

アスファルト

第22巻 第120号 昭和54年8月発行

120

私とアスファルト協会

井上 孝一

特集・アスファルト舗装～今後の研究の方向を考える

第I部 各研究機関の研究の推移と今後のテーマ

土木研究所舗装研究室	飯島 尚	4
北海道開発局舗装研究室	久保 宏	6
運輸省滑走路研究室	佐藤 勝久	7
日本道路公団舗装試験室	田澤 幸男	9
東京都土木技術研究所	達下 文一	10
土木研究所化学研究室	蒔田 実	12

第II部 座談会・舗装技術～今後の研究の方向

司会・南雲 貞夫 14

〔隨想〕名前考 鈴木 敏夫 30

★抄訳特集★ アスファルト舗装技術研究グループ研究発表

The 4 th International Conference on the Structural
Design of the Asphalt Pavement 32

〈アスファルトの分析法・第3回〉

組成分析法 松原三千郎 58

〈時事解説〉石油備蓄について・その3 鳥居 功 27

昭和54～58年度石油アスファルト需給見通し

資源エネルギー庁石油アスファルト小委員会 56

〈統計資料〉石油アスファルト需給実績

70

社団法人 日本アスファルト協会

私とアスファルト協会



前・建設事務次官 井 上 孝

協会との出会い

私と協会との出会いは、昭和34年の秋にさかのぼる。したがって、協会とのつき合いも今までちょうど20年の永きになるわけである。

昭和34年当時の私は、大阪国道の所長として、初めてアスファルト舗装に取り組んでいた。谷藤正三氏(当時・国道課長)、竹下春見氏(故人、当時・土木研究所舗装研究室長)らの教えを頂きながら、アスファルトという難物を相手に勉強中であった。そこへ協会から「アスファルト」誌原稿執筆の依頼状が舞い込んできた。谷藤氏のご指名によって——と特記されてあった。私が初めて協会の存在を知ったのが、この時である。しかし、初の難物に汗水たらしている私にとって、いっぽしに原稿を書く余裕はなかった。即刻、断りのハガキを書いて投函した。

昭和35年、私は道路局国道課に転勤し、谷藤課長のもとで、既に東京国道から地方道課に転任していた高橋国一郎氏(現・日本道路公団総裁)らと第3次道路整備5ヵ年計画の策定に従事することとなった。

ある日、谷藤課長に高橋氏と共に呼ばれて席に近づくと、面前に小柄な好々爺と若い男が立っていた。日本アスファルト協会の初代会長・南部勇氏と現事務局長の櫻島氏であった。私はあアそうか、と1年前の原稿依頼のことを想い出して笑ってしまった。面前のお二人も、そうなんですよとでも言うように笑っていた。

協会は昭和32年12月、既に創立され、翌年4月には「アスファルト」誌を発刊し、道路を中心とするアスファルトの利用技術の研究開発の推進に努めていた。まことに時機にかなった協

会の設立であり、事業目的ではあるが、協会の実態を聞くに及んで、私は非常に驚いた。

運営に携わる理事諸公は、すべてディーラーであり、正会員は全国の主なディーラー40社(35年12月現在)で組織され、肝心のメーカーである石油会社10社は単なる賛助会員であると言う。中小企業のディーラーが集まって、アスファルトの技術開発研究を主眼とする協会を組織し、技術専門誌まで発行している! そしてさらには、アスファルト舗装の啓蒙開発に全国規模の講習会を各主要都市において開催する企画を検討中であると言う。

アスファルトは、道路整備事業の進展に伴つて年々増加しつつあったが、30年代前期では舗装用として30万トン/年そこそこであった。アスファルトはメーカーにとっては、当時は残渣物であり、ソロバン勘定の中にはほとんどはじかれないのであったろう。ディーラーだけで、よくも立ち上ったものである——これが当時の私のいつわらざる感想である。

このディーラー諸氏の意気込みは、谷藤氏と初代会長南部さんの熱意に裏打ちされたものであることが、協会の事業に幾度か参画しているうちに、やがて理解してきた。「この協会はディーラーの集まりですが、商売に直接利用することは一切考えておりません。またそういうことを私が許しません」南部さんはお会いするたびに力説された。その純粋な南部会長の熱意に対し、谷藤氏が技術研究の応援指導に協力され、協会をアメリカのアスファルト・インスティテュートのような世界的な技術団体にまで発展させるべきである、と——私たちも段々とこのお二人の熱意に巻き込まれていった。

「アスファルト」誌編集委員のころ

前述のように機関誌「アスファルト」は34年4月に創刊され、私が協会と接触をもった頃は15号が刊行されていただろうか。そして、南部会長の要請により谷藤氏、故竹下春見氏、高橋氏と私が昭和36年春の第20号から編集委員として正式に参加することになった。爾来、昭和44年に協会の顧問となるまで、委員、編集顧問として10年間、ささやかながら本誌発展のために力を注いできたつもりでいる。

たとえば、昭和36年のアスファルト舗装要綱改訂にあわせて、竹下春見氏を中心とする土研グループに解説を執筆してもらい、併行して全国各地の舗装工事レポートを毎号掲載した。後述のゼミナールの項でもふれるが、主要都市においてシンポジウムを開催し、竹下、高橋両氏と私が司会を分担し、官民の権威者を一堂に集めてディスカッションを行った。この全容は本誌に特集掲載されている。

また、簡易舗装が昭和39年度に特改4種事業として国の補助が決まる前後に、当時、地方道課建設専門官であった高橋氏に「簡易舗装について」の技術解説を連載でお願いしている。この他、道路以外の水利、空港等への利用について内外のレポートを、特に協会が提携に成功したアスファルト・インスティテュートの文献については、参考となるものを選択し毎号翻訳掲載した。事例を挙げれば際限がないので、詳細は本誌第100号記念号の総目録を参照していくだくこととする。

私が委員となっていた期間は、建設専門官、道路経済調査室長の時代であったが、昭和30年代末になると後継のスタッフが出揃い、編集委員も交代の時期を迎えていた。すなわち道路局では、多田宏行(現・国道第一課長)、萩原浩(現・大臣官房技術調査室長)、ややあとになるが藤井治芳(現・東京国道工事事務所長)の諸君、土研からは松野三朗(現・金沢大学工学部教授)、南雲貞夫(現・地質化学部長)の両君等である。昭和39年春の第38号から編集は、これらの諸君

の手にバトンタッチされ、これに伴って谷藤氏は名誉会長に、高橋氏と私は編集顧問から顧問へと交代していった。

現在でも上記の諸君が委員として活躍しているが、本号で第120号を数えるに至り、私の時代に比べ3倍以上も増ページされ、内容もアスファルト専門誌として充実していることは誠に慶ばしい。

アスファルトゼミナールのこと

機関誌の編集と併せて、私はアスファルト舗装の講習会の企画準備を担当している。その第1回開催は昭和35年11月東京と決定した。当時は第3次道路整備5ヵ年計画実施の直前、アスファルト舗装要綱改訂版の発行を目の前にした時であり、ゼミナールの開催はまことにタイミングであった。しかし、全国へ呼びかけたものの果して何人集まるか未知数であった。現在では日本道路協会はじめ各団体が競って講習会を開催し、それぞれに恒例となり定着しているが、この当時は広く全国へ参加者を募る講習会は皆無であった。企画担当者の私自身に必ずしも自信がなかった。事務局は収容人員800名ものの会場を確保したという。これではサクラを用意しなければ、みっともないことになりかねない。ところがである、案内状発送直後から協会宛に申し込みのハガキが山積みしたのである。申し込み締切りです、事務局は興奮していた。私は開催当日の朝、全国から参集して来る参加者を目にするまで半信半疑であった。当時の道路技術者たちは、このようなゼミナールを渴望していたのである。私も協会も以後、自信をもって全国主要都市においてアスファルトゼミナールの開催を続け、私が企画の第一線を退いた今日でもアスファルトゼミナールは続行されており、本年度の開催で第39回になるということである。

われわれは「アスファルト」誌と共に、このゼミナールをも全面的に支援することになり、特にゼミナールには冒頭、挨拶を兼ねて道路局

の担当官が道路整備の動向について説明するところが慣例となつた。第1回、第2回は当然、谷藤氏が壇上に立たれた。当分、私は黒衣でいられる筈であった。ところが第3回目の当日、谷藤氏は突然の用務で出張のため、私が代理として壇上へ追い上げられてしまった。

この時から、ゼミナール開催毎に高橋氏と私が交代で建設省代表として全国各地へと飛び出して行く羽目になったのである。お蔭で各地域の人たちに接触することができ、トンボ返りとは言いながらも、各地域の道路の現状を視察出来たことは、まことに幸いであった。だが、なによりも当時としては知名度の低いアスファルト協会が主催するゼミナールに、全国の道路技術者が常に1,000名近く参集するという熱心さに、ただただ頭の下がる想いであり、非常に意を強くしたものであった。

当ゼミナールでは、シンポジウムを企画する場合がある。私個人として想い出に残るのは、昭和39年6月に広島市で開催されたゼミナールである。6月15日に一般のゼミナールを大会場で行い、翌16日に小会場においてシンポジウムを開催している。シンポジウムの第1部は「簡易舗装」のテーマで私が座長をし、第2部の午後は「施工」のテーマで竹下春見氏が座長をされた。パネルメンバーを囲んで200名近くの中堅技術者が傍聴する形式である。

午前中に予定をこなした私は、昼食後、中国地建の人たちの案内で広島周辺の道路を視察していた。中継地に立ち寄ったところ、新潟大地震の速報が私を待っていた。専門官は直ちに帰京すること、どっちの専門官だ、高橋か井上か、井上だというわけで大急ぎ東京へ飛び帰った。数多くの災害のうち新潟地震だけは、広島ゼミナールと結びついで、正確に私の記憶の中に定着？しているのである。

昭和48年、私は東北地方建設局長として仙台に着任した。既にこの頃は、アスファルト協会の事業に直接タッチすることはなくなり、ゼミナールの挨拶は前述の諸君らが、私たちの後継

者として活躍していた。

第25回ゼミナールは48年2月仙台市において開催された。私は久し振りに客席で初めて聴講者の一人として顔を出してみようと愉しみにしていた。——ところがである。名誉会長の谷藤氏が海外出張のため、代って私に顧問として挨拶してくれ、と前日になって協会事務局長が、なにやら嬉しそうに申し入れてきた。「井上さんが初めてゼミナールの挨拶に壇上に登られたのは谷藤さんの代理で、今回10年後のゼミナールも谷藤さんの代理でございます」何もそう代理代理と強調しなくともよさそうに、である。しかし、奇しき因縁である——谷藤さんと私とは——。私は当日、壇上で少々、谷藤さんの悪口？をしゃべって、ついでに協会にも少々ケチをつけて、参加者には技術の修得を大いに鼓舞して、さっさと会場から引き上げたのであった。

私とアスファルト協会の歴史は、もうすぐ四半世紀になる。もうこの辺でペンを置くことにするが、私にとってアス協は身内みたいなものであり心暖まる思いがする。

協会に対する一つのピリオッドとして、本誌第100号記念号（50年3月）に、谷藤氏、当時の事務次官・高橋国一郎氏、道路局長であった私とが、初代会長・南部勇氏を囲んで座談会を開催し、旧交を暖めつつ、協会創立当時から今日までの話に花を咲かせたのも、想い出の一つとして残るものである。その座談会のむすびとして、皆さんそれぞれに、そして私も「協会は当初の南部さんの理念の完成のために、組織的研究システムの確立を図り、研究開発の進展を期待する」と語り合っている。

単に一協会の発展ということではなく、これから時代の舗装材料の開発研究に真剣に取り組んでいただきたい。期待して協会の前途を見守っていただきたい。

〔昭和54年7月12日記す〕

特集・アスファルト舗装～今後の研究の方向を考える

第Ⅰ部 各研究機関の研究の推移と今後のテーマ

その1・土木研究所舗装研究室の概況

飯 島 尚 舗装研究室長

研究の推移

大正11年に開設した土木試験所の業務は道路材料の試験調査と道路の築造維持に関するものであって舗装に関する幅広い研究を行なってきてている。ここでは千葉支所が開設された昭和35年以降について主としてアスファルト舗装に関する研究について述べる。

昭和35年に開所した千葉支所の構内で、はじめて実物大の舗装を築造し、静的、動的な載荷試験時のアスファルト混合物層の歪などを測定し、マカダム、アスファルト安定処理などの路盤効果の検討を進めた。

昭和39年に最初の走行車輌重量計を試作し、2, 3の国道で実用に供したが、走行車輌重量は非常に大きく、舗装にとって極めて苛酷であることを明らかにした。昭和40, 41年度にアスファルト舗装の破壊状況に関する全国調査を行ない、同時に車輌重量計を用いて各地の車輌重量分布を調査した。その結果は昭和42年に改訂されたアスファルト舗装要綱の構造設計において、大型車による交通量区分を設ける際の基礎となつた。車輌重量計は現在も利用されている。破壊調査の結果、アスファルト舗装の寿命あるいは供用性に関する情報が明らかになり、特にベンケルマンビームたわみ量が舗装のひびわれ破壊と密接に関連していることが明らかになった。構内試験舗装は実際道路上での大規模な試験舗装へと発展し、昭和43, 44年にわたり国道16号線に大日、横戸両試験舗装を施工したのを始めこれまでに全国20数個所で実施している。

昭和35～38年にはまだ確立されていなかった混合物

の配合設計に関して混合物の安定度、曲げ強さ、低温時の曲げ疲労などの一連の混合物の性状を把握した。この間、アスファルト混合物層中の温度変化を、千葉、青森、鹿児島の各地で測定し配合設計のための基礎資料とした。

昭和41年には骨材比重、コア密度などの試験における問題を探り、また骨材のはく離性、はく離防止剤などの効果の評価に水浸マーシャル安定度試験を行なっている。

昭和39年には国道17号線岡部に21種類のアスファルト混合物を舗設し、主として流動性について観測し、引続いて国道14号線幕張舗装を昭和42年に実施し今まで観測を続けている。この結果、流動性に及ぼす要因効果を定量的に把握したが、実際路面でのわだち掘れ深さは昭和44年以降に実施したホールトラッキング試験によっておよそ推測しうることが認められた。

昭和39年に九州地方建設局から報告されたアスファルト舗装のはく離現象に起因する破損事例を契機に、昭和42, 43年には九州技術事務所との共同による試験舗装を実施し、以来主として基層、表層混合物のはく離に関する現地調査を継続した。その後昭和46年にははく離の実態調査を全国的に実施し、供用性に予想以上に大きな影響があることが明らかになった。

冬期間のタイヤチェンによる摩耗作用は積雪寒冷地の大きな問題であり、昭和42, 43年に共同研究の一環として作並、楯岡両試験舗装の主として東北技術事務

所の観測による結果、耐摩耗性混合物のすべり抵抗性と摩耗作用に対する抵抗性とを考慮した配合設計の方法が提案された。

昭和36年に建設省技術研究会の調査によりアスファルトプラントにおける混合物の品質変動の実態を明らかにし、昭和39年にはアスファルト混合物の抜取検査方式を導入した。昭和42年には各地の工事規模の異なるアスファルト舗装の品質変動を調査し、抜取検査における基準の適正化に役立てた。

昭和40年には定置式プラントの性能試験を行ない、とくに小容量プラントの問題点と品質管理の要点について調査した。

河川堤防などのライニングとしての斜面舗装について過去の設計施工例をとりまとめ、河川砂を用いた各種混合物の配合試験を行なった

路面凹凸に関する研究は土木研究所創立以来の課題でもあるが、乗り心地と関連して、また大規模な舗装工事の機械化とあいまって、かなり厳密な規定が採用されるようになったのは昭和40年以降であり、いわゆる平担性の測定法と検査基準などが研究され路面凹凸が一般的に標準偏差で表わされることになり、その研究結果は舗装要綱に採用された。

このように、路面の性状は、すべり摩擦、凹凸と乗心地、路面の荒さ、路面凍結対策、路面の反射特性などから研究されてきたが、昭和42~43年以降、総合的な路面の性状評価として、縦断凹凸量、横断凹凸量、ひびわれ量、たわみ量、すべり抵抗性、視察調査などから研究が進められている。

橋面舗装の研究は、昭和30年以降の橋梁における死荷重の軽量化にあわせて高まってきた。最初は5cm程度のアスファルト舗装が採用されたが、その後グースアスファルトや特殊アスファルト舗装が採用されている。昭和44年には千葉県長浦町地先の国道14号線に橋床盤に薄層の試験舗装が実施された。その後、改質アスファルトやエポキシアスファルトによる試験工区を加えて、現在、定期的に観測を続けている。

簡易舗装については施工が比較的容易、工費も比較的低れんであり、昭和39年の簡易舗装要綱によって標

準化された。同年10月要綱に規定する表層工の試験舗装を宮野木に延長1,500mにわたって施工した。さらに畠町に試験舗装を実施した。その後簡易舗装に関する全国調査を実施してきている。

現在、すすめられている研究課題

このような研究の経過をふまえて、現在の研究課題の主なものは次のとおりである。

(1). 舗装材料と試験法に関する試験調査

良質の細骨材が得難くなっていることから、これを補うものとして、ダスト、海砂等について混合物に適するかどうか、主としてジャイレートリー試験機を用いて検討する。

また、大型回転摩耗試験機による耐摩耗性舗装の評価を行なう。

(2). アスファルト舗装の設計施工技術の改善に関する試験調査

ホイールトラッキング試験、水浸ホイールトラッキング試験、回転式ラベリング試験等により、アスファルト舗装の耐久性を支配する流動、はく離、摩耗、すべりなどの機構の解明をはかる。

(3). 試験道路における試験調査

以下に示す各地区的試験舗装の継続調査を行なう
東北：常磐、山形、仙台

関東：幕張、大日、横戸、水戸、矢板、黒磯、
甲府

北陸：坂井、用賀

中部：名四、名岐

近畿：加古川、大津、福井

中国：西広島、光

四国：牟礼、丸亀

九州：山香

(4). 舗装走行試験による試験調査

自動操縦による荷重車を備えた舗装試験場により、走行回数、走行車輌の走行位置、輪荷重などの舗装に与える影響に関する調査を行なう。

(5). 舗装の維持修繕に関する試験調査

動的たわみ量測定機、および路面性状測定車による路面調査のシステム化を図る。

(6). 鋼床版舗装の疲労に関する試験調査

鋼床版舗装の現地観測、および室内試験と合わせて、筑波に鋼床版舗装の実験施設を建設する。

その2・北海道開発局土木試験所舗装研究室の概況

久保 宏 舗装研究室長

研究の推移

土木試験所舗装研究室は、昭和41年4月1日付の組織改正によって道路研究室から分離独立した研究室であるが、その研究テーマの主たる内容は当初の道路試験室および道路研究室で行ってきたものを引き継いでいる。従って、ここでは道路試験室、道路研究室ならびに舗装研究室において実施してきた道路および空港の舗装に関する研究テーマとその極く簡単な概要を述べるものである。

昭和12年に北海道土木試験室として発足して以来、昭和22年9月1日に土木試験所技術課道路試験室と名称変更となり、さらに昭和25年度に道路研究室となるまでに実施された舗装に関する研究テーマは次のようにであった。

- (1) 歴青乳剤の製造と安定度の向上に関する研究（昭和13年～14年）
- (2) 土の安定処理工法の研究（昭和13年～16年）
- (3) 簡易舗装ソイルコンクリート工法の研究（昭和15年～18年）
- (4) 砂地盤の安定処理実地研究（昭和18年）
- (5) 土壤の毛管現象に関する研究（昭和23年）
- (6) 道産タールの道路舗装利用に関する研究（昭和25年）

昭和26年度からは、研究の主力を“道路の凍上対策に関する研究”に置き、在来砂利道から成る道路の厳寒期における凍上調査が実施された。この研究は、昭和31年頃までは建設部道路課、各開発建設部、北大工学部などの協力のもとに現地調査を主体にして行われた。しかし、30年頃からは低温実験室による室内実験も始められた。その研究テーマは、“凍上対策用置換切込砂利の品質に関する実験的研究”であるが、その後“土の凍上性とその判定法に関する実験的研究”、“薬剤処理による凍上対策効果に関する研究”、“火山灰の凍上性とその判定法に関する実験的研究”へと続けられている。また、この凍上対策に関する研究は、既存の道路や構内実験場あるいは特別に試験道路を築造して実施され、“耐雪路盤工法に関する調査”、“構内実験道路による凍上抑制層に関する調査研究”、“美々試験道路による凍上対策置換工法に関する試験調査”など

で現在に至っている。

昭和28年度には、“道路材料に関する研究”的一環として、セメントコンクリート舗装に関する研究が実施された。研究テーマは、“コンクリート舗装版の合理的な長さと幅について”と“人工弹性路床による剛性舗装版の実験的解析”であるが、当時の諸般の事情からコンクリート舗装が少なくなり、31年度をもって一時中断されることになった。

昭和26年度以来道路の凍上調査研究との関連において、凍上対策の目的で置換築造される路盤の支持力とその使用材料ならびに施工厚さに関する研究が昭和28年度から着手された。昭和31年度には、“路盤支持力に関する実験的研究”，“路盤材料の種類および厚さと支持力との関係に関する実験”として実施され、さらに“寒地道路の路体構造に関する研究”として昭和34年度から始められ，“路盤材料の種類および厚さと支持力との関係に関する実験的研究”などの研究テーマを経て昭和45年度にこの研究テーマは終了している。

道路の凍上対策の一工法として路床上に断熱材を埋設する方法の研究は、土木試験所構内の実験場や帯広、旭川など道内の厳寒地の道路で、“断熱工法による凍上対策に関する研究”が昭和36年度から実施された。また、昭和48年度には美々試験道路に発泡スチロールからできた断熱材による試験舗装が施工され、その調査研究が継続されている。

昭和27年度を初年度とする研究テーマとして、“道路材料に関する研究”があるが、その主たる内容は北大工学部板倉研究室との共同研究である“低温域におけるアスファルト混合物の物理的性質について”である。その後、一般国道36号札幌・千歳間道路舗装がタイヤチェーンによって一冬のうちに大きな摩耗被害を受けたことによって、“寒地用アスファルト材料の品質改良に関する実験的研究”に着手し、昭和32年度には“アスファルトおよびアスファルトマスチックの力学的性質に関する実験的研究”と“表層用アスファルト混合物の品質に関する研究”によって、アスファルトの種類と配合における物理的特性ならびに混合物の安定性とタイヤチェーンによる摩耗作用との関係を、開発したラベリング試験機で求めた。昭和33年度には、道路

材料に関する研究から“寒地用アスファルト合材に関する研究”に研究の名称を変更してアスファルト混合物について本格的な研究を開始した。また、燃焼式の簡易アスファルト量検定試験法の開発を目的とした“アスファルト合材中の歴青量検定試験方法に関する研究”を行い、この試験法が確立された。

“寒地用アスファルト合材に関する研究”は、昭和33年度から49年度までの長年間にわたって行われ、フィラーとアスファルトの混合物である“フィラービチューメンの物理的性状に関する実験的研究”によってその特性を検討し、実際の配合設計に適用するために、

“表層用アスファルト合材の配合設計に関する実験的研究”を実施した。また、昭和33年度にはこれらの室内実験結果を試験道路で検証する目的で、一般国道36号千歳市上長都に試験道路を建設して、“試験道路による歴青合材の品質に関する試験”を行った。

昭和42年度からは、“空港舗装に関する試験調査”によって、寒冷地空港舗装の設計・施工などに關係した技術的な資料を得て、寒冷地における空港建設に寄与している。

現在、すすめられている研究課題

現在、舗装研究室で実施している研究テーマはおお

よそ次のものである。

- (a). 冬期間のスパイクタイヤによる道路舗装の摩耗被害の実態把握とその補修対策

実際の道路におけるスパイクタイヤの使用状況を車種別・地域別に把握するとともに、それによる舗装の摩耗量を数量的にとらえて将来の補修計画を策定する。

- (b). 温度応力に起因する道路の横断方向クラックの発生メカニズムの解明とその防止対策

この種のクラックは、冬期間の気温とその温度勾配、アスファルトの粘度、骨材の性状などが関係するかなり複雑なものであるが、そのメカニズムを解明し、それを防止する設計・施工法を確立する。

- (c). 簡易舗装等に対する経済的な凍土対策工法の確立

- (d). 新路盤材料の活用

- (e). セメントコンクリート舗装における特殊工法

- (f). 軟弱地盤上の舗装構造設計

- (g). 寒冷地空港舗装の設計および施工

なお、以上の研究テーマのために室長、副室長、主任研究員、研究員、実験主任、事務官など15名の職員が日夜努力を続けている。

特集第I部・各研究機関の研究の推移と今後のテーマ

その3・運輸省港湾技術研究所滑走路研究室の概況

佐藤勝久 滑走路研究室長

研究課題

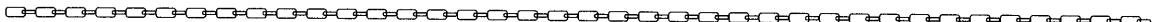
昭和40年代に入ると民間航空輸送の伸びは著しく、空港整備の要請が飛躍的に増大し、これにともない昭和41年度に当研究室が設立された。

滑走路研究室の担当は空港土木全般にわたるが、多くの課題のうち空港の最も重要な施設である滑走路等基本施設の舗装に関しての研究を主体とした。中でも当時すさまじい勢いであった航空機の大型化に対処すべく、重荷重用舗装構造の研究に重点を置いた。

昭和43年度から44年度にかけては、新東京国際空港の第1期建設のため総重量500tの航空機に対する舗装構造の開発研究を行なった。また同時に、大型航空

機に対するアスファルト舗装およびコンクリート舗装の体系的研究も実施し、アスファルト舗装の場合、舗装全厚、表層・基層の最小厚、安定処理路盤の等価換算係数などの検討を、コンクリート舗装の場合、連続鉄筋コンクリート舗装のコンクリートスラブ厚、鉄筋量、鉄筋位置などの検討をした。これらの研究は昭和48年度まで続いた。

一方、このような舗装の構造的な検討のほか、大型航空機用舗装の材料の問題にもとり組んだ。アスファルト舗装の表層の航空機荷重による剥離・摩耗の問題を昭和43~45年度に試作した大型の摩耗試験機にて研究した。昭和48~52年度には、沖縄のコーラルリーフ



ロックや高炉スラグのような自硬性・自癒性を持つ潜在水硬性材料につき、路盤材料としての適用性を試験研究した。また、昭和46年ごろから問題が顕在化した大型航空機による空港アスファルト舗装のわだち掘れについては、現地空港での実態調査のあと、特殊アスファルトの適用性を含めてその対策を研究継続している。

高度経済成長の昭和40年代から安定経済成長の昭和50年代に入ると、空港整備も量から質へと変わってきた。これにともない研究もいかに施設の供用性を維持するかといったことに移ってきてている。

長期間良好な供用性を保つ舗装構造の開発や供用性の低下した舗装の合理的な補修方法等についての研究が重要となってきた。具体的には、空港アスファルト舗装でわだち掘れやひびわれをいかに少なくするかの対策、プレストレストコンクリート舗装の合理的な設計法、簡便なかさ上げ設計法の開発、舗装のプレキャスト化等である。このうちいくつかは成果を見、いくつかは現在研究中であり、またいくつかは近々実施を予定している。

質的向上の別な面に、大型化、高速化した航空機の離着陸時の安全性のより一層の向上のための対策がある。滑走路上に施すグルーピングや基本施設に埋め込む航空灯火はそれらの一部で、これらの設置工法上の問題の研究も最近行なっている。

そのほか社会情勢の変化にともない、より立地条件の厳しい海上や山岳部での空港建設が出現していることから、このような場合の問題点のいくつかを研究実施している。例えば、埋立や高盛土にともなう地盤の不等沈下の空港基本施設への影響とその対策などである。

現在実施したり予定している研究課題は今後数年は継続するものであるが、ではそれ以降はどのような問題にとり組む必要が出てくるであろうか。舗装のもつ複雑性から空港舗装の研究は依然として継続されると考えられる。この場合、航空機の大型化等にも容易に対応できる新しい構造設計法の開発や、維持・修繕といったことも含めた舗装設計の体系化が必要となろう。一方航空需要の増大にともない、空港機能も多様化し、給油、排水、電気等の構造物も大型化あるいは地下化してきているので、この面へも力を入れていくことに

なろう。また新しいタイプの空港として棧橋や浮体によるものが出現してくる可能性もある。これらの採用にあたっては、今後多くの問題点を解決してゆく必要があり、舗装の面でも床版上の舗装の望ましい材料や工法についての研究などが必要となってくるであろう。

研究室の概要

研究室の人員は室長と研究員3名の小世帯である。研究に使っている機器のうち主要なものを列挙すると、以下のとおりである。

載荷実験槽：地下水位を任意に調節できる長さ12m、幅10m、深さ4mの槽で、ここに試験舗装を作り、舗装試験用荷重主車輪あるいは繰返し載荷装置にて載荷試験を行なう。

舗装試験用荷重主車輪：大型航空機のDC-8-63と同じ複々車輪をもつモデルギアで、最大100tまでの荷重がかけられる。

繰返し載荷装置：載荷実験槽に取りつけられていて、最大50tまでの荷重が0.001から5c/sの振動数で載荷できる装置である。

原型走行荷重車：大型航空機のDC-8-63と同じ複々車輪（主脚）をもつトレーラーと、それをけん引するトラクターからなり、舗装の走行試験ができる。主脚の最大荷重は100tである。

ダイナフレクト：振動荷重による舗装のたわみ形状を測定する、いわゆる非破壊試験機であり、舗装の構造評価やかさ上げ厚の設計に用いられる。

すべり摩擦抵抗測定機：舗装面上をけん引して路面の横すべり摩擦係数を連続して測定するイギリス製のML- μ メーター。

繰返し三軸試験機：路床・路盤材料やアスファルトコンクリートなどの繰返し応力下における変形特性を10cm ϕ × 20cmHの供試体で調べるための装置である。

面載荷曲げ試験機：地盤の不等沈下による表層、基層の挙動を調べるもので、280cm × 30cm × 15cmの供試体に約10～100 μ /日の歪速度で曲げを与える装置である。

大型突固め装置：実際に用いられるような大粒径の粒子を含んだ土の締固め試験を行なうためのもので、直径30cmのモールドを使用する。

その4・日本道路公団試験所舗装試験室の概況

田澤幸男 舗装試験室長

日本道路公団試験所舗装試験室は、昭和31年日本道路公団発足後約1年半経た昭和32年9月に京都市山科に名神高速道路試験所舗装試験室として設置された。

その後、東名、中央高速道路の試験を担当するため、高速道路試験所と名称を変え、さらに新規高速道路が加わることにより、昭和41年4月に現在の名称になった。なお、その間、すなわち昭和39年9月に京都市から現在の町田市に移転を行い、道路公団で行っている舗装の建設、維持管理に必要な調査、設計および施工上の手法ならびに諸基準の作成のための試験研究を行うようになった。なお、コンクリート舗装は舗装試験室では取り扱わず、別にあるコンクリート試験室が受け持っている。

舗装試験室における研究課題の推移

日本道路公団における舗装試験室の研究テーマを年代を追って記すと次のようになる。

(1). 昭和32年～昭和38年頃

名神高速道路の建設期にあたり高速道路の舗装に関する諸基準、諸規格が全くなく、それらを確立するため、舗装用材料の調査、混合物の配合設計や品質管理等の試験を行っていた。一方、供用開始後の高速道路も一部出始めていたため、それらの舗装工事に関する試験結果の取りまとめと、追跡調査的なことも行って今後の舗装に役立てようとしていたので試験研究テーマもそれに合致したものであった。

(2). 昭和39年～昭和44年頃

この頃は東名、中央高速道路の建設期にあたっており、この頃になると今までの名神とは地形的環境の条件が異なってきたため、それに沿った山岳寒冷地域の舗装構造に関するものや、舗装の動態観測と施工管理試験の関係を取り扱ったもの、また名神で行つたいろいろな試験や測定からそれを品質管理に応用するためのもの、設計積算に応用するための試験テーマが主なものであった。

(3). 昭和45年～昭和49年頃

全国的に展開される新規高速道路を中心に舗装の設計、施工上の諸問題を解明することが大きな問題となつた。その中には舗装構造設計に関して路床強度と舗

装厚ならびに各種路盤効果について取り上げている。その他にはアスファルトコンクリートの厚さと舗装体温度応力等についても試験を行つてある。

一方、施工地域が一段と広域化したことによって積雪寒冷地域の摩耗によるわだち掘れ、温暖地域の流動によるわだち掘れ等の問題が起きてきたため、それらに対処するのに各種試験を行つた。またこの頃、表層に使用した骨材の関係から一部で若干すべり抵抗値が下がるということが出たので、それに伴う使用骨材、配合設計について調査研究を行つた。

(4). 昭和50年～昭和53年頃

この期間は新規高速道路を中心として舗装の設計施工上の問題点の解明ならびに供用中の道路舗装の供用性に関する試験等を行つてある。これは今まで建設のための試験ということが大きな要素であったが、供用中の道路の舗装がより良い供用性を維持するためには、例えばわだち掘れやひびわれ等はどの程度におさえなければならないか等ということについて、また供用中の路面がどの程度疲労しているか、それを推定できないか等、何か判断基準となるものを作成しようと研究を進めた。

今後の研究課題

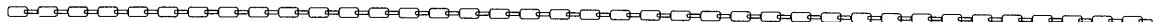
今後の試験研究の方向をテーマごとに述べると次のとおりである。

(1). 舗装の構造設計に関する試験研究

主として路床路盤を対象とした合理的舗装構造に関する現在までの研究を継続させるとともに、今後は最近特に問題となっている流動型のわだち掘れの対策を舗装構造の面からも検討すべきであると考え、屋外土槽での実験を計画している。

(2). 材料およびアスファルト混合物に関する試験研究

舗装用材料の中でも特に骨材に関しては、高速道路の建設管理の広域化に伴つて良質な骨材の供給が難しくなっている。今後はますますこの傾向が強まると思われるため、現行の品質規定を再度見直し、低品質なものでも充分に使いこなせるよう工法や手段を検討したいと考えている。例えば、石灰岩は表層用骨材として高速道路用には、その研磨特性のみから現在では使



用を見合はざるを得ないが、他の混合物性状では他の岩種より優れている点を考慮して、すべりに対する改良策の開発が強く要求されている。アスファルトについては現行の針入度による分類の問題を整理検討し、これに替わる有効な分類法をさぐるべく今後もアスファルトの粘度に着目し、混合物性状との関連をとらえて行く方針である。

また、耐わだち掘れや耐摩耗が特に強く要求される個所のアスファルトとして、有効な改質バインダーを見出すべく、この方向の検討にも着手している。

(3). 舗装の維持補修に関する試験研究

高速道路の供用延長も今年度中に2,500kmを超える、全国的な管理段階を迎えている。このため、当然舗装の破損の種類やその程度も広範多岐にわたり、舗装路面の保持すべき機能、すなわち供用性の基準化が要求

されている。これらの要求に応えるべく、まず路面の供用性を迅速かつ適確に把握する手段と、これらの評価方法を確立するための研究が必要であると思われる。また、これらから得られた各情報と建設時のデータとを結合させて解析し、舗装の設計に容易にフィードバックできるシステムの開発にも傾注していきたい。

維持補修に関して、もう一つ大きな問題として関心が持たれている省資源対策としての舗装廃材の再利用に関する検討がある。現段階では主として各地域毎のリサイクルプラント(定置式)による方式が先行しているようであるが、高速道路の供用形態や補修実態を考慮すると、この方法では運搬の点でかなり困難も予想されるので当面現地再生方式の開発が期待される。このようなことから、主として表層混合物の現地再生方式に関する種々の研究を進めていきたいと思っている。

—特集第I部・各研究機関の研究の推移と今後のテーマ—

その5・東京都土木技術研究所の概況

達下文一 副参事

研究の推移

最近は、地方公共団体にあっても土木系の試験研究機関が新設あるいは拡充されつつある。たとえば、当研究所が事務局となって運営している地方公共団体建設技術試験研究機関連絡協議会（略称、建試協）加盟機関も北は北海道庁あるいは札幌市から南は沖縄県まで57機関におよんでいる。その担当組織名称は、管理課、検査室、試験室、センター、試験所あるいは研究所とさまざまであるが、その業務内容は試験検査を中心に置かれているとはいって、各々がそれなりの研究課題をもっている。それらの最大公約数的な課題は、材料分野からみればセメントとアスファルトに関する事項が多い。特にアスファルト系に関しては、設計密度、分析方法、改質アスファルト、流動対策、リサイクル等で、それはまさにアスファルト舗装による道路事業執行上の行政需要から生じたもので、行政上の技術的補完をめざしている。

