

アスファルト

第9巻 第51号 昭和41年8月発行

ASPHALT



社団法人 日本アスファルト協会

ASPHALT

目 次 第 51 号

飛行場におけるアスファルト舗装について	菅原照雄	2
道路管理者の悩み	萩原浩	9
解説アスファルト舗装・その3	竹下春見	13
めいろん・たくせつ・その8	明日春人	20
試験—思いつくまま	倉田舜一	19



読者の皆様へ

“アスファルト”第51号、只今お手許にお届け申し上げました。

本誌は当協会がアスファルトの品質改善を目指して、需要家筋の皆様と生産者側との技術の交流を果し、より一層秀れたアスファルトをもって、皆様方の御便宜を計ろうと考え、発刊致しているものであります。

本誌は隔月版発行であります、発行毎に皆様のお手許へ無償で御贈呈申し上げたいと存じております。

本誌が皆様の需要面における有力な参考資料となることを祈りつつ今後の御愛読を御願い致します。

社団法人 日本アスファルト協会

東京都中央区新富町3~2
TEL 東京(551)1131



VOL.9 No.51 AUGUST 1966

ASPHALT

published by

THE JAPAN ASPHALT ASSOCIATION

飛行場におけるアスファルト舗装について

菅原照雄

世界中の飛行場のうちアスファルト舗装による滑走路をもつものは2/3を超えるといわれている。滑走路以外にもエプロン、誘導路等にアスファルト舗装の利用が多い。一方コンクリート舗装を用いている大飛行場も数多い。筆者ははたまた日本アスファルト協会を通じ、運輸省第三港湾建設局の要請によって、滑走路のアスファルト舗装について研究調査を行う機会を得たので、これらの結果の一部について述べ、更に筆者の考え方を述べてみたい。

1. 滑走路の規模

滑走路の規模はそれを利用する航空機の離着陸距離によって決められる。表-1は主な航空機についての必要とされる離着陸距離である。これは最大荷重無風時における数値であり、通常はより小さな荷重で飛行し、場合によっては離陸重量を制限されることもある。わが国では地上飛行場についてA-Iに分類して

A : 2,550m以上, B : 2,150m~2,550m, C : 1,800~2,150m, D : 1,500~1,800m, E : 1,280~1,500m
F : 1,080~1,280m, G : 900~1,080m, H : 500~900m
I : 100~500mとしている。

又滑走路についてはA-Eが45m以上、F.G.については30m以上が決められている。実際には、東京、大阪の2国際空港ではかなり大きく、

羽田空港では、

A-滑走路 45m×3,000m
B-滑走路 45m×1,650m
C-滑走路 60m×3,150m

表-2 航空機諸元

	全備重量 (1,000lbs)	一脚当荷重 (1,000lbs)	車輪配置	タイヤ圧 (psi)	接地面積 (in²)
ボーイング 707~320	312.0	141.0	複々	160	200
コンベア 880	178.5	80.5	複々	120	153
DC-3	26.2	11.8	単	43	250
DC-4	73.0	32.9	複	73	205
DC-6B	107.0	48.3	複	110	200
DC-7C	143.0	65.0	複	126	235
DC-8	287.5	129.5	複々	128	245
フレンドシップ	35.7	16.1	複	79	93
バイカウント 828	72.5	32.6	複	130	114
YS-11	51.8	23.3	複	70	—

表-1 離着陸距離

機種	離陸距離	着陸距離
ボーイング 707-320B	3,200(m)	2,195(m)
コンベア 880M	2,103	1,807
DC-3	1,395	1,090
DC-4	1,548	1,408
DC-6B	1,585	1,570
DC-7C	2,210	1,680
DC-8	3,048	2,073
フレンドシップ	1,052	1,113
バイカウント 828	1,615	1,355
YS-11	990	1,115

大阪空港では、

A-滑走路 45m×1,828m
B-滑走路 60m×3,000m (建設中)

が用いられている。又第2種空港はフレンド・シップ、YS-11を対象として30m×1,200mで建設されて来たが主要地方幹線用空港については滑走路を2,000m級に延長し、ローカル線用空港については1,500mに延長する基本方針が空港整備長期計画にもられており、一部では既にこの方針で作業が進められている。

更に超音速機に備えて4,000m級のものが新国際空港において計画されていることは御承知の通りである。

2. 航空機の荷重に関する諸元

現在わが国で使用している、又は外国から乗入れている航空機の主なものについて舗装工の設計に必要と思われる

れるものを記せばおよそ表—2 の通りである。

中でボーイング707, DC-8 機のタイヤ圧160psi 128psi などはトラックの高圧タイヤに比し倍近いタイヤ圧をもっている。このことは全備重量とは別に、表層の設計に大きな意義をもっている。又一方車輪の接地面積も路盤路床の設計に影響するところが大きい。

又タイヤ圧は設計以外に施工時の輻圧の方法、所要の密度などにも影響を与えるものである。

3. 道路舗装と滑走路舗装の相違点

舗装設計で考慮されるべき要素はいろいろあるが、基本的には両者に差はなく、荷重条件、気象条件、交通条件、支持力などから設計される。航空機の荷重は前項で述べたように道路上を走行する車輛に比し、極めて大であり、一方荷重の繰返しの回数は道路の方が遙かに大きく、自動車では複輪で4~5屯程度の荷重を一日 1,000~2,000 回受けるものが最高であるのに対し、航空機では DC-8 級で一輪で15屯程度のものが滑走路の耐用年限内に20,000~40,000回受ける状態が最高の条件である。

道路の横断方向についての走行頻度について考えれば道路では舗装端から 1 m 程度の部分に軌跡が集中する傾向が強いのに対し、滑走路ではほぼ中央を走行するのが常である。(後述) 又滑走路では特定の箇所、即ち一線上の走行を決めているエプロン又は誘導路、滑走路の両端部に破壊が集中する傾向がある。

以上から考えれば、両者の主な相違点は、

- i) 荷重
- ii) 荷重反復回数
- iii) トラフィックの分布
- iv) 破壊を生じやすい場所

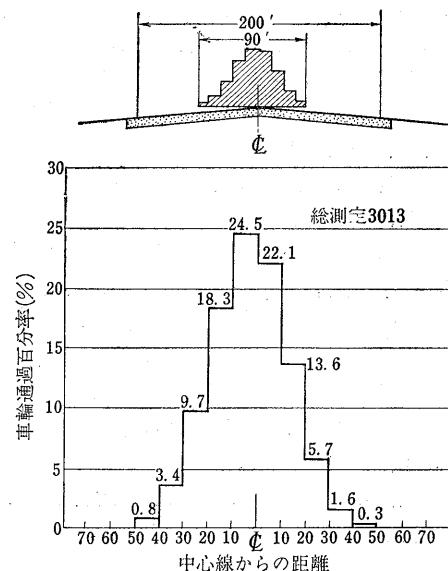
となるであろう。荷重回数、側端部走行の有無などの理由から、同一の荷重条件すなわち同一輪荷重、同一タイヤ圧では、道路舗装の方が、より厚い舗装構造が要求される。

これらのことから、施工条件が異なり、更に舗装用合材の配合設計、平坦性、施工管理などにも特殊な点が出てくるものと思われる。

4. 滑走路上のトラフィックの分布

3. で述べたトラフィックの分布について少しく考えて見よう。一般に道路では外側の軌跡(Outer Wheel Path)の方の破壊が大きいことが指摘されており、又あるせまい巾について破壊が生じてくることが知られている。従って道路のある一つの点を想定すれば、その道路の車線当たりの交通車輪台数(もちろん軸回数に換算して)がそのまま設計上の荷重の反復回数となるが、滑走路の場合には、ある巾について分散するので、離着陸回数ではなくあくまで、ある点での航空機の車輪の通過回数を考えな

図—1 サンフランシスコ、ロスアンゼルス空港での実測によるトラフィックの分布 (Horonjeff & Jones)



ければならない。この理由で滑走路の横断方向における、車輪走行の分布が問題とされて来ている。これについて 2, 3 の研究が行われて來たが、従来一般に考えられている数値は、

“滑走路における各脚の走行は75%迄が巾25 フィート(約 8 m)に生じ、誘導路では12.5 フィート(約 4 m)に生じている。”

という根拠にもとづいており、又 Horonjeff, Jones らによれば、図—1 の如く35 フィート巾に78%が生じている。この場合全巾が200 フィートであるから約1/6巾だけに走行が集中していることを示している。このことは、中央部分について強い構造、側部にそれよりも若干弱い構造の採用が可能なことを示すものであり、又後述する表層の合材の設計にも関係を有している。

又一方滑走路、誘導路を通じ、その場所に応じて、かなり荷重条件がことなっている。誘導路は緩速走行で荷重条件はきびしく、又曲線部ではひねりの作用による破壊が多い。又ジェット機では推力を出すために滑走路端部でエンジンを開くが、静止で、振動を伴う荷重は舗装に大きな応力を与える。米国の Corps of Engineers は、コンクリートの舗装について図に示すような構造上の変化を部分毎に与えている。これは考え方としてアスファルト舗装に共通であろう。図—2において A 型部分は、航空機の全荷重を支持し、更にある狭い巾だけの走行(これを Channelized Traffic という)をうける場所、B 型は航空機の荷重を対称に設計する場所で Channelized Tra-

fficを考えなくともよいところ、C型は交通回数の少ないところ、D型は重量級機種は想定しないところで、交通回数は極めて少ないとして設計する。この各々は構造その他のにおいて区別すると同時に、材料、施工の面でも当然差が出てくるであろう。

5. 滑走路・誘導路の構造設計

現在採用されている滑走路・誘導路の構造設計法は3つに大別される。すなわち

- i) C.B.R. 法 (U.S. Corps of Engineers 法)
- ii) 平板載荷による支持力から設計する方法 (U.S. Navy, カナダ 法)

- iii) F.A.A. 法 (Federal Aviation Agency 法)

この3つは支持力の表現方法において全くことなるものである。米国アスファルト協会はこの3者の支持力換算をして、設計用のノモグラムを作っている。

これらの詳細については稿はあらためて紹介することにして、今回は省略する。

6. ジェット機による特殊条件

ピストン機専用の小規模空港は別として、現在では殆どの空港はジェット機を想定して設計される。従ってジェット機による特殊条件をよく考慮されていなければならない。その要点は、

- (i) 排気の熱による舗装材料の変質、安定性の変化、(Exhaust Heat)
- (ii) 吹きつけ (Blasting)
- (iii) 燃料のまき散らし (Spillage)

又間接的なものとして、

- (iv) 航空機重量の増大(設計上の問題となる)
- (v) スピードの増大による舗装表面の痛み、平坦度への要求。

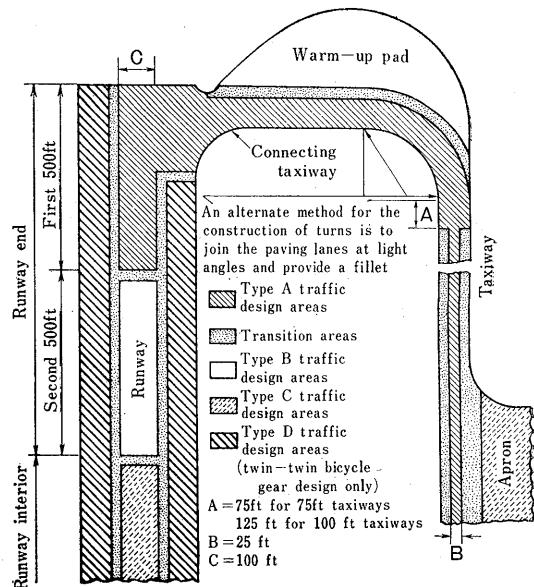
などが主なものであろう。このうち(i)と(ii)は実際上の問題としては組合せて考えるのがよかろう。

(i) 热とプラスチの影響

これは最高温度と舗装に吹きつける速度の問題である。路面の温度は、Jet Orifice におけるガスの温度と速度、Engine Nozzle の路面上の高さ、路面が排気ガスにさらされている時間、Engineの下向き角度、などによって支配される。アメリカでは Corps of Engineers がこれらについて詳細な研究を行っているが、その結論の主なものあげておこう。

