

文章编号:1006-7329(2003)05-0052-05

岩石地基上高层建筑条形基础初探*

卢黎, 胡岱文, 吴曙光

(重庆大学 土木工程学院, 重庆 400045)

摘要:主要研究岩石地基上高层建筑条形基础的计算模型和参数取值,提出文克尔地基模型为计算这类基础的适用模型,阐述了岩石地基上基床系数的特点,给出用岩石天然状态下的单轴抗压强度换算基床系数的回归公式,最后分析了基础结构在这种模型下的内力特征,并用一个工程算例说明了本文的方法,可供地基基础设计参考。

关键词:条形基础; 岩石地基; 高层建筑

中图分类号:TU471.6

文章标识码:A

The Primary Research of Strap Footing of High-rise Building on Rock Subgrade

LU Li, FU Dai-wen, WU Shu-guang

(College of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China)

Abstract: In this paper, the design method of strap footing of high-rise building on rock subgrade is researched. The Winkler model is applied as a perfect model to calculate this kind of foundations. The regressive formulas to estimate the subgrade coefficient are provided. The method is proved to be applicable by an actual engineering example and can serve as reference to the civil engineering designers.

Keywords: strap footing; rock subgrade; high-rise building

重庆是一个典型的山地城市,建筑地基多为岩石,随着高层建筑的兴建,为解决承载力和稳定问题,即使基岩埋藏很浅,设计人员也习惯于采用嵌岩桩基础。桩基础承载力较高,受力明确,设计方便,是一种很好的基础形式,但如果在强度很高,基岩埋藏很浅的岩石地基上滥用桩基,存在施工困难,工程费用较高的弊病;另一方面,城市之下桩林密布,对地下空间的开发利用造成障碍,特别是在已有地下洞室的情况下,桩基的使用更受到限制,而在这些情形下,以条形基础为代表的浅基础正可发挥其优势,取得更好的效果。

目前,岩石地基上的条形基础研究很少,个别工程采用时也是借鉴土质地基上条形基础的算法按地基反力均匀分布考虑,这与实际情况严重不符,基础结构设计浪费严重。造成这种现状的主要原因是岩石地基上条形基础的计算模型不明,岩石参数取值不易。这两个问题若能解决,岩石地基上的条形基础即可推广应用。

事实上,与土质地基不同,在岩石地基上的条形基础地基反力分布很不均匀,地基反力呈向柱下集中的趋势,地基质量越好,基础刚度越小,这种集中趋势就越显著。如图1所示。高层建筑底层柱子尺寸通常较大,这样大部分柱端力直接



图1 岩石地基反力分布图示

* 收稿日期:2003-04-27

作者简介:卢黎(1977-),男,重庆市人,硕士,主要从事岩土工程研究。

传给地基。因而基础受力小,内力较小,按此思路设计,可大幅节约基础材料;同时柱下集中的压力由高强度的岩石地基承受,这样又充分发挥了岩石地基的承载力。

1 文克尔(Winkler)地基模型在岩石地基上的适用性

文克尔地基模型是假设地基表面任一点所受的压力强度 $p(x, y)$ 与相应的地基竖向位移 $y(x, y)$ 成正比关系,亦即:

$$p(x, y) = k \cdot y(x, y) \quad (1)$$

式中: $p(x, y)$ 为基底反力,(kPa); $y(x, y)$ 为地基竖向位移,(m); k 为基床系数,(kN/m³)。

实际上,文克尔地基相当于将地基看作一系列不相联的、独立的弹簧组成的体系,地基任一点的竖向位移仅与作用在它上面的压力有关,地基的应力和变形不能扩散。

在重庆地区,高强度的岩石地基刚度很大,如果采用柔性基础梁,则基础相对于地基的刚度很小,跨越作用很弱,这样柱端荷载传到基底时,不可能向两边大量扩散,就几乎像直接作用在地基上一样,因此,基础结构无整体弯曲,甚至局部弯曲也很小,即是说当基础梁细长而地基坚实时,梁的挠度和地基反力只在荷载附近的局部范围内比较显著,在较远处就迅速衰减而趋于零。这种只在局部范围内产生应力和变形的特点正符合文克尔地基模型所描述的特征。因此,岩石地基上的柔性基础采用文克尔地基模型进行分析是适当的。

