

たわみ性舗装に関する中国と日本の設計法の比較について

陳 榮 生*

On the Comparison between Chinese and Japanese Methods of Design for Flexible Pavements

Rung Sheng CHEN

As a visiting scholar of Aichi Institute of Technology, the author had an opportunity to study Japanese advanced technologies for design and construction of pavements through many field trips and discussions with Japanese engineers. In the present paper, some comparisons are made on the difference between the Chinese and Japanese design methods of flexible pavements.

Through these comparisons, it is noticed that the Chinese empirical and theoretical design methods have some correlations with the Japanese one in the determination of pavement thickness. Also is noted that these effective comparisons should be continued for mutual examination and improvement of design methodologies.

1. まえがき

中国では、1950年代当初から道路技術に関してはソ連の方法を導入していたため、設計から施工に至るまで、ほとんどソ連の基準や工法に従って作業が進められていた。しかし、ソ連の設計・施工方法は中国の道路事情とあまり合致しないこともあって、1960年代からは中国独自の設計手法を確立すべく研究が開始された。そして、文化大革命の混乱期を経て1978年に至り、交通部が初めて“公路柔性路面設計規範”なる設計基準を定めた。この“規範”は、もちろん設計基準として完全なものではないため、現在、中国全土において内部試行を繰返しながら、その改善に努めている。

周知のとおり、現在、中国では4つの近代化を実現するために、諸外国の先進的科学技术を積極的に吸収しようとしている。この度、筆者は愛知工業大学訪問研究員として来日して、日本の交通事情や道路方面の先進的技術に触れる機会を得た。日本は道路整備の面で世界的にも先進国の一員であるから、交通計画や道路の設計・施工、あるいは補修などに関する技術のなかには、中国の道路関係技術者にとって学ぶべき点が少なくない。このなかで、筆者は特に日本の道路舗装設計法に関して、実地視察を行いながら研究を進めてきた。その一部として、本文は日本のたわみ性舗装設計法と中国の、いわゆる“柔性路面”設計法との関係について検討した結果を報告するものである。

2. 中国のたわみ性舗装設計法¹⁾

中国では、たわみ性舗装の設計法を理論法と経験法に区別している。両方法とも弾性たわみ量を主な設計指標としており、 L を標準車が走行するときの舗装表面の最大のたわみ量、 L_R を舗装の許容弾性たわみ量とすると、

$$L \leq L_R$$

が設計の基本条件である。

理論法というのは層状弾性体の理論を用いて舗装厚を決定する設計法であり、経験法というのは多くの試験舗装の結果をまとめた経験式から舗装厚を決定する設計法である。中国の道路設計基準と舗装設計の理論法に関しては工藤²⁾⁻³⁾が詳細に報告している。したがって、本文では理論法に関しては計算式と計算図表だけを紹介するとどめ、経験法に関して若干詳しく説明することにする。

(1) 理論法

1978年に定められた“公路柔性路面設計規範”によって、新設舗装の舗装厚さを決定する場合は理論法で設計を行うことになっている。理論法では、図-1に示すように、2層弾性体の表面に復輪荷重が作用するときの復輪中心点 c の最大弾性たわみ量 L に着目する。ここに、 $L(\text{cm})$ は次式で与えられる。

$$L = \frac{2p\delta}{E_0} \alpha L F \dots\dots\dots (1)$$

p : 復輪の荷重強度 (kgf/cm²)

δ : 復輪を双円載荷と考えた場合の接地円の半径 (cm)

E_0 : 下層の弾性係数 (kgf/cm²)

* 愛知工業大学訪問研究員

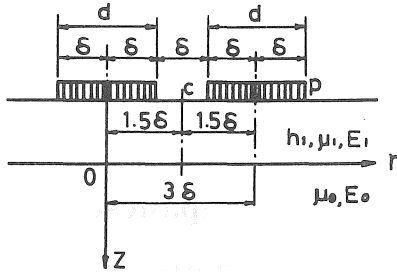


図1 復輪荷重の設定

α_L : たわみ係数

F : 総合係数

上式で、たわみ係数 α_L は E_0/E_1 (E_1 : 上層の弾性係数)と h/δ (h : 上層の厚さ)の関数で与えられる。上、下層のポアソン比 μ_1, μ_0 を、それぞれ0.25および0.35としたときの α_L を求める図表を図-2に示す。

