

私論・アスファルト舗装構造設計に関する 研究の現状と問題点

阿部 頼 政*

1. はじめに

「研究者のノートから」も10回目を迎えた。52年8月からの連載であるから、ほぼ2年余となる。本欄の第1回～第9回までの内容は表-1のとおりである。第1回は、アスファルト舗装の最も基本的な破壊形態であるクラックについて考察し、第2回では、わが国のアスファルト舗装の構造設計に関する基本式の成立過程を一覧した。第3回以降は、The Fourth International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavementsから興味深い論文をとり出し、解説あるいはまとめを行ってきた。すなわち第3回～第6回はシエルの設計法、第7回はVESYS II Mのシステムの研究、第8回は弾性理論による設計を考察し、第9回では全論文の抄訳を行った。

ノートの発足当時は、内容についての特に定まった方針はなく、読者の参考になるようなものを自由に、

ということであったが、ちょうど前記の国際会議が開催されたこともあり、全体的には、構造設計に関する海外の研究の紹介という形になった。なお、第7回からは、アスファルト舗装技術研究グループのメンバーが本欄を担当してきている。今後の方針については、研究グループおよび編集幹事会でいろいろ検討した結果、前回で全論文をまとめたところでもあり、今回が第10回にあたるので、一応の区切りをつけようということになった。すなわち、これがノート欄の最終回となる。なお、数回の休止期間をおいた後、また新たな構想で出発の予定であることを付け加えておく。

今回は、本欄のしめくくりとして、あるいは閑話休題の意味も含めた筆者の個人的な見解、感想をいくつか述べてみたい。こんな見方もあるのかなという程度の軽い気持ちで読んでいただければ幸いである。

表-1 これまでのノート欄

回	表 題	執 筆 者	アスファルト誌 発 行 年 月
1	アスファルト舗装のクラック	阿 部 頼 政	第112号 昭和52年8月
2	アスファルト舗装の構造設計における考え方	阿 部 頼 政	第113号 昭和52年11月
3	アスファルト舗装の 構造設計における最近の動向(1)	阿 部 頼 政	第114号 昭和53年1月
4	アスファルト舗装の 構造設計における最近の動向(2)	阿 部 頼 政	第115号 昭和53年5月
5	アスファルト舗装の 構造設計における最近の動向(3)	阿 部 頼 政	第116号 昭和53年8月
6	アスファルト舗装の 構造設計における最近の動向(4)	阿 部 頼 政	第117号 昭和53年10月
7	アスファルト舗装の構造設計における最近の動向(5) 舗装設計システム-VESYS II Mについて	阿 部 忠 行	第118号 昭和54年1月
8	アスファルト舗装の構造設計における最近の動向(6) 弾性理論を中心とした各種設計法	古 財 武 久 塩 尻 謙 太郎	第119号 昭和54年3月
9	The Fourth International Conference on the Structural Design of the Asphalt Pavements 全論文の抄訳	アスファルト舗装 技術研究グループ	第120号 昭和54年8月

*あべ よりまさ 日本大学理工学部土木工学科助教授

2. 構造設計について

わが国のアスファルト舗装の構造設計は周知のように次の式を基本としている。

$$H = \frac{28.0N^{0.1}}{CBR^{0.6}} \dots\dots\dots(1)$$

$$T_A = \frac{3.84N^{0.16}}{CBR^{0.3}} \dots\dots\dots(2)$$

(1)式がCBR設計曲線から、(1)式がAASHO道路試験とわが国のデータから竹下が誘導したことは第2回で考察したとおりである。昭和42年の要綱に採用されて以来、10年以上の実績を持ち、53年の改訂でも基本的な修正は行われなかった。このような場合、2つの解釈が考えられよう。すなわち、基本式の妥当性が実績から明らかにされたとする見方と、不備ではあるが修正するだけの根拠あるいは代替案がなかったために、やむをえず従来どおりにしたという見方である。工学上の実験式では一般に校舎のようなケースが多いが、ここでは基本式をさらに現実に即したものにするという立場から考えてみたい。

