

舗装構造解析へのフォーリング・ウェイト・ デフレクトメーターの一利用*

PAVEMENT STRUCTURAL ANALYSIS USING FALLING WEIGHT DEFLECTOMETER

笠原 篤**・五十嵐光徳***

By Atsushi KASAHARA and Mitsunori IGARASHI

This paper describes a method for evaluating a structural capacity of an asphalt pavement with falling weight deflectometer deflection data. A back-analysis was used to estimate in situ elastic moduli of a granular subbase and a subgrade in the pavement. A tensile strain at a bottom of the asphalt layer and a compressive strain in the subgrade surface under the standard wheel load were calculated with the BISAR. A number of allowable loading repetition corresponding to the tensile strain and the compressive strain were estimated with an asphalt strain criteria and a subgrade strain criteria obtained by many researchers.

The asphalt strain criteria was very useful information for a theoretical design method on asphalt pavements and overlay design, because there was a correlation between the cracking data and asphalt strain criteria in the national highway 337.

Keywords: bearing capacity, fatigue, FWD, permissible strain

1. ま え が き

近年、アスファルト舗装の計画・設計・建設・維持・修繕・評価・研究・データバンクなどに関する種々の行為を包括し、舗装を総合的にとらえる舗装マネジメントシステム^{1),2)}(Pavement Management Systems, 以下単にPMSと称する)が重要であるとの認識は、すでに世界的に広まってきている³⁾⁻⁵⁾。PMSは多くのサブシステムから成り立っており、その中でも、新設舗装ならびに既設舗装の維持・修繕に関するライフサイクルコストの算定のシステムがより重要となろう。そこでは、新設舗装のパフォーマンスおよび維持・修繕を施した舗装のパフォーマンス把握が不可欠となる。いうまでもなく、パフォーマンスは舗装のサービス性能(Serviceability)と5トン換算輪数(または年数)の関係のことを示している。舗装のサービス性能を表わす尺度として、「乗り心地」を主体としたPSI⁶⁾およびRCI⁷⁾がよく知られているが、わが国では「舗装の管理者からみた路面の損傷」を主体としたMCI⁸⁾で近年表現してきている。こ

のように舗装をみる立場により、舗装のサービス性能は異なっている。しかし、サービス性能(S_a)は基本的に、次のような関数として表現されると考えられよう⁹⁾。

$$S_a = f(a, b, c, d, e, f)$$

ここで、 a : 乗り心地

b : すべり抵抗

c : 路面の損傷

d : 支持力

e : 沿道住民に与える振動・騒音

f : 路面の美観

どの変数を重要視するかについては、舗装のサービス性能をどのような観点からとらえるかによって決められるべきである。高速道路、国道、街路、生活道路など、その道路の利用のされ方および沿道条件など、道路の性格によって舗装のサービス性能は当然異なってくることから、主たる変数も異なる。

本研究においては、舗装の支持力に着目し、舗装のパフォーマンスと支持力の関係を明らかにするとともに、フォーリング・ウェイト・デフレクトメーター(以下単にFWDと称する)によるたわみ測定結果から、既設舗装の寿命を推定する一手法について述べている。

* 土木学会第39回～第43回年次学術講演会にて一部発表

** 正会員 工博 北海道工業大学教授 土木工学科
(〒006 札幌市手稲区手稲前田419-2)

*** 正会員 北海道開発局開発土木研究所維持管理研究室
(〒060 札幌市豊平区平岸1条3丁目)

2. F W D

アスファルト舗装の支持力評価のための有力な手法に非破壊試験の一種として、従来から舗装表面でのたわみ測定法がある。たわみ測定の精度向上、省力化などの点から種々のたわみ測定装置が開発されてきているが¹⁰⁾、実車両の載荷条件との対応性、層構造理論への適用性、さらに経済性などを総合的に検討し、現在入手できる装置としてFWDが最適であるとの報告も1982年に出されている¹¹⁾。著者らも、このFWDに早い時期から注目しており、1983年12月にフェニックス社製のモデルPT 5002を北海道工業大学に導入した(写真-1)。そのFWDの機構および特徴についての詳細は文献¹²⁾に示されているので、ここでは省略するが、荷重は50 kN、載荷板半径は15 cm、たわみ測定位置は、載荷板中心、載荷板中心からおのおの300 mm、750 mm離れた位置の計3か所である。わが国においても、FWDの有用性が広く認められ、いくつかの機関にすでに導入されており、他のモデルのFWDも稼働中である^{10)、13)}。

