

文章编号: 1000-7598-(2003) 06-1057-04

土体侧限压缩模量简易计算方法及其应用

梅国雄^{1,2}, 宰金珉¹, 赵维炳²

(1. 南京工业大学 土木工程学院, 江苏 南京, 210009; 2. 南京水利科学研究所土工所, 江苏 南京, 210024)

摘 要: 地基土的模型已不下数百个, 但真正能反映土体真面目的几乎没有, 其原因是土体本身太复杂。要想全面地考虑土体本构关系, 其模型参数将会多得难以在实践中应用。因此, 从实用角度出发, 应建立简单的 (包括形式和参数的可得到性)、能够反映研究问题主要矛盾的模型。结合建筑工程关心的沉降问题, 根据 $e-p$ 曲线和 $e-\lg p$ 曲线的关系, 建立了与土体竖向应力有关的土体侧限压缩模量的计算方法, 并假定泊松比根据不同的土类, 确定为不同的常量, 从而, 可以较为简单地计算土体的沉降及其应力, 工程实例计算结果表明: 该方法具有合理性。

关 键 词: $e-p$ 曲线; $e-\lg p$ 曲线; 侧限压缩模量

中图分类号: TU 433 **文献标识码:** A

A simplified calculation method of oedometric modulus of soil and its application

MEI Guo-xiong^{1,2}, ZAI Jin-min¹, ZHAO Wei-bing²

(1. College of Civil Engineering, Nanjing University of Technology, Nanjing, 210009, China;

2. Geotechnical Engineering Department, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210024, China)

Abstract: There are hundreds of soil model, but there are no model which can describe the true features of soil because soil is too complex. In order to describe all the characters of soil, we have to join lots of model parameters. However, too many model parameters of soil make the model can not be used in practice. From engineering practice, the best model is that its form including to obtain the parameters is simple, but it can describe the concerning problems. Based on the relationship of $e-p$ curve and $e-\lg p$ curve, a simplified calculation method of oedometric modulus of soil is established. And Poisson ratios of different kinds of soils are assumed different constant values. So a simplified soil model, which can describe the settlement and the vertical stress accurately, is presented. The calculated results of engineering case show the rationality of the method.

Key words: $e-p$ curve; $e-\lg p$ curve; oedometric modulus

1 前 言

地基土的模型已不下数百个, 但真正能反映土体真面目的几乎没有, 其原因是土体本身太复杂。要想全面的考虑土体本构关系, 其模型参数将会多得难以在实践中应用。因此, 从实用角度出发, 是建立简单的 (包括形式和参数的可得到性)、能够反映研究问题主要矛盾的模型。本文结合建筑工程关心的沉降问题, 建立了与土体竖向应力有关的土体侧限压缩模量的计算方法, 并假定泊松比根据不同的土类, 确定为不同的常量, 从而, 可以较为简单的计算土体的沉降及其应力。

2 土体侧限压缩模量简易计算方法

2.1 土体侧限压缩模量计算公式推导

根据侧限压缩模量以及 a 的定义, 可得

$$E_s = \frac{1+e}{a} = -(1+e) \frac{dp}{de} = -(1+e) \frac{dp}{d \lg p} \frac{d \lg p}{de} =$$
$$-(1+e) \frac{d \lg p}{de} \frac{dp}{d \lg p} = \frac{(1+e)p \ln 10}{-\frac{de}{d \lg p}} \quad (1)$$

