
土力学与基础工程

雍景荣 朱 凡 胡岱文 主编

成都科技大学出版社

704

Y71

土力学与基础工程

雍景荣 朱 凡 胡岱文 主编

成都科技大学出版社

(川)新登字 015 号

责任编辑 周树琴
封面设计 龚 颖



土力学与基础工程

雍景荣 朱 凡 胡岱文 主编

成都科技大学出版社出版发行

四川省新华书店经销

中国科学院光电所印刷厂印刷

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:28

1995 年 8 月第一版 1995 年 8 月第一次印刷

印数:1—5000 册 字数:681 千字

ISBN7—5616—3066—2/O · 214

定价:22.40 元

前 言

本教材系根据《土力学与基础工程》教材编写大纲并参照《土力学与基础工程》课程基本要求编写。在编写过程中,适当地增加了地基基础设计方面国内外比较成熟的新成果。考虑到本学科的特点,加强了对重要概念、基本原理、工程实用方法以及目前工程实践的介绍。针对每一章的特点,编写了详细、典型的例题,并在每章后面附有思考题和习题。

本教材反映了国家现行建筑结构设计、建筑地基基础设计等规范和其它有关的规定,采用新的国际通用符号和我国法定计量单位。为适应本学科的发展,在附录 A 中对《建筑地基基础设计规范》(GBJ7—89)与其它规范的衔接作了说明;在附录 B 中编写了有关高层建筑地基勘察的实例。

本教材编写分工如下:绪言、第三章、第十章、第十一章及附录 A 由胡岱文编写,第一章、第二章、第四章、第五章由朱凡编写,第六章及附录 B 由谭邦兴编写,第七章、第八章、第九章由雍景荣编写,全书由彭蜀生主审。邓安福、雍景荣先后对本教材的撰稿工作进行了组织和协调。初稿完成后,由朱凡、胡岱文进行了修改和定稿。

本教材在编写过程中参考了兄弟院校的教材和我校的自编教材,在此一并致谢。

由于编写时间和编写水平所限,本书缺点及不当之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者
重庆建筑大学
一九九五年五月

主要符号表

符 号	名 词、术 语	符 号	名 词、术 语
A	基础底面面积;	q	均布荷载,地面超载;
a	压缩系数;	q_n	桩端土的承载力标准值;
b	基础底面宽度;	q_s	桩周土的摩擦力标准值;
c	粘聚力;	q_u	无限抗压强度;
C_c	压缩指数;	R	单桩竖向承载力设计值;
C_r	回弹指数;	R_k	单桩竖向承载力标准值;
C_v	竖向固结系数;	s	沉降量;
d	土粒粒径,基础埋置深度,桩身直径;	S_r	饱和度;
D_r	相对密度;	S_i	灵敏度;
d_s	土粒比重;	t	时间;
e	孔隙比,偏心距;	T_v	竖向固结时间因数;
E_a	主动土压力;	U	固结度;
E_0	静止土压力,变形模量;	u	孔隙水压力,桩的周边长度;
E_p	被动土压力;	V	水平力,剪力;
E_s	压缩模量;	W	重量,截面抵抗矩;
F	基础顶面竖向荷载;	w	含水量;
f	地基承载力设计值;	w_L	液限;
f_k	地基承载力标准值;	w_p	塑限;
f_0	地基承载力基本值;	z	深度;
f_r	岩石饱和单轴抗压强度;	z_n	地基沉降计算深度;
G	基础及其上覆土重量;	α	附加应力系数;
h	土层厚度;	$\bar{\alpha}$	平均附加应力系数;
H_0	基础高度;	β	填土表面坡角,边坡对水平面的坡角;
I	截面惯性矩;	γ	土的重力密度,简称土的重度;
I_L	液性指数;	γ_d	干重度;
I_p	塑性指数;	γ'	浮重度(有效重度);
K	安全系数;	γ_{sat}	饱和重度;
K_a	主动土压力系数;	γ_w	水的重度;
K_c	曲率系数;	δ	土对挡土墙墙背的摩擦角;
K_0	静止土压力系数,侧压力系数;	η	群桩效率系数;
K_p	被动土压力系数;	η_b	基础宽度的承载力修正系数;
K_s	抗滑稳定安全系数;	η_d	基础埋深的承载力修正系数;
K_t	抗倾覆稳定安全系数;	θ	地基的压力扩散角;
K_u	不均匀系数;	μ	泊松比,土对挡土墙基底的摩擦系数;
k	渗透系数,基床系数;	σ	总应力,法向应力;
l	基础底面长度;	σ_1, σ_3	大、小主应力;
M	弯矩,力矩;	σ_c	自重应力;
N_r, N_q, N_c	地基承载力系数;	σ_s	竖向附加应力;
n	孔隙比,桩数;	σ'	有效应力;
p	基础底面平均压力;	τ	剪应力;
p_0	基础底面平均附加压力;	τ_0	抗剪强度;
p_{cr}	比例界限荷载,临塑荷载;	φ	内摩擦角;
p_u	极限荷载;	ψ	沉降计算经验系数;
Q	桩基中单桩所受的竖向力;		

