

V-14 道路舗装に対する層構造解析

北海道開発局土木試験所

○中村 俊行

久保 宏

田口 史雄

1. まえがき

「アスファルト舗装要綱」では、CBR設計法によって道路舗装厚を決定するように定めている。北海道開発局でもこれに従って、「設計基準⁽¹⁾」で路床の設計CBR、凍上抑制層材、凍結深さから決まる置換厚さ等から各交通区分ごとの舗装構成を示している。

今回、この舗装構成を多層系の層構造として弾性理論によって解析し、荷重による舗装破壊の主因と思われる基層、アスファルト安定処理層下面の水平ひずみ、凍上抑制層、路床面に加わる垂直応力等に注目して検討を加えた。弾性理論には、舗装構成材料の弾性係数、ポアソン比の決定という難かしい面があるが、ここでは、これらの物理数を仮定して、「設計基準」の各舗装構成の比較を行なったものである。

2. 「設計基準」による道路舗装構成

開発局では、昭和53年度は、昭和50年版「アスファルト舗装要綱」に従い、「設計基準」でA、B、C交通の舗装構成を示している。

ある区間の舗装構成を決定するには、始めにその区間の交通区分、置換厚を管内路線図より読みとる。そして表-1に示す舗装構成から上層路盤より上の舗装厚が決められる。その後は、設計CBRよりTAを求め、下層路盤厚を計算するのであるが、道内では凍結深さの関係から凍上抑制層の厚さが比較的大きくなるので、そのCBRも当然設計CBRに組み入れて考えている。したがって設計CBRは、凍上抑制層と路床のCBRを合成して求めなくてはならず、これは凍上抑制層の厚さが定まらないと求められない。また凍上抑制層の厚さは、下層路盤の厚さが定められないと求められないという関係にあるため、繰返し計算をしなければならぬ。この計算の煩雑さを避けるため、「設計基準」では過去の調査実験にもとづいて、土=3、火山灰=4、砂=5、粗粒材=10とCBRを定めて表2、～4の諸表を作成している。

表-1 交通区分による舗装構成

名 称	材 料	A 交通	B 交通	C 交通	
				置換80cm	置換90cm
表層(摩耗層)	粗粒度アスコン	3cm	4cm	4cm	4cm
中 間 層	粗粒度アスコン	—	—	5cm	5cm
基 層	同 上	4cm	5cm	5cm	5cm
上層路盤	アスファルト安定処理	5cm	6cm	6cm	6cm
下層路盤	40%級粗粒材				
凍上抑制層					

表-2 路盤工の厚さ(路床が土の場合)

交通区分 置換厚 (cm)	A		B		C		No.
	下層路盤	凍上抑制層	下層路盤	凍上抑制層	下層路盤	凍上抑制層	
60	火山灰	40	15	55	0	50	1
	砂	40	15	55	0	50	2
	粗粒材	35	15	55	0	50	3
70	火山灰	40	20	55	0	50	4
	砂	40	20	55	0	50	5
	粗粒材	35	25	55	0	50	6
80	火山灰	40	30	55	15	55	7
	砂	35	35	55	15	55	8
	粗粒材	30	40	65	0	55	9
90	火山灰	40	40	55	20	70	10
	砂	35	45	55	20	70	11
	粗粒材	25	55	50	25	70	12
100	火山灰	35	55	55	30	70	13
	砂	35	55	55	30	70	14
	粗粒材	25	65	45	40	65	15
110	火山灰	35	65	55	40	70	16
	砂	35	65	55	40	70	17
	粗粒材	25	75	40	55	60	18

表-3 路盤工の厚さ(路床が火山灰・砂で凍上抑制層が粗粒材)

交通区分 置換厚 (cm)	A		B		C		No.
	下層路盤	凍上抑制層	下層路盤	凍上抑制層	下層路盤	凍上抑制層	
60	火山灰	35	15	50	0	40	19
	砂	30	20	45	0	35	20
70	火山灰	30	30	55	0	45	21
	砂	25	35	55	0	45	22
80	火山灰	25	45	50	15	40	23
	砂	25	45	40	25	35	24
90	火山灰	25	55	45	30	70	25
	砂	25	55	40	35	55	26
100	火山灰	25	65	40	45	55	27
	砂	20	70	40	45	45	28
110	火山灰	20	80	40	55	45	29
	砂	20	80	40	55	45	30

ただし路床土が二層以上で形成されている時や、設計CBRが上述の値により難い時は別途計算しなければならない。

この諸表により、この区間の路床土、凍上抑制層材の組合せからそれぞれの厚さが求まる。

一例として、A交通、置換厚80cm、路床が土、凍上抑制層に粗粒材を用いるとすれば、表-1と表-2のNo.9から、表層(2cmの摩耗層を含む)3cm、基層4cm、上層路盤(アスファルト安定処理)5cm、下層路盤30cm、凍上抑制層が40cmと舗装構成が定まる。

