

アスファルト舗装の寿命と構造設計に関する考察

CONSIDERATIONS ON LIFE AND STRUCTURAL DESIGN OF
ASPHALTIC PAVEMENT

板橋 一雄*・今泉 繁良**・植下 協***

By Kazuo ITABASHI, Shigeoyoshi IMAIZUMI and Kano UESHITA

1. 緒 言

筆者らは、合理的な舗装評価法を探究する一連の研究において、建設省中部地方建設局名古屋国道工事事務所による一般国道の路面および路床調査の結果¹⁾を解析させていただいたが、トラック後輪荷重によるアスファルト舗装の路面たわみ量（ベンケルマンビーム試験値）と舗装寿命との間に、一つのよい対応関係（アスファルト舗装の寿命曲線）のあることを見出した²⁾。そこで、今回さらに多くの調査結果^{3),4)}を加えるとともに、先の報告²⁾において不十分であった部分の再検討を行って、一般国道の場合のアスファルトコンクリート舗装の寿命曲線を改めて示すこととした。

この寿命曲線に基づいて、アスファルトコンクリート舗装の経済的特性を検討してみたが、交通量の多い道路では設計目標交通量（5t 輪換算）を少なくとも 500～600 万台程度におくのが経済的に有利（特に路床の弱いものほど）であることがわかるとともに、アスファルトコンクリート層と路盤の厚さの組み合わせに、もっとも経済的となる範囲のあることもわかった。

しかし、この寿命曲線によれば、現在用いられているタイプのアスファルト舗装では、5t 輪荷重に換算して 1000 万台ぐらいの交通量が設計目標の限界であろうことも知ることができたので、これらのことをあわせて、以下に報告することとした。

2. 舗装寿命とたわみ量

舗装寿命に大きく影響を与えるものはひび割れとわだち掘れである。建設省が一般国道について全国的に行った調査⁵⁾では、オーバーレイ施工の理由として、ひび割

れの発生が全体の 80% を占め、わだち掘れによるもの 10% であったという結果が得られている。今回著者が解析した道路は、このような一般国道を対象としており、ひび割れに着目した舗装寿命を検討した。

解析したアスファルト舗装資料は、建設省中部地方建設局名古屋国道工事事務所が昭和 47, 48, 49 年度に管内の一般国道について実施した路面および路床調査^{1),2),4)}の中から 7 路線 13 区間の資料を選択し用いた。これらの調査ではひび割れ調査、平坦性調査、ベンケルマンビーム試験（輪荷重 5t、タイヤ空気圧 5.5 kg/cm²）などが行われている。

各調査区間が舗装新設時あるいはオーバーレイ施工時から調査時点までに受けた交通量は、3年に1度実施されている一般交通量調査からアスファルト舗装要綱⁶⁾にしたがって輪荷重 5t に換算した累積交通量を算定した（推定方法の詳細については付記 1. に示した）。ただし、調査区間が片側複数車線の場合には、国道 14 号線幕張地域⁷⁾、国道 41 号線小牧地域⁸⁾、国道 16 号線相模原地域⁹⁾、国道 2 号線加古川地域¹⁰⁾で調査された大型車交通分布率を参考とし、片側 3 車線のときは外側車線から 55:30:15、片側 2 車線のときは外側車線から 65:35 の割合で 5t 輪換算交通量が分布すると考え、調査車線の交通量を推定した。表一1 に算定した各調査区間の舗装建設時から調査時点までの 5t 輪荷重換算累積交通量を示す。