目 录

绪论	(1)
一、地基与基础的基本概念	(1)
二、本学科的发展概况	(1)
三、本学科的重要性和学习方法	(3)
第一章 土的物理性质及工程分类	(4)
§ 1—1 概述	(4)
§ 1—2 土的组成	(4)
一、土的固体颗粒;二、土中水;三、土中气;四、土的结构与构造	
§ 1—3 土的三相比比例指标	(11)
一、实测指标;二、计算指标;三、土的实测指标与计算指标间的关系	
§ 1—4 土的物理特征	(17)
一、无粘性土的密实度;二、粘性土的稠度和可塑性;三、粘性土的灵敏度	
§ 1—5 地基土(岩)的工程分类	(21)
一、岩石;二、碎石土;三、砂土;四、粉土;五、粘性土;六、人工填土	
思考题	(23)
习 题	(24)
第二章 地基的应力	(26)
§ 2—1 概述	(26)
§ 2—2 土中自重应力计算	(26)
一、土体的自重应力;二、自重应力的计算	
§ 2—3 接触压力的计算图形	(29)
一、实际接触压力分布图形的类型;二、接触压力的简化计算;三、基底附加应力	
§ 2—4 地基中的附加应力	(32)
一、空间问题;二、平面问题	
§ 2—5 地基的非均匀性与各向异性对附加应力的影响	(48)
一、各向异性的地基;二、双层地基;三、地基土的变形模量随深度逐渐增大	
思考题	(50)
习 题	(51)
第三章 地基的变形	(54)
§ 3—1 概述	(54)
§ 3—2 土的压缩性	(54)
一、基本概念;二、室内压缩试验与压缩性指标;三、现场载荷试验和变形模量;	
四、应力历史对土压缩性的影响	
§ 3—3 基础最终沉降量计算	(64)
一、最终沉降量的组成;二、瞬时沉降量的计算;三、固结沉降量的计算;四、次固	

结沉降量的计算

§ 3—4 地基变形与时间的关系	(81)
一、饱和粘性土的渗透固结;二、单向固结理论;三、固结度及其应用;四、利用沉降观测资料推算后期沉降量	
思考题	(89)
习 题	(90)

第四章 土的抗剪强度与地基承载力

(92)

§ 4—1 概述	(92)
§ 4—2 土体抗剪强度的库仑定律	(92)
§ 4—3 土体的极限平衡状态和条件	(94)
一、土中一点的应力状态;二、土的极限平衡条件	
§ 4—4 土的抗剪强度指标的测定	(98)
一、直接剪切试验;二、三轴剪切试验;三、无侧限抗压强度试验;四、十字板剪切试验	
§ 4—5 无粘性土的抗剪强度	(103)
§ 4—6 饱和粘性土的抗剪强度	(104)
一、应力历史对饱和粘性土抗剪强度的影响;二、排水条件对饱和粘性土抗剪强度的影响;三、抗剪强度指标的选择	
§ 4—7 应力路径	(109)
一、应力路径的概念;二、应力路径表示的方法;三、应用	
§ 4—8 地基的临塑荷载和塑性荷载	(113)
一、建立塑性区边界方程;二、地基的临塑荷载和塑性荷载	
§ 4—9 地基的极限承载力	(116)
一、普朗德理论解;二、以太沙基公式为代表的理论公式;三、梅耶霍夫公式;四、安全系数的选用	
思考题	(126)
习 题	(127)

第五章 土压力与边坡稳定

(129)

§ 5—1 概述	(129)
§ 5—2 挡土墙上土压力	(129)
一、土压力的类型;二、影响土压力的因素;三、静止土压力的计算	
§ 5—3 朗金土压力理论	(132)
一、主动土压力计算基本原理及公式;二、被动土压力计算基本原理及公式	
§ 5—4 库仑土压力理论	(135)
一、无粘性土土压力计算原理及公式;二、粘性土土压力计算	
§ 5—5 工程中常见情况土压力计算	(146)
一、填土表面有荷载作用的情况;二、成层土情况;三、填土中有地下水的情况;四、墙背为折线形的情况;五、土压力计算的讨论	
§ 5—6 挡土墙设计	(152)

一、挡土墙的类型;二、重力式挡土墙的设计	
§ 5—7 土坡的稳定性分析	(161)
一、土坡稳定分析的目的;二、无粘性土坡稳定性分析;三、粘性土坡稳定性分析;	
四、滑动推力的计算;五、土坡稳定分析方法的讨论	
思考题	(172)
习 题	(173)
第六章 地基勘察	(176)
§ 6—1 概述	(176)
§ 6—2 工程地质条件的概述	(176)
一、地形地貌;二、地层岩性;三、地质构造;四、地下水(水文地质);五、不良地质现象	
§ 6—3 勘察阶段的任务和内容	(191)
一、选址勘察阶段;二、初步勘察阶段;三、详细勘察阶段;四、勘察任务书	
§ 6—4 勘察方法	(194)
一、工程地质测绘与调查;二、勘探工作;三、触探;四、岩土测试	
§ 6—5 勘察报告编写内容	(201)
一、文字部分;二、图表部分	
§ 6—6 高层建筑地基勘察	(208)
一、高层建筑勘察的基本要求;二、高层建筑场地勘察要点;三、勘探工作要点;	
四、地基评价;五、高层建筑勘察报告	
第七章 浅基础	(215)
§ 7—1 概述	(215)
§ 7—2 地基、基础与上部结构的共同工作和设计方法	(215)
一、地基、基础与上部结构共同工作的概念;二、基础的设计方法	
§ 7—3 浅基础的类型和材料	(219)
一、刚性基础;二、钢筋混凝土柔性基础;三、独立基础(构筑物基础)	
§ 7—4 基础的埋置深度	(225)
一、确定基础埋深的意义和原则;二、选择基础埋深的影响因素	
§ 7—5 地基承载力设计值	(229)
一、地基承载力的概念;二、确定地基承载力的方法;三、选用确定承载力方法的原则与规定	
§ 7—6 地基计算	(240)
一、地基计算的基本规定;二、按地基的承载力计算;三、地基的变形计算;四、地基的稳定验算	
§ 7—7 防止或减轻不均匀沉降危害的措施	(254)
一、建筑措施;二、结构措施;三、施工措施	
§ 7—8 刚性基础设计	(258)
一、基础结构计算;二、基础构造要求	
§ 7—9 钢筋混凝土墙下条形基础和柱下单独基础设计	(261)

