

全 国 高 等 教 育 自 学 考 试

# 土力学及地基基础 习题题解

杨小平 潘健 刘叔灼



武汉大学出版社

# 内 容 简 介

本书是全国高等教育自学考试土力学及地基基础课程的辅助读物。全书共分八章,内容包括土的物理性质和工程分类、地基中的应力、地基土的变形、土的抗剪强度和地基承载力、土坡稳定和土压力理论、天然地基上浅基础设计、桩基础、换土垫层设计,每一章均给出了各种常见题型的详细解题过程。

本书可作为自学考试应考者和函授生的自学参考书,亦可供各层次土木工程专业学生和建筑工程技术人员学习参考,还可作为注册结构工程师考试的复习参考书。

# 前 言

根据多年来在自学考试辅导教学和函授教学中的体会,深感有必要为土力学及地基基础课程编写一本习题题解,以帮助广大读者尤其是自学者加深对基本概念和基本理论的理解,掌握解题思路与方法。在本书各章中,我们尽可能对常见的题型举出例题,详细说明解题要点和解题步骤,有些例题还给出了多种解法。同一章节中各例题内容侧重点有所不同,有的属于简单应用,有的属于综合应用,编写时遵循由浅入深、由简单到综合的原则,以便于自学。本书按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》(GBJ 7—89)、行业标准《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—94)和《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79—91)编写。

本书第一、二、三章由潘健编写,第四、七章由刘叔灼编写,第五、六、八章及附录由杨小平编写。全书由杨小平任主编。

限于编者的水平,本书不当之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2000 年 12 月

# 目 录

|            |                       |     |
|------------|-----------------------|-----|
| <b>第一章</b> | <b>地基岩土与地下水</b>       | 1   |
| 第一节        | 土的三相比例指标              | 1   |
| 第二节        | 无粘性土的密实度              | 5   |
| 第三节        | 粘性土的物理特性              | 6   |
| 第四节        | 土的工程分类                | 7   |
| 第五节        | 土的渗透性                 | 8   |
| <b>第二章</b> | <b>地基中的应力</b>         | 12  |
| 第一节        | 土的自重应力                | 12  |
| 第二节        | 基底压力和基底附加压力           | 15  |
| 第三节        | 地基附加压力                | 17  |
| 第四节        | 有效应力原理                | 33  |
| <b>第三章</b> | <b>地基土的变形</b>         | 37  |
| 第一节        | 土的压缩性                 | 37  |
| 第二节        | 地基的最终沉降量计算            | 39  |
| 第三节        | 地基变形与时间的关系            | 51  |
| <b>第四章</b> | <b>土的抗剪强度和地基极限承载力</b> | 53  |
| <b>第五章</b> | <b>土坡稳定和土压力理论</b>     | 66  |
| 第一节        | 土坡稳定分析                | 66  |
| 第二节        | 挡土墙上的土压力              | 68  |
| 第三节        | 朗肯土压力理论               | 71  |
| 第四节        | 库伦土压力理论               | 79  |
| 第五节        | 挡土墙设计                 | 85  |
| <b>第六章</b> | <b>天然地基上浅基础设计</b>     | 89  |
| 第一节        | 地基承载力的确定              | 89  |
| 第二节        | 按地基承载力确定基础底面尺寸        | 95  |
| 第三节        | 刚性基础设计                | 103 |

|                  |                                  |            |
|------------------|----------------------------------|------------|
| 第四节              | 墙下钢筋混凝土条形基础设计·····               | 106        |
| 第五节              | 柱下钢筋混凝土单独基础设计·····               | 108        |
| <b>第七章</b>       | <b>桩基础</b> .....                 | <b>114</b> |
| <b>第八章</b>       | <b>换土垫层设计</b> .....              | <b>142</b> |
| <b>附 录</b> ..... |                                  | <b>146</b> |
| 附录 A             | 高等教育自学考试土力学及地基基础试题及参考答案(一) ..... | 146        |
|                  | 高等教育自学考试土力学及地基基础试题及参考答案(二) ..... | 152        |
| 附录 B             | 混凝土结构设计基本资料 .....                | 157        |

# 第一章 地基岩土与地下水

## 第一节 土的三相比例指标

土的三相比例指标包括:密度  $\rho$ 、重度  $\gamma$ 、土粒比重  $d_s$ 、含水量  $w$ 、干密度  $\rho_d$ 、干重度  $\gamma_d$ 、饱和重度  $\gamma_{sat}$ 、有效重度  $\gamma'$ 、孔隙比  $e$ 、孔隙率  $n$  和饱和度  $S_r$  等。其中,密度、土粒比重和含水量三个指标可通过室内试验进行测定,其他指标可以通过换算(例如利用表1-1的公式)求得,计算中通常取水的重度  $\gamma_w=10\text{kN/m}^3$ 。