各調査区間では、ベンケルマンビーム試験により約 60 点の復元たわみ量が得られているので、ひび割れの有無により分類し、図一1 の下半分に

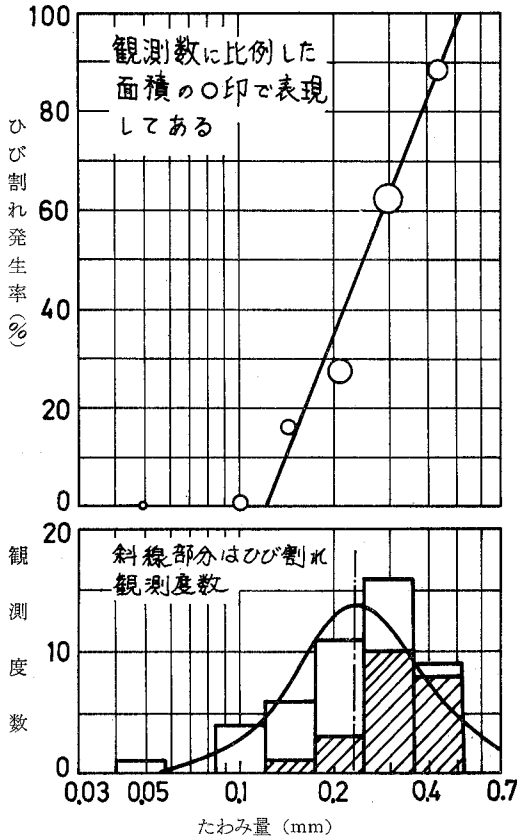
表一1 各調査区間の舗装建設時から調査時点までの累積交通量

調査区間	片側車線数	5t 輪荷重換算累積交通量
I	1	1557万台
II	1	556 万(オーバーレイ後)
III	1	509 万(")
IV	2	249 万(")
V	3	350 万
VI	3	550 万
VII	3	825 万
VIII	2	793 万
IX	2	468 万
X	1	214 万
XI	1	223 万
XII	1	195 万
XIII	1	212 万

* 正会員 工修 名古屋大学助手 工学部土木工学科

** 正会員 名古屋大学助手 工学部土木工学科

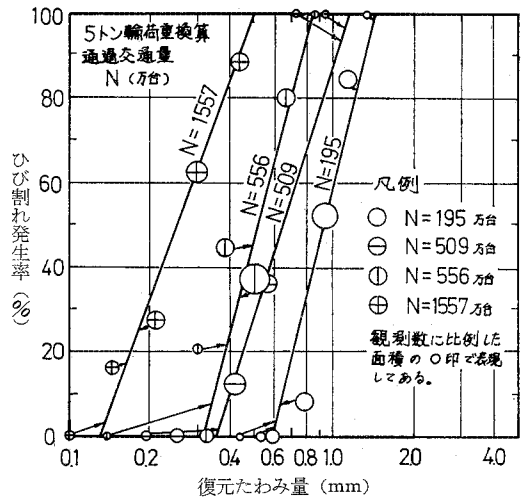
*** 正会員 工博 名古屋大学教授 工学部土木工学科



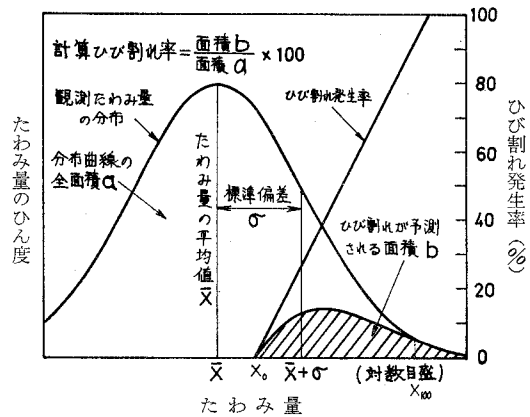
図一1 たわみ量分布とひび割れ発生率 (表一1の調査区間Iの場合)

示すように各調査区間ごとに、片対数紙上でヒストグラムに整理した。ただし、たわみ量の測定は昭和48年3月、昭和49年2月、昭和50年3月に行われており、測定時の路面温度は10°C~20°Cであったが、個々の測定時の温度が記録されていないので温度補正は行っていない。このような整理を行うと、たわみ量の分布はほぼ対数正規分布とみなすことができた。次に、「ひび割れ発生率」を各たわみ量ごとに整理した観測箇所数に対するひび割れ発生箇所数の百分率と定義すると、このひび割れ発生率は、たわみ量の対数値にほぼ比例し(図一1の上半分)、この片対数紙上の直線関係は、図二に示すように通過交通量が大きいほど左に位置し、同一たわみ量であっても通過交通量が多ければひび割れ発生率が高くなるという結果を示している。

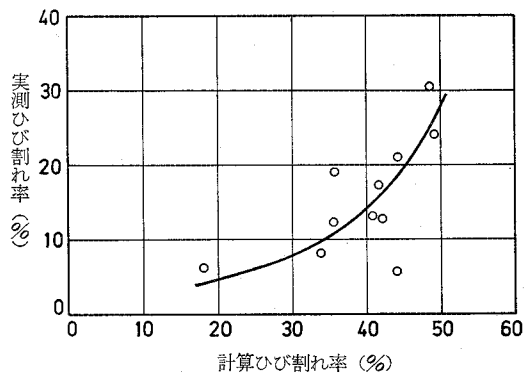
そこで、図三に示すように、ある調査区間で測定されたたわみ量分布の全面積 a に対するひび割れが予測される面積 b (たわみ量分布とひび割れ発生率の積)の百分率(これを計算ひび割れ率と定義する。計算については付記2参照)を求め、この計算ひび割れ率と路面性状調査による実測ひび割れ率との対応を調べてみた(図



