

高层建筑与裙房基础整体设计的若干问题^{*}

Some problems on design of whole foundation for tall building with podium

董建国 赵锡宏 龚一斌
(同济大学地下建筑与工程系, 上海, 200092)

文 摘 通过带裙房高层建筑与地基基础共同作用的理论研究以及实测调查,就高层建筑与裙房基础整体设计的一些问题提出看法与建议。其中包括整体设计裙房基础悬臂长度的建议值和相对弯曲参考值。推荐在软土地基合适的桩箱(筏)基础沉降计算方法以及上海各类桩持力层基床系数的建议值,以供设计者参考。

关键词 高层建筑, 裙房, 基础整体设计。

中图法分类号 TU 972

作者简介 董建国,男,1941年生,1981年在同济大学获土力学地基基础专业硕士学位,现为该校副教授。上海市土木工程学会岩土力学及基础工程专业委员会委员兼秘书。主要从事教育工作。

Dong Jianguo Zhao Xihong Gong Yibin

Dept. of Geotech. Eng., Tongji University, Shanghai, 200092)

Abstract Based on the theoretical study and field measurements of foundation-soil-pile interaction for tall building with podium, some suggestions including the length and relative deflection of cantilever in the design of whole foundation for tall building with podium are proposed. This paper recommends two practical methods to calculate settlement of piled box (or piled raft) foundation and gives appropriate coefficients of subgrade reaction for the various bearing stratum of piles in Shanghai.

Key words tall building, podium, design of whole foundation.

1 前 言

近年来,随着经济建设的发展和对外开放的深入,我国许多城市兴建越来越多的高层建筑及超高层建筑。由于使用上的需要,在高层建筑四周建造比主楼低得多的裙房。软土地基情况下,通常采用设置沉降缝来防止高层建筑与裙房之间出现过大的差异沉降,以保证建筑物的正常使用。目前,业主要求高层建筑与裙房基础整体设计,这就给设计者带来一些新问题。为此,笔者通过理论研究、实测调查,对高层建筑与裙房基础整体设计的一些问题提出自己的看法。

2 共同作用分析

带裙房高层建筑与地基基础共同作用分析,上部结构采用子结构法(包括双重扩大子结构法),用厚板理论有限元模拟基础,弹性理论法分析桩土共同作用,最后根据静力平衡条件、竖向位移连续条件和结点对应关系,建立方程

$$([K_b] + [K_r] + [K_s]) \{U_b\} = \{S_b\} + \{P_r\} \quad (1)$$

式中 $[K_b]$ 系整个上部结构关于基础顶面的等效边界刚度矩阵; $[K_r]$ 系基础板的整体刚度矩阵; $[K_s]$ 系桩土结点的刚度矩阵; $\{S_b\}$ 系整个上部结构关于基础

顶面的等效荷载列向量; $\{U_b\}$ 系相应的边界结点位移列向量; $\{P_r\}$ 系筏板结构本身所受的结点力列向量。

式(1)即为带裙房高层建筑与地基基础共同作用的基本方程。带裙房高层建筑与地基基础共同作用跟一般高层建筑的差异,主要在于结构平面面积的变化,因此对其进行子结构分析时必须考虑到这一点。图1表示带裙房高层建筑子结构的划分。裙房子结构的扩大以不超过计算机容量为限。编制的带裙房高层建筑与地基基础共同作用分析程序对该课题作了理论分析。

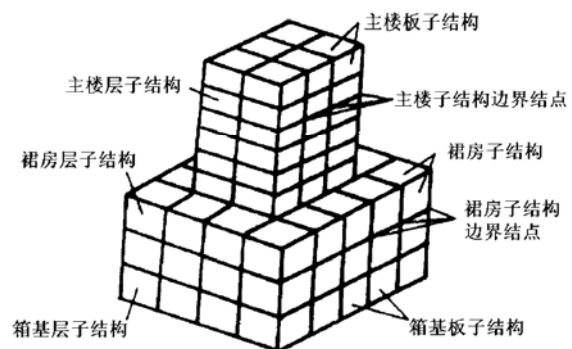


图1 带裙房高层建筑子结构的划分

Fig.1 Division of substructures

^{*} 国家教委高校博士点科研基金及上海市建委资助项目。
到稿日期:1997-07-16。

表 1 筏形基础的高层建筑与裙房共同作用的理论计算与工程实例

Table 1 Theoretical calculation and case histories of raft foundation-soil interaction for tall building with podium.

