

# 桩长对 L 型带裙房高层建筑的结构 - 基础 - 地基共同作用的影响

刘德稳<sup>1,2</sup>, 孙微微<sup>2</sup>, 李祥秀<sup>3</sup>, 陈虎<sup>4</sup>, 夏冰华<sup>2</sup>

(1. 广州大学 教育部工程抗震减震与结构安全重点实验室, 广东 广州 510405; 2. 西南林业大学 土木工程学院, 云南 昆明 650000;  
3. 北京工业大学 建筑工程学院, 北京 100022; 4. 西南交通大学 土木工程学院, 四川 成都 610000)

**摘要:**建立了某实际工程 L 型带裙房高层建筑三维分析模型, 采用分层地基模型模拟地基土, 引入缝连接单元, 对不设缝带裙房高层建筑进行了上部结构 - 桩筏基础 - 地基共同作用分析, 主要讨论主楼和裙房的桩长变化对桩筏基础的影响, 研究表明: 随着主楼桩长增加, 主楼与裙房基础的平均沉降以及它们之间的沉降差减小, 减小趋势趋于缓慢, 对于基础底板弯矩, 总体上随桩长的增加而增加, 增加趋势变缓; 裙房桩长增加, 主楼沉降量变化不大, 裙房沉降量减小, 裙房分担主楼荷载的比例增加, 裙房倾斜先增加后变化趋于平缓, 而主楼倾斜减小。

**关键词:** L 型带裙房的高层建筑; 结构 - 基础 - 地基共同作用; 分层地基; 桩长变化

**中图分类号:** TU973+.23

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-9102(2013)03-0066-06

在一般房屋结构的总体布置中, 考虑到沉降、温度收缩和体型复杂对房屋结构的不利影响, 常常用沉降缝、伸缩缝或防震缝将房屋分成若干独立的部分. 常常由于建筑使用要求和立面效果考虑, 以及采暖通风、电气管线设置不便、防水处理困难等, 希望少设或不设缝. 而对于不设缝的高层建筑主楼与裙房之间对差异沉降的控制, 是目前高层建筑设计过程中的一个棘手问题.

高层建筑基础分析与设计方法大体经历 4 个发展阶段: 简易的共同作用阶段、不考虑共同作用的阶段、仅考虑地基与基础的共同作用阶段以及全面考虑上部结构与地基和基础共同作用的阶段. 近年来, 考虑结构 - 基础 - 地基共同作用的研究逐步增多<sup>[1-3]</sup>. 对于带裙房高层建筑, 由于数据非常庞大, 一般的计算机容量无法满足要求, 因此, 必须采取措施分批处理, 常见的有子结构法和波前法<sup>[4-5]</sup>.

波前法效率较高, 但程序处理复杂, 不便于耦合不同结构体系间的共同作用. 子结构法则有许多方便和优越之处, 因此, 高层建筑与地基基础共同作用分析中经常采用子结构法<sup>[6-8]</sup>. 把上部结构边界节点的刚度和荷载与地基基础的刚度和荷载进行装配, 可以建立上部结构 - 地基 - 基础共同作用的基本方程, 从而可对基础沉降和结构内力进行分析<sup>[9-10]</sup>. 目前对于带裙房的不设缝高层建筑的结构 - 基础 - 地基共同作用研究仍处于初步阶段, 其中较多的是工程设计施工方面的经验介绍, 而缺乏系统的理论分析. 因此, 亟须对此类建筑物进行共同作用分析, 探讨其规律性, 以为设计和施工提供更合理的依据. 本文通过对一建筑上常见的 L 型带裙房高层建筑的实例的结构 - 桩筏基础 - 地基共同作用分析, 探讨地基刚度变化对上部结构和桩筏基础的影响.

