

Analysis on Seismic Measures of the Staggered Floor of the Basement of High-Rise Buildings

Yunqi Nie

School of Civil Engineering and Architecture, Wuhan University of Technology, Wuhan Hubei
Email: 785890688@qq.com

Received: Apr. 16th, 2019; accepted: May 1st, 2019; published: May 8th, 2019

Abstract

In the high-rise building shear wall structure, when the basement roof is discontinuous due to the faulty layer, the horizontal seismic force will pass through the basement roof or the outdoor lateral soil to the shear wall at the staggered layer. In order to avoid the brittle shear or torsional failure of the fault layer under the action of earthquake and affect the seismic performance of the whole structure, it is necessary to take relevant strengthening measures in the engineering design to reduce the adverse effects caused by the staggered layer of the basement. In this paper, YJK building structure design software is used to analyze the common structural strengthening measures of the high-rise shear wall structure in the basement of the basement in the project, and the seismic performance index and shear wall of the overall structural model under different strengthening measures are obtained. The internal force and stress distribution show that the dynamic characteristics and seismic response characteristics of the structure under the three structural measures are very small, and have little effect on the calculation results; both the inclined beam plate structure and the distributed staggered structure can effectively reduce the maximum shear force and peak stress at the staggered layer, and the stress distribution is relatively uniform; the twisted structure has a certain degree of improvement on the stress of the shear wall, and the stress distribution is similar to the structure without structural measures at the staggered layer, and the force transmission effect is not as good as the first two construction measures.

Keywords

High-Rise Building, Basement Roof, Split Layer, Shear Wall, Strengthening Measures

高层建筑地下室顶板错层处抗震构造措施分析

聂运启

武汉理工大学土木工程与建筑学院, 湖北 武汉

Email: 785890688@qq.com

收稿日期: 2019年4月16日; 录用日期: 2019年5月1日; 发布日期: 2019年5月8日

摘要

高层建筑剪力墙结构中, 当因错层导致地下室顶板不连续时, 水平地震力将通过地下室顶板或室外侧向土传到错层处的剪力墙上。为避免地震作用下该错层部位发生的脆性剪切或扭转破坏, 影响整体结构的抗震性能, 有必要在工程设计中采取相关加强措施以减小地下室顶板错层带来的不利影响。本文采用YJK建筑设计软件, 对工程中地下室顶板错层的高层剪力墙结构几种常用的构造加强措施进行反应谱法分析, 得到不同加强措施下结构整体模型的抗震性能指标以及剪力墙的内力和应力分布, 对比结果表明: 三种构造措施下结构的动力特性以及地震反应特征区别很小, 对计算结果几乎没有影响; 斜梁板构造与分布错层构造均能有效地降低错层处的最大剪力和峰值应力, 且应力分布较均匀; 加腋构造对剪力墙受力情况有一定程度的改善, 应力分布与错层处无构造措施的结构类似, 传力效果不如前两种构造措施。

关键词

高层建筑, 地下室顶板, 错层, 剪力墙, 加强措施

Copyright © 2019 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

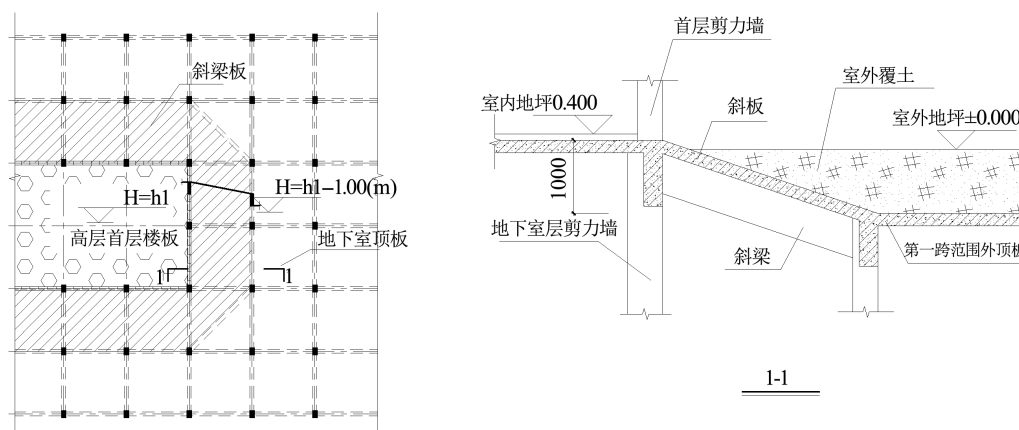
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

