

【土木学会論文集 第378号/V-6 1987年2月】

招 待 論 文

アスファルト舗装に関する研究の動向

RECENT DEVELOPMENT IN RESEARCH ON ASPHALT PAVEMENTS

多田 宏行*

By Hiroyuki TADA

1. まえがき

舗装はそのほとんどが公共事業として施工される。したがって、舗装に関する研究は、工事をより効率的に施工し、また公的な財産となる舗装を耐久性に富み、長期的に快適なサービスを提供し得るものとすることを目的として行われる。そして研究の成果は、舗装の設計、施工に関する基準または要綱の形で実際の事業に活かされることになる。

わが国のアスファルト舗装の技術進歩の跡は、(社)日本道路協会刊行の舗装要綱の変遷にみることができるが、その第1歩は、アメリカのアスファルト協会(Aphalt Institute)のマニュアルをほぼそのまま採り入れて昭和25年に発刊された舗装要綱である。そして昭和36年には、わが国の舗装の実態と経験に基づいて要綱の見直しが行われ、アスファルトの針入度等級が導入され、配合設計にマーシャル安定度試験、構造設計に路床土 CBR が利用されることとなった。

昭和40年代には、AASHO (American Association of State Highway Officials) 道路試験 (1950~1960) の成果の公表を受けて、その積極的な活用がはかられ、構造設計では CBR 法をベースとしつつ、表層、基層、路盤の各層材料の弾性特性を考慮した等値換算係数 (T_A) による設計が行われるようになり、また材料の面ではアスファルト安定処理が新たに採用された。

さらに、昭和50年代に入り、重交通道路でのアスファルト混合物の塑性流動によるわだち掘れや積雪寒冷地に

おける自動車のスパイクタイヤ等による摩耗が大きな問題となり、それに対応するための配合設計での改善や設計交通量区分の見直しなどが行われてきた。

最近では、舗装延長が増大したことにより、舗装の維持修繕に要する費用が、維持管理水準の向上の要請ともあいまって大幅に増加してきており、維持修繕の合理化に向けての研究も盛んに行われるようになっている。

以下の各論では、アスファルト舗装に関する研究の現状と今後の動向を、より耐久性のある舗装用材料の開発という材料の面、弾性論を使った新しい設計という構造設計の面、最近発展の著しい舗装のリサイクリングという工法面、そして新設から維持修繕までを含めた舗装投資の最適化を目指す舗装マネジメントシステムの4つについて述べ、また最後に、アメリカで計画されている大規模な道路研究プロジェクトへのわが国の対応について紹介することにする。

2. アスファルト舗装用材料

(1) ストレートアスファルト

舗装に用いられるアスファルトの 97% (昭和 60 年度) はストレートアスファルトである。その品質は JIS K 2207-1980 に規定されており、現在使用されているすべての舗装用石油アスファルトはこれを満足するものである。しかし、同じように規格に合格しているストレートアスファルトであっても、実際に施工したときの施工性に差異があること、各種の添加物を添加したときの性状が一様でない等の点から、規格に現われない範囲での性状の相違が近年指摘されている。一方、現在の規格項目の中には、その意義が不明確なもの、規格値に疑問のあるものもある。これらのことから、現行の規格について

* 正会員 工博 (財) 日本道路交通情報センター 副理事長
日本道路協会 舗装委員長

(〒276 千葉県八千代市八千代台南 2-12-28)

Keywords : pavement, asphalt, design, material, rehabilitation

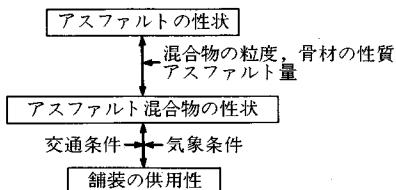


図-1 アスファルト性状、混合物性状、供用性の関係

再検討すべき時期にきているといえる。

ストレートアスファルトの規格の検討には、現在の規格では同一の性状と評価されている個々の製品の性状の違いを適切に評価する試験方法を開発することが必要である。さらに、高温時に発生するわだち掘れ、スパイクタイヤによる摩耗といった舗装の供用性の問題に対して、アスファルト（ストレートアスファルトのみでなく、改質アスファルトなども含めて）のどのような性状が関連しているのかを明らかにしなければならない。

このことはかねてからの課題であり、いまだに明確な解答が得られていないものである。これは、従来のアスファルトに対する研究が混合物試験や試験舗装等を含めた包括的な形で実施されていないこと、各機関の研究が単発的で組織的に実施されていなかったことなどが大きな原因であると考えられる（図-1 参照）。