ボーイング 707 の JTC-6 Engine を用いてエンジンの下向き角度 2° 、内側エンジンの高さ路面上57吋 (1.45 m) 外側エンジンの高さ路面上80吋 (2.03 m) として、内

図一 2 滑走路端部、誘導路、エプロンのトラフィック別構造設計 (コンクリート舗装用)
(Corps of Engineer EM 1110-45-303)



側エンジン後方 35呎 (10.5 m) で最高路面温度 220°F (104.4°C)、外側エンジンの後方55呎 (16.7 m) で最高路面温度が 200°F (93.3°C) と測定された。この温度差はエンジンの高さによる差によるものと考えられる。なおこの高さは最大重量時における数値である。民間機における傾き 2° なる数値は軍用機に比して小さい数値であり、軍用機に比して安全側にあるということが出来る。B.U. Duvall, Lichachtefeld らはこの点に関して実験的、理論的な研究を数多く行って発表している。

これらはもちろん舗装体の表面温度を称しているので長時間排気にさらされることにより舗装体の内部迄温度は上昇する。従って高温にさらされる時間が問題となる。これらについてもニューヨークでの多くの観測の結果から、エンジン全開で同一箇所に 2 分間停止するという条件は民間機では、全くないということが明らかにされている。

一方アスファルト舗装は、いう迄もなく、高温にさらされると、アスファルトセメントが溶け、プラスチによって表面がおかされる。Corps of Engineers の研究によればその限界温度は、アスファルト・コンクリートで 300°F (149°C)、タール・コンクリートで 250°F (121°C) ゴム・タール舗装で 315°F (157°C) であるとされている。

路面の 220°F , 200°F という数値は、この限界よりもかなり低いところにあるということが出来る。それに加えて舗装内部の温度は深さが大になれば急激に低下し、

実験の結果では表面より 2.5m 下では 65~100°F (18.3 ~37.8°C) 低いとされている。

従って“熱の問題は少なくも民間機を対称としてはあまり心配する必要はない”というのが目下の結論として考えてよいようである。

一方プラストについても研究例があり、前記エンジンで地上での最高流速は後方35フィートで生じ、約300マイル／時エンジン後方165フィートで100マイル／時程度でとくに表面に影響を与えるものではないという結論が出されている。

(ii) 燃料のまき散らし

ジェット燃料のように揮発性がガソリンよりも小さな燃料を使用される場合、舗装の軟化、骨材とアスファルトの分離などによっていろいろなトラブルが生ずる。熱とプラストではターボ・プロップ機は何らの害をもたらすことはないが、この燃料のまき散らしはこの機種が大きな影響を及ぼすといわれている。一方大型のターボ・ジェットではあまり大きく問題とされていない。もっとも大きな影響を与えるのが、ある種の軍用のジェット戦闘機であるから、軍用又は共用の飛行場では常に問題とされる。この問題が生ずる場所は、

- i) 燃料補給の場所
- ii) 駐機場
- iii) サービス・エリヤ

などであり、軍用機などでは滑走路端部で大量のまき散らしをする機種もある。

わが国でよく用いられるターボ・プロップ機のうち、バイカウントを例にとれば、この機種では燃料補給時のこぼれはゼロか又は非常に少ない。しかし4つの燃料タンクに燃料のチェックのため“dripstick”なるものをもっており、チューブを通じて燃料が流れ出て舗装におちるようになっている。この量は1ヶ当り8オンス(約230グラム)といわれており、これがさして広くない面積にこぼされるとすれば、かなりの量と考えなければならない。この外、エンジンをとめるときに約1ペイント(約570cc)の燃料がはき出され、又飛行機が曲線部を走行するとき、ベンチ・パイプからこぼされるものもある。ある空港では誘導路の曲線部がひどく痛められている。

航空機によっては、これら的一部をまき散らさないような工夫をしたものもあるが、何れはどこかに撒かれる性質のものである。

このようなことから上にあげた場所ではアスファルト舗装はおそかれ早かれ軟化させられ、その上に車輪がの

ることによって凹凸が出来、舗装の用をなさなくなる。

これらの対策として目下考えられる手段は、

- i) 表面のシーリング
- ii) コンクリート舗装の採用
- iii) タール合材の利用

の3つがある。わが国で各種のシーリングの材料が市販され、試験が行われているが、成功と思われるものは殆どない。これに対して、Corps of Engineersもシーリング材で成功をおさめた例はないとしている。多くはアスファルト舗装とシーリング材の剥離によって用をなさなくなっている。いろいろな理由から筆者は、シーリング材で成功をおさめることは、不可能ではないかと考えている。ii)のタール合材については、Corps of Engineersも大いに興味を示しており、又英國でもかなり研究が進められている。このタール加熱合材はタールをバインダーとしたタール・コンクリートであり、タールのジェット燃料におかされにくく点を利用している。この方法の難点は、比較的軟質のタールを使わなければならぬから、安定度について要求通りのものを得ることが困難なこと、安定度の比較的高い合材ではタールの風化、合材の硬化がはげしく、亀裂の危険性のあること、表面剥離(骨材のとび出し)があることなどで、これらの克服が先決であろう。

iii)のコンクリート舗装の採用も一方法と考える。ジョイントのシーリングはタールの利用で比較的容易である。しかし何れのコンクリート舗装もがオーバー・レイの必要にせまられる今日、これが抜本的対策であるとは断定し難いかも知れない。

従って目下の段階ではタール・コンクリートの開発、空隙率の大きい表面の粗なアスファルト合材で安定度、たわみ性をとり、表面のへこんだ部分を、ジェット燃料に抵抗性の大きく、かつ付着性のよいもので埋めて行く工法の開発が進められるべきであると考える。この意味から筆者は、タールを利用したスラリー・シール的な工法に興味をもっている。

7. SST対策(超音速ジェット機対策)

SST(超音速ジェット機)の就航も間近かである。最近では世界各国とも大空港は全てSSTを対象として設計を行っている。SST自体は現在の航空機とはかなりことなったものではあるが、出来る限り既設の空港設備に大きな改変を加えないようにするという前提条件で設計が進められており、全くことなった型の空港の建設が必要とはならないとされている。しかし、その速度の大なこと、重量の大きいことからやはりかなりの規模の滑走路が要求される。

S.S.T用の滑走路としては総重500,000封度(約230屯)

の荷重に耐えられるもので十分であるということが一致した意見である。車輪の配置は脚当り 6 輪として一輪あたりの荷重をあまり増加させないように考えられ、タイヤ圧は 200psi 以下を想定しており、ロッキード社の S.S.T. は 166psi でボーディング 707 の最大 189psi よりもむしろ小さくとって設計を進めている。舗装の強度は以上からもわかるようにあまり変化させないであります。しかし、平坦性などについては現在の平坦性の要求よりももっときびしいものが出て来るのではないかと想像される。これは乗員席がかなりオーバー・ハンギングになっており、その上下の動搖を小さくするためにも、必要なのである。

これらの詳細は、S.S.T. の設計完了次第明らかにされて来るであろう。

8. アスファルト舗装工種

および合材

アメリカのアスファルト協会は飛行場用のアスファルト舗装についての“マニュアル”を刊行している (Asphalt Pavement for Air Port, MS-11, 1963)。これはアスファルト協会がいろいろの調査の結果その意見をとりまとめたものでよい参考にならう。この中から重要な事項のみ引用しておく。

一般的な基準として考えられる表層の厚みおよび舗装の型式は表一3に示す通りである。表一4は各クラス毎に耐用年限、品質、コスト etc. についての概念を示し、表一5は路盤をも含めその厚みを示すものである。

路盤についてはアスファルト協会は、アスファルト処理路盤を強く推奨している。宣伝は別としてわが国の材料条件から考えこれらは真剣に検討の価値があろう。

協会がアスファルト舗装合材として、滑走路用として推奨しているものは表一6に示すようなものである。これは密粒度アスファルトコンクリートに相当するが、一般に最大寸法の小さいのが目立つ。これは、表面に粗な骨材が出て、面があらざるのを防止する一方、耐水性の増大をもねらっている故であろう。

又この種合材の規格、マーシャル基準値は表一7の通りである。

表一3 空港別舗装工種、厚

表層の型式	最低の表層厚み(吋) 滑走路延長			
	(1)	(2)	(3)	(4)
Asphalt Concrete	2	3	3	4
Penetration Macadam	2	3	3	
Plant Mix	2	3	3	
Mixed in Place	2	3	—	
Surface Treatment	1±	—	—	

(1) 4,500呪以下 (3) 6,000~7,500呪
(2) 4,500~6,000呪 (4) 7,500呪以上

表一4 耐用年限、質、コストの概念

期待する寿命	舗装型式	空港種別、滑走路延長							
		一般空港 (General Aviation)				定期運航をもつ空港 (Air Carrier)			
		呪 4,500以下	呪 4,500~6,000	呪 6,000~7,500	呪 7,500以上	呪 4,500以下	呪 4,500~6,000	呪 6,000~7,500	呪 7,500以上
		品質	コスト	品質	コスト	品質	コスト	品質	コスト
長	Asphalt Concrete	1	6	1	5	1	3	1	1
	Macadam	2	5	2	4	2	2		
	Plant Mix	3	4	3	3	3	1		
中	Mixed in Place	4	3	4	2				
	Multiple Surface Treat.	5	2	5	1				
短	Single Surface Treat.	6	1	—	—				

表一5 アスファルト協会の推奨する滑走路の厚み

滑走路延長	アスファルト表層	アスファルト路盤		アスファルトを用いたときの総厚		アスファルトを用いないときの路盤		
		in	cm	in	cm	in	cm	
7,500呪以上(2,286m以上)	4	10.2	5 ¹ / ₂	13.9	9 ¹ / ₂	24.1	8	20.3
6,000~7,500呪(1,829~2,286m)	3	7.6	4	10.2	7	17.8	6	15.2
4,500~6,000呪(1,372~1,829m)	3	7.6	4	10.2	7	17.8	6	15.2
4,500呪以下(1,372m以下)	2	5.1	3	7.6	5	12.7	6	15.2

使用するアスファルトの針入度級

滑走路用 : 60~70 (寒いところで 120~150)

誘導路用 : 60~70 (" 85~100)

エプロン用 : 60~70 (" 85~100)

粗骨材 : 全て碎石

細骨材 : 全て碎砂

フィラー : 石灰岩石粉

フィラーの粒度 (No. 200 以下について)

0.074mm 100% 通過

0.050 70~100 "

0.020 35~65 "

0.005 10~22 "

これらの中で、針入度級の選択は大事なことである。例えばここで60~70と決められているのは前記の骨材粒度を基準にして決められたもので、歐州系の粒度曲線が採用される場合は当然硬目のものが用いられるべきである。又注目すべきことは細骨材として碎砂をきめていることである。これは高安定度を期待するためと了解される。石粉の粒度迄はっきり示していることは興味深い。これが将来

の全般的方向となって行くのであろう。

9. 施工

アスファルト協会は施工についてもかなりきびしい方法を述べているが詳細は省略する。

輥圧については最近道路の側でもかなり研究が進められており、とくにブレークダウン(Break down Rolling)の重要性(フィニッシャーの直後にローラー)が指摘されている。最近ではこれにニューマテック・ローラーの利用が多い。これは滑走路用としての、マーシャル密度の98%締固めという要求からも当然の方向と思われる。

10. 問題点

原則的に道路舗装と差はないとはいっても、未だ問題点は多く残されているようである。最後に2、3気のついた項目について述べておこう。

i) 表面の荒れについて

古い滑走路の表面が白っぽくなつて荒々しく見える例が多い。又一方、着陸地点の表面の石がけずられて飛ばされている例も多い。これは航空機とくにジェット機にとって、非常に危険なことである。しかしそのような点をよく観察してみると、粗骨材の最大寸法の大きいものにこのような被害が多く、とくに斜めにかかる荷重によって剪断破壊が生じているとは考える必要はないようである。表面が白っぽくなっているのはやはり風化現象によるものと考えてよいであろう。これは滑走路中心線に沿う部分では少なく、やはりトラフィックの小さい部分に生じており、道路と全くことなっている。従来密度をマーシャル試験値で4~5%にとり、締固めを95%にと

