

中国与日本在混凝土框架结构抗震设计中的比较分析

花林林 石建光

(厦门大学建筑与土木工程学院 厦门 361005)

摘 要:比较中国与日本在混凝土框架结构抗震设计的目标、方法、过程等方面的不同。抗震设计目标我国采用“小震不坏,中震可修,大震不倒”的三水准设计目标,日本则要求“中震不坏,大震不倒”;抗震设计方法两国都分为两阶段,校核结构的应力和变形;抗震设计过程中,日本始终围绕“屈服结构”的概念,将塑性铰部位与非塑性铰部位分别设计,而我国对于同一构件是一次设计的。结合一个十四层,总高 45m 的混凝土框架结构,在构件尺寸、材料强度、设防烈度等前提条件尽量相同的基础上,比较了按中日规范分别设计的结果,发现在塑性铰部位日本配筋量和我国配筋量相近,在非塑性铰部位日本配筋量则明显大于我国的设计结果。给出了我国在设计中可借鉴的方面,以求进一步提高混凝土结构设计的安全度。

关键词: 中国和日本的抗震设计 混凝土框架结构 安全水准

中图分类号: TU323.5 TU973+.31

文献标识码: A

文章编号: 1004-6135(2006)04-0025-03

Comparing Earthquake-resistant Design of Framed structures between China and Japan

Hua Lin - lin Shi Jian - guang

(School of Architecture and Civil Engineering, Xiamen University, Xiamen, 361005)

Abstract: Comparing earthquake-resistant design of concrete framed structures between China and Japan, The differences in objectives, methods and processes are pointed out. In our country, we need the structures "don't ruin in microseism, can repair in medium shock, don't fall in strong shock". While in Japan they need the structures "don't ruin in medium shock, don't fall in strong shock". And it is similar that we all take two phased earthquake-resistant design, the stress and distortion of the structures are checked out. The most difference in the processes of earthquake-resistant design is that in Japan they design the yield hinge parts and the no-hinge parts in different processes, but we design the same member once. Then a fourteen-storey concrete framed structure is designed by each criterion, on the base of the same dimension of members, the close material intensity and the close earthquake intensity and other conditions in the same. It is discovered that we have the similar steel quantities in the parts of the yield hinge, but in no-hinge parts Japan's steel quantities are more than ours. It is suggested that we should use the more exact structural model and other measures to enhance the safety of structures.

Keywords: earthquake-resistant design of China and Japan, concrete framed structures, the level of safety

1 引言

我国混凝土结构设计规范与外国对照,存在构造规划、荷载设计值与标准值取值偏低,材料强度取值偏高等问题,随着我国经济发展的要求,有人建议要大幅度提高建筑结构的安全度^[1]。鉴于人们对结构安全性、耐久性等方面越来越高的要求,对结构安全度的研究应更进一步。本文选择量大面广的混凝土框架结构,比较分析中国与日本在抗震设计中的差异性。

2 中日抗震设计中的比较分析

2.1 抗震设计的目标和方法

比较抗震设计的目标和方法可知,我国对结构构件尺寸选择、配筋等设计是在多遇地震下进行的,“中震可修”通过构造来满足,在罕遇地震下校核结构的变形;日本对铰接部位构件设计直接在“中震”下进行,而对非铰接部位构件设计在“大震”下进行,可见日本建筑结构对地震作用取值大于我们的取值(表 1)。其中我国小震、中震、大震是指地震相对强弱的三个水准,均以概率统计为基础,而日本的中震、大震指地震相对强弱的两个水准,以地震重现期给定(表 2)。