项 目	理 论 计 算				工 程 实 例	
					郑州旅游旅馆 ^[1]	美国独特壳体广场 ^[2]
筏板厚度 h (m)	1.3	1.8	2.3	2.8	1.0	2.52
裙房悬挑长度 L_1 (m)	16.0	16.0	16.0	16.0	4.0	6.1
L_1/h	12.3	8.9	7.0	5.7	4.0	2.4
平均沉降 (mm)	0.21	0.20	0.19	0.18	0.253	0.125 (筒体)
差异沉降 (mm)	0.15	0.12	0.10	0.08	0.021	0.06
相对弯曲 θ_r (‰)	2.34	1.88	1.56	1.25	0.29	0.85

2.1 筏形基础的高层建筑与裙房的共同作用^[1]

高层建筑主楼为 10 层,裙房为 2 层,主楼、裙房均为剪力墙结构,墙厚 0.22m。主楼 EFGH,平面尺寸为 48m×32m,左右两侧各带 16m 裙房(见图 2),AEHD, FBCG 平面为裙房平面。主楼与裙房两者的筏板厚度相等,并取为 1.3m,1.8m,2.3m,2.8m 等 4 种情况进行计算。筏板弹性模量 $E_r=3\times10^7\text{kN/m}^2$,泊桑比 $\nu_r=0.17$ 。地基采用弹性半无限模型,其模量 $E_s=20000\text{kN/m}^2$,土的泊桑比 $\nu_s=0.35$ 。计算结果见表 1 和图 3。

对弯曲 θ_r 明显减小,计算结果表明(图中虚线表示),当 $L_1/h\rightarrow4$ 时,相对弯曲 θ_r 值已经小于美国独特壳体广场大楼的相对弯曲值。当然,理论计算没有考虑上部结构刚度,若考虑上部结构刚度,基础相对弯曲达到合适值时, L_1/h 还可以大一点。

理论计算表明,若带裙房高层建筑筏形基础的悬挑长度设计恰当,基础板的相对弯曲可控制在允许值以内。

2.2 桩箱(筏)基础的高层建筑与裙房的共同作用

高层建筑主楼为 20 层,裙房为 2 层,平面和前一算例相同,主楼与裙房的筏板厚度均为 2.3m,主楼布桩 93 根,裙房布桩 80 根,共 173 根,见图 4,桩截面为 0.5m×0.5m,桩长为 30m,桩的弹性模量为 $2.6\times10^4\text{MPa}$,分析中不考虑上部结构刚度。计算结果见表 2。

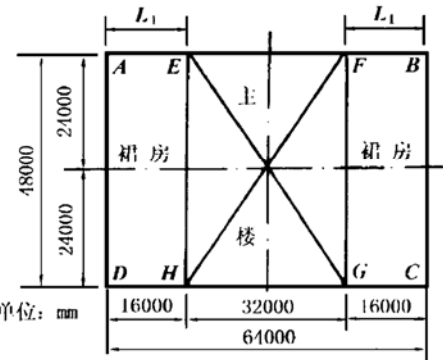


图 2 计算实例平面图示意
Fig.2 Sketch of plane of case study

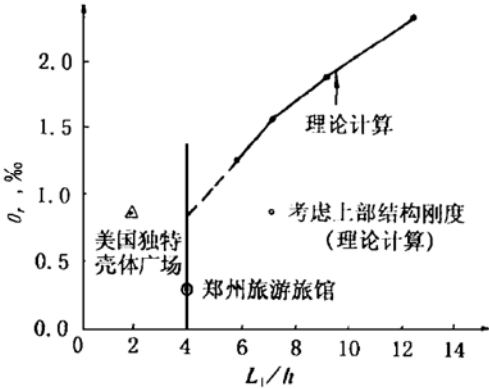


图 3 L_1/h 与相对弯曲 θ_r 关系图
Fig.3 L_1/h -relative deflection, θ_r

为了进行对比,在表 1 和图 3 中还给出了两个工程实例的实测结果。从表 1 和图 3 可知:随着裙房基础悬挑长度 L_1 与筏板厚度 h 的比值 L_1/h 的减少,相

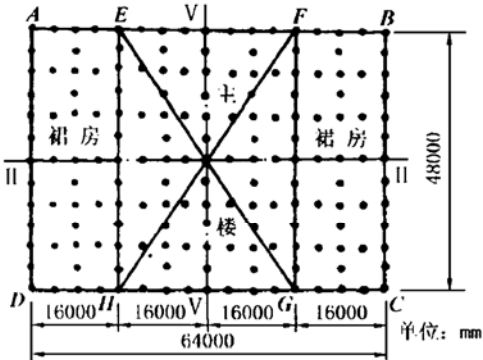


图 4 带裙房高层建筑桩筏基础与地基共同作用的平面图
Fig.4 Sketch of plane for analyzing interaction among raft, pile, soil and tall building with podium

