

《土力学》教案

序号	第1次	授课学时	2学时	授课班级	土木17(1,2)班
周次	第1周	日期	2019.9.4	节次	第3~4节
(章节)题目	0 绪论 1 土的物理性质及工程分类 1.1 概述 1.2 土的形成 1.3 土的三相组成 1.4 土的结构和构造				
教学目的	掌握土力学的研究对象及课程特征；掌握土的形成过程；掌握土粒粒组的划分、粒度成分分析、三种粘土矿物、土中水的类型；了解土的结构构造。				
教学重点	专业思想，职业道德，土体的形成及特点，土的三相组成				
教学难点	土的三相组成				
教学方法	启发式、线上线下融合、案例法、优秀人物法				
课程思政目标与融入点	(1) 爱国主义 港珠澳大桥、三峡大坝等重大工程中对岩土问题的成功处理 (2) 工匠精神、吃苦耐劳、讲诚信 土的不均匀性、非线性、不确定性决定了土力学的复杂性和重要性（案例：由于岩土的强度问题、变形问题、渗透问题引发重大的工程事故）。 (3) 哲学思考 我们在欣赏河道弯曲之美、赞叹其源远流长之时，可联想到人的一生亦如河流（生命长河），有坎坷，有险阻，只要不悲观失望、不忘初心，砥砺前行，把弯道看成一条路径（一道风景），通过不懈努力，最终能抵达人生的大海，理想的彼岸。				
信息技术辅助手段	“土力学”新云课堂 https://courses.gdut.edu.cn/course/view.php?id=21				
教学内容及教学过程	0 绪论 一、土力学概念及研究内容 二、土力学在土木工程中的作用 三、本学科发展概况 四、本课程的特点和学习要求 1 土的物理性质及工程分类 1.1 概述 1.2 土的形成 1.3 土的三相组成 土=土粒（固相）+水（液相）+空气（气相） 一、土的固体颗粒 1. 土的粒径和粒组概念 2. 土的颗粒级配 (1) 确定各粒组相对含量的方法 ——颗粒分析试验 $\begin{cases} \text{筛分法} & d \geq 0.075mm \\ \text{比重计法} & d < 0.075mm \end{cases}$				

	<p>试验成果——颗粒级配曲线</p> <p>(2) 级配曲线的特点:</p> <p>半对数坐标 $\left\{ \begin{array}{l} \text{纵坐标—小于某粒径的土质量含量 (\%)} \\ \text{横坐标—对数坐标—土粒粒径 (mm)} \end{array} \right.$</p> <p>(3) 判别土体级配好坏的指标 $\left\{ \begin{array}{l} \text{不均匀系数 } C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \\ \text{曲率系数 } C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{60}d_{10}} \end{array} \right.$</p> <p>当同时满足 $C_u \geq 5, C_c = 1 \sim 3$ 时, 土的级配良好, 否则, 级配不良。</p> <p>3. 土粒的矿物成分 $\left\{ \begin{array}{l} \text{原生矿物} \\ \text{次生矿物} \end{array} \right.$</p> <p>二、中的水和气</p> <p>(1) 土中水 $\left\{ \begin{array}{l} \text{结合水} \left\{ \begin{array}{l} \text{强结合水} \\ \text{弱结合水——对土性质影响大} \end{array} \right. \\ \text{自由水} \left\{ \begin{array}{l} \text{毛细水——受重力和表面张力作用} \\ \text{重力水——受重力作用自由流动} \end{array} \right. \end{array} \right.$</p> <p>(2) 土中气体 $\left\{ \begin{array}{l} \text{非封闭气体} \\ \text{封闭气体——对土的性质影响大} \end{array} \right.$</p> <p>三、土的结构和构造</p> <p>1. 土的结构 $\left\{ \begin{array}{l} \text{单粒结构——常见于砂土、碎石土} \\ \text{蜂窝结构——以粉粒为主的土 (粒径 } 0.075 \sim 0.005\text{mm)} \\ \text{絮状结构——是粘性土的主要结构形式 (粒径 } < 0.005\text{mm)} \end{array} \right.$</p> <p>2. 土的构造 $\left\{ \begin{array}{l} \text{层理构造} \\ \text{裂隙构造} \end{array} \right.$</p> <p>1. 采用多媒体教学, 结合工程实例介绍土力学发展该概况、对土力学做出贡献的著名学者和著作, 提高学生学习兴趣。</p> <p>2. 强调土力学学习过程中对基本概念掌握的重要性。</p> <p>3. 强调土力学课程研究的两大重要问题: 强度、变形。</p> <p>强调本课程研究的对象——土体</p>
<p>思考题 作业</p>	<p>【复习思考】</p> <p>1. 粘土颗粒表面哪一层水膜对土的工程性质影响最大, 为什么?</p> <p>2. 为什么土的级配曲线用半对数坐标?</p> <p>3. 颗粒级配曲线反映的是什么? 级配良好有什么意义? 如何判别级配是否良好?</p> <p>【课后作业】</p> <p>课后作业 3 题</p>

《土力学》教案

序号	第 2 次	授课学时	2 学时	授课班级	土木 17 (1, 2) 班
周次	第 1 周	日期	2019. 9. 5	节次	第 3~4 节
(章节) 题目	第 1 章 土的物理性质及工程分类 1.5 土的三相比例指标				
教学目的	掌握三相比例基本指标定义及其换算关系				
教学重点	1. 土的三相比例指标及其定义换算 2. 粘性土的界限含水量及其测定				
教学难点	三相比例指标定义				
教学方法	启发式、线上线下融合、工程案例法、优秀人物法				
课程思政目标与融入点	工匠精神、吃苦耐劳、讲诚信 “工程实践之哲学思考”教学法 工程案例法				
信息技术辅助手段	“土力学”新云课堂 https://courses.gdut.edu.cn/course/view.php?id=21				
教学内容及教学过程	<p>第 1 章 土的物理性质及工程分类 1.5 土的三相比例指标</p> <p>表示土的三相组成（质量或体积）比例关系的指标, 统称为土的三相比例指标。</p> <div style="text-align: center;"> <p>The diagram illustrates the three-phase composition of soil. On the left, mass components are shown: \$m_s\$ (soil particles), \$m_w\$ (water), and \$m_a\$ (air), with a total mass \$m\$. On the right, volume components are shown: \$V_s\$ (soil particles), \$V_w\$ (water), and \$V_a\$ (air), with a total volume \$V\$. The soil particles are represented by a hatched area at the bottom, water by a horizontal line area in the middle, and air by a white area at the top.</p> </div> <p>1. 土的三相图</p> <p>2. 基本指标：由试验直接测定的指标（土粒相对密度、天然密度、含水量）</p> <p>① 土的密度 ρ 或土的天然重度 γ：$\rho = \frac{m}{V}$，(kg/m³) $\gamma = \rho g$，(kN/m³)。</p> <p>试验测定方法：环刀法</p> <p>② 土粒相对密度（土粒比重）G_s：土粒相对密度定义为土粒的质量与同体积 4℃ 纯水的质量之比。$G_s = \frac{m_s}{V_s \rho_w}$，无量纲。</p> <p>试验测定方法：比重瓶法</p> <p>③ 土的含水量 ω——土中水的质量与土粒质量之比，以百分数表示：</p> $\omega = \frac{m_w}{m_s} \times 100\%$ <p>试验测定方法：烘干法</p> <p>3. 间接指标（导出指标）</p> <p>【讨论】 孔隙比、孔隙率、饱和度能否超过 1 或 100%？</p>				

① 饱和密度和饱和重度

饱和密度 ρ_{sat} 为土体中隙完全被水充满时的土的密度： $\rho_{sat} = \frac{m_s + V_v \rho_w}{V}$ ，

(kg/m^3)。饱和重度： $\gamma_{sat} = \rho_{sat} g$ ，(kN/m^3)。

② 干密度和干重度

干密度——单位体积中土粒的质量： $\rho_d = \frac{m_s}{V}$ ，(kg/m^3)。

干重度——单位体积中土粒的重量： $\gamma_d = \rho_d g$ ，(kN/m^3)。

③ 有效重度 (浮重度) $\gamma' = \frac{m_s g - V_s \gamma_w}{V}$ ，(kN/m^3)。

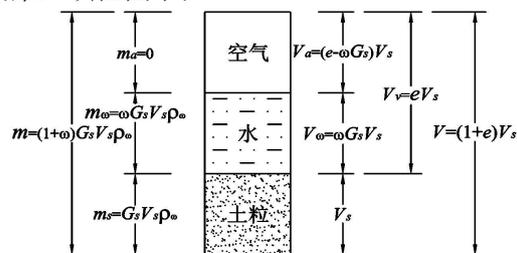
同样条件下，上述几种重度在数值上有如下关系：

4. 指标间的相互换算

已知： ρ (γ)， G_s ， ω \rightarrow e ， n ， S_r ， ρ_{sat} (γ_{sat})， ρ_d (γ_d)， γ' 等的表达式。

推导公式主要步骤：

① 利用 V_s 作为未知数，将土的三相图中的各相物质的质量用 ρ (γ)， G_s ， ω 和 V_s 表示出来，填在图中：



② 先将孔隙比 e 的表达式求出来，然后将其它指标用 ρ (γ)， G_s ， ω 和 e 来表达。

依上图，将 $m = (1 + \omega) G_s V_s \rho_w$ 和 $V = (1 + e) V_s$ 代入 $\rho = \frac{m}{V}$ 中可得：

$$e = \frac{(1 + \omega) G_s \rho_w}{\rho} - 1$$

注意：此时 e 已是“已知”的指标。根据各间接指标的定义，利用三相简图可求得：

① $\rho_d = \frac{\rho}{1 + \omega}$ 或 $\rho_d = \frac{G_s}{1 + e} \rho_w$

② $\rho_{sat} = \frac{(G_s + e)}{1 + e} \rho_w$ ， $\gamma_{sat} = \frac{G_s + e}{1 + e} \gamma_w$

③ $\gamma' = \frac{G_s - 1}{1 + e} \gamma_w$ ④ $n = \frac{e}{1 + e}$ 或 $n = 1 - \frac{\rho_d}{G_s \rho_w}$

$S_r = \frac{\omega G_s}{e}$

思考题
作业

【本次课小结】 三相比例指标定义；对同一种土其塑限和液限是不变的。
【课后作业】 课后作业 3 题

《土力学》教案

序号	第 3 次	授课学时	2 学时	授课班级	土木 17 (1, 2) 班
周次	第 2 周	日期	2019. 9. 11	节次	第 3~4 节
(章节) 题目	第 1 章 土的物理性质及工程分类 1.6 土的物理状态特性 1.6.1 无黏性土的密实度 1.6.2 黏性土的物理特征				
教学目的	掌握无黏性土的密实度和黏性土的物理特征				
教学重点	黏性土的物理特征				
教学难点	黏性土的物理特征指标				
教学方法	案例式、启发式、线上线下融合				
课程思政目标与融入点	工程伦理、工匠精神				
信息技术辅助手段	“土力学”新云课堂 https://courses.gdut.edu.cn/course/view.php?id=21				
教学内容及教学过程	<p>第 1 章 土的物理性质及工程分类 1.6.1 无粘性土的密实度</p> <p>土的密实度——单位土体中固体颗粒的含量。无粘性土的密实度与其工程性质有着密切关系。</p> <p>描述砂土密实状态的指标有：</p> <p>1. 孔隙比</p> <p>孔隙比愈大，则土愈松散。</p> <p>缺陷：①取原状砂样和测定孔隙比存在实际困难，故在实用上也存在问题。②没有考虑到颗粒级配这一重要因素对砂土密实状态的影响。</p> <p>2. 相对密度 D_r：将现场土的天然孔隙比 e 与该种土所能达到最密实时的孔隙比 e_{\min} 和最疏松时的孔隙比 e_{\max} 相对比的方法，来表示孔隙比为</p> <p>e 时土的密实度。 $D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}}$</p> <p>当 $e=e_{\max}$ 时，表示土处于最疏松状态，此时 $D_r=0$。当 $e=e_{\min}$ 时，表示土处于最密实状态，此时 $D_r=1.0$。用相对密度 D_r 判定砂土密实度的标准如下：</p> $D_r \leq \frac{1}{3} \quad \text{疏松}$ $\frac{1}{3} \leq D_r \leq \frac{2}{3} \quad \text{中密}$ $D_r \geq \frac{2}{3} \quad \text{密实}$ <p>优点：在理论上比孔隙比能够更合理确定土的密实状态。</p> <p>缺陷：测定 e、e_{\max} 与 e_{\min} 困难，通常多用于填方工程的质量控制中，对于天然土</p>				

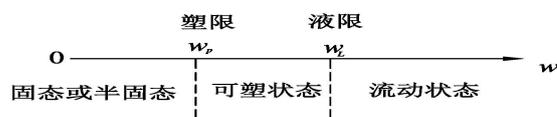
尚难以应用。

3. 依规范 GB5007-2002 动触探确定无粘性土的密实度——标贯试验 N 或 $N_{63.5}$ 。

优点：可现场测定土的密实度，得到广泛应用。

1.6.2 粘性土的物理特征

(1) 粘性土的稠度状态



稠度——指土的软硬程度或土受外力作用所引起变形或破坏的抵抗能力。

稠度界限——粘性土由某一种状态过渡到另一状态的分界含水量。

塑限——土从塑性状态转变为半固体状态时的分界含水量。

液限——土从液性状态转变为塑性状态时的分界含水量。

(2) 粘性土的塑性指数和液性指数

① 塑性指数： $I_p = \omega_L - \omega_p$ 注意：计算时含水量要去百分号

结论：塑性指数表示土处在可塑状态的含水量变化范围，其值的大小取决于土颗粒吸附结合水的能力，亦即与土中粘粒含量有关。粘粒含量越多，土的比表面积越大，塑性指数就越高。

应用：根据其值大小对粘性土进行分类。

② 液性指数：
$$I_L = \frac{\omega - \omega_p}{I_p} = \frac{\omega - \omega_p}{\omega_L - \omega_p}$$