これら、A、B、C交通それぞれ48種の組合せについて、層構造解析を行なった。

3. 層構造解析

1) 多層系弾性計算の仮定

多層系弾性計算の厳密解を与えるプログラムを用いて計算を行なったが、これは以下の仮定に拠っている。

イ、舗装各層の材質は完全均質であり、等方性である。

ロ、舗装各層は弾性体である。

ハ、舗装各層は水平方向に無限とし、深さ方向には最下層の下方へ無限であり、他層は有限である。

ニ、各層の界面は、摩擦が充分に大きく、完全に粗である。

つぎに、舗装材料の弾性係数、ポアソン比を表-5のように仮定したが、ここでアスゴン、アスファルト安定処理の弾性係数については、温度と載荷時間すなわち車輦速度の影響が大きい。今回用いた弾性係数は、佐原らの室内試験結果によれば、車輦速度40~60km/h、温度15~20℃の時の条件に相当する。下層路盤の切込砕石、凍上抑制層材、路床土についても種々の値が報告され、また仮定されているが、ここでは(CBR値×100)によって弾性係数を求めた。ポアソン比については、この値によってアス混合物下面の水平応力、路床上面の垂直ひずみ等にかかなり大きな影響を与えるようであるが、今回はそれぞれの舗装構成の比較を行なう意味から、表に示したように仮定した。

表面に載荷される荷重の大きさは、CBR設計法で用いている設計輪荷重3t、5t、8tをそれぞれA交通、B交通、C交通の載荷重とした。接地半径 r は、

$$r = 12 + P \quad P: \text{輪荷重}$$

を用いて、15cm、17cm、20cmとした。これらを示したのが図-1であるが、ここで表層については、摩耗層2cmを除いた厚さで計算を行なっている。

表-4. 路盤工の厚さ(路床と凍上抑制層が同種材料)

交通区分 置換厚と凍上抑制層材の厚さ(cm)		A		B		C		No.
		下層路盤	凍上抑制層	下層路盤	凍上抑制層	下層路盤	凍上抑制層	
60	火山灰	35	15	50	0	40	0	31
	砂	30	20	45	0	35	0	32
	粗粒材	15	35	25	20	15	20	33
70	火山灰	35	25	55	0	45	0	34
	砂	30	30	45	15	35	15	35
	粗粒材	15	45	25	30	15	30	36
80	火山灰	35	35	50	15	40	15	37
	砂	30	40	45	20	35	20	38
	粗粒材	15	55	25	40	15	40	39
90	火山灰	35	45	50	25	60	15	40
	砂	30	50	45	30	55	15	41
	粗粒材	15	65	25	50	30	40	42
100	火山灰	35	55	50	35	60	20	43
	砂	30	60	45	40	55	25	44
	粗粒材	15	75	25	60	30	50	45
110	火山灰	35	65	50	45	60	30	46
	砂	30	70	45	50	55	35	47
	粗粒材	15	85	25	70	30	60	48

表-5 弾性係数、ポアソン比の仮定

舗装材料	弾性係数(kg/cm^2)	ポアソン比
アスゴン表層基層	20,000	0.25
アスファルト安定処理	18,000	0.25
切込砕石路盤	3,000	0.40
砂	500	0.35
火山灰	400	0.35
粗粒材	1,000	0.25
土	300	0.50

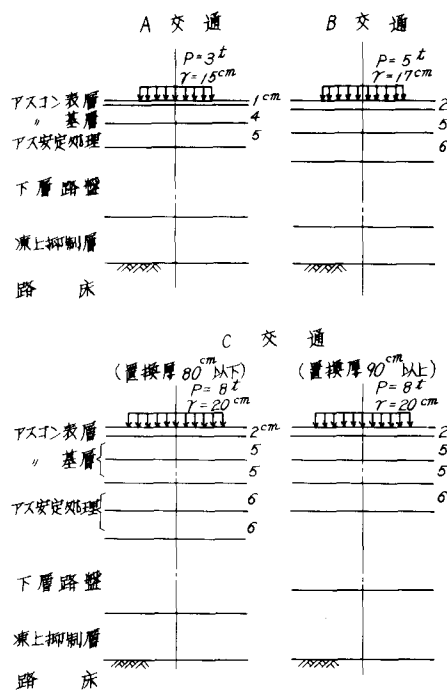


図-1 交通区分ごとの解析仮定図

2) 解析結果と考察

載荷中心直下のアスコン基層、アス安定処理下面の水平方向ひずみ、凍上抑制層、路床上面の垂直方向応力、表面、路床面でのたわみ量をそれぞれ求め、その値を取りまとめたのが図-2である。図中でアスコン基層下面水平ひずみA交通は、48ケースの値が -0.182×10^{-4} ~ -0.245×10^{-4} の間に分布し、平均値 -0.212×10^{-4} であることを示している。

