

公路排水、土方及鋪面設計  
Design of streets and highway: drainage, earthwork, and  
pavements (14)

- 公路排水分爲路面排水、路側排水、橫交水路與排水設施的頻率及強度
- 土方工程分爲土壤調查、借棄土區、路堤路塹構造、路基夯實度、挖填平衡
- 鋪面結構
  - 在沒有水泥及瀝青材料時代，鋪面材料是以土壤、礫石及岩石等爲主
  - 現今高級鋪面以水泥混凝土及瀝青混凝土爲主

土方作業－介紹  
earthwork operations-INTRODUCTION (14-17)

- 土方作業爲施工過程的土壤自然外貌及鋪面結構施築前的路基準備
- 施工作業包括清除及挖掘、路幅及借土開挖、路堤構築及路基整備，提供平縱面線形、橫斷面坡度
- 路堤構築係由薄土層滾壓成高密度，分爲滾壓及水利填築
- 作業結束包括邊坡修築及最後修坡作業，完成最後需要的高程
- 土方開挖分爲
  - 岩石開挖(rock excavation)包括1.5立方的卵石及硬岩開炸
  - 不適材料挖除(unsuitable excavation)係將土壤混合物及有機土壤挖除
  - 借土開挖(borrow excavation)路堤填築未土方平衡則需借土
  - 一般開挖(common excavation)除前述作業皆稱之，以體積爲單位

## 路堤路塹構築

### construction of embankments (14-20)

- 路堤路塹構築需維持設計坡度，係由許多薄鬆土層滾壓而成，每層鬆土鋪築要均勻，及由滾壓機來回滾壓完成
- 一般土壤厚度為15~30公分，最下層採礫石料最大厚度為60公分
- 貨車在卸土方時，須注意卸土區承載能力，以免產生輪胎陷入土內
- 滾壓時土壤未達最佳含水量時需洒水，含水量超過最佳時需翻曬
- 土壤收縮與膨脹(shrinkage and swell)(14-24)
  - 鬆土經夯實後體積較原有減少為收縮，收縮量一般為10~15%，而低填土最大為20~25%，某些土壤達到40~50%
  - 現地土方經挖掘後體積較原有為膨脹，膨脹量可達30%或更多

## 夯實控制

### control of compaction (14-21)

- 土壤係由空氣、粒料及水等組成，為降低沉陷及提供承載能力，路堤填築須達某程度的密度
- 土壤壓實理論
  - 最佳含水量(optimum moisture content)粒料含水量達到某一限度時，土壤密度達到最大
  - 最大乾密度(maximum dry density)最佳含水量的土壤密度，在乾燥狀況稱之
  - 無空氣孔隙曲線(zero air void curve)係理論密度，為土壤內孔隙充滿水，稱為飽和土壤
- 工地壓實度為試驗室決定最大密度的90~100%

$$\text{壓實度}(\%) = \frac{\text{工地土壤乾密度}}{\text{實驗室土壤最大乾密度}} \times 100\%$$

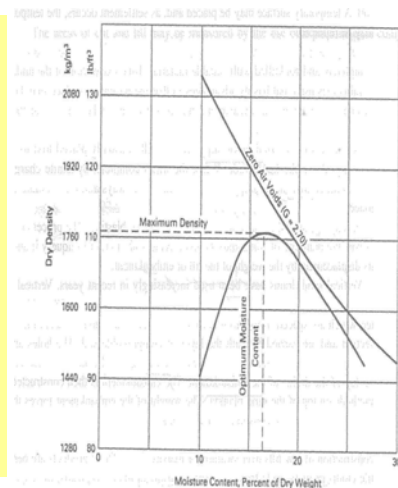


Figure 14-11 Moisture-density relationships for a typical soil under dynamic compaction. (Source: Paul H. Wright, Highway Engineering, Sixth Edition, John Wiley & Sons, 1996.)

