

セメント安定処理路盤の荷重分散効果 (アスファルト舗装) について

LOAD SPREADING PROPERTIES OF CEMENT TREATED BASE OF ASPHALT PAVEMENT

住友栄吉*・川島義昭**

By Eikichi SUMITOMO and Yoshiaki KAWASHIMA

まえがき

本報告は、アスファルト舗装に広く用いられるセメント安定処理路盤の評価に関して、日本道路公団が昭和46年以降約10年にわたって実施してきた一連の土槽試験結果をもとにして¹⁾、これらに種々の理論的考察を加えた結果について述べようとするものである。セメント安定処理路盤の効果に関しては、非常に古くから経験的に知られてきたところであり、1960年前後にはAASHO道路試験のSpecial Base Study²⁾として、詳細な検討が行われ、等値換算係数としてその性能が明らかにされて今日に及んでいる。

本報告では、セメント安定処理路盤の荷重分散効果(ここでは、セメント安定処理路盤層より下の層ならびに路床に発生する応力とひずみを減少させる効果をいう)について、検討することを試みた。経験的に比較的高い弾性係数をもつ層は荷重分散効果が良いことは広く知られているが、それが直接弾性係数といかなる関係にあるかはまだ充分検討されていない。そこでそれらを明らかにするために土槽試験結果を用いて弾性係数で論ずることを試みた。試験土槽として世界的にも最も大型に属するもの³⁾を用い、この土槽中に、ほぼ実用規模で路床、路盤を築造し、粒状碎石路盤(以下粒状路盤という)、セメント安定処理路盤を0.1~0.4mの厚みで延長方向に連続的に変化させた舗装⁴⁾を築造して、各種の計測を行った。解析としては、Hveem⁵⁾、

Benkelman⁶⁾らによってその重要性が指摘されてきた。路面のたわみ量と曲率半径の2つの実測値から、Burmeister, Whiffinら^{6),7),8)}によって提唱された弾性解による層構造解析法を採用し、路盤の弾性係数を求める方法をとった。これらの結果に基づき、ある舗装構造を仮定し、種々の路盤厚をもつ路盤について理論解析を行い、セメント安定処理路盤と粒状路盤を比較して、路盤の荷重分散効果を検討した。従来、一般に土槽試験による試験に関しては、その規模、さらに底板の存在に基づく実際の道路との測定結果の相違が指摘されているが、本研究では、それらについても種々の解析により、底板を十分大きな弾性係数をもつ半無限弾性体におきかえることにより、比較的良好な結果が得られた。

1. 実験概要

アスファルト舗装における粒状路盤とセメント安定処理路盤の荷重分散効果を検討する目的で、屋外土槽を製作し、走行荷重および定位置荷重を与え、ベンケルマンピームによってたわみ量を、曲率計によって曲率半径を求めた。

(1) 試験土槽における断面構成

試験土槽は、鉄筋コンクリート製で幅7m、延長30m、深さ3.1m(いずれも内法)のものである。底部から切込砂利(水位調節用給排水管を設置)0.2m、粗砂0.15m、次いで関東ローム1.35mをおき、その上に0.97~1.27mの路床、0.1~0.4mの路盤を築造し、最上層は路盤面の保護のための30mmのアスファルト・コンクリート層と

* 正会員 日本道路公団 本社調査役(前試験所長)
(〒102/東京都千代田区麹町5-7 第31森ビル)

** 正会員 日本道路公団試験所 舗装試験室長
(〒194/東京都町田市忠生1-4-1)

した。路床は CBR 22% (A路床と呼ぶ) および CBR 8% (B路床と呼ぶ) の路床強度の異なる 2 種とした。路盤は、粒状路盤、セメント安定処理路盤の 2 種であり、路盤厚さは 0.1 m から 0.4 m までくさび状に漸増させている。この試験土槽の平面および層の構成を図-1 に示す。

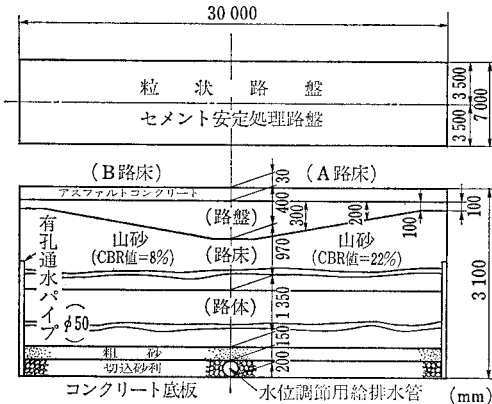


図-1 試験土槽の平面および層の構成

(2) 使用材料

路体、路床および路盤の使用材料は、表-1 に示すとおりである。施工にあたっては、均質になるよう厳密に施工管理を行った。

表-1 使用材料の性状

工種	使用材料百分率 (%)		物理性状			摘要	
	クラッシュチャーラン (30~0)	山砂	最大乾燥密度 (g/cm ³)	最適含水比 (%)	修正 CBR (%)		
路盤	セメント安定処理路盤	35	65	1.993	10.0	100.5	セメント添加量 2.5%
	粒状路盤	80	20	2.220	6.5	100.0	
路床	A 路床	—	100	1.704	15.5	22.0	
	B 路床	—	100	1.723	15.7	8.0	
路体	—	—	—	—	—	—	関東ロームコン indices 7~20 kgf/cm ²

