

アスファルト混合物の疲労破壊包絡線

THE FAILURE ENVELOPES OF ASPHALT MIXTURE ON FATIGUE TESTS

丸山 暉彦*・渡辺 隆**・吉原 一彦***

By Teruhiko MARUYAMA, Takashi WATANABE and

Kazuhiko YOSHIHARA

1. 概 説

アスファルト舗装の耐久性は、交通荷重と舗装構造の合理的なバランスを考慮することによって、改善されると考えられている。わが国の舗装設計法も、周知のとおり、大型車交通量と路床土の設計 CBR から、経験的に舗装構成を決定する方法¹⁾を採用して、バランスをはかる方法をとっている。一般に、アスファルト舗装路面の機能低下は、① ひびわれ、② 平坦性悪化やわだち掘れ、③ すべり抵抗の減少、の 3 つの原因により発生する。これらのうち、① のひびわれは路面の本質的な破壊であり、耐久性向上にはこの防止がきわめて重要である。

これらの機能低下は、非常に多くの交通量が通過して、繰り返し荷重が行われた後に発生する。近年、繰り返し荷重に関連した研究^{2),3)}が活発化しているのも、舗装の耐久性向上のために、本質的な課題と考えられる理由によるものであろう。

アスファルト混合物のひびわれは、繰り返し引張応力や引張ひずみによる疲労破壊と考えられ、混合物の疲労破壊特性についての研究^{4)~6)}がかなり行われるようになった。しかし、混合物の力学特性は材料特性のみでなく、温度や載荷速度に大きく依存するので、他の構造材料よりも疲労破壊特性の検討がさらに困難となる。それゆえ、実際の舗装設計に、疲労特性を考慮する際の方法は、まだ確立されておらず、現在の舗装厚設計法も AASHO 道路試験⁷⁾の成果を取り入れて、経験的に疲労破壊の影響を考慮したものと考えられる。

アスファルト混合物の疲労破壊特性を、舗装設計に応用する試みとしては、最近いくつかの提案がなされてい

る。たとえば、Krivissky⁸⁾ はアスファルト層下面の引張応力を弾性理論によって求め、これを限度以下にするという設計法を提案した。また Huang⁹⁾ は表層下面の引張ひずみに着目し、引張ひずみの許容限界曲線を示した。本研究では、アスファルト混合物の疲労破壊特性を疲労破壊包絡線によって示し、2 層系の弾性理論によって表層下面の応力およびひずみを求めて寿命予測を行おうとするもので、過去の研究との差は、破壊包絡線を利用して材料の温度や載荷速度の依存性を消去し、さらに応力およびひずみを同時に考慮して耐久性を検討することにある。

本研究では、まず、密粒度アスファルト混合物の曲げ疲労破壊包絡線を室内実験により求め、繰り返し回数による破壊包絡線を決定した。次に名神高速道路の調査結果を例にとり、アスファルト層下面の応力およびひずみを計算し、破壊包絡線と比較して、破壊に達する交通量を予測した。さらに、疲労破壊包絡線を利用して、軸重換算係数の検討を行った。

2. 実験方法

(1) 使用材料

実験に使用した混合物は密粒度アスファルト混合物である。アスファルト量は 75 回突固めマーシャル試験より求め 5.0% とした。予備実験において、供試体密度の疲労寿命に与える影響がかなり大きいと認められたので¹⁰⁾、ほぼ同一の密度の供試体だけを使用した。使用した密粒混合物の諸元を表-1 に示す。

供試体作成は、約 150°C に加熱した骨材を計量し、150~160°C に加熱溶解されたアスファルトとともにミキサで 5 分間加熱混合する。これを 40×40×10 cm の型わくに詰め、2 層に分けて簡易ローラで転圧した。転圧の線荷重は 2.5 kg/cm である。締固めた試料は、1

* 正会員 工修 長岡技術科学大学助教授 工学部建設系

** 正会員 工博 東京工業大学教授 土木工学科

*** 正会員 工修 東京都建設局西多摩建設事務所

表-1 実験に使用した密粒度アスファルトコンクリートの諸元

アスファルト		Shell 60/80	針入度 62	軟化点 48.5(°C)		比重 1.02			
骨材配合	粒径 (mm)	13	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	0.074
	通過重量百分率 (%)	100	65	43	33	24	18	11	8
密粒混合物		アスファルト量 5.0%		密度 2.385~2.415 g/cm ³		空隙率 3.6~2.4%			
		理論密度 2.474 g/cm ³		飽和度 76.2~82.9%					

日放冷後脱型し、カッターで4×4×18 cmの供試体に切断する。供試体の密度は75回突固めマーシャル密度に相当するものが得られた。

(2) 試験装置と試験条件

荷重は2点支持された供試体の中央に正弦的強制両振変位を与えるものである。両端の支持部分をヒンジとして、端部に曲げモーメントが生じないように工夫した。スパンは16 cmである。アスファルト混合物は粘弾性体であるために、繰り返し試験中に試料両端の支持部、および中央の荷重部に永久変形が生じて、支持ヘッドならびに荷重ヘッドと試料の間に微小な透き間が生じる。この透き間が生じると、ブラウン管オシロスコープで観測している荷重と変位の出力波形が乱れるので、このような状態になれば、出力波形が正常になるように各ヘッドを締直す。荷重ヘッド、支持ヘッドが供試体と接触する部分の曲率半径は5 mmであるが、このままでは試料の接触部分が局所的に変形するので、これを避けるために厚さ0.2 mm、幅40 mmの銅片を各接触部に挟み試験を行った。

