

# 角部重叠框架结构的抗震分析及超限界定

张敬书<sup>1,2</sup>, 甘丹<sup>1,2</sup>, 莫庸<sup>3</sup>, 王尔昌<sup>3</sup>, 段会静<sup>1,2</sup>

(1. 西部灾害与环境力学教育部重点实验室(兰州大学), 甘肃兰州 730000;

2. 兰州大学土木工程与力学学院, 甘肃兰州 730000; 3. 甘肃省建设科技专家委员会, 甘肃兰州 730000)

**摘要:**通过某模型工程对抗震不利的平面之一——角部重叠框架结构高层建筑进行了分析。结果显示角部重叠面积越小, 结构抗扭刚度越小, 结构扭转效应会越来越大; 地震作用下重叠处楼盖的应力集中越严重, 楼板平面内容易产生的较大的变形和裂缝。但认为角部重叠平面做为组合平面的一种, 宜在所列三项及三项以上不规则的高层建筑工程做为其中一项进行超限控制, 单独做为一项进行超限控制有可能偏严。

**关键词:**角部重叠; 抗震性能分析; 超限界定; 框架结构

**中图分类号:** TU311.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2009)02-0157-04

## Analysis and Extra-limit Determining of Corner-overlap Frame Structure

ZHANG Jing-shu<sup>1,2</sup>, GAN Dan<sup>1,2</sup>, MO Yong<sup>3</sup>, WANG Er-chang<sup>3</sup>, DUAN Hui-jing<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Mechanics on Disaster and Environment in Western China (Lanzhou University), Ministry of Education, Lanzhou 730000, China; 2. College of Civil Engineering and Mechanics, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China;

3. Construction Science and Technology Experts Committee of Gansu Province, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** The analysis on the corner-overlap plane for frame structure tall building, which is one of design not good for earthquake resistant, is taken. The result shows that the smaller the proportion of corner-overlap is, the less torsional rigidity of structure is, and the more torsional influence is. More stress concentrated on the corner-overlap floor in earthquake will cause serious deformation and fissures easily. In extra-limit determining, the corner-overlap plane should be considered as one of three or more extra-limit controlling factors for unregular high building, but not be considered alone.

**Key words:** Corner-overlap; Analysis of seismic performance; Extra-limit determining; Frame structure

## 0 引言

角部重叠平面建筑是复杂平面的一种, 规程<sup>[1]</sup>规定不宜采用角部重叠的平面图形。根据抗震概念设计的基本原理, 角部重叠的平面图形在中央部位形成狭窄部分, 在地震作用下重叠区域会产生较为严重的应力集中和变形集中。重叠的范围越小, 应力集中和变形集中越严重, 该处构件(楼板、梁等)可能将发生较为严重的破坏。但从计算上角部重叠平

面是否会对结构抗震产生重要影响尚无定论。本文对一个模型工程采用常用的结构计算软件进行了计算, 试图探求在目前的计算条件下, 角部重叠平面在抗震上存在的问题, 其结论可供工程设计参考。

## 1 模型工程概况

本模型工程原始平面为矩形(图1), 10层, 层高

收稿日期: 2008-06-18

基金项目: 西部灾害与环境力学教育部重点实验室(兰州大学)2007年开放基金(200702); 甘肃省建设厅2007年度科技项目(JK2007-4)

作者简介: 张敬书(1966-), 男(汉族), 甘肃天水人, 副教授, 主要从事高层建筑工程抗震研究。

3.3 m,总高度 33 m,钢筋混凝土框架结构,抗震设防烈度为Ⅷ度(0.2 g),设计地震分组为第二组,抗震设防类别为丙类,框架抗震等级为一级,场地类别为Ⅱ类。

