

天然地基上的筏板基础受力及变形分析^{*}

钟闻华, 张克恭, 刘松玉

(东南大学交通学院岩土工程研究所, 江苏 南京 210096)

摘 要: 对天然地基上采用筏板基础的两栋建筑的实测资料进行分析, 总结了不同刚度的筏板基础的受力和变形特点。分析发现, 筏板基础的刚度对基底土反力分布产生很大的影响, 而地基土的弹性模量变化对土反力分布影响不大, 但对筏板的相对弯曲及沉降影响较大; 在上部结构的施工过程中, 筏板的中性轴在不断上移, 筏板内的钢筋应力值始终很小, 因此建议设计时应减少筏板的配筋率。

关键词: 天然地基; 筏板基础; 受力特点; 变形规律

中图分类号: TU471 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2002) 02-0093-04

建筑物的基础设计在整个结构设计中占有十分重要的地位, 它是上部结构与下部地基的纽带。如果基础类型选择恰当, 设计合理, 可以节约资金, 缩短施工工期。采用箱形基础或片筏基础的高层建筑, 其基础工程的费用约占建筑总投资的 10% ~ 20%, 相应的施工工期约占总工期的 20% ~ 25%, 而采用桩基础的高层建筑, 上两项的比例分别为 20% ~ 30% 和 30% ~ 40%。而国外有关资料报道, 采用天然基础造价约为桩基础的 20% ~ 60%。

目前, 南京地区的高层建筑一般采用桩基础, 而且都是满堂布桩。这主要是由于基础设计理论不完善, 地基土参数选择的偶然性比较大, 因此, 设计人员都采用比较保险的桩基础, 这样造成了建设资金中有相当大的份额是“看不见”的投资, 有的甚至是浪费。如果在条件允许时, 采用天然地基, 如筏板基础、箱形基础等, 将会节省投资, 缩短工期, 而且能减少环境污染。特别是筏板基础, 它能够提供一个空间很大的地下室, 用作地下车库或地下商城, 这非常适合当前各大城市用地比较紧张的情况。但是, 由于筏板基础的刚度要比箱基础或桩基础的刚度小得多, 因此筏基的变形及受力状况要复杂得多, 这也限制其在实践中的应用。如果对筏板基础的受力特点及变形规律有进一步的了解, 就可以为筏板基础的设计及应用提供理论依据。因此, 本文主要从两个工程实例来分析筏板的受力变形特点, 可供采用天然地基的建筑设计参考。

1 实例情况

实例 1 (深基础), 南京某高层建筑, 主楼地上 28 层, 采用框筒结构, 裙房 4 层, 采用框架结构, 主裙楼下均设 2 层地下室。该场地地表层以下

10 m 左右即为软质基岩, 承载力为 600 kPa, 基础设计采用筏板基础直接支撑在软质基岩上。整个筏板厚度不同, 主楼下为 2.0 m 的厚筏, 而裙楼下采用 0.6 m 厚的筏板及 1.2 m 高的基础梁纵横接通。主楼与裙房之间不设沉降缝。

实例 2 (浅基础), 南京某多层住宅楼, 工程设计地上 7 层, 总建筑面积 7 876 m², 底层框架结构, 其中局部布置较薄弱的剪力墙, 二层以上为砖混结构, 基础为带肋梁的筏板基础, 平面尺寸 16.3 m × 46.8 m, 板厚 300 mm, 肋梁尺寸为 600 mm × 800 mm 及 350 mm × 850 mm, 场地的表层土为 2.5 ~ 4.0 m 厚人工填土, 然后用 1:1 石屑渣回填并压实, 作为持力层, 下卧层为亚粘土层, 承载力为 80 kPa。

