文章编号: 1674-8085(2018)04-0065-06

框架-剪力墙结构剪力墙中断的可行性模拟分析

*刘良林,欧阳鹭霞,李伟华

(井冈山大学建筑工程学院, 江西, 吉安 343009)

摘 要:通过设置剪力墙高度为模拟变量,运用 NosaCAD 软件对按照规范配筋的框架-剪力墙结构分别进行了罕 遇地震与多遇地震作用下的结构模拟分析。假设罕遇地震下层间位移角的要求,与多遇地震下一致作为剪力墙中 断是否可行的判断依据。基于中断剪力墙结构与全高结构的层间位移角对比分析,发现在 ELCENTRO 波作用下 罕遇地震时,剪力墙只做到第五层时结构层间位移角超出依据,当只做到四层时出现多遇与罕遇地震下层间位移 角同时超限,验证了假设的合理性,同时表明剪力墙中断的可行性。12 层的框架-剪力墙结构可以在顶部适当的 楼层对剪力墙进行中断到第6层。

关键词:框架-剪力墙结构; NosaCAD; 地震作用; 层间位移角
 中图分类号: TU279
 文献标识码: A
 DOI:10.3969/j.issn.1674-8085.2018.04.011

SIMULATION ANALYSIS FOR THE FEASIBILITY OF FRAME-SHEAR WALL STRUCTURES WITH SHEAR WALL INTERRUPTION

^{*}LIU Liang-lin, OUYANG Lu-xia, LI Wei-hua

(School of Architecture and Civil Engineering, Jinggangshan University, Ji'an, Jiangxi 343009, China)

Abstract: By setting the shear wall height as the simulation variable, the NosaCAD program is used to simulate and analyze the performance of frame-shear wall structure with specification reinforcing under rare and frequent earthquakes. It is assumed that the limit of inter-story drift ratio of the interrupted shear wall structure for rare earthquake is same to the frequent earthquake, both of which are used as the judgement for the feasibility of interrupted shear wall. Basing on the comparative analysis of inter-story drift ratio between the shear wall interrupted structure and the full height structure, it is showed that structures have different response under the wave of ELCENTRO. Layers of shear walls less than six floors is out of the limit of the requirement of inter-story drift ratio of structures under rare earthquake, and the inter-story drift ratio is too large to satisfy the limit when the layers of shear walls is less than five floors under the frequent and rare earthquake. Basing on the result of the turn of unsatisfied requirement, it is certified that the assumption is reasonable for distinguishing the interrupted structure whether exceeding the limit of inter-story drift ratio under rare earthquake and the shear wall could be interrupted if there is a necessary. The shear wall of frame-shear wall structure with 12 stories can be interrupted at the height of not less than six floors.

Key words: frame-shear wall structure; NosaCAD; earthquake; inter-story drift ratio

收稿日期: 2018-02-28; 修改日期: 2018-05-04

作者简介:*刘良林(1983-),男,江西永新人,讲师,硕士,主要从事工程防灾减灾与加固研究(E-mail:tlliu@hqu.edu.cn); 欧阳鹭霞(1989-),女,江西吉安人,讲师,硕士,主要从事城市经济研究(E-mail:oulu89@163.com); 李伟华(1984-),男,江西永新人,讲师,硕士,主要从事工程测绘研究(E-mail:92324771@qq.com).

0 前言

框架-剪力墙结构是国内外比较普遍常见的 一种高层结构形式^[1]。因其平面使用灵活、抗侧 刚度大和抗震性能好等优点,框架-剪力墙结构在 我国高层建筑中得到广泛应用^[2]。框架-剪力墙结 构由两部分组成,框架部分主要用来承担与传递 竖向荷载,如重力荷载,剪力墙部分主要用来承 担与传递水平荷载,如地震作用、风荷载等。一 般为了防止发生刚度突变,影响结构性能与服务 寿命,特别是在地震作用下存在的鞭梢效使得结 构顶部的响应比底部大,因此,一般认为剪力墙 应该是连续贯通至顶部,当前众多研究也是基于 连续剪力墙进行结构的抗震性能分析^[1-3]。然而, 剪力墙的材料用量大而工程造价高,且对空间布 局容易产生影响。王全凤[3-6]、方德平[7-10]等学者 提出在结构接近顶部适当的位置取消若干层剪力 墙,并通过数值方法对平面模型进行了模拟分析, 结果表明: 在满足一定的条件下, 即使在中断位



