

“ I ”形平面箱基反力实测与计算

周京华 周朝华 陈 骥

(西南交通大学岩土所 成都 610031)

摘要 通过对西南交通大学某教学楼箱形基础基底反力的实测结果, 得出了“ I ”形平面箱基置于密实卵石层上的基底反力分布规律, 又用有限压缩层地基模型对该箱基反力进行了计算, 结果表明: 实测反力与计算反力分布规律一致, 实测反力平均值与计算反力平均值相对误差为 6.9%, 也说明此法计算箱基反力是可行的。

关键词 箱形基础, 基底反力(接触压力), 土压盒

1 前言

箱形基础是高层建筑常用的基础类型之一, 箱基基底反力的计算是箱基设计首先要解决的问题, 国内外常用的计算方法是: 将地基假设为弹簧或弹性半无限体, 将箱基简化为弹性地基上的梁或板进行反力计算。也有将地基视为有限压缩层, 把箱基简化为梁(或板)采用数值分析法求解反力, 也可用平面(或空间)有限元求解。对于一般粘性土地基上基底平面为矩形等较规则形状的箱基反力计算, 在《高层建筑箱形基础设计与施工规程》中提供了反力系数, 使反力计算很方便。但是在卵石地基上较复杂平面箱基反力尚无统一算法, 因此, 我们对西南交通大学某教学楼“ I ”形平面箱基反力作了实测, 并用迭代法进行了计算, 研究分析了卵石地基上“ I ”形平面箱基反力的分布规律。

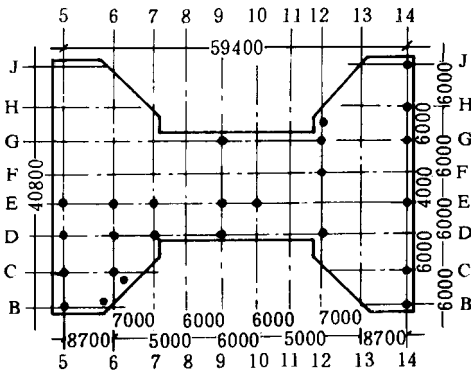


图1 箱形基础平面

Fig 1 Box foundation plane

2 “ I ”形平面箱基反力实测概况

2.1 工程情况简介

某教学楼上部结构及箱基均为“ I ”形平面, 如图 1 所示, 该建筑地上部分 18 层, 局部 20 层, 箱基为两层, 埋深 12m, 地基为中密-密实卵石层(含 10% ~ 30% 中细砂), 承载力标准值 $f_k = 550 \text{ kPa}$, 基底以上水深为 8.2m, 施工前采用人工降水, 至地上第 3 层施工结束停止降水, 实测工作自 1989 年 1 月起至 1993 年 4 月止。

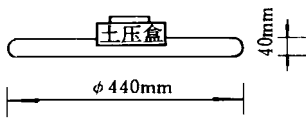


图 2 带沥青枕的土压盒

Fig 2 Earth pressure cell
with bitumen pillow

2 2 土压盒的埋设

在箱基底板平面内共埋设带沥青枕卧式钢弦土压盒 25 个, 其布置见图 1。在卵石地基上埋设带沥青枕的土压盒(图 2), 是因为卵石颗粒较大, 易使面积相对小的土压盒有可能受到集中应力而不能反映实际反力状况。沥青枕是铁皮囊中灌满粘滞性沥青, 其直径为 440mm, 这就可使卵石地基反力通过较大面积粘滞性沥青传至土压盒上, 从而避免了由于土压盒受力不均产生的误差。实测结果表明此法效果良好。

3 箱基反力实测结果及分析

3 1 实测反力可靠性分析

本次实测各点最大反力(即建筑物在使用期间所测最大反力)平均值是 245.3 kPa, 设计计算的反力均值为 228.2 kPa, 相对误差为 6.9%, 见表 1。建筑物施工结束但尚未投入使用时所测各点最大反力(即恒载-浮力状态下反力值)平均值与相应状态计算值的相对误差为 13.6%, 同时若干对称点所测反力也很接近, 因此实测反力值较可靠。

表 1 实测反力与计算反力对比表

Table 1 Relative error of measured and calculated contact pressure

	实测反力平均值 P_1	计算反力平均值 P_2	$\frac{P_1 - P_2}{P_1}$
恒载+ 活载- 浮力/kPa	245.3	228.3	6.9%
恒载- 浮力/kPa	219.9	190.6	13.6%