3. 路面損傷

アスファルト舗装の路面損傷の3大要素は、①ひびわれ、②わだち掘れ、③縦断凹凸であり、おのおのそれらの定量的評価指標はわが国では定められている。目視調査、簡単な機械による調査のほか、高速で効率良くデータを収集するために路面性状測定車が開発され、国道のすべての路線について多量のデータの蓄積が進められている。

路面損傷が生ずる要因は、交通要因と環境要因の2つに大別される。

ひびわれにも種類が多く、施工ジョイントひびわれ、低温横断ひびわれなどは温度要因より生ずる。亀甲状ひびわれは、走行車両によるアスファルト混合物層の疲労に基づくものであり、舗装破壊の究極的な現象の1つである。

わだち掘れは、アスファルト混合物層の流動(寒冷地においてはスパイクタイヤなどによる摩耗も含まれる)、粒状路盤の塑性変形、路床の塑性変形などに基づくもの

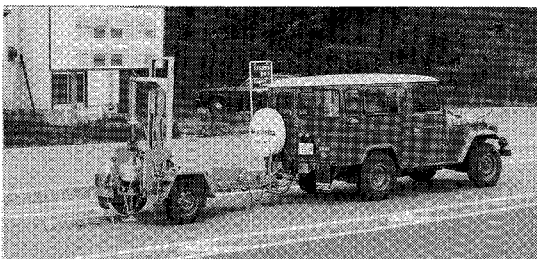


写真-1 フォーリング・ウェイト・デフレクトメーター

である。

縦断凹凸は、路体の不等沈下、路床・路盤の支持力の不均一性、アスファルト混合物層のウェーピングなどに起因する。

これらの路面損傷は、路面性状測定車により測定されたデータをもとに、ひびわれ率、わだち掘れ量、縦断凹凸量を算出し、それらを総合したMCIで表現される。

4. 調査路線

既設アスファルト舗装において、交通量が同一であるにもかかわらず、亀甲状ひびわれが発生している区間とひびわれがみられない区間がある場合がある。従来では、亀甲状ひびわれが発生している区間では、その支持力が不足しているとの漠然とした認識でとどまっており、詳細な原因追求にまでは至っていない場合が多かった。

また既設アスファルト舗装の構造については、道路台帳に記載されているはずであるが、特に舗装が古い場合には、その舗装構造やオーバーレイの履歴が明確でない場合も見受けられ、舗装構造さえ把握できないことがある。舗装構造の確認には、コアボーリング、掘削によるざるを得ないが、最近、電磁波もしくは超音波を用いた非破壊法などが開発されてきている¹⁴⁾。

ここでは、国道337号(北海道開発局札幌開発建設部岩見沢道路事務所所管)の下り路線を選定し、FWDを用いて、距離程30.500~36.200 kmの間(北海道南幌町)の延長5.7 kmについて、1988年11月にたわみ測定を行った。さらに、その対象区間について解体調査と道路台帳の調査をし、舗装構造の確認を行った。その結果延長5.7 kmの道路は6区間に分けられた。おのおの区間を、区間Ⅰ(延長1.0 km)、区間Ⅱ(1.1 km)、区間Ⅲ(1.0 km)、区間Ⅳ(0.6 km)、区間Ⅴ(1.0 km)、区間Ⅵ(1.0 km)とした。図-1は調査区間を示したものである。

図-2には各区間における舗装構造を示してある。解体調査のみでは、路盤と凍上抑制層の使用材料が同一の切込砂利であったことから、両者を区分することができ

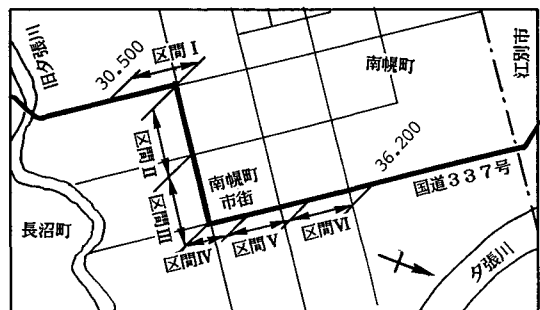


図-1 調査区間(国道337号)

