

【土木学会論文集 第366号/V-4 1986年2月】

技術展望

道路舗装の維持管理

MAINTENANCE OF ROAD PAVEMENT

藤井治嘉*

By Haruyoshi FUJII

1. 道路の管理

道路の管理とは、道路管理者が一般交通の用に供する施設として道路本来の機能を發揮させるためにする積極、消極作用の一切の行為を指すものであり、道路の新設、改築、災害復旧、維持、修繕、占用許可、沿道制限等幅広い行為を指す。

道路の管理の中で、本文で対象となるものは、主に維持および修繕であり、これは「道路が築造されたときの機能を保持するための不断の手入れや修理、道路を使用する者の安全と便益を計るための作業や施設の整備」をいう。

「維持」と「修繕」との区分は必ずしも明確ではなく、また、各道路管理者間でも統一はされていないが、一般的には、「維持」は道路の機能を保持するために行われる道路の保存行為であって、日常計画的に反覆して行われる手入れ、または軽度な修理を指し、「修繕」とは、日常の手入れでは及ばないほど大きくなった損傷部分の修理および施設の更新を指す。

維持でいう日常反覆して行われる手入れとは、路面の清掃、散水、除草、除雪、舗装目地の填充などであり、軽度な修理とは舗装のパッティング、表面処理、街路樹の補植など在来施設の機能を高めない範囲の修理を指し、修繕とは大規模な修理であり、在来施設の機能を当初築造されたときの機能まで回復させ、あるいは若干の機能増を伴う場合までを含むものである。また、老朽化、陳腐化したことによる更新も修繕に含むとすることも多い。

舗装は、交通荷重、気象条件等の外的作用を常に受け、また、舗装自体の老朽などにより放置しておけば供用性が低下し、やがては円滑かつ安全な道路交通の確保に支障をきたす。これを防ぐためには常に路面の状態を把握し、適切な維持修繕を行うことが肝要である。

舗装の維持修繕の目的は次の3つに大別できる。

- ① 舗装の耐久性を確保し、舗装の構造機能を保つ。
- ② 路面の走行性を確保し、交通の安全と快適性を保つ。
- ③ 舗装に起因する沿道環境の悪化を防ぐ。

維持修繕は、舗装の耐久性や構造機能の低下を招かぬよう適切な時期に実施しなければならない。また、路面が破損し走行性の確保や交通の安全、快適性、沿道環境など供用性の低下を招いた場合の対応は、適切な判断基準に基づいて時期を失しないように措置するものと、計画的に措置すればよいものがある。それらを維持修繕時期の緊急性により分けると次のようになる。

- ① 巡回時に破損を発見したとき、その都度緊急的な措置を要するもの
- ② 破損は徐々に進行するが、一定の限度に達した時点で時期を失しないよう措置すればよいもの
- ③ 破損は徐々に進行するが、一定の計画のもとに長期的な観点から措置すればよいもの
- ④ 破損は生じてはいないが、放置しておけば早期に破損を生じるおそれがあり、その急速な進行をくい止めるため、予防的な修繕を行うもの

これら維持修繕は、当該道路の交通の量、質、沿道条件、気象、工期、工事量を勘案し、適切な工法の選択、実施を行う必要がある。

施設量の増加、施設の老朽化等厳しい条件のなかで、

* 建設省道路局有料道路課 課長
(〒100 千代田区霞ヶ関2-1-3)

いかに維持管理のトータルコストを引き下げて道路保全の目標（道路資産価値の低減防止、道路利用者の費用の節減、常時安全かつ定常的な使用に耐え得るような保全状況の確立）を達成するかということが大きな課題である。舗装において維持修繕費のトータルコストを試算した結果（舗装の維持修繕の計画に関する調査研究、56年11月、建設省）によると、路面の破損の程度が軽い状態に適切に維持修繕を行う方が、破損が進行したものの大規模に修繕するより、トータルコストは安く、また、路面の供用性水準においても望ましいとの結論を得ている。

維持修繕を最も経済的に実施するには、極力早期に点検・修繕を行うのが最も望ましく、道路審議会の建議「21世紀をめざした道路づくりへの提言」の中の「従来のこわれてから補修する後追い的な維持修繕でなく、安全性を確保する予防的な維持修繕への転換を図る」との提言の趣旨を踏まえ、今後とも望ましい水準の達成に向けてたゆまぬ努力を続けていく必要がある。

2. 舗装の現状

(1) 道路種別舗装ストックの現状

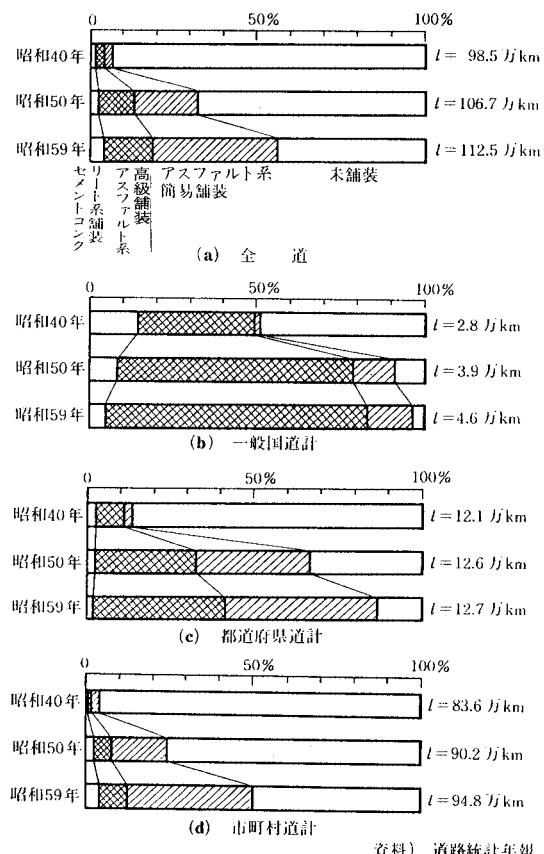
a) 路面種別にみた場合

わが国の道路は、道路法に基づいて新設・改築その他の管理が行われている。道路法では、道路を高速自動車国道、一般国道、都道府県道、市町村道に区分しており、それぞれについて道路管理者を定めている。

図-1はこれらの全道路および道路の種類別〔高速自動車国道($l=3435 \text{ km}$, 59年4月1日現在、舗装率100%)を除く〕に路面種別の延長シェアの推移を3つの年度にわたって示したものである。路面の種類は、セメントコンクリート系、アスファルト系高級舗装（アスファルト舗装要綱に基づいて設計されたもの、以下同じ）、アスファルト系簡易舗装（簡易舗装要綱に基づいて設計されたもの）、未舗装の4通りである。

道路全体では（図-1(a)）、昭和59年においても約45%の未舗装部分があり、舗装部分でもその約2/3がアスファルト系簡易舗装である。すなわち昭和40年以降舗装延長は急速に伸びてきてはいるが、まだストックとして十分な状態にあるとはいえないことがわかる。またセメントコンクリート系舗装のシェアはアスファルト系に比較して非常に小さく、伸び方も鈍いようである。

これを道路種別にみたものが図-1(b), (c), (d)であり、舗装の現状からみた各道路の特徴がよく現われている。まず、一般国道では、未舗装区間が急速に解消されており、アスファルト系高級舗装の占める割合が大きくなっている。また、アスファルト系簡易舗装も相当量を占めるが、セメントコンクリート系舗装は大きく



資料) 道路統計年報

図-1

シェアを後退させている。次に都道府県道であるが、これについても一般国道と同様未舗装区間は急速に解消されつつあるといえるが、これは高級舗装の増加もさることながら、簡易舗装に負うところが大きいのが特徴である。また市町村道においても未舗装区間の解消ははかられているが、延長が大きいこともある、現在ようやくその半分程度の舗装がおわったところである。大部分はアスファルト系簡易舗装であるが、セメントコンクリート系も他の2道と異なりそのシェアを伸ばしているのが特徴的である。しかしながら市町村道におけるセメントコンクリート系舗装は、セメントコンクリート舗装要綱によるものは少なく、多くはもっと簡単な方法で施工されているものと思われる。

b) 経過年数別、供用性別にみた場合

一般国道の管理は、指定区間 ($l=19.975 \text{ km}$, 59年4月1日現在) を建設大臣、指定区間外 ($l=26.442 \text{ km}$, 同) を都道府県知事が行っている。以下では、管理主体別に舗装の現状をみるとする。