## 路基的穩定處理

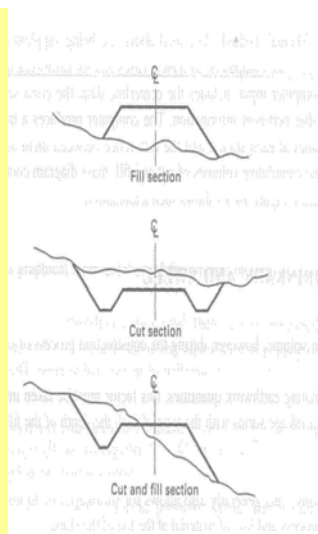
### special embankment foundation (14-22)

- 重力沉陷(**gravity subsidence**)土壤受壓沉陷減少空隙增加承載力
- 部分或全部挖掘(**partial or total excavation**)軟弱土層挖除填以適當土壤材料
- 炸移(**blasting**)使用炸藥移除不適宜材料，使上部填土下沉達於堅硬土層
- 噴移(**jettying**)先以較佳材料填築，再用噴射水管插入軟弱土層，使稀爛土壤壓出
- 砂樁(**vertical sand drain**)在軟弱土層鑽孔，孔中填以透水砂排除土中水份增加承載力
- 工程纖維加強(**engineering fabrics**)為透水織布鋪設於軟弱土層上，再填築土壤材料

## 土方計算

### computing earth work quantities (14-23)

- 土方數量計算係路段固定長度相鄰兩橫斷面間體積總合
- 鐵路橫斷面間隔以20公尺為基準，如需要再縮短長度
- 橫斷面面積計算，可分為若干三角形或四邊形、求積儀或用座標法
- 橫斷面之土方分為挖方、填方及挖填方
  - 挖方係路基面皆位於原地面下方
  - 填方係路基面皆高於原地面
  - 挖填方路基面部份位於原地面下方與部份高於原地面
- 土方數量計算
  - 兩橫斷面間之挖填面積相加除以二
  - 將挖填面積乘該長度即該段之挖填土方數量
  - 整路段之土方數量為所有數量之總合



## 土方變化

- 土方在為挖掘前原來狀態，或挖掘後鬆散狀態，或經滾壓後之壓實狀態，其體積互異
- 土方體積定義
  - 實方(bank measured volume)在原地或借土區未挖掘之體積
  - 鬆方(loose measured volume)經挖掘及搬運時之鬆散情況
  - 緊方(compacted volume)運至工地經滾壓後之夯實情況
- 三種體積變化率
  - 鬆方與實方比
  - 緊方與實方比  $c = \frac{\text{緊方}}{\text{實方}}$
- 土方數量計算基準
  - 挖掘時計實方，運輸時計鬆方，收方時計緊方
  - 土方變化率之標準係土方成本估算基礎

## 土方平衡

- 鐵公路縱面線形佈設，除考慮橫交道路及水路之淨空需求外，最重要者即為挖方與填方平衡
- 為節省土方成本，運土距離盡可能在免費運距之內
- 土積圖(mass diagram)
  - 土積圖係圖示挖方與填方數量累積情況
  - 顯示土方平衡點位置、運土方向及運土數量
  - 曲線向下係填方，向上為挖方
  - 曲線最低點為填土變為挖土，最高點為挖土變為填土
- 運距分為免費運距(freehaul distance)及需費運距(overhaul distance)
- 經濟運距(length of economical haul)考慮借土及棄土費用後，決定路堤填築及路塹開挖等土方最小成本之運距

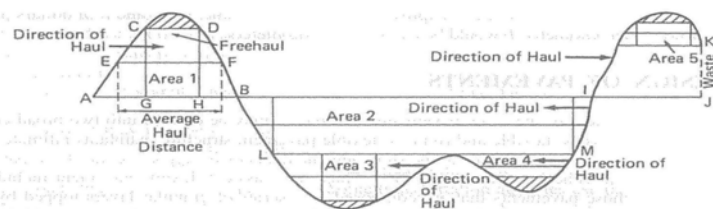


Figure 14-15 A mass diagram.

## 土壤性質與分類

- 以顆粒大小區分
  - 卵石 (boulder) 停留於76公厘方孔篩者
  - 礫石 (gravel) 通過76公厘停留於10號(1mm)篩者
  - 粗砂 (coarse sand) 通過10號停留於40號(0.5mm)篩者
  - 細砂 (fine sand) 通過40號停留於200號(0.1mm)篩者
  - 粉土與黏土混合物 (combined silt and clay) 通過40號停留於200號篩者
- 鋪面設計的路基強度
  - 統一土壤分類、AASHTO土壤分類、美國聯邦航空土壤分類、抗阻值R、路基反應係數K、加州承載比CBR

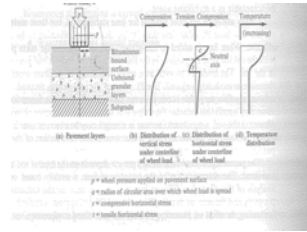


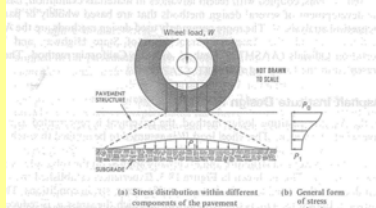
圖 10-9 各種土壤分類與土壤承載力之關係圖

## 鋪面設計

### DESIGN OF PAVEMENTS

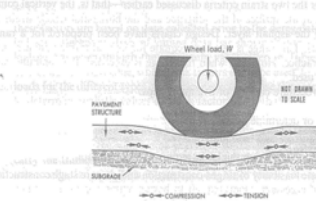
- 鋪面型式依據材料、力學性質及結構組成等分為瀝青混凝土(柔性)鋪面及水泥混凝土(剛性)鋪面
- 柔性鋪面
  - 鋪面本身不能承受彎曲應力，鋪面結構底下任何一層發生變形時，其變形層上各層隨之發生變形，均呈同樣形狀者
  - 用層理論分析鋪面所需結構厚度
- 剛性鋪面
  - 鋪面本身能承受彎曲應力，面層利用材料行成的勁度來支持，使面層下結構發生均勻變形
  - 用板理論分析鋪面所需結構厚度

Figure 18.3 Spread of Wheel Load Pressure Through Pavement Structure



Source: Reproduced from *Thickness Design—Asphalt Pavements for Highways and Streets*, Manual Series No. 1, The Asphalt Institute, College Park, Md., September 1981.

Figure 18.4 Schematic of Tensile and Compressive Stresses in Pavement Structure

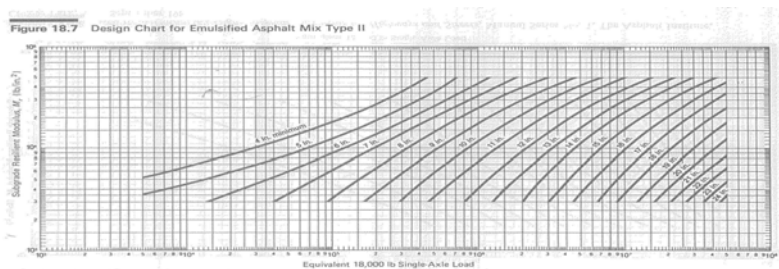


Source: Reproduced from *Thickness Design—Asphalt Pavements for Highways and Streets*, Manual Series No. 1, The Asphalt Institute, College Park, Md., September 1981.

## 鋪面設計方法

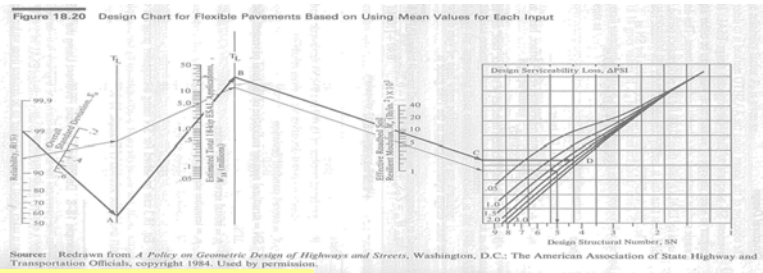
- **THE AASHO ROAD TEST(14-28)**
  - 國家公路系統費用最高的單元為鋪面結構
  - 美國1950年開始大型尺度道路試驗係為控制鋪面建造及養護成本
  - 鋪面結構抵抗車輛反負荷重，包括單軸及雙軸車輛
  - 試驗結果係研擬柔性及剛性鋪面設計手冊之依據
- **柔性鋪面**
  - 當外載重作用於鋪面後，應力分佈面積愈往下愈大，而應力強度愈小
  - 土壤分組指數(GI)、加州承載比(CBR)、土壤阻力值(R)、彈性模數(Mr)
  - 美國加州鋪面設計、瀝青協會(AI)、美國公路官員協會(AASHTO)
- **剛性鋪面**
  - 僅須水泥混凝土面層板具有足夠地強度，以抵抗外載重的重複作用
  - 土壤承載值(k)
  - 波特蘭水泥協會(PCA)、美國混凝土協會(ACI)、美國公路官員協會(AASHTO)

## 鋪面結構厚度設計圖



Source: Reproduced from *Thickness Design—Asphalt Pavements for Highways and Streets*, Manual Series No. 1, The Asphalt Institute, College Park, Md., September 1981.

