

建筑结构设计新编

地基基础设计

殷志建 主编

殷志建 杨俊悌 编著

郑洪国 审校

19081
41

JIANZHU JIEGOUSHE JIXINBIAN

安徽科学技术出版社

丛书

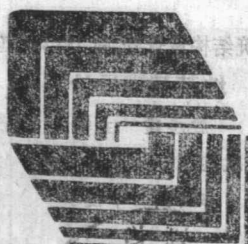
建筑结构设计新编

地基基础设计

殷志建 主编

殷志建 杨俊悌 编

郑洪国 审校



安徽科学技术出版社

责任编辑：范 源

封面设计：王士龙

建筑结构设计新编(丛书之四)

地基基础设计

殷志建 主编

殷志建 杨俊伟 编

郑洪国 审校

*

安徽科学技术出版社出版

(合肥市跃进路1号)

新华书店经销 安徽新华印刷厂印刷

*

开本：787×1092 1/32 印张：8.75 字数：192,000

1983年1月第1版 1983年1月第1次印刷

印数：00,001—15,000

ISBN7-5337-0105-5/TU·5

定价：1.85元

前 言

《工业与民用建筑地基基础设计规范》(TJ7-74)是我国第一本地基基础设计规范。自颁发以来至今已有10余年。它对工业与民用建筑地基基础设计起到了积极作用。但在执行过程中,也发现存在一些问题。

《建筑结构设计统一标准》(GBJ68-84)的颁发,促进了对现行设计规范的全面修订,地基基础规范组的同志们为此提出了20个专题,对原规范中存在的问题进行了系统的调研。作为规范修订的基础和背景资料,这20个专题报告名目如下:

1. 一般土的分类与定名;
2. 低塑性土地基承载力表;
3. 红粘土的定名与承载力;
4. 地基土的力学性质、指标与可靠性的分析取值;
5. 地基容许承载力的计算公式中参数 c, ϕ 值确定;
6. 中国标准冻深线图编制;
7. 地基土冻胀性分类、防冻害措施;
8. 高烟囱基础容许倾斜值;
9. 地基压缩层深度确定;
10. 沉降计算经验系数 m_s 值;
11. 软弱下卧层的验算;
12. 边坡上建筑物基础到坡脚的水平距离;
13. 岩溶土洞;

14. 挡土墙土压力计算;
15. 大面积地面荷载的地基计算;
16. 墙下筏板基础的设计与计算;
17. 柱下条形基础的设计与计算;
18. 桩基承台试验研究;
19. 单桩容许端承力和摩阻力表;
20. 高杯口基础设计与计算。

本书就是根据以上所列专题,集中其中最常用和最主要的问题作了较系统的讨论和介绍。通过本书可以领略规范修订的精神及其主要问题,从而为广大土建设计施工技术人员和高等院校师生们学习新规范提供系统的参考资料。

本书的初稿曾在江苏省南京市举办的新规范学习班中讲授过多次,取得了良好的效果。在此基础上经过充实和提高,并增加了工程实例及计算图表,故本书还可作为地基基础设计的参考书。

本书由殷志建、杨俊悌、许祖心合编,殷志建副教授主编,郑洪国工程师主审。由于本书内容广泛,编写时间有限,并限于我们水平,不可能对所涉及问题进行全面的探讨,不足和错误之处在所难免,请读者批评指正。

编 者

1986.11.

目 录

第一章 地基土指标的可靠性分析	1
第一节 地基土指标的抽样估计	1
第二节 地基土指标的变异性	6
第三节 地基容许承载力的可靠性	9
第四节 基础最终沉降量的可靠性	14
第二章 关于低塑性土地基承载力	19
第一节 对地基承载力建表问题的分析	19
第二节 回归分析的一般方法	21
第三节 低塑性土地基承载力与物理指标的相关性分析	38
第四节 承载力表的回归方程	41
第五节 承载力表取值方法	42
第三章 地基容许承载力计算公式及抗剪强度指标	
c, ϕ 值的确定	53
第一节 地基容许承载力计算公式	53
第二节 关于承载力系数的讨论	63
第三节 用三轴试验确定 c, ϕ 值及其变化规律	68
第四节 c, ϕ 值与 U 的回归方程	74
第五节 试算比较	75
第四章 软弱下卧层的验算	77
第一节 概述	77
第二节 双层地基模型试验	79