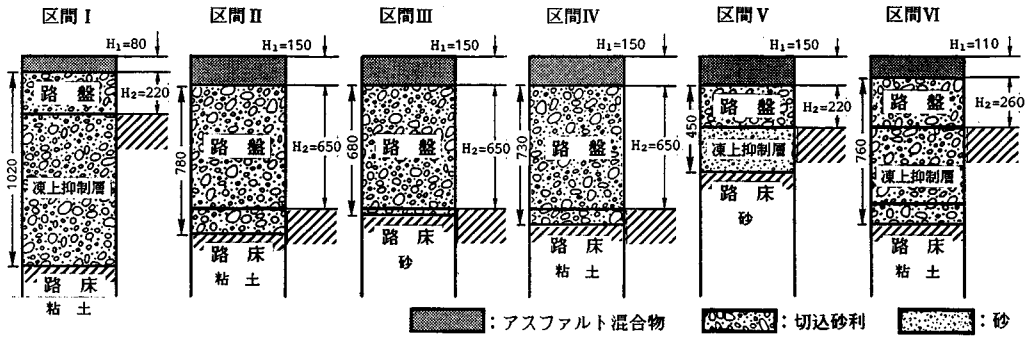


図-2 調査区間の舗装構造 (単位: mm)

ず、道路台帳により設計時の路盤厚を調査した。図-2における各区間の右側に示してある路盤厚が設計値である。後述するが、それを構造解析を行う場合の対象断面とした。また区間I, 区間V, 区間VIは、建設時には北海道であったが、その後国道に移管されたものである。

5. FWDによるたわみ測定結果

FWDによるたわみ測定において、載荷板中心でのたわみの測定値を d_0 、載荷板中心から 300 mm 離れた地点でのたわみの測定値を d_{300} 、載荷板中心から 750 mm 離れた地点でのたわみの測定値を d_{750} として、ここでは表現している。おのおのの測定対象区間において 20 地点のたわみ測定を行った。それゆえ、各区間でのたわみ測定間隔は 35~50 m となる。各区間において 20 のたわみデータが得られていることから、その区間のたわみの代表値をいかなる値とするかが 1 つの問題となる。通常平均値をもって代表値としがちであるが、ここでは、たわみの平均値 (\bar{d}) と標準偏差 (σ) を求め、 $d = \bar{d} + 1.28 \cdot \sigma$ をその区間のたわみの代表値 (d) とした。すなわち、90 パーセントイルたわみを代表値とした。表-1 は、たわみと路面性状データ (1987 年 10 月調査) を、区間ごとにまとめたものである。

図-3 は、道路延長と路面性状データ (100 m 間隔) およびたわみの実測値 (35~50 m 間隔) の関係を図示したものである。たわみ測定結果から、各区間の中でたわみの変動はあるが、表-1 から区間ごとにたわみの大きさが異なっていることがわかる。たわみの絶対値は、舗装構成層の支持力 (舗装厚, 強度など), アスファルト混合物層の温度, 荷重の大きさ, 載荷時間, ひびわれの有無などに依存するが、ここでたわみ測定対象とした路線の舗装構成 (アスファルト混合物層厚, 路盤厚), 舗装温度 (4.8~12.8°C), 荷重 (4795~5047 kgf) を総合的に勘案するならば、測定対象路線は、区間I, 区間II・III・IV, 区間V・VIの3グループに分かれるようである。特に、載荷板から離れた地点でのたわみ (ここでは d_{750}) は、路床の支持力を反映しているといわれて

表-1 各区間におけるたわみと路面性状データ

	区間I	区間II	区間III	区間IV	区間V	区間VI
ひび割れ率 (%)	4.7	0	0	0	1.4	2.5
ひび割れパッチング	15.7	0	0	0	0.1	0.7
合計	20.4	0	0	0	1.5	3.2
わだち堀れ最大 (mm)	24	18	12	13	18	26
平均	18	14	10	10	13	21
縦断凹凸量 (mm)	3.93	1.25	0.97	0.32	2.84	2.82
MC I	3.8	6.6	7.4	7.4	6.3	4.9
たわみ (mm)						
d_0 平均値	0.833	0.275	0.313	0.296	0.444	0.463
標準偏差	0.110	0.067	0.041	0.030	0.109	0.061
代表値	0.973	0.360	0.365	0.334	0.584	0.542
d_{300} 平均値	0.454	0.215	0.240	0.222	0.348	0.303
標準偏差	0.075	0.048	0.026	0.019	0.070	0.046
代表値	0.549	0.277	0.273	0.246	0.437	0.362
d_{750} 平均値	0.258	0.140	0.147	0.139	0.242	0.173
標準偏差	0.051	0.026	0.012	0.010	0.041	0.033
代表値	0.324	0.173	0.162	0.152	0.294	0.216
荷重 (kgf)	4,933	5,017	5,047	4,800	4,864	4,795
舗装温度 (°C)	4.8	7.8	10.1	12.8	10.4	8.3

