

# アスファルト

第34巻 第168号 平成3年7月発行

## 168

### 特集・自動車と道路舗装

特集にあたって	橋本鋼太郎	2
道路と自動車	松村 哲男・福田 敬大	4
自動車の性能	沼尻 到	10
道路とタイヤ性能	林 宏	17
人間工学からみた道路と自動車運転	大久保堯夫	26
車に乗って道路を走行すると	相川 潔	39
アスファルト舗装路面にとっての環境の変化について		
	鶴窪 廣洋	44

### 〈報文〉

硫黄を使った舗装材料	吉野 隆	50
〈アスファルト舗装技術研究グループ・第8回報告〉		
アスファルト舗装工学を目指して(5)	姫野 賢治	57
舗装の力学		
伊藤 達也・梅野 修一・岡藤 博国	58	
金井 利浩・横山 稔・吉村 啓之		

### 〈用語の解説〉

再生アスファルト	小島 逸平	68
耐久性	高橋 正明	69
〈統計資料〉石油アスファルト需給統計資料		70
主な石油アスファルト製造用原油の輸入状況		72

## ASPHALT

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

# 第64回アスファルトゼミナール開催のご案内

恒例の弊協会主催「第64回アスファルトゼミナール」を下記により開催することとなりました。会員各位及び関係者多数ご参加下さるようご案内申し上げます。

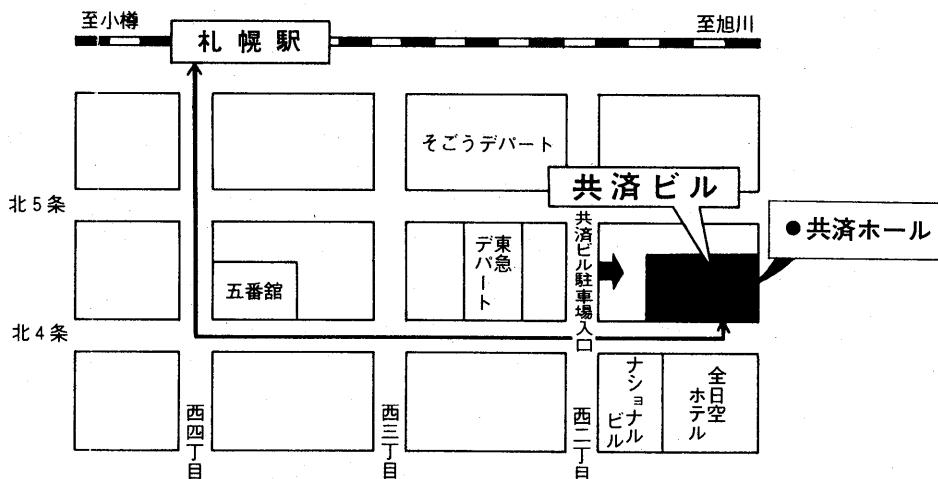
なお、詳細につきましては、確定次第ご案内申し上げます。

## 記

1. 開催日時 平成4年2月4日(火)

2. 開催場所 札幌市「共済ホール」(地図参照)

なお、開催当日は、札幌雪祭り(2月5~11日)の前日にあたり、宿泊施設・航空券等の取得が困難であることが予想されますので、参加ご希望の方は、お早めにご手配願います。



## 特集にあたって

橋本鋼太郎  
建設省道路局企画課長

### 自動車交通の時代

1886年、ダイムラーとベンツにより、実用的な自動車の第1号が作られて、概そ100年がたった。ドイツ・フランスを中心に技術改良の進められた自動車技術は、20世紀に入って、「誰もが持ち、使いこなし得る自動車」を目指したアメリカで開花した。欧米においては、経済社会が、自動車交通に係る技術開発を中心に展開されてきたという言葉が誇張とも思われない程に、「20世紀は自動車交通の時代」と言えよう。

国内に目を向けてみると、1899年にはフランスからガソリン自動車を購入、1903年には広島と京都でバス事業が開始、1907年には日本で最初のガソリン自動車の製作が行なわれるなど、欧米の技術が思ったより早い段階から導入されていた。

一方当時の我国の交通政策をみると、1872年の新橋・横浜間における最初の鉄道の開通、引き続いて1889年の東海道本線、1891年の東北本線の開通など、自動車が輸入された当時すでに4000km余の鉄道整備が進められていた。その後も国策として鉄道整備が重点的に進められ、我国の道路交通は欧米に比べて大きく立ち遅れることとなつた。

我が国が本格的な自動車交通時代に足を踏み入れるのは、昭和30年代に入ってからと言える。昭和29年第1次道路整備五ヶ年計画がスタートし、昭和30年代初期には、神風タクシー、カミナリ族という流行語の他、みどりのおばさんが登場するなど、我国の自動車交通時代は急激な進展をみせた。

昭和30年100万台にも達していなかった自動車保有台数が今や6,000万台近くに達し、貨物輸送のシェアがトンキロで12%から51%へ、旅客輸送では人キロで17%から66%へと増大してきた。

この様な交通需要の増大に対応し道路整備に関する五ヶ年計画も逐次改訂され、現在第10次五ヶ年計画が進められている。道路の整備水準は依然として、欧米諸国に比して低い水準に留まっているが、昭和30年から現在までの間、1万kmにも満たなかつた国・県道の舗装延長も16万kmを越え、道路面積が国土面積の1.5

%、東京都区部で15%近くに達するまでになっている。

自動車交通は自由度の高い交通手段であり、その進展は我々の行動圏域を飛躍的に拡大させた。また人流・物流の両面において、その機動性・利便性は、社会全体の効率化という面で極めて大きな効果をもたらした。

一方、自動車の急激な普及と、道路施設や交通道德、ハード・ソフト両面におけるインフラとの不均衡は、「個人の効用の増大」が「社会の効用の増大」という図式を崩し、自動車騒音や大気汚染といった環境問題、年間10兆円の損失にも匹敵すると言われる交通渋滞、年間1万人をも上回る死者につながる交通事故、都市環境の悪化など、大きな社会問題も引き起した。

この様な社会問題に加え、石油を巡る経済問題は、我国経済の先行きに対し、大きな不安をもたらした。しかしこの様な不安がバネとなって、我国の自動車技術の開発に拍車がかかり、自動車産業は、国内における代表的な基幹産業としての地歩を固めるとともに、世界における30%の生産シェアを占め、我国を最大の自動車生産国に押し上げるまでになった。

我国の道路舗装技術も、道路整備の進捗に歩を合わせ、大量の自動車交通を支える重交通用の舗装の築造、簡易舗装など経済的な舗装築造技術、耐久性向上の為の舗装材料の開発といった面で長足の進歩を遂げた。しかしその技術の進展は、自動車交通を支えるといった物理的観点からの技術開発に留まっていた様に思える。今後は利用者の利益の増進という社会的観点がさらに必要であろう。

### 21世紀に向けての流れ

自動車交通の時代とも言われる20世紀も余す所10年となった。昨今21世紀を展望した議論が盛んである。高齢化、情報化、ソフト化、国際化、都市化などが、我国社会・経済のメガトレンドとして指摘されている。

この様なメガトレンドの中、「より豊かな生活」を求める国民の指向は、工業化社会が生み出した機能合理主義から脱却し、より人間的な温みのあるもの、文化的

なもの充実へと高まっていくと言われている。

人間的・文化的なものへの指向が、工業化社会が生み出した物質文明の否定や軽視を意味するものではない事に注意しておく必要があるが、国民の指向は、ハードウェアの豊かさとその高度化を前提とした上で、ハードウェアの作り方、使い方に対し、多様性を求めていると考えられる。

20世紀の道路交通は、ダンプや貨物トラックからバス、乗用車更には歩行者、自転車と、全ての交通が一本の道路を利用する混合交通の時代であった。社会が複雑化、多様化する中で、混合交通は交通弱者という言葉を生みだした。

21世紀は、機能の分離の時代から融合の時代へ移行すると言われている。しかし道路交通の分野に関しては、ハード・ソフト両面において、未だ十分な社会基盤が形成されておらず、道路の構造や利用の仕方において、従来の機能主義を更に発展させ、機能的にすぐれた道路ネットワークづくりを進め、その結果人と車が共生できるシステムを作り上げていく事が最も肝要なことである。

この様なパラダイムの中で、道路利用者の多様なニーズに応え、サービスや機能の多様化を目指し、真に愛される道路づくりに総合的な取組が求められる。この様な視点から次の様な課題が、今後重視されねばならないであろう。

#### (道路の情報化)

道路の最大の機能は交通機能であり、21世紀においても、人や物の移動の中心は道路という事になろう。

近年長足の進歩を遂げる電子・通信・情報処理技術により、道路の情報化が可能な時代を迎えつつある。欧米諸国では、高度情報機能を備えた新しい自動車交通システムをインフォ・モビリティ (info-mobility) と呼び、この新しい概念目標の下に、産・官・学の共同プロジェクトとして、経路誘導、障害物検知、運転支援など高度なサービスの提供を目指したシステム開発が進められている。

道路の情報化は、道路を単なる交通の為の空間から、道路利用者とシステム化された空間へと変えることとなる。システム化された道路交通は、自動車交通の安全性、快適性、効率性を飛躍的に高めることは勿論、複雑で理解困難なバス経路、停留所でいつ来るとも判らないバスを待つ侘しさ、満員で目の前を通りすぎるバスを見送る苛立しさ、この様なバス交通に対する不

満をも一挙に解消してくれるであろう。

#### (交通のネットワーク化)

交通は単に人や物の輸送手段に留まらず、新しい文化を生み出す為の交流を支える基盤であるとの認識が高まっている。この意味からより遠くまで、より早く、より快適にといった交通システムの創造が、人間の永遠の課題とも言われている。

21世紀に向けて、太平洋横断の為の新オリエント特急などの構想、国内での超高速リニア鉄道の開発など高速交通への夢が広がっている。高速交通への期待が高まる程、各種交通機関の連携、ネットワーク化といった課題が浮彫にされてくる。

あらゆる交通の基礎となる道路交通には、それ 자체のネットワーク化は勿論、他の交通手段とのネットワークの強化など、全体としての交通の質的向上が望まれる。

#### (道路のアメニティ)

道路には交通機能とともに空間機能という大きな役割が期待されている。諸外国に比べるとまだ劣弱ではあるが、主要な都市での道路の面積は15%程度にまで高まり、都心3区では20%を上回る水準となっている。

道路空間は、街のたたずまいを形成し、散歩やジョギング、サンクリングを楽しむ空間でもある。この空間は、貴重な緑を提供するとともに街の風景となって、街の風情や風格、或は街の気候をもつくり出している。

環境、景観、防災、文化の保存などいわゆるアメニティ増大の観点からは、道路の空間を、道路沿道にまで拡げ、純粋な公有地でも民有地でもない境界の空間の創出が、潤いづくりに必要だとされる。

道路空間内のデザインに対する工夫や材料の技術開発といった面は勿論の事、道路と沿道との一体整備、公開空地の確保、住民参加型の道路管理などソフト面での多様な取組みも求められている。

20世紀の自動車交通時代は、道路=車というイメージであり、騒音、排気ガスを連想させてきた。21世紀には、道路という言葉から、車社会、生活、さらには街の風景、情報、出会い、文化などが連想される道づくり、街づくり、国づくりを進める必要があり、ハード、ソフト両面における、総合的な取組みが求められている。

# 道 路 と 自 動 車

松 村 哲 男\*・福 田 敏 大\*\*

## 1.はじめに

道路の建設の際、経済、安全、環境等様々な面からの検討が行われるが、路線計画後の幾何構造設計は「道路構造令」に従って行われている。現在の道路設計は「安全、円滑、快適」といった道路の機能を發揮するために、運動力学だけでなく人間工学も考慮にいれた手法を用いており、ここでは道路構造令を中心に幾何構造設計の主要点をまとめてみた。

### 1.1 設計車両

#### 1.1.1 設計車両の種類と諸元

道路の構造設計は車両の諸元と密接な関係にある。自動車の種類および諸元については、道路構造令では道路運送車両法に準拠し、道路構造の設計の基礎とな

る設計車両として小型自動車、普通自動車およびセミトレーラ連結車の3種類をとりあげ、それぞれの車両の諸元を規定している（表-1、図-1参照）。

#### 1.2 道路の区分と設計速度

##### 1.2.1 道路の区分

道路構造令では道路の構造基準という観点から、道路の区分を規定している。道路が地方部にあるか都市部にあるかに応じ、また、自動車専用道路であるか一般道路であるかに応じて第1種から第4種までに区分され、さらに各種ごとに級別に区分されている（表-2参照）。

表-1 設計車両の諸元

設計車両	諸元(m)	長さ	幅	高さ	前端 オーバーハング	軸距	後端 オーバーハング	最小回転半径
小型自動車	4.7	1.7	2	0.8	0.2	2.7	1.2	6
普通自動車	12	2.5	3.8	1.5	6.5		4	12
セミトレーラ連結車	16.5	2.5	3.8	1.3	前軸距4 後軸距9		2.2	12

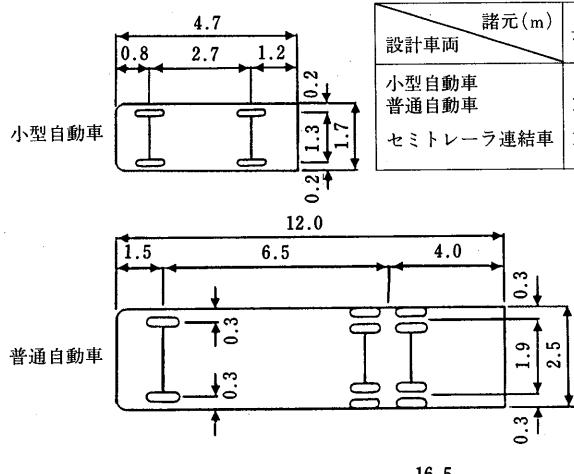


表-2 道路の区分

	地方部	都市部
高速自動車国道及び 自動車専用道路	第1種	第2種
その他の道路	第3種	第4種

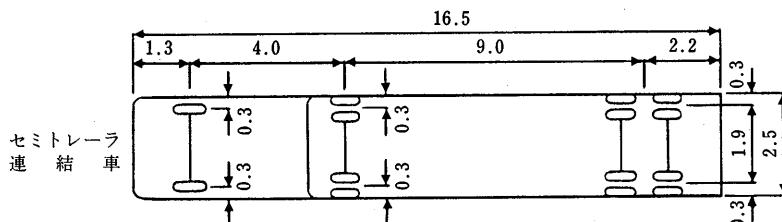


図-1 車両の諸元（単位：m）

\*まつむら てつお

建設省土木研究所道路研究室長

\*\*ふくだ ひろゆき

建設省土木研究所道路研究室研究員

### 1.2.2 設計速度

設計速度は、道路の設計の基礎となる自動車の速度である。すなわち、道路の構造面から考えれば、設計速度とは「自動車の走行に影響を及ぼす道路の物理的形状（曲線半径、片勾配、視距など）を設計し、これらを相互に関連づけるために定められた速度」であるといえる。また、車両の走行面からみた場合には、「天候が良好でかつ交通密度が低く、車両の走行条件が道路の構造的な条件のみに支配されている場合に、平均的な運転者が安全にしかも快適性を失わずに走行できる速度」であるといつてよい。

設計速度の値は、道路の種類、区分、地形の状況等に応じて、表-3のように規定されている。

表-3 設計速度、車線幅員、路肩幅員

道路の種級		設計速度 (km/h)	車線幅員 (m)	路肩幅員(m)	
				左	右
第1種	第1級	120	3.50	2.50	1.25
	第2級	100	3.50	2.50	1.25
	第3級	80	3.50	1.75	0.75
	第4級	60	3.25	1.75	0.75
第2種	第1級	80	3.50	1.25	0.75
	第2級	60	3.25	1.25	0.75
第3種	第1級	80	3.50	1.25	0.50
	第2級	60	3.25	0.75	0.50
	第3級	60, 50, 40	3.00	0.75	0.50
	第4級	50, 40, 30	2.75	0.75	0.50
	第5級	40, 30, 20	4.0, 3.0	0.50	0.50
第4種	第1級	60	3.25	0.50	0.50
	第2級	60, 50, 40	3.00	0.50	0.50
	第3級	50, 40, 30	3.00	0.50	0.50
	第4級	40, 30, 20	4.0, 3.0	0.50	0.50

※表中の数値はすべて標準値

## 2. 横断面の構成

### 2.1 車線幅員

車線の幅員は対向車とのすれちがいや、追越しあるいは並走に対して十分な余裕をもつものでなければならぬ。しかし、極端に広い車線を用いると、2車線道路でありながら、事実上3車線で走行する事態が生じるおそれがある。道路構造令では、設計速度、交通量を考慮して車線の幅員を表-3に示すように定めている。

### 2.2 中央帯

道路構造令では、車線数が4以上である第1種、第2種または第3種1級の道路（対向車線を設けない道路を除く）には必ず中央帯を設け、車線を往復の方向別に分離するよう規定してある。その他の道路において

は必ずしも設置を義務づけていないが、中央帯は対向車線への逸走による重大な事故、Uターン、ならびに夜間走行時の眩光等を防止するばかりでなく、平面交差点をもつ道路においては中央帯の幅を利用して右折車線を設けることもでき、交通流の乱れをなくして安全性を高めることができるので、上記以外の4車線以上の道路においても中央帯を設けることが望ましい。

### 2.3 路肩

路肩は、車道あるいは歩道等に接続して設けられる帶状の道路の部分であり、道路の主要構造部を保護するとともに、車両の走行に必要な側方余裕を確保し、または故障車等が非常駐車に利用できるなど多くの機能を有している。

路肩の幅員は表-3に示すように道路構造令でその最少値が決められている。また、路肩の構造はその機能上、自動車の荷重に耐え得るとともに、歩行車、自転車が容易に通行できるように舗装するものとされている。

## 3. 線形と制動停止距離

### 3.1 線形一般

道路の線形は平面線形と縦断線形より構成されているが、そのおのおのには平面線形要素（直線、円曲線、緩和曲線）と縦断線形要素（縦断勾配、縦断曲線）がある。

線形の設計に際して考えなければならない原則的事項としては、次のようなものが挙げられる。

(1)自動車について、運動学的にもしくは力学的に安

全快適であるかどうか。

(2)視覚的にもしくは運転心理的にみて良好であるかどうか。

(3)環境もしくは風景との調和がよいかどうか。

(4)地質、地形、地物などといった制約条件からみて、施工上、また経済的に妥当かどうか。

(5)個々の線形だけでなく、一連の線形の連続性が保たれているかどうか。

### 3.2 平面線形の要素と設計

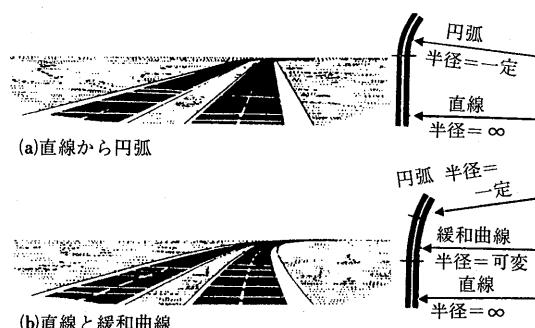
水平面の中で描く道路の線形（平面線形）の要素としては、直線、円曲線、緩和曲線の3つがある。

直線は現地に設定するのが容易で、最短距離を示すという特性を有しているが、運転者からみた直線部の風景はまったく静的で単調であり、運転者は過度のスピードを出しがちである。そのため、長すぎる直線は避けるなどその長さのとり方、用い方に注意しなけれ

ばならない。

円曲線は現地に設定しやすく、方向の変化を自然に示す。円曲線を走行する際、景観は次々と変化する動的なものとなる。このため、ゆったりした適度の円曲線を用いる場合には、運転者に常に新しい刺激が加えられて走行は変化の多いものとなり、運転者の注意を喚起して自然にハンドルを引きしめさせる。適度な半径の円曲線部に事故が少ないのでこの理由による。しかし、あまり小さい半径を用いるとハンドル操作が追いつかず危険であるとともに、意図的に挿入された曲線の連続は運転者の疲労につながるため注意しなければならない。

直線も円曲線もそれ自体では何ら不連続性の問題は生じないが、この2つが接続すると問題となる。それは、この接続点で直線が円曲線に突然変化するためであって、その曲率の差がある限界をこえると、運転者に急激な遠心加速度の変化を感じさせて不快であるばかりか、視覚的にも線形が折れ曲がってみて滑らかさを欠く(図-2参照)。したがって、曲率が徐々に変わり直線と円曲線を滑らかに結びつけ、遠心力による衝撃などを緩和する曲線が必要である。このように直線と円との間に介在し、両者を結びつける働きをする曲線を緩和曲線といい、クロソイド曲線が多く用いられている(図-2参照)。



## 図-2 緩和曲線

### 3.3 最小曲線半徑

曲線部における道路中心線の曲線半径は、各設計速度に応じて表-4の左欄に示す「望ましい最小値」以上とする。しかし、地形その他の理由によりやむを得ない場合には、付すことのできる最大片勾配(表-4)に応じて表-4に示すような値まで縮小することができる。曲線半径の大きさは、設計速度、横すべり摩擦係数、片勾配の3つの量の関係を示す次式より求められる。

$$R = \frac{V^2}{127(i+f)} \dots \dots \dots \quad (3.3.1)$$

二十一

R : 曲線半径 (m)

V：設計速度 (km/h)

i : 片勾配

$f$  : 横すべり摩擦係数

すなわち、式(3.3.1)において、とりうる最大の片勾配( $i$ )と横すべり摩擦係数( $f$ )を定めれば、与えられた設計速度( $V$ )に対する最小曲線半径が求まる。とりうる最大の片勾配の値は、気象条件、地形地域の特性を考え、6~10%の範囲(表-4参照)、横すべり摩擦係数は、設計速度に応じ、0.10~0.15の範囲で定められている。

また、望ましい値は片勾配が5%程度となる曲線半径で、実際上それほど無理なく用いることのできる値である。設計速度80km/h以上の高速道路についていえば、用いられている曲線半径の90%以上が表-4に示す望ましい値以上となっている。特に1,000~3,000mの曲線半径が多用されており、経験上この範囲のものが高速道路では最も走りやすく事故も少ないといえる。

表-4 最小曲線半徑、緩和区間長、制動停止距離

設計 速度 (km/h)	最小曲線半径(m)					緩和 区間 長 (m)	標準 最急 勾配 (%)	縦断 勾配 の特 例値 (%)	制動 停止 距 離 (m)				
	標準	望ま しい 値	特別の理由があ る場合付すこと ができる最大勾 配の値										
			6%	8%	10%								
120	710	1000	710	630	570	100	2	5	210				
100	460	700	460	410	380	85	3	6	160				
80	280	400	280	250	230	70	4	7	110				
60	150	200	150	140	120	50	5	8	75				
50	100	150	100	90	80	40	6	9	55				
40	60	100	60	55	50	35	7	10	40				
30	30	65	—	—	—	25	8	—	30				
20	15	30	—	—	—	20	9	—	20				

### 3.2.2 曲線半径の大きさと片勾配

円曲線半径の大きさと片勾配との関係は、やはり式(3.3.1)から求められる。この場合、式(3.3.1)の*i*と*f*については、最小半径を規定したときの許容最大の*i*値、*f*値を上限として、この両値を適当に配分することにより最小曲線半径以上の曲線半径に見合う片勾配を決める。

曲線半径が非常に大きい場合には、必ずしも片勾配を付す必要はない。

### 3.4 緩和曲線

### 3.4.1 緩和区間

自動車が直線から曲線部に、または大円から小円部に円滑に走行していくためには、曲率、横断勾配、および幅員のすりつけのために、緩和区間を設ける必要がある。

この緩和区間は必ずしも緩和曲線部と一致する必要はないが、曲率のすりつけは必ず緩和曲線により行われ、横断勾配のすりつけも緩和曲線内で行われることが多い。このため、緩和曲線の最小の大きさまたは長さを決定する要因としては、曲率と横断勾配の条件が適用される。

「道路構造令解説」で定められた緩和区間の長さは、表-4に示すとおりである。

### 3.4.2 クロソイド曲線

#### (1) クロソイド曲線の性質

クロソイド曲線は、自動車が一定速度で走行しているとき、一定の角速度でハンドルをきる場合に描く軌跡である。クロソイドによる緩和曲線は、曲率の差による不連続性を緩和するという本来の役目のほかに、

- ・自動車の走行特性に合致する。

- ・クロソイド曲線を用いることにより線形が見た目に美しく抵抗感がなくなる。

- ・地形に合わせやすく経済的な線形とすることができる。

等の優れた特性をかねそなえている。クロソイドの緩和曲線としての利用は鉄道に始まり、ドイツのアウトバーン建設に際してその優秀性が認められ、日本では、世銀コンサルタンツであったドルシュ氏が、名神高速道路の建設に際しドイツから導入して急速に使用されるようになった。

#### (2) クロソイドの基本式

クロソイドは、曲率（曲線半径の逆数）が曲線長に比例して一様に増大する曲線である。すなわち、 $R$ を曲線半径、 $L$ を曲線長とするとき、

$$1/R = C \cdot L \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (3.4.1)$$

なる関係が成立する曲線である。ただし、 $C$ は定数である。式(3.4.1)を曲線、円と比較すると、直線は曲率が常に0の線( $1/R=0$ )であり、円は曲率が一定の線( $1/R=\text{一定}$ )である。図-3にこれらの関係を示した。

式(3.4.1)の関係を書き直すと、 $R \cdot L = 1/C$ （一定）となるが、ここで、両辺のディメンションをそろえるために、 $1/C$ の代わりに $A^2$ とおくと、

$$R \cdot L = A^2 \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (3.4.2)$$

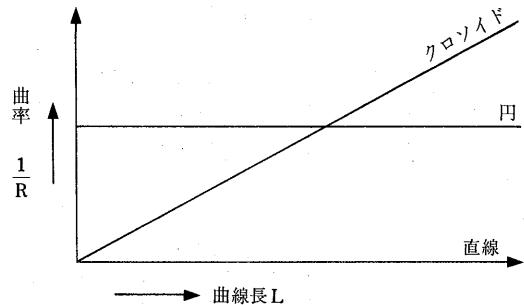


図-3 曲率図

なる関係が成り立ち、これをクロソイドの基本式と呼ぶ。この $A$ をクロソイドのパラメーターといい、 $A$ は長さのディメンションをもつ。すべてのクロソイドは相似であり、 $A$ は拡大率であることができる。

### 3.5 縦断面線形の要素と設計

縦断線形の要素としては、直線と2次放物線の2つがある。直線は一様勾配区間であり、2次放物線は視距の確保と自動車の衝撃緩和のために勾配の変化点に挿入される縦断曲線である。一般に縦断勾配はゆるいほどよいが、勾配が全くないのもよくない。排水設備の設計上、最小0.3~0.5%の勾配は確保するのが望ましい。

#### 3.5.1 縦断勾配

縦断勾配は自動車の登坂能力を考えて決定する。道路構造令で定める標準最急勾配の大きさは表-4に示すとおりである。しかし、地形その他の条件によりやむを得ない場合には、制限長を越えない範囲で特例値まで縮小することができる。特例値の制限長を越えてなお当該勾配が続く場合には、登坂車線を設けなければならない。

これら許容最急勾配および制限長は、乗用車の場合は平均速度で、また、トラックの場合はほぼ設計速度の1/2の速度で走行できるように定められている。

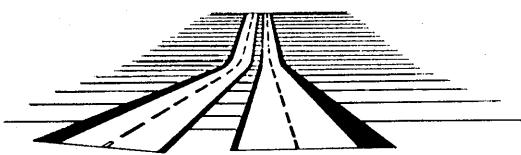
縦断勾配は、同じ設計速度区間にについて、できる限り均一な走行状態が得られるように設定しなければならない。

#### 3.5.2 縦断線形の設計

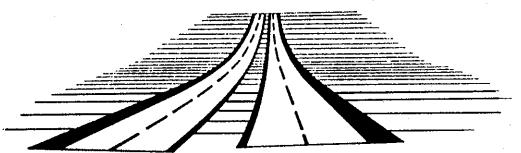
設計の一般方針は以下のとおりである。

(1) 縦断曲線半径はなるべく大きくとったほうがよい。規定の最小値をわずかに越えるような小さな縦断曲線では、視覚的連続性をうることは難しい（図-4）。

(2) 線形は、地形に応じて滑らかなものとしなければならない。また、短い距離で多くの凹凸を示す線形



(a) 前方の凹型縦断曲線が小さいために道路が折れて見える。



(b) 前方の凹型縦断曲線の径を大きくしたなめらかな線形

図-4 縦断勾配の大きさの差による視覚的効果

もよくない。

- (3) 足元と先が見えて中間がくぼんで見えない線形は避けなければならない(図-5)。このような線形は平面線形が比較的直線である場合に生ずるのが普通であって、一連の線形が中断され視覚的に不快であるとともに、くぼみがたとえ小さくとも運転者は追越しをためらったりするので望ましくない。

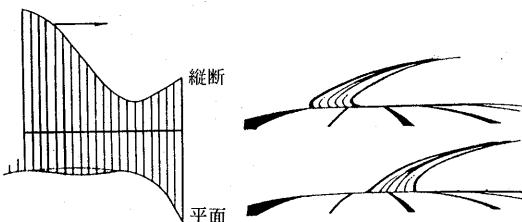


図-5 中間部が見えなく、とぎれた線形

- (4) 同方向に曲がる2つの縦断曲線の間に短い直線勾配を設けることは避けなければならない。特に、凹型縦断曲線の場合には、短い直線勾配区間が盛り上がりで見えるので注意しなければならない。このような線形をブロークンバックカーブと称する(図-6参照)

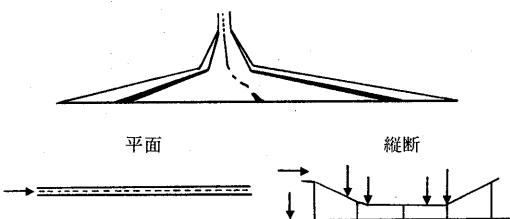


図-6 ブロークンバックカーブ

- (5) 直線部の凹型縦断区間は、特に両端の勾配部が急

であると錯覚により過度の速度を出しやすく、事故が多発する傾向があるので、縦断勾配をなるべくゆるやかにするか、逆に平面線形を変更してゆるい曲線を挿入するのがよい。

### 3.6 立体線形設計上の基本則

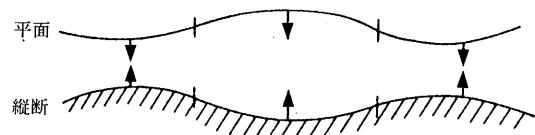
立体線形設計に際しては、自動車の運動力学的な要素のみならず、運転者の視覚的、心理的因素に対して十分な考慮が必要である。

立体線形設計上の基本則としては、次の3点があげられる。

#### (1) 運転者を自然に、視覚的に誘導する線形

平面曲線と縦断曲線を重ね合わせることにより、運転者を視覚的に誘導する効果が得られ運転者の目から見て滑らかな美しい線形とすることができる。平面曲線と縦断曲線を重ね合わせ1対1に対応させ、平面曲線の変曲点と縦断曲線の変曲点がほぼ同じ位置にくるように設計することにより視覚的にも、排水上、走行力学的にも好ましい線形となる(図-7参照)。

#### (1) 1対1に対応している場合



#### (2) 位相がずれている場合

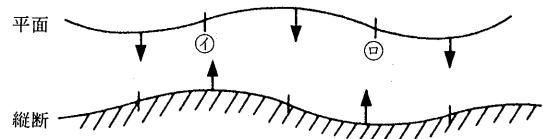


図-7 平面曲線と縦断曲線の対応

#### (2) 平面線形と縦断線形の均衡

平面曲線と縦断曲線とは、片方が大きくゆるやかで、他方が変化が多く小さなものにならないよう注意すべきである。このような線形にすると、工費的な無駄を生ずるばかりか、一つの縦断曲線の中に二つ以上の平面曲線が含まれたり、その逆が生じたりして線形の小さい方が必要以上に強調されて見えて、視覚的なバランスも失われる。平面・縦断両曲線を重ね合わせ、平面曲線が縦断曲線を先導するという前記原則を守るようにすれば、ほぼ両線形の均衡は保たれる。経験によれば、平面曲線と縦断曲線の大きさの割合は平面曲線の曲線半径に対し縦断曲線のそれが10~30倍程度のとき、ほぼ均衡がとれるといわれている。

### (3) 合成勾配の大きさ

横断勾配と縦断勾配が合成された合成勾配については、値が過大にならぬようにしなければならない。急な縦断勾配のところで小さな平面曲線が挿入される場合は合成勾配が過大となり、運転上の誤りが生じやすく、特に冬季の凍結時に危険である。合成勾配の最大値は10%とし、できれば8%以下とすることが望ましい。

逆に、合成勾配が過小となると、排水がすみやかに行われず、車両の水しぶきが高速運転を阻害する。平地といえども合成勾配は最低0.3%，できれば0.5%を確保するようにしなければならない。合成勾配は、なるべく小さい方がよいという誤った先入観は捨てるべきである。

## 4. 制動停止視距

制動停止視距とは、設計速度に応じた走行速度（設計速度の85~100%の速度）で走行してくる車が、車線の中心線上1.2mの高さから当該車線の中心線上にある高さ10cmの障害物を発見して、障害物の手前で安全に停止するのに必要な距離をいい、当該車線の中心線に沿って計った長さで表示する。その長さは、対象物を認めてから制動に移るまでの空走距離と、制動だけに要する距離とを加え合わせたものであり、次式で算出される。

$$S = \frac{V}{3.6}t + \frac{V^2}{2gf(3.6)^2}$$

ここに、

S：制動停止視距 (m)

V：速度 (km/h)

t：反応時間 (2.5sec)

=判断時間 (1.5sec) + 反応時間 (1.0sec)

g：重力加速度 (m/sec<sup>2</sup>)

f：縦すべり摩擦係数

制動停止視距は、路面が湿潤状態である場合を想定して求められており ( $f = 0.29 \sim 0.44$ )、その規定値は表-4に示すとおりである。

停止視距は、対向交通の車道、一方通行の車道いずれの場合にも、道路の全長にわたり常に確保されなければならない。

## 5. 積雪寒冷地の道路構造

積雪寒冷地においては、冬期に路側の堆雪により側方余裕幅の減少や幅員の狭隘化をきたし、さらにわだ

ちの発生や、タイヤと路面のすべり摩擦抵抗の低下により走行性が著しく悪化する。タイヤと路面のすべり摩擦抵抗の減少は制動停止距離に大きな影響を及ぼし、凍結路面における制動停止距離は、 $f = 0.15$ とした場合表-5のとおりである。さらに凍結路面で急ブレーキをかけた場合、タイヤがロックし、横すべりが発生しやすく、安定性に欠ける。

表-5 制動停止距離

設計速度 (km/h)	湿潤状態			氷結状態		
	走行速度 (km/h)	f	制動停止 距離 (m)	走行速度 (km/h)	f	制動停止 距離 (m)
120	102	0.29	210	—	—	—
100	85	0.30	160	—	—	—
80	68	0.31	110	60	0.15	135
60	54	0.33	75	50	0.15	100
50	45	0.35	55	40	0.15	70
40	36	0.38	40	30	0.15	45
30	30	0.44	30	20	0.15	25
20	20	0.44	20	20	0.15	25

\*氷結時の制動距離はスノータイヤ、チェーンを装着している場合

### 5.1 幅員構成

積雪寒冷地では道路交通を確保するために除雪作業が行われる。そのため、積雪地域の実情に合わせて堆雪幅を確保する。

### 5.2 線形

積雪寒冷地における縦断勾配は、坂路で発進するような場合に路面の状況によって発進不可能になったり、降坂時のスリップ等による事故を防止するためにも、できるだけ急勾配の値を用いるのは避けるべきである。このため積雪寒冷地においては、一般的に最急勾配値を8%程度におさえ、冬期交通が多いと予想される場合には6%程度でおさえるべきである。

また、曲線部では走行性の面から曲線半径をできるだけ大きく、片勾配を小さくすることが望ましい。曲線部では積雪寒冷地の冬期における自動車の走行速度は最大60km/hとして設計している。道路構造令では発進時や制動時の安全性を考え、最大片勾配は8%以下、積雪寒冷地の度がはなはだしい地域では6%以下とし、最大合成勾配を8%以下とするように規定している。

### 参考文献

- 「道路構造令の解説と運用」 日本道路協会  
 「道路ハンドブック」 建設産業調査会

# 自動車の性能

沼 尻 到\*

## 1. まえがき

自動車は決まった軌道やダイヤを持たず、また航空機や船舶、鉄道のように特別に訓練された操縦士ではなく、短期間の訓練で得た運転免許を持つことによって比較的の自由に運行できるのが特徴である。

道路と自動車は深い関わり合いをもっている。道路があつてはじめて自動車が運行できるのであり、戸口から戸口へという自動車最大のメリットが活きてくる。ここでは、自動車の性能について、道路と関連させながら述べることにする。

## 2. 自動車技術の歴史

自動車の性能と道路の関わりを理解し易くするために、自動車技術の歴史をみてみることにしよう。

### 2.1 胎動期（1945～1952年）

第二次世界大戦の敗戦により、日本は連合軍の支配下におかれ、乗用車は生産制限を受けていた。1950年には、朝鮮戦争が勃発し、日本の自動車産業はアメリカ軍のトラックやジープの製造、修理を受け持ち、これが弱体だった企業力回復の契機となった。

### 2.2 外国技術導入期（1953～1959年）

ポツダム勅令の失効後、遅れていた乗用車の技術を急速に取り戻すために、日産自動車はイギリスのオースチン（1952年12月）、いすゞ自動車はイギリスのヒルマン社（1953年3月）、日野自動車はフランスのルノー社（1953年3月）とそれぞれ技術提携に踏み切った。

これは、当初、各部品を相手国から輸入して組み立てる段階から始まり、次第に国産化率を増やして、7年間で完全国産化しようという内容であった。

現在、日本のトップ・メーカーであるトヨタ自動車は国産技術で進む方針をこの時期に確立した。

### 2.3 外国技術消化吸収期（1959～1969年）

モノコック（フレームレス）構造ボディ、種々のサスペンションのトライ、四輪独立懸架サスペンション

の採用、オーバーヘッドカムシャフト（OHC）エンジンの採用等、欧米自動車技術の模倣から始まり、消化吸収して独自の技術確立へ突き進んだ時代である。

1964年には名神高速道路が全通し、日本にも高速時代が到来し、高速性能向上に力を注ぎ始めた時期もある。

1966年には日産自動車がサニーを、1967年にはトヨタ自動車がカローラを発表し、国内の小型乗用車戦争が始まり、現在の大量生産技術基盤準備が始まった。

また、この時期は耐久性、信頼性の確保に大きな力を注いだ時期であり、次第に世界に通用する自動車が作れるようになった。

### 2.4 自主技術開発期（1970～1980年）

この時期は、自主技術開発を目指した時期である。アメリカでは、1966年にSafety Act、1970年にはClean Air Act（いわゆるマスキー法）が、さらに1975年にはEnergy Policy and Conservation Actが立法化された。

日本においても、1971年の牛込柳町の鉛事件を契機として排気ガス規制が強化され始めた。

排気ガス規制対応については、日本版マスキー法が、アメリカのように規制緩和がなされなかったために、世界でも最も厳しいNOx基準（0.25 g/km：平均値）を達成しなければならなかつた。

日本の各メーカーは、1978年には、排気ガス規制をクリアすることができた。

我が国の自動車の燃料経済性については、自動車をとりまく燃料事情が厳しい上に、排気ガス規制のため、エンジン燃焼研究にも力が注がれていたことから、排気ガス対策技術と並行して、燃料経済性に優れた車両開発が進められた。