收稿日期: 2013-04-26

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 973 项目(2012CB723304); 十二五国家科技支撑计划项目(2012BAJ07B02)

通信作者: 孙微微(1974-), 女, 辽宁大连人, 博士, 副教授, 主要从事结构和岩土工程方向研究. E-mail: sunww936@126.com

# 1 实例模型介绍及计算参数

## 1.1 实例模型介绍

某实际工程模型如图 1 ~ 图 3 所示. 带裙房框架剪力墙结构, 主体上部结构为 14 层(其中第 1 层为地下室), 裙房 3 层, 裙房底板与主楼地下室筏板错层, 高差 3.5 m. 柱采用 C40 混凝土, 梁和桩采用 C35 混凝土. 主体结构地面一层层高均为 4.5 m, 地面二层层高均为 4.0 m, 其他各层 3.3 m, 裙房一层 6.0 m, 二层层高 4.0 m. 楼板厚度 0.12 m, 主体筏板厚 0.3 m, 裙房底板 0.12 m. 地下室层高 5.0 m, 地下室外墙厚 0.3 m. 筏板的厚度为 0.4 m; 桩筏基础, 桩的布置一柱一桩, 桩为钻孔桩, 主楼桩径 1 m, 0.8 m; 裙房桩径 0.8 m.

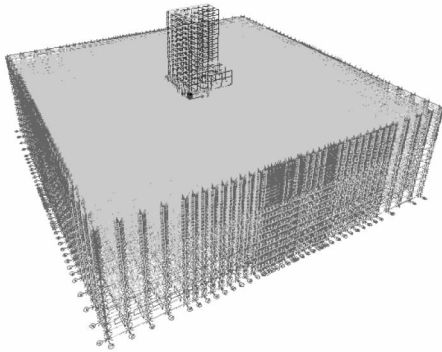


图 1 三维模型  
Fig. 1 3-D model

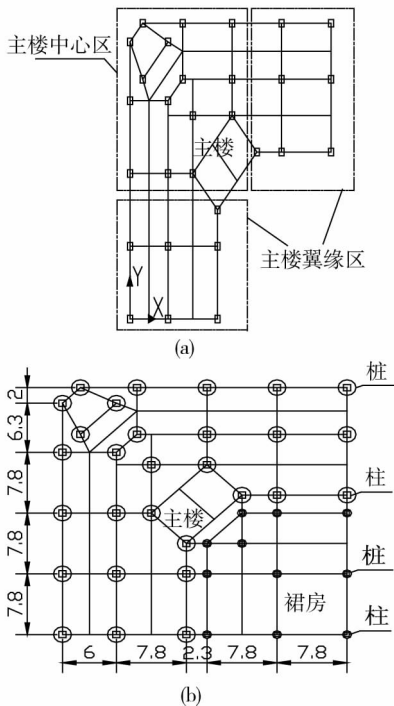


图 2 分区示意图(a)及底层平面图(b)  
Fig. 2 Partition diagram(a) and ground plan(b)

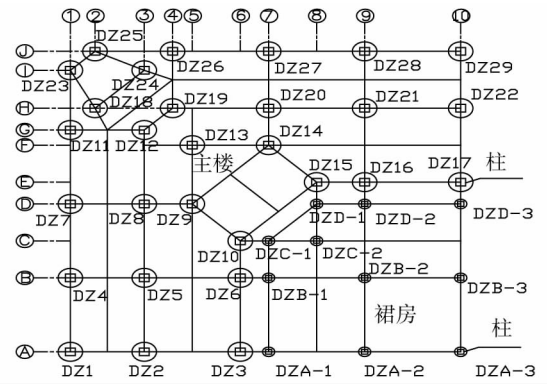


图 3 轴线编号及桩位编号  
Fig. 3 Number of axes and pile

## 1.2 计算假定及计算参数

计算模型的基本假定: 1) 上部结构钢筋混凝土梁、楼板、地下室墙和筏板基础均为线弹性体; 2) 桩为线弹性体, 并且不考虑桩体设置时对桩间土指标的影响; 3) 桩与周围土体自始至终紧密接触, 即在变形过程中, 它们之间不产生相对滑动或脱离; 4) 地基土采用分层地基模型, 土体材料为连续的弹性体; 5) 地下室侧墙、筏板底与土体接触面法向只承受压力. 切向完全接触, 即考虑全摩擦. 模型计算参数见表 1. 计算模型考虑荷载工况: 竖向荷载工况包括结构自重及每层楼面恒荷  $1.5 \text{ kN/m}^2$ , 活荷  $2.0 \text{ kN/m}^2$ , 梁上均布恒荷  $4.5 \text{ kN/m}$ . 模型计算参数见表 1:

## 1.3 模型单元类型的选取

1) 上部结构单元选取: 上部结构梁柱采用杆单元, 楼板、墙采用壳单元; 2) 筏板单元选取厚板单元; 3) 桩采用杆单元; 4) 地下室外墙及筏板与土接触面采用缝(只压)连接单元. 缝单元行为描述如下:

$$\begin{aligned} \text{当 } d + \text{open} < 0 \text{ 时, } f &= k(d + \text{open}); \\ \text{当 } d + \text{open} \geq 0 \text{ 时, } f &= 0. \end{aligned}$$

其中  $k$  为弹簧刚度, 且  $\text{open}$  为初始缝开启宽度, 其必须为 0 或正值. 在模拟地下室外墙及筏板与土接触面时, 将非线性连接刚度  $k$  设为一个较大的值使连接单元本身的刚度很大, 其自身产生的变形  $d$  可以忽略; 5) 非线性间隙单元的作用是, 强制计算模型中的表面只传递压力, 而且当表面没有接触时不能够产生拉力. 这可以通过连接 2 个表面的同一空间节点、垂直于表面的间隙单元来实现. 间隙单元的轴向刚度必须选择为足够大, 以便通过间隙单元内的最小变形(相对于表面上的节点刚度而言)来传递压力. 然而, 如果间隙单元的刚度太大, 就会在求解时产生数值问题; 6) 地基土的模拟: 本文采用分层地基模型模拟地基土, 地基土选用 8 节点实体单元. 地基土的计算范围取 5 ~ 8 倍基底宽度.

表1 模型计算参数

Tab. 1 Model parameters

	$E(E_0) / \text{MPa}$	$\mu$	$\gamma / (\text{kN}/\text{m}^3)$	单元类型	备注
柱	32 500.0	0.20	24.5	杆单元	
梁	31 500.0	0.20	24.5	杆单元	
楼板、地下室外墙	31 500.0	0.20	24.5	壳单元	
筏板	31 500.0	0.20	24.5	厚板单元	
桩	31 500.0	0.20	24.5	杆单元	
土层1(粉质粘土)	7.5	0.35	19.0		1 m—小层,总3.5 m厚
土层2(粘土)	13.5	0.35	20.8	8节点实体单元	2 m—小层,总厚9.5 m
土层3(稍密卵石)	33.0	0.35	22.0		3~5 m—小层
接触面	-	-	-	GAP(缝单元)	-

## 2 桩长变化对共同作用的影响分析

### 2.1 主楼桩长的改变对桩筏基础的影响

先考虑纯梁筏板,然后以裙房13 m桩长不变,仅主楼桩长变化,分别取桩长为0 m(纯筏基),11 m,22 m,30 m,40 m,50 m,其他参数也不变.下面主要分析选取A,B,H轴线上的桩顶沉降及桩顶反力,以考察主楼与裙房边跨、中跨以及主楼中心区与翼缘区的沉降在桩长改变时的变化特征;并通过比较,选取F,C轴线上的梁筏板的总弯矩来考虑不同的连接方式对结构的梁筏板的内力影响;最后还比较分析了结构的整体平均沉降、差异沉降、倾斜等参数的变化特点.

由图4~图6沉降曲线中发现:对于筏板基础与桩筏基础相比较,桩筏基础的沉降曲线较为平缓,而筏板基础的沉降曲线变化较大,从而说明桩筏基础可大大减小基础的平均沉降、调节主楼和裙房之间的差异沉降,以及主楼和裙房各自的沉降差.

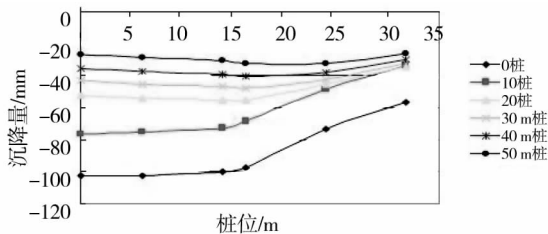


图4 A轴线基础沉降量

Fig. 4 Foundation settlement of axial - A

由图5~图9桩顶反力曲线可以发现:1)主楼翼缘边跨所承担的反力很小,主楼翼缘中跨的基础反力变化很大,主楼与裙房共同作用的效应不明显,基本上是各自独立工作,基础刚度较小,基础反力的分布基本上是荷载大的区域,基础反力就大,而且变

化剧烈;2)随着桩长的增加主楼的基础反力逐渐增大,而裙房的基础反力逐渐减小,从而说明裙房地基分担主楼荷载的比例减小;3)对于主裙楼由于两相邻2条曲线之间的间距也是不断减小的,说明桩长增加到一定长度之后,所起的效果开始减弱.