さて、当研究所における研究課題について他の公共団体に同じく行政需要に深く根ざしていることは論をまたない。そもそも、当研究所前身の創立が、東京市における国策としての道路整備事業の一翼として大

正11年（1922年）4月に東京市道路局試験所として総数28名の職員をもって発足し、道路舗装の調査、設計、施工に係る開発研究をはじめ材料の購買のための検査をしてアスファルト乳剤等の直営生産にまで及んでいたことからも推し測れる。

ところで、近年の研究は道路に対する経済社会的要請と沿道住民的要請、効率的合理的事業執行上の要請と技術的学問的納得のいく要請の間にあって、ある意味では相矛盾するかにみえる要請の中にある。その内容と実態は行政需要に先駆的であろうとしながらも後追いや補完を余儀なくされる部面が多い。このようなことは、研究的行為に対する地方公共団体としての先行投資への意識上のあるいは財政上の限界ともみえる。

ここ10～20年間のアスファルト舗装に関する研究課題は、冷静に振返るほどに試行錯誤の連續にあったといえる。それは、昭和30年代半ばから急にセメントコンクリート舗装にかわってアスファルト舗装が台頭し、かつ昭和39年の東京オリンピックに向けて道路整備事業が急展開したことによるものであろう。ここでは、アスファルト舗装のメリットとして早期施工、早期開放が叫ばれ、これをいかに合理化するかということが

研究であった。しかし、その底辺ではCBRそのものの理解への道程も研究された。すなわち、それまでの材料工学的理解中心から土質工学的理解の導入である。

一方、早期開放をめざし、かつ過大交通に対応するためにセメント処理混合物等の安定処理路盤の研究、伝統的なにじんでいるアスファルト乳剤の路盤への活用、そして表層等の加熱アスファルト混合物の試験、検査あるいは品質管理技法との兼ね合いの中での研究が行われた。

ところが、このようにして設計、施工された舗装は40年代に入って各種の問題を提起した。その基本には自動車交通量の増大という現象があったにせよ、表層にクラックを多発させた。このクラックはセメント安定処理による上層路盤と連動しているとされてはいたが、アスファルト混合物表層の配合設計を複雑に細分化する方向に押しやる研究がなされたきらいがあった。

その後、42年のアスファルト舗装要綱の改訂もあり、その引金的なAASHO試験道路の成果は、それまでの作り易い舗装から使われ易い舗装へと研究の目を向ける契機になった。その第一歩が、舗装の供用性と寿命から構造と材料を検討しようとする動きである。俎上にあげたのが当時の都内幹線道路としてほぼ40kmにわたって新たに整備されていた環状7号線である。時あたかも革新都政の嵐の中にあり、道路に対しても住民参加が強く訴えられるとともに道路公害への認識も異常な高まりをみせていた。そこでこの環状7号線の研究にあたっては、道路のおかれた意味づけに始まってアスファルト舗装が自動車はもとより沿道住民に与える機能にまで拡散した。この中でアスファルト舗装は路面変形を宿命化しているともみえる現象があり、特にかつての表層クラックを恐れることからの反動ともみえるわだち掘れや流動化現象が急増した。これらの現象は、自動車の運転上の障害になることのほかに沿道住民への振動励起源あるいは水跳ね等のデメリットを与えることになった。ここから耐わだち、耐流動対策としての材料的構造的研究が必要となった。なお、道路における沿道住民への交通振動は自動車との関連で昭和の10年代にも未舗装あるいは舗装の維持修繕との観点から調査等がなされていたが、最高級舗装の非構造破壊領域での問題はこの時期にクローズアップされた。一方、このような沿道住民とのコンセンサスによる道路づくりは、新設ではもちろん、舗装の維持、修繕あるいは打換えにあっても必要となり、舗装をシ

スティマティックに研究せねばならぬものとなつた。また、舗装のシステムの中では、舗装廃材の残土処分に係る再生利用という問題も派生した。

現在、すすめられている研究課題

このようなことから、現在はアスファルト舗装に関して複数の研究室が視点を変えて研究に当っている。したがって試験舗装や総合的な追跡調査研究では、これらの数研究室がプロジェクトチームを編成している。舗装に直接関係する研究室は、道路構造、舗装およびアスファルトの三研究室、総数16名の研究員であるが、間接的には、材料、セメントコンクリートおよびタルの三研究室も参加している。研究内容は、大まかには街路としての舗装構造に係ること、供用性に係ることおよび材料に係ることに大別できる。この中でも、ここ当分の間、重点的に行わなければならないことを集約すると、それは次のものである。

- (1). 舗装の打換えのための判定技法と構造設計、施工法に関する研究
- (2). 道路交通振動低減化舗装構造に関する研究
- (3). 耐わだち掘れ、耐流動のための材料と構造に関する研究
- (4). 産業廃棄物等を含めた舗装廃材の再生利用技術に関する研究

いずれもが過密都市東京に根ざしたもので、その対象は主要幹線にある。そして、これらのほとんどが新設よりはむしろ維持修繕に重点が置かれている。したがってこれらには既成市街地内の限られたスペースと輻輳する交通との戦いが含まれている。また一方、都市の街路は自動車のみに供用されるのではなく、歩行者はもちろん、沿道民家、地下サービスあるいは区画、防災のためにも存在して、都市機能を保持している。そこでこれらを配慮した舗装と構造、そして材料や施工法あるいは管理法が必要となる。

このようなことから当研究所における今後のアスファルト舗装の研究は、都市機能充実のための総合的な交通機能保持のほかに、沿道地域との密接な連携の上にたった評価の中でなされなければなるまい。そして、その次には、おそらく環境整備あるいは美化との兼ね合いでの舗装への要請が高まるものと想像される。小規模な具体的な事例としては、繁華街における歩行者天国という車道開放と歩道による商店街のイメージづくりに特徴が現われ始めている。

その 6・土木研究所化学研究室の概況

時 田 実 化学研究室長

はじめに

アスファルト舗装に関して、今後取り組むべき研究課題を展望するとき、過去の研究の推移を今一度見直してみることは極めて有益なことと考えられる。このような観点から、本誌では今回の特集号に当たって、各研究機関の研究の推移をまとめて掲載することを計画され、筆者には建設省土木研究所化学研究室が主として実施してきた研究の歩みについて執筆を依頼された。多くの先輩が残してこられた足跡を、限られた紙数に正確に表現することは極めて困難で、諸先輩にはお叱りを受ける点もあると思われるが、筆者なりに化学研究室が実施してきた舗装用アスファルトに関する研究の推移を取りまとめてみた。読者諸賢に多少なりとも参考になれば幸いである。

土木試験所の設立とアスファルトに関する研究

(戦前の研究)

建設省土木研究所は、大正11年に内務省土木試験所として設立された。当時の状況は、所報第1輯の序に、「沿道住民の保健、或は路上往来の危険、或は貨物運賃の騰貴等国民生活を脅威する問題がそれからそれへと万丈の黄塵と共に、今尚渦きつつ……」と述べられているように、人力車、荷馬車にとってかわって自動車がようやく普及はじめたが、国道、府県道の大部分は砂利道であったため、道路の改良が急務とされていた。当時、米国からアスファルトおよびアスファルトプラントが輸入され、大阪市と東京市でアスファルト舗装がなされ、自動車道路にはアスファルト舗装が最適と考えられ、ようやく一般化しつつあった。このような状況のもとで設立とともに土木試験所では、アスファルトの品質試験法としての針入度、合材混合時の粘度特性などをアスファルトの品質およびその試験法に関する研究が進められ、また、アスファルト混合物の衝撃抵抗、摩耗抵抗性等、力学的性質に関する研究が進められた。これらの研究成果をもとに、昭和2年には「歴青材料標準試験法」が定められた。この他、関東大震災後需要が激減し生産過剰となっていた赤レ

ンガに、歴青材料を含浸させた歴青浸透ブロックの舗装材料としての利用開発に関する研究が進められ、歩道舗装、橋面舗装等に用いられた。

昭和4～5年になると、簡易舗装としてアスファルト乳剤による路面処理が漸次さかんとなり、アスファルト乳剤に関する試験が行われるとともに、乳剤の物理化学的性質と力学的諸特性の関係など極めて基礎的な研究から製造条件など実用的研究まで広く研究が進められた。

昭和7～8年になると、石炭の産出が増大し、国产奨励の主旨もあって、そのほとんどが輸入原油にたよっていた石油アスファルトに替わって、石炭タールの利用開発をはかるべく、舗装用材料としてのタールおよびタール乳剤に関する研究が進められた。その後、タールの弱点である感温性が大きすぎる点を改善するため、アスファルトとタールの混合物に関する研究が進められ、その製造条件および舗装材料としての適用性について検討された。

昭和12～13年には、舗装現場における舗装の品質の実態調査が実施され、このような調査のためのアスファルト混合物からのアスファルトの回収方法に関する研究が進められた。

昭和14～15年になると、わが国の対外情勢の悪化とともにアスファルトの入手も困難になり、品質の下限条件が検討され、暫定的な臨時規格案が検討された。その後は、歴青質材料は舗装用としてはほとんど使用できなくなり、舗装用アスファルトに関する研究も中断された。

道路整備 5 カ年計画とアスファルトに関する研究

(戦後の研究)

昭和25～26年になると戦後の混乱もおさまり、国土の本格的な再建に応じて、アスファルト舗装が再開されるとともに、アスファルト舗装に関する研究が再開された。この頃、わが国に輸入される原油の产地が多地域にわたる一方、石油の蒸留精製法も多様化してきた。このような影響が石油アスファルトの品質にも表

われていると考え、国産舗装用アスファルトに関する試験およびアスファルトの試験方法に関する研究が実施された。

昭和29年に第1次、昭和33年に第2次の道路整備5ヵ年計画が策定され、戦後の復興のおくれていた社会資本の整備の1つとして広くアスファルト舗装による道路整備が行われるようになった。このような中でアスファルトに関する要求性能は厳しくなり、アスファルトの性質のより詳細な解明として、アスファルトのレオロジー的性質に関する研究が実施された。また、この頃輸入される原油が中近東産の混合基原油が多くなってきたのに対して、パラフィンを含有したときのアスファルトの力学的性質の特徴およびアスファルト中のパラフィンの定量法についての研究が行われた。

その後、原油の产地およびアスファルトの製造法がますます多種にわたり、舗装用アスファルトの品質の確保のための試験の必要性が高まり、特に、合材製造時におけるアスファルトの質的变化が重要と考えられ、アスファルトの加熱劣化に関する研究が進められた。

昭和42年には、それまでの5次にわたる道路整備5ヵ年計画に基づく舗装事業の進展とともに、舗装技術の全般的なより一層の向上を目的として各種試験道路による試験研究が始まられた。その一環として、供用後の舗装におけるアスファルトの性状の経年変化について研究が行われた。

これからの研究課題

近年の交通量の増大、車輌の大型化とともに、現在では舗装に対して種々の新しい要求がなされている。すなわち、大型車交通量の多い道路では流動抵抗性の特に高い舗装が、急坂部、曲線部、交差点など交通事故の多発箇所ではすべり止め舗装が、積雪地域や路面の凍結する箇所では耐摩耗性の優れた舗装が要求され、橋面舗装としては流動抵抗性と同時に、耐摩耗性など特に耐久性の優れた舗装が要求されている。さらに新しい交通手段としての新交通システムにおいては今までの舗装とは違った新しい性能をもった舗装が必要とされている。

これらの種々の新しい要求を満たすためには、アスファルト舗装の配合設計上の検討は当然のこととして、バインダー材料として従来のストレートアスファルトに替わって、新しいアスファルト材料の利用開発の検討が必要とされよう。事実、昭和53年度に改訂された

「アスファルト舗装要綱」では、新しいバインダー材料として、重交通道路用のセミブローンアスファルトの品質規格およびゴム入りアスファルトの標準的性質が取り上げられている。

しかし、新しいアスファルト材料としてはこの他にも、種々のゴムあるいは熱可塑性樹脂を添加した改質アスファルトやエポキシ樹脂を添加した熱硬化性のアスファルトなどが開発されている。舗装に対するより高度化した新しい要求を満たすためには、これらの新しい材料の適用性を明らかにするとともに、適正な活用方法を検討することが必要と考えられる。このような検討は、限られた資源を有効に活用する省資源、省エネルギー的な観点からも重要なものと考えられる。

土木研究所は筑波研究学園都市に移転し、新しい環境、新しい研究施設のもとで研究を実施することとなった。化学研究室関係の施設として、アスファルト、セメント、土、高分子材料、鋼材など、広く土木材料の物理化学的性質を試験する機械、施設が整えられている。そのうち、アスファルトに関する代表的な実験室および機器をあげると次のものがある。

- (1). 歴青材料実験室……自動針入度試験機、自動軟化点試験機、回転式薄膜試験機、低温伸度試験機、自動フーラス脆化点試験機(以上54年度購入予定)、減圧毛管粘度計など歴青材料の一般的試験機器、溶媒抽出用ドラフト(オークリッジ型およびウォーターフィン型)、人身用消火装置。部屋全体が防爆型になっている。
 - (2). 高分子材料実験室……粘度計(B型およびE型)、シャルピー式衝撃試験機、テーパー式摩擦試験機、硬度計など高分子材料の一般試験機器。
 - (3). 材料物性実験室……高分子材料用万能試験機(静的および動的、いずれも10t)、恒温槽(-40°C~+150°C)、レオメータ(動的回転粘度計)、粘弹性スペクトロメータ、熱収縮応力(クリープ)試験機、高速載荷試験装置(54年度購入予定)。
 - (4). 機器分析実験室……走査型電子顕微鏡(X線マイクロアナライザ(54年度購入予定))、赤外・可視・紫外分光光度計、熱分析装置、液体およびガスクロマトグラフ、蛍光X線およびX線分析装置。
- アスファルトおよび種々の改質アスファルトなど舗装材料についての基本的性質を、これらの機器を用いて明らかにすることにより、適材適所の利用をはかるべく研究を実施して行きたいと考えている。

特集・第II部 座談会

『舗装技術～今後の研究の方向』



司会・南雲 貞夫 建設省土木研究所地質化学部長

(50音順)

飯島 尚	建設省土木研究所舗装研究室長
久保 宏	北海道開発局土木試験所舗装研究室長
佐藤 勝久	運輸省港湾技術研究所滑走路研究室長
達下 文一	東京都土木技術研究所副参事
蒔田 実	建設省土木研究所化学研究室長

☆研究の現状と問題点☆

南雲 わが国の舗装技術は、戦後30年余りの間、諸外国の技術を導入しながらも着実に進展をみせてきました。道路舗装の最近の技術水準は、53年6月に改訂されたアスファルト舗装要綱に盛り込まれた内容で、うかがい知ることができますが、ここには舗装を新設する場合の技術体系が、ほぼ完成した形で示されていると言ってもよいと思います。

それでは、今後の舗装技術上の問題は何か、それは主として舗装がある期間にわたり、様々な要因の影響で、経済的に変化し続ける供用物として捉えられる観点からのものに集約されるのではないだろうか、と考えます。

また5月の6～8日の3日間、北陸で北陸道路舗装会議が、盛会のうちに開催されました。また今秋の日本道路会議の提出論文は舗装部門が他を抜いて、非常に論文数が多いと聞いております。その辺から見ても舗装技術者の層の厚さということ、それ

から舗装関連の問題の多様さというようなものがわかるんじゃないかな。

現実には、大都市近辺の重交通道路では、わだち掘れの問題であるとか、騒音、あるいは振動、そういった環境問題なども含めて、非常に多様な社会的要請に対応しながら事業を進めていかなければならないわけです。

それからまた、これまで何かというと外国の文献、外国の技術を借用し、あるいは導入して、舗装技術の開発を図ってきたわけですが、これからはわが国独自の、自分たち自身で解決しなければならない問題が、少なくないと見受けられますし、独自の技術開発の時期を既に迎えているのではないかと思うわけです。

こういう状況下で、研究所という技術の先取りを図らなければならない、また技術の先導的な役割を担なっておられる機関に所属される皆さんに、今後の研究の方向、そしてその効率的な解決策というようなものを伺って、まとめてみるのも非常に意義があるんじゃないかなと思います。

第1部のほうで、研究課題その推移と今後の研究テーマということで、まとめていただいておりますが、今後の研究テーマを議論していただく前に、現在いったいどういう問題点を取り上げて、研究を遂行されておられるのか、テーマ、それからその方法論、具体的なやり方も含めて、はじめにお話いただきたいと思います。

最初に全国的な広い分野で関連のある建設省の舗装研究室からお願いします。

飯島 まず舗装ですから路床、路盤から始まり、その上のアスファルト層と分けて考えていくと、それぞれ材料の問題、構造設計の問題、施工の問題、それから管理——維持・修繕の方法に大きく分類できるんじゃなかろうか。その中に、たとえば試験法などはそれぞれ含まれていると考えています。

路床、路盤等では、いろんな材料を用いて安定処理していくと非常に経済的にできるということで、まず重点的にやっております。アスファルトの層ではとくに重交通道路のわだち掘れ対策についての研究、わだち掘れと裏腹の関係にあるひびわれについての研究。3番目として、アスファルトの摩耗、とくに寒冷地等では摩耗が非常に大きな問題になっておりますので、この基礎的な研究、それからアスファルトと骨材が剥離してしまって支持力が低下してしまう等の問題の研究、大きく分けてこの4つにしぶって、いま研究を進めております。

さらに路面性状というものをどういうふうに計り、どういうふうに評価していくかということを中心に維持・修繕の研究を総合的にやっており、あと特殊な問題として、橋面舗装を取り上げております。

舗装材料では、とくに骨材、なかでも細骨材が最近いいものが得られないという問題、いろんな細骨材について細骨材の性状と、それから混合物にしたときに、どういう問題があるかについて、とくに現在研究を進めております。

南雲 非常にたくさんのテーマを並べていただきましたが、これは全国的な視野でのテーマの取り上げ方ではないかと思います。次にもう少しローカルな問題に取り組んでおられる、開発局の久保さんにお願いします。

久保 当研究室が積雪寒冷地にあることから、とくにローカルな問題が多いわけです。やはり寒いところという気象条件、あるいは泥炭地のような軟弱地盤が非常に多いということからくる特殊な条件、それによる舗装の問題点があるわけです。

この中で非常に大きな問題としているのは、最近の

スパイクタイヤによる摩耗被害です。これはかなり昔からの問題ですが、現実の問題が段段厳しくなり、われわれの研究による解決以上に、その条件が厳しく変化しているため、そのあとを研究が追っかけているよう見えます。最近、少し反省をしているのですが、今後どういうふうに、その条件が変化していくかということも予想しながら、これに対処していくなければならないと思います。

現実はいま目の前にあることを、何とか解決しなければならないということがあり、これについては日夜頭を悩ませております。この摩耗の問題は北海道ばかりでなく、北陸や、東北地方、あるいは関東でも長野とか、そういう地域ではかなりスパイクタイヤがふえていると聞いておりますので、これは寒冷地の特有の問題である。——諸外国では早くから手を打っています。それには裏付けデータがかなりあるからで、先を見越した研究なり、対策を進めているようです。

最近の問題としては温度応力による舗装のクラックです。昔からあったのでしょうか、いまでは凍土というものの影にかくれていた。凍土問題がかなり明らかになってきたので、逆にこの温度応力によるクラックが浮き彫りにされてきたのです。寒い地域もどんどん舗装されるようになった、あるいは冬に除雪もよくされる。またアスファルト自体も昔とはちょっと違ってきたんじゃないかな、いろいろな要素が重なり合って、この問題がクローズアップしてきたと思います。

それから最近の歩道舗装だと、自転車道、あるいは市町村道のような簡易舗装を経済的に、また合理的に設計する方法はないものだろうか、今までの経験だけいくと、さらにまた何十年もかかるてしまう。何か理論に基いた解決策はないかなということです。

その他、凍土対策工法においても、今まで凍土しやすい土を捨てて砂利なんか入れていたが、最近川から砂利が、山から碎石が取れないとか、それを運ぶこともむずかしいというような状態で、それに代る何か凍土対策工法はないだろうか。最近は軟弱地盤のようなくらい今まで技術的にむずかしいから舗装をしていないところも整備していかなければならぬ。理論と経験とをうまく結びつけた解決策はないかということが、今後の問題です。もう少し現地からの要望にすぐ応えられるような方法はないものか……。

南雲 それでは国としての立場とはまた違って、より地域住民に密着した研究にお忙しいと思われる、東京都の達下さんにお願いします。

達下 地域に密着してということでは、簡易舗装、あるいはL交通からD交通まで、その他特殊な諸々な

道路まで包含し非常に幅広いのですが、ここでは都市内の道路について申し上げます。都市ということを前提にすると、道路あるいは舗装というのは、都市の中での他の施設と一体になって機能するわけで、道路は一種の施設にすぎないという見方があります。それから道路として交通の便に供するという言い方をすると、地下鉄、路面電車、いろいろあり、その中の道路であり、舗装であるという見方から、都市の中における道路と舗装をわれわれは街路という言い方を好んで使っています。ですから環状7号、8号などの片側3車線もあり、設計交通量もD交通に軽く到達している道路でも、われわれは街路の中の舗装という形でとらえざるを得ない。

まず具体的に現在ある街路をいかに実際の要請に合せて有効に使うかということが一つある。つまり、新しい道路、舗装をつくるよりも、今まである街路をいかに有効に使っていくかという考え方、自動車の交通の便だけではない有効さの中身が必要となってくるわけです。ですから舗装だけに限ると、打ち換え、維持、修繕とか、その時点でいかに有効に皆さんに納得いただける舗装にしておくかという議論をしなくてはならない。その中の各論として、交通振動、騒音とかに、いかに舗装で対応できるものか、対わだち、対流動でどうかという各論が出てくる。街路の場合は歩行者に対する水はねの問題とか、路面の平坦性が悪いことが振動励起になる、とらえる方向も都市内では違っているということです。その一例として、バス停はガードレールが完備し、ワンマンカーなので一定個所にきちんと停車するので、局部的なへこみが出てこれが水はねとかいろんな問題が発生する。水はねしない限度のくぼみはどのくらいか、どの時点で維持補修しなければならないか。

舗装を打ちかえたり修繕などをすると、必ず廃材の始末がまた問題になってくる。省資源とは何かという大きなとらえ方の前に、自ら出す排泄物は自ら始末しようという議論、大都市の特殊性の中での研究、当面やらなくてはならない問題がひそんでおります。



南雲 いろいろむずかしい問題があるようですが、次に道路の舗装とは問題のとらえ方も多少違うようですが、空港舗装を手かけておられる運輸省の佐藤さんお願いします。

佐藤 空港舗装は、道路舗装と構造的、本質的に違わないわけですが、その対象が自動車と航空機というふうに大きく違うので、それぞれ特有の問題が発生しておるわけです。

私たちの研究室は、航空機を対象とする空港舗装の特殊性を主体的に研究してますが、その特殊性とは、ジャンボジェット機、エアバスとかいう大型化、高速化した航空機を対象にするということにあります。ジャンボ、エアバスは200トン、300トン、あるいは将来は500トンもの荷重を対象にするので、アスファルト舗装では、非常に舗装厚が厚くなってくる。極端な場合は2mから3mにもなる。これをいかに経済的につくっていくかということから、路床・路盤を安定処理して、より強固なもので築造していくんだという研究もやっております。加えて材料に対する条件も厳しく、締固め度も道路舗装とまた若干違う面がある。道路舗装と同様に、大きな荷重によるわだち掘れが大きな問題となっております。

それから航空機の大型化に伴い、舗装が非常に痛んでいる、そういう痛んだ舗装をいかに強化し、いかに補修をしていくか、空港の特殊性として、工事はおおよそ夜間になる、あるいは制限区域という制約があるなど、そのための施工上の工夫を考えなくてはなりません。既設舗装を非破壊で評価し、簡便にかさ上げ舗装を設計する方法の開発などが具体的な例です。

一方、非常にたくさんの人間を乗せた航空機が300キロ、400キロというスピードで離着陸する、これをいかに安全に運航させるかの心配、工夫があり、最近では安全性のより一層の向上のために、アスファルト舗装の滑走路にグルービングを施すということが、広範に採用され、そのグルービングの安定性、耐久性とかの面での研究も迫られているわけです。

また立地条件の悪さから埋立地等での空港が多い。沈下、とくに不等沈下による舗装体への影響といった面での問題、ある空港では顕在化し、その対策も考えねばならない。日本の空港はどこも狭く現地で調査、試験ができませんので、研究所内に試験舗装を作り、大型航空機と同等の荷重をもつ走行荷重車や戴荷装置を用いて試験研究を行っています。

南雲 いろいろと現在の研究課題をご紹介いただきましたが、その中で舗装の流動、摩耗であるとか、リサイクリングであるとか、少なからず材料の性質に関連

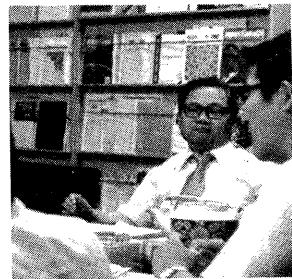
する問題点があります。アスファルトを主体とする舗装でアスファルトの研究を手がけておられる化学研究室の藤田さんにひとつ……

藤田 私たちの研究室は、アスファルト舗装に関しては、時代のニーズにあわせて、バインダーとしてのアスファルトに関する研究をずっと続けてきている歴史があり、今後ともその範囲の仕事を継続していくこうと思います。

重交通道路での流動の問題、寒冷地での摩耗の問題、それから交通事故の多発点での特別なすべり止め対策を施した舗装の問題、流動、あるいは摩耗その他の点での影響を受けて耐久性が確保しにくい橋面舗装の問題、コンクリート床盤、鋼床版等で、それぞれ違った問題があるでしょうが、舗装の構造、配合設計という点で対処するのが本命だとは思いますが、従来の石油アスファルトをそのままの形で使っていて対処し得るかどうか、やはりバインダー材料も新たに、それぞれのニーズに応じて、どう使っていくかという基本的な問題があります。

舗装要綱の改訂版では石油アスファルトの新しい規格として、針入度40/60が、また特殊舗装と特殊対策ではアスファルト協会が、かなり基本的な研究を進めその成果を受けたセミブローンアスファルトが採用され、一方ではゴム入りアスファルトの品質、標準的な性状が取り上げられて、バインダーのほうからもニーズに対応しようという動きが、すでにあらわれているわけです。

材料面から考えると、セミブローンあるいはゴム入りアスファルト、ゴムも種類がいろいろあり、単にゴムだけではなく樹脂を入れたアスファルト、ゴムと樹脂を両方入れるというようなものもあれば、また全く新しい、ちょっと性質的には違うものとして、熱硬化性のエポキシをませた材料など、非常にいろんな種類のものが、現在開発されてきている。こういったものが基本的にどういう目的に、どう対応する性格をもつた材料であるかということを、いまの時点でもう一度基本的に見直したい、したがって従来の材料の取り上げ方が、アスファルトに関する試験法そのものを横に並べて、これらの材料を評価するのは、かなり無理がくると思いますので、もう少し新しい材料を横に並べて、ものが眺められるような、もうちょっと基本的な物性値というようなものを基準にし、それぞれの材料の特徴を明らかにして、それらの活用をはかりニーズにどの程度対応できるかを、より明確にしていきたいと思います。



☆先取りか、あと追いか☆

～研究テーマへの対処の姿勢～

南雲 これからよいよ本題に入って、今後どういう課題を取り上げたいか、あるいは取り上げるべきかというお話になろうかと思いますが、その前に現在のテーマが、どんな理由で選ばれたのか。例えば土木研究所では、行政ニーズに対応する研究を推進させることが重点施策の1つになっております。

しかしながら、わだち掘れであるとか、リサイリングなどという新しいテーマを取り上げようすると、それらはもうだいぶ昔からやっていたテーマで、いまさらやる必要はないのではないかという批判もないわけではありません。行政ニーズに応えようとすると、あと追いの研究にしかならないというようなことになります。

先ほども、久保さんから現在やっている研究があと追いにすぎないのではないか、これからすぐ現地の要望にこたえられるような研究をやっていきたいというお話もありました。また達下さんからは、地域住民が水はねや振動を問題にしており、すぐ対応しなければならないとかというお話、研究課題をこれから取り上げていく場合に、どういう考え方を持っておられるのか、その辺を一言ずつ……。

久保 確かに20年以上も同じ研究をやっているんじゃないかなという見方もされるんですが、考えてみると、たとえば実際の自動車の重さや通過回数、それからスパイクなどは昔は考えられなかったことです。現実の舗装に対応する環境条件がどんどん変わっている、だからそれらの条件に追従するのではなく、環境条件がどう変化しても、それに対応できるような研究がこれから必要じゃないかなと思うんです。それには経験だけですと、過去しか見れないですから、どんなに条件が変わっても、その条件の変わったものを入れれば、すぐある程度予測ができるようなことが必要になってくる。材料にしても10年たてばかなり変わっている。しかし10年先はなかなか予測はできない、こう変わった場合にはこうすればいいなど、おおよその方向づけは今後求めていかないと、結局はあと追いになっ

てしまう。これが何十年たっても同じことをやってい
るじゃないかといわれるゆえんです。

飯島 社会情勢が非常に変化していて、たとえば同じアスファルト舗装に関する研究でも、中身はその時代時代に応じた研究になっており、単にテーマが同じだからといって、あと追いかという議論にはならないと思います。ただ方法論だとか、その考え方方がずっと同じだという意味では、多少のこれから努力というか、ある程度理論的なものを踏まえて、将来の予測というものが、かなり的確にできるような研究は確かに大事だと思います。

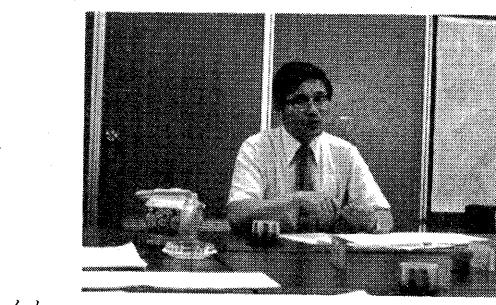
達下 先取りか、あと追いかの議論は非常にむづかしいんですね。俗に事務屋さんレベルでいけば、同じ研究課題名が出てくれば、いつまでも同じことで、進んでいないとみるわけです。大体舗装にアスファルトを使っていることが、あと追いに見えちゃうわけですね。(笑)そういう意味では土木などはあと追いばかりになって見える。認識の問題なんですね。

われわれは研究を遂行するのに、やはり行政機関の一機構としての研究ですから行政上の土木事業ということを意識しない研究というのはあり得ないわけです。そのときに事業に対して研究所側が、ニーズ(needs)として受けるんじゃなくて、シーズ(seeds)として何か出し得るものを持っているかどうかということ。現実には研究所の位置づけが受け身になっているから、あと追いに見えるのです。ですから私は、ともかく現状の組織とか、行政機構の中では、われわれやってることはそんなにあと追いじゃないぞと。そういう議論はあまり意識しなくてもよろしいんじゃないかな、あんまりそこにこだわると、研究とは何かが重くのしかかって、身動きがとれなくなってしまう——。

南雲 先取り、あと追いかという議論は別にして、今後の課題をきめていくときに、それは外部からの働きかけによるのか、あるいは自発的な、自分たちのポテンシャルによって判断してきめていくのかということになるのでしょうか。

達下 そのことは研究者だけではなく、研究所にもいえますね。研究所のポテンシャルでものを持っていて予算化するというのは、非常に多勢に無勢の力がいるんですね。そのポテンシャルたるや、なみのポテンシャルじゃちょっとダメです。どこかに連帶者がいれば非常に楽ですね。ですからそこいらの運営上のテクニックとして、どうしても後だてを求めて、あと追いか的方法をとらざるを得ないんじゃないですか。

南雲 空港は大型の飛行機が現れればやむを得ず、それに対応しなければならないということになりませ



んか。

佐藤 ある時期では航空機の開発の見通しは立ちますので、先取りの面もあったのですが、わだち掘れとか、その他幾つかの課題は、やっぱり問題が発生してから、行政機関の研究所であるということで、おまえのところでやれというような、ニーズにこたえているというのが実態で、予算をとるというのはなかなかアピールしないと取れません、われわれ先取りしてやりたいのですが……。

ただ、最近海外技術協力が多くなってきていますので、日本としての独自の技術を持って海外に出て行くということが、今後はたいへん重要なことになるんじゃないかなと思います。そういう面を、われわれ努力をしていきたい……。

南雲 薮田さんのほうは、例えば舗装技術の方からこういう材料があつてほしいというような要求でもあれば、それがニーズということになりますようか。

薮田 私たちのテーマ設定そのものは、やはり形の上からあと追いでないと予算はつかないというのが筋で、ニーズがあるからやっているということに尽きると思うんです。

材料というのは、石油化学工業を中心とした重化学工業で、いろんな材料が生み出されて、われわれの生活をかなり根底から変えてきているわけです。たとえばごみを捨てる場合、水切れがよく、そのままパッと捨てられるとか、水がもれないようにビニールのシートで包むとか、そういう材料がない時代と、できあがったあの時代で、生活の様式がかわってきている。そういう点から考えると、舗装材料にもそういうものが出てきて当然だという気がします。舗装用として出てきた材料は経緯を見ると、ある特定の企業でこういう新しい材料が舗装に向くんじゃないかと、その新しい市場を求めて舗装に向かってきている例が非常に多い。

舗装側からこういう材料をつくってくれという注文があったケースは実際はないんじゃないかな。こういう材料がほしいと明確にある物性値を示して、舗装側が要求し得るほどの技術的なレベルになっているのか。

非常に経験工学的に発達してきた技術だけに、しかも非常に条件が複雑にからみ合っていて、そう明確になし得ない。舗装技術そのもののむずかしさが基本にあるわけです。材料を与える側と使う側とがばらばらになっている——ですからこれをうまくつなぎ合わせていく方向を考えるべきだと思いますね。

施工の面でも問題があると思うんです。新しい材料を使う場合、材料の特徴を十分につかんでないのではないか、ある1点だけをとらえて何かやってもだめで、総合的にとらえてやっていくということが必要なんじやないか。

基本的に必要な理論付けと、それからそれを実際に具体化していく応用というものを、また研究の進め方そのものも、もうちょっとシステムティックにして対処するということをすれば、あと追いを必ず先取り的な性格をもたせるように、体質転換がはかられるんじゃないかなと考えています。

南雲 蛇足かもしれません、幕張の試験舗装を始めたのが昭和42年です。そのとき、なぜこんな試験舗装をやるのかと何度も聞かれました。試験舗装ではアスコンの配合をいろいろ変えて、実際に車を通してわだちをはかり、流動するかしないか調べるというような説明をすると当時は、いまアスファルト舗装でわだちが問題になっているところがあるのかと反論が出たことがある。その当時はたしかにわだちで舗装を修理するようなことは非常に少なかった。ですから幕張の試験舗装は先取り的な性格を持っておったのですね。——実際はマーシャル基準をわが国の材料、交通条件などのもとで検討したかったという基礎的な考えから出発したと思うのですが、お話を伺っていて、こういう基本的なもの、理論的なものを把握しようすることが先取りに通ずるかなと思われてきました。

☆理論化、体系化への工夫を☆

～システムティックに研究していく～

南雲 それでは次に、今後の研究の方向、あるいは今後取り上げるべき課題は何か、その辺ざくくばらんなど意見をお伺いしたい。これは実際にこれからおやりになろうとしている課題、また個人的に興味のある課題も含め、思いつきでも結構ですから、お話をいただきたいと思います。

非常に範囲が広いものですから、構造設計、材料、最後に施工というふうな順序でご紹介いただければと思います。

飯島 基本的には構造設計も含めて今までやってきたことを、さらに続けていこうと思っております。構



造設計での関連では舗装要綱の改訂で構造設計の方法が整理されたわけですが、ここら辺、研究サイドからみるといろんな材料の室内試験をベースに、それを現地の試験舗装等で観測していくって許容性を見ていく。そこでその構造がいいか悪いかをいうことにつなげていくわけですが、そのときにもうちょっと理論付けができるかなと思っています。