実験条件を表-2に示す。供試体部分を恒温気槽中に納め、温度、周波数、設定ひずみを変化させた。この試験では一定変形を与えた試験方法をとったが、はりの弾性理論によったたわみ量から供試体上下線のひずみ量を求め、定ひずみ繰り返し両振試験とみなした。試験中の測定は荷重とたわみ量である。荷重は試験機に備え付けた容量100 kgのロードセルによって測定し、たわみ量は試験機に内蔵されている差動トランスで測定する。

密粒混合物のスパン16 cmにおける単純ばりの共振振動数を計算すると約450 Hzとなり、20 Hz程度

表-2 実験条件一覧

温度 (°C)	周波数 (Hz)	設定ひずみ (%)				
		0.20	0.15	0.12	0.10	0.075
25	1	○	○	○		
20	1	○	○		○	
20	5		○		○	
15	5			○	○	○
10	5			○	○	○

の繰り返し荷重試験では共振の影響のないことを確認した。

(3) 破壊の定義

図-1は定ひずみ疲労試験を行った場合の繰り返し回数と応力変化を示した代表的な例である。繰り返しひずみを与えると、応力は荷重回数が増すにつれてゆるやかに減少し、ある点から急激に低下する。このようなデータから破壊点を定める方法には次のようなものがある。

- ① 供試体が完全に破断したとき¹¹⁾
- ② 供試体表面にクラックが発生したとき¹²⁾
- ③ スティフネスが初期値のある値(50, 60%)まで低下したとき^{13), 14)}
- ④ たわみが急激に増加したとき、あるいは応力が急激に減少したとき^{15), 16)}

①, ②は観察によるもので誤差が大きい。③については図-1に見られるように、スティフネスの低下率が荷重回数に対して一様でなく、50%あるいは60%という基準の意味を明確にしにくい(本実験は定ひずみ繰り返し試験であるから、図-1の縦軸を一定ひずみ ϵ_0 でわればスティフネス変化のグラフと見ることができる)。④の応力が急激に低下したときという破壊の定義は、この点において試料内部に何らかの物理的異状が生じた可能性が大きいし、図-1に関する限りはこの定義による破壊点が明瞭に現われている。本研究ではこの定義を採用する。

図-1における直線 l_1, l_2 を最小二乗法によって求め、これら2直線の交点を破壊点とした。応力にばらつきが生じているのは荷重面がゆるむためである。2直線 l_1, l_2 の交点における荷重回数を破壊回数 N_f 、このときの応力を破壊時の応力 σ_f とする。破壊時のひずみは初期ひずみ ϵ_0 と等しくこれを ϵ_f で表わす。従来のPell⁵⁾, Dijk¹⁴⁾, Monismith¹¹⁾らの研究では、疲労試験結

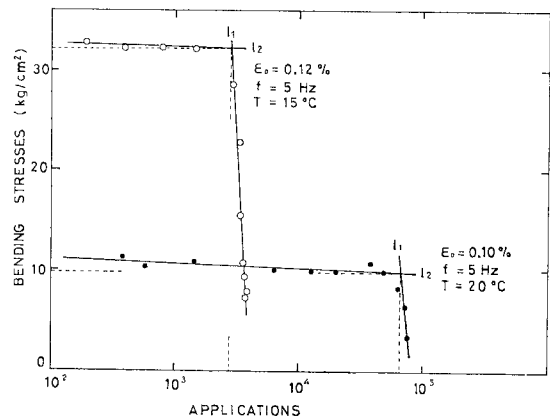


図-1 定ひずみ疲労試験の応力測定結果(破壊の定義)

果の解析に荷重直後の初期応力，初期ひずみを用いている。彼らはこれらと破壊回数，スティフネス等の関係を検討しそれなりの成果をあげている。本研究が彼らの研究と異なる点は，破壊時の応力とひずみを用いて疲労試験結果を解析していることである。試料に繰り返し荷重を与えると，スティフネス低下に見られるように，初期の材料性状は刻々と変化する。したがって破壊時のデータを用いて破壊性状を検討する方がより直接的であると考えた。

3. 疲労破壊包絡線

試験温度，試験周波数，設定ひずみを変えて，前章で定義した破壊時の応力 σ_f ，ひずみ ϵ_f ，破壊回数 N_f を求め， $\log \epsilon_f$ vs. $\log N_f$ ，および $\log \sigma_f$ vs. $\log N_f$ の関係をプロットすると 図-2 のようになる。両者の関係とも， N_f が 8×10^3 回から 3.5×10^5 回の範囲では直線とみなせる。図中の直線は試験温度と試験周波数をパラメーターとしたもので，それぞれ最小二乗法で求

