

地基基础实用设计施工手册

主 编 金问鲁
副主编 顾尧章

中国建筑工程工业出版社

地基基础实用设计施工手册

主 编 金问鲁
副主编 顾尧章

中国建筑工程工业出版社

(京)新登字 035 号

本书共分十四章,从实用出发,分别对地基基础的设计、处理方法、构造要求、施工要点及工程要求作全面介绍。主要内容包括:土的工程性质及设计参数,地基变形与强度计算,独立基础、条形基础、筏板基础、折板式补偿基础、箱形基础、薄壳基础、水泥搅拌桩复合地基桩基础的设计方法、构造要求和施工要点,沉井、沉板、地下连续墙、动力机器基础、基坑开挖及支护系统的设计与施工,以及地基隔振、基础工程病害及其防治等。本书附有大量的设计计算例题和图表,可供参考,尤其适用于我国南方地区地基基础的设计与施工。

本书可供土建专业和工程地质专业从事勘察、设计、施工的技术人员使用,也可供大专院校相关专业的师生学习参考。

* * *

责任编辑 胡永旭

地基基础实用设计施工手册

主 编 金问鲁

副主编 顾尧章

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京怀柔南华印刷厂印刷

*

开本:787×1092毫米 1/16 印张:29½ 字数:716千字

1995年11月第一版 1995年11月第一次印刷

印数:1—15,100册 定价:35.00元

ISBN 7-112-02649-0

TU·2022 (7743)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

主 编 金问鲁
副主编 顾尧章

编写人员(以姓氏笔画为序)

朱向荣	浙江大学土木系	副教授
张季容	浙江大学土木系	副教授
李翼祺	浙江大学土木系	教授
陈龙珠	浙江大学土木系	副教授
余祖国	浙江大学建筑设计研究院	工程师
金问鲁	杭州城建设计院	教授级高级工程师,全国工程设计大师
金咸清	杭州城建设计院	工程师
顾尧章	浙江大学土木系	副教授

前 言

随着国内基本建设的发展,地基基础工程日益显得重要。各种建筑都需要有一个坚固的基础,同时又希望造价比较经济。一幢房屋建筑,基础造价要占到 $1/5$,甚至到 $1/3$ 。这对业主来说是不容忽视的投资。为此,必须研究各种基础工程,而基础工程的基本理论则是岩土力学。

基础工程和土力学既是一种历史久远的技术,又是一门较新的学科。自古以来,修建宫室,凿河凿井,历代多有记载。在土力学的发展中,除了早期库伦、朗金有些著述外,到本世纪初太沙基才为土力学学科建立了全面的基础。在本世纪中期,地基工程基本都是使用经验公式,到目前为止,在土建工程中,土力学的发展仍迟于结构力学,大有发展余地。

土力学和基础工程有很大的地区性。随着建设发展,各地都积有不少经验,交流频繁,近十数年来,地基基础工程有如下趋势:1. 由于改革开放,引进了不少国外设备,扩大了国内的眼界;2. 国内不少有用的经验进行成龙配套,大量增加了机械化的成分;3. 溶合了其它种类工程的经验,如桥梁早期使用的钻孔灌注桩的经验在高层建筑工程的基础获得大量使用和发展。

由于国内基础工程发展迅速,旧有的基础手册已不敷应用,为此我们编写了这本手册。本书以实用为主,除了介绍必要的土力学知识外,主要介绍当前使用比较普遍的基础技术、设计方法和施工经验。其中包括编写者的实践经验,多数是软土地基上建造基础的经验。读者对象是广大的设计、施工和建筑部门人员,希望他们能从本书中得到裨益。

应当指出,工程的上部结构和下部基础工程有着密切的联系,所以也希望上部结构的设计和施工人员对本书进行一读。不过,以上也指出地基工程的地区性很强,各地都存有宝贵经验,我们更希望各地都发掘自己的经验,共同作出贡献。

以下简单地介绍本书的各章内容。

本书共分十四章。第一章:“土的工程性质”由顾尧章编写。本章扼要地介绍了土的各种性质,说明土质的复杂性,不仅要根据土的试验分类,而且要了解土层沉积的历史。本章对土的重要特性,如压缩、强度、振动液化作了较详细的说明。

第二章:“地基变形与强度计算”由朱向荣编写。本章包含了土力学的重要部分,地基变形与承载力,编者对地基弹性理论、固结理论作了充分介绍,承载能力部分兼顾了规范方法和极限理论方法,并将极限理论方法应用到土坡分析和挡土墙。为了便于应用,编制了许多图表以备使用,并列出各种方法以供读者参考。