このような反省を踏まえ、現在、（社）日本道路協会および（社）日本アスファルト協会を中心として、規格以外の項目をも含めたストレートアスファルトの性状の全国ベースでの調査、アスファルトの性状とアスファルト混合物の性状の関係、混合物の性状と供用性との関連といった面から、アスファルトの性状について検討が開始されており¹⁾、その成果が期待される。

また、後述するアメリカのSHRP計画においても、供用性を含めたアスファルトの性状の検討を行うことが提案されており、わが国の舗装研究者もこの動きに注目していく必要がある。

（2）改質アスファルト

前述したように舗装用アスファルトの大部分はストレートアスファルトである。しかし、近年の交通の質、量両面の変化に伴い、通常のストレートアスファルトを用いた舗装では早期に破損してしまい、供用性および耐久性が著しく低下する場合がみられるようになった。

そこで、ストレートアスファルトに各種の操作を施し、性能を高めた改質アスファルトが開発されている。

改質アスファルトには大別すると、①ストレートアスファルトにブローイング操作（高温で空気を吹き込むこと）を施して高温時の粘度を高めることにより耐流動性を向上させたもの²⁾、②ストレートアスファルトに樹脂、ゴム等の高分子材料や天然アスファルト（トリニダッ

ド・レーク・アスファルト）等を添加して、各種の物性を改善して耐流動性および耐摩耗性を高めたものなどがあり、交通条件が厳しい重交通路線の舗装を中心に施工されている。

しかし、これらのすべてが必ずしも十分な効果をあげているとは限らず、さらに高品質の改質アスファルトの開発が各方面で検討されている。そこでは改質アスファルトの性状のみでなく、添加材料の物性、ベースアスファルトとしてのストレートアスファルトの物性の研究、さらに改質アスファルトの性能を効果的に発揮する施工法なども含めた検討が行われている。

今後、舗装を取り巻く環境はますます苛酷になると予想されるので、改質アスファルトに関する研究は一層重要なになっていくものと考えられる。

なお、従来のアスファルトという概念から離れた、全く新しい舗装用バインダー（骨材を結合するもの）の研究も一部で行われている。しかし、これらの材料は開発途上であり、現在では道路舗装用として一般に適用できる段階に達しておらず、長期的な視点で取り組んでいく必要があろう。

（3）鉄鋼スラグ

近年、環境保全等の観点から骨材の採取が制約される場合も少なくなく、特に良質な骨材の入手が困難になる傾向にあるため、舗装用骨材についても、現地材料の有効利用、新しい骨材資源の開発の必要性が高まってきている。

このような中にあって、現今の鉄鋼スラグは路盤またはアスファルト混合物に用いて、天然骨材に勝るきわめて有用な骨材と考えられるようになつた。

鉄鋼スラグには、鉄鋼石を精錬する高炉から銑鉄と一緒に生成する高炉スラグと、鉄から鋼を製造する過程で生成する製鋼スラグがある。

路盤用高炉スラグは、①粒子のかみ合せがよく、かつ非塑性のため含水量の影響が少ないので施工性に優れている、②水硬性を有しているので、施工後長期にわたって路盤の支持力が向上する等の特徴があり、すでにアスファルト舗装要綱ならびにJIS A 5015「道路用スラグ」に規格化され、その評価も定まっているといえる。

一方、製鋼スラグには、膨張崩壊性という性質があるため、以前はその利用が著しく限定されていたが、昭和50年代後期にエージング処理や高炉スラグとの複合化等による膨張対策の研究が進み、品質的にも安定した供給が可能になった³⁾。その結果、路盤用製鋼スラグは、高炉スラグと同等の強度・耐久性が確保できるようになったが、さらに製鋼スラグがかなり硬いという特徴を活かして、これをアスファルト混合物の粗骨材として用い、舗装の耐流動性、耐摩耗性の向上を図る試みも進め

られている。

3. アスファルト舗装の構造設計

(1) アスファルト舗装の設計法

近代舗装設計技術の幕開けともいえる1900~40年代のアスファルト舗装は、舗装にかかる輪荷重を円形等分布荷重とし、その荷重が45°の方向に分散するとして路床上の垂直応力を算出し(図-2)，これが路床の支持力より小さくなるように断面を決定した。

また、ブシネスク(Boussinesq)の理論に基づいて、舗装構造を2層または3層の下方および水平方向に半無限の等方弾性体とみなした理論計算法も研究されたが、実用性のある設計法となるまでには至らなかった。