用途：根据其值大小判定土的软硬状态。

思考题
作业

课后作业 4 题

《土力学》教案

序号	第 4 次	授课学时	2 学时	授课班级	土木 17 (1, 2) 班
周次	第 2 周	日期	2019. 9. 12	节次	第 3~4 节
(章节) 题目	第 1 章 土的物理性质及工程分类 1.7 土的压实性 1.8 土的工程 分类				
教学目的	掌握了解土的压实原理, 熟悉地基土的工程分类和意义。				
教学重点	土的工程分类				
教学难点	土的压实原理				
教学方法	案例式、启发式、线上线下融合				
课程思政目标 与融入点	工程伦理、工匠精神				
信息技术 辅助手段	“土力学”新云课堂 https://courses.gdut.edu.cn/course/view.php?id=21				
教学内容 及教学过程	<p>第 1 章 土的物理性质及工程分类</p> <p>1.7 土的压实性</p> <p>一、击实试验——土的击实机理（粘性土）</p> <p>二、影响土（粘性土）的压实性的因素</p> <p>1. 含水量的影响：只有在某一含水量（最优含水量）下才能获得最佳的击实效果。</p> <p>注意：</p> <p>①在填土工程中注意控制土的含水量，在土较干或较湿时都不容易将土击实到最密实状态。</p> <p>②含水量过高或过低对填土工程都是不利的。</p> <p>2. 击实功能的影响：</p> <p>由击实试验可知：</p> <p>①土粒的最大干密度和最优含水量不是常数。最大干密度随击数的增加而逐渐增大，最优含水量则逐渐减少。但是这种增大或减少是递减的，因此，光靠增加击实功能来提高土的最大干密度是有一定限度的。</p> <p>②当含水量较低时击数的影响较显著。当含水量较高时，含水量与干密度关系曲线趋近于饱和线，也就是说，这时提高击实功能是无效的。</p> <p>3. 土的类型和级配的影响</p> <p>4. 粗粒含量的影响</p> <p>1.8 土的工程分类</p> <p>一、《土工试验规程》中土的分类</p> <p>1. 一般程序</p> <p>2. 巨粒土和含巨粒土的分类和命名</p> <p>3. 粒土的分类和命名</p> <p>4. 细粒土分类和命名</p>				

	<p>5. 特殊土分类</p> <p>6. 土的简易鉴别、分类和描述</p> <p>注意：①各类土的定义； ②利用塑性图对细粒土进行分类的方法。</p> <p>二、《建筑地基基础设计规范》(GB5007—2002)中地基土的分类</p> <p>作为建筑地基的土(岩),可分为岩石、碎石土、砂土、粉土、粘性土和人工填土。</p> <p>注意：①各类土的定义； ②对碎石土、砂土进行分类时,应根据粒组含量由大到小以最先符合者确定； ③依塑性指数对粉土、粘性土进行分类： 粉土——指粒径大于 0.075mm 的颗粒含量不超过总质量的 50%、塑性指数 $I_p \leq 10$ 的土。</p> <p>粘性土是——指塑性指数 $I_p > 10$ 的土。粘性土 $\left\{ \begin{array}{l} \text{粉质粘土: } 10 < I_p \leq 17 \\ \text{粘土: } I_p > 17 \end{array} \right.$</p>
<p>思考题 作业</p>	<p>课后 3 题</p>

《土力学》教案

序号	第 5 次	授课学时	2 学时	授课班级	土木 17 (1, 2) 班
周次	第 3 周	日期	2019. 9. 18	节次	第 3~4 节
(章节) 题目	第 2 章 土的渗透性与渗流 2.1 概述 2.2 土的渗透性 2.3 渗透力及渗透破坏				
教学目的	掌握土的渗透性, 渗透力及渗透破坏形式				
教学重点	土的渗透性、渗流的达西定律				
教学难点	渗透力及渗透破坏形式				
教学方法	案例式、启发式、线上线下融合				
课程思政目标与融入点	工程伦理、工匠精神				
信息技术辅助手段	“土力学”新云课堂 https://courses.gdut.edu.cn/course/view.php?id=21				
教学内容及教学过程	<p>第2章土的渗透性</p> <p>2.1 概述：渗透、渗透性、渗流概念</p> <p>2.2 土的渗透性</p> <p>2.2.1 层流渗透定律——达西定律</p> <p>（一）达西定律</p> $v=ki = k \frac{h}{L}$ <p>或用渗流量表示为 $q=vA=kiA$</p> <p>（二）达西定律的适用范围与起始水力坡降</p> <p>2.2.2 渗透系数和渗透试验：测定方法（室内、现场），影响渗透系数因素</p> <p>1. 常水头试验</p> <p>常水头试验适用于透水性大 ($k > 10^{-3} \text{cm/s}$) 的土，例如砂土。</p> <p>常水头试验就是在整个试验过程中，水头保持不变。试验时测出某时间间隔 t 内流过试样的总水量 V，根据达西定律</p> $V = qt = kiAt = k \frac{h}{L} At$ <p>即</p> $k = \frac{VL}{hAt}$ <p>2. 变水头试验</p> <p>粘性土由于渗透系数很小，流经试样的总水量也很小，不易准确测定。因此，应采用变水头试验。</p> <p>变水头试验就是在整个试验过程中，水头随时间而变化的一种试验方法。利用数学方法可得到渗透系数：</p>				

	$k = \frac{aL}{A(t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2}$ <p>如用常用对数表示，上式可写为：</p> $k = 2.3 \frac{aL}{A(t_2 - t_1)} \lg \frac{h_1}{h_2}$ <p>3. 影响渗透系数的因素</p> <ul style="list-style-type: none"> ┌ 土粒大小与级配 ├ 土的密实度 ├ 水的动力粘滞系数 └ 土中封闭气体 <p>2.2.4 成层土的渗透性：水平和垂直渗透系数计算</p> <p>水平渗流： $k_x = \frac{1}{H} \sum k_i H_i$</p> <p>竖直渗流：</p> $k_z = \frac{H}{\sum \frac{H_i}{k_i}}$ <p>2.3 渗透力及渗透破坏</p> <p>2.3.1 渗透力</p> <p>水在土体中流动时，将会引起水头的损失。水流在拖曳土粒时将给予土粒以某种拖曳力，我们将渗透水流施于单位土体内土粒上的拖曳力称为渗透力。</p> <p>单位体积渗透力：$j = J / (AL) = \gamma_w h A / (AL) = \gamma_w i$</p> <p>3.4.2 渗透破坏（变形）的类型，重点流砂或流土现象</p> <p>渗流所引起的稳定问题：1) 局部稳定问题，又称为渗透变形问题；2) 整体稳定问题。应该指出，局部稳定问题如不及时加以防治，同样会酿成整个建筑物的毁坏。</p> <p>渗透变形可分为：流土和管涌两种基本形式。</p> <p>流土：在渗流作用下局部土体表面隆起，或土粒群同时起动而流失的现象。</p> <p>管涌：在渗流作用下土体中的细土粒在粗土粒形成的孔隙通道中发生移动并被带出的现象。</p> <p>3. 土的临界水力梯度</p> <p>土体抵抗渗透破坏的能力，称为抗渗强度。以濒临渗透破坏时的水力梯度表示，称为临界水力梯度或抗渗梯度。</p> <p>1) 流土型土的临界水力梯度</p> <p>当竖向渗流力等于土体的有效重量时，土体就处于流土的临界状态，即</p> $i_{cr} = \gamma' / \gamma_w$ $i_{cr} = (G_s - 1)(1 - n)$ <p>2) 管涌型土的临界水力梯度</p> $i_{cr} = 2.2(G_s - 1)(1 - n)^2 \frac{d_5}{d_{20}}$ <p>管涌土的临界水力梯度可通过试验来测定。试验时除了根据肉眼观察细土粒的移动来判断管涌外，还可借助于水力梯度 i 与流速 v 之间的变化来判断管涌是否出现。</p>
<p>思考题 作业</p>	<p>课后3题</p>

《土力学》教案

序号	第 6 次	授课学时	2 学时	授课班级	土木 17 (1, 2) 班
周次	第 4 周	日期	2019.9.19	节次	第 3~4 节
(章节) 题目	第 3 章土中应力 3.1 概述 3.2 土中自重应力 3.3 基底压力				
教学目的	1.了解土中的应力形式 2.掌握自重应力的计算方法 3.掌握基底压力概念和计算方法				
教学重点	成层土和有地下水时自重应力计算、偏心荷载下的基底压力计算				
教学难点	成层土和有地下水时自重应力计算、偏心荷载下的基底压力计算				
教学方法	案例式、启发式、线上线下融合				
课程思政目标与融入点	工程伦理、工匠精神				
信息技术辅助手段	“土力学”新云课堂 https://courses.gdut.edu.cn/course/view.php?id=21				
教学内容及教学过程	<p>第 3 章地基中的应力计算</p> <p>3.1 概述：土中应力类型</p> <p>3.2 土中的自重应力计算中的应力状态</p> <p>3.3.1 均质土自重应力</p> <p>自重应力——土体初始应力，指由土体自身的有效重力产生的应力。</p> <p>假定 $\left\{ \begin{array}{l} \text{土体具有水平表面的半无限弹性体} \\ \text{土体中所有竖直面和水平面均不存在剪应力} \end{array} \right.$</p> <div style="text-align: center;"> <p>The diagram consists of three parts: 1. A soil column of height \$z\$ with a '天然地面' (natural ground surface) at the top. 2. A stress element (cube) at depth \$z\$ with normal stresses \$\sigma_x\$, \$\sigma_y\$, and \$\sigma_z\$. 3. A stress distribution graph showing \$\sigma_x = \sigma_y = \gamma z\$ as a function of depth \$z\$.</p> </div> <p>对于天然重度为 γ 的均质土：</p> $\sigma_{cz} = \gamma z$ <p>式中：</p> <p>γ_i——第 i 层土的重度，kN/m^3，地下水位以上的土层一般采用天然重度，地下水位以下的土层采用浮重度，毛细饱和带的土层采用饱和重度。</p> <p>二、水平向自重应力</p> <p>根据弹性力学广义虎克定律和土体的侧限条件，推导得</p> $\sigma_{cz} = \sigma_{cy} = K_0 \sigma_{cz}$ <p>式中 K_0——土的侧压力系数（也称静止土压力系数）。</p>				

3.2 2层成土自重应力

对于成层土，并存在地下水：

$$\sigma_{cz} = \gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 + \dots + \gamma_n h_n = \sum_{i=1}^n \gamma_i h_i$$

注意：

①在地下水位以下，若埋藏有不透水层（如基岩层、连续分布的硬粘性土层），不透水层中不存在水的浮力，层面及层面以下的自重应力按上覆土层的水土总重计算；

②新近沉积的土层或新近堆填的土层，在自重应力作用下的变形尚未完成，还应考虑它们在自重应力作用下的变形。

3.2.3 水位升降时自重应力

【课堂讨论】地下水位的升降是否会引起土中自重应力的变化？

——地下水位的升降会引起土中自重应力的变化，例如，大量抽取地下水造成地下水位大幅度下降，使原水位以下土体中的有效应力增加，造成地表大面积下沉。

3.3 基底压力计算

3.3.1 基底压力分布规律

3.3.2 基底压力及其简化计算

一、中心荷载作用下的基底压力

基底压力——建筑物上部结构荷载和基础自重通过基础传递给地基，作用于基础底面传至地基的单位面积压力，又称接触压力。

基底反力——基底压力的反作用力即地基土层反向施加于基础底面上的压力。

影响基底压力的分布和大小的因素

{	基础
	荷载
	地基土性质

基底压力的简化计算：

当基础宽度不太大，而荷载较小的情况下，基底压力分布近似按直线变化考虑，根据材料力学公式进行简化计算，即

$$p = \frac{F + G}{A}, \text{ kPa}。$$

对于荷载沿长度方向均匀分布的条形基础，则沿长度方向截取 1m 的基底面积来计算，单位为 kN/m。

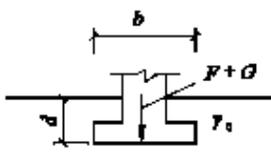
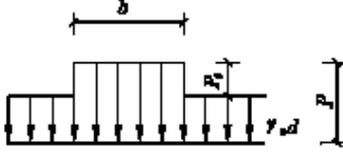
二、偏心荷载作用下的基底压力

$$\begin{matrix} p_{\max} \\ p_{\min} \end{matrix} = \frac{F + G}{bl} \left(1 \pm \frac{6e}{l} \right)$$

讨论：

当 $e < \frac{l}{6}$ 时，基底压力呈梯形分布；

当 $e = \frac{l}{6}$ 时，基底压力呈三角形分布；

	<p>当 $e > \frac{l}{6}$ 时, 基底压力 $p_{\min} < 0$, 表明基底出现拉应力, 此时, 基底与地基间局部脱离, 而使基底压力重新分布。</p> <p>注意: 当计算得到 $P_{\min} < 0$ 时, 一般应调整结构设计和基础尺寸设计, 以避免基底与地基间局部脱离的情况。</p> <p>对作用于建筑物上的水平荷载, 计算基底压力时, 通常按均匀分布于整个基础底面计算。</p> <p>4.3.3 基底附加压力计算</p> <p>基底附加压力——作用于地基表面, 由于建造建筑物而新增加的压力, 即导致地基中产生附加应力的那部分基底压力。</p> <p>基底附加压力在数值上等于基底压力扣除基底标高处原有土体的自重应力。即</p> <p>基底压力均匀分布时:</p> $P_0 = P - \gamma_0 d$ <p>基底压力呈梯形分布时, 基底附加压力为:</p> $P_{0\max} = \frac{P_{\max}}{P_{\min}} - \gamma_0 d$ <p>式中 P_0——基底附加压力设计值, kPa; P——基底压力设计值, kPa;</p> <div style="text-align: center;">   </div> <p style="text-align: center;">基底附加压力图</p> <p>γ_0——基底标高以上各天然土层的加权平均重度, kN/m³; 地下水位以下取有效重度; d——从天然地面起算的基础埋深, m。</p> <p>【课堂讨论】 求基底附加应力意义何在?</p>
<p style="text-align: center;">思考题 作业</p>	<p>【本节课小结】</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 非均质土中自重应力沿深度呈折线分布; 2. 自重应力分布在重度变化的土层界面和地下水位面上发生转折; 3. 自重应力分布在不透水层面处发生突变; 4. 地下水位下降会引起自重应力增加。 5. 中心、偏心荷载作用下的基底压力计算。 <p>课后作业 3 题</p>

