

系数法计算柱下双向偏心矩形 扩展基础承载力探讨

黄太华 周 靖

黄少红

(中南林学院建工学院, 湖南株洲 412006) (株洲市规划设计院, 湖南株洲 412000)

【摘要】 为解决基础工程设计中确定基础底面尺寸繁琐的问题, 探索一种简捷计算柱下双向偏心矩形扩展基础承载力方法, 在研究分析现行单向偏心系数增大法的基础上, 推导了一种用偏心矩 $K_{(e)}$ 对应特定基础底面尺寸的地基承载力系数计算基础承载力的方法。通过工程实例计算分析比较, 该法计算过程简捷直观、精度可靠, 具有较好的实用价值。

【关键词】 系数法; 双向偏心; 扩展基础; 基础承载力

【中图分类号】 TU 470

Discussion on the Calculation of Bearing Capacity for the Double-direction Eccentricity Rectanglar Extended Foundations

【Abstract】 Based on the current calculational method of the single-direction eccentricity magnified coefficient, deducing another coefficient method of the calculation of bearing capacity for the double-direction eccentricity rectangular extended foundations by an eccentricity $K_{(e)}$ corresponding directly to a dimension of extended foundations. Its feasibility is proved by practice.

【Keywords】 coefficient method; double-direction eccentricity; extended foundation; bearing capacity of foundation

0 引言

建筑基础设计在确定扩展基础底面尺寸时, 通常先假定基础底面尺寸计算出基底反力, 然后将此反力与地基承载力比较后, 确定出基础底面积。若假定的基础底面积与要求的基础底面积有较大偏差, 则有可能需经过多次繁琐的计算才能找到合适的基底尺寸; 另外, 随着平面框架向空间框架地转变、结构计算软件由平面杆系向空间杆系地转变, 仅由一个方向的偏心距来确定基础底面积的方法已不能满足工程的需要。

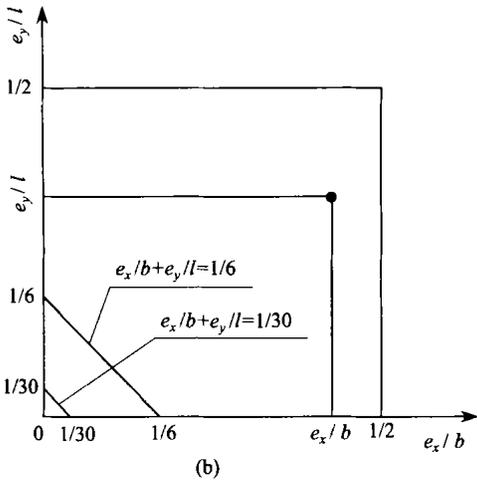
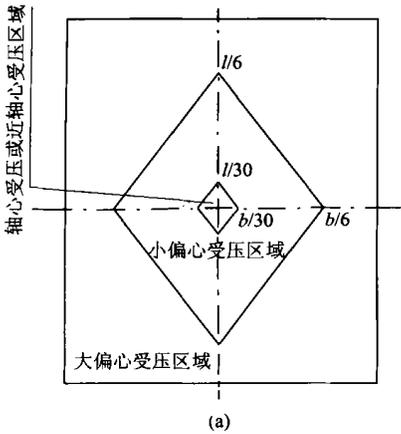
笔者总结多年设计经验, 探索了一种确定柱下双向偏心矩形扩展基础底面积的简捷计

算方法。计算过程简单快捷, 精度与按现行地基基础规范计算的结果十分吻合; 而且能使工程技术人员对影响基础底面积的各相关因素有一明晰的认识, 能一定程度地提高基础设计业务水平。笔者在多年教学理论以及基础设计的经验上, 查阅相关文献, 对规范在计算偏心扩展基础承载力方面的一些问题提出看法, 以与读者商榷。

1 公式推导(公式中各符号指代见《建筑地基基础设计规范》, 相关指代见图 1)。

1.1 按《建筑地基基础设计规范》GB 5007-2002

$$p_k \leq f_a \quad p_{kmax} \leq 1.2f_a \quad (1)$$



(a) 落点分区图 (b) 落点界线图

图1 作用于基础底面的竖向作用力合力落点图

1.1.1 对轴心受压或近轴心受压基础

$$p_k = (F_k + G_k) / A$$

$$\text{即 } (F_k + G_k) = p_k A \leq f_a A \quad \text{令 } F_{ku} = f_a A = K_{(0)} f_a A, \quad \text{则 } K_{(0)} = 1.0$$

$$(F_k + G_k) \leq F_{ku} = K_{(0)} f_a A \quad (2)$$

1.1.2 对小偏心受压基础

$$p_{kmax} = (F_k + G_k) / A + (M_{kx} / W_x + M_{ky} / W_y)$$

$$p_{kmin} = (F_k + G_k) / A - (M_{kx} / W_x + M_{ky} / W_y)$$

$$M_{kx} = (F_k + G_k) e_x \quad M_{ky} = (F_k + G_k) e_y$$

$$W_x = 1/6 \times lb^2 = 1/6 \times b(lb) = 1/6 \times bA$$

$$W_y = 1/6 \times bl^2 = 1/6 \times l(lb) = 1/6 \times lA$$

代入整理得

$$p_{kmax} = (F_k + G_k)(1 + 6e_x/b + 6e_y/l) / A$$

$$p_{kmin} = (F_k + G_k)(1 - 6e_x/b - 6e_y/l) / A$$

按规范要求 $p_{kmax} \leq 1.2f_a, p_{kmin} \geq 0$

$$\text{变化后得 } (F_k + G_k) = p_{kmax} A / (1 + 6e_x/b + 6e_y/l) \leq 1.2f_a A / (1 + 6e_x/b + 6e_y/l)$$

$$\text{令 } F_{ku} = 1.2f_a A / (1 + 6e_x/b + 6e_y/l) = 1.2 / (1 + 6e_x/b + 6e_y/l) f_a A = K_{(e)} f_a A$$

$$\text{则 } K_{(e)} = 1.2 / (1 + 6e_x/b + 6e_y/l) \leq 1.0$$

$$(F_k + G_k) \leq F_{ku} = K_{(e)} f_a A \quad (3)$$

要同时满足 $K_{(e)} = 1.2 / (1 + 6e_x/b + 6e_y/l) \leq 1.0$

$$\text{和 } p_{kmin} = (F_k + G_k)(1 - 6e_x/b - 6e_y/l) A \geq 0$$

$$\text{则须 } 1/30 \leq (e_x/b + e_y/l) \leq 1/6$$

$$\text{当 } 0 \leq (e_x/b + e_y/l) \leq 1/30 \text{ 时,}$$

按第 1.1.1 条计算。

1.1.3 对大偏心受压基础

当 $p_{kmin} < 0$ 时,

$$\text{令 } (F_k + G_k) \leq F_{ku} = Kf_a A_{(e)} \quad (4)$$

$$\text{设 } A_{(e)} = 4(b/2 - e_x)(l/2 - e_y)$$

当 $e_x/b + e_y/l = 1/6$ 时,按第 2.1.2 条算法

$$F_{ku} = K_{(e)} f_a A = 1.2 / (1 + 6e_x/b + 6e_y/l) f_a A = 0.6 f_a A$$

$$\text{① 当 } e_x = b/12, \text{ 且 } e_y = l/12 \text{ 时,}$$

$$e_x/b + e_y/l = 1/6$$

$$A_{(e)} = 4(b/2 - e_x)(l/2 - e_y) = 4 \times (5b/12) \times (5l/12) = 25/36(bl) = 25A/36$$

$$\text{得 } K = 0.864$$

$$\text{② 当 } e_x = b/6 \text{ 且 } e_y = 0 \text{ 时, } e_x/b + e_y/l = 1/6$$

$$A_{(e)} = 4(b/2 - e_x)(l/2 - e_y) =$$

$$4 \times (b/3) \times (l/2) = 2/3(bl) = 2/3A$$

$$F_{ku} = Kf_a A_{(e)} = 2/3 Kf_a A = 0.6 f_a A$$

$$\text{得 } K = 0.9$$

$$\text{③ 当 } e_x = 0 \text{ 且 } e_y = l/6 \text{ 时, 同理得 } K = 0.9$$

④ 当 $e_x = b/2$ 或 $e_y = l/2$ 时, $A_{(e)} = 0$

$$\text{则 } F_{ku} = Kf_a A_{(e)} = 0$$

$$\text{得 } K = 0$$

$$\text{则 } F_{ku} = Kf_a A_{(e)} = 0$$

K 值区间按 e_x 与 e_y 的相对大小应为 0.864~0.9, 为偏安全起见, 建议取 $K = 0.85$

1.2 通用计算公式, 对一般扩展基础

1.2.1 当 $p_{kmin} > 0$ 时,

$$(F_k + G_k) \leq F_{ku} = K_{(e)} f_a A \quad (5)$$

①当 $0 \leq e_x/b + e_y/l \leq 1/30$ 时, $K_{(0)} = 1.0$

②当 $1/30 \leq e_x/b + e_y/l \leq 1/6$ 时,

$$K_{(e)} = 1.2 / (1 + 6e_x/b + 6e_y/l)$$

1.2.2 当 $p_{kmin} < 0$ 时, 此时 $e_x/b + e_y/l \geq 1/6$

$$(F_k + G_k) \leq F_{ku} = K f_a A_{(e)} \quad (6)$$

$$K = 0.85 \quad A_{(e)} = 4(b/2 - e_x)(l/2 - e_y)$$

1.2.3 若未考虑 G_k 对偏心距的影响, 则应将

$K_{(e)}$ 乘以放大系数 1.02~1.06, 一般取 1.04。

将 $K_{(e)}-e$ 关系绘成图(见图 2)。

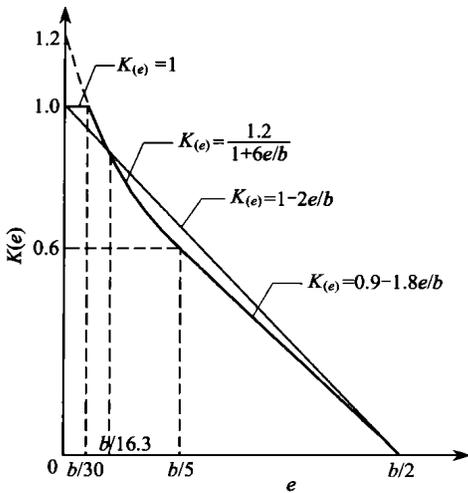


图 2 $K_{(e)}-e$ 关系图

$$\text{令 } e/b = e_x/b + e_y/l \quad (7)$$

式中: F_{ku} 为偏心距为 e_x 和 e_y 时的对应某特定基础尺寸的基础支承能力(标准值);

$K_{(e)}$ 为偏心距为 e_x 和 e_y 时的对应某特定基础尺寸的地基支承能力系数;

$A_{(e)}$ 为以基础底面以上所有竖向荷载标准值作用中心点为对称中心的最小基础对称矩形面积;

$K_{(0)}$ 为当偏心距 $e_x/b + e_y/l = 0$ 时的对应某特定基础尺寸的地基支承能力系数; 按现行规范, 当 $0 \leq e_x/b + e_y/l \leq 1/30$ 时, $K_{(e)} = K_0$;

b 为对应偏心距 e_x 方向的基础尺寸;

l 为对应偏心距 e_y 方向的基础尺寸;

A 为基础底面积;

f_a 为修正后的地基承载力特征值, 对埋深大于 0.50 m 的基础进行地基承载力修正时, 埋深大于 0.50 m 的部分地基承载力深度修正系数取 $\eta_d - 1$;

e_x 为基础底面以上所有竖向荷载标准值在 b 向与基础几何中心的距离;

e_y 为基础底面以上所有竖向荷载标准值在 l 向与基础几何中心的距离。

1.3 规范公式中需完善的问题

通过实际工程对地基基础设计进行多方面比较分析后认为, 现行设计规范中对按单偏心计算的偏心距以及基础承载力, 由于未考虑双向偏心相关等因素的影响, 存在一些值得探讨的问题。

1.3.1 在 $0 \leq e_x/b + e_y/l \leq 1/30$ 时, 随着偏心距 e_x 和 e_y 的加大, $K_{(e)}$ 不应维持不变而应逐渐减小。

1.3.2 $e_x/b + e_y/l = 1/6$ 不应为地基反力是否出现零值的分界点, 随着偏心和基础的不均衡沉降的同时加大, 地基的反力与其压缩变形不应维持线弹性关系, 实际是否出现零值的分界点的偏心距应大于 $1/6$ 。

1.3.3 将弹塑性的地基所形成的反力按线弹性规律计算是不十分恰当的, 它导致偏心距偏小时的地基支承能力估算偏大, 同时也导致偏心距偏大时的地基支承能力估算偏小; 有必要在有试验依据的前提下对其进行修正。

2 工程算例和比较

某柱下扩展基础, 经计算后作用于基础底面的竖向力标准值 $F_k = 500$ kN, $e_x = 0.10$ m, $e_y = 0.15$ m, 已知修正前的地基承载力特征值 $f_{ak} = 200$ kPa, $\eta_b = 0.3$, $\eta_d = 1.5$, $\gamma_m = 20$ kN/m³, 假定基础埋深为 1.0 m, 试设计此柱下扩展基础的基底尺寸。

解: 经深度修正后的地基承载力特征值

$$f_a = f_{ak} + (\eta_d - 1) \gamma_m (d - 0.5) = 200 + (1.5 - 1) \times 20 \times (1.0 - 0.5) = 205 \text{ kPa}$$

按竖向力估算基底面积

$$F_k/f_a = 500/205 = 2.44 \text{ m}^2 \quad \text{取 } b \times l = 1.45 \text{ m} \times 1.70 \text{ m} = 2.465 \text{ m}^2$$

$$e_x/b + e_y/l = 0.10/1.45 + 0.15/1.70 = 0.157 = 1/6.36, \text{ 满足 } 1/30 \leq e_x/b + e_y/l \leq 1/6.$$

$$\text{估算 } K_{(e)} = 1.2/(1 + 6 \times 0.157) = 0.62$$

$$1/K_e = 1/0.62 = 1.62.$$

$$\text{则 } A = 1.62 \times 2.465 = 3.99 \text{ m}^2$$

$$b \times l = 1.80 \text{ m} \times 2.25 \text{ m} = 4.05 \text{ m}^2$$

$$K_{(e)} = 1.2/(1 + 6 \times 0.10/1.80 + 6 \times 0.15/2.25) = 0.692, \text{ 由于未考虑 } G_k \text{ 对偏心距的影响, 则 } K_{(e)} = 1.04 \times 0.692 = 0.72$$

$$G_k = 4.05 \times 1.0 \times 20 = 81 \text{ kN}$$

$$F_{ku} = K_{(e)} f_a A = 0.72 \times 205 \times 4.05 = 597.8 \text{ kN}$$

$$F_k + G_k = 500 + 81 = 581 \leq F_{ku} = 597.8 \text{ kN}.$$

故 $b \times l = 1.80 \text{ m} \times 2.25 \text{ m}$ 满足设计要求。

$$\text{复核: } p_k = 143.5 \text{ kPa} < f_a = 205 \text{ kPa},$$

$$p_{k\max} = 234.1 \text{ kPa} < 1.2 f_a = 246 \text{ kPa},$$

$$p_{k\min} = 53.0 \text{ kPa} > 0.$$

假定地基条件均与上例相同, 基础长度比均为 1.2, 现将若干个基础的计算列成数表 (见表 1)。

表 1 扩展基础设计各参数计算结果表

编号	F_k	e_x	e_y	d	f_a	$1.2f_a$	估 $b \times l$	估 $e_x/b + e_y/l$	估 $K_{(e)}$	$b \times l$	$K_{(e)}$	F_{ku}	G_k	$F_k + G_k$	$\frac{F_{ku}}{(F_k + G_k)}$	p_k	$p_{k\max}$	$\frac{1.2f_a}{p_{k\max}}$	$p_{k\min}$
1	500	0.1	0.15	1	205	246	1.45×1.7	0.157	0.62	1.8×2.25	0.72	597.8	81	581	1.029	143.5	234.1	1.051	53
2	750	0.1	0.15	1	205	246	1.8×2.1	0.127	0.68	2.2×2.55	0.768	883.2	112	862	1.025	153.7	237.4	1.036	70
3	1000	0.1	0.15	1	205	246	2.05×2.4	0.111	0.72	2.4×2.85	0.797	1117.6	136.8	1137	0.983	166.2	248.9	0.988	83.5
4	500	0.05	0.1	1	205	246	1.45×1.7	0.093	0.77	1.65×1.95	0.838	552.7	64.4	564.4	0.979	175.4	251.5	0.978	99.3
5	500	0	0.15	1	205	246	1.45×1.7	0.088	0.785	1.65×1.9	0.847	544.3	62.7	562.7	0.967	179.5	255	0.965	104
6	500	0.1	0	1	205	246	1.45×1.7	0.069	0.849	1.6×1.85	0.908	551	59.2	559.2	0.985	188.9	252.2	0.975	125.6
7	500	0.02	0.03	1	205	246	1.45×1.7	0.031	1	1.45×1.7	1.04	525.5	49.3	549.3	0.957	222.8	261.1	0.942	184.5
8	500	0.1	0.15	0.5	200	240	1.45×1.75	0.155	0.622	1.85×2.2	0.72	586	40.7	540.7	1.084	132.9	223	1.076	42.8
9	500	0.1	0.15	1.5	210	252	1.4×1.7	0.16	1.612	1.8×2.2	0.716	595.4	118.8	618.8	0.962	156.3	250	1.008	62.6

3 结论

本文针对基础工程设计中确定基础底面尺寸的问题, 用系数法计算柱下双向偏心矩形扩展基础承载力的方法具有以下特点:

1) 计算简捷直观。主要确定偏心矩 $K_{(e)}$, 并能从 $K_{(e)}-e$ 关系图中直观确定对应发展趋势。

2) 计算精度可靠, 具有很好的实用价值。通过工程实例计算比较表明能很好的与按现行规范公式计算结果吻合, 因而有一定应用前景。

参 考 文 献

1 GB 5007-2002 建筑地基基础设计规范

2 武汉工业大学·土力学与基础工程·武汉: 武汉工业大学出版社, 2000. 151~154

3 王三仔, 王金龙, 桂国庆·钢筋混凝土扩展基础结构底面尺寸计算方法研究·南昌大学学报, 1998, 20(1): 84~88

4 吴能森, 谢成新·基底压力分布对扩展基础冲切承载力影响的研究·西北建筑工程学院学报, 2002, 19(1): 20~25

5 周晓兵, 王飞龙·竖向荷载下圆形基础承载力分析·采矿技术, 2002, 2(1): 40~42

6 冯泳·扩展基础的构造和经济效益·建筑技术, 1998, 29(3): 176~177

收稿日期: 2003-04-01