

独立基础基底尺寸的直接计算方法

刘正保 孙剑 沙云峰
(南阳理工学院 河南南阳 473004)

摘 要:本文探讨钢筋砼柱下独立基础基底尺寸的直接计算方法,得到两种直接计算公式,方法简明实用,为基础计算提供了方便。

关键词:独立基础 基底尺寸 基础设计 直接计算方法

中图分类号:TU311 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-6135(2005)05、06-0217-03

The Direct - calculating Method about the Size of Single - Foundation Base

Liu Zhengbao Sun Jian Sha Yunfeng

(Nanyang Institute of Technology, Nanyang, Henan 473004)

Abstract: This paper discusses the direct - calculating size of reinforced concrete single - foundation base under column. The two kinds of direct - calculating formulas have been derived. They are simple and helpful. They can be easily used in foundation design.

Keywords: Single - Foundation, Size of foundation base, Foundation design, direct - calculating method

1 前言

钢筋砼柱下独立基础被广泛应用于框架及排架结构中,它不仅直接影响着整个上部结构的安全可靠性,也显著影响着整个建筑的工程造价问题。因此,基础设计应当既安全可靠又经济合理,保证基础具有足够的基底尺寸和强度。目前,在基础设计中,对基底尺寸的确定普遍采用试算法,即:先按轴心受压要求初步确定一个基底面积,考虑弯矩与轴力的比值大小乘上一个扩大系数,再假定基础底面的长宽比 n (通常取 $n=1\sim 2$),初选基底尺寸;然后校核其是否满足地基承载力要求。采用这种设计方法,为了确定经济合理的基底尺寸,往往不得不多次调整基底尺寸进行反复试算,虽然也能达到设计要求,但计算过程较为麻烦,不仅化费大量时间和精力,而且所选基底尺寸往往不能充分利用地基承载力,不能获得良好的经济效益。为了便于工程设计,快速确定经济合理的基底尺寸就显得较为重要,以下对此问题进行一些探讨来直接确定经济合理的基底尺寸。

2 基础底面的压力计算

根据现行规范^[1]基础底面的压力应符合下列要求:

$$p_k \leq f_a \quad (1)$$

$$p_{kmax} \leq 1.2f_a \quad (2)$$

当基础底面全部受压时,基础底面的压力应符合:

$$\lambda = p_{kmin}/p_{kmax} \geq 0 \quad (3)$$

$$p_k = \frac{F_k + G_k}{A}$$

$$\text{其中 } p_{kmax} = \frac{F_k + G_k}{A} + \frac{M_k}{W} \quad (4)$$

$$p_{kmin} = \frac{F_k + G_k}{A} - \frac{M_k}{W}$$

式中 p_k ——相应于荷载效应标准组合时,基础底面处的平均压力值;

p_{kmax}, p_{kmin} ——相应于荷载效应标准组合时,基础底面边缘的最大、最小压力值;

f_a ——修正后的地基承载力特征值;

F_k ——相应于荷载效应标准组合时,上部结构传至基础顶面的竖向力值;

G_k ——基础自重和基础上的土重;

M_k ——相应于荷载效应标准组合时,作用于基础底面的力矩值;

A ——基础底面面积;

W ——基础底面的抵抗矩。

设矩形基础底面边长分别为 l, b , 长短边之比 $n = l/b \geq 1$, 基础埋深为 d , 基础及其上回填土的平均重度为 γ_m (通常取 $20kN/m^3$)。则

$$A = bl = nb^2$$

$$W = bl^2/6 = n^2b^3/6 \quad (5)$$

$$G_k = \gamma_m Ad = \gamma_m nb^2d$$

将式(5)代入式(4)中,可得:

$$p_k = \frac{F_k}{nb^2} + \gamma_m d$$

$$p_{kmax} = \frac{F_k}{nb^2} + \gamma_m d + \frac{6M_k}{n^2b^3} \quad (6)$$

$$p_{kmin} = \frac{F_k}{nb^2} + \gamma_m d - \frac{6M_k}{n^2b^3}$$

3 直接计算方法

3.1 方法 I (n 值法)——按地基承载力要求的直接计算方法

将式(6)代入式(1)、式(2)中,有:

$$\frac{F_k}{nb^2} + \gamma_m d \leq f_a \quad (7)$$

$$\frac{F_k}{nb^2} + \gamma_m d + \frac{6M_k}{n^2b^3} \leq 1.2f_a \quad (8)$$

由式(7)可求得:

$$b \geq \sqrt{\frac{F_k}{n(f_a - \gamma_m d)}} \quad (9)$$

式(8)可写成关于 b 的一元三次方程:

$$b^3 - \frac{F_k}{n(1.2f_a - \gamma_m d)}b - \frac{6M_k}{n^2(1.2f_a - \gamma_m d)} \geq 0 \quad (10)$$

$$\text{令 } C_1 = \frac{F_k}{n(1.2f_a - \gamma_m d)}$$

$$C_2 = \frac{6M_k}{n^2(1.2f_a - \gamma_m d)} \quad (11)$$

则式(10)可写成如下形式:

$$b^3 - C_1 b - C_2 \geq 0 \quad (12)$$

式(12)的一般解为:

$$b = \sqrt[3]{\frac{C_2}{2} + k} + \sqrt[3]{\frac{C_2}{2} - k} \quad (13)$$

其中

$$k = \sqrt{\left(\frac{C_2}{2}\right)^2 - \left(\frac{C_1}{3}\right)^3} \quad (14)$$

上式要求方根号内的值不小于零,即

$$\left(\frac{C_2}{2}\right)^2 \geq \left(\frac{C_1}{3}\right)^3 \quad (15)$$

将式(11)代入式(15),可得:

$$n \leq \frac{3(1.2f_a - \gamma_m d)}{F_k} \left(\frac{9M_k}{F_k}\right)^2 \quad (16)$$

设计时,先由式(16)计算 n 值,要求 $n \geq 1$ (工程上常取 $n = 1 \sim 2$)。再由式(11)、式(14)计算 C_1 、 C_2 及 k 值,于是可由式(13)计算出 b 值;最后校核式(1)~(2)。但要注意,若由式(16)求出的 $n < 1$,说明式(1)起控制作用,可取 $n = 1$,由式(9)计算出 b 值,再校核式(1)~(2)。

3.2 方法 II (λ 值法)——按基底压力比 $\lambda = \frac{P_{kmin}}{P_{kmax}}$

的直接计算方法

由式(3)、(6)可得:

$$\begin{aligned} P_{kmax} + P_{kmin} &= P_{kmax}(1 + \lambda) \\ &= 2 \left(\frac{F_k}{nb^2} + \gamma_m d \right) \end{aligned} \quad (17)$$

再考虑式(2),有:

$$\frac{F_k}{nb^2} + \gamma_m d \leq 0.6(1 + \lambda)f_a \quad (18)$$

由式(18)可求得:

$$b \geq \sqrt{\frac{F_k}{n[0.6(1 + \lambda)f_a - \gamma_m d]}} \quad (19)$$

同样地,由式(3)、(6)及式(2)可得:

$$P_{kmax} - P_{kmin} = P_{kmax}(1 - \lambda) = \frac{12M_k}{n^2 b^3} \leq 1.2(1 - \lambda)f_a \quad (20)$$

由此可得:

$$b \geq \sqrt[3]{\frac{10M_k}{n^2(1 - \lambda)f_a}} \quad (21)$$

由于式(19)与式(21)均由控制条件式(2)求得,两者应相等。因此可得:

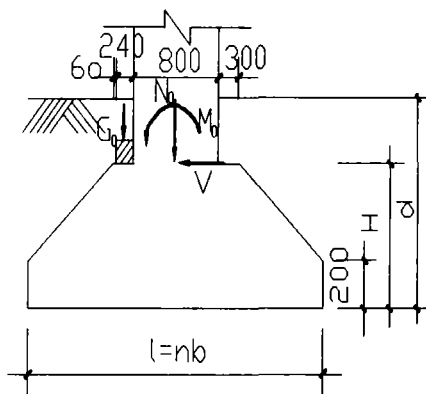
$$n = \left[\frac{10M_k}{(1 - \lambda)f_a} \right]^2 \left[\frac{0.6(1 + \lambda)f_a - \gamma_m d}{F_k} \right]^3 \quad (22)$$

设计时,先按工程要求给出一个适当的 λ 值^[4],由式(22)计算 n 值(一般要求 $n = 1 \sim 2$);再由式(19)或式(21)计算 b 值。同样地,若求出的 $n < 1$,可取 $n = 1$,由式(9)计算 b 值,也可调整 λ 值重新计算。另外,比较式(19)与式(9)可以看出,当 $\lambda \geq 2/3$ 时,应由式(9)计算 b 值,此时式(1)起控制作用。

当地基受力层范围内有软弱下卧层时,软弱下卧层的承载力小于持力层的地基承载力,应按现行规范^[1]验算软弱下卧层的承载力,必要时还应对地基变形加以控制。

4 算例

图示某单层厂房柱下独立基础,已知柱截面 $500 \times 800 \text{ mm}^2$,基础顶面处轴力 $N_0 = 600 \text{ kN}$,弯矩 $M_0 = 60 \text{ kN} \cdot \text{m}$,剪力 $V = 25 \text{ kN}$ 。埋深 $d = 1.5 \text{ m}$,基础高度 $H = 0.8 \text{ m}$,基础梁传至基础顶面的荷载 $G_0 = 180 \text{ kN}$,修正后的地基承载力特征值 $f_a = 190 \text{ kPa}$ 。试按确定基础底面尺寸。



附图

解::方法 I (n 值法)——按地基承载力要求的直接计算法

内力设计值为:

$$F_k = N_0 + G_0 = 600 + 180 = 780 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} M_k &= M_0 + VH + G_0 e_1 \\ &= 60 + 25 \times 0.8 + 180 \times 0.52 = 173.6 \text{ kNm} \end{aligned}$$

由式(16)得:

$$n \leq \frac{3(1.2 \times 190 - 20 \times 1.5)}{780} \left(\frac{9 \times 173.6}{780} \right)^2 = 3.06,$$

取 $n = 1.6$

由式(11)得:

$$C_1 = \frac{780}{1.6(1.2 \times 190 - 20 \times 1.5)} = 2.462 \text{ m}^2$$

$$C_2 = \frac{6 \times 173.6}{1.6^2(1.2 \times 190 - 20 \times 1.5)} = 2.055 \text{ m}^3$$

由式(14)得:

$$k = \sqrt{\left(\frac{2.055}{2}\right)^2 - \left(\frac{2.462}{3}\right)^2} = 0.709 \text{ m}^3$$

由式(13)得:

$$b = \sqrt[3]{\frac{2.055}{2} + 0.709} + \sqrt[3]{\frac{2.055}{2} - 0.709} = 1.885 \text{ m}$$

$$l = nb = 1.6 \times 1.885 = 3.016 \text{ m}$$

选取基底尺寸为 $b = 1.9\text{m}$, $l = 3.0\text{m}$ 。

校核:

$$P_k = \frac{F_k}{bl} + \gamma_m d = \frac{780}{1.9 \times 3.0} + 20 \times 1.5 \\ = 167\text{kPa} < f_a = 190\text{kPa}$$

$$P_{k\max} = \frac{F_k}{bl} + \gamma_m d + \frac{6M_k}{bl^2} = 228 = 1.2f_a$$

$$P_{k\min} = \frac{F_k}{bl} + \gamma_m d - \frac{6M_k}{bl^2} = 106\text{kPa} > 0$$

满足要求。

方法 II (λ 值法)——按基底压力比值的直接计算法

设 $\lambda = 0.45$, 由式 (22) 得:

$$n = \left[\frac{10 \times 173.6}{(1 - 0.45) \times 190} \right]^2 \left[\frac{0.6(1 + 0.45) \times 190 - 20 \times 1.5}{780} \right]^3 \\ = 1.44$$

由式 (19) 得:

$$b = \sqrt[3]{\frac{780}{1.44[0.6(1 + 0.45) \times 190 - 20 \times 1.5]}} = 2.001\text{m}$$

$$l = nb = 1.44 \times 2.001 = 2.881\text{m}$$

选取基底尺寸为 $b = 2.0\text{m}$, $l = 2.88\text{m}$ 。

校核:

$$P_k = \frac{F_k}{bl} + \gamma_m d = 165\text{kPa} < f_a = 190\text{kPa}$$

$$P_{k\max} = \frac{F_k}{bl} + \gamma_m d + \frac{6M_k}{bl^2} = 228\text{kPa} = 1.2f_a$$

$$P_{k\min} = \frac{F_k}{bl} + \gamma_m d - \frac{6M_k}{bl^2} = 103\text{kPa} > 0$$