(3) 測定法

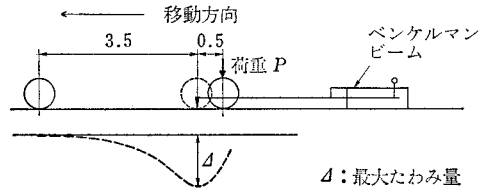
a) たわみの測定方法

① 走行荷重によるベンケルマンビーム

測定方法は、図-2 に示す復元たわみ法 (道路公団法) によって実施した。載荷は、走行載荷装置⁹⁾ によった。

② 定位置荷重によるベンケルマンビーム

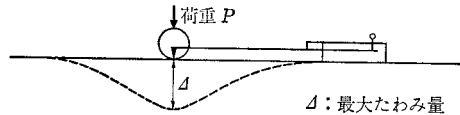
測定方法は、定位置載荷装置⁹⁾ を用いて 図-3 に示すように、ベンケルマンビームをセットした測定点に対し



(走行荷重の場合)

図-2 ベンケルマンビームによるたわみ量の測定

て載荷し、測定を行ったのち除荷するものである。



(定位置荷重の場合)

図-3 ベンケルマンビームによるたわみ量の測定

b) 曲率半径

測定方法は、図-4 に示す曲率計¹⁰⁾ を用いて、定位置載荷装置により載荷し、荷重中心で測定を行った。ただし、路盤の種類により曲率計の固定脚と測定ピンの距離 (L) を変化させた。粒状路盤では、 $L=0.2449\text{m}$ 、をセメント安定処理路盤で $L=0.3162\text{m}$ とした。

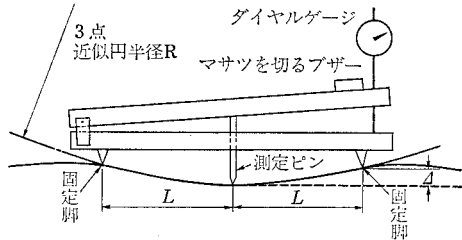


図-4 曲率計原理の概念図

この測定による固定脚の測定ピンの相対変位 (Δ) から、次式より曲率半径が求まる。

$$R = (\Delta^2 + L^2) / 2\Delta \approx L^2 / 2\Delta \dots \dots \dots (1)$$

ただし、R: 曲率半径 (m)

L: 固定脚と測定ピンの距離 (m)

Δ: 測定する相対変位 (m)

2. 測定結果

(1) たわみ量

走行荷重および定位置荷重によるベンケルマンビームによって測定されたたわみ量を表-2 に示す。なお荷重の大きさは 0.5~5 tf と路盤厚によって変化させた。表-2 から、(1) で述べた路床強度および路盤厚さの違いによるたわみ量の相違について次のようなことが言える。

- ① 路床強度の違いによるたわみ量の差は両路盤とも

表-2 たわみ量測定結果

測定方法	路盤厚 (cm)	複輪荷重 2輪合計 (tf)	載荷接地 半径 (cm)	たわみ量 (mm)			
				セメント安定処理路盤		粒状路盤	
				A路床	B路床	A路床	B路床
定位置ベンケルマンビーム試験	10	0.5	6.70	0.094	0.298	0.334	0.798
		1.0	7.46	0.176	0.402	0.532	1.400
		1.5	8.17	0.283	0.598	0.697	1.462
	15	1.0	7.46	0.077	0.184	0.323	0.836
		1.5	8.19	0.137	0.283	0.457	1.281
		2.0	8.86	0.182	0.373	0.595	1.482
	25	1.0	7.74	0.026	0.073	0.232	0.467
		2.0	8.86	0.059	0.111	0.506	0.961
		3.0	9.99	0.109	0.169	0.711	1.381
	35	3.0	9.97	0.033	0.094	0.615	0.821
		4.0	10.65	0.074	0.135	0.798	1.148
		5.0	11.44	0.140	0.209	1.031	1.553
走行試験ベンケルマンビーム	10	1.5	8.19		0.3537		1.3961
		3.0	9.99	0.4775		1.2565	
	20	1.5	8.19		0.2040		0.8842
		3.0	9.97	0.1675		—	
	30	1.5	3.19		0.0758		0.6470
		3.0	9.99	0.0645		0.7346	
	40	1.5	8.19		0.0408		0.6316
		3.0	9.99	0.0434		—	

