

理論設計法によるアスファルト舗装構造の一考察

ワールド開発工業(株) 藤永 知弘
田中 豪

1.はじめに

平成13年6月の「舗装の構造設計に関する技術基準¹⁾」の策定で舗装の構造設計は仕様規定から性能規定へ移行されている。これにより、性能規定発注型の工事量が増加し、新技術の開発・利用促進に向けた活動が顕在化してきている。

わが国ではアスファルト舗装の構造設計方法としてT_A法が広く採用されており、数多くの実績から安定した方法として一應の信頼性を得ている。しかし、T_A法では経験的な要素が多く含まれているため、新しい材料(舗装用シート等)や新たな工法(コンポジット等)に直ちに適用できないという欠点を有している。

そこで、線形多層弾性理論による理論設計法が注目され、現在の設計法はT_A法から移行する過程にあり、多層弾性解析ソフトもBISAR、CHEVLON、ELZA²⁾、AAMES³⁾等が開発されている。

この内、AAMES(*Axi-symmetric Analysis of Multi-layered Elastic Analysis*)は松井らにより開発され、フリーウェアとして配布されている。解析手法は静的な軸対称多層弾性解析で、路床を含めた10層、円形等分布荷重で30輪までの解析が行える。層間のすべりはせん断バネモデルにより表現されている。

本報は、AAMESを使用して舗装設計施工指針⁴⁾(以下、設計指針)に示されている信頼性90%断面(以下、設計断面)を多層弾性解析した結果より、路床の応力に着目した理論設計法を示した。

2.解析条件

多層弾性理論による解析を行う場合、最も重要な入力パラメータとして材料定数(弾性係数、ポアソン比)がある。本解析では一般的な値として日本道路公団の設計

Table2-1 入力値

材 料	弾性係数 (MPa)		ポアソン比	
表層・基層用混合物 (アスコン)	E _a	6000	a	0.35
アスファルト安定処理路盤	E _{sg}	5000	sg	0.38
粒度調整碎石	E _{sg1}	300	sg1	0.40
クラッシャン	E _{sg2}	200	sg2	0.40
路床	E _{sb}	10×CBR	sb	0.45

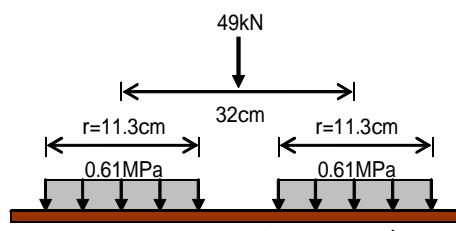


Figure2-1 標準荷重モデル

要領第一集 舗装編⁵⁾(平成16年1月)の値を参考とした。なお、上層路盤はこれに示されている上限値として、下層路盤は下限値とした。また、路床は一般に用いられている式(1)により算出した。

$$E_{sg} = 10 \times CBR$$

E_{sg}: 路床の弾性係数 (MPa)

CBR: 路床土の設計CBR

… (1)

なお、路床の厚さは無限大として、特にベットロック等の層は考慮していない。本報で仮定した材料定数の一覧をTable2-1に示す。

また、AAMESにおいて層境界条件は完全にすべりが生じるものと仮定した。

標準荷重は円形等分布荷重で49kNの複輪荷重とした。標準荷重モデルをFigure2-1に示す。舗装構成は、設計指針に示されている設計 CBR=2%を除く信頼性90%の26断面とした。

A study on the asphalt pavement structure by the theoretical design

Tomohiro FUJINAGA and Takeshi TANAKA

3. 解析結果

舗装構造を評価する場合、一般的に表面たわみ、アスコン最下面の引張りひずみおよび路床面の圧縮ひずみが使用されている。以下に、それぞれの解析結果を示す。

3-1. 表面たわみ

表面たわみの解析結果をFigure3-1に示す。この結果、計画交通量が増加すれば表面たわみは小さくなるような舗装構成となっている。つまり10年間で通過する累積5t換算輪数が多いほど表面たわみを小さく設計していることとなり、妥当な結果だと考えられる。また、計画交通量が少ないほど表面たわみの差異が大きくなっている。これは、以下に示すひずみおよび応力についても同様の傾向であり、舗装構造が薄いと各層の厚さや材料定数の違いの影響を顕著に受けるためだと考えられる。

3-2. アスコン下面のひずみ

次にアスコン下面（アスファルト安定処理路盤を含む）に生ずる引張りひずみをFigure3-2に示す。

AIの破壊基準式ではこのひずみにより破壊回数を算出しているため、計画交通量が同じならば舗装構成の違いにかかわらずほぼ一定の値となるべきである。計画交通量がT=100では右上がりの傾向が強いが、それ以外ではほぼ一定のひずみを示しており妥当な結果である。