**【例 1-1】** 在土的三相组成示意图(图1-1)中,取土粒体积  $V_s=1\text{m}^3$ 。已知某土样的土粒比重  $d_s=2.70$ ,含水量  $w=32.2\%$ ,土的天然重度  $\gamma=19.1\text{kN/m}^3$ ,水的重度  $\gamma_w=10\text{kN/m}^3$ 。按各三相指标的定义,计算图中 9 个括号内的数值。

**【解】** 由于  $V_s=1\text{m}^3$ ,故

$$G_s=d_s \cdot \gamma_w V_s=2.70 \times 10 \times 1=27\text{kN}$$

$$G_w=wG_s=32.2\% \times 27=8.7\text{kN}$$

$$G=G_s+G_w=27+8.7=35.7\text{kN}$$

表 1-1 土的三相组成比例指标换算公式

| 指标   | 符号             | 表达式                                             | 常用换算公式                                                               | 常用单位            |
|------|----------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------|
| 土粒比重 | $d_s$          | $d_s=\frac{m_s}{V_s \rho_{w1}}$                 | $d_s=\frac{S_r e}{w}$                                                | /               |
| 密度   | $\rho$         | $\rho=m/V$                                      |                                                                      | $\text{t/m}^3$  |
| 重度   | $\gamma$       | $\gamma=\frac{G}{V}$                            | $\gamma=\gamma_d(1+w)$<br>$\gamma=\frac{\gamma_w(d_s+S_r e)}{1+e}$   | $\text{kN/m}^3$ |
| 含水量  | $w$            | $w=\frac{m_w}{m_s} \cdot 100\%$                 | $w=\frac{S_r e}{d_s}$<br>$w=\frac{\gamma}{\gamma_d}-1$               | (%)             |
| 干重度  | $\gamma_d$     | $\gamma_d=\rho_d g$<br>$\gamma_d=\frac{G_s}{V}$ | $\gamma_d=\frac{\gamma}{1+w}$<br>$\gamma_d=\frac{\gamma_w d_s}{1+e}$ | $\text{kN/m}^3$ |
| 饱和重度 | $\gamma_{sat}$ | $\gamma_{sat}=\frac{G_s+V_s \gamma_w}{V}$       | $\gamma_{sat}=\frac{\gamma_w(d_s+e)}{1+e}$                           | $\text{kN/m}^3$ |

续表 1-1

| 指标   | 符号        | 表达式                                      | 常用换算公式                                                                                   | 常用单位              |
|------|-----------|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| 有效重度 | $\gamma'$ | $\gamma' = \frac{G_s - V_s \gamma_w}{V}$ | $\gamma' = \frac{\gamma_w (d_s - 1)}{1 + e}$<br>$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$      | kN/m <sup>3</sup> |
| 孔隙比  | $e$       | $e = \frac{V_v}{V_s}$                    | $e = \frac{\gamma_w d_s (1 + w)}{\gamma} - 1$<br>$e = \frac{\gamma_w d_s}{\gamma_d} - 1$ | (小数)              |
| 孔隙率  | $n$       | $n = \frac{V_v}{V} \cdot 100\%$          | $n = \frac{e}{1 + e}$<br>$n = 1 - \frac{\gamma_d}{\gamma_w d_s}$                         | (%)               |
| 饱和度  | $S_r$     | $S_r = \frac{V_w}{V_v} \cdot 100\%$      | $S_r = \frac{w d_s}{e}$<br>$S_r = \frac{w \gamma_d}{n \gamma_w}$                         | (%)               |

注: (1) 在各换算公式中, 含水量  $w$  可用小数代入计算; (2)  $\gamma_w$  可取 10kN/m<sup>3</sup>; (3) 重力加速度  $g =$

9.80665m/s<sup>2</sup>  $\approx 10\text{m/s}^2$ ; (4) 土的干密度  $\rho_d = \frac{\rho}{1 + w} = \frac{\gamma_d}{g} \approx 0.1\gamma_d (\text{t/m}^3)$ 。

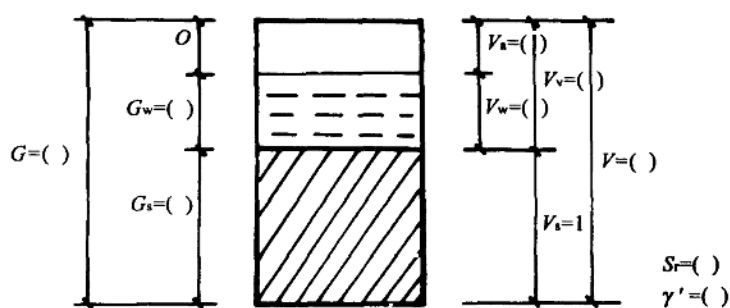


图 1-1

$$V_w = \frac{G_w}{\gamma_w} = \frac{8.7}{10} = 0.87\text{m}^3$$

$$V = \frac{G}{\gamma} = \frac{35.7}{19.1} = 1.87\text{m}^3$$

$$V_a = V - V_v - V_w = 1.87 - 1 - 0.87 = 0$$

$$V_v = V - V_s = 1.87 - 1 = 0.87\text{m}^3$$

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} = \frac{0.87}{0.87} = 100\%$$

$$\gamma' = \frac{G_s - V_s \gamma_w}{V} = \frac{27 - 1 \times 10}{1.87} = 9.1\text{kN/m}^3$$