図二 ひび割れ発生率と交通量、たわみ量との関係



図三 計算ひび割れ率の説明図



図四 実測ひび割れ率と計算ひび割れ率との関係

一4参照)。図四では、計算ひび割れ率が実測ひび割れ率より大きな値を示しているが、これはたわみ量の測定がわだち部で約10mに1箇所の割合で行われており、線状のひび割れなどの評価が、計算ひび割れ率では

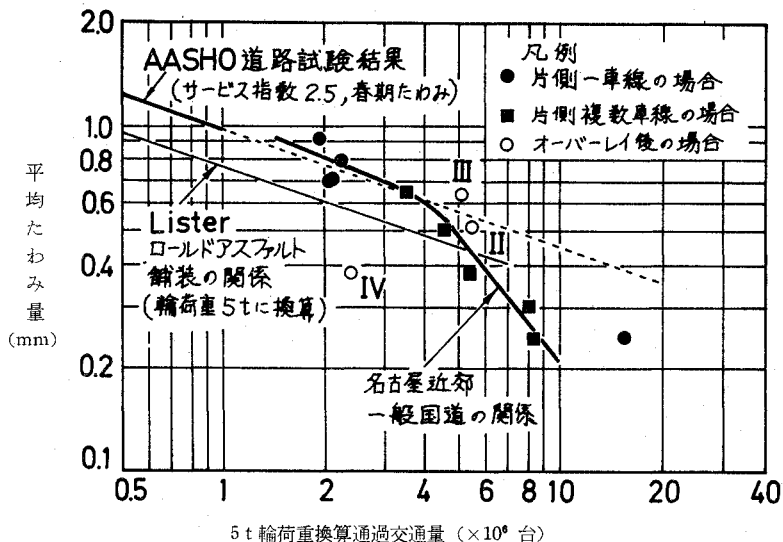


図-5 オーバーレイが必要となるまでのアスファルト舗装の寿命曲線

実際よりも大きめに評価しているであろうこと、また、たわみ量の分布とひび割れ発生率との仮定が完全には実際と一致していないことなどが原因として考えられる。

建設省では、オーバーレイを施工すべきときの路面状態の基準として、ひび割れ率 25% を用いている¹¹⁾ので、この値に相当するものとして、図-4 より、計算ひび割れ率が 50% となるたわみ量分布の平均値を求め、このたわみ量と累積交通量との関係をプロットすると 図-5 のようになった。筆者らは、図-5 と同種の寿命曲線²⁾をすでに紹介したが、以前のものは調査対象が少なく、たわみ量分布の代表値として「計算ひび割れ率」25% (実測ひび割れ率 6% に相当) となる「 $\bar{x} + \sigma$ 」のたわみ量 (図-3 参照) を用いてプロットしたものであった。本報文の 図-5 は、実測ひび割れ率が 25% となる平均たわみ量「 \bar{x} 」を用いてプロットしたことで、以前の寿命曲線²⁾を改訂したものである。図-5 の寿命曲線を作成する場合に、「 $\bar{x} + \sigma$ 」よりも「 \bar{x} 」でプロットすることが適当と考えた理由は、図-5 そのものは、舗装の平均的な性能と通過交通量との関係を示す寿命曲線としておくべきで、図-5 を舗装設計や寿命の推定に利用する場合には、標準偏差 (今回の調査結果では 0.15 から 0.25 mm である) が従来の舗装の場合とほぼ同じである限り、「 \bar{x} 」で設計や寿命推定を行うのが適当と考えた。ただし、標準偏差が 図-5 の資料の場合より大きい場合は、実際の寿命は設計値より短くなり、逆の場合は実際の寿命は長いことになる。

図-5 には、AASHO 道路試験結果¹²⁾ (サービス指数 2.5, 春期たわみ量) と Lister¹³⁾ によるロードアスファルト舗装¹⁴⁾ (Lister の場合は、クリティカルな状態—

わだち掘れが 10 から 20 mm でクラックはシングルな状態あるいはなしの状態—までの寿命で示されている) に対する関係を輪荷重 5 t に換算して併記した。AASHO 道路試験は 100 万台までの通過交通に対して得られた関係であるが、それに対し、今回の寿命曲線は 200~1000 万台の関係を求めたもので、交通量が 400 万台ぐらまでは、AASHO 道路試験の外そう線とよく一致していることは興味深い。しかし、それ以上の交通量になると、AASHO 道路試験で推定されるよりも寿命は短くなり、平均たわみ量と

