

## 舗装設計法の原点と今後の方向

1. アスファルト舗装設計法の変遷
2. わが国の設計法(TA法)
3. AASHO道路試験とTA設計法の限界
4. 多層弾性論による設計法の限界

## 1. アスファルト舗装設計法の変遷

### 道路舗装の発祥

#### ヨーロッパ

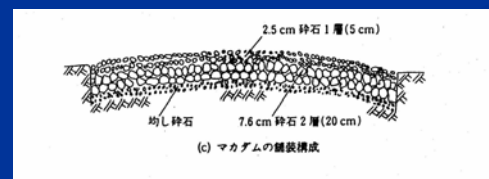
- B.C.2600 : ピラミッド建設用石積道路
- B.C.2000 : 琥珀の道, 絹の道
- B.C.1600 : 古代クレタ島石膏モルタル道路
- B.C. 600 : バビロン王道(アスファルト舗装)
- B.C. 300 : ローマの道(約8,500km)

#### 日本

- A.D.1600 : 徳川時代五街道
- A.D.1680 : 箱根路で石畳舗装

### 近代的な舗装の開始

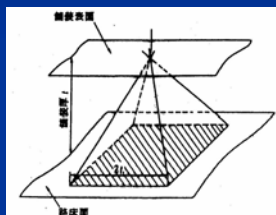
- 1764 : トレサゲ式工法(フランス)
- 1814 : テルフォード式舗装(イギリス)
- 1816 : マカダム式舗装(イギリス)



### 第1期:理論式の時代

#### アメリカ

1901: マサチューセッツ公式



#### 日本

1950(昭和25年):アスファルト舗装要綱に採用

### 理論式の問題点

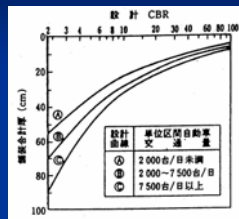
- ① 輪荷重の繰り返しが入っていない
- ② 路床の支持力が不明である

↓  
土質試験が盛んとなる

## 第2期:CBR設計法の時代

アメリカ

1942:CBR設計法



日本

1961(昭和36年):アスファルト舗装要綱に採用

JH: 名神高速道路の設計(C曲線)

## CBR設計法の評価

### 利点

- ①簡便な試験法
- ②バックデータが豊富

### 問題点

- ①輪荷重の重みが入っていない
- ②各層の価値が入っていない

## 第3期:AASHO道路試験の時代

アメリカ

1962:報告書の発表

→世界の設計法を変えた

日本

1967:アスファルト舗装要綱に採用( $T_A$ 法)

JH: 東名高速道路の設計(SN法)

→新規五道の設計( $T_A$ 法)

## AASHO道路試験の評価

### 特徴

- ①4乗則が確立
- ②各材料の価値を判定
- ③乗り心地を導入

### 問題点

- ①理論的な裏付けがない

## 第4期:多層弾性論の時代

アメリカ

1960:理論的解析と設計法

①多層弾性論

②粘弾性論

→理論に基づく設計法

日本

1992(平成4年):アスファルト舗装要綱に採用

## 第5期:PMSの時代

アメリカ

1980:Pavement Management System

①舗装に対する投資効果

②コンピュータによるシステム解析

日本

1992(平成4年):アスファルト舗装要綱に一部紹介

## 2. わが国の設計法(TA法)

- 輪荷重の重みの検討
- 舗装厚の検討
- TA設計法の成立
- PからNへ
- 海外との比較

## わが国の構造設計法(TA法) → 故竹下春見博士の提案

- 輪荷重の重みの検討
- 昭和34年「交通荷重の質に注目」  
次式(カリフォルニア法)を紹介  
破壊作用 =  $\sqrt{P \cdot \log N}$  = 一定  
P: 輪荷重(t)  
N: 設計寿命間の通過回数

- 昭和38年 破壊作用係数 H.K.  
 $H.K. = \sqrt{P \cdot \log N}$   
P: タイヤの接地圧(kg/cm<sup>2</sup>)

- 昭和39年 下表(表-1)を提案

表-1 輪荷重と重みの関係

輪荷重(t)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
重み	0.002	0.01	0.045	0.2	1	3.5	10	25	50

