,592	(95.8)	0	1,904	1,667	(96.2)	0	1,667	232	1,899
63. 1 月	232	426	(110.1)	0	658	372	(103.6)	0	372	287	659
2 月	287	481	(119.4)	0	768	471	(117.8)	0	471	296	767
3 月	296	648	(101.4)	2	946	671	(104.5)	0	671	274	945
1～3 月	232	1,554	(108.8)	2	1,788	1,514	(108.0)	0	1,514	274	1,788
62年度下期	312	3,146	(101.8)	2	3,460	3,181	(101.5)	0	3,181	274	3,455
62 年 度	235	5,892	(102.6)	9	6,136	5,862	(102.8)	0	5,862	274	6,136
63. 4 月	274	507	(98.4)	3	784	499	(104.6)	0	499	284	783
5 月	284	394	(97.8)	0	678	366	(96.6)	0	366	313	679
6 月	313	416	(105.0)	0	729	428	(102.6)	0	428	302	730
4～6 月	274	1,317	(100.2)	3	1,591	1,292	(106.5)	0	1,292	302	1,594
7 月	302	478	(107.2)	0	780	474	(101.7)	0	474	306	780
8 月	306	502	(102.9)	0	808	494	(112.0)	0	494	310	804
9 月	310	458	(92.0)	0	768	474	(94.6)	0	474	287	761
7～9 月	302	1,438	(100.5)	0	1,740	1,442	(102.4)	0	1,442	287	1,729
63年度上期	274	2,754	(100.3)	3	3,031	2,734	(102.0)	0	2,734	287	3,021
10月	287	545	(108.6)	0	832	562	(108.7)	0	562	269	831
11月	269	583	(105.6)	0	852	567	(97.3)	0	567	287	854
12月	287	550	(102.4)	0	837	580	(102.5)	0	580	262	842
10～12月	287	1,678	(105.4)	0	1,965	1,709	(102.5)	0	1,709	262	1,971
1. 1 月	262	365	(85.7)	0	627	340	(91.4)	0	340	284	624

[注] (1) 通産省エネルギー月報 元年1月確報
(2) 四捨五入のため月報と一致しない場合がある。

<石油アスファルト需給統計資料> その2

石油アスファルト内需実績 (品種別明細)

(単位: 千 t)

