

土力学及基础工程学习辅导

钱宇平 殷永安 编

中央广播电视大学出版社

土力学及基础工程学习辅导

钱宇平 殷永安 编

*

中央广播电视大学出版社出版

新华书店北京发行所发行

北京印刷一厂印装

*

开本787×1092 1/16 印张3.5 千字86

1986年6月第1版 1988年10月第2次印刷

印数 44,001—63,750

定价：0.87元

ISBN 7-304-00257-3/TU·9

目 录

教学进度计划表	(1)
学习指导	(3)
绪论	(3)
第一章 土的物理性质和工程分类	(3)
第二章 土中应力和地基变形	(5)
第三章 土的抗剪强度和地基承载力	(8)
第四章 土压力和土坡稳定	(10)
第五章 地基勘察	(12)
第六章 浅基础设计	(13)
第七章 桩基础	(16)
第八章 特殊土地基	(19)
第九章 地基处理和托换工程	(21)
习题	(26)
土工试验	(34)
一、容重试验	(34)
二、含水量试验	(35)
三、比重试验	(36)
四、液限试验	(38)
五、塑限试验	(39)
六、渗透试验	(41)
七、压缩试验	(45)
八、直接剪切试验	(50)

教 学 进 度 计 划 表

课程名称：土力学及地基基础（第六学期） 适用专业：土木建筑工程专业

学 时 分 配				
电 视 讲 课	面授及辅导课	课 外 自 学	试 验	总 计
60	60	54	6	180

电视讲课节次	教 学 内 容	面授讲课和辅导课时数	自学和复习章节	习 题 和 试 验	备 注
1	绪 论		绪 论		
2	工程地质概论(一)		第1—1~1—3节		
3	工程地质概论(二)	1	第1—4~1—5节		
4	土的组成	1	第1—6节		
5	土的物理性质指标	1	第1—7节	习题1—1, 1—2	
6	无粘性土物理特征及指标	1	第1—8节	习题1—4	
7	粘性土物理特征及指标	1	第1—9节	含水量及流塑限试验	
8	土的工程分类	1	第1—10节	习题1—3, 1—5	
9	土的自重应力	1	第2—1~2—2节	习题2—1	
10	基底接触压力	1	第2—3节		
11	空间问题的土中应力计算(一)	1	第2—4节		
12	空间问题的土中应力计算(二)	1	第2—4节	习题2—2	
13	平面问题的土中应力计算	1	第2—5节		
14	土的压缩性(一)	1	第2—6节		
15	土的压缩性(二)	1	第2—6节	容重及压缩试验	
16	基础沉降计算(一)	1	第2—7节	习题2—3	
17	基础沉降计算(二)	1	第2—7节	习题2—4, 2—5	
18	沉降随时间变化的计算(一)	1	第2—8节		
19	沉降随时间变化的计算(二)	1	第2—8节	习题2—6, 2—7(选)	
20	从实测沉降资料推算最终沉降	1	第2—8节		
21	土的抗剪强度	1	第3—1~3—2节	习题3—1	
22	土的强度理论	1	第3—3节	剪切试验	
23	三轴压缩试验	1	第3—4节	习题3—4	
24	不同排水条件时的剪切试验方法	1	第3—5节	习题3—2	
25	临塑荷载	1	第3—6节		
26	塑性荷载	1	第3—6节		
27	极限荷载	1	第3—7节	习题3—3	
28	土压力概述及三种土压力	1	第4—1~4—2节		
29	朗金土压力理论	1	第4—3节	习题4—1, 4—4(选)	
30	几种常见情况的土压力计算	1	第4—3节		

电视讲课节次	教 学 内 容	面授讲课和辅导课时数	自学和复习章节	习 题 和 试 验	备 注
31	库伦土压力理论	1	第4—4节	习题4—2	
32	库尔曼图解法		第4—5节	习题4—5(选)	
33	挡土墙设计	1	第4—6节		
34	土坡的稳定性分析	1	第4—7节	习题4—3	
35	地基勘察(一)		第5—1~5—3节		
36	地基勘察(二)	1	第5—4~5—5节		
37	土力学复习	1			
38	浅基础设计原则、基础类型及构造	1	第6—1~6—2节		
39	基础埋置深度的选择	1	第6—3节		
40	地基承载力的确定	1	第6—4节		
41	基础底面尺寸的确定	1	第6—5节	习题6—1, 6—2	
42	减小不均匀沉降危害的措施		第6—6节	习题6—3	
43	基床系数法(一)	1	第6—7节		
44	基床系数法(二)	1	第6—7节		
45	倒梁法、片筏、箱形基础简介	1	第6—7节		
46	桩基础概述及类型	1	第7—1~7—2节		
47	桩基施工	1	第7—3节		
48	单桩承载力的确定	1	第7—4节	习题7—1	
49	桩的水平承载力及群桩承载力	1	第7—4~7—5节	习题7—2	
50	群桩的强度变形计算及各桩受力计算	1	第7—5节		
51	桩基础设计	1	第7—6节	习题7—3	
52	墩基础及沉井	1	第7—7节		
53	地下连续墙	1	第7—7节		
54	地基处理概述及换土垫层	1	第9—1~9—2节		
55	碾压法及强夯法	1	第9—3节		
56	排水固结及砂桩	1	第9—4~9—5节		
57	振冲法	1	第9—5节		
58	化学加固及加筋土		第9—6~9—7节		
59	托换工程、总复习(一)				
60	总复习(二)	1			完成所有习题, 全面复习

注：第八章特殊土地基，根据教学班所在地区的特殊土类：各教学班可分别选取有关部分内容进行8个学时的面授讲课，要求了解特殊土的特性和相适应的处理方法。

学 习 指 导

绪 论

对土力学、地基及基础的概念要有一个基本的正确认识。要认识到本课程具有较强的实践性和理论性的特点,它既是一项古老的工程技术,又是一门年青的应用学科。本课程的主要任务是:学习土力学的基本原理和主要概念;运用这些原理和概念,结合建筑结构的设计方法和施工知识,会分析和计算地基基础问题。学习本课程要做到理论紧密联系实际。通过本学科发展简况及一些工程实例的介绍,能够正确认识本课程在本专业中的地位及地基基础在建筑工程中的重要性。

