

土

木

工

程

系

列

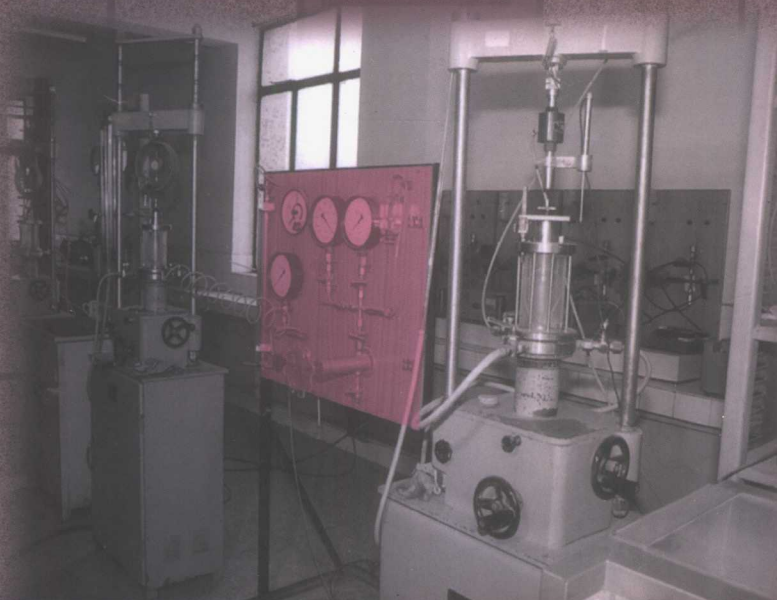
从

书

土工试验 与原理

■ 袁聚云 编著

同济大学出版社



土木工程系列丛书

土工试验与原理

袁聚云 编著

同济大学出版社

内 容 提 要

本书系统地介绍了土工试验的基本原理、试验仪器和试验方法,主要包括土的组成及比例指标、土的工程分类、试样制备及饱和、土的物理性质试验、土的力学性质试验、土的水理性质试验、土的动力性质试验和土的特殊性质试验等内容,每个试验项目均配有详细的试验操作步骤。

本书可作为高等学校土木工程等专业的教学实验用书,亦可供从事岩土工程设计、勘察和试验的技术人员参考及作为土工试验人员的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

土工试验与原理/袁聚云编著. —上海:同济大学出版社,2003.1

ISBN 7-5608-2538-9

I. 土… II. 袁… III. 土工试验—高等学校—教材 IV. TU41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 094044 号

土工试验与原理

袁聚云 编著

责任编辑 方 芳 责任校对 徐 栩 封面设计 晓 陆

出 版 同济大学出版社
发 行

(上海四平路 1239 号 邮编 200092 电话 021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 崇明裕安印刷厂印刷

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 13

字 数 333000

印 数 1—4000

版 次 2003 年 1 月第一版 2003 年 1 月第一次印刷

书 号 ISBN 7-5608-2538-9/TU·476

定 价 20.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换

前 言

土工试验是土木工程中的重要内容之一,无论是地面上的高层建筑、重型厂房、高速公路和机场,还是地面下的铁路、车库和隧道等,这些工程建设项目都与它们赖以存在的土体有着密切的关系。一方面,由于建设的需要,结构物不断趋向于高、大、重、深,要求对土的工程性质有更深更全面的了解和认识;另一方面,我国地域辽阔,自然地理环境各不相同,土的种类各种各样,土的工程性质也千变万化,因此,怎样有效地开展土工试验,如何正确地测定土的工程性质,并提供可靠的性质参数指标,对于各类工程项目的成功建设与否是至关重要的,而且也是首先必须要解决的问题。

本书是为了配合土木工程等专业进行土工试验教学而编写的实验用书,书中反映了作者多年的教学心得以及实验经验,并采用了国家及有关行业关于土工试验的最新规范和规程。根据土工试验的特点,本书强调指导性和实用性,力求详细、易懂和完整,每个试验项目内容不仅有试验原理,更有详尽的操作步骤,便于学生开展和完成土工试验的全过程。

