

アスファルト

第38巻 第184号 平成7年7月発行

184

特集・舗装再生の取り組みについて

舗装の再生利用の現状と課題	中村俊行	2
プラント再生舗装の現状と課題について		
中村俊行・久保和幸・木村慎	4	
路上表層再生工法	川原忠司	9
路上再生路盤の現状と課題	社団法人 日本アスファルト乳剤協会	15
改質アスファルトの再生	鈴木勲・峰岸順一	21
再々生への取組み	吉兼亨	29
石油関連廃棄物の再生利用	帆苅浩三	37

会長就任のご挨拶

小峰亮一 1

<シリーズ 石油ミニ知識>

～石油の用途～ 長谷川宏 45

<アスファルト舗装技術研究グループ・第21回報告>

「第4回道路および空港舗装の支持力に関する国際会議」

の論文抄録（その2） 峰岸順一・アスファルト舗装技術研究グループ 48

<用語の解説>

床版増厚工法 小島逸平 70

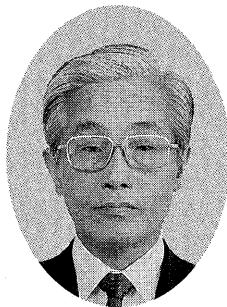
アスファルトの電気特性 青木秀樹 71

<統計資料>石油アスファルト需給統計資料 72

主な石油アスファルト製造用原油の輸入状況 74

ASPHALT

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



会長就任のご挨拶

社団法人 日本アスファルト協会
会長 小峰亮一

この度、通常総会後の臨時理事会において当協会の会長に選任され、お引受けいたすことになりました。

社命により新しい職務に就かれることになりました新美前会長のあとをお引き受けするわけでございますが、前会長は昨年の当協会の事業の一つでありました“近隣諸国におけるアスファルト需給・流通等事情調査”に関連して、自らの中国訪問など、当協会の活動が国際化に対応してゆくための先鞭をつけられ、その先見性のある活動を見るとき、会長職をお引き受けし光榮であると同時に、責任の重さを痛感いたしております。誠心誠意当協会の発展に尽くす覚悟でございますので、ご関係の皆様がたの一層のご指導、ご鞭撻を心よりお願い申し上げます。

さて、昨今の経済情勢、社会情勢をみると、その一つ一つを取り上げていると紙数がすぐ尽きてしまうくらい多事多難の連続であります。

世界も、国も、企業そして個人レベルでも先行き不透明な環境のもとで、いかに突破口を開こうか、何をなすべきか呻吟している状況ではないだろうかと思います。昔から、暗中模索のときは足元を見て初心にかえれとよく言われています。当協会の平成7年度事業計画の“基本方針”を引用いたしますと「平成7年度の事業活動は前年度と同様、恒常的・継続的なものを主体とすることを原則としながら、アスファルト需要の80%を占める道路用アスファルトに求められる要求が、耐久性があり、高品質なものなど多様化してきているので、時代のニーズには的確に対応する」とあります。

この“時代のニーズ”に対応するということが、私には何やら突破口を見出すキーワードの

ように思えます。

従来、私ども製造・販売・流通業者としては品質の良い道路用ストレートアスファルトを年間四百数十万トンを我が国の道路・国土建設に供給してまいりました。

アスファルト製造に適した原油を選択し、製油所で規格に合致した製品に仕上げ、日本全国くまなく供給してまいりました。“品質の良い製品の安定供給”という姿勢は今後も変わらないところでございますが、時代のニーズに立脚したもの考え方をするとなると、今後我々は、安全／環境／国際化という側面を重視する必要があるのではないかと考えております。具体的に指摘するならば、P L法に対応した、長寿命舗装のための高性能・高機能アスファルトの開発・製造・供給を、国内のみならず近隣諸国での需要に対応していくということになるのではないかと考えます。

この度の総会で当協会の組織の一つとして「政策委員会」の設置が承認され活動を開始することになりましたが、さきに述べたような多様なニーズに対応するためには、まさに時宜を得たものと申せましょう。組織の経営資源は「ヒト・モノ・カネ（・情報）」であることは衆知のことですが、伝統ある当協会の調査事業に加えて当政策委員会の機能を十分に發揮させ、今後の激動の時代に即応した活動を行っていきたいと考えております。

今後とも、会員の皆様をはじめ、関係官公庁、道路建設業界及びその他の関係諸会社の皆様の一層のご支援をお願い申し上げてご挨拶といたします。

[昭和シェル石油(株) 常務取締役]

舗装の再生利用の現状と課題

中村俊行

建設省土木研究所舗装研究室長

舗装の再生利用については、1950年頃から研究が始められ、70年代から本格的な技術開発が行われてきた。その後、各種の試験舗装を経て技術的には「プラント再生舗装技術指針」、「路上再生路盤工法技術指針（案）」、「路上表層再生工法技術指針（案）」が（社）日本道路協会から刊行され、一応の技術の標準化がなされている。

一方で近年、地球環境問題に対する国際的な関心の高まりとともに、建設事業でのリサイクルに対する認識が急速に高まってきている。これを受け、平成3年の「再生資源の利用の促進に関する法律（リサイクル法）」の施行をはじめとして関係法令の整備が進んできている。さらに、建設省においては、平成6年1月に「環境政策大綱」を策定し、4月には建設事業全般におけるリサイクルの推進等建設副産物対策の行動指針となるべき「建設副産物対策行動計画（リサイクルプラン21）」を公表している。

また、経済開発協力機構（OECD）道路運輸研究においても、参加各国の協力で今年より2カ年の予定で「道路改良におけるリサイクル（Recycling for Road Improvement）」の調査を行うこととしている。これは、今後の先進各国の道路政策の参考とするべく、道路建設副産物のみならず他産業での副産物や廃棄物の道路建設への再生利用と、それに対する政策・戦略等の調査を行うものである。

このように、資源の有効利用や地球環境保全の観点から、建設副産物のリサイクルという大きな流れが生じてきており、再生利用の面では先行していた舗装分野についても、今まで以上のリサイクルへの取り組みが求められている。

以下に、舗装の再生利用に関連した課題のいくつかについて述べてみたい。

第一は、舗装発生材の再利用率の引き上げと、付加価値の高い再生利用の拡大である。平成5年度建設副産物実態調査（H5センサス）によれば、前回の平成2年度の調査に比べてアスコン塊の再利用率は52%から78%へと大幅にアップしている。これは、リサイクルプラン21における、建設廃棄物の西暦2000年の目標値80%に迫る数値となっている。今後の再生利用率の引き上げは、舗装からの発生材は原則として全て舗装で再利用するとの考えに基づいて、100%を目指していくことになり、そのための調査研究や制度、施設の整備等を進めていくこととなる。

発生したアスコン塊の付加価値の高い再生利用として、プラントでの再生アスコンの材料としての利用が第一に考えられる。平成5年度のアスコン塊の搬出量2,200万トンの内で再生アスコンの材料として利用された量は、再生合材生産量が1,528万トン、再生骨材の配合率の平均が42%であるので、約640万トンと推定される。すなわち、アスコン塊搬出量の約30%弱のみが再生アスコンの材料として利用されており、残りは路盤材や盛土材として使われていることになる。アスコン塊の良質な骨材やアスファルトの有効利用を考えると、再生アスコンへの再生の比率をさらに高くする必要がある。このためには、再生アスコンの生産比率の低い地域での再生合材製造プラントの普及が必要であり、制度や法令を含めた検討が求められる。

さらにアスファルト舗装の再生としては、路上再生工法があり、表層、路盤の両技術指針

(案) が整備されていることは前述したとおりである。しかし、路上再生工法は80年代後半よりその施工実績が低下してきている。この理由として、路上表層再生工法の場合は人家連担部での施工の困難性や、再生プラントの地方への普及が、路上再生路盤工法では、舗装計画高さの嵩上げができないケースが多くなってきていることなどがいわれている。しかし、舗装の路上再生は、発生材や再生材の輸送が不要であり、現地で100%の再生が行えることから極めて高度な再生利用といえる。問題点の検討を行い、路上再生工法の適用の拡大を図っていく必要がある。

第二の課題は、再生されたことのあるアスコンの再生（再々生）および改質アスファルトの再生技術と評価の確立である。加熱アスコン全生産量に占める再生アスコンの割合は年々増加し、平成5年度には約20%に達している。このため、今後一度再生された混合物を二度三度と再生利用する例が増えてくる。また、改質アスファルトも重交通路線を中心としてその使用比率が年々上がり、平成5年度では約5%（アスファルト換算）となっている。現在では、これらの混合物が再生プラントに搬入されても、他のアスコンと均一化されてほとんど影響はないが、今後は問題が顕在化することが考えられる。このために、再々生の限界や、再生添加剤による性状の回復、改質アスファルトの再生への影響等についての調査研究が急がれる。

この問題に關係するが、新しい種類の舗装の適用にあたっては、そのリサイクル性についての検討が必要である。近年、排水性舗装や凍結抑制舗装、カラー舗装等のいわゆる機能性舗装が広く使われてきており、今後さらに新しい種類の舗装が開発されていく傾向にある。種類によっては、再生が困難なものも含まれる可能性があり、その場合の対応を含めた、リサイクル性の評価が必要である。

第三の課題は、道路以外の副産物・廃棄物の舗装への再利用である。平成5年6月に建設省道路局でまとめられた「道路技術五箇年計画」でも、「舗装材料としての利用に適合したリサイクル材料」として74の主要技術テーマのひとつとして取り上げられている。今までも、鉄鋼スラグ、下水汚泥、建築系のコンクリート塊等の多くの副産物・廃棄物が舗装で再利用されてきているが、さらに舗装材料として使える可能性のあるものについての前向きな検討が必要である。特に、外国での動向も踏まえて、使用済みタイヤ、プラスチック、ガラス、古紙等についての検討が求められている。

ただしこの際には、道路以外の副産物・廃棄物の発生者による安全性の保証や、コスト負担のあり方等、技術面以外について多くの検討すべき問題が含まれている。前述のOECDの調査は、これらの点を踏まえて行われる予定であり、その結果が期待されるところである。

第四の課題は再生舗装の品質確保の問題である。プラント再生の場合には、不特定多数の現場から発生材が搬入され、そのアスファルト含有量、骨材粒度分布、劣化の程度等は当然均一ではない。配合も、再生骨材中の旧アスファルトの針入度の測定や添加剤、補足材を加えるなど新材に比べ複雑になっている。路上再生では、既設舗装の路面性状の不均一や、路上での管理の難しさが問題となる。このため、再生舗装のより以上の品質確保のためには、合理的で製造施工にフィードバックできる管理手法の検討が必要である。

以上、舗装の再生利用の現状と課題について述べたが、以下の報文においても、これらの課題に対する取り組みが紹介されている。今後、さらに積極的に舗装の再生利用に取り組む必要があり、本特集がその一助になることを祈念するものである。

プラント再生舗装の現状と課題について

中村俊行*
久保和幸**
木村慎***

1. プラント再生舗装の現状

舗装の再利用工法の一つであるプラント再生工法は、舗装発生材等を定置式の混合所（再生混合所）において再生し、道路舗装の表・基層または路盤材に利用する工法である。

わが国においてプラント再生舗装が本格的に始まったのは昭和50年代半ば頃からである。当時、再生加熱アスファルト混合物（以下、再生混合物とする）の生産量が加熱アスファルト混合物の総生産量に占める割合は0.9%にしかすぎなかったが、以後毎年約1%ずつ増加を続けてきた。そして平成3年の「再生資源の利用の促進に関する法律（リサイクル法）」の施行以後、急激に伸びはじめ、平成5年度においては19.9%（約1,560万トン）を占めるまでに成長している（図-1）。

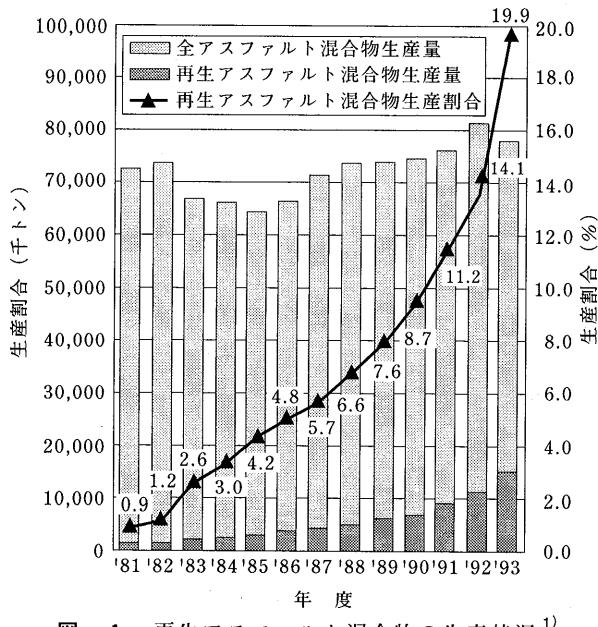


図-1 再生アスファルト混合物の生産状況¹⁾

一方では再生骨材配合率は図-2に示すように、再生舗装工法の普及に伴い、次第に小さくなっている。再生混合物の生産量の急激な伸びの原因の一つと考えられるが、その配合率から再利用された舗装発生材の量を試算してみたところ、1985年の約170万トンに対し1992年には約480万トンであった。舗装発生材の再生混合物への再生利用率はかなり伸びていると言える。

配合率を小さくすることで品質を確保し易くなり、再生混合物の適用範囲が広がり、使用量も増えたものと考えられる。

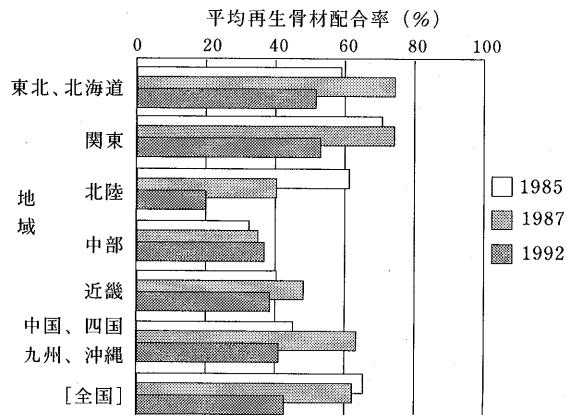


図-2 地域別再生骨材配合率の推移

2. 再生舗装に関するアンケート調査について

2.1 アンケートの概要

(社)日本道路協会舗装委員会の舗装発生材再生利用小委員会において、平成7年1月に道路管理者および施工業者を対象に、再生舗装に関する実態を調べるために、アンケート調査を行った。表-1はアンケートを行った道路管理者と施工業者の一覧である。

*なかむら としゆき 建設省土木研究所道路部舗装研究室長

**くぼ かづゆき 建設省土木研究所道路部舗装研究室 研究員

***ぎむら まこと 建設省土木研究所道路部舗装研究室 研究員

表-1 再生舗装アンケート

道路管理者 (73、うち63から回答) 〔回収率86%〕	建設省 公団(4) 北海道開発局(1) 沖縄開発局(1) 都道府県(47) 政令指定都市(12)	地方建設局(8)
		日本道路公團
		首都高速道路公團
		阪神高速道路公團
		住宅都市整備公團
		北海道開発局(1)
		沖縄開発局(1)
		都道府県(47)
		政令指定都市(12)
		民間(40)

() 内はアンケート対象数

現在は調査結果のとりまとめを行っているところであるが、以下にプラント再生舗装に関する調査結果の一部について簡単に紹介する。

2.2 アンケート調査結果

道路管理者からの回答を図-3に、施工業者からの回答を図-4に示す。

平成4年の「プラント再生舗装技術指針」改訂に

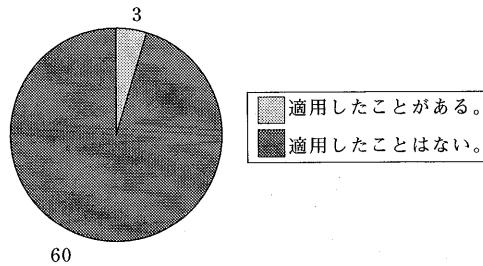
伴い、再生混合物のD交通表層への適用が可能となったが、平成4年度以降、その施工実績はあるかという質問については、道路管理者から3件(5%)、施工業者からは13件(33%)、「実績がある」との回答があった。

ただし、道路管理者側にD交通表層に適用したことのない理由を尋ねたところ、「管内にD交通道路がない」との回答が3割を占めている。また“D交通には改質材を使用している”、“新材として改質アスファルトを用いた再生混合物(以下、改質再生混合物)の実績がない”ためと答えたところが15%あり、改質再生混合物に関する検討が進めばD交通への適用も増えると考えられる。

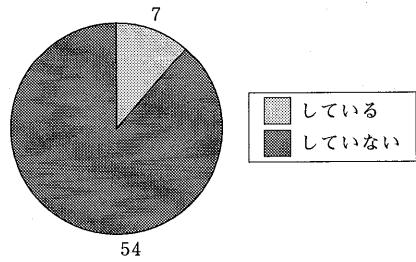
なお、改質再生混合物の実績について質問したところ、「実績がある」との回答が道路管理者では15件(25%)、施工業者では10件(27%)であった。

再生舗装の普及や重交通道路に対する改質アスファルトの適用拡大に伴い、再生混合物の再生利用(以下、再々生混合物)および改質アスファルト混

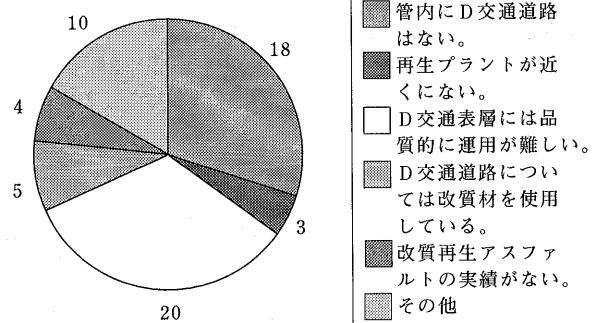
「プラント再生舗装技術指針」では再生加熱アスファルト混合物の適用範囲をD交通道路の表層まで広げましたが、貴機関においてD交通道路の表層への適用実績がありますか。



今後、いったん再生利用された混合物の再々生利用や耐流動対策として改質アスファルトを用いた混合物の再生利用が問題になってくると考えられますが、これに対してなんらかの検討をされていますか。



D交通道路の表層へ適用したことのない理由はなんですか。



改質再生アスファルト混合物を利用したことありますか。

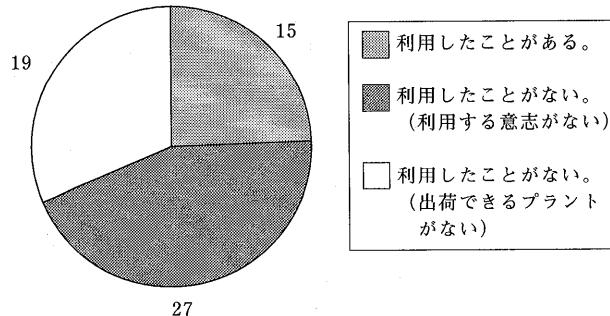
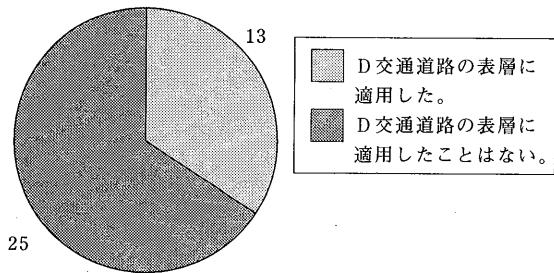
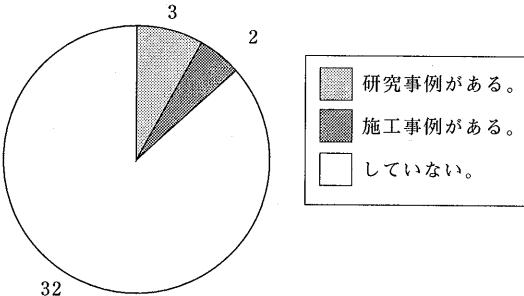


図-3 道路管理者からの回答(図中の数字は回答数)

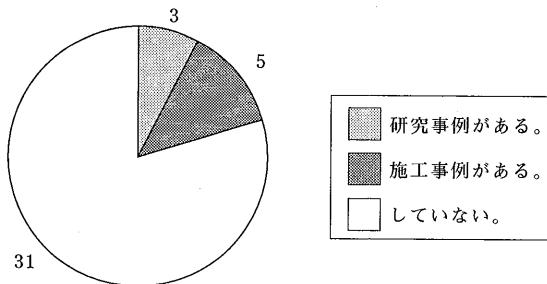
「プラント再生舗装技術指針」では再生加熱アスファルト混合物の適用範囲をD交通道路の表層まで広げましたが、貴社においてD交通道路の表層への適用実績がありますか。



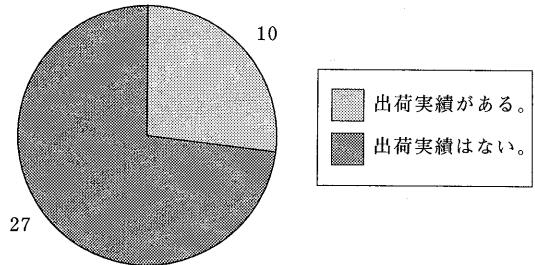
今後、いったん再生利用された混合物の再々生利用が問題になってくると考えられますが、これに対してもなんらかの検討をされていますか。



改質アスファルトの再生利用に関して何らかの検討をされていますか。



改質アスファルト混合物の出荷実績はありますか。



再生混合物の品質向上のためには再生骨材の分別収集が必要と考えられますが、貴社において再生骨材の分別収集に関する検討は行われていますか。

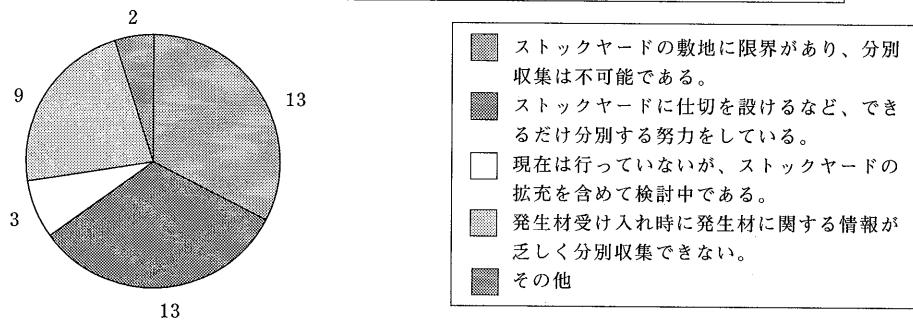


図-4 施工業者からの回答（図中の数字は回答数）

合物の再生利用（以下、再生改質混合物）の増加が今後予想される。

これらについて“検討または研究を行っているか”という質問に対し、道路管理者の7件（11%）から“検討を行っている”との回答があった。施工業者に関しては、再々生混合物について“研究している”と答えたところが3件（8%），“施工を行ったことがある”と答えたところが2件（5%）であった。

再生改質混合物については、3件（8%）が研究を行っており、また5件（13%）が既に施工を行ったことがあると回答している。

しかし、例えば再生改質混合物の品質管理を行うためには、発生材種別にストックヤードを仕切るなどの分別収集を行うことが有効である。このような分別収集については、“用地不足のため不可能”と“努力している”と答えたところが同数であった。

また“発生材に関する情報が乏しい”との回答も多く、今後さらに道路管理者側の整備も必要と考えられる。

3. RIによる旧アスファルト量測定方法の検討

アスファルトコンクリート発生材の再利用にあたっては、旧アスファルトの性状を確認することが不可欠である。一方、オゾン層破壊の危険性から、現在アスファルト抽出溶剤として使用されている三塩化エタンの1995年末の使用禁止が決定しており、安全上も問題のない代替溶剤もしくは代替試験法を確立することが急務である。

代替試験法のひとつとして、旧アスファルトの性状や粒度などの把握はできないものの、RI（ラジオアイソトープ）を用いたアスファルト含有量測定機（以下、RI測定機）の利用が考えられる。その測定原理は、アスファルトに含まれる水素原子をRIから放出される中性子に対する減速材とみなしてアスファルト量を測定するものである。

しかし、RI測定機を用いて異なる岩質、粒度について測定を行う場合には、事前にキャリブレーションを行う必要があり、不特定の混合物を扱う再生プラントにおいては非常に手間がかかる。

そこで建設省土木研究所では平成6年度に、キャリブレーションを行わないRI測定機の簡易的な利用についての検討を行った。

3.1 実験結果

実験は5箇所の再生プラントからそれぞれ3ロット、計15サンプルを収集し、それぞれ2つの供試体を作製して試験を行った。

試験の手順を図-5に示す。まず再生骨材を120°Cで24時間乾燥する。これは減速材として働く水分を取り除くためである。そしてRI測定機で4分間、2回の測定を行う。次に同一の試料に新アスファルト（ストレートアスファルト60/80）を0.5%添加、混合して再び測定を行い、さらにこれをもう一度繰り返す。最後にソックスレー抽出試験によって求めたアスファルト量の確認を行った。

図-6に、計数比（測定したカウント値を試料なしで測定したカウント値で除した値）とソックスレー抽出試験によって求めたアスファルト量との関係を示す。回帰分析を行ったところ相関係数は0.93、標準誤差は0.336%であった。

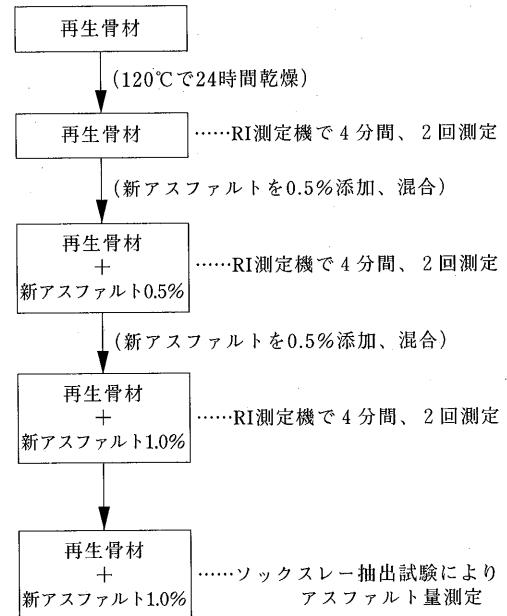


図-5 試験手順

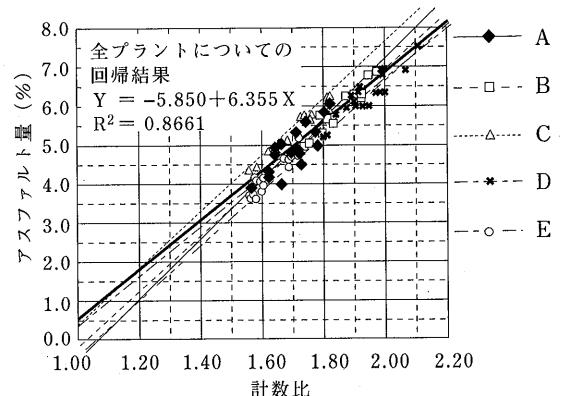


図-6 計数比とアスファルト量の関係

技術指針において、抽出試験による再生アスファルト量の標準的な管理限界は±0.9%とされている²⁾。標準誤差 $\sigma = 0.336\%$ の誤差の正規分布を考えたとき、管理限界±0.9%は±2.68 σ に相当する。この $\mu \pm 2.68 \sigma$ の範囲に正規分布の99.3%が含まれることから、RI測定機の標準誤差は実用上問題がないと考えられる。

またプラント別に一次回帰を行ったところ（表-2）、プラント-Aだけが大きな標準誤差を示して

表-2 プラント別の分析結果

プラント	A	B	C	D	E	全体
相関係数	0.85	0.94	0.97	0.92	0.92	0.93
標準誤差 (%)	0.362	0.182	0.138	0.230	0.188	0.336

いる。なお、ロット別では、1ロットだけが0.68%と大きく（その他は0.05~0.32%）、また相関も低い。このロットを除いたときの標準誤差は0.318%，相関係数0.94となる。

プラント全体についての誤差は、前述のように実用上問題のない範囲にあるが、表-2に示すようにプラント別ではさらに誤差が小さくなる。プラント毎に推定式が必要なのか、1つで十分なのかを判断するためにはより多くのデータが必要である。

3.2 今後の課題

今後このような方法でRI測定機によるアスファルト量の測定を行うには、さらに同様の実験を行ってデータを収集する必要がある。また、アスファルト

及び骨材の種類による計数比のバラツキについてさらに細かく検討する必要がある。

なお、今回の実験ではアスファルト量の確認をソックスレー抽出試験によって行ったが、ソックスレー自体の誤差の影響を含めた検討を行っていないことも今後の課題である。

—参考文献—

- 1) (社)日本アスファルト合材協会：アスファルト合材統計年報、1994.
- 2) (社)日本道路協会：プラント再生舗装技術指針、1992, p.84.

砂利道の歴青路面処理指針（59年版）増刷

第3刷 B5版・64ページ・実費額500円（送料実費）

目 次

1. 総 説	3. 路 盤	5. 維持修繕
1-1 はじめに	3-1 概 説	5-1 概 説
1-2 歴青路面処理の対象となる道路の条件	3-2 在来砂利層の利用	5-2 維持修繕の手順
2. 構造設計	3-3 補強路盤の工法	5-3 巡 回
2-1 概 説	4. 表 層	5-4 維持修繕工法
2-2 調 査	4-1 概 説	付録1. 総合評価別標準設計例一覧
2-3 設計の方法	4-2 浸透式工法	付録2. 材料の規格
2-4 設計例	4-3 常温混合式工法	付録3. 施工法の一例（D-2工法）
2-5 排 水	4-4 加熱混合式工法	付録4. 材料の品質、出来形の確認

路上表層再生工法

川原忠司*

まえがき

路上表層再生工法 (Surface Recycling工法: SR工法と略記) は既設アスファルト舗装路面を現位置で加熱再生する工法で、経済的かつ合理的に舗装の維持修繕を行うことができる。この工法の利点を活かした研究開発が進められ、昭和55年の小規模な試験施工を経て、昭和56年から本格的に工事が行なわれるようになった。その後、徐々に施工実績も増加していく、昭和63年11月には(社)日本道路協会から「路上表層再生工法技術指針(案)」¹⁾が発行されて、平成元年度の施工実績は約220万m²にも及んだが、その後の施工実績はやや減少の傾向にある。

ここではSR工法の最近の施工実績と傾向を述べるとともに、施工技術上の問題点、課題および展望を記述する。

1. SR工法の概要と最近の施工実績

SR工法の施工方式を大別すると、リミックス方式とリペーブ方式に分けられる。この工法の一般的な機械編成は図-1のようになっており、リミックス方式では路面を加熱後、路面を所定の深さまでかきほぐし、再生用添加剤及び新・旧混合物を混合して敷均し、これを振動ローラやタイヤローラで締固めるものである。リペーブ方式は、加熱してかきほぐした既設混合物を敷均し、その上に新混合物を敷均してこれを同時に締固める方式である。写真-1は最近行われたリペーブ方式の施工写真を示した。



写真-1 茨城県大宮町国道118号旧道舗装復旧工事 (リペーブ工法) 平成7年4月

この外、新しい混合物は使用せず、路面形状のみを回復させるリフォーム方式もあるが、この方式は技術指針(案)にも取扱われておらず、ここ数年の施工実績も殆んど無い。

1.1 施工量の推移

本工法の施工当初からこれまでの施工実績は図-2²⁾のようになっており、ここ3~4年の年間施工実績は150万m²前後で推移している。

平成5年度の発注機関別施工実績は表-1のようになっており、過去7年間の発注機関別施工実績の推移は図-3のようになっている²⁾。本工法の施工初期は地方官庁の工事が多く、昭和59年度はこれが全工事量の60%を占めていたが、その後は日本道路公団の工事が伸びて平成元年度にはこれが60%以上



図-1 路上表層再生工法の機械編成

*かわはら ただし (社)日本道路建設業協会・技術開発委員会・リサイクリング部会長

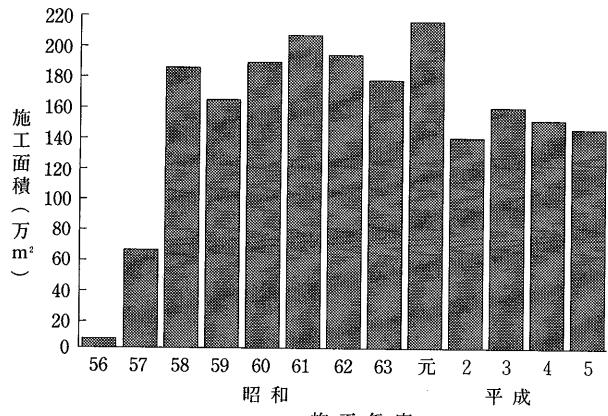


図-2 路上表層再生工法の施工実績

表-1 発注機関別施工実績 (平成5年度)

発注機関	件数	面積(m ²)	平均m ² /1件	面積%
建設省・北海道開発局	50	644,015	12,880	43.9
地方官庁(都道府県・市町村)	89	467,157	5,249	31.9
日本道路公団	9	251,455	27,939	17.2
公社公団(道路公団を除く)	9	96,924	10,769	6.6
民間	3	6,406	2,135	0.4
合計	160	1,465,957	9,162	100

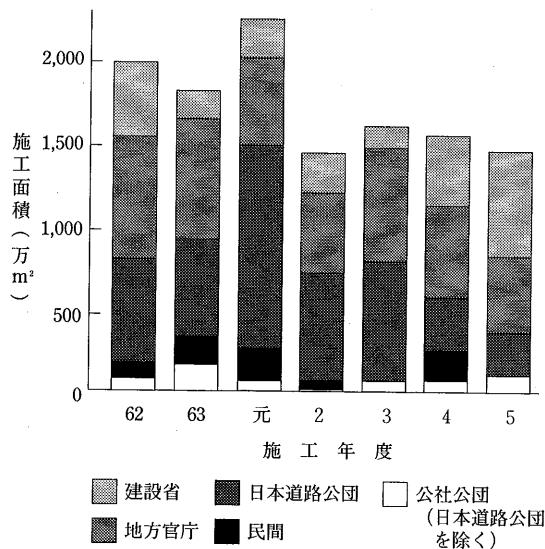


図-3 各年度の発注機関別施工実績

を占めるまでになった³⁾。その後は日本道路公団の工事がかなり減少して、最近は建設省の工事が最も多くなっている。

これら主な発注機関の過去5年間の1件当たりの工事規模(平均施工量)の推移をみると、表-2のようになっており、地方官庁工事は規模が小さくて1件当たり5千m²程度であり、道路公団工事は最も規模が大きくて1件当たり3万m²程度で、両者とも工事規模の変化は見られない。一方、建設省工事は徐々に工事規模が大きくなっている、最近は1件当たり1.3万m²程度までになってきている^{2)~6)}。

表-2 発注者別1件当たりの平均施工量(m²)

発注者	平成年度				
	元年	2年	3年	4年	5年
建設省※	8,900	8,600	10,900	13,800	12,900
地方官庁	5,000	4,900	5,000	5,500	5,200
道路公団	32,400	33,800	31,800	35,900	27,900

※北海道開発局分を含む。

1.2 施工方式別工事量の推移

SR工法の方式別工事量の推移をみると、当初リペーブ方式の施工機械が開発されたこともあって、昭和50年代の工事ではその80~90%がリペーブ方式で施工されていた。その後リミックス方式の施工機械が開発され、この方式の施工量も徐々に増加していく、平成5年にはリペーブ方式とリミックス方式の施工比率は55:45までになってきている。過去5年間の両方式の施工比率を表-3に示す^{2)~6)}。

表-3 工種別施工割合 (%)

工種	平成年度				
	元年	2年	3年	4年	5年
リペーブ	77.8	74.8	79.3	60.3	55.2
リミックス	22.2	25.2	20.7	38.7	44.8

この様なリミックス方式の増加は施工機械の改良・開発にもよるが、昭和63年に発行された「路上表層再生工法技術指針(案)」が“既設表層の路面性状の回復とともに既設表層混合物の品質を改善する方式”即ち“リミックス方式”を主体にとりまとめられていることもその要因の一つと考えられる。

このように工事量の推移と施工方式の推移をみると、平成2年以降の工事量の減少は道路公団工事の減少の影響が大きく、スパイクタイヤ規制にともなう積雪寒冷地のリペーブ工事の減少も影響している

ものと考えられる。この外，“再生資源の利用の促進に関する法律”が施工され、地方にも再生プラントが普及してきたため、発生材を生じないSR工法の利点が弱められて、切削・オーバーレイ工法とSR工法との競合が強くなってきたためと考えられる。

1.3 施工機械の現況

SR工法は再生路面ヒータおよび路上表層再生機等の施工機械の性能が施工後の舗装の性状を大きく左右するため、国内メーカー数社がこれら機械の改良、開発を行ってきた。平成5年末の我が国の施工機械の保有台数は表-4のようになっている。

表-4 SR工法施工機

リペーブ用施工機	13台
リペーブ・リミックス兼用施工機	27台
再生用路面ヒータ車	78台

リミックス用施工機は新・旧混合物の計量混合機能が必要なため、一般にリペーブ用施工機械に比べて大型なものが多い。

リミックス用施工機の新・旧混合物の混合比率を一定に保つための機構には重量計量式と容積計量式とがあり、重量計量方式の方が精度が高いが、機械がより大型になる。容量計量式の例としては新混合物をバーフィーダーの容積で計量し、かきほぐした旧混合物は集めた形状(容積)で計量する方法⁷⁾等があるが、施工後の追跡調査結果からは容積計量方式でも特に問題は生じていないようである。

既設舗装が摩耗によってわだち掘れを生じている場合などでは、縦断方向によってわだち掘れ深さが変化するため、新・旧混合物を一定比率に保つことは困難になる。そのため技術指針(案)では配合設計において、所定の配合比率のものと配合比率を±10%変えた混合物の性状も確認することになっており、ある程度の混合比率の変化には配慮がなされている。

再生用路面ヒータ車についても最近は大幅に改良され、熱風循環式が主流を占めているため、施工時に生じるブルースモークの問題もSR工法施工初期に比べてかなり改善できている。

2. 施工技術上の問題点

SR工法は路上で連続施工を行うため、季節や

晴・曇・風速などの気象条件、路面形状等ばかりでなく、使用する施工機械の能力も加味してその時々に応じた施工技術が必要で、それだけに対応の難しさがある。

2.1 適切な混合物の温度管理

本工法の要点の1つに混合物の温度管理を適切に行なうことがあげられる。これにはかきほぐした混合物(即ち既設路面の加熱程度)と加える新混合物の温度管理がある。

(1) 既設路面の加熱

既設路面の加熱には再生用路面ヒータ車を使用するが、それには既設舗装に使用されているアスファルトを熱劣化させずに所定の深さまで熱を十分に浸透(伝達)させることが大切である。熱をゆっくり浸透させることと施工速度を確保するため、一般には複数のヒータ車を使用する場合が多い。通常は先行のヒータ車で路面を短時間強く加熱し、その熱の浸透を待って後続のヒータ車でかきほぐした混合物が110℃以上になるように加熱する。この加熱技術はヒータ車の性能ばかりでなく、気象条件等によって大きく左右され、かきほぐした混合物を所定の温度まであげることが不可能な場合も少なくない。そのため、寒冷期や風の強い時は本工法の適用や施工を避けることが重要である。