表-3 $\log \epsilon_f = A_1 + B_1 \log N_f$ ， $\log \sigma_f = A_2 + B_2 \log N_f$ と表わしたときの各係数の値

試験条件	A_1	B_1	A_2	B_2
25°C, 1 Hz	-2.28	-0.131	1.68	-0.249
20°C, 1 Hz	-2.28	-0.136	1.65	-0.175
20°C, 5 Hz	-2.31	-0.146	1.73	-0.152
15°C, 5 Hz	-2.43	-0.138	2.07	-0.167
10°C, 5 Hz	-2.51	-0.137	2.15	-0.151

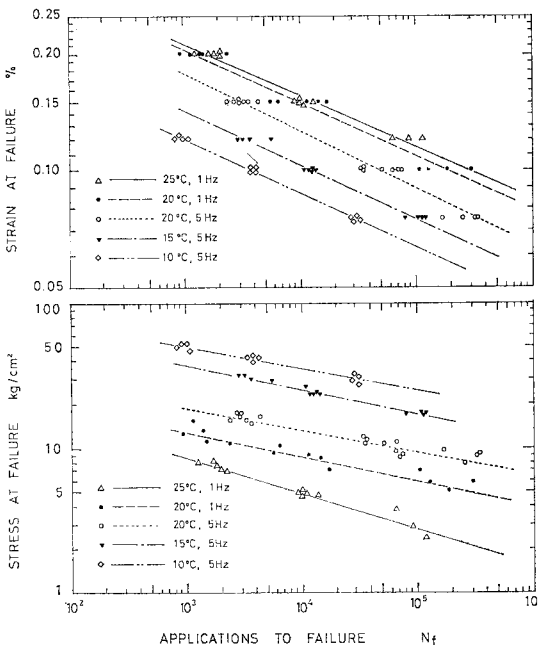


図-2 破壊時ひずみと破壊回数および破壊時応力と破壊回数の関係

表-4 $N_f = 10^4$ 回に対する 95% 信頼区間 (単位%)

試験条件	25°C, 1 Hz	20°C, 1 Hz	20°C, 5 Hz	15°C, 5 Hz	10°C, 5 Hz
$\log \epsilon_f$ vs. $\log N_f$	19	25	17	13	6
$\log \sigma_f$ vs. $\log N_f$	20	37	31	16	25

めた。各直線を $\log \epsilon_f = A_1 + B_1 \log N_f$ ， $\log \sigma_f = A_2 + B_2 \log N_f$ と表わしたときの各定数の値を表-3 に示す。破壊時の応力やひずみではなく，荷重直後の初期応力や初期ひずみに対して同様な図を描くと， $N_f = 10^8$ 回程度までこのような直線性の成立することは Pell⁽¹⁾ らによって認められている。

表-3 で示される回帰直線に対し， N_f の信頼区間を求めてみる⁽²⁾。たとえば，25°C，1 Hz における $\log \epsilon_f$ vs. $\log N_f$ の関係から， $N_f = 10^4$ 回の際の N_f の 95% 信頼区間を求めると 11 900~8 400 回であった。これを 19% の誤差範囲とみなして，他の条件のときも同様に計算すると表-4 のようになる。これによると，95% 信頼区間で N_f の値に最大 40%，通常 20% 前後の幅があると考えられる。したがって，以降で述べる疲労破壊包絡線概念もある幅をもった帯で表わされることを念頭に置く必要がある。

図-2 の結果を用いて，同じ寿命のところの σ_f と ϵ_f を読み取れば，縦軸を $\log \sigma_f$ ，横軸を $\log \epsilon_f$ ，パラメーターを N_f とした 図-3 のような曲線群が描ける。破線で示したものは実験結果はないが，図-2 の直線性が $N_f = 10^8$ 回まで成立すると仮定して，表-3 の定数値から計算して求めたものである。一番右端の曲線は，静的曲げ試験から求めたもので，疲労試験に用いたのと同じ供

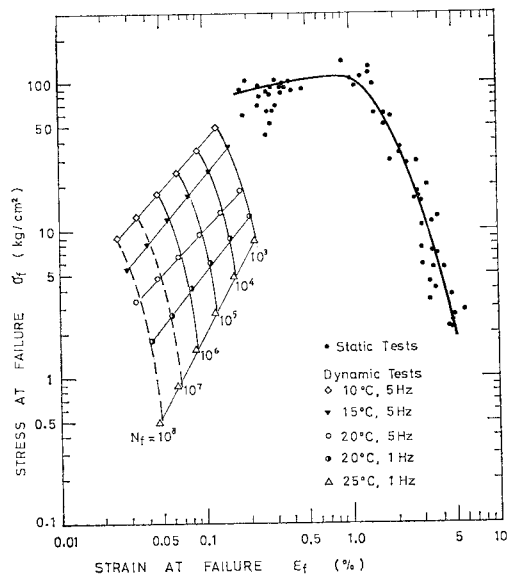


図-3 疲労破壊包絡線および静的曲げ破壊包絡線

試体に、試験温度 $-20 \sim +60^\circ\text{C}$ 、たわみ速度 $3 \sim 60 \text{ mm/min}$ 、スパン 16 cm で、たわみ速度を一定として実施した。この試験による破壊時の応力とひずみをプロットしたものが破壊包絡線で、その詳細についてはすでに報告されている^{18), 19)}。そこで、疲労試験から得られる N_f をパラメーターとした、 $\log \sigma_f$ vs. $\log \epsilon_f$ の曲線群を疲労破壊包絡線と名づける。図-3 から考えられることをまとめると次のようになる。

