

4

土的压缩性

与地基沉降计算

Chapter 4 The compressibility characteristics of
soils and the settlement calculation of foundation



高层建筑物由于不均匀沉降而被爆破拆除

4.1 基本概念

1、定义

土的固结：土的压缩量和强度随时间而增长的过程。
A time-related compression process is called consolidation.

土的压缩：**Compression process** 土中孔隙体积 (pore volume) 的减少。土粒调整、重排，孔隙比下降的过程。

2、原因

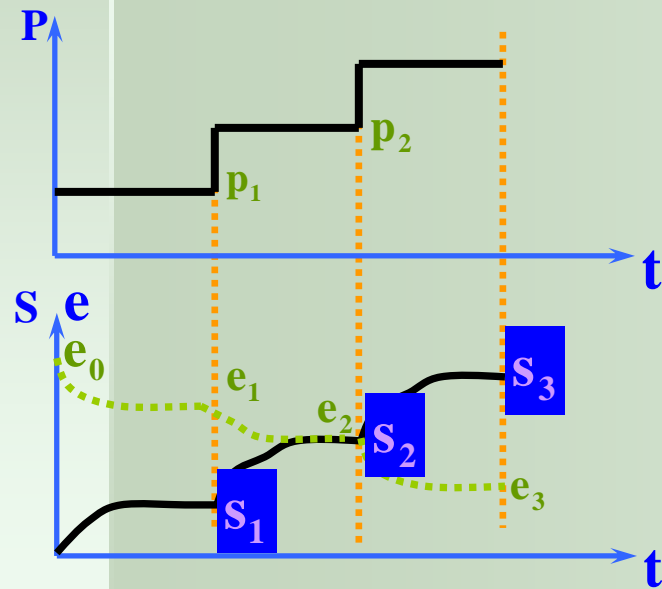
内因：土中孔隙体积的减少（排水、排气）。土粒调整、重排、挤紧。
外因：压力。

4.2 土的压缩试验和压缩性指标

4.2.1 侧限压缩试验

Comfined compression test

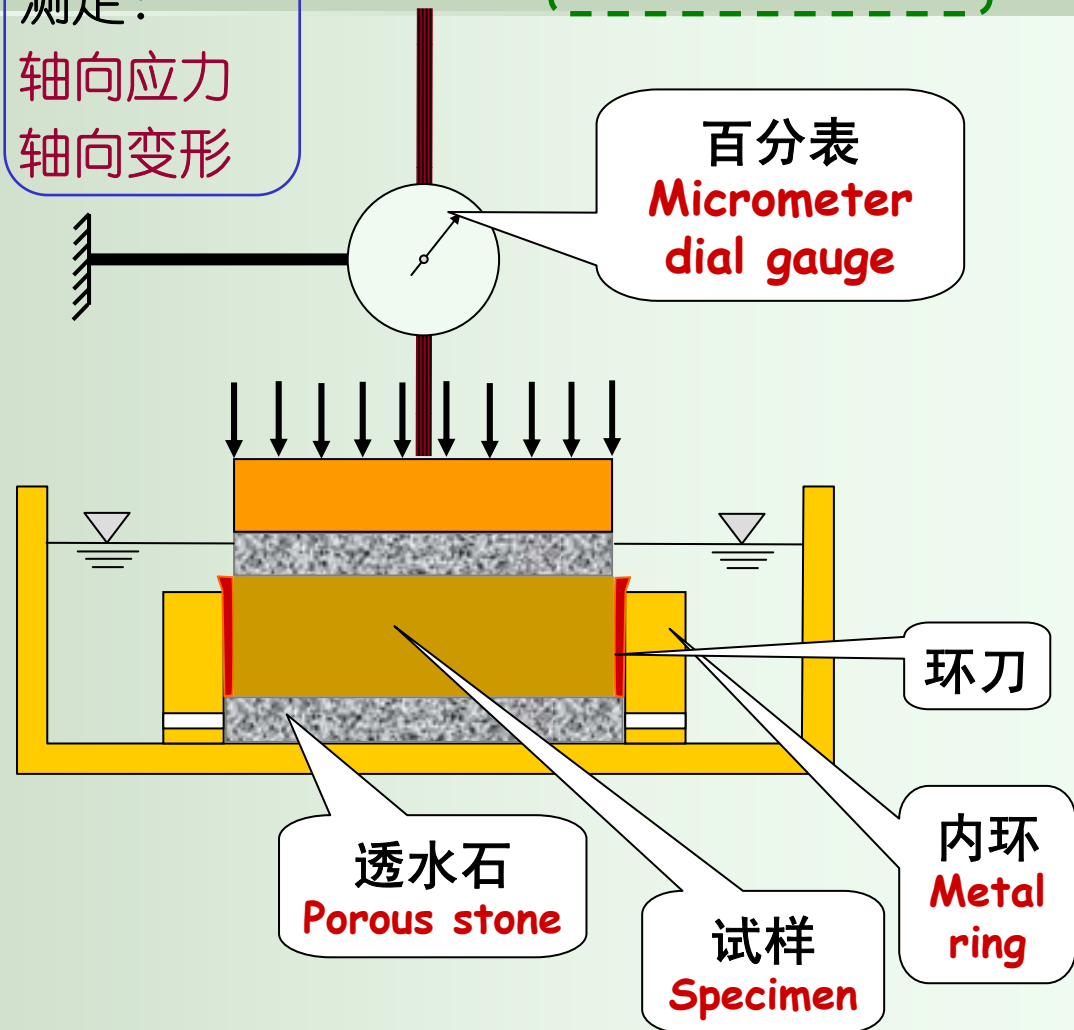
试验结果:

