

アスファルト

第31巻 第159号 平成元年4月発行

159

特集・アスファルト防水

特集にあたって	1
防水の変遷	
～建築防水の歴史～	小池 迪夫 2
～土木防水について～	松本 孝之・八木 豊 4
防水工法概説	小池 迪夫 11
プローンアスファルトの需要と供給について	
(社)日本アスファルト協会	
調査委員会プローン部会	17
防水工事用アスファルトの品質について	鈴木 康弘 22
アスファルト防水の新しい動き	菊地 満 29

〈アスファルト舗装技術研究グループ・第1回報告〉

「第6回アスファルト舗装の構造設計に関する国際会議」

の論文抄録	36
-------	----

〈工事事務所長シリーズ・その36〉

青森に赴任して7ヶ月	村岡 憲司 69
------------	----------

〈用語の解説〉

防水層	小島 逸平 73
-----	----------

制振性(防音性)	高橋 正明 75
----------	----------

総目次 第31巻 第155～158号(昭和63年度)	76
----------------------------	----

〈統計資料〉石油アスファルト需給統計資料	78
----------------------	----

ASPHALT

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

特集にあたって

石油製品の多くのものが、原料の原油を分離しただけの留分や、それに含まれる不純物を除去したものから製造されているのに対して、ブローンアスファルトはその製造過程において化学反応を行わせて原料にない性能を付与させて製造されている、数少ない製品の1つである。

そして石油製品の多くのものが、短時間にその使命を終えているのに対して、ブローンアスファルトは防水材、塗料、目地板、制震材、電気絶縁材などとして色々な構造物の1部を構成し、ほとんどその構造物の寿命まで長期間縁の下の力持ちとして働いている。

ブローンアスファルトの用途は上に述べたように多岐にわたっているが、その中で最も高い比率を占めているのが建築物などの防水に用いられているものである。

アスファルト防水には長い歴史があり、これまでに高い信頼性を得ている。そしてその施工範囲も建築物の防水から、地下構造物、ダム、池、沈埋トンネル、高架道路や橋梁の鋼床版、連続地中壁などの防水と、土木技術の進歩と共に広がって、それに伴なってブローンアスファルトの需要も順調に伸び昭和54年度には343千トンに達した。

従来ブローンアスファルトの需要は建築物の着工床面積と相関があったが、近年では着工床面積の伸びにもかかわらず、低迷し年間250千トン前後で推移している。

これはアスファルト防水（熱工法）が信頼性は高いものの、材料の重量が大きい、煙や臭いが出るなどのため、都市部での補修工事に使いにくいなどの問題が出ているのに対して、合成ゴムや樹脂を用いるシート防水や塗膜防水が近年の材料・工法の開発改良によって技術水準を高めて来たこと、またステンレスやチタンなどの新しい金属屋根材が優れた耐久性を武器に登場して来たためと考えられる。

一方アスファルト防水も防水材に対する要求性能の高度化、省資源、省力化、環境汚染防止など新しいニーズに対応するため、アスファルトに合成ゴムや樹脂を配合した改質アスファルトを用いて性能を高めたり、常温工法、トーチ工法の開発を行うなど原材料や、工法の多様化を進めて来ている。

久しぶりにアスファルト防水にテーマを絞り、その変遷、現状、問題点を認識し将来の方向について考えてみたい。

(K. S)

防 水 の 変 遷

～建築防水の歴史～

小 池 迪 夫*

1. 明治年間／アスファルト防水の登場

1981 (M25) 年の建築雑誌（日本建築学会の前身、造家学会の機関誌）に、コンドル設計の海軍省の記録がある。屋根はスレート平屋根は鉛板で葺き、地中の煉瓦壁の外側はアスファルト塗り、とある (1893 (M27) 年の建築雑誌にはさらに詳しく、煉瓦壁外側へ石版一層アスファルトにて伏せ込みり、とある)。当時のアスファルトには、ハード・アスファルトと称するロック・アスファルトをベースとしたものと、ソフト・アスファルトと呼ばれる微細な鉱物質を含むアスファルトが使用されており、海軍省に使われたのは後者であろう。

しかし筆者は、アスファルトフェルトと溶融アスファルトによる工法（メンブレン工法）の登場をもって防水工法の発祥と位置付けている。防水技術が一般化する発端としての意義を重視するからだ。

日本で最初にアスファルト防水が施工されたのは、1905年 (M38) 8月竣工の大坂瓦斯舎の事務所の屋根（ほんの一部で、下地は木造）といわれている。しかしその10年前の1985 (M28) 年の建築雑誌に、目地だけを防水処理した杉板の陸屋根の補修に、アスファルトフェルトと溶融アスファルトによる3層の積層工法が行われていたという記事がある。補修とはいえ既に積層工法が試みられていたことには驚かされる。

最初の鉄筋コンクリート造建築は1905 (M38) 年に造られたと言われるが、コンクリート構造という鉄物構造から必然的に採用されるフラットルーフと、それを可能にするアスファルト防水工法は密接に結び付いて、次第に直体を基調とした新しい建築様式を形成していく。その過渡的なものとして、東京・銀座の伊東屋 (1909 (M42) 年10月竣工) の屋根は亜鉛鉄板瓦棒葺き陸屋根、横浜・山下町の三井物産横浜支店 (1911 (M44) 年8月竣工) の屋根はアスファルトコンクリート砂利置きであったという。

2. 大正年間／フラットルーフ貸ビルの登場

大正に入ると、東京・丸ノ内を中心に貸ビルが建設されるようになる。そのほとんどがフラットルーフで建設され、アメリカやイギリスからの輸入品によるアスファルト防水が採用された。

1913 (T 2) 年にアメリカから機械を輸入してアスファルトルーフィングの製造会社が創業したが、第一次世界大戦 (1914 (T 3) ~1918 (T 7)) の終結後の不況に遭遇することになる。

大正年間はアスファルト防水に大きな変化はなかったが、日本の大手のアスファルトルーフィング・メーカーはこの時代に創業した。

3. 昭和年間(1)／第二次世界大戦終結まで

この時代当初の世界的な金融恐慌に端を発し、日本は戦争に明け暮れることになる。アスファルトルーフィングは、鉄板屋根に代わる戦略物資代替品として重用されたが、防水工法に大きな変化はなかったといえる。

4. 昭和年間(2)／第二次世界大戦以後

昭和25年ごろから日本経済が復興の兆をみせ、合成高分子材料が民生用として防水にも使用されるようになる。また亀裂が発生しやすい軽量な屋根下地や、プレキャスト部材の屋根スラブが用いられるようになり、メンブレン防水層は破断して、防水技術はその根本から見直しを迫られる事態となった。

4-1 塗膜防水の登場

アスファルト防水が、アスファルトの現場溶融と高温材料による張付けの繰返しという作業のため、単に塗るだけの防水は一種の憧れであり夢であった。

そのような期待に媚びるかのように、1950年代の中頃酢酸ビニル樹脂のエマルションを塗布する工法が登場した。しかし材料性能が不十分ですぐに欠陥を生じ、

*こいけ みちお 東京工業大学工業材料研究所教授

アクリル樹脂との共重合（或いは単なる混合？）で改善したとして延命を図ったが、それも短時間に駄目になってしまった。

この流れに乗ってタールエポキシ樹脂やアメリカから輸入されたネオプレンゴムの材料等が使われたが、不十分でいずれも間もなく消えた。しかしその後登場した国産のネオプレンゴムの材料は、用途を限って現在でも使われている。

塗膜防水の本命といえる2成分形ウレタンゴム系の材料は、1960年代の中頃に国産技術で登場した。しかし開拓者としての名誉は、その直前に登場した2成分形エポキシウレタンに譲るべきであろう。ウレタンにも多少の経緯はあったが、それまでの不評を挽回するヒットとなり、現在に至っている。

ゴムアスファルトのエマルション（ゴムラテックスとアスファルトエマルションの混合物）を凝結材と一緒に吹付ける工法は、1969年に西ドイツから技術導入され、国産亞流も登場して現在に至っている。また、アクリルゴム系のエマルションは1970年代の前半に登場し、最初屋根に用いられていたが、やがて外壁防水へ用途を拡張した。

最近補修を対象として、軟質なポリエステル樹脂単独、またはガラス繊維で補強した防水層も使用され始めた。

4-2 シート防水の登場

日本のシート防水は、1961（S36）年に西ドイツからポリイソブチレン・シートと工法が技術導入された

ことに始まる。その数年前に床用PVCシートの応用として、床や屋根の防水に試用された歴史はあるが、工法の登場としては技術導入を契機とした。

その翌年加硫ブチルゴム・シートが上市され、1965（S40）年からEPDMのブレンドにより耐オゾン性が改善され、シート防水の主流として今日に至っている。その頃から地下防水用のPVCシートも登場し、やがて屋根用のシートも上市され、工法上の工夫が加えられて、シート防水も大いに多様化した。

このような新材料に刺激されて、一時厳しい危機感に襲われた在来のアスファルト防水も、合成繊維をベースとしたルーフィングの開発や、ゴムで改質されたアスファルトの使用により、大いに進歩して信頼感を回復した。

むすび

防水の技術は水道の建設等太古からあったと思う。しかし近代建築の中で重要な役割を果たし始めたのは、明治時代の終わり近くなつてからである。当時鉄筋コンクリートという絶好の対象を得て発展したが、第二次大戦後、経験のない新材料の参入と防水下地の変化に伴つて一時大混乱に陥った。

その苦難から脱出するための原動力となったのは、応力解析を中心とした防水工学の萌芽と性能評価の重要性の認識といえる。防水という建築にとって根源的な性能を確実に満足させるためには、解決されなければならない課題はまだまだ多い。

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・実費価格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

防 水 の 変 遷

～土木防水について～

松 本 孝 之*・八 木 豊**

1. はじめに

土木分野における防水は、古くは、ダム・貯水池のような灌漑用などの水利用に始まり、近代の土木技術の飛躍的な発達とともに構造物の巨大化、複雑化、および人口の大都市集中とともに地下空間の利用などにより、多様化し、その重要性も高まって来た。

特に、我が国のように多雨多湿の気象条件や変化に富んだ地質条件では、土木分野においても防水問題は重要であり、これを無視することはできない。

本稿では、土木分野における防水工法の変遷を述べるとともに、現在の同分野における防水工法の現状、および今後の課題等について述べる。

2. 土木防水の概要

防水は、人類の生活の変遷の歴史とともに変化してきたものであり、非常に古いものである。建築の分野では、防水の歴史は人類の住居（特に屋根の歴史）と密接な関係があり、住居形成とともに発展してきた。一方、土木分野においては、人類が農耕生活を営むよ

うになり、灌漑などのために雨水を貯水する目的で、ダム・貯水池の建設が必要となり、水を溜める技術として防水が発展してきたものである。つまり、土木防水は、農業技術の発達とともに農業土木の分野で発展してきたものである。

このように、建築の分野では、外部からの雨水の侵入を防ぐものとして防水が発達し、土木の分野では、内部に貯えた水の漏れを防ぐものとして防水が発達したものである。しかしながら、近代に入り、コンクリートの出現を見るに至り、土木構造物の巨大化および多様化が進み、トンネルや地下構造物のように外部からの水の侵入を防止しなければならない土木構造物も急増している。

現在、防水を必要とする土木構造物は、図-1のように多種にわたり、土木分野における防水の重要度は極めて高いものとなっている。

3. 防水材の変遷と現状

土木分野における防水材としては、(1)アスファルト、

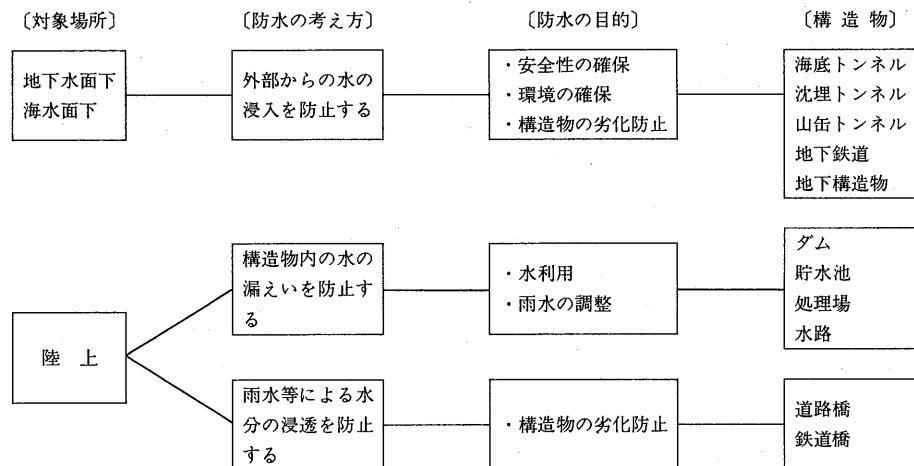


図-1 防水を必要とする土木構造物

*まつもと たかゆき 日本舗道(株)技術部技術二課長

**やぎ ゆたか 日本舗道(株)技術部技術二課

(2)土(粘土), (3)コンクリート, (4)その他の防水材料(高分子系など)があるが、それぞれの材料の変遷およびその特性は、次の通りである。

3-1 アスファルト

アスファルトは、防水材料として最も古くから使用されているものである。古くは、紀元前3800年頃古代メソポタミア文明で、天然アスファルトをモルタル状にして防水材や石材等の目地として使用されたという。また、エジプトやインダス文明においても防水材として使用された形跡を残しているのは有名である。

土木分野での使用は、紀元前600年頃バビロニア(ネブカドネザル2世時代)に天然アスファルトによる舗装道路が建設されており、今日のアスファルト舗装の基礎となっている¹⁾。

19世紀に入り、石油アスファルトの精製が開始され、道路舗装に使われるようになると、アスファルトは、そのすぐれた特性(①安価で、②柔軟性を有し③他の材料との接着性が良いなど)が見直され、防水材料の主流として現在までその地位を確保している。

しかしながら、アスファルト防水は、

- ① 高熱処理を必要とするため作業に危険がともなう。
- ② 熱溶解することにより煙や臭いをともなうことがある。

③ 防水層として薄いため衝撃や大きな圧力を受ける箇所などでは保護層を必要とする。

などの欠点がある。近年、アスファルトのすぐれた特性をそのまま生がし、このような欠点を補った防水材の開発も多く多様化が進んでいる。

3-2 土(粘土)

土木材料としての土は、入手が容易であり、粘土のように粒度が細かくなれば、かなりの不透水性($1 \times 10^{-6} \text{ cm/sec}$ 以下)²⁾が得られ、防水材としても使用可能である。

土(主に粘土)による土木分野における防水は、ダムや貯水池などの遮水用の堤防として、古代から現在まで数千年の間多くの使用が見られている。特に、人工セメント(ポルトランドセメント)の開発された19世紀以前のダムや貯水池は、ほとんどがこの土による防水が採用されていた。

しかしながら、土は、その安定性から、かなりゆるい傾斜を必要とするため、大量の材料を要する。また、土は、水の流れに対する抵抗力に乏しく、かつ他の材料との付着も悪いため、防水材としての適用範囲は狭いといえる。

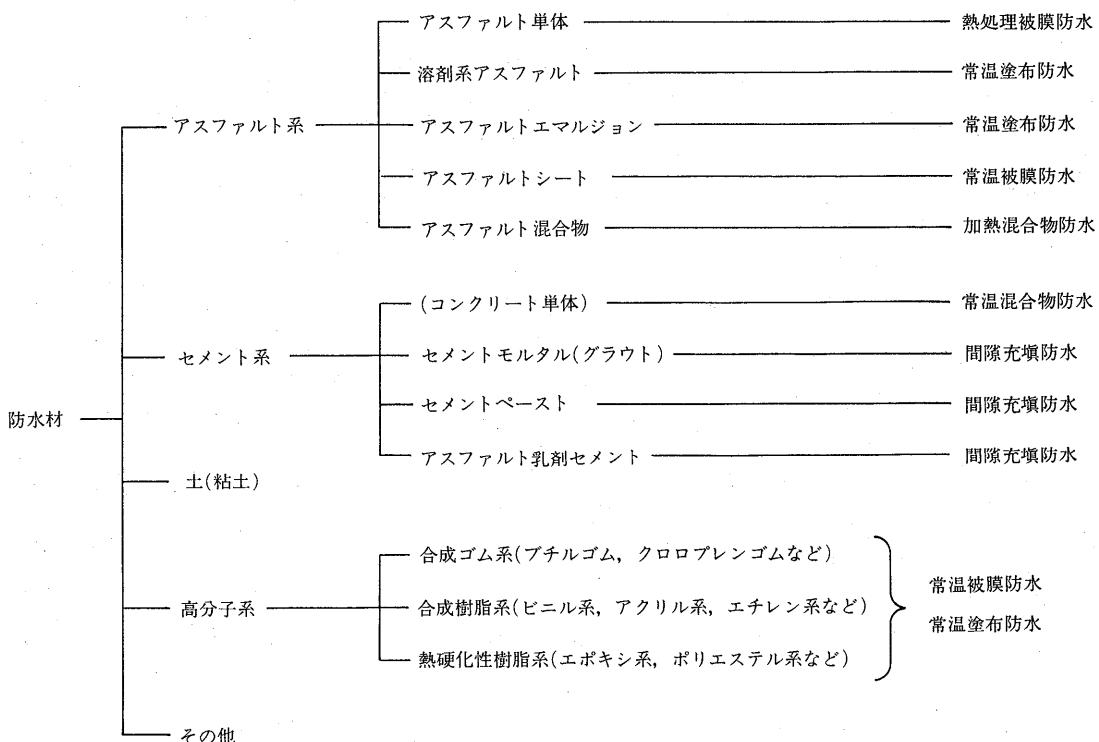


図-2 土木防水材の分類¹⁾

3-3 コンクリート

セメントの歴史は大変古く、紀元前5000年以前といわれている。現存する最も古いコンクリート構造物の一つとしては、紀元前3000年のエジプトのピラミッドが有名である。これは、焼石膏と石灰を混合した一種のコンクリート構造物であり、ギリシャやローマ時代の道路や建造物にも多く使用されていたことが明らかになっている³⁾。このようなコンクリートは、均一性に欠け、水密性は得られず防水材としての使用には至っていなかったようである。

近代に入り、イギリスの煉瓦職人アスピジン(Aspdin)が人工的なセメント(今日のポルトランドセメントの原点)の開発に成功(1824)し、セメントの工業化が達成された。その後、フランス人の庭師モニエ(Monier)によって鉄筋コンクリート橋が初めて架設され(1867)経済の発展とともに、土木分野の急速な発展をもたらし、わずか100年余りで、今日のような様々な土木構造物の建設を可能にした³⁾。

本来良質のコンクリートは、水密性に富み、水の浸透を防ぐものであり、ダムのようにコンクリートの欠点の出にくい構造物には、防水材としてそのまま使用されている。しかしながら、多くのコンクリート構造物は、一次的には防水材として使用されながら、その欠点から、二次的な防水処理が必要である場合が多い。

表-1 鉄筋コンクリート構造物の利点・欠点³⁾

利 点	欠 点
1. 材料の入手が容易で運搬、仮設設備も大きなものは必要としない。	1. 引張応力、乾燥収縮、温度応力などにより、ひびわれが生じやすい。
2. 形状・寸法の制限がなく任意の形状に作成できる。	2. 打継面に欠陥が生じやすい。
3. 耐久性・耐火性に富む。	3. 完成後の内部欠陥の検査が困難であり、改造も困難である。

また、同じセメント系の二次的な防水処理材料として、近年特に多く用いられているものに、セメントモルタルまたはセメントミルクによる防水がある。トンネル覆工裏への注入やダム本体下部岩盤への注入など、これまでの防水では困難とされていた箇所の防水が可能となり、より確実な防水としてその地位を確立しつつある。

3-4 その他の防水材料

土木防水は、コンクリート構造物の発展にともない、

近年大きく変化しつつある。これまでの防水材の主流であるアスファルト防水は、高温で溶解して使用されるため、作業に危険がともない、煙や臭いを発生させることが多い。これに対し、最近シート状に加工した材料や常温で塗布する材料の使用が多く見られるようになってきた。このような新しい防水材料は、石油化学の発達による高分子系材料の開発とともに、今日広く適用され始めている。

4. 土木防水の変遷と現状

防水を必要とする土木構造物は、図-1に示したように大別される。それぞれの構造物における防水の変遷および現状を述べる。

4-1 トンネル・地下構造物

古代から、地下空間を利用することは多く行なわれていたが、覆工技術や防水技術は不十分であり、地下水面上の強固な地盤をくり抜くのみの小規模のものであった。

近代に入り、他のコンクリート構造物と同様に、経済の急激な発展にともない、トンネルの建設は急増した。鉄道や道路では、高速で快適な交通を拡充するために、山岳・海底トンネルなどが建設され、都市部においては、地下鉄道や地下道路などが多く建設された。特に、最近のトンネルは、土被りも大きく、地下水面上(または、海面下)に建設されることが多い。周囲の岩石や土砂などによる圧力に長期にわたって耐える覆工を築造することはもちろんのこと、周囲からの湧水による悪影響をさけなければならない。トンネル内への湧水や寒冷地におけるつららは、鉄道レールの腐食、電気設備への悪影響、および覆工コンクリート自体の品質の低下など維持管理面で大きな障害となるばかりでなく、通行車輛の安全性を損なう。このような意味で、トンネルにおける防水は、保安を確保するために最も重要なものであり、欠くことのできないものである。

(1) 山岳トンネル

山岳トンネルの漏水防止対策は、図-3のように分

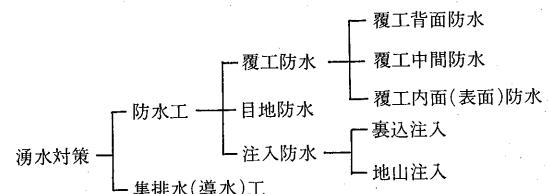


図-3 山岳トンネルの湧水対策⁹⁾

類される。特に、重要な山岳トンネルには、目地防水ばかりでなく、覆工コンクリートの品質低下を防ぐ目的で、覆工背面の全面にわたるシート防水が多く採用されている。

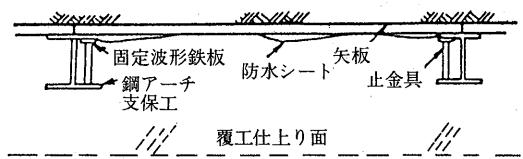


図-4 覆工背面の防水の例⁴⁾

(2) 開削トンネル

開削トンネルは、比較的土被りの浅い位置に施工されるもので、地下鉄道や共同溝などの都市型トンネルとして普及してきた。

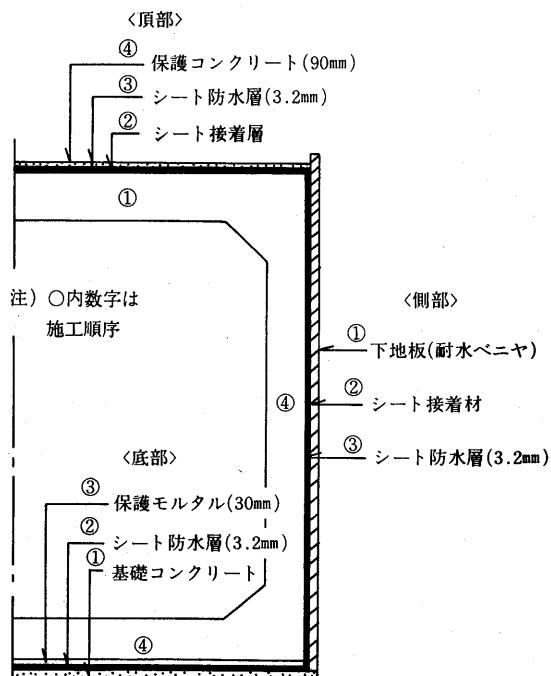


図-5 開削トンネル防水例

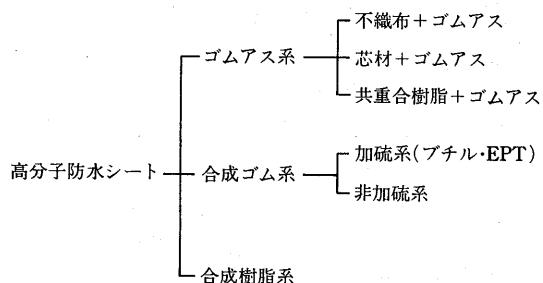


図-6 高分子防水シートの分類⁸⁾

開削トンネルの防水は、地下水の侵入、およびこれによるコンクリート構造物の品質低下を防止する目的で、構造物周囲全面にシート防水（高分子防水シート）が行なわれることが多い。

(3) シールドトンネル

シールド工法は、1804年ロンドンで初めて考案された工法であり、比較的古い工法である⁴⁾。我が国においても、都市部の比較的深いトンネルや、下水道等の水路トンネルなどに多く使用されている。

シールドトンネルの防水は、セグメント継手面の防水（コーリング）、および裏込注入による沈下変形防止を兼ねた防水が主である。本工法の場合、セグメント継手が変形しやすく、また湿潤状態にある場合が多いため、防水材は、水密性はもとより、追従性や接着性（湿潤面）が要求される。このため、防水材としては、高分子系（特にエポキシ系）が多く使用されている。

(4) 沈埋トンネル

沈埋トンネルは、1893～4年にボストン港内の水路横断トンネルとして始めて施工され、アメリカを中心に発展してきた。我が国では、1944年に安治川河底トンネルが最初で、その後、東京港トンネル（1976年）などの世界的にも最大規模級の建設を見ている⁴⁾。

沈埋トンネルの防水は、トンネルエレメントの接合部の処理が主であり、ゴムガスケットなどにより2～3重の防水が行われる。また、周囲が常に海水に接していることによるコンクリートの品質低下防止の目的で、鋼版によりコンクリート全面を保護するなどが試みられている。

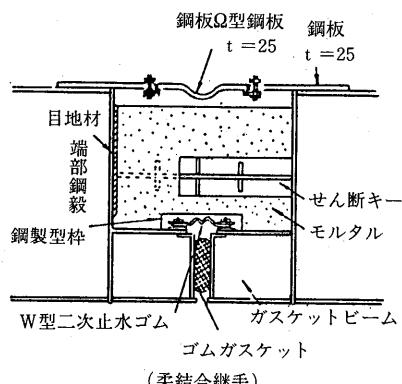


図-7 沈埋トンネルの継手例⁷⁾

4-2 ダム・貯水池

ダムの起源は大変古く、紀元前4000年頃エジプトに

建設された石造ダム ($H=15m$) は有名であり、それ以前にも小規模のアースダムの築造はあったとされている⁵⁾。我が国においても約2000年前より築造されだし、750年に弘法大師が築造した満濃池(香川県, $H=20m$)などは、現在でも使用されている²⁾。ダム・貯水池の古くは、灌漑用のものであり、そのほとんどが、均一フィルタイプである。

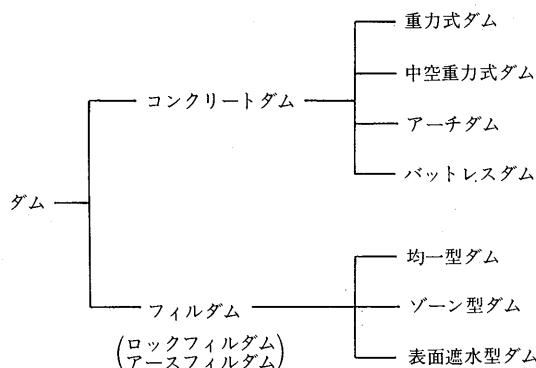


図-8 ダムの分類⁵⁾

近代のダムの発展は、19世紀末にコンクリートの流し込み技術や振動締固め技術が開発されてからである。また、フィルタイプダムにおいても、内部遮水壁型などのゾーン型ダムの出現は比較的新しく、19世紀末である。

一方、農業用の貯水池においては、最近、維持管理の容易な表面遮水型の防水が主流となりつつある。その材料を、次に示す。

- ①セメントによる安定処理土
- ②アスファルト混合物
- ③シート系防水材
- ④セメントコンクリート

4-3 橋梁(床版)

古くから、人類の交通手段として橋梁は建設されてきたが、木材や石材による小規模のものであった。

近代に入り、19世紀中頃溶鋼法が発明され、それまでの鍛鉄から鋼の時代となって、鋼橋は飛躍的に発展し、溶接・継手技術の進歩とともに今日の長大橋の架設を可能にした。また、同時期にフランス人モニエによって鉄筋コンクリート橋が架設(1867年)され、今日の基礎を築いた。我が国においては、1897年(明30)のメラン式鉄筋コンクリートやアーチ橋の架設が最初である⁶⁾。

我が国の近代の橋梁において、その床版上に舗装が

行われたのは、戦後の頃(1949年)からである。当初は、床版防水(特に、鉄筋コンクリート床版)は施工されておらず、重要視されていなかった。しかしながら最近永久構造物と考えられていた橋梁床版の損傷が甚しく、補修が必要となるに至り、床版防水の重要性が再確認されてきた。

(1) 鉄筋コンクリート床版

鉄筋コンクリート床版上に防水層が採用されたのは、1955年(昭30)に架設された相模大橋で、この時、アスファルト被膜式防水(3層)が施工されたのが最初である⁶⁾。しかしながら、その後鉄筋コンクリート床版防水は、標準化されることなく、ほとんど施工されなかつた。このため、コンクリート床版に雨水などが侵入し、内部の鉄筋を腐食させ、床版の耐荷力が著しく低下し、補修が必要となるものが多くなってきた。



写真-1 アスファルト混合物による表面遮水型ダム

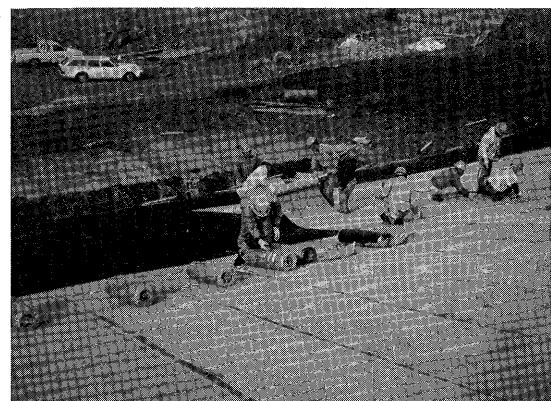


写真-2 シート(アスファルト)系防水による貯水池の施工

これを反映して、道路橋示方書(昭48)、鉄筋コンクリート床版設計施工指針(昭53)、および鉄筋コンクリート床版防水層設計・施工資料(昭62)などの技術基準が出され、最近では、防水層を設置するものが増加している。

現在の鉄筋コンクリート床版防水に用いられる防水層は、図-9に示す通りである。

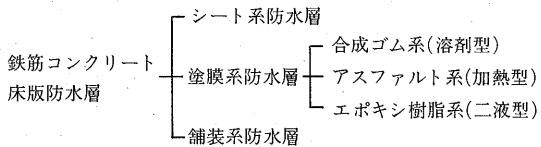


図-9 鉄筋コンクリート床版防水層の分類¹⁰⁾

(1) シート系防水層

シート系防水層は、アスファルト系(合成繊維不織布にゴムアスファルトを含浸させたもの)の防水シートがほとんどで、防水の確実性から使用実績も多い。

また、シート系防水層には、合成ゴム系のものもあるが、床版や舗装との接着力が弱く、現在ほとんど使用されていない。

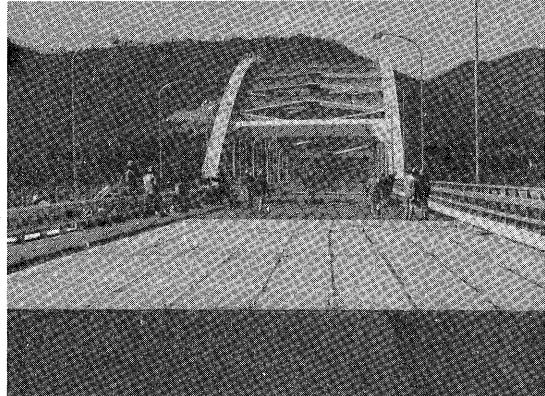


写真-3 アスファルト系シート($t=2.4\text{mm}$)床版防水

(2) 塗膜系防水層

塗膜系防水層は、合成ゴム系、アスファルト系、およびエポキシ系があるが、これらはすべて、数回に及ぶ薄層の重ね塗りにより、防水層を形成する。このため施工性に問題があり、その使用例は比較的少ない。

(3) 舗装系防水層

舗装系防水層は、1964年に西ドイツで使用されたのを最初に、ヨーロッパやアメリカで多く施工されている。我が国においては、1980年(昭55)に長崎

県の旭大橋で施工されたのが最初である。その後、徐々にではあるが使用実績は増加している。

舗装用防水材は、シートアスファルトと称し、1.5~2.5cmの薄層舗装で施工される。混合物は、水密性を得るために空隙を3%以下におさえるとともに、重交通による流動を防止するため、ストレートアスファルトに精製トリニダットアスファルトを添加した硬質バインダーを使用している。

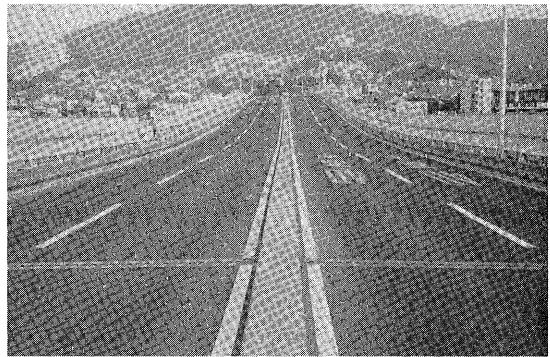


写真-4 シートアスファルト床版防水

(2) 鋼床版

鋼床版を有する橋梁は、1955年(昭30)頃から各地で建設されたが⁶⁾、鋼床版の場合その変形量が大きいことから、たわみ性、および接着性にすぐれた防水層が要求してきた。

当初は、アスファルト被膜防水、薄層のマスチックアスファルト、およびタールラバーなどによる防水層が設置されたが、その後基層として不透水で、鋼床版となじみのよいグースアスファルトが定着し、現在に至っている。今日、本州四国連絡橋などの長大橋はほとんどが鋼床版であり、その大部分がグースアスファルトによる防水層を設置している。

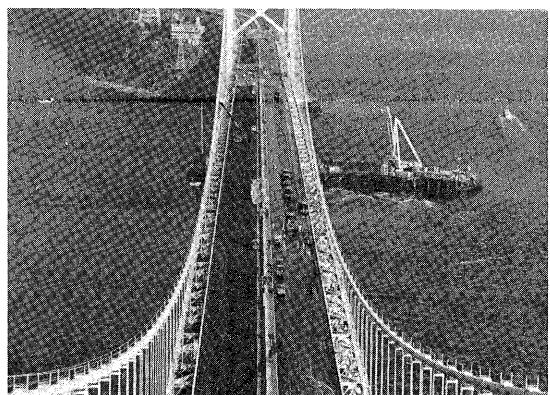


写真-5 グースアスファルトによる鋼床版防水

5. おわりに

土木分野における防水の歴史は、ダム・貯水池などのように古いものもあるが、比較的新しいものであり、これまで、建築防水からの転用や応用であった。土木構造物の場合、地下構造物のように絶えず大きな外力（土圧、水圧）を受けたり、海洋構造物のように絶えず水に接していることが多い。このため、土木構造物の防水の目的は多義にわたり、材料や工法も多様化している。

土木構造物（特に、コンクリート構造物）の防水は、従来アスファルトによる防水がほとんどであった。アスファルト防水は、その歴史は最も古く、これまで多くの実績を残している。これは、他の材料に比べ、アスファルトが柔軟性、安定性、および経済性の面で優れていたことを証明するものであり、現在もアスファルト防水が主流であることには間違いない。しかしながら、アスファルトは加熱溶融して用いられることが多く、作業時の安全性や臭いに問題がある。このた

め、最近では、石油化学の発達とともに、高分子系材料による常温型のものが多く使用されるようになってきた。しかし、これらの材料は、防水の歴史からみるとまだ新しく、施工方法や適用場所の選定を誤ると、その機能を発揮できず、信頼性に欠ける場合が少なくない。

また、最近の土木構造物の防水は、水中や目に見えない箇所に設置されることが多く、高度の防水技術を必要とするようになってきた。このような状況を反映して、コンクリート構造物そのものの水密性や耐久性を向上させる新しい工法の開発が活発となってきている。

土木分野における防水は、このように多くの課題を残しているが、様々な分野でその重要性が認められており、防水技術の進歩はめざましいものがある。今後、これらが整理され、より信頼度の高い防水技術が開発されることを期待するものである。

—参考文献—

- 1) 吉田迪雄, 土木における防水工法の展望, 土木防水の総点検, 新樹社, 1978.5
- 2) 土木学会, 土木工学ハンドブック下巻, 第42編 農業土木, 1974
- 3) 土木学会, 土木工学ハンドブック中巻, 第18編 鉄筋コンクリート構造, 1974
- 4) 土木学会, 土木工学ハンドブック中巻, 第22編 トンネル, 1974
- 5) 土木学会, 土木工学ハンドブック中巻, 第23編 ダム, 1974
- 6) (社)日本道路協会, 日本道路史, 5. 橋梁, 1977
- 7) 江尻隆雄, 沈埋トンネルの防水工法の問題と展望, 土木防水の総点検, 新樹社, 1978.5
- 8) 佐々木道雄, 都市鉄道トンネルにおける防水の現状と今後の方向, 土木防水の総点検, 新樹社, 1978.5
- 9) 立石俊一, 山岳トンネルの防水工法, 土木防水の総点検, 新樹社, 1978.5
- 10) (社)日本道路協会, 道路橋鉄筋コンクリート床版防水層設計・施工資料, 1987
- 11) 日本鋪道㈱, 日本鋪道50年史, 1985



防水工法概説

小池迪夫*

1. 概 説

従来防水性能は、他の建築工事と同様に単なる材料の性能若しくは施工の良否の問題として片付けられてきた。しかし建築の構造法が多様化し、単に経験を重んじるような安易な態度では、防水という目的を十分に達成することが出来ないことを認識する必要がある。

2. 防水システムに必要な性能

屋根、地下、貯水槽等、いずれにおいても、防水層は水の移動の防止を目的とする層であるが、防水層に必要な性能は決して単純ではない。以下、念頭におくべき性能を述べるが、現在までに行われた、或いは今後行われるであろう改良や工夫は、これ等の性能のひとつ若しくは複数に関わるものである。

(1) 防水層の水密性

材料の透水抵抗が十分であることを前提として、所定の面積を覆う防水層のあらゆる部分が、必要な防水性能を満足しなくてはならないことは当然である。特にシート状の材料を用いる工法……シート防水の場合には、シートとシートとの間の水密的な接合に注意しなければならない。

注意すべきことは、この水密性は、屋外で普通の技能工で達成されなくてはならないことである。自分が関係する工事だけは……といった、技能に対する過大な期待は禁物といえる。

