

アスファルト混合物試験

—— 配合設計法の推移と将来 ——

南 雲 貞 夫*

阿 部 頼 政**

1. はじめに

わが国のアスファルト舗装が、度重なる道路五カ年計画の投資額に比例して伸びてきたことはいうまでもないが、第1次の五カ年計画が発足してから、すでに20年経過している。この間における舗装設計はアスファルト舗装要綱にしたがったものであり、各時代の最高知識を集大成したと考えられる舗装要綱の変遷は、わが国の舗装技術の推移をそのまま反映したのと言ってよからう。最初の舗装要綱は戦後昭和25年に制定され、その後、昭和36年、昭和42年にそれぞれ改訂を加えられ、さらに現在第3次改訂が着手されようとしている。これらの要綱においてアスファルト混合物の試験法が配合設計の手段として重要視されてきたことはいうまでもなく、要綱における試験法の規定が各時代の混合物に対する考え方を代表してきたと言っても過言ではない。

本節は、これらの要綱を参照しながらアスファルト混合物の配合設計に関する推移を考察し、さらに将来の方向をさぐるようとするものである。

2. 最初の舗装要綱（昭和25年）

この要綱は、アスファルト・インスティテュートのハンドブックを原典としたものであるが、アスファルト混合物に対する基本的な考え方は次のとおりである。

- (1) 十分締固めて舗装した混合物が交通によって移動したり、わだちができたりしないためには、安定度が各安定度試験によって規定された最小値（後述）より大でなければならない。しかしながらまた極端に大きいことも必要としない。後者のときは低い気温の下で交通荷重によって亀裂を生ずる傾向があるからである。
- (2) 完全に締固めを行なった密粒度骨材を使った混合物の空隙率は2～5%の間になければならない。
- (3) 混合物は以上(1)、(2)の条件をみたす範囲内で、で

きるだけアスファルト分を多く含むように設計しなければならない。こうすれば混合物がばらばらになったり、脆くなることを防ぎ耐久性を大にする。

- (4) 混合物は敷き上げから仕上げ転圧までの舗装作業が容易にできるような温度に加熱し、その温度をなるべく保っていなければならない。
- (5) 予め定められた範囲内で作った混合物を完全に締固めた後の表面組織は、責任技術者の要求にあったものでなくてはならない。いろいろの配合組成のものを作ってみて、最もよい配合のものを決定することが大切である。

以上の考え方に対しては、多少異論もあるかと思うが現在我々が配合設計の因子として考えている性質、すなわち混合物の安定性、耐久性、施工性、耐水性、すべり抵抗性などの概念がほとんど盛り込まれていることがわかる。

加熱式プラント混合の混合物としては、アスファルトコンクリート、シートアスファルト、トペカがあげられているが、配合表には、アスファルトコンクリートが10種類、シートアスファルトが2種類に分けられているため、計13種類の混合物が自由に選択できる。配合設計の条件は、(1)、(2)、(3)から安定度と空隙率が制限範囲内にあること、およびその範囲内でアスファルト量をできるだけ多くすることが望まれている。安定度の試験法としては、3種類があげられているが、これらの3方法による比較設計を推奨していることは非常に興味深い。技術水準が低かったという解釈が成立するかも知れないが、現在、我々がともすれば失いやすい技術向上への意欲と規格のみにとらわれないおおらかさが随所にうかがわれる。安定度試験法の概要は、次のとおりである。

(1) ハバード（Hubbard試験）

この試験は舗装から切り取ったコアー、またはアスファルト混合物を締固めて円筒状の供試体をつくり、それを図-1に示すような型枠の底にその直径より小さ刃いのついたリングをとりつけて、その刃によってセン断で

* 建設省土木研究所舗装研究室長

** 日本大学理工学部講師

混合物を切るときの最大荷重をもって安定度を表わすものである。シートアスファルト混合物の場合には供試体は直径5cmのものを用い、アスファルトコンクリートのような粗骨材を含むものについては15cmの直径の供試体について試験する。

(2) 貫入試験

この試験もまたプランジャーによるセン断に抵抗する力をもって安定度をあらわすものである。図-2のように直径15cm、厚さ7.5cmの円筒形供試体に、直径7.5cmのプランジャーを上より貫入させて、そのときの最大荷重をもって安定度を表わす。

