

赤湾博石国际学校超限结构专项设计

陈奇纳 李俊生 李湘贵

悉地国际设计顾问(深圳)有限公司 广东深圳 518048

【摘要】赤湾博石国际学校结构设置两道抗震缝,将整体结构从地下室顶板以上划分为宿舍和教学楼两个部分。主要针对教学楼的超限结构设计进行阐述。通过中震楼板内力分析,得到教学楼传递水平地震力的规律,查出楼板内力集中部位,采取加强措施保证水平地震力传递;针对教学楼33.6米大跨度的托柱转换梁和转换柱进行了各组合计算分析,采用了Abaqus实体单元有限元分析模型补充分析,确保转换相关构件的安全性;针对教学楼高度为9米的转换柱进行了屈曲分析,确保跃层柱的稳定性。

【关键词】大跨度托柱转换;跃层柱;实体有限元分析;楼板内力

1 工程概况

赤湾博石国际学校位于深圳市南山区赤湾。本次开发项目三栋建筑,分别为教学楼、学生宿舍、教师宿舍。地上建筑面积91311.3 m²,地下建筑面积41008.1平方米,地下室共2层,埋深约9.3m。结构设计超限的为教学楼,结构高度为41.0m,八层,标准层层高4.2m,塔楼高宽比为41.0/66.7=0.6,长宽比为109.2/66.7=1.63,塔楼底部共1层裙房,存在1层夹层,层高为4.5m+4.5m。

设计基准期和设计使用年限为50年,建筑结构安全等级为一级,结构重要性系数为1.1。教学楼建筑结构抗震设防类别为乙类,抗震设防烈度为7度,场地类别II类。教室采用机械成孔嵌岩桩,桩端持力层为中风化花岗岩,地下稳定水位高程为4.1~5.0m,平均高程为4.9m,考虑抗浮设计,采用抗压兼抗拔嵌岩桩。

2 结构布置和超限分析

2.1 结构布置

为了满足建筑的使用功能和结构设计的合理性,地下室顶板以上设置抗震缝,分为教学楼和宿舍两部分,如图1。

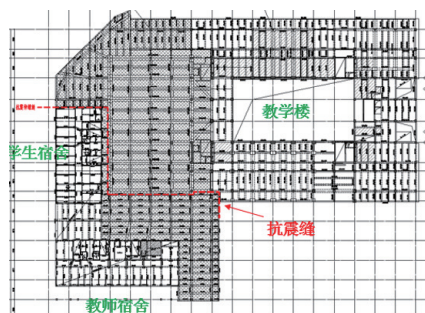


图1 抗震缝划分示意

教学楼整体模型示意如图2。

教学楼采用框架-剪力墙结构,钢筋混凝土框架柱截面从下到上1900x1200变化为800x800,型钢混凝土转换柱截面尺寸主要为2800x1800,含钢率5.1%,框架梁截面为300~1200x400~1500,型钢混凝土转换梁截面尺寸主要为1800x2500含钢率4.5%。剪力墙厚度为300~900mm,混凝土强度等级为C30~C60。教学楼的平面为“回”字型建筑,在裙房顶设置托柱转换,被转换柱子数量为32个,占框架柱总数的25.2%比例;转换梁跨度均为33.6m。

采用型钢混凝土框架柱和框架梁,可以给结构提供很好的延性和阻尼,且型钢混凝土的刚度大,耐火性能好,造价和后期维护的费用都较低。

2.2 超限情况

根据《超限高层建筑工程抗震设防专项审查技术要点》建质[2015]67号,教学楼部分超限判定的主要内容有:①扭转不规则;②凹凸不规则,内凹深度大于30%;③楼板不连续,一层夹层开洞率>30%;④构件间断,存在框架柱被转换;⑤局部不规则,首层存在穿层柱等复杂情况。

3 抗震性能目标

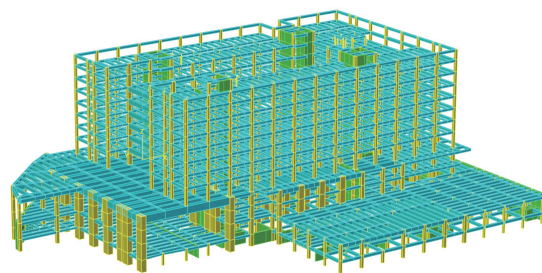


图2 教学楼整体模型示意

执行《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ3-2002)，初定教学楼的结构抗震性能目标为C级，对应规范的相应性能水准如表1所示