3 2 实测反力分布规律

(1) 沿基底横向各轴线反力呈抛物线状分布, 基础边缘反力大, 中部反力小, 如图 3~6 所示, 5-5 轴线是基础横向最外边缘, 反力值悬殊最大, 6-6, 12-12, 9-9 轴线反力分布逐渐平缓。

(2) 沿基础纵向反力分布比横向平缓, 如图 7 所示。图 3~7 中各曲线说明见表 2。

为了进一步了解反力沿纵向分布状态, 将纵向 4 条轴线(B-B, C-C, D-D, E-E)上各点最大反力值与实测平均反力值之比的分布规律示于图 8, 再将横向各轴线上各点反力平均值沿纵向分布曲线示于图 9, 更明显看出沿纵向反力分布虽平缓, 但仍是边缘大于中部, 横向轴线各点实测与计算反力的平均值都与实测反力总平均值很接近。

(3) 沿纵向边缘各点反力值均大于平均反力值。

(4) 反力最大值在基底四角处, 在“ I ”形平面翼缘两侧伸出部分各点反力均较大, 一般大于平均反力。

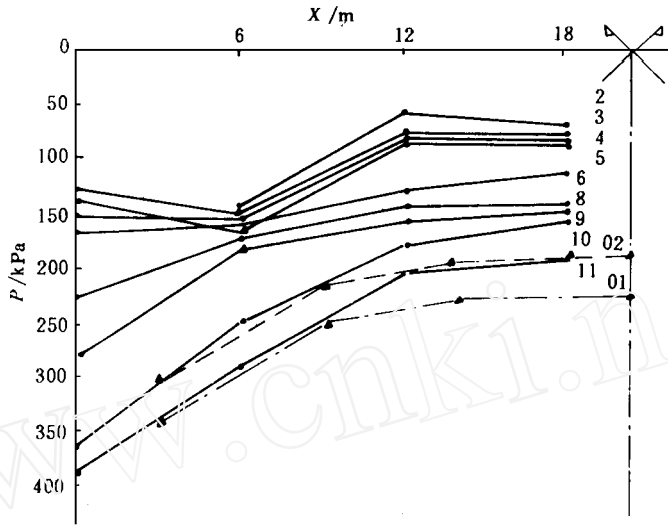


图 3 5- 5 轴线反力分布

Fig 3 5- 5 axis contact pressure

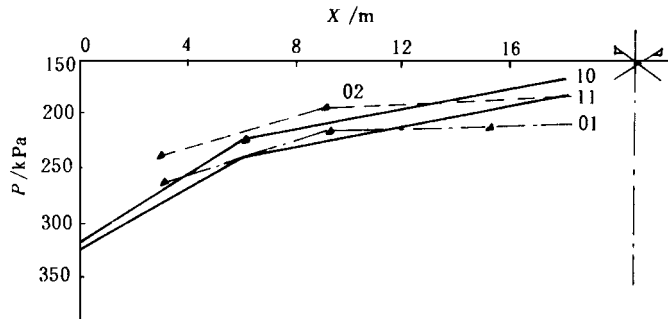


图 4 6- 6 轴线反力分布

Fig 4 6- 6 axis contact pressure

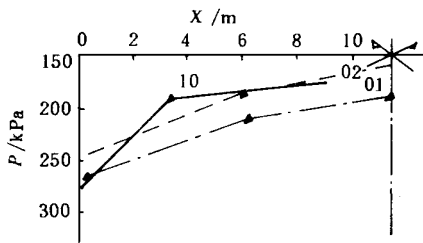


图 5 12- 12 轴线反力分布

Fig 5 12- 12 axis contact pressure

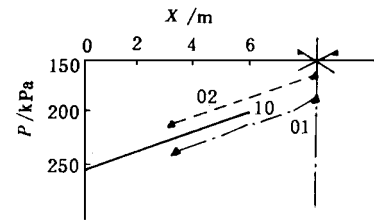


图 6 9- 9 轴线反力分布

Fig 6 9- 9 axis contact pressure

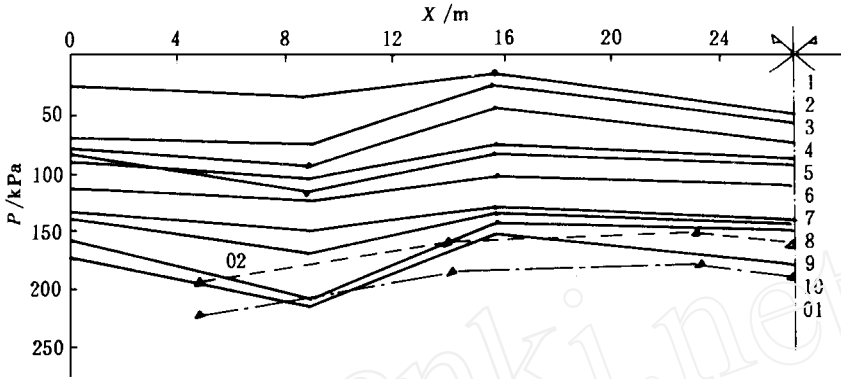


图 7 E-E 轴线反力分布

Fig 7 E-E axis contact pressure

表 2 图 3~ 7 曲线说明

Table 2 Explanation for the curves in Fig 3~ 7

曲线符号	编号	量测时间	说 明
	1	1990 年 3 月 12 日	箱基完工时实测反力值
	2	1990 年 5 月 11 日	上部结构 2 层完工时反力值
	3	1990 年 7 月 20 日	上部结构 3 层完工时反力值