B路床 (CBR=8%) の値がA路床 (CBR=22%) の値より大きく、約 2~3 倍程度になっている。

② 粒状路盤のたわみ量は、セメント安定処理路盤より大きい。

③ 粒状路盤、セメント安定処理路盤とも、厚さが減少するとともにたわみが増加する傾向を示している。

④ 粒状路盤の場合、路盤厚さが 30 cm 以上では、たわみ量の路盤厚さによる減少が A, B 路床双方においてほとんどみられない。

⑤ B路床では、粒状路盤の厚さが薄い時はセメント安定処理路盤の 3 倍程度のたわみ量であるが、厚くなると約 8~15 倍にもなっている。

(2) 曲率半径

求めた曲率半径の値を表-3 に示す。これらの結果から、次のようなことが言える。

① 曲率半径は、各路盤厚とも A路床 (CBR=22%) での値が B路床 (CBR=8%) での値より約 2~3 倍大きい。

② 同一条件のセメント安定処理路盤と粒状路盤を比較すると、A路床では路盤厚さ 35 cm でセメント安定処理路盤の値が粒状路盤の約 50 倍と最も大きくなり、B路床では路盤厚さ 25 cm で、セメント安定処理路盤の値が粒状路盤の約 40 倍と最も大きくなる。

3. 層構造解析による路盤の弾性係数の推定

表-3 曲率半径測定結果

測定方法	路盤厚 (cm)	複輪荷重 2輪合計 (tf)	載荷荷重 半径 (cm)	曲率半径 (m) (3個平均値)			
				セメント安定処理路盤		粒状路盤	
				A路床	B路床	A路床	B路床
定マン位置ベンケル試験	10	1.0	7.46	692	229	103	48
	15	1.5	8.19	1585	692	131	82
	25	2.0	8.86	5395	2884	120	70
	35	4.0	10.65	3981	1159	76	55

(1) 層構造の決定

前述のような方法で得られたたわみ量および曲率半径の測定値を使用して、層構造解析 (BISAR プログラム)¹¹⁾ より路盤の弾性係数を推定することをここでは試みた。

実際の土槽内舗装の断面は図-1 に示したように、舗装表面下 3.1 m の地点に底板コンクリートが打設されており、また路体部には関東ローム層、粗砂層および切込砂利層などが設置されており、複雑な層構成になっている。このような断面において層構造解析を行う時、層構造を路盤 (10~40 cm) と路床 (半無限) の 2 層とした場合では計算されるたわみ量が実際より大きくなることから予測されることと、変形は無限深まで及ばないことからここでは底板コンクリートの影響を考慮した。

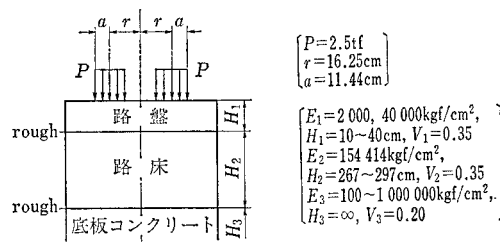


図-5 底板コンクリートの弾性係数を求めるための入力条件

図-5 に示すような入力条件のもとで、層構造解析を行い、底板コンクリートが路盤表面のたわみ量に影響する割合をみると図-6 のようになる。図-6 から底板コンクリートの弾性係数が大きくなれば、計算される表面たわみ量は小さくなり、また一定値に収束する傾向が見受けられる。このことから本解析においては、底板コンクリートを $1 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ (9.8 GPa) の弾性係数をもつ半無限の地層に置き換えて解析を進めることにした。

図-7 に本解析に使用した層構造断面および入力条件を示す。また、今回実測値として解析に使用した表面たわみ量を測定した時点 (昭和 51 年 10 月) の路床は、昭和 46 年と昭和 49 年に施工されたものであり、この間の数年間に、種々な形で締固めおよび圧密作用を受けてきたことが予想され、施工当時の弾性係数 (A路床 $E_{2A}=414 \text{ kgf/}$

