

桥下扩大基础受力分析

康文平

云南省普洱市西盟佤族自治县交通运输局, 云南 普洱 665700

[摘要] 对于基底应力和扩大基础冲切应力的验算是钢筋混凝土扩大基础的设计的重要内容。文中提供了双向偏心受压情况下的基础受理论计算方法和有限元计算方法, 理论计算方法可以实现双向偏压基础最大基底应力的验算; 有限元计算方法不仅可以计算出基底应力分布还可以验算扩大基础自身的弯、剪及冲切强度。此外, 文中验算了四种不同类型的扩大基础的应力。结果表明, 理论计算方法和有限元计算方法均能准确计算出基底应力分布; 有限元方法还可以准确验算基础冲切强度。

[关键词] 桥下; 扩大基础; 受力分析

DOI: 10.33142/sca.v5i2.6149

中图分类号: TU470

文献标识码: A

Stress Analysis of Enlarged Foundation under Bridge

KANG Wenping

Transportation Bureau of Ximeng Va Nationality Autonomous County, Pu'er City, Pu'er, Yunnan, 665700, China

Abstract: The checking calculation of base stress and punching shear stress of expanded foundation is an important content in the design of reinforced concrete expanded foundation. The theoretical calculation method and finite element calculation method of foundation stress under biaxial eccentric compression are provided in this paper. The theoretical calculation method can check the maximum base stress of biaxial eccentric compression foundation; The finite element method can not only calculate the base stress distribution, but also check the bending, shear and punching strength of the expanded foundation itself. In addition, the stresses of four different types of expanded foundation are checked and calculated. The results show that the theoretical calculation method and finite element calculation method can accurately calculate the stress distribution of the base, and the finite element method can also accurately check the punching strength of the foundation.

Keywords: under the bridge; expand the foundation; force analysis

引言

在桥梁结构桥墩扩大基础的设计中, 通常使用试算的方式来确定基础底面的面积或者基础应力。因为试算法需要大量的重复工作, 这不仅增加了设计人员的计算工作量, 而且很难实现基础设计的最优化^[1]。因为桥墩在纵向力或横向力的作用下, 往往会使扩大基础受到双向偏心荷载, 基底应力状态复杂, 存在多种不同的受力类型, 因此, 关于独墩基础的受力特性研究甚少。

目前针对墩下扩大基础的计算主要集中于单向偏心荷载的情况, 存在一系列的基底压力计算研究。虽然不同的学者提出了一些双向偏心受压的简化计算方法^[2-3], 但是一般模型都比较复杂, 计算过程繁琐难以应用在实际的工程中。此外, 在实际案例中, 柱下基础受力情况非常复杂, 很多情况都是双向偏心受压和大偏心。但是如果仅考虑单向偏心的情况, 它显然是不准确的。并且有可能会出现基底应力为零的情况, 这种情况是很难通过理论推导的方式得到解决的。因此, 准确计算双向偏心荷载作用下基础的基底压力具有非常重要的工程意义和实际应用价值。

本文提供了双向偏心受压情况下的基底受理论计算方法和有限元计算方法, 理论计算方法可以实现双向偏

压基础最大基底应力的验算; 有限元计算方法不仅可以计算出基底应力分布还可以验算扩大基础自身的弯、剪及冲切强度。本文涉及的两种计算方法读者可以根据需求自行选择。

1 基底压力计算理论模型

双向偏心扩展基础的基底应力分布与偏心距有关, 随着偏心距的增加, 基底的承力面积也会增加。对于矩形扩展基础而言, 基础应力分布以四种不同的应力分布形式存在, 分别是: I型分布, 基础全截面受压, 基础处于良好受力状态; II型分布, 基础释放部分应力, 地基反力图形为切边三棱台; III型分布, 基础应力释放比例较大, 偏心较大; IV型分布, 大面积基底脱空, 地面反作用力成三棱锥形状图形^[1-4]。

对于第一种情况, 基底与地基面面接触, 整个基础与地基完全接触, 不存在任何脱空现象, 其中, 地基反力的模型示意图 1。第一种情况的判别条件为 $0 \leq |e_x|/B + |e_y|/L \leq 1/6$ 。当 $e_x = e_y = 0$ 时, 基础不存在任何偏心, 处于非常理想的全截面受压状态, 这属于第一种情况的特例。根据材料力学原理得:

$$\begin{cases} p_{\max} = p_0 + |M_x / W_x| + |M_y / W_y| \\ = p_0 (1 + 6|e_x| / B + 6|e_y| / L) \\ p_{\min} = p_0 - |M_x / W_x| - |M_y / W_y| \\ = p_0 (1 - 6|e_x| / B - 6|e_y| / L) \\ \rho_0 = 0 \end{cases} \quad (1)$$