在上述两个实例的筏板底面和筏板内各布置了若干个土压力计和钢筋计用于监测, 通过跟踪监测, 得到许多有价值的数

2 筏板基础的变形分析

对于高层建筑下的筏基, 实测到的沉降资料表明 (如图 1), 主楼核心筒处的沉降最大, 主楼外围沉降次之, 裙房沉降最小。在施工初期, 刚度较小的裙房下的筏板边缘产生上翘现象, 并且随着上部荷载的增加, 上抬更加明显, 当上部结构施工至 14 层时, 上抬量达到最大值, 随后又逐渐下沉, 实测数据显示直到结构结顶时, 筏板边缘仍有少量上抬。该高楼在主楼与裙房之间的差异沉降不明显, 主要是由于软质基岩的弹性模量较大, 使得幢幢建筑的平均沉降量只有 6 ~ 7 mm, 因此, 筏板厚度变化处的沉降差很小。另外, 筏板的整体相对弯曲只有 0.014%, 主楼下厚筏的相对弯曲只有

^{*} 收稿日期: 2001-04-02

0.0116%。

多层建筑基底下筏板沿着长跨方向 (46.8 m)，其沉降变形在刚开始时，基本上是均匀沉降，到后期，其变形形状与高层建筑下的筏板一样 (如图 2)，都是中间沉降大，两端沉降小，形成盆状。而沿着短跨方向 (16.3 m) 几乎是均匀沉降。虽然其上部荷载比实例 1 中的高层建筑要小得多，但筏板的最大相对弯曲达 0.021%，最大沉降量达 4.5 cm 主要是由于两者地基土的弹性模量及筏板的刚度不同所致。因此，在采用天然筏基设计时，可以对地基土进行预处理以提高地基土的弹性模量，减少差异沉降。

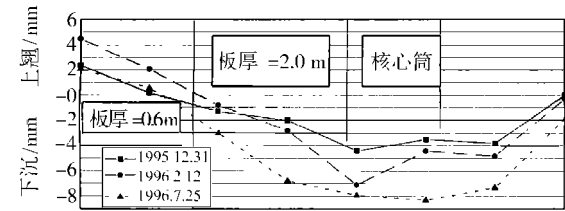


图 1 某 28 层建筑的实例沉降曲线
Fig. 1 Measured settlement curve of raft foundation of a 28-story building

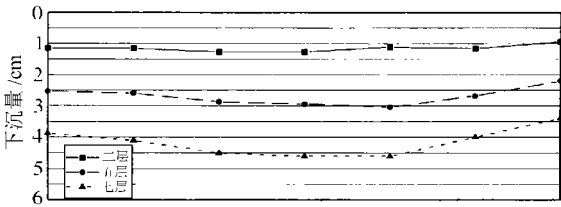


图 2 某 7 层建筑的实例沉降曲线 (纵向)
Fig. 2 Measured settlement curve of raft foundation of a seven-story building

3 筏板基础的受力特性

3.1 筏底的土反力

图 3—6 为筏底土反力分布图。沿着筏板纵向 (图 3)，土反力从上部结构施工开始就呈现马鞍形分布，随着上部荷载的增加，土压力分布形式保持不变，只是各点处的压力值都在增大。当上部结构施工至 5 层以后，边缘处的土反力值约为中间处土反力值的 1.3 倍。而沿着横向 (图 4)，由于跨度较小，土反力基本上一直是均匀增长。另外，柱子下面的地基土反力要比跨中土反力大，主要是因为柱子下设有加劲梁，其刚要比跨中板的刚度大，所以土反力也大。由此可见，基础刚度的局部变化对土反力的分布有一定的影响。

在筏板厚度突变处，土反力的值也发生突变 (如图 5)，厚度大的筏板下的土反力要大得多。基底土反力相对集中在主楼基础边缘及筒下体边缘，

因为，这部分筏板的刚度相对较大。

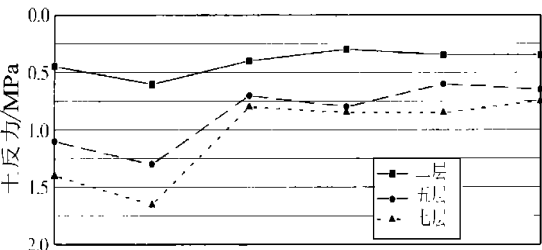


图 3 沿纵向 (48.6 m) 筏底土反力实测分布图 (浅基础)
Fig. 3 Measured subsoil pressure under raft (longitudinally, shallow foundation)