燃料経済性に優れた特性は、二度にわたる石油ショックを、逆に日本車の国際競争力を強めるための飛躍台としてしまつた。

\*ぬまじり いたる (財)日本自動車研究所研究管理部研究総括課担当課長 副主任技術研究員

一方、安全問題については、1960年代後半にアメリカにおいて高まりを見せ、日本国内においても安全に関する研究に大きな力が注がれるようになり、1970年代前半の ESV (Experimental Safety Vehicle) 計画への参加、アメリカの FMVSS 対応等により、技術力を蓄積した。

この時期における自動車業界の経営面でのインパクトとしては、1971年に資本の自由化、1973年には変動為替相場制が始まり、国際競争力向上のためにも生産技術向上が図られなければならなかった。

このような技術開発による信頼性確保と生産技術向上による低廉な価格の達成により、年間12~13万台を越える四輪車生産を続け、四輪車保有台数も6千万台を超えるほどに自動車は増加した。

道路については他の項で詳しいと思われるが、この間の主な動きに止めるが、1954年に改定された揮発油税制により道路財源が確保されるようになり、日本の道路整備が本格的に開始され、その後度重なる道路整備5カ年計画の繰り返しを経て道路整備が進んでいている。また、1969年には名神高速道路が開通して日本の高速輸送時代が始まり、現在に至っている。

### 3. 動力性能

#### 3.1 自動車の走行性能について

自動車が道路を走行する時、自動車が受けける全走行抵抗Rは、ころがり抵抗、空気抵抗、加速抵抗および勾配抵抗の合計であり、次式で示される。

$$R = \mu_r W + \mu_a AV^2 + (W + \Delta W) \alpha / g + W \sin \theta$$

ここで、

$\mu_r$  : ころがり抵抗係数

W : 車両重量 (kg)

$\mu_a$  : 空気抵抗係数

A : 自動車の前面投影面積 ( $m^2$ )

V : 自動車の対空気速度 (km/h)

$\Delta W$  : 回転部分の相当重量 (kg)

$\alpha$  : 自動車の加速度 ( $m/sec^2$ )

g : 重力加速度  $9.8m/sec^2$

$\theta$  : 道路の縦断勾配 ( $^\circ$ )

である。

ころがり抵抗  $\mu_r W$ は、車両重量に比例する駆動系や車輪の軸受部の摩擦抵抗とタイヤのころがり抵抗が主体であり、速度の高低にかかわらずほぼ一定の大きさを示す。

空気抵抗は、車体の形状で  $\mu_a$ が決定し、車両の前面

投影面積に比例し、対空気速度の2乗に比例する。速度が2倍になれば4倍の抵抗を受ける勘定になる。

加速抵抗は慣性力（停止している物体は停止し続けようとして、運動している物体は運動し続けようとする力）に抗して加速しようとする際に発生する抵抗である。この場合は車体だけでなく、エンジンをはじめ駆動系（クラッチ、トランスミッション、プロペラシャフト、ドライブシャフト、ホイール、タイヤ）の回転部分の加速も必要になる。

勾配抵抗は、道路の縦断勾配に対する抵抗である。上り勾配では車両重量に  $\sin \theta$  を乗じた値が抵抗となり、下り勾配ではマイナス抵抗となる。道路は  $\tan \theta$  で設計施工されるが、小さな縦断勾配では  $\tan \theta \approx \sin \theta$  として扱っても差し支えない。

平坦な道路を一定の速度で走行している時には、加速抵抗と勾配抵抗はゼロとなり、ころがり抵抗と空気抵抗が走行抵抗となる。1.5トンクラスのクラウン、セドリックでは、平坦路における60km/h一定速度走行では10馬力程度、100km/hでも25~30馬力程度のエンジン出力で走行することが可能である。図-1に乗用車の走行性能曲線の例を示す。クラウン、セドリックに搭載されている125~260馬力というエンジン出力との平坦路における所要馬力との差は加速のためや上り勾配を走行するために残された余裕馬力（余裕駆動力：図-1の■部分）である。

#### 3.2 乗用車の動力性能

乗用車の動力性能を表現する代表的な指標として0→400mの加速性能がある。図-2にガソリン乗用車の0→400m加速性能を示す。最近の乗用車は0→400mを、高性能スポーツ車で13秒台、オートマチックト

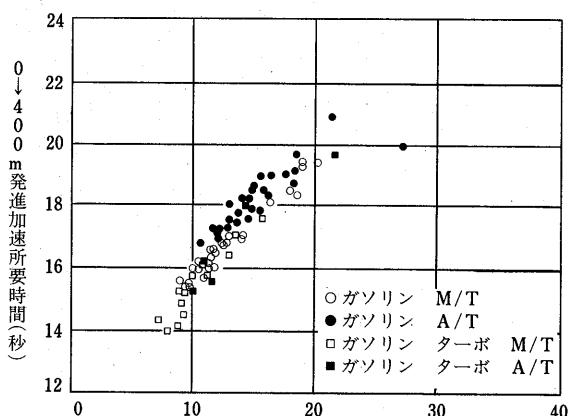


図-2 乗用車の0→400m 加速性能

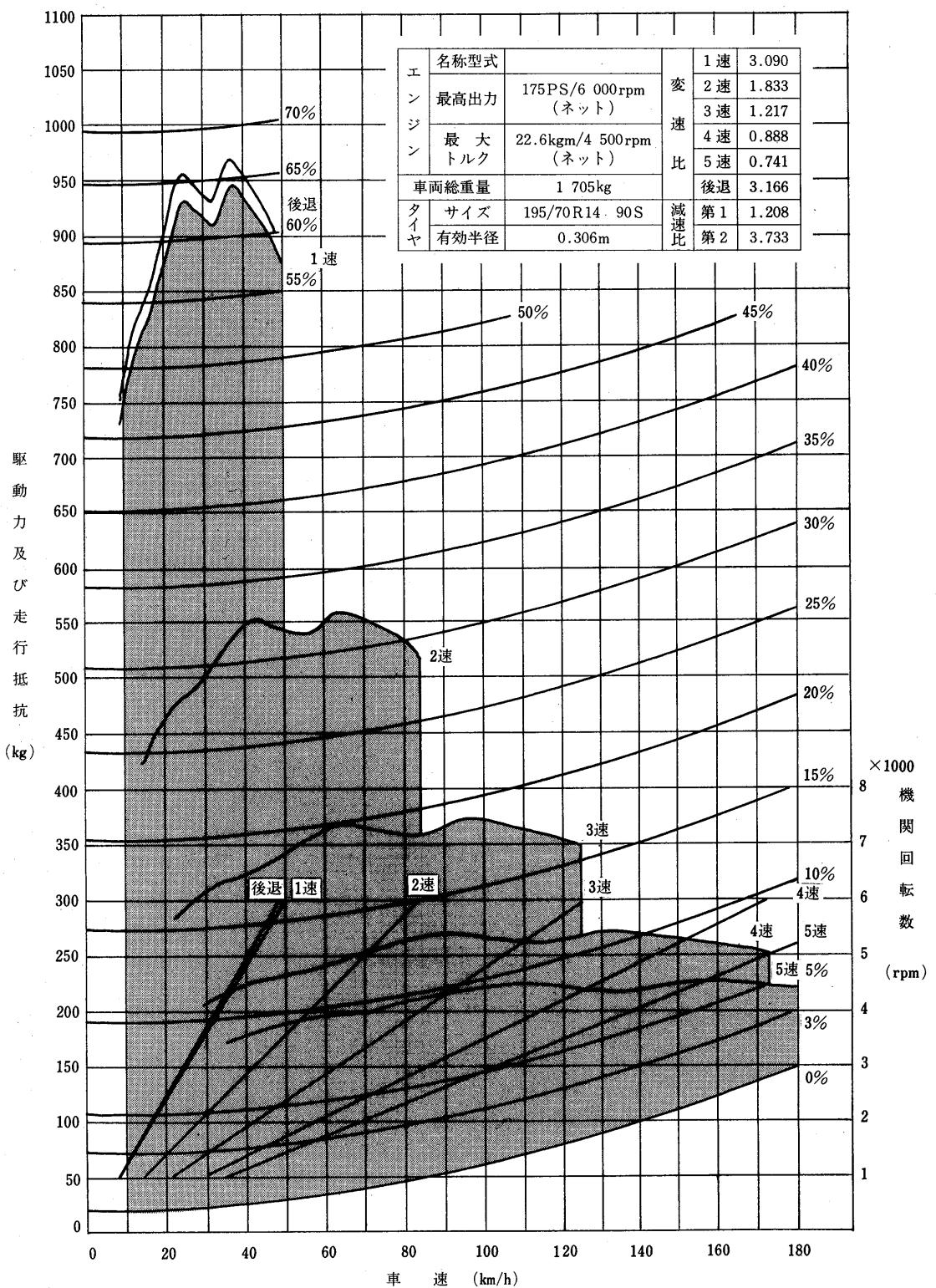


図-1 乗用車の走行性能曲線例

ランスマッisionの軽乗用車が22秒程度の所要時間で加速する。

最も加速力を要求される場面は高速道路におけるランプウェイから本線への流入の時である。ランプウェイにおける40km/hの制限速度から、本線上を100km/hで走行する車両の流れに乗らなければならないからである。

実用上高速道路の進入時には、0→400mの加速所要時間が17~18秒程度の加速性能を有しておれば本線上の流れを阻害せずに流入できる加速車線が確保されているようであり、それ以上の加速性能を持つ高出力エンジン搭載車ではさらに充分な余裕を持って進入することが可能となっている。

乗用車の最低レベルである0→400m加速所要時間が22秒では不十分かという問題になると、乗用車の他に加速性能が劣るトラックがあり、どこまであれば十分かという見極めは難しい。

乗用車を設計する際、トラックに比べて出力に余裕があるので、エンジン出力選択においては道路条件は殆ど考慮する必要がない状態であり、商品性と生産性向上（大量生産効果による低コスト化）をねらった設計が中心となっている。実際に市販されている乗用車には1種類のエンジンが多車種に搭載されており、道路設計に基づいてエンジン出力が選択されているのではなく、商品性や販売政策が選択理由になっているようである。

### 3.3 トラックの動力性能

トラックでは、乗用車に比べて比出力（エンジン出力と車両総重量との比：PS/トン）が小さいため、圧倒的に加速性能が劣っており、道路設計との関連性が高い。

旧国鉄が高速バスを就航させるために、自動車メーカーに対して提示した「上り3%勾配を100km/hで巡航できる性能を有すること」という要求仕様は、日本の高速道路設計と自動車との密接な関連を表している。

自動車設計と道路設計との関連で最も厳しい条件としては、トレーラトラクターに要求される動力性能である。高速道路において50km/hの最低速度違反を犯さない設計が要求されているからである。

トレーラではできるだけ多くの貨物を輸送したいという車両側からの要求に対して、高速道路設計では3%以上の勾配を持つ道路でなければ登板車線が設定されないために、最大積載状態で上り3%勾配を50km/h以上で走行できるエンジン出力が要求される。

そして自動車製造メーカー側は、この制約の中で最大の積載量を確保してユーザー（この場合は運輸業界）のニーズに応える訳である。

トラックの動力性能と道路設計の関連では、こんな例があった。東京湾横断道路は海底部から海上部分への上り勾配が4%で60km/hで走行させたいとするものであった。

トラックメーカーのエンジン設計者は、「当社の車両は上り4%勾配で60km/hを維持して走行できます」と自信を持って言う。ところが現実には3%上り勾配50km/hを基準に設計されたトレーラトラクターもあり、またトラックの中には4%上り勾配をやつと60km/hで走行できる程度の車両が存在するのである。

図-3に車両総重量20トンのトラック、図-4に車両総重量34トンのトレーラの走行性能曲線例を示す。

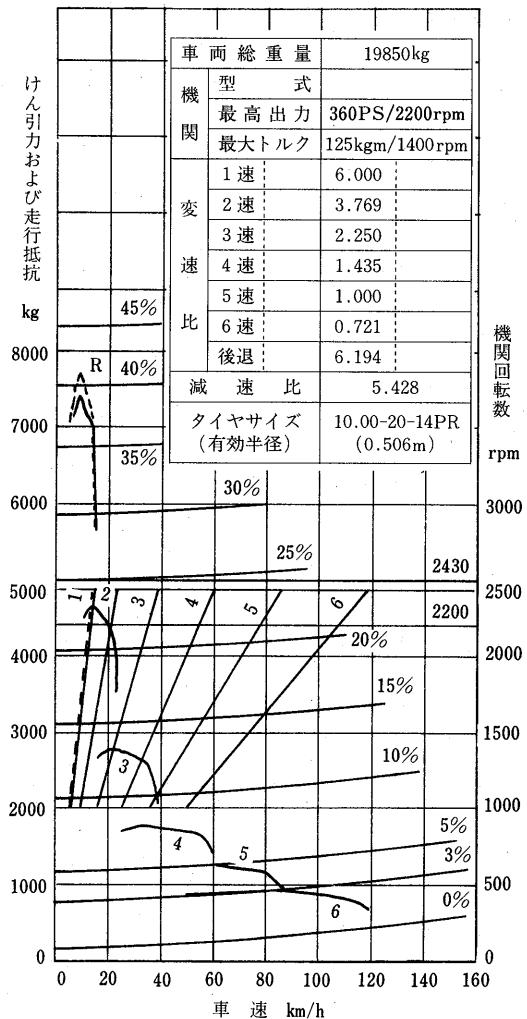


図-3 車両総重量20トントラックの走行性能曲線例

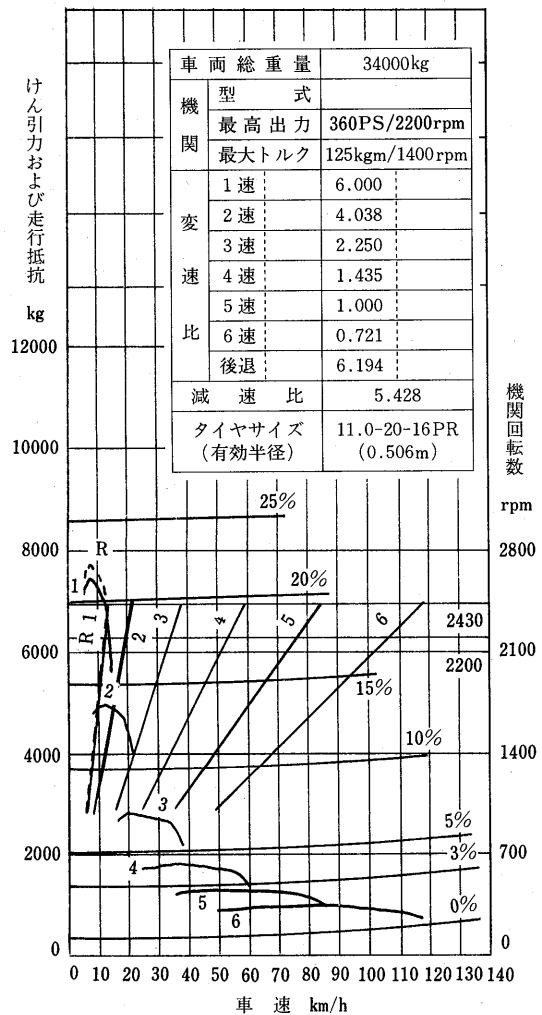


図-4 車両総重量34トントレーラの走行性能曲線例

図-3、図-4とも同じ出力のエンジンを搭載しているのであるが、20トンのトラックでは5速で3%勾配を80km/h以上で走行できる性能を有しているが34トンのトレーラでは、4速で60km/hが限界となっていることが理解できる。

東京湾横断道路が完成すると、トレーラトラクターの設計は4%上り勾配60km/hの設計が必要となるであろう。道路と自動車とが密接な関連を持っていることを示す好例である。

トラックでは、上り勾配での走行性能が主要な要求性能であり、加速性能はその結果として現れてくるのであるが、高速道路への進入において本線上の流れを阻害せずに流入できる加速性能は持っていない。トラックの加速性能に応じた加速車線を準備することも難しいようである。

乗用車の動力性能はトラックの性能を上回る性能を持っておれば必要条件は満足するのであり、道路条件が直接設計に反映されるのではなく、同じ車両に様々なエンジンが搭載されている結果として、0→400mの加速所要時間が13秒～22秒と大きな差となっている。

上り勾配3%を100km/hで巡航できるバスを設計すると、最高速度は130～140km/hとなり、上り勾配3%を80km/hで巡航できるトラックを設計すると120～130km/hの最高速度が得られる。将来の第二東名・名神高速道路ではよりスピードアップが実現できるのかも知れない。

#### 4. 乗り心地

日本の道路が格段に整備されたことにより、自動車にとっては走行安定性向上に有利に働いている。

1960年代後半以降、日本の乗用車用タイヤはバイアスタイルからラジアルタイヤへの変遷があり、一時乗り心地が悪化した。

ラジアルタイヤはコーナリングパワーが大きく、ころがり抵抗が小さく、耐摩耗性も良く、そしてスタンディングウェーブの発生速度が高く、高速用タイヤとして適したタイヤであるが、その構造面から乗り心地の悪さが欠点であった。

1970年代のおよそ10年の歳月を費やして、日本の乗用車はラジアルタイヤとサスペッショングのマッチングをマスターして、1980年代にはラジアルタイヤが原因となる乗り心地の問題はほぼ解消している。

近年の車両設計では、乗り心地追求は単にスプリングとショックアブソーバーの設計ではなく、道路の継ぎ目やマンホール蓋等の小さな段差を乗り越す際に発生する振動と音（ハーシュネス）への対応時代に入っている。

さらに、日本の道路整備が行き届いたために、近年の車両設計においては乗り心地はやや硬めの方向に変化しつつあり、その余裕を操縦性安定性に振り向けている。道路整備が自動車性能向上と結び付いている例である。

トラック輸送においても、生鮮食料品や貴重品等の積み荷の損傷低減、危険物輸送の安全性向上に道路整備が大きく結び付いている。

バスにおいても、従来フワフワとした乗り心地で評判の悪かったエアサスペンションも硬めの設定がなされており、走行安定性の向上も図られている。悪路対応の時代から良路対応への変化が現れている例といつ

て差し支えないだろう。

## 5. 環境問題

世界一厳しい1978年の乗用車の排出ガス規制対応により、自動車排出ガス公害問題は鎮静化したかに見えたが、その後の自動車保有台数の増加傾向とディーゼル自動車の窒素酸化物対策の難しさから、NO<sub>2</sub>の環境基準未達問題は未だに残されている。

従来は最も深刻な問題となっている大都市内における公害対策を基本としてスタートした排出ガス規制も、都市内走行を模擬した10モード走行パターンから高速域も含めた走行パターンへと変更されようとしている。

ディーゼル排出ガスの問題についても中期、長期の計画が中央公害審議会より答申されて規制がより強化される見通しである。

騒音問題については数次にわたる騒音規制強化によって、自動車単体から放射される騒音は低減しているが、交通量の増大により騒音の総量は際立った減少傾向を示していないことが問題点となっている。

そして地球環境問題も近年の世界的な話題となっており、自動車の果たすべき役割が問われている。

最近ディーゼルエンジンに批判が集中しているが、代表的温室効果ガスである二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)の排出抑制の点でみると、高熱効率(同じ仕事をする際のCO<sub>2</sub>排出量が少ない)の面から当面はディーゼルエンジンに生き残ってもらわなければならない。

ディーゼルエンジンは運転される全領域で酸素過剰となるため、ガソリン車で採用した排出ガス低減方策が適用できない難しさがあるのだが、粒子状物質(ディーゼルスモーク)と窒素酸化物の低減、そして騒音対策に努力を傾けて行かなければならぬ。

## 6. 安全問題

1988年以降3年連続して交通事故死亡車が1万人を超えて、自動車の安全性能が注目を浴びている。

昨今の交通安全問題には、事故が発生してからの安全性に議論が集中しているようだが、自動車単体の安全性能には限界がある。現状の乗用車は50km/hでコンクリート固定壁に衝突させて、乗員を模擬したダミーの頭部や胸部の加速度、脚部にかかる荷重を計測して、それぞれの傷害基準を満足させるように作られているのだが、あくまでも自車の運動エネルギーを基準とした衝突安全性能である。

衝突時には乗用車の前部(追突においては後部)は

積極的に变形させて衝撃を和らげ、人間が乗っているキャビン部分は強固にして生存空間を確保するよう設計されている。ちょうどキャッチボールをする時、ボールを受ける際にグラブを手前に引くと衝撃が和らぐことと同じ工夫がされている。

実際に発生する事故は、乗用車と大型トラックという衝突形態もある。1トンの乗用車と20トンのトラックとが衝突すると、乗用車の受ける衝撃加速度は20倍もの大きさになり、乗用車の衝突安全性をいくら高めても乗員を助けることには限界があるからである。

交通安全は、事故の発生を未然に防止することを重点において検討しなければならない。自動車が持つ“戸口から戸口へ”という最大の長所は、他のどの交通機関よりも人間に近づいて運行されるという弱点を併せ持っている。

しかも信号により管制されているとはいっても、最終的運行停止操作はドライバーに委ねられているのである。

自動車の制動性能はディスクブレーキの採用によって制動操作性向上やフェード(長い下り坂における繰り返しブレーキ使用による過熱)による制動力低下の防止、アンチロックブレーキの採用によって制動時ににおいて回避行動が行える等の性能向上がもたらされたが、最終的には路面とタイヤの摩擦係数で制動性能は決定するので、ドラスティックな制動停止距離短縮を望むことはできない。

また、アンチロックブレーキを採用しても、雨天時のハイドロブレーキングまではカバーできない。

狭い、暗い、歩道と車道の区別がないというような道路構造の改善や大型車と小型車を分離するというような交通区分、ドライバーの安全教育等と自動車とを関連付けて安全問題を議論することが重要ではないだろうか。

## 7. 未来の自動車

さて、未来の自動車はどうなるのであろうか。少なくとも10年、20年の単位ではドラスティックな変化はないものと考えられる。

自動車の原動機として現代の内燃機関は小型軽量で燃料の可搬性にも優れており、内燃機関が出現して以降過去において、他の原動機の挑戦を全て退けてきている。

今後、地球環境問題の高まりによって電気自動車の出現が予想できるが、小型高性能バッテリーの開発が

最重要課題であり、充電に用いる電力が何によって発電されるかという点も問題となる。

交通システムの関連では、ナビゲーションシステムが自動車に採用され始めているが、現状のシステムは自動車サイドが独自で進めているものであり、高価格道路地図の域を出ていない。道路と自動車とが連携を保って行かなければ実用性の高いシステムにはなり得ないと思われる。

交通渋滞の情報を受けても、代替道路がなければ迂回することはできない。道路網の整備も要求されよう。

30年、40年という将来においては、自動車は外部から管制を受けて走行できるシステムが望まれる。現在の自動車交通は交通信号はあるがセルフコントロール

の範囲であり、交通渋滞という望まない形態の制限はあるものの外部からの運行支援や制御は全く受けていないに等しい。

交通安全の面からも自動車交通は何らかの運行支援システムや管制が必要であり、交通事故を大幅に減らすことは、外部管制がなければ達成できない。

昔人間の重要な移動手段であった馬は、現代社会においては競馬場や乗馬クラブ、観光地等の限られた場所で活動している。

勝手気ままに走行できる現代の自動車は、将来はサーキットや自動車クラブの乗り物になるのではないだろうか。

## 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

1-1 フルデブス・アスファルト舗装の定義

1-2 適用範囲

#### 2. 構造の設計

2-1 舗装の構造

2-2 設計の方法

2-3 排 水

#### 3. 材 料

3-1 概 説

3-2 漆青材料

3-3 骨 材

3-4 アスファルト混合物

#### 4. 路床および路盤

4-1 概 説

4-2 路 床

4-3 路 盤

#### 5. 表層および基層

#### 6. 品質管理および検査

6-1 概 説

6-2 出来形および品質の管理

6-3 檢 査

#### 7. 記 錄

# 道路とタイヤ性能

林 宏\*

## まえがき

1963年5月、我が国に初めて高速道路が開通して以来、モータリゼイションは急速に発展し、最近では貨物輸送の約90%を自動車が分担している。勿論、この背景には道路の拡充整備があつてこそあるが、このような変化は直ちにユーザーのタイヤに対する性能要求となって現れる。つまり、従来は非舗装路走行の為の耐久性、乗心地重視から、高速走行時代に突入して高速耐久性、操縦性、安定性、経済面から低燃費化、環境面から低騒音化等々、広い分野にわたり、研究、開発の規模も拡大してきたが、タイヤ性能も飛躍的に向上してきた。つまり、自動車の高速走行に対応して、タイヤ構造はバイアスタイヤからラジアルタイヤに移行する大きな変遷があった。一方、高速走行に伴い、従来未知の分野、問題とならなかつた分野が特異現象としてクローズアップしてきた。ハイドロプレーニング、スタンディングウェーブ、タイヤ道路騒音、ユニフォミティー等である。

ここでは、タイヤのラジアル化とそれに伴う2~3の特異現象と最近問題となったスパイクタイヤについて述べる。

## 1. ラジアルタイヤへの移行

道路の舗装率が向上してくると共に、ラジアルタイヤの普及率も年々向上し、1990年の生産比率を見ると、トラック及びバス用タイヤが70.6%，小形トラック用が56.3%，乗用車用が90.7%となっている。

バイアスタイヤとラジアルタイヤの構造上の違いは図-2に示すとおりである。

ラジアルタイヤはカーカスを構成するコードがトレッドの中心線に対して直角（放射状=ラジアル状）に配列され、トレッドの部分を補強帯（ベルト）で締め付けているタイプのタイヤ。

バイアスタイヤはカーカスを構成しているコードがトレッドの中心線に対して斜め（バイアス）に配列されたタイヤ。

ラジアルタイヤの特徴としては、ベルトの効果によりトレッド部の剛性が高く、踏面部の動きが少なく、サイド部が薄いことから、バイアスタイヤに比べて次のようなことが言える。

- (1) 操縦性、安全性が良い。
- (2) 耐摩耗性が良い。
- (3) 発熱が少なく、高速耐久性が良い。

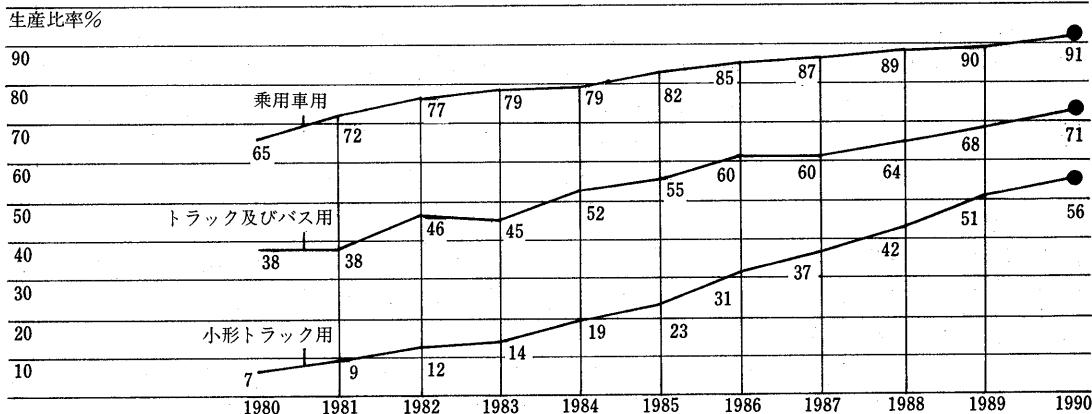


図-1 品種別ラジアルタイヤ生産比率の推移

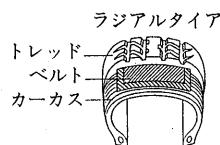
\*はやし ひろし (社)日本自動車タイヤ協会技術部長

表-1 品種別ラジアルタイヤ生産比率の推移

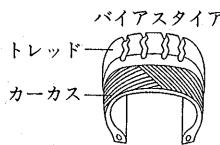
		単位 タイヤ本数/千本、ラジアル比率/%										
		1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
トラック 及び バス用	総本数	9,749	9,612	8,248	9,580	10,173	9,762	8,465	9,543	10,847	11,303	11,448
	内ラジアル	3,696	3,677	3,797	4,305	5,287	5,325	5,078	5,684	6,930	7,687	8,079
	ラジアル比率	37.9	38.3	46.0	44.9	52.0	54.5	60.0	59.7	63.9	68.0	70.6
小形 トラック用	総本数	36,384	34,960	34,024	36,788	38,114	38,499	35,544	35,976	39,030	38,701	38,208
	うちラジアル	2,524	3,281	4,099	5,126	7,138	8,829	10,966	13,138	16,500	19,822	21,502
	ラジアル比率	6.9	9.4	12.0	13.9	18.7	22.9	30.9	36.5	42.3	51.2	56.3
乗用車用	総本数	65,284	63,231	64,371	73,024	78,976	83,887	88,067	90,371	97,351	101,800	100,423
	うちラジアル	42,719	45,691	49,840	57,572	62,290	68,630	74,961	78,480	86,651	91,495	91,087
	ラジアル比率	65.4	72.3	77.4	78.8	78.9	81.8	85.1	86.8	89.0	89.9	90.7

注) JATMA 会員分

資料/JATMA



ラジアルタイヤはカーカスを構成するコードがトレッドの中心線に対して直角(放射状=ラジアル状)に配列され、トレッドの部分を補強帶(ベルト)で締め付けているタイプのタイヤ。



バイアスタイヤはカーカスを構成しているコードがトレッドの中心線に対して斜め(バイアス)に配列されたタイヤ。

図-2 タイヤの構造

- (4) 転がり抵抗が小さく燃費が節減できる。
- (5) スリップが少なく、けん引力が大きい。
- (6) 低速、悪路走行時の乗心地は劣るが、高速走行時では良い。
- (7) 低速走行時のハンドルが重い。

ラジアルタイヤはその構造上、サイドウォール部が薄くたわむので、空気圧は若干高めに設定されている。一例として、トラック及びバス用のバイアスタイヤとラジアルタイヤの空気圧-荷重対応表の一部を示す。バイアスタイヤは低空気圧側から荷重値が設定されているのに対し、ラジアルタイヤは高空気圧側で設定されている。

## 2. 高速走行等に伴う特異現象

道路の拡充整備、高速道路の延長等で高速走行時代に突入し、従来未知の分野であったハイドロプレーニング現象や問題とならなかった車外騒音、ユニフォミニティー等がクローズアップしてきた。これらの現象について以下に述べる。

### 2.1 ハイドロプレーニング現象

1966年7月、降雨の名神高速道路で高速定期バスが

異常スリップで横転、死傷者9名を出した事故は、我が国で初めてのハイドロプレーニングによる事故で前例のない未知の分野であったことから、裁判も10年という長期にわたり、1976年5月、大阪高裁で無罪判決が言い渡された。この事故が動機となり、我が国に於けるハイドロプレーニング現象の研究が始まった。Hydroplaning～水上滑走現象は、航空機が雨の日にオーバーラン事故が多発することに着目し、NASA(米国航空宇宙研究所)やRAE(英國王立航空技術研究所)で幅広い研究が行われていた。自動車もある深さ以上の水膜に覆われた路上を高速で走行すると、タイヤが水膜上に浮上し、操縦性が失われる現象で、ハイドロプレーニング発生臨界速度はNASAの式によると次の通りである。

$$V_{cr} = 9\sqrt{p}$$

ここに

$$V_{cr} \dots \text{ハイドロプレーニング発生臨界速度} \\ (\text{Knots})$$

$$p \dots \text{タイヤ空気圧 (psi)}$$

この式を CGS 単位に換算すると次のようになる。

$$V_{cr} = 63\sqrt{p}$$

ここに

$$V_{cr} \dots \text{ハイドロプレーニング発生臨界速度} \\ (\text{km/h})$$

$$p \dots \text{タイヤ空気圧 (Kgf/cm²)}$$

この式から、条件次第でハイドロプレーニングの発生は63km/h(空気圧1.0Kgf/cm²)でも起こり得ることになる。但し、この実験式が成立するのは水膜が10mm以上の場合である。

ハイドロプレーニングの発生速度は、タイヤの空気圧と走行速度だけがその要因でなく、トレッドの溝深さ、接地圧分布、トレッドパターン等の他、路面の粗

表-2 空気圧-荷重対応表

		(kg)																					
タイヤの構造	タイヤの呼び	空気圧 kPa kgf/cm <sup>2</sup>		300	325	350	375	400	425	450	475	500	525	550	575	600	625	650	675	700	725	750	775
		(1) 姿勢	(2) 姿勢	3.00	3.25	3.50	3.75	4.00	4.25	4.50	4.75	5.00	5.25	5.50	5.75	6.00	6.25	6.50	6.75	7.00	7.25	7.50	7.75
7.50-20	S	1120	1170	1225	1275	1335	1370	1420	1465	1510	1550	1595	1650 (10)	1680	1720	1760 (12)	1800 (12)	1840 (12)	1880 (12)	1920 (12)	1960 (12)	2000 (12)	2040 (12)
	D	1055	1105	1115	1200	1250	1295	1335	1380	1420	1465	1505	1550 (10)	1580	1620	1660 (12)	1700 (12)	1740 (12)	1780 (12)	1820 (12)	1860 (12)	1900 (12)	1940 (12)
8.25-20	S	1260	1320	1380	1440	1495	1550	1600	1650	1700	1750	1800	1850	1895 (12)	1930 (12)	1965 (12)	2030 (14)	2080 (14)	2130 (14)	2180 (14)	2230 (14)	2280 (14)	2330 (14)
	D	1200	1260	1315	1370	1425	1475	1525	1575	1620	1670	1715	1760	1805 (12)	1850 (12)	1890 (12)	1930 (14)	1970 (14)	2010 (14)	2050 (14)	2090 (14)	2130 (14)	2170 (14)
9.00-20	S	1500	1575	1645	1715	1780	1845	1905	1965	2025	2085	2145	2200 (12)	2255 (12)	2310 (12)	2365 (14)	2415 (14)	2465 (14)	2515 (14)	2565 (14)	2615 (14)	2665 (14)	2715 (14)
	D	1430	1500	1565	1630	1695	1755	1815	1875	1930	1985	2040	2095 (12)	2145 (12)	2200 (12)	2250 (14)	2300 (14)	2350 (14)	2400 (14)	2450 (14)	2500 (14)	2550 (14)	2600 (14)
10.00-20	S	-	-	1830	1905	1980	2050	2120	2190	2255	2320	2385 (12)	2440 (12)	2510 (12)	2570 (12)	2630 (12)	2690 (14)	2750 (14)	2810 (14)	2870 (14)	2930 (14)	2990 (14)	3050 (14)
	D	-	-	1650	1720	1785	1855	1915	1975	2035	2095	2155 (12)	2210 (12)	2265 (12)	2320 (12)	2370 (14)	2425 (14)	2485 (14)	2545 (14)	2605 (14)	2665 (14)	2725 (14)	2785 (14)
11.00-20	S	-	-	1935	2015	2090	2160	2240	2310	2380	2450	2520	2585	2650	2715 (12)	2780 (12)	2840 (12)	2900 (14)	2970 (14)	3030 (14)	3100 (16)	3170 (16)	3240 (16)
	D	-	-	1820	1895	1965	2035	2105	2175	2240	2305	2370	2435	2495	2555 (12)	2615 (12)	2670 (12)	2730 (14)	2795 (14)	2855 (14)	2915 (14)	2975 (14)	3035 (14)
7.50 R20	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1420	1465	1610	1550	1595	1650	1680	1720	1760	1800	1840	1880	1920
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1335	1380	1420	1465	1505	1550	1580	1620	1660	1700	1740	1780	1820
8.25 R20	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1600	1650	1700	1750	1800	1850	1895	1940	1985	2030	2070	2110	2150
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1525	1575	1620	1670	1715	1760	1805	1845	1890	1930	1970	2010	2050
9.00 R20	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1905	1965	2025	2085	2145	2200	2255	2310	2365	2415	2465	2515	2565
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1815	1875	1930	1995	2040	2095	2145	2200	2250	2300	2350	2400	2450
10.00 R20	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2120	2190	2255	2320	2385	2450	2510	2570	2630	2690	2750	2810	2870
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1915	1975	2035	2095	2155	2210	2265	2320	2370	2425	2485	2545	2605
11.00 R20	S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2240	2310	2380	2450	2520	2585	2650	2715	2780	2840	2900	2960	3020
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2105	2175	2240	2305	2370	2435	2495	2555	2615	2670	2730	2790	2850

注(1) Sは単輪使用時、Dは複輪使用時を示す。

(2) ( )内はPRを示す。

さ、水膜の厚さも大きく影響てくる。従って、耐ハイドロプレーニング性を高める為には排水性のよいトレッド、つまり溝の部分を広く、深く、タイヤ幅を狭く、空気圧を高くと言うことになるが、タイヤの機能は耐ハイドロプレーニングだけでなく、多くの要求を満足させなければならず、そのバランスが重要となる。

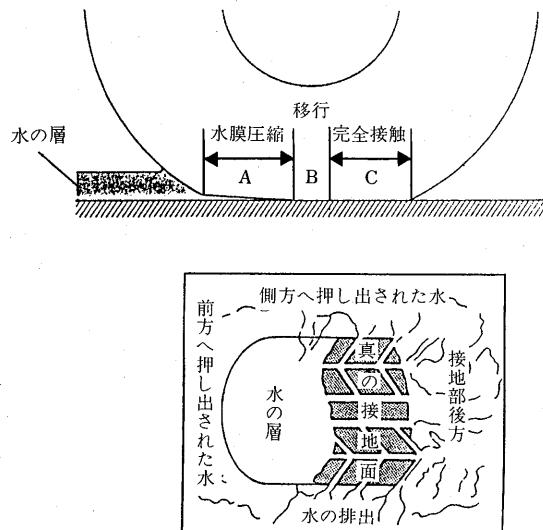


図-3 水の溜った道路におけるイタヤと路面の接触状況

## 2.2 スタンディングウェーブ現象

スタンディングウェーブ(Standing Wave～止まっている波)現象とはタイヤの波打ち現象ともいわれ、タイヤが高速回転することによって接地変形の繰り返しが、タイヤの変形復元よりも速くなり、タイヤ周上に波状の変形が発生する現象で、タイヤの転がり抵抗が急激に増加するためにタイヤ温度が急上昇し、その

まま走行を続けるとチャンクアウト(トレッドゴムがひきちぎられ飛び散る)、セパレーション(トレッドゴムとカーカスの剥離)、バースト(破壊)等の故障が発生する。

スタンディングウェーブの発生要因は、速度、空気圧、トレッド厚み、トレッド剛性、荷重等があり、その発生臨界速度は次式で表される。

### (1) バイアスタイヤの場合

\*バイアスタイヤのタイヤ断面半径

$$V_{cr} = \sqrt{\frac{P \cdot r}{\rho \cdot \tan^2 \alpha}}$$

$V_{cr}$  : 臨界速度 (km/h)

P : 空気圧 (kgf/cm<sup>2</sup>)

$\rho$  : トレッドの単位面積当りの質量 (kg·s<sup>2</sup>/cm<sup>2</sup>)

r : タイヤ断面半径 (cm) \*

$\alpha$  : 踏面部のカーカスプライ角度

### (2) ラジアルタイヤの場合

\*ラジアルタイヤ

のタイヤ断面半径

$$V_{cr} = \sqrt{\frac{P \cdot r}{\rho}}$$

$$\cdot \sqrt{\frac{R_m - (R_m^2 - R_u^2)/2r}{(R_m^2 - R_u^2)/2R_m}}$$

$V_{cr}$  : 臨界速度 (km/h)

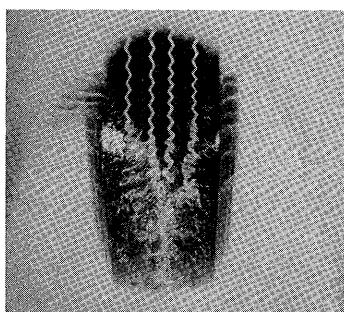
P : 空気圧 (kgf/cm<sup>2</sup>)