	一、墙下钢筋混凝土条形基础;二、柱下钢筋混凝土单独基础;三、基础构造要求	
§ 7—10	局部条形基础设计	(268)
	一、矩形联合基础;二、梯形联合基础;三、系梁式联合基础;四、梁板式联合基础	
§ 7—11	柱下条形基础设计	(278)
	一、常规设计法;二、地基上梁的计算方法;三、基础的构造要求	
§ 7—12	交叉条形基础	(294)
	一、柱荷载的分配;二、基础内力计算;三、基础的构造要求	
§ 7—13	筏板基础	(297)
	一、常规设计法;二、地基上板的设计法;三、基础的构造要求	
§ 7—14	箱形基础	(300)
	一、补偿性基础概要;二、箱形基础的结构设计;三、箱形基础的构造要求	
	思考题	(304)
	习 题	(305)
第八章	桩基础	(308)
§ 8—1	概述	(308)
§ 8—2	桩的分类	(309)
	一、按桩的传力情况分类;二、按桩的施工方法分类;三、按桩的设置效应分类	
§ 8—3	单桩竖向荷载的传递	(312)
	一、桩侧表面摩阻力;二、桩端阻力;三、桩的荷载传递;四、桩侧负摩阻力	
§ 8—4	单桩竖向承载力的确定	(317)
	一、单桩竖向承载力标准值;二、单桩竖 承载力设计值;三、按地基规范确定嵌岩桩承载力设计值;四、按土的抗剪强度指标确定单桩承载力	
§ 8—5	群桩的竖向承载力	(324)
	一、群桩的工作特性;二、群桩的效率系数;三、群桩的设计原则;四、群桩的整体强度及计算方法;五、群桩的沉降计算	
§ 8—6	单桩的水平承载力	(328)
	一、单桩的水平承载力;二、单桩在水平荷载作用下的计算方法	
§ 8—7	桩基础设计	(334)
	一、掌握设计资料;二、选择桩的类型、桩长及桩的截面尺寸;三、确定单桩承载力;四、确定桩的数量及其平面布置;五、桩基的验算;六、承台设计;七、单桩设计;八、绘制施工图	
	思考题	(350)
	习 题	(350)
第九章	地基处理	(352)
§ 9—1	概述	(352)
§ 9—2	换填法	(353)
	一、换填法的原理及类型;二、换土垫层及其作用;三、褥垫及其作用	
§ 9—3	密实法	(358)
	一、密实法的原理及类型;二、浅层密实法;三、深层密实法	

§ 9—4	预压排水法	(368)
	一、预压排水法的原理及类型;二、砂井堆载预压法;三、其他的预压法	
§ 9—5	浆液固化法	(374)
	一、浆液固化法的原理及类型;二、灌浆法;三、喷拌法	
	思考题	(378)
	习题	(378)
第十章	区域性地基	(380)
§ 10—1	概述	(380)
§ 10—2	山区地基	(380)
	一、山区地基的特点;二、岩石地基;三、土岩组合地基;四、山区填土地基;五、山地灾害的防治	
§ 10—3	红粘土地基及岩溶、土洞	(390)
	一、红粘土地基;二、岩溶与土洞	
§ 10—4	膨胀土地基	(393)
	一、膨胀土的特征;二、膨胀土的工程特性指标;三、膨胀土地基的评价;四、膨胀土地基的工程措施	
§ 10—5	黄土地基	(398)
	一、湿陷性黄土的特征;二、黄土的特性指标与地基的评价;三、湿陷性黄土地基的工程措施	
§ 10—6	软土地基	(402)
	一、软土的特性;二、软土地基的评价	
	思考题	(404)
第十一章	地震区的地基基础	(405)
§ 11—1	概述	(405)
§ 11—2	地震的概念	(405)
	一、地震的类型与成因;二、地震波及其特征;三、地震震级和烈度	
§ 11—3	场地的地震反应与地基震害	(407)
	一、场地的地震反应与分类;二、地基的震害现象;	
§ 11—4	地基基础抗震设计原则	(409)
	一、抗震验算的一般原则;二、天然地基的抗震验算;三、地基抗震措施	
	思考题	(413)
附录 A	桩基础可靠性分析设计简介	(414)
	一、地基基础可靠性分析概述;二、按概率极限状态设计的基本原则;三、桩基础的承载力计算	
附录 B	勘察报告实例	(423)
	一、前言 二、建筑场地的工程地质条件 三、场地工程地质评价 四、结语及几点说明	

绪 论

一、地基与基础的基本概念

万丈高楼从地起,一切建筑物均以地球为依托;即无论建筑物的使用要求、荷载条件如何,其所有的荷载最后均由其下的地层来承担。凡是因建筑物荷载作用而产生应力和变形的岩体或土体,统称为地基。将建筑物荷载传递给地基的地下结构部分称为基础。

