

第1回 土木材料としてのアスファルト

阿 部 頼 政*

§ 1. はじめに

名神・東名・中央の実績をもとに、現在、全国各地で高速道路が建設されており、わが国もようやく高速道路時代に入った感がある。また一方、86万kmにおよぶ市町村道の未舗装部分も早急に手を打とうとする気運が高まりつつあることも周知のとおりである。そしてこれらの舗装の大部分がアスファルトで行なわれることはいうまでもなく、今後アスファルトに対する関心はますます高まっていくものと思われる。

しかし、アスファルトの学問的研究面をふりかえって考えてみると、他の分野に比べてその内容はきわめて貧弱と言わざるを得ない。アスファルトが分子量もはっきりしない複雑な材料であること、注目されるようになってからまだ日が浅いこと等、いろいろ原因は考えられるが、初学者にとって最も困ることは、よい教科書・参考書の類が少ないということであろう。学問的に統一されていないため、本として書きにくいからである。ただ最近は施工経験も豊富になり、各研究機関も充実してきたため多くの報告書・研究論文が発表されるようになった。したがって、この程度のことは道路技術者の常識として知っておく必要があるという部分がかなり多くなってきたわけである。

本誌に「アスファルト講座」が新設されたのも、以上のような背景にもとづいてのことと思われる。本講座の対象は道路の初級技術者である。したがって、舗装用のアスファルトおよびアスファルト混合物に関する基本的性質の検討が主な内容であり、教科書的な読みやすいものになりたいと筆者は考えている。本講座は10回～12回程度で完了するつもりであるが、その間に少しでも諸氏の参考になれば幸いである。

§ 2. アスファルトの定義

アスファルトという言葉聞いて一般の人がまず思いうかべるのは、真夏の高温時にベタベタひっつく道路、

ということではなからうか。あるいはまた、道路上で施工しているのをよく見かけるアスファルト乳剤を、アスファルトと思い違いしている人もあるかも知れない。事実アスファルトそのものを一般の人が見かける機会は、きわめて少なく、たいていは混合物等の形で目にふれる。

かなりベテランの土木技術者に、「アスファルト舗装にもコンクリートみたいに砂利を入れるんですか」とびっくりした顔をされて、かえってこちらがあわてたりしたこともある。道路関係者以外の人のアスファルトに対する関心というのは、案外この程度の場合が多い。

しかし、「それでは、アスファルトとは何ですか」と聞かれると、道路技術者でも一瞬返答にとまどう面があるのではなからうか。その意味でも、まずアスファルトの定義をここで考察しておこう。なお、日本ではあまり使われないがビチューメン (bitumen) という言葉も外国ではよく使われるので、これも一緒に考察することにする。

アメリカの標準規格¹⁾ではこれらの言葉を次のように定義している。

ビチューメン：気体状・液体状・半固体状・あるいは固体の炭化水素混合物、またはそれらの非金属誘導体を含む炭化水素の混合物で、二硫化炭素に完全に溶解するもの。

アスファルト：天然にあるいは石油製精の残留物として得られる固体状、あるいは半固体状の暗褐色または黒色の粘着性物質で、ビチューメンを主成分とするもの。

一方、イギリスでの定義は次のようである²⁾。

ビチューメン：天然にあるいは石油からとれる粘着性のある液体または固体で、二硫化炭素にとける。

付着性があり、炭化水素が主成分である。

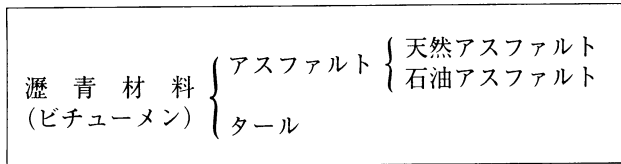
アスファルト：ビチューメンと鉱物質固体からなる天然あるいは人工の混合物。

以上の定義を比較すると両者ではっきりした相異がある。すなわち、アメリカでいうアスファルトはイギリス

* 日本大学理工学部講師

でいうピチューメンに相当するわけである。また、イギリスでは、アメリカでいうアスファルトにフィラー（鉱物質微粉末）を加えたいわゆるフィラー・ピチューメンをアスファルトと定義していることになる。日本のアスファルト舗装要綱³⁾によれば、ピチューメンとは「二硫化炭素に溶ける炭化水素の混合物で常温で固体または半固体のもの、であり、石油アスファルトとして「原油を蒸留してガソリン、ケロシン、その他の油を適度に取り除いた残留物」と説明してある。

以上のように、定義をみるとわけのわかったようなわからないような面があり、国によっても多少内容に違いが見られるが、日本における土木材料として、特に道路用材料として、これを使用する場合には次のように理解すればよいであろう。