(a) 三维布置

置不进行加强也能满足抗震设防要求。为了更全 面地对断层剪力墙进行可性分析,运用 NosaCAD 进行三维框架-剪力墙结构单向、双向多遇与罕遇 地震作用下的模拟,并基于层间位移角对模拟结 果进行分析与处理。

1 模拟要求

1.1 模拟对象

12 层办公楼框架-剪力墙结构(见图 1),层 高 3000 mm,抗震设防烈度为7度。梁板混凝土 强度等级为C35,楼板厚度100 mm,梁截面尺寸 为300 mm×500 mm,柱、剪力墙混凝土强度等级 为C45,截面尺寸600 mm×700 mm,梁单侧的配 筋率为1.1%(4^Φ22),柱的单侧配筋率约为0.9% (8^Φ25),剪力墙厚度为200 mm,配筋率约为 0.6%(2 排双向φ12@200)。恒载(不包括自重)、 活载均按照2 kN/m²进行取值,梁上荷载按照 9 kN/m进行取值。



图 1 结构布置示意 Fig.1 The arrangement of structure

1.2 地震波输入

采用地震波 ELCENTRO-NS 向分量进行单向加载,该分量的时程见图 2(a),采用地震波 ELCENTRO-NS、ELCENTRO-EW 向分量进行双向加载,ELCENTRO-EW 向分量的时程见图 2(b)。

2 判别标准

2.1 多遇地震

按照《建筑抗震设计规范》(GB50011-2010) 的规定框架结构、框-剪结构多遇地震下层间位移 角限值为 1/550、1/800,在多遇地震下层间位移 角后者是前者的 1.45 倍。对于框架结构、框-剪 结构就按照规范规定值来判别是否达到极限,对 于剪力墙中断后的结构,黄海生等^[6]以断层后上 部框架结构层间位移角最大值不大于1.45倍的不 断层框架-剪力墙结构层间位移角最大值作为可 以中断的依据。同时,本文也以达到该依据作为 模拟终止的条件。

2.2 罕遇地震

按照《建筑抗震设计规范》(GB50011-2010)的规定框架结构、框-剪结构地震下薄弱部位弹塑性层间位移角限值为 1/50、1/100,按照上述标准

应该取不大于2倍作为依据。考虑到此时结构已 经进入弹塑性状态,参数之间一般为非线性关系, 为了安全起见,假设也取1.45作为衡量依据,即 断层后上部框架结构层间位移角最大值不大于 1.45倍的不断层框架-剪力墙层间位移角最大值 作为可以中断的依据。



3 模拟结果与分析

3.1 位移角分布情况

将各剪力墙中断后的结构在单向与双向多遇 地震、单向与多遇罕遇地震作用下的位移角模拟 结果列于表 1、表 2、表 3。

3.2 层间剪力分布情况

将各剪力墙中断后的结构在单向与双向多遇 地震、单向与多遇罕遇地震作用下层间剪力分布 情况,选取剪力墙无中断结构、剪力墙第10层及 以上中断结构、剪力墙第5层及以上中断结构作 为代表分别绘制,见图3~5所示。



图 3 剪力墙无中断的框剪结构层间剪力

Fig.3 The distribution of inter-story shear of total height shear wall structure



图 4 剪力墙第 10 层及以上中断的结构层间剪力 Fig.4 The distribution of inter-story shear of only nine layers shear wall structure





Fig.5 The distribution of inter-story shear of only four layers shear wall structure

表 1 框架结构层间位移角 Table 1 Inter-story drift ratio of the frame structure and

表 2 框剪结构层间位移角

Table 2 Inter-story drift ratio of the frame-shear wall

| | frame-shea | r wall struct | ure | | structure | | | | |
|--------|------------|---------------|-------|------|--------------------|--------|-------|--------|-------|
| 地震类型 - | 单向 | | 双向 | | 抽雪米刑 | 单向 | | 双向 | |
| | 多遇 | 罕遇 | 多遇 | 罕遇 | 地质大生 | 多遇 | 罕遇 | 多遇 | 罕遇 |
| | | | | | 最大位移角 | 1/1325 | 1/137 | 1/1182 | 1/125 |
| 最大位移角 | 1/643 | 1/68 | 1/596 | 1/66 | | | | | |
| 规范规定值 | 1/550 | 1/50 | 1/550 | 1/50 | 断层结构允许层间 位移角极限值 | 1/914 | 1/94 | 1/815 | 1/86 |
| | | | | | | | | | |