表 2 桩筏基础的高层建筑与裙房共同作用的计算结果
Table 2 Calculation of raft foundation-soil-pile interaction for tall building with podium

项 目	Ⅱ—Ⅱ剖面		V—V剖面	
	有桩	无桩	有桩	无桩
平均沉降 (mm)	0.03	0.35	0.04	0.42
差异沉降 (mm)	0.03	0.20	0.01	0.03
相对弯曲 (‰)	0.47	3.10	0.21	0.63
倾斜 (‰)	0	0	0	0

从表 2 可见,设置桩基础可以大大减少建筑物的平均沉降和相对弯曲。尽管基础的悬挑长度 L_1 与筏板厚

度 h 的比值 L_1/h 达 6.96,但是相对弯曲仅为 0.47‰,此值和全国 4 个城市 9 幢高层建筑箱形基础的最大实测相对弯曲 (0.33‰)^[1] 相比差不多。而这些高层建筑的底板实测钢筋应力均在 25MPa 以内,此值远小于 240MPa 的钢筋容许应力值,也小于底板即将出现开裂的钢筋应力值。可见, L_1/h 接近 7,由于设置桩基础,建筑物的平均沉降大大减小,使得带裙房高层建筑桩筏基础即使不考虑上部结构刚度,基础的相对弯曲还是很小的,可以视作很刚性的基础,带裙房高层建筑桩筏基础整体设计的差异沉降和相对弯曲并非大到人们想象的那么可怕。

3 带裙房高层建筑整体基础设计的实测研究

高层建筑主楼与裙房同置于一个整体基础上的设计,以下几种形式是有效的:①悬挑式;②主楼桩数多,裙房桩数少的布桩形式;③主楼底板厚,裙房底板薄;④主楼桩长些,裙房桩短些。

这些布置的目的是为了减少整体基础的差异沉降。下面分别讨论。

1) 悬挑式

当裙房宽度不是太大时,采用悬挑式整体基础是合宜的。表 3 列出 6 幢不同基础形式的悬挑长度 L_1 与底板厚度 h ,还对部分建筑物示出它们的相对弯曲的实测值,从表中可见 $L_1/h = 2.13 \sim 4.38$ 。在设计门厅和雨蓬时知道,悬臂长度和板厚之比值可达到 10~12^[1],而裙房基础尽管有几层荷载,但由于裙房基础是主楼基础的悬臂段,且悬臂段有地基支承,所以与雨蓬相比,裙房基础受力状态要好得多。同时,裙房上部结构刚度对悬臂基础的贡献,悬臂基础的刚度是较大的。另外,裙房和主楼基础成为整体基础,主楼荷载对裙房沉降的影响要比主楼与裙房间设沉降缝时影响来得大。为此根据工程实例,无桩高层建筑,裙房悬臂长度与底板厚度之比值可以达到 4。若基础底板厚度为 2.5m,

则裙房宽度可为 10m,对一般裙房建筑,这个尺寸是可观的。若采用有桩基础,主楼基础的沉降变得很小。差异沉降就能控制在合理范围内,表 3 的例 5 和例 6 中, L_1/h 之值高达 28.5 的相对弯曲仅 0.25‰即为一例。

2) 主楼和裙房桩数不均的布桩形式和底板厚度不等的设计方法。

当高层建筑较高时,需要设置桩基础以减小建筑物的沉降。主楼与裙房采用整体基础,最不利的是主裙房由于荷载相差太大产生过大的差异沉降。这时,可以使裙房下布桩少些以使裙房沉降大一些。裙房底板薄些,以增加基底的附加压力来减少主楼和裙房的差异沉降。上海富豪外贸大酒店^[1]采用此方案达到满意的结果。该酒店平面图见图 5,主楼为 26 层钢筋混凝土框筒结构,高 94.5m,地下 2 层,埋深 7.6m,主楼采用 2.3m 厚的筏形基础再加 200 根 $\phi 609.6\text{mm} \times 12\text{mm}$,长 53m 的钢管桩,钢管桩入土深度 60.6m。而两旁 2 层地下室采用 1m 厚的筏形基础加 30 根同样尺寸、同样入土深度的钢管桩。筏厚 2.3m 处的桩基础,每根桩承担 6.25m² 的上部荷载。筏厚 1m 处的桩基础,每根桩承担 25m² 的上部荷载。下面从其纵向弯曲和筏内钢筋应力来说明其合理性。

