

地基土压缩模量的计算

核工业工程勘察院 孙仁廷

一、问题的提出

土的压缩模量是评价地基土的压缩性和计算地基土变形的重要参数。它是由室内固结试验测定的。对于压缩模量的计算,目前还有些混乱,主要有下面三种方法:

(一) 国标《土工试验方法标准》(GBJ 123-88)(下称“标准”)给定的计算式是:

$$E_s = \frac{p_{i+1} - p_i}{S_{i+1} - S_i} = \operatorname{tg} \beta$$

$$= \frac{p_{i+1} - p_i}{\varepsilon_{i+1} - \varepsilon_i} \quad (1)$$

即应力应变曲线的某范围段割线的斜率,见图1。

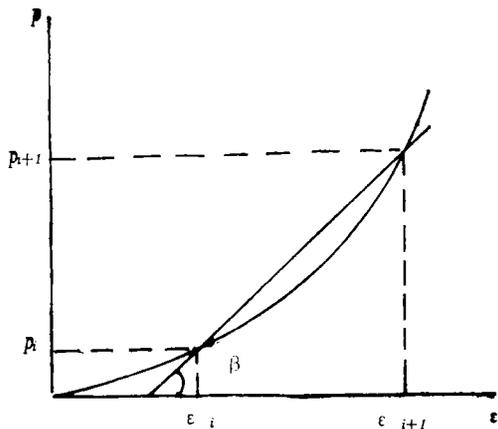


图1

(二)《建筑地基基础设计规范》(GBJ 7-89)(下称“规范”)给定的计算式是:

$$E_s = \frac{1 + e_0}{a} \quad (2)$$

(三)一些规程、教科书及一些部门计算压缩模量时采用下式:

$$E_s = \frac{1 + e_1}{a} \quad (3)$$

式中 E_s —— p_i 到 p_{i+1} 压力区间的压缩模量;

$\varepsilon_i, \varepsilon_{i+1}$ ——与 p_i, p_{i+1} 相对应的试样轴向应变;

e_0 ——土的初始孔隙比;

e_1 ——压力为 p_i 时试样的孔隙比;

a —— p_i 到 p_{i+1} 压力区间的压缩系数。

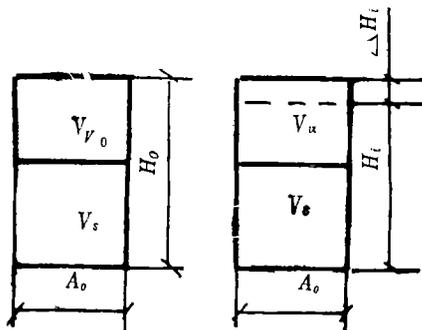
上述三个计算式之间有什么关系,哪个有理论依据,下面从不同角度做一简单推导。

二、 E_s 计算公式的推导

(一) 试样应变量的计算

1. 按应变量的定义推导计算

图2(a)为试样初始状态。 H_0 为试样原始高度, A_0 为试样面积, V_0 为试样原始体积, V_{v0} 为试样孔隙的初始体积, V_s 为土颗粒的体积;图2(b)为试样受 p_i 压力稳定后



(a) 初始状态

(b) 压力时的状态

图2

的状态,这时土样的压缩量为 ΔH_i , V_{v1} 、 H_i 分别为土样压缩后的孔隙体积和试样高度。并假定试样的压缩量仅为孔隙体积的减小所引起,土颗粒为不可压缩体,即加压过程中 V_s 不变。显然 $\Delta H_i = H_0 - H_i$ 。加压过程

中由于环刀的侧向约束, 面积 A_0 也保持不变, 这样压力由零增加到 p_1 后, 试样的轴向应变 ε_1 可用式(4)表示:

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta H_1}{H_0} = \frac{H_0 - H_1}{H_0} \quad (4)$$

式(4)右部分子、分母同乘以 A_0 , 则:

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= \frac{H_0 A_0 - H_1 A_0}{H_0 A_0} \\ &= \frac{V_0 - V_1}{V_0} \end{aligned} \quad (5)$$

式中 $V_0 = H_0 A_0$, $V_1 = H_1 A_0$.

又因为 $V_0 = V_s + V_{v0}$, $V_1 = V_s + V_{v1}$,

所以式(5)又可写成:

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= \frac{(V_s + V_{v0}) - (V_s + V_{v1})}{V_s + V_{v0}} \\ &= \frac{V_{v0} - V_{v1}}{V_s + V_{v0}} \end{aligned} \quad (6)$$

式(6)右部分同除以 V_s 得:

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= \frac{V_{v0}/V_s - V_{v1}/V_s}{1 + V_{v0}/V_s} \\ &= \frac{e_0 - e_1}{1 + e_0} \end{aligned} \quad (7)$$

式中 $e_0 = \frac{V_{v0}}{V_s}$ 为试样初始孔隙比,

$e_1 = \frac{V_{v1}}{V_s}$ 为压力 p_1 时试样孔隙比。

显然

$$\varepsilon_{i+1} = \frac{e_0 - e_{i+1}}{1 + e_0} \quad (8)$$

变换式(7)可得:

$$e_1 = e_0 - (1 + e_0)\varepsilon_1 \quad (9)$$

由于 $\varepsilon_1 = \frac{\Delta H_1}{H_0}$, 所以式(9)又可写成:

$$e_1 = e_0 - (1 + e_0) \frac{\Delta H_1}{H_0} \quad (10)$$

式(10)与“标准”给定的 e_1 算式是一致的。

对某个试样来说, 初始孔隙比 e_0 是个定

值, 土质学给定的计算式是:

$$e_0 = \frac{(1+W)G\rho_w}{\rho_0} - 1 \quad (11)$$

式中 W ——为土样的天然含水量;

G ——为土颗粒的比重;

ρ_w ——水的密度; 1

ρ_0 ——试样的天然密度。

2. 按土试样受力后固体颗粒体积不变的假设推导计算

如图2所示。

试样加压前固体颗粒的体积:

$$V_s = \frac{A_0 H_0}{1 + e_0} \quad (12)$$

试样加压后固体颗粒的体积:

$$V_s = \frac{A_0 H_1}{1 + e_1} \quad (13)$$

由于加压前后固体颗粒的体积不变, 所以有:

$$\frac{A_0 H_0}{1 + e_0} = \frac{A_0 H_1}{1 + e_1} \quad (14)$$

将式(14)简化得:

$$H_1 = \frac{1 + e_1}{1 + e_0} H_0 \quad (15)$$

由图2可知,

$$\Delta H_1 = H_0 - H_1 \quad (16)$$

将式(15)代入式(16), 简化后得:

$$\frac{e_0 - e_1}{1 + e_0} = \frac{\Delta H_1}{H_0} = \varepsilon_1 \quad (17)$$

式(17)与式(7)完全一致。

显然有: $\frac{e_0 - e_{i+1}}{1 + e_0} = \varepsilon_{i+1}$ (18)

式(7)与式(17)说明, 试样受压后的应变变量与 e_0 、 e_1 具有固定的关系。

(二) 压缩模量 E 计算式的推导

1. 按应力应变关系推导

土力学规定试样在某一压力范围内的压缩系数 a 为压缩曲线($e-p$ 曲线), 在该段的割线斜率(图3), 由式(19)表示:

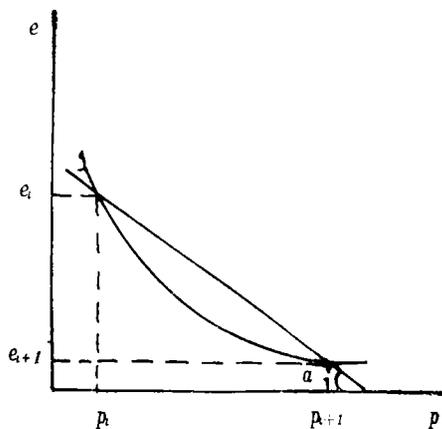


图 3

$$a = \operatorname{tg} \alpha = \frac{e_i - e_{i+1}}{p_{i+1} - p_i} \quad (19)$$

由虎克定律可知:

$$p_i = E \cdot \varepsilon_i \quad (20)$$

$$p_{i+1} = E \cdot \varepsilon_{i+1} \quad (21)$$

式(20)、(21)的 E 即为试样的压缩模量 E_s 。

将式(20)、(21)代入式(19)得:

$$a = \frac{e_i - e_{i+1}}{E(\varepsilon_{i+1} - \varepsilon_i)} \quad (22)$$

将式(17)、(18)中的 ε_i 代入式(22), 整

理后得:

$$E = \frac{1 + e_0}{a} \quad (23)$$

式(23)与“规范”给定的 E , 计算式一致。

2. “标准” E , 计算式与“规范” E , 计算式的关系

p_i 到 p_{i+1} 压力区间的压缩模量 E , “标准”给定的计算式是式(1), 即 $E_s = \frac{p_{i+1} - p_i}{\varepsilon_{i+1} - \varepsilon_i}$ 。将式(17)、(18)的 ε_i 、 ε_{i+1} 和式(20)、(21)的 p_i 、 p_{i+1} 代入式(1)并整理得:

$$E_s = E, \text{ 从式(23)知 } E = \frac{1 + e_0}{a}$$

$$\text{故 } E_s = \frac{1 + e_0}{a} \quad (24)$$

式(24)与“规范”计算式完全一致。

三、结论

(一) “标准”与“规范”给定的 E_s 计算式, 虽然形式不同, 但实质相同, 可以互换使用。它们是有理论依据的。

(二) $E_s = \frac{1 + e_i}{a}$ 计算式缺乏理论依据, 是错误的, 应该舍弃。

(上接第12页)

设计中置换率 m 取0.239, $m > m_0$ 。

用 $m = 0.239$ 进行复合地基强度及变形验算均满足设计要求。

该处理工程于1990年3月22日结束, 4月2日试运行一次成功, 投入正式生产至今已3年零6个月, 地基未发生任何问题, 说明地基加固工程是成功的, 并得到厂方的好评; 同时证明本文所提出的设计参数及计算方法是适宜的, 具有实际意义。

四、结束语

碱液加固法处理黄土湿陷性并不能改变基础下未加固土体的湿陷特性, 依然存在地基土湿陷的可能, 所以方案设计不但应该满足复合地基强度和变形(压缩变形)要求,

还应该考虑柱间土湿陷问题, 即应该有:
 $m > m_0$ 。

临界湿陷置换率 m_0 这一指标, 为碱液加固法处理黄土湿陷性提供了一个定量标准, 它可以减少工作盲目性, 具有一定实际意义。

本文得到王长科同志的指导, 并提出了具体意见, 此表示感谢。

参 考 文 献

- 1 韩杰、叶书麟. 复合地基应力特性分析. 工程勘察. 1993年, 第5期
- 2 史如平、韩选江主编. 土力学与地基工程. 上海交大出版社, 1990. 5