瀝青協會(AI)



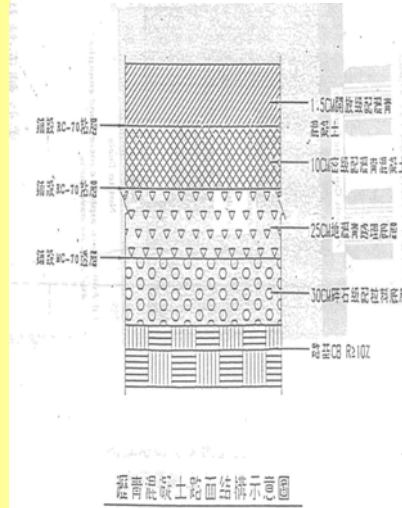
Source: Redrawn from *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*, Washington, D.C.: The American Association of State Highway and Transportation Officials, copyright 1984. Used by permission.

美國公路官員協會(AASHTO)



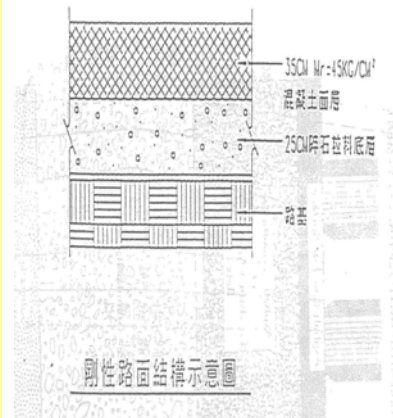
## 柔性鋪面結構組成 ELEMENTS OF A FLEXIBLE PAVEMENT (14-26)

- 路床(ROAD BED)地面經挖填整平後提供鋪面結構基礎，承受面層傳遞的載重
- 路基(SUBGRADE)位於路床頂部分，厚度最小為15公分、最大為100公分，鋪面結構承載起算位置
- 基層(SUBBASE)位於路基上底層下，提高承載能力，降低路基單位承載力，減少冰凍作用
- 底層(BASE)位於基層上面層下，具有排水能力及提高承載能力，減少上層受地下水干擾
- 面層(SURFACE)一般為鋪面結構最上層，直接承受外荷重，必須堅固穩定
- 磨耗層(WAER SURFACE)高速公路的車道，在面層上加鋪2公分開放級配，提供排水及磨耗之用



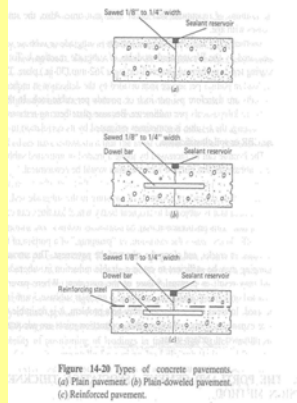
## 剛性鋪面結構組成 ELEMENTS OF A RIGID PAVEMENT (14-30)

- 結構組成
  - 由下而上為路床、路基、基層(底層)、面層
- 最早剛性鋪面結構由路基及面層組成，後因發生唧水及噴砂現象而破壞
- 於面層下加入基層(底層)，降低鋪面結構損壞及維持服務績效
- 鋪面板不能均勻支撐的原因
  - 土壤膨脹
  - 霜凍作用
  - 唧水及噴砂現象
- 增加基層(底層)穩定，採用石灰、水泥或瀝青添加於級配料，成為處理基層(底層)材料

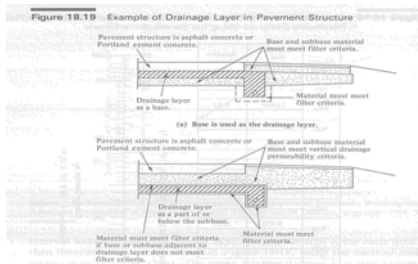
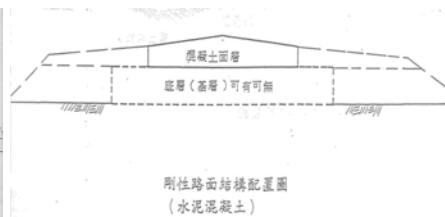
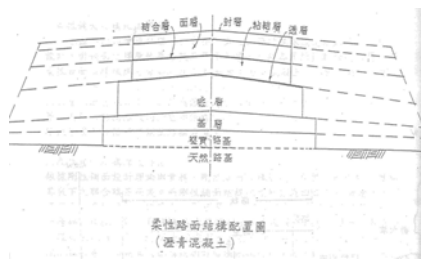