(1)式は舗装あるいは路床の破壊を防ぐという意味での必要厚であるが、(2)式は利用者へのサービス生の確保が根本にある。すなわち、サービス指数が2.5になった時点を舗装の破壊と見ているわけである。このサービス指数は、縦断報告の凹凸、わだち掘れ、クラックの3つの因子から計算されるが、わが国では現実の修繕にあたってサービス指数を考慮したという話はめったに聞かれない。言いかえれば、利用者の乗心地を優先するという感覚は、わが国ではあまり受け入れられていないようである。それ以前の問題が多すぎるためであろうか。一般地域で打換えあるいはオーバーレイの対象となる舗装の欠陥としては、わだち掘れ、クラック、すべりなどが主なものとしてあげられよう。これら修繕の判断の背景にある考え方は「走行車輛の安全性の確保」が主たる目的かと思われる。AASHOのサービス性という考え方と似ているようでいても、根本的にはそれと異なった、わが国の特殊事情が入っている。したがって修繕の原因としては、わだち掘れ、クラック、すべりのうち、いずれか1つが限界値を超えたからという理由が多い。

逆説的になるが、理想的な舗装の設計とは、これらの破壊が同時に限界に達するような設計であろう。わだち掘れが限界に達しているのに、クラックが全然見られなかったり、すべりが問題にならないような舗装は、どこかにまだぜいたくさが残っているのではなからうか。わだち掘れが3年目には避けられないような道路であったら、クラックも3年目に出るように舗装

厚を薄くするという発想があってもよいであろう。あるいは、クラックが早期に出るのを承知でアスファルト量を少なくしたり、硬めのアスファルトを使用するなど、わだち掘れの進行をできるだけ防ぐ方向にもっていくべきではないか。要するに、どれが限界値に達しても修繕を必要とするなら、それを前提にした設計法が合理的であろうということである。わが国では前に述べた基本式が定着しすぎているためか、あるいはアスファルト舗装要綱からの逸脱が現実的に不可能なためか、基本式についての議論がきわめて少ないようである。基本式から交通量区分に変換して示されたH、 T_A は一応舗装の寿命を10年間保障することになっているが、何をもって寿命が尽きたとするのかは、かなりあいまいである。また、実際に10年もっているのかどうかの詳しいデータはあまり発表されていない。基本式にもとづく実績が豊富にある以上、これを分析してさらに現実性の高い設計法を生み出すような検討はできないものであろうか。

3. 弾性理論について

前回のノートでも紹介したように、海外では舗装設計の研究手法としては多層弾性理論が中心となってきている。わが国では「舗装は経験工学」という感覚もあり、あまり活発に研究されていないが、今後の有力な手段であると筆者は考えている。舗装の研究が他の土木工学の分野に比べて遅れがちな大きな原因の1つは、中心軸となる理論がほとんどないということであろう。舗装は人工のものであるが、そのおかれている環境は、人為的にコントロールできないものであり、実験室で再現しにくく、さらに現場では試験結果の出るまでに長い年月を必要とする。路床条件、交通荷重、舗装構成、使用材料などきわめて変数が多いため、理論的にはとりあつかいにくいと思われがちであるが、このような分野にこそむしろ理論の導入が必要であるとも言える。条件が複雑になればなるほど組合せの数が多くなり、そのすべての場合についての経験を得ることが困難になるからである。もちろん舗装のメカニズムをすべて説明できる理論など、まず存在しないであろうことは言うまでもない。しかし、説明できる部分とできない部分が明らかにできれば、これは一歩前進である。次には説明できない部分の原因を考え、これの解明にあたればよく、次々と不明の範囲をせばめていけるからである。このように、1つの理論を導入すれば、たとえそれが不完全なものであっても積み重ねがきくことと、さらに経験のない部分についても類推が可能だというメリットがある。

舗装構造の解明にあたっては、弾性理論がこの中心的な理論となりつつあり、研究の実績もかなり豊富になってきた。設計法もいくつか発表されている。しかし、わが国でこれらの設計法をそのまま利用できるわけではなく、やはり我々独自の研究も必要とされることはいまでもない。

世界的に弾性理論にもとづいた研究が盛んになってきた背景には、電子計算機の普及と多層構造のプログラムの開発がある。逆に言えば、この両者がないと研究がかなり困難である。10年ほど前までは、弾性理論といっても図や表を含めた簡易計算法を利用することが多かったが、最近ではむしろ簡易計算法を使う研究者がほとんどいなくなった。電子計算機を利用する方が時間的にも正確さからも、はるかに有利になったからである。計算に必要なプログラムも容易に入手できるようになった。極端な言い方をすれば、弾性理論を全然知らなくとも、また電子計算機の構造やプログラミングを全然知らなくとも、多層構造の任意の点における応力、歪、変位などを計算できるようになったわけである。