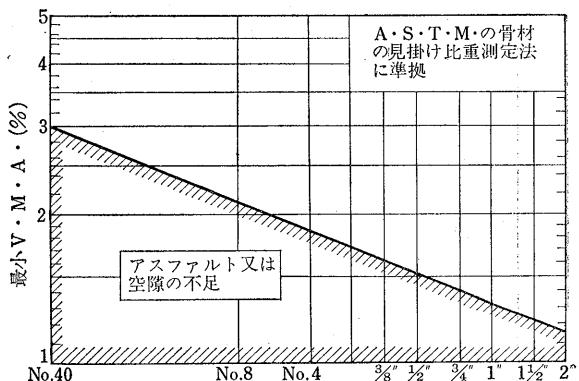
表-6 アスファルト混合物の配合

配合番号	IVa	IVb	IVc	IVd
使用部分	表層	表層	表層又はベース	ベース
層厚	3/4時~1½時	1~2時	1½時~3時	2½時~4時
筛目の開き	通過百分率			
1½時				100
1			100	80~100
3/4		100	80~100	70~90
1/2	100	80~100	—	—
3/8	80~100	70~90	60~80	55~75
No. 4	55~75	50~70	48~65	45~62
No. 8	35~50	35~50	35~50	35~50
No. 30	18~29	18~29	19~30	19~30
No. 50	13~23	13~23	13~23	13~23
No. 100	8~16	8~16	7~15	7~15
No. 200	4~10	4~10	0~8	0~8

表-7 マーシャル基準値

項目	空港の種類					
	小空港	一般空港	大幹線空港	最小	最大	最小
安定度(lbs)	500	—	1,000	—	1,800	—
フロー(1/100in)	8	20	8	16	8	4
空隙率(%)						
表層又はレベリング	3	5	3	5	3	5
バインダー又はベース	3	8	3	8	3	8
突固め回数	50		75		75	
V.M.A.			図-3 参照			

図-3 最小V.M.A.と骨材最大寸法との関係



っている例が多く、舗装の空隙率は9%位になってしまって、その後の締固めが全くないために生じている現象ではなかろうかと考えられる。

この点については設計当初から十分、このことを考慮に入れて設計すべきなのである。この点からすれば、わが国では少なくも滑走路の側部は、締固め後に4%前

後になるような合材を選定すべきではないかと筆者は考えている。この点からすれば、マーシャルの基準値は、2%前後が適切である（締固め98%として）。しかしマーシャル基準2%値を中心線部分に適用すると、その後のトラフィックによって圧密をうけ、安定度の低下をもたらす危険があるので、中心線にそろ15~20m巾については、4%前後の基準値を用いるのがよいであろう。このような考え方から、トラフィックのある部分、ない部分について、当然合材の配合設計を変えて行くべきであろう。

ii) 補装の滑り抵抗について

空港内のあらゆる部分について、滑りに対する抵抗を考えて行くべきである。道路に用いられるような滑り止めは、滑走路では用いられない場合が多い。スラリー・シール、シリカサンド等の工法が大いに考慮されるべきであろう。

iii) プルーフ・ローリング

わが国でも高速道路等でプルーフ・ローリングが行われ、次第に普及しているが、空港などでは、輪荷重、タイヤ圧共に、かなり道路よりも条件がきびしいので、単に支持力の小さいところの発見という意味ではなく、路床路盤の仕上げ輻圧の意味からも、これを本格的に採用すべきであろう。

むすび

以上極めて概論的に空港のアスファルト舗装について述べた。最近、羽田空港C滑走路のオーバー・レイ、大阪空港A滑走路のオーバー・レイ、B滑走路の新設、名古屋空港の改修、三里塚国際空港、大阪第2国際空港と、いろいろと話題が豊富であり、興味をお持ちの方も多いと思い一文を草してみた。御批判を戴ければ幸である。

〔筆者：北海道大学工学部 教授〕

☆あなたも めいろん・たくせつ を書いてみませんか☆

めいろん・たくせつは毎号みなさまから御好評を頂いております。自分たちが常日頃“こうあるべきではないか”と考えていたようなことを、ズバリと代弁してくれた。——そんな意味の共鳴した感想を、お寄せ下さる方もおります。

筆者は 明日春人 というトク名氏です。

誰だか教えてくれ——という投書もあります。しかし、明日春人は不得定多数により構成され、めいろん・たくせつは合作です。

一つの試みとして、読者の方の中で、よし、自分が明日春人子になって、めいろん・たくせつを書いてやろうと思われる方がありましたら、御投稿下さい。

勿論、外部には一切、本名は洩しません。

（原稿の御礼もありますので、住所、氏名はお教え下さい）

取り上げる内容は、明日春人——あなたの御自由です。

長さは、2ページ分くらい（300字詰15枚）が、一番読みやすいと思います。

☆質疑応答欄へ、あなたは質問者になって頂けませんか☆

第49号から竹下先生の「解説アスファルト舗装」の講座を連載しております。この講座に対する質問でも結構だと存じます。

また全く別の質問でもよろしいのです。出来れば毎号、質疑応答欄を設けて、問題の解明にあたりたいと存じます。奮ってお寄せ下さい。

（採用の分には御礼を差上げたいと存じます）

解答者の御指名をして下さっても結構です。

☆その他、研究、現場レポート等、御投稿をお待ちしております☆

道路管理者の悩み

萩原 浩

1. アスファルト舗装のむづかしさ

今から10年前の我が国の道路の状態はまことにお粗末なものであって、現在の姿と対比するとき、隔世の感がする。道路整備のスピードの速さにはつくづく驚きを覚える。そして10年前には、我が国では、アスファルト舗装は簡易舗装の代名詞であって、幹線道路の舗装は、ほとんどセメントコンクリート舗装であったと言っても過言ではなかった。しかし、この10年、道路整備の急速化とともに、アスファルト舗装は急激に伸び、現在では舗装の黑白の率は、幹線道路でも、完全に逆転してしまっていよう。10年前のことを思うと、全く時代の変革を感じる次第である。ここで、黒舗装と白舗装の利害得失について、今更、学問的な論及をしようとは思わない。ただ、このような逆転劇が起った最も大きな要因は、現道を、一般交通を許しながら舗装していかねばならなかつた過去10年間で、アスファルト舗装が養生期間を要しないという、大きな利点があったからであろうと考えられるが、いかがであろうか。いづれにもせよ、アスファルトコンクリート舗装が圧倒的比率を占めている国道を管理する立場からみた、アスファルト舗装のむづかしさを、“くりごとの”に、述べてみたい。もちろん、学問的、理論的なムズかしいことについては、その任でないので、甚だ現場的記述になることを御了承願いたい。

さて、近時工事の大規模化に伴つてプラントを大型化し、品質管理のゆきとどいた舗装が打設できるようになって來た。このような全自動式のような立派なプラントを利用できる場合はさておき、中小規模のプラントを利用せざるをえない場合（とくに道路舗装の維持補修では、このような場合が多い）に話をかぎつて考えるものとする。

セメントコンクリート舗装に用いるコンクリートは通常 $300\text{kg}/\text{m}^3$ 位のセメントを使用する。たとえば示方配合が、砂利 $1450\text{kg}/\text{m}^3$ 、砂 $600\text{kg}/\text{m}^3$ 、セメント $315\text{kg}/\text{m}^3$ 水 $140\text{kg}/\text{m}^3$ の舗装用コンクリートがあつた場合、セメントは、全体の重量比で、12%強を占めることになる。そして、このセメント量は過少だったら強度に影響を与えて問題であるが、 30kg 位（設計量に対して10%増）過多に入つてしまつても、品質的には、大きな害はない。もし 0.45m^3 （16切）のミキサーで混合するとすれ

ば、セメントは約 150kg 程度を1バッチ毎に計量することとなる。多くの場合、1袋を 50kg として、袋で計量すれば、計量誤差は少くなる。その上、1袋には通常 50kg 以上入っている。そして、現場の配合管理としては、水量の管理（スランプ試験）を主として行えば、規格値をはずれた強度が出ることは非常に稀である。

これに対するに、アスファルトコンクリート舗装では、混合物のアスファルト含有量は6～7%位で、セメントコンクリートの場合の約1/2にすぎない。そしてアスファルト混合物の場合、アスファルト含有量が設計6%に対して、過少でも、過多でも、アスファルト混合物の品質に悪い影響を与える場合が多い。アスファルトプラントでは、1バッチ 300kg ～ 200kg 程度のものが多いので、それに入るアスファルト量は $18\sim 12\text{kg}$ 位のもので、セメントと桁違いの少量であり、その上、セメントのように袋で数えるような便法はない。計量器の誤差は、計量値に比例的になるとはいえ、計量槽に付着したり、コックの開閉のタイミングの誤差なども手伝つて、計量誤差の危険差は大となる。たとえば、 1kg 程度の誤差があると、アスファルト含有量で0.5%の差となり、設計アスファルト量の10%位の誤差となつて響いてくる。その上、現場配合管理は、フィラーや骨材の配合比の管理、アスファルト量の管理の他に、温度の管理も重要になつてくる。

これらの点を対比しただけでも、アスファルトコンクリートの品質管理のむづかしさがある。

これに加えて、アスファルトコンクリートの各種試験にも、多くの問題が含まれている。セメントコンクリートの場合には、強度とウォーカビリチーによって、かなり格一的に配合を決めることができ、品質管理も強度試験によって代表することができる簡単さがある。これに反してアスファルトコンクリートの場合には、先づ最適配合を決定する安定度試験そのものについても、（非常に熟練した試験員によればそんなことはないと思うが）筆者の体験では、かなり個人差がでてくる傾向がある。最適配合自体をも個人差がでてくる試験法できめた上、前記の通り、計量誤差も比較的大となる傾向がある。しかも、アスファルト含有量が、混合物の品質に微妙にひびくとなると、現場施工側としては、非常にアスファルト

舗装の品質というものは、むづかしいものであるとの感を深くする次第である。さらに、現実にどの位の混合物になっているかを調べるには、目下抽出試験を行う以外に簡単な方法がない。この抽出試験は、かなり労力を要し、また試験技術上からもむづかしく、ここでも誤差がでる公算がある。つまり、非常に極端な言い方をすれば、アスファルトコンクリート舗装は、誤った最適配合を基準として施工しようと努力し、施工途中では或程度の計量誤差が出来てしまい、その上、その品質を調べる試験結果も誤っていたということが起りうるわけで、現実にはかなり感を働かせて施工しないと、よいものはえられないと言うことになろう。

まことにアスファルト舗装はむづかしいとつくづく感ずるのである。

2. その維持補修について

前述のようにアスファルト舗装は非常に微妙な性格を有するがゆえに、舗装が終ってから後、それを供用してからも、常に細かい配慮が必要となってくる。いわば、女性的と言えようか。これに反して、セメントコンクリート舗装では、通常はさしたる維持修繕は必要としないが、壊れるとなると、一斉に壊れはじめてくる。この点直情的で、いわば男性的とでもいべきか。

したがって、出来上った舗装をお守りする側となると、やはり女性的なアスファルト舗装の方が大変であることは言うまでもない。しかし、このようにいくらアスファルト舗装を悪しきざまに言っても、所詮この世に女性が必要なるごとく、アスファルト舗装はどうしても必要なのである。現在通行に供している道路を通行止にして舗装修繕を行うことが不可能な昨今、舗装補修はアスファルト舗装によらざるをえないでのある。

かかるがゆえに、今後ますますアスファルト舗装については、種々の研さんがなされなければならない。そしてその維持補修法についても、いろいろの特殊性をいかした施工法、施工機械、材料が考え出されるであろうと思われる。また、それを期待する。