(2) 新混合物の保温

リペーブ方式でもリミックス方式でも新しい混合物を使用するが、その使用量は通常の舗装に比べて1/2~1/3程度で、特殊な場合はそれ以下で施工することもあり、ダンプトラックからの混合物供給時間が長くなっているため、温度低下による品質のばらつきが懸念される。その為に覆うシートを2重にしたり、ダンプの内側にベニヤ板を張付けるなどの保温対策が必要であるが、供給する新混合物は指針にもあるように、厚さ換算で1.5cm以上使用することが重要である。

以上のように十分締固められた舗装が得られるように舗設するためには、新・旧混合物の温度管理が施工技術上の要点の1つになっている。

2.2 養生時間の確保

転圧終了後の舗装は「アスファルト舗装要綱」にも述べられているように、舗装表面温度がおむね50℃以下になってから交通開放することになっていいる⁸⁾。しかし、本工法は既設路面を加熱している

ので、かきほぐし面下の基層上部の路面温度は70～80°Cに加熱されているため、交通開放までの養生時間が長くなる。実際には種々の条件によって十分な養生時間がとれないまま供用し、初期わだちが生じる場合がある。

この養生時間不足による初期わだち掘れ発生防止対策として、既設路面の加熱を極力抑えるセミホット型リミックス工法⁹⁾が検討されているが、前述のように混合物の温度管理は極めて重要であることから、養生方法としては路面強制冷却機^{10) 11) 12)}の使用も検討する必要があろう。

2.3 適切な現場での工法採用

SR工法の採用は概略調査と詳細調査からなる事前調査によってその適否を判定する。概略調査では路面の性状、路線の状況を調査し、詳細調査ではわだち掘れ深さ、ひびわれ率、既設表層混合物の性状等を調査することになっており、それによってSR工法を採用するかどうか、またリペーブ方式にするかリミックス方式にするなどを判定し、更に最大かきほぐし深さ、新アスファルト混合物の使用量、再生舗装の厚さの標準等から本工法の概要を決定する。しかし、これまでの実績では、必ずしもこれらの諸条件を十分満足する場合にのみ本工法が採用されたとは限らず、クレームの生じた工事を検討すると、殆んどが当初から本工法の採用が不適切であった工事であった。

本工法の採用に当っては技術指針(案)の適用条件を満足する工事にのみSR工法を採用することが大切である。

2.4 詳細調査及び配合設計の有効利用

事前調査で行われる詳細調査は、路面のわだち掘れ深さ、ひびわれ率およびひびわれ深さ、既設アスファルト混合物の骨材粒度やアスファルト量、回収したアスファルトの針入度および軟化点等々調査する事項が多くて、通常2～3週間の調査期間が必要である。更にリミックス方式の配合設計では再生用添加剤の添加量、新・旧混合物の混合比率の決定、および混合比率を±10%えた混合物の性状試験等かなりの日時を要する。これに対して現場の実施工は2～3日という場合もあって、詳細調査や配合設計にかけた労力の割には小規模工事も少なくなく、これが施工業者のコストパッケージになっている。従ってSR工法の採用に当っては、詳細調査や配合設

計の労力に応じた規模の工事であることも大切である。

2.5 施工機械の長距離輸送

SR工法の施工機械は大型のものが多く、リミックス用施工機は20～25tのものが一般的になっている。しかも施工業者がそれぞれのメーカーと協議して開発したものが多く、施工に際しては施工業者の基地(機械工場)から現場まで長距離輸送をする場合が少くない。実際の現場の実稼働日数は2～3日という工事規模の場合もあって、工事費全体に占める運搬費の比率が過大となり、これが施工業者の大きな負担となることもある。従って工事規模の大型化が望まれるとともに、このような特殊機械の運搬費の積算は特別な計上に配慮する必要があろう。

3. 今後の課題と展望

3.1 再施工のための技術的検討

SR工法の実績も平成5年までの累計で2,000万m²を超えており、初期の施工箇所は10年を経過している。リペーブ方式で施工後5年して再度リペーブ方式を施工した例があり、一応成功したとしているが、密度が得にくく、温度管理を特に厳重にするよう提案している¹³⁾。このような再施工を行った実績は少なく、リミックス方式の再施工など、再施工における技術的な問題を十分摘出し、その解決法を早急に検討する必要がある。

3.2 改質アスファルト使用路面へのSR工法適用技術の開発

最近、大型車交通量の多い道路では耐流動性向上させた混合物を表層又は表層・基層に使用することが定められており、そのため改質アスファルトの使用例が多くなっている。このような改質アスファルトを使用した路面にSR工法が十分適用出来るかどうか早急に解明する必要がある。

改質アスファルト舗装路面にリペーブ方式を適用して一応の成功をおさめた報告がある¹⁴⁾が、改質アスファルトにも種々のものがあり、通常のアスファルトに比べて粘度の高い改質アスファルトの加熱、かきほぐしおよび新混合物との混合など、特にリミックス方式では技術的な困難が予想される。この問題について早急に検討する必要がある。

3.3 施工機械の改良と開発

SR工法の施工機は完全に完成したものはなく、

それぞれ若干の改良すべき点をかゝえている。

SR工法施工機はかきほぐし、混合、敷均し等の機能保有上、大型のものが多いが、市町村道を施工する場合は機械の小型化も必要である。リペーブ用施工機には小型のものがあって施工例もある^{15) 16)}が、国産のリミックス用小型機ではなく、輸入した小型機でスパイクタイヤによるわだち掘れ部分のみを補修した例が報告されている¹⁷⁾。小型のリミックス用施工機の開発も必要であろう。たゞし小型化した施工機械での施工は施工能力が大幅に低下するので、施工費が上昇する等の問題点は残っている。

その他、混合性能を向上させたリミックス用施工機械や、ブルースモークを殆んど発生させない路面ヒータ車の開発など、改良・開発すべき点もあるが、残念ながら現在のところその開発熱は高くなない。その理由の1つにSR工法の工事量が少ないことがあげられる。現有施工機械40台と施工面積から1台当たりの年間平均施工量を算出すると、3.8万m²程度となり、機械の製造費に比べて施工量が著しく小さい。その為に改良・開発まで手が回らないのが実状である。

したがって、より良い施工機の開発のためには、1台当たりの年間施工量は10万m²以上確保する必要があろう。

3.4 今後の展望

今後、舗装ストックが増大することにより、舗装の維持管理は量、質ともに益々重要になってくる。大規模修繕工事に至る前の維持管理、即ち初期手当を上手に行って舗装寿命の長期化を図る一方、道路利用者へのサービスレベルを保持することが課題となろう。

SR工法はこの初期手当の手段として大いに有望で、新しい展開も可能であろう。

本工法は一般国道の重交通道路、市街地の幹線道路など、交通渋滞が生じやすい地域ほど採用需要が高いので、交通渋滞の生じにくい時期と施工性の良い時期に配慮して、良好な条件下で採用されるようになればその特徴が認められ、より一層の拡大が望めるであろう。

あとがき

“再生資源の利用の促進に関する法律”が平成3年10月に施行されてより、建設業の分野でも再生

利用の気運は大いに高まり、平成5年度の再生アスファルト混合物の生産量は全合材生産量の約20%を占めるに至る¹⁸⁾など、このところの再利用熱はかなりの高まりをみせている。

建設省の建設廃棄物に関する調査によると、平成5年度のアスファルト・コンクリート塊の再利用率は78%，セメント・コンクリート塊の再利用率は67%にも達している¹⁹⁾と報告されており、更に平成6年4月に建設省より“建設副産物行動計画「リサイクルプラン21」”²⁰⁾が公表され、この傾向は今後一段と強まるものと考えられる。

このような状況の中にあって、路上表層再生工法の工事量の動きはいま一つ迫力に欠けている。それは施工初期の頃に、施工の不慣れと不適切な箇所への施工によって、施工後損傷の生じた現場の印象が発注者に強く残っていることと、再生プラントが地方にも設置されて舗装発生材の再利用が比較的容易になってきたためと考えられる。

環境保全、再生利用の気運が高まる折から、路上表層再生工法の優れた長所が認識され、施工機械の改良・開発も進められて21世紀に向って本工法が大いに羽搏くよう関係者のより一層の努力を期待するものである。

－参考文献－

- 1) (社)日本道路協会; 路上表層再生工法技術指針(案), 昭和63年11月
- 2) SR工法技術振興会; 路上表層再生工法平成5年度施工実績, 平成6年4月
- 3) SR工法技術振興会; 路上表層再生工法平成元年度施工実績, 平成2年6月
- 4) SR工法技術振興会; 路上表層再生工法平成2年度施工実績, 平成3年5月
- 5) SR工法技術振興会; 路上表層再生工法平成3年度施工実績, 平成4年5月
- 6) SR工法技術振興会; 路上表層再生工法平成4年度施工実績, 平成5年4月
- 7) 伏屋ほか; リミックススペーバRP4000の性能について, 第16回日本道路会議論文集, 昭和60年, p.541
- 8) (社)日本道路協会; アスファルト舗装要綱, 平成4年12月, p.133
- 9) 永倉; リミックス(セミホット型リミックス)

- 工法による施工例, 第17回日本道路会議論文集, 昭和62年, p.614
- 10) 稲垣ほか; アスファルト舗装の養生時間短縮方法の1例, 道路建設, 1989年7月, p.55
- 11) 羽山ほか; アスファルト舗装の冷却方法, 第18回日本道路会議論文集, 平成元年, p.728
- 12) 浅井; 舗装の早期冷却装置について, 第18回日本道路会議論文集, 平成元年, p.730
- 13) 八重樫ほか; 東北自動車道における路上再生工法の施工例, 第17回日本道路会議論文集, 昭和62年, p.604
- 14) 石川; 改質アスファルトを使用した既設舗装への路上表層再生工法の適用について, 道路建設, 平成6年2月, p.58
- 15) 鈴木ほか; 路上表層再生工法の小巾員工事への適用, 第16回日本道路会議論文集, 昭和60年, p.491
- 16) 松本ほか; 路上表層再生工法の施工例, 第16回日本道路会議論文集, 昭和60年, p.495
- 17) 鈴木ほか; 路上表層再生工法用小型施工機械, ミニ・リミキサの紹介, 舗装, 1989年7月, p.22
- 18) (社)日本アスファルト合材協会; アスファルト合材統計年報〔平成5年度〕
- 19) 建設工業新聞; 「アスコン再利用率8割に, 副産物のリサイクル進む」, 平成7年3月20日
- 20) 建設省経済局; 建設副産物行動計画「リサイクルプラン21」, 平成6年4月

重交通道路の舗装用アスファルト 「セミブローンアスファルト」の開発

B5版・132ページ・実費価格 3000円（送料実費）

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

目 的

- | | |
|--|--|
| <p>1. 研究の概要</p> <p>1.1 文献調査</p> <p>1.2 室内試験</p> <p>1.3 試験舗装</p> <p>1.4 研究成果</p> <p>2. 舗装の破損の原因と対策</p> <p>2.1 アスファルト舗装の破損の分類</p> <p>2.2 ひびわれ (Cracking)</p> <p>2.3 わだち掘れ (Rutting)</p> <p>3. セミブローンアスファルトの開発</p> <p>3.1 概説</p> <p>3.2 市販ストレートアスファルトの60°C粘度調査</p> <p>3.3 製造方法の比較</p> <p>3.4 セミブローンアスファルトの試作</p> <p>3.5 試作アスファルトの特徴</p> <p>3.6 60°C粘度と他の物理性状の関係</p> <p>3.7 薄膜加熱による性状変化</p> <p>4. セミブローンアスファルトを用いた混合物の性状</p> <p>4.1 概説</p> <p>4.2 マーシャル安定度試験</p> <p>4.3 ホイールトラッキング試験</p> | <p>4.4 高速曲げ試験</p> <p>4.5 水浸マーシャル安定度試験</p> <p>4.6 試験結果のまとめ</p> <p>4.7 品質規格の設定</p> <p>5. 試験舗装による検討</p> <p>5.1 概説</p> <p>5.2 實施要領</p> <p>5.3 施工個所と舗装構成</p> <p>5.4 追跡調査の方法</p> <p>5.5 使用アスファルトの性状</p> <p>5.6 アスファルト混合物の性状</p> <p>5.7 第1次および第2次試験舗装の供用性状</p> <p>5.8 第3次試験舗装の供用性</p> <p>5.9 アンケート調査</p> <p>5.10 試験舗装のまとめ</p> <p>6. む す び</p> <p>資料</p> <p>1. セミブローンアスファルトの規格 (案)</p> <p>1.1 石油アスファルト絶対粘度試験方法</p> <p>1.2 60°C粘度試験の共通試験</p> <p>2. 舗装用セミブローンアスファルトの舗装施工基準</p> |
|--|--|

路上再生路盤の現状と課題

社団法人 日本アスファルト乳剤協会

1. はじめに

路上混合式工法は昭和30年代から「スタビライザ工法」として行われるようになり、昭和45年頃を頂点に国の補助事業による地方道の整備に全国的に実施された。昭和50年代になり、交通量の増大とともに簡易舗装の損傷が著しくなってきたが、その間昭和48年の第1次石油ショックによる石油価格の高騰が引き金となり、資源の有効利用が叫ばれるようになり舗装発生材の再利用技術の研究開発が進められた。その結果ロードスタビライザの大規模な改良が行われ、それまで処理深さが10~20cmであったものが、深さ40cmでも破碎・混合ができるホイール式ロードスタビライザが開発された。

はじめは添加材として主としてセメントが使用されたが、その後収縮クラック対策や処理層にたわみ性を持たせるためにアスファルト乳剤の併用が行われるようになった。

セメント・乳剤を使用した路上再生路盤工法（以下「再生CAE路盤工法」と呼ぶ）の品質に関しては、昭和62年「路上再生路盤工法技術指針（案）」（以下指針（案）と呼ぶ）が日本道路協会より発刊されたのを受けて、（社）日本アスファルト乳剤協会では昭和62年から平成5年にかけて、指針（案）で規定している等値換算係数0.65の妥当性について評価を行った。

以下に路上再生路盤工法の現状と再生CAE路盤工法の調査結果、今後の課題などについて述べることにする。

2. 路上再生路盤工法の施工実績

図-1は（社）日本道路建設業協会が調査した平成元年から5年までの本工法の施工面積である。施工面積は平成2年を底に増加していく、平成5年には288万m²にまで回復している。また図-2は、（社）日本アスファルト乳剤協会が集計している混合用乳剤の出荷量である。やはり少しづつではあるが毎年増加していることがわかる。

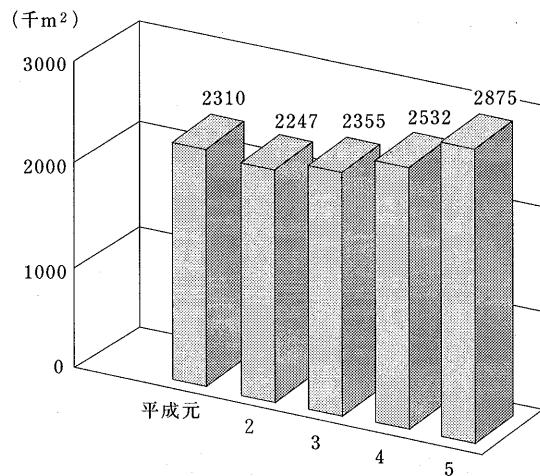


図-1 路上再生路盤工法施工実績
(日本道路建設業会資料より)

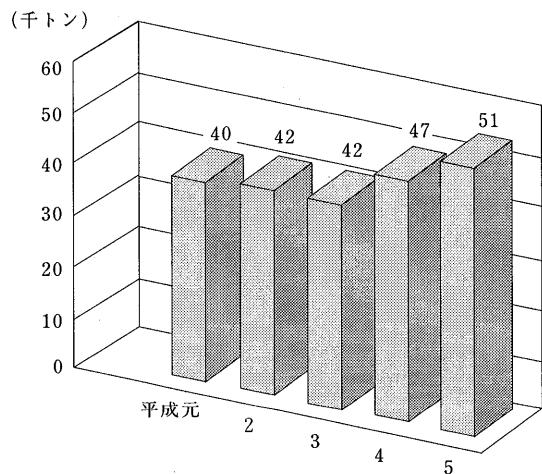


図-2 混合用乳剤出荷量
(アスファルト乳剤協会資料より)

路上再生路盤のうち、乳剤を使用したもののが公表されていないが、混合用乳剤のうち90%が再

生CAE用乳剤として、1 m²あたり20kg乳剤を使用したと仮定した場合の施工面積は図-3のようになる。これより路上再生路盤のうち80%以上がアスファルト乳剤を使用した再生CAE路盤であると推定される。

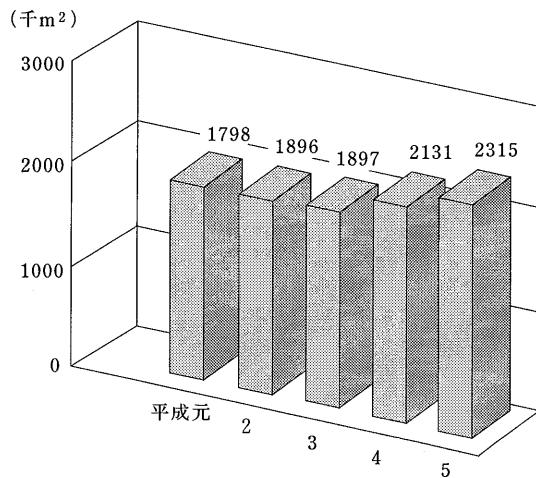


図-3 路上再生CAE路盤工法の推定施工面積

3. 再生CAE路盤に使用されるアスファルト乳剤

再生CAE路盤には、添加材として通常アスファルト乳剤が4～5%，セメントが2.5%程度が使用される。したがって乳剤はセメントと混合性のよいものを使用する必要がある。セメント混合用乳剤の規格は昭和57年に(社)日本アスファルト乳剤協会規格(JEAAS)において制定されたが、その当時乳剤メーカーはカチオン乳剤、ノニオン乳剤、特に電荷を規定しない特殊乳剤をそれぞれセメント混合用乳剤として販売していた。したがって昭和57年に制定されたJEAASでは乳剤の電荷はあえて明記していなかった。

その後平成5年のJIS及びJEAAS改定にさきだって、乳剤協会は再生CAE路盤工法に使用されている乳剤の実態調査を行った。その結果JIS K 2208のMK-3よりセメント混合性、機械的安定性を改善したノニオン系乳剤が主として使用されていることがわかった。その理由としては、①セメント使用量が多いこと、②現地発生材、既設舗装体の破碎物など細粒分の多い骨材が対象となること、③従来より大型で強力な施工機械が用いられていること、などのためである。そこで平成5年に改正したJIS K 2208((社)日本道路協会規格もJISに準じている)において

は、セメント・アスファルト乳剤安定処理用としての乳剤をノニオン(MN-1)と明記した。表-1にはセメント・乳剤安定処理用乳剤の規格を示す。

表-1 セメント・乳剤安定処理用乳剤の規格
(日本道路協会規格)

項目	種類及び記号	ノニオン乳剤 MN-1
エングラー度 (25°C)	2～30	
ふるい残留分 (1.18mm) %	0.3以下	
セメント混合性 %	1.0以下	
蒸発残留分 %	57以上	
蒸発残留物	針入度 (25°C) 伸度 (15°C) cm 三塩化エタン可溶分 %	60を超える300以下 80以上 97以上
貯蔵安定度 (24時間) %	1以下	

4. 施工機械

現在使用されている各メーカーのホイール式ロードスタビライザの主要諸元を表-2に示す。最近のロードスタビライザの特長および構造は次の通りである。

(1) エンジン

エンジン出力は概ね340～380PSである。

(2) 走行装置

走行装置はすべてホイール式で、一般道路を走行し、現場まで自走できる。

前輪にはリーニング機構を設けたモータグレーダ型の機種が主流となっている。

(3) 作業装置

ロータ部は、破碎混合深さが均一になるように前後輪の間に設けてあるのが一般的であるが、角隅部の破碎混合がし易いように、車体後部に装着した機種もある。

ロータフードは、全機種ともフローティング式を採用し、アスファルト塊や路盤材の外部への飛散あるいは、セメントなどの舞い上がりを防止するようになっている。

タイヤおよびビットについては、各メーカーとも特色ある配列・形状および材質などにより工夫をこらしている。

曲がりくねった道路や電柱、マンホールなどの障害物のある道路でも作業ができるようにサイドシフトの機構や、車体の傾斜と無関係に均一な混合深さ

表-2 ホイール式ロードスタビライザ仕様一覧表

製作 会社	型式	車両 重量	前輪 重量	後輪 重量	全長×全幅×全高 ()内は運転室付 全高	軸距 m	最低地上高 m	走行速度段 km/h	最高速度 km/h	作業速度段 m/min	最小回転半径 m	機関 型式	定格 出力 ps/rpm	ロータ ローティング シフト回転数 rpm	ロータ ローティング シフト回転数 rpm	ロータイ ン 運動力伝 達形式	ロータイ ン 運動力伝 達形式	As 最大 碎 厚 cm	ロータ 取付け 位置			
(株)日本 ボーマック	MPH100S	13.04	-	-	8.54×3.05×2.16 (3.56)	3.27	0.51	無段 変速	22	無段 変速	61.7	6.4	GM 6V-92N	345/2,100	2.0	0.36	-	135	油圧式	70	リヤ	15
酒井 重工業	PM210 PM500	19.75 21.00	7.15 6.50	12.60 14.50	8.32×2.48×2.47 8.67×2.48×2.54	5.70 5.50	0.29 0.28	" "	23 22	" "	16 50	11.0 10.0	三菱6D22-T 三菱56B	230/2,000 380/2,100	1.70 2.00	0.55 0.5	0.41 0.5	95 110	" "	48 87	車両中央 "	8 15
コマツ	GS360-2	18.20	5.90	12.30	9.11×2.45×2.59 (3.47)	6.0	0.35	"	26	"	50	10.4	コマツ SD140	360/2,000	1.97	0.4	0.5	132	"	52	"	15

が得られるようにチルト機構を備えた機種もある。

混合幅は1.7~2.0m、混合最大深さは36~55cmとなっている。

(4) その他

オプション装置として、コンピュータによる自動乳剤散布装置を装着したものがある。この装置は、あらかじめコントロールユニットに必要なデータ(施工幅、混合深さ、混合物の密度、乳剤の重量混合比)をインプットしておけば、作業速度を検出し、必要とする乳剤量を計算し、最適量を散布すると同時に流量も表示するものである。

5. 路上再生CAE路盤工法の追跡調査

5.1 調査目的

昭和62年1月に(社)日本道路協会から発刊された指針(案)に基づいて実施された再生CAE混合物の配合設計方法および等値換算係数0.65の妥当性についての評価を行うため昭和62年から平成5年までの7年間(社)日本アスファルト乳剤協会が行ったものである。

5.2 調査方法

(1) 調査箇所

本工法を採用した現場の中から51路線を選び、供用から4年間のデータを収集・解析した。調査箇所は図-4に示すように北海道と沖縄を除く日本全国に分布している。

(2) 等値換算係数

等値換算係数はPSIより算出する方法に従ったが、参考としてたわみ量およびMCIからも算出した。

(3) 調査路線

調査路線の交通区分は図-5に示す通りで、大部分がA、B交通である。設計CBRは3~4%が全体の6割を占めており、路床の悪い箇所が多い。また既設路盤厚では15~35cmの範囲のものが6割を占めており、アスコン層はA交通で5cm、B交通で10~15cmとなっている。

添加材量は、セメントが2.0~3.0%、アスファルト乳剤が4.5~5.0%の範囲のものが7割以上となっている。

5.3 調査結果

(1) わだち掘れ量およびひびわれ率

供用約4年での平均わだち掘れ量は0.56cm、平均ひびわれ率は2.4%といずれも少なかった。

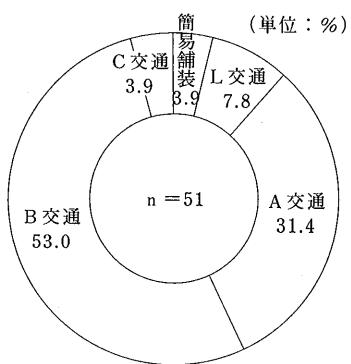


図-5 調査路線の交通区分

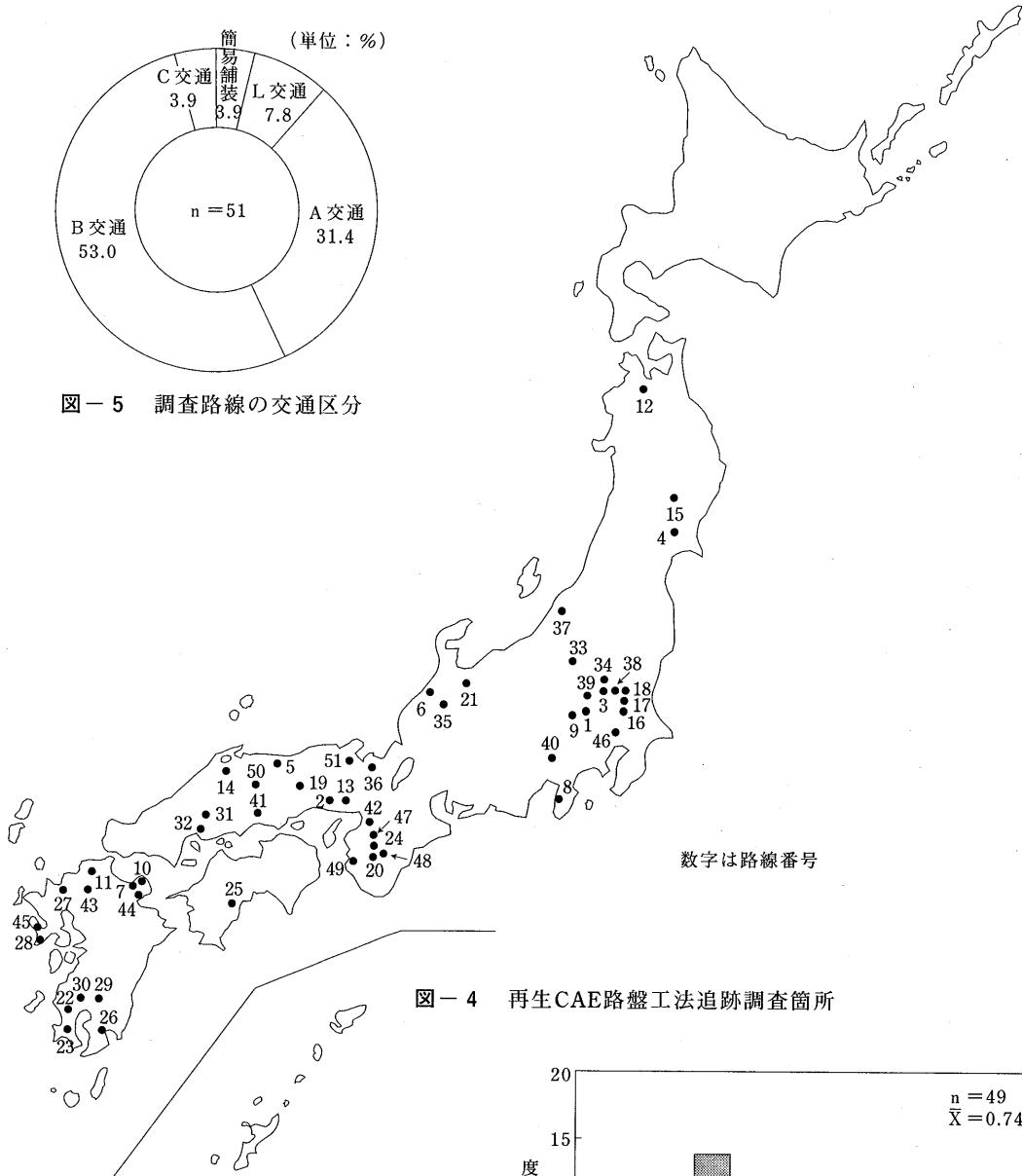


図-4 再生CAE路盤工法追跡調査箇所

(2) 供用性指数 (PSI)

供用約4年でのPSIは平均3.91であり、道路維持修繕要綱に示されている表面処理などの軽微な補修が必要となるPSI=3~2.1に低下するまでの供用年数は10年程度と推測される。

5.4 等值換算係數

(1) PSIによる等値換算係数

PSIから求めた等値換算係数の度数の分布図を図-6に示す。等値換算係数は0.6~0.7を中心に幅広い範囲で分布しているが、平均値0.74となっており、指針(案)に記載された0.65を十分満足した値になっている。

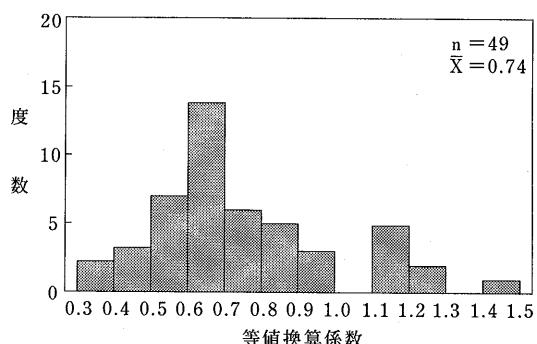


図-6 PSIから求めた等値換算係数の度数分布

各交通量区分における等値換算係数の平均値を表-3に示す。L交通およびA交通における等値換算係数は、指針(案)に記載されている0.65を上回る結果であった。しかし、B交通については0.64であり0.65をやや下回る結果となっている。

表-3 各交通区分における等値換算係数の平均値

交通量	L交通	A交通	B交通
等値換算係数	1.12	0.79	0.64
n	4	15	26

(2) たわみ量による等値換算係数

たわみ量から求めた等値換算係数の結果を表-4に示す。供用約4年において平均で0.70となり、指針(案)で示されている0.65を上回っている。

表-4 たわみ量から求めた等値換算係数

調査回数	1回目	2回目	3回目	4回目
等値換算係数	0.72	0.70	0.68	0.70
データ数	8	7	7	8

(3) MCIによる等値換算係数

算出に用いた大型車交通量は表-5に、MCIから求めた等値換算係数を表-6に示す。各交通量の等値換算係数はB交通0.81、C交通0.80、平均0.81となり指針(案)に記載されている0.65を上回っている。

表-5 算出に用いた大型車交通量

交通量区分	B交通	C交通
大型車交通量(台/日・方向)	500	1732

表-6 MCIから求めた等値換算係数

	B交通	C交通
等値換算係数	0.81	0.80
データ数(n)	14	1

5.5 まとめ

以上の調査結果より、適切な設計と施工を行えば、指針(案)に示されているCAE混合物の配合設計方法ならびに等値換算係数0.65は妥当なものであると確認された。

6. 再生CAE路盤工法の問題点と今後の課題

6.1 問題点

6.1.1 設計上の問題点

(1) 配合設計

現在配合設計は、指針(案)の「配合設計のフローシート」にしたがって行われている。この一連の作業はかなりの人手と時間を必要とするため、より省力

化された方法が望まれる。

(2) 路盤材の品質の確認試験について

指針(案)では、再生路盤中のアスコン混入率に関する規定はないが、路上再生路盤用骨材の品質と粒度の確認を行うことになっている。路盤材の品質の確認試験を行う場合、アスコン混入率の多い路盤材の修正CBRは、試験温度により数値が異なるため夏季と冬季では試験値が異なる。

(3) 下層路盤への適用

指針(案)においては、再生CAE路盤工法の適用箇所として「路上再生路盤と路床の間に、下層路盤に相当する既設粒状路盤を10cm以上確保できるところがのぞましい」としている。しかし本工法を行う箇所は、路盤厚がそれほどなく下層路盤に相当する既設粒状路盤を10cm以上確保できない場合が多い。本工法をそのような箇所に適用した場合の明確な位置付けが望まれる。

6.1.2 施工上の問題点

(1) 補装仕上がり面の上昇

再生CAE路盤工法を行うと、既設舗装面より仕上がり高さが高くなる。これは新たに表層を施工するためばかりでなく、①既設舗装を破碎・混合するため密度が小さくなる。②アスファルト乳剤、セメントなどの添加材を混入する、などのためである。

このような箇所では、予備破碎を行ってあらかじめ路面高を合わせておけばよいわけであるが、工期や施工費の関係で行えないケースが多い。

(2) ロードスタビライザのコンパクト化

近年、県道だけでなく市町村道にも再生CAE路盤工法が普及しつつあるが、そのような道路は幅員が狭く、またカーブの急な箇所が少なくない。現在のロードスタビライザはかなり大きく、そのようなところを施工するのに適していない。今後よりコンパクトなスタビライザの開発が望まれる。

(3) 構造物付近の施工

側溝、マンホールなどの構造物付近の施工は、スタビライザにより混合ができないためバックホールなどでその付近の材料を所定厚さまでかき起こし、処理した材料を埋め戻す処置を行っている。しかし品質や厚さのバラツキが生じやすく、また転圧不足になりやすいためひびわれなどの発生例が多い。

6.2 今後の課題

今後の課題についてまとめてみると、以下のようになる。

(1) 重交通道路への適用

現在指針(案)では、本工法の適用は当面B交通までとしている。しかし今後C交通以上を対象とした道路への適用も考えていく必要がある。

(2) 下層路盤への適用

下層路盤に相当する既設粒状路盤が10cm確保できない箇所が多くなってきている。その箇所に再生CAE路盤工法を行った場合、処理層の一部を下層路盤としてみなすのかどうか、またそのときの等値換算係数の取扱いなどについて検討する必要がある。

(3) 作業環境の改善

施工時におけるセメントなどの粉塵対策は、作業環境の面から早急に改善する必要がある。材料や施

工方法で多少の改良はみられるが、更に抜本的な解決策が望まれる。

7. おわりに

再生CAE路盤工法は、省資源、省エネルギーという時代のニーズに合った工法であり、(社)日本アスファルト乳剤協会が実施した調査でも、良好な供用性状を示している。しかし本工法は施工されてから10年以上経過したものが多く、補修の必要な箇所も多くなってきている。これらの補修を行う場合、従来の設計・施工法でよいのかあるいは改良する必要があるのかどうか、今後本工法がさらに発展するためには検討する時期にきている。

一参考文献一

- 1) 安崎 裕；大日・横戸試験舗装追跡調査の結果、土木技術試料、1977, 6
- 2) 安崎 裕、吉兼秀典、樋野義周；路上再生路盤工法の現況と評価、土木研究所試料、第2453号、1987, 2
- 3) (社)日本アスファルト乳剤協会；路上再生セメント・アスファルト乳剤安定処理路盤工法の

追跡調査 1993, 11

- 4) 星川好昭；路上再生路盤工法の機械について、あすふあるとにゅうざい、1993, No.114
- 5) 西川征二、成田守男；路上セメント・アスファルト乳剤安定処理路盤工法の問題点と今後の課題

石油アスファルト統計月報

B5：16ページ ¥500（送料は実費）毎月1日発行

アスファルトに関する統計

資料を網羅し、毎月に発行する統計月報です。

広くご利用いただけるよう編纂致しました。

ハガキにてお申し込みください。

申込先 〒105 東京都港区虎ノ門2丁目6番7号
和孝第10ビル
社団法人 日本アスファルト協会
アスファルト統計月報係

一目次一

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

改質アスファルトの再生

鈴木勲*
峰岸順一**

1. はじめに

改質アスファルトが使用されるようになってから既に20年以上が経過している。改質アスファルトは当初は特殊材料として、一部に使用されていたに過ぎなかつたが、年々その使用量が増加し、昭和63年版「アスファルト舗装要綱」では改質アスファルトをゴム・熱可塑性エラストマー入りアスファルト及びセミブローンアスファルトに分類した。ゴム・熱可塑性エラストマー入りアスファルトは改質アスファルトⅠ型、Ⅱ型（以下、改質Ⅰ型、改質Ⅱ型）の2種類に区分され、標準的性状や品質規格を定め一

般材料として扱うこととなった。

その後改質アスファルト（ゴム・熱可塑性エラストマー入りアスファルト）の出荷量は図-1¹⁾に示すように平成2年頃から出荷量が増大しており、特に、改質II型プレミックスの出荷量は急激な伸びを示している。地域別では、関東での出荷量が他の地域に比べて突出して多い。これらの改質アスファルトコンクリート発生材（以下、改質発生材）がリサイクルされる時期を迎えるに従い、徐々にではあるが再生骨材の中に混入してきている。特に、重交通路線を多く抱える東京都は、現在、都道の表層の80%近くは

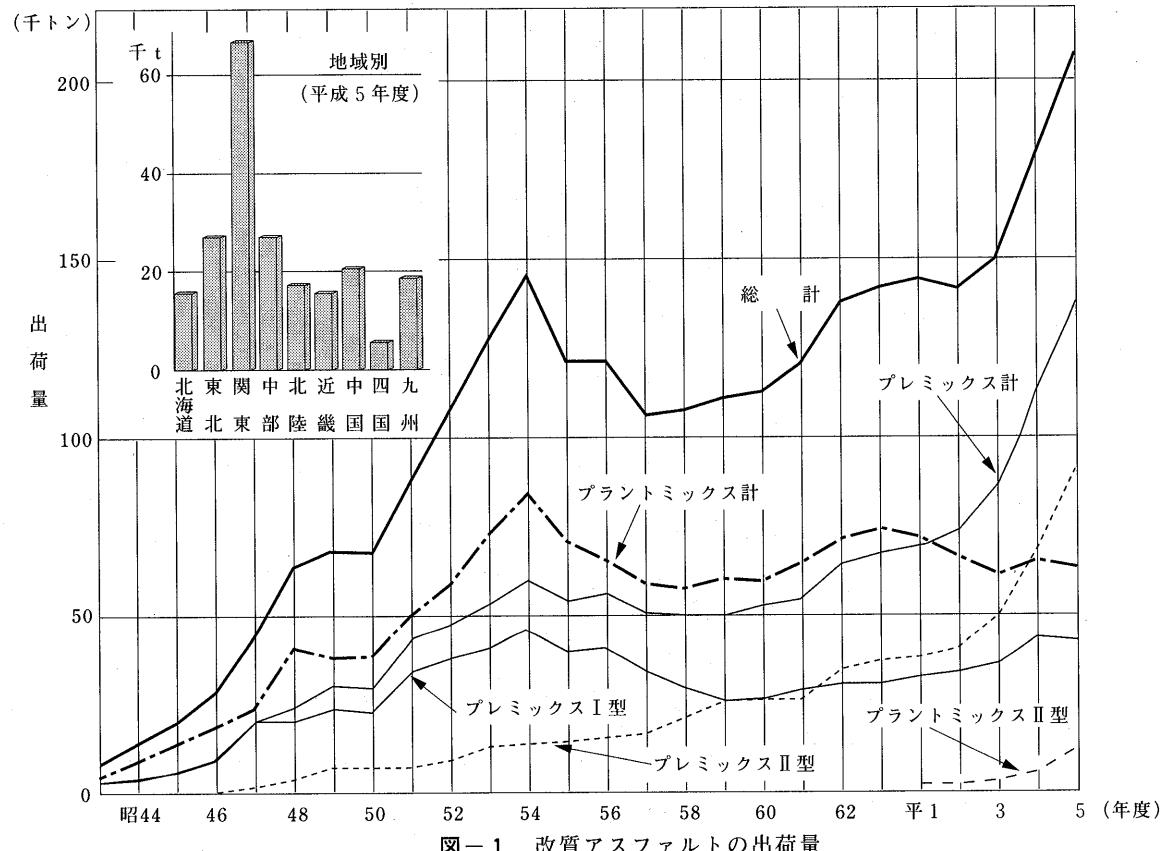


図-1 改質アスファルトの出荷量

*すずき いさお 東京都土木技術研究所 主任研究員

**みねぎし じゅんいち 東京都土木技術研究所 研究員

改質アスファルトを使用していることから、改質発生材が今後さらに増加することは明らかである。このため、アスファルト混合物の再生にあたって改質発生材の混入による影響を把握し、再生アスファルト混合物の品質の確保を図ることが求められている。