第三章:“独立基础与条形基础”和第四章“筏形基础”,第六章:“箱式基础”由张季容编写。这三章介绍当前通常使用的基础,实用价值较大。其中介绍了独立基础、条形基础、筏形基础和箱式基础的形式,适用范围和构造要求,并介绍了通用的计算方法,如静力平衡法、弹性梁计算方法以及较精确的有限差分法。各章中均说明构造要求,并附有大量例题。

第五章:“折板式补偿基础”由顾尧章、余祖国编写。折板式基础具有薄壳基础的优点,但

目 录

第一章 土的工程性质	1
第一节 土的概念与参数	1
第二节 土的渗透性	5
第三节 土的压缩性	8
第四节 土的抗剪强度	11
第五节 砂土振动液化	17
参考文献	21
第二章 地基变形与强度计算	22
第一节 地基变形	22
第二节 承载力计算	53
第三节 地基和土坡稳定分析	63
第四节 挡土墙计算	80
参考文献	98
第三章 独立基础与条形基础	99
第一节 刚性基础	99
第二节 钢筋混凝土独立基础	100
第三节 墙下条形基础	105
第四节 柱下条形基础	109
参考文献	127
第四章 片筏基础	128
第一节 概述	128
第二节 设计原则与构造要求	129
第三节 倒楼盖法	130
第四节 有限差分法	130
参考文献	136
第五章 折板式补偿基础	137
第一节 折板式补偿基础的历史回顾	137
第二节 折板式补偿基础的性状	142
第三节 折板式补偿基础设计	144
第四节 折板式补偿基础施工	160
参考文献	163
第六章 箱形基础	164
第一节 概述	164
第二节 构造要求	164
第三节 地基计算	166
第四节 内力计算	169
参考文献	171

第七章 薄壳基础.....	172
第一节 绪言	172
第二节 薄壳基础的优点和应用范围	172
第三节 轴对称旋转壳的内力和方程	173
第四节 旋转壳承受偏心荷载的薄膜内力	177
第五节 圆柱形壳	180
第六节 扁壳	183
第七节 薄壳的有矩理论和边界效应	184
第八节 圆柱的有矩计算理论	186
第九节 一般形式轴对称壳的边界效应理论	188
第十节 扁壳的边界效应理论	189
第十一节 薄壳基础的施工	192
参考文献	193
第八章 水泥搅拌桩复合地基	194
第一节 水泥土的性质	194
第二节 水泥搅拌桩复合地基	196
第三节 水泥搅拌桩复合地基设计	199
第四节 设计实例	201
第五节 施工要点	206
参考文献	208
第九章 建筑桩基础	209
第一节 建筑桩基的有关问题	209
第二节 沉管灌注桩	213
第三节 人工挖孔桩	221
第四节 钻孔灌注桩	227
参考文献	235
第十章 沉井、沉板、地下连续墙.....	237
第一节 沉井工程	237
第二节 沉板工程	250
第三节 地下连续墙工程	252
参考文献	253
第十一章 动力机器基础设计	254
第一节 概述	254
第二节 动力机器基础的设计计算	258
第三节 活塞式压缩机基础设计	282
第四节 旋转式机器基础	308
第五节 破碎机基础设计	341
第六节 滚筒式机器基础设计	361
第七节 冲击式机器基础——锻锤基础设计	373
第八节 冲击式机器基础——落锤基础设计	387
第九节 冲击式机器基础——水爆清砂池基础设计	394
第十节 金属切削机床基础设计	400

参考文献	407
第十二章 地基隔振	408
第一节 工程振动的控制标准	408
第二节 地基中隔振沟的设计	412
第三节 排桩隔振设计	416
第四节 隔振屏障与地基土的吻合效应	417
参考文献	419
第十三章 基坑开挖与支护系统	420
第一节 土压力问题	420
第二节 基坑放坡开挖与自立式支护结构	423
第三节 非自立式支护结构	426
第四节 基础稳定性的验算	431
第五节 改善支护系统的技术措施	433
第六节 逆作法施工	437
参考文献	441
第十四章 地基基础病害及其防治	443
第一节 建(构)筑物倾斜扶正	443
第二节 建(构)筑物基础病害治理	453
第三节 基础施工时邻近建(构)筑物的保护	459
参考文献	462