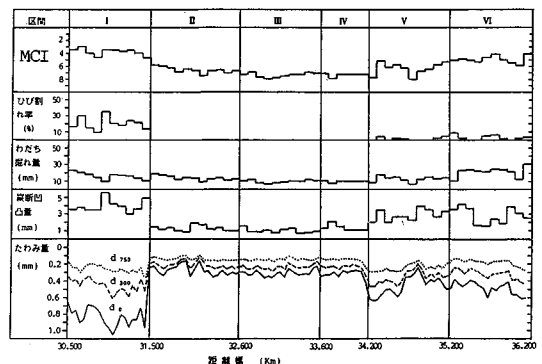


図-3 路面性状データおよびたわみ測定結果

おり¹⁵⁾、表-1 が示しているように各グループごとに d_{750} に差異があることがわかる。

6. 舗装構成層の現地での弾性係数の推定

アスファルト舗装の構造解析を行うにあたり、舗装構成層の現地での弾性係数を推定することが必須となる。ここでは、たわみ測定結果と層構造の弾性理論解法プロ

グラムの1つであるBISARを組み合わせ、図解法を取り入れた逆解析を行った。

舗装構成層の現地での弾性係数を推定するにあたっての手順は次のとおりである¹⁶⁾。

- 1) アスファルト舗装をアスファルト混合物層・路盤・路床とから成る3層構造とする。ここでは、凍上抑制層を路床に含めている。
- 2) アスファルト層表面からポンチで深さ40mmまで穿孔した穴底の温度を白金抵抗体で測定し、それをアスファルト混合物層の代表温度とする¹⁷⁾。
- 3) 室内における間接引張り試験から得られているアスファルト混合物の弾性係数とアスファルト混合物層の弾性係数は、載荷時間が同一の条件下でよい対応を示すことから¹⁸⁾、図-4を用いアスファルト混合物層の代表温度からアスファルト混合物層の現地での弾性係数(以下 E_1 と称する)を推定値とする。

交通履歴および温度履歴を受けたアスファルト混合物の弾性係数に図-4の関係が適用できるか否かについては、議論の多いところであろう。しかし、この種の問題については、いまだ完全には解明されておらず、それ自体がアスファルト舗装の分野で大きな課題とされていることから、ここでは図-4が適用できるものとして取り扱った。

- 4) FWDによるたわみ測定条件下で、BISARを用いて、路盤の現地での弾性係数(以下 E_2 と称する)および路床の現地での弾性係数(以下 E_3 と称する)を種々変化させ、3地点での理論たわみ(δ_0 , δ_{300} , δ_{750})を算出する。
- 5) E_2 および E_3 をパラメータとし、横軸に載荷板中心から750mm離れた地点での理論たわみ(以下 δ_{750} と称する)を取り、縦軸に載荷板中心から300mm離れた地点での理論たわみ(以下 δ_{300} と称する)

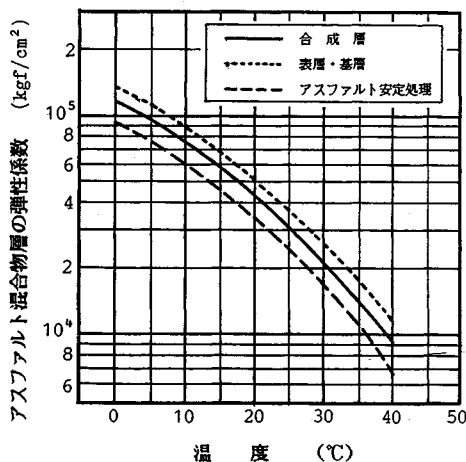


図-4 温度とアスファルト混合物の弾性係数の関係

と δ_{750} との差、すなわち $\delta_{300}-\delta_{750}$ を取った理論たわみの曲線群を描く。

- 6) 理論たわみの曲線群に実測たわみの座標点(d_{750} , $d_{300}-d_{750}$)をプロットすることにより、内挿法により、 E_2 および E_3 を推定する。

