

引用格式:Feng Liqiang, Wei Hongliang, Zhu Qiankun, *et al.* Interactive Superstructure Analysis between Multi-tower Podium Building and Foundation[J]. Journal of Gansu Sciences, 2016, 28(2):62-67. [冯力强, 魏宏亮, 朱前坤, 等. 多塔裙楼与地基基础相互作用的上部结构分析[J]. 甘肃科学学报, 2016, 28(2):62-67.]
doi:10.16468/j.cnki.issn1004-0366.2016.02.014.

多塔裙楼与地基基础相互作用的上部结构分析

冯力强¹, 魏宏亮², 朱前坤³, 王宗年⁴, 项长生³

(1. 甘肃省建设投资(控股)集团总公司, 甘肃 兰州 730050; 2. 甘肃建投科技研发有限公司, 甘肃 兰州 730050;
3. 兰州理工大学 土木工程学院, 甘肃 兰州 730050; 4. 甘肃省建筑科学研究院, 甘肃 兰州 730050)

摘要 结构设计中往往不考虑上部结构与地基基础之间相互作用, 通过 ANSYS 建立三座高层塔楼及其裙房有限元模型进行受力分析, 研究上部结构和地基基础相互作用下的上部结构柱、梁、裙房剪力墙内力分布特点。结果表明: 塔楼上部结构会在相互作用影响下出现边柱及角柱的内力增大, 其中在角柱部位的内力增量最多, 共同作用对上部结构柱轴力的影响主要在结构一、二层, 且角柱受影响较大。相互作用同样对底层梁及裙房外墙计算结果影响较大, 在设计时应注意裙房外墙等部位的裂缝控制。

关键词 多塔裙楼; 相互作用; 筏板基础; 内力分析; 有限元

中图分类号: TU433

文献标志码: A

文章编号: 1004-0366(2016)02-062-06

开发地下空间和地上高层可以利用紧缺的土地资源, 裙楼用作商业营运, 主塔楼用作民用住宅的多塔裙楼并带有地下大空间车库的结构形式应用越来越广泛。上部结构及地基基础相互作用会在理论设计与工程施工中带来不良影响, 所以结合实际工程应用有限元方法分析掌握影响规律可以为分析计算提供参考依据。

王曙光等^[1]对主裙楼筏板整体连接进行模型试验和相互作用分析结果表明: 改变基础及地基刚度是变刚度调平设计的关键。王春明等^[2]建立主裙楼与地基基础相互作用的计算模型并在实际工程中调整地基基础形式, 研究表明高层建筑主裙楼整体连接是切实可行的。张武等^[3]对框架-核心筒桩筏基础结构进行变刚度模型试验的结果表明: 增大核心筒位置的桩长对降低总体沉降及沉降差最为有效。朱红波等^[4]对 L 形大底盘框筏基础结构进行大型模型试验得到结论: 裙房扩散主楼荷载在两跨范围与主楼连接的裙房筏板部位容易发生破坏。宫剑飞等^[5]对北京三里屯 SOHO 工程大底盘多塔楼的结构形式进行了原位测试, 结果表明上部结构刚度较大裙楼框架柱的荷载值相差不超过 20%, 主楼核心筒总荷载与主楼外围柱的总荷载相差不超过 10%。

1 工程概况

1 工程概况

1.1 上部结构概况

兰州某危旧房改造项目包含三座塔楼, 建筑总面积 $1.6 \times 10^5 \text{ m}^2$, 塔楼均为地上 31 层, 地下 3 层, 地上 4 层裙房为商业楼, 塔楼总高度为 103 m。其中 A、B 塔为框架剪力墙结构, C 塔为全现浇剪力墙结构, 裙楼及地下部分为框架结构。

1.2 地基基础概况

工程主要持力层为强风化砂岩, 最大揭露厚度为 14.5 m, 且持力层较厚, 勘探过程中未钻透, 依据岩土勘察报告可按照相对均匀地基考虑。地基承载力特征值为 300 kPa, 以强风化砂岩的岩土参数作为计算依据。地下水水位由于周边施工降水影响, 水位在地面以下 6.5~10.5 m, 历史最浅埋深为地面以下 2.0~2.5 m。

收稿日期: 2015-03-30; 修回日期: 2015-07-07.