このような理論的設計法の行き詰まりから、その後、試験舗装や現地観測に基づく経験的な設計方法の開発が各方面で行われた。アメリカ陸軍技術部隊(Corps of Engineering, U.S. Army)が、飛行場や道路の設計を目的として開発したCBR法⁴⁾や、AASHO道路試験に基づくT_A法⁵⁾は、この流れに沿うものである。そして前述のように、わが国の設計法も基本的には、これらと軌を一にしている。

ところで、わが国の幹線道路における走行車両は近年ますます重量化の傾向にあり、また都市部におけるコミュニティ道路などでは、従来の舗装では想定していなかった機能を要求されることも多くなっている。このような、舗装に対する要求の高度化、多様化に対応するためには、新しい技術(材料、工法)の導入が必要となる。

しかし、現行の設計方法に従ってアスファルト舗装の断面を設計するためには、各層に用いられる材料の等値換算係数を知る必要があり、車両による繰返し荷重下の材料の挙動についての実物大の試験舗装と長期的な観測が不可欠である。

ところが、開発の段階から試験舗装による評価を経て実用化に至るまでに多大な時間と費用のかかる現状では、これは単に一、二の機関の努力の及ぶところではな

く、官民の研究機関の全国的な協力が必要である。そこで、新技術のより迅速な評価方法と、それに対応した新しい設計法の確立が強く望まれる。

(2) 構造設計への解析的手法の導入

舗装に一般に用いられる土および骨材は、金属材料と異なり不均一な材料で、力学的には非線形性を有しているため、その工学的取扱いにおいて、多層弾性論のような解析的な手法に適しているとはいえない。特にアスファルト系材料においては、温度に依存する粘弾性的な挙動をも示すため、弹性係数や粘性係数などの材料特性値の設定が困難であり、解析的な手法の適用は研究の域を出なかった。

しかし、近年の急速な電子計算機や解析プログラムの進歩により、舗装構造を複数の層から成る等方弾性体と考えた多層弾性解析が可能となり、舗装の断面設計への理論的(あるいは解析的)な取り組みが再び試みられるようになった。たとえば、アメリカのアスファルト協会は1981年に、材料の特性値をレジリエント係数(Redilient Modulus、繰返し間接引張り試験で求められる弹性係数の一種)で評価し、舗装を多層弾性体として解析して、路上面およびアスファルト混合物層下面に発生するひずみが許容値以内となるように断面を決定する設計方法⁶⁾を提案した。

わが国のアスファルト舗装要綱の現行の設計方法は、昭和42年以来の実績に基づく信頼性のある設計方法であり、今後も一般的な舗装設計には利用され続けるであろう。しかしながら、従来の設計体系に含まれない、新技術の評価に解析的な手法を適用することは、用いる材料の非線形性のため限界はあるものの、問題解決のための1つの有効な方法と考えられる。

したがって、今後の舗装技術の発展のためには、このような解析的な手法による設計が現行設計法を補完する形で導入可能なように、設計体系を再検討することが必要であろう。

4. 舗装のリサイクリング工法

(1) 舗装リサイクリングの背景

道路の維持修繕工事に伴って発生する舗装廃材は、從来埋立て等によって処分するのが通常であったが、産業廃棄物に指定されてからは、処分にあたって種々の制約が課せられるようになった。また、維持修繕による舗装廃材の発生量も年々増加しており、特に処分地の確保が困難な大都市圏では、その処分が1つの社会問題となっている。

このような背景のなかで、舗装廃材の適正処理ならびに資源の有効利用の見地から、その再生利用に関する研究が積極的に進められてきた。

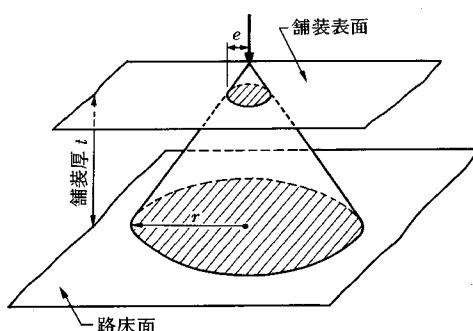


図-2 円形等分布荷重

(2) リサイクリングの現状と課題

舗装廃材の再生利用の方法には、①発生した廃材を混合所に持ち込み、所要の品質に再生して使用する方法と、②路上で既設舗装をそのまま再生して使用する路上再生工法がある。また路上再生工法には、既設舗装の表層だけを処理する路上表層再生工法と、表・基層と路盤とを同時に処理して新しい路盤に再生する路上再生路盤工法とがある。

a) 混合所で再生材を製造する方法は、昭和59年に日本道路協会刊行の舗装廃材再生利用技術指針(案)にその設計施工の標準が示されており、これに適合した再生材は原則として新しい材料と同等に評価されることになっている。