その理論体系というと、大げさなんですが、たとえば構造では層理論がいろいろあるわけですけれども、層理論もいろんな条件について、仮定をおいて計算するということになっております。そこら辺を試験舗装の観測データと突き合わせてみて、条件がいいか悪いか、をこまかく見ていく——できれば層理論に疲労を導入できないか、研究していきたいと考えています。

同時に、これは構造設計に当然結びついていますが、アスファルト混合物の粘弾性的な取り扱いというものを、もう少しやっていく、それで先ほどの層理論に疲労を加味して、また粘弾性的な考え方を両方結びつけたようなところを勉強していくと現在の構造設計の理論体系がはかれるという気がしている——相当むずかしいでしょうね。

久保 私も同感です。過去を見ても条件が非常に変わってきており、私最近考えるんですが、舗装を壊すものは何か——要するに外力ですね。たとえば荷重は、今までずっと出てきたわけです、もちろん荷重は主要な要素を占めるんですが。たとえば摩耗といったってスパイクだとか、タイヤチェーンだとか、それは荷重の一種かもしれません、ちょっと違う。それから温度変化、水分の変化、こういうものも案外、外力として舗装を壊すんじゃないかな。温度応力——これは荷重とはちょっと違う。

そういう舗装を壊すものは何かをまず考え、そして理論付けて弾性理論的な解析をやっていくと、今後も荷重にしても何にしても舗装を壊すものはどんどん変わってくる。それに対応できるようなもの、何か筋が1本通っているものがないかなと思っている。もちろん材料の品質的なものも変わっていくでしょうが、変

わってもそれを容易に取り入れていけるようなものがないとダメだと思います。たとえば荷重が3倍に変わっても、こういうふうに条件を入れればすぐ何か求まるよと、いうようなことができれば……。

疲労という問題はなかなかむずかしいのですが、これも1つ入れないと、1年で壊れるもの、10年、20年で壊れるもの、いろいろ区別をしなければならない。それから弾性理論でやらないと、たとえば橋面舗装では橋梁とマッチすることができないんですね。アスファルトだけでは、どうも鋼床版あるいはコンクリート床版では、双方対話ができるような全体的な考えがとれない。

飯島 いま久保さんがおっしゃられた温度というのは非常に大事な要素ですね。とくにアスファルトは温度に依存しておりますから、いろんな角度から勉強していく必要がありますね。

先日、沖縄の人と話をしたのですが、同じ混合物でも、沖縄ではかなり流れるんだけれどもひびわれの現象はほとんどない。温度が東京付近だと大体-10°Cから60°Cか、それ以上になる、温度の幅が年間で70°Cくらい、沖縄が大体30°Cから40°Cくらい、そういう温度の幅が、同じ混合物に与える影響というものには、かなり違った様相を呈してくるわけです。そこで温度を、さっきの層理論に今後どうやって組み込んでいくのかということが研究課題だと思います。

達下 何十年かのこれまでの経験で、いまの要綱などの構造理論、理屈が成り立っている、あとに残されたものは非常にむずかしいことしかない、基本的には、しょせんはいままでの構造設計の理論も継ぎ木の理屈、いろいろ継ぎ木して何とか1本の木に仕立てようという感じはあるんですが……。多少無理がちらちら見える感じがします。

たとえば大きく見て、舗装を表層のアスファルト側というか車側から議論して見ていく見方と、地盤の土のほうから取り上げていく見方のところで、やっぱりギャップをだいぶ感ずるんですよ。極端な例では設計CBRの設計定数としてのきめ方自身の大枠など考え方と、アスファルトの層としての緻密など考え方とのギャップを、どこで接合させるか、下層路盤か何か、そこらで吸収させようとしていますね、ですからそこにサンドイッチ版として素性のハッキリしたシビアな材料を入れると、継ぎ木に筋道が立なくなってくる、理論の拡張がむずかしくなってしまう部分が感じられますね。

理論の筋道をハッキリさせると老化などはランニングコストに関係し、将来に対する予測になってハネ返

ってくると思うのです。基本はやっぱりランニングしたときの将来予測を的確に当初に見きわめておく、という技法に收敛させるための理論にしてほしい。それをやたら拡散されてしまうかもしれない。それはひるがえって新材料も何も出てこなくなる可能性を持っていると思われます。供用後の将来予測ができるような体系の、構造理論をつくってほしい。今後の舗装要綱改訂にも維持修繕要綱等にも舗装についてはそういう一連の上にのっかってほしいという感じがします。

もう1つかねがね心配しているのは、それらを出すときの定量化というか、客観的な資料として出すときの約束、すなわち調査法なり、試験法なりが、各機関バラバラの感じがします。基本の調整が必要でしょう。そういう意味では、日本全体が一丸となって理論化するぞということを建設省の土研あたりでうたいあげて1度やったらいかがなものでしょうか。

南雲 道路に比べて空港の場合は比較的理論的じゃないんですか。

佐藤 航空機の大型化に適応するための舗装構造をかなり外挿的に求めてきた面があり理論的といつていののかどうか……。30年前 corps of Engineers が舗装設計の舗装厚を出す理論を出したときも外挿的だったわけです、それが経験によってある程度裏付けされてきて、1つの理論、体系ができ、それをまた最近の航空機の大型化に外挿しているというようなことで、かなり無理があるような気もします。私どものほうでも多層構造理論みたいなものを何とか組み込んでいきたいという希望を持っているんです。

舗装というのは土から始まって、いろいろの材料を相手にして、アスファルトなどは化学の分野まで入ってくる——いろいろな分野との協調みたいなものがないと、なかなか理論の確立までに行きつかないんじゃないか。疲労の問題、温度応力の問題にしても、相当材料科学的なものとのからみもあると思うんですね。舗装構造理論に入る定数にしても、室内試験からどうやってそういう特性を導き出すかというようなこと、試験舗装も必要だろう、いろいろやっていかないと出てこない、そういうジレンマを感じつつ何年か過ぎてきており、皆さん方と情報交換しながら進めていきたいというのがいまの気持ちです。

薄田 これから先の技術といいますか、研究の方向として、いわゆる混合物の力学的な特性と、それから実際の挙動との関係の理論を見い出していく、そういう研究が進めば、今度はバインダーの基本的な性質と、混合物の力学的な挙動をつめれば、どういう材料をどう組み合わせれば、およそどうなるかということが見

きわめられ、今まで考えている材料の範囲を逸脱して、こういうものを使ったらという糸口が、必ずやその場合には見い出されると思います。そういうことを是非していただけたら、舗装技術は格段に向上するんじゃないかな。

どういう配合のものは、どういう挙動を示すかという、もうちょっとさし迫った問題の解明が必要ではないのか、その中で物性的なものの見方を入れていかなくてはいけない、その物性的な見方が先ほどの層理論、あるいは温度応力、その他いろんな外力を受けた場合の舗装混合物の共同の理論的な解釈につながっていくようにもっていく——そういう形で、かなり先の話をするのか、とりあえず今後数年取り組んでいくべきテーマの話なのかで違うんですけど——私は一足飛びに理論化といつても、何かむずかしいような気がするのです。現在やっているようなことを、もう少しシステムティックに解釈しやすいような、将来の理論化までの道筋を考えていくというのが重要なんじゃないかな。いきなり理論をいわれても、どう取り組んでいくのか。

南雲 理論化するまでは試験舗装を中心に研究を進めいかなければ何もできないのが現状でしょう。確かにこれまでやってきた試験舗装などの結果をとりまとめる上では、何か1本筋の通った理論化、体系化したもののがあったほうがいいとは思います。

単純に考えても、現在のTA法というものが理論的に説明されていない。これから更に新しい構造設計法を探り入れようと仮に考えると、TA法を否定するか、あるいはそれを発展させるのかというようなことになるわけですね。その辺の整理もまだ十分になされていないような気もする。それから温度応力とかも寒冷地以外でも舗装のひびわれの発生に関連があるのではないか。たとえばひびわれの部分のコアを取ってみてもひびわれは、下のほうからではなく表面から開いている。これはおそらく荷重応力と温度応力の合成された影響ではないかと思えるんです……。

久保 多分両方からんでいることだと思います。現在、問題になっているのは、交通量の非常に少ない個所で施工してすぐ壊れるようなところは多分温度が主要原因であろうというふうに見られるわけです。それも多分にアスファルトの物性値が関係していると思います。その辺がまだ漠然としていて、それと外力とがどういうふうな関係にあるのかむずかしい問題です。アスファルトで温度変化だけかといったらそればかりでなく、温度ひとつとっても、下の条件によってまた変わってくる。その辺の全体のからみが難かしい。やっぱりシステムティックに研究していかなきゃならないでしょ

うね。

☆新しい材料—トータルコストで評価☆

～評価基準の設定が必要～

南雲 構造設計は材料の疲労であるとか、老化であるとか、とにかく材料に密接な関連があるわけだから、次に話題を材料のほうに移し材料関連のテーマに移りましょう。

飯島 骨材についてアスファルト舗装要綱等に、品質規格が出ている、これをちょっと幅を広げたらどうなるか。また現実には現地産材料であるとか、品質のちょっと落ちたような材料を、骨材は非常に逼迫した状況にあるので使わざるを得ない。そういう面から骨材について、さらに研究していきたい……。

久保 確かに重要な問題です。これはコストにもろに関係してきますんですね。従来の経験からいって、この材料はいいよとか、悪いよと、定性的にはわかるんですが、たとえば比重が0.1小さくなったら、舗装に使った場合どうなのか。どれだけ摩耗量が大きくなるのか、その辺がまだ説明できていない。

地方産材料を経済的に使うのは、公共事業の基本ですから、その辺の説明のしかたというんですか、データ不足なんでしょうけれども、ちょっと問題がありますね。たとえば耐摩耗は、0.6から2.5の間を少なくしてギャップをつければいいということはわかってきてているんです。ところがそういうギャップをつけるためには、海砂でしかも細かい砂が必要になってくる。ところが実際にはなかなか近辺にない。どういう形でそれに対処していったらいいのか、室内試験でわかつても現場にアプライするとき困るんじゃないかな。

飯島 組み合わせの問題ですね。

久保 そうですね。

佐藤 空港の場合は荷重条件が非常にきびしい。強度の大きい材料を必要としており、その供給性というと残念ながらそんなにあるわけじゃなく、道路の舗装で使うような材料を使って、いかにうまく供用性を保つかということになると思うんです。ローカルマテリアルについても、あるところでやむにやまれず使ったところが、非常にクラック等が出て問題になったケースもあり、なかなか材料の問題はむずかしいなというのが実感です。

達下 私は「通り」としての舗装材料について申上げたい。市街地なり、市町村道も一部含みますが、都市の中における街路は都市施設の一環であり、公共の空間であり、施設であるという感じになりつつあります。最近は歩行者天国とか、街路の歩道の整備とかが進ん

で商店会等が中心となって町のイメージづくりを、道路を中心に考える部分も出てきています。そうすると歩道に石張りをしたり、レンガを積んだり、車道にもカラーの舗装を施工することがある。かつ都市の舗装ですから施工中に車をとめ、何日もかかって舗装するという技術ではだめなわけです。短時間で速やかに、かついものできれいにイメージアップをする——そういう材料の要求が非常に高い、局部的ではありますけどね。おそらく市町村も同じでしょう。明色舗装、着色舗装、そういうものに対する材料の開発、あるいは材料を施工法をからめて何かしておかなければならない。これは横断歩道橋などにもあてはまると思います。

蒔田 従来のアスファルトで、現在のいろんなニーズに対応しようと思うと、本質的に無理のある部分があるんじゃないかな。事実そういったことがセミブローソニアスファルトを使ってみようという気運にもあらわれているわけです。耐流動について、耐摩耗について、耐クラックについてはどうだとか、それぞれ要求されている性質そのものが相当違うんで、そういう違いに応じて、新しいそれぞのアスファルトの改質の方法をはっきりさせることができないか。達下さんのお話のように、美観まで含めた新しい舗装材料、あるいは歩道橋の橋面舗装となると、これはアスファルトの範囲からもうちょっと離れて、全く新しいものまでをも含めて考えなくてはいけない、それでないと対応できない部分もある。それぞれ目的に応じて本当に必要な性質が何であるかということからバインダー材料を、いま一度現在あるものを整理し直してみて、適当なものを見出していくことが材料に関して、とくにバインダー材料に対して必要だと思いますけれども。

南雲 今までの普通のアスファルトでは、どうも現在のニーズに対してはこたえきれない。それを改質したもの、あるいはもっと高価なものであるとか、美観を満足させるようなものであるとか、そういう材料が必要になってくるというようなお話をですが、こういう材料がその目的にかなうかどうか、それだけの供用性を持っておるのかどうか、その辺の評価というのは

どういうふうに考えておられるのか。

蒔田 今までのお話は、どちらかというとニーズに対して、何らかの原因による欠陥があらわれることに対して、より耐久性のある材料を見い出すというお話を思ったと思うんです。非常にいい材料というのは、達下さんがおっしゃるように現道を改良する場合は、施工期間を短くとれて非常に施工がやりやすいとか、あるいはあとの維持・管理がやりやすいという大きな特徴がなくてはならない。だからこそコンクリートよりもアスファルトがこれだけ広く使われるようになった大きな原因でしょう。新しい材料を考えていく場合にも従来の社会的制約の中でこなし得る材料、要するにアスファルトの従来持っているいい点を確保しつつ、より耐久性のあるものをということを、ひとつ忘れてはいけないんじゃないかな、評価のときにですね。その辺の議論がちょっと抜けていたように思います。非常に要求がぜいたくというか、むずかしいですよね。

久保 摩耗しません、流動もしません、クラックも入りません——そういうのはないと思うんですよ。ただもう少しきめ細かく、たとえば流動には、このくらいのものは必要だと、摩耗に対しては、このくらい必要だと、温度応力によるクラックが生じないためにはこういうものが必要だということを、逆にこっちから求めていく——というようなことまでやらないといけませんね。その辺が少し欠けていましたね。

達下 蒔田さんがおっしゃられた、材料の純粋な見方、考え方の基本はそれでいいと思うんですが、実際に使用する上で施工に問題がある。われわれは、とくに公共性の高いものとして材料も使っているわけですね。そうするとその評価基準がかなり経済原則できるという実態がある、その経済原則は何かというと、これは今まで用いてきた値段が標準になるわけです。高いか安いかで材料の使用がきまるのが現実ですね。そのときに価値がいいから、先行きに対してランニングコストで評価して——という計算なかなかしない。だから極端にいうと、舗装の中ではいい材料が開発されないという面もかなりあるようですね。修繕維持などにともなう一時的コストを早いうちにイニシャルコ



ストにはね返すような材料の評価基準なり、設計基準をつくっておかはいと、いくらたっても、やっぱり砂利、砂に対してどうだという議論が常に出てくるような気がするんです。砂利、砂はいい材料です、すぐ使える、再生じゃない、単なる転用なんです、初めからいつまでも生きているという特性を持っています、そこをベースにされると、なかなかいいものが出てこない。そこいらを基本的に考えないと、材料屋さんの開発意欲もわかんないかもしれないし、いいものをつくつてもちょっと高ければ需要がなくなり企業としては、やる気が出ない。

蒔田 新しい材料は、おそらくほとんどの場合、在来材料に比べてコストが高い。ですからその高いものが使われるという前提は、達下さんのお話のとおり、やはりトータルのコストでものを見ないと使えないことになるわけです。舗装要綱で、新しい材料が取り上げられてきたのもアスファルト舗装について、トータルコストで見る見方が、だんだん出てきている。だからこそ耐久性が流動にしろ、摩耗にしろ、やはりトータルコストでどうだという前提で、新しい材料を見ていくことが必要でしょうし、それが基本になると思います。おそらくそういう見方が、今後ますます出てくるだろうと期待しております。たとえば私どもの研究室では、塗装に関する研究もやっているんですが、本州四国連絡橋公団の架橋の塗装は、従来の一般の道路橋塗装とはまるで違った高級塗装——いわゆる重防蝕塗装がされるわけです。そのときやはり問題になったのはコストなんです。トータルコストで見ると必ずそのほうが有利になるという前提で、従来の何倍もする——やはりいいものを使わないと、のちのちの維持管理費が非常に高くなると予想して重防蝕塗装というものを取り上げております。これは何も橋に限らずに一般の道路舗装でもそういう議論は成り立ってくる時代になっているんじゃないかな。

佐藤 われわれ研究所の人間として、新しい材料なり、構造なりを本当は先取りしてメリットを、トータルコストとか、そういった評価基準を出していかなければならぬんですけど、なかなか追いつかないというのが実情ですね。

蒔田 材料も新しいのを持ってくるということが、コスト高になるということばかりではなくて、耐摩耗、耐流動とか考えるときの、舗装構造そのものを考えるとかいうことでも、従来の技術をレベルアップさせることになると、必然的に高級化、コスト高になってくるんじゃないでしょうか、皆さんの現在の研究が、従来よりもコスト安の方向で、新しい技術を想定

しているように思わないんですが、いかがでしょう。やはり何かやろうと思うと、たとえば材料の単価といふのはトータルの工事費の中でみれば、そんなに影響は出てこない、舗装事業のコストを施工まで含めて考えると、何か他の面でもコスト高になる。材料だけが表に出てくるというのが、非常に理解しにくいんですけどね。

達下 舗装というのは設計の積み上げが他から見てシビアすぎますね。たとえば層の厚さであろうと、平坦性であろうと、あらゆるものがあのすごくシビアです、他はもっとおおらかですね。

たとえば用地を買収して、土工をし、舗装をして舗装にかかる金なんてほんの少しでしょう。それをものすごくシビアな議論をして細かくやっている。そうしないと舗装というものの論理性が出てこないという前提、そこまで進んでいるという、いい意味ではそもそも言えるんでしょうが、そこまで一応形づくっちゃったものですから、なかなかこれを戻せないんですね、現状は。自らネクタイをぎゅうぎゅうしめつけていって、ゆるめられなくなつたという実態が、新材料の出てくるのを、かなり妨げているみたいですね。

久保 最近は事情がだいぶ変わってきたよ、値段のことですが、補修を考えたトータルコスト的なものの見方をするようになりましたよ。橋面舗装だと、特殊なところの舗装では、補修するのに車をとめられない、だから最初は幾ら金がかかってもいいから補修をしなくともよいものはないかという意見が多くなっています。

そのためにはわれわれは試験舗装などで、こんなに違うんだというようなことを説明する必要がある。外国ではよくコスト換算して何年もつかるコストはトータルでこれだけ得だと言えば一番わかりやすいですね。そんなようなことで、われわれとしては素人目にも理解されるような何か説明の方法があるんじゃないかな、最初のコストというものはそんなに響かないんです。あの補修のことを考えると、これはもうたいへんなこととして。

南雲 北海道は以前から、新しい材料にかなり積極的だったですね。

久保 そうです、そういう風土がありました。まず新しいものをやってみようというムードです。

南雲 まだしかし全般的には、先ほど達下さんが言われたように安い材料から使おうという、そういう雰囲気はまだ多少は……。

久保 ありますけれども、金が多少かかってもいいから、長もちするものが欲しい……。

南雲 長もちするかどうか、それがむずかしい……。
久保 その説明がなかなか……。

☆発注者側の施工管理基準が必要☆

～施工技術の研究をとり上げていく～

南雲 材料の性能の評価において施工の出来映えが欠かせない要因であるというお話をしました。

施工その他に関連しての議論を次にお願いします。

飯島 補装というのは一定規格の品質のものを、よく管理されたプラントで練って、あとは十分に重いものでよく転圧し、なおかつ一定の空隙であるとか、一定の品質を備えた層に打つというのが原則だろうと思うんですけれども、最近どうも施工で一番重要な転圧が軽くなってきている傾向があるわけです。しかも層厚が、厚くなっている。もう少しそういった転圧、施工方法などについて、これは品質管理と結びつくわけですが、研究を取り上げてというか、なお継続してやっていきたいと思っています。

南雲 きょう出席の方々は行政サイドの研究所の人たちですから、なかなか施工技術のほうには手がまわらないという問題がある……。

久保 施工については最近だんだんと厳しくなっていますよね。昔の北海道は10月以降は補装はしなかったのに、いまは12月までやることがある。しかも夜間やって気温を計ってみたら-5℃くらい。それで要求する性状は夏のいいときにやったときのものと同じものですから、これは厳しいわけです。そういう条件でいかにいいものをつくっていくかというのが一つの技術ですけれどね。むずかしい時代になってきていますね、そのようなものにも対応できるようなことを考えていかなければならない。例えば空隙が少し多くなったときに摩耗がどういうふうになるのか、流動はどうなのかということまで、もう少し研究しておかなければいけない……。

飯島 ですから一方では非常に厳しく、一方ではかなりラフになっている点もあるということで、施工の幅が広がっているんですかね。これは研究課題になじむのかどうかわかりませんけれどもね。

達下 われわれが施工の中身を多少吟味したチェックをしようとして、試験舗装というか、試験的な舗装でデータをとらざるを得ない——通常の施工個所からは、なかなかデータらしいデータがあがらない——そうするとそれはかなりシビアで、かなりじめにやるし、新しい材料を使うとすると、これで壊れたらちょっとまずいから、安全側で処理していきますね。で

すからそこを標準にすると、一般的の通常やられている舗装の施工管理ができるのかと、いつも疑問に思うんですね。その点で発注者側がどの程度施工に目が届き得るか、自信をもって何も言えない。ですからこちらのデータが本当に一番欠けていると思うんです。

南雲 だいぶ以前、道路局の舗装の専門の方に、最近の日本では路盤の締固め度は欧米に比べて低いのではないかと指摘されて調査しろといわれたんですが、不勉強のままで、そのままになっておりますが……。

それからもう1つは、アスファルト舗装の流動の調査でオーバーレイをした個所が、わだちの進行が激しいんですね。管理の行き届かない修繕工事の場合ではこれも締固めと関係があるように思われます。これまで要綱の改訂や何やらやってきましたが、施工関係では発注者側ではっきりした発言ができない、もう少し施工関係の課題も取り上げていいのではないかという感じがないかもしれません。

飯島 これは研究所の課題になじむのかどうかは別として、やるべき課題だろうと思いますね。

佐藤 同感です。やるとしたら施工管理基準みたいなものを、われわれ自分たちで試験舗装とか、施工管理データを集めて、基準値をつくっていくしかないような気がする。残念ながら空港のほうで余りデータ持っていないので、道路などのデータを参考にさせていただきながら基準をつくっていまして、独自にそういう基準に見合うようなデータを、これから集めていきたいと思っています。

飯島 維持管理の工法、今まで話がでていたようですが、いつ維持管理をすべきか、材料的な面から、工法的な面から、それから時期の判定というのですかね、コストも含めてですね。そういうのをどんどんやっていくことが必要ですね。

達下 都市内での維持修繕では、夜間打換えということからたとえば100m²か200m²の穴を掘ってふさぎ、また穴掘ってふさいで、最後にせいぜい基層の一部あるいは表層くらいを一気に施工するんですね。極端にいうと大きなレンガを置いてピシャッとやる感じですからね。しかし出来上った舗装は結果としては層としての議論をしているわけですから本質的な問題もあるんですよね。そのための設計法なり、施工法なりというのはないんですね。何もつくっていないんですよ。それで極端にいうと高速道路1kmなら1km、一気にやるのと同じようなやり方に準じてやろうと言っているんです。新設で何もないところに道路をつくるときはまだいいんです。維持補修になると施工上の問題というのはたくさん出てくるんじゃないですかね。

☆舗装は、もっと技術情報の交流を☆

～横の連携を密にしていく～

南雲 いろいろ今後の研究課題を伺ってきたわけですが、たとえば構造設計の場合の理論体系をつくりあげるとか、あるいは材料や構造の供用後の将来予測をやるとか、非常にむずかしい話が出てきております。こういう課題を取上げて研究を遂行する上で、いろいろ問題があろうかと思います。例えば舗装というものが老化や疲労という要因を含んでいて方法論がむずかしいとか、あるいは研究費や研究員が非常に少ないと、そういうむずかしさを踏まえて、どんな解決策があるのか、その辺もし名案がありましたら……。

久保 いろいろな問題点が確かにあります。みんなバラバラでやっているような感じがするんです。ある程度系統立った研究が不足していたんじゃないかな、舗装の性格上ある程度やむを得ない面もあるわけですが、ある基本線を立てそしてシステムティックにそれぞれやるといいと思います。

それから材料の分野とか、構造の分野とか、そういうところの意見交換とか、互いに対話する“ことば”が、今まで余りなかったんじゃないかな、そういうどこにでも共通する“ことば”をまず使うようにして対話をしながら、いろんな分野の知識を組み入れ舗装を一本化して組み立てていくというようなことを、今後すべきだと思います。情報交換なりあるいは人の交流その他必要と思われることを積極的にやるべきじゃないかと考えております。

飯島 賛成です。急に理想がかなえられるということはあり得ないので、現状をベースにして、あとじわじわと努力していく。そのとき、いろいろなところで、いろいろな研究をやっておりますので、定期的に情報交換することが必要だと思います。

佐藤 私も同意見です。舗装専門の研究委員会というのがありませんね。たとえば土木学会では他の分野で常置研究委員会がありますよね。土質工学会は最近舗装は、ほとんど引っ込んでしまったみたいで研究発表会の論文も非常に数が少ない。舗装だけの発表会というのがありませんね。何かもっとあってもいいんじゃないかな、たとえばアスファルト協会の主催でアスファルト舗装のシンポジウムを開いて情報交換をもっと密にやつたらいいと思います。

もっとフィロソフィーを研究する研究委員会みたいなものをつくりていただいて、舗装の分野の研究をシステムティックに、いろいろな面からアプローチしそれを持ち寄って一つの体系化をはかっていくということ、そういうものをやっていただければ、非常に役に

立つんじゃないでしょうか。

南雲 最近、ブラジルから道路局へ届いた手紙のコピーによると、ブラジル舗装協会が舗装の評価とリハビリテーションのテーマで国際会議を開きたいという内容でした。羨やましいですね。

佐藤 そうですね。アスファルトプロパーの国際会議はあるわけですね、構造設計の。日本にああいうもののをつくってもいいような気がしますね。

達下 舗装に携わる技術者というのは官民合わせると相当な数だと思うんですよ。日本道路会議では舗装部門が他の追従を許さないほど論文数が多いということですから。にもかかわらず研究の用語を持っていないというのは、縦の行政の流れの中でしか舗装は生きていかない、だから横の“ことば”がないわけですね。ですからそういう用語をつくっていくには、舗装をもう少しアカデミックというとちょっと語弊があるけれども、用語が行政の流れの用語じゃなくてさっきの構造理論とか、そういう横の連絡ができるような、学問的な思考を舗装の中でしない限りは、絶対に用語がみつからないと思うんです。

そういう意味では空港舗装やプレイグラウンドなんかに私はものすごく期待しています。

佐藤 土木学会で、私編集委員をやっていたんだが論文報告書なんか舗装に関して民間会社からの投稿はほとんどないんです、道路会議では論文数が非常に多いとのことですが、学会に対しては垣根みたいなものを感じているのかもしれませんね。舗装工学という1つの学問体系をつくって、できるだけそういう横の並びで、官民同列で自由にものが言えるような雰囲気ができてこないと、技術の進歩があるところでストップしてしまう……。

蒔田 確かに研究集会、あるいはシンポジウム等を設けるというのも1つでしょうが、具体的な仕事そのものを、共同で研究をやっていくというような場があってもいいんじゃないかな。とくに民間企業は実はかなり、とくに材料なんかではいろいろやられている部分が多いと思うんです。ただ企業の本質的な利潤追求のベースから、ノウハウその他があって、おそらくそういうのは外に出してこない。ところが考えてみると、舗装というのは公共事業が大部分ですから、どうもあまりノウハウを言っていると、なかなか日の目を見ない。その点民間企業の方にも理解を深めていただいて、官民で同じことを、1つの場でやるという研究の進め方、研究体制が必要でしょう。方法論さえみつければ具体化できるんじゃないかな。むずかしい点はいろいろあると思うんです。成果の帰属とか、それによって見

い出した新技術というのは、いったいどう取り扱うのか等々……。

舗装ではありませんが、私たちの研究室では、過去3課題について、現在2課題について、官民の共同研究をやっているわけです。費用負担も5：5、4：6でやったりで、1つの目的のために共同で研究していくと。官民合わせて、試験計画の段階から論議をさんざんやりながら、これからやっていこうとする目的に対し、いろいろな技術的な検討、準備、単独機関がやるよりは、より入念に、当面の目標を明確に打ち出して実施してきているわけです。そういうやり方が舗装にもあってもいいんじゃないか、官の機関ばかりじゃなく、民を含めてやる。

飯島 薮田さんのご意見は、非常にいいご提案だと思います。これから1つの研究室、あるいは研究所が、自分で解決するということはおそらくむずかしい。外部の機関との連携、共同研究というような形でことにあたっていく必要がありますね。

南雲 土研は幸い筑波に移転して、施設が立派になった。しかし容れものばかり立派でも中身はどうかわからないなどという冗談も聞かれます。また最近の民間の研究所は非常に立派な施設を持っていましたし、また優秀な学卒をそろえておられる。お互いに協力し合って効率的な研究を進めてはどうかという空気がないでもないですね。

久保 舗装関係だけで一堂に会せるような、北陸の第1回の道路舗装会議があったんですが、寒冷地の問題、舗装の問題とかなりテーマをしぼってはいますが、非常に有意義だった。いろいろな情報交換をしているうちに、自分はここが足りなかった、もう少しこの点を工夫しなくてはいけない。それから全体的に考えて、ここが抜けている、これはもういいとか、その辺をもう少し自由に話し合えるような場をつくる必要があります。その辺が他の部門と比べて舗装はちょっと不足している、欠けている面があるんじゃないかな。どういう形でつくっていくか問題はありますが、官・学・民という枠に余りとらわれないで、全体が一体化して

情報交換するというような場を、まずはつくるのが先決のような感じがするんです。

達下 基本的にはいまのご意見のとおりです。具体的にはどうやるかが非常にむずかしい。日本人の縦割社会の仕組と、そういう思想が非常に阻害していますね。とくに舗装の場合は事業量が多くて、かつ独立的にも舗装要綱のような基準ベースがあるから、まあまあやつていいけるという部分があって、通常の業務、事業を執行する上では特別の新しい研究しない限りは、何とかこなせるように、面倒みてくれているんですね。それを官・学・民はとくに「学」は間にはさまって、舗装を研究されたり勉強されている人は、いろんな意味で非常にご苦労されているということは目に見えるんですね。机の上だけじゃこれ議論にならんわけですね、舗装の場合。だからといって、なかなか民にくつづくわけにもいかんし、官にもおいそれとは……。それにはやっぱり何かうまい手だてをさしのべて、一種の知恵を活用する方法をみつけることが必要でしょう。

南雲 時間も大分オーバーしましたので、この辺で終りに致しましょう。いろいろの問題点について忌憚のないご意見をいただきました。これからのお話遂行上、どなたかのご発言にもありましたか、不必要に急ぐことなく、じっくりと皆さん方のご意見の内容を反映させていただきたいと存じます。

一応のまとめを申上げれば、研究テーマの取上げ方については、行政ニーズへの対応を優先するが、後追いに陥りがちなので、先駆的な性格を付与するような取組み方を心がけるべきであること。また今後のテーマでは、経験的な蓄積から理論的な手法による体系化をはかるべきであること。効率的な研究を遂行させるためには、研究者相互の情報交換、研究発表、共同研究などの場がもっと必要であること——など話し合われたと存じます。

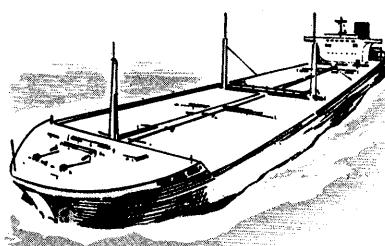
なお、日本道路公団試験所の田沢さんが都合により出席いただけませんでした。高速道路関係のお話しがうかがえず残念でした。

時事解説

石油備蓄について

●その3●

前2回にわたり、「石油備蓄法の内容」「新しく発足した国家備蓄」「民間企業が進めている各種プロジェクトの紹介」をいたして来ましたが、最終回として、備蓄を進めて行く上で問題点と、タンク建設に関する資金、コストの面について簡単に説明いたします。



鳥居功

昭和石油(株)基地室主査

1. 増加する備蓄量の問題

備蓄法に基づく90日分の備蓄義務は、あくまで民間企業に課せられたものであります。従って、国家備蓄として建設しているタンクを当にして、民間企業が備蓄を図ることは出来ません。90日分の備蓄原油を保管するタンクは、民間企業の責任と資金負担において為されなければなりません。また昭和55年3月末に90日分を達成したとしてもそれで終了するものではなく、備蓄法は恒久法なるが故にそれ以降も永続的に90日を維持することが要求されています。従って何パーセントかの石油消費量がある限り、それに見合う備蓄量の増加とタンク建設が必要になるわけあります。

この石油消費量の伸び率が、年々4パーセントあるとして、昭和55年以降は自然増分だけでも年度で約300万㎘もの備蓄量の積み増しが必要になるわけで、既に建設されているオペレーションタンクの貯油率を上げて、在庫の増加を図れるうちは未だ良いとしても、今後、それだけでは対応出来なくなり、すでに今日実行しているように、備蓄タンク建設を余儀なくされる時期が到来していますと、タンク建設に係る種々の障害や問題が生じて来ます。

即ち、これらタンク建設の立地上の問題、資金の問題、高騰する備蓄原油代の問題等々、民間企業では到底、手に負えない問題が山積しています。一般的には、石油会社の必要原油保有量は、操業上必要な40日~45日分あれば充分で、それ以上は余分な在庫と言わざるを得ず、これらを満すには、その1(第118号)において説明した程度の国の助成策だけでは駄目で、備蓄というナショナルセキュリティの立場からもっと抜本的援助措置が必要となります。

2. 備蓄タンク建設上の問題点

まず、原油タンク建設のための用地不足が挙げられます。また、地元対策、用地取得のための時間的長期化、及び造成からタンク建設完了までの工期の長期化があります。このため用地取得のための国の積極的取組みが要求されると同時に、消防法規制に基づく特例措置とか環境規制等に対する弾力的措置が望まれるところであります。

特に消防法は、昭和49年の事故を契機として、新消防法の改正が為され、並びにコンビナート等災害防止法の制定が為されるに至り、石油タンク全般にわたり大巾な規制強化を受けることになりました。規制強化の主なものは次の通りです。(D:タンク直径)

- (1). タンク外縁と敷地境界までの保有距離1.8Dに
- (2). タンク間距離1Dに

- (3) 防油堤内のタンク配列
- (4). 防油堤の容量、面積—最大タンクの110%以上
- (5). タンクと防油堤間の距離—タンクの高さの1.5倍以上
- (6). 仕切堤の構造
- (7). タンク底板の強化
- (8). 不等沈下規制
- (9). 2次防止堤の設置
- (10). 漏油検知装置の設置
- (11). タンク開放検査の実施—5年に1回の内部点検

新旧消防法によるタンク容量への影響測定はタンクが建設される用地の地形、タンクの種類、タンクの大きさ等によって差異が出来ますが、一般的に見た場合、矩形の用地に、管理室、ポンプヤード、配管敷きを確保して、ここに10万kℓ級原油タンクを主体に効率的にレイアウトしたときの差異は、約10万坪余の用地を対象にした場合、旧消防法では約140万kℓのタンクが建設可能であったのに、新消防法では約93万kℓのタンクしか建たないと云った具合に、34%もの容量不足が生じます。従って10万kℓタンク1基を建設するに要する所要坪数は、旧消防の8千坪から新消防の、1万2千坪に増加されたと云えます。石連では10万kℓタンク1基当たりに必要な用地を棧橋等総てを含んで1万5千坪と計算しているのは、新消防法の規制からみて妥当であると云えましょう。

3. 備蓄タンクの建設コスト

前回、国家備蓄計画と共同備蓄計画の各プロジェクトの内容を紹介しましたが、ここで建設コストの比較をしてみようと思います。但し、総てのプロジェクトが現在進行中乃至検討中であるため、最終事業費がまとまりませんので、推定の域を出ませんが、タンク容量1kℓ当たり総建設費を知ることによってプロジェクト相互の優位性が比較できると思います。

