

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



TULIXUE

土力学

汪仁和 主 编

林 斌 李栋伟 副主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

普通高等教育“十一五”规划教
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAO

TULIXUE

土力学

主 编 汪仁和
副主编 林 斌 李栋伟
编 写 杨 青 朱 杰
主 审 姚多喜



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”规划教材,是根据高等学校土木工程专业教学大纲,结合近年来土力学学科的发展和新时期对土木工程人才培养的要求而编写的,着重阐述基本理论、基本原理及新概念、新方法,重视实例和工程问题的介绍,以提高学生对工程问题的理解和分析能力。

全书除绪论外共八章,主要包括土的物理性质与工程分类、土的渗透性及流量计算、地基中的应力计算、土的压缩性与地基沉降计算、土的抗剪强度及参数确定、挡土结构上的土压力、地基承载力计算和土坡稳定性分析。每章末均附有思考题、习题及部分答案。

本书可作为普通高等院校土木工程专业及相近专业教材,也可作为土建领域工程技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

土力学/汪仁和主编. —北京:中国电力出版社,2010.8

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5123-0606-6

I. ①土… II. ①汪… III. ①土力学—高等学校—教材

IV. ①TU4

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第143374号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2010年8月第一版 2010年8月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 13印张 308千字

定价 21.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神，加强教材建设，确保教材质量，中国电力教育协会组织制订了普通高等教育“十一五”教材规划。该规划强调适应不同层次、不同类型院校，满足学科发展和人才培养的需求，坚持专业基础课教材与教学急需的专业教材并重、新编与修订相结合。本书为新编教材。

土力学是土木工程专业的专业基础课，是将固体力学和流体力学等学科的基本原理应用于土体的一门应用学科，是力学的一个重要分支。本书紧紧围绕土力学中的三大理论和三大工程应用问题，即渗透理论、强度理论和变形理论，以及挡土墙设计、地基承载力计算、土坡稳定性分析，阐述土的基本物理力学特性，包括渗透、应力、变形、强度以及在工程中的应用。

土力学是一门理论性和实践性都很强的课程，本书在编写过程中，注意理论与实际的结合，通过对一些工程问题的分析，培养学生分析与解决实际问题的能力。全书除绪论外共八章，主要内容包括土的物理性质与工程分类、土的渗透性及流量计算、地基中的应力计算、土的压缩性与地基沉降计算、土的抗剪强度及参数确定、挡土结构上的土压力、地基承载力计算和土坡稳定性分析。每章末均附有思考题、习题及部分答案。本书可作为普通高等院校土木工程专业及相近专业教材，也可作为土建领域工程技术人员的参考用书。

本书编写分工如下：安徽理工大学汪仁和编写绪论，杨青编写第一、六章，林斌编写第二、四、八章，朱杰编写第三章，李栋伟编写第五、七章。全书由汪仁和统稿并主编。安徽理工大学姚多喜教授审阅了全书，提出许多宝贵意见，在此表示感谢！

由于编者水平和时间所限，书中不足之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

2010年6月

常用符号及单位

A	基础底面积, m^2		剪切模量
	试样截面积, m^2	G_D	动水力, kN/m^3
	竖向附加应力面积, m^2	G_s	土颗粒的比重
A_S	土颗粒间接触面积之和, m^2	h	试样两端面间的水头差, m
A_w	孔隙水面积, m^2	h_0	含水层厚度, m
a	土的压缩系数, MPa^{-1}	h_c	饱和带土层高度, m
a_{1-2}	土样上的压力在 100~200kPa 区间上	H	土层厚度, m
	土的压缩系数, MPa^{-1}		土样高度, m
b	基础宽度(短边), m		挡土墙高度, m
C_c	土的曲率系数	H_0	初始地下水头高度, m
	土的压缩指数	i	水力坡降
C_u	土的不均匀系数	i_{cr}	临界水力坡降
C_v	土的竖向固结系数, $\text{cm}^2/\text{年}$	I_L	土的液性指数
c	土的黏聚力, kPa	I_p	土的塑性指数
d	基础埋深, m	J	渗透力, kN
	土粒粒径, mm	j	作用在单位土体上的渗透力, kN/cm^3
d_{60}	土的限定粒径, mm	k	渗透系数, cm/s
d_{10}	土的有效粒径, mm	K	集中应力系数
D_r	土的相对密度	K_0	静止土压力系数
e	孔隙比	K_a	主动土压力系数
e_0	初始孔隙比	K_p	被动土压力系数
E	土的弹性模量, kPa	K_c	矩形面积竖直均布荷载角点下的竖向
	挡土墙上的总土压力, kN/m		附加应力分布系数
E_0	总静止土压力, kN/m	$K_{u1}、K_{u2}$	矩形面积竖直三角形荷载角点下的竖
E_a	总主动土压力, kN/m		向附加应力分布系数
E_p	总被动土压力, kN/m	K_r	圆形面积上均布荷载作用时, 圆心点下
E_s	土的压缩模量, kPa		的竖向附加应力分布系数
E_i	初始切线模量, kPa	K_{ss}	条形面积竖直均布荷载下的竖向附加
E_r	再加载模量, kPa		应力分布系数
$\bar{E}_s$	沉降计算深度范围内压缩模量的当量	l	基础底面长度, m
	值, kPa	L	渗径长度, m
f_k	地基承载力标准值, kPa	n	孔隙率
f_0	地基承载力基本值, kPa		抽水井数量, 个
F	作用在基础上的竖向力设计值, kN	N	锤重 63.5kg 的标准贯入试验锤击数
G	基础自重设计值和基础台阶上回填土	p	基底压力, kPa
	重力之和, kN	p_0	基底平均附加压力, kPa

