

## E 柔性鋪面厚度設計

E.1 柔性鋪面厚度設計法簡介

E.2 土壤分組指數法

E.3 加州承載比率法

E.4 土壤阻力值法

E.5 美國瀝青協會(AI)設計法

E.6 AASHTO 柔性鋪面厚度設計法(1993 年版)  
(第一冊)

E.7 AASHTO 剛性鋪面厚度設計法(1993 年版)

資料來源：

1. 蔡攀鰲，公路工程學，成功大學土木系，八十一年（十一版）。
2. 林志棟、黃偉慶、張德文、劉明樓，「臺灣地區柔性路面厚度設計手冊研擬」，交通部台灣區國道新建工程局，民國八十五年四月。
3. 曾家祥、林志棟，「1993年AASHTO柔性路面厚度設計」，1994年瀝青混凝土路面及材料特性研討會專輯，中壢市，中央大學，民國八十三年五月十九、二十日。
4. The Asphalt Institute, "Thickness Design - Asphalt Pavements for Highways & Streets," Manual Series No. 1 (MS-1), February 1991.
5. Huang, Y. H., Pavement Analysis and Design, Prentice Hall Inc., 1993.)

## E.1 柔性鋪面厚度設計法簡介

### 2.5 柔性路面設計法之演進

最早出現的柔性路面設計方法，應為1901年美國麻省道路委員會提出的以靜力平衡理論為基礎的設計法。其特點係將車輪荷載視為集中載重，並初步考慮了路面的強度，使載重呈一定的形狀分佈於路基表面，然後依據力學平衡理論決定路面的厚度，此等設計方法稱為古典設計法。然古典設計法中對路面結構受力情形之考量較不符實際，同時亦未考慮路基承载力、重複載重作用等因素之影響，所以未能得到進一步的發展，於是路面設計就逐漸趨向依經驗判斷[4]。

到了1940年左右，隨著土壤力學理論的發展，已能充份掌握路基土壤及路面材料之特性，故能將其於實驗室或現場所得之物理力學性質與實際路面的耐久性比較，從而得出路面的經驗厚度值，這就是通常所稱的經驗法。一般經驗法之設計原則，即在一定強度之路基上，求得路面於使用年限內之交通量條件下，不致產生永久變形或破壞所需之厚度。它已考慮了路基土壤和路面材料的強度、交通量及車輪荷重之影響，較之古典法進步了許多。到了1960年代，隨著AASHTO大型試驗道路的鋪設及試驗結果的發表，使經驗法更趨完善，並得到廣泛的應用[4]。

但隨著採用新型的路面結構或新材料、交通量增加、車輛載重變大、多層路面的應用等等，經驗法的使用將受到一定的限制，故需發展更合理的設計方法，於是遂有以多層彈性理論為基礎的理論法出現。理論法是運用結構分析原理，詳細計算路面結構中各層所承受由設計載重所生之應力、應變大小及位移量，然後依各層材料之容許強度及變形量來決定所需之厚度[4]。

故柔性路面設計理論和方法基本上是依古典法、經驗法(或半經驗法)、理論法之順序發展起來的，目前各國所採用之設計方法大體為後面兩種[4]。其中尤以美國公路工程界財力和人力雄厚，較能從事基本研究，故亦發展出較多設計方法，其他各國常參考美國之設計法，直接加以引用或修正後應用。Yoder在1959年所著之「路面設計原理」一書中即列有下列九種設計法[5]：

- (1) 三軸試驗設計法(Design using the Triaxial Test)。
- (2) 加州威氏穩定儀設計法(Hveem's Stabilometer Method-California)。
- (3) McLeod設計法(McLeod Method)。

- (4) 加州承載比設計法(California Bearing Ratio Design)。
- (5) 分類指數法(Group-Index Method)。
- (6) 密西根州土壤學分類設計法(Design by Pedological Class-Michigan)。
- (7) 北卡羅那州承載設計法(North Carolina Bearing Method)。
- (8) 北達克達錐設計法(North Dakota Cone Method)。
- (9) 瀝青學會設計法(The Asphalt Institute Method)。

由於各項研究發展和理論逐漸成熟，二十年來設計方法已有相當轉變，舊有設計法也經相當幅度修正，Yoder和Witczak在1975年合著「路面設計原理」二版所列之柔性路面設計法已縮減為以下五種[5,6]：

- (1) AASHO設計(AASHO Interim Design Guide)。
- (2) 肯達基州設計法-多層彈性分析法(Kentucky Method-Multilayer Elastic Analysis)。
- (3) 瀝青學會(AI)設計法(The Asphalt Institute Method)。
- (4) 國家碎石協會(NSCA)設計法(National Crushed Stone Association Method)。
- (5) 加州設計法(California Method of Design)。

以上所提的方法皆侷限於美國一地，如根據美國公路研究部(Highway Research Board)DB-6鋪面設計理論委員會在1970年所提出的報告，則將柔性路面之設計方法分為下列四大類[1,5]：

- (1) 彈性原理法(Elasticity Methods)。
- (2) 極限強度原理(Ultimate Strength Methods)。
- (3) 半經驗及統計法(Semi-Empirical and Statistical Methods)。
- (4) 經驗及環境法(Empirical and Environmental Methods)。

目前因電腦之普遍使用，且能提供強大的計算功能，使理論法漸受到重視，故亦有發展以有限元素法、粘-彈性層狀理論、非線性層狀理論及破壞力學等為基礎之設計方法，惟尚未見完備[4]。

## 2.6 柔性路面設計原理

路面設計之目的係提供一經濟的路面結構，並保證其於預期的設計期間內，雖承受交通荷載及環境因素的作用而仍能維持一定程度的使用性能。一般而言路面設計的內容應包括以下四部份〔3〕：

### 1. 路面型態及結構之選擇

依據道路使用需求、環境因素、路基土壤特性、材料供應、施工及養護條件、經費等選擇擬採用之路面型式及結構組合方案。

### 2. 瀝青混合料配合設計

依據可用材料性質及規範要求，並考量環境因素(溫度及水)之影響，進行適當的配合設計。

### 3. 路面結構設計

依據經驗法或假設之路面模型進行力學分析的結果，來確定滿足交通量、環境因素和使用年限需求的路面結構各層材料尺寸。

### 4. 經濟分析

對各種可能的路面結構組成進行成本效益分析後決定較佳方案。

今將各柔性路面設計法依前節所述分為經驗法及理論法兩大類，並分別概述其設計原理如下〔3,7,8〕：

#### 1. 經驗法

係將試驗道路實際行車試驗或調查所得有關路面結構型式、材料性質、交通荷載大小及作用次數、使用性能等之大量資料經統計分析得各參數間之關係，以作為路面設計之依據。這類方法於使用時較為簡便，然受試驗道路所在環境及材料條件之限制，並不一定適用於其他地區。

#### 2. 理論法

理論法係運用力學理論分析路基土壤及路面材料於承受荷重時之力學特性，由此可以計算在某種環境及交通荷載下之路面結構系統其各層之臨界應力(Critical Stresses)、應變及變形量等數據。一般柔性路面大

多是以路基土壤和瀝青材料之應變限度來擬訂設計準則 (Design Criteria)。其中路基土壤是以其頂面之壓應變限度為依據，亦即在某一環境及交通荷載作用下，當路基發生應變時需設法使路基頂部維持一致。路基應變之大小受環境因素影響甚劇，尤其是溫度及含水量。另瀝青材料則是以其底部之張應變限度為依據，故瀝青材料的勁度及抗疲勞特性遂成為控制的重點，尤需注意這兩種性質隨溫度變化將產生相當大的變異性，會直接影響路面的使用性能。理論設計法具有下列之特徵：

- (1) 建立路面結構的力學模型，並能以適當的力學理論分析該路面模型中各點的應力、應變值及變形量。
- (2) 分析路面結構各層材料在特定環境及荷載條件下的力學性質。
- (3) 以路面結構中特定點之應力、應變值或變形量定義設計準則。
- (4) 用簡便的方法表示設計系統。

柔性路面的設計程序，可大致依下列步驟進行：

1. 蒐集資料：包括交通量(軸重、軸次、車輛橫向分佈情形、年平均成長率等)、環境(年降雨量、月平均氣溫等)、材料(性質、單價、運距等)、地質(土壤性質、地下水位等)、經濟(預算、利率變動等)及當地的施工技術和設備條件等相關資訊與路面實際的使用經驗。
2. 路面結構初擬：包括路面型態、結構組合、路面各層大致厚度及材料組成。
3. 路面材料配合設計及力學性質試驗。
4. 確定相關設計參數：如分析期限、可靠度、環境影響因素、材料性質等。
5. 進行結構分析：分析所擬訂之各路面結構方案在交通荷載作用及環境因素之條件下的應力、應變值及變形量，並預估其損壞情形或使用效能。
6. 針對各路面結構方案進行生命週期成本分析。
7. 選擇較佳方案。

## 6.3 國內常用柔性鋪面設計法

台灣地區柔性路面厚度設計方法使用因道路主管單位不同而異。本節概略將常用各方法再次說明如下，其細節詳見報告前文。

### 6.3.1 CBR設計法

公路局在民國54年參考美國科羅拉多州公路局的加州承載比(CBR)曲線設計法，在本省各地試驗，根據本省氣候狀況，修正科州原有的設計曲線，制訂了公路局現行的CBR設計法。設計步驟包括【13】：

1. 求路基土壤的不擾動CBR值。
2. 由設計表求出年降雨量及交通量對應指定值之總和。
3. 依總指定值大小決定設計曲線。
4. 由CBR值及設計曲線求路面之總厚度。

由於該法難因應重要路段交通量日增的需求，因此目前所採行者僅限於一般交通量較少的縣鄉道路。

### 5.3.2 R值設計法

公路局另於民國53年左右，參照美國加州設計法，將該法改良引入國內。此法將路基土壤採樣試驗計算出土壤阻力值R值，再參酌交通成長量所計算出的交通量指數(TI)，設計鋪面厚度。對於環境因子的考量則間接由路基土壤試驗值反應之。該法之設計步驟如下：

1. 依據設計年限內車道之累積 $18kip$ 單軸荷重當量數( $EAL$ )、 $5000$ 磅車軸荷重當量數( $EWL$ )、或車輪荷重( $W$ )，計算交通量指數 $TI$ 。
2. 根據 $TI$ 值，路基土壤 $R$ 值及路面材料凝聚值求設計厚度，以路面卵石當量厚度推算真實材料所需之真實厚度。
3. 配合加州 $R$ 值設計法尚需引用一常數項 $k'$ ，陳式毅等人【5】建議以表6.3選定各地區設計所需的 $k'$ 值。該法詳細步驟請見【5,13】。採用該法之工務單位尚包括國道高速公路局及國道新建工程局。

### 6.3.3 瀝青協會設計法

美國瀝青協會(*Asphalt Institute, AI*)自1955年發表柔性路面厚度設計手冊(*MS-1*)以來，經多次修訂而成爲廣爲流行的設計法之一。該法的最新版本發表於1991年【31】。國內採行AI設計法的工務單位包括國道高速公路局、國道新建工程局、台灣省住都局以及台北市政府工務局新工處。其基本設計步驟如下：

1. 決定設計所得資料；包括設計交通量 $EAL$ ，路基土壤回彈模數 $M_R$ 值，面層和底層形式，年平均溫度( $MMAT$ )。
2. 以適當的設計圖表，或電腦設計程式 $DAMA$ 決定路面各層厚度。
3. 如有必要可採分期施工設計，並進行最終方案評估。

該設計法建議以年平均氣溫 $7^{\circ}C$ ， $15^{\circ}C$ 和 $24^{\circ}C$ 考慮溫度對瀝青面層強度之影響；而對於路基土壤受含水量或是飽和度影響，僅考慮凍融作用。該法在本地的應用多以路基土壤的 $R$ 值及 $CBR$ 值爲基礎，近來亦有使用 $M_R$ 值進行設計者。其間各強度值的轉換應特別謹慎，以免有誤。

### 6.3.4 美國州公路及運輸官員協會設計法

美國州公路及運輸官員協會(AASHTO)設計法系依據1960年初期AASHTO試驗道路之大規模試驗結果所訂定出的經驗設計法。該法幾經修訂，其最近之版本發表於1993年【8】。AASHTO目前在國內僅二高部份路段採用。該法係根據交通量、服務年限、服務指標、可靠性及標準偏差，配合現地土壤的回彈模數值求取鋪面所需的結構數(Structural Number, SN)，該結構數表示如下：

$$SN = \sum_{i=1}^n a_i d_i \quad (6.1)$$

其中  $a$  為鋪面結構之材料係數(與材料模數有關)； $d$  為鋪面結構之厚度； $i$  為鋪面的第  $i$  成層。如以面層、底層和基層區分鋪面結構層次，另考慮基、底層之排水性，則上式可寫為：

$$SN = a_1 d_1 + a_2 d_2 m_2 + a_3 d_3 m_3 \quad (6.2)$$

其中  $m_2$ 、 $m_3$  由鋪面結構曝於近似飽和狀態之高含水量沉浸時間百分率決定(如表6.4)，其決定尚需配合排水品質(Quality of Drainage)選取。至於溫度對鋪面之影響則可以  $a_1$  處理之，以面層AC材料為例：

$$a_1 = 0.394 \log E_{AC} - 1.7877 \quad (6.3)$$

其中  $E_{AC}$  為瀝青混凝土動彈性模數(單位： $psi$ )，其材料規格由ASTM D3515 決定，壓實度需達最大理論密度92%以上，利用ASTM D4123 試驗評估  $E_{AC}$ 。由工地年平均溫度(MAAT)，參考圖6.6 求出其值，再代入上式計算  $a_1$  值。而該法亦於每年中各月份實施週期性試驗求取路基土壤的回彈模數值，藉此推求相對損壞(Relative Damage)和有效回彈模數(Effective Resilient Modulus)，做為設計之用。