- 5t輪荷重を1としている
- 重みは現在とまだかなり異なる

## 昭和40年 - 輪荷重の重みの解決 J.F. Shookらの論文

表-2 等値軸荷重係数

輪荷重 (Kips)	California (1962)	Shock & Finn	AASHO Flexible	AASHO Rigid
6	0.010	0.035	0.01	0.01
8	0.033	0.062	0.03	0.03
10	0.085	0.108	0.09	0.08
12	0.180	0.188	0.19	0.18
14	0.348	0.328	0.36	0.34
16	0.610	0.573	0.62	0.60
18	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.56	1.74	1.51	1.57
22	2.32	3.04	2.18	2.34
24	3.35	5.31	3.03	3.36

## 輪荷重の重み

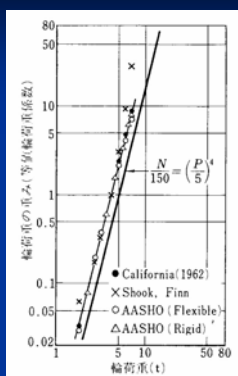


図-1 輪荷重の重み

図を参考にしてCaliforniaに近い値を与えるものとして  $(P/5)^4$  をとることにしよう。

Pは輪荷重をtで表したもので、5t輪荷重のウェイトを1として考えていることになる。そして5t輪荷重が  $10^6$  (台/寿命) の場合を1としよう。5t輪荷重が1日1車線当たり150輪で20年間かわらないものと仮定すれば、

$150 \times 365 \times 20 = 1095000 \approx 10^6$  (台) となるから、いまNを1日1車線当たりPtの輪荷重の交通量とし、

$$(P/5)^4 = N/150 \quad \dots\dots\dots (6)$$

とおけば  $\dots\dots\dots$  (中略)  $\dots\dots\dots$

(6)式の意味を少し解説すると、P=5t の時には N=150 輪/日/車線となる。P=8t とすれば8t 輪荷重 150 輪/日/車線は(6)式より、

$$N = 150(P/5)^4 = 150 \times (8/5)^4 = 150 \times 6.55 \approx 983 \text{ 輪/日/車線}$$

であるから、8t 輪荷重が、150輪/日/車線通行するときの破壊作用は、5t 輪荷重が983台/日/車線通行するのと同じ破壊作用になることになる。

このような計算を繰り返すと、5t輪荷重の重みを1としてその他の輪荷重を等値の換算係数(重み)として表せば、表-3に示すようになる。交通調査の結果、各輪荷重の数を全部5t輪荷重に換算して全交通量を5t輪荷重の交通量に換算するのに表-3が利用できる。

表-3 輪荷重の換算係数(5t輪荷重への換算)

輪荷重(t)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15
換算係数	0.0016	0.025	0.13	0.4	1.0	2	4	6.5	11	16	35	80

### 竹下の計算過程を推測する → Shookらの表からプロット

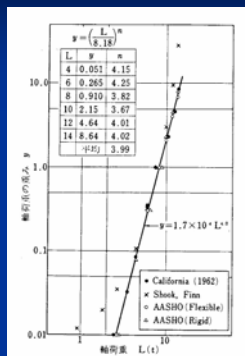


図-2 輪荷重の重み

両対数紙上で直線の一般式は次のように書ける。

$$y = a L^n \dots\dots\dots (7)$$

ここに、y: 軸荷重の重み L: 軸荷重(t)

a, n: 定数

両辺の対数をとれば、

$$\log y = n \log L + \log a \dots\dots\dots (8)$$

図から y = 0.01, 10 に相当するLの値を読めば、それぞれ、2.7(t), 15.5(t)が得られる。これを(8)式に代入すれば、

$$\log 0.01 = n \log 2.7 + \log a \dots\dots\dots (9)$$

$$\log 10 = n \log 15.5 + \log a \dots\dots\dots (10)$$

この両式を連立させて解けば、n = 4.0, a = 1.7 x 10^-4 が得られる。ここで重要なのは n = 4.0 という値であり、これは軸荷重の重みyが軸荷重の4乗に比例して変化することを示している。

### 舗装厚の検計

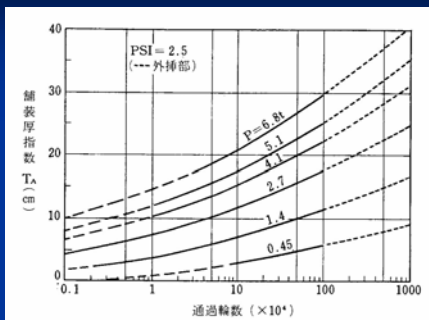


図-3 TAと通過輪数の関係 (PSI=2.5)