第一章 土的物理性质和工程分类

一、目的和要求

1. 了解岩石的类型、岩石的主要特征。
2. 第四纪沉积物及其工程特点。
3. 掌握土的三相组成、结构和构造。
4. 掌握土的物理性质和工程分类。

二、重点内容

土的三相比例指标及其换算;无粘性土和粘性土的物理特征;地基土的工程分类。

三、面授及自学指导

1. 熟练掌握描述土的物理性质的三相比例指标的定义,其中包括:土粒比重 G 、土的含水量 w 、土的容重 γ 、土的孔隙比 e 和饱和度 S_r 等。
2. 在土的三相比例指标中,土粒比重 G 、含水量 w 、和容重 γ 三个指标是通过试验测定的。要掌握在测定这三个基本指标后,可以利用三相物理指标换算图(例如假定土颗粒体积为1单位,孔隙体积为 e 的三相图)导得其余各项指标,而不必死背土的三相比例指标换算公式。
3. 无粘性土的主要物理特征是密实度,它与其工程性质有着密切的关系。呈密实状态时,强度较大,可作为良好的天然地基;呈松散状态时,则是一种软弱地基。无粘性土的这种特性是由其所具有的单粒结构决定的。要掌握无粘性土的密实状态是用孔隙比 e 及相对密度 D_r 两个指标来划分。粘性土由于其含水量的不同,而分别处于固态、半固态、可塑状态及流动状态。要知道粘性土的界限含水量: w_L 、 w_P 的物理含义及液限 w_L 和塑限 w_P 两个指标的测定方法。要充分认识到粘性土两个重要物理特征指标(塑性指数 I_P 和液性指数 I_L)的物理含义及其影响因素,塑性指数 $I_P = w_L - w_P$, 即表示土处在可塑状态的含水量变化范围。塑性指数

的大小与土中结合水的可能含量有关,亦即与土的颗粒组成,土粒的矿物成分以及土中水的离子成分和浓度等因素有关。液性指数 $I_L = \frac{w - w_p}{w_L - w_p}$, 即表示土的软硬状态。从液性指数的表达式可知,土的软硬状态取决于粘性土的含水量 w 。

4. 地基土的合理分类具有很大的工程实际意义。根据工程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等。学习本节时,要了解粗颗粒土的粒径大小对其作为建筑物地基的力学性能起决定性的影响。因此对碎石土和砂土是按颗粒级配进行工程分类的。对粘性土,由于它的性质与土的成因,生成年代的关系很密切,不同成因和年代的粘性土,尽管其某些物理指标值可能很接近,但其工程性质可能相差很悬殊。因此对粘性土进行工程分类和定名时,首先应按沉积年代划分类型为:老粘性土、一般粘性土和新近沉积粘性土,然后再按塑性指数 I_p 的指标值把粘性土细分为粘土、亚粘土、轻亚粘土。学习本节时还要注意软土(淤泥及淤泥质土)及人工填土的工程性质和分类方法,特殊土(或区域性土)的分类另见第八章。

5. 本章第一节至第五节以较大的篇幅,介绍了工程地质的内容。这些工程地质的概述,对山区地基的教学点尤为重要。因为山区经常要遇到岩石地基,而岩石的地质构造与工程性质有着密切的关系。对非山区地基的教学点要求掌握三种岩石类型(岩浆岩,沉积岩和变质岩)的成因条件;第四纪沉积物(残积物、坡积物、洪积物、冲积物)形成条件及其工程特点;地下水的类型,土的渗透性,动水力及流砂现象。

6. 在土的组成一节里主要掌握土是由固态的矿物颗粒、液态的水和孔隙中的气体等三部分组成。矿物成分及固体颗粒大小不同时,土的性质也将相应地发生变化。要了解颗粒级配累计曲线的绘制方法及如何运用该曲线对土的颗粒级配进行评述。对水与土粒的相互作用应认识到土粒表面一般带负电,靠近颗粒表面的水是强结合水和弱结合水,相互间存在着分子引力,这是造成一般粘土具有塑性的主要原因。而对土和水的电性质不必作深入了解。对土具有单粒结构、蜂窝状结构及絮状结构的形成过程及其工程性质只需有一般的认识。

四、习题及说明

完成习题1-1、1-2、1-3、1-4、1-5。

1. 习题1-1是已知某饱和中砂土样的含水量 w 、比重 G ,要求计算该土样的孔隙比,容重和干容重,并根据孔隙比确定该土样的密实状态。解题时可取饱和度 $S_r = 100\%$ 。

2. 习题1-2是已知某土样的含水量 w 、容重 γ 、比重 G 、液限 w_L 、塑限 w_p ,要求计算该土样的饱和度 S_r 、孔隙比 e 、孔隙率 n 、塑性指数 I_p 和液性指数 I_L 。

3. 习题1-3是已知 A 、 B 、 C 三种土样的颗粒级配曲线,要求按三种土样的粒度成分列成表格,决定土样名称,并回答各种土的有效粒径是多少?不均匀系数是多少?粘粒含量是多少?决定土样名称时,可按颗粒级配分类定名,其余求算内容可按曲线及有关公式计算。

4. 习题1-4为从一教学大楼地基中采取了土样 A 和 B ,测定了两个土样的液限 w_L 、塑限 w_p 、含水量 w 、比重 G 和饱和度 S_r 。试回答哪一种土样中粘土颗粒含量高?哪一种土样饱和容重大?哪一种土样的孔隙比大。比较粘土颗粒含量高低时,可按粘土塑性指数的大小来论述。

5. 习题1-5为已知某饱和土样的比重、液限、塑限、土样湿重和烘干后重量,要求确定土的名称及物理状态。当土样压密后达到某个干容重时,求此时土样的孔隙比减小了多少?解