土木技術者、あるいは日本人全体に共通したことも知れないが、どうも我々は、数式を一步一步追って行って納得しないと出てきた答を信用しない傾向があるのではなからうか。弾性理論による解析結果が一般にあまり受け入れられないのも、この辺に1つの原因があるように思える。弾性理論における数式の展開を追うには、かなり数学の素養と努力を要する上、プログラムが妥当なものかどうかという検討も大変であるが、たしかにこれらを理解した上でプログラムを使用するのが理想的であろう。しかし、舗装に携わる土木技術者がすべてそこまでやる必要があるだろうか。あるいはその余裕があるだろうか。筆者は、既存のプログラムを使って、まず計算してみることをこれから始める人にはすすめたい。弾性理論、プログラムの内容の理解は、必要に応じて勉強すればよいと思う。要は、我々は弾性理論の学者でもなければ電子計算機のプログラマーでもなく、あくまで舗装技術者であるということ、すなわち現実の舗装の問題解明を主眼とすべきであろう。弾性理論は単なる道具であり、我々はその有効な使い方を検討すればよいと思う。道具の作り方、性能などは道具担当の技術者を信用してもよいのではなからうか。理論を細部まで理解した10人の技術者よりも、大部分が使い方のみしか知らない100人の技術者の方が、舗装の場合は大きな成果をあげうらと思うのだが……。

弾性理論を用いた構造解析では、一般に路床上面の

垂直歪（あるいは垂直応力）とアスファルト層下面の引張り歪（あるいは引張り応力）に注目する。前者は、わだち掘れ、後者はクラックを支配する因子としてとらえられている。海外ではこれらの基準値ともいべき数値が種々の研究機関から提案されているが、その値はきわめて広範囲にバラついている。これは、各機関の破壊の定義、環境条件、歴史的背景の相違など、さまざまな原因が考えられるが、弾性理論を適用する上での相違点も大きなウエイトを占めているようである。以下、適用上の問題点について考えてみよう。

(1). 輪荷重と載荷半径

荷重は一般に円形等分布荷重におきかえて計算されるが、標準輪荷重、その載荷半径、複輪か単輪か、これらのとり方が研究者によって異なる。

(2). 標準輪荷重への換算

実舗装との対応を検討する場合、何らかの方法で実際の交通荷重を標準輪荷重に換算する手法がよくとられる。このようなときに、交通荷重の何%が同一地点を通過すると見なすかによって、また、各種輪荷重を標準輪荷重に変換する方法によって、繰返し数は大きく変る。

(3). 各層の弾性定数

これが弾性理論の適用性を左右する最大の問題であろう。アスファルト層の弾性係数は温度と載荷時間によって変化するものであるが、これを交通荷重の場合の標準輪荷重に類した代表値でおきかえられるか、あるいは、おきかえてよいものか……。繰返し載荷を考慮する方法としてMinerの法則がよく利用されるが、どの程度の信頼性があるかは疑問である。路床の弾性係数は各種の土質試験から推定されるケースが多いが、その方法によって弾性係数に（当然の結果として応力、歪にも）差が出てくる。

以上のように弾性理論による研究は、さまざまな問題をかかえており、まだ安心して実用できるという段階には達していない。一人でも多くの技術者の参加を得てこれを育てていきたいと思う次第である。

4. クラックとわだち掘れについて

アスファルト舗装に関する材料の研究は、そのほとんどが表層・基層用加熱アスファルト混合物に集中していると言ってもよからう。そして、現在その最も中心となる研究テーマが、クラックとわだち掘れ（流動）をめぐる配合設計の問題ではなからうか。この両者は、舗装の寿命を大きく左右する上に、まったく相反する