一般国道の高級舗装済み区間について、新設または補修後の経過年数別にストック（延長）を表わしたもののが

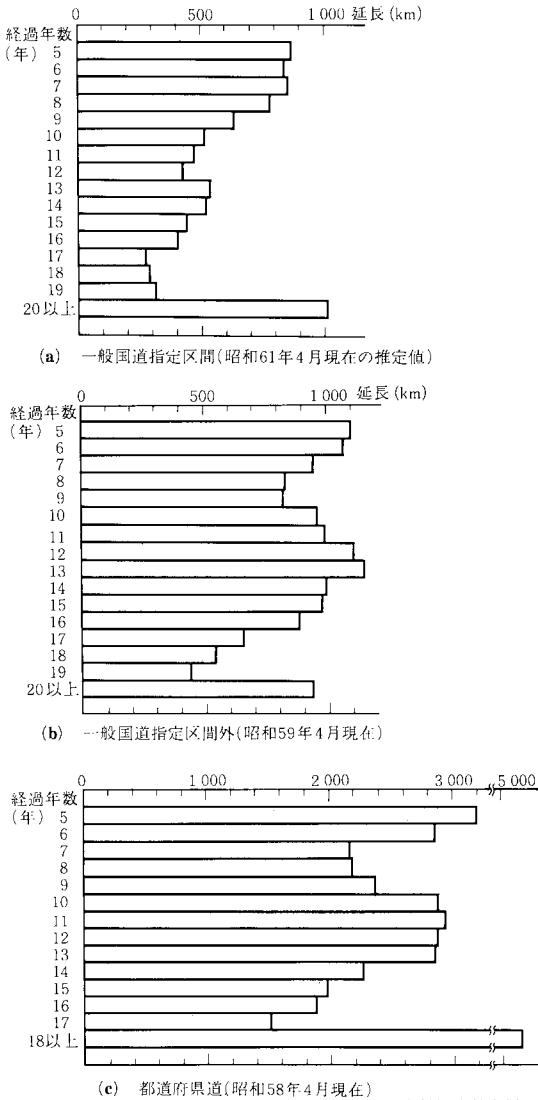


図-2

図-2(a) (指定区間), (b) (指定区間外) である。また図-2(c) には都道府県道 (都道府県知事が管理)について同様に示している。なお、これらの図は、資料の関係で同時点のものではないため、直接の比較は行い得ないことに注意する必要がある。また一般国道指定区間には、北海道、沖縄の分を含んでいないことにも留意しなければならないが、各道別のストックの特徴はおおむね把握することができる。すなわち、指定区間 (一般国道指定区間のこと、以下同じ) のストックが急速な減少をみせはじめる経過年数は 10 年前後であり、その後の経年によるストックの減少は比較的のんびらかである。それに対し、指定区間外 (一般国道指定区間外、以下同じ)

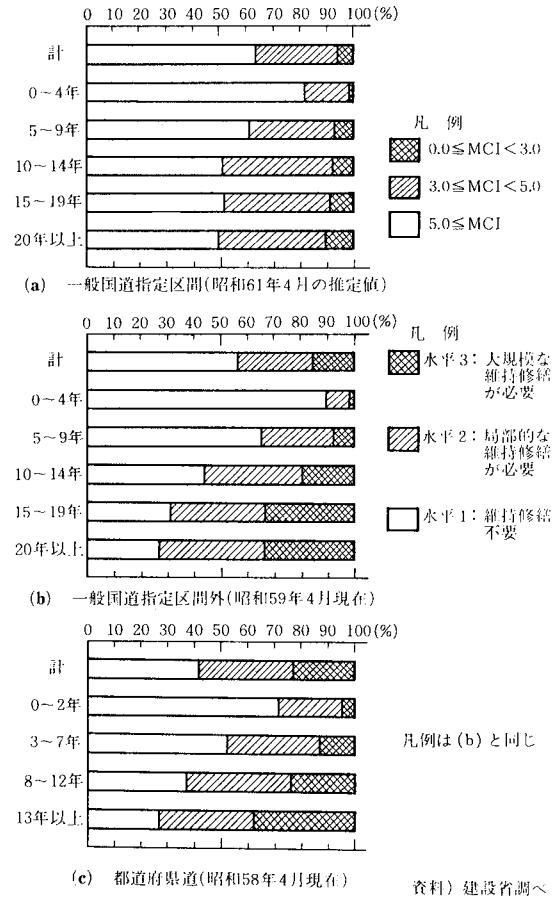


図-3

および都道府県道のストックが減少をみせはじめるのは 15 年前後である。このことは、舗装の修繕時期のピークが道路種別で若干相違があることを表わしている。

次に舗装の供用性 (いたみぐあい) に着目してストックの状況をみてみよう。図-3 は、指定区間 (a), 指定区間外 (b), 都道府県道 (c) についてそれぞれ経過年数クラス別に供用性別のシェアを表したものである。この図についても図-2 と同様調査時点が一致しないことのほかに、パラメーターの測定方法、供用性の評価方法が指定区間とその他で異なるので注意を要する。指定区間については、路面のひびわれ、わだち掘れ、縦断凹凸の 3 つを路面性状調査車により測定し、これから MCI (4. (4) で説明) を計算して供用性を評価したものである。これに対し指定区間外および都道府県道については、路面のひびわれとわだち掘れを目視により調査し、道路維持修繕要綱の基準を適用して 3 つにランク分けしたものである。この基準により MCI を計算すると水準 2 で $MCI = 4.9$ 、水準 3 で $MCI = 3.5$ が得られるので、MCI のランク分けはこれに近似させて $MCI =$

3.0, 5.0で行っている。また資料の関係から都道府県道の経過年数によるクラス分けは他と異なっている点にも留意しなければならない。

いずれの場合においても、経年数が増すにつれて要補修シェアが増加しており、平均的な供用性は毎年の維持修繕事業の実施にもかかわらず経年とともに低下していることがわかる。

またこの傾向は、指定区間外および都道府県道において著しいようである。

(2) 補装事業量(フロー)の推移

近年における道路種別の舗装事業量(舗装面積)の推移を図-4に示す。これは、道路事業として実施された舗装工事の各年別延長を面積に換算したものである。実線が舗装新設事業(簡易舗装を含む), 破線が舗装補修事業(高級舗装の修繕)である。全体的な傾向として、舗装新設事業量は昭和45年度以降漸減の方向で推移している。特に45→50の減少は大きいようであり、これ

はオイルショックの影響であると考えられる。これに対し、舗装補修事業量は、やはり45→50でややダウンの傾向を示したが、その後は徐々に増大しており(市町村道においては55→59でやや減少しているが⁵⁾、ストックの増大と老化に伴う補修の必要量の増大に対応して事業量を増やしているようすがわかる。

また、新設と補修の対比についてみると、これは道路種別の舗装ストックの状況(図-1)ときれいに対応しているといえる。すなわち、一般国道については比較的高級舗装化が進んでおりストックが大きいことから最近では補修面積が新設面積より大きくなっている。都道府県道では高級舗装化率は4割強であるが、昭和59年度事業量は新設・補修ほぼ等しくなっている。一方市町村道では、舗装率そのものが低いため新設事業が主体である。

このように、高級舗装化が進むにつれて、当然のことながら補修事業の重みは増してくる。したがって今後の舗装事業は確実に補修が主体となってゆくものと考えられこの点からも早急に合理的な舗装補修のシステムを確立する必要があるものと思われる。