すなわち「土木材料として使用する瀝青材料（二硫化炭素に溶ける炭化水素の混合体）には、アスファルトとタールがあり、アスファルトは、さらに天然に産するものと石油からとれるものに分けられる」ということである。

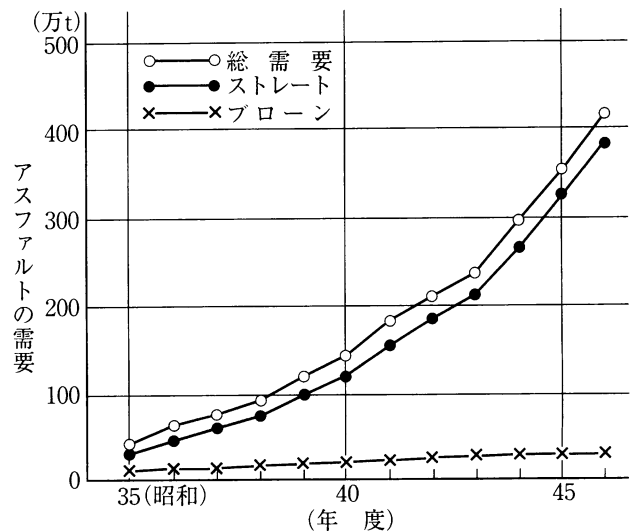
なお、実際はわが国でタールや天然アスファルトが使用される例はきわめて少ないため、瀝青材料≒アスファルト≒石油アスファルトとして使われている感がある。

また、アメリカにおける定義は日本のそれとほとんど一致しているので、あまり問題はないが、イギリスの文献を読む場合には前に述べた点を注意する必要がある。

§ 3. アスファルトの歴史と種類

アスファルトは最近になって脚光を浴びてきたために比較的新らしい材料のように見られがちであるが、その使用の歴史はきわめて古い。紀元前、すでにメソポタミアやインダスで、道路舗装や防水用材料として使われていたといわれている。またエジプトでも各種の建造物と同時にミイラの保存に重要な役割りを果たしていたようである^{4) 5)}。もちろん、これらは天然に産するアスファルトであって、石油アスファルトが使用されだしたのは19世紀の後半、それも1890年代である。しかし、1902年にはアメリカですでに2万トンのアスファルトが石油から精製されている⁶⁾ので、現在のアスファルト舗装は、

図-1 アスファルトの需要の推移
(日本アスファルト協会資料)



20世紀初頭に始まったといつてよいと思われる。つまりアスファルト舗装は、石油アスファルトを使用するようになってからでさえ、70年の歴史を持っているわけである。わが国では、1920年頃に初めてアスファルトプラントが輸入されている⁶⁾ということなので、本格的に使用されたのはそれ以後と思われる。ここで最近の日本における石油アスファルトの需要の推移を見てみよう。図-1によれば⁷⁾、アスファルトの需要は毎年10%以上の伸び率を示し、今後ますます増加する傾向にあることがわかる。この伸び方は主として道路整備5カ年計画と密接なつながりをもっているものであるが、道路関係の話は後に述べることにして、ここでは図中にあらわれたストレートアスファルト、ブローンアスファルトに関連し、アスファルトの種類について考察することにする。アスファルトが天然アスファルトと石油アスファルトに大きく分類されることはすでに述べたが、天然アスファルトは、その産出状態により、レークアスファルト (Lake Asphalt)、アスファルタイト (Asphaltite)、ロックアスファルト (Rock Asphalt)、サンドアスファルト (Sand Asphalt) 等に分けられる。以下、これらの特徴を簡単に述べることにする。

(1)レークアスファルト：アスファルトが湖のようにたまってできたもので、代表的なものに南米産のトリニダッド (Trinidad) アスファルトとヴェネズエラ産のバーミューズ (Bermudez) アスファルトがある。特にトリニダッドアスファルトはイギリスの代表的な表層混合物であるロールド (Rolled) アス

ファルトに使用されていることなどから、わが国でも知名度が高い。トリニダッドは、南米東北部海岸にある島であるが、島全体にわたってアスファルトの湖が散在しており、最大のものは広さ100エーカー（約0.4km²）、中心部の深さ300フィート（約90m）もある。中心部のやわらかい所でも人間が歩けるぐらいの支持力を持っているが、おもしろいことには、採掘した穴が24時間たつと周囲の圧力でなくなってしまうという。したがって、レール等を設置しておけば、毎日同じ所から、採掘できるわけである。このトリニダッドアスファルトの材料の特徴としては、鉱物質を大量に（30%前後）含んでいることにある。また、原材料は水やガスをかなり含んでいるが、これを精製したものがトリニダッドエピュレ（Trinidad Épure）であり、各国に輸出されている。トリニダッドエピュレは非常にかたく25℃の針入度が1.5～4.0程度、軟化点が94℃～97℃である⁸⁾。

