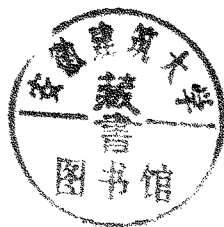


中等专业学校教材

土 力 学

山西省水利学校 冯宏禄 主编



黄河水利出版社

内 容 提 要

本书是全国中等专业学校水利水电类专业通用教材。全书共分 8 章,主要包括:土的物理性质与工程分类;土的渗透性;土体中的应力;地基变形计算;土的抗剪强度;土压力;地基承载力;基础设计与地基处理。书后附有依据《土工试验规程》(SL237-1999)编写的土工试验指导书。

本书主要适用于水利水电工程专业和农业水利技术专业,也可作为中等专业学校土建类有关专业教学用书。

图书在版编目(CIP)数据

土力学/冯宏禄主编. —郑州:黄河水利出版社, 2001. 6

中等专业学校教材

ISBN 7-80621-481-X

I. 土… II. 冯… III. 土力学-专业学校-教材
IV. TU4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 027448 号

责任编辑:吕洪予

封面设计:朱 鹏

责任校对:赵宏伟

责任印制:常红昕

出版发行:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号 邮编:450003

发行部电话:(0371)6022620 传真:(0371)6022620

E-mail:yrp@public2.zz.ha.cn

印 刷:黄河水利委员会印刷厂

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:11

版 次:2001 年 6 月 第 1 版

印 数:1—4 000

印 次:2001 年 6 月 郑州第 1 次印刷

字 数:254 千字

定 价:15.00 元

前 言

本书是根据 1999 年 9 月水利部批准的普通中专学校水利水电类教材选题规划,并按照国家水利水电中专教学研究会教材编审计划与要求而编写的。主要适用于水利水电工程技术和农业水利技术专业。

本书在编写过程中,本着注重能力培养、以实用为主的指导思想,对传统教学内容进行了筛选,纳入了新知识和新规范,力求反映职教特色,突出应用性,体现先进性。

本书由山西省水利学校冯宏禄主编,并编写绪论、第二、五、六章;北京水利水电学校何力编写第三、四章;广东水利电力职业技术学院黄国怡编写第一章和附录 1;四川省水利电力学校杨绍平编写第七、八章;黄河水利职业技术学院务新超主审。另外,山西省水利学校晋文明、张书俭对初稿提出了许多宝贵意见,对本书的修改、定稿起了很大作用,在此深表谢意。

书中打※号的章节为选学内容。

由于编者的水平有限,书中谬误之处,恳请读者批评指正。

编者

2000 年 12 月

目 录

前 言

绪 论	(1)
-----	-----

第一章 土的物理性质与工程分类	(4)
-----------------	-----

第一节 土的三相组成	(4)
------------	-----

第二节 土的粒组与级配	(6)
-------------	-----

第三节* 土的结构与灵敏度	(8)
---------------	-----

第四节 土的物理性质指标	(9)
--------------	-----

第五节 土的物理状态指标	(13)
--------------	------

第六节 土的压实性	(16)
-----------	------

第七节 土的工程分类	(18)
------------	------

习 题	(23)
-----	------

第二章 土的渗透性	(25)
-----------	------

第一节 达西定律	(25)
----------	------

第二节 渗透系数及其测定方法	(27)
----------------	------

第三节 渗透力和渗透变形	(30)
--------------	------

习 题	(33)
-----	------

第三章 土体中的应力	(34)
------------	------

第一节 土的自重应力	(34)
------------	------

第二节 基底压力	(36)
----------	------

第三节 地基中的附加应力	(39)
--------------	------

习 题	(52)
-----	------

第四章 地基变形计算	(54)
------------	------

第一节 土的压缩性	(54)
-----------	------

第二节 地基最终变形量的计算	(58)
----------------	------

第三节 地基变形与时间的关系	(62)
----------------	------

习 题	(68)
-----	------

第五章 土的抗剪强度	(70)
------------	------

第一节 库仑定律	(70)
----------	------

第二节 土的极限平衡条件	(72)
--------------	------

第三节 抗剪强度指标的测定	(74)
---------------	------

第四节 总应力强度指标与有效应力强度指标	(78)
----------------------	------

第五节* 砂土的液化	(81)
------------	------

习 题	(85)
-----	------

第六章 土压力	(86)
第一节 挡土墙与土压力	(86)
第二节 静止土压力	(88)
第三节 朗肯土压力理论	(90)
第四节 库仑土压力理论	(98)
第五节 减小主动土压力的措施	(102)
习 题	(103)
第七章 地基承载力	(104)
第一节 地基的变形与破坏形式	(104)
第二节 按理论公式确定地基承载力	(106)
第三节* 原位试验方法简介	(115)
第四节 按规范确定地基承载力	(117)
习 题	(122)
第八章* 基础设计与地基处理	(124)
第一节 天然地基上的浅基础设计	(124)
第二节 桩基础	(134)
第三节 地基处理	(139)
第四节 特殊土地基	(143)
习 题	(147)
附录 1 土工试验指导书	(149)
附录 2 常用单位换算关系	(169)
参考文献	(170)