【例 1-2】 用环刀切取一土样,测得该土样体积为 60cm<sup>3</sup>,质量为 114g。把土样放入烘箱

烘干,并在烘箱内冷却到室温,测得其质量为 100g。若土粒比重  $d_s$  为 2.70,试求土的密度、含水量和孔隙比。

【解】  $\rho = \frac{m}{V} = \frac{114}{60} = 1.9 \text{ g/cm}^3$

$$w = \frac{m_w}{m_s} = \frac{m - m_s}{m_s} = \frac{114 - 100}{100} = 14\%$$

$$e = \frac{\rho_w d_s (1+w)}{\rho} - 1 = \frac{1 \times 2.7 \times (1+0.14)}{1.9} - 1 = 0.62$$

【例 1-3】 试用土的三相物理指标换算图证明如下物理指标的换算公式: (1)  $e = \frac{\gamma_w d_s (1+w)}{\gamma} - 1$ ; (2)  $S_r = \frac{w d_s}{e}$ ; (3)  $\gamma_d = \frac{\gamma_w d_s}{1+e}$ ; (4)  $\gamma' = \frac{\gamma_w (d_s - 1)}{1+e}$

【证明】 (1) 如图 1-2 所示,令  $V_s = 1$ , 则

$$V_v = e$$

$$G_s = V_s \cdot d_s \gamma_w = d_s \gamma_w$$

$$G_w = w G_s = w d_s \gamma_w$$

根据  $\gamma = \frac{G}{V}$  得

$$\gamma = \frac{G_s + G_w}{V_s + V_v} = \frac{d_s \gamma_w + w d_s \gamma_w}{1 + e}$$

故

$$e = \frac{d_s \gamma_w (1+w)}{\gamma} - 1$$

(2) 将上述  $V_v = e$  及  $V_w = \frac{G_w}{\gamma_w} = w d_s$  代入公式  $S_r = \frac{V_w}{V_v}$ , 得

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} = \frac{w d_s}{e}$$

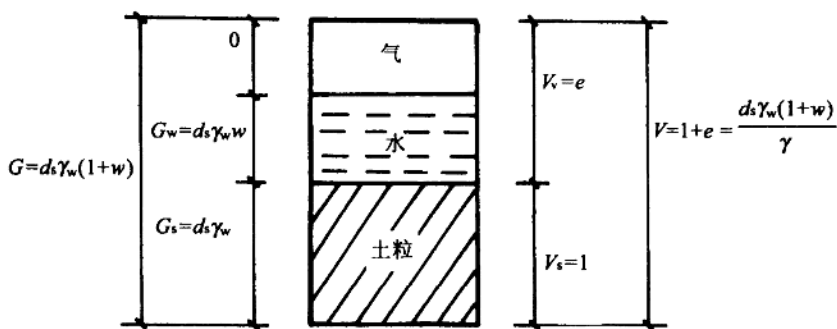


图 1-2

(3)  $G_s = d_s \gamma_w$

$$V = V_v + V_s = 1 + e$$

故

$$\gamma_d = \frac{G_s}{V} = \frac{d_s \gamma_w}{1+e}$$

(4)  $G_s = d_s \gamma_w$

$$V = V_v + V_s = 1 + e$$

$$V_s = 1$$

故

$$\begin{aligned}\gamma' &= \frac{G_s - \gamma_w V_s}{V} = \frac{d_s \gamma_w - \gamma_w}{1 + e} \\ &= \frac{\gamma_w (d_s - 1)}{1 + e}\end{aligned}$$

【例 1-4】 某原状土样,经试验测得的基本指标值如下:重度  $\gamma = 16.7 \text{ kN/m}^3$ ,含水量  $w = 12.9\%$ ,土粒比重  $d_s = 2.67$ 。试求其孔隙比  $e$ 、孔隙率  $n$ 、饱和度  $S_r$ 、干重度  $\gamma_d$ 、饱和重度  $\gamma_{\text{sat}}$  以及有效重度  $\gamma'$ 。

【解】

$$\begin{aligned}e &= \frac{d_s(1+w)\gamma_w}{\gamma} - 1 = \frac{2.67 \times (1+0.129) \times 10}{16.7} - 1 = 0.805 \\ n &= \frac{e}{1+e} = \frac{0.805}{1+0.805} = 44.6\% \\ S_r &= \frac{w d_s}{e} = \frac{0.129 \times 2.67}{0.805} = 43\% \\ \gamma_d &= \frac{d_s \gamma_w}{1+e} = \frac{2.67 \times 10}{1+0.805} = 14.8 \text{ kN/m}^3 \\ \gamma_{\text{sat}} &= \frac{(d_s + e)\gamma_w}{1+e} = \frac{(2.67 + 0.805) \times 10}{1+0.805} = 19.3 \text{ kN/m}^3 \quad \checkmark \\ \gamma' &= \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w = 19.3 - 10 = 9.3 \text{ kN/m}^3\end{aligned}$$