《土力学》教案

序号	第 7 次	授课学时	2 学时	授课班级	土木 17 (1, 2) 班
周次	第 4 周	日期	2019. 9. 25	节次	第 3~4 节
(章节) 题目	3.3 地基附加应力 3.4 有效应力原理				
教学目的	让学生掌握各种分布荷载作用下附加应力计算方法及应用				
教学重点	1. 了解弹性半空间布辛内斯克课题理论 2. 掌握土中矩形基础均布荷载的附加应力计算方法。 3. 掌握附加应力叠加方法和分部角点计算方法。				
教学难点	土中附加应力计算及分布规律				
教学方法	案例式、启发式、线上线下融合				
课程思政目标与融入点	工程伦理、工匠精神				
信息技术辅助手段	“土力学”新云课堂 https://courses.gdut.edu.cn/course/view.php?id=21				
教学内容及教学过程	<p>第 3 章 地基中的应力计算</p> <p>3.3 地基土中的附加应力计算</p> <p>附加应力——新增外加荷载在地基土体中引起的应力。 假定——地基土是连续、均匀、各项同性的半无限完全弹性体。 空间问题——附加应力是三维坐标 x、y、z 的函数； 平面问题——附加应力是二维坐标 x、z 的函数。</p> $\sigma_z = \frac{3Pz^3}{2\pi R^3} = \frac{3}{2\pi} \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{r}{z}\right)^2\right]^{\frac{5}{2}}} \frac{P}{z^2} = K \frac{P}{z^2}$ <p>一、竖向集中荷载作用下的地基附加应力</p> <p>布辛涅斯克用弹性理论推导得出： 依上述公式可推导出附加应力 σ_z 的分布规律： (1) 地面下任一深度的水平面上，在集中力作用线上的附加应力最大，向两侧逐渐减小； (2) 同一竖向线上的附加应力随深度而变化，在集中力作用线上，当 $z=0$ 时，$\sigma_z \rightarrow \infty$，随着深度增加，$\sigma_z$ 逐渐减小； (3) 剖面图上的附加应力等值线，在空间上附加应力等值面呈泡状，称应力泡。 应力扩散——竖向集中力作用引起的附加应力向深部向四周无限传播，在传播过程中，应力强度不断降低，这种现象称为应力扩散。 【课堂讨论】相邻基础会不会相互影响？</p> <p>二、矩形基础地基中的附加应力计算</p> <p>矩形基础长度为 l，基础宽度为 b，当 $l/b < 10$，其地基附加应力计算问题属于空间问题。</p>				

1. 竖向均布荷载 P 作用于矩形基底

依布辛涅斯克解, 将公式沿长度 l 和宽度 b 两个方向二重积分, 求得角点下任一深度 z 处 M 点的附加应力:

$$\sigma_z = \int_0^l \int_0^b \frac{3p}{2\pi} \frac{z^3}{(x^2 + y^2 + z^2)^{5/2}} dx dy$$

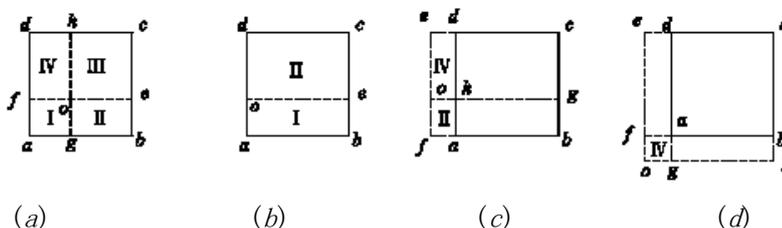
简写成 $\sigma_z = K_c P$

式中 K_c —— 垂直均布荷载下矩形基底角点下的竖向附加应力系数, 无量纲, $K_c = f(m, n)$, 可由表查得。

注意: l 为基础长边, b 为基础短边; z 是从基底面起算的深度; P 为基底附加压力。

2. “角点法”

角点法之实质——附加应力叠加原理。角点其实是附加应力积分公式的原点, 因而在角点 (原点) 下的附加应力不能直接求出。



角点法的应用:

(1) 矩形荷载面内任一点 O 之下的附加应力 [如图 (a) 所示]:

$$\sigma_z = (K_{cI} + K_{cII} + K_{cIII} + K_{cIV})P$$

(2) 矩形荷载面边缘上任一点 O 之下的附加应力 [如图 (b) 所示]:

$$\sigma_z = (K_{cI} + K_{cII})P$$

(3) 矩形荷载面边缘外一点 O 之下的附加应力 [如图 (c) 所示]:

$$\sigma_z = (K_{cI} - K_{cII} + K_{cIII} - K_{cIV})P$$

其中 I 为 $ofbg$, III 为 $oecg$ 。

注意: 基础范围外“虚线”所构成的矩形其实是虚设的荷载分布的范围, 因而要减去其“产生”的附加应力;

(4) 矩形荷载面外任一点 O 之下的附加应力 [如图 (d) 所示]:

$$\sigma_z = (K_{cI} - K_{cII} - K_{cIII} + K_{cIV})P$$

其中 I 为 $ohce$, II 为 $ogde$, III 为 $ohbf$ 。

【课堂讨论】作“辅助线”原理及目的何在?

3. 垂直三角形分布荷载

$$\sigma_z = K_{t1} p_t$$

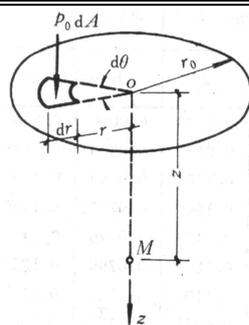
K_{t1} —— 可由表查得, 其中 $m = l/b$, $n = z/b$ 。

同理, 荷载强度最大值角点 2 下任一深度 z 处 M 点的附加应力为

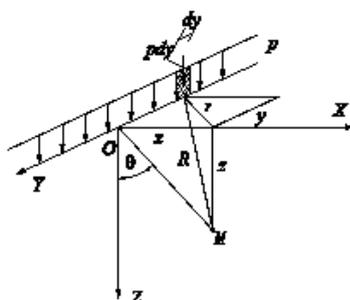
$$\sigma_z = K_{t2} p_t$$

注意: b 为沿荷载变化方向矩形基底边长, l 为矩形基底另一边长; 同理, 计算中可利用角点法。

四、均布圆形荷载下的地基附加应力



五、线荷载、条形基础地基中的附加应力计算

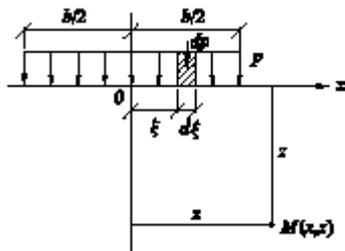


当基础底面长宽比 $l/b \rightarrow \infty$ 时，称为条形基础。

——如图，因 Y 轴坐标方向（基础延伸方向）任意平面下的附加应力分布规律都是一样的，所以不用考虑 Y 轴坐标方向，只需考虑 X、Z 方向——平面问题

研究表明，当基础的长宽比 $l/b \geq 10$ 时，将其视为平面问题计算的附加压力结果误差甚微。

1. 竖向均布线荷载



$$\sigma_z = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{3p}{2\pi} \frac{z^3}{(x^2 + y^2 + z^2)^{5/2}} dy = \frac{2pz^3}{\pi(x^2 + z^2)^2}$$

2. 垂直均布条形荷载

$$\sigma_z = K_{sz} p \quad K_{sz} = f\left(\frac{x}{b}, \frac{z}{b}\right)$$

注意坐标原点的位置

3. 垂直三角形分布条形荷载

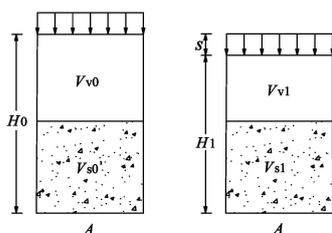
$$\sigma_z = K_{tz} p_t \quad K_{tz} = f\left(\frac{x}{b}, \frac{z}{b}\right) \text{ 注意坐标原点的位置及 } x \text{ 的正负号}$$

思考题作业

课后 3 题

《土力学》教案

序号	第 8 次	授课学时	2 学时	授课班级	土木 17 (1, 2) 班
周次	第 4 周	日期	2019. 9. 26	节次	第 3~4 节
(章节) 题目	第 4 章 土的压缩性与变形计算 4.1 概述 4.2 土的压缩性				
教学目的	1. 了解土压缩性 2. 掌握土的压缩试验和压缩指标				
教学重点	土的压缩性				
教学难点	土的压缩性				
教学方法	案例式、启发式、线上线下融合				
课程思政目标与融入点	工程伦理、工匠精神				
信息技术辅助手段	“土力学”新云课堂 https://courses.gdut.edu.cn/course/view.php?id=21				
教学内容及教学过程	<p>第 4 章 土的压缩性</p> <p>4.1 概述：基本概念</p> <p style="padding-left: 20px;">【工程实例】</p> <p style="padding-left: 20px;">土体压缩性——土在压力（附加应力或自重应力）作用下体积缩小的特性。</p> <p style="padding-left: 20px;">地基土压缩→地基的沉降</p> <p style="padding-left: 20px;">沉降值的大小取决于 $\left\{ \begin{array}{l} \text{建筑物荷载的大小和分布} \\ \text{地基土层的类型、分布、各土层厚度及其压缩性} \end{array} \right.$</p> <p style="padding-left: 20px;">地基土的压缩实质 $\left\{ \begin{array}{l} \text{土粒体积 } (V_s) \text{ 不变;} \\ \text{孔隙水体积 } (V_w) \text{ 不变；但会被排出（部分）;} \\ \text{ } V_a \text{ 会被压缩，也会被排出。} \end{array} \right. \left. \vphantom{\left\{ \right.} V_v \text{ 减少} \right.$</p> <p style="padding-left: 20px;">土的固结——土体在压力作用下其压缩量随时间增长的过程。</p> <p style="padding-left: 20px;">【讨论】 土体固结时间长短与哪些因素有关？</p> <p>4.2 固结试验及压缩性指标</p> <p style="padding-left: 20px;">1. 侧限压缩试验（固结试验）</p> <p style="padding-left: 40px;">侧限——限制土样侧向变形，通过金属环刀来实现。</p> <p style="padding-left: 40px;">试验目的——研究测定试样在侧限与轴向排水条件下的变形和压力，或孔隙比和压力的关系，变形和时间的关系，以便计算土的各项压缩指标。</p> <p style="padding-left: 40px;">试验设备——固结仪。</p> <p style="padding-left: 20px;">2. $e-p$ 曲线</p> <p style="padding-left: 40px;">要绘制 $e-p$ 曲线，就必须求出各级压力作用下的孔隙比——e。</p> <p style="padding-left: 40px;">如何求 e? 看示意图：</p>				



设试样截面积为 A ，压缩前孔隙体积为 V_{v0} ，土粒体积为 V_{s0} ，土样高度为 H_0 ，孔隙比为 e_0 （已测出）。压缩稳定后的孔隙体积为 V_v ，土粒体积为 V_s ，土样高度为 H_1 ，孔隙比为 e ， S 为某级压力下试样高度变化（用测力计测出）， cm 。依侧限压缩试验原理可知：土样压缩前后试样截面积 A 不变， $V_{s0} = V_{s1}$ ，则有：

$$e = e_0 - \frac{S}{H_0}(1 + e_0)$$

利用上式计算各级荷载 P 作用下达到的稳定孔隙比 e ，可绘制如图 5-3 所示的 $e-p$ 曲线，该曲线亦被称为压缩曲线。

常规试验中，一般按 $P=50kPa$ 、 $100 kPa$ 、 $200 kPa$ 、 $400 kPa$ 四级加荷，测定各级压力下的稳定变形量 S ，然后由式（5-2）计算相应的孔隙比 e 。

压缩曲线 $\left\{ \begin{array}{l} \text{越陡} \text{——说明在相同的压力增量作用下，} \\ \text{土的孔隙比减少得愈显著。} \\ \text{平缓} \text{——压缩性低。} \end{array} \right.$

二、压缩性指标

1. 压缩系数

$$\alpha = -\frac{de}{dp} \quad \alpha \text{——压缩系数，MPa}^{-1}，\text{负号表 } e \text{ 随 } P \text{ 的增长而减小。}$$

当压力变化范围不大时，土的压缩曲线可近似用图 3-2 中的 M_1M_2 割线代替。

$$\alpha = -\frac{\Delta e}{\Delta p} = \frac{e_1 - e_2}{p_2 - p_1}$$

P_1 ——增压前使试样压缩稳定的压力强度，一般指地基中某深处土中原有的竖向自重应力， kPa ；

P_2 ——增压后使试样所受的压力强度，一般为地基某深处自重应力与附加应力之和， kPa ；

e_1 、 e_2 ——分别为增压前后在 P_1 、 P_2 作用下压缩稳定时的孔隙比。

【讨论】土的压缩系数是唯一的吗？

在用分层总和法计算地基沉降量时：

$$P_1 = \overline{\sigma}_{cz} \xrightarrow{\text{查 } e-p \text{ 曲线}} e_1$$

$$P_2 = \overline{\sigma}_{cz} + \overline{\sigma}_z \xrightarrow{\text{查 } e-p \text{ 曲线}} e_2$$

压缩系数 α 是表征土的压缩性的重要指标之一。压缩系数越大，表明土的压缩性越大。为方便与应用和比较，《建筑地基基础设计规范》提出用 $P_1=100 kPa$ 、 $P_2=200 kPa$ 时相对应的压缩系数 α_{1-2} 来评价土的压缩性，具体规定为：