本文では、改質発生材の現況と改質発生材中の回収アスファルトの性状、及び混合物性状を東京都の現況と併せて2、3の実験を試みた。その結果、改質発生材が混入することにより、再生アスファルト混合物の一般的性状の改善に寄与することが認められたので、これらを中心に述べると共に今後の方向について考察した。

2. 改質発生材量の推定

現在、アスファルトコンクリート（アスコン）発生材中にどの位の改質発生材が混入しているのだろうか。

アスコン発生材受け入れ所（以下、再生プラント）では、改質発生材が区別できるかとのアンケートに対して「全く区別できない」ということであり、アスファルト混合物の種類は簡単に識別できないのが実情である。

2.1 改質アスファルト混合物の製造量

改質アスファルト混合物の製造量については、統計がないため明らかでないが、仮にアスファルト混合物の改質アスファルト量を6%と仮定し、改質アスファルトの出荷量とアスファルト混合物製造量²⁾

から改質アスファルト混合物製造量を推計すると、図-2に示すように、平成5年度は全国で354万トンの改質アスファルト混合物が製造されたことになり、舗装の補修サイクルを10年と考えると10年前の改質アスファルト舗装が発生材として排出されたことになる。従って全国的には約3%程度の改質発生材が既にリサイクルされていることが推定される。

2.2 東京都における改質発生材混入率調査

平成4年に東京都におけるアスコン発生材中に占める改質発生材の混入率を舗装管理データ及び再生プラントからサンプリングした再生骨材の成分分析により調査した³⁾。

2.2.1 舗装管理データによる混入率調査

都道の補修工事箇所において、改質アスファルト混合物を使用した箇所を検索し、建設事務所毎、年度毎に集計を行い、全補修箇所における改質発生材量を求めた。その結果は図-3に示すように、63年

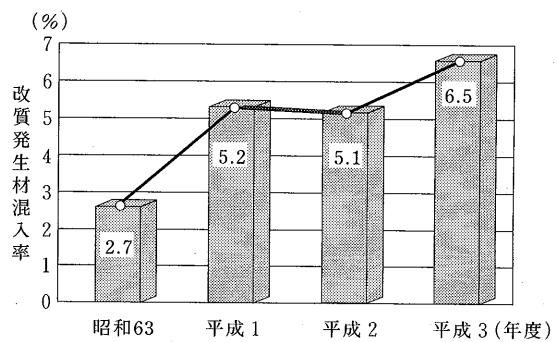


図-3 改質発生材混入率

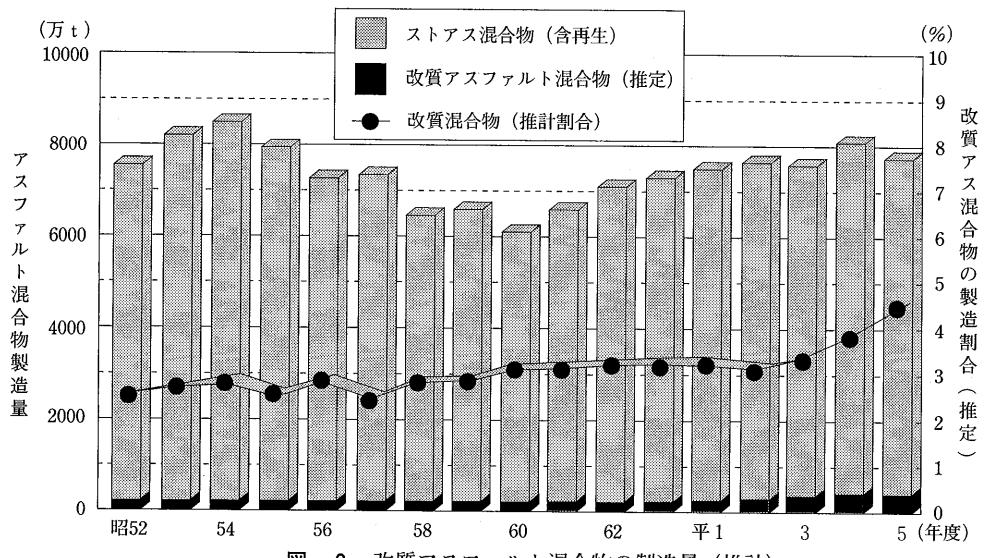


図-2 改質アスファルト混合物の製造量（推計）

度当時は改質発生材の占める割合は、2.7%であるがその後着実に改質発生材は増加傾向を示し、平成3年度では6.5%であった。

2.2.2 分析機器による混入率調査

東京都より発生材を受け入れている5箇所の再生プラントから分級した再生骨材をそれぞれ採取日を変えてランダムに50試料サンプリングし、熱分解ガスクロマトグラフィー(PGC)及びゲル浸透クロマトグラフィー(GPC)で改質材混入の有無を判別した。

分析結果は、GPC、PGC両方において検出されたものが、改質アスファルト混合物であると判定すると、50サンプル中3個となり、改質発生材の混入割合は約6%となった。

以上の結果から東京都では平成3年度で既に年間6%程度の改質発生材がリサイクルされていると推定された。

表-1 現場試料の性状

試 料	供用年数 年	針入度 1/10mm	軟化点 ℃	伸 度 cm	60℃ 粘度 P	160℃ 粘度 P
A	10	28	70.5	9	191200	1033
B	8	41	60	100	17800	516
C	4	37	64.5	43	32800	662
D	7	21	68	0	139600	569
E	11	11	73	0	384000	1153
F	8	21	73	17	521100	1476
G	5	28	65.5	16	79930	738
H	6	25	64	23	40400	436
I	10	38	56	28	11430	305
J	5	35	62.5	31	31600	553
K	9	21	66	9	5400	581

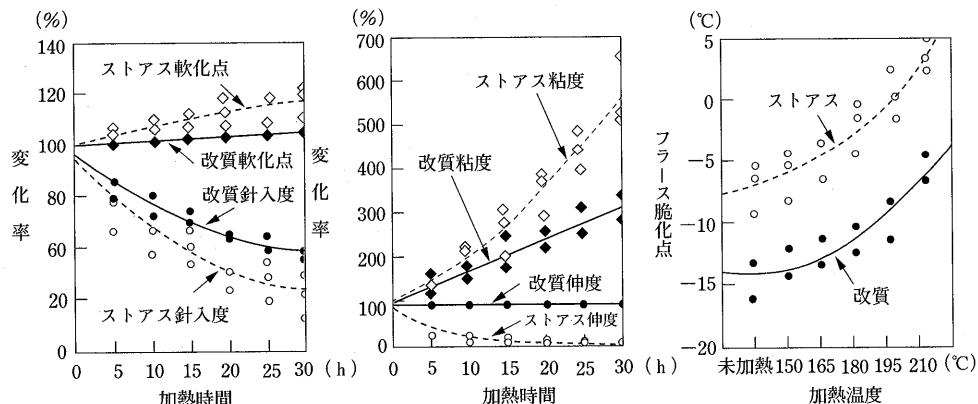


図-5 改質アスファルトの劣化性状

3. 発生材中の改質アスファルトの性状

3.1 現場採取試料による回収アスファルトの性状

改質アスファルト混合物を用いた都道から補修工事の際に採取した改質発生材の回収アスファルトの性状調査結果を表-1⁴⁾に示す。これによると針入度(図-4)及び軟化点、粘度等が劣化していることは明らかであるが、供用年数との関係は若干みられるものの必ずしも明確ではない。供用年数と劣化の関係は、製造過程や環境、気象条件によって劣化の進行が異なるため、時間の経過に対し必ずしも一律に進行しないことを表している。

3.2 ストアスと改質アスファルトの劣化性状

アスファルトを回転薄膜加熱試験(RTFOT)により強制劣化させて、加熱前のアスファルトの性状値(100%)に対する変化率でその性状変化を示したのが図-5⁵⁾である。これによると、加熱前後の劣化の変化率は改質アスファルトがストレートアスファ

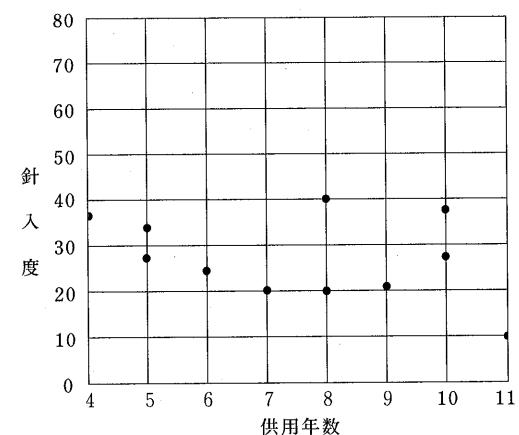


図-4 供用年数と針入度

ルト(以下ストアス)に比べていずれも小さく、特に軟化点、伸度において顕著に現れており、ここにストアスとの大きな違いがみられる。

低温性状では、RTFOTによる加熱温度を変化させて熱劣化させたアスファルトについて、フーラス脆化点を測定した結果(図-5)⁶⁾をみると、改質アスファルトはストアスと同様に加熱温度の上昇と共に脆化点が高くなる傾向を示すが、未加熱のストアス程度の低温性状は残存していることが推定できる。このことから改質アスファルトは劣化が進行してもストアスほど低温性状が低下しないことがわかる。

4. 改質発生材の再生性状

4.1 再生アスファルトの性状

改質発生材(試料A、B)から回収した改質アスファルトにパラフィン系、ナフテン系、芳香族系の3種類(表-2)の再生用添加剤を加えて再生した再

表-2 再生添加剤の性状

項目	パラフィン系 (P)	ナフテン系 (N)	芳香族系 (A)	*標準性状	
動粘度 cSt	84	85	90	80~1000	
引火点 °C	302	240	235	230以上	
薄膜加熱後の粘度比(60°C)	1.07	1.14	1.20	2以下	
薄膜加熱質量変化率 %	-0.35	-1.12	-1.87	±3以下	
密度(15°C) g/cm³	0.887	0.984	0.989	報告	
組成分析	アスファルテン 飽和分 芳香族分 レジン分	0 75.8 21.9 2.3	0 51.5 42.5 4.4	0 41.8 51.6 6.6	報告

*) プラント再生舗装技術指針

生アスファルトの針入度及び軟化点は図-6に示すとおりである。これによると以下のようである。

- ①添加剤の種類によって、再生性状が大きく異なる。ナフテン系と芳香族系は、似たような性状を示したが、パラフィン系の添加剤のほうが目標針入度に調整するためには添加量を多く必要とした。
- ②同じ添加剤でも改質発生材の針入度の違いによって目標針入度とするには添加量にかなり差があった。
- ③改質発生材の種類に拘らず、目標針入度に調整した再生アスファルトは軟化点が高くなり「プラント再生舗装技術指針」(以下、再生指針)の再生アスファルトの品質基準から外れて、むしろ改質アスファルトの基準値に近似する傾向がみられた。

4.2 再生アスファルト混合物の性状

改質発生材混入率0, 30, 50, 80%とし、針入度の調整は芳香族系再生添加剤を用い、目標針入度50に設定してアスファルト混合物を作成して物性試験を行った。結果は以下のようであった。

- ①マーシャル特性値；配合設計によるOACは改質発生材混入率の増加により大きくなった。マーシャル安定度は改質発生材混入率に対しほぼ一定であったが、残留度安定は増加傾向にあった。
- ②ホイールトラッキング試験；動的安定度(DS)と改質発生材混入率との関係は、図-7に示すようにDSは改質発生材混入率の増加と共に大きくなる傾向となった。
- ③曲げ試験；再生アスファルト混合物の曲げ強度は図-7に示したように、改質発生材混入率の増加に伴って大きくなる傾向がみられた。特に、低温時では新材料との差は小さいが、5°Cではかなり再生アスファルト混合物の方が大きくなっている。

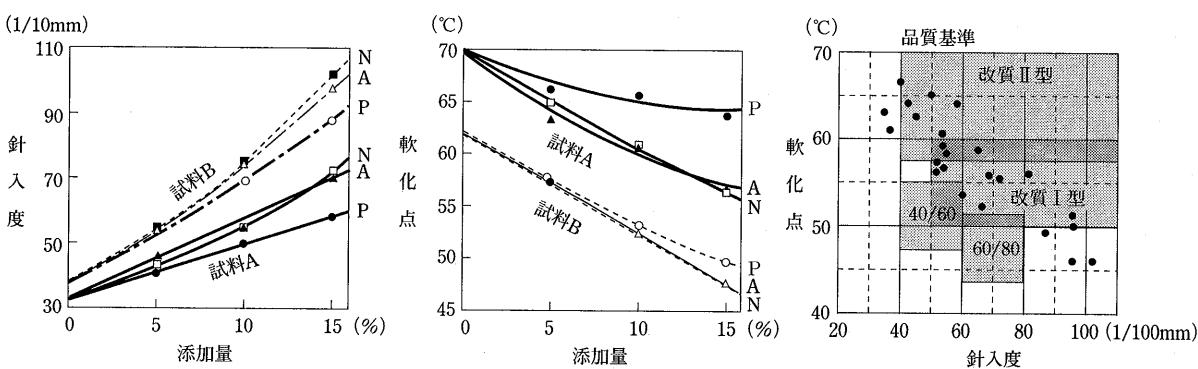


図-6 再生アスファルトの性状

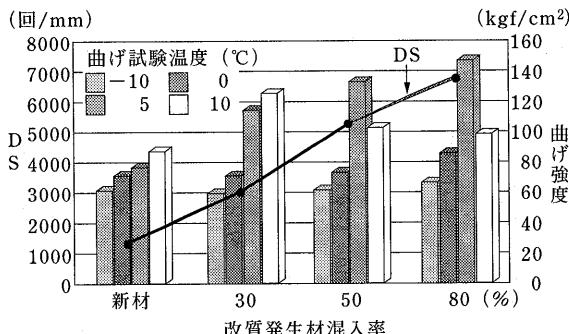


図-7 ホイールトラッキングと曲げ試験結果

④カンタプロ試験；改質発生材混入率と各温度条件における損失量の関係は図-8に示すように、室温養生後、試験温度5°Cと20°Cで行った場合は5°Cの方が損失量が大きく、改質発生材混入率が増加すると損失量は小さくなる傾向があり、特に5°Cの方が顕著であった。

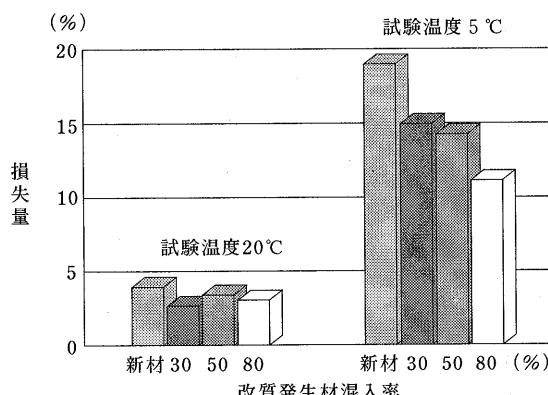


図-8 カンタプロ試験結果

なお、ここでは再生アスファルト混合物の疲労性状に触れなかったが、再生アスファルト混合物を使用した場合ひびわれに対する懸念が強いため、改質発生材が混入した再生アスファルト混合物についても、疲労性状について十分に検討する必要があると考えられる。そのため、現在、室内試験で検討中であり機会を得て報告したいと考えている。

4.3 改質アスファルトの残存効果

ストアスに再生改質アスファルトが混入すると、一般的にアスファルト性状は高粘度化し、混合物性状は新材より高い値を示す。これは、残存する改質アスファルトの性状が再生アスファルトに付与されるために起きる現象である。

ここに、赤外分光光度計(FTIR)によるアスファルトの吸収スペクトルの変化からアスファルトの

成分変化を見ると、熱劣化によるピークの出現バンドはストアス及び改質アスファルトに関係なく 1698cm^{-1} 附近(カルボニル基)に現れる(図-9)⁵⁾。

未加熱のアスファルトに対して加熱時間が長くなるに従ってストアス及び改質アスファルトの種類に関係なくピーク強度は大きくなり、ほぼ同じ様にアスファルトが変質している。

このように、改質アスファルトの残存効果とはFTIRのスペクトルの変化から推定すると、ストアスも樹脂アスファルトもほぼ同様に変質するが、アスファルト中の改質材の支配力が大きいため、アスファルトの性状変化以上に改質材の性状がアスファルトの性状に影響を及ぼすものと考えられる。

これを混合物の物理性状と併せて考えると、改質発生材の混入は、残留安定度、DS、曲げ強度の増加やカンタプロ損失量の減少など混合物性状の改善に寄与することとなる。

4.4 再生アスファルトの性状と再生指針

以上のように、改質発生材から回収されるアスファルトを再生添加剤等で再生した再生アスファルトは再生指針で示す再生アスファルトの品質基準から外れてしまう、この基準を遵守するためには改質発生材混入率を20~30%に止めておかなければならぬ。

但し、これらは再生指針に適合しないことであって、必ずしも混合物に対し悪影響を与えるものではなく、むしろ改質発生材が混入することにより新材よりも良い性状を示す場合が多い。これは前述した改質材の残存効果によるものである。

改質発生材から再生した再生アスファルトの性状は品質基準より、軟化点が高くなり粘性が大きくなるもので、作業性が許容できる粘度範囲での再生アスファルトの性状の見直しを検討する必要性も将来生じることも考えられる。

5. 改質II型による改質アスファルトへの再生

改質発生材より回収したアスファルトに市販されているプレミックス及びプラントミックタイプの改質II型を30, 50, 80%をそれぞれ添加し、再生アスファルトが再生改質アスファルトとして現基準に適用できるかどうかを試験した試験結果を図-10に示す。

これらの結果からみるとプレミックス及びプラントミックタイプの違いは多少みられるが、40以上

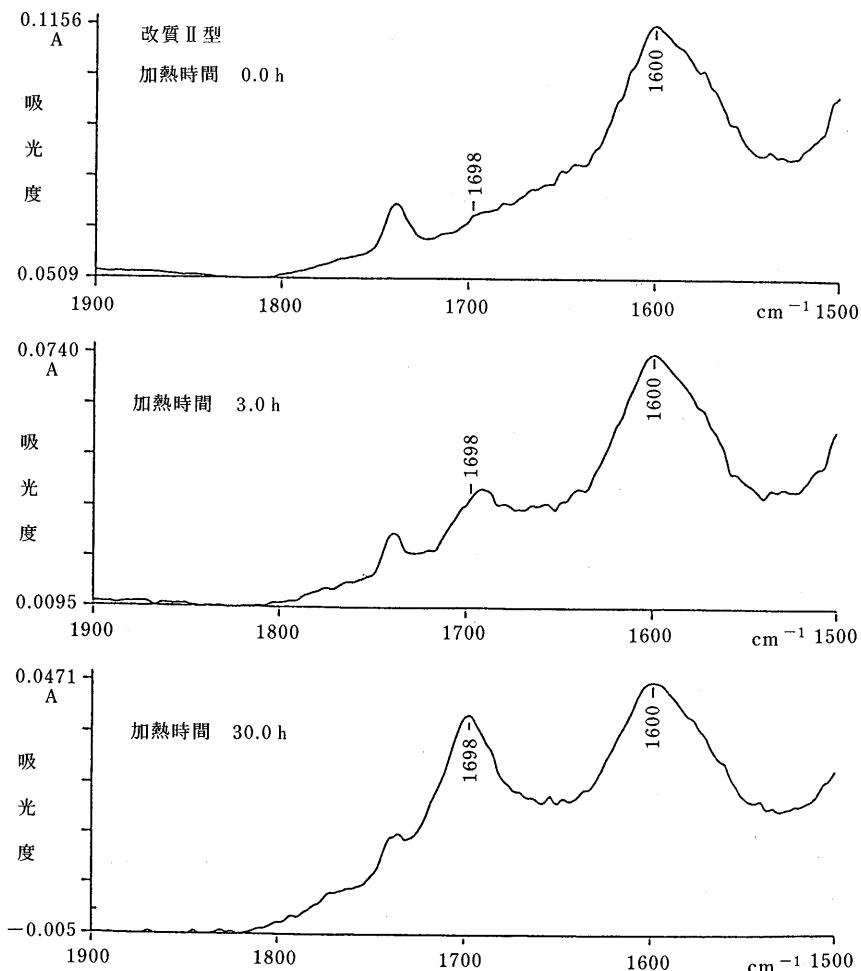


図-9 改質II型の熱劣化によるスペクトルの変化

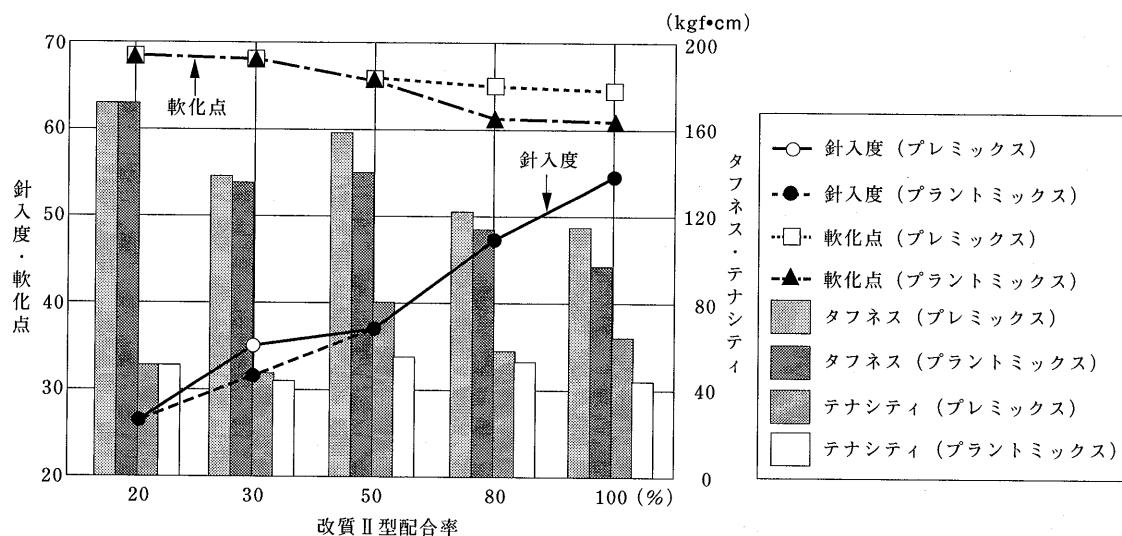


図-10 改質II型により再生アスファルトの性状

の針入度を確保し、軟化点、タフネスなど他の性状も満足するためには改質II型を70~80%以上添加しなければならないことになる。従って、現在の市販されている改質II型で、再生改質アスファルトの性状を確保できる改質発生材の混入率は20~30%程度が限度と思われる。

また、改質発生材の回収アスファルトのタフネスは新材より高い値を示しているため改質II型の配合率が多くなるとタフネスは小さくなる傾向を示し、テナシティはあまり配合率の影響を受けない。

6. 改質発生材の再生利用と今後の課題

6.1 改質再生アスファルト混合物への動き

平成4年版のプラント再生舗装技術指針で再生アスファルト混合物がD交通の表層まで使用できることとなつたが、再生指針は新アスファルトにストアスを用いた場合を前提とした指針となっているもので、実際問題としては再生アスファルト混合物は供用性に問題が有るとの指摘が多い。東京都では現在再生アスファルト混合物の適用は表層ではC交通までしか認めておらず、さらに、C交通においてもわだち掘れが発生する恐れがある箇所については、改質アスファルトを使用するよう指導しており、実際には表層へはほとんど使用されていないのが現状である。従って、重交通路における適用材料は改質アスコンの使用が一般的であり再生アスファルト混合物の使用は困難となっている。

再生指針でも重交通路で流動や摩耗が懸念される場合は必要に応じてホイールトラッキング試験またはラベリング試験を行い、改質アスファルトの使用により、再生アスファルトの高品位化の検討を提起しているが、具体的な方法についての記述はなくこれから技術開発分野であることを意味している。

再生アスファルトの高品位化の具体的な検討についてはまだデータが少ないが、東京都で行った改質アスファルトに粒状化セルロース繊維による再生アスコン⁷⁾のほか中部地方建設局で改質材を使用した再生アスファルト混合物の試験施工⁸⁾、大阪府では再生アスファルト混合物用の改質アスファルトを用いた改質再生アスファルト混合物の試験舗装⁹⁾など、供用道路での施工例の報告もみられるようになった。また、関東地方建設局でも試験的に施工を行ってデータの集積を行うなど、今後、これらの動き

はデータの蓄積によって活発になってくるものと思われ、これに伴う材料開発や製造技術がさらに進展してくるものと考えられる。

6.2 改質発生材再生時の発生ガス

再生アスコンプラントにおける臭気の発生原因は一般的リサイクルドライヤにおいて再生材料中の微粒分が高温熱風によってアスファルト分が気化したり燃焼することが主因となっている。これに改質発生材が混入すると、改質発生材に含まれる改質アスファルトが再生時にドライヤーの加熱により分解して有害ガスの発生が懸念されるため、環境への配慮が必要であるとの指摘¹⁰⁾もある。

改質材として使用される汎用プラスチックは、炭素原子が主骨格原子として連なり、これに改質材の種類によって異なるが水素、塩素またはシアノ基等がついており、これらが加熱により結合が切断され有害な熱分解生成物が発生すると考えられる。

現状では改質材の混入率が極僅かであることから問題はないと思われるが、検討課題の一つとして、データを蓄積しながら経過に注意していく必要がある。

6.3 多様化する改質アスファルトの再生

今後、改質II型を改良した高耐久型のものや排水性舗装等に使われる高粘度タイプのもの、骨材との付着性を改善したもの、熱硬化性改質アスファルト等の品質の異なる改質材など、社会的ニーズに対応するアスファルト混合物の多様化が進むと考えられ、これと同時にリサイクルへの対応も検討していくことも必要と考える。

その他、今後の検討課題として、夏期における再生骨材ヤードでのべたつきやリサイクルドライヤーでの過加熱による劣化などプラントでの製造上の問題点を考えられるがここでは列挙するに止める。

7. おわりに

本稿を執筆するに当たってふと疑問に感じた雑感を述べておわりとしたい。

〔改質再生かそれとも再生改質か〕

アスコン発生材に改質材又は改質アスファルトを添加した再生アスファルト混合物をどういう名称で呼べばよいのか考えてしまう。これは、「改質」と「再生」の接頭語をどちらを先に付すべきかと言うことである。

改質アスファルト混合物についても、必ずしも正確な名称と言えるか疑問であるが、改質アスファルトを使用した混合物であるから改質アスファルト混合物と呼ばれ、一般化している様に思える。それでは、再生アスファルト混合物はといえば、再生アスファルトは再生骨材に付着した旧アスファルトを軟化剤（軟質アスファルトを含む）で柔らかくするもので、実際には再生アスファルトは品質管理上で作られるもので、アスファルト混合物の製造過程では単独には存在しないものである。従って、再生アスファルトを使用した混合物ではなく、アスファルト混合物を再生したものであるから、再生アスファルト混合物と呼ぶと理解している。

そう考えると、改質アスファルト混合物を再生するのであれば再生改質アスファルト混合物と呼ぶべきであるが、再生アスファルト混合物の開発当時はアスコン発生材混入率100%を目標としていたものであったが、最近ではアスコン発生材混入率30%程度との報告もあるように再生骨材の混入率が少なくなっている。さらに再生骨材に含まれる改質発生材は前述したように現時点で多くても6～7%程度と考えると、改質アスファルトを再生したとはいえない。このことから、現時点では単に再生アスファルト混合物を改質するのであるから改質再生アスファルト混合物と考えるのが妥当な気がするが如何だろう。

こんな事を考えるのもリサイクルが定着してきた現れなのだろうかと実感されると同時に、再生指針では新材と再生材を同等品として扱っていながら、新材と再生材の区別をしていることに疑問を感じる。そこには、建前と本音が見え隠れしている気がする。そろそろ、新材と再生材の区別の是非の議論

を深める時期ではないかと考える。そして、区別がなくなって同一なものとなればこの様な名称に煩わされないで済む話である。

—参考文献—

- 1) 日本改質アスファルト協会；改質アスファルトの出荷量、改質アスファルト、Vol.3, p.15, 1994.
- 2) アスファルト合材統計年報；(社)日本アスファルト合材協会、平成6年
- 3) 鈴木、田中、峰岸；都におけるアスコン発生材と再生利用の現況、平6、都土木技研年報、p.95, 1994
- 4) 鈴木、峰岸、田中；改質アスコン発生材の再生に関する室内試験、平7、都土木技研年報、1995
- 5) 田中、鈴木；舗装用アスファルトの熱劣化による性状変化、平2、都土木技研年報、p.177, 1990
- 6) 田中、鈴木；舗装用アスファルトの熱劣化、平4、都土木技研年報、p.111, 1992
- 7) 達下、内田、山岸；粒状化セルロース繊維による再生アスコンの高品質化—第1報—、第19回日本道路会議論文集、p.398, 1991
- 8) 岡本、伊藤、山岡；再生アスファルト混合物の重交通道路への適用例、舗装、Vol.30-1, p.24, 1995
- 9) 武友、金銅、中市、矢島；再生混合物用改質アスファルトの試験施工における評価、舗装、Vol.30-4, p.18, 1995
- 10) 荒井；改質アスファルト等を含む舗装発生材の再生について、第20回日本道路会議論文集、p.928, 1993



再々生への取組み

吉 兼 亨*

4. 再々生への取組み

4.1 はじめに

昭和50年代の初め頃（1976年頃）に始まったわが国のプラント再生アスファルト舗装は、1980年代に入り普及が進み出した。その結果、再生舗装の古いものでは、20年近くにもなり、15年前後を経過した再生舗装もかなりストックされてきている。したがって、再生舗装の修繕工事や打換え工事で発生するアスファルトコンクリート塊（以下、アスコン塊）が、再生プラントに持込まれるのも、そう遠くない時期であることが予測される。現在でも道路地下埋設物の工事のために発生した再生アスコン塊がごく僅かな割合であるが、混ざっていることは否めない。

しかし、アスコン塊を発生の段階で、初の再生、再々生……などとして分別再生することは不可能なため、今後アスコン塊の中に占める割合が徐々に増してくるものと考えられる。また、改質アスファルトや高粘度アスファルトを用いたアスコン塊の発生も今後、増加することが予測され、これも再々生と同様に、発生段階でアスコン塊を分別することは不可能である。したがって今後のプラント再生においては、再生及び改質や高粘度アスファルトが混ざり合ったアスコン塊の再生についての再生技術を確立していく必要がある。

改質アスファルトの再生については3章に述べられているので、ここでは針入度が低下したアスファルトの再生という観点から再々生を考えてみることにする。

4.2 舗装後のアスファルトの針入度等の変化

（1）旧アスファルトの針入度推移

アスコン塊から製造されたアスファルトコンクリート再生骨材（以下、再生骨材）から、アブソン抽出試験法により抽出した旧アスファルト針入度等の、広域的なサンプルによる推移をみたものが表一

である。これらによれば1987年に比べて1992年では平均値、最大値とも若干低下の兆しがみられる。（バラツキからみて、有為差の検定では差は認められないということになろうが）

この理由が何によるものかは今の段階では断定できないが、再生舗装が都市中心から地方にも普及したことにより、長期間供用された舗装のアスコン塊の割合が増したこと、わだち掘れ対策のため低い針入度のアスファルトが多く用いられてからも長年月を経ていること、改質アスコン塊の割合が増したこと、ごく一部で再生アスコン塊が混入していることなどが考えられる。また、ひび割れ箇所の切削オーバーレイの増加も一因であろう。このような理由から今後、旧アスファルトの針入度が低下する傾向が続くことは避けられないであろう。

（2）針入度等の経年変化

舗装直後及び、施工後数年以上を経過した舗装の

表-1 再生骨材（13～0 mm）中の
旧アスファルトの針入度の推移¹⁾

調査年度	① 1987年	② 1992年	②-①
調査プラント数	101	218	—
旧アスファルト の針入度	最大値	62	58
	最小値	17	16
	各プラントの平均値の平均	33.3	32.3
(1/10·mm)	各プラントの 標準偏差の平均値	5.7	5.4
		-0.3	

抜取コアから抽出したアスファルトの性状を比較したもののが表-2である。

また、新規及び再生アスファルト舗装の施工時から15年間に亘る追跡調査結果を図-1に示した。表-2、図-1ともに表層部分の針入度低下の割合が大きいが、下層部分ほど低下割合は小さい。特に図-1によれば初期の針入度の高いものほど低下率が大きいことも分かる。なお、この例における再生

*よしかね とおる 大有建設(株) 常務取締役技術本部長

表-2 施工直後の舗装（新舗装）と施工後数年以上を経た舗装（旧舗装）のアスファルト混合物より抽出したアスファルトの物性の比較²⁾

層	試験項目	新舗装				旧舗装			
		針入度	軟化点	伸 度	針入度指数	針入度	軟化点	伸 度	針入度指数
表層	試料数	17	17	18	17	94	61	98	61
	最小値	48	47.0	46	-1.70	17	48.0	4	-1.44
	最大値	88	54.0	+145	+0.66	80	68.0	+145	+1.06
	平均値	59.4	50.6	95.5	-0.68	48.4	53.1	42.2	-0.71
	標準偏差	18.9	2.7	14.9	0.58	18.2	3.8	43.3	-0.41
基層	試料数	17	17	18	17	30	30	22	30
	最小値	43	42.4	86	-3.24	30	46.9	7	-1.22
	最大値	94	55.0	+145	+1.25	78	57.4	+145	-0.07
	平均値	60.5	50.8	91.0	-0.65	56.6	51.0	95.1	-0.72
	標準偏差	12.9	3.0	22.1	0.90	12.1	2.4	50.9	0.33
アスファルト安定処理層	試料数	21	21	18	21	61	61	57	61
	最小値	39	47.0	30	-1.65	15	47.3	1	-1.58
	最大値	88	60.0	+145	+0.50	71	71.7	+145	+0.51
	平均値	62.1	50.3	92.7	-0.67	51.4	52.7	70.2	-0.57
	標準偏差	13.1	3.1	21.4	0.56	12.5	4.0	55.5	0.88
備 考		・旧舗装の方が試料数が圧倒的に多いので標準偏差は小さくなっている。 ・必ずしも新旧同一箇所のサンプルによるものではない。							

試験舗装の概要

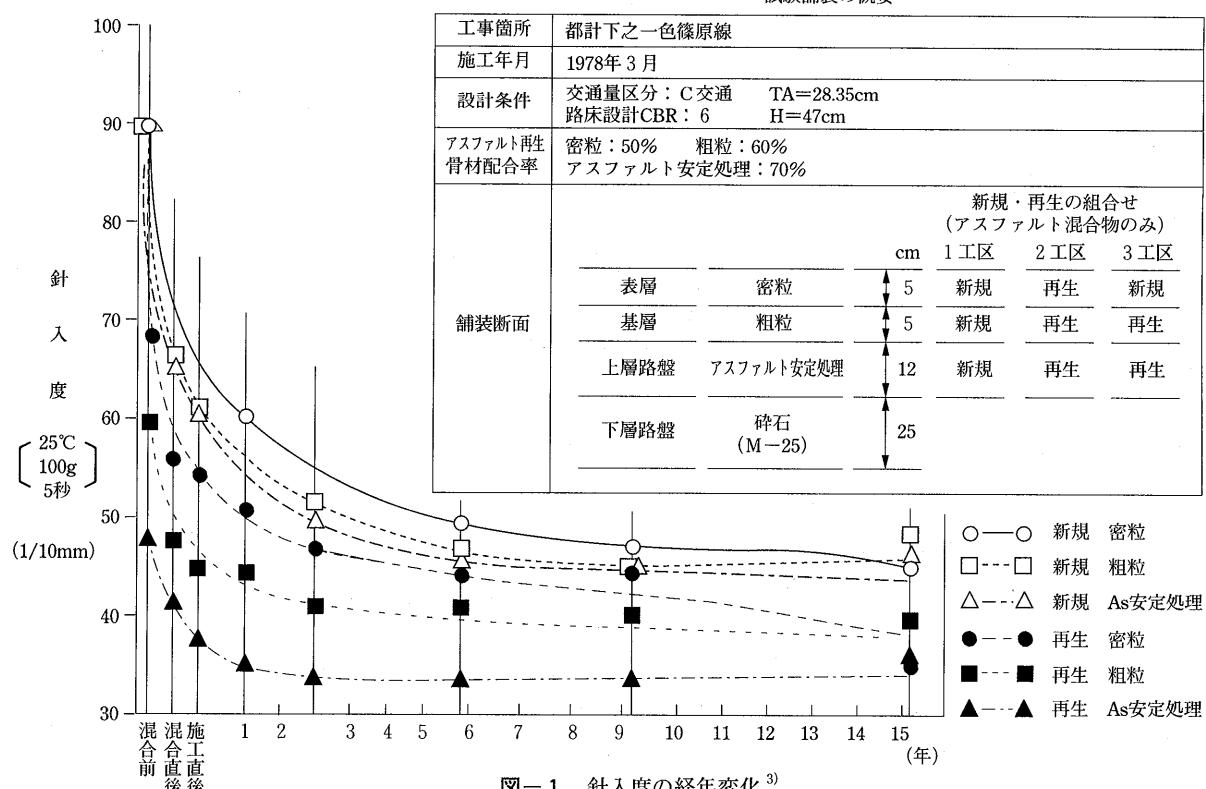


図-1 針入度の経年変化³⁾

の場合には、軟質アスファルトによってのみ針入度の調整を行っているので、新規アスコンに比べて、再生アスコンからの回収アスファルトの針入度の初期値が低いが、配合設計において針入度を同じにするのではなく、WT試験によるDS値を同じとしたために空隙率が若干小さくなり、その劣化の度合が少なかったとも考えられる。