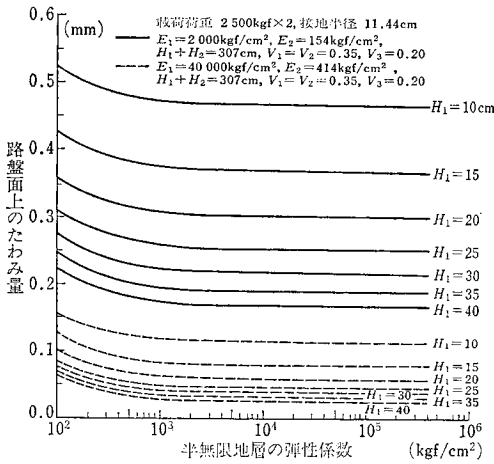


図-6 路盤面上のたわみ量と底板コンクリートを半無限地層におきかえたときの弾性係数の関係

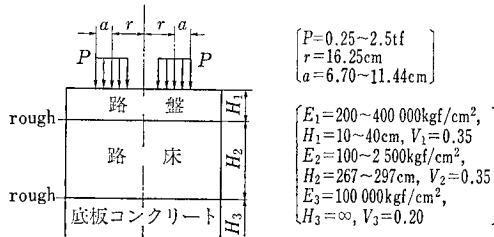


図-7 解析に使用した断面構成と入力条件

cm² (4.06×10 MPa), B路床 E_{2B}=154 kgf/cm² (1.51×10 MPa)) より大きくなっている可能性が考えられる。路盤の上載荷重による拘束を考慮すればセメント安定処理路盤の場合は、高い路床弾性係数を想定できるが、粒状路盤の場合は、それに大きく期待することはできない。

そこで解析の際、拘束効果が期待されるセメント安定処理路盤については、その路床の弾性係数の 1~3 倍を想定し、拘束効果のあまり期待されない粒状路盤については、その 1~1.5 倍を想定し、それらに対応する路盤の弾性係数を算出することを試みた。

(2) 路盤の弾性係数

a) たわみ量からの推定

図-8 は、たわみ量から推定された路盤の弾性係数と路盤厚の関係を示したものであり、図中の破線は路床の弾性係数を 1~3 倍と変化させたときの両者の関係の平均的なものを示している。これによれば、路盤の弾性係数は、路盤厚と路床の弾性係数に依存していることがわかる。なお路盤の弾性係数は、荷重の大きさ、走行荷重および定位置荷重と載荷方法によって、あまり影響を受けないことも見い出されている。また、約 20 cm の路盤厚での、セメント安定処理路盤の弾性係数は 43 000~250 000 kgf/cm² (4.22~2.45×10 GPa) となり、約 35 cm

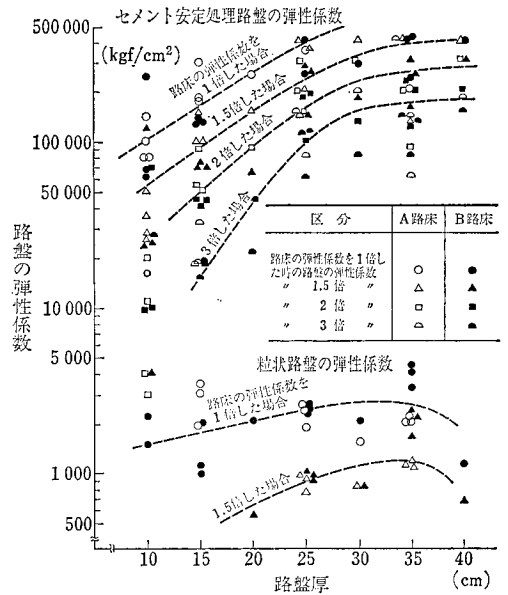


図-8 路盤の弾性係数と路盤厚の関係

の路盤厚での粒状路盤のそれは 1 200~2 600 kgf/cm² (1.18×10²~2.55×10² MPa) になることがわかる。

b) 曲率半径による推定

図-9 に曲率半径から推定した路盤の弾性係数と路盤厚の関係を示す。なお図中の破線は、路床の弾性係数を 1~3 倍と変化させたときの両者の関係の平均値を示している。これによれば曲率半径から推定される路盤の弾性係数は、たわみ量から推定される値よりも小さな値になっていること、路床強度によって大きく変化していることがわかる。前項において用いたたわみは、荷重中心での数値であり、曲率計による値は、それから離れた地点でのたわみをも測定している。この結果によれば、路床弾性係数の差に基づく路盤弾性係数の値は、たわみからよりも、曲率半径からのほうが、ばらつきが小さくなっている。

また、約 20 cm の路盤厚での、セメント安定処理路盤の弾性係数は、52 000~72 000 kgf/cm² (5.10~7.06 GPa)、35 cm の路盤厚での粒状路盤の弾性係数は 1 000 kgf/cm² (9.81×10 MPa) 前後となることがわかる。

たわみ量ならびに曲率半径の双方から 2 種の路盤の弾性係数を総合的に推定し、セメント安定処理路盤については 60 000 kgf/cm² (5.88 GPa)、粒状路盤については、1 500 kgf/cm² (1.47×10² MPa) となる値を与えた。