項 目 年 度	内 需 量						対 前 年 度 比					
	ストレート・アスファルト			燃焼用 アスファルト	ブローン アスファルト	合 計	ストレート・アスファルト			燃焼用 アスファルト	ブローン アスファルト	合 計
	道路用	工業用	計				道路用	工業用	計			
52 年 度	4,242	235	4,477	—	288	4,765	116.9	112.4	116.6	—	109.1	116.1
53 年 度	4,638	267	4,905	—	313	5,218	109.3	113.6	109.6	—	108.7	109.5
54 年 度	4,620	175	4,795	—	343	5,138	99.6	65.5	97.8	—	109.6	98.5
55 年 度	4,233	183	4,416	—	287	4,703	91.6	104.6	92.1	—	91.5	91.5
56 年 度	4,082	202	4,284	4	274	4,562	96.4	110.4	97.0	—	95.5	97.0
57 年 度	3,943	184	4,127	187	260	4,574	96.6	91.1	96.3	467.5	94.2	100.3
58年度上期	1,917	83	2,000	236	121	2,357	104.3	86.5	103.4	524.4	98.4	110.7
58年度下期	2,033	94	2,127	304	133	2,564	96.6	106.8	97.0	214.1	98.5	103.8
58 年 度	3,950	177	4,127	540	254	4,921	100.2	96.2	100.0	288.8	98.4	107.6
59年度上期	1,915	79	1,994	403	119	2,516	99.9	95.2	99.7	170.8	101.7	106.7
59年度下期	2,084	83	2,167	403	135	2,705	102.5	88.3	101.9	132.6	101.5	105.5
59 年 度	3,999	162	4,161	806	254	5,221	101.2	91.5	100.8	149.3	100.0	106.1
60年度上期	1,767	72	1,839	388	112	2,338	92.3	91.1	92.2	96.3	94.1	92.9
60年度下期	1,974	67	2,041	522	133	2,696	94.7	80.7	94.2	129.5	98.5	99.7
60 年 度	3,741	139	3,881	910	245	5,034	93.5	85.8	93.2	112.9	96.5	96.4
61年度上期	1,825	66	1,891	565	112	2,568	103.3	91.7	102.8	145.6	100.0	109.8
61年度下期	2,160	175	2,335	673	125	3,134	109.4	261.2	114.4	128.9	94.0	116.2
61 年 度	3,985	241	4,226	1,238	237	5,702	106.5	173.4	108.9	136.0	96.7	113.3
62年度上期	1,949	100	2,048	518	114	2,681	106.8	151.5	108.3	91.7	101.8	104.4
10～12月	1,271	90	1,362	232	73	1,667	102.3	98.9	102.2	69.5	110.6	96.2
63. 1 月	211	54	265	85	22	372	114.7	135.0	118.3	74.6	110.0	103.6
2 月	296	61	357	90	24	471	117.5	435.7	134.2	78.3	120.0	117.8
3 月	525	56	581	68	22	671	108.9	193.1	113.7	60.2	122.2	104.5
1～3 月	1,032	171	1,203	243	68	1,514	112.3	203.6	119.9	71.5	115.3	108.0
62年度下期	2,304	261	2,565	475	141	3,181	106.7	149.1	109.9	70.6	112.8	101.5
62 年 度	4,253	360	4,613	995	255	5,862	106.7	149.4	109.2	80.4	107.6	102.8
63. 4 月	381	25	406	75	18	499	114.1	208.3	117.3	66.4	100.0	105.9
5 月	281	10	291	57	18	366	105.2	111.1	105.4	66.3	105.9	96.6
6 月	298	53	351	56	21	428	95.8	378.6	108.0	76.7	110.5	102.6
4～6 月	959	88	1,047	188	57	1,292	105.3	251.4	110.7	69.1	103.6	101.5
7 月	361	8	369	86	19	474	104.0	28.6	98.7	117.8	105.6	101.7
8 月	333	40	373	101	20	494	105.0	166.7	109.4	124.7	105.3	112.0
9 月	336	29	365	89	21	475	89.8	223.1	94.3	96.7	95.5	94.8
7～9 月	1,029	78	1,107	276	60	1,443	99.1	120.0	100.4	112.2	101.7	102.5
63年度上期	1,988	166	2,154	464	117	2,735	102.0	166.0	105.2	89.5	102.6	102.0
10月	402	71	473	65	24	562	97.8	546.2	111.6	97.0	92.3	108.7
11月	432	29	461	80	26	567	98.9	65.9	95.8	102.6	108.3	97.3
12月	439	27	466	91	23	580	103.8	81.8	102.2	103.4	104.5	102.5
10～12月	1,273	127	1,400	236	73	1,709	100.2	141.1	102.8	101.7	100.0	102.5
1. 1 月	177	52	229	91	20	340	83.9	96.3	86.4	107.1	99.9	91.4

〔注〕(1) 通産省エネルギー月報 元年1月確報

(2) 工業用ストレート・アスファルト, 燃焼用アスファルト, ブローンアスファルトは日本アスファルト協会調べ。

(3) 道路用ストレート・アスファルト＝内需量合計－(ブローンアスファルト＋燃焼用アスファルト＋工業用ストレート・アスファルト)

(4) 四捨五入のため月報と一致しない場合がある。

主な石油アスファルト製造用原油の輸入状況

(単位：1,000kl, %)