第三节	α 与 θ 的关系	85
第五章	沉降计算公式及其参数的确定	86
第一节	概述	86
第二节	规范推荐的地基变形计算公式的推导	87
第三节	沉降计算经验系数	101
第四节	压缩模量 E_s 的取用	104
第五节	地基压缩层范围内压缩模量的加权平均值	106
第六节	m_s 与 E_s 的相互关系	109
第七节	地基压缩层的实测深度	111
第八节	Z_0/b - b 回归线分析	116
第九节	地基压缩层的计算深度	120
第六章	地基上梁和板的计算	128
第一节	地基计算模型	128
第二节	弹性地基梁分析解法	131
第三节	地基基床系数 K 值的确定	177
第四节	地基梁的数值解法	193
第五节	地基上板的数值解法	204
第六节	柱下条形基础设计	217
第七节	柱下十字交叉基础计算	227
第八节	筏片基础设计	234
第九节	筏片基础计算实例	253

第一章 地基土指标的可靠性分析

第一节 地基土指标的抽样估计

地基的现场勘探和室内土工试验的目的在于评价地基土的性质和提供设计参数。地基土设计参数的可靠性直接关系到地基基础工程的设计质量。但是,在实际工作中只能根据有限数量的随机抽样试验结果(子样)来估计地基土(总体)的设计参数,而如何分析其可靠性,也就是说评价在多大程度上反映了地基土的实际性状,是概率极限状态设计准则的前提,也是可靠性分析的基础。

根据统计学中的格利文科(W.Glirenko)定理:当子样数 $n \rightarrow \infty$ 时,子样的概率分布函数 $F_n(x)$ 依概率1关于 x 均匀地收敛于总体概率分布函数 $F(x)$, 即

$$P\left\{\lim_{n \rightarrow \infty} \sup_{-\infty < x < +\infty} |F_n(x) - F(x)| = 0\right\} = 1 \quad (1-1)$$

因此,当 n 相当大时,样本 $F_n(x)$ 实际上将近似地等于总体的 $F(x)$, 这就是我们可以用样本推断总体的理论依据。

由此,我们就可以用子样的平均值

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1-2)$$

和子样的标准差

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1-3)$$

去估计总体的均值和均方差。

子样的平均值 $\bar{x}$ 虽然是总体均值的一个近似、无偏估计，但不能将 $\bar{x}$ 直接作为设计参数，因为这样做的可靠性太低。总体为正态分布时，总体的取值将有50%低于或者高于子样的平均值 $\bar{x}$ ，也就是说超越概率为0.5。

若要具有一定的可靠度(β)，也就是我们所承担的风险是一个小概率($1-\beta$)事件，则设计参数的可靠性取值，可用下式求得

$$\hat{x} = \bar{x} \left(1 \pm \frac{t_{\beta}}{\sqrt{n}} V_x \right) \quad (1-4)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$V_x = \frac{\hat{\sigma}_x}{\bar{x}}$$