4. 舗装構造解析

粒状路盤 1 500 kgf/cm² (1.47×10² MPa)、セメント安定処理路盤 60 000 kgf/cm² (5.88 GPa) なる値を使用し、こ

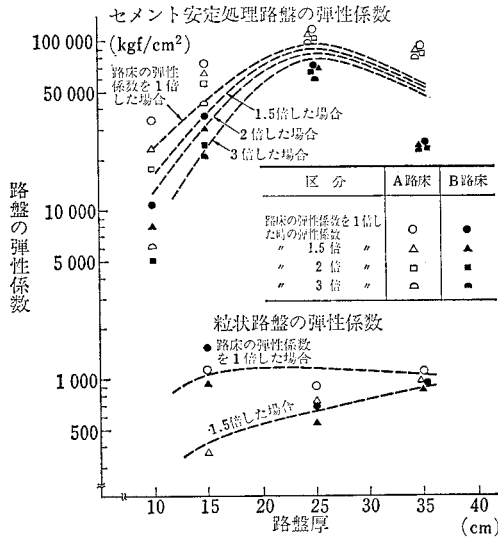


図-9 路盤の弾性係数と路盤厚の関係

ここでは図-10に示すような路床、路盤、アスファルト層とからなる3層の舗装構造を想定し、粒状路盤およびセメント安定処理路盤の厚さを変化させたときのアスファルト舗装の構造解析をBISARプログラム¹¹⁾によって試みた。

アスファルト舗装の構造解析を行うときのひとつの問題は、アスファルト層の弾性係数の設定にある。米国アスファルト協会¹²⁾によれば、路床に作用する垂直応力について論ずるときには7000 kgf/cm² (6.86×10⁸ MPa)と小さな弾性係数を、アスファルト層の下面に作用する引張りひずみについて論ずるときには、100000 kgf/cm² (9.81 GPa)と大きな弾性係数を用いることを推奨している。すなわち、80 km/h程度の速度で走行している車両に対して、7000 kgf/cm² (6.86×10⁸ MPa)なる値はアスファルト層の温度が高い夏期の場合、100000 kgf/cm² (9.81 GPa)なる値はアスファルト層の温度が低い冬期の場合と受取ってもよい。また20°Cなる基準温度を対象とすれば、20000 kgf/cm² (1.96 GPa)の値を用いればよいことになる¹³⁾。

(1) 路床に生ずる垂直応力

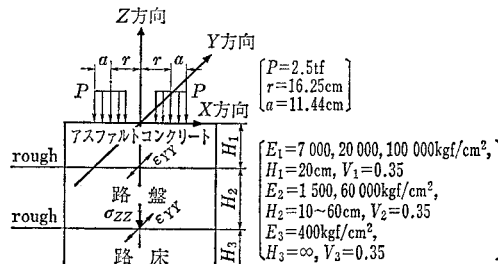


図-10 断面構成と入力条件

粒状路盤およびセメント安定処理路盤において、それぞれの厚さを10~60 cmと変化させたとき、荷重中心において路床上面に作用する垂直応力を算出した結果を図-11に示した。図より、路床に生ずる圧縮応力が0.16 kgf/cm² (1.57×10 KPa)、と等値となる粒状路盤厚およびセメント安定処理路盤は、アスファルト層の弾性係数を7000 kgf/cm² (6.86×10⁸ MPa)としたとき、それぞれ60 cm, 19 cmとなることがわかる。すなわち、このことは60 cm厚の粒状路盤と19 cmのセメント安定処理路盤は等価であることを示している。

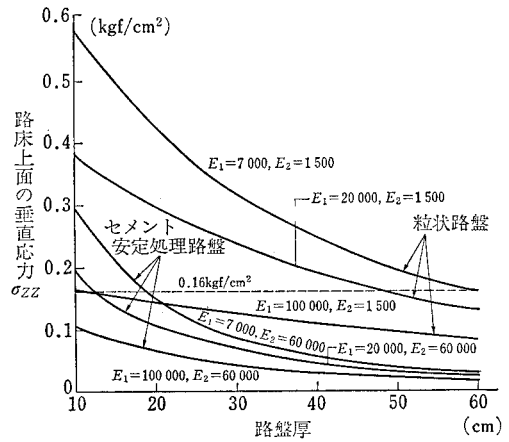


図-11 路床上面の垂直応力と路盤厚の関係

(2) アスファルト層に生ずる水平ひずみ

アスファルト舗装の疲労に基づく亀甲状クラックの発生は、アスファルト層下面に生ずる水平方向の引張りひずみもしくは応力に支配される。荷重中心においてアスファルト層の下面に生ずる水平方向ひずみの大きさと路盤厚の関係を図-12に示した。