式中 E_s 为侧限压缩模量; e 为孔隙比; a 为压缩系数; p 为固结压力。

收稿日期: 2002-07-15

作者简介: 梅国雄: 1975 年生, 博士后, 主要从事土与结构物共同作用理论, 固结理论, 土压力理论等方面的研究和教学工作。

(1) 对于正常固结土, 有

$$E_s = 2.3 \frac{(1+e)p}{C_c} \quad (2)$$

式中 C_c 压缩指数。

(2) 对于超固结土, 超固结土的 $e-\lg p$ 曲线见图 1, 同理可得到超固结土的压缩模量计算方法。

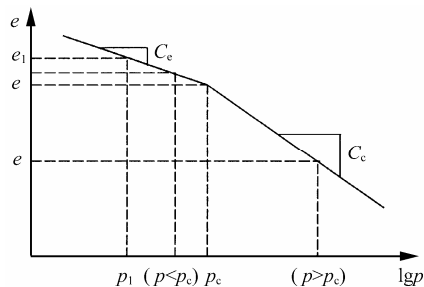


图 1 超固结土 $e-\lg p$ 曲线中求 C_c
Fig.1 Calculating C_c based on $e-\lg p$ curve of overconsolidated soil

$$E_s = \frac{(1+e)p \ln 10}{-\frac{de}{d \lg p}} = \begin{cases} 2.3(1+e)p/C_c & (p < p_c) \\ 2.3(1+e)p/C_c & (p \geq p_c) \end{cases} \quad (3)$$

式中 p 为固结压力, p_c 为前期固结压力。

目前大部分的勘察报告尚没有提供 C_c 和 C_e (事实上, C_e 的值很小, 压缩模量很大, 计算变形时, 可忽略), 而仅提供 a_{1-2} , 因此, 如何根据现有条件来确定 C_c , 具有十分重要的意义。

2.2 C_c 的确定方法

(1) C_c 的确定经验公式^[1]

对于原状土, 相当于现场压缩曲线的压缩指数, 即

$$C_c = 0.009(W_L - 10) \quad (4)$$

式中 W_L 为土的液限。

式(4)对一般粘性土都是适宜的。但对灵敏粘土, 灵敏度高于 4.0 者, 不宜使用。

对于重塑土, 有

$$C_c = 0.007(W_L - 10) \quad (5)$$

其误差最大可达 30%, 在缺试验资料时, 可用上两式估计。

(2) 根据 a_{1-2} 确定 C_c

由图 2 可知, C_c 与应力状态无关, 于是 C_c 可按 C_{e1-2} 计算, 由图 2 和图 3 可得

$$C_c = -\frac{e_2 - e_1}{\lg 200 - \lg 100} = 100a_{1-2} / \lg 2 \quad (6)$$

式中 a_{1-2} 单位为 kPa^{-1} 。

$$C_c = 0.1a_{1-2} / \lg 2 = a_{1-2} / 3 \quad (7)$$

式中 a_{1-2} 单位为 MPa^{-1} 。

对于正常固结土, 由图 2 可得:

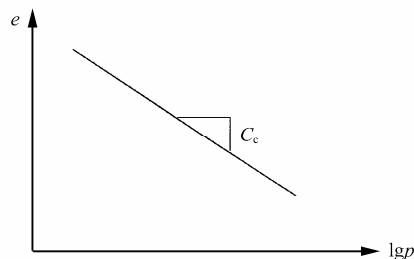


图 2 正常固结土 $e-\lg p$ 曲线中求 C_c
Fig.2 Calculating C_c based on $e-\lg p$ curve of normally consolidated soils

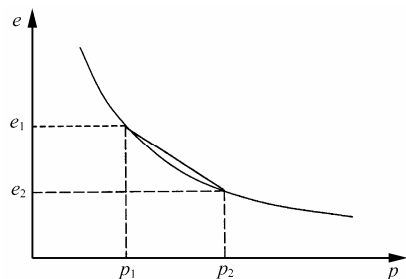


图 3 $e-p$ 曲线中 e_1, e_2 和 p_1, p_2 与 a_{1-2} 的关系
Fig.3 Relation between a_{1-2} and e_1, e_2, p_1, p_2 in $e-p$ curve

$$e = e_1 + C_c(2 - \lg p) \quad (8)$$

将 e, C_c 代入式(1)有:

$$\begin{aligned} E_s &= \ln 10 \times \lg 2 [1 + e_1 + a_{1-2}(2 - \lg p) / 3] p / 100a_{1-2} \\ &= \ln 2 [1 + e_1 + a_{1-2}(2 - \lg p) / 3] \times 10p / a_{1-2} \\ &= 6.93 [1 + e_1 + a_{1-2}(2 - \lg p) / 3] p / a_{1-2} \end{aligned} \quad (9)$$