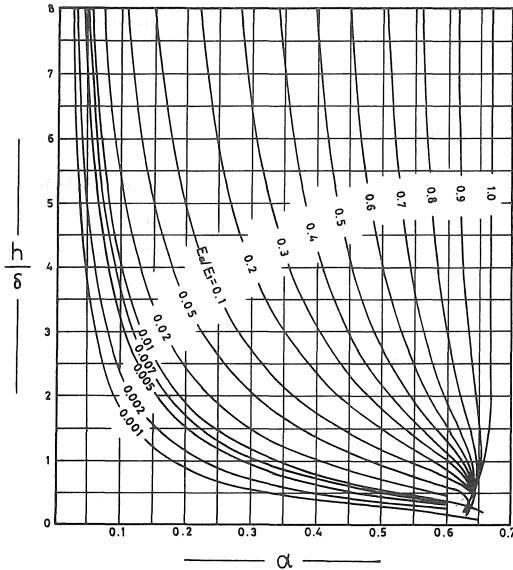


図2 双円荷重を受ける2層弾性体のたわみ計算図表

総合係数 F は、解放CA-10B車(荷重強度 $p=5\text{kgf/cm}^2$, 接地円直径 $d=19.54\text{cm}\approx 20\text{cm}$)を標準車とするとき、

$$F = \frac{\alpha}{\alpha_L} = 1.5 \left(\frac{L_R E_0}{pd} \right)^{0.38} \dots\dots\dots (2)$$

黄河JN-150車($p=7\text{kgf/cm}^2$, $d=21.49\text{cm}$)を標準車とするとき、

$$F = \frac{\alpha}{\alpha_L} = 1.47 \left(\frac{L_R E_0}{pd} \right)^{0.38} \dots\dots\dots (3)$$

とする。ここで、 L_R は許容たわみ量(cm), d は接地円直径(cm), α は理論式の修正係数で、

$$\alpha = \frac{L_R E_0}{pd} \dots\dots\dots (4)$$

である。理論法の計算手順と設計例については工藤³⁾が

述べているので参照されたい。

(2) 経験法

経験法は現舗装を補強する際の舗装厚の決定に用いられる設計法である。補強層の厚さは次式で計算する。

$$\psi h = \beta L_R^{-m} \left(\frac{L_0}{L_R} - 1 \right)^n \dots\dots\dots (5)$$

h : 補強層の厚さ (cm)

L_R : 許容たわみ量 (mm)

L_0 : 現舗装の計算たわみ量 (mm)

m : 係数(一般には $m=0.25$, 地区によっては $m=0$ とする場合もある)

n : 係数(通常, $n=0.35$)

β : 補強層の材料に関する係数(β の推奨値は表-1のとおり)

ψ : 荷重係数(解放CA-10B車を標準車とするとき $\psi=1$, 黄河JN-150車を標準車とするとき, $m=0.25$ なら $\psi=0.8$, $m=0$ なら $\psi=0.9$ をとる)

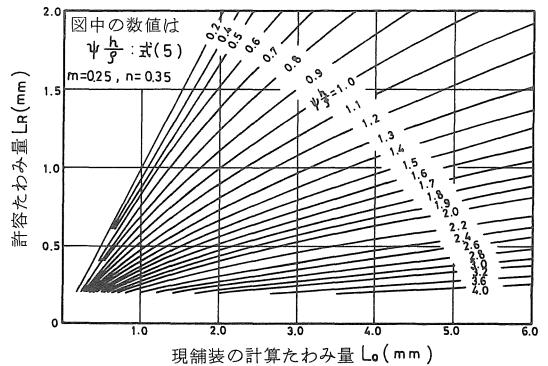


図3 現舗装の補強層厚に関する計算図表

図-3は $m=0.25, n=0.35$ の場合について式(5)を図表化したものであり、これによって直接、補強層厚さが決定できる。

以下、式(5)について、2, 3補足説明を加え、さらに経験式と理論式との関係について述べる。

(3) 現舗装の計算たわみ量 L_0

舗装は車両の影響だけではなく、各種の自然現象の影響も受ける。したがって、舗装のたわみは道路沿線上一定ではないが、補強設計を行う場合は経済性と合理性を考へて、沿線を幾つかの区間に分割するのが普通である。通常、1区間の長さは0.5km以上とし、たわみの測定数は1区間につき10点以上とする。これは実測値から計算たわみ量を求める場合の精度上の問題と、各種の自然条件の影響を考へてのことである。計算たわみ量 L_0 は以下の手順で求める。