地基是地层的一部分,组成地层的土或岩石是自然界产物。岩土的性质极其复杂,因它与其形成过程、物质成分、气候条件以及环境因素等有关,而这些因素目前尚不能在实验室条件下完全模拟出来,也不能用一种数学模式表现出来。为此,在建筑物设计之前,必须进行工程地质勘察和评价,充分了解地层的成因和构造,分析岩土的工程特性,研究场地的不良地质现象和水文地质条件,提供设计计算用的必要参数。这是搞好地基基础工程设计与施工的前提。

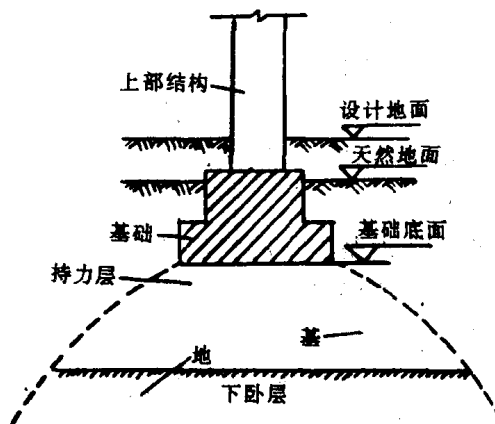


图 0—1 地基与基础示意

建筑物的建造使地基中原有的应力状态发生改变,这就必须运用数学力学的方法来研究在荷载作用下地基的强度和变形问题,以使地基基础设计满足二个基本要求:(1)地基在建筑物荷载作用下有足够的承载力,并在防止整体破坏方面有足够的安全储备;(2)保证地基的变形值不超过建筑物正常使用要求的范围。研究土的应力、强度和变形规律的一门力学分支称为土力学,它是本课程的理论基础。对于大多数建筑物来说,只要选择适当的基础型式,对地基进行认真的计算,天然地层不需任何处理便可作为建筑物的地基,这种地基称为天然地基。反之,需采取某些处理措施,使地层适应建筑物荷载的需要,这种经过处理后的地基称为人工地基。

基础是建筑结构的一部分,它的任务是将上部结构的荷载妥善地传递给地基,并保证上部结构的安全和稳定。和上部结构相同,基础应有足够的强度、刚度和耐久性。基础结构的型式很多,习惯上可概括分为两大类,即浅基础和深基础。深、浅基础没有一个明确的分界线,一般将埋置深度不大,只需开挖基坑及排水等普通施工工艺建造的基础称为浅基础;反之,埋置深度较大,需借助于特殊的施工方法建造的基础称为深基础。

土力学与基础工程作为一门科学,重点研究地基与基础之间的有关问题。建筑物的地基、基础及上部结构三大部分,各自的功能不同,研究方法各异,但三者却是彼此联系、相互制约、共同工作的整体,研究时不应将其单独割裂。目前,要将三部分完全统一起来进行设计和计算还有困难,但在处理地基基础问题时,从地基、基础和上部结构相互作用的整体概念出发,综合分析考虑,才能取得较为理想的效果。

二、本学科的发展概况

本学科与其它技术科学一样,是人类在长期生产实践中逐步总结提高而形成的。它既是一

项古老的工程技术,又是一门年轻的应用科学。

人类从事建筑事业,已有数千年历史。我国是世界文明古国,有五千年的文化,远古先民在史前的建筑活动中,就已创造了自己的地基基础工艺。我国西安半坡村新石器时代遗址和废墟遗址的考古发掘,都发现了土台和石础。我国历代修建的无数建筑物,均出色地体现了我国祖先在地基基础方面的高超技艺。举世闻名的万里长城、南北大运河,蜿蜒千万里,成功地穿越各种地质条件的广阔地区;宏伟壮丽的宫殿寺庙,要依靠精心设计和建造的基础工程,才能逾千百年而完好地留存至今;遍布全国的巍巍宝塔,由于奠基牢固,才能经历多次强震及台风的考验而安然无恙。

隋朝(公元 605~616 年间)石匠李春建造的赵州桥,桥台置于密实的粗砂层上,按现行的规范验算,基底压力达 500~600kPa,一千多年来估计沉降仅几厘米;北宋木匠喻浩,公元 989 年在建造开封寺木塔时,预见到可能因塔基土质不均匀而造成塔身倾斜,施工时有意将塔身向西北方向倾斜,以使其在风力和自重作用下自动扶正。这些科学的做法完全符合现代土力学的基本原理。

在软土地基上采用桩基础,在我国也有悠久的历史。隋朝建造的郑州超化寺,是在淤泥中打入木桩形成塔基的;五代时期杭州湾的大海塘工程,也采用了木桩和石承台。对于人工地基,如打夯、加石灰压实、灰土垫层、撼砂垫层等,都是我国自古已有的传统地基处理方法。我国劳动人民无数的地基基础实践经验,充分表明其卓越才能。但由于我国长期的封建统治,受当时生产力发展水平的限制,还未能提炼成系统的科学的理论。

作为本学科理论基础的土力学,其开端始于十八世纪兴起了工业革命的欧洲。1773 年,法国的库仑(Coulomb)发表了著名的砂土抗剪强度公式和土压力的滑楔理论。其后,英国的朗金(Rankine, 1869)又从强度理论方面提出与之结果相同且能应用于粘性土中的土压力理论。此外,法国的布辛奈斯克(Boussinesq, 1885)得出了半无限弹性体在竖向集中力作用下的应力与变形的理论解答;法国的达西(Darcy, 1856)通过水在砂土中的渗流试验,建立了达西定律;瑞典的费兰纽斯(Fellenius, 1922)为解决铁路塌方问题,提出了土坡稳定分析方法。这些古典的理论和方法,为土力学成为一门独立学科奠定了初步的理论基础。