为排除其他干扰因素,该模型平面规则,梁柱布置均匀,竖向规则。柱网为 6 m×6 m,房屋高宽比为 1.83,长宽比为 3.33。框架柱尺寸分别为 900 mm×1000 mm,800 mm×900 mm,700 mm×800 mm,600 mm×700 mm,800 mm×800 mm,700 mm×700 mm,600 mm×600 mm,500 mm×500 mm;梁截面尺寸分别为 400 mm×700 mm,350 mm×

700 mm,300 mm×600 mm,250 mm×500 mm。楼面采用普通钢筋混凝土梁板体系。

结构计算采用中国建筑科学院 SATWE 软件进行计算,均采用弹性楼板假定(弹性楼板 6)进行整体计算,但位移比计算采用刚性楼板假定。周期折减系数取为 0.70,梁端弯矩调幅系数取为 0.85,结构计算振型数为 15 个。

为分析角部重叠对结构性能的影响,本文采用在矩形平面两边依次向内逐次收进的办,角部重叠面积(见阴影区)越来越小,见图 2 中的模型 2~6。

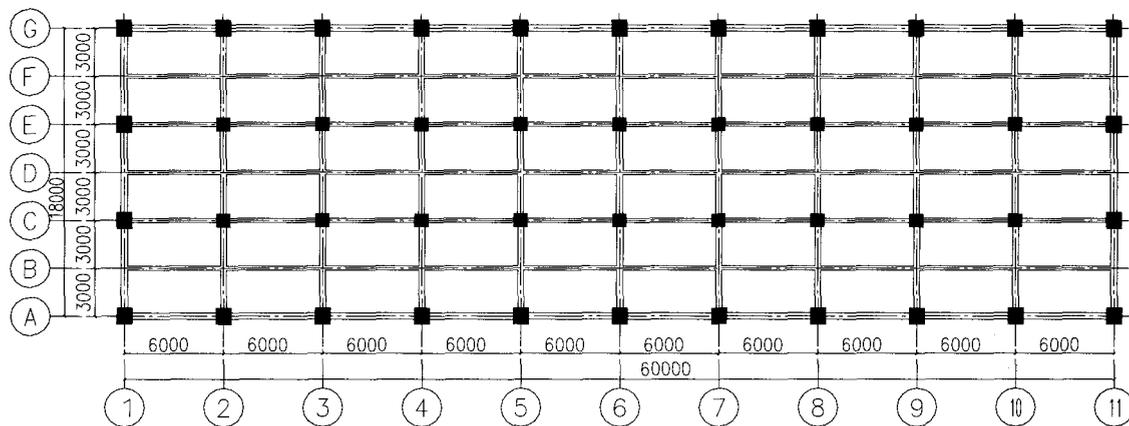


图 1 模型平面 1

Fig. 1 The plane 1 of the model.

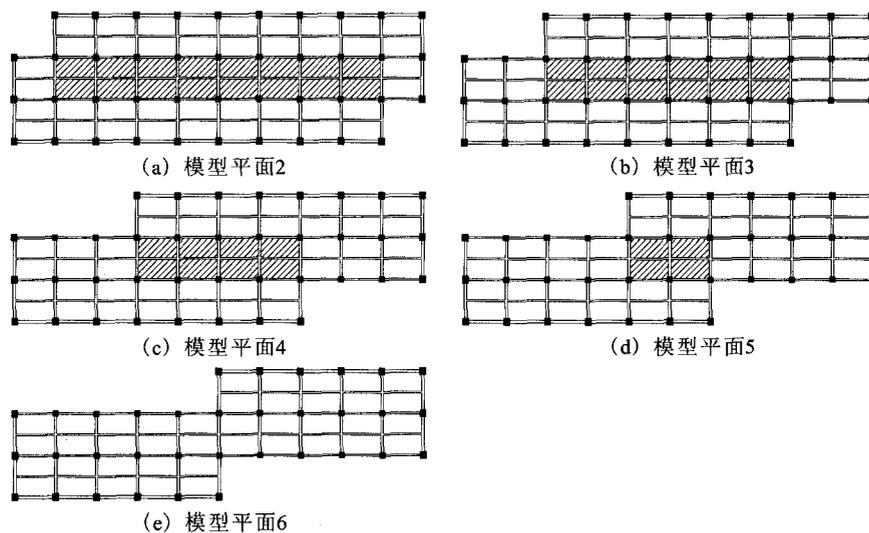


图 2 模型平面 2~6

Fig. 2 Plane 2~6 of the model.

