

土力学与基础工程

席永辉 陈建峰 主编



同济大学出版社



新世纪土木工程高级应用型人才培养系列教材

土力学与基础工程

TULIXUEYUJICHUGONGCHENG

(第二版)

主编 席永慧 陈建峰



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书共有九章,主要介绍土的物理力学性质与工程分类、土中应力与地基变形计算、土的抗剪强度和地基承载力、土压力、土坡稳定与挡土墙、岩土工程勘察、浅基础和桩基础等。每章后面有思考题与习题,并附有参考答案。全书内容重点突出,实用性强,实例较多,便于自学。

本书为土木工程专业教学用书,也可作为相关专业师生及工程技术人员的学习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

土力学与基础工程 / 席永辉, 陈建峰主编. --2 版.

--上海: 同济大学出版社, 2017. 5

ISBN 978-7-5608-6772-4

I. ①土… II. ①席… ②陈… III. ①土力学—高等学校—教材②基础(工程)—高等学校—教材 IV. ①TU4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 037773 号

新世纪土木工程高级应用型人才培养系列教材

土力学与基础工程(第二版)

席永慧 陈建峰 主编

责任编辑 马继兰 责任校对 徐春莲 封面设计 陈益平

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn

(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 同济大学印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 14.5

字 数 362000

版 次 2017 年 5 月第 2 版 2017 年 5 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-6772-4

定 价 36.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

前 言

《土力学与基础工程》为新世纪土木工程高级应用型人才培养的教材,是针对土木工程高级应用型人才培养的需要而编写的。在编写中,理论的阐述以“适度、够用”为原则,侧重结论的定性分析及其在实践中的应用,强调理论联系实际,强调以应用能力培养为核心,并参照了我国土木工程最新设计与施工规范、规程、标准等。全书内容精炼,文字表达通俗易懂,并精选了典型的例题、思考题与习题,便于学生自习。

本书主要参照的国家现行规范有:《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)、《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001)(2009 版)、《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)、《土工试验方法标准》(GB/T 50123—1999)、《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330—2013)、《建筑基桩检测技术规范》(JGJ 106—2014)等。在编写时,参照了国家注册考试(如注册建造师、注册土木工程师、注册结构工程师)及土木工程其他科目职业资格考试的有关要求,同时,也参考了有关高等院校新编的同类教材。

《土力学与基础工程》是新世纪土木工程高级应用型人才培养系列教材中的一本,由席永慧、陈建峰主编,胡中雄、袁聚云主审。第 1—5 章由席永慧编写,第 6—9 章由陈建峰编写。

由于时间仓促,加之作者水平有限,书中如有错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者
2017 年 4 月

目 录

前言

0 绪论

1 土的物理性质及工程分类	(3)
1.1 土的形成	(3)
1.2 土的组成	(5)
1.3 土的三相比比例指标	(10)
1.4 土的物理状态指标	(14)
1.5 土的工程分类	(20)
1.6 土的渗透性	(23)
思考题	(26)
习题	(26)
2 土中应力计算	(27)
2.1 概述	(27)
2.2 土中自重应力	(27)
2.3 基底压力与基底附加压力	(29)
2.4 地基中的附加应力计算	(34)
思考题	(45)
习题	(46)
3 地基变形计算	(48)
3.1 概述	(48)
3.2 土的压缩试验及指标	(48)
3.3 地基最终沉降量计算	(53)
3.4 地基沉降与时间的关系	(61)
思考题	(68)
习题	(69)
4 土的抗剪强度和地基承载力	(71)
4.1 概述	(71)
4.2 土的抗剪强度与摩尔圆	(72)
4.3 土的抗剪强度测定方法	(74)
4.4 土的极限平衡条件	(79)
4.5 有效应力原理在抗剪强度中的应用	(83)
4.6 土抗剪强度的影响因素	(84)
4.7 地基承载力	(87)
思考题	(94)

