

十三、柔性路面厚度設計(美國瀝青協會設計法、回顧AASHTO設計法)

參考資料：「公路工程」補充講義 Section D - E

D AASHO Road Test, PSI, and ESAL Concepts

- ◎ PSR, PSI Concept
Pavement Serviceability-Performance Concept
Present Serviceability Rating (PSR), 0-5
V. Good - Good - Fair - Poor - Very Poor
(User's Rating - Subjective)

Table 1 - 74 Selected Flexible Pavements

Table 2 - 49 Selected Rigid Pavements

Need to Develop PSI equation:

$$PSI = 5.03 - 1.91 \log(1 + SV) - 1.38 RD^2 - 0.01 \sqrt{C + P}$$

$$PSI = 5.41 - 1.80 \log(1 + SV) - 0.09 \sqrt{C + P}$$

PSI = F(SV, RD, C+P) for FLEX

PSI = F(SV, C+P) for Rigid

- ◎ AASHO Road Test
Brief Description of the AASHO Road Test
(1958-1960)
- ◎ ESAL Concept and Calculations

※Development of the AASHTO Equations for Flexible and Rigid Pavements

※Equivalent Axle Load Factor (EALF) or Load Equivalency Factor (LEF) (柔性鋪面)

$$LEF = EALF = \frac{W_{t18}}{W_{tx}}$$

$$\log\left(\frac{W_{tx}}{W_{t18}}\right) = 4.79 \log(18 + 1) - 4.79 \log(L_x + L_2) + 4.33 \log L_2 + \frac{G_t}{\beta_x} - \frac{G_t}{\beta_{18}}$$

$$G_t = \log\left(\frac{4.2 - p_t}{4.2 - 1.5}\right)$$

$$\beta_x = 0.40 + \frac{0.081(L_x + L_2)^{3.23}}{(SN + 1)^{5.19} L_2^{3.23}}$$

※ESAL Concept (標準軸重軸次)

18-Kip ESAL, 18仟磅單軸軸重當量數

※ESAL Calculation

$$ESAL = 365 * (ADT) * (\%TRK) * (DD) * (LD) * (TF) * ((1+g)^n - 1) / g$$

E 柔性鋪面厚度設計

E.6 AASHTO 設計法(1993 年版)

◎複習周義華「運輸工程」之第十章「鋪面設計」

◎參考曾家祥、林志棟，「1993 年 AASHTO 柔性路面厚度設計」一文

E.5 美國瀝青協會(AI)設計法(1991年版)

◎AI設計法之歷年發展

1. 第一階段：1955年(第一版)~1970年(第八版)，依AASHO與WASHO道路試驗結果，僅考量交通量與路基土壤承載力，屬經驗法
2. 第二階段：1981年(第九版)以後，採用多層彈性理論，同時另考慮環境因素(溫度、飽和度)之影響。1984年版增列卡車因素(Truck Factor, TF)；1991年版增列胎壓校正係數，並修訂車道分佈因素表，並依不同年平均氣溫分列路面厚度設計圖

◎基本假設與設計基準

※基本假設(圖3.3.1)

1. 全厚度瀝青混凝土，視為三層系統
2. 另採用碎石級配時，視為四層系統
3. 設計年限之累積18-kip(80KN)等效單軸荷重作用次數(假設兩半徑11.5 cm，相距34.5 cm之圓版，胎壓70 psi)

※設計基準

1. 三層系統時，張應變與壓應變皆發生於路基面上
2. 四層系統時，張應變發生於瀝青混凝土與碎石級配層之接觸面上，而壓應變則發生於路基面上

3. 瀝青混凝土之水平張應變

$$N_f = 18.4(C) \left[4.325 \times 10^{-3} (\varepsilon_t)^{-3.291} (|E^*|)^{-0.854} \right]$$

$$C = 10^M$$

$$M = 4.84 \left(\frac{V_b}{V_a + V_b} - 0.69 \right)$$

For a standard mix: asphalt volume $V_b = 11\%$
air void $V_a = 5\%$, $M = 0$ or $C = 1$, then

$$N_f = 0.0796 (\varepsilon_t)^{-3.291} (|E^*|)^{-0.854}$$

(Source: Huang, "Pavement Analysis and Design", page 254)