1925 年美国著名土力学家太沙基(Terzaghi)的《土力学》专著问世,使土力学成为一门独立的较为系统而完整的学科。自 1936 年成立了国际土力学基础工程学会,并举行第一次国际学术会议起,至今已召开了数十次国际会议,每年还有若干次专题讨论会,说明本学科快速发展令人瞩目。到 1957 年这门学科又进入近代力学新时期,现代科技成就,尤其是电子技术渗入了土力学基础工程的研究领域,使其在基本理论、计算方法、实验技术及设备等诸方面都得到了革命性的发展。基本理论方面,如岩土本构关系的研究,将各种应力—应变—时间的非线性模型应用于实际问题;在计算方法方面,广泛采用计算机,用数值计算方法,如有限元法、差分法等解决以往无法解决的复杂边界和初始条件以及不均匀土层等问题;在实验技术和设备方面,采用静、动三轴仪、离心模型机、触探仪、旁压仪等,广泛用计算机程序控制试验过程,并自动采集和加工试验数据。近年来可靠性理论在土力学基础工程方面的研究得到了很大的发展,因为地基基础是一门综合性学科,存在有许多不确定性,就更需要用概率方法对地基基础的设计计算进行可靠度和风险分析。目前国内外正在努力把可靠性理论运用到地基基础设计规范中,这是今后发展的方向。

三、本学科的重要性和学习方法

地基基础是建筑工程的一个重要组成部分,是建筑物的根本,又属于地下隐蔽工程。因此,它的工程地质勘察、设计计算和施工质量直接关系到建筑物的安危。大量事实证明,在建筑物失败事故中,地基基础问题占很大的比例,而且地基基础事故一旦发生,进行补救就相当困难。此外,地基基础工程处理是否适当,影响建筑物的造价也是惊人的,一般约占总投资的10~20%甚至更多。所以,地基基础在建筑工程中的重要性已是显而易见。

一些国际上有名的地基基础工程的失败事例,应引以为训。图0-2所示为巴西一幢十一层大厦倒塌时严重倾斜的情况。该大厦于1955年开始建造,1958年初建成时,即发现有明显沉降。还未来得及采取加固措施,于当年1月30日晨大厦的沉降速度已达每小时4mm,到晚上8时,仅20秒钟整个大厦倒塌下来,平躺在地上。事后经调查,地基为较厚的软弱粘土和泥炭层,21m长的桩未能打到较好的持力层中,由于地基承载力不足而发生灾难性的破坏。1173年建造的意大利比萨斜塔(图0-3),塔高58m,共八层。当年建至第二层(高24m)时,便发现有不均匀沉降,停工近100年后又续建,仍不断下沉;近几年来,每年塔身最大倾角增加10秒、下沉量增大300mm,到现在总沉降量已达3m多,塔顶水平偏移5m多;不得不花费巨资进行地基加固处理,使之得以保存。墨西哥城的国家剧院,是下沉量过大的例子。该剧院建造在火山灰沉积的湖相盆地里,土层异常松软。剧院投入使用后,下沉了约一个楼层,以致剧院入口不得不低于地面。

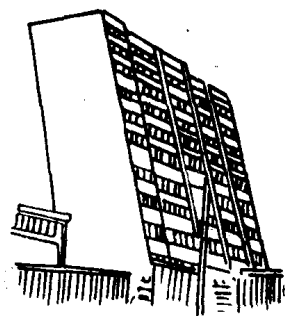


图0-2 南美洲巴西里约热内卢十一层大楼倾塌实况

成功处理地基基础的例子也很多。我国五十年代建成的武汉长江大桥,其基础工程的设计,采用了“管柱基础”,从而解决了地质条件复杂、长江水深流急、桥梁荷载大、施工季节短等困难。鞍钢十号高炉,建在厚薄不均的压缩性土层上,考虑到不均匀沉降的必然性,修建时有意地使高炉向土层薄的一侧倾斜,建成后高炉恰好恢复到直立的位置,保证了生产,节约了投资。类似成功的例子不胜枚举。总之,只要严格遵循基本建设程序,精心抓好勘察、设计和施工三个环节,地基基础事故是可以避免的。

土力学与基础工程是一门综合性强、内容广泛的课程,它涉及到工程地质学、建筑力学、结构工程以及施工技术等领域。学习时应突出重点、兼顾全面。学习时应重视工程地质的基本知识,培养阅读和使用工程地质勘察资料的能力;对于作为建筑物地基的土,要有明确的概念和认识;牢固掌握土的应力、变形及强度等土力学的基本原理和一般建筑物地基基础的勘察、设计及施工的技能,结合建筑结构理论和施工知识,分析和处理地基基础问题。