题时,饱和土样的饱和度 $S_r=100\%$ 。

五、复习思考题

1. 何谓内力地质作用和外力地质作用?地质年代的划分主要依据是什么?
2. 岩石按成因可分为哪三大类?岩石的主要特征一般包括哪两方面?岩石怎样按坚固性和风化程度分类?
3. 地质构造主要有哪两种?它们各有哪些重要工程特性?
4. 通常所说的“土”是哪一纪沉积物?它的主要特征是什么?第四纪沉积物有哪几种主要成因类型?它们的工程特性各有什么不同?
5. 产生流砂现象的条件是什么?哪些土容易产生流砂现象?流砂的危害性是什么?怎样防止流砂现象?
6. 土由哪几部分组成?土中三相比例的变化对土的性质有什么影响?
7. 说明土的天然容重 γ 、饱和容重 γ_{sat} 、浮容重 γ' 和干容重 γ_d 的物理概念和相互关系,比较同一种土 γ 、 γ_{sat} 、 γ' 和 γ_d 数值的大小。
8. 土的三相指标有哪些?哪些可以直接测定?哪些通过换算求得?为换算方便,为什么可令 $V=1$ 或 $V_s=1$ 或 $W_s=1$ 。
9. 土的三相指标有哪几项?如何应用这些指标来评价土的工程性质?
10. 何谓土的不均匀系数 K_u ?如何从颗粒级配曲线形状的陡缓,来评价土的工程性质?
11. 什么是塑性指数?其大小与颗粒粗细有何定性关系?塑性指数大的土,具有哪些特点?什么是液性指数?如何应用液性指数来评价土的工程性质?
12. 无粘性土和粘性土在矿物组成、土的结构和物理状态诸方面有何重要区别?
13. 地基土分几大类?各类土的划分的依据及主要区别是什么?掌握各类土的具体规定方法和注意的问题。

第二章 土中应力和地基变形

一、目的和要求

1. 掌握基底压力和基底附加压力的计算方法。
2. 掌握各种情况下土的自重应力和附加应力的计算及分布规律。
3. 熟悉本章所附计算表格的应用。
4. 了解土的压缩性的试验方法,掌握土的压缩性指标的确定方法。
5. 掌握地基最终沉降量的计算方法——分层总和法。
6. 了解变形随时间变化关系的基本概念。

二、重点内容

各种情况下土的自重应力和附加应力的计算;土的压缩性指标的确定方法;地基最终沉降量的计算;地基固结度的计算。

三、面授及自学指导

1. 在学习自重应力计算这一节时,除了要掌握各种情况下(均匀土、有地下水位、分层土等),土的自重应力的计算方法及分布规律外,还必须明确:自重应力指的是颗粒间的粒间应力,而粒间应力又称为有效应力。因此通常简称土的自重应力即为土的有效自重应力;由于土

层形成地质年代较久,土在自重应力作用下引起的压缩变形已经完成,因此在自重应力作用下,不会引起建筑物基础的沉降。但对于近期沉积或堆积的土层,应考虑它在自重应力作用下的变形;由于某些原因引起地下水位的升降会引起土中自重应力的变化。例如在软土地区,常因大量抽取地下水,以致地下水位长期大幅度下降,使地基中原地下水位以下的有效自重应力增加,而造成地表大面积下沉的严重后果。

2. 在第四、第五节中运用弹性理论的解(不作理论上的推导)介绍了空间及平面问题的各种土中附加应力的计算公式和计算表格。学习这两节时,应着重注意以下几点:1)土中附加应力是引起建筑物基础沉降的主要原因,土中附加应力是通过土颗粒互相传递的,因此土颗粒传递的附加应力是有效应力;2)在进行附加应力计算时,只需了解如何运用这些公式和表格,计算本课程的有关问题;3)必须熟练掌握运用叠加原理,计算均布荷载作用下,任意面积、任意位置下的附加应力计算方法;4)对图 2-13 在均布条形荷载作用下,地基土中应力分布规律以及方形基础作用下地基竖向应力 σ_z 分布的不同规律要有清晰的认识。

3. 从建筑现场取得原状土样在室内进行压缩试验,要着重注意土样是在完全侧限(无侧向变形)的情况下进行的竖向压缩,且都是在每一级荷载作用下,土样达到压缩变形稳定后,再施加下一级荷载。这就要认识到,今后若采用压缩试验所得的变形指标,来计算变形时,就要考虑地基变形的实际情况或加以修正。用这种变形指标计算出来的基础沉降是最终的稳定沉降。在测定各级压力 p 作用下土样压缩稳定后的相应孔隙比 e 后,就可绘制 $e-p$ 曲线。根据 $e-p$ 曲线形状的陡缓,即可评价土的压缩性高低。为了便于应用和比较,通常采用压力间隔由 $p_1=1\text{ kg/cm}^2$ 增加到 $p_2=2\text{ kg/cm}^2$ 时所得的压缩系数 a_{1-2} ($a_{1-2}=\frac{e_1-e_2}{2-1}$) 来评定土的压缩性,压缩系数 a_{1-2} 是计算变形的一个重要指标。变形计算的另一个指标是压缩模量 E_s ,它是在侧向无膨胀(完全侧限)条件下,竖向附加压应力与相应的竖向应变增量之比值。由于 E_s 的假定条件和室内压缩试验一样,因此可导出 E_s 与应力应变的换算公式,即 $E_s=\frac{1+e_1}{a}$,式中 e_1 指相应于 p_1 作用下,压缩稳定后的孔隙比,而 p_1 一般指地基某深度处土中自重应力。同样为了便于应用,可用 $E_{s(1-2)}=\frac{1+e_1}{a_{1-2}}$ (此时 e_1 指相应于 $p_1=1\text{ kg/cm}^2$ 作用下压缩稳定后的孔隙比)来评价土的压缩性。