第一章 土的工程性质^①

第一节 土的概念与参数

土是母岩的风化产物经过各种地质作用而形成的,是固体矿物、液相介质与气体的集合体。不同的固体矿物,不同的液相介质和气体使土体具有各不相同的性质,而土体中固体颗粒的相互排列以及固体、液体、气体的界面接触所产生的相互作用力直接影响土的性质。

土中的固体矿物主要有石英、长石、辉石、云母、高岭石、蒙脱石等。含有石英、长石等矿物的砂性土,颗粒相对较大,而含有云母、高岭石等矿物的粘性土,颗粒相对较细。砂性土与粘性土在性质上的区别,与其中所含的矿物直接有关,但即使对于含有同一种矿物的土,由于土粒间相互排列不一样就会引起性质上的差别。粘性土中土粒之间的排列可以形成诸如絮凝型和分散型等土粒结构;砂性土土粒间的排列可以形成蜂窝结构和散粒结构等。土的结构不同会引起土的渗透性、压缩性以及抗剪强度等的较大差别。

不论土体内土粒之间排列如何,一般在土粒与土粒之间都具有较大的空隙体积。当空隙内充满以水为代表的液体时,土粒表面的电化学性质决定了固体矿物与水之间的界面反应,土粒愈细这种界面反应就愈显著。从矿物学的观点看,矿物表面大多带有负电荷,一旦与水接触就会产生各种作用力,包括静电作用力、分子作用力、离子水化以及化学盐的胶结作用等。这些作用力是粘性土具有“粘性”的主要源泉。砂性土的这种作用力很弱,可以忽略不计,所以砂土没有粘聚力。

应该指出,土是比较复杂的粒状多相体系,不是理想的连续固体,也不是连续液体。但是,科学发展到目前为止还没有找到真正切合土体的散体理论来解释土的真实性质,好在人们对连续体理论比较了解,应用现有的弹性力学、塑性力学和流体力学的理论和方法去解释土的性状,去解决工程实际问题。值得提醒的是,在应用连续介质力学的方法处理土力学问题时,必须十分注重直接控制土性质的各种因素,注重实际的工程经验,只有这样才能使计算与分析结果更加贴近工程实际。这是土力学这门学科的现状,是与其他学科的不同之处。

一、土的质量-体积关系

如上所述,土是比较复杂的多相体系。尽管天然状态的土体比较复杂,但总可以通过比较和鉴别,找出其中的规律,从而了解土的性质。这种比较鉴别的尺度就是表示土性质的物理力学参数。

土的物理参数是通过土体内质量与体积的相对关系来定义的,包括土的比重、重度、含水量、孔隙比、饱和度等等。

① 本章由顾尧章编写。

图 1-1a 表示一个具有总体积 V 和总质量 m 的三相土体。为了建立土的质量~体积关系,把土体理想化地分成固体、水和气体三部分,如图 1-1 所示。由图可以得出

$$m = m_s + m_w \quad (1-1)$$

而且

$$V = V_s + V_w + V_a \quad (1-2)$$

$$V_v = V_w + V_a \quad (1-3)$$

式中 m_s ——土的固体部分质量;

m_w ——水的质量;

V_s ——土的固体部分体积;

V_w ——水的体积;

V_a ——气体部分的体积。

假定气体的质量为零。

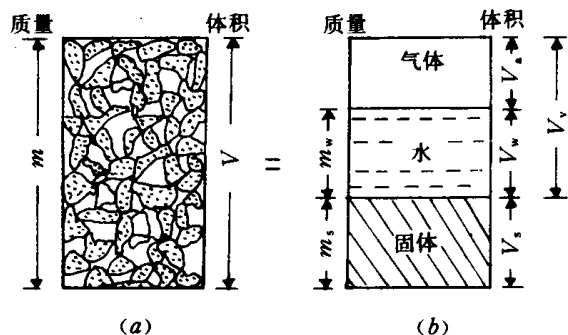


图 1-1 土的质量-体积关系

(一)孔隙比(e)是指土中孔隙体积与固体体积之比:

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (1-4)$$

(二)孔隙率(n)是孔隙体积与土的总体积之比:

$$n = \frac{V_v}{V} \quad (1-5)$$

而

$$V = V_s + V_v$$

所以

$$n = \frac{V_v}{V_s + V_v} = \frac{e}{1 + e} \quad (1-6)$$

(三)饱和度(S_r)是土孔隙中水体积与孔隙体积之比,通常用百分数表示:

$$S_r(\%) = \frac{V_w}{V_v} \times 100 \quad (1-7)$$

(四)含水量(W)是水的质量与固体土粒质量之比,用百分数表示:

$$W(\%) = \frac{m_w}{m_s} \times 100 \quad (1-8)$$

(五)质量密度(ρ),也称密度,是指土的总质量与总体积之比:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-9)$$