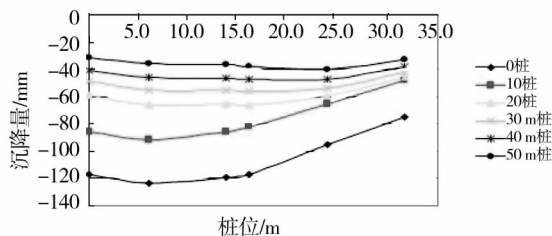


图5 B轴线基础沉降量

Fig. 5 Foundation settlement of axial - B

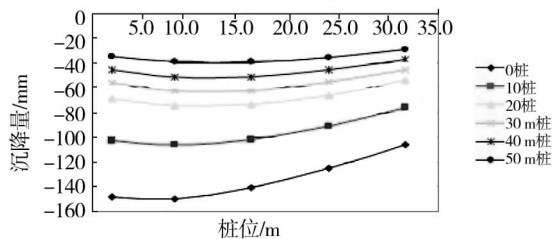


图6 H轴线基础沉降量

Fig. 6 Foundation settlement of axial - H

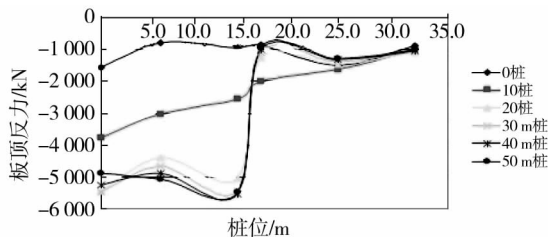


图7 A轴线桩顶反力

Fig. 7 Reaction force at pile top of axial - A

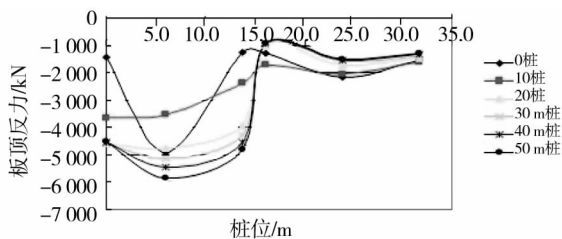


图8 B轴线桩顶反力

Fig. 8 Reaction force at pile top of axial - B

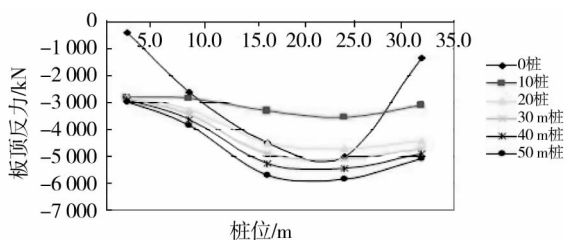


图9 H轴线桩顶反力

Fig. 9 Reaction force at pile top of axial - H

由图10~图13可以看出:1)由图10,随着桩长的增加,主裙楼平均沉降逐渐减小,而且其减小幅度是逐渐趋缓,主裙房之间的沉降差下降很快,由此可以预见,如果把主楼与裙房连接起来,随着桩长的增加,主楼与裙楼之间的相互影响程度也将减小;2)由图11,随着桩长的增加,主裙房各自的沉降差也是减小的,其减小幅度是逐渐趋缓,而且以主楼的减小的要快些;3)由图12,对于基础底板C轴线上的弯矩,是先有一个较大的减小,然后增加,接着趋于缓慢减小,对于刚开始的增加其主要是由于是筏板基础,虽然在翼缘的基础反力较小,但由于主楼中心区与翼缘区之间的基础沉降差较大,对于F轴线上的弯矩,则随着桩长的增加而增加,但增加趋势趋缓;4)由图13,筏板基础与桩筏基础相比而言,桩筏基础能有效减小倾斜程度,而对于桩筏基础,随着桩长的增加,主楼与裙房的倾斜程度迅速减小,而后减小趋势趋缓。