(3) 旧アスファルトの針入度とマーシャル安定度との関係

再生骨材の5 mm以下の部分のみを用いて求めたマーシャル安定度と、その再生骨材中の旧アスファルトの針入度との関係を求めたものが図-2で、空気量をパラメーターとしての重回帰分析の結果、強い相関のあることが分かった。このようにマーシャル試験も試験条件を選択することにより、再生骨材中のアスファルトの針入度を推定するのに役立つ。プラント再生舗装技術指針に示される旧アスファルトの推定針入度を求める方法もこの原理に基づくものである。この場合、マーシャル安定度が高いほど針入度の値が低いことを、即ち、アスコンがそれだけ脆化していることをあらわしている。

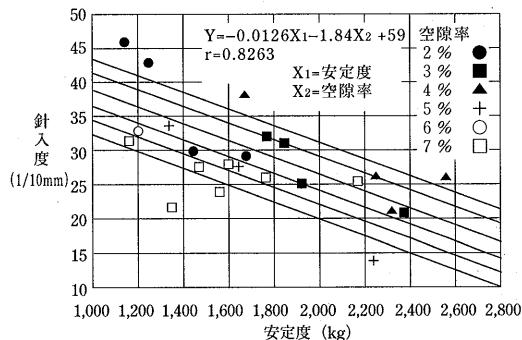


図-2 空隙率をパラメータとした安定度と針入度の関係⁴⁾

(4) その他の方法による劣化度のチェック

図-3は図-1に示した施工後15年経過した、新規及び再生舗装の表層の旧アスファルト及び、参考までに針入度の低い旧アスファルトについての、赤外線吸収スペクトルを表した。新アスファルト（針入度90）に比べて、針入度の低いアスファルトほど、即ち、劣化の影響を大きく受けているほど波数1700 (cm^{-1})におけるスペクトルの落込みが大きい。この現象は、アスファルトの劣化を見出す指標となるとされている。

いづれにしても新規と再生工区の抽出アスファル

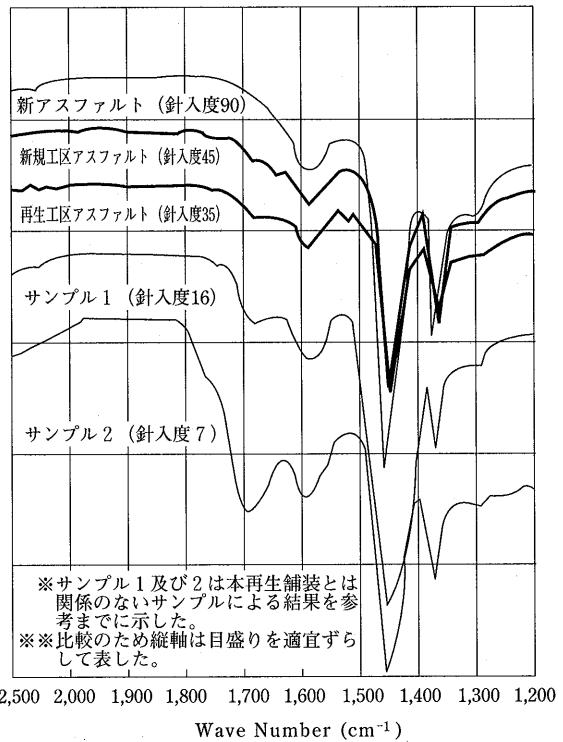


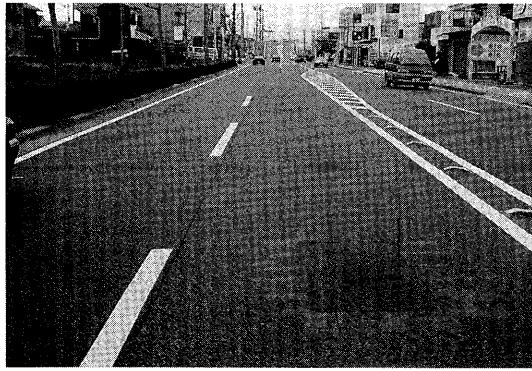
図-3 赤外線吸収スペクトル³⁾

ト針入度の差はあまり大きくないことが、よく分かることともに、針入度の低下と同様に赤外線吸収スペクトルでも劣化の状態が明確にあらわれている。

また、再生工区の旧アスファルトは、不特定多数の発生アスコン塊を用いて製造された再生骨材から抽出されたアスファルトであるが、アスファルトが单一品である新規工区のアスファルトとは針入度が若干異なるが、赤外線吸収スペクトルでみる限りにおいては、新規、再生アスコンの抽出アスファルトの劣化度は差がないとみられる。しかし、参考までに示した針入度が16のアスファルトでは明確な落込みが生じ、同じく針入度が7では波数1600 cm^{-1} の谷底よりも更に落込むようになり、著しい劣化の状態をよく表している。

4.3 再々生への試み

図-1に示した1978年に名古屋市内で施工された再生舗装の試験施工区間から、当時新規舗装として施工された部分及び、再生舗装として施工された部分から、それぞれアスファルトコンクリート塊の試料を取り出し、別々に再生骨材として加工した後、再生及び再々生アスコンの配合設計を行った。(写真参照)



1978年の再生舗装の試験箇所（最左側の車線はその後拡幅された部分で試験の対象外）の1995年3月の状況。右下のパッチングは1993年に再生用アスコン塊の試料を採取し部分の補修跡。

（1）再々生アスコンの配合設計の対象とした再生舗装の履歴

当初の再生骨材の性状、配合、品質試験結果をそれぞれ表-3, 4, 5に示す。なお、配合設計におけるアスファルト量の決定は、再生アスファルトの針入度を新規アスファルトの針入度と一致させるのではなく、再生骨材配合率の上限を定め（表層で

50%以下）、新規混合物とほぼ同じDS値となるよう合計アスファルト量を定めた。従って再生アスコンは新規アスコンに比べて、0.2%程度多く、空隙率は0.7~0.8程度小さくなかった。このような方法をとったのは、当時、再生アスコンについての配合設計方法は確立されていなかったが、また再生用添加剤も市販されていなかったからである。再生用添加剤を用いた場合、再生アスコンから回収したアスファルトの針入度は、新規アスコンから回収したアスファルトの針入度に比べて若干低くなるを得ず、このため、不必要に安定度が高いたわみ性に欠ける再生アスコンとならぬようこのような配合設計方法を用いた。その結果15年間に亘る追跡調査においてもわだち掘れ、平坦性、路面たわみ、すべり抵抗の面で新規、再生の両工区に差はなく、ひびわれの発生においては再生区間の方が少く良好な結果を得ている。

（2）再生アスコンの配合設計

表-6に試験施工区間で採取したアスコン塊より製造した再生骨材、再々生骨材及び使用材料の物性

表-3 アスファルト再生骨材の物性（施工時）⁴⁾

	抽出骨材粒度（通過重量百分率%）							抽出 アスファルト量 (%)	旧アスファルトの性状		
	20mm	13	5	2.5	0.6	0.3	0.15	0.074	針入度	軟化点	針入度指数
n	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
平均	100	96.0	65.2	47.8	29.6	18.0	11.9	9.0	4.98	35	55.0
標準偏差	—	1.1	2.9	2.9	2.3	1.5	1.1	1.0	0.18	2.2	1.2
最大値	—	98.4	70.0	53.3	33.2	21.0	13.7	10.5	5.28	38	56.2
最小値	—	94.9	59.2	43.2	25.8	15.6	9.6	7.7	4.33	32	53.7

表-4 配合設計⁴⁾

項目	混合物の種類	アスファルト安定処理		粗粒度アスコン		密粒アスコン	
		新規	再生	新規	再生	新規	再生
配合割合 (%)	再生骨材	クラッシャーラン 30~0 85%	70.0	—	60.0	—	50.0
	5号碎石		20.0	19.4	20.0	10.1	20.0
	6号碎石		10.0	33.8	15.0	31.2	7.0
	7号碎石		—	18.0	5.0	15.0	5.0
	スクリーニングス		—	12.5	—	20.7	8.5
	細砂		—	12.5	—	20.7	8.0
	石粉		—	3.8	—	2.3	1.5
アスファルト量 (%)	新アスファルト	4.00	1.10	5.00	2.32	5.40	3.22
	旧アスファルト	—	3.40	—	2.88	—	2.38
	合計	4.00	4.50	5.00	5.20	5.40	5.60

表-5 品質管理試験結果（施工時）⁴⁾

項目	混合物の種類	アスファルト安定処理		粗粒度アスコン		密粒アスコン	
		新規	再生	新規	再生	新規	再生
	抽出アスファルト (%)	3.93	4.50	4.91	5.18	5.24	5.60
マーシャル 試験値	最大密度 (g/cm ³)	2.514	2.538	2.478	2.519	2.454	2.487
	見掛け密度 (g/cm ³)	2.307	2.398	2.349	2.408	2.357	2.405
	空隙率 (%)	8.3	5.5	5.2	4.4	4.0	3.3
	アスファルト容積率 (%)	9.0	10.5	11.5	12.1	12.4	13.1
	飽和度 (%)	52.0	65.6	68.9	73.3	75.6	79.9
	安定度 (kgf)	672	1,259	927	1,162	1,022	1,307
	フロー値 (1/100cm)	24	34	26	36	25	33
	S/F (100kgf/cm)	29	37	36	32	41	40
	残留安定度 (%)	81.7	86.9	84.3	88.5	86.0	91.8
回収 アスファルト の性状	針入度 (1/10mm)	65	41	66	49	69	54
	軟化点 (°C)	49.5	53.4	49.3	52.5	48.8	52.1
	針入度指数	-0.70	-0.80	-0.71	-0.64	-0.73	-0.51
ホイール トラッキング 試験※	動的安定度	-	-	3,150	3,100	1,016	926
	水浸剥離率 (%)	0	0	0	0	0	0

※接地圧5.5kgf/cm² (載下荷重 60kgf) の試験条件表-6 使用材料の性状⁴⁾

項目	使用材料	新骨材					石 粉	再生骨材 (13~0)	
		S-20	S-13	S-5	スクリーニングス	砂		1工区 (新規工区) からのアスコン塊	2工区 (再生工区) からのアスコン塊
通過重量 百分率 (%)	26.5 (mm)	100.0							
	19	97.4						100.0	100.0
	13.2	49.0	100.0	100.0		100.0		94.2	95.3
	4.75	0	6.1	95.1	100.0	98.7		65.4	61.1
	2.36		0	32.2	98.0	74.2		49.0	43.4
	0.6			8.7	51.2	31.2		27.2	25.6
	0.3			7.0	37.9	12.2	100.0	17.9	17.1
	0.1			5.7	27.5	5.2	97.0	12.6	12.1
	75 (μm)			4.6	19.5	1.8	85.0	9.5	9.3
	見掛け比重	2.710		2.691	2.676	2.661	2.710	-	-
回収 アスファルト の性状	最大比重	-	2.709	-	-	-	-	2.677	2.721
	吸水率 (%)	0.51	-	0.93	1.70	1.78	-	-	-
	旧アスファルト含有量 (%)	-	0.69	-	-	-	-	4.70	4.87
回収 アスファルト の性状	針入度 (1/10mm)	-	-	-	-	-	-	48	40
	軟化点 (°C)	-	-	-	-	-	-	50.4	52.1
	針入度指数	-	-	-	-	-	-	-1.19	-1.18

を、また、表-7に新規、再生、再々生アスコンの配合とマーシャル試験結果とDS値を示す。

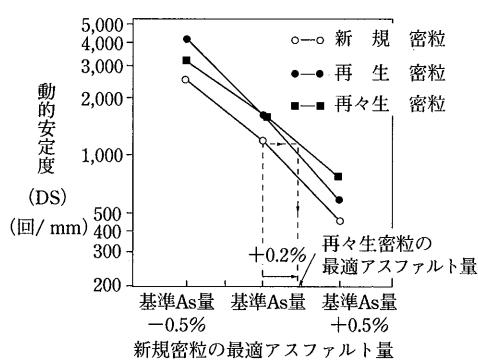
これによれば密粒度アスコンにおいて、再生骨材配合率を50%とした場合、補足材としての新規アス

タルトに80~100を用いれば、再生アスファルトの針入度が57、また、再々生アスファルトの針入度が52となり、40~60クラスの新アスファルトに匹敵することになる。なお、表-7に示すアスファルト

表-7 混合物の配合と物性値⁴⁾

項目	混合物の種類	密粒度アスコン (20)		
		新規	再生	再々生
配合割合 (%)	再生骨材	—	50.0	50.0
	5号碎石	24.0	20.0	20.0
	6号碎石	19.3	7.0	7.0
	7号碎石	13.0	5.0	5.0
	スクリーニングス	20.7	8.5	8.5
	砂	20.7	8.0	8.0
	石粉	2.3	1.5	1.5
アスファルト量 (%)	新アスファルト (Pen 60~80)	5.4	3.0	2.8
	旧アスファルト	—	2.3	2.4
	合計	5.4	5.3	5.2
再生アスファルトの針入度 (1/10mm)		70	57	52
マーシャル試験値	最大密度 (g/cm ³)	2.475	2.475	2.496
	見掛け密度 (g/cm ³)	2.389	2.392	2.412
	空隙率 (%)	3.5	3.4	3.4
	アスファルト容積率 (%)	12.5	12.3	12.2
	飽和度 (%)	78.0	78.3	78.2
	安定度 (kgf)	919	955	1.138
	フロー値 (1/100cm)	31	34	36
	S/F (100kgf/cm)	30	28	32
	残留安定度 (%)	92.7	88.0	94.1
動的安定度 (回/mm)		1,212	1,575	1,500

量はマーシャル試験による配合設計で得たもので、この結果では新規、再生、再々生の順で少なくなっていて、針入度が低いのにもかかわらずアスファルト量が下がることは、アスコンの脆性が高くなる恐れがある。このため新規アスコンと等DS値になるアスファルト量を求める図-4によれば、再生、再々生アスコンとともにほぼ0.2%アスファルト量を

図-4 アスファルト量と動的安定度の関係⁴⁾

増すことが望ましく、新規5.4%，再生5.5%，再々生5.4%となり、ほぼ同じアスファルト量となる。この結果空隙率は新規に較べて後2者は若干小さくなることは避けられない。しかし、DS値が同じであるところから耐わだち掘れへの抵抗力は同じで、空隙率が小さい分、アスファルト分の劣化の進行度合は小さくなる利点もある。

4.4 再々生における問題点と対応策

(1) 現状の問題点

再々生については急速な展開が予測される段階ではないが、将来へ向けての問題点について以下に示す。

①プラント再生では、不特定多数の箇所からのアスコン塊を対象に行うため、初再生用、再々用としてのアスコン塊はもとより、改質、高粘度アスコンを分別することは不可能である。したがって、今後は低針入度のアスコン塊の割合が増加することが避けられないので、更に旧アスファルトの針入度が低下し続けることが予測される。

②再生骨材配合率が高く、且つ、再生用添加剤を使用した再生アスコンの、長期供用後の品質の変化の実態があまり把握されていない。

③旧アスファルトの試験に用いるアブソン抽出試験は精度が悪い（表-8参照）。特に針入度が低くなるとその傾向は更に強くなる。しかもその抽出用の溶剤は環境問題から近く製造禁止となる。

④現プラント再生舗装技術指針では、旧アスファルトの針入度を20以上と規定している。しかし、資源の有効利用面からは20を下回る再生骨材への活用を迫られる。特に今後は、改質、高粘度アスコンの切削材の発生割合が多くなることが予測される。再生資源の有効利用率の向上のためにも技術開発が必要である。

⑤再生アスコンは一般に室内試験では密度が高くなる傾向がある（表-5、表-7参照）。再々生でも同様で、このため再生アスファルトの針入度が低くても、マーシャル試験法による配合設計では、所定の空隙率を確保するのに、設計アスファルト量が若干小さくなる。その結果、再生アスファルト中のアスファルトが劣化しやすく、舗装のたわみ性が低下し脆性的な破壊を起し易くなることが懸念される。

(2) 対応策の提案

前項に述べた問題点について将来の再々生に向けての対応策を以下に提案する。

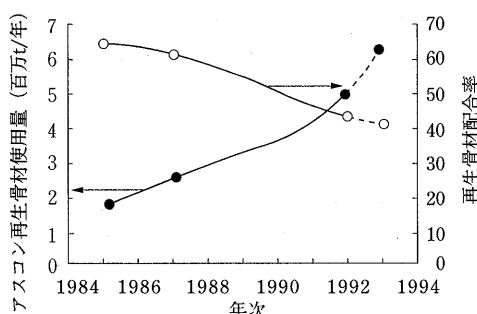
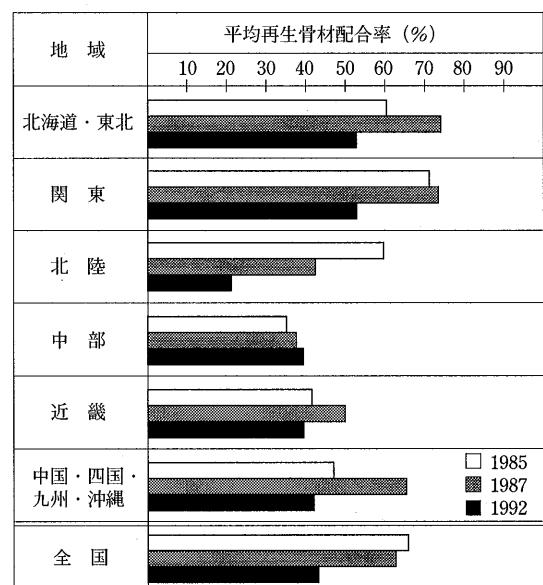
表-8 共通試験における各アスファルトの針入度 (1/10mm)⁵⁾

試験所 区分	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	n	X	m_{\max}	m_{\min}	R	σ_{n-1}	CV
新規As (共通試料)	66	65	—	—	55	62	63	58	54	75	8	62.3	75	54	21	6.80	10.91
共通混合物* より回収したAs	57	48	38	57	43	55	5	44	38	50	10	47.5	57	38	19	7.17	15.09
共通再生骨材Ⓐ より回収したAs	—	17	—	—	12	44	20	20	30	46	7	27.0	46	12	34	13.43	49.74
共通再生骨材Ⓑ より回収したAs	—	23	—	—	19	46	27	22	42	34	7	30.4	46	19	27	10.47	34.44

※上欄の新規アスファルトとは異なる新規アスファルトが用いられている。

①補足材としての新アスファルトは、80~100（場合によっては60~80）のように針入度の高いアスファルトを用いて、再生後のアスファルトの針入度を確保する。そのためには再生骨材の配合率に上限を設けることが望ましい。日本アスファルト合材協会の調査によれば、図-5及び図-6においても再生骨材の全国平均及び地域の平均も低下の傾向にあり、1992年の調査では全国平均で40%近くになっている。将来の再々生のためにも、再生骨材をできるだけ広く少く使用することが大切なポイントである。再生骨材中のアスファルト量により若干の差異があるが、こうすることにより、再生骨材の配合率を50%以下に押さえれば、最も劣化を受け易い表層に用いられる再生密粒度アスコンでは、合計アスファルト量のうちおよそ60%以上の新アスファルトを用いることができるので再生の繰返しが行われても品質低下への危惧が少い。

②再生、再々生アスコンの配合設計をマーシャル試験法で行うと、飽和度や空隙率の確保のため、アスファルト量は新規アスコンに比べて若干少なくなる

図-5 再生骨材の使用量及び配合率の推移⁶⁾図-6 全国及び地域別の再生骨材平均配合率⁶⁾

上に、安定度はかなり高くなる。このことは再生アスコンを脆化させることにつながるとともに、将来に亘る再生の繰返しにおいて問題を残しかねない。その解決策としてはWT試験のような動的載荷試験によりアスファルト量の決定を行うのが適切なのではないだろうか。

即ち、高すぎるマーシャル安定度やDS値を避け、使用目的に応じたDSで対応するのが良いと考える。その結果空隙率が新規アスコンに比べて小さくなつても、同じDS値を有しているのであれば、対わだち掘れの抵抗性は新規アスコンと同等とみなせ、その分たわみ性も保持しうる。また、これにより図-4で例示したように、新規アスコンに比べてアス

アルト量が若干プラス側に移行する。

ただし、現在わが国で用いられているWT試験法にも改善の余地がある。その一つは試験時間の短縮のためプレニーディングを行わないが、アスファルトのシキソトロピーがわだち掘れに影響する要因の一つだけにやはり行うべきであろう。もう一つは、DS値が2000～3000を超えると試験値にバラツキが大きくなる傾向が強い。その解決策として重交通用の混合物のテストには、交通条件に応じて(i) 試験温度を高くする。(ii) 接地圧を大きくする。(iii) 載荷のインターバルを短くする。など試験条件を厳しくしてDS値が低くなる方法を探り、DS値の基準値の方は交通の量にかかわらず一定にしておく方が合理的と思われる。一例として、接地圧を高くした場合との比較を示す図-7では、接地圧7kgf/cm²に対して9.4kgf/cm²ではDS値はほぼ1/2となる。このように、上で述べた3通りの方法のうちで、(ii) の接地圧を変える方法が、最も簡便で良いと思われる。

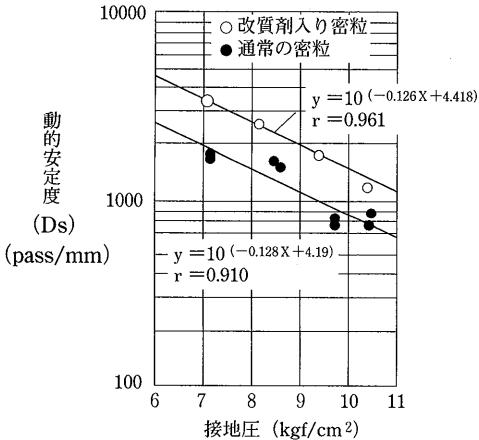


図-7 WT試験における接地圧と動的安定度の関係

以上①、②の方法を併用することにより、通常のアスコン、再生アスコン、改質アスコン、高粘度アスコンなどの各種アスコン塊が混在した状態から製造される再生骨材を用いた再生、再々生アスコンの配合設計に適用できると考える。この方法によれば抽出用の有機溶剤を必要とせず、針入度試験も行わない。また、アブソン抽出法による針入度試験法よりWT試験の方が試験結果の変動係数も小さく、普及もしており、その点でも問題はないと思われる。

4.5 おわりに

以上、再々生を中心に、改質アスコン、高粘度アス

コン及び低針入度のアスコンなどの再生、再々生まで含めて将来へのアプローチについて述べた。データが充分でなく、問題提起やアイデアの紹介レベル程度の提案で、内容の水準の低さに恥じているが、再々生というものはそうなってから取組むのではなく、再生が必須になっている現時点において、再々生や更に、再生の繰返されることを取込んだ技術水準が示される時期にきていると思う。そうでなければ再生の継続は成り立たなくなるであろう。

アスコン塊の品質が低下すれば路盤材への転用との考え方もあるが、その分別は容易ではない。そのうえ再生舗装率が高率になるに従い、打換えや新設舗装が減少し、そのため、路盤材の需要も減少することになる。当面は、上記の提案で対応できようが、将来は補足アスファルトや添加剤以外は再生骨材を100%用いるアスコンの技術開発が必要となろう。

参考文献

- 1) 下記 a, b の 2 資料より作成
 - a. (社) 日本アスファルト合材協会; プラント再生加熱アスファルト混合物に関する実態調査報告書, 平成 2 年 3 月, pp.7
 - b. (社) 日本アスファルト合材協会; アスファルトコンクリート混合物における製造並びに品質に関するアンケートによる実態調査結果, 平成 5 年 3 月, pp.27
- 2) 吉兼 亨; 省資源化を指向した舗装の設計施工, 第13回日本道路会議論文集, (社) 日本道路協会, 昭和 54 年, pp.207
- 3) 栗山昌人, 吉兼 亨, 大河内宝; 再生加熱アスファルト舗装の耐久性と再々生について, 第20回日本道路会議論文集, (社) 日本道路協会, 平成 5 年, pp.926~927
- 4) 栗山昌人, 吉兼 亨, 金田正秀, 大河内宝; 再生加熱アスファルト舗装の耐久性と再々生について, 道路建設, (社) 日本道路建設業協会, 平成 6 年 3 月, pp.60~66
- 5) 日本アスファルト合材協会技術委員会再生合材部会; 共同試験結果にもとづくマーシャル安定度試験方法による再生骨材の旧アスファルト性状判定方法の検討, アスファルト合材, No.22, 1992.4, pp.21
- 6) 上記 1) b.

石油関連廃棄物の再生利用

帆 茹 浩 三*

1. まえがき

経済活動や消費生活の多様化により排出される廃棄物について、地球規模での関心が高まってきている。こうした流れに呼応するように、各産業界では廃棄物の排出規制と適正処理・再生利用を図るために活動が活発に行われている。舗装業界でも、各種再生利用技術指針が整備され、資源の有効利用と環境保護の観点から、さらなる利用拡大を図る検討がなされている。

石油アスファルトは原油の精製過程で得られる製品で、アスファルト舗装にとってなくてはならない基本的な材料である。石油アスファルトが製造される製油所においても各種の廃棄物が排出されているが、今後は処理費用が高騰するだけでなく、環境に対する社会的責任が以前にも増して要求されることから、自社内での処理および再生利用等の推進が一層求められている。

本報告は、石油精製時に排出される廃棄物と石油関連製品廃棄物を巡る現状を概観するとともに、石油精製排出物のうち流動接触分解装置（以下、FCC装置と呼ぶ）から排出された使用済FCC触媒の舗装材料としての試験的利用検討と、石油関連製品廃棄物のうち使用済タイヤの舗装材料としての利用状況の一例について述べるものである。また、海外における再生利用の現状も合せて紹介する。

2. 石油精製排出物と石油関連製品廃棄物の現状

2.1 石油精製排出物の現状

2.1.1 石油精製排出物

石油の精製は原油の成分を蒸留装置を用いて沸点の差により一定の沸点範囲の群に分解することと、さらに分離されたものを物理的、化学的に処理して目標とする製品にするための分解、改質などを行う工程からなっている。石油精製の最初の工程、つまり原油を蒸留するための装置を常圧蒸留装置といい、

製油所の大きさは一般に常圧蒸留装置の処理能力で示されている。

図-1は石油精製工程と発生廃棄物について示したものである。蒸留装置によって分離されるガス、LPG、ナフサ、ガソリン、灯油、軽質軽油、重質軽油、残油の各留分はそれぞれ脱硫、分解、改質、調合等の工程を経て、最終的な石油製品となる。底に残った残渣油（主に重油）も回収される。

また、各工程において排出される廃棄物には、以下に示すような廃棄物が発生する。

(1) 排水処理汚泥

製油所では各工程から発生する含油排水を含め、大量に排水が発生する。これを排水基準に適合するように排水処理施設で油水分離、凝集沈殿、活性汚泥法等によって回収・処理されており、その際に排水処理汚泥が発生する。この他にもタンク清掃時に排出される汚泥もある。

(2) タンクスラッジ等含油スラッジ

原油タンク、製油タンク等には5~12年に1回開放点検が義務づけられており、この際にタンクの底から油分を含むタンクスラッジが発生する。これ以外には、脱塩設備等からも含油スラッジが発生する。

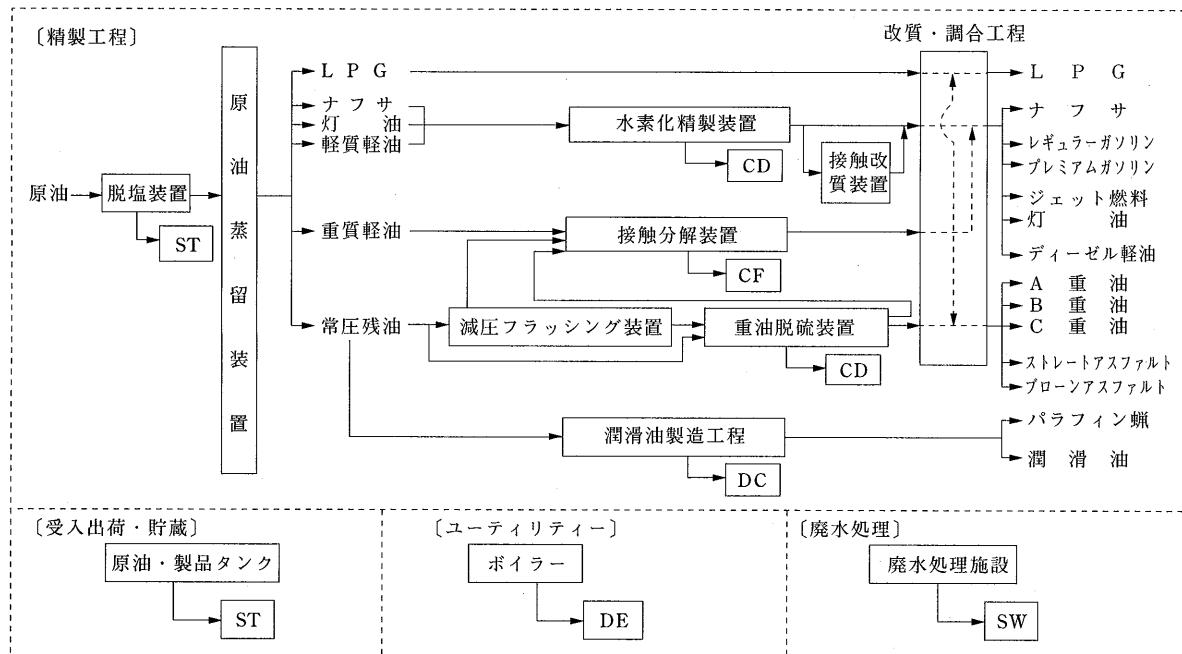
(3) 脱硫系使用済触媒

各留分は硫黄を含んでおり、これを除去する必要がある。ナフサ、灯油・軽質軽油の各留分は水素化精製装置において、常圧残油留分は重油脱硫装置においてそれぞれ脱硫され、その際に脱硫系使用済触媒が発生する。脱硫系触媒は定期修理時に交換される。

(4) 使用済FCC触媒

高オクタン価ガソリンを製造するFCC装置において触媒が用いられ、そこに使用済FCC触媒が発生する。使用済触媒は石油精製過程で連続的に排出される。近年、製油所ではFCC装置が増加してきており、したがって使用済FCC触媒も増加傾向にある。

*ほかり こうぞう 福田道路（株）技術研究所副所長 工学博士



(注) SW: 廃水処理汚泥, ST: タンクスラッジ等の含油スラッジ, CD: 脱硫系廃触媒, CF: 使用済FCC触媒, DC: 廃白土, DE: 集塵ダスト

図-1 石油精製工程と発生廃棄物

(5) 廃白土

潤滑油製造等において吸着材として脱色・脱水工程等で白土が用いられる。その際、油分を含む廃白土が発生する。

製油所から発生する廃棄物にはこの他にも、集塵ダスト、廃油、廃活性炭、廃樹脂、廃酸、廃アルカリなどがある。

2.1.2 石油精製排出物の処理と再資源化の現状

わが国には1993年12月現在で44の製油所がある。これらの製油所からの石油精製排出物の発生総量は、年間約80万トン程度である。

表-1は石油精製排出物発生に占める再資源化の

表-1 石油精製排出物発生に占める再資源化の量
(単位: 1000トン, %)

年度	総発生量 (A)	再資源化量 (B)	再資源化率 (B) / (A) × 100
1989	771	111	14.4
1990	732	111	15.2
1991	801	181	22.6
1992	742	204	27.5

量について示した。この表より、再資源化率は89年から92年の4年間に約2倍に上昇しており、再生利用に対する積極的な取組みがうかがえる。しかし、全体としてはまだ低い水準にあるといえる。

表-2は石油精製排出物の再資源化の例についてまとめたものである。再資源化されている以外の部分は、中間処理の後、産業廃棄物処理業者に埋立、焼却処分等を依託しているのが現状である。

表-2 石油精製排出物の再資源化の例

排出物の種類	再資源化の例
排出処理汚泥	<ul style="list-style-type: none"> ・有機肥料として利用 ・脱水後、軽量骨材の原料として利用 ・燃料として利用
タンクスラッジ等 含油スラッジ	<ul style="list-style-type: none"> ・路盤材として利用 ・セメント增量材として利用
脱硫系使用済触媒	<ul style="list-style-type: none"> ・有用金属の回収 ・軽量骨材として利用
使用済FCC触媒	<ul style="list-style-type: none"> ・製鉄所等において保温材として利用 ・セメント原料として利用 ・フィラーとして利用（オランダ）
廃白土	<ul style="list-style-type: none"> ・セメント增量材として利用

2.2 石油関連製品廃棄物の再生利用の現状

2.2.1 使用済タイヤ

使用済タイヤは大別して①古くなったタイヤを取り替える場合、②自動車が廃車になった場合の2つの場合から発生する。

使用済タイヤの再生利用方法は図-2に示すように大きく、原形利用、加工利用、熱利用の3つに分けられる。

表-3は使用済タイヤの再生利用状況について示した。使用済タイヤの再生利用率は約9割であり、他の廃棄物と比較して再生利用率は極めて高い。再生利用率の構成比をみると、再生ゴムの構成比が近年減少傾向である反面、セメント焼成用としての利用が増加している。これは、使用済タイヤが熱

エネルギーとして再利用される他に、残渣が全く残らない等の理由によるものと考えられる。

一方、舗装材料としては、ゴルフ場等の歩経路などに弾性舗装として常温利用される場合と、加熱アスファルト混合物に用いられる場合の2通りがある。さらに後者は、骨材として用いる場合（ドライ方式）と、アスファルトの改質材として用いる場合（ウェット方式）の2通りがある。これらはいずれも1960年代の後半に欧米で開発されたものである。

2.2.2 廃プラスチック

プラスチックは熱可塑性樹脂（全体の約8割）と熱硬化性樹脂（全体の約2割）に大別される。プラスチックの生産量は1990年には約1260万トンであり、このうち約560万トンが廃プラスチックとして

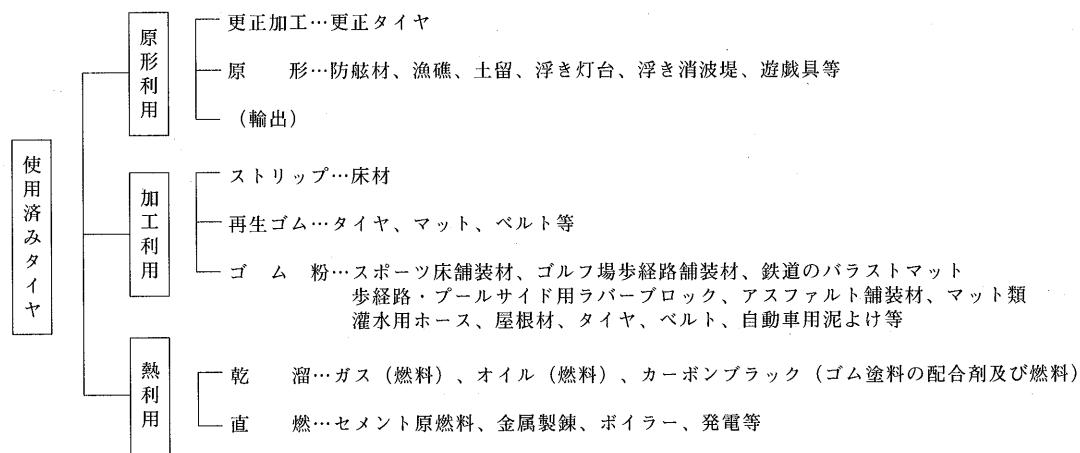


図-2 使用済タイヤの再生利用方法

表-3 使用済タイヤの再生利用状況の推移

(単位:千トン)

			1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
タイヤリサイクル	原形又は加工利用分	輸出用*	96	85	91	110	118	138	160	173	207	153
		再生ゴム*	176	186	158	150	135	124	125	115	103	99
		再生タイヤ台用	80	80	80	78	81	79	81	85	77	81
		その他	15	22	23	23	38	40	42	32	23	23
	熱利用分	セメント焼成用	40	48	56	80	84	96	111	151	169	222
		中・小型ボイラー用	76	75	70	75	93	111	119	109	110	109
		金属製錬・製糸用	89	90	88	76	80	67	67	67	78	71
		タイヤメーカー工場用	—	—	—	—	—	—	—	—	9	9
用途不明			6	33	57	77	103	104	103	120	64	62
合計			578	619	623	669	732	759	808	852	840	829

*輸出用は更正タイヤ台用等を含む。

*再生ゴムはゴム粉含む。

排出されている。

廃プラスチックは年々排出量が増加してきており、ここ20年間に約3倍に増加している。この廃プラスチックは、焼却すると発熱量が高いため炉を傷めやすく、また有毒ガスを排出しやすい。その一方、土中で分解されにくいので、埋立には非常に厄介な廃棄物である。

廃プラスチックの再生利用状況をまとめると図-3のようになる。種類別に収集される産業廃棄物系の廃プラスチック（全体の約4割）の一部はプラスチックとして再利用、固体燃料化、油化等の方法で再生利用されている。しかし、様々な種類のプラスチックが混在し汚れのついた一般廃棄物系の廃プラスチック（全体の約6割）の再生利用は非常に難しく、現時点ではほとんど埋立または焼却処理されている。このようなことから全体としてみると、廃プラスチックの再生利用率は約3割程度に留まっている。

こうした中、ポリエチレン等の廃プラスチックをアスファルト混合物に混入し、耐流動性の向上を狙った施工例も報告されている¹⁾。

3. 舗装材料としての再生利用の取組み

石油精製排出物や石油関連製品廃棄物等を含めて、いわゆる副産物を舗装材料として再生利用する

場合、①環境に対して安全であること、②既存材料と同等以上の品質が確保されること、の2つが前提となる。ここでは、石油精製排出物のうち使用済FCC触媒の再生利用の試み²⁾について、石油関連製品廃棄物からは使用済タイヤの再生利用方法の一例³⁾について述べることにする。

3.1 使用済FCC触媒のアスファルト混合物への適用

3.1.1 使用済FCC触媒の物理性状

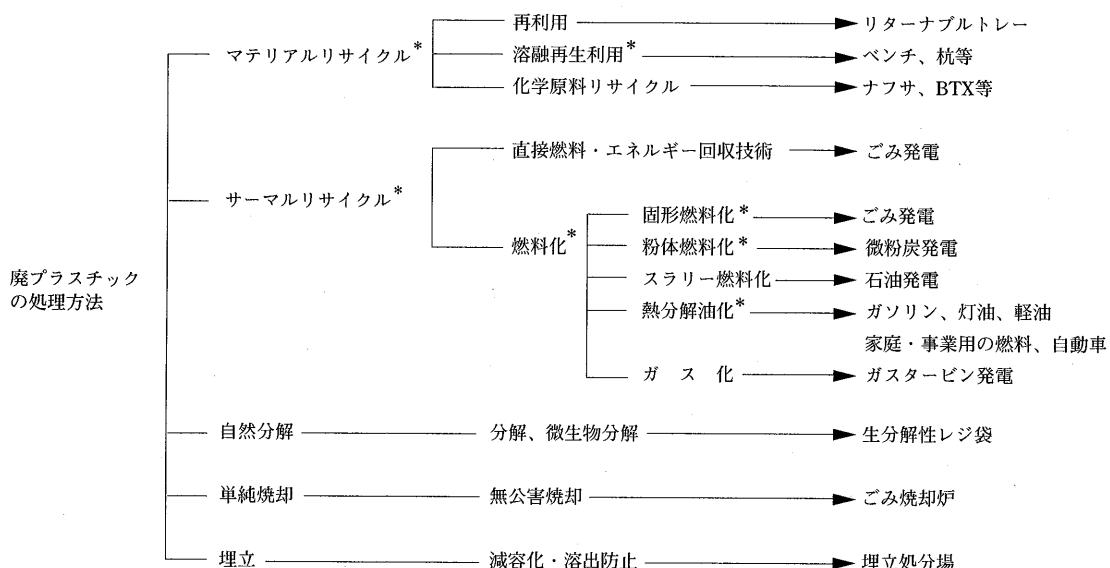
使用済FCC触媒の成分は、シリカ・アルミナとゼオライトの混合物で、ゼオライトの割合は20~35%程度である。