表-11のごとく各プロジェクトの用地代除き建設コストは様々ですが、新潟共備の場合は、将来共備会社が個別に建設、保有する予定の棧橋が一部除外されて

表-11 備蓄計画の建設コスト比較（除用地代）

	タンク総容量 (万kℓ)	総建設費 (億円)	建設コスト (円/kL)
新潟共同備蓄	113	200	17,700
北海道共同備蓄	508	1,060	20,900
むつ小川原国家備蓄	560	1,135	20,300
福井臨海国家備蓄	330	650	19,700

いるため、また、むつ小川原、福井臨海の国家備蓄は、フィーシビリティ中の建設費概算のため、多分に建設コストが低く出ている偏りがありますが、総じて、建設コストは、2万円内外で、これに用地代約5,000円～5,300円を乗せたものが、タンク容量1kℓ当たり総コストになるので、用地代の高低によって共備計画の優劣が決ってくると思われます。

従って、総コストが、3万円を超えるプロジェクトはフィージビリティがないと判断されても仕方ないと云えましょう。

4. 共同備蓄会社のタンク利用料

以上は単にタンク容量1kℓ当たりの建設コストを見たものですが、実際のタンクコストの設定は、複雑なものとなり、共同備蓄会社のタンク利用料の設定は、参加企業の、施設利用権の対価を基に設定されるものと解釈され、共備会社は、料率の設定に当っては、業種の性格上、倉庫業法の適用を回避するべく、種々工夫をこらして、参加企業とタンク利用協定の締結を検討していますが、いずれにしても、施設利用権の対価としての利用料と、共備会社に、原油の保管受払作業を委託することによって発生する委託作業料とから成り立つものと解釈されましょう。

この場合の利用料の算定は、減価償却費、固定資産税、修繕費、保険料、金利等から成り立っていますが、これらは、年次別コストとして計算されますが、共備会社の資金運用上可能ならば、例えば3年乃至5年単位の一定期間同一料率とした方が、参加企業、共備会社ともに種々の面から好ましいと云えましょう。なお共備の利用料設定に当っては、会社の性格上、ノンプロフィットが望ましく、これが利用料の低減に寄与することが期待されています。

以上述べた如く、共備会社の利用料は、最終事業費の確定と、コスト思想、コスト計算、会社の資金繰り等種々の要素により、参加企業との協定によって決定されますが、常識的には、公団の出資及び、建設資金の80パーセントを公団融資に期待する場合の施設利用料はタンク容量1kℓ当たり年間約4千円内外とみるのが妥当で、これを前後にして共備会社の優劣が論議されることになります。

5. 備蓄タンクの長期所要資金とコスト

石油連盟が、昭和60年度までに要するタンク能力、用地、資金、コストについて、昭和53年度にまとめた資料を表-12、表-13に紹介します。これによりますと、政府が備蓄の行政指導を始めた昭和47年から90日

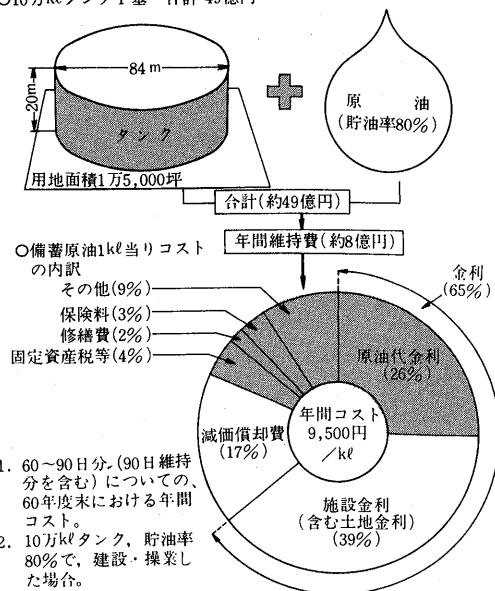
備蓄を達成する昭和54年度末までに必要なタンクは、10万kℓ容量で558基にも達し、これらタンク建設のための用地は638万坪を要し、必要資金としては、施設用地資金8,932億円、備蓄原油購入資金9,002億円、合計約1兆8,000億円という巨額なものになります。このコストは、施設用地の金利、償却費等で1,528億円、原油金利で900億円、合計約2,500億円で備蓄原油1kℓ当たりでは6,743円となります。

最初に述べましたように備蓄法は恒久法ですので、昭和55年以降も、90日分の備蓄在庫維持が要求され、これらは、年々需要の自然増分は、備蓄量の増加となつてはね返って来ますので昭和55年度以降、60年度末までには、更に、タンク基数で214基、所要用地321万坪、所要資金は施設用地で6,742億円、原油購入資金4,247億円、合計約1兆1,000億円、施設用地コストは1,391億円、原油金利で425億円、合計約1,800億円、備蓄原油kℓ当たり10,691円となり、備蓄資金、コストは將に天文學的数値になり、石油企業の屋台骨を揺さぶるところに来つつあることを充分認識して、我々は、今後の備蓄問題に取組んでいかねばならないと思います。

(おわり)

表-12 石油備蓄のための費用

○10万kℓタンク1基 合計49億円



注:1. 60~90日分(90日維持分を含む)についての、60年度末における年間コスト。

2. 10万kℓタンク、貯油率80%で、建設・操業した場合。

表-13 昭和60年度までに要する石油備蓄能力・用地・資金・コスト

	90日備蓄を達成し、かつこれを維持するための、50年度以降60年度末までの10年間の所要量					47年度以降 60年度末までの合計 ④+⑤+⑥	
	90日備蓄を達成するための、備蓄計画開始(47年度)		以降54年度末までの所要量 (小計) ④+⑤	90日維持分 (昭和55~ 60年度末) ⑥	(再計) ⑤+⑥		
	45~60日 (昭和47~ 49年度末) ④	60~90日 (昭和50~ 54年度末) ⑤					
備蓄量	1,424万kℓ	2,177万kℓ	3,601万kℓ	1,699万kℓ	3,876万kℓ	5,300万kℓ	
タンク能力 (10万kℓタンク基数)	2,847万kℓ (285基)	2,721万kℓ (273基)	5,568万kℓ (558基)	2,123万kℓ (214基)	4,844万kℓ (487基)	7,691万kℓ (772基)	
用地	228万坪	410万坪	638万坪	321万坪	731万坪	959万坪	
資金	4,869億円	13,065億円	17,934億円	10,989億円	24,054億円	28,923億円	
コスト (備蓄原油) 1kℓ当たり	549億円 3,856円/kℓ	1,879億円 8,632円/kℓ	2,428億円 6,743円/kℓ	1,816億円 10,691円/kℓ	3,695億円 9,534円/kℓ	4,244億円 8,008円/kℓ	

注) ①コストは、当該期間の最終年度分(1年間)のものである。

②数量は、「54~57年度石油備蓄目標」に基づく備蓄量と58年度以降同目標をベースに推定した備蓄量とによって算出した。

③原油単価は、25,000円/kℓとした。

名前考

鈴木敏夫

つい最近のことである。一面識もないコンサルタントの社長が私に面会を求めて來た。五十を過ぎたであろうか、実直そうなその人はおずおずと名刺を出しながら、「今日は営業ではなく、実は、所長さんと私が同姓同名なので、どんな方なのかぜひお目に掛りたく参りました。」とのことであった。なるほど、名刺を見れば、「Hコンサルタント取締役 鈴木敏夫」と印刷してあるではないか。一瞬、自分の分身にばったり出会ったような、妙に小恥しい気分になると同時に、過去の同姓同名にまつわる数々の思い出が鮮かに蘇って來た。

初めは確か二十数年前のことである。某大学を受験し見事に失敗した。ところが、友人の中には「君は合格している。」という者が出て來た。翌日の新聞を見てその謎が解けた。出身校が異なる同姓同名氏が見事合格しているのだ。すなわち、自分で合格発表を見るときは、番号と名前で確かめたのに、友人は名前のみで合格したものと勘違いしたわけである。それからが大変で、てっきり合格だと思い込んだ親類や知人から祝いの電話やら電報が舞い込み、誤解を解くのに一苦労、正に泣面に蜂であった。

次は、建設省に入って間がない頃のことである。日本道路公団にいる友人を訪ねた折に、何気なくその工事各務所の所長さんに紹介され、名刺を交換したとたんに、同姓同名と気付き両者とも大いに驚いたことがあった。大袈裟に言えば、とっさにお互に名刺を突き返されたと思ったほどである。その時は同姓同名のよしみもあり、当の事務所長さんに青二才だった私も大変親切にして頂けた思い出がある。

その後、交遊の枠も広まり種々の方々とお会いする機会も増え、現在までに直接お目に掛った同

姓同名氏は全部で5名となった。その他、直接お会いしていないとも、人伝に聞いたり、雑誌や新聞で見聞きした同姓同名氏がやはり5~6名ほどあろうか。

考えて見れば、「鈴木」という苗字が全国で一二を争うほど多く、「敏夫」もポピュラーな名であれば、当然「鈴木敏夫」同士が出会っても不思議はない。しかば、全国的には「鈴木敏夫」又は「スズキトシオ」は何人ほどいるのであろうか。くだんの社長に出会った後で、ふと思いついて調べて見ることとした。人名を調べるのには電話帳が最も手取り早い。そこで、勤めの帰りにデパートの電気カーナーに立寄って見た。全国の電話帳が一角にずらっと揃えてあるが、全てを調べるわけにもいかないので、東の東京と西の大坂、神戸を調べてみることとした。

その結果、東京の電話帳では、「鈴木敏夫」が149人、「スズキトシオ」(発音が同じもの)が525人あった。あの大きな電話帳の1ページが、ほとんど「スズキトシオ」で埋っているのを見るのはたのもしい限りである。大阪市ではそれぞれ、16人と65人、神戸市では、10人と21人であった。電話帳の中には、人名ばかりでなく屋号などの記載もあり、又、男性の数が女性の数より果然多い。そんな事を任意に抽出したページで率を取って計算の中に入れた。結局、人口百万人当たり、「鈴木敏夫」は東京では62人、大阪では12人、神戸で22人の割で存在する勘定となり、「スズキトシオ」は同じく人口百万人当たり、東京では219人、大阪では48人、神戸で46人の割で居る計算となった。東京の率が高いのは、鈴木という姓が日本の西より東に多いことによるのではないかと思う。事実、関西や九

州に転勤して来てみると同姓の鈴木さんに出会う機会がぐっと少なくなってきた。これらから推定するに、日本全国には文字通りの同姓同名「鈴木敏夫」が4千~5千人程度、「スズキトシオ」が1万4千~1万5千人程度居ることとなるが、いかがなものであろうか。

次は、私の商売「道路」の名前の話である。京都は、ご存じのように街路が碁盤の目になっていて、縦（南北）の通りにも横（東西）の通りにも、大小を問わず名前が付けられている。それどころか、私の住んでいる山科では、東山連峰により旧市街地と隔離しているのに、十年ほど前に開通した国道一号（東山バイパス）のことを「五条通り」と又は、「五条バイパス」と呼んでいる。もちろん、東山トンネルを介して旧市街地の五条通りに接続していることに由来している。同様に旧国道（現、府道四ノ官四ツ塚線）も三条通りと呼ばれるのが普通である。これなら誰が聞いても、市内へ入ればどのあたりに出るのかすぐわかり、又、近所の人にとっても、お堅い号線名や府道名より愛着も涌こうというものであろう。

京都の通りの中にいろいろなはやし唄さえついているものがある。いちばん知られているのが「まるたけえべす」で、これは東西の通りである。

丸太町 竹屋町 夷川 二条 押小路 御池
まるたけえべすに おしおいけ

姉小路 三条 六角 鮎薬師 錦小路
あねさんろっかく たこにしき

四条 綾小路 仙光寺 高辻 松原 万寿寺 五条
しあやぶったか まつまんごじょう

この唄は、鞍馬口通りから始めて南へ数えていく。又、こんなユーモラスなものもある。

坊さん頭は丸太町、つるっとすべて竹屋町、

水の流れは夷川、
二条で買った生薬を、
ただでやるのは押小路、

一条通りから南へ、通りの名所、特色を折り込んだCMソングぱりのものもある。

一条戻り橋 二条生薬屋 三条のみすや針
四条芝居 五条の橋弁慶に
六条本願寺 七条の米相場 八条筍掘り

横の通りに対して、縦の通りのあるが、これは短かい。

寺町 御幸町 魏屋町 富小路 柳馬橋 堺町 高倉
てらのごこ ふやとみやなぎ さかいたか

間之町 東洞院 車屋町 烏丸
あいのひがしで くるまからすま。

人に所を聞かれて教えるとき、これらのはやし唄を口ずさみ、指を折って道筋を数え、そして、お上りやりして、お下りやりしてと教えるのが京の人々の習習である。

名前について、とり止めもないことを書いてしまったが、確かに、名は体を表わすで、名前は大切である。事実、トンネルや橋梁の名前、はたまた道路の名称を付けるのに一苦労も二苦労もすることがある。悪くすれば、地元とのトラブルにさえ巻き込まれかねない。しかし、道路についていえば、路線名とは別に愛称が付けられることが望ましい。そうして、これらの愛称が親しみをもって人々の口に上って行くことが重要である。逆に言えば、愛称が付けられ、それに人々が愛着をもつような道路作りを行うのが、我々道路屋の任務だといえようか。

〔建設省 兵庫国道工事事務所長〕

特集・アスファルト舗装の構造設計に関する最近の動向

アスファルト舗装技術研究グループ・第2回研究報告

阿部 賴政

本特集はThe Fourth International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavementsに発表された全論文の要点をとりまとめたものである。

さきにアスファルト誌117号で紹介した「アスファルト舗装技術研究グループ」では、ブラック、わだち掘れの研究の後に、この国際会議の論文をとりあげて輪講してきた。その方法としては、各論文の担当者が、それぞれをレポート用紙10枚程度に要約して紹介し、それをもとに討論する方法をとった。論文の内容がきわめて高度なため、また論文そのものがかなり圧縮して書かれているため理解の困難な部分もあったが、毎回2~3編ずつのペースで進み54年4月で読了した。全論文53編の要約はアスファルト協会に保管してあるので必要に応じ閲覧することもできよう。今回の特集は、それをさらに簡単にまとめて読者に紹介しようとするものである。紙面が限られているため舌足らずの感は否めないが、情報過多の折からこのような形で一覧しておくのも一つの方法であろう。執筆に参加したグループのメンバーは別表のとおりである。

ここにとりあげたアスファルト舗装の構造設計に関する国際会議は、1962年に発足して以来、5年毎に開催され、今度で第4回になる。第1回、第2回の会議は主として理論的設計法の基礎づくりであった。この頃、AASHO道路試験結果が理論的に検討され、また各種材料試験の成果も数多く発表された。これらを受けた第3回は、理論と現実のギャップを埋めることを中心が置かれた。ここでいう理論とは、多層弾性論またはそれに準ずるものと大まかには解釈してよからう。

すなわち、この国際会議は、Post AASHOとでも呼ぶべき性格を持ったもので、従来の経験的な設計法を理論的な方向にという大きな流れが底辺にある。この間にコンピューターが広く普及し、いくつかのプログラムが開発されたため、理論的な研究がかなり容易になったという背景も見逃せない。

第4回は「基本的な材料試験結果に基づいた上、あらゆる荷重条件、環境条件などに適用できる設計法」の提案が主要目的となっている。この条件を完全に満足できるような設計法の確立はきわめて困難であろうが、各研究機関がこの方向に沿って精力的に努力していることは、論文の随所にあらわれており、参考にすべき点も多い。

第4回で顕著な傾向としては、舗装をシステム的にとらえようという試みがあげられる。VESYS II Mに關した一連の論文がその代表例であるが、完全な舗装設計法としては、このような方向が今後の主要課題と見なされているようである。また、5年に1度というこの国際会議は、最近ではAAPT, H, R, B系よりも重要視されてきた感がある。その意味では、構造設計に關する重要な情報はほとんどこの53編の中に含まれているのではなかろうか。本特集を索引がわりに使用して原文にあたられることをおすすめしたい。

技術研究グループでは現在、R.Haas and W.R.Hudson著の“Pavement Management System”を輪講中で、7月末に読了する。月2回の会合に欠席はほとんどなく、毎回15名以上のメンバーが集まっており、閉会後、有志の二次会も頻繁になってきている。

〈抄訳執筆者メンバー〉

阿部 賴政	日本大学理工学部	小坂 寛巳	首都高速道路公団第二建設部設計課
阿部 栄三	シェル石油アスファルト部	古財 武久	大成道路技術研究所
阿部 忠行	東京都土木技術研究所	塙 尻謙太郎	東亜道路工業綜合技術研究所
荒井 孝雄	日本舗道技術研究所	関根 幸生	丸善石油研究所
井上 武美	日本舗道技術研究所	田井 文夫	東京工業大学工学部
内田 淳一	日本道路技術研究所	林 誠之	日本石油中央技術研究所
大島 剛	大林道路技術研究所	福手 勤	運輸省港湾技術研究所
太田 健二	日瀝化学工業技術課	松浦 精一	日本道路技術研究所
大坪 義治	日瀝化学工業技術研究所	山内 幸夫	日瀝化学工業技術研究所

The Fourth International Conference on the Structural Design of the Asphalt Pavements抄訳集

①.著者名、原文題名 ②.和文題名(抄訳者名) ③.目的 ④.研究方法 ⑤.研究成果 ⑥.抄訳者のコメント

- ①. F.Finn, C.Saraf, R.Kulkarni, K.Nair, W.Smith, and A.Abdullah; "The Use of Distress Prediction Subsystems for the Design of Pavement Structures," pp.3-38.
- ②. 舗装構造設計のための破壊予測サブシステムの利用について・アメリカ・(山内幸夫)
- ③. 応力, 歪, たわみのパラメーターを用いて, 舗装の破壊形態(疲労クラック, わだち掘れ, 低温クラック(温度応力による))の予測を試みるものである。
最終的には, これらの破壊形態を Pavement Management System のなかでメンテナンス, Rehabilitation との関連として, とらえることを期待するものである。
- ④. 疲労クラック, わだち掘れ, 低温クラックについて AASHO 等のデータと比較しながら, 破壊形態の予測プログラムを作成する。
- ⑤. 1). 疲労クラック
室内での疲労試験と現場データ(AASHO の道路試験)とのギャップをシフト・ファクターの導入により解決し, 疲労クラックの予測式を提案した。
2). わだち掘れ
わだち掘れに対して, アスファルト層厚を 6 インチもしくは以下と, 6 インチ以上に分けて予測式を提案した。
3). 低温クラック
低温クラックに対し, 気温, スティフネスを考慮し, 温度応力 200psi 以上の混合物については, 低温クラックの危険性のあることを示唆した。
以上のことから, 疲労クラック, わだち掘れについては PDMAP, 低温クラックについては COLD と呼ばれるコンピュータープログラムの開発を行ない, アスファルト舗装の評価が行なえることを示した。
- ⑥. このプログラムの実用性状との比較検討が期待される。

- ①. A.I.M.Claessen, J.M.Edwards, P.Sommer, and P.Ugé; "Asphalt Pavement Design - The Shell Method," pp.39~74.
- ②. アスファルト舗装の設計——シェルの方法・オランダ・(阿部頼政)
- ③. シェルでは, 弹性理論を中心とし, 材料実験を補助とした研究により, アスファルト舗装の構造設計法をほぼ完成させたが, 本論文は, その概要と基本的な考え方を示したものである。1963年に発表された "Shell Design Charts for Flexible Pavements" では, すでにアスファルト層下面の引張歪と路床上面の垂直圧縮歪に基準値を設定する考え方を明らかにしていたが, 改訂版ともいえる今回の設計法でもこの基本的な考え方は変わっていない。しかし, 前回の設計法に比べると内容的には格段の差があり, その特徴は次のようにまとめられよう。
1). 温度の影響を取り入れて広範囲の地域に適用できるように改良したこと。
2). 各種の代表的な混合物を取り入れたこと。
3). 設計の最終段階でわだち掘れによる採否の判定を設けたこと。
4). 利用者に便利な Manual を作製したこと。
- ④. 弹性理論によるプログラム BISAR で計算した応力, 歪と, 疲労, クリープなどの材料特性を比較検討することにより, 設計法を確立している。
- ⑤. 月平均温度, 交通量, 各層の材料特性など基本のインプットデータから舗装構造を決定し, さらにその舗装がわだち掘れに対して安全かどうかのチェックができるようになっている。
- ⑥. 本論文だけで設計法の概要はつかめるが, Manual がなければ, 実際の設計はできない。しかし, シェルグループの過去の研究は, 本論文に集約されているので, 是非一読されることをすすめたい。

- ①. W.G.Bleyenberg, A.I.M.Claessen, F.van Gorkum, W.Heukelom, A.C.Pronk; "Fully Monitored Motorway Trials in the Netherlands Corroborate Linear Elastic Design Theory," pp.75~98.
- ②. 測定装置を十分備え付けたオランダのモーターウェイ試験区間における線形弾性設計理論の確証
・オランダ・(田井文夫)
- ③. 線形弾性理論の適用性の検討を目的とし、材料特性などの変動による影響を理論計算で調べ、次に測定値と計算値の比較を行っている。
- ④. 荷重車は輪荷重1.4~2.8t, タイヤ圧7kg/cm², 走行速度2~45km/hである。荷重車の横断方向走行位置を変化させ、走行荷重によって生じる歪、表面たわみ、土圧および温度を測定する。理論計算にはBISARプログラムを使用する。
- ⑤. 舗装の挙動は線形挙動であり、測定値と計算値は一般に一致している。縦方向歪の方が横方向のものよりも一致している。アスファルト層上部の歪は、深さと荷重の横断方向位置に左右され、またポアソン比や接地面積の形状によっても影響される。(理論計算によれば、アスファルト層上部の歪は、アスファルト層のポアソン比の減少とともに減少し、また長円接地面積の適用によっても減少する。)
- ⑥. 歪、表面たわみ、土圧の測定値が数多く報告されており、参考となる。なお結果は標準荷重あたりの値とアスファルト層のスティッフェネスの関係で表示されている。

- ①. William J.Kenis; "Predictive Design Procedures—A Design Method for Flexible Pavements Using the VESYS Structural Subsystem," pp.101~130.
- ②. 設計方法—VESYS構造設計システムによるたわみ性舗装の設計方法・アメリカ・(阿部忠行)
- ③. 舗装設計とは単に舗装厚の決定行為ではない。舗装の供用性予測、維持管理計画、舗装寿命予測、費用計画などを含めたトータルなものとして舗装設計をとらえるべきである。そのためには各行為をモデル化し、電算の導入を図る必要がある。このような背景のもとに舗装設計をシステム化した設計方法についてまとめた論文である。
- ④. モデルは1)応答モデル、2)破壊応答モデル、3)供用性モデルから成っている。各モデルの概要は次のとおりである。
 - 1). 応答モデル：舗装体の挙動特性を粘弾性理論によって求めている。サブプログラムとして、①Curve Fit Program, ②Stationary Load Program, ③Repeated Load Programがある。
 - 2). 破壊応答モデル：入力された条件に対して、破壊予測を行う。サブプログラムとして、④わだち掘れ予測、⑤平坦性予測、⑥クラック予測の各プログラムがある。
 - 3). 供用性モデル：破壊モデルによって予測される各破壊因子によって供用性を定量化する。
- ⑤. 利用者は、材料特性、仮定舗装厚、環境条件、交通条件、設計基準を入力すればまたたく間に各破壊が基準値を超える年数が判読できる。また、本システムを利用し、現場のデータをフィードバックさせ、さらに改良していくことによってより合理的なものとなろう。また今後改善する方向として、⑦多層化(現在3層系)、⑧費用、維持管理などのシステムの組込、⑨多くの輪数載荷も可能にすることなどがあげられている。
- ⑥. 舗装設計をシステム化するという概念から有意義である。なお、詳細についてはアスファルト誌118号の「研究者のノートから・その7」を参照されたい。

- ①. J.Brent Rauhut, R.C.G.Haas and Thomas W.Kennedy; "Comparison of VESYS II M Predictions to Brampton/AASHO Performance Measurements," pp.131~138.
- ②. BramptonおよびAASHOでの測定とVESYS II Mによる予測との比較・アメリカ・(小坂寛巳)
- ③. 本報文は、たわみ性舗装構造のシミュレーションモデルとして最も進んでいるといわれるVESYS II Mについて、BramptonおよびAASHOの試験舗装のデータを用いて、その有意性を検証したものである。VESYS II Mモデルは、材料の粘弾性特性を考慮した3層構造として主にMITで開発されたものであり、入力条件が非常に複雑(47変数)であるけれども、ひびわれ、わだち掘れ、PSIなど舗装の全体的な性状を予測し、評価することができる。

- ④. BramptonおよびAASHOの試験舗装（それぞれ4区間）での実測値とVESYS II Mによる予測値とを比較したところ、比較的入力条件が整っていたと思われる3区間で、わだち掘れの実測値と予測値とがよく一致した。
その他の区間でのわだち掘れならびに全区間を通じて残りの各性状については、よい結果が得られなかつたが、これはデータの不備とモデル内に不確実性要因の評価および材料特性の評価などが充分になされていないためと考えられる。
- ⑤. 結論としては、材料特性の評価ならびに各要因のモデル化を改善し、各種の入力条件を充分に整えていけば、VESYS II Mは非常に有意な予測モデルとなるであろうとしている。

- ①. J.Brent Rauhut, John O'Quin, and W.Ronald Hudson; "Sensitivity Analysis of FHWA Structural Model VESYS II M," pp.139~147.
- ②. 構造設計モデルVESYS II Mの高感度分析・アメリカ・(大坪義治)
- ③. 本論文は、FHWAでの解析結果をもとに、舗装の設計に関する総ての変数について、計算結果に与える影響度合を検討している。
- ④. VESYS II Mはたわみ性舗装のシミュレーションスタディーに関する最も有効なモデルであり、MITで発達し、MIT, FHWAで修正された粘弾性三層構造解析プログラムである。わだち掘れ、クラック、スロープバリアンス、サービスライフを予測するものである。
本論文は、設計に関する変数の計算結果に与える影響度合を検討している。クラック、わだち掘れ等の従属変数に対して、交通量、層の粘弾性状(クリープコンプライアンス、シフト関数)、温度など約30種の変数を取りあげている。
- ⑤. 各変数の増減(舗装厚の増減や、低温、高温の場合等)による従属変数の(+), (-)の効果(ひびわれの増減や、寿命の増減等)がグラフ化されている。
- ⑥. VESYS II Mの内容は私にとって高度で、理解するまでには至らなかったが、舗装を勉強する者にとって舗装の破壊形態や供用性に影響する因子の変動効果が詳述されているため、一つのテキストとして役立つと考える。

- ①. D.I.Anderson, J.C.McBride, and D.E.Peterson; "Field Verification of the VESYS II M Structural Subsystem in Utah," pp.148~157.
- ②. VESYS II M構造サブシステムのユタ州における現場照合・アメリカ・(松浦精一)
- ③. VESYS II M設計法によるたわみ性舗装のパフォーマンス予測方法の有効性と将来の完成見透しを調査する。
- ④. VESYS II Mプログラムによる予測値と現場調査結果とを、わだち掘れ量、PSI、クラック率について経時に照合する。予測値を算出するための入力条件として表層、路盤、路床それぞれの材料のクリープコンプライアンスと永久変形、表層材料の疲労データ、それに交通条件を採用している。各材料特性を得るのに用いた材料は照合の対象とする舗装と同一であり、特にアスファルトについては施工時から気密容器内で貯蔵し変質を極力避けたものを用いた。また交通条件は実測データを用いている。
- ⑤. 1). わだち掘れ量の予測値はほぼ妥当であったが、絶対量が小さく、もっと大きい領域での比較が必要である。
2). PSIの予測値は舗装が未破壊の期間では良く合っているが、破壊が起こり実際のPSIが急激に低下しあげると合わなくなってくる。
3). クラック率の予測値はかなり良く合っている。
4). パフォーマンスデータ、舗装材料、交通荷重、環境条件など、今後もっと広い範囲での評価が必要。
5). 温度に起因した横方向クラックを予測するモデルの追加など、いく分プログラムの調整が必要であるが、ユタ州では一度限定期にこの設計手法を用いて見る——としている。
- ⑥. VESYS II Mプログラムはかなりの規模の人員と金とを費して開発中のようにあり、また、現場照合にしてもユタ州のみならずいくつかの州で実施しているようである。現在はまだまだ不十分な点が多くあるようだが、近い将来、アメリカにおける中心的な設計法になるかもしれない。

- ①. M.G.Sharma, W.J.Kenis, T.D.Larson, and W.L.Gramling; "Evaluation of Flexible Pavement Design Methodology Based upon Field Observations at PSU Test Track," pp.158~174.
- ②. PSU試験舗装の現場観察に基づいたアスファルト舗装設計法の評価・アメリカ・(内田淳一)
- ③. ペンシルバニア州大学の試験舗装でアスファルト舗装の供用性 (performance) と破壊(distress)について, FHWAの電算プログラム (VESYS II M)の予測値と現場実測値を対比し, 予想値の妥当性を検討する。
- ④. 調査区間は基層厚と路盤厚の異なる8断面である。検討した項目はわだち掘れ量, クラック率, PSIについて行った。予測値に必要な電算プログラムの入力データは舗装断面, 交通条件, 月平均温度, 路床の含水比, 材料のクリープ, 永久変形, 疲労特性である。調査は18kip等軸荷重の約150万回まで行った。
- ⑤. 1). わだち掘れ量
実測値のわだち掘れ量は予測値と異なり, 車輪通過回数に対して指数的に増加する。これは試験路の排水が不十分, 車輪通過位置が一定, 路肩がなく測応力がない, 現場測定のわだち掘れ量は盛り上がり部分も含める, クラック部分からの雨水の浸入などの理由があるとしている。
2). クラック
予測値の方が実測値よりクラックの入る車輪通過回数が早い。これは予測値のクラックが舗装下面のクラックに入る時期を問題にしているのに対し, 実測値は舗装表面のクラックを問題にしている。このためクラックが表面に現われるまでかなりの繰返し荷重があるなどの理由としている。
3). PSI
PSIは路盤厚の少ない2区間を除いた他の区間でかなりの一一致が見られる。
以上, 予測値はかなり良いが今後これを活用するにはより一層の努力が必要としている。
- ⑥. VESYS II Mの試験舗装はAASHO試験舗装に次いでかなりの費用を費やし米国各州で行われている。VESYS II Mの舗装設計システムは各州の地域に合った設計法に改良していく意向が見られ, 今後かなり有用な設計法となり得ると思われる。

- ①. Jatinder Sharma, L.L.Smith, and B.E.Ruth; "Implementation and Verification of Flexible Pavement Design Methodology," pp.175~187.
- ②. たわみ性舗装設計方法の検討・アメリカ・(阿部忠行)
- ③. 本論文の目的は, 舗装設計のコンピュータ・プログラムの実施例と, その適合性を比較検討することである。
ここで取上げたシステムは, PDMAP (Probabilistic Design Method for Asphalt Pavements) と, VESYS (Visco-elastic System) である。
- ④. 前述のプログラムについて内容の紹介と入力などについて説明している。さらに, 入力に必要な諸定数を求める室内試験および得られた結果を一覧表で示してある。
- ⑤. 研究結果は結論として次のとおり述べてある。
 - 1). たわみ性舗装体各材料の特性値 (弾性係数, クリープコンプライアンス……etc.) を決定すれば, VESYSによって舗装破壊の予測が可能である。
 - 2). PDMAPで, 供用期間と各時期の含水比に対するレジリエント係数を与えればクラックの予測が可能である。
 - 3). 両プログラムとともに, たわみの予測は十分可能である。
 - 4). 試験室内で作製した供試体に比べ, 道路からの切取り供試体の疲労特性がかなり弱い。このようのことからも, 供用性の予測にあたっては供用期間が重要な因子である。
- ⑥. 本論文は, Session IIにおけるVESYSなどのプログラムシステムに関する一連の論文の一つである。独立した論文というよりも, 舗装設計の電算プログラムの適合性をフロリダにおいて検証した結果について述べたものである。

- ①. R.Frank Carmichael, Jan Eikelboom, Peter M.W.Elsenaar, and W.R.Hudson; "Selection of Pavement Models in a Rational Pavements System to be used by the Dutch State Road Laboratory," pp.188~208.
- ②. オランダ国立道路研究所で使用される合理的舗装システムにおける舗装モデルの選定（小坂寛巳）
- ③. オランダの条件に適したRational Pavement Management System の開発の第一段階として, System の構成要素となる各種の予測モデルの検証を行なった。舗装の供用性評価に当っては、わだち掘れ、ひびわれ、平坦性、すべり抵抗の4つを考えている。なお、開発の第二段階は、選定したモデルを結合してworking systemをつくることであり、最終の第三段階では、各種のテストを通じてそれを順次改良していく予定である。
- ④. 検証の対象としたのは、次のように各項目についてそれぞれ2つのモデルであり、試験舗装区間等のデータを用いてシミュレーションを行なった。
 - 1). すべり抵抗 A. The Center for Highway Research skid model.
B. The Federal Highway Administration skid model.
 - 2). わだち掘れ A. Austin Research Engineers rutting model.
B. The Federal Highway Administration VESYS II rutting model.
 - 3). ひびわれ A. Austin Research Engineers fatigue model.
B. The Federal Highway Administration VESYS II fatigue model.
 - 4). 平坦性 A. The System Analysis Method for Pavements, SAMP 5, evenness model.
B. The Federal Highway Administration VESYS II evenness model.
- ⑤. シミュレーションの結果、すべり抵抗については2つのモデルとも充分に適用でき、わだち掘れについてはAREモデルの方がVESYS IIモデルよりも適していることがわかった。これについては、クリープコンプライアンスを用いたShellのモデルでも充分であろう。また、ひびわれについては、やはりAREモデルの方がVESYS IIモデルよりも適当であった。さらに、平坦性については2つのモデルとも適用できるが、主としてオランダでは沈下に基づいているという理由から、両モデルとも改善が必要である。

- ①. W.R.Barker, W.N.Brabston, and Y.T.Chou; "A General System for the Structural Design of Flexible Pavements," pp.209~248.
- ②. たわみ性舗装の構造設計のための総括システム・アメリカ・(林 誠之)
- ③. これまで文献などで知られている幾多の技術を総括して、たわみ性舗装の構造設計のための1つの計算システムを作りあげ、これを空港のたわみ性舗装の構造設計に利用する。
- ④. 1). 計算システムを作るに当っては、たわみ性舗装の構造面での劣化はアスコン表層のひびわれおよびわだち掘れとして現われると考える。そして、ひびわれは表層アスコンの疲労、わだち掘れは路床内のせん断変形によってそれぞれ起るものと仮定する。
2). この設計法では、この2つの破壊様式を考慮し、与えられる繰り返し載荷に対する応答歪量が限界値を越えるか否かで判断する方式である。
3). 主サブプログラムとなる応答歪量計算については、多層弾性応答モデルをプログラム化した既存のBISTRO (Shell Oil Co.), CHEVRON (Calif. Res. Corp.), CRANLAY (Commonwealth Sci. and Ind. Res. Org.)などのプログラムが検討された。
- ⑤. この計算システムを用いることにより、舗装材料特性の変化、温度変化、凍結融解による路盤力の変化、横断方向交通分布、航空機の型式と重量の組み合せなどの場合について設計計算ができる。
- ⑥. ここではわだち掘れが路床内変形によって起こるものと仮定して扱っており、わが国でこの計算システムを応用しようとする場合には、特にこの点について注意する必要があろう。

- ①. B.Célard; "Esso Road Design Technology," pp.249~268.
- ②. エッソ道路設計技術・フランス・(林 誠之)
- ③. わだち掘れと疲労を考慮した道路設計法を開発する。

- ④. 1). 入力データとしては、気象、交通、路床の各変数、アスコンの動的特性値（これは動的係数、動的クリープ、単軸引張り－圧縮疲労の3つの試験を行って求める）を用いる。
- 2). 舗装体は3層弾性系にモデル化し、舗装体に生ずる全損傷は気象、交通の変数値に対応する損傷を積分して求める。
- 3). わだち掘れに関しては、Burmister and Jones理論による応力計算からのわだち掘れ量を計算する。
- 4). 疲労に関してはEisenmanの式から応力計算を行って歪量を求め疲労損傷を求める。
- 5). 疲労またはわだち掘れのどちらか一方について計算を行い、目標を満足できる設計条件であることが分ったら、他方の計算を行い、最終的に疲労とわだち掘れの両者が満足な状態となるまで繰り返す。
- ⑤. この設計法により、表層、オーバーレイ、固い路床上のアスコン層に発生するわだち掘れの深さの予測、ならびに疲労による損傷指数が求まり、各種設計条件に対する値を比較すれば、低コストの設計条件が求まる。
- ⑥. 1). 独自に動的試験法を開発している。
- 2). わだち掘れと疲労は別々にチェックするようになっているが、これはこれで一つのまとめた設計法という感じである。

- ①. Herbert F.Southgate, Robert C.Deen, James H.Havens, and William B.Drake,Jr.; "Kentucky Research; A Flexible Pavement Design and Management System," pp.269~297.
- ②. ケンタッキーにおけるたわみ舗装設計とマネジメントシステム・アメリカ・(阿部忠行)
- ③. ケンタッキーで採用している舗装設計方法は路床のCBRと等価換算軸重(EAL)を基にしている。この両者の関係と材料の弾性定数および厚さを仮定することによってアスファルト層に生じる歪と路床の永久歪を理論的方法(シェブロンの多層解析プログラムを利用)で求めることができる。一方、理論と経験とを結びつけて得られた歪の基準値によって舗装断面を決定する。
また、舗装設計(維持補修なども含め)は交通管理システムのほんの一部分であり、全体のシステムのバランスを保ちながら行うべきであるとしている。
- ④. 舗装設計に必要な入力：路床、路盤、アスコンの弾性定数、載荷重、設計曲線、破壊基準
舗装設計例
- 評価；軸重の破壊係数、わだち掘れ、供用性
舗装管理システム；現行の方法、新方法、経済解析
以上について、詳細な実験例、ノモグラフ、観測例について述べてある。
- ⑤. 全舗装厚に占めるアスコン厚の割合とアスコンの弾性係数から永久変形と疲労破壊に対する必要厚が求められる。この両者を合成したノモグラフを作成した。
また、舗装の設計→施工→調査→現況把握→詳細調査→基準値修正→経済解析→維持補修などの流れをフローチャートで示してある。
- ⑥. 設計例や詳細なデータがあり舗装設計を行う者にとって有意義である。しかし、論文の内容は新しいものではなく、1958年以来のケンタッキーの方法をまとめたものである。

- ①. J.Verstraeten, J.E.Romain, and V.Veverka; "The Belgian Road Research Center's Overall Approach to Asphalt Pavement Structural Design," pp.298~324.
- ②. アスファルト舗装構造設計に関するベルギー研究センターの全アプローチ・ベルギー・(田井文夫)
- ③. 材料の基本的特性にもとづいたアスファルト舗装の構造設計について述べ、2つのアプローチ(完全な合理的設計法、工学的な設計法)を示す。
- ④. 設計因子である乗り心地性、荷重条件、舗装内の歪と応力、材料の基本的特性、気象条件についてとりまとめている。疲労ひびわれ、わだち掘れの予測モデルを示している。

⑤. 合理的設計法は交通条件、材料の弾性率（季節条件を考慮）、疲労ひびわれおよび永久変形に対する設計により構成されている。なお凍結深さに対しては別に考慮する。最初に設計者の経験、工学的アプローチにより厚さを仮定する。交通は等価荷重の概念を適用するか、または寿命期間における一方の商業車両数に係数を乗じて8t等価軸荷重数に換算する。材料の弾性率は各材料に対する予測式を適用して求められるか、または実測する。ポアソン比はアスファルト層で0.3、その他で0.5とする。疲労法則、永久変形法則により、疲労寿命、永久変形を求め、設計基準と比較する。この方法で設計した試験区間のひびわれ、わだち掘れの測定値は予測値と良好な一致を示している。

工学的な設計法は設計チャートまたはコンピュータープログラムを使用する方法である。

⑥. 永久変動である季節変動の影響をtime-hardeningを用いて処理しているところに注目されたい。

①. S.F.Brown, P.S.Pell, and A.F.Stock; "The Application of Simplified, Fundamental Design Procedures for Flexible Pavements," pp.327~341.