	现有土层自重应力, kPa	γ_w	水的重度, kN/m ³
p_c	土体前期固结应力, kPa	μ	土的泊松比
p_{cr}	地基临塑荷载, kPa	σ	应力, kPa
p_u	地基极限荷载, kPa	σ_0	静止土压力强度, kPa
q	渗流量, cm ³ /s	σ_a	主动土压力强度, kPa
q_u	无侧限抗压强度, kPa	σ_p	被动土压力强度, kPa
R	抽水影响半径, m	σ'	饱和土中有效应力, kPa
s	地基最终沉降量, mm	σ_{cz}	竖向向自重应力, kPa
s_c	地基的固结沉降量, mm	σ_{cx}, σ_{cy}	分别为沿 x 轴和 y 轴方向的水平自重应力, kPa
s_d	地基的瞬时沉降量, mm	σ_{czi}	第 i 层上的自重应力, kPa
s_w	水位降深, mm	σ_{zi}	第 i 层上的附加应力, kPa
S_r	土的饱和度	σ'_z	透水面的固结应力, kPa
s_z	t 时刻的土层沉降量, mm	σ''_z	不透水面的固结应力, kPa
t	时间, s	τ	土体平面上的切向应力, kPa
T_v	竖向固结时间因数	τ_i	土的抗剪强度, kPa
u_w	孔隙水压力, kPa	φ	土的内摩擦角, °
U_z	土层的平均固结度, %	φ'	土的有效内摩擦角, °
v	渗透速度, cm/s	ω	沉降影响系数
w	土的含水率, %	η_t, η_{10}	分别为 $t^\circ\text{C}$ 和 10°C 时水的动力粘滞系数
w_L	液限, %	ψ_s	沉降计算经验系数
w_p	塑限, %		水平推力系数
w_s	缩限, %	$\Delta s'_i$	计算深度 z_n 范围内, 第 i 层土的计算沉降值, mm
$\bar{\alpha}$	深度 z 范围内平均附加应力系数	$\Delta s'_n$	计算深度 z_n 处向上取厚度为 Δz , 土层的计算沉降值, mm
γ	土重度, kN/m ³	OCR	超固结比
γ_d	土的干重度, kN/m ³		
γ'	有效重度, kN/m ³		
γ_{sat}	土饱和重度, kN/m ³		

目 录

前言

常用符号及单位

绪论	1
第一节 土及其特性	1
第二节 土力学及其研究内容和意义	1
第三节 土力学课程的内容和特点	4
第四节 土力学的发展简介与展望	5
第一章 土的物理性质与工程分类	6
第一节 概述	6
第二节 土的生成	6
第三节 土的结构和构造	7
第四节 土的组成	9
第五节 土的三相组成及物理性质指标	13
第六节 无黏性土的密实性	18
第七节 黏性土的物理特性	19
第八节 土的工程分类	23
第九节 土的压实性	28
思考题	33
习题	34
第二章 土的渗透性及流量计算	35
第一节 概述	35
第二节 土体中水的渗透规律	36
第三节 流网及其应用	45
第四节 渗透力与渗透稳定性	49
思考题	53
习题	53
第三章 地基中的应力计算	57
第一节 概述	57
第二节 土中自重应力	58
第三节 基底压力计算	60
第四节 地基中的附加应力	66
思考题	86
习题	87