基金项目: 甘肃省科技支撑计划(1104GKCA035).

作者简介: 冯力强(1967-), 男, 甘肃武都人, 教授级高级工程师, 研究方向为工程灾害监测与防治. E-mail: fengliq67@126.com.

工程采用混凝土筏板式基础,筏板混凝土强度等级为 C40,垫层混凝土强度等级为 C25。裙楼部分筏板厚度 0.8 m,塔楼部分为 1.6 m。裙楼基础

板底埋深为 16 m,塔楼基础板底埋深为 16.8 m,塔楼电梯井局部埋深为 19.3 m。筏板后浇带宽为 0.8 m。筏板平面布置见图 1。

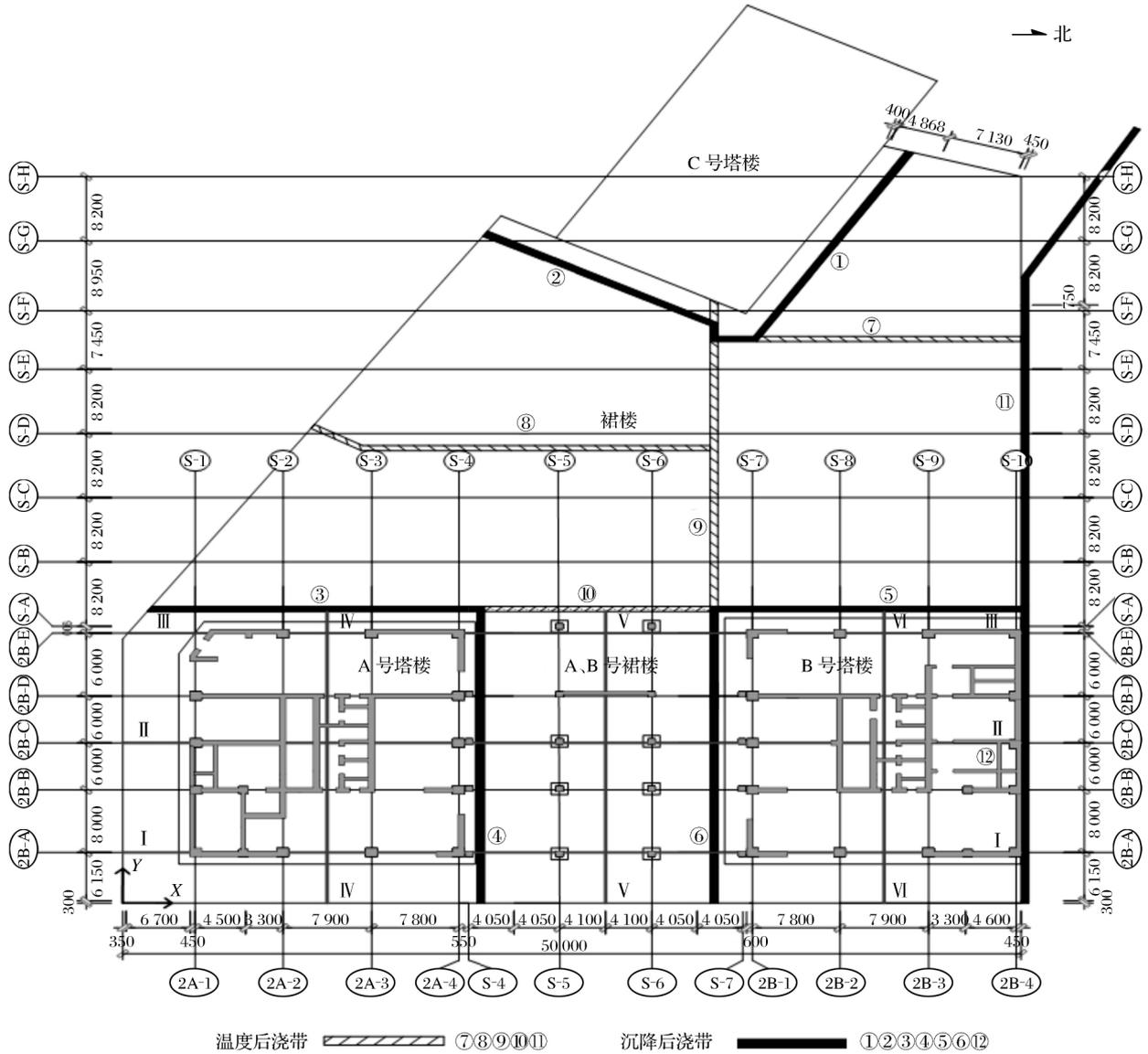


图 1 筏板平面布置

Fig. 1 Raft layout chart

2 有限元模型建立

应用 ANSYS 建立了上部结构、地基基础相互作用的有限元模型,基础模型如图 2 所示,应用实体单元对筏板单元进行模拟^[6],基础与地基连接可以应用 MPC 方法^[7]。上部结构通过模型转换接口程序 SOFT_LINKER^[8]导入,整体有限元模型如图 3 所示。

3 相互作用对柱的影响

上部结构底层墙柱自由度固定求解,将计算结

果与整体相互作用进行比较,得出相互作用对上部结构的影响。