## 2 结构计算结果

### 2.1 结构自振周期和振型

考虑扭转耦联时的振动周期(s),X、Y 方向的

平动系数、扭转系数见表 1,列出前 6 个振型。

从模型 1 到模型 6,结构扭转为主的第一自振周期逐渐变长,说明结构抗扭刚度逐渐变弱;地震作用最大方向角度绝对值越来越大,模型 5 出现突变,

模型 6 则有些反常,说明扭转效应越来越大。

表 1 各模型平面的前 6 个振型参数

| 模型 | 振型号 | 周期      | 转角     | 平动系数<br>(X+Y)   | 扭转<br>系数 | 地震作用<br>最大的方向 |
|----|-----|---------|--------|-----------------|----------|---------------|
| 1  | 1   | 1.250 8 | 93.53  | 1.00(0.00+1.00) | 0.00     | -0.494°       |
|    | 2   | 1.238 0 | 3.53   | 1.00(1.00+0.00) | 0.00     |               |
|    | 3   | 1.103 6 | 103.48 | 0.00(0.00+0.00) | 1.00     |               |
|    | 4   | 0.448 0 | 91.01  | 1.00(0.00+1.00) | 0.00     |               |
|    | 5   | 0.431 4 | 1.01   | 1.00(1.00+0.00) | 0.00     |               |
|    | 6   | 0.395 7 | 90.00  | 0.00(0.00+0.00) | 1.00     |               |
| 2  | 1   | 1.251 3 | 95.43  | 1.00(0.01+0.99) | 0.00     | -1.472°       |
|    | 2   | 1.220 1 | 5.43   | 1.00(0.99+0.01) | 0.00     |               |
|    | 3   | 1.104 2 | 57.96  | 0.00(0.00+0.00) | 1.00     |               |
|    | 4   | 0.447 8 | 91.70  | 1.00(0.00+1.00) | 0.00     |               |
|    | 5   | 0.426 6 | 1.71   | 1.00(1.00+0.00) | 0.00     |               |
|    | 6   | 0.395 4 | 76.40  | 0.00(0.00+0.00) | 1.00     |               |
| 3  | 1   | 1.248 2 | 93.68  | 1.00(0.00+1.00) | 0.00     | -1.933°       |
|    | 2   | 1.202 6 | 3.68   | 1.00(1.00+0.00) | 0.00     |               |
|    | 3   | 1.105 7 | 53.17  | 0.00(0.00+0.00) | 1.00     |               |
|    | 4   | 0.446 4 | 91.54  | 1.00(0.00+1.00) | 0.00     |               |
|    | 5   | 0.422 1 | 1.54   | 1.00(1.00+0.00) | 0.00     |               |
|    | 6   | 0.395 3 | 0.00   | 0.00(0.00+0.00) | 1.00     |               |
| 4  | 1   | 1.244 7 | 92.80  | 1.00(0.00+1.00) | 0.00     | -3.198°       |
|    | 2   | 1.183 6 | 2.80   | 1.00(1.00+0.00) | 0.00     |               |
|    | 3   | 1.111 2 | 102.63 | 0.00(0.00+0.00) | 1.00     |               |
|    | 4   | 0.444 8 | 91.42  | 1.00(0.00+1.00) | 0.00     |               |
|    | 5   | 0.417 1 | 1.42   | 1.00(1.00+0.00) | 0.00     |               |
|    | 6   | 0.396 7 | 92.78  | 0.00(0.00+0.00) | 1.00     |               |
| 5  | 1   | 1.240 8 | 92.25  | 1.00(0.00+1.00) | 0.00     | -11.899°      |
|    | 2   | 1.162 4 | 2.25   | 1.00(1.00+0.00) | 0.00     |               |
|    | 3   | 1.118 4 | 71.35  | 0.00(0.00+0.00) | 1.00     |               |
|    | 4   | 0.443 1 | 91.30  | 1.00(0.00+1.00) | 0.00     |               |
|    | 5   | 0.411 5 | 1.31   | 1.00(1.00+0.00) | 0.00     |               |
|    | 6   | 0.398 9 | 0.00   | 0.00(0.00+0.00) | 1.00     |               |
| 6  | 1   | 1.248 6 | 91.08  | 1.00(0.00+1.00) | 0.00     | -10.352°      |
|    | 2   | 1.165 9 | 1.08   | 1.00(1.00+0.00) | 0.00     |               |
|    | 3   | 1.125 5 | 88.74  | 0.00(0.00+0.00) | 1.00     |               |
|    | 4   | 0.446 0 | 91.21  | 1.00(0.00+1.00) | 0.00     |               |
|    | 5   | 0.411 7 | 1.24   | 1.00(1.00+0.00) | 0.00     |               |
|    | 6   | 0.401 0 | 103.85 | 0.00(0.00+0.00) | 1.00     |               |