【例 1-5】 有体积为  $1 \text{ m}^3$  的土体,其土粒体积为  $0.5 \text{ m}^3$ ,水的体积为  $0.4 \text{ m}^3$ 。设土粒比重为 2.70,求该土的孔隙比、饱和度和含水量。

【解】

$$\begin{aligned}e &= \frac{V_v}{V_s} = \frac{V - V_s}{V_s} = \frac{1 - 0.5}{0.5} = 1.0 \\ S_r &= \frac{V_w}{V_v} = \frac{V_w}{V - V_s} = \frac{0.4}{1 - 0.5} = 80\% \\ w &= \frac{S_r \cdot e}{d_s} = \frac{80\% \times 1.0}{2.7} = 29.6\%\end{aligned}$$

【例 1-6】 已知某土样的孔隙体积和土粒体积均为  $30 \text{ cm}^3$ ,土粒比重为 2.70。试计算该土的孔隙比和干重度,并求孔隙被水充满时的饱和重度和含水量。

【解】

$$\begin{aligned}e &= \frac{V_v}{V_s} = \frac{30}{30} = 1.0 \quad / \\ \gamma_d &= \frac{G_s}{V} = \frac{\gamma_w d_s V_s}{V_v + V_s} = \frac{10 \times 2.7 \times 30}{30 + 30} = 13.5 \text{ kN/m}^3 \quad / \\ \gamma_{\text{sat}} &= \frac{G_s + V_v \gamma_w}{V} = \frac{\gamma_w d_s V_s + V_v \gamma_w}{V_v + V_s} = \frac{10 \times 2.7 \times 30 + 30 \times 10}{30 + 30} = 18.5 \text{ kN/m}^3 \quad / \\ w &= \frac{G_w}{G_s} = \frac{V_v \gamma_w}{d_s \gamma_w V_s} = \frac{V_v}{d_s V_s} = \frac{30}{2.7 \times 30} = 37\% \quad /\end{aligned}$$

【例 1-7】 已知某干砂样的重度为  $16.5 \text{ kN/m}^3$ ,比重为 2.70,现向该土样加水,使其饱和度增至 40%,而体积保持不变。求加水后土样的重度和含水量。

【解】

$$\begin{aligned}e &= \frac{\gamma_d d_s}{\gamma_d} - 1 = \frac{10 \times 2.7}{16.5} - 1 = 0.636 \\ \gamma &= \frac{\gamma_w (d_s + S_r e)}{1 + e} = \frac{10 \times (2.70 + 0.4 \times 0.636)}{0.636 + 1} = 18.1 \text{ kN/m}^3\end{aligned}$$

$$w = \frac{S_r e}{d_s} = \frac{0.4 \times 0.636}{2.70} = 9.4\%$$

## 第二节 无粘性土的密实度

判别无粘性土的密实度可采用天然孔隙比来进行判别。但不足之处是它没有考虑到粒径级配的因素。国内外许多人都采用砂土相对密实度  $D_r$  作为砂土密实度分类指标,其表达式为:

$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \quad (1-1)$$

式中:  $e_{\max}$  和  $e_{\min}$  分别是砂土最松散和最密实时的孔隙比;  $e$  是砂土的天然孔隙比。

根据  $D_r$  值可将砂土划分为下列三种状态:

$$\begin{aligned} 1 \geq D_r > 0.67 & \quad \text{密实} \\ 0.67 \geq D_r > 0.33 & \quad \text{中密} \\ 0.33 \geq D_r > 0 & \quad \text{松散} \end{aligned}$$

天然砂土可按表 1-2 以现场标准贯入试验锤击数( $N$  值)来确定其密实度。

表 1-2 砂土的密实度

| 标准贯入试验锤击数        | 密实度 |
|------------------|-----|
| $N \leq 10$      | 松散  |
| $10 < N \leq 15$ | 稍密  |
| $15 < N \leq 30$ | 中密  |
| $N > 30$         | 密实  |

碎石土可以根据野外鉴别方法划分为密实、中密和稍密三种。

**【例 1-8】** 已知某砂土层的饱和重度为  $20 \text{ kN/m}^3$ , 土粒比重为 2.68。设其最大和最小孔隙比分别为 0.72 和 0.57, 求相对密实度。

**【解】** 由  $\gamma_{\text{sat}} = \frac{\gamma_w(d_s + e)}{1 + e}$  得

$$e = \frac{\gamma_w d_s - \gamma_{\text{sat}}}{\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w} = \frac{10 \times 2.68 - 20}{20 - 10} = 0.68$$

$$\therefore D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} = \frac{0.72 - 0.68}{0.72 - 0.57} = 0.267$$

