

土建工长培训

系列教材

地基基础

(第三版)

郭继武 郭瑶 编著

清华大学出版社

《土建工长培训系列教材》

编 委 会

主任委员：郭继武

委 员：郭继武 任继良 纪士斌
田会杰 宋莲琴

(京)新登字 158 号

内 容 简 介

本书是土工长培训系列教材之一,是在第二版的基础上并参照新修订的《建筑地基基础设计规范》(GB5007—2002)编写的。

本书主要包括:地基土的物理性质,地基中的应力和变形,土的抗剪强度和地基承载力,建筑物地基计算原则,浅基础设计,基槽检验与地基的局部处理,软弱地基以及桩基础等。

本书除适合作为土工长(技术员)培训教材外,也可作为中等专业学校土建类专业学生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

地基基础/郭继武,郭瑶编著. —3版. —北京:清华大学出版社,2002

土工长培训系列教材

ISBN 7-302-05922-5

I. 地… II. ①郭… ②郭… III. 地基—基础(工程)—技术培训—教材
IV. TU47

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 074572 号

出 版 者: 清华大学出版社(北京清华大学学研大厦,邮编 100084)

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

责任编辑: 汪亚丁

版式设计: 刘 路

印 刷 者: 北京市人民文学印刷厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 850×1168 1/32 印张: 10.625 字数: 265 千字

版 次: 2002 年 12 月 第 3 版 2002 年 12 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-05922-5/TU·184

印 数: 0001~5000

定 价: 13.80 元

第三版说明

本书是土建工长培训系列教材之一,是在第二版的基础上并参照新修订的《建筑地基基础设计规范》(GB5007—2002)编写的。随着我国建筑事业的发展,对工长的技术水平要求不断提高,因此,本书第三版的内容较第二版有了较大的扩充和加深。如增加了土的抗剪强度和地基的临塑压力、临界压力和极限压力,以及桩承台冲切和抗剪强度验算等。

本书主要内容包括:地基土的物理性质,地基中的应力和变形,土的抗剪强度和地基承载力,建筑物地基计算原则,浅基础设计,基槽检验与地基的局部处理,软弱地基,以及桩基础等。

由于编者水平所限,书中缺点和不妥之处,请广大读者指正。

编 者

2002年8月于北京

目 录

第 1 章 概述	1
第 2 章 地基土(岩)的物理性质及分类	4
2.1 土的成因与组成	4
2.2 土的物理性质指标	10
2.3 粘性土的塑性	16
2.4 地基土(岩)的分类及土的物理状态	18
思考题	26
第 3 章 地基中的应力	27
3.1 自重应力的计算	28
3.2 附加应力的计算	33
3.3 基础埋置深度对附加应力的影响	47
思考题	58
第 4 章 地基变形的计算	59
4.1 土的压缩性	59
4.2 地基最终沉降量的计算	69
4.3 地基沉降与时间关系的估算	81
思考题	85

第 5 章 土的抗剪强度与地基承载力	86
5.1 概述	86
5.2 土的抗剪强度	87
5.3 土的极限平衡理论	89
5.4 土的抗剪强度指标的测定方法	96
5.5 地基临塑压力、临界压力与极限压力	102
5.6 地基承载力的确定	111
5.7 附录	127
思考题	137
 第 6 章 建筑物地基的计算原则	 138
6.1 一般要求	138
6.2 地基变形的分类	139
6.3 地基允许变形值	142
6.4 地基基础设计等级及地基变形计算的规定	143
思考题	146
 第 7 章 天然地基浅基础设计	 147
7.1 地基基础设计步骤	147
7.2 基础的类型	148
7.3 基础埋置深度的确定	157
7.4 基础底面尺寸的确定	166
7.5 刚性基础剖面设计	206
7.6 配筋扩展基础剖面设计	209
思考题	235

第 8 章 基槽检验与地基的局部处理	236
8.1 基槽检验	236
8.2 地基的局部处理	246
8.3 地基局部处理实例	252
思考题	256
 第 9 章 软弱地基	 257
9.1 一般要求	257
9.2 建筑措施	258
9.3 结构措施	260
9.4 软弱地基的处理	265
思考题	274
 第 10 章 桩基础	 275
10.1 桩的功能与种类	275
10.2 单桩竖向承载力特征值的确定	280
10.3 桩的根数及布置	290
10.4 承台的设计与计算	308
10.5 桩基沉降验算	321
10.6 桩基设计的步骤	322
思考题	329
 参考文献	 330

