

TUGONG SHIYAN JI DIJI CHENGZAILI JIANCE

土工试验及地基 承载力检测

周福田 主编

人民交通出版社

内 容 提 要

本书主要介绍了常规的土工试验与地基承载力检测的方法。内容包括土工基础知识,含水量及界限含水量试验,密度和比重试验,颗粒分析试验,击实试验,渗透、固结试验,抗剪强度试验,土的动力特性试验,软基加固的主要方法,触探试验,平板载荷试验,标准贯入试验,旁压试验,十字板剪切试验和土中应力测试。本书是交通部水运工程试验检测技术培训教材,通俗易懂可操作性强,也可供高等学校有关专业师生及工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

交通部水运工程试验检测技术培训教材/水运工程试验检测技术培训教材编委会主编. —北京:人民交通出版社, 2000.7

ISBN 7-114-03722-8

I.交… II.水… III.航道工程—工程验收—技术培训—教材 IV.U615.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 65429 号

交通部水运工程试验检测技术培训教材 土工试验及地基承载力检测

Tugong Shiyān Jì Dìjī Chéngzài lì Jiāncè

周福田 主编

版式设计:周 园 责任校对:戴瑞萍 责任印制:杨柏力

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号 010 64216602)

各地新华书店经销

北京鑫正大印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:9.5 字数:229 千

2000 年 7 月 第 1 版

2000 年 7 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:0001—3000 册 定价:27.00 元

ISBN 7-114-03722-8

U·02696

前 言

水运工程建设正迅速发展。为了给设计提供可靠的依据和确保工程的施工质量,对某些已交付使用建筑物的安全性和可靠度进行检测、鉴定,对试验检测人员进行岗前培训,提高试验检测人员的素质十分必要。因此,交通部质监总站已多次组织了勘察、施工、质监等单位 and 部门的试验检测人员进行了培训。为系统地提高试验检测人员的业务能力、管理能力,使培训工作规范化,交通部质监总站组织原南京交通高等专科学校等单位,编写了全套水运工程试验检测教材。该套教材适用的培训对象主要是具有中专(或相当于中专)学历,现在正从事试验、检测或技术管理的人员。教材内容以基本原理为主,力求浅显易懂,可操作性强。

1997年7月交通部质监总站组织有关专家在江苏省交通厅召开了水运工程试验检测教材编写大纲审查会,《土工试验及地基承载力检测》教材是根据该次会议通过的大纲编写的。全书共分十五章,第一章是土工基础知识,第二章至第八章是介绍土工试验,第九章是软基处理简介,第十章至第十五章是地基承载力的原位测试。编写人员具体分工如下:

经绯编写第一章、第二章、第三章和第四章;朱志铎编写第五章、第六章、第七章、第八章和第十一章;周福田编写第九章、第十二章、第十三章和第十四章;顾春光编写第十章和第十五章。全书由周福田、朱志铎统稿,周福田担任主编。中国港湾工程总公司秦皇岛试验检测中心赵敏成高级工程师、南京水利科学研究院土工所盛树馨高级工程师审阅了本书,对保证成书的质量起了很大的作用,在此表示感谢。

由于编者水平有限,错漏之处一定不少,望读者批评指正。

编 者

2000年3月

编写说明

建筑工程的质量问题是关系到国家人民生命财产安全的千年大计。在改革开放和市场经济条件下,建筑市场必须严格按照规定的法制轨道办事,严把质量关特别重要。根据一切用数据说话的原则,对建筑用原材料、构、配件及建筑物本身进行科学的试验和检测,是证明建筑物质量状况优劣的最具权威的依据。无论是建设单位、施工单位,还是质量监督部门都必须注重试验和检测工作。

交通运输事业是国民经济的一个重要组成部分,它在生产、流通和消费诸环节中起着极其重要的作用。水运具有量大、价廉、安全的优势,在大宗货物的运输方面,特别是在洲际外贸运输方面更是一枝独秀。因此,水运是现代交通的重要组成部分。

水运工程多在海上和河流中施工,施工时需要的船机设备较多,条件艰苦,季节性强,影响因素复杂,一旦造成质量事故后损失巨大,而返工、返修、善后处理又很困难。所以作为建设单位、施工单位、监理单位和上级主管部门都把质量控制放在十分重要的地位。重庆市綦江县彩虹桥倒塌的事件在建筑行业引起了极大的震撼。加强质量管理和监督,防止不合格建筑产品交付使用,科学地做好各种试验检测是必不可少的基本工作。

水运工程的试验检测工作融专业知识和操作方法于一体,具有较强的理论性和实践性。为了大面积地提高试验检测人员和管理人员的技能和素质,交通部工程建设质量监督总站计划对有关从业人员进行全面培训,主要对象是中专(高中)以上学历,从事试验检测和管理工作的有关人员。为了使培训工作顺利地进行,特成立了水运工程试验检测技术培训教材编委会,由交通部当时的工程建设质量监督总站站长苏秉坤任教材编委会主任,并委托原南京交通高等专科学校组织编写全套培训教材,具体由港航系(现东南大学交通学院港航系)实施。1997年7月在江苏省交通厅召开了由中港一航局、二航局、三航局、四航局港湾工程试验检测中心、河海大学、重庆交通学院、长沙交通学院等单位的有关专家教授参加的教材编写大纲审查会,并通过了教材编写大纲。1998年3、4月份,根据教材编写大纲,各门课程的讲义都陆续编写完成并使用。现在出版的这套教材是在多期培训班试用的讲义基础上,两次请有关专家评审,并吸收了培训班举办单位和广大学员的意见进行了增删修改而成的。