习题	(95)
5 土压力	(97)
5.1 概述	(97)
5.2 静止土压力	(99)
5.3 朗金土压力理论	(99)
5.4 库伦土压力理论	(106)
5.5 朗金与库伦土压力理论的比较	(114)
思考题	(115)
习题	(115)
6 土坡稳定与挡土墙	(117)
6.1 概述	(117)
6.2 砂性土与黏性土土坡稳定分析	(118)
6.3 土坡稳定分析的几个问题	(121)
6.4 重力式挡土墙	(123)
思考题	(128)
习题	(128)
7 岩土工程勘察	(130)
7.1 概述	(130)
7.2 岩土工程勘察阶段	(130)
7.3 岩土工程勘察方法	(135)
7.4 岩土工程勘察报告	(143)
思考题	(147)
8 浅基础	(148)
8.1 概述	(148)
8.2 浅基础的类型	(149)
8.3 基础埋置深度的选择	(152)
8.4 地基承载力特征值的确定和验算	(154)
8.5 基础底面尺寸的确定	(162)
8.6 地基的变形和稳定性验算	(164)
8.7 浅基础设计	(166)
8.8 减轻不均匀沉降危害的措施	(182)
思考题	(186)
习题	(186)
9 桩基础	(188)
9.1 概述	(188)
9.2 桩的分类	(189)
9.3 竖向荷载下桩的受力特性	(194)
9.4 单桩竖向抗压承载力特征值	(198)
9.5 桩基础设计	(201)

9.6 基桩质量问题和桩身完整性检测 (217)

思考题 (222)

习题 (222)

参考文献 (224)

0 绪 论

1. 土力学、地基和基础的概念

人类的工程活动就是把各种各样的荷载作用在地壳表面的土(岩)层上。土和其他材料一样,受力后会发生变形及破坏。土是在第四纪地质历史时期地壳表面母岩经受强烈风化作用后所形成的大小不等的颗粒状堆积物,是覆盖于地壳表面的一种松散的或松软的物质。因此,土的性质变化非常复杂,它与母岩的性质、风化的程度、搬运的形式和距离以及沉积的环境和沉积的时间等因素有关。不同的土类有不同的特性。

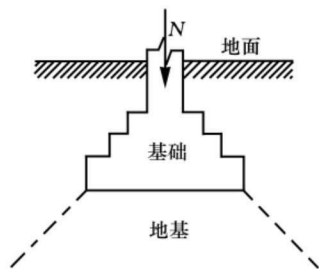


图 0-1 地基及基础示意图

在工程建设中,土往往是作为不同的研究对象。如在土层上修建房物、桥梁、道路、堤坝时,土是用来支撑建筑物传来的荷载,这时,土被用作地基;而在修筑土质堤坝、路基时,土又被用作建筑材料;另外,在修建隧道、涵洞及地下建筑等时,土是作为建筑物周围的介质环境。所以,土的性质对于工程建设的质量、性状等具有直接而重大的影响,研究土的力学性质,其主要目的就是为这方面的工程服务。

土力学是以传统的工程力学和地质学的知识为基础,研究土的应力、应变、稳定性和渗透性及其随时间变化规律的学科。

建筑物修建以后,其全部荷载最终由其下的土层来承担。我们把支撑建筑物荷载的那部分地层称之为地基(图0-1)。如果地基未经人工处理,称为天然地基;如果地基软弱,其承载力及变形不能满足设计要求时,则要对地基进行加固处理,这种地基称为人工地基。

建筑物向地基中传递荷载的下部结构称为基础,基础是建筑物的一部分。基础的结构形式很多,具体设计时应该选择既能适应上部结构、符合建筑物使用要求,又能满足地基强度和变形要求,经济合理、技术可行的基础工程方案。通常把埋置深度不大(一般不超过5.0m),只需经过挖槽、排水等普通施工工序就可以建造起来的基础称为浅基础,如条形基础、独立基础、筏形基础等。而把埋置深度较大(一般不小于5.0m)并需借助于特殊的施工方法来完成的各种类型基础称为深基础,如桩基础、地下连续墙、沉井基础等。

地基和基础是建筑物的根基,又属于隐蔽工程,它的勘察、设计和施工质量直接关系到建筑物的安危。工程实践表明,建筑物的事故很多都与地基基础问题有关,而且一旦发生地基基础事故,往往后果严重,补救十分困难,有些即使可以补救,其加固修复工程所需的费用也非常高。

2. 土力学与基础工程学科的内容和学习方法

各种土类成因的复杂性以及上部结构的多样性,这就是土力学及基础工程学科的特点。它是一门跨学科的综合性强、基础技术课程。它涉及的知识面很广,包括地质学、土质学、胶体化学、弹性力学、塑性力学、水力学、材料力学以及各种结构工程等方面的内容。

土力学作为土木类学科(土力学与基础工程学科)的理论基础,它主要阐述土的物理性质、力学性质以及两者之间的相关性。虽然物理性质对力学性质的影响目前还停留在定性水平上,但掌握这些影响因素,可以提高技术人员的判断力。

