

## E.5 美國瀝青協會(AI)設計法

### 3.3 美國瀝青協會(AI)法[5,6,7,8]

美國瀝青協會(Asphalt Institute)自1955年發表柔性路面厚度設計手冊(MS-1)以來，經過多次修訂而成為目前在歐美各國較有影響的方法之一。就其發展過程而言，大致可分為兩個階段。第一個階段係自1955年第一版至1970年8月第八版為止，於此階段本設計法仍屬經驗法，主要是依據AASHO和WASHO道路試驗結果發展而來，其中對影響路面厚度設計的因素僅考量交通量及路基土壤承载力。第二階段則是指1981年9月第九版設計手冊出版以後，該版本採多層彈性理論為設計依據，同時另考慮環境因素(溫度、飽和度)的影響。1981年版經1984及1991年兩次修訂，其中1984年增列了卡車因素(Truck Factor)示意圖；1991年則增列胎壓校正係數，同時在公路分類及卡車因素分佈表中亦略加修訂，並將路面厚度設計圖分別依不同的年平均氣溫分類列出，以免設計者引用錯誤。以下將簡述AI(MS-1)1991年版之設計方法：

#### 3.3.1 基本假設

##### 1. 路面模型

本設計法將路面視為多層彈性體，分析時每層鋪築材料之性質是以彈性模數與柏松比來評估。路面鋪築結構為全厚度瀝青混凝土時，視為三層系統(Three Layer System)，如尚採用碎石級配料時，則視為四層系統(Four Layer System)，如圖3.3.1所示。其中最底層之路基垂直及水平方向均為無限延伸，其他各層則僅水平方向假設為無限大，同時各層間之接觸面均為完全連續，亦即具充份之摩擦力。

##### 2. 交通量

交通量是以設計年限之累積80KN等效單軸荷重作用次數為評估依據，車輪之荷載作用情形係假設為兩半徑11.5公分，相距34.5公分之圓版，且其與路面之接觸壓力為70psi。

### 3.3.2 設計基準

在本設計法中認為，路面於承受荷載時，因鋪築材料不同，所發生之應變位置亦不同，如圖3.3.1所示，路面結構為三層系統時，張應變及壓應變皆發生於路基面上；如為四層系統時，則張應變發生於瀝青混凝土與碎石級配層的接觸面上，而壓應變則發生在路基面上。於是遂以瀝青混凝土層底面的水平張應變  $\epsilon_t$  和路基頂面的垂直壓應變  $\epsilon_c$  作為控制之基準。如果  $\epsilon_t$  過大則瀝青混凝土層將自底緣形成裂縫並向上延伸，導致路面之損壞；如  $\epsilon_c$  過大，則路面將因路基超載產生永久變形。

為了制定設計基準，AI利用DAMA程式來計算  $\epsilon_t$  和  $\epsilon_c$ ，結果發現臨界應變係位於雙輪荷載的對稱軸上。而前兩項設計基準的容許值則按下式計算：

#### 1. 瀝青混凝土層底面之張應變 $\epsilon_t$

$$N = a \left[ \frac{1}{\epsilon_t} \right]^b$$

其中 N：發生疲勞裂縫時之荷載作用次數。

$\epsilon_t$ ：荷載重複作用所生之張應變。

a、b：瀝青混凝土疲勞試驗所得之係數，但須加以修正以反應現場使用性能。

本法在進行具體計算時，採用Finn等人所制定的疲勞準則而加以修正，以反應瀝青含量和空隙率的變化，最後採用

$$N = 18.4(C) \left[ 6.167 \times 10^{-5} (\epsilon_t)^{0.291} (|E^*|)^{-0.854} \right] \quad (\text{公制})$$

$$N = 18.4(C) \left[ 4.325 \times 10^{-3} (\epsilon_t)^{-3.291} (|E^*|)^{-0.854} \right] \quad (\text{英制})$$

其中 N：80KN等效單軸荷重作用次數。

$\epsilon_t$ : 瀝青混凝土層底緣之張應變, mm/mm(in/in)。

$E^*$ : 瀝青混凝土之動彈性模數, MPa(psi)。

$C$ : 瀝青混凝土中空隙率( $V_v$ )和瀝青體積( $V_b$ )之函數。

$$C = 10^M$$

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

AI建議瀝青混凝土破壞之基準為疲勞裂縫之面積達全部路面面積之20%。

## 2. 路基頂面之壓應變 $\epsilon_c$ :

如同疲勞準則, 垂直壓應變準則可以下式表之:

$$N = C \left( \frac{1}{\epsilon_c} \right)^d$$

其中  $N$ : 荷載作用次數。

$\epsilon_c$ : 路基頂面之垂直壓應變, mm/mm(in/in)。

$c$ 、 $d$ : 係數, 由現場路面分析所得。

上式亦可寫成

$$\epsilon_c = l \left( \frac{1}{N} \right)^m$$

其中  $l$  及  $m$  為由不同設計方法所得之係數, 如下表:

Method Determined	Coefficient		Design Methodology from Which Criteria
	$l$	$m$	
Shell	0.0028	0.25	AASHTO Road Test Data and CBR Designs.
Chevron	0.00105	0.223	State of California.
Nottingham	0.00216	0.28	TRRL—Great Britain Road Note 29.

AI採用了Chevron的標準，故路基土壤的容許應變準則為

$$N = 1.365 \times 10^{-9} (\epsilon_c)^{-4.477} \quad (\text{公制})$$

同時訂定車轍(Rut)不得大於13mm(0.5in.)

### 3.3.3 設計因素

#### 1. 交通分析

設計交通量是以設計年限內，設計車道之累積80KN(18-kip)等效單軸荷重(Equivalent single-axle Load, EAL)作用次數表示。其分析步驟如下：

##### (1) 決定設計年限 (Design Period)

設計年限係道路開放使用後至需要加鋪或翻修之期間，AI採用之設計年限一如AASHTO設計法中有關績效年限(Performance Period)的建議值，通常訂為20年。

##### (2) 決定80KN(18-kip)等效單軸荷重當量因素

AI對於其他類型車輛的軸重換算成80KN(18-kip)等效單軸荷重的當量因素，乃採用AASHTO設計法中SN=5及 $P_t=2.5$ 時之資料，詳如表3.3.1。

##### (3) 決定卡車因素 (Truck Factor)

卡車因素係表示一輛車通過時對路面產生的80KN(18-kip)等效單軸荷重作用次數。其計算方法如下式：

$$\text{卡車因素} = \frac{\sum (\text{某軸重通過之總數} \times \text{該軸重之荷重當量因素})}{\text{通過車輛總數}}$$

##### (4) 車道分佈因素

設計車道卡車數之分配率如下表：

雙方向車道數	設計車道之卡車分配率(%)
2	50
4	45(35-48)
6以上	40(25-48)