4. 采用分层总和法计算基础沉降时,要着重理解分层总和法的四个基本假定,三个沉降计算公式(式 2-45 a、b、c)可以从式(2-38)或式(2-40 a)及式(2-41),式(2-42)中直接推导而得;计算的步骤主要是土层的划分,自重应力和附加应力的计算,压缩层厚度的确定,各层土的变形指标及沉降经验系数的确定。采用«规范»方法计算沉降时应着重了解应力面积、经验系数 m_s 、地基变形计算深度 z_n 及平均附加压力系数 C 的概念。用弹性力学计算沉降的公式可作一般了解。

5. 在基础沉降随时间变化的计算这一节里,要明确地基变形随时间变化的计算具有现实的工程意义。对碎石类,砂土及粘性土(特别是饱和粘性土)地基的不同变形特性要有充分认识。对饱和粘土中孔隙水压力 u 和有效应力 $\bar{\sigma}$ 的概念,以及它们之间的转换和力的平衡关系要有清晰的理解。对一维固结理论微分方程的建立及微分方程的解,可作一般认识,但要学会利用公式及图 2-26 计算各种情况下的固结度 U 。对从沉降观测资料推算最终沉降的方法可作一

般的了解。

四、习题及说明

完成习题 2-1、2-2、2-3、2-4、2-5、2-6、选做习题 2-7。

1. 习题 2-1 已知各土层的标高、容重及地下水变化情况,要求绘出土的自重应力分布曲线,解题时注意地下水位以下土的容重取浮容重。

2. 习题 2-2 为已知某矩形均布荷载及矩形面积的尺寸。试用角点法求算矩形面积内,某四点下 2 m 深度处的附加应力。解题时,在用 A/B 及 z/B 查附加应力系数时,要注意 A 和 B 的变化及对称性的利用。

3. 习题 2-3 为已知矩形单独基础的尺寸、荷载及地质资料,要求用分层总和法分层计算沉降。计算时可采用本章例题中列表格形式进行计算。

4. 习题 2-4 是已知某一饱和粘性土土样承受压缩前后的一些资料。要求计算与压力 p_1 和 p_2 相对应的孔隙比 e 、压缩系数 a 及评价土的压缩性。解题时,利用饱和土样饱和度 $S_r=100\%$,即 $e=Gw$,先求算土样在压缩前的孔隙比,然后再根据土样在完全侧限的条件下,求算相应于 p_1 、 p_2 时的 e_1 、 e_2 。

5. 习题 2-5 为一大面积填土的天然地基,要求计算大面积填土下,粘土层的沉降及地下水位下降到粘土层顶面时,粘土的附加沉降。解题时,粘土层可作为一种均匀土来计算沉降,即可求出粘土层的平均自重应力和附加应力,然后再根据相应的 p_1 、 p_2 查得相应的 e_1 、 e_2 代入有关公式计算沉降。当大面积填土引起的沉降稳定后,地下水位突然下降到粘土层顶面时,计算时要注意,引起粘土层附加沉降的,是新增加的自重应力, p_1 相当于原来粘土层平均的自重应力加填土引起的附加应力。

6. 习题 2-6 为某一饱和粘土层,已知其固结系数 C_v 及在荷载 p 作用下的最终沉降。要求计算沉降达某一数值时所需的时间。解题时,可根据固结度公式或图表计算时间因素 T_v 及时间 t 。

7. 习题 2-7 为选做题,为 5 m 厚的软粘土层,其下为不可压缩的不透水层,其上作用着大面积均布荷载,已知地质资料。要求计算: 1) 软粘土层在自重压力下已固结,求算在 p 作用下,经过 0.5 年沉降为多少? 固结度为多少? 2) 若软粘土层在自重压力下尚未固结,又施加大面积均布荷载 p 时,求算固结度达 0.7 时需要多少时间。解答 1) 时,可假定整个软粘土层按均匀一层土,用应力面积法求算沉降,然后再求算 0.5 年时的沉降 S_t 和固结度 U_t ,在计算 S_t 时,要用固结后的压缩模量;解答 2) 时,自重压力与均布压力同时作用,按 $0 < \alpha < 1$ 的情况计算相应的时间因素 T_v 及时间 t 。计算最终沉降也用应力面积法,但用固结前的压缩模量。

五、复习思考题

1. 土体的自重应力和附加应力的物理意义是什么? 两者沿深度的分布有什么特点?

2. 通常建筑物的沉降是怎样引起的? 土的自重应力是否在任何情况下都不引起建筑物的沉降? 地下水位下降,会不会引起建筑物的附加沉降? 为什么?

3. 基础底面压应力的计算,有何实用意义? 如何计算中心及偏心荷载作用下,基底的压应力分布?

4. 在基底总压力不变的前提下,增大基础埋置深度,对土中应力分布有什么影响?

5. 附加应力在地基中的传播、扩散有什么规律? 目前根据什么假设条件计算地基的附加应力?

6. 矩形均布荷载中点下与角点下的应力之间有什么关系?
7. 目前确定土的压缩性指标有哪几种方法? 各有何优缺点?
8. 压缩系数与压缩模量之间有什么关系? 如何利用压缩系数和压缩模量来评价土的压缩性高低?
9. 分层总和法计算地基最终变形的公式有哪几个? 它们各自的适用条件是什么?
10. 有效应力与孔隙水压力的物理概念是什么? 在固结过程中, 两者是怎样变化的? 压缩曲线横坐标表示何种应力? 为什么?
11. 计算沉降的分层总和法和《规范》法有何区别?
12. 地基容许变形值的意义、数值与决定因素是什么? 如何计算局部倾斜? 局部倾斜是何种建筑结构的变形特征值?