根据交通部工程建设质量监督总站的意见,现先出版《土工试验及地基承载力检测》、《混凝土及构件试验检测》、《水运工程试验检测概论》、《原材料质量检测》等四本。

1.《土工试验及地基承载力检测》,包括土工基础知识,常规土工试验,常用地基处理方法,地基承载力的原位测试。由周福田、朱志铎、经绯、顾春光编写,周福田任主编。秦皇岛港湾工程质量检测中心赵敏成、南京水利科学研究院盛树馨审阅了本书。

2.《混凝土及构件试验检测》,上篇混凝土及构件试验检测包括了水泥混凝土拌和物的和易性、硬化混凝土的强度及耐久性、砂浆技术性质、预应力钢绞线锚夹具等的常规试验检测;下篇为混凝土非破损检测技术。全书由宣国良、谢耀峰任主编。天津港湾工程质量检测中心吴岳清、武汉港湾工程质量检测中心吴继光、大连理工大学王清湘审阅了上篇,天津港湾工程质量检测中心龚景齐、刘亚平审阅了下篇。

3.《水运工程试验检测概论》,包括试验检测的规范性管理,试验检测的基本要求,实验室的运作,试验检测程序,质量管理和试验检测中数据处理等方面的基本概念和方法。由陈一梅、吴岳清编写,陈一梅任主编。天津港湾工程质量检测中心黄孝衡、武汉港湾工程质量检测中心王颖异、大连理工大学胡立万审阅了全书。

4.《原材料质量检测》,对各种原材料(包括水泥、混凝土的粗细骨料、钢筋、钢丝、钢绞线、其它钢材、混凝土外加剂及掺合料混凝土拌合用水、石料、土工合成材料及修补材料)的试验检测工作作了详细的说明,由蔡宁生、黄孝衡编写,蔡宁生任主编。上海港湾工程设计研究院陈慧英、南京水利科学研究院方璟、广州港湾工程质量检测中心周庆华审阅了全书。

这套教材的编写、出版得到了交通部工程建设质量监督总站、原南京交通高等专科学校港航系、成教部、教务处和人民交通出版社的大力支持。东南大学交通学院港航系周福田对教材的编写、出版做了大量的组织工作,并对全套教材进行统稿。承江苏省交通厅质量监督站解先荣高级工程师审阅了这套教材,提出了不少宝贵意见,在此表示十分感谢。本书不足之处在所难免,恳望读者指正。

2000年4月

目 录

第一章 土工基础知识	(1)
第一节 土的物理性质和工程分类.....	(1)
第二节 土中水的运动规律.....	(7)
第三节 地基的应力、沉降与承载力	(9)
第四节 土样和试样制备	(20)
第二章 含水量及界限含水量试验	(25)
第一节 概述	(25)
第二节 试验方法	(25)
第三节 试验成果的应用	(30)
第三章 密度和比重试验	(33)
第一节 概述	(33)
第二节 密度试验	(33)
第三节 比重试验	(36)
第四节 砂的相对密度试验	(39)
第五节 实际应用	(41)
第四章 颗粒分析试验	(45)
第一节 概述	(45)
第二节 筛分析法	(47)
第三节 密度计法	(49)
第四节 移液管法	(52)
第五章 击实试验	(55)
第一节 击实试验	(55)
第二节 击实土的工程性质	(58)
第六章 渗透、固结试验	(60)
第一节 渗透试验	(60)
第二节 固结试验	(64)
第七章 抗剪强度试验	(68)
第一节 直接剪切试验	(68)
第二节 无侧限抗压强度试验	(71)
第三节 三轴剪力试验	(73)
第八章 土的动力特性试验	(82)
第一节 概述	(82)
第二节 动三轴试验	(83)

第九章 软基加固主要方法简介	(87)
第一节 概述	(87)
第二节 排水固结法	(88)
第三节 振冲法	(91)
第四节 强夯法	(93)
第五节 深层水泥拌和法(CDM工法)	(94)
第十章 触探试验(Sounding)	(96)
第一节 静力触探(CPT)	(96)
第二节 动力触探(DPT)	(101)
第十一章 平板载荷试验(PLT)	(109)
第一节 基本原理及测试设备	(109)
第二节 测试方法	(111)
第三节 资料整理	(112)
第十二章 标准贯入试验(SPT)	(115)
第一节 标准贯入试验的应用和机理	(115)
第二节 标准贯入试验设备和标准贯入试验	(116)
第三节 地基参数估算	(117)
第十三章 旁压试验(PMT)	(121)
第一节 预钻式旁压试验	(121)
第二节 自钻式旁压试验	(129)
第十四章 十字板剪切试验(FVT)	(132)
第一节 试验设备	(132)
第二节 试验要点	(133)
第三节 资料整理及理论计算	(135)
第十五章 土中应力测试	(138)
第一节 概述	(138)
第二节 土中总应力测试	(138)
第三节 土中孔隙水压力的测试	(141)