表-4はその代表的な物理性状について示した。表からわかるように、粒度的には石灰岩粉末よりも若干粗く、比重はいくぶん小さい。なお、以下に述べるアスファルト混合物試験に用いた使用済FCC触媒は石粉の粒度に適合するように粉碎したものを用

表-4 使用済FCC触媒の物理性状例

項目	性状	
通 過 率 (%)	0.6 mm	100
	0.3	99.8
	0.15	99.3
	0.075	67.8
比重	2.48	
比表面積 (m ² /g)	133	

再生利用例



*現在実施されている技術

図-3 廃プラスチックの再生利用状況

いた。また、これらは全て環境基準に合格するものである。

使用済FCC触媒の最大の特徴は、粒子内部の微細な空隙が無数に存在することにより極めて大きい比表面積を有することである。ちなみに、石灰岩粉末の比表面積は $1\text{ m}^2/\text{g}$ 以下、従来から耐流動的目的で使用されている吸油性骨材は $3\sim11\text{ m}^2/\text{g}$ 程度であるとの比較して、使用済FCC触媒のそれは $133\text{ m}^2/\text{g}$ である。

3.1.2 使用済FCC触媒添加混合物のマーシャル性状

使用済FCC触媒を添加した混合物のマーシャル性状を確認するために、使用済FCC触媒を混合物の外添加で2, 4, 6%変化させてマーシャル試験を実施した。基本となる混合物は積雪地方で使用されている密粒度アスコン(13F)とした。

表-5に使用済FCC触媒添加混合物のマーシャル試験結果を示す。この表より、使用済FCCの触媒添加混合物の最適アスファルト量は基本配合の6.2%に対して、2%添加で6.5%，4%添加で7.1%，6%添加で7.7%となり、使用済FCC触媒の添加によって最適アスファルト量が非常に大きくなる傾向が認められた。このことからも、使用済FCC触媒の吸油性が極めて大きいことがわかる。

3.1.3 使用済FCC触媒添加混合物の耐流動性

使用済FCC触媒を添加した混合物の耐流動性を確認するために、ホイールトラッキング試験を実施した。試験では、アスファルト量を6.2%に固定し、それに使用済FCC触媒を2, 4, 6%外添加した混合物を用いた。なお、従来からの吸油性骨材を同様に4%外添加した混合物も比較として用いた。図-4はその試験結果である。

図より、使用済FCC触媒を2%添加した混合物は基本配合よりも約2倍の耐流動性を示し、添加量の増加に伴って耐流動性も飛躍的に向上している。従来からの吸油性骨材を4%添加した混合物と同等の耐流動性を示す添加量は2~3%程度である。

表-5 使用済FCC触媒添加混合物のマーシャル性状

添加量 (%)	O A C (%)	密度 (g/cm^3)		空隙率 (%)	飽和度 (%)	安定度 (kg)	フロー値 $1/10\text{mm}$
		見掛け	理論				
基本配合	6.2	2.368	2.455	3.5	80.3	1053	33
2	6.5	2.346	2.435	3.7	80.0	1150	31
4	7.1	2.320	2.412	3.8	80.8	1070	30
6	7.7	2.295	2.393	4.1	80.3	1100	32

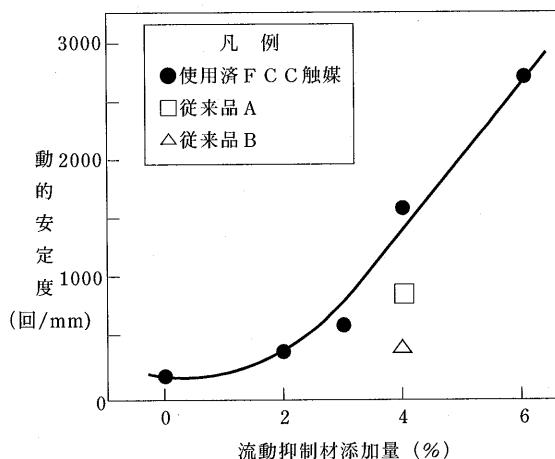


図-4 使用済FCC触媒添加混合物の動的安定度

このように、使用済FCC触媒は極めて大きい吸油性により混合物にかなりの耐流動性を付与することが可能になることがわかった。今後の実用化に当っては、さらに低温脆性、疲労抵抗性等の混合物性状の検討、また、他のアスファルト改質材との併用等による高付加価値化の検討が必要になると考えられる。

3.2 使用済タイヤのアスファルト混合物への適用

前述のように、使用済タイヤを加熱アスファルト混合物に適用する場合、骨材として用いる方法とアスファルトの改質材として用いる方法の2つがある。ここでは、より付加価値の高いと考えられるアスファルトの改質材として用いる方法(ウェット方式)のうち、筆者らの考案したプラントミックス方式について述べることにする。

3.2.1 ウェット方式による再生利用方法

一般に、ウェット方式はアスファルトの入った特殊ミキサーに、粉碎した使用済タイヤ(以下、ゴム粉と呼ぶ)15~20%と少量の展性オイルを加えて200°C前後の高温で混合調整して製造するものである。

図-5、6は、ウェット方式におけるゴム粉の反応プロセスと、そのときのバインダー粘度の挙動を概念的に示したものである。アスファルト中に分散したゴム粉は徐々に膨潤ゲル化する。この過程で粘度は大きくなるが、加熱混合が進行するとある点から粘度は低下し、改質されたバインダー性能が失われる。これは、ゴム質が酸素と熱による加熱老化によって軟化したもので、比較的弱いC-H結合がラジカルとなって分子鎖の切断が起こる。

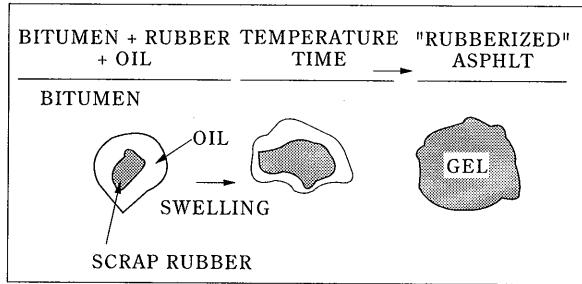


図-5 ウェット方式におけるゴム粉の反応プロセス

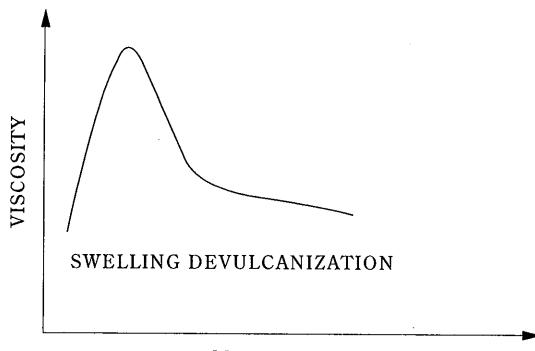


図-6 バインダーの粘度挙動の概念図

このように、製造されたバインダーが長時間高温状態で保持されたり、再加熱されることによって不安定な性状を呈する。このため、ゴム粉入りバインダーの製造は、通常、アスファルトプラントの近傍で混合物の製造に合わせてリアルタイムで行われることになる。

3.2.2 プラントミックス方式による再生利用方法

表-6にプラントミックス方式の概要を示す。プラントミックス方式は、あらかじめ常温でゴム粉に展性オイルを添加混合して膨潤させておき、アスファルト混合物製造時に必要量ミキサーに投入するもので、投入後の加熱骨材との熱交換によってゲル化

を促進させる点に特徴がある。この方式は欧米で行われている方式に較べて非常に簡便であり、混合物製造上の自由度は大きい。以下に、プラントミックス方式により製造した混合物の性状例を示す。

表-6 プラントミックス方式の概要

項目	内 容
ベースアスファルト	ストレートアスファルト 60~80
ゴム粉粒径	0.3~0.7mm
前処理	あらかじめ展性オイルを添加混合
添加方法	プラントミックス アスファルトスプレー後添加
ゴム粉の添加量	10~30kg/混合物1t(用途によって異なる)
混合温度	目標170~180°C

3.2.3 薄層排水性混合物への適用

表-7は骨材の最大粒径を10mm、空隙率20%とした薄層用(2cm)排水性混合物の性状例について示した。ゴム粉の添加量は混合物に対して外添加で1.5%とした。また、比較として排水性舗装用の高粘度改質アスファルトによる混合物を用いた。

表より、ゴム粉入り混合物のカンタブロ損失量は高粘度改質アスファルトを用いたものよりもむしろ小さい値を示しており、付着性に優れていることがわかる。動的安定度は、高粘度改質アスファルトを用いたものよりもかなり小さいが、ストレートアスファルトを用いた密粒度アスコン程度の値は得られている。

表-7 排水性混合物の性状例

項目 種別	As量 (%)	空隙率 (%)	カンタブロ損失量(%)		DS (回/mm)
			標 準	水 浸	
高粘度改質As	5.6	20	5.0	6.3	6,000以上
stAs60/80+ゴム粉	6.0	20	4.4	5.9	540

なお、高速道路で施工した薄層排水性舗装の15ヶ月経過後のわだち掘れ量を比較したところ、いずれも小さく、両バインダーの差異は全く認められていない。このことから、粗骨材の多い排水性混合物を薄層で用いる場合、動的安定度の値そのものはわだち掘れにはあまり関係がないものと思われる。

以上、ゴム粉入りバインダーの薄層排水性混合物への適用例を述べたが、通常の混合物への適用も可能である。密粒度ギャップアスコンに適用した例では、骨材間の付着性の向上に加えて動的安定度の増

加も確認されている。今後の検討課題ではあるが、ストーンマスチックアスファルト等に適用した場合でも十分効果があると考えている。

4. 海外における石油関連廃棄物の再生利用の現状

ここでは、海外の例として、オランダにおける使用済FCC触媒のフィラーとしての利用状況と、アメリカにおける使用済タイヤのアスファルト混合物への利用の取組みについて述べることにする。

4.1 オランダの例

環境保護を重要な政策課題としているオランダでは、狭い国土に人口が集中している上に工業化が進んでいるため、廃棄物の処理は深刻な問題となっている。加えて、資源の多くを国外に依存しており、舗装材料を例にとっても、砂と粘土以外にほとんど産出されないことから、碎石、石灰岩粉末は国外から輸入されている。こうした背景から、廃棄物の再生利用への取組みは非常に活発である。ただし、環境への影響、作業員を含めた人体への影響等の観点から最終製品のチェックは確実に行われている。

オランダにおいて舗装材料に再生利用されている廃棄物、副産物には、スラグ、フライアッシュ、都市ゴミ焼却灰がある。このうち、フライアッシュ、都市ゴミ焼却灰は石灰岩粉末と消石灰とともにアスファルト混合物のフィラー材料として公式に認められている。

使用済FCC触媒は、現在のところフィラー材料としては公式に認められていないが、フィラーとしての性能、環境への影響に問題がないことから、実際にはフライアッシュ、都市ゴミ焼却灰とともに粉碎され、フィラーの規格に合致するように石灰岩粉末と適宜混合され、フィラーとして再生利用されている。使用済FCC触媒のフィラー全量に対する混入量は10~15%が一般的である。

オランダのフィラーの規格は表-8に示すように4つのクラスに分かれている。規格は基本的にはアスファルトの接着能力によって分類されているが、消石灰を25%混合したフィラーはポーラスアスファルト専用フィラーとして特別に位置付けられている。

表-8 オランダのフィラーの規格

特 性	単 位	class30 min	class30 max	class40 min	class40 max	class50 min	class50 max	* class50 min	* class50 max
粒子径									
残留分	2mm %	(m/m)	—	0	—	0	—	0	—
	90 μm %	(m/m)	—	15	—	15	—	15	—
	63 μm %	(m/m)	5	25	5	25	5	25	5
アスファルト接着能力	% (m/m)	28	38	40	0	52	62	52	62
空隙率	% (v/v)	28	—	36	—	44	—	44	—
加熱損失	% (m/m)	—	1.5	—	1.5	—	1.5	—	1.5
水溶解度	% (m/m)	—	10	—	10	—	10	—	15
剥離性	% (m/m)	—	10	—	10	—	10	—	10
膨潤性	% (v/v)	—	3	—	3	—	3	—	3
消石灰混入率	% (m/m)	—	—	—	—	—	—	25	—

(注)* class50消石灰を含む

4.2 アメリカの例

アメリカで廃棄物、副産物を舗装材料として積極的に再生利用しようとしているものに使用済タイヤがある。具体的には、1991年12月に使用済タイヤをアスファルト混合物に適用しようとする総合陸上交通整備法 (Intermodal Surface Transportation Efficiency Act : ISTEA) が法制化された。

この法律は、全アスファルト混合物に対するゴム粉入り混合物の比率を一定以上とすること（計画的に比率を増加させ、最終的には20%まで引き上げる予定）を各州に義務付けるものである。しかし、この法律は法律の成立日から18ヶ月の間に連邦道路局 (FHWA) と環境保護庁 (EPA) 共同による技術的および人体に対する影響調査を経て実施されることになっていた。その報告書⁴⁾によれば、技術的にはゴム粉をアスファルトに対して10~20%添加するウェット型とし、開粒度摩擦層 (Open-Graded Friction Course : OGFC) に用いることで良好な混合物性状が得られるとしている。また、人体に対する影響調査では、ゴム粉入り混合物が従来からの加熱アスファルト混合物と比較して人体に対する影響が増大するという証拠は見出せないと結論付けている。

しかし、この法律は未だ施行されていない。その理由は、民間の調査機関に依託して行った人体に対する影響調査結果についてEPAが疑問をなげかけ、1994~1995年にかけてEPAが独自調査を行うこととしたためである。1994年11月のFHWA担当者 (Peter J.Serrano, P.EとJohn F.Sullivan III, P.Eの

両氏) に対する筆者らの聞き取り調査によれば、この法律はここ数年停止状態になると予想している。ただし、FHWAではこれまでどおりゴム粉入り混合物に積極的に取組むとし、法律の施行を前提に各州に対して技術面、運営面での協力、支援を行うとしている。

5. あとがき

これまで、国内および海外における石油関連廃棄物の現状と再生利用方法について筆者の知る範囲で簡単に述べた。繰返しになるが、廃棄物や副産物を舗装材料として再生利用する場合には、環境等に対する安全性、既存材料と同等以上の品質を確保することが前提条件となる。また、資源の有効利用や環境保護の観点からも、対象となる物質の性状を十分把握し、その性質が最も効率良く引出せるような再生利用技術の向上が今後ともなお一層必要となろう。

最後に、本報告の執筆に当っては、平成7年3月、(財)石油産業活性化センター(PEC)の「使用済FCC触媒等製油所排出物の道路用材への利用についての調査報告書」(平成6年度石油精製合理化基盤調査事業)を参考にさせて頂いた。なお、この調査はPECが通産省資源エネルギー庁から石油精製合理化対策事業費補助金の交付を受けて実施されたものである。

ここに、関係者に対して深甚なる謝意を表します。

一参考文献一

- 1) 改質アスファルト協会：廃プラスチックの状況と舗装用途への利用調査（その2），改質アスファルト誌，No.4, 1995.2, P15
- 2) 今井寿男, 山崎久夫, 川上徹：使用済ゼオライトの道路材料への適用について, 第6回北陸道路舗装会議技術報文集, 1994.5, P311~314
- 3) 田口仁, 帆苅浩三, 原富男：使用済みタイヤの

アスファルト混合物への利用, 舗装, Vol30.
No.3, 1995.3, P25~30

- 4) U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, U.S.Environmental Protection Agency : A STUDY OF THE USE OF RECYCLED PAVING MATERIAL, 1993.6.



～ 石油の用途 ～

石油製品は種類が多いですが、大別すると5種類に分類されます。それぞれ国内の生産量は表-1、表-2に示すとおりです¹⁾。

用途の大部分は燃料で原油処理量のうち約93%を占めています。次いでアスファルトですが燃焼用も含めても2.5%に過ぎません。

以下に、石油から得られる製品あるいは原料について概要²⁾を説明します。

表-1 石油製品の種類と生産量¹⁾
単位：千kl, %

種類	生産量	比率*
燃料油	226,520	93.2
アスファルト	6,079	2.5
液化石油ガス	4,584	1.9
潤滑油	2,713	1.1
その他	3,044	1.3
原油処理量	242,940	100.0

表-2 各種燃料油の生産量と割合¹⁾

単位：千kl, %

種類	生産量	比率*
ガソリン	49,917	22.0
ナフサ	17,460	7.7
ジェット燃料	7,156	3.2
灯油	27,198	12.0
軽油	43,943	19.4
重油	80,846	35.7
合計	226,520	100.0

*原油処理量に対する比率(%)

1. 燃料油

(1) ガソリン

自動車用ガソリンエンジンに用いる燃料で、ほかに農業用、林業用等の同様な内燃機関にも広く使用されています。組成は、主に炭素数4~10の炭化水素の混合物で、最近はオクタン価の向上剤としてMTBE(メチルターシャリーブチルエーテル)が配合されているものもあります。

種類は、オクタン価によってプレミアム・ガソリン(オクタン価98~100)、レギュラー・ガソリン

(オクタン価90前後)の2種があります。

(2) ナフサ

分留範囲が30~230°Cの直留軽質留分をナフサと呼び留分の違いにより3種に分けられます。

最も需要の多いのは石油化学の原料用でエチレン、プロピレン、BTX等が製造され、その他都市ガスの原料、電力用燃料としても使用されています。

(3) ジェット燃料

沸点範囲がガソリン留分から灯油留分にまたがる広沸点範囲型と灯油留分の灯油型があります。

(4) 灯油

炭素数11~13を中心とする炭化水素で、冷暖房や厨房用に使用される白灯油と石油発動機や機械洗浄用に使用される茶灯油があります。

(5) 軽油

沸点範囲は約170~370°Cで国内生産量4,390万klのうち90%がディーゼルエンジン用として使用されています。

排気ガスをきれいにするために、1992年に硫黄分がそれまでの0.5%から0.2%以下となり、さらに1997年からは0.05%以下に低減される予定です。

(6) 重油

重油は粘度や硫黄分によりA重油、B重油、C重油の3種に分類されます。重油は石油製品の中で最も多く使用されてきましたが年々その需要は減少しています。それでも、平成6年の原油処理量に占める重油の割合は約33%となっています。

用途は、A重油が中小工場のボイラ、ビル暖房、ビニールハウス暖房用等です。B重油は中小工場のボイラ、窯業炉等です。C重油は電力、化学、紙パルプ工業等のボイラ、大型船舶ディーゼルエンジン用燃料等として使用されています。

2. 潤滑油

潤滑油は、金属同士が接触し摺動する部分には必ずといってよい程使用されています。温度、圧力、腐食など条件が非常に厳しいことが多く、原油を高度に精製して得られた基油だけでは使用することが出来ず、表-3³⁾に示すような多くの添加剤が使用されています。

表-3 潤滑油と使用添加剤の種類³⁾

潤滑油 添加剤	エンジン油	自動変速機油	タービン油	工作動油	ギヤー油	スピンドル油	工作機械油	圧縮機油	圧延油	切削油
粘度指数向上剤	×	×	×	×	×					
流動点下降剤	×	×	×	×	×			×		
さび止め剤	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
腐食防止剤	×	×	×	×	×	×	×	×		
酸化防止剤	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
極圧剤	×	(×)	×	×	×				×	×
油性剤					×		×		×	
清浄剤	×	×						×		
あわ止め剤	×	×	×	×	×	×	×	×	(×)	(×)
乳化剤			(×)							

(1) エンジン油

エンジン油は、ガソリンエンジン油とディーゼルエンジン油に分けられ、ガソリンエンジン油はさらに2サイクル用と4サイクル用があります。通常4サイクルガソリンエンジン油をモーターオイルと呼んでいます。

ディーゼルエンジン油は、バスやトラックなどの大型商用車、建設機械、あるいはディーゼル機関車などの陸用ディーゼルエンジンに使用されるものと、大型船舶に使用される舶用ディーゼルエンジン油があります。

(2) ギヤー油

ギヤー油には、自動車用と工業用があります。

自動車には、トランスマッショングギヤー、ディファレンシャルギヤー、ステアリングギヤーなどがあり、これらのギヤー装置を潤滑し円滑に作動させるためにギヤー油が使用されます。

工業用ギヤー油は、一般機械、建設機械あるいは圧延機などに使用されます。

(3) タービン油

タービン油は火力、水力発電および船舶動力用タービンなどの各種軸受のほか、高速回転機械の軸受潤滑油として使用されます。

タービン油は、水力タービン発電機の軸受けや制御油圧系統など比較的マイルドな条件で使用される無添加タービン油の他、火力発電用の蒸気タービン油、航空機の推進機関などに用いられるガスタービン油があります。

(4) 油圧作動油

油圧はパスカルの原理を応用したもので圧力源として各種ポンプが使用され圧力伝達の媒体として油

圧作動油が使用されます。

油圧装置は、パワーショベル、フォークリフト、工作機械、製鉄機械、航空機などに広く使用される他、ロボットの制御用にも使用されます。

(5) 圧縮機油

圧縮機は空気またはガスを圧縮し送り出す機械で、圧縮機油はそのシリンダー、ピストン、バルブなど直接圧縮ガスに触れる箇所を潤滑し併せて圧縮ガスのシールの役目もします。

(6) 冷凍機油

冷凍機油は、冷凍サイクルの構成要素である冷凍圧縮機の潤滑、シールに使われ、原理は空気圧縮機と同じですが冷媒と呼ばれる液化しやすい特殊なガスを圧縮します。

冷蔵庫、ルームエアコン、カーエアコン、空調などの冷凍機に使用されています。

(7) 金属加工油

金属加工油には、金属の切削や研削加工を行うときの潤滑や冷却に使用される切削油、金属材料をロール間に通し薄く延ばす圧延油、金型で打ち抜く塑性加工油、鋼材の焼き入れに使用する熱処理油、放電加工に使用される放電加工油などがあります。

(8) その他潤滑油

工作機械に使用される滑り案内面油や軸受油、紡績機械などに使用されるスピンドル油、発電機や送風機などの軸受潤滑に使用されるダイナモ油、工業用設備機械の滴下給油に使用するマシン油などがあります。

3. 特殊用途石油製品

(1) 電気絶縁油

絶縁油は、柱上変圧器、超高压変圧器、電力ケーブル、電力コンデンサーなど、各種の発電機器、送電機器に使用されています。

(2) さび止め油

鉄鋼製品やその製造工程の半製品、機械部品などの一時的あるいは長期間のさび止めに用いられます。

(3) 熱媒体油

各種間接加熱、冷却装置の伝熱媒体としてあらゆる産業分野で使用されています。

(4) 農薬オイル

農薬オイルは乳化剤を加えて乳化し、殺虫剤として用います。

(5) ホワイトオイル

ホワイトオイルは潤滑油留分を高度に精製して芳香族分を完全に除去した油で、化粧品、医薬品、食品加工業および可塑剤などに使用されます。

4. 溶 剤

ガソリンや灯油は燃料として使用されるもの以外に一般工業用に使用されており、これ等を総称して石油系溶剤と呼んでいます。一般に直留ガソリン、改質ガソリン、灯油、軽油などの留分を精製して製造されています。

用途として、エンジンは精密機械の洗浄や懐炉用燃料に、ゴム用揮発油は自動車タイヤの製造用、抽出用揮発油は植物性油脂や香料などの抽出用に、石油エーテルおよびリグロインは試験研究用に、その他塗料用溶剤、新聞インキ、グラビアインキなどがあります。

最近はフロン規制に伴い、機械や電子部品の洗浄用として高度に精製した石油系溶剤がフロン系溶剤に替わって使用されるようになってきました。

5. 液化石油ガス

Liquefied Petroleum Gases (LPG) と呼ばれるもので、主成分はプロパンやブタンです。国内で生産される液化石油ガスは表-1に示すように約458万㎘ですが、需要量が多いため約1,600万㎘が輸入されています。

用途は、家庭用、業務用、工業用、自動車用、火力発電用などの燃料、都市ガスの原料、さらにアンモニア、メタノール、エチレン、プロピレン製造の化学工業原料などに使用されています。

6. グリース

グリースは潤滑を司る基油にグリース状を維持するための増ちょう剤といわれる高級脂肪酸の石けんあるいはウレア化合物を5~20%調合して製造されています。

用途は、機械類や自動車などの軸受けに使用されています。

7. アスファルト

本誌に詳細な文献資料がありますので割愛致します。

8. その他

(1) パラフィン

パラフィンは潤滑油製造の過程で潤滑油留分から分離精製して製造されるもので、年間約12万トン生産されています。組成は主として直鎖および分枝の脂肪族炭化水素です。

用途は、ろうそく、紙容器・段ボール等の防水、ゴムの配合剤、電気絶縁材料、塩素化パラフィンの原料、マッチの燃焼助剤、口紅・クリームなどの化粧品用があります。

(2) 硫 黃

硫黄は重油の脱硫装置から副生するもので年間170万トン生産されています。用途は肥料としての硫安が主で、国内消費は約90万トンでその他は輸出されています。

以上のように石油製品は気体から個体まで、燃料、重工業、精密工業など様々な分野で使用されており、銘柄別では数百種類におよぶ製品があります。

—参考文献—

- 1) 通産省エネルギー生産・需給統計月報 平成6年12月。
- 2) 日本石油株式会社編：“石油便覧”，燃料油脂新聞社発行(1994)。
- 3) 桑田勉、山本研一編：“新しい工業材料の化学－潤滑と潤滑剤”，金原出版(1970)。

[長谷川 宏 日本石油(株)中央技術研究所]

「第4回道路および空港舗装の支持力に関する国際会議」の論文抄録（その2）

"4th International Conference on Bearing Capacity of Roads and Airfields"

今回の研究報告は、4月号に引き続き第4回道路および空港舗装の支持力に関する国際会議の発表論文の後半の抄録です。発表論文の内容は、材料、オーバーレイ設計、舗装の供用性、舗装の評価についての59編です。

今回報告する論文は、舗装材料の弾性係数の評価をレジリエントモデュラスで行いFWDの逆解析と結び付けたもの、SHRP-LTTPの解析方法の報告、各層の使用材料の性状試験と供用性との関係を把握したもの、FWDを用いたオーバーレイ設計法の検討、実車の輪荷重を載荷できるシミュレータによる応力・ひずみ測定と供用性を検討したもの、空港における舗装評価の破損モデルをたわみ量やひずみ測定から検討したもの、コンポジット舗装の評価

へのFWDの適用に関するもの、空港舗装の路床の支持力を貫入試験で評価しCBRとの関係を求めたものなど多種にわたっています。抄訳作成において訳者の力不足で不明確な箇所もあると思われますが、文献調査の参考にしていただければ幸いです。

さて、4月の転勤などに伴い研究グループのメンバーの入れ替わりがあり、新入会を含め現在34名となっています。メンバーもかなり若返り、平均年齢も30歳に近付いていますので、若い方も自由に参加できる雰囲気になりつつあると考えています。新規入会希望がありましたら幹事まで連絡をお願い致します。

(研究グループ代表幹事：峰岸順一)

アスファルト舗装技術研究グループ名簿

*は班長 **は副班長

峰岸 順一 東京都土木技術研究所技術部

阿部 長門 東亜道路工業(株)技術研究所
飯田 健一 鹿島道路(株)技術研究所
池田 和則 世紀東急工業(株)技術研究所
伊藤 達也 ニチレキ(株)道路エンジニアリング部
岩崎 聖司 日本道路(株)技術本部技術研究所
遠藤 桂 日本道路(株)技術本部技術研究所
岡藤 博国 世紀東急工業(株)技術部
小笠 幸雄 大林道路(株)技術管理部
小林 正利 福田道路(株)技術研究所
金井 利浩 鹿島道路(株)技術研究所
北沢 弘明 ニチレキ(株)総務部
黒田 智 日本鋪道(株)技術研究所
小関 裕二 大林道路(株)技術研究所
佐々木 巍 建設省土木研究所材料施工部化学研究室
佐藤 雅規 世紀東急工業(株)技術研究所
島崎 勝 大成ロテック(株)技術研究所

**菅野 伸一 常盤工業(株)技術研究所
杉内 正弘 飛島道路(株)技術研究所
**鈴木 秀輔 大成ロテック(株)技術研究所
鈴木 康豊 (株)バスコ道路技術センター
田口 克也 ニチレキ(株)技術研究所
田中 秀明 東亜道路工業(株)技術研究所
田中 正義 ニチレキ(株)技術研究所
*谷口 豊明 大林道路(株)技術研究所
塚越 徹 日本石油(株)中央技術研究所
深沢 邦彦 大成ロテック(株)技術研究所
**増山 幸衛 (財)道路保全技術センター関東支部
水口 浩明 前田道路(株)技術研究所
水野 卓哉 福田道路(株)技術研究所
*南沢 輝雄 (株)バスコ道路技術センター
村田 信之 日本鋪道(株)企画部
森久保道生 昭和シェル石油(株)中央研究所
*吉村 啓之 前田道路(株)技術研究所

計34名

5. Materials 材 料

(1)著者名 (2)原文題名 (3)ページ (4)和文題名 (抄訳者名) (5)論文概要

(1) Dawson, A.R., Correia, A.G., Jouve, P., Paute, J-L and Galjaard, P.J. (イギリス, ポルトガル, フランス, オランダ)

(2) Modelling Resilient and Permanent Deflections in Granular and Soil Pavement Layers

(3) Vol.Two, pp.847~862

(4) 補装用の粒状路盤材と土の復元変形と永久変形のモデリング

(阿部長門)

(5) 一般に, 表層厚が薄い舗装のたわみは, 土と粒状路盤のひずみによって支配されている。これらのひずみは, 復元するものと永久変形するものによって構成されている。このような材料は, 応力に依存する非線形材料であり, これらの材料の変形特性を把握するためにヨーロッパの幾つかの研究機関で使われている繰返し三軸試験機による試験が数多く行われている。しかし, 研究機関によって供試体のサイズや変形量の測定方法が異なっているので, 同一材料で共通試験を行い, この結果に基づき解析モデルの検討を行った。

供試体の直径と高さの比は1:2であるが, 供試体の直径は様々である。粘性土の試験結果では, 直径が変形量に及ぼす影響は大きく, 復元軸ひずみで $1 \sim 6 \times 10^{-3}$ の範囲に広く分布している。しかし, 永久変形に及ぼす影響はほとんどない。粒状路盤の試験結果では, 繰り返しによる永久ひずみの増加量はどの直径でもほとんど変わらないが, 破壊に至る限界が異なる。このために, 供試体のサイズの規格を定める必要がある。供試体のサイズと同様に復元と永久変形ひずみは, 締固め方法とそのエネルギーの大きさに大きく影響を受けるので, 現場状況を最もシミュレートした締固め方法の開発が急務である。粒状路盤材のレジリエントモデュラスの算定モデルは, 一般にk₀モデルが使われているが,せん断弾性係数を考慮したモデルの方が精度が向上する。路盤材の疲労試験では, どの機関の結果からも双曲線近似モデルがよく一致することが確認された。

ここで得られた粒状路盤材のせん断弾性係数を考慮したレジリエントモデュラス算定モデルを用いFEM(NOEL)で計算した結果とFWDのたわみを比較した結果, オフセットの値は異なっているが, 曲線形状はほぼ一致しており, メッシュの分割を細かくするとオフセットの差はなくなるとしている。

本報告は, ヨーロッパの主要な舗装研究機関において同一条件で繰返し三軸試験を実施し得られた結果にもとづき, 長期供用性の向上を目的とした舗装設計システムの構築を目指しているものであり, 我が国においても今後の検討において参考になると思われる。

(1) Hadley, W.O., Irick, P. and Anderson, V. (アメリカ)

(2) Materials and Construction Variability based on SHRP-LTPP Data

(3) Vol.Two, pp.863~882

(4) SHRP-LTPPデータにもとづく施工と材料の変動に関する検討

(阿部長門)

(5) 本論文は, 5年間にわたるSHRP-LTPP区間のデータに基づき, 各区間内の種々の関数の変動がパフォーマンス(わだち掘れ量, IRI, PSI)に与える影響などについてまとめたものである。この解析結果は, 舗装パフォーマンスデータベース(NPPDB)に入力されている。

剛性舗装の関数としては, コンクリート層の層厚, 弹性係数, ポアソン比, 路床の支持力係数, 累積等価軸換算軸数, 寿命, 温度条件, コンクリート層の層厚と弾性係数と路床の支持力係数の変動係数(CV)である。たわみ性舗装の関数としては, アスファルト混合物層の層厚, 路盤層の層厚, 構造指數(SN), アスファルト混合物層の弾性係数, 路盤層の弾性係数, 路床の弾性係数, 路床土のタイプ, 累積等価軸換算軸数, 寿命, 温度条件, アスファルト混合物層の層厚と弾性係数と路床の弾性係数の変動係数(CV)である。この中で, 各層の弾性係数はFWDで測定したたわみよりMODULUSで解析して得られたものである。

上記の条件より, それぞれの舗装構造のパフォーマンスを推定するために重回帰分析を行い, 5種類の予測式を提案している。特に, たわみ性舗装では, わだち掘れ予測式を層材料の圧縮によるものと路床の永久変形によるものの2種類に分類している。

ここで, 開発された予測式は, SHRP-LTPP区間における詳細な調査から得られたデータに基づいており, それぞれの関数の区間内変動がパフォーマンスに与える影響が大きいことを表している。また, 筆者等はこの結果が設計に反映され, パフォーマンス低下の小さい舗装が多く建設されることを望むとしている。

日本においても, SHRP計画に基づく「新基準調査」が進められているが, このデータ解析や本論文のようなパフォーマンスの予測式などが早期に開発されることが望まれる。

(1) Kolisoja, P. (フィンランド)

(2) Large Scale Dynamic Triaxial Tests with Coarse Grained Aggregates

(3) pp.883～898

(4) 粗骨材を用いた大規模な動的三軸試験

(伊藤達也)

(5) フィンランドでは、良質な骨材や砂利で路盤を構築してきた。しかし、近年良質な材料が枯渇し、これらを遠くの現場まで運搬することは不経済となってきた。そこで、現場近くで採取される骨材を路盤材として使用していくにあたり、それらの適用性を動的三軸試験により判断できるかを検討した。供試体は、直径30cm、高さ60cmのサイズであり、縦方向の変位、円周方向のひずみを測定する計器を取り付けてある。測定項目はレジリエントモデュラスと割線モデュラスである。

今回の実験より、この三軸試験は路盤材の性状を調べるのに適していることが確認され、得られたデータを使用し、構造解析を行うことにより、現行の骨材を用いた路盤と同程度となる条件を見いだすことができるとして述べている。

(1) Circeo, J.I.Jr. and Mayne, W.P. (アメリカ)

(2) In-situ Thermal Stabilization of Road and Airfield Foundation Soils Using Plasma Arc Technology

(3) pp.899～916

(4) プラズマアーク技術による道路・飛行場基礎地盤の現場熱安定処理

(伊藤達也)

(5) 土は加熱されると強度増加、圧縮性の低下を起こす。この利点を利用し、熱による土の安定処理が100年以上にわたって追求されてきた。しかし、バーナを用いた加熱方法は、燃焼温度が低く、結果が不確実などの課題を生じさせ、あまり使用されなかった。ここでは、土の加熱方法として、NASAで開発されたプラズマアーク技術を用いた結果について述べている。試験は、米国内で産出される貧可塑性粘土とシルト砂質土をそれぞれ直径0.6～1.2m、高さ0.9～1.2mの型枠に敷き詰め、中心に設けた開口ボーリング孔の中に100kwプラズマトーチを設置し、15～160分間溶融する方法で実施した。その結果、これらの土の性状は、強度、スチフェネスおよび密度の増加、間隙比、含水量および間隙率の減少を起こし、物理的には黒曜岩に近いものとなった。このプラズマアーク技術は、土の熱安定処理方法として簡単で効率良く、かつ有効な方法であることが確認された。今後、この方法が技術的に完成すれば、基礎地盤の諸問題を解決できると述べている。

(1) Hudson, J.M., Drumm, E.C. and Madgett, M. (アメリカ)

(2) Design Handbook for The Estimation of Resilient Response of Fine-Grained Subgrades

(3) pp.917～932

(4) 補装の設計ハンドブック作成における細粒路床土のレジリエント応答の評価について

(遠藤 桂)

(5) 補装の設計において路床土の特性を評価することは重要であり、レジリエントモデュラスによって評価することが試みられてきている。レジリエントモデュラスによる評価は有用ではあるものの、その試験は複雑であり、多くの時間が必要である。そこで、テネシー州の8つの路床土についてレジリエントモデュラスを測定し、路床土の分類や特性値に対して統計的に分析することで、試験を行わざとも路床の応力状態に応じたレジリエントモデュラスが予測できるようにした。

考え方自体は参考になるかもしれないが、筆者も指摘しているように今回の統計式はテネシー州の路床土の一部にのみ適用できるとしているので、日本での適用を考慮するとやはり全ての試験をする必要があると思われる。

(1) Budiman, J. (アメリカ)

(2) Performance of Base Materials with Large Size Aggregate Inclusion

(3) pp.933～954

(4) 大粒径骨材含有率が路盤材料のパフォーマンスに与える影響について

(遠藤 桂)

(5) 本報告は、大粒径骨材が路盤材のパフォーマンスに与える影響と永久ひずみの発生について研究したものである。10mm以上の骨材含有率が38%～57%である6つの粒度で、乾燥密度2.15g/cm³、含水比5.76%，高さ457mm、直径229mmの円柱供試体を作成した。動的載荷の三軸圧縮試験と一軸圧縮試験を行い、粒度、載荷回数、拘束圧、軸差応力について検討したところ、10mm以上の骨材含有率が38%である粒度がわだち掘れに対して最も敏感で、逆に10mm以上が57%である粒度が最も敏感でなかった。また、拘束圧の増加に対して永久ひずみが減少すること、軸差応力の増加させると永久ひずみが増加すること、すべての応力状態、全ての粒度で永久ひずみは一軸試験の方が三軸試験より大きいことなどがわかった。

- (1) Attoh-Okine, B.N.O. (アメリカ)
(2) Modeling the Strength Characteristic of Lateritic Soil and Gravels in Pavement Construction
(3) pp.955~966