図-5は、区間IIにおける E_2 および E_3 を推定するにあたっての理論たわみ曲線群の例を示したものである。

表-2は、各区間において推定された路盤の弾性係数(E_2)および路床の弾性係数(E_3)の一覧を示したものである。なお、表中のアスファルト混合物の弾性係数は、たわみ測定時における舗装体の温度測定値から図-4の合成層(表層・基層用アスファルト混合物とアスファルト安定処理を1つの層とみなした)の曲線により、推定されたものである。表-2より、路盤の弾性係数は2000~3700 kgf/cm²、路床の弾性係数は570~1070 kgf/cm²と、各区間においてかなり異なっていることが明らかとなった。

前述した手順に従い推定された各区間の E_2 および E_3 を用い、BISARによりFWDのたわみ測定条件下におけるたわみを計算した結果と実測たわみの代表値を比較した結果を表-3に示してある。計算たわみと実測たわみは比較的よい一致を示していることから、ここで推定された舗装構成層の弾性係数は、ほぼ妥当であるとしてもよいであろう。なお、ひびわれのある区間における載荷板中心でのたわみに若干の差がみられることは、 E_1

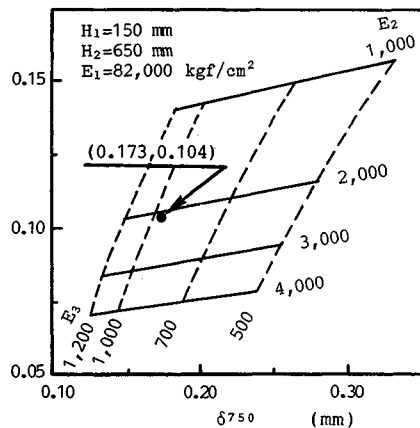


図-5 路盤・路床の弾性係数の推定の例(区間II)

表-2 路盤・路床の弾性係数の推定値(kgf/cm²)

区間	アスファルト混合物層 (E_1)	路盤 (E_2)	路床 (E_3)
I	92,000	3,700	570
II	82,000	2,150	940
III	73,000	2,000	1,070
IV	63,000	2,700	980
V	72,000	2,650	600
VI	80,000	3,500	810

表-3 各区間における実測たわみと計算たわみの比較

	区 間					
	I	II	III	IV	V	VI
d_a	0.973	0.360	0.365	0.334	0.584	0.542
δ_a	0.729	0.352	0.355	0.327	0.527	0.476
d_{300}	0.549	0.277	0.273	0.246	0.437	0.362
δ_{300}	0.548	0.277	0.272	0.247	0.439	0.363
d_{750}	0.324	0.173	0.162	0.152	0.294	0.216
δ_{750}	0.323	0.174	0.162	0.153	0.293	0.217

注) d : 実測たわみ、 δ : 計算たわみ (mm)

にひびわれの影響が含まれているとも考えられる。

7. 構造評価

繰り返し作用する交通荷重に対するアスファルト舗装の構造的耐久性の評価規準として、アスファルト混合物層下面に生ずる引張りひずみ(以下 ϵ_R と称する)に対する許容載荷回数(以下 N_R と称する)と、路床上面に生ずる圧縮ひずみ(以下 ϵ_U と称する)に対する許容載荷回数(以下 N_S と称する)が、現在提案されているアスファルト舗装の理論構造設計法においては、その基本となっている^{18),19)}。

(1) アスファルト混合物層の疲労抵抗性

アスファルト混合物の疲労曲線については、これまで数多くの研究者から提案されている。Per Ullidtz²⁰⁾による種々の研究成果の比較を図-6に示してあるが、図中には、著者の成果²¹⁾もプロットしてある。アスファルト混合物のタイプ、アスファルト量、アスファルトの性質などが若干異なるとしても、疲労破壊自体の変動が大きいことを考慮すれば、これらは比較的よい一致を示しているといえる。なお、図中のローマ数字については、後述する。

(2) 路床の塑性変形抵抗性

路床の塑性変形についても、 ϵ_U と N_S の関係として、多くの研究機関から提案されている。図-7は、諸外国における種々の研究成果をPer Ullidtz²⁰⁾がまとめたものであるが、わが国においてはこの種の研究は見当たらない。 ϵ_U と N_S の関係は、提案している機関によってかなり異なっている。それは N_S の定義が異なっていることに起因している。たとえば、PSIが2まで低下したときの N_S であったり、わだち掘れが25mmとなるとき N_S であったりしている。 ϵ_U と N_S の関係が図の上方に位置しているグループは、PSIで定義されているものであり、下方に位置しているグループは、わだち掘れ量(13~30mm)で定義されているものである。これらの詳細については文献20)に記述されているので、ここでは省略する。なお、図中のローマ数字については、後述する。