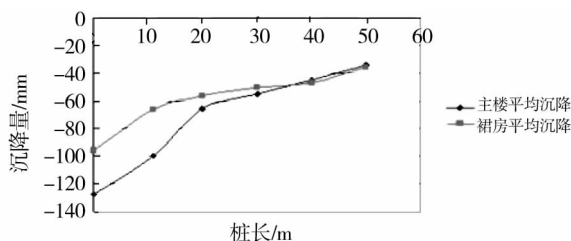


图10 主裙房平均沉降量

Fig. 10 Average settlement of main building and podium

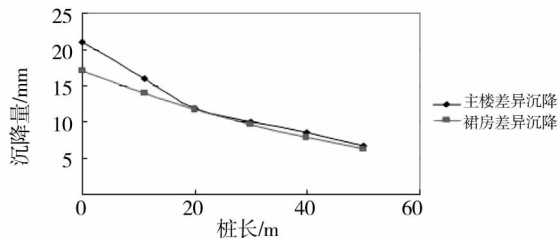


图11 主裙房沉降差

Fig. 11 Differential settlement of main building and podium

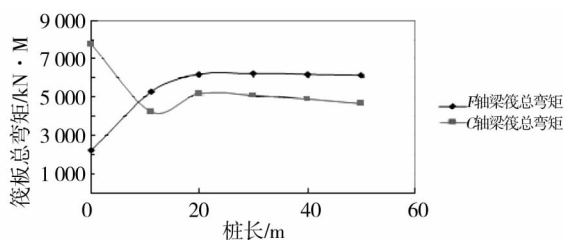


图12 F、C轴梁筏板总弯矩

Fig. 12 Bending moment of axial - F & C

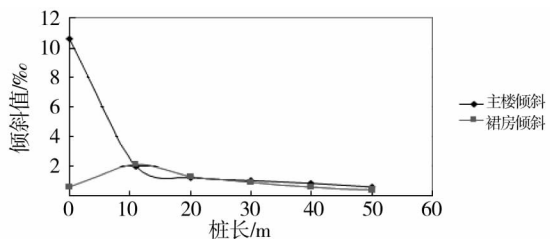


图13 主裙房倾斜值

Fig. 13 Gradient of main building and podium

## 2.2 裙房桩长的变化对桩筏基础的影响

下面考虑裙房桩长改变对结构的影响,以主楼30 m桩长不变,仅裙房桩长变化,其他参数也不变,考虑裙房桩长的变化对基础沉降和桩顶反力的影响。选取B轴线上的桩顶沉降及桩顶反力,以考察主楼与裙房中跨的沉降在桩长改变时的变化特征;最后还比较分析了结构的整体平均沉降、差异沉降、倾斜等参数的变化特点。