3-3. 路床面の圧縮ひずみ

路床面に生ずる圧縮ひずみ Z_{sg} をFigure3-3に示す。結果は上記の引張りひずみと同様の傾向となっている。

4. 舗装構成設計の目標値

4-1. 概要

上記の解析結果より計画交通量の少ない断面を除き T_A 法による舗装構成の設計法の妥当性を確認できた。さらに、これまで蓄積された多くのバックデータより T_A 法により一応の信頼性を評価できる断面を設計することが可能と言える。

しかし、経験的な設計法であるため新材料や新工法に直ちに適用するためには多層弾性理論を使用する必要がある。

設計指針に示されている理論設計法では、アスコン最下層のひずみおよび路床上面の圧縮ひずみをAIの式に代入することで破壊輪数を求めている。しかし、気象条件や交通環境が違うわが国にそのまま適用して

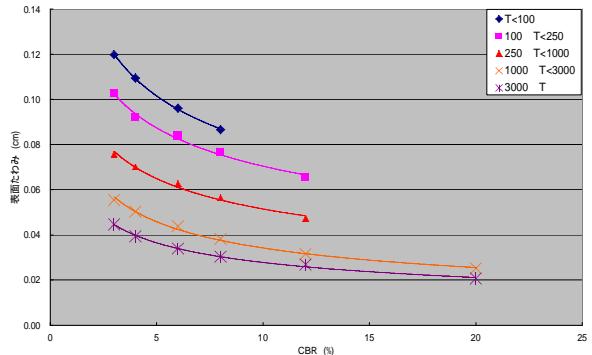


Figure3-1 表面たわみ

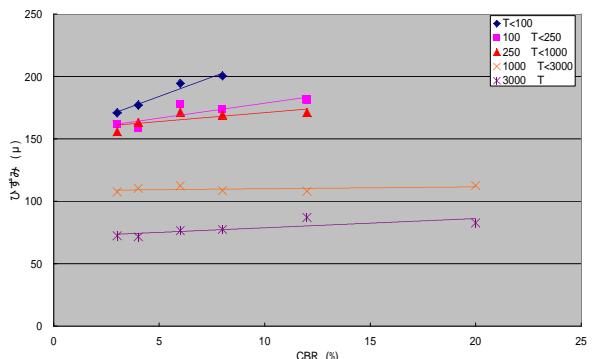


Figure3-2 アスコン最下層の引張りひずみ

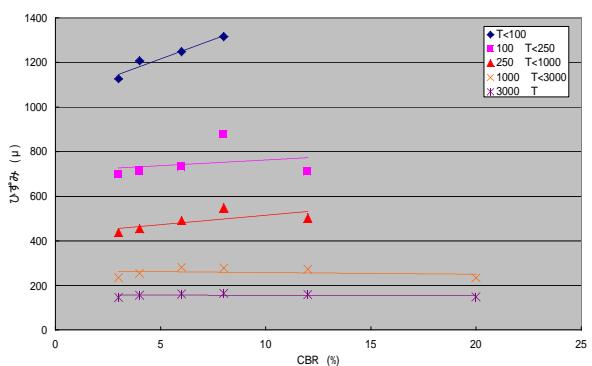


Figure3-3 路床面の圧縮ひずみ

いることと、理論設計法の経験の少なさから信頼性を得ていない。

そこで、 T_A 法で設計した断面の安全性を満足するような多層理論による設計法を検討した。この手法は T_A 法による経験を考慮し、新規の材料に対しても適用できるものである。

アスファルト舗装を構成する各層の役割は、主に交通荷重を均一に分散させ路床に伝達すること⁶⁾にある。したがって、路床面に生ずる力学的作用を考察すれば、何らかの目標値が定まると考えた。

そこで、路用上面に生じる圧縮応力 Z_{sg} を算出した。結果をFigure4-1に示す。

結果は、交通量が少なく、設計CBRが

大きいものほど路床で受け持つ応力が大きくなっている。舗装厚が厚いものほど応力が減少していることから、この結果は交通荷重の分散効果を確認できる。このことは上記した舗装の役割を担っているため、この結果が目標値になると推察できる。

4-2. 目標値の算出

舗装設計時の汎用性を考慮すると路床の設計 CBR に関わらず一定の値となることが望ましい。そこで、路床上面の圧縮応力

Z_{sg} が弾性係数 E_{sg} (CBR) と線形の関係にあるため、路床の弾性係数と受け持つ応力も線形の関係であると推察した。したがって、 Z_{sg} を E_{sg} により除すことで計画交通量毎に一定の値になると考えられる。

目標値を算出するための解析舗装構成は信頼性を高めるため設計断面に加えて、以下の仮定に基づいて断面を増やした。

T_A 法は各層の等値換算厚さの合計が同じであれば舗装構造の性能は等価であることから、全層をアスコンで構成するフルデプスアスファルト舗装 (Full Depth Pavement, 以下, FDP) についても検討した。