(5) 交通量成長因素

由預估交通量的成長率，可依下式計算未來交通量成長倍數

$$g = \frac{(1+r)^n - 1}{r}$$

其中  $g$ ：至設計年限止的交通量成長倍數。

$r$ ：預估交通量成長率，%。

$n$ ：設計年限。

(6) 計算設計交通量(EAL)

EAL=設計車道的平均日交通量×365×卡車因素×交通量成長因素

(7) 超載時EAL的校正因素

依AI假設的交通狀況，輪胎接觸壓力以70psi為基準，若卡車有超載情形，則前節所求之設計EAL需乘以由圖3.3.2得到之校正因素。由圖中可知如瀝青混凝土鋪築厚度越小，則校正因素越大，表示超載對路面損壞之影響越大，這是可以理解的。

(8) 路肩的設計交通量一般採主要車道設計交通量的2%。

## 2. 材料特性

路面結構中各層材料之性質是以彈性模數及柏松比(Poisson's Ratio,  $\nu$ )來評估，其中瀝青混合物以動彈性模數(Dynamic Modulus,  $E^*$ )、路基土壤和碎石級配料則以回彈模數(Resilient Modulus,  $M_R$ )表示。

### (1) 路基土壤

#### a. 評估方法

路基土壤為支持路面結構之基礎，因此必須有足夠的強度，以免因沉陷使路面產生永久變形。AI設計方法對路基土壤強度的評估標準，自1981年第九版起已改用回彈模數 $M_R$ 來表示，然 $M_R$ 值須以動力三軸試驗求得，而具有此試驗設備之機構並不普遍，故AI於MS-10手冊中另有介紹以CBR(ASTM D1883 或AASHTO T193)及R值(ASTM D2844或AASHTO T190)試驗結果換算為 $M_R$ 之公式如下：

$$M_R(\text{MPa}) = 10.3\text{CBR}$$

$$M_R(\text{psi}) = 1500\text{CBR}$$

$$M_R(\text{MPa}) = 8.0 + 3.8R$$

$$M_R(\text{psi}) = 1155 + 555R$$

惟以上公式適用於依統一土壤分類法(ASTM D2487)所得為CL、CH、ML、SC、SM及SP等之路基土壤或 $M_R$ 值小於207MPa(30,000psi)者。

#### b. 取樣及試驗

一般取樣原則如下：

- (a) 挖方路段施工至路基頂面時，在路基面下0.6公尺深度內取樣；填方路段則於借土區內採取代表性之土樣。
- (b) 若計劃道路沿線之土壤變化不大時，則以一主要土樣作為設計之依據，但如土壤性質變化很大，則應依不同之土壤採分段設計。
- (c) 同一路段相同性質土壤之試驗數目以6~8個為主，不必超過9個。
- (d) 如試驗結果發現 $M_R$ 值有明顯偏低者，表示該處土質較弱，故應增加取樣地點以確定不良土質之範圍，並進行土壤改良或增加路面設計厚度，以確保全部道路均能安全的供車輛行駛。

#### C. 決定設計 $M_R$ 值

路基土壤的設計 $M_R$ 值係根據現場取樣的試驗結果經統計分析而定，其決定步驟如下：

- (a) 決定設計交通量EAL。
- (b) 試驗求得各土樣之 $M_R$ 值(或以CBR、R值換算)。
- (c) 將各試驗所得 $M_R$ 值依大小順序排列。
- (d) 從最低之 $M_R$ 開始，計算大於等於該 $M_R$ 值之土樣個數，並求出佔全部土樣數目之百分比。

(e)以試驗 $M_R$ 值為橫座標，前項步驟所得之百分比為縱座標，描繪出 $M_R$ 值試驗結果之累積分佈曲線。

(f)由表3.3.2之規定由設計交通量選擇 $M_R$ 設計值涵蓋率後，由前述之累積分佈曲線可得相對應之 $M_R$ 值即設計 $M_R$ 值。

#### D. 滾壓

##### (a) 塑性土壤

路基最上層30公分內壓實度最少需達到以AASHTO T180方法D所求的最大乾密度之95%以上，填方路段於路基最上層75公分以下者，最少需90%以上。倘屬於膨脹性土壤，則含水量應控制在試驗室內最佳含水量濕側(Wet side)1或2%內；非膨脹性土壤則控制在乾側(Dry side)1或2%內。

##### (b) 非塑性土壤

路基最上層30公分內壓實度最少需達到AASHTO T180方法D所求得最大乾密度之100%以上。填方路基在路基最上層30公分以下者，最少需達到95%以上。

#### (2) 瀝青混凝土面層、底層

如採用AI MS-1設計圖，須符合下列規定：

(a)粗細骨材級配須符合AI SS-1規定，且需依據AI SS-2方法試驗。

(b)瀝青混凝土配合設計應採用SS-1規定準則。

(c)用於面層之粗骨材有50%以上應屬碎面(Crushed pieces)。瀝青混凝土每天產品定為一批，每一批需做6個試體，樣品由卡車或施工地點取得。工地滾壓後，每一批由核子密度儀或鑽取4吋直徑樣品5個，其平均壓實度需大於96%，而任一樣品不得低於94%。

#### (3) 乳化瀝青混凝土底層

AI將乳化瀝青混凝土分為下述三類：

第一類：乳化瀝青與密級配粒料混合。

第二類：乳化瀝青與碎石、試坑材料、河邊邊坡粒料混合。

第三類：乳化瀝青與砂或沉泥質砂配合而成。

乳化瀝青混凝土並沒有標準方法以求出工地密度，美國瀝青學會建議採下列方法：將乳化瀝青混凝土每天分成一批，每批在試驗室夯打6

個試體，樣品分成兩種，從卡車或工地任意取之，試驗方法依照MS-19。決定乳化瀝青混凝土工地密度，最迅速方法係以核子密度儀觀測，如果用鑽取方法，則需俟養治完成後取樣(養治時間以六個月為宜)。每一批要做五個工地密度，與試驗室六個試體之平均值比較，其壓實度要達95%以上，同時任一個不可低於92%。底層使用乳化瀝青混凝土時，面層瀝青混凝土最小厚度如表3.3.3。

#### (4)底層、基層級配料

凡使用級配料作底層或基層材料時，應符合表3.3.4及ASTM D2940規範之規定。滾壓時需控制於最佳含水量 $\pm 1.5\%$ 範圍內，壓實度應超過100%，最大乾密度依據ASTM D1557-C或AASHTO T180-D方法求得。初期滾壓重量或接觸壓力宜較小，而後慢慢加壓至所需之密度，其試驗頻率為每3000噸作3個工地密度試驗。底層使用級配料時面層瀝青混凝土最小厚度亦如表3.3.3之規定。