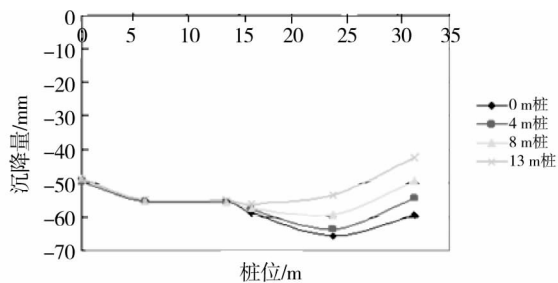


图14 B轴线基础沉降量

Fig. 14 Foundation settlement of axial - B

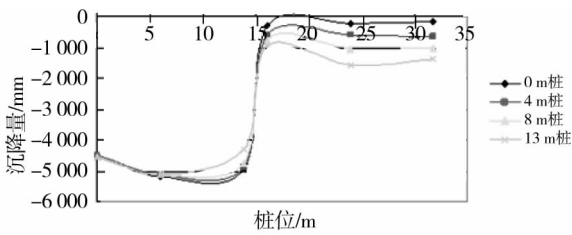


图 15 B 轴线基础反力

Fig. 15 Foundation reaction force of axial - B

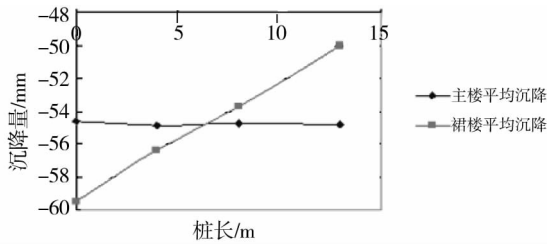


图 16 主裙楼平均沉降量

Fig. 16 Average settlement of main building and podium

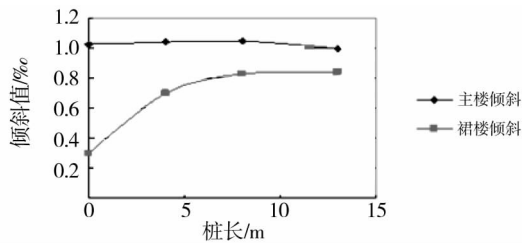


图 17 主裙楼倾斜值

Fig. 17 Gradient of main building and podium

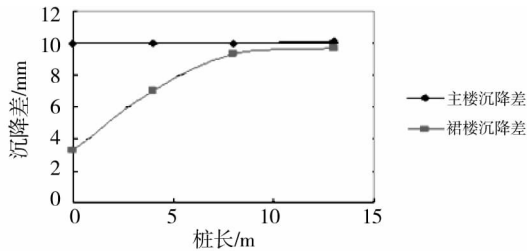


图 18 主楼与裙房沉降差

Fig. 18 Differential settlement of main building and podium

1)由图 14 可知:裙房桩长的改变,对主楼的沉降影响不大,但对于自身的沉降却有较大的影响,随着桩长的增加,沉降减小;2)由图 15 可知:随着桩长的增加靠近裙房的主楼基础反力有所减小,裙房基础反力随着桩长的增加而增加,说明裙房基础刚度的增加,裙房对主楼的荷载分担也增加;3)由图 16 可知:裙房桩长的增加,使得其平均沉降也减小,但对主楼的影响也很小;4)由图 17 可知:对于有桩

无桩的裙房在倾斜上有很大差异,说明桩筏基础对减小沉降效果明显,而对于桩筏基础,随着桩长的增加裙房的倾斜先增加,后变化趋于平缓,而对于主楼倾斜有减小的趋势;5)由图 18 可知:裙房的桩长的增加,主楼的差异沉降影响较小,对裙房的影响较大,先增后减,主要由于桩长的增加地基刚度增加,而裙房架构荷载和刚度分布不均,使得在刚开始时沉降有所增加。

### 3 结论

1)主楼桩长的改变对桩筏基础的影响:桩筏基础相对于筏板基础可大大减小基础的平均沉降、调节主楼和裙房之间的差异沉降,以及主楼和裙房各自的沉降差和倾斜程度;随着桩长的增加,主楼与裙房基础的平均沉降以及它们之间的沉降差减小,并减小趋势趋于缓慢;对于基础底板弯矩,总体上随桩长的增加而增加,增加趋势变缓。

2)裙房桩长的变化对桩筏基础的影响:裙房桩长的增加,主楼变化不大,裙房沉降量减小,裙房分担主楼荷载的比例也增加;随着裙房的桩长增加,对裙房倾斜先增加,后变化趋于平缓,而主楼倾斜减小。

3)建议在桩筏基础设计中不应选用过大的桩长,宜以允许沉降来控制最大桩长,并结合变刚度调平法,对桩基础进行适当的调整,以控制差异沉降。

### 参考文献:

[1] 任秀文. 竖向荷载作用下预制管桩桩土共同作用的数值分析 [J]. 重庆交通大学学报, 2011, 30(增 1): 550 - 554.  
Ren X W. Numerical analysis on pile - Soil interaction of precast pipe pile under vertical loading [J]. Journal of Chongqing Jiaotong University, 2011, 30 (supl): 550 - 554.

[2] 张向东. 考虑桩土共同作用的钻孔灌注桩承载力性状分析 [J]. 力学与实践, 2012, 34(5): 41 - 47.  
Zhang X D. Bearing characteristics of the bored pile in consideration of pile - soil combined actions [J]. Mechanics and Engineering, 2012, 34(5): 41 - 47.

