

138000

基本馆藏

土力學地基和基礎

上册



土力地質教研組資料	
第	号
總号第 284	号
57年11月24日	



3)323
837

唐山铁道学院

土力学地基和基礎教研組編

1957年9月

5(3)323

138000

02837

71



土力学地基和基础

上册

唐山铁道学院印刷厂印

前 言

本講義除了第五至第十章外，其余都來不及修改就付之鉛印了，因此在土力学部分（即第一至第四章）就沒有把苏联部長會議國家建設委員會所批准，于1955年正式頒布的“房屋和工業結構物天然地基設計标准及技術规范”的任何內容包括進去。同時還有一些章節（如大孔土地基、軟土地基、機器下的基礎，地震區基礎、和基礎類型的選擇等）也來不及寫。預計三個月內當可完成這些工作，希望看到這本講義的同志們能多給我們一些指正（在十一月底以前）。

本書最適于鐵道橋隧專業，也可用作工業與民用建築專業之教科書，亦可供現場工程師參考用。

唐院橋隧系土力学地基与基礎教研組

目 錄

緒 論

第一章 土的物理和力學性質

§ 1—1	土的組成	6
§ 1—2	土各相的指标	7
§ 1—3	土粒	11
§ 1—4	土中水分形态	13
§ 1—5	粘性土的物理和物理化学性質	14
§ 1—6	粘性土的稠度	16
§ 1—7	土的分类	18
§ 1—8	土的凍結	19
§ 1—9	土的基本力學性質	20
§ 1—10	孔隙水在重力作用下的运动	22
§ 1—11	土的压缩性	26
§ 1—12	渗透固結	28
§ 1—13	土的抗剪强度	31
§ 1—14	作为地基的天然土層的評价	35

第二章 土中应力分布和天然地基的沉落

§ 2—1	天然地基的沉落	37
§ 2—2	土的自重应力	39
§ 2—3	均一土層受滿布荷载时的沉落	40
§ 2—4	用等值層法計算均質土天然地基的沉落	41
§ 2—5	基礎底压力	44
§ 2—6	土中荷载应力的分布	46
§ 2—7	用分層總和法求天然地基的沉落	56
§ 2—8	随時間沉落的計算	60
§ 2—9	算例	65
§ 2—10	荷载試驗, 基床系数	80

第三章 土体的極限平衡

§ 3—1	極限平衡条件	84
§ 3—2	用軸压試驗測定土的抗剪强度	86
§ 3—3	地基变形階段	88
§ 3—4	臨塑荷載	90
§ 3—5	極限荷載	92

第四章 天然地基上基礎的設計和計算

§ 4—1	結構物基礎的类型, 構造及材料	97
§ 4—2	基礎的埋置深度	102
§ 4—3	天然地基的容許压力	104
§ 4—4	基礎的靜力計算	110
§ 4—5	鐵路桥墩基礎的設計算例	115
§ 4—6	深基礎的特殊考慮	124
§ 4—7	天然地基上的柔性基礎	129

第五章 淺基礎的施工

§ 5—1	基坑的構造和开挖	131
§ 5—2	坑壁支撐的計算	139
§ 5—3	基坑排水	148
§ 5—4	基底的处理及圻工的砌筑	151

第六章 樁和樁基的構造与施工

§ 6—1	樁和樁基的类型	152
§ 6—2	各种材料的樁	154
§ 6—3	打樁設備	160
§ 6—4	樁基的沉樁方法	172

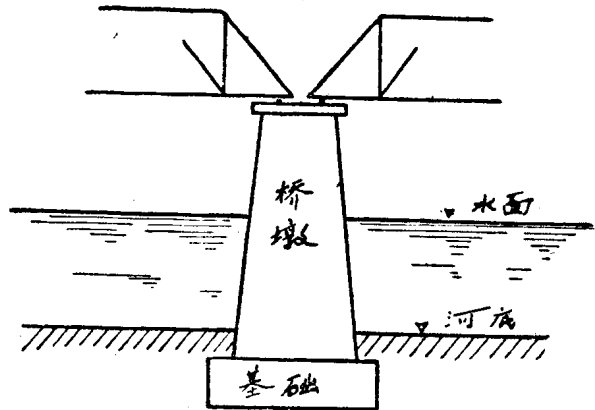
“土力学、地基和基礎”

緒 論

“土力学、地基和基礎”課程的目的和研究对象

我們人生活在地球上，是無時無刻都不能脫離牠的影響的。現在人的活動範圍和生活資料的獲得，還都只限于地殼表層。土建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。例如火車在桥梁桁架上行駛，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被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作基礎。