a) 纵向弯曲

该酒店结构竣工时,基础纵向弯曲 θ_r 为 0.21‰,两年后, θ_r 为 0.35‰。尽管主楼外地下室的筏板厚度由 2.3m 减至 1m,由于采用桩筏基础,其纵向弯曲值与埋深 5m 左右的深埋箱基差不多,可以说明桩的存在,能增加筏形基础的刚度,使筏形基础接近绝对刚性。

b) 筏内钢筋应力

为了解桩筏基础的受力状态及厚度变化处钢筋应力的情况,在筏形基础内上下两层,两个剖面共埋设 24 只钢筋应力计 (见图 6)。在主楼等厚的筏形基础中,钢筋应力均很小,最大钢筋拉应力在筏板中间,其值为 21.5MPa,并向筏板边缘逐渐减小。在不等厚的筏形基

表 3 6 幢高层建筑的 L_1/h 和相对弯曲 θ_r 的实测值

Table 3 Measurements of L_1/h and θ_r for 6 tall buildings

序号	名称	主 楼			裙 房			基础形式	底板厚度 h (m)	悬挑长度 L_1 (m)	L_1/h	相对弯曲 θ_r (‰)
		高度 (m)	地上 (层)	地下 (层)	高度 (m)	地上 (层)	地下 (层)					
1	郑州旅游旅馆	60.05	17	1	5.58	—	1	箱基	1.0	4.0	4.0	0.29
2	美国独特壳体广场大楼	217.6	52	4	18.2	—	4	筏基	2.52	6.1	2.42	0.85
3	上海联谊大厦 ^[1]	105.15	30	1	19.0	3	1	桩箱	1.6	7.0	4.38	—
4	海口海燕大厦 ^[1]	51.0	17	1	11.2	2	1	桩筏	1.5	3.2	2.13	—
5	上海富豪外贸大酒店 ^[1]	94.5	26	2	7.6	—	2	桩筏	2.3 (1.0)	14.15	14.2*	0.35
6	南通某高层 ^[1]	—	19	2	15.6	2	2	桩筏	1.2 (0.5)	14.25	28.5*	0.25

注: * —— 裙房底板下有桩。

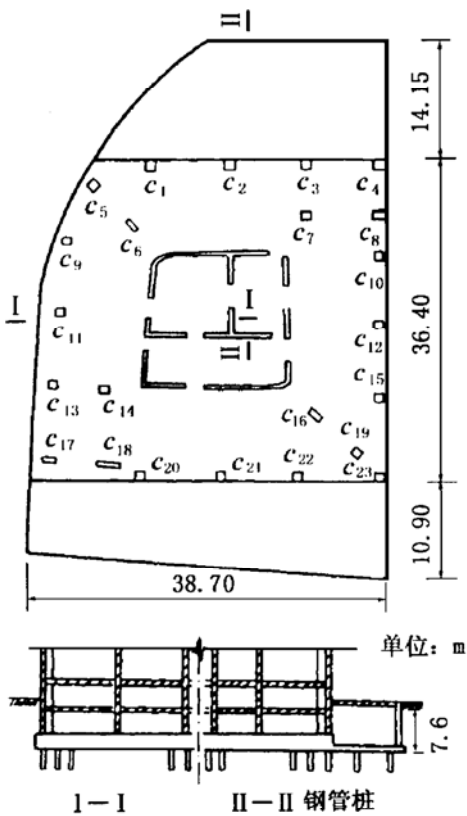


图 5 上海富豪外贸大酒店平面图和地下室剖面图
Fig.5 Plane and section of basement of Shanghai Fuhao Foreign Trade Hotel

最大拉应力远小于设计容许应力 433MPa，也小于受拉区混凝土即将出现裂缝时钢筋所承受的拉应力 28MPa。可见，高层建筑主楼筏形基础厚度厚些，桩密些，2 层地下室部分的筏形基础厚度薄些，桩稀些的整体筏形基础设计是可行的。

§)主楼和裙房桩长不等的设计方法

把高低层建筑基础设计连为整体的关键是控制高、低层建筑物的差异沉降。它的技术核心是要有一个可靠的沉降计算方法。为了协调主楼与裙房之间的变形，在裙房桩基础设计时可采用减短桩长，提高桩设计承载力（例按 1.2 倍的 P_a 取值，其相应的单桩沉降变形值约比 P_a 的对应值大 1.4 倍），并适当减薄底板厚度等措施，这样可有效地增大并控制裙房的沉降，达到与主楼同步下沉，减少差异沉降的目的。