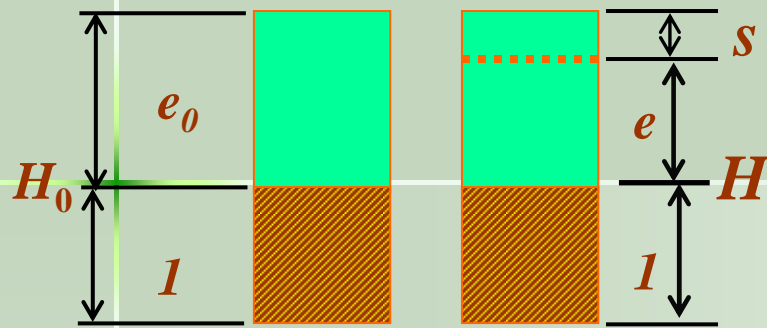


测定:
轴向应力
轴向变形

Consolidometer

百分表
Micrometer
dial gauge





压缩前

压缩后

Before

After compression

试验前

$$e_0 = \frac{d_s (1 + w_0) \gamma_w}{\gamma_0} - 1$$

求土样压缩后e值？

条件：压缩量 $s = H_0 - H$

土粒体积不变

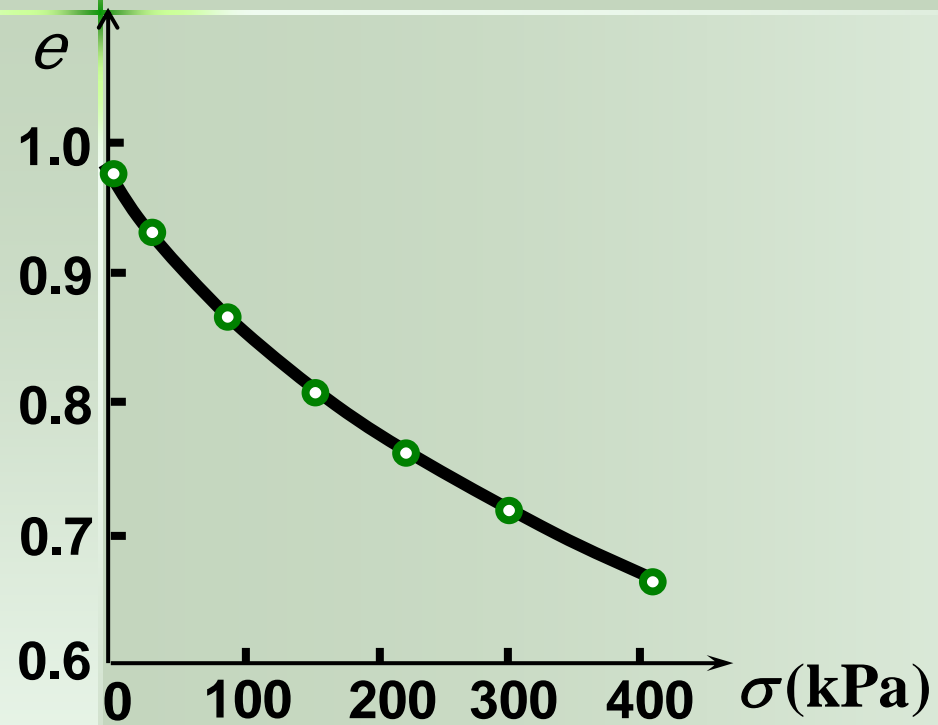
土样横截面积不变

$$\frac{H_0}{1 + e_0} = \frac{H_0 - s}{1 + e_1}$$

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

$$s = \frac{e_0 - e}{1 + e_0} H_0$$

$e-p$ 曲线 The compression curve

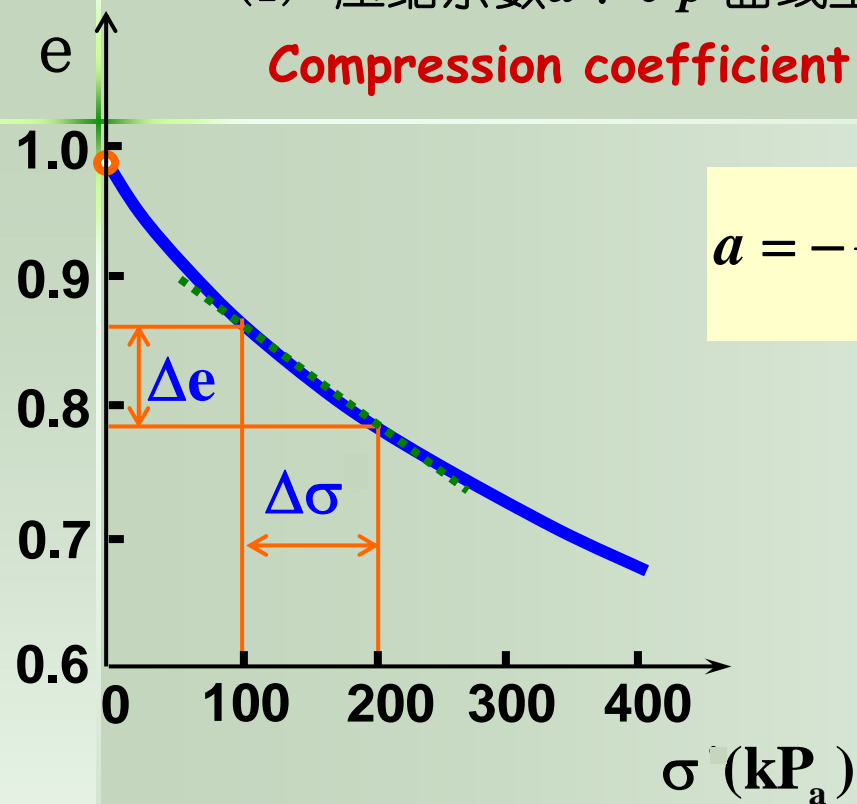


$$e_i = e_0 - \frac{S_i}{H_0} (1 + e_0)$$

试验结果及压缩性指标

(1) 压缩系数 a ： $e-p$ 曲线上任一点切线斜率， kP_a^{-1}

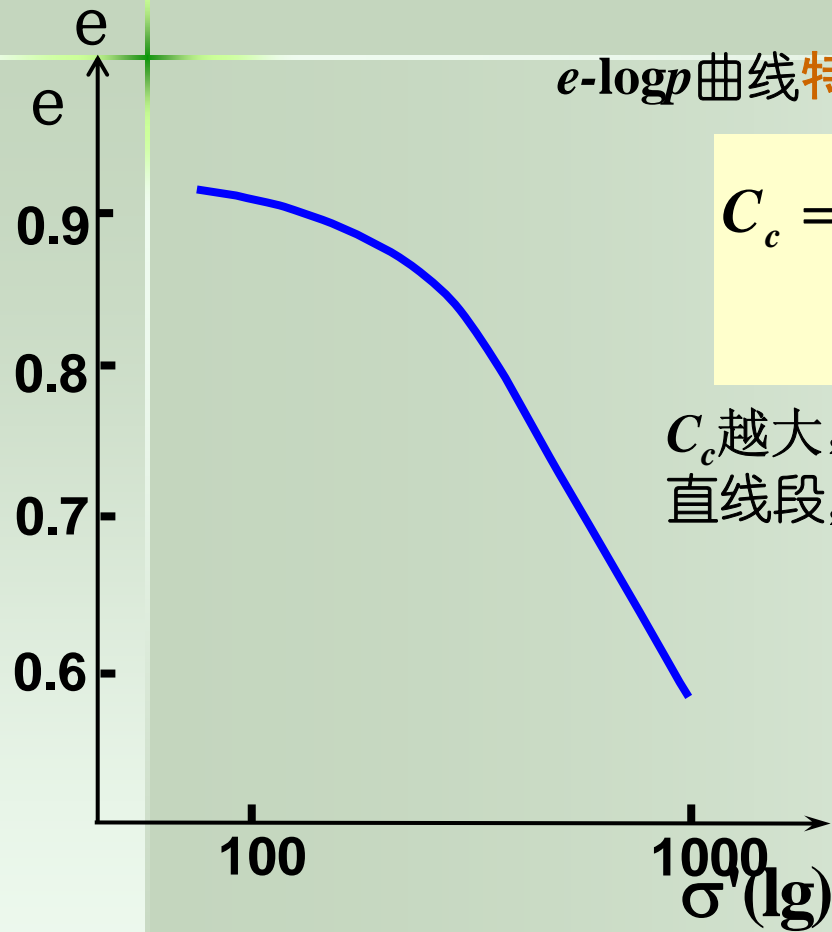
Compression coefficient



$$a = -\frac{\Delta e}{\Delta \sigma} = \frac{e_1 - e_2}{p_2 - p_1} = \tan \alpha_{1-2}$$

土的类别	a_{1-2} (MP_a^{-1})
高压缩性土	0.5
中压缩性土	0.1-0.5
低压缩性土	<0.1

(2) 压缩指数 C_c : e - $\log p$ 曲线后段直线斜率
Compression index



e - $\log p$ 曲线特点: 有一段较长的直线段

$$C_c = \frac{e_1 - e_2}{\log p_2 - \log p_1} = \frac{e_1 - e_2}{\log\left(\frac{p_2}{p_1}\right)}$$

C_c 越大, 土的压缩性越强。在 e - $\log p$ 曲线直线段, C_c 即为常数。

土的类别	C_c
高压缩性土	>0.4
低压缩性土	<0.2

(3) 压缩模量 E_s (**compression modulus**): 土在完全侧限条件下的竖向应力与相应的应变增量之比。

$$E_s = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}$$

利用 $e-p$ 曲线可以推求压缩模量 E_s

$$E_s = \frac{1+e_0}{a}$$

土的类别	E_{s1-2} (MPa)
高压缩性土	< 4
中压缩性土	4-15
低压缩性土	15

4.3 地基的最终沉降量

Final / Ultimate settlement

4.3.1 概述

$$S \leq [S]$$

$$\Delta \leq [\Delta]$$

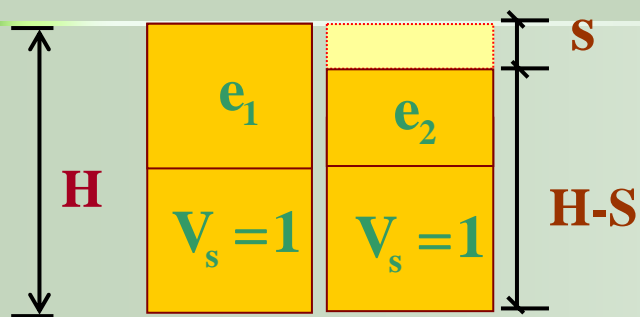
变形特征值 \leq 变形允许值

4.3.2 分层总和法

Layerwise summation method

1、计算简图—压缩试验

单一土层，性质均匀，较薄 $H < b/2$



$$\therefore \frac{H}{1 + e_1} = \frac{H - s}{1 + e_2}$$

$$e_2 = e_1 - \frac{s}{H} (1 + e_1)$$

$$s = \frac{e_1 - e_2}{1 + e_1} H$$

压缩前

$$p_1 = \bar{\sigma}_{cz}$$

e_1



压缩后

$$p_2 = \bar{\sigma}_{cz} + \bar{\sigma}_z$$

e_2

$$\begin{aligned} s &= \frac{e_1 - e_2}{1 + e_1} H = \frac{a(p_2 - p_1)}{1 + e_1} H \\ &= \frac{a \cdot \bar{\sigma}_z}{1 + e_1} H = \frac{\bar{\sigma}_z}{E_s} H \end{aligned}$$

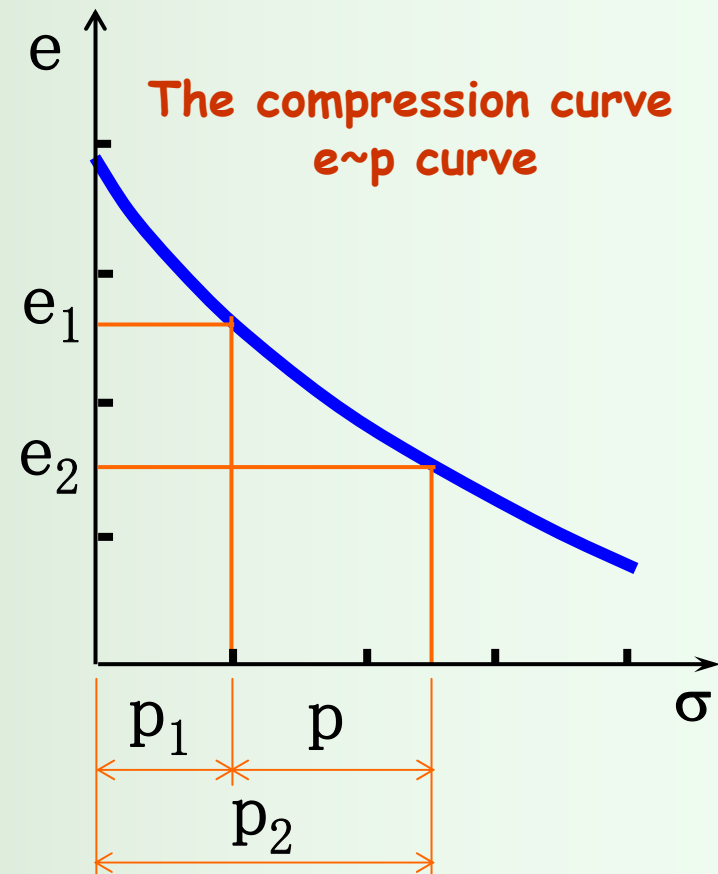
2、计算公式

(1) $e-p$ 曲线

$$s = \frac{e_1 - e_2}{1 + e_1} H = \frac{a(p_2 - p_1)}{1 + e_1} H$$
$$= \frac{a \cdot \bar{\sigma}_z}{1 + e_1} H = \frac{\bar{\sigma}_z}{E_s} H$$

影响因素：

压缩土层厚度
土的压缩性质
土的物理性质
土中附加应力



2、计算公式

(2) e - $\log p$ 曲线

$$s = \frac{e_1 - e_2}{1 + e_1} H$$

$$C_c = \frac{e_1 - e_2}{\log p_2 - \log p_1} = \frac{e_1 - e_2}{\log\left(\frac{p_2}{p_1}\right)}$$

The compression curve
 $e \sim \log p$ curve method

$$s = \frac{C_c}{1 + e_1} \log \frac{\bar{\sigma}_z + \bar{\sigma}_{cz}}{\bar{\sigma}_c} H$$

3、计算步骤

以公式 $S = \frac{e_1 - e_2}{1 + e_1} H$ 为例

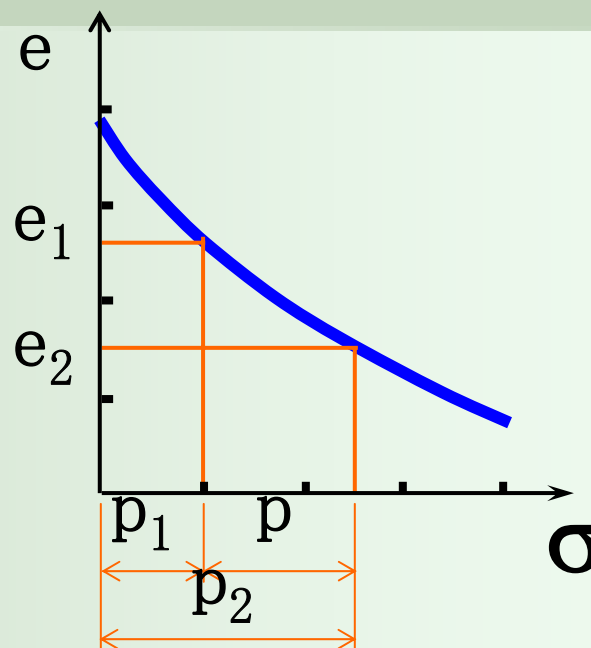
• 确定: $H; \sigma_{cz}; \sigma_z$

• 由: e-p曲线

• 查定: $p_1 = \bar{\sigma}_{cz}$ \rightarrow e_1

$p_2 = \bar{\sigma}_{cz} + \sigma_z$ \rightarrow e_2

• 算定: $S = \frac{e_1 - e_2}{1 + e_1} H$



4. 分层总和法 Layerwise summation method

(1) 基本假定和基本原理

- (a) 假设基底压力为线性分布
- (b) 附加应力用弹性理论计算
- (c) 只发生竖向沉降，为侧限应力状态
- (d) 只计算固结沉降，不计瞬时沉降和次固结沉降
- (e) 将地基分成若干层，认为整个地基的最终沉降量为各层沉降量之和：

The foundation settlement is the summation of the soil compression of all sublayers, as given by

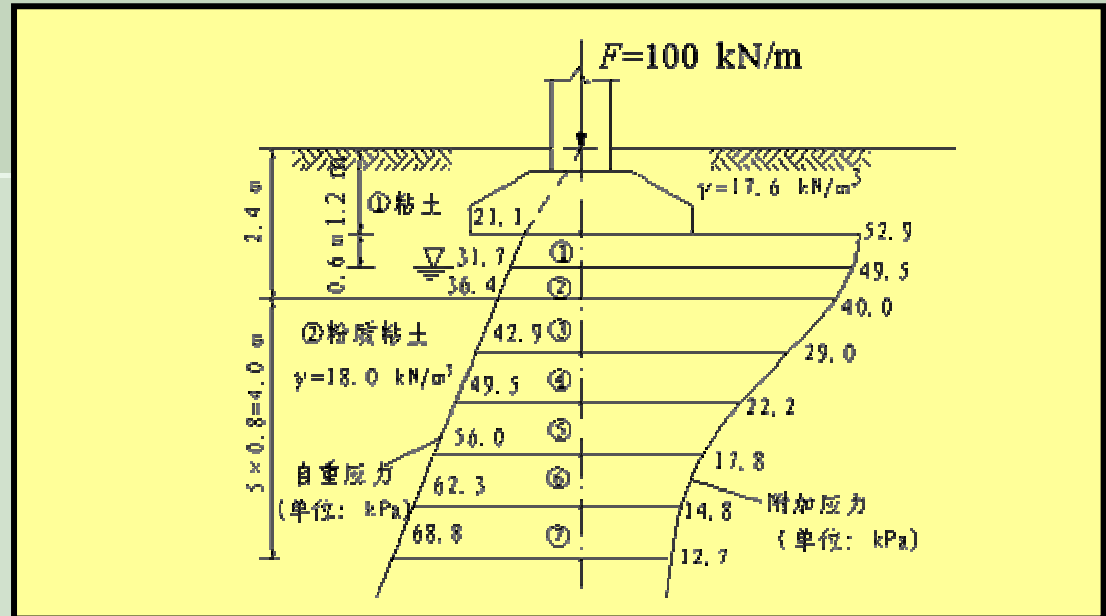
$$S = \sum S_i$$

Example: 墙下条形基础宽度为2.0 m, 传至地面的荷载为100 kN/m, 基础埋置深度为1.2 m, 地下水位在基底以下0.6 m, 如图示, 地基土的室内压缩试验试验 $e-p$ 数据下表所示, 用分层总和法求基础中点的沉降量。

【Solution】

(1) 地基分层: 考虑分层厚度不超过 $0.4b=0.8$ m, 地下水位, 基底以下厚1.2 m的粘土层分成两层, 层厚均为0.6 m, 其下粉质粘土层分层厚度均取为0.8 m。

(2) 计算自重应力: 计算分层处的自重应力; 计算各分层上下界面处自重应力的平均值, 作为该分层受压前所受侧限竖向应力 p_{1i}



地基土的室内压缩试验试验 $e-p$ 数据

	0	50	100	200	300
粘土①	0.651	0.625	0.608	0.587	0.570
粉质粘土②	0.978	0.889	0.855	0.809	0.773

(3) 计算竖向附加应力;

基底附加压力为:

$$p_0 = \frac{100 + 20 \times 1.0 \times 1.2 \times 2.0}{2.0 \times 1.0} - 1.2 \times 17.6 = 52.9 \text{ kPa}$$

各分层点的竖向附加应力见图

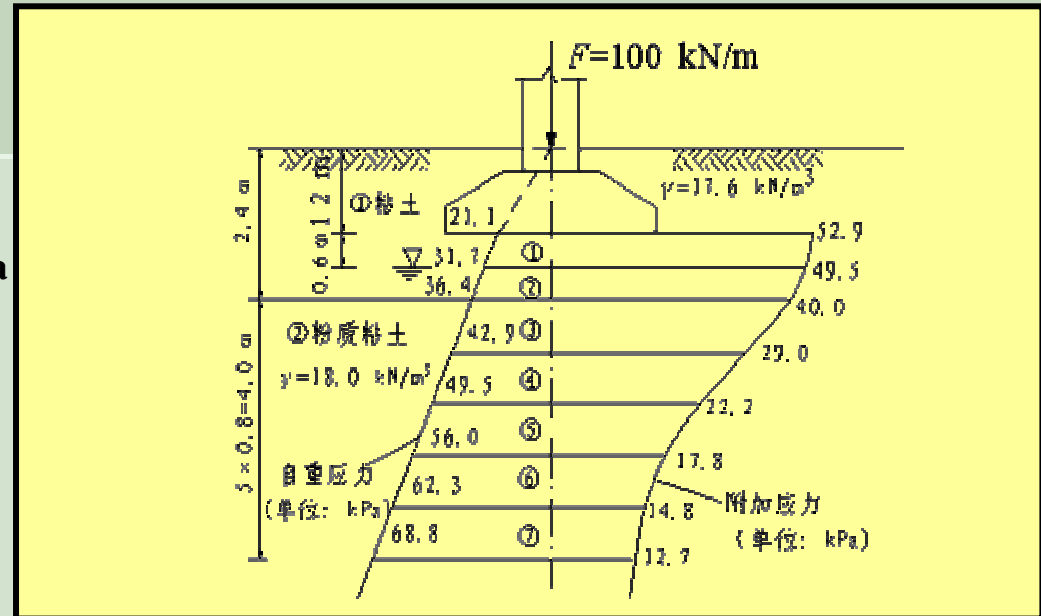
(4) 将各分层自重应力平均值和附加应力平均值之和作为该分层受压后的总应力 p_{2i}

(5) 确定压缩层深度: 可按 $s_z/s_c=0.2$ 来确定压缩层深度

$$z=4.4 \text{ m处}, \sigma_z/\sigma_c = 14.8/62.5 = 0.237 > 0.2,$$

$$z=5.2 \text{ m处}, \sigma_z/\sigma_c = 12.7/69.0 = 0.184 < 0.2$$

压缩层深度可取为基底以下5.2 m。



(6) 计算各分层的压缩量

$$S_i = \frac{e_{1i} - e_{2i}}{1 + e_{1i}} H_i$$

分层点	深度 z_i m	自重应力 σ_c kPa	附加应力 σ_c kPa	层号	层厚 H_i m	自重应力 平均值 (即 P_{1i}) kPa	附加应力 平均值 (即 ΔP_i) kPa	总应力 平均值 (即 P_{2i}) kPa	受压前 孔隙比 e_{1i} (对应 P_{1i})	受压后 孔隙比 e_{2i} (对应 P_{2i})	分层 压缩量 Δs_i mm
0	0	21.1	52.9	—	—	—	—	—	—	—	—
1	0.6	31.7	49.5	①	0.6	26.4	51.2	77.6	0.637	0.616	7.7
2	1.2	36.4	40.0	②	0.6	34.1	44.8	78.9	0.633	0.615	6.6
3	2.0	42.9	29.0	③	0.8	39.7	34.5	74.2	0.901	0.873	11.8
4	2.8	49.5	22.2	④	0.8	46.2	25.6	71.8	0.896	0.874	9.3
5	3.6	56.0	17.8	⑤	0.8	52.8	20.0	72.8	0.887	0.874	5.5
6	4.4	62.6	14.8	⑥	0.8	59.3	16.3	75.6	0.883	0.872	4.7
7	5.2	68.8	12.7	⑦	0.8	65.7	13.8	79.4	0.878	0.869	3.8

(7) 计算基础平均最终沉降量

$$S = \sum S_i = 7.7 + 6.6 + 11.8 + 9.3 + 5.5 + 4.7 + 3.8 = 49.4mm$$

4.3.3 地基的最终沉降量计算

——规范法

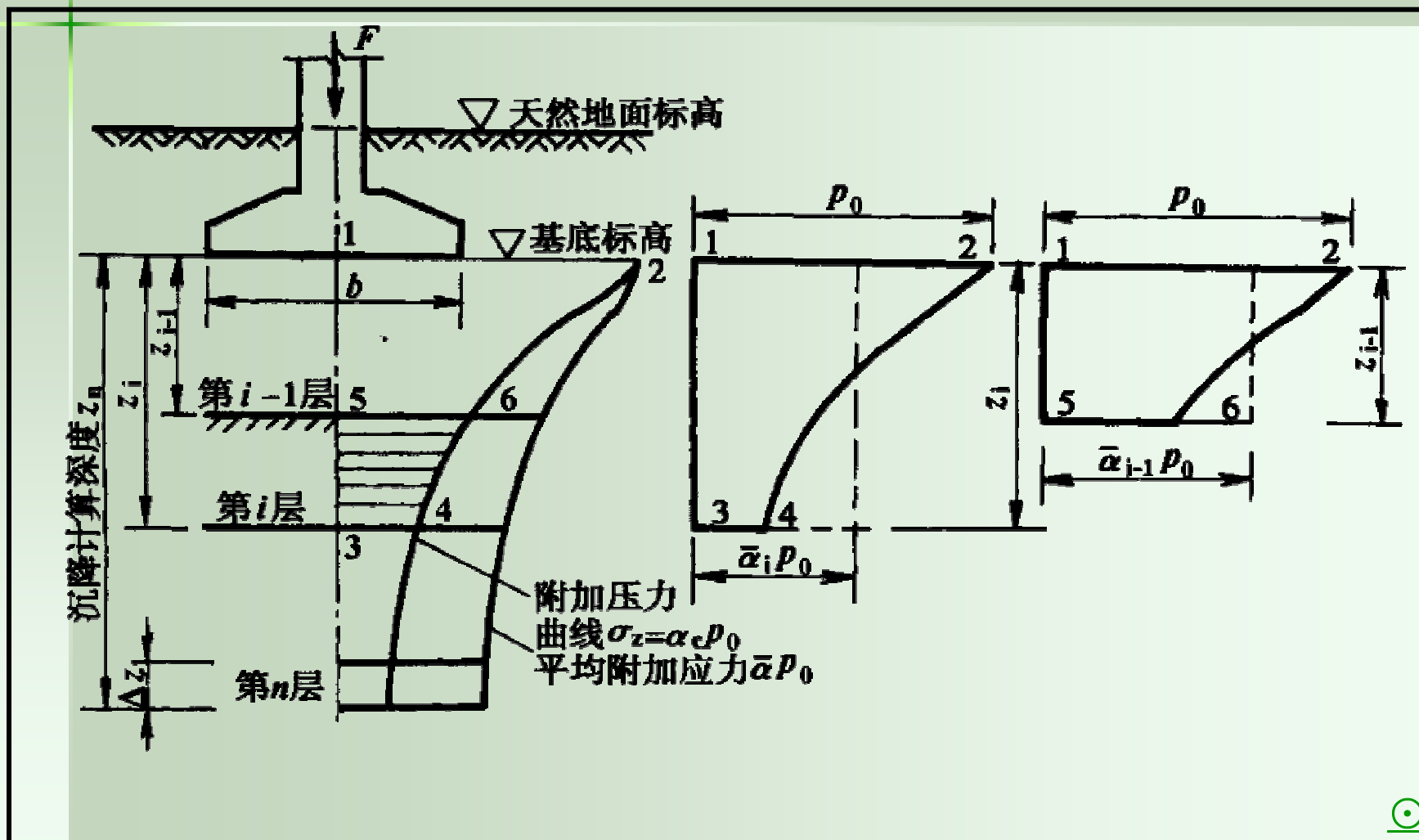
Stress Area Method

建筑地基基础设计规范
(GB50007-2002)

☆1 一、平均附加应力系数概念

☆2

Coefficient of average additional stress



二、沉降计算

1、原理

(1) $0 \sim z_i$ 均匀土层 ($E_s = \text{常数}$)，不论多深，一层计算；

$$s' = \frac{\overline{\sigma_z}}{E_s} z_i = \frac{p_0 \overline{\alpha_i} z_i}{E_s}$$

(2) 第 i 层， $z_{i-1} \sim z_i$ 均匀土层 ($E_s = \text{常数}$)，不论多深，一层计算；

假设 z_i 以上皆为同一种土， E_{si} 相同，该层土压缩量为 $0 \sim z_i$ 土压缩量减去 $0 \sim z_{i-1}$ 层压缩量，即

$$\Delta s_i' = \frac{p_0 \overline{\alpha_i} z_i}{E_{si}} - \frac{p_0 \overline{\alpha_{i-1}} z_{i-1}}{E_{si}} = \frac{p_0}{E_{si}} (\overline{\alpha_i} z_i - \overline{\alpha_{i-1}} z_{i-1})$$

(3) 第 j 层, $z_{j-1} \sim z_j$ 均匀土层 ($E_s = \text{常数}$),
不论多深, 一层计算;

$$\Delta s_j' = \frac{p_0}{E_{sj}} (\overline{\alpha_j z_j} - \overline{\alpha_{j-1} z_{j-1}})$$

即: 对 E_s 随深度变化的同一土层, 则应按 E_s 再分层
计算

(4) 各土层沉降量之和

$$s' = \sum \Delta s_i$$



z_n 的确定

- 1、 z_n 向上 Δz 厚度土层内的计算沉降量 $\Delta s'_n$
- 满足 $\Delta s'_n \leq 0.025s'$ 即可
- 2、 Δz 的确定与基宽 b 有关，见规范表格如下，可查得

b	$b \leq 2\text{m}$	$2 < b \leq 4\text{m}$	$4 < b \leq 8\text{m}$	$8 < b \leq 15$
Δz	0.3	0.6	0.8	1.0

4.4 应力历史(Stress history)对地基最终沉降量的影响

4.4.1 先(前)期固结压力 (pre-consolidation pressure)

天然土层在历史上所经受过的**最大固结压力**
(指有效应力), 用 p_c 表示。

按照它与现有
压力相对比状
况, 分为

Normally consolidated soil (clay)

- 正常固结土层在历史上所经受的先期固结压力等于现覆土重。

Overconsolidated soil (clay)

- 超固结土层历史上曾经受过大于现有覆盖土重的先期固结压力。

超固结比：
Overconsolidation
ratio

$$\text{OCR} = \frac{p_c}{p_0}$$

相同 p_0 时，一般OCR越大，土越密实，压缩性越小

Underconsolidated soil (clay)

- 欠固结土层的先期固结压力小于现有覆盖土重。

先期固结压力 (Pre-consolidation pressure)