① 疲労破壊包絡線は、静的な破壊包絡線とよく似た形をしており、静的な破壊包絡線について得られた知見のうちいくつかは疲労破壊包絡線にもあてはまる可能性がある。

② 破壊回数を一定とすれば、試験温度、周波数が変化しても、疲労破壊包絡線は連続な曲線となる。

③ N 回疲労破壊包絡線よりも、応力やひずみの値が小さければ、材料は N 回以上の寿命が期待できる。

④ アスファルト混合物のようにその力学的性質が温度や載荷速度に依存する物質は、ある寿命を得るための応力やひずみの許容値を一意的に定めることができないから、このような表現方法が有効であると考えられる。

以上のことから、疲労破壊包絡線を舗装の寿命予測曲線として利用することが考えられる。

4. 疲労破壊包絡線の応用

(1) Burmister の層理論

前章で述べた実験結果を用いて実際の舗装の寿命予測等を行うために、舗装体内部に生じている応力、ひずみを計算によって求めた。本研究では、弾性係数が温度や載荷速度に依存するアスファルト層を第1層、それ以下を第2層として解析を行う。これは Burmister²⁰⁾ の層理論として知られているものの最も簡単な2層系の場合である。計算にあたっては、

- ① 境界面は完全に粗とする。
- ② ポアソン比はすべて 0.5 とする。
- ③ 引張の場合も圧縮の時と同じ弾性係数をもつ。
- ④ 輪荷重は 5 t とする。
- ⑤ 載荷面形状は円とし、接地圧は等分布荷重とする。

輪荷重 P と接触円半径 a cm との関係は $a=12+P$ を用いる。

のように仮定した。本研究で用いた計算式に関しては、紙面の都合上省略するが、Burmister²⁰⁾ および Acum, Fox²¹⁾ らの解析結果と比較して、彼らの計算結果とのずれが 1% 以内であることを確認した。

(2) 支持層とアスファルト層の弾性係数

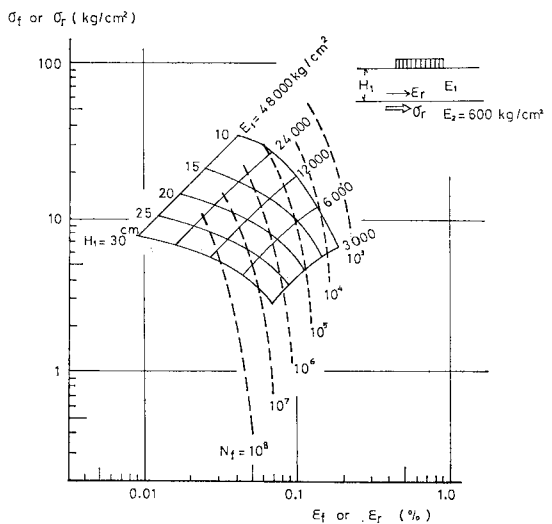
東名高速道路等の追跡調査²²⁾によれば、路盤以下の層を一層とみなしたときの支持層の変形係数は $400 \sim 5000 \text{ kg/cm}^2$ となっている。本研究では、アスファルト層以下を半無限の単一層とみなし、その弾性係数 E_2 が 600 kg/cm^2 と 1200 kg/cm^2 の2つの場合について計算を行った。

アスファルト混合物のスティフネスは、 $-20 \sim +60^\circ\text{C}$ における定ひずみ速度曲げ試験の結果によると $30 \sim 32000 \text{ kg/cm}^2$ であった。しかし、阿部²³⁾ はアスファルト層の弾性係数を $10000 \sim 110000 \text{ kg/cm}^2$ として解析し、 63000 kg/cm^2 と見積ることを提案している。これは設計温度を 10°C とした場合のシェル設計法の提案とほぼ等しいとのことである。本研究ではアスファルト層のスティフネス E_1 を $3000 \sim 48000 \text{ kg/cm}^2$ の間にとって計算を行った。

以上のように、本研究で採用した E_1, E_2 の値は現在推奨されている値よりもやや小さいが、現在までに得られている疲労破壊包絡線と比較できるものとして、このような値を選んだ。今後試験条件を拡大して、広範な弾性係数の選定をカバーできるよう、実験結果を蓄積してゆきたい。

(3) 疲労破壊包絡線による舗装寿命の検討

疲労破壊包絡線概念によると、所定の寿命を得るためには、アスファルト混合物に発生する応力とひずみの両方の面からの制約があることになる。これを実際の舗装に適用すれば、アスファルト層の下面に生じる引張応力、引張ひずみの値が N 回疲労破壊包絡線の内側にあれば、その舗装の寿命は N 回以上あることになる。2