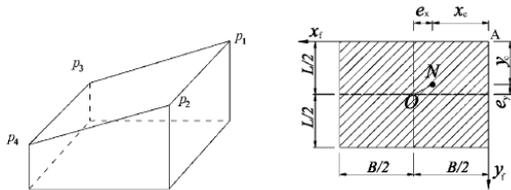


图1 基础底面压力 (情况1)

对于第二种情况,基础与地基存在少量脱空,地基反力图形为三棱台,基底压力合力可以通过两个三棱锥的差值求得。如图2所示,利用三角形相似定理

$p_2 = a_t p_1 / a_b, y_d = a_t L / (a_b - a_t)$,根据三角形相似和力学基本原理可得:

$$\begin{cases} x_c = \frac{a_b^4 - a_t^4}{4(a_b^3 - a_t^3)}, \\ y_c = \frac{a_b^4 - a_t^4 (4a_b - 3a_t)}{4(a_b^3 - a_t^3)(a_b - a_t)} L \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} p_{\max} = p_1 = \frac{6Na_b}{L(a_b^2 + a_b a_t + a_t^2)} \\ p_2 = \frac{a_t}{a_b} p_1, p_{\min} = 0 \\ \rho_0 = 1 - \frac{a_b + a_t}{2B} \end{cases} \quad (3)$$

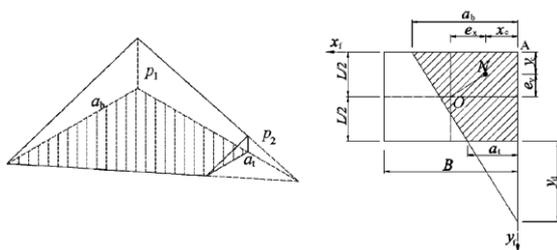


图2 基础底面压力 (情况2)

对于第三种情况,基底相对于情况二,其脱空范围更大但是地基反力图形仍为一个切边三棱台形状,基底压力可以表述为大三棱锥的体积减去两个小三棱锥的体积,模型计算示意图见图3。同样根据三角形相似定理:

$$\begin{cases} p_2 = a_t p_1 / a_b \\ p_3 = (a_b - B) p_1 / a_b \\ y_b = (a_b - B) L / (a_b - a_t) \\ y_d = a_t L / (a_b - a_t) \end{cases} \quad (4)$$

根据三角形相似和力学基本原理可得:

$$\begin{cases} x_c = \frac{a_b^4 - a_t^4 - (a_b - B)^3 (a_b + 3B)}{4[a_b^3 - a_t^3 - (a_b - B)^3]} \\ y_c = \frac{a_b^4 - (a_b - B)^4 - a_t^3 (4a_b - 3a_t)}{4(a_b - a_t)[a_b^3 - a_t^3 - (a_b - B)^3]} L \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} p_1 = \frac{6Na_b (a_b - a_t)}{L[a_b^3 - a_t^3 - (a_b - B)^3]} \\ p_2 = \frac{a_t}{a_b} p_1, p_3 = \frac{a_b - B}{a_b} p_1 \\ p_{\min} = 0, \rho_0 = \frac{(B - a_t)^2}{2B(a_b - a_t)} \end{cases} \quad (6)$$

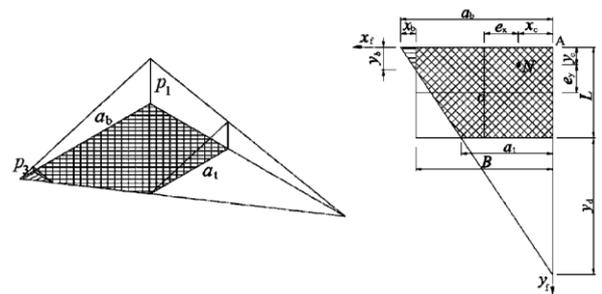


图3 基础底面压力 (情况3)