3. 補装の寿命と設計の考え方

(1) 補装寿命と供用性

道路利用者や道路管理者あるいは沿道住民が良好な舗装路面としてそれぞれ抱いている状態は必ずしも一致しないものである。道路利用者にとっては乗り心地の善し悪しが関心の中心であり、多少の路面のひびわれは問題としないが、路面の凹凸やわだち掘れを嫌う。一方、道路管理者は、構造的な破損につながるひびわれやすべりに関心をもち、それらの欠陥がないものを良好な路面と考えがちである。このように、舗装の破壊に対する考え方は立場により異なるものであるが、合理的な構造設計を行うためには舗装路面の供用性を的確に評価し、寿命を定量化することが必要となる。供用性評価の尺度となるものは路面のひびわれや横断凹凸量(わだち掘れ量)、縦断凹凸量などの舗装路面の破損の状態を示す指標のほか、乗り心地やすべり摩擦などの種々の要因があり、それらは交通荷重の繰り返しと相まって月日とともに変化するが、その進行過程は要因によってさまざまである(図-5)。

わが国も含めて各国の舗装の構造設計法に革命的な影

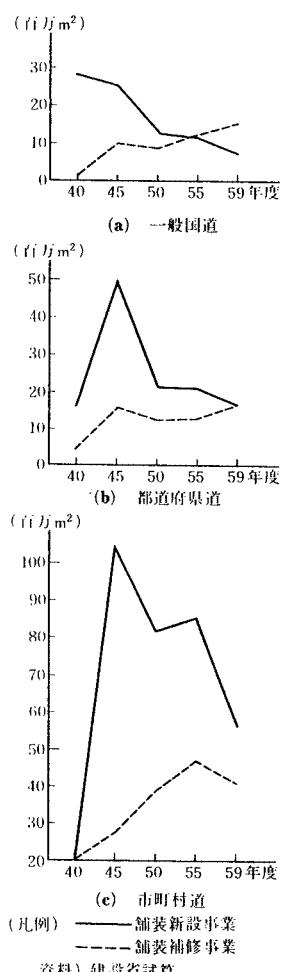


図-4

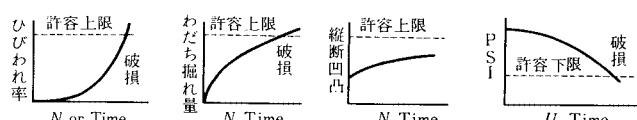


図-5 路面破壊の進行過程

表-1 舗装供用性の評価

PSR	評価
5	非常に良好
4	良好
3	普通
2	悪い
1	非常に悪い

響を及ぼしたものに AASHO 道路試験があるが、約 10 年の歳月と 100 億円（当時）の費用を投じ 1962 年にその結果が公表されたこの試験では、舗装の供用性評価のためにサービス指数 (PSI) の概念を初めて導入した。これは道路利用者を含め複数のパネラーによって指定区間の乗り心地を表-1 のような 5 点法で採点し、その各区間ごとの平均点（測定時サービス性能評価=PSR）を求め、この主観的に決められた PSR とその区間の各種路面性状の客観的測定値との間に相関分析を行い、その結果、ひびわれ、わだち掘れ量、縦横方向の凹凸を選んで重相関分析によりアスファルト舗装に適用される次式の評価式を作成した。

$$\text{PSI} = 5.03 - 1.91 \log(1 + \overline{SV}) \\ - 0.21 RD - 0.01 \sqrt{C + P} \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここに、PSI：サービス指数

\overline{SV} ：縦断方向の凹凸度の分散の平均値

RD：わだち掘れ量 (cm)

C：ひびわれ度 ($m^2/1000 m^2$)

P：パッチング度 ($m^2/1000 m^2$)

この PSI は交通荷重の繰り返しによって徐々に低下するが、AASHO 道路試験では PSI が 2.5 となった時点を舗装としての走行快適性を欠く限界で、かなりの修繕を必要とする状態とし、また、PSI が 1.5 に低下した時点を再舗装が必要な破壊に達した状態とした。図-6 に AASHO での PSI の実測例を示す。この例は同一荷重条件下における異なる舗装構成区間のサービス指数の履歴を示したものであるが、舗装構造によって同一交通条件下でも PSI の変化が相違することがわかる。このような、PSI に代表される舗装の供用性評価の概念の

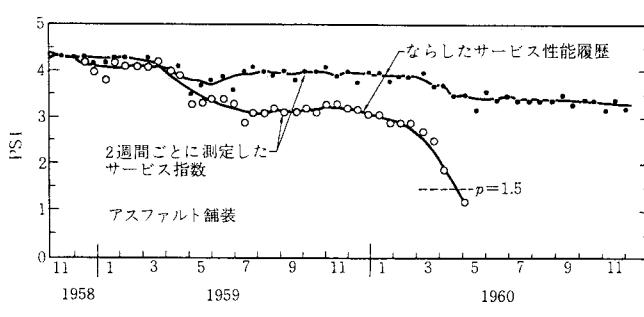


図-6 サービス性能履歴の例

開発によって舗装の寿命が定量的に扱えることになり、所要の舗装寿命を保障し、かつ交通荷重の大小に対応した構造設計が可能となつた。

(2) アスファルト舗装の構造設計法

わが国の道路におけるアスファルト舗装は一般に表層の厚さが 5 cm 以上のいわゆる高級舗装と表層の厚さが 3~4 cm 程度の簡易舗装に大別される。高級舗装の構造設計はアスファルト舗装要綱（日本道路協会）に基づいて行っている。このアスファルト舗装要綱は昭和 36 年の刊行以来、42 年、50 年、53 年と数次にわたって改訂されてきたが、構造設計の基本は昭和 42 年にはば確立された。昭和 42 年以前の設計法はいわゆる CBR 法であって、図-7 に示す CBR 設計曲線によって路床土の強度を表わす設計 CBR に対応する所要の舗装合計厚を A, B, C の 3 つの交通区分別に定め与えていた。

昭和 30 年代より始まったわが国経済の高度成長に伴い、自動車交通も急増し、それらの交通需要に対処するため道路舗装整備も急速に推し進められてきた。しかし、交通量の増加とともに車両の大型化も進行し、舗装が早期に破壊する事例も著しくなったため、舗装設計法の再検討が昭和 40 年前後より行われてきた。そして、おりから発表された AASHO 道路試験の報告において、舗装材料の相対的強度特性を考えた舗装厚指数という考え方方が導入されたほか、交通車両の軸重と舗装の供用性との間に密接な関係（いわゆる 4 乗則）があることが示された。そこで、この AASHO 道路試験の成果にわが国独自の調査結果も踏まえて昭和 42 年に舗装要綱が改訂され、その基本は現要綱にも踏襲されている。現行のアスファルト舗装要綱の構造設計の基本となっているものは、舗装合計厚 (H) および舗装全厚を表層・基層用の加熱アスファルト混合物に換算した厚さ (T_A) がそれぞれ式 (2), (3) を満足するように舗装構成を決めるという考え方である。

$$H = 28.0 N^{0.1} / CBR^{0.6} \quad \dots \dots \dots (2)$$

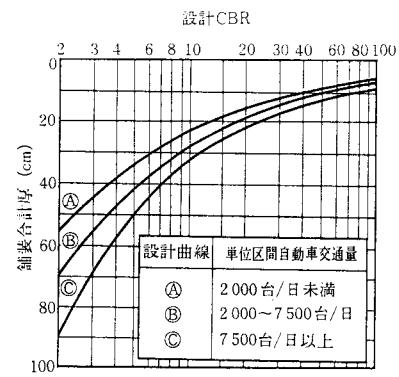


図-7 設計曲線

表-2 交通量区分と5t換算輪数

交通量区分	5年後の大型車交通量 (台/日・1方向)	5t輪荷重換算通過 回数(時/1方向)
L	100未満	3×10^4
A	100以上 250未満	15×10^4
B	250以上 1,000未満	100×10^5
C	1,000以上 3,000未満	700×10^6
D	3,000以上	$3,500 \times 10^7$