しかし、耐久性の評価がまだ明確でないことから、重交通道路の表層への適用は制限されており、今後は耐久性に関するデータの蓄積を行うとともに、これら重交通道路での評価を明らかにしていく必要がある。

b) 路上表層再生工法は、路上において既設アスファルト舗装の混合物を加熱、かきほぐし、敷きならし、転圧等の種々の作業を行うことによって再生する工法であり、路面性状の回復のみならず品質改善をも一体的に行えることを特徴とするものである。

本工法は、導入されてからまだ数年しか経っていないが、廃材の発生がなく、施工管理が容易である等の利点から有効な維持修繕工法の1つとして注目され、関係機関でも試験舗装を行うなど積極的な研究・開発が進められている。今後は、供用性状の定量的な評価をもとに、適用範囲、設計法の考え方を明確にしていくことが望まれる。

c) 路上再生路盤工法は、既設のアスファルト舗装を粒状路盤の一部とともに破碎混合し、これを安定処理することにより、新しい路盤に再生する工法である。現状では、表層厚の比較的薄い軽交通道路への適用が中心で、安定処理に用いられる添加材料としては、普通ポルトランドセメントおよびセメントとアスファルト乳剤の併用が多い。

この工法は、地方自治体を中心にすでにかなりの実績があり、これらの供用性から判断すると、通常の安定処理路盤と同等の評価が可能である。なお、本工法の設計・施工の標準として路上再生路盤工法技術指針(案)が日本道路協会より近く発刊される。

5. 舗装のマネジメントシステム

(1) 舗装マネジメントシステムに関する研究

最近、舗装マネジメントシステム(PMS：

Pavement Management Systems)に対して各国の舗装技術者の間で関心が高まっている。このPMSの歴史は比較的新しく、1970年代の始めからアメリカを中心いて研究が進められてきたものであり、北米ではすでに多くの州や自治体の道路当局が、これを現実の予算配分の手段として利用するなど実用の段階に達している。PMSは舗装技術の中でもどちらかというと行政的な色彩が濃く、わが国における研究も行政部門が先行している。

文献⁷⁾によるとPMSの目的は「舗装部門に配分された公的資金の最も有効な利用方法を見つけだし、道路利用者のために安全、快適かつ経済的な舗装を提供すること」と定義されている。PMSは、その名のとおり舗装をマネジメントするためのシステムであり、その重要な特徴は舗装の長期的な供用性の定量的な予測をベースにしたうえで、各種代替設計・修繕案の経済評価を中心としたことがある(図-3)。

わが国においてPMSの研究が体系的に始められたのは比較的最近であるが、PMSの基礎となる舗装の長期供用性についての検討は、以前から建設省による大規模な試験舗装追跡調査や土木研究所の無人荷重車を使った舗装走行実験施設などで独自の調査研究として精力的に行われてきている。また、PMS運用の要となる舗装のデータバンクとそれに付随した路面性状の調査手法および機器についても、過去10年ほどの間に長足の進歩を遂げつつある。

今後は、このようにして蓄積されたさまざまな知識やデータバンクの情報を有効に活かし、舗装事業の効率化を達成する利用技術としてのシステムの確立が待たれる。

(2) ライフサイクルコスト解析

舗装に関する各種代替設計案について費用効果の高い経済合理性にかなった決定をする手段として、ライフサイクルコスト解析による経済評価の手法がPMSの一環として各方面で研究されている。

舗装のライフサイクルコストには、a) 設計費用、b)

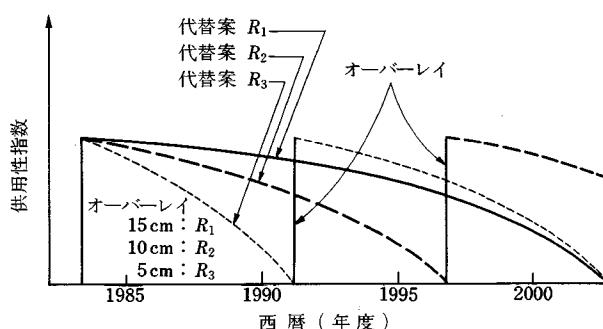


図-3 舗装の供用性の推移と代替修繕案

工事費用, c) 維持費用, d) 修繕費用, e) 利用者費用, f) 残存価値等の計画期間中に発生するすべての費用が含まれ、特に、初期建設コストと将来の維持コストとのトレードオフが検討の中心となる⁸⁾。