这里指的力学性质主要是土受力后所发生的应力、应变和强度的特性。学习这部分内容时(除理论部分外),非常重要的一点是掌握和熟悉土的力学性质的测试方法,因为土力学有很多概念就隐含在其中。例如,掌握了压缩试验及其曲线,就可以写出地基沉降的计算公式;掌握了三轴试验,土的极限平衡理论就不难理解了。土的固结理论一直被认为是个难点,在学习这部分内容时,一定要时刻记住土是一种由固体、液体和气体组成的三相体(非饱和)或由固体、液体组成的二相体(饱和),其传力机理与其他连续介质不同。它是通过孔隙水压力以及孔隙水压力的消散再传递到固体的骨架上的。所以,土中的应力有总应力、孔隙水压力和有效应力之分。因此,土的变形也好,强度也好,都是和时间有关的。这就是所谓的“有效应力原理”。虽然对应用型人才不要求掌握复杂的计算,但是有效应力原理的概念对学好土力学是至关重要的。

基础工程部分是指应用土力学的基本理论获得的各种土的参数怎样应用于工程设计中。学习这部分内容时,首先要掌握土与结构受力的概念。例如,根据土的反力来计算基础的尺寸和配筋;根据桩侧面上的摩擦力和桩底反力,就可以设计桩的长度和截面积;根据土压力的大小来设计挡土墙、桥台和地下室的墙等。值得注意的是,在进行具体工程设计时,除了符合基本原理外,还必须遵守相应的规范、规程以及某些经验性的要求。专业不同,规范的要求也不同。

在学习方法上,土力学与基础工程学科与一般的数学、力学不同,希望读者要掌握本学科的特殊性,着重理解各类概念的含义。例如,以土的重度而言,就有饱和重度、天然重度、有效重度、干重度等;饱和重度是用来计算总自重应力;在计算沉降时,自重应力应按有效重度计算;此外,土的压缩性也有弹性模量、压缩模量、变形模量等的不同。注意搞清概念,掌握原理,这是技术人员的基本功。

3. 土力学与基础工程学科与相邻学科及专业的关系

土力学与基础工程学科的许多理论都是在相邻学科研究成果的基础上发展起来的。例如,土的基本性质方面主要依靠矿物学、胶体化学和土壤学等,土的分类指标液限和塑限直接采用农业土壤的测试方法;土中应力分布采用弹性力学中的布辛奈斯克解的结果;强度方面涉及塑性力学的内容;地下水的渗流按达西定律考虑的等。因为土的性质的复杂性,在实际应用时会有一定的差距,有时要作经验性的修正,所以要注意学习理论联系实际的处理方法。

过去人为地把土木工程分割成工民建、桥梁、道路、水利和港工等,其实这些专业仅是上部结构的形式和受力特点不同而已,对下部而言,并无多大差异。例如,工民建专业主要重视地基的沉降对上部结构的影响;路堤和土坝主要受地基的稳定性控制;码头港口的桩多为高桩承台,除了承受竖向荷载,还承受水平荷载。随着教学改革的深入,专业分工的概念将逐渐淡化。所以,我们不能把自己的知识面限制在一个狭小的所谓“专业”的框框内,而应使自己成为一个能适应土木工程各个专业的通用人才。

1 土的物理性质及工程分类

学习重点和目的

本章介绍土的生成、土的组成、各种物理指标的定义及指标间的相互关系、土的状态、土的工程分类以及土的渗透性。这些内容是评价土的工程性质、分析与解决土的工程技术问题的基础,是国家有关注册工程师考试必须掌握的内容,所有的土木工程技术人员都必须熟练地掌握。

通过本章的学习,要求读者掌握土的物理性质指标的定义及相互换算的方法、判断其紧密状态和软硬程度的各种状态指标、土的分类方法。同时要求了解水在土中渗透的规律。

1.1 土的形成

1.1.1 地质作用与风化作用

岩石与土构成地球外表的地壳。在漫长的地质历史中,地壳的物质成分、形态和构造都在不断地发生变化。这种导致地壳成分、形态和构造变化的作用称为地质作用。

地质作用按其能源来源的不同可分为内力地质作用和外力地质作用。

内力地质作用是由于地球内部的重力、放射性元素蜕变产生的热能和地球产生的动能等引起地壳升降、陆海变迁、岩石褶皱与断裂、火山活动和地震活动等。

外力地质作用是由于气温变化、雨雪、山洪、风、空气、生物活动等引起的地质作用,如剥蚀作用、搬运作用、沉积作用等。

风化作用一般分为物理风化、化学风化和生物风化。物理风化是指岩石和土的粗粒受各种物理作用力及各种气候因素的影响,如温度的昼夜和季节变化、降水、刮风、冬季水的冻结等原因,导致体积变化而发生裂缝,或者在运动过程中因碰撞和摩擦而破碎,于是岩体逐渐变成碎块和细小的粒,但它们的矿物成分仍与原来的母岩相同,称为原生矿物。化学风化是指母岩表面和碎散的颗粒受环境因素(如水、空气以及溶解在水中的氧气和碳酸气等)的作用而改变其矿物的化学成分,形成新的矿物(也称次生矿物)。动物、植物和人类活动对岩体的破坏称生物风化,生物风化同时具有物理风化和化学风化的作用。