$\rho$  : トレッドの単位面積当りの質量 (kg·s<sup>2</sup>/cm<sup>2</sup>)

r : タイヤ断面半径 (cm) \*

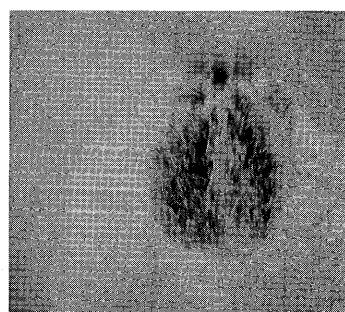
R<sub>m</sub> : タイヤの半径 (cm)

R<sub>u</sub> : タイヤ断面中心までの半径 (cm)



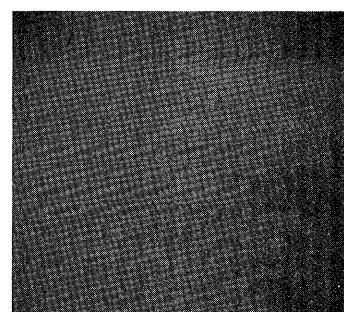
時速60km

タイヤがよく見える。完全に接地している様子がよく判る。



時速80km

タイヤがぼやけており、ハイドロプレーニングが起こりかけている。



時速100km

タイヤが全く見えない。完全にハイドロプレーニングが起きている。

写真-1 ハイドロプレーニングの実験

スタンディングウェーブ発生臨界速度の高いタイヤとしては、バイアスタイヤよりもラジアルタイヤ、偏平比は小さく、トレッド厚みは薄く、カーカスやブレーカーコードの角度は円周方向に対して近い方が良いので、これらの要因を踏まえてタイヤは設計されている。

この理論式で算出した臨界速度と実験で得た臨界速度を比較すると、表-3の通りかなり近似した値が得られる。

### 2.3 ユニフォミティー

タイヤのユニフォミティー（均一性）に狂いがあると、自動車のハンドルやボディーに振動を来すことがある。タイヤは複合材料で構成されており、これを寸法、重量共に均齊の取れた仕上げにすることは、非常に難しい技術の一つにあげられる。高速走行とラジアル化によってクローズアップされてきたもので、その

要因は、重量上のバランスと寸法や剛性によるものの2種類に分けられる。

### ユニフォ

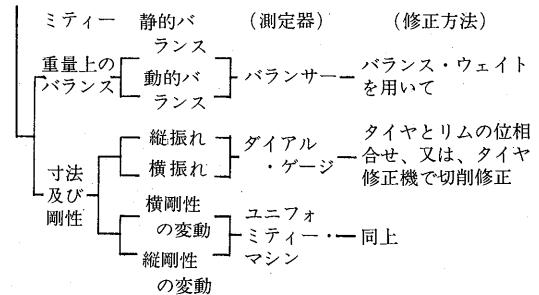


図-4 タイヤのユニフォミティー

### 2.4 ワンダリング現象

大型車の交通量の多い幹線道路では、流動等による轍が増加している。この轍の上を輪距の短い小型トラ

表-3 臨界速度の計算値と実験値

タイヤの種類	半径 (cm)	断面中心 までの 半 径 (cm)	断面 半径 (cm)	トレッドの 単位面積 当たりの質量 (kg·s <sup>2</sup> /cm <sup>2</sup> )	踏面部の カーカスブ ライ角度 (°)	空気圧 (kgf/cm <sup>2</sup> )	臨界速度(km/h)	
							計算値	実験値
バイアスタイヤ 5.60-13 A	29.3	22.9	7.32	2.07 ×10 <sup>-6</sup>	32.25	3.5 2.8 2.1 1.4	201	170~190
							180	150~170
							155	140~160
							127	130~140
バイアスタイヤ 5.60-13 B	29.3	22.9	7.00	1.90 ×10 <sup>-6</sup>	37.0	3.5 2.8 2.1 1.4	172	170~190
							154	150~170
							133	140~160
							109	120~140
ラジアルタイヤ 175 SR 14 A	30.1	24.0	8.30	2.72	—	3.5 2.8 2.1 1.4	231	170~190
							207	160~180
							179	150~170
							146	140~160
ラジアルタイヤ 175 SR 14 B	29.8	23.8	8.30	2.66	—	3.5 2.8 2.1 1.4	239	180~200
							214	170~180
							186	160~170
							151	140~160

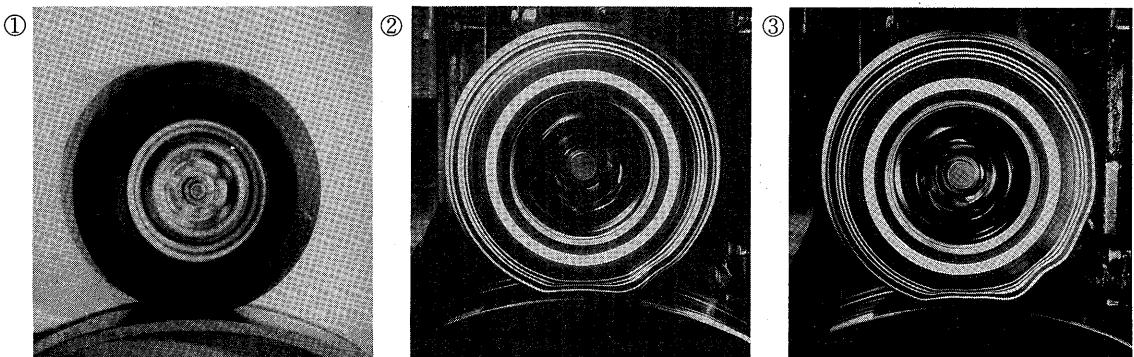


写真-2 スタンディングウェーブの実験

ック等で走行すると、ドライバーの意思で制御できない力が車両に働き、車両がふらついたり蛇行したりする現象で、特にラジアルタイヤの場合に発生するケースが多い。これはラジアルタイヤの特徴であるトレッド部に剛性の高いベルトが入っているので、トレッドショルダーパートが変形しにくく、轍の斜面に馴染むような走行ができないためである。タイヤとしては他性能に影響を与えないように配慮しつつ、改良を行っている。

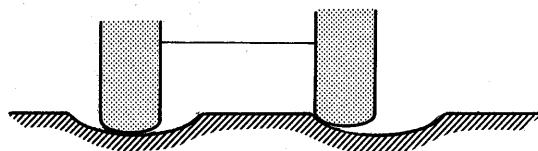


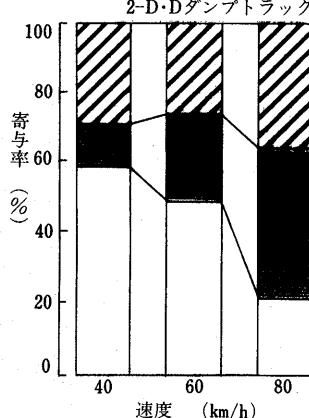
図-5 小型トラックの輪距と大型車の轍

### 3. タイヤ道路騒音について

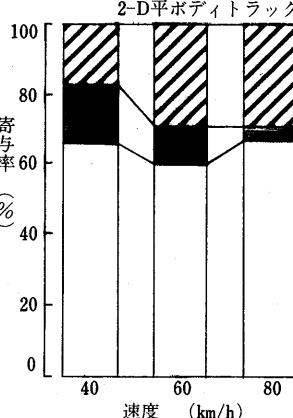
近年、道路交通騒音問題に社会的関心が高まり、自動車の走行騒音は発生源として規制の主要な対象となっていることは周知のことだが、自動車の走行騒音に占めるタイヤ騒音の寄与率は特に高速走行に於いて無視できないものがある。タイヤの騒音は概ね次の三つの要素から成り立っていると考えられる。

- (1) タイヤのパターンと路面の凹凸によってタイヤのトレッド部が衝撃を受けて、サイドウォール部が振動して音を出す加振音
- (2) タイヤが接地したときに、タイヤパターンの溝に入っている空気が圧縮、放出のポンプ作用で発生する気柱共鳴音

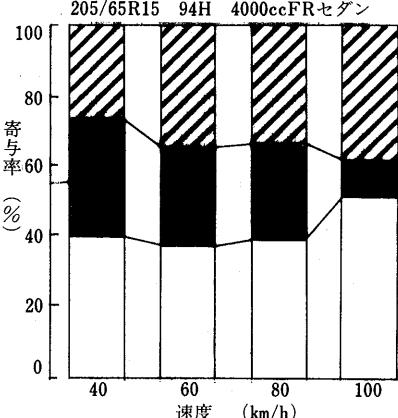
(1) トラック・バス用バイアスラグ  
10.00-20 14PR  
2-D・Dダンプトラック



(2) トラック・バス用ラジアルリブ  
10.00R20 14PR  
2-D平ボディトラック



(3) 乗用車用ラジアルリブ  
205/65R15 94H 4000ccFRセダン



凡例

パターンエアポンピング音 パターン加振音

- (3) タイヤと路面が接触して発生する接地摩擦振動音、路面空隙によるエアポンピング音等

タイヤ道路騒音の発生源としては図-6に示す通りであるが、タイヤの種類別に音源寄与率を見ると、次のことが言える。

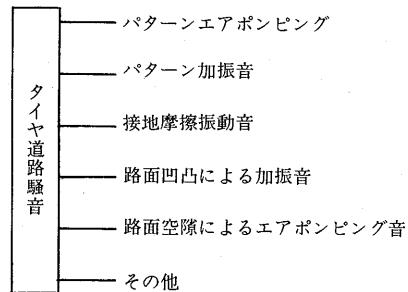


図-6 タイヤ道路騒音の発生源

#### (1) トラック・バス用タイヤ (バイアス・ラグ)

横方向パターンで、エアーポンピングとパターン加振音と言うトレッドパターンに起因する成分が支配的であり、騒音レベルは高く、速度勾配も大きい。特に高速域では大きな役割を占める。

#### (2) トラック・バス用タイヤ (ラジアル・リブ)

トレッドパターンに起因する成分の寄与率が少なく、路面からの影響が支配的となっている。

#### (3) 乗用車タイヤ (65シリーズ・ラジアル・リブ)

低速域ではトレッドパターンに起因するエアーポンピング・パターン加振音が支配的であるが、高速域では路面に起因する音、接地摩擦振動音、車両音が支配的となる。

図-7 タイヤ騒音発生源とその寄与度

それ以外の音  
接地摩擦振動音、路面凹凸による加振音、路面空隙によるエアポンピング、その他 (車両騒音など)

現状タイヤの騒音レベルと速度の関係を図-8~10に示す。

タイヤ側の騒音は、図-7でも分かる通り、トレッドパターンによるエアーポンピング音、加振音の寄与率が圧倒的に高い。エアーポンピング音を低減させる

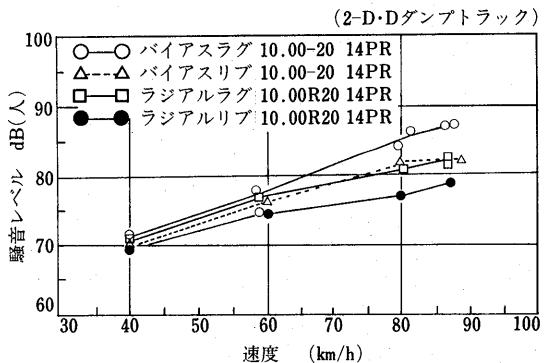


図-8 トラック及びバス用タイヤ

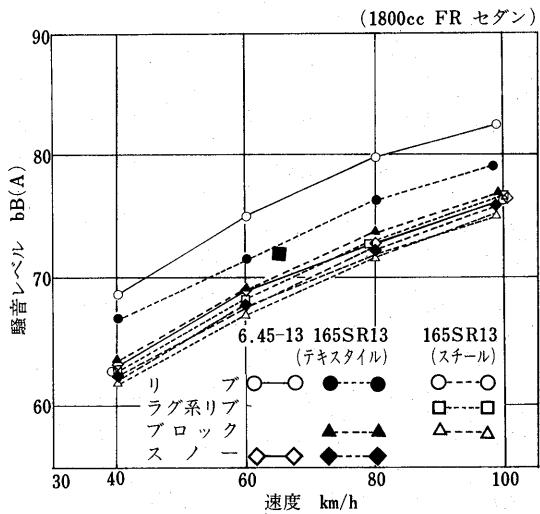


図-9 小型トラック用タイヤ

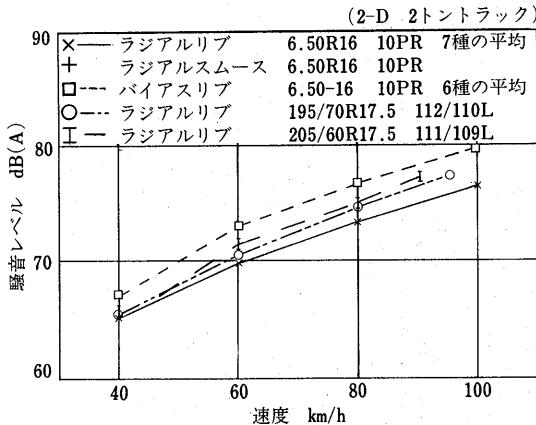


図-10 乗用車用タイヤ

には、トレッドパターン内に空気が入らないように溝を細く、浅く、短く、本数を少なくする工夫が効果的であり、また、振動音を押さえるには、トレッド部、カーカス部の剛性を高め、トレッドゴムを軟らかくする等の対策が効果的である反面、ウェット性能の低下、偏摩耗、重量増、耐発熱性の低下、転り抵抗増、乗り心地低下等の性能面への影響が大きく、二律背反性の克服が重要となる。

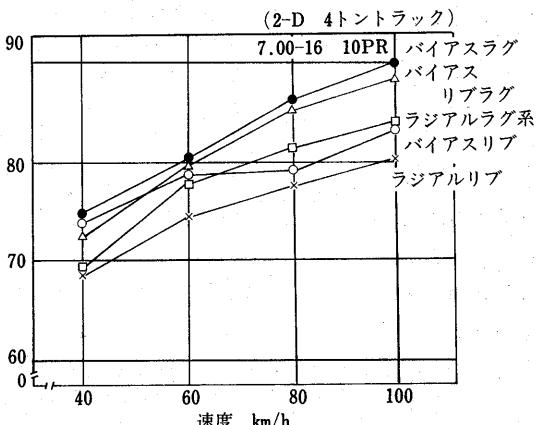
タイヤ騒音の低限界と考えられるスムーストレッドタイヤ（実用不可、パターンのないタイヤ）に対して、現行のラジアルリブタイヤの騒音レベルは僅差となっており、騒音低減への改良の余地は少なくなってきた。

今後は、単一要因の改良では大きな効果は期待できないので、道路、車両、タイヤの三位一体で改善を進めて行くことになる。

#### 4. スパイクタイヤ問題

スパイクタイヤは、1991年3月末日をもって国内大手タイヤメーカーの生産、販売ラインから名実共に姿を消した。

スパイクタイヤは1963年、我が国で生産、販売されて以来、冬期の積雪寒冷地に於ける交通安全確保の有効な手段として急速に普及し、高速道路の延長、道路整備の拡充強化と相まってドライバーのニーズに応えるばかりでなく、物流の円滑化等国民生活の向上に大きく貢献してきた。反面、需要の増大から道路損傷、粉じん問題が顕在化し、1985年11月、札幌弁護士会有关等111名からなる申請人が、国内大手タイヤメーカー7社を被申請人とし、「北海道に於けるスパイクタイヤ販売停止」を求める公害調停が北海道調停委員会に申



請され、1986年8月、「社会的合意が得られた場合、速やかに販売を中止する。」ことで調停は合意に達した。しかし、翌年の1987年4月、長野県弁護士会62名が申請人となり、同じくタイヤメーカー7社を被申請人とし、「スパイクタイヤの全国的な製造、販売中止」を求める公害調停が長野県に申請されたが、全国的な問題であり、10月に中央の公害等調整委員会に場を移し審議することになり、その間、12月には東北弁護士会有志等57名、1988年2月には北海道弁護士会有志等150名が参加、申請人側計296名となった。調整委員会は両者の意向を検討し、1988年6月、次の調停条項を提示、申請人、被申請人共これに同意し、調停が成立した。

#### 調停条項

- 当事者双方及び参加人らは、スパイクタイヤの使用による粉じんの発生が、地域住民の生活環境を悪化させるのみならず健康への影響も憂慮され、さらには道路施設の摩擦及び道路標示の消失を招くなど、社会的に極めて重要な問題を引き起こしているので、これを解決するために、国及び地方公共団体、タイヤメーカー、ドライバー、住民などが一体となって取り組むことが必要であるとの共通認識に立ち、被申請人は、昭和65年12月末日限り、スパイクタイヤの製造を中止し、昭和66年3月末日限り、同タイヤの販売を中止するものとする。
- 申請人及び参加人らは、国や地方公共団体に働きかけ、スパイクタイヤの使用禁止に関する法制化及び行政施策が図られるよう最善の努力をするものとする。
- 被申請人は、スタッドラスタイル等の開発・普及を図るとともに、タイヤ性能等に関する資料を申請人及び参加人らに提供する。

以上

タイヤメーカーとしては、この調停が一つの社会的合意の現れであること、代替タイヤとしてのスタッドラスタイルの性能が相当程度向上し普及してきたこと、政府としても脱スパイクタイヤに積極的に取組み、法制化を検討していることから、この調停条項に合意したものである。

一方、国の中央公害対策審議会では、環境庁の諮問に対し、1990年4月、スパイクタイヤの製造、販売中止の調停条項に配慮し、早急にスパイクタイヤによる

粉じん発生防止法を制定するように、環境庁長官に答申した。環境庁は直ちに法案作成に入り、5月「スパイクタイヤ粉じんの発生の防止に関する法律」案を閣議決定、6月5日、衆議院、6月18日、参議院で8項目の付帯決議を付し、全会派一致で可決成立、6月27日、公布された。

「スパイクタイヤ粉じんの発生の防止に関する法律」のあらまし

—平成2年6月27日公布—

#### 1. 目的（第1条）

この法律は、スパイクタイヤの使用を規制すること等により、スパイクタイヤ粉じんの発生を防止し、国民の健康保護、生活環境の保全を目的とする。

#### 2. 国民、国及び地方公共団体の責務（第3条、第4条）

- 何人も、スパイクタイヤ粉じんを発生させないよう努める。
- 国は、スパイクタイヤ粉じんの発生の防止等に関する総合的な施策を推進すると共に、地方公共団体が施策を推進するのに必要な助言、その他の措置を講ずる。
- 地方公共団体は、当該地域の自然的、社会的条件に応じたスパイクタイヤ粉じんの発生の防止に関する施策の実施に努める。

#### 3. 地域の指定（第5条）

- 環境庁長官は、スパイクタイヤ粉じんから住民の健康を保護し、生活環境の保全を特に必要とする住居集合地域等について、地域指定しなければならない。
- 環境庁長官は、地域指定を行うに当たり、国家公安委員会、その他関係行政機関の長と協議すると共に、関係都道府県知事の意見を聞くねばならない。

#### 4. スパイクタイヤの使用の禁止（第7条）

- 何人も、指定地域内の舗装路で、積雪又は凍結の状態にない部分においては、スパイクタイヤを使用してはならない。
- ただし、消防・救急用自動車及び政令で定める自動車はこの限りでない。

#### 5. 罰則（第8条）

「スパイクタイヤの使用の禁止」の規定に違反した者は、10万円以下の罰金に処す。

#### 6. 施行期日（附則・第1条）

- この法律は公布の日から施行する。
- スパイクタイヤの使用の禁止は平成3年4月1日か

ら、罰則については平成4年4月1日から施行する。

## 7. 経過措置（附則・第3条）

大型車その他政令で定める自動車は、本文第7条・第8条の規定は公布の日から起算して3年を越えない範囲内で政令で定める日までの間は適用しない。

## 5. 道路に望むもの

タイヤは自動車の一部品であるが、その機能は荷重の支持、駆動、制動力の発揮、方向転換、衝撃緩和等多岐にわたり、それらは総て道路との接触において、その性能を発揮している。

路面との接触をミクロに見てみると、固体間の摩擦については、有名なクーロンの法則があるが、ゴムの場合はこの法則が成立しない複雑さを持っている。つまり、ゴムは金属等と比べて桁違いに軟く、しかも変形量が非常に大きい。このため、ゴムに関する摩擦はクーロンの法則が成立する固体と異なり、次の3つの要因からなる。

### (1) ゴムと固体間の粘着力（分子層間の摩擦力）

ゴムと固体間の粘着力は実接觸面で分子間力（粘着力）が働くので、路表面の粗さが摩擦力を向上させることになるが、Wet路面ではこの粘着力による摩擦力は低下する。

### (2) ヒステリシスロス（ゴムの変形による摩擦力）

ヒステリシスロスはゴムの変形と復元の連続によるエネルギー損失が摩擦力となるので、wet路面でもその効果はあるが粘着による摩擦力に比べれば小さい。

### (3) ゴム凝集力（ゴムの破壊に対する抵抗力）

凝集力による摩擦はレース等の場合に問題となるのでここでは省略する。

このように見えてくると、路面のTexture Depth、つまり路面の粗さが実接觸面積の拡大と排水を促し、タ

イヤ性能を引き出す主要なポイントといえる。

一方、タイヤ道路騒音についても空隙の多い路面ではエアポンピング効果がなくなり、騒音がかなり低減するという試験結果もある。

現在、日本で研究されている排水性舗装はまったくこの要因を兼ね備えた、理想的な路面と思える。すでに欧州では実用化されており、表面粗さと排水性は交通安全と騒音低減に効果的とのデータも出ており、このような舗装が早く実用化されんことを期待している。

## あとがき

タイヤ側からみた道路とタイヤの関係、特に高速走行に於ける問題点の一部について述べた。タイヤに求められる性能は、単に運動性能や安全性能の追及に止まらず、今日では環境問題も重要なファクターとして取り上げられている。中でもタイヤ道路騒音の低減、スパイクタイヤの製造・販売中止に係わる代替タイヤの開発等、都市環境改善のために大気汚染問題と共に早急に解決されねばならない重要な環境問題であるだけに、性能向上とのトレードオフの中で、1本のタイヤの中に高いレベルでバランスよくこれらを組み入れる必要があり、高度の技術開発が要求される。しかし、タイヤのみの改良では限界もあり、是非道路側の協力も頂き、総合的な対策がとれるよう期待するものである。

## —参考文献—

- 1) 服部六郎、タイヤの話、昭和61年5月10日、(株)大成社
- 2) 馬庭孝司、タイヤ、昭和54年8月10日、(株)山海堂
- 3) (社)日本自動車タイヤ協会、タイヤの知識

☆

☆

☆

☆

☆

# 人間工学からみた道路と自動車運転

大久保 嘉夫\*

## 1. はじめに

### 1.1 マン・マシン・システムにおける人間の評価法について

マン・マシン・システムにおけるマンの評価法を大別すれば2つあり、前者は主として人間の基本的特性ともいすべき諸要因、即ち感覚、知覚の能力、運動能力や筋力、知能、技能、新しい技術を学ぶ能力、社会的・集団的適応能力、身体の大きさなどの形態学的条件、更には環境が人間の能力に及ぼす影響などがある。又、もう少しマクロ的にみた要因、即ち人間の長期的、短期的な適応限界や人間の種々の反射・反応形態、人間の生活習慣、社会的習慣、民族的差異、性差などの能力に及ぼす因子、人間関係、経験や態度など人間の総合的判断に及ぼす因子などの評価も又システム評価に際しての重要な考慮すべき要因であろう。

### 1.2 マン・マシン・システムにおける人間の特性について

マン・マシン・システムにおける人間の役割は究めて複雑であり、多くの要素がからみあって混雑しているのが一般的である。システムとして人間・機械系を評価する場合には、人間はシステムの構成要素であり、時には機械の目や耳として外部情報を受容する必要があり、他の場合には機械の手足として操作を遂行する必要がある。即ち、機械やさらにそれを取り巻いている種々の環境からの情報を迅速に受け取り、判断をした上で、機械を的確に制御することが人間には要求される。勿論、機械は人間の労働に代わって、定められた運動やエネルギーの伝達、変換の仕事をすることが可能であり、最近では、予めプログラムされたものであれば、ある範囲ならば思考すら可能になってきたといえよう(図-1)。

人間の労働のうち、筋肉労働の多くの部分が、内燃機関、モーターなどの動力機械で置きかえられ、人間の手、足と道具で行われた労働の多くの部分が作業機

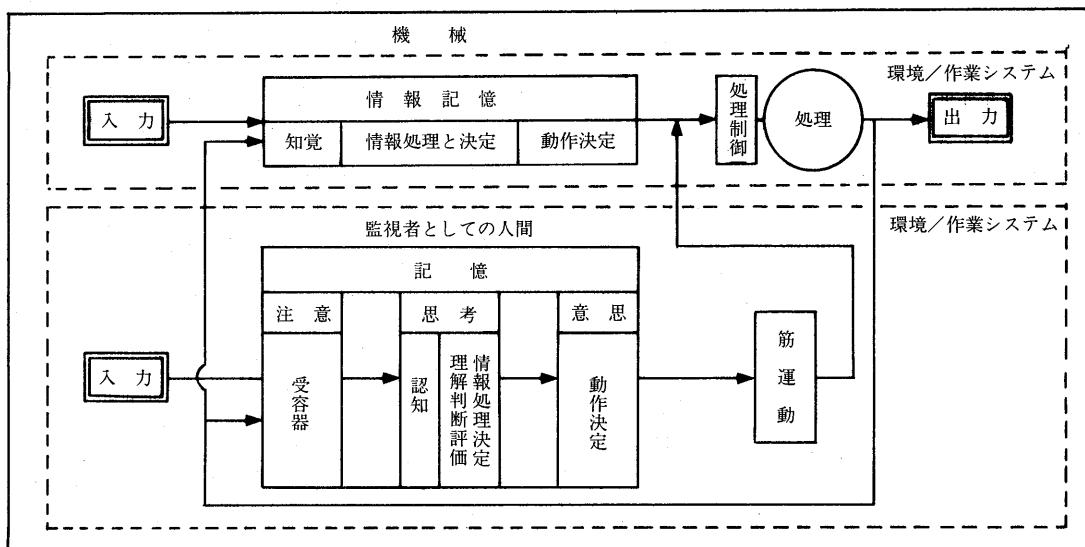


図-1 マン・マシン・システムにおける人間要素と機械要素

\*おおくぼ たかお 日本大学生産工学部管理工学科人間工学研究室教授

械に代えられてき、現在でも代わりつつある。特に前述のように人間の認知、判断の代行を目的にする情報処理機はコンピュータの急速な進歩とともにあって人間・機械系のうちの人間が受け持つ役割を大巾に減じ、機械の側の代行範囲を広げつつあるといって良い。しかし、最も進んだ肉体労働の代替分野でも、人間の手、足にみる多様性、自由度、数種の動作の協調、視、聴、重さ、力などの総合感覚によって判断する、運動制御の巧さを必要とする部分は人間側に大半が残り、人間の熟練に頼っている。また、人間の感覚、認知、判断、推定などの代換をめざすものは肉体労働の分野に比較すると未だ研究をしなければならない分野が多く残っているといわざるを得ない。

人間は機械ではないので、機械側から学習能力、柔軟性、適応性などの機械が余り得意でない分野で頼られても、作業をつづけている間に単調による意識レベルの低下、疲労、空想や他のことに気をとられたり、体調が悪かったりすると、とたんに注意力が低下をしてしまい、このような時にたまたま重大な情報を見過ごしたり、操作ミスをしたりすると、システムの故障からひいては大きな事故につながる危険性が増大することになる。人間は各機能間に階層的構造を持っており、多重のフィードバック機構をもった有機的統合体である。その中における人間要素を考える場合には個々の要素を理解し、さらにそれが統合されて人間としての機能を持つに至る過程を知ることが必要であり、人間労働を機械化する場合には、人間の持っている強さと弱さを十分考慮した上でのシステム設計が必要である。人間の持っている強さと弱さを感覚入力、運転出

力、中枢処理別にみたものが表-1であり、マン・マシン・システム設計に際しては考慮されなければならない要因である。

## 2. 自動車運転者の特性について

自動車運転者の特性については視覚、聴覚、触覚、平衡感覚、嗅覚などを中心とした環境からの入力情報を受け容・処理・出力するもの、性別、年齢、体格、体形、適性、情緒などに代表される個人差やこれを基にした大脳皮質系の行動状態、手や腕、足や脚を介した機械出力に関する特性などが挙げられるが、ここでは主なものについて述べる。

### 2.1 自動車運転者の反応特性

#### 2.1.1 自動車運転における人間一機械系

自動車運転という作業は、道路環境という場において運転者あるいは利用者としての人と車の介在によって行われる、いわゆる人間一機械一環境システムの代表例といえる。

自動車運転を人間一機械一環境系として考える場合には、図-2にも示したように、運転者、自動車、道路、気象的環境という4つの因子の相互関係を考えることが必要であり、これらは互いに密接な関連性を持っており、動的な意味での自動車を考える上ではいずれも欠かすことのできないものである。これは、図-3に示すような自動車と人間との関係における車の動的状態を知るための表示器と知覚との関係、その情報によって車を制御するための操作器と筋肉の関係などをみても明かである。

自動車運転における運転者の情報処理過程は、車内

表-1 人間の強さと弱さ

感覚入力特性	1. 感覚器は単独または複合して、対象の質的特徴を分析する。 2. パターン認識により対象を直観的に認知する。 3. 予測と注意によって、ノイズから必要信号を選択する。	1. 物理現象の中のごく限られた対象しか知覚できない。 2. パターン認識にともづく錯視、感覚器特性による錯覚がおきやすい。 3. 予測しない事態に引き込まれて見のがす、予測過剰で注意を省略。
運動出力特性	4. 2本足立ちと動作・歩行・運搬の自由度はきわめて大きい。 5. 両手指による多次元動作と適応処理の自在性=器用さ。	4. 立位による不安定のために転ぶ、落ちる、立ちくらみなどする。 5. 出力には機械的な限界がある。力やパワーを加えると動作が乱れやすい。
中枢処理特性	6. 知識と体験の豊富な記憶、学習能力がすぐれている。 7. 前向き思考による柔軟な判断、論理思考により合理的に判断。 8. 状況に応じ速やかに判断を切りかえる(非線形)、意志による抑制。 9. 創意工夫・形式否定による現状の見直し、発想と創造、好奇心に富む。 10. 生体的活動を好む、意欲とヤル気で能力は倍増、社会への自己犠牲。	6. 類似の記憶のために混乱や忘却をおこす。知っていても思い出せない。 7. 判断時間がおそく、量も少ない急迫場面では判断ミス、パニック化。 8. 判断を要しない単純動作の反復に弱く、すぐ意識抜けをおこす。 9. 従来の習慣やルールを軽視または無視。 10. 自己欲の満足には手段を選ばず、感情的に自己を主張。

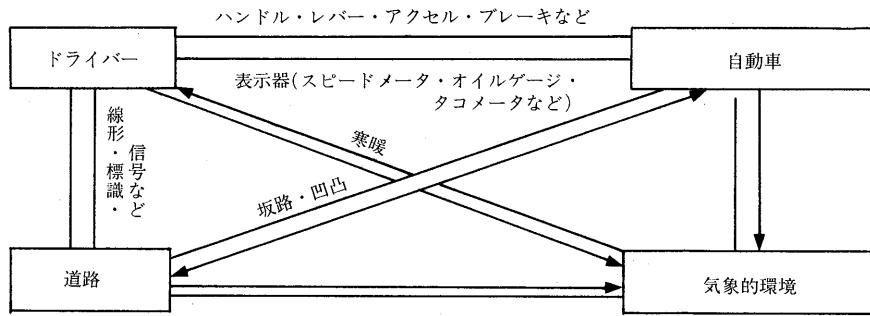


図-2 自動車における人間-機械-環境系

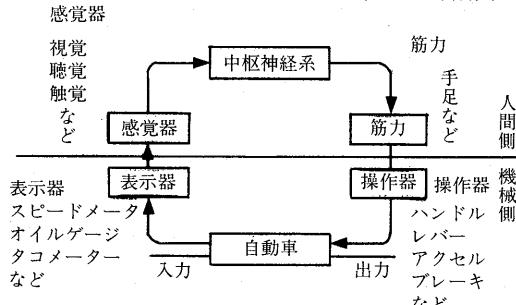


図-3 自動車運転時における情報処理系

車外環境から入ってくる情報が受容器を通して大脳で処理され、更に効果器へと伝達され、この伝達出力が情報として再び入力される。この中で、人間が必要とする情報源の中心は車内よりもむしろ車外環境にあり、その情報の内容は時々刻々と変化し、多岐にわたり意外性に富んでいることを把握しておく必要がある。

また、道路交通においてはオペレーターである人間の操作能力が千差万別であり、一定のレベル以上の均質な能力のあるオペレーターである他の交通機関（航空機、鉄道、船など）とは異なり免許取得後間もない人から、何十年間も毎日運転をしている熟練者、年齢的にも幅が広い、精神的にも不安定な人などとかなり条件が異なることも理解しておく必要がある。

### 2.1.2 知覚-反応時間

自動車運転の制御機能の中で、最も重要な一つは知覚-反応時間である。反応時間とは、受容器からの情報に応じて中枢の指令で運動器官の動作が完了するまでの速さをいい、自動車運転者における反応時間の諸問題は手および足が中心となる。反応時間だけを考えた場合では、ある限度以上の能力があれば反応の速さそのものにはあまり関係ないが、これに判断の正確さや行動の正確さなどと結びついた場合には重要な意味を持つようになる。

自動車運転におけるブレーキ制動時の反応時間を考えると、ある刺激に対してアクセルペダルから足を離

す、足がブレーキペダルにのる、といった一連の運動プロセスが必要となる。

ブレーキ反応時間は、制動要求から実際に足が運動を開始するまでの反応時間、アクセルペダルからブレーキペダルへ足を置くまでの踏み替え時間、そして足がブレーキペダルにのせられてから制動がきき始めるまでの踏み込み時間とに分けられ、この間の走行状態は一般に空走状態といわれている。

過去に行われた数多くの室内実験の結果によれば、制動要求から制動効果が出始めるまでの時間は0.6~1.0秒という値が得られていることから、実車による屋外走行においては入力情報が多岐にわたることからも当然この値は延びることがうかがえる（図-4）。

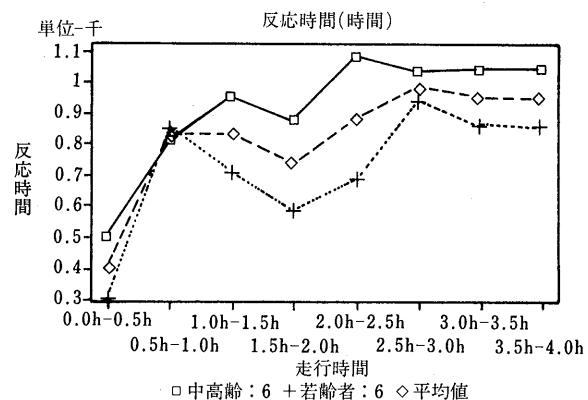
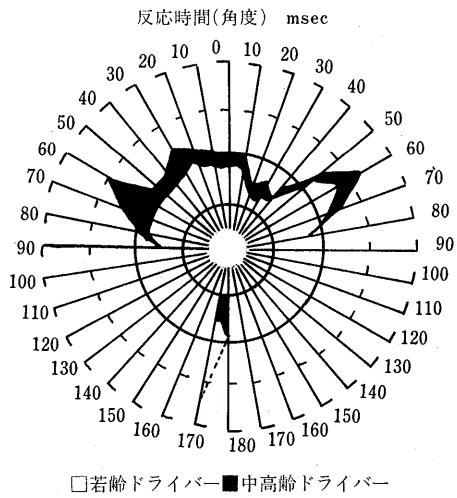


図-4 自動車運転時における制動要求から制動効果までの時間推移（市街地走行N=12）

また、動体視力は速度が増すことにより、視認能力が低下することや大脳での判断時間などを含めると反応時間は2~3秒程度は必要であるといえる。更に、知覚-反応時間は運転姿勢の影響を受けることや制動距離は自動車そのものの性能の他に、車速、積載量、路面状況などによって大幅に異なることも認識しておく必要がある。

米国では知覚時間に1.5秒、反応時間は1秒、計2.5秒をとてこれを距離の設計に用いており、わが国の道路設計においても制動距離算出の基礎数値として採用しているのはきわめて妥当であるといえる（図一5）。



図一5 高速道路運転走行時における光刺戟に対する知覚反応時間（若齢ドライバー6名、中高齢ドライバー6名）

### 2.1.3 視覚機能に関する特性

#### (1) 視覚

道路の通行や自動車の運転などにおいて、視覚の果たす役割は大きく、重要な機能である。

- このように視覚が重要視される理由としては、
- ① 遠方にあって対象の存在を感じできる。
  - ② 瞬間に情報受容が可能である。
  - ③ 少量のエネルギーがあれば感知可能である。
  - ④ 情報の内容が豊富である。

などが推定されている。

運転時に必要となる情報の約90%が視覚によって得られているといわれており、視覚として認知された情報は脳幹網様体により活性化され、知覚中枢に達し認識されて、運動中枢より意志的な動作が指令されるのである。

神作は、この視覚を左右する要因として、

#### ① 視覚される対象に関する要因

輝度、大きさ、形、色、対象の空間位置、背景あるいは地との対比、観察可能時間（対象の見ている時間）、対象の運動や振動・動搖の有無など。

#### ② 対象及び運転者等の周囲の環境に関する要因

視程（霧、かすみ、煙、雨などによるもの）、環境の

明るさ（昼間・夜間・薄明・薄暮、天候、人工照明水準の高低などを含む）、背景の複雑さなど。

#### ③ 運転者等側の要因

視力・色覚・深視力（奥行視力）・視野・運動視などの視認能力、年齢、疾病、疲労、順応、注意、視線の動かしかた、環境ストレス、薬物、態度、パーソナリティの影響など。

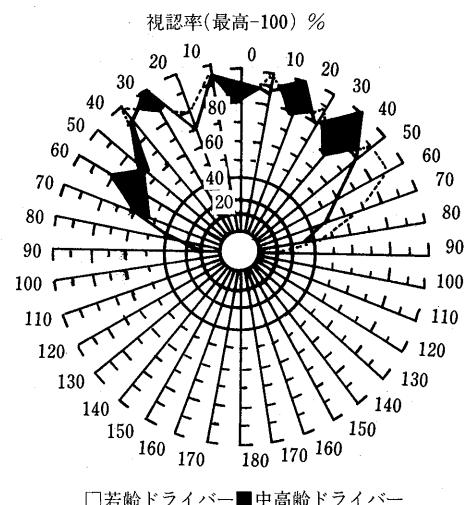
などをあげている。

#### (2) 視野

視野とは、人間がある対象物を見ると頭を動かさなくても見える範囲をいい、頭部を固定し、眼球を動かして注視できる範囲を注視野、頭部および眼球を固定して同時に見える範囲を静視野、頭部のみを固定し眼球を自由に動かして見える範囲を動視野とそれぞれ定義されている。

片眼だけの単視野で直前方の一点を凝視したとき、上方約50°、下方70°、内方60°、外方90°前後の範囲が見え、両眼視野では左右に160°（眼のある方に100°、反対方向に60°）の範囲が見えるが、視野内にある対象物がすべて見えるとはかぎらない。