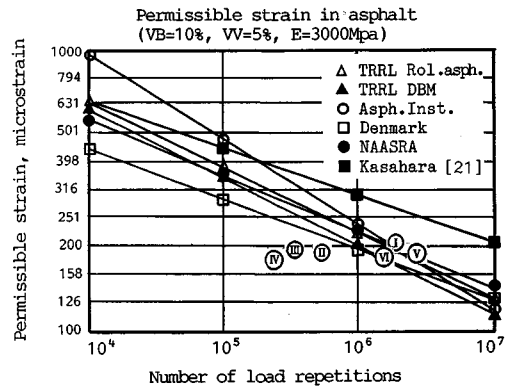


図-6 アスファルト混合物の疲労曲線²⁰⁾

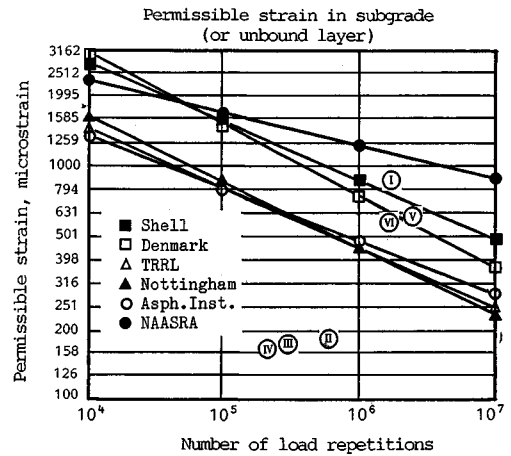


図-7 路床(または粒状路盤)の塑性変形に対する許容載荷回数²⁰⁾

8. 舗装寿命の推定

(1) 舗装構成層に生ずるひずみ

ここでは、先に推定された各区間の E_2 および E_3 の値を用いて、大型車両が走行するときに舗装体に生じる ϵ_R および ϵ_U をBISARにより算出した。計算条件として、各層のポアソン比を0.35、層間のすべりは粗とした。アスファルト混合物の弾性係数にいかなる値を採用するかが大きな問題となる。すなわち、アスファルト混合物の疲労抵抗性は温度ならびに荷重履歴に依存することが知られているが、ここではPer Ullidtz²⁰⁾がアスファルト混合物の疲労曲線を比較したときの条件と合致させ、アスファルト混合物層の弾性係数(E_1)を30000 kgf/cm²とした。これは図-4から、ほぼ25°Cに対応することとなる。

荷重条件としては、輪荷重2500 kgfの複輪、接地半径13.25 cm、接地圧4.5 kgf/cm²、車輪中心間距離34 cmである。

各区間において算出された ϵ_R および ϵ_U は、表—4 に示されている。

(2) 交通量

国道 337 号についての交通量調査データは、1971 年から 1987 年までであり、総交通量（片側）は 2300～3400 台/12h であった。また大型車混入率は 16～24% であったことから、5 トン換算輪数は 217～318 台/日と推定された。

各区間における 1987 年までの推定された累計 5 トン換算輪数 (N) は、表—5 のとおりである。

(3) 舗装構成層に生ずるひずみと繰返し載荷回数

各区間における ϵ_R および ϵ_U (表—4) と供用期間中の累計 5 トン換算輪数 (表—5) との関係を示す図—6 および図—7 にプロットしてみた。図中のローマ数字は、各区間の番号を示している。

a) 路床の塑性変形

区間 II, III, IV における路床上面に生ずる圧縮ひずみの値は約 200×10^{-6} とかなり小さく、路床の塑性変形が問題となる繰返し載荷回数は 1000 万回以上となる。一方、区間 I, V, VI においては、路床の許容載荷回数を上回るものもあり、特に区間 I では顕著である。このことから、これらの区間においては、路床の塑性変形がかなり進行しているものと推測される。

舗装のわだち掘れは、表面に現われる現象であることから、表層の流動、摩耗に注目されがちであるが、路床の塑性変形に基づくものも含まれていることに注意する必要がある。

b) アスファルト混合物の疲労

区間 II, III, IV における ϵ_R と N の座標点は、アスファルト混合物の疲労曲線のかなり左側に位置しており、疲労曲線からみて、まだ疲労寿命は相当あるといえる。実際に、これらの区間にはひびわれが発生していない (表