### 16.13 柔性路面厚度設計法之比較

關於柔性路面厚度設計方法甚多，本章僅介紹數種採用較廣的方法，但到目前為止，尚無一種設計方法能令人完全滿意的，因為影響路面厚度設計的因素多且複雜。這些影響因素無法以一簡單的公式或圖表表示出來。這些影響因素有：(1)路基土壤之種類與性質、(2)交通量、(3)車輛之輪重、(4)輪胎之氣壓、(5)輪胎與路面之接觸面積、(6)路面材料、(7)車輛之衝擊力、(8)霜凍作用、(9)土壤滾壓之方法與其壓實度、(10)氣候、(11)地形、(12)在路面使用期間土壤含水量與強度之變化極限、(13)土壤受重複荷重、靜止荷重、及動力荷重時之變化情況、(14)壓力分佈情形、(15)施工之水準等等，此等因素不但本身具有複雜的性質，且因素與因素之間也有頗錯綜的關係存在。因之柔性路面厚度的設計不能以純理論的方式為之，目前的許多設計方法大部份均以理論、經驗、試驗，並如以統計互相配合而定出設計圖表。

① 土壤分類指數法設計柔性路面厚度應用最早，此法之優點為設備簡單，試驗快速，因其只須對通過0.4CNS之土樣作液性限度及塑性限度試驗，並對整個土樣作篩分析即可，根據此等結果就可定出路面厚度。其缺點除沒有考慮各種因素外，且此種試驗對粗料沒有考慮其對土壤強度之影響；對於雲母土壤不能顯示其膨脹壓力；對於土壤在飽和時之強度變化情形更不能表示出來。據英國公路研究會對以往完成之路面，在失敗與成功之各地點以土壤分類指數法作試驗研究，所得的結果謂此法之準確性差，與理想之距離相差甚遠。

② CBR法較適用於A-2、A-4、A-5、A-6及A-7之細粒土壤，對A-1、A-3之粒狀土壤無法分別含卵石或碎石之土樣的穩定程度，再者若是土樣在鋼軸下附近有一顆小石子，則試驗結果的可靠性甚成問題，故CBR法比較適用於細粒土壤；其另一缺點為試驗需時甚久，每個試樣須浸水四天。採用CBR法設計柔性路面厚度者，其儀器設備簡單，操作亦不難，且其試驗步驟考慮到土壤將來可能演變之最壞情況。懷俄明柔性路面設計法考慮到部份影響因素而修正CBR法，使準確性提高。據英國公路研究會用CBR

法研究路面成敗所得之結果顯示以 CBR 法設計者之準確性尚可。

③ 利用威氏穩定儀求柔性路面厚度之主要優點有：(1)試驗的方法及步驟皆模擬土壤之實地情況；(2)使土壤充分達到將來可能發生之最壞情況；(3)能分別出土壤之內阻力大小。R 值試驗可以求得粘性土壤之塑性、及顆粒性土壤之剪力強度；(4)考慮到路面材料之抗張強度；(5)較 CBR 方法快速；(6)路面厚度設計取擠水壓力及膨脹壓力試驗兩者之較大者，因此考慮到路面因膨脹因素而破壞的情況；(7)交通量分析嚴密而精細。威氏穩定儀在路面工程上之用途最為廣泛，係目前最有價值的設備。其缺點係購置全套設備費用過昂，且在威氏方法中對粘土較難使其在壓力下得到水份飽和狀態，亦即穩定儀對於粘土土壤試驗所得之強度數值較不固定。美國科羅拉多州對 A-1、A-3 土壤採用穩定儀試驗法，其他各種土壤目前尚以 CBR 法為主；其另一缺點為每天試驗的土樣不多，試驗手續繁雜；僅能設置於固定性的試驗室內。

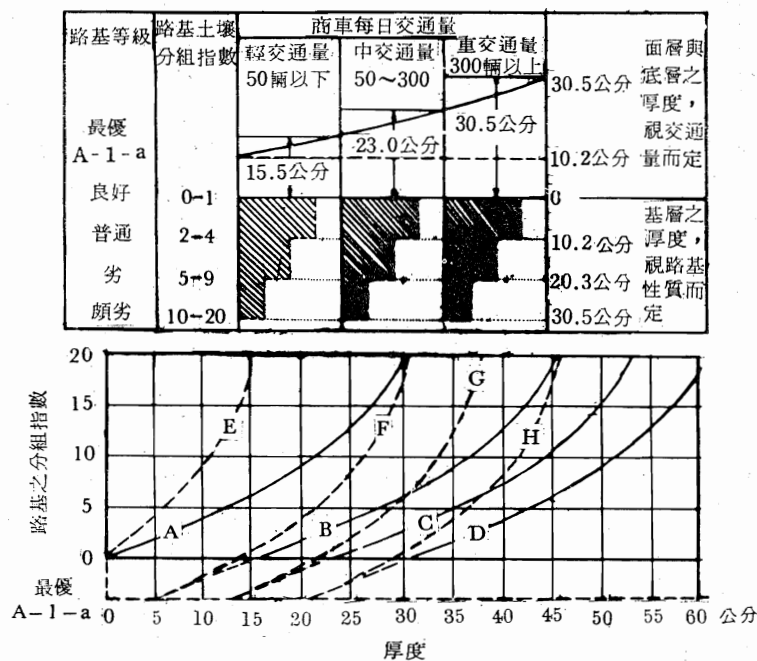
④ 美國瀝青學會多次修改其設計方法，將舊設計法之缺點加以改訂，例如交通量的分析；路面材料強度的分析等都一再地加以校正。1969 年設計中特別注重全瀝青混凝土，因其具有多項優點已於本章第九節述及。本設計方法之主要優點有：(1)以全瀝青混凝土面層為設計對象，另定基、底層材料之換算比；(2)交通量分析詳盡，特別注重重型車輪重之作用；(3)另有較完善的預估交通量成長率；(4)鋪築材料之品質及壓實的規定較為詳細；(5)廢除 1956 年設計法之土壤分類指數法，而僅以 CBR，圓板載重、及 R 值表示土壤強度，而定出設計曲線；(6)在某一交通當量下面層、底層、及基層之厚度都有詳細配合設計；(7)特別注重計劃性分期施工之優點。

## E.2 土壤分組指數法

### 16.5 土壤分組指數法

土壤分組指數法已於第十二章詳述過，即由篩分析之百分數、液性限度、塑性指數等計算分組指數，以之判定土壤之類別。路基之承載力與其土壤之分組指數有關，亦即分組指類之值愈低者，表示其承載力愈高。土壤分組指類值由0至20分成五個等級，即最優、良好、普通、劣及頗劣，以其等級決定基層的厚度，而底層及面層的厚度則由交通量的大小而決定之。圖16~2示以分組指數法決定路面之厚度，圖中各曲線所代表者如下：

- 曲線 A——選用基層材料之基層厚度。
- 曲線 B——路面總厚度（包括基層、底層及面層）…輕交通量。
- 曲線 C——路面總厚度（包括基層、底層及面層）…中交通量。
- 曲線 D——路面總厚度（包括基層、底層及面層）…重交通量。
- 曲線 E——若不用基層時，底層應另加之額外厚度（即基層用底層材料鋪築時，所需之基層厚度）。
- 曲線 F——底層與面層之總厚度（不採用基層）……輕交通量。
- 曲線 G——底層與面層之總厚度（不採用基層）……中交通量。
- 曲線 H——底層與面層之總厚度（不採用基層）……重交通量。



圖十六~2 路面厚度與土壤分組指數及交通量之關係

#### 16.5-1 路基等級之應用說明

圖十六~2 中由分組指數所決定之五個等級在應用上說明如下：

最優——路基土壤為碎石、礫石類或相當于高品質之粒狀底層材料者，即 A-1-a 類屬之。在本級路基土壤上，可無須採用基層及底層。

良好——路基土壤為細砂、含粉土之砂、含粉土或含粘土之礫石等者，即 A-1-b、A-3、A-2 等類，其分組指數在 0 至 1 者屬之。在本級路基土壤上，可無須採用基層。

普通——路基土壤為含粉土或含粘土之砂或礫石者，即 A-2、A-4、A-5、A-6、A-7 等類，其分組指數在 2 至 4 者屬之。在本級路基土壤上，須有 10 公分厚之基層（底層另計），其材料至少須屬於「良好，即  $GI = 0 \sim 1$ 」；若不採用基層，則底層須按圖十六～2 中之曲線 E 另行計算加厚之。

劣——路基土壤為粉土質土壤、粘土質土壤、或含礫石及砂之土壤，即 A-4、A-5、A-6、及 A-7 等類，其分組指數在 5 至 9 者屬之。在本級路基土壤上，須有 20 公分厚之基層，下層 10 公分之材料至少須屬「普通，即  $GI = 2 \sim 4$ 」，其餘 10 公分之材料至少應屬「良好，即  $GI = 0 \sim 1$ 」；若不採用基層，則底層須按圖十六～2 中之曲線 E 另行計算加厚之。

頗劣——路基土壤為具有彈性之粉土、粉土質粘土、及粘土等，即 A-5、A-6、A-7 等類，其分組指數在 10 至 20 者屬之。在本級路基土壤上，須有 30.5 公分厚之基層，下層 20 公分之材料至少須屬「普通，即  $GI = 2 \sim 4$ 」，其上 10 公分之材料至少應屬「良好，即  $GI = 0 \sim 1$ 」；若不採用基層，則底層須按圖十六～2 中之曲線 E 另行計算加厚之。同時與路基緊接之一層須含有足量之砂狀材料，以防粘土之上滲。

#### 16.5-2 應用土壤分組指數法應注意之點

應用土壤分組指數法時，下列幾點須加注意：

1. 路基之最小壓實度為標準壓實試驗之 95%，基層或底層則須達 100%。
2. 地下水位須在面層面之下 0.9 公尺、或 1.2 公尺。
3. 交通量係指商車之交通量，包括各種重量之貨車及公共汽車，其最大輪荷重 4080 公斤約為總量之 10 ~ 15%。
4. 除屬「最優」之路基土壤上者外，底層之最小厚度為 10 公分。

#### 16.5-3 美國瀝青柔性路面研究委員會建議之厚度

1949年美國瀝青柔性路面研究委員會建議于土壤之分類確定後，再根據表十六～1（級配粒料底層厚度表），表十六～2（水泥穩定土壤底層厚度表）、表十六～3（基層厚度設計表），及表十六～4（路面厚度設計表）等按車輛重量，交通量的大小，地下水的情形，氣候狀況，以及其他須考慮的影響因素選擇適當的厚度。

表十六～4「基層厚度」內各符號所代表之意義如下：

- \* ……在無冰凍作用及地下水位離路面甚深，路基土壤為 A-1-a 及 A

表十六~1 級配粒料底層厚度表 輪荷重 = 4080 公斤

路基土壤	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
底層厚度 (公分)	0	13	13	13	15	15	15	20	20	20	20

表十六~2 水泥穩定土壤底層厚度表 輪荷重 = 4080 公斤

路基土壤	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
底層厚度 (公分)	0	13	13	13	13	13	13	15	15	15	15

表十六~3 基層厚度設計表 輪荷重 = 4080 公斤

路基土壤	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
基層厚度 (公分)	0	0-15	0	0-15	0-20	0-25	5-25	5-36	10-36	0-36	0-36

表十六~4 路面厚度設計表 輪荷重 = 4080 公斤

路基土壤	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
面層厚度 (公分)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
底層厚度 (公分)	0	13	13	13	15	15	15	20	20	20	20
基層厚度 (公分)	*		**	**	*	++ξ	++ξ	+ξ	+ξ	++ξ	++ξ
	0	0-15	0	0-15	0-20	0-25	0-25	0-36	10-36	0-36	0-36
共計 (公分)	5	18-33	18	18-33	20-40	20-45	20-45	30-61	35-61	25-61	25-61

- 2-5 類者可無須採用基層；否則，須按規定採用最大厚度之基層。

\*... 路基土壤為 A-2-4，及 A-3 類之細粒土壤者，其上層須以結合料、石屑、或瀝青料等適當配合，使產生一穩定之表面，然後于其上再鋪設粒料底層。

+.....路基土壤為A-4、及A-5類者，基層普通以石屑、或相似粒料與路基土壤拌和滾壓成一堅固之表面，其厚度除有冰凍作用，或地下水位接近路面者須按規定採用最大厚度外，通常僅須採用最小值。

++.....路基土壤為A-6、及A-7類者，地下水位距路面甚深，而毛細管作用不影響基層時，可無須採用基層；若地下水位甚高而接近路面，或有冰凍作用者，則須改用最大厚度的基層。

ξ.....路基土壤為A-2-6、A-2-7、A-4、A-5、A-6、A-7-5及A-7-6類，其土壤毛細管作用甚大，且當吸收水份後，即全部失去承載能力者，須採用最大厚度之基層。

表十六~2之水泥穩定底層僅用在交通量較少之路面上，其每日輪重900公斤至4,080公斤之貨車不得超過100輛，或總交通量不得超過1,000輛。

上列各表均係按輪重4,080公斤，即軸重8,160公斤設計者。在不同輪荷重下，所須之厚度須加以換算，其式如下：

$$T_2 = \frac{W_2}{W_1} T_1 \dots\dots\dots (16 \sim 3)$$

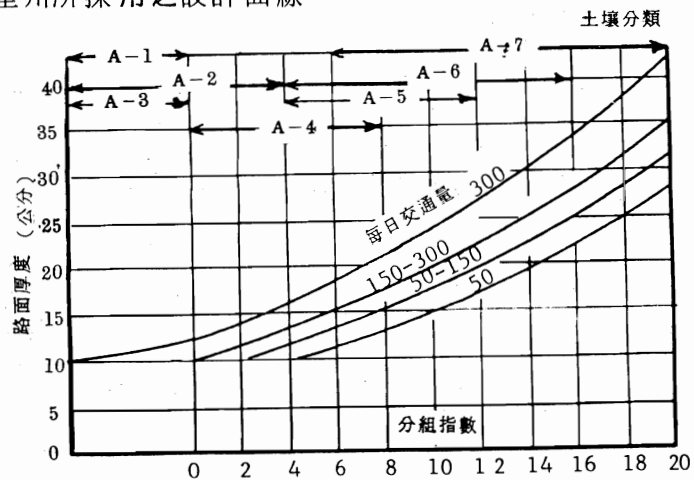
式中：T<sub>2</sub> = 不同輪荷重所須之厚度。

W<sub>2</sub> = 不同之輪荷重。

T<sub>1</sub> = 輪荷重為4,080公斤所須路基上之厚度。

W<sub>1</sub> = 輪荷重（等於4,080公斤）。

圖十六~8為美國米蘇里州所採用之設計曲線。



圖十六~3 分組指數與路面厚度關係圖

## 10.5-4 台灣省公路局之設計厚度

我國台灣省公路局按土壤之分組指數法公佈柔性路面底層厚度設計如表十六~5所示。

表十六~5 柔性路面底層厚度設計表

路基土壤分類	土壤		底層土壤粒料級配種類	底層最小厚度(公分)			
	W <sub>l</sub>	I <sub>p</sub> G. I.		面層厚度6公分或以下		面層厚度6~10公分	
				每日交通量 250輛以下	每日交通量 250輛以上	每日交通量 250輛以下	每日交通量 250輛以上
A-1	W <sub>l</sub>	30-	AB	5	5	0	0
	I <sub>p</sub>	0~6	CD	7.5	7.5	0	0
A-2 良級配	W <sub>l</sub>	30-	AB	7.5	7.5	0	0
	I <sub>p</sub>	6~5	CD	10	10	0	0
A-2 劣級配	W <sub>l</sub>	30-	AB	10	10	5	5
	I <sub>p</sub>	0~5	CD	13	13	7.5	7.5
A-2	W <sub>l</sub>	30-	AB	10	10	5	5
	I <sub>p</sub>	6~10	CD	13	13	7.5	7.5
A-2	W <sub>l</sub>	35-	AB	13	13	7.5	7.5
	I <sub>p</sub>	11+	CD	15	15	10	10
A-2或 A-3	W <sub>l</sub>	30-	AB	7.5	7.5	0	0
	I <sub>p</sub>	3-	CD	10	10	0	0
A-4	W <sub>l</sub>	30-	AB	10	10	5	5
	I <sub>p</sub>	0~5	CD	15	15	10	10
A-4	W <sub>l</sub>	30-	AB	13	13	7.5	7.5
	I <sub>p</sub>	6~10	CD	18	18	15	15
A-2	W <sub>l</sub>	35+	AB	15	15	10	10
	I <sub>r</sub>	11-	CD	20	20	15	15
A-4	W <sub>l</sub>	35+	AB	13	15	10	10
	I <sub>p</sub>	0~5	OD	18	20	13	15
A-4	W <sub>l</sub>	35-	AB	15	18	10	13
	I <sub>p</sub>	6~10	CD	20	25	15	18
A-4	W <sub>l</sub>	40-	AB	18	20	13	15
	I <sub>p</sub>	11-	CD	25	28	18	20
A-6	W <sub>l</sub>	40-	AB	23	20	18	20
	I <sub>p</sub>	15-	CD	30	35	25	28
A-6	W <sub>l</sub>	40-	AB	23	25	18	20
	I <sub>p</sub>	16~35	CD	30	38	25	28
A-5	具彈性		AB	23	25	18	20
			CD	30	35	25	28
A-6	W <sub>l</sub>	35+	AB	28	30	23	25
	I <sub>p</sub>	35+	CD	38	40	30	35
A-7	G.I.	9-	AB	20	23	15	18
			CD	28	30	20	25
A-7	G.I.	10~15	AB	25	28	20	23
			CD	35	38	28	30
A-7	G.I.	15+	AB	28	30	23	25
			CD	38	40	30	35

在應用該表時，須注意：

1. 以上設計厚度之先決條件為：

- (a) 地下水位距面層表面至少 90 公分。
- (b) 底層及路基之壓實度不得小於下列規定。

	標準壓實試驗最大乾密度	改良壓實試驗最大乾密度
路 基	95%	87%
底 層	100%	95%

(c) 每層底層壓實厚度不得大於 10 公分。

2. 土壤粒料品質另詳土壤粒料面底層施工規範。

3. 交通量按當量計算，以輪荷重 2,250 公斤者為一單位，其換算如下表，最大輪荷重為 3,600 公斤。

輪 荷 重 ( 公 斤 )	當 量	輪 荷 重 ( 公 斤 )	當 量
2,025 ~ 2,475	1	2,925 ~ 3,375	4
2,475 ~ 2,925	2	3,375 ~ 3,600	8

4. 設計厚度時，表上 AB 或 CD 二組可任選一種。

#### 16.5 - 5 設計例題

**例題十六~3** 設某 A-6 組之粘土質路基，經試驗結果，其分組指數  $G.I. = 12$ ，底層擬用 A-1 組材料，基層用 A-2 組材料，交通量屬於中交通量，試求各層之厚度；若不擬採用基層時。其厚應為若干？

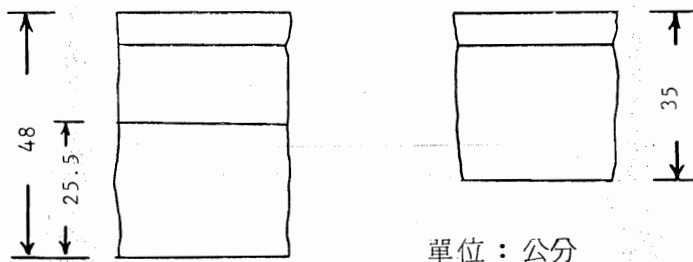
**圖：** 1. 路面厚度包括基層、底層、及面層者

- a. 由圖十六~2 之曲線 C 查得路面總厚為 48 公分。
- b. 由曲線 A 查得基層厚度為 25.5 公分。
- c. 面層與底層之總厚度 =  $48 - 25.5 = 22.5$  公分

2. 路面厚度僅包括底層及面層者（不擬採用基層）。

- a. 由圖十六~2 之曲線 E 查得底層應另增加之額外厚度為 12.5 公分，則路面總厚為  $22.5 + 12.5 = 35$  公分。
- b. 或直接由曲線 G 查得面層與底層之總厚度為 35 公分。

3. 圖十六~4 為路面各層厚度示意圖。



圖十六~4 路面各層厚度示意圖



## E.3 加州承載比率法

### 16.6 加州承載比率法

加州承載比率法簡稱CBR法，乃路基土壤或路面粒料之承載力與一種標準優良級配碎石承載力之百分比，即

$$\text{CBR} = \frac{\text{土壤樣品之實在承載力}}{\text{標準碎石之承載力}} \times 100 = \frac{\text{試驗單位載重}}{\text{標準單位載重}} \times 100$$

其試驗方法簡述如下：

將土粒料以最佳含水量壓實內徑 15.24 公分與 15.24 公分高之圓筒內至土體為 10.16 公分然後放於水中浸至不能再上漲為止（約需四天）並量膨脹大小。由水中取出後，依需要置加重環放於試驗架上，並以直徑為 4.32 公分之鋼軸對土體中心加力壓下，其壓下之速度為每分鐘 1.3 公厘於貫入深度 0.64 公厘、1.3 公厘、1.9 公厘、2.5 公厘、5.0 公厘、7.6 公厘、10.2 公厘、12.7 公厘時，記錄各所用之壓力，計算單位載重（即將讀得所用之壓力除以鋼軸面積）最後依上式計算 CBR 值，通常以貫入深度 2.5 公厘為設計標準。

#### 16.6 - 1 加州承載比率值之設計曲線

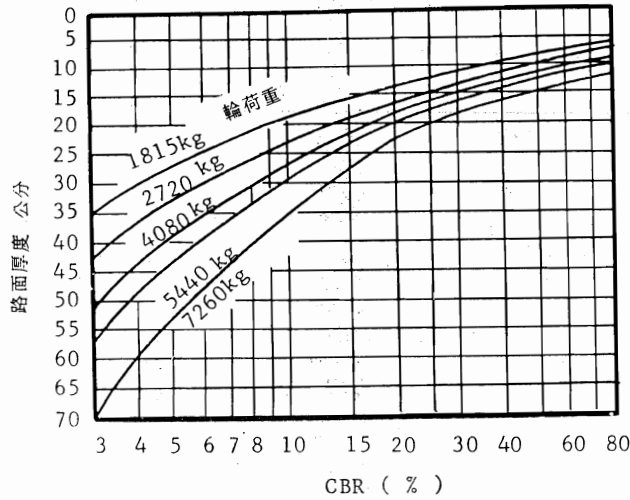
CBR 值與路面厚度之對應值如圖十六～5 所示。

**例題十六～4** 設有一路段，其路基材料之 CBR = 5%，附近可取得底層及基層材料，經試驗底層材料之 CBR = 70%，基層材料之 CBR = 15，試求此路段之路面總厚及各層厚度。設輪重為 4,080 公斤。

**解：** 1. 輪重為 4,080 公斤，路基材料之 CBR = 5% 者，所需之路面總厚度由圖十六～5 查得為 39.4 公分，設採用 40 公分。

2. 基層材料之 CBR = 15%，其上所須之厚度由圖十六～5 查得為 22 公分，此層之厚度為 ( 40 - 22 ) = 18 公分。

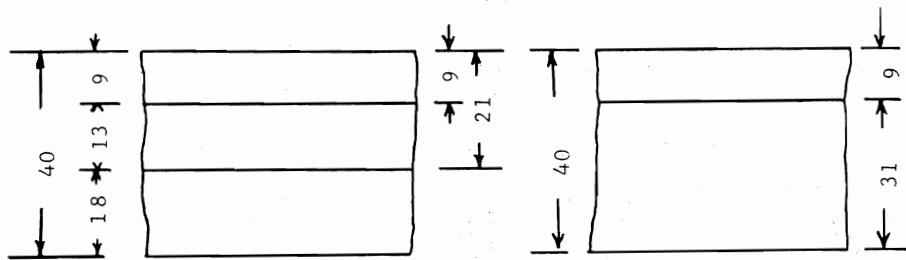
3. 底層材料之 CBR = 70%，其上所須之厚度由圖十六～5 查得為 9 公分，此層之厚度為 ( 22 - 9 ) = 13 公分。



圖十六~5 CBR值與路面厚度之關係

4 若不擬設置基層時，則底層之厚度為  $(40 - 9) = 31$  公分。

5. 圖十六~6 表示各層厚度的示意圖。



單位：公分

圖十六~6 以CBR設計路面各層之厚度

### 10.6 - 2 美國懷俄明州之加州承載比率值設計曲線

上述 CBR法于取試樣浸水膨脹後，求其貫入 2.5 公厘或 5.0 公厘所須之壓力，進而得其 CBR 值，也即求其在最壞的情況下之 CBR 值，為在排水良好及地下水位離路面很深處，則 CBR 法與實際不符。美國懷俄明州根據以往經驗，按全年雨量、地下水位的深度、冰凍作用情形、路線環境以及交通量的大小將 CBR 法加以修正。將每一種影響因素按其大小輕重規定一指定值，如表十六~6，然後按路線之實際情況於表十六~6 中選取適當之指定值，將所選定之各種影響因素之指定值相加。總和算得後，再由表十六~7 中查出所使用之曲線號數。以試驗而得之 CBR 值及此選定號數之曲線由圖十六~7 中求得設計路面厚度。

表十六~6 中路線環境之優劣端視路面排水，路下排水，積雪以及其他與路面有關的因素決定之。交通量則以 2,270 公斤當量輪荷重，按未來若干年內單方向出現之總次數計算。其 2,270 公斤當量輪荷重之換算當量示如表

表十六~6 懷俄明州設計指定值

項 目	範 圍	指定值
全年雨量	12.5~25.5公分	0
	25.5~38.0公分	1
	38.0~51.0公分	3
	51.0~63.5公分	6
	63.5~127.0公分	10
地 下 水	無地下水	0
	于面層下 3.0~1.8公尺	1
	于面層下 1.8~1.2公尺	3
	于面層下 1.2~0.6公尺	5
冰凍作用	無	0
	輕	1
	中	3
	重	8
路線環境	極佳	0
	尙佳	2
	劣	6
交 通 量	0 ~1×10 <sup>6</sup>	0
	1×10 <sup>6</sup> ~2×10 <sup>6</sup>	2
	2×10 <sup>6</sup> ~3×10 <sup>6</sup>	4
	3×10 <sup>6</sup> ~5×10 <sup>6</sup>	6
	5×10 <sup>6</sup> ~7×10 <sup>6</sup>	9
	7×10 <sup>6</sup> ~9×10 <sup>6</sup>	12
	9×10 <sup>6</sup> ~11×10 <sup>6</sup>	15
	11×10 <sup>6</sup> ~13×10 <sup>6</sup>	18
	13×10 <sup>6</sup> ~15×10 <sup>6</sup>	21
	15×10 <sup>6</sup> ~以上	24

表十六~7 懷俄明法指定值與設計曲線之關係

設計用曲線號數	4	5	6	7	8	9	12	15
指定值總和	0~2	3~6	7~11	12~17	18~24	25~32	32~41	42~53

十六~8。其輪荷重不足 2,040 公斤者，則略而不計。表中換算當量的意義係將輪荷重大於 2,270 公斤者換算 2,270 公斤的作用次數。例如一次 3,180 公斤的重輪作用可相當 4 次 2,270 公斤荷輪荷重之作用。由表中之換算當量視之，可見重型車輛對路面的影響至大。

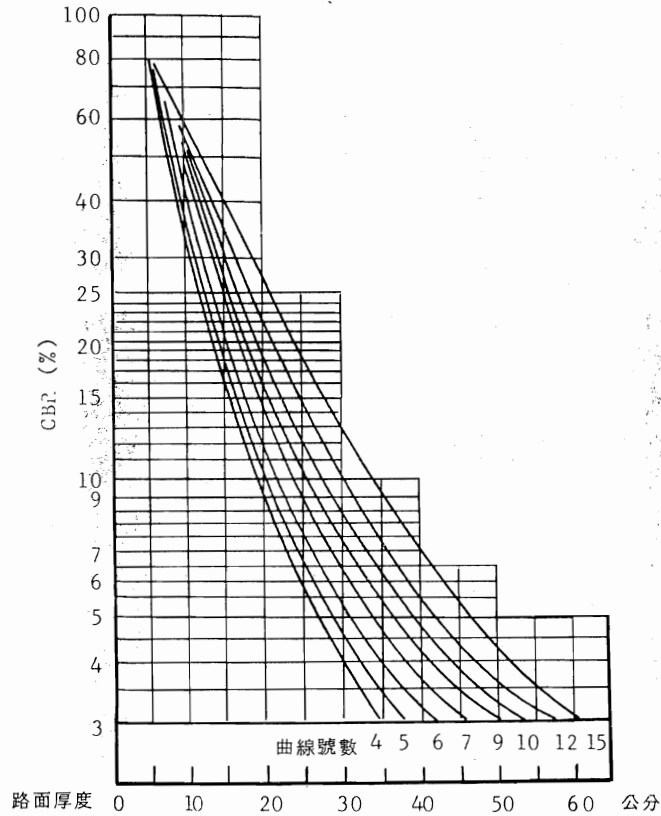
表十六~8 2,270 公斤當量輪荷重之換算當量表

輪荷重(公斤)	換算當量	輪荷重(公斤)	換算當量
2040 ~ 2500	1	4310 ~ 4760	32
2500 ~ 2950	2	4760 ~ 5220	64
2950 ~ 3400	4	5220 ~ 5670	128
3400 ~ 3860	8	5670 ~ 6120	256
3860 ~ 4310	16	6120 ~ 6580	512

例題十六~5 設某路段全年雨量為 56 公分，地下水位在路面下 1.5 公尺，無冰凍作用，路線環境尚佳。輪重在 2040 公斤以上者，平均每日交通量為 320；計 2040 ~ 2500 公斤者佔 28.6%、2500 ~ 2950 公斤者佔 26.3%、2950 ~ 3400 公斤者佔 20.5%、3400 ~ 3860 公斤者佔 18.4%、3860 ~ 4310 公斤者佔 7.2%。假若公路路面之使用年限（設計年限）為 20 年，每年各不同輪荷重的成長率皆相等，設為 100%。路基之 CBR 為 8%，路兩旁可取用之基層材料的 CBR 為 25%，底層材料之 CBR 為 75%，面層之厚度假定為 5 公分，試求此柔性路面各層之厚度。

解：由表十六~6 查得各指定值如下：

項 目	指定值
①全年雨量 56 公分	6
②地下水位在路面下 1.5 公尺	3
③無冰凍作用	0
④路線環境尚佳	2



圖十五 7 懷俄明柔性路面厚度設計曲線

⑤ 交通量

輪荷重在 2040 公斤以上者 320  
 假定 20 年後增加 100% 640  
 平均 = 480

2040 ~ 2500 公斤輪荷重  $28.6\% \times 480 \times 365 \times 20 \times 1 = 1,002,144$

2500 ~ 2950 公斤輪荷重  $26.3\% \times 480 \times 365 \times 20 \times 2 = 1,843,104$

2950 ~ 3400 公斤輪荷重  $20.5\% \times 480 \times 365 \times 20 \times 4 = 2,873,280$

3400 ~ 3860 公斤輪荷重  $18.4\% \times 480 \times 365 \times 20 \times 8 = 5,157,888$

3860 ~ 4310 公斤輪荷重  $7.2\% \times 480 \times 365 \times 20 \times 16 = 4,036,608$

20 年內 2270 公斤輪荷重估計總數 = 14,913,024

設計用次數 (單方向總數) = 7,456,512 12

指定值總和 ① + ② + ③ + ④ + ⑤ = 23

由表十六 ~ 7 查得應選用第 8 號曲線，根據路基之 CBR = 8% 及

第 8 號曲線，由圖十六～7 查得路面總厚度為 28 公分。

基層材料之 CBR = 25%，由圖十六～7 之第 8 號曲線查得基層上之厚度為 15.5 公分，則基層厚度為  $28 - 15.5 = 12.5$  公分。

底層材料之 CBR = 75%，由圖十六～7 之第 8 號曲線查得底層上之厚度為 7.5 公分。但若面層之厚度擬採用 5 公分厚度時，則底層材料須選用 CBR = 80% 以上者，其厚度不得小於  $15.5 - 5 = 10.5$  公分。

### 16.6 - 3 台灣省翻修公路設計曲線

台灣省公路局於民國 54 年依據本省土質、氣候、地理環境等制定加州承載比率設計法，作舊路面翻修時路面厚度設計用。按其影響因素大小輕重規定一指定值如表十六～9，然後按路線之實際情況於表十六～9 中選定適當之指定值，將選定之各指定值相加。總和求得後再由表十六～10 中查出所使用之曲線號數，以原路基採取未擾動土樣求得之 CBR 值及選定號數之曲線，由圖十六～8 中求得設計路面厚度。

表十六～9 台灣省公路局設計指定值

項 目	範 圍	指定值
全年雨量	0 ~ 30 公分	0
	30 ~ 40 公分	1
	40 ~ 50 公分	2
	50 ~ 60 公分，或地盤較高無積水現象	3
	60 ~ 100 公分，或在大雨時偶而積水	5
	100 ~ 200 公分，或因灌溉其地下水位在完成後 路面標高 1.2 公尺以下	8
	200 ~ 300 公分，或因灌溉其地下水位在完成後 路面標高 1.2 公尺以上	11
300 公分以上	15	
交通量	0 ~ 30 輛	0
	30 ~ 40 輛	1
	40 ~ 55 輛	2
	55 ~ 75 輛	3
	75 ~ 100 輛	4
	100 ~ 130 輛	5

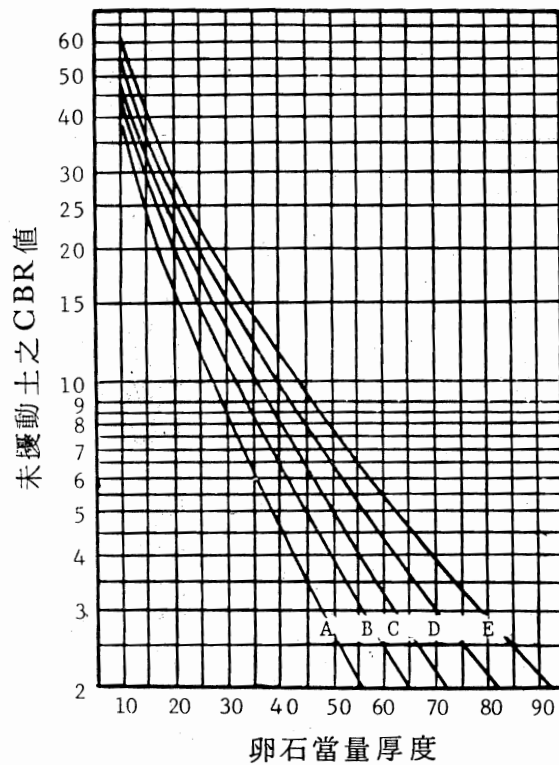
130 ~ 165 輛	6
165 ~ 250 輛	7
250 ~ 300 輛	8
300 ~ 380 輛	9
380 ~ 500 輛	10
500 ~ 650 輛	11
650 ~ 800 輛	12
800 ~ 1000 輛	13
1000 ~ 1300 輛	14
1300 ~ 1600 輛	15
1600 以上 輛	16

註：1. 交通量僅計大型車（二軸及三軸單輛貨車）及混合車（半聯結車及全聯結車）。大型車之 2,270 公斤當量輪荷重之換算當量為 5，混合車為 24。

2. 交通量係指 20 年內單方向每日平均每車道交通量。  
當 (非設計車道?)

表十六~10 台灣省公路局法指定值與設計曲線之關係

設計用曲線號數	A	B	C	D	E
指定值總和	0 ~ 8	8 ~ 13	13 ~ 18	18 ~ 24	24 以上



圖十六~8 台灣省公路局之柔性路面厚度設計曲線

### 3.1 加州承載比(CBR)法[1,2]

本法係美國加州公路局於1920年代首先發展使用的一種路面設計方法，其根據多年實測既有道路結果而得路基土壤(或路面材料)承載值與路面厚度的關係曲線，而路基土壤或路面材料的承載值係以標準碎石承載能力的百分比表示(稱為加州承載比-California Bearing Ratio, CBR)，故亦稱為CBR法。

#### 3.1.1 發展過程

美國加州公路局於1928至1929年間針對路面破壞狀況進行調查，結果發現路面之破壞狀況可分為以下三種主要類型：

1. 路基土壤因含水量過高而產生側移。
2. 路基土壤產生不均勻沉陷所致。
3. 路面在重複荷重作用下，產生永久變形。

其中前面兩種破壞情形被認為與路基土壤的壓實度不足有關，而最後一項則認為係路面厚度不足或其底層之抗剪強度不足所致。

為了預估路面材料使用狀況，加州公路局遂於1929年製定了CBR試驗法，作為評估路基土壤承載力之指標，其後至1942年止，連續進行了十多年的路面調查，並將調查結果經統計分析後提出路基土壤CBR和所需路面厚度之關係曲線，如圖3.1.1所示，成為日後制定路面厚度設計曲線之基礎。圖中曲線B表示調查初期的觀測值；曲線A則為相當於平均交通條

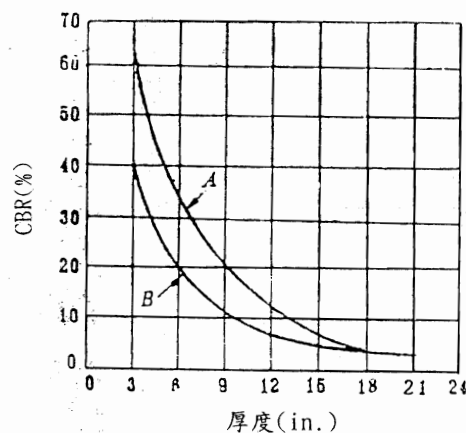


圖3.1.1 CBR原始設計曲線(A為1942年數據,B為原始數據)



件(40KN, 9-Kip)的軸重作用下，CBR與路面厚度之關係。其后美國陸軍工兵署又依不同的軸重條件繪製了如圖3.1.2之設計曲線，而成為在世界各國被廣泛採用作為CBR設計曲線的基礎。惟其它國家在採用CBR設計法時，則大多考量各自的環境、土壤、交通等條件而制定符合其需求的設計曲線。

### 3.1.2 討論

1. CBR法係屬經驗法，雖未明確提出設計標準，但由加州公路局進行路面調查結果發現，路面破壞的三種主要類型為路基土壤側移、不均勻沉陷及路面產生永久變形等之情形來看，其設計標準應是路基的永久變形，亦即路基土壤表面之垂直應變應限制於容許範圍內。
2. CBR設計曲線是經由路況調查而來，故對於環境因素的影響無法全面的考量，因此僅能適用於與調查路段具有相同或類似環境之地區，亦即不同地區應針對其特有的環境特性，發展合適的設計曲線。
3. CBR試驗中要求試樣須先浸水四天，這對乾燥地區路基土壤而言，似乎並不合理。
4. CBR設計曲線係於道路長期使用後，按當時的平均交通條件得出，所以實際上已經考慮了重複載重的作用，惟不夠理想，因其只適用於所調查的路段。

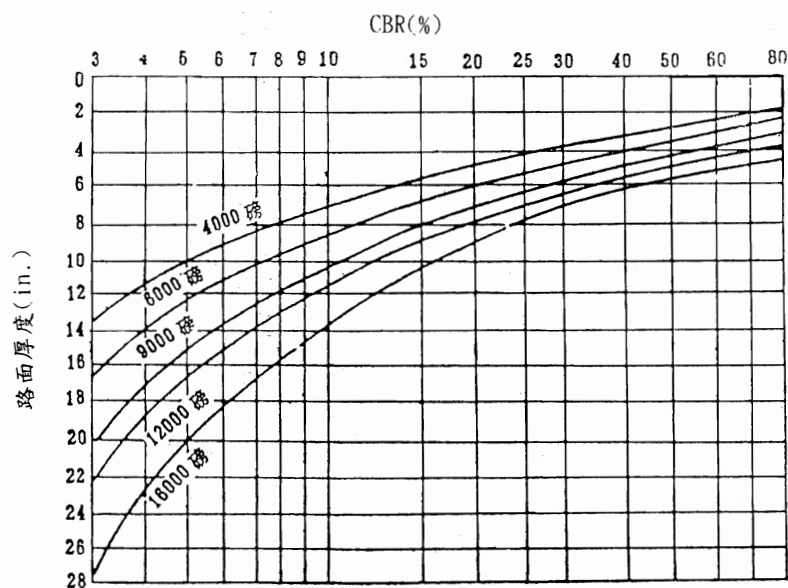


圖3.1.2 美國陸軍工兵署公路路面厚度設計曲線

## E.4 土壤阻力值法

### 16.8 應用土壤阻力值設計柔性路面厚度

1948年威氏發表以土壤阻力值（簡稱R—值）之公式或圖表設計柔性路面的厚度。威氏認為車輛進行時，車輪對路面產生輾擠作用使路面中任一層之顆粒沿圖十六~12所示之曲線路線向側旁移動。若顆粒間無足夠強度抵抗車輪之輾擠作用，則破裂之曲線為一種螺旋曲線，如圖十六~12所示，所謂土壤阻力值就是土壤中抵抗此種車輪輾擠作用之能力。此螺旋曲線可以下式表示之：

$$r = r_0 e^{\epsilon \tan \phi} \dots\dots\dots (16\sim6)$$

式中：r = 螺旋曲線上任一點之半徑。

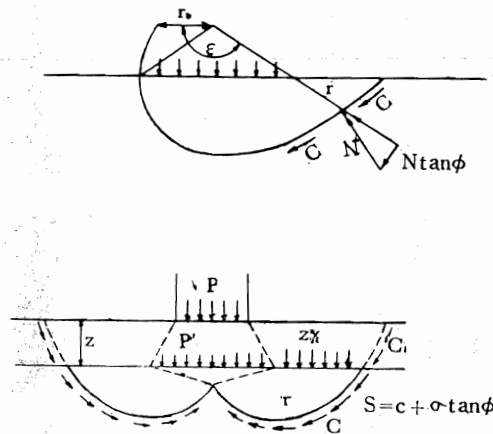
$r_0$  = 螺旋曲線最初半徑。

e = 自然對數之基數 = 2.718。

$\epsilon$  =  $r_0$ 與 r 間之弧度。

$\phi$  = 路面材料之內摩擦角。

c = 路面材料之凝聚力。



圖十六~12 車輪荷重下路面之破裂曲線

當車輪對路面發生輾擠作用，將引起路面變形而導致一個向上的推力，其結果路面或路基中之粒料將沿推力的方向移動，但粒料受到作用後，即發生阻力以阻止此項移動，保持平衡不令發生變形，此項阻力視凝聚力與粒料間之內摩擦角而定。

威氏設計柔性路面厚度時，考慮三個因素：鋪裝材料之凝聚力、交通量指數、及路基土壤之阻力值。茲將各要素分述於後：

#### 16.8-1 鋪裝材料之凝聚力

凝聚力仍表示單層或多層（路面底層及基層）鋪裝材料之抗拉強度，其值之大小可由附着儀，分別測定其凝聚力。利用凝聚力高者之材料鋪設時，不易為車輪輾擠而變形，且能承受較大之載重，故所需之厚度可較小。

凝聚力係指上層材料而言，若以路基為準，則所謂上層材料將包括基層、底層、及面層等各層材料；若以底層而言，則僅面層一層為上層材料。於任何層上，欲設計上層之厚度，則必須試驗上層材料之凝聚力。凝聚力強者，所需之厚度比較小。各種單層鋪裝材料之凝聚力如表十六~13所列。

若上層材料為多層者，則其凝聚值之計算須先將各層厚度按式(16~7)換算為卵石當量厚度。

$$g.e. = \sqrt[5]{\frac{c}{100}} \times t \dots\dots\dots(16\sim7)$$

表十六~13 普通面層與底基層材料之凝聚值

鋪 裝 材 料	凝聚值c	$\sqrt[5]{\frac{c}{100}}$
A級水泥處理之底層	1,500	1.75
B級水泥處理之底層	750	1.50
廠拌瀝青混凝土面層 (針入度85~300)	400	1.32
廠拌瀝青混凝土(4號、5號油溶瀝青)或粗級配瀝青混合物，或路拌面層	150	1.08
瀝青表面處理，或C級水泥處理之底層或其他未經處理之底層及基層	100	1.00

式中：g.e.=某層之卵石當量厚度(公分)。

c = 某層之凝聚值。

t = 某層之實際厚度(公分)。

100= 卵石之凝聚值。

次以各層卵石當量厚度之總和，與各層實際厚度之總和按式(16~8)再回求各層之總凝聚值。式(16~8)係由式(16~7)移項而得者。

$$C = \left(\frac{G.E.}{T}\right)^5 \times 100 \dots\dots\dots(16\sim8)$$

式中：C = 各層之總凝聚值。

G.E. = 各層卵石當量厚度之總和。

T = 各層實際厚度之總和。

應用圖解法，可免計算之繁，其解法之步驟請參閱圖十六~13及例題十六~8。

**例題十六~8** 若有三層之上層材料，各層之厚度及凝聚值列於下，求此上層材料之總凝聚值為若干？

材 料	厚度(t)	凝聚值
廠拌瀝青面層 (PMS)	10 公分	400
A級水泥處理底層 (CTB class A)	20 公分	1,500
級配砂石基層 (ISM)	10 公分	100

**解：**A. 將各層厚度，根據式(16~7)換算為卵石當量厚度，卵石之凝

聚值等於 100，則

$$g.e. = \sqrt[5]{\frac{c}{100}} \times t$$

由上式得各層之卵石當量厚度如下：

① 10 公分 PMS 之卵石當量厚度：

$$g.e. = \sqrt[5]{\frac{400}{100}} \times 10 = 13.2 \text{ 公分}$$

② 20 公分 A 級 CTB 之卵石當量厚度：

$$g.e. = \sqrt[5]{\frac{1500}{100}} \times 20 = 35 \text{ 公分}$$

③ 10 公分 ISM 之卵石當量厚度：

$$g.e. = \sqrt[5]{\frac{100}{100}} \times 10 = 10 \text{ 公分}$$

總共卵石當量厚度 G.E. = ① + ② + ③ = 13.2 + 35.0 + 10.0 =

58.2 公分而 T = 各層之實際總厚度 = 10 + 20 + 10 = 40 公分，

則由式 (16~8) 算得上層材料之總聚值如下：

$$C = \left(\frac{G.E.}{T}\right)^5 \times 100$$

$$= \left(\frac{58.2}{40}\right)^5 \times 100$$

$$= 568 \quad 652$$

## 16.8 - 2 交通量指數

交通量指數乃衡量路面遭受車輛交通之破壞程度，一般均由已知之交通量資料中，將各種車輛之輪荷重換算成 2270 公斤之輪荷重當量（簡稱 EWL），而由此當量數字來表示整個交通量的破壞能力。

若已知各種車輛之輪荷重，則由表十六~8 或表十六~14 所列之換算當量乘以該車輛之每日交通量，得全日 2,270 公斤輪荷重當量之重複次數。如

表十六~14 2270 公斤輪荷重當量換算表

輪重 (公斤)	常數
2270	1
2720	2
3180	4
3630	8
4080	16
4540	32
4990	64
5440	128
5900	256

再乘以 365，則得全年 2,270 公斤輪荷重當量之重複輪重次數。

若已知各種車輛之軸數，則由表十六~15 所列之換算當量乘以該軸數車輛之每日交通量得全年之 2,270 公斤輪荷重當量之重複輪重次數。表十六~14 為美國加利福尼亞州 1957 年所修正之 2,270 公斤輪荷重換算當量表。交通量以單方向計，不計算小客車及小貨車。

表十六~15 2270 公斤輪荷重當量換算表

車輛軸數	常數
2	330
3	1070
4	2460
5	4620
6	3040

交通量指數以式 (16~9) 表示之

$$T.I. = 1.35 (EWL)^{0.11} \dots\dots\dots (16\sim9)$$

式中 T.I. = 交通量指數。

E.W.L. = 2270 公斤輪荷重當量。

茲舉一例以說明交通量指數之計算。

**例題十六~9** 由交通量資料中，得一年中平均每日交通量（單方向）

如下：

車輪軸數	目前平均每日交通量
2	774
3	212
4	68
5	118
6	112

在未來十年中交通量估計增加 50%，交通量指數為若干？

**解：**A. 由各該車輛軸數之平均每日交通量換算為全年 2,270 公斤輪荷重當量，算法如下：

車輛軸數	換算當量	平均每日交通量	乘 積
2	330	× 774	255,000
3	1,070	× 212	227,000
4	2,460	× 68	167,000
5	4,620	× 118	545,000
6	3,040	× 112	340,000

全年 2,270 公斤輪荷重當量 = 1,534,000

B. 十年中交通量增加百分之五十，則

$$EWL = 1,534,000 \times \frac{1 + 1.5}{2} \times 10$$

$$= 19.2 \times 10^6$$

$$\text{由式 (16~9) T.I.} = 1.35 (EWL)^{0.11}$$

$$= 1.35 (19.2 \times 10^6)^{0.11}$$

$$= 8.7$$

### 16.8 - 3 路基土壤之阻力值

穩定儀即係用來測定因垂直壓力所產生之側壓力，故路基土壤之穩定程度，可藉穩定儀測定之，經計算後，以阻力值表示之。

容器中的水承受垂直壓力後，此壓力將等量地傳佈至各方向。土石料（尤其含有水份者）亦能傳佈垂直壓力至各方向，但此種傳佈之壓力變化很大，視土石顆粒的性質、水份、及粘土數量而異。一般而言，側壓力與阻力值成反比。水最能傳佈壓力，故定其阻力值為零，而鋼鐵所生之側壓力幾乎等於零，因此其阻力值定為 100。土石料的穩定性質恰在水與鋼鐵之間，如是其阻力值在 0 與 100 之間。在同一土壤，若含水量愈大，則其阻力值愈小，所須路面厚度愈大；反之，所須路面厚度愈小。茲將試驗之步驟簡述於下：

#### 甲、試驗樣品之準備

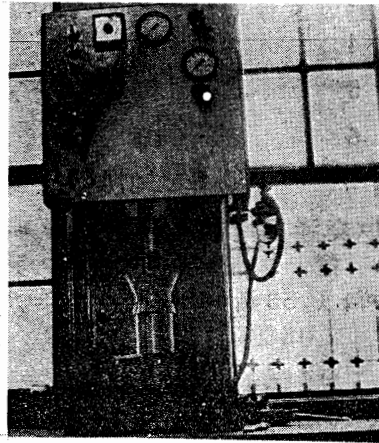
(a) 將土壤樣品在室溫下晾乾，並使各顆粒分開不附粘一起。

(b) 若土樣粒料通過 19 公厘篩者在 75% 以上，則將所有大於 19 公厘之粒料棄之不用。若在 75% 以下時，則將所有大於 25 公厘之粒料棄之不用。加水充分攪拌，加蓋置於濕室內過夜。

(c) 取出土樣按所用之級配，稱出四個 1,300 公克之樣品，其中一個作為導引試樣，以此導引試樣可知其餘三個試樣所需加水之份量，及其高度是否  $6.4 \pm 0.2$  公分，直徑 10.2 公分。

### 乙、試樣之夯壓試驗

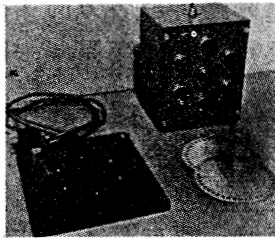
將每一試樣在不同的含水量下，放入試模內在揉搓夯實機上揉壓之，圖十六~14示揉搓夯實機。



圖十六~14 揉搓夯實機

### 丙、擠水壓力試驗

(a) 於揉壓後之試模內放入多孔之薄銅片，銅片之上復置濾紙一張，將此試模倒置於水份擠出指示器上，圖十六~15示擠水壓力試驗儀。



圖十六~15 擠水壓力試驗儀

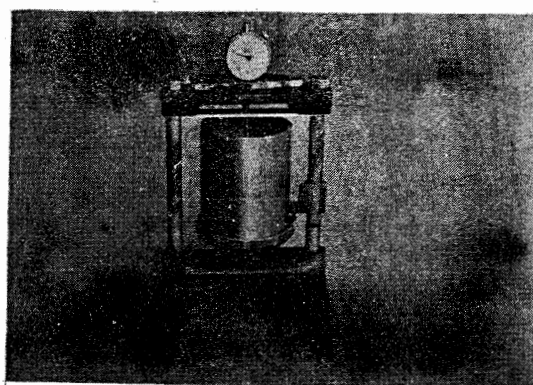
(b) 用墊柱將試樣壓下，使試樣底面與水份擠出指示器之板接觸，置於萬能試驗機上以907公斤/分之增加率加壓之，直至試樣中之水份被擠出而使指示器有五燈發亮時停止壓力，此時之單位面積之壓力即為擠水壓力。

(c) 作為擠水試驗之三個試樣，需至少有一試樣在21公斤/平方公分以上或以下，且三個試樣之擠水壓力需在7~56.2公斤/平方公分。

### 丁、膨脹壓力試驗

在粘性之土壤，其含水雖已達飽和，仍有繼續吸收水份之傾向，此額外之水份常能使土壤發生相當大的膨脹力量，減低土壤之密度，結果產生較低之阻力值，如果阻止其吸收此額外水份則需於其上加壓力，以抵消或平衡此膨脹力量。此項所加之壓力，主要為面層及底基層之重量。土壤膨脹壓力大小的試驗方法如下：

(a) 將經過擠水試驗之試樣靜置半小時後置於膨脹壓力試驗儀上，如圖十六~16所示，量試樣之高度以便計算密度，並倒水約200立方公分在試模內使水經有孔圓銅板之孔隙中通過而滲入試樣內，約須泡浸16~20小時。



圖十六~16 膨脹壓力試驗

(b) 試樣經膨脹後，將膨脹試驗儀之橫銅片頂起，由測微錶的讀數可測其撓度經換算可得土壤之膨脹壓力。

設鋪裝材料之單位重為2,100公斤/立方公尺，則平衡膨脹壓力所須之厚度h如下式：

$$p = \frac{2100}{100} h$$

$$\begin{aligned} \therefore h &= \frac{100}{2100} p \\ &= 0.048 p \dots\dots\dots (16\sim 10) \end{aligned}$$

式中：h = 平衡膨脹壓力所須之路面厚（公分）。

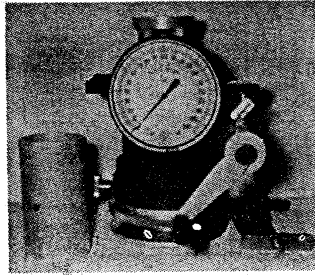
p = 膨脹壓力（公斤/平方公尺）。

#### 戊、土壤阻力值試驗

(a) 將經過膨脹壓力試驗後之試樣放入穩定儀之鐵座上，試樣頂面上



加墊柱，置於萬能試驗機上，轉動手幫浦使水平壓力為0.35公斤/平方公分，圖十六~17示穩定儀



圖十六~17 穩定儀

(b) 以0.13公分/分鐘之速率加垂直壓力，于垂直壓力5.6公斤/平方公分及11.2公斤/平方公分時記錄各該水平壓力。

(c) 當達到11.2公斤/平方公分時，停止加壓，並減少且固定於5.6公斤/平方公分之壓力上，轉動手幫浦使水平壓力為0.35公斤/平方公分並轉動位移測微錶之指針至零。以每分鐘2轉之速率轉動手幫浦使水平壓力增至7公斤/平方公分時記錄位移側微錶之轉數，此轉數即為試樣之變位數。

(d) 按上述試驗之結果，代入式(16~11)計算阻力值：

$$R = 100 - \frac{100}{\frac{2.5}{D} \left( \frac{P_v}{P_h} - 1 \right) + 1} \dots\dots\dots (16\sim11)$$

式中：R = 土壤之阻力值。

$P_v$  = 垂直壓力 11.2 公斤/平方公分。

$P_h$  = 垂直壓力在 11.2 公斤/平方公分時之水平壓力。

D = 土壤變位之轉數。

威氏按照交通量指數、阻力值及凝聚值定出求柔性路面面層與底基層之設計總厚度的公式如下：

$$T = \frac{K' (T.I.) (90 - R)}{\sqrt[5]{c}} \dots\dots\dots (16\sim12)$$

$$T = \frac{0.07 (T.I.) (100 - R)}{\sqrt[5]{c}} \dots\dots\dots (16\sim13)$$

式中：T = 上層之各層所需厚度。

$K' = 0.095$ ，係一常數，根據 2,270 公斤輪載重，4.9 公斤 / 平方公分輪胎壓力計算得之。

T.I. = 交通量指數。

R = 土壤之阻力值。

c = 上層土壤之凝聚值。✓

由式 (16~32) 知，若土壤之阻力值大於 90，無需路面亦可承載車輛，除非土壤本身缺乏足夠之凝聚值或強度去抵抗車輪之摩擦及衝擊作用。式 (16~13) 為我國台灣省公路局現用之公式。

下例簡單說明如何應用土壤阻力值求路面厚度之方法。

**例題十六~10** 試按照土壤阻力值法求此柔性路面之總厚度以及路面各層之厚度。已知相關之資料如下：

交通調查資料

車輛軸數	目前平均每日交通量
2	679
3	344
4	295
5	1,539
6	113

試驗室試驗結果之資料  
(路基材料)

含水量(%)	擠水壓力(公斤 / 平方公分)	R-值	膨脹壓力(公斤/平方公分)
15.6	7.73	17	0.05
14.8	19.69	39	0.08
13.5	37.97	57	0.13

瀝青混凝土磨損層之凝聚值.....	400
A級水泥處理底層之凝聚值.....	1500
基層材料之凝聚值.....	100

**解：** 1 先假定採用 8 公分瀝青混凝土面層，及 15 公分 A 級水泥處理底層。

## 2 決定交通量指數

車輛軸數	換算當量	平均每日交通量	乘積
2	330	× 679	= 224,000
3	1,070	× 344	= 368,000
4	2,460	× 295	= 726,000
5	4,620	× 1,539	= 7,110,000
6	3,040	× 113	= 344,000
全年 2,270 公斤輪荷重當量			= 8,772,000

若十年內，交通量增加百分之五十，則

$$\begin{aligned} \text{EWL} &= 8,772,000 \times \frac{1+1.5}{2} \times 10 \\ &= 109.7 \times 10^6 \end{aligned}$$

由式 (16~9) 得

$$\begin{aligned} \text{T.I.} &= 1.35 (\text{EWL})^{0.11} \\ &= 1.35 (19.2 \times 10^6)^{0.11} \\ &= 10.4 \end{aligned}$$

## 3 求各層之卵石當量厚度

a. 8 公分瀝青混凝土之磨損層之卵石當量厚度由式 (16~7) 得

$$\begin{aligned} \text{g.e.} &= \sqrt[5]{\frac{c}{100}} \times t = \sqrt[5]{\frac{400}{100}} \times 8 \\ &= 10.6 \text{ 公分} \end{aligned}$$

b. 15 公分 A 級水泥處理底層之卵石當量厚度為

$$\text{g.e.} = \sqrt[5]{\frac{1500}{100}} \times 15 = 25.8 \text{ 公分}$$

c. 面層與底層之總卵石當量厚度  $\text{G.E.} = 10.6 + 25.8 = 36.4$  公分

## 4 以土壤阻力值決定厚度

A	B	C	D	E=D-36.4	F=23+E
R	交通量指數	擠水壓力 (公斤/平方公分)	卵石當量厚度 (公分)	基層厚度 (公分)	總厚度 (公分)
17	10.4	7.73	73	36.6	59.6
39	10.4	19.69	52	15.6	38.6
57	10.4	37.97	34	0	23

上表之計算係以R值及T.I.值由圖十六~13中查得路面卵石當量厚度。又因面層與底層之卵石當量厚度為36.4公分，故基層之卵石當量厚度係由路面之卵石當量厚度減去面底層之卵石當量厚度。於基層之凝聚值為100，故基層之卵石當量厚度亦等於其實際厚度，故路面實際總厚度為面底層實際厚度與基層實際厚度之和。

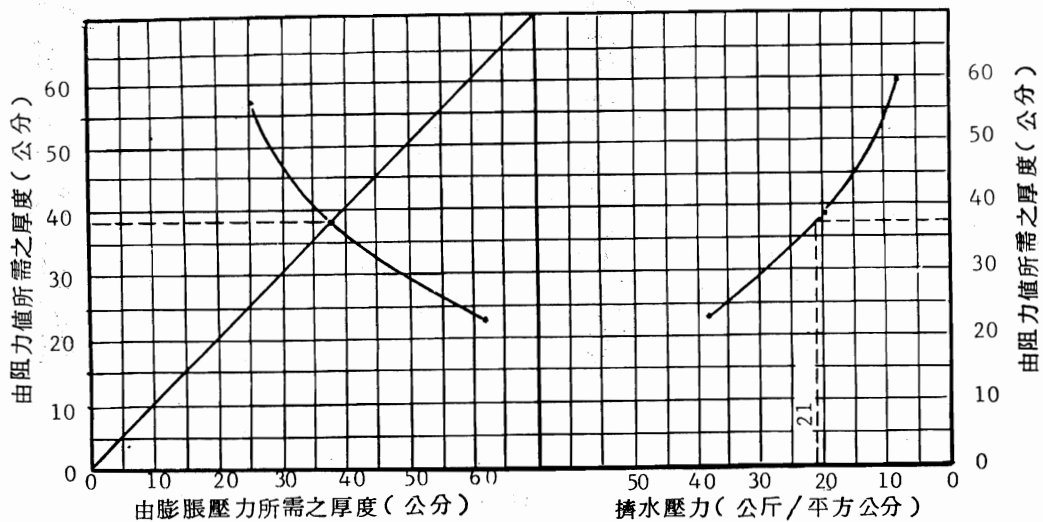
5. 設上層材料之單位重量為2,100公斤/立方公尺，則為平衡膨脹壓力所需之厚度由式(16~10)求得結果列於下：

膨脹壓力 (公斤/平方公尺)	厚度 (公分)
$0.05 \times 10000 = 500$	$0.048 \times 500 = 24$
$0.08 \times 10000 = 800$	$0.048 \times 800 = 38.4$
$0.13 \times 10000 = 1,300$	$0.048 \times 1300 = 62.4$

6. 以阻力值所需之厚度為縱座標，對應之擠水壓力為橫座標，得一曲線如圖十六~18(b)，由圖中擠水壓力為21公斤/平方公分時所對應之厚度為37公分。

7. 以阻力值所需之厚度為縱座標，以膨脹壓力所需之厚度為橫座標，得一曲線如圖十六~18(a)，此曲線與45度線相交所對之厚度為38公分。

8. 由圖十六~18所圖解之兩種厚度中採用最大值，即路面總厚度為38公分。若面層採用8公分厚之瀝青混凝土，底層採用15公分厚瀝青混凝土時，則基層之厚度為  $38 - 8 - 15 = 15$  公分。



圖十六~18 應用土壤阻力值求路面厚度

上述以土壤阻力值設計柔性路面厚度的方法係按上層材料的厚度所具備的兩個條件：第一，上層材料須有足夠的重量以防止下層材料因吸收水份後所發生的膨脹壓力；第二，上層材料須有足夠的厚度以抵抗因交通荷重所產生的側移。

#### 16.8-4 美國加州設計法

美國加州公路局一再對土壤阻力值設計方法加以修正，茲將其修正後設計方法介紹於下：

##### 甲、交通量指數之估計

主要公路及市街路或次要公路之 2,270 公斤輪荷重之換算常數示於表十六~16

表十六~16 2,270 公斤輪荷重當量換算表

車輛軸數	主要公路	次要公路、市街道路
2	280	200
3	930	690
4	1320	1070
5	3190	1700
6	1950	1050

多車道之單向複輪貨車交通量之分佈百分比可按表十六~17 所示者估算之，表中車道 1 為最接近路中心線者，號數最大者為外車道。

表十六~17 多車道公路之車道分佈因素

車道數 (双向)	各車道之估計EWL之百分比			
	車道 1	車道 2	車道 3	車道 4
2	100			
4	100	100		
6	20	80	80	
8	20	20	80	80

交通量指數修正如式 (16~14)，如算出車道中之 EWL，則可由表十六~18 查出相對應之 T.I. (以 0.5 為一級數)。

$$T.I. = 6.7 \left( \frac{EWL}{10^6} \right)^{0.119} \dots\dots\dots (16 \sim 14)$$

$$= 1.3 (EWL)^{0.119}$$

表十六~18 由式(16~14)所算之 EWL 與 T.I. 之相關

EWL	T.I.	EWL	T.I.
104	2.5	15,000,000	9.5
562	3.0	23,400,000	10.0
2,290	3.5	35,600,000	10.5
7,620	4.0	53,100,000	11.0
21,800	4.5	77,900,000	11.5
55,600	5.0	112,000,000	12.0
129,000	5.5	159,000,000	12.5
277,000	6.0	223,000,000	13.0
558,000	6.5	308,000,000	13.5
1,060,000	7.0	420,000,000	14.0
1,940,000	7.5	568,000,000	14.5
3,400,000	8.0	759,000,000	15.0
5,750,000	8.5	1,000,000,000	15.5
9,420,000	9.0	1,320,000,000	
15,000,000			

**例題十六~11** 由交通量資料中，得一年中平均每日交通量（單方向）及在設計年限20年內各種車輛之平均成長率如下：

車輛軸數	目前平均每日交通量	平均成長率
2	400	1.70
3	150	2.70
4	100	1.50
5	230	1.45
6	60	1.00

試求 4 車道及 6 車道之交通量指數為若干？

**解：** 1. 全年 2,270 公斤輪荷重當量計算如下：

車軸數	換算當量	目前平均每日交通量	成長率	平均每年之 EWL
2	280 ×	400	× 1.70	190,400
3	930 ×	150	× 2.70	376,650
4	1320 ×	100	× 1.55	204,600
5	3190 ×	230	× 1.45	1,068,650
6	1950 ×	60	× 1.00	117,000

總平均每年之 EWL = 1,957,000

設計年限20年內之  $BWL = 20 \times 1,957,300 = 39,146,600$

2 a. 4車道之交通量指數計算如下：

內外兩車道之估計 EWL 之百分比皆為 100，故由式 (16~14)

$$\begin{aligned} \text{得 T.I.} &= 6.7 \left( \frac{EWL}{10^6} \right)^{0.419} \\ &= 6.7 \times \left( \frac{39,146,000}{10^6} \right)^{0.419} \\ &= 10.5 \end{aligned}$$