FDP の構成は、全層をアスコンで設計したもの (FDP) と設計断面と同じ厚さのアスコンとアスファルト安定処理路盤を組み合わせたもの (FDP) の 2 種類とした。

したがって、設計断面と FDP (Table4-1) の計 78 断面について路床面圧縮応力を解析した。

4-2. 算出結果

78 断面についての解析結果を Figure4-2 に示す。これより、計画交通量が少ない方では差異が大きいが路床の弾性係数に関わらず計画交通量が同じであれば、ほぼ一定の Z_{sg}/E_{sg} を得ることができた。しかしながら若干の偏差が生じていることから区間 CBR の算出方法と同様に、平均値から標準偏差を減ずることで安全性を考慮した (式 (2))。

$$R = \frac{Z_{sg}}{E_{sg}} \text{ の平均} \\ - Z_{sg} / E_{sg} \text{ の標準偏差}$$

$$R : \text{計画交通量毎の目標値} \\ \dots \quad (2)$$

性能規定発注の設計では定められた疲労破壊輪数に対して構造的な強度を満足する必要がある。したがって、様々な疲労破壊輪数に対応するため、疲労破壊輪数と目標値の関係を片対数グラフ上で回帰分析した。

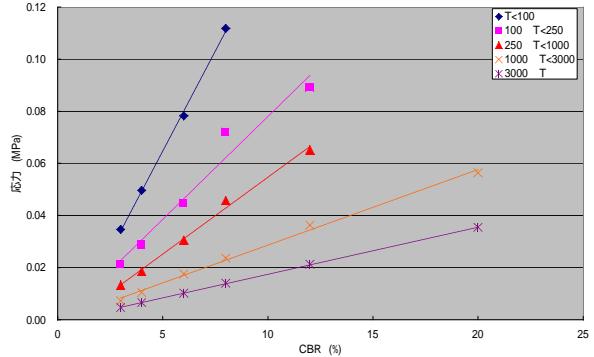


Figure4-1 路床面の圧縮応力

Table4-1 FDP断面の各層の厚さ

種類	CBR	計画交通量			T<100 (旧交通)			100 T>250 (旧交通)			250 T<1000 (旧交通)			3000 T (旧交通)		
		3	4	6	8	3	4	6	8	12	3	4	6	8	12	17
FDP	表層・基層	15	14	12	11	19	18	16	14	13	26	24	21	19	17	
	表層・基層	5	5	5	5	5	5	5	5	5	10	10	10	10	10	
FDP	アスファルト安定処理路盤	13	12	9	8	18	17	14	12	10	20	18	14	12	9	
	アスファルト安定処理路盤	3	4	6	8	12	20	3	4	6	8	12	20			

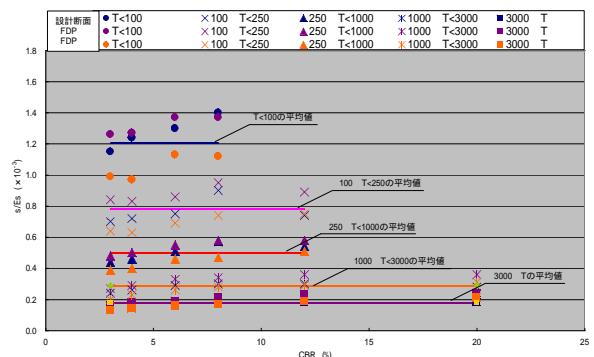


Figure4-2 Z_{sg} と E_{sg} の比

Table4-2 疲労破壊輪数

計画交通量 (台/日・方向)	疲労破壊輪数 ($\times 10^3$ 台/10年)	計画交通量 (台/日・方向)		疲労破壊輪数 ($\times 10^3$ 台/10年)
		T<100	T>100	
T<100	30	1000	T<3000	7000
100 T<250	150	3000	T	35000
250 T<1000	1000			

設計断面で目標としている疲労破壊輪数は Table4-2 となっている。

結果を Figure4-3 に示す。図中には安全性を検討するために各舗装構成について算出した Z_{sg}/E_{sg} もプロットした。なお、回帰式は式(3)で表される。

$$R_T = 18.337T^{-0.2742}$$

$$R_T: \text{目標値} (\times 10^{-3})$$

$$T: \text{疲労破壊輪数 (回/10年)}$$

$$\dots \quad (3)$$

これより、殆どの断面の Z_{sg}/E_{sg} が回帰

曲線より上方に位置しているため回帰曲線が安全側に設定されていることが確認できる。

舗装構成を設計する場合、仮定した断面の Z_{sg}/E_{sg} を回帰曲線の下方に位置するように設計すれば良い。

4-2. 目標値による舗装構成の検討

本報で示した目標値を満足させる設計法による舗装構成(以下、検討断面)の妥当性を確認するため、AIの式でアスコンの破壊回数および路床の破壊回数を算出した。

設計では設計断面の下層路盤厚を変化させ、その他材料の厚さは同じとした。

検討断面の下層路盤厚をTable4-3に、アスコンおよび路床の破壊回数算出結果をFigure4-4に示す。同図には設計断面の破壊回数も同時に示した。

この結果、検討断面の下層路盤厚は-4~12cm増減し、全体的には厚くなっている。設計断面における路床の破壊回数は、交通量が少ない方で目標とする疲労破壊輪数を下回っているが、検討断面は満足している。これは、路床の応力を本報の設計法では考慮しているためだと考えられる。