中心から5°離れると視力は中心視力の20～30%に低下してしまい、5°をこえると視力の低下は急激になることが知られており、樋渡によれば、文字が読めるのは視野の中心から半径約5°の範囲内だけで、5°以上離れると文字の形状は知覚できても読むことができない。したがって、広い視野の中で認識機能を持っているのは、中心部から半径約5°の範囲内だけということである（図一6、7、8）。



図一6 高速道路運転走行時における車輛全方位における光刺戟視認率（若齢ドライバー6名、中高齢ドライバー6名）

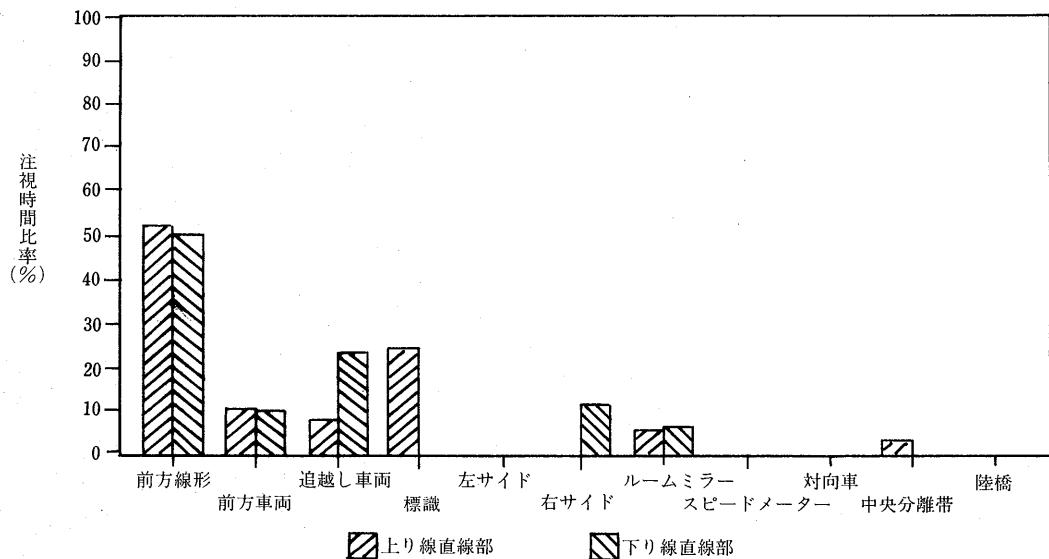


図-7 運転走行時における被験者の高速道路視対象別平均注視時間比率（被験者B 直線区間）

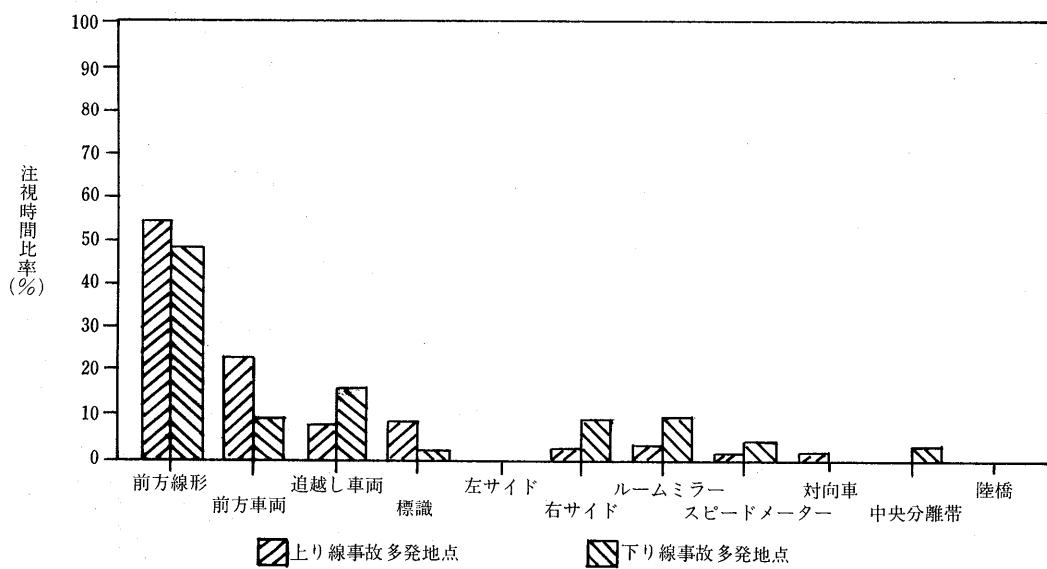


図-8 運転走行時における被験者の高速道路視対象別平均注視時間比率（被験者B 事故多発区間）

### (3) 順応

暗い所へ入ると網膜の光に対する感受性が高まる。これを暗順応といい、明るい所に出ると光に対する感受性が逆に低下しまぶしさを感じなくなる。これを明順応という。

眼の網膜は、網膜の中心部分に多く存在し、色に感じる錐体細胞と、周辺部分に多く存在し、暗い場合に働き、色に感じない桿体細胞とから成り立っている。

したがって、暗順応のときは桿体細胞が働き、明順応のときには錐体細胞が働く。

順応の時間的経過は、暗順応では順応開始後4~5分で一定となり、以後やや急激に感度が上がり、暗順応は約30分で完全になる。また、明順応では生理学的には強い光刺激に対し、網膜の感度が急激に低下することであるが、これは暗順応に比べて極めて速く数分で感度は一定する。

順応は特定の色についても生じ、色に対する暗順応では紫色に対し最も早く順応し、以下、緑、白、黄色の順で、赤橙、濃赤は非常に遅く、見えにくい。また、明るい所では同じ明るさに見える赤と青が、薄暗いところでは赤が暗く、青が明るく見えることが知られている。

#### (4) グレア

視野内に極端に輝度の高いものや、強すぎる輝度対比があると、不快感を起こしたり、視覚低下を起こす現象をグレアといい、減能グレア (disability glare) と不快グレア (discomfort glare) とに分けられる。

減能グレアは、視対象に対応する視覚を低下させるグレアで、しばしば不快グレアを伴っており、夜間、自動車で走行中に対向車のヘッドライトのまぶしさのため、前方の歩行者の行動などが判然としない場合などに生ずる。また、不快グレアは、視対象物に対応する視覚を必ずしも低下させることはないが、不快感を発生するグレアのことをいい、会議中などに、視線を前方に向けた場合、前方上方の光源のまぶしさのために視覚機能は損なわないととも、うるさきやわずらわしさなどの不快感を感じる場合などに生ずる。

グレアが生ずるのは、光源の輝度による場合が最も多いが、その場合のグレアは、①周囲が暗く、目が順応している輝度が低いほど著しく、②光源の輝度が高いほど、③光源が注視線に近いほど、④光源の見かけの面積が大きいほど、まだ数が多いほど著しくなる。

#### (5) 注視距離

注視とは、ごく短時間、眼球が停留してある一部分に焦点が合っている状態で、1回の注視は200~500ミリ秒間持続し、また視覚にして1~5°の範囲内の情報を処理する。

人間は流れの生ずるところへ長い間眼をおくことは生理的に不可能であり、自然に流れの生じないところを注視するようになる。自動車運転などの場合には、車の速度が速くなるにしたがい路面の流れは激しくなるため前方を見るようになり、この前方路面の流れが高速になればなるほど結果として眼は遠方を注視することになる。また、このように注視が遠方になることにより、特に近い距離の細部についての認知ができにくくなることも事実である。

注視距離（有視距離）としては、速度30km/hで25m、50km/hで100m、80km/hで700mという結果が得られており、また、車を運転することのできる最少の注視距離（前方距離）は、他の車が全くない走行条件下

においては、速度80km/hでは前方20m程度見えれば走行できるといわれている。

#### (6) 距離の判断

人が距離や大きさを判断する場合には、絶対判断 (absolute judgement) と、相対判断 (relative judgement) とがあり、後者はなんらかの手がかりを用いて判断するのに対して、前者は個人の主観的な尺度による判断であるため、個人差も大きく、誤差も大きい。たとえば、ある人が100mと判断した距離が別な人にとっては50mにしか感じないというような場合である。

人間にとっては相対判断の方がより容易であり、電柱で何本、センターラインの白線で何本といったような判断をさせた方が誤差は少ないといえる。

#### (7) 速度の判断

速度に対する判断能力には、必ずといって良いほど感覚的なズレが生じる。

運転者が自分の車の速度を知るうえで利用できる速度情報としては、車の速度計によって与えられる客観的情報と運転者自身の主観的印象に基づく情報の2種類ある。この主観的印象による速度判断はメンタル・スピードメーターと呼ばれ、加減速やエンジン音、風切り音、使用しているギア、アクセルペダルの踏み方などいろいろな手がかりによって決定されるが、最も強く影響するのは運転者の視知覚である。

運転者が加減速を行う場合には、車のスピードメーターよりも主観的印象に頼ることが多く、特に高速道路の出入りにはメンタル・スピードを用いる場合がほとんどである。

しかし、このメンタル・スピードメーターは不安定、不正確であることがわかっている。減速の場合の速度判断では、実際の速度を過小評価する傾向にあり、十分に減速されないという状態が生じ、加速の場合では、減速の場合とは逆に、実際の速度を過大評価する傾向があり、十分に加速されないという状態が生じる(図-9)。

また、速度順応という現象があるが、これは運転者が一定の速度で持続的に走行していると、速度感は走りはじめのときよりもずっと減少してしまう現象で、メンタル・スピードメーターに影響を及ぼすものである。

### 2.2 自動車運転者の行動特性

#### 2.2.1 注意・不注意における行動特性

事故が発生すると、必ずと言っていいほど「注意」、「不注意」の問題が登場する。しかし、注意という複雑

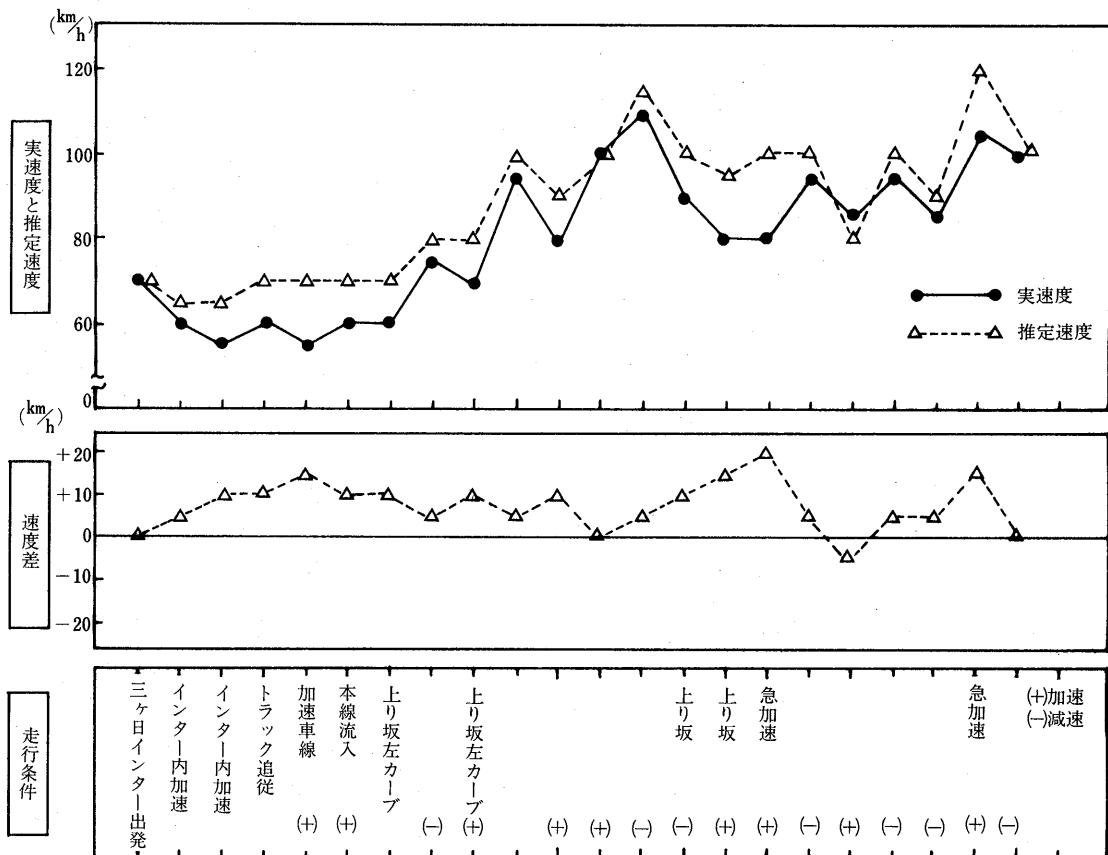


図-9 高速道路走行時における走行条件別にみた実速度と推定走行速度感 ( $N = 1$ , 23才 経験 4年)

なメカニズムを考えると容易に不注意という言葉を使うべきではない。

注意の働きを簡潔に表現するのは容易ではないが、遠藤によれば、「精神機能を高めるための構えであって、ひとつのもの（情報）を選択するために他の情報を抑制する作用」としている。

運転作業においては、注意が一箇所に集中するのを避けるようにし、交通環境に応じ適正な配分することにより不測の事態に備えることが重要である。これは、注意の固着により焦点以外は不注意となり、また単に広範囲に注意を分散させただけでは、注意の方向外での事態に対応の遅れを生ずることからも適正な配分が重要といえる。

また、注意が他の刺激によって他の方向へ向けられる「注意のそれ」、「注意低下」、注意が散漫の場合の「不注意」、一見不注意のように見えるが何かに注意を集中しているため、他の事象が全く感じられない「放心状態」などは事故の原因として重視されている。

更に、注意にはたえず「動搖」が存在し、極端に強い注意の集中は数分間しか持続できず、周期的な注意

の途切れ現象が起こり、持続的な注意の集中が要求される場合には、時間経過とともに注意のレベルそのものが低下する。これらは共に発見や対応の遅れを生じ、結果として不注意状態が起こるものである。

遠藤は運転にとっての注意とは、「迅速・確実な取捨選択、処理の順序、判断の選択・確認」であり、脳内における情報処理過程そのものであるとしている。

これは、脳の活動（覚醒・意識）レベルが最適な状態にあるとき、最も効果的に行われ、この活動レベルを適度に維持することができれば注意の働きも維持できることになる。すなわち、注意の働きを低下させる生理的要因（日周期変動、疲労や単調、異常事態に直面しての過緊張や恐怖・不安など）を除けば良いことになる。

そして、何よりも人間機能そのものには、熟練度との関連なしに不注意が発生する可能性を潜在的にもつておらず、いつでも誰にでも発生する危険があることをはっきり認識しておくことが重要である。

#### 2.2.2 道路環境による行動特性

運転者は道路の線形勾配や路面状況などをかなり正

確に知覚することができるが、道路構造やその周囲の視覚環境によっては、実際とは異なる知覚（誤知覚）を生じる場合がある。

道路線形においては、半円を超えない円弧では実際よりも曲がり方が小さく知覚される傾向があり、特に円弧の見える部分が少ないほど曲率は過小視される。

したがって、見通しの悪い曲線道路においては、同じ曲率の見通しの良い道路よりも曲がり易いと誤知覚される傾向がある。

道路勾配においては、上り坂であると知覚されたにもかかわらず、車速が増加してしまう場合がある。これは、実際には下り坂を走行しているのであるが、道路周辺の知覚環境の構造により自分が水平であると錯覚することにより、前方の緩やかな下り坂を上り坂であると知覚してしまうためである。逆に上り坂が下り坂に見えてしまう場合もあるがこの場合の危険度は低いといえる。一般に、実際に身体が傾いていても、自分の傾きがはっきりと感じられない場合には、自分の外の視覚的枠組の中のものが傾いて見えてしまう傾向がある。

また、同じ道路であったとしても、路面に視覚パターンを設けることにより速度感が異なることが知られており、パターンなしよりも等間隔の横縞、等間隔よりも指數関数的に間隔が狭くなる横縞のパターンが速度感の誇張に効果的であることがわかっている。

高速道路の線形と交通事故との関係では、曲率半径が小さい場所ほど事故率は高く、この傾向は曲率半径が400m以下の場所で特に顕著であること、また、下り

勾配が大きい場所ほど事故率が高くなり、この傾向は下り勾配が4%以上の場所で特に顕著であり、上り勾配が3%以上の場所においても事故率が高くなる傾向にあるといわれている。したがって、実際の道路設計においてはこれらの関係を考慮し、平面線形と縦断線形との組合せについて配慮すると共に、運転者の視線誘導をスムーズにし、視覚・心理的に良好な線形になるよう配慮する必要がある。

この高速道路の線形と交通事故との関係について過去に行われた研究結果をみると、事故発生区間の特性要因として、直線、円、クロソイド、左右カーブ及び下り勾配があげられ、これらの組合せにより事故の多発区間寡発区間が明らかに分類できるとしている。それによると、平面曲率半径と事故率では、曲率半径が500m未満になると事故率の増加傾向が顕著であること、クロソイドパラメータと事故率では、クロソイドパラメータが500mよりも小さくなると直線部の事故率より高くなる傾向にあり、これが250m未満になると事故率の増加傾向は顕著であること、縦断勾配と事故率では、下り勾配が4%を超えると事故率の増加傾向は特に顕著であることが明かとなっている。

したがって、これらの線形が存在する場所においては、道路標識などによって運転者に危険提示をする必要があり、路側の植樹や反射誘導標などを用いて視線誘導をすることにより、線形に添って運転できるように導く必要がある。以上に述べた諸要因への配慮により運転時における運転者のストレスを軽減できるものと考えられる（図-10, 11）。

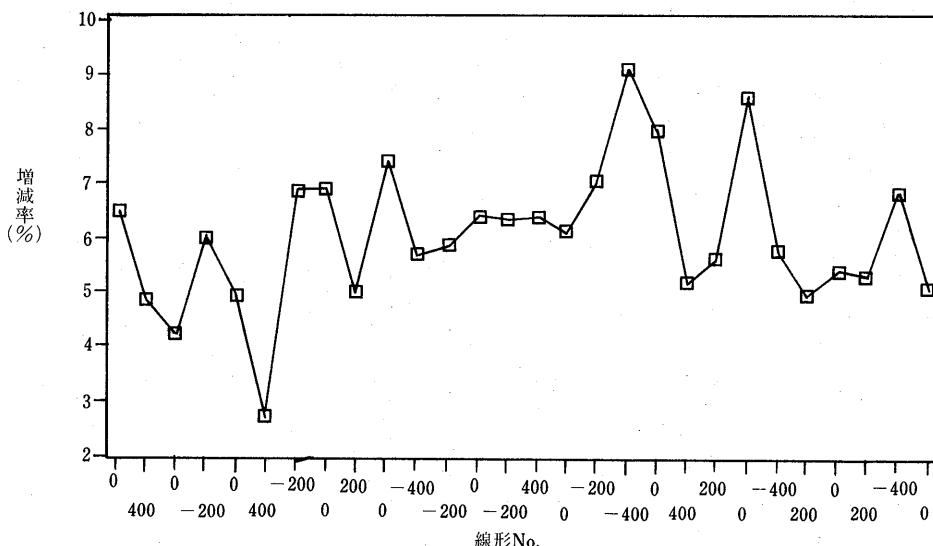


図-10 各線形走行時における全被験者の平均心拍増減率 ( $N = 5$ , シミュレーターによる)

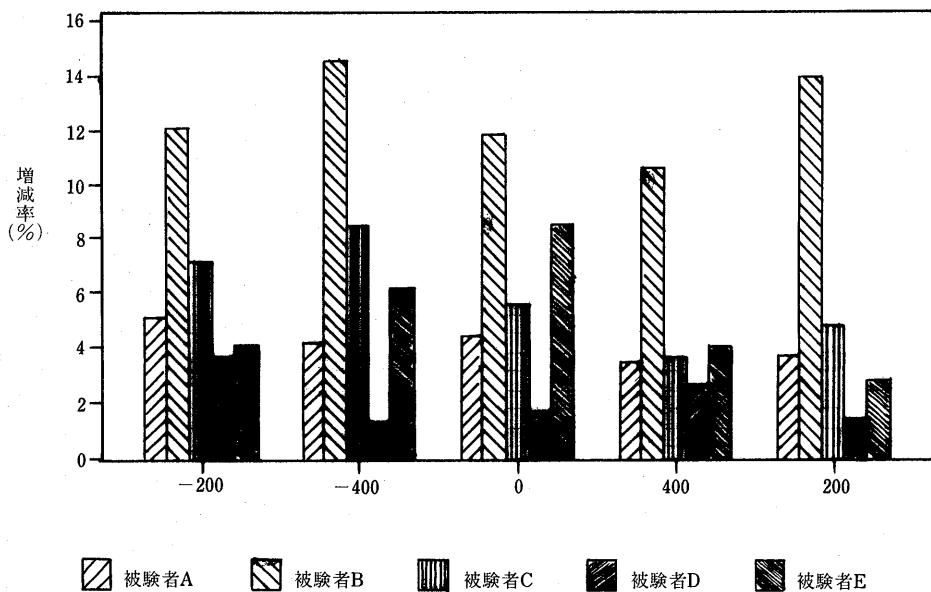


図-11 各線形走行における各被験者毎の心拍増減率 ( $N = 5$ , シミュレーターによる)

## 2.3 自動車運転と疲労特性

### 2.3.1 運転疲労

運転疲労を考える際に必要なことは、運転がどの程度疲労を起こすものであるかということと、日常生活による通常疲労が運転時のパフォーマンスにどの程度影響を与えるのかを知ることである。

運転疲労について、Crawford はストレス疲労(stress fatigue)といい、運転者は運転中様々な外的刺激の影響を受けて情動的緊張の状態にあり、その蓄積が疲労として表れるとしている。また、Bartlett は高度な技能を必要とする作業疲労をスキル疲労(skill fatigue)と定義している。

斎藤は、運転疲労の発生と変化の過程について、まず運転開始初期の繰り返しの情動的反応の中で外界の刺激に対する一定の情動反応レベルが形成され、それが継続的に起こる外部刺激に対する反応の覚醒レベルとして、バランスが保たれている状態からわずかな刺激に対しても強い情動的反応を引き起こす状態、あるいは、ある刺激のために生じた情動的反応がなかなか消失せずにかなりの間持続する状態である第1期疲労症状へ移行する。そして、更に運転を持続することにより情動反応レベルも低下し、運転者は外部環境の変化に対する反応性が低下し、次第に眠気を覚えるようになり、迅速な運転動作がとれなくなるような状態である第2期疲労症状に至るとしている。

また、このような連続的な精神緊張に伴う運転作業

による疲労の様相が、他の作業の疲労の様相と異なる点として、運転疲労の程度は運転時間の関数として一義的には決定されにくいこと、運転疲労の基本的な原因が情動を伴った緊張にあることから、時間的にかなり進行しないと運転中及び運転直後に様々な心身機能の低下として明確にとらえにくくことをあげている。更に、運転疲労の行動面の徴候として、運転態度の粗雑化、知覚・運動系の協応の不調、反応動作の鈍化が生じるとしている。

### 2.3.2 運転疲労の要因

自動車運転者は運転をすることにより疲労を感じるのであるが、その原因になると考えられる運転時に受ける負担の要因を大久保は以下のようにまとめている。

#### (1) 心身的条件

体格、体力、体質、感覚、知覚能力、性別、年齢、疾病、運転技術を学ぶ能力、体調

#### (2) 心理的条件

嗜好、性格、気質、興味、動機づけ、人間関係、倫理感、価値観

#### (3) 生活条件

睡眠時刻と時間、住居環境、家庭環境、家族環境、通勤環境

#### (4) 運転条件

道路状態(道幅、形状、見透し、制限、安全運転のための標識等のバックアップ、システムの良否)、休憩施設

(5) 自動車条件

計器類のレイアウト、前側・後方視界、座席、シートベルト、操作機器の形状と位置

(6) 走行条件

運転時間、運転目的、走行速度、運転方法、交通量(自動車、自転車、人)、走行時の時間制限、道路の理解度

(7) 環境条件

車内外温湿度、車内外騒音、車内外振動、照度、気圧

このように、運転者自身の心身的・心理的条件、運転者の生活条件、運転時条件としての道路条件、自動車条件、走行条件、環境条件等に加え、運転特性としての情報摂取能力、判断能力、危険感受能力、事故統御能力、危険回避能力などを含めたたくさんの要因が疲労を惹き起こす原因となり得る。

### 2.3.3 運転疲労の症状

運転疲労の症状は主として、(1)眠気、(2)注意力の狭窄、(3)自覚症状の3つが考えられている。また、筋肉負担要素の少ない労働とはいえ、長時間に（特に職業運転者の場合）作業になれば筋肉痛、関節痛といった症状と同時に、頭痛、めまい、固定または不良姿勢からくる運動器痛、全身の倦怠感、無気力感、脱力感等

が特に顕著に出現するのが普通である（表-2）。

表-2 運転疲労により生起する心身機能変化

疲労測定項目	評価方法
最低血圧	低下
心拍数	レベルの低下
呼吸数	数の減少
皮膚電気反射	反射出現頻度の減少
筋電（眼瞼運動を含む）	目のまばたき頻度の増加
脳波（ $\alpha$ 波、誘発電位）	$\alpha$ 波の増加
フリッカーベル	低下と変動パターン
タッピング数	低下とバラツキの場大
色名呼称	スピードの低下と不正確さの増大
反応時間	増加とバラツキの増大
身体動揺度	動揺度の増加
触2点弁別	閾値の拡大
指運動数	閾値の拡大
平衡機能	低下とバラツキの増大
心的余裕度	減少
唾液・血清中のNa/K	Na/Kの低下
尿中のNa/KおよびCl/Na	Cl/Naの増加

運転作業を行う場合、その空間的環境や感覚的環境の中には、睡眠あるいは眠気を促進する要因が存在する。特に、単独で運転をする場合や高速道路運転の場合においては、運転者は周囲の環境から空間的に隔離された状態になるため、周囲からの感覚刺激（視覚刺激、聴覚刺激、皮膚感覚刺激など）や対人接触が減少し眠気を起こし易くなる（図-12）。

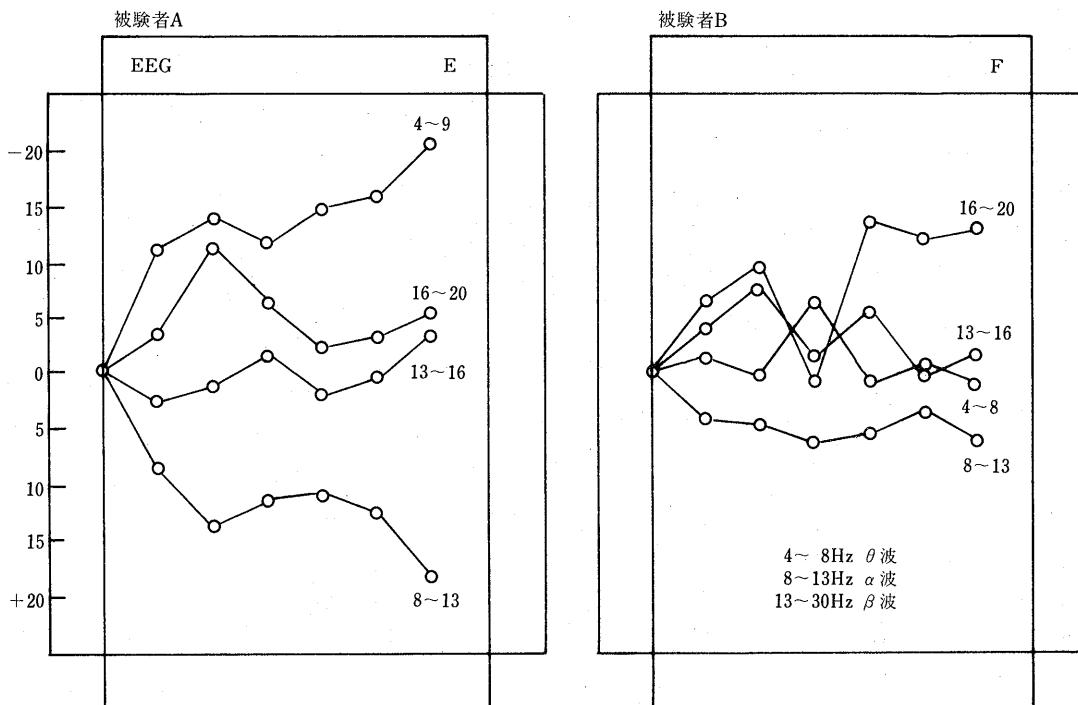


図-12 運転シミュレーターを用いた運転時の脳波帯域の変動 (N = 2)

また、反復性・持続性のある感覚刺激が与えられると、慣れとそれに伴う中枢神経機能の抑制を起こし、睡眠を誘発するようになる。

更に、最近では運転作業においても自動化が進み、運転者は単純な運転操作と計器の監視をするだけで良くなっている。しかし、このような運転は単調であり、能動的ではなく受身的、受動的であるため、大脳皮質の覚醒レベルの低下をまねく要因となり得る。

そして、このような単調な作業によって大脳の機能低下をまねく、「覚低運転」という状態に陥る。これは、運転者の疲労とは無関係に陥るものであり、運転者自身は目覚めており、意識もあるのが特徴である。

また、覚低運転の状態においては、運転者の視野は著しい狭窄状態となるため、道路標識等の見落としをしたり、危険に対する応急能力を欠いた無防備状態になり、注意力の低下にも影響を及ぼす（図-13）。

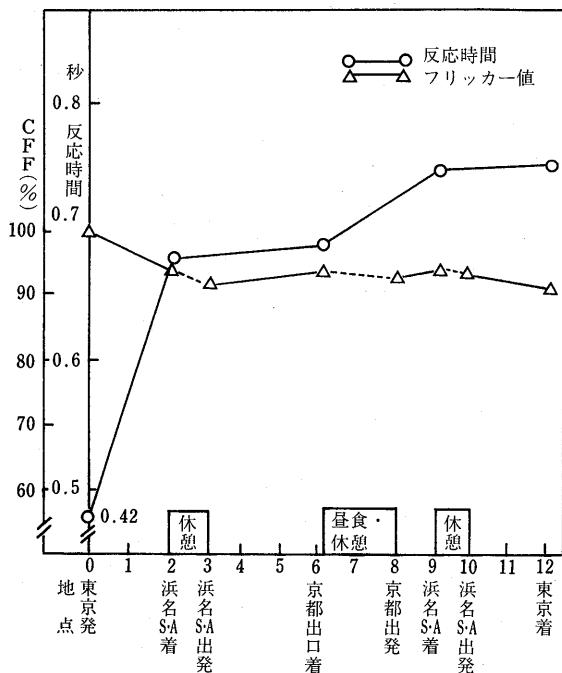


図-13 東名・名神高速道路を利用して東京・京都を行き来した際の聴覚刺激による選択反応時間とフリッカ値 ( $N = 4$ )

したがって、単調感をまねくような刺激過少状態に陥らぬように、車線変更など運転に変化をつけたり、休憩の至適な挿入やカーラジオの利用などの自己刺激によって意識をはっきりさせる必要がある。

また、少しでも眠気を感じた場合には、休憩をとり、体操や深呼吸など筋肉の刺激を与えることにより低下した大脳の覚醒レベルを高めるようにすべきである。

#### 2.3.4 運転疲労により生起する心身機能の変化と運転ミスの関係

運転疲労によって生起する心身機能の変化と運転ミスの関係はこれまで沢山の研究が行われてきた。これをまとめると研究者によって、多少異なるが凡そ次の4フェーズに分かれるものと思われる。

第1フェーズ：疲労が発現せず快適な状態で機能も高く（初期高進ともいって）運転可能である状態である。但し、時として心身状態が運転の動的、静的環境に順応しておらず、ウォーミングアップ等が原因でタイミングのズレなどにより時として運転ミスに繋がることもある状態である。

第2フェーズ：初期高進の心身機能が一段落し種々の運転条件に対するドライバーの心身機能の適応が完成するものの疲労が運転時間の増加と共に漸次発現し、運転技能や判断に後半、時として誤りやまささが出現し、運転作業の動作のカットが行われる状態である。

第3フェーズ：第2フェーズが増幅されはっきりとした形で運転疲労が発現し身体の部分的痛みやだるさ、更には意識レベルの低下が起こり、徐々に睡眠と関係する状態になりハンドル操作、ブレーキ操作、情報読み取りや、信号や合図による情報呈示に対する人間側のカットやミスが多くなる状態である。

第4フェーズ：第3フェーズが更に増幅されて、運転者の意識がぼんやりとした状態になり、極端な場合にはうとうとやまどろみ状態になる。第4フェーズの初期には情報の受容や処理または応答（行動）のプロセスの一部亦は全てで粗暴な行動が現れたり、亦は、逆に不適確な行動が現れるようになる。が、まどろみ状態となると全て中断され、危険な状態となる。

従って、運転疲労という点からみれば、理想的には第1フェーズの状態で運転するのが望ましいが、運転を継続しても第2フェーズまでであり、運転疲労が顕著に現れてくる第3フェーズ以後の運転はさけるべきであろう。

### 3. 結論

以上、主として人間工学よりいくつかの問題へのアプローチを試みたが自動車運転の安全という視見にたって将来の解決しなければならぬ問題を挙げると次のようである。

- (1) 自動化、機械化の進行に伴う、システムの理解度低下、機械依存度の増大、熟練度低下等への対策や訓練限界や共通技能化対策の為の蓄積した熟練技能の伝承方法の再構築。
- (2) 自動化、機械化の進行に伴う監視的作業の増加、単調感、退屈感の増大と急速な機能水準低下の防止や個人の快適性の向上。
- (3) 自動化、機械化の進行に伴い大量且つ複雑な情報の認知、判断、意志決定が必要なためトータルシス

テムとしての人間と機械の分担、見直しとデータベースの蓄積、更に人間の認知、判断、操作機能支援システムの開発。

- (4) 乗り物の高速化に伴う新しい形での人間の信頼性や人間行動の把握を容易にする上の定量的評価分析を基礎にしたシステムやインターフェイスの見直しと再設計。
- (5) 自動化、機械化の進行に伴う少人数化によるコミュニケーションの欠落防止策の設計。
- (6) システム構成要素であるオペレーター、ユーザーの個人差の拡大(年齢、民族、性別など)に伴うソフト、ハード両面の改善とシステムアウトプットの評価。

### —参考文献—

- 1) 総務庁編：交通安全白書 平成元年版、大蔵省印刷局、1989. 6, P.11~15, 41~45, 166~168, 204~205
- 2) 警察庁編：警察白書 平成元年版、大蔵省印刷局、1989. 5, P.232~235, 275
- 3) 建設省道路局企画課監修：道路統計年報1989年版、全国道路利用者会議、1989. 8, P.444
- 4) 総理府統計局編：日本の統計 昭和55~63年、大蔵省印刷局、1975~1988
- 5) 総務庁統計局編：日本統計年鑑昭和55~63年、日本統計協会、毎日新聞社、1980~1988
- 6) 建設省道路局：高速道路便覧88年度版、全国高速自動車国道建設協議会、1989. 3
- 7) 自動車安全センター昭和63年調査研究報告書：高速道路における交通事故・違反の実態とその防止対策に関する研究、1989. 3
- 8) 統計が示す東名高速道路、道路、日本道路協会、1989. 5, P.32~33
- 9) 濃添元宏、高橋文雄：東名20年の変遷、高速道路と自動車、高速道路調査会、1989. 6, P.59~60
- 10) 橋本弘之：東名・名神高速道路の現状と改築計画、高速道路と自動車、高速道路協議会、VOL.25, No.4, 1982, P.57~65
- 11) 渡辺敏則、阿部重雄：20年を迎える東名高速道路の交通実態、高速道路と自動車、高速道路協議会、VOL.31, No.8, 1988, P.55
- 12) 小泉明、大島正光、竹本泰一郎、渡辺茂：新編健康管理シリーズ6 人間一機械系、医歯薬出版、
1975. 1, P.222~224
- 13) 浅居喜代治：現代人間工学概論、オーム社、1980. 1, P.224~227, 234~237
- 14) 交通工学研究会編：交通工学ハンドブック、技報堂、1974. 1, P.57~59, 62~66, 74~77
- 15) 中島源雄：交通安全の研究、九州大学出版会、1987. 3
- 16) 小林剛：自動車運転におけるヒューマン・ファクタ、自動車技術、VOL.39, No.5, 1985, P.493~500
- 17) 大島正光編：交通と人間、からだの科学臨時増刊、日本評論社、1986. 6, P.20~30, 96, 102~107, 160~166, 172~177
- 18) 人間工学教育研究会編：人間工学入門、日刊工業新聞社、1988. 2, P.23
- 19) 小林実：人間工学と運転疲労、高速道路と自動車、高速道路調査会、VOL. 8, No. 2, 1970
- 20) 横渡清二編：視聴覚情報概論、昭晃堂、1987. 7, P.27~28
- 21) 照明学会編：照明ハンドブック、オーム社、1978. 5, P.56~57, 750
- 22) 佐藤方彦：人間工学概論、光生館、1975. 4
- 23) K.T.スペアー、S.W.レムクール共著、茅阪直行訳：視覚の情報処理、サイエンス社、1986. 12, P.188
- 24) 高速道路調査会、交通工学研究会編：交通工学用語辞典、技術書院、1985. 11
- 25) 鈴村昭弘：人間工学からみた高速道路－人間の立場から－、高速道路と自動車、VOL. 8, No.12, 1970

- 26) 野沢浩, 小木和孝: 労働科学叢書55 自動車運転労働, 労働科学研究所, 1975. 9, P.230~268
- 27) 大久保堯夫: 運転時間と運転者の心身負担, 人間工学, VOL.21, No.1, 1985
- 28) 谷島一嘉, 大島正光他: 自動車の運転と疲労, 自動車技術, VOL.25, No.10, 1971
- 29) I.D.BROWN : EFFECT OF A CAR RADIO ON DRIVING IN TRAFFIC, ERGONOMICS, VOL. 8, NO.4, 1965
- 30) 長町三生: 現在の人間工学, 朝倉書店, 1988. 6, P.47~49, 53~55, 66~69
- 31) 斎藤進: 視線の動きとその定量的計測, 自動車技術, VOL.41, No.11, 1987, P.1280~1284
- 32) 三浦豊彦他編: 新労働衛生衛生ハンドブック増補編, 労働科学研究所, 1982. 10, P.163~165
- 33) 近藤雅臣: 環境衛生学, 南江堂, 1976. 4, P.42~47
- 34) C.E.A.WINSLOW, L.P.HERRINGTON 共著, 北博正・竹村望訳: 温度と人間, 人間と技術社, 1974. 3
- 35) 大久保堯夫: 心身反応よりみた自動車運転の習熟過程, 人間工学, VOL. 8, No.5, 1972, P.259
- 36) OHKUBO.T, HAMLEY.E.J., : ASSESSMENT OF HUMAN PERFORMANCE IN LEARNING A SKILL INVOLVED IN DRIVING, JOURNAL OF HUMAN ERGOLOGY, VOL.1, NO.1, 1972.11
- 37) 黒部高夫: 車内騒音試験と評価について, 自動車技術, VOL.28, No.4, 1974
- 38) 立石泰三: 自動車車内騒音の一評価法, 生産研究, VOL.25, No.5, 1973, P.174~178
- 39) K.S.RUTLEY and D.G.W.MACE : HEART RATE AS A MEASURE IN ROAD LAYOUT DESIGN, ERGONOMICS, VOL.15, NO.2, 1972
- 40) 大久保堯夫, 青木通佳, 堀江良典, 林裕人: 自動車運転者の高速運転時における行動特性と心身反応に関する研究, 日本大学生産工学部学術講演会, 1989. 12, P.663~66