西安皇后大酒店^[7]，主楼平面呈三角形，地上 18 层，局部 22 层，总高 80.05m。为了减少裙房和主楼的差异沉降，采用主楼桩长为 26m，裙房桩短一点的整体基础方案（见图 7）。其沉降观察见图 8，从图 8 可见，主楼和裙房的沉降增量在第 25 次与第 24 次量测值相当接近。图 9 表示主楼和裙房的沉降时间曲线图。由该图可见，从第 23 次量测起主楼和裙房 2 条曲线接近平行。由此可见，主楼和裙房采用整体基础时，裙房桩短些来改善差异沉降也是一种行之有效的办法。

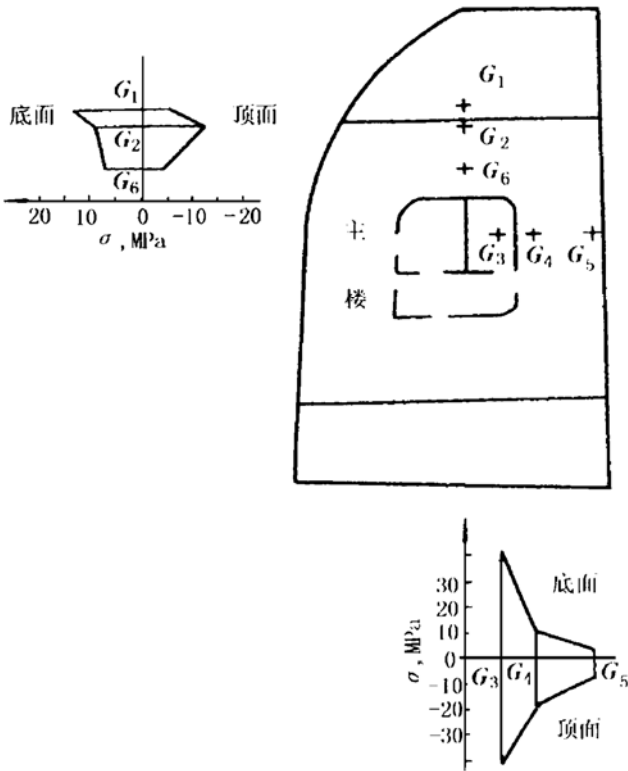


图 6 钢筋应力计布置图及筏板顶底面钢筋应力值
Fig.6 Layout of rebar stress gauges and steel stresses at top and bottom of raft