道路の舗装延長が年々、相当の勢いで伸びていい現在ではあるが、間もなくその維持補修について、考えるべき種々の問題がでてくるであろうことは想像にかたくない。現在の舗装に占める割合が、アスファルト舗装が圧倒的である現状からも、先述の現道工事であるという理由からも、今後の維持補修は、ほとんどアスファルト舗装によらざるをえまい。逆説的な言い方をすれば、

舗装維持補修工法の真ズイはアスファルト舗装にあると言えよう。

新設工事と異なり、維持修繕工事は地味であると同時に、種々の副次的な問題が起る。道路というものが、また舗装というものが、車輌を安全に、快適に通行せしめるためのものであるならば、予算的制約とか、種々の理由によって、道路管理者は、維持修繕の義務を免れることができない宿命をもっている。この事を考えると、維持修繕工法の開発研究の必要なことは言うまでもないが工事の設計改善も考えられてよいのではないかと思うことがある。反面このような主張は退却を考えた進撃法の類いで、効果的でないという反論もあるが、こんな“くりごと”がでてきたくなるような日常なのである。

3. 道路管理者の悩みさまざま

①一夜工法の行きづまり

最近困った現象がでてきた。東京都内のように交通の激しいところでは、夜間工事で、一夜のうちに舗装、または基層ぐらいまで仕上げてしまって、昼間の交通に支障を及ぼさないように努力している。これ呼んで“12時間作戦”。ところが、だんだん夜の交通量が多くなり、特に繁華街では午前2時頃にならないと工事が開始できなくなってきた。作業時間が追いつめられてきて、一晩の工事量をへらしたり、旧舗装の破壊、掘削の工程をつめたりして、何とか努力している。しかしこうなると、深夜に旧舗装を壊しはじめることになり、振動と騒音のため、地元の猛反対を受けてしまう。現場ではあの手この手を使って説得に努めているが、段々とこの傾向が強くなって来た。我々としてみれば、毎日昼と夜をとりかえて苦斗している作業員の身にもなって、少しの我慢はしてくれないかなと言いたいところであるが、一般の人々からは、これも身勝手と聞えるかもしれない。深夜でなくても、バーの棚から“コップが落ちて割れてしまったから補償せい”などとすぐまれることもある。これらのことを考えると、丁度杭打機に代って現場打杭が出現したように、振動、騒音を発するハイドロハンマーによる打壊方法に代って、無振動的、しかも効率的な破壊機を開発せねばならなくなってきた。しかし、それまでは工事を続けねばならないので、目下説得作戦を唯一の武器にして、悪戦苦斗している状態である。

② 地下埋設物

道路は、人や自動車の通行に供するためにあるのは勿

論であるが、折角のスペースであるため種々の公共的構造物を入れて利用するようにしている。たとえば、電力ケーブル、水道管、下水管、ガス管、高圧電力線ケーブル、電柱、電話柱等々から、大きいものでは地下鉄まで。都内の交叉点ではこれらが三重四重にも、地下鉄でも地下三階、四階というようになる。これが道路管理者にとっては悩みのたねである。修繕工事で、これに泣かされるのはよく言われることであるが、事前に種々調査をして図面に入れてみたら、こんがらかって分らなくななり、模型を作ってみて、やっと理解できたなんていう事例もある。よくまあ、こんなに入れたもんだと感心する。こんな場合、共同溝を作つて、一緒に入れたらといふことで、種々努力しているのであるが、建設費や、スペースの問題などで、遅々として進まないのが現状である。

このような現実を見ていると、まさに“ヒサシをかしてオモヤをとられる”の觀が強く、一体全体、道路の方で、こわれない舗装を施工してしまつてよいのかなど疑問に思うことすらある。全く都会は狭いものである。

③ 自動車練習場を見て想うこと

この頃少し下火になったが、一時、自動車練習場の建設が盛であった。この建設工事を見たことがある。客寄せのためか、練習場を舗装するようになった。しかし、この舗装は極めて経済的配慮がなされており、かなり薄い構造となっていた。ところが開業して2年近くになるが壊れた様子はない。道路の舗装がよく壊れると言われるが、その犯人が重量車にあることを、練習場を見るたびにおもい出す。全く困ったものだ。一つ電磁式の重量計を舗装版に埋込んでおき、制限以上の輪重になつたら、サイレンが鳴るようなアイデアはどうだろう。全国の舗装がこわれたり、交通事故が起つたりで、舗装の厚みをこれに対して増加させたりする損害を考えると、開発費に相当額をつぎこんでもよいのに、なんてことを考えたくなる。

④ ピックリ袋

舗装の維持補修に限らず、現道の維持補修工事は、いわば、高圧電流を通して電線をいじるようなもので、すこぶる危険である。作業員自身が、常に注意をしていかなければならないのはもちろんであるが、いくら自分が注意しても、走る凶器に突込まれたら、ひとたまりもない。種々その対策を考えているが、目下これといった名案はない。ある現場で、南京袋にオガクズを入れて、

現場の前後に並べておいたら、標識を突き破つて入つて来た居ねむり運転のトラックが、それに乗り上げ、側溝に落ちて止つたことがあったとのこと。運転手に聞くと、南京袋をひいた瞬間、人をひいたと思って目が覚めハンドルを切つて側溝に落ちたとのことである。絶体的名案のない今日、取扱いに便利なこの工夫は採用に値しよう。ただし、あまり一般的になると運転手もなれてしまい、効果がなくなるかもしれないが……。

⑤ 軌道と自動車

年々才々、時代の変遷とともに、かつて人員輸送の一方の雄であった路面電車は、目下凋落の一途をたどつてゐるが、それでもなお、かなりの人々を大都会では運んでいる。全面的な廃止には、なお10年以上を要するかもしれない。この路面電車は、大部分のものが、大正10年に制定された“軌道法”というカタカナの法の適用を受けて、運営されている。時代的に合わない点は、逐次改正されてはいるが、法の精神自体は、少し前時代的要素がないでもない。軌道法によれば、軌道敷の維持は軌道管理者が行うことになっている。

しかし、軌道側にいわせると、

自動車を通行せしめるようになった昨今では、むしろ自動車の方が、軌道敷の破損には、あづかって力があるという見方ができる。道路側でも、“さもありなん”とみられるふしがないでもない。しかし、法は法である。むづかしくなる。事故でも起きると、責任問題ともなりかねず、悩みは、はてない。単車よ、軌道敷に入るなかれ。

⑥ サイクリング用道路

現代のように文明が進み、ものが便利になってくると、人間の体位は減衰の一途をたどるのみである。自動車が普及してきて、歩くことが少くなり、人間はそのうちに足がなくなってしまうのではないか——というような大げさなことでなくとも、国民保健上自転車の普及をはかるべきであるという運動が起つてゐるとの事である。もちろん今のような道路を走つたのでは危険だから、自転車専用道路を作れとのこと。もし自転車専用道路を作るしたら、その線型や巾員は別としても、舗装はどんな構造が一番よいだろうか、最も経済的で、走行性もよく、維持もしやすいものとなろうか、などと考えていると、ローマの昔に返つたとまではいかないまでも、少し気が楽になった。

⑦ 通行止標識の問題から想うこと

ある道路のバイパスを建設中、橋梁の架設が種々の原因のため遅れてしまったので、その前後を部分的に、交通に開放した。橋梁の部分には迂回路を設けて、連絡しておいた。橋梁が竣工すれば、なるべく早く全面的に交通に供しうるよう、橋梁部分を除いて舗装も完成させた。当然考えられることは、迂回路の標識を、発見しそこなって、真直に入って来て、橋梁のかかっていない部分から、死のダイビングをする危険性である。これを防ぐため、かなり入念に迂回路や通行止標識を設置し、迂回路に曲がる所には、誤って直進しないようにバリケードを設置しておいた。

ただし、工事用車の出入のため、一台分の巾は開けておいた。さらに、死のダイビングを防ぐため、大きなローラーや、ダンプを橋の直前に並べておいた。このようにしておいたのだが、ある雨の晩、一台の乗用車がバリケードの開いている部分から入って来て、もしやと思って置いていたローラーに激突して死傷者を出してしまった。

道路管理者としては、全くやり切れない。通常の人なら、見落すはずのない通行止標識を見すごし、バリケードの脇をすり抜け、さらに大きなローラーを認めて停止するひまもない程、猛スピードで走ってくるなんて……。しかし、地元紙は、道路管理者には冷たかった。“何故バリケードのところに照明をつけておかなかったか。標識にも照明をつけておかなかったか”——と。よく言われる過失相殺の理論である。道路管理者は、“照明はつけておいたが、すぐ盗られてしまう”と弁明したが、信じてもらえなかっただし、迫力がなかった。盗られてもつけばいいではないかという反論もある。道路管理者は半ばヤケになって、物凄い数の照明を即日つけた。“やはりこうしておけばよかったんだ”と地元紙は論評した。それから二日ばかりのある晩、そのおびただしい数の照明は、何者かによって、全部盗られてしまった。呆然としたのは道路管理者のみではない。地元紙は論評した。“道路管理者に責はないことが分った”——これは実話である。

げに交通事故は最早、技術 (Engineering) のみにて減少させることはできない。規正 (Enforcement) のみでも不可。

それ以前に、教育 (Education) の問題がある——と、事故防止 3 E 論を言われた論者があった。この実例は、まさしくこれを雄弁に物語っている。

⑧ 道路管理者の態度

以上、いろいろと、道路管理者という立場で、ウラミツラミを並べたてたが、この他にも、随分と理不尽なことを要求されることがある。しかし、反面、管理者という言葉からくる感じは、非常に保守的、保身的な響きを持っていることも否めない。この点、第三者からみて、いろいろの御批判もあることと思う。これに対しては、率直な反省が必要なことはもちろんである。

それにしても、現在の道路管理者に負わされた責務は決して軽いとは思われない。特に、前に述べた種々の問題を、それぞれ、トコトンまで考えつめたら、息がつまってしまうかもしれない。日曜、休日やシーズンなどには、極言すれば、道路の路面が見えなくなってしまうような自動車ラッシュの時にでも、路面に穴が開いたと、警察から電話がくる。現地に行くだけでも容易でない。

まさに“我等何をなすべきか”とガイ嘆したくなる。そんな時、筆者の上司は、名セリフで指導してくださいました。

“ピッチャーゴロでも全力疾走すべし”と。

道路管理者の態度としては、これに尽きると思われる次第である。

〔筆者：建設省関東地方建設局 道路管理課長〕

本誌の配布方法を一部変更しました。
皆様の御協力をお願いします。

第50号から、全国の工事事務所を中心に本誌の配布（郵送）方法を、勝手ながら変更させて頂きました。49号迄、皆様へ1部づつお送りしておりましたが、これを今後一括して、お届けするように致しました。

御協力のお願いは、その際、お手紙を同封し、おことわり申し上げた通りであります。

貴所において受取人代表が適当でない場合、お手数乍ら、本会迄お知らせ下さい。

大変御面倒なお願いで恐縮に存じます。

今後共、よろしくお加添え下さいよう御願い申し上げます。

解説 アスファルト舗装 [3]

竹 下 春 見

3-3 アスファルト混合物の必要な厚さ

アスファルト混合物の必要な厚さは、どれだけであるかという問題に対して、適確に答えられる方法は見当らないようである。しかし実際問題としては、設計者が一番頭をなしますのはこの点についてであろう。そこで、ここでは理論的な精度ということを一応度外視して、一応の筋を通すという意味で理窟を考えてみよう。

まず世界中で、大部分の道路が同じ規格で建造されている例として、イタリヤの太陽道路とドイツのオートバーンをとりあげてみよう。2つの道路の代表的な構造断面は図16に示すようである。

(i) 太陽道路のアスファルト混合物の厚さ

マサチューセッツ公式は(2.22)'によれば、

$$h = 0.5 \sqrt{\frac{P}{7}} \quad (2.22)'$$

である。ここで輪荷重Pを8t(8,000kg)とすれば、

$$h = 0.5 \sqrt{\frac{8,000}{7}} = 0.5 \times 33.8 = 16.9 \rightarrow 17\text{cm}$$