(下層の弾性係数 $E_2=600 \text{ kg/cm}^2$)
 図-4 アスファルト層下面に発生する応力・ひずみと疲労破壊包絡線

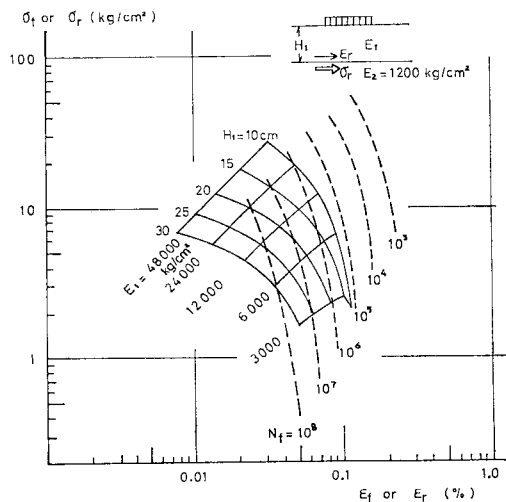


図-5 アスファルト層下面に発生する応力・ひずみと疲労破壊包絡線
(下層の弾性係数 $E_2=1200 \text{ kg/cm}^2$)

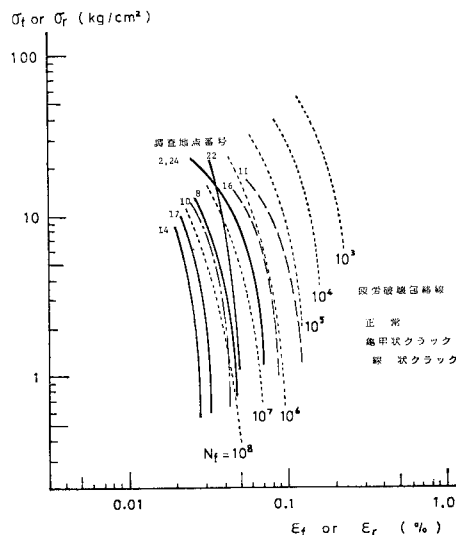


図-6 名神高速道路のアスファルト層下面に発生する応力、ひずみと疲労破壊包絡線

層構造系において、下層の弾性係数 E_2 を一定とし、上層の弾性係数 E_1 と厚さ H_1 を変化させて、上層下面に生じる引張応力 σ_r と引張ひずみ ϵ_r を求め、疲労破壊包絡線と比較したのが 図-4, 5 である。図中の破線が疲労破壊包絡線、細い網目が計算結果で、図-4 は E_2 を 600 kg/cm^2 としたもので、図-5 は E_2 を 1200 kg/cm^2 としたものである。これらの図を利用すると、アスファルト層以下の弾性係数がわかれば、アスファルト層の厚さからその舗装の疲労寿命を予測することができる。逆に、所定の寿命を得たいときの層厚を決定するための参考資料とすることも可能であろう。

また、下層の弾性係数が大きく、アスファルト層厚が 10 cm 程度と比較的薄い場合は、アスファルト混合物の弾性係数の疲労寿命に与える影響は小さくなる。名神高速道路の舗装はこのようなケースであり、これについて検討してみる。名神高速道路において平板荷重試験による路盤の面上変形係数が知られているのは 9 地点で、その値を舗装構造、路面性状とともに表-5 に示す²⁴⁾。表層アスコンの弾性係数を $1000 \sim 48000 \text{ kg/cm}^2$ に変

化させて、アスファルト層下面に生じる応力とひずみを計算し、疲労破壊包絡線と比較したのが 図-6 である。疲労破壊包絡線を点線で示し、名神高速道路の各調査地点の応力、ひずみの状態を、正常なものは実線で、亀甲状クラックの生じたものは破線で、線状クラックの生じたものは一点鎖線で表わした。

この図から読み取れる各調査地点の疲労寿命と路面性状、およびその状態がみられた時点の 10 t EAL 通過台数を比較して表-5 に示した。疲労破壊包絡線から読み取った寿命よりも、 10 t EAL の多い。あるいはそれに近い調査地点では亀甲状クラックが発生している。調査地点 10 番では、交通量が少ないのに線状クラックが発生しているが、それ以外の実交通量が疲労破壊寿命に達しない地点では、路面性状が正常となっている。

室内実験で用いた試料と名神高速道路で使用されている試料とは異なるものであるし、舗装のクラック発生は、下層の支持力変動など多くの要素が原因となっており、アスファルト層の疲労破壊だけでこれらを評価することはできないが、さらに多くのデータを集めて、本方

表-5 名神高速道路の舗装構造と路面性状 (開通後 3 ないし 4 年)