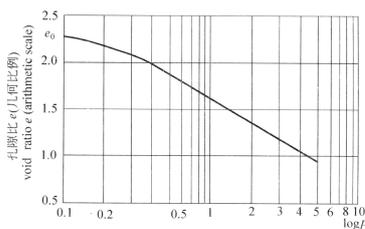
$$\alpha_{1-2} < \text{时} \leq 0.1 \text{MPa}^{-1}，\text{为低压缩性土；}$$

$0.1 \text{MPa}^{-1} \leq \alpha_{1-2} < 0.5 \text{MPa}^{-1}$ 时，为中压缩性土；

$\alpha_{1-2} \geq 0.5 \text{MPa}^{-1}$ 时，为高压压缩性土。

2. $e - \log p$ 曲线与压缩指数

将孔隙比 e 和垂直压力的对数绘制成 $e - \log p$ 曲线，它们之间的线性关系如图所示。这条曲线称为初始固结线，其斜率称为压缩指数，用 C_c 表示：



$e - \log p$ 曲线和压缩指数 C_c $e - \log p$ plotting and compressive index C_c

$$C_c = \frac{\Delta e}{\log p_2 - \log p_1} = \frac{\Delta e}{\log\left(\frac{p_2}{p_1}\right)}$$

3. 压缩模量

$$\left. \begin{aligned} E_s &= \frac{\sigma_z}{\varepsilon_z} \\ \sigma_z &= \Delta P \\ \varepsilon_s &= -\frac{\Delta P}{\frac{-\Delta e}{1+e_1}} = \frac{1+e_1}{\alpha} \end{aligned} \right\} E_s \text{ 与 } \alpha \text{ 成反比。即 } E_s \text{ 愈大，} \alpha \text{ 愈小，土体的压缩性愈低。}$$

体积压缩系数：即在单向压力增量作用下土体单位体积的变化

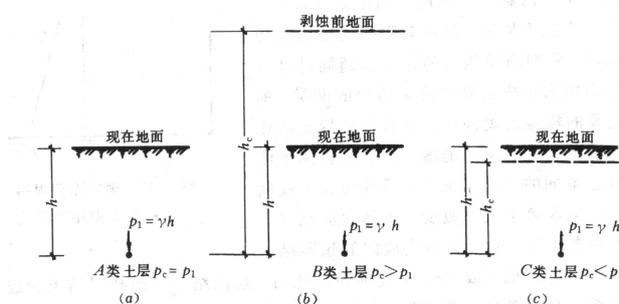
$$m_v = 1/E_s = 1/(1+e_1)$$

4. 2. 4 回弹曲线和再压缩曲线

4. 3 应力历史对压缩性的影响

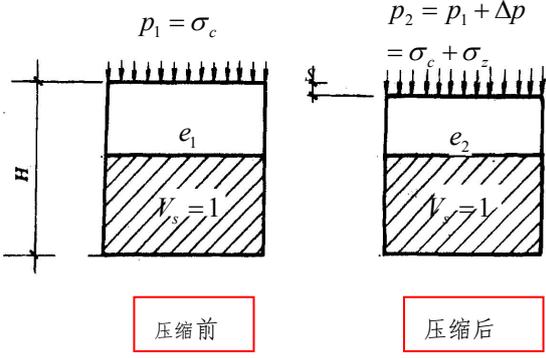
4. 3. 1. 沉积土的应力历史

}	正常固结土
	超固结土
	欠固结土



思考题
作业

课后 3 题

序号	第 9 次	授课学时	2 学时	授课班级	土木 17 (1, 2) 班
周次	第 6 周	日期	2019. 10. 9	节次	第 3~4 节
(章节) 题目	第 4 章 地基变形计算 4.3 地基最终沉降量的计算				
教学目的	掌握地基最终沉降量计算方法 (分层总和法、规范法)				
教学重点	地基最终沉降量计算方法分层总和法				
教学难点	规范法				
教学方法	案例式、启发式、线上线下融合				
课程思政目标与融入点	工程伦理、工匠精神				
信息技术辅助手段	“土力学”新云课堂 https://courses.gdut.edu.cn/course/view.php?id=21				
教学内容及教学过程	4.3 基础最终沉降量 (一) 分层总和法计算最终沉降量 1. 分层总和法 基本假设: {地基是均质、弹性 {地基土不产生侧向变形, 以基础中点沉降量代替基础沉降量 单向压缩量公式推 $\frac{1+e_1}{H} = \frac{1+e_2}{H-s}$ $s = \frac{e_1 - e_2}{1+e_1} H$ $e_1 \sim p_1 = \bar{\sigma}_c$ $e_2 \sim p_2 = \bar{\sigma}_c + \bar{\sigma}_z$  <p style="text-align: center;"> 压缩前 压缩后 </p> 分层总和法计算步骤: ①绘制基础中心点下地基中自重应力和附加应力分布曲线; 计算自重应力的目的是为了 确定基土相应的初始孔隙比, 因此, 应从天然地面起算。 ②确定地基沉降计算深度				

一般取附加应力与自重应力的比值为 20% 处，即 $\sigma_z = 0.2\sigma_c$ 处的深度作为沉降计算深度的下限，对于软土，应加深至处 $\sigma_z = 0.1\sigma_c$ 。在沉降计算深度范围内存在基岩时， z_0 可取至基岩表面为止。

③确定沉降计算深度范围内的分层界面

沉降计算分层面可按下述原则确定：第一，不同土层的分界面与地下水位面；第二，每一分层厚度不大于基础宽度的 0.4 倍。

【讨论】分层越细越准确吗？

④计算各分层沉降量 $\Delta S_i = \frac{e_{1i} - e_{2i}}{1 + e_{1i}} H_i$

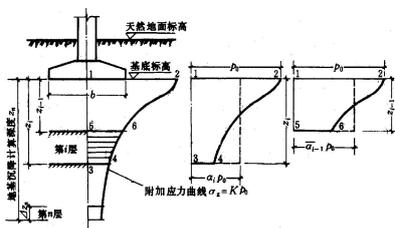
⑤计算基础最终沉降 $S = \sum_{i=1}^n \Delta S_i$

(二) 规范法计算最终沉降量

$$s' = \sum_{i=1}^n \Delta s'_i = \sum_{i=1}^n \frac{e_{1i} - e_{2i}}{1 + e_{1i}} H_i = \sum_{i=1}^n \frac{\bar{\sigma}_{zi}}{E_{si}} H_i$$

$$A_{3456} = A_{1234} - A_{1256}$$

$$= p_0 \bar{\alpha}_i z_i - p_0 \bar{\alpha}_{i-1} z_{i-1}$$



2. 粘性土沉降的三个组成部分

$$S = S_d + S_c + S_s$$

瞬时沉降——只发生剪切变形，其体积还来不及发生变化。

固结沉降——土骨架产生变形所造成的沉降。

次固结沉降——土的骨架随时间发生的蠕变变形。

不同地基土三种沉降所占的比例

3. 土的应力历史对土的压缩性的影响

土的应力历史——指土体在历史上曾经受到过应力状态。

- 土 { 正常固结土
- 超固结土
- 欠固结土

思考题
作业

课后 3 题

序号	第 10 次	授课学时	2 学时	授课班级	土木 17 (1, 2) 班
周次	第 10 周	日期	2019. 10. 16	节次	第 3~4 节
(章节) 题目	第 4 章 地基变形计算 4. 4 太沙基一维固结理论 4. 5 地基沉降与时间关系				
教学目的	1. 掌握饱和土的有效应力原理 2. 掌握饱和土体的一维渗透固结理论 3. 掌握固结度和固结沉降计算的计算方法				
教学重点	饱和土的有效应力原理、一维固结理论				
教学难点	一维固结理论				
教学方法	案例式、启发式、线上线下融合				
课程思政目标与融入点	工程伦理、工匠精神				
信息技术辅助手段	“土力学”新云课堂 https://courses.gdut.edu.cn/course/view.php?id=21				
教学内容及教学过程	<p>第 4 章 地基变形</p> <p>4. 4 地基变形与时间变的关系 了解地基沉降与时间的关系——→以便安排施工顺序, 控制施工速度及采取必要的建筑措施, 以消除沉降可能带来的不利后果。</p> <p>有效应力原理</p> $\sigma = \sigma' + u$ (土层固结过程中的应力如何转换?) <p>饱和粘性土的一维固结理论 太沙基渗透固结模型:</p> <p>整个模型 (饱和土体) $\left\{ \begin{array}{l} \text{弹簧} \rightarrow \text{固体颗粒骨架} \\ \text{水} \rightarrow \text{孔隙水} \\ \text{活塞小孔的大小} \rightarrow \text{土的渗透性} \end{array} \right.$</p> <p>当 $t=0$ 时, $\sigma = u, \sigma' = 0$ 当 $t > 0$ 时, $\sigma = u + \sigma', \sigma' \neq 0$ 当 $t = \infty$ 时, $\sigma = \sigma', u = 0$</p> <p>结论: $\sigma = u + \sigma'$, 饱和土的渗透固结过程就是孔隙水压力向有效力应力转化的过程。在渗透固结过程中, 伴随着孔隙水压力逐渐消散, 有效应力在逐渐增长, 土的体积也就逐渐减小, 强度随着提高。</p> <p>一维固结理论:</p> <p>1. 基本假定</p> <ol style="list-style-type: none"> ①土层是均匀的、完全饱和的; ②土粒和水是不可压缩的; ③水的渗出和水的压缩只沿竖向发生; ④土中水的渗流服从达西定律; ⑤在渗透固结中, 土的渗透系数 k 和压缩系数 a 保持不变; 				

⑥外荷一次瞬时施加。

1. 一维固结微分方程及其解析解

应用原理 $\left\{ \begin{array}{l} \text{水流连续性原理} \\ \text{达西定律} \\ \text{有效应力原理} \end{array} \right.$

主要公式：

$$\text{固结度计算 } u_{z,t} = \frac{4}{\pi} \sigma_z \sum_{m=1}^{m=\infty} \frac{1}{m} \sin \frac{m\pi z}{2H} e^{-\frac{m^2\pi^2}{4} T_v}$$

固结度大于 30% 时：

$$U_t = 1 - \frac{8}{\pi} e^{-\frac{\pi^2}{4} T_v} = f(T_v)$$

$$\textcircled{1} c_v = \frac{k(1 + e_1)}{\alpha \gamma_w}$$

式中： c_v ——固结系数， $m^2/\text{年}$
 e_1 ——渗透固结前土的孔隙比；
 γ_w ——水的重度， $10\text{kN}/m^3$ ；
 α ——土的压缩系数， kPa^{-1}
 k ——土的渗透系数， $m/\text{年}$ 。

提示：土质相同但厚度不同的土， c_v 仍然相同。

$$\textcircled{2} T_v = \frac{c_v}{H^2} t$$

式中 T_v ——时间因数；

H ——待固结土层的排水最长距离， m ，当土层为单排水时， H 等于土层厚度；
 当土层为上下双面排水时， H 为土层厚度的一半；

t ——固结时间，年。

3. 固结度

地基固结度——地基固结过程中任一时刻 t 的固结沉降量 S_{ct} 与其最终固结沉降量 S_c 之比。

$$U_t = \frac{S_{ct}}{S_c}$$

U_t 与 T_v 的关系： $U_t = f(T_v)$ ， $U_t \xleftarrow{\text{根据 } \alpha = \frac{\sigma'_1}{\sigma'_2} \text{ 查 } U_t - T_v \text{ 关系曲线}} T_v \rightarrow$

注意： $U_t - T_v$ 关系曲线是半对数坐标。

$\alpha = \frac{\text{透水面上的压缩应力}}{\text{不透水面上的压缩应力}} = \frac{\sigma'_1}{\sigma'_2}$ ，当地基土层为双面排水时， $\alpha = 1$ 。

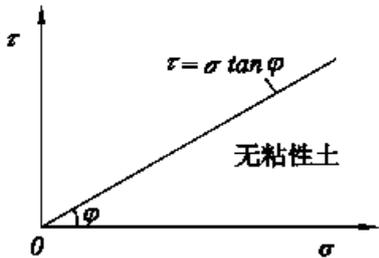
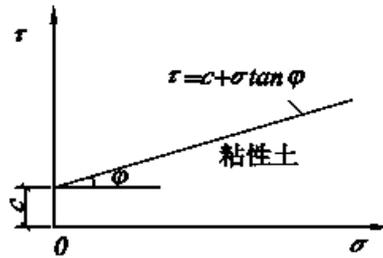
提示：在压缩应力分布及排水条件相同的情况下，两个土质相同（即 c_v 相同）而厚度不同的土层，要达到相同的固结度，其时间因素 T_v 应相等，即

$$T_v = \frac{c_v}{H_1^2} t_1 = \frac{c_v}{H_2^2} t_2 \longrightarrow \frac{t_1}{t_2} = \frac{H_1^2}{H_2^2}$$

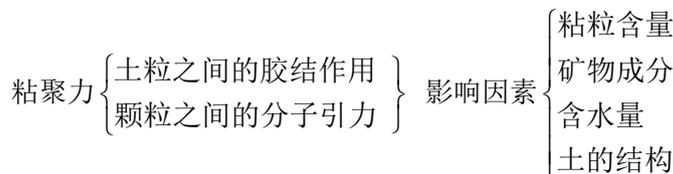
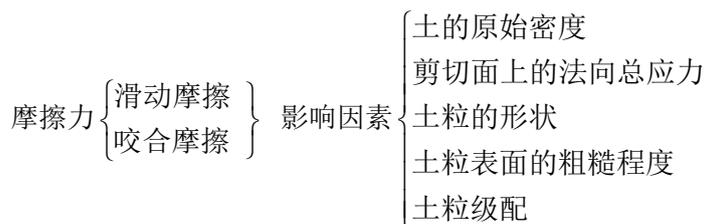
思考题
作业