注:1)单向是指结构横向的层间位移角值;2)双向是指空间 的层间位移角值,余同。

| 地震类型及中断位置位移角 | | | 断层所在层 位移角 | 最大位移角 | 断层上部最大位移角 | 断层结构允许层间 位移角极限值 | 是否超限 |
|-----------------|------------|----|--------------|------------|------------|--------------------|------|
| 第 12 层剪 力墙中断 | 故古 | 多遇 | 1/1466 | 1/1312 (7) | 1/2053(12) | 1/914 | 否 |
| | 甲미 | 罕遇 | 1/162 | 1/138(4) | 1/226(12) | 1/94 | 否 |
| | जग मंग | 多遇 | 1/1329 | 1/1171 (7) | 1/1891(12) | 1/815 | 否 |
| | 双回 | 罕遇 | 1/1434 | 1/125 (4) | 1/202(12) | 1/86 | 否 |
| 第 11 层剪 力墙中断 | 出占 | 多遇 | 1/1395 | 1/1307 (7) | 1/1733(11) | 1/914 | 否 |
| | 甲미 | 罕遇 | 1/162 | 1/141(4) | 1/211(11) | 1/94 | 否 |
| | जग मंग | 多遇 | 1/1329 | 1/1165 (7) | 1/1588(11) | 1/815 | 否 |
| | 双回 | 罕遇 | 1/1434 | 1/125 (5) | 1/185(11) | 1/86 | 否 |
| 第10层剪 力墙中断 | 出占 | 多遇 | 1/1372 | 1/1340 (7) | 1/1448(10) | 1/914 | 否 |
| | 甲円 | 罕遇 | 1/155 | 1/147(4) | 1/178(10) | 1/94 | 否 |
| | जग मंग | 多遇 | 1/1224 | 1/1188 (7) | 1/1321(10) | 1/815 | 否 |
| | 双回 | 罕遇 | 1/133 | 1/126 (5) | 1/152(10) | 1/86 | 否 |
| 第9层剪 力墙中断 | 光占 | 多遇 | 1/1419 | 1/1236 (9) | 1/1236(9) | 1/914 | 否 |
| | 甲미 | 罕遇 | 1/158 | 1/152(3) | 1/156(9) | 1/94 | 否 |
| | जग मंग | 多遇 | 1/1256 | 1/1134 (9) | 1/1134(9) | 1/815 | 否 |
| | 双回 | 罕遇 | 1/132 | 1/123 (5) | 1/134 (9) | 1/86 | 否 |
| 第8层剪 力墙中断 | 出占 | 多遇 | 1/1539 | 1/1084 (9) | 1/1084 (9) | 1/914 | 否 |
| | 甲円 | 罕遇 | 1/164 | 1/138(8) | 1/138(8) | 1/94 | 否 |
| | ज्यान | 多遇 | 1/1331 | 1/1012 (9) | 1/1012 (9) | 1/815 | 否 |
| | 双凹 | 罕遇 | 1/138 | 1/122 (8) | 1/122 (8) | 1/86 | 否 |
| 第7层剪 力墙中断 | 出口 | 多遇 | 1/1829 | 1/970 (8) | 1/970 (8) | 1/914 | 否 |
| | 単円 | 罕遇 | 1/173 | 1/110(8) | 1/110(8) | 1/94 | 否 |
| | ज्यान | 多遇 | 1/1564 | 1/904 (8) | 1/904 (8) | 1/815 | 否 |
| | 双凹 | 罕遇 | 1/141 | 1/96 (8) | 1/96 (8) | 1/86 | 否 |
| 第6层剪 力墙中断 | 出口 | 多遇 | 1/4066 | 1/926 (7) | 1/926 (7) | 1/914 | 否 |
| | 単円 | 罕遇 | 1/169 | 1/85(7) | 1/85(7) | 1/94 | 是 |
| | 코庙 | 多遇 | 1/1626 | 1/849 (7) | 1/849 (7) | 1/815 | 否 |
| | 从凹 | 罕遇 | 1/147 | 1/81 (7) | 1/81 (7) | 1/86 | 是 |
| 第5层剪 力墙中断 | 畄 白 | 多遇 | 1/2652 | 1/873 (7) | 1/873 (7) | 1/914 | 是 |
| | 中国 | 罕遇 | 1/212 | 1/78(7) | 1/78(7) | 1/94 | 是 |
| | 코庙 | 多遇 | 1/1834 | 1/781 (6) | 1/781 (6) | 1/815 | 是 |
| | ベ円 | 罕遇 | 1/158 | 1/77(7) | 1/77(7) | 1/86 | 是 |

表 3 断层结构层间位移角及判别 Table 3 Inter-story drift ratio and judgement for the interrupted structure

注: 1)括号内数值代表楼层;