如果孔隙体积内完全被水充满(即 $V_a = 0$),这就是饱和土,式(1-9)中的密度就是饱和密度(ρ_{sat});如果孔隙体积内完全没有水,这时式(1-9)的密度就是干密度(ρ_d)

$$\rho_d = \frac{m_s}{V} \quad (1-10)$$

或

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + W} \quad (1-11)$$

(六)土粒相对密度或比重(d_s)为土粒质量与同体积水在 4°C 时的质量之比:

$$d_s = \frac{\rho_s}{\rho_w} \quad (1-12)$$

其中 ρ_s —土粒密度, ρ_w —纯水在 4℃时的密度。

二、土的状态参数

(一)砂性土的相对密实度

相对密实度是描述砂性土密实度或压实程度的一个参数,相对密实度(D_r)的定义为:

$$D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \tag{1-13}$$

式中 e_{max} ——最大孔隙比, e_{min} ——最小孔隙比,
 e ——土体天然状态的孔隙比。

根据相对密实度值,可以把砂性土的密实度状态划分为三种:

- $1 \geq D_r > 0.67$ 密实的
- $0.67 \geq D_r > 0.33$ 中密的
- $0.33 \geq D_r > 0$ 松散的

对于砂土,也可用天然孔隙比 e 来评定其密实度。但实际工程中往往用标准贯入试验得到的标准贯入击数 N 来划分,《建筑地基基础设计规范》(GBJ 7—89)规定用 N 值判定砂土密实度如表 1-1 所示。

砂 土 的 密 实 度 表 1-1

标准贯入试验锤击数 N	密 实 度
$N \leq 10$	松 散
$10 < N \leq 15$	稍 密
$15 < N \leq 30$	中 密
$N > 30$	密 实

(二)粘性土的液性指数

粘性土的状态和性质,与土中的含水量有很大的关系。对于同一种粘土,由于含水量的不同可以处于液体状态、塑性状态、半固体状态及固体状态。一种粘土浆当失水使含水量逐渐减少时,由一种状态变为另一种状态时的界限含水量,是评价和区分粘土状态的重要参数。由液体状态变为塑性状态的含水量称为液限(w_L),而由塑性状态变为半固体状态的界限含水量则称为塑限(w_P)。这两个界限含水量通常称为阿太堡界限含水量。粘性土的阿太堡界限含水量与粘土矿物的成份和数量有关,也与土中水的吸附离子有关。

塑性指数(I_P)是土的液限含水量与塑限含水量之差:

$$I_P = w_L - w_P \tag{1-14}$$

《建筑地基基础设计规范》(GBJ 7-89)规定,粘性土应为塑性指数 $I_P > 10$ 的土。并把粘性土按塑性指数划分为粘土和粉质粘土(表 1-2)

粘 性 土 的 分 类 表 1-12

塑性指数 I_P	土 的 名 称
$I_P > 17$	粘土
$10 < I_P \leq 17$	粉质粘土

液性指数(I_L)是指粘性土的天然含水量和塑限含水量的差值与塑性指数之比:

$$I_L = \frac{w - w_p}{w_L - w_p} \tag{1-15}$$

式中 w 为天然含水量。由式(1-15)可以看出,若天然含水量 $w = w_L$,则液性指数等于 1,而当 $w = w_p$ 时,液性指数 $I_L = 0$;天然含水量 $w > w_L$ 时, $I_L > 1$ 。

国家规范根据液性指数把粘性土的状态分为五种,其划分标准见表 1-3

粘性土软硬状态的划分表 1-3

状 态	坚 硬	硬 塑	可 塑	软 塑	流 塑
液性指数 I_L	$I_L \leq 0$	$0 < I_L \leq 0.25$	$0.25 < I_L \leq 0.75$	$0.75 < I_L \leq 1.0$	$I_L > 1.0$

三、土的分类

在工程实用上,除了把土分为砂性土和粘性土两类外,还应比较明确地根据分类、用途和土的各种性质差异,把土划分为一定的类别。土的合理分类的意义在于,根据分类名称可以大致判断土的工程特性,评价土作为建筑材料的适宜性,以及结合其他指标来确定地基的承载力等。

土,根据颗粒大小大致可以分为碎石土、砂土、粉土和粘性土。碎石土应为粒径大于 2mm 的颗粒含量超过全重 50% 的土。碎石土可按表 1-4 分为漂石、块石、卵石、碎石、圆砾和角砾。