课后 3 题

《土力学》教案

序号	第 11 次	授课学时	2 学时	授课班级	土木 17 (1, 2) 班
周次	第 7 周	日期	2019.10.23	节次	第 3~4 节
(章节) 题目	第 5 章 土的抗剪强度 5.1 概述 5.2 土的抗剪强度理论				
教学目的	1. 理解土体强度之定义 2. 正确运用库仑定义求土的抗剪强度 3. 熟练借助莫尔应力圆确定土体的应力状态 4. 掌握土的极限平衡条件				
教学重点	莫尔-库仑抗剪强度理论和极限平衡理论				
教学难点	极限平衡理论				
教学方法	案例式、启发式、线上线下融合				
课程思政目标与融入点	工程伦理、工匠精神				
信息技术辅助手段	“土力学”新云课堂 https://courses.gdut.edu.cn/course/view.php?id=21				
教学内容及教学过程	<p>第 5 章土的抗剪强度</p> <p>5.1 概述</p> <p>5.2 土的抗剪强度理论</p> <p>5.2.1 库仑公式及抗剪强度指标</p> <p>库仑 (Coulomb) 根据砂土的剪切试验, 得到抗剪强度的表达式</p> $\tau_f = \sigma \tan \varphi$ <p>粘性土的抗剪强度表达式</p> $\tau_f = \sigma \tan \varphi + c$ <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;">  <p>无粘性土</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>粘性土</p> </div> </div> <p>式中 τ_f —— 土的抗剪强度, kPa; σ —— 剪切面上的法向应力, kPa; φ —— 土的内摩擦角, °; c —— 土的粘聚力, kPa。 c 和 φ 称为土的抗剪强度指标</p> <p>以上两式为著名的抗剪强度定律, 即库仑定律, 如上图。</p> <p>【讨论】: 土的抗剪强度不是一个定值, 而是剪切面上的法向总应力 σ 的线性函数; 对于无粘性土, 其抗剪强度仅仅由粒间的摩擦力 ($\sigma \tan \varphi$) 构成; 对于粘性土, 其抗剪强度由摩擦力 ($\sigma \tan \varphi$) 和粘聚力 (c) 两部分构成。</p>				

土的抗剪强度影响因素:

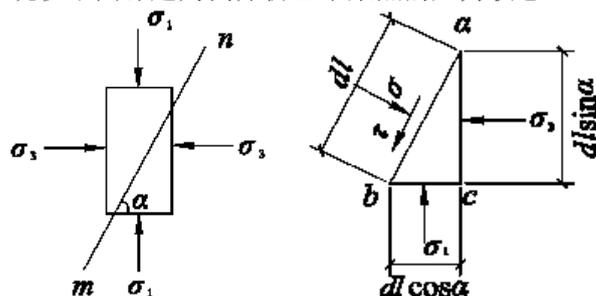


【注意】: c 和 φ 是决定土的抗剪强度的两个重要指标, 对某一土体来说, c 和 φ 并不是常数, c 和 φ 的大小随试验方法、固结程度、土样的排水条件等不同而有较大的差异。

5. 2. 2 土的极限平衡条件

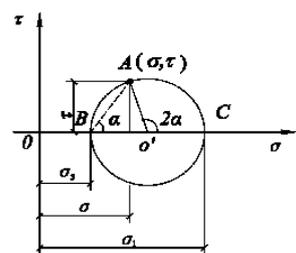
一、土中某点的应力状态

现以平面课题为例分析土中某点的应力状态



设作用在单元体上的大、小主应力分别为 σ_1 和 σ_3 , 在单元体上任取一截面 mn , mn 平面与大主应力 σ_1 作用面成 α 角, 其上作用有剪应力 τ 和法向应力 σ 。

根据楔体 abc 静力平衡条件可得

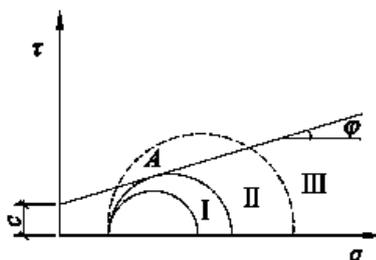


$$\left[\sigma - \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3) \right]^2 + \tau^2 = \left[\frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3) \right]^2$$

这就是莫尔应力圆:
 圆心 O —— $[1/2(\sigma_1 + \sigma_3), 0]$
 半径 —— $1/2(\sigma_1 - \sigma_3)$

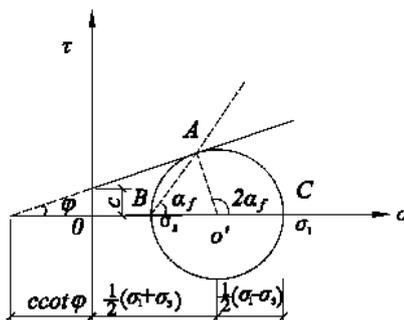
【讨论】: 土中某点的应力状态可用莫尔应力圆描述即莫尔应力圆上每一点都代表一个斜平面, 该面与大主应力作用面的夹角为 α 。

二、土的极限平衡条件



把莫尔应力圆与库仑抗剪强度包线绘于同一坐标系中（如下图），按其相对位置判别某点所处的应力状态。

1. 应力圆 I 与强度包线相离，即 $\tau < \tau_f$ ，该点处于弹性平衡状态。
2. 应力圆 II 与强度包线在 A 点相切，即 $\tau = \tau_f$ ，该点处于极限平衡状态；应力圆 II 称为极限应力圆。



此时，该点处于濒临破坏的极限状态。

3. 应力圆 III 与强度包线相割，即 $\tau > \tau_f$ ，该点处于破坏状态。实际不能绘出。

莫尔-库仑破坏准则：

把莫尔应力圆与库仑强度包线相切的应力状态作为土的破坏准则，即莫尔-库仑破坏准则。

根据土体莫尔-库仑破坏准则，建立某点大、小主应力与抗剪强度指标间的关系。

$$\frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3) = \left[c \cdot \cot \varphi + \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3) \right] \sin \varphi \text{ 得:}$$

$$\sigma_1 = \sigma_3 \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) + 2c \tan \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right)$$

$$\sigma_3 = \sigma_1 \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) - 2c \tan \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$$

【讨论】：上两公式是等价的。

上两公式即为土的极限平衡条件式。对于无粘性土， $c=0$ ，有

$$\sigma_1 = \sigma_3 \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right)$$

$$\sigma_3 = \sigma_1 \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$$

依图可分析出：土处于极限平衡状态时，破坏面与大主应力作用面的夹角为 α_f 为：

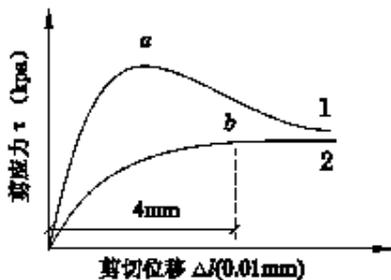
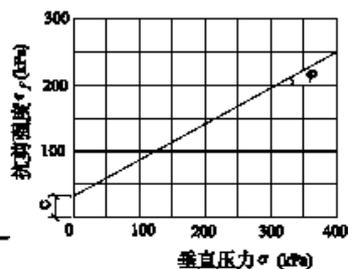
$$\alpha_f = \frac{1}{2}(90^\circ + \varphi) = 45^\circ + \frac{\varphi}{2}$$

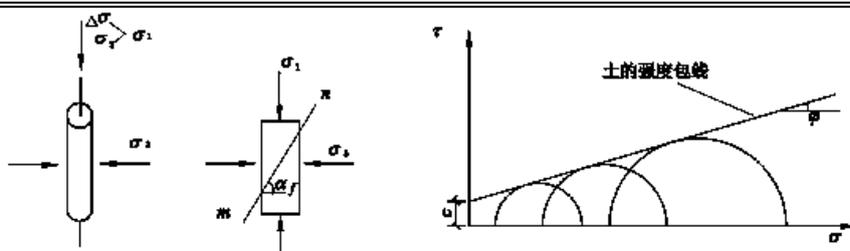
【讨论】：剪破面并不产生于最大剪应力面，而与大主应力作用面成 $45^\circ + \varphi/2$ 的夹角。

思考题
作业

课后 3 题

《土力学》教案

序号	第 12 次	授课学时	2 学时	授课班级	土木 17 (1, 2) 班
周次	第 10 周	日期	2019. 11. 6	节次	第 3~4 节
(章节) 题目	第 5 章土的抗剪强度 5.3 土的抗剪强度测定方法 5.4 三轴试验中的孔隙水压力系数				
教学目的	1. 了解抗剪强度指标的测定方法 2. 掌握抗剪强度指标应用条件 3. 熟悉三轴压缩试验中的孔隙压力系数概念				
教学重点	掌握不同固结和排水条件下土的抗剪强度指标的意义及应用				
教学难点	掌握孔隙压力系数 A、B 的物理意义和计算方法				
教学方法	案例式、启发式、线上线下融合				
课程思政目标与融入点	工程伦理、工匠精神				
信息技术辅助手段	“土力学”新云课堂 https://courses.gdut.edu.cn/course/view.php?id=21				
教学内容及教学过程	第 5 章土的抗剪强度 5.3 土的抗剪强度试验 5.3.2 直剪试验 适用范围：室内测定土的抗剪强度，是最常用和最简便的方法 仪器：直剪仪 直剪仪分类：分应变控制式和应力控制式两种 <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div> <p>剪应力 τ (kPa)</p> <p>剪位移 Δs (0.01mm)</p> <p>抗剪强度 τ_f (kPa)</p> <p>垂直压力 σ (kPa)</p> 5.3.2 三轴试验 试验原理：先对土样施加周围压力，达到所需的 σ_3 ；逐渐施加轴向压力增量 $\Delta\sigma$ ，直至试样剪破。 轴向为大主应力方向，试样剪破面方向与大主应力作用平面的夹角为 α_f ： $\sigma_1 = \sigma_3 + \Delta\sigma, \quad \alpha_f = 45^\circ + \varphi / 2;$ 按试样剪破时的 σ_1 和 σ_3 作极限应力圆，它必与强度包线相切； 三轴试验至少需要 3~4 个土样，分别在不同的周围压力 σ_3 作用下进行剪切，得到 3~4 个不同的破坏应力圆，绘出各应力圆的公切线，由此求得抗剪强度指标 c 、 φ 值。				



三轴试验特点:

- ①能够严格控制试样排水条件, 量测孔隙水压力, 从而获得土中有效应力变化情况;
- ②试样中的应力分布比较均匀;
- ③仪器复杂, 操作技术要求高, 试样制备较麻烦。此外, 试验在 $\sigma_2 = \sigma_3$ 的轴对称条件下进行, 这与土体实际受力情况可能不符。

5.3.3 无侧限抗压强度试验

作出一个极限应力圆, $\sigma_3 = 0, \sigma_1 = q_u$;

【讨论】对于饱和软粘土, 其强度包线近似于一水平线;

$$\varphi_u = 0$$

$$\tau_f = c_u = \frac{q_u}{2}$$

特点: ①仪器构造简单, 操作方便; ②可代替三轴试验测定饱和软粘土的不排水强度。

饱和粘性土的强度与土的结构有关, 当土的结构遭受破坏时, 其强度会迅速降低, 工程上常用灵敏度 S_t 来反映土的结构受扰动对强度的影响程度。

$$S_t = \frac{q_u}{q_u'}$$

式中 q_u —— 原状土的无侧限抗压强度, kPa;

q_u' —— 重塑土 (指在含水量和密度不变的条件下, 使土的天然结构彻底破坏再重新制备的土) 的无侧限抗压强度, kPa。

根据灵敏度可将饱和粘性土分为三类:

- 低灵敏度土 $1 < S_t \leq 2$
- 中灵敏度土 $2 < S_t \leq 4$
- 高灵敏度土 $S_t > 4$

土的灵敏度愈高, 其结构性愈强, 受扰动后土的强度就降低愈多。

5.3.4 十字板剪切试验

适用范围: 现场测定饱和粘性土的不排水强度和灵敏度

仪器: 十字板剪切仪

试验特点: 仪器结构简单、操作方便、扰动少等特点

5.4 三轴压缩试验中的孔隙压力系数

孔隙应力系数B: 当试样在不排水条件下受到各向相等压力增量时, 产生的孔隙应力增量与压力增量之比。

$$B = 1 / [1 + nC_v / C_s] \quad B = \frac{\Delta u_3}{\Delta \sigma_3} \text{ 或 } \Delta u_3 = B \Delta \sigma_3$$

B反映土体在各向相等压力作用下, 孔隙应力变化情况的指标, 也是反映土体饱和程度的指标。

孔隙应力系数A:

定义: 当试样在轴向应力增量 $\Delta \sigma_1$ 作用时, 产生的孔隙水应力为 Δu_1 ,

思考题
作业

课后 3 题

《土力学》教案

序号	第 13 次	授课学时	2 学时	授课班级	土木 17 (1, 2) 班
周次	第 11 周	日期	2019. 11. 13	节次	第 3~4 节
(章节) 题目	第 5 章土的抗剪强度 5.5 土在剪切过程中的性状 5.6 应力路径				
教学目的	1. 熟悉粘性土、无粘性土的抗剪强度特性 2. 理解应力路径概念 3. 土的抗剪强度的主要因素和指标的选择				
教学重点	掌握不同固结和排水条件下土的抗剪强度指标的意义及应用				
教学难点	应力路径				
教学方法	案例式、启发式、线上线下融合				
课程思政目标与融入点	工程伦理、工匠精神				
信息技术辅助手段	“土力学” 新云课堂 https://courses.gdut.edu.cn/course/view.php?id=21				
教学内容及教学过程	<p>第 5 章土的抗剪强度</p> <p>5.5 土在剪切过程中的性状</p> <p>饱和粘性土的抗剪强度</p> <p>一、总应力强度指标和有效应力强度指标</p> $\tau_f = \sigma \tan \varphi + c$ <p>若垂直法向应力 σ 为总应力, 计算出的 c、φ 为总应力意义上的土的粘聚力和内摩擦角, 称之为总应力强度指标。</p> <p>根据土的有效应力原理和固结理论, 抗剪强度取决于剪切面上的法向有效应力</p> $\tau_f = \sigma' \tan \varphi' + c' = (\sigma - u) \tan \varphi' + c'$ <p>式中 c'、φ' ——土的有效应力强度指标。</p> <p>有效应力强度指标确切地表达出了土的抗剪强度的实质, 是比较合理的表达方法。</p> <p>二、不同排水条件时的剪切试验方法及成果表达</p> <p>1. 不固结不排水剪 (UU)</p> <p>三轴试验中: 施加 σ_3、$\Delta\sigma$ 直至剪破的整个过程不允许试样排水固结, 使土样含水量不变, 称为不固结不排水剪 (UU), 简称不排水剪。</p> <p>直剪试验通过试验加荷的快慢来实现是否排水。施加垂直压力之后, 立即施加水平剪力, 并在 3~5min 之内剪破, 称之为快剪 (Q)。</p> <p>如果有一组饱和粘性土试样进行不排水剪试验, 分别在不同 σ_3 下剪切至破坏, 破坏时的主应力差相等, 强度包线是一条水平线。即</p> $\varphi_u = 0$ $\tau_f = c_u = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3)$				