## 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・実費頒価500円（送料実費）

目	次
<b>1. 総説</b>	
1-1 はじめに	3-1 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
<b>2. 構造設計</b>	3-3 補強路盤の工法
2-1 概説	<b>4. 表層</b>
2-2 調査	4-1 概説
2-3 設計の方法	4-2 浸透式工法
2-4 設計例	4-3 常温混合式工法
2-5 排水	4-4 加熱混合式工法
	<b>5. 維持修繕</b>
	5-1 概説
	5-2 維持修繕の手順
	5-3 巡回
	5-4 維持修繕工法
	付録1. 総合評価別標準設計例一覧
	付録2. 材料の規格
	付録3. 施工法の一例(D-2工法)
	付録4. 材料の品質、出来形の確認

# 車に乗って道路を走行すると

相 川 潔\*

## はじめに

免許人口の増大とともに運転をする人の数、車の数ともに急速にのびている。ドライバーの年齢層が広がり、女性の増加も著しい。道路の整備も順次なされ、車の性能も向上して気軽に運転できるようになっている。年齢や運転経験・技術も違うドライバーだれもが安心して走れる道路や環境、車、タイヤなどの疑問点などについて考えてみた。

## 1. 道路について

ドライバーが道路を走るとき、道路の構造、道路の舗装面などについて気になる点はいくつかある。また、道路そのもの他に、道路標識などについて運転するドライバーのことを考えているのか疑問なこともある。

### 1.1 カーブの断面勾配

カーブしているにもかかわらず、物理の法則に反した断面勾配になっている道路が存在している。右カーブしているときは左上がりの断面勾配になつていれば車はスムーズに走行できるが、断面勾配がない場合や断面勾配があつても小さすぎることがある。ひどいときは排水の関係からか、逆勾配になっている道路も見うけられる。

かなり以前の例ではあるが、国道246号線の御殿場市内に下り線側でいうと直角に近い右急カーブで断面勾配が小さな部分があった。カーブを曲がり切れずに道路を飛び出しガードレールを突き破って民家に飛び込む事故が多発した。このため、民家の保護であろうか、道路脇に高さ1m以上もあるコンクリートの固まりといったガードが作られた。たしかに、民家の保護にはなったであろうが、事故がなくなるわけではなく、車に乗っていた人の損傷がひどくなつたはずである。やがて、1m以上もあったコンクリートのガードが半分以上も埋まるくらいに断面勾配を大きくする改良が加えられた結果、事故はほとんどなくなったようである。

実際にこの道路は改良前、改良後ともよく利用したが、断面勾配が大きくなつたことにより急カーブであることがわかるし、走行したときの安心感もまったく違う。ドライバーにとっては、急カーブ注意の標識を何本も立てられるよりも、カーブの半径と走行速度に適した断面勾配は、走り易さとともに、安全運転の面からもぜひ必要なものであるし効果は大きい。

### 1.2 カーブ部分の特殊滑り止め舗装

カーブ部分に色付きの特殊舗装が施されているが、カーブ部分だけに使用することは危険を招くことがある。帯状に特殊舗装がしてあるとカーブの途中で摩擦係数が変わるので走りにくい。とくに雨天時など路面が濡れているときには普通舗装部分は摩擦係数が低下してタイヤのグリップ力が落ちているにもかかわらず、特殊舗装部分はさほどグリップ力が落ちないようである。

特殊舗装は急カーブ部に多く施されていることが多い、カーブを走行しているとき一定のグリップ力でないと車はドライバーの意に反した変な挙動をしてコントロールしにくくなる。

特殊舗装はグリップ効果が上がるのを望ましいが、カーブ手前の直線部分から始めカーブが終わって直線になるまで摩擦係数が同じ舗装であることが望まれる。

### 1.3 路面表示

センターラインや通行区分帯、そのほか停止線や行先表示など路面に書かれているものは多い。路面が乾燥しているときには夜間でも見やすいが、雨天時など路面が濡れていると視認性は格段に低下し、運転にくくなってしまう。とくに、センターラインや通行区分帯表示の進行方向に対しての直線は見にくくその確認に注意がいってしまうので、視界の悪い雨天時などには危険が増す。

また、路面表示部は舗装部分より摩擦係数が低いようでグリップが悪く、表示上でブレーキをかけたとき

\*あいかわ きよし JAF MATE 編集部

制動距離がのびる。また、片側のタイヤだけが表示上に乗ったときはブレーキが片効き状態になりコントロールを失うこともある。カーブにある道路を横断する形状の表示はグリップ力の違いから車の尻振りを起こすことがある。とくに、路面が濡れている場合はこれらの傾向が大きく現われ危険である。

路面が濡れても視認性が低下しにくく、摩擦係数が低下しないラインの開発が望まれる。同時に、視覚に訴えるための表示がスリップなどの危険を引き起こさないような配慮も必要である。

#### 1.4 滑りやすいマンホールや側溝のふた

マンホールや側溝のふたは鉄製であるが、アスファルト路面よりも格段に滑りやすい。カーブにあるマンホール上を車で通るとき乗ったほうのタイヤは滑ってキュッと鳴く。道路を横断している排水溝や側溝の格子状鉄製ふたは接触面積が狭いので滑りやすい。

車の場合は注意して速度を落とすなどして通過すれば安全に通れるが、とっさのときには車が思わずスリップをしたりして危険である。2輪車のときにはちょっとしたスリップが元で転倒したりするので危険は大きくなる。道路が濡れているときにはさらに滑りやすくなるので危険である。マンホールのふたなどに滑りにくい構造のものの使用が望まれる。

#### 1.5 電光表示板の不必要的情報

近頃LED(発光ダイオード)使用の電光表示板が増えている。昼・夜間とも視認性がよく文字表示も読みやすい。

本当に必要で見た瞬間に内容が理解できるものであればドライバーにも有効である。しかし、表示されている情報によってはかえって危険な場合がある。たとえば、いくつもの情報が順次出るとき、ついその内容を全部見ようとして注意力が表示板にむいてしまう。動画表示によるもので亀が歩いているものや、2輪車が衝突する表示などを見かけたことがある。動いている絵だけに次はどうなるのか元の絵に戻るまでつい見てしまう。文字情報も標語的なわりあい長い文もあり目を奪われてしまう。また、高い位置にあるLED表示は近付くと見えにくくなることもあり、全部の表示内容が読み取れなかったときははなにかすっきりしない。

ドライバーの安全につながるために設置されている表示板にこのような情報を流すことにも一理あるとは思える。しかし、情報を見ている間は運転中の注意力がそちらに分散もしくは奪われていることを考えると、表示される情報は必要最小限にして、表示内容は瞬時

に読み取れる単一の情報量にしてほしい。提供する情報がないときは消灯してあってもいいのではないだろうか。

#### 1.6 道路標識

道路には多くの標識が設置してある。しかし、本当にドライバーのことを考えて設置されていないような標識が見受けられるのは安全運転の面からも残念である。

走行しているドライバーが標識を見て内容を判断するのはほんの一瞬のことである。何種類もの標識が一ヶ所にあるような場合にはすべての内容、もしくは必要な内容だけを理解するのは至難の業である。

全体の標識を体系的に見なおし本当に必要な標識だけを残すようにするなどの対策が望まれる。

#### 1.7 わだち掘れしにくい舗装

夏期など道路温度が上昇したときに重量車の通過などで起きるわだち掘れは、アスファルトが熱に弱いものであるという性質上やむをえないであろう。

しかし、これだけわだち掘れが問題になっている現状では、新しい舗装材の開発や改良の研究などが行われてはいるのであろうが、早い時期の実用化が望まれる。

#### 1.8 幅の狭い中央分離帯の緑化は必要ない

高速道路や自動車専用道などの中央分離帯はグリーンベルトになっているところが多い。植え込まれている木や、芝など植物の緑は運転車の目に刺激を与えないし、夜間に対向車のヘッドライトの眩しさを防ぐなどの働きがあるといわれている。しかし、植物が植えてあるからには手入れが必要である。手入れをしなければ見るも無残になってしまい景観を損ねるし、運転に支障がでることも考えられる。一方、手入れをするには中央の車線を規制しなければならず、車線減少により車の流れに支障をきたす。交通量の多い道路ではすぐに渋滞となり、ひどいときには何kmもの渋滞を引き起こすことになる。

植込みや芝などの効果と、それらを手入れするときの交通障害を考えると、一概にメリット・デメリットを比較するのはむずかしい。しかし、中央分離帯の幅が狭く芝などの貼り込みだけで立ち木が植えられないような中央分離帯は手入れのいらないコンクリートなどにすべきである。また、手入れによる渋滞が発生するような交通量の多い道路も、短時間で手入れができる分離帯構造や手入れ方法を考える必要がある。あるいは、立ち木をやめて防眩効果のある遮光壁にするな

として渋滞を発生させないようにする必要がある。

## 2. 自動車について

わが国の自動車は高性能で、しかも数多くの装備が付いている。しかし、本当にユーザーのことや安全を考えた車作りがされているのであろうか。

ユーザーが望むからメーカーが作るのか、メーカーが作るからユーザーが求めるのか。ユーザーは本当に使いやすく安全な車を見分ける目をもち、メーカーも目前のことだけでなくユーザーが真に求めている車を作るよう、双方が車というものを見なおす必要があるのでないだろうか。また、交通環境の急速な変化に対応できるような基準の見直しも必要なではないだろうか。

### 2.1 ヘッドライト

保安基準のヘッドライトの基準は交通環境が変化しているのに変わっていないようである。すれ違いビームは40m先の道路上の障害物が見えればよいことになっているが、40km/hで走行しているときは3.6秒先の視界しか確保されていない。しかも、現状では主光軸はヘッドライトの取り付け高さより低くなくてはならない。乗用車のヘッドライトの取り付け高さは低く、60cmくらいであるから、40m先にいる人はヒザ下くらいしか見えないことになる。またレンズカットの改良などによりビームの切れがよいため明暗がはっきりしているのでヒザ下より上は極端に暗くなってしまう。

レンズカットの性能が上がり、対向車に対する眩しさはかなりなくなっていることと、車の走行スピードが上がってきていることを考えると、より前方が見えやすく、そして対向車に眩しくない基準とヘッドライトの改良が望まれる。

### 2.2 排気ブレーキ

大型車に取り付けられている排気ブレーキだが、現在では2トンクラスのディーゼルトラックにも装備されている。

排気ブレーキの減速効果はかなりなものであり、空車の2トントラック70km/hの走行中にアクセルを離し60km/hまでに減速するときの距離を比較したJAFユーザーテストのデータ<sup>1)</sup>がある。5速のとき、エンジンブレーキだけでは101mの距離を要したのに対し、排気ブレーキを使用したときには70mで減速した。つまり、3割ほど減速効果が強力になっているのである。

ATの乗用車で同じ減速テストをした場合、オーバードライブON(4速)で123mとトラックの排気ブレー

キ使用時の1.75倍もの距離になっている。この減速効果の違いは、排気ブレーキを知らないドライバーもいるし、知っていても作動が後続車にわからない現状では安全の面から問題がある。

表 エンジンブレーキのテスト結果

テスト車	条件	距離(m)	時間(秒)
プリメーラ	OD	ON	123
		OFF	108
トヨエース	排気 ブレーキ	OFF	101
		ON	70

最近はエンジンブレーキの減速効果を大きくするよう排気バルブを制御するエンジンや、磁力利用の減速装置(リターダ)が大型車用に開発されている。このような装置が付いた車の減速効果は想像以上のものと考えられる。

排気ブレーキが作動していても後続車には分からぬ。現在でも何の合図もなくグッと減速する排気ブレーキだが、新しい装置が採用されたら減速効果が大きいだけにおさら後続車には危険である。アクセルを離して減速していることを後続車に知らせる何らかの合図灯が必要である。

30年近く前になるが、車の後部に付ける信号機のような赤・黄・青の3色のランプがあった。

このランプはアクセルとブレーキに連動していて、アクセルを踏んでいるときは青ランプが点灯しているが、離すと黄ランプに切り替わる。そして、ブレーキを踏むとストップランプの点灯と一緒に赤ランプの点灯になるというものであった。保安基準には触れるものであるはずだが、後続車は前の車の加減速状態が分かり安心感があった。

### 2.3 ハザードランプ

ハザードランプ(非常点滅灯)はワインカーランプと同じ基準のため兼用になっているので、色も点滅速度も同じである。このため片方しか見えないときにはハザードランプが点灯しているのかワインカーランプが点灯しているのか判断に迷うことがある。実際に高速道路などでは、判断の誤りによる事故も発生している。ランプの種類や数が増えることは好ましくないので、たとえば点滅速度の変更、あるいはワインカーランプとストップランプを交互に点滅させるなどしてはっきりと区別できるようにすると、ハザードランプとしての効果が大きくなると思われる。

## 2.4 高出力・大排気量車

現在、車はまたもパワー競争の感がある。メーカーの自主規制で最高出力は280PSになっているが、一般道路の走行においてはこんなにも高出力が必要なのだろうか。実際の走行ではこの何分の一かのパワーしか使っていない。

また、最高出力何馬力ということばかりに目がいっているようだ、通常の運転で重要なトルクについてはほとんど無視されている。このトルクだが最大トルクでの回転数が高くなってきていて、この傾向はファミリーカー的な車にも見られる。普段の運転ではあまり使うことがない3000rpm以上で最大トルクができるでは、そのエンジンの性能を十分發揮させることができない。

低回転域でトルクが大きいほうが扱いやすいので、スポーツカーなどの特殊な車は別にしても、通常の足として使われる車は最高出力よりも、低回転域で大きなトルクが出るようなエンジン性能を重視してほしい。

また、2000ccを越える車の自動車税の税制変更により税額が安くなったので、エンジンの排気量も大きくなる傾向にあり大排気量車が増えている。メーカーは開発したエンジンを多くの車に搭載したいであろうが、大排気量車が本当にこんなにも多く必要なのか疑問である。

老若男女、運転経験、技術に関係なくアクセルペダルを踏みされすれば、あっという間にリミッターが効く180km/hに達してしまう高出力車・大排気量車の安全性はどう考えればいいのであろうか。

## 2.5 車幅1.7mは現状に適している。

税制面や任意保険のランクから2500ccクラスの車が有利になったため、各メーカーともこのクラスにかなり力を入れている。従来の2000ccクラスの車に2500ccのエンジンを搭載するのは燃費の面ではむしろ好結果をもたらすと思われるが、エンジンが大きくなると、同時にボディーサイズも大きくなってしまうようである。

サイズが大きくなると室内も広くなりゆったりするが、車の全幅があまり広くなるのは道路幅が狭いところでは運転上好ましいとはいえない。5ナンバー枠の全幅1.7mはわが国の道路事情に適しているのではないだろうか。というよりも、長い間乗用車は5ナンバー車がほとんどであったので、とくに街中は車幅1.7mに合った必要最小限な道路構造になっているとも考えられる。車幅1.7mの車でもドアミラーの張り出しが左右とも10cm近くあるため実際には1.9m近くなる。

車幅1.8mの車は幅がわずか10cmしか広くないのだが実際の幅は2m近くになるので、4m道路が多い住宅街などではすれ違いがむずかしかったり、コーナーを曲がりにくい、あるいは通れないといったことが起きてしまう。また、都市部などの立体駐車場では車幅1.7mを越える車や3ナンバー車は駐車できないところがある。

わが国が多くをしめる片側一車線の道路事情や駐車スペースのことを考えあわせると、むやみに3ナンバー車を販売することは交通事情を悪化させることになりかねない。

## 2.6 過信は危険な安全装備

車の安全が重視されるようになり、いろいろな安全装備が開発され装備されてきている。安全装備のなかでもアクティブセーフティーと呼ばれるものなかには、従来の運転感覚からは考えられない挙動を示すものがある。

アクティブサスペンションはブレーキング時のノーズダイブや発進時のスクオートを防ぐ機能に違和感はない。しかし、コーナーでのロールを防ぐ機能は従来の運転感覚に慣れていると違和感がある。

ABSは乾燥路面での通常ブレーキングでは作動することはまずないから、作動したときの状態がわからない。しかし、雪道などの滑りやすい路面ではちょっとしたブレーキングでも作動するので驚いてしまいブレーキが効かない、車が止まらないなどとあせるドライバーがいる。安全装備の充実などにより車の限界性能は向上しているが、いざ限界を越えてしまったときの被害は今まで以上に大きくなる危険性がある。

ユーザーにメリットである車の安全面のみを伝えるのではなくデメリットも含めた正しい情報がわかるようにしてほしい。

## 2.7 車両の軽量化

近ごろの車は高級化がめざましいのと、安全対策の充実から重くなっている。重い車は即燃費に影響してくれるのことと、動力性能確保のため、さらに出力の大きなエンジンが必要になってくる。

安全装備による重量増は止むを得ないこととしても、不必要と思われるような装備品や見た目だけの高級指向による重量増は省エネ・省資源の観点からも避けるべきではないだろうか。

## 2.8 過剰な装備は不要

車には、いろいろな装備が付いている。たしかに使って便利な装備も数多いが、一見便利そうに見えても

実用性のないものや使い勝手が悪く使用されないものもある。これらが標準装備になっているものは始末が悪い。使いもしないものを買うことになるし、その後も燃料を使って運んでいくことになる。オプションであれば付けないこともできるのだが、付いていたほうが下取りに出すとき値がよくなるとか、便利そうなのでつい付けてしまうということもある。

メーカーも本当に必要なものかどうかをよく吟味し、装備品を考えてほしい。とくに軽自動車を普通車並みのフル装備にするようなことは、軽自動車の本質から逸脱しているようにも思える。車の装備品は根本から考え直してもよいのではないか。

### 2.9 実用性のあるデザイン

空力特性重視のデザインが主流になっているようである。しかし、実際に車が使われる環境のなかで空力が影響してくるような高速走行の占める割合は少ないはずである。空力特性をよくするためにスタイルをよく見せるためなのか車高の低い車が多く見受けられる。こういった車は前席、後席とも頭上のヘッドクリアランスが狭い。

ひどいものでは運転席に座ると、天井に頭が触れてしまう車もある。これでは頭が気になって運転にも支障をきたしかねない。車高が高く空力特性もよく車内の空間が確保されている車もあるので、外観のスタイル優先だけでなく車内のゆったりとした空間が確保できるようなデザインの車が多くなることが望ましい。

### 2.10 大型車の最大積載量

わだち掘れの原因とされる過積載車だが、過積載の問題はトラックの宿命のようである。そこで、最大積載量20 tが適切かどうか見なおす必要があるのではないかのだろうか。輪荷重5 tの制限で車も道路も設計されているはずである。実際は過積載により制限をオーバーしている。もちろん制限以上の許容量があるだろうから5 t以上でも安全であるだろうが、最大積載量をもっと大きくして輪荷重5 tを越える過積載の取締を強化すればわだち掘れは少なくなるのではないだろうか。

### 2.11 大型車の警音器

保安基準で決められている基準に適合している大型車の警音器だが、高圧の圧縮空気で作動するエアーホーンのためその音色のけたたましさは一般の電気式クラクションに比べすぎまじい。過去の例では大型車の警音器の音にびっくりして亡くなった方もいる。またそのけたたましい音色の警音器を鳴らし、あたかも大

型車優先のような運転をするドライバーも見受けられる。

そこで、大型車も一般の車と同じような音色の警音器にしたほうが、無謀運転も減少するのではないだろうか。

## 3. タイヤについて

タイヤの性能は向上しているが4本のタイヤの接地面しか道路に接地していないということに変わりはない。ユーザーに本当に必要なタイヤとは何だろうか。

### 3.1 超扁平タイヤや高性能だけの追求が必要か

タイヤは扁平率の小さなものへと移行している。扁平率が小さくなればグリップ力はよくなるなど、高性能になるが乗り心地は悪くなるといわれている。タイヤメーカーは乗り心地が損なわれない扁平タイヤの開発をしているのだが、ファミリーカー的な車にまで装着する必要があるのだろうか。

### 3.2 摩耗の早いタイヤは公害の元

グリップのよいタイヤは摩耗が早いといわれている。タイヤメーカーはグリップがよく摩耗しにくいタイヤの開発をしているがこの傾向はやはりある。

摩耗したトレッド部分のゴムはどこへいってしまうのだろう。これは摩耗した分だけ微細なゴム粉になり空気中に飛散したり、地表に堆積しているはずである。つまり、摩耗の早いタイヤはそれだけ多くのゴム粉をまき散らしているのである。

スパイクタイヤは粉塵公害から販売中止になったが、粉塵がある地域に集中したための問題であった。しかし、スタッドレスタイヤで乾燥路を走るとタイヤの摩耗は早くなり、ゴム粉の発生は多くなる。だが、摩耗ゴム粉はスタッドレスタイヤについても普通のタイヤについても大きな問題になっていないが、全体で見ると膨大な量になっているはずである。

摩耗の早いタイヤはユーザーの出費が多くなるという経済的なことに加え、環境問題にも影響してくるので、より寿命の長いタイヤが望まれる。

## — 参考文献 —

- 1) JAF MATE 1990. 1/2, P39

# アスファルト舗装路面にとっての環境の変化について

鶴窪廣洋\*

## 1. まえがき

アスファルト舗装は建設費、施工性、優れた乗り心地及び補修の容易性などから高速道路の約94%がアスファルト舗装である。しかし、アスファルト舗装は高温に対する流動及びチェーン、スパイクタイヤによる摩耗等に弱い混合物である。

近年交通量の増大及び車両の大型化・重量化並びに地球温暖化の異常高温により、路面温度が高く且つ、持続時間も長くなっていることなどアスファルト舗装路面が厳しい環境の変化を受けている。このことが、最近のわだち掘れ増の要因にもなっている。

一方自車両の大型化・重量化は、車両のシャーシー やタイヤの品質の改良、即ちバイアスタイヤからラジアルタイヤへの移行により、これがわだち掘れに寄与している傾向が見られる。なお、わだち掘れ増の要因に過積載車もある。

これらの観点から、アスファルト舗装路面の環境の変化として路面温度、タイヤ種別がわだち掘れ量に及ぼす影響及び過積載車の実態について以下に述べる。

## 2. 高速道路における舗装修繕

近年の高速道路の舗装修繕の原因の殆どは、図-1に示すようにわだち掘れとひびわれである。このうち

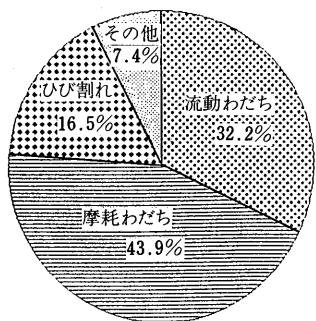


図-1 舗装の修繕原因 (昭和57~62年度)

舗装修繕原因の76%が、わだち掘れ対策であり、そのうち44%が摩耗、32%が流動わだち掘れである。

## 3. 路面温度 (異常高温)

アスファルトコンクリート舗装体の温度は、東北地区の例として、図-2のように外気温の影響を受け、路面温度は外気温に比べ8~10°C高くなっている。また、舗装体の深度方向の温度は、図-3に示すように、荷重の直撃する表面温度が高く、時間的にも、図中夏場例えれば、50°C(14時)が30°C(20時)に下がるまで、6時間と1日のうちでも比較的長時間高温に晒さ

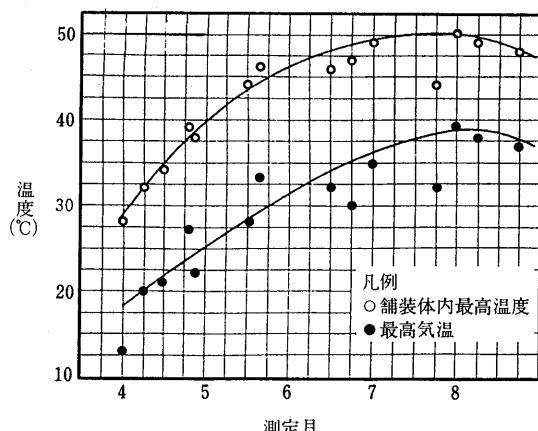


図-2 舗装体内最高温度と最高外気温の経時変化

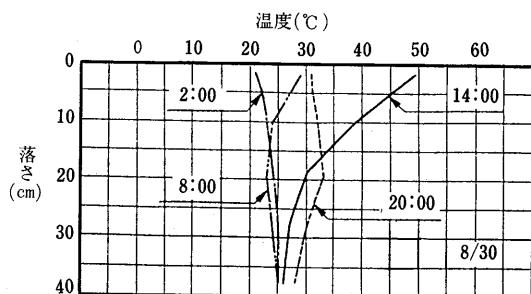


図-3 時間別舗装体内温度分布 (夏期)

\*つるくば ひろみ 日本道路公団試験所舗装試験室長

れていることが、一般的に知られている。

地球の温暖化が叫ばれている中、暖冬の連続も記録的な平成2年夏のクーラーの売れ行きが群を抜いた猛暑、舗装にとってもその影響は大きく、平成2年7、8月の各地の最高気温を示したのが図-4である。これに関連して、各地区高速道路のテレメーター観測による平成元年7、8月と平成2年7、8月の京葉地区、大阪地区、広島地区の路面温度について示したものが、

それぞれ表-1、図-5、表-2である。なお、図-

表-1 京葉地区路面温度（平成元年&2年）

(単位:時間)

年 度	7月	8月	合 計
平成元年	97	162	259
平成2年	130	207	337 1.30倍

\*測定:高架橋付近の土工部、路面より6~7cm下

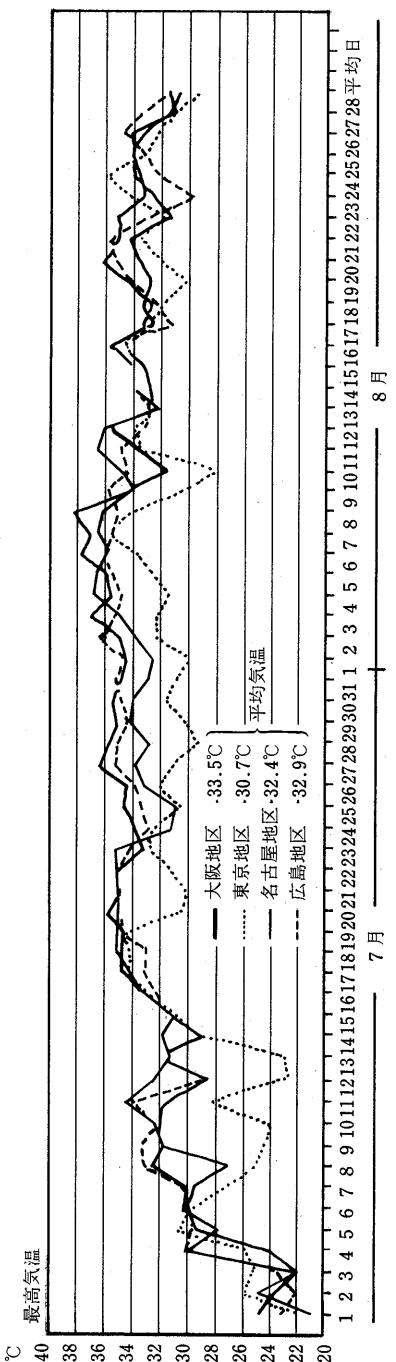


図-4 各地の気象状況（最高気温）

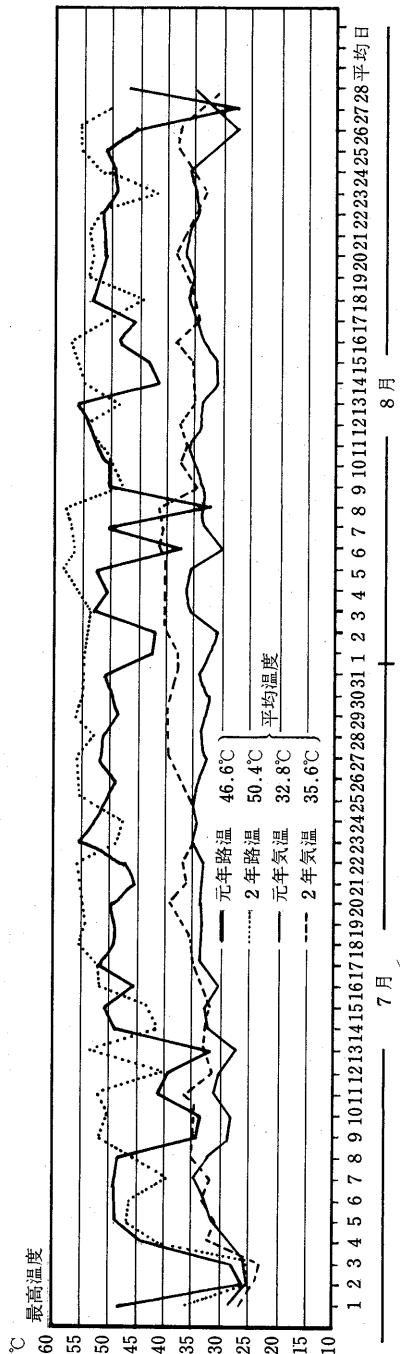


図-5 大阪地区路面温度及び気温(平成元年&2年)

表-2 広島地区路面温度（平成元年&amp;2年）

測定月日	平成元年				平成2年			
	40°Cを超す時期		最高温度°C	最低温度°C	40°Cを超す時期		最高温度°C	最低温度°C
7月5日	9:50-17:30	7:40	50.0	17.5	10:00-17:10	7:10	49.5	20.0
6	9:40-18:00	8:20	54.5	19.5	10:10-17:30	7:20	49.5	26.0
7	9:30-18:05	8:35	54.0	20.0	9:30-11:30	2:00	44.0	24.0
8	9:30-17:35	8:05	50.5	21.5	10:15-16:15	6:00	52.0	26.0
9	0	0	26.5	23.5	9:40-17:45	8:05	52.5	26.5
10	0	0	37.0	22.5	9:20-17:10	6:50	53.0	26.0
11	0	0	29.5	22.0	9:30-16:50	7:20	52.0	26.5
12	0	0	39.0	22.5	0	0	38.5	21.0
13	13:00-15:00	2:00	42.5	23.0	9:45-15:10	5:25	50.0	26.5
14	9:40-18:05	8:25	52.5	19.0	0	0	35.5	24.0
15	10:00-17:20	7:20	52.0	24.0	0	0	39.0	26.5
16	11:00-12:25, 14:00-16:00	3:15	48.5	23.5	10:40-16:45	6:05	51.5	25.0
17	9:00-13:05	4:05	51.5	24.5	9:10-16:45	7:35	51.5	26.0
18	10:25-16:55	6:30	52.0	22.5	9:30-17:00	7:30	54.0	24.5
19	11:30-16:30	5:00	51.5	25.5	9:00-17:30	8:30	52.5	25.0
20	11:25-12:30, 14:10-10:30	3:25	43.5	25.0	9:00-18:00	9:00	54.5	26.5
21	11:10-17:20	6:10	59.5	25.5	9:10-17:50	8:40	51.0	27.5
22	10:05-15:10	5:05	50.0	24.0	8:50-17:25	8:35	52.5	25.0
23	11:20-17:45	6:25	49.5	22.5	10:30-16:35	6:05	47.0	26.5
24	9:50-17:50	8:00	49.5	26.5	10:20-14:50	4:30	43.0	25.0
25	11:40-16:30	4:50	46.5	25.5	11:20-15:30	4:10	48.0	23.5
26	12:20-17:50	5:30	49.0	20.5	9:30-17:00	7:30	55.5	25.0
27	9:20-17:15	7:55	48.0	25.5	9:15-16:20	7:05	57.0	24.5
28	11:35-16:05	4:30	43.5	27.5	9:25-19:00	9:35	55.5	26.5
29	12:40-15:40	3:00	48.5	24.0	9:25-17:10	7:45	55.0	
30	12:05-17:20	5:15	49.0	24.5	9:00-18:10	9:10	57.0	22.0
31	9:45-17:30	7:45	53.5	24.5	9:15-18:10	3:55	55.5	23.0
8月1日	0	0	39.5	26.0	9:30-18:00	8:30	55.0	
2	0	0	30.0	22.5	9:15-17:55	8:40	55.0	24.0
3	11:50-17:30	5:40	48.5	22.0	9:30-17:45	8:15	53.5	24.5
4	9:40-17:20	7:40	54.5	24.0	9:15-17:45	8:30	55.5	25.0
5	10:45-17:00	6:15	49.0	20.5	9:15-17:45	8:30	54.0	25.0
6	0	0	20.5	23.5	9:00-18:00	9:00	56.5	24.5
7	12:50-13:40	0:50	43.0	22.5	9:00-18:00	9:00	56.0	24.5
平均	27/31日 27日平均	5:57	46.0	23.3	31/34日 31日平均	7:28	51.4	24.9

A B

A'⊕1°:31" B'⊕4.5°C ⊕1.6°C

4は気象台でのデータであり、高速道路で測定した気温とは場所による若干の差がある。これらの図、表から40°C以上となった時間が平成元年に比較して、京葉地区で1.3倍、大阪地区では1.42倍、広島地区で1.25倍（1時間31分増）となっている。

わだち掘れ対策の指標として用いられるホイルトランギング試験機の動的安定度(DS、広島地区のオーバーレイ工事に用いた混合物)の高温による低下を図-6に示す。広島地区の平成2年は元年に比べ、前者の路面温度が高いことから、表-2の50°C以上連続した期間の平均路面温度が最高となる値と図-6から、DSの低下率を概略試算すると平成元年7月5~8日（平均52.3°C）、平成2年7月26~8月7日（平均55.5°C）の温度に対応するDSは、それぞれ1400回/mm、1000回/mmとなり0.71に低下し、日数的にも約3倍長く、平成2年夏が舗装路面は環境の厳しさを受けている。

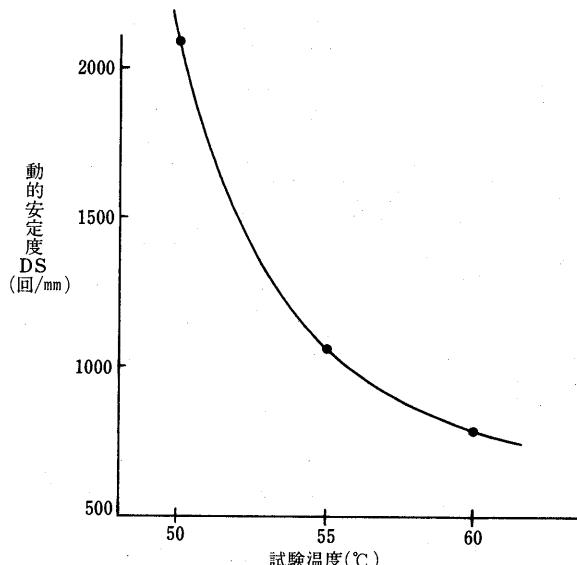


図-6 動的安定度と試験温度

#### 4. タイヤ種別によるわだち掘れ量

車両の大型化・重量化に伴いラジアルタイヤが普及し、従来と比較して大型自動車用タイヤ空気圧の増加が見られる。この空気圧の増加は舗装の設計にも影響するが、とりわけ表層のわだち掘れにも影響を及ぼすことが考えられるため、回転式舗装試験機によりラジアルタイヤとバイアスタイヤのわだち掘れの損傷度の試験を行い、併せて両タイヤの輪荷重・空気圧と接地圧の測定を行った。試験条件及びわだち掘れ量を図-7に示す。

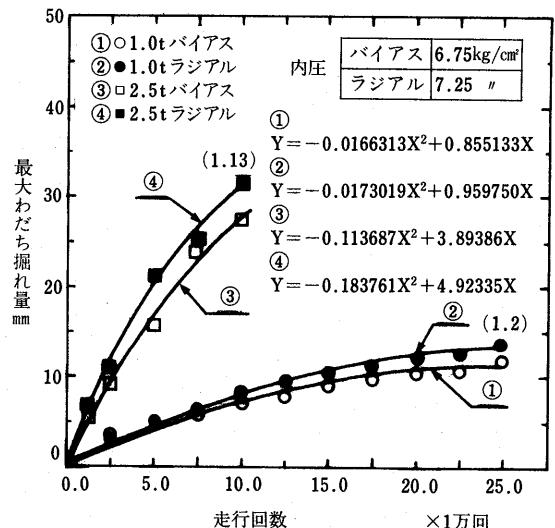


図-7 走行回数と最大わだち掘れ量

#### 4.1 わだち掘れ量

回転式舗装試験機にかけたアスファルト混合物の諸条件は、表-3のとおりである。

表-3 アスファルト混合物の諸条件

表層タイプI(13)

混合物の種類	バインダの種類	2.36mm通過量(%)	突固め回数(回)	バインダ量(%)	締固め度(%)	圧密変形量(mm)	動的安定度(回/mm)
表層タイプI(13)	St. 60~80	44.5	75	5.7	99.6	1.28	980

ラジアルタイヤ及びバイアスタイヤの標準空気圧はそれぞれ7.25及び6.75kg/cm²であり、前者が0.5kg/cm²高い条件で試験を実施した。

回転式舗装試験機の輪荷重の2.5tはシングルタイヤであり、これはダブルタイヤ5t、軸重10tに相当する。

図-7から輪荷重2.5tでは13%、1tが20%といずれもラジアルタイヤのわだち掘れ量が大きくなっている。

この原因を調べるため、図-8の空気圧と接地圧の関係について見ると、ラジアルタイヤの空気圧が0.5kg/cm²高いにも拘らず、両タイヤの関係は1:1に対応し、接地圧の差がないことになる。しかし、ラジアルタイヤの空気圧が0.5kg/cm²高く、両タイヤのわだち掘れ量になんらかの影響を及ぼしていることが考えられるため、次項4.2タイヤ横断方向の接地圧の分布測定結果により検討する。

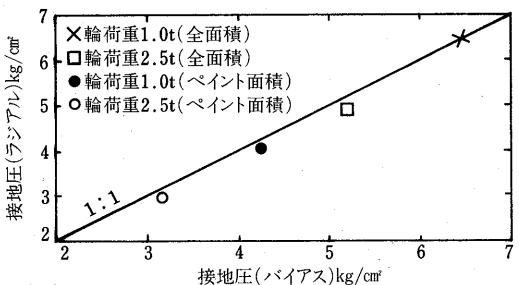


図-8 接地圧の相関（バイアスとラジアル）

#### 4.2 タイヤ横断方向の接地圧の分布

両タイヤのリブの概略と測定位置を図-9に示す。なお、接地圧の測定法は、床面に3mmの孔にセンサーがあり、タイヤが乗るとひずみゲージで接地圧が計られ、図-9のリブのNoの位置をずらして行う。

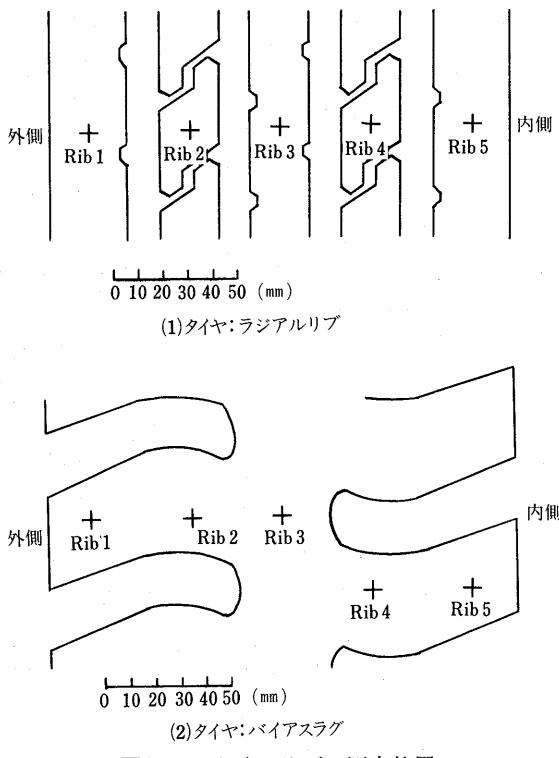


図-9 タイヤリブの測定位置

#### (1) 輪荷重・内圧（タイヤ空気圧）と接地圧

測定は、内圧  $P = 6.75 \sim 8.0 \text{ kg/cm}^2$ 、輪荷重  $P = 1 \sim 5 \text{ t}$ についての両タイヤの接地圧を測定した。図-10, 11から  $P = 6.75 \text{ kg/cm}^2$  は、ほぼ  $P = 2.0 \text{ t}$ ,  $P = 8.0 \text{ kg/cm}^2$  が  $P = 2.5 \text{ t}$  でほぼフラットになる。これは低荷重で凸、高荷重では凹型、即ち低荷重のとき中央部の接地圧が高く、高荷重のとき両端部が高くなっている