表 1 抗震设计的目标和方法的比较

| | 我 国 | 日 本 |
|-------------|--|--|
| 目标 | 小震不坏,中震可修,大震不倒 | 中震不坏,大震不倒 ^[2] |
| 方法 (两阶段) | 第一阶段,在多遇地震作用效应和其他荷载效应的基本组合验算构件截面抗震承载力,以及在多遇地震作用下验算结构的弹性变形。 | 一次设计,校核应力,即要求结构在第一水准地震作用下的应力值小于容许应力。 |
| | 第二阶段,在罕遇地震作用下进行结构弹塑性变形验算,校核有无薄弱层。 | 二次设计,校核变形,即结构在第二水准地震作用下的变形,要求保证框架屈服部位的塑性变形能力,防止剪切及连接失效引起的脆性破坏,确保框架整体强度与变形能力。 |

表 2 抗震设计水准

| | 我 国 | 日 本 |
|----|------------------------------------|----------------------------------|
| 小震 | 某地区 50 年内超越概率为 63% 的地震,也称为多遇地震 | |
| 中震 | 某地区 50 年内超越概率为 10% 的地震,为设防地震作用 | 建筑物使用期间及可能发生数回的地震 ^[2] |
| 大震 | 某地区 50 年内超越概率为 2% ~ 3% 的地震,也称为罕遇地震 | 建筑物使用期间发生概率极小的强地震 ^[2] |

2.2 抗震设计的过程

2.2.1 截面初选

框架设计时的截面初选见表 3。

表 3 截面初选时的比较

| | 我国 | 日本 ^[3] |
|----|--|--|
| 梁 | 梁高 $h = (1/8 - 1/12) l$, l—梁的计算跨度,且不大 于净跨的 1/4 梁宽 $b = h/4$ | 根据弯矩和剪力对梁率 (bD/hl) 的 要求 b、D—梁截面的梁宽、梁高 确定梁的截面和选用材料 |
| 柱 | $A_c = N_v / (f_c)$ 按抗震等级确定 $N_v = q \times$ 负荷面积, $q = 14 - 16 \text{ kN/m}^2$ | 根据剪力和轴力对柱率 (bD/H) 的 要求 b、D—柱截面的柱长、柱宽 确定柱的截面和选用材料 |
| 备注 | 通常 $h = 350, b = 400$ 最后通过承载力和变形来 确定截面尺寸 | 梁率、柱率的检验模型假定: 1、各层重量 $= w \cdot l$ (w—单位板面积上重量, l—梁方向 跨度, l—与 l 正交方向长度) 2、各层层高 (h) 3、设计用外力震度逆三角形分布 (各层震度 $k_i = k_1 \times i$) 4、柱的反弯点高度 (h/2) |

2.2.2 竖向荷载作用下应力的计算

竖向荷载作用下应力的计算方法中,我国假定结构仍处于弹性状态,所以梁柱均采用弹性刚度。

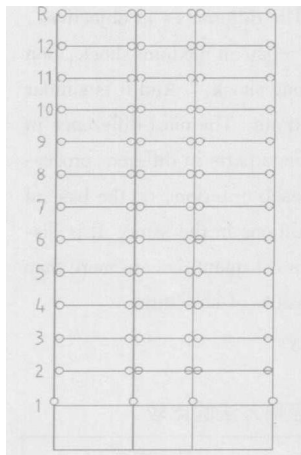


图 1 屈服模型

日本考虑结构进入屈服状态,即假定所有梁端均在第一阶段出现塑性铰的计算模型,也就是以往所讲的“弱梁法”模型(图 1)。为了实现这种破坏机制,必须使所有柱端的极限抗弯强度远大于梁端。对于中柱节点而言,仅左右梁端屈服,而上下柱端不屈服,则未丧失节点的抗转动机制,在罕遇地震时,必然迫使一柱端屈服,方能完全丧失抗转动机制。因为屈服模型在梁端和一层柱端出现的塑性铰降

低了刚度,所以对这些位置处的构件刚度进行了折减,其他柱仍采用弹性刚度。

2.2.3 层间变形角

对层间变形的控制比较见表 4。

表 4 层间变形的控制

| | 我国 | 日本 |
|----------|---------------------------|---|
| 层间变形角 | Δ/h [Δ/h] | Δ/h [Δ/h] |
| 顶点处位移角 | Δ/H [Δ/H] | |
| 重心位置处位移角 | | Hw位置的位移 /Hw |
| 刚性率、偏心率 | | R _{si} , R _{ex} , R _{ey} |

