

公路土壤基本知識

張炳惠 編著

人民交通出版社

本書是敘述公路土壤基本知識的通俗讀物，內容分四方面：一是土壤的一般概念，二是土壤的物理性質，三是土壤的力學性質，四是公路土壤的基本試驗。有較淺近的理论，也結合道路工程上的应用，更介紹了在工地能做到的几种公路土壤的基本試驗方法，深入淺出，使从事公路建設的广大工长、施工員、技術員等，对公路土壤的一般知識，有一个較完整的了解，便于实际工作上的应用。

公路土壤基本知識

張炳基 編著

*

人民交通出版社出版

(北京安定門外和平里)

北京市書刊出版業營業許可証出字第〇〇六號

新华書店發行

人民交通出版社印刷厂印刷

*

1959年5月北京第一版 1959年5月北京第一次印刷

開本：787×1092 1/32 印張：1 1/2 張

全書：33000字 印數：1—1700冊

統一書號：15044-1331

定價(8)：0.18元

目 录

前 言

第一章 土壤的一般概念	3
1. 土壤的定义	3
2. 公路土壤分类及一般筑路性質	4
3. 土壤的結構	7
4. 土壤的成份	9
第二章 土壤的物理性質	10
5. 土壤的比重与密度	10
6. 土壤的滲透性与压縮性	12
7. 土壤的彈性与塑性	14
8. 土壤的收縮与膨脹	16
9. 土壤的毛細管作用	17
10. 土壤的含水量	18
第三章 土壤的力學性質	20
11. 土壤的内摩擦力和内聚力	21
12. 土壤的抗剪强度	22
13. 路基的稳定性和强度	26
14. 土壤压实的原理	32
第四章 公路土壤的基本試驗	35
15. 顆粒分析	35
16. 比重	36
17. 含水量	36
18. 液限試驗	40
19. 塑限試驗	42
20. 标准压实試驗	43
21. 路基压实快速控制法	45

前 言

近年来公路建筑队伍有了很大的增长，在工人中提拔了大批技术力量——工长、施工员、技术人员等。这些同志在业务上迫切需要学习技术理论知识，为了帮助他们熟习公路土壤基本知识，特编写了这本通俗读物。本书着重于基本原理与实用方面的叙述，内容安排由浅入深，并联系实践。书中尽量避免多用专业名词和术语，使读者易于接受。

本书内容共分四方面：第一章叙述土壤的一般知识，使读者对土壤先有一基本概念；第二章及第三章对土壤的物理及力学性质，作一般性的叙述，并结合土壤知识在道路工程上的应用，学过这二章后能进一步了介土壤的全部基本性能，并使之有一整体观念；第四章叙述公路土壤基本试验，主要介绍工地能做到的几项基本试验方法，并结合今后大规模修筑地方道路的需要，在设备条件较差的情况下也能达到对土壤进行基本试验的要求。

本书适用于初中文化程度的同志们阅读，并可供初级技术干部学习参考。

第一章 土壤的一般概念

土对于公路建筑的意义，比任何建筑工程重大，道路的车辆部份建筑在路堤上面，而土又是建筑路堤的材料（也能作为路面的材料）；要想把道路建筑得又快、又好、又省，就要利用路线附近的土来修筑路堤。因此，必须对这些土的性质以及自然与人为的各种因素对于土壤性质的影响进行了解。只有这样，才能使修筑的路堤具有一定的稳定性，不致发生各种危害。

1. 土壤的定义 在地壳表面构成的物质，普通可分为两大类：石和土。石有花岗岩、页岩、砂岩、石灰岩等；土有砂土、粘土、淤土等，而总称为土壤。

土壤学所要研究的对象是风化地壳表面的各种岩石；岩石要变成土壤，必须经过风化作用；所谓风化作用，就是包含着物理碎裂和化学分介；物理碎裂，就是岩石经过大气温度的变化，使它膨胀或收缩，或内部藏水结冰，这样造成岩石碎裂而成为土壤；化学分介，就是岩石在空气中吸收了氧气而氧化，或吸收了水份而水化，这就使岩石分介成为土壤。由此可知，岩石要变成土壤，必须经过物理碎裂和化学分介，也就是必须经过风化作用。

从公路工程的立场来说，所要研究的土壤科学，和地质学或农业学所研究的所谓“土壤”自然不同；地质学是研究土壤的结构和形成，以及地壳的变迁；农业学是以研究土壤化学、水土保持及在农业上可以种植为目的。对公路工程来说，则着重

于土壤力学、土壤性質及在工程上的应用和在工程上的关系等方面。

所謂土壤力学，就是用力学的原理，来研究土壤的性質及其状态，并作为工程上的应用。这是一个广泛的定义。

2. 公路土壤分类及一般筑路性質 土壤分类繁多，在公路工程上，是按土壤中的砂、粉砂和粘土的含量多少来分类和命名的，如表 1 所示。

公 路 土 壤 分 类 表 1

编 号	土 壤 类 别		重 量 百 分 比		
	中国科学院 1936 年 修正名称	以 往 沿 用 名 称	砂 2.00~0.05(公厘)	粉 砂 0.05~0.005 (公厘)	粘 土 0.005 以下(公厘)
1	砂土	砂土	—	0—15	0~3
2	粉土質砂土	粉砂質砂土	—	15—50	5~3
3	亚砂土	砂質垆母	粗砂含量多于細砂	少于砂之含量	3~12
4	細亚砂土	細砂質垆母	細砂含量多于粗砂	少于砂之含量	3~12
5	粉土	粉砂土	—	多于砂之含量	0~12
6	亚粘土	粘土質垆母	砂之含量多于粉砂土	—	12~18
7	粉土質亚粘土	粉砂質粘土垆母	—	多于砂之含量	12~25
8	重亚粘土	重粘土質垆母	砂之含量多于粉砂土	—	18~25
9	粘土	粘土	—	—	25~100

注：粗砂尺寸为 2.00~0.25 公厘；細砂尺寸为 0.25~0.05 公厘。

土壤分类方法，主要以土壤顆粒的粗細而分。各种土壤实际属于那一类应该通过試驗才能决定，也可通过篩分来决定（詳見第四章）。有时，在沒有条件作試驗时，可用放大鏡和

肉眼對土壤作初步的辨別；在野外鑑定土壤及其一般筑路性質如下：

(1) 砂土——松散的粒料，觸手有粗澀的感覺；以手握之，干者松手後容易鬆碎，濕者松手後亦能成團，但一觸就碎，用肉眼能看出顯著的砂粒。干燥時沒有粘結性，汽車通行時灰塵很大；濕時有粘聚性，透水性強，雨後干得快，常用作路基排水材料，摻入粘性材料後，可作為良好的路面材料。毛細上升高度為0.2~0.3公尺。

(2) 粉砂質砂土——與砂土性質相似，但細顆粒較多，在手中搓捻時沾有很多的粉砂顆粒，砂粒較粉砂土粒為多，干燥時無粘結性，用肉眼可看出有少量的砂土粒。如含有大量細砂或粉砂土，加水時很快就變成流体，透水性比砂土差，作為路基排水材料不太合適。毛細上升高度為0.3~0.6公尺。

(3) 亞砂土(砂質垆壤^①)——在手中搓捻時感到粗砂顆粒較多，粘土較少。濕時用力可握成土團，但搓不成條；干燥時也不松散，具有足夠的粘結力。因為它含有較大的內摩阻力，透水性好的砂和干燥時具有粘結力的粘土顆粒，故干、濕時都一樣穩定。塑性指數小於7，能作為良好的路用材料。毛細上升高度為0.3~0.6公尺。

(4) 細亞砂土(細砂質垆壤)——與亞砂土相同，但含細砂粒較粘土為多，不易搓成條，只能搓成直徑3~5公厘的短條，干燥時粘結力小，易碎。塑性指數小於7，滲水性良好，作為路用材料，其穩定性比亞砂土差。毛細上升高度為0.5~0.8公尺。