の対応で考えると、現在用いられているタイプのアスファルト舗装では、1000 万台ぐらいの交通量が設計目標の限界であろうことが判断される。

図-5 で示した II, III, IV の○印は、舗装新設後調査時点までにオーバーレイ工事が行われた調査区間 II, III, IV (表-1 参照) の場合であり、その交通量としてはオーバーレイ後の通過交通量がとってある。舗装 II と舗装 III のオーバーレイ後の寿命については、この寿命曲線の関係よりやや大きい値ながらほぼ近い推定のできそうなのがわかる。しかし、舗装 IV のオーバーレイ後の寿命は、この寿命曲線で示されるものよりもかなり短い。これは、舗装 II, III のオーバーレイ厚がおのおの 16 cm,

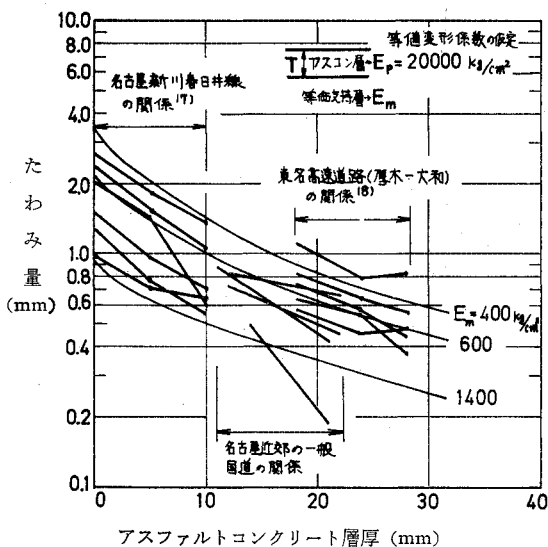


図-8 たわみ量とアスファルトコンクリート層厚との関係

20 cm であるのに対し、舗装Ⅳのオーバーレイ厚は 5 cm であり、建設省の報告⁵⁾に示されているように、在来層のひび割れがオーバーレイ層に波及して、早期に破壊したものではないかと考えられる。

3. 経済的な舗装構造の検討

図-5 より、たわみ量が小さいアスファルト舗装ほど大きな交通量に耐えうるということがわかった。そこで、舗装構造を、アスファルトコンクリート・路盤・路床の三層構造と仮定したときのたわみ量を弾性理論に基づいて計算し、その建設費を積算資料¹⁵⁾を参考にして求め、寿命を考慮した舗装構造の経済性を検討した。

アスファルトコンクリート層の厚さのたわみ量低減に及ぼす効果については、図-6 に示すように、アスファルトコンクリート層厚が 0 から 30 cm の範囲で二層弾性理論による曲線と比較的よく一致しているの、等価二層モデル¹⁶⁾の考えで計算した。なお、路盤・路床の等値変形係数は、路盤面上にベンケルマンビーム試験時の複輪荷重が加わったときの載荷中心のたわみ量が同一となるような一様弾性体の変形係数とした。計算に用いた各材料の変形係数は、すでに報告されているベンケルマンビーム試験による計測結果^{19)~24)}(表-2 参照)を参考にし、表-3 に示すような値とした。表-3 には、積算資料¹⁵⁾による各層 10 cm 厚さ 1 m² 当りの建設費(材料・労務・機械器具損料・仮設・試験の各費用と諸経費