绪 论

一、土与土力学

地壳表层的岩石,经过长期的风化、搬运和沉积作用而逐渐破碎成细小的矿物颗粒和岩石碎屑,这些由矿物颗粒和岩石碎屑构成的松散集合体,在工程上称为土。土颗粒(矿物颗粒、岩屑)之间有许多孔隙,通常被水和气体充填。可见,土主要是由固相的土粒、液相的水和气相的气体三相所组成的。

土是地壳表层的最新沉积物,未经固结成岩,松散软弱,其组成物质和性质极为复杂。其主要特征为多孔性、散粒性和易变性。

土力学是研究土的物理、化学和力学性质及土体在荷载、水、温度等外界因素作用下工程性状的应用科学。一般认为,土力学是力学的一个分支,但由于它研究的对象是土,其力学性质与刚体、弹性体及流体等都有所不同。因此,一般的力学规律,在土力学中应结合土的特征加以应用,并且还必须应用土工试验技术来研究土的物理、化学特性以及强度、变形和渗透等特殊的力学性质。

二、地基与基础

任何建筑物都是建造在地层(岩层或土层)上,建在地层上的建筑物荷载将使地层一定范围内的应力发生变化。承受建筑物荷载而引起应力变化的那部分地层,称为地基;与地基接触的建筑物下部结构称为基础。如图 0-1 所示。基础位于上部结构和地基之间,通常被埋置在地下,其作用是将建筑物荷载传递到地基中去。基础底面下的土层称为持力层,持力层以下的地基范围内的土层称为下卧层。

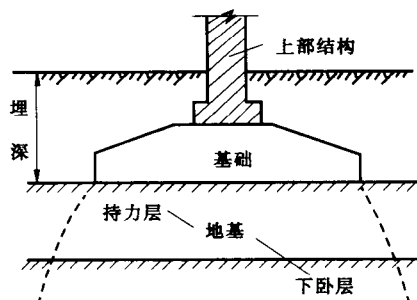


图 0-1 地基与基础示意图

三、土力学在工程建设中的重要性

在工程建设中,土作为地基,高楼大厦建在其上;土作为环境介质,一些重要的兵工厂、地下铁道、防空洞建在其中;土作为建筑材料,用于修建土坝、土堤等建筑物。如果不注意研究土的物理、力学性质和工程性状,有时将会产生严重的后果,这方面的教训在世界各国是不乏先例的。现举一些工程实例。

1. 因地基剪切破坏引起的事故

加拿大特朗斯康大谷仓高 31m,平面尺寸为 60m×23m,钢筋混凝土结构,由于设计时不了解地基下部有软弱土层,致使该谷仓建成后,首次装料时,就因地基失去稳定而发

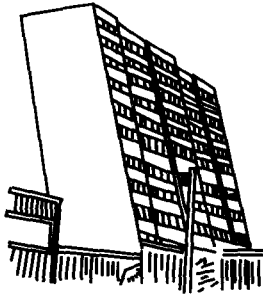


图 0-2 巴西某 11 层
大楼倾塌实况

生严重倾斜,谷仓一侧陷入土中 8.8m,仓身倾斜达 27° 之多,以致完全不能使用。

2. 因地基处理不当引起的事故

巴西某座 11 层大厦,平面尺寸 $29\text{m} \times 12\text{m}$,支承在 99 根 21m 长的钢筋混凝土桩上,1955 年开始施工,1958 年建成,尚未使用即倒塌。如图 0-2 所示。在施工中曾发现地基土有明显变形,但误认为是正常情况,未加注意。后来虽发现明显下沉,准备进行加固,但为时已晚。1 月 30 日晨,大厦的沉降速度已达每小时 4mm,晚 8 时,大厦在 20s 内倒塌,平躺地上。事后查明,那里的地基是沼泽土,邻近建筑物用的是 26m 长的桩,该大厦的桩长只有 21m,桩长不够。桩未能打入较好土层,仍然悬浮于软土层中,因承载力不足而产生如此严重后果。

3. 因滑坡引起的事故

山西省文水县文峪河水库,土坝高 60m,长 100 多米,1958 年开始修建,在 1959 年秋后坝下游发生滑坡,土方量达几十万立方米,正在坝下游施工的民工,全被埋在土内,伤亡几十人。1961 年坝上游又从高 40m 处开始下滑,给国家造成重大损失,严重影响了水库的效益发挥。

由上述可见,在工程建设中,对土的物理、力学性质研究得是否深入,直接关系到建筑物的质量和安全问题。为了保证各建筑物既安全又经济,使用正常,不发生工程事故,我们很有必要学习土力学。