(2) 耐機械的損傷性

水密性を満足する防水層が施工されたとする。しかし、完成した防水層を損傷する要因も多い、その代表は、防水下地の不連続部の動きである。即ち下地のクラックやジョイントの幅は、温度変化や振動によって拡大と縮小を繰返すが、その作用に対する抵抗性は、水密性と同様に防水層の基本的な必要性能と認識されている。

その外にも防水層に機械的な損傷を与える要因は多

い。例えば強風による露出防水層の吹き飛び、太陽熱により加熱されたコンクリート下地中の湿潤空気の膨張による防水層のふくれ、鳥（特に鳥）のついばみによる穴あき、また他種職人の不注意による傷付けも見逃すことができない。

(3) 耐化学的劣化性

防水層の材料のほとんどは有機材料であり、コンクリートやモルタル等の無機材料に比較して劣化しやすい。特に太陽熱と紫外線の強い作用を受ける露出防水層では、耐化学的劣化が問題となる。有害な化学成分としては、有機物の酸化劣化に関する空気中のO₂や、特に伸長状態にある加硫ゴムに亀裂を発生させるO₃を代表とするオキシダントがある。

建築に多量に使用されるセメントが雨水に解けて出るアルカリ性の水の作用も見逃せない。また防水材料はある程度耐酸性に優れるので酸性雨の影響は受けにくいが、防水層の固定に用いられる金属製のフースナーは、特に酸成分が蓄積した屋根の改修の場合には注意を要する。

(4) 社会に対する適応性

防水工事が順調に実施されるためには、社会に対する適応性が重要である。

その第一は労働力の確保だ。建築業界の需要を対応する防水施工能力を確保することは、現在非常に困難になってきている。それは熟練技能工が老齢化し若年労働力が参入しないことによる。このような状況で、施工技能の習得に長い年月を要しない簡単で能率のよい防水システムが要望されているのである。

第二は、防水施工における公害防止である。在来のアスファルト防水工法は、アスファルトを現場で溶融する。その臭いと煙は周辺の住民が反発する公害の要因になり、材料と施工法の両面から脱公害という社会の要請にこたえる必要が高まっている。

無煙溶融釜や溶融時に臭いも煙も出ないアスファル

*こいけ みちお 東京工業大学工業材料研究所教授

トが開発されているが、この改善は第一の課題である労働力の不足には対応していない。

在來のアスファルト防水熱工法に代わる、新しい材料による防水システムは、素材の用途開発を動機とするものであるが、同時に上記2点の社会的な問題の解決を目指すものもある。

3. 防水システムとその材料

防水層を構成する材料の形には定形材料（シート）と不定形材料（液状物）があり、その組み合わせによりいろいろな防水システムが成立する。構成された防水層の個性は、用いた材料の形に由来する面が強い。

防水層に必要な水密性は、不定形材料によって、より確実に満足され易い。それは不定形材料がどのような下地に対しても、それを覆う連続被膜を造り易いことによる。

逆に、不定形材料は現場の条件で硬化しなければならないという条件から、工場で成形するシートに比較すれば材料の選択範囲が狭く、硬化機構も制限される。換言すれば、不定形材料は工場でシート化することが可能であるが、その反対は必ずしも成り立たないため、原理的に機械的性質や耐候性はシートが優れるといえる。また層厚の均一性の点でもシートが優る。しかし、シート間の水密接合という重要な現場作業がある。これがシート防水で最も注意を要する点である。

以下、防水層の構成に着目して分類し、その特長や狙いを述べる。

A. アスファルト防水熱工法

このグループは、アスファルトの温度変化に伴う物理的状態変化を利用した工法で、溶融アスファルトを用いる工法は発祥当時からの工法である。

第二次大戦後新しい防水用材料が登場して工法が多様化したが、現在でもアスファルトは依然としてコストパフォーマンスに優れた材料といえる。航空機などの輸送機器と異なり、建築物は防水層の重量が $2\text{ kg}/\text{m}^2$ か $10\text{ kg}/\text{m}^2$ かといった程度の差はさほど問題にならない。従って、同じコストで性能を比較したとき、アスファルト防水の優位性は高い。

アスファルトの現場溶融が次第に制限される状況下で、トーチ工法等が注目されているが、シート間接合が信頼性の高い熱溶融方式であるためである。

A-1 アスファルト積層防水・密着式熱工法

通常3~4枚のアスファルトルーフィングを溶融状

態のアスファルト（JIS A 2207：石油アスファルト、の防水工事用アスファルト）で張り合わせて積層する工法。力学的性質や耐久性に劣る再生紙を用いたルーフィング（JIS A 6006：アスファルトルーフィング、6007：砂付ルーフィング）に代わって、合成繊維ベースのルーフィング（JIS A 6022：ストレッチルーフィング）が1~2枚用いられるようになって、性能が一段と改善された。しかし、密着工法の限界として、大きな下地ムーブメントに対する抵抗性は次のA-2やA-3に劣る。

またルーフィング用および張付け用として、ポリマーを混入して改質したアスファルトを用い、防水層の性能を改善するとともに、ルーフィングの枚数を減らして施工能率を向上することもある。

すべての防水工法に共通することであるが、防水が成功するかどうかの要因として、防水層の適切な選択・施工と同様に納まりの設計がある。

屋上で断熱材を組み入れ押さえを設ける納まりの例を図-1に示す。

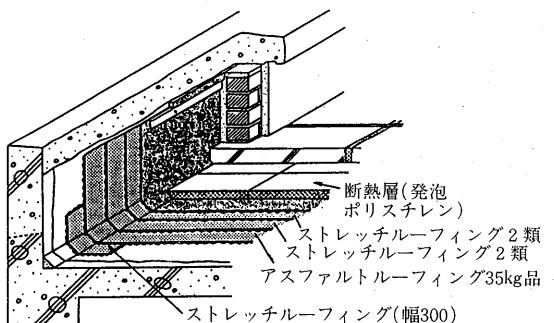


図-1 アスファルト積層防水・密着式熱工法の納まり例 (2) [断熱材との組合せ]

A-2 アスファルト積層防水・絶縁式熱工法

前のA-1と同様な施工方法によるが、第1層にあなあきアスファルトルーフィング（JIS A 6023）を用いて下地へ部分接着させ、耐疲労性を改善した防水層である。あなあきアスファルトルーフィングの2種（寸法安定性のよい無機質の原紙を用い、下面に砂粒を付けてあるので下地との間に隙間ができる）を用い、脱気装置を設置して脱気工法（防水層と下地の間の隙間を換気して、太陽熱による防水層のふくれを防止するとともに、水分を排出し下地の乾燥が期待される）を採用することができる。

あなあきアスファルトルーフィングを用いた防水層

で、外断熱とした納まりの例を図-2に示す。

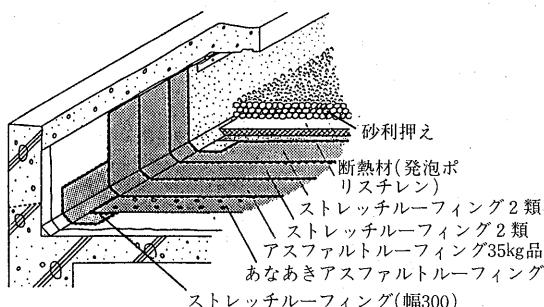


図-2 アスファルト積層防水・絶縁式熱工法の納まり例 [断熱材との組合せ]

A-3 アスファルト積層防水・粘着シート下張り熱工法

粘着剤付きのゴムシートを第1層に用いることにより、ゴムシートの優れた耐疲労性をアスファルト防水層に組込んだ工法といえる。ゴムシートと溶融アスファルトの接着性が重要である。

ポリスチレン等耐熱性に劣る断熱材の上にアスファルト防水熱工法を施工する場合に、断熱材の上に直接溶融アスファルトを流すことを避けるために、粘着剤付きのアスファルトルーフィングが用いられることがある。もちろん、粘着剤付きのゴムシートでもよい。

A-4 アスファルト積層防水・トーチ工法

ルーフィングの表面に厚いアスファルト層を付けておき、表面をトーチ状(たいまつ状)ガスバーナーで加熱して溶融しながら下地へ張り付け、通常2枚のルーフィングを積層する工法。SBSやAPPなどのポリマーで改質されたアスファルトのルーフィング(JIS A 6013として審議されている)が用いられる。

次のB-1およびB-2と同様に、アスファルトの現場溶融を避けることを意図した工法で、後で述べる単層防水層のトーチ工法(D-6)とともに、溶融アスファルトを用いる工法の長所を受継ぐ工法として期待されている。

B. アスファルト防水常温工法

B-1 アスファルト積層防水・粘着工法

片面または両面に粘着層を設けたアスファルトルーフィングを用いる工法で、粘着防止用の剥離紙を剥がしながら通常3枚を積層する。第1層に両面粘着剤付きルーフィングを用いれば密着工法、上面粘着剤付きルーフィングを接着剤で点々状に下地へ張り付けると

絶縁工法になる。細かい納まりにはトーチを併用すると確実性が増す。

B-2 アスファルト積層防水・接着工法

溶融アスファルトの代わりに接着剤を用いることでアスファルトの現場溶融を避ける工法。接着剤としては無収縮性の物が望ましく、2成分反応硬化形アスファルトウレタン系接着剤や、ゴムアスファルトのエマルジョンに水硬性セメントを混合して水を結晶水として固定する材料も利用できる。

C. 積層シート防水工法

C-1 ゴムシート積層防水・粘着工法

粘着剤付のゴムシート(材質はJIS A 6008:合成高分子ルーフィング、その他JIS外品)を2枚積層する工法で、単層シート防水層の欠点であるシート間接合の水密性と耐外傷性の改善を意図した工法。

C-2 ゴムシート積層防水・接着工法

C-1と同様の改善効果を意図した工法であるが、通常の接着剤ではシートを水密積層することが困難である。外断熱工法にした納まりを図-3に示す。

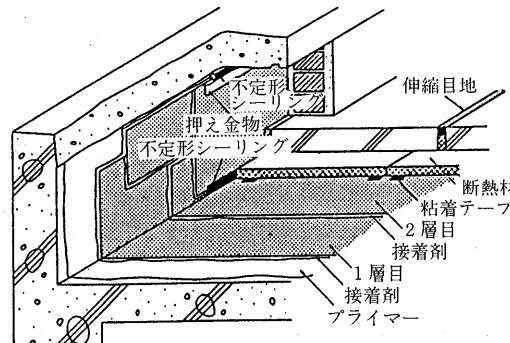


図-3 積層シート防水・接着工法の納まり例 [断熱材との組合せ]

D. 単層シート防水工法

単層シート防水工法は、シートを下地へ固定する方法とシート間の接合方法によって分類することができる。防水シートには合成高分子ルーフィング(JIS A 6008)、基布その他を積層した合成高分子ルーフィング(JIS A 6009)の外、現在審議中の改質アスファルトルーフィング(JIS A 6013)がある。

単層であるため、シート間の水密接合が極めて重要である。

D-1 単層シート防水・接着固定・接着接合工法

この工法は典型的なシート防水で、シートの下地へ

の固定もシート間の接合も現場施工の接着剤による工法である。シート間の水密性確保には補助的に不定形材料の使用が必要である。接着可能などのような防水シートでも使用できるが、主として熱溶接が出来ないゴム系のシートはこの工法で用いられる。

D-2 単層シート防水・粘着固定・粘着接合工法
粘着剤付のシートを用いる工法で、シートとしてはゴム系の外、改質アスファルト系も用いられる。

D-3 単層シート防水・接着固定・溶接接合工法
熱溶接が可能な可塑化塩化ビニル樹脂やハイパロン等の熱可塑性のシートを、下地へ現場施工の接着剤で接着し、シート間のラップを溶接する工法。

D-4 単層シート防水・機械固定・溶接接合工法
前のD-3と同様な工法であるが、シートを下地へ機械的に固定し、シート間のラップを熱風溶接する工法。下地へ機械的に固定するため、施工時の下地の乾燥状態に左右されない特長がある。図-4に示すように、下地のコーナー部などの要所に、シートと同質の材料を被覆した鋼材を機械的に固定し、その上に塩化ビニル樹脂系のシートを熱風溶接する。平坦部はシートの上から鋼製ディスクで固定し、その上からカバーシートを熱風溶接する。

D-5 単層シート防水・機械固定・溶剤接合工法
前のD-4と同様な工法であるが、図-5に示すように下地のコーナー部および平坦部の適当な要所に塩化ビニル樹脂を被覆したアルミニウム又はディスク鋼材を機械的に固定して、その上からシートを溶剤溶着（シートおよび被覆樹脂を溶解する溶剤を接合部へ塗布して、表面を解かして接合する方法）する。シートの下になるディスクに対しては、シートとディスクの間に溶剤を注射して溶剤溶着する。アルミニウム鋼材とシート又はシート間は溶剤を含浸した刷毛を接合面に挟むようにして溶剤を塗布して接合する。

D-6 単層シート防水・トーチ固定・トーチ接合工法

主として改質アスファルトルーフィングに適用するもので、トーチ状ガスバーナーでルーフィングの表面を加熱溶融しながら下地へ張り付け、シート間を接合する工法。

D-7 単層シート防水・部分トーチ固定・トーチ接合工法

トーチ施工で絶縁工法に施工する工法で、次のようないろいろな方法で施工される。

①トーチバーナーによりルーフィングの下面を（多少

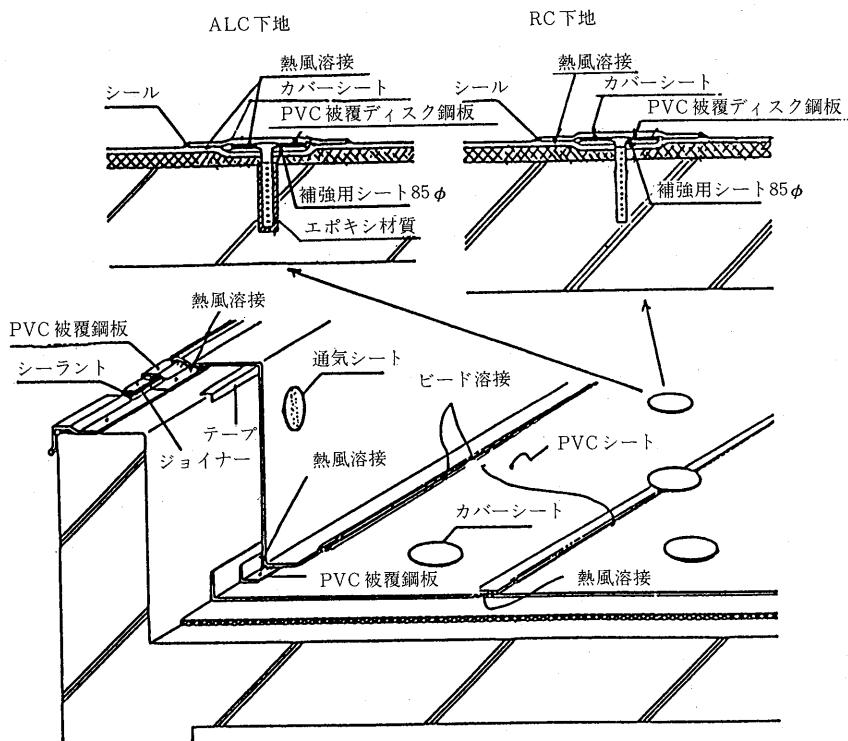
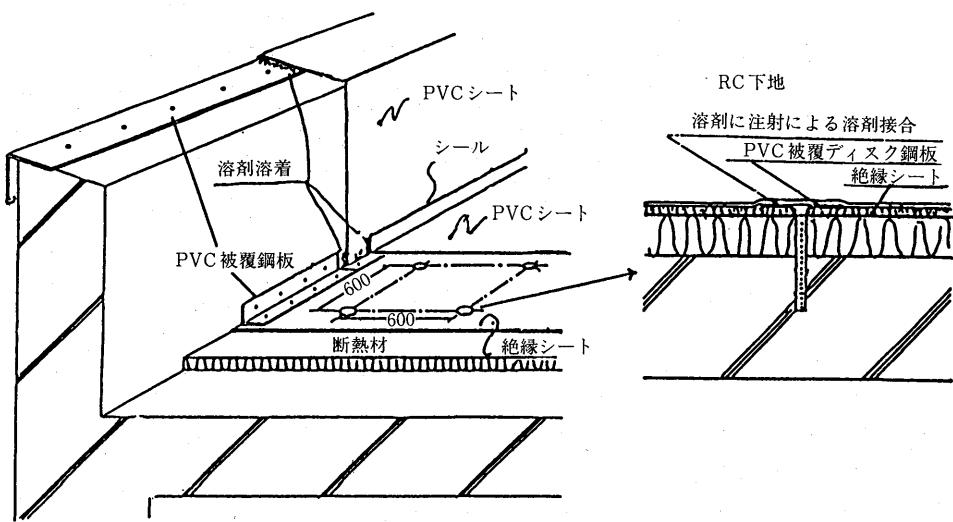


図-4 単層シート防水・機械固定・溶接接合工法



図一5 単層シート防水・機械固定・溶剤接合工法

下地も) 部分的に加熱して下地へ固定し、シート間をトーチバーナーで加熱接合する工法。

②シートの下面にあなあきシートが積層してあるため、トーチバーナーによりルーフィングの下面のほぼ全面を加熱しても、あの部分だけ下地に固定される工法で、シート間は①と同様にトーチバーナーで加熱接合する工法。

③施工時に下地の上にあなあきシートを敷並べ、その上にD-6と同じようにルーフィングを施工してあの部分だけ下地に固定する工法。

なお、ラップの接合に熱風溶接も使用できないこともないが、熱量が低く能率が悪い。

E. 塗膜防水工法

2成分反応硬化型または乾燥硬化型の塗膜防水材 (JIS A 6021: 屋根用塗膜防水材等。外壁用塗膜防水材のJISの原案作成が完了している) を塗布して防水層を形成する工法である。

屋根には2成分形のウレタンゴム系の塗膜防水材が多用されるが、外壁にはエマルションタイプのアクリルゴム系の材料が用いられている。なお、エマルションタイプのゴムアスファルト系の材料も主として屋根の補修や水槽等に用いられている。

通常屋根では補強材を用いるが、外壁や室内では補強材を用いないことが多い。

E-1 補強塗膜防水工法

補強材を通常1枚敷き込みながら塗膜防水材を塗つて防水層を形成する工法。補強材としてポリエステル

やガラス繊維の不織布またはメッシュが用いられるが、防水材が透過するという条件で目の混んでいるものが補強には効果的である。補強材を敷き込む位置は下地に近いほうがよいが、工法によっては必ずしも可能とはいえない。

E-2 非補強塗膜防水工法

E-1と同様な工法であるが補強材は用いない。外壁の防水では補強材の施工が困難であり、主としてこの工法が採用される。また、浴室等室内的防水にもこの工法が採用される。

F. 複合防水工法

この工法は、シート防水および塗膜防水の長所を生かし短所を補うことを目的として、両者を組み合せた工法である。当然ながら施工工程が多くなる。

F-1 塗膜防水・下張りシート接着工法

塗膜防水層の厚さの不均一性と下地の動きに対する耐疲労性の改善を意図してシート材料を組合せた工法。塗膜防水材には2成分形のウレタンゴム系 (JIS A 6021: 屋根用塗膜防水材), 下張りシートの材質として非加硫ゴム、ゴムアスファルト、発泡ポリエチレンが用いられている。防水層の耐疲労性が改善され、シートの下面に溝を付けると脱気工法にすることができる。

F-2 塗膜防水・下張りシート機械固定工法

前のF-1と同様の工法であるが、下張りシートを機械的に固定する工法で、施工に際して下地の乾燥状態に左右されない長所がある。ただし、他の機械的固定工法や絶縁工法と同様に、台風時などの耐風性能に

注意する必要がある。

F-3 塗膜防水・下張り合纏マット接着工法

上記のF-1およびF-2と同様に耐疲労性の改善と脱気工法を目的とした工法。塗膜防水材として2成分形のウレタンゴム系の外、ゴムアスファルト系の防水材も用いられる。

F-4 シート防水・塗膜材接着工法

塗膜防水層の上にシート防水層を重ねる構成の工法で、無収縮性の塗膜材（接着剤）で防水層を形成しつつシートを張り付け、シートのラップを接合する。

G. 金属シート防水工法

G-1 ステンレスシート防水工法

通常SUS 304または316のステンレス鋼の厚さ0.4mmのシートを溝形に成形し、折り上げ部を上に向けて並べ、隣合う溝形成形材の折り上げ部の間に下地に固定した吊子を挟んで、その全体を両側から回転電極で挟んで、連続的に電気抵抗溶接する工法（図-6, 7参照）。

G-2 チタンシート防水工法

高価だが極めて耐久性に優れるチタンのシートをG-

1と同様な方法で施工する工法。一般市街地ばかりでなく、工業地帯や海浜の建築用として期待されており既に実施例もある。しかし、溶接の点で一般的な技術水準は、まだ整備されてはいない。

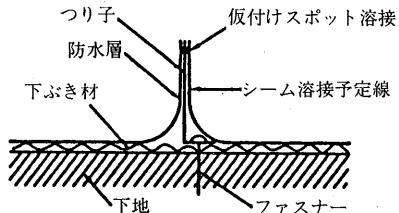


図-6 仮付けスポット溶接位置

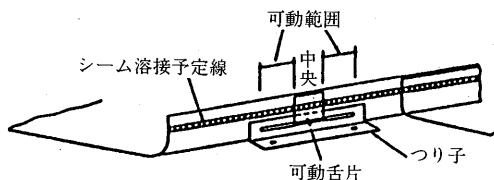


図-7 スライド吊子の可動片の固定位置

石油アスファルト統計月報

B5 : 16ページ ¥500 (送料は実費) 毎月 1日発行

アスファルトに関する統計

資料を網羅し、月毎に発行する統計月報です。

広くご利用いただけるよう編纂致しました。

ハガキにてお申込み下さい。

申込先 105 東京都港区虎ノ門2丁目6番7号
和孝第10ビル

社団法人 日本アスファルト協会
アスファルト統計月報係

—目 次—

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

ブローンアスファルトの需要と供給について

(社) 日本アスファルト協会
調査委員会 ブローン部会

1. 需要について

1-1 総括

ブローンアスファルトの需要量(内需)を各年度毎に集計したものを表-1及び図-1に示した。

昭和30年代後半から、その需要はその後の高度経済成長を背景として、年率10%程度の順調な伸びを示し、48年度には過去最高の350千トンとなったが第一次オイルショックの影響を受けて、49年度には一挙に241千トンに減少し対前年比30%の落ち込みとなった。

その後、需要は徐々に回復し、54年度には48年度に次ぐ需要となった。しかしながら、53年末に発生した第二次オイルショックにより、その後の経済成長率が鈍化すると共に産業構造の変化を伴う経済調整が進展した。この産業構造の変化は省エネルギー、省資源化を伴うもので、産業全体に於ける原材料の消費量は節約の方向に大きく変化してきた。

表-1 ブローンアスファルト需要量の推移

年度	需要量	対前年度比	年度	需要量	対前年度比
	トン	%		トン	%
39	190,986	117.4	51	264,624	101.9
40	189,651	99.3	52	287,970	108.8
41	210,763	111.1	53	314,037	109.1
42	239,362	113.6	54	342,903	109.2
43	260,497	108.8	55	287,038	83.7
44	270,194	103.7	56	275,113	95.8
45	274,705	101.7	57	260,380	94.6
46	285,812	104.0	58	252,637	97.0
47	316,061	110.6	59	253,789	100.5
48	352,502	111.5	60	245,875	96.9
49	243,026	68.9	61	236,913	96.4
50	259,795	106.9	62	254,829	107.6

出所：(社)日本アスファルト協会

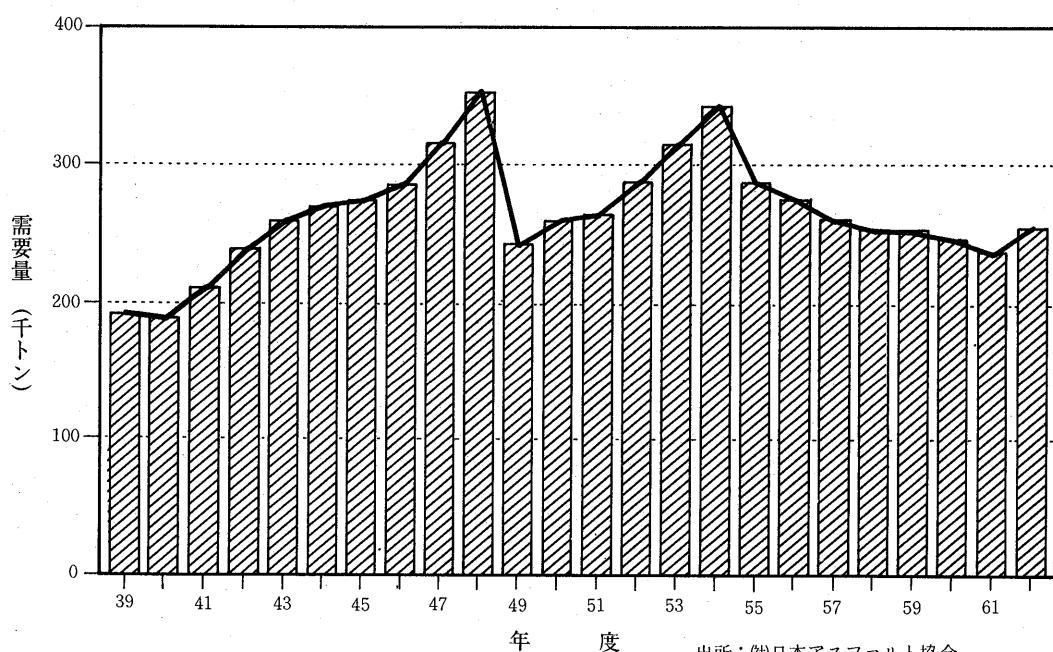


図-1 ブローンアスファルト需要量の推移

この様な経済動向を背景とし、ローンアスファルトの需要も徐々に減少して昭和60年度には240千トンと第一次オイルショック時の昭和49年度の需要量とほぼ同一水準に迄落ち込んだ。この様な需要減退には、ローンアスファルトの使用時における環境公害、又は需要構造の変化による各種競合の資材の出現も見のがせない大きな要因と推定される。

さて、61年度に入り民間住宅投資を始めとする建築着工は第二次オイルショック後の低迷の反動、根強い住宅需要、金利の低下等ともあいまって急激な伸びを示している。ただし、ここで注目すべき事は、この建築着工は首都圏を中心とする主要都市部の地価の異常な高騰を背景としたもので、特に不燃建築物は上へ上へ伸びるという高層化を伴ったものである。従ってローンアスファルトの需要も多少回復の兆しあるものの建築着工床面積の伸びと同様な伸びとなって現れて来ていない。(図-2 参照)

一方、ローンアスファルトの供給に関しては輸入は殆どなく需要に見合った国内生産で賄われており、現状の生産能力から見て当面は從来と同様の需要供給形態で推移するものと考えられる。

次に、需要量を荷姿別、品種別、及び用途別に分けて最近の状況を中心にその推移を追ってみる。

1-2 荷姿別需要

ローンアスファルトの荷姿としては、バルク、紙袋、及びドラムがある。図-3に荷姿別の需要量を示した。

まず、ここで注目される事は過去何年かにわたって、徐々にバルク化が進められ昭和54年度にピークに達し、その後は、ほぼ横這いの状況が継続してきている。これは需要家側での受入設備の面からみてバルクでの需要量は限界に達しているものと推定される。

一方、紙袋による需要はローンアスファルトの需

単位・千トン及び百万平米

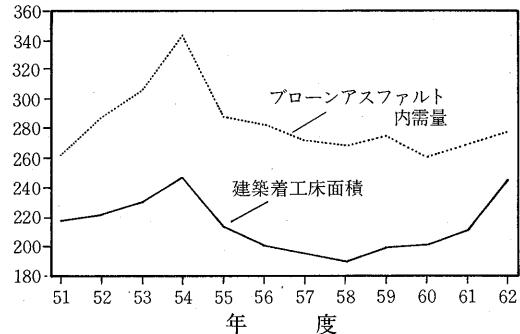


図-2 建築着工床面積とローンアスファルト内需量

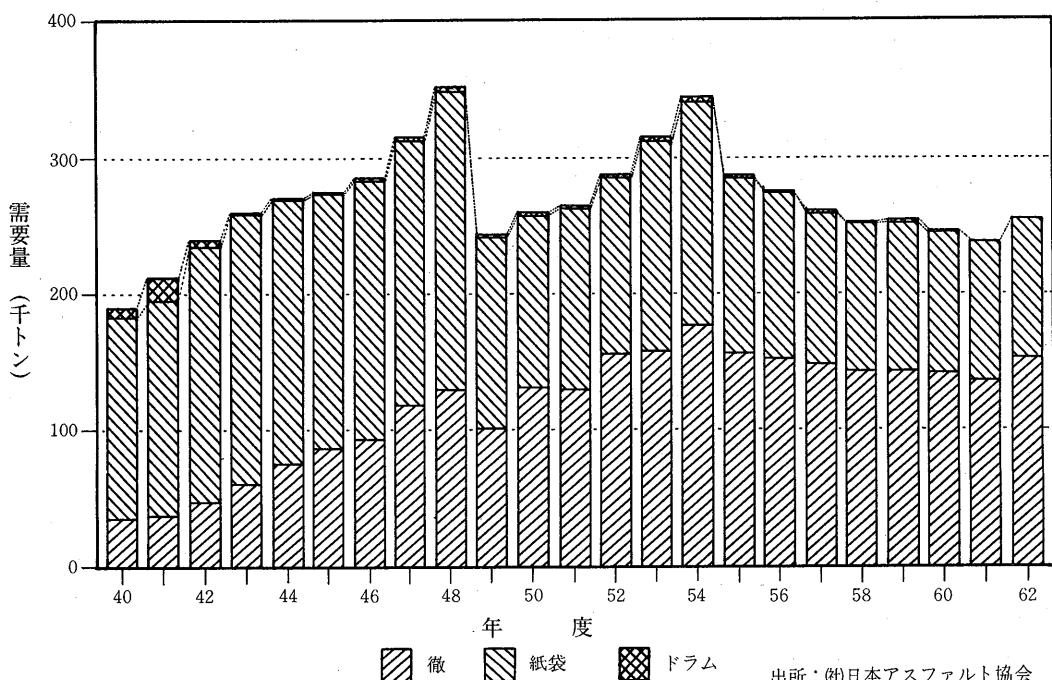


図-3 ローンアスファルト荷姿別内需量

出所：(社)日本アスファルト協会

要減退の影響を正面に受けた恰好で推移してきている。

又、最近のブローンアスファルトの紙袋に関しての特徴として、需要家側の事情、すなわち防水工事に従事している人々の高齢化、基礎体力の低下、建築物の高層化、作業能率向上化、更なる省エネ等々に対応すべく、その軽量化、小型化が要望されている事である。

具体的には、40kg入りのものから25kg入りのものにする事で、これはコストの面から需要家側、供給者側共に両者で検討を要する事項と考えられる。

紙袋の他に、現在でもドラム充填品もあるが、これは從来より余り多くなく、殆どが需要家の特注品でブローンアスファルト全体の需要量の1%程度である。

1-3 品種別需要

昭和55年度以降の品種別需要は図-4に示した。

ブローンアスファルトの品種は大別すると、一般ブローンアスファルト、アスファルトコンパウンド、道路舗装用アスファルト及び、特殊アスファルトに分類される。

一般ブローンアスファルトについては、その針入度グレードによって、0/5, 5/10, 10/20, ……, 40/50等に分類される。

しかしながら、10/20, 20/30が代表的な品種であり、この2品種でブローンアスファルト需要の全体の約50%を占めている。その他の品種は需要家側の特注

品で毎年約10千トン約4%程度のものである。

アスファルトコンパウンドは防水工事用原材料として高品質化が要請されたもので年々その需要は上昇の傾向にある。日本工業規格では1~4種に分けられているが、統計処理上一括して扱っており、ここでも同様に扱うこととした。

道路舗装用アスファルトは從来からの目地用に加え重交通道路舗装用として当協会が開発したセミブローンアスファルトで、これは昭和53年に日本道路協会規格としてアスファルト舗装要綱にも採用され、更に、このセミブローンアスファルトはアスファルト舗装要綱での位置付けは昭和63年度においては今までの特殊材料の項から一般材料項に移され今後はその需要が本格化するものと推定される。

以上の範疇に入らないものを特殊アスファルトとして集計されているが、その殆どが特定需要家の要望により生産されるものでブローンアスファルトの需要全体から見て極めて僅少である。

1-4 用途別需要

ブローンアスファルトはストレートアスファルトに比較して、感温性が小さく、高粘度でしかも弾力性に富んでいる。これらの特性を生かし、その用途もルーフィング材の主要原材料、塗料原料、電気絶縁材等々多種多様で幅広く各方面で用いられている。ブローン

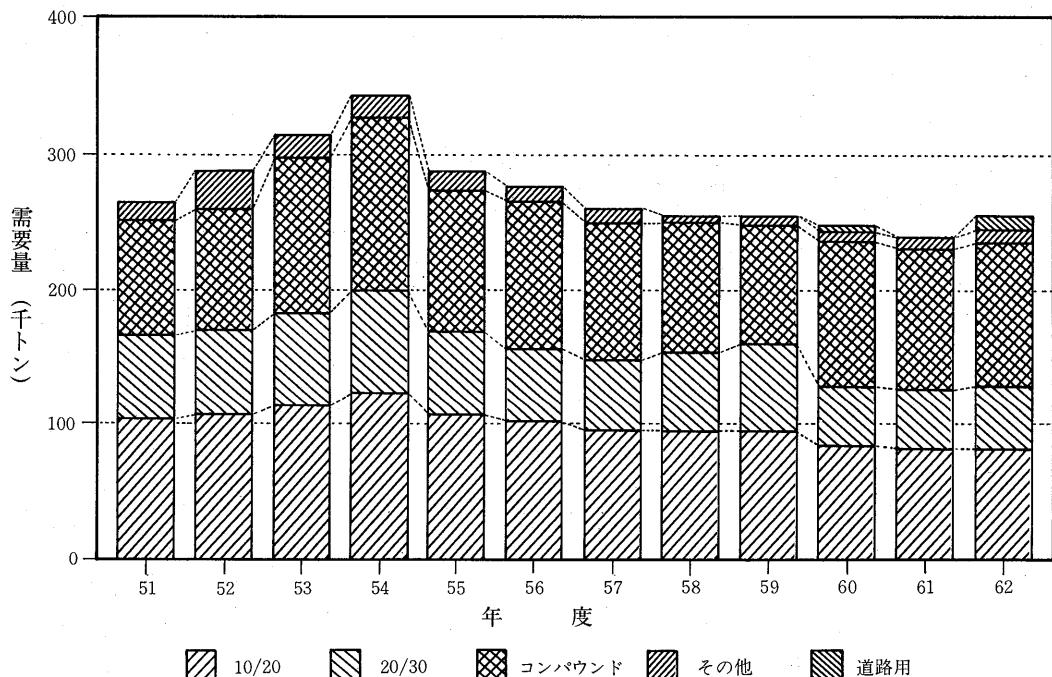


図-4 ブローンアスファルトグレード別内需量推移

出所：(社)日本アスファルト協会

アスファルトの用途別需要量については、統計資料がないので明らかではないが当調査委員会が近年調査した用途別需要を図-5に示す。

2. 供給について

2-1 生産場所

現在ブローンアスファルトは、アスファルト生産工場32ヶ所の内、6ヶ所で生産されている。

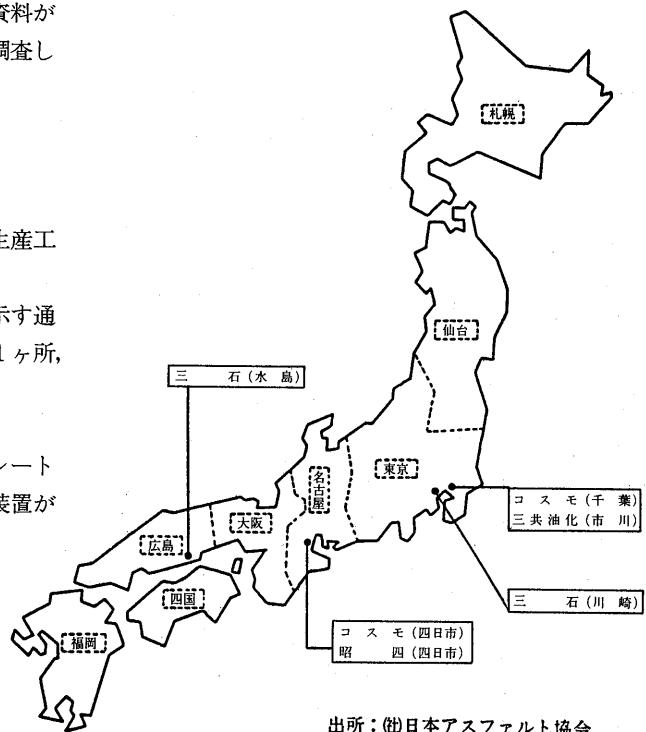
全国を通産局別地域に区分すると、図-6に示す通りで、東京：3ヶ所、名古屋：2ヶ所、広島：1ヶ所、の計6ヶ所である。

2-2 生産場所と生産能力

ブローンアスファルトを製造するには、ストレートアスファルトの生産装置とは別にブローリング装置が必要である。

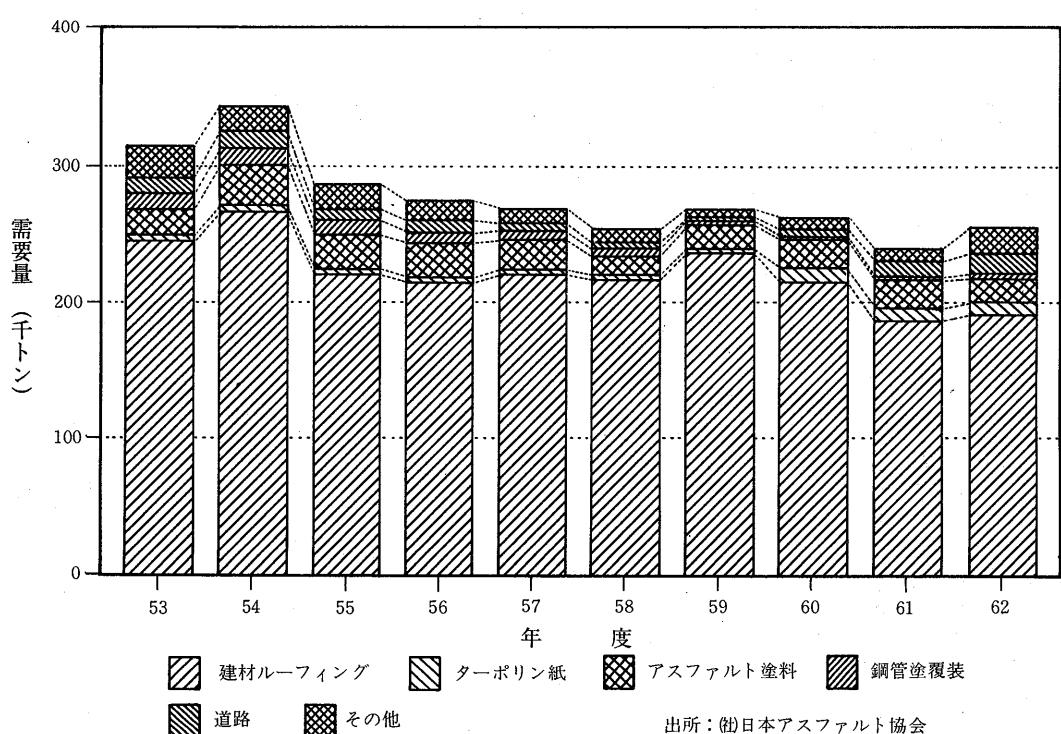
昭和63年9月の調査によると、ブローンアスファルトの生産能力並びにその付帯設備は、表-2に示す通りである。