原油名 年度 項目	アラビアンヘビー		イラン・イラクヘビー		クウェート		カブジ		小計		総輸入量	
	数量	構成比	数量	構成比	数量	構成比	数量	構成比	数量	構成比	数量	構成比
51年	1,254	0.5	32,973	12.3	17,535	6.5	5,453	2.0	57,215	21.3	268,588	100.0
52年	6,491	2.3	31,376	11.3	21,761	7.9	3,650	1.3	63,278	22.8	277,898	100.0
53年	7,248	2.7	28,589	10.6	21,603	8.0	8,109	3.0	65,549	24.3	270,184	100.0
54年	9,946	3.5	15,015	5.4	25,640	9.1	12,597	4.5	63,198	22.5	280,486	100.0
55年	16,393	6.4	6,865	2.7	7,954	3.1	9,294	3.6	40,506	15.8	256,833	100.0
56年	16,131	7.0	4,764	2.1	9,060	3.9	6,035	2.6	35,990	15.6	230,239	100.0
57年	16,429	7.7	8,259	3.8	3,115	1.4	7,893	3.7	35,696	16.6	214,685	100.0
58年	15,061	10.3	13,238	9.0	3,375	2.3	9,892	6.8	41,566	28.4	146,543	100.0
59年	11,761	7.8	8,866	5.2	2,728	1.8	10,210	6.8	32,465	21.6	150,606	100.0
60年	10,454	5.3	6,273	3.1	2,578	1.3	9,698	4.9	29,003	14.6	198,330	100.0
61年	7,174	3.7	7,506	3.9	5,979	3.1	8,482	4.4	29,141	15.0	194,515	100.0
62年	12,925	7.0	7,789	4.2	10,311	5.6	6,267	3.4	37,293	20.1	185,364	100.0
63年	9,130	4.7	6,095	3.1	8,124	4.2	6,374	3.3	29,723	15.3	193,850	100.0
51年度	2,372	0.9	34,577	12.5	17,573	6.4	5,101	1.8	59,623	21.6	212,844	100.0
52年度	6,986	2.5	30,873	11.1	22,679	8.2	3,918	1.4	64,456	23.2	212,911	100.0
53年度	8,400	3.1	21,707	8.0	23,330	8.3	10,709	4.0	63,146	23.4	270,121	100.0
54年度	11,256	4.1	17,929	6.5	21,491	7.8	11,070	4.0	61,746	22.3	277,143	100.0
55年度	16,250	6.5	2,865	1.1	8,865	3.5	8,449	3.4	36,404	14.6	249,200	100.0
56年度	17,571	7.6	7,329	3.2	7,451	3.2	5,685	2.5	38,036	16.5	230,231	100.0
57年度	14,888	7.2	8,849	4.3	1,865	0.9	8,126	3.9	33,728	16.3	207,395	100.0
58年度	15,071	7.1	13,057	6.1	3,498	1.6	11,378	5.3	43,004	20.2	212,844	100.0
59年度	13,447	6.3	6,422	3.0	5,130	2.4	10,385	4.9	35,384	16.6	212,911	100.0
60年度	6,790	3.4	6,232	3.2	3,330	1.7	8,409	4.3	24,761	12.6	197,261	100.0
61年度	6,422	3.4	7,636	4.1	5,990	3.2	8,952	4.8	29,000	15.5	187,516	100.0
62年度	13,793	7.3	7,311	3.9	11,758	6.3	4,577	2.4	37,439	19.9	187,886	100.0
63年度	7,620	3.8	6,404	3.2	7,127	3.6	8,259	4.1	29,410	14.7	199,756	100.0
63年1月	1,025	5.8	734	4.1	1,610	9.0	503	2.8	3,872	21.8	17,793	100.0
2月	758	4.5	400	2.4	448	2.6	107	0.6	1,713	10.1	16,917	100.0
3月	346	2.0	310	1.8	1,263	7.4	75	0.4	1,994	11.7	17,023	100.0
1～3月	2,129	4.1	1,444	2.8	3,321	6.4	685	1.3	7,579	14.7	51,733	100.0
4月	245	1.7	472	3.3	986	6.9	338	2.3	2,041	14.2	14,386	100.0
5月	463	2.7	502	2.9	826	4.8	1,131	6.6	2,922	17.1	17,087	100.0
6月	813	5.4	604	4.0	—	—	745	4.9	2,162	14.3	15,129	100.0
4～6月	1,521	3.3	1,578	3.4	1,812	3.9	2,214	4.8	7,125	15.3	46,602	100.0
7月	1,981	9.0	710	3.2	255	1.2	848	3.9	3,794	17.3	21,992	100.0
8月	706	7.3	548	5.7	391	4.1	213	2.2	1,858	19.2	9,653	100.0
9月	602	4.3	322	2.3	113	0.8	741	5.3	1,778	12.7	14,034	100.0
7～9月	3,289	7.2	1,580	3.5	759	1.7	1,802	3.9	7,430	16.3	45,679	100.0
10月	635	0.4	559	3.8	383	2.6	574	4.0	2,151	14.8	14,525	100.0
11月	954	5.8	655	4.0	952	5.8	333	2.0	2,894	17.7	16,352	100.0
12月	602	3.2	279	1.5	897	4.7	766	4.0	2,544	13.4	18,959	100.0
10～12月	2,191	4.4	1,493	3.0	2,232	4.5	1,673	3.4	7,589	15.2	49,836	100.0
1年1月	242	1.2	394	1.9	818	3.9	728	3.5	2,182	10.4	21,011	100.0
2月	73	0.4	614	3.5	587	3.3	650	3.7	1,924	10.8	17,772	100.0
3月	304	1.6	745	4.0	919	4.9	1,192	6.3	3,160	16.8	18,856	100.0
1～3月	619	1.1	1,753	3.0	2,324	4.0	2,570	4.5	7,266	12.6	57,639	100.0