式中 a_{1-2} 单位为 MPa^{-1} 。

由此, 可根据不同的 p ($p = \sum_{i=1}^n \gamma_i h_i$; γ_i 为第 i 层土的重度(水下为浮重度); h_i 为第 i 层土的厚度, n 为计算点上覆土层数) 计算相应的土层处的土体侧限压缩模量。

对于超固结土, 由图 1 可得

$$E_s = \frac{(1+e)p \ln 10}{-\frac{de}{d \lg p}} = \begin{cases} 2.3(1+e_1 - C_c \lg \frac{p}{100})p / C_c & (p < p_c) \\ 2.3(1+e_1 - C_c \lg \frac{p_c}{100} - C_c \lg \frac{p}{p_c})p / C_c & (p \geq p_c) \end{cases} \quad (10)$$

由此, 可根据不同的 p 计算相应的土层处的土体侧限压缩模量。

2.3 土体的变形模量

根据压缩模量和变形模量的关系, 可得土体的变形模量如下:

$$E = \beta E_s \quad (11)$$

式中 $\beta = 1 - \frac{2\mu^2}{1-\mu}$; μ 为土体的泊松比。

3 工程实例分析

采用一个具体的工程实例^[2]来验证本文所提出的简化土体压缩模量计算方法。

3.1 地基土参数

某工程的土层特性和地基土参数见表 1, 2。

3.2 沉降计算

首先考虑地基土压缩层厚度。根据设计要求,

表 1 地层特性表
Table 1 Strata features

土层	土层名称	颜色	厚度 / m	层底标高 / m	湿度	状态	压缩性	土性描述	地基土承载力 / kPa
①-1	填土	褐黄	0.60~1.25	3.52~2.51	湿-饱和	松散		含植物根茎, 夹少量杂物	
①-2	填土	灰黄	0.50~2.50	2.39~0.15	饱和	软塑-流塑	高	含有机质、腐植质、贝壳、杂物, 有臭味	
②	粉质粘土	黄褐	1.20~2.20	1.44~0.99	湿	可塑	中	含铁锰结核及氧化铁条纹	95
③	淤泥质粉质粘土	灰	4.20~6.10	-3.21~-4.88	饱和	软塑-流塑	中-高	含云母、夹薄层粉砂上部夹较多砂质粉土	80
④	淤泥质粘土	灰	8.15~10.30	-12.9~-14.55	饱和	软塑-流塑	高	含云母、腐植质、夹薄层粉砂	65
⑤	粉质粘土	褐灰	3.00	-17.52	很湿	软塑	中	含钙质结核、半腐烂植物根茎	85

表 2 地基土物理力学指标表
Table 2 Physico-mechanical parameters of ground soils

土层	土层名称	含水量 w / %	比重 G	孔隙比 e	塑性指数 I_p	压缩系数 $a_{0.1-0.2}$	压缩模量 $E_{s0.1-0.2}$	内摩擦角 / (°)	粘聚力 c / kPa
②	粉质粘土	34.3	2.72	0.96	12.3	0.40	4.90	16.0	11
③	淤泥质粉质粘土	43.0	2.72	1.20	13.6	0.63	3.81	10.0	10
④	淤泥质粘土	52.7	2.74	1.47	22.3	1.14	2.05	7.0	10
⑤	粉质粘土	31.1	2.72	0.94	1.30	0.40	4.71	12.0	12