これら2種の安定度に対しては表-1のような最大最

図-1 ハバード試験

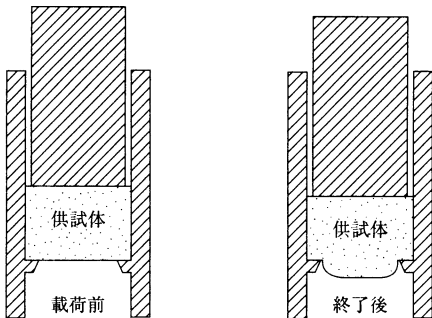


図-2 貫入試験

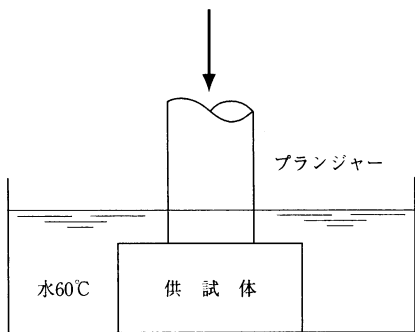


表-1 安定度の範囲

試験法		アスファルトコンクリート		シート・アスファルト	
		最小	最大	最小	最大
ハバード試験	重交通 kg	1,500	3,500	1,000	2,500
	軽交通 kg	1,000	3,000		
貫入試験	kg	450	750		

図-3 三軸試験

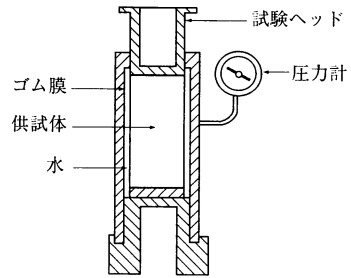
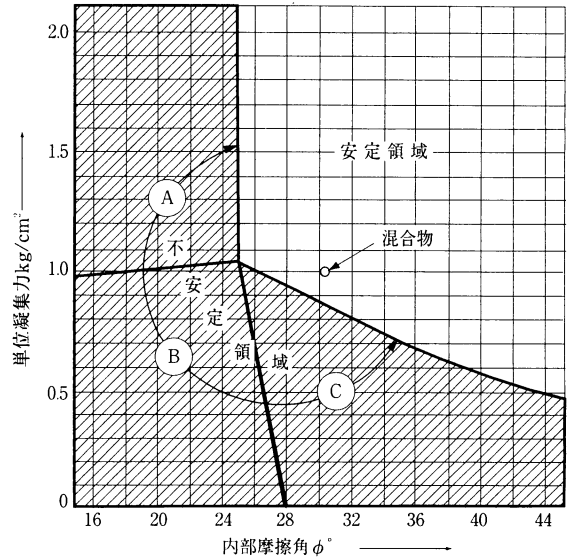


図-4 安定領域



小値が与えられている。

(3) 三軸圧縮試験

この安定度試験は円筒形の供試体(径10cm、高さ20cm)について室温で行なう。供試体をゴム膜で包み図-3に示す試験機にはめこむ。供試体と試験筒の間に水を満たし、ヘッドを通じて供試体に垂直荷重をかける。この荷重によって生ずる横圧力を圧力計で読み、垂直荷重一側方圧力の関係をプロットし、内部摩擦角 ψ と単位凝集力(粘着力)Cを求める。この ψ とCの関係については、

図-4が与えられており、安定領域に入る混合物は、舗装として十分な安定度をもつものと判定している。不安定領域のAの部分に入るものは摩擦力が不足、Bの部分に入るものは凝集力が不足、Cの部分に入るものはそのいずれもが不足する混合物とされる。

計測機械が発達し、混合物に

対しても非常に過酷な要求が加わる現在からみれば、かなり単純すぎるような感じを受けるかと思うが昭和35年までのアスファルト混合物は、以上のような試験法によってつくられていたわけである。