図から100万回のPとTA(D)を読みとる

### PとTA(D)の関係

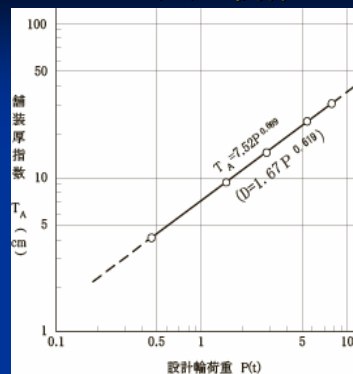


図-4 設計輪荷重とTAの関係 (PSI=2.5)

## DとCBRの関係

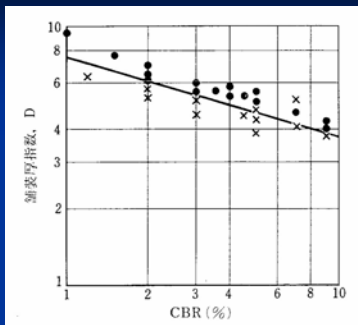


図-5 DとCBRの関係 (C-curveにより設計された舗装についての調査結果)

仮定: 軸荷重が異なっても図の傾きは変わらない。

## TA設計法の成立

$$TA = \frac{12.5P^{0.64}}{CBR^{0.3}}$$

TA: 設計軸荷重Pを100万回通過させられる舗装厚(cm)

### 100万回の根拠

「最近では、設計に関する荷重の繰返し回数の一つの限度として、100万回をとることが多い(竹下)」

## 設計軸荷重から5t換算軸数へ

$$TA = f(P, N, CBR)$$

Nを100万として、Pを変数

→ Pを5tとして、Nを変数に

$$TA = \frac{3.84N^{0.16}}{CBR^{0.3}}$$

### メリット

- ① 舗装の破壊には年数(10年と定められていた)によるものではなく、累積交通荷重によるものと明確化
- ② 海外の技術基準との比較が容易

## 海外との比較(1) 繰返し荷重の影響

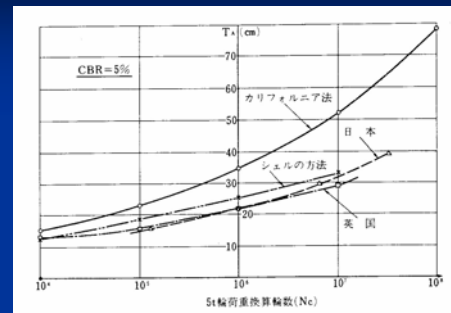
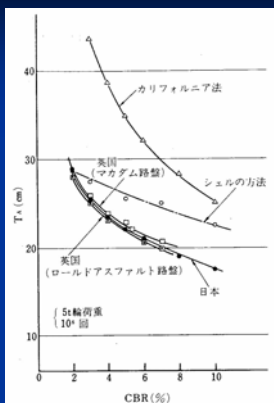


図-6 設計曲線の比較(1)

イギリスの設計式と酷似

## 海外との比較(2) CBRの影響



イギリスの設計式と酷似

図-7 設計曲線の比較(2)

## 3. AASHO道路試験とTA設計法の限界

- サービス指数 (PSI)
- CBRの影響
- 交通荷重
- 地域性

## サービス指数(PSI)

### 舗装の役割

- = 利用者の快適な走行性を提供
- アスファルト舗装74区間の選定
- 利用者の代表の評価

表-4 舗装の供用性の評価

PSR	評価
5 ~ 4	秀 (非常に良好)
4 ~ 3	優 (良好)
3 ~ 2	良 (普通)
2 ~ 1	可 (悪い)
1 ~ 0	不可 (非常に悪い)