础中，基础筏厚变化处出现最大拉应力仅为 13.6MPa。

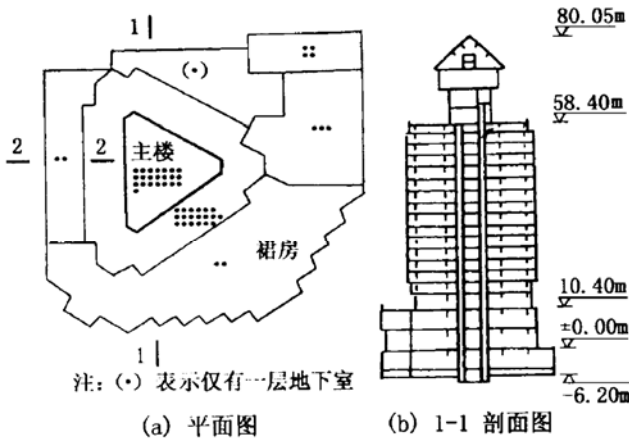


图 7 平面图和剖面图
Fig.7 Plane and section of building

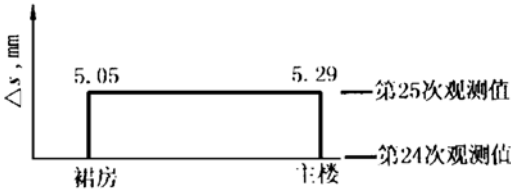


图 8 主楼和裙房沉降观测增量
Fig.8 Increment of observed settlement of tower and podium

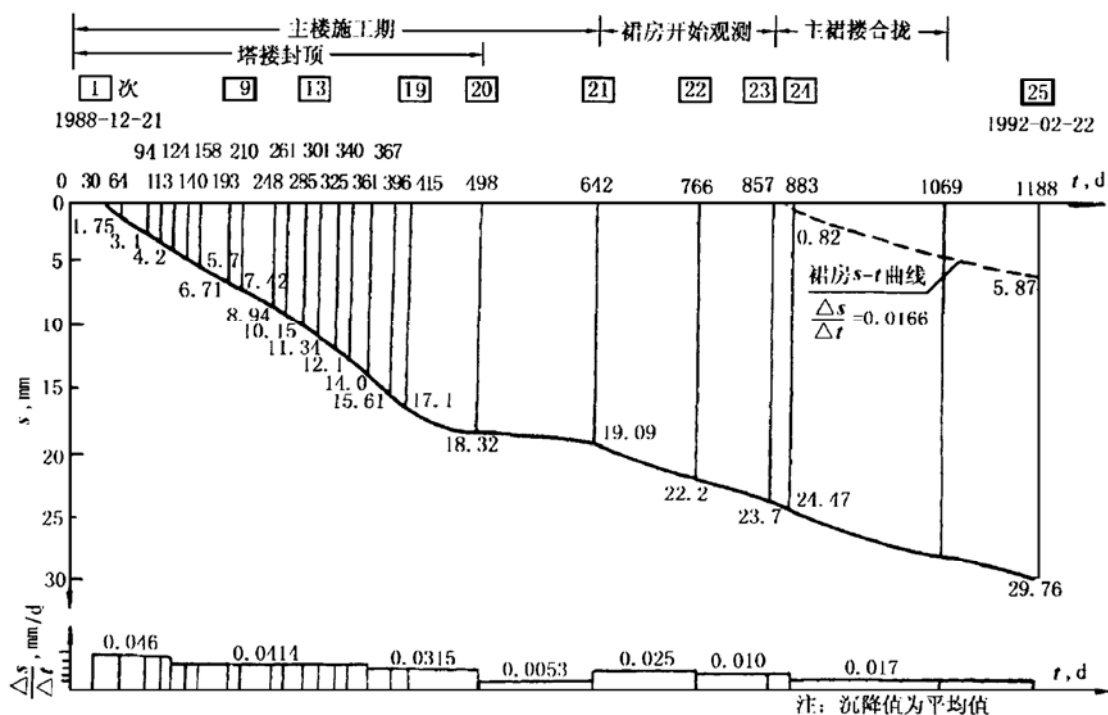


图9 主、裙楼沉降-时间曲线和平均沉降速率图

Fig.9 Settlement-time curve and average settlement rate of tower and podium

平面下土层的压缩量为

4 沉降计算方法及计算参数的确定

带裙房高层建筑桩箱(筏)基础整体设计的关键是选择合适的沉降计算方法。通过与实测结果的对比,本文推荐半理论半经验法^[8,10]和简易理论法^[11,12]分别来估计桩箱(筏)基础的建筑物竣工时的沉降和最终沉降。

1) 建筑物建筑竣工时沉降 S_c 估计值为

$$S_c = \frac{PB_e(1-\nu_s^2)}{E_0} \cdot \frac{C}{A_e C + ndB_e(1-\nu_s^2)} \cdot m_c \quad (2)$$

$$P_g = \frac{S_c \cdot ndE_0}{Cm_c} \quad (3)$$

式中 P 为建筑物的荷载; P_g 为桩基础分担的建筑物荷载; B_e 为基础的等效宽度,其值等于基础面积 A 的平方根; E_0 和 ν_s 分别为桩土共同作用的模量和泊桑比; n 和 d 分别为桩数和桩直径(或等效直径); A_e 为筏(箱)基础承担上部荷载的有效面积; C 为桩基的沉降系数。 m_c 为经验修正系数。 E_0 , ν_s , m_c , A_e 和 C 的取值详见文献^[8]。

2) 建筑物最终沉降的估计

该法首先根据基础的受力机理判断采用何种计算模式,见图10。 τ_z 的合力为 T , T 称总抗剪力。

a) 当 $P \leq T$ 时,采用复合地基模式,其沉降为

$$S = S_p + S_s \quad (4)$$

式中 S_p 和 S_s 分别为桩长范围内土层压缩量和桩尖

$$S_{p1} = \frac{P_p L_p}{2A_p E_p}, \quad S_{p2} = 2S_{p1} \quad (5)$$

式中 S_{p1} 和 S_{p2} 分别为沿桩长压应力三角形分布和矩形分布的桩的压缩量; L_p , A_p , E_p 分别为桩的长度,截面积和弹性模量。 P_p 是桩的设计荷载,其值为

$$P_p = \frac{P \cdot K_p}{n} \quad (6)$$

式中 P 为作用在筏(箱)基础底面的总荷载; n 为总桩数; K_p 为群桩分担上部荷载系数。不考虑桩间土分担荷载时, $K_p = 1$ 。总抗剪力 T 的计算方法详见文献^[11]。对于 P 远小于 T 的超长桩基础, $S_p = S_{p1}$ 。