(Fatigue Criteria: fatigue cracking=20%
of surface area)

4. 路基頂面之垂直壓應變

$$N_d = 1.365 \times 10^{-9} (\varepsilon_c)^{-4.477}$$

(Source: Huang, "Pavement Analysis and Design", page 547)

(Permanent Deformation Criteria: rutting
 ≤ 0.5 in.)

◎設計因素

※交通分析

1. 設計年限20年
2. 18-kip(80KN)等效單軸荷重當量因素
(SN=5, $P_t=2.5$, 表3.3.1)

3. 卡車因素(Truck Factor, TF)= Σ (某軸重通過總數) x (該軸重之荷重當量因素) / 通過車輛總數
4. 車道分佈因素
5. 交通量成長因素= $((1+g)^n - 1)/g$
6. 計算設計交通量(EAL, ESAL)
 $ESAL=(365)(\text{設計車道的平均日交通量})$
(卡車因素)(交通量成長因素)
7. 超載時之校正因素(圖3.3.2)

※材料特性

1. 路基土壤(回彈模數值 M_R 與CBR之關係)
2. 瀝青混凝土面層、底層
3. 乳化瀝青混凝土底層
4. 底層、基層級配料

※環境特性

年平均溫度 $MAAT=7^\circ\text{C}$ 、 15°C 、 24°C 之各設計圖

◎設計步驟 (AI之DAMA程式)

【例題】

- 一、美國 AASHTO 鋪面厚度設計法係將分析期間之累加期望載重以 18-kip 單軸載重當量數(ESAL)表示。請以查表的方式求得下列柔性鋪面之軸重當量因子(Load Equivalency Factors, LEFs)，並以手算的方式驗算其值：

- (a)當 $P_t = 2.5$, $SN = 5$, 一個14-kip單軸載重之LEF為何?
- (b)當 $P_t = 2.5$, $SN = 4$, 一個40-kip雙軸載重之LEF為何?
- (c)假設我們決定將標準軸重由「18-kip單軸載重」改為「32-kip雙軸載重」, 請問上述問題之LEFs將變為何?

二、試簡述現行柔性路面厚度設計法中：美國瀝青學會（AI）之全厚度瀝青混凝土鋪面厚度設計法，與美國州公路與運輸官員司協會（AASHTO）設計法等之基本設計理念(含其演進過程)、與優缺點比較。又AI法中之設計交通當量代表之意義為何？

三、假設國道中山高速公路於民國58至64年興建初期設計某一段四車道柔性路面，路基土壤回彈模數為5000psi、阻力值 $R=20$ ，其基本交通調查及分類資料為：初期平均每日交通量AADT=21,000輛/日，重型車輛佔全交通量之25%，方向分佈因素 $D=60\%$ ，車道分佈因素 $LD=80\%$ ，平均每年之交通成長率為5%（以複成長計算）。預期之軸重分佈與平均每1,000輛重型車之各軸重數如下表所示：

表一 預期之軸重分佈表(軸數/1000輛大型車)

單軸軸重，仟磅	軸數/1000輛貨車	雙軸軸重，仟磅	軸數/1000輛貨車
10	860	20	150
14	240	24	400
18	220	28	450
22	190	32	800
26	60	36	258

- (a) 請估算出未來二十年內在設計車道上累計之8,170公斤(18,000磅)單軸軸重當量之總數。
- (b) 請依此利用美國瀝青協會(AI)1991年版之設計圖表查得全厚度瀝青混凝土所需之厚度。
- (c) 請您將此18-Kip「單軸」軸重當量數換算成以「單輪」5000磅(2270公斤)為基準之輪荷重當量。
- (d) 請您據此並依當時中山高速公路所採用美國加州設計法之相關公式與厚度折算，推算出在路基土壤以上全部鋪瀝青混凝土所需之厚度，並與(b)之結果相比較。