全国を通産局別地域に区分すると、東京：約35%，名古屋：約48%，広島：約17%となっており、マクロで捉えて見た場合年間の生産能力410,300トンで、これに対して需要量は



出所：(社)日本アスファルト協会

図-6 石油ブローンアスファルト生産場所分布図



出所：(社)日本アスファルト協会

図-5 ブローンアスファルト用途別販売実績

表一2 ブローンアスファルトの生産能力

項目 通産局名	月産(トン)	年産(トン)	構成比 %	紙袋詰年産 トン
北海道	0	0		0
仙台	0	0		0
東京	14,250	156,750	38.2	73,850
名古屋	17,050	187,550	45.7	87,000
大阪	0	0		0
広島	6,000	66,000	16.1	21,000
四国	0	0		0
福岡	0	0		0
沖縄	0	0		0
計	37,300	410,300	100.0	181,850

出所：(社)日本アスファルト協会

260千トン(昭和63年度推定)で時間的要因を含めた流通が円滑に行われるならば、現時点での供給上の問題は特に無いものと言える。

しかしながら、ブローンアスファルトの用途面から要求される品質の高度化、更にその荷姿に求められるものを充足する為には、付帯設備を含めた設備の増強は今後とも継続的に行われる必要性があるものと思われる。

2-3 流通

ブローンアスファルトの供給は、その大部分がバルクと紙袋によって行われている。

バルクの場合は、生産場所からローリーで直接需要家に配送される場合とタンカーにより中継基地を経由し、更にローリーに積替え需要家の要望する日時に合

わせた配送も行われている。

紙袋の場合には、生産場所からトラックにより直接需要家に配送される場合もあるが、その大部分は中継基地を通じ需要家が要望する細分化された単位で最終の使用場所まで配送されるのが一般的である。

ブローンアスファルトの需要を通産局別構成比で見ると表一3に示す通りで、これは、ブローンアスファルトの生産場所はもとより北は北海道から南は沖縄まで安定的に供給が行われている事を示している。

表一3 ブローンアスファルト通産局別販売実績

	60年度		61年度		62年度	
	北海道	4,549	1.9	4,852	2.0	5,823
仙台	2,506	1.0	2,166	0.9	2,444	1.0
東京	151,875	61.8	148,520	62.7	152,955	60.0
名古屋	19,240	7.8	14,641	6.2	21,533	8.4
大阪	31,023	12.6	31,068	13.1	32,789	12.9
広島	15,852	6.4	14,592	6.2	15,893	6.2
高松	14,798	6.0	14,390	6.1	15,494	6.1
福岡	5,863	2.4	6,572	2.8	7,746	3.0
沖縄	169	0.1	110	0.0	152	0.1
全日計	245,875	100.0	236,913	100.0	254,829	100.0

出所：(社)日本アスファルト協会

3. 供給上の問題点

ブローンアスファルトの生産場所が地域的に限定されている一方で需要は表一3に明らかな様に東京地域に集中しているが全国的にも分布しており非生産地域でも約25%もある。

この生産地域と非生産地域におけるアンバランスが生産工場、中継基地での貯蔵経費をも含む流通経費の増大は、将来重要な課題となろう。

特に、道路用の需要が全国的に広がりそれに対応するバルクによる供給は近い将来の経済的にも、又は品質面からも重要なものと推定される。

☆

☆

☆

☆

防水工事用アスファルトの品質について

鈴木康弘*

1. 防水工事用アスファルトの要求性能

1-1 アスファルト防水工法の長所・短所

防水工事用アスファルトはいまでもなく、アスファルト防水工法（狭義の意味で溶融アスファルトとアスファルトルーフィングとを使用して防水層を形成する熱アスファルト防水工法）の基幹材料であってその品質しだいで防水層の性能が左右される。

従って、アスファルト防水工法の本質的な長所・短所を明確にすることは防水工事用アスファルトの品質について記述する上で出発点になると考えられる。

アスファルト防水工法の長所としては主に以下の点が挙げられる。

(1) 水密性に優れる

溶融アスファルトが流動性に富み充填性に優れるために連続一体化した水密的な被膜が容易に形成できる。又、アスファルトは冷却により固着力が生じるため接着強度の発現が早いといった特色もある。

(2) 積層工法であるため施工ミスが少ない。

アスファルトルーフィングを溶融アスファルトを使用して2~4層程度張付けるので施工ミスの少ない安定した防水層の形成が期待できる。

(3) 目的、現場の状況に応じて種々の防水仕様の設計ができる。

基本的に積層工法であるため、建築物の重要度・防水下地の状況等に応じて適切な防水仕様の設計が可能となる。

(4) 長年限の信頼と実績を有する。

日本に於けるアスファルト防水は1900年代の初頭から行われており90年に近い信頼と実績がある。

このようなアスファルト防水の長所は同時に短所もなりうる。

(1) 火災・火傷の危険を伴う。

アスファルトの溶融に火気を使用するため火災の危険性があり、同時に高温に加熱された溶融アスファル

トによる施工は本来危険なものである。

(2) 施工時に煙・臭気等が発生する。

特に市街地の施工に於いてはアスファルト溶融時に発生する煙・臭気が嫌われており、アスファルト防水の使用が制限される場合もある。

(3) 施工能率が低い。

基本的に積層工法であるため、単層防水に比べ施工能率が低い。

このような長所・短所を有するアスファルト防水工法によって形成される防水層の性能は防水工事用アスファルトの性能に依存するところが非常に大きい。このため防水層の性能向上のために防水工事用のアスファルトに対して種々の改良がなされてきた。

1-2 防水工事用アスファルトの要求性能

前項で記述したような基本的な長所・短所を有するアスファルト防水工法に使用されるアスファルトの要求性能は以下の様になるとと考えられる。

(1) 水密的な連続一体化した被膜を形成するために必要な溶融時の適度な流動性・充填性・付着性を有すること。

(2) 過熱溶融時に引火・発火しにくいこと。

(3) 過熱溶融時に煙・臭いの発生が少ないこと。

(4) 長時間加熱溶融状態が続いた後も性状変化が少ないこと。

(5) 低温時に脆化しにくく、容易に脆性破壊を起こさないこと。

(6) 高温時に軟化・流動しにくく、施工後の防水層のずれ・だれ等を発生させないこと。

(7) 温度変化に伴う物性の変化即ち感温性が極力小さいこと。

(8) 耐久性・耐候性に優れること。

(9) 耐薬品性に優れること。

このような要求性能の改善を目標として過去種々の改良がなされ防水工事用アスファルトは現状かなり高

*すずき やすひろ 田島ルーフィング㈱研究開発部主任

品質のものになっている。

現状の防水工事用アスファルトの品質規格では、軟化点・針入度・針入度指数・蒸発質量変化率・引火点・三塩化エタン可溶粉・フーラース脆化点・だれ長さ・加熱安定性の項目が各用途別に定められている（表-1 防水工事用アスファルトの品質規格 JIS K 2207-1980 石油アスファルト）。

針入度指数はアスファルトの高温性能と低温性能のバランスいわゆる感温性を示す数値で、この数値が大きいほど低温に於ける脆化、高温に於ける軟化の現象が発生しにくくなる。

フーラース脆化点はアスファルトの低温可撓性を直接示す数値でアスファルトの低温時の脆性を考える上で重要な特性である。

針入度はアスファルトの常温に於ける流動性を示す数値である。

軟化点はアスファルトの軟化する温度を示す数値でだれ長さと共に高温特性を示す数値である。

だれ長さは、勾配屋根や立上り等の防水層のずれ・だれの程度を把握するのに有効な数値である。

加熱安定性と引火点は防水層の施工に際してアスファルトを高温で長時間加熱した場合の安定性と引火性的把握に有効な数値である。

防水工事用アスファルトの品質の把握に於いては、規格値単独を重要視するのではなく、要求性能をふまえた上でそれぞれの規格値の適用を計ることが重要である。

防水工事用アスファルトの品質規格（表-1）では、性能別に1種から4種までのアスファルトが規定されているが、実際の防水工事に用いられているのは3種及び4種が殆どであり、建築工事標準仕様書に於いても（表-2 アスファルトの種類の指定、建築工事標

準仕様書・同解説 JASS 8 防水工事）又、ストレッチルーフィングのJIS規格（表-3 ストレッチルーフィングの種類と品質 JIS A 6022）に於いても3種及び4種のアスファルトのみが規定されている。

3種及び4種の品質規格は諸外国の規格と比較しても一面ではかなり高水準のもので、製造に於いては従来のアスファルトコンパウンドとは異なり特定の原料・特殊な製法及びそれらの組合せ等によって初めて満足できる規格であるとされている。

2. 防水工事用アスファルトのJIS規格の変遷

2-1 仕様書にみる防水工事用アスファルト

参考文献¹⁾によれば、表-4に示すように昭和30年代までは防水工事用のアスファルトとしてはブローンアスファルト10/20及び20/30が主に使用されていた。しかしその当時でもこれらのアスファルトの温度特性では不十分な面が指摘されており用途によっては、アスファルトコンパウンドとよばれ、動植物油や充填材を添加して高温特性と低温特性を改善したアスファルトが用いられていたようである。

その後、ブローアイング技術特に触媒を用いたブローアイング技術の発達によって、より性能の優れたアスファルトが生産できるようになり、アスファルトコンパウンドは次第に姿を消していった。

現状では、通常のブローンアスファルト以上の高温特性・低温特性を付与させた防水工事用アスファルト3種及び4種が（表-2参照）アスファルト防水における主流になっている。

2-2 JIS規格の変遷

石油アスファルトのJIS規格は1956年に初めて制定され、前述したように規格中のブローンアスファルトの10/20及び20/30が防水工事におけるアスファルト

表-1 防水工事用アスファルトの品質（JIS K 2207-1980 石油アスファルト）

項目 種類	軟化点 (℃)	針入度 (25°C) 1/10mm	針入度 指數	蒸発質 量変化 率 (%)	引火点 (℃)	三塩化 エタノ ン可 溶分 (%)	フーラース ぜい化点 (℃)	だれ 長さ (mm)	加熱安定性 (フーラース ぜい化点差 (℃))
防水工事用アスファルト	1種	85以上	25以上 45以下	3以上	1以下	250以上	98以上	-5以下	—
	2種	90以上	20以上 40以下	4以上	1以下	270以上	98以上	-10以下	—
	3種	100以上	20以上 40以下	5以上	1以下	280以上	95以上	-15以下	8以下
	4種	95以上	30以上 50以下	6以上	1以下	280以上	92以上	-20以下	10以下

表-2 アスファルト防水層の種別(建築工事標準仕様書・同解説 JASS 8 防水工事)

種別 工程	A-PF	A-GS	A-MS	A-LS	A-TF	A-IF
1	アスファルト ブライマー (0.3ℓ/m ²)	アスファルト ブライマー (0.3ℓ/m ²)	アスファルト ブライマー (0.3ℓ/m ²)	アスファルト ブライマー (0.6ℓ/m ²)	アスファルト ブライマー (0.3ℓ/m ²)	アスファルト ブライマー (0.3ℓ/m ²)
2	アスファルト (1.0kg/m ²)	あなあきアスファルト ルーフィング2種	あなあきアスファルト ルーフィング2種	あなあきアスファルト ルーフィング2種	アスファルト (1.0kg/m ²)	アスファルト (1.0kg/m ²)
3	アスファルト ルーフィング35kg品	アスファルト (1.5kg/m ²)	アスファルト (1.5kg/m ²)	アスファルト (1.5kg/m ²)	アスファルト ルーフィング35kg品	ストレッチ ルーフィング2類
4	アスファルト (1.0kg/m ²)	アスファルト ルーフィング35kg品	アスファルト ルーフィング35kg品	ストレッチ ルーフィング2類	アスファルト (1.5kg/m ²)	アスファルト (1.0kg/m ²)
5	ストレッチ ルーフィング2類	アスファルト (1.0kg/m ²)	アスファルト (1.0kg/m ²)	アスファルト (1.0kg/m ²)	断熱材	ストレッチ ルーフィング2類
6	アスファルト (1.0kg/m ²)	ストレッチ ルーフィング2類	ストレッチ ルーフィング2類	ストレッチ ルーフィング2類	アスファルト (1.2kg/m ²)	アスファルト (2.0kg/m ²)
7	ストレッチ ルーフィング2類	アスファルト (1.0kg/m ²)	アスファルト (1.2kg/m ²)	アスファルト (1.2kg/m ²)	ストレッチ ルーフィング2類	—
8	アスファルト (2.0kg/m ²)	ストレッチ ルーフィング2類	砂付ストレッチ ルーフィング	砂付ストレッチ ルーフィング	アスファルト (1.0kg/m ²)	—
9	—	アスファルト (2.0kg/m ²)	—	—	ストレッチ ルーフィング2類	—
10	—	—	—	—	アスファルト (1.2kg/m ²)	—
11	—	—	—	—	砂付ストレッチ ルーフィング	—

*防水工事用アスファルトは、JIS K 2207(石油アスファルト)の防水工事用3種(主として、温暖地に用いる)、または4種(主として、寒冷地に用いる)とし、その指定は特記による。

表-3 ストレッチルーフィングの種類と品質(JIS A 6022-1980 ストレッチルーフィング)

項目	種類	ストレッチルーフィング				砂付ストレッチ ルーフィング	
		1類		2類			
		10.5m巻	21m巻	10.5m巻	21m巻		
1 卷の質量 kg		17.0以上	34.0以上	17.0以上	34.0以上	34.0以上	
1 卷の長さ m		10.5以上	21.0以上	10.5以上	21.0以上	10.5以上	
幅 cm		100 ^{±2}					
製品の単位質量 g/m ²		1500以上	1500以上	1500以上	1500以上	3000以上	
原反の単位質量 g/m ²				120以上			
アスファルトの単位質量 g/m ²		850以上	850以上	850以上	850以上	1000以上	
鉱物質粒子の単位質量 g/m ²		—	—	—	—	1200以上	
引張性能	引張強さ[幅10mm当たり (長手・幅両方向とも)] kgf {N}	120 [117.7] 以上	12.0 [117.7] 以上	8.0 [78.5] 以上	8.0 [78.5] 以上	8.0 [78.5] 以上	
	最大荷重時の伸び率 (長手・幅両方向とも)%	10.0以上	10.0以上	6.0以上	6.0以上	5.0以上	
	3%引張応力[幅10mm当たり (長手・幅両方向とも)] kgf {N}	6.0 [58.8] 以上	6.0 [58.8] 以上	4.0 [39.2] 以上	4.0 [39.2] 以上	6.0 [58.8] 以上	
	抗張強度[10mm当たり (長手・幅両方向とも)] kgf·cm {N·cm}	18.0 [176.5] 以上	18.0 [176.5] 以上	10.0 [98.1] 以上	10.0 [98.1] 以上	8.0 [78.5] 以上	
折り曲げ性能(長手・幅両方向とも)		試験片10個中9個以上にき裂が生じないこと。					
加熱処理後の折り曲げ性能(長手・幅両方向とも)							
アスファルトの浸透状況		アスファルトの不浸透部分のないこと。					
寸法安定性	伸縮量 mm	5.0以下	5.0以下	5.0以下	5.0以下	3.0以下	
	変形	しづわ、反り、はく離など異常な変形を生じないこと。					
寸法安定性試験後の引張性能(長手・幅両方向とも)%		引張性能規格値の90.0以上					
耐熱性能力		—	—	—	—	アスファルトの発泡又は鉱物質粒子の5mm以上のすれ落ちを生じないこと。	

注(1) アスファルトは、JIS K 2207(石油アスファルト)の防水工事用アスファルト3種又は4種適合品とする。

表-4 昭和30年ごろの陸屋根防水工事仕様の一例

標準	重要度の高い屋根 (発電所、変電所、電話交換室、電池室、重要工場等)		普通程度の屋根 (事務室、学校、病院、住宅劇場、商店、倉庫、冷蔵庫工場等、上家プラットホーム、跨橋)						重要度の低い屋根 (自動車庫、屋外廊下庇、屋外競技場等)			
	屋根-1		屋根-2		屋根-3		屋根-4		屋根-5		屋根-6	
種別	品名	量 m ²	品名	量 m ²	品名	量 m ²	品名	量 m ²	品名	量 m ²	品名	量 m ²
1層	アスファルト プライマー	L 0.4	アスファルト プライマー	L 0.4	アスファルト プライマー	L 0.4	アスファルト プライマー	L 0.4	アスファルト プライマー	L 0.4	アスファルト プライマー	L 0.4
2層	甲プローン アスファルト	kg 1.5	甲プローン アスファルト	kg 1.5	甲プローン アスファルト	kg 1.5	甲プローン アスファルト	kg 1.5	甲プローン アスファルト	kg 1.5	甲プローン アスファルト	kg 1.5
3層	アスファルト フェルト		アスファルト フェルト		アスファルト フェルト		アスファルト フェルト		特殊ルーフィング		アスファルト フェルト	
4層	甲プローン アスファルト	1.5	甲プローン アスファルト	1.5	甲プローン アスファルト	1.5	甲プローン アスファルト	1.5	甲プローン アスファルト	2.0	甲プローン アスファルト	1.5
5層	特殊ルーフィング		特殊ルーフィング		アスファルト ルーフィング		アスファルト ルーフィング		アスファルト ルーフィング		アスファルト ルーフィング	
6層	甲プローン アスファルト	2.0	甲プローン アスファルト	2.0	甲プローン アスファルト	2.0	甲プローン アスファルト	1.5	甲プローン アスファルト	1.5	甲プローン アスファルト	1.5
7層	特殊ルーフィング		アスファルト ルーフィング		アスファルト ルーフィング		アスファルト ルーフィング		アスファルト ルーフィング		アスファルト ルーフィング	
8層	甲プローン アスファルト	2.0	甲プローン アスファルト	1.5	甲プローン アスファルト	1.5	甲プローン アスファルト	1.5				
9層	アスファルト ルーフィング											
10層	甲プローン アスファルト	1.5		1.5								

	品名	針入度25°C、 100g、5sec	軟化点 25°C	北海道全道及 東北地方北部	東北地方・甲信越 地方・北陸地方	関東地方・中部 地方・山陰地方	近畿地方・中国 地方・九州北部	九州南部・ 四国地方
陸 屋 根	コンパウンド2号 アスファルト3号	15~20 20~30	100上 90上	○	○	○	○	○
	ブローン3号 アスファルト4号	10~20 20~30	85上 75上		○	○	○	○
地 下 室 内	ブローン4号	20~30	75上	○	○	○	○	○
	ブローン5号	30~40	65上					

ブローンアスファルトを釜にて加熱溶融する温度は各軟化点+140°Cを標準とする。
アスファルトを200°C以上にて5時間以上加熱すると品値が低下するに付注意する。

として永年使用してきた。ブローンアスファルトの規格自体は設定当初から現在まであまり変化していない(表-5及び表-6参照)。

防水工事用アスファルトの規格については、ブローリング技術の発達に伴い1971年に“防水工事用アスファルト JIS A 6011”として規格が初めて制定され(表-7参照)その後1980年に一部改正され、石油アスファルトの規格(JIS K 2207)に整理統合されている(表-1参照)。

今回の石油アスファルトのJIS規格の改正に於いては、防水工事用アスファルトに対する規格の大幅な変更は無く、アスファルト防水層の高温特性の向上を目的として4種のだれ長さ(mm)が従来の10以下から8

以下と一部の改正にとどまる見込みである。

3. 防水工事用アスファルトの現状の問題点

今まで述べてきたようにこれまでの防水工事用のアスファルトの改良は主にその高温特性(軟化点)と低温特性(フラーク脆化点)の向上の面、と針入度指数(PI)を高くすることが中心であった。

その結果、高温におけるずれ・だれの減少及び低温に於いて脆性破壊しにくくなるといったアスファルト防水に於いて好適な性能が發揮できるようになり、アスファルト防水の性能は飛躍的に向上してきた。

しかし、その反面以下のようないくつかの問題点が現状では顕在化していると考えられる。

表-5 ブローンアスファルトの品質規定
(JIS K 2207-1956 石油アスファルト)

項目 種類	針入度			軟化点 ℃	伸度			蒸発量 %	蒸発後の針 入度 (原針入度) に対する % 以下	四塩化炭 素可溶分 %	引火点 ℃ 以上
	0°C 200g 60秒	25°C 100g 5秒	46°C 50g 5秒		10°C	15°C	25°C				
ブローンアスファルト	0~5	—	0以上5以下	—	130.0以上	—	—	0.5 以下	60以上	99.0 以上	200 以上
	5~10	4以上	5を超えて10以下	25以下	110.0以上	—	—				
	10~20	7以上	10を超えて20以下	45以下	90.0以上	—	—				
	20~30	10以上	20を超えて30以下	70以下	80.0以上	—	—				
	30~40	14以上	30を超えて40以下	95以下	65.0以上	—	—				

表-6 ブローンアスファルトの品質規定
(JIS K 2207-1980 石油アスファルト)

項目 種類	針入度 (25°C) 1/10mm	軟化点 ℃	伸度		三塩化 エタン 可溶分 %	引火点 ℃	薄膜加熱		蒸発		針入度 指數	比 重 (25/25°C)
			(15°C) cm	(25°C) cm			質 量 変化率 %	針 入 度 変 化 率 %	質 量 変化率 %	後 の 針 入 度 比 %		
ブローンアスファルト	0~5	0以下5以上	130.0以上	—	98.5 以上	210 以上	—	—	0.5 以下	—	3.0以上	—
	5~10	5を超えて10以下	110.0以上	—			—	—		—	3.5以上	—
	10~20	10を超えて20以下	90.0以上	—			—	—		—	2.5以上	—
	20~30	20を超えて30以下	80.0以上	—			—	—		—	—	—
	30~40	30を超えて40以下	65.0以上	—			—	—		—	1.0以上	—

表-7 防水工事用アスファルトの品質
(JIS A 6011-1971 防水工事用アスファルト)

種類	1種	2種	3種	4種
軟化点(℃)	85以上	90以上	100以上	95以上
針入度25°C, 100g, 5 sec	25~45	20~40	20~40	30~50
針入度指數	3以上	4以上	5以上	6以上
蒸発量(%)	1以下	1以下	1以下	1以下
引火点(℃)	250以上	270以上	280以上	280以上
四塩化炭素可溶分(%)	99以上	99以上	97以上	95以上
フーラスゼイ化点(℃)	-5以下	-10以下	-15以下	-20以下
だれ長さ(mm)	—	—	8以下	10以下
加熱安定性(℃)	合格	合格	合格	合格



写真-1 270°Cに於ける防水工事用アスファルトの

(1) 270°Cに於ける加熱溶融

上述したように、防水工事用アスファルトの軟化点が向上してきたため必然的に現場に於いて施工可能な粘度に溶融するための温度が高くなってきた。

現状に於いては、防水工事用アスファルト3種・4種の軟化点が100°C前後であるため写真-1に示す様に270°C程度の温度での加熱溶融が適当とされている(JASS 8に於いて“アスファルトの溶融温度は、その

軟化点に170°Cを加えた温度を上限とする。”とある)。しかしながら、実際には溶融粘度を下げて施工能率を向上させるために300°C近くの温度で現場溶融されている例が非常に多い。

ブローンアスファルト10/20及び20/30程度が防水工事用のアスファルトとして使用されていた当時は、200~250°C程度の温度で加熱溶融されていたようであ

る（軟化点90°C前後+140°C）。

このように防水工事用アスファルトの現場に於ける溶融温度は過去に比べ高くなってきており、それだけ現場に於ける火災、火傷、過加熱による煙・臭いの発生及び物性変化等の危険性が高まってきていると考えられる。写真-2は現場の過剰加熱により物性変化を起こし表面に亀裂を発生したアスファルトの1例である。

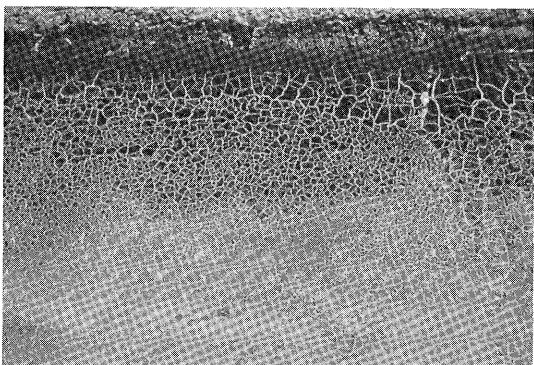


写真-2 過剰加熱されたアスファルトの表面亀裂の状態

(2) 煙・臭い

前述したように、現状の防水工事用アスファルトは270°C以上の高温で加熱溶融されるために写真-3及び写真-4に見られるようにアスファルト防水の施工において多量の煙・臭いが発生する。同時にアスファルト中に含まれる成分によっては悪臭を発生するものもあり市街地でのアスファルト防水の施工に於いて障害となる例が数多く見受けられる。

(3) オイル粉の滲み出し

防水工事用アスファルトは、触媒及びカットバック

材と呼ばれる減圧蒸留油を主としたオイル及び場合によっては触媒を添加してブローイングを行うことによって、高軟化点且つ高針入度（PI値の高い）である3種、4種の規格に適合するように生産されている場合が多い。

一方、アスファルトは、アスファルテン分がマルテンと総称される飽和分・芳香族分・レジン分中に分散するコロイド構造を有していると考えられている。

従って、添加されるカットバック材・触媒等の量と相溶性の兼ね合いで経時（特に熱が劣化要因として働いた場合）に於いて、コロイド構造の安定性が崩れて低分子量のオイル分が滲み出し（ブリード）てくる場合がある。

従来のブローンアスファルト10/20、20/30に比較して防水工事用アスファルトはPI値を高くするためカットバック材の添加量が多くなっており、そのためオイル分の滲み出しが多い傾向にある。

滲み出しあは、砂付きストレッチルーフィングの場合には表面が黒色化し意匠性の妨げになり、アスファルト防水層の場合はアスファルトルーフィング同士の接着阻害の要因となる場合もある。

又、この滲み出しが著しい場合はコロイド構造の破壊によって、アスファルトの性能も大幅に低下することになる。

(4) 耐久性・耐候性

前述したように、高軟化点・高針入度（高PI値）のアスファルトを製造するためには、カットバック材と呼ばれるオイルや触媒等を添加してブローイングが行われるため、その量と相溶性の兼ね合いでアスファルトのコロイド構造のバランスが種々の劣化要因に対して不安定になる場合がある。又、概して高PI値のアス



写真-3 アスファルト防水工事に於ける煙の発生状況(1)



写真-4 アスファルト防水工事に於ける煙の発生状況(2)

ファルトを製造する場合にはより多くのカットバック材が添加されてブローイングされる場合が多いのでそのコロイド構造が不安定になりやすい。

コロイド構造の不安定なアスファルトは初期的にどのように優秀な物理的性状を有していたとしても、耐久性・耐候性が悪く比較的早期に亀裂発生・脆化等の問題が発生し易くアスファルト防水層の防水機能を損なう危険性がある。

4. 今後の課題

前項で掲げたような問題点を解決していくことが、そのまま防水工事用アスファルトの品質に於ける今後の課題になってくると考えられる。

すなわち、従来までの高PI値化のように物性の一面のみに着目していたずらに高水準化していくことには問題があると考えられる。むしろ実質的に支障のない物性の範囲を捕らえながら、総合的にバランスのとれた改良をしていくことが今後は必要であると考えられる。

このような考えに基づいたアスファルト自体の品質改良の方向性の一つとして、溶融粘度を下げて低い温度で施工に適した粘度になるようにして、煙・臭いの発生を抑制する方策が考えられる。その際は、軟化点・フラーク脆化点等の物性上の問題をどのように考えるかが重要な問題となろう。この方策は、一部で実施段階に入っており、煙・臭いを空気中に発散させないようないわゆる“無煙釜”的開発及び溶融アスファルトの温度管理の自動化等の施工面での方策と併せて市街

地での施工に於いてかなりの効果を發揮しているようである。

一方、ブローイングによるアスファルト自体の品質改良の技術は、かなりの高水準まで進んできており、現在のブローイング技術・石油事情で防水工事用アスファルトにこれ以上の性能を求めるこには無理があると考えられる。

アスファルトに現在以上の物性及び耐久性を求めるためには、各種のエラストマーや樹脂類を添加して性能を改良する改質アスファルトの技術の方向に向かうこととも一つの方策と考えられる。

又、防水工事用アスファルトの品質規格として、屋根に於ける使用時最高温度(80°C)の粘度及び、施工時の溶融粘度を付記することが望ましいという新しい考え方方が提案されている。

これらの提案は本質的に望ましいものであり特に施工時の温度と溶融粘度の関係を把握することは溶融アスファルトの過剰加熱を防止することにつながるため、現状の防水工事用アスファルトの問題点の一つを解決しうる方策にもなりうると考えられる。

80°Cに於ける粘度についても、従来のダレ性能・軟化点に加えて、定量的に防水工事用アスファルトの高温性状の把握ができるという点で望ましいものである。

これらについては、特に80°C粘度について、確実な測定方法が確立していないのが現状であり、今後の粘度測定方法及び精度・再現性等の確認・検討が必要になるであろう。

—参考文献—

- 1) 市川良正：アスファルト及びその応用、アスファルト同業会、1955, P194
- 2) 市川良正：アスファルト及びその応用（改定補強版）、アスファルト同業会、1965, P417
- 3) 小池迪夫：建築防水の理論と実際（メンブレン防水・設計編）、工業調査会、1975, P103
- 4) 建築工事標準仕様書・同解説8（JASS 8 防水工事）、日本建築学会、1986, P38
- 5) 田島栄一、伏間晃：ブローンアスファルトの耐候性について、石油学会誌、3卷11号、1960, 11. P28
- 6) 田島栄一、伏間晃：風化試験におけるブローンアスファルトの変質経過、石油学会誌、4卷10号、1961, 10. P13

アスファルト防水の新しい動き

菊地 満*

1. アスファルト防水の範囲が拡張

アスファルト防水とは、従来言われているそれと、多様化して来た近年広義でのそれを含めて考えるようになっています。このことは、自由な発想の源である民間仕様に顕著に表れています。たとえば、日本アスファルト防水協組のアスファルト防水の仕様の中には、在来アスファルト防水のほかに種々のアスファルト防水工法の記載があります。この拡張されているアスファルト防水の5工法を紹介いたします。

(1) アスファルト防水・熱工法

歴史のあるこの工法は、アスファルトルーフィング類を熱溶融したアスファルトを用いて、防水下地に接着させたり、ルーフィングを何枚か積層させて防水層を形成させます。

ここに使用される主な材料はJIS規格があるアスファルトルーフィング、砂付ルーフィング、ストレッチルーフィング、あなあきアスファルトルーフィング等のルーフィング類と防水工事用アスファルトです。

(2) 改質アスファルト防水・熱工法

この防水工法は、改質アスファルトルーフィングと熱溶融したアスファルトあるいは改質アスファルトを用いて、ルーフィングを単層または複層を防水下地に接着させたり、ルーフィング相互を張り合わせて防水層を形成させます。

ここに使用される主な材料は、JIS A 6013(案)(改質アスファルトルーフィング: 単層用・複層用)¹⁾とJIS規格のある防水工事用アスファルトあるいは改質アスファルト(防水材製造業者の指定品)です。

(3) 改質アスファルト防水・トーチ工法

この防水工法は、改質アスファルトルーフィング単層または複層を用い、このルーフィングの裏面あるいは表面をトーチバーナーで溶融させて、防水下地に接着させたり、ルーフィング相互を張り合わせて防水層を形成させます。

ここに使用される主な材料は、JIS A 6013(案)(改質アスファルトルーフィング: 単層用・複層用)です。

(4) 改質アスファルト防水・複合工法

この防水工法は、改質アスファルトルーフィング(自着層付を含む)と改質アスファルト塗膜防水材とを複合し、防水下地に接着させたり、ルーフィング相互の張り合わせ、かつ塗膜防水材を一体化させて防水層を形成させます。

ここに使用される主な材料は、JIS A 6013(案)(改質アスファルトルーフィング: 複層用)と改質アスファルト塗膜防水材(防水材製造業者の指定品)です。

(5) 改質アスファルト防水・自着工法

この防水工法は、自着層付改質アスファルトルーフィングを用い、防水下地への接着やルーフィング相互を自着層で張り合わせて防水層を形成させます。

ここに使用される主な材料は、JIS A 6013(案)(改質アスファルトルーフィング: 単層用・複層用の自着層付)です。

上記のアスファルト防水5工法は実際に多用されていますが、どちらかと言えば、改質を含めたアスファルト防水・熱工法は新築工事や保護層を設ける屋根に広く使用され、その他の工法は改修工事や保護層を設けない屋根にメリットがある工法として、熱工法に競って採用されています。

2. 露出防水は絶縁工法が定着

アスファルト防水は、かなり以前にはラグルーフィング(あるいは石綿ルーフィングを挿入)を主体とした防水層がありました。このため、防水層の破断防止対策として絶縁工法が注目されるようになりました。その後、破断に強いストレッチルーフィングを防水仕様に採り入れていますが、そのほかの理由として露出防水においては、ふくれ防止効果も認められ絶縁工法が常用されています。

*きくち みつる 日新工業㈱技術部部長付課長

旧聞には属しますが、日本建築学会で防水層の事故例のアンケート調査を行い、その結果、設計事務所・ゼネコン設計者・ゼネコン工事担当者においては、防水層の故障現象として捉えている事項の内“ふくれ”が50%前後を占めています。近年は益々、意匠上からもふくれ防止対策が重要視されています。そのためには、種々の見地から密着工法ではふくれが防止できにくいので、露出防水では絶縁工法が定着するようになりました。

例 (1) 日本建築学会 JASS 8

(2) 日本アス防水協組仕様

(3) 建設大臣官房官庁営繕部 D仕様

なお、絶縁工法用のルーフィングとしてはJISのあなきルーフィングのほかに、民間仕様においてはあるのあいてないために、確実に防水層の1層となる絶縁用ルーフィングが開発され採用されています。

3. 脱気工法の普及

前記防水層ふくれ防止の一層の確実さを目的として、ふくれ発生が当然あると予想される場合は、積極的にふくれの原因となる“しめり空気”を外部に排出する必要があります。そのためには、絶縁工法を採り通気層を確保すると共に、適切な脱気装置を設けて対処します。(図-1参照)

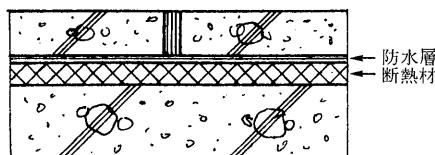
図-2において、平面型と立上り型の脱気装置は併用できますが、個々に使用することもできます。平面型は50~100m²あたり1箇、立上り型は10m間隔あたり1箇設置します。

4. 保護断熱防水はUSD工法が標準

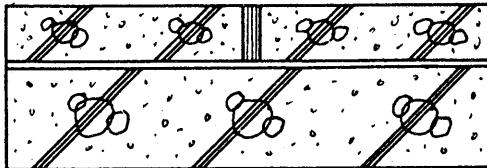
省エネ・結露防止・居住性の向上を目的として、断熱材の使用は時代の趨勢になっております。そして、防水層と組合せた外断熱工法が今や大勢を占めています。外断熱の内で、在来工法とUSD工法を比較しますと、USD工法の方が次の諸点でメリットがあります。

(1) 防水層は断熱材で保護されており、熱的負荷が小さく耐用年数が向上する。

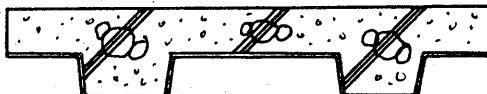
在来工法



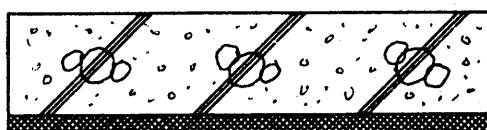
①改修工事で保護層が下地



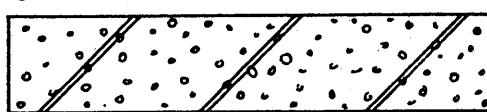
②デッキプレートにコンクリート下地



③断熱材のスラブ下打込み下地



④軽量骨材使用のスラブ下地



⑤乾燥状態の悪い下地(乾燥期間が短い、多雨多雪時期)

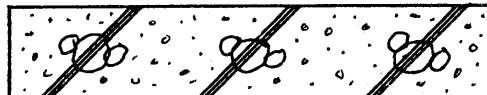


図-1 脱気工法が必要な下地

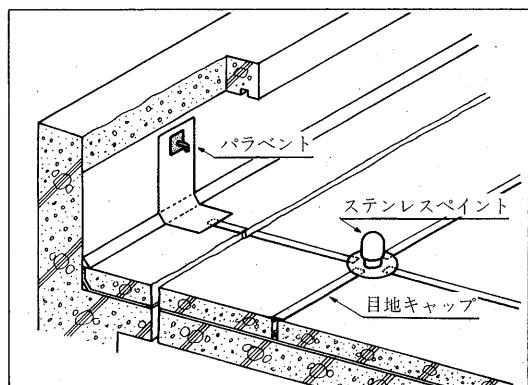


図-2 平面型および立上り型の脱気装置
(改修工事で保護層の上の例)

USD工法

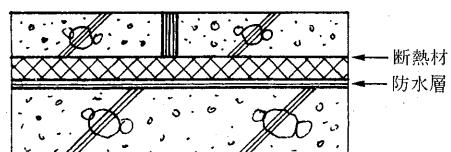


図-3 保護層を設けた断熱防水工法

- (2) 保護層の打設時およびその後の動きで、防水層が損傷することがない。
 - (3) 在来工法では冬期に防水層が完全防湿層になり、下側の断熱材に内部結露を生じる。
 - (4) コスト面においても USD 工法が有利となる。
- USD 工法においては外部の雨水と接しますが、吸水性の極めて少ないスキン層付押出し成型ポリスチレンフォームの開発で実現可能になっています。
- 以上のような理由で、日本建築学会 JASS 8、建設大臣官房官庁営繕部仕様および日本アス防水協組仕様等で標準仕様として採用しております。
- また、砂利まき断熱防水においても USD 工法が採用できますので推薦いたします。