对于第四种情况,基底大部分脱开,仅在边缘角落集中接触,此时仅在基础三角形角落存在地基反力,如图4所示。根据力学原理,可以计算出上述三角形区域的基础合力,首先求得基础形心为 (x_c, y_c) ,根据空间几何原理,可以求得对应位置的坐标为: $x_b = 4x_c, y_b = 4y_c, N = x_b y_b p_1 / 6$,同时将所有荷载简化到形心位置,可以解得:

$$\begin{cases} p_{\max} = p_1 = \frac{6N}{x_b y_b} = \frac{3N}{2(B - 2e_x)(L - 2e_y)} \\ \rho_0 = 1 - \frac{x_b y_b}{2LB} = 1 - 2 \left(1 - 2 \frac{e_x}{B}\right) \left(1 - 2 \frac{e_y}{L}\right) \dots 50\% \end{cases} \quad (7)$$

上式的应用条件是 $0 < x_b \leq B, 0 < y_b \leq L$ 即 $0.25, e_x, B < 0.5$, 且 $0.25, |e_y| / L < 0.5$ 。

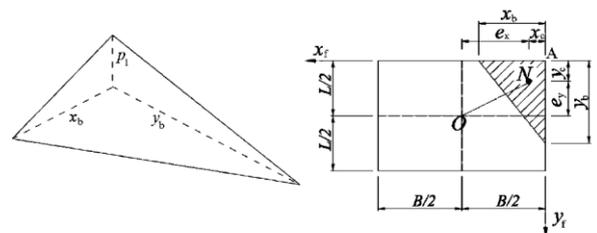


图4 基础底面压力 (情况4)

2 双向偏心受压有限元模型

2.1 网格单元选择

有限元模型中常用的单元包括实体单元,壳单元,梁单元,杆端元等等。其中,实体单元在结构局部受力分析

中具有明显的优势,但在结构整体分析中消耗计算机资源。壳单元模型自由度更少,可以避免构件厚度方向的变形,放大了平面外的刚度,可以很好地模拟扩大基础刚度的特性,但是无法得到整体内力的合理分布。因为本文中基础尺寸不大,并且模型简单所以选择实体单元。

2.2 基础刚度设置

根据弹性地基的理论,假设地基的变形为弹性,并且使用仅受压弹簧连接单元模拟基础的弹性压缩刚度。每个弹簧单元代表每个单元范围内土层的压缩刚度,在模型中选中基础底面,设置弹簧约束,弹簧的刚度值按照砾石刚度选取。为了提高模型收敛性,约束了模型的水平位移。

2.3 荷载设置

在软件中可以很方便的选中墩顶,在墩顶施加分布荷载,荷载合力取为 4950kN,并且由于墩身刚度较高可以较均匀将荷载向下传递。采用荷载一次施加的方式,求解稳定后的基础底面应力分布状态。本模型采用偏心加载方式,即按照轴心荷载实际的偏心情况加载。如图 5, A B 图所示,展示了本模型计算的示

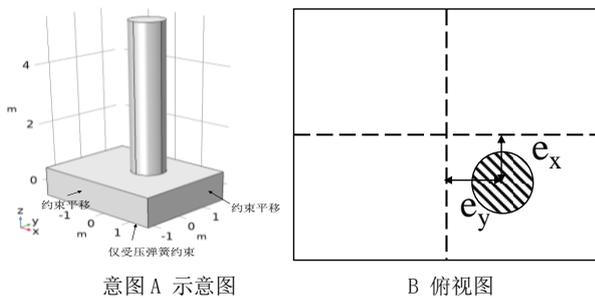


图 5 有限元模型

以桥墩扩大基础为例,基础长度和宽度均取为 5 m,厚度取为 1.2 m,因为模型的基础主要由砾石组成,对于砾石基床而言,其刚度系数可以取为 $3 \times 10^4 \text{ kN} / \text{m}^3$ 。模型采用四面体划分单元,单元最大不超过基础宽度的 $1/20$ 。模型中模拟了 4 种不同的工况,与情况 I~IV 的受力状态相一致。所得结果如图 6 和图 7 所示。