となり、上層路盤上において必要なアスファルト混合物の厚さは17cmということになり、図16の太陽道路のアスファルト混合物の合計厚と一致する。

この計算結果から想像を逞しくすれば、太陽道路はマ

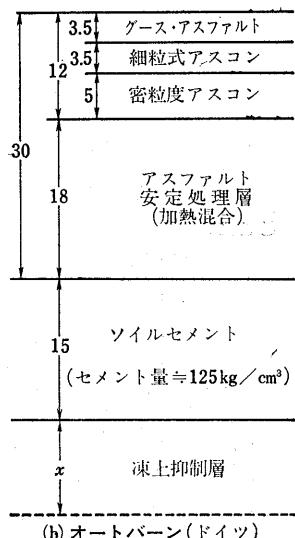
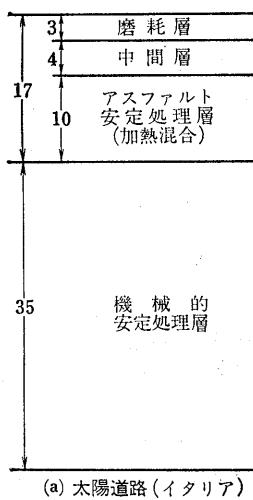


図-16 太陽道路とオートバーンの舗装構造断面図

サチュセツ公式的な考え方により設計されていると考えることが出来るかも知れない。すなわち、8t輪荷重はアスファルト混合物により48.5°の角度をもって分散され、その分散された圧力が $K_{30}=28\text{kg/cm}^3$ の上層路盤の支持力以下になるようにアスファルト混合物の厚さをきめているのかも知れない。

なおマサチューセッツ公式による輪荷重とアスファルト混合物の厚さの関係は、図15の①の線であらわされている¹⁾。

(ii) オートバーンのアスファルト混合物の厚さ

一様地盤を考えたときのタイヤの接地円の中心軸上のせん断応力は(2.4)であらわされる。すなわち、

$$\frac{\tau_z}{p} = \frac{3}{4} \frac{\left(\frac{z}{a}\right)}{\left\{1 + \left(\frac{z}{a}\right)^2\right\}^{\frac{3}{2}}} \quad (2.4)$$

式(2.4)は図4に図示されている。この図によると中心軸上において最大のせん断応力が生ずるのは $z/a=0.71$ の深さで、そのときの最大せん断応力は $\tau_{max}/p=0.289$ となっている(式(2.5))。この点より地中深いところでは、せん断応力は漸次小になっていく。

アスファルト舗装の各層のうちで、一番信頼のおける層は、材料的にみてアスファルト混合物の部分である。したがって最大のせん断応力はアスファルト混合物の層の中におさめたいわけである。たとえば最大せん断応力(0.289p)の80%まではアスファルト混合物の層の中に入れるにすれば、下部の碎石層などには最大の80%以下のせん断応力しか生じないことになって、大体満足できることになるであろう¹⁾。このように考えると式(2.4)あるいは図4を利用して、

$$z = 1.25a \quad (2.26)$$

に相当するアスファルト混合物の層厚が必要ということになる。検算をしてみよう。式(2.4)より

$$\frac{\tau_z}{p} = \frac{3\left(\frac{z}{a}\right)}{4\left\{1 + \left(\frac{z}{a}\right)^2\right\}^{\frac{3}{2}}} = \frac{3 \times 1.25}{4 \times \left\{1 + 1.25^2\right\}^{\frac{3}{2}}} = \frac{3.75}{4 \times 4.1} = 0.228$$

したがって

$$\frac{1.25a \text{ の深さのせん断応力}}{\text{最大せん断応力}} = \frac{0.228p}{0.289p} = 0.79 \rightarrow 80\%$$

式(1.1)より

$$\alpha = 12 + P \quad (1.1)$$

また以上の考察の結果より、セン断力を考慮した場合の必要なアスファルト混合物の厚さ h は (2.26) より

$$z = h = 1.25\alpha \quad (2.26')$$

これに (1.1) を入れると

$$h = 1.25(12 + P) \quad (2.27)$$

オートバーンの場合にはアスファルト混合物の厚さは合計 30cm であるから、 $h = 30$ とおけば

$$30 = 1.25(12 + P) \therefore P = 12t$$

となり、オートバーンにおいては設計輪荷重として $12t$ を考へていると推定することができよう。

前述のマサチュセッツ公式を利用すれば、 $P = 12t$ としても厚さ h は 22cm にしかならないから、オートバーンの構造設計においては、マサチュセッツ公式的な垂直圧力を考へるよりは、セン断力の影響を重大視して、材料のセン断抵抗を考慮に入れた考え方がとられたものと思われる。

なおここで述べたセン断力法による輪荷重とアスファルト混合物の厚さの関係は、図 15 の曲線④により示されている。

3-4 ウエスターガード流の理論

弾性床上に版がのっており、版上に荷重が載荷された場合の問題については、古くから多くの研究者により研究されている。H. Hertz (1884) は水の上に浮んでいる氷の層よりなる版の上に、荷重がのっている場合の版の変形と応力を計算している。ウェスターガード (Westergaard, 1925, 1926, 1933, 1939) は上記のヘルツの理論を応用して、基礎地盤上にあるコンクリート版の応力を計算した。これが有名なウェスターガードの諸公式である。その後ホッグ (A. H. A. Hogg, 1938)、またウデマルク (N. Odemark, 1949) によるシェーデン流の解析が発表され、また De Kruyf, Van Der Poel, Timan (1948) による研究が発表されている。

舗装構造のうちで、とくに丈夫にできている表層部分を版として問題をとりあつかう方法は、現在でもコンクリート舗装関係では実用に供されている。またアスファルト舗装関係でも使用する技術者が、現在でもないわけではない。アスファルト混合物は冬期には相当大きい弹性係数（変形係数）をもつようになり、また高速車両の場合には、見掛け上の変形係数が大きくなるので、版と考へても近似的には不都合が生じないのである。しかし現在では版と考える理論よりも、純粹の弾性理論を利用した解決法の方が合理性があるとして、弾性床上の版の理論は影が薄くなりつつある。

問題を弾性床上の版と考える理論と、純粹の弾性理論

を応用した多層系理論との根本的な差異は、版の理論では曲げによる応力あるいは変形はとりあつかうが、荷重による版の圧縮変形を考慮していないことにある。しかし純弾性論的な解法では荷重による各層の圧縮変形が考慮されている。

ここでは順序として、弾性床上の版を考える前に、簡単な例として弾性床上の梁の問題を考えてみよう。弾性床上の梁の問題を考察することにより、梁がどのようにたわむか、また梁に生ずる応力、または梁に生ずるひずみなどが、どの程度のものかがわかり、これにより定性的には版の沈下や版に生ずる応力が、どの程度のものか大略的な推定をすることができるであろう。また梁の問題で定性的にえられた知見は、版の問題または版とは考えない舗装構造の場合にも、おうよその力学的な関係はうかがい知ることができよう。

(i) 弹性床上の梁

この問題は多くの応用力学の本にのっている²⁾。弾性床上にある梁に荷重がのった場合には梁はたわむ。梁のたわみは荷重の直下で最大で、荷重の作用する位置から、遠くなるほどたわみは小になる。梁がたわむ（沈下）と、勿論、下の地盤も沈下する。地盤の沈下が大きいところほど、荷重が大きく作用しているから、地盤の方からみると沈下が大きい処ほど地盤が梁に与える反力は大きい。地盤面のある一点における沈下は、隣接する土の変形の影響を当然うけるが、以下の理論では地盤の反力の大きさは、その点の沈下量だけによってきまるものと仮定している。いいかえれば、この理論では地盤は無限にならんでいる一様な強さのスプリング群よりなっていると仮定していることになる。

さて応用力学の教科書によれば、つぎのような公式がある。

$$\left. \begin{aligned} M &= EI \frac{d^2 w}{dx^2} = EI \frac{1}{r} \\ S &= \frac{dM}{dx} = EI \frac{d^3 w}{dx^3} \\ q &= \frac{dS}{dx} = EI \frac{d^4 w}{dx^4} \end{aligned} \right\} \quad (2.28)$$

ここに、

M : 梁に生ずる曲げモーメント

S : " セン断力

q : 荷重強度（単位長さに対する荷重）

I : 梁の断面 2 次モーメント

w : 梁のたわみ（沈下）

r : 中立軸の曲率半径

荷重強度としては下向きの場合を + とするが、反力を考へるときには上向きに働くとしているから、

$$q = -Kw \quad (2.29)$$

ここに、 K は地盤の支持力係数で、いわゆる K - 値とい

表 2.2. φ , ψ , θ , ξ の計算値 (くわしくは, Timoshenko; strength of materials, Part II. p.5 参照)

βx	φ	ψ	θ	ξ	βx	φ	ψ	θ	ξ
0	1.00	1.00	1.00	0	4.0	-0.026	0.0019	-0.012	-0.014
0.5	0.823	0.242	0.532	0.291	4.5	-0.013	0.009	-0.0023	-0.011
1.0	0.508	-0.111	0.199	0.309	5.0	-0.005	0.008	0.002	-0.007
1.5	0.238	-0.207	0.016	0.223	5.5	0.000	0.006	0.003	-0.003
2.0	0.067	-0.179	-0.056	0.123	6.0	0.002	0.003	0.002	-0.001
2.5	-0.017	-0.115	-0.066	0.049	6.5	0.0018	0.0012	0.0015	0.0004
3.0	-0.042	-0.056	-0.049	0.007	7.0	0.0013	0.0001	0.0007	0.0006
3.5	-0.039	-0.018	-0.028	-0.011					

われているものと同じものである。

式 (2.29) を式 (2.28) に入れると,

$$\frac{d^4 w}{dx^4} = -\frac{K}{EI} w \quad (2.30)$$

となる。この式が弾性床上の梁の問題に対する基本式である。 K/EI は一つの定数であるが、応用力学の教科書にあるように、 EI は梁の曲げ剛さ (Flexural Rigidity) であり、 K は地盤の支持力の大小をあらわすものであるから、 K/EI はいわば地盤の強さと梁の強さの相対的な強さ関係をあらわす常数とみてよいであろう。そして通常つぎのようにおいている。

$$\beta = \left(\frac{K}{4EI} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (2.31)$$

式 (2.31) を式 (2.30) に代入すれば,

$$\frac{d^4 w}{dx^4} = -4\beta^4 w \quad (2.30)'$$

梁が無限に長く、荷重 P がこの梁の上にのったとし、 P の位置を原点 ($x=0$) にとれば、 $x=\infty$ のときには $w=0$ となるはずである。原点 $x=0$ においては、梁の沈下の曲線の勾配は 0 になるから、 $dw/dx=0$ となる。また原点においては、式 (2.28) より、

$$EI \frac{d^3 w}{dx^3} = S = \frac{P}{2}$$

になるはずである。

以上の境界条件より式 (2.30)' を解けば、

$$\begin{aligned} w &= \frac{P}{8\beta^3 EI} e^{-\beta x} (\cos \beta x + \sin \beta x) \\ &= \frac{P\beta}{2K} e^{-\beta x} (\cos \beta x + \sin \beta x) \\ M &= EI \frac{d^2 w}{dx^2} = \frac{P}{4\beta} e^{-\beta x} (\sin \beta x - \cos \beta x) \end{aligned} \quad (2.32)$$

(2.32) は原点において最大で、 x が増加すると波の形をとる。波の波長 a はつぎの式で与えられる。

$$a = \frac{2\pi}{\beta} = 2\pi \sqrt{\frac{4EI}{K}} \quad (2.33)$$

梁の x 方向に生ずる応力とひずみは、中立軸からの距離を y とすれば、

$$\sigma = \frac{My}{I}, \quad \varepsilon = \frac{\sigma}{E}$$

であるから、縁応力と縁部のひずみは、断面係数を Z とすれば、

$$\begin{cases} \sigma = \frac{M}{I} y_o = \frac{M}{Z} \\ \varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{Ph}{8\beta EI} e^{-\beta x} (\sin \beta x - \cos \beta x) \end{cases} \quad (2.34)$$