**【例 1-9】** 某砂层的天然重度为  $15.7 \text{ kN/m}^3$ , 含水量为 16%。如果该砂土的最大和最小干重度分别为  $17.2 \text{ kN/m}^3$  和  $13.0 \text{ kN/m}^3$ , 问该土层处于何种物理状态。

**【解】**  $\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + w} = \frac{15.7}{1 + 16\%} = 13.5 \text{ kN/m}^3$

由  $e = \frac{\gamma_w d_s}{\gamma_d} - 1$ 、 $e_{\max} = \frac{\gamma_w d_s}{\gamma_{d, \min}} - 1$  和  $e_{\min} = \frac{\gamma_w d_s}{\gamma_{d, \max}} - 1$ , 得

$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} = \frac{(\gamma_d - \gamma_{d, \min}) \gamma_{d, \max}}{(\gamma_{d, \max} - \gamma_{d, \min}) \gamma_d}$$

$$= \frac{(13.5 - 13.0) \times 17.2}{(17.2 - 13.0) \times 13.5} = 0.15 < 0.33$$

故该砂层处于松散状态。

### 第三节 粘性土的物理特性

#### 一、界限含水量

粘性土随着含水量的增加而分别处于固态、半固态、可塑状态和流动状态。由一种状态转到另一种状态的分界含水量称为界限含水量。其中由可塑状态转到流动状态的界限含水量称为液限,用符号  $w_L$  表示;由半固态转到可塑状态的界限含水量称为塑限,用符号  $w_p$  表示。

#### 二、塑性指数和液性指数

液限与塑限的差值省去%符号称为塑性指数  $I_p$ ,以下式表示:

$$I_p = w_L - w_p \quad (1-2)$$

液性指数  $I_L$  是判别粘性土在天然状态时稀稠程度和软硬状态的指标,以下式表示:

$$I_L = \frac{w - w_p}{w_L - w_p} = \frac{w - w_p}{I_p} \quad (1-3)$$

式中: $w$  为天然含水量。根据  $I_L$  值的大小可按表 1-3 来划分粘性土所处的物理状态。

表 1-3

粘性土状态的划分

| 状态   | 坚硬           | 硬塑                  | 可塑                     | 软塑                    | 流塑          |
|------|--------------|---------------------|------------------------|-----------------------|-------------|
| 液性指数 | $I_L \leq 0$ | $0 < I_L \leq 0.25$ | $0.25 < I_L \leq 0.75$ | $0.75 < I_L \leq 1.0$ | $I_L > 1.0$ |

#### 三、粘性土的灵敏度

灵敏度  $S_i$  的表达式为:

$$S_i = \frac{q_u}{q_{ur}} \quad (1-4)$$

式中: $q_u$  为原状土的无侧限抗压强度或十字板抗剪强度; $q_{ur}$  为具有与原状土相同含水量并彻底破坏其结构的重塑土的无侧限抗压强度或十字板抗剪强度。

粘性土可按下列标准划分灵敏度:

|                  |      |
|------------------|------|
| $S_i \leq 2$     | 不灵敏  |
| $2 < S_i \leq 4$ | 中等灵敏 |
| $4 < S_i \leq 8$ | 灵敏   |
| $8 < S_i$        | 极灵敏  |

【例 1-10】 已知某粘性土的含水量、液限和塑限分别为 36.4%、48.0% 和 25.4%。要求:

(1) 计算该土的塑性指数;(2) 计算该土的液性指数;(3) 确定该土的物理状态。

【解】 (1)  $I_p = w_L - w_p = 48.0 - 25.4 = 22.6$

(2)  $I_L = \frac{w - w_p}{w_L - w_p} = \frac{36.4 - 25.4}{48.0 - 25.4} = 0.49$

(3) 由于  $0.25 < I_L < 0.75$ , 故该土处于可塑状态。

【例 1-11】 从某淤泥土层中取样做无侧限抗压强度试验,测得原状土样和重塑土样的无侧限抗压强度分别为 16.0kPa 和 4.0kPa,试求该土的灵敏度。

【解】  $S_t = \frac{q_u}{q_{ur}} = \frac{16.0}{4.0} = 4$

该土属中等灵敏粘性土。

第四节 土的工程分类

不同成因和年代形成的土,按粒径级配(或粒组含量)和塑性指数可分为碎石土、砂土、粉土和粘性土等。

一、碎石土

碎石土是粒径大于 2mm 的颗粒超过总质量 50%的土,可分为漂石(块石)、卵石(碎石)以及圆砾(角砾)等几种。

二、砂土

砂土是指粒径大于 2mm 的颗粒不超过总质量的 50%,而粒径大于 0.075mm 的颗粒超过总质量 50%的土,可分为砾砂、粗砂、中砂、细砂和粉砂等几种。其分类标准如表 1-4 所示。