### 3. 環境條件：

瀝青混凝土、乳化瀝青混凝土、碎石級配料及路基土壤之性質均受氣溫變化之影響，本設計法所得之設計圖是依年平均氣溫等於7°C、15°C及24°C時所製定的。圖3.3.3表示在冰凍對路基土壤性質之影響，在冰凍時期路基之 $M_R$ 值增加，解凍時期則相反，對碎石級配料而言亦然。路面溫度可由氣溫利用Witczak提出之公式(如下)得到，以確定瀝青混合物的勁度。

$$MMPT = MMAT \left[ 1 + \frac{1}{(Z+4)} \right] - \frac{34}{(Z+4)} + 6$$

其中 MMPT：月平均路面溫度(Mean Monthly Pavement Temperature)，°F。

MMAT：月平均氣溫(Mean Monthly Air Temperature)，°F。

Z：道路表面下之深度，in。

設計時以 $Z=1/3$ 瀝青層厚度處的溫度來代表瀝青層的溫度。同時AI建議對不同氣候之地區應採用不同之瀝青材料，如表3.3.5。



### 3.3.4 設計步驟

路面結構各層厚度的選擇可利用DAMA程式計算結果所繪製的設計圖(如圖3.3.4)來完成。其中所得之厚度皆能滿足前述兩項不同設計基準之要求，亦即採分別以不同應變基準所得之厚度中較大者。其設計流程如圖3.3.5，步驟如下所述：

#### 1. 決定設計所得資料

- (1)設計交通量EAL。
- (2)路基土壤回彈模數 $M_R$ 。
- (3)面層和底層型態。
- (4)年平均溫度MAAT。

選擇適當的設計圖以決定路面各層厚度，瀝青混凝土面層(或乳化瀝青第一類上表面處理)的最小厚度限制如表3.3.3。

#### 3. 如有需要可採分期施工設計。

#### 4. 針對各設計方案進行經濟分析。

#### 5. 決定較佳方案。

惟需注意採用設計圖進行設計時，其交通量適用範圍為 $EAL=10^5\sim 2\times 10^7$ 之間，如EAL超過 $2\times 10^7$ 時，則宜採DAMA程式設計，同時當EAL大於 $3\times 10^6$ 時，則應考慮分期施工。

### 3.3.5 討論

1. AI對碎石級配基底層夯實度之要求為達AASHTO T180所得最大乾密度的100%以上，同時級配要求亦較嚴格，故引用時應注意施工規範之配合修正，否則應增加路面厚度。
2. 使用AI MS-1固定設計圖時，路面各層材料之性質及施工規範必須依AI SS-1及MS-1之規定，如採不同規範時，則宜使用AI DAMA程式進行設計。
3. AI提出利用CBR或R值換算 $M_R$ 之公式應為經驗式，其他地方不一定適用，對不同地區而言，宜自行發展適用之換算公式。
4. AI對路基土壤之設計 $M_R$ 值僅考慮於受冰凍影響的地區應略予修正，對於多雨地區路基土壤季節性含水量變化之影響，似乎未予考量。

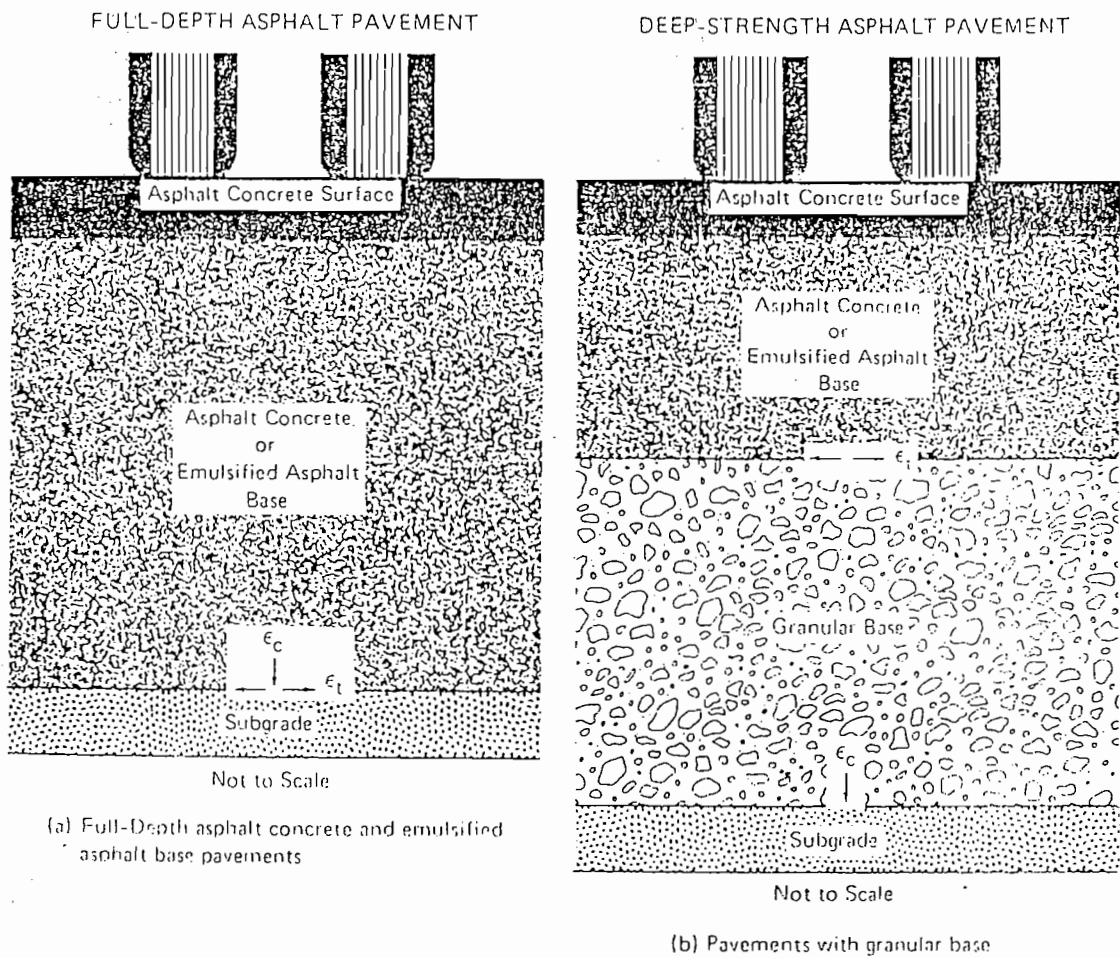


圖3.3.1 AI柔性路面模型

表3.3.1 柔性路面之等效軸重當量因素(Pt=2.5, 雙軸)