碎 石 土 的 分 类表 1-4

土的名称	颗 粒 形 状	粒 组 含 量
漂石 块石	圆形及亚圆形为主 棱角形为主	粒径大于 200mm 的颗粒 超过全重 50%
卵石 碎石	圆形及亚圆形为主 棱角形为主	粒径大于 20mm 的颗粒超过 全重 50%
圆砾 角砾	圆形及亚圆形为主 棱角形为主	粒径大于 2mm 的颗粒超 过全重 50%

砂土应为粒径大于 2mm 的颗粒含量不超过全重 50%、粒径大于 0.075mm 的颗粒超过全重 50% 的土。砂土可按表 1-5 分为砾砂、粗砂、中砂、细砂和粉砂。

砂 土 的 分 类表 1-5

土的名称	粒 组 含 量
砾 砂	粒径大于 2mm 的颗粒占全重(25~50)%
粗 砂	粒径大于 0.5mm 的颗粒超过全重 50%
中 砂	粒径大于 0.25mm 的颗粒超过全重 50%
细 砂	粒径大于 0.075mm 的颗粒超过全重 85%
粉 砂	粒径大于 0.075mm 的颗粒超过全重 50%

注:分类时应根据粒组含量由大到小,以最先符合者确定。

粘性土的工程性质与土的成因、生成年代的关系很密切,不同成因和年代的粘性土,尽管其某物理性质指标值可能很接近,而其工程性质可能相差悬殊,因而粘性土按沉积年代、塑性指数进行分类。粘性土按沉积年代分为老粘土、一般粘性土和新近沉积粘性土。

老粘土是指第四纪晚更新世(Q_3)及其以前沉积的粘性土,这是一种沉积年代久远、工程性质较好的粘性土,广泛分布于长江中下游的晚更新世的下蜀系粘土(Q_3)、湖南湘江两岸的网纹状粘性土(Q_3)和内蒙包头地区的下亚层(Q_3)都属于老粘性土。

一般粘性土是指第四纪全新世(Q_4)沉积的粘性土。新近沉积的粘性土是指文化期以来新近沉积的粘性土,一般为欠固结的且强度较低。

粘性土按塑性指数分类见表 1-2。土的塑性指数是划分细粒土的良好

指标,能综合反映土的颗粒组成、矿物成分以及土粒表面吸附阳离子成分等方面的特性。考虑塑性指数和液限两个方面,卡萨格兰德首先提出了用塑性图对细粒土分类的方法。结合我国具体情况,水利电力部颁布的《土工试验规程》(SD 128—84)为细粒土的分类提供了塑性图(图 1-2)。如果对应于该土的 I_p 和 w_L 的点位于 A 线以上,且 $I_p > 4$,该土属于无机粘质土。无机粘质土按基液限划分为三类,见表 1-6。

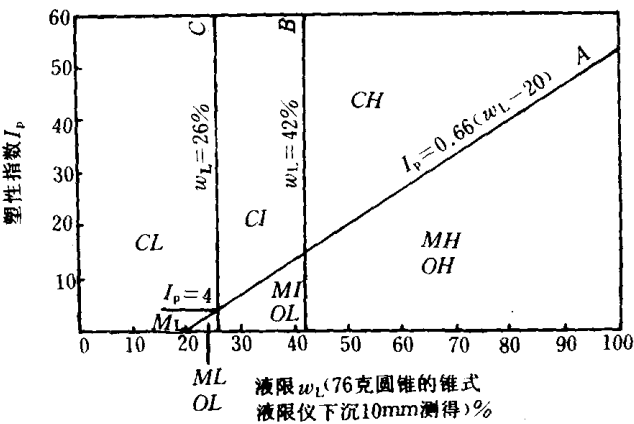


图 1-2 细粒土分类塑性图

无机粘质土的类别 表 1-6

液限 w_L (%)	土类符号及名称	典型土名称
>42	CH 粘质土(高液限) MH 粉质土(高液限)	粘土等 粘质粉土等
$42 \sim 26$	CL 粘质土(中液限) ML 粉质土(中液限)	粉质粘土等 粉 土 等
<26	CL 粘质土(低液限) ML 粉质土(低液限)	砂质粘土等 砂质粉土等

如果该点位于 A 线与 $I_p = 4$ 以下部位,该土属于无机粉质土或有机质土。有机质土以其暗色与特殊臭味与无机土相区别。按其液限划分为两类:当 $w_L > 42\%$,称为有机质粘土(OH);当 $w_L \leq 42\%$,称为有机质粉土(OL)。