(4) 舗装建設におけるラテライト土壌および礫の強度特性モデル
(岡藤博国)
(5) ラテライト土壌は赤道をはさんで南緯30度、北緯30度の間の熱帯湿潤地域に多く分布する土壌である。これま
でラテライト土壌、礫による道路は、供用性やメンテナンスに関して多くの問題があることが示されている。
しかしそれらの材料は中軽交通の道路の路床路盤材としては良好であるという報告もなされている。

本論文では、ラテライト土壌および礫を道路建設に用いた場合の長期的な供用性を評価するためにCBRに基づ
いた強度特性モデルを開発し、その成果について述べたものである。

強度特性モデルの開発は、ガーナからコートジボアール間の高速道路での現場CBRと土の物性との相関関係を
調べることから始まった。それらの間の個々の相関関係はほとんどなく、本研究では多変数の回帰解析を行い、
現場CBRと現場乾燥密度、塑性指数および液性限界の間に相関関係があることがわかった。その関係を用いて
強度特性モデルを開発し、実験室において現場乾燥密度、塑性指数および液性限界の試験を行い、現場CBRを
予測した。その結果、この強度特性モデルを用いれば現場CBR試験を行う必要がなく、簡単な試験で現場CBR
を推定できることがわかった。

本論文で述べられている強度特性モデルを用いた場合の予測結果の精度についてはあまり考察されておらず、
結果を示した図を見る限り、精度は良くないようと思われる。また対象とした材料がラテライトというわが国
では馴染のない土でもあり、参考となるべき記述はあまりないように思われる。

- (1) Fleming P.R. and Rogers C.D.F. (イギリス)

- (2) Assessment of Permanent Deformation Characteristics of Four Granular Pavement Foundation Materials In
Situ
(3) pp.967~988

(4) 舗装に用いる粒状基礎材料の永久変形特性の評価
(岡藤博国)
(5) 英国における舗装の設計は従来の経験的な手法から次第に解析的なアプローチに移行しつつある。最近のTRI
の文献では舗装の基礎部分の設計と舗装上部の設計を別々に行う手法が示されている。本文は主に舗装基礎部分
の設計において、永久変形（わだち掘れ）に対する抵抗性を評価できる試験方法について検討したものであ
る。

4つの粒状材料を用いて、締固め回数などの条件を変え、試験トラックを建設した。その試験トラックにお
いてFWD, DCP, Clegg Hammer, NDGなどの試験により路床や下層路盤の特性を把握すると共に、実際の車両
を走行させ、交通荷重の繰返しによるわだち掘れ量を通過回数ごとに測定した。1mmのわだち掘れができる通
過回数の対数をとったもの（D. R. F.）を、評価のパラメータに用い、CBRも加えた各試験より得られる測定値
との相関関係を調べている。

各試験法の測定値とD. R. F.との相関は材料や締固め度によっても若干異なるようで、今後、現場での永久変
形特性や室内試験からの永久変形の予測に関して、更なる研究を必要としている。

本文は、路床あるいは下層路盤の特性による永久変形を考える上で、参考となる文献である。

- (1) Allen, D.L. and Graves, R.C. (アメリカ)

- (2) Variability in Measurement of In-situ Material Properties

- (3) pp.989~1006

(4) 現位置における材料特性の測定法
(小笠幸雄)
(5) ケンタッキー州では、20箇所で長期供用性調査が行われ、その内7箇所がSHRPのLTPP調査区間である。本
論文は、ケンタッキー州において1989年から実施されている舗装の長期供用性調査の内、舗装の構造評価につ
いて、主にFWDとロードレータによって測定されたデータの解析結果について述べるとともに、様々なテスト
ヤードで様々な荷重レベルで測定されたデータを解析するためのアウトラインについて論じている。

FWDとロードレータによる測定は、延長500フィートのテストヤードの中で25フィートごとに実施され、舗装
の非弾性特性を評価するため様々な荷重レベルで実施された。その結果、FWDはロードレータより試験誤差が
小さいこと、ロードレータは舗装に十分なエネルギーを与えることができないので逆解析によって求められる
変形係数のバラツキは、舗装が厚いほど大きいことを述べている。また、逆解析によって得られたアスファル
トコンクリート層および路盤の変形係数が種々の断面で得られているが、補修時の舗装設計をするために統計

の使用を重視することを推奨している。すなわち、舗装構造の設計者にとって既設舗装の残存価値をいかに最適に把握するかが大きな課題となっているが、これには統計的アプローチによる信頼性を把握することが必要との見解である。

我が国においても、FWDによる既設舗装の構造評価が実施されているが、FWDによって得られたデータを舗装構造の診断や維持修繕手法へと展開する方法はまだ十分に確立されておらず、参考となる論文である。

(1) Nishi, M., Yoshida, N., Tsujimoto, T. and Ohashi, K. (日本)

(2) Prediction of Rut Depth in Asphalt Pavements

(3) pp.1007~1020

(4) アスファルト舗装のわだち掘れ深さの予測

(小笠幸雄)

(5) わだち掘れは舗装の供用性を低下させ、舗装技術者にとって解決すべき大きな課題の1つである。本研究は、わだち掘れの供用性および経済性への影響の大きさに注目し、わだち掘れ深さの予測法について検討したものである。

本研究では、まず現地状況を極力再現した、中心半径12m、幅員4mの円形走行試験路で、実車試験を実施し、各種舗装断面でわだち掘れ量等の舗装の挙動、供用性を観測している。またこれと平行し、この円形走行試験路で得られた結果を汎用化するため、使用材料の物理定数および舗装構造の応力状態の把握を行い、理論的にわだち掘れ量を算出し、実施値との比較を行っている。

わだち掘れ深さの予測では、高炉スラグおよび複合スラグ路盤の舗装においては実測値と計算値がほぼ一致したが、粒度調整碎石路盤の舗装では計算値が少なめに算出された結果であった。わだち掘れ量の予測では、路盤材料の挙動を十分に把握することで、よりよい予測値が得られるであろうと推測している。

新しい舗装材料の評価手法として、実路での試験施工を追跡して評価する手法は多くの時間と労力を要し、たとえ結果が出たとしても汎用的な評価になりづらい場合が多いが、本手法のような走行試験路における解析をともなった手法は合理的な材料構造の評価手法として注目すべきである。また予測が困難なわだち掘れ量の算出を行い、これを検証しており、舗装の維持管理システム構築の参考となるものと思われる。

(1) Sha'at, A.A. and Al-Gassas, R. (イギリス)

(2) Foamed Concrete as a Reinstatement Material for Urban Roads

(3) pp.1021~1036

(4) 都市道路の埋戻し材料としてのフォームドコンクリート

(金井利浩)

(5) 都市道路のダメージには、重交通や環境条件によるもの他、次に示すような暗渠などの公共施設の埋設工事にともなって発生するものがある。

① 挖削溝を粒状の埋戻し材料で復旧した場合、通行車両の転圧作用により埋戻し材料が未充填部に移動し、その結果として表面に沈下や段差が生じる。

② 低スティフネスの既設舗装材と高スティフネスの埋戻し材料の強度的なギャップにより荷重伝達機能が低下し、埋戻し部周辺にクラックが発生する。

本報では、このような問題を解消するために開発された埋戻し材料であるフォームドコンクリートの仕様などが紹介されている。本材料はセメント、水、砂またはフライアッシュを混合したスラリーに所定量の気泡を混入するもので、①流动性に富み転圧が不要 ②分離、ブリージングがなくポンプ圧送が可能 ③気泡量によりスティフネスなどの材料特性が調整可能 ④化学作用、環境作用に対する抵抗性も良好などの特徴があり、将来の粒状材料を転圧して埋め戻すといった工法に比べ長期的な便益性が高いものと期待されている。

既に既設道路の交通量や構造評価結果に基づき、配合ならびに構造設計処理をコンピュータで行うシステムが構築されており、今後、いくつかの舗装タイプの掘削溝で試験施工を行い、システムの妥当性を検証する予定である。

我が国においても東京都などでセメントスラリー（発生土を処理）を用いた埋戻し工法が実用段階に入ってきており、都市道路におけるこのような技術開発の必要性は世界レベルで高まっていると言えよう。

(1) Shatnawi, S.R. and Kirk, J.V. (アメリカ)

(2) The Effect of Lime on Reducing Moisture Damage in Asphalt Concrete Mixtures

(3) pp.1037~1052

(4) アスファルト混合物における石灰の水分ダメージ軽減効果

(金井利浩)

(5) カリフォルニア北部でアスファルト混合物の水分ダメージ（はく離現象）に起因した舗装の早期破壊が発生したことを受け、消石灰スラリー（消石灰：水=1:3）で骨材を処理する方法の水分ダメージ抵抗性の改善効果を検証するため、次の水準および条件で間接引張試験を実施している。

- ・骨材の種類：はく離抵抗性の良好な骨材と不良な骨材
- ・バインダ量：最適バインダ量（OAC）ならびにOAC±0.5%
- ・消石灰処理：処理（添加量：乾燥骨材に対し1.5%と2.0%の2水準）と未処理
- ・締固め度：基準密度に対し95%
- ・凍結融解養生：養生有り（AASHTO T 283に準拠）と養生なし
- ・評価指標：圧裂強度、凍結融解養生後の強度の低下（圧裂強度比TSR）、石灰処理の有無による凍結融解養生後の強度低下の差（強度改善率SI）

試験結果から得られた主な知見をまとめると次の通りである。

- ① 消石灰処理はアスファルト混合物の水分ダメージ抵抗性を向上させる効果がある。
- ② OACより0.5%以上バインダ量を減らすのは水分ダメージの面で好ましくない。
- ③ 今回用いた評価指標は水分ダメージ抵抗性を評価する上で有用である。

消石灰の添加によりアスファルト混合物のはく離抵抗性が向上することは広く知られているが、本報はそれに関して独自の定量的な評価指標を提示していることや消石灰スラリーで骨材を処理する方法を用いている点で注目される。

(1) PJ Wright, and L. Zheng, (イギリス)

(2) Visco-Elasto-Plastic Behaviour of a Hot Rolled Asphalt Mixture under Repeated Loading and the Effects of Temperature
(3) pp.1053~1066

(4) 繰り返し荷重下のホットロールドアスファルト混合物の粘弾塑性挙動および温度の影響 (島崎 勝)

(5) 本報文は、応力制御、温度制御下におけるクリープ試験結果に基づき、ホットロールドアスファルト混合物の変形挙動に対する温度の影響を評価し、報告するものである。結果から以下に示すようことが確認された。

- ① 一定荷重下での混合物の変形は、弾性、塑性、粘弾性および粘塑性によるもので構成されており、弾性係数は荷時間、荷重および温度によらず一定である。
- ② 塑性係数は温度および荷重により決定され、応力には影響されない。
- ③ 粘弾性域では、荷重サイクル数の影響は受けず、温度および応力の影響を受け、特に応力と粘弾性ひずみとは直線的な関係にある。また、粘弾性ひずみは、応力と温度の増加とともに増加する。
- ④ 塑性ひずみは荷重のサイクル数、応力および温度との相関があり、荷重が大きいと減少する。また、温度および応力の増加にともない増加する。
- ⑤ 混合物の全ひずみと各条件間の関係を数値的にモデル化することができたとしている。

舗装の構造設計で必要とされるアスファルト舗装の変形挙動の数値解析等への応用が可能であると考えられる。

6. Overlay Design オーバーレイ設計

(1) Mare Stel, and Bert Thewessen (オランダ)

(2) The Curvature of a Deflection Bowl : A Tool for the Assessment of Reflective Crack Potential
(3) pp.1067~1072

(4) リフレクションクラック発生確率の予測に関する一手法 (島崎 勝)

(5) 本報文は、クラックの発生している舗装上にオーバーレイ施工をする場合の設計において、その構造的な指標となるSCI (Surface Curvature Index) について述べたものである。

舗装の維持修繕を効率的に実施するには、道路の構造的な状態を的確に評価する必要がある。特に、クラックが生じている既設舗装上にオーバーレイを施工する場合、舗装体のリフレクションクラック発生確率を的確に予測し、できる限りクラックの発生を抑制する構造設計が必要とされる。

クラックの発生確率を予測する手法としては、破壊モデルや有限要素法を用いた手法が適切ではあるが、一般的に使用されているFEM解析は時間とコストがかかる。これに対し、SCIを用いることで迅速に解析することが可能となる。

SCIはFWDのたわみ測定結果から直接的に得られるものであり、荷重中央部のたわみと600mm離れた地点でのたわみの差で表されるものである。さらに、破壊力学によりクラックの成長を説明する場合に用いられる応力拡大係数に関与するものもある。

結論として、SCI、オーバーレイ厚、オーバーレイ材の弾性係数および既設舗装のクラックの深さにより、クラックの発生確率を迅速に予測することができ、オーバーレイの設計にそれを利用することが可能であるといえる。

- (1) D.W.Potter, G.W.Jameson, B.T.Vuong, R.Yeo, A.Makarov, M.Moffatt (オーストラリア)
- (2) The Austroads Simplified Mechanistic Overlay (ASMOL) Procedure
- (3) pp.1073~1088
- (4) AUSTROADS (オーストラリア道路研究委員会) による簡易で力学的なオーバーレイの設計手法 (ASMOL) (島崎 勝)
- (5) 本論文は、オーバーレイ設計手法として、力学的で簡易な手法であるAUSTROADS SIMPLIFIED MECHANISTIC OVERLAY (ASMOL) (オーストラリア道路研究委員会による簡易で力学的なオーバーレイ設計手法) について報告するものである。

オーバーレイの設計には力学論に基づく手法が必要とされる中で、これまでFWDやベンケルマンビームの測定たわみを逆解析することによって得られる各層の弾性係数に基づく手法が一般的である。逆解析がオーバーレイの設計手法の中に取り入れられることが主流であるが、これには時間やコストがかかりすぎることと、逆解析の結果に対して適切な判断を必要とする等の問題点もある。

ここで紹介されているASMOLという手法は、既設舗装の条件、たわみ測定値および舗装温度から通年の舗装体温度変動 (WMAPT) におけるひずみを予測し、また、オーバーレイの材料と設計交通荷重を設定することで限界ひずみを予測し、これらから必要オーバーレイ設計厚を選定するというものである。

この手法が逆解析を用いたこれまでの設計手法よりも簡易で迅速な力学論的手法であるならば、オーバーレイの設計にとって有効な手段であると考えられる。

- (1) Samuel Haythequest Cardoso (ブラジル)
- (2) Nondestructive Evaluation and Overlay of Airfield Flexible Pavements in Brazil -a case Study
- (3) pp.1089~1108
- (4) ブラジルにおける空港のたわみ性舗装の非破壊評価とオーバーレイ設計の実施例 (増山幸衛)
- (5) ブラジルの北岸から約362kmの大西洋に位置するFernando島には、中型以下の飛行機が発着する飛行場があり、1972年以来補修されていなかったが、1991年ブラジル空軍により補修された。本論文は1991年に補修を実施した時の、非破壊による舗装の評価とそれに基づいて行なわれたオーバーレイ設計についての報告である。

舗装の壊れている区域を抽出するため、舗装状態指標法 (PCI法) を用いて機能に関する評価を行なった後、ベンケルマンビームを用いた非破壊調査によって、各区域のたわみ量を等間隔 (滑走路は20m、誘導路は40m) で測定し、更に温度補正を行なった後、舗装各層と路床の弾性パラメータを求めた。次にブーシネスクの式と、路床の弾性係数=6.9CBRの関係式をもとに、逆解析によって各層の弾性係数を求めた。

最後に、オーバーレイ後の残存寿命について、B-737-300型機が1日4回通過することを想定した荷重を用い、多層弾性理論を用いたコンピュータプログラムによって評価を行なった。

このような方法によって、オーバーレイの厚さを簡単に決定することができ、その結果、100万ドル以上の節約ができたことを報告している。

本報告を日本と比較した場合、空港における飛行機の荷重に、離着陸の回数にかなりの差があると考えられることと同時に、現在ではFWDによる解析が主流として検討されていることを考えると、日本においてはあまり参考にはならないものと思われる。

- (1) Kosasin, D., Younger, J.S., Sugeng, B. and Sudiono, D. (インドネシア)
- (2) Development of a Prototype Analytical Overlay Design Method
- (3) pp.1109~1122
- (4) 基本となる解析的オーバーレイ設計手法の開発 (増山幸衛)
- (5) 高速道路の舗装に対する解析的手法を用いた設計はいくつかの国で行なわれており、これらの手法を用いることによって、室内試験で得られたデータから求められた弾性係数と、舗装の厚さ、路床の強度から構造的評価を行なうことができる。

本論文は、これらの解析手法の基礎理論について、一層、二層、三層を対象として記述するなど、広い範囲で、一般的な記述がされている。また、インドネシアで開発された独自の手法として、たわみ性舗装を対象とし、「DAMA」を基本とした、たわみ量から舗装の評価を行なうと同時に路床の係数を計算するためのプログラム「BACKCALC」、これから得られた結果を基にオーバーレイ設計を行なうためのプログラム「DAMA」について、チャートを用いた計算とも比較しながら、その有効性について述べている。

本論文は、「BACKCALC」「DAMA」に関して、詳細な記述はあまりない。しかし、オーバーレイ設計手法に関する設計について、一般的な事柄が記述されており、基本的な事例を学ぶためには、参考となる論文の一つであると思われる。

- (1) Rada, G.R. and Witczak, M.W. (アメリカ)
- (2) Dynamic Design of AC Overlays Using Deflection Testing
- (3) pp.1123~1138

(4) たわみ試験機を用いたオーバーレイ厚の動的設計方法

(吉村啓之)

- (5) コンクリート舗装上にアスファルト混合物層を施工してリフレクションクラックを抑制する試みは広く行われている。本論文はFWDによるたわみを逆解析して得られる弾性係数を用いたオーバーレイ厚の設計方法について述べたものである。全米各州の140箇所の試験施工区間で測定された約4700のたわみ曲線を解析し、逆解析したコンクリート舗装の弾性係数を統計処理したところ、コンクリート舗装の種類にかかわらず、破損しているコンクリート舗装の弾性係数の変動係数が約40%であること、破損・非破損のクリティカルな弾性係数が $1,000\text{ ksi}$ (約 $70,300\text{ kg/cm}^2$) であることなどがわかった。著者らはこれらの解析結果を現行のAASHTOのオーバーレイ設計方法に組み込んだ設計方法を提案している。

本論文はオーバーレイの設計方法に統計手法を取り入れたもので、理解しやすい内容になっており、参考となろう。

- (1) Seabaaly, P. E., Schoener, P., Siddharthan, R. and Epps, J. (アメリカ)
- (2) Implementation of Nevada's Overlay Design Procedure
- (3) pp.1139~1162

(4) ネバダ州におけるオーバーレイ設計方法の実際

(吉村啓之)

- (5) 本論文は1992年に発表されたネバダ州の新しいオーバーレイ設計方法およびそれに基づく2つのケーススタディについて述べたものである。新しいオーバーレイ設計方法は経験的手法と力学的手法を合わせたもので、既設舗装の構造評価にFWDを用いている。季節ごとに材料特性、交通量、荷重条件を設定して必要なオーバーレイ厚を求めてダメージ比を計算し、1年間のダメージ比を合計してオーバーレイ厚を算出している。設計方法はFWDによる測定を必要とする場合と必要としない場合を考慮できる。オーバーレイ厚は何年後に何cm必要かがわかるようになっており、ネバダ州の2箇所でのケーススタディの検討結果が述べられている。

本論文はオーバーレイの厚さを算出するための具体的な記述がほとんどなく、わかりにくい論文である。

7. Pavement Performance 舗装の供用性

- (1) Groenedijk, J., Vogelzang, C.H., Molenaar, A.A.A. and Dohmen, L.J.M. (オランダ)
- (2) Performance Tests Under Accelerated Loading with the LINTRACK Test Facility in the Netherlands
- (3) pp.1163~1180
- (4) オランダでのLINTRACK試験機を用いた加速走行載荷による供用性試験
- (5) 本論文はオランダのデルフト大学が所有しているLINTRACKと呼ぶ加速走行載荷できるシミュレータを用いて、舗装の供用性を予測できるかを調査し、検討を加えたものである。本試験機は1~10tonまで載荷できる車輪を時速20kmで走行させることができる。ひずみゲージ、土圧計、熱電対を埋設した試験施工区間で載荷試験を行い、アスファルト混合物層下面のひずみ、路床上面の応力、アスファルト混合物層の内部温度を測定している。また、FWDによるたわみ測定も合わせて行っている。解析の結果、ひずみと表面たわみは良好な相関関係が得られなかったが、温度補正したひずみとSCI600 (載荷中心から600mmでのSurface Curvature Index) の回帰式が求められ、FWDを用いることによって舗装の破損を発見できる可能性が見い出された。

本論文はひずみ、たわみ分布の3次元表示などを試みて興味深いが、具体的な利用方法などの詳しい記述が不足している。

- (1) Hopkins, T. C. and Beckham, T. L. (アメリカ)
 (2) Case Studies of Flexible Pavement Failures During Construction
 (3) pp.1181~1194
 (4) たわみ性舗装における構造破壊の事例研究 (田中秀明)
- (5) たわみ性舗装は、供用年数に伴う繰返し交通荷重等の影響により、舗装表面にクラックならびにわだち掘れが発生し、その結果として大きなたわみ量となって現れる。本論文はアメリカのケンタッキー州の2箇所の高速道路において、粘土質の路床上に舗設したたわみ性舗装について、部分的に舗装破壊が生じた箇所の事例研究について述べたものである。舗装破壊の原因を解明するために、ここでは現場調査、室内試験ならびに解析を実施している。
- 本論文で実施している解析方法は、有限要素法に基づく数学的支持力モデルを適用しており、異なる舗装材料を有する層構造の安全係数を計算するために使用されている。また、室内試験においては、路床の支持力を評価するためにCBRの算出を行っている。
- 本支持力モデルの解析は、三軸試験から得られるせん断強度パラメータであるせん断抵抗力 ϕ と見掛け粘着力 c を使用し、これから算出された安全係数と非排水せん断強度ならびに路床の支持力係数であるCBRとを考慮し、舗装破壊は、粘土質路床のせん断強度が小さいことが要因であると判明した。さらに、既存の舗装厚を加味した詳細な支持力解析から、路床のCBRとタイヤの接地圧を算出することにより、オーバーレイ等の補修工法の選定に至っている。
- 本論文で適用されている支持力解析は、ケンタッキー州において、構造破壊の本質に関する重要な情報とされており、より経済的な構造を求めるならば、路床安定処理等の技術を適用することが必要であると述べられている。
-
- (1) Hameed, A.M.b.A., Mustafa, M.S.b. Hasim, M.S.b. and Dewa, A.L.b.M. (マレーシア)
 (2) Flexible Pavement Behavior under Tropical Conditions—A Case Study in Malaysia
 (3) pp.1195~1208
 (4) 熱帯地方のアスファルト舗装の挙動 (マレーシアでの事例) (谷口豊明)
 (5) 現在マレーシアの道路の約78%はアスファルト舗装である。アスファルト舗装の維持補修のために舗装破損の形態とメカニズムを把握する必要があり、広範囲の調査が実施された。
- 破損の形態として、ひびわれと変形とその他の3つに分類し、それぞれをさらに細分化して、原因と対処方法について説明している。この国のアスファルト舗装の破損原因是主にひびわれによるものである。ひびわれも分類すると疲労クラック、ブロッククラック、温度応力クラック、リフレクションクラック、アスファルトのエージングによるひびわれ、薄層オーバーレイの早期破壊などに分けられる。この国では、アスファルト舗装の変形は重交通地域だけの問題だが、分類すると交通量、不安定な混合物、荷重分散不足、路盤の強度不足、路床の変形によるものなどに分けられる。その他にブリージングや摩耗などによる破損が見られる。
- 熱帯地方といえどもアスファルト舗装の破損形態やメカニズムは、他の国と大きく異なるとは考えられない。本論文は、その破損を詳細に分析しており、日本でも参考となる文献である。
-
- (1) Asumund, K., Per, Magne, N. and Geir, R. (ノルウェー)
 (2) Bearing Capacity Register based on Pavement Performance Data
 (3) pp.1209~1220
 (4) 舗装の供用性データにもとづいた支持力 (水口浩明)
 (5) ノルウェーの道路データバンクは多くのデータを保有している。データバンクはPMSの一部となっており、既存のサブシステムを合体させてプロジェクトレベルとネットワークレベルの補修プランニングシステムを構築している。PMSは支持力の情報を提供でき、その値はデータが十分であればかなり有効である。本論文では主に、現地での測定・計算結果について述べている。
- 路面データは通常のわだち、ラフネス、たわみなどを測定している。供用期間は、現在と以前のわだち、ラフネスそして既設の舗装の供用期間をもとにFORANと呼ばれるコンピュータプログラムで処理している。
- これによりPMSや供用性予測はもとより、長期間の十分な路面データがあれば供用性とリンクしているネットワーク全体の支持力も評価することが可能になったが、一方、クラックとの関係はまだ見出されていないとしている。

- (1) M.P.Grant, N.B.Lal (ジンバブエ)
 (2) The Long Term Performance of Zimbabwe's Main Road Network
 (3) pp.1221~1234
 (4) ジンバブエの主要道の長期供用性 (森久保道生)
 (5) ジンバブエの主要道はほとんどが設計寿命を越えている。本論文はそれらの道路を対象にした調査結果である。
 ジンバブエの主要道ネットワーク全長4346kmに対し、建設時期、補修箇所および補修原因の調査を行った。
 また、舗装厚の設計と道路性能の関係についても Mitchell の提案式と南アフリカ法、US Corp of Engineers の方法との比較を行い検証を行った。
 基層の厚さは Mitchell の式で求めたものが、他の 2 式よりも薄くなる。これは地下水や凍結による影響を考慮していないためである。しかし、ジンバブエの主要道は舗装厚が薄いにもかかわらず、補修が必要であった箇所は全体のわずか 5.94% であったのは、ジンバブエ国内のほとんどの道路が、地下水層が深い所に存在するか、または地下水層が存在しない砂漠のような地域に建設されているからである。
 従って基層厚を求める際、ジンバブエ国内においては、水浸CBRのように多量の水を含んだ状態は実際の現場では存在しないため、最適な含水量におけるCBRを用いる方法がより現実的である。

- (1) Miroslav, J.S. and Jovanka, P.D. (ユーゴスラビア)
 (2) Pavement Evaluation and Deterioration Model of the Runway 12-30 of Belgrade International Airport
 (3) pp.1235~1246
 (4) ベオグラード国際空港における滑走路の舗装評価と破損モデル (深沢邦彦)
 (5) 1962年、ベオグラード国際空港の12-30滑走路（延長約3000m、幅員45m）は厚さ約35cmのコンクリートで施工され、その後支持力の低下とともに、1993年までの間に3回のオーバーレイが行われた。オーバーレイを施工するにあたり、ポリエスチルメッシュ（PM）を既設コンクリート版上に施工した。このPMはリフレクションクラック防止のほか舗装全層の増強効果もあり、オーバーレイ厚さを節約することが可能であった。
 また、空港管理局は滑走路のすべり抵抗、ラフネス、たわみ（支持力）を定期的に測定し、このデータを基にPCI（Pavement Condition Index）という指標で舗装の供用性を評価した。この中でたわみはFWDで測定後、3層系（アスファルト混合物層、コンクリート層、路盤層）の逆解析を行い、支持力を評価した。
 PCIの解析は、米国軍事建設技術研究所の開発したMP（Micro Paver Program Ver3.1）プログラムで行った。さらにPFA（Pavement Family Analysis）というプログラムを用いて、航空機の機種別の交通量と現在の供用状況から舗装の破損状況を予測した。1991年度の予測と実際の解析結果を比べると97%以上の相関があり、この予測プログラムの信頼性を確認できた。
 本文は、空港舗装の支持力評価手法と補修時の特殊工法としてのPMを紹介しているが、PMの力学的特性についての情報が記載されていないのが残念である。

- (1) Arora, M.G., Al-Tayyib, A.J., Al-Mana, A.I. and Uzri. T. (サウジアラビア)
 (2) Field Instrumentation for Monitoring Airport Concrete Pavement Response
 (3) pp.1247~1262
 (4) 空港におけるコンクリート舗装の挙動について (飯田健一)
 (5) 本報文は、サウジアラビア国内のKing-Fhad国際空港舗装（エプロン部）における設計手法の確立を目的として行われた現場計測内容について述べている。
 今回の報告は、普通ポルトランドセメントを使用したコンクリート舗装版についてのみであり、またコンクリート舗装版が受ける作用（外的要因）として計測で検討されている内容は、①舗装版内部温度 ②含水量 ③荷重 ④ひずみ ⑤たわみ となっている。
 計測の特徴として舗装版温度の測定は、24時間を1サイクルとして、その変化を正弦曲線で表していることがあげられる。計測の結果として舗装版温度と舗装版上部に生じるひずみは直線関係であることが見出されている。

- (1) Robert, A., Jane, A. (西ドイツ)
 (2) Heavy Weight Deflectometer Results from an Unsurfaced Road Containing Rubber Layers
 (3) pp.1263~1272
 (4) Heavy Weight Deflectometer (HWD) によるスクラップゴムチップ層のたわみ特性に関する調査結果について (大竹和彦)

(5) アメリカでは大量の使用済みタイヤの放置が社会問題となっており、これらの再利用に関する研究が多方面で行われている。今回、この使用済みタイヤを粉碎したスクラップゴムチップを、アスファルト混合物中に骨材として混入させ、舗装材料として処理しようとする試みがなされた。これはスクラップゴムチップを表層の下に舗設したり、未舗装道路の表層材料として使用するものである。

このスクラップゴムチップ舗装のパフォーマンスを評価するために、気象データ、スクラップゴムチップ舗設の深さ方向の温度分布、HWDによるたわみのデータを収録した。これらのデータは年間を通して各試験施工の工区（5工区）ごとに収録され、HWDのたわみデータとの関係について解析が行われた。

その結果、スクラップゴムチップ層のたわみは、年間を通して気温により変動することが示された。これは冬季間は気温が下がることによりゴムが硬くなり、たわみが小さくなる傾向にあった。また、スクラップゴムチップ層がリフレクションクラックの抑制層として機能していることが確認された。さらに表層に使用した場合、一般的の表層用混合物と比較して排水能力が大きいことが確認された。

本報告では、スクラップゴムチップ層の舗装厚さと機能性についてまとめられているが、今後5年間の追跡調査が予定されているうちの最初の1年目の調査報告であり、今後における調査結果に期待したい。

(1) Vesa, M., Raimo, T. and Tuula, K. (フィンランド)

(2) Is Bearing Capacity Information Needed?

(3) pp.1273~1280

(4) フィンランドにおける路面性状データバンクシステムについて (大竹和彦)

(5) フィンランド道路局では、国内の道路の路面性状に関するデータバンクの作成に取りかかった。このプロジェクトは、これまでの経験的な測定手法により路面性状を測定し、その結果をデータベース化しようと計画されたものである。基本的な路面性状の特性値は、①わだち掘れ量 ②ラフネス ③Defect Index（損傷指数）の3つであり、その他のデータ項目として、平均日交通量・平均大型車交通量・舗設経過年数・舗装種別・交通履歴・気象条件が入力されている。また、実際の路面性状の測定に関しては、各種プロフィルメータの他にFWDも使用され、路面のたわみ特性に関してもデータ収集が行われた。

この路面性状データバンクは、現状の路面性状を記録しておくだけではなく、路面性状の悪化の予測に関しても利用できるように設計されている。本論文では、入力済みデータよりアスファルト舗装と砂利路面での路面性状の悪化の予測式を構築した。これらの予測式は上記のわだち掘れ、ラフネス、Defect Indexを関数として組み立てられている。その結果予測値と入力データとの相関係数は、0.40~0.69と高い値にはならなかった。これは入力データ数が少ないことが原因であるとしている。

本論文は、路面性状データバンクシステムの入力データ項目に関する紹介が多くを占めている。実際の路面性状の悪化の予測式に関しては、相関係数も低く、今後のデータ蓄積により、より相関の高い予測式を期待したい。

(1) Huang Peng (中国)

(2) Structural Performance Study of Asphalt Pavement in wet-heat District of China

(3) pp.1281~1290

(4) 中国の高温多湿地域におけるアスファルト舗装構造の研究 (川端浩平)

(5) 中国の南東部に位置する浙江は、雨の豊富なところであり、気温が夏には40℃、冬には-10℃となり、温度差の大きいところである。また近年、中国では乗客、貨物の輸送量は年々増え、それに伴い主要な道路、交通量は著しく増加している。

本論文では、このような中国における舗装構造の設計例を述べ、その評価を行うとともに気候と地域特性を考慮した設計の提案を行っている。

舗装構造の例として筆者らは、路盤層のセメント安定処理した碎石や砂れきを、載荷重を支持するアスファルト混合物層は混合物の骨材の50%を硬い砂岩で占めるものとし、さらに表層はすべり止めを行ったすりへりの少ないものについて検討を行っている。試験結果によれば、このアスファルト混合物のマーシャル安定度は基準を大きく上回るものとなっており、また、供用後3年において、舗装の評価指数であるPCI (Pavement Condition Index) は良好な値を示している。この結果は、アスファルト混合物層の強度、硬さ、温度に対する安定性が重交通に対して満足していることを示しており、さらにはアスファルト混合物層の混合物に硬い砂岩を用い、表層にすべり止めを行うことで舗装の摩擦係数を大きくし、舗装の長寿命化につながるものと評価している。

本論文は各地域の気候や地理的な条件さらには社会変化に伴う交通量等を考慮した包括的な構造設計を提案しており、似たような気候、風土をもつ我が国において参考になる報告と考えられる。

- (1) Ulldritz, Per (デンマーク)
(2) Prediction of Load Associated Damage in Asphalt Layers
(3) pp.1291~1308
(4) アスファルト舗装に対する車輪荷重による破壊の予測
(久保知裕)
(5) アスファルト舗装においてはクラックによる破壊が重要な要素を占めている。破壊を分析するにあたって、舗装の構造評価を行うが、まず、舗装の厚さや弾性係数、材料の種類を決定しなければならない。これをもとに、どの程度の荷重弾性係数によってクラックが発生し、クラックがどの程度であるかを計算することで舗装の強度を予測している。

本研究では2種類の方法（アスファルト協会法とシェル法）で破壊を計算している。一つは実際のひずみをもとにしたものと、内部エネルギーの最高値をもとにしたものである。どちらの方法でも弾性係数や疲労寿命の変化からひずみや応力を計算できる。

この計算方法の利点は、2つ考えられる。一つはひずみと応力の換算を可能にすること。もう一つは、構造が徐々に変化していく過程を計算できることである。

有限要素法を用いて計算すれば、舗装の破壊についてはかなり正確に計算でき、日常的な目的であれば経験的な方法も有効と考えられる。また、アスファルト舗装におけるたわみ試験の結果、内部エネルギーの最大値は有用な概念となる可能性もあるとしている。

- (1) Verwey, G. and Visser, A.T. (南アフリカ)
(2) The Performance of Roads with Mine Dump Rock Layers in South Africa
(3) pp.1309~1330
(4) 南アフリカにおける鉱山発生石材を利用した舗装のパフォーマンス
(佐々木巖)
(5) 南アフリカ共和国のOrange Free州中部では砂質粘土が多く、道路建設に適した材料を得ることが課題である。この地方では金鉱山から出た石材がボタ山として捨てられている。これらの石材は道路建設への利用が可能ではあるが、これまで地方の現場技術者の経験に基づいて利用されていたため、設計方法や供用性指標が明確でなかった。このため、設計指針を得るために長期供用性試験および促進耐久性試験を実施したものである。試験は20~60cmの路盤とし、その上に約2cmの摩耗層を舗設して供用した。試験舗装による評価として、細粒分の電気伝導度およびpH、締固め率、摩耗層の精度などの施工管理項目、PSIによる供用性評価などが実施されている。また促進耐久性試験として、25年間供用された通常舗装、鉱山発生材を用いた補修区間および新設区間の舗装を使用して、HVSと呼ばれる荷重輪載荷試験により検討を行っている。

金鉱山発生石材の舗装への利用は、通常の舗装材料よりもかなり粗いものを使用するのが施工上の技術であり、重交通の都市間道路に用いるための高品質な材料であるとされている。本報告は、金鉱山の発生材という比較的特殊な事情ではあるが、骨材資源の廃材有効利用のための設計指針の検討事例として参考となる。

- (1) Paul, S., Erling, K., H (ノルウェー)
(2) Increased Bearing Capacity and Increased Pavement Service Life Using Steel Reinforcement in Asphalt Pavements
(3) pp.1331~1344
(4) 鉄網補強によるアスファルト舗装の支持力向上と、サービス寿命の長期化について
(佐藤雅規)
(5) ノルウェーにおける鉄網補強を行ったアスファルト舗装の設計手法およびその挙動について述べている。ノルウェーでは、冬期間広範囲にわたって凍土による道路舗装、特にアスファルト舗装の損傷（縦断ひびわれ）が発生することが大きな問題となっている。このため、1960年代半ばからアスファルト舗装の層の下面側に鉄網を用いることを実施し、これがひびわれに対して有効な方法であることがわかった。ノルウェー道路局において、これら鉄網補強に関するガイドラインが示されており、本報告では、このガイドラインに従い、補足として道路構造および交通荷重の変化に対する舗装の挙動を、CHEVRONプログラムを用いて計算し、非補強のアスファルト舗装との比較を行っている。

この結果（表面たわみ量、舗装体内部引張応力および強度、路床および路盤の鉛直応力）から、鉄網補強のアスファルト舗装が、非補強のアスファルト舗装に比較して、道路構造として支持力も高くなり、寿命も長く

なるとしている。本研究は、アスファルト舗装体内部に鉄網を用いるといった特殊なものであり、その挙動等を知る場合には参考になる文献であろう。

- (1) Sanders, P.J., De Beer, M. and Fisher, C. (南アフリカ)
(2) Prediction of Pavement Damage Using Mechanistic Analysis : A Case Study
(3) pp.1345～1370
(4) 舗装体の破損予測に基づく、ケーススタディ (菅野伸一)
(5) 近年、南アフリカにおいては特殊な軸形態・輪荷重・タイヤ圧を有する大型車両の交通量が多くなっているため、車両の走行速度、舗装の表面温度、舗装構造等を考慮していない従来の4乗則によって予測した舗装の破壊をはるかに上回る損傷が顕著となっている。

本報告は、HVSによる屋外試験結果、室内試験結果、線形多層弾性理論を統合した南アフリカの設計手法(SA-MDM)を用いて舗装の残存寿命、特殊車両による荷重の影響を予測するための入力条件として必要な舗装各層の厚さ、輪荷重、材料としての弾性係数、応力・ひずみ状態等を実道で検証したものである。

試験箇所は、目視観察後にFWDでたわみ量を測定し、舗装構造の異なる5箇所を選定した。車両は、軸形および輪荷重の異なる3種類の車両を使用した。試験は、異なる舗装表面温度(午前0時～午後2時頃まで)において、走行速度5, 20, 60km/h程度の各速度で最低3回走行し、舗装各層底面のたわみ量を測定している。これらのデータをもとに各種条件の組み合わせ毎にそれぞれの舗装構造の残存寿命を予測し、最も苛酷な条件下にある層の破壊規準を求め、さらにFWDによる最大たわみ量、表面たわみ指数(SCI)等の設計規準を設定している。