主要对比 B 塔楼 4 号纵轴定位轴线与 C、D、E 三个横轴定位轴线相交位置从结构一层至七层的柱轴力,A、B 塔楼间的裙房的柱子位置分别为 S7 与 SA、S7 与 B-C 及 S6 与 B-C 相交位置。同时比较了 B 塔楼与 1 号轴线相交的 B-C、C-D、D-E 轴线之间结构一层至七层梁的轴力。最后分析比较了裙房外墙的第一主应力值。柱、梁及墙的相应编号分别为 Z1、Z2、Z3、Z4、Z5、Z6;L1、L2、L3、

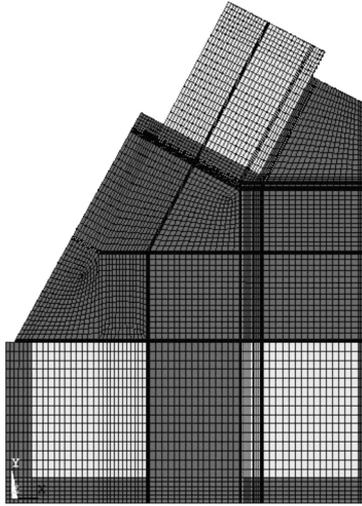


图2 筏板基础有限元模型

Fig. 2 Finite element model of raft foundation

L4、L5、L6; Q1, 相应的位置如图4所示。计算得到考虑相互作用与不考虑相互作用时的柱轴力, 分别如表1、表2所列, 对比表1与表2并绘制相互作用下柱轴力对比图, 如图5所示。

从图5可以看出塔楼处一层柱轴力在相互作用的影响下要明显大于不考虑相互作用上部结构单独计算结果, 并且角柱 Z1 的增加量要比两个边柱多, 接近角柱的边柱 Z2 略大于边柱 Z3。结构二层在 Z1 处计算结果相差较大, 与边柱相近。随着楼层的增高可以看到, 三层以上两种情况计算的柱轴力结果相差较小。对比两种情况下裙房柱 Z4~Z6 的轴力可以看出 4、5 号柱轴力在相互作用及塔楼影响下的计算结果比不考虑相互作用时的计算结果要小。在裙楼的中部 6 号柱相互作用计算结果较大。