式中， $\hat{x}$ ——相应于 β 时的设计参数。

$\bar{x}$ ——平均值。

V_x —— x 的变异系数。

n ——数据的数量，在统计学中称样本容量。

t_{β} ——取可靠性为 β 时的学生氏函数临界值。

为了与习惯上的安全系数在表达形式上的一致，我们采用统计安全系数的名词，令 K_s 表示统计安全系数，则

$$K_s = \frac{1}{1 \pm \frac{t_\beta}{\sqrt{n}} V_x} \quad (1-5)$$

$$\hat{x} = \frac{\bar{x}}{K_s} \quad (1-6)$$

对于诸如抗剪强度指标 c 、 ϕ ，压缩模量 E_s ，容量 γ 一类指标，

$$K_s = \frac{1}{1 - \frac{t_\beta}{\sqrt{n}} V_x} \quad (1-7)$$

统计安全系数 K_s 恒大于1。

对于诸如压缩系数 a 、孔隙比 e 、含水量 w 一类指标，

$$K_s = \frac{1}{1 + \frac{t_\beta}{\sqrt{n}} V_x} \quad (1-8)$$

统计安全系数 K_s 恒小于1。

在地基设计中，计算地基容许承载力和地基变形时需要考虑土的指标的可靠性。有两种处理问题的途径，第一种途径是先用上述方法计算出指标的可靠性估值，再代入地基规范公式计算地基容许承载力的估值 $\hat{R}_s$ 和地基变形的估值 $\hat{S}$ ；第二种途径先用指标的平均值代入地基规范公式计算地基容许承载力的平均值 $\bar{R}_s$ 和地基变形的平均值 $\bar{S}$ ，再考虑指标的标准差在计算公式中的传递，以求得地基容许承载力的标准差 $\hat{\sigma}_{R_s}$ 和地基变形的标准差 $\hat{\sigma}_s$ 。最后用下式计算估值：

$$\hat{R}_s = \frac{\bar{R}_s}{K_s} \quad (1-9)$$

$$K_s = \frac{1}{1 - \frac{t_\beta}{\sqrt{n}} V_{R_s}} \quad (1-10)$$

$$\hat{S} = \frac{\bar{S}}{K_s} \quad (1-11)$$

$$K_s = \frac{1}{1 + \frac{t_\beta}{\sqrt{n}} V_s} \quad (1-12)$$

前一种途径将可靠性分析放在提供参数阶段考虑，而在计算地基容许承载力和变形时则不再作可靠性分析，其计算方法与传统方法没有什么两样，不过仅对计算结果赋予可靠性的含义。这种方法比较简单，易于人们接受和采用。

后一种途径的数据处理阶段只提供统计参数，将可靠性分析放在土力学计算中进行，概念和方法都比较严格，易于过渡到概率极限状态设计，但这种计算过程比前一种复杂一些，与习惯方法差别较大。

在计算设计参数的可靠性估值时，对不同的情况可取不同的可靠性 β 值。对于计算地基承载力的情况， β 值可取0.95；对于计算变形的情况， β 值可取0.85。

t_β 值可从表1-1按自由度 ν 和可靠性 β 值取用。

表1-1 临界值 t_β

自 由 度 ν	当 β 为不同数值时的学生氏函数临界值 t_β				
	0.85	0.90	0.95	0.98	0.99
2	1.34	1.89	2.92	4.87	6.96
3	1.25	1.64	2.35	3.45	4.54

续表

4	1.19	1.53	2.13	3.02	3.75
5	1.16	1.48	2.01	2.71	2.36
6	1.13	1.44	1.91	2.63	3.14
7	1.12	1.41	1.90	2.54	3.00
8	1.11	1.40	1.86	2.49	2.90
9	1.10	1.38	1.83	2.44	2.82
10	1.10	1.37	1.81	2.40	2.76
11	1.09	1.36	1.80	2.36	2.72
12	1.08	1.36	1.78	2.33	2.68
13	1.08	1.35	1.77	2.30	2.65
14	1.08	1.34	1.76	2.28	2.62
15	1.07	1.34	1.75	2.27	2.60
16	1.07	1.34	1.75	2.26	2.58
17	1.07	1.33	1.74	2.25	2.57
18	1.07	1.33	1.73	2.24	2.55
19	1.07	1.33	1.73	2.23	2.54
20	1.06	1.32	1.72	2.22	2.53
25	1.06	1.32	1.71	2.19	2.49
30	1.05	1.31	1.70	2.17	2.46
40	1.05	1.30	1.68	2.14	2.42
60	1.05	1.30	1.67	2.12	2.39

第二节 地基土指标的变异性

设土的设计参数(如压缩模量 E_s , 内摩擦角 ϕ 、内聚力 c)为 y ; 原位测试结果(如标贯击数 N , 比贯入阻力 P_s)为 x , 则估计设计参数的经验公式为

$$y = a + bx \quad (1-13)$$

若已知平均值 $\bar{x}_0$, 变异系数 V_x , 样本容量 n_0 , 则设计参数估值由下式计算:

$$\hat{y} = (a + b\bar{x}_0 \pm t_\beta \hat{\sigma} \bar{\psi}) \eta \quad (1-14)$$

$$\eta = 1 \pm \frac{t_\beta}{\sqrt{n_0}} KV_x$$

$$K = \frac{b\bar{x}_0}{a + b\bar{x}_0}$$

$$\bar{\psi} = \frac{1}{\sqrt{n}} (1 + Z^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$Z = \frac{\bar{x}_0 - \bar{x}}{\hat{\sigma}_x}$$