第 1 章 概 述

建筑物都是建造在土体或岩体上面的,土体受到建筑物的荷载后,就会产生压缩变形。土体的压缩性比建造墙或柱的建筑材料(如砖或混凝土等)大得多,为了减小建筑物的下沉,并保证它的强度和稳定性,就要将墙或柱与土体的接触部分的断面尺寸适当扩大,以减小建筑物与土体接触部分的压强。我们将建筑物最下面扩大的这一部分称为基础;而将承受由基础传来的建筑物荷载的土体(或岩体)称为地基。位于基础底面下第一层土称为持力层;而在其下的各个土层统称为下卧层(图 1-1)。

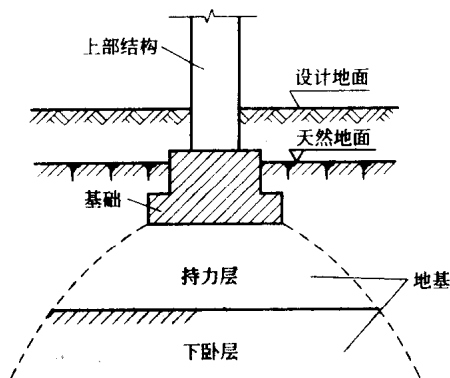


图 1-1 地基和基础示意图

基础是建筑物十分重要的组成部分,没有一个坚固而耐久的基础,上部结构建造得再结实,也是要出问题的。因此,为了保证建筑物的安全和必需的使用年限,基础应具有足够的强度和耐久性。地基虽不是建筑物的组成部分,但是它的好坏却直接影响整

个建筑物的安危。实践证明,建筑物的事故很多是与地基基础有关的。例如,著名的意大利比萨斜塔就是由于地基不均匀沉降所引起的。该塔始建于1173年,高度约55m,当建至24m高时发现塔身倾斜而被迫停工,直至1273年续建完工。该塔由于建造在不均匀高压缩性软土地基上,致使北侧下沉1m有余,南侧下沉近3m,沉降差达1.8m,倾角达 5.8° 之多。现在该塔仍以每年1mm的沉降速率下沉。又如,建于1913年的加拿大特朗斯康谷仓,由于设计前不了解地基埋藏有厚达16m的软粘土层,建成后谷仓的荷载超过了地基的承载能力,造成地基丧失稳定性,使谷仓西侧陷入土中8.8m,东侧抬高1.5m,仓身倾斜 27° 。

为了保证建筑物的安全,地基应同时满足两个基本要求:

(1) 地基应具有足够的强度,在荷载作用后,不至于因地基失稳而破坏;

(2) 地基不能产生过大的变形而影响建筑物的安全与正常使用。

良好的地基一般具有较高的强度与较低的压缩性,容易满足上述要求。软弱地基的工程性质较差,对这种地基必须进行人工处理,方能满足强度与变形的要求。经过人工处理而达到设计要求的地基称为人工地基,这种地基随着建设的发展已被广泛利用。若地基上部软弱,下部坚实,可考虑采用桩基础,将上部结构荷载穿过软弱土层,传至坚实土层。不需处理而直接利用的地基称为天然地基。建筑物应尽量建造在良好的天然地基上,以减少地基的费用。

在设计中,保证地基基础具有足够的可靠性是十分重要的。为此,在设计地基基础前,要进行充分的调查研究,掌握必要的设计资料。一方面通过地基勘探和验槽查清地基土的类别及其分布情况,有无软土层、暗塘、古井、古墓与地下人防工程等异常部位,以及地下水位高低,它对基础材料有无侵蚀作用;另一方面要弄清



建筑物的使用要求,荷载大小,有无振动设备,振动频率与振幅大小等。根据这两方面情况,本着安全可靠、经济合理、技术先进和便于施工的原则,考虑上部结构和地基的共同作用,全面分析,权衡利弊,最后,拟出地基基础的设计方案,作出正确的设计。

我们编写本书的目的在于,向读者扼要地介绍一些地基基础的设计和计算原理。书中重点叙述了土的物理力学性质,地基中应力和变形,土的抗剪强度和地基承载力,建筑物地基计算原则,天然地基上浅基础和桩基设计,此外,对基槽检验与地基的局部处理、软弱地基也作了简要的介绍。

本书是参照国家新颁布的《建筑地基基础设计规范》(GB50007—2002)^①编写的。书中体现和反映了新规范的主要内容,特别对新规范的条文作了必要的解释和说明。全书采用了国家规定的建筑结构设计通用符号、计量单位和基本术语。为了便于读者掌握本书所叙述的基本理论,书中附有必要的计算实例和图表,供读者参考。