四、本课程的内容与学习要求

第一章“土的物理性质与工程分类”。该章是本课程的基础,重点内容是土的物理性质。要求掌握土的物理性质和物理状态指标的测定方法,了解地基土的分类方法与准确定名。

第二章“土的渗透性”。重点内容是达西定律、渗透力和渗透变形,要求掌握渗透系数的测定方法,学会渗流量、渗透力的计算。

第三章“土体中的应力”。重点内容是附加应力计算。要求掌握自重应力、基底压力和附加应力的计算方法。

第四章“地基变形计算”。重点内容是压缩性指标、分层总和法计算地基变形量。要求掌握压缩性指标的测定方法,会用分层总和法计算地基变形量。了解饱和土的单向固结理论和地基变形与时间的关系。

第五章“土的抗剪强度”。重点内容是库仑定律、极限平衡条件和抗剪强度指标。要求了解土的极限平衡条件,掌握土的抗剪强度测定方法和各种强度指标在工程中的应用。

第六章“土压力”。重点内容是朗肯、库仑主动土压力理论。要求掌握静止土压力、主动土压力和被动土压力的产生条件、计算方法和工程应用。

第七章“地基承载力”。重点内容是按理论公式和按规范规定确定地基承载力。要求掌握地基的临塑荷载、临界荷载和极限荷载的计算方法,学会按规范确定地基承载力。

第八章“基础设计与地基处理”。重点内容是天然地基上的浅基础设计及软弱地基的处理。要求掌握基础的埋置深度和基础尺寸的设计。了解浅基础和桩基础的类型、适用条件及地基处理的一般方法。

五、土力学的发展概况

土力学是一门既古老、又新兴的学科。我国劳动人民利用土进行工程建设有着悠久的历史。如秦代(公元前 2 世纪)修建的万里长城,隋代(公元 6 世纪)修建的南北大运河,明、清的故宫及天坛等,均是雄伟壮丽、闻名于世的建筑。虽然它们经历了千百年的历史,但至今仍完好无缺。这充分说明我国劳动人民在古代已积累了丰富的土力学知识。但是,由于当时科学知识的限制,使其只停留在感性认识阶段,而未上升到理论高度。

随着工业和生产的发展,从 18 世纪开始土力学的理论才逐渐产生和发展起来。1775 年,法国库伦根据试验创立了土的抗剪强度和土压力理论;1857 年,英国朗肯又从另一途径建立了土压力理论;1885 年,法国布辛涅斯克求得半无限弹性体在铅直集中力作用下的土中应力和变形的理论解;1922 年,瑞典费伦纽斯为解决铁路滑坡,完善了土坡稳定分析圆弧法。1925 年,美国土力学家太沙基发表第一部土力学专著,使土力学成为一门独立的学科。

从 1925 年至今,时间虽短,但土力学的发展速度是惊人的。目前土力学又发展了许多分支,如土动力学、冻土力学、海洋土力学等。特别是近些年来,世界各国在超高土坝(坝高超过 200m)、超高层建筑与核电站等巨型工程的设计和兴建中,运用计算机技术,进一步发展、完善了土力学理论,使土力学的理论和实际工程的结合又产生了新的飞跃,对土力学的发展又向前推动了一步。

第一章 土的物理性质与工程分类

土的物理性质是指土的物质组成、结构、密度、湿度和可塑性等基本属性。

土粒、水和气体是土的三个基本组成部分,其中土粒是主体,构成土的骨架,水和气体充填于土骨架的孔隙中。当土中的孔隙完全被水充填时,称为饱和土;当土中孔隙全被气体充满时,称为干土;当土的孔隙中同时存在水和气体时,称为湿土。颗粒间不具有粘聚力的土,称为无粘性土;颗粒间具有粘聚力的土,称为粘性土。这些组成物质的相互作用和它们在数量上的比例关系,将决定土的物理性质和工程性质。

本章将分别阐明土的组成、土的基本物理性质指标及其有关特征,并利用这些指标及特征对地基土进行工程分类。

第一节 土的三相组成

一、土的固相

土的固相主要是土粒,有时还有粒间胶结物和有机质。土粒的矿物成分、颗粒大小和形状等,都对土的物理性质有着极为重要的影响。

(一)矿物成分

土粒的矿物成分主要取决于母岩的成分及其所经受的风化作用。矿物成分不同,土的工程性质也不同。矿物成分按其成因可区分为两大类。

1. 原生矿物

由岩石经物理风化作用形成的颗粒,其矿物成分与母岩相同,这种矿物称为原生矿物。如常见的石英、长石和云母等。石英和长石呈粒状,强度很高,通常是巨粒土的漂石、卵石和粗粒土的砾石、砂等无粘性土的主要矿物成分。云母呈薄片状,易风化,强度较低,压缩性大,通常细砂及粉砂中含有较多云母。含云母较多的土,作为地基时,沉降量较大,承载力较低;作为筑坝土料时不易压实。