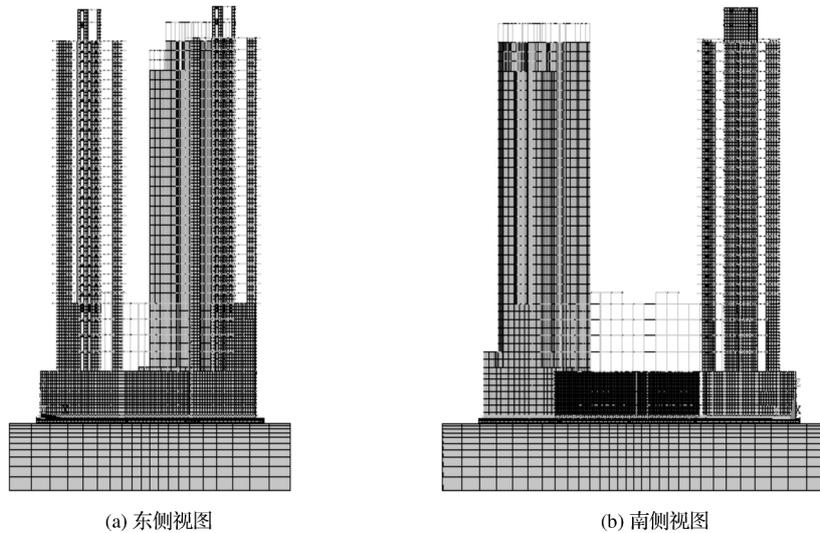


图3 结构整体有限元模型

Fig. 3 Structural overall finite element model

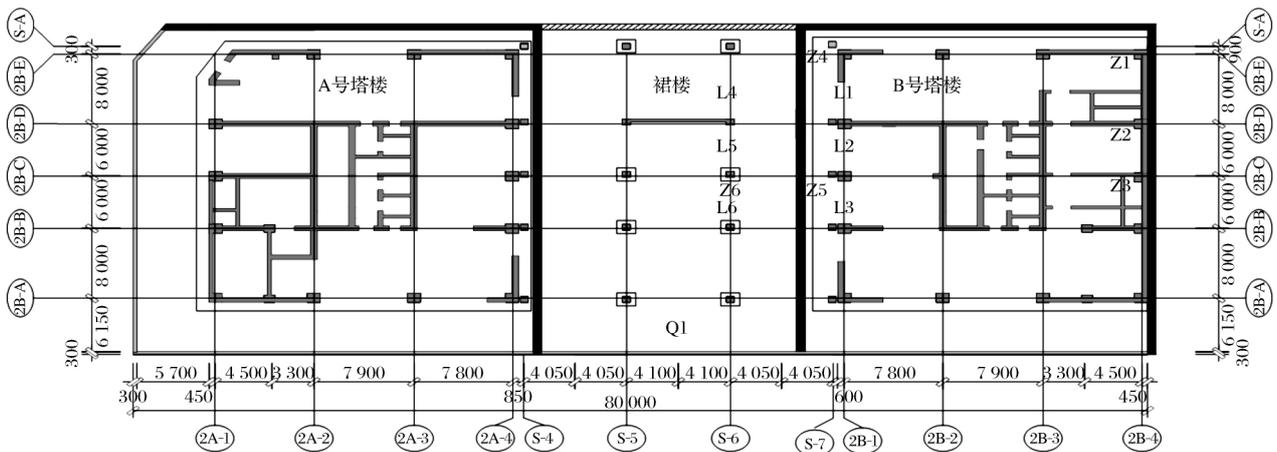


图4 柱编号、梁及外墙位置

Fig. 4 Sketch map of column number, girder and external wall location

表 1 不考虑相互作用柱轴力

Table 1 Column axial force without interaction

kN

楼层	柱编号					
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6
1	-3 904.93	-2 227.32	-1 863.82	-2 959.84	-1 848.39	-2 993.39
2	-4 716.58	-2 066.32	-2 802.76	-2 365.27	-1 519.84	-2 416.67
3	-2 926.66	-3 074.41	-2 823.35	-1 914.91	-1 252.31	-1 960.65
4	-2 510.40	-6 675.46	-6 793.99	-1 431.87	-956.37	-1 466.88
5	-2 388.66	-5 167.28	-6 450.55	-1 054.67	-700.69	-1 082.95
6	-2 476.36	-4 888.93	-6 151.89	-703.23	-466.11	-724.12
7	-3 539.65	-4 666.05	-5 871.62	-352.86	-228.98	-369.09