当室外地下室顶板与塔楼首层楼板标高存在错层时, 错层处的剪力墙和深梁需承担巨大的剪力和扭矩[1]。特别是以地下室顶板作为嵌固端时, 错层高差处的传力性能显得尤为重要。此前已有针对错层处加腋深梁有限元细部研究[2], 针对框架结构地下室顶板错层处构件内力研究[3]。本文提出通过错层处斜梁板, 如图1(a)[4]、提高高层建筑结构地下室周边一跨处梁高分步错层, 如图1(b)、错层处整体加腋构造, 如图1(c)[5]所示等措施帮助传递剪力弯矩。



(a) 斜梁板构造

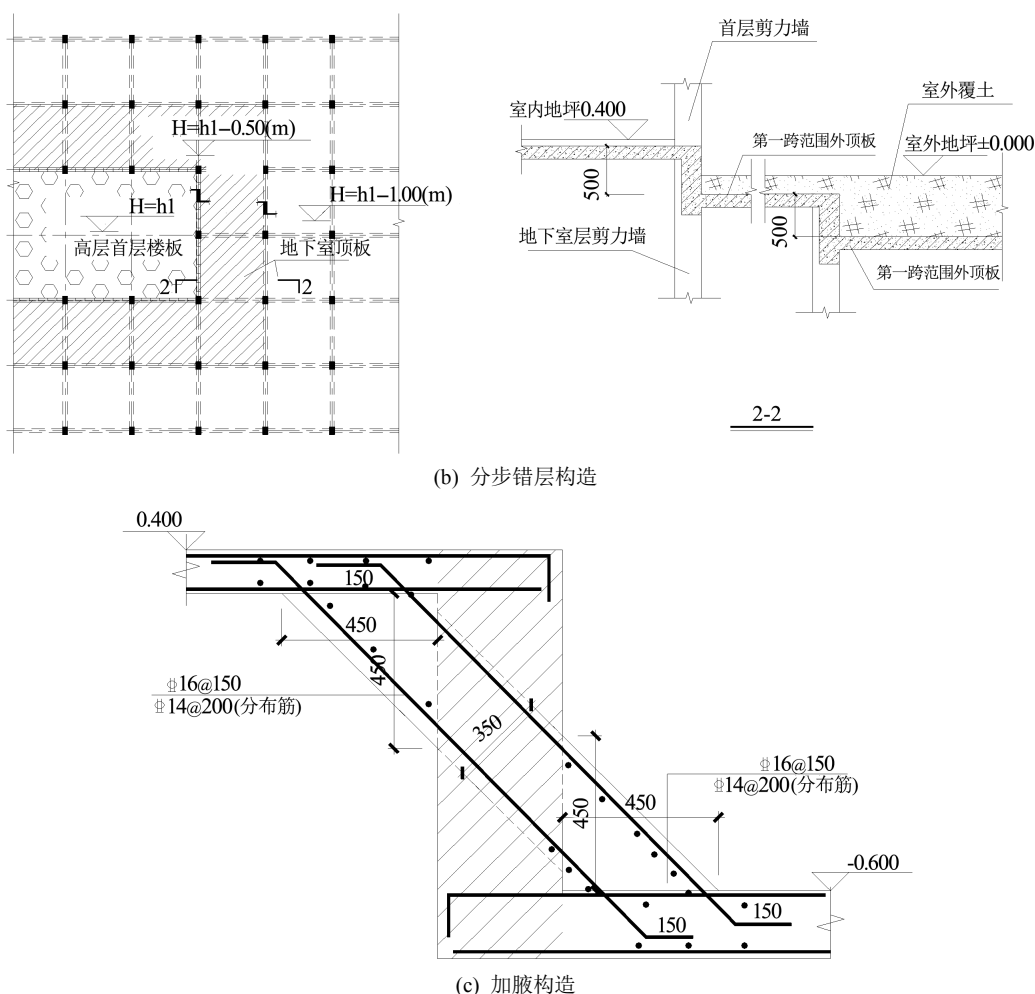


Figure 1. Three kinds of split-level structural measures
图 1. 三种错层构造措施

本文建立以上三种不同构造措施，以及无构造措施的地下室顶板错层高层建筑结构的对比模型，研究其在水平地震作用下的传力性能。

2. 工程概况以及模型的建立

本工程建筑平面尺寸 $149.7\text{ m} \times 222.8\text{ m}$ ，地面以上由 11 幢 16~33 层框剪结构或剪力墙结构单体组成，抗震设防烈度 6 度、设计基本地震加速度 0.20 g 、场地类别 II 类。