- (2)ロックアスファルト：これは多孔性の石灰岩や、砂岩にアスファルトがしみこんでできたもので、アスファルトの含有量は10%程度である。くだいて道路舗装用に使用される。ヨーロッパに多いが、日本でも秋田・新潟で産出する。
- (3)アスファルタイト：岩石のわれ目等に石油がしみこんで長年月の間にアスファルトに変質したもので、ギルソナイト（Gilsonite）、グランズ・ピッチ（Grance Picth）、グラハマイト（Grahamite）に分けられる。これらは不純物を含まないきわめて純粋なアスファルトで、ほとんど、完全に二硫化炭素に溶ける。主として塗料や印刷用インクとして使われている。
- (4)サンドアスファルト：砂層中にアスファルトがしみこんでできたものであるが、同名のアスファルト混合物があるので注意する必要がある。

石油アスファルトは、ストレートアスファルト（Straight Asphalt）、ブローンアスファルト（Blown Asphalt）、カットバックアスファルト（Cut Back Asphalt）、アスファルト乳剤に大別される。通常道路舗装に使用されているのがストレートアスファルトで、これは石油を蒸留してガソリンから潤滑油までを追い出した後にできるものであり、ブローンアスファルトはこれに高温で空気を吹きこみ酸化重合させてつくる。

ブローンアスファルトが舗装に使用されることはほと

図-2 アスファルトの種類

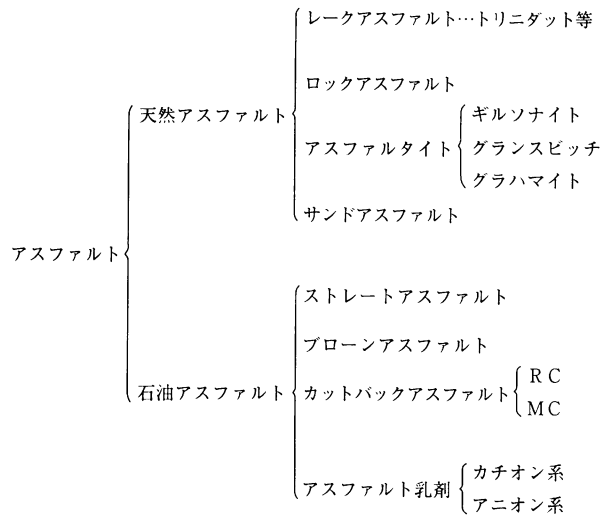


図-3 アスファルト混合物の成分容積比

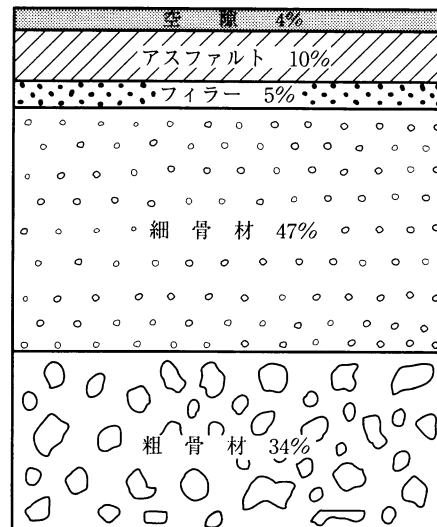
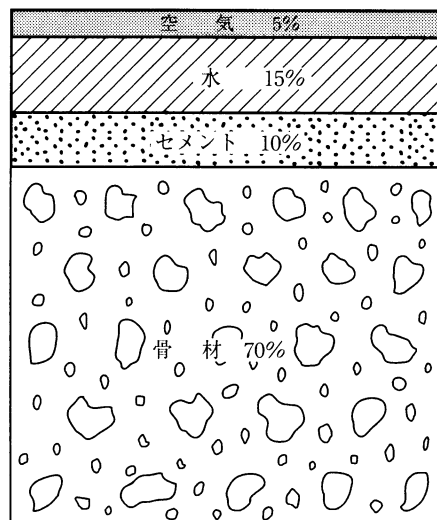