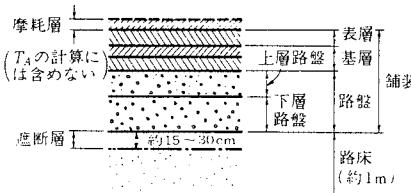


図-8 アスファルト舗装の構成と各層の名称

$$T_A = 3.84 N^{0.16} / \text{CBR}^{0.3} \dots \dots \dots \quad (3)$$

ここで、 H ：舗装合計厚 (cm)

T_A : 補装をすべて表層・基層用加熱アスファルト混合物に換算した厚さ (cm)

N：供用予定期間（通常10年）における通過全車両（1方向）の輪荷重を5トン輪荷重に換算した数（輪／1方向）

CBR：路床土の設計 CBR

ここで N については大型車交通量によって区分された L , A , B , C , D 交通の各区分に対し、表-2に示す輪数が与えられているので、一般には大型車交通量の区分と路床土の設計 CBR がわかれば、所要の合計厚 H と T_A は求められる。また、舗装には図-8に示す各層ごとにさまざまな材料が用いられるが、舗装構成の決定に当たっては、それらの材料ごとに表層・基層用アスファルト混合物への換算値（等値換算係数）が AASHTO およびわが国での試験舗装結果に基づき要綱で示されており、適正な舗装構成の決定ができるようになっている。

道路舗装は単一の荷重で破壊する例はほとんどないが、繰り返し載荷を受けることにより材料が疲労して破壊に至る。このため設計においては軸重の異なる交通荷重を一定の条件のもとに標準化する必要がある。舗装ではマイナー則と類似の破壊係数の概念が用いられ、その値は図-9に示すとおり種々のものが提案されているが、わが国の4乗則は図の破線で記されたものでAASHO やアスファルト混合物の繰り返し疲労試験から得られた Deacon の係数とほぼ同じ値をとる。この4乗則を用いて各地の車両重量調査結果を5トン輪荷重に換算した値と大型車交通量との関係は図-10に示すところである。

ところで車両制限令では道路を通行する車両の輪荷重は最大5トン(車両総重量で20トン)までとなっており、

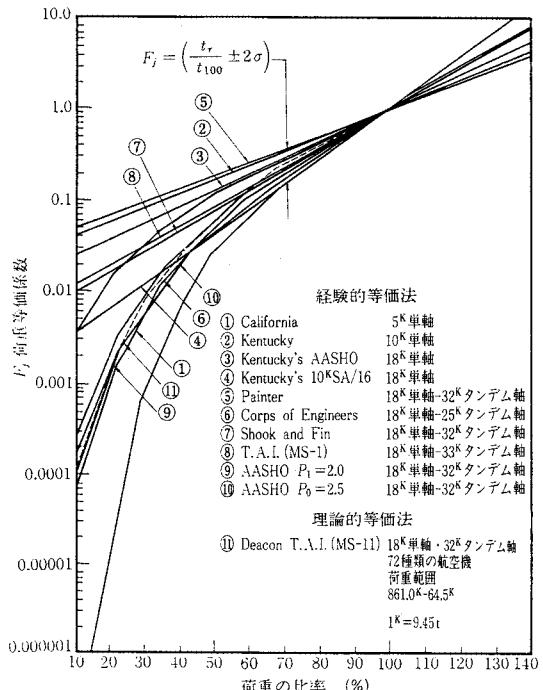


図-9 種々の荷重等価法の比較

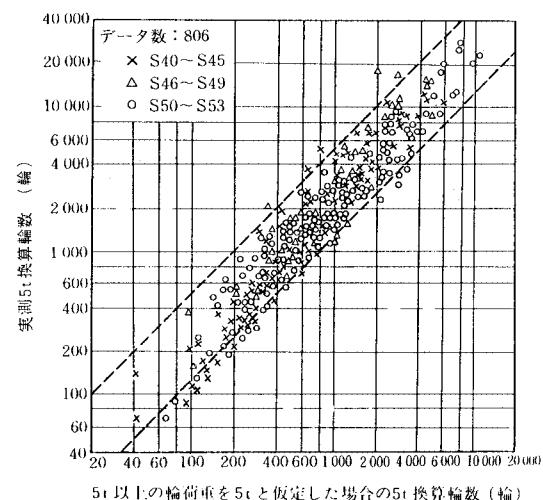


図-10 過積載車の交通荷重への影響

輪荷重 5 トンを超える車両は少数の許可されたものを除き存在しないはずとなっているが、現実には表-3に示すとおり、過積載車が多く、輪荷重 5 トンを超える輪数が D 交通（大型車交通量が 1 日 1 方向 3 000 台以上）で平均 4.9 % にもなっている。要綱では、この実績を踏まえた数値を用いているが、仮に大型車両がすべて輪荷重 5 トンの規制を遵守しているとするならば、これらの道路における道路交通の 5 トン換算輪数は現状の 20

表-3 平均輪荷重分布 (S 50~53 年の平均)

交通量区分	大型車混入率 (%)	全交通量 (万台/日) 平均	大型車交通量 (万台/日) 平均	輪数 (ある輪荷重以上の輪数) の割合 (%)													5t 按算輪数 (輪)	
				0~1t	1~2t	2~3t	3~4t	4~5t	5~6t	6~7t	7~8t	8~9t	9~10t	10~12t	12~14t	14t以上	計	
B	4 994	744	15.2	8 305 (100)	757 (17)	455 (9.8)	241 (5.2)	119 (2.83)	76 (1.64)	43 (0.89)	23 (0.46)	13 (0.23)	5.9 (0.10)	3.8 (0.042)	0.43 (0.004)	0 (0)	10 043	816
C	8 523	1 959	22.0	13 187 (100)	1 904 (26)	1 331 (15)	657 (8.0)	356 (4.3)	212 (2.29)	113 (1.10)	49 (0.47)	20 (0.19)	83 (0.08)	4.5 (0.033)	1.4 (0.008)	0 (0)	17 845	1 817
D	12 558	4 980	39.7	15 824 (100)	3 863 (43)	3 501 (29)	2 070 (16)	1 085 (8.8)	657 (4.9)	379 (2.51)	168 (1.14)	87 (0.54)	38 (0.22)	22 (0.084)	1.4 (0.005)	0 (0)	27 697	6 155

~80 % 程度に減少するので交通荷重に対する舗装の負担は相当に緩和され、その分だけ舗装寿命を伸ばせるか舗装厚を薄くすることが可能になる。

4. 舗装の維持管理と維持修繕工法

(1) 維持管理の目的と手順

舗装は、交通荷重、気象条件等の外的的作用を常に受け、また舗装自体の老朽化などにより、放置しておけば供用性が低下し、やがては円滑かつ安全な交通に支障をきたす。これを防ぐためには常に路面の状態を把握し、適切な時期に適切な維持修繕を行なうことが肝要である。

1. 述べたように、舗装の維持管理の目的は次の 3 つに大別できる。

- 1) 舗装の耐久性を確保し、舗装の構造機能を保つ。
- 2) 路面の走行性を確保し、交通の安全と快適性を保つ。
- 3) 舗装に起因する沿道環境の悪化を防ぐ。

維持修繕は、上記の目的を達成するよう路面の調査、評価等を計画的に行って適切な時期に適切な方法で措置

をとらなければならない。

路面の調査、評価から箇所、工法の選定に至る維持管理の全体フローは図-11 のように示すことができる。このフローの中で、定期的な路面調査（ひびわれ率、わだち等の調査）は、管理する道路網全体をモニターする目的で、自動測定車等を用いて行い、その結果は舗装のデータベースに保管し定期的に更新する。同時に通常および異常時等の巡回（パトロール）によって特に安全にかかるポケットホールなどの有無をチェックする。以上の結果を受けて路面の総合的な評価を行うが、この評価は構造的評価と機能的評価とに分けて実施するが多い。次にこの結果を評価基準値等と比較し、交通量、沿道条件、予算レベル等を勘案したうえで、維持修繕の要否の判断を行う。そして、補修を必要と判断した区間について、工法の選定や工事時期の選定に関する検討を行い、最終的な設計や工事へと進む。