このライフサイクルコスト解析は、単に維持修繕の工法やタイミングの決定に役立つだけでなく、新材料や新工法の総合的な経済比較にも活用できるものであり、今後の研究が大いに期待されている。

(3) 維持修繕の優先順位決定

PMS の現実への利用という点で最も威力を發揮するのは、維持修繕計画の作成に使われる優先順位決定モデルである。舗装をネットワークでとらえた場合、維持修繕の個別区間の選定は、与えられた予算制限のもとで、すべての候補区間を同時に評価したうえで総合的になされなければならない。このような一連の評価、決定プロセスを合理的に実行するモデルは優先順位決定モデル (Priority Programming Model) とよばれている。

維持修繕計画の最適化を目指した維持修繕のシステム化は時代の流れでもあり、現在多くの行政当局によってシステムの基礎となる路面データの収集や舗装データバンクの構築が進められている。

しかし、せっかく集めらるたデータも有效地に利用されなければ意味がなく、その点からもさまざまな行政レベルでの独自のニーズに基づく各種優先順位決定システムの研究が必要である。

6. SHRP 計画への対応

(1) SHRP 計画の概要

アメリカ連邦道路局は、1970 年代の後半から顕著になった全国的な道路施設の荒廃という問題を解決できる唯一の方策は道路投資の効率化のための研究開発であるという結論に至り、1984 年に SHRP (Strategic Highway Research Program) 計画⁹⁾をまとめた。

表-1 に SHRP 計画の概要を示す。SHRP で採り上げられたテーマは、アスファルト、舗装の長期供用性、道路維持の費用効果、コンクリート橋の保護、セメントとコンクリート、雪氷対策の 6 つであるが、アスファルト舗装に関連の深いのは①アスファルト、②舗装の長期供用性の 2 つの課題である。

a) アスファルト (Asphalt)

この課題の目的は、アスファルトとアスファルト混合物の化学的、物理的性質について研究を行い、舗装の供用性を改善することである。具体的な研究項目としては、①アスファルトの性質を明確にし規格を整備する、②試験法、測定法を改良する、③アスファルトと舗装の供用性の関係を明らかにする、④舗装材料として望ましいアスファルト特性を分析する、⑤モデルとなるべきアスファルトを開発する、という 5 つが挙げられている。

本文の 2. でも紹介したようにアスファルトの性状については、わが国でも同様の問題意識がもたれており、

表-1 SHRP 計画の概要

研究課題	目的	予想される効果	年度予算 (5か年計) 万ドル
アスファルト材料	アスファルトの物理化学的性質を明らかにし、舗装の供用性との関係を知る。	良質の材料、品質管理および設計の向上、供用性予測の精度の向上。 1 年に 1 億ドルの節約となる。	1 000 (5 000)
舗装の長期供用性	各種の載荷条件、環境条件下における各種の舗装の長期供用性を評価する (データの収集と解析のため 5 か年計画をさらに 3 期継続することになる)。	舗装の維持修繕戦略の代替案を評価するための新しい方法、舗装の設計と施工法の向上、100 億ドルの節約となる。	1 000 (5 000)
維持の費用効果	維持作業の計画手法の開発、新しい維持手法、機械、材料を開発し維持作業の効率化を図る。	新しい道路管理システムと、維持作業の効率化。 1 年に 1.5 億ドルの節約となる。	400 (2 000)
コンクリート橋梁の保護対策	塩素に汚染された橋梁床版などの劣化を阻止する新しい方法の開発。	コンクリートより塩素を除去する有効な手法あるいは塩素汚染よりコンクリートを守る。 1 年に 4 億ドルの節約となる。	200 (1 000)
セメント、コンクリート	水和現象の物理化学現象の解明とリサイクルコンクリートやエネルギー節約が可能な部材等の評価、非破壊試験法の開発。	高品質で耐久性の高いコンクリートの生産が可能になる。 1 年に 5 000 万ドルの節約となる。	240 (1 200)
雪氷対策	新しい化学薬品に加えて機械式または加熱式装置の最適な使用法や管理手法により塩の使用を減少させる。	雪氷対策におけるサービスレベルを低下させることなく、腐食と環境問題を減少させる。例えば、車の腐食防止で、1 年に 4 500 万ドルの節約となる。	160 (800)