今後、理論設計法に移行していく際に参考となる報告であると考えられる。

- (1) Baker, Harris B. and Buth, Michael R. (アメリカ)
(2) Load Response Instrumentation Installation and Testing Procedures
(3) pp.1371～1384
(4) 載荷による舗装挙動の測定装置と試験手順 (杉内正弘)
(5) 舗装面に荷重が作用した時に舗装体に生じる垂直応力、水平ひずみおよびたわみ量等を実際に測定することは、舗装モデルを実証したり、あるいはそのモデルを補正するためには必要なことであるといえる。

本論文は、寒冷地の舗装を調査する機関として設立されたミネソタ道路調査プロジェクトにおいて実施している、舗装挙動の測定手順について述べたものである。ここでは、舗装の挙動とパフォーマンスに影響を与える要因について調査し、建設時ならびに維持管理を通してより経済的な新しい舗装モデルを開発すること目的として、測定を行っている。

本文では、ひずみゲージ、垂直方向たわみゲージ、垂直方向の圧力センサー、導線等を使用している器具の仕様について具体的に述べるとともに、アスファルト舗装やセメントコンクリート舗装に対してそれぞれセンサの取付方法、接続後の回路のチェック方法、さらには応答のテストの仕方等、詳細な試験手順についても述べられている。設置後に行う舗設作業により、ゲージ等が壊れることもあるが、舗設後の破損率は、アスファルト舗装のひずみゲージで2%，コンクリート舗装のひずみゲージで8%，圧力セルで0%であり、全体でも4.5%と予想していたよりも少ない値であると報告している。実際の測定結果については述べられていないが、現在までに得られたデータは、期待した値との間に矛盾は見られないようである。実測データに基づく新たな舗装モデルの構築等、今後の研究の発展が期待される。

- (1) Olli Hämäläinen and Heikki Jämsä (フィンランド)
(2) Survival Models for Flexible Pavements
(3) pp.1385～1394
(4) たわみ性舗装のサバイバルモデル (高橋 修)
(5) フィンランドでは1979年から毎年、全国28の路線でたわみ性舗装の長期パフォーマンスをモニターしている。本研究では、このデータに基づいて舗装の破壊時間を推定する(いわゆる寿命予測のこと)ための舗装解析モデルを構築することを目的としており、推定のための解析方法としてサバイバル解析を応用している。

この解析手法は医療や生物学の分野で用いられているもので、基本概念としては最後のオーバーレイから最初のクラックが現れるまでの時間を破壊指數(distress index)が $5 \text{ m}^2 / 100 \text{ m}$ に達するときの時間と定義し、この時間となる確率を予想することである。本研究では確率を予測するのにどのような説明変数を選定すべき

かを検討しており、論文では舗装の経過年、支持力、舗装幅員、気候条件を用いるとうまく予測できることが示されていた。そして、本研究の成果を応用すれば道路の維持管理プログラムの作成や新設の際の経済分析および構造設計の評価に役立てられるとしている。本研究では舗装の路面性状データの他に、交通量や軸重データ、たわみ測定結果、開削による層厚および材料のデータなど非常に広範囲の多くのデータを活用しており、フィンランドではこのための測定業務を毎年実施している。このような取り組みはフィンランドのみではなく欧州諸国で広く行われており、データバンクを構成して相互に情報を交換し積極的にPMSに反映させている。舗装先進国のPMSに対する認識の違いを考えさせられる文献であった。

8. Pavement Evaluation 舗装の評価

(1) Dass, S.M. and Dass, W.C. (ソマリア)

(2) A Preliminary Assessment of Allowable Gross Loads for Contingency Airfield

(3) pp.1395~1410

(4) 臨時飛行場の許容総荷重に関する予備評価

(田中秀明)

(5) アフリカのソマリアにおいては、戦争による破壊損傷にともない、各方面により復旧工事が行われ、本論文もその復旧工事に関するものである。本論文は、アメリカ空軍が使用しているソマリア飛行場の舗装において、航空機が安全に運航でき、修繕が必要とされる舗装破壊に至る荷重レベルの認識を目的とし、許容総荷重の計算を決定論的方法と確率論的方法で実施している。

飛行場解析における決定論的方法は、以下に示す項目等から基礎となる入力パラメータの算出を行い、飛行場における許容総荷重の計算を実施している。

① 環境条件 ・月平均最高気温と最低気温

 ・月平均降雨量と24時間最大降雨量

② 飛行場舗装システム ・ダイナミックコーンペネトロメータ試験に基づくCBR

 ・FWDデータによる各層の弾性係数

また、確率論的方法についても基本的には上記に示す決定論的方法と同じ入力パラメータを用いて統計的解析により許容総荷重の算出を行っている。

現在のソマリアにおける解析方法は、決定論的方法で規定しているが、路床弾性係数や荷重等の実条件の変動を考慮していないのが現状である。これらの問題点と本研究成果を踏まえて、空軍土木技師研究室が舗装寿命を評価するために確率論的方法を進展させており、たわみ性舗装のみならず剛性舗装を含めて検討を行った。

本解析は、これらの方法の妥当性や問題点について述べ、また、不確実性に対するシステム的な考え方と舗装解析の関係を説明しているもので、より確実な舗装解析方法のシステム化が望まれる。

(1) Harrison, J.A., Hovan, J.M. and Janoo, V.C. (アメリカ)

(2) Pavement Response and Pavement Performance Studies at the New Denver International Airport

(3) pp.1411~1428

(4) 空港コンクリート舗装の載荷応答測定

(谷口豊明)

(5) 1994年5月中旬に開港する新しいデンバー国際空港の16L-34R滑走路に多種多様なセンサーを取付けて、航空機による舗装の応答とパフォーマンスを測定するプロジェクトが実施されている。空港開港前は多様な荷重載荷装置や軍用飛行機によって、開港後は民間飛行機交通によって、データの採取が行われる。

データは飛行機の載荷による応答や環境変化による応答が測定されている。測定データの内容は、舗装のたわみ、コンクリートのひずみ、目地幅、航空機の位置、温度、路床含水比である。1992年9月にコンクリートが打設されたときから部分的にデータの記録が始まっている。コンクリート舗装は、設計寿命が20年から40年に設定を分けて設計されている。データ収集のための設備とシステムは、1993年7月に取付けが完了しており、1秒間に200個以上のデータを採取することが可能である。環境変化と航空機の載荷による応答は6年間記録され、データベースに入力される。測定データは、より実用的な舗装挙動予測を行うために解析モデルと併せて使用される。

本論文は、各センサーの設置位置や性能または精度について詳細に述べているが、測定データは発表されていない。したがって、莫大な数のセンサーにより測定されたデータの発表が待たれる。

- (1) Nenad, Gucunski, and David, R. Brill. (アメリカ)
 (2) A Numerical Model for Pore Pressure Buildup in Airport Pavement Subgrades
 (3) pp.1429~1442
 (4) 空港舗装の路床内における増加する間隙水圧の数値モデル (水口浩明)
 (5) 増大する航空機荷重は様々な要因とともに、舗装下の間隙水圧を増大させる。圧力変化に起因して表層に移動する間隙水は、舗装のポンピングを起こし破壊につながる。数値モデルをPseudo-Static (疑似静的) と動的の2種の有限要素法で与え、それらを用いて繰り返し載荷時の間隙水圧を計算している。
 実験では最大輪荷重46,000lbsのボーイング777を滑走路で通過間隔と通過回数を変えて走行させ、測定された載荷データに断面・材料性状と境界条件などを加味して計算している。N回載荷後に残る間隙水圧の計算は、間隙水圧の発生と、同時に起こる間隙水圧の消失について分けて行っている。
 その結果、①3次元の有限要素モデルは飽和路床内の間隙水圧の増大をシミュレートできる。②本モデルは、砂質路床上に構築された普通の間隔で航空機が発着するコンクリート空港舗装の問題点に対応できる。③Pseudo-Static有限要素法による研究では、様々な要因に依存するスラブの下の残留間隙水圧を計算できる。④路床内の過剰な間隙水圧は、その土の最大ひずみを越えないように、適当な舗装厚で設計することにより除去できるとしている。

- (1) K. Kogure, T. Sakai (日本)
 (2) Measurements of Deflection and Strain of Airfield Pavement
 (3) pp.1443~1456
 (4) 空港コンクリート舗装のたわみ量とひずみの測定 (森久保道生)
 (5) 舗装表面の損傷は舗装構造の支持力の低下が原因である。以前は、切り取り試験で舗装構造の調査を行っていたが、現在ではダイナフレクトやFWDなどが用いられている。本論文ではコンクリート版のたわみ量とひずみの測定結果をもとにそれらの関係を実験的に検証した。
 実験は3種類の支持力を持つ基層上に15, 20, 25cmの厚さのコンクリート版を作製し、それぞれの供試体につき静的載荷試験を行い、コンクリート版と基層のたわみ量およびひずみを測定する方法で行った。その結果をもとに支持力、たわみ量、ひずみ等について、測定値と計算値の比較検討を行った。
 その結果、コンクリート舗装表面のたわみ量測定による基層表面の支持力の評価は不可能であるが、たわみ量の測定によるコンクリート版上のひずみ(応力)の評価は高い精度で可能であることが確認された。すなわち、非破壊試験によるたわみ量の測定方法はコンクリート舗装においても有効な手段であることが確かめられた。

- (1) Busch, C. (デンマーク)
 (2) Condition Monitoring and Rehabilitation Design on Full Depth Asphalt Airport Pavement
 (3) pp.1457~1472
 (4) フルデプス舗装の空港の性状調査と補修計画 (深沢邦彦)
 (5) デンマークのコペンハーゲン空港では、1971年に大規模な改修が行われ、滑走路部分はフルデプス舗装が施工された。その後、表層部(半たわみ性舗装)に冬季間の凍結融解作用等による著しい劣化が認められたため、1979年に表層部を削除し、100mmのアスファルト混合物でオーバーレイを行った。空港管理は、この補修工事以降3回にわたり滑走路の支持力と路面性状調査を行った。

1985年はFWDを用いて支持力調査を行い、アスファルト混合物層と路盤・路床部の2層系での各層の弾性係数を推定した。その結果、支持力はおおむね良好な状態であることがわかった。さらに、路面性状から供用性を評価するPSR値は3.5以上の良好な状態であった。

1988年の調査では、路面のわだちおよびクラック等が目立ち始めた。支持力の減少がみられた箇所の原因を追究すると、瀝青安定処理層の劣化が著しいことがわかり、部分的なアスファルト混合物層の打換えで対処した。

1990年は、FWDによる支持力調査と同じ位置で2種類の荷重(60KNと120KN)で測定を行い、逆解析を行った。その結果、アスファルト混合物層の弾性係数は標準温度の15°Cに換算することで支持力と高い相関を示した。一方、路盤層の弾性係数はやや低い相関関係であった。また、これまでの支持力調査のデータを基にPCN値という指標で舗装の評価を行い、西暦2000年までのPCN値と寿命の予測を行った。

本文は、空港アスファルト舗装(層厚約70cm)をFWDによる支持力評価を行った文献であるが、国内では

このような厚いアスファルト舗装のデータがあまりないので、非常に興味深いものである。

- (1) Arnold, H., Joraif, A. and Eivind, A. (ノルウェー)
(2) Evaluation of Long-Term Asphalt Pavement Performance on Norwegian Airfields
(3) pp.1473~1490
(4) ノルウェーの飛行場における長期的なアスファルト舗装のパフォーマンスの評価 (水野卓哉)
(5) ノルウェーの航空省では40年間に約50件のアスファルト空港舗装を行ってきた。しかし、ひびわれや摩耗の進行が予想より早く、舗装寿命が大幅に短縮していることが明らかにされた。この原因は大型化する航空機の荷重によるものではなく、ノルウェー独特の苛酷な気象条件に起因していることが確認された。そこで問題となっている地点のサンプルの収集、アスファルト舗装の劣化を再現する試験方法の確立、さらにアスファルト混合物の性状試験を行い、これらの問題点の解決をはかることになった。

アスファルト舗装の劣化に関しては、ウエザーメータを用いたアスファルト混合物の促進劣化試験を開発した。これは赤外線・紫外線・降雨・温度の4つの気象要素を2つのサイクルパターンにより供試体を暴露し、その供試体の変状（寸法、色、つや）を比較するものであった。この促進劣化試験では現場における約10年間の劣化状況を再現できることが確認された。

また、混合物単体の力学性状試験では、マーシャル安定度、フロー値、間接引張強度、コア密度、空隙率、針入度、動粘度（90/135°C）、軟化点について、劣化作用前後の性状の検討を行った。

その結果、耐久性のある混合物（寿命20年以上）の特徴として、高アスファルト量（5.5%以上）、低空隙率（4.5%以下）、均質性の高い混合物が挙げられた。これを基にSMA（スプリットマスティック混合物）を開発し、従来までのアスファルト混合物に代わる高耐久性混合物を開発した。

本報告では、促進劣化試験の実験結果を重要視しており、いろいろな配合の混合物について劣化状況を記録している。本文においても、他の促進劣化試験（RTFOT, PAV）との関係について検討を行いたいとあり、アスファルト混合物の劣化に関するデータとして利用できるものであると思われる。

- (1) David, K., Friedrich, W. (カナダ)
(2) Evaluation of Overloads on Pavements for Oversize/Overweight Permit Guidelines
(3) pp.1491~1516
(4) 車両のオーバーサイズ・オーバーウェイトによる舗装の過負荷状態の評価について (水野卓哉)
(5) オンタリオ州の道路や橋の中で、設計交通量の限界にまで達し、道路の損傷が急激に進行しているものがあることが確認された。このことによる道路のダメージは、車両区分（車両重量）・サイズ・軸数が原因となっているとの報告がなされた。このように実際の交通荷重が設計荷重を超えるような場合の検討は十分行なわれておらず、これまで設計よりわずかに大きい交通荷重が作用する場合について、経験的に説明されているだけであった。

本報告は、たわみ性舗装上に設計荷重よりオーバーサイズ、オーバーウェイトの車両が走行した場合の、舗装の挙動とダメージの評価を理論的に行うシステムの開発について述べたものである。

実際の舗装への負荷に関しては、FWDによるたわみデータと、「PROBE解析プログラム」により、さまざまな負荷状態時の舗装の挙動解析・ダメージ解析を行った。その結果、タイヤ接地圧とわだち掘れについて相関関係が認められた。

さらに舗装の損傷の補修に関して、舗装のダメージ解析によって補修費用を推測するシステムを開発した。

本報告は、様々な車両の荷重形態（軸数・軸重）における舗装の挙動を、FWDによるたわみデータを使用して解析を試みており、たわみ性舗装の限界状態の挙動をより実測的にシミュレーションを行っている点について、新しい試みとして評価できると思われる。

- (1) Huhtala, M., Laitinen, V. and Halonen, P. (フィンランド)
(2) Roughness Measurement Devices and Dynamic Truck Index
(3) pp.1517~1532
(4) 新しいラフネス測定機と動的トラック指数について (水野卓哉)
(5) 本報告はフィンランドにおいて開発された舗装表面プロファイル測定車両「PTM」、簡易型舗装表面プロファイル測定装置「ロードマン」、および重車両の走行により発生する動的荷重の測定装置「VTT」の3種類の路面性状測定機械を紹介したものである。

PTMは40~90km/hで走行しながら縦断プロファイル（レーザー変位計と加速度計）と、横断プロファイル

(超音波距離センサー)の測定を行うものである。またロードマンは、測定に供する車両にロードマン本体と加速度計を取り付け、縦断プロファイルの測定を行うものである。

PTMロードマンで測定された路面性状データは、プロフィル形状と国際ラフネス指数(iri)に変換され記録されるようになっている。PTM、ロードマン、VTTの3者による測定値は、0.97~0.99と非常に高い相関関係を示しており、また測定結果の再現性に関しても、変動係数が5%程度であった。

重車両の走行により路面に伝わる動的な荷重は、道路が完全に平坦でないため、つねに変動している。この動的な荷重を連続的に測定する車両が「VTT」である。荷重の測定はアクセル軸の端に取り付けたひずみゲージと加速度計によって行っている。また、動的な荷重の舗装への影響を示す指標として、新たに「DRI」を定めている。

本報告は、IRIモデルを基にした新しい路面プロファイル測定装置の紹介であり、測定原理自体に目新しいところは見られないが、システムとしてPMSと連携している点が評価される点であると思われる。

- (1) Harvey, J Rust. C: Coetzee., N Nokes. W Kirk. J (アメリカ)
- (2) Overview of Caltrans Accelerated Pavement Testing Pilot Project
- (3) pp.1533~1548

- (4) 促進舗装試験パイロットプロジェクトの概略 (鈴木秀輔)
- (5) 本報告は、パイロットプロジェクトから得られた知見を含んだカリフォルニア促進舗装試験(APT)の概略を示すものである。カリフォルニアAPTプロジェクトでは、南アフリカで開発された重車両シミュレータ(HVS)を使用した実験を実施すると共に、SHRPプロジェクトA-003Aにより開発された装置や方法を用いた室内試験を行った。このプロジェクトの目標はHVSやSHRPプロジェクトA-003Aの適用を検討することにあり、①密粒度アスファルト混合物(DGAC)やゴム入りギャップアスファルト混合物(ARHM-GG)を用いたオーバーレイ層の疲労やわだち掘れに関するパフォーマンス予測、②Intelligent Vehicle-Highway Systems-Advanced Vehicle Control System(IVHS-AVCS)によって発生する車両走行位置でのわだち掘れ深さの増加等に関する試験データを収集し、検討を行った。

HVSを用いた1340万回の40KN等値換算軸荷重に相当する66日間に及ぶ試験でその有効性が証明されたほか、ARHM-GGを25mmと38mmオーバーレイすることで75mmのDGAC以上の疲労抵抗性を示すことが確認された。

これらのことから、わだち掘れや疲労に関するパフォーマンス予測等にHVSの使用やSHRPプロジェクトA-003Aの室内試験の適用が有効であることが実証された。

本報告は、注目を集めているSHRPに係わるもので、室内試験と現場での促進試験を比較検討したもので興味深い報告である。

- (1) Rohan, W. P Chuck. A. G Starr, D. K (アメリカ)
- (2) Use of Nondestructive Testing in Evaluating Composite Pavement
- (3) pp.1549~156

- (4) コンポジット舗装評価における非破壊試験の適用 (鈴木秀輔)
- (5) ポルトランドセメントコンクリート(PCC)舗装上にアスファルト混合物がオーバーレイされているコンポジット舗装の修繕方法を検討する際、コンクリート層の状態を把握する必要がある。この時、非破壊試験機であるFWDの使用は有効である。

本報告は、ミシガン州で行われたナインマイルロードにおけるプロジェクトを基に、得られたデータを①MODULUSプログラム、②COMDEFプログラム、③1993年版のAASHTOの舗装構造設計指針に示された方法で比較検討した結果と、ミシガン州のDearbornのミリタリーロードプロジェクトによるMODULUSプログラムの適用例を示したものである。

これらの研究の結果、MODULUSプログラムとCOMDEFプログラムはコンポジット舗装の評価への適用が有効と判断され、逆解析によって得られたPCC係数は舗装の強度の指標となり、PCCの修繕必要厚さの決定に用いることができる。また、ナインマイルロードで逆解析により求めたPCC係数は舗装の建設履歴と一致するものであった。MODULUSプログラムとCOMDEFプログラムから得られたPCC係数には良い一致が見られるものの、AASHTOによる手法で求めた係数とMODULUSプログラムとCOMDEFプログラムから得られた係数の間に一致は見られなかった。AASHTOの方法で得られたもののいくつかは、この手法におけるPCC係数とK値の関係から理屈に合わない結果となった。

コンポジット舗装はこれからも増加が見込まれ、本報告はこれらの評価に参考となるものである。

- (1) Jooste, F.J. and Fernando, E.G. (アメリカ)
(2) Investigation of the Effects of Superheavy Loads on Pavement
(3) pp.1565~1582
(4) 舗装に対する超重車両の影響に関する研究 (鈴木康豊)
(5) テキサス交通局では、州で計画した以上の超重車両が通行する道路において、舗装に対する影響が明確でないため、その調査が必要とされてきた。本論文は、超重車両が通行する道路の損傷を評価する手法を開発し、舗装の損傷を防ぐ、あるいは最小限にとどめる舗装強化の要否を決定する方法について述べたものである。
超重車両が通行する道路に対し、次の要素を含んだ評価手法が確立されている。
① 舗装各層の厚さを測定するための地中レーダの使用
② 道路の地形の記録や道路標識と信号を確認するためのビデオ撮影
③ FWDを使用した非破壊試験
④ ラフネスの測定と超重車両の通行前後における路面状態を検証するためのロードアナライザの使用
⑤ 超重車両による舗装破壊の可能性を評価するための三軸圧縮試験データの使用
本研究では、異なった深さ方向のひずみやたわみを測定するためのマルチデフレクトメータを使用しており、舗装のたわみ測定から、超重車両が通行する道路での舗装の応答を予測し、舗装構造の妥当性の評価が実施できるようになった。
本研究は超重車両が通行する道路での舗装評価であり、このような特殊道路の評価としては興味深いと思われる。

- (1) Wyhre, O. (ノルウェー)
(2) Bearing Capacity and Performance of Pavement Structures Insulated with Polystyrene Boards
(3) pp.1583~1596
(4) ポリスチレン材を設けた舗装の支持力とパフォーマンス (鈴木康豊)
(5) ノルウェーの多くの道路では、規定の舗装材料より弾性係数が小さい材料を使って凍上抑制層を設けている。本論文は、凍上抑制層にポリスチレン材を使用した舗装の特性や支持力およびパフォーマンスに関する研究成果について述べている。
本研究では、舗装の支持力測定のためにFWDを使い、解析ツール (CHEVRON) をもとに舗装の構造的な特性についての検討を行っている。
凍上抑制層にポリスチレン材を使用した道路では、凍上に対する効果が認められており、その層の上に砂利、セメント安定処理材、コンクリートといった様々な路盤材料を使用することが可能である。ただし、建設中は凍結や必要以上の荷重をかけることを避け、舗装の寿命を縮めないように注意が必要としている。
本論文は、特殊材料を凍上抑制層に使用した効果について報告したものであり、凍上抑制層を必要とする地域にとって有用な情報であると思われる。

- (1) Webster, S.L., Brown, R.W. and Proter, J.R. (アメリカ)
(2) Force Projection Site Evaluation Using the Electric Cone Penetrometer (ECP) and the Dynamic Cone Penetrometer (DCP)
(3) pp.1597~1612
(4) エレクトリックコーンペネトロメータとダイナミックコーンペネトロメータを用いた支持力の原位置評価 (黒田 智)
(5) 本研究は、アメリカ空軍の土木研究機関が行ったものであり、空港舗装における路床の支持力特性を、原位置試験の測定結果から評価することも目的としている。原位置試験は、エレクトリックコーンペネトロメータ (ECP)、ダイナミックコーンペネトロメータ (DCP) を用いた2種類の貫入試験であり、比較例としてのCBR試験とともに様々な土質の路床について測定を行い、数多くの基礎データを収集している。
測定データを分析した結果、ECP値とCBR値、DCP値とCBR値それぞれの間には信頼性の高い相関関係が得られたとしている。これらの結果から著者らは、航空機の載荷重に対する路床の支持力をECP値あるいはDCP値によって評価することが可能であると結論づけている。また、コーンペネトロメータを用いる試験は簡便であり、しかも路床の性状を原位置で直接測定するものであることから、支持力評価の信頼性が向上し、将来的にはECP値やDCP値による路床の評価基準も提案できるようになるとしている。
わが国では、路床の支持力評価にCBR試験が広く利用されているが、主にサウンディングに用いられる原位置試験も土質によっては有効と考えられる。

- (1) P. S. Krishna Mohan Rao, G. K. VIJ and P. Prasanna Kumar (インド)
(2) Evaluation of the Bearing Capacity of Pavement by Surface Wave Propagation Technique
(3) pp.1613~1628
(4) 表面波伝達技術を用いた舗装の支持力評価 (黒田 智)
(5) 道路建設技術の向上を目的として、インド政府が設立したCAC (Central Assessment Committee) は、優れた新技術や新しい設計手法の開発・導入を推進している。このCACのマニュアルは、現在注目されている資源・自然の保護、廃棄物の有効利用といった面からも従来のものより優れているとされている。
　　インドの一般道路や空港は、ハイウェイにおける経済的かつ機能的な設計法に準拠して設計されることが多く、その中で重要な要素となっているのが舗装の支持力評価である。
　　本論文では、ハイウェイにおいて、CACのマニュアルによる舗装と従来のマニュアルによる舗装を含め構成の異なる15種の舗装について試験施工を行い、そこでの支持力評価の比較、検討結果を報告している。著者らが用いた支持力評価の方法は、舗装評価に繰返し荷重を載荷したときの変位量を測定するもので、測定によって得られた荷重と変位、弾性係数を評価指標としている。試験施工における支持力評価の結果から、CACのマニュアルに従って施工した舗装が従来のものに比べ支持力が高く、特に表層にSpray Croutを用い、直下の層にフライアッシュコンクリートの版を用いた舗装構成が支持力に優れていることが確認されたとしている。

- (1) Schrader, C. and Johnson, G. (アメリカ)
(2) Subsurface Instruments Installation Procedures
(3) pp.1629~1642
(4) 地盤調査における計測機器設置の方法 (黒田 智)
(5) ミネソタ州の道路調査事業では、土の含水量や温度、圧力、凍結深さを測定する計測機器の能力、寿命、設置について調査しており、その調査資料は同様な計測機器のガイドとして活用できるものである。地盤調査において、計測機器が正しく設置されていることは重要であり、また調査期間中は計測機器が正常に機能しないなければならない。そのためには、設置されたセンサ類を詳しく調べるだけでなく、実際の設置にも立合い、誤った設置や不確かなキャリブレーションを避けなければならない。
　　本論文では調査経験をもとに、各計測センサの設置のために行われるオーガによる削孔、ピットの掘削、チューブを用いた孔開けの3種類の方法について、その留意点が述べられている。
　　著者らは、センサの設置においては、一般にオーガを用いた削孔によってセンサを設置する方法が最適であるとしている。留意点として、孔の埋戻しは、孔周辺と同様な材料、密度にすること、また静止土圧や間隙静水圧を測定するセンサ設置の場合は、センサが大きいためピットを掘ることになるが、乱された範囲が大きくなるので、この使用は最小限に留めなければならないことなどを指摘している。
　　計測機器の設置は、特に基準のないまま行われているのが現状であり、本論文は、ノウハウが盛り込まれた興味深い文献といえる。

- (1) Kubo, H. (日本)
(2) An Evaluation Method of Pavement Bearing Capacity with Buried Rigid-Plate Loading Apparatus.
(3) pp.1643~1654
(4) 埋設式平板荷載装置による支持力の評価 (北沢弘明)
(5) 積雪寒冷地における道路と空港の舗装は、凍結と融解により大きなダメージを受ける。これは凍土を引き起こすばかりではなく、路盤と路床の支持力を引き下げる。凍土によるダメージから舗装を守る目的で、日本北部の道路では、最大凍結深さの約70%の厚さを凍結しにくい材料で置換えている。本論文では、舗装各層の支持力係数を求めると共に非破壊試験での変形係数の計算を試みている。これは、埋設式平板荷載装置による各層の路床支持力係数を観察することにより、植下による近似値法により舗装の変形係数を計算するものである。
　　本研究で使用した試験道路は北海道の苫小牧市を通る国道36号で、様々な材料と層厚の組み合わせによる16種類の試験区間を各30m合計480mの延長となっている。
　　本研究の結果として次のような点が述べられている。
① 舗装各層の支持力係数は、非破壊の舗装の路盤と路床の中の直径30cmの載荷板を用いて計算できる。
② この係数に基づき、Nascimentoの近似値が計算できる。
③ 春の雪解けの季節における様々な要因による舗装の支持力低下は舗装構造中の路盤と路床の支持力係数によって観測される。

- ④ 一連の計算によって、変形係数は寒冷地の凍結と雪解け前の路盤と路床を使用して与えられる。
⑤ 春季における変形係数の減少は16~35%であり、とりわけ良質な火山灰と粒調碎石で顕著である。

- (1) Padilla, E. (メキシコ)
(2) Use of Non Destructive Tests for Construction Control of Roads.
(3) pp.1655~1670

- (4) メキシコにおける道路建設管理のための非破壊試験の適用 (北沢弘明)
(5) 本論文は、メキシコにおける道路建設の管理を行うための非破壊試験の適用について述べている。支持力試験は、ベルケルマンビームによって測定されたたわみ量を使用し、層のスティフネスと強度の直接評価、最小の支持力の測定、舗装構成の確認、締固め度の迅速な評価を行うことができるとしている。

IzUcarとSalinasにおいて、CBR値が18%，8%，47%の3本の試験路において支持力試験として、ダイナフレクト、ベンケルマンビームの試験がそれぞれ、40.2kN, 4.45kN, 40.2kNの載荷荷重で行われ、ダイナフレクトとベンケルマンビーム試験のたわみ量の比較が行なわれた。

メキシコにおいては、通常、凍結や融解が発生しないため、季節による含水量が舗装の支持力の重要なファクタになる。そのため、ダイナフレクト、ベンケルマンビームの試験を含水量の測定と共に、季節によるたわみと含水量の関係を示している。

ダイナフレクトとベンケルマンビームの試験の関係は良好で、費用面に注目してもダイナフレクトの装置の初期投資は大きいが、得られる情報の質、早さ、適応性を考慮すれば全体ではより経済的であると述べられている。

- (1) Yokota, H., Graves, R.C., Allen, D.L. and Southgate, H.F. (日本)
(2) A Dynamic Analysis of Pavement Evaluation by Road Rater and FWD
(3) pp.1671~1682

- (4) ロードレータとFWDの動的解析による舗装評価手法 (黒田 智)
(5) ケンタッキー州では、舗装の構造評価にロードレータが多用されており、その解析結果に基づいてオーバーレイ厚の設計を行ってきた。本論文では、動的地盤上スラブ理論 (DSGT) という新たな解析手法を紹介し、これを用いたロードレータおよびFWDによる舗装評価手法が提案されている。

DSGTは2層構造の道路モデルを考え、地盤上スラブの表面に鉛直周期荷重が作用する際のたわみ理論解を求めるものであり、ロードレータのような周期載荷装置にはそのまま適用できるものである。著者らはケンタッキー州で収集されたロードレータによる多数の測定データについてDSGTを用いた解析を行い、オーバーレイ厚を算定している。同州における従来の解析方法とDSGTを用いた解析方法によって得られたオーバーレイ厚は互いに良く一致する結果を得ており、DSGTの適用性が確認されたとしている。

さらに著者らは、ロードレータ、FWDにより測定された同州のたわみ量を用いてDSGTによる解析を行い、オーバーレイ厚を算定している。両者の比較結果から、FWDにおけるDSGTの適用性も確認されたとしている。DSGTによる解析は、従来のものよりシンプルかつより近似的な手法であることから、現在ケンタッキー州ではこれを解析手法の一つとして採用している。計測技術と解析技術の進歩に伴って動的解析の分野も進展してきており、参考となる研究である。

- (1) Hadley, W.O. and Anderson, V. (アメリカ)
(2) Strategic Highway Research Programs Long-Term Pavement Performance (SHRP-LTPP) Asphalt Resilient Modulus Pilot Study
(3) pp.1683~1702
(4) SHRP-LTPPによるレジリエントモジュラスの試験的研究 (黒田 智)
(5) アスファルト混合物の特性であるレジリエントモジュラスの試験的な研究は、SHRP-LTPPにより着手されたもので、これまでに試験装置、試験記録、試験に必要な条件(例えば、試験温度、載荷軸、載荷休止等)の詳細を実験結果に基づいて提供してきた。本論文は、SHRP-LTPPが適用されている4地区のうち、南北2つの地域でコアによる試験を行い、レジリエントモジュラスに影響を与える各要因について解析、検討した結果を紹介したものである。

コアによる試験では、種々のアスファルト混合物についてランダムにコアを採取し、間接引張強さ、アスファルト量、かさ密度、空隙率といったレジリエントモジュラスに影響を与える各要因についての測定を行って

いる。収集したデータは統計的手法によって処理し、南北地域の比較および地域間で異なる変数の統一化をはかり、さらには各層のレジリエントモジュラスを各要因（間接引張り強さ、アスファルト量、かさ密度、空隙率）による地域別の回帰式で表わしている。

著者らは、本論文の中で提示した回帰式が、高い相関が得られていると評価し、他の解析においても、地域差を考慮した評価を行うべきであると提案している。本報告はSHRPの研究成果の一部であり、参考になると見える。

- (1) Hossain, M., Gisi, A.J. (アメリカ)
- (2) Detection of Voids under Concrete Pavements Using Deflection Testing Kansas Experience
- (3) pp.1703～1718
- (4) 路面のたわみ量を利用したコンクリート版下に生じる空洞の探知について (池田和則)
- (5) 無筋コンクリート舗装 (JCP) の横断方向のジョイントやクラック箇所において、交通荷重のポンピング作用によって生じるコンクリート版下の空洞（エロージョン）は、支持力を低下させる主要因である。支持力の低下により、コンクリート版に過大なたわみや版応力が生じ、ジョイントの段差、角欠け、あるいは、縦方向クラックの順に破損が進行し、最終的にコンクリート版が破壊する。

本論文は、コンクリート版下に生じた空洞の補修（アンダーシーリング）に関するカンザス運輸局 (KDOT) の研究について述べたものであり、FWDやダイナフレクトで測定したたわみ量を用いて版下の空洞を探査している。また、空洞に注入したシール材の効果についても述べている。

シール材としては、ポルトランドセメント、フライアッシュグラウト材、低針入度のアスファルト系のものが用いられている。また、シール材による補修前後のたわみ量を比較し、これらのシール材によるたわみ量の低減効果を確認している。

本論文は、米国のカンザス運輸局 (KDOT) とカンザス大学との共同研究であり、コンクリート舗装における補修箇所が、たわみ量を用いて構造的に評価されている。わが国においてもFWDなどの載荷試験が盛んに行われていることから参考になる文献と思われる。

- (1) Farouki, O.T., Matter, N.S (アイルランド)
- (2) Development and Evaluation of New Backcalculation Computer Program Based on a Finite Element Model
- (3) pp.1719～1740
- (4) 有限要素法に基づいた逆解析プログラムの開発とその評価について (池田和則)
- (5) 非破壊試験 (NDT) によって測定される路面のたわみ量は、舗装構造の評価手法において非常に重要な指標となっている。路面のたわみ量は、FWDやデフレクトグラフなどの非破壊試験装置によって測定され、逆解析プログラムに入力される。

本論文は、修正された有限要素法 (DEFPAV) を用いて新たに開発した逆解析プログラムについて述べている。また、逆解析した結果を、5つの逆解析プログラムの結果や応力のひずみの実測値と比較している。

本逆解析プログラムでは、パーソナルコンピュータで効率的に実行され、荷重や路面のたわみ量などの入力条件により、各層ごとの弾性係数、応力およびひずみなどを算出する。その逆解析結果を、5つの逆解析プログラム (BOUSDEF, BISDEF, CHEVDEF, ELSDEF, MODCOMP2) と比較した結果、一層および多層の舗装構成モデルにおいて、よく一致したと述べている。また、デフレクトグラフで測定された路面のたわみ量より逆解析した結果が、実測値とよく一致したと述べている。

本論文は、さまざまな逆解析プログラムの解析結果が比較されており、舗装の理論解析に関し参考になる文献である。

- (1) Svec, J.O. and Yue, Z. (カナダ)
- (2) Use of Non-Circular Loading Plates For Better Backcalculation of Pavement Moduli
- (3) pp.1741～1754
- (4) 舗装の弾性係数の逆解析のための非円形載荷板の利用 (南沢輝雄)
- (5) 本論文は、アスファルト舗装におけるFWD試験の精度向上を目的として、非円形載荷板の利用に関する理論的可能性について述べている。

本研究は、だ円形載荷板を用いたFWDによる表面たわみ曲線を多層弾性理論に基づいて分析している。そして、舗装材料特性の推定に関する非円形載荷板の利用効果とその逆解析手法（解析プログラム：VIEW）につい

て論証しており、次の結果が得られたとしている。

- ① 非円形載荷板による舗装応答は、アスファルト混合物層の弾性係数に対して、非常に敏感である。
 - ② 非円形載荷板を用いることにより、アスファルト舗装の力学的挙動に関するより多くの測定情報を得ることができ、舗装の正確な弾性係数を推定することができる。
 - ③ 舗装の弾性係数、特に表面に近い弾性係数は、たわみ曲線だけでなく、x軸とy軸方向のたわみを比較することにより、より正確に逆解析することができる。
- FWDは円形載荷板が標準であることから、だ円形載荷板が均一な荷重伝達を行えるかを検証する必要があると思われる。

- (1) Kamal, A.M., Hughes, B.A and Farouki, T.O (イギリス)
(2) Monitoring the In-site Performance of Structural Properties of Unbound Granular Materials on a Full Scale Experimental Pavement Section
(3) pp.1755~1764
(4) フルスケール試験舗装による粒状材料の構造特性のパフォーマンス調査 (南沢輝雄)
(5) 本論文では、固まっていない粒状路盤材料の工学的特性とパフォーマンスを調査するためにフルスケール試験舗装を行い、その室内および屋外試験結果について紹介している。本研究は、北アイルランドにおいて、ポンピングが少ない良好な排水性と永久変形が小さい高いスティフネスを保持する材料を決定することを目的としている。

フルスケール試験舗装は、繰返し荷重三軸試験、せん断試験および透水試験により選定した8種類の粒度を用いて行われ、路床、キャッピング層および路盤材料について、ダイナミックコーンペネトロメータ (DCP) および密度、湿度の測定を行っている。また、パフォーマンスについては、わだち掘れプロファイルでわだち掘れ、デフレクトグラフとFWDでたわみを測定し、重交通下の基で6カ月間モニタリングしている。

調査結果から、CBR値とDCP値の相関関係、粒状路盤材料と排水性、わだち掘れ、たわみとの関係について報告している。著者らは、大きなたわみは、路床の低い密度と高い湿度により引き起こされるため、建設時の路床の湿度と密度の管理が重要であり、また、固まっていない粒状材料の分離は、透水性の低下、わだち掘れの増大、スティフネスの低下を引き起こすため、材料分離の抑制に有効なスプレッダで敷設すべきであると提案している。