2. 固结不排水剪 (CU)

三轴试验中: 在施加 σ_3 时打开排水阀门, 使试样完全排水固结。然后关闭排水阀门, 再施加 $\Delta\sigma$, 使试样在不排水条件下剪切破坏, 称为固结不排水剪 (CU)。

直剪试验中: 剪前使试样在垂直荷载下充分固结, 剪切时速率较快, 尽量使土样在剪切过程中不再排水, 这种剪切方法为称固结快剪 (CQ)。

将总应力圆在水平轴上左移 u_f 即得有效应力圆, 如图。总应力强度线可表示为:

$$\tau_f = \sigma \tan \varphi_{cu} + c_{cu}$$

有效应力强度线可表达为:

$$\tau_f = \sigma' \tan \varphi' + c'$$

3. 固结排水剪 (CD)

三轴试验中: 使试样在 σ_3 作用下排水固结, 再缓慢施加轴向压力增量 $\Delta\sigma$, 直至剪破, 始终保持试样的孔隙水压力为零, 称为固结排水剪 (CD), 简称排水剪。

直剪试验中: 施加垂直压力 σ 后待试样固结稳定, 再以缓慢的速率施加水平剪力, 直至剪破, 即整个试验过程中尽量使土样排水。该试验方法称为慢剪 (S)。

排水剪试验, 总应力圆就是有效应力圆, 总应力强度线就是有效应力强度线。

$$\tau_f = \sigma \tan \varphi_d + c_d$$

剪切试验成果表达

直接剪切		三轴剪切	
试验方法	成果表达	试验方法	成果表达
快剪	c_q, φ_q	不排水剪	c_u, φ_u
固结快剪	c_{cq}, φ_{cq}	固结不排水剪	c_{cu}, φ_{cu}
慢剪	c_s, φ_s	排水剪	c_d, φ_d

【讨论】对于同一种土, 分别在 UU、CU 或 CD 三种不同的排水条件下进行试验, 如果以总应力表示, 将得到完全不同的试验结果; 但无论何种排水条件, 都可获得相同的 c' 、 φ' , 它们不随试验方法而变。

三、抗剪强度指标的选用

首先根据工程问题的性质确定分析方法, 进而决定采用总应力强度指标或有效应力强度指标, 然后选择测试方法:

【工程经验】

若建筑物施工速度较快, 而地基土的透水性和排水条件不良时, 可采用不排水剪和快剪强度指标;

如果地基加荷速率较慢, 地基土的透水性好 (如低塑性的粘性土) 以及排水条件又较佳时 (如粘性土层中夹砂层), 则采用排水剪或慢剪强度指标;

如果介于以上两种情况之间, 或建筑物竣工以后较久荷载又突然增加, 则采用固结不排水剪或固结快剪强度指标。

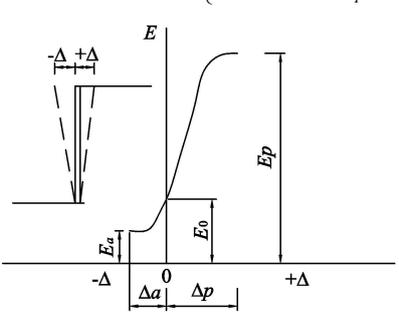
应力路径在强度问题中的应用

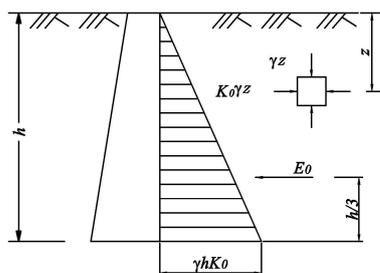
无粘性土的抗剪强

思考题
作业

课后 3 题

《土力学》教案

序号	第 14 次	授课学时	2 学时	授课班级	土木 17 (1, 2) 班
周次	第 12 周	日期	2019. 11. 20	节次	第 3~4 节
(章节) 题目	第 6 章 土压力 6.1 作用在挡土墙侧的土压力 6.2 朗肯土压力理论				
教学目的	1. 掌握三种土压力形成条件和大小关系 2. 静止土压力计算 3. 掌握朗金土压力 (主动、被动) 理论及计算方法				
教学重点	朗金土压力 (主动、被动) 理论及计算方法				
教学难点	朗金土压力 (主动、被动) 理论及计算方法。				
教学方法	案例式、启发式、线上线下融合				
课程思政目标与融入点	工程伦理、工匠精神				
信息技术辅助手段	“土力学”新云课堂 https://courses.gdut.edu.cn/course/view.php?id=21				
教学内容及教学过程	<p>第 6 章 土压力</p> <p>6.1 挡土墙侧的土压力</p> <p style="text-align: center;">一、土压力的类型</p> <p>土压力 (kN/m) $\left\{ \begin{array}{l} \text{静止土压力 } E_0 \Rightarrow \text{墙不动} \rightarrow \text{如地下室侧墙} \\ \text{主动土压力 } E_a \Rightarrow \text{土推墙} \rightarrow \text{如一般的重力式挡土墙} \\ \text{被动土压力 } E_p \Rightarrow \text{墙推土} \rightarrow \text{如桥墩} \end{array} \right.$</p>  <p>1. 静止土压力——挡土墙在土压力作用下不发生任何变形和位移 (移动或转动) 墙后填土处于弹性平衡状态, 作用在挡土墙背的土压力。 简化处理——作用在挡土结构物背面上的静止土压力可视为天然土层自重应力的水平分量。 如图所示, 在墙后填土体中任意深度 z 处取一微小单元体, 作用于单元体水平面上的应力为 γz, 则该点的静止土压力, 即侧压力强度为:</p> $p_0 = K_0 \gamma z \text{ (kPa)}$				



K_0 ——土的侧压力系数，即静止土压力系数：

静止土压力系数的确定方法 $\left\{ \begin{array}{l} \text{通过侧限条件下的试验测定 —— 较可靠} \\ \text{采用经验公式： } K_0 = 1 - \sin \varphi' \text{ —— 较适合于砂土} \\ \text{采用经验值} \end{array} \right.$

由上式可知，静止土压力沿墙高为三角形分布，如图所示，取单位墙长计算，则作用在墙上的静止土压力为（由土压力强度沿墙高积分得到）

$$E_0 = \frac{1}{2} \gamma h^2 K_0 \text{ (kN/m)} \text{ —— 静止土压力分布图面积}$$

如图所示土压力作用点——距墙底 $h/3$ 处（可用静力等效原理求得）

静止土压力的应用 $\left\{ \begin{array}{l} \text{地下室外墙} \\ \text{岩基上的挡土墙} \\ \text{拱座（没有位移）} \\ \text{水闸、船闸边墙（与闸底板连成整体）} \\ \text{隧道涵洞侧墙} \end{array} \right.$

2. 主动土压力——挡土墙在土压力作用下离开土体向前位移时，土压力随之减少。当位移至一定数值时，墙后土体达到主动极限平衡状态。此时，作用在墙背的土压力称为主动土压力。

3. 被动土压力——挡土墙在外力作用下推挤土体向后位移时，作用在墙上的土压力随之增加。当位移至一定数值时，墙后土体达到被动极限平衡状态。此时，作用在墙上的土压力称为被动土压力。

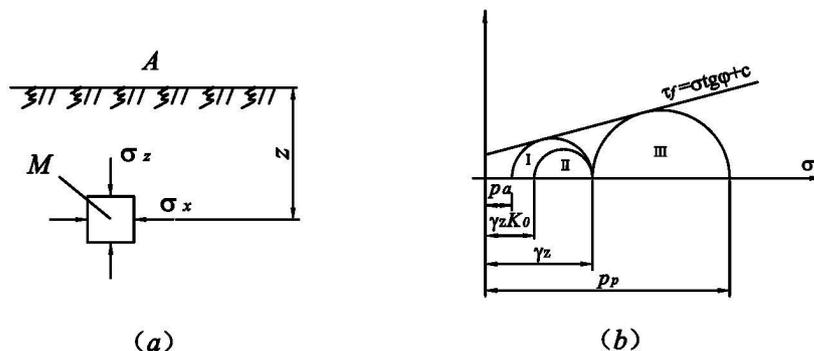
【讨论】 $\Delta a \ll \Delta p$, $E_a \ll E_0 \ll E_p$

6.2 朗肯土压力理论

朗肯理论根据——半空间土体处于极限平衡状态下的大小主应力之间的关系。

朗肯理论前提（假设） $\left\{ \begin{array}{l} \text{墙为刚体} \\ \text{墙背垂直} \\ \text{墙背光滑} \\ \text{墙后填土水平} \end{array} \right. \left. \begin{array}{l} \text{水平面与垂直面上的正应力为大小主应力。} \end{array} \right.$

一、主动土压力



公式推导:

①墙未开始位移前, 墙后土体处于弹性平衡状态 (如图)。此时土体应力状态为:

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \gamma z \quad \sigma_3 = \sigma_x = K_0 \gamma z$$

在静止状态下的莫尔应力圆如图中圆 I。

②挡土墙在土压力作用下产生背离土体的位移。此时土体应力状态为:

竖向应力不变 $\sigma_1 = \sigma_2 = \gamma z$ 、水平应力减少 $\sigma_3 = \sigma_x < K_0 \gamma z$

③当挡土墙位移达到 Δ_a (朗肯主动极限平衡状态) 时, 此时土体应力状态为: 竖向应力不变 $\sigma_1 = \sigma_2 = \gamma z$ 、水平应力 $\sigma_3 = \sigma_x = p_a$

在主动极限平衡状态下的应力圆如图 II。

④利用土体极限平衡条件式 $\sigma_3 = \sigma_1 \tan^2(45^\circ - \frac{\phi}{2}) - 2c \tan(45^\circ - \frac{\phi}{2})$ 可得:

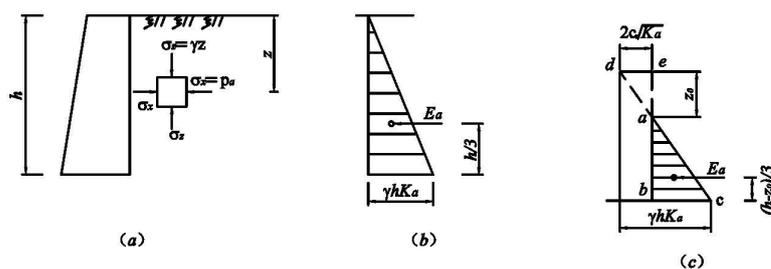
$$p_a = \sigma_3 = \sigma_1 \tan^2(45^\circ - \frac{\phi}{2}) - 2c \tan(45^\circ - \frac{\phi}{2})$$

在图示条件下 $p_a = \gamma z \tan^2(45^\circ - \frac{\phi}{2}) - 2c \tan(45^\circ - \frac{\phi}{2})$, kPa

令 $K_a = \tan^2(45^\circ - \frac{\phi}{2})$, 则有粘性土主动土压力强度公式: $p_a = \gamma z K_a - 2c \sqrt{K_a}$, 其

分布如图所示。由此可见, 粘性土的主动土压力强度由土重引起的对墙的压力和由粘聚力引起的对墙的“拉力”两部分组成。

无粘性土土压力强度公式: $p_a = \gamma z K_a$, 因为 $c=0$, 其分布如图所示。



⑤利用土压力分布图可得主动土压力公式:

无粘性土: $E_a = \frac{1}{2} \gamma h^2 K_a$, kN/m。——分布图面积, 作用点: $h/3$

粘性土: $E_a = \frac{1}{2} (\gamma z K_a - 2c \sqrt{K_a}) (h - z_0)$, kN/m。——分布图面积,

作用点: $(h - z_0) / 3$, 临界深度 $z_0 = \frac{2c}{\gamma \sqrt{K_a}}$ 。(临界深度 z_0 ——墙与土体之间的

裂深度。)——由粘聚力引起的对墙的“拉”力是一种脱离墙体的力, 由于结构物与土之间的抗拉强度很低, 在拉力作用下极容易开裂, 因此“拉”力是一种不可靠的力, 因

此在设计挡土墙时不应计算在内。

【讨论】如果将此“拉”力计算在内，土压力是增加还是减少？计算结果是否偏于安全？

二、被动土压力

——由于出现被动土压力所相应的位移量相当大，以至于在许多结构设计中不容许采用由极限平衡条件导出的被动土压力计算公式，所以只作粗略介绍。

粘性土： $p_p = \gamma z K_p + 2c\sqrt{K_p}$ ， $K_p = \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2})$ ， $E_p = \frac{1}{2}\gamma h^2 K_p + 2ch\sqrt{K_p}$

无粘性土： $p_p = \gamma z K_p$ ， $K_p = \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2})$ ， $E_p = \frac{1}{2}\gamma h^2 K_p$

【例题先自习后讲解】

【例 6-1】 有一挡土墙，高 6m，墙背直立、光滑，墙后土体水平。土体为粘性土，其重度 $\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$ ，内摩擦角 $\varphi = 20^\circ$ ，粘聚力 $c = 8 \text{ kPa}$ ，试求主动土压力及其作用点，并绘出主动土压力分布图。