## 剛性鋪面型式

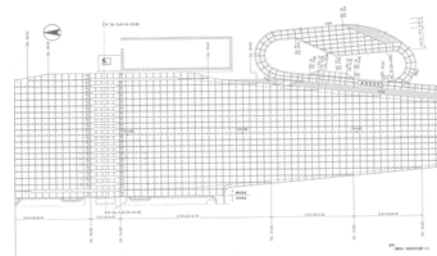
- 混凝土版係澆置於平整的基層或路基上，依據鋼筋設置方式分為四種
  - 純混凝土鋪面(PLAIN PAVEMENTS)接縫間隔約4.5公尺
  - 綴縫筋鋪面(PLAIN DOWELED PAVEMENTS)接縫間隔不超過6公尺
  - 接縫式鋼筋混凝土鋪面(REINFORCED PAVEMENTS) 接縫間隔達12~30公尺
  - 連續式鋼筋混凝土鋪面(CONTINUOUSLY REINFORCED PAVEMENTS)
- 水泥混凝土板彎曲後有產生裂縫傾向，相鄰版提供荷重傳遞(load transfer)，分為骨材互鎖或綴縫筋



## 鋪面結構配置



鋪面排水設施



橫向及縱向接縫配置



## 鋪面結構設計參數及考慮因素

- 鋪面設計包括幾何線形、結構組成及材料選擇
- 鋪面結構設計的參數及考慮因素
  - 設計年限—一次鋪築或分階段鋪築
  - 交通—交通量、交通組成、軸重、車速及車道分配率
  - 路基土壤—承載力、土壤性質、收縮及膨脹
  - 結構材料—熱膨脹係數、溫感性、力學性質及耐久性
  - 地區自然環境—降雨量、氣溫、地下水位、地面及地下排水
  - 成本—新建及養護成本
  - 可靠度—鋪面結構設計達成期望目標之機率
  - 其他因素—安全性、行駛舒適度、施工相關技術、施工機械、對環境之污染

## 柔性鋪面結構的影響因子

### FACTORS THAT AFFECT FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN (14-27)

- 交通荷重(TRAFFIC LOADING)
  - 交通組成、軸重、軸重組成、胎壓及接觸面積
- 材料特性(MATERIAL CHARACTERISTICS)
  - 路基土壤性質與承載能力
  - 鋪面材料品質及承載特性
  - 抵抗反覆載重的效果
- 氣候或環境(CLIMATE OR ENVIRONMENT)
  - 氣溫大小與變動影響材料某些性質
  - 低氣溫及變動與霜凍及凍溶作用相關
  - 含水量影響許多材料行為及績效
  - 路基土壤飽和含水量會產生體積改變

## 剛性鋪面結構的影響因子 FACTORS THAT AFFECT RIGID PAVEMENT DESIGN (14-31)

- 交通荷重(TRAFFIC LOADING)
  - 鋪面服務期間的重軸車輛的數量及載重
- 材料特性(MATERIAL CHARACTERISTICS)
  - 混凝土強度以抗彎強度為主，破裂模數採梁試體及三點荷重試驗，材料齡期為28及90天
  - 路基或基層力學性質採土壤反應模數k值
- 氣候或環境(CLIMATE OR ENVIRONMENT)
  - 路基土壤飽和含水量會產生體積改變
  - 路基土壤多餘水份產生唧水造成路基侵蝕
- PCA剛性鋪面設計準則
  - 疲勞(FATIGUE)反覆載重使鋪面應力小於0.5
  - 沖蝕(EROSION)混凝土版角或邊的變形控制

## 鋪面結構設計程序

- 分析年限 – 10年、20年或30年依據實際狀況而定
- 交通量 – 依據交通調查資料預測目標年交通組成及總量，計算鋪面設計的軸重當量數(ESALs)
- 方向及車道因子 – 預測交通量分單向或雙向需方向因子，雙車道以上道路需要車道因子
- 標準軸重當量 – 車輛軸重為18,000lb (18-kips, 80 kN)
- 服務績效水準 – 新建開放通車時的服務指數，鋪面養護時的服務指數
- 可靠度 – 因設計、材料製造及施工等因素影響鋪面結構的服務績效程度，可靠度愈高表示品質愈佳
- 路基土壤承載特性 – 路基材料之力學性質及強度
- 鋪面結構材料承載特性 – 結構組成各層的材料力學性質及強度
- 鋪面結構組成分析 – 經查表或計算公式求得結構厚度，依據結構材料特性設計各層的厚度