^① 以下简称《地基规范》。

第2章 地基土(岩)的物理性质及分类

2.1 土的成因与组成

2.1.1 土的成因

地壳表面的岩石在大气中由于长期受到风、霜、雨、雪的侵蚀和生物活动的破坏作用(风化作用),使其崩解和破碎而形成大小不同的松散物质,这种松散物质就被称为土。风化后残留在原地的土称为残积土,它主要分布在岩石暴露在地面而受到强烈风化的山区和丘陵地带。由于残积土未经分选作用,所以无层理,厚度很不均匀。因此,在残留土地基上进行工程建设时应注意其不均匀性,防止建筑物产生不均匀沉降。如风化后的土受到各种自然力(例如重力、雨雪水流、山洪急流、河流、风力和冰川等)的作用,被搬运到大陆低洼地区或海底而沉积下来,在漫长的地质年代里沉积的土层逐渐加厚,并在自重和外力作用下逐渐压密,这样形成的土就称为沉积土。陆地上大部分平原地区的土都属于沉积土。由于沉积土在沉积过程中地质环境不同,生长年代不一,所以它的物理力学性质有很大差异。如洪水沉积的洪积土,有一定的分选作用,距山区较近的地段,其颗粒较粗,远的地方颗粒较细。由于每次洪水搬运能力不同,所以形成了土层粗细颗粒交错的地质剖面。通常,粗颗粒的土层压缩性较低、承载力高;而细颗粒的土层压缩性高,承载力较低。在沉积土地基上进行工程建设时,应尽量选择粗颗粒土层作为基础的持力层。

土的沉积年代不同,其工程性质将有很大变化,所以,了解土的沉积年代的知识,对正确判断土的工程性质有实际意义。土的沉积年代通常采用地质学中的相对地质年代来划分。所谓相对地质年代,是指根据主要地壳运动和古生物演化顺序,将地壳历史所划分的时间段落。最大的时间单位称为代,每个代分为若干纪,纪分为若干世,世再分为若干期。

大多数的土是在第四纪地质年代沉积形成的,这一地质历史时期是距今较近的时间段落(大约0.025万~100万年)。在第四纪中包括四个世,即早更新世(用符号 Q_1 表示)、中更新世(Q_2)、晚更新世(Q_3)和全新世(Q_4)。

2.1.2 土的组成

如前所述,土是一种松散物质,这种松散物质主要是矿物^①,在矿物颗粒之间有许多孔隙,通常孔隙中间有液体(一般是水),也有气体(一般是空气)。所以,在一般情况下,土是由固体颗粒、水和气体三部分(也称为三相)组成。

显然,土的工程性质与组成土的三部分的性质及其之间的比例有关。因此,对这三个部分的性质和它们之间的比例关系应分别加以研究。本节仅叙述固体矿物颗粒、水和气体的性质。关于土的三个组成部分的比例关系及其对土的性质的影响,将在下一节讨论。

1. 土的固体颗粒

土的固体颗粒主要由矿物颗粒构成,对于有些土来说,除矿物颗粒外还含有有机质。土的固体颗粒的大小和形状、矿物成分及组成情况对土的物理力学性质有很大的影响。

① 矿物是指在地壳中具有—定化学成分和物理性质的自然元素或化合物,如石英、云母等。

1) 土的颗粒级配

自然界中的土都是由大小不同的土粒组成的。大的颗粒粒径有几百毫米；小的颗粒粒径仅几微米。试验表明，随着土的粒径由粗变细，土的性质也会相应地发生很大变化，例如，可使土的透水性由大变小，甚至变为不透水，可以使土由无粘性变为有粘性，等等。因此，为了便于分析和利用土的工程性质，解决工程建设问题，可将性质相近的土粒划分若干粒组，见表 2-1。由表中可见，粒径较大的粒组与水之间几乎没有物理化学作用，而粒径小的粒组，例如粘粒组和胶粒组就受到水的强烈影响，遇水后出现粘性、可塑性等。