第一章 土工基础知识

第一节 土的物理性质和工程分类

一、土的形成

土是岩石表层在漫长的地质年代里,经受了各种复杂的地质作用(包括人类活动)而形成的地质体。我国大部分地区的土形成于第四纪或新第三纪时期。

根据土的来源可分为无机土和有机土两大类。由地表岩石经风化作用而形成的没有胶结或弱胶结的颗粒堆积物称为无机土;在沼泽等缺氧环境里,由动植物残骸完全或部分分解所形成的堆积物称为有机土。在自然界,土的形成过程是十分复杂的,天然土绝大部分是无机土,同时,也常有一些有机质混入土中。当土中含一定量的有机质时(通常 5% ~ 10%),对土的性质会产生不利的影响,因而工程中常对所用土料的有机质含量有严格的控制。

任何一种土,从形成到现在的状况都是经过非常复杂的变化过程。一般而言,地质成因相同,处于相似形成条件的土,其工程地质特征具有很大的共性;但是经历不同变化过程的土,则其工程地质特征就会表现出差异。按形成土的最后一次地质营力和沉积条件,将第四纪沉积物划分成若干成因类型:岩石经风化后仍留在原处的堆积物称残积土,它处于岩石风化壳的上部,与新鲜岩石之间没有明显的界限,剥蚀平原是其最有利的地形,决定其性质的主要因素是母岩岩性、气候条件及暴露时间;经受流水、风、冰川等动力搬运离开产地的堆积物称运积土,其特征随搬运力而异,常见的有河流冲积土(坡积、洪积、冲积、湖积、海洋沉积)、风积土、冰川沉积而成的冰碛土、火山堆积等。因而可以说,土的工程地质性质在土的形成过程中已经形成。

二、土的组成

土的物质组成不论其成因如何,均由固相、液相和气相三部分组成。固相部分主要是土粒,有时还有粒间胶结物和有机质,它们构成土的骨架;液相部分为水及溶解物;气相部分为空气和其它气体。当土中的孔隙全部被水充满时,这种土称为饱和土;而当孔隙仅含空气时,就称为干土;在地面以下地下水位以上一定高度范围内的土,一般兼含空气和水,属三相体系,称为湿土。

1. 土的固相

天然土是由无数大小不同的土粒所组成,土粒的大小通常是用粒径(d)来表示,以毫米为单位。土粒由粗到细,粒径相差非常悬殊,通常将大小相近的土粒合并为一组,称为粒组,不同的粒组赋予土不同的性质。各粒组的划分和粒径范围见表 1-1。工程上为方便起见,把大于 0.075mm 的土粒统称为粗粒组,小于 0.075mm 的土粒统称为细粒组。

土 的 分 类

表 1-1

土 的 名 称		颗 粒 形 状	颗 粒 级 配
碎 石 土	漂石 块石	圆形、亚圆形为主 棱角形为主	粒径大于 200mm 的颗粒超过总质量的 50%
	卵石 碎石	圆形、亚圆形为主 棱角形为主	粒径大小于 20mm 的颗粒超过总质量的 50%
	圆砾 角砾	圆形、亚圆形为主 棱角形为主	粒径大于 2mm 的颗粒超过总质量的 50%
砂 土	砾粒	粒径大于 2mm 的颗占总质量 25% ~ 50%	
	粗砂	粒径大于 0.5mm 的颗占总质量 50%	
	中砂	粒径大于 0.25mm 的颗占总质量 50%	
	细砂	粒径大于 0.075 的颗占总质量 85%	
	粉砂	粒径大于 0.075mm 的颗粒占总质量 50%	

注:定名时根据粒径分组由大到小的最先符合者确定。

一般天然土都由若干粒组组成,土中某粒组的土粒含量定义为该粒组土粒质量与干土总量之比,常以百分数表示。而土中各粒组的相对含量就称为土的级配。土的级配好坏必须通过颗粒分析试验才能确定,它将直接影响到土的性质。级配良好的土,压实时能达到较高的密实度,因而,土的透水性小,强度高,压缩性低;反之,级配不良的土,往往压实密度小,强度低,或者渗透稳定性差。

2. 土的液相

土中水通常是在不同的作用力之下,处于不同的状态,它们的性质也有所不同。土中水的分类如表 1-2 所示。

被土颗粒表面吸附着的水称为结合水,它受土粒表面引力的控制,有其独特的特点,如溶解能力降低,密度变大,弹性增强,粘滞性高,不受重力影响,冰点低于 0℃等。对于细粒土,当粘粒含量高,特别是当粘粒由粘土矿物组成时,结合水往往占有很大的孔隙体积,故细粒土的性质将受结合水的重大影响。