Axle Load (kips)	Pavement Structural Number (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	.0001	.0001	.0001	.0000	.0000	.0000
4	.0005	.0005	.0004	.0003	.0003	.0002
6	.002	.002	.002	.001	.001	.001
8	.004	.006	.005	.004	.003	.003
10	.008	.013	.011	.009	.007	.006
12	.015	.024	.023	.018	.014	.013
14	.026	.041	.042	.033	.027	.024
16	.044	.065	.070	.057	.047	.043
18	.070	.097	.109	.092	.077	.070
20	.107	.141	.162	.141	.121	.110
22	.160	.198	.229	.207	.180	.166
24	.231	.273	.315	.292	.260	.242
26	.327	.370	.420	.401	.364	.342
28	.451	.493	.548	.534	.495	.470
30	.611	.648	.703	.695	.658	.633
32	.813	.843	.889	.887	.857	.834
34	1.06	1.08	1.11	1.11	1.09	1.08
36	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	1.75	1.73	1.69	1.68	1.70	1.73
40	2.21	2.16	2.06	2.03	2.08	2.14
42	2.76	2.67	2.49	2.43	2.51	2.61
44	3.41	3.27	2.99	2.88	3.00	3.16
46	4.18	3.98	3.58	3.40	3.55	3.79
48	5.08	4.80	4.25	3.98	4.17	4.49
50	6.12	5.76	5.03	4.64	4.86	5.28
52	7.33	6.87	5.93	5.38	5.63	6.17
54	8.72	8.14	6.95	6.22	6.47	7.15
56	10.3	9.6	8.1	7.2	7.4	8.2
58	12.1	11.3	9.4	8.2	8.4	9.4
60	14.2	13.1	10.9	9.4	9.6	10.7
62	16.5	15.3	12.6	10.7	10.8	12.1
64	19.1	17.6	14.5	12.2	12.2	13.7
66	22.1	20.3	16.6	13.8	13.7	15.4
68	25.3	23.3	18.9	15.6	15.4	17.2
70	29.0	26.6	21.5	17.6	17.2	19.2
72	33.0	30.3	24.4	19.8	19.2	21.3
74	37.5	34.4	27.6	22.2	21.3	23.6
76	42.5	38.9	31.1	24.8	23.7	26.1
78	48.0	43.9	35.0	27.8	26.2	28.8
80	54.0	49.4	39.2	30.9	29.0	31.7
82	60.6	55.4	43.9	34.4	32.0	34.8
84	67.8	61.9	49.0	38.2	35.3	38.1
86	75.7	69.1	54.5	42.3	38.8	41.7
88	84.3	76.9	60.6	46.8	42.6	45.6
90	93.7	85.4	67.1	51.7	46.8	49.7

柔性路面之等效軸重當量因素(Pt=2.5, 三軸)

Axle Load (kips)	Pavement Structural Number (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
4	.0002	.0002	.0002	.0001	.0001	.0001
6	.0006	.0007	.0005	.0004	.0003	.0003
8	.001	.002	.001	.001	.001	.001
10	.003	.004	.003	.002	.002	.002
12	.005	.007	.006	.004	.003	.003
14	.008	.012	.010	.008	.008	.006
16	.012	.019	.018	.013	.011	.010
18	.018	.029	.028	.021	.017	.016
20	.027	.042	.042	.032	.027	.024
22	.038	.058	.060	.048	.040	.036
24	.053	.078	.084	.068	.057	.051
26	.072	.103	.114	.095	.080	.072
28	.098	.133	.151	.128	.109	.099
30	.129	.169	.195	.170	.145	.133
32	.169	.213	.247	.220	.191	.175
34	.219	.266	.308	.281	.246	.228
36	.279	.329	.379	.352	.313	.292
38	.352	.403	.461	.436	.393	.366
40	.439	.491	.554	.533	.487	.459
42	.543	.594	.661	.644	.597	.567
44	.666	.714	.781	.769	.723	.692
46	.811	.854	.918	.911	.868	.838
48	.979	1.015	1.072	1.069	1.033	1.005
50	1.17	1.20	1.24	1.25	1.22	1.20
52	1.40	1.41	1.44	1.44	1.43	1.41
54	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66
56	1.95	1.93	1.90	1.90	1.91	1.93
58	2.29	2.26	2.17	2.16	2.20	2.24
60	2.67	2.60	2.48	2.44	2.51	2.58
62	3.09	3.00	2.82	2.76	2.85	2.95
64	3.67	3.44	3.19	3.10	3.22	3.36
66	4.11	3.94	3.61	3.47	3.62	3.81
68	4.71	4.49	4.06	3.88	4.05	4.30
70	6.38	6.11	4.57	4.32	4.52	4.84
72	8.12	7.79	5.13	4.80	5.03	5.41
74	9.93	9.54	6.74	6.32	6.57	7.04
76	11.84	11.37	8.41	7.98	8.25	8.71
78	13.83	13.28	10.14	9.68	10.01	10.57
80	15.92	15.28	11.95	11.45	11.85	12.43
82	18.11	17.44	13.88	13.38	13.85	14.50
84	20.44	19.66	15.94	15.34	15.85	16.67
86	22.91	21.71	18.14	17.44	17.95	18.94
88	25.52	23.91	20.48	19.68	20.15	21.31
90	28.27	26.34	23.06	22.06	22.55	23.78

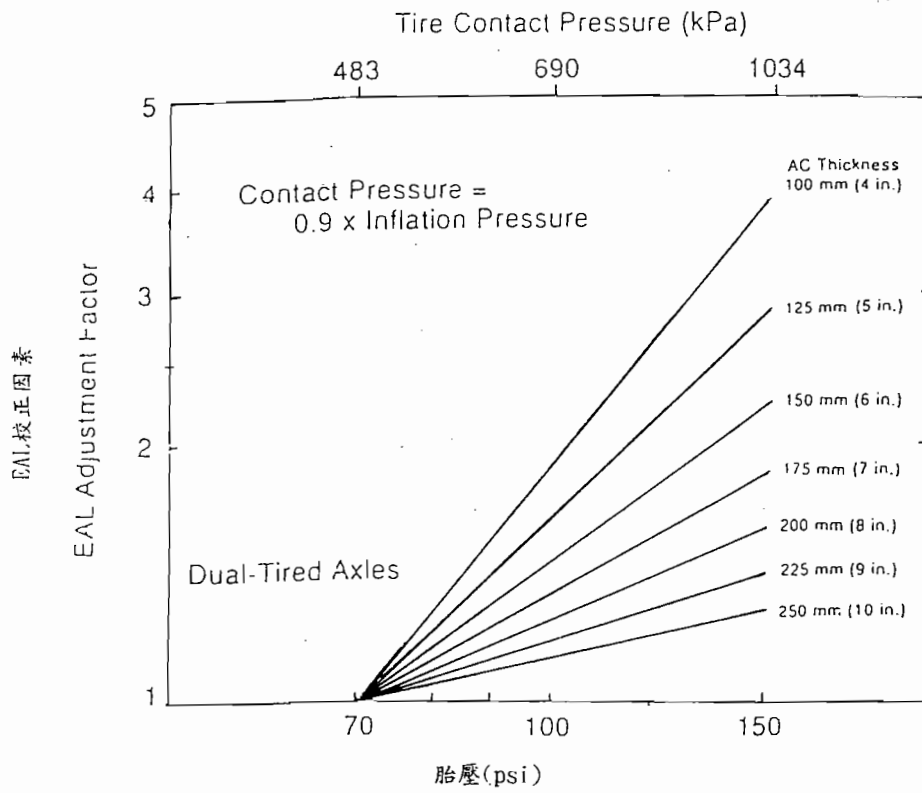


圖3.3.2 EAL之胎壓校正因素

表3.3.2 路基土壤設計MR值涵蓋率

Traffic Level EAL	Design Subgrade Value, Percent
$10^4$ or less	60
Between $10^4$ & $10^6$	75
$10^6$ or more	87.5

表3.3.3 瀝青混凝土面層最小厚度限制(底層為乳化瀝青)

Traffic Level EAL	Type II and Type III <sup>1</sup>	
	mm	(in.)
10 <sup>4</sup>	50	(2)
10 <sup>5</sup>	50	(2)
10 <sup>6</sup>	75	(3)
10 <sup>7</sup>	100	(4)
>10 <sup>7</sup>	130	(5)

<sup>1</sup>Asphalt concrete, or Type I emulsified asphalt mix with a surface treatment, may be used over Type II or Type III emulsified asphalt base courses.

瀝青混凝土面層最小厚度限制(底層為碎石級配)

Traffic EAL	Traffic Condition	Minimum Thickness of Asphalt Concrete
10 <sup>4</sup> or less	Light traffic parking lots, driveways and light traffic rural roads	75mm (3.0 in.)*
Between 10 <sup>4</sup> & 10 <sup>6</sup>	Medium truck traffic	100mm (4.0 in.)
10 <sup>6</sup> or more	Heavy truck traffic	125mm (5.0 in.) or greater

\*For Full-Depth asphalt concrete or emulsified asphalt pavements a minimum thickness of 100mm (4 in.) applies in this traffic region, as shown on the design charts.

表3.3.4 碎石級配基、底層品質要求

Test	Test Requirements	
	Subbase	Base
CBR, minimum*	20	80
or		
R-value, minimum*	55	78
Liquid Limit, maximum	25	25
Plasticity Index, maximum, or	6	NP
Sand Equivalent, minimum	25	35
Passing No. 200 sieve, maximum	12	7

\*The formulae in Article 5.04 relating CBR and R-value to subgrade soil resilient modulus do not apply to untreated aggregate base and subbase.

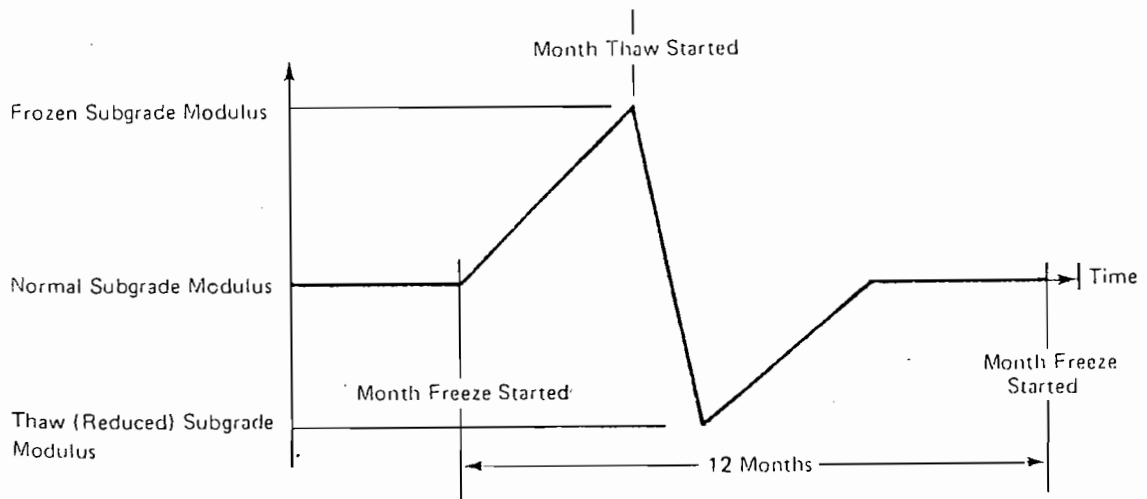


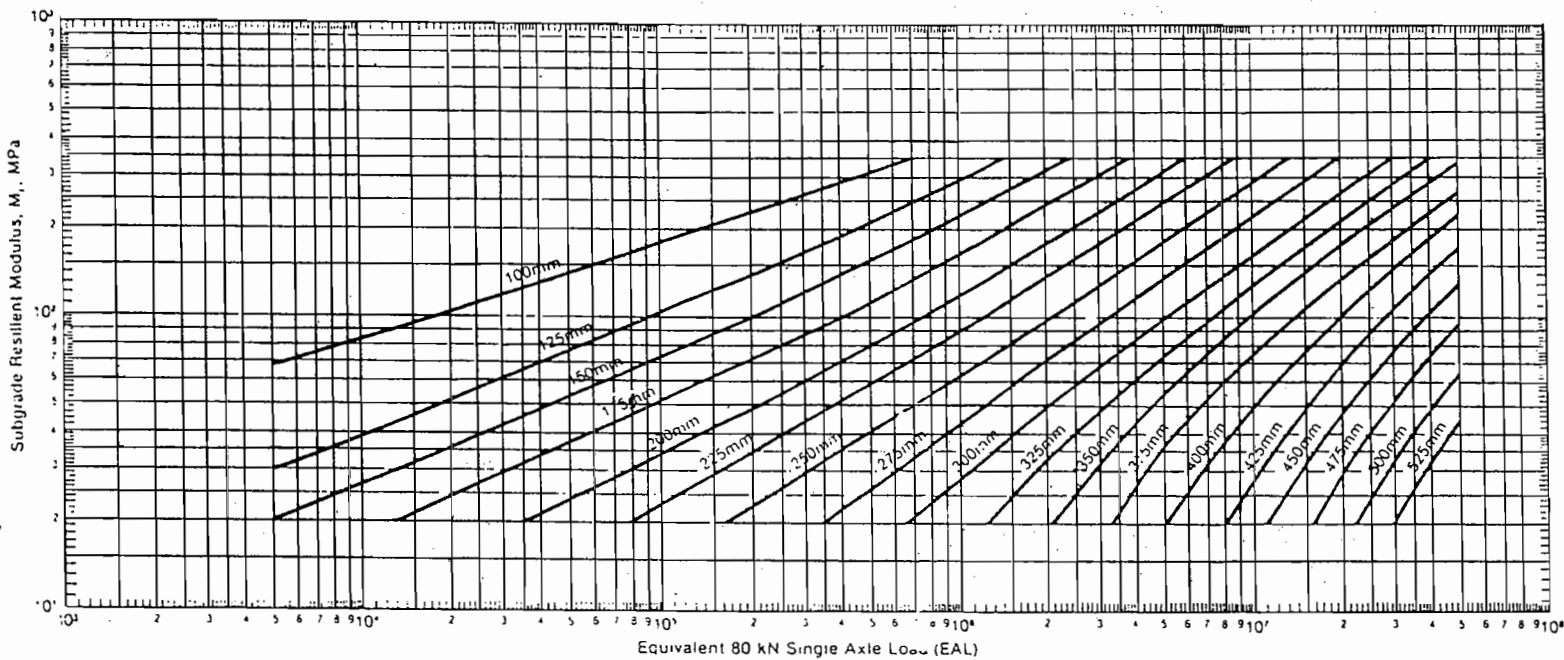
圖3.3.3 凍融現象對路基土壤MR值之影響

路基土壤強度

圖3.3.4 A1柔性路面設計圖例

Full Depth Asphalt Concrete

MAAT 24°C



單軸重 80KN · EAL

表3.3.5 瀝青材料選擇建議表

Temperature Condition	Asphalt Grades*	
Cold, mean annual air temperature $\leq 7^{\circ}\text{C}$ ( $45^{\circ}\text{F}$ )	AC-5, AR-2000, 120/150 pen.	AC-10 AR-4000 85/100 pen.
Warm, mean annual air temperature between $7^{\circ}\text{C}$ ( $45^{\circ}\text{F}$ ) and $24^{\circ}\text{C}$ ( $75^{\circ}\text{F}$ )	AC-10, AR-4000, 85/100 pen.	AC-20 AR-8000 60/70 pen.
Hot, mean annual air temperature $\geq 24^{\circ}\text{C}$ ( $75^{\circ}\text{F}$ )	AC-20, AR-8000, 60/70 pen.	AC-40 AR-16000 40/50 pen.

\*Both medium setting (MS) and slow setting (SS) emulsified asphalts are used in emulsified asphalt base mixes. They can be either of two types: cationic (ASTM D 2397 or AASHTO M 208) or anionic (ASTM D 977 or AASHTO M 140).