我們工程師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，即牠組成基礎的地基，不計深淺，整碎或外形如何，我們常一



地 基
(由土組成)

·圖 1

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，我們以後不會再過去講到牠；但牠在許多情況下是組成地基的土，也是最理想最好的地基，是想必大家都可了解的。

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，那么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。在本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——在建築實踐中，人們不止一次地觀測到過地基土的破壞情況。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牠的強度。

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。其他如土壓力已在結構力學中學過；邊坡和土方的穩定將在其他適當專業課程中學習。

(2) 土的变形——即使地基上的荷载不会引起土的破坏，但由于地基土的变形，如压缩，陷落等，仍能引起结构物所不能容许的沉落。这些沉落可能引起结构物的损坏或破坏它的正常使用。事实上结构物的沉落常是地基承载力的基本论据。因此在本课程中我们要比较彻底地研究这变形问题。

从上面所讲我们可归总地说本课程在整个结构物的设计和施工中是不可缺少的部分。他的研究对象为支承结构物全部荷载的地基和把荷载传递到地基去的那部分称为基础的地下结构；他的目的是使大家学习后能掌握地基和基础的设计和施工从而完成对整个结构物的设计和施工的知識。

本课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经常和本课程所讲各种问题接触到的。能想像一个铁道上的土建工程师在设计 and 施工中会不碰到或难得碰到关于土力学，地基和基础的问题么？当然这是绝对不可能的。因此本课程在培养铁道建筑和桥梁工程师工作中的确是不会有入低估他的重要性的。

稍为具体些来说明一下。首先在土力学部分中要研究土的变形和稳定我们先须研究土的物理和力学性质。这些关于土的物理和力学性质知识在土建工程中凡遇到土时随处缺可用，实在也是土建工程师的基本知识。再则关于土的稳定性和变形性质，在其他专业或专门化课程中，也占有重要地位，对本课程的地基和基础部分讲，更是一种不可少的先修知识。

至于地基和基础知识是设计和建筑一个结构物不可缺少部分上面已谈到。事实上建筑一条铁道也可说是建筑形形色色各种各样的结构物——即使路堤也可称之为土结构物——因此铁道土建工程师就会经常碰到结构物的地基和基础问题了。小如涵洞或如路堤或则如大小桥梁、房屋、水塔等那样不支承在地基上而须考虑基础的设计和施工问题的？由此也可看出这门课程实是铁道建筑技术的中心环节的有机组成部份。

同时本课程在某种意义上是第一次引导大家全面而比较深入地投身到土建工程的实践大海中去的。到现在为止已学了許多基础课基础技术课，当然也接触到了許多实际问题；不过究竟过去读的还是基本理论多些。到了这门课程性质就稍有不同了。不要看这门课程还包括着一种力学——土力学——在内而仍带着些只搞搞计算数目字精神来学习他。土力学中的土是件不大容易研究的东西；纯理论还解决不了问题。研究土的力学决不能忘了土的性质之复杂性，因此不能片面地只要求理论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。实际情况有时简单有时复杂，总之未必和白纸上几条黑线条完全相同，因之在体会内容和做设计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说完全是跟着实际情况而变的了，严格地讲起来比较大的结构物每个有每个不同的地基和基础问题，必须根据每个实际情况对症下药才能正确地、经济地设计和建筑他们。因此，在学习本课程同时还必须随时注意观察和研究有关的自然现象和建筑实践。

这门课程的重要性还体现在另一完全不同方向上。由于旧中国在近百年来的半殖民

地时期中技术的落后，过去中國土建工程师对这样重要的土力学，地基和基礎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礎常常引起結構物的崩坍或沉陷过分以至不能使用。必須扭轉这种对結構物的最重要部分的忽視和因对牠們的作用的愚昧無知而引起的損害。

祖國在这門科学上的成就

我們的祖國是世界上文化最悠久的古國之一。四、五千年來有才知的先輩創造了無數光輝的文化和經濟建設業蹟，直到現在一提起就可使我們覺得自豪。因为土木工程是文化經濟建設極重要的一环，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慮証的歷史上我們可举出無數祖國劳动人民在本門科学上光輝的成就。

事实上有許多几千年前的古建筑現在都已不存在了，我們所能看到的只是他們基址的遺跡，即一直保存到現在的地基和基礎。古代文献（韓非子）中春秋时人曾說到堯舜时期（約四千年前）的房屋建筑是“堂高三尺，茅茨土階”，这說明了那时房屋的地基和基礎構造。类似的基址在河南安阳殷代宮殿或家庙發掘出來的遺跡中是發現过的。这些建筑遺跡底下有高出地面的一个土台，上有排列的石礎，即柱基。我們祖先对土工是很精通的，像打夯，加石灰排实等人工地基的处理老早就有很高的成就。这些方法不但用于地基也用于筑土城等。如山东龍山鎮城子崖就發現有筑于夏代（四千年）高約6公尺，厚約10公尺，南北長450公尺，东西長390公尺的古城，到現在还很堅固。这些对土工上的經驗以后又在修長城，各大河河堤等上得到了進一步的發展而达到了很完善的程度。

歷史上記載西周之初（三千年前）就曾建造过三次京城，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余年前开始修的阿房宮，据說主要的“前殿”建在極雄偉的高台上，东西五百步，南北五十丈，上面可坐万人，台下可豎五丈高大旗，周圍都有閣道。像这样的建筑在地基和基礎上無疑是經過精心布置的。秦时又修筑了有名的長城和貫通全國馳道。这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，把前殿放在龍首山作殿基。由于在封建时代皇帝可任意动员大量人力物力來兴修都城，宮殿所以歷史上許多可考証的有名建筑多为宮殿祭壇等。例如我國首都北京由遼时（約千年前）就开始建筑，直到明初化了十五年時間（1406~1421）經大規模改造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筑組，如古宮、太廟（現劳动人民文化宮）天壇等。这些古建筑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。

次于宮殿祭壇等古建筑物中有名的是宗教建筑，如寺庙，塔等。塔是高層建筑，荷載既大而又最怕沉落，來看看牠的地基和基礎問題当然很有兴趣。因为宗教需要的很多塔是造在名山大刹內的，因此地基問題还不小。例如一直保存到現在的嵩山嵩嶽寺磚塔，高达40公尺，已有一千三四百年歷史，当然是和地基的堅固分不开的。据說唐代則天时在洛阳造的“天樞”是高百余尺的八角銅柱，徑大十二尺，这就引起了困难的地基和基礎問題。結果是用了周七十尺的铁身做基礎的。

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決任何複雜的地基和基礎問題的卓越能力。再如已有千餘年歷史的河北趙縣跨度 30 多公尺世界第一次出現的大石拱橋通濟橋能留存到現在無疑地也因地基選擇得當基礎未出毛病才成功的。

近百年來由於帝國主義者的侵略使中國淪為經濟上極其落后的半殖民地，所以在本門科學上的成就和其他國家比起來就顯得停滯不前了。現代化的建築工程非但數量少，沒有規模很大的，而且僅有的也都由帝國主義者經手修築，使我國工程師在這方面絕少經驗。幸而 1949 年全國解放，中央人民政府成立，在共產黨領導下我們開始了大規模助經濟建設才有可能使我國工程師有機會來發揮這方面的才能。在偉大的蘇聯無私的援助下，沒問題，我國勞動人民必然將發揚過去光榮傳統而會將這部門技術向前推進一步。

但是由於過去的落后若不積極學習蘇聯的先進技術要順利而正確地解決地基和基礎問題是不可能的。舊的觀點，陳腐的簡陋的不深入研究實際情況的作風在人們的頭腦中作怪還會影響這門科學前進的。例如關於京漢綏黃河大橋有些工程師關於基礎的毫無實際根據的看法是幸而經過蘇聯專家的研究才被拋棄的。又如在北京上海造高樓依過去老辦法是一定要打樁的。要打樁據說是為了土不好。但打了樁仍免不了沉落，可見這就非必需的。因此經蘇聯專家建議，現在大城市中許多高樓的基礎都不打樁，而採用了箱形基礎。再如武漢大橋橋墩基礎也是在蘇聯專家幫助下設計了蓋世無雙的管柱法，這大大地縮短了工期而且改進了施工條件。只有這樣吸取蘇聯先進理論和經驗，發揮創造性勞動精神才能推動這門科學向前進。

蘇聯在這門科學的成就

上面已經提到要使我國在土力學，地基和基礎這門科學上有新的成就必須學習蘇聯先進技術。蘇聯在這門科學上無疑地現在占着世界上十分卓越的地位。有許多蘇聯學者和工程師在多次五年計劃和偉大的共產主義建設中貢獻了無數新的理論和工作法。且不談比較早的，下面只提出幾項著名的和我們以後所講內容有密切關係的近代蘇聯成就來介紹一下：