土 中 水 的 类 型

表 1-2

水 的 类 型		主 要 作 用 力
结 合 水		物 理 化 学 力
自 由 水	毛 细 水	表面张力和重力
	重 力 水	重 力

孔隙水中不受土粒表面引力束缚的那部分水称为自由水,它与普通水没有多大差别。自由水又可分为毛细水和重力水:在地下水位以上为毛细水,以下为重力水。对于粗粒土,在孔隙水的体积中结合水的体积可忽略不计,而以自由水的形式存在。

必须指出,水是土的一个重要组成部分。根据实用观点,一般认为它不能承受剪力,但能承受压力和一定的吸力;同时,水的压缩性很小,在通常所遇到的压力范围内,它的压缩量可忽略不计。

3. 土的气相

土的气相主要指土孔隙中充填的空气,它可分为与大气连通的和不连通的以气泡形式出现的封闭气体两类。

若土的饱和度低,土中气体就与大气相通,在受到外力时,气体很快从孔隙中排出,一般对土的工程性质影响不大;但若土的饱和度很高,土中出现封闭气泡时,外力将引起气泡压缩或溶解于水中,而一旦外力除去或孔隙水排出,气泡会恢复原状或重新游离出来。因此,土中封闭气体的存在可使土的渗透性减小,弹性增大,拖延土的压缩和膨胀变形的发展过程,对土的工程性质影响较大。

三、土的结构

土粒或土粒集合体,以其不同的形状、大小、表面特征,相互排列形式及连结性质,组成土的基本单元,称为土的结构或土的微观结构。土的结构取决于土粒间力的性质,以及成土过程中和随后受到的外力,它对土的物理力学性质有重要影响。在此,介绍沉积成因的土通常具有的下列三种极端类型。

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。当土粒在水或空气中由重力作用下沉时,一旦与已沉稳的土粒相接触,就滚落到平衡位置,而形成这种结构,因沉积条件不同,它有松紧之别。具单粒结构的土其粒间几乎完全没有连结力,孔隙大,透水性好,内摩阻力大,强度高,受压后变形小。

2. 絮凝结构

粘粒在盐水中,由粒间的引力作用沉积而成的结构,称为絮凝结构,也称蜂窝状结构。具絮凝结构的粘性土性质较均匀,具有较大孔隙,对扰动比较敏感,在外力作用下,土的变形和强度均随之发生变化。

3. 片堆结构

粘粒在淡水中,由粒间的斥力作用沉积而成的结构,称为片堆结构,也称分散结构。具片堆结构的粘性土,颗粒的定向排列程度较高,密度较大,具有明显的各向异性。

上面介绍的都是土的微观结构,大多需用显微镜才能观察到。而用肉眼或一般放大镜可以看到的称为土的宏观结构,如层理、裂隙、大孔隙等。

在宏观上,具有单粒结构的粗粒土,无明显的沉积层理,也无明显的异向性,若土粒排列紧密,则孔隙较小,结构密实,有较好的工程地质性质;反之,孔隙较大,密实性较差,工程地质性质也较差。细粒土的沉积层具有明显的层理,常见砂土与粘土相互交叠成层,具有明显的各向异性,垂直于层理的压缩性和透水性较小,平行于层理的压缩性和透水性较大。若沉积层的细粒土中夹有较大的单粒土,其物理力学性质,主要由细粒土决定。

四、土的物理性质指标

所谓土的物理性质指标就是表示土中三相比例关系的一些物理量。它们不仅可以描述土的物理性质和所处的状态,而且在一定程度上,还可用来反映土的力学性质。土的物理性质指标可分为两类:一类是必须通过试验测定的,如含水量、密度和土粒比重,我们称之为试验指标;另一类是可以根据试验测定的指标换算的,如孔隙比、孔隙率和饱和度等,我们称之为换算指标。

为了便于说明这些物理性质指标的定义和它们之间的换算关系,我们常利用三相图来进行定义。所谓三相图,它就是一种把实际土体的三相设想为可以分开表示的图形,如图 1-1 所示。图中 m 表示质量, V 表示体积,下标 a 、 w 、 s 和 v 分别表示空气、水、土粒和孔隙。

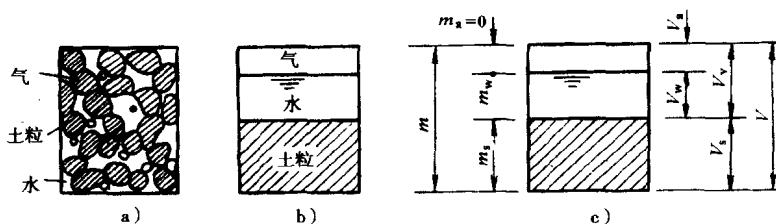


图 1-1 土的三相图

a)实际土体;b)土的三相图;c)各相的体积与重量(或重力)

1. 三相指标

土的天然密度:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m_s + m_w}{V_s + V_w + V_a} \quad (1-1)$$

含水量:

$$W = \frac{m_w}{m_s} = \frac{m - m_s}{m_s} \times 100\% \quad (1-2)$$

土粒比重:

$$G_s = \frac{m_s}{V_s(\rho_w)_{4^\circ\text{C}}} \quad (1-3)$$

通过试验测得 ρ 、 W 、 G_s 可换算出下述指标:

饱和密度:

$$\rho_{\text{sat}} = \frac{m_s + V_v \rho_w}{V} \quad (1-4)$$

浮密度:

$$\rho' = \frac{m_s - V_s \rho_w}{V} = \rho_{\text{sat}} - 1 \quad (1-5)$$

干密度:

$$\rho_d = \frac{m_s}{V} = \frac{\rho}{1 + 0.01w} \quad (1-6)$$

孔隙比:

$$e = \frac{V_v}{V_s} \times 100\% = \frac{n}{1 - n} \quad (1-7)$$

孔隙率:

$$n = \frac{V_v}{V} = \frac{e}{1 + e} \quad (1-8)$$

饱和度:

$$S_\gamma = \frac{V_w}{V_v} \times 100\% \quad (1-9)$$

在土中应力计算时,常需用容重 γ 的概念,即指单位体积的重量,也称重度。它与密度间

有如下关系：

$$\gamma = \rho \times 9.80$$

2. 无粘性土的相对密度

在工程上，一般采用相对密度来衡量无粘性土的松紧程度，其定义为：

$$D_{\gamma} = \frac{e_{\max} - e_0}{e_{\max} - e_{\min}} \quad (1-10)$$

式中： e_0 ——无粘性土的天然孔隙比或无粘性填土的填筑孔隙比；

$e_{\max}$ ——该无粘性土的最大孔隙比，由它的最小干密度换算；

$e_{\min}$ ——该无粘性土的最小孔隙比，由它的最大干密度换算。

由三相指标换算可得相对密度的实用表达式：

$$D_{\gamma} = \frac{(\rho_d - \rho_{d\min})\rho_{d\max}}{(\rho_{d\max} - \rho_{d\min})\rho_d} \quad (1-11)$$

式中： ρ_d ——无粘性土的天然干密度或无粘性填土的填筑干密度；

$\rho_{d\max}$ ——该无粘性土的最大干密度；

$\rho_{d\min}$ ——该无粘性土的最小干密度。

在工程上，无粘性土按相对密度区分为：

疏松的 $0 < D_{\gamma} \leq 1/3$

中密的 $1/3 < D_{\gamma} \leq 2/3$

密实的 $2/3 < D_{\gamma} \leq 1$

1. 粘性土的稠度

粘性土由于含水量的变化，可使土处于不同状态，通常用硬、可塑、软和流动等术语来描述，这种性能统称为稠度，参见图 1-2。为弄清水对粘性土性质的影响，必须研究界限含水量。

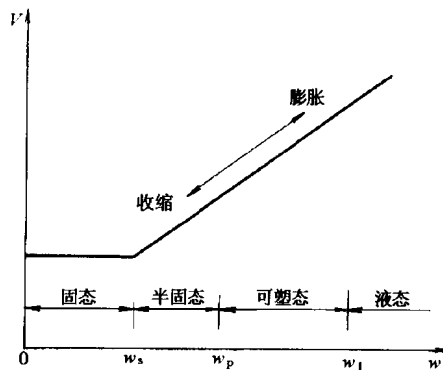


图 1-2 土的稠度状态

土的可塑性是指土在外力作用下，可塑成任何形状而不产生裂纹，外力除去后，能保持所塑成形状的性质。土的流动状态与可塑状态的分界含水量称液限，用 w_L 表示；可塑状态与半固体状态的分界含水量称塑限，用 w_p 表示；半固体状态与固体状态的分界含水量称缩限，用 w_s 表示；三者统称界限含水量。

液限和塑限之差称为塑性指数 I_p ，工程中常用它对粘性土进行分类，其定义为：

$$I_p = w_L - w_p \quad (1-12)$$

粘性土的状态可用液性指数来判别，其定义为：

$$I_L = \frac{W - W_P}{W_L - W_P} = \frac{W - W_P}{I_P} \quad (1-13)$$

式中： I_L ——液性指数，以小数表示；

W ——天然含水量。

其余符号意义同前。

五、土的工程分类

为了将自然界错综复杂的土给予系统的分析和归纳，以便更好地对土进行研究和使用的，不同部门根据工程用途不同，已提出了许多土的工程分类体系。随着科学技术的不断发展及经验的交流和积累，土的工程分类也正趋于完善，作为建筑地基的土(岩)，可分为岩石、碎石土、砂土、粘性土和淤泥性土等，见表 1-3。具体可参见标准土的工程分类(JTJ240-97)等。