表 2 考虑相互作用柱轴力

Table 2 Column axial force with interaction

kN

楼层	柱编号					
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6
1	-9 643.02	-4 506.72	-4 125.36	-1 952.76	-814.63	-3 315.07
2	-6 795.07	-2 685.42	-2 957.15	-1 650.30	-760.61	-2 653.54
3	-2 786.22	-3 375.64	-3 207.26	-1 352.93	-643.04	-2 155.49
4	-3 097.88	-7 573.25	-7 023.03	-1 017.62	-480.73	-1 622.09
5	-2 848.86	-5 078.83	-6 666.71	-752.62	-364.78	-1 195.83
6	-2 946.67	-4 858.91	-6 353.82	-507.38	-253.50	-794.35
7	-4 023.67	-4 761.65	-6 062.24	-263.18	-140.86	-395.86

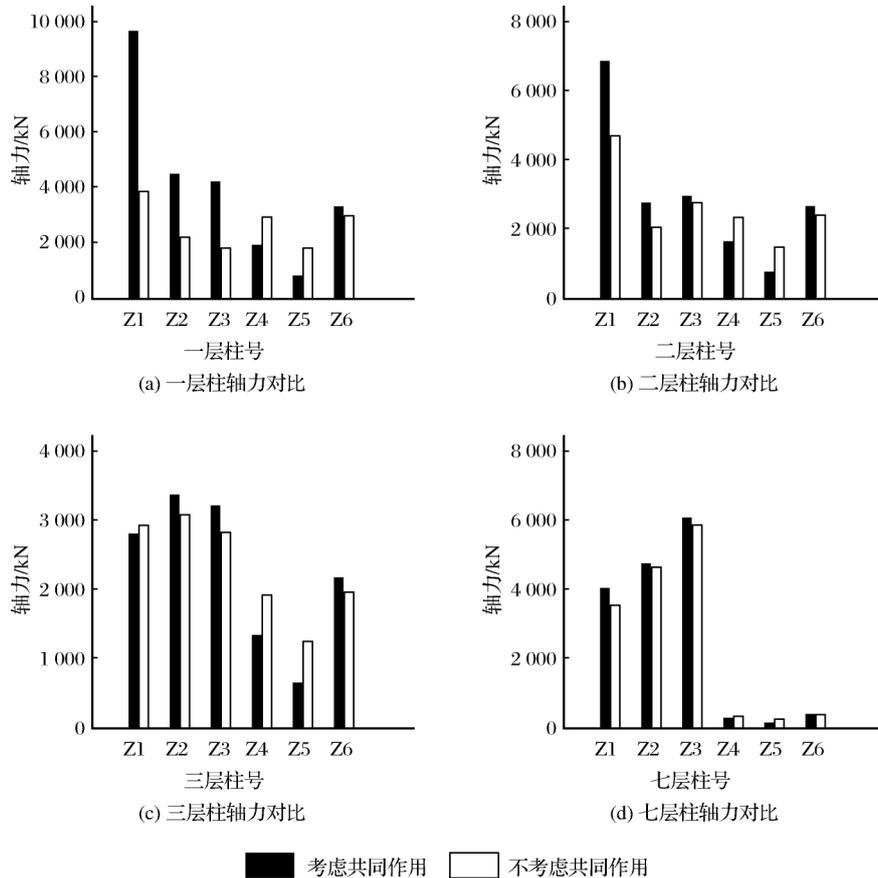


图 5 相互作用柱轴力对比

Fig. 5 Comparison of column axial force under interaction

3.1 相互作用对梁的影响

将两种情况下的上部结构 1~7 层的梁的轴力进行比较,梁的位置对应图 4,对比计算结果如图 6

所示。一、二层梁的轴力在相互作用下为受压,到三层后塔楼部分三根梁变为受拉,而裙楼部分仍旧受压。对比结果,两种情况计算结果相差较大,表明相

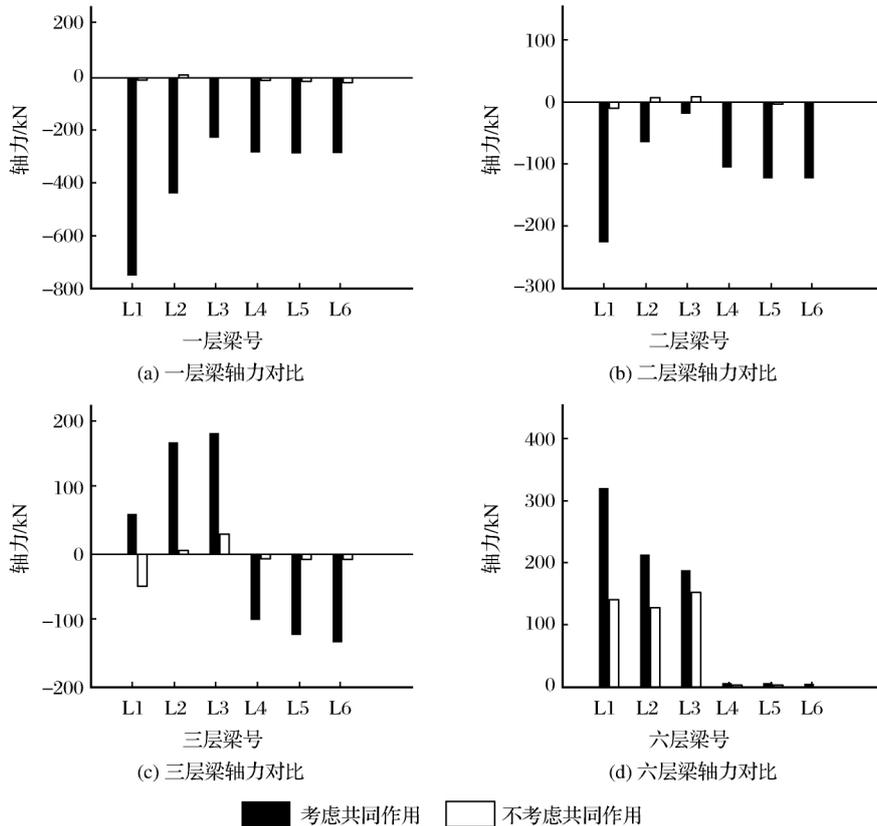


图 6 相互作用梁轴力对比

Fig. 6 Comparison of girder axial force under interaction

互作用对上部结构梁的影响较大,拉压计算结果可能相反,整体规律性不明显,需要在设计时进行相互作用分析,以准确计算梁的受力。

3.2 相互作用对裙房外墙的影响分析

选取对比的 9 个位置点,如图 7(a)所示,图 7(b)

为相互作用下裙房外墙 Q1 第一主应力云图。从整体趋势可以看出外墙底层两侧角柱处拉应力较大,底层半圆形区域的拉应力较小,结构三层外墙顶及与角柱相连的二层墙拉应力均较明显。