1.1.2 地质年代的概念

在地球形成至今的大约 60 亿年历史中,地壳经历了一系列的演变,形成了各种类型的地质构造、地貌以及复杂多样的岩石和土。地质年代是指地壳的发展历史、地壳运动、沉积环境及生物演变相应的时间段落。对建筑物场地进行工程评价时,离不开地质年代。在地质学中,把地质年代划分为太古代、元古代、古生代、中生代和新生代五大代,每个代又分为若干纪,每纪又分若干世及期。最近的地质年代是新生代第四纪,距今约 100 万年的历史。第四纪地质年代又可划分为更新世和全新世两类,如表 1-1 所示。工程上遇到的土都是在

第四纪地质历史时期内形成的。

表 1-1 土的生成年代

纪(或系)	世(或统)		距今年代/万年
第四纪(Q)	全新世(Q ₁)	Q ₁ ³ 晚期	<0.25
		Q ₁ ² 中期	0.75~0.25
		Q ₁ ¹ 早期	1.3~0.75
	更新世(Q _p)	晚更新世(Q ₃)	12.8~1.3
		中更新世(Q ₂)	71~12.8
		早更新世(Q ₁)	距今 71 万年以前

1.1.3 第四纪沉积物

地球表面的坚硬岩石长期受到风、霜、雨、雪的侵蚀和生物活动的破坏作用,逐渐破碎崩解成为大小悬殊的土,经过不同的搬运方式在各种自然环境下沉积下来,由于历史不长,只能形成未胶结的松散沉积物,这就是建筑工程中通常称的“第四纪沉积物”或“土”。不同类型的第四纪沉积物各自具有一定的分布规律和工程特征,根据地质成因的条件不同而有以下几种。

1. 残积土

岩石经风化作用后残留在原地的碎屑土物称为残积土。残积土没有分选作用和层理构造,与基岩之间没有明显的界限,矿物成分与基岩大致相同。该种土具有较大的孔隙,均匀性很差,作为建筑地基时易产生不均匀沉降。

2. 坡积土

高处的风化碎屑物经雨水或融雪及本身的重力作用搬运后,在较平缓的山坡上的土物称为坡积土。坡积土为不良地质条件。

3. 洪积土

由于暴雨或融雪等暂时性洪流冲刷地表,把山区或高地的大量风化碎屑物携带到山谷冲沟出口或山前平原而形成的土物称为洪积土。一般地,离山前较近的洪积土是良好的天然地基;离山较远地段的洪积土通常也是良好的天然地基;而在上述两部分之间的地区,是不良的建筑物地基。

4. 冲积土

由河流流水作用将两岸基岩及其上部覆盖的坡积土、洪积物质剥蚀后搬运、沉积在河流坡降平缓地带而形成的土物称为冲积土。冲积土分布很广,主要分为平原河谷的冲积土和山区河谷的冲积土。山区河谷的冲积土是良好的天然地基。平原河谷的冲积土则比较复杂。例如河床沉积土大多为中密砾砂,承载力高且压缩性低;河漫滩沉积土具有两层地质构造,上层承载力低,压缩性大,是不良建筑地基。

5. 淤积土

淤积土是在静水或缓慢的流水环境下沉积,并伴有生物化学作用而成的土物,有海相、湖泊相、沼泽相沉积土,一般土质松软,含水量高。

此外,还有冰积土和风积土。它们分别是在冰川地质作用和风的地质作用下形成的。

1.2 土的组成

土是由岩石经过物理风化和化学风化作用后的产物,是由各种大小不同的土粒按各种比例组成的集合体,土粒之间的孔隙中包含着水和气体,是一种三相体系,即土的固体颗粒称为固相;土体孔隙中的水称为液相;而孔隙中的空气则称为气相。土的H_v与颗粒之间的相互联结或架叠构成土的骨架。当土骨架的孔隙全部被水占满时,这种土称为饱和土;有时一部分被水占据,另一部分被气体占据,称为非饱和土;当骨架的孔隙仅含空气时,就称为干土。这三种组成部分本身的性质以及它们之间的比例关系和相互作用决定了土的物理力学性质。因此,研究土的性质,首先必须研究土的三相组成。