3. 旧舗装要綱

昭和36年に改訂されたこの要綱は現在旧要綱と俗称されているがわが国が独自の経験と研究に基づいて作成したものである。混合物に関して言えば、その最も画期的であったのは配合設計法にマーシャル試験を採用した事にある。これは米国軍隊の飛行場建設に採用されて以来、広く利用されてきたものであるが、バックデータの多いことおよび試験装置の簡便さが採用にふみきった大きな原因になっている。当時、マーシャル試験の採用にあたって、竹下博士はつぎのように解説している⁴⁾。「どの試験法が一番進んでいるかという問題は、実際的にはあまり心配しなくてよい。要はどの方法がデータが多いかによって重要度が決定されるものと考えてさしつかえない。理論的に問題が解決できるほど、まだアスファルト・テクノロジーは進歩していないのである。とくにわが国においてはごく最近やっと、2～3の大学において、道路工学の講座がもうけられた程度で、学校においてアスファルトの講義を聞いた人はまれなはずであるし、第一学校にもアスファルトの研究用の施設すらないというのが大部分であろう。」当時から、13～4年であるが、現在は土木科の卒業生でマーシャル試験を知らないものはほとんどないことを考えると、ここ十年の間に道路工学の重要性がとみに認識されたことと共に、マーシャル試験にふみきった意義の大きさを感じさせられる。

表-2 基準アスファルト量の決定

	粗粒度 アスファルト コンクリート	密粒度 アスファルト コンクリート	修正トベカ	トベカ	シート アスファルト
安定度 kg	最 高 点				
密度 g/cm ³	最 高 点				
空ゲキ率 %	5.5	4.5	5.0	6.0	7.0
飽和度 %	75	80	75	75	70

表-3 マーシャル試験に対する基準値

単位区間自動車交通量		台/日	2,000未満	2,000～7,500	7,500以上
試料突固め回数			50	50	75
安定度			250以上	350以上	500以上
フ ロ ー		($\frac{1}{100}$ cm)	20～50	20～40	20～40
空 隙 率 %	粗粒度アスファルトコンクリート		4～7		
	密粒度アスファルトコンクリート		3～6		
	修正トベカ		3～7		
	トベカ		4～8		
飽 和 度 %	シートアスファルト		5～9		
	粗粒度アスファルトコンクリート		70～80		
	密粒度アスファルトコンクリート		75～85		
	修正トベカ		70～80		
ト ベ カ	トベカ		70～80		
	シートアスファルト		65～75		

表-4 マーシャル試験に対する基準値

混合物種類	粗粒度アスファルト コンクリート	密粒度アスファルト コンクリート	修正トベカ
用途	基 層	表 層	表 層
突固め回数	50		
安定度 kg	500以上		
フロー値 1/100cm	20～40		
空ゲキ率 %	3～7	3～6	3～7
飽和度 %	65～80	75～85	70～85

旧要綱における混合物の種類は、粗粒度アスファルトコンクリート、密粒度アスファルトコンクリート、修正トベカ、トベカシートアスファルトの5つにしばられている。マーシャル試験法の詳細は略すが、基準アスファルト量は、安定度、密度、空隙率、飽和度について表-

2に規定する点におけるアスファルト量を求め、その平均値として決定される。そして、基準アスファルト量の混合物の性質が表-3に示す基準範囲にあるときは、他に特殊な事情がないかぎりこのアスファルト配合が実施配合として決定されることになる。

この要綱でマーシャル試験と共に忘れてならないのは井上（日本道路技術研究所長）が考案した標準粒度にするための骨材配合率決定法であろう。この方法は現要綱にも採用され、広く便利に使われていることはいうまでもない。

4. 現舗装要綱への改訂

旧要綱が発表されてから3年後の昭和39年には、すでに改訂への下準備が活発化してきた。その後、3年がかりで現要綱が作りあげられたわけであるが、配合設計に関する主な変更内容とその理由は当時の混合物に対する考え方を示しており、また現要綱の意図するところを明らかにする意味もあるので、アスファルト舗装小委員会の報告をもとに、以下詳しく紹介していこうと思う⁵⁾。

1) 混合物の種類の変更

シートアスファルトやトペカは使用例が少ないという理由で省かれ、混合物の種類としては、基層用の粗粒度アスファルトコンクリート、表層用としての密粒度アスファルトコンクリート、修正トペカの3種になった。粗粒度アスファルトコンクリートは、分離しやすく、表面仕上げがやりにくいので、表面に用いる場合シールコートを併用するのが通例であるが、このような施工例が少なくなっていることやシールコートの施工に十分な自信のないことなどから基層用にものみ用いることになった。