2. 次生矿物

由岩石经化学风化作用形成的颗粒,其矿物成分经化学作用生成了一种颗粒很细的新矿物,这种矿物称为次生矿物。其中,数量最多的一种是粘土矿物,如常见的蒙脱土、伊利土和高岭土等。粘土矿物是组成粘性土的重要成分,颗粒很细,呈片状或针状,具有胶体特性,亲水性强。土中含粘土矿物愈多,则土的粘性、塑性和胀缩性也愈大。还有一类次生矿物,称为水溶盐,如石膏、岩盐等。

(二)土中的有机质

有机质是指土中动、植物的残骸腐烂分解所形成的腐殖质。有机质具有较强的亲水性,压缩性大,强度低。土中的有机质含量过多,将对土产生不良影响。因此,选择筑坝土

料时,有机质含量不宜超过 5%,对防渗料应小于 2%。

二、土中的水

存在于土孔隙中的水,在自然条件下,常分为结合水和自由水两种。

(一)结合水

细小的土颗粒表面常常带有负电荷或正电荷,并在其土粒周围形成静电引力场。在静电引力的作用下,为了使电荷平衡,将孔隙中水溶液的极性水分子和水化阳离子吸附在颗粒周围形成一层极薄的水膜,称为结合水。如图 1-1 所示。

结合水愈靠近土颗粒表面,吸附得愈牢固,水分子排列愈紧密整齐,粘滞性也愈大。反之,距土粒表面愈远,吸引力愈弱,粘滞性愈小。因此,常分为强结合水和弱结合水。

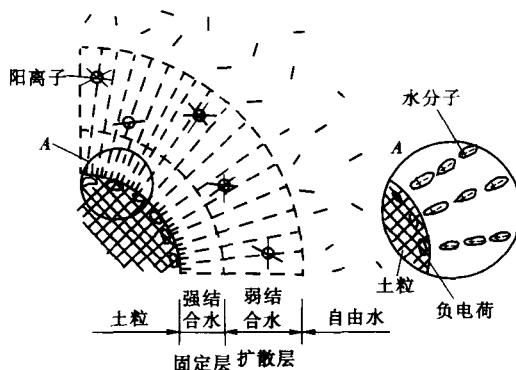


图 1-1 结合水

1. 强结合水

强结合水又称吸着水,它紧紧吸附于土粒表面,密度很大,具有固体颗粒的性质,对土的工程性质影响甚小。如果粘土只含强结合水,呈固体坚硬状态;砂土只含强结合水时,呈散粒状态。

2. 弱结合水

弱结合水又称薄膜水,位于强结合水以外,土粒静电引力范围以内,不传递静水压力,呈粘滞状态,对粘性土的影响很大。

(二)自由水

处于土颗粒表面引力范围以外的水称为自由水,亦即普通地下水。自由水能传递静水压力。按其移动所受作用力的不同,又分为重力水和毛细水。

(1)重力水。位于地下水位以下,在重力作用下,能够在孔隙中自由运动,并对土粒有浮力作用的水,称为重力水。

(2)毛细水。位于地下水位以上毛细孔中的水,称为毛细水,如图 1-2 所示。

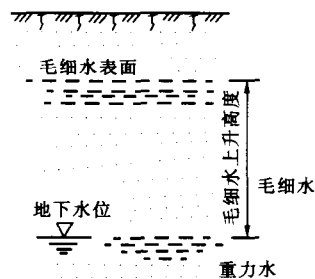


图 1-2 毛细水上升示意图

毛细水主要存在于中、细砂和粉质粘土中,毛细水随着地下水位的升高而升高,下降而下降。当地下水埋深较小时,毛细水的升高可使土地沼泽化或盐碱化,可导致建筑物发生冻害。

三、土中的气体

存在于土孔隙中的气体可分为自由气体和封闭气体两种。

(1)自由气体。与大气相通的气体称为自由气体,常存在于无粘性土中。当土受外力

作用时,气体很快就会排出,有利于土的压缩稳定和强度提高。

(2)封闭气体。与大气隔绝的气体称为封闭气体,常存在于粘性土中。当土层受外荷载作用时,气泡就压缩;而当荷载减小或卸除后,气泡就膨胀,使土层不易压实,增大土的弹性。封闭气泡的存在还会堵塞土中渗流通道,使土的渗透性减小。

第二节 土的粒组与级配

一、土的粒组划分

天然土是由许多大小不同的土粒组成的,土粒大小和矿物成分的不同,使土具有不同的性质。如颗粒大的卵石、砾石和砂,具有透水性强和无粘性的特性;而颗粒很小的粘土,则具有透水性弱和有粘性的特性。

为了便于分析和利用土的工程性质,解决工程建筑中的问题,常将性质相似、大小相近的土粒分为一组,称为粒组。表 1-1 是水利部 1999 年发布的《土工试验规程》(SL237-1999)采用的粒组划分标准。