5. 各種表面仕上げ材の萌芽

保護層は防水層・断熱材の保護および意匠性重視の要望から重要事項として検討されています。その代表選手として A 社の“カチトール砂利まき工法”を紹介いたします。この工法は在来の防水仕上げから脱皮した、自然感覚の感性を表現する実力派の保護仕上げ材

です。（写真-1, 2、図-4 参照）

カチトール砂利まき工法は、ジックな黒色仕上げのほかに、カラー砂利仕上げ、および砂利の素材を生かすクリア仕上げが選定できるニュータイプの砂利まき仕上げです。次の多くの点でメリットが生じます。

- ・ USD 工法の断熱材保護用に最適です。
 - ・ 砂利が良く固定され移動・飛散・ドレン詰りがありません。
 - ・ 凍結融解による凍害を受けません。寒冷地に最適
 - ・ 防水層のふくれ防止効果があります。
 - ・ 軽量です。
 - ・ 保護層に伸縮目地が不要です。
 - ・ 工期が短縮されます。
 - ・ 断熱（遮熱）効果があります。
 - ・ 軽歩行も可能です。（カラー、クリア仕上げ）
 - ・ メンテナンスが容易です。
- このほかの仕上げ材としては次の種類があります。
- 押し出し成型スレートパネル（USD 断熱防水に採用可）
 - コンクリート成型ブロック、タイル（USD 断熱防水



写真-1 カチトール工法施工中

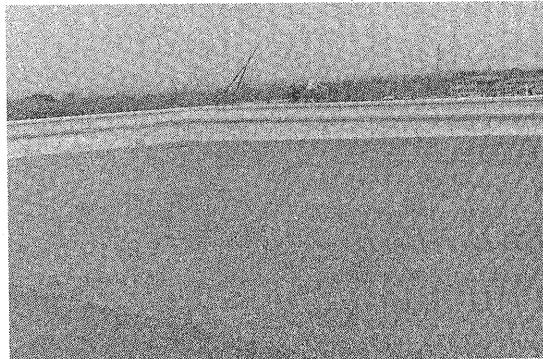


写真-2 カチトール工法施工完了

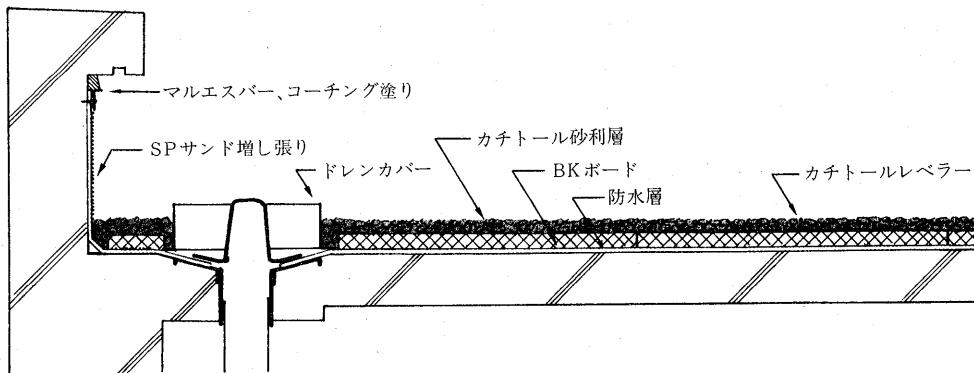


図-4 断熱防水・カチトール工法図例

に採用可)

□着色アスファルトボード

□断熱・防火タイプ塗装材

6. 防水層最上層の改善

最上層と中間層ルーフィング基材の劣化度を、露出タイプ25例、保護タイプ28例について、試験室で基材を取り出して、その外観から劣化度の度合を判定したものが図-6および図-7です。

露出防水については当然最上層の砂付ルーフィングがシビアな条件となり、最初に劣化します。この場合、最上層の砂付ルーフィングが劣化状態になりますと、たとえ中間層以下が防水機能を有していても、心因的に見て防水層全体がだめになったと判断するようになります。したがって、最上層の砂付ルーフィングの耐久性向上が非常に大事で、防水層全体の見地からも重要になります。そこで、現在単なるJIS A 6007の砂付ルーフィングを採用している防水仕様はほとんどなくなり、JASS 8やマイカー仕様ではJIS A 6022の砂付ストレッチルーフィングあるいはさらに高品位の砂付改質アスファルトルーフィングを採り入れるようになりました。建設大臣官房官庁営繕部仕様においても、

仕様改訂を近々に行い、砂付ストレッチルーフィングを採用する手はになっています。

保護防水においては、試験の結果、最上層ルーフィングが意外に早く劣化していることが図-7より読み取れます。これは試料をサンプリングした建物で、ラグルーフィングが主であったこともあります、特に防水層と保護層の間に絶縁材が挿入されていなかったことに起因しているものと判断されます。したがって、現在の防水仕様においては、JASS 8、官公庁仕様、マイカー仕様を問わず、フィルムヤーンクロスあるいはポリエチレンフィルムの挿入が指示されています。

なお、前者は通気性を有するポリオレフィン系の織布なので、断熱材の上の絶縁材としても有効です。(通気性のないフィルムは不適当)(図-8参照)

7. 省力工法ルーフィング2層防水の登場

アスファルト防水層はルーフィング3層を使用する工法が通例ですが、近来2層防水も登場するようになりました。ただし、2層にするためには次の条件が不可欠です。すなわちその条件とは、あなたのあいていない絶縁用ルーフィングを用い、防水層の破断抵抗性・防水機能の維持と、重厚で性能と耐候性の良い

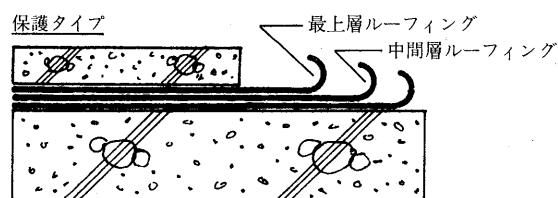
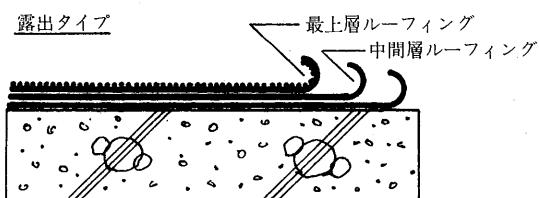


図-5 防水層の最上層ルーフィングと中間層ルーフィング

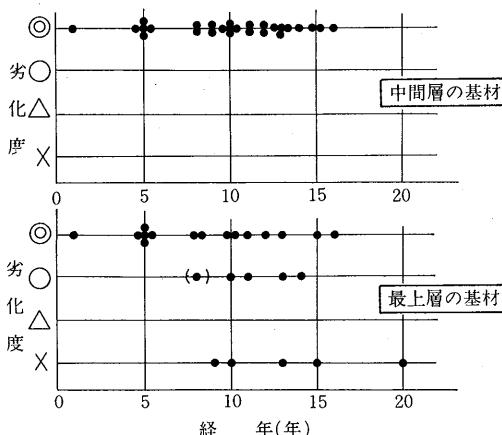


図-6 露出防水層ルーフィング基材外観の経年による劣化度

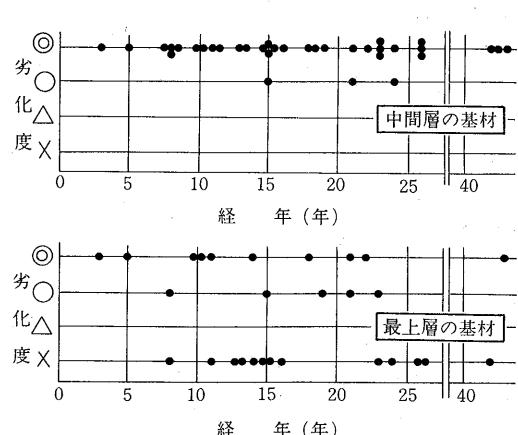
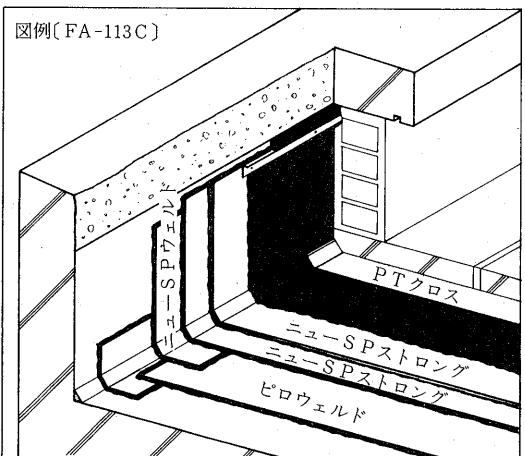
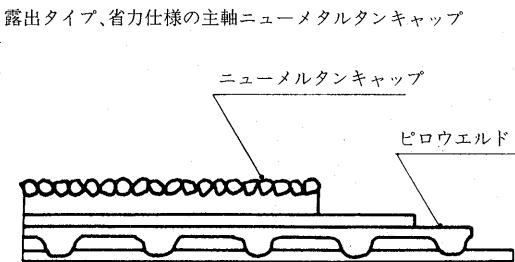


図-7 押え防水層ルーフィング基材外観の経年による劣化度

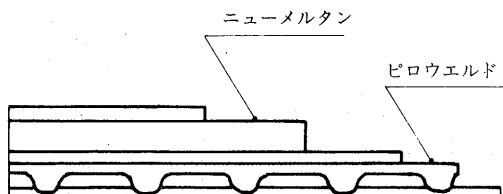


図一8 絶縁材にP.T.クロス(フィルムヤーンクロス)

改質アスファルトルーフィングを組合せて、耐久性を目標のレベルで確保することによります。



保護タイプ、省力仕様の主軸ニューメタルタン

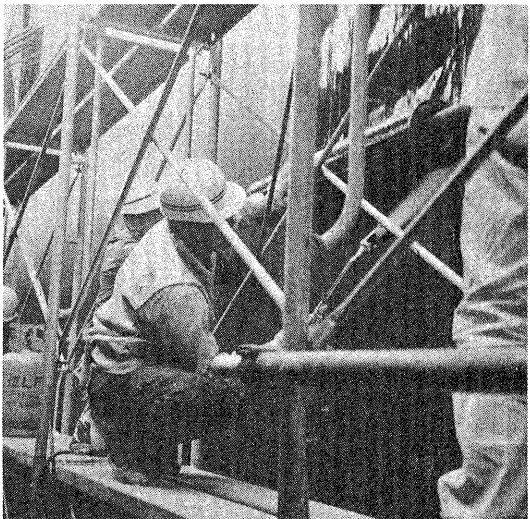


図一9 露出タイプと保護タイプのルーフィング
2層防水

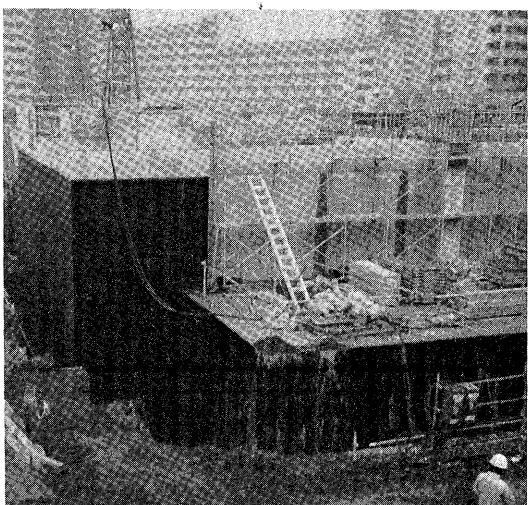
8. 改質アスファルトルーフィングでの新併用工法

本年度防水工事が実施されました建物についての新工法を紹介いたします。この建物は都内に建設された立体駐車場で、地価3階で高さ約16mの外壁とそれにつながる頂部における防水工事です。この工事にはA社で製造されたSBS改質アスファルトルーフィングを用い、施工難度の高い地下外壁はトーチ工法で、平面部で施工性の良い頂部は防水工事用アスファルトを用いた熱工法で施工されました。

SBS(スチレン・ブタジエン・スチレン)ゴムで改質されたアスファルトルーフィングは、トーチ工法はもとより、防水工事用アスファルトを用いた熱工法でも施工できます。これはAPP(アタクチック・ポリ・プロピレン)樹脂で改質されたルーフィングには接着性の点で見られない大きな特長です。このようにSBS改質アスファルトルーフィングは工事現場に合わせた工法を採りながら、防水性能・安全性・工期・経済性などのメリット確保が図れます。(写真一3,4,図一10参照)



写真一3 地下外壁面のトーチ工法



写真一4 地下立体駐車場の壁面防水

9. 屋上駐車場防水実施例

63年9月、73日間の会期中に400万人を超える入場者を迎えて大成功を収めて閉幕した「ぎふ中部未来博」

頂部、熱工法

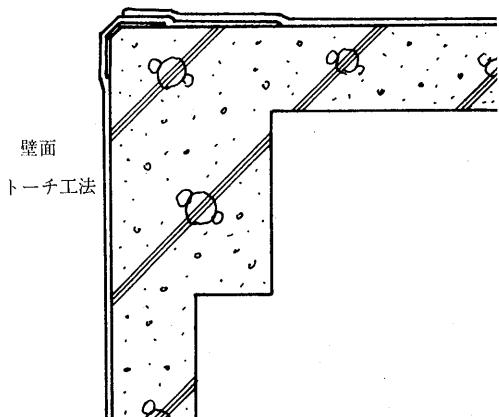


図-10 トーチ工法と熱工法との併用工法

を契機に、21世紀へ向けて新たな飛躍を目指している岐阜市にショッピング、スポーツ、アミューズメントの複合施設が誕生、昨年11月末にオープンした。広大な敷地に建設したもので、魅力あふれる「街」として地域住民の新しい交流の場となる。建物はショッピング棟とスポーツ棟の2棟で構成、周辺に豊富な緑と噴水などを配置し、グレードの高さを誇る。ショッピング棟は5階建てで、1階～3階部分が店舗、4階、5階、屋上は自走式駐車場。大手スーパーをキーテナントに99の専門店が楽しい買物空間を演出する。スポーツ棟にはプール、トレーニングルーム、新体操スタジオなどと子供の国がある。リッチな感覚で新しい生活・文化スタイルを提案している。

さて、今回の防水工事は $20,000\text{m}^2$ と大きく、しかも防水工期が2ヵ月あまりで他に類を見ない突貫工事であった。メルタン21工法は高品位の4mm厚・改質アスファルトルーフィングの単層張りで、施工能率向上が図れる。このような事情でメルタン21によるトーチ工法が採用され、加えて施工スピードが大幅にアップする5連式トーチバーナーを全面的に信用し、7台を投入して、各方向から一斉に施工を開始した。

ただし、単層張りであるため、ルーフィングの接合部の施工は入念に行い防水性の完璧を期した。JVの適切な指導と防水工事店との完全連携を元として、防水工事は無事期間内に終了した。

清流の長良川はこのビルのオープン直後のざわめきを知らぬ気に、岐阜城をその川面に映していた。

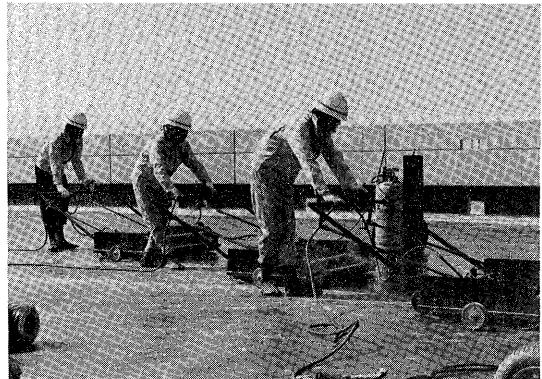


写真-5 5連式トーチバーナーによるメルタン21の施工

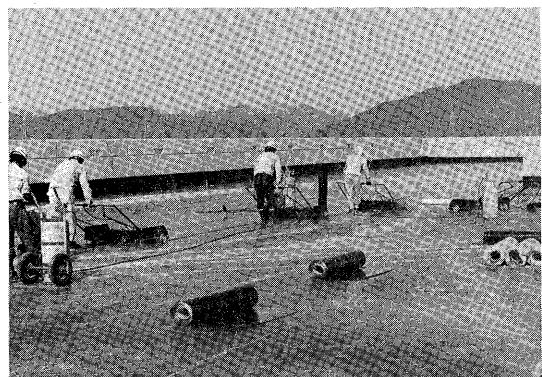


写真-6 駐車場となる屋上の防水工事

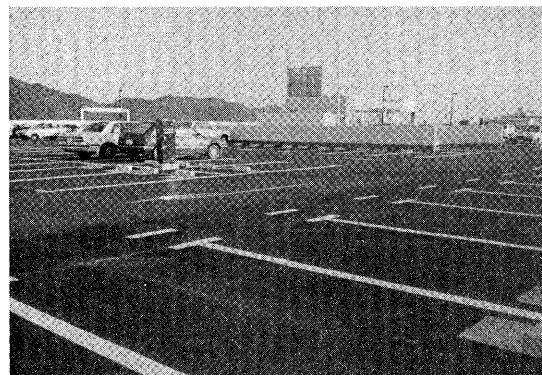


写真-7 防水工事終了後、アスファルトコンクリート、50mmを設けた駐車場

10. 橋梁床版防水実施例

近年、橋梁のRC床版においては、車両の大型化や交通量の増大に伴う劣化・損傷が問題になっています。コンクリートに雨水が浸透すると鉄筋や鋼材を腐食したり、湿潤状態のコンクリートの劣化を進行させます。そのため橋梁には防水層を設ける設計・施工指針が関

係方面で発刊されています。

以上のような目的で、改質アスファルトルーフィングを用いた防水工事用アスファルトによる熱工法が、

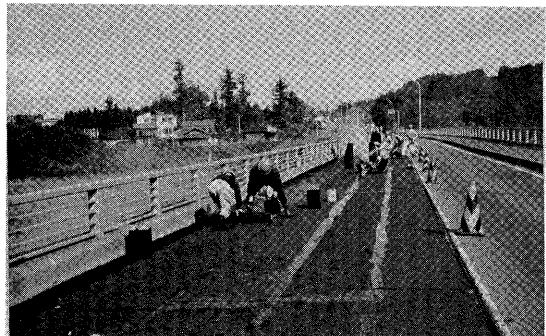


写真-8 改質アスファルトルーフィングの施工(岐阜県、恵那市、19号線)

橋梁防水として注目され、数多く実施されるようになりました。

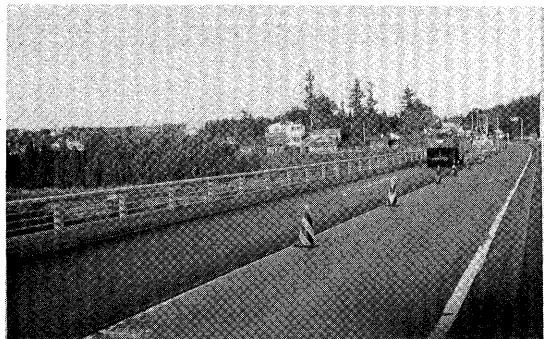


写真-9 アスファルトコンクリート舗装の施工

—参考文献—

- 1) 建材試験情報、建材試験センター

フルデブス・アスファルト舗装設計施工指針(案)

B5版 42ページ 実費頒価 800円(送料は実費)・申込先 (社)日本アスファルト協会

〒105 東京都港区虎ノ門2-6-7

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

フルデブス舗装は、舗装厚が薄く、工種が单一化されることから、工期が非常に制約される箇所等に適用して有効であるが、またアスファルト舗装の修繕に伴って発生する舗装廃材の利用方法の一つとして、フルデブス舗装の路盤への再生加熱アスファルト混合物の利用が考えられ、省資源の観点から今後普及する可能性も大きい。

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

目次

1. 総 説	3-4 アスファルト混合物
1-1 フルデブス・アスファルト舗装の定義	4. 路床および路盤
1-2 適用範囲	4-1 概 説
2. 構造の設計	4-2 路 床
2-1 舗装の構造	4-3 路 盤
2-2 設計の方法	5. 表層および基層
2-3 排 水	6. 品質管理および検査
3. 材 料	6-1 概 説
3-1 概 説	6-2 出来形および品質の管理
3-2 漆青材料	6-3 検 査
3-3 骨 材	7. 記 錄

「第6回・アスファルト舗装の構造設計に関する国際会議」の論文抄録

“The 6th International Conference on Structural Design of Asphalt Pavements”

「アスファルト舗装技術研究グループ」は、日本大学理工学部の阿部教授をグループ長として、昭和52年11月に日本アスファルト協会内に設置された有志の集りである。当初のメンバーはおよそ20名で、次々にメンバーを加えながら活発な研究活動を行ない続け、その成果は二十数回に亘る研究報告として「アスファルト」誌に第117号以来掲載されてきたことは周知の事実である。本研究グループは、阿部教授の強いご希望もあり、グループ長以下、ほとんどのメンバーが入替わり、平均年齢約31歳という若手が主体となって昨年の6月より再スタートをきることになった。新制のグループになったとはいえ、メンバーが自主的に参加をし、自分たちでテーマを決め、共通の目的をめざしているという点では発足当初の姿勢と何等異なるところはないと言えよう。

現在の活動は、舗装に関わるあらゆることがらを整理し、そこに含まれる問題点を討論や文献調査を通じて明らかにし、最終的に舗装工学とも称し得るような1つの学問体系を確立することを当面の目標としている。解決すべき問題は沢山あるし、各メンバーは所属も関心事もさまざまであるので、全体を研究テーマを異にする5つの班に分け、班長を中心に各班が独自に活動をして、およそ3か月に1度、全メンバーが集る席でとりまとめた成果を発表しあう方針をとっている。また、手分けをして主要外国文献に体系化されたキーワードを付与しこれらをパソコン上でデータベース化する作業も並行して行っているため、すべての

メンバーが常になんらかの活動をしている状態にある。これらの成果も体裁が整い次第、順次この誌上で御報告をさせて頂く所存である。

今回は、新制メンバーによる勉強グループ発足後間もないことでもあるので、現在の活動からややはすれて、1987年7月にアメリカのMichigan大学で開催された「第6回アスファルト舗装の構造設計に関する国際会議」の論文集に掲載された84編の論文の抄録を第1回研究報告として、発表させて頂く。この会議の直後にカナダで「日加科学技術協議第3回寒冷地舗装会議」が開催されたこともあり、この会議にはわが国からも多数の参加者があった。このときの参加者は今でも年に1度集って、当時の思い出話に花を咲かせている。

さて、本来の職場での多忙な業務をかかえ、そのうえ多くのノルマを課せられながらもかなり高度なフルペーパーを1人3編も読まされてさぞ大変であったと推察されるが、大した遅れもなく全員がみごとに抄録し終えたことはなによりも喜ばしい限りである。今回は抄録結果のみを掲載させて頂くに留めるが、次回より、舗装工学の世界では過去十数年にどのような進歩があり、今現在何に关心がもたらされ、また今後どのような研究が行なわれようとしているのかをこの発表論文の内容を通して分析した結果を発表させて頂く予定でいる。乞御期待。

(姫野賢治)

アスファルト舗装技術研究グループ名簿

* グループ長 * * 班 長

* * 池 田 拓哉	建設省土木研究所舗装研究室
伊 藤 邦彦	大成道路(株)技術研究所開発研究室
竹 井 利公	熊谷道路(株)技術研究所
横 山 稔	昭和シェル石油(株)アスファルト課

* * 久 下 晴巳	日本道路(株)技術研究所
伊 藤 達也	日満化学工業(株)技術研究所
笠 原 彰彦	日本鋪道(株)技術研究所第二研究室
高 橋 義一	常盤工業(株)技術研究所
谷 口 豊明	大林道路(株)技術研究所施工研究室

* * 藤 田 仁	日本道路(株)技術研究所
泉 秀俊	日本鋪道(株)技術部技術第二課
小 林 孝行	昭和シェル石油(株)中央研究所
富 田 弘樹	日本鋪道(株)経営企画部企画課
増 山 幸衛	世紀東急工業(株)技術部技術開発課
吉 村 啓之	前田道路(株)技術研究所

* 姫野 賢治	北海道大学工学部土木工学科
* * 野村 健一郎	大成道路(株)技術研究所開発研究室
榎戸 靖暢	日本道路公団建設第一部建設第一課
大久保 高秀	首都高速道路公団工務部工務企画課
中村 州章	日本道路公団技術部道路技術課
野村 敏明	日満化学工業(株)技術研究所
八谷 好高	運輸省港湾技術研究所滑走路研究室
南沢 輝雄	(株)パスコ道路技術センター情報技術部
* * 田 中 輝栄	東京都土木技術研究所舗装研究室
小沼 貞雄	(株)パスコ道路技術センター情報技術部
金井 利浩	鹿島道路(株)技術研究所
神谷 恵三	日本道路公団試験所舗装試験室
亀田 昭一	新東京国際空港公団工務部舗装課
神戸 大	日本鋪道(株)技術部技術第三課
峰岸 順一	東京都土木技術研究所舗装研究室
村山 雅人	東亜道路工業(株)技術研究所

Session I. Pavement Design Materials 補装設計

(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) Shook, J. F. and Burton, J. A. (アメリカ)
(2) Structural Design of Asphalt Pavements for Heavy Loads.
(3) pp.3~12.
(4) 重交通用アスファルト舗装の構造設計 (八谷好高)
(5) 本論文では重交通用フルデプス舗装の設計法（米国アスファルト協会（AI）が1986年に発表した設計マニュアル（MS-23））を紹介している。これは旧版を発行してから10年間の経験を踏まえて改訂したものであり、本論文ではこのマニュアルに示されている設計方法の考え方を明らかにするとともに、マニュアルの使用方法も示している。本設計法は多層弾性理論に基づくもので、コンピュータプログラム“DAMA”を使用して開発された。計算に使用した舗装モデルは2層構造で、上層がアスファルト混合物層、下層が路床である。舗装の破壊規準としてはアスファルト混合物層下面の水平引張りひずみと路床上面の垂直ひずみが採用されている。本マニュアルには、荷重形態として単輪、複輪および多数輪の3種類が考えられているほか、路床の凍結融解の有無も取り込まれている。また、旧版に比して、環境条件が現実のものに近くなっていること、設計輪荷重が選びやすくなったこと、路床ひずみの基準が若干変わったことが特徴である。本論文を読めば米国アスファルト協会のフルデプス舗装設計マニュアルの使用方法が理解できるだろう。

- (1) Thompson, M. R. (アメリカ)
(2) ILLI-PAVE Based Full-Depth Asphalt Concrete Pavement Design Procedure.
(3) pp.13~22.
(4) コンピュータプログラム“ILLI-PAVE”を使用したフルデプス舗装設計法 (八谷好高)
(5) 本論文ではコンピュータプログラム“ILLI-PAVE”を使ったフルデプス舗装の設計法の開発について述べている。また、その妥当性をほかの機関の設計法と比較することによって検証している。本設計法に用いられている“ILLI-PAVE”では舗装は二層からなる軸対称回転体として有限要素法により解析されている。舗装の破壊規準としてはアスファルト混合物層の疲労クラックが採用されている。本設計法では計算の簡略化を図るために“Design Time Concept”を導入して、舗装の材料定数を年間を通じて同一の値としている。また、“Design Reliability Concept”を導入することによって、要求する信頼度（設計交通量に達しても舗装が破壊しない確率）に応じた舗装厚が得られるようになっている。本設計法による舗装厚として3種類の信頼度（50, 80, 92%）に対するものを計算して、Shell、米国アスファルト協会の設計法によるものと比較している。これによれば本設計法によるものは両者の中間に位置しているようである。本論文に示されたフルデプス舗装設計法は理論的設計法の簡略化と信頼度の導入が特徴であり、理論的設計法を開発する際には参考となろう。

- (1) Servas, V. P., Edler, A. C., Ferreira, M. A. and Van Assen, E. J. (南アフリカ)
(2) An Integrated Approach for Determining Additive Requirements in Hot Mix Recycling.
(3) pp.23~33.
(4) ホットミックスリサイクリングにおける添加剤量決定の総合的アプローチ (榎戸靖暢)
(5) リサイクリングを行う場合、添加剤を加えることによって、新たに加えるアスファルトあるいは新規アスファルト混合物の量を減じ、経済的な施工を可能とすることができます。本研究は、リサイクリング時に加える添加剤の種類や量の決定に当たって、有効と考えられる一手法を紹介するものである。本研究は、アメリカその他において行われてきた、添加剤の有効性およびこれを用いる時の再生アスファルト混合物の設計方法等に関する研究を基礎とするものであり、新旧アスファルト混合物のアスファルト、添加剤の化学組成に着目することにより、望ましい再生アスファルト混合物となるよう、旧アスファルト混合物のアスファルト

に不足する化学組成を持った添加剤を選択し必要量を加えれば、針入度等の物性値の改善だけでなく、より耐久性に富むリサイクリングが行えることを目的とするものである。

本研究では、再生されたアスファルトの化学組成と旧アスファルト混合物のアスファルトの化学組成の間に数学的関係を認め、この関係に基づく具体的な方法を紹介している。また、これら一連の作業をより簡便に行うため、液体クロマトグラフィーによる組成分析を提唱すると共に、この分析データを基に添加剤の選択、必要量を計算するコンピュータプログラムを開発している。

筆者らも、添加剤を用いた再生アスファルト混合物の長期耐久性については、まだ今後の課題を残すとしており、アスファルトの化学組成と舗装の耐久性の因果関係について、今後の研究が期待される。

- (1) Sweere, G. T. H., Penning, A. and Vos, E. (オランダ)

- (2) Development of a Structural Design Procedure for Asphalt Pavement with Crushed Rubble Base Courses.

- (3) pp.34~49.

(4) **建設廃材を路盤に用いたアスファルト舗装の設計**

(榎戸靖暢)

- (5) 壊された家、工場、コンクリート舗装などからの建設廃材をリサイクリング材として、アスファルト舗装の路盤材に用いるための舗装構造設計法の確立を目的とするものである。

本研究は次の4段階からなっている。

- ① 繰り返し三軸載荷試験により路盤材の材料特性を求める。
- ② 舗装の応力、歪を計算する有限要素プログラムの開発。
- ③ 試験舗装にする応力、歪の測定。
- ④ 試験舗装による測定データと有限要素プログラムによる計算値との比較検討。

本研究は初期の段階であるため、路盤や路床の垂直応力等に関しては、再現性が十分とまではいっていない。

著者は、今後の課題として次の点を挙げている。

- ① 路盤の構造的役割に関する研究。
- ② 路盤材の舗装体内における密度および含水比、さらに、締固めによる粒度分布変化の定量化。
- ③ 路盤のペアリングキャパシティーの定量化。
- ④ 路盤の塑性変形に関する基礎的アプローチ。
- ⑤ 路盤の非載荷状態の解析（締固めによる残留応力の有無）。

オランダ同様、建設廃材の処理が問題となっている我が国においては、参考となる手法として価値があると思われる。

- (1) Jouve, P., Martinez, J., Paute, J. L. and Rangneav, E. (フランス)

- (2) Rational Model for Flexible Pavements Deformations.

- (3) pp.50~64.

(4) **アスファルト舗装の変形に関する合理的モデル**

(榎戸靖暢)

- (5) 本研究は、アスファルト舗装の理論設計法の改良を目的としたものである。

アスファルト舗装の理論設計法の実用性を高めるため、次のことを行った。

- ① 繰り返し三軸載荷試験により、路盤材（非安定処理）および路床土の基礎的物性を解析し、舗装構造に影響を与える要因を把握する。
- ② 各層の弾性および塑性変形に関する数値解析モデルの検討。

上記のモデルによる永久歪と有限要素法を用いた舗装構造の塑性計算により、わだち掘れ量を予測する解析モデルを作成し、わだち掘れ量を指標とする舗装設計法を提唱した。

本研究は三軸試験による材料特性の把握とわだち掘れ量を結び付けた理論的舗装設計法の一例として、モデリング手法等、参考になるものと思う。

- (1) Wolfgang, A.

- (2) Influence of Bitumen Hardness on the Fatigue Behaviour of Asphalt Pavements of Different Thickness due to Bearing Capacity of Subbase, Traffic Loading and Temperature.

- (3) pp.65~71.
- (4) 路盤支持力, 交通荷重, および温度によるアスファルト舗装の疲労特性に及ぼすアスファルトの硬さの影響
(大久保高秀)
- (5) アスファルト舗装の疲労特性に関する最も一般的な法則は, 1960年SaalとPellが提案したアスファルト混合物に対する曲げ試験による破壊規準であり, これによれば温度を下げると共に疲労寿命が増す(加えうる荷重回数が増加する)とされる。

本研究は, 上記の規準を基本とし, 交通荷重, 温度, アスファルトの硬さによる様々な厚さのアスファルト舗装の曲げ応力と温度引張り応力の決定を行い, マイナーの法則などに基づく疲労強度の評価, 構造・交通・気象条件等を考慮した適切なアスファルトの選択に対する指針を示そうとするものである。

アスファルト舗装の疲労寿命は, Dempwolffらの提案する破壊規準を用いて計算し, 以下のような項目について研究を行った。

① 代表的な年にに対する温度と交通量の時間変動の決定

② 交通荷重, 温度, アスファルトの硬さによる様々な厚さのアスファルト舗装の曲げ応力と温度引張り応力の決定

③ マイナーの法則などに基づく疲労強度の評価

アスファルト舗装では温度を下げるにつれて引張り強度が増すという性状が見られるため, ある温度以下では最初の疲労破壊が起こるまでの荷重繰り返し回数が小さくなる傾向となる。

また, 針入度の低いアスファルトを用いた混合物は, 低温下では疲労特性の面から有利ではない。

しかし, 高温下では上記のような針入度の低い, 硬いアスファルトを用いた方がアスファルト舗装の疲労寿命が長くなる。

- (1) Gerlach, A., Loizos, A. and Lücke, H. (西ドイツ)
- (2) The Influence of Stiffness-Progress of the Different Pavement Layers on the Size and Shape of Rut Depth in the Pavement Surface.
- (3) pp.72~81.
- (4) いろいろな舗装厚を持つ舗装各層のスティフネスの変化が, わだち掘れの深さとその形状に及ぼす影響 (大久保高秀)
- (5) 西ドイツを始め世界の各種機関では, 舗装の破壊の一つとしてわだち掘れについての研究が行われているところである。実際, わだち掘れは道路補修の主要な要因の一つであり, また交通安全の観点からも重要な要素となっている。

現在最も普及している道路解析システムであるVESYSでは, 荷重の中心だけを問題にし, 荷重の中心の永久ひずみのみをもってわだち掘れの深さと見なしている。

しかし, 道路の供用性から考えると上記のようなわだち掘れ深さに加え, 車両走行方向に対するわだち形状も支配的な要因となっており, この形状の重要性については別の研究でも明らかにされている。

本研究は, わだち掘れ深さとわだち形状に対する舗装の各層の影響を調べるものである。

舗装各層のスティフネスを荷重載荷回数と関係付けて算出すると共に, VESYSを用いて多層理論に基づき, わだち掘れ深さ, 形状を計算した。

ポアソン比, 舗装厚さを変化させたときのわだち掘れ深さ, 形状について比較している。

- (1) Southgate, H. F., Deen, R. C. (アメリカ)
- (2) Effects of Load Distributions and Axle and Tire Configurations on Pavement Fatigue.
- (3) pp.82~93.
- (4) 荷重の分散と車軸, タイヤの配置が舗装疲労特性に及ぼす影響
(大久保高秀)
- (5) たわみ性舗装は, 交通量, 材料特性, 車軸間での荷重分散, タンデム軸間の距離, デュアルタイヤの空気圧等のばらつきに対する補正係数により設計される。

舗装の疲労寿命を的確に予測するには, 交通量や車両の分類, それぞれにおけるダメージ係数, タイヤの接地圧について合理的な評価が肝要となる。

本研究は, この補正係数について計算を行い, 疲労寿命を予測した場合のその違いについて論じたものである。

Chevron多層プログラムを用いて、深さおよび半径方向に歪エネルギーを計算し車軸間での荷重分散、タンデム軸間の距離、デュアルタイヤの空気圧等のばらつきに対するダメージ係数を計算した。

補正係数は、限られた構造解析の結果から算出されたものであるから、使用する場合は注意を要する。

- (1) Gerritsen, A. H. and Koole, R. C. (オランダ)
- (2) Seven Years' Experience with the Structural Aspects of the Shell Pavement Design Manual.
- (3) pp.94~106.
- (4) シェル設計マニュアルを用いた舗装構造の評価について (中村州章)
- (5) SPDM (Shell Pavement Design Manual) は、1978年に作られたもので、7年間に渡る実用の結果、設計法そのものには問題はなかった。しかし、利用者には設計手順に対する詳細な情報に関する要望が強かった。特に、設計の限界値の明示が望まれている。そこで、本報文では、SPDMの紹介とSPDMの利用に関する詳細な情報の提供を目的としている。

設計モデルは、3層構造モデルが使用されている。路床については、限界たわみ量を設定し、路盤およびアスファルト層は限界ひずみを設定して設計を行った。その設計の基準値としては、7年間SPDMを用いて設計した実例の値の85パーセンタイル値を基本とした。さらに、設計の結果については、Road Note 29とTRRLの設計法を用いて設計したものとの比較も行われている。

SPDMについては、次のようなことが明らかとなった。①SPDMは、システム上偏った設計となることはない。②入力データの値によって限界値を考慮することができる。③他の設計手法による設計との比較の結果、他システムの設計と大変類似した結果となることが判明した。

本報文は、SPDMの妥当性を強調するもので特に新たな研究の成果は含まれていない。

- (1) Brooker, T., Foulkes, M. D. and Kennedy, C. K. (イギリス)
- (2) Influence of Mix Design on Reflection Cracking Growth Rates through Asphalt Surfacing.
- (3) pp.107~120.
- (4) アスファルト表層の配合設計のリフレクションクラックへの影響 (中村州章)
- (5) 英国では、1960年代から1970年代にかけて、リーンコンクリート路盤とアスファルト表層をもつ舗装が建設された。この構造のため、リーンコンクリート路盤に入った横断方向のクラックによる、表層のリフレクションクラックの問題が発生している。そこで、今後の対策のために、リフレクションクラックの発生メカニズムを研究することを目的としている。

リフレクションクラック発生の外的要因、混合物のタイプ、材料特性および室内試験結果から求められた舗装の疲労曲線との関係からリフレクションクラックの発生と発達の状況を調べている。

リフレクションクラックの発生は、路盤のひび割れ間隔や表層混合物厚に関係するほか、アスファルトのスタイルネスとの関係が大きい。特に、針入度25を下回るものはかなり疲労寿命が低下すると考えられる。さらに、空隙率を高くし、小さな骨材を使用した混合物は一般に疲労寿命が減少すると考えられるが、その定量化は難しい。ジオテキスタイルやゴム入りアスファルトの使用にあたっては、クラックシールを行う場合の費用も考慮した十分な検討が必要である。

本報文は、英国における気象条件下で、しかもホットロールド舗装を考えた研究結果である。そこで、わが国でこの結果を用いる場合は、新たな検討を要する。

- (1) Heleven, L., Verstraeten, J. and Veverka, V. (ベルギー)
- (2) Latest Developments in the Analytical Method for the Design of New Pavements and Strengthening Overlays in Belgium.
- (3) pp.121~129.
- (4) ベルギーにおける新設舗装設計法とオーバーレイ設計法の開発 (中村州章)
- (5) 本論文は、ベルギー道路研究所で開発したアスファルト舗装の設計手法と、既存のアスファルト舗装の構造補強のためのオーバーレイ設計手法を紹介したものである。なお、ここで紹介された手法は、路盤にリーンコンクリートを用いた、セミリジッド舗装も対象としている。

本手法では、パラメータとして、大型車交通量、横断方向荷重分散係数、路床の変形係数を用いて設計を行う。また、既設アスファルト舗装の構造補強のための設計では、既設舗装のたわみ量もパラメータの1つとなる。横方向荷重分散係数は、車線幅3m以下の箇所は1で、その他は0.4としている。

アスファルト舗装の各層の厚さは、交通量と各層厚の関係を示した図から読みとることによって求められる。構造の補強設計では、必要層厚は、既設舗装がもつ残存強度から求めた換算舗装厚と、既設舗装の交通条件や路床条件から求められる新設舗装厚さの差として求められる。また、これらの設計は、コンピュータを用いたMTCとORNというプログラムによって行われる。

本報文は、単なる舗装構造設計プログラムの内容紹介である。主に、設計のパラメータと結果の例挙にとどまつており、何ら特別な考え方および手法は見当らない。

- (1) Franken, L. and Clauwaert, C. (ベルギー)
- (2) Characterization and Structural Assessment of Bound Materials for Flexible Road Structures.
- (3) pp.130~144.
- (4) **アスファルト混合物の材料特性と構造上の評価** (野村健一郎)
構造設計等におけるアスファルト混合物の材料特性の評価方法には、試験によるものと経験式等から算出するものがある。しかし、後者に関する既存の方法の大半は、標準材料および標準状態での評価に限ったもので、汎用性に問題がある。そこで、より広範囲の材料や環境条件に適用できる評価方法の開発を目的に研究を行う。また、内部にクラックが存在する舗装の応力分布に関する検討も実施する。

本研究では、性状の異なるアスファルトを用いて数種の骨材配合の混合物を作製し、ひずみ制御、応力制御、ならびに休止期間を考慮して繰返し曲げ試験等を実施し、レオロジー的な解析などによりスティフネス、疲労特性および永久変形を検討し、アスファルト混合物の力学特性を予測する方法を検討している。また、舗装内部にクラック等が存在する場合の応力分布を、差分法にて解析している。

これらの結果、①アスファルト混合物の力学特性が、アスファルトの性状および配合から高精度で予測できる(改質アスファルト混合物に関してはさらに検討が必要)、②各種アスファルト混合物の等価値の層厚が簡単に決定できる、③舗装内部のクラックの伝播に関する予測が可能である、等が明らかになった。

舗装の構造設計等を、理論解析を用いて実験する機会が増えると予測されることから、本研究成果および引用している参考文献は有用と考える。

- (1) Buseck, H. and Hürtgen, H. (西ドイツ)
- (2) A Design Procedure Based on Experimental Results.
- (3) pp.145~162.
- (4) **実験に基づく舗装構造設計法** (野村健一郎)
ドイツにおける舗装構造の設計は、供用条件、環境条件、路床条件、および使用材料の特性等に応じ、経験に基づいて作成された舗装厚要覧(RSt O86)に準拠して行われる。しかし、新しい材料を用いる場合に不都合を生じる等の問題があることから、これらに対応できる構造設計法の開発を目的に研究を実施する。

本研究では、要因として、荷重、温度、および材料特性を取り上げ、アスファルト混合物単体の永久変形を動的載荷試験で検討するほか、粒状材との層構造における永久変形を検討して、永久変形モデルを作成している。また、このモデルとフルスケール試験舗装(FSPT)による舗装構造の評価を組合せることにより、最適な舗装構造を求めようとしている。

これらの結果、①環境要因の評価、標準荷重換算輪数の算出、破損規準の定義、②材料特性試験に基づく永久変形モデル(PDM)の作成、③FSPTでのわだち掘れ深さ(RD)の測定、等を行い、PDMとFSPTの関係をもとにRDを換算し、この値と破損規準を比較することで舗装厚を決定する設計法を提案している。

本論文で提案している方法は、破損規準にわだち掘れ量を用いており、そのままわが国に導入することには疑問もあるが、理論的に舗装構造設計を検討する際のサブシステムとしては有用と考える。なお、わが国の舗装構造設計に導入するには、環境条件の評価などをさらに検討する必要があると考える。

- (1) Irick, P., Hudson, W. R. and McCullough, B. F. (アメリカ)

- (2) Application of Reliability Concepts to Pavement Design.