基础梁的挠曲微分方程:

$$EI \frac{d^2 \omega}{dx^4} = -bp + q \quad (2)$$

引入梁的柔度指数:

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{bk}{4EI}} \quad (3)$$

基础梁的通解为:

$$\omega = e^{\lambda x}(c_1 \cos \lambda x + c_2 \sin \lambda x) + e^{-\lambda x}(c_3 \cos \lambda x + c_4 \sin \lambda x) \quad (4)$$

梁的柔度指数 λ 反映了基础梁相对于地基的柔性程度,它的值越大,说明 k 越大而 EI 越小,即是地基刚性越强,基础柔性越大。 λ 体现了地基与基础的相对强弱,因此,可以通过设计控制 λ 的取值来使在岩石地基上采用文克尔模型与工程实际相吻合。国内外文献指出当 $\lambda l > \pi/4$ 时文克尔地基模型与实际较为相符,在岩石地基上,通常 $\lambda l > \pi$,即基础梁为无限长梁。

2 岩石地基基床系数取值分析

式(1)中的 k 称为基床系数,它是反映地基性质的基本参数,也是文克尔模型中唯一的岩土参数。 k 的大小除与地基变形性质有关外,还与作用力面积大小,形状,基础埋置深度及基础刚度有关。运用文克尔地基模型时, k 的取值是一个重要且复杂的问题。在土质地基上 k 值通常采用现场载荷试验确定,由于土质地基上比较容易进行试验,因此积累的经验数值也很多,有明细的基床系数表可供设计参考。但是在岩石地基上,进行现场载荷试验很困难,因此资料严重不足,这种现状成为设计的最大障碍。通过研究发现,基床系数与岩石单轴受压强度之间存在一定的相关关系,为解决问题找到新的途径。

岩石单轴受压强度能综合反映岩石的力学性质和风化程度,同时岩石单轴受压试验的设备简单,操作方便,在国内外普遍采用。根据重庆地区经验,岩石强度以天然状态下的单轴抗压强度为准。通过对试验资料的总结和回归分析,可以认为,岩石地基基床系数可用下式进行计算:(基底面积大于 10 m²)

$$k = 13.4 \times 10^3 f_{rk} \quad (0 \leq f_{rk} \leq 30 \text{ MPa}) \quad (5)$$

$$k = 20 \times 10^3 f_{rk} - 1.98 \times 10^5 \quad (f_{rk} \geq 30 \text{ MPa}) \quad (6)$$

式中： k ——基床系数，(kN/m³)；

f_{rk} ——岩石天然状态下的单轴抗压强度标准值，(MPa)。

下面从二个方面验证公式(5)和(6)的可靠性。

1) 在重庆岩基研究中心收集岩石变形模量资料《重庆江北国际机场新建航站楼工程》、《重庆南坪西路地下人防工程》、《南方上格林工程 H 组团》等，从重庆岩石的典型变形模量出发，根据弹性理论进行分析，推导 k 值。依据重庆规范 4.3.4 条：

$$k = \frac{E}{b \times k_{con}(1 - \mu^2)}$$

式中：变形系数 k_{con} 取 2.72(条形基础)，基础宽度 b 取 2 m。计算结果见图 2(以“×”表示的各点)。

2) 从国内文献资料中直接收集 k 值，一并绘入图 2(以“▲”表示的各点)。

图 2 中的直线是按式(5)和(6)绘制的。由图 2 可见， k 的计算值较实验资料值小。因为 k 值越小，地基反力集中程度越低，基础内力越大。所以公式(5)和(6)是偏于安全的。

虽然许多与地基沉降相关的因素均会影响到 k 的取值，但事实上，地基本身的性质是最大的影响因子，而其它的所有影响因子加在一起也不会让 k 的值有过大的变化；同时，分析表明，即使 k 的取值有一些偏差，也不会对基础内力产生太大的影响。由表 1 可见，当 k 的变化达到 100% 时，弯矩的变化仅仅只有 15.7%。可见 k 的取值即使有所偏差，也可以很好地满足工程计算的需要。因此，用岩石单轴抗压强度来换算 k 值是简单可行的。