(2) 路面の破損

舗装は交通の繰返し荷重によって、路面性状に変化を生じやがては疲労して破損に至る。すなわち、舗装の破損は、支持力、交通量、舗装厚さの 3 つのバランスが失われることによって生じるものであり、その性格により次のように区分することができる。

① 主として路面性状に関する破損

② 主として構造に関する破損

①の破損は主として供用性に関するもので、路面の走行性や交通の安全、快適性、舗装に起因する沿道環境の損害に直接結び付き、やがては舗装の耐久性や構造の機能を損なうものである。路面の局部的なひびわれ、変形（流動に伴うわだち掘れ等）、摩耗などがこれに相当する。②の破損は、①の進行したもので、舗装の耐久性や構造を直接に阻害し、供用性の低下はもちろんしばしば全面的な破壊につながる。亀甲状ひびわれ、コンクリート版の版全深にわたるひびわれなどがこれに相当する。また、舗装の破損を一般的にみると、路面性状に関する破損が先行し、その後しだいに構造的な欠陥が現われ、最終的に全体的な構造破壊に及ぶという経過をたどるこ

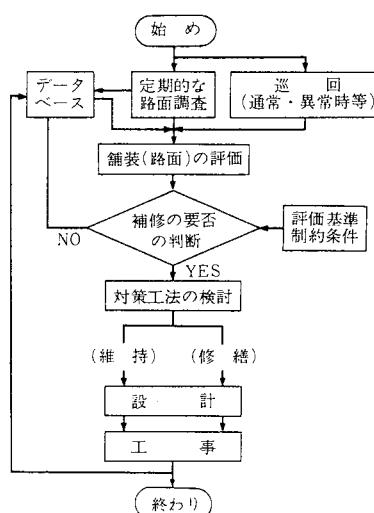


図-11 舗装維持管理のフローチャート

となる。以下、主な路面の破損とその交通等への影響についてアスファルト舗装を例にとって解説する。

① わだち掘れ

わだち掘れは、重交通の繰返し載荷による流動やスパイクタイヤ等による摩耗などが原因となって生じるが、わだち掘れができれば、降雨などによって帶水を生じ、周囲の人家、通行人に水しぶきを浴びせ、対向車、継続車は安全な走行を阻害される。また、高速走行時には路面のすべり抵抗性が著しく低下する。わだち掘れがさらに大きくなると、車のハンドル操作が困難になり、運転者に不安感を与える。

② 段差

構造物取付け部等での転圧不足や不等沈下などが原因で生じる段差は車に大きな衝撃を与え、二輪車などでは往々にして大きな事故の原因となる。車の衝撃力は、舗装はもちろん、橋梁など構造物に作用して損傷を招き、騒音の発生源として、また、その際に生じた地盤振動が周辺に伝播して道路に起因する環境の悪化をもたらすことがある。

③ ポリッシング

ポリッシングによるすべり抵抗値の低下は車の停止視距を短くし、交通の安全を妨げる。特に、運転者の不注意や見込み運転などや道路の線形、わだち掘れによる帶水などが複合して高速走行する道路で事故が生じることが多い。

④ 縦断方向の凹凸

縦断方向の凹凸は、路床、路盤支持力の不均一や混合物の品質不良などに起因して発生する。縦断方向の凹凸が顕著であれば車の走行の快適さが失われて運転者の疲労の増大、燃料費の増加、車体の損耗も促進される。また車体の上下運動の過程では、路面とタイヤとの接地点が減じて安全性の阻害を招く。また、車の上下運動は舗装に対する衝撃的な負荷となり舗装の破損を早めことがある。

⑤ ひびわれ

ひびわれは、混合物の品質不良、施工不良、路床の支持力不足、不等沈下、舗装厚不足などが原因となって発生するが、種々の路面破損の中でも舗装の耐久性に大きく影響を及ぼす。すなわち、表層に局部的に生じたひびわれは、やがては舗装構造全般に疲労をもたらし、また、雨水等が侵入して破壊を促進し寿命を短くすることになる。

⑥ ポットホール

ポットホールも転圧不足や混合物の品質不良が原因となって生じるが、歩行者や自転車のみならず、自動車の交通安全、走行性、快適性を直接的に阻害するので最も重視して観察する必要がある。一般には、亀甲状のひび

われが進行してポットホールになることが多い。

(3) 路面の調査

舗装路面の調査は路面の状態、舗装の壊れ方、破損原因を把握するためのものであり、管理する道路網全体の路面状態をモニターする定期的な調査と、特に箇所を絞って維持修繕工法の設計等のために行う詳細調査とに分けられる。調査項目は調査の目的により異なるが一般に、ひびわれ、わだち掘れ、縦断方向凹凸、段差、すべり抵抗、たわみ量等が対象になる。以下、主な破損の測定法について簡単に説明する。

① ひびわれ

ひびわれの度合は、その程度と広がりで評価するのが基本であるが、一般的には、広がりにのみ着目したひびわれ率（コンクリート舗装の場合ひびわれ度）で表わしている。測定法は、スケッチによる方法と自動測定車（写真連続撮影）による方法とがある。

② わだち掘れ

わだち掘れの測定は調査対象区間をサンプリングして適当な間隔で各断面の最大値を測定する。測定の方法には、直線定規または水糸による方法とわだち掘れ測定車による方法とがある。

③ 縦断方向凹凸量

路面の縦断方向の凹凸は足付き直読式凹凸測定機、3m プロファイルメーターや縦断凹凸測定車を用いて測定し、調査区間の測定値の標準偏差をもって凹凸量としている。

④ たわみ量

舗装路面のたわみ量は、舗装の構造的な安定性を評価する有効な方法であり、舗装の寿命を予測させるばかりでなく、破壊原因の解明や修繕工法の採択に役立て、さらには後で述べるようにオーバーレイ厚の設計にも用いられる。たわみ量の測定には、一般にベンケルマンピームが用いられているが、最近はダイナフレクトや FWD（フォーリングウェイトデフレクトメーター）などの動的なたわみ測定装置も開発され実用化の段階に至っている。この種の装置の利点は測定の高速度化、低コスト化が可能であること、さらには現実の輪荷重に相当する動的な荷重をかけることが可能なことである。

⑤ すべり

舗装路面のすべり抵抗は交通事故に直接つながる重要な要因であり、これを定量的に把握し、設計の段階から維持修繕の段階まで必要に応じてチェックしておくことが大切である。

定量的に把握する方法、大型試験車を用いる実車測定法から、動的状況を可変的に測定する簡便法、単一方式による測定法などいろいろあるが、路面のサービスティを適格に把握できるように努めることが必要である。

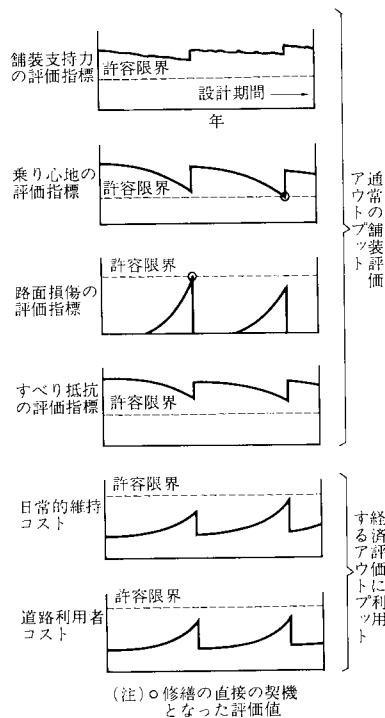


図-12 舗装評価のアウトプット

る。

(4) 路面の評価と維持修繕の要否の判断

路面の調査によって求められたデータをもとに舗装の評価が行われる。舗装の評価は図-12に示すように支持力、乗り心地、路面損傷、すべり抵抗に分けて考えることができる。この図は、横軸に年数、縦軸にそれぞれの評価指数を表わしたものであるが、定期的なデータの収集によって、評価指標の系的変化(パフォーマンス)を予測することが可能になる。ここで、支持力はたわみ量をもとにした評価、乗り心地は縦断方向の凹凸が主な要因となって定まる利用者の主観評価、路面損傷はひびわれ、わだち量等表面的な損傷をウェイトづけして求めた評価指標である。また、日常的維持コストと利用者コストは経済評価に用いる評価指標で、日常的維持コストは、パッチングなどの管理者が定的に支出する費用である。一方の利用者コストは、燃費や車の減価償却費など道路利用者側の費用で路面状態が悪化するにつれて上昇する。なお、図中に○で示したのは修繕を実施する契機となった評価値である。