土 的 工 程 分 类

表 1-3

土 的 名 称		定 义
碎石土	块石(漂石)	粒径大于 200mm 的颗粒超过全重 50%
	碎石(卵石)	粒径大于 20mm 的颗粒超过全重 50%
	角砾(圆砾)	粒径大于 2mm 的颗粒超过全重 50%
砂 土	砾砂	粒径大于 2mm 的颗粒占总质量的 25% ~ 50%
	粗砂	粒径大于 0.5mm 的颗粒超过总质量的 50%
	中砂	粒径大于 0.25mm 的颗粒超过总质量的 50%
	细砂	粒径大于 0.075mm 的颗粒超过总质量的 85%
	粉砂	粒径大于 0.075mm 的颗粒超过总质量的 50%
粉 土	砂质粉土	$I_p \leq 10$, 且 $3\% \leq M_c < 10\%$
	粘质粉土	$I_p \leq 10$, 且 $10\% \leq M_c < 15\%$
粘性土	粉质粘土	$10 < I_p \leq 17$
	粘土	$17 < I_p$
淤泥性土	淤泥质土	$1.0 < e < 1.5$, $36\% < w < 55\%$, 按 I_p 划分为淤泥质粘土或淤泥质粉质粘土
	淤泥	$1.5 \leq e < 2.4$, $55\% \leq w < 85\%$
	流泥	$85\% \leq w < 150\%$
	浮泥	$150\% \leq w$
填 土	冲填土	由水力冲填砂土、粉土或粘性土而形成的填土
	素填土	由碎石土、砂土、粉土、粘性土等组成的填土，分层碾压后称为压实填土
	杂填土	含有建筑垃圾、工业废料、生活垃圾等杂物的填土
混合土	砂混淤泥	总质量的 10% < 淤泥含量 $\leq$ 总质量的 30%
	淤泥混砂	总质量的 30% < 淤泥质量
	砂或碎石混粘性土	总质量的 10% < 粘性土含量 $\leq$ 总质量的 40%
	粘性土混砂或碎石	总质量的 40% < 粘性土含量
层状构造土	互层土	具交错互层构造，两类土层厚度相差不大，一般大于 1/3
	夹层土	具夹层构造，两类土层厚度相差较大，厚度比为 1/3 ~ 1/10
	间层土	常显粘性土间极薄层粉砂的特点，厚度比小于 1/10

六、土的压实性

土的压实性是指在重复或动荷载(压密或冲击)作用下将土压密。在工程中,通常需要根据工程的设计要求,将土压密(或冲击)到一定的密度,常以干密度 ρ_d 表示,以减小土的压缩性和提高土的强度。

影响土压实性的因素很多,主要有含水量、压实功能以及土的种类和级配等。通过室内、外试验证明,土的干密度、含水量和压实功三者之间,有一定的关系和规律。工程中常希望能找到一种能满足设计要求的干密度和适宜的含水量而对应的压实所需要的功最小,这种关系只能通过试验求得。不同的土通过击实试验,可以找到其对应压实功最小,相应的土干密度较大的含水量。工程界常把这种含水量称最佳含水量,用 W_{op} 表示。

第二节 土中水的运动规律

一、土的毛细性

如果我们把一干土块的下部与水接触,就会看到水分向土块上部浸润,开始时上升的速度快,后来变慢,达到某一高度时,即趋于停止,这就是土的毛细现象。存在于土的毛细管孔隙中的水,在表面张力作用下,沿着毛细孔隙各个方向运动的性能称为毛细性。

土中的毛细水主要存在于孔径为 $0.002 \sim 0.5\text{mm}$ 的细小孔隙中,研究土的毛细性主要是针对具有这类细小孔隙的细砂土、粉土类土的。毛细水的上升高度是表征土毛细性的主要指标,土中毛细水上升高度愈大,毛细性愈明显。

干燥的砂土是松散的,颗粒间没有粘聚力,水下的饱和砂土也是这样。但对于有一定含水量的湿砂,却表现出颗粒间有一些粘聚力,如湿砂可捏成团块。这个粘聚力是由于土粒间接触面上部分水的毛细压力所形成,称为假粘聚力,以区别于粘性土中粒间的粘聚力。

影响土毛细性的因素是很多的,除去土粒大小或土孔隙大小外,土粒形状、矿物成分和水溶液的性质也有影响。土的毛细性使土中的含水量增大,引起地基土的变形和强度变化,由此产生建筑物的不稳定,以及土的沼泽化和盐渍化,对建筑工程及农业经济有一定的影响。

二、土的渗透性

土孔隙中的自由水在水头差作用下,透过土体孔隙的现象称为渗透。土的这种能使水在其中渗透流动的性能,通常即为渗透性或透水性。

1. 达西渗透定律

由于土的孔隙细小,在大多数情况下水在孔隙中的流速较小,可以认为是属于层流(即水流流线互相平行的流动)。那么土中水的渗流规律可以认为是符合层流渗透定律的,这个定律是法国学者达西(H. Darcy)根据砂土的试验结果得到的,也称达西定律,参见图 1-3 所示。它是指水在土中的渗透速度与水力坡降成正比,即:

$$V = ki \quad (1-14a)$$

或

$$q = kiA \quad (1-14b)$$

式中: V ——渗透速度(m/s);

i ——水力坡降,即沿着水流方向单位长度上的水头差;
 k ——渗透系数(m/s);
 q ——渗透流量,即单位时间内流过土截面积 A 的流量。

由于达西定律只适用于层流的情况,故一般只适用于砂性土。对于粘性土的渗透规律可由试验得出如图 1-3 所示。粘性土中存在大量的结合水,土中自由水的渗流受到结合水的粘滞阻力,只有克服这一阻力才能开始渗流。我们把克服结合水粘滞阻力所需要的水力坡降,称为粘性土的起始水力坡降用 i_0 表示。这样,在粘性土中,应按下述修正后的达西定律计算渗透速度:

$$V = k(i - i_0) \quad (1-15)$$

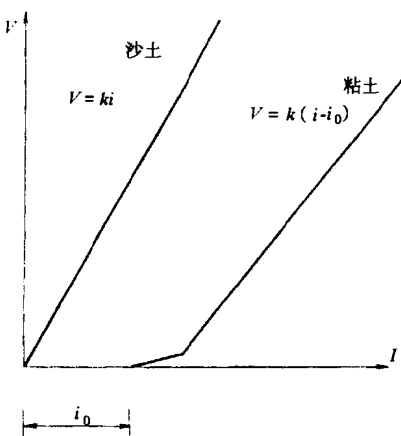


图 1-3 土的渗透规律

实际上所有的土都是透水的,但透水能力不同。表征土渗透性大小的指标为渗透系数 k ,它是土的工程性质中一个很重要的计算指标,如按透水性强弱划分时,可分为强透水层 $k > 10^{-5}$ m/s,中等透水层 $k = 10^{-5} \sim 10^{-7}$ m/s,相对不透水层 $k < 10^{-8}$ m/s。在选择筑坝土料时,总是将渗透系数小的土用于填筑坝体的防渗部位,而将渗透系数大的土填筑于坝体的其它部位。

2. 渗透变形

水在土中渗流时,受到土颗粒的阻力作用,我们将渗透水流作用于单位土体内土粒上的拖曳力称为渗透力,用 j 表示,单位 kN/m^3 。由于渗透力的大小等于单位土体内水流所受的阻力,所以其大小与水力坡降成正比,为:

$$j = \gamma_w i \quad (1-16)$$

式中符号意义同前。

上面所介绍的渗流属简单边界条件下的单向渗流,然而,在工程上遇到的渗流问题,边界条件要复杂得多,水流形态往往是二向或三向的,此时则需先绘制流网,才能定量地确定渗流场中各点的水头、水力坡降,计算渗透力的大小。

在渗流情况下,由于渗透力的存在,使土中细颗粒受冲击、被带走,或局部土体产生移动,导致土体变形的问题常称为渗透变形,常见的形式有流砂、管涌、潜蚀和基坑突涌等。水在土体中渗流,一方面会造成水量流失,影响工程效益;另一方面将引起土体内部应力和结构的变化,从而改变水工建筑物或地基的稳定条件,对土体的固结、强度以及建筑物的安全都有非常重要的影响,甚至还会酿成破坏事故。在自然界,产生泥石流、滑坡等现象,也正是由于渗透力的作用。

三、土在冻结过程中水分的迁移和积聚

在冰冻季节因大气负温影响,使土中水分冻结成为冻土。在冻土地区,随着土中水的冻结和融化,会发生一些独特的现象称为冻土现象,它严重地威胁着建筑物的稳定和安全。

冻土现象包括冻胀和冻融。某些细粒土层在冻结时,往往会发生土层体积膨胀,使地面隆起成丘,即所谓冻胀现象。土层发生冻胀的原因,不仅是由于水分冻结成冰时,体积增大的缘故,而主要是由于土层冻结时,周围未冻结区土中的弱结合水向表层冻结区迁移积聚,使冻结区土层中水分增加,冻结后的冰晶体不断增大,土体积也随之发生膨胀隆起。气温升高,土层解冻融化后,由于土层上部积聚的冰晶体融化,使土中含水量大大增加,加之细粒土排水能力

差,土层处于饱和状态,土层软化,强度大大降低,即所谓冻融现象。因此,冻土的冻胀及冻融都会对工程带来危害,必须引起注意,采取必要的防治措施。

土的冻胀现象是在一定条件下形成的,影响冻胀的因素有下列三个方面:(1)土:细粒土,特别是粉土、粉质粘土等,既能持有较多结合水,又具有较显著的毛细现象,冻结时水分迁移积聚最为强烈,冻胀现象严重。(2)水:当冻结区附近地下水位较高,毛细水上升高度能够达到或接近冻结线,使冻结区能得到外部水源补给时,将发生比较强烈的冻胀现象。(3)温度:气温缓慢下降,冷却强度小,但负温持续时间较长,就能促使未冻结区水分不断地向冻结区迁移积聚,在土中形成冰夹层,出现明显的冻胀现象。上述三方面是土层发生冻胀的三个必要条件,也可借此采取相应的防治冻胀的工程措施。

由于土的冻胀和冻融将危害建筑物的正常和安全使用,因此一般设计中,均要求将基础底面置于当地冻结深度以下,以防止冻害的影响。

第三节 地基的应力、沉降与承载力

一、概 述

大多数建筑物是建造在土层上的,一般把支承建筑物的这种土层称为地基。由天然土层直接支承建筑物的称为天然地基,软弱土层经加固后支承建筑物的称人工地基。而与地基相接触的建筑物底部则称为基础,如图 1-4 所示。基础起着“承上启下”的作用,也就是说作用于建筑物上的所有荷载要通过基础传到地基中去。地基在承受这些荷载后将产生应力和变形,从而给建筑物带来两个工程问题,即土体稳定问题和变形问题。如果地基内部产生的应力在土的强度所允许的范围内,那么土体是稳定的;反之,如果地基内部某一区域中的应力超过了土的强度,那么,那里的土体就要发生破坏,并可能引起整个地基产生滑动而失去稳定,导致建筑物倾倒;如果地基土的变形量超过了允许值,即使土体尚未破坏,也会造成建筑物毁坏或失去使用价值。因此,为了保证建筑物的安全和正常使用,我们必须研究在各种荷载作用下,地基内部的应力分布规律、由此可能产生的变形量以及强度和稳定性。