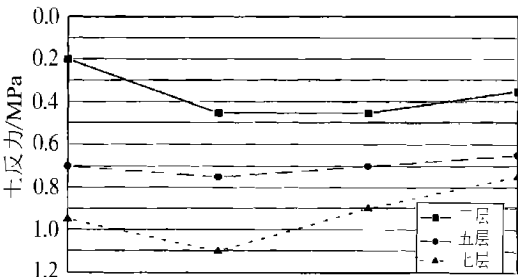


图 4 沿横向 (16.3m) 筏底土反力实测分布图 (浅基础)
Fig. 4 Measured subsoil pressure under raft (transversely, shallow foundation)

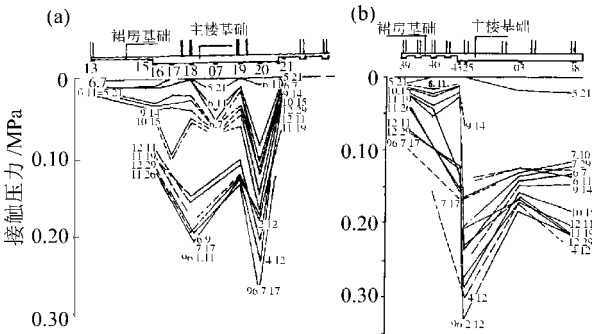


图 5 筏基底面土压力实测分布之一 (a) 和之二 (b)
Fig. 5 Measured subsoil pressure under raft

3.2 筏板内钢筋应力

筏板混凝土浇筑完成后，由于混凝土收缩，筏板顶、底面处的钢筋都产生一定量的压力，最大值为 23.6 MPa，这部分预压应力对基础的设计非常有利，在设计时应该加以利用。在施工过程中随着上部荷载的增加，钢筋的压应力逐渐变小 (图 6)。如表 1 所示，上部结构施工到第 2 层时，就有部分钢筋开始受拉，施工至第 5 层后，所有钢筋基本上都处于受拉状态。钢筋应力变化绝对值 (即上部荷载作用下产生的钢筋拉应力) 较小，平均值约为 15 MPa，最大值为 31.5 MPa，只有钢筋设计值的 1/8 ~ 1/2，也就是说钢筋实际受到的拉力远小于设计

表 1 筏板底层钢盘应力随上部荷载的变化

Tab 1 Measured reinforcement stress in raft foundation under various loads

钢筋计编号	筏板底层									筏板顶层							
	1	2	4	5	6	7	8	10		3	9	17	18	19	20	21	22
筏板(10 kPa)	+0.61	+16.3	+18.3	+18.3	+22.4	+12.2	+12.2	+6.1		+10.2	12.2	23.6	19.6	14.6	14.6	7.3	5.5
二层(40 kPa)	+4.1	+11.2	+12.2	+8.1	+15.3	+7.1	+6.1	+4.0		0	0	5.9	5.6	5.6	0	-1.8	-1.8
五层(85 kPa)	0	+6.1	+4.1	0	+10.2	+6.1	-2.0	+2.0		-1.8	0	-7.9	1.8	-1.8	-5.5	-7.3	-5.5
七层(115 kPa)	-8.1	+4.1	+2.0	-3.1	+8.1	/	-4.1	+2.0		-16.3	-8.1	-7.9	/	/	-10.9	-9.1	-9.1

值,因此,可适当减少筏板的配筋率。另一方面,从钢筋的应力变化中可发现,筏板的中性轴在不断上移,整体弯曲越来越大,到最后中性轴上移至筏板顶面以上,这一结论与常规的倒楼盖设计方法相差较大。而整体刚度较大的结构,基础的中性轴甚至移到第一层底面以上,从图 6(b) 可知,第一层底面板的上下两层钢筋最后都处于受拉状态,说明中性轴已在第一层以上。很遗憾,没有对于第一层以上的楼层作跟踪测试,因此不能确定中性轴最终移至何处。