本书包括土的组成及比例指标、土的工程分类、试样制备及饱和、土的物理性质试验、土的力学性质试验、土的水理性质试验、土的动力性质试验和土的特殊性质试验等内容。其中土的物理性质试验包括含水率试验、密度试验、比重试验、颗粒分析试验、界限含水率试验(液限和塑限试验)和相对密度试验(最小干密度试验和最大干密度试验);土的力学性质试验包括固结试验、抗剪强度试验、击实试验和静止侧压力系数 K_0 试验;土的水理性质试验包括渗透试验和湿化试验;土的动力性质试验包括振动三轴试验和共振柱试验;土的特殊性质试验包括黄土湿陷试验、膨胀率试验、膨胀力试验、收缩试验和有机质试验。

本书共分为八章,其中绪论、第一章、第二章、第三章、第四章、第五章、第六章和第八章由袁聚云编写,第七章由舒翔编写。

全书由杨熙章、祝龙根教授审阅。

本书在编写过程中引用了许多专家、学者在教学、科研、实验中积累的资料以及有关的规范规程条文,在此一并表示感谢。

限于作者水平,书中难免存在不当之处,恳请读者批评指正。

编 者

2002 年 10 月

目 录

绪 论	(1)
第一章 土的组成及比例指标	(4)
第一节 土的三相组成	(4)
第二节 土的三相比例指标	(5)
第三节 三相比例指标之间的换算关系	(8)
第二章 土的工程分类	(10)
第一节 概述	(10)
第二节 土的颗粒组成	(10)
第三节 粘性土的塑性指数	(13)
第四节 碎石土分类	(14)
第五节 砂土分类	(14)
第六节 细粒土分类	(15)
第七节 塑性图分类	(15)
第三章 试样制备及饱和	(17)
第一节 试样制备	(17)
第二节 试样饱和	(19)
第四章 土的物理性质试验	(22)
第一节 含水率试验	(22)
第二节 密度试验	(29)
第三节 比重试验	(38)
第四节 界限含水率试验	(46)
第五节 颗粒分析试验	(57)
第六节 砂的相对密度试验	(74)
第五章 土的力学性质试验	(78)
第一节 固结试验	(78)
第二节 击实试验	(94)
第三节 抗剪强度试验	(99)

第四节 静止侧压力系数 K_0 试验	(125)
第六章 土的水理性质试验	(129)
第一节 渗透试验	(129)
第二节 湿化试验	(146)
第七章 土的动力性质试验	(149)
第一节 振动三轴试验	(149)
第二节 共振柱试验	(163)
第八章 土的特殊性质试验	(179)
第一节 黄土湿陷试验	(179)
第二节 膨胀率试验	(186)
第三节 膨胀力试验	(189)
第四节 收缩试验	(191)
第五节 有机质试验	(194)
参考文献	(199)

绪 论

一、土工试验的对象和作用

土工试验是对土的工程性质进行测试,并获得土的物理性指标(如密度、含水率、土粒比重等)和力学性指标(如压缩模量、抗剪强度指标等)的实验工作,从而为工程设计和施工提供可靠的参数,它是正确评价工程地质条件不可缺少的前提和依据。

土是自然界的产物,其形成过程、物质成分以及工程特性是极为复杂的,并且随其受力状态、应力历史、加载速率和排水条件等的不同而变得更加复杂。所以,在进行各类工程项目设计和施工之前,必须对工程项目所在场地的土体进行土工试验,以充分了解和掌握土的各种物理和力学性质,从而为场地岩土工程地质条件的正确评价提供必要的依据。因此,土工试验是各类工程建设项目中首先必须解决的问题。

无论是地面上的高层建筑、重型厂房、高速公路和机场,还是地面下的铁路、车库和隧道等,这些工程建设项目都与它们赖以存在的土体有着密切的关系。各类工程的成败,在很大程度上取决于土体能否提供足够的承载力,取决于工程结构不至于遭受超过设计限度的地基沉降和差异变形等,而地基承载力确定和地基变形计算中的参数又主要是由土工试验来确定的,由此可见,土工试验对于各类工程项目的建设成功与否是至关重要的。

从土力学的发展历史及过程来看,从某种意义上也可以说土力学是土的实验力学,如库仑(Coulomb)定律、达西(Darcy)定律、普洛特(Proctor)压实理论以及描述土的应力-应变关系的双曲线模型等,无一不是通过对土的各种试验而建立起来的。因此,土工试验又为土力学理论的发展提供依据,即使在计算机及计算技术高度发达的今天,可以把土的复杂的弹塑性应力-应变关系纳入到岩土工程的变形与稳定计算中去,但是土的工程性质的正确测定对于这些计算模型的建立以及模型中参数的确定仍然是一个关键问题。所以,土工试验在土力学的发展过程中占有相当重要的地位。

采用原位测试方法对土的工程性质进行测定,较之室内土工试验具有不少优点,原位测试方法可以避免钻孔取土时对土的扰动和取土卸荷时土样回弹等对试验结果的影响,试验结果可以直接反映原位土层的物理状态,某些不易采取原状土样的土层(如深层的砂),只能采用原位测试的方法。但在进行原位测试时,其边界条件较为复杂,在计算分析时,有时还需作不少假定方能进行,如十字板剪切试验结果整理中的竖向和水平向抗剪强度相等的假定等,并且有些指标还不能原位测试直接测定,如应力路径、时间效应及应变速率等对土的性状的影响。室内土工试验由于能进行各种模拟控制试验以及进行全过程和全方位的量测和观察,在某种程度上反而能满足土的计算或研究的要求。因此,室内土工试验又是原位测试所代替不了的。

任何试验都有其一定的局限性,土工试验一样也有其局限性。其实,当土样从钻孔中取出时,就已产生两种效应使该土样偏离了实际情况,一是取土、搬运及试验切土时的机械作用扰动了土的结构,降低了土的强度;二是改变了土的应力条件,土样产生回弹膨胀。这两

种效应统称为扰动,扰动使试验指标不符合原位土体的工程性状。除此以外,试样的数量也是非常有限的,一层土一般只能取几个或十几个试样,试样总体积与其所代表的土层体积相比,相差悬殊;同时,土还是各向异性的,在垂直方向上与在水平方向上,其性质指标是不相同的。而室内土工试验的应力条件是相对理想和单一化的,如固结试验是在完全侧限条件下进行的,三轴压缩试验也仅是轴对称的,这些条件均与实际土层的受力条件不尽相符。因此,土工试验有一定的局限性,另外,土工试验成果因试验方法和试验技巧熟练程度的不同,也可能会有较大差别,这种差别在某种程度上甚至大于计算方法所引起的误差。

二、土工试验项目

室内土工试验大致可以分为五类:土的物理性质试验,土的力学性质试验,土的水理性质试验,土的动力性质试验和土的特殊性质试验。

土的物理性质试验,包括土的含水率试验、密度试验、比重试验、颗粒分析试验、界限含水率试验(液限、塑限和缩限试验)、相对密度试验(最小干密度试验和最大干密度试验)等。

土的力学性质试验,包括土的固结试验、抗剪强度试验、击实试验、静止侧压力系数 K_0 试验等。

土的水理性质试验,包括土的渗透试验、湿化试验等。

土的动力性质试验,包括土的振动三轴试验、共振柱试验、动单剪试验等。

土的特殊性质试验,包括黄土湿陷试验、膨胀率试验、膨胀力试验、收缩试验、有机质试验等。

土工试验的主要项目名称和方法列于表 0-1。

表 0-1 室内土工试验的主要项目名称和方法

种 类	试验项目	主 要 试 验 方 法
土的物理 性质试验	含水率试验	烘干法,酒精燃烧法,比重法,碳化钙气压法,炒干法
	密度试验	环刀法,蜡封法,灌水法,灌砂法
	土粒比重试验	比重瓶法,浮称法,虹吸筒法
	液限试验	圆锥仪法,碟式仪法,联合测定法
	塑限试验	滚搓法,联合测定法
	颗粒分析试验	筛分法,密度计(比重计)法,移液管法
	相对密度试验	最小干密度(最大孔隙比)试验:漏斗法和量筒法;最大干密度(最小孔隙比)试验:振动锤击法
土的力学 性质试验	固结(压缩)试验	标准固结试验,快速固结试验,应变控制连续加荷固结试验
	击实试验	轻型击实试验,重型击实试验
	直接剪切试验	慢剪试验,固结快剪试验,快剪试验,反复剪试验
	三轴压缩	不固结不排水剪试验,固结不排水剪试验,固结排水剪试验,一个试样多级加荷试验
	无侧限抗压强度	原状土试验,重塑土试验
	静止侧压力系数试验	K_0 容器
	加州承载比试验	在 $\phi 152\text{mm}$ 承载比试样筒内作贯入

续表

种 类	试验项目	试 验 方 法
土的水理 性质试验	渗透试验	常水头法;变水头法
	湿化试验	浮筒法
土的动力 性质试验	振动三轴	动强度(液化)试验,动弹性模量和阻尼比试验
	共振柱试验	稳态强迫振动法,自由振动法
	动单剪试验	纯剪法
土的特殊 性质试验	黄土湿陷试验	湿陷系数试验,自重湿陷系数试验,溶滤变形系数试验,湿陷起始压力试验
	自由膨胀率试验	水中自由膨胀
	膨胀率试验	无荷载膨胀率试验,有荷载膨胀率试验
	膨胀力试验	加荷平衡法
	收缩试验	室温收缩
	酸碱度(pH)值试验	电测法,比色法
	易溶盐试验	易溶盐、中溶盐、难溶盐的总量测定用烘干法,各离子含量测定用化学分析法
	有机质试验	重铬酸钾容量法,烧灼减量法

第一章 土的组成及比例指标

第一节 土的三相组成

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,所以土是由颗粒(固相)、水(液相)和气(气相)所组成的三相体系。随着土的三相组成物质的质量和体积比例不同,土的轻重、松密、干湿、软硬等一系列物理性质和状态也随之发生变化,土的物理性质又在一定程度上决定了其化学性质。

一、土的固相

土的固相物质包括无机矿物颗粒和有机质,它们是构成土的骨架最基本的物质。土中的无机矿物成分可以分为原生矿物和次生矿物两大类。

原生矿物是岩浆在冷凝过程中形成的矿物,如石英、长石、云母等。

次生矿物是由原生矿物经过风化作用后形成的新矿物,如三氧化二铝、三氧化二铁、次生二氧化硅、粘土矿物以及碳酸盐等。次生矿物按其与水的作用可分为易溶的、难溶的和不可溶的,次生矿物的水溶性对土的性质有重要的影响。粘土矿物的主要代表性矿物为高岭石、伊利石和蒙脱石,由于其亲水性不同,当其含量不同时,土的工程性质也就不同。

在以物理风化为主的过程中,岩石破碎而并不改变其成分,岩石中的原生矿物得以保存下来;但在化学风化的过程中,有些矿物分解成为次生的粘土矿物。粘土矿物是很细小的扁平颗粒,表面具有极强的和水相互作用的能力。颗粒愈细,表面积愈大,亲水的能力就愈强,对土的工程性质的影响也就愈大。

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等有机物,如泥炭等。有机颗粒紧紧地吸附在无机矿物颗粒的表面形成了颗粒间的连接,但是这种连接的稳定性较差。

二、土的液相

土的液相是指存在于土孔隙中的水。通常认为水是中性的,在 0°C 时冻结,但实际上土中的水是一种成分非常复杂的电解质水溶液,它和亲水性的矿物颗粒表面有着复杂的物理化学作用。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。

结合水是指处于土颗粒表面水膜中的水,受到表面引力的控制而不服从静水力学规律,其冰点低于 0°C 。结合水又可分为强结合水和弱结合水,强结合水存在于最靠近土颗粒表面处,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 0°C 以下而不发生冻结的现象)。在距土粒表面较远处的结合水称为弱结合水,由于引力降

低,弱结合水的水分子的排列不如强结合水那样紧密,弱结合水可能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,即可能从一个土粒的周围迁移到另一个土粒的周围,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。

自由水包括毛细水和重力水。毛细水不仅受到重力的作用,还受到表面张力的支配,能沿着土的细孔隙从潜水面上升到一定的高度,毛细水上升对于公路路基土的干湿状态及建筑物的防潮有重要影响。重力水在重力或压力差作用下能在土中渗流,对于土颗粒和结构物都具有浮力作用,在土中应力计算中应当考虑这种渗流及浮力的作用力。

三、土的气相

土的气相是指充填在土的孔隙中的气体,包括与大气连通或不连通两类。与大气连通的气体对土的工程性质没有多大的影响,它的成分与空气相似,当土受到外力作用时,这种气体很快地从孔隙中挤出。但是密闭的气体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,含气体的土则称为非饱和土。

第二节 土的三相比例指标

土的三相物质在体积或质量上的比例关系称为三相比例指标。土的三相比例指标反映了土的干燥与潮湿、疏松与紧密的程度,它是评价土的工程性质的最基本的物理性质指标,也是岩土工程勘察报告中不可缺少的基本内容。

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 1-1 所示的三相图。在图 1-1c)中,右边注明土中各相的体积,左边注明土中各相的质量。土的体积 V 为土中空气的体积 V_a 、水的体积 V_w 和土粒的体积 V_s 之和;土样的质量 m 为土中空气的质量 m_a 、水的质量 m_w 和土粒的质量 m_s 之和;通常认为空气的质量可以忽略,则土样的质量就仅为水和土粒质量之和。

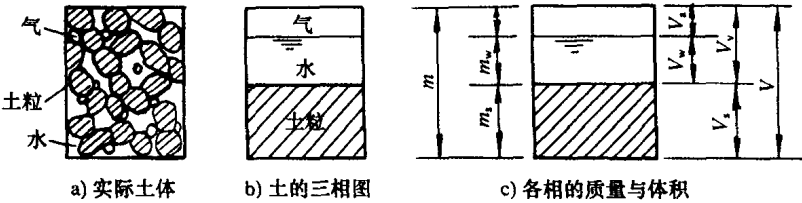


图 1-1 土的三相图

土的三相比例指标可分为两类:一类是试验指标;另一类是换算指标。

一、试验指标

通过试验测定的指标称为试验指标,有土的密度、土粒比重和含水率。

1. 土的密度 ρ

土的密度是单位体积土的质量,单位为 g/cm^3 ,若土的体积为 V ,质量为 m ,则土的密度 ρ 可由式(1-1)表示:

$$\rho = \frac{m}{V} \tag{1-1}$$

土的密度常用环刀法测定,一般土的密度为 $1.60 \sim 2.20 \text{g}/\text{cm}^3$ 。当用国际单位制计算土的重力 W 时,由土的质量产生的单位体积的重力称为土的重力密度 γ ,简称为重度,其单位为 kN/m^3 ;重力等于质量乘以重力加速度 g ,则重度由密度乘以重力加速度求得,即

$$\gamma = \rho g \tag{1-2}$$

对天然土求得的密度称为天然密度或湿密度,相应的重度称为天然重度或湿重度,以区别于其他条件下的指标,如干密度和干重度、饱和密度和饱和重度等。

2. 土粒比重 G_s

土粒比重是土粒质量 m_s 与同体积 4°C 时纯水的质量之比,可由式(1-3)表示:

$$G_s = \frac{m_s}{V_s \rho_{w1}} = \frac{\rho_s}{\rho_{w1}} \tag{1-3}$$

式中, ρ_{w1} 为纯水在 4°C 时的密度 ($=1 \text{g}/\text{cm}^3$), ρ_s 为土粒密度。

土粒比重在数值上等于土粒密度,但土粒比重无量纲。土粒比重主要取决于土的矿物成分,不同土类的比重变化幅度并不大,在有经验的地区可按经验值选用,一般土的比重参考值见表 1-1。

表 1-1 土粒比重参考值

土 名	砂 土	砂质粉土	粘质粉土	粉质粘土	粘 土
土粒比重	2.65~2.69	2.70	2.71	2.72~2.73	2.74~2.76

3. 土的含水率 w

土的含水率是土中水的质量 m_w 与土粒质量 m_s 之比,可由式(1-4)表示:

$$w = \frac{m_w}{m_s} \times 100\% \tag{1-4}$$

含水率一般用烘干法测定,是描述土的干湿程度的重要指标,常以百分数表示。土的天然含水率变化范围很大,从干砂的含水率接近于零到蒙脱土的含水率可达百分之几百。

二、换算指标

除了上述三个试验指标之外,还有一些指标可以通过计算求得,称为换算指标,包括土的干密度、饱和密度、有效密度、孔隙比、孔隙率和饱和度。

1. 土的干密度 ρ_d 、饱和密度 ρ_{sat} 和有效密度 ρ'

干密度是土的颗粒质量 m_s 与土的总体积 V 之比,单位为 g/cm^3 ,可由式(1-5)表示:

$$\rho_d = \frac{m_s}{V} \quad (1-5)$$

土的干密度越大,土则越密实,强度也越高,土稳定性也越好。干密度常用作填土密实度的施工控制指标。

土的饱和密度是当土的孔隙中全部为水所充满时的密度,即全部充满孔隙的水的质量 m_w 与颗粒质量 m_s 之和与土的总体积 V 之比,单位为 g/cm^3 ,可由式(1-6)表示:

$$\rho_{\text{sat}} = \frac{m_s + V_v \rho_w}{V} \quad (1-6)$$

式中, V_v 为土的孔隙体积, ρ_w 为水的密度 ($\approx 1 \text{g}/\text{cm}^3$)。

当土浸没在水中时,土的颗粒受到水的浮力作用,单位土体积中土粒的质量扣除同体积水的质量后,即为单位土体积中土粒的有效质量,称为土的有效密度(又称浮密度),单位为 g/cm^3 ,可由式(1-7)表示:

$$\rho' = \frac{m_s - V_s \rho_w}{V} \quad (1-7)$$

当用干密度、饱和密度或有效密度计算重力时,也应乘以重力加速度 g 变换为干重度 γ_d 、饱和重度 γ_{sat} 或有效重度 γ' ,单位为 kN/m^3 ,可由式(1-8)~式(1-10)表示:

$$\gamma_d = \rho_d g \quad (1-8)$$

$$\gamma_{\text{sat}} = \rho_{\text{sat}} g \quad (1-9)$$

$$\gamma' = \rho' g \quad (1-10)$$

2. 土的孔隙比 e 和孔隙率 n

土的孔隙比是土中孔隙的体积 V_v 与土粒体积 V_s 之比,以小数计,可由式(1-11)表示:

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (1-11)$$

孔隙比可用来评价土的紧密程度,或从孔隙比的变化来推算土的压密程度,是一个重要的物理性指标。

土的孔隙率是土中孔隙的体积 V_v 与土的总体积 V 之比,以百分数计,可由式(1-12)表示:

$$n = \frac{V_v}{V} \times 100\% \quad (1-12)$$

3. 土的饱和度 S_r

土的饱和度是指土中孔隙水的体积 V_w 与孔隙体积 V_v 之比,以百分数计,由式(1-13)表示:

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100\% \quad (1-13)$$

第三节 三相比比例指标之间的换算关系

土的三相比比例指标之间可以互相换算,根据土的密度、土粒比重和含水率三个试验指标,可以换算求得全部计算指标,也可以用某几个指标换算求得其他的指标。

图 1-2 所示的是土的三相草图,假定土的颗粒体积 $V_s=1$,并令 $\rho_{w1}=\rho_w$,则孔隙体积 $V_v=e$,总体积 $V=1+e$,颗粒质量 $m_s=V_s G_s \rho_{w1}=G_s \rho_w$,水的质量 $m_w=w m_s=w G_s \rho_w$,总质量 $m=G_s(1+w)\rho_w$,于是根据定义有

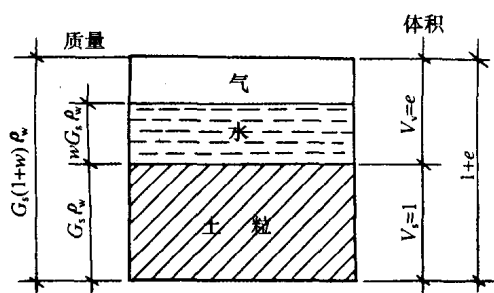


图 1-2 土的三相草图

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{G_s(1+w)\rho_w}{1+e} \quad (1-14)$$

$$\rho_d = \frac{m_s}{V} = \frac{G_s\rho_w}{1+e} = \frac{\rho}{1+w} \quad (1-15)$$

$$e = \frac{G_s\rho_w}{\rho_d} - 1 = \frac{G_s(1+w)\rho_w}{\rho} - 1 \quad (1-16)$$

$$\rho_{sat} = \frac{m_s + V_v\rho_w}{V} = \frac{(G_s+e)\rho_w}{1+e} \quad (1-17)$$

$$\begin{aligned} \rho' &= \frac{m_s - V_v\rho_w}{V} = \frac{m_s - (V - V_s)\rho_w}{V} = \frac{m_s + V_s\rho_w - V\rho_w}{V} \\ &= \rho_{sat} - \rho_w = \frac{(G_s-1)\rho_w}{1+e} \end{aligned} \quad (1-18)$$

$$n = \frac{V_v}{V} = \frac{e}{1+e} \quad (1-19)$$

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} = \frac{m_w/\rho_w}{e} = \frac{wG_s\rho_w/\rho_w}{e} = \frac{wG_s}{e} \quad (1-20)$$

土的三相比比例指标换算公式一并列于表 1-2。

表 1-2 土的三相比比例指标换算关系

换算指标	用试验指标计算的公式	用其他指标计算的公式
孔隙比 e	$e = \frac{G_s(1+w)\gamma_w}{\gamma} - 1$	$e = \frac{G_s\gamma_w}{\gamma_d} - 1$ $e = \frac{wG_s}{S_r}$
饱和重度 γ_{sat}	$\gamma_{sat} = \frac{\gamma(G_s-1)}{G_s(1+w)} + \gamma_w$	$\gamma_{sat} = \frac{G_s+e}{1+e}\gamma_w$ $\gamma_{sat} = \gamma' + \gamma_w$
饱和度 S_r	$S_r = \frac{\gamma G_s w}{G_s(1+w)\gamma_w - \gamma}$	$S_r = \frac{wG_s}{e}$

续表

换算指标	用试验指标计算的公式	用其他指标计算的公式
干重度 γ_d	$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+w}$	$\gamma_d = \frac{G_s}{1+e} \gamma_w$
孔隙率 n	$n = 1 - \frac{\gamma}{G_s(1+w)\gamma_w}$	$n = \frac{e}{1+e}$
有效重度 γ'	$\gamma' = \frac{\gamma(G_s-1)}{G_s(1+w)}$	$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$

第二章 土的工程分类

第一节 概 述

土的工程分类是工程勘测与设计的前提,一个正确的设计必须是建立在对土正确评价的基础上,而土的工程分类正是工程勘测评价的基本内容。

从为工程服务的目的来说,土的分类是把不同的土分别安排到各个具有相近性质的组合中去,其目的是为了使人们有可能根据同类土已知的性质去评价其性质,或为工程师提供一个可供采用的描述与评价土的方法。由于各类工程的特点不同,分类依据的侧重面也就不同,因而形成了服务于不同工程类型的分类体系。对同样的土如果采用不同的规范进行分类,定出的土名也可能会有差别。

土的工程分类一般有下列几种分类方法:

(1) 按地质成因可分为残积土、坡积土、洪积土、冲积土、淤积土和冰积土等。

(2) 按地质沉积年代可分为老沉积土、一般沉积土和新近沉积土。

(3) 按颗粒级配或塑性指数可分为碎石类土、砂类土、粉土和粘性土。

(4) 按有机质含量可分为无机土、有机土、泥炭质土和泥炭。

(5) 按地区和土的工程性质的特殊性可分为一般土和各类特殊土(如黄土、软土、红粘土、冻土及人工填土等)。

第二节 土的颗粒组成

一、土粒粒组的划分

天然土是由大小不同的颗粒所组成的,土颗粒的大小相差悬殊,从大到几十厘米的漂石至小到几微米的胶粒,同时由于土粒的形状往往是不规则的,因此很难直接测量土粒的大小,只能用间接的方法来定量地描述土粒的大小及各种颗粒的相对含量。常用的方法有两种,对粒径大于 0.075mm 的土粒常用筛分析的方法,而对小于 0.075mm 的土粒则用沉降分析的方法。

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。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。

对于粒组的划分,各个国家,甚至一个国家的各个部门之间都有不同的规定,其中《土的工程分类标准》(GBJ145—90)和《公路土工试验规程》(JTJ051—93)所规定的粒组划分标准见表 2-1。

表 2-1 土粒粒组的划分标准

粒组统称	《土的工程分类标准》(GBJ145—90)		《公路土工试验规程》(JTJ051—93)	
	粒组名称	粒组范围(mm)	粒组名称	粒组范围(mm)
巨粒	漂石(块石) 卵石(碎石)	>200 200~60	漂石(块石) 卵石(小块石)	>200 200~60
粗粒	粗砾	60~20	粗砾	60~20
	砾粒	20~2	中砾	20~5
	细砾	2~0.075	细砾	5~2
	砂粒		粗砂	2~0.5
			中砂	0.5~0.25
			细砂	0.25~0.075
细粒	粉粒	0.075 ~0.005	粉粒	0.075~0.002
	粘粒	<0.005	粘粒	<0.002

二、土粒组成的表示方法

土粒的大小及其组成情况,通常用土中各个粒组的相对含量(各粒组质量占土粒总质量的百分比)来表示,称为土的颗粒级配。

常用的颗粒级配的表示方法有表格法、累计曲线法和三角坐标法。

(1) 表格法:是以列表形式直接表达各粒组的相对含量。表格法有两种不同的表示方法,一种是以累计含量百分比表示的,如表 2-2 所示;另一种是以粒组表示的,如表 2-3 所示。累计百分含量是直接由试验求得的结果,粒组是由相邻两个粒径的累计百分含量之差求得的。

表 2-2 颗粒级配的累计百分含量表示法

粒径 d_i (mm)	粒径小于等于 d_i 的累计百分含量 p_i (%)		
	土样 A	土样 B	土样 C
10	—	100.0	—
5	100.0	75.0	—
2	98.9	55.0	—
1	92.9	42.7	—
0.50	76.5	34.7	—
0.25	35.0	28.5	100.0
0.10	9.0	23.6	92.0
0.075	—	19.0	77.6
0.010	—	10.9	40.0
0.005	—	6.7	28.9
0.001	—	1.5	10.0