(5) 粉土(粉砂土)——用手搓捻時有粉末感覺，粉土

① 垆壤——即細砂、粉砂和粘土三者之混合物，如含砂較多，

則稱為砂質垆壤。

顆粒較多；干燥時粘結力小，很易松散，行車灰塵大，濕時就成為流動狀態，很不穩定，雨後不能行車。塑性指數小於7。透水性不大，作為路基材料，在許多情況下容易造成翻漿，在公路上是一種最壞的、同時最不容易改善的土壤。毛細上升快而高，達0.8~1.5公尺。

(6) 亞粘土(粘土質土)——用手搓捻時感到有砂粒，濕時能看出細粒粉末中有砂粒，干燥時成堅硬的塊狀，濕時能搓成條，但很易斷，有粘結性，干燥時行車暢利，透水性不好，雨後路上泥濘。很少用作級配添加料，作為路用材料時，常會產生翻漿現象，但可作為碎石路面的粘結料。塑性指數大於7，毛細上升高度為1.0~1.3公尺。

(7) 粉砂質亞粘土(粉砂質粘土)——用手搓捻時感到砂粒很少，土塊易于壓碎，不能搓成長條。透水性差，干時變硬，能保證行車暢利，灰塵不大。濕時穩定性小，雨後泥濘嚴重，翻漿危險性較大，在公路上是一種不太令人滿意的土壤。塑性指數大於7，毛細上升高度為1.5~2.0公尺。

(8) 重亞粘土(重粘土質土)——干時用手搓捻感到粘土中有細粉砂顆粒存在，土壤難壓碎，挖掘困難，加水后干得很慢，能搓成直徑1~2公厘的長條，搓壓成餅時周邊裂縫。粘性很強，透水性很差。干時堅硬，行車不起灰塵，雨後泥濘嚴重，易起車轍，在路面低窪處存水后，干燥很慢，很快形成坑槽，使通車情況劇烈惡化。塑性指數大於10，毛細上升高度為1.5~2.0公尺。

(9) 粘土——濕時用手搓捻不感到有砂粒，而感到很膩滑，土塊難壓碎，濕時能搓成長條。粘結性極強，很難透水，干時很堅硬，行車時無塵土。排水不良時，在路面底層中粘土承載力小；在路基中如排水良好和具有足夠壓實度時，能保

持穩定性。塑性指數大於15，毛细土升高高度為1.5~2.0公尺。

3. 土壤的結構 由上可知，土壤是由許多大小不同礦物顆粒所組成，而這些顆粒排列的形式就稱為土壤的結構。一般可分為三種：（1）單粒結構；（2）蜂巢結構；（3）密聚結構；如圖1所示。

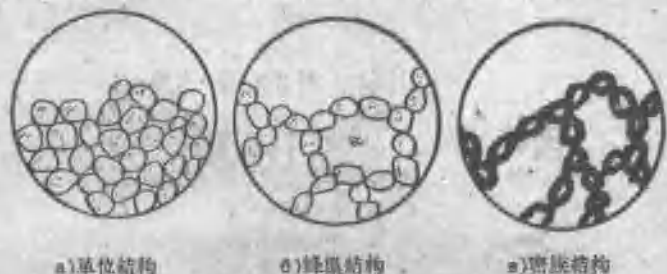


圖1 土壤的結構

單粒結構常見於無凝聚性的土壤中。砂、礫石沉積時就形成這種結構，各顆粒之間互相依靠，交錯重迭。這種結構的特點是能承受較大的壓力而壓縮性很小，即使在疏松狀態下，壓力慢慢增加，壓縮也不會太大；若把它搖動或振動，則土粒逐漸緊密。這種結構孔隙能占全部體積的25%~47%。

形成蜂巢結構的土壤顆粒非常小，一般顆粒直徑在0.002公厘左右，如粉砂土和粘土粒。它本身重量小，而土粒間的吸引力倒很顯著，如圖2顆粒a，使顆粒停留在原來落下的地位上，而不致繼續滾下（成為單粒結構）。蜂巢結構的孔隙體積可大到80%。

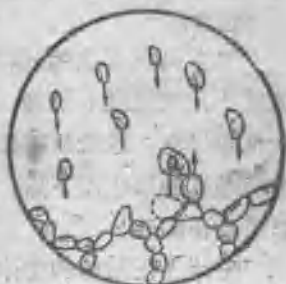


圖2 土壤沉積過程

更小的土壤顆粒（小于0.002公厘），即成为膠体顆粒，由于顆粒过于細小，因而在水中不下沉，但当水中含有电介質时，則膠体顆粒就互相結成蜂巢結構，而沉澱后各个蜂巢單位又联結起来成为密簇結構。

以上所說的是三种結構的基本形式。实际上天然土粒大小极不均匀，所以結構也比较复杂。图3是三种結構的混合組織。



图3 未擾动的混合結構

a) 粘土粒；b) 腐殖胶体土粒，密实度较小；c) 密簇胶体土粒，因压力集中，密实度较大。

混合結構形成的过程是由于河水入海时，面积增大，而流速减小，大顆粒（粉砂）先沉淀；在海中滷水就是电介質，也就是能导电，这就使膠体土粒結成“团”或“群”（即上面所說的蜂巢結構）而下降。故粉砂顆粒和膠体顆粒就一起沉淀，形成混合結構。

此种混合結構的整体，虽也能支承上面的載重，但由于大孔隙中的土团压缩較少，依然保持着軟狀，一經擾动，其結構及連結作用就受到破坏，强度就减小。故在工程施工时，尤其

以基础工程或路堑挖方段，必須使基底标高以下土壤的結構不受擾动，因为土的結構受到破坏后，将会引起一般設計时所估計不到的建筑物下沉以及基地的强度减小。对于結構不坚固的土来说，一切保护其天然結構的措施，应该特別小心地进行。

4. 土壤的成份 一般土壤的組成包括矿物顆粒（土粒）和填充孔隙的水份与气体，如图4所示。

由于土壤是固体、液体、气体三种物体的組合体，因此就称它为“三相体”。在建筑路基时，实际上所遇到的都是三相体土壤。

固体顆粒是数量不同、形状不同的矿物質和有机物的混合物。固体顆粒以外的孔隙主要决定于顆粒的大小和形状；因此，这也决定了

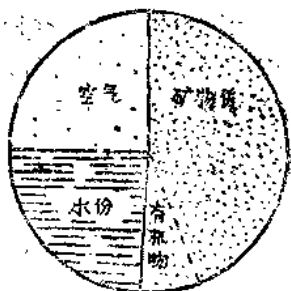


图4 土壤的組成

可以容納其他两种体态（即液体和气体）的容积。

土壤孔隙中的液体——水份，包含三种不同状态存在于土壤孔隙中，即重力水、粘結水和毛細管水三种，如图5所示。

重力水也叫游离水，就是水份本身在重力作用下，能在土壤孔隙中移动的水份，也就是可以由于地心吸力作用而排洩掉的水份。

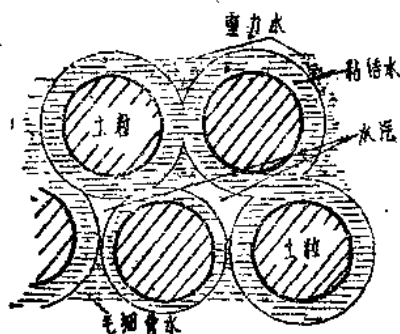


图5 土壤孔隙中的水份

粘結水也叫薄膜水；它是以薄膜的形式包圍在土粒的周

围。粘結水与土粒粘結的强度是随着粘結水与土粒表面間距离的加大而減小的。

毛細管水是水份沿着土內的孔隙而上升的水。有关毛細管水的作用詳見第二章。

同时，也会由于某种作用和情况，水份能轉为水气，而成为气体存在于土壤孔隙中；也会由于另外一种作用和情况，水气又能凝聚成为水份，回复到液体状态。

土壤中的气体，有时是与大气相貫通的，有时是封閉在土壤內。气体在土壤中所占的体积，由土壤的密度及水份的填充程度多少而定。

第二章 土壤的物理性質

土壤的物理性質，与公路建筑关系最大的有：比重、密度、滲透性、压縮性、彈性、塑性、收縮、膨脹、毛細管作用及土壤的含水量等。

由于土壤是固体、液体和气体三者的混合物，即第一章所說的三相体，故它就具有以上各种物理性質。

5. 土壤的比重与密度 干土顆粒的重量和攝氏4°时同体积水的重量之比称为比重；簡單地說，即固体顆粒重量与其体积的比。

土顆粒的比重，可用比重瓶測定。大多数土的顆粒比重，都在2.5~2.8之間。表2所列為一般工地上常遇到的土壤的比重。

各种土壤的平均比重

表 2

土 壤 名 称	颗粒的平均比重
砂土	2.65
亚砂土(砂质壤土)	2.67
粉土	2.68
砂质粘土	2.70
重砂质粘土	2.71
细砂质粘土	2.70
粘土	2.72

要测定土粒的比重，也是土壤基本试验之一，它可用作其他试验计算的根据，如孔隙比、饱和度以及颗粒分析等。

密度又称为容重，是土壤单位容积的重量，简称单位重。

土壤的密度与纯固体或液体的密度不同，因为土壤孔隙内含有水份与空气。密度的单位以克/立方公分或公斤或公吨/立方公尺表示。

密度和土壤的结构与组织有关，也就是和土壤中孔隙体积有关，同时也与含水多少有关。要测定密度，必须在天然状态下不使土壤结构受到扰动及水份不能蒸发。因此，同一种土壤的密度变化范围可能十分大。

通常见到的土是含有水份和孔隙的，在这种情况下，它的重量要比比重轻得多，包括有孔隙和水份在内的土重称为湿容重，去掉水份后就称为干容重。它们的单位以克/立方公分或吨/立方公尺表示。例如有20立方公分的湿土重量是28克，烘干后是24克，则它的湿容重是 $28/20=1.4$ 克/立方公分，干容重是 $24/20=1.2$ 克/立方公分。

在野外确定土壤密度的标准如下:

(1) 疏松的土壤——鏟能自由地鏟进土中，将土块抛出时成为碎粒，用勺鑽旋轉时，易鑽入土中。

(2) 压实的土壤——用脚可将整个鏟片压进土中，所抛出的土块抛出后成大小不一的颗粒，勺鑽旋轉10次，能钻入土中15~20公分。

(3) 密实的土壤——鏟进土中困难，鏟片不能一次压入土中，土块用手使力才能打碎，勺鑽旋轉困难，一人重量压于活动夹持器上旋轉10次，勺鑽可进入土中10~15公分。

(4) 很密实的土壤——鏟不能掘进土中，挖土时，要用洋鎚和铁錐，有时要用楔，土块用手不能打碎，鑽探只能用螺旋鑽进，并以一、二人的重量压于活动夹持器上来进行；螺旋鑽进入土中很困难，旋轉10次鑽入約5~7公分。

6. 土壤的渗透性与压密性 土壤由于水的压力作用，使水份在其内部流动或通过，这种性质称为渗透性。土壤中的渗透现象，影响土壤性质很大；如单位重的改变。

渗透性与土壤的颗粒大小有关。粘土的渗透性几乎没有，因水份在粘土颗粒内很难流动或流动甚小，故有时称为抗透性土壤。砂、砂料等内部孔隙较大，水份在内容易流动，故又称为渗透性土壤。土壤经过压实后，其密度能提高，也就是土体内孔隙能减小，因此压实可减小土壤的渗透性。

土壤的渗透性，常用渗透系数“ K ”来表示。其意义为水份在水压坡度 I 等于一时渗入土壤的流速 V 。

$$\text{由图6可得: 水压坡度 } I = \frac{h_a - h_b}{L} = \frac{h}{L}。$$



图 6 水份在土内流动情况

水份流入土壤的流速 V ，等于渗透系数 K 与水压坡度 I 的乘积。

$$V = K \cdot I = K \frac{h}{L} \quad (\text{达西公式})$$

K 值视各种土壤颗粒成份不同而变化，如表 3 所列。水压坡度 值如表 4 所列。

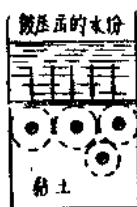
各种土壤的 K 值 表 3		各种土壤的 I 值 表 4	
土 壤 名 称	K (公尺/昼夜)	土 壤 名 称	I 值
粗砂	11~18	極粗砂	0.002~0.005
細砂	1~9	砂土	0.008~0.015
松的亚砂土(砂質壤土)	1~9	亚砂土(砂質壤土)	0.02~0.05
密实的亚砂土(砂質壤土)	0.1~0.9	亞粘土(粘土質壤土)	0.05~0.15
亞粘土(粘土質壤土)	0.01~0.08	粘土	0.15~0.20
粘土	0.001~0.008		

土壤受到压力而体积减小，此种性質称为压缩性；土壤受到压力而不被压缩，此种性質称做抗压性。土壤有的可压缩，有的不可压缩。

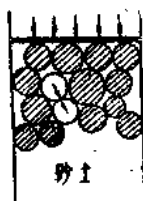
颗粒較小的土壤如粘土，因有孔隙和含有水份的关系，故

易于压缩，其压缩性很大，但压缩完成的时间很慢；而颗粒较大的土壤如砂、砾则与粘土的压缩情况相反。因前者的颗粒未能安排成适宜的位置，由于受到压力后孔隙中水份被压出，如图7a)；而后者颗粒之间有相互的接触故不易压缩，如图7b)。

压缩性土壤，可用压力将土内的孔隙减小，或将水份压出，或将土壤颗粒挤至适当位置，以增加其稳定。路基或基地的压实，也就是这个道理。至于路堤填土压实后还有沉降现象，则说明



a) 压缩性土壤



b) 抗压缩性土壤

图7 压缩性与抗压缩性土壤

在施工过程中没有很好地将土壤压缩，也就是没有将土壤压实至最大的密度。

7. 土壤的弹性与塑性 土壤受到压力而发生变形，当压力除去后可恢复至原来形状的，也有当压力除去后不能恢复至原来形状的；前者土壤性质称为弹性，后者土壤性质称为塑性。

土壤受到压力后将发生二种变形情况：一是向下沉降，二是向左右突起，如图8a)、b)所示。压缩性土壤受压下沉，主要是内部孔隙的减小或水份被压出。左右突起也称横流，它是土壤移动现象的一种，在土壤失去稳定性时发生。稳定性是土壤支承重量的能力。横流的发生，是因为内部水份或孔隙不一定受压而减少，所以造成左右突起，其情况与弹性土壤相同，但荷载重除去后不能恢复原状，如图8b)所示。

粘性土壤由于含水程度不同，可具有三种状态：(1) 固体状态；(2) 可塑状态；(3) 流动状态。含水量的变化，使土壤

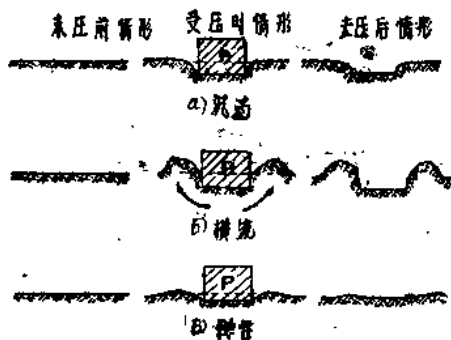


图8 土壤性質比較

由这一种状态变到另一种状态的这一种变化过程，常用来当作土壤的一种极其重要的特性。土壤由固体状态变到可塑状态，或由可塑状态变到流动状态时，含水量的测定有极大的意义。

为了测定土壤的塑性，就要对各种可塑状态限度（液限和塑限）的各种含水量加以测定。

（1）液限——是土壤由可塑状态转为半液体流动状态的界限；当含水量达到液限时，土壤的承载能力在大多数情况下都很小。

（2）塑限——是土壤由固体状态变为可塑状态的界线上时所具有的这种含水量。当这种含水量再增加时，土壤的承载力就减低。

液限和塑限也称为塑性的上限和下限。

表示土壤的可塑程度用塑性指数来表示。土壤的塑性指数根据液限和塑限的数值来计算，也就是用液限和塑限的差数来表示。