図-12より、アスファルト層の弾性係数が100000 kgf/cm² (9.81 GPa)のとき、アスファルト層下面に生ずる引張りひずみは、粒状路盤のとき約90×10⁻⁶、セメント安定処理路盤のとき約20×10⁻⁶となった。またアスファルト層の弾性係数が小さくなるほど、粒状路盤上のアスファルト層下面に生ずる引張りひずみは格段に大きくなっているのに対して、セメント安定処理路盤上のアスファルト層の下面に生ずるひずみは、圧縮となっていることがわかる。このことはセメント安定処理路盤を用いたアスファルト舗装においては、アスファルト層の疲労を考慮しなくてもよいことを物語っている。

(3) 路盤に生ずる水平ひずみ

セメント安定処理路盤上のアスファルト層下面に圧縮ひずみが生じていることは、セメント安定処理路盤内に

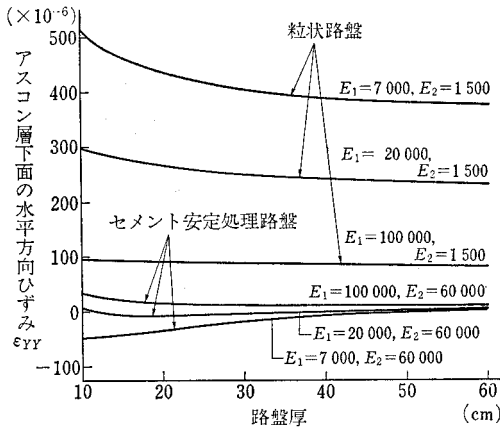


図-12 アスファルトコンクリート層下面の水平方向ひずみと路盤厚の関係

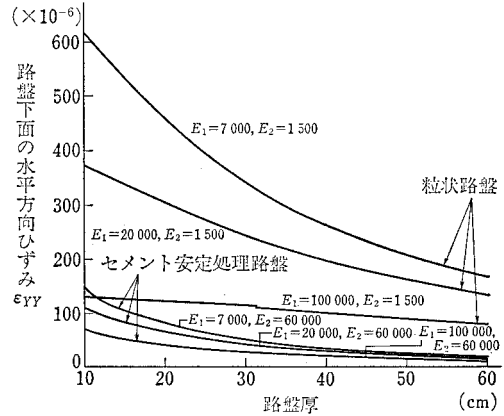


図-13 路盤下面の水平方向ひずみと路盤厚の関係

引張りひずみが生じていることを推測させる。そこで荷重中心において路盤の下面に生ずる水平ひずみを算出した結果を 図-13 に示した。

図-13 は、セメント安定処理路盤の下面に生ずる水平方向の引張りひずみは、大きくとも 100×10^{-6} 程度であることを示している。このことはセメント安定処理路盤の疲労に基づく弾性係数の力学的性状の経年変化、疲労特性などを実験的に求めることの重要性と室内試験および試験舗装でのデータ蓄積の必要性を示している。

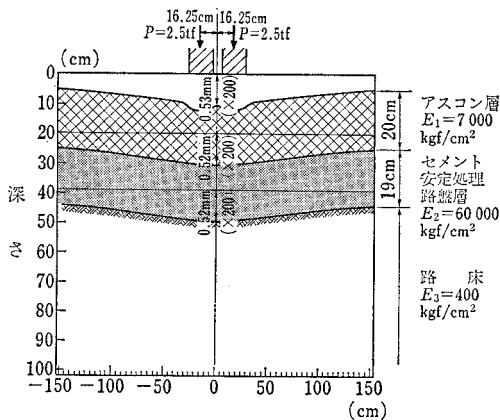
粒状路盤の下面には、数百マイクロの引張りひずみが生じているが、応力の釣合状態を検討した結果、その詳細は省略するが、せん断応力の 1/4 程度の引張応力しか生じていないことから、粒状路盤層の挙動を弾性領域で取り扱っても大きな問題は生じないとしてもよいであろう。

(4) 荷重分散効果

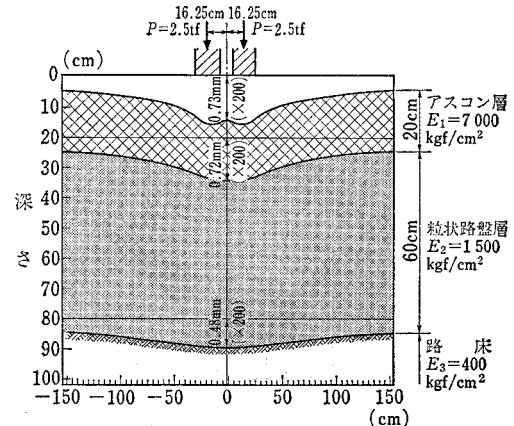
舗装構造を路床に生ずる垂直応力からみたとき、19 cm

厚のセメント安定処理路盤と 60 cm 厚の粒状路盤は等価であることを先に明らかにした。そこで、19 cm 厚のセメント安定処理路盤および 60 cm 厚の粒状路盤を用いた 2 つのアスファルト舗装の荷重分散効果がどのように異なるかを、図-10 に示す条件で計算されるたわみの形状、アスファルト層および路盤に生ずる水平方向ひずみの分布で論ずることを試みた。