地基土承载力为 100 kPa, 由地质资料算得 $p_0 = 85.4$ kPa, 基础净面积 $36.3 \text{ m} \times 10.2 \text{ m}$, 建筑物为条形基础, 基础宽度 $b = 3.0 \text{ m}$, 基础外包尺寸 $39.3 \text{ m} \times 13.2 \text{ m}$, $\omega = 0.80 \text{ m}$, 压缩层厚度为: $h = \omega B(c' p_0 + 1) = 0.714 \times 13.2 \times (0.001 \times 85.4 + 1) = 17.5 \text{ m}$ 。

(1) 计算方法 1^[2]

根据上海市标准《地基基础设计规范》^[3]第 4.3.1 条公式:

$$S = m_s B p_0 \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i - \delta_{i-1}}{E_s} \quad (12)$$

采用分层总和法压缩层厚度为 17.5 m, 计算建筑物最终沉降量见表 3。

表 3 计算方法 1
Table 3 Calculation method 1

土层	自基底往下算的深度 Z / m	$\frac{2Z}{B}$	δ	$\delta_i - \delta_{i-1}$	E_s / MPa	$\frac{\delta_i - \delta_{i-1}}{E_s}$
②	1.6	0.24	0.125	0.125	4.90	0.025 5
③	6.8	1.03	0.487	0.353	3.81	0.092 7
④	16.8	2.55	0.917	0.439	2.05	0.214 1
⑤	17.5	2.65	0.949	0.032	4.71	0.006 8

由表 3 可知, 各土层的 $\frac{\delta_i - \delta_{i-1}}{E_s}$ 之和为 0.339 1,

则最终沉降量 $S = 1.30 \times 1320 \times 85.4 \times 10^{-3} \times 0.339 1 = 49.7 \text{ cm}$ 。

(2) 计算方法 2

按分层总和法, 并将参数按本文提出的方法转化为 $e\text{-lg}p$ 的形式, 计算结果如表 4 所示。

表 4 计算方法 2(本文方法)
Table 4 Calculation method 2 (the presented method)

C_c	计算 e_1	Δe	H / cm	ΔS / cm
0.133	0.9561	0.03388	160	2.77
0.21	1.1682	0.03946	520	9.46
0.38	1.3665	0.04520	500	9.55
0.38	1.3375	0.02882	500	6.16

由表 4 可知, 最终沉降量 $S = \sum \Delta S = 27.94 \text{ cm}$ 。

由此可见, 两种方法计算的结果为: 49.7 cm(法 1)、27.94 cm(本文方法) 有较大的差别, 但实测

沉降预估最终沉降为: 12.7 cm, 因此本文的计算相对于传统的计算有一定的改进, 比较接近实测结果。其原因是常规的分层总和法采用的计算参数, 未考虑土体随深度的变化, 其侧限压缩模量是深度(有效应力)的函数, 随深度递增; 而本文提出的土体侧限压缩模量简易计算方法正是考虑了土体的侧限压缩模量随深度(有效应力)变化的特点, 因而, 计算的结果比较符合实际情况。

需指出的是, 本文所提的计算方法和实测还有较大差距, 笔者认为主要原因是土体遭到了扰动, 因而, 导致地质报告提供的参数偏小, 计算沉降结果偏大。

4 结 论

根据 $e-p$ 曲线和 $e-\lg p$ 曲线的关系, 建立了一个土体侧限压缩模量简易计算方法, 并将其应用于某实际工程, 计算结果表明本文的方法更符合实际。

参 考 文 献

- [1] 殷宗泽. 土体沉降与固结[M]. 北京: 中国电力出版社, 1998. 2—10.
- [2] 张文权, 杨忠汉. 上海软土地基多层建筑沉降规律探讨[A]. “99”岩土工程土工测试技术学术交流会论文集[C]. 南京: 河海大学出版社, 1995. 310—314.
- [3] DBJ08-11-89, 地基基础设计规范[S].