1) 現舗装の代表たわみ量 L_T

たわみの測定結果を整理して、代表たわみ量 L_T を次式

表1 係数βの推奨値

番号	材 料 名	β の 推 奨 値						備 考			
		II _{1,2,3}		II _{2,4}		III	IV		V	VI	VII
		東	北	華	北	黄 土	華東, 中南		中南, 西南	西	北
1	瀝青混凝土	8~9	8~9	8~9	8~9	8~9	8~9	8~9	8~9	1. β値の選択に当っては、材料の品質、施工方法と路床土の湿潤状況を考慮する。一般に路床が乾燥状態に近いほど低値を、飽和状態に近いほど高値を採用する。 2. 表中、空白の地区に対しては、その隣接地区の値を参考値としてβ値を決定する。 3. 本表は“柔性路面設計規範”から転載したものである。	
2	瀝青碎石	9~11	9~11	9~11	9~11	9~11	9~11	9~11	9~11		
3	瀝青滲透式碎石	12~14	12~14	12~14	12~14	12~14	12~14	12~14	12~14		
4	炉残留灰土	16~18	—	17~19	15~17	—	—	—	15~18		
5	砕(礫)石灰土	17~19	—	17~19	16~18	17~19	—	—	15~18		
6	石灰土	18~21	17~19	17~19	15~17	16~18	—	—	16~19		
7	粘調砕(礫)石・石灰混合	17~20	—	17~19	17~19	—	—	—	15~18		
8	泥灰結合砕(礫)石	—	19~22	20~22	17~19	18~21	—	—	19~23		
9	块(拳)石(手で)	16~18	—	21~23	—	—	—	—	—		
10	干庄碎石	19~23	—	19~23	—	—	—	—	20~22		
11	泥結合砕(礫)石	21	20~23	19~21	19~22	20~23	—	—	—		
12	粒調砕(礫)石	—	21~24	22~26	—	—	—	—	22~27		
13	粒調砂礫	25~27	—	24~28	22~26	22~26	—	—	22~26		
14	天然砂礫	28~33	26~32	28~34	26~32	26~32	—	—	24~28		
15	泥結合砕(礫)石+鋪砌片石	—	—	—	19~22	19~22	—	—	—		
16	水結砂礫	—	22~23	—	—	—	—	—	—		
17	風化砂礫	34~39	—	—	—	—	—	—	—		
18	砕石土	34~39	—	—	—	—	—	—	—		

で決定する。

$$L_T = \bar{L} + i\sigma \quad \dots\dots\dots (6)$$

\bar{L} : 実測たわみの平均値

i : 保証率係数(高級舗装には1.50, 準高級舗装には1.25, 中級舗装には1.0を用いる)

σ : 測定値の標準偏差

2) 季節影響係数 K_1

舗装構造の設計においては自然条件の影響を考慮せねばならないから、たわみの測定は季節的に悪条件の時期を選んで行うことが望ましい。もし、これ以外の時期に測定を行う場合は次式によって実測値を補正する。

$$L = K_1 \cdot L' \quad \dots\dots\dots (7)$$

L : 悪条件の季節におけるたわみ量

L' : 悪条件でない季節に測定されたたわみ量

K_1 : 季節影響係数

季節影響係数は路床の湿潤状態、気候条件、路床土の種類、たわみ測定季節などによって異なる。表-2および表-3に中国の北部および南部の地区に対する K_1 の推奨値を示す。

3) 湿度影響係数 K_2

アスファルト舗装表層は水分の蒸発を阻むので、現舗装(特に砂利の場合)の上部にアスファルト舗装を施工

すると、路床と現舗装の湿潤状況が変化する。路床土や路盤材料の含水量が多くなれば路床を含めた舗装全体の強度が低下し、実測たわみも対応して大きくなる。この影響を考慮するために、式(7)と同様な形で湿度影響係数 K_2 を取り入れて実測値を補正する。 K_2 の推奨値は表-4に示される。

現舗装の代表たわみ量 L_T と季節影響係数 K_1 および湿度影響係数 K_2 が確定すれば、各区間の計算たわみ量 L_0 は次式で決定される。

$$L_0 = K_1 \cdot K_2 \cdot L_T \quad \dots\dots\dots (8)$$

(4) 多層補強の場合の舗装厚の決定

式(5)は単層補強舗装の場合に対してのみ適用できる計算式である。したがって、補強層を2層以上とする場合は何らかの方法で多層の効果をも単層に換算して式(5)を用いることになる。