②. たわみ性舗装の簡略化した基礎的設計法・イギリス・(古財武久)

③. 弾性理論を基本としたたわみ性舗装の構造設計法に、コンピュータープログラム化したものがあるが、それをより分かり易くするために、インプットデーターを少なくして簡単に舗装構造の設計を行うのが目的である。

④. 設計のインプットデータは、

- 1). 平均舗装体温度 (T)
- 2). 平均経済的速度 (V)
- 3). 疲労破壊までの標準軸重通過回数 (N)
- 4). 路床CBR

アウトプットデータは、

- 1). アスファルト混合物のスティフネス (S_m)
- 2). 表層底面に生ずる許容引張り歪 (ϵ_r)
- 3). 路床許容圧縮歪 (ϵ_z)

⑤. 本方法により求めた舗装厚と、Road Note No.29により求めたそれを比較した結果、混合物にロールドアスファルトを用いた場合、ほぼ等しい値となっている。ただし設計条件は、T=15°C, V=60km/hr, 路盤厚20cmであり、Nが $10^6 \cdot 10^7 \cdot 5 \times 10^7$, CBRが5%, 6%, 7%である。

⑥. 弾性理論を基本にしたアスファルト舗装の構造設計法を、簡略化して説明することは、理解を深めるために必要なことであろう。特に、アスファルト舗装を初めて学ぶ技術者や、学生等にとって、参考となると考えられる。しかし本論文をわが国に適用する場合は、検討する余地がある。

①. J.Eisenmann, U.Lempe, and G.Leykauf; "Method for the Structural Design of Asphalt Pavements," pp.342~352.

②. アスファルト舗装の構造設計方法・西ドイツ・(井上武美)

③. 多層弾性論による舗装構造設計法が新規の材料（特に凍土抑制層）を使用する場合に適合可能かを、舗装寿命の基準にアスファルト層底面の主剪断応力を採って検討している。

④. シェル開発のBISTROとBISARのプログラムを使用、入力値は温度、載荷時間および載荷荷重を変えて求めた動的剪断弾性係数に $2(1+\nu)$ を掛けて求めた A_s 層の弾性係数、凍結融解時と凍結時を考慮した路床の弾性係数、セメント安定処理層の弾性係数 $40,000\text{kg/cm}^2$ をとっている。 A_s 層の温度は各種舗装構造について実測した温度分布から年間を6区分し、さらに載荷時間も実測値の平均から 10c.p.s とした場合でEを変えるようにしている。また交通量は大型車100台/日が 10t 軸重換算値で150台/月に相当するとし、昼夜の交通量割合を2:1としている。 A_s 層底面の主剪断応力、引張応力および路床の圧縮応力を求め、各々の疲労抵抗をマイナー則により計算し、ほとんどの道路構造がまず剪断抵抗で疲労破壊することを示した。剪断疲労破壊の基準には、剪断応力と温度を変えて実施して求めた疲労曲線を使用、マイナー則が実際の道路での寿命予測に適わない理由を示しながらも、設計の考え方としては新規材料のリスクも考慮すれば有効と評価した。

- ⑤. AASHO道路試験結果を本設計法で検証した結果、ひびわれクラス1（幅の狭いクラック、PSI=4.0）を予測する疲労基準に相当、また、西ドイツの試験道路での結果も、本設計法が有効であることを示唆した。
- ⑥. 剪断応力を寿命評価の基準にとった点に興味がある。特にわだち掘れが問題の場合、著者等が示すように、車両の制動、加速による剪断応力を重ね合せて設計基準を考慮できる点である。

- ①. Franco Giannini and Gabriele Camomilla; "Procedure for the Structural Design of Pavement Used Italian Motorways," pp.353~369.
- ②. イタリア高速道路で使用された舗装体の構造設計の手法・イタリア・(阿部栄三)
- ③. 従来からある設計法をさらに実際に即したものにするため、設計上の計算に用いる要素（交通荷重、温度、地盤条件等）にEquivalent Factor(E.F.)を導入し、種々の環境条件に合わせた仮定を用いて、より扱いやすい形に変換し、これを用いるシステムの提案。また、疲労耐久性を推定するための算定式をあげる。
- ④. 1). 提案されたシステムにインプットするための要素の変換および仮定。
 a). 交通荷重
 b). 温度（気温と舗装体温度）
 c). 路床、路盤、基層、表層の弾性係数、ポアソン比
- 2). 疲労耐久性を算定するためのMiner's ruleの導入
 a). E.F.を導入して交通荷重の種類、頻度の変換
 b). 疲労耐久性算定式
- ⑤. 実際の測定に基づき、交通荷重を図表に整理し、次に示した疲労耐久性の算定式を提案。

$$X_{n+1} = X_n - \sum_i \frac{n_{at}}{N_{at}} \quad (n = 0, X_0 = 1)$$

X_{at} : 疲労耐久性 (n 年後)

n_{at} : 現交通条件によって決定される要素 (E.F.導入)

N_{at} : 実測に基づくモデルによって決定される要素 (Miner's rule のFatigue Curveより)

- ⑥. この設計法によって建設された道路は現在供用中であり、ひき続き調査が行われている。

- ①. T.E.Glynn, J.G.Byrne, R.W.Kirwan, and M.S.Snaith; "An Optimal Design Procedure for Multilayer Pavements," pp.370~382.
- ②. 多層構造の最適設計法・アイルランド・(古財武久)
- ③. たわみ性舗装の最適な層厚を決定するために、等値弾性層理論・板理論・層弾性理論を用いて解析する方法を提案している。
- ④. 最適な舗装厚設計法は、OPTLARと呼ばれている。OPTLARは、OPTIN(等値弾性層理論)・DEFLEX(板理論)・DYNASTCO(層弾性理論)のサブプログラムより、路床の応力・弾性たわみ・引張り歪・永久変形量を、さらにSNFAILより疲労寿命を、各層(表層・基層・路盤)の舗装厚構成を変えて求める。その後、目的関数(Objective Function)を、コスト・弾性たわみ・永久変形量・疲労寿命(または引張り歪)から求める。以上の計算結果を基に、設計基準と比較検討を行なった後、目的関数の最小のものを、最適舗装構成とする。目的関数(W)は次式で求める。

$$W = 50 \cdot C_s / C_m + 15 \cdot \delta_r / 0.5 + 25 \cdot \delta_p / 12.5 + 10 l_f / L_f (N_s, \epsilon_m)$$

ここに、 C_s : 一層当たりのコスト

C_m : 全層のコスト (最も価格の高い舗装構成)

δ_r : 弹性たわみ

δ_p : 永久変形量

l_f : 引張り歪か疲労寿命

- ⑤. 図(省略)に示すフローチャートに従って計算を行えば、最適な舗装厚構成が得られる。

- ⑥. 本論文は、特に、永久変形の問題と建設費用を重視したものとして興味ある設計法である。

- ①. R.A.Jimenez; "Asphalt Pavement Design for Arizona," pp.383~388.
- ②. アリゾナにおけるアスファルト舗装設計法・アメリカ・(大坪義治)
- ③. 本論文は、アリゾナに適した舗装の合理的な設計法を述べたものである。
- ④. 舗装は、表層(アスコン層), 路盤(粒状材), 路床からなる三層システムとし、その力学定数は $E_1=200,000$ psi, $\mu_1=0.35$, $E_2=20,000$ psi, $\mu_2=0.45$, $E_3=f(CBR, R, PI) \approx 1,500$ CBRpsi, $\mu_3=0.5$ なる基本値が定まっている。

荷重システムは、交通を軸タイプで5グループに分類し、設計車線に対してADTの占める割合を軸タイプに重みをつけて設計交通量としている。

環境の影響は温度と雨量を考慮し、AASHOでの地域係数RFと相関のある係数(アリゾナ特有)

$CF = RF^{0.46}$ を使用。地域によって、力学定数の基本値を修正している。

設計手法は、表層下面の引張応力 σ_r (対クラック) 路床上面の垂直圧縮歪(対表面変位、対わだち掘れ)を指標として、実際の σ_r , ε_v のくり返し数を仮定断面に適用し、設計寿命以上の疲労寿命を与える設計をする。

アスコン、路床土の疲労方程式は $\sigma_r, \varepsilon_v = aN^{-b}$ と仮定し、 $\varepsilon_v = 0.0105N^{-0.200}$ (Dorman, Metcalf), $\sigma_r = 1,800N^{-0.200}$ を使用、独自の実験では、 $a=1,000 \sim 10,000$, $b=0.2300 \sim 0.420$ の範囲にすべての材料があるとしている。

設計例を示すと、

Input. $E_1=200,000$ psi 地域係数で修正 $\mu_1=0.35$

$E_2=20,000$ psi $\mu_2=0.45$

$E_3=1,500$ CBRpsi 地域係数で修正 $\mu_3=0.50$

RF_1, RF_2, \dots 温度、雨量による地域係数

設計交通量

表層厚 H_1 , 路盤厚 H_2 の仮定

Output. 各軸タイプ毎に設計期間中の実際の応力、歪のくり返し数 N_a を算出。仮定断面の応力、歪の許容くり返し数を $N_a = (a/\sigma_r)^{1/b}$ より算出。 $N_a/N_0 \times 100$ より消費寿命を算出。軸タイプの合計について、 σ_r, ε_v による寿命のバランスがとれるよう材料定数 a, b を修正して最適な H_1, H_2 を決定する。

- ⑤. 路床土についての $\varepsilon - N$ の関係は現在もなお調査中であり、まだ実用の域には達していないとしている。
- ⑥. 設計の理論的意味は解りやすいが、フィールドとの対比が問題である。

- ①. M.B.Korsunsky and P.I.Telyaev; "New Method for Asphalt Pavement Design Adopted in the USSR," pp.389~401.
- ②. ソビエト社会主義共和国連邦で採用されている新しいアスファルト舗装設計法・ソ連・(塙尻謙太郎)
- ③. アスファルト舗装や等方等質材料のクラックは曲げ引張り抵抗力で、また、路床や粒状材料の永久変形は剪断抵抗力を基に弾性理論から式を導き出している。
- ④. 入力としては、交通条件(交通構成、接地圧、軸重交通量)、材料特性(剪断抵抗力、引張り抵抗力、弾性係数)および環境条件として、弾性体の多層構造で各層は水平方向に半無限であり、鉛直に作用する荷重は円形等分布荷重と仮定している。このモデルから、クラックおよび弾性変形に関する理論式を導き出している。また、サブ・システムとしては、排水と凍結抵抗の理論式も示されている。
- ⑤. 導き出した理論式により、現場条件で舗装設計の一例を示している。
- ⑥. サブ・システムで凍結抵抗の理論式が参考になる。

- ①. Kamran Majidzadeh, Leon O.Talbert, and Moses Karakouzian; "Development and Field Verification of A Mechanistic Structural Design System in Ohio," pp.402~408.
- ②. オハイオにおける構造設計システムの発達と現場立証・アメリカ・(大坪義治)
- ③. 本論文は舗装のパフォーマンスを力学的にモデル化した設計法を示し、新設舗装やオーバーレイの設計に適用しようとするものである。

- ④. 本設計システムは、クラックを対象にした疲労モデルからなる疲労システム（FMFD）と永久変形を対象にしたわだちモデルからなる変形システム（PDS）の2つのサブシステムを有している。

FMFDシステムは、オハイオ大学で発達したクラックの線形破壊の研究を基本とし、そのプロセスは、1)支持層の力学特性、2)舗装体の弾性係数をフィールド（ダイナフレクト使用）または室内試験で求め、3)交通荷重をロードメーターよりとらえ、4)統計学的に舗装寿命の変動を検討、5)舗装の疲労設計を実行する。ここに、クラック挙動を三形態に仮定しクラックの伸長度合をクラック近辺の応力状態で推測している。モデル式は一般に $dc/dN = AK^n$ (A, n : 材料定数, C : クラック長, N : 応力のくり返し数, K : 仮定した舗装構造での応力より推定された応力拡大係数) なる回帰式で表わされ、初期クラック長を仮定して疲労寿命（クラックが舗装表面に達するまで）を

$$Nf = \int_{C_0}^{C_f} \frac{dc}{AK^n}$$
 より決定している。

PDSシステムは、舗装を小分割し各分割層の永久変形の合計を舗装の永久変形とし、その一般モデル式は、

$$\gamma_p/N = \sum_{i=1}^n A_i(\bar{\sigma}_i, \omega, T_i) \cdot N^{-m_i} \cdot h_i + \sum_{i=1}^n A_i(\bar{\sigma}_i, W) \cdot N^{-m_i} \cdot h_i$$
 で表わされ、前項は舗装体の、後項は路床の分割層に対応している。（ γ_p : 永久変位, A, m : 環境や材料より定まる定数, h : 分割層の厚さ）

設計期間の1年間を4シーズン、2天候の8パターンに分類し、各条件下での γ_p を合計している。

- ⑤. AI法および疲労方程式 $N_f = C(1/\varepsilon)^m$ より指定された寿命との比較をした結果、ほとんど一致し、安全側の予測をするとしている。
 ⑥. 設計法に、金属で発達したクラック伸長理論を取り入れたモデル式は興味ある問題であるが、実際とのかねあいで、そのメリットは薄れ、一般に言及されている疲労方程式で処理できると考える。

- ①. J.K.Mitchell and C.L.Monismith; "A Thickness Design Procedure for Pavements with Cement Stabilized Bases and Thin Asphalt Surfacings," pp.409~416.
- ②. セメント安定処理路盤と薄層アスファルト表層からなる舗装厚設計法・アメリカ・(井上武美)
- ③. 路床、セメント安定処理路盤、 A_s 表層（厚さ2.5cm以下、あるいは表面処理）の舗装構造設計法について提案をした論文。
- ④. 対象舗装構造を多層弹性論が適用できるとしてELSYM 5のプログラムを使用して、安定処理層の底面荷重応力を求め、この応力繰返しでの疲労と、安定処理層裏面の温度差による反り拘束応力と荷重応力の組合せ応力がセメント安定処理材料の破壊強度以下になるようにして設計する方法。
 本設計法では、セメント安定処理層には施工直後にクラックが発生し、以降の硬化乾燥に伴う応力はないとの仮定と、 A_s 表層は安定処理層の表面剥離防止の機能のために荷重分散や太陽熱輻射での温度伝導効果もないと仮定しての設計法である。
 安定処理層の熱的性質（輻射熱吸収率、線膨張係数、比熱、熱拡散率など）と気象条件とから温度応力はBradbury手法から求める。路床E=100CBR, $\nu=0.5$, 安定処理層Eは繰返し曲げ試験結果または一軸圧縮強度から推定の値を使用して計算。疲労破壊の基準には、 $N=(142/\alpha)^{20.3}$ を使用。
- ⑤. 安定処理路盤の弹性係数、路床の弹性係数、輪荷重のタイプごとに設計厚を求める図を提示。
 この設計法で求めたセメント安定処理路盤厚を、Asphalt Instituteの方法およびシェル法と比較（相対強度係数に換算して T_A で比較）した結果、合理的な値にあると評価。
- ⑥. フルデプス・セメントコンクリート舗装の経済性が云々されたり*、薄層 A_s コン表層の耐わだちでの有効性が考えられる舗装構造であり、Waterways Experiment Stationでの試験舗装の成果をとり入れてるので参考になると思う。

* : Civil Engineering - ASCE Mar. 1978. pp.76~79.

- ①. Ervin Nemesdy, Imre Keleti, Tibor Boromisza, and László Gáspár; "Trends in the Development of Flexible Pavement Design in Hungary," pp.417~423.
- ②. ハンガリーにおけるたわみ性舗装の発展状況・ハンガリー・(阿部栄三)
- ③. ハンガリーにおけるより実際的なたわみ性舗装の設計法と補強法の確立。

④. 舗装体の多層構造システムを小容量のコンピューターで計算できるように簡素化されたプログラムを用い、有限要素法を導入して地盤の支持力を計算する。また、割裂試験により求まる弾性係数と疲労試験より求まる複素弾性率を関連づけ、割裂試験により疲労耐久性を予測する。

⑤. 1). 有限要素法による解析

- 通過交通量等が与えられたとき、応力はFergusの経験式で求まるものよりも小さくなる。
- 地盤支持力が小さい場合 ($CBR=3.5\sim 4.0\%$)、equivalent thicknessを増しても経済的とは言えない。
- 地盤支持力が小さい場合、冬期にアスファルトのスティフネスが大きくなると応力集中は考えられていたよりも表面に近い部分におこる。

2). 割裂試験と疲労耐久性

- 次式により割裂強度が求まる。実験によれば、温度によって、マーシャル安定度の大きいものが必ずしも、割裂強度が大きいとは限らない。

$$\sigma_h = \frac{2 \times P}{\pi \times 1 \times d}$$

$$E_h = \frac{P}{1 \times \Delta d} \text{ (Compression Modulus)} \quad E_{rh} = \frac{0.6 \times P}{1 \times \Delta S} \text{ (Elastic Modulus)}$$

⑥. 割裂試験と疲労耐久性との相関については推論にとどまっており、以後の疲労試験の結果待ちになっている。

①. L.E.Santucci; "Thickness Design Procedure for Asphalt and Emulsified Asphalt Mixes," pp.424 ~458.

②. アスファルトおよびアスファルト乳剤混合物の厚さ設計法・アメリカ・(塩尻謙太郎)

③. 二層弾性理論により、アスファルト・コンクリート、乳剤処理混合物およびセメントを併用した乳剤処理混合物の舗装厚さ設計法を検討する。

④. このアスファルト舗装設計法は、弾性理論により処理層下縁の水平引張り歪と路床表面の垂直圧縮歪の二つの限界歪から設計される。処理層の水平引張り歪の評価は、引張り歪より導き出した値に年平均交通量を乗じた damage factor を求め、その値が 1 に対応する舗装厚さを選定する。また、路床圧縮歪の評価は、路床の最大垂直圧縮歪と厚さに応じた処理層の弾性係数との関係と路床垂直歪と軸重換算の載荷回数との関係により舗装厚さを選定する。この選定された 2 つの設計厚の厚いものを最終設計厚さとする。

⑤. 実際の道路とこの舗装厚さ設計法との関係は、比較的によく一致した。

⑥. 特に、アスファルト乳剤混合物の構造設計では、乳剤混合物が地域の差によって最終弾性係数に達する時間因子も含まれていることが興味深い。また、容易に入手できる input data と複雑なコンピュータープログラムを必要としないことにメリットがあると思われる。

①. G.Battiatto, G.Ronca, and C.Verga; "Moving Load on a Viscoelastic Double Layer: Prediction of Recoverable and Permanent Deformations," pp.459~466.

②. 粘弾性 2 層構造上の走行荷重: 回復性変形と永久変形の予測・イタリア・(田井文夫)

③. 連續的に走行荷重をうける 2 層粘弾性非圧縮性システムの回復性変形と永久変形の計算を行う。

④. 粘弾性モデルはクリープコンプライアンス関数で特性化する。粘弾性的な回復性歪、永久歪は理論的な計算式により求める。

⑤. 単一荷重通過による歪の計算は、弾性解法でも十分正確であるが、くり返し載荷の場合は粘弾性的な取りあつかいが必要となる。路床材料が弾性的なレスポンスをする場合にのみ、残留歪は信頼性の範囲内にあるといえる。このとき、実際の弾性係数は残留歪の大きさに影響されない。

一般化マックスウェルモデルから予測される永久歪の分布はきわめて独特なものである。これは実験的なわだち掘れの形状との比較の際、非常に有効であることを示した。

⑥. 著者らは TRR 572 で半無限粘弾性体について解析し、本論文では 2 層弾性体にまで研究を進めている。しかし、理論解析が中心であり、現場データとの比較が待たれる。

- ①. S.F.Brown and C.A.Bell; "The Validity of Design Procedures for the Permanent Deformation of Asphalt Pavements," pp.467~482.
- ②. アスファルト舗装の永久変形に関する設計手順の妥当性について・イギリス・(山内幸夫)
- ③. アスファルト舗装の永久変形に関し、その予測式の妥当性について試験走路との比較を行ない検討する。
- ④. 永久変形の予測に関する基本データとして、室内において三軸試験を行ない、その結果を用いている場合が多い。しかしながら、三軸試験を用いる場合、引張り側を除きモデル化することはできる。
引張り側は、永久変形に大きな影響を与えるために、引張り側の処理を応力Invariantsの導入により解決することを提案した。
また、応力Invariantsを導入した永久変形の予測式の妥当性について、試験走路の結果と比較し確認した。
- ⑤. 1). 垂直応力、剪断応力等を用いての永久変形の予測は、現場における応力の状態を良く説明でき、現場と良い一致を示した。
2). アスファルト層下面の永久歪は、アスファルト舗装の永久変形に影響を与える。
3). 高い路面温度における永久変形は、弾性解析の非線形応力-歪の関係でよく説明できる。
このことは他の舗装材料でも同様である。
4). 著者らのわだち掘れの予測式を、Snaith, Van de Loo (アスファルト誌117号参照) らの予測式とをテスト・トラックを用いて比較すると、アスファルト処理層の永久変形は大きくなり、路床の永久変形は小さい値となる。しかし、測定されたわだち掘れ量は実測とよく一致した。
- ⑥. テスト・トラックにおいて予測式の妥当性について検討を行なっているが、現場においての比較検討が待たれる。

- ①. L.Francken; "Permanent Deformation Law of Bituminous Road Mixes in Repeated Triaxial Compression," pp.483~496.
- ②. くり返し三軸圧縮における歴青道路混合物の永久変形則・ベルギー・(関根幸生)
- ③. 永久変形を支配する因子をくり返し三軸圧縮試験により実験室的に評価することにより設計基準を設定する。
- ④. アスファルト、骨材粒度、空隙率をかえた5種の混合物を作製し、温度(15~50°C)、周波数(1~50Hz)、応力を種々にかえ、動的三軸圧縮試験に供した。結果をdynamic stiffness modulus $|E^*|$ と、creep curveによって考察した。
- ⑤. $\epsilon_p(t) = A t^B + C(\exp D t - 1)$ で示されるcreep curveの変数A, B, C, Dに対する物理的条件を検討し、剪断応力の最大値がtypical intrinsic curve以下の点に相当するならC=0となる。この条件は塑性破壊に対する設計標準として使える。また歴青混合物のcreep curveを2つのケースについて評価した。
1). 垂直応力が0から最大値に振れ、C=0である場合のcreep curveは次式で示される。

$$\epsilon_p(t) = K \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{|E^*|} t^B$$

ここで、Kは実験定数、tは時間。

2). より一般的応力下での永久変形を予測するためにエネルギー消失概念に基づく表現を試みた。

- ⑥. 実際の舗装体における挙動との比較がないので妥当性は不明。この分野に関してBelgian Road Research Centerで行なっている一連の研究の中間報告といった感じのもの。難解であり読みにくい。

- ①. S.Huscek; "Evaluation of Rutting Due to Viscous Flow in Asphalt Pavements," pp.497~508.
- ②. アスファルト舗装における粘性流動によるわだち掘れの評価・スイス・(林 誠之)
- ③. 粘性流動によって生ずるアスファルト舗装厚の永久変形を計算する方法を開発する。
- ④. 1). 線形弾性多層理論に基づく計算プログラムを用い、輪重下の舗装部分における静的な応力/歪分布を計算する。すなわち、BISARプログラムを用いて計算すると、各層における静的輪荷重による層厚変化としては、 $\Delta h(X, Y) = \epsilon_z \cdot h$ が求まる。
2). 次に車輪の進行方向(X)の速度は $V=X/t$ の関係を用い、静的応力分布を動的応力分布に変換すると、任意地点の変形は $\Delta h(Y, V, t)$ という時間の関数として表わされる。

- 3). 車輪通過によって生ずるすべての粘弾性層における不可逆変形を合計して、全わだち掘れ深さを求める。
- 4). なお、材料特性値は一軸圧縮クリープ試験によって求め、粘弾性特性はMaxwell要素によって表わし、わだち掘れに影響をおよぼす条件としては温度分布、輪重と数、横断方向の車両通過分布、車両速度を計算に入れた。
- ⑤. 1). スイスのチューリッヒ付近に5つの断面を持つ試験道路を作り、1972年から1976年春までのわだち掘れについて、実際の値と本方式による予測計算値との比較を行った結果、満足のいく関係にあった。
2). クリープ試験の結果はわだち掘れ現象と相関性があった。また、三軸クリープ試験は一軸クリープ試験より良いが、簡便さという点から一軸のはうが広まろう。
3). 本方式は各種のアスファルト混合物あるいは各種の構成による舗装の供用性を相対比較するのに有用であり、また舗装の不可逆変形のメカニズムを理解する上で助けとなる。
⑥. 一軸クリープ試験で得られるデータを加味した所がミソ。

- ①. R.W.Kirwan, M.N.Snaith, and T.E.Glynn; "A Computer Based Subsystem for the Prediction of Pavement Deformation," pp.509~518.
- ②. 舗装の変形予測のためのコンピュータを基礎としたサブシステム・アイルランド・(福手 勤)
- ③. わだち掘れ量の予測をするためのコンピュータプログラムを開発すること。
- ④. まず室内実験から、路床や舗装材料の永久歪と応力、載荷回数、温度との関係を求める。次に弾性理論を利用した有限要素解析によって路床や舗装の各要素に発生する応力を計算し、先に得られている実験結果から、その応力に伴なう各要素の垂直永久変形量を載荷回数の関数として推定する。これらを垂直方向に加え合わせることによって任意の載荷回数における表面の永久変形、つまりわだち掘れが計算されることになる。
このモデルの妥当性は円筒供試体や小規模な試験舗装の試験結果と比較することによって検討されている。さらに応力履歴(混合交通における異なる大きさの荷重の載荷順序の影響など)の取り扱いについても言及されていて、ここでは永久変形はその時の応力とそれまでの永久変形量によって規定されるという考えを用いて解析されている。
最後に、本モデルを利用して得られるわだち掘れ量から等価輪荷重係数が試算された。
- ⑤. 現在のモデルは有限要素解析のために分割された各要素が独立して永久変形を起こし、隣接要素の拘束を受けないものと仮定されており、実状にそぐわないところがある。さらに修正係数を導入すれば予想値と実測値を一致させることが可能となる。
- ⑥. このモデルからの計算値と実測値との大小関係は対象とした試験舗装によって大きく異なっているため、著者らの言う修正係数の導入を事前に行なうことがむずかしく、本方法をこのままわだち掘れ量予測の実用に供することは困難であると考えられる。

- ①. Frank R.P.Meyer and Ralph C.G.Haas; "A Working Design Subsystem for Permanent Deformation in Asphalt Pavements," pp.519~528.
- ②. アスファルト舗装における永久変形に関する設計サブシステムの検討・カナダ・(関根幸生)
- ③. 従来の予測法の簡略化を試み、フルデプス実舗装のわだち掘れと一致する簡単な回帰式を得る。
- ④. フィールドデータを集め、わだち掘れに関する因子の影響の度合を、温度調節、垂直、水平応力可変の electro hydraulic system、その他補助的測定装置を備えたhigh pressure triaxial chamber を有する装置により評価し、わだち掘れ予測式を立て、これを実地と対比する。
- ⑤. 永久変形を予測する最終段階の予測式を得た。この予測式の実舗装との適合性は良好であった。
なお、求めた予測式からフルデプスに関し、永久変形を最小に抑える最適条件を求めることができる。例えば、舗装厚以外の因子を固定すると種々な荷重条件下での最適舗装厚が求まる。このようにして求めた最適舗装厚はAASHOの結果と良い一致を示した。

- ①. C.L.Monismith, K.Inkabi, C.R.Freeme and D.B.McLean; "A Subsystem to Predict Rutting in Asphalt Concrete Pavement Structures," pp.529~539.
- ②. アスファルト舗装構造におけるわだち掘れの予測に関するサブシステム・アメリカ・(山内幸夫)
- ③. アスファルト舗装の永久変形は舗装構成各層の永久変形の総和であるとの概念にたち、くり返し三軸試験から永久変形を求めるものである。
この試みを実際の道路に適用し、その妥当性について比較検討を行なっている。
- ④. 室内においてくり返し三軸試験を行ない、路床土、粒状材料、アスファルト混合物の永久変形を求める。
なお、アスファルト混合物については現場コアについても実験を行なっている。
- ⑤. 1). アスファルト混合物の永久歪は下式で示される。

$$\varepsilon_z^p = R[\sigma_z - 1/2(\sigma_x + \sigma_y)]$$

$$\varepsilon_z^p = \text{永久歪}$$

$$R = \delta(T) N \bar{\sigma}^{n-1} t$$

$\delta(T)$: 温度の函数, α, n : 実験定数, t : 載荷時間
- 2). 1)の式を実際の現場に適用する場合、気温、交通荷重、交通量を考慮して各月毎の永久変形を求める。この永久変形を合計することにより、その道路の永久変形を求めることができる。
この場合注意することは、実験に用いた載荷時間と現場の載荷時間との関係を、アスファルト混合物の永久変形は載荷時間に比例することを利用して処理すればよい。
- 3). この方法を現場と比較した場合、正しいオーダーとして永久変形を予測することができた。
- ⑥. 実験データが若干不足（精度上の問題も含めて）しているので、使用する場合検討をするであろう。

- ①. E.N.Thrower; "Methods of Predicting Deformation in Road Pavements," pp.540~554.
- ②. アスファルト舗装における永久変形の予測方法・イギリス・(太田健二)
- ③. 平衡性、適合性および材料の挙動について必要なすべての方程式を満足する方法でアスファルト舗装の永久変形を厳密に計算することは困難であり、かつ時間を要する。したがって本法は、別に定めた応力分布に関連する材料の変形特性を実験的に求め、それをもとに永久変形を求めようとするもので、特にPulse LoadとMoving Loadとを分離して（以下分離的手法という）計算しようとするものである。
たわみ性舗装の最も一般的な破損の原因は走行軌跡部の永久変形によるわだち掘れであり英国における舗装の破壊の典型的なものである。わだち掘れの最終段階として疲労によるひびわれが起こり破壊へとつながる。したがって、このようなことからわだち掘れの予測法が設計上不可欠な状況に至っている。
- ④. 3つの方程式、1)平衡的要素方程式（構造の一要素にかかる力の均合い）、2)構成的要素方程式（材料に対する応力と歪の関係）、3)適合性要素方程式（歪構成要素に関連）の同時解答が理想である。即ち、関連する材料がすべて弾性体であれば問題はないが、実際は永久変形を考慮した2)式の導入が必要であり問題を複雑にする。したがってMoahvenzadehは線形粘弾性であると仮定し計算している。本法は代案として概算法（例えばRemain）により分離的手法による予測計算方法を用いる。
例えば、実際的に求めた変形-応力構成要素間の関係から舗装各点の変形構成要素をPulse LoadとMoving Load別に誘導し、さらに永久変形の縦、横の構成要素を誘導する。その他、横断方向のホイール走行分布を加えてプログラム化する。
- ⑤. 代表的な舗装断面について計算した例、表面変位に対する各層の寄与率、各深さにおける等荷重時間などが図表として示されている。

- ①. J.Bonnot, P.Autret, and A.De Boissoudy; "Design of Asphalt Overlays for Pavements," pp.557~588.
- ②. 舗装に対するアスファルトオーバーレイの設計・フランス・(松浦精一)
- ③. フランスにおいて、オーバーレイに関する研究は高速道路技術の重要な要素の1つである。この研究は1969年より始められた。研究の結果より舗装の解析法を成文化しオーバーレイの現場実験およびたわみ性舗装の主題を決めた。さらに、この研究経験、合理的な構造設計法等、そして室内実験および国道における試験区間の現場実験による舗装材の疲労特性に基づき、オーバーレイの構造設計を先に決めた舗装の解析法と関連づけることにある。

- ④ 古い舗装にオーバーレイを取り入れた舗装構造の設計の確証には、多層弾性モデルを使っている。この時、交通条件、気象条件は現場における観察結果より軸重の変化と舗装温度の変化を考え、等値交通と等値温度を用いる。この方法は舗装厚、オーバーレイ材料の組成、疲労寿命および旧舗装の支持力のバラツキによって生じる舗装の破壊（distress）の確率的性格を考えに入れようと試みている。distressの危険度は交通の関数として選んでおり、この方法はオーバーレイした舗装の将来の影響も考えに入れようとしている。
- ⑤ オーバーレイ設計法はオーバーレイ構造のカタログの形をとっており、旧舗装のオーバーレイでは旧舗装を36種に分類している。たわみと厚さにより、オーバーレイ厚はそれぞれの場合といくつかの交通量分類について計算している。セメント、スラグ処理路盤のオーバーレイでは、厚さは旧舗装上の交通量とたわみだけに依存し、アスファルト処理路盤上のオーバーレイは、厚さは交通量とたわみおよび旧舗装厚に依存する。これらは実際のオーバーレイ30個所の4～9年にわたる観察結果より確立されている。また、スラグ処理路盤、セメント処理路盤の場合も考慮している。
- ⑥ 等値温度の概念をオーバーレイの設計に取り入れている点が特に参考になる。