表 1-4 砂土按颗粒级配分类

| 土的名称 | 粒组含量                       |
|------|----------------------------|
| 砾砂   | 粒径大于 2mm 的颗粒占总质量的 25%~50%  |
| 粗砂   | 粒径大于 0.5mm 的颗粒超过总质量的 50%   |
| 中砂   | 粒径大于 0.25mm 的颗粒超过总质量的 50%  |
| 细砂   | 粒径大于 0.075mm 的颗粒超过总质量的 85% |
| 粉砂   | 粒径大于 0.075mm 的颗粒超过总质量的 50% |

注:定名时应根据粒径分组由大到小以最先符合者确定。

三、粉土

粉土是指塑性指数  $I_p$  小于或等于 10,粒径大于 0.075mm 的颗粒含量不超过总质量 50%的土。

# 四、粘性土

粘性土是指塑性指数  $I_p$  大于 10 的土,分为粉质粘土和粘土。分类标准如表 1-5 所示。

表 1-5 粘性土按塑性指数分类

| 土的名称 | 粉质粘土               | 粘土         |
|------|--------------------|------------|
| 塑性指数 | $10 < I_p \leq 17$ | $I_p > 17$ |

【例 1-12】 某砂土的含水量为 28.5%,天然重度为  $19.0 \text{ kN/m}^3$ ,土粒比重为 2.68,颗粒分析成果如表 1-6 所示。

表 1-6 土的筛分结果

| 土粒组的粒径范围(mm)    | >2  | 2~0.5 | 0.5~0.25 | 0.25~0.075 | <0.075 |
|-----------------|-----|-------|----------|------------|--------|
| 粒组占干土总质量的百分数(%) | 9.4 | 18.6  | 21.0     | 37.5       | 13.5   |

要求:(1)确定该土样的名称;(2)计算该土的孔隙比和饱和度;(3)确定该土的湿度状态;(4)如该土埋深在离地面 3m 以内,其标准贯入试验锤击数  $N=14$ ,试确定该土的密实度。

【解】 (1)以砂土分类标准(表 1-4)从大到小进行鉴别。由于  $>2\text{mm}$  的颗粒只占总质量 9.4%,小于 25%,故该土不属于砾砂。而  $>0.5\text{mm}$  的颗粒占总质量的  $(9.4+18.6)\%=28\%$ ,小于 50%,故该土也不属于粗砂。而  $>0.25\text{mm}$  的颗粒占总质量的  $(28+21)\%=49\%$ ,小于 50%,故该土也不属于中砂。而  $>0.075$  的颗粒占总质量的  $(49+37.5)\%=86.5\%>85\%$ ,故该土定名为细砂。

$$(2) \quad e = \frac{d_s \gamma_w (1+w)}{\gamma} - 1 = \frac{2.68 \times 10 \times (1+0.285)}{19.0} - 1 = 0.81$$

$$S_r = \frac{w d_s}{e} = \frac{0.285 \times 2.68}{0.81} = 94\%$$

(3)由于  $S_r > 80\%$ ,故该土处于饱和状态[注:细砂和粉砂等无粘性土可按饱和度的大小分为稍湿( $S_r \leq 50\%$ )、很湿( $50\% < S_r \leq 80\%$ )和饱和( $S_r > 80\%$ )三种湿度状态]。

(4)由于  $10 < N \leq 15$ ,根据表 1-2 可知该土处于稍密状态。

【例 1-13】 有 A、B 和 C 三个粘性土原状试样,经测定其塑性指数分别为 22、18 和 14,试确定它们的名称。

【解】 根据表 1-5 可知,A、B 和 C 的名称分别为粘土、粘土和粉质粘土。

# 第五节 土的渗透性

## 一、达西定律及其适用范围

地下水的渗流一般属于层流运动,渗流速度可按达西定律以下式进行计算:

$$v = ki \quad (1-5)$$

式中:  $v$ ——水在土中的渗流速度, mm/s;

$k$ ——土的渗透系数, mm/s;

$i$ ——水头梯度(或称水力坡降)。

实验证明:在砂土中水的运动符合达西定律, 如图 1-3 所示。在粘性土中只有当水头梯度超过所谓起始梯度后才开始发生渗流。如图 1-3 中 b 线所示, 当水头梯度  $i$  不大时, 渗流速度  $v$  为零。只有当  $i > i_1$  (起始梯度) 时, 水才会流动。在渗透速度  $v$  与水头梯度  $i$  的关系曲线上有 1 和 2 两个特征点。点 1 相应于起始梯度  $i_1$ , 在点 1 与点 2 之间渗透速度和水头梯度成曲线关系, 达到点 2 (相应的梯度为  $i_2$ ) 后转为直线 (图中直线 2-3), 该直线的延长线与横坐标相交于点 1'。为了简化计算, 采用该直线在横坐标上的截距  $i'_1$  作为计算起始梯度, 则用于粘性土的达西定律的公式如下:

$$v = k(i - i'_1) \quad (1-6)$$

土的渗透系数可以通过室内渗透试验或现场抽水试验来确定。

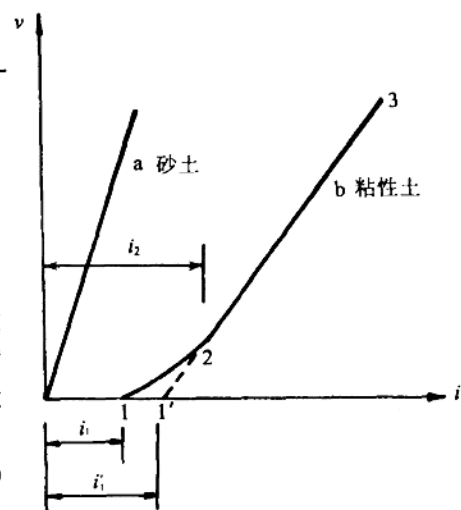


图 1-3  $v$  与  $i$  的关系

【例 1-14】在图 1-4 中, 观测孔  $a$  和  $b$  的水位

标高分别为 23.50m 和 23.20m, 两孔的水平距离为 20m。要求: (1) 确定  $ab$  段的平均水头梯度  $i$ ; (2) 如该土层为细砂, 渗透系数  $k = 5 \times 10^{-2}$  mm/s, 试确定  $ab$  段的地下水流速度  $v$  和每小时 (符号为  $h$ ) 通过  $1\text{m}^2$  截面积 (垂直于纸面) 的流量  $Q$  (提示: 流量  $Q = \text{流速} \times \text{过水面积} \times \text{时间}$ ); (3) 如该土层为粉质粘土, 渗透系数  $k = 5 \times 10^{-5}$  mm/s, 计算起始水头梯度  $i'_1 = 0.005$ , 试确定  $ab$  段的地下水流速度  $v$  和每小时通过  $1\text{m}^2$  截面积的流量  $Q$ 。

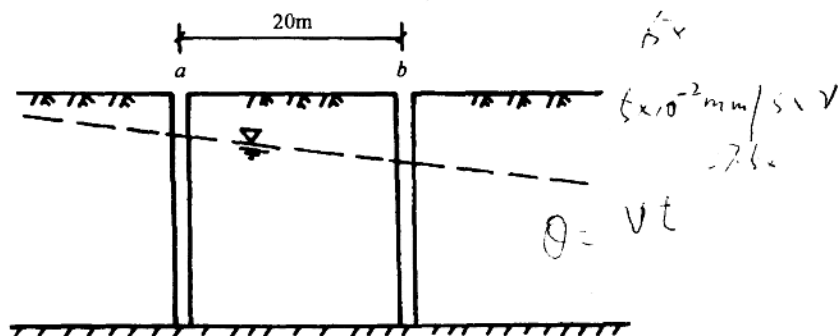


图 1-4

【解】

$$(1) \quad i = \frac{H_a - H_b}{L} = \frac{23.50 - 23.20}{20} = 0.015$$

$$(2) \quad v = ki = 5 \times 10^{-2} \times 0.015 = 7.5 \times 10^{-4} \text{ mm/s}$$

$$= 7.5 \times 10^{-4} \times 60 \times 60 \times 10^{-3} \text{m/h}$$

$$= 2.7 \times 10^{-3} \text{m/h}$$

$$Q = v \cdot A \cdot t = 2.7 \times 10^{-3} \times 1 \times 1$$

$$= 2.7 \times 10^{-3} \text{m}^3$$

$$(3) \quad v = k(i - i'_1) = 5 \times 10^{-5} \times (0.015 - 0.005)$$

$$= 5 \times 10^{-7} \text{mm/s}$$

$$= 5 \times 10^{-7} \times 60 \times 60 \times 10^{-3} \text{m/h}$$

$$= 1.8 \times 10^{-6} \text{m/h}$$

$$Q = v \cdot A \cdot t = 1.8 \times 10^{-6} \times 1 \times 1$$

$$= 1.8 \times 10^{-6} \text{m}^3$$

## 二、动水力和流砂现象

地下水的渗流对土单位体积内的骨架产生的力  $G_D$  称为动水力, 以下式表示:

$$G_D = i\gamma_w \quad (1-7)$$

式中:  $G_D$ ——动水力,  $\text{kN/m}^3$ ;

$\gamma_w$ ——水的重度, 一般为  $9.8 \text{kN/m}^3$ , 近似取  $10 \text{kN/m}^3$ ;

$i$ ——水头梯度。

当渗透水流自下而上运动时, 动水力方向与重力方向相反, 土粒间的压力将减小。当动水力等于或大于土的有效重度时, 土粒间的压力被抵消, 于是土粒处于悬浮状态, 土粒随水流动, 这种现象称为流砂。动水力等于土的有效重度时的水头梯度称为临界水头梯度  $i_{cr}$ 。

**【例 1-15】** 某粉土的土粒比重为 2.70, 孔隙比为 0.60, 试求该土的临界水头梯度。

**【解】**  $\gamma' = \frac{\gamma_w(d_s - 1)}{1 + e} = \frac{10 \times (2.70 - 1)}{1 + 0.60} = 10.6 \text{kN/m}^3$

根据  $G_D = \gamma'$  得  $i_{cr}\gamma_w = \gamma'$

$$\text{故 } i_{cr} = \frac{\gamma'}{\gamma_w} = \frac{10.6}{10} = 1.06$$

**【例 1-16】** 在图 1-5 的实验装置中, 已知水头差  $h = 15 \text{cm}$ , 土样长度  $L = 20 \text{cm}$ , 土样的土粒比重为 2.71, 孔隙比为 0.53。问: (1) 土样内的动水力为多少? (2) 土样是否会发生流砂现象? (3) 在什么情况下会发生流砂现象?