1) 科學化的土的分類法和地基設計技術規範——現在蘇聯工程界所用土的分類法是最適合土的物性而且直接可應用於規定地地基承載力上去的。蘇聯地基設計技術規範（即中國現在借用的）是世界上最先進，最科學化的，因此牠所定出的地基容許壓力也是比較最可靠的。因引用了這些先進規範在地基和基礎的設計和施工中就可替國家省下了很大一筆資金。

2) 建築物沉落的研究和觀察——沉落對於建築物的重要性前已說明。目前蘇聯學者已提出了若干可靠的沉落估計法。而且鑒於地基土的複雜性，要絕對準確地估定沉落值究竟是不大可能的，因此必須要用建築物實際沉落觀察來校核理論和不斷修正牠使其更完善。這在蘇聯已大規模進行多年，而在偉大的共產主義建設中更為廣泛和深入地進行

着。像这样有系統有步驟科学化地对沉落的研究是任何其他國家所沒有的。

3) 施工的新方法——近來苏联在地基和基礎施工上不断有最新的好方法出現。例如用化学品和电通到地基中去將土加固，用震动法打樁，沉箱工作的水力机械化等等举不胜举，可說是我們學習不完的“資源”。在大規模建設的推动下相信会不断有更新方法陸續出現。

4) 黄土的研究——黄土在中國分布区域很广，是在西北、華北一部分地区做工程时常遇到的。中國过去对黄土的工程性質一無所知，而資本主义國家学者也对牠毫無認識。由于在苏联相当大区域内也有同样的土，苏联学者曾对牠的力学性質作了徹底研究而有了光輝成就。这是世界上最独特的貢獻。我國現在也在尽量利用苏联在这方面可貴的技術知識。

5) 土的凍結和永凍土——土在凍結时和永凍土的力学性質也只有苏联得到了全面的研究而取得了成就，現今世界各國無不在引用苏联学者研究結果。

以上不过介紹了苏联在本科上成就的少許例子。限于篇幅沒法來詳細地介紹更多内容，希望大家以后多多注意。

本科学今后發展的方向和它在祖國社会主义建設中的地位

組成地基的土是很复雜的堆積物，近來虽比以前進了一步稍为多知道了些牠的物理力学性質，但离徹底了解牠还很远。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。牠的許多原理須要繼續發展和确定。

例如直到現在我們仍常把土当作个别碎粒的堆積体，土粒之間及土粒和水之間的相互作用是略去不計的。当然这种机械看法早由苏联学者駁倒。但正确的处理法還沒研究出來。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礎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。

基礎工程目今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礎技術的現代化是远落其他科学之后的，須要急起直追將這門重要技術放在更科学化和机械化的基礎上。正如赫魯曉夫同志在全苏联建筑工作者會議上所指出的應該迅速將建筑工業工厂化，即多用預制鋼筋混凝土配件裝配房屋，基礎工程也应朝這方向走——尽量多用配裝式基礎。

第一章 土的物理和力学性质

§ 1-1 土的组成

据地质学家说地球大陆地区表层约75%是碎散物质的堆积体，即工程上称之为土的地层。土我们知道是岩石经风化作用后的产物，它们绝大多数都经过某些媒介，如水，风，冰川等搬运后再堆积成层的。风化后留在原处的残积土数量不多，地质特殊，它的工程性质还没有被深入地研究过。

以被搬运过的堆积土讲其中尤以由水搬运的沉积土（即地质学中所谓水成岩的一部分）分布范围最广，一般建筑结构的基礎都是造在这种土层上的。因此我们研究土时常以沉积土做对象，余如由风搬运的黄土在我国也很重要，但我们却将它当作特殊的土来看待了。

多数土既是风化后经过水搬运而沉积的，因此视运途远近，沉积条件等因素可由大小和形状十分不同的颗粒组成。在水中沉积时颗粒大小不同，沉积过程中受的水力风力等不同而使堆成的土层可有不同的构造，即颗粒间相互的组合位置。土的构造以基本形态讲大致可分：

(1) 单粒构造——比较粗的颗粒下沉后堆积在一起时一颗靠一颗地互相支持着，它们之间是毫无粘聚力的。像沙就是这种单粒构造，略如图1-1(a)。

(2) 蜂窝构造——比较细的颗粒在下沉时只要碰到已稳固地被支承的颗粒就粘住不再下沉了，结果使堆成土层有大孔隙或所谓蜂窝构造了，如图1-1(b)。

(3) 粒团或棉絮构造——最细颗粒在水中已接近胶体溶液若不互相结成粒团根本不会下沉。这时粒团沉积时又互相粘聚因此使土成为有二度蜂窝形状的所谓粒团构造的了，如图1-1(c)。