ことが分かる。従って、路面に大型車のダブルタイヤ跡のWわだちと呼ばれるわだち掘れが発生することと関係があるものと考えられる。

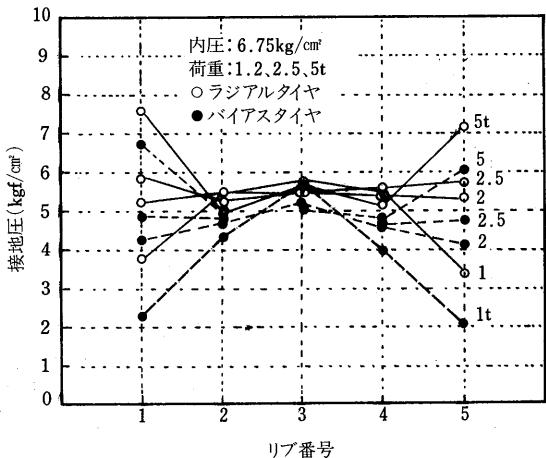


図-10 輪荷重・内圧と接地圧

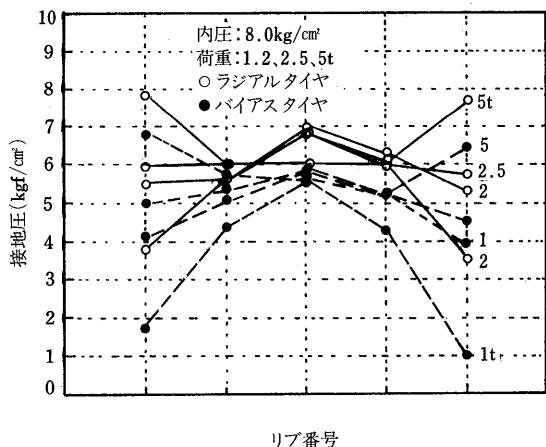


図-11 輪荷重・内圧と接地圧

また、表-4から両タイヤの平均接地圧はバイアスタイヤの輪荷重1tを除けば、内圧に比例して高くなっている。なお、内圧の差は輪荷重2.5t以上で、0.6~0.9  $\text{kg/cm}^2$  ラジアルタイヤが高くなっている、 $P = 1 \text{ t}$ では  $P = 1.1 \sim 1.8 \text{ kg/cm}^2$  とかなり高くなっている。

#### (2) 両タイヤのわだち掘れ量差の要因

前項4.1、図-7のわだち掘れ量の差は、試験条件でラジアルタイヤの内圧が  $0.5 \text{ kg/cm}^2$  既に高いことに加え、表-4から輪荷重1tで20%ラジアルタイヤが大きいのは、低荷重の平均接地圧の差が最も大きく ( $1.1 \text{ kg/cm}^2$  以上  $1.8 \text{ kg/cm}^2$  以内)、 $P = 2.5 \text{ t}$  で13%の差は、表-4、図-12から  $P = 0.81 \text{ kg/cm}^2$  とラジアルタイヤの接地圧が大きいためと思われる。

表-4 輪荷重・内圧と接地圧の関係

輪荷重 (t)	内圧 (kg/cm <sup>2</sup> )	平均接地圧 (kg/cm <sup>2</sup> ) *		
		ラジアル タイヤ (R)	バイアス タイヤ (B)	差
1.0	6.75	4.78	3.69	1.09
	8.0	5.16	3.39	1.77
2.5	6.75	5.57	4.81	0.76
	7.25	5.62	4.93	0.69
	7.5	5.76	5.05	0.71
	8.0	5.95	5.20	0.75
	R7.25と B6.75の差	5.62	4.81	0.81
	5.0	6.75	6.12	5.53
		8.0	6.88	5.96
				0.92

\* 平均接地圧：図-9 リブNo.1～5の平均値  
(巾No.1～5 約10cm、両端約12cm)

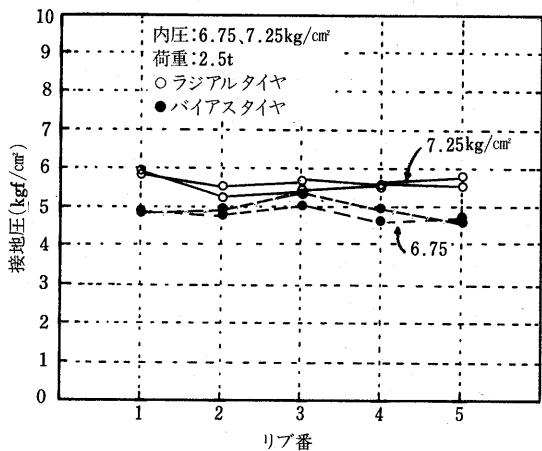


図-12 輪荷重・内圧と接地圧

また、文献によると、ラジアルタイヤの空気圧は、ほぼ6.5～9.5（平均8.25） $\text{kg}/\text{cm}^2$ の範囲にあり、分布図で累積頻度50%でバイアスタイヤに比べ約1.5 $\text{kg}/\text{cm}^2$ 高くなっている。更に大型車の静止状態のコールドに比べ走行温度上昇後のホットの空気圧は3 $\text{kg}/\text{cm}^2$ 以上高くなっているとの報文もある。

## 5. 過積載車

日本道路公団におけるアスファルト舗装の厚さの設計は、供用開始から10年間の大型交通量を10t軸荷重の通過回数に換算（換算係数0.85）したものを持条件としている。

このような舗装設計に対し、料金所の既設軸重計、

高速道路上定置軸重計、ポータブル軸重計により測定による過積載車両の実態の把握が必要である。

この測定の中で、過積載車両の通行実態が分かるが、車両制限令違反車両（過積載車）については、道路管理者及び警察の取締り並びに関係機関の行政指導にも拘らず、社会活動の発展に伴う自動車交通の増大と車両の大型化・重量化が著しくなっていることから、その効果は十分といえず、過積載違反車両・車両制限違反車両等が後を絶たない現状である。

過積載車により生じる諸問題として「舗装・橋梁等の構造破壊、これに伴う維持修繕工事の増大、騒音・振動等の沿道環境悪化等」が挙げられる。

高速道路の路線によってその実態は異なるが、特に過積載車の多い路線について見ると過積載車の増加割合も多く、10t軸重に対し、大きいものは15～21t、10t換算係数も、0.85に対し、1.1(+29%)となっているところもあり、舗装構造にも相当過酷な舗装環境条件の変化が伺われる。このことは、前項で述べたラジアルタイヤの高接地圧と相俟って、わだち掘れを助長しているものと思われる。

## 6. あとがき

社会活動の発展に伴う大型化・重量化の自動車と路面の高温、軸重・接地圧增加による環境条件の変化に対し、車両の軸数増による荷重分散及びアスファルト舗装耐流動混合配合設計、施工・品質管理（ラジアルタイヤの高空気圧に相当するタイヤローラーのタイヤ高空気圧で十分締固め及び効率的転圧機の開発・改良等）の対応が必要である。また、騒音・すべり及び快適走行等に対し、路面テクスチャとタイヤ・エンジン音及び車両構造等道路と自動車の調和が望まれる。

## 参考文献

- 1) 日本道路公団：舗装の損傷要因に関する試験（その2）報告書、1991
- 2) 加来照俊、戸山守道：「大型自動車用タイヤ空気圧について」、道路 1983

# 硫黄を使った舗装材料

吉野 隆\*

## 概要

硫黄を舗装材料として使用する試みは、1970年代において盛んに行われたが、1980年代に入ってからは、原油価格が低下し、硫黄価格が持ち直したことから、関心が薄れてしまった。しかし、今後は、これまでのようない安価な原油の入手は困難になり、一方、過剰生産により、硫黄価格は緩んでくるものと予想される。このような中で、アメリカを中心に展開してきた。SEA やサルフレックスなど、硫黄を使用した舗装材料の開発状況を紹介し、併せて公害問題や硫黄の需給関係についても述べる。

## 1. はじめに

硫黄が舗装材料として注目され、特に活発な研究活動が行われたのは1970年代であった。当時、硫黄は世界的な生産過剰によって価格が下がり、一方、アスファルトについては、第一次オイルショックにより、将来安定供給ができるかどうかという不安が高まっていた。これらの要素が重なり、硫黄を道路舗装に利用しようという発想が生まれたわけである。

ただし、この場合、硫黄はあくまでもアスファルトの代替品という考え方であったため、1980年に入って、硫黄価格が持ち直し、原油価格が下落するにともない、しだいに関心が薄れてしまった。

しかし、1990年代の後半は、原油価格が上昇する傾向にあるというのが大方の見解である。他方、地球環境問題に関連し、燃料の低硫黄化とともに回収硫黄の増大などにより、硫黄生産は再び過剰になることが予想されている。

このような背景を考えると、再度、舗装材料としての硫黄を考えて見るのも無駄ではないように思われる。

なお、硫黄を使った舗装材料については、これまでもいくつか紹介されており<sup>1)2)</sup>、その中には、硫黄マカダム、硫黄コンクリートなどもあるが、今回は、硫黄

とアスファルトを混合した舗装材料や、硫黄を含むアスファルト類似のバインダーを中心に述べてみたい。

## 2. 舗装における硫黄の利用

硫黄を道路舗装に使用する試みは、第二次世界大戦の前から行われており、1935年には、アメリカのオハイオ州で試験舗装が実施されている。その後Bencowitzらは、アスファルトに硫黄を混合する研究を行い、アメリカ特許(2182837 1939年)を得ておらず、この中に140°Cに加熱したアスファルトに硫黄を50%加え、激しく攪拌混合する方式が記載されている。この方式はテキサス・ガルフ法ともいわれるもので、若干の試験舗装も行われた。

1960年代に入ると、サーモペーブ(Thermopave)やサルフレックス(Sulphlex)など各種舗装材料の研究が本格的に始まり、1970年代には、SEA(Sulfur Extended Asphalt)も加わり、硫黄を使用した舗装材料の研究は最盛期を迎えた。

このような状況になった理由は、冒頭でも述べたように二つある。一つは硫黄の過剰生産である。特にカナダでは、天然ガスからの回収硫黄が急増し、1970年半ばには、アルバータ州の草原に、1800万トンを超える硫黄在庫の山ができたという。もうひとつは1973年のオイルショックである。当時バレル2ドル台であった原油価格が、一挙に10ドル台と4倍に高騰したため、急速、アスファルト代替品としての硫黄が注目されるようになったわけである。

硫黄とアスファルトからつくった舗装用バインダーとしては次のものがある。

### ・SEA (Sulfur Extended Asphalt)

アスファルトに硫黄(20~40%)を混合したもの。

### ・SAS (Sand Asphalt Sulfur)

砂とアスファルト混合物に硫黄をえたもの。

代表的なものにサーモペーブがある。

\*よしの たかし コスモアスファルト株式会社

一方、アスファルト類似のバインダーとしては次のものがある。

・サルフレックス (Sulphlex)

オレフィン炭化水素と硫黄とを反応させたもの。

いずれの方式によっても試験舗装が行われ、その性能がある程度確認されているが、総合的に見て、現在のアスファルト舗装を超える性能のものはない。しかし、この中では、SEA 法が最も試験舗装の結果が良く、アスファルト舗装と比べ遜色ないといわれている。

今後はアスファルトや硫黄の需給、価格動向、更にはバインダーの作業性、公害問題などを含めた検討が必要となろう。

なお、本文に記載した%は特にことわらない限り wt %である。

### 3. SEA 舗装

アメリカ連邦道路局は、1970年代始めから、アメリカ硫黄協会、鉱山局、その他会社、大学などの協力を得て、硫黄混合アスファルトの研究を実施している。SEA はアスファルトに20~40%の硫黄を加えるものであるが、通常のアスファルト舗装よりも軟質のアスファルトの使用が可能となるため、これによって、冬季のクラック発生を防止できないかということと、硫黄を添加することにより、夏期における舗装の変形を少なくできないかという期待もあった。

SEA 製造のポイントは、アスファルトの中に細かな(3~10ミクロン) 硫黄粒子を造ることである<sup>3)</sup>。戦前、Bencowitz 等が検討していた頃は、325rpm で 2 hr 搅拌混合する程度であったが、現在は、コロイドミルやホモジナイザーなど効率の良い混合方法があり、比較的容易に細かな硫黄粒子を造ることが可能である。

SEA 合材製造法には次の二つの方法がある<sup>4)</sup>。

・予備混合方式 (図-1)

液状硫黄とアスファルトとを、バッチプラントやドラムミックスプラントに入れる直前に混合する方式

・直接混合方式 (図-2, 図-3)

硫黄(液状又は固体)とアスファルトとを、それぞれ計量したのちプラントに直接装入する方式。

両方式とも現場での実施例があり、1978年、テキサス州で行った試験舗装では、比較のため、両方式で混合した合材を使用し、3年後調査したが、性能の差は認められなかった。

硫黄は116°C以下では固体であるが、154°C以上になると、液状硫黄が急に粘稠になる。したがって、混合温度は121~143°Cの範囲に保つ必要がある。また、硫黄の引火点は207°C、自然発火温度は245°Cで、いずれもアスファルトよりかなり低いので注意を要する。SEA については次のようなことがわかっている<sup>5)</sup>。

・混合温度や硫黄添加量にもよるが、硫黄はアスファルトに溶解し、反応して芳香族ポリサルファイドが

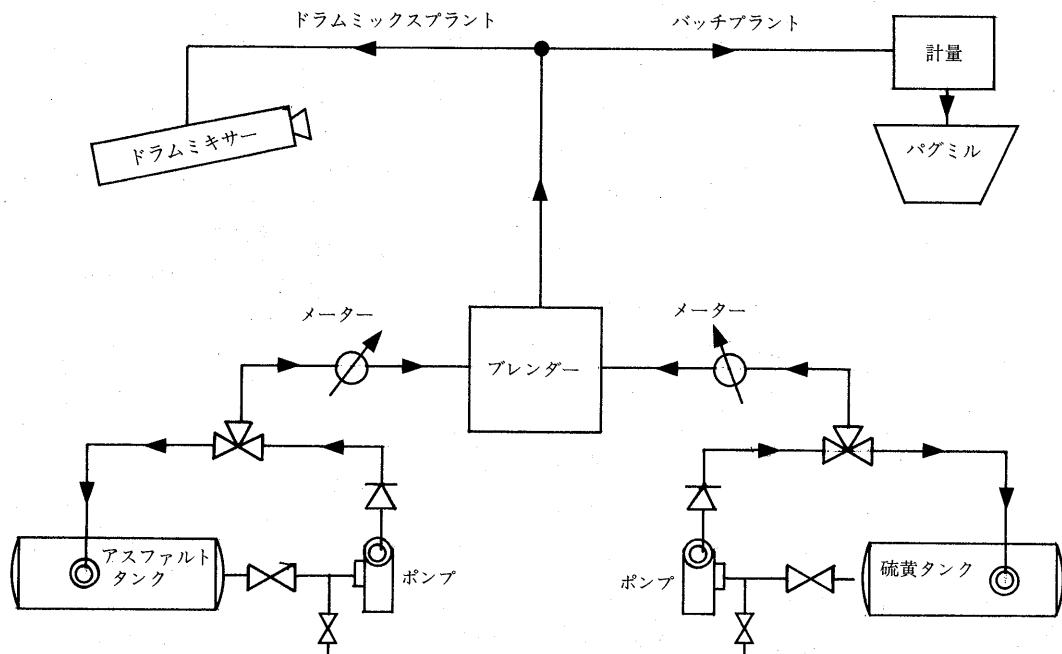


図-1 SEA 用予備混合方式

ドラムミックスプラント

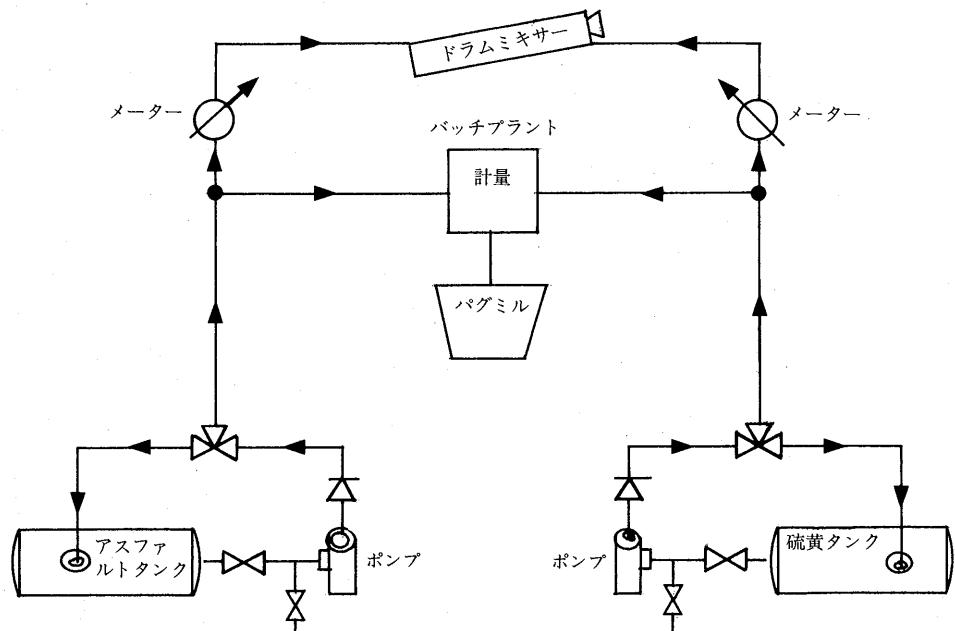


図-2 SEA用直接混合方式 液状硫黄使用

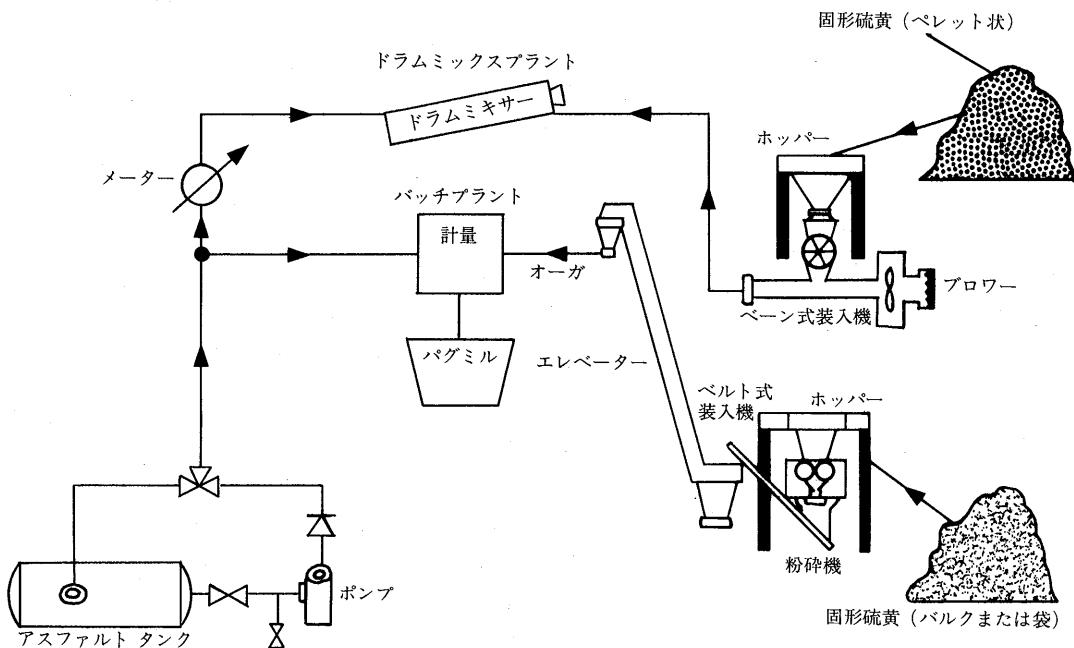


図-3 SEA用直接混合方式 固形硫黄使用

できる。

- ・温度116~149°Cにおいて、硫黄とアスファルトの割合が20:80までは、硫黄はアスファルトに溶解するが、更に硫黄を添加すると、この分は結晶硫黄の形でアスファルト中に分散する(図-4)。

- ・硫黄の添加物と性状の変化を図-5に示した。試験は調合後24hr以内に行ったものである<sup>6)</sup>。
- ・転圧温度とマーシャル安定度の関係を図-6に示した。通常、硫黄の添加量は15vol程度であるが、これ

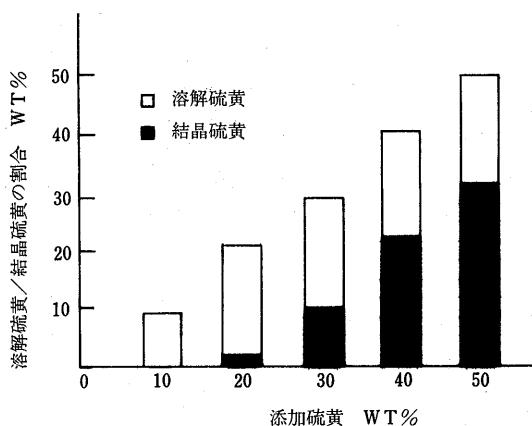


図-4 SEA における溶解硫黄と結晶硫黄の割合

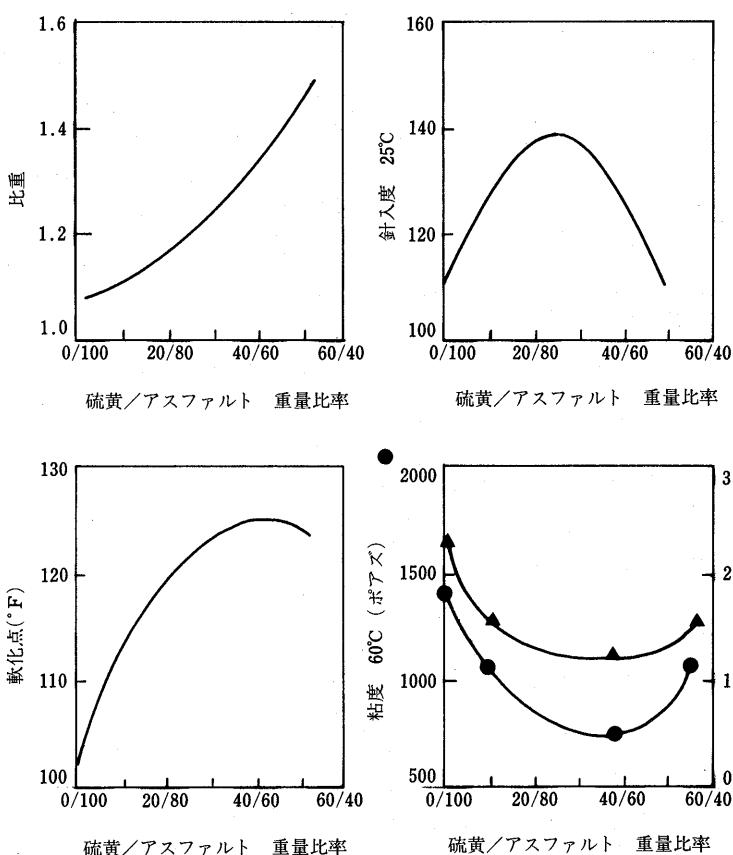


図-5 SEA における硫黄とアスファルトの混合比率と性状との関係

を超えると、35vol %になると、かなり挙動に変化が現れる<sup>7)</sup>。

SEA 合材は水を通してなく、空隙率も小さい、これは、硫黄が固化することや、軟質アスファルトの使用による。

SEA 加熱合材の運搬や舗装機械は、通常のアスファ

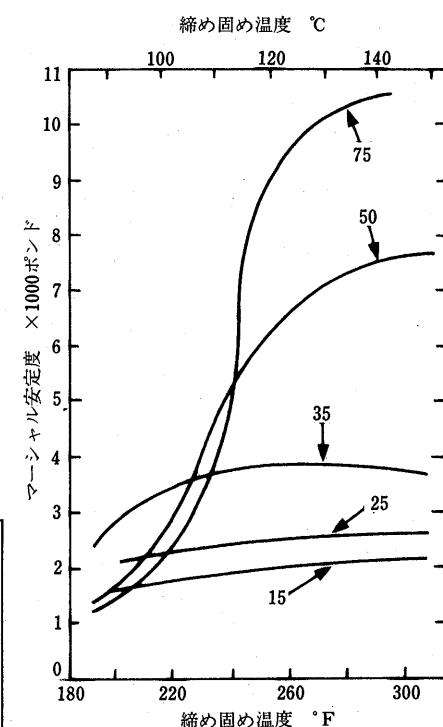


図-6 SEA 混合物の締め固め温度とマーシャル安定度との関係  
数字は硫黄添加割合 (VOL %)

ルト舗装の場合と変わらない。SEA 舗装は、塩類を中心とした融雪剤の影響は受けにくいが、ガソリンやナフサには侵される。

1970年代には、世界で50ヶ所以上の試験舗装が行われている。アメリカでも、1975~1985年に、新設や表層打ち替えを含め、75ヶ所以上の試験舗装を実施している。

アメリカ連邦道路局では、1977年から1982年にかけて舗装した道路の中から、26例(18州)を選び、その後の舗装状態をチェックした。その結果を要約すると次のようになる<sup>4,8)</sup>。

・SEA 舗装と通常のアスファルト舗装を比較した結果、その性能や耐久性に大きな差は認められなかった。

なお、バインダー容量は同一である。

・SEA に含まれる硫黄の量は、施工場所によって20~40%と幅があったが、結果に大差はなかった。

#### 4. SAS 補装

アスファルト 5~7%, 硫黄12~14%に骨材を混合して造るが、品質の劣る砂でも使用できるというのが特徴である<sup>9)</sup>。シェルカナダ社が開発したサーモペーブ法で64年に初めてカナダで試験舗装を施工して以来、1970年にかけてカナダで3ヶ所、それ以降1980年までにカナダで3ヶ所、アメリカで6ヶ所試験舗装を行っている。

SAS が開発された裏には、硫黄の過剰生産のほか、品質の良い骨材の入手が困難になっていたこともあげられている。

SAS の製造は、先ず砂とアスファルトを混合しておき、次にこのものと溶融硫黄とを混ぜるという2段階で行う。混合温度は、何れも132~149°Cである。

敷きならしの温度は、作業性や公害防止の見地から127~149°Cに保つのが望ましい。SAS は、冷却すると、アスファルトに溶解しなかった硫黄が固化し、空隙を埋める。転圧は不要である。当初、SAS の輸送には、特殊な加温ダンプトラックを必要としたが、その後、舗装設備が改善されその必要はなくなった<sup>10)</sup>。

しかし、現場で試験の結果、この方法の特色でもあった粗悪な砂の使用だけでは良い結果が得られず、やや期待外れとなっている。補修用にサーモパッチという方法もある。

#### 5. サルフレックス舗装

サルフレックスは、硫黄70%と炭化水素30%とを反応させて造った黒色または褐色のアスファルト状物質

で、反応のメカニズムの詳細は分かっていないが、ゴム状のポリサルファイドが主成分と思われる。ゴムの加硫にも似ており、いわば、化学的な改質アスファルトである。

このものは、アメリカ連邦道路局が、サウスウェスト研究所 (Southwest Research Institute) に委託した研究の結果できたもので、アメリカ特許 (4290816) にもなり、サルフレックス (Sulphlex) の名称も登録されている<sup>11)</sup>。

開発研究にあたっては、約450種類の試作品について検討し、その中からサルフレックス233が選定されている。

製造方法は、まず、149°Cに溶かした硫黄70%に、改質材(サルフレックス233の場合はシクロペンタジエン12%ジペンテン10%ビニルトルエン8%)を30~60分かけて加える。反応はやや発熱で、約2 hrで終了する。図-7は、硫黄の生産設備または基地に直結したサルフレックスの製造装置の例である<sup>12)</sup>。また、表-1にサルフレックス233の性状を示す。ここでわかるよう

表-1 バインダーの性状比較

試験項目	試験法	サルフレックス233	アスファルトセメントAC-20
針入度 25°C	AASHTO T-49	172	94
粘度60°C poise	T-202	1042	2071
粘度135°C cst	T-201	261	457
比重 25/25°C	T-228	1.538	1.032
引火点 °C	T-48改良	179	263
発火点 °C	T-48改良	191	293

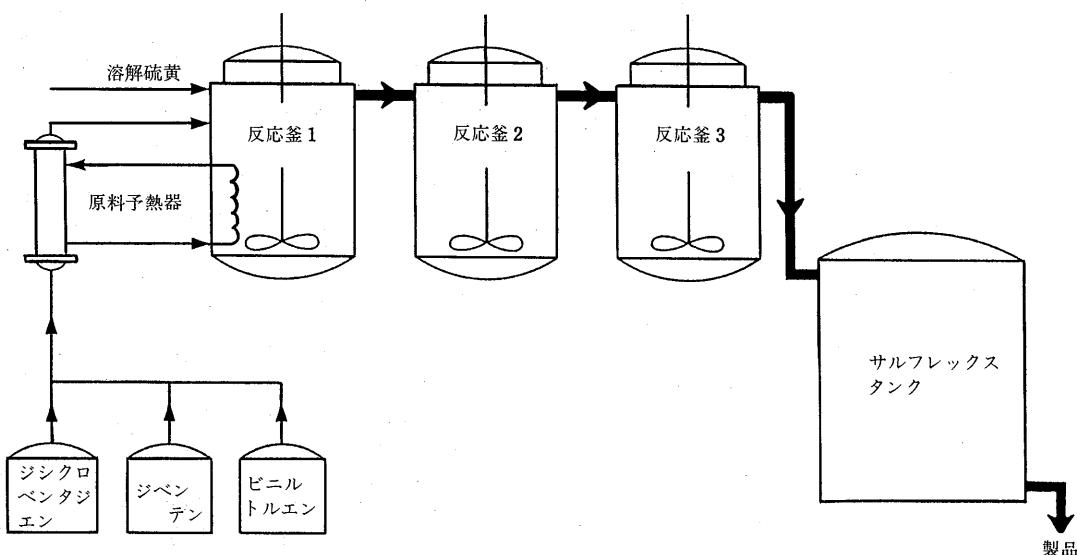


図-7 サルフレックス製造装置

に、アスファルトとの大きな違いは、比重と引火点である。

1980年から1981年にかけて、アメリカで7ヶ所試験舗装を行っている。合材プラントや舗装機械は通常のものを使用した。ただし、サルフレックスの比重は約1.5であるが、不慣れな作業員が普通のアスファルトと同じように計量したため、容量不足となり、舗設後ひどいラベリングを生じた例もあったという。

試験舗装の結果は芳しくなかった。目立ったのは寒冷地でのひび割れである。また、実験室試験の結果でも懸念されていた高温高荷重下での耐流動性も劣り、夏場、直射日光下で駐車していた大型トラックの下の舗装が変形した例も報告されている。

これらの結果に基づき、更に99種類の試作品を試験し、その結果、サルフレックス233と198（硫黄70%内部オレフィン18%、ジシクロペンタジエン12%、反応の際サルフレックス233を触媒として添加）を50%：50%で混合したものが低温クラックに強いことが分かった。なお、サルフレックスの原料が、各種性能に及ぼす影響は次の通りである<sup>13)</sup>。

ビニルトルエン…………高温安定性の改善

1-4-ヘキサジエン…………低温性能の改善

内部オレフィン…………低温性能の改善

(C<sub>11</sub>-C<sub>12</sub>のオレフィン混合物)

シクロペンタジエン…………硫黄と混合し粘度調整

このようにしてできたいわゆる第二世代のサルフレックスについて、アメリカ連邦道路局は、1989年2ヶ所で試験舗装を計画したが、予算の関係で見送られ現在に至っている<sup>14)</sup>。

サルフレックスは、70%もの硫黄を原料として使用

するため、その経済性は硫黄価格に支配されるが、もう一方の原料であるオレフィン炭化水素は、必ずしも石油だけが原料ではない。したがって、将来、原油が品薄となり、アスファルトを分解して、ガソリンその他高付加価値の製品を造るような事態になっても原料の確保は可能である。新しい舗装材料の開発にはSEAにやや遅れをとったが、その目標は将来における合成アスファルトにあるようにも考えられる。

## 6. 公害問題

硫黄そのものの毒性は、さほど大きいものではないが、高温のアスファルトと硫黄を混合すると、硫化水素を発生する。このものは有害で特定化学物質にも指定されている。また、硫黄が燃えると有害な亜硫酸ガスを発生し、喉や粘膜を刺激する。

アスファルトと硫黄の混合温度が150°Cを超えると、硫化水素の発生が多くなる。しかし、SEAについては、温度を149°C以下に抑えれば、硫化水素の発生量は図-8に示すように、アメリカの場合、許容限度以内に入るといわれている<sup>5)</sup>。なお、この際、混合作業を密閉状態で行ったり、製品を長時間貯蔵するような時は別である。空気中の湿度や酸素濃度と硫化水素発生量との関係はない。

一方、サルフレックスについては、ミシガン州とアリゾナ州で、試験舗装を行った際には、現場での硫化水素濃度が1.0ppm以下、亜硫酸ガス濃度は0.25ppm以下であったといわれる。

なお、わが国の場合、硫化水素の敷地境界基準濃度は0.01~0.2ppm（各地区によって基準濃度は異なる）である。

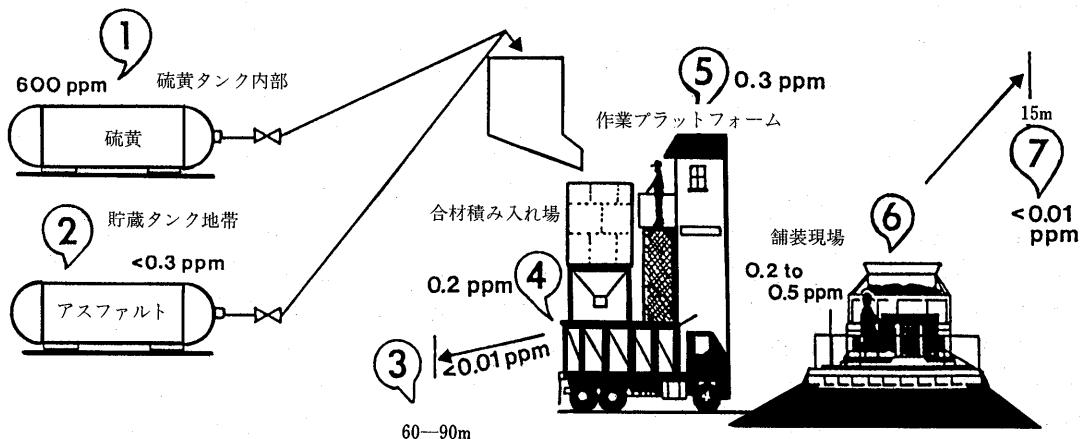


図-8 SEA 混合プラント及び舗装現場における H<sub>2</sub>S 排出量（代表値）

## 7. 硫黄の需給

わが国で生産されている硫黄の量は、ここ数年100～115万トン／年で推移してきたが、平成2年度は約126万トン程度に増加する見込みである。需要は、内需が約90万トン／年、そのうち70%は硫酸製造用で、その他紙パルプ、ゴム、界面活性剤、肥料などに用いられる。輸出は約36万トン／年、韓国、台湾向けが中心であるが今後、現地で脱硫装置が稼動するに伴い、この方面への輸出は減少するものと思われる。

全世界の硫黄生産量は約3600万トン／年で、そのうち約1000万トンは天然ガスからの副生硫黄である。硫黄の形態は、粉末、フレーク、ペレット、ブリルなどがあるが、日本では液体が95%を占める。純度は国産品が99.9%，輸入品が99.5%といわれている。

なお、大気汚染防止に関連し、アメリカのカリフォルニア州では、大気資源局がロサンゼルス市を含む州南部沿岸地域で、軽油の硫黄を0.05%以下に制限しており、1993年にはカリフォルニア州全域にこの規制が適用される。日本でも、一昨年の中央公害対策審議会において、軽油の硫黄分低減についての要請があり、現在約0.4%の硫黄分は、段階的に0.05%にまで削減することになっている。一方、ヨーロッパでも1992年のEC統合時に、軽油の硫黄分を0.2%にまで減少させる計画がある。このように今後回収硫黄は増加する傾向

にある。これに対し、硫黄の大量消費につながる新しい用途は現在のところ現れていない。

## 8. おわりに

硫黄は、極めて特異な性質を持つ材料である。しかも、今後需給の緩和に伴い、価格は低下傾向にあると思われる。ただし、硫黄を使いこなすために、先ず公害問題という大きな壁がある。公害に関しては、外国での実施例があるからといって、日本でそのまま使用できるとは限らない。これまでの硫黄の利用は、アスファルトの代替品、あるいは增量材として考えられてきたが、これからは、むしろ改質材として検討すべきではないかともいわれている<sup>4)</sup>。添加量が少なければ、公害対策もやりやすいこととなろう。硫黄を単体、あるいは他の材料と併用し、現在のアスファルト舗装の弱点をカバーするようなものができないだろうか。一方、サルフレックスのような合成アスファルトは、必ずしも石油系原料を必要としない舗装材料として、5年先10年先には注目を浴びるかも知れない。

現在、わが国において、舗装材料としての硫黄は、殆ど研究の対象となっていないように見受けられるが、アメリカなどのように長期的な展望にたった検討も必要と思われる。

### — 参考文献 —

- 1) 堀尾哲一郎：石油学会誌，15，12月，997，1972
- 2) 村山健司：石油学会誌，16，11月，896，1973
- 3) C.Garrigues, P Vincent, Adv. in Chem. Series 140 American Chemical Society, 1975
- 4) T.Beatty, K.Dunn, E.T.Harrigan, K.Stuart, H. Weber : "Performance Evaluation of Sulfur Extended Asphalt Pavements" Federal Highway Administration
- 5) D.Saylak, W.E.Conger : Symp. Series 183 American Chemical Society, 1982
- 6) "Extention and Replacement of Asphalt Cement with Asphalt Cement wish Sulfur" FHWA Report No. FHWA-RD-78-95, March 1978
- 7) W.C.Mcbee, T.C.Sullivan, D.Saylak : "An Overview of Sulfur Extended Asphalt Usage" ASTM STP 724 ASTM 1980
- 8) T.L.Beatty, K.Dunn, E.T.Harrigan, K.Stuart, H. Weber : Transportation Research Record 1115, 161p
- 9) T.W.Kennedy, R.Haas : Transportation Research Record 741, 42p
- 10) I. J. Deme et.al. : "The Sulfur Asphalt Mix Paver" Proceeding of the 25th Anniversary Conference, National Asphalt Pavement Association, February 1980
- 11) E.T.Harrigan, H.J.Lentz : Public Roads, 46, 4, 125p, 1983
- 12) J.M.Dale : "Process Design for Sulphlex Binders" Federal Highway Administration June 1986
- 13) "Second Generation Sulphlex Binders" FHWA Report No. FHWA-RD-86-016, May 1985
- 14) Proceedings Vol.III, 11th IRF World Meeting, April 1989