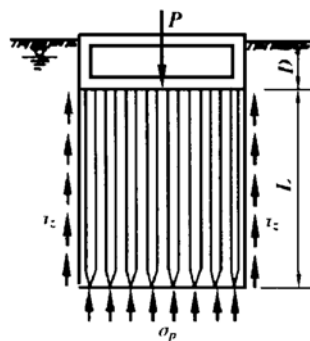


图10 桩箱(筏)基础的受力机理

Fig.10 loading mechanism of piled box (raft) foundation

S_s 的计算采用分层总和法。采用筏(箱)基础底面处的附加压力 σ_0 来计算桩尖下的附加应力分布。 σ_0 用下式计算:

$$\sigma_0 = \frac{P}{A} - \sigma_{cz}$$

7)

式中 σ_{cz} 为筏(箱)基础底面处的土自重应力; A 为筏(箱)基础的平面面积。

b) 当 $P > T$ 时, 采用实体深基础模式计算沉降, 附加压力从桩尖平面算起, 即

$$\sigma_0 = \frac{P + G - T}{A} - \sigma_{cz0}$$

8)

式中 σ_{cz0} 为桩尖平面处的土的自重应力。沉降计算仍用分层总和法。详见文献 [1]。

g) 计算参数的确定

在应用带裙房高层建筑与地基基础共同作用的式(1)时, 要用到桩土结点的刚度矩阵 $[K_s]$ 。为了便于设计, 桩土结点采用弹簧模型, 根据实测和理论资料, 表 4 列出了上海地区可能作为桩持力层的建筑物竣工时以及长期使用时对应的基床系数值。从表中可见, 基床系数不仅与土性有关, 也与该土层的埋置深度以及是否有软弱下卧层有关的。表 5 为本文提出的建议值。在使用表 5 时, 当持力层下有较厚的软弱下卧层时, 基床系数取小值, 否则取大值。

表 4 桩基基床系数理论与实测值
Table 4 Comparisons between predicted and observed coefficients of subgrade reaction for piles

名称	桩长 (入土深度) (m)	桩持力层	总桩数	实测基床系数 k (长期) (kN/m ³)	计算基床系数 $k_{计}$ (kN/m ³)
永兴路高层	8.0~9.9)	② ₁ 粉砂	270	905~696)	688
兰田高层	7.5~9.2)	② ₁ 粉砂	183	789~812	511~562
宛南新村高层	17.0~19.0)	⑤ ₂ 灰色粉砂	76	1890~2060 (1360~1400)	1440
洛川高层	24.0~26.0)	⑥ 暗绿色粉质粘土	174	2090~1640)	2270
乌镇高层	24.5~26.4)	⑥ 暗绿色粉质粘土	174	2580~1720)	1670
上港二区散粮筒仓	30.7~32.2)	⑦ 亚粘土夹粉细砂	604	4040~2730)	1750
上海宾馆	40.5~44.3)	⑦ 暗绿色粉砂	400	3060~2210)	3420
某高层 [13]	27.0~31.3)	⑦ 草黄色砂质粉土	192	3330~4510 (2700~3500)	3250
某高层 [13]	32.0~35.65)	⑦ 草黄色粉砂	132	9050~10940 (6860~7850)	4980~5020
电信大楼 [13]	32.5~42.9)	⑤ _d 褐灰色粘土	414	2530~2040)	1530
某高层 [13]	43.95~44.98)	⑦ 灰绿色砂质粉土	69	13640~8770)	—
华亭宾馆 [13]	44.1~49.85)	⑦ 暗绿色砂质粉土	480	5420~4770)	6230
联谊大厦 [13]	50.1~55.0)	⑦ 青灰色粉细砂	237	8860~7480)	5880
雁荡公寓	50.0~52.2)	⑦ 灰色砂质粉土	205	5680~5410)	4250
上海电调大楼	52.0~56.6)	⑦ 灰色粉砂	171	—	12320
华东电调大楼	49.6~53.1)	⑧ 灰色粉质粘土	187	8230~6790)	6800
大连公寓	54.6~59.1)	⑧ _b 灰色粉质粘土夹砂	108	17060~13590)	10790
富豪外贸大酒店	52.3~60.0)	⑨ _c 砂质粉土夹粉质粘土	230	7270~5410)	4390
虹桥宾馆 [13]	59.0~64.9)	⑧ 暗绿色粉质粘土	281	6560~5740)	8710
银河宾馆 [13]	58.9~65.9)	⑧ 暗绿色粉质粘土	268	11430~9240)	7080
宝钢某高炉	60.0~64.9)	⑦ 粉砂	144	4220~3630)	3420