本工程 1 层地下室，地下室顶板平面见图 2。其中，第 6#楼 33 层剪力墙结构，地下室层高 5.0 m ，上部结构首层层高 3.2 m ，标准层层高 2.9 m ，与基础相连构件的最大底标高 -4.6 m ，地下室顶板主楼内外高差 1.0 m 。地下室部分剪力墙 300 mm 厚，上部剪力墙厚 200 mm ，外扩地下室部分柱截面尺寸。标准层主梁 $200\text{ mm} \times 550\text{ mm}$ ；地下室顶板主楼以外主梁 $300\text{ mm} \times 900\text{ mm}$ ，主楼以内主梁 $250\text{ mm} \times 600\text{ mm}$ ；地下室顶板主楼内外高差 1.0 m 。地下室顶板板厚主楼内 180 mm ，主楼外 300 mm ，错层处连梁均取 $300 \times 1400\text{ mm}$ 。屋面恒载 4.5 kN/m^2 ，活载 2.0 kN/m^2 ；标准层恒载 1.5 kN/m^2 ，活载 2.0 kN/m^2 ；主楼范围内地下室顶板恒载 1.5 kN/m^2 ，活载 4.0 kN/m^2 ；主楼范围外地下室顶板恒载取 18 kN/m^2 ，活载 4.0 kN/m^2 。

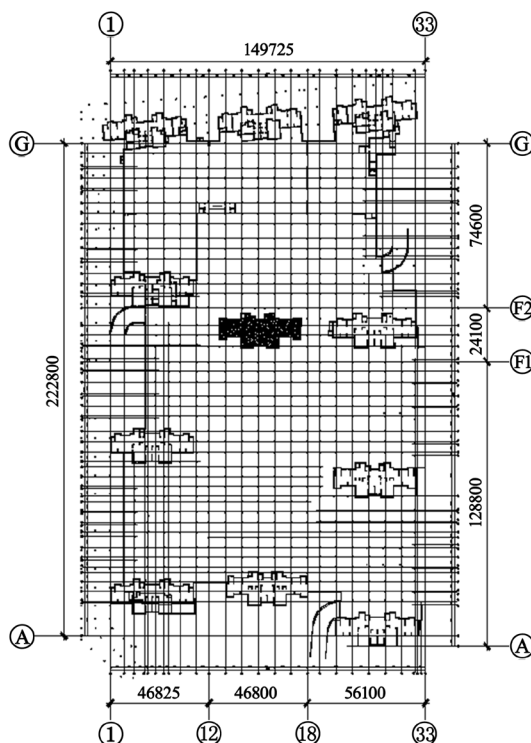


Figure 2. Basement roof plane (6# floor in the shadow range)
图 2. 地下室顶板平面(阴影范围内为 6#楼)