	4	1990 年 9 月 14 日	上部结构 6 层完工时反力值
	5	1990 年 10 月 20 日	上部结构 8 层完工时反力值
—	6	1991 年 1 月 14 日	上部结构 12 层完工时反力值
	7	1991 年 2 月 27 日	上部结构 14 层完工时反力值
	8	1991 年 3 月 25 日	上部结构 16 层完工时反力值
	9	1991 年 6 月 11 日	上部结构 18 层完工时反力值
	10	1991 年 10 月 25 日	层顶装修时实测反力值
	11	1993 年 4 月	使用期间所测最大反力值
-----	02		设计荷载取恒载-浮力时计算反力分布曲线
-	01		设计荷载取恒载+活载-浮力时计算反力分布曲线

以上反力分布规律与理论上是一致的, 因为该教学楼平面是“ I ”字形, 纵向长 60m, 翼缘最大宽 40m, 中间部分宽只有 17m, 且在翼缘处剪力墙较多, 中间多为框架, 所以纵向刚度比横向刚度小很多, 此建筑又置于中密-密实卵石地基上, 承载力标准值 $f_k = 550 \text{ kPa}$, 基础边缘最大反力远小于此值, 地基反力未发生重新分布, 故边缘反力均大于其它各点是正常的。

由图 3、图 7 可看出, 反力分布与楼层层数关系不明显, 在枯水季的 1 月及 2 月所测曲线 6 和曲线 7 的反力增大速率高于其它曲线, 说明水浮力的影响是不可忽视的。

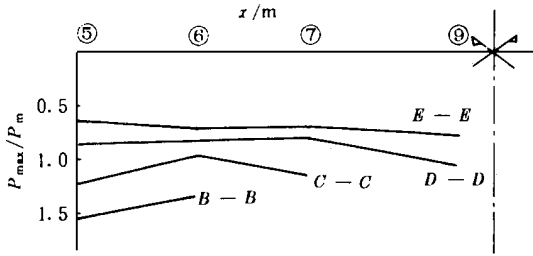


图 8 纵向各轴线反力分布

Fig 8 Distribution of contact pressure in the direction of x axis

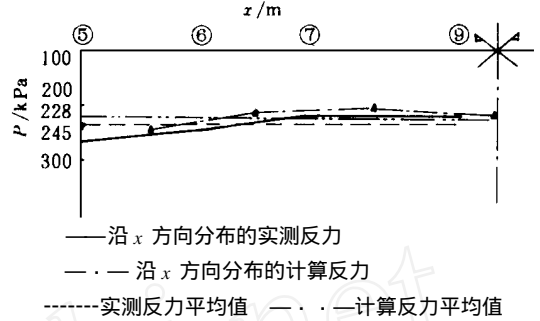


图 9 沿 x 方向(纵向)分布的实测反力

Fig 9 Measured contact pressure in the direction of x axis

4 “ I ”形平面箱基反力的计算分析

建筑物梁(板)式基础的基底反力的求解是一个建筑物(可分为上、下部结构)与地基共同作用问题, 为寻求简化计算方法, 我们采用了泽威尔(L. Zeevaert)提出的迭代法^[1], 设基础为刚性的, 地基用有限压缩层模型, 计算方法是: 将“ I ”形平面箱基划分为面积相等的 33 个单元, 如图 10, 平面有两个对称轴, 故取四分之一面积进行计算^[2]。