2)"第6层剪力墙中断"是指第6层及以上的剪力墙中断,余同。

3.3 结果分析

从上述图形、表格中所列模拟分析结果可以 看出,框架-剪力墙在地震作用下,当进行剪力墙 中断时,其层间位移角存在如下的特征:

1) 由图 3、图 4 可以看出,结构底部层间剪 力小于相邻上层,这是由于底部剪力墙部分区域 达到极限退出工作所致;由图 3~图 5 可以看出, 当剪力墙中断层数较少时,二者的剪力分布图类 似;当出现层间位移角超限时,中断位置处上下 层剪力接近,甚至发生剪力突变,此时剪力墙中 断结构的剪力分布与无剪力墙中断的结构区别较 大,见图 5。 2)由表1、表2可以看出,框架结构、框架 -剪力墙结构在单向、双向多遇与罕遇地震作用 下,层间位移角能够满足规范的要求,说明结构 布置、构件截面、配筋符合要求。此外框架结构 的层间位移角比框架-剪力墙结构的要大,说明模 拟结果的正确性。

3)根据规范中多遇、罕遇地震下结构层间位 移角的限值,求出剪力墙中断结构的层间位移角 极限值,见表2所示,并将该值作为判别标准列 于表3。

4)由表3可以看出,最大位移角不会出现在 中断层,从图3可以看出,在剪力墙中断位置, 相邻框架结构的剪力与剪力墙剪力接近,甚至更 大,由于框架结构刚度相对更小,故造成最大位 移角出现在剪力墙中断位置以上的楼层。

5)由表3可以看出,在第6层及以上剪力墙 中断时,首先在罕遇地震作用下,剪力墙中断的 结构出现层间位移角超限;在第5层及以上剪力 墙中断时,在多遇、罕遇地震下,剪力墙中断结 构的层间位移角都出现超限,说明在罕遇地震下 假设的结构层间位移角达到极限的判别依据可 行。

4 小结与建议

1) 按照一般配筋的框架剪力墙结构,在 ELCENTRO 波的作用下,全高剪力墙的框架-剪 力墙结构与纯框架结构均能满足规范规定的变形 要求。

建议罕遇地震作用下中断剪力墙结构层
 间位移角超限的判别标准不超过多遇地震下的依据。

 3) 当中断剪力墙的结构发生层间位移角不 满足要求时,该位移角似乎都位于中断层上部的 第2层。

 4) 框架-剪力墙结构进行剪力墙中断,在地 震作用下可行,对于 12 层的框架-剪力墙结构,
 建议剪力墙的层数最少设置到第 5 层。

5)在罕遇地震下判别剪力墙中断位置的条件 还需要从剪力、弯矩等指标方面进行更深入探讨。

致谢:谢谢华侨大学王全凤先生的启发与同 济大学吴晓涵老师的悉心指导,谨以此文献给王 全凤先生!

参考文献:

- (1) 傅学怡,邸博. 基于有限基础刚度的框架-剪力墙结构 抗震设计[J]. 土木工程学报, 2014,47(4):29-37.
- [2] 贾益纲,吴光宇,杨春白雪,等.考虑轴压比影响 RC 框架
 -剪力墙结构侧移刚度退化及楼层剪力重分配性能仿 真分析[J].建筑结构, 2016,46(24):50-55.
- [3] 党争,梁兴文,李坤,等.基于屈服点谱的钢筋混凝土框架-剪力墙结构抗震设计[J]. 土木工程学报, 2015(6):25-35.
- [4] 王全凤,张波.含断层剪力墙框-剪结构的楼层地震剪 力[J]. 华侨大学学报:自然科学版,2001,22(4): 389-394.
- [5] 王全凤,黄庆丰,王凌云.断层剪力墙高层建筑抗震设计 理论与关键技术[J]. 华侨大学学报:自然科学 版,2006,27(2):113-118.
- [6] 黄海生,王全凤. 断层剪力墙框剪结构地震作用的时程 分析[J]. 福州大学学报:自然科学版,2006,34(3): 394-398.
- [7] 方德平,王全凤. 变刚度框剪结构地震反应的层单元分 析[J]. 建筑结构,2005,35(11):36-38.
- [8] 方德平,王全凤. 框剪结构剪力墙中断条件的数值分 析[J].华侨大学学报:自然科学版,2006,27(3): 273-276.
- [9] 方德平,王全凤. 框-剪结构剪力墙可中断高度的分析 研究[J]. 工程力学,2007,24(4):124-128.
- [10] 方德平,王全凤. 框剪结构剪力墙中断条件的时程分 析[J]. 地震工程与工程振动,2009,29(3):59-64.