図-4 セメントコンクリートの成分容積比



んどなく、ルーフィング・防水・塗料等が主な用途である。カットバックアスファルトは常温でも施工できるように、ストレートアスファルトに揮発性の石油を加えて粘度を下げたもので、アスファルト舗装要綱では、RC (rapid curing), MC (medium curing) の2種について規格を設けている。なお、RCはガソリンを、MCはケロシンをストレートアスファルトに加えたものである。また、アスファルト乳剤は、比較的軟質な石油アスファルトを乳化剤と安定剤を含む水中に分散させたもので、カチオン系とアニオン系に分類される。これらの石油アスファルトについては次回以降詳しく述べる予定なので、ここではこの程度に留めておく。

以上、アスファルトの種類をまとめて図-2に示す。

§ 4. アスファルトの材料特性

本節では、アスファルトおよびアスファルト混合物が他の土木材料、すなわち、コンクリート、土等に比べてどのような材料特性を持っているかを検討する。

アスファルト混合物の中で最も一般に知られている密粒度アスファルトコンクリートの組成を図-3に示す。

このようにアスファルト混合物は一般に、アスファルト・粗骨材(碎石等)・細骨材(砂)・フィラー(石粉等)からできており、規定の条件で締め固めたときに数パーセントの空気を含む。一方、普通に用いられるセメントコンクリートの組成⁹⁾は、図-4のようになっている。土の場合は、種類によって非常に成分比に差があるので、量的にあらわせないが、通常図-5のような組成になっている。それぞれの組成図を比較して、まず気をつくことは、3者とも気相(液相)固相の3相から成っている複合材料である、ということであろう。しかしこの3相の働ろきが、アスファルト混合物、セメントコンクリート、土それぞれによって異っている点があるため、力学的特性その他に差異があらわれてくると考えられる。以下アスファルト混合物を中心にして各材料間の共通点・相違点を考察することにする。

(1) 気相について

3者とも気相は空気であるが、土と異なり、アスファルト混合物およびセメントコンクリートでは、耐久性を増すために意識的に気相を作り出している。

(2) 液相について

液相を形成するのは、土とセメントコンクリートでは水であるが、アスファルト混合物ではアスファルトである。3者とも、骨材あるいは土粒子のバインダーの役割

図-5 土の組成

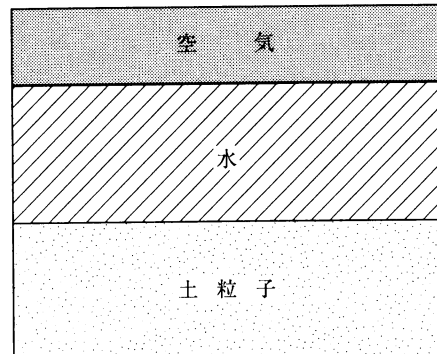
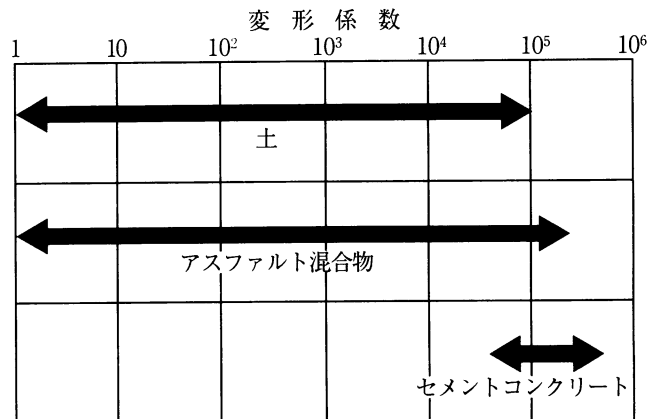


図-6 各材料の変形係数



をする点においては共通するが、セメントコンクリートの水はセメントと反応した後は、固相の一部となり、液相が消滅する点で大きく他の2者と異なる。アスファルトは常温において固体状を示すので、セメントコンクリートと似通ってはいるが、温度を上げれば液体にもどる。いわば可逆的であるため、非可逆的なセメントコンクリートとは本質的に異なる。

(3) 固相について

固相を形成するのは骨材・土粒子であり、3者とも、かみ合せ等により全体の骨格を形成する点で共通する。しかし、セメントコンクリートおよびアスファルト混合物における骨材は人為的に配合設計できる点で土の場合と大きく異なる。

以上の考察によれば、アスファルト混合物は、セメントコンクリートおよび土との間に類似点・相違点があり、ちょうど両者の中間に存在する材料であると言える。

次に各材料の力学的相違を検討してみよう。図-5は各材料の変形係数(弾性体のヤング率に相当する値)の分布を示したものである。図には、静的なもの、動的な

ものを一緒に示してあるので、まぎらわしいかと思うが、動的な試験の場合は、土もアスファルト混合物も弾性的挙動を示すため、変形係数の最大なものは、セメントコンクリートにほぼ近い 10^3 kg/cm^2 前後の値をとる。しかし静的な試験では、ほとんど0に等しい値から $10^2 \sim 10^3 \text{ kg/cm}^2$ に分布する。図-6を一見すると、土とアスファルト混合物は同じような強度特性をもっているかのように思えるが、実際はそうではない。というのは、土には粘土のようなやわらかいものから、砂質土のように非常に支持力の大きいものまで、数多くの種類があるため、分布としては図-6のようになっているのである。

一方、アスファルト混合物の変形係数（ステッフネス-Stiffnessと呼ばれる）は常温における静的試験ではほぼ 10^3 kg/cm^2 のオーダーであるが、温度および荷重速度が変わると非常に大きく変化する特性を持っている。すなわち、温度が低く、荷重速度の速い場合は変形係数が大きくなり弾性体に近い挙動をするが、温度が高く荷重速度が遅い場合は粘性体に近い挙動をするのである。土やセメントコンクリートにもこの傾向は見受けられるが、アスファルト混合物ほど極端ではない。アスファルト混合物では一つの供試体が、温度・荷重速度の影響で図-6に示すような範囲の変形係数をもつわけである。

ここでは、変形係数だけを取りあげたが、他の力学的特性についても、ほぼ想像がつくであろう。以上の考察

図-7 試験温度の影響

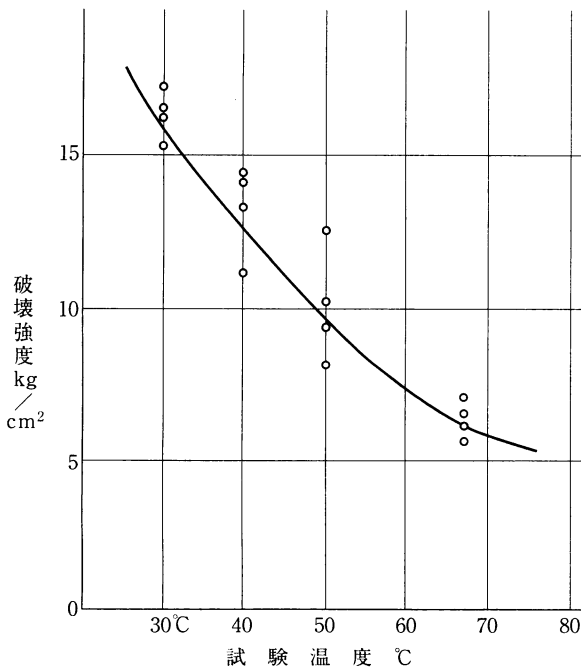
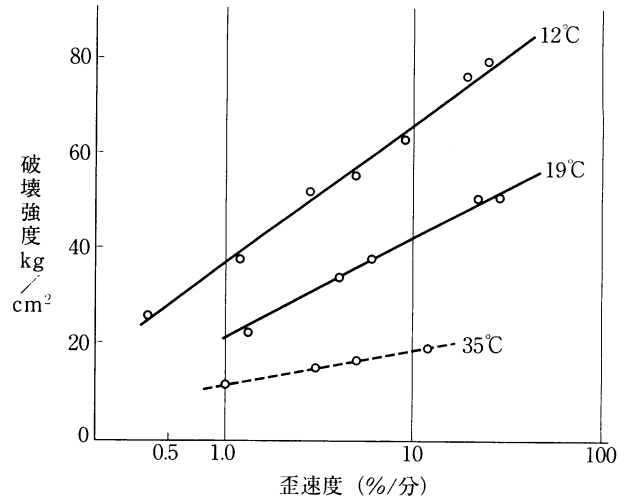


図-8 歪速度の影響



をまとめると次のようになる。

- ①土は非常に数多くの種類があり、その力学的性質も種類によって大きく異なる。
- ②アスファルト混合物の力学的性質は、温度・荷重速度によって左右される。
- ③セメントコンクリートは、他の材料に比べ、安定した品質をもち、外的条件にあまり影響を受けない。

さて、アスファルトの混合物は、温度・荷重速度によって、どの程度影響を受けるものであろうか。筆者らの実験¹⁰⁾をもとに検討してみよう。図-7は、シートアスファルト（表層混合物の一種）の一軸圧縮強度と試験温度の関係を調べたものである。なお供試体は、マーシャル試験用供試体（直径10cm、高さ6.35cm）、アスファルト量は10.5%、荷重の速度は、歪速度（変形量を供試体の高さで割った値）で、10%/分である。図から明らかのように、圧縮強度は、温度が上昇するとともにどんどん小さくなる。たとえば、30°Cから60°Cに温度があがると強度は2分の1以下になってしまう。実際の舗装では、冬期に0°C以下、夏期には60°C近くの広い温度範囲にさらされるから、強度の差はきわめて大きくなると想像される。