表 1-1 粒组划分

粒 组 名 称			粒径(d)的范围(mm)
巨粒组	漂石(块石)组		$d > 200$
	卵石(碎石)组		$200 \geq d > 60$
粗粒组	砾粒(角砾)	粗砾	$60 \geq d > 20$
		中砾	$20 \geq d > 5$
		细砾	$5 \geq d > 2$
	砂 粒	粗砂	$2 \geq d > 0.5$
		中砂	$0.5 \geq d > 0.25$
		细砂	$0.25 \geq d > 0.075$
细粒组	粉 粒		$0.075 \geq d > 0.005$
	粘 粒		$d \leq 0.005$

二、土的级配(土的颗粒级配)

土中各粒组的相对含量(各粒组占土粒总质量的百分数),称为土的级配。土的级配可通过土的颗粒大小分析试验来测定,在工程中以下两种试验方法可联合使用。

(一)颗粒大小分析试验

(1)筛析法。适用于土粒直径 $d > 0.075\text{mm}$ 的无粘性土。筛析法的主要设备为一套标准分析筛,筛子孔径分别为 20, 10, 5, 2, 1.0, 0.5, 0.25, 0.1, 0.075mm。将干土试样倒入标准筛中,置于筛析机上震筛 10~15min。按由上而下排列的顺序称各级筛上及底盘

试样的质量,便可求得各级粒组在土中的百分含量以及小于某粒径的土粒在土中的百分含量。

(2)密度计法。适用于土粒直径 $d < 0.075\text{mm}$ 的粘性土。密度计法的主要仪器为土壤密度计和容积为1 000mL 的量筒。根据土粒大小不同、在静水中下沉速度也不不同的原理,将密度计放入悬液中,测记 1,5,30,120min 和1 440min 的密度计读数。根据密度计读数可求得各级粒组的百分含量以及小于某粒径的土粒在土中的百分含量。

(二)颗粒大小分布曲线

以横坐标表示粒径 d (对数尺度),纵坐标表示小于某粒径的土粒在土中的含量,将颗粒分析试验成果点入坐标,所绘得的曲线称为颗粒大小分布曲线,如图 1-3 所示。

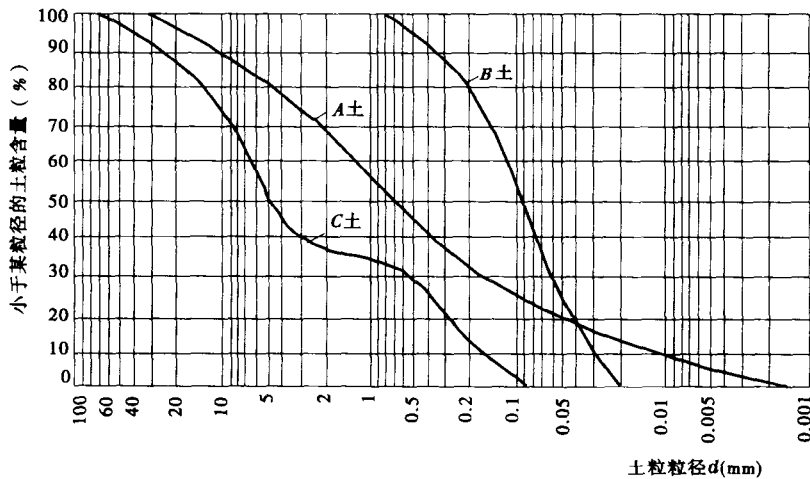


图 1-3 三种不同土的颗粒大小分布曲线

(三)颗粒大小分布曲线的主要用途

(1)用于建筑材料的选择和评价土级配的好坏。

判别土的级配是否良好,常用不均匀系数 C_u 和曲率系数 C_c 来判别。

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

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

式中 d_{60} 、 d_{30} 、 d_{10} ——颗粒大小分布曲线纵坐标上小于某粒径含量为 60%、30%、10% 时所对应的粒径, d_{60} 为控制粒径, d_{10} 为有效粒径。

水利部《土工试验规程》(SL237-1999)中规定良好级配的条件为: $C_u \geq 5$ 且 $C_c = 1 \sim 3$ 。如不能同时满足这两个条件,可判为级配不良的土。

在填土工程中,级配指标(C_u 和 C_c)作为选择填筑土料的依据。级配良好的土,则土粒较为不均匀,不均匀的土粗细颗粒搭配较好,粗颗粒间的孔隙被细颗粒填充,易于压实到较大密度,从而渗透性和压缩性较小,强度较高。

(2)用于粗粒土的工程分类。

(3)用于判别土的渗透变形和振动液化。

【例 1-1】 某风干土样质量为1 000g,进行筛分试验及密度计试验,其试验成果列于表 1-2 中(第 2 行至第 4 行)。试绘制该土的颗粒大小分布曲线及评价其级配好坏。