以上所说的只是几种基本构造，天然土层，特别是粘土层的构造常是混合形态的，远比这些要繁雜。除了大小悬殊的颗粒都有外还会掺着胶粒，粘土矿物，电解质等等，结果形成极不规则的骨架式的海绵状构造，如图1-2。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。可惜目今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，它是双相，

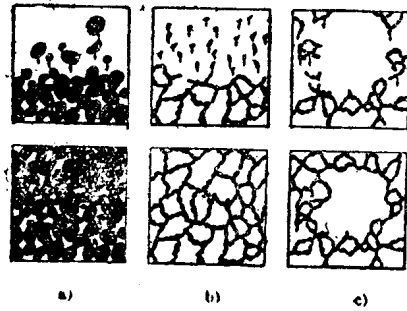
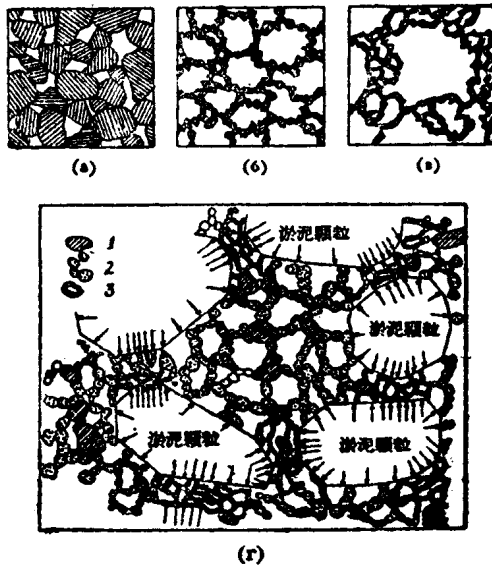


图 1-1

但因气相的存在並不影响牠的性質，只是簡單的顆粒骨架。有些土的孔隙中充滿着水分才真是双相的。若孔隙中混雜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計算时常須知道單位体積土中各相体積或重量的相对变化，为此我們須有些所謂指标，有时又称“物性常數”。下節來一一說明这些指标和牠們間相互关系。

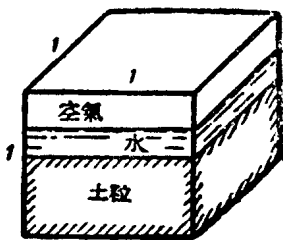


1——粘土粒； 2——稍致密的膠粒； 3——極致密的膠粒。

圖 1—2

§ 1-2 土各相的指标

取一塊土，牠的体積和重量都可分为顆粒，水分和气体三相的三部分，略如圖1—3所示。当然在工程应用上气体的重量是可略去不計的。我們用的各組成部分符号如下。



总体積 V	$\left\{ \begin{array}{l} \text{顆粒体積 } V_0 \\ \text{孔隙体積 } V_1 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{水分体積 } V_2 \\ \text{气体体積 } V_3 \end{array} \right.$
总重量 Q	$\left\{ \begin{array}{l} \text{顆粒重量 } Q_0 \\ \text{孔隙重量 } Q_1 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{水分重量 } Q_2 (Q_1 = Q_2) \\ \text{气体重量 } \text{——} \end{array} \right.$

圖 1—3

以下列举一下几种常用的指标和牠的數值及其決定法：

(1) 顆粒比重 g_s 和顆粒容重 γ_s 。

顆粒比重指礦物顆粒的比重，这須由实验直接決定。因土粒的礦物成分的比重变化

並不太大。不做試驗用 $g_s = 2.70$ 數值誤差也不致过大。

顆粒容重指顆粒礦物的容重，即 $\gamma_s = Q_s / V_s$ 。若所用單位為克/公分³，公斤/升，噸/公尺³則數值和比重相同。

(2) 容重 γ

容重指單位體積土，即包括天然狀態的三相在內的重量，或 $\gamma = Q / V$ 。容重隨土所含水分多少而變，即可有各種各樣容重。通常所稱容重是指在現地天然狀態下的，或稱天然含水量容重。

容重須直接測定，方法很簡單——用體積為 V 的直徑切土一塊稱出重量 (Q) 即可求得。

(3) 含水量 w

一塊土中水分的重量對顆粒的重量的比例叫做含水量，即 $w = Q_w / Q_s$ 。若這含水量是一塊天然含水狀態土的即叫做天然含水量。

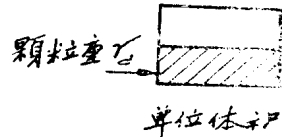
含水量須在實驗室內直接測定。取土一塊稱得重 W ；將其烘干後重 W' ，則 $w = \frac{W - W'}{W'}$ 。烘干通常是在 $105^\circ C$ 不變溫度下進行的，至重量不變時就算干了。普通沙土一、二小時即修，粘土須二十四小時以上。