図-8は、同種の供試体を使って、歪速度の影響を調べた結果である。歪速度が大きくなるにしたがい、強度も増加しているが、その影響の度合い（図の直線の勾配）は、温度が低いほど大きいことがわかる。アスファルト舗装と車の関係で言えば、歪速度が速いということは、車が高速で舗装上を走ることに対応し、歪速度が遅いと

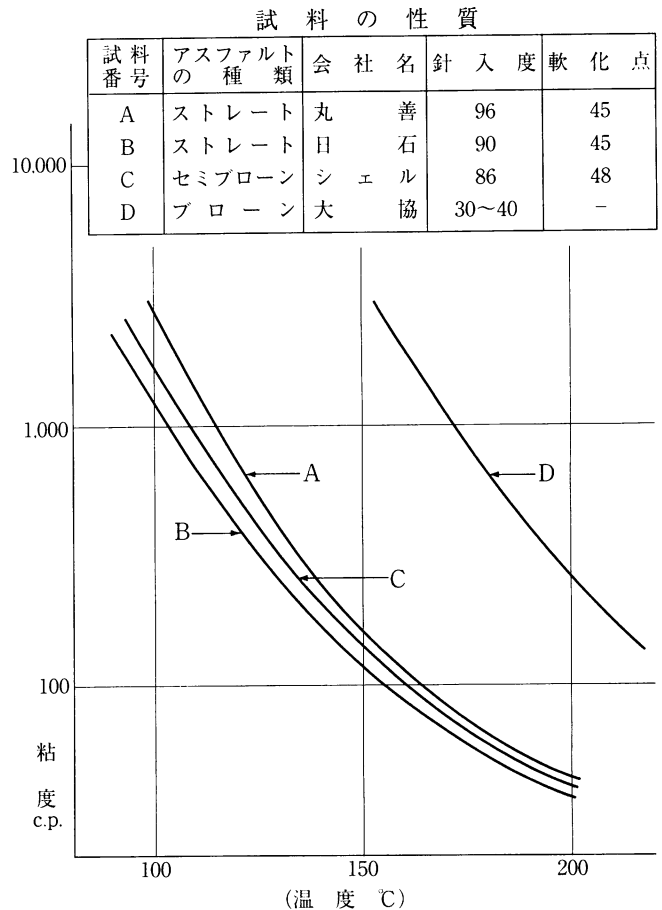
いうことは、車が低速で走ったり、駐車しているような場合に相当する。後者の場合にアスファルト混合物の強度が小さいということは、交差点附近の舗装がこわれやすいという現象に大きく影響していることが想像できるであろう。

アスファルト混合物の組成は前に示したが、構成要素の中で上記のような温度等の影響を受けるのは、アスファルトだけである。つまり、重量にしてせいぜい全体の10%程度しか入っていないアスファルトが、アスファルト混合物の力学的特徴を支配しているのである。

そこで、アスファルトの温度が変わったときに粘度がどのように変化するか、実験結果図-9を見てみよう。図では縦軸が対数目盛になっているにもかかわらず、曲線の勾配は大きい。すなわち、温度によってアスファルトの粘度は非常に大きく変化することを意味している。たとえば、温度が60℃から150℃になると粘度はほぼ10分の1になっている。

アスファルトがこのように温度に敏感なことをアスファルトの欠点のように錯覚する人もいるが、実は、アスファルトの粘度が温度によって大きく変ることを利用して、われわれはアスファルト舗装を作っているのである。アスファルト舗装の施工段階に応じた温度と粘度を図-10に示した。まず、150℃～185℃、の範囲すなわち通常使われるアスファルトでは粘度が1.5～3ポアーズの範囲でアスファルトと骨材類を混合し、これを現場に敷きならして110℃以下（粘度で20ポアーズ以上）にならないうちに転圧する。二次転圧が終った時点でも75℃～90℃（粘度で約100ポアーズ）程度であるが、通常の舗装の温度、たとえば25℃では10⁶ポアーズにも粘度があがり、交通荷重に対し、骨材を結合しておく役割りを十分に果たすようになるわけである。しかし、夏期に粘度がさがり、フラッシュや、輪だちぼれをおこすことは非常に問題があるため、材料特性の研究は今後も重要な課題であるといえよう。