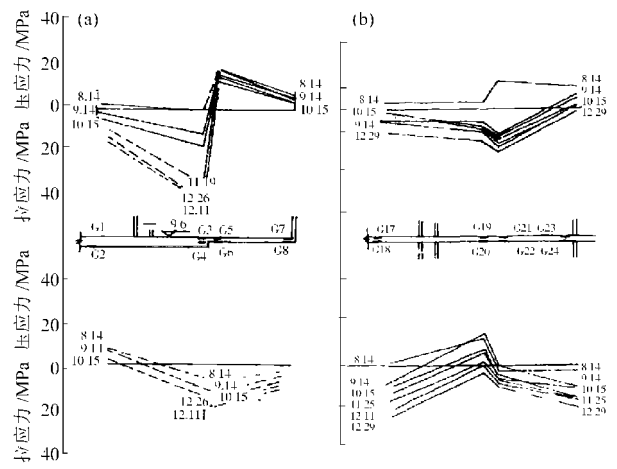


图 6 筏板内钢筋(a) 和一层楼内钢筋(b) 应力实测分布

Fig. 6 Measured reinforcement stress in raft foundation(a) and in first floor board(b)

4 结 论

通过分析,可得到以下几点结构:

(1) 当筏板的跨度较大时,筏板的沉降变形一般是盆状,中间的沉降大,边缘的沉降小,而地基土的弹性模量对这一特点的影响不明显。但是地基土的弹性模量对筏板的平均沉降和相对弯曲有一定的影响。弹性模量大的土层上的筏板的整体弯曲小(见实例 1),反之,则相对弯曲明显。筏板基础由于中间沉降量大,有可能造成外围边缘处上翘现象,特别是当边缘刚度较小时上翘现象更明显。

(2) 当上部传下来的荷载小于地基承载力设计值时,即地基土处于弹性状态,筏板底面的土反力分布是马鞍形的,边缘处的土反力值大,中间的土反力小。基础的刚度对土反力分布影响较大,刚度大的地方,土反力也大,刚度发生突变的部位,土反力也会相应发生突变。

(3) 筏板混凝土浇筑完成后,由于混凝土产生收缩,在筏板内产生一定量的预压应力,使得板顶面和底面处的钢筋都处于受压状态。随着上部结构施工的进展,结构整体的刚度不断增大,钢筋内的预压应力逐渐减少,并转变为拉应力,直到几乎全部钢筋都处于受拉状态,这表明筏板的整体弯曲逐渐变大,其中性轴在不断的上移,最终,移到筏板顶面以上,筏板整体处于受拉状态。对于整体性较强的结构,其中性轴甚至上移到第一层的楼面以上(如实例 1)。从测试得到的钢筋应力值来看,实际受力只占设计值的 1/8~1/12,钢筋的承载力远远没有发挥出来,因此,建议在今后的设计中可适当减少筏板的配筋量。

参考文献:

[1] 董建国,赵锡宏.高层建筑地基基础——共同作用理论与实[M].上海:同济大学出版社,1997:96—103.
[2] 宰金珉,宰金璋.高层建筑基础分析与设计[M].北京:中国建筑工业出版社,1993:239—244.
[3] 张乃瑞.高层建筑天然地基变形特点和分析方法//黄熙龄主编.地基基础按变形控制设计的理论与实践[M].武汉:武汉理工大学出版社,2000:13—19.
[4] 木塔兹.筏基板在粘土地基中的设计与分析[D].东南大学,1997:108—120.
[5] 杨洁啸,张克恭.高层建筑采用天然地基的探索[J].东南大学学报,1997,27(增):133-137.
[6] 茅树新.底框砖混结构—筏基—人工加固地基共同作用与实测研究及计算分析[D].东南大学,1989:5—28.