[3] 周万清. 软土地基超长 PHC 管桩的荷载传递机理分析 [J]. 科学技术与工程, 2010, 10(19): 4839 - 4842.  
Zhou W Q. Bearing mechanism of super - long PHC pipe piles in soft soil foundation [J]. Science Technology and Engineering, 2010, 10(19): 4839 - 4842.

[4] 张乾青. 桩 - 土共同作用的研究 [J]. 岩土工程技术, 2008, 22(4): 169 - 172.  
Zhang Q Q. Analysis of interaction between pile and soil [J]. Geotechnical Engineering Technique, 2008, 22(4): 169 - 172.

- [5] 朱红波. 叠加原理在 L 形高层建筑整体筏板基础沉降计算中的应用[J]. 建筑科学, 2008, 24(5):13-16.  
Zhu H B. Calculation of deformation of large - area thick raft foundation under L - shape tall building by principle of superimposition[J]. Building Science, 2008, 24(5):13-16.
- [6] 熊仲明. 高层建筑上部结构 - 桩 - 土共同作用特性的分析与研究[J]. 工业建筑, 2002, 32(12):1-4.  
Xiong Z M. Analysis and study of interaction behavior among high - rise building superstructure pile and soil [ J ]. Industrial Construction, 2002, 32(12):1-4.
- [7] Gong J F. Settlement calculation of large - area thick raft foundation under irregular high - rise buildings [ M ]. New Generation Design Codes for Geotechnical Engineering Practice. TAIPEI: World Scientific, 2006.
- [8] 聂庆科. 3 栋相邻高层建筑上部结构 - 基础 - 地基相互作用研究[J]. 建筑结构学报, 2012, 33(9):87-95.  
Nie Q K. Study on structure - foundation - soil interaction of three tall buildings[J]. Journal of Building Structures, 2012, 33(9):87-95.
- [9] 高加成. 碎石桩 - 强夯联合法加固湖区填土地基[J]. 湖南科技大学学报(自然科学版), 2005, 20(1):49-51.  
Gao J C. Reinforcing soil around lake with gravel pile and dynamic compaction [ J ]. Journal of Hunan University of Science & Technology ( Natural Science Edition ), 2005, 20(1):49-51.
- [10] 蒋权. 基于改进 RMR 法及三维可视技术的岩体质量分级分区[J]. 矿业工程研究, 2013, 28(2):56-61.  
Jiang Q. Rock mass quality classification based on the improved RMR method and 3D visualization technology [ J ]. Mineral Engineering Research, 2013, 28(2):56-61.
- [10] 蒋权. 基于改进 RMR 法及三维可视技术的岩体质量分级分区[J]. 矿业工程研究, 2013, 28(2):56-61.  
Jiang Q. Rock mass quality classification based on the improved RMR method and 3D visualization technology [ J ]. Mineral Engineering Research, 2013, 28(2):56-61.

## Concurrent functional influence research of L - shaped high - rise building with different pile length

LIU De - wen<sup>1,2</sup>, SUN Wei - wei<sup>2</sup>, LI Xiang - xiu<sup>3</sup>, CHEN Hu<sup>4</sup>, XIA Bing - hua<sup>2</sup>

- (1. Key Laboratory of Earthquake Resistance and Absorption Engineering & Structure Safety of Ministry of Education, Guangzhou University, Guangzhou 510405, China;  
2. College of Civil Engineering, Southwest Forestry University, Kunming 650000, China;  
3. College of Architecture and Civil Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China;  
4. College of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610000, China )

**Abstract:** Three - dimensional analytical model was built on a L - shaped high - rise building with podium, layered ground model was adopt to analog subsoil, joint connection unit was introduced, a combined action analysis was maken that of upper - structure - piled raft foundation - ground on high - rise podium buildings that do not set up joint and influence were mainly discussed that of change of pile length of main building and podiums on piled raft foundation. It indicated that, with the increase of pile length of main building, average settlement of main building and podium foundation and settlement difference between them reduced decreases slowly. Generally, bending moment of foundation mat increases slowly with pile length. If pile length of podiums increases, settlement amount of main building has no an obvious change. If settlement amount of podiums decreases, the proportion at which podiums share load of main building increases. Tilt of podiums increases and then tends to drop off, while tilt of main building decreases.

**Key words:** L - shaped high - rise buildings with a podium; combined action; layered soil model; change of pile length