調査地点	2	8	10	11	14	16	17	22	24
舗装構造	B	B	A	A	B	A	A	C	A
路盤面上、変形係数 (kg/cm^2)	1900	3000	3200	1100	5000	1500	4200	2400	1900
路面性状	○	○	△	×	○	×	○	○	○
破壊包絡線より読み取った疲労寿命(回)	$10^6 \sim 10^7$	5×10^7	10^8 前後	$10^5 \sim 10^6$	10^8 以上	10^6	10^8 以上	$10^7 \sim 10^8$	$10^6 \sim 10^7$
10 t EAL 通過台数	2.2×10^5	4.2×10^5	2.7×10^5		4.9×10^5		7.3×10^5	7.1×10^5	

舗装構造: A; アスコン表層 10 cm , 粒調ベース 20 cm , 粒調サブベース 20 cm
 B; アスコン表層 10 cm , 粒調ベース 20 cm , セメント処理サブベース 15 cm
 C; アスコン表層 6 cm , 粒調ベース 20 cm , 粒調サブベース 15 cm
 路面性状: ○ 正常, △ 線状クラック, × 亀甲状クラック

法の妥当性を検討するつもりである。

なお、東名高速道路に対しても、同様な解析を試みたが、東名高速道路はアスファルト舗装厚が大きく、流動破壊の方が顕著であるため、疲労破壊包絡線による寿命予測は成功しなかった。

(4) 軸重換算係数の検討

現在、わが国の舗装設計では、交通条件を 10t 換算軸数、あるいは 5t 換算輪数を用いて評価しようとしている。これは AASHO 道路試験の結果をもとに作成されたもので²⁵⁾、10t 軸重換算係数 LEF (Load Equivalency Factor) は、軸重を $P_{ax}t$ として、シングル軸に対し $LEF=(P_{ax}/10)^4$ で表わされている。この式は、任意軸重 $P_{ax}t$ 1 回の通過が、標準軸重 10t の何回の通過に相当するかを示すものであり、舗装の受けるダメージが軸重の 4 乗に比例するとみなしている。本章ではこの 4 乗則が、疲労破壊包絡線上においても成立するか否かを検討する。

まず、アスファルト層の厚さ H_1 、下層の弾性係数 E_2 を一定として、アスファルト層の弾性係数 E_1 と輪荷重 P を変化させたときの疲労寿命を、疲労破壊包絡線上か

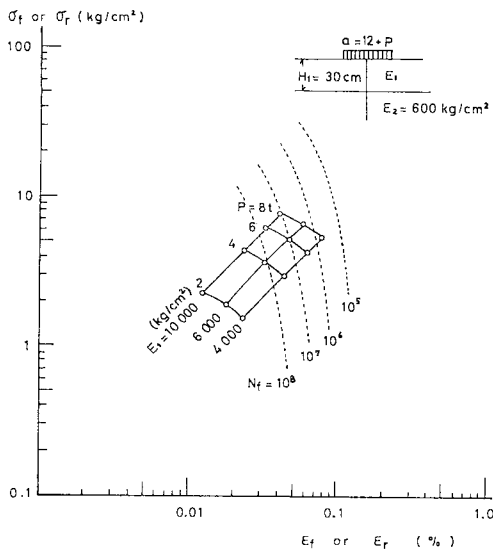


図-7 輪荷重の大きさと舗装の寿命

表-6 軸重換算係数の公式と本研究による方法との比較

軸重 $P_{ax}t$	LEF $(P_{ax}/10)^4$	輪荷重 Pt	疲労破壊包絡線より求めた N_f	LEF' $(N_f)^{P=5t}/N_f$
4	0.0256	2	8.13×10^6	0.00389
8	0.4096	4	1.20×10^8	0.263
10	1.0	5	3.16×10^7	1.00
12	2.074	6	1.00×10^7	3.160
16	6.554	8	2.24×10^6	14.1

$E_1=6000 \text{ kg/cm}^2, E_2=600 \text{ kg/cm}^2, H_1=30 \text{ cm}.$

ら読み取る。ただし、接地半径 a は、 $a=12+P$ より求めた。図-7 は $E_2=600 \text{ kg/cm}^2, H_1=30 \text{ cm}$ とした場合の例である。計算方法を表-6 にまとめた。左欄は $LEF=(P_{ax}/10)^4$ から計算したもの、右欄の LEF' は疲労破壊包絡線から寿命を読み取り、輪荷重 5t のときの寿命の比の逆数をとって求めたものである。一例として、 $E_1=6000 \text{ kg/cm}^2, E_2=600 \text{ kg/cm}^2, H_1=30 \text{ cm}$ の場合の値を挙げた。ここで 10^8 回以上の寿命は、図-2 から得られる回帰式を外挿して、新たに疲労破壊包絡線を作成し、読み取ったものである。

図-8 はこうして求めた LEF' と P_{ax} の関係を示したものである。このように、 $H_1=30 \text{ cm}, E_2=600 \text{ kg/cm}^2$ の場合は、 $\log LEF'$ と $\log P_{ax}$ はほぼ直線関係にあり、 $LEF'=(P_{ax}/10)^6$ が成立する。しかし、 $H_1=10 \text{ cm}, E_2=1200 \text{ kg/cm}^2$ の場合をみると、4 乗則に近づくとともに、直線性からずれてくる。すなわち、下層の弾性係数が小さく、アスファルト層厚の厚い場合は、疲労のダメージは軸重の 6 乗に比例し、軽交通の影響は小さく、重交通の影響が大きくなる。逆に、構造的に支持層の寄与率が大きくなれば、ダメージは軸重の 4 乗あるいはそれ以下に比例するようになる。