- 1、H——分别为结构在水平荷载作用下顶点位移和结构总高度;
- 2、h——分别为结构在水平荷载作用下最大层间位移和该层层高;
- 3、Hw——沿高度方向外力的重心位置, $H_w = (\sum F_i H_i) / \sum F_i$

2.2.4 结构构件的设计

比较结构构件的设计(表 5)可知我国同一构件是一次设计,通长配筋;日本梁端与梁中的配筋则不同,一层柱脚与柱头的配筋也不同,其他层柱也是通长配筋。同时注意到日本设计过程中有区分轴线处弯矩和考虑构件尺寸后的弯矩,对于内力再分配要满足 20% 的端面弯矩上下浮动的限制,我国设计中没有进行该项区分,只是按结构简化模型计算轴线处的弯矩。

表 5 结构构件的设计比较

| 我国 | 日本 |
|-------------------------------|---|
| “强柱弱梁” “强剪弱弯” “强节点、强锚固” | 塑性铰部位(梁端和一层柱脚)在屈服结构设计(一次设计)中进行,采用屈服强度 非塑性铰部位(梁中、一层柱头和除底层外其他层柱)在屈服结构的保证设计(二次设计)中进行,采用极限强度 |

3 工程实例对比

3.1 工程概况

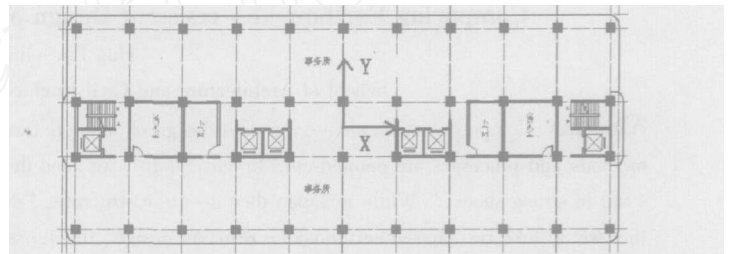


图 2 建筑平面图

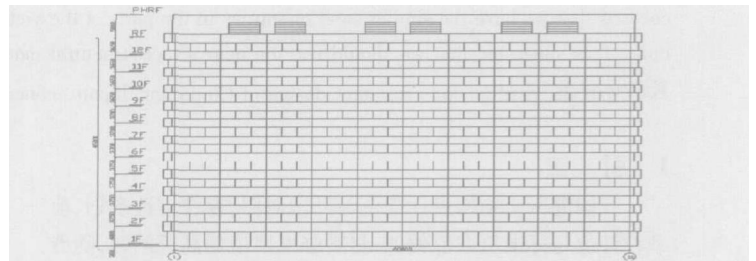


图 3 建筑南侧立面图

该建筑为十四层的办公楼,其中地上 12 层,地下 1 层,塔屋 1 层。底层 4.0m,二至五层 3.75m,六至八层 3.7m,九至十二层 3.65m,屋顶中间的楼、电梯间塔楼高 5.0m,室内地面高出室外 0.3m,总高 45.0m,建筑总面积 19690m²,采用全现浇钢筋混凝土框架结构。

3.2 计算分析

结构构件选取一样的尺寸和相近的材料强度等级,虽然楼面做法不同但尽量保证荷载相近,抗震设防烈度根据输入地震波最大加速度取为 8 度的最大加速度(0.3g),在基本条件相同的前提下对比分别按中国和日本现行规范设计的各项结果,总结设计基准上的差异,分析规范设计目标、方法、过程等方面的不同所产生的影响。我国利用 PKPM 软件进行设计,日本规范利用文献[3]中计算结果。

3.3 结果对比

3.3.1 地震反应

从地震反应结果(表 6)看出,我国和日本的一至三层层剪力值相近,三层以上日本的层剪力取值大。因为建筑高度超过 40m,我国软件在计算地震作用采用了振型分解法,日本仍采用底部剪力法,但其计算方法与我国底部剪力法有所不同。