第四章 土的压缩性与地基沉降计算	89
第一节 概述	89
第二节 有效应力原理	90
第三节 土的压缩性	92
第四节 地基最终沉降量计算	96
第五节 地基沉降计算的 $e-\lg p$ 曲线法	104
第六节 饱和土的单向固结理论	109
第七节 地基沉降组成及计算	116
思考题	117
习题	118
第五章 土的抗剪强度及参数确定	120
第一节 莫尔—库仑强度理论	120
第二节 土的极限平衡条件	122
第三节 土的抗剪强度指标及测定方法	123
第四节 土体抗剪强度影响因素及参数选择	133
第五节 三轴试验中土的孔隙压力系数	134
第六节 土的应力路径	136
思考题	137
习题	137
第六章 挡土结构上的土压力	138
第一节 概述	138
第二节 挡土墙上的土压力	139
第三节 朗肯土压力理论	140
第四节 库仑土压力理论	145
第五节 常见情况下土压力的计算	149
第六节 关于土压力的几个问题	152
思考题	155
习题	155
第七章 地基承载力计算	157
第一节 浅基础地基破坏模式	157
第二节 地基的界限荷载	159
第三节 地基极限承载力	162
第四节 地基承载力公式的适用性	171
思考题	173
习题	174
第八章 土坡稳定性分析	175
第一节 概述	175
第二节 土质边坡稳定性分析	175

第三节 基岩上覆盖土层稳定性分析..... 188

第四节 水对边坡稳定的影响..... 190

第五节 土坡稳定的影响因素及防治措施..... 192

思考题..... 193

习题..... 193

参考文献..... 195

绪 论

第一节 土 及其 特性

土是一种自然界的产物,是地壳岩石经过强烈风化后所产生的碎散矿物集合体。在土的形成过程中,经受了风化、剥蚀、搬运和沉积等不同的阶段,是一个长期而复杂的过程,加上交错复杂的自然环境,构成了土与其他材料显著不同的特征和特性。

土的基本特征主要表现在以下三个方面。

1. 碎散性

土体是由大小不同的土颗粒堆积而成的。土颗粒之间存在着大量的孔隙,可以透水 and 透气。土颗粒之间的胶结力很弱,甚至是松散的。因此,可认为土是碎散的,是一种多孔、非连续介质,是一种以摩擦为主的堆积性材料。土的碎散性表明:土的强度低、受力后易变形,体积变化主要是孔隙变化,剪切变形主要由颗粒相对位移引起。

2. 自然变异性或不均匀性

土的生成条件和生成环境的不同,造就了自然界中多种不同的土。比如,在同一场地、不同深度土的性质可能就不一样,甚至相距仅有几厘米也会有变化,即使是同一点的土,其力学性质也可能随方向的不同而不同。土的自然变异性就是指土的工程性质随空间与时间而变异的性质,也称为不均匀性。土的这种变异性是客观的、自然形成的。土的自然变异性包括了不均匀性、各向异性、结构性和时空变异性。

3. 三相性

正常的土是由固体颗粒、水和气三部分所组成的三相系。土的沉积年代不同、三相比例不同,土的性质不同。在特殊情况下,土也可以成为二相组成,比如完全饱和土(孔隙体积充满了水)和干土(土中不含水)。土的三相组成导致土的性质十分复杂,比如土承受的荷载是由土骨架、孔隙介质共同承担,两者存在着复杂的相互作用关系。

土的特性与其他固体材料相比,也具有显著的不同。

1. 不确定性

土的不确定性一方面是土的性质受形成环境的影响随遇而变,难以全面掌握。另一方面土是非线性材料,没有唯一的应力—应变关系和土的不均匀性、多相性所引起的复杂力学行为难以掌握。

2. 土的易变性

土的工程特性受外界温度、湿度、地下水、荷载等影响而发生显著的变化。

土的不确定性和易变性是岩土工程问题的难点和重点,在进行土工结构物的设计和施工时,应该从多方面分析和研究,正确地掌握岩土的工程性质,保证其安全和正常使用。

第二节 土力学及其研究内容和意义

土力学是一门研究土体的应力、变形、强度、渗流和长期稳定性的一门学科。它既是工

程力学的一个分支学科，又是土木工程学科的一部分。

土力学学科承担了研究和解决土体的力学性能及土体内部的应力变形、岩土工程中支护结构上的外荷载（土压力），以及渗流对土体的作用等工程问题。具体可以分为三个方面：一是研究土体的稳定问题。研究土体的强度和内部应力，例如地基的稳定、边坡的稳定等。当地基的强度不足时，将导致建筑物的失稳或破坏；当土体的强度不足时，将导致边坡的滑坡。二是研究土体变形问题。即使土体具有足够的强度能保证自身的稳定，还应控制土体的变形。对建筑物而言，要求其竖向沉降和不均匀沉降不允许超过规定的变形值，否则将导致建筑物的倾斜、开裂、降低或失去使用价值，严重的将酿成毁坏等安全事故。三是研究渗流对土体变形和稳定的影响。如对土工建筑物（如土坝、土堤、岸坡）、水工建筑物地基，或其他挡土、挡水结构，必须要考虑渗流对土体和结构物的影响。为了解决上述工程问题，就要研究土的物理性质和工程性质，掌握土体的应力变形性质、强度性质和渗透性质等力学行为及其内在规律，解决岩土工程的设计、施工、维护及工程事故处理等问题，这也正是土力学学科的性质和承担的任务。