第三章 · 土的抗剪强度和地基承载力

一、目的和要求

1. 掌握砂类土和粘性土的抗剪强度定律。
2. 掌握土处于极限平衡条件下大小主应力的关系, 剪切破裂面与大小主应力面的方向。
3. 掌握用直剪仪和三轴仪测定抗剪强度指标的方法。
4. 掌握地基土的临塑荷载、塑性荷载和极限荷载的定义和计算公式的应用。

二、重点内容

抗剪强度指标的确定方法, 土的极限平衡条件以及各种地基承载力的计算方法。

三、面授及自学指导

1. 通过图 3-1 及图 3-2 两个工程事例的介绍, 要认识到研究土的抗剪强度的重要性。地基承载力计算、地基稳定性分析、边坡稳定分析以及挡土墙土压力计算等方面都将与土的抗剪强度发生直接关系。

2. 要掌握粘性土和无粘性土抗剪强度的库伦表达式, 以及如何用直剪仪来求得抗剪强度两个重要参数, 即内摩擦角 ϕ 和粘聚力 c 。对影响抗剪强度指标的因素应有基本的了解。

3. 土的极限平衡条件($\tau = \tau_f$), 将对地基承载力、土坡稳定、挡土墙土压力计算等有着直接关系, 因此它是本章的核心。研究极限平衡条件时, 一般先要了解可以用材料力学的摩尔应力圆来表示土中某一点各个方向面上的应力状态; 然后将土的抗剪强度曲线画在摩尔应力圆的同一坐标系上进行比较; 当摩尔应力圆在抗剪强度曲线下方时, 说明土中某点任意方向面上的剪应力都小于土的抗剪强度($\tau < \tau_f$), 此时该点的土是处于弹性平衡状态; 当摩尔应力圆与抗剪强度曲线相割时, 说明土中某点某些平面上的剪应力已超过了土的抗剪强度($\tau > \tau_f$), 此时该点的土是处于破坏状态; 当摩尔应力圆与抗剪强度曲线相切时, 说明在切点所代表的土中某点某个平面上, 剪应力正好等于土的抗剪强度($\tau = \tau_f$), 此时该点的土就处于极限平衡状态。土处于极限平衡状态的条件为 $\tau = \tau_f$, 但土中任何一点的剪应力 τ 和抗剪强度 τ_f 值均与经过该点某一平面上的法向应力 σ 有关, 用上式作为极限平衡条件研究起来很不方便。一般用土处于极限平衡状态时, 大小主应力间的关系来表示, 即找出主应力 σ_1 、 σ_3 与 c 、 ϕ 的关系。式(3-9)和式(3-10)即是这种关系的表达式。在以后地基承载力的计算、挡土墙土压力的计算都要用到这个概念, 因此要熟记。另外还要记住滑裂面与大小主应力面的夹角的表达式。

判别土是否处于极限平衡状态的另一个方法,是计算摩尔应力圆的最大倾角 $\theta_{\max}$ 。当 $\theta_{\max} = \phi$ 时,土处于极限平衡状态,对砂类土 $\theta_{\max} = \arcsin \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 + \sigma_3}$,对粘性土 $\theta_{\max} = \arcsin \frac{\frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3)}{c \cdot \cot \phi + \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3)}$;当 $\theta_{\max} < \phi$ 时,土处于弹性平衡状态;当 $\theta_{\max} > \phi$ 时,土处于破坏状态。

4. 在土的三轴压缩试验一节里,要了解三轴仪的主要优点,是试样破坏时的应力状态能较好地符合极限平衡条件,以及根据需要可以控制试样的排水条件,并量测试验过程中土样的孔隙水压力。要掌握通过三轴压缩试验求得抗剪强度参数 c 、 ϕ 的原理及方法。

5. 在不同排水条件下的剪切试验这一节里,应掌握以下几点:1)经过多年的研究,人们发现土的抗剪强度不是取决于剪切面上的总法向应力 σ ,而是取决于该面上的有效法向应力 σ' ,故抗剪强度规律除用总应力法($\tau_f = \sigma \tan \phi + c$)表示外,还可有效应力法($\tau_f = \sigma' \tan \phi' + c'$)表示。当作用在土上的外力为一定值时,随着土中孔隙水压力 u 的消散,有效压力 σ' 不断增长,因此使土的抗剪强度也不断增大。所以,要明确土的固结也是土体抗剪强度不断增长的过程。这一特征已用于实践工程中,如采用排水砂垫层、砂井予压等排水固结措施以加固地基。2)粘性土的抗剪强度是变化的,是有条件的。同一种土在不同排水条件下进行试验,可以得出不同的抗剪强度指标 c 、 ϕ 值。不排水剪、固结不排水剪和排水剪三种试验方法在实际工程中的运用,是一个复杂问题。应根据土的实际受力情况和排水条件加以具体分析和选用。

6. 对地基进行静荷载试验,可得 p - S 曲线。从 p - S 曲线中可知,一般地基的变形可分三个阶段:第一阶段是线性变形阶段,也即荷载与变形呈直线变化(相当于 p - S 曲线中的 o - a 阶段),此时地基变形的特征是压密变形;第二阶段为塑性变形阶段,此时荷载与变形呈曲线变化(相当于 p - S 曲线中的 a - b 阶段),此时地基变形的特征是土中局部范围内发生剪切破坏,塑性区开展;第三阶段是完全破坏阶段,此时荷载稍有增加,变形将骤然增加直至地基发生整体剪切破坏。(相当于 p - S 曲线中 b 点以后阶段)。对上述三个变形阶段的基本规律要掌握。

7. 对临塑荷载 p_{cr} 的公式推导过程要求了解:1)用弹性力学公式求出土中各点应力;2)对自重应力的计算采用侧压力系数 $K_0 = 1$ 的简化假定;3)把主应力 σ_1 、 σ_3 代入极限平衡公式,从而求得塑性区轮廓界线的计算公式;4)在给定的条件(p 、 D 、 γ 、 c 、 ϕ)下可求出 $z_{\max}$ 与 β 的关系及 $z_{\max}$ 与 p 的关系;5)假定 $z_{\max} = 0$ 后,即可求得临塑荷载的公式 $p_{cr} = N_D \gamma D + N_c \cdot c$ 。要注意的,从式中可知,临塑荷载 p_{cr} 与基础宽度 B 无关,式中 γ 是指基础埋置深度范围内土的平均容重。对求塑性荷载 p_{cs} ,只要将假定的允许塑性区开展深度($z_{\max} = B/4$ 、 $z_{\max} = B/3$ 等)代入式(3-15b),即可求得不同的塑性荷载 $p_{cs} = N \gamma B + N_D \cdot \gamma \cdot D + N_c \cdot c$ 。从式中可知,塑性荷载 p_{cs} 与基础宽度 B 有关,在 $N \gamma B$ 一项中, γ 是指基底持力层土的容重。