表 1-2 颗粒大小分析试验成果

试 验 方 法	筛 析 法							密度计法		
筛孔径(mm)	10	5	2	1	0.5	0.25	0.1	0.05~0.1	0.01~0.05	<0.01
留在各筛上的土质量(g)	105	85	140	110	100	100	120	70	140	30
小于该孔径的土质量(g)	895	810	670	560	460	360	240	170	30	
小于该孔径的土质量百分数(%)	89.5	81.0	67.0	56.0	46.0	36.0	24.0	17.0	3.0	
各粒组的土粒含量(%)	8.5	14	11	10	10	12		7	14	3

〔解〕 从留在筛上的土质量,可算出小于某粒径的土质量百分数和各粒组的土粒含量。计算结果见表 1-2(第 5、6 行),并绘制成土的颗粒大小分布曲线如图 1-3 中 A 土,由曲线得: $d_{10}=0.014\text{mm}$, $d_{30}=0.18\text{mm}$, $d_{60}=1.3\text{mm}$ 。

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{1.3}{0.014} = 92.9 > 5$$

$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{60} \cdot d_{10}} = \frac{(0.18)^2}{1.3 \times 0.014} = 1.78$$

由于同时满足 $C_u \geq 5$ 和 $C_c = 1 \sim 3$ 的条件,故为级配良好的土。

第三节※ 土的结构与灵敏度

一、土的结构

土的结构是指土的固体颗粒间的几何排列和连结方式。

土的结构是在成土过程中逐渐形成的。它与土的矿物成分、颗粒形状和沉积条件有关。通常土的结构可归纳为三种基本类型:单粒结构、蜂窝结构和絮状结构(图 1-4~图 1-6)。

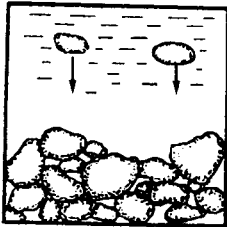


图 1-4 单粒结构

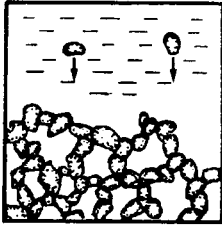


图 1-5 蜂窝结构

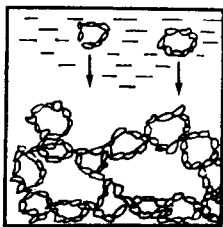


图 1-6 絮状结构

1. 单粒结构

较粗大的土粒在沉积过程中,受重力作用单个下沉,每个土粒都被已经下沉稳定的颗粒所支承,土粒间相互依靠重叠,土粒间没有连结,构成单粒结构,如图 1-4 所示。

2. 蜂窝结构

较细小的粉粒($0.075\sim 0.005\text{mm}$),在沉积过程中,受重力作用仍然是单粒下沉,但由于颗粒间的分子引力大于颗粒的重量,在下沉过程中,当两颗粒相接触时,便在接触点产生连结而不下沉,依次一粒粒被吸引,逐渐形成许多链条状团粒构成蜂窝状结构,如图 1-5 所示。

3. 絮状结构

极细小的粘粒($<0.005\text{mm}$),能在水中长期悬浮而不下沉,当这些粘粒聚集成絮状的团粒且受到的重力大于浮力时才下沉,在下沉的过程中接触到已沉稳的团粒时,由于团粒间的引力作用又产生连结,这样便逐渐构成絮状结构,如图 1-6 所示。

单粒结构是无粘性土的基本结构形式,蜂窝结构和絮状结构是粘性土的基本结构形式。一般来说,絮状结构土中的孔隙总体积和压缩性 $>$ 蜂窝结构的土 $>$ 单粒结构的土。密实的单粒结构土工程性质最好,蜂窝结构土次之,絮状结构土最差。

自然界的土,往往由几种粒组所组成,故土的结构一般不是单一的,而是以某种结构为主的混合形式。

二、土的灵敏度

原状土的无侧限抗压强度与同原状土的密度和含水率相同的重塑土的无侧限抗压强度的比值,称作土的灵敏度,常以 s_r 表示。即

$$s_r = \frac{q_u}{q'_u} \quad (1-3)$$

式中 q_u ——原状试样的无侧限抗压强度, kPa;

q'_u ——重塑试样的无侧限抗压强度, kPa。

由上式可看出,灵敏度 s_r 越大,说明土的原状结构被破坏后,其强度降低得越多。按其灵敏度的大小将粘性土分为:

高灵敏土 $s_r > 4$

中灵敏土 $2 < s_r \leq 4$

低灵敏土 $1 < s_r \leq 2$

在施工中,对于灵敏度高的土要注意保护基槽不受扰动,以免给工程带来不利影响。在土工试验中,注意在取样、运输、开土及试验操作全过程中,使土样不受扰动,确保试验数据的准确性,为设计和施工提供可靠的依据。