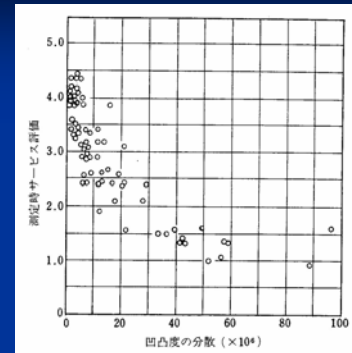


図-8 測定時サービス評価と凹凸度の分散

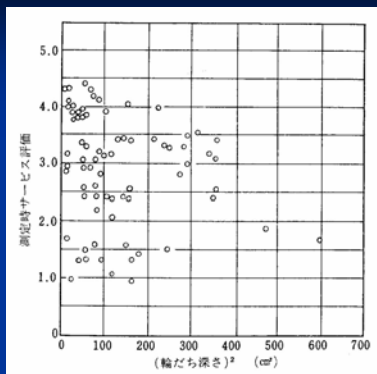


図-9 測定時サービス評価と(わだち深さ)²

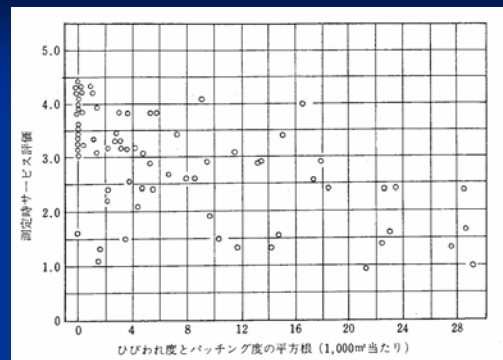


図-10 測定時サービス評価とひびわれ度とパッチング度の平方根

## サービス指数(PSI)

$$PSI = 5.03 - 1.91 \log(1 + \overline{SV}) - 0.01\sqrt{C + P} - 0.21\overline{RD}^2$$

ここに、PSI：サービス指数

$\overline{SV}$ ：凹凸度の分散の平均値

C：舗装面のひびわれ度 (m/1000m<sup>2</sup>)

P：舗装面のパッチング度 (m/1000m<sup>2</sup>)

$\overline{RD}$ ：わだち掘れ深さ (cm)

## TA設計法の課題①

(1) 快適な走行性と舗装の破損は対応するのか

〔PSI=2.5がTA設計法の基本、  
PSI式は強引な重回帰分析による〕

(2) クラックとわだち掘れの取り扱い

(3) PSIは縦断凹凸が主

わが国では縦断凹凸による補修はない

〔施工技術の発展？  
TA設計法は目的を果たした？〕

## CBRの影響

AASHO道路試験.....2.9

TA設計法の根拠.....下図のみ

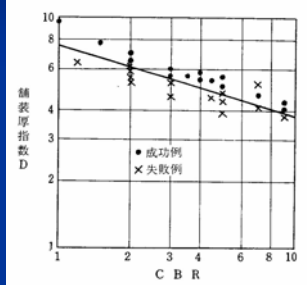


図-11 舗装厚指数DとCBRの関係  
(CBR法のC曲線に拠った舗装)

## TA設計法の課題②

(1) 40年以上前の竹下の調査のみ。

仮定：輪荷重が変わっても図の傾きは変わらない

→ 本当か

(2) 設計CBRによって舗装厚は大きく変わる。

→ 過大設計をしていなかったか

→ その後の検証は？

## 交通荷重

- 自動車保有台数
- 貨物自動車輸送トンキロ数

平成16年  
昭和40年

≒ 10 (倍)

表-5 交通量区分の代表値

交通量区分	大型車交通量 (台/日・一方向)	5t換算輪数 ( $\times 10^4$ )	設計輪荷重 (t)
L	100未満	3	(2)
A	100以上250未満	15	3
B	250以上1,000未満	100	5
C	1,000以上3,000未満	700	8
D	3,000以上	3,500	12

## 交通量区分(昭和40年以來) 大型車交通量で設計してきた。

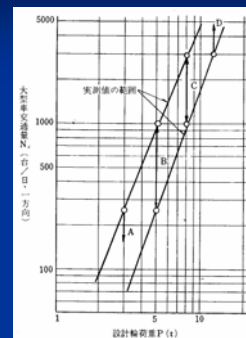
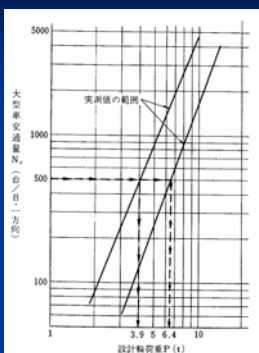


図-12 交通量区分の根拠

## 大型車交通量500台の例 → B交通

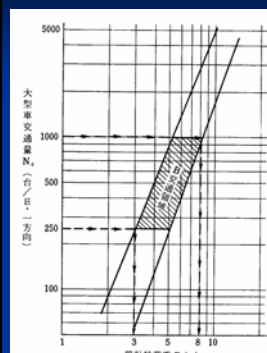


B交通はN=100万輪  
実測値の幅がある

→ { N=37万 → 寿命4年  
N=270万 → 寿命27年

図-13 大型車交通量500台と設計輪荷重の関係

## B交通全体の例



大型車交通量 250台～1,000台/日

250台 (P=3t, N=15万輪)  
1,000台 (P=8t, N=700万輪)

