

(株)日建設 正員 ○ 佐々木 照雄
神戸大学工学部 正員 西 勝

1. まえがき

たわみ性舗装の構造設計方法には、経験的あるいは半経験的な設計方法（例．C B R設計法）と舗装体挙動の理論的解析にもとづいた設計方法とがある。前者にもとづいて設計されたA A S H OおよびW A S H Oテスト道路で長期にわたって実施された実際の交通荷重を受ける舗装体の挙動調査結果より、疲労破壊の現象が確認され問題になっている。本研究は、このような観点にもとづいて、たわみ性舗装の疲労破壊に及ぼす構成材料特性、それに影響を及ぼす環境条件、交通条件の影響を有限要素法によって究明し、さらに東名高速道路をモデルとした疲労寿命の予知を行なったものである。

2. 解析条件

(1) 解析に使用した路床、路盤、表層材の弾性変形係数（構成材料の物理的性質および実験装置・方法等に関しては参考文献(1)に詳述してあるので省略する）を表一に示す。表層材の弾性変形係数はSeedらによってなされた繰返し曲げ試験結果を採用した。なお、同表におけるCase 2の表層材のそれは秋の晴の日を代表する1例である。ポアソン比は測定できなかったので、0.25～0.35の範囲で疲労破壊に及ぼす影響を調べ、疲労寿命を予知する場合には全ての層のポアソン比を0.30とした。

表一 構成材料の弾性変形係数

Case1 (kg/cm ²)				Case2 (kg/cm ²)			
路床土	Mrs,min=1/0.00154+9.4595ε)+210			Mrs=1/0.00141+5.9203ε)+215			
	Mrs,max=1/0.00124+4.4444ε)+220						
路盤材	Mrb,min=1400σ _m ^{0.51}			Mrb=1250σ _m ^{0.68}			
	Mrb,max=2300σ _m ^{0.51}						
表	深さ (cm)	温度 (°C)	弾性変形係数	深さ (cm)	温度 (°C)	弾性変形係数	
層材	0-10	5.0	38000	0-5	14.7	12374	
		20.0	5000	5-10	18.2	7078	
				10-19	16.8	8900	
				19-28	16.5	9200	

Case1：疲労破壊に及ぼす材料特性等の影響に関する解析に使用

Case2：疲労寿命の予知に使用

ε：軸ひずみ，σ_m：平均主応力(kg/cm²)

(2) 解析に使用した有限要素法（軸対称，非線形反復計算）の計算条件および精度などに関しては参考文献(1)に、疲労寿命を予知する方法に関しては参考文献(2)に詳述してあるので省略する。

(3) 表層材の疲労曲線としてWitczakの提案による次式を採用した。

$N_f = a \cdot b^c \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon}\right)^d$ ここで、 $a = 1.8635 \times 10^{-17}$ ， $b = 1.01996$ ， $c = 1.45$ ， $d = 4.995$ ， N_f ：破壊までの載荷回数， ε ：表層の引張ひずみ， t ：表層の温度(°F)

(4) 交通量としては日本道路公団の交通量等の調査および交通解析から得られた10トン軸重換算交通量を使用した。(3)

(5) 疲労破壊は一般に大型車の通過により生じるので、複輪を想定した。接地圧を7kg/cm²，接地面を円と仮定することにより，接地半径は10.7cmとなった。車輪中心間隔は32cmとし，単輪で得られた結果を重ね合わせることで複輪における結果とした。なお，ここで用いた数値は日本道路公団で使用されている値である。

(6) 舗装断面として東名高速道路の一部で使用されている表層厚28cm，路盤厚17cmを使用し，路床厚は355cm，横方向の寸法として荷重載荷の中心から140cmとした。この舗装断面を要素数229，節点数138の三角形に分割し解析を実施した。

3. 解析結果

3.1 たわみ性舗装の疲労破壊に及ぼす構成材料特性等の影響について

表層内の半径方向の引張ひずみおよび疲労破壊が生じるまでの載荷回数に及ぼす路床、路盤材の弾性変形係数

路床、路盤、表層材のポアソン比、表層内の温度変化（弾性変形係数）、載荷圧の影響の1例を表-2(a)から(e)に示す。これらの表より、表層の弾性変形係数が大きい場合（38000 kg/cm²、5℃という冬に生じる温度）、路床土の弾性変形係数および構成材料のポアソン比が破壊までの載荷回数に及ぼす影響は比較的小さいが、路盤材の弾性変形係数がそれに及ぼす影響は比較的大きいことが認められる。また、表-3(e)より、表層の弾性変形係数が大きくなると（5000 kg/cm²、20℃という春ないし夏に生じる温度）路床土の弾性変形係数がそれに及ぼす影響はある程度