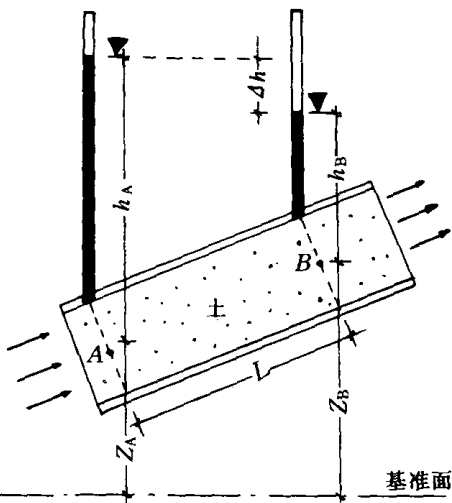
第二节 土的渗透性

土体是由大小不一的固体颗粒和相互贯通的空隙组成的。土体中相互贯通的空间,使水

自高势能处向低势能的流动成为可能。土中水在相互贯通的空隙体积内流动的能力称为渗透性。

一、达西定律

在某种条件下,水流通过一定土体的渗流量的大小,可以用图 1-3 来说明。根据白诺里定理,在图中土体的任意截面上水流的总水头可以表示为:



总水头=高程水头+压力水头+速度水头
 由于流经土体的速度水头很小,可以忽略不计。于是截面 A 和 B 的总水头为
 截面 A 总水头=高程水头(Z_A)+压力水头(h_A)
 截面 B 总水头=高程水头(Z_B)+压力水头(h_B)
 截面 A 与 B 之间的水头损失为

$$\Delta h = (Z_A + h_A) - (Z_B + h_B) \tag{1-16}$$
 水力梯度(i)可写成

$$i = \frac{\Delta h}{L} \tag{1-17}$$

式中 L 为截面 A 与 B 之间的距离(见图 1-3)。
 达西通过试验建立了流速(v)与水力梯度(i)的关系,即所谓达西定律

$$v = Ki \tag{1-18}$$

同样可以得到流量(q)与水力梯度的关系

$$q = Ki \cdot A \tag{1-19}$$

式中 K ——土的渗透系数。

若干典型的土的渗透系数值,参见表 1-17。影响土渗透系数的因素有:土的颗粒形状和大小、土中孔隙比和土的饱和度,土的渗透性随着饱和度的增加而增加。影响渗透系数的因素还有土的组成,特别对于含粘土矿物的土体,土粒四周水膜的厚度对渗透性的影响十分显著,而土的微结构和土中水的粘滞性也是影响渗透性的重要因素。

各类土的渗透系数典型值 表 1-7

土 类	渗透系数 $K(\text{cm/s})$
粗 砂	$1 \sim 10^2$
细砾、粗砂、中砂	$10^{-3} \sim 1$
细砂、疏松粉砂	$10^{-5} \sim 10^{-3}$
密实粉土、粘质粉土	$10^{-6} \sim 10^{-5}$
粉质粘土、粘土	$10^{-9} \sim 10^{-6}$

土的渗透系数可以在实验室测定,也可以从现场抽水试验或注水试验确定。

二、渗流力

通过土体孔隙的水流会对土体本身产生作用力,这就是渗流力。渗流力作用于土体,就会发生土体的渗流稳定问题。为了评价土体单位体积的渗流力,考虑图 1-4所示的一个由流

线(ab 和 cd)和等势线(ef 和 gh)所包围的土体。土体具有单位厚度(等于1),则土体的自重为:长(L) $\times$ 宽(L) $\times$ 厚(1) $\times$ 饱和重度(ρ_{sat})= $L^2\rho_{sat}$ 。土体 ef 边的静水压力为:压力水头 $h_1\rho_w$ $\times$ 宽度(L) $\times$ 厚度(1)= $h_1\rho_w \cdot L$ 。同样,土体 gh 边的静水压力为 $h_2L\rho_w$ 建立平衡方程

$$\Delta F = h_1 \cdot \rho_w L + L^2 \cdot \rho_{sat} \cdot \sin\alpha - h_2 \cdot \rho_w \cdot L \quad (1-20)$$

而 $h_1 + L\sin\alpha = h_2 + \Delta h$,

所以 $h_2 = h_1 + L\sin\alpha - \Delta h$ (1-21)