实际工程单体分析时,对于带地下室的塔楼进行计算分析时通常采用主楼外伸 2~3 跨的计算模型[6] [7],对于地下室顶板主楼内外高差部位多是采用将高差加在首层,对整体结构偏安全的模型;为反映工程实际情况(错层 1000)建立了外扩地下室错层的参照模型,如图 3(a);图 3(b)为分步错层模型,将 1000 mm 的高差分成两个台阶,每阶下降 500 mm;图 3(c)为塔楼外围第一跨内斜梁板模型;图 3(d)为错层处整体加腋模型。

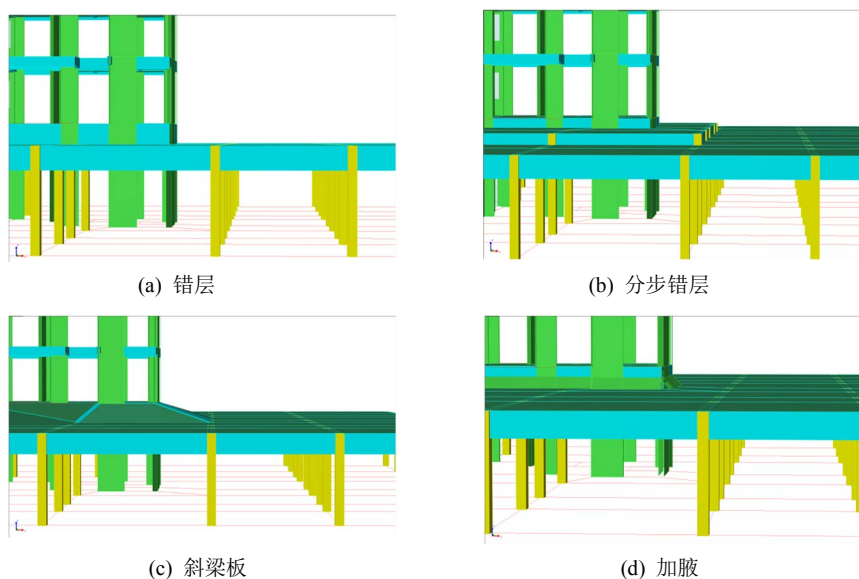


Figure 3. Schematic diagram of the original model and three enhanced measures models
图 3. 地下室顶板平面(阴影范围内为 6#楼)

3. 计算结果的分析 and 讨论

表 1 中的模型计算结果反映了体系的动力特性以及地震反应特征, 本文构建的四个模型前 6 阶振动周期非常接近, 相差不超过 1.5%, 且四个模型扭转周期比 T_t/T_1 均为 0.74 小于规范[8]规定的 0.9, 四个模型的抗扭刚度适中, 自振特性且几乎没有区别。地震剪力、地震倾覆弯矩最大值均出现在结构的地下室层, 且相差不超过 5%。顶点位移情况类似。最大层间位移角出现在结构中部, 均满足规范[9]规定 1/1000 的限值。几个模型在整体指标上差别不明显, 提取构件内力进一步对比分析。

Table 1. YJK model main calculation results
表 1. YJK 模型主要计算结果

	错层无构造		分步错层	
	$T_1 = 3.2413(X)$	$T_4 = 0.9928$	$T_1 = 3.2419(X)$	$T_4 = 0.9932$
周期 T_i/s	$T_2 = 3.2030(Y)$	$T_5 = 0.8197$	$T_2 = 3.2034(Y)$	$T_5 = 0.8195$
	$T_3 = 2.3997(T)$	$T_6 = 0.6886$	$T_3 = 2.3993(T)$	$T_6 = 0.6884$
地震作用方向	X 向	Y 向	X 向	Y 向
基底剪力 Q/kN	3302.3	2786.6	3406.4	2787.3
基底倾覆弯矩 $M/(kN \cdot m)$	106731.1	151006.9	106528.0	146233.0
顶点位移 Δ/mm	28.9	39.3	28.9	38.9
最大层间位移角 δ_i/h_i	1/1978	1/1867	1/1980	1/1899
	斜梁板		加腋	
	$T_1 = 3.2369(X)$	$T_4 = 0.9921$	$T_1 = 3.1859(X)$	$T_4 = 0.9473$
周期 T_i/s	$T_2 = 3.1975(Y)$	$T_5 = 0.8175$	$T_2 = 3.0789(Y)$	$T_5 = 0.8018$
	$T_3 = 2.3937(T)$	$T_6 = 0.6868$	$T_3 = 2.3936(T)$	$T_6 = 0.6717$
地震作用方向	X 向	Y 向	X 向	Y 向
基底剪力 Q/kN	3487.4	2810.2	3447.2	2800.6
基底倾覆弯矩 $M/(kN \cdot m)$	106,288.3	144,198.3	107,557.8	156,866.7
顶点位移 Δ/mm	28.8	38.6	29.3	36.2
最大层间位移角 δ_i/h_i	1/1985	1/1917	1/1899	1/1995