2.2 周期比

结构扭转为主的第一自振周期与平动为主的第一自振周期之比,即周期比见表 2。从表中可以看出,随着两边逐渐收进,周期比越来越大,到模型 5、6 变为 0.901,超出规程[1]规定的 0.90 限值。说明在地震作用下,随着角部重叠面积的减小,结构的扭转效应逐渐加大。

表 2 周期比

| 模型 1    | 模型 2    | 模型 3  | 模型 4  | 模型 5  | 模型 6  |
|---------|---------|-------|-------|-------|-------|
| 0.882 3 | 0.882 4 | 0.886 | 0.893 | 0.901 | 0.901 |

2.3 弹性层间位移角和位移比

各模型最大层间弹性位移角,和考虑 5% 偏心地震作用时,各模型最大位移与层平均位移的比值

(位移比)见表 3。看出最大弹性层间位移角随着两边逐渐收进,层间位移角越来越小。由于位移比是在刚性楼板假定条件下进行计算,故位移比没有明显变化,这说明采用位移比控制结构的扭转变形,对于规则结构是适用的,但对于平面复杂的建筑,如角部重叠、细腰、楼板局部开大洞等建筑并不适合。

表 3 最大层间弹性位移角和位移比

| 模型 | X 方向  |      | Y 方向  |      |
|----|-------|------|-------|------|
|    | 层间位移角 | 位移比  | 层间位移角 | 位移比  |
| 1  | 1/589 | 1.02 | 1/573 | 1.20 |
| 2  | 1/600 | 1.03 | 1/574 | 1.22 |
| 3  | 1/609 | 1.03 | 1/577 | 1.23 |
| 4  | 1/620 | 1.03 | 1/580 | 1.23 |
| 5  | 1/633 | 1.03 | 1/582 | 1.22 |
| 6  | 1/629 | 1.03 | 1/619 | 1.21 |

2.4 其他指标

其他指标,如剪重比、轴压比等均没有明显的规律。

3 抗震设防烈度Ⅷ度时国家规程、各个地方标准对平面的界定

在本文所采用的模型中,各模型角部重叠面积与较小一边面积的比值见表 4。

表 4 各模型角部重叠面积与较小一边面积的比值

| 模型   | 1 | 2    | 3    | 4    | 5    | 6 |
|------|---|------|------|------|------|---|
| 比值/% | 0 | 44.4 | 37.5 | 28.6 | 16.7 | 0 |