联立式(1-20)和(1-21)得到

$$\Delta F = L^2 \cdot \rho' \cdot \sin\alpha + \Delta h \cdot \rho_w \cdot L \quad (1-22)$$

式中 $\rho' = \rho_{sat} - \rho_w$,由式(1-22)可以看出, ($L^2 \cdot \rho' \sin\alpha$) 为土的浮重,作用在土体上的渗透力等于 $\Delta h \cdot \rho_w \cdot L$ 。因此作用在土体单位体积的渗透力为

$$\frac{\Delta h \cdot \rho_w \cdot L}{L^2} = \rho_w \cdot i \quad (1-23)$$

其中 i 为水力梯度。

当水流在土中渗流而水力梯度达到临界梯度(i_{cr})时,土体就开始发生管涌或流砂。

$$i_{cr} = \frac{\rho'}{\rho_w} = \frac{d_s - 1}{1 + e} \quad (1-24)$$

在一般情况下 i_{cr} 在 0.85~1.1 之间变化。

莱因(Lane)建议用一个称为重力爬比的经验方法来评判渗透力作用下土的渗透稳定。

所谓重力爬比是重力爬程(重力爬行距离)与水头差之比。

重力爬程(L_w)为

$$L_w = \frac{\sum L_h}{3} + \sum L_v \quad (1-25)$$

式中 $\sum L_h = Lh_1 + Lh_2 + \dots$ = 沿最短流径的水平距离之和;

$\sum L_v = Lv_1 + Lv_2 + \dots$ = 沿最短流径的垂直距离之和。

$$\text{重力爬比} = \frac{L_w}{H_1 - H_2} \quad (1-26)$$

式中 H_1 和 H_2 分别为所考虑两点的水头。

莱因还建议,建筑物抗管涌的重力爬比必须等于或大于表 1-8 所列的安全值。

应该指出,如果建筑物底截面与最短流径有一个比 45°陡的斜坡,则必须作垂直接径计算而小于 45°的斜坡作水平流径计算重力爬比。

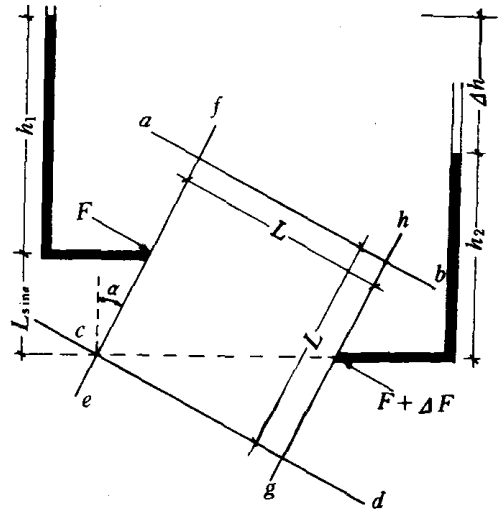


图 1-4 渗流力的确定

重力爬比安全值

表 1-8

土 类	安全的重力爬比
极细砂、粉砂	8.5
细砂	7.0
中砂	6.0
粗砂	5.0
细砾	4.0
粗砾	3.0
软至中软粘土	2.0~3.0
硬粘土	1.8

第三节 土的压缩性

材料受到外力或荷载作用就会变形。对于弹性材料，一旦受到荷载作用，变形立即发生；而其他一些材料则不然，在荷载作用相当一段时间以后变形才会完成，这对于粘性土是确实的。

土体在荷载作用下会产生压缩，这可能是土粒变形、空隙中水和气的压缩，也可能是水和气自空隙中被挤出。在正常的工程荷载下，土粒变形和水的压缩都是很小的，所以在土的压缩过程中，土粒本身和孔隙中水的压缩可以忽略不计。在外加荷载作用下，土中孔隙水被挤出，土粒重新排列使之更趋稳定和密实，于是土体体积减少，这是土体压缩的实质。在某一荷载下，土体体积减少过程的长短，取决于土的渗透性；而土粒重新排列和体积压缩的程度，则取决于土粒骨架的刚度，亦即取决于土的微结构，土层的地质历史。

对于砂性土，由于砂性土的渗透性较高，在荷载作用下土孔隙中的水很容易被挤出，所以变形完成时间很短。在实际工程中，砂性土的压缩在施工期间就已完成。对于粘性土，由于渗透性相对较低，土体压缩的过程和大小由孔隙水挤出的速度和多少来控制。土中孔隙水被挤出的过程也许会延续几个月、几年甚至更长些时间。砂性土的压缩几乎立刻就完成，而粘性土的压缩则有一个比较长的时间过程。这是砂性土压缩与粘性土压缩的最根本的区别。