表-2 表層内のひずみに及ぼす構成材料定数の影響

(a)

Mrb	Mrs	ひずみ	載荷回数
min	min	-59.01	1,844,954
	max	-59.28	1,803,362
max	min	-53.62	2,976,910
	max	-53.36	3,050,107

Mrs'=38000 kg/cm², $\nu_s=\nu_b=\nu_{s'}=0.30$

(b)

ν_s	ν_b	$\nu_{s'}$	ひずみ	載荷回数
0.25	0.25	0.35	-57.69	2,065,673
	0.30	0.30	-55.85	2,428,721
0.30	0.30	0.30	-59.01	1,844,954
	0.35	0.35	-57.18	2,159,360

Mrs'=38000 kg/cm², Mrb=Mrb, min
Mrs=Mrs, min

(c)

Mrs'	温度	ひずみ	載荷回数
32000	7℃	-68.01	530,371
38000	5℃	-59.01	1,844,954
50000	3℃	-46.66	3,482,591

Mrb=Mrb, min, Mrs=Mrs, min, $\nu_s=\nu_b$

= $\nu_{s'}=0.30$

(d)

載荷圧	ひずみ	載荷回数
3 kg/cm ²	-26.32	104,095,401
5 kg/cm ²	-42.88	9,091,712
7 kg/cm ²	-59.01	1,844,954

Mrs'=38000 kg/cm², Mrb=Mrb, min

Mrs=Mrs, min, $\nu_s=\nu_b=\nu_{s'}=0.30$

(e)

Mrb	Mrs	ひずみ	載荷回数
min	min	-191.1	296,824
	max	-186.1	331,676

Mrs'=5000 kg/cm², $\nu_s=\nu_b=\nu_{s'}=0.30$

※ 載荷板半径：10 cm
圧縮ひずみ：—
ひずみ：×10⁻⁶

大きくなることが認められる。表層内の温度変化すなわち弾性変形係数の相違および載荷圧が破壊までの載荷回数に及ぼす影響はかなり大きいことが認められる。これらのことは、たわみ性舗装の疲労破壊に関する挙動を解析する場合、構成材料の特性、表層内の温度分布、接地圧等に関する研究の重要性を示唆していると思われる。

3. 2 疲労寿命の予知

先述した計算条件のもとで単輪として算定した表層内の半径方向のひずみを重ね合わせた結果の1例を図-1に示す。この図に示されているように表層底面付近で生じる最大引張ひずみの位置が季節により異なるので、車輪直下および車輪中間点で各々疲労寿命を算定し、小さい方の値を疲労寿命とした。その結果、解析した2車線のうち一方は約3年、他方は約9年となった。約3年という疲労寿命は小さすぎると思われるが、これは常に自動車の通過位置が同じであるという最も危険な状態を想定していることおよび実際の道路の疲労破壊において認められる亀裂の伝播性を考慮していないためと考えられる。それゆえ、自動車の通過位置の分布、詳細な表層内の温度分布、交通量を考慮した表層の弾性変形係数、適切な表層の疲労曲線および材料定数の使用により、精度の高い疲労寿命の予知ができると思われる。

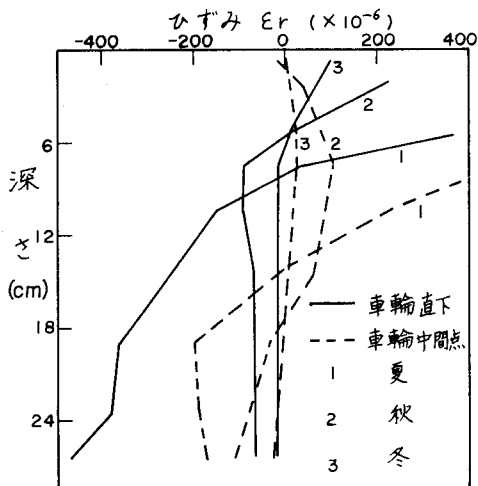


図-1 表層内のひずみの分布

謝辞

解析を実施するにあたって、データの提供および適切な助言をいただいた日本道路公団の小林寛氏に謝意を表します。

参考文献

- (1) 西谷本佐休：有限要素法によるタワミ性舗装の変位解析，土と基礎，1975，1
- (2) 西，佐林：たわみ性舗装の疲労破壊に関する一試案，土木学会関西支部平成学術講演概要集，1976
- (3) M.W. Witczak：Design of Full Depth Asphalt Airfield Pavement, the 3rd. Int. Conf. on the Structural Design of Asphalt Pavement, 1972