2) 最大粒径

最大粒径は20mmと13mmの2本立てとし、25mmをのぞいた。これは仕上げ厚との関係や、25mmでは機械施工がややりにくいことはよる。

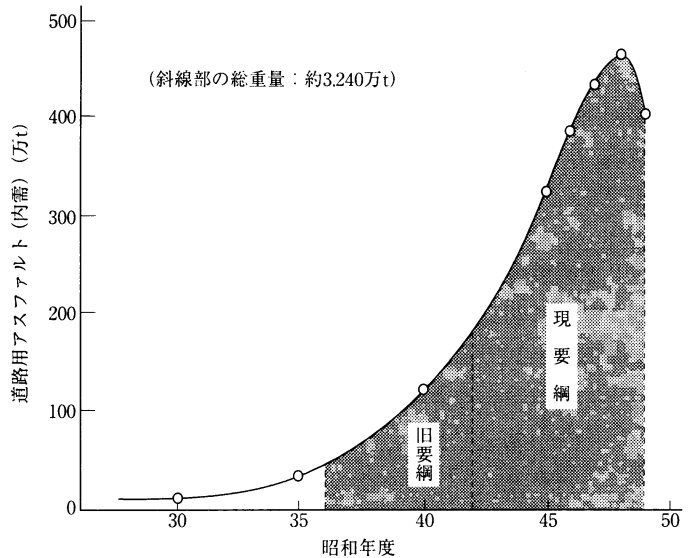
3) 標準粒度

最大粒径の変更にもなって標準粒度が変えられた。また、0.15mm通過量をわが国の砂の粒度にあわせやすくしている。

4) マーシャル基準値

マーシャル試験に対する基準値が表-4のように変更された。これを表-2、表-3にくらべてみると、まず

図-5 マーシャル試験の実績



交通量による区分がなくなり、試料突固め回数がすべて50回に統一されている。また安定度とフロー値はすべての混合物についてそれぞれ500kg以上、20-40と画一化されている。これは表層、基層用混合物では安定度が500kg以上必要であると判断されたこと、および過去の例でも500kgを下回る混合物はほとんど用いられていなかった等の理由による。空隙率についてみると、度粒度アスファルトコンクリートの基準値がこれまでの4-7%から3-7%に緩和されているが、これは、基層用としては範囲を広くとっても十分と判断されたためである。粗粒度アスファルトコンクリートの飽和度が70-80%から65-80%に変更されたのも同じ理由である。また、修正トペカの飽和度が70-80%から75-85%にあげられたのは耐久性を考慮されたものである。

5) 設計アスファルトの設定法

マーシャル試験によるアスファルト量の設定法は、旧要綱の平均値による方法をやめて、安定度、フロー値、空隙率、飽和度の基準範囲に入るアスファルト量の共通範囲を求め、その範囲の中央値を設計アスファルト量とするように変更された。この方法によれば、突固め回数が同じでも、旧要綱の基準アスファルト量よりもやや多めになる傾向がある。この例に限らず、現要綱の配合設計では、高温時に流動をおこさない範囲でなるべくアスファルト量を多くするように留意している。これはわが国の気象が多雨多湿であり、耐久性について考慮すべきであるという判断によっている。突固め回数を75回から50回に下げたのもその意味が含まれている。この結果、流動をおこす混合物がいくらか多くなるが、耐久性に有

利なうえ、ひびわれが少なくなるであろうと考えられている。

5. 配合設計の現状と問題点

現要綱が発表されてからすでに8年を経過している。その間、アスファルト混合物の配合設計がマーシャル試験によって行なわれてきたことはいうまでもない。マーシャル試験に対しては、これまで、「力学的意味がはっきりしない」「安定度に再現性が乏しい」等、幾多の欠点が数えられてきた。そして、合理的な配合設計への試みはいくつかなされているが⁶⁾、これにまさる試験法が開発されないまま今日に至っている。図-5は、わが国における道路用ストレートアスファルト内需の推移⁷⁾である。昭和36年以降、ほとんどのアスファルトが、マーシャル試験に供されていることを考えれば、マーシャル試験法の変遷はそのままわが国の配合設計法の歴史であると言っても過言ではなからう。そして、これらの実績をもとに、今後もマーシャル試験が配合設計の中心になるであろうことは万人の認めるところである。しかし、これだけの経験を有しながらも、なお多くの問題点を残していることは、これまた誰にも異論のないところであろう。

以下において、現行の配合設計における問題点を簡単に考察しておこう。

(1)骨材と粒度について

わが国の骨材事情の悪化はすでに常識にさえなっている。一方では、大型車交通量の増大による表層の摩耗が顕著になり、現要綱の規定による密粒度アスファルトコンクリート、修正トベカだけでは、実状に対応しきれなくなっている。各地方の骨材事情や、交通量、さらに気象条件を考慮に入れた混合物の選択が必要になってきている。