(3) pp.163~179.

(4) **信頼性概念の舗装設計への適用**

(野村敏明)

(5) 舗装設計における信頼性の概念に関するレポートは1971年頃から提出され、以来アメリカの各州で設計手順の中に取り入れられている。本論文はAASHTO舗装設計指針(1986年改訂版)に記載された舗装設計の信頼性についての概要を述べたものである。

信頼性とは、設計された舗装がその設計期間以上に供用される確率であると定義される。その信頼性の水準は百分率で表現される。また、舗装の供用性は供用期間における等価軸重数の関数で表わされ、その供用性予測における全分散は交通量予測分散と舗装の性能予測の分散に分けられ、これらの関係を式化および図示することによって信頼性の概念を説明している。

この論文で、信頼性概念の背景と一般的な定義、設計一供用性プロセスの分散成分、信頼性の舗装設計への適用手順などを示した。今後の研究として、舗装設計式における分散成分の評価と信頼性水準の選択規準の確立が必要であり、そのためSHRPでの供用性に関する研究成果への期待、そして広範囲における舗装設計での信頼性水準の使用と解析が不可欠であるとしている。

信頼性は、舗装の供用性予測に重要な概念であり、わが国においても身近なものになっていくであろう。

- (1) Saraf, C., Marshek, K., Chen, H., Connell, R. and Hudson, W. R. (アメリカ)

(2) The Effect of Truck Tire Contact Pressure Distribution on the Design of Flexible Pavements.

(3) pp.180~190.

(4) **たわみ性舗装設計におけるトラックタイヤの接地圧分布の影響**

(野村敏明)

(5) 従来、たわみ性舗装設計において、タイヤ接地面での接地圧の測定は困難であり、接地圧を円形等分布と仮定して舗装断面解析を行っている。本研究は、実際のトラックタイヤ接地圧分布を測定する装置を開発し、有限要素解析プログラムを用いて舗装設計における非円形非等分布接地圧の影響を調べたものである。

まず、タイヤ接地圧を測定するために3つの方法を検討し、最終的に圧力感知フィルムを用いた実験装置を開発することによって接地圧分布の測定を可能にした。次に、TEXGAP-3Dと呼ばれる有限要素プログラムを用いて表層下面の引張りひずみと路床上面の垂直圧縮ひずみを計算し、伝統的な層解析プログラムELSYM5(接地圧を円形等分布と仮定)による計算結果との比較検討を行っている。

本研究により次の結論を得た。①表層下面の引張りひずみはTEXGAP-3DよりもELSYM5による計算値の方が大きい。タイヤ空気圧の増加に対するそのひずみの増加割合はELSYM5の方が大きく、また輪荷重に対してはその逆となる。②路床上面の垂直圧縮ひずみ(わだち掘れパラメータ)はTEXGAP-3DよりもELSYM5の方が小さい。そのひずみは、タイヤ空気圧の増加(一定輪荷重)に影響されないが、輪荷重の増加(一定空気圧)には有意である。

この論文は、非円形非等分布接地圧の影響について述べたものであり、構造設計を行う際に参考となるであろう。

- (1) Goacolou, H. (フランス)

(2) Calculation of the Rutting of Structures-CASTOR Program, Method for Prediction of Permanent Deformations in Asphaltic Structures.

(3) pp.191~199.

(4) **CASTORプログラムによるわだち掘れの計算(アスファルト舗装における永久変形量の予測法)**

(野村敏明)

(5) アスファルト舗装構造における永久変形(わだち掘れ)を予測するための計算プログラムとしてALIZEやBIFISなどの純理論的な3次元モデルのものがある。この論文では、それらと対等な2次元モデル(横断と深さ方向)に基づく有限要素計算プログラムCASTORを提案する。

そのプログラムにおいて、永久変形は粘塑性(Viscoplasticity)モデルで説明されている。入力パラメータと出力結果は次のとおりである。

入力: ①断面構造、②荷重特性(形状、重量、数、横断分布)、③材料の挙動特性(可逆と不可逆変形)、④深さ方向の温度分布

出力: ①わだちの深さと形状を示す構造の2次元変形メッシュ(mesh)、②材料のクリープ線、③臨界域を示す等クリープ曲線

計算結果はLPCわだち掘れ試験機でシミュレートされ、プログラムのチェックがなされる。

簡略化されたCASTORプログラムを提案することによって、わだち掘れに影響する種々のパラメータの検討が可能となった。

この論文は具体的なデータの記述に乏しく、まだ検討段階であろうか。

- (1) Siffert, M. and Lescure, B. (フランス)

- (2) Evaluation of Heavy-Vehicie Traffic and its Application to Pavement Structural Design.

- (3) pp.200~208.

- (4) 重車両の評価と舗装構造設計への適用

(南沢輝雄)

- (5) 交通条件や荷重状態を把握することは、道路施設の適切な設計、管理する上で最も大切なことである。本論文は、フランスで交通量とその荷重の検出器として使用しているピエゾエレクトリックセラミックケーブルの原理と性能および舗装構造設計への適用について述べたものである。

フランスの道路上に200箇所のセラミックケーブルを設置して得られたデータを用いて、その精度と性能について解析を行った。

本装置は、大型車交通量とその荷重の評価からその他の交通要因（車両速度、軸間距離等）の評価まで行うことができる。本装置の主な利点は、従来の装置と比較して、軽量装置であること、初期費用および取付けやメンテナンス費用の安さ、種々の場所に対しても設置できる点である。本装置を使用することにより、舗装の構造設計や維持修繕に十分役立つことはもとより、道路をネットワーク的にとらえた道路の優先順位（重要度）のクラス分けにも利用でき、その利用範囲は広い。

わが国においては、路面を堀削して設置する固定式の装置があるが、設置に堀削工事を伴なうとともに保守管理に多大な費用を要する。最近では、可搬式のマット式軸重計を使用している機関もあり、今後マット式やセラミックケーブル式の可搬式の機器が有効となるだろう。

- (1) Eckmann, B. (フランス)

- (2) Rut Depth Prediction : A Practical Verification.

- (3) pp.209~219.

- (4) わだち掘れの予測と検証

(南沢輝雄)

- (5) 本論文は、試験舗装区間におけるわだち掘れの進行を調査した測定値と、構造設計理論に基づいて算出した予測値とを比較し、わだち掘れ予測に影響する要因について述べたものである。

試験舗装は、1978年オランダの国道28号に材料の異なる2種類のオーバーレイ（20年と15年設計）を実施し、環境データとアスファルト混合物特性について調査した。わだち掘れ予測は、荷重と温度状態より多層弾性理論を用いて算出している。本論文では環境と構造要因の相互の重要性に着目し、エッソの動的クリープ試験を用いて、アスファルト層間の応力および温度状態とわだち掘れとの感度分析を行い、その関連性を検討した。

わだち掘れに影響を及ぼす要因として、①材料条件（スティフェネス、ポアソン比、クリープ等）、②環境データ（交通、温度等）、③層間の界面状態、④多層弾性理論との関連性があげられる。これらの要因のうち、本論文では、舗装温度と交通条件（軸重、タイヤ圧力）の重要性を立証している。したがって、今後、精度の高いわだち掘れ予測を行うためには、温度条件と交通条件をできるだけ詳細に調査することが必要である。

本研究は、オランダのRijkswaterstaat（運輸および公共土木省）の道路部門（WBD）の収集したデータを用いて研究を行ったものである。日本におけるわだち掘れ予測手法は、経年データを統計処理した手法が主流であり、弾性理論等による理論的予測手法のアプローチとして参考になる文献であろう。

- (1) Lister, N. W. and Powell, W. D. (イギリス)

- (2) Design Practice for Bituminous Pavement in the United Kingdom.

- (3) pp.220~231.

- (4) イギリスにおける瀝青舗装の設計法

(南沢輝雄)

- (5) 瀝青舗装の新しい標準設計法は、TRRLによって開発された。本論文では、構造理論に基づいた試験道路の供用性の分析結果およびその設計法について述べたものである。

イギリスにおいて、1950～1970年の間に約400箇所の試験舗装を実施し、その調査結果を分析して、設計要領(Road Note 29)を発刊した。その後も引き続き、試験舗装を増やし、種々の供用性(わだち掘れ、たわみ、ひびわれ)や構造特性(交通や温度条件に対する反応)について調査分析している。本論文では、舗装の悪化と設計寿命の概念、路床と路盤の標準設計法とその検証、改良路盤を用いた新設計法、重交通および修繕の設計法について紹介している。また、トータルコストを考慮した長期設計寿命の考え方も紹介している。これらの設計法は、すべて試験道路の供用性の調査分析結果と多層弹性理論に基づいて開発したものである。

本設計法により、新しい種々の環境(交通条件、温度条件等)における標準設計ができるようになった。特に、新材料の適用、重交通道路の設計、舗装の修繕に対し有効なものとなろう。

わが国においては、経験的設計法である現行のCBR-T_A法を用いており、今後新材料、新工法の採用や維持修繕の設計を検討する上で、構造理論に基づいた本設計法は参考となろう。

- (1) Dauzats, M. and Rampal, A. (フランス)
- (2) Mechanisms of Surface Cracking in Wearing Courses.
- (3) pp.232～247.

(4) 摩耗層面に発生するひびわれのメカニズム

(田中輝栄)

- (5) ヨーロッパ、北アメリカでは、アスファルトコンクリート舗装上の摩耗層面に発生・進行するひびわれが問題となっている。本論文は、そのひびわれのメカニズムについて検討を行い、摩耗層の適切な維持修繕方法を導こうとしたものである。

本論文は、次の2種類の既存モデルを有効に組み合わせることにより、摩耗層面に発生したひびわれの進行メカニズムの検討を行っている。1種類は、摩耗層の温度変化(深さ方向)によるひびわれの進行予測モデルである。このモデルは、Y. Shahinのモデルをフランスの条件に適用させたものである。他の1種類は、ひびわれの存在する摩耗層に破壊力学を適用し、任意の荷重状況に対し応力解析を行う有限要素法を用いたモデルである。このモデルは、LCPC(Public Works Research Laboratory)により開発されたROSALIEシステムのサブプログラム(ELIP)である。

以上2種類のモデルを組み合わせることにより、温度疲労によるひびわれの進行を推定し、かつ構造的に危険となるひびわれを推定することができるとしている。その結果、摩耗層に対する適切な維持修繕が実施できるとし、具体的に基準値を示している。

本研究は、フランスのLabo. Regional Aix en Provenceが行ったものであるが、摩耗層に対する層内温度および交通荷重の両面からひび割れの進行メカニズムを評価し、摩耗層のひび割れに対する理論的な維持修繕の基準を確立しようとしたもので、わが国においても参考となろう。

- (1) Mcleod, N. W. (カナダ)
- (2) Employing Paving Asphalt Temperature Susceptibility in the Structural Design of Asphalt Pavements.
- (3) pp.248～271.

(4) アスファルト舗装構造設計における舗装用アスファルトの感温性の導入

(田中輝栄)

- (5) 本論文は、ASTMおよびAASHTOのアスファルト舗装構造設計法で規定されていない舗装用アスファルトの感温性に対する定量的な評価方法について検討を行い、その有効性を示そうとしたものである。

本論文は、舗装用アスファルトの感温性を、135°C粘度と25°C針入度の関係から求めたPVN(Pen-Vis Number)という定量的尺度で表し、夏季高温度下の塑性流動と冬季低温度下のひびわれを防止するために必要な舗装用アスファルトの条件を、アスファルトの感温性PVN、粘度、針入度、アスファルト混合物のスティフェネスにより3種類の交通条件(重交通、中交通、軽交通)に対して検討を行ったものである。なお、アスファルト混合物のスティフェネスは、Van der Poelのノモグラフより求めている。

本論文で提案している感温性の尺度PVNは、通常に行われている粘度と針入度に関する試験により容易に求められ、また、感温性PVNとアスファルト混合物のスティフェネスを組み合わせることにより、各交通条件に対する適当な舗装用アスファルトの選択が可能であるとし、感温性PVNの有効性を示している。

本研究は、カナダのMcAsphalt Engineering Servicesが行ったものであるが、当社では、感温性を改良するためポリマーを添加した舗装用アスファルトを開発中であるとしている。いわゆる改質アスファルトの技術に関して、

わが国の状況と比較すると、わが国の技術が数段進歩しているようである。

- (1) Himeno, K., Watanabe, T. and Maruyama, T. (日本)
- (2) Estimation of Fatigue Life of Asphalt Pavement.
- (3) pp.272~289.
- (4) **アスファルト舗装の疲労寿命の推定**

(姫野賢治)

- (5) 本論文は、広い範囲のスティフェネスに対して成立するアスファルト混合物の合理的な疲労破壊規準を確立し、これにより、アスファルト舗装に疲労ひびわれ破壊が発生するまでの寿命を高い精度で推定することを目的としたものである。

すなわち、繰り返し曲げ破壊試験により一周期の外力に対する単位体積あたりの粘性によって破壊時に散逸するエネルギー量と破壊に至るまでの載荷回数との間に、さらに位相角と混合物のスティフェネスとの間に、それぞれ一義的な関係があることを見い出し、各破壊回数に対応する応力振幅とひずみ振幅の関係がそのまま疲労破壊包絡線を与えることを明らかにしている。また、舗装構造に作用する外力、舗装構造自体の破壊強度を確率変数としてとらえ、数値シミュレーションによって舗装の破壊回数を定量化する手法を示している。

ここで提案した破壊規準は従来定説のなかった低スティフェネス時の疲労破壊特性をも合理的に表現し得ることを確認し、近年比較的アスファルト混合物層の厚い舗装で問題となっている縦表面ひびわれも、これを一種の疲労破壊ととらえることにより、曲げ疲労ひびわれ破壊と同一の破壊規準によって記述できることを明らかにしている。

本論文は、疲労破壊を応力振幅またはひずみ振幅のみで規定することはできないことを定量的に示している。また、疲労破壊規準や寿命推定方法がすべて数学的に表現されているので、各種のPMSのサブシステムに組み込むことが容易であり、今後利用価値が高まるものと思われる。

- (1) Hugo, F. (南アフリカ共和国)

- (2) Catering for Long Term Changes in the Characteristics of Asphalt During the Design Life of a Pavement.

- (3) pp.290~304.

- (4) **舗装の設計寿命内におけるアスファルト特性の長期変化**

(小沼貞雄)

- (5) アスファルトには老化という問題がある。これは舗装のライフサイクルの間における結合材の硬化と容積変化が原因となっている。両方の現象とも広範囲に亘って研究がなされており、特にHugoとKennedyが発表した、アスファルト舗装の設計における路面のひびわれの研究により証明されている。しかしながら、この現象の及ぼす影響については信頼できる見地による研究を必要としている。

そこで、これらの研究結果と仮説を確証する試みとして、重車両シミュレータ(Heavy Vehicle Simulator)を用いた大規模な実験を行った。これには連続粒度と不連続粒度(ギャップ粒度)と共にプレコートチップによるアスファルト混合物が用いられ、急激な温度変化によるアスファルト舗装の変化についての研究を行った。

この研究により、高温における結合材の粘度の変動は舗装の深さとの関係に応じて塑性変化を起こす原因となるので、非常に重要な意味を持つことがわかった。これは残留応力の増加が原因である事が証明された。残留応力は、アスファルト層の位置と舗装構造によって舗装の寿命を長くしたり、短くしたりする。つまり、アスファルト舗装の設計においては、環境条件が舗装構造にもたらす要因を考慮に入れるべきであることを明らかにしている。

本論文は、アスファルト層における結合材の粘度の増加と容積の減少が老化の原因であることを明確にすると共に、舗装のライフサイクルにおいて、新設、早期、中期、末期の段階毎に再生利用等の判断の必要性を述べたものであり、舗装設計を行う上での重要な成果となるだろう。

- (1) Brown, E. R. (アメリカ)

- (2) Evaluation of Fatigue Properties of Recycled Asphalt Concrete.

- (3) pp.305~322.

- (4) **再生アスファルトコンクリートにおける疲労特性評価**

(小沼貞雄)

- (5) 古くなったアスファルトコンクリート舗装は、再生利用することにより経費の有効利用と、アスファルト、骨材のような各種天然資源を守ることに役立っている。本論文は、再生アスファルト混合物の曲げ疲労についての評価と、従来のアスファルト混合物の曲げ疲労との比較について報告したものである。

試験に用いた試料は、古くなったアスファルトコンクリートに新しい骨材と新しいアスファルト材料を混ぜ合わせて作り出された6種類の異なった再生混合物と2種類の従来のアスファルト混合物の計8種類とし、すべての混合物についての曲げ疲労特性を評価した。アスファルトの試験は、針入度試験、伸度試験、軟化点試験、粘度試験、比重試験、回転式薄膜加熱試験であり、アスファルト混合物の試験は配合設計および曲げ疲労試験である。

本試験結果によれば、曲げ疲労試験を行った際、再生混合物は従来のアスファルト混合物と同様に配合設計することができた。また、再生混合物中の混ぜ合わせたアスファルトの特性は、新しいアスファルトと同等な性状を示すことが得られた。

この研究結果は、今後の舗装設計に対し大きな位置付けをもたらすものであると言える。さらに限られた資源の有効利用を目的に置いて一つの成果が得られたことを非常に興味深く思う。

- (1) Lehovec, F. and Luxemburk, F. (チェコスロバキア)
- (2) Higher Accuracy in Flexible Pavement Construction Design.
- (3) pp.323~332.

(小沼貞雄)

- (4) **たわみ性舗装の設計システム**
- (5) たわみ性舗装の設計は、現在チェコスロバキアにおいて大変注目を集めている。それは、チェコスロバキアの道路の多くがたわみ性舗装でつくられていて、舗装の品質の悪さが大きな影響を及ぼしていたからである。その原因は従来のたわみ性舗装の設計法と評価方法にあると言える。その設計方法とは、垂直静荷重による応力を考慮したN層システムの理論的な解明を基礎としたものであり、水平荷重の影響を考慮にいれていない。そこで本論文は、舗装構造中の応力とひずみについて計算し、交通容量と舗装寿命の評価を行った。

水平荷重によるN層システムにおける応力とひずみの計算にはTANLAYのプログラムが用いられ、垂直荷重によるN層システムにおける応力と変形の計算にはLAYMEDのプログラムが使用された。これにより、車軸の設計通過台数を表わす交通容量が求められ、各々の層間における摩擦が粗から滑へ変化したときの相互作用が評価された。

この研究は、表層と路盤層間の相互作用評価の決定に焦点を合わせたもので、層間を完全に粗にしないと新設された舗装の交通容量と舗装設計時の耐用年数が著しく減少することがわかった。

このチェコスロバキアのたわみ性舗装の設計法の要約版は、第5回国際会議議事録に報告されているので、是非機会があれば詳細内容について勉強してみる価値があるものと思う。

- (1) Freeme, C. R., Beer, M. de. and Viljoen, A. W. (南アフリカ)
- (2) The Behaviour and Mechanistic Design of Asphalt Pavements.
- (3) pp.333~343.

(金井利浩)

- (4) **アスファルト舗装の挙動と力学的設計**
- (5) 本研究は、南アフリカにおける設計法（第5回国際構造会議）を応用して、舗装の状態を解析評価し、より有効な修繕を利用するすることを目的としている。

舗装の挙動は、舗装を構成している各層の挙動と層間の相互作用により決定されるが、表層におけるたわみ、曲率、変形量を測定することにより、その相乗効果の判定と将来の予測が可能となる。本文では、セメント安定処理路盤を有する舗装における経時変化の概要を述べ、重交通用舗装のアスファルト混合物および路盤（粒状材、富配合セメント安定処理材、貧配合セメント安定処理材）についての破壊モデルを示し、挙動変化の様子とその原因を詳細に説明している。各材料の挙動に影響を及ぼす因子はアスファルト混合物では温度、アスファルトの劣化および剥離（水の浸透および混合不足）、疲労クラック、粒状路盤材では水の浸透によるエロージョン、セメント安定処理路盤材では破壊クラック（破壊後のブロックの大きさ）、水の浸透によるエロージョンである。また、舗装の構造的評価を行う場合の目安となるようにさまざまな状態に変化している各材料についての弾性係数の概略値をHVS試験（重交通模擬試験）に基づいて示している。

本研究により、現状の舗装における構造的評価が可能となり、目視では破壊状態にあると判定される舗装についても、経済的で良好な維持修繕を行うことができるようになった。

本研究は、水の浸透が各材料の挙動に大きく影響を及ぼしていることを示すとともに、材料の評価も行っており、多雨多湿な我が国にとって参考となるであろう。

- (1) Monismith, C. L., Finn, F. N., Ahlborn, G. and Markevich, N. (アメリカ)
- (2) A General Analytically Based Approach to the Design of Asphalt Concrete Pavements.
- (3) pp.344~365.
- (4) **アスファルト舗装の設計における解析法の総括的基礎研究** (金井利浩)
- (5) 第1回国際構造会議以来、25年間にわたる研究によりアスファルト舗装の挙動を弾性的にシミュレートできるようになってきた。著者らは、それらの成果を総括し、材料が非線形的応答をする場合にも適用が可能なシステムをつくりあげた。本文では、その内容を解説するとともに適用例を紹介している。

本システムの一般的な手法は、環境条件、交通条件、材料特性をインプットし、アスファルト混合物の破壊ダメージとわだち掘れ量を解析的に求め、舗装構造を評価するものである。解析には、ELSA、ACDAMプログラムおよびShellの方法（クリープ試験による）を用いており、荷重の大きさ、接地圧、接地半径により定義される荷重条件の組合せおよび載荷位置の変化に対処できるため、空港舗装の設計にも適用可能となっている。その他の応用例として、①高速道路における輪荷重および接地圧の増加に伴う舗装体の挙動変化についての検討、②気温の異なる地方におけるわだち掘れ量の比較、③アスファルト混合物の配合設計の修正および改質アスファルトの効果の検討が挙げられている。

本設計システムにより、実験から得られた材料特性を取り込みながら、解析プログラムを用いてアスファルト舗装のオーバーレイ、新設および打換え等の設計解析処理や配合設計の修正、新材料の評価（経済性も含めて）が行えるようになった。

文末に、ELSA、ACDAMの両プログラムについての解説があるので参照されたい。

- (1) Brunton, J. M., Brown, S. F. and Pell, P. S. (イギリス)
- (2) Developments to the Nottingham Analytical Design Method for Asphalt Pavements.
- (3) pp.366~377.
- (4) **アスファルト舗装におけるノッティンガム大学の解析的設計法の発展** (金井利浩)
- (5) 本研究はノッティンガム大学における舗装の解析的設計法(ANPAD)の概要と発展の様子について述べたものである。

本設計法は、Mobil Oil社の舗装設計チャートをもとに開発されたものであり、構造設計と設計寿命の計算を行えるようになっている。また、舗装の限界状態は「破壊」状態と「臨界」状態の2つの設定がされていることから、まず、設計方法を選択し、環境条件（気温、走行速度、交通量（80kN標準軸数））を設定し、材料特性（アスファルト量、路床のCBR値など）を入力して、多層弾性解析システムCHEVRONによって、アスファルト混合物層下面での引張ひずみ（破壊クラック）および路床上面の圧縮ひずみ（わだち掘れ量）を、またプログラムPONOSによってアスファルト混合物の弾性スティフネスを計算する。なお、温度条件は集積ダメージプログラムCUDAMに取り込まれている。最近の研究において、粒状路盤の弾性係数は、有限要素解析プログラムSENOLによる解析結果から一定値(100MPa)として扱えることがわかった。また、路床の圧縮ひずみの計算式にアスファルト混合物の繰り返し三軸圧縮試験より得られる係数が取り入れられた。検証としてRoad Note 29およびT. R. R. L. LR 1132との比較を行ったが、良好な一致を見た。また、CUDAMを北アメリカ用に修正したCUDNAを開発したが、AASHTOとの比較において信頼のおける結果が得られており、現在、北アメリカにおける設計チャートの開発に利用されている。

今回の研究により、システムの適用範囲が拡大された。

舗装の限界状態として「破壊」状態、「臨界」状態の2つが確立されており、経済的な舗装の維持修繕計画を立案する上で役立つものと思われる。

- (1) Gerritsen, A. H. Gurn, C. A. P. M. van Heide, J. P. J. van der Molenaar, A. A. A. and Pronk, A. C. (オランダ)
- (2) Prediction and Prevention of Surface Cracking in Asphaltic Pavements.
- (3) pp.378~391.
- (4) **アスファルト舗装の表面ひびわれの発生の予測とその防止対策** (神谷恵三)
- (5) 比較的新しい道路において、車輪通過部のわきに発生する表面ひびわれについて、その原因の調査と防止対策を

検討することを目的に、室内および現場において試験を実施した。多層弾性理論によれば、最大の引張りひずみは、アスファルト層の表面ではなく下面において生じると想定されているが、こういった表面に発生するひびわれのメカニズムを究明するために、本報文ではひずみエネルギーの概念を導入している。

室内試験では、現場から採取したコアを使用し、先ず、混合物組成、混合物性状を把握した上で、温度とスティフェスおよび疲労ひずみとの関係、応力緩和と温度応力および荷重通過後の残留応力（引張り）との関係を調査した。また現場試験では、室内試験での成果を検証するために、ひびわれの調査とFWD試験を実施した。

その結果、ひびわれの発生に影響を及ぼすものは、針入度の低下よりも載荷荷重や温度応力等であることが判った。また、Burgersモデルによって荷重載荷後の応力緩和がうまく説明された。ひびわれの抑制については、室内試験における混合物の配合、破壊時の温度応力、載荷荷重、繰り返し載荷回数等を考慮することを推奨している。

ひびわれの発生予測に対して、エネルギーの概念を導入しているところが興味深い。

- (1) Eisenmann, J. and Hilmer, A. (西ドイツ)
- (2) Influence of Wheel Load and Inflation Pressure on the Rutting Effect at Asphalt-Pavements-Experiments and Theoretical Investigations.
- (3) pp.392~403.
- (4) 輪荷重とタイヤの空気圧が及ぼすわだち掘れへの影響（室内試験と理論調査）(神谷恵三)
- (5) 本論文は、アスファルト舗装に発生するわだち掘れに対して、輪荷重とタイヤの空気圧がどの様な影響を及ぼしているかについて研究したものである。

試験装置は、実物大のスケールで実際のタイヤ（シングルタイヤ、またはデュアルタイヤ）を回転させながら、供試体に繰り返し荷重を載荷できるもので、任意の試験温度の設定が可能である。夏場を想定した温度条件のもとで、輪荷重、タイヤの空気圧、荷重の載荷数を変えることにより、わだち掘れを発生させ、このわだち掘れ量と変化要因との関連を解析した。一方、本試験のわだち掘れ現象について多層弾性プログラムBISARを適用することによって、理論的に説明することも行った。

試験の結果、輪荷重およびタイヤの空気圧は、わだち掘れに対して影響が大きく、これら相互の関係を知れば、わだち掘れの発生予測に役立つこと、また、供試体に発生したわだち掘れは、BISARによる計算結果と対応が良いことが判った。

タイヤの空気圧は、接地圧に関係があると思われ、特にデュアルタイヤのわだち掘れの場合、この影響が大きいのではないかと考えられる。わが国のタイヤ性能についても調査してみる価値があると思われる。

- (1) Lees, G. (イギリス)
- (2) Asphalt Mix Design for Optimum Structural and Tyre Interaction Purposes.
- (3) pp.404~417.
- (4) アスファルト混合物の配合設計に関する検討(谷口豊明)
- (5) 舗装の表層に用いるアスファルト混合物には、流動、ひびわれ、摩耗、老化などに対する物理的な抵抗性の他に、すべり抵抗、低騒音、低水はね、低振動など機能面の特性が要求される。本論文は、マーシャル試験による配合設計において、上記の特性を考慮した設計基準の設定の考え方について述べるものである。

本論文は、まず現在のマーシャル特性値の意味と表層として要求される種々の特性との関連について検討し、次に表層として特定の機能あるいは特性を具備するために考慮しなければならない事項について提案している。

著者が提案した主なものは、①ShellやA Iの方法では、個々の特性値の基準に対するアスファルト量の平均値を最適アスファルト量としているが、日本の要綱のように、共通範囲の中から選ぶ方が表層として要求される供用性能をよりよく反映した配合設計となりうる、②交通量や表層の構造的強さを考えた配合設計を行う場合、フロー値に上限値を設定するのは無意味であり、S/Fもしくは最大安定度の60%割線係数を基準値としたほうが良い、③アスファルト混合物層の厚さに応じて、混合物のスティフェスに関する基準値（S/Fもしくは60%割線係数）の上・下限値を調整する必要がある。④工学的な見地から、空げき、VMA、飽和度よりは透水性の方がより重要であり、耐水性、すべり抵抗などの供用性に対応する基準値として利用できる、などである。

アスファルト混合物の配合設計、特に設計基準値の意義を考え直す上で興味深い文献である。

Session II. Pavement Performance and Evaluation 舗装評価

(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) Chou, Yu. T. (アメリカ)
(2) Probabilistic and Reliability Analysis of the California Bearing Ratio (CBR) Design Method for Flexible Airfield Pavements.
(3) pp.421~427.

(4) 空港アスファルト舗装におけるCBR設計法の信頼度分析 (龜田昭一)

- (5) 空港アスファルト舗装の設計因子は、タイヤ接地面積、等価単車輪荷重及び路床支持力であるが、これまでに舗装厚を含めたこれらの因子の変動が舗装の供用性にどの程度影響を及ぼすかは明確ではなかった。本論文ではCBR設計法の信頼度分析を実施し、各々の因子が供用性に及ぼす影響を明らかにすることを目的としている。

現在、用いられている設計式に供用性ファクター α を導入し、統計的手法を用いて各々の因子の感度分析及び確率論による解析を行っている。

本解析から、舗装の供用性に最も影響を及ぼす因子は、舗装厚であり、供用性に対する重みは、舗装厚、路床支持力、等価単車輪荷重及びタイヤ接地面積でそれぞれ1, 0.34, 0.34, 0.01であることが示された。また、各々の因子の変動に対する舗装の信頼性（設計カベレージに至るまで供用する信頼性）についても、明確にされている。

空港舗装設計に携わる方には参考になる文献であろう。

- (1) Fwa, T.F. and Sinha, K.C. (アメリカ)

- (2) An Analysis of Load and Non-Load-Related Effects on Flexible Pavement Performance.

- (3) pp.428~442.

(4) アスファルト舗装の供用性に及ぼす交通荷重等の影響に関する解析 (龜田昭一)

- (5) 舗装の供用性の低下は、交通荷重やその他の因子（例えば舗装の経年数、気象条件等）の個々の作用あるいは相互作用によって生じる。また、各々の因子の供用性に及ぼす影響度は、地域によって異なってくる。このようなことを踏まえ、本論文では地域性を考慮して、各々の因子の影響度を定量的に求めることを目的としている。

本解析では、交通荷重（交通量、軸重、車軸の配置等）やそれ以外（路床支持力、舗装厚、PSI、気象条件等）に関する調査データを収集し、各々のデータと供用性について回帰分析を行ない各因子の舗装の供用性低下に係る寄与率を求めている。なお、荷重のESALへの換算はAASHTOの方法に準じている。

本研究により、供用性の低下に影響を及ぼす主な要因は、交通荷重、凍結指数及び降雪量であり、交通荷重の寄与率は72~100%を占めていることが明らかとなった。また、この凍結指数と降雪量のどちらかを使用することにより、供用性の地域的な変動を説明できることが解った。

本論文は、供用性に影響を及ぼす種々の要因について記述してあるので、今後、舗装の供用性を検討する上で参考となる文献であろう。

- (1) Smith, R.B. and Yandell, W.O. (オーストラリア)

- (2) Predicted and Field Performance of a Thin Full Depth Asphalt Pavement Placed over a Weak Subgrade

- (3) pp. 443~454.

(4) 軟弱路床における軽フルデプス舗装の供用性とその予測 (龜田昭一)

- (5) 有限要素法を利用してフルデプス舗装のひびわれ、わだち掘れなどの予測を行ない、この予測値と現場での調査結果とを比較検討する。

本解析では、①. 室内試験結果による路床及びアスファルト混合物層のレジリエント係数の決定、②. 格子形で構成されている舗装モデルによる荷重（軸重80KN）に対する応力およびひずみの算定、③. ②の計算結果およびshellの疲労曲線を用いたひびわれおよびわだち掘れの予測、という3つの手順に従って行われている。

なお、路床、アスファルト混合物層のレジリエント係数は、各々2種類の値を採用している。これは、前者では含水比、後者では載荷時間を考慮したものである。

本研究により、ひびわれ発生までの累積交通量が10%以内の誤差で予測可能となり、わだち掘れの予測について

は、路床とアスファルト混合物層のレジリエント係数の組合せにより、実測値に近づくことが明らかとなった。本論文では、供用性予測の方法・手段の事柄より舗装モデルについて詳しく述べられている。

- (1) Servas, V.P., Ferreira, M.A. and Curtayne, P.C.(南アフリカ)
- (2) Fundamental Properties of Recycled Asphalt Mixes
- (3) pp.455~465.

(4) **再生加熱アスファルト混合物の基本的特性**

(谷口豊明)

- (5) 本研究は再生加熱アスファルト混合物(プラント再生)の各種特性を室内試験と試験舗装における載荷試験により評価した結果について述べたものである。

再生骨材(廃材)の配合比率が0, 30, 50, 70%の計4種類の再生加熱アスファルト混合物を用い、室内試験では、マーシャル試験、クリーブ試験および間接引張試験を実施して、各試験結果より混合物の一般的性状、変形抵抗性および疲労特性を評価した。

一方、試験舗装では下層路盤上に厚さ125mmの再生加熱アスファルト混合物を舗設し、Heavy Vehicle Simulator(HVS)による促進載荷試験を実施して同混合物の疲労特性と変形抵抗性を評価した。

室内試験結果より、①配合比率に関係なく再生加熱アスファルト混合物の諸特性は新規混合物の品質規格を満足する、②再生骨材の配合比率は混合物の疲労特性および変形抵抗性に影響を及ぼさない、また載荷試験結果より、③疲労特性は室内試験結果とよく一致する、④再生加熱アスファルト混合物は新規混合物と同等と評価できる、⑤HVSによる評価でも、再生骨材の配合比率は疲労特性に影響を及ぼさない、ことが判明した。

再生アスファルト混合物が新規混合物と同等であることや、疲労および変形特性を現位置試験により評価した点が注目される。

- (1) Mamlouk, M.S. (アメリカ)
- (2) Dynamic Analysis of Multilayered Pavement Structures— Theory, Significance and Verification —
- (3) pp. 466~474.