(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 $\gamma_d = Q_s / V$ ，注意若顆粒重量係烘干後求出，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：

$$\gamma = \gamma_s + \gamma_w = \gamma_s (1 + w)$$

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



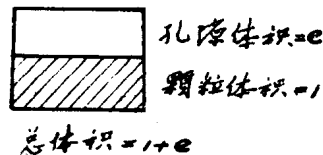
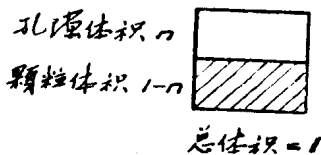
(5) 收縮容重 γ_c

收縮容重指烘干後單位體積土的重量。牠的數值以粘土講和 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， $n = V_v / V$ ，

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， $e = V_v / V_s$ 。



$$\therefore e = \frac{n}{1-n}$$

$$\therefore n = \frac{e}{1+e}; \text{ 又 } 1-n = \frac{1}{1+e}$$

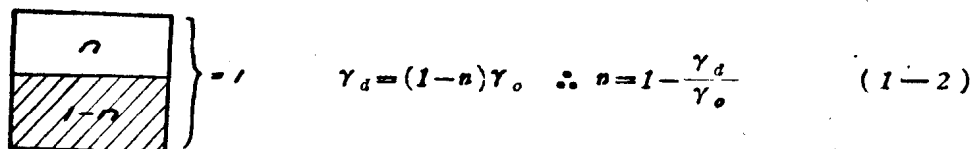
(孔隙) (顆粒)

对同一种土講 n 和 e 數值的不同表示的是同一事实。为什么有了 n 又要用 e 呢？因为 n 的數值会給入一容易明白孔隙程度观念，如說 $n=30\%$ 我們知道該土有 30% 孔隙体積，这是好的一面。但 n 在作力学計算时有不方便处。如一块土原来体積为 V ，受压力后体積縮小为 V' ，那么因受压而縮減的体積为 $\Delta V = V - V'$ 。若假定土的体積縮小完全是因孔隙体積減少的原因，即体積縮小是因孔隙体積由 v 減到 v' ，則 $\Delta n = \frac{v}{V} - \frac{v'}{V'}$ ，因

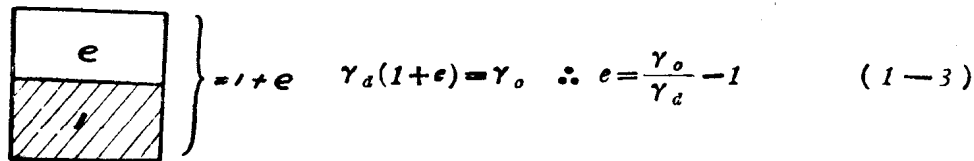
分母值 V 和 V' 不同 ΔV 無法由 Δn 來表达。反之，若用孔隙比 e ，那末 $\Delta e = \frac{v}{V_0} - \frac{v'}{V_0} =$

$\frac{v-v'}{V_0} = \frac{\Delta V}{V_0}$ ， $\therefore \Delta V = V_0 \Delta e$ 。这里 V_0 是土的不变的顆粒体積，因此孔隙比數值的变化可直接代表土体積的減少。这是以后在类似的力学問題中我們常用 e 而不用 n 的原因。

(7) 孔隙量 n 和孔隙比 e 值是沒法直接測定而須由其他指标數值計算的。如取干土一块，則：



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

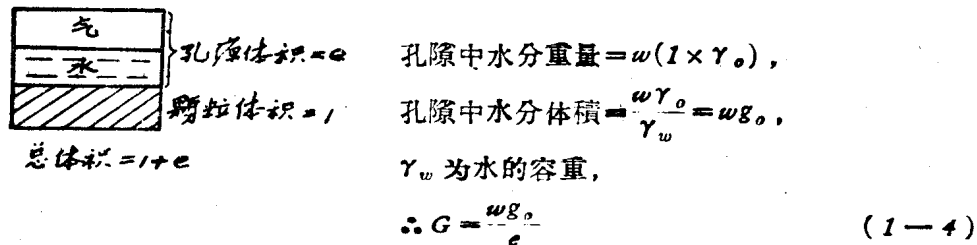


$$\gamma_d(1+e) = \gamma_0 \quad \therefore e = \frac{\gamma_0}{\gamma_d} - 1 \quad (1-3)$$