The grade of emulsified asphalt is selected primarily on the basis of its ability to satisfactorily coat the aggregate. This is determined by coating and stability tests (ASTM D 244, AASHTO T 59). Other factors important in the selection are the water availability at the jobsite, anticipated weather at the time of construction, the mixing process to be used, and the curing rate.

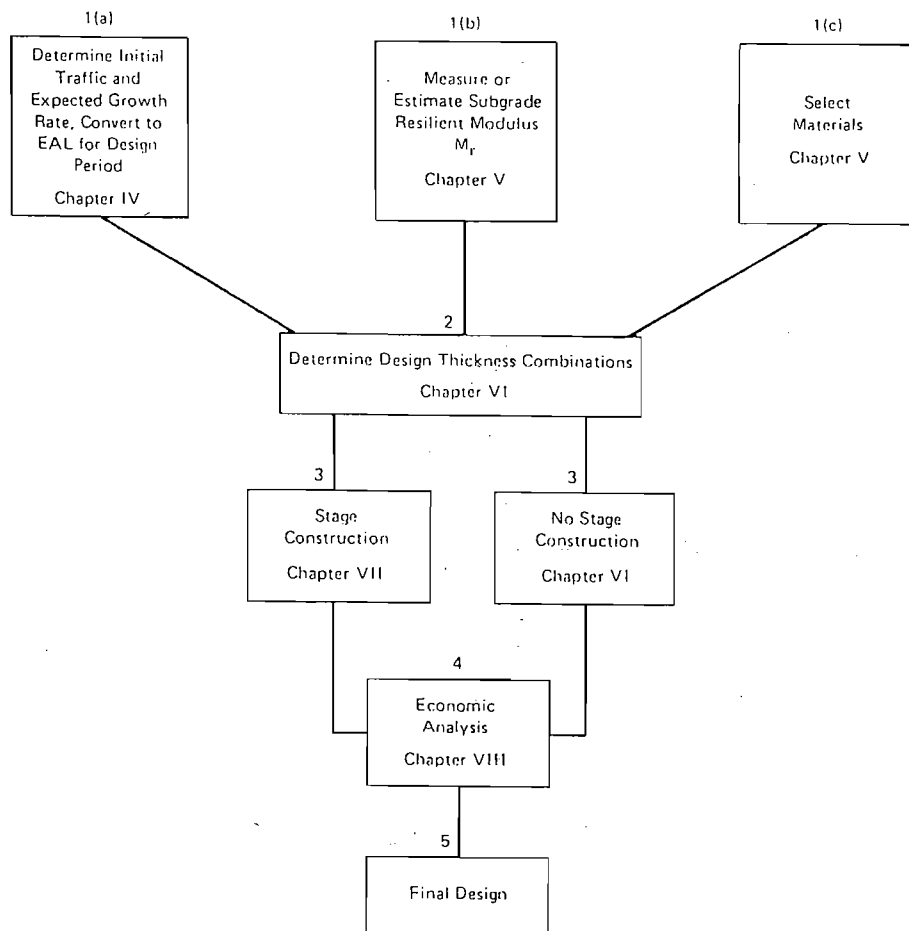


圖3.3.5 AI柔性路面設計流程圖



# 美國瀝青協會(AI)設計法(1991年版)

## 3.2 STRUCTURAL DESIGN PROCEDURE

The design criteria for the Asphalt Institute method is to restrict the amount of horizontal strain at the bottom of the asphalt-treated layer (which is a source of fatigue or alligator cracking) and to restrict the amount of vertical strain at the top of the roadbed soil (which is a source of rutting and permanent deformation). The limiting criteria for both fatigue cracking and permanent deformation are based on empirical data. Alligator cracking is limited to 20 - 25% of the pavement surface and rutting is limited to 0.5 in over the design period of the pavement. The pavement thickness obtained from these design charts satisfy the most critical of these two requirements (1).

The Asphalt Institute design procedure consists of the following steps:

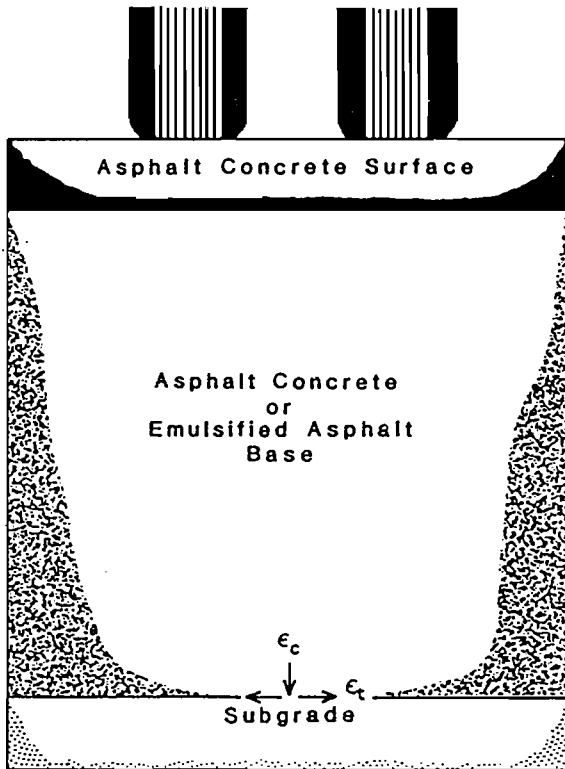
1. Roadbed Soil Testing. This is necessary to determine the Design Roadbed Soil Resilient Modulus,  $M_R$ , for use in the design charts, as described earlier.
2. Material Determination. This is required to select the surface and base types to be used in the design. There are several different pavement structures which may be used for the design of a flexible pavement. These include full-depth asphalt concrete pavements, pavements with an asphalt surface and an emulsified asphalt base, and pavements with an asphalt surface and granular base.