将两种情况下 9 个位置点墙外侧的第一主应力

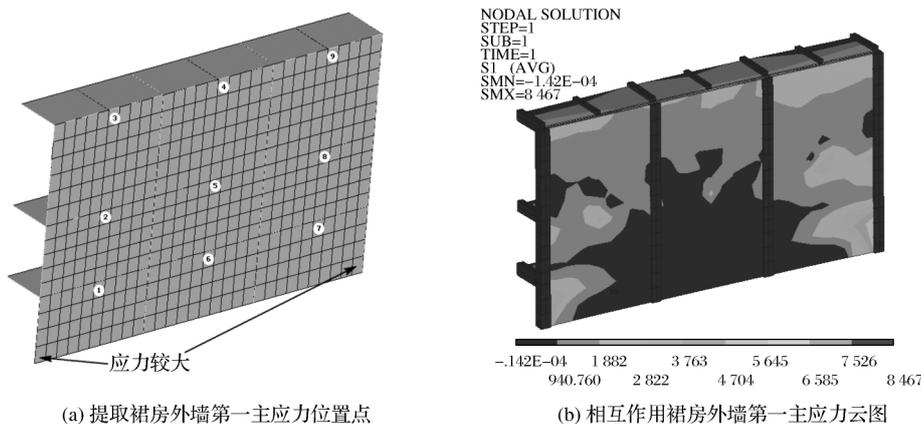


图 7 结果位置及第一主应力云图

Fig. 7 Result position and first major stress nephogram

进行对比,结果如图 8 所示。结果表明相互作用计算结果明显增大。在结构二层外墙顶 2、8 两个对称的位置点第一主应力较大,且均超过了混凝土抗拉极限标准值。

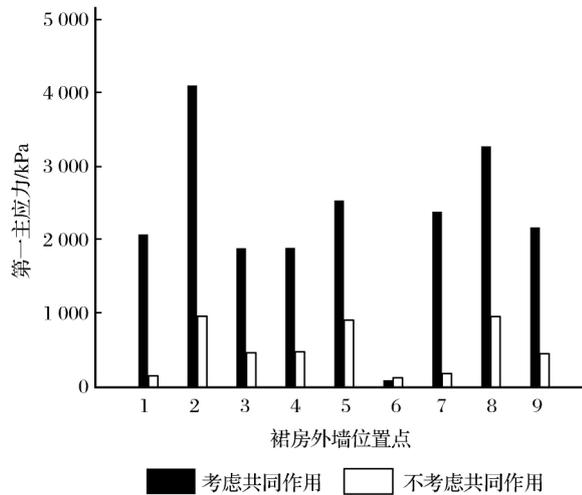


图 8 相互作用影响下裙房外墙第一主应力对比
Fig. 8 Comparison of first major stress nephogram of external wall of podium under interaction

4 结语

通过 ANSYS 建立多塔裙楼有限元模型,计算

只考虑上部结构模型与相互作用模型的柱、梁、裙房外墙受力。研究表明:塔楼上部结构会在相互作用影响下将塔楼中部荷载向筏板边缘周围转移,即增大了边柱及角柱的荷载,其中角柱的荷载增加量最多。相互作用对上部结构柱轴力的影响主要在结构一、二层,且角柱所受影响较大。相互作用对底层梁及裙房外墙计算结果影响较大,需要在设计时注意以免造成构件的开裂。

参考文献:

- [1] 王曙光,滕延京.大底盘建筑主裙楼基础整体连接的可行性与适用性研究[J].土木工程学报,2010,43(2):95-99.
- [2] 王明春,张保良,赵锡宏.高层建筑主楼和裙房不设缝时的分析[J].建筑结构学报,1999,20(3):65-70.
- [3] 张武,迟铃泉,高文生,等.变刚度桩筏基础变形特性试验研究[J].建筑结构学报,2010,31(7):94-102.
- [4] 朱红波,邱道怀.L形高层建筑下大底盘框架厚筏基础反力和变形试验研究[J].建筑科学,2008,24(1):27-30.
- [5] 宫剑飞.高层建筑与裙房基础整体连接情况下基础的变形及反力分析[J].土木工程学报,2002,35(3):46-49.
- [6] 李慧,童雄,狄生奎,等.基于 ADINA 的板柱连接冲切破坏的非线性分析[J].甘肃科学学报,2007,19(1):127-130.
- [7] 杜永峰,邱志涛.筏板基础中柱节点冲切有限元分析[J].甘肃科学学报,2007,19(4):125-128.
- [8] 曹伟良,张良平.SAP2000 和 ANSYS 模型转换技术[J].建筑结构,2009,39(S2):481-482.

Interactive Superstructure Analysis between Multi-tower Podium Building and Foundation

Feng Liqiang¹, Wei Hongliang², Zhu Qiankun³, Wang Zongnian⁴, Xiang Changsheng³

(1. Gansu Construction Investment (Holdings) Group Corporation, Lanzhou 730050, China;

2. Gansu Construction Investment of Science and Technology Development Co. Ltd., Lanzhou 730050, China;

3. School of Civil Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China;

4. Gansu Academy of Building Research, Lanzhou 730050, China)

Abstract Structural design usually does not cover the interaction between superstructure and foundation. Based on the force analysis of 3 high towers built by ANSYS and finite element model of their podiums, the characteristics of internal force distribution of superstructure columns, girders and shear walls of podiums under the interaction between superstructure and foundation is studied. The analysis results indicate that the superstructure of tower will increase the internal force of side columns and corner columns under interaction, among which the internal force of corner columns increases most. The axial force influence of interaction on superstructure columns is mainly in the first and second layer of structure, and corner columns are influenced most. As the interaction has a bigger influence on the calculation results of basement girders and external wall of podiums, crack control of external wall of podiums and other locations shall be paid attention in design.

Key words Multi-tower podium building; Interaction; Raft foundation; Internal force analysis; Finite element