表 5 上海桩基基床系数建议值

Table 5 Coefficients of subgrade reaction for the various bearing stratum of piles in Shanghai

土层名称	桩入土深度 (m)	k (kN/m ³)	$k_{长期}$ (kN/m ³)
② ₁ 粉砂	10	800 ~ 900	500 ~ 700
⑤ ₂ 灰色粉砂	20	1800 ~ 2000	1400
⑥ 暗绿色粉质粘土	26	2000 ~ 2600	1600 ~ 2000
⑤ _d 褐灰色粘土	40	2530	1500 ~ 2000
⑦ 草黄色砂质粉土 粉质粘土夹粉细砂	30	3300 ~ 4500	2000 ~ 3500
⑦ 草黄色粉砂	40	9000 ~ 10900	5000 ~ 8000
⑦ 灰色粉砂 青灰色粉细砂	50	6000 ~ 13000	4500 ~ 12000
⑧ 暗绿色粉质粘土 砂质粉土夹粉质粘土 灰色粉质粘土夹砂	50 ~ 60	7000 ~ 17000	7000 ~ 12000

5 结 语

1)理论和实测研究表明,带裙房高层建筑箱(筏)基础的整体设计,裙房建在箱(筏)底板的悬挑段是可行的,悬臂长度与底板厚度之比值可以达到4。

2)带裙房高层建筑桩箱(筏)基础整体设计采用裙房桩疏些,桩长度短些,底板厚度薄些的设计方案可以有效地减小整体基础的差异沉降。主楼与裙房整体基础的相对弯曲应控制在0.85‰以内。

3)带裙房高层建筑桩箱(筏)基础整体设计的关键是确定合适的沉降计算方法。本文推荐的竣工时沉降与最终沉降的估计方法可以给出满足工程要求精度的结果。

4)本文给出上海各种典型桩持力层的建筑竣工时和长期使用时的桩基基床系数的建议值,可供设计使用。

参加本课题的还有杨敏、袁聚云、殷永安、张保良等同志。

参 考 文 献

1 龚一斌.带裙房高层建筑与地基基础的共同作用分析[硕士学位论文].上海:同济大学,1995.

2 章文韶.郑州旅游旅馆悬臂箱基的设计施工和测试.河南省建筑设计研究院,1982.

3 Focht J A Jr.,Khan F R,Gemeinhardt J P.Performance of one shell

plaza deep mat foundation,ASCE,1978.104 (G15):593~608.

4 赵锡宏,张问清,董建国等.高层建筑地基基础共同作用研究及其应用.见:高大钊主编《软土地基理论与实践》,北京:中国建筑工业出版社,1992.181~197.

5 天津大学等三校.钢筋混凝土结构(下册).北京:中国建筑工业出版社,1980.65.

6 胡其昌,杨莲成.上海联谊大厦工程简介.结构工程师,1985,(1):70~72.

7 钱素英.海燕大厦基础设计.见:第十一届全国高层建筑学术交流会论文集(第二卷),1990.

8 赵锡宏等著.上海高层建筑桩筏与桩箱基础设计理论.上海:同济大学出版社,1989.

9 周庆安,李国珍等.皇后大酒店主、裙楼连为整体的基础设计.岩土工程师,1992(4):26~32.

10 杨敏,赵锡宏,董建国.上海软土桩基沉降的基本特性和计算方法.见:高大钊主编《软土地基理论与实践》,北京:中国建筑工业出版社,1992.94~105.

11 董建国,赵锡宏.箱(筏)桩基础沉降计算方法的探讨.见:全国地基基础新技术学术会议论文集(上),中国建筑学会地基基础学术委员会,1989,305~309.

12 董建国,赵锡宏,殷永安,杨敏,袁聚云.上海超长桩箱(或筏)基础的工作机理及设计建议.见:第七届土力学及基础工程学术会议论文集,北京:中国建筑工业出版社,406~410.

13 李来宝.上海地区高层建筑桩基沉降计算方法研究(一).结构工程师,1992(1~2):53~59.