図-9 アスファルトの粘度変化

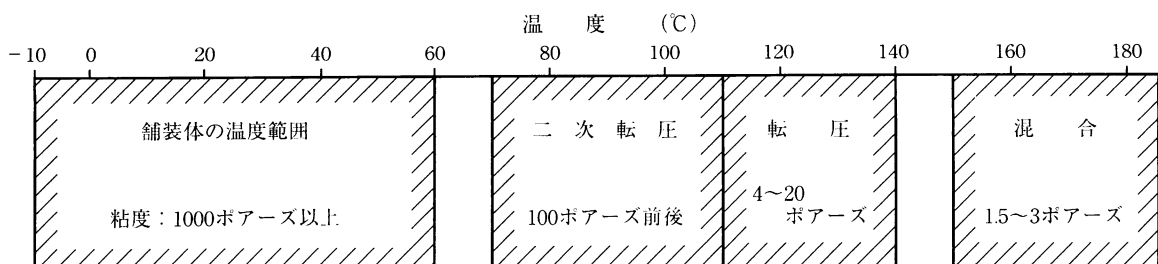


§ 5. アスファルトの舗装

前節までに述べてきたアスファルトが、最も多く利用されるのはアスファルト舗装に対してである。

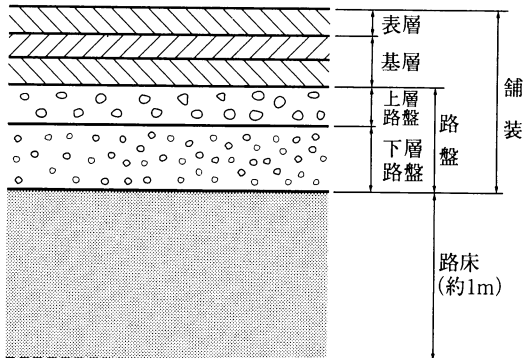
図-11にこのアスファルト舗装の構成と各層の名称を示す（アスファルト舗装要綱）。すなわち、アスファルト舗装は、路盤・基層・表層から構成されている。これらの各層は、路面を通る交通荷重を下部の路床に伝えるに十分な強度をもつと同時に、荷重を分散させ、次第に弱めてから路床に伝達する役割りを果たさなければならない。交通荷重は舗装の厚さが厚ければ厚いほど弱くなっ

図-10 施工段階に応じた温度および粘度



道路技術者のアスファルト講座

図-11 アスファルト舗装の構成



て路床に伝わるため、結果的には、路床の支持力が舗装の厚さを決定することになる。舗装の設計については後に稿を改めて述べる予定であるが、基本的には、この路床の支持力と交通量から設計されるのである。ここでは、各層の特徴を簡単に述べておこう。

(1)路床：道路を作る場合には、在来地盤の上に土を盛ったり、地盤を切りくずしたりして土台（路体）を作るわけであるがこの盛土、切上の仕上り面から1mの深さまでを路床と称している。最終的に荷重を受けとめるのはこの路床であるが、わが国では軟弱な地盤が多いため、設計・施工ともに苦勞が絶えない。

(2)路盤：交通荷重の分散は主としてこの路盤が担当する。したがってアスファルト舗装では、特にこの路盤の良否が舗装全体の良否を左右する。通常、下層路盤と上層路盤に分けて設計されるが、それぞれを構成する工法・材料は次のとおりである。

- 下層路盤：切込碎石，砂利，砂
- 上層路盤：歴青安定処理，セメント安定処理，粒度調整，浸透式マカダム

(3)基層：これは、上層路盤の仕上り面の凹凸を補整し、表層に加わる荷重を均一に路床に伝えるために設けられたもので、通常加熱アスファルト混合物でつくられる。

(4)表層：これは交通車輛と直接に接する部分であるから、平坦性を持つと同時に、

表-1 わが国の舗装率の推移

年度末	実延長 (km)	舗装済 (km)	舗装率 (%)
35	972.949	29.823	3.1
36	968.441	34.133	3.5
37	971.522	39.532	4.1
38	967.574	49.654	5.1
39	984.753	61.340	6.2
40	988.774	73.405	7.4
41	996.630	89.637	9.9
42	994.726	107.143	10.8
43	1,004.315	126.552	12.6
44	1,013.951	151.068	14.9
45	1,022.936	187.333	18.2
46	-	225.300	21.7
47	1,032.233	250.177	24.2