図-14 は、アスファルト層の弾性係数を $7,000 \text{ kgf/cm}^2$ ($6.86 \times 10^8 \text{ MPa}$) として、軸重 10 t の車両が走行しているときの、アスファルト層表面、路盤上面、路床面の沈下形状を車軸に沿った方向 (X 方向) に示したものである。両断面とも路床に生ずる垂直応力からみたときは等価の構造であるにもかかわらず、路盤面上の沈下曲線を比較してみるならば、粒状路盤では載荷位置付近で沈下は大きく、たわみの曲率半径も小さいと言える。また、アスファルト層表面でのたわみも、粒状路盤の場合大きく、かつタイヤが接地している付近のたわみの増大が顕著である。たわみ量ならびにたわみ曲線の形状から、等



(a) セメント安定処理路盤の場合



(b) 粒状路盤の場合

図-14 舗装表面、路盤上面、路床面における沈下形状

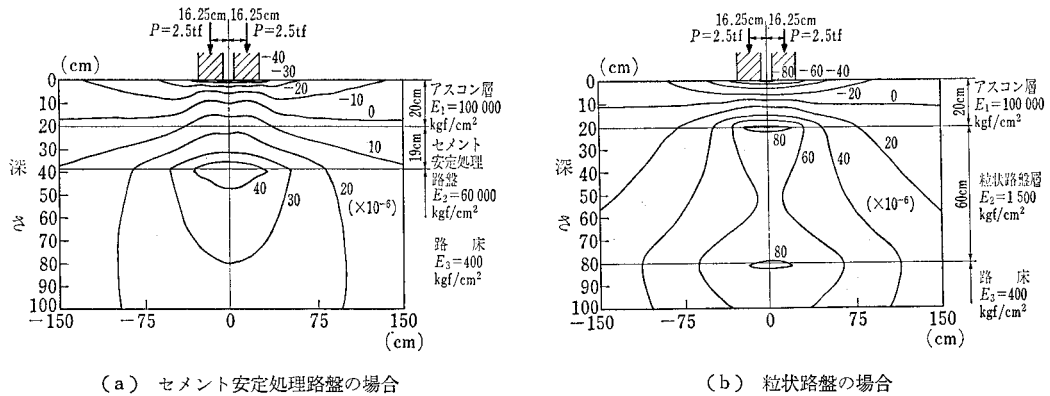


図-15 舗装体内に生じる水平方向ひずみの分布

価の舗装構造であってもセメント安定処理路盤を持つアスファルト舗装の荷重分散効果は大きいと言える。

図-15は、アスファルト層の弾性係数を $100\,000\text{ kgf/cm}^2$ (9.81 GPa) とし、セメント安定処理路盤ならびに粒状路盤を用いた等価の舗装構造において、各層に生ずる水平方向ひずみ (ϵ_{yy}) の分布を等ひずみ曲線で表わしたものである。

アスファルト舗装に軸重 10 t の荷重が作用したときセメント安定処理路盤を用いた構造では、アスファルト層と路盤が一体となって曲げを受けていることが、図-15の (a) から読みとれる。すなわち、水平方向ひずみがゼロの線 (中立軸) は、アスファルト層下面から若干上に位置しており、荷重中心下においてアスファルト層下面には、 15 マイクロ程度の引張りひずみが生じており、セメント安定処理路盤下面には 50 マイクロ程度の引張りひずみが生じている。一方、粒状路盤を用いた構造では、中立軸はアスファルト層の中央部に位置しており、アスファルト層下面には 80 マイクロ程度の引張りひずみが、またアスファルト層上面には、 80 マイクロ程度の圧縮ひずみが生じている。

アスファルト層表面、路盤上面、路床面でのたわみ曲線の形状ならびに中立軸の位置、引張り・圧縮ひずみの分布形状を構造解析により求めた結果から、粒状路盤に比しセメント安定処理路盤の荷重分散効果は、非常に大きいと結論できる。