式(5)で、 L_R と L_0 が一定値であれば、 h/β も一定値になる。したがって、材料の異なる2つの補強層(β 値を β_1, β_2 とする)を考えた場合、 h/β 一定、すなわち $h_1/\beta_1 = h_2/\beta_2$ となるように補強層の厚さ h を定めれば、両者の補強効果は等しいと考えられる。これを当量層換算の原理という。以上のことから、多層式の補強層の厚さは次式を用いて決定する。

表 2 季節影響係数 K_1 の推奨値 (その 1 : 北部)

自然 区画	省 区 名 称	舗 装 種 類	路床乾 湿状態	K_1 の 推 奨 値				備 考	
				春	融	乾 季	雨 季		凍 前
II ₃	遼 寧	砂 利	乾	1.0		1.3 ~1.4	1.2 ~1.3	1.1 ~1.2	本表および次表は“柔性路面設計規範”から転載したものである。
			中	1.0		1.3 ~1.4	1.2 ~1.3	1.1 ~1.2	
			湿	1.0		1.3 ~1.4	1.2 ~1.3	1.1 ~1.2	
		瀝 青	乾	1.0		1.2 ~1.3	1.1 ~1.2	1.05~1.15	
			中	1.0		1.3 ~1.4	1.2 ~1.3	1.15~1.20	
			湿	1.0		1.7 ~1.8	1.6 ~1.7	1.5 ~1.6	
II ₄	山 東	砂 利	乾	1.0		1.3 ~1.5	1.2 ~1.4	1.1 ~1.3	
			中	1.0		1.6 ~1.9	1.3 ~1.5	1.2 ~1.4	
			湿	1.0		1.2 ~1.4	1.1 ~1.3	1.0 ~1.1	
		瀝 青	乾	1.0		1.2 ~1.4	1.1 ~1.3	1.0 ~1.2	
			中	1.0		1.3 ~1.5	1.2 ~1.4	1.1 ~1.3	
			湿	1.0		1.1 ~1.4	1.1 ~1.3	1.0 ~1.1	
III ₁	山 西	砂 利	乾	1.0		1.1 ~1.2	1.05~1.15	1.0 ~1.1	
			中	1.0		1.2 ~1.3	1.1 ~1.2	1.05~1.15	
			湿	1.0		1.1 ~1.2	1.05~1.15	1.0 ~1.1	
		瀝 青	乾	1.0		1.0 ~1.3	1.1 ~1.4	1.1 ~1.2	
			中	1.0		1.0 ~1.5	1.2 ~1.8	1.1 ~1.4	
			湿	1.0		1.1 ~1.4	1.2 ~1.5	1.1 ~1.3	
VI ₁	内 蒙	砂 利	乾	1.0		1.2 ~1.35	1.1 ~1.2	1.05~1.1	
			中	1.0		1.3 ~1.6	1.3 ~1.4	1.2 ~1.3	
			湿	1.0		1.3 ~1.45	1.2 ~1.3	1.1 ~1.2	
		瀝 青	乾	1.0		1.4 ~1.6	1.7 ~1.9	1.1 ~1.2	
			中	1.0		1.6 ~1.8	1.7 ~1.9	1.2 ~1.4	
			湿	1.0		1.4 ~1.7	1.6 ~1.8	1.2 ~1.3	
VII ₆	西 蔵	砂 利	乾	1.1~1.3		1.2 ~1.5	1.0 ~1.2	1.1 ~1.2	
			中	1.2~1.5		1.4 ~1.7	1.0 ~1.3	1.17~1.23	
			湿	1.1~1.4		1.3 ~1.6	1.0 ~1.25	1.1 ~1.2	
		瀝 青	乾	1.1~1.3		1.1 ~1.4	1.0 ~1.1	1.1 ~1.2	
			中	1.2~1.5		1.3 ~1.6	1.0 ~1.2	1.1 ~1.2	
			湿	1.1~1.4		1.2 ~1.5	1.0 ~1.15	1.1 ~1.3	

表 3 季節影響係数 K_1 の推奨値 (その 2 : 南部)

自然 区画	省 区 名 称	舗 装 種 類	路床乾 湿状態	K_1 の 推 奨 値			備 考	
				不 利*	過 渡*	乾 燥		
IV ₃	湖 南	砂 利	乾	1.0	1.3	1.4	粘性土に適用する	
			中	1.0	1.5	1.6		
			湿	1.0	1.3	1.4		
			瀝 青	乾	1.0	1.4	1.5	粉性土**に適用する
				中	1.0	1.6	1.8	
				湿	1.0	1.4	1.5	
IV ₅	湖 南	瀝 青	乾	1.0	1.1	1.2	粘性土に適用する	
			中	1.0	1.2	1.3		
			湿	1.0	1.15	1.25		
			瀝 青	乾	1.0	1.2	1.3	粉性土に適用する
				中	1.0	1.3	1.4	
				湿	1.0	1.25	1.35	