建設省では路面損傷の各要因を維持修繕の必要性という観点から総合化して求めたMCIという指標を維持修繕の必要性の評価に利用している。なお、MCIは次式で算出される。

$$MCI = 10 - 1.48 C^{0.3} - 0.29 D^{0.7} - 0.47 \sigma^{0.2} \dots (4)$$

表-4 維持管理指標 MCI による
維持修繕基準

MCI	維持修繕基準
3以下	早急に修繕が必要
4以下	修繕が必要である
5以下	望ましい管理水準

$$MCI_0 = 10 - 1.51 C^{0.3} - 0.3 D^{0.7} \dots (5)$$

$$MCI_1 = 10 - 2.23 C^{0.3} \dots (6)$$

$$MCI_2 = 10 - 0.54 D^{0.7} \dots (7)$$

ここに、MCI：維持管理指標

$MCI_0 \sim MCI_2$: 2特性、ひびわれ率、わだち掘れ量から求めた指標

C: ひびわれ率 (%)

D: わだち掘れ量 (mm)

σ : 縦断方向凹凸量 (mm)

MCI を用いた維持修繕の要否の判断は、表-4を参考にして行う。さらに個々の破損についての維持修繕の要否を判断する場合には、破損の種類とその大きさによっては、MCIの値に無関係に維持修繕を必要とすることがある(たとえば、段差、ポットホール等)、この場合には道路の種類ごとに道路維持修繕要綱に示された目標値を参考にして維持修繕の目安を定めることがある。

(5) 維持修繕工法と設計法

維持修繕の工法は大きく維持工法と修繕工法に分けられる。ここでは、舗装の破損を経常的に補修するもので根本的に修理するものではなく、あくまで応急的な修理によって、供用性を維持するのを維持工法とし、舗装の破損がはなはだしく通常の維持工法では良好な路面を維持することが困難になった場合に、抜本的な対策をもって構造的に安定な舗装に補修するのを修繕工法と区分することにする。

以下、アスファルト舗装に对象を絞って主な維持修繕工法の概要を記述する。また、最近採用が増えているサーフェースリサイクリング等の既存舗装の再生利用工法は別途記述することにする。

a) 維持工法

アスファルト舗装の維持工法を大別すると、パッチング、表面修理、切削等に分けられる。

① パッチング

パッチングは応急的な処理であり、ポットホール、段差、局部的なひびわれやくぼみなどに舗装材料で填充する方法である。パッチングは舗装にできた破損箇所をできるだけ早い機会に修理することを本旨とするものであり、破損箇所に舗装材料を直接埋め込んだりわめて暫定的な方法と、不良部分を若干大きめに切り取り舗装を修理する方法とがある。一般に用いられている工法は、加

熱混合式工法、常温混合式工法、浸透式工法の3種類である。

② 表面修理

表面処理はアスファルト舗装表面に局部的なひびわれ、変形、わだち掘れ、縦断方向の凹凸、摩耗などの破損が生じた場合に、その既存舗装に2.5cm以下の薄い封かん層を施す工法である。雨期または寒冷期の前に実施すれば、路面を良好な状態に保つことができるので、予防的処置としてはきわめて有効である。表面処理には、シールコート、アーマーコート、カーペットコート、フォグシール、スラリーシール、樹脂系表面処理などが含まれる。

③ 切削

アスファルト舗装表面に、連続的あるいは断続的に凹凸が発生して平坦性が損なわれた場合、その部分を機械によって削り取り、路面の平坦性やすべり抵抗を回復させる工法であり、特にわだち掘れに対しては有効な工法である。施工は加熱式と常温式とがあり、加熱式による路面の切削方法は、凹凸が発生した路面をあらかじめ機械に装備されている加熱装置によって、60~180°Cに加熱し路面を軟化させた後、ロータリーカッター等のついた機械で削り取るものである。

b) 修繕工法

アスファルト舗装の修繕工法には打換え、オーバーレイ、切削オーバーレイ等の方法があるが、いずれも維持工法に比べ高価である。舗装が全面的な破損に至る原因是舗装厚さの不足、混合物の不良、路床・路盤の不適、地下水、交通量の増大等が考えられるので、修繕工法を採用する場合には慎重に検討する必要がある。ここでは、修繕工法の中でも最も一般的なオーバーレイに絞って設計法を説明する。

オーバーレイは、在来舗装の強さ不足を補うほか、路面の平坦性の改良、クラックなどからの雨水の侵入を防ぐ目的も兼ねるのである。オーバーレイの厚さいかんによっては沿道住居への出入り、排水の関係などから本工法が採用できない場合があるので道路状況を勘案して工法を決定すべきであり、これによりにくい場合は切削オーバーレイ、打換えなど他の工法を検討する必要がある。オーバーレイ厚の設計法には経験的手法の代表としてのCBR法(または T_A 法)、半経験的手法のたわみ法、さらに弾性理論に基づいた設計法がある。以下、それぞれの方法の代表例を簡単に紹介する。

① CBR によるオーバーレイ厚の設計法（道路維持修繕要綱による）

舗装の破損状況に応じて在来の舗装をアスファルトコンクリート等値換算厚(T^*)で評価する。次に路床の強度(設計CBR)と将来の大型車交通量(おおむね5

年後) からアスファルトコンクリート等価換算厚 (T_A) をアスファルト舗装要綱より求め、次式によりオーバーレイ厚を求める。ただし、 t の値は沿道条件などから最大値 15 cm 程度とし、この値以上の場合には他の工法を検討する。

$$\text{オーバーレイ厚 } t(\text{cm}) = T_A - T_A^2$$

② たわみによるオーバーレイ厚の設計法（道路維持修繕要綱による）

この方法は、修繕対象区間の舗装表面のベンケルマンピームによるたわみ量の測定結果から在来路面のたわみ量 D を求め D と交通量に応じたオーバーレイ厚さを求めるものである。たわみ量の測定は対象区間の各車線の走行輪の位置で行う。在来路面のたわみ量 D の算出法は次のとおりである。

ここで、 D ：在来路面のたわみ量

d ：たわみ測定値の平均値

V ：測定値の不偏分散の平方根

f: 舗装体のアスファルトコンクリー

分の平均温度によ

③ 多層弾性理論による設計

最近、舗装各層の変形係数を推定したうえで、多層弾性理論による計算プログラムを使ってたわみや路床面のひずみなどを計算し、たわみやひずみの限界曲線（路床面ひずみと累積通過輪数の関係曲線など）から適当なオーバーレイ厚を求める試みが数多くなされている。このように、多層弾性理論を有効に活用することによって従来の手法では困難であった舗装の内部の評価が可能になり、また舗装の挙動に密接に関係があるとされるアスファルト層や路床のひずみ量に基づく設計が可能となつた。なお、舗装各層の変形係数を求めるのにFWDなどで測定した動的たわみを使って繰り返し計算をする手法も開発されている。

(6) 既設舗装の再生利用工法

切削、打換え等の維持修繕工事に伴い発生する舗装廃材は、産業廃棄物に指定されているためその処分にあたっては種々の制約がある。特に近年、舗装ストックの増加、交通量の増加、車両の大型化等に伴い維持修繕工