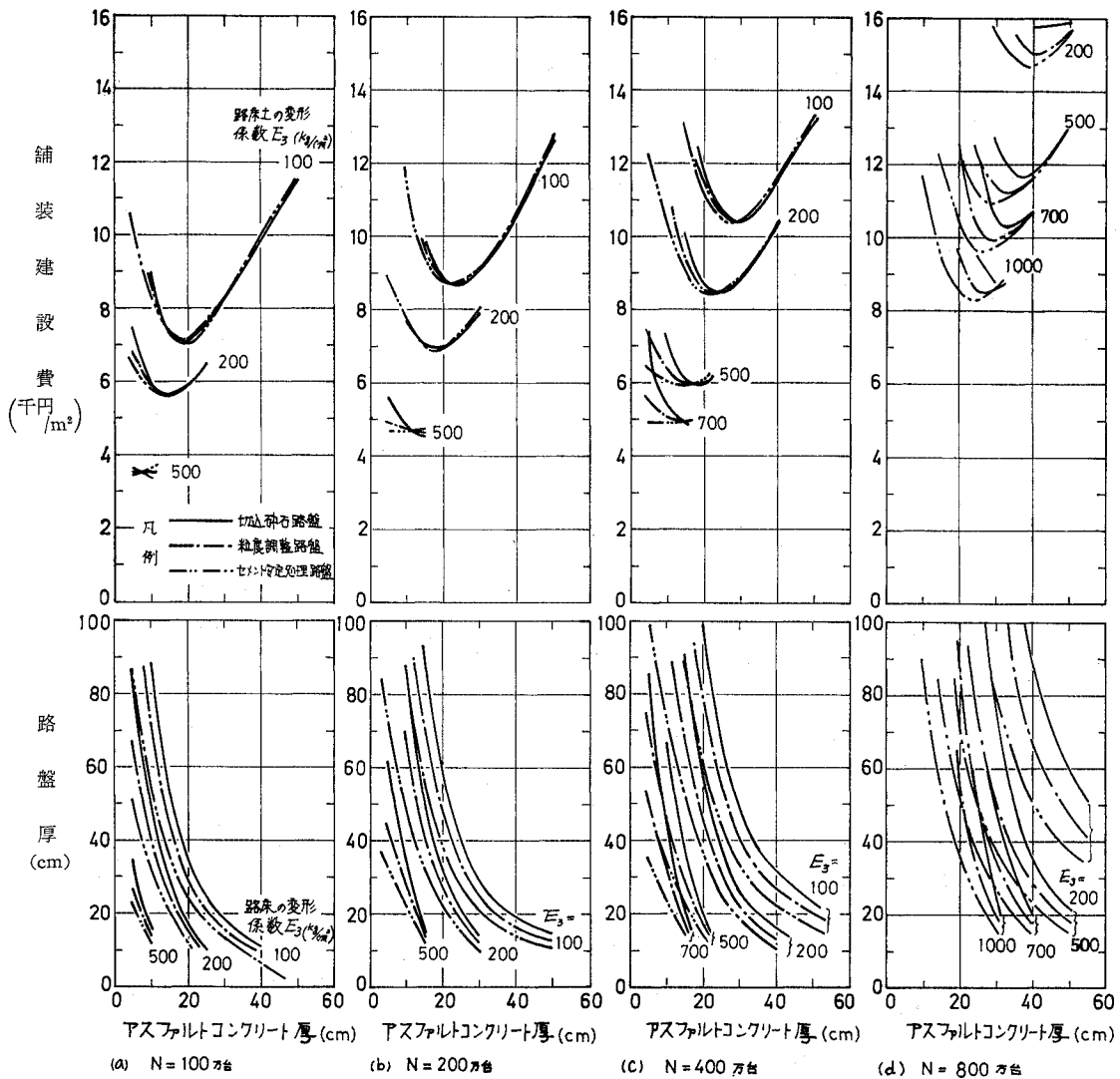


図-7 同一設計交通量 (5 t 輪換算) N に耐えうる舗装構造のアスファルトコンクリート厚、路盤厚、舗装建設費の関係

表-2 従来計測されている舗装各層の変形係数 (kg/cm²)

報告者	種類 アスファルト コンクリート	路 盤		
		切込砕石	粒度調整	セメント 安定処理
植下・吉兼 ¹⁹⁾ 玉野	8 000 ~15 000	—	2 000 ~6 000	5 000
永康・加藤 ²⁰⁾	{ 100 00 200 00 500 00	1 000	1 500	10 000
南雲・安崎 ²¹⁾ 永康・広田	—	1 170 ~7 200	—	2 200 ~5 680
月成・谷本 ²²⁾	40 000	3 500	4 000	{ 80 000 160 000 300 000
鶴窪・野田 ²³⁾	24 000 ~40 000	1 600 ~6 450	—	2 400 ~5 130
鈴木 尾石	20 000	1 500 ~3 500	—	—

表-3 計算に用いた舗装各層の変形係数と建設費

	変形係数 (kg/cm ²)	10 cm 厚 1 m ² 当 りの建設費 ¹⁵⁾ (円)
アスファルトコンクリート	20 000	2 300
路	切込砕石	730
	粒度調整	875
盤	セメント安定処理	1 085
路	床	100, 200, 500 700, 1 000

を含む)も示した。

5 t 輪荷重換算交通量 N に耐え得るようなたわみ性状の舗装構成(寿命期間中のたわみ性状は、Lister¹³⁾の調査を参考にし、初期の数か月を除き、ほぼ一定と仮定した)は、舗装各層の変形係数として表-3の値(舗装建設後数か月以降の状態に対応している)を用いれば、アスファルトコンクリート層厚と路盤厚の組み合わせとして得られる。これらの各舗装構成について単位面積当りの建設費を算定し、アスファルトコンクリート層厚ならびに路盤厚との関係を図-7に例示した(建設費算定の一例を付記3.に示した)。図-7は、路床強度と