V ₃	貴州	砂利	— —	1.0~1.10 1.0~1.05	1.10~1.70 1.05~1.15	1.2~1.40 1.15~1.30	上段は田園地帯，下段はそれ以外の地帯に適用する
		瀝青	— —	1.0~1.10 1.0~1.15	1.10~1.30 1.10~1.25	1.20~1.40 1.15~1.30	
IV ₇	廣東	砂利	乾 中 湿	1.0 1.0 1.0	1.1~1.3 1.2~1.4 1.2~1.4	1.25~1.45 1.4~1.6 1.3~1.5	粉性土に適用する
IV _{6.7}	廣東	瀝青	乾 中 湿	1.0 1.0 1.0	1.1 1.1 1.1	1.2 1.2 1.2	砂質土に適用する
		瀝青	乾 中 湿	1.0 1.0 1.0	1.1~1.2 1.1~1.2 1.1~1.2	1.1~1.3 1.1~1.3 1.1~1.3	粉性土に適用する
		瀝青	乾 中 湿	1.0 1.0 1.0	1.1~1.2 1.1~1.3 1.1~1.3	1.1~1.3 1.1~1.4 1.1~1.4	粘性土に適用する
V ₄	四川	砂利	乾 中 湿	1.0 1.0 1.0	1.05~1.15 1.05~1.15 1.05~1.15	1.3~1.4 1.5~1.6 1.4~1.5	
V ₅	雲南	砂利	乾 中 湿	1.0 1.0 1.0	1.1 1.1~1.2 1.1~1.2	1.2~1.3 1.3~1.6 1.1~1.2	粉性土に適用する
		瀝青	乾 中 湿	1.0 1.0 1.0	1.1 1.1 1.1~1.2	1.2~1.3 1.2~1.4 1.1~1.2	

- * “不利” は大体，前表の “春融” や “雨季” の状態に対応すると考えてよい。
- “過渡” は “不利” と “乾燥” の中間の状態である。
- ** “粉性土” は粒径0.05~0.002mmを主成分とする土。

$$\psi \left(\frac{h_1}{\beta_1} + \frac{h_2}{\beta_2} + \dots + \frac{h_n}{\beta_n} \right) = L_R^{-0.25} \left(\frac{L_0}{L_R} - 1 \right)^{0.35} \dots \dots \dots (9)$$

実際の計算では，1つの特定な層の厚さだけを未知数とし，他の層の厚さは舗装の条件から予め別に定めておく。

式(5)は単層補強舗装の実測データに基づいて作成した経験式であるから，式(9)は無制限に適用すべきではない。

“柔性路面設計規範” では，式(9)の適用を2層までと規定している。

(5) 経験式と理論式の関係

すでに述べたように，経験法は現舗装の補強設計だけに適用される方法であるが，これと逆に，理論法は現舗装の補強設計にも適用し得るものであろうか。これを検討するために，まず理論法と経験法とはどのような関係にあるのかを調べてみる。

式(1)および式(5)を比較してわかるように，経験法では現舗装の強さ（剛性）が舗装表面のたわみ量で表されるのに対し，理論法では路床を含めた現舗装全体の弾性係

数 E_s で表現される。したがって， E_s さえ求めれば理論法でも補強層の厚さを計算することができる。中国では平板載荷試験によってこの E_s を求めることがあり，次式で決定される。

$$E_s = \frac{pD}{L_b} (1 - \mu^2) \frac{\pi}{4} \dots \dots \dots (10)$$

- p 荷重強度 (kgf/cm²)
- D 載荷板の直径 (cm)
- L_b : p に対応する弾性たわみ量 (cm)
- μ : 現舗装のポアソン比

周知のように，平板載荷試験はかなり面倒であるので，ベンケルマンビームを用いて車輪荷重による路面のたわみ量 L_0 を測定した方が迅速かつ容易である。ただし，同じ荷重強度 p に対して L_b と L_0 は等しくない。そこで， $L_0 = KL_b$ なる関係を設定して式(10)を改めると， $D = 1.414 d$ (d : 復輪1つの接地円直径)， $\mu = 0.3$ としたとき， E_s は次式で与えられる。