- ①. Harvey J.Treybig, B.F.McCullough, Fred N.Finn, Richard McComb, and W.Ronald Hudson; "Design of Asphalt Concrete Overlays Using Layer Theory," pp.589～628.
- ②. 多層構造理論を用いたアスファルトコンクリートのオーバーレイ設計・アメリカ・(内田淳一)
- ③. オーバーレイ設計を行うためのユーザーのマニュアルとして、疲労とわだち掘れ基準値からオーバーレイ厚を設計する方法を示している。
- ④. この設計法に必要な入力データは、1)たわみ試験、2)状態調査、3)交通データ、4)材料特性である。
材料特性は供試体の現場採取により層厚と室内試験から弾性係数を求める。路床の弾性係数は現場のたわみ量から舗装各層の層厚と弾性係数および室内の三軸試験値を参考に一連の図表から求める。状態調査により設計法を3つのサブシステムに分類する。サブシステムは、1)残存寿命のある既設舗装、2) AASHOで設定した2級ひびわれだけの舗装、3) 2級と3級のひびわれが混入している舗装に分類される。材料特性からELSYM 5 programを使用して疲労の計算に必要な表層下の引張り歪とわだち掘れ量の計算に必要な各層間の応力と歪を求める。最後にオーバーレイ厚を変化させ18kip等値軸重通過数と疲労およびわだち掘れ量の基準に必要なオーバーレイ厚との関係を算出し、疲労とわだち掘れに必要な設計厚の中から大きな方の厚さを選定する。
- ⑤. 設計手順を具体的に説明するため、例題を提示し、計算に使用のワークシートや測定結果を図表で説明している。
- ⑥. この設計法はオーバーレイを設計するために既設舗装各層の層厚と材料特性についてかなりの量の資料を必要としている。

- ①. N.W.Lister and C.K.Kennedy; "A System for the Prediction of Pavement Life and Design of Pavement Strengthening," pp.629～648.
- ②. 寿命予測と舗装強化の設計のためのシステム・イギリス・(太田健二)
- ③. 供用中の舗装の寿命予測とオーバーレイ厚の設計手法に関して現場での簡単な測定により、そのシステム化を図ろうとするものである。
したがって研究目的は、
1). 供用中の舗装の残存寿命の予測
2). 各種の交通条件に対応できるオーバーレイ厚の設計方法の確立
にある。
- ④. フルスケールの試験舗装、一般の供用中の各種構造からなる道路のたわみ量をベンケルマンビーム、デフレクトグラフを用いて測定し、たわみ量と累積通過軸数との関係を求める。さらにアスファルト舗装のわだち掘れ、走行軌跡部のひびわれとの関連を求め、PSI、たわみ量の限界値を仮定し寿命予測を行なう。併せて舗装強化策としてのオーバーレイ工事の構造、仕様を決定する。

- ⑤. オーバーレイが必要とされる限界条件は $PSI = 3.2$, たわみ量 $= 38 \times 10^{-2} \text{ mm}(20^\circ\text{C})$ と仮定される。また、舗装強化の手法として、1)延長方向のたわみ量の測定、2)たわみ量を低減する標準的構造の検討、3)対象区間の状況把握(目視観察、メンテナンスの歴史、使用材料のタイプ)、4)建設当初からの累積交通量またはオーバーレイ回数、将来交通量、5)道路の位置付けからみた経済性の限度を求める。つぎに、経済的な舗装強化策を、さらに5項目について検討したのち、8項目からなる手順で設計を行なう手法を確立している。
- ⑥. 現場データをフルに活用しシステム化したもので参考になる点が多い。わが国においても、このような手法の確立が望まれる。
なお、本手法の詳細なプログラムは1977年に刊行されている。

- ①. A.I.M.Claessen and R.Ditmarsch; "Pavement Evaluation and Overlay Design—The Shell Method," pp.649~662.
- ②. 舗装評価とオーバーレイの設計・オランダ・(大島 剛)
- ③. 舗装の維持修繕が経済的要因から重要視されている現在、現行の各舗装評価法およびオーバーレイの設計法に対し、筆者らはF.W.Dによる舗装評価システムと残存寿命の算定を含むオーバーレイの設計法を算定し、これらを道路舗装の他、空港舗装等にも適用してその実用性と適正について検討することを目的とする。
- ④. 筆者らの提案する舗装評価方法は、まず舗装材料が均質、等方性でヤング係数(E)とポアソン比(v)で特徴づけられる多層弾性体として舗装断面を考えた場合、その構造は上層(E_1, v_1, h_1)、非処理または処理路盤層(E_2, v_2, h_2)と路床(E_3, v_3 、無限層)からなる3層体と見なし、試験道路における舗装の応答は、最大たわみ量とたわみbowlの形状で特徴づけることができる。また載荷から距離rの地点のたわみ(S_r)と試験道路中心でのたわみ(S_0)との比(Q_r)によってたわみbowl形状のパラメーターが表わされる。 Q_r は現在の装置で測定でき、当論文ではこの Q_r を曲率のかわりに用いて解析している。
以上の舗装評価をもとにオーバーレイ厚を求める方法が示されている。
- ⑤. 筆者らが実施したF.W.Dによる舗装評価法とオーバーレイの設計法は実施工でも妥当性が確認され、あらゆる構造的問題を組込んだ合理的で完全な方法であると説明している。なお、これらの方法は多くの国でさまざまな舗装構造に適用され、他の方法で得られた数値と一致した。
- ⑥. 既設舗装の評価法あるいはオーバーレイ設計法として当論文で説明している方法は、従来の方法と比較し、より正確で合理的であると思われる。

- ①. A.C.Bhajandas, G.Cumberledge, G.L.Hoffman, and J.G.Hopkins, III; "A Practical Approach to Flexible Pavement Evaluation and Rehabilitation," pp.665~673.
- ②. たわみ性舗装の評価と修復のための実際的アプローチ・アメリカ・(松浦精一)
- ③. たわみ性舗装の修復を行うにあたっては、路線の重要性を加味したある一定の基準に基づいて、舗装が評価ならびに修復されることが、限られた費用を有効に活用する上で重要である、という考え方から、舗装の合理的な修復計画を提案する。
- ④. 修復時期を決めるためにTSI(Terminal Serviceability Index)の概念を導入している。道路はその重要度に応じてMFC(Maintenance Functional Classification system)によりクラス分けされ、各クラスに対して資金と施工能力に応じてTSIが決められる。TSIは修復限界のPSIであり、MFCの各クラスに分類される道路延長の例えば95%が満足(ユーザーが)している値として決められる。したがって、残りの5%に対して有効に資金が使われることになる。修復時期の推定方法とオーバーレイ厚の設計方法の概要を示す。まず、ロードレータにより定期的に舗装のたわみを測定し、環境因子に対して補正され標準化される。各TSIに対するこの値と破壊までの18kip単軸荷重数との関係から、修復時期を推定する。オーバーレイ厚(t)は、オーバーレイ前のたわみ(d_b)とオーバーレイ後の目標とするたわみ(d_a)とから次式で求まる。
$$t = 16.6 \log(d_b/d_a)$$
- ⑤. 提案した修復計画は有効な資金と建設能力に基づき、かつ最も修復を必要とする箇所を対象として選定するので合理的で実際的である。
- ⑥. PSIの考え方を基本とし、これを費用や施工能力といった現状にあわせて拡張応用している点は確かに実際的ではある。

- ①. Pieter De Kiewit, Peter C.Koning, R.Frank Carmichael, and W.R.Hudson; "Evaluation and Overlay Design for Flexible Pavements on Low Volume Roads," pp.674~696.
- ②. 軽交通量道路のアスファルト舗装に対する評価とオーバーレイ設計・オランダ・アメリカ・(内田淳一)
- ③. 軽交通量道路の維持修繕を合理的に評価するため、現場たわみの測定、層弾性理論を使用して、疲労とわだち掘れのモデルから必要なオーバーレイ厚を設計する方法を提案している。
- ④. このオーバーレイ設計法は4つのコンピュータープログラムを使用している。プログラムの内容と設計方法は以下のとおりである。1)PLOTA·program; ダイナフレクト等による各測定点の現場たわみを図示化する。2)ELSYM 5A·program; 室内試験等から求めた各層の材料特性（主に弾性係数）の妥当性を電算によるたわみ曲線と現場測定たわみ曲線との対比検討により修正する。修正した材料特性から舗装の各層の応力、歪、変位量を算出する。3)POTSLA·program; 交通量、歪、表層の疲労特性から舗装の残存寿命を評価し、オーバーレイの必要性を検討する。4)ACOVL·program; オーバーレイ厚を変化させ、AASHO試験データーから展開した疲労とわだち掘れの回帰式に各層の応力、歪、変位量等を代入して、疲労寿命とわだち掘れ量を求め、オーバーレイに必要な疲労とわだち掘れの舗装厚の中から大きな方の舗装厚さを選定する。
- ⑤. ポーランドの州道路の適用例で、オーバーレイの設計手順を示している。また入力データーの交通量の伸び率、設計軸荷重、各層の弾性係数等の変動による設計厚を算出し、変動の影響を検討している。
- ⑥. 本書P589~P628のTreybigのオーバーレイ設計法と類似のものである。既設舗装各層の性質と厚さによってかなりの量の資料が必要なことや弾性係数決定の手間がかかりそうであるが、資料の蓄積によりその資料から引用できれば、電算化で設計が簡便に利用できる。

- ①. M.D.Rafiroiu; "Optimal Design of Asphalt Overlays," pp.697~709.
- ②. オーバーレイの最適設計法・ルーマニア・(古財武久)
- ③. 弹性理論に基づいたオーバーレイの設計法で、設計基準を次のように定めている。
 - 1). 舗装（オーバーレイを含む）のエネルギーは、荷重によって生じる“たわみ”によるエネルギーと等しい。
 - 2). 届の底面に生じる引張り応力は、許容値より低くなければならない。
 - 3). 層の中心の剪断応力は、許容値より低くなければならない。
 - 4). 各層に最小舗装層厚を設けなければならない。
- ④. オーバーレイの設計は、次の手順による。
 - 1). 現舗装の調査および維持補修
 - 2). たわみ量を測定し、統計的処理をおこなう。
 - 3). 既設舗装の弾性係数を計算する。
 - 4). 許容たわみ量の計算。
 - 5). 舗装体のエネルギーとたわみによるエネルギーを計算し、オーバーレイ厚を算出。
 - 6). 引張り応力と剪断応力についてチェックする。
- ⑤. ④で示した手順によってオーバーレイの設計をおこない、“Lister”曲線と比較している。その結果ほぼ一致しているが、“Lister”曲線よりオーバーレイ後のたわみ量がやや小さい傾向にあった。本論文ではさらに、弾性理論と確率理論とから、確率モデルを求め、オーバーレイ後のたわみ量について、検討を加えている。
- ⑥. Lister, McCulloughらの舗装構造設計法を参考にした論文で、最適設計法であるとは言い難い。

- ①. P.G.Rufford; "A Pavement Analysis and Structural Design Procedure Based on Deflection," pp.710~721.
- ②. 表面たわみ量に基づくオーバーレイ舗装設計方法・オーストラリア・(阿部忠行)
- ③. 本研究の目的は、表面たわみ量のたわみ形状から舗装構造の設計およびオーバーレイ厚の設計を行うことの妥当性について検討することである。

- ④. オーストラリア・ニューサウスウェルズ地区における舗装の破壊の主な形態は交通荷重による曲げ応力によって生じるクラックである。そして、クラックが生じない舗装設計を行うために表面たわみに基づく検討がなされている。表面たわみ量はベンケルマンビームによるものが利用されている。従来、ベンケルマンビームによるものは、たわみ量(d)だけに注目しており、舗装の剛性と路床強度との合成したものを評価している。本研究では、たわみ形状を示すインデックスとしてスプレッダビリティ(Sp)を導入している。そして、弾性理論によってSp~dの関係を舗装厚と路床強度別に求めている。
- ⑤. 供用中の道路において、たわみを測定し、舗装の剛性、路床強度を推定し対処工法を検討する。
また、舗装の残存強度を $K = (D - at)/D'$ と式化している。ここで、D', D : オーバーレイ前後の等値舗装厚, a, t : スティフネスの等値比とオーバーレイ厚。
- ⑥. たわみによる舗装設計に必要な定数をまとめると次のとおりである。
- 1). 設計たわみ量 (d)
 - 2). 路床のスティフネス
 - 3). 舗装の残存強度 (K)
 - 4). 路盤材の相対剛性比
オーバーレイの設計例についても述べている。
- ⑦. 表面たわみ量のみでなく、たわみ形状をも考慮しているのが本研究の特色である。しかも、簡単な方法であり、本方法を試みることも有意義である。

- ①. P.Ullidtz; "Overlay and Stage by Stage Design," pp.722~735.
- ②. オーバーレイと段階的設計法・デンマーク・(古財武久)
- ③. 弾性理論に基づいた構造設計法の提案。構造設計法に弾性理論を適用する上で、重要でかつ困難な点は、各層の弾性係数の決定である。しかし、F.W.D (Falling Weight Deflectometer) を用い、数種のグラフや計算式から、弾性係数は正確に求められる。その時に、線形弾性体のみの構造と、非線形弾性体を含む構造とに分けて弾性係数を求める必要がある。
- ④. 本論文の内容は、次の5つのカテゴリより成り立っている。
- 1). 破壊状況
 - 2). 荷重と気候条件
 - 3). 弾性パラメーター
 - 4). 許容応力と歪
 - 5). 限界応力と歪
- ⑤. 本論文の中心となる点は、弾性係数を決定する方法について述べてあるセクションであり、弾性係数は、F.W.Dより求めるのが最も適切であるとしている。
多くの道路材料は、線形弾性体として計算されるが、非線形弾性体の場合、応力による弾性係数は、次に示す式で近似される。
- $$E = C \times (\sigma_1 / \sigma')^n \quad \text{ここで, } E : \text{弾性係数} \quad \sigma_1 : \text{主応力} \quad \sigma' : \text{基準応力} \quad C, n : \text{定数}$$
- 上式をもとに、荷重中心の限界応力や歪をもとめるいくつかの式が提案されている。
- ⑥. 構造設計法が主体であり、オーバーレイについては、不十分である。

- ①. W.S.Housel; "Structural Design of Asphalt Pavements and Control of Environmental Influence on Performance," pp.739~785.
- ②. アスファルト舗装の構造設計とパフォーマンスに与える環境の影響のコントロール・アメリカ・(田井文夫)
- ③. 材料の基本的な特性にもとづき、すべての荷重条件、環境条件等に適用できるアスファルト舗装の設計法を示すこと。
- ④. 土とそれに支持されている舗装の支持力を測定するための現場載荷試験の発展について概観し、粒状材料の基本的な特性を三軸圧縮試験、直接剪断試験で評価している。
- ⑤. 1). 設計方法は現場載荷試験から開発したものであり、その設計式は、 $p = Po = mP/A + n$, $Sp = SpH/A = Po - n$, $t = H = (Po - n)D/4Sp$ (q : 支持力, Po : 平均載荷応力, m : 周囲剪断応力($=SpH$), n : 生ずる応力, p : 周囲長, A : 載荷面積, D : 載荷板の直径, t : 舗装厚) である。
2). 密な粒状土や压接されている粒状材料の内部安定性がアスファルト舗装の設計を支配する。

- 3). コントロールすべき環境因子は、地下水位と関連づけた道路の勾配、凍結深さ、凍結しやすい土の置換などである。その影響を防ぐには、路床支持力を最大にすること、粒状材料をできる限り多く使用することであり、Michiganの設計および施工法にしたがうものとする。この方法が適用できない場合はMotl Committee Reportの勧告を使用する。

⑥. 現在、この論文の内容は参考にならないと思う。

- ①. G.H.Argue, B.B.Denyes, and G.Y.Sebastyan; "Pavement Management Design Considerations for Canadian Airports," pp.786~793.
- ②. カナダの空港のための舗装管理設計・カナダ・(福手 勤)
- ③. カナダの空港においては、既設舗装の評価や補修に要するコストが急上昇しているため、経済的な舗装管理システムの整備が必要となってきた。本論文はカナダにおける空港アスファルト舗装の管理システムを要約・紹介したものである。
- ④. カナダの空港アスファルト舗装厚は平板載荷試験から得られる支持力をもとに設計されている。その設計曲線は、13段階に分けられた航空機荷重をパラメーターとして、路床の支持力と舗装厚の関係として表わされている。
供用中の舗装の評価の測定項目としては、強度、構造状態(クラック、わだち掘れ、摩耗など)、平坦性、摩擦抵抗性が挙げられている。なかでも強度評価については、舗装表面で行なった平板載荷試験とその舗装厚から路床の支持力が推定できるグラフが用意されている。既設舗装の路床支持力と舗装厚がわかれば、その舗装厚を利用可能な航空機荷重がわかり、これを運航計画の資料として利用できることになる。
本論文では、その他に、カナダにおける空港舗装の維持・補修計画の考え方、カナダでは厳しい環境条件等により舗装に与える影響が非常に大きいことなどについてふれられている。
- ⑤. カナダでは、その厳しい自然環境を考慮した効果的な舗装管理システムが必要である。
- ⑥. ここで用いられている舗装の強度評価は、舗装強度を航空機荷重と同じ尺度で表わそうとするもので、英国で用いられているLCN法と類似している。カナダとわが国では気候、空港の数が全く異なるため、このシステムをわが国にそのまま導入することは困難だが、舗装の供用中に要するTotal Costを最小にする管理システムの考え方には参考になる点が多い。

- ①. Pavement Management Committee, Roads and Transportation Association of Canada; "Pavement Management Guide: A Summary," pp.784~818.
- ②. 舗装管理便覧：概要・カナダ・(小坂寛巳)
- ③. 本論文は、1965年に出版された "A Guide to the Structural Design of Flexible and Rigid Pavements in Canada" の改訂版である "Pavement Management Guide" について、その概要を述べたものである。
- ④. 1971年に出版された新しい便覧は、次の10項目から構成されている。
 - 1). 舗装管理の基本理念
 - 2). 組織的な投資の形式
 - 3). 投資の最適化
 - 4). 舗装の評価
 - 5). たわみ性および剛性舗装の設計
 - 6). 施工
 - 7). 補修
 - 8). データバンク
 - 9). 舗装管理の実施に対する指針
 - 10). 研究・調査に対する指針
- ⑤. 従来の便覧は、舗装の設計と評価のみに重点を置いていたが、新しい便覧は、経済性も含め多方面にわたっており、また、最新の技術を導入している。

- ①. L.Caniard and C.Peyronne; "The Consideration of Frost in the Design of Asphalt Pavements," pp.819~830.
- ②. アスファルト舗装設計における凍結の考慮・フランス・(荒井孝雄)
- ③. 舗装設計における凍結に対する新しい設計法の開発に関するもの。
- ④. 路床へ浸透する凍結指数を基本として、アスファルト舗装の力学特性、土質の凍結しやすさ等を考慮し、構造設計へ適用する方法。凍結指数に関しては、これまでに発表されたモデルよりも正確な数値モデルを使い、多層構造についても処理可能としている。包含されるパラメータは、
 - 1). 冬期の温度特性、標準的凍結指数を選定し合成する方法。
 - 2). 舗装を構成するAs材料の温度特性の決め方。
 - 3). As材料の力学的性状および温度の影響。
 - 4). 凍上および融解における土の耐荷力など。
 数値モデルでは舗装体内の温度変化の計算、土への凍結指数および凍結線の最終位置を予測する（これには幾つかの計算ダイアグラムがある）。
- ⑤. 温度計算結果によれば、3つの場合が可能である。
 - 1). As舗装による温度保護(しゃ断)が十分で、路床土の耐荷力損失がない場合。
 - 2). 温度保護が不十分で、路床土の耐荷力損失がある場合——この場合、As舗装の力学抵抗性が適正ならば、舗装構造に損傷は起こらない。
 - 3). 力学抵抗性が不十分な場合、舗装厚の増加（温度保護および力学性状の改良）または土の凍結しやすさを少くする（入れ替えを行う）ことのいずれかの方法をモデルが指示する。これらを基本として、6ステップによる設計法が考案されている。
- ⑥. わが国では凍結深さで考慮しており、路床土の質までは言及していない。また、凍結に対する考慮はわが国では一般性はないが、寒冷地の舗装設計方法として、一つの参考になると思われる。

- ①. Lynne H.Irwin; "Determination of Pavement Layer Moduli from Surface Deflection Data for Pavement Performance Evaluation," pp.831~840.
- ②. 舗装の供用性評価に対する表面たわみ資料による舗装の層弾性係数の決定・アメリカ・(松浦精一)
- ③. 舗装表面で得られた二次元表面たわみ形状と、多層弾性理論を用いたBISTRO電算プログラムにおいて各層の弾性係数を変数とした繰り返し計算から得られるたわみ形状とを比較し、両者が合うところでその舗装各層の弾性係数を決める方法があり、これを用いて試験舗装の評価をすることにより、その適用の可能性を立証する。
- ④. 40万ポンド総重量車を支持する重交通道路を対象とした8種類の断面の試験舗装において2種類の試験方法でたわみを測定し、このそれぞれの結果に基づいて各層の弾性係数を電算による繰り返し計算で、それぞれ推定する。たわみの測定方法はダイナフレクトによる方法（2～3分／点）と満載車による方法（1時間／点）であり、いずれも1回の載荷で同時に等間隔に5ヵ所のたわみを得ることができる。得られた各層の弾性係数に対して、これらの精度や基となるたわみデータの違いによる差を検討し、またこれらの弾性係数からの応力解析結果により舗装寿命の評価を行っている。さらにオーバーレイ設計への適用についても検討している。
- ⑤. 1). 得られた弾性係数の誤差は表層で10%，路床で3%以内であった。
 2). たわみ試験方法の違いにより得られる弾性係数の違いから、舗装各層の材料の非線型性、ならびに構造破壊の可能性が明らかになった。
 3). ダイナフレクトによるたわみ形状に対しては線型弾性理論がよくフィットする。
 4). 応力解析の結果から舗装寿命を予測でき、不満足な時はオーバーレイ厚を適切に決めができる。
- ⑥. データが少なく精度的に疑問もあるが、舗装各層の弾性係数の変化を経時的に把握できることは興味ある。

- ①. Ramesh Kher and W.A.Phang; "OPAC Design System," pp.841~854.
- ②. 舗装設計システム - OPAC ・ カナダ・(阿部忠行)
- ③. ユーザーの入力条件に対して、費用計算を含めた舗装断面を決定する電算プログラムとその利用方法について検討している。
- ④. 各入力〔1)基本的设计仕様, 2)路床条件, 3)供用性能の指定, 4)交通条件, 5)材料特性(材料の価格も)〕を電話によってIBM電算センターに指令すると、各種舗装構造と各費用〔1)初期施工費, 2)補修費, 3)利用者費, 4)維持費, 5)保険費〕が応答される。この結果もとに舗装選定委員会によって舗装構造を決定する。なお舗装寿命の予測モデルの基準としてRCIを採用している。RCIはAASHOのPSIにかかるので交通荷重と環境によって減少する指標である。また供用性は路床面のたわみ量と有意な相関があるとしている。そして、オーバーレイの設計方法は各層の等値係数の減少分を復元すればよいという考え方をしている。なお、等値換算厚における路床面上のたわみ計算にはOdemarkの方法によっている。
- ⑤. 結果の検討は、Brampton Road Testにおいて検証し、いくたびかの修正を行ってきた。現在、カナダのオンタリオ地区5行政区において実用化している。
- ⑥. 舗装設計を維持補修や予算まで含んだトータルシステムとしてとらえ、実用に供しているケースとして我が国においても大いに参考になる。また個々のモデル化は非常に単純であり、それを試行によって修正を繰返す方式をとっていることも特色の一つである。

- ①. Robert L.Lyton, Donald Saylak, and Daniel E.Pickett; "Prediction of Sulfur-Asphalt Pavement Performance with VESYS II M," pp.855~861.
- ②. VESYS II Mによるサルファアスファルト舗装の供用性予測・アメリカ・(荒井孝雄)
- ③. サルファアスファルト舗装が最近注目されて来ているが、現場供用性データが少ないと理由から、VESYS II Mプログラムを利用してその供用性予測を試みたものである。
- ④. 混合物中のサルファ量0~6%wtのサルファアスファルト(アスファルトはAC-20使用)について、骨材は石灰岩、安山岩を用い(粒度は米国アスファルト協会IVb粒度)、混合物の弾性係数測定、疲労試験、クリープテスト、永久歪測定を行い、結果を input できるようにモデル式を作り、次の条件を仮定して供用性予測を行っている。
 - 1). 弹性係数1,000kg/cm²の路盤の上に、弹性係数が4,200kg/cm²の路盤8 in, 10 in厚を設け、さらにアスコンまたはサルファアスコンを2 inおよび3 inのせたもの。
 - 2). 交通量は20年間で3,000から8,000台/日に増加する。
 - 3). 気候は寒冷、温暖、高温の3タイプを仮定。
- ⑤. 予測によるとサルファアスファルト舗装は、わだち掘れに強く、全体としての供用性指数はアスコンより高い値が予想され、好ましい結果を得ている。しかし、疲労クラック性状はアスコンより劣り、問題が残されている。
- ⑥. サルファアスファルト舗装は我が国では現在行われていない舗装であり、今後の問題である。サルファアは骨材的な面とバインダー的な面の両様を持ち、前者と考えればバインダー量不足となるので、疲労クラックに弱いことが予想される。

- ①. Y.Miura and T.Tobe; "Evaluation Existing Pavement Based on Deflection and Radius of Curvature," pp.862~875.
- ②. たわみと曲率半径による在来舗装の評価とオーバーレイの設計・日本・(大島 剛)
- ③. アスファルト舗装の維持修繕において在来舗装および路床を評価することが必要である。当研究は、その方法として舗装表面のカーベチャーによるたわみおよび曲率半径による舗装評価と路床の繰返し一軸圧縮試験(サクション条件を付加)による変形係数から舗装を2層体として解析し、次にオーバーレイの設計では舗装を3層体と見なし、実際に現場に適用して理論値と実測値とを比較評価し、合理的なオーバーレイ設計法を見出そうとする目的とする。

- ④. 舗装表面のカーベチャーによるたわみと載荷点中心附近に生ずる曲率半径から路床と舗装のスティフネスを求め，在来舗装の解析評価するものである。次にオーバーレイの設計では在来舗装の評価データをもとに在来舗装を2層体としたのに対し，オーバーレイの場合は3層体と見なし，路上での歪またはたわみに限界基準を設けた場合は路床と舗装に区分した構造とし，アスファルト処理層下面の引張り歪あるいは曲率半径に限界基準を設けた場合は，アスファルト処理層と支持層に区分した構造で検討を加えている。
- ⑤. 筆書らが提案する在来舗装の評価法およびオーバーレイの設計法を2種の現場に適用し検討した結果，計算より推定したたわみおよび曲率半径とオーバーレイ後の実測値とが近似であった。なお路床の評価は，現場のサクションを室内で再現し，繰返し一軸圧縮試験から得られた変形係数と対比してかなり正確であった。これらのことからカーベチャーによる在来舗装のたわみ，曲率半径および路床の変形係数等の資料により比較的簡便で合理的なオーバーレイ設計が可能であることが判明した。
- ⑥. 当論文で説明している方法は，路床の正確なデータを得ることができれば，簡便にしかも合理的なオーバーレイ設計法として注目される。

- ①. F.Moavenzadeh and B.Brademeyer; "A Stochastic Model for Pavement Performance and Management," pp.876～893.
- ②. 舗装の供用性と管理についての推計学的モデル・アメリカ・(山内幸夫)
- ③. アスファルト舗装の最適な維持管理に対して，建設費，維持費用等と供用性の面から検討を行なう。
- ④. 1). 3層系線形弾性体解析を用いて，荷重，気候条件，材料特性等を考慮して舗装体の応力，歪，変位を求める。
2). 温度履歴，交通荷重，材料の疲労性状等を考慮して，slope variance，わだち掘れ，疲労クラックを求める。
3). 舗装の供用性をサービス指標から検討する。
4). メンテナンスの方法(時期等)，費用および予算から経済性の解析を行ない，メンテナンスマネジメントから個々の舗装に対する格付けを行なう。
以上のことから舗装の供用性と経済性について考察する。
- ⑤. 1). 舗装の供用性は厚い舗装構造の方が，長い耐用年数を持つ。
2). メンテナンスコストは厚い舗装構造の方が少く，例えば6"-10"の舗装に比べ4"-6"は99%，3"-4"は192%の費用増がある。
3). 材料性状と舗装の供用性は関係があり，硬い材料(stiffer)の方が良い供用性を示す。
4). 舗装構造，メンテナンスの方法，費用と予算を検討し，道路の管理に対し最良の方法を選択する手段として用いることができる。
- ⑥. メンテナンスを行なったことにより生じる利益とメンテナンス費用との比較により，舗装のmanagementの検討を行なっているが，現場との比較を行ないモデルの妥当性について考察を行なうのが今後の課題であろう。しかしながら，このモデルの考え方は注目に値する。

- ①. Nihon Doro Kodan; "The Analyses of Asphalt Pavement Research Results on the Tomei and Chuo Expressways," pp.894～902.
- ②. 東名高速および中央高速道路におけるアスファルト舗装の調査結果の解析・日本・(塙尻謙太郎)
- ③. 東名高速および中央高速道路の調査結果から，①上部路床を含むTA(3)と10t軸重換算通過回数の関係，⑤わだち掘れ深さの予測モデル式の開発について検討した。
- ④. 舗装寿命の評価の基準として，一対比較法によるアンケート調査を基本とするMaintenance Indexを採用している。これはAASHOのPSIに相当するもので交通荷重による舗装状態によって増加する指標である。この指標を基に，上部路床を含むTA(3)と10ton軸荷重の累積通過回数との相関関係を検討している。また，わだち掘れの予測モデル式は，材料，舗装構造，環境，混合物等の32因子から特に影響のある6因子((1)表層混合物から抽出したアスファルトの針入度指数，(2)表層混合物の空隙率，(3)表層およ

- び基層に使用される骨材の種類, (4)年間の日照時間, (5)上部路床を含むThickness Index, (6)勾配係数から予測式を確立した。
- ⑤. 舗装寿命には、クラックによる構造上の舗装寿命とわだち掘れによる機能上の舗装寿命があることを確認した。また、わだち掘れ深さの予測モデル式は、土3.2mmを95%の信頼で予測できる。
 - ⑥. わだち掘れ深さの予測モデル式は、日本国内においても舗装断面の厚い所の調査結果から導きだされたものであるので、舗装断面の薄い道路への適応は考慮の余地がある。

- ①. 「Failure Models and Pavement Design and Rehabilitation Systems Developed and Adapted for Conditions Prevailing in the Nordic Countries」 pp.903~919, The Nordic Cooperative Research Project for the Application of AASHO Road test Results (STINA).
- ②. 破壊モデル、舗装設計ならびに補修システムの開発と、その北欧諸国への適用 (太田健二)
- ③. 舗装の設計と管理を結びつけたAASHOの道路試験結果(STINA)を北欧諸国(デンマーク、フィンランド、アイスランド、ノルウェー、スウェーデン)に応用するにあたり、その設計ファクターの適合性の検討と併せて、設計と維持補修モデル(SAMP)の北欧化を目的とした。
- ④. 北欧5カ国の共同研究として、1)舗装の破壊のメカニズム、2)路盤の特性とその季節的変動、3)破壊と軸重スペクトルの関係の3点についてスウェーデンの道路網の中から測点200ヶ所を設けて測定し、これらのデータを基にして等荷重因子、北欧標準仕様に対する路盤の基準、半経験的破壊モデルの適合性を検討している。併せて、これらの諸データを基に北欧の条件に合致した舗装の設計と管理システム、Nordic SAMP 5を開発している。
- ⑤. AASHOのSTINAをより平易にするためにサブシステムとしてSYLVIAとSUSANNを開発し、コンピュータプログラム、SAMP 5を作成した。Nordic SAMP 5システムは、1)インプット、アウトプットはすべてメートル法、2)強度係数、路床の支持力は弾性係数Eから求める、3)車両の荷重モデルを変えた、4)設計式中の非交通用語は変えた、5)オーバーレイ工事中の利用者加算コストは除外した、6)日常の補修費は設計寿命年数内に定めた補修量と1年当りの増加率から求めている。
また、モニタリング用のサブシステムであるSUSANNは北欧語で記述されている。
- ⑥. 他の所で開発されたシステムをその国独特の条件に合致するように、関係諸国が共同研究・開発をすることは最も望ましい姿である。また、現場サイドの意見を反映し、より使いやすいサブシステムの開発、特に使用する単位、用語、言語等にその努力のあとがみられ、参考とすべき点が多い。

- ①. Mohamed Y.Shahin; "Design System for Minimizing Asphalt concrete Thermal Cracking," pp.920 ~932.
- ②. アスファルトコンクリートの熱クラックを最小限にする設計システム・アメリカ・(関根幸生)
- ③. 低温クラックを含む熱クラックを予測する舗装設計法の確立。
- ④. 熱的クラックは、1)混合物の強度を越える引っ張り応力を生じる極低温、2)アスコンに熱疲労を起こすくり返し応力、歪の原因となるディリーの温度サイクルにより生じると考える。そこで、舗装体温度、熱応力、低温クラック、熱疲労クラックの各々に関するサブモデルの組み合わせによる、供用時間を因子とする熱クラック予測システムを作った。さらに、熱クラック予測システムと実舗装でのクラックの状態とを対比して予測システムの妥当性を検討した。
- ⑤. 実舗装との対比により予測システムが、ほぼ妥当なことを確認した。また、1)低温クラックは熱疲労クラックより増加率が少ない、2)クラックの進行は夏より冬が大なことが判った。これらの結果から、熱クラックを最小限に押えるためのデザインシステムを作り上げた。なお、ここで予測されるクラックはlow severity crackであり、mediumおよびsevere crackとなる因子は交通状況・環境条件であり、このような舗装体性能はpavement Condition Index (PCI) の概念で評価できる。
- ⑥. 特に目新らしい手法を用いているわけではないが、熱クラックの要因をよく整理して設計システムに組み立てている。作り上げた設計システムの精度が他と比してどのような位置にあるのかが注目される。

昭和54～58年度 石油アスファルト 需給見通しについて

資源エネルギー庁
石油製品需要想定委員会
石油アスファルト小委員会

昭和54～58年度石油アスファルトの需給見通しについては、昭和54年4月27日に資源エネルギー庁石油部精製課より公表しているが、今回、日本アスファルト協会からの要請により、その内容について要点を以下に解説する。

はじめに

石油アスファルトの需要見通しについては、毎年向う5カ年間について、道路整備事業費・一般経済指標等の基本動向に基づいて後述の想定方法により算定している。想定結果は、表-1、表-2に示す通りである。

昭和53年度販売量の実勢は、政府の公共投資拡大による景気刺激策を反映して、石油アスファルト内需量は大巾に伸び、対前年度比109.6%となり過去最高であった昭和48年度の記録を更新した。また、品種別にみると各品種とも概して好調な伸びを示している。

昭和54年度は、道路投資額としては109.6%と引き続き高い伸びを示しているが、反面、物価の上昇分および舗装要綱の改訂による設計アスファルト量の減少のほか工業用スト・アスの減少等が予想されているので、対前年度比95.7%とマイナス成長を示す見通しである。

昭和55年度以降は、現在の段階ではほとんど横バイ(101.0%)を示すことが見込まれている。

I. 一般用ストレート・アスファルト

- (1). 一般道路および地方単独分については、過去(昭和41～51年度)のストレート・アスファルト内需量(除く工業用)と実質舗装対象事業費(名目道路整備事業費から有料道路事業費と道路舗装に直接関係しない用地並びに調査等の費用を除き、デフレーター評価済みのもの)によって相関式を設定しストレート・アスファルト量を算出する。
- (2). 有料道路分については、当該有料道路事業に使用するストレート・アスファルト量を関係資料より求める。
- (3). 上記(1)および(2)によって得られたストレート・アスファルト(除く工業用)の合計量に後述のア