路盤工種をパラメーターとし、100万台、200万台、400万台、800万台の交通量を設計条件として考えた場合のアスファルトコンクリート厚、路盤厚、舗装建設費の関係を示しているが、各設計交通量とも、路床強度の相違が建設費に顕著な影響を及ぼしている。また、建設費が最小となるようなアスファルトコンクリート層厚は、路床強度・路盤工種・設計交通量の違いにより異なるが、10~40 cm の範囲にあるとみることができ。

次に建設費が最小となる舗装構成について、交通量1万台当りの費用を求め、設計交通量との関係を図-8に示した。図-8によれば、設計目標交通量500~600万台程度までは、交通量を大きくとるほど単位交通量当りの建設費は減少し、その効果は、路床土の支持力が小さい場合ほど大きい。しかし、設計交通量が500~600万台を越すと、単位交通量当りの建設費の変化はほとんどなく、むしろ路床土の支持力が大きい場合には、建設費は増加する傾向にある。

4. 結 論

本研究では、まず、5 t 輪荷重による路面たわみ量に基づくアスファルト舗装の寿命曲線を、名古屋近郊の一般国道の調査資料からとりまとめて示した。次に、この寿命曲線を利用して、路床・路盤・アスファルト層から成る三層舗装構造の経済的特性を検討して示した。

これらの研究において、得られた結果を要約すると、次のようになる。

(1) 名古屋近郊の国道調査から得た寿命曲線は、5 t 輪荷重換算交通量が200~1 000万台を対象としたものであり、交通量が400万台までは、AASHO道路試験の外そう線とよく対応した関係を示す。しかし、それ以上の交通量になると、AASHO道路試験の外そう線

で推定されるよりも寿命が短くなる傾向がある。

(2) この寿命曲線を、平均たわみ量との関係でみれば、現在用いられているタイプのアスファルト舗装では、5 t 輪荷重に換算して、1 000万台ぐらいの交通量が設計目標の限界であることがわかる。

(3) オーバーレイ施工厚が、15 cm 以上の場合には、オーバーレイ後の寿命を推定するために、本報告提案の寿命曲線を利用し、安全側の予測をうる可能性がある。

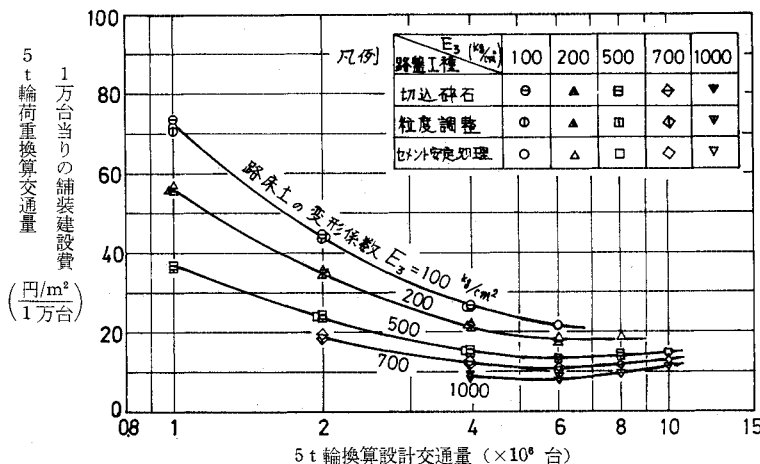


図-8 設計交通量とそれに対応する交通量1万台当りの舗装建設費との関係

(4) 舗装建設費が最小となる最適舗装構造は、路床強度、路盤の種類、設計交通量により異なるが、最適アスファルトコンクリート層厚は10~40cmであり、路床強度が弱い場合ほど最適アスファルトコンクリート層厚は厚い値となり、最小舗装建設費も高くなる。

(5) 単位交通量あたりの舗装建設費については、設計交通量が500~600万台程度までは設計交通量を大きくとるほど減少し、その効果は、路床上の支持力が弱いときほど顕著である。

終わりにあたり、貴重な資料をみせていただくとともに種々ご説明下さった建設省中部地方建設局名古屋国道工事事務所の方々ならびに大有道路建設(株)の方々には厚く感謝致します。なお、本研究には、名古屋大学大型計算機センター FACOM 230-60 を利用しました。