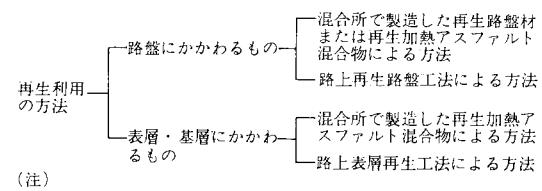


図 13 断続鍛造再生利用工法の分類

事が増加し、舗装廃材の発生量が年々増えていく中で、埋立地等の処分地の確保が困難になってきた大都市圏を中心にこれら舗装廃材の適正処分が強く求められている。このような中で、既設舗装の再生利用は、時代の要請に答える新しい維持修繕技術として注目され現在に至るまでさまざまな技術開発が進められてきた。

既設舗装の再生利用工法には現状では以下に示すとおり、発生した舗装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現場で破損した既設路面をそのまま再生利用する方法がある（図-13）。

混合所で再生材を製造する方法については技術指針がまとめられており、新材料で作ったものと同等の品質の再生材を製造する技術が確立されている。製造実績も年々増加しているが、混合所の立地条件から大都市圏での利用が多い。

路上再生路盤工法は路上において既設アスファルト混合物を現位置で破碎し、同時にこれにセメントやアスファルト乳剤等の添加材料を混合し、締め固めて新たに安定処理した路盤を作る工法で昭和50年頃より研究開発が始められ、一部では設計の標準化も進められている。本工法は、軽交通の道路で構造的な破損が中心になった箇所への適用が多い。

路上表層再生工法は、路上において破損した既設アスファルト舗装を対象に、加熱、かきほぐし、敷きならし、締め固め等の作業を行うことで形状や品質を改善し再生する工法である。本工法は再生利用工法の中では最も新しく昭和55年頃から施工機械の開発が始まられ、その後試験施工等積極的に取り組まれている。本工法は路床、路盤に起因する構造的な破損が生じていない箇所を中心に適用される。

なお、これら路上再生路盤工法や路上表層再生工法では事前調査により、既設舗装の破損性状を十分把握したうえで合理的な工法選定を行うことが必要である。

5. 舗装のマネジメントシステムとトータルコスト

（1）維持管理の合理化のためのマネジメントシステム

道路舗装の維持管理は舗装構造および路面状態を所定の水準に保つことを目的に、交通量、気象作用、地形や地質条件さらにはその時々の技術水準、予算レベル等の多様な制約条件のもとで最適な戦略を定めるという非常に複雑な意志決定のプロセスであり、全体を総合化して最適解を求めるシステム的なものの考え方を導入することが不可欠である。このような時代の要請に対応するかのように、最近、舗装のマネジメントシステム（PMS）という概念と方法論が舗装技術者の間で世界的に脚光を

浴びてきている。道路管理者が管理する道路ストックの量が少ない間は、維持修繕の絶対量も少ないので、それぞれの箇所で個別に対応していくことが可能である。また、道路ストックが増大してきても潤沢な維持修繕予算が確保できている限りは必要な生じた区間から順次修繕することで問題は回避できる。ところが現実は、道路ストックは増大し、同時にそのうちのかなりの部分が更新の時期を迎え、一方で維持修繕のための予算は厳しく制限されている。そこで、限られた予算を最大限に利用するために舗装の計画設計から維持修繕までトータルでとらえるマネジメントが必要になってきた。

（2）舗装維持修繕のトータルコスト

限られた予算の最も効率的な利用という観点から、舗装の新設時の設計および維持修繕の工法や工事時期を決定するためには、次の2つの経済性を同時に考慮したトータルコストで代替案を定量的に評価する必要がある。

- ① 設計期間中の長期の経済性という視点から舗装のライフサイクルコストを評価する。
- ② 工事費などの道路管理者側費用だけでなく、利用者側費用も含めた経済性を評価する。

このような評価は従来、技術者の経験に基づいて直観的に行われていたことであるが、より合理的な設計・維持修繕戦略を決定するには、この定量的な評価は欠かすことのできない要件である。特に、新設の際の構造設計の内容は将来の維持修繕の質と頻度に大きく影響を及ぼ

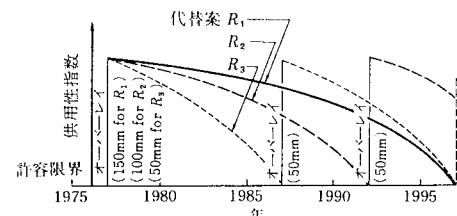


図-14 3つの修繕代替案のパフォーマンス予測

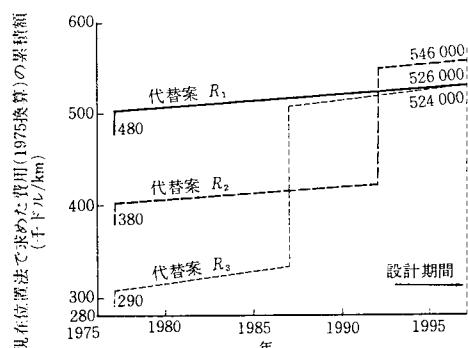


図-15 3つの修繕代替案の経済評価

表-5 3つの修繕代替案の費用計算（現在価値法による）

費　目	各代替案の1km当たりの費用(US\$)					
	R_1 費用と 発生年次 (1975)	R_2 費用と 発生年次 (1975)	R_3 費用と 発生年次 (1975)			
道路管理者費用						
① 第1回オーバーレイの建設費	560 000 (1977)	480 000	440 000 (1977)	380 000	340 000 (1977)	290 000
② 第2回オーバーレイの建設費	—	—	340 000 (1982)	110 000	340 000 (1987)	160 000
③ 日常的維持費	3 000 (毎年)	26 000	4 000 (毎年)	35 000	6 000 (毎年)	53 000
④ 残存価値(1997年時点)	40 000 (1997)	-8 000	60 000 (1997)	-13 000	40 000 (1997)	-8 000
現在価値法により1975価格に変換した道路管理者費用の合計		498 000		512 000		495 000
道路利用者費用						
① 時間費用、車両走行費用、事故費用等	省略	省略	省略	省略	省略	省略
② 第1回オーバーレイ施工時の時間費用、走行費用等の増加	30 000 (1977)	26 000	25 000 (1977)	21 000	20 000 (1977)	17 000
③ 第2回オーバーレイ施工時の時間費用、走行費用等の増加	—	—	40 000	13 000	30 000	14 000
現在価値法により1975価格に変換した道路利用者費用の合計		26 000		34 000		31 000
道路管理者費用、道路利用者費用の合計(1975価格)		524 000		546 000		526 000

注 1) ディスカウント率=8.0%を使用

すものであり、設計時から将来の維持修繕を念頭において検討を行うことが必要である。ここでは、既設舗装の修繕工法に関するトータルコスト分析の例を文献から抜粋して紹介することにする。

与えられた条件は、1977年に修繕の必要と判断された工事区間について、厚さの異なる3つのオーバーレイ代替案($R_1: 15\text{ cm}$, $R_2: 10\text{ cm}$, $R_3: 5\text{ cm}$)の中から、20年(1977~1997)という与えられた設計期間のもとで最も経済的な代替案を選定するというものである。図-14に、この3つの代替案の供用性の予測を示す。この図から明らかなどおり R_2 , R_3 については設計期間中に2回目のオーバーレイが必要になる。表-5が道路管理者側費用と道路利用者側費用の両者の現在価値法による費用計算を示す。図-15は、この表の結果を図示したものである。この図から、 R_2 が3つの中で最も高価な代替案であり、また、 R_3 は初期費用はきわめて低いものの、最終的には R_1 とほぼ同程度のトータルコストになることなどがわかる。なお、この例では車両走行費用の計算は基礎データの不足から省略されているが、最近の調査によると、この費用はきわめて大きく重要な要因であることが判明している。