**【解】** (1)  $G_D = i\gamma_w$

$$= \frac{h}{L}\gamma_w$$

$$= \frac{15}{20} \times 10$$

$$= 7.5 \text{kN/m}^3$$

$$(2) \quad \gamma' = \frac{(d_s - 1)\gamma_w}{1 + e}$$

$$= \frac{(2.71 - 1) \times 10}{1 + 0.53}$$

$$= 11.2 \text{kN/m}^3$$

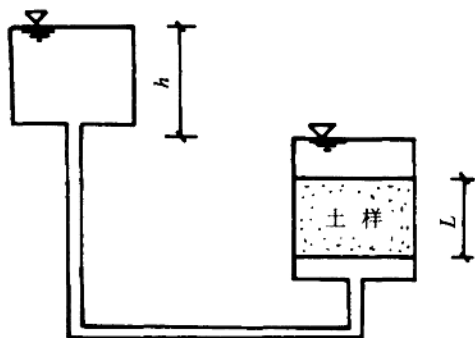


图 1-5

由于  $G_D < \gamma'$ ,

故土样不会发生流砂现象。

(3) 令  $G_D = \gamma'$

得  $i_{cr} \cdot \gamma_w = \gamma'$

$$\text{故 } i_{cr} = \frac{\gamma'}{\gamma_w} = \frac{11.2}{10} = 1.12$$

$$\frac{h_{cr}}{L} = 1.12, \quad h_{cr} = 1.12 \times 20 = 22.4 \text{ cm}$$

$$\Delta h = h_{cr} - h = 22.4 - 15 = 7.4 \text{ cm}$$

即水头差  $h$  增加 7.4cm 时, 就会发生流砂现象。

## 第二章 地基中的应力

### 第一节 土的自重应力

#### 一、均质土的自重应力

对于均质土层(土的重度为常数),在地表以下  $z$  深度处的竖向自重应力  $\sigma_{cz}$  可以下式表示:

$$\sigma_{cz} = \gamma \cdot z \quad (2-1)$$

式中:  $\gamma$ ——土的重度,  $\text{kN/m}^3$ ;

$z$ ——应力计算点至地表面的距离,  $\text{m}$ 。

而侧向自重应力  $\sigma_{cx}$  和  $\sigma_{cy}$  与  $\sigma_{cz}$  成正比,以下式计算:

$$\sigma_{cx} = \sigma_{cy} = k_0 \sigma_{cz} \quad (2-2)$$

式中:  $k_0$ ——静止侧压力系数。

**【例 2-1】** 已知地基土的重度为  $16.5 \text{ kN/m}^3$ , 静止压力系数为 0.5。求在深度 3m 处的竖向及侧向自重应力。

**【解】**  $\sigma_{cz} = \gamma z = 16.5 \times 3 = 49.5 \text{ kPa}$

$$\sigma_{cx} = \sigma_{cy} = k_0 \sigma_{cz} = 0.5 \times 49.5 = 24.8 \text{ kPa}$$

**【例 2-2】** 地基土的重度为  $17.28 \text{ kN/m}^3$ , 静止侧压力系数为 0.45。试求竖向和侧向自重应力从地表面至 15m 深处的分布图。

**【解】** 在地表面 ( $z=0$ ) 处自重应力为零, 在  $z=15\text{m}$  处的竖向和侧向自重应力分别为:

$$\sigma_{cz} = \gamma z = 17.28 \times 15 = 259.2 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{cx} = \sigma_{cy} = k_0 \sigma_{cz} = 259.2 \times 0.45$$

$$= 116.6 \text{ kPa}$$

自重应力沿深度线性分布, 如图 2-1 所示。

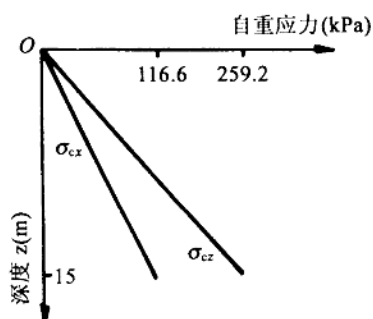


图 2-1

#### 二、成层土的自重应力

当地基由几个不同重度的土层组成时,任意深度  $z$  处的竖向自重应力为: