

高等学校教学用书

土力学地基和基础

铁道部教材編輯組选編

人民铁道出版社

高等学校教学用书

土力学地基和基础

铁道部教材編輯組选編

江苏工业学院图书馆
藏书章

人民铁道出版社

一九六一年·北京

本書系鐵道部教材編輯組選編，推薦作為高等學校教學用書，適用“橋梁隧道”和“鐵道建築”專業。

全書分十六章，分別敘述：土的物理力學性質；土中應力分布和沉落；地基的容許承壓力；天然地基上基礎的設計和計算；淺基礎的施工；樁和樁基的構造、計算、設計和施工；水中基礎的修築；沉井、氣壓沉箱等的計算、設計和施工；深基坑的特殊修築法；人工地基；軟土地基和黃土地基；機器基礎；地震區中建築物基礎。某些章的後面都有一個大算例，闡明該章的主要內容，對讀者起總複習作用。在本書的後面，另增編“土壓力”和“管柱基礎”兩章。

本書除採用我國目前所用的地基基礎規範外，還引用了蘇聯最新頒布的ННТУ-127-55和ТУПМ-56兩本新規範。

本書是在唐山鐵道學院土力學地基基礎教研組編寫的“土力學地基和基礎”一書（1958年高等教育出版社出版）基礎上修改和補充而成的，參加編寫者為唐山鐵道學院土力學地基基礎教研組吳炳焜、劉成宇、林敏生、劉英堂等同志。

高等學校教學用書
土力學地基和基礎

鐵道部教材編輯組選編

人民鐵道出版社出版

（北京市霞公府17號）

北京市書刊出版業營業許可証出字第010號

新華書店科技發行所發行

各地新華書店經售

人民鐵道出版社印刷廠印

書號 1762 開本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ 印張 $29 \frac{3}{4}$ 字數 659 千

1958年9月第1版

1961年7月第2版第5次印刷

印數 2,000 冊 [累] 9,300 冊 定價 (10) 3.95 元

目 录

序.....	1
緒論.....	2

第一章 土的物理和力学性质

§ 1-1. 土的組成.....	6	§ 1-8. 土的冻结.....	20
§ 1-2. 土各相的指标.....	7	§ 1-9. 土的基本力学性质.....	20
§ 1-3. 土粒.....	10	§ 1-10. 孔隙水在重力作用下的运动.....	22
§ 1-4. 土中水分形态.....	13	§ 1-11. 土的压缩性.....	26
§ 1-5. 粘性土的物理和物理化学性质.....	15	§ 1-12. 渗透固结.....	28
§ 1-6. 粘性土的稠度.....	16	§ 1-13. 土的抗剪强度.....	31
§ 1-7. 土的分类.....	18	§ 1-14. 作为地基的天然土层的评价.....	38

第二章 土中应力分布和沉降

§ 2-1. 天然地基的沉降.....	40	§ 2-6. 总沉降的求算.....	64
§ 2-2. 土的自重应力.....	40	§ 2-7. 基础由于相互影响及偏心荷载而引起的傾斜.....	73
§ 2-3. 地面上作用着集中荷载时, 土中的应力和变形.....	41	§ 2-8. 随时间沉降的计算.....	74
§ 2-4. 基础底面上的压力分布 (接触压力).....	44	§ 2-9. 荷载验算、基床系数.....	82
§ 2-5. 在荷载作用下, 土中 (均质且各向同性) 应力的分布.....	51		

第三章 地基的允许承载力

§ 3-1. 极限平衡条件.....	87	§ 3-4. 地基的允许承载力.....	105
§ 3-2. 填土的侧压力.....	89	§ 3-5. 算例.....	114
§ 3-3. 地基的临塑荷载和极限荷载.....	96		

第四章 天然地基上基础的设计和计算

§ 4-1. 概說.....	122	§ 4-5. 算例 (浅平基的设计) ——按“铁路桥涵设计规程”设计.....	136
§ 4-2. 天然地基上浅平基的类型.....	122	§ 4-6. 深平基的特殊考虑.....	143
§ 4-3. 基础的埋置深度.....	127		
§ 4-4. 墩台基础的设计.....	131		

第五章 浅基础的施工

§ 5-1. 基坑的构造和开挖.....	150	§ 5-3. 基坑排水.....	167
§ 5-2. 坑壁支撑的计算.....	158	§ 5-4. 基底的处理及圬工的砌筑.....	170

第六章 桩和桩基的构造与施工

§ 6-1. 桩和桩基的类型.....	171	§ 6-3. 打桩设备.....	179
§ 6-2. 各种材料的桩.....	173	§ 6-4. 桩基的沉桩方法.....	192

第七章 桩和桩基的计算与设计

§ 7-1. 考虑土的阻力求桩和桩基的允许承载力.....	197	§ 7-4. 作用在高桩承台基桩上的荷载.....	224
§ 7-2. 考虑桩的材料强度, 求桩的允许承载力.....	215	§ 7-5. 桩基的设计步骤.....	233
§ 7-3. 作用在低桩承台基桩上的荷载.....	221	§ 7-6. 算例——桩基础的设计.....	242

第八章 水中基础的建筑

- | | |
|------------------------------|---------------------------|
| § 8-1. 在水中修筑基础的方法.....251 | § 8-4. 用围堰法修筑水中基础.....277 |
| § 8-2. 保护基坑用的不同类型的围堰.....253 | § 8-5. 水中桩基的修筑.....291 |
| § 8-3. 钢板桩围堰的设计和计算.....262 | § 8-6. 浮运套筒和浮筒.....297 |

第九章 沉井基础

- | | |
|----------------------------|------------------------------|
| § 9-1. 沉井的适用条件及其种类.....301 | § 9-4. 水中修筑沉井基础的施工方法.....311 |
| § 9-2. 沉井的构造.....304 | § 9-5. 沉井的设计和计算.....320 |
| § 9-3. 在旱地上的施工.....306 | § 9-6. 算例——沉井的设计.....329 |