これをB交通(P=5t, N=100万輪)  
で設計すれば寿命は2年～60年。

図-14 B交通領域と設計輪荷重の関係

### TA設計法の課題③

〔 理論：設計輪荷重, 5t換算輪数 〕  
 〔 現実：大型車交通量 〕

理想と現実のギャップ

↓  
 何年後に破壊するか？

↓  
 神のみぞ知る？

### 地域性

イリノイ州の現場

冬期の平均気温 3°C

平均凍結深さ 70cm

表-6 舗装破壊の季節変動

季 節	輪荷重 通過数 ( $\times 10^4$ )	破壊した区間の 季節ごとの割合 (%)	
秋	29.1	5	
1968年	10月、11月	0.9	3
1969年	9月、10月、11月	10.9	1
1960年	9月、10月、11月	17.3	1
冬	23.1	9	
1968~1969年	12月、1月	6.4	4
1969~1960年	12月、1月、2月	16.7	5
春	27.4	80	
1969年	3月、4月、5月	5.9	57
1960年	3月、4月、5月	21.5	23
夏	31.8	6	
1969年	6月、7月、8月	10.9	3
1960年	6月、7月、8月	20.9	3
合計	111.4	100	

### 舗装破壊 (PSI=1.5)

- (1) 春に集中 (全体の80%)
- (2) 試験舗装区間のうち、凍結深さを超える舗装厚を有する区間 (全体の数%)

↓  
 大半の区間が凍結

↓  
 凍結融解の試験だった？

↓  
 TA法の立場は？

### AASHOのわだち掘れ

→ 各層の圧密が主因

表層 ..... 32%

上層路盤 ..... 14%

下層路盤 ..... 45%

路床 ..... 9%

↓  
 やはり凍結融解？

↓  
 わが国のわだち掘れは？

### TA設計法の課題④

- (1) 冬季に大半が凍結する舗装のデータを根拠とした。

↑  
 TA法は凍結のない地域が主

- (2) AASHOのわだち掘れは圧密

↑  
 わが国のわだち掘れは表層の流動

設計法の根本に影響する課題

→ その後の検証は？

### TA設計法の限界・・・まとめ

計算された舗装厚は  
 単なる目安と考えよう



#### 4. 多層弾性論による設計法の限界

- ① 設計法の原理
- ② 弾性論の仮定と舗装体
- ③ 応力・歪の繰返し数
- ④ 破壊形態の矛盾
- ⑤ 弾性論による設計法のまとめ

#### 設計法の原理

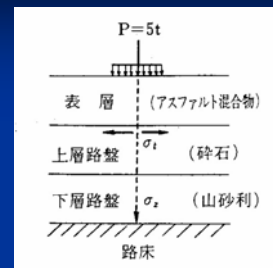


図-15 多層弾性論のモデル断面

表層下面の引張歪 …… クラック  
路床上面の圧縮歪 …… わだち掘れ

#### 弾性論の仮定と舗装体

弾性論	舗装体
等方	異方
等質	異質
変形量は微小	変形量は大
質量なし	質量大
ヤング率	変形係数
円形等分布荷重	混合荷重

#### 応力・歪の繰返し数

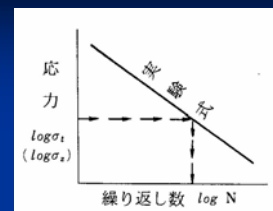


図-16 破壊までの繰返し数Nの求め方

- (1) 実験式は機関によって異なる
- (2) 縦軸・横軸ともに対数
- (3) 実験は室内の一定条件
- (4) 応力制御か歪制御か

#### 破壊形態の矛盾

- 多層弾性論……舗装は下から壊れる
- わが国の舗装……舗装は上から壊れる

表-7 破壊の位置と原因

	クラック	わだち掘れ
多層弾性論	アスファルト層の下面	路床の圧縮歪
わが国の舗装	アスファルト層の上面	表層の流動

#### 弾性論による設計法 …… まとめ

計算された舗装厚は  
単なる目安と考えよう

## TA法、多層弾性論のまとめ

舗装厚は単なる目安

ゴルフコースのヤード杭と見ては？

- ①ヤード杭の表示と自分の感覚
- ②風向, 強さ
- ③ライの状態(右さがり・前さがり等)
- ④クラブの選択

最終的には自分の腕・判断力による

設計法もヤード杭もあった方がよい

舗装プロとしての技術力で設計法を利用する

## さて、これからどうするか

①わが国の風土に合致する設計法

②維持修繕の計画策定

過去40年間のデータ解析

官、民、学 協同のプロジェクト