注意 n 數值永不能大于 100% ，我們常以百分數表示之； e 可大于 1 ，我們不用百分數表示。

(7) 潤湿度 G 。

潤湿度指孔隙中水分体積对孔隙总体積的比值，常用百分數表示，即 $G = V_2/V_1$ 。潤湿度是个計算數值，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 e 为例：



孔隙中水分重量 = $w(1 \times \gamma_0)$ ，
 孔隙中水分体積 = $\frac{w\gamma_0}{\gamma_w} = w g_0$ ，
 γ_w 为水的容重，
 $\therefore G = \frac{w g_0}{e} \quad (1-4)$

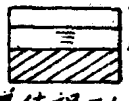
G 值若等于零表示土中無水，而其容重为干土容重。若 $G=100\%$ ，即孔隙中充滿着水，我們說它是飽和的。飽和土已知 w 可求出 e ，或已知 e 可求出 w 。

要注意区别 w 和 G 的意义。对同一种土来讲，即 e 和 c 相同时， w 大了 G 当然也大。而 w 可大于 100%， G 永不会过 100%。对不同类土讲， w 的数值要看孔隙大小，完全不能表示土的饱和程度。例如一种土 e 很小，只 0.25，那末 $w=10%$ 牠可能已经是饱和的了；但另一种土若 $e=1$ ，那末 $w=10%$ 时牠的湿润度才到约 27% 呢。要后一种土饱和和 w 将为 37%。

(8) 各种容重的计算

天然土层的含水情形是可变的，如因地下水的升降等原因。因此土在不同情形下可有不同容重。上面我们已提到容重和干土容重。现在再来讲一下某种 n 或 e 测定的土在不同的 w 或 G 情形下各种容重算法。

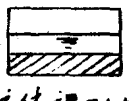
a) 任何含水量 w 时的容重 γ



孔隙体积 = n
颗粒体积 = $1-n$
总体积 = 1

$$1 \times \gamma = (1-n)\gamma_s + (1-n)\gamma_w w$$

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




孔隙体积 = e
颗粒体积 = 1
总体积 = $1+e$

$$(1+e)\gamma = 1 \times \gamma_s + 1 \times \gamma_w w$$

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


b) 饱和容重 γ_s

孔隙中完全充满着水，即 $G=100%$ ，时的容重。



孔隙 = n
颗粒 = $1-n$
总体积 = 1

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



孔隙 = e
颗粒 = 1
总体积 = $1+e$

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

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，但牠是在地下水面以上的，即毛细饱和和。若一块饱和的土在地下水面以下那末牠要受着水的浮力（等于单位体积水的重量），故得容重如下：

$$\begin{aligned} \gamma_b &= \gamma_s - \gamma_w = (1-n)\gamma_s + n\gamma_w - \gamma_w = \\ &= (1-n)(\gamma_s - \gamma_w) \end{aligned} \quad (1-9)$$

或

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

§ 1-3 土 粒

土的顆粒的礦物成分基本上要取決于母岩的礦物成分。大致粗的顆粒主要成分是石英，長石和云母。但若顆粒很細，如粘土，因經複雜的化學風化作用就會有些所謂次生礦物，稱為粘土礦物產生了。主要的粘土礦物為高嶺土，微晶高嶺土，伊利水云母。這些粘土礦物活躍性大不相同。如高嶺土最吊滯，和水沒有什麼作用，而微晶高嶺土則和水的作用十分活躍，因此粘土因所含粘土礦物的不同其性質也大有區別。土壤顆粒本身的礦物成分對工程師講意義是不大的；但若因礦物成分關係發生顆粒間或顆粒和水間的相互作用而影響土的物理和力學性質就大有關係了。可惜這方面現在的研究還很不夠。

雖然土力學內所研究的土是指整個堆積物的土層而非顆粒，但組成土的顆粒大小如何，各種大小粒徑顆粒占總重若干在一定程度上可代表些土的性質以便進行分類等。所以我們仍須注意一下土的顆粒的級配——即土中各種大小顆粒的含量。

要談級配首先須要將顆粒按大小分分類才行。談顆粒大小一般都說“直徑”或“粒徑”。當然直徑只能球體才有，而土粒的形狀是極不規則的，塊狀，條狀，鱗片狀等等無奇不有，總之絕不會恰成圓球的。因此所謂粒徑只不過是指用某些特定試驗方法測出來的顆粒的某一有意義尺寸。如用篩分那麼粒徑指和長軸正交最大斷面的最寬尺寸。