(注) (1) 通産省エネルギー統計月報元年3月確報。 (3) 四捨五入のため月報と一致しない場合がある。

(2) 構成比は全輸入量に対する100分比である。

アスファルト統計史

B 5 版 187ページ ¥3,000(送料は実費)

申込先 (社)日本アスファルト協会
〒105 東京都港区虎ノ門2-6-7
和孝第10ビル

我が国において、アスファルトが利用されてきたのは紀元前にまでさかのぼることが出来ます。

当時の利用目的は、防水・接着剤等に用いられていたようですが、今日では、道路用を始めとして工業用・燃焼用と色々な用途に用いられるようになり、需要量も増大してまいりました。

当協会の調査委員会において、我が国のアスファルト統計について資料の収集・整理に努めて参りましたが、ここに「アスファルト統計史」を30周年記念として出版することになりました。

アスファルトに関する統計としては、我が国唯一の資料であり、内容的にもきめ細かく取りまとめられており、関係者必携の書としておすすめします。

目 次

I. 生産量

1. アスファルト年別生産量
2. アスファルト品種別月別生産量
3. 石油アスファルト月別生産量
4. 石油アスファルト品種別月別生産量

II. 内需量 (販売)

1. アスファルト販売量
2. アスファルト品種別月別販売量
3. 石油アスファルト月別内需量
4. 石油アスファルト品種別月別内需量

III. 輸出入

1. アスファルト年別輸入・輸出量
2. アスファルト月別輸入・輸出量

IV. 在庫量

1. 石油アスファルト年別在庫量
2. 石油アスファルト月別在庫量
3. 石油アスファルト品種別月別在庫量

V. 販売量

1. 石油アスファルト品種別針入度販売量
2. 石油アスファルト品種別荷姿別販売量
3. 石油アスファルト地域別月別販売量

社団法人 日本アスファルト協会 会員

(五十音順)

社 名	住 所	電 話
〔メーカー〕		
出 光 興 産 株 式 会 社	(100) 千代田区丸の内3-1-1	03 (213) 3 1 3 4
エ ッ ソ 石 油 株 式 会 社	(107) 港区赤坂5-3-3	03 (585) 9 4 3 8
鹿 島 石 油 株 式 会 社	(102) 千代田区紀尾井町3-6	03 (265) 0 4 1 1
キ グ ナ ス 石 油 株 式 会 社	(104) 中央区京橋2-9-2	03 (535) 7 8 1 1
九 州 石 油 株 式 会 社	(100) 千代田区内幸町2-1-1	03 (502) 3 6 5 1
共 同 石 油 株 式 会 社	(105) 港区虎ノ門2-10-1	03 (224) 6 2 9 8
極 東 石 油 工 業 株 式 会 社	(100) 千代田区大手町1-7-2	03 (270) 0 8 4 1
興 亜 石 油 株 式 会 社	(100) 千代田区大手町2-6-2	03 (241) 8 6 3 1
コ ス モ 石 油 株 式 会 社	(105) 港区芝浦1-1-1	03 (798) 3 2 0 0
三 共 油 化 工 業 株 式 会 社	(100) 千代田区丸の内1-4-2	03 (284) 1 9 1 1
昭 和 シェ ル 石 油 株 式 会 社	(100) 千代田区霞が関3-2-5	03 (503) 4 0 7 6
昭 和 四 日 市 石 油 株 式 会 社	(510) 四日市市塩浜町1	0593 (45) 2 1 1 1
西 部 石 油 株 式 会 社	(100) 千代田区丸の内1-2-1	03 (215) 3 0 8 1
ゼ ネ ラ ル 石 油 株 式 会 社	(105) 港区西新橋2-8-6	03 (595) 8 3 0 0
東 燃 株 式 会 社	(100) 千代田区一ツ橋1-1-1	03 (286) 5 1 1 1
東 北 石 油 株 式 会 社	(985) 仙台市港5-1-1	022 (363) 1 1 1 1
日 網 石 油 精 製 株 式 会 社	(210) 川崎市川崎区浮島町3-1	044 (266) 8 3 1 1
日 本 鉱 業 株 式 会 社	(105) 港区虎ノ門2-10-1	03 (505) 8 5 3 0
日 本 石 油 株 式 会 社	(105) 港区西新橋1-3-12	03 (502) 1 1 1 1
日 本 石 油 精 製 株 式 会 社	(105) 港区西新橋1-3-12	03 (502) 1 1 1 1
富 士 興 産 株 式 会 社	(100) 千代田区永田町2-4-3	03 (580) 3 5 7 1
富 士 石 油 株 式 会 社	(100) 千代田区大手町1-2-3	03 (211) 6 5 3 1
三 菱 石 油 株 式 会 社	(105) 港区虎ノ門1-2-4	03 (595) 7 6 6 3
モ ー ビ ル 石 油 株 式 会 社	(100) 千代田区大手町1-7-2	03 (244) 4 6 9 1