となる。

上記の計算式には βx の関数がいくつかでてくるが、その値は、

$$\begin{cases} \varphi = e^{-\beta x} (\cos \beta x + \sin \beta x) \\ \psi = -e^{-\beta x} (\sin \beta x - \cos \beta x) \\ \theta = e^{-\beta x} \cos \beta x, \quad \xi = e^{-\beta x} \sin \beta x \end{cases} \quad (2.35)$$

とおけば、表 2.2 に示すようである。

式 (2.32), (2.34) より、最大の沈下量、最大の応力などは原点 ($x=0$) においておこることがわかる。すなわち

$$\begin{cases} (w)_{x=0} = \frac{P}{8\beta^3 EI} = \frac{P\beta}{2K} \\ (M)_{x=0} = \frac{P}{4\beta}, \quad (\sigma)_{x=0} = \frac{Ph}{8\beta I} = \frac{P}{4\beta Z}, \quad (\varepsilon)_{x=0} = \frac{Ph}{8\beta EI} \end{cases} \quad (2.36)$$

[ex]

$\beta = \frac{1}{35} \text{ cm}^{-1}$, $EI = 20 \times 10^6 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$ の場合を考えてみよう。 $EI = 20 \times 10^6 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$ であるから、 $I = 6,500 \text{ cm}^4$ とすれば、 $E = 3000 \text{ kg/cm}^2$ となる。また $K = 53 \text{ kg/cm}^2$ となる。 K のディメンションが kg/cm^2 になっているのは、梁の理論であるから、2次元的に考えているためである。梁の高さを 20cm とすると、 $Z = 2I/h = 650 \text{ cm}^3$ となる。

式 (2.36) より、荷重直下の最大沈下量は、荷重を 1t とすれば、

$$\begin{aligned} \text{最大応力} & \quad w_{max} = \frac{P}{8\beta^3 EI} = \frac{1,000 \times 35^3}{8 \times 20 \times 10^6} = 0.268 \text{ cm} \\ \text{は}, \quad \sigma_{max} & = \frac{P}{4\beta Z} = \frac{1,000 \times 35}{4 \times 650} = 13.5 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

最大のひずみは

$$\varepsilon_{max} = \frac{Ph}{8\beta EI} = \frac{1,000 \times h \times 35}{8 \times 20 \times 10^6} = 2.19 \times 10^{-4} h$$

$$= 0.0219 h \%$$

$h=20\text{cm}$ とすれば、

$$\varepsilon_{max} = 0.0219 \times 20 = 0.428\%$$

となる。

ちなみにアスファルト混合物が繰返し荷重のもとで永久変形をおこさないためには、ひずみは1%以下でないといけないとされている。

(ii) 圧縮による弾性係数と引張りによる弾性係数が異なる材料よりなる梁

舗装用の材料は、通常圧縮試験の結果から求めた変形係数と、引張試験の結果から求めた変形係数の値が異なる。このような材料につき応力／ひずみ曲線をつくってみると、模型的に図17に示すようになる。

簡単のために、図18b.に示すような長方形断面を考えてみよう。曲げモーメントMによって梁は図18a.のように曲がる。引張り弾性係数と圧縮弾性係数が同じでないから、中立軸は梁の高さの中央を通らない。つまり高さ h の梁の引張側は h_1 の厚さであり、圧縮側は h_2 の厚さである。

曲げモーメントMによって生ずる中立軸の曲率半径を r とする。図18aの陰影をほどこした部分の相似から、

$$\frac{dx}{y} = \frac{x}{r}$$

$$\therefore \text{ひずみ}, \quad \varepsilon = \frac{dx}{x} = \frac{y}{r} \quad (2.37)$$

これは中立軸から y なる距離における x 方向の単位長さ当たりのひずみを示している。したがって、縁端部におけるひずみは、

$$\varepsilon_1 = \frac{h_1}{r}, \quad \varepsilon_2 = -\frac{h_2}{r} \quad (2.38)$$

である。

式(2.38)をみると、中立軸の位置と曲率半径 r がわかれば、梁のひずみが求まる。梁のひずみが求まれば、応力その他も容易に求めることができる。中立軸の位置と曲率半径 r を求めるには、釣合いの条件を利用すればよい。

梁の任意の断面に働く垂直応力の和は0に等しいという条件から、

$$\int_A \sigma \cdot dA = b \int_{-h_2}^{h_1} \sigma \cdot dy = 0 \quad (2.39)$$

また中立軸に関する垂直応力によるモーメントは加えら

図-17 引張りによる弾性係数と圧縮による弾性係数が異なる材料の応力／ひずみ図(bilinearの場合)

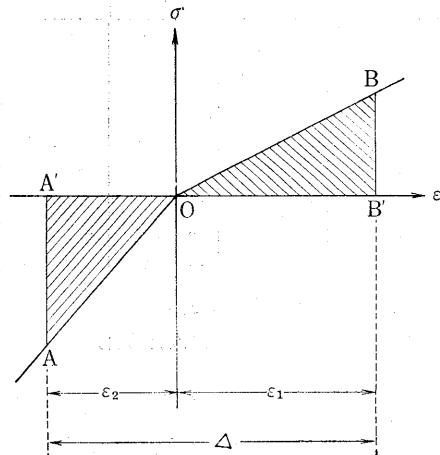


図-18 引張弾性係数と圧縮弾性係数が異なる材料の曲げ(長方形断面の場合)

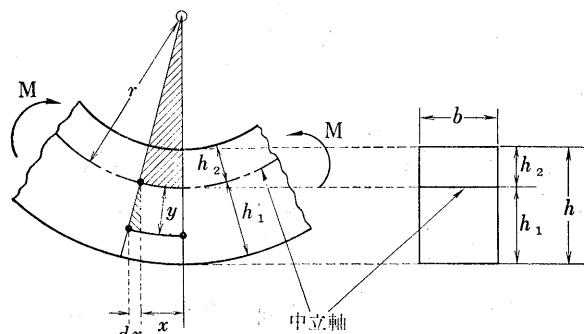


図 a.

図 b.

れた曲げモーメントMに等しいという条件から、

$$\int_A \sigma \cdot dA = b \int_{-h_2}^{h_1} \sigma \cdot dy = M \quad (2.40)$$

となる。式(2.37)より、

$$y = r\varepsilon \quad \therefore dy = r \cdot d\varepsilon$$

これを(2.39)に入れれば、

$$b \int_{-h_2}^{h_1} \sigma \cdot dy = b r \int_{\varepsilon_2}^{\varepsilon_1} \sigma \cdot d\varepsilon = 0$$

$$\therefore \int_{\varepsilon_2}^{\varepsilon_1} \sigma \cdot d\varepsilon = 0 \quad (2.39)'$$

つまり、中立軸の位置は(2.39)'が成立するような位置、いいかえれば図17の陰影をほどこした部分OOA' とOBB'が等しくなるような位置ということになる。

つぎに中立軸の位置を計算で求めてみよう。式(2.37):

(2.38) を参照すれば、図19を参考にして、

$$\left. \begin{array}{l} \text{引張り応力, } \sigma = E_1 \varepsilon_1 = E_1 \frac{y}{r} \\ \text{圧縮応力, } \sigma' = E_2 \varepsilon_2 = E_2 \frac{y'}{r} \end{array} \right\} \quad (2.41)$$

ここに E_1, E_2 はそれぞれ同じ材料につき引張り試験により求めた弾性係数と、圧縮試験により求めた弾性係数を示している。

式 (2.41) を式 (2.39) に代入すれば

$$b \int_{-h_2}^{h_1} \sigma \cdot dy = b \left[\int_{-h_2}^0 E_2 \frac{y'}{r} \cdot dy' + \int_0^{h_1} E_1 \frac{y}{r} \cdot dy \right] = 0$$

これを簡単にするれば

$$E_1 h_1^2 = E_2 h_2^2 \quad (2.42)$$

がえられる。また

$$h = h_1 + h_2$$

であるから、これら 2 つの式より h_1 および h_2 を計算すれば、

$$h_1 = \frac{h \sqrt{E_2}}{\sqrt{E_1} + \sqrt{E_2}}, \quad h_2 = \frac{h \sqrt{E_1}}{\sqrt{E_1} + \sqrt{E_2}} \quad (2.43)$$

がえられる。これにより中立軸の位置がきまる。

さて、式 (2.40) より

$$h \int_{-h_2}^{h_1} \sigma y \cdot dy = M \quad (2.40)$$

これに式 (2.41) を入れ、式 (2.43) の関係を利用すれば、途中の計算は省略するが、結果は、

$$M = \frac{bh^3}{12} \cdot \frac{1}{r} \cdot \frac{4E_2}{(\sqrt{E_1} + \sqrt{E_2})^2} \quad (2.41)$$

となる。応用力学の教科書によれば、式 (2.28) が成立つから、

$$M = \frac{EI}{r} \quad (2.28)$$

式 (2.41) と (2.28) を比較すれば、

$$\frac{bh^3}{12} = 1 \quad (2.42)$$

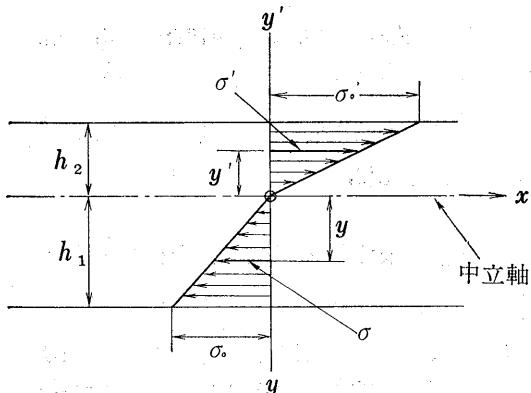
であるから、引張り弾性係数と圧縮弾性係数の異なる材料の換算弾性係数として E_r をとることにすれば、

$$E_r = \frac{4E_1 E_2}{(\sqrt{E_1} + \sqrt{E_2})^2} \quad (2.42)$$

となる。つまり、引張り弾性係数と圧縮弾性係数が異なる材料よりなる、梁の曲げの問題をとりあつかう場合には、その材料が全体として (2.42) で与えられる弾性係数をもつ材料であるとして、問題を考えればよいということになる³⁾。

(iii) 弹性床上に(ii)に示す材料よりなる梁がある場

図-19 曲げにより生ずる引張りと圧縮



合⁴⁾

引張りと圧縮により弾性係数が異なる材料よりなる梁が弾性床上にあるときの基本式は、式 (2.30)において、 E のかわりに E_r を使用すればよい。したがって、

$$\frac{d^4 w}{dx^4} = -\frac{K}{E_r I} w \quad (2.30)''$$

となり、

$$\beta_r = \left(\frac{K}{4E_r I} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (2.31)$$

を使用すれば、前述の諸式が全部今問題にしている式に変かんできる。たとえば、

$$\left. \begin{array}{l} w = \frac{P \beta_r}{2K} e^{-\beta_r x} (\cos \beta_r x + \sin \beta_r x) \\ M = \frac{P}{4\beta_r} e^{-\beta_r x} (\sin \beta_r x - \cos \beta_r x) \end{array} \right\} \quad (2.32)$$

である。また

$$\left. \begin{array}{l} (w)_{x=0} = \frac{P \beta_r}{8\beta_r^3 E_r I} = \frac{P \beta_r}{2K}, \quad (M)_{x=0} = \frac{P}{4\beta_r} \\ (\sigma)_{x=0} = \frac{P h}{8\beta_r I} = \frac{P}{4\beta_r Z}, \quad (\epsilon)_{x=0} = \frac{P h}{8\beta_r E_r} \end{array} \right\} \quad (2.36)'$$

[ex]