表 2-1 土的粒组划分

mm

粒组名称		分界粒径	一般特征
漂石或块石颗粒 卵石或碎石颗粒		>200 200~20	透水性大，无粘性，无毛细水，不能保持水分
圆砾或角砾颗粒	粗	20~10	透水性大，无粘性，无毛细水
	中	10~5	
	细	5~2	
砂粒	粗	2~0.5	易透水，无粘性，干燥时不收缩，呈松散状态，不表现可塑性，压缩性小，毛细水上升高度不大
	中	0.5~0.25	
	细	0.25~0.075	
粉粒	粗	0.075~0.01	透水性小，湿时稍有粘性，干燥时稍有收缩，毛细水上升高度较大，极易出现冻胀现象
	细	0.01~0.005	
粘粒		0.005~0.002	几乎不透水，结合水作用显著，潮湿时呈可塑性，粘性大，遇水膨胀，干燥时收缩显著，压缩性大
胶粒		<0.002	

注：1. 漂石、卵石和圆砾颗粒均呈一定的磨圆形状（圆形或亚圆形），块石、碎石和角砾颗粒都带有棱角；

2. 粘粒、粉粒可分别称为粘土粒、粉土粒。

显然,土中所含各粒组的相对含量不同,则表现出来的土的工程性质也就必然不同。为此,工程上常以土中各个粒组的相对含量(各粒组占土粒总重的百分数)表示土中颗粒的组成情况。粒组的相对含量称为土的颗粒级配。它是确定土的名称和选用建筑材料的重要依据。

确定粒组相对含量的方法称为粒径分析法。对于粒径大于 0.075mm 的土采用筛分法;粒径小于 0.075mm 的土采用密度计法。所谓筛分法就是将所要分析的风干分散的代表性土样放进一套筛子(常用每套共计六个筛子,筛孔分别为 200、20、2、0.5、0.25 和 0.075mm,另外还有顶盖和底盘各一个)的顶部,当筛子振动时,大小不同的土粒就被筛分开来,直径大于 20mm 的颗粒留在最上边的筛子里,直径小于 0.075mm 的颗粒通过各层筛子,最后落到底盘里,留在每个筛子里的土重除以土的总重再乘以 100%,即可求得各粒组的相对含量。粒径小于 0.075mm 的土采用密度计法测定粒组的相对含量。关于密度计法可参阅《土工试验方法标准》(GB/T 50123-1999)。

颗粒分析结果常用图 2-1 的颗粒级配累积曲线表示。图中横坐标(为对数坐标)表示粒径,纵坐标表示小于某粒径的土粒占土总重的百分比,由颗粒级配累积曲线可求得各粒组的相对含量。对于图 2-1 所示的土样,砂粒组占土总量为 $(80-7)\% = 73\%$ 。同时,由曲线的坡度还可以鉴别土的均匀程度。如曲线较平缓,则表示粒径大小相差悬殊,土粒不均匀,即级配良好;如曲线较陡,则表示粒径相差不多,土粒均匀,即级配不良。

在工程上常采用不均匀系数 K_u 来衡量颗粒级配的不均匀程度

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

式中 d_{60} ——土中小于某粒径的土重百分比为 60% 时相应的粒



径, 又称限定粒径;

d_{10} ——土中小于某粒径的土重百分比为 10% 时相应的粒径, 又称有效粒径。

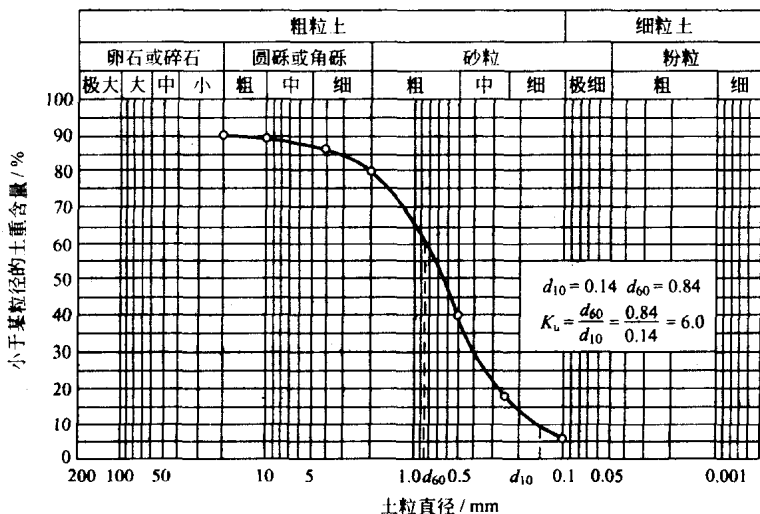


图 2-1 颗粒级配累积曲线

K_u 愈大, 说明曲线愈平缓、土粒愈不均匀。工程中把 $K_u < 5$ 的土看作是级配均匀即级配不良的土; $5 \leq K_u \leq 10$ 的土看作是中等均匀的; $K_u > 10$ 的土看作是不均匀即级配良好的土。级配良好的土, 粗粒间的孔隙为细粒所填充, 压实后容易获得较大的密实度。这样的土压实后强度高、压缩性小, 适于做地基填方的土料。