提取该高层建筑与外围地下室交界处左下角南北走向某一字形剪力墙 QY-1 的轴力、弯矩、剪力计算值, 发现三种构造措施均能有效地减少水平地震对错层处剪力墙的剪力, 对弯矩、轴力作用不明显, 故进行抗剪承载力复核。

钢筋混凝土剪力墙的受剪承载力可按下式计算:

$$V \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} \left[\frac{1}{\lambda - 0.5} \left(0.4 f_t b_w h_{w0} + 0.1 N \frac{A_w}{A} \right) + 0.8 f_{yh} \frac{A_{sh}}{s} h_{w0} \right] \quad (1)$$

式中: N ——剪力墙截面轴向力设计值, 当 N 大于 $0.2 f_c b_w h_w$ 时, 应取 N 等于 $0.2 f_c b_w h_w$;

A ——剪力墙全截面积;

A_w —— T 形或 I 形截面剪力墙腹板的面积, 矩形截面时应取 A ;

A_{sh} ——为在水平分布筋间距内的水平分布筋面积(cm^2);

s ——剪力墙水平分布钢筋间距;

f_t ——混凝土轴心抗拉强度设计值；

f_{yh} ——剪力墙水平分布钢筋的抗拉强度设计值。

《高规》7.2.6 对地震设计状况下剪力墙墙肢截面剪力设计值的规定：

剪跨比 λ 大于 2.5 时

$$V \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} (0.20 \beta_c f_c b_w h_{w0}) \quad (2)$$

剪跨比 λ 不大于 2.5 时

$$V \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} (0.15 \beta_c f_c b_w h_{w0}) \quad (3)$$

剪跨比按下式计算：

$$\lambda = M^C / (V^C h_{w0}) \quad (4)$$

式中： V ——剪力墙墙肢截面的剪力设计值；

h_{w0} ——剪力墙截面有多高， $h_{w0} = h_w - a'_s$ ；

β_c ——混凝土强度影响系数，按《高层建筑混凝土技术规程》第 6.2.6 条采用；

λ ——剪跨比，其中 M^C 、 V^C 应取同一组合、未经调整的墙肢截面弯矩、剪力计算值，并取墙肢上、下端截面计算剪跨比的较大值；

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值；

γ_{RE} ——承载力抗震调整系数，按《混凝土结构技术规范》第 11.1.6 条采用；

a'_s ——剪力墙受压区端部钢筋合力点到受压区边缘的距离。

剪力墙 QY-1 墙肢长度 h_w 为 3800 mm，截面有效高度 $h_{w0} = h_w - a'_s$ 扣除保护层厚度、箍筋直径和纵筋半径为 3500 mm。用式(4)计算四种构造措施剪跨比 λ ，计算结果分别为 1.54 (错层无构造措施)，1.67 (分步错层构造)，1.48 (斜梁板构造)，1.59 (加腋构造)，均小于 2.5。

通过式(1)计算剪力墙 QY-3 的截面抗剪承载力， $\gamma_{RE} = 0.85$ ， $b_w = 300$ mm， $f_t = 23.1$ N/mm²， $f_{yh} = 360$ N/mm² 计算出的抗剪承载力为 1530.8 kN，通过式(3)计算截面抗剪限制条件 $V \leq 3280.3$ kN。四种模型下 QY-3 在组合设计时最大剪力分别为 612.9 kN (错层无构造措施)，496.6 kN (分步错层构造)，459.0 kN (斜梁板构造)，602.3 kN (加腋构造)。地下室层剪力墙为底部加强部位，剪力设计值按规范中 1.2 的剪力增大系数进行调整。