5.まとめ

本報で示した目標値は、いくつかの仮定を含んでいるが、力学的安全性を T_A 法に比べて有することを確認できた。

本報の設計法の利点を次に示す。

T_A 法による経験を考慮している

新材料を用いた舗装構成に対応できる様々な疲労破壊輪数(計画交通量)に対応できる

基本的に気象条件を考慮する必要がない

舗装の力学的安全性を満足する

今後は、試験施工により実路における供用性を把握し、本報の目標値の妥当性を確認する必要がある。また、新規材料の材料定数を把握し、設計を実施できるよう研究を継続する考えである。

6.おわりに

従来、舗装は舗装材料の力学的挙動の複雑さから経験的に考えられてきた。しかし、合理的な評価法の必要性が顕在化し、理論的に舗装を評価する方向に移行している。

理論解析ソフトの開発や *Falling Weight Deflectometer*⁷⁾ の普及などにより、今後理

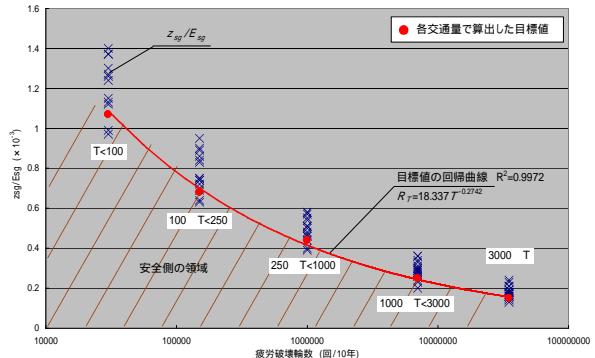


Figure4-3 疲労破壊輪数と目標値の関係

Table4-3 下層路盤の厚さ

計画交通量	CBR (%)	下層路盤厚 (cm)			計画交通量	CBR (%)	下層路盤厚 (cm)		
		設計断面	検討断面	増減			設計断面	検討断面	増減
T<100	3	20	22	2	1000 T<3000	3	40	38	-2
	4	15	19	4		4	35	37	2
	6	15	20	5		6	20	28	8
	8	10	16	6		8	15	24	9
	3	35	36	1		12	10	19	9
	4	25	26	1		20	15	20	5
100 T<250	6	30	32	2	3000 T	3	40	36	-4
	8	15	22	7		4	35	36	1
	12	20	22	2		6	35	39	4
	3	30	32	2		8	30	36	6
	4	35	39	4		12	35	41	6
	6	30	38	8		20	20	26	6
250 T<1000	8	15	27	12		12	15	24	9
	12	15	24	9					

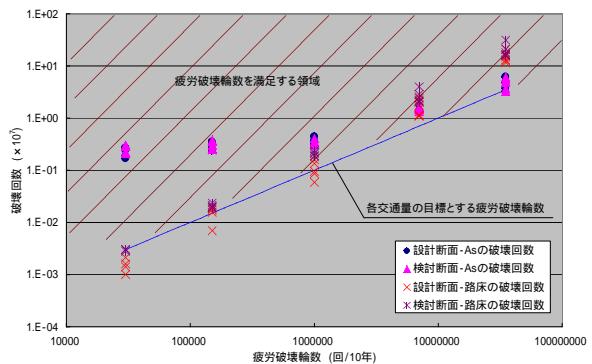


Figure4-4 AIの式による破壊回数

論解釈の必要性が増すものと考えられる。

舗装技術者は、これらの技術を積極的に活用し、経験と理論の両者を同時に考慮して舗装を理解していく必要がある。

【参考文献】

- (社)日本道路協会：舗装の構造に関する技術基準・同解説，2001年7月
- 入手先：<http://pave.civil.tohoku.ac.jp/>
- 入手先：http://www.fwdjapan.org/index_j.htm
- (社)日本道路協会：舗装設計施工指針，2001年12月
- 日本道路公団：設計要領第一集 舗装編，2004年1月
- 土木学会：舗装工学，丸善，1995年2月
- 土木学会：FDWおよび小型FDW運用の手引き，舗装工学ライブラリー，2002年12月