【付 記】

1. 5t 輪荷重換算交通量の計算

建設省が3年に1度実施している一般交通量調査では自動車類を(1)軽自動車(乗用)、(2)乗用自動車、(3)乗合自動車、(4)軽自動車貨物、(5)小型貨物自動車、(6)貨客車、(7)普通貨物自動車、(8)特殊貨物自動車の8種に分類し、一般に、おのおの12時間交通量が報告されている。これらの資料を用いて、次のような仮定および手順により各調査区間の5t輪荷重換算交通量を求めた。

- (1) 舗装解析区間の交通量は、もっとも近い交通量調査地点の資料を利用した。
- (2) 24時間交通量の計算には、昭和43、46年に実測されている昼夜率を利用した。
- (3) 交通量調査の実施されていない年の交通量は内そうにより求めた。
- (4) 各年の日交通量から、道路の供用期間中の車種別の累積交通量を計算した。

付表-1 5t 輪荷重換算交通量の推定に用いた車種別の輪荷重と舗装を破壊する割合αの値

車 種	仮定した輪荷重の範囲(t)	対応する舗装を破壊する割合α	舗装を破壊する割合の代表値
軽自動車(乗用)	—	—	—
乗用自動車	0.5	0.0001	0.0001
乗合自動車	2.0~5.0	0.0256~1.0	0.5128
軽自動車貨物	0.5	0.0001	0.0001
小型貨物自動車	0.2~1.5	0.000003~0.0081	0.0041
貨客車	0.5~1.5	0.0001~0.0081	0.0041
普通貨物自動車	1.0~6.0	0.0016~2.074	1.0376
特殊貨物自動車	1.0~5.0	0.0016~1.0	0.501

輪荷重が小さいので軽自動車に関する記述は除く

(5) 輪荷重 P_i t が舗装を破壊する割合 α_i は、アスファルト舗装要綱に従った。各車種の輪荷重は空車時と積載時の範囲がある(自動車技術会編自動車諸元表)ので、各車種を代表する舗装を破壊する割合 α_i は空車時と積載時の輪荷重に対応する舗装を破壊する割合の平均値とした。ただし、軽自動車(乗用)は輪荷重が小さいので計算から除外し、乗用自動車および軽自動車(貨物)の輪荷重は0.5tと仮定した(付表-1参照)。

(6) 車種別の舗装を破壊する割合と車種別の累積交通量の積をすべての車種につき合計し、舗装解析区間の5t輪荷重換算交通量を求めた。

2. 計算ひび割れ率の算定

たわみ量 w の確率密度関数 $f(x)$ は、

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right\}$$

ただし、 x はたわみ量 w の対数値である。

ひび割れ発生率 λ は

$$\lambda = Ax + B$$

で表わされると仮定した。確率密度関数とたわみ軸との間の面積 a は、

$$a = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = 1$$

確率密度関数とひび割れ発生率の積で表わされる面積 b (ひび割れが予測される面積) は、

$$b = \int_{x_0}^{x_{100}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right\} (Ax+B) dx + \int_{x_{100}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right\} dx$$

ここに、 x_0, x_{100} はひび割れ発生率 $\lambda=0$ と100%に相当するたわみ量の対数値である。

確率密度関数が標準化されているので、計算ひび割れ率 C_e は、

$$C_e = \frac{b}{a} \times 100 = 100 \cdot b(\%)$$

となる。

3. 舗装建設費の計算例

条件 設計目標交通量 $N=400$ 万台
 路床の変形係数 $E_3=200$ kg/cm²
 路盤はセメント安定処理路盤 ($E_2=5000$ kg/cm²) とする。

寿命曲線から設計目標交通量に対応する平均たわみ量は $w=0.61$ mm が得られる。アスファルトコンクリート層厚 $T_1=30$ cm とすると、必要な下層の等値変形係数は二層弾性論により $E_m=370$ kg/cm² となり、路床と路盤の変形係数が決まっているので、必要な路盤厚が決定

される。この場合は $T_2=18\text{ cm}$ となる。

舗装建設費は、積算資料¹⁵⁾(表-3)の単価を用いて

$$30\text{ (cm)} \times 230\text{ (円/m}^2\text{/cm)} + 18\text{ (cm)} \\ \times 108.5\text{ (円/m}^2\text{/cm)} = 8\,853\text{ (円/m}^2\text{)}$$

となる。

また、舗装建設費が最少となる舗装構成は、図-7より

アスファルト層厚 $T_1=22\text{ cm}$

路盤厚 $T_2=30\text{ cm}$ である。

この舗装建設費は

$$22\text{ (cm)} \times 230\text{ (円/m}^2\text{/cm)} + 30\text{ (cm)} \\ \times 108.5\text{ (円/m}^2\text{/cm)} = 8\,315\text{ (円/m}^2\text{)}$$