下面通过对与土力学有关的典型工程事故分析，加深对土力学学科的认识。

1. 加拿大特朗斯康谷仓（与强度有关，见图 0-1）

加拿大特朗斯康谷仓是由于地基强度破坏发生整体滑动建筑物失稳的典型例子。

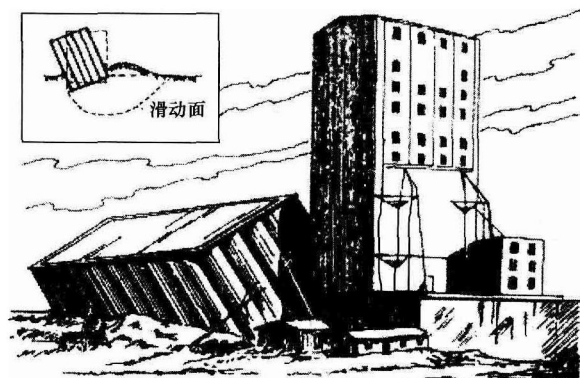


图 0-1 加拿大特朗斯康谷仓地基强度破坏

(1) 工程概况：谷仓由 5 排 65 个圆筒仓组成，其平面尺寸：长 59.44m，宽 23.47m，高 31.0m，容积 36 368m³，自重 20 000t，相当于装满谷物后满载总重量的 42.5%。谷仓的基础为钢筋混凝土筏基，厚 61cm，基础埋深 3.66m。

谷仓于 1911 年开始施工，1913 年秋完工。1913 年 9 月开始装谷物，1913 年 10 月当谷仓装了 31 822m³ 谷物时，发现谷仓 1 小时内垂直沉降达 30.5cm，结构物向西倾斜，并在 24 小

小时内谷仓倾倒，倾斜度离垂线达 26°53'。谷仓西端下沉 7.32m，东端上抬 1.52m。

(2) 事故原因。谷仓地基中有一层厚 12.2m 的冰河沉积的黏土层，其平均含水量 40%~60%、平均液限 105%、塑限 35%、塑性指数达 70，属高胶体高塑性的黏土。破坏发生时地基压力为 329.4kPa，远大于土体强度 193.8kPa。

加荷速率过快，根据资料计算，该黏土抗剪强度发展所需时间约为 1 年，而谷物荷载施加仅 45 天。

综上所述，加拿大特朗斯康谷仓发生地基滑动强度破坏的主要原因有：对谷仓地基土层事先未作勘察、试验与研究，采用的设计荷载超过地基土的抗剪强度，导致这一严重事故。由于谷仓整体刚度较高，地基破坏后，筒仓仍保持完整，无明显裂缝，因而地基发生强度破坏而整体失稳。

(3) 处理方法。在基础下设置了 70 多个支撑于深 16m 基岩上的混凝土墩，使用了 388

只 500kN 的千斤顶, 逐渐将倾斜的筒仓纠正。经过纠倾处理后, 谷仓于 1916 年恢复使用。修复后基础平面比原来降低了 4m。

2. 比萨斜塔 (与变形有关的问题, 见图 0-2)

(1) 概况: 比萨斜塔位于意大利中部比萨市北部, 是比萨大教堂的一座钟塔。在建造中, 经历了三个时期:

第一期, 1173 年 9 月—1178 年。建至第 4 层, 高度约 29m 时, 因塔倾斜而停工。

第二期, 1272 年复工, 建至 1278 年, 建完第 7 层, 高 48m, 再次停工。

第三期, 1360 年再次复工, 1370 年竣工。全塔共八层, 高 55m。

全塔总荷重约为 145MN, 塔身传递到地基的平均压力约 500kPa。目前塔北侧沉降量约 90cm, 南侧约 270cm, 倾斜 5.5° 。塔顶离开垂直线的水平距离已达 5.27m。基础底面倾斜值约为 10%, [我国《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002) 中规定的允许值为 5%], 是我国标准允许值的 20 倍。

(2) 事故原因分析。

1) 地基不均匀沉降。

2) 塔基底压力高达 500kPa, 超过持力层粉砂的承载力。

3) 钟塔地基中的黏土层厚达近 30m, 土体发生蠕变。

4) 在比萨平原深层抽水, 使地下水位下降, 加大地层下沉。

(3) 事故处理方法。

1) 卸荷处理。为了减轻钟塔地基荷重, 1838—1839 年, 于钟塔周围开挖一个环形基坑。基坑宽度约 3.5m, 北侧深 0.9m, 南侧深 2.7m。基坑底部位于钟塔基础外伸的三个台阶以下, 铺有不规则的块石。基坑外围用规整的条石垂直向砌筑。基坑顶面以外地面平坦。