スファルト舗装要綱改訂に伴なうアスファルト量の減少を加味し、ストレート・アスファルト内需量(除く工業用)を算定した。

I-1. 道路投資額

(イ) 昭和54年度

一般道路	26,791億円
有料道路	12,649億円
地方単独	10,000億円
臨時地方道債	6,000億円
計	55,440億円

(ロ) 昭和55年度以降

第8次道路整備5ヶ年計画(53～57年度)総額28兆5千億円、新経済社会7ヶ年計画(54～60年度)の道路投資額46兆円を組合せ、年次額は平均伸び率で算定した。

I-2. デフレーター

建設省の建設工事費デフレーター(一般道路)を用い、昭和54年度以降については、昭和53年度の対前年度上昇率(5.61%)が今後も推移していくと想定し推定した。

I-3. アスファルト舗装要綱(日本道路協会)の改訂による設計アスファルト量の減少

昭和53年6月アスファルト舗装要綱の改訂が行われて以来以上ではアスファルト量が従来の基準に比べ0.3%程度減少することになった。

これを一般用ストレート・アスファルトに換算すると5%の減少となるため、昭和54年度以降の一般用スト・アス需要量算定の評価材料とした。

II. 工業用ストレート・アスファルト

昭和54年度分については石油各社の計画を集計した。昭和55年度以降については、昭和54年度より1万トン減で安定的に推移していくものと想定した。

III. ブローン・アスファルト

GNP実質伸び率とブローン・アスファルト内需伸び率との弹性値(昭和41～52年度)を求め、昭和54年度GNP実質伸び率は政府策定の6.3%を用い、昭

和55年度以降については、以下の伸び率を用い想定した。
 昭和55年度 5.9%

昭和56年度 5.9%
 昭和57年度 5.9%
 昭和58年度 5.9%

表-1 昭和54年度石油アスファルト需給見通し

(単位:千トン)

項目 年 度	供 給				需				要	
	期初在庫	生 産	輸 入	合 計	内 需(対前年度比)	輸 出	小 計	期末在庫	合 計	
49	226	4,571	16	4,813	4,586 (89.1)	29	4,615	182	4,797	
50	182	4,086	0	4,268	4,016 (87.6)	13	4,029	236	4,265	
51	236	4,154	0	4,390	4,100 (102.1)	22	4,122	256	4,378	
52	上 期	256	2,284	0	2,540	2,320 (113.6)	0	2,320	227	2,547
	下 期	227	2,503	0	2,730	2,445 (118.8)	0	2,445	287	2,732
	計	256	4,787	0	5,043	4,765 (116.2)	0	4,765	287	5,052
53	上 期	287	2,661	0	2,948	2,635 (113.6)	0	2,635	312	2,947
	下 期	312	2,565	0	2,877	2,587 (105.8)	0	2,587	290	2,877
	計	287	5,226	0	5,513	5,222 (109.6)	0	5,222	290	5,512
54	上 期	290	2,489	0	2,779	2,505 (95.1)	0	2,505	274	2,779
	下 期	274	2,495	0	2,769	2,494 (96.4)	0	2,494	275	2,769
	計	290	4,984	0	5,274	4,999 (95.7)	0	4,999	275	5,274
55	275	5,015	0	5,290	5,013 (100.3)	0	5,013	277	5,290	
56	277	5,066	0	5,343	5,063 (101.0)	0	5,063	280	5,343	
57	280	5,115	0	5,395	5,112 (101.0)	0	5,112	283	5,395	
58	283	5,167	0	5,450	5,164 (101.0)	0	5,164	286	5,450	

(注) 1. 53年度上期まで実績、下期実勢でありロスその他でバランスしない。

2. 54年度の見通し

- (1). 内 需 道路事業費等を用い想定
- (2). 期末在庫 在庫パターンから算定

表-2 昭和54年度石油アスファルト内需見通し(品種別明細)

(単位:千トン)

項目 年 度	内 需 量				構 成 比 (%)				対 前 年 度 比 (%)							
	ストレート・アスファルト		ブロー ンアス ファルト		ストレート・アスファルト		ブロー ンアス ファルト		ストレート・アスファルト		ブロー ンアス ファルト					
	一般用	工業用	合 計	一般用	工業用	合 計	一般用	工業用								
49	4,209	136	4,345	241	4,586	91.8	3.0	94.8	5.2	100.0	90.6	91.9	90.6	68.9	89.1	
50	3,576	189	3,765	251	4,016	89.0	4.7	93.7	6.3	100.0	85.0	139.0	86.7	104.1	87.6	
51	3,627	209	3,836	264	4,100	88.5	5.1	93.6	6.4	100.0	101.4	110.6	101.9	105.2	102.1	
52	上 期	2,076	113	2,189	131	2,320	89.5	4.9	94.4	5.6	100.0	113.8	121.5	114.1	105.7	113.6
	下 期	2,166	122	2,288	157	2,445	88.6	5.0	93.6	6.4	100.0	120.2	105.2	119.3	112.1	118.8
	計	4,242	235	4,477	288	4,765	89.0	4.9	93.9	6.1	100.0	117.0	112.4	116.7	109.1	116.2
53	上 期	2,356	133	2,489	146	2,635	89.4	5.05	94.45	5.55	100.0	113.5	117.7	113.7	111.5	113.6
	下 期	2,287	132	2,419	168	2,587	88.4	5.1	93.5	6.5	100.0	105.6	108.2	105.7	107.0	105.8
	計	4,643	265	4,908	314	5,222	88.9	5.1	94.0	6.0	100.0	109.5	112.8	109.6	109.0	109.6
54	上 期	2,256	92	2,348	157	2,505	90.0	3.7	93.7	6.3	100.0	95.8	69.2	94.3	107.5	95.1
	下 期	2,238	80	2,318	176	2,494	89.7	3.2	92.9	7.1	100.0	97.9	60.6	95.8	104.8	96.4
	計	4,494	172	4,666	333	4,999	89.9	3.4	93.3	6.7	100.0	96.8	64.9	95.1	106.1	95.7
55		4,498	162	4,660	353	5,013	89.7	3.2	92.9	7.1	100.0	100.1	94.2	99.9	105.7	100.3
56		4,528	162	4,690	373	5,063	89.4	3.2	92.6	7.4	100.0	100.7	100.0	100.6	105.7	101.0
57		4,556	162	4,718	394	5,112	89.1	3.2	92.3	7.7	100.0	100.6	100.0	100.6	105.6	101.0
58		4,586	162	4,748	416	5,164	88.8	3.1	91.9	8.1	100.0	100.7	100.0	100.6	105.6	101.0

組成分析法

松原三千郎*

1. はじめに

本稿ではアスファルトをいくつかの成分に分離するために用いられる各種の組成分析法について、主として分別沈殿法と液体クロマトグラフィーを用いる手法を中心に解説するとともに、測定例を示した。

2. アスファルトの組成分析の考え方

アスファルトには炭化水素、硫黄化合物、窒素化合物、酸素化合物、有機金属化合物を中心に数千種類以上の成分が存在するといわれているが、大部分の化合物は構造が複雑で分子量が大きく純粋な形で分離、固定することはほとんど不可能である。したがってアスファルトの組成分析においては、物理的、化学的特性が類似の化合物の集まりをフラクションとして分離する方法が一般に用いられる。アスファルトの組成分析は、実用性状と組成の関係を調べる目的で行われることが多いが、組成分析によって得られたフラクションにさらに種々の分析法を適用し、詳細な分析を行う場合には組成分析は一種の前処理操作とみなすこともできる。

表-1にアスファルトの成分を分離するのに用いられる基本的な分離操作とその原理を示す。確立された各種の組成分析法は、アスファルト成分間の物理的、化学的特性の差によるこれらの基本的分離操作を単独あるいは組み合せて用いている。以下に、各種の組成分析法の概要を述べる。なお、アスファルトを含む重質油類の組成分析に関しては、すでに多くの総説がある。^{1)~3)}

表-1 組成分析の基本的分離操作

分離操作	分離の原理
分子蒸留	沸点の差
分別沈殿	溶解性の差
化学沈殿	化学反応性の差
吸着	吸着性、溶解性の差
クロマトグラフィー	吸着性、溶解性、固定相と移動相における相互作用の差

*三菱石油研究所研究開発部

3. 分別沈殿法

この方法はアスファルト成分に対する溶剤の溶解性の差に基づくものであり、溶剤の選択が重要である。溶剤の溶解力の目やすには熱力学的な相互作用パラメーター(χ_1)および分子論的な内部圧力、溶解度パラメーターがある。

一般に溶質と溶媒のように多成分を混合した系において化学ポテンシャルは相の組成変化による自由エネルギーの変化の割合を示すものであり、Flory,⁴⁾ Huggins⁵⁾らは高分子溶液の溶媒の化学ポテンシャルを次式で表わしたが、阪上らはこの式がアスファルテンと有機溶媒混合系にもあてはまるものとし、蒸気圧の測定から χ_1 とZを実験的に求めた。⁶⁾

$$\mu_1 = \left(\frac{\partial G}{\partial n_1} \right)_{P,T} = \mu_1^0 + RT \ln(1 - v_2) + \left(1 - \frac{1}{Z} \right) v_2 + \chi_1 v_2$$

ただし、 μ_1, μ_1^0 : 混合系および純溶媒における溶媒の化学ポテンシャル、G: Gibbs の自由エネルギー、 n_1 : 溶媒のモル数、 v_2 : アスファルテンの体積分率、Z: アスファルテン分子と溶媒分子の体積比、 χ_1 : 相互作用パラメーター

ここで χ_1 は溶解力の尺度となり溶媒-溶質の組み合せに固有な係数である。表-2に各種溶媒-アスファルテンの χ_1 の値を示すが、この値が小さい程溶解性が大きい。

また物質の溶解現象が溶媒-溶媒の分子間力（例えば凝集力）と溶媒-溶質の分子間力（例えば親和力）とが釣り合った時に起こると考えると次式で定義される内部圧力および溶解度パラメーターを溶剤の溶解性を表わす実用上便利な尺度として用いることができる。

$$\text{内部圧力} = \sigma V^{-1/3}$$

ただし、 σ : 表面張力、V: 分子容

表-2 溶媒-アスファルテン系の熱力学的相互作用パラメーター

溶媒	体積比 z	相互作用 パラメーター χ_1
シクロヘキサン	30.6	0.76
ベンゼン	13.1	0.77
クロロホルム	34.3	0.41
四塩化炭素	27.1	0.54

表-3 溶剤の内部圧力とメキシコ原油アスファルトの溶剤不溶分

図-1 の溶剤 番号	溶 剂	表面張力 σ dyne/cm	$\sigma V^{-1/3}$	溶 剤 不溶分 wt%
A	<i>n</i> -ペンタン	15.3	3.25	33.5
	2,2,4-トリメチルペンタン	18.6	3.39	32.2
	2,2,3-トリメチルブタン	18.7	3.55	27.2
	<i>n</i> -ヘブタン	20.0	3.80	25.7
	3-メチルヘブタン	21.3	3.91	25.6
	<i>n</i> -ノナン	22.7	4.03	23.6
	ジメチルシクロヘンタン	21.3	4.20	15.1
	メチルシクロヘキサン	23.3	4.62	0
	エチルシクロヘキサン	25.3	4.90	0
	シクロヘキサン	24.2	5.07	0
	B			
	ジイソプロピルエーテル	17.5	3.37	27.1
	エチル <i>t</i> -ブチルエーテル	18.2	3.52	23.7
	ジエチルエーテル	16.7	3.56	23.0
	メチル <i>t</i> -ブチルエーテル	18.0	3.66	19.0
	エチル <i>t</i> -アミルエーテル	20.4	3.83	16.6
	メチル <i>t</i> -アミルエーテル	20.4	4.00	7.3
	ジ <i>n</i> -ブチルエーテル	22.5	4.07	13.3
	メチル <i>t</i> -ヘキシルエーテル	21.0	4.07	6.9

$$\text{溶解度パラメーター} = \sqrt{\Delta E/V} = \sqrt{(\Delta H - RT)/V}$$

ただし、 ΔE ：蒸発エネルギー、 V ：分子容、 ΔH ：蒸発潜熱、 R ：気体定数、 T ：絶対温度

なお、(溶解度パラメーター)² = 凝集エネルギー密度である。

表-3、表-4に種々の溶剤の内部圧力、溶解度パラメーター⁸⁾の値を示す。例えば針入度46、軟化点57°Cのメキシコ原油アスファルトに対する溶剤の内部圧力と溶剤不溶分の関係を図-1に示すが、この測定に使用した溶剤の範囲では内部圧力の大きな溶剤ほどアスファルトに対する溶解力が大きいことを示している。しかし極性溶剤の場合、内部圧力が同じでも溶解力が非極性溶剤とは異なることも図より明らかである。なお内部圧力は定義に示すように表面張力から求められるが、表面張力は分子間力の一つの現われであるので内部圧力と溶解度パラメーターは同じ考え方に基くものであり、実際この二つには次のような関係がある。⁹⁾

$$\text{溶解度パラメーター} = 4.1(\text{内部圧力})^{0.48}$$

ただし、この経験式は官能基のない分子、主として炭化水素、炭化ハロゲンなどに限られる。

アスファルト全体の溶解度パラメーターの値はまだ発表されていないが、マルテンについては笠原ら¹⁰⁾はNMR法構造解析より得た平均構造モデルからSmall

表-4 溶媒の溶解度パラメーター

溶 媒	モル容積 cm ³	溶 解 度 パラメーター (cal/cm ³) ^{1/2}
ネオペンタン	122	6.3
<i>n</i> -ブタン	101.36	6.64
イソペンタン	117	6.75
<i>n</i> -ペンタン	116.09	7.02
<i>n</i> -ヘキサン	131.56	7.25
<i>n</i> -ヘブタン	147.47	7.43
エチルエーテル	104.72	7.70
<i>n</i> -オクタン	163.59	7.80
シクロヘンタン	94.72	8.22
シクロヘキサン	108.74	8.25
四塩化炭素	97.10	8.62
トルエン	106.85	8.94
ベンゼン	89.3	9.21
クロロホルム	80.68	9.40
ニトロベンゼン	102.7	9.58
アセトン	73.98	9.89
ジクロロメタン	64.50	10.04
二硫化炭素	60.64	10.1
ジオキサン	85.9	10.15
ビリジン	80.89	10.87
エタノール	58.68	12.80
メタノール	40.7	14.48
水	18.07	13.41

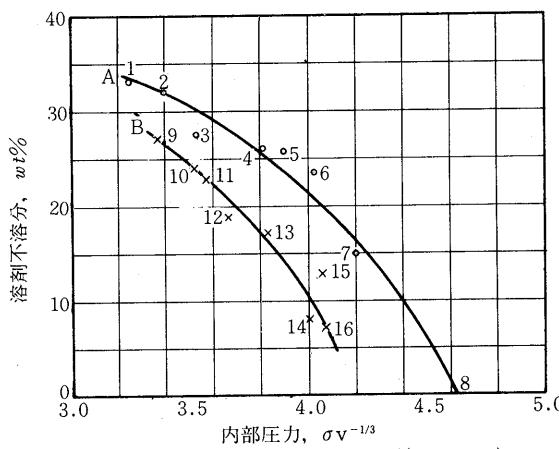


図-1 溶剤の内部圧力と溶剤不溶分の関係

の式¹¹⁾を用いてクエート原油アスファルトのマルテンに関して8.29の値を得ている。また飽和分では、この値より小さくレジンでは大きいと推定している。表-4において溶解度パラメーターが8~11の溶剤がアスファルトに対する溶解力が大きいが、笠原らの結果はこれらの知見とはほぼ一致する。溶解度パラメーターは多くの溶剤の値が発表されており、実用上便利な尺度ではあるが、溶解性をエンタルピーの寄与のみで論議

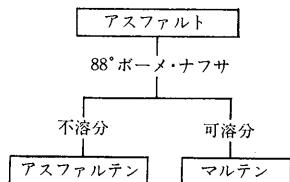
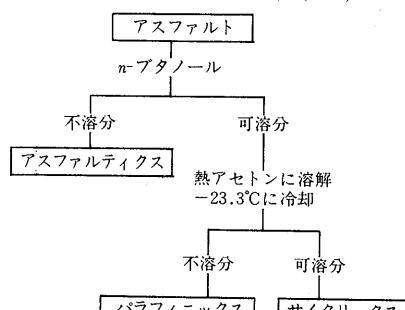
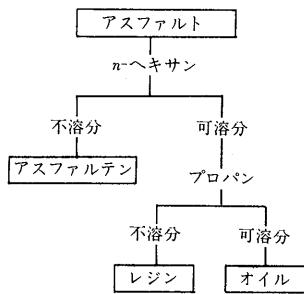
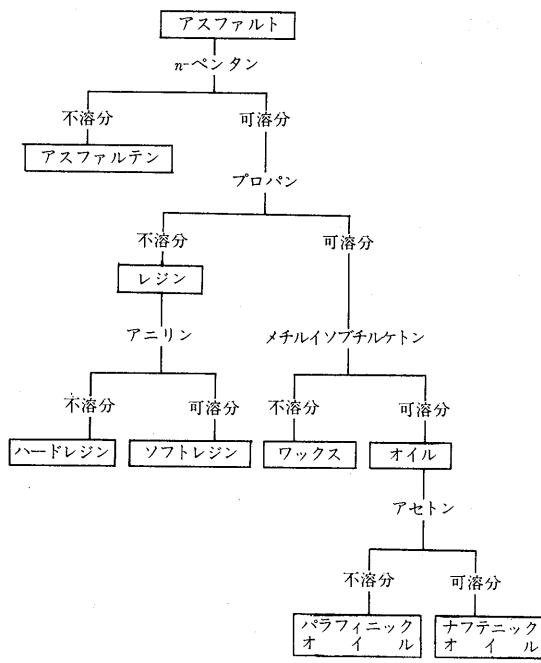
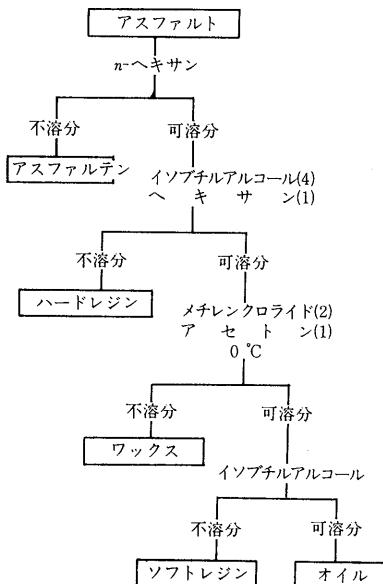
1. Richardson法¹²⁾(1914)4. Traxler-Schweyer法(テキサコ法)¹⁵⁾(1953)2. Hoiberg法(a)¹³⁾(1939)5. Knowles法¹⁶⁾(1958)3. Hoiberg法(b)¹⁴⁾(1944)

図-2 分別沈殿法を中心とする主な組成分析法

シェントロピーの寄与を無視しており、厳密なものではない。したがって、アスファルト溶液のように会合、化学的相互作用のある系では溶解現象を完全に説明できない場合もある。

分別沈殿法を中心とする主な組成分析法^{12)~16)}を図-2に示す。溶剤によりアスファルトを可溶の成分と不溶の成分に分け、それぞれの特性を調べることは古くから行われていた。アスファルテンとマルテンの分

離に初期は軽質ナフサ、石油エーテル等の混合物が使用されていたが、n-ペンタン、n-ヘプタン等の純物質が使用されるようになり再現性、定量性が改善された。Hoibergらはアスファルトを初めてアスファルテン、レジン、オイルの3成分に分離した。Hoiberg法(b)、Knowles法は極性溶剤を使用する点に特徴があり、テキサコ法は簡便で実用的な分離法をめざして開発されたものである。

表-5 $C_3 \sim C_{12}$ の溶剤による不溶分

試 料	溶 剂 不 溶 分, wt%								文 献
	C_3	$n-C_4$	$n-C_5$	$n-C_6$	$n-C_7$	$n-C_8$	$n-C_{10}$	$n-C_{12}$	
クエート減圧残油 (554°C+)	93.9	43.4	20.2		9.1				(17)
クエートストレートアスファルト (針入度 120)	約80		15.3	6.6	5.7	4.8	4.2	3.5	(18)

表-6 ストレートアスファルトのアスファルテン量

ストレートアスファルト	ペンタン アスファルテン wt%	ヘプタン アスファルテン wt%
ガッチャサラン(イラン)	15.0	8.7
クエート(クエート)	15.3	5.7
キルクーク(イラク)	22.0	9.3
アガジャリ(イラン)	13.0	5.95
ティアアナ(ベネズエラ)	16.6	9.4
バチャケロ(ベネズエラ)	16.5	10.6
ラグニラス(ベネズエラ)	20.5	9.65
ラゴマール(ベネズエラ)	16.3	7.2

表-5にはアスファルトを C_3 から C_{12} の脂肪族炭化水素で分別した結果^{17),18)}を示す。また、表-6には種々のアスファルトを n -ペンタン、 n -ヘプタンを溶剤として分別した不溶分量、すなわち n -ペンタナスファルテンおよび n -ヘプタナスファルテンの分析例¹⁸⁾を示す。

4. 化学沈殿法

この方法はアスファルト成分の化学反応性の差に基づくもので試薬を過剰量添加し反応させ、沈殿、溶解した成分を分離するところに特徴がある。反応試薬には

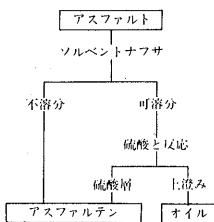
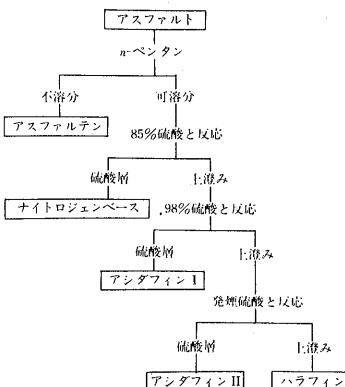
1. Marcusson-Eickmann法¹⁹⁾(1908)2. Rostler-Sternberg法²⁰⁾(1962)

図-3 化学沈殿法を中心とする主な組成分析法

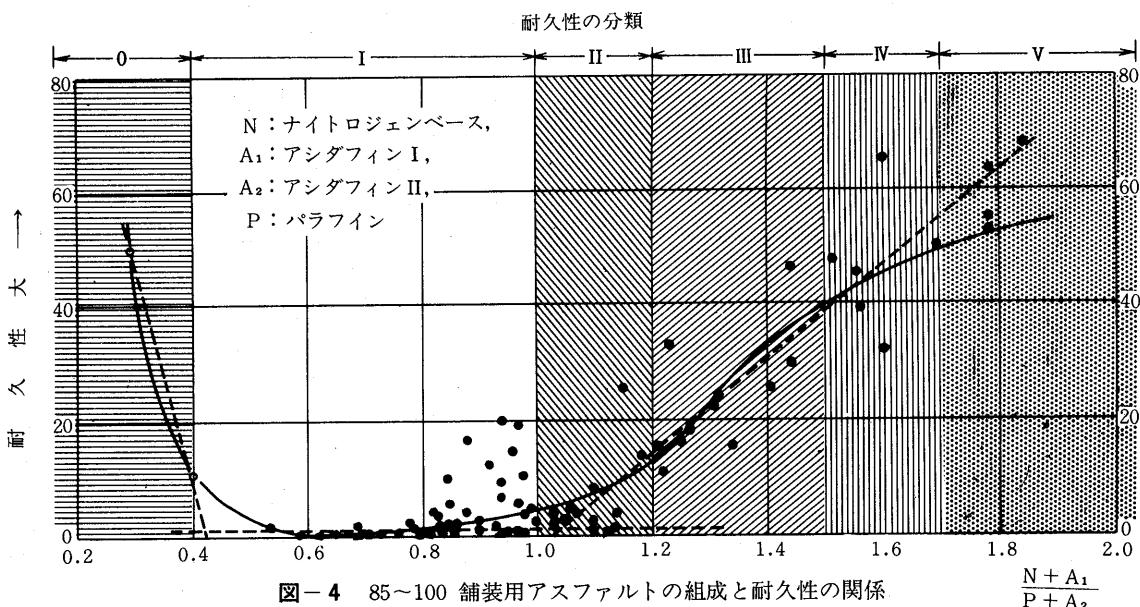


図-4 85~100 製装用アスファルトの組成と耐久性の関係

硫酸が主に用いられており、この場合不飽和炭化水素、塩基性化合物、芳香族化合物に対する反応性が高く、飽和炭化水素に対する反応性は低い。

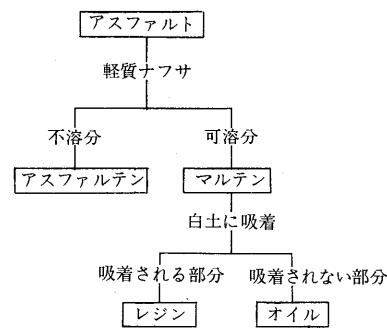
化学沈殿法を中心とする主な組成分析法^{19), 20)}を図-3に示す。Marcussonらが初めて化学沈殿法による分離手法をアスファルトに取り入れ、Rostlerらがこの方法を確立した。なおRostlerらは舗装用アスファルトの耐久性と組成成分量の関係を調べ、 $(N + A_1)/(P + A_2)$ の値と耐久性が図-4に示すような関係にあることを示した。最近ではRostler法は、アスファルト組成分析法としてはあまり用いられておらず、主としてゴム配合用エクステンダー油の分析に用いられている。

5. 吸着法

この方法はアスファルト成分の吸着剤に対する吸着性および溶剤に対する溶解性の差に基く。図-5に吸着法を中心とする主な組成分析法^{21), 22)}を示す。Marcussonは白土による吸着によりマルテンをレジンとオイルに分離した。またHubbardらはアルミナによる吸着を利用したアメリカ鉱山局法を確立し、一時広く用いられた。アメリカ鉱山局法による分析例を図-6に示す。

吸着法は現在では組成分析に用いられることはほと

1. Marcusson法²¹⁾(1916)



2. Hubbard-Stanfield法²²⁾(1948) (アメリカ鉱山局法)

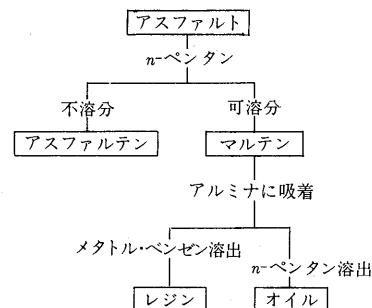


図-5 吸着法を中心とする主な組成分析法

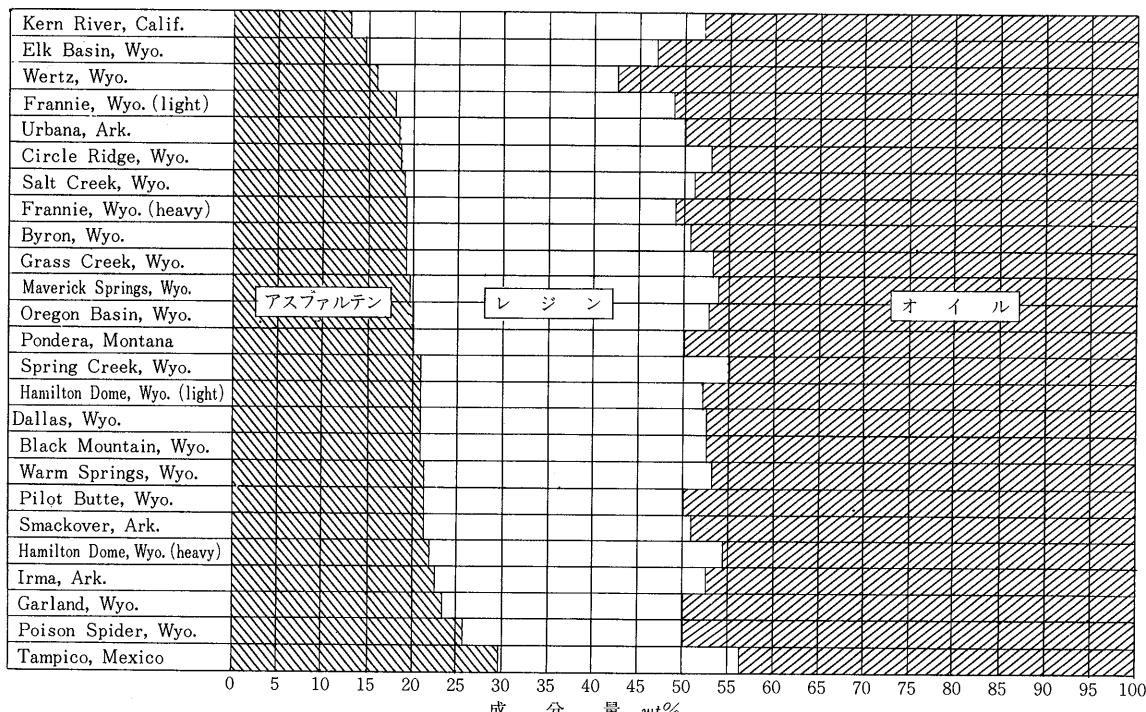


図-6 針入度級100のアスファルトの分析例 (アメリカ鉱山局法)

表-7 液体クロマトグラフィーの分類

A. 分離機構(固定相と移動相における相互作用)による分類
1. 分配クロマトグラフィー
2. 吸着クロマトグラフィー
3. イオン交換クロマトグラフィー
4. イオン排斥クロマトグラフィー
5. ゲル済過クロマトグラフィー
6. ゲル浸透クロマトグラフィー
B. 固定相支持体の形式による分類
1. カラムクロマトグラフィー
2. ペーパークロマトグラフィー
3. 薄層クロマトグラフィー

表-8 石油成分間の分離可能性

構 造	分離度
飽和成分(パラフィン、ナフテン)と芳香族成分	++
飽和成分とオレフィンと芳香族	++
n-パラフィンとイソ・パラフィン	+, -
パラフィンとナフテン	+, -
芳香族の環別	++
ナフテンの環別	+, -
炭化水素と非炭化水素(いおう、窒素、酸素化合物、その他)	+, -

(注) ++ : うまくゆく
+ : ややうまくゆく
- : うまくゆかない

表-9 各種吸着剤の特性

吸着剤	メッシュの大きさ	製造元	イソオクタン 90%vol ベンゼン 10%vol 混合液		細孔容積 (m³/g)	表面積 (m²/g)	平均細孔直徑 (Å)
			ベンゼン吸着容量 (ml/100g)	分離係数 (α)			
活性アルミナ	~80	Alorco	7.1	2.9	0.45	295	60
活性アルミナ	80~200	Alorco	2.7	2.9	0.17	112	61
活性アルミナ	~80	Alorco	1.9	2.1	0.19	78	98
シリカゲル	28~200	Davison	18.3	9.4	0.40	762	21
シリカゲル	28~80	Davison	17.5	8.7	0.40	729	22
SiO-Lite	粉末	Mallinckrodt	3.8	1.5	0.76	160	191
活性炭	20~40	Darco	11.5	3.0	0.69	479	57
活性炭	50~100	Pitt. C & C.	15.1	5.6	0.48	692	30
ポーキサイト	60~90	Porocel	3.9	2.6	0.28	162	68
フーラース・アース	60~90	Attapulgus	4.2	1.8	0.57	174	131
ビード触媒	40~60	Socony	10.0	2.7	0.68	417	66

表-10 各種溶剤の溶出力

吸着剤	アルミナゲル	シリカゲル
溶出力(弱)→(強)		
石油エーテル	ヘプタン	
シクロヘキサン	ジイソブチレン	
四塩化炭素	ベンゼン	塩化イソプロピル
トリクロロエチレン	ジイソブロピルエーテル	ジイソブロピルエーテル
トルエン	エーテル	エーテル
ベンゼン	酢酸エチル	酢酸エチル
ジクロロメタン	sec-ブタノール	sec-ブタノール
クロロホルム	エタノール	エタノール
エーテル	水	水
酢酸エチル	アセトン	アセトン
アセトン	メタノール	メタノール
n-ブロバノール	焦性ブドウ酸	焦性ブドウ酸
エタノール		
メタノール		

などないが、現在広く用いられているクロマトグラフィーの前身として意義づけることができる。

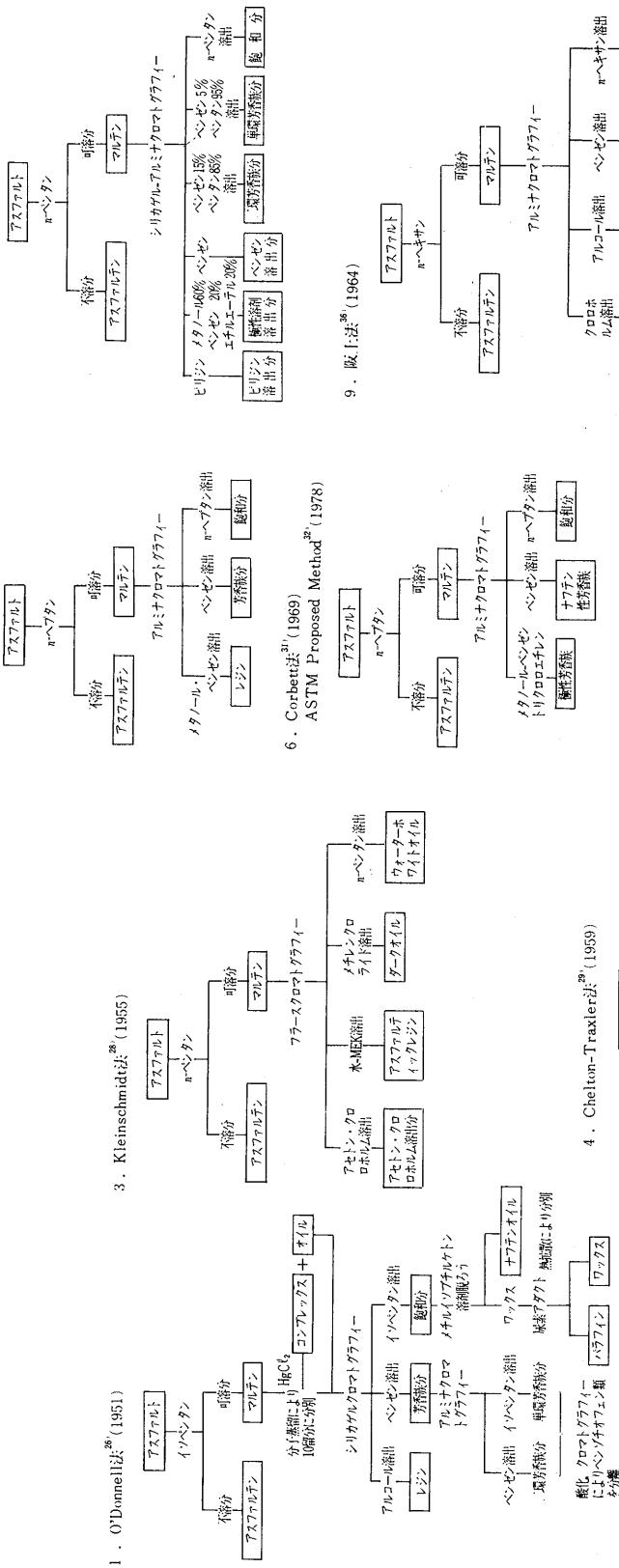
6. クロマトグラフィー

この方法は分離しようとする物質を移動相に溶解させて固定相中を通過させる際に吸着、分配、イオン交換等物質の両相への分配力の差に基づき成分を分離するものである。アスファルトの分析においては移動相が

気体であるガスクロマトグラフィーが利用されることは少なく、熱分解ガスクロマトグラフィーやすでに述べた²³⁾ inverse ガスクロマトグラフィーが使用される程度であり、主に移動相が液体である液体クロマトグラフィーが利用される。表-7に分離機構および固定相支持体の形式による液体クロマトグラフィーの分類を示したが、アスファルトの組成分析にはA-2, B-1を組み合せたカラム吸着クロマトグラフィーが最も多く利用されている。