或由表十六~18 查得  $T.I. = 10.5$ 。

b. 6車道之交通量指量計算如下：

由表十六~17 查得車道 1 及車道 2、3 之估計 EWL 之百分比各為 20% 與 80%，故各車道之 EWL 如下：

$$\begin{aligned} \text{車道 2 及 3 之 EWL} &= 0.80 \times 39,146,600 \\ &= 31,317,280 \end{aligned}$$

$$T.I. = 10.0$$

$$\begin{aligned} \text{車道 1 之 EWL} &= 0.20 \times 39,146,600 \\ &= 7,829,320 \end{aligned}$$

$$T.I. = 8.5$$

### 乙、卵石當量因素 (Gf)

卵石當量厚度 (GE) 與實際厚度 (T) 之比，謂之卵石當量因素，如式 (16~15) 所示：

$$G_f = \frac{GE}{T} \dots\dots\dots (16\sim15)$$

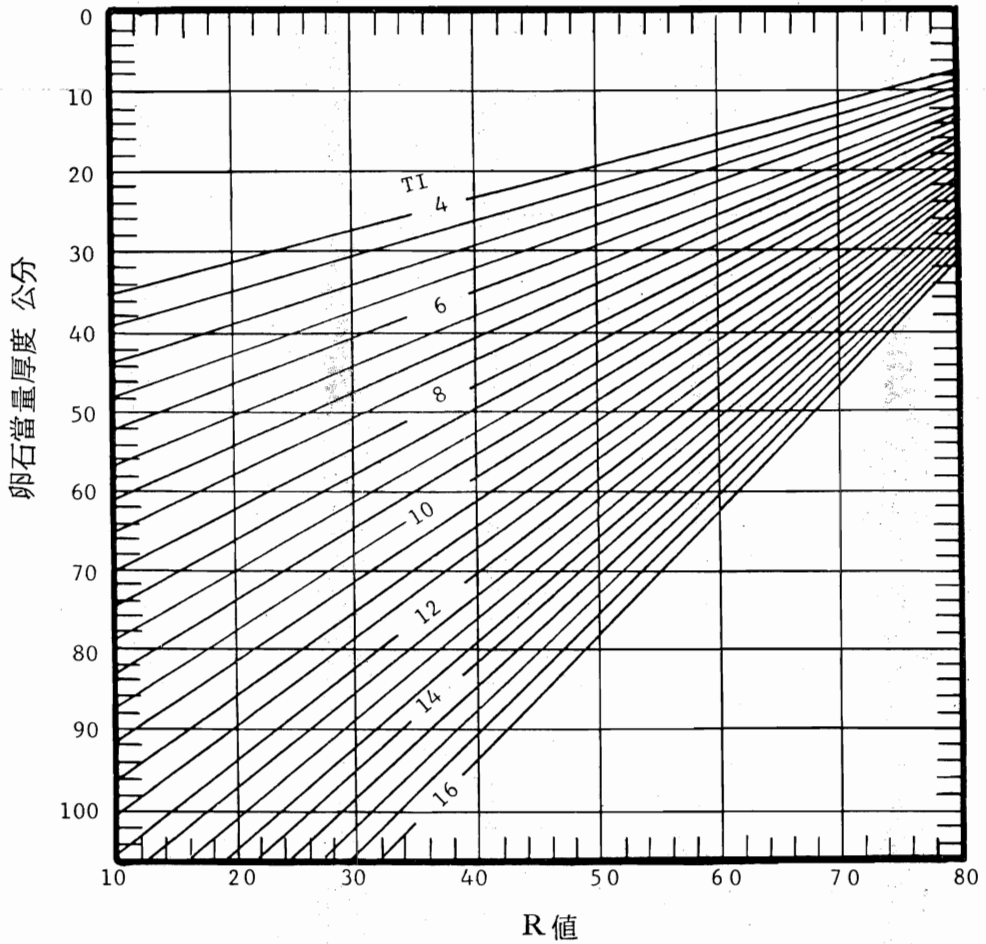
式中之卵石當量厚度以式 (16~16) 表示之：

$$GE = 0.0975 (TI) (100 - R) \dots\dots\dots (16\sim16) \quad \checkmark$$

為免計算之繁，式 (16~16) 可按圖十六~19 圖解之。

上層材料之單層卵石當量因素，按不同之材料列於表十六~19。

若上層材料為多層者，須先按各層之實際厚度由表十六~19 查得各層之卵石當量厚度。算得總和後，由式 (16~15) 即可求得總卵石當量因素。



圖十六~19 設計之卵石當量厚度

**例題十六~12** 若有三層之上層材料，各層之厚度如下：

瀝青混凝土面層	7.6 公分厚
A級水泥處理底層	21.3 公分厚
粒料基層	15.2 公分厚

若交通量指數為 8.0，試求此三層之總卵石當量因素。

**解：**由表十六~19 查得各層之卵石當量厚度如下：



表十六~19 卵石當量厚度(公分)

實際 厚度	瀝青混凝土										BTB 及 LTB	水泥處理底層			粒料 底層	粒料 基層	
	TI											A級	B級	C級			
	0 5	5.5 6.0	6.5 7.0	7.5 8.0	8.5 9.0	9.5 10.0	10.5 11.0	11.5 12.0	12.5 13.0	13.5 14.0							
公分	G <sub>f</sub>										G <sub>f</sub>	G <sub>f</sub>	G <sub>f</sub>	G <sub>f</sub>	G <sub>f</sub>		
	2.50	2.32	2.14	2.01	1.89	1.79	1.71	1.64	1.57	1.52	1.2	1.7	1.5	1.2	1.1	1.0	
3.1	7.6	7.0	6.4	6.1	5.8	5.5	5.2	4.9	4.9	4.6	3.7						
4.6	11.6	10.7	9.8	9.1	8.5	8.2	7.9	7.6	7.3	7.0	5.5						
6.1	15.2	14.0	13.1	12.2	11.6	11.0	10.4	10.1	9.4	9.1	7.3						
7.6	19.2	17.7	16.5	15.2	14.3	13.7	13.1	12.5	11.9	11.6	9.1						
9.1	22.9	21.3	19.5	18.3	17.4	16.5	15.5	14.9	14.3	14.0	11.0						
10.7	26.8	24.7	22.9	21.3	20.1	19.2	18.3	17.4	16.8	16.2	12.8				11.9	10.7	
12.2	30.5	28.3	26.2	24.4	23.2	21.9	20.7	20.1	19.2	18.6	14.6				13.4	12.2	
13.7		31.7	29.3	27.4	25.9	24.7	23.5	22.6	21.6	20.7	16.5	23.5	20.7	16.5	15.2	13.7	
15.2		35.4	32.6	30.8	29.0	27.4	26.2	25.0	24.1	23.2	18.3	25.9	22.9	18.3	16.8	15.2	
16.8			36.0	33.8	31.7	29.9	28.7	27.4	26.2	25.6	20.1	28.7	25.3	20.1	18.6	16.8	
18.3				36.9	34.4	32.6	31.4	29.9	28.7	27.7	21.9	31.1	27.4	21.9	20.1	18.3	
19.8				39.9	37.5	35.3	33.8	32.6	31.1	30.2	23.8	33.8	29.9	23.8	21.9	19.8	
21.3					40.2	38.1	36.5	35.0	33.8	32.3	25.6	36.2	32.0	25.6	23.5	21.3	
22.9						40.8	39.0	37.5	35.9	34.7	27.4	39.0	34.4	27.4	25.3	22.9	
24.4							43.6	41.7	39.9	38.3	37.2	29.3	41.4	36.5	29.3	24.4	
25.9								46.3	45.2	42.3	40.5	39.3	31.1	45.2	39.0	28.7	25.9
27.4									46.9	45.1	42.9	41.7	32.9	46.6	41.1	30.2	27.4
29.0										47.5	45.4	43.9	34.7	49.4	43.6	32.0	29.0
30.5											50.0	47.8	46.3	36.5	51.8	33.5	30.5
32.0												50.3	48.7	38.3	54.5	35.3	23.0

註：BTB = 瀝青處理底層

LTB = 石灰處理底層

材 料	實際厚度	G <sub>f</sub>	GE
瀝青混凝土面層 (TI=8.0)	7.6 公分	2.01	15.2 公分
A級水泥處理底層	21.3 公分	1.70	36.2 公分
粒料基層	15.2 公分	1.00	15.2 公分
總計：	44.1 公分		66.6 公分

再由式(16~15)得總卵石當量因素如下：

$$G_f = \frac{GE}{T}$$

$$= \frac{66.6}{44.1} = 1.5$$

倘若能知底層、基層以及路基土壤之阻力值R時，則可按例題十六~13之步驟求得柔性路面之厚度。

**例題十六~13** 假若已知交通量指數為8.0；底層之R值為78，基層之R值為50，路基土壤之最低R值為10，試求柔性路面各層之厚度。

**解：**1 決定路面總厚度以路基土壤之最小R值，按式(16~16)求總路面卵石當量厚度，或由圖十六~19查得之。

$$GE = 0.0975(TI)(100 - R)$$

$$= 0.0975 \times 8.0 \times (100 - 10)$$

$$= 70.2 \text{ 公分}$$

2 決定瀝青混凝土面層之厚度

以底層之R值，按式(16~16)求瀝青混凝土面層之卵石當量厚度，或由圖十六~19查得之。

$$GE = 0.0975(TI)(100 - R)$$

$$= 0.0975 \times 8.0 \times (100 - 78)$$

$$= 17.2 \text{ 公分}$$

瀝青混凝土面層之卵石當量因素(TI=8.0)由表十六~19查得為

$G_f = 2.01$ ，以式(16~15)求得其實際厚度為

$$T = \frac{GE}{G_f}$$

$$= \frac{17.2}{2.01} = 8.6 \text{ 公分}$$

以上之數值亦可由表十六~19中直接查得，以次大於 $GE = 17.2$ 之18.3所相對之實際厚度為9.1公分即面層之實際厚度為9.1公分卵石當量厚度為18.3公分

3 決定底層之厚度

以基層之R值，按式(16~16)求面層及粒料底層厚度之卵石當

量厚度，或由圖十六~19查得之。

$$GE = 0.0975(TI)(100 - R)$$

$$= 0.0975 \times 8.0 \times (100 - 50) = 39 \text{ 公分}$$

粒料底層之卵石當量厚度 =  $39 - 18.3 = 20.7$  公分

由表十六~19中直接查得以次大於20.7之21.3所相對應之實際厚度為 ~~19.8~~ 21.3 公分

#### 4 決定基層之厚度

$$\text{基層之卵石當量厚度} = 70.2 - 18.3 - 21.9 = 30.0 \text{ 公分}$$

由於粒料基層之卵石當量因素  $G_r = 1.0$ ，故基層之實際厚度為 30.0，採用30公分

倘若厚度設計中採用A級或B級之水泥處理底層而無指定之R值時，可由表十六~20中選擇一適當的厚度而設計之。若採用C級水泥處理底層時，可假定R值為80。表中之數值係假定基層之R值為50。

表十六~20 TI與鋪面及底層厚度關係表

底層材料	鋪面 或 底層	層 厚 (公分)									
		TI 5.0	TI 6.0	TI 7.0	TI 8.0	TI 9.0	TI 10.0	TI 11.0	TI 12.0	TI 13.0	TI 14.0
A級CTB	鋪面				7.6	9.1	10.7	12.2	13.7	15.2	16.8
	底層				18.3	19.8	21.3	24.4	25.9	27.4	29.0
B級CTB	鋪面			7.6	9.1	10.7	12.2	13.7	15.2	16.8	
	底層			16.8	18.3	19.8	22.9	24.4	27.4	29.0	
C級CTB	鋪面		7.6	9.1	10.7	12.2					
	底層		13.7	16.8	19.8	21.3					
一級AB (R=80)	鋪面	6.1	7.6	9.1	10.7	12.2	13.7	15.2	16.8	19.8	
	底層	12.2	15.2	18.3	19.8	22.9	25.9	29.0	32.0	33.5	
二級AB (R=78)	鋪面	6.1	7.6	9.1	10.7	12.2	15.2	16.8	18.3		
	底層	12.2	15.2	18.3	19.8	22.9	24.4	27.4	30.5		

註：CTB = 水泥處理底層  
AB = 粒料底層

假定基層之R值=50

**例題十六~14** 若例題十六~13中之底層改用A級水泥處理底層時，試設計各層之厚度。

**解：** 1. 以交通量指數為8.0由表十六~20中查得覆於A級水泥處理底層所須瀝青混凝土面層最小厚度為7.6公分

2. 由表十六~19查得瀝青混凝土面層實際厚度0.25呎之卵石當量厚度為15.2公分

3. R值為50之基層上所須之卵石當量厚度可按 $R = 50$ ，及 $TI = 8.0$ 由圖十六~19中查得為39公分。

4. A級水泥處理底層之卵石當量厚度為 $39 - 15.2 = 23.8$ 公分其實際厚度由表十六~19中查得為14公分，採用15公分，25.9 - 14 = 11.9

5. 粒料基層之卵石當量厚度為 $70.2 - 15.2 - 23.8 = 31.2$ 公分採用32公分，實際厚度亦為32公分。

柔性路面除採用瀝青混凝土面層外，底層及基層可採用不同材料所構成者，例如採用A級水泥處理底層，亦可採用粒料底層。在設計路面時，應以各種材料作各種替換設計，以供選擇適合設計交通量及路基材料強度的最經濟路面結構者是為變換設計，如上述之例題十六~13、及例題十六~14。下列兩種路面結構亦適合例題十六~13之條件。

實際厚度(公分)	材 料	GE(公分)
7.6	瀝青混凝土面層	15.2
15.2	A級水泥處理底層	25.9
<u>30.0</u>	基層	<u>29.0</u>
52.8		70.1
7.6	瀝青混凝土面層	15.2
19.8	C級水泥處理底層	23.8
<u>32.0</u>	基層	<u>32.0</u>
59.4		71.0

### 3.2 美國加州設計法〔2,3,4〕

加州設計法係由美國加州公路局工程司Hveem氏於1948年首先提出，根據Hveem之研究認為造成路面失敗的原因大多是由於路面結構各層發生塑性變形(即永久變形)，故車輛對路面所施之作用力，可藉改善路基土壤之內摩擦力(即抗剪力)及路面各層材料之凝聚力來抵抗。因此在從事路面厚度設計時應考量輪胎接觸力及接觸面積、荷重重複作用次數、路基土壤品質、路面各層材料凝聚值等因素之影響。