式中, $\hat{\sigma}_x$ ——建立经验公式的数据自变量 x 的标准差。

$\bar{x}$ ——建立经验公式的数据自变量 x 的平均值。

$\hat{\sigma}$ ——经验公式的剩余标准差。

n ——建立经验公式的数据组数。

设计参数 y 的变异系数 V_y 由下式计算:

$$V_y = KV_x \quad (1-15)$$

式中, K ——误差传递系数。当经验公式为非线性时, K 由表 1-2 所给出的公式计算。

表 1-2 误差传递系数 K 的计算公式

经验公式	误差传递系数 K
$Y = a \exp bx^{-1}$	$K = -bx^{-1}$
$Y = \frac{x}{ax-b}$	$K = \frac{b}{ax-b}$
$Y = ax^{-b}$	$K = -b$
$Y = a + x^{\frac{1}{2}}$	$K = \frac{1}{2} \frac{x^{\frac{1}{2}}}{a + x^{\frac{1}{2}}}$

对于抗剪强度指标 c 和 ϕ 可应用最小二乘法对若干组试验结果一次求得 c 和 ϕ 这两个指标的均值和标准差。

若分别在 k 个不同的竖直压力 p (对于直剪) 或 k 个不同周围压力 σ_3 (对于三轴试验) 作用下剪切共有 n 组试验, 每组试验有 k 个试样, 则共有 $m = k \times n$ 对数据, 即 m 个 p_i 值和 m 个 τ_i 值。

1. 对于直剪试验, c 的均值

$$\bar{c} = \frac{1}{\Delta} \left(\sum_{i=1}^m \tau_i \sum_{i=1}^m p_i^2 - \sum_{i=1}^m p_i \sum_{i=1}^m \tau_i p_i \right) \quad (1-16)$$

$\text{tg} \phi$ 的均值

$$\overline{\text{tg} \phi} = \frac{1}{\Delta} \left(m \sum_{i=1}^m \tau_i p_i - \sum_{i=1}^m \tau_i \sum_{i=1}^m p_i \right) \quad (1-17)$$

$$\Delta = m \sum_{i=1}^m p_i^2 - \left(\sum_{i=1}^m p_i \right)^2$$

c 的标准差

$$\hat{\sigma}_c = \hat{\sigma}_\tau \sqrt{\frac{1}{\Delta} \sum_{i=1}^m p_i^2} \quad (1-18)$$

tgφ 的标准差

$$\hat{\sigma}_{\text{tg}\phi} = \hat{\sigma}_\tau \sqrt{\frac{m}{\Delta}} \quad \hat{\sigma}_\phi = \hat{\sigma}_{\text{tg}\phi} \cos^2 \phi \quad (1-19)$$

$$\hat{\sigma}_\tau = \sqrt{\frac{1}{m-2} \sum_{i=1}^m (p_i \text{tg}\phi + c - \tau_i)^2}$$

2. 对于三轴试验, 令

$$\rho = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}, \quad \tau = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

则 φ 的均值

$$\bar{\phi} = \arcsin \left[\frac{m \sum_{i=1}^m \tau_i \rho_i - \sum_{i=1}^m \tau_i \sum_{i=1}^m \rho_i}{\Delta} \right] \quad (1-20)$$

c 的均值

$$\bar{c} = \frac{\sum_{i=1}^m \tau_i \sum_{i=1}^m \rho_i^2 - \sum_{i=1}^m \rho_i \sum_{i=1}^m \tau_i \rho_i}{m \sum_{i=1}^m \tau_i \rho_i - \sum_{i=1}^m \tau_i \sum_{i=1}^m \rho_i} \text{tg}\phi \quad (1-21)$$