(3) 舗装維持修繕の優先順位決定モデル

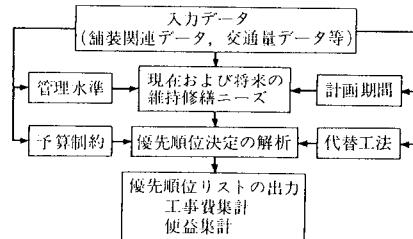


図-16 舗装維持修繕の優先順位決定フロー

表-6 優先順位決定モデルの特徴

	モデルの内容	長所と短所
番付 け 法	技術者の判断による主観的な順位付け	迅速、単純；個人により評価が異なり再現性がない；最適計画からはほど遠い
	供用性指數やたわみ量などの指標に基づく順位付け	単純で使いやすい；最適計画からは依然ほど遠い
	経済評価を含めた指標による順位付け	比較的単純；最適計画に近い
最 適 化 法	数理計画モデルによる年度ごとの最適化	比較的複雑；最適計画にかなり近い、修繕時期の選定ができない
	修繕時期の選定まで含めた数理計画モデルによる最適化	複雑；便益最大化などの形で最適計画を求めることが可能

舗装をネットワークでとらえた場合、維持修繕の個別箇所の選定は、与えられた予算制限のもとで、すべての区間に同時に評価したうえでトータルコストの経済評価

に基づき総合的なされなければならない。このような一連の評価、決定のプロセスを合理的に実行する定量化モデルのことをPMSの分野ではネットワークレベル優先順位決定モデルとよんでおり、その基本フローを図-16に示す。

優先順位決定モデルの機能は、箇所の選定、修繕工法の選定、実施時期の選定の3つに大別される。予算の最適配分を実現するには、この3機能をすべて備えたモデルが必要になるが、現時点において諸外国の道路管理者がルーチン業務に利用しているモデルの多くは、1つ(箇所選定)または2つ(箇所および修繕工法の選定)の機能を備えているものである。優先順位決定方法は、ひびわれ等の路面性状値や交通量をウェイト付けしたうえで組み合わせた評価指標を用いて順位付けをする番付け法と、線形計画法等のOR手法を用いて数学的に最適解を求める最適化法に大別できる。表-6にそれぞれのモデルの特徴を示す。

6. 今後の課題

これまで述べてきた舗装維持管理の実施方法は、永年の経験と技術の蓄積に基づいた一応合理的な方法であるが、批判的に検証すれば、①現場担当者の主観的判断の占める割合が大きく、したがって判断に偏りが出がちで、また、再現生がない、②修繕箇所や工法の選定基準が不明確であり、本来評価の基準であるべき長期の経済性が定量的にはほとんど考慮されていない、③各種維持修繕工法の長期の供用性が定かではなく、またその設計法も十分に確立されていない、などの問題点があり、また、全般的な問題として「長期的に最も効率的な維持修繕の実施という目的」のもとで最適な解に導くソフトの技術、すなわち舗装維持管理システム(Pavement Maintenance Management System: PMMS)という考え方方が不足している。そこで、日本の道路条件に合ったシステムの確立と、それによる維持投資の費用効果の改善が今後求められる。以上のような前提に立って、最後に道路舗装の維持管理に関する今後のいくつかの課題を簡単に示すことにする。

① 舗装データバンクの整備

舗装維持管理システムの出発点は路面性状を初めとしたデータであり、システムの善し悪しはこのデータを管理するデータバンクが握っているといっても過言ではない。システムの運用に必要なデータを効率的にファイルし、アクセスの容易なデータバンクが整備されなければならない。

② 路面調査の効率化

路面の調査は、全体ネットワークのモニター用と詳細調査用に分けられる。特にネットワークのモニター用に

測定機器の高速度化、低コスト化が進められなければならない。また、舗装の構造的な安定性の評価に欠かすことのできない、たわみ量の測定の簡素化および高精度化が強く求められる。また、路面調査の範疇には入らないが、車両重量調査の簡素化(可搬式ポータブル車重計等の導入)と、測定結果のデータベース化も重要な課題である。なお、こういった調査のための費用については、調査結果の利用によって得られる維持修繕投資額の節約等により十分にカバーされるはずである。

③ 舗装の評価手法の確立

舗装の評価は、構造評価、乗り心地評価、路面損傷評価、環境評価、安全評価等と評価する視点によって種々の方法があり、また、それぞれの評価は相互に密接に関連している。そのことは認めたうえで、システムを動かすには評価の単純化(具体的には総合化や指標化)が必要である。MCIはこのような評価指標の例であるが、経済的な評価という視点も含めて、時代の要請に合った適切な指標の開発を常に心掛けておく必要がある。

④ 精度の高い供用性予測式と工法選定基準の開発

③で基本要素が決まれば、次にそれが通過輪数や年数とともにどのように推移していくかを、精度よく推定する予測式が必要になる。この種の予測式は、過去の試験舗装等のデータから回帰分析を用いて求める方法、確率論的に求める方法、構造解析から求める方法などがある。この予測式を種々の維持修繕工法について求めておくことによって、長期の供用性を考慮した合理的な維持修繕工法選定の判断基準を作成することが可能になる。

⑤ 既設舗装の構造的評価手法と維持修繕工法の合理的設計法の確立

オーバーレイなどの維持修繕工法の設計の基本となるのは、既設舗装の構造的安定度の評価である。この評価は路面のたわみ測定結果を用いて将来交通量を勘案して行なうことが理論的には可能であるが、たわみ量の温度補正などの点で依然解決しなければならない問題が残っている。一方、既設舗装の再生利用工法については長期的な耐久性、等値換算係数の評価などの点で今後の調査試験が必要である。

⑥ 維持修繕の経済効果に関する検討

維持修繕による路面の供用性の改善に伴ってもたらされる道路利用者の便益を定量的に表現できれば、それを道路の維持管理に関する意思決定の基本的な判断因子にすることができる。一般に、この利用者便益は車両走行費用の節約度として計算されるが、車両走行費用に及ぼす路面性状(特に縦断凹凸)の影響についてはアメリカを中心とした検討がなされている。走行費用に含まれるのは、燃料消費、オイル消費、車の修理費、走行にかかる車の減価償却費などである。わが国では、この問題

についての検討はほとんどなされていないが、財政当局や国民へのアピールという点でその必要性はきわめて高いと考えられる。

7. あとがき

本文を執筆するのに当たって以下に示す道路舗装の若い技術者が集い、本文のまとめに当たったことをここに記し、深く感謝する次第である。

建設省道路局国道一課課長補佐

渡辺茂樹

建設省道路局国道二課係長

服部亮二

建設省土木研究所舗装研究室長

安崎 裕

建設省土木研究所研究員

菊川 滋

参考文献

- 1) 「アスファルト舗装要綱」, 日本道路協会, 1950, 1960, 1967, 1978.
- 2) 「道路維持修繕要綱」, 日本道路協会, 1978.
- 3) 「AASHO 道路試験」高橋国一郎ほか訳, 日本セメント技術協会, 1968.

- 4) 道路実務講座 6「道路舗装の設計」南雲貞夫ほか, 山海堂, 1984.
- 5) 土研資料第 1722 号「車両重量調査結果の解析(解析編)」, 建設省土木研究所, 1981.
- 6) 土研資料第 1723 号「車両重量調査結果の解析(データ編)」, 建設省土木研究所, 1981.
- 7) 「舗装の維持修繕の計画に関する調査研究」, 建設省第 34 回技術研究会, 建設省国道第一課, 土木研究所, 1981.
- 8) 道路実務講座 8「道路舗装の維持修繕」藤井治芳ほか, 山海堂, 1984.
- 9) 「Pavement Management System」, R.Haas et al., Krieger Publishing Co., 1982.
- 10) 「舗装廃材再生利用技術指針(案)」, 日本道路協会, 1984.
- 11) NCHRP Report 215 「Pavement Management System Development」, TRB, 1979.
- 12) 「Road Strengthening : Strategic and Economic Evaluation」, OECD, Paris, 1976.
- 13) TR Record 1007 「Nondestructive Pavement Evaluation and Overlay Design」, TRB, 1985.

(1986.1.20・受付)