满足要求。

5 结论

基础设计是建筑工程结构设计的重要环节,而基底尺寸

的确定是基础设计的首要内容,是基础受冲切计算及底板受弯承载力计算的前提。因此,基础设计要在安全可靠的前提下尽可能经济节约。根据本文的计算方法经分析可得如下结论:

(1) 利用直接计算公式可一次求出经济合理的基底尺寸,避免了反复试算的麻烦和基底尺寸可能较大而造成不必要的浪费。

(2) 在计算公式的推导过程中,没有引入任何近似假定,计算结果安全可靠。可充分利用地基承载力条件 $P_{k\max} = 1.2f_a$, 计算结果经济合理。

(3) 按持力层地基承载力要求的直接计算法,可按工程要求选择合理的基础外形尺寸 ($n = 1 \sim 2$); 按基底压力比值的直接计算法,可按基础底面压力的不均匀性控制要求选择合适的 λ 值。

(4) 计算过程清晰,计算公式简明实用,便于在基础设计中直接应用。

参考文献

- [1] 建筑地基基础设计规范 (GB50007—2002)。
- [2] 混凝土结构设计规范 (GB50010—2002)。
- [3] 刘正保. 混凝土柱下单独基础基底尺寸的计算. 重庆建筑大学学报, 1998, 4(2)。
- [4] 高清华. 基础设计中若干问题的讨论. 建筑结构学报, 1991, 6(3)。
- [5] 林图. 地基基础设计. 武汉: 华中理工大学出版社, 1996 年。
- [6] 张丽华. 混凝土结构. 北京: 科学出版社, 2001 年。
- [7] 吕西林. 高层建筑结构. 武汉: 武汉工业大学出版社, 2002 年。

(上接第 245 页) 随之增大, 跨中变形值则减小, 这主要是由于钢筋的分离式分布模式使梁的有效截面高度比实际有所增大。

5 结论

从本文的数值算例分析中可以得出如下结论: (1) 本文提出的非线性分析方法, 和笔者实现的三维有限元程序, 基本能够对混凝土结构破坏荷载、结构破坏的全过程进行有效的数值仿真; (2) 混凝土材料各种参数值的变化对于分析结果存在着不同程度的影响, 其影响程度的大小取决于参数的性质和结构构件的特性; (3) 从算例中对单元网格的几种分析结果可以看出, 网格的划分粗细基本对模拟结果影响不大。 (4) 从本文分析中还可以看出, 在进行数值模拟研究时, 根据实际的结构模型、约束条件和荷载条件等等, 选取和简化出合适的有限元理论模型, 对于分析研究的准确性是有着十分重要的意义的。

参考文献 (References)

1. Hinton E and Owen D R J. Finite Element Software For Plates and Shells [M]. London: Pineridge Press, 1984。
2. 方自虎, 宋启根, 范志良. 钢筋混凝土板壳材料非线性分析的有限条法 [J]. 计算结构力学及其应用, 1995, 12

(1): 69—75。

3. 薛伟辰, 张志铁. 钢筋混凝土结构非线性全过程分析方法及其应用 [J]. 计算力学学报, 1999, 16(3): 334—342。
4. 黄羽立, 叶列平. 碳纤维布加固 RC 梁中粘结性能的非线性有限元分析 [J]. 工程力学, 2004, 21(2): 54—61。
5. 宋玉普. 多种混凝土材料的本构关系和破坏准则 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2002。
6. Frantziskakis C and Theillout J N. Nonlinear Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Structures with a Particular Strategy Following the Cracking Process [J]. Computers & Structures, 1989, 31(3): 395—412。
7. 周氏等译. 钢筋混凝土有限元分析 [M]. 南京: 河海大学出版社, 1988。
8. Hong D K, Kaspar Willam, Benson Shing and Enrico Spacone. Failure Analysis of R/C columns using a triaxial concrete model [J]. Computers & Structures, 2000, 77(5): 423—440。
9. Bresler B and Scrodelis A C. Shear Strength of Reinforced Concrete Beams [J]. ACI, 1963, 63(1): 72—81。