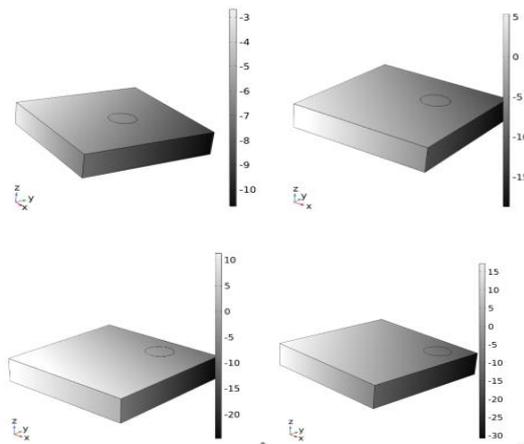


图 6 基础位移

从图 6 可知,有限元法准确的计算出了基础底面的不同受力状态。为了定量评估有限元方法和理论方法求解结果的差别,根据上文中提到的方法可以计算得到基底应力理论值 P_{\max} 。对比结果见表 1,结果表明, I ~ IV 型分布,偏心距逐渐加大,偏差逐渐增大,其中 I ~ III 型分布偏差小于 5%, IV 型分布偏差为 5.9%,计算结果精度高,两种计算方法能够完全能够满足工程要求。

表 1 对比结果表

工况	荷载 /kN	e_x / B	e_x / L	P_{\max} / MPa	理论 P_{\max} / MPa	偏差 /%
类型 I	4950	0.048	0.048	0.308	0.304	1.32
类型 II	4950	0.162	0.162	0.591	0.589	0.34
类型 III	4950	0.162	0.322	1.012	1.023	1.07
类型 IV	4950	0.322	0.322	1.759	1.767	0.45

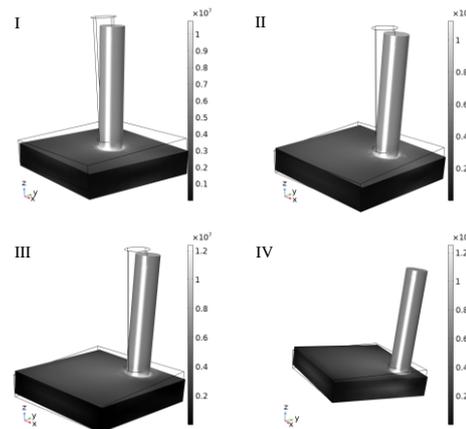


图 7 Mises 应力

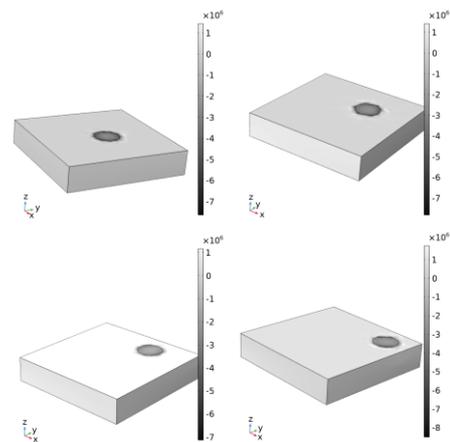


图 8 基础冲切应力

在图 7 展示了四种不同类型的桩和扩大基础的 Mises 应力,在图 8 中展示了在荷载作用下扩大基础的竖向应力,也即冲切应力。其中 Mises 应力的最大值出现在桩基础和

扩大基础的衔接区域, I型和II型的最大值约为11MPa, III型和IV型的最大值约为12MPa。在桩基础的冲击作用下, 扩大基础的冲切应力约为1.1MPa满足冲击荷载的要求。

3 结论

本文提供了双向偏心受压情况下的基础受力理论计算方法和有限元计算方法, 理论计算方法可以实现双向偏压基础最大基底应力的验算; 有限元计算方法不仅可以计算出基底应力分布还可以验算扩大基础自身的弯、剪及冲切强度。并且设计了四种不同类型的工况, 结果表明理论计算方法和有限元计算方法均能准确计算出基底应力分布; 有限元方法还可以准确验算基础冲切强度。

[参考文献]

- [1] 杜明干, 邓莎莎. 双向偏心受压矩形基础的基底压力[J]. 建筑结构, 2010, 40(4): 99-102.
 - [2] 唐辉. 基于有限元法的双向偏心受压扩大基础受力分析[J]. 地基与基础, 2020, 34(5): 900-907.
 - [3] 陈文义, 李海芳. 偏心受压柱基础基底应力的计算[J]. 华北水利水电学院学报, 1994(3): 10-16.
 - [4] 李亚东, 王崇交. 中外桥梁长寿命化研究进展及其思考[J]. 桥梁建设, 2019, 49(2): 17-23.
- 作者简介: 康文平(1982.8-)男, 彝族, 云南澜沧人, 工程师, 主要从事公路工程施工管理工作。