$$\Delta = m \sum_{i=1}^m \rho_i^2 - \left(\sum_{i=1}^m \rho_i \right)^2$$

tgφ 的标准差

$$\hat{\sigma}_{\text{tg}\phi} = \hat{\sigma}_\tau \sqrt{\frac{m}{\Delta}} \cdot \frac{1}{\cos \phi} \quad (1-22)$$

c 的标准差

$$\hat{\sigma}_c = \hat{\sigma}_\tau \sqrt{\frac{1}{\Delta} \sum_{i=1}^m \rho_i^2} \cdot \frac{1}{\cos \phi} \quad (1-23)$$

$$\hat{\sigma}_\tau = \sqrt{\frac{1}{m-2} \sum_{i=1}^m (p_i \operatorname{tg} \phi + c - \tau_i)^2}$$

在求得 $\operatorname{tg} \phi$ 的标准差 $\hat{\sigma}_{\operatorname{tg} \phi}$ 后, 用下式计算 ϕ 的标准差 $\hat{\sigma}_\phi$:

$$\hat{\sigma}_\phi = \hat{\sigma}_{\operatorname{tg} \phi} \cos \phi$$

此式对直剪和三轴试验均适用。

压缩模量平均值 $\overline{E}_s$ 计算公式为

$$\overline{E}_s = \frac{\sum_{i=1}^n E_{si}}{n} \quad (1-24)$$

标准差计算公式为

$$\hat{\sigma}_{E_s} = \sqrt{\frac{n \sum_{i=1}^n E_{si}^2 - \left(\sum_{i=1}^n E_{si} \right)^2}{n(n-1)}} \quad (1-25)$$

式中, n ——压缩模量 E_{si} 的数目。

第三节 地基容许承载力的可靠性

工业与民用建筑地基基础设计规范第16条给出了计算容许承载力的公式

$$R_s = N_B \gamma B + N_D \gamma_P D + N_C c \quad (1-26)$$

式中, B ——基础宽度。

D ——基础埋置深度。

γ ——持力层土的容量。

γ_P ——基础底面以上土的容量。

c ——土的内聚力。

N_B, N_D, N_C ——承载力系数，是内摩擦角 ϕ 的函数。

对地基容许承载力作可靠性分析、计算可靠性估值 $\hat{R}_s$ 时，需要考虑土工指标的标准差在计算公式中的传递，计算地基容许承载力的标准差 $\hat{\sigma}_{R_s}$ 。鉴于土的容量的变异系数较小，计算时为了简化而忽略它的影响，只考虑 c, ϕ 两个变量，标准差的计算公式为

$$\begin{aligned}\hat{\sigma}_{R_s} &= \left[\sigma_\phi^2 \left(\frac{\partial R_s}{\partial \phi} \right)^2 + \sigma_c^2 \left(\frac{\partial R_s}{\partial c} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \\ &= \left[\sigma_\phi^2 \left(\gamma_B - \frac{dN_B}{d\phi} + \gamma_D \frac{dN_D}{d\phi} + C \frac{dN_C}{d\phi} \right) + \sigma_c^2 N_c^2 \right]^{\frac{1}{2}}\end{aligned}\quad (1-27)$$

式中， $\hat{\sigma}_\phi, \hat{\sigma}_c$ ——内摩擦角和内聚力的标准差。

三个承载力系数对内摩擦角的一阶导数 $\frac{dN_B}{d\phi}$ 、 $\frac{dN_D}{d\phi}$ 和 $\frac{dN_C}{d\phi}$ 值见表 1-3。其中， $\frac{dN_B}{d\phi}$ 是根据规范给出的经验修正了的承载力系数 N_B 值、拟合成函数后再求导数的。

表1-3 承载力系数及其对 ϕ 的一阶导数

内摩擦角 ϕ 度	N_B	N_D	N_C	$\frac{dN_B}{d\phi}$	$\frac{dN_D}{d\phi}$	$\frac{dN_C}{d\phi}$
0	0	1.00	3.14	0.79	3.14	4.93
2	0.03	1.12	3.32	0.88	3.51	5.27
4	0.06	1.25	3.51	0.98	3.92	5.64