〔ディーラー〕

● 北 海 道

コスモアスファルト(株)札幌支店	(060) 札幌市中央区大通り西10-4	011 (281) 3 9 0 6	コ ス モ
蔦 井 石 油 株 式 会 社	(060) 札幌市中央区南4条西11-1292-4	011 (518) 2 7 7 1	コ ス モ
株式会社 トーアス札幌営業所	(060) 札幌市中央区北2条西2	011 (281) 2 3 6 1	共 石
東光商事株式会社札幌営業所	(060) 札幌市中央区南大通り西7	011 (241) 1 5 6 1	三 石
中西瀝青株式会社札幌営業所	(060) 札幌市中央区北2条西2	011 (231) 2 8 9 5	日 石
株式会社 南部商会札幌営業所	(060) 札幌市中央区北2条西2-15	011 (231) 7 5 8 7	日 石
レキセイ商事株式会社	(060) 札幌市中央区北4条西3	011 (231) 4 5 0 1	出 光
株式会社 ロード資材	(060) 札幌市中央区北1条西10-1-11	011 (281) 3 9 7 6	コ ス モ

社団法人 日本アスファルト協会 会員

社 名	住 所	電 話
● 東 北		
有限会社 男 鹿 興 業 社	(010-05)男鹿市船川港船川字化世沢178	0185 (23) 3 2 9 3 共 石
カ メ イ 株 式 会 社	(980) 仙台市国分町 3-1-18	022 (264) 6 1 1 1 日 石
株式会社 木畑商会仙台営業所	(980) 仙台市中央 2-1-17	022 (222) 9 2 0 3 共 石
コスモアスファルト(株)仙台支店	(980) 仙台市中央 3-3-3	022 (266) 1 1 0 1 コ ス モ
正興産業株式会社 仙台営業所	(980) 仙台市国分町 3-3-5	022 (263) 5 9 5 1 三 石
竹中産業株式会社 新潟営業所	(950) 新潟市東大通 1-4-2	025 (246) 2 7 7 0 昭和シェル
株式会社 トーアス仙台営業所	(980) 仙台市大町 1-1-10	022 (262) 7 5 6 1 共 石
常盤商事株式会社仙台支店	(980) 仙台市上杉 1-8-19	022 (224) 1 1 5 1 三 石
中西瀝青株式会社 仙台営業所	(980) 仙台市中央 2-1-30	022 (223) 4 8 6 6 日 石
株式会社 南部商会仙台出張所	(980) 仙台市中央 2-1-17	022 (223) 1 0 1 1 日 石
宮城石油販売株式会社	(980) 仙台市東 7 番丁102	022 (257) 1 2 3 1 三 石
菱油販売株式会社仙台支店	(980) 仙台市国分町 3-1-1	022 (225) 1 4 9 1 三 石
● 関 東		
朝 日 産 業 株 式 会 社	(103) 中央区日本橋茅場町 2-7-9	03 (669) 7 8 7 8 コ ス モ
アスファルト産業株式会社	(104) 中央区八丁堀 4-11-2	03 (553) 3 0 0 1 昭和シェル
伊 藤 忠 燃 料 株 式 会 社	(107) 港区赤坂 2-17-22	03 (584) 8 5 5 5 共 石
梅 本 石 油 株 式 会 社	(162) 新宿区揚場町 2-24	03 (269) 7 5 4 1 コ ス モ