(2)設計アスファルトについて

旧要綱から現要綱への改訂において、アスファルト量をできるだけ多めにとるように配慮されたことは前に述べたが、その結果としてひびわれによる破壊や耐久性に関しては改善されてきたと言えよう。しかし、その反面最近特に目立ってきた混合物の流動やわだち掘れの一原因になっているとも考えられる。このように、アスファルト量の多少は、混合物のある性質を改善しようとすれば、他の性質にとってマイナスになるという矛盾を含んでおり、すべての性質について最適というものはあり

えない。マーシャル試験における誤った概念の一つは、昆布谷⁸⁾も指摘しているように、適正アスファルト量という考え方である。ある骨材配合に対し、マーシャル試験を行なえば、要綱の基準値から設計アスファルト量が一義的に定まるが、これはあくまで単なる目安としてとらえるべき性質のものであって、交通条件や気象条件そして混合物の使用目的に応じて最終的に決定されるのが当然であろう。これまで設計アスファルト量が絶対的なものと見なされがちであったことは、種々の問題の原因になっていると考えられる。

(3)特殊材料の配合設計について

マーシャル試験による配合設計法は言うまでもなく、経験をもとにして発達してきた方法である。したがって過去に経験のない材料に対して、この方法を適用することは原則的に無理である。最近、種々の新しい材料、すなわち、特殊アスファルト、特殊骨材、特殊フィラーなどがあらわれ、一部ではすでに使用されている。アスファルト舗装の発展のためには歓迎すべきではあるが、これらの材料に関する配合設計では、マーシャル試験の基準値を満足するからといって、そのまま使用することは非常に危険である。これらの新材料に対しては、舗装混合物として必要な性質のあらゆる面から検討を加え、試験舗装を経て実際の舗装に適用すべきであろう。

(4)マーシャル試験の限界

アスファルト混合物について、最近特に問題になっている項目の一つは、わだち掘れである。この原因は重量車の増加、車線規制等の外的なもの、骨材、アスファルトの品質変化や配合設計等の内的なものに分けられる。このうち、内的原因からの対策、すなわち混合物の立場からわだち掘れをどのように防ぐかという問題に対しては、マーシャル試験はかなり無力であると言わざるを得ない。材料の力学的特性を云々できる性質の試験法ではないし、またそのような育て方をわれわれはしてこなかったからである。マーシャル試験は、過去の経験を集約して最大公約数的なアスファルト量を求めるものであって、その他の問題はこれまで技術者の判断と簡単な実験によって補なわれてきた。しかし、現実からの多種多様にわたる要求はようやくそのあいまいさを許さなくなってきたと言えよう。すなわち、わだち掘れに限らずマーシャル試験によっては解決できない配合設計上の問題に対し、明確な判定基準が望まれるようになってきたわけである。

表-5 マーシャル試験に対する基準値

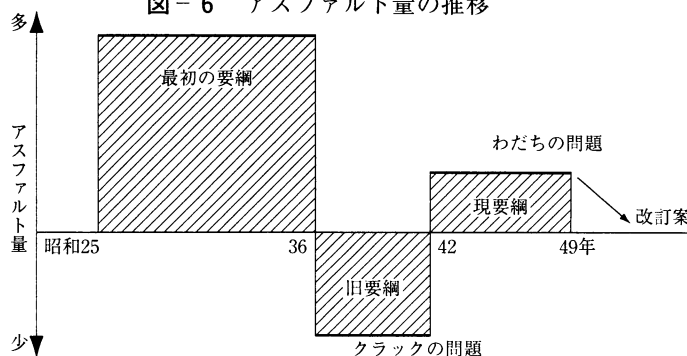
用途	一般					積雪地					基層	上層路盤	
	すべり止め用		表層			耐摩耗用		すべり止め用					表層
交通量	多～少					多～少							
混合物の種類	①開粒度 アスコン (13)	②密粒度 ギャップ アスコン (13)	③密粒度 アスコン (20)	④密粒度 アスコン (13)	⑤細粒度 アスコン (13)	⑥細粒度 ギャップ アスコン (13F)	⑦細粒度 アスコン (13F)	⑧密粒度 ギャップ アスコン (13F)	⑨細粒度 ギャップ アスコン (20F)	⑩細粒度 ギャップ アスコン (13F)	⑪密粒度 アスコン (13F)	⑫粗粒度 アスコン (20)	⑬歴青 安定処理
突固め回数	75		75	50		50	50	50	75	50		50	50
安定度 S (kg)	350以上	500以上	750以上	500以上		500以上	350以下	500以上	750以上	500以上		500以上	350以上
フロー値 F (1/100cm)	20～40	20～40	20～40	20～40		20～50	80以下	20～50	20～40	20～50		20～40	10～40
空げき率 (%)	-	3～7	3～5	3～6		3～6	2～5	3～6	3～5	3～6		3～7	3～12
飽和度 (%)	50以上	65～80	70～85	75～85		75～85	-	75～85	70～85	75～85		65～80	-