## アスファルト舗装工学を目指して(5)

姫野賢治\*

近年、アスファルト舗装の設計を力学的な理論に基づいて行うべきであるという声が高まって来ている。これは、従来の、いわゆる経験的設計法をやめて、多層弾性理論等を用いた解析的な設計方法を用いるべきであるというイメージで単純に捉えられることが多い。確かに、供用中に舗装内部に発生する応力やひずみが力学的な理論を用いて簡単に計算し得ることは、理論的設計方法を確立する上で最低限必要なタスクではあるに違いないが、単に舗装内部の応力やひずみを求めることが、実際の舗装の設計をすることとの間には、まだとても大きな隔たりがあることを強く認識する必要がある。しばしば巷間に耳にする、「多層弾性理論が自由に使えば、即、実際の舗装の理論設計ができる」というような考えは大きな誤謬である。

このような考えがなぜ誤りかという言うと、まず、第1に、いわゆるフックの法則に従う線形弾性体を対象とした多層弾性理論を、複雑な性質をもったアスファルト混合物や粒状材料に用いることが果たして許されることか否かをしっかりと議論しておかなければならぬからである。

第2に、舗装の通常の破壊を論ずる限りにおいては、アスファルト混合物や粒状材料を線形弾性体とみなして解析を行うことの妥当性が仮りに確認できたとしても、現在実務で広く利用されている多層弾性プログラムで行われているように、舗装構造を半無限の多層構造と考えたり、あるいは、外力を鉛直な円形等分布荷重とみなすなどの単純化が適當かどうかの是非を詰めておく必要があるからである。

第3に、このような慎重な検討の結果、アスファルト舗装に多層弾性理論を適用することの妥当性が確認され、応力やひずみを自由に解析し得るようになったとしても、さらに、舗装の破壊を予測、推定するための手順を確立させておかなければならぬからである。すなわち、舗装の破壊形態ごとに破壊規準を確立し、それを外力や気象条件の複雑な変化に対して適用できるような手順を組み上げておかなければならぬ。

その上、このようにして開発された破壊の予測、推定手法を実舗装のパフォーマンスと対応づける気の遠くなるような作業が残されているのである。

幸いにも、過去の舗装研究者の地道な努力により、このようなストーリーの部分部分に相当の成果が蓄積されつつあり、わが国独自の理論的設計方法の誕生もそれほど遠い将来のことではないようと思われる。惜しむらくは、日本の舗装界には、このような問題を公式にディスカスする場が極めて少なく、このような努力の結果も、情報があまり交換されることがないために積極的には認められなかつたり、あるいは根拠なく感情的に否定されてしまつたりすることがしばしばあるように思えることは残念である。

さて、今回の研究グループの報告は、このような理論的な設計方法を確立するに際して避けては通れない力学の問題がテーマである。この種のテーマは、書き方によつては堅苦しく読みにくい内容になりがちであるが、前田道路㈱の吉村啓之氏を中心としたスタッフにうまくまとめて頂いた。ともすれば、ブラックボックス化してしまいかちな力学解析の部分を1から掘り起こして研究してきた成果のとりまとめである。是非、ご一読のほどを。

\*ひめのけんじ 北海道大学土木工学科助教授

# 舗装の力学

## ～Boussinesqの理論について～

伊藤達也\* 金井利浩\*\*\*\*  
 梅野修一\*\* 横山稔\*\*\*\*\*  
 岡藤博国\*\*\* 吉村啓之\*\*\*\*\*

### 1.はじめに

アスファルト舗装の設計法は、大別すれば経験法と理論法に分けられる。わが国の舗装要綱の設計法は、前者に分類される。近年、海外では弾性理論を用いた設計法が開発され始めている。理論による設計法は、舗装体中の応力、ひずみなどを求めることが必要であり、以前には一部の研究者しか扱うことができなかつた。しかし、コンピュータの発達によって弾性理論のプログラムも開発され、応力、ひずみなどを、だれもが容易に計算することができるようになった。その結果、荷重が載荷されたときの舗装体の挙動を明らかにすることが可能となり、弾性理論を基にした設計法が開発されるようになった。そこで、本研究グループの力学班は、舗装の力学についての調査研究を行ない、その歴史をたどってみるとこととした。なお、力学の理論には、弾性論、粘弾性論、塑性論などがあるが、プログラムが容易に入手できる弾性論に限定した。

舗装の力学の解説は、どうしても複雑な数式を記述しなければならず、理論式の誘導を避けて通ることはできない。そこで、理論式の誘導に関する記述は紹介程度にとどめ、応用例を中心に報告することによって、舗装の力学の理論についての理解を深める形式にした。今回の報告は、舗装の力学の基礎と考えられるブシネスクの理論について述べるものである。ブシネスクの理論は均一な一様地盤に集中荷重が載荷されたときの応力、変位を求めるもので、多層構造のアスファルト舗装の解析には適していないが、2層、3層系の力学で著名なバーミスターの理論がブシネスクの理論を基にしていること、他の研究者がブシネスクの理論を研究の出発点にしていることが多いことなどの理由によって、取り上げたものである。

### 2.ブシネスクの理論

#### 2.1 舗装の力学の歴史における位置付け

ブシネスクの理論は1885年に発表された。舗装の力学、理論に関する比較的有名な文献を選定して作成した年表(表-1)をみると、ブシネスクの理論がいかに先駆的な研究であったかがわかる。経験工学といわれる道路工学の分野で理論式が約100年前に発表されたことは、画期的なことといわざるを得ない。しかし、ブシネスクの理論を引き継いだ研究はその後行われず、1940年代になってバーミスターの研究が発表されるまで積極的に試みられることはなかった。また、理論を用いて舗装厚を設計しようとする研究も活発に行われず、経験を基にした設計法の研究が盛んであった。その後、コンピュータの発達などにともなって、1960年代になって、ようやく弾性理論を用いた設計法が発表されるようになった。

#### 2.1 理論の概要

地盤の表面に荷重を載荷したときに発生する地盤内応力を求めることは、舗装構造の解析や構造物の沈下計算等を行ううえで極めて重要である。1885年、フランス人のJ.B.Boussinesq(1842~1929年)は一様地盤に鉛直方向集中荷重が載荷したときの、地盤内に発生する応力と変位の厳密解を求めた。文献<sup>1)</sup>によれば、『Boussinesq』は、フランスの名門校であるEcole Polytechniqueの卒業生であると同時に、19世紀の弾性学者Saint Venantの弟子であり、弾性力学の方面で優れた業績を残している。中でも、1885年に出版された論文「弹性体の平衡および運動の研究におけるポテンシャルの適用」(Application des potentiels à l'étude de l'équilibre et du mouvement des solides élastiques)は、その後の舗装構造設計の理論的な研究に大きな影

\*いとう たつや 日濃化学工業機技術研究所

\*\*うめの しゅういち 運輸省港湾技術研究所

\*\*\*おかふじ ひろくに 世紀東急工業機技術部

\*\*\*\*かない としひろ 鹿島道路機技術研究所

\*\*\*\*\*よこやま みのる 昭和シェル石油(株)アスファルト部

\*\*\*\*\*よしむら ひろゆき 前田道路機技術研究所

表-1 弾性理論と設計法に関する年表

	理 論 研 究	経験的・半経験的設計法	理 論 的 設 計 法
1880	1885 Boussinesq 集中荷重による応力、表面変位の理論式発表		
1890			
1900		1901 マサチューセッツ公式発表	
1910			
1920			
1930	1925 Westergaardの公式発表	1928 Porterの方法発表	
1940	1931 松村 2層問題の厳密解発表	1933 Downsの式発表	
1950	1940 Palmer and Barber 2層地盤の表面変位の近似計算法発表 1943 Burmister 2層問題の応力と変位の数値解発表 1945 Burmister 円形荷重による表面沈下の図表発表 1948 Fox 2層問題の数値解発表 1949 Odemark 2層地盤の表面変位の近似解発表 1951 Acum and Fox 3層問題の数値解（中心軸上の応力）発表	1940 Palmer and Barber の方法（3軸試験法） 1940 Hubbard の方法（アメリカ AI）発表 1942 Porter の CBR 法発表 1948 Hveem の方法（カリオルニア）発表	
1960	1959 Mehta and Veltos 2層問題の数値解発表	1961 AASHO暫定設計指針発刊 1961 鋼製要綱（改定版）発刊（CBR法）	
1970	1961 Nascentio 多層地盤の表面変位の近似解発表 1962 Jones, Peattie 3層問題の計算図表発表 1963 Chevron 多層弹性理論プログラム発表 1967 植下、マイヤホフ 3層問題の厳密解発表 1968 BISTRO 多層弹性理論プログラム発表 1973 BISAR 多層弹性理論プログラム発表	1963 Shell 弹性理論による設計法発表 1967 鋼製要綱（改定版）発刊（CBR-Ta法） 1970 Road Note No.29（イギリス）発刊 1972 AASHO暫定設計指針（改定版）発刊	
1980		1977 Shell 弹性理論による設計法（改定版）発表	
1990		1981 AI 弹性理論による設計法発表 1984 イギリス 弹性理論による設計法発表 1986 AASHTOの設計法発表	

響を与えた。Boussinesq は半無限弾性体の表面に集中荷重が作用したとき、その弾性体の内部の任意の点に生じる鉛直方向応力、放射方向の水平応力、接線方向の水平応力、鉛直方向のせん断応力、および表面のたわみ量（沈下量）を求めるという応用性の高い一般解を示した。』と述べられている。

ブシネスクの解は最も基本的なもので、地盤内応力に関するその後の多くの研究は、ほとんどが集中荷重の解を重ね合わせることによって得られたものであるといつても過言ではない。すなわち、鉛直載荷状態が円形等分布、長方形等分布などについて重ね合わせの原理を基にした理論式が求められており、簡便に利用し得る図表あるいは図式計算法なども数多く発表されている。

ブシネスクの理論は深さ方向に均質な一様地盤に関するもので、舗装のように数層の異なった材料から構成される舗装体に対するものではないが、バーミスターをはじめとする、その後の多層構造に関する研究の基礎となっている。

### 3. ブシネスクの理論式の誘導

#### 3.1 理論式の特徴

地盤が均質で、荷重によって発生する応力が土の降伏応力に比較して小さい場合、地盤を線型弾性体として扱うことによって、弾性理論を適用することができる。ブシネスクは均質、等方性、線型弾性の半無限弾性体の表面に垂直に作用する集中荷重による応力成分を求めた。この理論の特徴は、その数学モデルの単純なこと、一層構造の境界表面上に分布荷重を載荷した半無限体に関しては、理論的に妥当と考えられること、この式で計算したたわみと実際に測定した舗装構造のたわみが比較的よく一致することなどである。また、竹下<sup>2)</sup>は鉛直方向の垂直応力の式に弾性係数・ポアソン比が入っていないことを指摘しており、このことは硬い地盤でも柔らかい地盤でも、同じ深さに生ずる中心軸上の垂直応力が同じ値になることを示している。ただし、垂直応力は深くなるにつれて減少する。一方、中心軸上の半径方向応力と接線方向応力は、同一の式で与えられ、垂直方向応力と異なる点は、ポアソン比が入っていることである。このことは弾性常数が異なる地盤を比較した場合、垂直応力は同じであるが、半径方向応力と接線方向応力は地盤によって同じにならないことを意味する。

#### 3.2 理論式の誘導

参考文献には理論式が極座標で表示されていることが多いが、ここでは直交座標で理論式を誘導する。応力、ひずみ、変位に関する方程式をたて、6個の応力( $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{zx}, \tau_{yz}$ )、6個のひずみ( $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z, \gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}$ )、3個の変位( $u, v, w$ )を求めるところにする。

#### 3.2.1 記号について

応力に関する記号の規約は図-1に示すようになっている。X方向の変位をu、Y方向の変位をv、Z方向の変位をwとする。 $(u, v, w)$ は、それぞれ(x, y, z)の関数である。荷重が作用する前の座標を(x, y, z)とすると、荷重が作用した後には、 $u(x, y, z), v(x, y, z), w(x, y, z)$ だけ移動し、移動後の座標は、 $x+u, y+v, z+w$ となる。

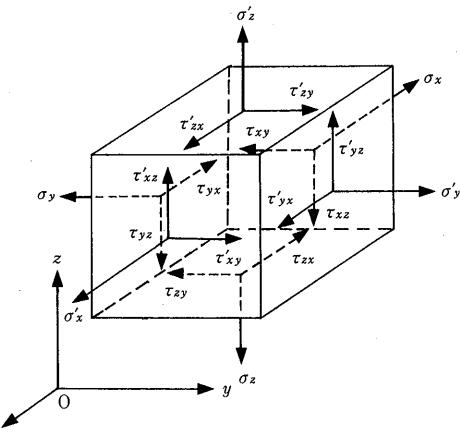


図-1 応力に関する記号のつけかた

#### 3.2.2 仮定

荷重によって生じる変位は、物体全体の大きさに対して十分に小さいものとし、変位は静的なものとする。

#### 3.2.3 基本的な関係式の誘導

図-2に示すように、想定している微小直方体をY-

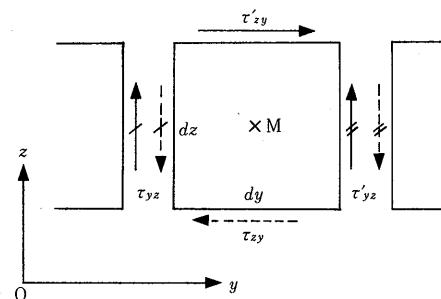


図-2 せん断応力の関係図

Z 平面で切断し、断面に現れた長方形の重心Mの周りの回転を考えると、この直方体は回転運動をしていないことから、重心Mの周りのモーメントは釣り合っていなければならない。

したがって、(3.1) 式が成り立つ。

$$(\tau_{zy} + \tau_{zy'}) dy \cdot \frac{dz}{2} = (\tau_{yz} + \tau_{yz'}) dz \cdot \frac{dy}{2} \quad (3.1)$$

ここで、下記のテイラー展開を利用し、かつ高次の微小項を無視すると、

$$\tau_{zy'} = \tau_{zy} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} \cdot dz + \frac{\partial^2 \tau_{zy}}{\partial z^2} \cdot (dz)^2 + \dots + \dots \quad (3.2)$$

$$\tau_{zy'} = \tau_{zy} \quad (3.3)$$

となる。

同様にして、 $\tau_{yz} = \tau_{yz}$  となり、これらを式 (3.1) に代入すると、

$$\tau_{yz} = \tau_{zy} \quad (3.4)$$

となる。同様にして下式が得られる。

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} \quad (3.5)$$

$$\tau_{zx} = \tau_{xz} \quad (3.6)$$

### 3.2.4 応力のつりあい式

直方体に作用するX軸方向の応力は、 $\sigma_x$ 、 $\tau_{zx}$ 、 $\tau_{yx}$ 、 $\sigma_x$   $\tau_{zx}$   $\tau_{yx}$  の6個である。各応力が作用している面の面積をかけてつりあいを考慮すると、

$$(\sigma_x - \sigma_x) dy \cdot dz + (\tau_{yx} - \tau_{xy}) dx \cdot dz + (\tau_{zx} - \tau_{xz}) dx \cdot dy + X dx \cdot dy \cdot dz = 0 \quad \dots \dots \quad (3.7)$$

ここで、Xは物体の単位体積あたりに作用するX軸方向の物体力である。ここでテイラー展開と2次以上の微小項を無視すると、

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + X = 0 \quad (3.8)$$

が成り立つ。

同様にして、

$$\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + Y = 0 \quad (3.9)$$

$$\frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + Z = 0 \quad (3.10)$$

が誘導される。

### 3.2.5 ひずみと変位の関係式

物体内の微小要素を想定し、これに原点Oを与える。この原点から  $d x$  だけ離れたX軸上の1点A、 $d y$  離れたY軸上の1点Bを考える。(図-3)

ここで、原点Oの変形後の移動量が  $u$ 、 $v$ 、 $w$  であるとすると、テイラー展開を利用してAの移動量は、 $u + \partial u / \partial x \cdot d x$ 、 $v + \partial v / \partial x \cdot d x$ 、 $w +$

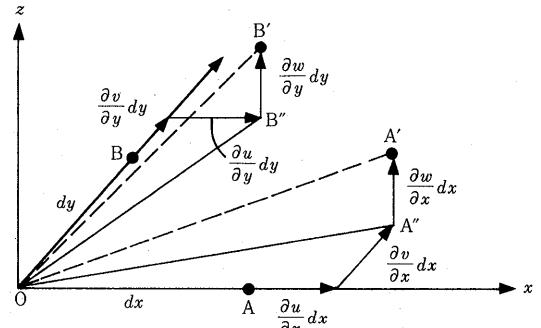


図-3 変形する物体内の相対変位

$\partial w / \partial x \cdot d x$  となる。ただし、この式は微小項を省略している。

ここで、伸び率、方向余弦、内積の関係を利用する

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} \quad (3.11)$$

$$\varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y} \quad (3.12)$$

$$\varepsilon_z = \frac{\partial w}{\partial z} \quad (3.13)$$

$$\gamma_{xy} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \quad (3.14)$$

$$\gamma_{yz} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \quad (3.15)$$

$$\gamma_{zx} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (3.16)$$

となる。

すでに述べたように、決定すべき未知数は変位3個、応力6個、ひずみ6個の計15個である。しかし、独立した方程式は (3.8) ~ (3.16) の9個しかないので、15個の未知数を決定することができない。そこで、弾性論を利用して、必要とされる応力とひずみの関係式(6個)をあたえることによってすべての未知数を求めることができとなる。

### 3.2.6 等方質弾性体の応力とひずみの関係式

ある物体が等方質で線形の弾性体である時、その物体のポアソン比と弾性係数をそれぞれ  $\nu$  と  $E$  とする

$$\varepsilon_x = \frac{\sigma_x - \nu (\sigma_y + \sigma_z)}{E} \quad (3.17)$$

$$\varepsilon_y = \frac{\sigma_y - \nu (\sigma_z + \sigma_x)}{E} \quad (3.18)$$

$$\varepsilon_z = \frac{\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)}{E} \quad (3.19)$$

$$\tau_{xy} = \frac{E}{1+\nu} \cdot \gamma_{xy} \quad (3.20)$$

$$\tau_{yz} = \frac{E}{1+\nu} \cdot \gamma_{yz} \quad (3.21)$$

$$\tau_{zx} = \frac{E}{1+\nu} \cdot \gamma_{zx} \quad (3.22)$$

というように表現できる。

### 3.2.7 変位u, v, wの決定

(3.8) ~ (3.22) 式から変位u, v, wを決定すれば、応力およびひずみは算出できる。これらの式から変位に関する3個の微分方程式をたて、境界条件を満足する解を求める。上式を変形し、外力項を無視すると、

$$\frac{G}{1-2\nu} \cdot \frac{\partial e}{\partial x} + G \Delta^2 u = 0 \quad (3.23)$$

$$\frac{G}{1-2\nu} \cdot \frac{\partial e}{\partial y} + G \Delta^2 v = 0 \quad (3.24)$$

$$\frac{G}{1-2\nu} \cdot \frac{\partial e}{\partial z} + G \Delta^2 w = 0 \quad (3.25)$$

となる。ただし、

$$e = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z$$

$$G = E / (1 + \nu)$$

$$\nabla^2 = (\partial^2 / \partial x^2 + \partial^2 / \partial y^2 + \partial^2 / \partial z^2)$$

である。

上記微分方程式の解は (3.26) ~ (3.28) 式となる。

$$u = \phi_1 - \frac{1}{4(1-\nu)} \cdot \frac{\partial}{\partial x} \\ \cdot (\phi_0 + x\phi_1 + y\phi_2 + z\phi_3) \quad (3.26)$$

$$v = \phi_2 - \frac{1}{4(1-\nu)} \cdot \frac{\partial}{\partial y} \\ \cdot (\phi_0 + x\phi_1 + y\phi_2 + z\phi_3) \quad (3.27)$$

$$w = \phi_3 - \frac{1}{4(1-\nu)} \cdot \frac{\partial}{\partial z} \\ \cdot (\phi_0 + x\phi_1 + y\phi_2 + z\phi_3) \quad (3.28)$$

ただし、 $\phi_0 \sim \phi_3$ は、調和関数である。

### 3.2.8 調和関数の決定

解の対称性を利用すると、 $\phi_1 = \phi_2 = 0$ となることがわかり、u, v, wは (3.29) ~ (3.31) 式のように導くことができる。ただし、 $\phi_0 = -4(1-\nu)\psi$ ,  $\phi_3 =$

$4(1-\nu)\phi$  とする。

$$u = \frac{\partial \phi}{\partial x} - z \cdot \frac{\partial \phi}{\partial z} \quad (3.29)$$

$$v = \frac{\partial \phi}{\partial y} - z \cdot \frac{\partial \phi}{\partial y} \quad (3.30)$$

$$w = \frac{\partial \phi}{\partial z} - z \cdot \frac{\partial \phi}{\partial z} + (3-4\nu)\phi \quad (3.31)$$

(3.29) ~ (3.31) 式と、関数  $\psi(x, y, z)$  と関数  $\phi(x, y, z)$  は調和関数であることから、以下のように誘導できる。

$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$ についてまとめると

$$\sigma_x = G \left( \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + 2\nu \cdot \frac{\partial \phi}{\partial z} - z \cdot \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} \right) \quad (3.32)$$

$$\sigma_y = G \left( \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + 2\nu \cdot \frac{\partial \phi}{\partial z} - z \cdot \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} \right) \quad (3.33)$$

$$\sigma_z = G \left( \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} + 2(1-\nu) \cdot \frac{\partial \phi}{\partial z} - z \cdot \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} \right) \dots (3.34)$$

$$\tau_{xy} = G \left( \frac{\partial^2 \psi}{\partial x \partial y} - z \cdot \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial y} \right) \quad (3.35)$$

$$\tau_{yz} = G \left( \frac{\partial^2 \psi}{\partial y \partial z} + (1-2\nu) \cdot \frac{\partial \phi}{\partial y} - z \cdot \frac{\partial^2 \phi}{\partial y \partial z} \right) \dots (3.36)$$

$$\tau_{zx} = G \left( \frac{\partial^2 \psi}{\partial x \partial z} + (1-2\nu) \cdot \frac{\partial \phi}{\partial x} - z \cdot \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial z} \right) \dots (3.37)$$

となる。

集中荷重qが与えられたとき、地表面上 ( $z=0$ ) では、 $\tau_{yz}=0$ ,  $\tau_{zx}=0$  であり、 $\phi=A/r$ と置き換える、任意の深さZでx y平面に平行な面に作用する応力のつりあい状態から、(3.38)式を利用すると、Aの値が求まる。

$$P - \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \sigma_z dx dy = 0 \quad (3.38)$$

$$A = \frac{P}{2\pi G} \quad (3.39)$$

### 3.2.9 プシネスクの解

u, v, wから、 $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$ について解を求めるとき、次のとおりとなる。

$$\sigma_x = -\frac{3P}{2\pi} \cdot \left[ \frac{2}{r^5} \cdot x^2 + \frac{1-2\nu}{3} \cdot \left\{ \frac{r^2-rz-z^2}{r^3(r+z)} - \frac{2r+z}{r^3(r+z)^2} \cdot x^2 \right\} \right] \dots (3.40)$$

$$\sigma_y = -\frac{3P}{2\pi} \cdot \left[ \frac{2}{r^5} \cdot y^2 + \frac{1-2\nu}{3} \cdot \left\{ \frac{r^2-rz-z^2}{r^3(r+z)} - \frac{2r+z}{r^3(r+z)^2} \cdot y^2 \right\} \right] \dots (3.41)$$

$$\sigma_z^2 = \frac{3Pz^3}{2\pi r^5} \quad (3.42)$$

$$u = \frac{P}{2\pi G} \left\{ \frac{2}{r^3} - \frac{1-2\nu}{r(r+z)} \right\} x \quad (3.43)$$

$$v = \frac{P}{2\pi G} \left\{ \frac{2}{r^3} - \frac{1-2\nu}{r(r+z)} \right\} y \quad (3.44)$$

$$w = \frac{P}{2\pi G} \left\{ \frac{2}{r^3} + \frac{2(1-\nu)}{r} \right\} z \quad (3.45)$$

$$\tau_{xy} = \frac{3P}{2\pi} \cdot \left\{ \frac{1-0\nu}{3} \cdot \frac{xy}{r^3(r+z)^2} - (2r+z) - \frac{xyz}{r^5} \right\} \dots (3.46)$$

$$\tau_{yz} = -\frac{3Pz^2}{2\pi r^5} \cdot y \quad (3.47)$$

$$\tau_{zx} = -\frac{3Pz^2}{2\pi r^5} \cdot x \quad (3.48)$$

#### 4. 応用例

##### 4.1 重ね合わせによる理論の拡張

地盤を半無限弾性体と仮定すれば、重ね合わせの原理に基づき、集中荷重の解を積分することによって、複雑な荷重状態における地盤内応力を求めることができる。ここでは、線荷重、帯荷重、長方形荷重、円荷重による地盤内応力を求められる計算式を紹介する。なお、式の詳細な誘導は文献<sup>9)</sup>を参照のこと。

##### 4.1.1 線荷重

図-4に示すようにY軸上に一様な線荷重が載荷された場合、単位長さあたりの荷重をqとし、微小な距離dyに作用する荷重をdP=q·dyとすれば、任意点Aに生じる鉛直方向応力dσ<sub>z</sub>は、式(3.42)より、

$$d\sigma_z = \frac{3qdyz^3}{2\pi r^5} \quad (4.1)$$

となる。ただし、r=(x<sup>2</sup>+y<sup>2</sup>+z<sup>2</sup>)<sup>1/2</sup>である。

式(4.1)をyに関して-∞から+∞まで積分することによって線荷重による鉛直方向応力を求めることが

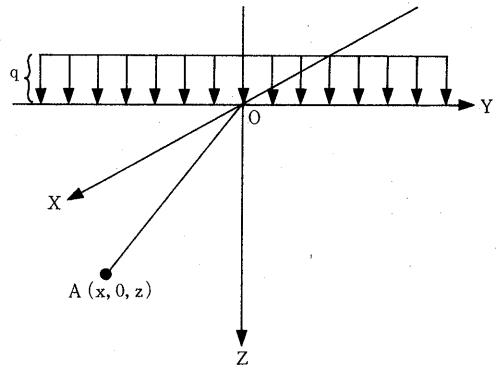


図-4 地盤の表面に載荷される線荷重

できる。

$$\sigma_z = \int d\sigma_z = \int \frac{3qz^3}{2\pi r^5} dy \quad (4.2)$$

図-5に示すように、X-Z平面でθを定義して式(4.2)を解けば、式(4.3)が得られる。

$$\sigma_z = \frac{2q}{\pi z} \cos^4 \theta \quad (4.3)$$

同様にして、

$$\sigma_x = \frac{2q}{\pi z} \cos^2 \theta \sin^2 \theta \quad (4.4)$$

$$\tau_{xy} = \frac{2q}{\pi z} \cos^3 \theta \sin \theta \quad (4.5)$$

となる。

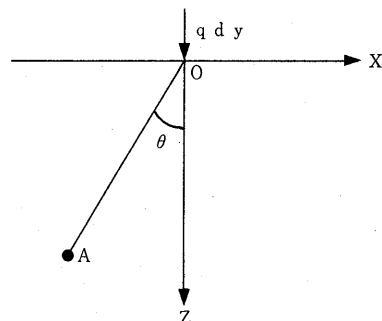


図-5 X-Z平面での線荷重

##### 4.1.2 帯荷重

帯荷重による鉛直方向応力は前項で求めた線荷重を微小単位とし、X軸方向に2aだけ積分することによって求められる。図-6は、図-4に示す線荷重をX軸方向に幅2aをもたせた帯荷重を示したものである。

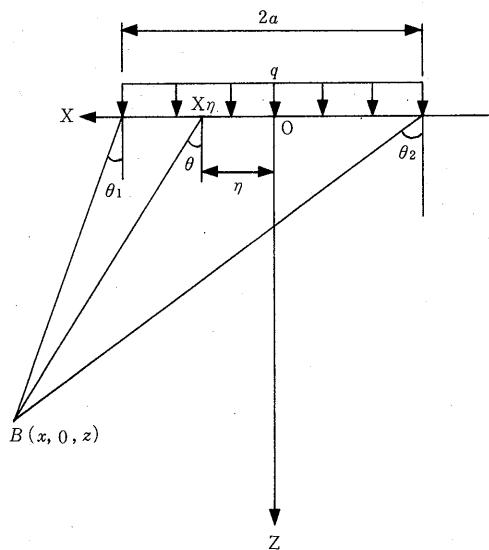


図-6 地盤の表面に載荷される帯荷重

原点OからX軸方向に $\eta$ だけ離れた点に作用する荷重を $q \cdot d\eta$ とすれば、任意点Bに生じる鉛直方向応力 $d\sigma_z$ は、式(4.3)より、

$$d\sigma_z = \frac{2qd\eta}{\pi z} \cos^4 \theta \quad (4.6)$$

となる。

式(4.6)をxに関して-aから+aまで積分することによって帯荷重による鉛直向応力は次のようになる。

$$\sigma_z = \frac{q}{\pi} \{ \theta_0 + \sin \theta_0 \cos(\theta_1 + \theta_2) \} \quad (4.7)$$

ただし、 $\theta_0 = \theta_2 - \theta_1$

同様にして、

$$\sigma_x = \frac{q}{\pi} \{ \theta_0 - \sin \theta_0 \cos(\theta_1 + \theta_2) \} \quad (4.8)$$

$$\tau = \frac{q}{\pi} \sin \theta_0 \sin(\theta_1 + \theta_2) \quad (4.9)$$

となる。

#### 4.1.3 長方形荷重

ここでは、図-7に示すように長方形の載荷面の隅角部Oの直下で、深さZでの鉛直応力を求めることにする。

長方形荷重による鉛直方向応力はX-Y平面上の微小集中荷重 $q \cdot \rho \cdot d\theta \cdot d\rho$ による地盤内応力 $d\sigma_z$ を

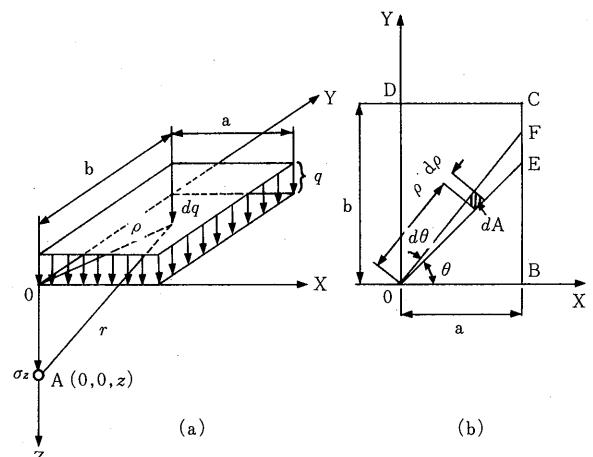


図-7 地盤の表面に載荷される長方形荷重

二重積分することによって求められる。 $d\sigma_z$ は、

$$d\sigma_z = \frac{3z^3}{2\pi} \cdot \frac{q \cdot \rho d\theta \cdot d\rho}{r^5} \quad (4.10)$$

で表わされる。

長方形荷重による鉛直方向応力 $\sigma_z$ は、

$$\sigma_z = \frac{q}{2\pi} \left\{ \frac{abz(a^2+b^2+2z^2)}{(a^2+z^2)(b^2+z^2)(a^2+b^2+z^2)^{1/2}} \right. \\ \left. \sin^{-1} \frac{ab}{(b^2+z^2)^{1/2}} \frac{ab}{(a^2+z^2)^{1/2}} \right\} \quad (4.11)$$

となる。

#### 4.1.4 円荷重

ここでは、図-8に示すように半径Rの円の中心直

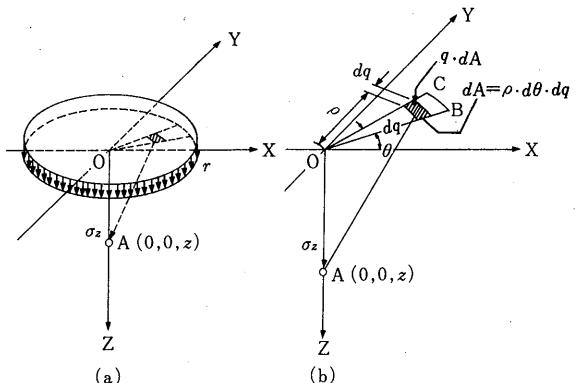


図-8 地盤の表面に載荷される円荷重

下で、深さZでの鉛直応力を求めることにする。

円荷重による鉛直方向応力はX-Y平面上の微小集中荷重 $q \cdot \rho \cdot d\theta \cdot d\rho$ による地盤内応力 $d\sigma_z$ を二重積分することによって求められる。 $d\sigma_z$ は、

$$d\sigma_z = \frac{3z^3}{2\pi} \cdot \frac{q \cdot \rho d\theta \cdot d\rho}{r^5} \quad (4.12)$$

で表わされる。

円荷重による鉛直方向応力  $\sigma_z$  は、

$$\sigma_z = q \left\{ 1 - \left( \frac{1}{1 + \frac{R^2}{Z^2}} \right)^{\frac{3}{2}} \right\} \quad (4.13)$$

となる。

#### 4.2 アスファルト混合物層の必要厚

遠藤<sup>3)</sup>は円形等分布荷重載荷中心軸上の任意点での最大せん断応力  $\tau_{max}$  (中心軸に45°をとる方向に働く) の研究をした。遠藤によれば、中心軸上のせん断応力の最大値を生じる位置は、表面から載荷円の半径の約70%の深さになり、最大値は載荷荷重強度の約30%に相当する。図-9は円形等分布荷重を受けた載荷円の

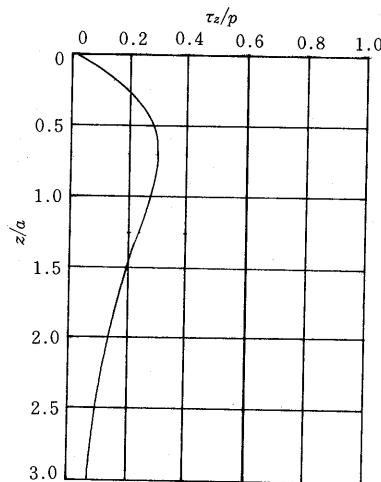


図-9 載荷円の中心線上のせん断応力

中心線上のせん断応力の分布を示したものである。

竹下<sup>4)</sup>によれば、最大のせん断応力がアスファルト舗装のアスファルト混合物層の中に入ることが望ましく、路盤中にせん断応力をできるだけ入れないように設計すべきであると述べている。また、竹下<sup>4)</sup>は最大せん断応力の80%までをアスファルト混合物中に入れると仮定したときのアスファルト混合物層の必要厚を提案している。

#### 4.3 舗装厚の設計法

半無限弾性体の応力分布を利用した舗装厚設計法が過去にイギリスで試みられている。その設計法は Glossop と Golder が粘土路床上の飛行場コンクリート舗装の設計法として、1944年に発表したものである<sup>5)</sup>。この設計

法は鉛直応力分布に対しての必要厚を検討しているが、その後 RRL<sup>6)</sup>は最大せん断応力分布に対して、粘土路床の粘着力が  $\tau_{max}$  を下回らないように必要舗装厚を求める方法に改めている。

この設計法の問題点として、植下<sup>7)</sup>は、

① 実際の舗装の応力分布と破壊作用はもっと複雑であること

② 一つの輪荷重で路床土に塑性域が発生するかどうかによって必要厚を決めていること

を指摘し、実際の舗装構造は路床の弾性係数よりも高い弾性係数の表層、路盤が用いられているので、路床に発生するせん断応力は半無限弾性体の路床に発生するせん断応力よりもさらに小さいこと、また、たくさんの交通荷重が長い年月通過して壊れる可能性があるので、 $\tau_{max}$  は粘着力よりもかなり低くなければならないと述べている。その後、せん断応力に着目した著名な設計法は現在まで発表されていない。

#### 4.4 理論値と現場測定値の比較

Yan<sup>8)</sup>は現場での応力とたわみを測定して、ブニエスク理論が実際に使えるかどうかの検証を行っている。

図-10~11はブニエスク理論による計算値と現場測定

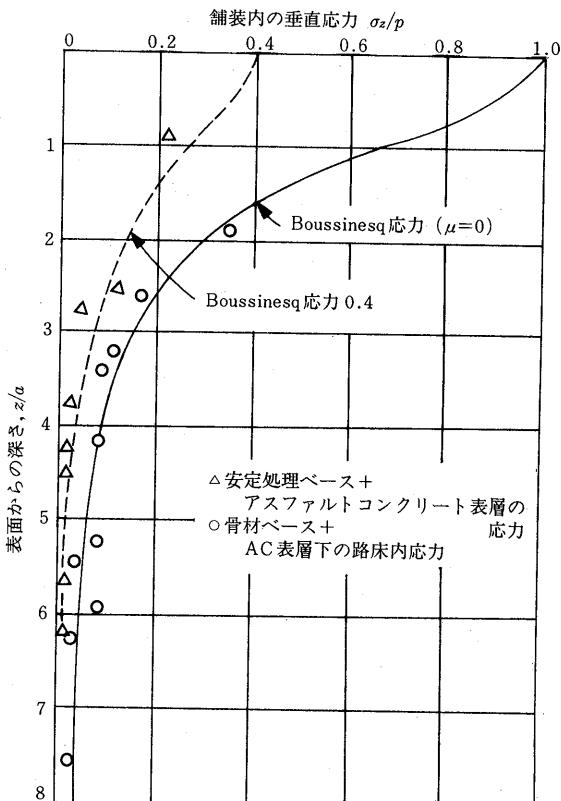


図-10 Boussinesq 応力と現場測定値の比較

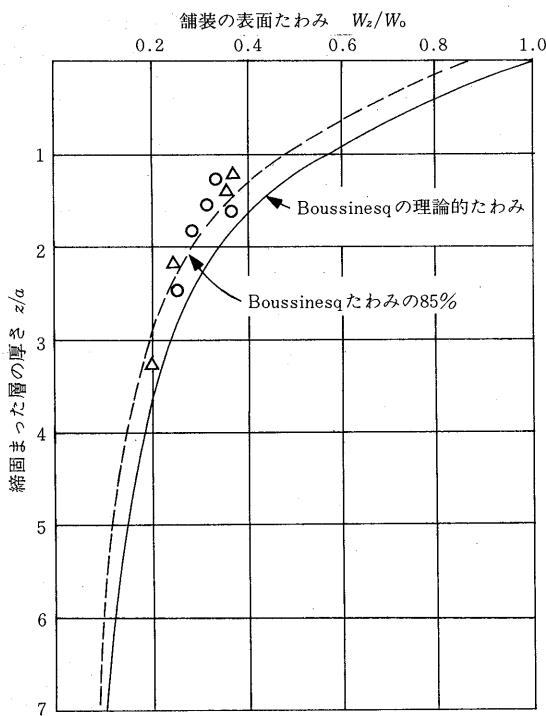


図-11 舗装たわみ測定値と Boussinesq 理論の比較

値を比較したものである。Yanによれば、舗装内の垂直応力は、ばらついているが、理論値の約40%の値を示し、舗装表面のたわみは理論値の約85%とよく一致していると述べている。

#### 4.5 多層弾性理論プログラムの計算値との比較

ブシネスクの式に重ね合わせの原理を応用した荷重の形状は、すでに述べたように、線状、帯状、円形、長方形などがあり、種々の荷重が載荷されたときの応力は容易に求められる。ここでは、ブシネスク式の円荷重の計算式による応力値が多層弾性理論のプログラムによる計算値と同じような値をとるかを確認してみた。多層弾性理論プログラムは BISAR を使用した。

##### 4.5.1 入力条件

入力条件は表-2に示すとおりとした。なお、ブシネスクの集中荷重を重ね合わせた円荷重による応力の

表-2 入力条件

	B I S A R			ブシネスク		
層の数	1層					
弾性係数(kgf/cm <sup>2</sup> )	1000					
ボアソン比	0.35					
接地半径(cm)	17			3187	5000	6818
載荷荷重(kgf)	3187	5000	6818	—	—	—
接地圧(kgf/cm <sup>2</sup> )	(3.5)	(5.5)	(7.5)	3.5	5.5	7.5