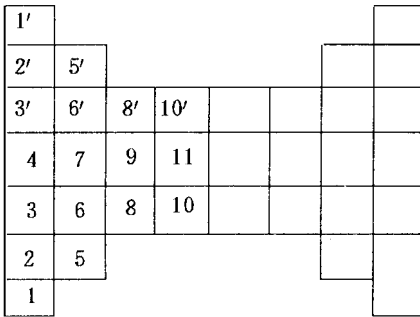


图 10 计算单元图

Fig 10 Calculation elements

有限压缩层地基模型求地基沉降公式如下:

$$\{s\} = [\delta]\{p\} \tag{1}$$

式中: $\{s\}$ ——各区格中点沉降列矩阵;

$\{p\}$ ——各区格基底反力列矩阵;

$[\delta]$ ——地基柔度矩阵, 其中系数 δ_{ij} 是指 j 格作用一单位力在 i 格中点引起的沉降量。

地基受荷时, 基础与地面应发生相同的垂直位移, 所以基底与土之间的接触应力的分布应与基础挠曲和地基变形相适应, 因此, 基底反力将随土的应力-应变-时间特征而变, 若略去时间因素, 基底反力可用以下表达式确定:

$$p(x, y) = KW(x, y) \tag{2}$$

式中: $p(x, y)$ ——基底任一点 (x, y) 的反力(kPa);

$W(x, y)$ ——基底任一点 (x, y) 的垂直位移(m), 等于该点地基沉降量;

K ——单位地基模量(kN/m^3)。

$$K = \frac{p(x, y)}{W(x, y)} = \frac{p(x, y)}{S(x, y)} = \frac{p(x, y)}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{E_{si}} \sigma_{si} \Delta h_i} \tag{3}$$

式中: E_{si} ——相应 (x, y) 点处地基土柱各分层土的压缩模量(kN/m^2);

σ_{si} ——相应 (x, y) 点处土柱各分层平均附加应力(kPa);

Δh_i ——土柱各分层厚度(m);

n ——土柱分层数。

由于单位地基模量 K 为变量, 泽威尔提出利用反力和沉降反复协调迭代求出反力与沉降而不必提供参数 K 值, 结果见图 3~ 7, 由图可见, 反力分布规律与实测结果一致, 计算反力平均值与实测反力平均值相对误差为 6.9%, 说明此法计算箱基反力是可行的。

5 结论

(1) 由本项目实测结果可以看出: 箱基各测点反力平均值与计算反力平均值相对误差 6.9%, 且实测反力与计算反力分布规律比较一致, 说明用带沥青枕的钢弦式土压盒测量卵石地基上箱基反力是比较可靠的, 实测结果可供设计参考。

(2) “ I ”形平面箱基反力分布规律是: 沿纵向反力分布较均匀, 但是边缘反力比中间反力大; 沿横向各轴线反力均成抛物线状分布; 靠近基底平面中间部位反力分布逐平缓, 反力最大值在基底平面的四个角点, 在“ I ”形平面翼缘的两端部位局部面积上反力值均较大; 中间反力最小; 沿纵向基底边缘各点反力值均大于平均值, 这些都由于整个建筑物横向刚度大于纵向刚度, 卵石地基承载力大于反力最大值所致。

(3) 选择有限压缩层地基模型, 用迭代法求出的基底反力, 其分布规律与实测反力分布规律一致, 数值上也相差不大, 说明此种算法是可行的。

致谢: 本项实测工作得到胡敬俺、裘古坊、朱云霞等同志的大力支持, 在此表示感谢。

参 考 文 献

- 1 Zeevaert L. Foundation of Engineering for Difficult Subsoil Conditions Mexican City: 1973, 141~ 157
- 2 周京华, 王玉珏, 周朝华 非矩形平面箱基反力计算与实测分析. 建筑结构, 1991, (3): 18~ 22
- 3 陈酷彬 箱型基础基底反力计算. 建筑结构, 1981, (4): 23~ 30

A STUDY OF MEASURED CONTACT PRESSURE FOR BOX FOUNDATION WITH I-SHAPED PLANE

Zhou Jinghua Zhou Caohua Chen Xiang
(Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031)

Abstract Through field measurement for the contact pressure of box foundation with I-shaped plane of a high-rise building on cobble subsoil, the distribution law of the contact pressure has been diagrammed. At the same time, the contact pressure has been calculated with finite compression layer model, which is well accordant with the measured result. The relative error of average value for the measured to the calculated contact pressure is 6.9%. This shows that the numerical calculation is right.

Key words box foundation, contact pressure, earth pressure cell