2) 防水与灌水泥浆。为防止雨水下渗, 于 1933—1935 年对环型基坑做防水处理, 同时对基础环周用水泥浆加强。

3) 塔身加固 (1992 年 7 月)。

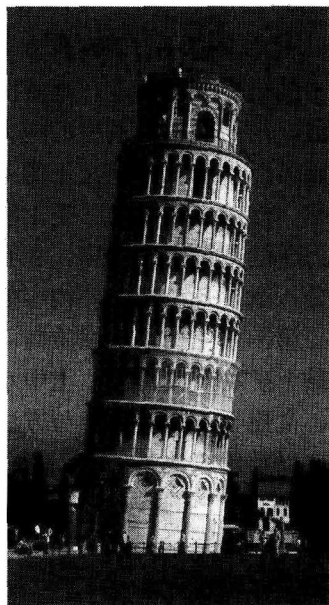


图 0-2 比萨斜塔

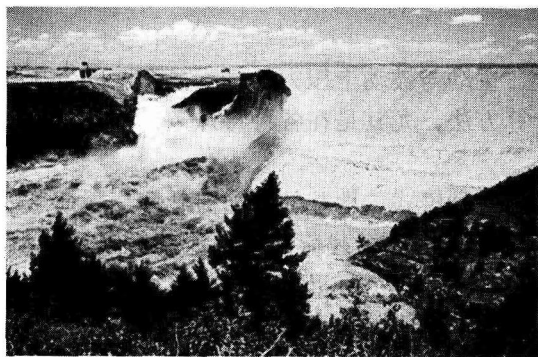


图 0-3 Teton 坝因渗透变形而毁坏

3. Teton 坝 (渗透变形问题, 见图 0-3)

概况: 土坝, 高 90m, 长 1000m, 建于 1972—1975 年, 1976 年 6 月失事。直接损失 8000 万美元, 死亡 14 人, 受灾 2.5 万人, 毁坏 60 万亩土地、32 公里铁路。原因: 渗透破坏。1976 年 6 月 5 日上午 10:30 左右, 开始发现下游坝面有水渗出并带出泥土。随后洞口不断扩大, 泥水流量也越来越大, 并剧烈地冲刷坝基。到 12:00, 历时 1 个半小时, 整个坝坡坍塌, 大坝毁坏。洪水扫过下游谷底, 附近所有设施被彻底摧毁。

第三节 土力学课程的内容和特点

土力学的核心研究内容主要有土体强度、变形和渗透性问题三个方面。课程分三章讲解了土的抗剪强度确定、地基沉降计算和土的渗流及流量计算内容。由于在讲解地基沉降计算之前,需要知道地基中的应力增量,故课程列入了地基中的应力计算。一般来说,土的物理性质可以从宏观上定义土的工程性质,因此将土的物理性质作为土力学的基础放在本书开始介绍。作为土力学的三类工程应用:地基承载力设计、挡土结构设计和边坡稳定性分析,是土力学的重要组成部分,在介绍了土的基本力学性质后,安排了三章分别讲解。由此,本书共分八章,各章的主要内容如下:

第一章土的物理性质与工程分类。主要介绍土的生成与组成、矿物颗粒及粒组划分、三种黏土矿物及其特性、土中水的赋存状态、土的三相比例指标的定义及其计算与相互换算方法、常规土工实验内容与方法、无黏性土的密实性与判断方法、黏性土的物理特性与工程性质,以及建筑地基土的工程分类方法和土的压实原理与控制等。

第二章土的渗透性及流量计算。主要介绍达西定律及其适用条件、土的渗透性系数及其测定方法、影响土渗透的因素、地下水稳定流量计算、流网绘制及其应用、渗透力计算与渗透稳定性分析。

第三章地基中的应力计算。主要介绍地基中的自重应力及其计算方法、地基附加应力及其产生的原因、半无限空间在集中荷载作用下的地基应力计算、地基附加应力的叠加计算方法、不同几何形状基础均布荷载作用下的地基附加应力计算、偏心荷载作用下的地基附加应力计算方法、条形基础不同荷载作用下的地基附加应力计算方法和非均质地基的附加应力计算方法。本章学习为后面地基沉降计算和地基承载力计算提供必要的条件。

第四章土的压缩性与地基沉降计算。主要介绍土的有效应力原理;土的压缩特性、压缩试验、压缩性指标的确定以及压缩性评价;同时介绍了地基沉降计算方法:分层总和法和《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002)(以下简称《规范》)方法的基本原理与计算方法;考虑应力历史条件下的地基沉降计算;饱和土的单向固结理论,分析了沉降与时间因素的关系等。

第五章土的抗剪强度及参数确定。主要介绍土的莫尔—库仑强度理论、土的直剪试验、无侧限抗压强度试验、三轴压缩试验、十字板剪切原位试验及抗剪强度指标确定方法;介绍了不同排水条件下土的抗剪强度及影响土的抗剪强度的因素;说明了土的极限平衡条件和极限平衡状态及不同应力路径下土的抗剪强度。

第六章挡土结构上的土压力。主要介绍静止、主动与被动土压力的基本概念、朗肯土压力理论和库仑土压力理论的基本原理及适用的计算方法,尤其是在各种特殊条件下土压力的计算方法。

第七章地基承载力计算。主要介绍地基破坏的三种模式、地基的临塑荷载和界限荷载的基本概念、理论推导、适用范围及实用计算表达式。介绍现场载荷试验,地基极限承载力,普朗特、太沙基和汉森等地基极限承载力计算公式和《规范》提出的经验计算公式。

第八章土坡稳定性分析。主要介绍均质土坡表层滑动和深层圆弧滑动的稳定分析方法;介绍了泰勒法、瑞典条分法、毕肖普条分法的分析计算原理、基岩面上土体滑动失稳的剩余推力计算方法;讨论了地下水对土质边坡稳定性的影响和影响土坡稳定的因素及防治措施。

土力学是力学的一个分支,但与其他力学分支相比,它还很不成熟、很不完善。其表现在它的三相组成,造成其力学性质的复杂性,往往需要通过假设或简化才能应用到工程实践中去。这对于初学者来说,常常会感到不知所措,抓不住要点和难以消化理解等。为此,提出以下几点建议。

(1) 着重搞清基本概念,掌握基本计算方法。土力学的每一章都有一些重要而基本的概念和相应的计算方法,它们是这一章的核心与关键,应该在理解的基础上尽可能地熟记这些概念,并掌握基本的计算方法。

(2) 抓住核心内容建立联系。土力学研究的中心问题是土体的应力、变形、稳定与渗流四大主题,整个课程的安排也是围绕着这一方面展开的。因此,在土力学的学习中应抓住主线,找出内在联系,融会贯通。

(3) 在学习理论知识的同时,必须重视工程实践及动手实验,有意识地培养自己认识工程性质和分析、解决工程实际问题的能力。

第四节 土力学的发展简介与展望

土力学是岩土工程学科的基础课程,是一门既古老又年青的应用学科。我国古代劳动人民创造了灿烂的文化,留下了令今人叹为观止的工程遗产,恢弘的宫殿寺院,灵巧的水榭楼台,巍峨高塔,蜿蜒万里的长城、大运河等。这些工程无不体现出能工巧匠的高超技艺和创新智慧,但这些还仅局限于工程实践经验,受到当时生产力水平的限制,未能形成系统的土力学和工程建设理论。

土力学逐渐形成理论始于18世纪兴起工业革命的欧洲,为满足资本主义工业化的发展和市场向外扩张的需要,工业厂房、城市建筑、铁路等大规模的兴建,提出了许多与土力学相关的问题,例如铁路路基问题。1773年,法国库伦(Coulomb)创立了著名的砂土抗剪强度公式,提出了计算挡土墙土压力的滑楔理论。1869年,英国W.J.M朗肯(Rankine)又依据强度理论从另一角度推导了土压力计算公式。1885年,法国布辛奈斯克(Boussinesq)求得了弹性半无限空间在竖向集中力作用下的应力与变形的理论解。1922年,瑞典的费伦纽斯(Fellenius)提出了土坡稳定分析方法。这些古典的理论和方法影响着后人。许多学者前赴后继的努力,为本学科的系统发展作出了贡献。1925年,K.太沙基(Terzaghi)归纳了以往的研究成果,提出了一维固结理论,阐述了有效应力原理,出版了第一本土力学专著,标志着近代土力学学科的形成。1963年,罗斯科(Roscoe)等人创建并发表了著名的剑桥弹塑性模型,标志着人们对土性质的认识和研究进入了一个崭新的阶段。

回顾新中国成立后的60多年,围绕着解决工程建设中提出的问题的,土力学学科在我国得到了广泛的传播和发展。尤其是改革开放以后,国家大规模的建设促进了本学科的发展,在土力学理论和工程实践方面均取得了令世人瞩目的进步,为国民经济发展作出了贡献。许多大型水利水电工程,核电站工程,延绵万里的高速公路,大型桥梁,万吨级码头,大型厂房,林立的高楼大厦,地下空间开发利用等都呈现了本学科理论和实践的巨大成就。工程建设需要学科理论,学科理论的发展更离不开工程建设。21世纪人类将面临资源紧张和环境日益恶化这一严酷生存问题的挑战,有各种各样岩土工程问题需要解决,这恰恰是青年学生将来要肩负的任务。