となり、交通量1万台当りの舗装建設費は、

$$8\,315\text{ (円/m}^2\text{)} \div 400\text{ (万台)} = 20.8\text{ (円/m}^2\text{/万台)}$$

となる(図-8参照)。

参考文献

- 1) 建設省中部地方建設局名古屋国道工事事務所・大有道路建設株式会社：昭和47年度名古屋国道管内路面および路床調査報告書，昭和48年。
- 2) 植下 協・今泉繁良・板橋一雄：アスファルト舗装の寿命について，舗装，Vol. 11, No. 3, pp. 25~29, 昭和51年。
- 3) 建設省中部地方建設局名古屋国道工事事務所・大有道路建設株式会社：昭和48年度名古屋国道管内路面および路床調査報告書，昭和49年。
- 4) 建設省中部地方建設局名古屋国道工事事務所・大有道路建設株式会社：昭和49年度名古屋国道管内路面および路床調査報告書，昭和50年。
- 5) 建設省土木研究所舗装研究室：舗装寿命とオーバーレイ厚に関する調査研究，第27回建設省技術研究会報告，pp. 221~254, 昭和48年。
- 6) 日本道路協会：アスファルト舗装要綱，p. 160, 昭和42年。
- 7) 月成 稔・谷本誠一：幕張および大日，横戸試験舗装の経過と概要(上)，舗装，Vol. 17, No. 5, pp. 16~23, 昭和47年。
- 8) 山田敏照：流動防止のための試験舗装，舗装，Vol. 10, No. 12, pp. 24~33, 昭和50年。
- 9) 桐山 荏・山根 豊・熊崎光吉：各種結合材・添加材を用いた舗装のわだち掘れ調査，舗装，Vol. 11, No. 6, pp. 9

~14, 昭和51年。

- 10) 窪田利和・田中善幸：加古川バイパス試験舗装における各種路盤効果の調査，舗装，Vol. 11, No. 9, pp. 12~19, 昭和51年。
- 11) 建設省土木研究所舗装研究室：舗装の維持修繕に関する調査研究，第22回建設省技術研究会報告，pp. 320~333, 昭和44年。
- 12) 高橋国一郎ほか：AASHO道路試験，日本セメント協会，昭和41年。
- 13) Lister, N.W. : Deflection Criteria for Flexible Pavements and the Design of Overlay, Proc. 3rd Int. Conf. on the Structural Design of Asphalt Pavements, Vol. 1, pp. 1206~1226, 1972.
- 14) 佐藤正八・村上哲也：ホットロールドアスファルトについての問答，舗装，Vol. 7, No. 8, pp. 3~12, 昭和47年。
- 15) 経済調査会：積算資料，No. 556, 昭和51年。
- 16) 今泉繁良・植下 協：等価2層モデルによるアスファルト舗装の解析，土木学会論文報告集，No. 256, pp. 69~77, 昭和51年。
- 17) 鈴木幸司：ベンケルマンビーム試験とオーバーレイ厚との相関性について，みち，昭和46年度号，pp. 82~90, 昭和46年。
- 18) 日本道路公団試験所舗装試験室：舗装工事モデル区間試験実施について，日本道路公団試験所報告，昭和42年度号，pp. 154~158, 昭和43年。
- 19) 植下 協・吉兼 亨・玉野富雄：穴あけベンケルマンビーム試験による舗装構造の解析，土木学会論文報告集，No. 214, pp. 17~25, 昭和48年。
- 20) 永康 進・加藤朝雄：軌弱路床上の試験舗装—その概要と力学的考察—，土木技術資料，Vol. 17, No. 10, pp. 26~33, 昭和50年。
- 21) 南雲貞夫・安崎 裕・永康 進・広田信幸：簡易舗装路盤の耐久性—自動操縦荷重車による走行試験結果—，土木技術資料，Vol. 17, No. 10, pp. 15~20, 昭和50年。
- 22) 月成 稔・谷本誠一：幕張および大日，横戸試験舗装の経過と概要(下)，舗装，Vol. 7, No. 6, pp. 19~23, 昭和47年。
- 23) 鶴窪広洋・野田和弘：アスファルト舗装追跡調査結果について，日本道路公団試験所報告，pp. 37~53, 昭和47年。
- 24) 鈴木襄二・柿添清美・尾石正忠：特殊石灰処理による路床改良，舗装，Vol. 10, No. 8, pp. 29~32, 昭和50年。

(1976.10.13・受付)