解题思路：

- ① 计算主动土压力系数 $K_a = \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2})$ ；
- ② 计算临界深度 $z_0 = \frac{2c}{\gamma\sqrt{K_a}}$ ；
- ③ 计算墙底处的土压力强度 $p_a = \gamma h K_a - 2c\sqrt{K_a}$ ；
- ④ 绘制主动土压力分布图；
- ⑤ 计算主动土压力（即计算分布图面积）及其作用点。

思考题
作业

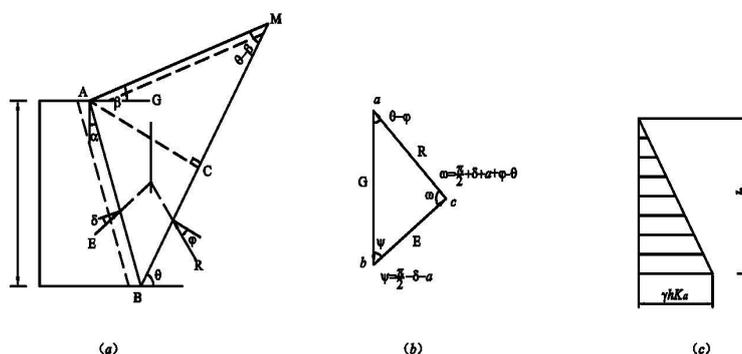
课后 3 题

《土力学》教案

序号	第 15 次	授课学时	2 学时	授课班级	土木 17 (1, 2) 班
周次	第 13 周	日期	2019. 11. 27	节次	第 3~4 节
(章节) 题目	第 6 章 土压力 6.3 库仑土压力理论 6.4 土压力计算的讨论				
教学目的	1. 掌握库仑土压力理论基本原理, 主、被动土压力计算方法 2. 掌握两种土压力理论计算方法的比较				
教学重点	库仑土压力理论适用范围、基本假设, 主、被动土压力计算				
教学难点	1. 库仑土压力理论 2. 两种土压力的应用条件和计算误差				
教学方法	任务驱动法、启发式、线上线下融合				
课程思政目标与融入点	工程伦理、工匠精神, 优秀人物法				
信息技术辅助手段	“土力学”新云课堂 https://courses.gdut.edu.cn/course/view.php?id=21				

6.3 库仑土压力理论

6.3.1 库仑主动土压力



教学内容及教学过程

库仑理论的基本假设

- ┌ 墙后填土是理想的散粒体 ($c=0$)
- ├ 滑动破坏面为通过墙踵的平面
- └ 滑动土楔为一刚塑性体, 即本身无变形

假定墙后土体处于极限平衡状态并形成一滑动楔体, 然后从楔体静力平衡条件导出土压力计算方法。如图所示: 作用于土楔 ABM 上的力有:

1. 土楔重力 $G = \gamma \Delta ABM = \frac{1}{2} \gamma \overline{AB} \cdot \overline{AC} = \frac{1}{2} \gamma h^2 \frac{\cos(\alpha - \beta) \cos(\theta - \alpha)}{\cos^2 \alpha \sin(\theta - \beta)}$

2. 滑裂面 \overline{BM} 上的反力 R ——大小未知, 方向与滑裂面 \overline{BM} 的法线逆时针成 φ 角, 即位于 \overline{BM} 法线的下测。

3. 墙背对土楔体的反力 E ——与墙背的法线成 δ 角。当土楔下滑时, 墙对土楔的阻力是向上的, 故反力 E 必在 \overline{AB} 法线的下侧。

土楔体 ABM 在以上三力作用下处于静力平衡状态, 因此, 三力必形成一个闭合的力的三角形, 由正弦定律可得

$$E = G \frac{\sin(\theta - \varphi)}{\sin[180^\circ - (\theta - \varphi + \psi)]} = G \frac{\sin(\theta - \varphi)}{\sin(\theta - \varphi + \psi)}$$

将G的表达式代入上式得

$$E = \frac{1}{2} \gamma h^2 \frac{\cos(\alpha - \beta) \cos(\theta - \alpha) \sin(\theta - \varphi)}{\cos^2 \alpha \sin(\theta - \beta) \sin(\theta - \beta) \sin(\theta - \varphi + \psi)}$$

在此, E是θ 的函数, 令 $\frac{dE}{d\theta} = 0$

可得

$$E = \frac{1}{2} \gamma h^2 \frac{\cos^2(\varphi - \alpha)}{\cos^2 \alpha \cos(\alpha + \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - \beta)}{\cos(\alpha + \delta) \cos(\alpha - \beta)}} \right]^2}$$

令

$$K_a = \frac{\cos^2(\varphi - \alpha)}{\cos^2 \alpha \cos(\alpha + \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - \beta)}{\cos(\alpha + \delta) \cos(\alpha - \beta)}} \right]^2}$$

则

$$E_a = \frac{1}{2} \gamma h^2 K_a, \quad K_a \text{——库仑主动土压力系数, 可查表。}$$

由上式可知, 主动土压力 E_a 与墙高的平方成正比, 为求得离墙顶为任意深度z处的主动土压力强度 p_a , 可将 E_a 对z求导数而得, 即

$$p_a = \frac{dE_a}{dz} = \frac{d}{dz} \left(\frac{1}{2} \gamma z^2 K_a \right) = \gamma z K_a$$

结论: 主动土压力强度沿墙高成三角形分布。主动土压力的合力作用点在离墙底 $h/3$ 处, 方向与墙背法线顺时针成 δ 角, 与水平面成 $(\alpha + \delta)$ 角。

6.3.2 被动土压力

当墙受外力作用挤压土体, 直至土体沿着某一破坏面BC破坏时, 土楔ABC向上滑动, 并处于被动极限平衡状态。与计算主动土压力的原理相同, 可求得被动土压力的库仑公式为:

$$E_p = \frac{1}{2} \gamma H^2 \frac{\cos^2(\varphi + \varepsilon)}{\cos^2 \varepsilon \cos(\varepsilon - \delta) \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi + \beta)}{\cos(\varepsilon - \delta) \cos(\varepsilon - \beta)}} \right]} = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_p$$

式中: K_p —被动土压力系数, 表达为:

$$K_p = \frac{\cos^2(\varphi + \varepsilon)}{\cos^2 \varepsilon \cos(\varepsilon - \delta) \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi + \beta)}{\cos(\varepsilon - \delta) \cos(\varepsilon - \beta)}} \right]}$$

6.3.3 库伦土压力理论与朗肯理论的比较

当墙背垂直 $(\alpha=0)$ 、光滑 $(\delta=0)$ 、填土面水平 $(\beta=0)$ 时,

$$E = \frac{1}{2} \gamma h^2 \frac{\cos(\alpha - \beta) \cos(\theta - \alpha) \sin(\theta - \varphi)}{\cos^2 \alpha \sin(\theta - \beta) \sin(\theta - \beta) \sin(\theta - \varphi + \psi)} = \frac{1}{2} \gamma h^2 \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$$

可见，在上述条件下，库仑公式和朗肯公式相同

6.4. 土压力计算讨论

1 分析原理

相同点：朗肯理论和库仑理论都是计算墙后填土达到极限平衡状态时的土压力，发生这种状态的土压力都必须要求挡土墙的位移足以使墙后填土的剪应力达到抗剪强度，这是二者的相同点。

不同点：朗肯理论是根据土体中各点都处于极限平衡状态时的应力条件，直接求得墙背上各点的土压力强度分布，再由土压力强度求得总的土压力的一种分析方法，属于极限应力法；而库仑理论是根据墙背与滑动面之间的土楔整体处于平衡状态时的静力平衡条件，求得墙背上的总土压力，再根据总土压力求得土压力强度的一种分析方法，属于滑动楔体法。

2 应用条件

墙背条件：

填土条件：

3 计算结果误差

朗肯理论假设墙背光滑（ $\delta = 0$ ），计算得到的主动土压力比库仑理论算得的偏大。但适用于悬臂式、扶壁式或 L 型的挡土墙。此外用来计算被动土压力误差较小。库仑理论考虑了墙背与填土间的摩擦作用，但把土体中的滑裂面假设为平面，这与实际情况不符，使得用库仑理论求得的主动土压力偏小，而被动土压力偏大。对于被动土压力的计算，当 δ 和 φ 都比较大时，库仑理论的解误差过大，不适宜应用。

思考题
作业

思考题：4 题
作业： 课后 3 题

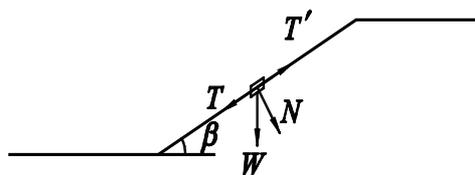
《土力学》教案

序号	第 16 次	授课学时	2 学时	授课班级	土木 17 (1, 2) 班
周次	第 14 周	日期	2019. 12. 4	节次	第 3~4 节
(章节) 题目	6.4 土压力计算的讨论 6.5 挡土墙设计				
教学目的	1. 两种土压力计算的计算方法和适应条件 2. 挡土墙设计				
教学重点	挡土墙设计				
教学难点	挡土墙设计				
教学方法	案例式、启发式、线上线下融合				
课程思政目标与融入点	工程伦理、工匠精神				
信息技术辅助手段	“土力学”新云课堂 https://courses.gdut.edu.cn/course/view.php?id=21				
教学内容及教学过程	<p>6.4. 土压力计算讨论</p> <p>1 分析原理</p> <p>朗肯理论和库仑理论都是计算墙后填土达到极限平衡状态时的土压力,发生这种状态的土压力都必须要求挡土墙的位移足以使墙后填土的剪应力达到抗剪强度,这是二者的相同点。属于滑动楔体法。</p> <p>2 应用条件</p> <p>墙背条件:</p> <p>填土条件:</p> <p>3 计算结果误差</p> <p>朗肯理论假设墙背光滑 ($\delta = 0$), 计算得到的主动土压力比库仑理论算得的偏大。但适用于悬臂式、扶壁式或 L 型的挡土墙。此外用来计算被动土压力误差较小。库仑理论考虑了墙背与填土间的摩擦作用, 但把土体中的滑裂面假设为平面, 这与实际情况不符, 使得用库仑理论求得的主动土压力偏小, 而被动土压力偏大。对于被动土压力的计算, 当 δ 和 φ 都比较大时, 库仑理论的解误差过大, 不适宜应用。</p> <p>6.5 挡土墙设计</p> <p>6.5.1 挡土墙的类型与选择</p> <p>挡土墙有很多种型式, 工程上常见的有重力式、悬臂式、扶壁式、面板式、加筋土挡土墙和土钉墙等。挡土墙形式不同, 其应用条件也不一样, 实际工程中选用挡土墙型式时, 需综合考虑工程地质、水文条件、地形条件、环境条件、作用荷载、施工条件和造价等因素。</p> <p>1. 重力式挡土墙</p> <p>2. 悬臂式挡土墙</p> <p>3. 扶壁式挡土墙</p> <p>4. 板桩式挡土墙</p> <p>5. 锚定式挡土墙</p>				

	<p>6 加筋土挡土墙</p> <p>6.5.2 重力式挡土墙的构造</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 重力式挡土墙的断面尺寸 2 沉降缝 3 排水措施 <p>6.5.3 重力式挡土墙稳定性验算</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 挡土墙抗滑动稳定性验算 <p>在土压力作用下，挡土墙可能沿着基础底面发生滑动，因此要求挡土墙要有抗滑动能力。抗滑动稳定性是用抵抗滑动的力（抗滑力）与引起滑动的力（滑动力）的比值，即抗滑动稳定安全系数用 K_s 来表示。K_s 越大，安全性越高，反之，安全性越低。由图 6.37 可知，抗滑稳定性按下式进行计算：</p> $K_s = \frac{\sum V \cdot \mu}{\sum H} = \frac{(W + E_{aV})\mu}{E_{aH} - E_b}$ 2 挡土墙抗倾覆稳定性验算 $K_t = \frac{\sum M_V}{\sum M_0} = \frac{W \cdot e_1 + E_{aV} \cdot e_2 + E_b \cdot Z_2}{E_{aH} \cdot Z_1}$
<p>思考题 作业</p>	<p>课后 3 题</p>

《土力学》教案

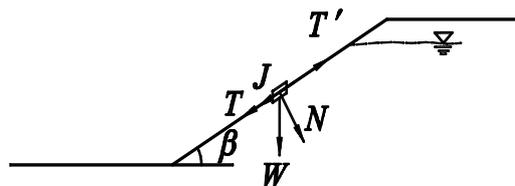
序号	第 17 次	授课学时	2 学时	授课班级	土木 17 (1, 2) 班
周次	第 15 周	日期	2019.12.11	节次	第 3~4 节
(章节) 题目	第 7 章 土坡和地基的稳定性 7.1 概述 7.2 无黏性土坡的稳定性				
教学目的	1. 了解土坡稳定在工程中的重要性和土坡基本概念。要求学生了解土坡滑动失稳原因 2. 掌握无粘性土土坡的稳定性分析法				
教学重点	一般情况下的无粘性土土坡				
教学难点	有渗流作用时的无粘性土土坡				
教学方法	案例式、启发式、线上线下融合				
课程思政目标与融入点	工程伦理、工匠精神				
信息技术辅助手段	“土力学”新云课堂 https://courses.gdut.edu.cn/course/view.php?id=21				
教学内容及教学过程	<p>第 8 章 土坡和地基的稳定性</p> <p>7.1 概述</p> <p>7.2 无粘性土坡的稳定性</p> <p>天然土坡：由于地质作用而自然形成的土坡。</p> <p>人工土坡：人们在修建各种工程时，在天然土体中开挖或填筑而成的土坡。</p> <p>滑坡：土坡丧失其原有稳定性，一部分土体相对另一部分土体滑动的现象。</p> <p>分析土坡稳定性的目的：验算土坡的断面是否稳定合理，或根据土坡预定高度、土的性质等已知条件，设计出合理的土坡断面。</p> <p>简单土坡：土坡的坡顶和底面都是水平面，并伸至无穷远，土坡由均质土组成。</p> <p>(一) 一般情况下的无粘性土土坡</p> <p>条件：均质的无粘性土土坡，干燥或完全浸水，土粒间无粘结力</p> <p>分析方法：只要位于坡面上的土单元体能够保持稳定，则整个坡面就是稳定的。</p> <p>滑动力：$T = W \sin \beta$</p> <p>垂直于坡面上的分力：$N = W \cos \beta$</p> <p>最大静摩擦力：$T' = N \tan \varphi = W \cos \beta \tan \varphi$</p> <p>抗滑力与滑动力的比值称为稳定安全系数 K,</p> $K = \frac{T'}{T} = \frac{W \cos \beta \tan \varphi}{W \sin \beta} = \frac{\tan \varphi}{\tan \beta}$				