第四节 土的物理性质指标

土是由土粒、水和气体三相组成的。它们在土中的含量不同,土的物理、力学性质也不同。为了对土的物理性质作出定量的评价,常利用土中三相物质在体积和质量上的相对比值,作为土的物理性质指标。

为了便于研究土粒、水和气体这三相在数量上的相互关系,设想把土体中的各相分别

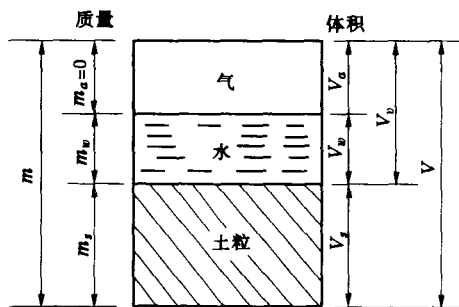


图 1-7 土的三相关系示意图

集中在一起,简化为一个如图 1-7 所示的土的三相图。

图 1-7 中, V 为土的总体积; V_a 为土中气体的体积; V_w 为土中水的体积; V_v 为土中孔隙的体积; V_s 为土中颗粒的体积; m 为土的总质量; m_w 为土中水的质量; m_s 为土中颗粒的质量; m_a 为土中气体的质量,常忽略不计,即假设 $m_a = 0$ 。

土的物理性质指标可分为重量指标和体积指标。

一、重量指标

以土中各相的重量(或质量)来反映土的物理性质的指标,称为重量指标。

(一)土的密度(ρ)和重度(γ)

土的密度是指单位体积土的质量;重度是指单位体积土的重量。两者都可以反映土的密度大小,随土的湿度状态而不同,在工程实际中常划分为以下 4 种。

1. 湿密度(ρ)和湿重度(γ)

土的湿密度也就是土的密度,指天然状态下单位体积土的质量,即

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m_s + m_w}{V} \quad (\text{g/cm}^3) \quad (1-4)$$

同理,土的湿重度也就是土的重度,指天然状态下单位体积土的重量,即

$$\gamma = \frac{mg}{V} = \frac{m_s g + m_w g}{V} \quad (\text{kN/m}^3) \quad (1-5)$$

式中 g ——重力加速度,在国际单位制中取值为 9.8m/s^2 。

天然状态下土的湿密度,一般为 $1.6 \sim 2.2\text{g/cm}^3$;重度为 $16 \sim 22\text{kN/m}^3$ 。

土的密度可直接由试验测定,一般粘性土采用环刀法,无粘性土采用灌水法。

2. 饱和密度(ρ_{sat})和饱和重度(γ_{sat})

饱和密度是指土在饱和状态下单位体积的质量,即

$$\rho_{sat} = \frac{m_s + m_w}{V} = \frac{m_s + V_v \rho_w}{V} \quad (\text{g/cm}^3) \quad (1-6)$$

同理

$$\gamma_{sat} = \frac{m_s g + V_v \gamma_w}{V} \quad (\text{kN/m}^3) \quad (1-7)$$

式中 ρ_w ——水的密度,即单位体积水的质量,工程计算中常取 1g/cm^3 ;

γ_w ——水的重度,即单位体积水的重量,工程计算中常取 9.8kN/m^3 。

3. 浮密度(ρ')和浮重度(γ')

浮密度是指水面以下的土单位体积内土粒质量与同体积水的质量之差,即

$$\rho' = \frac{m_s - V_s \rho_w}{V} \quad (\text{g/cm}^3) \quad (1-8)$$

同理

$$\gamma' = \frac{m_s g - V_s \gamma_w}{V} \quad (\text{kN/m}^3) \quad (1-9)$$

4. 干密度(ρ_d)和干重度(γ_d)

干密度是指土在干燥状态下单位体积的质量,即

$$\rho_d = \frac{m_s}{V} \quad (\text{g/cm}^3) \quad (1-10)$$

同理

$$\gamma_d = \frac{m_s g}{V} \quad (\text{kN/m}^3) \quad (1-11)$$

干密度越大,土体越密实,所以工程上常以干密度作为填土设计和控制填土施工质量的指标。一般填土设计的干密度为 $1.5 \sim 1.7 \text{g/cm}^3$ 。

由此可见,同一种土在体积不变的条件下它的各种密度在数值上有如下关系:

$$\rho_{sat} > \rho > \rho_d > \rho'$$

同理

$$\gamma_{sat} > \gamma > \gamma_d > \gamma'$$

(二)土粒比重(G_s)

土粒比重(或称土的比重)是指土粒质量与同体积 4°C 时的纯水质量之比,即

$$G_s = \frac{m_s}{V_s \rho_w} \quad (\text{无量纲}) \quad (1-12)$$

土粒比重代表矿物的比重,其值取决于土的矿物成分及有机质含量,变化范围不大,大致为 $2.6 \sim 2.8$ 。一般砂土为 $2.65 \sim 2.69$;粉土为 $2.70 \sim 2.71$;粘性土为 $2.72 \sim 2.75$ 。当土中含有有机质时,土粒比重为 2.4 左右。