一、压缩性参数

土的压缩意味着土体在荷载作用下的空隙体积减少。因此，在衡量土的压缩性时，往往用荷载作用下孔隙比减少的程度来表达，即所谓荷载(p)与孔隙比(e)关系曲线来表达。对于某一种土的 e - p 关系曲线可以通过土的压缩试验得到。图(1-5)是典型的压缩曲线。图 1-5a 为用自然坐标表示的所谓 e - p 曲线，由此可以得出表示土压缩性指标的压缩系数(a)。压缩系数为：

$$a_{1-2}=\frac{e_1-e_2}{p_2-p_1} \tag{1-27}$$

同样，由图 1-5b 可以得出压缩指数(C_c)

$$C_c=\frac{e_1-e_2}{\log p_2-\log p_1} \tag{1-28}$$

式(1-27)中压缩系数 a_{1-2} 为固结压力由 p_1 增加 p_2 时的孔隙比变化率(e_2-e_1)，而 C_c 为半对

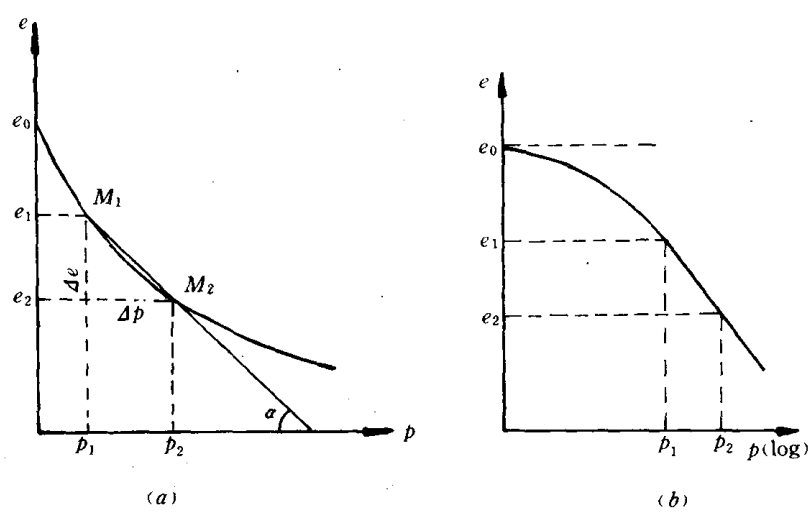


图 1-5 土的压缩曲线

数坐标表示的压缩性参数,无量纲数。

压缩性参数是衡量土体压缩性大小的尺度。《建筑地基基础设计规范》(GBJ 7—89)用 10~20kpa 压力范围的压缩系数(a_{1-2})把土的压缩性划分为高、中、低三个级别,并按以下规定进行评价(a_{1-2} 的单位: Mpa^{-1})

- 当 $a_{1-2} < 0.1$ 时,为低压缩性;
- 当 $0.1 \leq a_{1-2} < 0.5$ 时,为中压缩性;
- 当 $a_{1-2} \geq 0.5$ 时,为高压缩性。

土的压缩性还可以用压缩模量(E_s)来表示,即

$$E_s = \frac{1+e_0}{a_{1-2}} \tag{1-29}$$

式中 e_0 为土的起始孔隙比。

应该指出,图 1-5 所示的压缩曲线是在实验室有侧限压缩仪上试验得到的,而模拟基础实际受力状态的现场载荷板试验则可以得到允许侧向变形的压缩模量。现场载荷板试验可以得到荷载(p)—沉降(s)关系曲线(见图 1-6)。根据 $p-s$ 曲线的特征值可以得出土的变形模量(E)

$$E = \omega(1-u^2) \frac{p_1 \cdot b}{S_1} \tag{1-30}$$

式中 ω —— 系数

- 对于方形刚性板 $\omega = 0.88$
- 对于圆形刚性板 $\omega = 0.79$

b —— 方形载荷板边长或圆板直径;

p_1 —— $p-s$ 曲线上的荷载比例界限值。如果曲线没有明显的直线段则对于中、高压缩性粉土和粘性土取 $s_1 = 0.02b$ 相对应的 p 即为 p_1 值;对于低压缩性粉土和粘性土、碎石土、砂土则取 $s_1 = (0.010 \sim 0.015)b$ 相对的 p 为 p_1 值。

s_1 —— 与 p_1 相对应的载荷板的沉降量。