アスコン基層、アス安定処理下面水平方向ひずみについては、交通区分によりその値が決定づけられており、凍上抑制層材、路床材の差違にはあまり影響を受けないことがわかる。主として荷重の大きさとアスファルト混合物の厚さによってこれらひずみ量が決まってくると言える。アスファルト混合物については、疲弊に関する多くの研究が報告されているが、三浦は、軟弱路床上におけるサンドイッチ舗装の設計法⁽³⁾で、W.A.Garrison等の研究結果を参考にして、許容引張ひずみを荷重 10^6 回を目標に 0.2×10^{-3} としている。この値と、今回のアス安定処理下面水平方向ひずみを比較すると、摩耗層2cmを計算に入れてないこともあって、各交通区分ともこれより若干大きい値を示している。中でもB交通、置換厚90cm以上のC交通が平均でそれぞれ 0.26×10^{-3} 、 0.274×10^{-3} とA交通、置換厚80cm以下のC交通より大きな値になっている。

このことから、直ちに舗装破壊には結びつかないがアス安定処理の品質、施工にあたっては、この点を考慮する必要があると思われる。アスコン基層下面のひずみは、A交通では全体厚に比較して、表層+基層の厚さが薄いことから圧縮ひずみとなっており、B、C交通についてもひずみ値は小さく、問題にはならない。

凍上抑制層上面の垂直応力は、交通区分よりも使用材料によって影響されることがわかる。このうち、火山灰砂については値が集中しているが、粗粒材では分布幅が大きくなっている。それぞれの材料について、作用する応力の全体平均をとれば、火山灰 0.180 kg/cm^2 、砂 0.230 kg/cm^2 、粗粒材 0.520 kg/cm^2 であり、設計CBR4、5、10に割合と比例した数値になっている。路床上面垂直方向応力は、交通区分、材料の両方に影響されており、同じ材料であってもB、C交通ほど大きな値を示している。ここで載荷重を等分布荷重とすれば、その大きさは、A、B、C交通それぞれ 4.24 kg/cm^2 、 5.51 kg/cm^2 、 6.37 kg/cm^2 であり、路床上の応力をこの値と比較すると2~3%となり、舗装体によって荷重が大幅に分散されて路床に伝達されることがわかる。

たわみ量は、交通区分がAからCになるほど大きくなっている。植下ろのたわみ量と舗装寿命に関する研究によれば、今回得られた表面たわみ量は、多少大きい値であると言える。