注：1. 舗装の長期供用性については、5 年の計画期間をさらに 15 年間延長し、6~20 年目の年度予算は 1 000 万ドルとする。

2. TRB SR-202 America's Highways Accelerating the Search for Innovation より引用。

数年前から日本道路協会や日本アスファルト協会で検討が進められている。

b) 補装の長期供用性

(Long Term Pavement Performance : LTPP)

この課題の目的は、各種の舗装材料を用いて、異なる交通、環境、路床、維持条件のもとで設計された新設および修繕舗装の長期の供用性を調査することにより舗装の設計法を改善し、寿命を伸ばすことである。具体的には、交通の量と質、気象条件、路床条件等の舗装の供用性に及ぼす影響をみるために、試験用の舗装区間を多数設け、路面性状等広範囲な情報を長期にわたって収集することになっている。

この課題は、わが国のアスファルト舗装設計法にも多大な影響を与えた AASHO 道路試験を発展させたものであるが、アスファルト舗装とコンクリート舗装、さらには新設舗装と修繕舗装のすべてを網羅した大規模な研究である。

わが国では、これに比較して規模こそ小さいものの、建設省が全国約 140 か所で 20 年近くにわたって実施している供用中道路舗装の追跡調査（基準調査）が、同様の成果を目指した研究として位置付けられよう。

(2) SHRP に関するわが国の取組み

SHRP についてアメリカ側は、世界各国や IRF, PIARC 等の国際機関と協力しながら研究を進めていく方針を表明しており、日本にも呼びかけがあった。

わが国としても、特に舗装分野では大きな利益が得られるることは確実であり、積極的に参加していく方向で検討が進められている。当面、具体的な協力の対象となるのは LTPP であるが、共同研究による相互の利益をまとめると次のように考えられる。

a) 日本側にとっての利益

- 日本独特の環境条件や交通条件を要因として加えることにより、LTPP の成果をわが国の舗装設計法の検討に直接活かすことができる。
- LTPP の共同研究を通じてアメリカとの舗装部門との技術交流、さらには日本の舗装技術の国際化が促進される。

b) アメリカ側にとっての利益

- 日本の重交通道路のデータが、アメリカのデータを外そうとする部分として役立つ。
- 環境条件の拡大などにより、成果の普遍性の拡大

に寄与する。

7. あとがき

本文では、アスファルト舗装に関する研究の最近の動向について 5 つのトピックを選んで紹介した。今後のアスファルト舗装に関する研究は、材料、構造設計、施工という従来からのアプローチと合わせて、マネジメントシステムという立場からも積極的に進められるものと考えられる。ただ、ここに述べてきたさまざまな角度からの研究は独立して完結するものではなく、最終的には現実の舗装となって一般交通に供用される際に示す長期的な供用性によって評価されるべきものである。

いずれにしても、新しい材料や工法、設計法を現実のものとして利用するには、短期的あるいは理論的に十分に信頼のおける評価手法が見当たらない現状では、複雑な要因が関係してくる舗装寿命を試験舗装によって実証的に検証する必要がある。この意味でも、SHRP 計画の LTPP には大いに期待を寄せているところである。

参 考 文 献

- 1) ストレートアスファルトの性状調査結果、土木研究所資料、第 2398 号、建設省土木研究所、昭和 61 年 8 月。
- 2) 重交通道路の舗装用アスファルト「セミブローンアスファルト」の開発、(社) 日本アスファルト協会、昭和 59 年 5 月。
- 3) 製鋼スラグを用いたアスファルト舗装設計施工指針、製鋼スラグ共同研究委員会、昭和 57 年度。
- 4) Middlebrooks, T. A. and Bertram, G. E. : Adaption to the Design of Airfield Pavements, ASCE Transaction, 1950.
- 5) 高橋ほか : AASHO 道路試験(再版)、(社) セメント協会、昭和 48 年 4 月。
- 6) Thickness Design-Asphalt Pavements for Highways and Streets, The Asphalt Institute (MS-1) (1981)
- 7) Haas, R. ほか : Pavement Management Systems, Krieger Publishing Company.
- 8) TRB National Cooperative Highway Research Program, Synthesis of Highway Practice 122 "Life-Cycle Cost Analysis of Pavements" (1985)
- 9) TRB Special Report 202 : "America's Highways-Accelerating the Search for Innovation", Strategic Highway Research Study (1984)

(1987.1.23・受付)