8. 地基极限承载力(又称地基极限荷载)是指地基达到整体剪切破坏时的基底最小压力,相当于 p - S 曲线中 b 点时的荷载。从图 3-14 a)、b)、c)中可知,地基破坏模式与土的性质、基础埋深和加荷条件有关。除了整体剪切破坏形成整体滑动而外,还有局部剪切破坏和刺入剪切破坏。在本节中,仅对由整体剪切破坏模式建立的极限承载力公式作了简要的介绍。在运用这些极限承载力公式时,要注意它们各自假定的差别和适用条件。对公式推导不必作深入了解。

四、习题及说明

完成习题 3-1、3-2、3-3、3-4。

1. 习题 3-1 为某一砂土土样进行直接剪切试验的数据,要求计算当法向压力为 $N\text{kg}$ 时,要用多大水平推力才能将砂土样剪坏,以及计算砂土土样的内摩擦角为多少? 解题时要注意砂土的 $c=0$,可用公式或作图两种方法求算砂土的内摩擦角。

2. 习题 3-2 是某饱和粘土作三轴固结不排水剪切试验,已知四个土样的 σ_1 、 σ_3 和孔隙水压力 u ,要求按总应力法和有效应力法确定相应的强度指标。解题时,可分别用作图法求算内摩擦角 ϕ 、 ϕ' 和粘聚力 c 、 c' 。

3. 习题 3-3 是已知某条形基础的宽度、埋置深度及地质资料,要求计算临塑荷载 p_{cr} 、塑性荷载 $p_{\frac{1}{3}}$ 、 $p_{\frac{1}{4}}$ 及用太沙基公式求极限荷载 p_u 。解题时可分别代入各有关公式进行计算。

4. 习题 4-4 为某均布条形荷载作用下,已知土中 M 点的大小主应力及土的抗剪强度指标,要求计算:1)与最大主应力面成夹角 $\alpha=30^\circ$ 、 45° 、 60° 倾斜面上的正应力 σ 和剪应力 τ ; 2)判断 M 点处的土是否达到极限平衡状态;3)最危险的剪力面与最大主应力面成多大角度。在解答2)时,可用计算最大倾斜角 θ_{max} 的方法来判断 M 点是否达到极限平衡状态。

五、复习思考题

1. 砂类土与粘性土的抗剪强度规律为什么不同? 同一种土的抗剪强度是不是一个定值? 为什么?

2. 为什么土粒越粗,内摩擦角 ϕ 越大? 土粒越细,粘聚力 c 越大? 土的密度和含水量对 c 与 ϕ 值的影响如何?

3. 快剪、固结快剪和慢剪强度指标有什么不同? 饱和软粘土不排水剪为什么会得出 $\phi=0$ 的结果?

4. 阐述三轴压缩试验的原理、优点以及如何求得抗剪强度指标 c 、 ϕ 。

5. 阐述土的极限平衡状态的概念,什么是土的极限平衡条件? 土处于极限平衡条件时,大小主应力与 c 、 ϕ 的关系如何?

6. 为什么可用摩尔应力圆表示土中一点的应力状态?

7. 土体中发生剪切破坏的平面,是不是剪应力最大的平面? 在什么情况下,剪切破坏面与最大剪应力面是一致的? 一般情况下,剪切破坏面与大主应力面成什么角度?

8. 地基的临塑荷载与塑性荷载的物理概念是什么? 工程上有何实用意义?

9. 什么是地基土的极限荷载? 地基极限荷载取决于哪些因素? 说明各个因素如何影响地基的极限荷载?

第四章 土压力和土坡稳定

一、目的和要求

1. 掌握静止土压力、主动土压力和被动土压力的基本概念。
2. 掌握用朗金土压力理论和库伦土压力理论计算土压力的方法。
3. 会计算各种不同情况下挡土墙的土压力。
4. 会计算重力式挡土墙。
5. 会用条分法计算土坡稳定。

二、重点内容

朗金土压力理论、库伦土压力理论及用条分法分析土坡稳定。

三、面授及自学指导

1. 通过一些工程实例的介绍,认识挡土墙土压力计算和土坡稳定计算的工程实际意义和重要性。

2. 对静止土压力、主动土压力和被动土压力三种土压力的定义、产生条件及与土体变形的关系要有清晰的了解。

3. 要掌握朗金土压力理论的基本概念:图4-4是半空间体的极限平衡状态的图示,摩尔应力圆 I 不与抗剪强度线 $\tau_f = \sigma \tan \phi + c$ 相切,表示土体 M 点处于弹性平衡状态,摩尔应力圆 II、III 与抗剪强度线相切,分别表示土体处于主动朗金状态和被动朗金状态。这两种状态都是土体处于极限平衡状态。朗金将上述原理应用于挡土墙土压力计算中,他设想用挡土墙来代替半无限体的一部分,而不影响土体其它部分的应力情况。这样,朗金土压力理论的极限平衡问题只有一个边界,即半无限土体的表面情况,而没有考虑墙背与土体接触面的边界条件。对于墙背不是直立的条件(即墙背是倾斜的条件),朗金理论是有解的,但比较复杂。本章只介绍最简单条件下的解,即用墙背直立的挡土墙代替半空间左边的土,如果墙背与土的接触面上满足剪应力为零(即挡墙与填土间无摩擦力)的边界应力条件,以及产生主动或被动状态的边界变形条件,则墙后土体的应力状态不变。由此推导出主动和被动土压力计算公式(式4-4、式4-5及式4-8、式4-9)。