1.2.1 土的固相

土的固体颗粒是三相体系中的主体,它的矿物成分、H_v大小、形状与级配对土物理力学性质起决定性的作用。

1. 土粒的矿物成分

形成土粒的矿物成分各不相同,主要取决于成土母岩的矿物成分及其风化作用。成土矿物分为两大类:原生矿物和次生矿物。

(1) 原生矿物。原生矿物是由岩石经过物理风化生成的,其成分与母岩相同。它包括单矿物H_v (如石英、长石、云母等)和多矿物H_v (如漂石、卵石、砾石等)。

(2) 次生矿物。次生矿物是由原生矿物经过化学风化后形成的新矿物,其成分与母岩完全不相同,主要是黏土矿物,常见的黏土矿物有高岭土、伊利石和蒙脱石三类。

在风化过程中,由于微生物作用,土中产生复杂的腐殖质矿物,此外,还会有动植物残体如泥炭等有机物。有机H_v紧紧地吸附在无机矿物H_v的表面形成了颗粒间的连接,但是这种连接的稳定性较差。如土中腐殖质含量多,会使土的压缩性增大。有机质含量超过3%~5%的土应予注明,不宜作为填筑材料。

土H_v的成分、特点及对工程性质的影响如表 1-2 所示。

表 1-2 土颗粒的成分、特点及对工程性质的影响

固相构成		颗粒大小	特点及对土工程、力学性质的可能影响
矿物质	原生矿物	粗大,呈块状或粒状	性能稳定,吸附水的能力弱,T _v 性
	次生矿物(高岭土、伊利石和蒙脱石)	细小,呈片状或针状	① 高度的分散性,呈胶体性状,性质较不稳定;② 有较强的吸附水能力,含水率的变化易引起体积胀缩;③ 对于黏土矿物,它的结晶结构的不同,会带来土工程性质的显著差异;④ 具塑性
有机质		细粒和胶态	亲水性强,大量的有机质是不良的地基

2. 颗粒的大小和土的颗粒级配

天然土是由大小不同的颗粒组成的,土粒的大小称为粒度。土H_v的大小相差悬殊,从

大于几十厘米的漂石到小于几微米的胶粒。土 H 的大小与土的物理力学性质有密切的关系。例如,粗 H 的砾石具有很大的透水性,完全没有黏性和可塑性,而细 H 的黏土则透水性很小,黏性和可塑性较大。

1) 土粒粒组成分

工程上常用不同粒径 H 的相对含量来描述土的颗粒组成情况,这种指标称为粒度成分。天然土的粒径一般是连续变化的,为了描述的方便,工程上常把大小相近的土粒合并为组,称为粒组,如表 1-3 所示。粒组间的分界线是人为划定的,划分时应使粒组界限与粒组性质的变化相适应,并按一定的比例递减关系划分粒组的界限值。

表 1-3 土粒粒组的划分

粒组名称	粒径范围/mm	一般特性
漂石或块石 H	>200	透水性很大,无黏性,无毛细水
卵石或碎石 H	60~200	透水性很大,无黏性,无毛细水
圆砾或角砾 H	2~60	透水性大,无黏性,毛细水上升高度不超过粒径大小
砂粒	0.075~2	易透水,无黏性,遇水不膨胀,干燥时松散,毛细水上升高度不大
粉粒	0.005~0.075	透水性小,湿时稍有黏性,遇水膨胀小,干时稍有收缩,毛细水上升高度较大,易冻胀
黏粒	$d\leq 0.005$	透水性很小,湿时有黏性、可塑性,遇水膨胀大,干时收缩显著,毛细水上升高度大,但速度慢

2) 土的 H 大小分析试验

土中某粒组的土粒含量定义为该粒组中土粒质量与干土总质量之比,以百分数表示。土中各粒组的相对含量称为土的 H 级配。确定粒径分布范围的试验称为土的 H 大小分析试验。常用的试验方法有两种,对粒径大于 0.075mm 的土 P 用筛分析的方法,而对小于 0.075mm 的土粒则用密度计法和移液管法。

筛分法是利用一套孔径由大到小的筛子。将按规定方法取得的干土样倒入依次叠好的筛中,置于筛析机上震摇 10~15min。由上而下顺序称出留在各级筛及底盘上的土粒质量,即可求得各个粒组的相对含量。