本設計法主要係根據Brighton及Stockton試驗道路實測結果經統計分析而得，並經其他試驗道路(如AASHO)及許多路面之實際成效觀測資料作多次修正，故亦屬經驗設計法。其設計之基本概念在防止路面結構各層不會發生過量的變形及路基土壤不致產生永久變形，並以Hveem氏穩定儀(Stabilometer)測定路面及路基之各項材料受重複交通荷重作用時之應力特性。

#### 3.2.1 設計因素

##### 1. 設計年限

主要道路為20年，次要道路為10年。

##### 2. 路基土壤強度

本設計法對路基土壤強度的評估方法係以Hveem氏穩定儀所得之路基土壤阻力值(Resistance Value, R值)來表示，其設計R值可依下列步驟求得：

- (1) 準備試樣：晾乾土樣並以#4篩過篩。
- (2) 夯製試體：每一試樣用揉搓夯壓機(Kneading Compactor)夯製三個試體，每個試體直徑4吋、高2.5吋，並分別具不同的含水量。
- (3) 進行擠水壓力試驗：利用擠水壓力指示器(Exudation Indicator)測定各試體之擠水壓力。
- (4) 進行膨脹壓力試驗：將試體置入膨脹壓力計(Expansion Pressure Apparatus)，浸水16至20小時後測定其膨脹壓力。
- (5) 測定R值：將膨脹試驗後之試體移入威氏穩定儀(Hveem stabilometer)，利用壓力機施加垂直壓力，用油壓橡皮膜施加水平圍壓，在試驗過程中可求得垂直壓力和水平圍壓之關係，以及反應試體側

向變形量之變位轉數 $D_2$ ，以下式求取個別試體之R值，三件試體之夯製含水量不同，所得試體密度亦不同，將產生不同R值。

$$R = 100 - \frac{100}{\frac{2.5}{D_2} \left( \frac{P_v}{P_h} - 1 \right) + 1}$$

其中 R：試體個別阻力值。

$P_v$ ：160psi垂直壓力。

$P_h$ ：水平圍壓(垂直壓力為160psi時之穩定儀壓力計讀數)。

$D_2$ ：穩定儀手搖幫浦變位轉數(水平壓力由5psi昇到100psi)。

經由上述試驗，分別求得各試體之R值和膨脹壓力後，可進一步求取個別試體所需厚度，求法如下：

(1)R值所需厚度(cover thickness by stabilometer)：依交通量、土壤R值、路面材料和地區因素決定R值所需厚度。

(2)膨脹壓力所需厚度(cover thickness by expansion pressure)：將膨脹壓力除以路面材料單位重，即得所需厚度。

利用個別試體之R值所需厚度和膨脹壓力所需厚度，分別為縱座標和橫座標，繪製關係曲線，如圖3.2.1左側所示，該曲線交於45度線處，即為兩厚度相等點，該厚度稱為試樣膨脹壓力所需厚度，簡稱膨脹所需厚度。

另外，再以個別試體之R值所需厚度和擠水壓力，分別為縱座標和橫座標，繪製關係曲線，如圖3.2.1右側所示，該曲線必須和擠水壓力指定直線相交，交點之厚度為試樣R值所需厚度，簡稱R值所需厚度。擠水壓力指定值原定400psi，1962年修正為300psi。

取以上兩厚度中較大者為設計厚度，再利用R值所需厚度計算公式反求其相當之R值，即為設計R值。

### 3. 交通量分析

設計交通量係以交通量指數(Traffic Index)TI表示，TI值係路面設計年限內之5000磅輪荷重當量數或18-kip單軸荷重當量數之函數，經道路試驗結果分析後可以下式表之：

$$TI = 9.0 \left( \frac{EAL}{10^6} \right)^{0.119}$$

$$TI = 1.3 \left[ \left( \frac{W}{5} \right)^{4.2} (\text{repetitions}) \right]^{0.119}$$

$$= 1.3(EWL)^{0.119}$$

$$= 6.7 \left( \frac{EWL}{10^6} \right)^{0.119}$$

其中 EAL：設計年限內設計車道之累積18-kip單軸荷重當量數。

EWL：設計年限內設計車道之累積5000磅車輪荷重當量數。

W：車輪重(kip)。

repetitions：車輪作用次數。

#### 4. 路面材料

柔性路面結構材料有瀝青混凝土、水泥處理底層(CTB)、瀝青處理底層(ATB)、石灰處理底層(LTB)、水泥處理土壤(CS)、瀝青處理透水材料(ATPM)、低強度水泥混凝土底層(LCB)、碎石級配料底層(AB)及碎石級配料基層(ASB)等。路面厚度設計係以基層碎石級配料為基準，求出各層結構之卵石當量(Gravel Equivalent)厚度後，再經各材料之卵石當量係數換算成實際之厚度。卵石當量係數即為各種材料對基層碎石級配料的當量比，其值將隨交通量指數TI而變化，如表3.2.1。

#### 3.2.2 路面厚度設計

經道路試驗結果得路面厚度設計公式如下：

$$T = \frac{0.07(TI)(100 - R)}{\sqrt[3]{C}}$$

或  $GE = 0.0032TI(100 - R)$

- 其中 T：路面設計厚度，in.。  
 TI：交通量指數。  
 R：路基土壤之設計R值。  
 c：路面材料凝聚值，基層碎石級配料為20。  
 GE：路面卵石當量厚度，ft。

路面由已知交通量指數TI及路基土壤設計R值代入公式或查設計圖(如圖3.2.2)可得所需之卵石當量厚度值，然後可利用卵石當量係數折算成實際路面之厚度。

### 3.2.3 討論

1. R值試驗不但可以顯示粘性土壤之塑性，亦可表現出顆粒狀土壤的張力強度，此為CBR試驗無法做到的。
2. R值試驗取樣容易，用揉搓夯壓機製作之試體與原狀土壤近似，同時試驗速度比CBR快。
3. 路面設計厚度係由擠水壓力及膨脹壓力兩種試驗結果取較大者，已考量因路基土壤膨脹而導致路面破壞之情形。
4. R值試驗之設備昂貴，且試驗步驟繁瑣，計算也費時，故試驗費用較高。



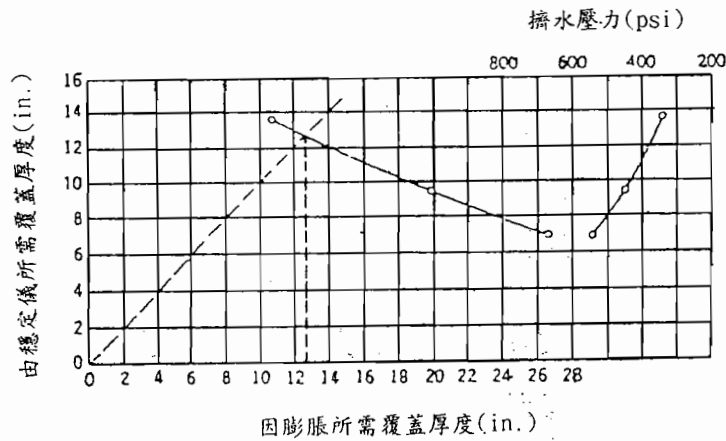


圖3.2.1 R值及膨脹壓力試驗結果決定路面所需厚度

表3.2.1 路面鋪築材料卵石當量係數表

Gravel Equivalents of Structural Layers in Feet

Actual Thickness of Layer (Feet)	ASPHALT CONCRETE															
	Traffic Index (TI)															
	5 and below	5.5 6.0	6.5 7.0	7.5 8.0	8.5 9.0	9.5 10.0	10.5 11.0	11.5 12.0	12.5 13.0	13.5 14.0	14.5 15.0 &UP	Class B CTB, ATB, CB	Class A CTB	Aggre- gate base	Aggre- gate sub- base	LCB
Gravel Equivalent Factor (Gf)	Gf															
2.50	2.32	2.14	2.01	1.89	1.79	1.71	1.64	1.57	1.52	1.50	1.2	1.7	1.1	1.0	1.9	
0.10	0.25	0.23	0.21	0.20	0.19	0.18	0.17	0.16	0.16	0.15	0.15	---	---	---	---	
0.15	0.38	0.35	0.32	0.30	0.28	0.27	0.26	0.25	0.24	0.23	0.22	---	---	---	---	
0.20	0.50	0.46	0.43	0.40	0.38	0.36	0.34	0.33	0.31	0.30	0.30	---	---	---	---	
0.25	0.63	0.58	0.54	0.50	0.47	0.45	0.43	0.41	0.39	0.38	0.37	---	---	---	---	
0.30	0.75	0.70	0.64	0.60	0.57	0.54	0.51	0.49	0.47	0.46	0.45	---	---	---	---	
0.35	0.85	0.81	0.75	0.70	0.66	0.63	0.60	0.57	0.55	0.53	0.52	0.42	0.60	0.39	0.35	0.67
0.40	1.00	0.93	0.86	0.80	0.76	0.72	0.68	0.66	0.63	0.61	0.60	0.48	0.68	0.44	0.40	0.76
0.45	---	1.04	0.96	0.90	0.85	0.81	0.77	0.74	0.71	0.68	0.67	0.54	0.77	0.50	0.45	0.86
0.50	---	1.16	1.07	1.01	0.95	0.90	0.86	0.82	0.79	0.76	0.75	0.60	0.85	0.55	0.50	0.95
0.55	---	---	1.18	1.00	1.04	0.98	0.94	0.90	0.86	0.84	0.82	0.66	0.94	0.61	0.55	1.05
0.60	---	---	---	1.21	1.13	1.07	1.03	0.98	0.94	0.91	0.90	0.72	1.02	0.66	0.60	1.14
0.65	---	---	---	1.31	1.23	1.16	1.11	1.07	1.02	0.99	0.97	0.78	1.11	0.72	0.65	1.24
0.70	---	---	---	1.32	1.25	1.20	1.15	1.10	1.06	1.05	1.04	0.84	1.19	0.77	0.70	1.33
0.75	---	---	---	---	1.34	1.28	1.23	1.18	1.14	1.12	1.10	0.90	1.28	0.83	0.75	1.43
0.80	---	---	---	---	---	1.43	1.37	1.31	1.26	1.22	1.20	0.96	1.36	0.88	0.80	1.52
0.85	---	---	---	---	---	1.52	1.45	1.39	1.33	1.29	1.27	1.02	1.45	0.94	0.85	1.62
0.90	---	---	---	---	---	---	1.54	1.48	1.41	1.37	1.35	1.08	1.53	0.99	0.90	1.71
0.95	---	---	---	---	---	---	---	1.56	1.49	1.44	1.42	1.14	1.62	1.05	0.95	1.81
1.00	---	---	---	---	---	---	---	1.64	1.57	1.52	1.50	1.20	1.70	1.10	1.00	1.90
1.05	---	---	---	---	---	---	---	---	1.65	1.60	1.57	1.26	1.79	1.16	1.05	2.00

NOTES: CTB is cement treated base. R-value: Class B CTB=80 ASB Class 1=60  
 ATB is asphalt treated base. AB=78 ASB Class 2=50  
 LTB is lime treated base. ASB Class 3=40  
 CS is soil cement.  
 ATRM is asphalt treated permeable material  
 LCB is lean concrete base.  
 For the design of road mixed asphalt surfacing, use 0.8 of the gravel equivalent factors (Gf) shown above for asphalt concrete.  
 LTB-Gf=0.9+(unconfined compressive strength in psi÷1000)  
 ATRM and OGAC-Gf=1.4

# STRUCTURAL DESIGN CHART FOR FLEXIBLE PAVEMENTS

GE = Gravel Equivalent
TI = Traffic Index
R = Resistance Value

**$GE = 0.0032 (TI) (100 - R)$**

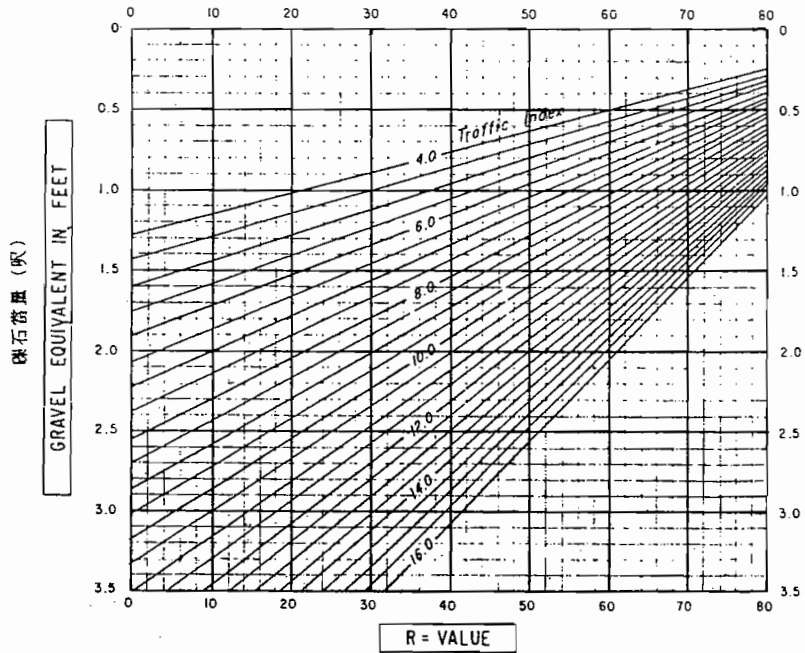


圖3.2.2 加州柔性路面厚度設計圖