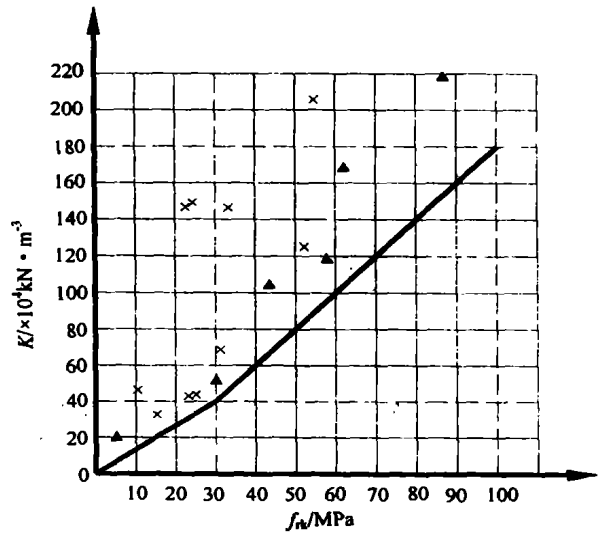


图 2 基床系数 k 计算值与实验资料对比

表 1 k 值对基础内力影响表

k (kN/m ³)	30×10^4	40×10^4	50×10^4	60×10^4
最大弯矩(kN·m)	1 781.3	1 659.68	1 570.8	1 501.43

注：基础尺寸 $l \times b \times h = 10 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$ ，荷载 $N = 5 000 \text{ kN}$ 。

3 基础内力特征分析

3.1 集中荷载影响半径

如前所述，地基变形向柱下集中，地基反力只在柱下局部范围内存在。需要研究在常用条件下从荷载作用点到地基第一个沉降零点的距离，即集中荷载影响半径。集中荷载影响半径主要决定于地基刚度和基础高度，而与基础宽度、荷载大小无关。

计算常见岩石条件和不同的基础高度下(基础宽度 1 m)的集中荷载影响范围如表 2。

表 2 集中荷载影响半径(m)

基床系数(kN·m ³)	10×10^4	30×10^4	50×10^4	70×10^4	90×10^4
基础高度(m)	0.3	3.02	2.29	2.02	1.86
	0.5	4.43	3.73	2.96	2.72
	0.8	6.30	4.79	4.21	3.87

可见,影响半径通常小于 4.5 m,尤其是当基础高度小于 0.5 m 时影响半径更小。这样,在常见的 8~9 m 的柱距下,各柱产生的效应互不叠加,可大大简化计算。同时,尽可能降低基础高度也与设计目的——柔性基础相一致。

3.2 以柱边截面作为控制截面

由于地基反力向柱下集中,同时高层建筑底柱尺寸均较大,柱中心线下的基础内力远远大于柱边的基础内力,这种差别十分显著,经大量分析计算,其大小有 2.5~3.5 倍之差,因此建议设计时以柱边基础截面作为控制截面,以取得经济合理的结果。

3.3 基底反力及基础内力的分布

弹性地基梁的计算较为繁杂,精确的分析一般要依赖计算机,但岩石地基上的条形基础有自身的特点。用程序进行大量分析就可以发现,岩石地基上条形基础的反力分布、弯矩分布、剪力分布虽然都是二次或三次曲线,但均可用三角形分布近似拟合,这样,算得最大地基反力及其分布范围后,就可以根据三角形分布得到地基反力分布,进而得到基础内力的近似值,可供方案比选和初步设计使用。

4 岩石地基上条形基础算例

某高层建筑座落于岩石地基上,基础持力层的地层岩性为侏罗系中统上沙溪庙组长石砂岩 (J_{2s-a}),岩石天然条件下单轴抗压强度标准值 40 MPa。建筑采用框架结构,柱距 7 m,底层柱尺寸 800 mm × 800 mm。按 6 度抗震考虑时,柱端最不利内力组合为:中柱轴力 8 700 kN,弯矩 430 kN·m,边柱轴力 4 800 kN,弯矩 200 kN·m。