—1 参照) ことからしても、うなづけよう。

区間 I の ϵ_R と N の座標点は、アスファルト混合物の疲労曲線群の上方に位置している。さらに、区間 VI および V の座標点も疲労曲線群の中央に位置している。これらの座標点と疲労曲線との相対位置と実測のひびわれ率 (表—1) との間には相関がみられる。すなわち、座標点が疲労曲線群の上方に位置しているものほど、ひびわれ率が大きい。

路面調査において、ひびわれ率が大きい順は、区間 I, VI, V であり、ひびわれが発生していない区間は II, III, IV であることからして、ひびわれに関するパフォーマンスと疲労データとは、かなりよい相関があるといえる。すなわち、世界各国での実験により得られたアスファルト混合物の疲労曲線は、ある程度の変動があるもののひびわれに関する舗装の寿命予測に有用であるといえる。

また、図—6 よりアスファルト混合物の許容載荷回数を 2×10^6 程度とするには、アスファルト混合物層の下面に生ずる引張り許容ひずみを 200×10^{-6} 程度にする必要があり、許容載荷回数を 10^7 程度とするには、ひずみを 125×10^{-6} 程度にする必要があることがわかる。このように、アスファルト舗装の理論設計に必要なアスファルト混合物層の疲労破壊回数を特定するには、さらに多くの路線について、ひびわれ率とアスファルト混合物の疲労曲線との関係のデータを蓄積することが重要となる。その蓄積が進めば、寿命予測に用いるべき疲労曲線を特定することができ、アスファルト舗装の理論設計およびオーバーレイ厚の理論設計が可能となるであろう。

9. 結 論

本研究により得られた成果をまとめるとおおよ次のようになるであろう。

(1) FWD によるたわみデータを層構造弾性理論を用いた逆解析により、舗装構成層の現地での弾性係数を推定することができた。

(2) アスファルト舗装のわだち掘れは、アスファルト混合物層の流動、スパイクタイヤによる摩耗、粒状路盤および路床の塑性変形に起因している。ここでは、路床の塑性変形に基づくわだち掘れも無視することはできないことを明らかにした。

(3) アスファルト混合物層下面に生ずる引張りひずみと累計 5 トン換算輪数の座標点と、アスファルト混合物の疲労曲線との相対位置は、供用されているアスファルト舗装のひびわれ率と密接な関係がある。

(4) 世界各国での実験により得られたアスファルト混合物の疲労曲線は、ある程度の変動があるものの、ひびわれに関する舗装の寿命予測に有用であることが明ら

表—4 舗装構成層に生ずるひずみ (10^{-6})

区間	アスファルト混合物層 下面の引張りひずみ	路床上面の 圧縮ひずみ
I	206	889
II	191	196
III	197	185
IV	170	179
V	204	603
VI	194	556

表—5 累計 5 トン換算輪数

区間	施工年	累計 5 トン換算輪数
I	1971	1,746,000
II	1983	584,000
III	1985	325,000
IV	1986	231,000
V	1964	2,411,000
VI	1972	1,688,000

かとなった。すなわち、アスファルト混合物層の疲労に関する許容載荷回数の目安としては、ひずみ 200×10^{-6} で 2×10^6 回、ひずみ 125×10^{-6} で 1×10^7 回程度であるとしてもよいであろう。

10. あとがき

アスファルト舗装の合理的な寿命予測法、理論構造設計法およびオーバーレイ厚設計法などを確立するうえで必要なステップを述べてきたが、その過程において検討すべき事項も多いと思われる。アスファルト舗装のひびわれをもたらす疲労破壊回数の推定において、現在までの知見では有効桁数 2 を確保することも困難であろうし、破壊確率論的な考え方を導入することが必要となろう。しかしながら、アスファルト舗装の理論設計へのアプローチの 1 つとしての手法を、本研究で示すことができたと考えられる。各ステップにおいてさらに詳細に議論されるべき事項は多いが、それら自体が 1 つのテーマとなるほどのものであると考えられる。すなわち、ひびわれが入った舗装のたわみ測定法をいかに考えるか、たわみから舗装構成層の弾性係数を推定するための逆解析にどのような理論を用いるか（層弾性理論、有限要素法、粘弾性理論など）、さらに静的解析か動的解析かなども検討が必要であろう。また、荷重履歴および温度履歴を受けている舗装構成層の弾性係数、疲労抵抗性をどのようにとらえるか、舗装構成層に生ずるひずみを算出する場合には標準荷重および標準温度を規定する必要がでてこよう。これら種々の問題をおのおの解決していかなければならない。