関東アスファルト株式会社	(336) 浦和市岸町 4-26-19	0488 (22) 0 1 6 1
株式会社 木 畑 商 会	(104) 中央区八丁堀 4-2-2	03 (552) 3 1 9 1 共 石
コスモアスファルト株式会社	(104) 中央区八丁堀 3-3-5	03 (551) 8 0 1 1 コ ス モ
国 光 商 事 株 式 会 社	(164) 中野区東中野 1-7-1	03 (363) 8 2 3 1 出 光
株式会社澤田商行関東支店	(104) 中央区入船町 1-7-2	03 (551) 7 1 3 1 コ ス モ
三徳商事株式会社東京支店	(101) 千代田区神田紺屋町11	03 (254) 9 2 9 1 昭和シェル
新日本商事株式会社	(101) 千代田区神田錦町 2-5	03 (294) 3 9 6 1 昭和シェル
住商石油アスファルト株式会社	(105) 港区浜松町 2-3-31	03 (578) 9 5 2 1 出 光
大 洋 商 運 株 式 会 社	(103) 中央区日本橋本町 3-7	03 (245) 1 6 2 1 三 石
竹 中 産 業 株 式 会 社	(101) 千代田区鍛冶町 1-5-5	03 (251) 0 1 8 5 昭和シェル
中 央 石 油 株 式 会 社	(160) 新宿区新宿 2-6-5	03 (356) 8 0 6 1 モービル
株式会社 ト ー ア ス	(160) 新宿区西新宿 2-7-1	03 (342) 6 3 9 1 共 石
東京レキセイ株式会社	(150) 渋谷区恵比寿西 1-9-12	03 (496) 8 6 9 1 富 士 興
東京富士興産販売株式会社	(105) 港区虎ノ門 1-13-4	03 (591) 3 4 0 1 富 士 興
東 光 商 事 株 式 会 社	(104) 中央区京橋 1-5-12	03 (274) 2 7 5 1 三 石
東 新 瀝 青 株 式 会 社	(103) 中央区日本橋 2-13-10	03 (273) 3 5 5 1 日 石
東洋国際石油株式会社	(104) 中央区八丁堀 3-3-5	03 (552) 8 1 5 1 コ ス モ
東 和 産 業 株 式 会 社	(174) 板橋区坂下 3-29-11	03 (968) 3 1 0 1 三 共 油 化
中 西 瀝 青 株 式 会 社	(103) 中央区八重洲 1-2-1	03 (272) 3 4 7 1 日 石
株式会社 南 部 商 会	(100) 千代田区丸の内 3-4-2	03 (213) 5 8 7 1 日 石
日 東 商 事 株 式 会 社	(170) 豊島区巢鴨 4-22-23	03 (915) 7 1 5 1 昭和シェル
日東石油販売株式会社	(104) 中央区新川 2-3-11	03 (551) 6 1 0 1 昭和シェル
パシフィック石油商事株式会社	(103) 中央区日本橋蛸殻町 1-17-2	03 (661) 4 9 5 1 モービル
富士興産アスファルト株式会社	(100) 千代田区永田町 2-4-3	03 (580) 5 2 1 1 富 士 興
富 士 鉱 油 株 式 会 社	(105) 港区新橋 4-26-5	03 (432) 2 8 9 1 コ ス モ
富士石油販売株式会社	(103) 中央区日本橋 2-13-12	03 (274) 2 0 6 1 共 石