(注) 35～45年度は、道路統計年報 46～47年度は道路ポケットブックによる。

表-2 道路整備の現況（昭和48年3月末の見込）

道路種別	実延長	改良済		舗装済		
		延長	率	延長	率	
高速自動車国道	872 km	872 km	100 %	872 km	100 %	
都市高速道路	182	182	100	182	100	
首都高速道路	101	101	100	101	100	
阪神高速道路	81	81	100	81	100	
一般道路	一般国道	35,861	28,510	86.8	29,719	90.4
	元一級国道	12,237	12,209	99.8	12,196	99.7
	元二級国道	20,624	16,301	79.0	17,521	85.0
	都道府県道	138,164	71,335	51.6	84,802	61.4
	主要地方道	38,383	27,619	72.6	28,085	73.2
	一般都道府県道	99,781	43,716	43.8	56,717	56.8
	国・都道府県道	171,025	99,815	58.4	114,519	67.0
市町村道	861,258	145,700	16.9	135,658	15.8	
合計	1,032,283	245,545	23.8	250,177	24.2	

(注) 実延長は昭和47年度末見込延長である。

耐水性・耐摩耗性等を具備しなければならない。一般に、密粒度アスファルトコンクリート、修正トベカが使用される。

以上に述べたのは、アスファルト舗装要綱に基づいたいわゆる高級舗装と呼ばれるものであるが、この他に、交通量の少ない場合に適用される簡易舗装がある。また最近、アメリカのアスファルト協会が提唱されたフルデプス舗装（路床あるいは改良路床上のすべての層にアスファルト混合物を使用するアスファルト舗装¹¹⁾）をとり入れようとする動きもあるが、これらについてもまた後に述べる予定である。

ところで、わが国の舗装の延長はどのように伸びてきたのであろうか、またセメントコンクリート舗装との比率はどうであろうか。道路全体の立場からアスファルト舗装を考察してみよう。

まず、表-1は、わが国の道路の総延長と舗装率の推移を示したものである¹²⁾。大ざっぱなつかみ方をすればわが国の道路延長は約100万kmで、その24%が舗装されており、最近急速に舗装率が伸びつつあると判断できる。昭和48年3月末における道路の整備状況を道路種別に表-2に示した¹³⁾。これで見ると、市町村道を除けば他はすべて50%以上の舗装率となっている。ただ、実延長86万kmもある市町村道の舗装率が15.8%ときわめて低いため、全体の舗装率がさがっているわけである。

昭和46年3月末における舗装延長は187,333kmであるがこの内訳をみると¹²⁾。アスファルト舗装が149,771kmセメントコンクリート舗装は17,562kmがある。これを百分率で示せば、前者が約90%、後者が約10%となる。

最近2年間（44年4月～45年3月、45年4月～46年8月）の舗装増加を見てもアスファルト舗装が23,435km、34,242kmに対しコンクリート舗装は1,106km、1,377kmとそれぞれアスファルト舗装が21倍、25倍になっている。したがって、今後未舗装部分の75万kmの道路に対してもほとんどがアスファルトで舗装されるであろうと考えられる。

なお、これまで道装舗装の面からのみアスファルトの利用を述べてきたが、他に、水利構造物¹⁴⁾ルーフィング、目地材その他、数多くの用途があることはいまでもな

く、沼原調整池¹⁵⁾に見られるように、今後ますます大掛りな工事に利用されると思われる。

あとがき

本稿は第1回目なので、アスファルト、アスファルト混合物、アスファルト舗装の概要をつかんでもらうのを目的とした。不明の点、お気付の点等があれば、協会あてにご連絡いただきたい。次回から各論に入る予定である。

参考文献

- 1) "Annual Book of ASTM Standard 1971" P. 15, ASTM Designation D8-70
- 2) "Bituminous Materials in Road Construction" P. 596, 597, Road Research Laboratory
- 3) 「アスファルト舗装要綱」P. 129, 日本道路協会
- 4) "The Asphalt Handbook" P. 3, The Asphalt Institute Manual Series No. 4
- 5) 山本研一編「新しい工業材料の科学」石油系材料, P. 1 金原出版
- 6) 中島保治「水利へのアスファルトの利用」アスファルト No. 73. P. 2
- 7) 「アスファルトの需給について」アスファルトNo. 81 P. 6, 他アスファルト協会資料
- 8) "Bituminous Materials in Road Construction" P. 31, Road Research Laboratory
- 9) 岡田清他著「土木材料学」P. 151. 国民科学社
- 10) 阿部頼政「アスファルト混合物の力学的性質に関する研究」東京大学土木科論文集録 1965, P. 23
- 11) Thickness Design, Full-Depth Asphalt Pavement Structures for Highways and Streets, The Asphalt Institute Ms-1 (1970)
- 12) 道路統計年報 (1972) 建設省道路局編
- 13) 道路ポケットブック (1973) 全国道路利用者会議
- 14) "Asphalt in Hydraulic Structures" The Asphalt Institute. Manual Series No. 12 (1965)
- 15) 大原克己他, 「沼原調整池アスファルト・フェーシング工事について」アスファルト No. 90, P. 2