第一章 土的物理性质与工程分类

本章介绍了土的形成和组成,定性、定量地描述土的物理性质对工程性质的影响。主要包括土的三相组成分析、土的三相比比例指标的定义、黏性土的界限含水率、砂土的密实度、常规土工实验方法、地基土的工程分类和土的压实特性等。这些内容是学习土力学必需的基本知识,是评价土的工程性质、分析与解决土的工程技术问题的基础。

本章要求掌握的主要内容:土的颗粒级配、土的三相指标及计算、无黏性土的密实特性、黏性土的可塑性、地基土的工程分类方法和土的压实机理与控制。

第一节 概 述

土(soil),是土力学(soil mechanics)研究的基本对象,也是建筑物的立足之本。土的物理性质决定土的力学性质,从而决定土的工程性质。因此,研究土的物理力学性质,是研究土的渗透特性、变形特性和强度特性的基础。

土是由土粒(固相),水(液相)和空气(气相)三相所组成的,土的物理性质就是研究这三相的质量与体积间的相互比例关系,以及固、液两相相互作用表现出来的性质。随着土的组成的不同和三相比比例指标的不同,土会表现出不同的物理性质,比如,土的干湿、轻重、松密和软硬等。而土的这些物理性质从某种程度上又决定了土的工程性质。比如,松散、湿软的地层,土的强度低、地基承载力低、压缩性大;反之,土的强度大、地基承载力高、压缩性小。当土颗粒大时(无黏性土),地层的渗透性大、地基稳定性好;而当土颗粒细时(黏性土),则地层的渗透性小,地基稳定性差。

第二节 土 的 生 成

土是指覆盖在地球上大部分陆地表面和部分海底的碎散岩石的堆积物(沉积物),是岩石风化后的产物。地球最外层的坚硬固体物质称为地壳,地壳厚度一般为30~60km,人类生存与活动范围仅限于地壳表层。在漫长的地质年代中,由于内动力地质作用和外动力地质作用,地壳表层的岩石经历风化、剥蚀、搬运、沉积生成大小悬殊的颗粒,这些颗粒称之为土。在不同的自然环境中,由各种应力的地质作用生成了不同类型的土,而土历经压密固结、胶结硬化也可再生成岩石。现在所见到的土是近期地质历史——第四纪以来生成的尚未固结的松散物质,这一地层也称为第四纪沉积层。

岩石在不同的风化作用下,形成不同性质的土。风化作用主要有物理风化、化学风化和生物风化。

1. 物理风化(physical weathering)

岩石经受风、霜、雨、雪的侵蚀,温度、湿度的变化,不均匀的膨胀与收缩破碎,或者运动过程中因碰撞和摩擦破碎。这种只改变颗粒的大小和形状,不改变矿物颗粒的成分的风

化形式称为物理风化。只经过物理风化形成的土是无黏性土，其主要矿物为原生矿物（primary minerals）。

2. 化学风化（chemical weathering）

母岩表面破碎的颗粒受环境因素的作用而产生一系列的化学变化，改变了原来矿物的化学成分，形成新的矿物——次生矿物（secondary minerals）。这种风化形式称为化学风化。经化学风化形成的土是细粒土，具有黏结力，成分最主要是黏土颗粒及大量的可溶性盐类。

3. 生物风化（biological weathering）

由于植物、动物和人类活动对岩体的破坏称为生物风化。生物风化形成的土，其矿物成分没有发生变化。

第三节 土的结构和构造

土的物质组成是土存在的物质依据，而结构、构造则反映了组成土的物质存在形式，即物质成分间的联结特点、空间分布和变化规律。一般的，土的结构指的是微观结构，借助于光学显微镜和电子显微镜对实体扫描放大数千倍所鉴定到的细节。而土的构造是指整个土层（土体）空间构成上特征的总和，它们借助于肉眼或放大镜可以鉴别，也可以说是土的宏观构造。

土的结构和构造的研究一开始就和土的工程性质紧密相连。对自然界所存在的各种类型的土，在物理性质方面表现出来的巨大差异和各自不同的工程力学性质，除了从成分（粒度的、矿物的和化学的）、成因（风成、水成、冰成等）、形成年代和物理化学影响等方面进行研究外，还要从结构和构造上来探索其根源。事实上，土的结构和构造，不仅是决定土的工程性质的重要因素之一，而且结构和构造本身与土的物质成分一样，也是地质历史与环境的产物。