4. 在各种情况下(分层土、填土面有超载、有地下水情况),能熟练进行朗金主动土压力的计算。

5. 要掌握库伦土压力理论的基本概念:考虑挡土墙相对于墙后土体向外位移或向着土体位移时的情况,库伦认为在到达极限平衡状态时,土体内将形成一个通过墙脚 A 点的滑动平面 AM(图4-10),并且认为可以从滑动土楔 ABM 的平衡条件来求解土压力的数值。库伦土压力的解,可用于墙后填土的表面 BM 不一定是水平面、墙背 AB 不一定是直立、只考虑墙后填土为砂类土(遇粘性土 $c \neq 0$ 时,可设法加以修正)、砂类土内摩擦角为 ϕ 、墙背与土体之间的摩擦角为 δ 的几种情况。根据内摩擦角 ϕ 、墙背倾斜角 α 、填土面坡角 β 及填土与墙背间的摩擦角 δ ,可查表4-2得库伦主动土压力系数 K_a ,该法计算较方便。因此,库伦土压力计算在工程上仍是一个很实用的方法。在查表4-2求主动土压力系数 K_a 时,其中墙背倾斜角 α 有正负号。当挡土墙为俯斜时, α 取正号,仰斜时, α 取负号。俯斜、仰斜的定名图式见图4-15。

6. 库尔曼图解法是以库伦理论为基础的一种确定土压力的图解方法。要求能学会运用图解方法计算主动土压力。

7. 挡土墙设计这一节,只要一般的了解,但要掌握抗倾覆安全系数 K_o 及抗滑稳定安全系数 K_s 的基本概念。

8. 要掌握土坡丧失稳定、产生滑动的主要原因是由于土中剪应力的增加或土的抗剪强度降低;并能举出由于这两个主要原因而引起土坡丧失稳定、滑动的工程实例。能运用条分法计算粘性土的土坡稳定。

四、习题及说明

完成习题4-1、4-2、4-3,选做4-4及4-5。

1. 习题4-1为某挡土墙,墙后填土为二层,填土面承受大面积均布荷载,已知地质资料。

要求用朗金土压力理论求算主动土压力的分布。在求解时,要注意在两层土的交界面处,土压力分布有突变的情况。

2. 习题4-2为某挡土墙,墙后填土为中砂,给出墙高 H 、墙背倾斜角 α 、填土面坡角 β ,墙与填土的摩擦角 δ 及地质资料。要求按库伦土压力理论计算主动土压力。解题应注意,挡土墙为俯斜,墙背倾斜角 α 取正号。

3. 习题4-3为某一路堤,已知路堤的断面尺寸、地质资料,要求按给出的圆弧滑动圆心和半径,验算边坡稳定的安全系数。

4. 习题4-4为选做题,已知某一个顶管工程的工作坑(借助于千斤顶及后座墙后土体的抗力,把管子顶向前方),在千斤顶增加推力后,需在地面上增加多大的均布荷载 p ,才能保证后座墙后土体不破坏,使工程顺利进行。解题时,可把千斤顶的推力作为被动土压力的合力 E 。(推力与被动土压力大小相等,方向相反)来对待。当千斤顶的推力增至432t时,后座墙后面的土体已处于极限平衡状态,这样千斤顶重新要增加的推力,就要求由地面均布荷载 p 来平衡,代入有关公式即可求得题解。

5. 习题4-5为选做题,已知某挡土墙的 H 、 α 、 β 、 δ 及有关地质资料,要求按库尔曼图解法求主动土压力。解题时,为便于作图计算,在填土面上可取等分线段,求出相等的滑动土楔面积。一般假定的滑动土楔至少8个以上。

五、复习思考题

1. 土压力有哪几种?影响土压力的各种因素中最主要的因素是什么?
2. 试阐述主动土压力、静止土压力和被动土压力的定义和产生的条件,并比较三者数值的大小。
3. 比较朗金土压力理论和库伦土压力理论的基本假定、计算方法和适用条件。
4. 地下水位的升降对土压力有何影响?应选择哪些土类作为挡土墙后的回填土?
5. 库尔曼图解法的依据是什么?这种方法有什么特点?
6. 挡土墙有哪几种类型、各适用于什么范围?
7. 试述抗倾覆安全系数及抗滑动安全系数的定义。
8. 为什么挡土墙后要采取排水措施?怎样做排水措施?
9. 土坡稳定有何实际意义?影响土坡稳定的因素有哪些?如何防止土坡滑动?
10. 土坡稳定圆弧法的原理是什么?为什么要分条?最危险的圆弧如何确定?

第五章 地 基 勘 察

一、目的和要求

1. 认识地基勘察的目的和重要性。
2. 了解地基勘察的任务和内容。
3. 了解地基勘察和原位测试的一般方法。
4. 初步阅读和分析勘察报告。

二、重点内容

勘察的主要方法及勘察报告的阅读和分析。

三、面授及自学指导

1. 地基勘察是基本建设工作的重要环节,勘察工作必须遵循基本建设的程序,走在设计

和施工的前面。要明确：在工程实践中，不经过调查研究而盲目进行地基基础的设计和施工而造成严重的工程事故的例子是屡见不鲜的，而更常见的是，贪快图省、勘察不详，结果反而延误建设进度，浪费大量资金，甚至遗留后患。

2. 要了解勘探主要方法(坑探、钻探、静力触探、动力触探、十字板试验及荷载试验)的原理、操作步骤、主要优缺点及其运用。

3. 地基勘察的最终成果是以报告形式提出的。为了充分发挥勘察报告在设计 and 施工工作中的作用，必须重视对勘察报告的阅读和使用。阅读勘察报告应该熟悉勘察报告的主要内容，了解它的结论和计算指标的可靠程度，进而判断报告中，工程地质条件的评价和地基基础方案的建议对该工程的适用性。