表1 性能水准

性能水准	1 (多遇)	3 (设防)	4 (罕遇)
关键构件	无损坏	轻微损坏	轻度损坏
普通竖向构件	无损坏	轻微损坏	部分构件中度损坏
耗能构件	无损坏	轻度损坏、部分中度损坏	中度损坏，部分比较严重损坏

其中关键构件为底部加强区的剪力墙和框架柱、转换柱和转换梁，普通竖向构件为“关键构件”以外的竖向构件，耗能构件为连梁和框架梁。

4 结构专项设计

4.1 中震楼板内力分析

采用ETABS进行楼板内力分析，楼板采用弹性板补充计算，揭示楼板在传递中震水平作用时的工作状态，以确保结构各部分的变形协调，并能根据分析结果有针对性的对楼板的薄弱部位进行构造加强，分析结果如图3和图4所示。

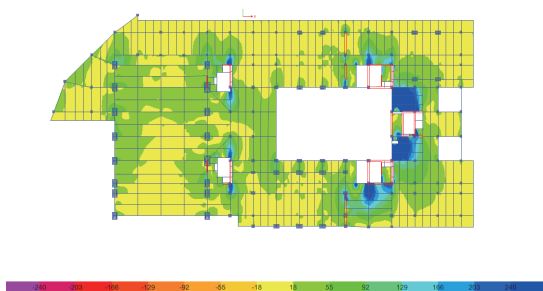


图3 二层EX板内F22内力分布图 (N/mm)

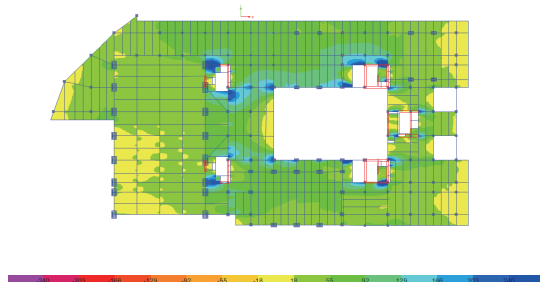


图4 二层EY板内F22内力分布图 (N/mm)

地震作用下剪力墙周边出现内力集中现象，EX工况下，最大F11=364N/mm，需全截面附加配筋率0.76%；EY工况下，最大F22=434N/mm，需全截面附加配筋率0.84%。

4.2 转换梁和转换柱分析

采用ETABS在进行构件计算和摘取组合内力的最大值，

其中包括恒载、活载、风荷载和地震作用，并根据构件混凝土和钢筋等信息，采用XTRACT软件输入构件信息，进行P-M-M曲线设计和绘制，组合内力P-M-M曲线如图5和图6所示，从P-M-M结果可以看出，组合内力均在曲线范围内，故构件能满足抗弯承载力要求。