四个模型的剪力计算结果均小于地震作用下的底部剪力墙抗剪承载力设计值和截面抗剪限值。斜梁板构造措施的剪力最小，分步错层其次，加腋构造也能减小剪力墙所受剪力，但效果不明显。

为研究地震作用下剪力墙内的应力分布，提取剪力墙 QY-1 在 1.2 (恒载) + 0.60 (活荷载) + 0.28 (Y 向风荷载) + 1.30 (Y 向地震作用) 组合工况作用下的 mises 应力云图，见图 4。

由图 4 可以看出 Y 向地震作用下，错层处无构造措施的剪力墙在与地下室顶板交界处出现应力集中，达到 19.27 MPa，最大应力 19.97 MPa 出现在剪力墙底部；分布错层构造在错层处应力集中不明显，最大 mises 应力值出现在墙底为 18.85 MPa；斜梁板构造措施中，地下室顶板实际上是连续的，并未对剪力墙产生集中应力，其内力分布与分布错层构造措施内力分布类似，最大应力值为 18.73 MPa；加腋构造措施与错层处无构造措施的应力云图分布类似，但应力峰值有所降低。

对于整体剪力墙，在水平荷载以及地震作用下，其受力情况类似于一整体的悬臂弯曲杆件。错层处收到由水平地震传递而来的集中力，故在此处产生应力集中；而斜梁板措施将力传递到与室内楼板交接处，规避了错层带来的集中力，故最大应力只出现在剪力墙的底部；分步错层措施情况类似，错层高度

的减小对此处水平集中力的传递较为有利。加腋措施将一部分水平应力跨过剪力墙传递到室内地下室顶板,同时令错层部位的剪力墙刚度有所增加,但其受力特点与错层无加强措施的剪力墙无本质区别,故应力分布也较为相似。总体来说应力最大值均出现在剪力墙底部,三种措施均能有效减小地下室顶板错层处剪力墙的最大应力值,斜梁板构造措施效果最佳,分步错层次之,加腋措施效果不明显。