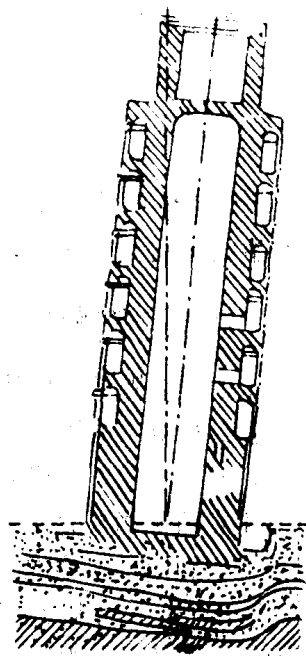


图0-3 比萨斜塔

虽然土力学是指导地基基础工程实践的理论基础,但由于土是自然历史的产物,现有的土力学理论,还难以模拟、概括天然土层在建筑物荷载作用下的力学性状全貌。所以不能单纯地依靠理论计算。正确的方法是强调理论与实践相结合,在理论分析的基础上,结合工程实际,逐步提高和丰富对理论的认识,不断增强处理地基基础问题的能力。

第一章 土的物理性质及工程分类

§ 1—1 概 述

土是地壳母岩经受强烈风化、剥蚀、搬运、沉积形成的第四纪沉积物,是各种矿物颗粒的集合体。

岩石风化后的产物,有些残存于原处而堆积起来,有的则在重力、流水、冰川、风力等各种自然力作用下移动,被搬运到别处再沉积下来。搬运作用可使颗粒磨圆,引起一定程度的颗粒分选,从而使土具有大小不同的颗粒。不同方式的搬运与不同的沉积条件,使土形成不同的沉积物,所以土具有不同的种类和层理构造。

一般情况下,土的颗粒之间有大量孔隙,而孔隙中通常有空气和水。在天然状态下,土呈三相系,即由固体颗粒、水和空气三相所组成。当孔隙全部为水所填充时,称为饱和土;反之,当孔隙中没有水,全部为气体所填充时,称为干土。饱和土和干土都是二相土。

土中的颗粒,气体和水三者之间的相互作用以及它们在体积、重量之间的比例关系,反映了土的物理性质和物理状态,可以对土进行分类。因此,土的三相组成,以及天然状态下土的结构和构造,对研究土的工程性质有着重要的意义。在进行工程设计和施工时,应了解土的物理特征和工程力学性质及其变化规律,掌握土的物理性质指标的测定方法和指标间的相互换算。

本章着重介绍土的组成,土的物理性质指标与物理状态指标以及土的工程分类。

§ 1—2 土的组成

土的固体颗粒主要由矿物颗粒或有机物颗粒构成土的骨架部分,即固相;土孔隙中的水及其溶解物构成土中液体部分,即液相;空气及其它一些气体构成土中气体部分,即气相。

一、土的固体颗粒

土的固体颗粒是由各种不同成分、不同大小的矿物颗粒组成的。土的矿物成分、颗粒级配和土的结构对土的工程性质有很大的影响。

(一)土粒的矿物成分

土粒的矿物成分与其成土过程中的风化作用有密切关系。在物理风化作用下,土粒保持与成土母岩相同的矿物成分,如长石、石英、云母颗粒,这些颗粒就是原生矿物。在化学风化作用下,由于改变了成土母岩原来的矿物成分,形成了新矿物,即次生矿物,如蒙脱石、伊里石、高岭石颗粒都是次生矿物。一般来说,物理风化生成的原生矿物颗粒较粗,如砾石、砂粒。化学风化生成的次生矿物颗粒较细,如某些粘土颗粒。

粉粒的矿物成分主要是由化学稳定的(如石英)或强度较小的原生矿物(如白云母、长石)所组成。

在电子显微镜下观察到的粘土矿物是呈鳞片状或片状的晶体。经X射线分析证明,其内

部具有层状晶体构造,即其原子排列成一定的几何形态,并且是由两个基本结晶单元(称为晶片)构成的。一种是硅氧晶片,它的基本单元是Si—O四面体。另一种是铝氢氧晶片,它的基本单元是Al—OH八面体(图1-1)。

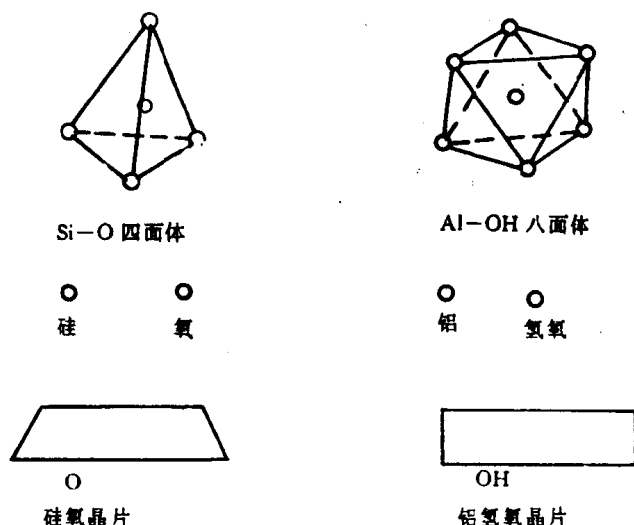


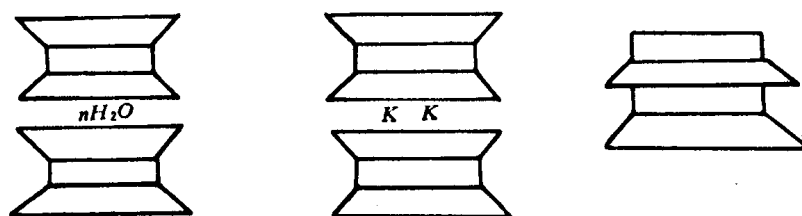
图1-1 粘土矿物的晶片示意图

由于晶片结合情况不同,就形成了具有不同性质的各种粘土矿物。其中主要有蒙脱石、伊里石、高岭石三类。

蒙脱石的结构单元是由两层硅氧晶片之间夹一层铝氢氧晶片结合而形成基本层组(也称晶胞),多个层组叠连在一起形成一个矿物颗粒。由于这种层组表面分布的是氧原子,其间没有氢键,因此联结力很弱,可以吸进很多水分子(图1-2(a))。吸入的水分子可以使颗粒从层组间断开,而分成更小的颗粒,甚至可分成单个层组的颗粒。所以,蒙脱石颗粒最小,亲水性最大,具有膨胀性和收缩性。