(4) **アスファルト舗装多層構造の動的解析 一理論、有意性、検証一**

(田中輝栄)

- (5) 舗装上を走行する交通荷重、および非破壊で舗装構造評価を行うために開発されたロードレータ、ダイナフレクト、FWDなどのたわみ量測定装置の荷重は、本質的には動的荷重である。本論文は、多層構造のアスファルト舗装が示す実際の挙動により近い動的解析のアスファルト舗装への適用の有効性について述べている。

本論文は、理論、有意性、検証の3段階により構成されている。理論では、1自由度系・多自由度系のモデル、変位・応力・ひずみの計方法について概略している。有意性においては、静的解析に比較して動的解析の有意性について、レジリアントモデュラス・ダンピング・非線形性の解釈、たわみ量測定装置の荷重についての解釈より述べている。実証においては、空港舗装での実測たわみ量を用いて、実測値、静的解析結果、動的解析結果について比較検討を行っている。なお、静的解析にはChevron、動的解析にはDynamicというコンピュータプログラムを使用している。

本論文により、各種条件での動的解析の有効性が確認でき、また、載荷方法の異なる各種動的たわみ量測定装置の中でも、FWDが最も有効な測定装置であるとしている。

本論文は、動的たわみ量測定装置と動的解析を結び付け、その有効性を示している。わが国においても、ダイナフレクト、FWDによる舗装構造評価方法について検討されており、参考となろう。

- (1) Arora M.G., Saleem, F. (サウジアラビア)
- (2) Structural Evaluation of Asphalt Pavements in the Eastern Province of Saudi Arabia
- (3) pp.475~485.
- (4) **サウジアラビア東部におけるアスファルト舗装の構造評価およびオーバーレイ厚の設計手法**

(笠原彰彦、谷口豊明)

- (5) サウジアラビアでは、近年、交通量等の加速度的な増加によって舗装が予想以上に早く破損する傾向を示しているため、最も効果的に高速道路等を維持管理するための舗装維持管理システム(PMMS)を開発が必要となった。本論文はPMMSを構築する際に、最も重要なサブシステムとなる既設の舗装構造を評価する手法およびこれを用いた

オーバーレイ厚の設計手法に関して述べたものである。

本手法はベンケルマンビーム試験と現場の切取り供試体を用いた室内評価よりたわみ特性および弾性係数を求め、これらのデータからBISARを用いた逆解析を行ってアスファルト層の疲労破壊と路盤層での塑性変形の面より舗装の残存寿命を推定している。オーバーレイの厚さは、この地方に適したものとするため各季節での温度の影響等をそれぞれの破壊モードについて考慮し、これに基づく独自の設計チャートを用いたたわみ特性との関係より求められる。また補修の必要性および優先性は現場の破損調査による舗装状態指数（PCI）によって決定している。

本手法によって地域性を考慮した既設舗装の評価やオーバーレイ厚の設計等が可能となったが、データの蓄積にともない隨時見直すべきものとしている。また、これはサウジアラビアでの舗装構造評価に関する最初の包括的研究であり、PMMSの研究進展の面からもさらに多くの交通荷重および舗装のたわみや疲労に関するデータ等の収集、蓄積の必要があるとしている。

本研究は、基本的に欧米における過去の研究と同じものであるが、国の実状に合わせて、たわみ量の温度補正やレジリエントモジュラスの試験温度を工夫した点が興味深い。

- (1) Khosla, N.P. (アメリカ)
- (2) A Field Verification of VESYS IIIA Structural Subsystem
- (3) pp.486~499.
- (4) **VESYS IIIA構造サブシステムの現場検証** (峰岸順一)
- (5) 本論文は、FHWAで開発したVESYS IIIA構造サブシステムを、北カロライナで現場検証した結果について述べている。

本研究では、アスファルト混合物の性状について直接圧縮試験と間接引張り試験で求め、各層の材料の力学的特性・実際の交通量・地域の気候条件をVESYS IIIA構造サブシステムに入力することで舗装の供用性を予測している。次に予測した供用性の各指標（わだち掘れ、クラック、供用性指数）を、実測定した供用性の各指標と比較を行なっている。

供用性の実測と比較した結果、VESYS IIIA構造サブシステムは、舗装の供用性を正確に予測するシステムであった。そして直接圧縮試験で決定した力学的特性を用いて予測した供用性は、実測した供用性とよく一致した。一方、間接引張り試験で決定した力学的特性を用いて予測した供用性は、舗装の供用性を過大に評価することがわかった。この原因は、間接引張り試験が温度と載荷時間の影響を受けやすいからである。

VESYS IIIA構造サブシステムは、舗装材料の力学特性、舗装構造、交通条件、環境条件（温度）から供用性を予測するシステムであるが、今後、最適な舗装厚さの設計を行えるシステムへと発展することが期待される。

- (1) Uddin, W., Nixon, J.F., McCullough, B.F. and Kabir, J. (アメリカ)
- (2) Diagnostic Evaluation of In-service Pavements Performance Using Pavement Condition Data
- (3) pp.500~520.
- (4) **舗装性状データを用いた実舗装の供用性の評価** (峰岸順一)
- (5) 舗装性状データを収集し、解析を行うことは、実際に供用されている舗装の供用性を評価するために重要である。本論文は、Oklahoma州の高速道路の供用性を評価するために行なった調査結果について述べたものである。調査の目的は、①舗装診断評価法を確立すること、②供用性の低下した舗装の原因究明を行うこと、③舗装設計法や実際の維持管理方法の不都合な点があれば検討すること、④舗装の非破壊試験に使用する動的たわみ測定装置の評価を行なうことの4点である。

供用性評価のための舗装性状データは、現場測定と室内試験を行って収集され、①わだち掘れとクラック、②ダイナフレクトおよびFWDによる測定結果からコンピュータプログラム（FPEDD1, RPEDD1）を用いて予測した舗装の弾性係数と耐荷力、③はく離に注目して行ったTexas Boiling試験とLottoman試験の結果、④気候条件（年間平均降雨量）、⑤交通条件（18Kip EAL）の5者の関連について解析を行なった。

本研究で、Oklahoma州における舗装の主な破損原因是、①はく離によるものであり、水分の影響を受けやすい骨材の特性に起因すること、②重荷重の影響でさらに破損が助長されることの2点をあげている。また、Lottoman試験は、骨材のはく離性状を評価する方法として適しており、ダイナフレクトとFWDは、現場の弾性係数と耐荷力を予測するのに有効な装置であることが示されている。

限定された箇所の調査結果であるが、本研究の舗装性状データの解析手法は、供用性を評価するための手法として参考になると考えられる。

- (1) Ullidtz P., Battiaio, G., Larsen, B.K. and Stubstad, R.N. (デンマーク)
(2) Verification of the Analytical-Empirical Method of Pavement Evaluation Based on FWD Testing
(3) pp.521~532.

(4) **FWDによる舗装評価の解析的経験的方法の検証** (峰岸順一)

- (5) 解析的経験的方法は、舗装の設計法、評価、調査手法等に広く利用されている。この理由の一つとしてFWDの発達があげられる。本論文は、ヨーロッパと北アメリカにおいて道路で5000km以上、空港で20箇所以上についておこなった舗装評価の方法の検証について述べている。

解析的経験的方法は、解析的方法と経験的方法とに分かれており、両者の関係から舗装の供用性の予測を行った。解析的方法では、舗装の応答についてOdemark-Boussinesqモデルを用いて弾性解析を行い、FWDでたわみを測定した結果を用いてプログラムELMODにより舗装の弾性係数・応力・歪を計算した。また、経験的方法では、実際の舗装の応答（応力・歪）と路面性状（平坦性・わだち掘れ・クラック）の測定を行い、両者の関係を求めた。

舗装の供用性予測のためのたわみの限界は、応力と歪の限界と適合しないことがわかった。そして、舗装の供用性(PSR)予測のための応力の限界は、157箇所(253KM)のデータで検証された。この他、解析的方法における問題点は、弾性理論でいかに実際の応力、歪、たわみを予測するかであり、これを解決する為には、実際の舗装の応答を確実に測定することが必要であるとしている。

本研究は、広範囲の検証を行っており、理論と経験を結びつけて舗装評価の解析をおこなう上で参考になる。

- (1) Uzan, J., Zeitoun, D.G. and Baker, R. (イスラエル)
(2) Derivation of Pavement Material Variability From Nondestructive Testing
(3) pp.533~542.

(4) **非破壊探査(NDT)による舗装材料性状の変動特性** (村山雅人)

- (5) 道路の延長方向に沿った弾性係数などの舗装材料性状の分布はランダムである。普通、舗装の設計に用いられる材料性状の変動は、ランダム変数理論によって評価されているが、NDTによる解析は変動係数(CV)を過少に評価することから、本研究はランダム領域理論を用いてこの過小に評価された結果を修正する手法を提案している。

ランダムな領域を記述するために半径方向と垂直方向の2つの自己相関距離(r.a.dとv.a.d)についてそれぞれ、Boussinesq系と2層系の2つの系を考えたケースを考えランダム変数理論に基づいてCVを求め、これより路面のたわみ形状を推定する。これら2つのCVの比とr.a.dとv.a.dの関係からNDT解析結果を修正するための係数を求めている。また、この修正係数を導入するために、CV比とr.a.dとv.a.dの関係をグラフで提示している。

本研究により、ランダム領域理論が実際の材料の変動を表すと仮定すれば、ランダム変数理論はいつも過小評価したCVを導く、すなわち路床の弾性係数の推定変動係数は真の値より小さくなることが示され、修正のための手順が提示された。しかし計算を簡単にするために近似式を用いているため、適用範囲が限定され変動の小さい範囲にのみ適用可能である。

- (1) Kadar, P. (オーストラリア)
(2) Accelerated Full Scale Testing of Heavy Duty Pavements-Experience with the Australian Accelerated Loading Facility(ALF)
(3) pp.543~549.

(4) **重車両用舗装のフルスケール促進走行試験(促進載荷設備(ALF)による舗装の性状評価)** (村山雅人)

- (5) オーストラリアでは、道路の交通量と交通荷重が増大したため、従来の設計法を拡張解釈して舗装を設計する必要が生じている。このため、テスト走路に実物大の走行輪を繰返し走行する促進載荷設備(ALF)が造られ、オーストラリアの設計法による3種類の一般的な重車両用舗装に対して試験が行われた。本研究は、このALFの性能を調査するため、繰返し走行による舗装の連続的な性状の変化を表現するものである。

ベンケルマンビームと各種のたわみ測定装置により、舗装表面および内部の変形の測定値を求め、これらから、半無限多層弾性理論を適用することにより、路床の弾性係数・垂直圧縮ひずみ・アスコン下面の引張ひずみをBoussinesq

解析とCIRCLY(多数の複合円形荷重が加えられたとき非等方多層構造を解析するためのコンピュータプログラム)によって求め、また、路面のたわみ形状を表わすために表面たわみ指数(SCI、載荷点のたわみと、ある距離におけるたわみとの差)を用い、これらの値を走行輪の通過回数に対してプロットした。これと、限界引張ひずみとから、舗装の残存寿命の推定を試みている。

ALFは今まで促進走行に対応した舗装のさまざまな性状値を提供してきた。これらの性状値から、本研究により舗装の連続的性状変化が表現され、限界引張ひずみから求めた試験に供された舗装の寿命は、設計寿命と一致することが確認された。

- (1) Autret, P., Baucheron de Boissoudy.A. and Gramssamer, J.C. (フランス)
(2) The Circular Test of the "Laboratoire Central Des Ponts Et Chaussees"(L.C.P.C) Nantes -First Resulte-
(3) pp.550~561.

- (4) "橋梁道路中央研究所" の巨大な促進円形走行装置による試験（第1報） (村山雅人)

- (5) フランス・ナンテ市橋梁道路中央研究所(L.C.P.C)は繰返し交通荷重による幹線道路の舗装の悪化を調査するための巨大な円形走行試験装置を所有している。本論文は、前半で本装置の構造と特徴について述べ、後半でフランスの典型的な2種類の舗装(重交通用と軽交通用)に対して本装置を初めて適用した結果とその考察を示した。

本装置は、巨大な円形走路上を、円の中心から放射状にのびた4本のアームの先端に取り付けたタイヤに走行させ、実際の道路をシミュレートするものである。荷重は、走行路に凹凸があってもつねに一定値を保つようになっており、また走行中にアームの長さを変えることによりタイヤ走行位置を分布させることができる。本論文における破壊の判断基準は発生したクラックの程度であり、最初にクラックが発生してから修繕を必要とする状態になるまでの期間を考え、2つの異なる荷重間のサイクル数の換算指標を定義している。さらに、実験に用いた舗装と同様の挙動を示す単純な舗装構造を計算によって導き、そのさまざまな性状を異なった荷重間のサイクル数の換算係数を求めて検討している。

本試験の結果から得られた換算指標は、実際の道路からのものと異なっていた。実験に用いた舗装の様々な性状の測定値と単純な構造からの計算値は一致し、複雑な構造の舗装を単純な構造で表せることが確かめられた。

- (1) Cuvillier, M., Godard, J.F. and Retour P. (フランス)
(2) New Methods Developed in France for Road Network Survey and Maintenance
(3) pp.562~573.

- (4) フランスで開発した路面性状調査および維持管理の新手法 (池田拓哉)

- (5) 舗装のネットワークの維持管理のためには、舗装の管理に必要なデータを高速度に収集しなければならない。この論文は、フランスの道路橋梁研究所が舗装の維持管理を目的として開発した、舗装探査システム、路面撮影システム、路面性状記録システムを紹介している。

舗装探査システムは、電磁波を道路の下方に発射し、その反射波をとらえることにより、舗装の厚さや路面の下の空洞を非破壊で探査することができる。路面撮影システムは、後の検討のために道路の実状を記録することを目的としている。撮影のためのカメラを車両の屋根に取り付け一定速度で走行する。ビデオテープには、走行距離に応じた信号が記録され、再生すると距離が正確に表示されるようになっている。路面性状記録システムは、どのような車両にも登載可能のように設計されたパソコンシステムで、オペレータは車両を走行させながら必要な情報をキーボードから入力していく。観測終了後データは自動的に編集され、チャートにまとめて表示される。

比較的簡便なシステムで、舗装の管理のために必要なデータを収集できる可能性が見出された。

大量のデータを客観性を持って収集するなら、日本の路面撮影の方が優れているが、客観性を問題とせず対象が地方の道路レベルであれば、この程度のシステムでも実用性があると思う。しかし、舗装探査システムについては、この論文でいうような性能の装置が開発できたとは、日本の技術レベルと比較してすぐには信じがたい。

- (1) Scazziga, I.F., Dumont A.G. and Knobel W. (スイス)
(2) Strain Measurement in Bituminous Layers
(3) pp.574~589.
(4) アスファルト舗装体のひずみ測定 (池田拓哉)

- (5) 舗装の構造解析には、ひずみ等の挙動の実測が重要となるが、経済開発協力機構(OECD)の調査委員会で実施した、実物大の舗装を用いたひずみ測定の結果について述べている。

測定の実施場所は、イタリアのNardoにあるテストコースであり、8か国から9つの測定チームが参加した。ひずみゲージの設置方法としては、基層の表面にゲージを貼る方法、事前にゲージを貼っておいた供試体を埋没する方法、施行後にコア採取してゲージを貼って元に戻す方法の3種類が試みられた。舗装の断面は、碎石路盤17cm、基層8cm、表層3cm、載荷に用いた車両の前軸重は5.5~6.0トン、後軸重は11.6~12.0トン、走行速度は約30km/hであった。なお、温度補正のため熱電対や熱電抵抗体を舗装に埋没した。

測定結果には、埋没位置や使用したゲージの種類によってばらつきがみられたが、その主な原因是工区の仕上がりの差、車両の速度や走行位置であった。それらの影響を排除したところ、FWDによる測定から推定されるひずみの値と類似の値が得られた。

結果として、FWDによる各層の弾性係数の評価が正しいということになりそうだが、説明しきれない誤差が一部に残っており、ひずみの真の値を得ることができない限り、明確な結論を出すことは不可能といえる。

- (1) Kasahara, A., Kubo, H. and Sugawara, T. (日本)
(2) Estimation of in Situ Elastic Moduli of Pavement Structural Layer with Falling-Weight-Deflectometer Deflection Basin
(3) pp.590~596.

(伊藤邦彦)

- (4) FWDによる舗装各層の弾性係数の決定
(5) 近年、非破壊による舗装診断(NDT)の手法として、ダイナフレクトのように振動を利用するもの、FWDのように衝撃荷重を利用するもの等が広く利用されている。本研究は、アスファルト舗装のNDTとしてFWDを取り上げ、弾性理論を用いて解析し、舗装各層を構成する材料の弾性係数を決定しようとするものである。

本研究では、多層弾性解析プログラムBISARと、アメリカで開発された統計処理プログラムSAS (Super-Application-System)を組合せ、図式による解法を導入して、アスファルト舗装各層の弾性係数を決定する。研究の内容として、①季節による弾性係数の変動に関する調査、②簡易舗装及び凍上抑制層を含む舗装への、FWD及び弾性理論導入の適否、等を中心としている。

結論として、①季節により舗装構成中の弾性係数が変動する、②凍上抑制層が含まれる舗装や簡易舗装に対しても、FWD及び弾性理論の導入は有効である、③各層での弾性係数を求めることができ、舗装構造設計に繁栄できる、等が明らかになった。

本研究の成果として、FWD及びBISARの導入が寒冷地や簡易舗装に対しても有効であることが明らかになり、より広範囲での活用が期待できる。また、舗装各層の弾性係数は適用箇所により微妙に変化するため、本研究ではその対策として、推測式を一部導入している。なお、改質されたアスファルト混合物が使用されている場合などに対する検討の余地が残されていると考える。

- (1) Siffert, M. (フランス)
(2) The Verification of Design Method-Test Sections.
(3) pp.597~606.

(伊藤邦彦)

- (4) 道路試験による構造設計法の検証
(5) 舗装の断面設計や維持・修繕計画を行う場合は、対象とする現場に適したものとしなければならない。フランスでは、舗装の追跡調査区間を設けて調査を行い、その結果を舗装設計及び維持・修繕に反映させ、さらに、理論的な手法による構造設計の適用性等を確認する努力がなされている。本文は、それらの成果についてとりまとめたものである。

筆者らは、Damage Monitoring Sectionsと呼ばれる試験工区を設けて、供用に伴うたわみの変化、ひびわれの発生、すべり抵抗の低下などの特徴的な損傷パターンの追跡調査を約20年行い、統計処理により舗装の残存価値等を検討している。さらに、ALIZEと呼ばれるコンピュータプログラムを利用し、予測を試みている。

その結果、寿命に至るまでに舗装に発生する損傷パターンが明らかになったほか、舗装の構造設計や維持・修繕計画を実施するにあたっては、①気候・地下水の影響・排水設備等、環境条件の考慮、②試験施工、追跡調査、及び管理データに対する統計処理、等が重要であることが確認できた。さらに、ALIZEを用いた理論解法結果と実績

により得られたデータが一致することが確認できた。

フランスと我が国では、気候条件や大型車混入率等に違いはあるが、舗装の履歴とたわみ、ひびわれ、すべり等の損傷との関係や舗装の設計計画及びその維持・修繕方法に関する考え方は、舗装構造設計に携わる者に対して参考になると思われる。

また、地下水や表面排水の舗装への影響等に関する研究は、実際に施工に携わる者に対しても参考になるであろう。

- (1) Jordan, P.G., Ferne, B.W. and Cooper,D.R. (イギリス)
- (2) An Integrated System for the Evaluation of Road Pavements
- (3) pp.607~617.

(4) 舗装評価システム

(伊藤邦彦)

(5) 近年は、道路の維持管理に伴い、舗装路面調査等が交通渋滞を誘発するようになった。また、維持管理者は、膨大な調査データを経済的かつ効率的に解析して、舗装の維持管理に努めなければならない状態となった。本研究はこれらを踏まえ、イギリスで実施された路面調査装置及びコンピュータを使用したデータ処理システムの開発について報告するものである。

本研究では、high-speed road monitor (HRM) と呼ばれ、縦断凹凸、わだち掘れ量、表面性状等を調査できる路面調査装置により路面性状を計測し、コンピュータによりマクロ的なデータ処理を行い、さらに、FWDなどのたわみ試験を必要最小限度行うことで、限られた予算内の道路維持管理を可能にしようと試みている。

本システムの開発により、道路調査のスピード化及び低いコスト化が可能となった。また、コンピュータによるデータ処理で、省力化も実現した。さらに、HRMとFWDの組合せにより、最適な道路の構造設計及びメンテナンスが可能となった。

本研究は、路面調査の省力化、高速化が望まれるなかで、イギリスの例を取り上げたものであるが、我が国においても、HRMと同様な路面性状自動測定装置が開発導入され、通常の走行と同程度の速度で測定が行なえ、交通障害も最少限に抑えることが可能となりつつある。なお、これらの装置では、レーザー光線を利用しているため、路面が濡れている時には支障をきたす等の解決すべき問題点も残っているようである。

- (1) Lindly, K., Pumphrey, Jr.N.D., White, T.D. and Anderson, V.L.
- (2) Evaluation and Comparison of Various NDT Device in Side-By-Side Testing on Indiana Highways.
- (3) pp.618~627.

(4) インディアナハイウェイにおける各種非破壊試験機の評価と比較

(竹井利公)

(5) 本論文は、4つのタイプの非破壊たわみ試験機、すなわち、ダイナフレクト、ロードレータ400、ロードレータ2000、そしてダイナテスト社のF.W.D.の比較試験を行った結果について述べたものである。

比較試験は、統計的に意義ある結論を出すのに十分なデータを得るために、交通量、オーバーレイ層の厚さ、オーバーレイ層の下の層厚、気候条件の4つの要素を考慮してアスファルトの舗装および鉄筋コンクリート舗装に関しては15セクションで試験を行った。また連続鉄筋コンクリート舗装に関しては13セクションで試験を行った。試験を行った時期は、路床が融解を受けてたわみが最も大きくなっているであろう早春の5週間とした。1つのセクションにおける試験は、同じ日の同じ時間に4つの非破壊たわみ試験機を使用して行なった。

本比較試験を行なった結果、ロードレータ2000とロードレータ400のデータは機械の故障等により外の2つと比較するのに十分なものを得ることはできなかったものの、ダイナフレクトは他の試験機に比べ単位荷重当たりのたわみが小さく、たわみ形状が穏やかであり、舗装の厚さの変化に敏感でないということがわかった。

本研究は、異なった試験機を同じ条件で使用した結果を比較検討しているので各機械の特徴を明確にするために参考になる文献であろう。

- (1) Marchionna, A. Fornaci, M.G and Maigarini, M. (イタリア)
- (2) Evaluation of Flexible Pavements and Overlay Design Based on F.W.D. Tests
- (3) pp.628~637.

(4) F.W.D.試験によるアスファルト舗装の評価とオーバーレイの設計

(竹井利公)

- (5) このレポートは、フォーリングウェイトデフレクトメータを用いてたわみを測定した結果からアスファルト舗装の残余寿命を評価する方法とオーバーレイの設計方法について述べたものである。

残余寿命を評価する一番目の方法は、クラックの広がりを考慮したアスコン層の疲労モデルを用いて行う方法である。このモデルの入力データはアスコン層の引張りひずみであり、この引張りひずみは有限要素プログラムを用いて算出した。このプログラムに用いた弾性係数は、F.W.D.で計測されたたわみを用いて舗装各層の係数を評価するPA. STR. EVプログラムから得た。

もう一つの方法は、アスコン層にクラックが生じていても使用できる簡略化された方法である。

この方法では、図を利用するが、横軸にはアスコンの合計厚に対するクラックの入っている部分の厚さの比を取り。そして、縦軸にはアスコン層の下線にクラックが発生した時点からクラックが表面に達するまでに通過させることのできる台数に対し、問題としている時点から通すことのできる台数の比を取る。この図を利用することで残りの寿命を評価する方法である。

この簡略化した方法を用いることで時間のかかる残余寿命の計算がすばやくできるようになり実用的になった。また、この方法はオーバーレイの設計にも有用である。

本研究は、アスファルト舗装の寿命の評価方法について述べたものであり舗装の維持管理の面で参考になる文献であろう。

- (1) Kohn, S.D. and Bentsen, R.A. (アメリカ)

- (2) Performance of Flexible Airfield Pavements Subjected to High Traffic Volumes.

- (3) pp.638~654.

- (4) 重交通向けの空港アスファルト舗装の供用性

(竹井利公)

- (5) この20年以上にわたり、アメリカの国内線の年間乗客数伸び率は約8%程度であり、スピード、重量、発着量とも増加しており、現在年間の離陸回数が100,000回を越えている所もある。この様な状況のもと1978年12月7日に年間離陸回数25,000回から年間200,000回を見込んだ設計曲線に改訂された。この時の設計手順は、アメリカ陸軍技術局において実施された交通促進試験をベースしたものである。

アスファルト舗装において、最も多い交通量は、約5,000台のものであった。本論文は、この設計手順の妥当性を検討したものである。

妥当性の検討は、アンケートを26の空港に配布し回収した結果、年間25,000回以上の離陸回数を受け、解析に必要なデータが保存されており、アスファルト舗装をもつ2つの空港、ケネディー空港とフェニックス・スカイバーラン空港での工事データ、PCI (Pavement Condition Index)、非破壊試験を実施して求めたデータ等をもとに行つた。

その結果、連邦航空局の設計厚は適当であり、どのセクションにおいてもわだち基準値を使用して問題を発見することはできなかった。しかし、クラック基準値における調査で問題点が発見された。現在の設計手法は、最低厚さについては述べているが、舗装表層の疲労寿命に関するチェックの手段については何もない、この点を設計手法に盛り込むべきである。

今後、さらに飛行機の需要（離着陸回数）が増大すると思われるところから参考になる文献であろう。

- (1) Sayers, M.W., Gillespie, T.D. and Queiroz, C.A.V. (アメリカ)

- (2) Application of the International Roughness Index to Response-Type Measuring Systems

- (3) pp.655~664.

- (4) 國際平坦指数の応答タイプ測定システムへの適用

(久下晴巳)

- (5) 不変的で矛盾がなく適切な方法で道路の平坦性を測定することは過去40年にわたって変わらぬ課題であった。2つの大きな問題は、測定法が時とともに変わることと、測定法に再現性がないことであった。これらの問題に対して、世界銀行とブラジルの交通省は1982年にブラジルで国際道路平坦性実験を始めた。本論文は世界で最もよく用いられている平坦性の測定法であるロードメータを使用した応答タイプのシステムについて知見を述べたものである。

平坦性を測定するために現在大きく分けて3つのタイプの方法が用いられているが、ブラジルの実験ではロードメータシステムとプロフィル測定システムに重きがおかれた。実験は各種の要因を変化させた試験箇所において代

表的な測定装置を用いて行われた。試験速度は、20, 32, 50, 80km/hであった。

今回の実験によって主な疑問点は解消され、国際平坦性指数が提案された。そして現在最もよく使われる測定装置であるロードメータは近い将来においても適当な装置であり得ることがわかった。国際平坦性指数は、将来舗装にとって非常に重要な意味を持つクラックや舗装のきめ等のミクロの平坦性を表わすのに適当でないので、将来的にはより洗練された方法が必要であろうと結んでいる。

平坦性の測定法としてわが国ではあまりなじみのないロードメータの有効性が示されており、将来的には日本においても検討の余地があろう。

(1) Livneh, M., Ishai, I. (イスラエル)

(2) Pavement and Material Evaluation by a Dynamic Cone Penetrometer

(3) pp.665~676

(4) 動的貫入試験（ダイナミックコーンペネトロメータ）による舗装の評価 (谷口豊明)

(5) 路床の評価に用いられるコーンペネトロメータは静的な貫入試験機であるが、これをハンマーの落下による動的貫入試験とし、既設舗装の路盤以下の層に適用して、舗装の評価を行なう方法について述べたものである。

先端角度30°、底面の直径約20mmのコーンを取り付けたロッドを動的荷重(8kgのハンマを575mmの高さから落と下させる)によって路盤層上面から路床内部まで貫入させ、落下回数と貫入深さを記録する。この結果より、落下1回当たりの貫入量(mm)を求め、これをPenetration Ratio(DCP)とする。

なお、既設舗装を評価する場合は、コアボーリングによりアスコン層を取り除く必要があり、アスコン層は強度試験で評価する。

室内および現場で様々な路床土および路盤材料(粒状材料)で試験を行った結果、DCPはCBRとの相関が高く、また、道路および空港舗装における現地試験結果から、DCPと舗装の状態の間に明らかな関係が認められたことから、舗装の評価方法として同試験の利用を提案した。CBRとDCPとの関係から現行の設計法に用いるCBRをDCPに置き換え、既設舗装の有効厚さ(粒状路盤に換算)を求める手法を提案した。

筆者らは、当試験をFWDやダイナフレクトなどと同様の非破壊試験として位置付けているが、アスコン層を別途に評価しなければならないこと、コアボーリング時の水の影響、粒状路盤に対しコーンを貫入させること、など疑問の点がある。

(1) Beckedahl, H., Gerlach, A., Lücke, H. and Schwaderer, W. (西ドイツ)

(2) On Improvements of the Existing VASYS-Concepts

(3) pp.677~691.

(4) 既存VASYSの改良について (伊藤達也)

(5) VASYSは構造、材料、環境、交通の条件をもとに、適切な計算を行いアスファルト舗装の設計や供用性の予測を行うことのできるプログラムである。しかし、現在のバージョンであるVASYS 3Aはまだ完全なものではなく、より正確なものへと改良が必要とされている。本論文は、新しく改良されたVASYS 3Hの概念を述べたものである。

現在のVASYS 3Aでは、補修後の供用性の予測や、オーバーレイの設計を正確に行なうことが困難である。これは、すでに荷重のかかっている既設の舗装と新たな荷重のかかるオーバーレイ層を分けて解析することができなかったこと、すなわち既設層に存在しているわだち掘れの影響をうまく表現できなかったことによる。そこで新しいVASYS 3Hには、新しい永久ひずみの考え方などが導入され、わだち掘れとひび割れの部分に多数の数学的、科学的な改良が施された。これら改良の成果により、オーバーレイの設計も合理的にできるようになった。

VASYSのように計算によってアスファルト舗装の供用性を予測することは、あるかぎられた条件のもとに行えるものである。条件が増えれば増えるほどより現実に近い評価をおこなえることとなる。VASYSは、今後一層の改良を加えることにより、より確かなPMSへの手助けとなっていくであろう。

(1) Gáspay, L. Jr. and Toth, E. (ハンガリー)

(2) Structural Design and Prediction of Asphalt Pavement Life-Time in Hungary

(3) pp.692~700.

(4) ハンガリーにおけるアスファルト舗装の構造設計と寿命の予測 (伊藤達也)

- (5) ハンガリーにおけるアスファルト舗装の現行の構造設計方法は、AASHO道路試験の結果をもとにした半経験的な方法である。今後は、多層弾性システムによる設計方法を目標としているが、そのためには、路床の支持力の評価方法が大きな問題の一つである。本論文は、特に支持力の評価方法に重点をおいて、アスファルト舗装の寿命を予測する手法を提案したものである。

実測のたわみ量から求まる支持力を用いての推定される舗装寿命は、現実のものとかなり異なっている。

そこで、支持力の評価方法を以下のように行うことを提案している。すなわち、①たわみ測定を基礎とすること、②3つの異なるたわみー交通換算式を用いること、③交通量を用いること、④実際の表面ダメージによって補正すること、である。以上の手順により得られる支持力の評価値からアスファルト舗装の寿命の予測をおこなっている。

この支持力の評価方法は、すべての舗装状態のパラメータを考慮に入れているため、実舗装における機能低下の状況との関係を得ることが可能となった。舗装の寿命の予測についても、実際の舗装厚と必要舗装厚さの比によって4つのタイプに分け、検討することが可能となった。

多層弾性システム等新たな設計方法を適用していくにあたり、その国独自の基礎的研究をおこなっている論文である。我が国の構造設計もCBR法ばかりにとらわれるのでなく、新たな設計方法にむかって研究していく時期であろう。

- (1) Viljoen, A.W. Freeme, C.R. Servas, V.P. and Rust F.C. (南アフリカ)
(2) Heavy Vehicle Simulator Aided Evaluation of Overlays on Pavements with Active Cracks
(3) pp.701~709
(4) **重車両シミュレータ (HVS) によるオーバーレイの評価** (伊藤達也)
(5) オーバーレイの損傷の一つにリフレクションクラックの影響がある。この原因として、交通荷重によるクラックやジョイントの動きが理解されていないことがある。本論文は、クラックやジョイントの動きのメカニズムを明らかにするとともに、重車両シミュレータ (HVS) 試験を使用してフィールドにおける大規模な実験を行い、リフレクションクラックに対するオーバーレイの評価を実施したものである。

材料 (ゴム入りアスファルト、ストレートアスファルト、コンクリート)、粒度 (開粒度、ギャップ粒度)、厚さ (30~240mm) を変化させた13種のタイプのオーバーレイを、多数のヘーカラックの入ったコンクリート舗装上に舗設し、長期にわたる観察と、HVS試験を行っている。

HVS試験により、クラックの動きやメカニズムに影響している要因を明らかにすることが可能となり、またリフレクションクラックに対するオーバーレイの評価を行うことが可能となった。

現在は、維持修繕の時代となっており、その中でオーバーレイは主流な工夫の一つである。我が国でも本論文のような、オーバーレイに関する実験を多く取り入れるべきであろう。

- (1) Sharma, M.G., Kenis, W.J. and Mirdamadi, M. (アメリカ)
(2) Evaluation of Mechanical Parameters of Inservice Pavement from Field Data
(3) pp.710~724.
(4) **現場データにもとづく使用中の舗装の力学的パラメータの評価** (横山 稔)
(5) 現場データと室内データの関係を数式等によって明らかにする。

AASHOの道路試験の詳細なデータ結果と、室内試験データを比較する。(ポアソン比、弾性係数、疲労試験結果等) ひずみや破壊回数といったファクターを用いて疲労式を導いた。また、新材料を室内実験しその結果から実際に施工した場合の疲労を結びつけるための基礎式が得られた。

まだ完全に室内データと現場データを結びつけるに至っていないが、アプローチの手法は参考となるだろう。

Session III. Pavement Management and Rehabilitation 舗装維持修繕管理

(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) Fwa, T.F. and Sinha, K.C. (シンガポール)
(2) A Measurement of Routine Maintenance Effect on Flexible Pavements
(3) pp.727~741.
(4) 舗装に対する定常的メンテナンスの効果 (横山 稔)
(5) 舗装のメンテナンス効果を定量的に表現し、メンテナンスの効果度を検討しようとしたものである。
同じような条件の道路（交通量、気候状態、地形的な要素等）に各種の維持修繕を施し、その後の供用性の変化をPSIにより把握し、各種維持修繕ごとに比較検討している。わが国でも、この種の調査を行ってはどうであろうか。興味のある調査であろう。

- (1) Coelho, P.S.M., Queiroz, C.A.V. (ブラジル)
(2) Experimental Models for the Performance of Asphalt Concrete Overlays.
(3) pp.742~747.
(4) ラフネス、クラック等の予測式を用いたオーバーレイ設計法 (横山 稔)
(5) 現在、オーバーレイを行なうのに適切な時期を知ることや、またそのための適切な方法は確立されていない。本論文では、ラフネス、クラック等を指標として考察を加えている。
ブラジル道路研究所は、1977年以来これまでにオーバーレイを施した区間のうちのいくつかを追跡調査している。そのデータベースをもとにラフネス、クラック、わだち掘れ、変形、疲労と経過年数との関係を求めている。
オーバーレイ直後から何年経過してクラックが現われるか、オーバーレイ直後からの破損量の予測式を求めている。
データ・ベースの中からどういう要因を用いて、クラック、変形の予測を行なうか、その方法はわが国においても参考になると思われる。

- (1) Anderson, D.T. and Kosky, C.K. (アメリカ)
(2) Advances in Asphalt Overlay Design Procedures.
(3) pp.748~761.
(4) アスファルトオーバーレイ設計手法の進展 (笠原彰彦)
(5) ビクトリア道路建設局ではアスファルトオーバーレイの設計基準として標準試験荷重下で測定された最大たわみを用いてきたが、この手法による設計では限界があり、特に疲労によるクラックを抑制することは困難であった。このためさらに適した設計手法の開発がなされたが、本論文はこの設計手法の開発経緯と、実際の適用例およびその結果について述べたものである。

本手法は設計基準にベンケルマン試験結果より求まるたわみ特性と曲率係数を採用している。このたわみ特性は得られたたわみ量の平均と、標準偏差に設計の信頼性を反映した係数を乗じたものを加えた値で、曲率係数は載荷地点のたわみと走行方向に200mmの地点で発生するたわみの差で表される。これらの値は試験時の温度によって補正したもので評価する。オーバーレイの厚さは設計交通量との関係からそれぞれ許容を満足するように決定する。

本手法を用いることによって疲労によるクラックを考慮した適正なオーバーレイ厚の設計が可能となった。しかし、その適用は厚さ30~50mmに限られており、これ以外の範囲に関してはさらに多くのデータ解析が必要であるとともに、温度の補正についても十分な信頼性を得るために改善が必要としている。

我が国においてもアスファルトオーバーレイ厚の設計にはたわみによる手法も用いているが、本研究は設計概念にたわみの曲率を取り入れて、クラックの評価を行っている点で興味深い。

- (1) Oguara, T.H. and Iriakuwa, M.D. (ナイジェリア)
(2) Development of a Pavement Maintenance Management System for Nigeria.
(3) pp.762~772.
(4) ナイジェリアにおける舗装維持管理システムの開発 (笠原彰彦)

- (5) 舗装の維持修繕が経済的でしかも効果的に行われるためには、最適な維持修繕時期あるいは工法の選択が必要であり、各国ではPMSの研究が行われている。本論文は、経済危機とインフレ問題による道路予算の縮小を背景に開発された、ナイジェリアのPMSの手法および適用例について述べたものである。

本システムはPMMS (Pavement Maintenance Management System) と呼ばれ、舗装表面の疲労度合や粗さを得点化した優先モデル、道路技術者の主観的意見から確率手法によって舗装の将来状態を予測する性能モデル、維持・建設や利用者の費用、並びに残存価値を考慮した費用モデルによって構成されている。これらのモデルから維持修繕の順序、実施時期を戦略的に組み合わせた幾つかの方針が考案され、最適方針の選定は最低の予測合計費用に基づいて行なっている。

本システムによって舗装管理に対するシステム的な対応が可能となり、限られた維持財源の最適な利用と、最大需要に基づいた道路区間への予算配分ができるようになった。

本研究で開発されたPMMSは比較的シンプルな舗装維持管理システムで、しかもナイジェリアのように舗装に関するデータがほとんどない状態での実施が可能であること等、わが国のPMSの研究においても参考となる文献と考える。

- (1) Uddin, N., Carmichael, R.F. and Hudson, W.R. (アメリカ)
(2) A Methodology for Life-cycle Cost Analysis of Pavement Using Microcomputer.
(3) pp.773~794.