当 $\beta = \varphi$ 时, $K=1$, 土坡处于极限平衡状态。砂土的内摩擦角也称为自然休止角。
 当 $\beta < \varphi$, 即 $K > 1$, 土坡就是稳定的。可取 $K = 1.1 \sim 1.5$ 。

【讨论】无粘性土土坡的稳定性与坡高无关, 仅取决于坡角 β 。

(二) 有渗流作用时的无粘性土土坡



分析方法:

若渗流为顺坡流出, 则渗流方向与坡面平行, 此时使土体下滑的剪切力为

$$T + J = W \sin \beta + J$$

稳定安全系数为

$$F_s = \frac{T_f}{T + J} = \frac{W \cos \beta \tan \varphi}{W \sin \beta + J}$$

对单位土体, 土体自重 $W = \gamma' V$, 渗透力 $J = \gamma_w i V$, 水力坡降 $i = \sin \beta$, 于是

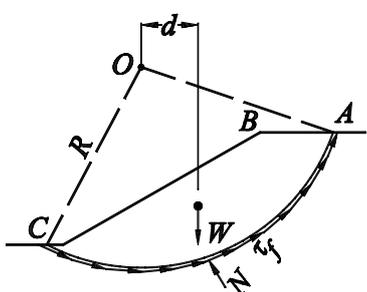
$$F_s = \frac{\gamma' \cos \beta \tan \varphi}{\gamma' \sin \beta + \gamma_w \sin \beta} = \frac{\gamma' \tan \varphi}{\gamma_{sat} \tan \beta}$$

【讨论】当坡面有顺坡渗流作用时, 无粘性土土坡的稳定安全系数将近乎降低一半。

思考题
作业

课后 3 题

《土力学》教案

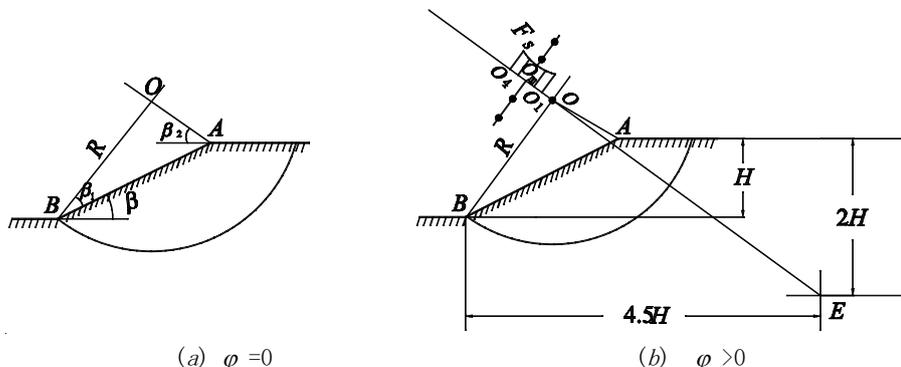
序号	第 18 次	授课学时	2 学时	授课班级	土木 17 (1, 2) 班
周次	第 16 周	日期	2019. 12. 18	节次	第 3~4 节
(章节) 题目	第 7 章 土坡和地基的稳定性 7. 3 黏性土坡的稳定性 7. 3. 1 整体圆弧滑动法 7. 3. 2 瑞典条分法 7. 3. 3 毕肖普条分法				
教学目的	1. 掌握土坡圆弧滑动体整体稳定分析和条分法分析土坡稳定的方法。 2. 熟悉毕肖普条分法原理和方法				
教学重点	1. 土坡圆弧滑动体整体稳定分析 2. 毕肖普条分法原理和方法				
教学难点	毕肖普条分法原理和方法				
教学方法	案例式、启发式、线上线下融合				
课程思政目标与融入点	工程伦理、工匠精神				
信息技术辅助手段	“土力学”新云课堂 https://courses.gdut.edu.cn/course/view.php?id=21				
教学内容及教学过程	<p>7. 3 粘性土坡的稳定性</p> <p>7. 3. 1 整体圆弧滑动法</p> <p>条件与假定：均质粘性土土坡，假定滑动面为圆柱面，截面为圆弧，将滑动面以上土体看作刚体，并以它为脱离体，分析在极限平衡条件下其上各种作用力。</p> <p>安全系数 F_s 定义为滑动面上的最大抗滑力矩与滑动力矩之比，则</p> $F_s = \frac{M_f}{M} = \frac{\tau_f \widehat{L} R}{\tau \widehat{L} R} = \frac{\tau_f \widehat{L} R}{W d}$ <p>式中：M_f——滑动面上的最大抗滑力矩；M——滑动力矩；\widehat{L}——滑弧长度；d——土体重心离滑弧圆心的水平距离。</p>  <p>对于饱和粘土来说，在不排水剪条件下，φ_u 等于零，τ_f 就等于 c_u。上式可写成</p> $F_s = \frac{c_u \widehat{L} R}{W d}$ <p>这时，滑动面上的抗剪强度为常数，利用式 (8-3) 可直接进行安全系数计算。这种稳定分析方法通常称为 φ_u 等于零分析法。</p>				

上述方法首先由瑞典彼得森 (Petterson) 1915 年首先提出, 故称瑞典圆弧法。
最危险滑动面圆心的经验计算方法:

对于均质粘性土土坡, 其最危险滑动面通过坡脚;

当 φ 等于零时, 其圆心位置可由图中 AO 与 BO 两线的交点确定, 图中 β_1 及 β_2 的值可根据坡脚 β 由表查出;

当 φ 大于零时, 其圆心位置可能在图中 EO 的延长线上, 自 O 点向外取圆心 O_1 、 O_2 ……, 分别作滑弧, 并求出相应的抗滑安全系数 F_{s1} 、 F_{s2} ……, 然后找出最小值 F_{smin} 。



对于非均质土坡, 或坡面形状及荷载情况都比较复杂, 尚需自 O_n 作 OE 线的垂直线, 在其上再取若干点作为圆心进行计算比较, 找出最危险滑动面圆心和土坡稳定安全系数。

7.3.2 瑞典条分法

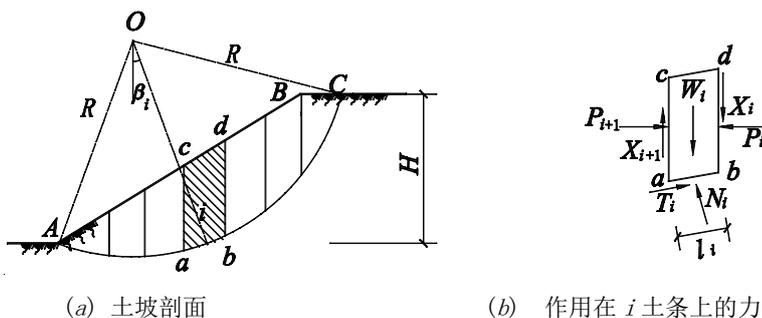
适用范围: 外形比较复杂, $\varphi > 0$ 的粘性土土坡, 特别是土由多层土组成。

条分法: 将滑动土体分为若干垂直土条, 求各土条对滑弧圆心的抗滑力矩和滑动力矩,

然后求该土坡的稳定安全系数。

具体计算步骤如下:

1. 按比例绘出土坡剖面[图(a)];



2. 任选一圆心 O , 以 \overline{OA} 为半径作圆弧, AC 为滑动面, 将滑动面以上土体分成几个等宽 (不等宽亦可) 土条;

3. 计算每个土条的力 (以第 i 土条为例进行分析);

第 i 条上作用力有 (纵向取 1m):

自重 W_i ;

法向反力 N_i 和剪切力 T_i ;

土条侧面 ac 和 bd 上的法向力 P_i 、 P_{i+1} 和剪力 X_i 、 X_{i+1} 。为简化计算, 设 P_i 、 X_i 的合力与 P_{i+1} 、 X_{i+1} 的合力相平衡。

根据土条静力平衡条件列出

$$N_i = W_i \cos \beta_i$$

	<p style="text-align: center;">$T_i = W_i \sin \beta_i$</p> <p>滑动面 \overline{ab} 上应力分别为</p> $\sigma_i = \frac{N_i}{l_i} = \frac{1}{l_i} W_i \cos \beta_i$ $\tau_i = \frac{T_i}{l_i} = \frac{1}{l_i} W_i \sin \beta_i$ <p>4. 滑动面 AB 上的总滑动力矩 (对滑动圆心) 为</p> $TR = R \sum T_i = R \sum W_i \sin \beta_i$ <p>5. 滑动面 AB 上的总抗滑力矩 (对滑动圆心) 为:</p> $T'R = R \sum \tau_i l_i = R \sum (\sigma_i \operatorname{tg} \varphi_i + c_i) l_i$ $= R \sum (W_i \cos \beta_i \operatorname{tg} \varphi_i + c_i l_i)$ <p>6. 确定安全系数 K。总抗滑力矩与总滑动力矩的比值称为稳定安全系数 K</p> $K = \frac{T'R}{TR} = \frac{\sum (W_i \cos \beta_i \operatorname{tg} \varphi_i + c_i l_i)}{\sum W_i \sin \beta_i}$ <p>注意: 地下水位以下用有效重度; 土的粘聚力 c 和内摩擦角 φ 应按滑弧所通过的土层采取不同的指标。</p> <p>泰勒图表法:</p> <p style="text-align: center;">影响土坡的稳定性指标 $\left\{ \begin{array}{l} \text{抗剪强度指标 } c \text{ 和 } \varphi \\ \text{土体重度 } \gamma \\ \text{土坡的尺寸、坡角 } \beta \text{ 和坡高 } H \end{array} \right.$</p> <p>稳定数: 将三个参数 c、γ 和 H 合并为一个新的无量纲参数 N_s, 称为稳定数。</p> $N_s = \frac{\gamma H_{cr}}{c}$ <p>式中:</p> <p>H_{cr} —— 土坡的临界高度或极限高度。</p> <p>按不同的 φ 绘出 β 与 N_s 的关系曲线。</p> <p>采用泰勒图表法可以解决简单土坡稳定分析中的下述问题:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 已知坡角 β 及土的性质指标 c、φ、γ, 求稳定的坡高 H; 2. 已知坡高 H 及土的性质指标 c、φ、γ, 求稳定的坡角 β; 3. 已知坡角 β、坡高 H 及土的性质指标 c、φ、γ, 求稳定安全系数 K。 <p>土坡稳定安全系数 K 的表达形式如下:</p> $K = \frac{H_{cr}}{H}$ <p>泰勒图表法应用范围: 均质的、坡高在 10m 以内的土坡, 也可用于较复杂情况的初步估算</p>
<p>思考题 作业</p>	<p>课后 3 题</p>

《土力学》教案

序号	第 19 次	授课学时	2 学时	授课班级	土木 17 (1, 2) 班
周次	第 17 周	日期	2019. 12. 25	节次	第 3~4 节
(章节) 题目	第 8 章 地基承载力 8.1 概述 8.2 浅基础的地基破坏模式 8.3 地基临界荷载				
教学目的	1. 结合工程实际了解地基承载力的重要性。 2. 了解地基的破坏型式。 3. 掌握临塑荷载和临界荷载的概念和计算方法。				
教学重点	临塑荷载和临界荷载的确定方法				
教学难点	土临塑荷载的确定方法				
教学方法	案例式、启发式、线上线下融合				
课程思政目标 与融入点	工程伦理、工匠精神				
信息技术辅助手段	“土力学”新云课堂 https://courses.gdut.edu.cn/course/view.php?id=21				
教学内容 及教学过程	7.1 概述 7.2 浅基础的地基破坏模式 7.2.1、三种破坏类型 7.2.2 破坏模式的影响因素 7.3 地基临界荷载 7.3.1 地基塑性区边界方程 7.3.2 地基临塑荷载和临界荷载				
思考题 作业	课后 3 题				

《土力学》教案

序号	第 20 次	授课学时	2 学时	授课班级	土木 17 (1, 2) 班
周次	第 18 周	日期	2019. 1. 1	节次	第 3~4 节
(章节) 题目	第 8 章 地基承载力 8.4 地基极限承载力 8.5 地基容许承载力和地基承载力特征值				
教学目的	1. 了解地基极限承载力研究的发展过程。 2. 了解普朗德尔等地基极限承载力的基本假设和计算公式。 3. 掌握太沙基极限承载力的基本假设和计算方法。 4. 了解汉森和魏锡克极限承载力的基本假设和计算方法。				
教学重点	极限荷载的确定方法				
教学难点	太沙基极限承载力计算公式				
教学方法	案例式、启发式、线上线下融合				
课程思政目标与融入点	工程伦理、工匠精神				
信息技术辅助手段	“土力学”新云课堂 https://courses.gdut.edu.cn/course/view.php?id=21				
教学内容及教学过程	第 8 章 地基承载力 8.4 地基极限荷载 (1) 极限荷载的一般计算公式: (2) 普朗特 (Prantl) 和赖斯纳公式 (3) 太沙基极限承载力公式 (4) 汉森极、魏锡克限承载力公式 (5) 极限承载力公式比较 7.5 地基容许承载力和地基承载力特征值				
思考题作业	课后 3 题				

课程负责人:

刘勇健