有機化合物、特に石油構成成分間の吸着クロマトグラフィーによる分離可能性を表-8に示す。²⁴⁾また表-9、表-10にアスファルトの組成分析でよく用いられている吸着剤の特性および溶媒の溶出力を示す。一般にシリカゲルは飽和分-芳香族分間の分離に優れており、アルミナは芳香族分間の芳香族環数による分離に優れている。また吸着クロマトグラフィーでは溶出力の弱い溶媒から強い溶媒へ順次使用していくことを原則とする。なおシリカゲルは一般に平均細孔直徑が小さいが、このような場合アスファルト中の分子容の大きな成分が吸着されないのでそのまま溶出することがあるので注意する必要がある。例えばSchweyer はシリカゲルクロマトグラフィーによるアスファルトの分別の際、

5. 飯島法(4成分分離法)³⁰ (1962)



⁸. Hirsch-Sawatzkyit (USBM-API) ³⁴⁻³⁵, (1972)

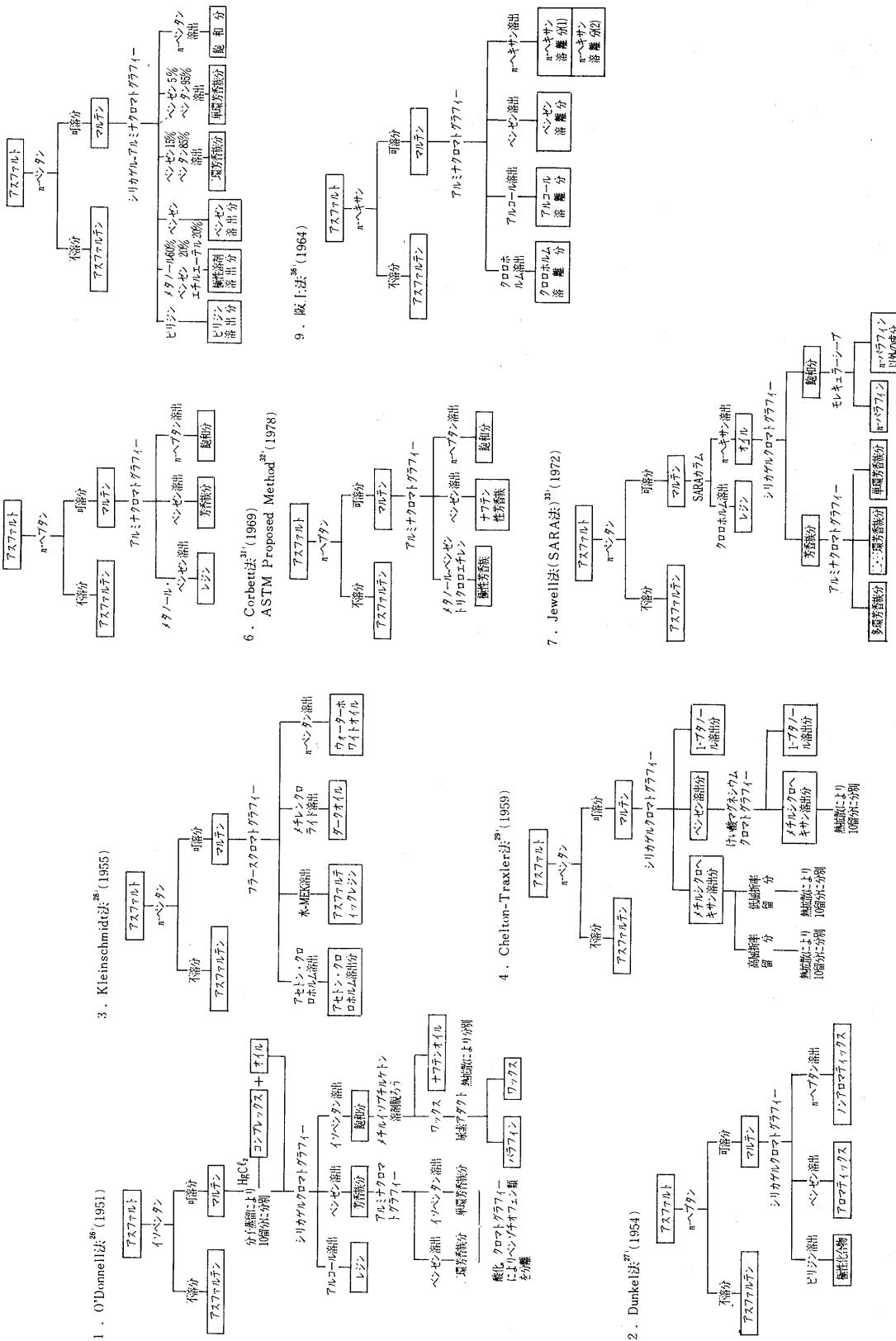


図-7 カラム液体クロマトグラフィーを用いた主な組成分析(1)

図-8 カラリ遊体タロコゲラニコ：中央付近における組成分析(%)

細孔直径が不適切なため飽和分にアスファルテン、レジンが同伴されて溶出したことを報告している。²⁵⁾

カラム液体クロマトグラフィーを中心とする主な組成分析法を図-7、図-8に示す。O'Donnell法、Chelton-Traxler法はアスファルトを数十のフラクションに分離し詳細に成分を調べる目的に有効である。Kleinschmidtは吸着剤としてフラーース土を使用したが、最近の方法はシリカゲルあるいはアルミナのいずれか（あるいは両方）を使用する。アスファルトの実用性状と化学組成との関連を調べる目的にはあまり多くの成分に分けるより数個の成分に分ける方が適している。飯島法はマルテンを飽和分、芳香族分、レジンの3成分に分けた点に特徴があり、アスファルテンを含めて4成分分離法と呼ばれる。同様の方法として、Corbett法があるが、最近ほぼ類似の方法がASTM Proposed Methodとして提案されている。アルミナの芳香族分間の環数による分離能力を利用して芳香族分を単環、二環、三環、多環芳香族分に分離する方法にはJewell法、Hirsh-Sawatzky法がある。後者はAPI Project 60の石油組成成分の研究のために開発された方法をアスファルト用に改めたものである。表-11に同一アスファルト試料に阪上法、テキサコ法を適用して比較した分析例を示す。³⁷⁾

参考のために以下に飯島法4成分分離法の操作法を

示す。

- (1). 試料2gをn-ヘプタン60ccに溶解し、n-ヘプタン不溶分をアスファルテンとして分別、定量する。
- (2). n-ヘプタン可溶分をマルテンとし、これらをあらかじめn-ヘプタンで湿潤したアルミナゲル（例えば、和光純薬製アルミナゲル200~300メッシュを160°Cで3時間活性化）を75g（ゲル比40）充填した温水ジャケット付カラム（カラム温度50°C）に注入し、
- (3). n-ヘプタン300ccで飽和成分、ベンゼン300ccで芳香族分、メタノール-ベンゼン(1:1)混合物300ccでレジンを溶出し脱溶剤し定量する。³⁸⁾

なお大矢らの操作法も参照されたい。

4成分分離法による分析例を表-12に示す。本方法で得られたアスファルトの組成成分量と感温性、軟化点との関係が発表されている⁴⁰⁾が、これについて述べた。

通常のストレートアスファルトにはベンゼンに不溶の成分はほとんどないが、過度のブローアイング、硫黄や硫酸による化学処理、あるいは熱処理によってベンゼン不溶成分が生成する。また最近アスファルト等を原料とする種々の重質油処理プロセスが開発されているが、これらのプロセスからもベンゼン不溶成分を含むピッチ類が生成する。このためアスファルトから重

表-11 クロマト法(阪上法)、テキサコ法分析例

試料アスファルト 原油产地(基)*	針入度 25°C, 100g, 5sec	クロマト法組成, wt%				テキサコ法組成, wt%			
		オイル分 n-ヘキサン 溶離分(1)(2)	レジン分 ベンゼン 溶離分	アルコール 溶離分	クロロホルム 溶離分	アスファル ティックス	アスファル ティックス	サイクリック リックス	パラフィ ニックス
院内(N)	67	27.5	30.7	21.1	9.8	10.4	26.1	34.7	38.7
アラビヤ(I)	76	32.2	29.8	6.6	6.6	23.4	47.8	17.4	34.9
ベネゼラ(I)	78	27.3	30.4	7.9	9.6	17.2	43.7	22.2	33.1
コーリンガ(N)	56	28.6	30.7	18.5	9.8	9.7	20.2	36.5	43.2
ワフラー(I)	86	27.8	38.2	7.7	11.9	13.0	59.2	15.4	24.9
クエイト(I)	57	27.6	38.7	7.8	11.7	12.9	61.1	10.1	27.8

* N: ナフテン基、I: 中間基

表-12 4成分分離法によるストレートアスファルトの分析例

	針入度 (25°C, 100g, 5 sec)	軟化点 (R&B), °C	組成分析結果, wt%				ロウ分 (JPI法) wt%
			飽和分	芳香族分	レジン	アスファルテン	
中東混合基 MB	70	48.2	16.4	51.5	20.1	12.0	3.4
MB	91	46.0	16.4	50.6	22.1	10.9	2.7
MK	69	47.9	16.5	55.9	18.5	9.1	3.9
MK	87	45.9	13.2	55.3	23.1	8.4	3.0
MKh	74	47.7	15.5	49.7	21.3	13.5	2.9
MKh	100	45.5	17.8	48.0	19.1	15.1	3.0
北米ナフテン基 NC	68	45.3	30.0	31.7	31.8	6.5	0.8
NC	89	43.0	30.8	32.2	30.8	6.2	1.1
NS	73	45.6	19.2	35.9	38.5	6.4	—

表-13 ピッチ類の組成分析一例

	プロパン脱れき アスファルト	熱改質ピッチ A	熱改質ピッチ B	熱分解ピッチ A	熱分解ピッチ B	コールタール ピッチ
軟化点(°C)	73.0	96.0	194.5	145.5	232.0	82.5
飽和分(wt%)	5.4	13.3	3.2	0.2	0.2	4.4
芳香族分(wt%)	54.8	37.4	18.3	6.1	1.8	13.5
レジン(wt%)	25.1	7.8	3.8	1.7	0.2	1.8
アスファルテン(wt%)	15.6	33.4	25.0	46.7	18.2	53.2
ベンゼン不溶、キノリン可溶分(wt%)	0.1	7.7	32.1	24.8	49.8	22.3
キノリン不溶分(wt%)	0	0.4	17.6	20.5	29.8	4.8

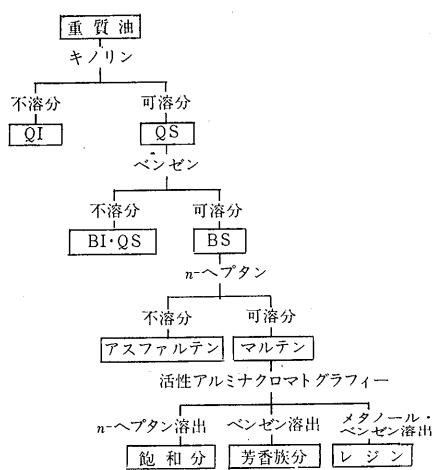


図-9 重質油の組成分析法概念図

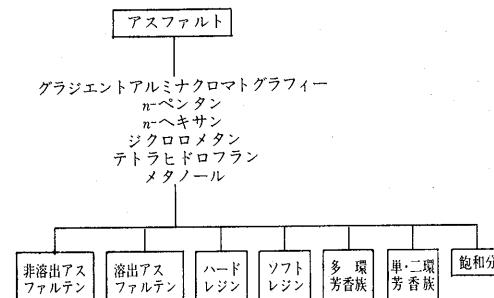
質ピッチ類までを扱える組成分析法として本方法を拡張した方法が提案されている。²⁾その分析概念図を図-9に示し分析例を表-13に示した。ただし実際の分別はこの図に示す順序で行うわけではない。マルテンが大部分の試料からベンゼン不溶分が大部分の試料まで広範囲の組成のものが同一分析手法で簡単に分析できる点に特徴がある。

7. 他のクロマトグラフィーによる新しい分析法

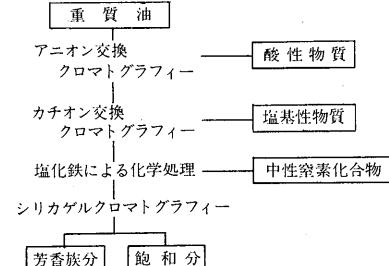
(1). グラジエントクロマトグラフィー⁴¹⁾

Middleton は *n*-ペンタン、*n*-ヘキサン、ジクロロメタン、テトラヒドロフラン、メタノールを使用して移動相の溶剤組成を連続的に変化させるグラジエント法によりアスファルトの分析を行った。この方法はまたあらかじめアスファルテンを分離することなしにクロマトを行う点にも特徴がある。図-10に分析法を示す。溶出液は連続的に紫外吸収スペクトルが測定されクロマトグラムが書かれる。図-11にクエート減圧残油のクロマトグラムを示す。この

1. グラジエントクロマトグラフィー (Middleton法⁴¹⁾ 1967)



2-1. イオン交換クロマトグラフィー (Jewell法⁴²⁾ 1972)



2-2. イオン交換クロマトグラフィー (Boduszynski法^{43,44)} 1977)

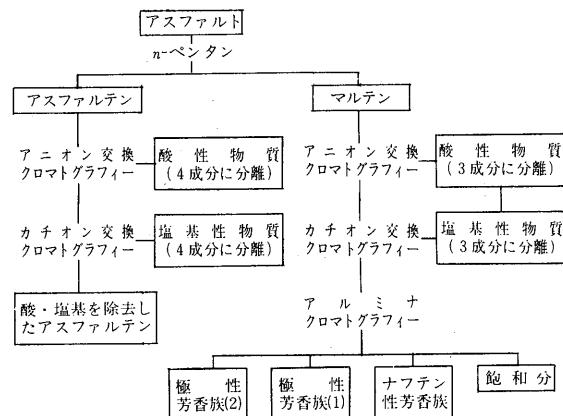


図-10 新しいクロマトグラフィーによるアスファルトの分析

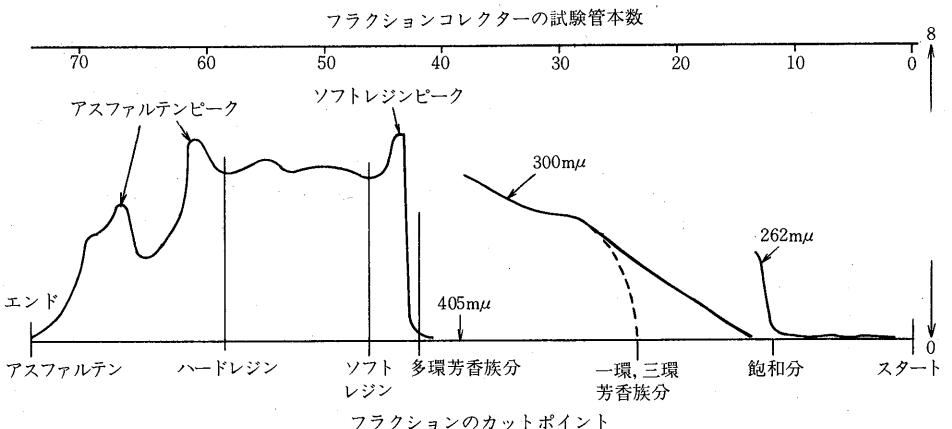


図-11 グラジエント法のクロマトグラム

グラジエント溶出法はガスクロマトグラフィーにおける昇温法と対比すると理解しやすい。

(2). イオン交換クロマトグラフィー^{42)~44)}

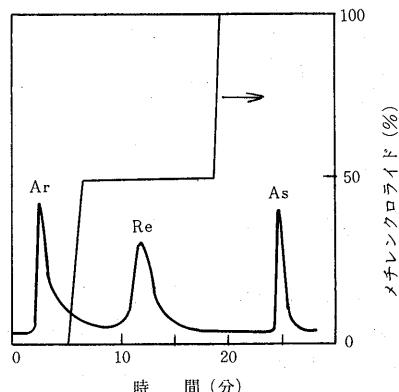
Jewellらはイオン交換樹脂を用いて石油重質油中の酸性、塩基性化合物を分離するイオン交換クロマトグラフィー、塩化鉄による化学処理、およびシリカゲルクロマトグラフィーを組み合せた方法を報告した。またBoduszynskiはアスファルトをあらかじめアスファルテンとマルテンに分離した後、それぞれにイオン交換クロマトグラフィーおよびアルミナクロマトグラフィーを適用して19成分に分離する方法を報告した。それぞれの分析法を図-10に示す。

(3). 逆相分配クロマトグラフィー⁴⁵⁾

この方法は一般的な液体クロマトグラフィーにおける移動相と固定相の極性の関係を逆にして、移動相に極性溶剤、固定相に非極性溶剤を用いる液-液分配クロマトグラフィーである。Helmはウイルミントン原油アスファルトを分子蒸留で分けたフラクションを試料とし、Fluoropak(フルオロカーボン系)を保持体、シクロヘキサンを固定相、ニトロメタンを移動相とした逆相分配クロマトグラフィーにより分離した。この場合レジン等の極性成分が先に溶出する。通常のカラム吸着クロマトグラフィーの場合極性成分を全量溶出させるのは困難であり、また吸着-溶出過程で重合等の変質を受けやすいが、このような成分の分取を行うのに本法は適していると思われる。

(4). 高速液体クロマトグラフィー⁴⁶⁾

通常のカラム吸着クロマトグラフィーは分析に長時間を要するのが欠点であるが、この点を改良するためReichertらは高速液体クロマトグラフィーによるアスファルトの迅速微量分析法を開発した。分析条件を以下に示す。



試料：アサバスカビチューメンのトルエン可溶分

図-12 高速液体クロマトグラフィーによる分析例

分析装置 Varian Model 8500

充填剤 Varian Aerograph Micropak CH-10
およびCN-10

溶 剤 メタノール-イソプロパノール-テトラヒドロフランおよびアセトニトリル-水-テトラヒドロフラン

本法により、アサバスカビチューメンを芳香族分レジン-アスファルテンに分離した分析例を図-12に示す。分析時間は一試料あたり25~30分である。なお本法では飽和分は芳香族分と共に溶出されるが検出に紫外線を用いているため飽和分は検出されない。

(5). FID検出薄層クロマトグラフィー^{47),48)}

薄層クロマトグラフィーはカラムクロマトグラフィーに比べて操作は迅速だが定量手段に難点があるといわれている。Padleyはこの点を改良するため水素炎イオン化検出器(FID)を用いて薄層クロマトグラフィーを量量化する手法を発表した。⁴⁷⁾その後、細い石英棒にシリカゲルあるいはアルミナをコーティ

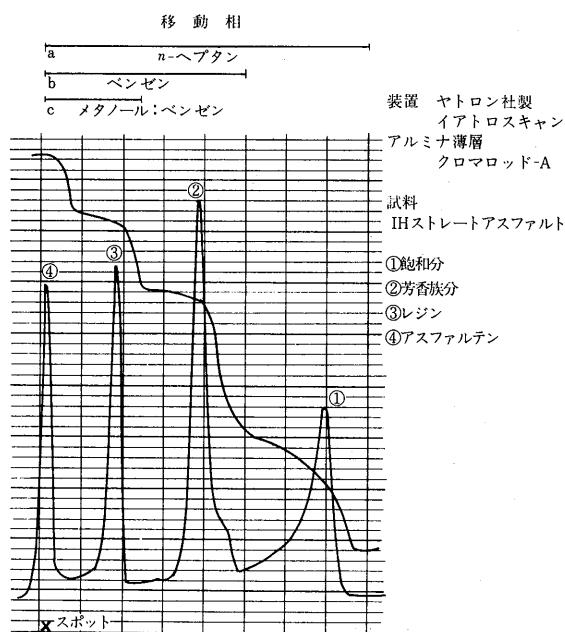


図-13 TLC-FID法分析例

イングした棒状薄層が考案され、棒状薄層上でクロマト分離を行った後、これを直接水素炎中で一定速度で移動させ分離成分をイオン化し検出定量する装置が開発された。武内らは本法による重油の分析を発表している。⁴⁸⁾アスファルト試料の分析例を図-13に示す。⁴⁹⁾アスファルトのような難揮発性物質に対するFIDの定量性については検討の余地が残されているが、本方法は操作が簡単で分析時間が短かく迅速分析には適した方法であると思われる。

8. おわりに

アスファルトの組成分析法について、歴史的な方法から最近の方法までの概要を述べたが、実際に組成分析を行う場合は、それぞれの研究の目的に適した分析法を選ぶことが重要であると考える。また本稿では、分別成分の名称はできるだけ原著者の呼称に基いて記述したが、分析法が異なると同一名称の成分でも含まれている化合物が一致しないことに注意する必要がある。

もう1つの有力なクロマトグラフィーの手法であるGPCについては次回に詳しく述べられる予定である。

参考文献

- 1) 飯島, 石油誌, 19, (11), 946(1976)
- 2) 飯島, 燃協誌, 57, (610), 75(1978)
- 3) 鈴木, 笠原, アスファルト, 13, (72), 6(1970)
- 4) P.J.Flory, J. Chem. Phys., 9, 660(1941)
- 5) M. L. Huggins, ibid, 9, 440(1941)
- 6) S. Sakanoue, M. Endo, Bull. Chem. Soc. Japan, 45, 2299(1972)
- 7) J. PH. Pfeiffer, "The Properties of Asphaltic Bitumen", 30(1950) New York.
- 8) Magat, J. Chem. Phys., 46, 344(1949)
- 9) 篠田, "溶液と溶解度", 101(1966) 丸善
- 10) 笠原, 植村, 石油誌, 17, (8), 672(1974)
- 11) P. A. J. Small, J. Appl. Chem., 3, 71(1953)
- 12) C. Richardson, "The Modern Asphalt Pavement, 2nded., 115(1914) New York
- 13) A. J. Hoiberg, O. A. Hougen, J. Zapata, Bull. Univ. Wisconsin Eng. Exp. Stat. Ser., No.86 (1939)
- 14) A. J. Hoiberg, W. E. Garris, Ind. Eng. Chem., Anal. Ed., 16, 294(1944)
- 15) R. N. Traxler, H. E. Schweyer, Oil Gas J., 52 (19), 158(1953)
- 16) E. C. Knowles, F. C. McCoy, B. Weetman, G. E. Eckert, A. C. S., Div. Petrol. Chem., 3, (2), A29(1958)
- 17) R. A. Flin, H. Beuther, B. K. Schmid, Petrol. Refiner, 40, (4), 139(1961)
- 18) R. B. Girdler, P. A. A. P. T., 34, 45(1965)
- 19) J. Marcusson, R. Eickmann, Chemiker-Ztg., 32, 965(1908)
- 20) F. S. Rostler, R. M. White, P. A. A. P. T., 31, 35(1962)
- 21) J. Marcusson, Z. Angew. Chem., 29, 346(1916)
- 22) R. L. Hubbard, K. E. Stanfield, Anal. Chem., 20, (5), 460(1948)
- 23) 松原, アスファルト, 22, (118), 51(1979)
- 24) 舟阪編, "石油機器分析の実際", 21(1972) 南江堂
- 25) H. E. Schweyer, H. Chelton, H. H. Rennier, P. A. A. P. T., 24, 3(1955)
- 26) G. O'Donell, Anal. Chem., 23, (6), 894(1951)
- 27) W. L. Dunkel, F. P. Ford, J. H. McAteer, Ind. Eng. Chem., 46, 578(1954)
- 28) L. R. Kleinschmidt, J. Res. Nat. Bur. Std., 54, 163(1955)
- 29) H. M. Chelton, R. N. Traxler, Proc. 5th World Petroleum Congress, Sec. V, 247(1959)
- 30) 飯島, 石油誌, 5, (8), 559(1962)
- 31) L. W. Corbett, Anal. Chem., 41, 576(1969)
- 32) ASTM Part 15, 1157(1978)

- 33) D. M. Jewell, E. W. Albaugh, B. E. Davis, R. G. Ruberto, A. C. S., Div. Petrol. Chem., 17, (4), F81(1972)
- 34) D. E. Hirsch, R. L. Hopkins, H. J. Coleman, F. O. Cotton, C. J. Thompson, Anal. Chem., 44, (6), 915(1972)
- 35) H. Sawatzky, A. E. George, G. T. Smiley, D. S. Montgomery., Fuel, 55, 16(1976)
- 36) 阪上, 小林, 工化誌, 67, (10), 1589(1964)
- 37) 山本編, “新しい工業材料の科学, B-5 石油系材料”, 10~11(1966) 金原出版
- 38) 大矢, 今泉, 日浅, 藤田, アスファルト, 16, (94), 15(1973)
- 39) 飯島; 燃協誌, 47, (491), 181(1968)
- 40) 飯島, 石油誌, 5, (8), 568(1962)
- 41) W. R. Middleton, Anal. Chem., 39, (14), 1839 (1967)
- 42) D. M. Jewell, J. H. Weber, J. W. Bunger, H. Plancher, D. R. Latham, Anal. Chem., 44(8), 1391(1972)
- 43) M. Boduszynski, B. R. Chadha, H. Pineles, Fuel, 56, 145(1977)
- 44) M. Boduszynski, B. R. Chadha, T. S. Pochopien, ibid, 56, 432(1977)
- 45) R. V. Helm Anal. Chem, 41, (10), 1342(1969)
- 46) C. Reichert, L. Grant, A. C. S., Div. Fuel Chem., 23, (2), 72(1978)
- 47) F. B. Padley, J. Chromatog., 39, 37(1969)
- 48) 鈴木, 武内, 分析化学会21年会要旨集, 47(1972)
- 49) 飯島, 松原, 未発表

昭和52年度流通経費

本協会調査委員会では、石油アスファルトの流通面における実態を明らかにするため、昭和52年度における輸送数量と経費について調査を行った。

この調査は、石油元売会社を対象としたため、海上輸送については、ほぼ全体をカバーしているが、陸上輸送は一部特約店扱い分が除かれている。

調査委員会では毎年この調査を行う予定である。

調査結果の概要は、下記の通りである。

	輸送数量 (千トン)	輸送総経費 (千円)
海上輸送	2,494	5,457,751
陸上輸送	2,672	7,632,199

〈石油アスファルト需給統計資料〉 その 1

石油アスファルト需給実績（総括表）

(単位:千t)

項目 年度	供給					需要					
	期初在庫	生産	(対前年比)	輸入	合計	内需	(対前年比)	輸出	小計	期末在庫	合計
48 年度	198	5,167	(108.4)	27	5,392	5,146	(109.2)	11	5,157	226	5,383
49 年度	226	4,571	(88.5)	16	4,813	4,586	(89.1)	29	4,615	182	4,797
50 年度	182	4,086	(89.4)	0	4,268	4,016	(87.6)	13	4,029	236	4,265
51年度上期	236	2,104	(97.2)	0	2,340	2,042	(99.2)	18	2,060	266	2,326
51年度下期	266	2,050	(106.7)	0	2,316	2,058	(105.2)	4	2,062	256	2,318
51 年度	236	4,154	(101.7)	0	4,390	4,100	(102.1)	22	4,122	256	4,378
52年度上期	256	2,284	(108.6)	0	2,540	2,320	(113.6)	0	2,320	227	2,547
52. 10月	227	438	(119.0)	0	665	451	(119.3)	0	451	214	665
11月	214	455	(119.4)	0	669	451	(113.3)	0	451	218	669
12月	218	440	(135.4)	0	658	454	(123.0)	0	454	204	658
10~12月	227	1,333	(124.1)	0	1,560	1,356	(118.4)	0	1,356	204	1,560
53. 1月	204	318	(124.2)	0	522	241	(109.0)	0	241	281	522
2月	281	342	(115.5)	0	623	306	(116.8)	0	306	317	623
3月	317	511	(120.5)	0	828	542	(126.0)	0	542	287	829
1~3月	204	1,171	(119.9)	0	1,375	1,089	(119.3)	0	1,089	287	1,376
52年度下期	227	2,504	(122.1)	0	2,731	2,445	(118.8)	0	2,445	287	2,732
52 年度	256	4,788	(115.3)	0	5,044	4,765	(116.2)	0	4,765	287	5,052
53. 4月	287	508	(117.3)	0	795	483	(111.0)	0	483	312	795
5月	312	469	(129.2)	0	781	415	(121.7)	0	415	365	780
6月	365	333	(109.5)	0	698	395	(116.9)	0	395	304	699
4~6月	287	1,310	(119.1)	0	1,597	1,293	(116.1)	0	1,293	304	1,597
53. 7月	304	477	(109.9)	0	781	489	(117.8)	0	489	292	781
8月	292	439	(121.9)	0	731	427	(115.4)	0	427	304	731
9月	304	435	(111.5)	0	739	427	(101.4)	0	427	312	739
7~9月	304	1,351	(114.1)	0	1,655	1,343	(111.4)	0	1,343	312	1,655
53年度上期	287	2,661	(116.5)	0	2,948	2,636	(113.6)	0	2,636	312	2,948
10月	312	496	(113.2)	0	808	459	(101.8)	0	459	348	807
11月	348	475	(104.4)	0	823	501	(111.1)	0	501	322	823
12月	322	409	(93.1)	0	731	471	(103.7)	0	471	261	732
10~12月	312	1,380	(103.5)	0	1,692	1,431	(105.5)	0	1,431	261	1,692
1月	261	308	(96.9)	0	560	258	(107.1)	0	258	310	568
2月	310	353	(103.2)	10	673	329	(107.5)	0	329	334	663
3月	334	527	(103.1)	0	861	564	(104.1)	0	564	297	861
1~3月	261	1,188	(101.5)	10	1,459	1,151	(105.7)	0	1,151	297	1,448
53年度下期	312	2,568	(102.6)	10	2,880	2,582	(105.6)	0	2,582	297	2,879

[注] (1)通産省エネルギー統計月報 54年3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 年月	内需量			構成比						対前年度比					
	ストレート・アスファルト			ブローンアスファルト	合計	ストレート・アスファルト			ブローンアスファルト	合計	ストレート・アスファルト			ブローンアスファルト	合計
	一般用	工業用	計			一般用	工業用	計			一般用	工業用	計		
48年度	4,648	148	4,796	350	5,146	90.3	2.9	93.2	6.8	100.0	106.9	308.3	109.1	111.1	109.2
49年度	4,209	136	4,345	241	4,586	91.8	3.0	94.8	5.2	100.0	90.6	91.9	90.6	68.9	89.1
50年度	3,576	189	3,765	251	4,016	89.0	4.7	93.7	6.3	100.0	85.0	139.0	86.7	104.1	87.6
51年度上期	1,825	93	1,918	124	2,042	89.4	4.6	93.9	6.1	100.0	97.6	120.8	98.5	110.7	99.2
51年度下期	1,802	116	1,918	140	2,058	87.6	5.6	93.2	6.8	100.0	105.6	103.6	105.5	100.7	105.2
51年度	3,627	209	3,836	264	4,100	88.5	5.1	93.6	6.4	100.0	101.4	110.6	101.9	105.2	102.1
52年度上期	2,076	113	2,189	131	2,320	89.5	4.9	94.4	5.6	100.0	113.8	121.5	114.1	105.6	113.6
52. 10月	406	19	425	26	451	90.0	4.2	94.2	5.8	100.0	122.7	76.0	119.4	118.2	119.3
11月	405	20	425	26	451	89.8	4.4	94.2	5.8	100.0	113.4	117.6	113.6	108.3	113.3
12月	407	22	429	25	454	89.7	4.8	94.5	5.5	100.0	126.0	95.7	124.0	108.7	123.0
10~12月	1,218	61	1,279	77	1,356	89.8	4.5	94.3	5.7	100.0	120.5	93.8	118.9	111.6	118.4
53. 1月	197	20	217	24	241	81.7	8.3	90.0	10.0	100.0	108.2	117.6	109.0	109.1	109.0
2月	259	19	278	28	306	84.6	6.2	90.8	9.2	100.0	115.6	118.8	115.8	127.3	116.8
3月	492	22	514	28	542	90.8	4.1	94.8	5.2	100.0	127.8	122.2	127.5	103.7	126.0
1~3月	948	61	1,009	80	1,089	87.1	5.6	92.7	7.3	100.0	119.8	119.6	119.8	112.7	119.3
52年度下期	2,166	122	2,288	157	2,445	88.6	5.0	93.6	6.4	100.0	120.2	105.2	119.3	112.1	118.8
52年度	4,242	235	4,477	288	4,765	89.0	4.9	93.9	6.1	100.0	117.0	112.4	116.7	109.1	116.2
53. 4月	431	28	459	24	483	89.1	5.9	95.0	5.0	100.0	109.4	140.0	110.9	114.3	111.0
5月	375	15	390	25	415	90.4	3.6	94.0	6.0	100.0	122.5	92.9	121.9	119.0	121.7
6月	349	22	371	24	395	88.3	5.5	93.8	6.2	100.0	115.9	146.7	117.4	109.1	116.9
4~6月	1,155	65	1,220	73	1,293	89.3	5.0	94.4	5.6	100.0	115.4	132.7	116.2	114.1	116.1
53. 7月	440	25	465	24	489	90.1	5.0	95.1	4.9	100.0	119.6	100.0	118.3	109.1	117.8
8月	382	22	404	23	427	89.4	5.2	94.6	5.4	100.0	115.8	115.8	115.8	109.5	115.4
9月	380	22	402	25	427	89.0	5.1	94.1	5.9	100.0	100.8	110.0	101.3	104.2	101.4
7~9月	1,202	69	1,271	72	1,343	89.5	5.1	94.6	5.4	100.0	111.8	107.8	111.6	107.5	111.4
53年度上期	2,357	134	2,491	145	2,636	89.4	5.1	94.5	5.5	100.0	113.5	118.6	113.8	110.7	113.6
10月	409	22	431	28	459	89.1	4.8	93.9	6.1	100.0	100.7	115.8	101.4	103.8	101.8
11月	449	22	471	30	501	89.6	4.4	94.0	6.0	100.0	110.9	110.0	110.8	115.4	111.1
12月	420	24	444	27	471	89.2	5.1	94.3	5.7	100.0	103.2	109.1	103.5	108.0	103.7
11~12月	1,278	68	1,346	85	1,431	89.3	4.8	94.1	5.9	100.0	104.9	111.5	105.2	110.4	105.5
1月	213	19	232	26	258	82.6	7.4	89.9	10.1	100.0	108.1	95.0	106.9	108.3	107.1
2月	276	24	300	29	329	83.9	7.3	91.2	8.8	100.0	106.6	126.3	107.9	103.6	107.5
3月	512	20	532	32	564	90.8	3.5	94.3	5.7	100.0	104.1	90.9	103.5	114.3	104.1
1~3月	1,001	63	1,064	87	1,151	87.0	5.5	92.4	7.6	100.0	105.6	103.3	105.5	108.8	105.7
53年度下期	2,279	131	2,410	172	2,582	88.3	5.1	93.3	6.7	100.0	105.2	107.4	105.3	109.6	105.6

[注] (1)通産省エネルギー統計月報 54年3月確報

(2)工業用ストレート・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)一般用ストレート・アスファルト=内需量合計-(ブローンアスファルト+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。

『アスファルト・ポケットブック』1979年版

ポケットブック版・表紙ビニール製・本文85ページ・実費頒価 1部 500円(送料実費は申込者負担)

主な内容

- 石油アスファルトの生産実績
- 石油アスファルトの需要推移
- 石油アスファルトの需要見通し
- 石油アスファルトの製造及び流通
- 石油アスファルトの生産場所及び油槽所
- 石油アスファルトの製造原油
- 石油アスファルトの品質規格
- 石油アスファルトの用途
- 石油アスファルトの価格
- 道路投資額と石油アスファルト需要
- 昭和52年度の道路予算
- 道路の現況
- 道路整備 5カ年計画
- 参考資料
- 石油供給計画
- O E C D 諸国のアスファルト需給
- 主要諸国の道路事情
- データーシート
- 住所録
- 会員名簿
- 関連官庁・関連団体

申込先 〒105 東京都港区虎ノ門2-6-7・日本アスファルト協会

☆編集委員☆

阿部頼政 中山才祐 真柴和昌
石動谷英二 南雲貞夫 松野三朗
曾我野慶 萩原浩 武藤喜一郎
多田宏行 藤井治芳

☆編集幹事☆

阿部忠行 岡村真 戸田透
荒井孝雄 酒井敏雄 林誠之
安崎裕 真山治信
太田健二 関根幸生

アスファルト 第120号

昭和54年8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 広業社

〒104 東京都中央区銀座8-2-9 TEL 03-571-0997(代)

ASPHALT

Vol. 22 No. 120 AUGUST 1979

Published by

THE JAPAN ASPHALT ASSOCIATION