- (4) パソコンを利用した舗装のライフサイクルコストの解析手法 (笠原彰彦)
(5) 舗装のライフサイクルコストの解析は比較対象となる種々の舗装設計や維持、修繕の方策に対する経済上の評価を行い、その費用効果が最適となる代案を選択するために有効な手段である。本論文はパソコンを利用した舗装の包括的なライフサイクルコストの解析手法について述べたものである。

本システムはLCC1と呼ばれ、その解析手法は利用者が新設あるいは既設の舗装設計から始まる代案計画の選定のためにインプットを行い、用意されたコストモデルによって種々の条件で費用が算定される。解析における経済性評価は現在価値法(PW)と等価均等年間コスト法(EVAC)のどちらかを選択することが可能であり、利用者に対して融通性を与えている。プログラムはBASICおよびFORTRAN77によってコード化されており、データの入力や修正はBASICによって行い、その解析はFORTRAN77によってプログラム化されている。

本システムの適用によって、舗装の設計および維持修繕における一連の実施可能な計画案について詳細な経済性の評価が可能となった。またシステムを構成するプログラムは、データの入力および修正や最適な代案計画の分析においていくつかのオプションを備えることによって、利用者の目的に対応できる融通性を確保し、詳細な解析が可能となるよう配慮している。

本システムはペンシルバニア交通局によって開発されたものであるが、舗装の最適管理に関心が高まりつつある我が国においても参考となる文献と考える。

- (1) Ullidts, P., Simonsen, P. and Lentz, G. (デンマーク)
(2) The Analytical-Empirical Method Used in Pavement Management System.
(3) pp.795~806.

- (4) 舗装管理システムにおける経験的な解析方法 (高橋義一)
(5) 舗装管理システム(PMS)における経験的な解析方法の概略を示すものであり、この手法はヨーロッパで高速公路500キロ以上にもわたってPMSに適用されている。

このシステムの第一の基本となるものは、供用性を予測する経験的解析モデルであり、この報告書には、PMSの基本要素が示されている。

- ① インプットデータ（機能、構造、拘束条件）
- ② データベース（1個所および地域のデータベース）
- ③ データの分析（詳細な報告、便益／費用、最適化）
- ④ データのアウトプット（将来の予測される状態、最適予算）
- ⑤ 実行（フィードバックの実例）

システムは、パソコンで作動する。破損、縦断凹凸、構造データ等のデータのほとんどは、パソコンのディスク

やテープに収集する。

本システムは、現在の舗装の状態の評価と道路網レベルのプロジェクトの将来の計画に使用でき、かなり大きな道路網にも適用できるであろう。

本研究は、デンマーク工科大学が行いDMSと呼ばれている。これは、舗装の管理の方法であり、予算割当てに関する政策担当者への手引となる。わが国においても、このような管理方法が必要になってきており、特に道路管理者にとって参考になる文献であろう。

(1) Carmichael, R.F. and Seeds, S.B. (アメリカ)

(2) Municipal Flexible Pavement Design and Life Cycle Cost Analysis System.

(3) pp.807~822.

(4) **都市のアスファルト舗装設計およびライフサイクルコスト解析システム** (久下晴己)

(5) 都市の街路のアスファルト舗装設計とライフサイクルコスト解析システム(MFPS)について述べたものである。本システムの設計の方針は、都市の特殊な道路条件(縁石や側溝の費用、将来の修繕工事における切削や穴埋め、路床土の掘削、建設費用から見た路床安定処理の効果)を考慮することである。研究はアスファルト舗装とコンクリート舗装の両方について行われたが、本論文ではアスファルト舗装についてのみ述べられている。

入力データとしての舗装構成層の荷重支持力は変形係数で表わされ、現状の舗装と路床土の変形係数を決めるに当たっては、非破壊のダイナフレクトたわみ試験が用いられている。また、入力データとしての現状の舗装の供用性は、AASHO道路試験のサービス指標の概念が用いられている。テキサス州オースチンでは解析期間として20年と30年を考えており、従来の方法で設計した数多くの事例とMFPSで設計した事例を比較検討している。

本システムにより舗装の建設に投資する費用を最大限に生かせるようになった。また、道路の供用性予測を正確に行えるようになったことから、ライフサイクルコスト解析と相まって、舗装設計における信頼性が増した。

本研究はオースチンの土木局が行ったものであるが、ライフサイクルコスト解析は道路ストックが着実に増加しているわが国において重要な概念であり、本論文は特に都市を対象にしていることから興味あるものである。

(1) Carmichael, R.F., Halbach, D.S., Hudson, W.R. and Bishop, H.L. (アメリカ)

(2) Implementing Pavement Management in the Rhode Island DOT.

(3) pp.823~833.

(4) **ロードアイランド州における舗装管理システムの開発** (谷口豊明)

(5) ロードアイランド州(RIDOT)における舗装管理システム(PEMS)の開発の経緯について述べるものである。

作業は二つの段階に分かれている。第一段階では、現状の問題点を把握することに重点が置かれ、舗装の状態評価方法、全ネットワークの距離・測点による認識方法、コンピュータのハード&ソフトウェアの整備、平坦性測定機の検討、などについて提案を行ない、第二段階ではデータベースの統一化、工法選定の指標として、OPS(舗装総合評価指数)= $500 - PCR * PSI$ を設定した。なお、PEMSの開発はRIDOTがAREに依頼したもので、1981年に始め、1985年に完了している。

現在、同システムはネットワークレベルでの維持修繕計画の作成に有効に利用されている。今後は、第三段階として、平坦性測定機の導入(同州はこれまで平坦性の測定を外部に発注していた)、選定した区間のたわみによる構造評価、プロジェクトレベルの管理への応用、などが考えられている。

本論文は、インディアナ州の例(pp.834~858.)と同じ著者によるもので、その趣旨も共通部分が多い。州の実情の違いと、それに合わせたシステムの開発の経緯がわかり、参考になると思われる。

(1) Carmichael, R.F., Hudson, W.R. and Kercher, K.J. (アメリカ)

(2) Implementing Pavement Management at the Indiana Department of Highways.

(3) pp.834~858.

(4) **インディアナ州における舗装管理システムの開発** (谷口豊明)

(5) 舗装管理システムを確立するためには、種々の情報のデータベース化、データの収集方法、供用性予測方法、維持修繕工法の質、コストによる比較・評価など様々な問題を解決しなければならない。本論文はインディアナ州道路局がARE社の協力を得て行なったシステム開発プロジェクトの作業の経緯を述べるものである。

同州はこれまで道路改良計画部(HIP)のもとに維持修繕工事の優先順位化および実施計画が作成されてきた。AREはまず開発の第一段階として既存の管理手法を見直し、問題点を把握した上で、道路局に対し改善案を提示した。その主なものは、①維持管理部門の組織および人員、②データベースの内容の統一、③舗装の状態評価手法などである。また、技術者にインタビューし、彼等がどのようなシステムを求めているかを確認し、開発の最終的な目標を設定した。

本プロジェクトは幾つかの段階に分けられており、本論文はその第一段階に関するものである。その成果として、①データベースの統一がなされた、②ネットワークレベルで、維持修繕の予算配分の根拠となる資料が得られるようになった、などがある。なお、AREの提案は全て受け入れられた訳ではなく、PMS担当部門の新たな設置や、平坦性測定機の新規導入などは次の段階に見送られている。

既存の管理手法から管理システムへ移行するまでの経過が示されておりシステムを構築するための考え方を知る上で参考になると思われる。

- (1) McCullough, B.F., Uddin, W. and Zaniewski, J.P. (アメリカ)
(2) Design and Evaluation of Resurfacing Alternatives for Pavement Rehabilitation.
(3) pp.859~873.

(神谷恵三)

- (4) 舗装修繕の計画および評価方法
(5) 舗装の表層を修繕する際には、現在の舗装の状態が、修繕を実施すべき時期に来ているか否かを判断し、その上で最も経済的な修繕計画を実施する必要がある。

ペンシルベニア州においては、オーバーレイを実施する際、一般的に使用されている舗装の評価手法として、PAVEMENT REHABILITATION DESIGN SYSTEM (PRDS-1) というプログラムがある。本論文はこのPRDS-1の試算を通じて、舗装の評価、経済的な修繕時期および修繕箇所の考え方について紹介している。

PRDS-1では弾性理論を導入することによって、舗装を弾性体と見なし、疲労抵抗値が限界に到達するまでの荷重の載荷回数を求めている。これをもとに、ある時点における舗装の耐久性を評価している。また、将来オーバーレイを実施する時点までに要するコストを計上する際、当初の建設費、維持管理費、オーバーレイに要する費用等を、現在の価格に換算して行っている。

試算の結果、オーバーレイによる修繕については、交通量と設計時の路床の支持条件(弾性係数)とによって優先順位が決められ、必ずしも早期に修繕することが経済的ではないという結果を示した。

本論文は、経済的な修繕計画を紹介しているものであり、道路管理者としては興味深いものである。

- (1) Hudson, S.W., Hudson, W.R. and Zaniewski, J.P. (アメリカ)
(2) A Computer System for Converting Pavement Condition Data to Inputs for Pavement Management.
(3) pp.874~886.

(久下晴己)

- (4) 舗装性状データを舗装維持管理の入力データに変換するコンピュータシステム
(5) 舗装の維持管理はデータの収集・計画・研究・設計・建設・維持・修繕・その他からなる重要な概念である。舗装性状についてのデータはそのままでは舗装維持管理システム(PMS)に入力することはできないため、予め精度の検証・データベース化・解析・集約等の作業を行っておく必要がある。本論文は舗装性状データを舗装維持管理システムの入力データとして変換するために開発した効率的なシステムについて述べたものである。

本システムはMAPCON (Methods for Analyzing Pavement Condition Data) と呼ばれ、たとえば乗り心地の評価にはプロフィルメータやラフネスマータなどによる測定値を用いる。また、構造的支持力の評価はダイナフレクト、ロードレータ、FWD等によって行う。

本システムにより、舗装の供用性を①安全性、②サービス性能、③構造的支持力および④路面性状という4つの側面から総合的に評価するためのデータ解析を行うことができるようになった。

本研究は、米国連邦道路局の委託でペンシルベニア州立大が行ったものであるが、わが国においても維持管理システムの開発を始めとしてこのようなソフトウェア技術に対する関心が高まりつつあり、参考になる文献であろう。

- (1) Chabrol, J., Duran, D., Marchand, J.P. and Prudhomme, F. (フランス)
(2) Road Mechanics in Highway Management.

(3) pp.887~897.

(4) 道路管理における道路力学の利用

(藤田 仁)

(5) 道路管理の目的は利用者に対する快適性と安定性の確保ならびに道路の保全費用の確保の2点である。このためには舗装構造物を維持し、すべり抵抗や路面粗さといった路面性状を保持する必要がある。COFIRROUTEは、フランス政府から680kmにわたる有料道路網の建設と維持管理を委ねられた企業であり、舗装の設計法や材料等の仕様について検討を加えていく必要がある。

本論文で述べられる手法の基本的な考え方方は補修設計時の舗装の破壊状況と理論的に求められた舗装の危険率とを関係付け、舗装の維持修繕上の優先順位を求めるというものである。

その方法としては舗装破損の指標として、低下指数D.I. (Degradation Index) を求め、次にバーミスター理論によりモデル化された舗装モデルについてALIZEIIIというコンピュータプログラムで応力計算を行ない、載荷可能な荷重から理論上の舗装の危険率Rを求めた。COFIRROUTEの道路網での試験区間ではD.I.とRとの間には満足できる関係が見出せた。

本論文は、データベース等の道路管理へのコンピュータの利用面での参考になると考えられる。

(1) Medina, J. and Motta, L.M.G. (ブラジル)

(2) Design of Asphalt Pavements Using Lateritic Soils in Brazil.

(3) pp.898~903.

(4) ラテライト質土壌を使用した場合のブラジルのアスファルト舗装構造設計

(藤田 仁)

(5) 本論文では、ブラジルのオーバーレイ設計システムの検討経過と設計法ならびに設計例の紹介を行っている。ブラジル等の熱帯地方のラテライト質土壌の場合、弾性的に特異な挙動を示す。従ってアスファルト舗装構造設計においてはこれら土質の特性を反映させる必要がある。しかし、従来のTRBやAASHTO等の分類ではラテライト質土壌を分類するには不十分であった。

本論文では、オーバーレイ設計法が確立されるまでの経緯を述べる中でこの土質のレジリエントモジュラスの特性を明らかにするとともにアスファルト舗装構造設計のための土質の分類システムについて述べている。土質分類法はMCT (miniature compact tropical) と呼ばれるもので200gの試料を径50mmのモールドに入れ、2270gのランマーを305mmの高さから落下させる方法により得られた締固め曲線により土質を7種に分類するものである。

オーバーレイ設計システムは主としてブラジルの道路研究所 (IPR/DNER) とリオデジャネイロ大学 (COPPE/UFRJ) の協同研究を基に開発したもので、舗装のたわみ量とひびわれ率および路床上の種類から交通量に応じたオーバーレイ厚を求めるものであり、その際疲労寿命を考慮している。

本文では熱帯地方の国にとって本設計法は参考になると述べているが、オーバーレイ設計のための経験式の部分についての具体的な根拠が不明である等、本設計を理解する上で不十分な点が多い。ただ、オーバーレイ設計の手順については参考になると考えられる。

(1) Broms, H. (スウェーデン)

(2) Strengthening of Thin Asphalt Pavement.

(3) pp.904~911.

(4) 薄層アスファルト舗装の強化

(泉 秀俊)

(5) スウェーデンでは、アスファルト舗装道路の50%以上は、舗装厚が40~50mmであり、それらの多くは補強(オーバーレイ)が必要な時期となっている。本研究は、F.W.D.を用いて測定されたたわみのデータに基づいて薄いアスファルト舗装道や砂利道のオーバーレイの設計方法を開発することを目的としている。

舗装を二層弹性体として、ウデマルクの公式やシェブロンの方法で解析して求めたたわみ量と、試験道路においてF.W.D.を用いて測定されたたわみ量とを比較・検討している。

オーバーレイの厚さは、現路床で必要とされる舗装厚と既設舗装厚の差として求めている。既設舗装厚が300~400mm以下の場合、F.W.D.で測定された載荷版中心のたわみ量 y_0 と中心から450mmの点のたわみ量 y_{450} 、および既設舗装の厚さを入力することによりオーバーレイの設計ができる方法を提案している。

しかし、既設舗装の厚さを確実につかんでないと過大設計となる恐れがある。また、アスコン層の疲労クラックや永久変形量はここでは考慮していないが、設計には、織り込まれるべきである。

- (1) Jayawickrama, P.W. and Lytton, R.L. (アメリカ)
- (2) Methodology for Predicting Asphalt Concrete Overlay Life against Reflection Cracking.
- (3) pp.912~924.
- (4) **アスファルトコンクリートオーバーレイの寿命予測に関する設計方法論** (泉 秀俊)
- (5) 舗装修繕のためのアスコンによるオーバーレイの設計において、リフレクションクラックの防止が重要な問題となっている。そこで、アスコンによるオーバーレイのリフレクションクラックの発生する過程を確認し、それを抑制するための設計方法を作り出すことを目的として、本研究は進められている。

破壊機構の理論と弾性床上梁の理論より、リフレクションクラックの伝播の過程をシミュレートするモデルを作り、実際にオーバーレイされた道路の調査結果と比較しながら設計方法を検討している。

調査結果のデータを分析して得られたいいろいろな指標の相関関係より、アスコンによるオーバーレイの設計に十分採用できる方法を提案している。しかし、この研究に用いられたデータは単一の気象条件のもとで得られたデータなので、提案した方法が異なる気象条件をもつ地域に適用できるかどうかは疑問である。今後、様々な気象条件のもとで同様の分析を行うことが望まれる。

- (1) Button, J.W. and Lytton, R.L. (アメリカ)
- (2) Evaluation of Fabrics, Fibers and Grids in Overlays.
- (3) pp.925~934.
- (4) **オーバーレイにおける土木用布、ファイバーおよびグリッドの評価** (泉 秀俊)
- (5) 土木用布、ファイバーおよびグリッドには、アスコンによるオーバーレイのリフレクションクラックを抑制する効果がある。しかし、その効果を発揮させるためには、それぞれの材料の適用において、適切な施工技術を必要とする。本研究では、これらの材料を使った供試体の試験や実道でのオーバーレイの追跡調査、コンピュータによる解析を通して、これらの材料を使った舗装の特性を総合的に評価することを目的としている。

これらの材料が入ったアスファルト混合物の引張りや、疲労、クリープ、せん断等の特性や安定性を評価するための実験の他、実際に道路に使用された箇所の追跡調査も行った。また、交通量や、道床状態、天候等の様々な条件下で舗装寿命を推測するためにコンピュータによる解析も行っている。

土木用布は、アスコン層の引張り特性を改善し、舗装体の寿命を延ばす傾向がある。特に、温暖地域の幅の狭いクラックのある道路のオーバーレイに適している。ただし、最大限の効果を発揮させるためには最適量のタックコートが散布されなければならない。また、幅の広いクラックのある道路には、適していない。ファイバー入りアスコンは、概ね効果がある傾向を示している。特に、北部の州では南部よりもよい結果を得ている。グリッドは、設置した際のそれ自身のしわやロール跡がクラックの問題となる。

- (1) Joseph, P., Haas, R., Phang, W.A. and Rothenburg, L. (アメリカ)
- (2) Low-Temperature Reflection Cracking through Asphalt Overlays.
- (3) pp.935~945.
- (4) **アスファルトオーバーレイの理論的設計法** (小林孝行)
- (5) 現在のオーバーレイ設計の方法は、一般にリフレクションクラックを考えていない。しかし、オーバーレイへのリフレクションクラックの問題は多くの地域で深刻なものであり、オーバーレイは設計の方法論の一部であるべきである。この論文では、理論的なオーバーレイの設計法を検討している。

解析法は、blunt crack band theoryとひずみエネルギーと強度基準をもとにして有限要素法により解析する方法をとった。この方法によってgeogrid補強材、SAMI (Stress Absorbing Membrane Interlayer)、中間層をオーバーレイの設計にいれて比較評価することができた。この理論的な解析結果を実験によって校正していくべき設計論が開発できる。

予備試験的な実験の結果は、この理論的な解析の正しさを実証した。同様に、フィールドトライアルを効果的に計画するために使うことができる。

オーバーレイの設計に関する興味ある論文である。

- (1) Rada G.R. and Witczak M.W. (アメリカ)

- (2) Project Level PMS Life Cycle Cost Model for Flexible Pavements.

(3) pp.946~957.

(4) 経済的なライフサイクルを得るための舗装設計ソフトウェア

(小林孝行)

- (5) たわみ性舗装の設計、施行及び維持、修繕を行う際に、最も経済的なライフサイクルとなるような方法を選択しようとするときは、担当する技術者の経験に負うところが大きい。しかし、技術者に充分な経験がない場合には経済的なライフサイクルとなるような方法が選択できない。この研究は舗装のライフサイクルを最も経済的にするために用いることができるコンピュータプログラムの開発を目的としている。

この目標を達成するために、おもに3つの研究を行った。①構造的なオーバーレイ設計方法論を、舗装の供用期間の限界を予測するために開発した。②ライフサイクルコストモデルにおいて使用するハイウェイに関するコストモデルを開発した。コストモデルには、イニシャルコンストラクションコスト、維持経費、修繕経費、廃材価値が含まれている。③構造上のオーバーレイ設計方法論とハイウェイコストモデルの統合を行った。

完成したプログラムは、Life Cycle Cost Program(LCCP)と呼ばれ、Maryland State Highway Administrationにとって最適な方法を選択するための強力なシステムとなっている。

コストモデルには、ローカルなものを採用している。

- (1) Shahin, M.Y., kirchner, K. and Blackom, E. (アメリカ)

- (2) Analysis of Asphalt Concrete Layer Slippage and its Effect on Pavement Performance and Rehabilitation Design.

(3) pp.958~964.

(4) 付着の悪いオーバーレイの補修方法

(小林孝行)

- (5) 既設の舗装とその上にあるオーバーレイの間に、交通荷重による滑りが生じるときの、舗装の解析を行い、補修方法の検討を行った。

対象とする舗装構造は、 $CBR = 5$ と仮定された大変弱い路盤を想定し、その上のアスファルトコンクリート表層をアスファルトコンクリートでオーバーレイを施したものである。解析には多層弾性理論のBISARを用いた。

層間にある滑りが発生することにより、舗装体の応力ひずみの分布が変化することがわかった。また、層間の滑りが垂直荷重下にあるとき、オーバーレイ厚が薄くアスファルトのスチフネスが高いものであると疲労が早い。層間の滑りが水平荷重下にあるときにはオーバーレイに除々に拡大するようなクラックを生じる可能性がある。

滑りの生じるオーバーレイを持つ舗装の補修は、そのオーバーレイの除去、あるいは接着のよいオーバーレイへの打ち替えを行えば効果的である。補修手段として、その上にオーバーレイをすることは、効果が少ない。

空港舗装についての検討である。

- (1) Halim, A.O.Abd El, Phang, W.A. and Haas, R. (カナダ)

- (2) Realizing Structural Design Objectives Through Minimization Construction Induced Cracking.

(3) pp.965~978.

(4) オーバーレイのリフレクションクラック抑制に関する検討

(富田弘樹)

- (5) アスファルトオーバーレイについて、供用して暫くたったものを対象にした構造的な解析はよく行われているが、施工直後のものに関してはほとんど検討されていない。本論文は、オーバーレイの供用性は施工手順に影響を受ける（オーバーレイ直後は構造的に安定していない）といった観点から解析を行っている。

オーバーレイの形態として、施工直後のものと供用して暫くたったものを取り上げ、両者の応力、ひずみ、変位の違いをBISARでの計算結果を利用して比較している。また、Relative Rigidity(既存舗装とオーバーレイの弾性係数、オーバーレイ厚がパラメータ) Coefficient of Stability(既存舗装とオーバーレイの曲率半径がパラメータ)といった係数を導入して、破損原因の説明を行っている。

本論文では、オーバーレイのリフレクションクラックの抑制方法として、既存の方法（オーバーレイを厚くする、配合を変える、既存舗装の前処理等）の他に、転圧方法を検討する必要性を説いている。その一つとして、AMIR(Asphalt Multi-Integrated Roller)を推奨している。

わが国のオーバーレイに関する文献で、上記したような検討を行っているものを読んだことはなかったので非常に参考になった。

- (1) Kckwick, S. V (南アフリカ)
(2) Application of the Mechanistic Analysis Procedure to Pavement Rehabilitation: Two Case Studies
(3) pp.979~989.

(4) 補装の修繕方法の検討：2ケースの調査

(富田弘樹)

- (5) 南アフリカでは、最近HVS (Heavy Vehicle Simulator) を利用した舗装の構造調査が行われ、データが蓄積されている。本論文では、そのデータの他に新たに2ケースの舗装（碎石路盤、安定処理路盤）の調査データを基に、南アフリカの既存舗装の構造上の評価方法及び修繕の選択方法に対する妥当性を検討している。

評価の対象となったのは、碎石路盤と安定処理路盤である。本論文では、供用性の評価基準として安定処理路盤は最大引張りひずみ、碎石路盤は主応力、路床は圧縮応力をパラメータとして取り上げている。舗装各層の破損程度により、舗装各層の弾性係数を変化させ、多層弾性理論を利用して各層のパラメータを計算し、等価累積輪荷重に対しモノグラフを作成している。そして、この計算結果と実際の測定結果を比較することにより、評価方法を検討し修繕方法のシミュレーションを行っている。

本論文により、HVSを利用した既存舗装の構造解析方法の妥当性が確認された。また、舗装特性は主に構造状況（舗装構成材料の劣化の程度）に左右されることが明らかになった。

わが国の場合と設計条件が異なるため直接比較はできないが、参考になる考え方であろう。

- (1) Horak,E (南アフリカ)
(2) The Use of Deflection Basin Measurements in the Mechanistic Analysis Flexible Pavement
(3) pp.990~1001

(4) たわみ形状の測定データを利用したアスファルト舗装の分析

(富田弘樹)

- (5) 舗装の構造調査をする場合、路面のたわみ形状を利用する手法は各機関で検討されているが、本論文では南アフリカ独自の方法を紹介している。たわみ形状の測定結果から、各種のパラメータを計算し、アスファルト舗装の挙動の変化と関連付けることにより、アスファルト舗装分析の基礎データを得ようとするものである。また、舗装の残存寿命やオーバーレイ厚選択のための基礎資料も同時に提供している。

本論文の分析方法では、舗装厚の異なる碎石路盤とアスベースの2種類の舗装に対して、HVS (Heavy Vehicle Simulator), RSD (Road Surface Deflectometer), MDD (Multi-Depth Deflectometer) を使用することにより、表層のたわみ形状及び層内のたわみを測定している。そして、各種のパラメータの計算結果と代表的な破損要因であるアスファルトの最大引張りひずみ、路床の垂直方向のひずみとの関係を求めている。

この調査により、路盤の種類とアスファルト舗装厚がたわみ形状におよぼす影響が明らかになり、南アフリカの舗装構造調査とオーバーレイの設計に対する有効な基礎資料が得られた。

わが国では、アメリカ、ヨーロッパ等の設計法はよく検討されているがその他の機関のものについては、わりと知られていない。参考となる文献であろう。

- (1) Wiseamn,G., Uzan, J. and Greenstein, J. (イスラエル)
(2) Airfield Pavement and Strengthening Based on NDT and Aided by an Expert System
(3) pp.1002~1012.

(4) エキスパートシステムによる空港舗装の評価

(増山幸衛)

- (5) 空港などでのたわみ性舗装において、その支持強さの評価と、必要とされるオーバーレイ厚さの決定については、層弾性理論モデルとCBR設計曲線によって決定されているが、本論文では、非破壊試験を用いた解析手法について、読者が自分でコンピュータを選択し、エキスパートシステムを活用できるように、その方法論について詳細に述べている。

著者は、NODULUSと名づけたソフトを256Kメモリーのパーソナルコンピュータ上で作動させることにより現場において、荷重を加えた時のたわみの大きさとたわみ形状を、1測点1分で測定しており、そのデータを解析に用いて、舗装へ対する評価を行っている。

このような評価を行うエキスパートシステムにおいては、それぞれのパラメータへ対する知識の蓄積が不可欠であり、知識ベースの作成のために必要な、土の分類、現場CBR, PCN (Pavement Classification Number) について、詳細な説明がなされている。また著者は、実際に使用した例をあげて説明を行っている。

この方法論は、簡単に空港のたわみ性舗装に用いることができ、またその結果が現状と良く一致することも経験的に実証されている。しかし現時点において、この方法論が最高のものであるかどうかは、断言できない。

本論分は、エキスパートシステムを読者自身が活用できるよう書かれたものであるから、内容も知識ベースの作成に必要な手順などについて詳しく述べられており、エキスパートシステム作成のための参考になると思われる。

- (1) Brown,S.F., Tam, W.S. and Brunton, J.M. (イギリス)
- (2) Structural Evaluation and Overlay Design : Analysis and Implementation
- (3) pp.1013~1028.
- (4) FWDによるデータを用いての構造評価とオーバーレイの設計 (増山幸衛)
- (5) FWD (Falling Weight Deflectometer) は、舗装の構造評価に対する最も効果的な試験装置と考えられ、そのデータは舗装の各層の有効弹性スティフネスの決定に用いられ、また有効弹性スティフォスは、コンピュータを用いて解析により、残りの舗装寿命の計算を行う基礎となり、同時に補修作業の設計にも大きく寄与する。

本論分はまず、FWDを使用する場合に用いる基礎理論である線形弾性理論についての説明を行っており、また同理論を用いたコンピュータ解析の発達過程について、現在の解析における考え方と比較しながら説明している。ここで用いられている解析システムは、PADAL (PAvement Deflection Analysis) と呼ばれている。また、それぞれの層の持つ特性は、たわみの大きさと形状に密接な関係があり、たわみの大きさと形状からそれぞれの層の特性を推測することができる。ケーススタディとして、クラックとわだち掘れの発生している既設舗装の補修設計と、貧配合コンクリート層を基礎としている新設の舗装について、FWDを用いて得られたデータによって、実際の解析例を示している。

結論として、『弾性スティフネスは舗装評価システムにおける重要なパラメータである。PADALは、線形弾性層理論を基礎として、Back-Analysisを簡単化するように改良しながら発達してきた。コンピュータを用いての機械的な解析方法は、既設舗装の要求する補修作業の設計のために発達してきており、今後も発達するであろう。』などが述べられている。

本論文は、FWDを使用するための基礎理論及びその使用方法について述べられており、今後わが国でも使用の拡大が予想されるだけに、参考になるものと思われる。

- (1) Sherwood, J., Kennis, W. and Liu, C. (アメリカ)
- (2) Marginal Maintenance and Rehabilitation Costs
- (3) pp.1029~1040
- (4) 限界の維持修繕費用 (吉村啓之)
- (5) 本論文はアスファルトおよびコンクリート舗装のライフサイクルコストを予測するために、EAROMAPというシステムを用いて、維持修繕費用を計算したものである。

本論文は道路の構造、交通量、維持修繕の政策、経済性を入力条件とし、舗装のタイプ（アスファルト、コンクリート）、気候（寒冷地、温暖地）、交通レベル（都市部、地方部）に対する舗装の寿命および維持修繕費用を出力して、ライフサイクルコストを検討したものである。

計算結果から、次のような結果が得られた。

- ① 最初のオーバーレイまでのアスファルトおよびコンクリート舗装の寿命の予測は、合理的に説明できる。
- ② 寒冷地のコンクリート舗装の維持修繕費用は、アスファルト舗装よりも低い。
- ③ アスファルト舗装の維持費用は温暖地、寒冷地にかかわらずコンクリート舗装よりも低い。
- ④ コンクリート舗装の維持修繕費用は温暖地、寒冷地にかかわらず、アスファルト舗装よりも低い。
- ⑤ 限界の維持修繕費用は都市部でも地方部でも同じである。
- ⑥ 都市部の高速道路の限界の維持修繕費用は地方部よりも低い。

本論文では種々の条件を幅広く仮定して入力し、維持修繕費用を計算して結論を導いているが、入力条件の仮定をどのように設定するかによって結論が異なってくる可能性がある。一般論を知るには有益かもしれないが、実用的であるとは言い切れない。時間があるときに読むべき論文といえる。

- (1) Koning, P.C. and Molenaar, A.A.A. (オランダ)
- (2) Pavement Management System for Municipalities with Emphasis on Planning and Cost Models
- (3) pp.1041~1049
- (4) 計画と費用のモデルを強調した自治体のための舗装管理システム (吉村啓之)
- (5) 本論文はオランダ道路建設研究センターによって開発された自治体の維持修繕計画に適用するための舗装管理システムについて述べたものである。

官民諸機関のメンバーからなるワーキンググループによって開発された舗装管理システムが、1986年にマニュアルとして発行された。本システムは視察調査および路面測定を実施し、供用性モデルによって舗装の悪化を予測し、維持戦略の計画をたて、最適な維持計画を選定するものである。本システムを検証するために、テキサスA&M大学で開発されたプログラムを改良したものを用いて、295の異なる組合せに対して最適な戦略を計算して検討を加えた。

検証の結果、維持計画の立案にあたっては、解析期間の長さの選定が重要で、最も適した寿命の期間を考慮することが必要である。また、オランダのすべての道路を視察調査し、残存寿命を評価することによって長期、中期、短期計画に分類し、個々に維持計画を実施できるようになった。

本システムはすでにマニュアルとして提供され、パソコンで計算、評価できるプログラムまでが開発されているため、具体的な内容を知ることができるようになっている。したがって、我が国で利用できる可能性があることから、読んでおくべき文献といえる。

青森に赴任して7ヶ月

村岡 憲司

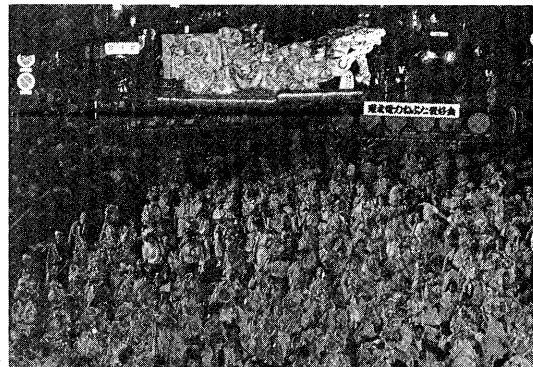
建設省東北地方建設局青森工事事務所長

〈赴任雑感〉

東北地方建設局秋田工事事務所における2年2ヶ月の勤務を終え、昨年8月1日付で隣県の青森工事事務所勤務の辞令を拝命した。私自身の役人生活は20年弱であるが、これほど近い赴任地は記憶がない。朝、トラックに荷物を積み込み、家族と一緒にマイカーを走らせ、夕方、新しい宿舎に落ち着くといった具合で引っ越しのものは誠に短時間に行われた。しかし、辞令前の引継ぎ、仙台での辞令交付、秋田での挨拶回り、青森への赴任と道路の開通式、その後、秋田に家族を迎えるといった具合で、息つく暇もないほど

の一週間であったが、東北の道路整備も以前と比べると格段に進み、一部高速道路を利用すると秋田→仙台間が約300kmで4時間半、秋田→青森間で約200km、3時間半と、1日行動圏が拡がって効率的な旅行が出来るようになった。

この8月の第1週は青森のねぶた、秋田の竿灯、仙台の七夕と東北の3大祭りが順次行われ、遠来の観光客が大勢この祭にあわせて移動するが、道路整備の進展に伴い、その数も年々増加している。青森は昨年3月の青函トンネルの開通と連絡船の廃止、7月からの開通記念青函博覧会の開催、ねぶた祭りの期間も例年





板画 ねぶたまつり由来 佐藤米次郎(日本板画院同人)

の4日間から8日間に延長されるなどにより盛況を博した。しかしながら我が家は引っ越しのつかれで「ハネル」元気もなく無為に終った祭となった。今年の夏に大いに期待しているところである。

〈除排雪と路面の摩耗〉

青森の道路を語る上で欠かすことの出来ないことに、県庁所在都市の中で最も雪が多いことと除排雪の苦労、以然として多いスパイクタイヤ装着車による路面の摩耗と粉塵公害などが掲げられる。しかし私は未だ浅学の身であり、しかも3年程前の本誌 Vol.29, No.148号に前々の当事務所長をされ現近畿地方建設局角町洋道路部長がこのことを詳述されているので、是非、御覧頂きたい。

あえて付記すると、今冬は、累加積雪が326cmと5カ年平均808cmを大幅に下まわる小雪であった。昨年の夏は日本海側が小雨で渴水となり、また、ヤマセといわれる東からの冷風で太平洋側を中心に冷害に襲われるなど異常気象が続き、早くから大雪の予報が出されていた。初雪は例年より10日ほど早かったものの、1月末に至っても長期予報に反して降る気配もなく、2月に入つてからは、粉塵で路肩に残ったわずかな雪もま

っ黒になり、砂ぼこりが立つ日が多くなり、例年より1ヵ月ほど早く3月4日に積雪深が0となってしまった。市内のメインストリートである国道の排雪も平均並の雪であればひと冬に2~3回行っているが、今冬は、まだ時期的に少し早すぎるかなと思案しつつ実施した2月下旬の1回限りで終りそうな様相である。一般住民は屋根の雪降しもなく、雪の少ない快適な生活で喜んでいるが、国、県、市から除排雪を請負つた建設関係業者は例年ない青空を見上げて渋い顔である。

春の到来とともにに行う路面の土砂の撤去と清掃、削りとられた区画線の表示等も例年より1ヵ月程早く始められている。

〈高規格幹線道路計画〉

これまで青森県内の高速道路は東北縦貫自動車道弘前線及び八戸線がY字形の道路網を構成しその整備が進められてきた。弘前線は昭和61年7月に十和田~碇ヶ関間を最後に完成し、また八戸線は昭和61年11月に一戸~八戸間41kmが完成し、残る安代~一戸間27kmも今年9月に供用する予定である。既応の高速道路網については目途がついた状況であるが、去る昭和62年9月に、新たに、国幹道として八戸線が青森まで延伸(八

おおたまうりの本



戸～青森80km) されたほか、自動車専用道として津軽自動車道(青森～鰹ヶ沢40km)と八戸久慈自動車道(八戸～久慈50km)が指定された。このうち、八戸～青森間については、既事業中の一般国道45号百石道路(八戸市～下田町5.5km)の計画・構造を一部見直して事業を促進しているほか、第2みちのく有料道路Ⅰ期(下田町～三沢市10km)も事業中であり、また、既に、みちのく有料道路(天間林村～青森市22km)が2車線ではあるが供用中である。従って残る区間の早期事業実施が強く望まれていることであるが、特に既応の高速道路網と連絡すべき区間、つまり、八戸市内の八戸I C～百石道路間と、青森市内のみちのく有料道路～青森I C間について早期事業化に向けて、県、関係市と連携をとりつつ調査の促進を図っているところであるが、後者の区間については今年1月の国幹審において14kmの基本計画が策定されたところである。

また津軽自動車道については平成元年度時点でもなお事業化区間をもたない路線であり、八戸久慈自動車道についても本県分でみると同様であり、計画策定が急がれているところである。

青森に赴任する際、多くの諸先輩、知人から県内事情について話を伺う機会を得たが、その中で共通する

話題の一つに同じ青森県の中で太平洋側と日本海側とで地域性が大いに違うという指摘があった。かつて藩政時代には、太平洋側は岩手県北部を含めて南部藩、日本海側は津軽藩と気候風土はもちろん歴史文化も差異のある各々の国であった訳であり、現在、太平洋側の中心は新産都市として急激な発展をとげた人口24万人を擁する八戸市などがあり、一方、日本海側の中心は藩都としての長い歴史をもつ人口17万人の弘前市があり、一方、両地域の中間ということで県都となった青森市は現在でこそ人口29万人を有する都市となつたが、明治以前は陸奥湾岸の一港町であった。

このような経緯もあり、現在でも考え方の差異や、ライバル意識が語られることもあると聞いているが、これから青森県を考えるならば、各々の地域が独自にその特性を生かした発展を図りつつも県全体として互に補完し相乗効果を發揮することが求められているとも言われている。

今回の新たな高規格幹線道路網は、青森県にとって、いわば横断道路というべき路線であり、県内各地の交流を促し、県土と県民の一体化を図る上で重要な契機を与えることになるのではないかと期待するものである。