本研究での手法を用い、多くの路線についてひびわれ率とアスファルト混合物の疲労曲線との関係のデータを蓄積し、寿命予測に用いるべき疲労曲線を特定することにより、アスファルト舗装の理論設計およびオーバーレイ厚の理論設計が可能となるであろう。

最後に、本論文の作成にあたり北海道大学助教授 姫野賢治博士と討議させていただき、多くの助言を受けたことを記し、感謝申し上げる。

参 考 文 献

- 1) Haas, R. and Hudson, W. R. : Pavement Management Systems, Robert E. Krieger Publishing Company, Inc., Reprint Edition, 1986.
- 2) Hudson, W. R., Haas, R. and Pedigo, R. D. : Pavement Management System Development, NCHRP Report No. 215, Transport Research Board, 1979.
- 3) Pavement Management Guide, Roads and Transportation Association of Canada, 1979.
- 4) Yeaman, J. and Lee, I. K. : A Handbook of Pavement Management, Vol. 1 and 2, Unisearch Ltd. and SAMI Pty. Ltd., Australia, 1979.
- 5) An OECD Scientific Expert Group : Pavement Management Systems, OECD, 1987.
- 6) Cary, W. N. and Irich, P. E. : The Pavement Serviceability-Performance Concept, HRB Bulletin, No. 250, 1960.
- 7) Pavement Management Guide, Road and Transportation Association of Canada, p. 4.12, 1977.
- 8) 飯島 尚・今井 博・猪股和義 : MCI による舗装の供用性の評価, 土木技術資料, 23-11, pp. 15~20, 1981.
- 9) 菊川 滋・笠原 篤 : 舗装マネジメントシステムにおけるデータベースの役割と支持力データの利用, 道路, 日本道路協会, pp. 53~58, 1987. 9.
- 10) 笠原 篤 : 非破壊試験としてのたわみ測定装置とたわみデータの利用, アスファルト, 第 160 号, 日本アスファルト協会, pp. 57~68, 1989.
- 11) Hoffman, M. S. and Tompson, M. R. : Comparative Study of Selected Nondestructive Testing Devices, TRB 852, pp. 32~41, 1982.
- 12) 笠原 篤・岳本秀人・伊藤保彦・古川真男 : フォーリング・ウェイト・デフレクトメータについて, 舗装, Vol. 20, No. 6, pp. 15~19, 1985.
- 13) 丸山輝彦・姫野賢治・林 正則 : FWD による舗装診断システム, 舗装, Vol. 23, No. 11, pp. 16~20, 1988.
- 14) Berg, F., Jasen, J. M. and Ertman Larsen, H. J. : Structural Pavement Analysis Based on FWD, Georadar and/or Geosonar Data, Proceedings of 2nd International Conference on the Bearing Capacity of Roads and Airfields, pp. 453~461, England, 1986.
- 15) Molenaar, A. A. A. and van Gurp, Ch. A. P. M. : A Pavement Management System for Provincial Road in the Netherlands, Proceedings of 5th International Conference on Structural Design of Asphalt Pavements, Vol. 1, pp. 485~499, The University of Michigan, 1982.
- 16) Kasahara, A., Kubo, H. and Sugawara, T. : Estimation of In Situ Moduli of Pavement Structural Layer with Falling-Weight-Deflectometer Deflection Basin, Proceedings of 6th International Conference on Structural Design of Asphalt Pavements, Vol. 1, pp. 590~596, The University of Michigan, USA, 1987.
- 17) Kennedy, C. K. : Pavement Deflection : Operating Procedures for Use in the United Kingdom, TRRL Report 835, 1978.
- 18) Shell pavement design manual—asphalt pavements and overlays for road traffic, Shell International Petroleum Company Limited, London, 1978.
- 19) Thickness Design—Asphalt Pavement Structures for Highway and Streets, 9th Edition, Asphalt Institute, 1983.
- 20) Per Ullidtz : Pavement Analysis, Elsevier Science Publishers B. V., 1987.
- 21) 笠原 篤・岡川秀幸・菅原照雄 : アスファルト混合物の動的性状とその舗装構造の力学解析への利用, 土木学会論文報告集, 第 254 号, pp. 107~117, 1976.

(1989. 8. 17・受付)