(下转第 105 页)

表 1 不同原水浊度下 3 种混凝剂的
最大 R 指数与相应的沉后水余浊关系

Tab 1 The maximum of R -index and corresponding residual turbidity with three different coagulants at different turbidity

水样浊度 NTU	硫酸铝		聚合铝		HCA	
	R	余浊 NTU	R	余浊 NTU	R	余浊 NTU
20	3.00	1.4	6.90	0.9	1.80	5.1
100	3.51	5.4	7.21	1.4	3.68	9.8
200	3.75	7.9	7.93	3.2	4.53	8.1

3 结 论

R 指数能反映出颗粒的混凝状态, 通过 R 指数可以对混凝剂的混凝效果进行评价。通过试验表明, 聚合铝形成的絮凝体在颗粒尺寸、沉降性能等方面优于其它两种药剂。透光率脉动检测技术是一种检测混凝性能的可靠方法, 通过 R 指数来控制混凝剂 (硫酸铝、聚合铝、HCA) 投加是可行的。

参考文献:

[1] GREGORY J, NELSON D M. A new optical method for floc-

ulation monitoring. Solid-liquid separation[M] . Chichester: Ellis Horwood, 1984: 172—182.
[2] KAYODE T O, GREGORY J. A new technique for monitoring alum sludge conditioning[J] . Wat Res 1988(22) : 85—90.
[3] JACKSON P J, TOMLINSON E J. Automatic coagulation control-evaluation of strategies and techniques[J] . Wat Supply, 1986(4) : 55—67.
[4] MATSUI Y, TAMBO N. Online floc size evaluation by photometric dispersion analyzer[J] . Wat Supply, 1991(9) : 71—78.
[5] CHING H W. Dynamics of coagulation of clay particles with aluminum sulfate[J] . Env Eng ASCE, 1994(28) : 169—189.
[6] DENTEL S K. Coagulation control in water treatment[J] . Critical Rev In Env Control, 1991(21) : 41—135.
[7] KAEDING U W. A direct comparison between aluminum sulfate and polyaluminum chloride as coagulants in a water treatment plant[J] . Wat Supply, 1992(10) : 119—132.
[8] GREGORY J. Flocculation by polymers and polyelectrolytes // Solid-liquid dispersion[C] . London: Academic Press, 1987: 163—181.

Research on Evaluation of Coagulation Effect by the
Technique of Fluctuation of Transmitted Light

SUN Lian peng¹, NIE Jin xu², WANG Shun qiang¹

(1. Department of Environmental Science, Sun Yat sen (Zhongshan) University, Guangzhou 510275, China;
2. Faculty of Construction, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510090, China)

Abstract: This paper introduces an evaluation method of coagulation effect, taking kaoline suspend liquid of different turbidity as the research object. Three different dosages of coagulation were casted to the liquid, which includes alum, PACl, HCA, and through the PDA2000. The coagulation effect was detected. The R index was used to evaluate the coagulation effect of different coagulation in different turbidity water samples. The results showed that the technique of fluctuation of transmitted light was a good method to evaluate coagulate performance.

Key words: coagulation effect; water treatment; fluctuation of transmitted light; automatic coagulate dosage

(上接第 95 页)

Analysis of the Behavior of the Rafts' Deformation
and Interior Force on Natural Subsoil

ZHONG Wen hua, ZHANG Ke gong, LIU Song yu

(Institute of Goetechnical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: The characteristic of deformation and interior force of the fafts with different rigidity is analyzed based on the monitored data of the rafts placed on natural subsoil. The results show that the stiffness of the rafts has greater influence on the soil reaction than the elastic modulus of the soil, but the elastic modulus affects the relative bending of the raft to a certain degree. It is also found that, with the construction of the superstructure, the neutral axis of the raft moves upward gradually. The steel stress remains much smaller than the design stress, so it is recommended that the reinforcement ratio of the raft be reduced.

Key words: natural subsoil; raft foundation; characteristic of interior force and behavior of deformation