(1) 规程[1]规定不宜采用角部重叠的平面图形,但没有给出具体量化的指标。建设部《超限高层建筑工程抗震设防专项审查技术要点》<sup>①</sup>中规定,角部重叠平面做为组合平面的一种,只在所列三项及三项以上不规则的高层建筑工程做为其中一项进行控制,而不单独做为一项进行控制,故本模型工程 1~6 均不属于超限高层建筑工程。

(2) 上海市《超限高层建筑工程抗震设计指南》<sup>②</sup>规定,结构平面为角部重叠的平面图形,其中角部重叠面积小于较小一边面积的 25% 时即为超限高层建筑工程。按该标准,本模型工程 5、6 属于超限高层建筑工程。

(3) 陕西省在《超限高层建筑工程界定标准》<sup>②</sup>中规定:同时具有三项及三项以上的不规则高层建筑工程为超限高层建筑工程。其中关于角部重叠面积的规定只有一项,即角部重叠面积小于较小一边

① 建设部. 超限高层建筑工程抗震设防专项审查技术要点[S]. 2006.

② 陕西省建设厅. 超限高层建筑工程界定标准[S]. 2004.

面积的25%时。故本模型工程中模型1~6均不属于超限高层建筑工程。

(4) 四川省抗震设防超限高层建筑工程界定规定<sup>③</sup>: 结构平面为角部重叠的平面图形, 当重叠部分平面尺寸的长边和短边之比不大于2时, 重叠面积8、9度时分别小于较小图形面积的35%时为超限高层建筑工程。按该标准, 本模型工程4~6属于超限高层建筑工程。

## 4 结论

(1) 根据抗震概念设计的原理, 角部重叠平面属于抗震不利的平面之一。角部重叠面积越小, 地震作用下重叠处楼盖的应力集中越严重, 楼板平面内容易产生的较大的变形和裂缝。故该平面应采取可靠措施加强重叠部分的楼盖, 这些措施包括: 加大楼板厚度、增加板内配筋、设置集中配筋的边梁、增大边梁的宽度、增设梁侧纵筋、全长加密箍筋、配置45°斜向钢筋等。

(2) 采用目前的常规设计程序, 并不能够计算出楼板平面内的内力, 故希望有定量的数据判断地震作用下角部重叠平面的内力暂时不能做到。但通过本文的计算, 仍然可以得出一些结论, 包括: 角部重叠面积越小, 结构抗扭刚度越小, 周期比越大, 故在地震作用下结构扭转效应会越来越来。这些应当引起设计者的注意。

(3) 根据本文结果, 角部重叠平面做为组合平面的一种, 属于抗震不利的平面类型之一, 但对结构抗震性能的影响没有竖向不规则大。因此在所列三项及三项以上不规则的高层建筑工程做为其中一项进行控制, 而不单独做为一项进行控制较为合理, 单独做为一项进行超限控制有可能偏严。参考有关规定, 其控制指标宜取角部重叠面积与较小一边面积比值的25%。

## [参考文献]

- [1] JGJ3-2002. 高层建筑钢筋混凝土结构技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [2] 吕西林. 超限高层建筑工程抗震设计指南[S]. 上海: 同济大学出版社, 2005.
- [3] 郝效强, 杨仕升, 秦蓉. 含剪力墙钢筋混凝土结构抗震能力的评估方法及应用[J]. 西北地震学报, 2007, 29(4): 347-351.
- [4] 刘齐茂, 燕柳斌. 强震作用下框架结构的优化设计[J]. 西北地震学报, 2008, 30(2): 107-112.
- [5] 甘丹, 张敬书, 莫庸, 等. 细腰复杂截面高层建筑抗震性能分析[J]. 西北地震学报, 2008, 30(4): 376-379.

<sup>③</sup> 四川省建设厅. 四川省抗震设防超限高层建筑工程界定规定[S]. 2006.