計算式は式(4.13)を用いた。

#### 4.5.2 計算結果

図-12は等分布円荷重載荷時の鉛直方向の応力を比較したものである。鉛直方向応力は接地圧、深さが異なってもブシネスクの計算値と BISAR の計算値はほぼ一致する。

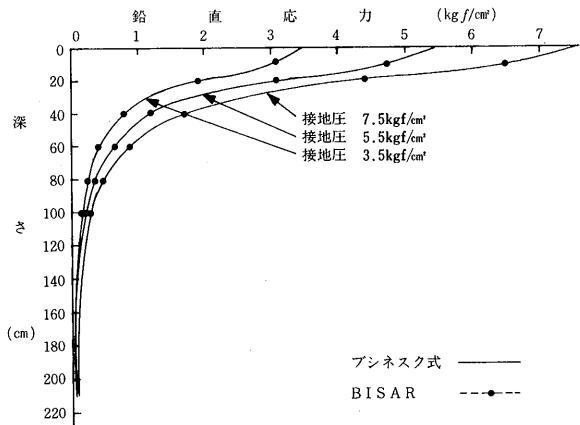


図-12 等分布円荷重載荷時の鉛直応力の比較

#### 5.あとがき

ブシネスク理論は土質工学の分野では、現在でも使用されており、一様地盤の応力、変位を簡易に求めることができる。地盤内応力、変位を現場などで単にチェックするために用いるならば、十分に使えるといえよう。しかし、すでに述べたように多層構造をなしている舗装体中の応力、変位を知るためにには多層理論を適用しなければならないであろう。なお、本報告で詳細に触れられなかったブシネスク理論式の誘導および重ね合わせによる理論式の誘導については報告書<sup>9)</sup>としてまとめてある。

#### 参考文献

- 1) アスファルト舗装講座 II, 日満化学工業㈱, p.28
- 2) 竹下春見, 解説アスファルト舗装(1), アスファルト, No.49
- 3) 遠藤靖, アスファルト舗装の計算 [1], 道路建設, 1962年 6月
- 4) 竹下春見, アスファルト舗装の構造設計に関する考え方, 舗装, 1966年 4月
- 5) Glossop, R. and Golder, H.Q.; "Construction of Pavements on a Clay Foundation Soil", Institution of Civil Engineers, Road Paper No.15, 1944
- 6) Road Research Laboratory, "Soil Mechanics for

- Road Engineers", Her Majesty's  
Stationery Office, London, 1952
- 7) 植下協, 舗装の力学(第2回), 舗装, 1972年12月
- 8) N.C.Yan (井上静三・山下弘美共訳), 「舗装新設

計法」, 森北出版

9) アスファルト舗装技術研究グループ力学班編, 「ブ  
シネスクの理論について」, 1990年

## 重交通道路の舗装用アスファルト 「セミプローンアスファルト」の開発

B5版・132ページ・実費価格 3000円(送料実費)

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

### 目

1. 研究の概要
  - 1.1 文献調査
  - 1.2 室内試験
  - 1.3 試験舗装
  - 1.4 研究成果
2. 舗装の破損の原因と対策
  - 2.1 アスファルト舗装の破損の分類
  - 2.2 ひびわれ(Cracking)
  - 2.3 わだち掘れ(Rutting)
3. セミプローンアスファルトの開発
  - 3.1 概説
  - 3.2 市販ストレートアスファルトの60°C粘度調査
  - 3.3 製造方法の比較
  - 3.4 セミプローンアスファルトの試作
  - 3.5 試作アスファルトの特徴
  - 3.6 60°C粘度と他の物理性状の関係
  - 3.7 薄膜加熱による性状変化
4. セミプローンアスファルトを用いた混合物の性状
  - 4.1 概説
  - 4.2 マーシャル安定度試験
  - 4.3 ホイールトラッキング試験

### 次

- 4.4 高速曲げ試験
- 4.5 水浸マーシャル安定度試験
- 4.6 試験結果のまとめ
- 4.7 品質規格の設定
5. 試験舗装による検討
  - 5.1 概説
  - 5.2 実施要領
  - 5.3 施工箇所と舗装構成
  - 5.4 追跡調査の方法
  - 5.5 使用アスファルトの性状
  - 5.6 アスファルト混合物の性状
  - 5.7 第1次および第2次試験舗装の供用性状
  - 5.8 第3次試験舗装の供用性
  - 5.9 アンケート調査
  - 5.10 試験舗装のまとめ
6. むすび
- 資料
  1. セミプローンアスファルトの規格(案)
  - 2.1 石油アスファルト絶対粘度試験方法
  - 2.2 60°C粘度試験の共通試験
  3. 舗装用セミプローンアスファルトの舗装施工基準

## 再生アスファルト

再生アスファルトとは、アスファルトコンクリート再生骨材に含まれる旧アスファルトに、新アスファルトや再生用添加剤等を単独又は、複合で配合して設計針入度に調整したアスファルトのことであり、再生加熱アスファルト混合物から回収した再生アスファルトを指すものではない。

その品質は、特に指示のない限り、通常のアスファルトと同様に定期的な試験によって確認する必要がある。ただし、舗装廃材再生利用技術指針(案)（日本道路協会）では、日常の品質管理においては、舗装の流動とひびわれ性状に特に関係の深いアスファルトの性状として針入度と軟化点に着目し、これらを確認することを留意点として示している。これは以下の資料をベースに判断されたものである。

- ① コンクリート舗装上のオーバーレイ工事（表層4cm+基層6.5cm）である岡部試験舗装の調査結果では、舗装のわだち掘れに対する要因は2.5mm通過量、アスファルト量、最大粒径の寄与率が大きいがこれに次いで、アスファルトの針入度が有意と判定され、低針入度グレードのものの耐わだち掘れ効果が認められる。
- ② 幕張試験舗装では、塑性流動抵抗係数というインデックスで評価すると、アスファルトの針入度、アスファルト量の寄与率が大きくわだち掘れ対策には、低針入度グレードのアスファルトでOAC-0.5%の配合が良いとしている。
- 一方、10年後の路面のひびわれ率で評価すると、混合物の空隙率が1.5%以上、回収アスファルトの針入度の残留率が60%以下ではひびわれが顕著になる（図-1～2参照）。
- ③ 日本道路公団試験所資料によれば、路面のひびわれが顕著となるアスファルトの性状は、針入度残留率が50%以下（針入度35以下）、軟化点が54℃以上の範囲に見られるとしている（図-3参照）。

以上のように、アスファルトの性状のうち、針入度と軟化点の値がアスファルト舗装の性状の変化に影響する指標として重要であることから、品質の確認には最少限これら2特性を確認するようにしている。

〔小島逸平 熊谷道路技術研究所〕

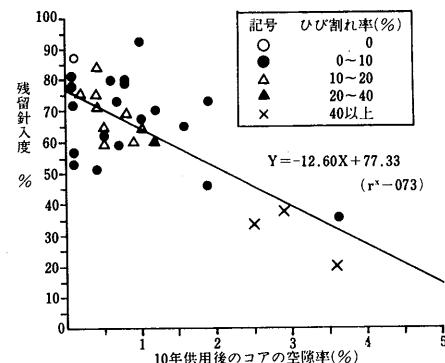


図-1 コア空隙率と残留針入度の関係

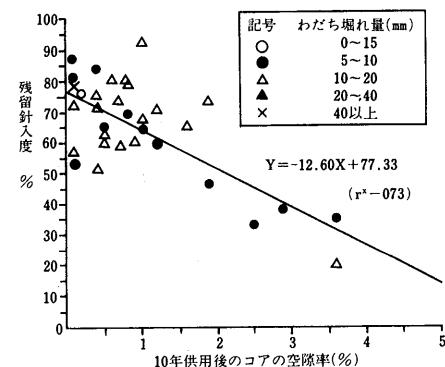


図-2 コア空隙率と残留針入度の関係

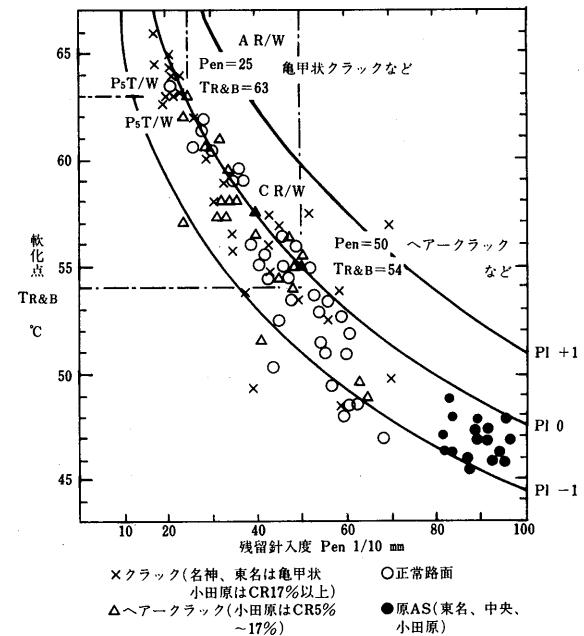


図-3 残留針入度・軟化点とクラックの関係  
(日本道路公団)

## 耐久性 (Durability)

アスファルトの耐久性 (Durability) は長期の供用条件下でレオロジーすなわち粘弹性状、凝集性 (cohesion), 付着性 (adhesion)などを維持できる能力と定義できる。アスファルトの耐久性に影響を与える因子は次のように分類される<sup>1)</sup>。

1. 酸化による硬化 (Oxidative hardening)
2. 蒸発による硬化 (Evaporative hardening)
3. にじみ出しによる硬化 (Exudative hardening)
4. 物理的な硬化 (Physical hardening)
5. 疲労 (Fatigue)

これからわかるように耐久性に影響を与える諸要因は、主として外的条件によってアスファルトが硬化または脆化することを意味している。これを ageing ともいう。ageing は老化という言葉が妥当であると考える。この根拠としては、原アスファルトの適度な硬化は、たとえばアスファルト舗装の支持力を増加させる、あるいは、アスファルトルーフィングのべたつきを低減させるなどのメリットとしてはたらく面もあるので硬化が必ずしも悪いとは一概に云えないと考えるからである。したがってこのような意味からも ageing は劣化ではなく老化である、あるいは単なる硬化現象であると考えた方がよさそうである。

アスファルトの硬化は、酸化によるものが支配的であり、その他の因子はほとんど影響を与えないこれまで考えられてきた。実際、アスファルト舗装で 4 % 以上の空隙率を有し、かつその空隙が複雑に構成されている（その結果、酸素と接触するアスファルトの面積が大きい）混合物では酸化による硬化は非常に大きなものがある。しかしながらそのような条件下では、揮発性分（もし存在すれば）の蒸発に起因する硬化もまた重要であるという。また滲み出しによる硬化、すなわちアスファルトから骨材中へオイル分がしみこんだ結果生じるアスファルトの硬化も実例が多く、貧配合（バインダー量の少ない混合物のタイプ）の場合に特に、早期破壊につながりやすいという。疲労現象については非常に大きな研究分野であるので別に解説したい。

アスファルトの硬化の大部分は、アスファルトが加熱骨材の表面に対して、高温空気の存在下で噴霧状となって吹付けられる（すなわち単位重量あたりのアスファルトの、空気に接触する表面積は激増する）混合物製造プラントで加熱混合中にひきおこされる。図-1 に示されるごとく、たとえば針入度 85 のアスファルトをプラント混合して、30秒後には針入度はもの約 7 割（55 前後）に低下する<sup>2)</sup>。また針入度の低下にともない軟化点は一般に上昇する。別資料<sup>3)</sup>によればプラント混合において、軟化点約 5 °C 程度の上昇は図-2 にあるように日常、容易に見受けられる。

### 参考文献

- 1) G. van Gooswilligen et al, "Quality of paving grade bitumen ....", paper presented at 4th Eurobitume Symposium, Madrid (1989)

- 2) F.N.Hveem, "Effect of time and temp. on hardening of asphalts", HRB Special Report, 54, 13 (1959)
- 3) 近藤, 「アスファルトの薄膜蒸発試験」, アスファルト No.74, P 19 (1970)

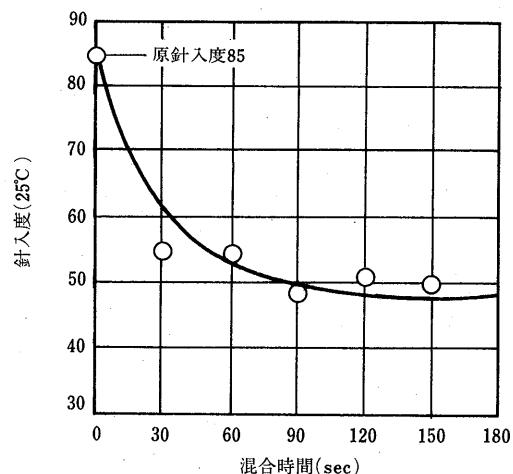


図-1 プラント混合時間と針入度<sup>2)</sup>

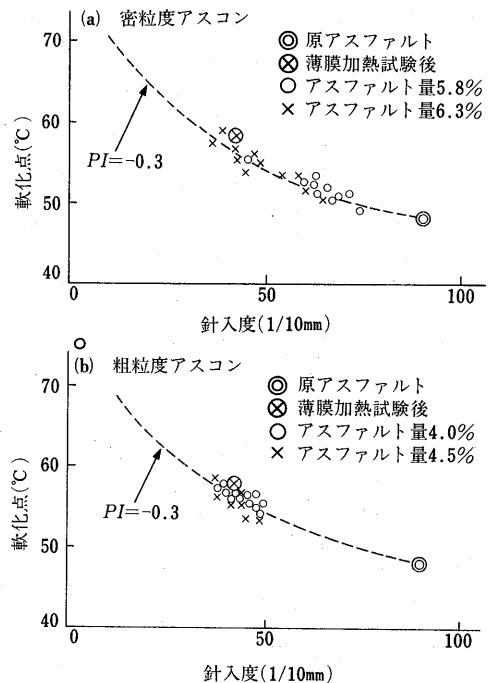


図-2 プラント混合時の針入度と軟化点の変化<sup>3)</sup>

[高橋正明 澄青化学株式会社]

## 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
53年 度	287	5,229	(109.2)	0	5,516	5,217	(109.5)	0	5,217	297	5,514
54年 度	297	5,064	(96.8)	1	5,362	5,137	(98.5)	2	5,139	236	5,375
55年 度	236	4,720	(93.2)	1	4,957	4,703	(91.6)	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	4,575	(100.3)	18	4,593	213	4,806
58年 度	213	4,947	(108.4)	0	5,160	4,921	(107.6)	4	4,925	226	5,151
59年 度	226	5,235	(105.9)	0	5,461	5,221	(106.1)	0	5,221	240	5,461
60年度上期	240	2,400	(94.5)	0	2,640	2,339	(93.0)	0	2,339	294	2,633
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	5,035	(96.4)	0	5,035	215	5,250
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	3,128	(116.0)	0	3,128	235	3,363
61年 度	215	5,744	(114.2)	0	5,959	5,696	(113.1)	0	5,696	235	5,931
62年度上期	235	2,745	(103.4)	7	2,987	2,681	(104.4)	0	2,681	312	2,993
62年度下期	312	3,146	(101.8)	2	3,460	3,181	(101.7)	0	3,181	274	3,455
62年 度	235	5,892	(102.6)	9	6,136	5,862	(102.9)	0	5,862	274	6,136
63年度上期	274	2,754	(100.3)	3	3,031	2,734	(102.0)	0	2,734	287	3,021
63年度下期	287	3,150	(100.1)	0	3,437	3,219	(101.2)	0	3,219	219	3,438
63年 度	274	5,904	(100.2)	0	6,178	5,953	(101.6)	0	5,953	219	6,172
元年度上期	219	2,895	(105.1)	0	3,114	2,733	(100.0)	0	2,733	372	3,105
10~12月	372	1,714	(102.1)	0	2,086	1,767	(103.5)	0	1,767	317	2,084
2. 1月	317	368	(100.8)	0	685	352	(103.8)	0	352	332	684
2月	332	408	(90.1)	0	740	416	(94.8)	0	416	322	738
3月	322	681	(104.1)	0	1,003	724	(98.8)	3	727	276	1,003
1~3月	317	1,457	(99.0)	0	1,774	1,492	(98.7)	3	1,495	276	1,771
元年度下期	372	3,170	(100.6)	0	3,542	3,259	(101.2)	3	3,262	276	3,538
元年 度	219	6,066	(102.7)	0	6,285	5,992	(100.7)	3	5,995	276	6,271
2. 4月	276	581	(99.7)	0	857	525	(106.5)	0	525	330	855
5月	330	429	(111.4)	0	759	468	(133.7)	0	468	287	755
6月	287	457	(115.4)	0	744	473	(117.4)	0	473	267	740
4~6月	276	1,467	(107.6)	0	1,743	1,466	(117.7)	0	1,466	267	1,733
7月	267	538	(104.1)	0	805	534	(103.3)	0	534	271	805
8月	271	548	(110.3)	0	819	483	(100.0)	0	483	335	818
9月	335	493	(95.2)	0	828	492	(101.0)	3	495	321	816
7~9月	267	1,579	(103.1)	0	1,846	1,509	(101.5)	3	1,512	321	1,833
2年 度上期	276	3,046	(105.2)	0	3,322	2,975	(108.9)	3	2,978	321	3,299
10月	321	554	(106.9)	0	875	574	(106.1)	0	574	301	875
11月	301	535	(86.2)	0	836	560	(91.5)	0	560	273	833
12月	273	593	(103.3)	0	866	617	(100.5)	3	620	233	853
10~12月	321	1,682	(98.1)	0	2,003	1,751	(99.1)	3	1,754	233	1,987
3. 1月	233	396	(107.6)	0	629	377	(107.1)	0	377	259	636
2月	259	484	(118.6)	0	743	445	(107.0)	0	445	287	732

〔注〕(1) 通産省エネルギー生産・需給統計月報3年2月確報

(2) 四捨五入のため月報と一致しない場合がある。

石油アスファルト内需実績（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	ブローン アスファルト	合 計
	道路用	工業用	計				道路用	工業用	計			
53年度	4,639	264	4,903	—	314	5,217	109.4	112.3	109.5	—	109.0	109.5
54年度	4,617	177	4,794	—	343	5,137	99.5	67.0	97.8	—	109.2	98.5
55年度	4,233	183	4,416	—	287	4,703	91.7	103.4	92.1	—	91.5	91.6
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	185	4,128	187	260	4,575	96.6	91.6	96.4	467.5	94.2	100.3
58年度	3,950	177	4,127	540	254	4,921	100.2	95.7	100.0	288.8	98.4	107.6
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	1,766	72	1,838	389	112	2,339	92.2	91.1	92.2	96.5	94.1	93.0
60年度下期	1,973	67	2,040	522	134	2,696	94.7	80.7	94.1	129.5	99.3	99.7
60年度	3,739	139	3,878	911	246	5,035	93.5	85.8	93.2	113.0	96.9	96.4
61年度上期	1,825	66	1,891	565	112	2,568	103.3	91.7	102.9	145.2	100.0	109.8
61年度下期	2,155	175	2,330	673	125	3,128	109.2	261.2	114.2	128.9	93.3	116.0
61年度	3,980	241	4,221	1,238	237	5,696	106.4	173.4	108.8	135.9	96.3	113.1
62年度上期	1,949	98	2,047	520	114	2,681	106.8	148.5	108.2	92.0	101.8	104.4
62年度下期	2,304	261	2,565	475	141	3,181	106.9	149.1	110.1	70.6	112.8	101.7
62年度	4,253	359	4,612	995	255	5,862	106.9	149.0	109.3	80.4	107.6	102.9
63年度上期	1,987	166	2,153	464	117	2,734	101.9	169.4	105.2	89.2	102.6	102.0
63年度下期	2,319	255	2,574	504	141	3,219	100.7	98.1	100.4	106.1	100.0	101.2
63年度	4,306	421	4,727	968	258	5,953	101.2	117.3	102.5	97.3	101.2	101.6
元年度上期	2,043	151	2,194	424	115	2,733	102.8	91.0	101.9	91.4	98.3	100.0
10~12月	1,287	152	1,439	255	73	1,767	101.0	120.6	102.8	108.5	100.0	103.5
2. 1月	189	59	248	84	20	352	106.8	113.5	108.8	92.3	100.0	103.8
2月	266	51	317	78	21	416	99.6	78.5	95.5	92.9	95.5	94.8
3月	575	33	608	93	23	724	95.7	253.8	99.0	98.9	88.5	98.8
1~3月	1,030	143	1,173	255	64	1,492	98.6	110.0	99.8	94.8	94.1	98.7
元年度下期	2,317	295	2,612	510	137	3,259	99.9	115.7	101.4	101.2	97.2	101.2
元年度	4,360	446	4,806	934	252	5,992	101.2	105.9	101.6	96.6	97.7	100.7
2. 4月	417	9	426	79	20	525	107.5	100.0	107.3	102.6	105.3	106.5
5月	326	58	384	64	20	468	118.5	966.7	136.7	123.1	117.6	133.7
6月	343	49	392	60	21	473	110.6	544.4	122.9	93.8	105.0	117.4
4~6月	1,086	116	1,202	203	61	1,466	111.6	483.3	120.6	105.2	108.9	117.7
7月	390	57	447	66	21	534	102.6	121.3	104.7	93.0	110.5	103.3
8月	336	49	385	79	19	483	99.4	104.3	100.0	100.0	100.0	100.0
9月	337	47	384	84	24	492	95.7	142.4	99.7	103.7	114.3	101.0
7~9月	1,063	153	1,216	229	64	1,509	99.3	120.5	101.6	99.1	108.5	101.5
2年度上期	2,149	269	2,418	432	125	2,975	105.2	178.1	110.2	101.9	108.7	108.9
10月	406	62	468	81	25	574	96.7	563.6	108.6	95.3	100.0	106.1
11月	412	42	454	83	23	560	96.5	53.8	89.9	100.0	95.8	91.5
12月	443	59	502	94	21	617	100.7	93.7	99.8	108.0	87.5	100.5
10~12月	1,261	163	1,424	258	69	1,751	98.0	107.2	99.0	101.2	94.5	99.1
3. 1月	219	54	273	84	20	377	115.9	91.5	110.1	100.0	100.0	107.1
2月	297	55	352	71	22	445	111.7	107.8	111.0	91.0	104.8	107.0

(注) (1) 通産省エネルギー生産・需給統計月報3年2月確報

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

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

(4) 四捨五入のため月報と一致しない場合がある。

## 主な石油アスファルト製造用原油の輸入状況

(単位: 1,000kl, %)

年度 項目	原油名		アラビアンヘビー		イラニアンヘビー		クウェート		カフジ		小計		総輸入量	
	数量	構成比	数量	構成比	数量	構成比	数量	構成比	数量	構成比	数量	構成比	数量	構成比
53年	7,248	2.7	28,589	10.6	21,603	8.0	8,109	3.0	65,549	24.3	270,184	100.0		
54年	9,946	3.5	15,015	5.4	25,640	9.1	12,597	4.5	63,198	22.5	280,486	100.0		
55年	16,393	6.4	6,865	2.7	7,954	3.1	9,294	3.6	40,506	15.8	256,833	100.0		
56年	16,131	7.0	4,764	2.1	9,060	3.9	6,035	2.6	35,990	15.6	230,239	100.0		
57年	16,429	7.7	8,259	3.8	3,115	1.4	7,893	3.7	35,696	16.6	214,685	100.0		
58年	15,061	10.3	13,238	9.0	3,375	2.3	9,892	6.8	41,566	28.4	146,543	100.0		
59年	11,761	7.8	8,866	5.2	2,728	1.8	10,210	6.8	32,465	21.6	150,606	100.0		
60年	10,454	5.3	6,273	3.1	2,578	1.3	9,698	4.9	29,003	14.6	198,330	100.0		
61年	7,174	3.7	7,506	3.9	5,979	3.1	8,482	4.4	29,141	15.0	194,515	100.0		
62年	12,925	7.0	7,789	4.2	10,311	5.6	6,267	3.4	37,293	20.1	185,364	100.0		
63年	9,130	4.7	6,095	3.1	8,124	4.2	6,374	3.3	29,723	15.3	193,850	100.0		
元年	4,500	2.1	8,991	4.3	9,671	4.6	8,910	4.2	32,072	15.3	209,700	100.0		
2年	6,378	2.8	8,921	3.9	7,492	3.3	7,386	3.2	30,177	13.2	228,760	100.0		
53年度	8,400	3.1	21,707	8.0	23,330	8.3	10,709	4.0	63,146	23.4	270,121	100.0		
54年度	11,256	4.1	17,929	6.5	21,491	7.8	11,070	4.0	61,746	22.3	277,143	100.0		
55年度	16,250	6.5	2,865	1.1	8,865	3.5	8,449	3.4	36,404	14.6	249,200	100.0		
56年度	17,571	7.6	7,329	3.2	7,451	3.2	5,685	2.5	38,036	16.5	230,231	100.0		
57年度	14,888	7.2	8,849	4.3	1,865	0.9	8,126	3.9	33,728	16.3	207,395	100.0		
58年度	15,071	7.1	13,057	6.1	3,498	1.6	11,378	5.3	43,004	20.2	212,844	100.0		
59年度	13,447	6.3	6,422	3.0	5,130	2.4	10,385	4.9	35,384	16.6	212,911	100.0		
60年度	6,790	3.4	6,232	3.2	3,330	1.7	8,409	4.3	24,761	12.6	197,261	100.0		
61年度	6,422	3.4	7,636	4.1	5,990	3.2	8,952	4.8	29,000	15.5	187,516	100.0		
62年度	13,793	7.3	7,311	3.9	11,758	6.3	4,577	2.4	37,439	19.9	187,886	100.0		
63年度	7,619	3.8	6,406	3.2	7,126	3.6	8,259	4.1	29,410	14.7	199,756	100.0		
元年度	4,736	2.2	9,143	4.3	10,318	4.9	7,966	3.8	32,163	15.3	210,900	100.0		
2年度	8,209	3.4	9,787	4.1	4,522	1.9	6,417	2.7	28,935	12.1	238,480	100.0		
2年1月	111	0.6	697	3.5	1,033	5.2	535	2.7	2,376	11.9	19,990	100.0		
2月	281	1.5	568	2.9	677	3.5	593	3.1	2,119	11.0	19,279	100.0		
3月	463	2.4	640	3.3	1,261	6.4	498	2.5	2,862	14.6	19,570	100.0		
1~3月	855	1.5	1,905	3.2	2,971	5.0	1,626	2.8	7,357	12.5	58,839	100.0		
4月	767	4.1	627	3.3	1,466	7.7	857	4.5	3,717	19.6	18,930	100.0		
5月	565	3.3	523	3.0	1,022	5.9	552	3.2	2,662	15.4	17,301	100.0		
6月	435	3.0	145	1.0	952	6.6	426	3.0	1,958	13.6	14,351	100.0		
4~6月	1,767	3.5	1,296	2.6	3,440	6.8	1,835	3.6	8,338	16.5	50,582	100.0		
7月	517	3.1	727	4.3	535	3.2	124	0.7	1,903	11.3	16,770	100.0		
8月	250	1.3	901	4.6	546	2.8	681	3.5	2,378	12.2	19,508	100.0		
9月	360	2.1	1,101	6.4	—	0.0	637	3.7	2,098	12.2	17,216	100.0		
7~9月	1,127	2.1	2,729	5.1	1,081	2.0	1,442	2.7	6,379	11.9	53,494	100.0		
10月	1,446	6.4	1,226	5.5	—	0.0	986	4.4	3,658	16.3	22,427	100.0		
11月	630	3.1	1,043	5.1	—	0.0	609	3.0	2,282	11.1	20,581	100.0		
12月	553	2.4	723	3.2	—	0.0	889	3.9	2,165	9.5	22,837	100.0		
10~12月	2,629	4.0	2,992	4.5	—	0.0	2,484	3.8	8,105	12.3	65,845	100.0		
3年1月	607	2.8	608	2.8	—	0.0	501	2.3	1,716	7.9	21,697	100.0		
2月	479	2.5	681	3.5	—	0.0	156	0.8	1,316	6.8	19,366	100.0		
3月	1,600	5.8	1,482	5.4	—	0.0	—	0.0	3,082	11.2	27,495	100.0		
1~3月	2,686	3.9	2,771	4.0	—	0.0	657	1.0	6,114	8.9	68,558	100.0		

(注) (1) 通産省エネルギー生産・需給統計月報3年3月確報。

(2) 構成比は全輸入量に対する100分比である。

(3) 四捨五入のため月報と一致しない場合がある。

# アスファルト統計史

B5版・187ページ・実費価格 ￥3,000(送料実費)

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  
和孝第10ビル

我が国において、アスファルトが利用されてきたのは紀元前までさかのぼることが出来ます。

当時の利用目的は、防水・接着剤等に用いられていたようですが、今日では、道路用を始めとして工業用・燃焼用と色々な用途に用いられるようになり、需要量も増大してまいりました。

当協会の調査委員会において、我が国のアスファルト統計について資料の収集・整理に努めて参り、「アスファルト統計史」を30周年記念として出版いたしました。

アスファルトに関する統計としては、我が国唯一の資料であり、内容的にもきめ細かく取りまとめられており、関係者必携の書としておすすめします。

## 目 次

### I. 生産量

1. アスファルト年別生産量

2. アスファルト品種別月別生産量

3. 石油アスファルト月別生産量

4. 石油アスファルト品種別月別生産量

### II. 内需量（販売）

1. アスファルト販売量

2. アスファルト品種別月別販売量

3. 石油アスファルト月別内需量

4. 石油アスファルト品種別月別内需量

### III. 輸出入

1. アスファルト年別輸入・輸出量

2. アスファルト月別輸入・輸出量

### IV. 在庫量

1. 石油アスファルト年別在庫量

2. 石油アスファルト月別在庫量

3. 石油アスファルト品種別月別在庫量

### V. 販売量

1. 石油アスファルト品種別針入度販売量

2. 石油アスファルト品種別荷姿別販売量

3. 石油アスファルト地域別月別販売量

## 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
<b>[メーカー]</b>		
出光興産株式会社	(100) 千代田区丸の内3-1-1	03(3213)3134
エッソ石油株式会社	(107) 港区赤坂5-3-3	03(3585)9438
鹿島石油株式会社	(102) 千代田区紀尾井町3-6	03(5276)9556
キグナス石油株式会社	(104) 中央区京橋2-9-2	03(3535)7811
キグナス石油精製株式会社	(210) 川崎市川崎区浮島町3-1	044(288)8445
九州石油株式会社	(100) 千代田区内幸町2-1-1	03(3502)3651
共同石油株式会社	(105) 港区虎ノ門2-10-1	03(3224)6298
極東石油工業株式会社	(100) 千代田区大手町1-7-2	03(3270)0841
興亜石油株式会社	(100) 千代田区大手町2-6-2	03(3241)8631
コスモ石油株式会社	(105) 港区芝浦1-1-1	03(3798)3121
三共油化工業株式会社	(100) 千代田区丸の内1-4-2	03(3284)1911
昭和シェル石油株式会社	(100) 千代田区霞が関3-2-5	03(3503)4076
昭和四日市石油株式会社	(510) 四日市市塩浜町1	0593(45)2111
西部石油株式会社	(100) 千代田区丸の内1-2-1	03(3215)3081
ゼネラル石油株式会社	(105) 港区西新橋2-8-6	03(3595)8410
東燃株式会社	(100) 千代田区一ツ橋1-1-1	03(3286)5111
東北石油株式会社	(985) 仙台市港5-1-1	022(363)1111
日本鉱業株式会社	(105) 港区虎ノ門2-10-1	03(3505)8530
日本石油株式会社	(105) 港区西新橋1-3-12	03(3502)1111
日本石油精製株式会社	(105) 港区西新橋1-3-12	03(3502)1111
富士興産株式会社	(100) 千代田区永田町2-4-3	03(3580)3571
富士石油株式会社	(100) 千代田区大手町1-2-3	03(3211)6531
三菱石油株式会社	(105) 港区虎ノ門1-2-4	03(3595)7413
モービル石油株式会社	(100) 千代田区大手町1-7-2	03(3244)4691
<b>[ディーラー]</b>		
<b>● 北海道</b>		
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
葛井石油株式会社	(060) 札幌市中央区南4条西11-1292-4	011(518)2771
株式会社トーアス札幌営業所	(060) 札幌市中央区北2条西2	011(281)2361
東光商事株式会社札幌営業所	(060) 札幌市中央区南大通り西7	011(241)1561
中西瀝青株式会社札幌営業所	(060) 札幌市中央区北2条西2	011(231)2895
株式会社南部商会札幌営業所	(060) 札幌市中央区北2条西2-15	011(231)7587
レキセイ商事株式会社	(060) 札幌市中央区北4条西3	011(231)4501
株式会社ロード資材	(060) 札幌市中央区北1条西10-1-11	011(281)3976

社団法人 日本アスファルト協会会員

社 名	住 所	電 話
<b>● 東 北</b>		
有限会社 男鹿興業社	(010-05) 男鹿市船川港船川字埋立地1-18-2	0185(23) 3293共
カメイ株式会社	(980) 仙台市青葉区国分町3-1-18	022(264) 6111日
株式会社 木畑商会仙台営業所	(980) 仙台市青葉区中央2-1-17	022(222) 9203共
コスモアスファルト(仙台支店)	(980) 仙台市青葉区中央3-3-3	022(266) 1101コスモ
正興産業株式会社 仙台営業所	(980) 仙台市青葉区国分町3-3-5	022(263) 5951三
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) 仙台市青葉区大町1-1-10	022(262) 7561共
常盤商事株式会社 仙台支店	(980) 仙台市青葉区錦町1-10-11	022(224) 1151三
中西瀝青株式会社 仙台営業所	(980) 仙台市青葉区中央2-1-30	022(223) 4866日
株式会社 南部商会仙台出張所	(980) 仙台市青葉区中央2-1-17	022(223) 1011日
ミヤセキ株式会社	(980) 仙台市宮城野区榴岡2-3-12	022(257) 1231三
菱油販売株式会社仙台支店	(980) 仙台市青葉区国分町3-1-1	022(225) 1491三
<b>● 関 東</b>		
朝日産業株式会社	(103) 中央区日本橋茅場町2-7-9	03(3669) 7878コスモ
アスファルト産業株式会社	(104) 中央区八丁堀4-11-2	03(3553) 3001昭和シェル
伊藤忠商事株式会社	(107) 港区北青山2-5-1	03(3497) 6660九
伊藤忠燃料株式会社	(107) 港区赤坂2-17-22	03(3584) 8555共
梅本石油株式会社	(162) 新宿区揚場町2-24	03(3269) 7541コスモ
株式会社 木畑商会	(104) 中央区八丁堀4-2-2	03(3552) 3191共
共立石油株式会社	(101) 千代田区神田西福田町3	03(3256) 6355共
コスモアスファルト株式会社	(104) 中央区八丁堀3-3-5	03(3551) 8011コスモ
国光商事株式会社	(164) 中野区東中野1-7-1	03(3363) 8231出光
株式会社澤田商行関東支店	(104) 中央区入船町1-7-2	03(3551) 7131コスモ
三徳商事株式会社東京支店	(101) 千代田区神田紺屋町11	03(3254) 9291昭和シェル
新日本商事株式会社	(101) 千代田区神田錦町2-5	03(3294) 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(3578) 9521出光
株式会社ケイエム商運	(103) 中央区八重洲1-8-5	03(3245) 1631三
竹中産業株式会社	(101) 千代田区鍛冶町1-5-5	03(3251) 0185昭和シェル
中央石油株式会社	(160) 新宿区新宿2-6-5	03(3356) 8061モービル
株式会社トーアス	(160) 新宿区西新宿2-7-1	03(3342) 6391共
東京レキセイ株式会社	(150) 渋谷区恵比寿西1-9-12	03(3496) 8691富士興
東京富士興産販売株式会社	(105) 港区虎ノ門1-13-4	03(3591) 3401富士興
東光商事株式会社	(104) 中央区京橋1-5-12	03(3274) 2751三
東新瀝青株式会社	(103) 中央区日本橋2-13-10	03(3273) 3551日
東洋国際石油株式会社	(104) 中央区八丁堀3-3-5	03(3552) 8151コスモ
東和産業株式会社	(174) 板橋区坂下3-29-11	03(3968) 3101三共油化
中西瀝青株式会社	(103) 中央区八重洲1-2-1	03(3272) 3471日
株式会社南部商会	(100) 千代田区丸の内3-4-2	03(3213) 5871日
日石丸紅株式会社	(104) 中央区築地5-4-14	03(3541) 4015日
日東商事株式会社	(170) 豊島区巣鴨4-22-23	03(3915) 7151昭和シェル
日東石油販売株式会社	(104) 中央区新川2-3-11	03(3551) 6101昭和シェル
パシフィック石油商事株式会社	(103) 中央区日本橋蛎殻町1-17-2	03(3661) 4951モービル
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(3580) 5211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
富士鉱油株式会社	(105) 港区新橋4-26-5	03(3432) 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(3274) 2061共石
富士油業株式会社東京支店	(106) 港区西麻布1-8-7	03(3478) 3501富士興
丸紅エネルギー株式会社	(101) 千代田区神田錦町3-7-1	03(3293) 4111モービル
三井石油株式会社	(101) 千代田区神田駿河台4-3	03(3293) 7111極東石
三菱商事石油株式会社	(100) 千代田区丸の内2-6-2	03(3210) 9702三石
ユニ石油株式会社	(101) 千代田区神田東糸屋町30	03(3256) 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) 1281三石
菱油販売株式会社	(160) 新宿区西新宿1-20-2	03(3345) 8205三石
瀧青販売株式会社	(103) 中央区日本橋2-16-3	03(3271) 7691出光
<b>● 中 部</b>		
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
<b>● 近畿</b>		
赤馬アスファルト工業株式会社	(531) 大阪市北区中津3-10-4	06(374) 2271モービル
飯野産業株式会社 神戸営業所	(650) 神戸市中央区海岸通り8	078(333) 2810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	(530) 大阪市北区西天満3-4-5	06(364) 7212コスモ
共和産業株式会社	(700) 岡山市富田町2-10-4	0862(33) 1500共石
コスモアスファルト(株)大阪支店	(550) 大阪市西区西本町2-5-28	06(538) 2731コスモ
コスモアスファルト(株)広島支店	(730) 広島市田中町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
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
スーパー・ストロングインター・ナル	(532) 大阪市淀川区西中島2-11-30	06(303) 5510昭和シェル
正興産業株式会社	(650) 神戸市中央区海岸通り6	078(322) 3301三石
中国富士アスファルト株式会社	(711) 倉敷市児島味野浜の宮4051-12	0864(73) 0350富士興
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1-3-11	06(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
<b>● 四国・九州</b>		
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) 3851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
大分九石販売株式会社	(870) 大分市中央町1-1-3	0975 (34) 0468九石
株式会社 カンダ	(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  
藤井治芳  
松野三朗

編集委員

委員長：河野 宏	副委員長：真柴和昌
秋葉國造	菅野善朗
阿部忠行	栗谷川裕造
荒井孝雄	小島逸平
安崎 裕	児玉充生
飯島 尚	白神健児

アスファルト 第168号

平成3年7月発行

社団法人 日本アスファルト協会

〒105 東京都港区虎ノ門2-6-7 TEL 03-3502-3956

本誌広告一手取扱 株式会社 廣業社

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

印刷所 アサヒビジネス株式会社

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

Vol.34 No.168 JULY 1991

Published by THE JAPAN ASPHALT ASSOCIATION

ASPHALT