设计双向条形基础,底层柱内力按纵横两方向分配后得其中一个方向的内力如图 3。



图 3 工程算例底层柱内力图

基床系数取值: $k = 20 \times 10^3 f_{rk} - 1.98 \times 10^5 = 60.2 \times 10^4 \text{ kN/m}^3$

取基础截面尺寸(宽 × 高): $b \times h = 1\ 000 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}$

使用弹性地基梁法解算,最不利基础内力(以柱边为控制截面)和基底反力如表 3。

表 3 条形基础内力计算结果

计算项目	$M_{\max}(\text{kN}\cdot\text{m})$	$-M_{\max}(\text{kN}\cdot\text{m})$	$V_{\max}(\text{kN})$	基底反力 $p(\text{kPa})$
计算结果	740.32	-617.67	1 637.81	3 871.10

从计算结果来看,岩石地基的高承载力得到了较好的发挥,基础结构弯矩不太大,配筋计算容易满足要求;剪力偏大,对截面设计起控制作用,通过加配箍筋也可满足要求。应指出,基础内力衰减很快,以本例剪力为例,在离开峰值 1.0 m 处,剪力仅为 526.71 kN,不到最大值的 1/3,在实际工程中只需要在局部范围内加密箍筋即可。

从本例还可以看出,本文所讨论的条形基础更适于在硬质岩上采用,而重庆地区单轴抗压强度在 30 MPa 以上的岩石地基比比皆是,因此条形基础有较广阔的应用范围。

5 结语

- 1) 在高强度岩石地基上建造高层建筑可采用以条形基础为代表的浅基础。文克尔地基模型

是计算这类基础的适用模型。

2) 基床系数可用岩石天然状态下的单轴抗压强度折算得到。

3) 随着高层建筑兴建,用本文所述的方法进行基础设计,不但可以解决在洞室地基上设计桩基的困难,而且可以在缩短工期和节约投资方面取得显著的综合效益。

本文得到了黄求顺教授的指导,并获得重庆岩基研究中心黄志鹏主任的热心帮助,在此一并表示感谢。

参考文献:

- [1] DB50/5001-1997,重庆市建筑地基基础设计规范[S].
- [2] 彭安宁.考虑地基实际变形特征的基础实用分析方法[J].建筑结构学报,1992,13(3):68-78.
- [3] 胡岱文,黄求顺.岩石地基承载力的确定[J].重庆建筑大学学报,1995,17(4):104-108.
- [4] 宰金珉,宰金璋.高层建筑基础分析与设计[M].北京:建筑工业出版社,1991.
- [5] 中国船舶工业总公司第九设计院.弹性地基梁及矩形板计算[M].北京:国防工业出版社,1983.

(上接第8页)

4 结语

随着高校社会化进程的发展,学生公寓建筑传统的设计模式已不能够适应和满足现代大学生对居住空间舒适性和适用性的要求,而应该结合广大学生使用的有效需求,将学生公寓作为一种类型的城市住宅来研究和开发,通过“以人为本”的个性化设计实现由宿舍居住模式向社会化公寓居住模式的转化。

参考文献:

- [1] 周逸湖,宋泽方.高等学校建筑、规划与环境设计[M].北京:中国建筑工业出版社,1994.
- [2] 阎瑾.现代大学生宿舍规划设计[J].华中建筑,2002,(5):17-19.
- [3] 王文友.空间文化个性情趣——关于高等学校校园环境的思考[J].规划师,2000,(2):36-41.
- [4] 任国岩.厦门大学社会化学生公寓区详细规划[J].城市规划,2000,(9):61-64.
- [5] 游军涛.我国高校学生公寓社会化的必要性和可行性分析[J].经济师,2000,(7):21-24.
- [6] 张菁,刘颖曦.浅析学生公寓中的交往空间[J].南方建筑,2000,(4):67-70.
- [7] 赵勇,周铁军.高校教学综合体探索[J].重庆建筑大学学报,2003,(2):116-120.