伊里石的结构单元类似于蒙脱石,但Si—O四面体中的四价硅离子 Si^{4+} 可以部分被三价的铝离子 Al^{3+} 和铁离子 Fe^{3+} 所取代,并在相邻的层组间可能出现若干一价钾离子 K^+ ,使其联结力较蒙脱石大,所以伊里石颗粒大小和亲水性介于蒙脱石和高岭石之间(图1-2(b))。

高岭石的结构单元是由一层硅氧晶片与一层铝氢氧晶片交替构成的基本层组,许多这样的层组叠连在一起构成矿物颗粒。这种基本层组的一面露出的氢氧基与另一面露出的氧原子相遇,具有较强的联结力,水分子不能楔入,难于使层组之间断开,天然颗粒常能保持较多层组(100个以上),所以高岭石颗粒较大,亲水性最小(图1-2(c))。



(a)蒙脱石 (b)伊里石 (c)高岭石

图1-2 粘土矿物构造单元示意图

(二)土的颗粒级配

自然界的土是由大小不同的土粒组成,土粒的大小通常用粒径表示。土粒粒径的变化使土的性质相应地改变。因此,可以把某些基本性质接近或相同的不同粒径的土粒按适当的粒径范围划分为不同的粒组。工程中按照使土的性质发生显著变化的分界尺寸——即界限粒径将土划分为若干粒组。表 1-1 是工程中常用的土粒粒组划分方法,表中根据界限粒径 200、20、2、0.075 和 0.005mm 把土粒分为:漂石(块石)颗粒、卵石(碎石)颗粒、圆砾(角砾)颗粒、砂粒、粉粒及粘粒六大类,并列出了各粒组的范围和相应的特性。

表 1-1

土粒粒组的划分

粒组名称		粒径范围 (mm)	一般特征
漂石或块石颗粒		>200	透水性很大,无粘性,无毛细水,不能保持水分
卵石或碎石颗粒		200~20	
圆砾或角砾颗粒	粗 中 细	20~10 10~5 5~2	透水性大,无粘性,毛细水上升高度不超过粒径大小,不能保持水分
砂 粒	粗 中 细 极细	2~0.5 0.5~0.25 0.25~0.1 0.1~0.075	易透水,无粘性,无可塑性,毛细水上升高度很小
粉 粒	粗 细	0.075~0.01 0.01~0.005	透水性小,湿时稍有粘性,毛细水上升高度较大较快,在水中易悬浮,易出现冻胀现象。
粘 粒		<0.005	透水性很小,湿时有粘性,可塑性,其性质随含水量变化,毛细水上升高度大,但速度较慢

土中各粒组的相对含量,称为土的颗粒级配。土的颗粒级配是通过颗粒分析测定的。土粒粒径大于 0.1 毫米的土样用筛分法,小于 0.1 毫米的土样用比重计法测定。如果土中同时含有大于和小于 0.1 毫米的土粒,应采用上述两种方法同时测定。