顆粒應該照大小分一下類別以方便於稱呼。下示目今一般在用的顆粒大小區分法：

粒徑 (mm)	名 稱
大於40	塊石或卵石
40~2	沙礫
2~0.05	沙粒
0.05~0.005	粉土粒
小於0.005	粘土粒

因為2mm以上的粗顆粒通常在研究和試驗土時，認為可分開算的，所以實際上基本的顆粒是沙粒，粉土粒和粘土粒三種。這裡沙粒代表粗的，粘土粒最細，粉土粒介乎其間。

實際上土是由各種各樣粒徑大小顆粒組成的，換句話說若級配是以土中各種粒徑對該粒徑顆粒重量占總重量的百分數作出曲線來表示，那麼曲線大致是連續的。用試驗方法來求出土的級配稱為顆粒分析。

要做顆粒分析首先須將土樣的顆粒分散才行。分散方法包括浸水，煮沸，攪拌和加化學品等，總之非但要使粒顆相互完全分離，尤其須注意結成粒團的最細粒也能脫離化學物理作用而离散。

顆粒分散後普通做顆粒分析看粒徑大小用兩種不同方法：

(I) 篩分法——適用於粒徑在0.1mm以上的粗顆粒。用一套標準篩，如篩孔為10, 7.5, 3, 2, 1, 0.5和0.25公厘者八個，加底和蓋疊在一起，孔小者在下。將干土樣放入最上面一篩中，然後用搖篩機震動使細土粒下瀉。稱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數。

(II) 水分法——太細的顆粒不能用篩分(也做不出这样細的篩)而須另想办法來進行顆粒分析。在0.25mm粒徑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澱速度不同的原理來進行顆粒分析,即所謂水分法。水分法求顆粒在水中沉澱速度*v*(公分/秒)通常用斯托克公式:

$$v = \frac{g(\gamma_o - \gamma_w)d^2}{18\mu} \tag{1-11}$$

式中: *g* = 重力加速度 = 980 公分/秒²;

γ_o = 顆粒容重 (克/公分³); γ_w = 水的容重 (克/公分³);

μ = 水的粘滯系數 (达因-一秒/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,即不論如何形狀的一顆土粒若沉澱速度和某一同樣礦物質球體相同我們即將球直徑当作顆粒粒徑。

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澱后圓筒中某一深度处筒內懸液的比重。由所得比重值可計算小于某顆粒直徑*d*顆粒占总重的百分數*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析法試驗結果以粒徑为橫坐标,小于該粒徑顆粒占总重百分數为縱坐标繪出曲綫即可得一所謂級配(或粒徑分配)曲綫,如圖1-4。作这曲綫时常用半对數坐标,即粒徑用对數,这样便于使細顆粒部分也看得清楚。

相当于*p*=10的顆粒*d*₁₀通常称为有效粒徑(圖中*A*点直徑)这數值在用經驗公式决定沙的滲透性时用到。

級配曲綫若平緩則表示顆粒各种大小都有;即土的成分是不均匀的,若比較陡直則表示顆粒均匀。若用*d*₆₀代表相当于*p*=60时粒徑(圖中*B*点直徑),則

$$K = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

称为不均匀系數。*K*值大了表示土不均匀;如*K*大于5一般可算顆粒不均匀的土。

顆粒分析是將一塊土完全用人工攪散后去測量級配,因此結果只能曉得顆粒情况。对实际上顆粒是粘聚在一起的土的物理力学性質牠不能供給多少資料。但組成土的各种大小顆粒的比例無疑可間接表示些土的性質,因此牠的結果常拿來对土進行分类。例如顆粒粗的沙和顆粒最細的粘土是可以大致区别一下的。但因我們只講个别顆粒大小而未考慮顆粒形狀及顆粒間和顆粒与水間的作用这样的分类法的用途仍是有限的。这点在粘土尤其重要。因沙土顆粒大相互和与水之間是没有什么作用的,用級配來分类大致还可

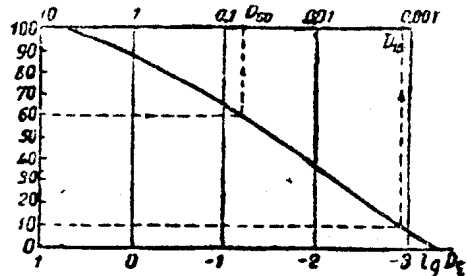


圖 1-4