Since asphalt mix properties vary with temperature, it is recommended that different asphalt cement grades be used where different climate conditions prevail. A table giving the recommended asphalt grades for specific temperature conditions was provided earlier. (P398)

3. Traffic Information. It is necessary to determine the traffic to be carried by the pavement (in ESAL applications over the design period). Design life is not input directly. Different pavement design lives can be considered by using different design traffic volume inputs (e. g., 5 million ESAL for 10 years, 10 million for 20 years, etc.).
4. Thickness Design. Thickness design charts such as that shown in Figures 3-3.3, 3-3.4, and 3-3.5 for Full-Depth Asphalt Concrete, Emulsified Asphalt Mix Type II, and 6 inch Aggregate Base, respectively, are used to determine the required asphalt concrete surfacing thickness. Inputs of design traffic, roadbed soil resilient modulus, and a preselected material determination (e.g., full-depth asphalt, 4 in aggregate base, 6 in aggregate base, etc.) are required. Reference 1 contains additional charts not in this manual.

As an example, assume a 6 inch aggregate base has been selected for use in the pavement system. If a traffic level of 2 million ESALs is anticipated over the design life and the resilient modulus has been determined to be 8000 psi, then an asphalt concrete thickness of 9 inches is required over the 6 inch aggregate base. This is shown in Figure 3-3.5.

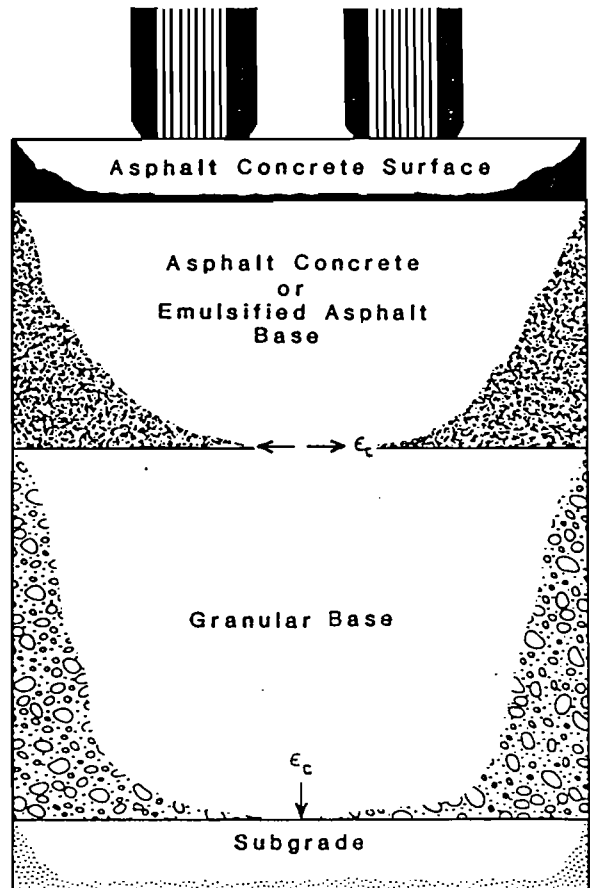
FULL-DEPTH  
ASPHALT PAVEMENT



Not to Scale

(a) FULL-DEPTH ASPHALT CONCRETE AND EMULSIFIED ASPHALT BASE PAVEMENTS

DEEP-STRENGTH  
ASPHALT PAVEMENT



Not to Scale

(b) PAVEMENTS WITH GRANULAR BASE

Figure 3-3.1 Assumed Critical Strain Locations for the Asphalt Institute Flexible Pavement Thickness Design Procedure (1).

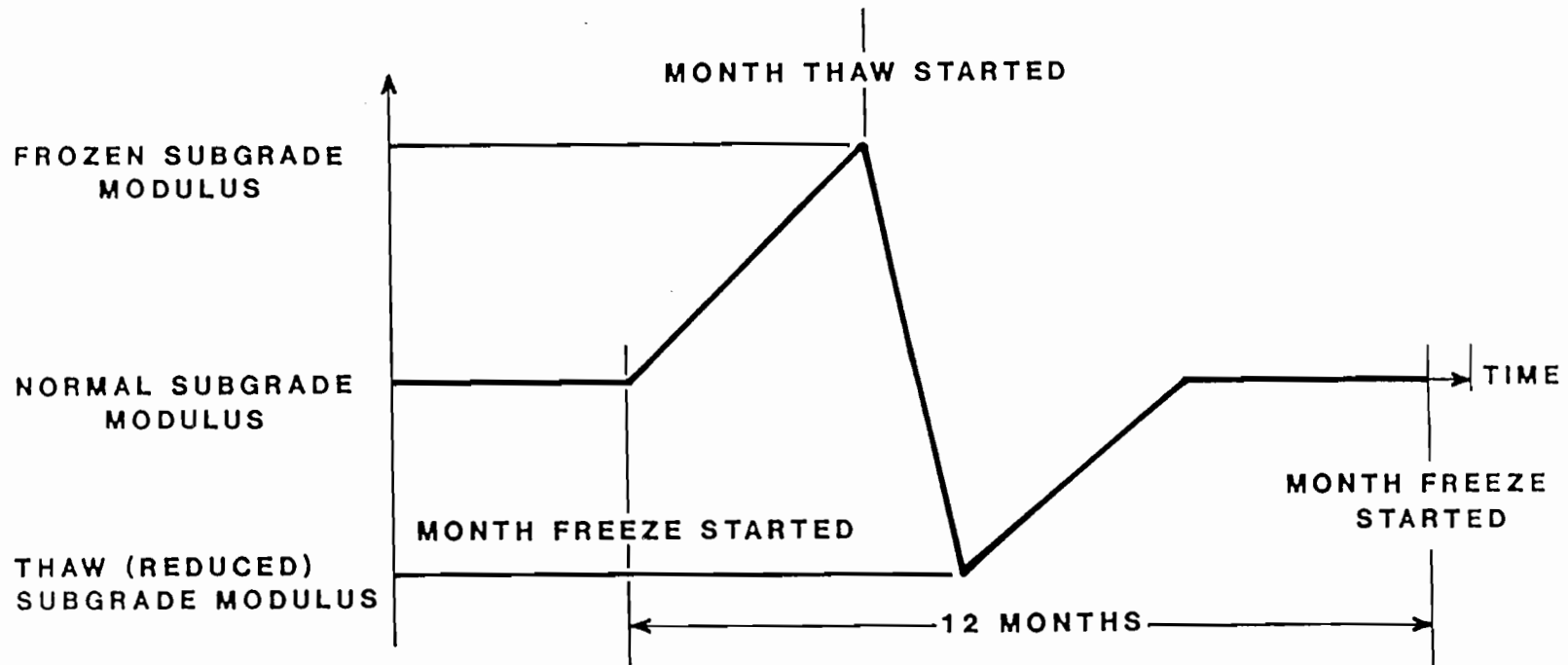
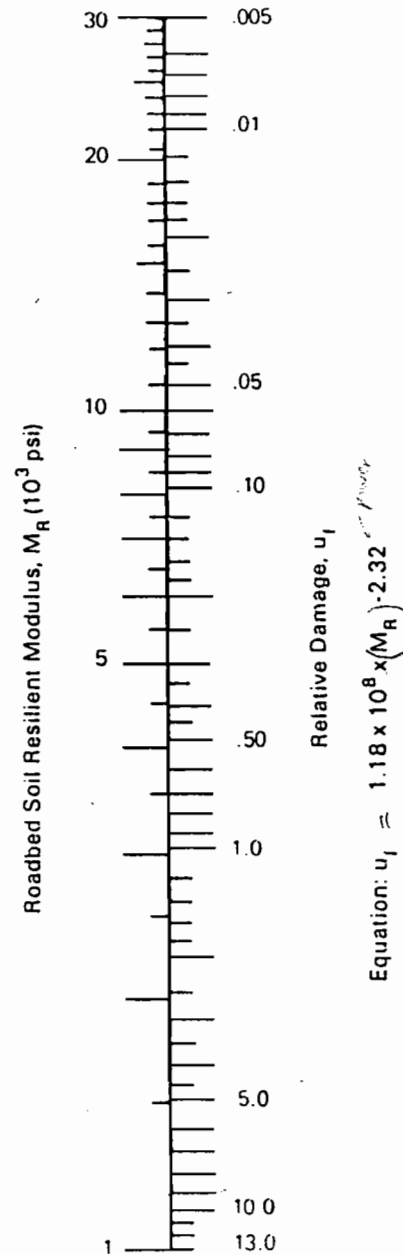