性格を有するため今なお難解な問題となっている。

クラックから考察していこう。クラックに関する材料試験は、その歴史も古くデータもきわめて豊富である。室内試験の主流となってきたのは、曲げ、引張りなどの繰返し試験である。これは、繰返し荷重を受けるほとんどの材料に共通する常識的な試験であるが、アスファルト混合物の場合、温度、載荷速度（あるいは周波数）の影響を受けるので、他の材料に比べかなり難かしい面がある。また、疲労寿命は、載荷方法、骨材配合、アスファルトの質と量などによって異なる上、試験時間が長く試験結果にバラツキが大きいという難点があり、実験データが豊富なにもかかわらず、定量的な見解は一致をみていない。各研究機関がそれぞれのデータをもとに、クラックによる破壊の時期を勝手に推定している段階である。しかし、仮にそれぞれの室内試験結果が正しいとしても、現実の舗装のクラックを予測できるかどうかについては、かなりの疑問がある。室内試験の方法と実舗装ではきわめて大きなギャップがあるからである。

(1). 荷重条件

室内試験では単一応力あるいは単一歪の単調な繰返しを与えるが、実舗装は大小さまざまな応力、歪を受け、載荷時間も、休止時間も変化する。

(2). 温度条件

室内試験では、一般に1つの供試体は同一温度で試験するが、実舗装では常に温度が変化する。

(3). 載荷の制御方式

歪制御による供試体の寿命と応力制御による寿命はまったく逆の結果を与える。すなわち、歪制御では軟らかい混合物が、応力制御では硬い混合物が寿命は長い。実舗装でどちらのタイプになるかは不明である。

その他、いろいろの問題があるが、以上の3点を考えただけでも、室内試験に果して意味があるのかどうか疑問に思えてくる。ギャップがあっても、実舗装のクラックをうまく説明できればモデルとしての意味が出てくるが、現時点ではまだまだ不十分ようである。

一方、わだち掘れ（流動）については、ホイールトラッキング試験が有力な試験法として定着しはじめ、研究も活発化してきたようである。この種のわだち掘れを防ぐには混合物を変形しにくい硬いものにすればよいことは、自明の理であるが、硬くしすぎるとクラックが入りやすいというジレンマがあり、両者のバランスのとり方が常に問題になってきた。重交通の道路では一年足らずでわだち掘れが限界値に達すところも出ているが、このような現状から、わだち掘れに対してかなり悲観的な意見も一部でささやかれはじめた。

すなわち「アスファルト混合物の限界では……」という懸念である。60℃粘度を14,000ポアーズ程度に高めたセミブローンアスファルト（針入度80~100のストレートアスファルトで60℃粘度は1,500ポアーズ程度）の採用は、このような背景のもとに生まれた1つの画期的な試みである。試験舗装も毎年数多く行われており、調査結果が大いに期待される。

5. 研究体制について

今年の土木学会年次学術講演会は、10月16日~18日の3日間、九州大学で開催されたが、アスファルトコンクリート、舗装一般をあわせて発表論文は21編であった。これは、全発表論文の約50分の1にすぎない。道路会議と時期的に一致したことも原因であったろうが、研究の中心となるべき学会の発表論文が20編程度とは何ともさびしいかぎりである。そして論文の内容から察するに、研究設備がかなりあると思われる研究機関はほんの数カ所にすぎない。これが学会関係、主として大学の研究体制である。

大学に籍をおく者の勤務評定は、大学によっても異なるが一般には論文の数が問題にされる。それも各種協会誌や口頭発表の類ではなく、査読のある論文集に掲載されたもので、その代表的なものは「土木学会論文報告集」である。この種の論文の数が昇格、博士論文の受付資格などに影響する場合が多い。また、年々卒業研究の学生がくることもあり、大学関係者は現実の問題解決というよりも、ともすれば論文としてまとめやすい研究テーマを選びがちである。大学は全国に散在しているため、お互いの情報交換の機会も少なく、企業との共同研究はここ10年来、極端に減少した。以上のような問題の是非は別として、大学はどうも現実から遊離しがちな環境におかれていることは否めない。

一方、国公立および民間の研究所はどうであろうか。こちらは逆に、現場を抱えているため、あまりにも現実的すぎる問題に追われているようである。1つのテーマにじっくりと取り組む余裕はないところが多い。

大学、研究所、現場技術者それぞれが各自の立場で努力しているにもかかわらず、日本全体の技術向上という視点からながめるときわめて非能率的な研究体制にあると言えよう。研究を必要とするテーマを整理した後、官・民・大学が、それぞれ得意の分野を分担して研究をすすめられるような総合的プロジェクト、あるいはそれを推進する強力な指導者があれば……最近の、夢に近い希望である。

——長い間、御愛読ありがとうございました。——