6. 将来の配合設計

アスファルト舗装要綱の改訂に先だって、日本道路協会のアスファルト混合物小委員会が、混合物の標準粒度と配合設計の方法についての検討結果をまとめている。(以下改訂案と呼ぶ)⁹⁾ 現要綱と比較してみると配合設計上主な相違はつぎのとおりである。

- 1) 混合物の種類は表層、基層、上層路盤および摩耗層あわせて12種類である。摩耗層は必要に応じ表層の上に設けられるが、その混合物としては、現要綱の特殊工法、特殊材料に含まれている耐摩耗用混合物、すべり止め混合物があてられている。
- 2) 混合物を積雪地と一般地域に大別し、積雪地に対してはフィラー量を多くしている。
- 3) 摩耗層および表層混合物の粒度は、開粒度、密粒度、粗粒度にわけ、さらに密粒度、細粒度についてはギャップ型もとり入れ、舗装の環境に応じて選択できるようになっている。
- 4) マーシャル試験の基準値は表-5のとおりである。設計アスファルト量は、一般にはやはりすべてを満足するアスファルト量の中央値をとるが、積雪地域もしくは多雨な地域、交通量の少ない道路等では、中央値から上限値の範囲内で増すことができ、気候が温暖で交通量が多い場合の表層混合物などは、中央値から下限値の範囲内で少なくすることができるように配慮されている。
- 5) 現要綱で廃止された突固め回数75回が改めて一部に採用され、特に交通量の多いところに適用する混合物については、安定度の基準値を750kgに上げている。

図-6 アスファルト量の推移



- 6) 表層混合物の中で交通量の多いところに適用するものについては、空隙率の基準値を現要綱よりもせばめ飽和度の下限値を多少減少させている。
- 7) 安定度に関しホイールトラッキング試験、摩耗に対しラベリング試験を補助手段として推奨している。

以上の改訂案が妥当か否かは今後各機関による試験と検討によって判定されるであろうが、現実の問題点を積極的に解決しようとする意欲がはっきりうかがえる。

ここで、設計アスファルト量に関する推移をふり返ってみよう。最初の要綱ではアスファルト量をできるだけ多くという趣旨があった。その後、マーシャル試験を採用した旧要綱では、クラック発生が問題となり、現要綱ではまたアスファルトをできるだけ多くする方向に向けられた。現在はわだち掘れがクラック以上に大きな問題となり、この改訂案では、5)、6)に見られるごとく、アスファルト量が少なくなる方向に向っている。図-6はこの推移を模式的に示したものであるが、設計アスフル

ト量は、このような減衰振動をして適正な値に近づいているように見うけられる。しかし、アスファルト量の適正值が仮にあるとしても、それは絶対不変量ではなく舗装からの要求によって変化するべきものであろう。すなわち、配合設計が適切か否かは舗装に使用されて初めてわかるものである。舗装のおかれる環境が変化すれば、舗装がアスファルト混合物に要求する性質も変わり、それに応じて設計アスファルト量も変化するのが当然と考えられる。したがって、舗装が要求する性質は常に整理しておくべきものであるが、将来改訂案の検討において特に考慮しなければならない問題は、わだち掘れ等の原因になる塑性変形とくり返し载荷による疲労抵抗であろう。

塑性変形については、改訂案も推奨しているようにホイールトラッキング試験が非常に有効であると考えられる。マーシャル試験の諸量によっては見出しされない相関関係も現場試験でとらえられており(図-7)¹⁰⁾、わだち掘れに対応する混合物の配合設計には今後積極的に利用されることであろう。