五、假設新設計一柔性鋪面的快速公路，其相關交通資料如下：

四車道分隔式公路，起始年之平均每日交通量ADT=11,000輛/日，大型車百分比為18%，方向分佈為65%，車道分佈為80%，設計年限為20年，期末服務效用指數為2.5，交通量固定每年成長率為4%(以複利計算)。此公路預期之軸重分佈如表一所示。(若設計資料不足時，請做合理之假設)

- (a)請暫時假設SN=5，先求出貨車載重因素(Truck Load Factor, TF)，再求出分析期間在設計車道上之累加期望18-kip單軸載重當量數(ESALs)。(20%)
- (b)請再依1993年版之AASHTO柔性鋪面厚度設計法決定所需之SN值與各層之厚度。假設可靠性水準為95%，總標準偏差為0.45，路床土壤之回彈模數值為4000 psi，基層材料之彈性模數值為15,000 psi，底層材料之彈性模數值為30,000 psi，瀝青面層之彈性模數值為400,000 psi。

表一 預期之軸重分佈表(軸數/1000 輛大型車)

單軸軸重，Kips	Axles/1000 Trucks	雙軸軸重，Kips	Axles/1000 Trucks
12	182.02	16	99.34
14	47.73	20	85.94
16	31.82	24	72.54
18	25.15	28	121.22
20	16.33	32	103.63
22	7.85	36	56.25
24	5.21	40	21.31
26	1.78	44	8.01
28	0.85	48	2.91
30	0.45	52	1.19

六、請以查表的方式求得下列柔性鋪面之軸重當量因子(LEF)：

- (a)當 $P_t = 2.5$, $SN = 5$ ，一個24-kip單軸載重之LEF為何？
- (b)假設我們決定將標準軸重由「18-kip單軸載重」改為「32-kip雙軸載重」，請問上述問題之LEF將變為何？

七、假設國道中山高速公路於興建初期設計某一段四車道柔性路面，假設路基土壤回彈模數為5000 psi，其基本交通資料為：初期平均每日交通量AADT=12,000輛/日，重型車輛佔全交通量之22%，方向分佈因素 $D=60\%$ ，車道分佈因素 $LD=80\%$ ，平均每年之交通

成長率為4%（以複成長計算）。設計年限為20年，期末服務效用指數為2.5，預期之軸重分佈如下表所示：(Note: 1 psi = 6.89 kPa)

單軸軸重，仟磅	軸數/1000輛貨車	雙軸軸重，仟磅	軸數/1000輛貨車
10	720	20	450
14	280	24	300
18	200	28	150
22	130	32	70
26	100	36	30

- 請暫時假設SN=5，先求出卡車因子(Truck Factor, TF)，再估算出分析期間在設計車道上之累加期望8,170公斤(18,000磅)單軸載重當量之總數(ESALs)。
- 假設年平均大氣溫度為15.5°C，請依此利用美國瀝青協會1991年版之設計圖表查得全厚度瀝青混凝土所需之厚度。
- 請您將此18-Kip「單軸」軸重當量數換算成以「單輪」5000磅(2270公斤)為基準之輪荷重當量。
- 請您據此並依當時中山高速公路所採用美國加州設計法之相關公式與厚度折算，推算出在路基土壤以上全部鋪瀝青混凝土所需之厚度。假設路基材料在試驗室試驗結果如下表所示：

含水量 (%)	擠水壓力 (kg/cm ²)	膨脹壓力 (kg/cm ²)	R-值
16	8	0.07	12
13	21	0.09	18
10	34	0.15	26

- 假設可靠性水準為95%，總標準偏差為0.45，基層材料之彈性模數值為15,000 psi，底層材料之彈性模數值為30,000 psi，瀝青面層之彈性模數值為400,000 psi。請再依1993年版之AASHTO柔性鋪面厚度設計法決定所需之SN值與各層之厚度，並與前述設計結果比較。