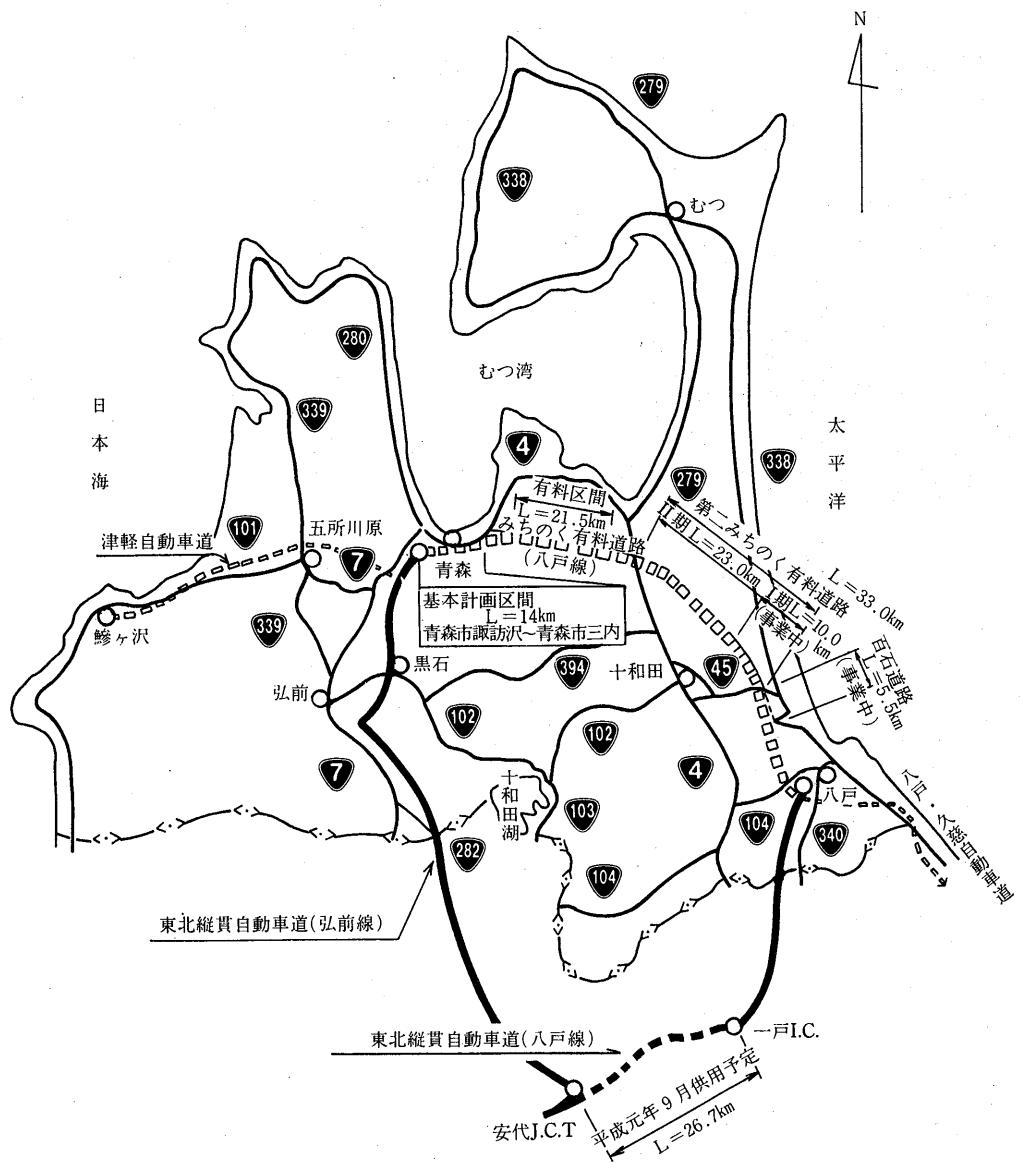


図-1 青森県内の高規格幹線道路網

防水層

橋面舗装において床版と舗装の耐久性の向上を図るために床版上に設ける遮水層のことを防水層といふ。

コンクリート床版と鋼床版では、防水層の設計・施工や材料の選定等の仕様は異なっている。

1) コンクリート床版の防水層

道路橋鉄筋コンクリート床版の防水層については、日本道路協会から出版されている防水層設計・施工資料（昭和62年1月）を参考に行はうと良い。ここでは、次の2点を基本概念として仕様をまとめている。

①舗装や目地の部分から長年にわたって浸透する水は床版に浸透させない。

②浸透した水は積極的に排水する。

先ず、防水層の構成断面は図-1のように定め、ここに表-1に示す防水材を適用箇所の状況を考慮して適切なものを選ぶようにしている。さらに、防水層を施工することが望ましい橋梁は、以下の範囲としている。

- 橋面に直接波しぶきがかかる橋梁（全面）
- 冬期に凍結防止剤を多量に散布する橋梁（全面）
- 散水式除雪装置が設置されている橋梁（全面）
- 下路トラス橋あるいは下路アーチ橋のようにRC床版が主構引張部材の変形の影響を受ける場合（全面）
- 合成された橋（車道部全面）
- 床版の打換えが困難で特に重要な路線にかかる橋梁（車道部全面）
- 輪荷重による床版の損傷が進んでいる橋梁（車道部全面、特に床版補修・補強時に併用、損傷がある場合は歩道も含める）
- 無塗装耐候性橋梁（車道部全面）

○連続した橋中間支点付近の負の曲げモーメント領域

○床版拡幅時あるいは連絡した等の継目

○縦断勾配がある場合の下側の端付近

また防水層の品質基準の目安として表-2を規定している。この他、水ぬき穴等の排水処理や境界部の処

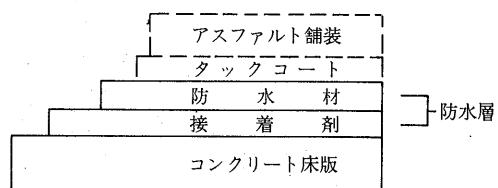


図-1 防水層の構成断面（日本道路協会）

表-1 各防水層の特徴（日本道路協会）

防水層の種類 項目	シート系防水層	塗装系防水層		舗装系防水層
		溶剤型	加熱型	
組成	不織布にゴム入りアスファルトを含浸	クロロブレンゴムを溶剤に溶解	アスファルトおよび合成ゴム	硬式アスファルト、粗骨材、細骨材、フィラーなどからなるアスファルト混合物
防水層の厚さ	1.5～4.0 mm	0.4～1.0 mm	1.0～1.5 mm	15～25 mm
施工法	流し貼りあるいは溶着	数回重ね塗り	数回重ね塗り	一層舗設機械仕上げ
施工時（後）の養生	なし	長時間必要	なし	なし
施工実績（車道）	多い	多い	少ない（歩道では多い）	少ない

表-2 コンクリート床版防水層の品質基準の目安（日本道路協会）

試験項目	試験温度(°C)	規格値	試験方法
防水性試験	20	減水量 0.5ml以下	付録-2.1 コンクリート床版防水層試験方法による
低温可撓性試験 ¹⁾	-10	防水材の折損が生じないこと	"
せん断試験 ²⁾	強度	-10 8.0 kgf/cm ² 以上	"
	强度	20 1.5 kgf/cm ² 以上	
	伸び	-10 0.5 %以上	
	伸び	20 1.0 %以上	
引張接着試験 ²⁾	強度	-10 12kgf/cm ² 以上	"
	強度	20 6kgf/cm ² 以上	
水浸7日後の引張接着試験	強度	20 水浸前の50%以上	"

注1) エポキシ樹脂塗膜系防水層および舗装系防水層には適用しない。

注2) 試験は50°Cについても行っているが、防水層の種類による強度差があまりないこと、防水層に起因する破壊は生じないことから、試験温度として50°Cは規定しなかった。

理等の構造細目を示している。

2) 鋼床版の防水層

鋼床版舗装の防水層の仕様は、本州四国連絡橋橋面舗装基準（昭和58年4月）を参考に行うとよい。

ここでは、舗装は2層仕上げを基本とし、基層に改

質アスファルト（本四I型）を使用したアスファルトコンクリートを設ける場合にのみ表-3及び表-4に示す防水シートとシート貼付用アスファルトを用いることとしている。したがって、基層にグースアスファルトを使用する時は防水層は設けないことにしている。

[小島逸平 熊谷道路技術研究所]

表-3 防水シートの規格（本四公団）

項目	規格値	試験法
厚さ mm	2.0 ±0.5	本州四国連絡橋 橋面舗装基準（案） (昭和58年4月) 試験方法
単位重量 g/m ²	1,500 以上	
引張強さ (幅1cm当たり長手方向、幅方向とも) kg	10 以上	
最大荷重時の伸び率 (%)	10~80	
低温可撓性 (長手方向、幅方向とも)	5個中4個以上合格	
吸水膨張(〃, 〃) %	±1.0	
加熱収縮(〃, 〃) %	±1.0	

表-4 防水シート貼付用アスファルトの規格（本四公団）

項目	規格値	試験法
軟化点 °C	100 以上	JIS K 2207
針入度 (25°C, 100g, 5 sec) 1/10mm	20~40	JIS K 2207
針入度指数	5以上	JIS K 2207
蒸発質量変化率 %	1以下	JIS K 2207
引火点 (C. O. C) °C	280以上	JIS K 2274
三塩化エタン可溶分 %	95以上	JIS K 2207
フラークゼイ化点 °C	-15以上	JIS K 2207
だれ長さ mm	8以下	JIS K 2207
加熱安定性 (フラークゼイ化点差) °C	5以下	JIS K 2207
比重 (25°C/25°C)	1.00~1.05	JIS K 2249



制振性（防音性）

制振性とは、Vibration Damping Characteristics(直訳すれば振動減衰性)の意味で、振動を発生するある物体の振動エネルギーを吸収して熱エネルギーに変換し、振動速度あるいは振動振幅を減衰させて残存振動を少なくする機能をいう。一般に音は物質の振動によって発生するものであるから、この特性を防音性(Sound Deadening, Noise Damping; 減音性でもよい)と表現しても、まったく同じことである。ここではアスファルト自体の制振性をとりあげることにする。

アスファルトによる制振の概念をわかりやすく説明すると、いま鉄板をつるしてこれをハンマーでたたくと、最初は大きい音がして時間の経過とともにその音は次第に小さくなる。次にこの鉄板にある膜厚のアスファルトを塗覆してこれを同じ強さでたたくと、今度の音は鉄板だけの時よりも小さく、またその音の持続時間も短い。この性質を定量的にしらべるには、つるした鉄板(+アスファルト)の上端を振動させ、振幅最大位置の振動量(変位量)をオシロスコープで観測する。かけてやった周波数と、その結果おこる振幅は図-1のように示され、周波数 f_n において共振(共鳴)が生じ、振幅は極大になる。図に示した η を制振係数(または損失係数)といい、この値は大きいほど好ましいことになる。

制振のメカニズムを考えると、アスファルトという粘弾性物質に外部から、たとえば引張力が加えられるとき、分子間構造の主鎖や側鎖のからみ合いが伸ばされ、次いで力が取り去られるともとに戻ろうとする。このとき分子間の摩擦により振動エネルギーは熱エネルギーとして散逸する。したがって、散逸エネルギーが大きく、かつある程度変形して、しかも弾性係数が大きい(抵抗力が大きい、スチフネスが大きい)ことが必要である。ただし、一般的にアスファルト単独では構造部材として要求される強度がないため、金属板などと複合して、複合部材の振動減衰性能を高める目的で用いられる。

アスファルトの制振係数はまた、温度によっても非常に変化する。図-2は0.8mm厚鋼板に塗覆した2mm厚の各種アスファルトの制振係数と温度の関係の実測例を示したものである。これによると、

1) 制振係数はある温度でピークを形成する。

2) ピークの高さは、概ね密度の大きなものほど高い(制振係数が大きい)ようである。

3) ピークの位置の温度は、フラーク脆化点の低い(たわみ性の大きい)ものほど低温側に移行するようである。

なお、試料アスファルトの厚みを増すほど、制振係数は増大し、ピーク位置は高温側にシフトする。またアスファルトの中に、フィラーを充填させて密度を高めたものも同様の傾向を示す。

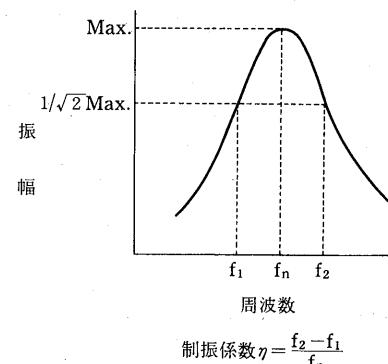
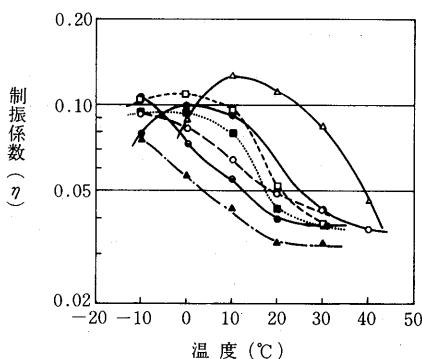


図-1 制振係数の求め方



記号	アスファルト	針入度	軟化点	PI	密度	フラーク
● ●	ストレート	25	59.0	-0.7	1.04	-5
□ - □	"	45	52.0	-0.9	1.04	-9
■ - ■	"	67	49.0	-0.7	1.03	-11
△ - △	プロパン脱瀝	13	63.0	-1.1	1.05	+12
○ - ○	ブローン	15	95.0	+3.4	1.04	-11
● - ●	"	25	85.0	+3.3	1.04	-14
▲ - ▲	"	29	103.0	+5.6	1.01	-17

図-2 各種アスファルトの制振係数
(0.8mm厚鋼板と2.0mm厚アスファルトの複合)

(高橋正明 昭和シェル石油(株) 中央研究所)

総目次 第155号～第158号（昭和63年度）

アスファルトの研究〔品質・規格・試験など〕

表題	執筆者	号数	ページ P～P	発行年月（西暦）
特集・アスファルトの品質と性状 特集にあたって 最近の原油事情 道路用ストレートアスファルトの規格と試験法について 石油アスファルトのJIS試験法改正について 石油アスファルト軟化点試験方法の自動化について 石油アスファルト密度試験方法について <資料>昭和62年度市販アスファルトの性状調査	安崎裕 田和健次 牛尾俊介 技術委員会・ 試験法分科会 技術委員会	157 157	1 2～8 9～34 35 36～37 38～40 67～70	昭 63.10 (1988) 昭 63.10 (1988)

アスファルト需給・統計関係の解析

表題	執筆者	号数	ページ P～P	発行年月（西暦）
主な石油アスファルト製造用原油の輸入状況		156	77	昭 63. 7 (1988)
韓国・シンガポール及び台湾のアスファルト事情	土居貞幸	157	58～63	昭 63.10 (1988)
(統計資料:石油アスファルト需給統計その1(総括表), 同その2(内需, 品種別表) 毎号巻末に掲載)				

道路舗装・舗装用アスファルト

表題	執筆者	号数	ページ P～P	発行年月（西暦）
特集・特殊アスファルトの現状 特集にあたって 特殊アスファルトに関する実態調査について 1章 特殊アスファルトに関する実態調査(ユーザ対象) 2章 特殊アスファルトに関する実態調査(メーカー対象) 3章 特殊アスファルトに関する文献調査	橋本鋼太郎 アスファルト舗装技術委員会材料開発研究分科会	156	1 2 3～26 27～43 44～71	昭 63. 7 (1988)
特集・維持修繕の現状と課題 特集にあたって 道路舗装の維持修繕について 地方道における舗装の維持修繕について 高速道路舗装の維持修繕について 都市内高速道路舗装の維持修繕について 長大橋における舗装の維持修繕について 維持修繕に関する研究開発の動向 阪神高速道路環状線通行止め補修工事 凍結防止剤を添加した舗装補修について ジオテキスタイル中間層を用いたオーバーレイ工法 工事渋滞と舗装路面冷却による早期交通開放	溝口忠 森永教夫 白土實 大野滋也 山田実・山田淳 奥川淳志 片倉弘美 河野富夫・長谷川能史 東定生 近藤陽 水取清一・堀田穂 石倉大幹・羽山高義	158	1 2～9 10～13 14～19 20～23 24～29 30～38 39～49 50～55 56～65 66～72	平成元.1 (1989)
報文・セミブローンアスファルト(A C-100) 第3次試験舗装の供用性追跡調査結果	多田宏行・伊藤正秀	157	41～57	昭 63.10 (1988)

アスファルト舗装技術研究グループ・研究報告

表 題	執 筆 者	号数	ページ P~P	発行年月 (西暦)
特集・アスファルト舗装技術研究グループ10周年記念 10周年によせて 特集にあたって アスファルト舗装技術の変遷 -諸外国の技術との比較検討-	多田 宏 行政 阿部 順 アスファルト舗装 技術研究グループ	155	1 2~4 5~93	昭 63. 4 (1988)
1章 設計 2章 材料 3章 施工 4章 品質管理と検査 5章 維持修繕				
アメリカ合衆国の舗装に関する研究事情	安崎 裕・飯田章夫		94~99	
アスファルト舗装に関する諸外国の組織・団体の現況	池田拓哉 飯田 章夫		100~107	

講座・連載シリーズ

表 題	執 筆 者	号数	ページ P~P	発行年月 (西暦)
工事々務所長シリーズ 10年ぶりの福岡国道	朝倉 肇	158	73~75	平成元.1 (1989)

用語の解説

表 題	執 筆 者	号数	ページ P~P	発行年月 (西暦)
粗骨材・細骨材 ガス濃度	高橋 正明 (石油アスファルト関係)	156	72 73~74	昭 63. 7 (1988)
特殊骨材・硬質骨材・エメリー・エルサインドボーキサイト・シノ パール・着色骨材・再生骨材 はく離性		157	64~65 66	昭 63.10 (1988)
転圧コンクリート舗装 (RCCP) クリープ試験 (アスファルトのクリープ試験)	小島 逸平 (舗装関係)	158	76~77 78	平成元.1 (1989)

その他一般〔協会事業活動・時事解説・随想など〕

表 題	号数	ページ P~P	発行年月 (西暦)
総目次 第 151号~第 154号 (昭和62年度)	155	108~109	昭 63. 4 (1988)

昭和63年度に発行された本協会出版物

書 名	概 要	発行年月 (西暦)
毎年(月)改訂している定期刊行物		
I. アスファルト・ポケットブック (ポケットブック版・本文72ページ) II. 日本のアスファルト事情 (A5版・本文48ページ) III. 石油アスファルト統計月報 (B5版・〃 16ページ)		毎年 8月発行 毎年 9月発行 毎月 1日発行

<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
52 年 度	256	4,790	(115.3)	0	5,046	4,765	(116.2)	0	4,765	287	5,052
53 年 度	287	5,229	(109.2)	0	5,516	5,218	(109.5)	0	5,218	297	5,515
54 年 度	297	5,064	(96.8)	1	5,362	5,138	(98.5)	2	5,140	236	5,376
55 年 度	236	4,720	(93.2)	1	4,957	4,703	(91.5)	21	4,724	240	4,964
56 年 度	240	4,598	(97.4)	0	4,838	4,562	(97.0)	19	4,581	226	4,807
57 年 度	226	4,624	(99.2)	0	4,850	4,574	(100.3)	18	4,592	213	4,805
58年度上期	213	2,392	(111.1)	0	2,605	2,357	(110.7)	3	2,360	241	2,601
58年度下期	241	2,555	(103.6)	0	2,796	2,564	(103.8)	1	2,565	226	2,791
58 年 度	213	4,947	(108.4)	0	5,160	4,921	(107.6)	4	4,925	226	5,151
59年度上期	226	2,541	(106.4)	0	2,767	2,516	(106.7)	0	2,517	252	2,769
59年度下期	252	2,694	(105.4)	0	2,946	2,705	(105.5)	0	2,705	240	2,945
59 年 度	226	5,235	(105.9)	0	5,461	5,221	(106.1)	0	5,221	240	5,461
60年度上期	240	2,400	(94.5)	0	2,640	2,338	(92.9)	0	2,338	294	2,632
60年度下期	294	2,629	(97.6)	0	2,923	2,696	(99.7)	0	2,696	215	2,911
60 年 度	240	5,029	(96.1)	0	5,269	5,034	(92.2)	0	5,034	215	5,249
61年度上期	215	2,656	(110.7)	0	3,130	2,568	(109.8)	0	2,568	291	2,859
61年度下期	291	3,089	(117.5)	0	3,380	3,134	(116.2)	0	3,134	235	3,369
61 年 度	215	5,744	(114.2)	0	5,959	5,702	(113.3)	0	5,702	235	5,937
7 ~ 9 月	278	1,431	(100.5)	7	1,716	1,408	(101.5)	0	1,408	312	1,720
62年度上期	235	2,745	(103.4)	7	2,987	2,681	(104.4)	0	2,681	312	2,993
10月	312	502	(88.8)	0	814	517	(91.5)	0	517	297	814
11月	297	552	(105.7)	0	849	583	(100.0)	0	583	261	844
12月	261	537	(93.6)	0	798	566	(96.9)	0	566	232	798
10~12月	312	1,592	(95.8)	0	1,904	1,667	(96.2)	0	1,667	232	1,899
63. 1 月	232	426	(110.1)	0	658	372	(103.6)	0	372	287	659
2 月	287	481	(119.4)	0	768	471	(117.8)	0	471	296	767
3 月	296	648	(101.4)	2	946	671	(104.5)	0	671	274	945
1 ~ 3 月	232	1,554	(108.8)	2	1,788	1,514	(108.0)	0	1,514	274	1,788
62年度下期	312	3,146	(101.8)	2	3,460	3,181	(101.5)	0	3,181	274	3,455
62 年 度	235	5,892	(102.6)	9	6,136	5,862	(102.8)	0	5,862	274	6,136
63. 4 月	274	507	(98.4)	3	784	499	(104.6)	0	499	284	783
5 月	284	394	(97.8)	0	678	366	(96.6)	0	366	313	679
6 月	313	416	(105.0)	0	729	428	(102.6)	0	428	302	730
4 ~ 6 月	274	1,317	(100.2)	3	1,591	1,292	(106.5)	0	1,292	302	1,594
7 月	302	478	(107.2)	0	780	474	(101.7)	0	474	306	780
8 月	306	502	(102.9)	0	808	494	(112.0)	0	494	310	804
9 月	310	458	(92.0)	0	768	474	(94.6)	0	474	287	761
7 ~ 9 月	302	1,438	(100.5)	0	1,740	1,442	(102.4)	0	1,442	287	1,729
63年度上期	274	2,754	(100.3)	3	3,031	2,734	(102.0)	0	2,734	287	3,021
10月	287	545	(108.6)	0	832	562	(108.7)	0	562	269	831

(注) (1) 通産省エネルギー一月報 63年10月確報

(2) 四捨五入のため月報と一致しない場合がある。

<石油アスファルト需給統計資料> その2

石油アスファルト内需実績 (品種別明細)

(単位:千t)

項目 年 度	内 需 量				対 前 年 度 比							
	ストレート・アスファルト			燃焼用 アスファルト	ブローン アスファルト	合 計	ストレート・アスファルト			燃焼用 アスファルト		
	道路用	工業用	計				道路用	工業用	計			
52年 度	4,242	235	4,477	—	288	4,765	116.9	112.4	116.6	—	109.1	116.1
53年 度	4,638	267	4,905	—	313	5,218	109.3	113.6	109.6	—	108.7	109.5
54年 度	4,620	175	4,795	—	343	5,138	99.6	65.5	97.8	—	109.6	98.5
55年 度	4,233	183	4,416	—	287	4,703	91.6	104.6	92.1	—	91.5	91.5
56年 度	4,082	202	4,284	4	274	4,562	96.4	110.4	97.0	—	95.5	97.0
57年 度	3,943	184	4,127	187	260	4,574	96.6	91.1	96.3	467.5	94.2	100.3
58年度上期	1,917	83	2,000	236	121	2,357	104.3	86.5	103.4	524.4	98.4	110.7
58年度下期	2,033	94	2,127	304	133	2,564	96.6	106.8	97.0	214.1	98.5	103.8
58年 度	3,950	177	4,127	540	254	4,921	100.2	96.2	100.0	288.8	98.4	107.6
59年度上期	1,915	79	1,994	403	119	2,516	99.9	95.2	99.7	170.8	101.7	106.7
59年度下期	2,084	83	2,167	403	135	2,705	102.5	88.3	101.9	132.6	101.5	105.5
59年 度	3,999	162	4,161	806	254	5,221	101.2	91.5	100.8	149.3	100.0	106.1
60年度上期	1,767	72	1,839	388	112	2,338	92.3	91.1	92.2	96.3	94.1	92.9
60年度下期	1,974	67	2,041	522	133	2,696	94.7	80.7	94.2	129.5	98.5	99.7
60年 度	3,741	139	3,881	910	245	5,034	93.5	85.8	93.2	112.9	96.5	96.4
61年度上期	1,825	66	1,891	565	112	2,568	103.3	91.7	102.8	145.6	100.0	109.8
61年度下期	2,160	175	2,335	673	125	3,134	109.4	261.2	114.4	128.9	94.0	116.2
61年 度	3,985	241	4,226	1,238	237	5,702	106.5	173.4	108.9	136.0	96.7	113.3
7~9月	1,038	65	1,103	246	59	1,408	105.0	163.2	107.3	81.7	103.0	101.5
62年度上期	1,949	100	2,048	518	114	2,681	106.8	151.5	108.3	91.7	101.8	104.4
10月	411	13	424	67	26	517	100.0	35.7	94.6	70.9	115.4	91.5
11月	437	44	481	78	24	583	99.8	314.3	106.4	71.6	109.1	100.0
12月	423	33	456	88	22	566	107.9	82.5	105.6	67.7	100.0	96.9
10~12月	1,271	90	1,362	232	73	1,667	102.3	98.9	102.2	69.5	110.6	96.2
63. 1月	211	54	265	85	22	372	114.7	135.0	118.3	74.6	110.0	103.6
2月	296	61	357	90	24	471	117.5	435.7	134.2	78.3	120.0	117.8
3月	525	56	581	68	22	671	108.9	193.1	113.7	60.2	122.2	104.5
1~3月	1,032	171	1,203	243	68	1,514	112.3	203.6	119.9	71.5	115.3	108.0
62年度下期	2,304	261	2,565	475	141	3,181	106.7	149.1	109.9	70.6	112.8	101.5
62年 度	4,253	360	4,613	995	255	5,862	106.7	149.4	109.2	80.4	107.6	102.8
63. 4月	381	25	406	75	18	499	114.1	208.3	117.3	66.4	100.0	105.9
5月	281	10	291	57	18	366	105.2	111.1	105.4	66.3	105.9	96.6
6月	298	53	351	56	21	428	95.8	378.6	108.0	76.7	110.5	102.6
4~6月	959	88	1,047	188	57	1,292	105.3	251.4	110.7	69.1	103.6	101.5
7月	361	8	369	86	19	474	104.0	28.6	98.7	117.8	105.6	101.7
8月	333	40	373	101	20	494	105.0	166.7	109.4	124.7	105.3	112.0
9月	336	29	365	89	21	475	89.8	223.1	94.3	96.7	95.5	94.8
7~9月	1,029	78	1,107	276	60	1,443	99.1	120.0	100.4	112.2	101.7	102.5
63年度上期	1,988	166	2,154	464	117	2,735	102.0	166.0	105.2	89.5	102.6	102.0
10月	402	71	473	65	24	562	97.8	546.2	111.6	97.0	92.3	108.7

(注) (1) 通産省エネルギー月報 63年10月確報

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

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

(4) 四捨五入のため月報と一致しない場合がある。

社団法人 日本アスファルト協会会員

(五十音順)

社 名	住 所	電 話
(メーカー)		
出光興産株式会社	(100) 千代田区丸の内3-1-1	03(213) 3134
エッソ石油株式会社	(107) 港区赤坂5-3-3	03(585) 9438
鹿島石油株式会社	(102) 千代田区紀尾井町3-6	03(265) 0411
キグナス石油株式会社	(104) 中央区京橋2-9-2	03(535) 7811
九州石油株式会社	(100) 千代田区内幸町2-1-1	03(502) 3651
共同石油株式会社	(105) 港区虎ノ門2-10-1	03(224) 6298
極東石油工業株式会社	(100) 千代田区大手町1-7-2	03(270) 0841
興亜石油株式会社	(100) 千代田区大手町2-6-2	03(241) 8631
コスモ石油株式会社	(105) 港区芝浦1-1-1	03(798) 3200
三共油化工業株式会社	(100) 千代田区丸の内1-4-2	03(284) 1911
昭和シェル石油株式会社	(100) 千代田区霞が関3-2-5	03(503) 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(215) 3081
ゼネラル石油株式会社	(105) 港区西新橋2-8-6	03(595) 8300
東亜燃料工業株式会社	(100) 千代田区一ツ橋1-1-1	03(286) 5111
東北石油株式会社	(985) 仙台市港5-1-1	022(363) 1111
日網石油精製株式会社	(210) 川崎市川崎区浮島町3-1	044(266) 8311
日本鉱業株式会社	(105) 港区虎ノ門2-10-1	03(505) 8530
日本石油株式会社	(105) 港区西新橋1-3-12	03(502) 1111
日本石油精製株式会社	(105) 港区西新橋1-3-12	03(502) 1111
富士興産株式会社	(100) 千代田区永田町2-4-3	03(580) 3571
富士石油株式会社	(100) 千代田区大手町1-2-3	03(211) 6531
三菱石油株式会社	(105) 港区虎ノ門1-2-4	03(595) 7663
モービル石油株式会社	(100) 千代田区大手町1-7-2	03(244) 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
葛井石油株式会社	(060) 札幌市中央区南4条西11-1292-4011	011(518) 2771	コスモ
株式会社 トーアス札幌営業所	札幌市中央区北2条西2	011(281) 2361	共石
東光商事株式会社札幌営業所	札幌市中央区南大通り西7	011(241) 1561	三石
中西瀝青株式会社札幌営業所	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	札幌市中央区北2条西2-15	011(231) 7587	日石
レキセイ商事株式会社	札幌市中央区北4条西3	011(231) 4501	出光
株式会社 ロード資材	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		
有限会社 男鹿興業社	(010-05) 男鹿市船川港船川字化世沢178	0185 (23) 3293共 石
カメイ株式会社	(980) 仙台市国分町3-1-18	022 (264) 6111日 石
株式会社 木畠商会仙台営業所	(980) 仙台市中央2-1-17	022 (222) 9203共 石
コスモアスファルト㈱仙台支店	(980) 仙台市中央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
株式会社 トーアス仙台営業所	(980) 仙台市大町1-1-10	022 (262) 7561共 石
常盤商事株式会社 仙台支店	(980) 仙台市上杉1-8-19	022 (224) 1151三 石
中西瀝青株式会社 仙台営業所	(980) 仙台市中央2-1-30	022 (223) 4866日 石
株式会社 南部商会仙台出張所	(980) 仙台市中央2-1-17	022 (223) 1011日 石
宮城石油販売株式会社	(980) 仙台市東7番丁102	022 (257) 1231三 石
菱油販売株式会社 仙台支店	(980) 仙台市国分町3-1-1	022 (225) 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 (669) 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 (553) 3001昭和シェル
伊藤忠燃料株式会社	(107) 港区赤坂2-17-22	03 (584) 8555共 石
梅本石油株式会社	(162) 新宿区揚場町2-24	03 (269) 7541コスモ
関東アスファルト株式会社	(336) 浦和市岸町4-26-19	0488 (22) 0161
株式会社 木畠商会	(104) 中央区八丁堀4-2-2	03 (552) 3191共 石
コスモアスファルト株式会社	(104) 中央区八丁堀3-3-5	03 (551) 8011コスモ
国光商事株式会社	(164) 中野区東中野1-7-1	03 (363) 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 (551) 7131コスモ
三徳商事株式会社 東京支店	(101) 千代田区神田絹屋町11	03 (254) 9291昭和シェル
新日本商事株式会社	(101) 千代田区神田錦町2-5	03 (294) 3961昭和シェル
住商石油アスファルト株式会社	(105) 港区浜松町2-3-31	03 (578) 9521出 光
大洋商運株式会社	(103) 中央区日本橋本町3-7	03 (245) 1621三 石
竹中産業株式会社	(101) 千代田区鍛冶町1-5-5	03 (251) 0185昭和シェル
中央石油株式会社	(160) 新宿区新宿2-6-5	03 (356) 8061モービル
株式会社 トーアス	(160) 新宿区西新宿2-7-1	03 (342) 6391共 石
東京レキセイ株式会社	(150) 渋谷区恵比寿西1-9-12	03 (496) 8691富士興
東京富士興産販売株式会社	(105) 港区虎ノ門1-13-4	03 (591) 3401富士興
東光商事株式会社	(104) 中央区京橋1-5-12	03 (274) 2751三 石
東新瀝青株式会社	(103) 中央区日本橋2-13-10	03 (273) 3551日 石
東洋国際石油株式会社	(104) 中央区八丁堀3-3-5	03 (552) 8151コスモ
東和産業株式会社	(174) 板橋区坂下3-29-11	03 (968) 3101三共油化
中西瀝青株式会社	(103) 中央区八重洲1-2-1	03 (272) 3471日 石
株式会社 南部商会	(100) 千代田区丸の内3-4-2	03 (213) 5871日 石
日東商事株式会社	(170) 豊島区巣鴨4-22-23	03 (915) 7151昭和シェル
日東石油販売株式会社	(104) 中央区新川2-3-11	03 (551) 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 (661) 4951モービル
富士興産アスファルト株式会社	(100) 千代田区永田町2-4-3	03 (580) 5211富士興
富士鉱油株式会社	(105) 港区新橋4-26-5	03 (432) 2891コスモ
富士石油販売株式会社	(103) 中央区日本橋2-13-12	03 (274) 2061共 石

社団法人 日本アスファルト協会会員

社名	住所	電話
富士油業株式会社東京支店	(106) 港区西麻布1-8-7	03 (478) 3501富士興
丸紅エネルギー株式会社	(101) 千代田区神田錦町3-7-1	03 (293) 4111モービル
三井物産石油株式会社	(101) 千代田区神田駿河台4-3	03 (293) 7111極東石
三菱商事株式会社	(100) 千代田区丸の内2-6-3	03 (210) 6277三石
ユニ石油株式会社	(101) 千代田区神田東糸屋町30	03 (256) 3441昭和シェル
菱東商事株式会社	(101) 千代田区神田和泉町1-13-1	03 (5687) 1421三石
菱油販売株式会社	(160) 新宿区西新宿1-20-2	03 (345) 8205三石
菱洋通商株式会社	(104) 中央区銀座6-7-18	03 (571) 5921三石
瀧青販売株式会社	(103) 中央区日本橋2-16-3	03 (271) 7691出光
渡邊油化興業株式会社	(107) 港区赤坂3-21-21	03 (582) 6411昭和シェル
● 中部		
コスモアスファルト(株)名古屋支店	(466) 名古屋市昭和区塩付通4-9	052 (851) 1111コスモ
株式会社澤田商行	(454) 名古屋市中川区富川町1-1	052 (361) 7151コスモ
三徳商事株式会社静岡支店	(420) 静岡市糸屋町11-12	0542 (55) 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
株式会社三油商會	(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
新東亜交易株式会社名古屋支店	(450) 名古屋市中村区名駅3-28-12	052 (561) 3514富士興
竹中産業株式会社福井営業所	(910) 福井市大手2-4-26	0766 (22) 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
株式会社トーアス名古屋営業所	(450) 名古屋市中村区名駅4-2-12	052 (581) 3585共石
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) 高岡市美幸町2-1-28	0766 (22) 2860昭和シェル
三谷商事株式会社	(910) 福井市豊島1-3-1	0776 (20) 3134モービル
● 近畿		
赤馬アスファルト工業株式会社	(531) 大阪市大淀区中津3-10-4	06 (374) 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共石
大阪アスファルト株式会社	(531) 大阪市北区中津1-11-11	06 (372) 0031出光
木曾通産株式会社大阪支店	(550) 大阪市西区九条南4-11-12	06 (581) 7216コスモ
共和産業株式会社	(700) 岡山市富田町2-10-4	0862 (33) 1500共石
コスモアスファルト(株)大阪支店	(550) 大阪市西区南堀江4-17-18	06 (538) 2731コスモ
コスモアスファルト(株)広島営業所	(730) 広島市田中町5-9	0822 (44) 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
株式会社シェル石油大阪発売所	(552) 大阪市港区南市岡1-11-11	06 (584) 0681昭和シェル
昭和瀧青工業株式会社	(670) 姫路市北条口3-51	0792 (77) 5001共石
信和興業株式会社	(700) 岡山市西古松363-4	0862 (41) 3691三石
正興産業株式会社	(662) 西宮市久保町2-1	0798 (22) 2701三石
中国富士アスファルト株式会社	(711) 倉敷市児島味野浜の宮4051	0864 (73) 0350富士興
千代田瀧青株式会社	(530) 大阪市北区東天満2-8-8	06 (358) 5531三石
株式会社ナカムラ	(670) 姫路市国府寺町72	0792 (85) 2551共石
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
平井商事株式会社	(542) 大阪市中央区東心斎橋筋1-3-1106 (252)	5856富士興

社団法人 日本アスファルト協会会員

社名	住所	電話
富士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
富士商株式会社	(756) 小野田市稻荷町6539	08368 (3) 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
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共石
株式会社菱芳礦産	(671-11) 姫路市広畠区西夢前台7-140	0792 (39) 1344共石
● 四国・九州		
伊藤忠燃料株式会社 九州支社	(812) 福岡市博多区博多駅前3-2-8	092 (471) 3877共石
今別府産業株式会社	(890) 鹿児島市新栄町15-7	0992 (56) 4111共石
株式会社カーナダ	(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) 福岡市中央区鳥飼1-3-52	092 (771) 7436コスモ
サンヨウウ株式会社	(815) 福岡市南区玉川町4-30	092 (541) 7615富士興
三協商事株式会社	(770) 徳島市万代町5-8	0886 (53) 5131富士興
株式会社トーアス高松営業所	(760) 高松市亀井町8-11	0878 (37) 1645共石
中西瀝青株式会社 福岡出張所	(810) 福岡市中央区天神4-1-18	092 (771) 6881日石
株式会社南部商会福岡出張所	(810) 福岡市中央区天神3-4-8	092 (721) 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
畑砂油株式会社	(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

編集顧問

多田宏行
松野三朗

編集委員

委員長：大熊周三	副委員長：真柴和昌
阿部忠行	磯部政雄
荒井孝雄	今井武志
安崎裕	金田一夫
飯島尚	菅野善郎
石井一生	河野宏
	小島逸平
	白神健児
	田井文夫
	戸田透
	野村敏明

アスファルト 第159号

平成元年4月発行

社団法人 日本アスファルト協会

〒105 東京都港区虎ノ門2-6-7 TEL 03-502-3956

本誌広告一手取扱 株式会社 廣業社

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

印刷所 アサヒビジネス株式会社

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

ASPHALT

Vol.31 No. 159 APRIL 1989

Published by

THE JAPAN ASPHALT ASSOCIATION