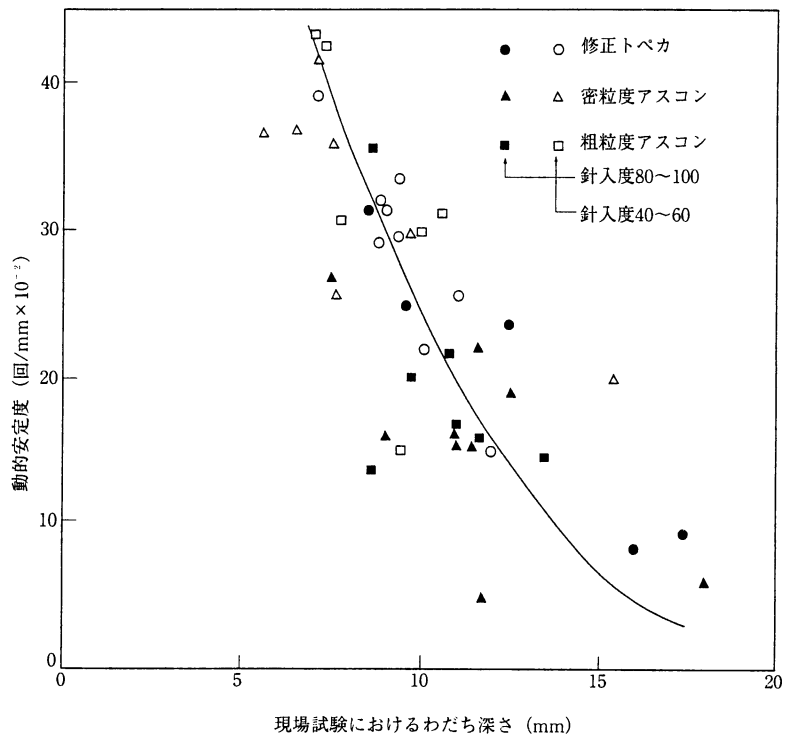
アスファルト混合物が交通荷重により繰り返し曲げを受け、その疲労によりクラックを生じるのは周知の事実である。この疲労に関しては、PellやMonismithのグループ、わが国では北海道大学等で研究されてきたが、まだ配合設計に定量的にとり入れられるほど進んではないというのが現状であろう。定性的にはアスファルト量が多い方が有利と言われている。

以上、2つの因子はアスファルト混合物の代表的な破壊形態、すなわち、流動とクラックの原因となるものであるが、アスファルト量について言えば、前者は少なく後者は多い方がよいという矛盾を内蔵している。設計アスファルト量の推移は両者に対する試行錯誤であったとも言えようが、今後は、この2因子に限らず、影響因子に関する試験法を確立して定量的な検討を積み重ねる方向に向う必要がある。

7. あとがき

各時代の舗装要綱とアスファルト混合物小委員会の改訂案を中心に、加熱アスファルト混合物について配合設計法の推移を考察してきた。あらためて当時を思い出し、なつかしさを感じずる方もあろうし、また初めて過去の設計法を目にする方もあるかと思う。なお、配合設計の基

図-7 現場試験におけるわだち深さと動的安定度の関係
(累積大型車交通量 6.0×10^6)



本を見直したい方は、本号の講座(阿部)を参照されるとよい。今後、改訂案について活発な討議が展開されることと思うが、あわせて、官庁、民間、大学等の積極的な研究を期待する次第である。

参考文献

- 1) アスファルト舗装要綱(昭和25年)日本道路協会
- 2) アスファルト舗装要綱(昭和36年) 〃
- 3) アスファルト舗装要綱(昭和42年) 〃
- 4) 竹下春見「アスファルト舗装要綱について(2)」
土木技術資料3-10
- 5) 「アスファルト舗装要綱の改訂」, アスファルト舗装小委員会, 道路 1968-1, 2, 3
- 6) たとえば, 渡辺・阿部「最適アスファルト量に関する一考察(1), (2)」道路 12 (1968), 7 (1971)
- 7) アスファルト協会資料
- 8) 昆布谷竹郎「アスファルト系材料の問題点」第7回アスファルトゼミナールテキスト, 11 (1974)
- 9) アスファルト混合物小委員会「アスファルト混合物の標準度と今後の方向について」道路の土工, 舗装に関する地区講習会, 昭和49年度 日本道路協会
- 10) 建設省土木研究所舗装研究室: 土木研究所資料 第923号 昭和49年3月