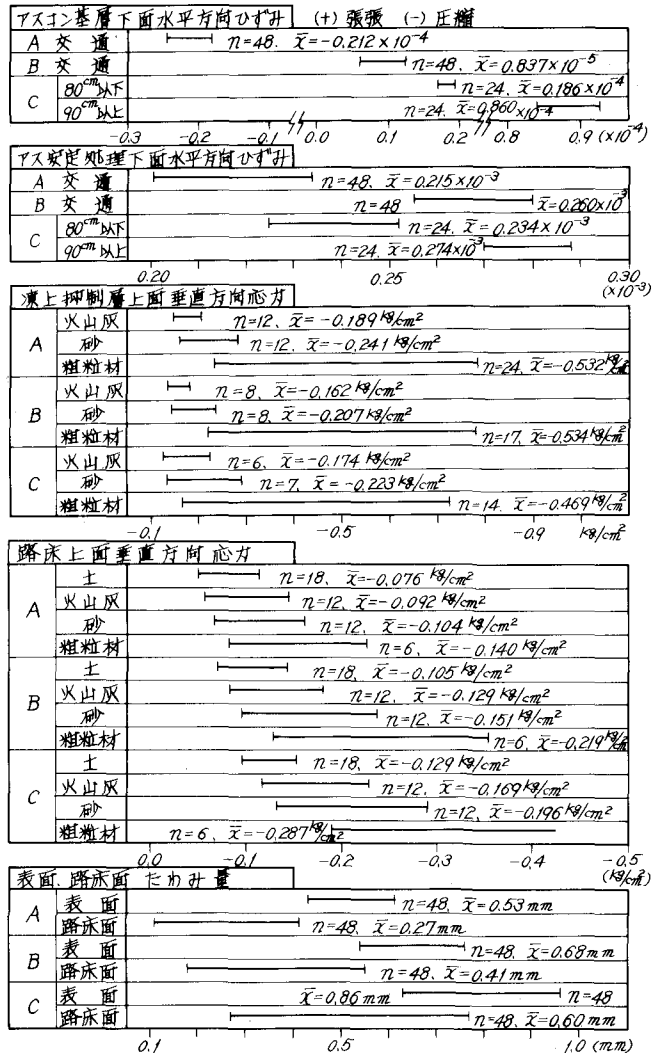


図-2 載荷中心直下の計算結果とりまとめ図

つぎに、置換厚 90 cm、路床材が土、凍上抑制層が粗粒材である A、B、C 交通について載荷中心より水平方向 100 cm までのひずみ、応力分布を求めた。図-3 がアスコン基層下面の水平方向ひずみ、図-4 がアス安定処理下面の水平方向ひずみ、図-5 が路床上面の垂直応力分布である。アスコン基層下面の水平ひずみについては、交通区分によってそのひずみ分布に差が見られ、A 交通では引張ひずみは生じていない。B 交通では引張ひずみは小さく、C 交通になって初めて、圧縮ひずみより大きい引張ひずみが発生していることがわかる。アス安定処理下面の水平ひずみ分布は、あまり交通区分による差は認められない。全体的に載荷半径内では引張ひずみ、半径外では圧縮ひずみとなっている。路床上の垂直応力分布は、形状は似ているが、その大きさは同じ路床材料であるにもかかわらず、交通区分により異なっている。載荷中心より 50 cm 離れて、載荷中心直下の約 7 割、100 cm 離れて 3 ~ 4 割の値である。

4. あとがき

今回の層構造解析の結果、アス安定処理下面水平方向ひずみが意外と大きな値であり、アスファルト混合物の疲労破壊という面からは、耐久性が要求されることが判明した。また交通区分では B 交通、置換厚 90 cm 以上の C 交通で大きな水平引張ひずみが発生している。凍上抑制層、路床については CBR 設計法では、同種材料は同一の設計 CBR 値を採用しているが、それぞれに作用する垂直応力は、路床では交通区分による影響が見られ、また凍上抑制層の方が同種材料であっても、路床より大きな値であった。また粗粒材に作用する応力は、他の材料に作用する応力よりも、ばらつきの大きいことが判明した。

弾性理論による層構造解析には、その仮定や物理数の決定に関して、不確定な面が種々あるが、CBR 設計法の適用できない軟弱路床や、サンドパイル基礎のような複合路床では、有効

な設計法になりうる。今後は、今回得られた解析結果を、この軟弱路床、複合路床上の舗装設計の基礎として活用してゆきたいと思う。なお当研究室では、平板載荷試験結果から凍結前と融解期の路盤、凍上抑制層、路床の弾性係数を求め、融解期の舗装破壊のメカニズムを追究すべく弾性理論による層構造解析を行なっている。

また新舗装要綱によって、「設計基準」も 54 年度以降改訂される予定であるが、今回の結果から設計 CBR の見なおしと舗装構成の検討を行なつてみたいと思う。

(参 考 文 献)

- (1) 北海道開発局 道路工事設計基準 昭和 53 年度
- (2) 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、1976-10
- (3) 三浦裕二：軟弱路床上におけるザンドイッチ工法の一設計法 「道路」 1971-7
- (4) 植下協、今泉繁良、板橋一雄：アスファルト舗装の寿命について 「舗装」 Vol. 11-3 1976

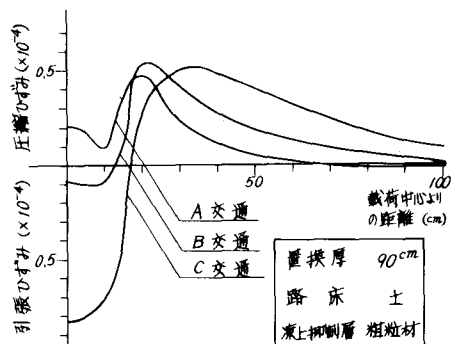


図-3 アスコン基層下面水平ひずみ分布

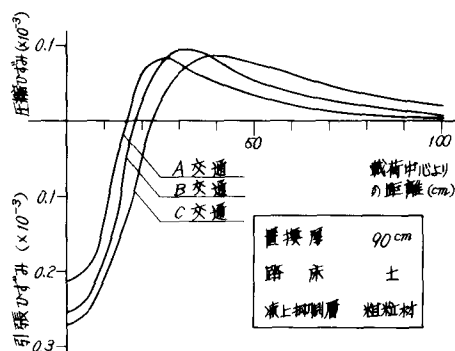


図-4 アス安定処理下面水平ひずみ分布

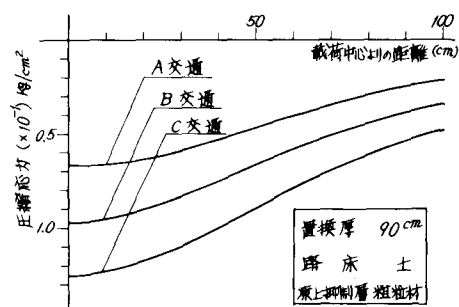


図-5 路床上面垂直応力分布