社団法人 日本アスファルト協会 会員

社 名	住 所	電 話
富士油業株式会社東京支店	(106) 港区西麻布1-8-7	03 (478) 3 5 0 1 富士 興
丸紅エネルギー株式会社	(101) 千代田区神田錦町3-7-1	03 (293) 4 1 1 1 モービル
三井物産石油株式会社	(101) 千代田区神田駿河台4-3	03 (293) 7 1 1 1 極 東 石
三菱商事株式会社	(100) 千代田区丸の内2-6-3	03 (210) 6 2 7 7 三 石
ユニ石油株式会社	(101) 千代田区神田東紺屋町30	03 (256) 3 4 4 1 昭和シェル
菱東商事株式会社	(101) 千代田区神田和泉町1-13-1	03 (5687) 1 4 2 1 三 石
菱油販売株式会社	(160) 新宿区西新宿1-20-2	03 (345) 8 2 0 5 三 石
菱洋通商株式会社	(104) 中央区銀座6-7-18	03 (571) 5 9 2 1 三 石
瀝青販売株式会社	(103) 中央区日本橋2-16-3	03 (271) 7 6 9 1 出 光
● 中 部		
コスモアスファルト (株)名古屋支店	(466) 名古屋市昭和区塩付通4-9	052 (851) 1 1 1 1 コ ス モ
株式会社 澤 田 商 行	(454) 名古屋市中川区富川町1-1	052 (361) 7 1 5 1 コ ス モ
三徳商事株式会社静岡支店	(420) 静岡市紺屋町11-12	0542 (55) 2 5 8 8 昭和シェル
三徳商事株式会社 名古屋支店	(453) 名古屋市中村区則武1-10-6	052 (452) 2 7 8 1 昭和シェル
株式会社 三 油 商 会	(460) 名古屋市中区丸の内2-1-5	052 (231) 7 7 2 1 コ ス モ
静岡鉱油株式会社	(424) 清水市袖師町1575	0543 (66) 1 1 9 5 モービル
新東亜交易株式会社名古屋支店	(450) 名古屋市中村区名駅3-28-12	052 (561) 3 5 1 4 富士 興
竹中産業株式会社 福井営業所	(910) 福井市大手2-4-26	0766 (22) 1 5 6 5 昭和シェル
株式会社 田 中 石 油 店	(910) 福井市毛矢2-9-1	0776 (35) 1 7 2 1 昭和シェル
株式会社 トーアス名古屋営業所	(450) 名古屋市中村区名駅4-2-12	052 (581) 3 5 8 5 共 石
富安産業株式会社	(939) 富山市若竹町2-121	0764 (29) 2 2 9 8 昭和シェル
中西瀝青株式会社名古屋営業所	(460) 名古屋市中区錦町1-20-6	052 (211) 5 0 1 1 日 石
松村物産株式会社	(920) 金沢市広岡2-1-27	0762 (21) 6 1 2 1 三 石
丸福石油産業株式会社	(933) 高岡市美幸町2-1-28	0766 (22) 2 8 6 0 昭和シェル
三谷商事株式会社	(910) 福井市豊島1-3-1	0776 (20) 3 1 3 4 モービル
● 近 畿		
赤馬アスファルト工業株式会社	(531) 大阪市大淀区中津3-10-4	06 (374) 2 2 7 1 モービル
飯野産業株式会社 神戸営業所	(650) 神戸市中央区海岸通り8	078 (333) 2 8 1 0 共 石
大阪アスファルト株式会社	(531) 大阪市北区中津1-11-11	06 (372) 0 0 3 1 出 光
木曽通産株式会社大阪支店	(550) 大阪市西区九条南4-11-12	06 (581) 7 2 1 6 コ ス モ
共和産業株式会社	(700) 岡山市富田町2-10-4	0862 (33) 1 5 0 0 共 石
コスモアスファルト (株)大阪支店	(550) 大阪市西区西本町2-5-28	06 (538) 2 7 3 1 コ ス モ
コスモアスファルト (株)広島営業所	(730) 広島市田中町5-9	0822 (44) 6 2 6 2 コ ス モ
三徳商事株式会社	(532) 大阪市淀川区新高4-1-3	06 (394) 1 5 5 1 昭和シェル
株式会社 シェル石油大阪発売所	(552) 大阪市港区南市岡1-11-11	06 (584) 0 6 8 1 昭和シェル
昭和瀝青工業株式会社	(670) 姫路市北条口3-51	0792 (77) 5 0 0 1 共 石
信和興業株式会社	(700) 岡山市西古松363-4	0862 (41) 3 6 9 1 三 石
正興産業株式会社	(662) 西宮市久保町2-1	0798 (22) 2 7 0 1 三 石
中国富士アスファルト株式会社	(711) 倉敷市児島味野浜の宮4051	0864 (73) 0 3 5 0 富士 興
千代田瀝青株式会社	(530) 大阪市北区東天満2-8-8	06 (358) 5 5 3 1 三 石
株式会社 ナ カ ム ラ	(670) 姫路市国府寺町72	0792 (85) 2 5 5 1 共 石
中西瀝青株式会社 大阪営業所	(530) 大阪市北区西天満3-11-17	06 (316) 0 3 1 2 日 石
平井商事株式会社	(542) 大阪市中央区東心斎橋筋1-3-11	06 (252) 5 8 5 6 富士 興
富士アスファルト販売株式会社	(550) 大阪市西区京町堀2-3-19	06 (441) 5 1 9 5 富士 興