前の計算例と比較してみよう。ちがうのは E のかわりに E_r となるだけである。舗装材料の場合には、变形係数を求めるのに通常圧縮試験を行なうから、 E_2 を使用する場合を考える。いま材料が

$$E_2 = 3E_1$$

なる性質をもっているとする（普通はこの場合でも $E = E_2$ としている）、(2.42) より、

$$\begin{aligned} E_r &= \frac{4E_1 E_2}{(\sqrt{E_1} + \sqrt{E_2})^2} = \frac{4 \times \frac{E_2}{3} \times E_2}{(\sqrt{\frac{E_2}{3}} + \sqrt{E_2})^2} \\ &= (4 - 2\sqrt{\frac{2}{3}}) E_2 = 0.54 E_2 \end{aligned}$$

$$\beta_r = \left(\frac{K}{4E_r I} \right)^{\frac{1}{4}} = \left(\frac{K}{4E_1 I} \times \frac{E_1}{E_r} \right)^{\frac{1}{4}} = \beta \times \left(\frac{E_1}{E_r} \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$= \beta \times \left(\frac{1}{0.54} \right)^{\frac{1}{4}} = 1.17 \quad \beta = 1.17 \times \frac{1}{35} = \frac{1}{30}$$

今の場合の沈下量、ひずみなどに*印をつけて、一様な弾性係数の場合と区別すれば、式(2.36)'より

$$(w)_{x=0}^* = \frac{P}{8\beta_r^3 E_r I} = \frac{P}{8 \times (1.17\beta)^3 \times (0.54E_2)I}$$

式(2.36)と比較して、 $E_2 = E$ であるとして、

$$\begin{aligned} \therefore \frac{(w)_{x=0}^*}{(w)_{x=0}} &= \frac{P}{8 \times 1.17^3 \times \beta^3 \times 0.54 \times E_2 \times I} \times \frac{8\beta^3 EI}{P} \\ &= \frac{1}{1.17^3 \times 0.54} = 1.16 \end{aligned}$$

したがって、このような材料を単に圧縮試験の結果だから弾性係数を求めて計算した場合よりは、沈下量が16%で大きい。

ひずみの場合には、

$$\begin{aligned} \frac{(\varepsilon)_{x=0}^*}{(\varepsilon)_{x=0}} &= \frac{Ph}{8\beta_r E_r I} \times \frac{8\beta EI}{Ph} = \frac{\beta E}{\beta_r E_r} = \frac{\beta E}{1.17\beta \times 0.54 E_2} \\ &= \frac{1}{1.17 \times 0.54} = 1.58 \end{aligned}$$

したがって、ひずみの場合には、普通に弾性床上の梁として求めたひずみ量よりも、58%も大きいひずみが生ずることになる。

さきに述べたように舗装材料の疲労に対する限界として、ひずみの大小は重要であることが認められている。ここに述べた簡単な計算結果よりみると、表層材料としては、沈下量よりもひずみの方が誤差が大きいといえそうである。

(iv) 弹性床上の版

弹性床上の版の問題はほとんどつぎのラグランジェ(Lagrange)の式を利用している。

$$\frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)} \left(\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} \right) = \sigma_z \quad (2.43)$$

ここに h は版の厚さ、 μ は版のボアソン比、 w は z 方向の変形(沈下)をあらわす。

梁の場合と同じように、

$$\sigma_z = -Kw$$

とおけば、

$$\begin{aligned} \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} &= -\frac{12(1-\mu^2)Kw}{Eh^3} \\ l^4 &= \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)K} \end{aligned} \quad (2.44)$$

l は梁の場合の β に当る係数で、版と地盤の相対的な

剛性の大小をあらわしており、剛比半径とよばれている。ディメンションは cm であらわされる。弾性理論で版の問題をとりあつかう場合によくでてくる D は、

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)}$$

であるから

$$l = \left(\frac{D}{K} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (2.45)$$

という関係になっている。

コンクリート版の場合には隅角部、縁部などが中央部よりも荷重に対して条件が悪い。しかしアスファルト舗装の場合には、隅角部に当るところは通常ないし、たわみ性という点から縁部をとくに問題にすることも少ない。したがって通常の場合には、中央部に載荷された場合のみを考えることが多い。

ウェスター ガードの中央部応力公式は、

$$\begin{aligned} \sigma_i = \sigma_r &= \frac{3(1+\mu)P}{2\pi h^2} \left[\ln \frac{l}{b} + \ln \sqrt{12(1-\mu^2)} \right] \\ &= 1.1(1+\mu) \frac{P}{h^2} \left[\log \frac{l}{b} + \log \sqrt{12(1-\mu^2)} \right] \end{aligned} \quad (2.46)$$

であらわされる。ここに b は、

$$a < 1.724h \text{ のときには}$$

$$b = \sqrt{1.6a^2 + h^2} - 0.675h$$

$$a \geq 1.724h \text{ のときには}$$

$$b = a$$

また中央部のたわみ Δ_i は

$$\Delta_i = \frac{P}{8Kl^2} \quad (2.47)$$

である。現在ではアスファルト舗装の場合に弾性床上の版として問題を考えることは少ないのであろうから、この程度の記述にとどめておこう。

参考文献

- 1) 竹下春見：アスファルト舗装に関する対数グラフの応用、道路 9/1965
- 2) たとえば、最上武雄：応用力学、下巻 pp. 71~75、金原出版、
- 3) Timoshenko, S. : Strength of Materials, Part II., pp 366~374
- 4) 本文はカリフォルニア大学の Pister, K. S. & Westmann, R. A. の論文を参照した。

[筆者：中央大学理工学部 教授]

試験—思いつくまま

まずアスファルト引火点試験について。

引火点試験で試料に水滴が入っていると、温度が上昇するにつれ水滴が飛びちらるので、傍にいると、小さい火傷をすることがあります。

アルミ製試料容器を洗ったさい、充分乾燥させないと水滴がまざるようです。

また、アスファルト比重試験も最近工事量の増大について増えてきましたが、表-1のような計算表を作つておくと便利です。もっとも、これより更に便利な表もあると思いますが、御参考までに。

つぎにアスファルト舗装工事の基礎になる室内CBR試験について。

突き固め回数とCBR値の関係は、アスファルト舗装要綱によると図-1のように3通りの型があります。

しかし試験してみると、それ以外に図-2のような波型がよく現われることがあります。

この波型が現われる原因是、いろいろの原因があろうかと思いますが、その一つとして、貫入ピストンの極端な偏心があげられるのではないかと思います。

図-3のように貫入試験のさい、貫入ピストンの先端が、荷重板のヘリにはほんの少しひっかかっていると、波型が現われます。

これを防ぐには、油圧ジャッキまたはスクリュー・ジャッキを固定させ、貫入ピストンに偏心を生じないようにすればよいわけです。

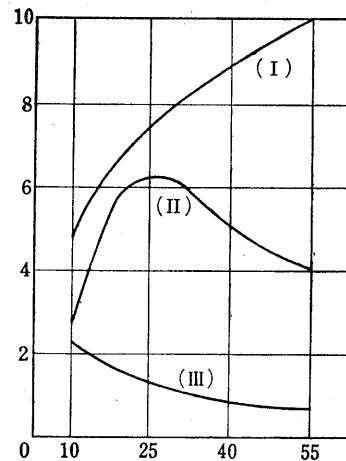
表-1 アスファルト比重の計算

④ $t^{\circ}\text{C}$ における 比重ビンの重量 試 料 (g)	49.934	①比重ビンの重量 (g)	31.727	④-① =⑥	⑥ 18.207
② $t^{\circ}\text{C}$ における 比重ビンの重量 蒸溜水 (g)	53.855	⑤ $t^{\circ}\text{C}$ における 比重ビンの重量 試 料 (g)	54.504		
①比重ビンの重量 (g)	31.727	④ $t^{\circ}\text{C}$ における 比重ビンの重量 試 料 (g)	49.934		
②-①=③ $t^{\circ}\text{C}$ における水の 重量	22.128	⑤-④=⑦	4.570	③-⑦ =⑧	⑧ 17.558

(注) アスファルトの比重は 25°C のとき

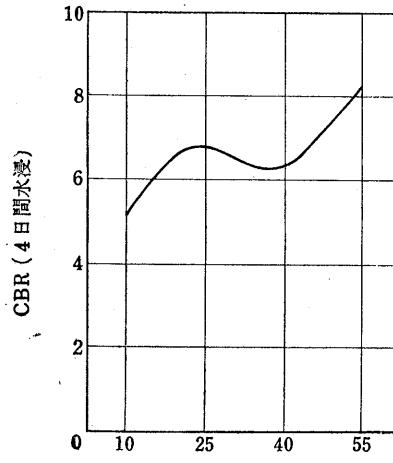
$$\frac{⑥+⑧}{⑥} \text{ アスフ}\text{アルトの比}\text{重 } 1.036$$

図-1 突き固め回数とCBR



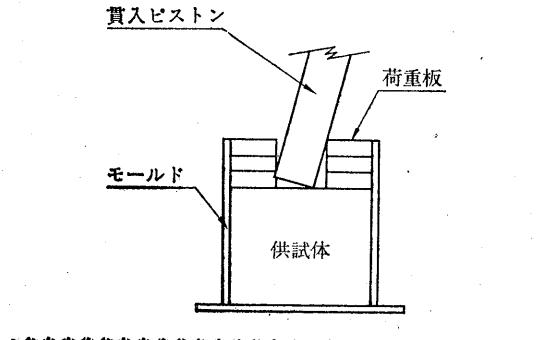
突き固め回数(自然含水量で5層)

図-2 突き固め回数とCBR



突き固め回数(自然含水量で5層)

図-3 CBR試験



広島県 材料試験室

倉田 翔一

11. 医学と舗装と

知人にガンの研究をしている医者がいる。ガンといえば動脈硬化とともに、最近の医学における大きな問題であり、マスコミにも常に取上げられて、素人のわれわれにもすこぶる関心の深いものである。彼が病理学の専攻であることは以前から知っていたが、たまたま彼のグループの研究が、マスコミの話題となつてことで、はじめて、彼がガンについて研究していることを知った。彼の研究は、ある熱病のビールスをガン患者の体内に入れると、ガン細胞を破壊する効果があり、もしこのビールスを弱めて、熱病にかかるという副作用を無くすれば、ガンを退治できる、というものである。これはすでに動物実験の範囲では成功しており、あとは臨床試験を待つばかりの状態にある。もしこれがうまくいけば、今世紀後半最大の発見となるであろうし、もちろんノーベル医学賞は確実であり、考えようによつてはノーベル賞を東にしてもらつても、お釣が残るくらいの代物である。

先日彼に会つたとき、研究のその後について聞いてみたが、実際にはこれからが大変なところらしい。医学の分野では動物実験までは比較的容易く、それが臨床で、うまくいく確率は非常に小さいようである。今後オーソドックスに研究を進めた場合の、この研究の成否に対しそれほど自信があるようには見えなかつた。

数年前にガン特効薬SICなるものがマスコミの話題になつたことがある。長野県の町医者が発見したもので、現にそれを服用したガン患者は、かなり高い確率で治癒しているとのことで、著名人の中にもこれを支持する人があつた。ところが医学界は一笑に付してとりあわなかつたので、マスコミは封建的な医学界を攻撃し、はなばなし論戦が展開された。結局は臨床における追試が不足であり、正直にこれを取上げて研究したほとんどの病院で効果なしと判定されてしまったようである。このときは医学界で大先生と称せられる人々の間にも随分いろいろな意見があることを知つた。法律の解釈における学説の対立ほどではないにせよ、実証にもとづかねばならない医学の分野においても、研究の方法論や結果の解釈が主觀によって大きく左右されるのである。

10年ほど前に急性肝炎いわゆる黄だんになって20日間ばかり入院した。そのときBSPとかグルクロン酸なる言葉を覚えた。BSP法は肝臓機能検査法としてはすぐれた方法で、現在ではこの方法によって検査しないのはよほどのヤブ医者である。グルクロン酸は肝臓の解毒作用を助けるもので、肝機能障害に対しては有用な薬物として