本研究は、北アイルランドにおける試験結果であることから、凍結融解がおこる寒冷地域において参考となる文献である。

- (1) Molenaar, A.A.A (オランダ)
(2) State of the Art of Pavement Evaluation
(3) pp.1781~1801
(4) 舗装の評価方法について (飯田健一)
(5) 現場における舗装の評価としては、ベンケルマンにより提唱されたベンケルマンビームによる舗装のたわみ測定以来、様々な国において多くの評価方法が開発されてきたが、近年では、多くの機械・コンピュータプログラムの利用により、舗装寿命の予測あるいは維持修繕工法の選定にあたり、舗装技術者にとって役立つものとなった。本報文は、①舗装の変形量（たわみ量）の測定 ②弾性係数の逆解析手法 ③ ②に必要な舗装材料の試験方法 ④舗装寿命の算出・オーバーレイ工法の設計、と一連の流れでこの評価方法の実例が紹介されている。現在用いられている幾つかの手法も解説されており、さらに舗装評価の調査結果の利用方法についての提言もされている。

本報文には、現場における舗装の評価手法についてのガイドブック的なものであり、変形量の測定から舗装寿命の算定・修繕工法の提唱まで一連の流れをつかむ上で有効なものである。

床版増厚工法

床版上面に鉄筋、鉄筋網などを設置してコンクリートを打設し、床版厚を増すことによって、既設床版を補強する工法のことをいう。

RC床版の補修補強指針(案)(建設省、昭和63年)では、補強とは「現有の耐荷力を向上させるために対策を施すこと」と定義し、その工法には、①鋼板接着工法、②縦横増設工法、③床版増厚工法、④横横増設工法があるとして、補強工法の1例として示している。

日本道路公団東京第一管理局では、平成5年2月に「床版上面増厚工法マニュアル」を発行し、維持修繕要領(橋梁編)の床版上面増厚工法を補完し、整理している。ここでの特徴を示すと以下のことが言える。

- ①床版上面増厚工法とは、床版補強工法の一つで、床版上面を切削、研掃後、鋼纖維補強コンクリートを打設し、床版を増厚することで曲げおよび押し抜きせん断耐力の向上を図る工法である。
- ②増厚コンクリートの最小厚は、骨材の最大寸法、コンクリートの締固めやレベリング等の施工上の精度、乾燥収縮の影響等を考慮して5cmとする。これまでの実施例では、5~9.5cmであるが、最近では6cmの例が多い。さらに10cmの試行もあるが、この場合は鉄筋入りとしている(図-1参照)。

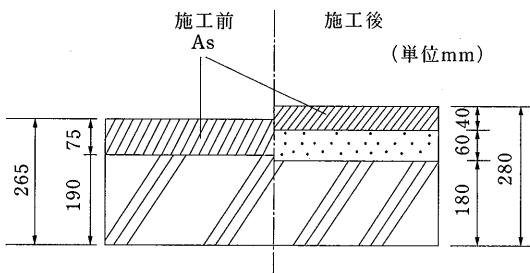


図-1 施工断面例

- ③既設床版上面は、タックコートやレイタンスがあり、新旧コンクリートの一体化を阻害するので切削することとし、その厚さは1cmとする。

- ④新旧コンクリートの付着力が、10kgf/cm²程度保できれば、設計輪荷重の3倍程度の荷重が作用

しても十分耐える結果などを参考に、補強鉄筋やせん断抵抗筋は配置しないことを原則とする。

- ⑤伸縮装置を取替える場合や適切な嵩上げ対策を講じる場合は別として、アスファルト舗装の最小厚は4cmとする。
 - ⑥コンクリートは鋼纖維補強超速硬コンクリートを用いることとする。
- コンクリートの配合設計には、設計基準強度として圧縮強度を用い、240kgf/cm²としている。配合強度は、当初は割増係数1.35を見込んでいたが、最近では1.25としている(表-1参照)。

表-1 配合例

水セメント比(%)	細骨材率(%)	鋼纖維混入率(vol%)	単位量(kg/m ³)					*2)凝結遅延剤添加量(Cx%)	外気温(℃)	
			*1)水	セメント	細骨材	粗骨材	鋼纖維			
41.3	57.8	1.27	170	415	997	752	100	2.0	A	T

*1) 単位水量中には、高性能減水剤を含む。

*2) A:凝結遅延剤の添加量(対セメント重量比%)

T: A%の凝結遅延剤を用いた時の外気温(℃)

コンクリートのコンシスティンシーはスランプ5土1.5cmが採用されている。

- ⑦コンクリートの打設は現場用コンクリートプランターで製造した所定の品質の鋼纖維補強超速硬コンクリートをベルトコンベヤまたはキャリアダンプ等により運搬し、専用のコンクリートフィニッシャで所定の厚さおよび幅員に敷均し仕上げる。敷均しおよび締固めは機械施工を原則とする。

- ⑧鋼纖維補強超速硬コンクリートの打設後ただちに被覆養生材を散布し、養生マットで全面を覆い養生する。

- 尚、コンクリートのワーカビリティやフィニッシャの性能確認のため、現状では施工に先立って試験施工を行うことが義務付けられている。

一参考文献一

日本道路公団 東京第一管理局、床版上面増厚工法マニュアル(平成5年2月)(平成7年3月)

[小島逸平 (株)ガイアートクマガイ技術研究所]

アスファルトの電気特性

(1) 電気伝導率 Conductivity

物質中の電流の流れやすさを表し、電気抵抗率の逆数である。電気抵抗率の単位は $\Omega \cdot m$ であり、電気伝導率の単位は S/m (S/cm) で表される。

アスファルトの電気伝導性は極めて小さいため、絶縁材として使用されることも多い。

一般的にアスファルトの電気特性は硬いアスファルトと軟いアスファルトでは若干異り、硬いアスファルトの電気伝導性は軟いグレードに比べ若干小さい。従って、同一グレードのアスファルトであれば、一般的に温度が高くなれば、伝導性は大きくなる。

電気伝導率の測定法は、試料アスファルトの厚板
[例]

温度 °C	電気伝導性 S/cm
30	10^{-14}
50	10^{-13}
80	10^{-12}

を平板電極ではさみ、試験温度に保持した後、試料に一定電圧を一定時間かけ、電圧、電流の変化を測定する。このときの電圧を電流で除した値を絶縁抵抗といい、単位体積当りの絶縁抵抗を体積抵抗率 ($\Omega \cdot m$) といい、単位面積当りの絶縁抵抗を表面抵抗率 (Ω) という。電気伝導率は、この体積抵抗率の逆数 ($\Omega^{-1}, \text{cm}^{-1}$) 又は S/m (S/cm) で表される。

アスファルトの電気伝導率は一般に $10^{-12} \sim 10^{-14} S/cm$ であるが、温度が上がるとまた針入度が大きくなると電気伝導率も大きくなる。

(2) 絶縁強度 Dielectric strength

絶縁強度は誘電体に絶縁破壊を起こさずに印加できる最大の電場として定義される。これ以上大きい電場を印加すると急激で不可逆な電気抵抗の低下が生じ、その誘電体が破壊される。kV/mmで表わされ、電極の形や電圧、測定温度などの試験条件によって異なる値を示す。

硬いアスファルトは軟いアスファルトに比べ、より高い絶縁強度を持つ傾向にある。即ち、針入度が小さいほど、また温度が低いほど大きくなる。

[例]

温度 °C	絶縁強度 kV/mm (平板電極)
20	20-30
50	10
60	5

(3) 誘電率 Dielectric constant

ある誘電体で満たされたコンデンサーの電気容量 C と、同じ大きさで極板間に何も入っていないコン

$$K = \frac{C}{C_0}$$
 をその誘電体の誘電率という。

デンサーの電気容量 C_0 との比、アスファルトの誘電率は 25°C で約 2.7 , 100°C で約 3.0 に上昇する。また、アスファルトにおける誘電損失は温度が上昇すると、大きくなるが、高周波域になると小さくなる。

T.R.R.L (The Transport and Road Research Laboratory)によれば、酸素、雨、紫外線の複合作用の影響に対するアスファルトの耐候性が、アスファルトの誘電率に関係しているとのレポートもある。

—参考文献—

- 1) The Shell Bitumen Handbook
- 2) 物理学大辞典、丸善(株)

[青木秀樹 昭和シェル石油(株)中央研究所]

〈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 度 比	輸 入	合 計	内 需	対前年 度 比	輸 出	小 計	期末在庫	合 計
57 年 度	226	4,624	(99.2)	0	4,850	4,575	(100.3)	18	4,593	213	4,806
58 年 度	213	4,947	(108.4)	0	5,160	4,921	(107.6)	4	4,925	226	5,151
59 年 度	226	5,235	(105.9)	0	5,461	5,221	(106.1)	0	5,221	240	5,461
60 年 度	240	5,029	(96.1)	0	5,269	5,035	(96.4)	0	5,035	215	5,250
61 年 度	215	5,744	(114.2)	0	5,959	5,695	(113.1)	0	5,696	235	5,931
62 年 度	235	5,892	(102.6)	9	6,136	5,862	(102.9)	0	5,862	274	6,136
63 年 度	274	5,904	(100.2)	3	6,181	5,953	(101.6)	1	5,954	219	6,173
元年度上期	219	2,895	(105.1)	1	3,115	2,732	(99.9)	1	2,733	372	3,105
元年度下期	372	3,170	(100.6)	0	3,542	3,258	(101.2)	3	3,261	276	3,537
元 年 度	219	6,066	(102.7)	1	6,286	5,990	(100.6)	4	5,994	276	6,270
2 年度上期	276	3,046	(105.2)	0	3,322	2,974	(108.9)	5	2,979	323	3,302
2 年度下期	321	3,231	(101.9)	1	3,553	3,231	(99.1)	3	3,234	310	3,544
2 年 度	276	6,277	(103.5)	1	6,554	6,205	(103.6)	8	6,213	310	6,523
3 年度上期	310	2,844	(93.4)	0	3,154	2,841	(95.5)	6	2,847	302	3,149
3 年度下期	302	3,129	(96.8)	0	3,430	3,103	(96.0)	12	3,115	313	3,428
3 年 度	310	5,973	(95.2)	0	6,282	5,944	(95.8)	18	5,962	313	6,275
4 年度上期	313	2,969	(104.4)	0	3,282	2,893	(101.8)	59	2,952	326	3,278
4 年度下期	326	3,152	(100.7)	1	3,479	3,216	(103.6)	17	3,233	244	3,477
4 年 度	313	6,121	(102.5)	1	6,435	6,109	(102.8)	76	6,185	244	6,429
7～9月	310	1,517	(100.3)	0	1,827	1,468	(99.8)	17	1,502	329	1,831
5 年度上期	244	2,910	(98.0)	1	3,155	2,803	(96.9)	26	2,829	329	3,158
10～12月	329	1,674	(101.5)	1	2,004	1,691	(101.6)	40	1,731	279	2,010
6. 1月	279	410	(113.9)	0	689	359	(105.3)	20	379	312	691
2月	312	465	(101.1)	0	777	441	(96.5)	12	453	325	778
3月	325	660	(96.6)	0	985	742	(98.4)	7	749	238	987
1～3月	279	1,535	(102.1)	0	1,814	1,542	(99.4)	39	1,581	238	1,819
5 年度下期	329	3,209	(101.8)	1	3,539	3,233	(100.5)	79	3,312	238	3,550
5 年 度	244	6,119	(100.0)	2	6,365	6,036	(98.8)	105	6,141	238	6,379
6. 4月	238	597	(101.0)	0	835	510	(98.5)	10	520	316	836
5月	316	426	(93.2)	0	742	383	(108.8)	8	391	352	743
6月	352	395	(97.5)	0	747	450	(100.4)	11	461	288	749
4～6月	238	1,418	(101.8)	0	1,656	1,343	(101.9)	29	1,372	288	1,660
7月	288	542	(104.0)	0	830	532	(104.5)	12	544	285	829
8月	285	488	(97.2)	0	773	420	(85.4)	6	426	348	774
9月	348	507	(102.6)	0	855	466	(96.3)	13	479	377	856
7～9月	288	1,537	(101.3)	0	1,825	1,418	(96.6)	31	1,449	377	1,826
6 年度上期	238	2,955	(101.5)	0	3,193	2,761	(98.5)	60	2,821	377	3,198
10月	377	473	(83.0)	0	850	520	(92.4)	14	534	321	855
11月	321	558	(100.4)	0	879	569	(101.8)	17	586	291	877
12月	291	557	(101.8)	0	848	536	(94.2)	25	561	289	850
10～12月	377	1,588	(94.9)	0	1,965	1,625	(96.1)	56	1,681	289	1,970
7. 1月	289	406	(99.0)	0	695	359	(100.0)	9	368	329	697
2月	329	415	(89.2)	0	744	420	(95.2)	11	431	314	745

[注] (1) 通産省エネルギー生産・需給統計月報 7年2月確報
(2) 四捨五入のため月報と一致しない場合がある。

〈石油アスファルト需給統計資料〉 その2

石油アスファルト内需実績（品種別明細）

(単位：千t)

項目 年 度	内 需 量						対 前 年 度 比					
	ストレート・アスファルト			燃 燃用 アスフ アルト	ブ ローン アスフ アルト	合 計	ストレート・アスファルト			燃 燃用 アスフ アルト	ブ ローン アスフ アルト	合 計
	道 路 用	工 業 用	計				道 路 用	工 業 用	計			
57年 度	3,943	185	4,128	187	260	4,575	96.6	91.6	96.4	467.5	94.5	100.3
58年 度	3,951	177	4,128	540	253	4,921	100.2	95.7	100.0	288.8	97.3	107.6
59年 度	4,000	162	4,162	805	254	5,221	101.2	91.5	100.8	149.1	100.4	106.1
60年 度	3,739	139	3,878	911	246	5,035	93.5	85.8	93.2	113.2	96.9	96.4
61年 度	3,979	241	4,220	1,238	237	5,695	106.4	173.4	108.8	135.9	96.3	113.1
62年 度	4,252	360	4,612	995	255	5,862	106.9	149.4	109.3	80.4	107.6	102.9
63年 度	4,307	421	4,728	967	258	5,953	101.3	117.3	102.5	97.2	101.2	101.6
元年度上期	2,043	151	2,194	423	115	2,732	102.8	91.0	101.9	91.2	98.3	99.9
元年度下期	2,317	296	2,613	509	136	3,258	99.9	116.1	101.5	101.0	96.5	101.2
元 年 度	4,360	447	4,807	932	251	5,990	101.2	106.2	101.7	96.3	97.3	100.6
2 年 度 上期	2,149	269	2,418	432	124	2,974	105.2	178.1	110.2	101.9	108.7	108.9
2 年 度 下期	2,267	337	2,604	497	130	3,231	97.8	113.9	99.7	97.6	95.6	99.2
2 年 度	4,416	606	5,022	929	254	6,205	101.3	135.6	104.5	99.7	101.2	103.6
3 年 度 上期	2,090	268	2,358	372	111	2,841	97.3	99.6	97.5	86.1	89.5	95.5
3 年 度 下期	2,226	323	2,549	424	130	3,103	98.2	95.8	97.9	85.3	100.0	96.0
3 年 度	4,316	591	4,907	796	241	5,944	97.7	97.5	97.7	85.7	94.9	95.8
4 年 度 上期	2,153	253	2,406	372	115	2,893	103.0	94.4	102.0	100.0	103.6	101.8
4 年 度 下期	2,406	315	2,721	369	126	3,216	108.1	97.5	106.7	87.0	96.9	103.6
4 年 度	4,559	568	5,127	741	241	6,109	105.6	96.1	104.5	93.1	100.0	102.8
7～9月	1,028	160	1,188	222	58	1,468	94.7	122.1	97.6	113.8	100.0	99.8
5 年 度 上期	2,022	265	2,287	404	112	2,803	93.9	104.7	95.1	108.6	97.4	96.9
10～12月	1,224	185	1,409	216	66	1,691	97.4	127.6	100.5	110.2	100.0	101.6
6. 1月	213	53	266	74	19	359	100.0	98.1	99.6	134.5	100.0	105.3
2月	284	55	339	83	19	441	88.8	83.3	87.8	162.7	95.0	96.5
3月	594	44	638	83	21	742	96.6	88.0	95.9	123.9	95.5	98.4
1～3月	1,091	152	1,243	240	59	1,542	95.0	89.4	94.3	138.7	96.7	99.4
5 年 度 下期	2,315	336	2,651	456	126	3,233	96.2	106.7	97.4	123.6	100.0	100.5
5 年 度	4,337	601	4,938	860	238	6,036	95.1	105.8	96.3	116.1	98.8	98.8
6. 4月	389	18	407	86	17	510	98.0	60.0	95.3	119.4	89.5	98.5
5月	269	35	304	61	18	383	103.9	166.7	108.6	113.0	100.0	108.8
6月	321	42	363	67	20	450	100.0	79.2	97.1	119.6	111.1	100.4
4～6月	979	95	1,074	214	55	1,343	100.2	91.3	99.4	117.6	100.0	101.9
7月	358	78	436	77	19	532	97.5	139.3	103.1	114.9	100.0	104.5
8月	305	14	319	83	18	420	93.6	23.0	82.4	94.3	105.9	85.4
9月	295	71	366	81	19	466	83.8	165.1	92.7	120.9	86.4	96.3
7～9月	958	163	1,121	241	56	1,418	93.2	101.9	94.4	108.6	96.6	96.6
6 年 度 上期	1,937	258	2,195	455	111	2,761	95.8	97.4	96.0	112.6	99.1	98.5
10月	370	57	427	72	21	520	91.4	79.2	89.5	112.5	95.5	92.4
11月	405	55	460	85	24	569	99.3	96.5	98.9	121.4	100.0	101.8
12月	390	33	423	94	19	536	94.7	60.0	90.6	114.6	95.0	94.2
10～12月	1,165	145	1,310	251	64	1,625	95.2	78.4	93.0	116.2	97.0	96.1
7. 1月	204	50	254	87	18	359	95.8	94.3	95.5	117.6	94.7	100.0
2月	297	15	312	89	19	420	104.6	27.3	92.0	107.2	100.0	95.2

- 〔注〕 (1) 通産省エネルギー生産・需給統計月報 7年2月確報
 (2) 工業用ストレート・アスファルト、燃焼用アスファルト、ブローンアスファルトは日本アスファルト協会調べ。
 (3) 道路用ストレート・アスファルト=内需量合計ー(ブローンアスファルト+燃焼用アスファルト+工業用ストレート・アスファルト)
 (4) 四捨五入のため月報と一致しない場合がある。

主な石油アスファルト製造用原油の輸入状況

(単位: 1,000k1, %)

原油名 年 度	アラビアンヘビー		イラニアンヘビー		クウェート		カフジ		小計		総輸入量	
	数 量	構成比	数 量	構成比	数 量	構成比	数 量	構成比	数 量	構成比	数 量	構成比
56年	16,131	7.0	4,764	2.1	9,060	3.9	6,035	2.6	35,990	15.6	230,239	100.0
57年	16,429	7.7	8,259	3.8	3,115	1.4	7,893	3.7	35,696	16.6	214,685	100.0
58年	15,061	10.3	13,238	9.0	3,375	2.3	9,892	6.8	41,566	28.4	146,543	100.0
59年	11,761	7.8	8,866	5.2	2,728	1.8	10,210	6.8	32,465	21.6	150,606	100.0
60年	10,454	5.3	6,273	3.1	2,578	1.3	9,698	4.9	29,003	14.6	198,330	100.0
61年	7,174	3.7	7,506	3.9	5,979	3.1	8,482	4.4	29,141	15.0	194,515	100.0
62年	12,925	7.0	7,789	4.2	10,311	5.6	6,267	3.4	37,293	20.1	185,364	100.0
63年	9,130	4.7	6,095	3.1	8,124	4.2	6,374	3.3	29,723	15.3	193,850	100.0
元年	4,500	2.1	8,991	4.3	9,671	4.6	8,910	4.2	32,072	15.3	209,700	100.0
2年	6,378	2.8	8,921	3.9	7,492	3.3	7,386	3.2	30,177	13.2	228,760	100.0
3年	11,219	4.6	8,548	3.5	796	0.3	3,839	1.6	24,402	10.1	242,697	100.0
4年	7,124	2.8	9,127	3.6	8,568	3.4	7,168	2.9	31,987	12.7	251,233	100.0
5年	7,543	3.0	10,554	4.1	10,816	4.2	7,497	2.9	36,410	14.3	255,135	100.0
6年	6,707	2.5	12,681	4.7	10,325	3.8	7,496	2.8	37,209	13.7	270,813	100.0
56年度	17,571	7.6	7,329	3.2	7,451	3.2	5,685	2.5	38,036	16.5	230,231	100.0
57年度	14,888	7.2	8,849	4.3	1,865	0.9	8,126	3.9	33,728	16.3	207,395	100.0
58年度	15,071	7.1	13,057	6.1	3,498	1.6	11,378	5.3	43,004	20.2	212,844	100.0
59年度	13,447	6.3	6,422	3.0	5,130	2.4	10,385	4.9	35,384	16.6	212,911	100.0
60年度	6,790	3.4	6,232	3.2	3,330	1.7	8,409	4.3	24,761	12.6	197,261	100.0
61年度	6,422	3.4	7,636	4.1	5,990	3.2	8,952	4.8	29,000	15.5	187,516	100.0
62年度	13,793	7.3	7,311	3.9	11,758	6.3	4,577	2.4	37,439	19.9	187,886	100.0
63年度	7,619	3.8	6,406	3.2	7,126	3.6	8,259	4.1	29,410	14.7	199,756	100.0
元年度	4,736	2.2	9,143	4.3	10,318	4.9	7,966	3.8	32,163	15.3	210,900	100.0
2年度	8,209	3.4	9,787	4.1	4,522	1.9	6,417	2.7	28,935	12.1	238,480	100.0
3年度	10,877	4.6	8,756	3.7	2,095	0.9	5,033	2.1	26,761	11.2	238,646	100.0
4年度	6,534	2.6	8,411	3.3	10,004	3.9	7,551	3.0	32,500	12.7	255,667	100.0
5年度	7,715	3.0	11,740	4.6	10,930	4.3	7,116	2.8	37,501	14.6	256,444	100.0
6年度	6,015	2.2	12,773	4.7	10,218	3.7	7,654	2.8	36,660	13.4	273,651	100.0
6年1月	636	2.6	1,494	6.2	1,103	4.6	497	2.1	3,730	15.5	24,117	100.0
2月	581	2.6	852	3.8	935	4.2	673	3.0	3,041	13.6	22,403	100.0
3月	708	3.0	1,104	4.7	811	3.4	683	2.9	3,306	13.9	23,730	100.0
1~3月	1,925	2.7	3,450	4.9	2,849	4.1	1,853	2.6	10,077	14.3	70,250	100.0
4月	263	1.2	1,264	5.8	543	2.5	499	2.3	2,569	11.8	21,778	100.0
5月	563	2.7	653	3.2	929	4.5	480	2.3	2,625	12.8	20,549	100.0
6月	599	3.1	676	3.5	566	3.0	636	3.3	2,477	12.9	19,144	100.0
4~6月	1,425	2.3	2,593	4.2	2,038	3.3	1,615	2.6	7,671	12.5	61,471	100.0
7月	548	2.8	1,189	6.0	688	3.5	693	3.5	3,118	15.8	19,754	100.0
8月	812	3.4	890	3.7	740	3.1	800	3.3	3,242	13.4	24,147	100.0
9月	437	1.9	1,027	4.6	1,114	5.0	447	2.0	3,025	13.4	22,503	100.0
7~9月	1,797	2.7	3,106	4.7	2,542	3.8	1,940	2.9	9,385	14.1	66,404	100.0
10月	441	1.9	1,345	5.9	694	3.0	557	2.4	3,037	13.2	22,956	100.0
11月	702	2.9	950	3.9	1,272	5.2	718	3.0	3,642	15.0	24,274	100.0
12月	417	1.6	1,238	4.9	929	3.6	813	3.2	3,397	13.3	25,458	100.0
10~12月	1,560	2.1	3,533	4.9	2,895	4.0	2,088	2.9	10,076	13.9	72,688	100.0
7年1月	489	2.0	943	3.8	828	3.4	711	2.9	2,971	12.0	24,678	100.0
2月	324	1.4	1,100	4.8	1,117	4.9	530	2.3	3,071	13.5	22,722	100.0
3月	419	1.6	1,500	5.8	798	3.1	771	3.0	3,488	13.6	25,688	100.0
1~3月	1,232	1.7	3,543	4.8	2,743	3.8	2,012	2.8	9,530	13.0	73,088	100.0

〔注〕(1) 通産省エネルギー生産・需要統計月報 7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。

社団法人 日本アスファルト協会会員

社名	住所	電話
[メーカー]		
出光興産株式会社	(100) 千代田区丸の内3-1-1	03 (3213) 3134
エッソ石油株式会社	(107) 港区赤坂5-3-3	03 (3585) 9438
鹿島石油株式会社	(102) 千代田区紀尾井町3-6	03 (5276) 9556
キグナス石油株式会社	(104) 中央区八重洲2-8-1	03 (3276) 5325
キグナス石油精製株式会社	(210) 川崎市川崎区浮島町3-1	044 (288) 8445
九州石油株式会社	(100) 千代田区内幸町2-1-1	03 (5512) 8606
極東石油工業株式会社	(100) 千代田区大手町1-7-2	03 (3270) 0841
興亜石油株式会社	(100) 千代田区大手町2-6-2	03 (3241) 8631
コスモ石油株式会社	(105) 港区芝浦1-1-1	03 (3798) 3121
三共油化工業株式会社	(105) 港区新橋1-7-11	03 (5568) 6411
株式会社ジャパンエナジー	(105) 港区虎ノ門2-10-1	03 (5573) 6000
昭和シェル石油株式会社	(100) 千代田区霞が関3-2-5	03 (3503) 4076
昭和四日市石油株式会社	(510) 四日市市塩浜町1	0593 (45) 2111
西部石油株式会社	(100) 千代田区丸の内1-2-1	03 (3215) 3081
ゼネラル石油株式会社	(105) 港区西新橋2-8-6	03 (3595) 8410
東燃株式会社	(100) 千代田区一ツ橋1-1-1	03 (3286) 5111
東北石油株式会社	(985) 仙台市宮城野区港5-1-1	022 (363) 1122
日本石油株式会社	(105) 港区西新橋1-3-12	03 (3502) 1111
日本石油精製株式会社	(105) 港区西新橋1-3-12	03 (3502) 1111
富士興産株式会社	(100) 千代田区永田町2-4-3	03 (3580) 3571
富士石油株式会社	(100) 千代田区大手町1-2-3	03 (3211) 6531
三井石油株式会社	(101) 千代田区霞が関3-3-2	03 (5512) 3605
三菱石油株式会社	(108) 港区港南1-6-41	03 (3472) 7883
モービル石油株式会社	(100) 千代田区大手町1-7-2	03 (3244) 4691

[ディーラー]

● 北海道

コスモアスファルト(株) 札幌支店	(060) 札幌市中央区大通り西10-4	011 (281) 3906	コスモ
東光商事株式会社 札幌営業所	(060) 札幌市中央区南大通り西7-2	011 (241) 1561	三石
中西瀝青株式会社 札幌営業所	(060) 札幌市中央区北2条西2	011 (231) 2895	日石
株式会社南部商会 札幌営業所	(060) 札幌市中央区北2条西2-15	011 (231) 7587	日石
株式会社ロード資材	(060) 札幌市中央区北1条西10-1-11	011 (281) 3976	コスモ

社団法人 日本アスファルト協会会員

社名	住所	電話	
● 東北			
株式会社男鹿興業社	(010-05) 男鹿市船川港船川字埋立地1-18-2	0185 (23) 3293	J O M O
カメイ株式会社	(980) 仙台市青葉区国分町3-1-18	022 (264) 6111	日 石
コスモアスファルト(株)仙台支店	(980) 仙台市青葉区中央3-3-3	022 (266) 1101	コスモ
正興産業株式会社仙台営業所	(980) 仙台市青葉区国分町3-3-5	022 (263) 5951	三 石
竹中産業株式会社新潟営業所	(950) 新潟市東大通1-4-2	025 (246) 2770	昭和シェル
常磐商事株式会社仙台支店	(980) 仙台市青葉区錦町1-10-11	022 (224) 1151	三 石
中西瀝青株式会社仙台営業所	(980) 仙台市青葉区中央2-1-30	022 (223) 4866	日 石
株式会社南部商会仙台営業所	(980) 仙台市青葉区一番町1-1-31	022 (223) 1011	日 石
ミヤセキ株式会社	(980) 仙台市宮城野区榴岡2-3-12	022 (257) 1231	三 石
菱油販売株式会社仙台支店	(980) 仙台市青葉区国分町3-1-1	022 (225) 1491	三 石
● 関東			
朝日産業株式会社	(103) 中央区日本橋茅場町2-7-9	03 (3669) 7878	コスモ
アスファルト産業株式会社	(104) 中央区八丁堀4-11-2	03 (3553) 3001	昭和シェル
伊藤忠商事株式会社	(107) 港区北青山2-5-1	03 (3497) 6548	九 石
伊藤忠燃料株式会社	(107) 港区赤坂2-17-22	03 (3584) 8521	J O M O
梅本石油株式会社	(162) 新宿区揚場町2-24	03 (3269) 7541	コスモ
エムシー・アスファルト株式会社	(100) 千代田区内幸町1-3-3	03 (5251) 2060	三 石
株式会社木畑商会	(104) 中央区八丁堀4-2-2	03 (3552) 3191	J O M O
共立石油株式会社	(107) 港区元赤坂1-7-8	03 (3796) 6640	J O M O
株式会社ケイエム商運	(103) 中央区八重洲1-8-5	03 (3245) 1631	三 石
コスモアスファルト株式会社	(104) 中央区八丁堀3-3-5	03 (3551) 8011	コスモ
国光商事株式会社	(164) 中野区東中野1-7-1	03 (3363) 8231	出 光
株式会社澤田商行関東支店	(104) 中央区入船町1-7-2	03 (3551) 7131	コスモ
三徳商事株式会社東京支店	(101) 千代田区神田紺屋町11	03 (3254) 9291	昭和シェル
新日本商事株式会社	(170) 豊島区南大塚3-32-10	03 (5391) 4870	昭和シェル
住商石油アスファルト株式会社	(105) 港区浜松町2-3-31	03 (3578) 9521	出 光
竹中産業株式会社	(101) 千代田区鍛冶町1-5-5	03 (3251) 0185	昭和シェル
中央石油株式会社	(160) 新宿区新宿2-6-5	03 (3356) 8061	モービル
株式会社トーアス	(160) 新宿区西新宿2-7-1	03 (3342) 6391	J O M O
東京富士興産販売株式会社	(100) 千代田区永田町2-4-2	03 (3591) 3401	富士興産
東京レキセイ株式会社	(150) 渋谷区恵比寿西1-9-12	03 (3496) 8691	富士興産
東光商事株式会社	(104) 中央区京橋2-1-4	03 (3274) 2751	三 石
東新瀝青株式会社	(103) 中央区日本橋2-13-10	03 (3273) 3551	日 石
株式会社トーメン	(107) 港区赤坂2-14-27	03 (3588) 7955	昭和シェル
東洋国際石油株式会社	(104) 中央区八丁堀3-3-5	03 (3552) 8151	コスモ
東和産業株式会社	(174) 板橋区坂下3-29-11	03 (3968) 3101	三共油化
中西瀝青株式会社	(103) 中央区八重洲1-2-1	03 (3272) 3471	日 石
株式会社南部商会	(100) 千代田区丸の内3-4-2	03 (3213) 5871	日 石
日石丸紅株式会社	(105) 港区西新橋2-4-2	03 (5251) 0777	日 石
日東商事株式会社	(170) 豊島区巣鴨4-22-23	03 (3915) 7151	昭和シェル
日東石油株式会社	(104) 中央区八丁堀1-11-3	03 (3551) 6101	昭和シェル
パシフィック石油商事株式会社	(103) 中央区日本橋蛎殻町1-17-2	03 (3661) 4951	モービル

社団法人 日本アスファルト協会会員

社 名	住 所	電 話	
富士興産アスファルト株式会社	(100) 千代田区永田町2-4-2	03 (3580) 5211	富士興産
富士鉱油株式会社	(105) 港区新橋4-26-5	03 (3432) 2891	コスモ
富士油業株式会社東京支店	(106) 港区西麻布1-8-7	03 (3478) 3501	富士興産
丸紅エネルギー株式会社	(101) 千代田区神田駿河台2-2	03 (3293) 4171	モービル
ユニ石油株式会社	(107) 港区元赤坂1-7-8	03 (3796) 6616	昭和シェル
菱東商事株式会社	(105) 港区新橋2-19-10	03 (3573) 3880	三石
菱油販売株式会社	(160) 新宿区西新宿1-20-2	03 (3345) 8205	三石
瀧青販売株式会社	(103) 中央区日本橋2-16-3	03 (3271) 7691	出光
● 中部			
コスモアスファルト(株)名古屋支店	(460) 名古屋市中区錦2-14-21	052 (223) 0711	コスモ
株式会社澤田商行	(454) 名古屋市中川区富川町1-1	052 (353) 5111	コスモ
三徳商事株式会社静岡支店	(420) 静岡市伝馬町5-3	054 (255) 2588	昭和シェル
三徳商事株式会社名古屋支店	(453) 名古屋市中村区則武1-10-6	052 (452) 2781	昭和シェル
株式会社三油商会	(460) 名古屋市中区丸の内2-1-5	052 (231) 7721	コスモ
静岡鉱油株式会社	(424) 清水市袖師町1575	0543 (66) 1195	モービル
竹中産業株式会社福井営業所	(910) 福井市大手2-4-26	0766 (22) 1565	昭和シェル
株式会社田中石油店	(910) 福井市毛矢2-9-1	0776 (35) 1721	昭和シェル
富安産業株式会社	(939) 富山市若竹町2-121	0764 (29) 2298	昭和シェル
中西瀧青株式会社名古屋営業所	(460) 名古屋市中区錦町1-20-6	052 (211) 5011	日石
松村物産株式会社	(920) 金沢市広岡2-1-27	0762 (21) 6121	三石
丸福石油産業株式会社	(933) 高崎市美幸町2-1-28	0766 (22) 2860	昭和シェル
● 近畿			
赤馬アスファルト工業株式会社	(531) 大阪市北区中津3-10-4	06 (374) 2271	モービル
飯野産業株式会社神戸営業所	(650) 神戸市中央区海岸通り8	078 (333) 2810	JOMO
大阪アスファルト株式会社	(531) 大阪市北区中津1-11-11	06 (372) 0031	出光
木曾通産株式会社大阪支店	(530) 大阪市北区西天満3-4-5	06 (364) 7212	コスモ
共和産業株式会社	(700) 岡山市富田町2-10-4	0862 (33) 1500	JOMO
コスモアスファルト(株)大阪支店	(550) 大阪市西区西本町2-5-28	06 (538) 2731	コスモ
コスモアスファルト(株)広島支店	(730) 広島市中区銀山町3-1	0822 (44) 6262	コスモ
三徳商事株式会社	(532) 大阪市淀川区新高4-1-3	06 (394) 1551	昭和シェル
昭和瀧青工業株式会社	(670) 姫路市北条口4-26	0792 (26) 2611	JOMO
信和興業株式会社	(700) 岡山市西古松363-4	0862 (41) 3691	三石
スーパーストロングインターナショナル(株)	(532) 大阪市淀川区西中島2-11-30	06 (303) 5510	昭和シェル
正興産業株式会社	(650) 神戸市中央区海岸通り6	078 (322) 3301	三石
中国富士アスファルト株式会社	(711) 倉敷市児島味野浜の宮4051-12	0864 (73) 0350	富士興産
千代田瀧青株式会社	(530) 大阪市北区東天満2-10-17	06 (358) 5531	三石
ド一口商事株式会社	(542) 大阪市中央区東心斎橋筋1-3-11	06 (252) 5856	富士興産
中西瀧青株式会社大阪営業所	(530) 大阪市北区西天満3-11-17	06 (316) 0312	日石
株式会社ナカムラ	(670) 姫路市国府寺町72	0792 (85) 2551	JOMO
富士アスファルト販売株式会社	(550) 大阪市西区京町堀2-3-19	06 (441) 5195	富士興産
富士商株式会社	(756) 小野田市稻荷町6539	0836 (83) 3210	昭和シェル
平和石油株式会社	(530) 大阪市北区中之島3-6-32	06 (443) 2771	昭和シェル
株式会社松宮物産	(522) 彦根市幸町32	0749 (23) 1608	昭和シェル

社団法人 日本アスファルト協会会員

社名	住所	電話	
丸和鉱油株式会社	(532) 大阪市淀川区塚本2-14-17	06 (301) 8073	コスモ
横田瀝青興業株式会社	(672) 姫路市飾磨区南細江995	0792 (33) 0555	JOMO
株式会社菱芳礦産	(672-11) 姫路市広畠区西夢前台7-140	0792 (39) 1344	JOMO
● 四国・九州			
伊藤忠燃料株式会社九州支店	(812) 福岡市博多区博多駅前3-2-8	092 (471) 3851	JOMO
今別府産業株式会社	(890) 鹿児島市新栄町15-7	0992 (56) 4111	JOMO
大分九石販売株式会社	(870) 大分市中央町1-1-3	0975 (34) 0468	九石
株式会社カンド	(892) 鹿児島市住吉町1-3	0992 (24) 5111	昭和シェル
株式会社九菱	(805) 北九州市八幡東区山王1-17-11	093 (661) 4868	三石
コスモアスファルト(株)九州支店	(810) 福岡市中央区大名2-4-30	092 (771) 7436	コスモ
三協商事株式会社	(770) 徳島市万代町5-8	0886 (53) 5131	富士興産
サンヨウ株式会社	(815) 福岡市南区玉川町4-30	092 (541) 7615	富士興産
中西瀝青株式会社福岡営業所	(810) 福岡市中央区天神4-1-18	092 (771) 6881	日石
株式会社南部商会福岡営業所	(810) 福岡市中央区天神3-4-8	092 (721) 4838	日石
西岡商事株式会社	(764) 仲多度郡多度津町家中3-1	0877 (33) 1001	三石
烟礦油株式会社	(804) 北九州市戸畠区牧山新町1-40	093 (871) 3625	コスモ
平和石油株式会社高松支店	(760) 高松市番町5-6-26	0878 (31) 7255	昭和シェル
丸菱株式会社	(812) 福岡市博多区博多駅前4-3-22	092 (431) 7561	昭和シェル

[賛助会員]

岡谷鋼機株式会社東京本店 (100) 千代田区丸の内1-5-1 03 (5323) 3202

編集顧問	編集委員	
多田宏行	委員長：河野 宏	副委員長：真柴 和昌
藤井治芳	阿部忠行 菅野善朗	田井文夫 姫野賢治
松野三郎	荒井孝雄 栗谷川裕造	野村敏明 室賀五郎
	安崎 裕 小島逸平	長谷川 宏 森永教夫
	板垣和芳 七五三野茂	半野久光

アスファルト 第184号

平成7年7月発行

社団法人 日本アスファルト協会

〒105 東京都港区虎ノ門2-6-7 TEL 03-3502-3956

本誌広告一手取扱 株式会社 廣業社

〒104 東京都中央区銀座8-2-9 TEL 03-3571-0997 (代)

印刷所 アサヒビジネス株式会社

〒107 東京都港区赤坂1-9-13 TEL 03-5563-0123 (代)

Vol.38 No.184 JULY 1995

Published by THE JAPAN ASPHALT ASSOCIATION