地壳表层的岩石长期受自然界的空气、水、温度及各种生物的共同作用，使大块岩体不断地破碎、分解成为松散碎屑物质——块石（漂石）、碎石（卵石）、角砾（圆砾）、砂、粉土和黏性土，在工程地质勘察中称为土，并称残留在原地的为残积土。自然界中的土多数是风化后，再经水流、风力和重力作用多次搬运而沉积起来的，呈层状广泛覆盖在地表上，则称为土层。

土的结构是指土颗粒的大小，形状，表面特征，相互排列及其联结关系的综合特征。一般可分为单粒结构、蜂窝结构和絮状结构三种基本类型。

1. 单粒结构

见图 1-1 (a)，单粒结构是无黏性土的基本组成形式。由较粗的砾石、砂粒在重力作用下沉积而成。因其颗粒较大，土粒的结合水很少，粒间没有联结力，有时仅有微弱的毛细水联结。土粒排列的紧密程度随其沉积的条件不同而异。如果土粒沉积缓慢或受反复冲击推动作用，则形成紧密的单粒结构，此时由于土粒排列紧密、强度大、压缩性小，是良好的天然地基。当土粒沉积速度快，如洪水冲积形成的砂层和砾石层，往往形成疏松的单粒结构。由于土孔隙大，土粒骨架不稳定，当受到动力荷载或其他外力作用时，土粒容易移动而趋于紧密，同时产生很大变形。因此，未经处理的这种土层，一般不宜作建筑物的地基。如果饱和疏松的土是由细砂粒或粉砂粒组成，在强烈的振动作用下，土的结构会突然破坏变成流动状

态,引起所谓的“砂土液化”现象,在地震区将会引起震害。

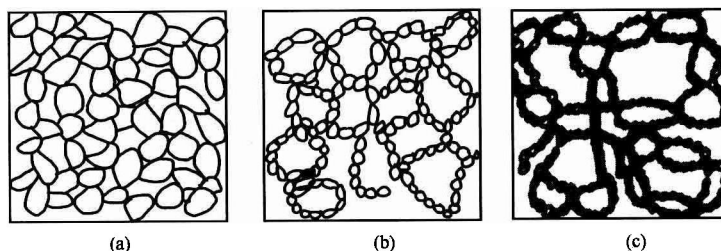


图 1-1 土的结构

(a) 单粒结构; (b) 蜂窝结构; (c) 絮状结构

2. 蜂窝结构

见图 1-1 (b), 当较细的土粒在水中下沉碰到已经沉积的土粒时, 由于它们之间的吸引力大于其自重, 因而土粒将停留在接触面上不再下沉, 形成了具有很大孔隙的蜂窝结构。

3. 絮状结构

见图 1-1 (c), 细粒土在水中处于悬浮状态, 不会因单个颗粒的自重而下沉。当悬浮液中掺入某些电解质, 黏粒间的排斥力因电荷中和而破坏, 凝聚成类似海绵絮状的集合体, 并在聚合到一定质量时相继下沉, 和已沉积的絮状集合体接触, 形成孔隙很大的絮状结构。

具有蜂窝结构和絮状结构的土, 颗粒间存在大量微细孔隙, 其压缩性大、强度低、透水性弱。又因土粒之间的联结较弱且不甚稳定, 在受扰力作用下 (如施工扰动影响), 土粒接触点可能脱离, 部分结构遭受破坏, 土的强度会迅速降低。

具有蜂窝结构和絮状结构的土, 其土粒之间的联结力 (结构强度) 往往由于长期的压密作用和胶结作用而得到加强。

土的构造是表示天然土在沉积过程中的成层特性, 结构单元的分布, 颗粒成分的变化, 土层是各向同性还是各向异性等。一般可分为以下几种:

1. 层状构造

土粒在沉积过程中, 由于不同阶段沉积土的物质成分、粒径大小或颜色不同, 沿竖向呈现层状特征。常见的有水平层理和交错层理 (常带有夹层、尖灭和透镜体等产状)。层状构造反映不同年代、不同搬运条件形成的土层, 它是细粒土的一个重要特征。

2. 分散构造

在搬运和沉积过程中, 土层中的土粒分布均匀, 性质相近, 呈现分散构造。分散构造的土可看作各向同性体。各种经过分选的砂、砾石、卵石等沉积厚度常较大, 无明显的层理, 呈分散构造。

3. 裂隙构造

土体被许多不连续的小裂隙所分割, 裂隙中往往充填着盐类沉淀物。不少坚硬和硬塑状态的黏性土具有此种构造。红黏土中网状裂隙发育, 一般可延伸至地下 3~4m。黄土具有特殊的柱状裂隙。裂隙破坏了土的完整性, 水容易沿裂隙渗漏, 造成地基土的工程性质恶化。

4. 结核状构造

在细粒土中混有粗颗粒或各种结核的构造属结核状构造。如含礞石的粉质黏土、含砾石的冰渍黏土等。