密度计法是利用大小不同的土粒在水中的沉降速度不同来确定小于某粒径的土粒含量的方法,具体方法步骤详见《土工试验方法标准》(GB/T 50123—1999)等。

3) 土 H 级配曲线

H 分析试验结果可用表或曲线来表示。用表表示的常见于土工试验成果表(表1-4),如图 1-1 所示的为根据 H 分析试验结果,绘制的粒径级配曲线。

表 1-4 试样 b 筛分法颗粒分析表

筛孔直径/mm	20	10	2	0.5	0.25	0.075	<0.075	总计
留筛土质量/g	10	1	5	39	27	11	7	100
占全部土质量的百分比/%	10	1	5	39	27	11	7	100
小于某筛孔径的土质量百分比/%	90	89	84	45	18	7		

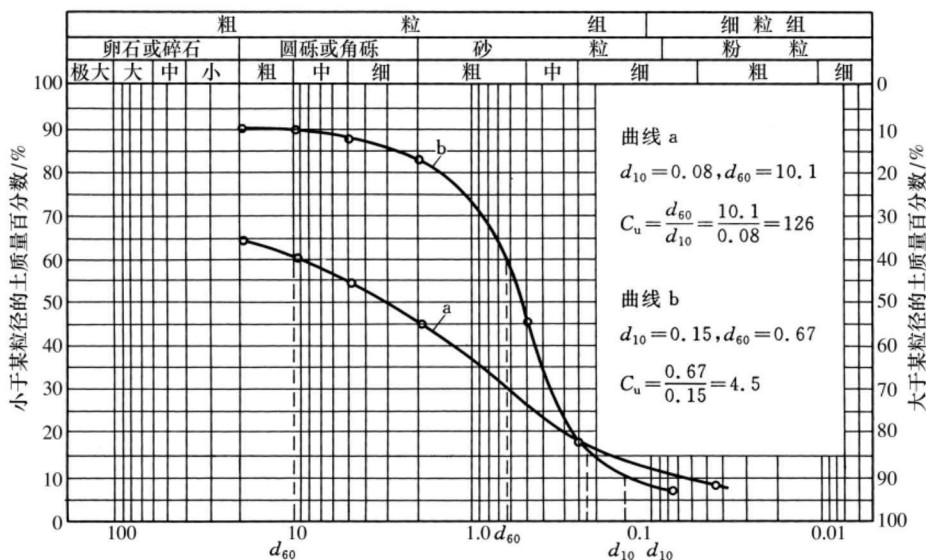


图 1-1 土颗粒粒径级配曲线

实践证明,表示土样级配组成情况的较理想的方法是粒径级配累积曲线法。在半对数坐标纸上,纵坐标表示小于某粒径的土占土总质量的百分数;横坐标表示土的粒径,用对数表示,可以把相差几千、几万倍的 H 的含量表达得更清楚。由曲线的坡度陡缓可以大致判断土的均匀程度。在图 1-1 中,曲线分别表示两个土样颗粒组成情况,曲线陡者(曲线 b)表示粒径相差不大,土粒较均匀;曲线缓者(曲线 a)则表示粒径相差悬殊,土粒级配良好。

按粒径分布曲线可求得:

(1) 土中各粒组的土粒含量,用于粗土的分类和大致评估土的工程性质;

(2) 某些特征粒径,用于建筑材料的选择和评价土级配的好坏。

在工程上采用不均匀系数 C_u 来定量地分析 H 级配的不均匀程度:

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (1-1)$$

C_c 为土 H 的曲率系数,表示土颗粒组成的又一特征:

$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{60} d_{10}} \quad (1-2)$$

式中, d_{10} , d_{30} , d_{60} 分别为相当于累计百分含量为 10%, 30% 和 60% 的粒径,其中 d_{10} 为有效粒径, d_{60} 为限制粒径。

不均匀系数 C_u 反映大小不同粒组的分布情况。工程上把 $C_u < 5$ (如土样 b) 的土称为匀粒土,级配不良; C_u 越大,表示粒组分布范围比较广, $C_u > 5$ (如土样 a) 的土视为不均匀,即级配良好。但如 C_u 过大,表示可能缺失中间粒径,属不连续级配,故需同时用曲率系数来评价。曲率系数则是描述累计曲线整体形状的指标。我国《土的工程分类标准》(GB/T 50145—2007) 规定:对于细粒含量 $< 5\%$ 的砾石类土和砂类土级配满足 $C_u \geq 5$ 且 $1 \leq C_c \leq 3$ 为级配良好,否则为级配不良。