AASHO 道路試験から得られた軸重換算係数は、凹凸度分散、パッチング度、ひびわれ度から求められ、荷重 L と構造指数 SN を変数としたやや複雑な式で表わされており²⁶⁾、これを 4 乗則にまとめたのが竹下²⁵⁾である。室内疲労試験によって、このような指数法則の成立することを裏づけたものに、Deacon²⁷⁾ と Witzak²⁸⁾ の

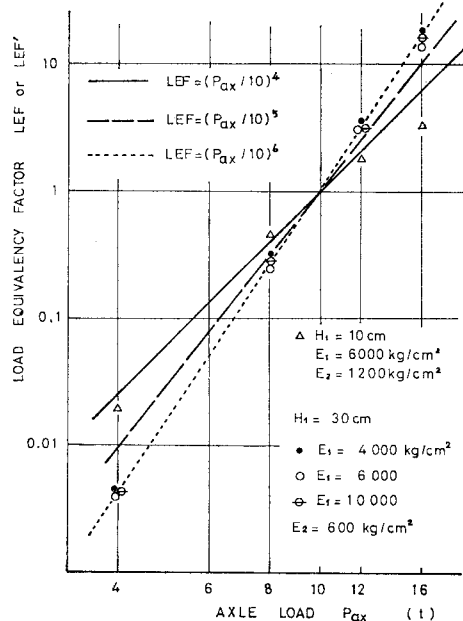


図-8 軸重換算係数と軸重の関係

研究がある。彼らは、アスファルトコンクリートの疲労寿命が、加えられた引張りひずみの大きさに関係していることに注目して次式を導いた。

$$LEF_j = (\epsilon_j / \epsilon_s)^C$$

ϵ_j : 対象となる引張りひずみ

ϵ_s : 標準とする引張りひずみ

ここに、 C は定数で 3~6 の範囲にあり、通常は 4~5 の値で十分であるとしている。

本研究では、データがまだ不十分であるが、応力とひずみの双方を考慮して、疲労寿命と荷重の大きさの関係の検討を試みた。

5. 結 語

本研究は、すでにいくつかの研究例が報告されている^{(18),(19)} アスファルト混合物の静的な破壊包絡線の考え方を発展させて、曲げ疲労試験における疲労破壊包絡線の作成と、その応用を試みたものである。疲労試験は結果を得るのに多大な時間を要し、データのばらつきも大きい。舗装は繰り返し交通荷重を受ける動的な構造物であるから、アスファルト混合物の疲労特性の簡明な表現方法の開発が望まれる。本研究もデータはまだ不十分であるが、舗装材料の疲労特性の一つの表現方法として、疲労破壊包絡線を提案した。その内容を要約すると以下のとおりである。

(1) 疲労破壊包絡線を用いて、所定の寿命を得たいときの舗装の応力やひずみの許容値を検討することができる。

(2) 疲労破壊包絡線を用いて、名神高速道路の舗装寿命の検討を行った。実験に使用した材料が実際と異なること、環境条件を考慮していないこと、名神の破壊が疲労破壊だけではないこと等、この方法にはまだまだ検討の余地があるが、疲労破壊包絡線の応用例として説明した。流動変形が顕著な東名等の舗装に本研究の方法は適用できないが、構造的なひびわれが顕著な舗装の寿命予測はある程度可能である。

(3) 疲労破壊包絡線により、軸重換算係数の検討を行った。舗装の破壊は疲労によるものだけではないが、軸重換算係数は疲労破壊とかなり関連がある。

最後に本研究の仮定の主な部分を整理しておくとのとおりである。

(1) 試験条件、試験材料が限られていること。

(2) 実験における疲労寿命は、最大 3×10^5 回程度までしか得られていないが、疲労破壊包絡線理論が 10^6 回まで成立するとしたこと。また疲労試験の結果にはばらつきがあるが、最小二乗法によって簡便に処理したこと。

(3) 舗装構造の解析を 2 層構造系に単純化し、さらに弾性係数等のパラメーターをある範囲内に限定して検討を行っていること。

以上のように本研究は多くの仮定の上で成立しており、検討の余地が多いが、現時点で得られた知見がかなりの発展性をもっていると考えられたのでこの段階でまとめて報告することにした。

今後、試験条件を拡張して、本研究の一般性を確かめてゆきたい。

謝 辞：本研究に対し、東京工業大学大学院生（現・千葉県）早川徹君の協力を、4. の解析に対しては、東京工業大学 木村 孟助教授のご指導をいただいた。また日本道路（株）技術研究所長 山下弘美氏、日本道路公団 木村剛也氏からは、多数の資料の提供、および有益な助言を受け、シェル石油（株）からは材料の援助をいただいた。ここに記して感謝の意を表します。