土粒比重常用比重瓶法测定。

(三)含水率(ω)

含水率是指土中水的质量与土颗粒质量的比值,以百分数表示,即

$$\omega = \frac{m_w}{m_s} \times 100\% \quad (1-13)$$

土的含水率变化范围很大,一般砂土的含水率为 $5\% \sim 20\%$,粘土为 $20\% \sim 60\%$,某些处于流动状态的高液限粘土则可高达 200% 以上。

土的含水率通常用烘干法测定。在土坝施工中要求快速测定含水率时,可用酒精燃烧法。卵石的含水率可用炒干法测定。

二、体积指标

以土中各相的体积来反映土的物理性质的指标,称为体积指标。

(一)饱和度(S_r)

饱和度是指土中孔隙水体积与孔隙体积的比值,以百分数表示,即

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100\% \quad (1-14)$$

饱和度反映了土中孔隙被水充满的程度。如 $S_r = 100\%$,表示土中的孔隙全充满了水,土是完全饱和的; $S_r = 0$ 表明土是完全干燥的。

(二)孔隙率(n)

土的孔隙率是指土中孔隙的体积与总体积的比值,以百分数表示,即

$$n = \frac{V_v}{V} \times 100\% \quad (1-15)$$

(三)孔隙比

土的孔隙比是指土中孔隙体积与土粒体积的比值,以小数表示,即

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (1-16)$$

砂土的孔隙比一般为 0.5~1.0,粘性土为 0.5~1.2。

工程上常用孔隙比来判断土的密实度。如砂土 $e < 0.6$ 为密实状态,是良好地基;粘性土 $e > 1$ 为疏松状态,是软弱地基。

三、指标间的换算

上述的密度(ρ)、土粒比重(G_s)和含水率(ω)是通过试验测定的。在测定这三个指标后,其余的 ρ_d 、 e 、 n 、 S_r 等可由它们的定义利用三相图导出换算关系式求得。

例如:

$$\gamma_d = \frac{m_s g}{V} = \frac{m_s g}{m g / \gamma} = \frac{m_s \gamma}{m} = \frac{m_s \gamma}{m_s + m_w} = \frac{m_s \gamma}{m_s + \omega m_s} = \frac{\gamma}{1 + \omega}$$

为了计算方便,将常用的物理性质指标换算公式列入表 1-3,计算时可直接运用。

表 1-3 常用的物理性质指标换算公式

指 标	符号	表 达 式	换 算 公 式
孔隙比	e	$e = \frac{V_v}{V_s}$	$e = \frac{G_s \gamma_w (1 + \omega)}{\gamma} - 1, e = \frac{G_s \gamma_w}{\gamma_d} - 1, e = \frac{\omega G_s}{S_r}, e = \frac{n}{1 - n}$
干重度	γ_d	$\gamma_d = \frac{m_s g}{V}$	$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \omega}, \gamma_d = \frac{G_s \gamma_w}{1 + e}, \gamma_d = \frac{n S_r}{\omega} \gamma_w$
饱和重度	γ_{sat}	$\gamma_{sat} = \frac{m_s g + V_v \gamma_w}{V}$	$\gamma_{sat} = \frac{(G_s - 1) \gamma}{G_s (1 + \omega)} + \gamma_w, \gamma_{sat} = \frac{(G_s + e) \gamma_w}{1 + e}, \gamma_{sat} = \gamma' + \gamma_w,$ $\gamma_{sat} = \gamma_d + n \gamma_w$
浮重度	γ'	$\gamma' = \frac{m_s g - V_v \gamma_w}{V}$	$\gamma' = \frac{(G_s - 1) \gamma}{G_s (1 + \omega)}, \gamma' = \frac{(G_s - 1) \gamma_w}{1 + e}, \gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w,$ $\gamma' = (G_s - 1)(1 - n) \gamma_w$
饱和度	S_r	$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100\%$	$S_r = \frac{\omega G_s \gamma}{G_s \gamma_w (1 + \omega) - \gamma}, S_r = \frac{\omega G_s}{e}, S_r = \frac{\omega G_s \gamma_d}{G_s \gamma_w - \gamma_d},$ $S_r = \frac{\gamma(1 + e) - G_s \gamma_w}{e \gamma_w}$
孔隙率	n	$n = \frac{V_v}{V} \times 100\%$	$n = 1 - \frac{\gamma}{G_s \gamma_w (1 + \omega)}, n = 1 - \frac{\gamma_d}{G_s \gamma_w},$ $n = \frac{e}{1 + e}$

【例 1-2】某地基土工试验测得:土粒比重 $G_s = 2.68$,天然含水率 $\omega = 28\%$,土的湿