不均匀系数 C_u 具有工程意义。如在填土工程中,可根据不均匀系数 C_u 的值来选择土料。若 C_u 较大,则土粒不太均匀,此类土较易夯实,能获得较大的密实度。

1.2.2 土的液相

土在自然条件下总是含水的,可处于液态、气态或固态。其中,固态水主要存在于冻土层中,气态水对土的性质影响不大。这里主要讨论土的液态水,其类型和数量对土的状态和性质都有重大影响。按照水与土相互作用程度的强弱,可将土中水分为结合水和自由水两大类,如表 1-5 所示。

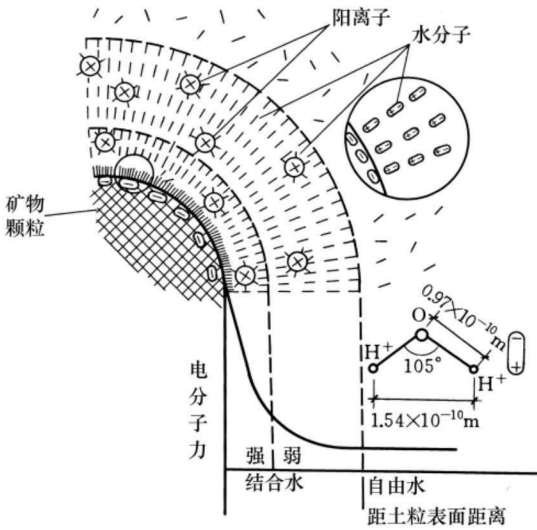


图 1-2 黏粒表面的水

表 1-5 土中水的类型		
水的类型		主要作用力
结合水		物理化学力
自由水	毛细水	表面张力及重力
	重力水	重力

1. 结合水

结合水是由土 H₂O 表面电分子力吸附在土粒表面的一层水。结合水又可分为强结合水和弱结合水(图 1-2)。

1) 强结合水

强结合水存在于最靠近土 H₂O 表面处,水分子和水化离子排列得非常紧密,以致其密度大于 1,并有过冷现象(即温度降到零度以下而不发生冻结的现象)。它的特征为:无溶解能力,不受重力作用,不传递静水压力,温度在 105℃ 以上时才能蒸发,冰点为 -78℃,密度为 1.2~2.4g/cm³。这种水牢固地结合在土粒表面,其性质接近于固体,具有极大的黏滞性、弹性及抗剪强度。当黏土中仅含强结合水时,黏土呈固体状态;砂土只含强结合水时呈散粒状态。

2) 弱结合水(薄膜水)

在距土粒表面较远地方的结合水称为弱结合水,也称薄膜水,由于引力降低,弱结合水的水分子的排列不如强结合水紧密,弱结合水可从较厚水膜或浓度较低处缓慢地迁移到较薄的水膜或浓度较高处,这种运动与重力无关,这层不能传递静水压力的水定义为弱结合水。弱结合水的存在,使土具有可塑性。

2. 自由水

自由水存在于土粒电场影响范围以外,其性质与普通水相同,服从重力定律,传递静水压力,冰点为 0℃,具有溶解能力。

自由水按其移动所受作用力的不同,可分为毛细水和重力水。

1) 毛细水

毛细水是受水与空气交界面的张力作用而存在于细小孔隙中的自由水,一般存在于地下水位以上的透水层中。

毛细水不仅受到重力的作用,还受到表面张力的支配,能沿着土的细小孔隙从潜水面上升到一定的高度。如图 1-3 所示,它表示表面张力的作用,地下水沿着不规则的毛细管上升到自由水位以上高度处,形成毛细上升带。毛细上升带的上升高度与孔隙的大小有关:孔隙较大的粗粒土,一般无毛细现象;土质愈细,毛细水上升愈高,粉土中毛细水上升高度最大,往往可达 2m。

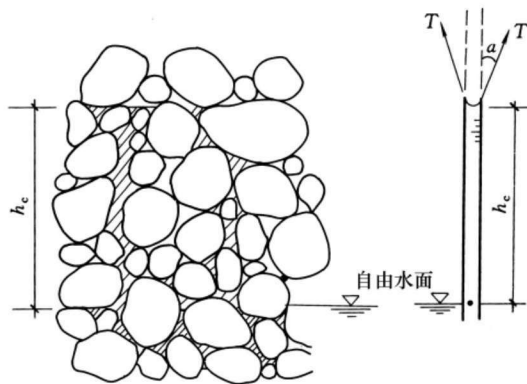


图 1-3 土中的毛细升高

在工程中常需研究毛细水的上升高度和速度,因为毛细水的上升会使地基潮湿,强度降低,变形增大,另外,毛细水上升的高度对公路路基土的干湿状态、建筑物底层的防潮有重要影响。在寒冷地区要注意冻胀问题。