一般在阅读时，要着重了解土层的均匀程度，各土层的物理力学性质指标(包括土的名称、含水量 w 、孔隙比 e 、压缩系数 a 、压缩模量 E_s 、塑性指数 I_P 、液性指数 I_L 、粘聚力 c 、内摩擦角 ϕ 、粒径级配及地基承载力 R 等)，以及地下水位情况等。在结合上部结构情况，选择埋置深度及基础方案时，应遵循下列原则：天然地基可行的，就不要用人工地基；能浅埋的就不要深埋；浅基方案可行的，就不要采用深基方案。当然最终提出的方案，一定要满足地基强度、变形和稳定的要求，以确保上部结构的安全正常使用。

4. 本章节中的其他内容，只作一般阅读和了解。

四、复习思考题

1. 为什么要进行地基勘察？地基勘察的任务包括哪些内容？
2. 与各设计阶段相适应的勘察阶段如何划分？
3. 技术孔与鉴别孔有什么区别？技术孔的深度如何确定？
4. 工业与民用建筑中常用哪几种勘探方法？比较其优缺点和适用条件。
5. 野外鉴别粘性土用哪些方法？如何区分轻亚粘土、亚粘土和粘土？
6. 工程地质勘察报告包括哪些内容？
7. 怎样阅读和分析工程地质勘察报告？

第六章 浅基础设计

一、目的和要求

1. 了解浅基础的设计原则。
2. 了解各种类型的浅基础及其适用条件。
3. 掌握基础埋置深度和地基容许承载力的确定方法。
4. 学会按照地基强度和地基变形计算基础底面尺寸的方法。
5. 了解减轻建筑物不均匀沉降危害的措施。
6. 对基础梁和板的计算方法有一般的了解。

二、重点内容

浅基础的设计原则、地基容许承载力的确定和基础底面尺寸的计算。

三、面授及自学指导

本章是本课程的重点章之一。

1. 同结构设计的极限状态原则一样，地基基础设计应满足：

(1) 基础的结构强度要求。一般钢筋混凝土基础的结构计算参考《钢筋混凝土及砖石结构》教材的有关内容;砖石结构基础的构造要求可参考本章第二节。

(2) 通过建筑物基础作用在地基上的压力应不大于地基的容许承载力;对于重要的建筑物,尚应进行基础的沉降计算,满足基础的沉降量小于地基变形的容许值的要求。

(3) 对经常受水平力(如风荷载和地震荷载)作用的高层建筑物、位于坡顶上的建筑物和挡土墙应进行稳定性计算。

2. 表 6-1 所列的甲类地基计算范围,是在大量观测资料的基础上,总结我国三十多年来的建筑实践经验而编制出的。满足表中的地基土的承载力和均匀性条件,符合相应的建筑类型时,地基计算可只进行地基承载力计算,而不需进行基础沉降计算。根据统计资料,这些建筑物大多不出现裂缝,基础的沉降量在容许的范围内。

需要注意,在使用该表时,地基土的容许承载力要按规范规定的原则取用。在 $[R]<12\text{ t/m}^2$ 的软土地基上,即使有些三、四层房屋也会出现裂缝。只有在考虑上部结构刚度对地基变形的作用,限制房屋的长高比,采取加强上部结构刚度的措施以后,裂缝才可以避免。在斜坡上的建筑物,尚应考虑其稳定性,表 6-1 未作规定。

3. 基础类型的选择,是与建筑物荷载的大小性质、结构的类型特征、地基土容许承载力的大小性质有关,还与材料、施工等因素有关。刚性基础是指基础的材料和构造尺寸满足表 6-2 的要求以后,由外荷载引起的内力已在基础材料的强度条件以内,可不作基础的强度验算。柔性基础则必须进行结构强度计算,通过配置一定量的钢筋来承担较大的内力。

基础埋置深度的选择也是综合性的,应从多方面因素考虑,主要考虑的是地基容许承载力的大小;而在寒冷地区,土的冻胀影响则往往是选择埋置深度的主要考虑因素。

4. 地基容许承载力是地基基础计算时的一个重要指标,该指标选定得恰当与否,与建筑物的安全和经济,关系较大,务需慎重对待。它与土的性质和形成条件、基础尺寸和型式、埋置深度、建筑物的类型特征等因素有关。

确定地基容许承载力的方法有多种,有时需要对几种方法确定的承载力进行综合比较,以选择合适的容许承载力。

表 6-5 至表 6-17 系《地基规范》提供的地基容许承载力 $[R]$ 值,或称基本承载力,可以由地基土的物理、力学性质指标或野外鉴别、触探试验结果从表中查得。

为了便于比较,承载力表都是指在一定的基础宽度和埋深条件时的值。当实际基础宽度 $B=3\sim 6\text{ m}$ 、埋置深度 $D>1.5\text{ m}$ 时,应对表中提供的地基容许承载力 $[R]$ 值进行宽度和深度的修正,见式(6-4)。修正的理论原理可参见第三章第六节地基的塑性荷载公式(3-17),也可从式(6-5)中看出,地基容许承载力随着基础宽度 B 和埋置深度 D 的增大而增加。但需注意,式(6-4)中 γ 是指支承基础的持力层土的容重; γ_p 则是基础埋置深度范围内土的加权平均容重。

地基承载力的宽度修正有一定的限制,基础宽度超过 6 m 时,仍按 $B=6\text{ m}$ 进行修正。这是由于基础面积增大后,地基变形量也将大量增加,故不再作修正为宜。此外,对不同的土类型,基础宽度和深度修正系数也不一样,对软弱土(如淤泥和淤泥质土、新近沉积的粘性土等)宽度不作修正,即 $m_B=0$,深度仅考虑埋深范围内土柱高度的单位压力(等于 γD),即 $m_D=1.0$;砂类土的修正系数 m_B 和 m_D 都取得大一些。

在运用强度理论公式(6-5)计算地基容许承载力时,基础宽度和埋深过大时,其计算值偏大,由此计算的基础沉降量也将增大,必须慎重选用,因此尚需验算地基的变形值。