臨床試験においても効果が認められたということで、急性肝炎以後、相当長期にわたって、これを飲ませた。健康回復後も不思議とこの薬を飲むと体が快調であった覚えがある。しかしその後、知人の医者に聞いた範囲では、グルクロン酸の肝臓機能への作用はかなり疑問の点があるらしい。中には全く効果がなく、大部分は解毒作用もせずに直接体外に排泄されてしまうという学者もいる。もともとこのグルクロン酸は、生化学的に見出された、いわば試験管の中の産物であり、複雑な人体内での働きについてはあまり研究されなかつたものらしい。当時グルクロン酸はかなり高価な薬であった。グルクロン酸を服用すると体調がよかつたというのは、プラセボ効果、つまり心理効果によるものだったのであろう。それなら水でも飲ませてくれた方がよほど経済的であったわけである。“活力をつけ体力を増強する新活性薬……”というようなキャッチフレーズで宣伝している、いわゆるドリンク剤もグルクロン酸と似たようなものらしい。ドリンク剤の中にはビタミンやその他諸々の成分が含まれているのだが、これらの成分のうち人体にないと健康が害され、欠亡症になるのはビタミンB₁ぐらいで、中にはカフェインのように一時的に興奮作用を起こして、さも効果があるよううみせかけるものも含まれている。

薬といえば、決定的なミスをおかしたのが、例のサリドマイド剤である。これなど動物実験や臨床試験もある程度行なわれ、まず間違いないということで市販されたわけであるが、数年後になってやっと呪わるべき副作用の存在が知られた。副作用は普通ワクチンにおける発熱や、ビリン剤のショック死のように、薬の服用後直ちにあらわれる。しかしサリドマイド剤の副作用は服用後1年近くはわれわれの前に姿をあらわさない。このような場合動物実験も臨床試験もあまりあてにはならない。もし完全な試験結果を出すとすれば数年の日時が必要であろうが、近代の商業主義はそれだけの時間待ちをするほど悠長ではない。おかげで人間がモルモットにされてしまつたわけである。

以上浅薄な医学知識を披露したが、これら医学界における現象が、われわれの舗装技術に対して他山の石すべき教訓を与えてくれるような気がするので、長々と書いたわけである。片や人間の命や生活に関する問題であり、片や舗装の寿命や経済性に関する問題であるが、社会における軽重は別として、同じような現象としてみることができる。これは医学と舗装技術といふ意味

の対比から、医学と工学という対比にまでひろげても同様で、筆者の我田引水ばかりでもないように思われる。

舗装は経験工学である、ということは今まで諸先輩により語られ、われわれもそのように納得してきた。しかしあらたまって経験工学の意味を聞かれるとき、とまどう人が多いのではないだろうか。今まで工学の分野でいや社会生活の上で経験の上に成立たないものはない。ことあらたまって経験工学といわれると何が何だかわからなくなってしまう。ある人にいわせれば経験工学とは非科学的工学のことだそうである。そこまで諸先輩にけちをつけるのも悪いから、舗装が経験工学であるという意味は、“本や理屈で舗装に関する諸々のことはわからない。すべからく現場へ出て実地に体験しなさい”といふ教訓的意味であると解釈することにする。——つまり体験工学であると。技術者は大なり小なり専門分野において、自分の体験を有している。そしてこれらの体験は、その技術の発展の上で重要な働きをしてきた。現在でも技術者の体験が、うまく集約されて、用いられるならば、これほどすぐれた技術はないだろう。しかし体験をうまく集約して技術とすることは、なかなか容易なことではない。というのは体験は主観的なものであり、SICに対する大先生方の見方のように一つの現象に対し、多くの意見があらわれる。

たとえば修正トペカと密粒アスコンのいずれが良いかについて議論がおこる場合が今だにある。Aさんは修正トペカが良いという体験をもち、Bさんは密粒アスコンが良いという体験をもっている。ところがA、B両氏とも自分がやったものが、本当に修正トペカや密粒アスコンであったかどうかについては、チェックを行っていない。現在の施工能力からいえば、修正トペカと思って施工したものが、密粒アスコンであったというような例は、かなり多いのである。主観的判断が極端になると、宗教的色彩さえおびてくる。自分の体験が唯一の正しいものであり、森羅万象すべてを自分に都合のよいように解釈する。こうなると、もはや体験工学即非科学的工学といわれても仕方がない。

そこでSICが臨床の追試により判定されたように、舗装技術の方も理論や実験により、客観的立場から体験を評価しなければならないようになる。客観的立場で評価するにもいろいろな方法がある。たとえばある特種なアスファルト材料が作られた場合、まず物理試験により性状を認め、今までのアスファルトとどのように異なるか、どのような特色があるかを明らかにする。これはグルクロン酸やドリンク剤、あるいはサリドマイド剤が

生化学的に、どのような効果があるか推定されることと同様である。これらの薬の効果に対しけちがつたり、薬禍をまねいたりしたのは、紙の上や試験管の中での現象が、人体内ではそれほど単純な現象として現われなかつたということであろう。新しいアスファルト材料でも、物理試験の結果のみより、その良否、効果を判定することはむつかしい。よく新材料を持ち込んで、物理試験の結果により、このように効果的です、というような言い方をされるが、それではセメントとアスファルトの物理試験結果を比較して、その良否が判定できるかどうかについて反問したい。物理試験の結果がどのように良好であっても、混合物とした場合、舗設した場合、さらに気象、交通にさらした場合、果して良好な結果が得られるかは疑問である。そこで客観的評価の第2段階として、動物実験に相当する各種の室内試験にうつらねばならない。たとえば新しいアスファルト材料により、混合物を作り、その性状を試験することは、動物実験に相当するものであろう。しかし熱病ビールスによるガン退治の例のように、動物実験により認められた効果も、人体に対して必ず有効とはいえない。舗装の場合、各種の室内試験により新材料の良好な性状が認められたとしても、最終的には臨床試験に相当するところの、現場施工試験や試験舗装により直接的な評価が必要となるわけである。AASHO道路試験が巨額の費用を要しながらも、実行に移されたのは、ちょうどソークワクチンが全米的規模で数年にわたって臨床試験されたこと似ている。

一般に医学における臨床試験は数年足らずの間で終了することが多い。舗装の分野でも、現場施工試験は施工直後に判定が下される。しかし試験舗装の結果の判定は一般に10年単位の時間が必要である。もしこの時間を短くしようとすれば、AASHO道路試験のように強制的に結果を得るような方式となるが、これは室内試験の方への一步後退であるとみなされる。つまりサリドマイド剤のような副作用については、よくわからなくなるわけである。

今日までわが国で現場施工試験や試験舗装は数多く行なわれてきた。現場施工試験に類するものを別として、試験結果が十分追跡された試験舗装がどれほどあったであろうか。SICの例のように臨床試験はあとあとまで十分行なわれないと、その効果の判定はできない。

舗装技術の決定的な結論は現場施工試験や試験舗装より導き出されねばならない。そしてそれらの試験は十分計画され過誤のないもので、また十分な追跡を行なうものでなければならない。

MEMO

このページには本号で気のついたことをメモして下さい

社団法人 日本アスファルト協会会員

アスファルトの

御用命は
本会加盟の
生産／販売会社へ

定評あるアスファルトの生産／販売会社は

すべて本会の会員になっております

優れた生産設備と研究から
品質を誇るアスファルトが生み出され
全国に御信用を頂いている販売店が
自信を持ってお求めに応じています

大協石油株式会社(561)5131
丸善石油株式会社(201)7411
三菱石油株式会社(501)3311
日本石油株式会社(502)1111
シェル石油株式会社(212)4086
昭和石油株式会社(231)0311

富士興産株式会社(580)3571
出光興産株式会社(211)5411
共同石油株式会社(580)3711
三共油化工業株式会社(216)2611
三和石油工業株式会社(270)1681
ユニオン石油工業(株)(211)3661

朝日瀝青株式会社
アスファルト産業株式会社
恵谷産業株式会社
富士鉱油株式会社
富士商事株式会社
泉州石油株式会社
株式会社木烟商会
三菱商事株式会社
マイナミ貿易株式会社
株式会社南部商会
中西瀝青株式会社
新潟アスファルト工業(株)
日米礦油東京支店
日東商事株式会社
日東石油販売株式会社
瀝青販売株式会社
菱東石油販売株式会社

中央区日本橋小網町2の2
東京都中央区京橋2の13
東京都港区芝浦2の4の1
東京都港区新橋4の26の5
東京都港区麻布10番1の10
東京都千代田区丸の内1の2
東京都中央区西八丁堀2の18
東京都千代田区丸の内2の20
東京都港区西新橋1の4の9
東京都千代田区丸の内3の4
東京都中央区八重洲1の3
東京都港区新橋1の13の11
東京都中央区日本橋室町2の4
東京都新宿区矢来町61
東京都中央区銀座4の5
東京都中央区日本橋江戸橋2の9
東京都千代田区外神田6の15

大協
シエル
シエル
丸善
富士興産
出光
日鉱
三石
三エ
日石
昭石
昭石
昭石
昭石
昭石
シエル
日石
昭石
昭石
昭石
昭石
三出
三光石

◎アスファルトの御用命は日本アスファルト協会の加盟店へどうぞ◎

株式会社沢田商行	東京都中央区入船町1の17	(551) 7131	丸善
東新瀬青株式会社	東京都中央区日本橋江戸橋2の5	(273) 3551	石日アジ
東京アスファルト株式会社	東京都千代田区内幸町2の22	(501) 7081	石三共油化
東京菱油商事株式会社	東京都新宿区新宿1の54	(352) 7728	大協・三和
東生商事株式会社	東京都渋谷区上通2の5	(409) 3801	石三丸
東洋国際石油株式会社	東京都中央区日本橋本町4の9	(270) 1811	石善
東光商事株式会社	東京都中央区八重洲5の7	(281) 1175	石協
梅本石油東京営業所	東京都港区麻布10番1の10	(583) 8636	石善
京浜礦油株式会社	横浜市鶴見区向井町4の87	(52) 0621	石協
朝日瀬青名古屋支店	名古屋市昭和区塩付通4の9	(851) 1111	石石
株式会社名建商会	名古屋市中区宮出町41の2	(241) 2817	石善
中西瀬青名古屋営業所	名古屋市中区錦1の20の6	(231) 0501	石善
株式会社沢田商行	名古屋市中川区富川町3の1	(361) 3151	石善
株式会社三油商會	名古屋市中区丸の内2の1の5	(231) 7721	石善
三徳商事名古屋営業所	名古屋市中村区西米野1の38の4	(481) 5551	石善
ピチュメン産業株式会社	金沢市有松町26	(42) 2211	石ル
朝日瀬青大阪支店	大阪市西区南堀江5の15	(531) 4520	エ協
枝松商事株式会社	大阪市北区葉村町78	(361) 5858	光出
富士アスファルト販売(株)	大阪市西区京町堀3の20	(441) 5159	富士興産
平和石油株式会社	大阪市北区宗是町1	(443) 2771	シエル
川崎物産大阪営業所	大阪市北区堂島浜通1の25の1	(361) 8551	昭石・大協
松村石油株式会社	大阪市北区絹笠町20	(361) 7771	丸善
丸和鉱油株式会社	大阪市東淀川区塚本町2の22の9	(301) 8073	善
三菱商事大阪支社	大阪市東区高麗橋4の11	(202) 2341	石
中西瀬青大阪営業所	大阪市北区老松町2の7	(341) 4305	石
日本建設興業株式会社	大阪市東区北浜4の19	(231) 3451	石
(株)シエル石油大阪発売所	大阪市北区堂島浜通1の25の1	(363) 0441	エル
三徳商事株式会社	大阪市東淀川区新高南通2の22	(391) 1761	昭
梅本石油株式会社	大阪市東淀川区新高南通1の28	(392) 0531	丸善
山文商事株式会社	大阪市西区土佐堀通1の13	(441) 0255	石
株式会社山北石油店	大阪市東区平野町1の29	(231) 3578	善
北坂石油株式会社	堺市戎島町5丁32	(2) 6585	ル
株式会社小山礦油店	神戸市生田区西町33	(3) 0476	善
入交産業株式会社	高知市大川筋90	(3) 4131	富士・ジエル
丸菱株式会社	福岡市上士居町22	(28) 4867	エル
畑礦油株式会社	北九州市戸畠区明治町5丁目	(87) 3625	丸善
共栄石油株式会社	福岡市箱崎飛島4,112	(65) 7831	昭