社団法人 日本アスファルト協会 会 員

社 名	住 所	電 話
富士商株式会社	(756) 小野田市稲荷町6539	08368 (3) 3 2 1 0 昭和シェル
平和石油株式会社	(530) 大阪市北区中之島3-6-32	06 (443) 2 7 7 1 昭和シェル
株式会社 松 宮 物 産	(522) 彦根市幸町32	0749 (23) 1 6 0 8 昭和シェル
丸和鉱油株式会社	(532) 大阪市淀川区塚本2-14-17	06 (301) 8 0 7 3 コ ス モ
横田瀝青興業株式会社	(672) 姫路市飾磨区南細江995	0792 (33) 0 5 5 5 共 石
株式会社 菱 芳 礦 産	(671-11) 姫路市広畑区西夢前台7-140	0792 (39) 1 3 4 4 共 石

● 四国・九州

伊藤忠燃料株式会社 九州支社	(812) 福岡市博多区博多駅前3-2-8	092 (471) 3 8 7 7 共 石
今別府産業株式会社	(890) 鹿児島市新栄町15-7	0992 (56) 4 1 1 1 共 石
株式会社 カ ン ダ	(892) 鹿児島市住吉町1-3	0992 (24) 5 1 1 1 昭和シェル
株式会社 九 菱	(805) 北九州市八幡東区山王1-17-11	093 (661) 4 8 6 8 三 石
コスモアスファルト(株)九州支店	(810) 福岡市中央区鳥飼1-3-52	092 (771) 7 4 3 6 コ ス モ
サンヨウ株式会社	(815) 福岡市南区玉川町4-30	092 (541) 7 6 1 5 富 士 興
三協商事株式会社	(770) 徳島市万代町5-8	0886 (53) 5 1 3 1 富 士 興
株式会社 トーアス高松営業所	(760) 高松市亀井町8-11	0878 (37) 1 6 4 5 共 石
中西瀝青株式会社 福岡出張所	(810) 福岡市中央区天神4-1-18	092 (771) 6 8 8 1 日 石
株式会社 南部商会福岡出張所	(810) 福岡市中央区天神3-4-8	092 (721) 4 8 3 8 日 石
西岡商事株式会社	(764) 仲多度郡多度津町家中3-1	0877 (33) 1 0 0 1 三 石
畑 砒 油 株 式 会 社	(804) 北九州市戸畑区牧山新町1-40	093 (871) 3 6 2 5 コ ス モ
平和石油株式会社高松支店	(760) 高松市番町5-6-26	0878 (31) 7 2 5 5 昭和シェル
丸 菱 株 式 会 社	(812) 福岡市博多区博多駅前4-3-22	092 (431) 7 5 6 1 昭和シェル

編集顧問

多田宏行
松野三朗

編集委員

委 員 長 :	舩田誠二	副委員長 :	真柴和昌
阿部忠行	磯部政雄	小島逸平	姫野賢治
荒井孝雄	今井武志	白神健児	藤井治芳
安崎 裕	金田一夫	田井文夫	
飯島 尚	菅野善郎	戸田 透	
石井一生	河野 宏	野村敏明	

アスファルト 第160号

平成元年7月発行

社団法人 日本アスファルト協会

〒105 東京都港区虎ノ門2-6-7 TEL 03-502-3956

本誌広告一手取扱 株式会社 廣業社

〒104 東京都中央区銀座8-2-9 TEL 03-571-0997 (代)

印刷所 アサヒビジネス株式会社

〒107 東京都港区赤坂1-9-13 TEL 03-582-1938 (代)

ASPHALT

Vol.32 No. 160 JURY 1989

Published by THE JAPAN ASPHALT ASSOCIATION