2) 重力水

重力水位于地下水位以下,在重力或压力差作用下能在土中渗流,对于土质和结构物都有浮力作用,在土力学计算中应当考虑这种渗流及浮力的作用力。在 1.6 节中将进一步讨论重力水的渗流问题。

1.2.3 土的气相

土中气体指存在于土孔隙中未被水占据的部分。

土中气体可分为两种类型:流通气体和密闭气体。

流通气体是指与大气连通的气体,常见于无黏性的粗粒土中。当土受到外力作用时,气体很快就会从孔隙中排出,对土的工程性质没有多大的影响。

密闭气体是指与大气隔绝的以气泡形式出现的气体,常见于黏性细粒土中。对土的工程性质有很大的影响。在压力作用下这种气体可被压缩或溶解于水中,而当压力减小时,气泡会恢复原状或重新游离出来。含气体的土称为非饱和土,非饱和土的工程性质研究已成为土力学的一个新分支。

1.2.4 土的结构

土的结构是指土粒单元的大小、形状、相互排列及联结的特征。土的结构一般可分为单粒结构、蜂窝结构和絮状结构三种基本类型。

1. 单粒结构

单粒结构是砂、砾等粗粒土在沉积过程中形成的代表性结构。由于砂、砾的颗粒比较大,在沉积过程中土粒间的分子吸引力与其重力相比可以忽略不计,即土粒在沉积过程中主要受重力控制。当土粒在重力作用下下沉时,一旦与已沉稳的土粒相接触,就滚落到平衡位置形成单粒结构。这种结构的特征是土粒之间以点与点的接触为主。根据其排列情况,又

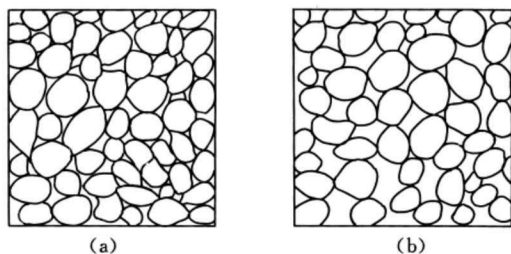


图 1-4 单粒结构

可分为紧密和疏松两种情况,如图 1-4 所示。

呈紧密状单粒结构的土,强度大,压缩性小,是良好的天然地基。但具有疏松单粒结构的土,其骨架是不稳定的,当受到震动及其他外力作用时,变形很大。这种土层如未经处理一般不宜作为建筑物的地基。

2. 蜂窝结构

蜂窝状结构是以粒径在 0.02mm 以下的土的结构特征。粉粒在水中下沉过程中,接触到已下沉的土 H, 由于颗粒间的引力大于自重力,就停留在接触点上不再下沉,形成具有很大孔隙的蜂窝结构,如图 1-5 所示。

3. 絮状结构

絮状结构是黏土 H (粒径 $<0.005\text{mm}$) 特有的结构,这些颗粒不因自重而下沉,长期悬浮在水中,形成孔隙很大的絮状结构,如图 1-6 所示。

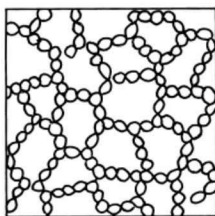


图 1-5 蜂窝结构

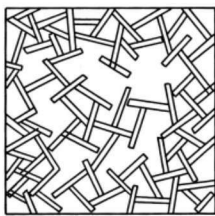


图 1-6 絮状结构

1.3 土的三相比例指标

土的三相物质在体积和质量上的比例关系称为三相比例指标。三相比例指标反映了土的干燥与潮湿、疏松与紧密,是评价土的工程性质的最基本的物理性质指标,也是工程地质勘察报告中不可缺少的基本内容,有重要的实用价值。

为了推导土的三相比例指标,通常把在土体中实际上是处于分散状态的三相物质理想化地分别集中在一起,构成如图 1-7 所示的三相图。在图中,右边注明各相的体积,左边注明各相的重量或质量。图中各项指标解释如下:

V_a ——土中空气的体积;

V_w ——土中水的体积;

V_s ——土粒的体积 V_s ;

V_v ——土中孔隙体积, $V_v = V_w + V_a$;