表 4 湿度影響係数 K_2 の推奨値

自然区画	路床の 乾湿状態	現舗装材料の水穏性		備 考
		良	不 良	
III ₁	乾	1.00	1.0 ~ 1.10	1. () 内の数値 は推奨値である。 2. 水穏性とは浸水 時の安定性を意味 する。 3. 本表は "柔性路 面設計規範" から 転載したものであ る。
	中	1.10~1.20	1.10~1.30	
	湿	1.20~1.40	1.35~1.50	
III ₂	乾	(1.00~1.10)	1.10~1.15	
	中	1.10~1.30	1.15~1.35	
	湿	1.30~1.50	1.35~1.55	
III ₃	乾	(1.00~1.15)	1.10~1.20	
	中	(1.15~1.75)	1.20~1.40	
	湿	1.35~1.55	1.40~1.60	
VI ₁ VI _{1a}	乾	1.00~1.10	1.10~1.20	
	中	1.10~1.20	1.20~1.30	
	湿	1.20~1.40	1.30~1.50	
VI ₂	乾	(1.00~1.20)	1.10~1.25	
	中	1.20~1.40	1.25~1.50	
	湿	1.40~1.60	1.50~1.70	
VII ₄	乾	1.00~1.10	1.10~1.20	
	中	1.10~1.20	1.20~1.30	
	湿	1.20~1.30	1.30~1.40	

$$E_s = \frac{pd}{L_0} \cdot 1.414 \cdot 0.91 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot K$$

$$\approx \frac{pd}{L_0} \cdot K \quad \dots\dots\dots (1)$$

中国では、上式の K 値は経験的に表-5 で与えられる。

表 5 E_s に関する係数 K

E_1/E_0	1	2	2.5	4	10	20
K	0.647	0.758	0.717	0.845	0.99	1.076

E_1 : 舗装材料の弾性係数
 E_0 : 路床土の弾性係数

3. 現舗装の補強設計における中国と日本の方法の比較

日本の舗装構造の設計は、路床土の CBR 5 トン換算輪数 N を用いて算出される舗装合計厚 H と、加熱アスファルト混合物を用いた場合の舗装厚 T_A に基づいて行われている。この方法で現舗装の補強設計を行う場合は、現舗装全体の CBR 値を定める必要がある。

(1) CBR 値と E_s および L_0 の関係

路床土や路盤材料が同じであれば、その強さや剛性も同じと考えるべきである。したがって、材料特性を表現する指標は幾つか提案されているが、それぞれの指標の間には必ず一定の関係が見出されるものと考えられる。

表層や路床の弾性係数を決定する統一的な試験法というものは現在まだ確立されていない。したがって、弾性係数の値は従来の試験結果を参考に換算されることが多い。例えば、路床土の弾性係数は CBR 値と関係づけられているが、図-4 に見られるように提案者によって関係式の差が非常に大きい⁶⁾。

路床土を含めた現舗装全体の弾性係数 E_s と CBR 値との関係については、中国における道路舗装の実測データから次式を見出している。

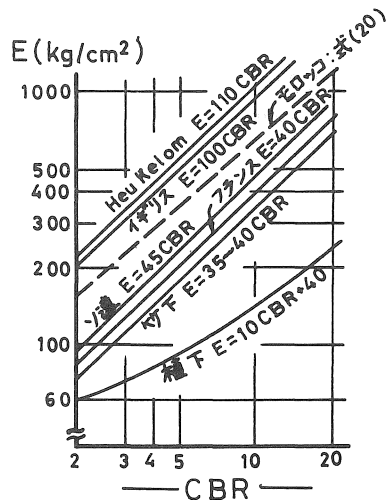


図 4 路床土の弾性係数と CBR 値の関係

$$E_s = 45 \cdot \text{CBR} \quad \dots\dots\dots (12)$$

上式を式(1)と関係づければ次式を得る。

$$\text{CBR} = \frac{pdK}{45L_0} \quad \dots\dots\dots (13)$$

黄河牌車を標準車として $p=7\text{kgf/cm}^2$, $d=21.49\text{cm}$ をとり、さらに $K=0.99$ とすると、式(13)は次のようになる。

$$\text{CBR} = \frac{3.31}{L_0} \quad \dots\dots\dots (14)$$

(2) 日本の設計式と中国の経験式との関係

10年間の寿命を考慮した日本の舗装設計式は次の2式で示される⁷⁾。

$$H = \frac{28N^{0.1}}{(\text{CBR})^{0.5}} \quad \dots\dots\dots (15)$$

$$T_A = \frac{3.9N^{0.16}}{(\text{CBR})^{0.3}} \quad \dots\dots\dots (16)$$

H : 舗装合計厚 (cm)