根据颗粒分析结果求出各粒组的相对含量占全部土粒重量的百分比,然后按小颗粒至大颗粒计算累积百分含量,用半对数坐标绘制成颗粒级配累积曲线(图 1-3)。

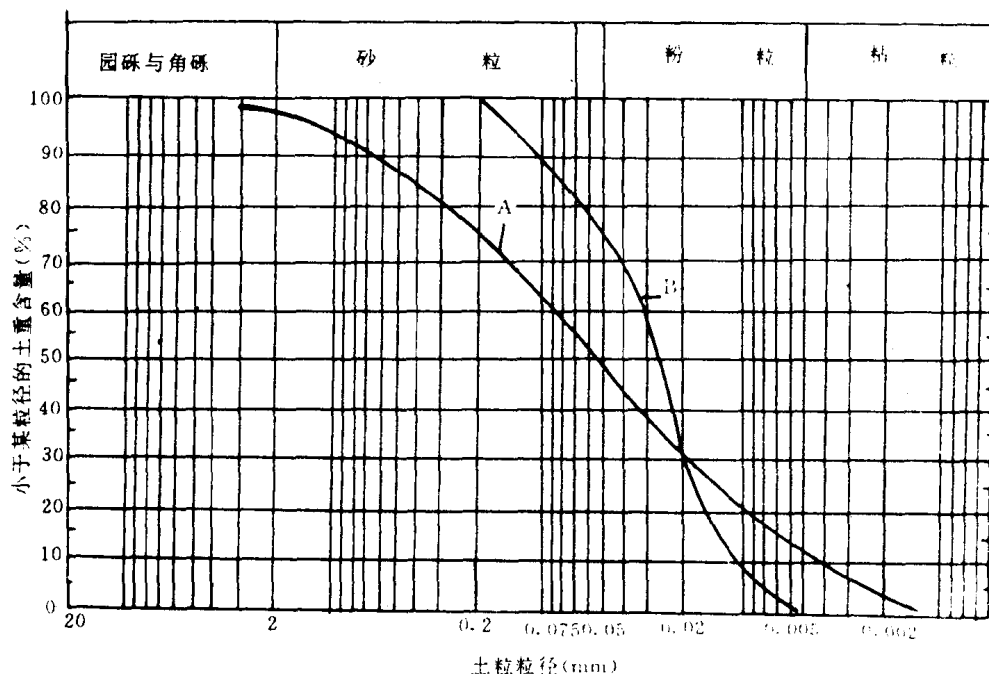


图 1-3 颗粒级配累积曲线

累积曲线的形态表明土粒的分布情况。曲线平缓说明土粒粒组分布范围广,土粒大小不均匀,土的级配良好(如图 1-3A 线)。曲线陡说明土粒粒组分布范围窄,土粒均匀,土的级配不良(如图 1-3B 线)。

为了判断土的级配优劣,采用不均匀系数 K_u 和曲率系数 K_c 两个指标。

$$\text{不均匀系数} \quad K_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (1-1)$$

$$\text{曲率系数} \quad K_c = \frac{(d_{30})^2}{d_{60} \times d_{10}} \quad (1-2)$$

式中 d_{60} ——累积曲线上小于某粒径含量为 60% 时所对应的粒径值,称为土的限制粒径;

d_{10} ——累积曲线上小于某粒径含量为 10% 时所对应的粒径值,称为土的有效粒径;

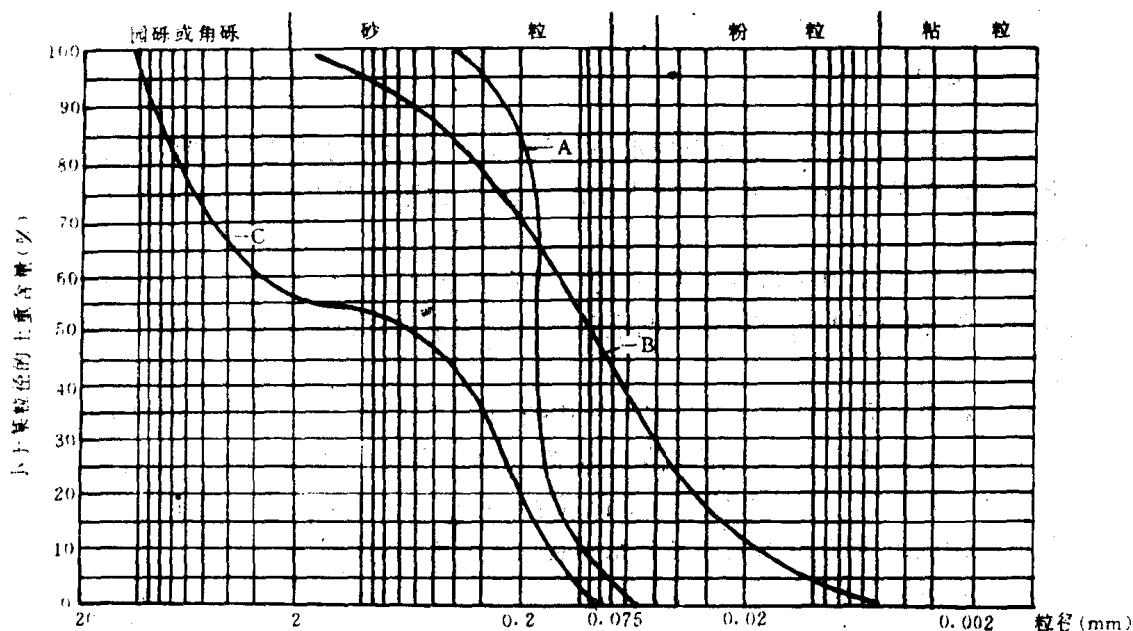
d_{30} ——累积曲线上小于某粒径含量为 30% 时所对应的粒径值。

不均匀系数 K_u 越大,表示土中所含粒径越不均匀。工程上把 $K_u > 5$ 看作级配不均匀,把 $K_u < 5$ 看作级配均匀。曲率系数 K_c 反映累积曲线弯曲的程度。当 $K_c = 1 \sim 3$ 时,则认为级配是合适的。级配良好的土必须同时满足两个条件:即 $K_u > 5$ 和 $K_c = 1 \sim 3$ 。

【例题 1-1】 如例图 1-1 所示 A、B、C 为三种用不同粒径曲线所代表的土。试求每种土中的砾石、砂粒、粉粒、粘粒粒组的含量各占多少? 不均匀系数 K_u 及曲率系数 K_c 各为多少? 并对各曲线所反映的土的级配特性进行分析。

【解】 (1) 按曲线 A 知

砂粒(2~0.075 毫米)占 100-5=95%



例图 1-1 颗粒级配累积曲线

粉粒(0.075~0.005 毫米)占 5%

$$K_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{0.165}{0.10} = 1.65 < 5 \quad \text{级配均匀}$$

$$K_c = \frac{(d_{30})^2}{d_{60} \times d_{10}} = \frac{(0.15)^2}{0.165 \times 0.10} = 1.36 \quad \text{在 } 1 \sim 3 \text{ 之间}$$

虽然 K_c 在 1~3 之间,但从曲线看其坡度陡, $K_u < 5$, 故为级配不良的土。