$\sigma_c = \gamma z$: 自重压力

$p_c = p_0$: 正常固结土 Normally consolidated

$p_c > p_0$: 超固结土 Overly consolidated

$p_c < p_0$: 欠固结土 Underconsolidated

超固结比:
Overconsolidation
ratio

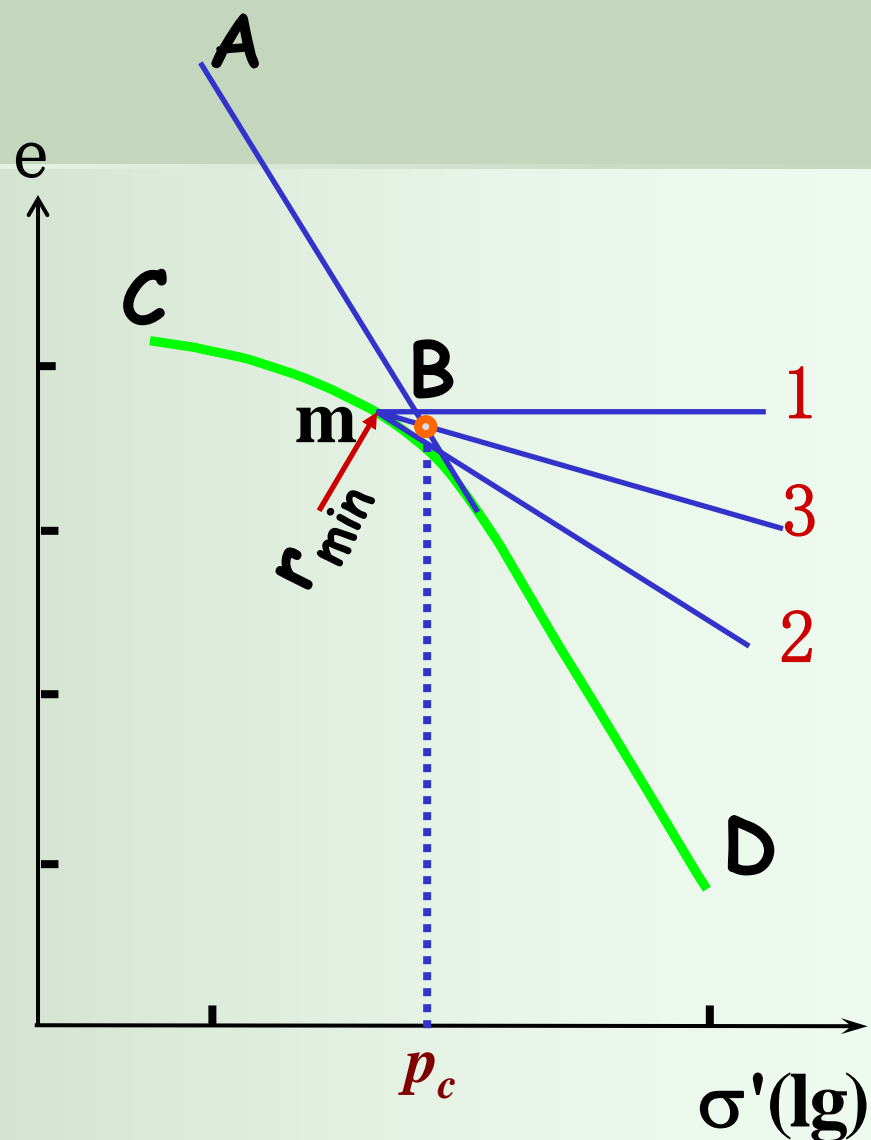
$$\text{OCR} = \frac{p_c}{p_0}$$

{ OCR=1: 正常固结
OCR>1: 超固结
OCR<1: 欠固结

相同 p_0 时, 一般OCR越大, 土越密实, 压缩性越小

4.4.2 先期固结压力 p_c 的确定： Casagrande 法

- (a) 在 $e-\log p$ 压缩试验曲线上，找曲率最大点 m
- (b) 作水平线 m_1
- (c) 作 m 点切线 m_2
- (d) 作 m_1, m_2 的角平分线 m_3
- (e) m_3 与试验曲线的直线段交于点 B
- (f) B 点对应于先期固结压力 p_c

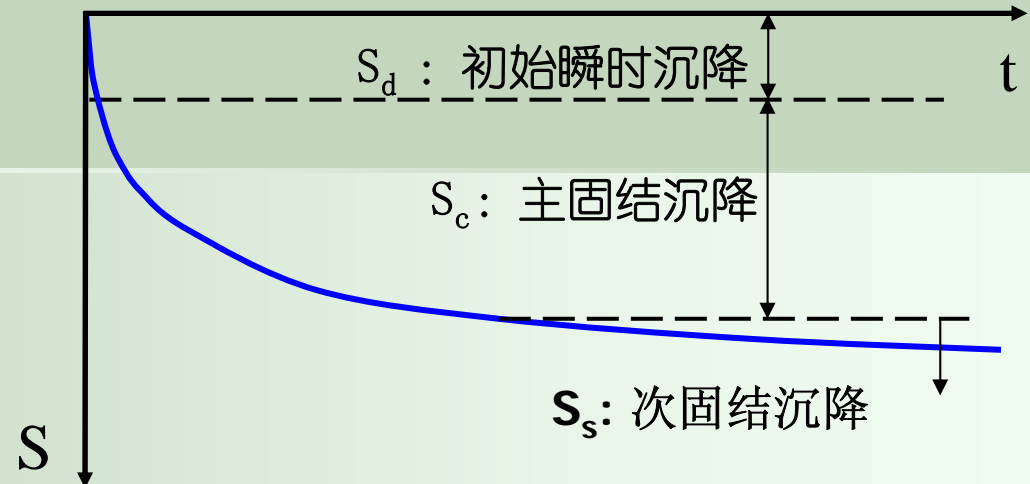


4.4.3 沉降计算若干问题

1、地基最终沉降量组成

研究表明：粘性土地基在基底压力作用下的沉降量 S 由三种不同的原因引起：

$$S = S_d + S_c + S_s$$



- 初始沉降(瞬时沉降) S_d (Distortion settlement)
- 主固结沉降(渗透固结沉降) S_c (Primary consolidation settlement)
- 次固结沉降 S_s (Secondary consolidation settlement)

4.4.4 饱和土体一维渗透固结理论

One-dimensional consolidation theory for saturated soils

- 1、有效应力原理 *Principal of effective stress*
- 2、一维渗透固结理论 (Terzaghi渗透固结理论)
Terzaghi's theory of one-dimensional consolidation
- 3、固结度的计算 *Degree of consolidation*
- 4、有关沉降—时间的工程问题 *Application*

4.4.4.1 饱和土的有效应力原理

Principal of effective stress of saturation soils

(1) 饱和土体内任一平面上受到的总应力可分为两部分 σ' 和 u ，并且

$$\sigma = \sigma' + u$$

通常，

总应力已知或易知

孔隙水压测定或算定

$$\sigma' = \sigma - u$$

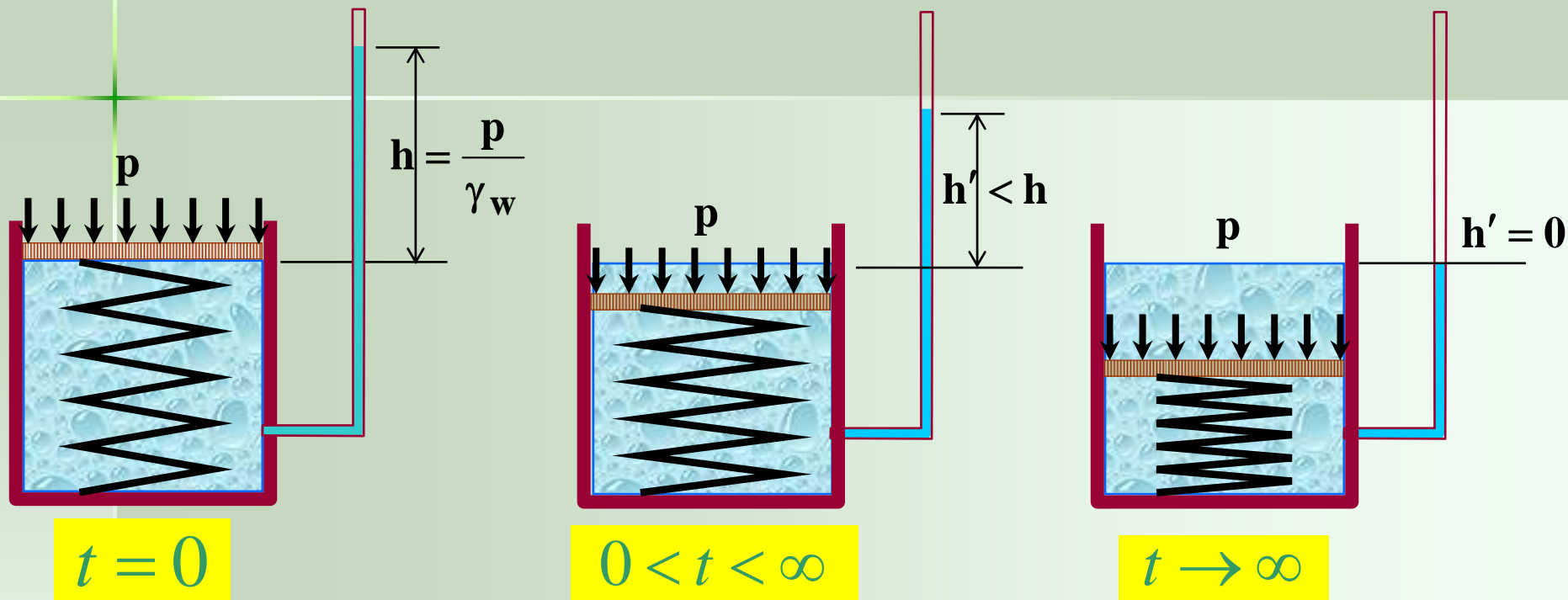
有效应力

(2) 土的变形与强度都只取决于有效应力

4.4.4.2 一维渗流固结理论 (Terzaghi渗流固结理论)

Theory of one-dimensional consolidation

1、饱和土渗透固结模型



附加应力: $\sigma_z = p$

超静孔压: $u = \sigma_z = p$

有效应力: $\sigma'_z = 0$

附加应力: $\sigma_z = p$

超静孔压: $u < p$

有效应力: $\sigma'_z > 0$

附加应力: $\sigma_z = p$

超静孔压: $u = 0$

有效应力: $\sigma'_z = p$

渗流固结过程: 在总应力不变的情况下, σ'_z 增长, u 降低的过程

2、微分方程建立 Differential equation of consolidation

基本假定:

① 土层均匀且完全饱和;

The clay water-system is homogeneous. Saturation is complete.