T_A : アスファルトコンクリート等値厚 (cm)

N : 10年間1車線当り5トン輪荷重換算通過数

一方、中国の設計法においては許容たわみ量と交通量の間に次式が成立すると考える。

$$L_R = \frac{A}{N^\beta} \quad \dots\dots\dots (17)$$

L_R : 許容たわみ量 (cm)

A : 舗装の種類に関する係数で、荷重の1次載荷時のたわみ量に相当する量

β : 交通量の増加に伴う許容たわみ量の低減に係する係数

多数の実測データを整理した結果、 β は0.2程度である。また、加熱混合式瀝青碎石を補強層材料に用いたとき、 $A=13.71$ になる²⁾。したがって、式(17)より

$$N = \left(\frac{13.71}{L_R}\right)^{5.0} \quad \dots\dots\dots (18)$$

を得る。式(14)および(18)を式(16)に代入すれば、 T_A は次式で与えられる。

$$T_A = 11.10 L_R^{-0.5} \left(\frac{L_0}{L_R}\right)^{0.3} \quad \dots\dots\dots (19)$$

上式を中国の経験式：式(5)と対比してみればわかるように、両式は明らかに形式的に類似している。すなわち、式(19)は式(5)で $m=0.5$, $n=0.3$ および $\beta=11.10$ とした式に相当している。ただし、式(19)では $L_0=L_R$ のとき舗装厚が0にならず、ある最小値をとる。これは理論的に考えれば不合理なことと思われる。

(3) 計算結果の比較

以上の議論に基づいて一定の条件の下に計算を行い、中・日両国の設計法の比較を行ってみる。いま、黄河牌車を標準車とし、10年間の総交通量を $N=5 \times 10^6$ 台と仮定すると、両方法で計算した補強層厚さは表一6に示すようになる。

表一6の結果を比較すると、現舗装の強度が大きい場合は中国の理論法および経験法で算出した舗装厚の方が日本の方法で計算した値より小さい。しかし、現舗装の強度が小さいと、中国の経験法と日本の方法は大体同じ値を示すようである。理論法の値は、この範囲では若干高めであるが、現舗装の計算たわみ量が1.6mm程度で理論法と日本の方法の結果が一致することが知れる。

4. 新設舗装の設計における中国の理論法と日本の設計法の比較

図一4は種々の路床土に対して弾性係数とCBR値の関係をまとめたものである。この他に、モロッコで実験を行った例があり、結果は次式で表される。

$$E_0 = 89 \cdot \text{CBR}^{0.85} \quad \dots\dots\dots (20)$$

表6 補強設計における中国と日本の方法の比較

現舗装の強度の指標			中国の経験法(T_A)	中国の理論法(T_A)	日本の設計法	備 考
L_0 (mm)	E_s (kg/cm ²)	CBR	$\phi H = \beta L_R^{-0.25} \left(\frac{L_0}{L_R} - 1\right)^{0.38}$	$E_1 = 1200$ (kg/cm ²)	$T_A = \frac{3.9N^{0.16}}{\text{CBR}^{0.3}}$	
1.0	1,490	33	11.6	13.0	16.1	中国の経験法の計算では、 $\phi=0.8$ $\beta=10$ としている。
1.2	1,242	28	13.5	15.5	16.9	
1.4	1,064	24	15.1	17.0	17.7	
1.6	931	21	16.3	18.6	18.5	
1.8	828	18	17.4	20.0	19.3	
2.0	745	17	18.4	21.0	19.7	
2.2	677	15	19.3	22.0	20.4	
2.4	621	14	20.1	23.1	20.8	
2.6	573	13	20.9	23.9	21.3	
2.8	532	12	21.6	24.8	21.8	
3.0	497	11	22.3	25.3	22.4	
3.2	466	10	23.0	26.2	23.1	

上式は図一4に破線で示した。この図のなかのイギリスとソ連で提案されている関係式と上式を、それぞれ別個に日本の設計式：式(10)に適用して、式(1)の中国の理論法と比較した結果を表一7に示す。計算条件は前節と同様、黄河牌車を標準とし、 $N = 5 \times 10^6$ 台と仮定している。

表一7から明らかなように、 $E_0 \sim \text{CBR}$ 関係のとり方に

よって日本の設計法の計算結果は大分異なる。ただし、モロッコの関係式を用いた結果は全般的に中国の理論法による結果と類似している。これを考えると、路床土の $E_0 \sim \text{CBR}$ 関係に適切な関係式をあてはめれば、中国の理論法と日本の設計法の間が良い関係が得られるものと思われる。

表7 新設舗装設計における中国と日本の方法の比較

E_0 (kg/cm ²)	CBR			日本の設計法			中国の理論法	備 考
	$\frac{E_0}{45}$	$\left(\frac{E_0}{89}\right)^{1.18}$	$\frac{E_0}{100}$	$T_A = \frac{3.9N^{0.16}}{\text{CBR}^{0.3}}(\text{cm})$			T_A (cm)	
	(1) ソ連	(2)モロッコ	(3)イギリス	(1)	(2)	(3)	$E_1 = 12,000\text{kg/cm}^2$	
1,000	22.2	17.4	10	18.2	19.5	23.1	17.7	E_1 ：舗装材料の弾性係数 E_0 ：路床土の弾性係数
900	20.0	15.3	9	18.7	20.3	23.8	19.1	
800	17.8	13.3	8	19.4	21.2	24.7	20.4	
700	15.6	11.4	7	20.2	22.2	25.7	21.7	
600	13.3	9.5	6	21.3	23.5	26.9	24.5	
500	11.1	7.7	5	22.4	25.0	28.4	25.5	
400	8.9	5.9	4	23.9	27.0	30.4	27.9	
300	6.7	4.2	3	26.0	29.9	33.1	30.8	
200	4.4	2.6	2	29.5	34.5	37.4	32.8	
100	2.2	1.1	1	36.3	44.7	46.0	43.0	

5. あとがき

本文は、中・日両国のたわみ性舗装の設計法に関して比較を行ったものであるが、吟味が不足していたり、日本の設計法を誤解している部分もあると思われる。しかし、このような比較を通じて中国と日本の設計法の間の一連の関係が得られたことは、道路整備の面で立ち遅れを感じている中国にとって、設計法の改善に資する意味で意義は小さくないと考えられる。

日本の舗装設計はアメリカの Corps of Engineering が開発した CBR 値を基準とする方法である。諸外国でもこの方法を採用するところは少なくないが、算定図表を整備しているのは日本だけと思われる。加えて、現在の日本は道路交通が非常に発達しており、交通量に応じた道路網の整備や耐久性の大きい道路舗装の技術などにおいて先進的な役割を果している。一方、世界的には弾性または弾塑性理論を基礎とする設計手法が発展する傾向にあるが、中国の理論法は弾性理論のみに基礎をおく設計法であるので完全なものとは言い難い。以上のような意味で、日本の舗装設計法は中国の道路関係技術者にとって参考にするべきところが多く、今後とも本文のような比較議論を進めていくことが望まれる。

末尾ではあるが、筆者は愛知工業大学に訪問研究員として来日して以来、大根義男教授をはじめとする土木工学科の諸先生方に、研究面での懇切な御指導と日本の諸事情に関する貴重な御助言を賜った。また、鹿島道路株

式会社、日本舗道株式会社、日本道路公団をはじめとする道路関係の試験所、技術研究所ならびに施工現場の方々には、数多くの現場見学や実地体験の機会を与我えていただくとともに、日本の先端的な設計・施工技術の紹介や貴重な資料の提供をいただいた。本文を閉じるに当り、ここに深く感謝の意を表する次第である。なお、本文の推敲に際して土木工学科成田国朝助教授に御協力いただいたことを付記し、謝意を表する。

参考文献

- 1) 南京工学主編：路面工程，人民交通出版社，中華人民共和国，1979.
- 2) 工藤忠夫：中国(東北地区)の舗装(1)，舗装，Vol.16，No.1，pp.25-27，1981.
- 3) 工藤忠夫：中国(東北地区)の舗装(2)，舗装，Vol.16，No.2，pp.36-41，1981.
- 4) 工藤忠夫：中国(東北地区)の舗装(3)，舗装，Vol.16，No.3，pp.32-34，1981.
- 5) 工藤忠夫：中国(東北地区)の舗装(4)，舗装，Vol.16，No.4，pp.26-28，1981.
- 6) 阿部頼政：アスファルト舗装構造の弾性解析における二、三の問題点について，土木学会第36回年次学術講演会概要集，pp.263-264，1981.
- 7) 植下 協・加藤 晃：道路工学，朝倉書店，東京，1982.

(受理 昭和58年1月16日)