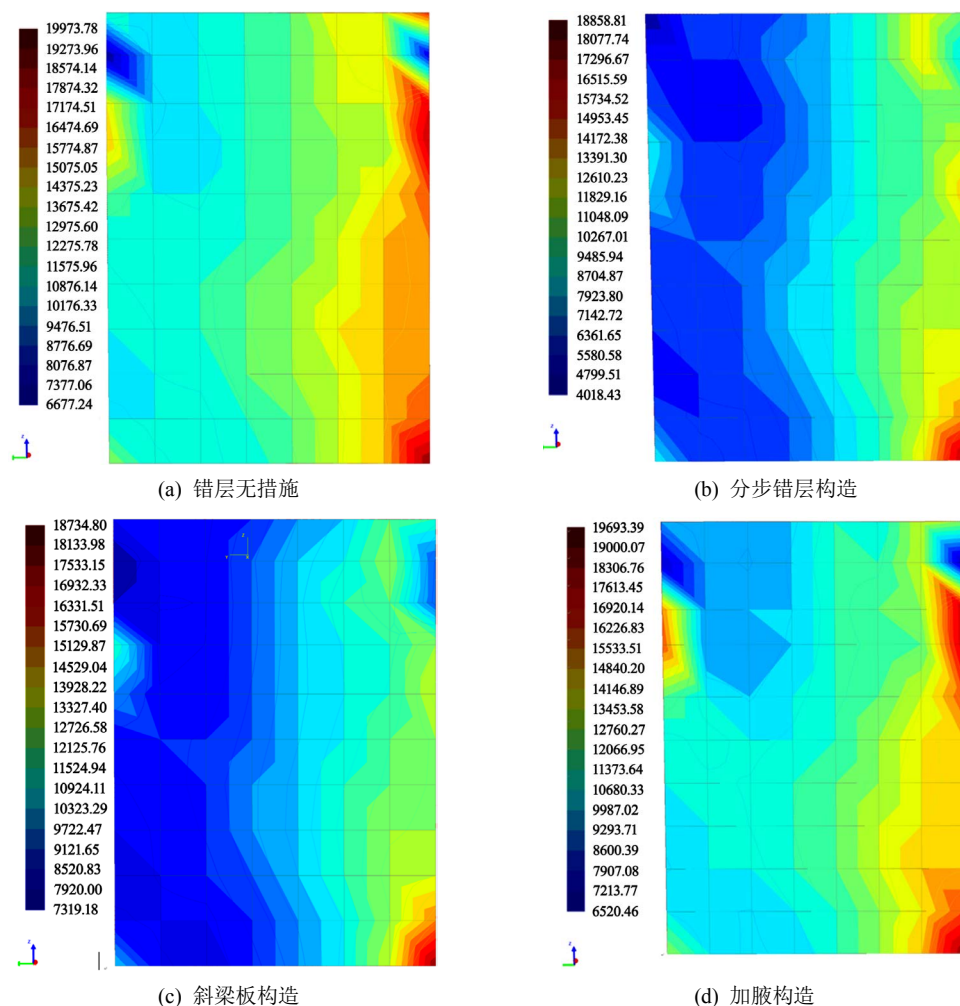


Figure 4. QY-1 shear wall mises stress cloud
图 4. QY-1 剪力墙 mises 应力云图

4. 结论

- 1) 地下室顶板错层对整体结构的自振特性、内力及变形特征影响很小;地下室顶板具备作为上部结构的嵌固部位的条件。
- 2) 采用斜梁板构造措施能有效降低水平地震作用下错层处剪力墙的剪力,且室内外交界处的剪力墙应力分布较为均匀,没有产生应力突变。
- 3) 采用分步错层能够降低剪力墙的剪力,应力分布也较为均匀,但错层处剪力墙的最大剪力值和应力峰值均大于斜梁板措施。
- 4) 采用加腋构造措施对剪力墙剪力的影响程度较小,应力分布与错层无加强措施的剪力墙基本一致,且存在明显的应力集中,但错层处剪力墙的最大剪力值和应力峰值均有不同程度的降低。

综上所述,三种措施均能有效减小地下室顶板错层处剪力墙的地震反应,斜梁板构造措施效果最佳,分步错层次之,加腋措施效果不明显,可根据实际工程条件选择合适的构造加强措施。

参考文献

- [1] 任泽军. 水平地震作用下大底盘地下室顶板对住宅楼周边剪力墙内力的影响研究[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津大学, 2014.
- [2] 刘栋, 何鑫. 嵌固端错层梁受力细部有限元分析[J]. 房地产导刊, 2017(14): 224, 229.
- [3] 陈先志, 王永伟. 外扩地下室与主楼地下室顶板间存在高差时的地震反应分析[J]. 建筑结构, 2017(5): 82-86.
- [4] 邢刚, 张盼盼, 肖龙. 地下室顶板作为上部结构嵌固部位技术条件分析[J]. 四川建筑科学研究, 2014, 40(6): 19-22.
- [5] 朱晓晖. 高层建筑地下室顶板室内外高差较大时的处理方法探讨与分析[J]. 房地产导刊, 2014(32): 471-472.
- [6] 程少彬, 李秋榕. 主楼内外高差过大或开设大洞口地下室顶板作为嵌固端的探讨[J]. 结构工程师, 2014, 30(3): 122-128.
- [7] 沈菊. 地下室顶板标高有高差时的设计比较[J]. 建筑工程技术与设计, 2015(6): 226-226.
- [8] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50011-2010 建筑抗震设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
- [9] 中华人民共和国住房和城乡建设部. JGJ 3-2010 高层建筑混凝土结构技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3458, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hjce@hanspub.org