② 土颗粒与水不可压缩;

Compressibility of water and soil grains is negligible.

③ 变形是单向压缩 (水的渗出和土层压缩是单向的);

The flow of water is in one direction only.

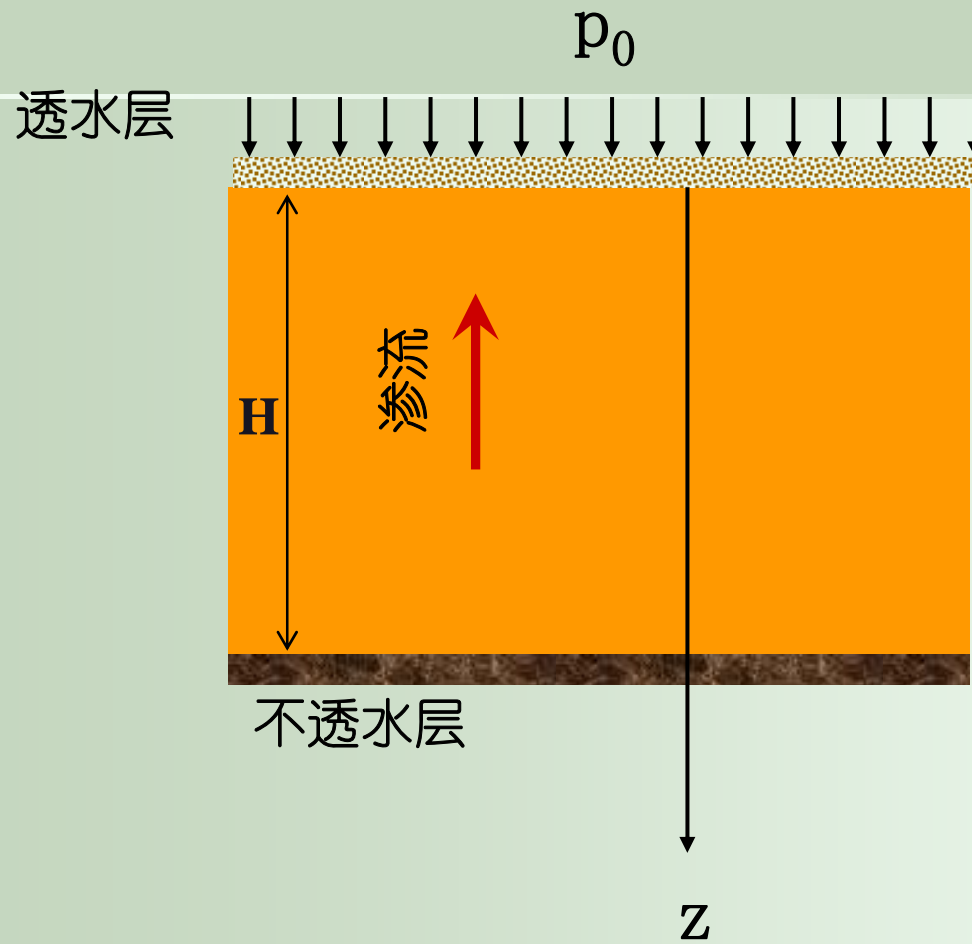
④ 荷载沿水平面无限均布且一次施加; ——假定 σ_z remains constant

⑤ 渗流符合达西定律且渗透系数 k 保持不变;

Darcy's law is valid. The coefficient of permeability k remains C.

⑥ 压缩系数 a 是常数。 $a = \text{const}$

2. 微分方程建立 Differential equation of consolidation



建立方程：

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{k(1+e_1)}{\gamma_w a} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$$

固结系数
Coefficient of
consolidation

$$C_v = \frac{k(1+e_1)}{a\gamma_w}$$

C_v 反映了土的固结性质：孔压消散的快慢－固结速度；
 C_v 与渗透系数 k 成正比，与压缩系数 a 成反比；
(cm^2/s ; m^2/year)

方程求解：

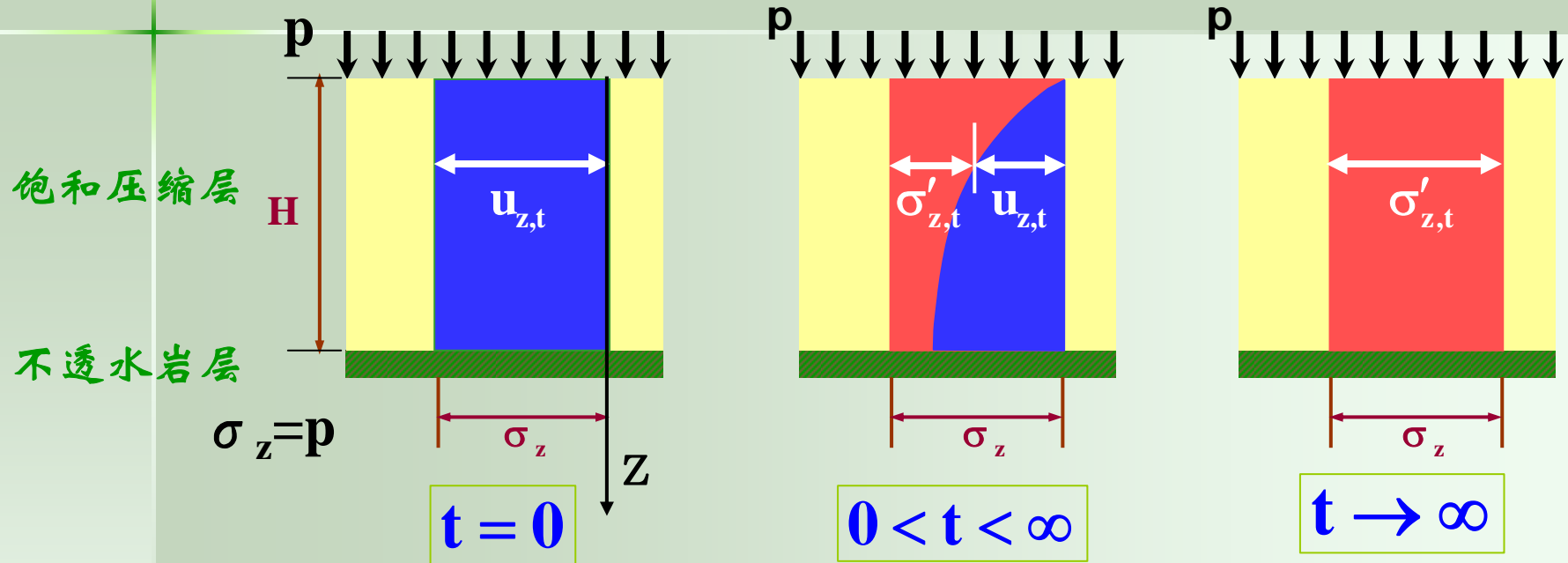
$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$$

(1) 求解思路：

- 线性齐次抛物线型微分方程式，一般可用分离变量方法求解。
- 给出定解条件，求解渗流固结方程，就可以解出 $u_{z,t}$ 。

方程求解：

(2) 边界、初始条件：



$0 \leq z \leq H:$

$u = \sigma_z = p$

初始条件

$z=0: u=0$

$z=H: \partial u / \partial z = 0$

边界条件

$0 \leq z \leq H:$

$u=0$

(3) 微分方程的解

方程求解:

基本微分方程:
$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$$

初始边界条件:

$$t = 0$$

$$0 \leq z \leq H:$$

$$u = \sigma_z = p$$

$$0 < t < \infty$$

$$z=0: u=0$$

$$z=H: \partial u / \partial z = 0$$

$$t \rightarrow \infty$$

$$0 \leq z \leq H:$$

$$u=0$$

微分方程的解:

$$u_{z,t} = \frac{4\sigma_z}{\pi} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{m} \sin\left(\frac{m\pi z}{2H}\right) e^{-m^2 \left(\frac{\pi^2}{4}\right) T_v}$$

$$m=1, 3, 5, 7, \dots$$

$$T_v = \frac{C_v}{H^2} t$$

时间因数

Time factor

4.4.4.3 固结度的计算

Degree of consolidation

$$U = \frac{s_{ct}}{s_c} = \frac{\text{Settlement of the layer at time } t}{\text{Ultimate settlement}}$$

$$s_{ct} = U s_c$$

1. 基本概念

▪ 一点M:

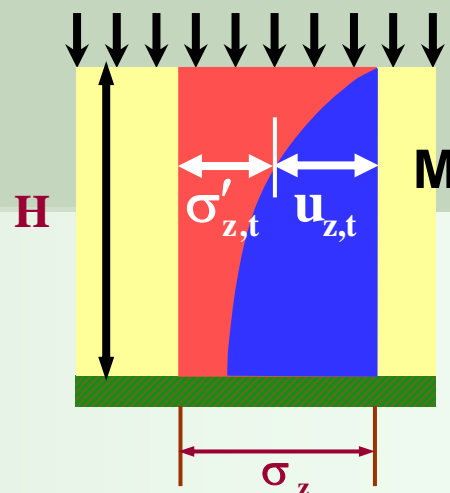
$$U_{z,t} = \frac{\sigma'_{z,t}}{\sigma_z} \quad \rightarrow \quad U_{z,t} = \frac{\sigma'_z}{\sigma_z} = \frac{\sigma_z - u_{z,t}}{\sigma_z} = 1 - \frac{u_{z,t}}{\sigma_z}$$

$U_{z,t}=0\sim 1$: 表征总应力中有效应力所占比例

▪ 地层:

一层土的平均固结度

$$U_t = \frac{\text{有效应力分布面积}}{\text{总应力分布面积}} = \frac{\int_0^H \sigma'_{z,t} dz}{\int_0^H \sigma_z dz} = 1 - \frac{\int u_{z,t} dz}{\int \sigma_z dz}$$



2、平均固结度 U_t 与沉降量 S_t 之间的关系

t时刻:

$$U_t = \frac{\text{有效应力分布面积}}{\text{总应力分布面积}} = \frac{\int \sigma'_{z,t} dz}{\int \sigma_z dz} = \frac{\int \frac{a\sigma'_{z,t}}{1+e_1} dz}{\frac{a\sigma_z H}{1+e_1}} = \frac{S_{ct}}{S_c}$$

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

在时间t的沉降与最终沉降量之比

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

- 确定 S_{ct} 的关键是确定 U_t
- 确定 U_t 的核心问题是确定 $u_{z,t}$

3. 地基沉降过程计算

确定地基的平均固结度 U_t

1) 基本计算方法——均布荷载，单向排水情况 *One-way drainage*

▪ 已知
$$U_t = 1 - \frac{\int_0^H u_{z,t} dz}{\int_0^H \sigma_z dz}, \quad u_{z,t} = \frac{4\sigma_z}{\pi} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{m} \sin\left(\frac{m\pi z}{2H}\right) e^{-m^2\left(\frac{\pi^2}{4}\right)T_v}, (m = 1, 3, 5, \dots)$$

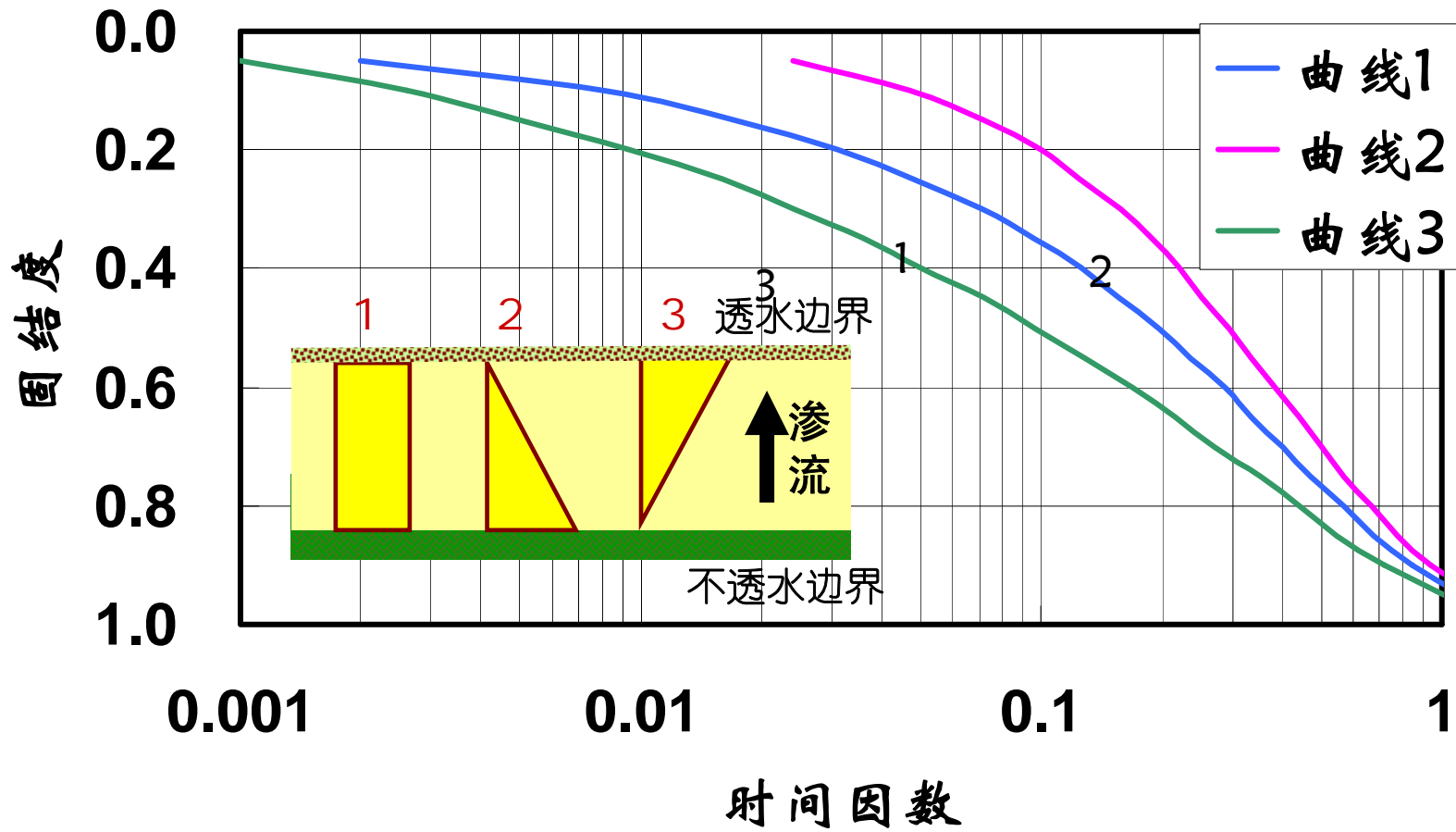
▪ 解得
$$U_t = 1 - \frac{8}{\pi^2} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{m^2} e^{-m^2\left(\frac{\pi^2}{4}\right)T_v}$$

T_v - 反映固结程度,
Nondimensional number

▪ 近似
$$U_t = 1 - \frac{8}{\pi^2} e^{-\frac{\pi^2}{4} T_v}$$

▪ 简化 $T_v = f(U_t) \rightarrow \begin{cases} T_v = \pi^2 U_t^2 / 4 & (U_t < 0.6) \\ T_v = 0.933 \lg(1 - U_t) - 0.085 & (U_t > 0.6) \\ T_v = 3 & (U_t = 1) \end{cases}$

▪ 图表 图及曲线①



2) 常见计算条件

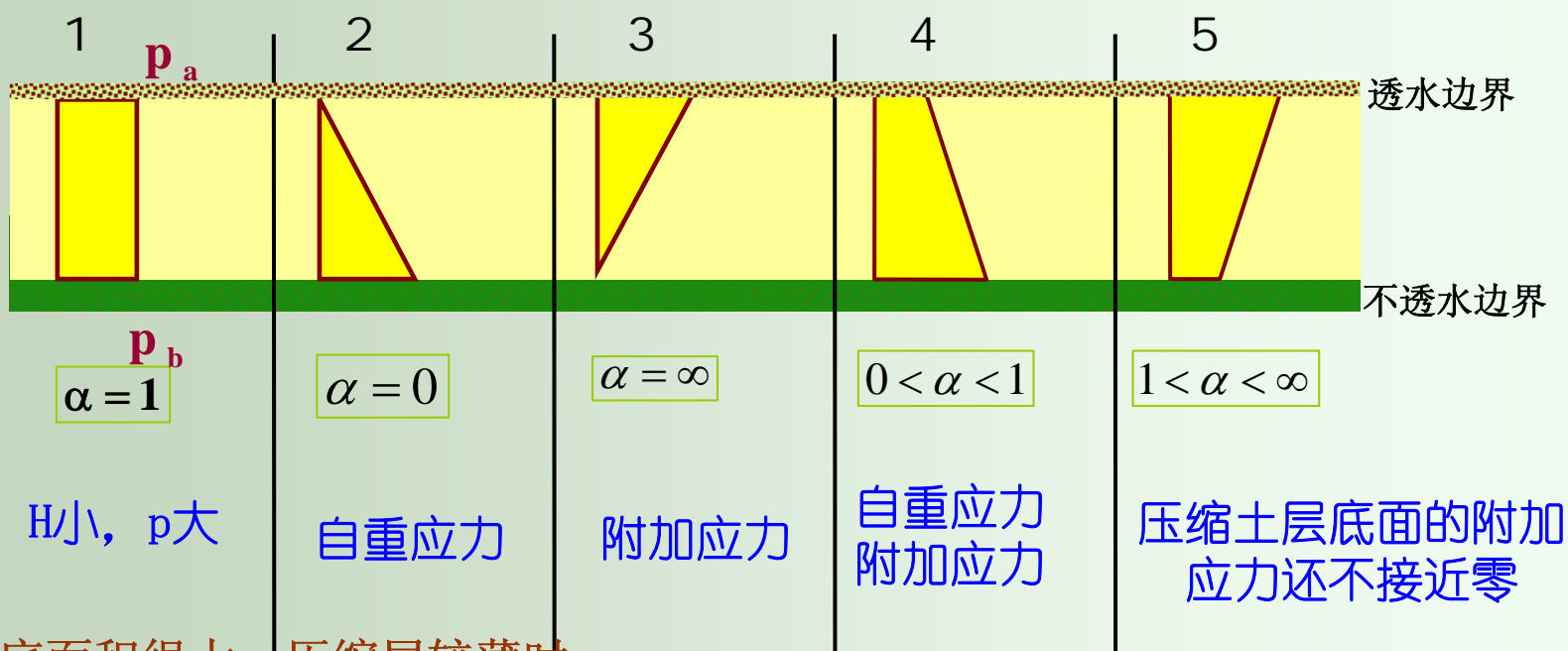
$$\alpha = \frac{\text{透水界面上作用的压缩应力}}{\text{不透水界面上作用的压缩应力}} = \frac{p_a}{p_b}$$

(1) 压缩应力分布不同时

基本情况:

应力分布:

实践背景: H 小, p 大



- 1 基础底面积很大, 压缩层较薄时;
- 2 无限大面积的水力冲填土层, 自重应力作用而产生固结;
- 3 基础底面积较小, 压缩土层底面处 σ_z 已接近于0
- 4 地基在自重作用下未完成固结就修建建筑物基础;
- 5 基础底面积较小, 但压缩土层底面处 σ_z 还不接近于0;

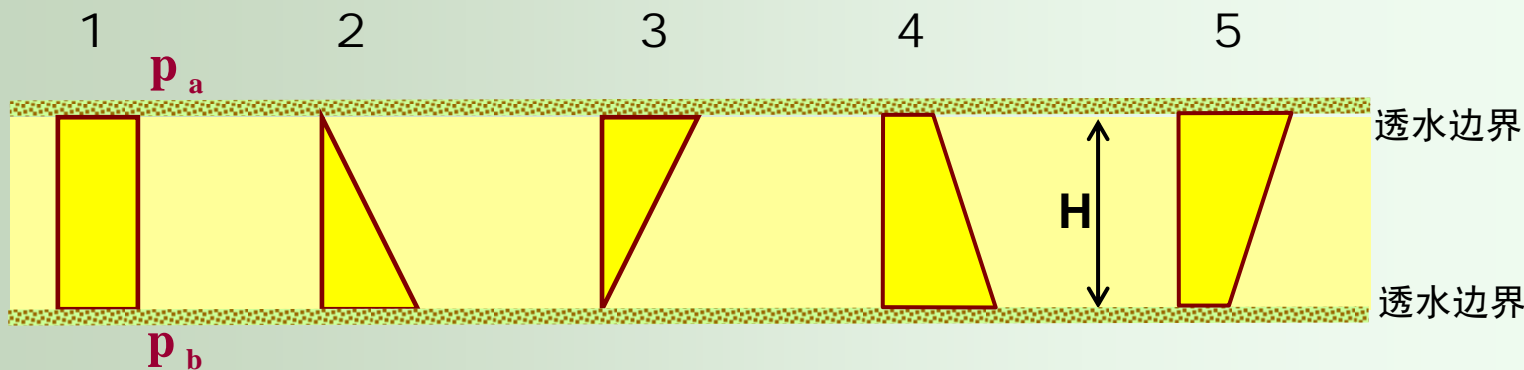
Two-way drainage

(2) 双面排水时

- 无论哪种情况，均按情况1计算；
- 压缩土层深度H取1/2值

$$T_v = \frac{C_v}{H^2} t$$

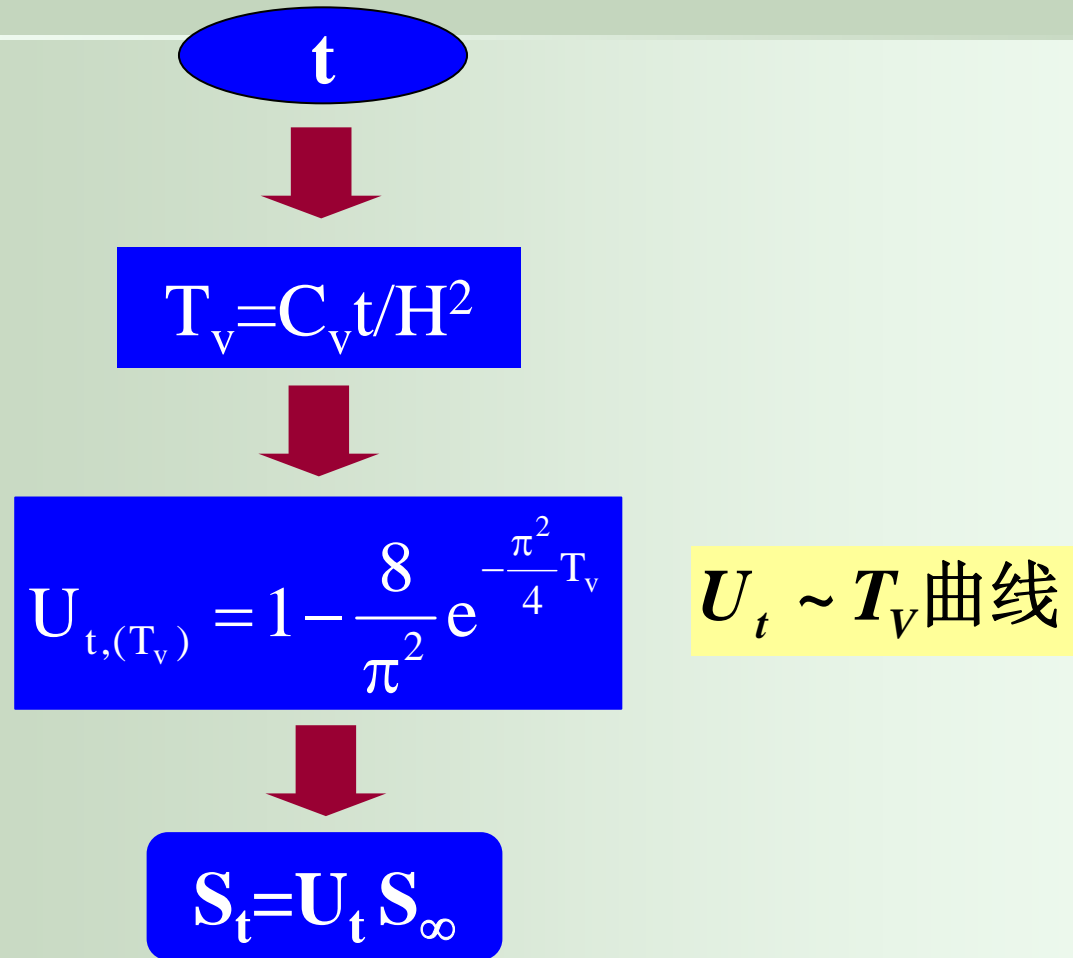
基本情况:



4.4.4.4 有关沉降-时间的工程问题

- 1、求某一时刻 t 的固结度与沉降量
- 2、求达到某一固结度所需要的时间

1、求某一时刻 t 的固结度与沉降量



2、求达到某一沉降量(固结度)所需要的时间

$$U_t = S_t / S_\infty$$



从 U_t 查表 (计算) 确定 T_v



$$t = \frac{T_v H^2}{C_v}$$

Example: 某饱和粘土层厚度为10m，在大面积荷载 $p_0=120\text{kPa}$ 作用下，该土层初始 $e=1$ ，压缩系数 $a=0.3\text{MPa}^{-1}$ ，渗透系数 $k=1.8\text{cm}/\text{年}$ 。对粘土层在单面排水或双面排水条件下分别求（1）加荷历时1年的沉降量；（2）沉降量达140mm所需时间。

Solution:

1、求土层最终沉降量

土层中 σ_z 沿深度均布， $\sigma_z = p_0 = 120\text{kPa}$

粘土层最终沉降量

$$s = \frac{a \cdot \sigma_z \cdot H}{1+e} = \frac{0.0003 \times 120}{1+1} \times 10000 = 180\text{mm}$$

粘土层固结系数

$$C_v = \frac{k(1+e_0)}{a \cdot \gamma_w} = \frac{1.8 \times (1+1)}{0.0003 \times 0.1} = 1.2 \times 10^5 \text{ cm}^2 / \text{年}$$

2、加荷历时1年的沉降量

单面排水条件下

$$T_v = \frac{C_v \cdot t}{H^2} = \frac{1.2 \times 10^5 \times 1}{1000^2} = 0.12$$

查曲线1

$$U_t = 0.39$$

t=1年时

$$s_t = U_t \cdot s = 0.39 \times 180 = 70\text{mm}$$

双面排水条件下

$$T_v = \frac{C_v \cdot t}{H^2} = \frac{1.2 \times 10^5 \times 1}{500^2} = 0.48$$

查曲线1

$$U_t = 0.75$$

t=1年时

$$s_t = U_t \cdot s = 0.75 \times 180 = 135\text{mm}$$

3、沉降量达140mm所需时间

粘土层固结度

$$U_t = \frac{s_t}{s} = \frac{180}{140} = 0.78$$

查曲线1

$$T_v = 0.53$$

单面排水条件下

$$t = \frac{T_v \cdot H^2}{C_v} = \frac{0.53 \times 1000^2}{1.2 \times 10^5} = 4.4 \text{年}$$

双面排水条件下

$$t = \frac{T_v \cdot \left(\frac{H}{2}\right)^2}{C_v} = \frac{0.53 \times 500^2}{1.2 \times 10^5} = 1.1 \text{年}$$

相同条件下，地基由单面排水
改变为双面排水条件下，达到
相同固结度时，所需时间之比
为排水距离的平方比



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

The end of chapter 4



English Terms

Compressibility	Consolidometer
Compressibility characteristics	Porous stone
Compressibility parameters	Specimen
Compressive deformation	Compression
Settlement	Compression curve
One-dimensional compression	Compression coefficient
Permeability	Compression index
Stress history	Compression modulus
Consolidation	Rebounding or swelling curve
Pore volume	Recompression curve
Confined compression test	Deformation modulus

Final / ultimate settlement	Primary consolidation settlement
Layerwise summation method	Secondary consolidation settlement
Stress area method	Degree of consolidation
Coefficient of average additional stress	Theory of one-dimensional consolidation
Modified coefficient	Darcy's law
Pre-consolidation pressure	Excess pore water pressure
Normally consolidated soil	Coefficient of consolidation
Overconsolidated soil	Time factor
Overconsolidation ratio	One-way drainage
Underconsolidated soil	Two-way drainage
Distortion settlement	