第十章 气压沉箱

- | | |
|----------------------------|----------------------------------|
| §10-1. 概說.....335 | §10-5. 沉箱工程的水力机械化.....358 |
| §10-2. 沉箱的构造.....336 | §10-6. 沉箱工作的安全技术問題.....363 |
| §10-3. 沉箱作业所用的机械設备.....341 | §10-7. 沉箱的设计和計算.....364 |
| §10-4. 沉箱的制造和下沉.....345 | §10-8. 算例——实心的鋼筋混凝土沉箱的设计.....371 |

第十一章 修筑深基坑的特殊方法

- | | |
|-------------------------------|---------------------|
| §11-1. 用“井点法”暂时降低地下水位.....376 | §11-3. 人工冻结.....385 |
| §11-2. 摆青灌注.....383 | |

第十二章 人工地基

- | | |
|--------------------|-----------------------------|
| §12-1. 换土法.....388 | §12-4. 电动法.....393 |
| §12-2. 沙桩法.....390 | §12-5. 各种加固地基土的适用范围.....394 |
| §12-3. 灌注法.....392 | |

第十三章 軟土地基

- | | |
|----------------------------|--------------------------------|
| §13-1. 軟土地基的种类.....396 | §13-3. 軟土地基上建筑的原则及具体措施.....397 |
| §13-2. 軟土地基对建筑物的危害.....396 | |

第十四章 黃土地基

- | | |
|--------------------------|--------------------------|
| §14-1. 概說.....401 | §14-4. 黃土地基的計算.....405 |
| §14-2. 黃土的成因及其分布.....402 | §14-5. 黃土地基的防护措施.....407 |
| §14-3. 黃土的物理力学性质.....403 | §14-6. 黃土地基的加固.....409 |

第十五章 机器基础

- | | |
|-----------------------------|--------------------------|
| §15-1. 概說.....412 | §15-5. 机器基础的振动計算.....418 |
| §15-2. 冲击或振动对地基土的影响.....412 | §15-6. 冲击式机器基础.....419 |
| §15-3. 与振动有关的地基土的特性.....413 | §15-7. 减小振幅的办法.....421 |
| §15-4. 机器基础的设计.....415 | |

第十六章 地震区中的建筑物基础

增篇 I 土压力

- | | |
|--------------------------|-----------------------------------|
| § 1. 兰金土压論.....426 | § 4. 土面和墙背为直綫的庫伦土压公式及其图解法.....438 |
| § 2. 兰金土压論的特点和应用.....430 | § 5. 几种特殊情况的近似解.....443 |
| § 3. 庫伦土压論.....432 | § 6. 土压論的发展和存在的問題.....447 |

增篇 II 管 柱 基 础

- | | |
|----------------------------|----------------------|
| § 1. 概述.....451 | § 4. 管柱基础施工.....462 |
| § 2. 装配式管柱和管柱基础的构造.....452 | § 5. 管柱基础的设计.....466 |
| § 3. 管柱基础的施工机具.....454 | |

再版說明..... 472

序 言

本书是根据唐山铁道学院土力学地基和基础教研组教师的讲稿加以整理和补充所得的结果。读者对象主要为铁道建筑、桥梁隧道等专业的学生、教师以及这方面的工程技术人员。

书中关于土力学部分讲得不够完备，尤其土的物理和力学性质（即第一章）部分，那就更简单了。因我们认为目前这方面已有不少著作可供参考，而且有些和试验有关的原理、方法和操作过程等似乎应该在试验指导书内详细阐明更为合适些。

基础部分的水中基础修筑法和深基础的分量，虽说偏多，但对桥隧专业来说，还是必需的。截到目前为止，这方面的理论还是研究得很不透彻，因此我们尽可能都对各种不同方法作了比较，并提出自己的看法。

我们自己最感不满的还是在整部书中关于中国实际情况和现场施工方法反映得太少了，这只好留待以后有机会时再作补充。还有一点最感不好处理的是：究竟应该遵循哪个技术规范。因为目前我国所用的地基基础规范都是参照苏联旧规范编订的，而苏联近年来已颁布了一批更能反映先进技术的新规范。这就使编著者陷入了困境，既不能抛弃目前我国仍在使用的规范，又要提到苏联方面新近颁布的各种新规范。结果讲解显得较凌乱，也可能两方面都落了空。尤其关于作用在基础上的荷载问题，我们认为似不应属于本书范围，故只在第四章作了一些原则性介绍。情况虽然如此，我们还是大胆地把有关的新规范中若干资料尽量地安插到各有关章节中去，并根据我们自己的肤浅体会，借第三章末的一个大例题阐明一下ННГУ127-55规范中各有关条文的应用。

在整本书中的若干章末后都附有一个大算例阐明该章的主要内容，对同学来说，它可起总复习的作用，好处很大。但有了大算例，就没有必要再放上小习题，以免重复。可是在教学过程中，我们认为教师自己还必需另编一些小习题给同学练习，以补此书之不足。

本书所依据的讲稿由吴炳焜同志开的头，其后由组中吴炳焜、林敏生、王深望和张式深四同志分别来写。最后经审查后的全稿主要由林敏生同志负责整理和编写。原稿承同济大学地基和基础教研组俞调梅同志提出很多宝贵意见，特在这里致谢。

由于出版时间仓促，书中错误和不妥当的地方一定很多，请读者大力指正。

唐山铁道学院

土力学地基和基础教研组

1957年3月

緒 論

“土力学、地基和基础”課程的目的和研究对象

我們人生活在地球上是有時無刻都不能脫離它的影響的。現在人的活動範圍和生活資料的獲得還都只限於地殼表層。土木工程中任何結構物的重量當然最後也必須支承在地殼表層上。例如火車在橋梁桁架上行駛，所有火車和桁架重量都傳到橋墩頂上。這些重量和橋墩自重又支承在最下部的基礎上；基礎最後是放在地殼表層，即我們工程師所謂地基上的。因此地基是所有結構全部荷載的支承者；結構物最低的和地基直接接觸的那部分叫做基礎。

工程上常把組成地基的那層對設計和施工有關的地殼表層物質叫作“土”。顯然我們這裡所用的“土”字意義和其他部門科學，如農業上的“土壤”是有些不同的。只要對結構物的設計和施工有關係的，即組成基礎的地基，不計深淺，整碎或外形如何，我們常一概稱之為土。因此作為地基的岩石也可包括在“土”這一名詞內。當然關於岩石是在工程地質中詳細研究的，我們以後不會再多次講到它；但它在許多情況下是組成地基的土，也是最理想最好的地基，這想必是大家都可了解的。

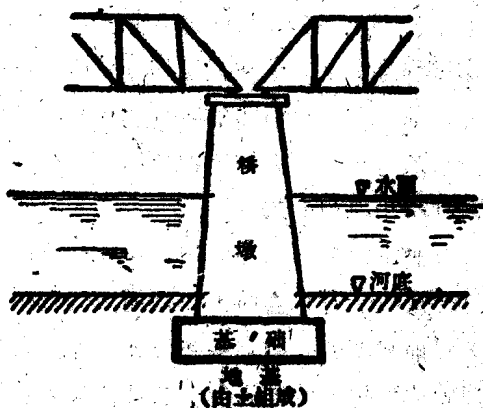


圖 1

既然結構物全部重量是經過基礎傳到地基上去，而地基又由土組成，那麼在結構物的設計和施工中我們必須研究土的力學情況就很顯然的了。在這門課程中的土力學就是為了這目的——保證地基土在結構荷載下沒有危害整個結構物的情形出現——而學習的。關於受荷載後土的作用須注意兩方面：

(1) 土的強度和穩定性——若荷載大過土的承載能力，那麼地基土會到達破壞狀況。這種破壞在土力學中稱為穩定性的喪失；有關問題可稱為穩定問題。土的穩定性要取決於它的強度。

土力學中穩定問題範圍很大，但在本課程中我們只研究地基土的穩定。其他如邊坡和土方的穩定等問題這裡不講了。

(2) 土的變形——即使地基上的荷載不會引起土的破壞，但由於地基土的變形，如壓縮，陷落等，仍能引起結構物所不能容許的沉落。這些沉落可能引起結構物的損壞或妨礙它的正常使用。事實上結構物的沉落常是地基承載力的基本論據。因此在本課程中我們要比較徹底地研究這一變形問題。

從上面所講我們可歸總地說，本課程在整個結構物的設計和施工中是不可缺少的部分。它

的研究对象为支承結構物全部荷载的地基和把荷载傳遞到地基去的那部分称为基础的地下結構；它的目的是使大家學習后能掌握地基和基础的設計和施工从而完成对整个結構物的設計和施工的知識。

本課程在培养铁道建筑和桥梁与隧道工程师工作中的重要性

铁道建筑和桥梁与隧道工程师的日常工作中几乎是經常和本課程所講各种問題接触到的。能想象一个铁道上的土建工程师在設計和施工中会不碰到或难得碰到关于土力学，地基和基础的問題么？当然这是絕對不可能的。因此本課程在培养铁道建筑和桥隧工程师工作中的确是不会有有人低估它的重要性的。

稍为具体些来說明一下。首先，在土力学部分中要研究土的变形和穩定，我們先須研究土的物理和力学性質。这些关于土的物理和力学性質知識，在土建工程中凡遇到土时随处都可用，实在也是土建工程师的基本知識。再則关于土的穩定性和变形性質，在其他專業或專門化課程中也占有重要地位；对本課程的地基和基础部分講，更是一种不可少的先修知識。

至于地基和基础知識是設計和建筑一个結構物不可缺少的部分，上面已經談到。事实上建筑一条铁道也可說是建筑形形色色各种各样的結構物(即使路堤也可称之为土結構物)，因此铁道土建工程师就会經常碰到結構物的地基和基础問題了。小如涵洞，多如路堤或則如大小桥梁、房屋、水塔等，哪样不是支承在地基上而須考虑基础的設計和施工問題的？由此也可看出這門課程实是铁道建筑技术的中心环节的有机組成部分。

同时本課程在某种意义上是第一次引导大家全面而比較深入地投身到土建工程的实践大海中去的。到現在为止大家已學了許多基础課基础技术課，当然也接触到了許多实际問題，不过究竟过去讀的还是基本理論多些。這門課程的性質就稍有不同了。不要看到这門課程还包括着一种力学——土力学——在內，而仍帶着些只搞搞計算数目字的精神来學習它。土力学中的土是件不大容易研究的东西；純理論还解决不了問題。研究土的力学决不能忘了土的性質的复杂性，因此不能片面地只要求理論的完整而忘了更重要的目标——如何运用力学原理去解决实际問題。实际情况有时簡單有时复杂，总之未必和白紙上几条黑綫条完全相同，因之在体会內容和做設計时应多多想到实际上可能遇到的情况。至于地基和基础的施工更不必說完全是跟着实际情况而变的了。严格地講起来，比較大的結構物每个有每个不同的地基和基础的問題；必須根据每个实际情况对症下药才能正确地、經濟地設計和建筑它們。因此，在學習本課程同时还必須随时注意观察和研究有关的自然現象和建筑实践。

這門課程的重要性还体現在另一完全不同方向上。由于旧中国在近百年来的半殖民地时期中技术落后，过去中国土建工程师对这样重要的土力学，地基和基础問題注意常是不够的。搬用些陈腐簡陋的理論和經驗草草地設計和建筑了的地基和基础常常引起結構物的崩坍或过分的沉陷以至不能使用。必須扭轉这种对結構物的最重要部分的忽視和因对它們的作用的愚昧無知而引起的損害。

祖國在這門科學上的成就

我們的祖國是世界上文化最悠久的古國之一。四五千年來勤勞智慧的先賢創造了無數光輝的文化和經濟建設業績，直到現在一提起就可使我們覺得自豪。因為土木工程是文化經濟建設極重要的一環，而任何土木工程又脫離不了土，地基和基礎，所以在四五千年來可考證的歷史上我們可舉出無數祖國勞動人民在本門科學上光輝的成就。

事實上有許多幾千年前的古建築現在都已不存在了，我們所能看到的只是他們基址的遺迹，即一直保存到現在的地基和基礎。古代文獻（韓非子）中春秋時代的人曾說到堯舜時期（約四千年前）的房屋建築是“堂高三尺，茅茨土階”，這說明了那時房屋的地基和基礎構造。類似的基址在河南安陽殷代宮殿或家廟發掘出來的遺迹中是發現過的。這些建築遺迹底下有高出地面的一個土台，上有排列的石礎，即柱基。我們祖先對土工是很精通的，象打夯、加石灰排夯等人工地基的處理老早就有很高的成就。這些方法不但用於地基也用於築土城等。如山東龍山鎮城子崖就發現有築於夏代（四千年前）高約 6 公尺，厚約 10 公尺，南北長 450 公尺，東西長 390 公尺的古城，到現在還很堅固。這些對土工上的經驗，以後又在修長城，各大河河堤等上得到了進一步的發展而達到了很完善的程度。

歷史上記載西周之初（三千年前）就曾建造過三次京城，規模一次比一次大。直到秦統一了中國更出現了馳名世界的大工程，如 2160 余年前開始修的阿房宮，據說主要的“前殿”建在極雄偉的高台上，東西五百步，南北五十丈，上面可坐萬人，台下可豎五丈高大旗，周圍都有閣道。象這樣的建築在地基和基礎上無疑是經過精心布置的。秦時又修築了有名的長城和貫通全國的馳道。這些都是規模極大的土工。

漢初曾建造了周圍二十八里的未央宮，前殿以龍首山作殿基。由於在封建時代皇帝可任意動員大量人力物力來興修都城和宮殿，所以歷史上許多可考證的有名建築多為宮殿祭壇等。例如我國首都北京由遼時（約千年前）就開始建築，直到明初花了十五年時間（1406~1421）經大規模改建營建才奠定了現在的形式。我們美麗的首都包括很多宏麗的古建築組，如故宮、太廟（現勞動人民文化宮）、天壇等。這些古建築若非地基和基礎布置和建造得非常合適堅固是不可能一直傳到今天的。

次於宮殿祭壇等古建築物中有名的是宗教建築，如寺廟、塔等。塔是高層建築，荷載既大而又最怕沉落，研究它的地基和基礎的問題當然是很有興趣的。因為宗教需要的很多塔是造在名山大剎內的，因此地基問題還不大。例如一直保存到現在的嵩山嵩岳寺磚塔，高達 40 公尺，已有一千三四百年歷史，當然是和地基的堅固分不開的。據說唐代武則天時在洛陽造的“天樞”是高百余尺的八角銅柱，徑大十二尺，這就引起了困難的地基和基礎問題。結果是用了周七十尺的鐵身做基礎的。

我國歷史上其他有名的土建工程極多，如大運河、海塘等，這些工程的修築都要解決極其複雜的土、地基和基礎問題，而我們祖先都是順利地解決了的。例如約在一千年前五代時修築的杭州灣大海塘是極偉大的石工岸壁，因造在軟土上很多處都是打樁的，可見我們的祖先老早就有解

决任何复杂的地基和基础問題的卓越能力。再如已有千余年历史的河北赵县跨度30多公尺世界第一次出現的大石拱桥通济桥能留存到現在无疑地也因地基選擇得当基础未出毛病才成功的。

解放前几十年由于外国的入侵使中国淪为經濟上极其落后的半殖民地，所以在本門科学上的成就和其他国家比起来就显得停滞不前了。現代化的建筑工程非但数量少，沒有規模很大的，而且仅有的也都由外国人經手修筑，使我国工程师在这方面絕少經驗。幸而1949年全国解放，中央人民政府成立，在共产党领导下我們开始了大規模的經濟建設才有可能使我国工程师有机会来發揮这方面的才能。在偉大的苏联无私的援助下，毫无疑問，我国劳动人民必然将发揚过去光荣傳統而会将这部門技术向前推进一步。如武汉长江大桥桥墩基础在苏联专家帮助下采用了盖世无双的管柱鑽孔法，大大地縮短了工期而且改进了施工条件，就是一个最明显的例子。

1958年以来我国經濟建設和科学技术大跃进取得了偉大的成就，反映在本門科学上也是碩果丰盈，美不胜收。过去所沒有的机具和施工方法在土洋結合巧妙安排下都得到了全面的应用和实践，而且取得良好結果，大大地帮助了基本建設加快速度。已完工和正在施工的規模龐大的工业与民用建筑，大桥、长隧道以及水利、海港等等形形色色建筑物无不包括技术极其复杂的基础工程，而我国劳动人民在党的领导下都已或正在一一順利地完成。这些实践經驗又反过来推动和提高了我国在土力学各方面的理論研究，新仪器、机具的制作和設計、計算的改进等等。現在在本門科学技术前面出現的是“百花齐放，百家爭鳴”的研究局面和設計、施工中大量最新技术的普遍应用。

本科学今后发展的方向和它在祖国社会主义建設中的地位

組成地基的土是很复杂的堆积物。近来我們虽比以前进了一步，稍为多知道了些它的物理力学性質，但离彻底了解它还很远。土力学还借用了連續体力学理論（用于固体的彈性、塑性力学和流体力学），这在有許多方面是不能認為滿意的。它的許多原理須要繼續发展和确定。

例如直到現在我們仍常把土当作个别碎粒的堆积体，在作力学計算时土粒之間及土粒和水之間的相互作用很难正确地考慮进去。当然这种机械看法早由苏联学者駁倒。但合理的处理法还未研究出来。这是迟早須解决的問題。

而且即使現有土力学知識如何不完备，不丰富，但利用已有結果到地基和基础的設計和施工上去到現在仍有些困难。把土力学知識全面地应用到地基設計上去是一个須解决的重要課題。

基础工程目前的缺点在于艰苦的人力劳动仍太多，即机械化程度不够。另一方面設計过分經驗化，還沒科学化的成套理論。总之不論在設計和施工上地基和基础技术的現代化是远落后于其他科学的。須要急起直追将这門重要技术放在更科学化和机械化的基础上。

第一章 土的物理和力学性質

§ 1-1. 土的組成

据地質学家說地球大陆地区表層約 75% 是碎散物質的堆积体，即工程上称之为土的地層。土，我們知道是岩石經風化作用后的产物，它們絕大多数都經過某些媒介，如水，風，冰川等搬运后再堆积成層的。風化后留在原处的殘积土数量不多，性質特殊，它的工程性質还未被深入地研究过。

以被搬运过的堆积土講，其中以由水搬运的沉积土(即地質学中所謂沉积岩的一部分)分布范围最广，一般建筑結構的基础都是造在这种土層上的。因此我們研究土时常以沉积土做对象，余如由風搬运的黃土在我国也很重要，但我們却將它当作特殊的土来看待了。

多数土既是風化后經過水搬运而沉积的，因此它視运途远近，沉积条件等因素可由大小和形狀十分不同的顆粒組成。在水中沉积时顆粒大小不同，沉积过程中受的水力風力等不同而使堆成的土層可有不同的構造，即顆粒間相互的組合位置。土的構造按基本形态大致可分为：

(1) 單粒構造——比較粗的顆粒下沉后堆积在一起时一顆靠一顆地互相支持着，它們之間是毫無粘聚力的。象沙就是这种單粒構造，如圖 1-1 a 所示。

(2) 蜂窝構造——比較細的顆粒在下沉时只要碰到已穩固地被支承着的顆粒就粘住不再下沉了，結果使堆成的土層有大孔隙，成所謂蜂窝構造，如圖 1-1 b 所示。

(3) 粒团或棉絮構造——最細顆粒在水中已接近膠体溶液，若不互相結成粒团就根本不会下沉。粒团沉积时又互相粘聚，因此使土成为有二度蜂窝形狀的所謂粒团構造的了，如圖 1-1 c 所示。

以上所說的只是几种基本構造。天然土層，特別是粘土層的構造常是混合形态的，远比这些要繁杂，除了大小悬殊的顆粒都有外还会掺杂着膠粒、粘土矿物、电解質等等，結果形成極不規則

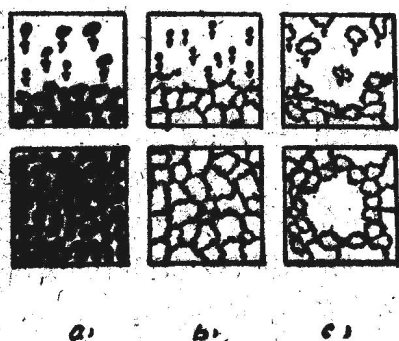


圖 1-1

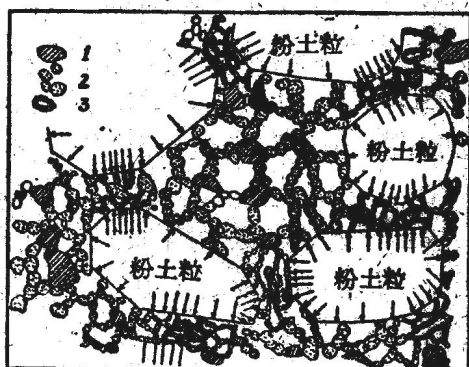


圖 1-2

1—粘土粒；2—稍致密的膠粒；3—極致密的膠粒。

的骨架式的海绵状构造,如图 1-2 所示。土的构造不同无疑地会大大影响它的物理和力学性质,如在荷载下的压缩程度和强度等。可惜目前在土力学的计算中还不能将这因素直接考虑进去。

堆积成土的颗粒我们常称之为骨架,它中间有许多孔隙。孔隙中有水或气体。因此实际上土是由好几种物质混合组成的,或者说它是多相的。矿物颗粒,孔隙中的水分和气体通常分别称为固相,液相和气相。有些土孔隙中没有水分,即干的,它虽是双相,但因气相的存在并不影响它的性质,所以只是简单的颗粒骨架。有些土的孔隙中充满着水分才是真正双相的。若孔隙中混杂地存在着水分和气体,土就为三相的了。在区别土的形态和作力学计算时常须知道单位体积土中各相体积或重量的相对变化,为此我们须有些所谓指标,有时又称“物性常数”。下节来一说明这些指标和它们间相互关系。

§1-2. 土各相的指标

取一塊土,它的体积和重量都可分为颗粒,水分和气体三相的三部分,如图 1-3 所示。当然在工程应用上气体的重量是可略去不计的。我们用的各组成部分符号如下。

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{总体积 } V \\ \text{总重量 } Q \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \text{颗粒体积 } V_0 \\ \text{孔隙体积 } V_1 \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \text{水分体积 } V_2 \\ \text{气体体积 } V_3 \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{颗粒重量 } Q_0 \\ \text{孔隙重量 } Q_1 \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \text{水分重量 } Q_2 (Q_1 = Q_2) \\ \text{气体重量} \end{array} \right\}$$

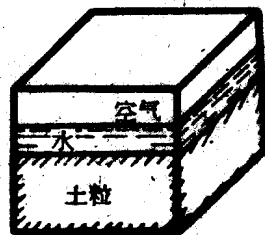


图 1-3

以下列举几种常用的指标和它的数值及其决定法:

(1) 颗粒比重 g_0 和颗粒容重 γ_0

颗粒比重指矿物颗粒的比重,这须由实验直接决定。因土粒的矿物成分的比重变化并不太大(约 2.5~2.8),不做试验而采用 $g_0 = 2.70$ 数值误差也不致过大。

颗粒容重指颗粒矿物的容重,即 $\gamma_0 = Q_0/V_0$ 。若所用单位为克/公分³,公斤/公升,吨/公尺³,则数值和比重相同。

(2) 容重 γ

容重指单位体积土(包括天然状态的三相在内)的重量,或 $\gamma = Q/V$ 。容重随土所含水分多少而变,即可有各种各样容重。通常所称的容重是指在现地天然状态下的,即天然容重或天然含水量容重。

容重须直接测定,方法很简单——用体积为 V 的环刀切土一块称出重量 Q ,即可求得。

(3) 含水量 w

一块土中水分的重量对颗粒的重量的比例叫做含水量,即 $w = Q_2/Q_0$ 。若这含水量是一块天然状态土的即叫做天然含水量,含水量通常用百分数表示。

含水量须在实验室内直接测定。取土一块称得重 W ,将其烘干后重 W' ,则 $w = \frac{W - W'}{W'}$ 。烘干通常是在 105°C 不变温度下进行的,至重量不变时就算干了。普通沙土烘一、二小时即够,

粘土須二十四小時以上。

(4) 干土容重 γ_d

干土容重指一塊天然狀態下單位體積的土內顆粒的重量，即 $\gamma_d = Q_0/V$ (圖 1-4)。注意若顆粒重量系烘干後求出，則土塊體積是指未烘前原來的體積。 γ_d 可由已知的其他指標數值計算求出：

$$\gamma = \gamma_d + \gamma_d w = \gamma_d (1 + w),$$

$$\therefore \gamma_d = \frac{\gamma}{1 + w}. \quad (1-1)$$

(5) 收縮容重 γ_c

收縮容重指烘干後單位體積土的重量。它的數值對粘土講和 γ_d 相差不少，而對沙土講和 γ_d 沒有多大區別。 γ_c 須由實驗測定，即稱出一塊烘干土重量和用水銀排出法等方法量出該干土塊體積即可求出。

(6) 孔隙量 n 和孔隙比 (或孔隙係數) e

孔隙量——孔隙體積對總體積的比，或單位體積土內孔隙的體積， $n = V_1/V$ ，

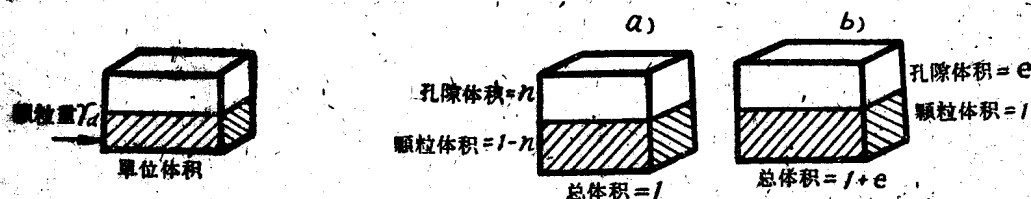


圖 1-4 孔隙比——孔隙體積對顆粒體積的比，或顆粒為單位體積的土內孔隙的體積， $e = V_1/V_0$ 。

由圖 1-5 a 得： $e = \frac{n}{1-n}$ 由圖 1-5 b 得： $n = \frac{e}{1+e}$ ；又 $1-n = \frac{1}{1+e}$ 。

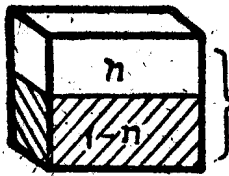
(孔隙) (顆粒)

對同一種土講， n 和 e 數值不同，但表示的是同一事實。為什麼有了 n 又要用 e 呢？因為 n 的數值會給人容易明白孔隙程度的觀念，如說 $n=30\%$ ，我們知道該土有 30% 的孔隙體積。這是好的一面。但 n 在作力學計算時有不方便處。如一塊土原來體積為 V ，受壓力後體積縮小為 V' ，那麼因受壓而縮減的體積為 $\Delta V = V - V'$ 。若假定土的體積縮小完全是因孔隙體積減少的緣故，即體積縮小是因孔隙體積由 v 減到 v' ，則 $\Delta n = \frac{v}{V} - \frac{v'}{V'}$ 。因分母值 V 和 V' 不同， ΔV 無法由 Δn 來表達。反之，若用孔隙比 e ，那麼 $\Delta e = \frac{v}{V_0} - \frac{v'}{V_0} = \frac{v-v'}{V_0} = \frac{\Delta V}{V_0}$ ， $\therefore \Delta V = V_0 \Delta e$ 。這裡 V_0 是土的不變的顆粒體積，因此孔隙比數值的变化可直接代表土體積的減少。這是以後在類似的力學問題中我們常用 e 而不用 n 的原因。

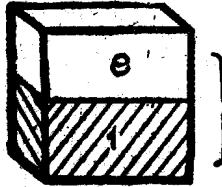
孔隙量 n 和孔隙比 e 值是沒法直接測定而須由其他指標數值計算的。如取干土一塊，則：

表 1-1. 各種土的孔隙量 n

土的名稱	未壓實的 粘土沉積	軟粘土	硬粘土	粉土和大孔 性沙質粘土	沙
$n(\%)$	90~70	70~50	30~15	50~25	50~25



$$\gamma_d = (1-n)\gamma_0; \therefore n = 1 - \frac{\gamma_d}{\gamma_0} \quad (1-2)$$



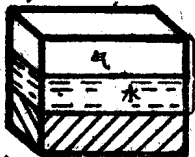
$$\gamma_d(1+e) = \gamma_0; \therefore e = \frac{\gamma_0}{\gamma_d} - 1 \quad (1-3)$$

圖 1-6

注意 n 数值永不能大于 100%，我們常以百分数表示之； e 可大于 1，我們不用百分数表示。表 1-1 示有各种土的孔隙量 n 。

(7) 潤湿度(或飽和度) G

潤湿度指孔隙中水分体积对孔隙总体积的比值，常用百分数表示，即 $G = V_2/V_1$ 。潤湿度是个計算数值，即若已求出土的含水量 w 和孔隙量 n 或孔隙比 e 即可計算出 G 以用 e 为例：

孔隙体积 = e

颗粒体积 = 1

总体积 = $1 + e$

圖 1-7

孔隙中水分重量 = $w(1 \times \gamma_0)$ ，

$$\text{孔隙中水分体积} = \frac{w\gamma_0}{\gamma_w} = wg_0$$

γ_w 为水的容重，

$$\therefore G = \frac{wg_0}{e} \quad (1-4)$$

G 值若等于零，表示土中無水，而其容重为干土容重。若 $G = 100\%$ ，即孔隙中充滿着水，我們說土是飽和的。飽和土已知 w 可求出 e ，或已知 e 可求出 w 。

要注意区别 w 和 G 的意义。对同一种土来講，即当 g_0 和 e 相同时， w 大了 G 当然也大。而 w 可大于 100%， G 永不会过 100%。对不同土講， w 的数值要看孔隙大小而定，完全不能表示土的飽和程度。例如一种土 e 很小，只 0.25，那么 $w = 10\%$ 时它可能已經是飽和的了；但另一种土若 $e = 1$ ，那么 $w = 10\%$ 时它的潤湿度才到約 27% 呢。要后一种土飽和， w 將为 37%。

(8) 各种容重的計算

天然土層的含水情形是可变的，如因气候变化，地下水的升降等等原因。因此土在不同情形下可有不同容重。上面我們已提到天然容重和干土容重。現在再来講一下某种 n 或 e 已測定的土在不同的 w 或 G 情形下各种容重的計算法。

a) 任何含水量 w 时的容重 γ

孔隙体积 = n 颗粒体积 = $1 - n$

总体积 = 1

$$1 \times \gamma = (1-n)\gamma_0 + (1-n)\gamma_0 w,$$

$$\therefore \gamma = (1-n)(1+w)\gamma_0, \quad (1-5)$$

孔隙体积 = e

颗粒体积 = 1

总体积 = $1 + e$

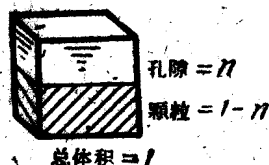
$$(1+e)\gamma = 1 \times \gamma_0 + 1 \times \gamma_0 w,$$

$$\therefore \gamma = \frac{(1+w)\gamma_0}{1+e} \quad (1-6)$$

圖 1-8

b) 饱和容重 γ_s :

孔隙中完全充满着水, 即 $G=100\%$ 时的容重。



$$\gamma_s = (1-n)\gamma_0 + n\gamma_w \quad (1-7)$$

$$\gamma_s = \frac{\gamma_0 + e\gamma_w}{1+e} \quad (1-8)$$

c) 水中容重 γ_b :

上面所讲饱和容重的土孔隙间虽然充满着水, 但它是在地下水水面以上的, 即毛细饱和。若一块饱和的土在地下水水面以下, 那么它要受到水的浮力(等于单位体积水的重量), 故得容重如下:

$$\gamma_b = \gamma_s - \gamma_w = (1-n)\gamma_0 + n\gamma_w - \gamma_w = (1-n)(\gamma_0 - \gamma_w), \quad (1-9)$$

$$\text{或 } \gamma_b = \gamma_s - \gamma_w = \frac{\gamma_0 + e\gamma_w}{1+e} - \gamma_w = \frac{\gamma_0 - \gamma_w}{1+e} \quad (1-10)$$

图 1-9

[例題] 一块体积为 12 公分³ 的天然土样重 20 克。烘干后称得重量为 16.5 克。若已测出颗粒比重 $\gamma_0=2.70$, 求这种土的: a) 天然容重, 天然含水量, 孔隙比和润湿度; b) 含水量减低一半和润湿度为 80% 时的容重; c) 饱和容重和水中容重。

a) 天然容重 $\gamma = \frac{20}{12} = 1.67$ 克/公分³ 或 1.67 吨/公尺³;

天然含水量 $w = \frac{20-16.5}{16.5} = 21.2\%$;

孔隙比 $e = \frac{2.7 \times 12}{16.5} - 1 = 0.96$;

润湿度 $G = \frac{0.212 \times 2.7}{0.96} = 59.6\%$ 。

b) 含水量减低一半(即 $w=10.6\%$) 时容重 $\gamma = \frac{(1+0.106) \times 2.7}{1+0.96} = 1.52$ 吨/公尺³;

润湿度为 80% (即 $w = G \frac{e}{\gamma_0} = \frac{0.8 \times 0.96}{2.7} = 28.4\%$) 时, 容重 $\gamma = \frac{1.284 \times 2.7}{1.96} = 1.77$ 吨/公尺³。

c) 饱和容重 $\gamma_s = \frac{2.7+0.96}{1.96} = 1.87$ 吨/公尺³;

水中容重 $\gamma_b = 1.87 - 1 = 0.87$ 吨/公尺³。

§1-3. 土粒

土的颗粒的矿物成分基本上取决于母岩的矿物成分。大致粗的颗粒主要成分是石英, 长石和云母。但若颗粒很细, 如粘土, 因经复杂的化学风化作用就会有些所谓次生矿物, 即粘土矿物产生了。主要的粘土矿物为高岭土、微晶高岭土、伊利水云母。这些粘土矿物活性大不相同。如高岭土最呆滞, 与水没有什么作用, 而微晶高岭土则与水的作用十分活跃, 因此粘土因所含粘土矿物的不同而性质也大有区别。土粒本身的矿物成分对工程意义是不大的, 但若因矿物成分关系发生颗粒间或颗粒与水间的相互作用而影响土的物理和力学性质, 这样就大有关系了。可惜这方面现在研究还远远不够。

虽然土力学内所研究的土是指整个堆积物的土层而非颗粒。但组成土的颗粒大小如何, 各

种大小粒徑顆粒占总重若干,在一定程度上可代表土的一些性質,以便进行分类。所以我們仍須注意一下土的顆粒的級配——即土中各种大小顆粒的含量。

要談級配首先須將顆粒按大小分分类才行。衡量顆粒大小一般都用“直徑”或“粒徑”。当然直徑只能球体才有,而土粒的形狀是極不規則的,塊狀,条狀,鱗片狀等等無奇不有,总之絕不会恰成圓球的。因此所謂粒徑只不过是指数某些特定試驗方法測出来的顆粒的某一有意义尺寸。如用篩分,那么粒徑是指和長軸正交最大断面的最寬尺寸。

顆粒應該照大小分类,以便于称呼。下表所示为目前一般使用的顆粒大小区分法:

因为 2 公厘以上的

表 1-2. 顆粒的名称

粗顆粒通常在研究和試驗土时認為是可分开算

的,所以实际上基本的顆粒是沙粒,粉土粒和

粘土粒三种。这里沙粒代表粗的,粘土粒最細,粉土粒介乎其間。

实际上土是由各种各样粒徑的大小不同顆粒組成的,換句話說若級配是以土中各种粒徑对该粒徑顆粒重量占总重量的百分数作出曲綫来表示,那么曲綫大致是連續的。用試驗方法来求出土的級配称为顆粒分析。

要做顆粒分析首先須將土样的顆粒完全分散。分散方法包括浸水、煮沸、攪拌和加化学品等,总之非但要使顆粒相互完全分离,尤其須注意結成粒团的最細粒也能脫离化学物理作用而离散。

顆粒分散后普通做顆粒分析时用两种不同方法測定粒徑大小:

(1) 篩分法——适用于粒徑在 0.1 公厘以上的粗顆粒,用一套标准篩,如篩孔为 10, 7, 5, 3, 2, 1, 0.5 和 0.25 公厘者八个,加底和盖叠在一起,孔小者在下。將干土样放入最上面一篩中,然后用搖篩机震动使細土粒下漏。称出遺留在每一篩和底盤上顆粒重量即可計算小于某一孔徑顆粒重量占总重量的百分数。

(2) 水分法——太細的顆粒不能用篩分(也做不出这样細的篩),而須另想办法来进行顆粒分析。粒徑在 0.25 公厘以下的顆粒現在我們一般利用因顆粒大小不同而在水中沉淀速度不同的原理来进行顆粒分析,即所謂水分法。水分法求顆粒在水中沉淀速度 v (公分/秒)通常用斯托克公式:

$$v = \frac{g(\gamma_0 - \gamma_w)}{18\eta} d^2, \quad (1-11)$$

式中: g ——重力加速度 = 980 公分/秒²;

γ_0 ——顆粒容重(克/公分³); γ_w ——水的容量(克/公分³);

η ——水的粘滯系数(达因-秒/公分²);

d ——顆粒直徑(公分)。

从这里可看出这样求出的直徑只是一种所謂等值粒徑,即不論什么形狀的一顆土粒若沉淀

速度和某一同样矿物质球体相同,我們即將該球体直径当作顆粒粒径。

根据斯托克公式可有多种多样的水分法,現在工程界常用的是比重計法。比重計法应用一种特制的量液体比重的比重計,在各时间去量顆粒开始沉淀后圓筒中某一深度处悬液的比重。由所得比重值可計算小于某粒径 d 的顆粒占总重的百分数 p 。关于各种顆粒分析法可參閱罗姆他捷:砂土和粘土的物理力学性試驗法(人民铁道出版社)第二章。

將一塊土样的篩分和水分法試驗結果以粒径为横坐标,小于該粒径顆粒占总重百分数为縱坐标繪出曲綫即可得一所謂級配(或粒径分配)曲綫,如圖 1-10。作这曲綫时常用半对数坐标,

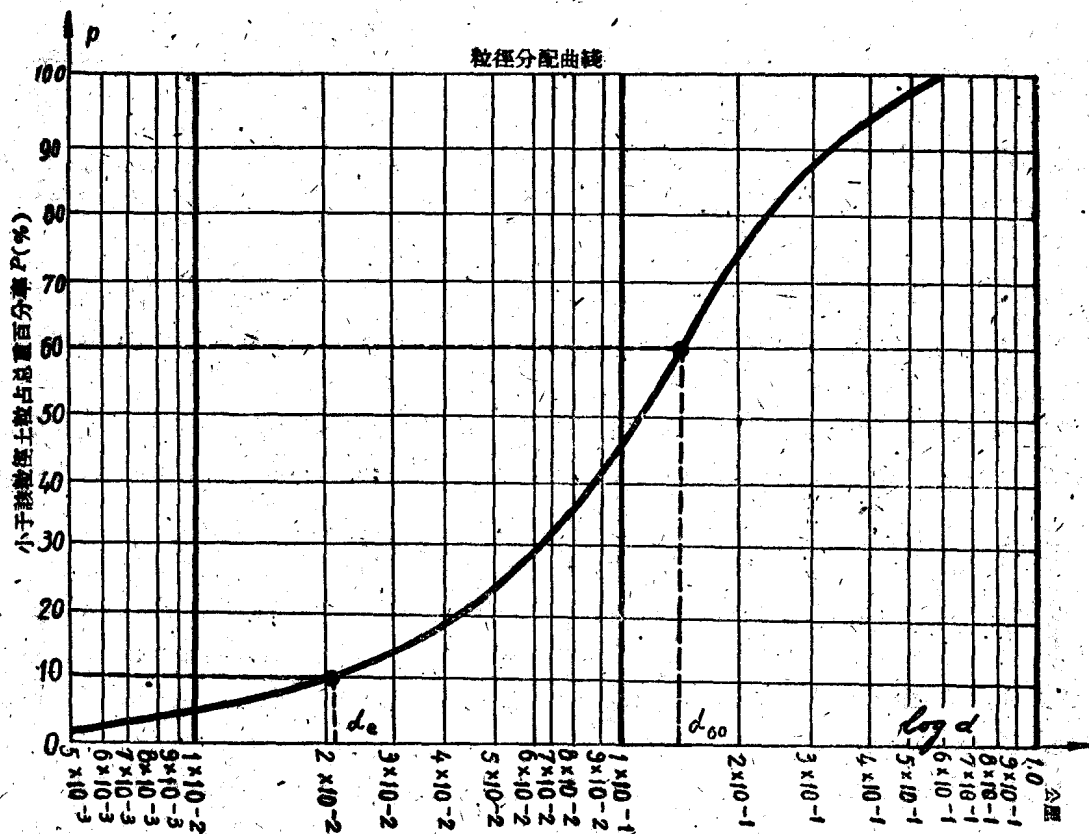


圖 1-10

即粒径用对数,这样便于使細顆粒部分也看得清楚。

相当于 $p=10$ 的粒径 d_e 通常称为有效粒径,这数值在用經驗公式决定沙的渗透性时用到。

級配曲綫若平緩,则表示顆粒各种大小都有,即土的成分是不均匀的;若比較陡直则表示顆粒均匀。若用 d_{60} 代表相当于 $p=60$ 时的粒径,則

$$K = \frac{d_{60}}{d_e},$$

称为不均匀系数。 K 值大了表示土粒不均匀;如 K 大于 5 一般可算是顆粒不均匀的土。

顆粒分析是將一塊土完全用人工攪散后去測量級配,因此結果只能得出顆粒情况。对实际