Figure 3-3.2 Conceptual Drawing of Seasonal Variation in Roadbed Soil Resilient Modulus Due to Changes in Moisture and Temperature.

Month	Roadbed Soil Modulus, $M_R$ (psi)	Relative Damage, $u_f$
Jan.	20,000	0.01
Feb.	20,000	0.01
Mar.	2,500	1.51
Apr.	4,000	0.51
May	4,000	0.51
June	7,000	0.13
July	7,000	0.13
Aug.	7,000	0.13
Sept.	7,000	0.13
Oct.	7,000	0.13
Nov.	4,000	0.51
Dec.	20,000	0.01
Summation: $\sum u_f =$		3.72

Average:  $\bar{u}_f = \frac{\sum u_f}{n} = \frac{3.72}{12} = 0.31$

Effective Roadbed Soil Resilient Modulus,  $M_R$  (psi) = 5,000 (corresponds to  $\bar{u}_f$ )



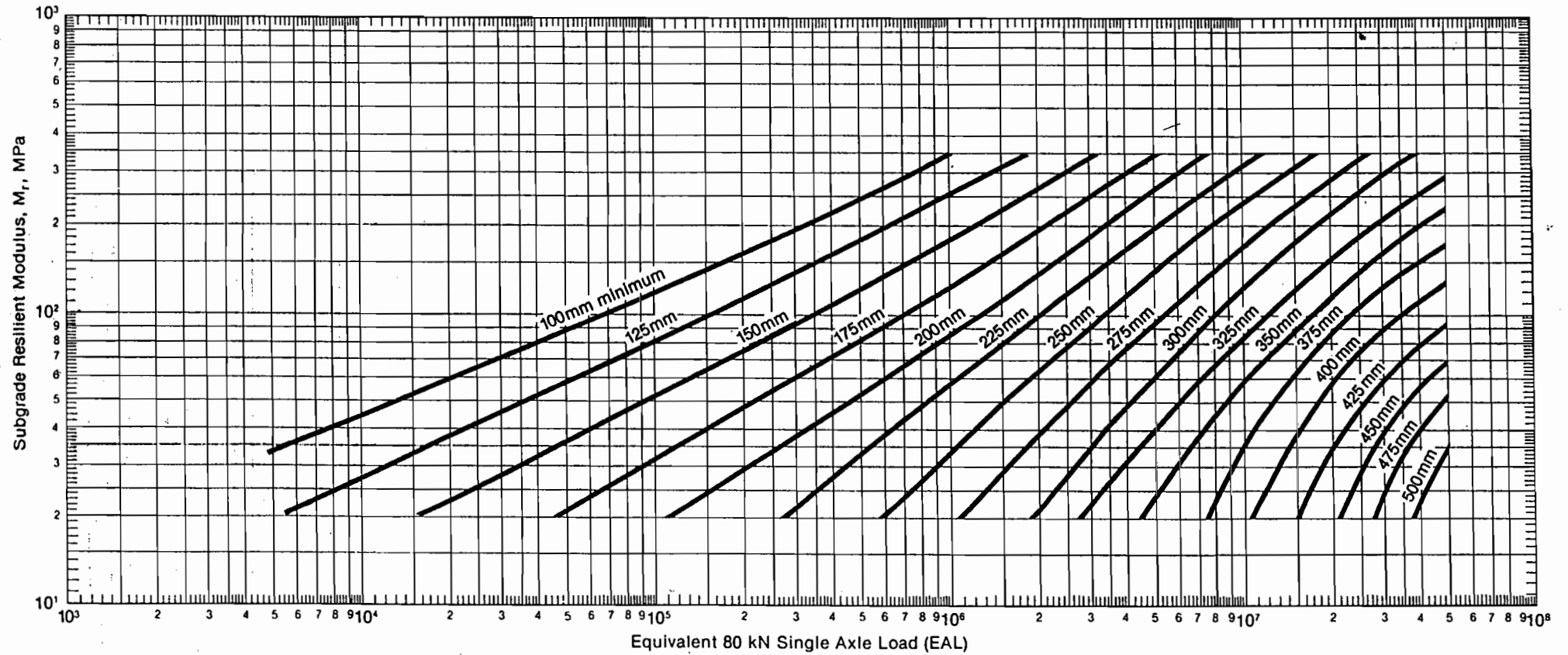
Equation:  $u_f = 1.18 \times 10^8 \times (M_R)^{-2.32}$

$u_f = 1.18 \times 10^8 \times (M_R)^{-2.32}$

Figure 3-2.4 Chart for Estimating Effective Roadbed Soil Resilient Modulus for Flexible Pavements Designed Using the Serviceability Criteria.

# Full-Depth Asphalt Concrete

MAAT 15.5°C



E-71

Design Chart A-7