なお、本研究は昭和 50 年度、52 年度文部省科学研究費、ならびに 51 年度東京工業大学土木工科学研究奨励金の交付を受けて実施したものである。

参 考 文 献

- 1) 日本道路協会：アスファルト舗装要綱（昭和 50 年版）、1975。
- 2) NCHRP Report : Factors Involved in the Design of Asphaltic Pavement Surfaces, 39, 1967.
- 3) Monismith, C.L. and Y.M. Salam : Distress Characteristics of Asphalt Concrete Mixes, Proc. AAPT 42, pp. 320~350, 1973.
- 4) Pell, P.S. : Fatigue of Asphalt Pavement Mixes, Proc. 2nd Int. Conf. on Structural Design of Asphalt Pavements, pp. 577~593, 1967.
- 5) Pell, P.S. and K.E. Cooper : The Effect of Testing and Mix Variables on the Fatigue Performance of Bituminous Materials, Proc. AAPT 44, pp. 1~37, 1975.
- 6) Kingham, R.I. and B.F. Kallas : Laboratory Fatigue and its Relationship to Pavement Performance, Proc. 3rd Int. Conf. on Structural Design of Asphalt Pavements, pp. 849-865, 1972.
- 7) 日本セメント技術協会：AASHO 道路試験, 1966.
- 8) Krivissky, A.M. : Design of Flexible Pavements for Major Highways, Proc. 3rd Int. Conf. on Structural Design of Asphalt Pavements, pp. 455~467, 1972.
- 9) Huang, Y.H. : Strain and Curvature as Factors for Predicting Pavement Fatigue, Proc. 3rd Int. Conf. on Structural Design of Asphalt Pavements, pp. 622~628, 1972.
- 10) 吉原一彦・渡辺 隆・渡辺暉彦：アスファルト混合物の疲労破壊特性について、土木学会第 32 回年次学術講演会講演集, V-190, 1977.
- 11) Epps, J.A. and Monismith C.L. : Influence of Mixture Variable on the Flexural Fatigue Properties of Asphalt Concrete, Proc. AAPT 38, pp. 423~463, 1969.
- 12) Maulpin, G.W. : Result of Indirect Tensile Tests Related to Asphalt Fatigue, HRR 404, pp. 1~7, 1972.
- 13) Pell, P.S. and J.M. Hanson : Behaviour of Bituminous Road Base Materials under Repeated Loading, Proc.

- AAPT 42, pp. 200~229, 1973.
- 14) Dijk, W.V. : Practical Fatigue Characterization of Bituminous Mixes, Proc. AAPT 44, pp. 38~74, 1975.
 - 15) Jimenez, R.F. and B.M. Galloway : Preliminary Effort of an Apparatus for the Testing of Asphaltic Concrete Diaphragms Proc. AAPT 31, pp. 477~506, 1962.
 - 16) Yüche, R. and C.L. Monismith : Prediction of Load Associated Cracking in Pavement Slabs from Laboratory Determined Fatigue Data, Proc. AAPT 43, pp. 332~349, 1974.
 - 17) Pell, P.S. : Fatigue Characteristics of Bitumen and Bituminous Mixes, International Conf. on the Structural Design of Asphalt Pavements, pp. 310~323, 1962.
 - 18) 森吉昭博・菅原照雄 : アスファルト混合物の流動を伴う領域の曲げ破壊包絡線に関する研究, 土木学会論文報告集, 第 251 号, pp. 107~112, 1976.
 - 19) 渡辺 隆・渡辺暉彦・元田良孝 : アスファルト混合物の一軸圧縮破壊特性, 土木学会論文報告集, 第 243 号, pp. 91~98, 1975.
 - 20) Burmister, D.M. : The General Theory of Stresses and Displacements in Layered Soil Systems, J. Applied Physics 16, pp. 89~95, pp. 126~127, pp. 296~302, 1945.
 - 21) Acum, W.E.A. and L. Fox : Computation of Load Stresses in a Three-Layer Elastic System, Geotechnique II, pp. 293~300, 1950~1951.
 - 22) 高速道路調査会 : アスファルト舗装追跡調査解析結果報告書, 1976.
 - 23) 阿部頼政 : アスファルト舗装構造の合理的設計法に関する研究, 土木学会論文報告集, 第 247 号, pp. 109~122, 1976.
 - 24) 日本道路協会 : 名神高速道路舗装調査報告書, 1971.
 - 25) 竹下春見 : アスファルト舗装に関する対数グラフの応用, 道路, pp. 726~731, 1965.9.
 - 26) AASHTO : AASHTO Interim Guide for Design of Pavement Structures 1972, pp. 59, 1974.
 - 27) Deacon, J.A. : Equivalent Passages of Aircraft with Respect to Fatigue Distress of Flexible Airfield Pavements, Proc. AAPT 40, pp. 194~226, 1971.
 - 28) Witezak, M.W. : Prediction of Equivalent Damage Repetitions from Aircraft Traffic Mixtures for Full-Depth Asphalt Airfield Pavements, Proc. AAPT 42, pp. 277~299, 1973.
 - 29) Guttman, I and S.S. Wilks (石井・堀訳) : 工科系のための統計概論, 培風館, pp. 232, 1968.

(1978.2.28・受付)