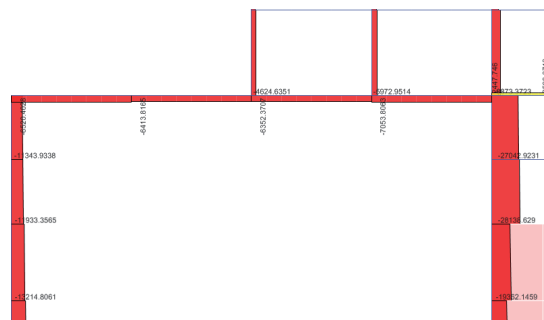


图5 (1.3D+1.5L+0.9W) x 1.1组合轴力

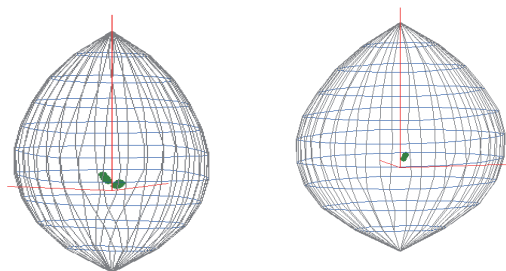


图6 转换梁(左)和转换柱(右)P-M-M曲线

采用Abaqus补充实体有限元分析，考察结构转换梁柱及其相邻构件的真实受力状态，有限元分析模型主要目的在于反映结构各部分的协同受力状态并与整体塔楼模型分析结果包络设计，不考虑材料非线性，不考虑钢筋，包络内力组合，计算结果如图7和图8所示，转换梁和转换柱及其相邻混凝土构件在竖向基本荷载组合下(1.3D+1.5L)可做到受压弹性，大部分区域压应力可控制在15Mpa以内，小于C60混凝土抗压强度标准值38.5Mpa，故转换梁柱混凝土转换梁整体在竖向基本荷载组合下处于受压弹性状态。转换梁其混凝土内型钢于根部位置应力小于Q390GJ钢材强度设计值330MPa，大部分区域在100MPa以内结果满足规范要求。

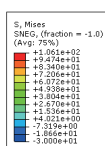


图7 (1.3D+1.5L)内置型钢Mises应力云图

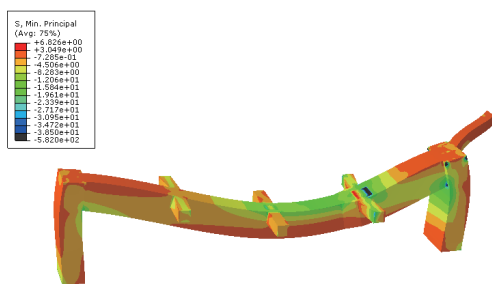


图8 (1.3D+1.5L)混凝土主压应力云图

4.3 框架跃层柱屈曲分析

为保证结构安全,对于跃层柱,需借助屈曲分析确定其计算长度,保证整体模型计算时承载力及稳定性验算的准确性。在整体模型基础上,跃层柱柱顶施加恒载工况集中荷载,选取1.0恒载(含结构自重)+1.0活荷载作为屈曲分析每步加载值对结构底部跃层柱进行屈曲分析。底部跃层柱屈曲模态如图9所示,对应计算长度系数入表2所示,结构设计时取值大于计算长度系数。

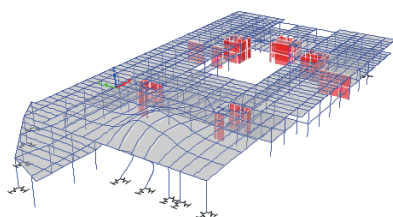


图9 框架跃层柱屈曲分析结果

表2 框架柱整体计算长度系数计算表

截面 mmXmm	初始 轴力 (kN)	临界 荷载 系数	抗弯刚度 (kN·m ²)	无支撑 长度m	计算 长度 系数
1800x2800 (型钢柱)	583533	22.0	120738461	9	1.07
1000x1000	7304	26.9	3000000	9	0.65

5 结论

赤湾博石国际学校结构经过广东省超限审查委员会论

证,并于2021年7月份通过抗震设防专项审查。

(1)通过楼板应力分析,水平地震力传递途径明确,靠近剪力墙部位局部存在内力集中现象,且内力超过楼板 f_{tk} 值,采取增大大板配筋,可满足设计要求,保证了结构安全和使用。

(2)对大跨度的转换梁和转换柱进行内力摘取和包络内力组合,P-M-M曲线显示各组合内力在曲线范围内,承载力满足要求。补充的实体有限元分析,型钢Mises应力和混凝土主压应力在规范要求的材料强度范围内,满足规范要求。

(3)设计采用比分析结果的计算长度系数大的数值,保证结构的稳定性和安全。

参考文献:

- [1] 吴国勤,傅学怡,李建伟等.合肥华润中心超限结构设计要点[J].建筑结构,2013,43(05):5-10.
- [2] 丁屹,赵勇,黄柳燕等.某超高层建筑搭接柱转换结构设计[J].广东土木与建筑,2023,30(09):50-53.
- [3] 田玉基,梁书亭,蒋永生等.钢骨混凝土梁式托柱转换层结构的研究[J].工业建筑,2000,(02):54-57+39.
- [4] 戴国亮,蒋永生,傅传国等.高层型钢混凝土底部大空间转换层结构性能研究[J].土木工程学报,2003,(04):24-32.
- [5] 闫龙.基于Abaqus的大跨度型钢混凝土转换梁受力性能分析[J].黑龙江科学,2023,14(06):136-138.

作者简介:

陈奇纳(1994.11-),男,汉族,广东茂名人,本科,助理工程师,研究方向:建筑结构分析与设计工作。