2) 土粒的矿物成分

土粒中的矿物成分分为原生矿物和次生矿物, 原生矿物就是岩石风化前的矿物成分, 如石英、长石、云母等, 原生矿物的性质比较稳定, 粗的土粒中常含有这些矿物成分; 次生矿物是岩石经化学风化后而产生的新的矿物, 如蒙脱石、伊利石、高岭石等, 极细的粘粒常含有这些次生矿物。土粒中所含矿物成分不同, 其性质就不

同。如粘粒中蒙脱石含量较多时,则这种土遇水就会强烈膨胀,失水后又会产生收缩,给工程建设带来不利影响。

2. 土中水

土中水按其性质可分为以下几类(图 2-2):

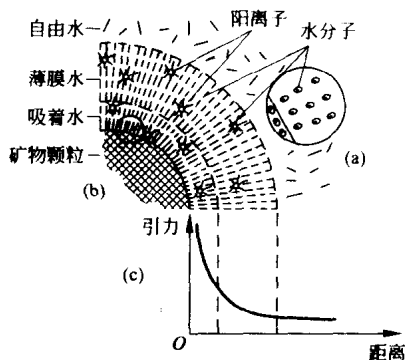


图 2-2 水在土中的形态简图

(a) 水分子在土粒四周定向排列; (b) 土粒与水的相互作用;

(c) 土粒电荷引力随距离的变化

1) 结合水: 根据其与土颗粒表面结合的紧密程度又可分为吸着水(强结合水)和薄膜水(弱结合水)。

吸着水: 实验表明,极细的粘粒表面带有负电荷,由于水分子为极性分子,即一端显正电荷,另一端显负电荷,因此水分子就被颗粒表面电荷引力牢固地吸附在其周围而形成很薄的一层水,这种水就称为吸着水,其性质接近于固态,不冻结,相对密度(密度)大于1,具有很大的粘滞性,受外力不转移,在 $100\sim 105^{\circ}\text{C}$ 下被蒸发,这种水不传递静水压力。

薄膜水: 这种水是位于吸着水以外,但仍受土颗粒表面电荷吸引的一层水膜。显然,距土粒表面愈远,水分子的引力就愈小。薄膜水也不能流动,含薄膜水的土具有塑性。它不传递静水压力,冻结温度低,已冻结的薄膜水在不太大的负温下就能融化。

2) 自由水: 只受重力的影响, 其性质与普通水无异, 能传递静水压力, 土中含有自由水时呈现出流动状态。

3. 土中气体

土中气体可分为两类: 与大气连通的自由气体和与大气隔绝的封闭气体。自由气体在外力作用下能很快逸出, 因此它不影响土的性质; 封闭气体则会增加土的弹性, 减小土的透水性。

2.2 土的物理性质指标

如前所述, 土是由固体颗粒、水和气体三部分组成的。这三部分之间的不同比例, 反映着土处于各种不同的状态: 稍湿或很湿、密实或松散。它们对于评定土的物理力学性质有很重要的意义。因此, 为了研究土的物理性质, 就要掌握土的三个组成部分之间的比例关系。表示这三部分之间关系的指标, 就称为土的物理指标。

为了便于说明和计算, 用图 2-3 表示土的三个组成部分。

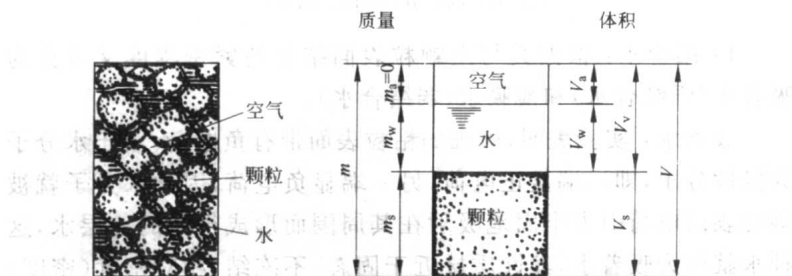


图 2-3 土的三相简图

气体的质量比其他两部分质量小得多, 可以忽略不计。

1. 土的质量密度和重力密度

1) 土的质量密度

单位体积土的质量称为土的质量密度, 简称土的密度, 用符号