二、地基中的应力

地基应力是指由于土的自重和荷载作用而在地基内引起的应力,包括土的自重应力、地基附加应力。研究地基应力的目的在于计算应力大小,分析应力分布规律,用于变形和稳定计算。目前计算土中应力的方法,主要是采用弹性理论有关公式,把地基土视为均匀、连续、各向同性的半无限弹性体。这虽然同土体的实际情况有差别,但其计算结果还是能满足实际工程要求的。

1. 土的自重应力计算

由土自身重量产生的应力称自重应力。其垂直的自重应力可用下式计算:

$$\sigma_{cz} = \gamma Z \quad (1-17)$$

当地基为成层土时:

$$\sigma_{cz} = \sum \gamma_i Z_i \quad (1-18)$$

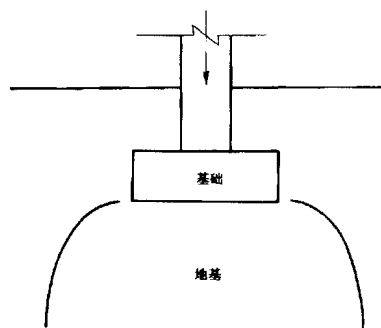


图 1-4 地基与基础

式中: Z ——地面至计算点的深度(m);

γ ——土的容重(kN/m^3);

下标表示第 i 土层。

地基中存在地下水或地面处于水面以下时,地基的自重应力有两种力系,形成两个独立的受力体系,各自保持平衡且又相互联系。通过土骨架传递的应力叫有效应力,常用 σ' 表示;通过孔隙水传递的应力叫孔隙水应力,常用 u 表示。若地下水位与地面齐平时,如图 1-5a),地基内任一点 M 处自重引起的总应力可写成:

$$\sigma = \gamma_{\text{sat}} Z = \gamma' Z + \gamma_w Z = \sigma' + u \quad (1-19)$$

当地下水位高于地面时,如图 1-5b),则 $\sigma = \gamma_w h_1 + \gamma_{\text{sat}} h_2 = \gamma' h_2 + \gamma_w (h_1 + h_2)$

当地下水位低于地面时,如图 1-5c),则 $\sigma = \gamma_1 h_1 +$

$$\gamma_{\text{sat}} h_2 = \gamma_1 h_1 + \gamma' h_2 + \gamma_w h_2$$

式中: σ —— 总应力(kPa); σ' —— 有效应力(kPa);
 γ_{sat} —— 土的饱和容重; γ' —— 土的浮容重;
 h_1, h_2 —— 见图 1-5; u —— 孔隙水应力(kPa)。

其它符号意义同前。

上述公式对成层土同样适用。

图 1-5 土的自重应力

2. 附加应力计算

附加应力是指在外荷载作用下,地基中产生的应力。常见的基本荷载形式有矩形和三角形两种。

(1) 集中力作用下 σ_z 的计算

集中荷载是指在半无限空间体表面上一点作用的荷载,如图 1-6 所示。集中荷载 p 在地基中 M 点产生的垂直应力计算公式为:

$$\sigma_z = \frac{3p}{2\pi} \times \frac{Z^3}{R^5} = k \frac{p}{Z^2} \quad (1-20)$$

式中: k —— 应力系数, $k = f(r/Z)$;

R —— 所求点至集中荷载 p 的矢径。

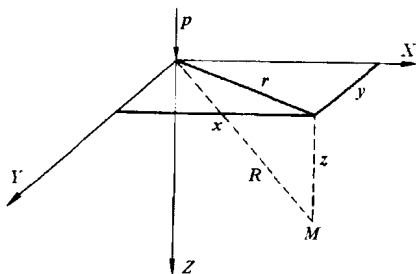


图 1-6 集中力作用时的应力

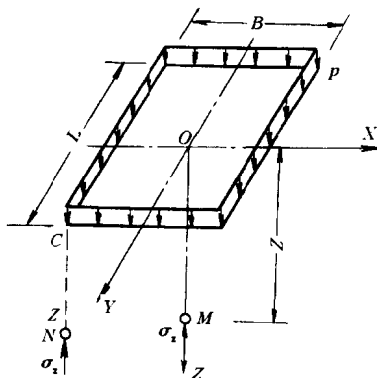


图 1-7 矩形基础均布荷载作用下中点及角点的应力

(2) 矩形基础均布垂直荷载作用下 σ_z 的计算

在如图 1-7 所示的矩形基础均布垂直荷载作用下,其中心和角点下地基中引起的附加应