5. 結 論

本研究の結果明らかにされた事項は、おおむね次のとおりである。

a) 本研究に用いられた規模の土槽試験は舗装の構造評価、路盤の荷重分散効果の判断に十分利用できるものであることが明らかになった。なお、土槽の底板の存在

に起因する実際の舗装構造との相違は、結果の解析に際し、底板に代わるものとして、十分大きな弾性係数 (ここでは $1 \times 10^8\text{ kgf/cm}^2$ (9.81 GPa 程度)) をもつ半無限弾性体におきかえることによってそれを近似させることができた。

b) 実測によって得られた表面たわみ量、表面の曲率半径を層構造理論によって解析して得られる路盤の弾性係数で、路盤の荷重分散効果をよく表現できることが明らかとなった。

c) 解析の結果によれば、粒状路盤の弾性係数は、約 $1\,500\text{ kgf/cm}^2$ ($1.47 \times 10^8\text{ MPa}$)、ここで用いたセメント安定処理路盤のそれは約 $60\,000\text{ kgf/cm}^2$ (5.88 GPa) であり、粒状路盤に比し、セメント安定処理路盤のそれは約 40 倍となった。

d) 荷重中心下の路床上面に作用する圧縮応力からみたセメント安定処理路盤の荷重分散効果は、粒状路盤の厚みの約 $1/3$ の厚さで等値となることが明らかになった。これは、舗装構造の設計、材料選択、経済性の観点からみて、大きな示唆を与える結論となる。これらについては疲労性状との関係から、実際の道路での経年変化等について、より詳細な検討が期待される。

e) 舗装の各層の下面に作用する応力・ひずみは、その層と、直下の層の弾性係数の比の関数としてとらえることができるので、セメント安定処理路盤層の上にくるアスファルト層下面の応力、ひずみは、著しく軽減され疲労に基づく破壊を軽減させることができる。一方、セメント安定処理路盤層下面に関しては、逆に疲労抵抗性を十分考慮することが必要になる。

以上の結論から、今後の課題として次のようなことがあげられよう。

- ① 舗装の実用性状との相関について検討を進めること。
- ② 路面のたわみ曲線を高精度で実測する方法について検討を進めること。
- ③ セメント安定処理路盤の配合ならびに材料性状

について、より詳細な検討を行うこと。

あとがき

本報告は、既に述べたように日本道路公団が約 10 年にわたって実施してきた研究成果をもとに、それらに若干の理論的考察を加えることにより整理を試みたものである。これらはあくまで土槽試験によって得られたものであり、今後さらに実際の道路における実用条件のもとの研究の発展が期待される。

本文をとりまとめるにあたり、これらの一連の研究計画の立案、研究の実施に尽力された、石田季九夫元試験所長、瀬戸薫元同舗装試験室長に深甚なる感謝の意を表し、併せて、直接試験研究に携わってきた多くの関係者に対して厚く感謝の意を表するものである。

参考文献

- 1) 小沢公共：屋外土槽による路盤の層効果に関する試験について、日本道路公団試験所報告，昭和 51 年度。
- 2) "The AASHO Road Test" HRB, Special Report, 61 E.
- 3) Behr, H.: Fatigue Tests on Pavements by Pulse Generators, Proc. 3rd International Conference on Structural Design of Asphalt Pavements, 1972.
- 4) Hveem, F.N.: Pavement Deflection and Fatigue failures, HRB, Bul. 114, 1955.
- 5) Benkelman, A.C.: Analysis of Flexible Pavement Deflection and Behavior Data. HRB, Bul. 210, 1958.
- 6) Burmister, D.M.: The Theory of Stresses and Displacements in Layered Systems and Applications, Proc. HRB, Vol. 23, 1943.
- 7) Whiffin, A.C. et al.: The Application of Elastic Theory of Flexible pavements, International Conference on Structural Design of Asphalt Pavements, 1962.
- 8) Fossberg, P.E., J.K. Mitchell, and C.L. Monismith: Load-Deformation Characteristics of a Pavement with Cement Treated Bases and Asphalt Concrete Surfacing, 3rd International Conference on Structural Design of Asphalt Pavements, 1972.
- 9) 出口政昭・野田和弘：アスファルト舗装に関する試験研究（その 1），日本道路公団試験所報告，昭和 46 年度。
- 10) 木村剛也：動的載荷試験による路盤の変形特性について，日本道路公団試験所報告，昭和 49 年度。
- 11) Computer Program BISAR, Layered Systems Under Normal and Tangential Surface Loads. Koninklijke/Shell Laboratorium, Amsterdam,
- 12) Full-depth Asphalt Pavements for Air Carrier Airports, The Asphalt Institute, Manual Series, No. 11, January, 1973.
- 13) 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，No. 254, 1976 年 10 月。

(1984.11.30・受付)

顧客第一、品質優位
鹿島の永遠のテーマです。

デミング賞〈実施賞〉
受賞企業



鹿島建設

代表取締役会長 石川 六郎

代表取締役社長 鹿島 昭一

本社：東京都港区元赤坂1丁目2番7号 電話 03 (404)3311(大代)
支店：札幌・仙台・横浜・北陸・名古屋・大阪・広島・四国・九州

●弊社へのご相談・ご意見・ご提言は鹿島相談コーナーへ

鹿島相談コーナー……………電話 03 (404)2266