表 6 地震反应比较(单位: kN)

| 层 | F _x (我国) | F _y (我国) | F _i (日本) | V _x (我国) | V _y (我国) | V _i (日本) |
|----|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 3 | 4929 | 4859 | 1352 | 52287 | 45753 | 52353 |
| 6 | 5902 | 5580 | 3236 | 42605 | 37257 | 46413 |
| 9 | 6246 | 5574 | 4830 | 28961 | 26132 | 35159 |
| 12 | 7791 | 7383 | 5941 | 10492 | 10022 | 19702 |

- 1、F_x、F_y——X向、Y向各层的地震作用, F_i——各层的地震作用;
- 2、V_x、V_y——X向、Y向各层的层剪力, V_i——各层的层剪力。

3.3.2 层间位移角

层间位移角的计算结果(表 7),可见日本计算层间位移角大,但并不意味着我国对层间位移角的要求比日本严格,因为我们的位移是在小震即比设防烈度约低 1.5 度的地震下的弹性位移,而日本的位移角要求是直接在第一水准烈度即相当我们的中震下的弹性位移。

表 7 层间位移角的计算结果

| | 我国 | 日本 |
|----------|--------------|--------------|
| X方向地震作用下 | 1/637,发生在第二层 | 1/430,发生在第三层 |
| Y方向地震作用下 | 1/550,发生在第三层 | 1/311,发生在第三层 |
| 限值 | 1/550 | 1/300 |

3.3.3 配筋

配筋计算结果(表 8)可见在塑性铰部位(一层柱脚和梁端)日本配筋结果与我们相近甚至低于我国的配筋结果,在非塑性铰部位(除底层外其他层的柱),我国的配筋是日本配筋结果的 2/3 甚至一半。这样结果的原因主要是因为日本在设计中有保证梁端和一层柱脚出铰的屈服机构保证设计,内力重分配结果不同且塑性铰部位(即一层柱脚和梁端)是在第一阶段设计,而非塑性铰部位是在第二阶段设计,所以较我国设计相比柱的配筋多而梁的配筋少。

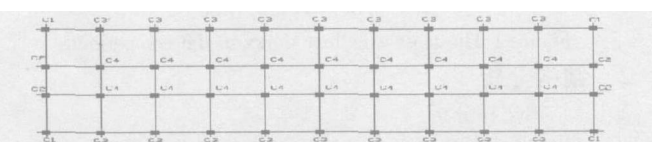


图 4 各柱布置图

表 8 配筋计算结果

| 层 | 中柱(C4) | | | X向边柱(C3) | | | Y向边柱(C2) | | | 角柱(C1) | | |
|----|--------|--------|------|----------|--------|------|----------|--------|------|--------|--------|-------|
| | 日本 | 我国(下限) | | 日本 | 我国(下限) | | 日本 | 我国(下限) | | 日本 | 我国(下限) | |
| 12 | 5280 | 2000 | 2000 | 5280 | 2000 | 2000 | 5280 | 2000 | 2000 | 5280 | 2200 | 2200 |
| 9 | 6433 | 3900 | 2500 | 6433 | 3000 | 3800 | 7238 | 4600 | 2400 | 6433 | 2700 | 2200 |
| 6 | 7238 | 5600 | 3000 | 7238 | 3900 | 5900 | 8042 | 6700 | 3100 | 7238 | 4900 | 3500 |
| 3 | 8042 | 6800 | 3800 | 8042 | 5400 | 6100 | 8042 | 8500 | 4300 | 8042 | 7200 | 5800 |
| 1 | 8042 | 8000 | 6300 | 8042 | 9400 | 9500 | 8042 | 11000 | 7100 | 8042 | 12500 | 10800 |

4 结论

通过我国和日本对于混凝土框架结构的抗震设计的比较,其异同主要概括为以下几点:

a、设计准则相近,但我国规范要求结构在小震时“不坏”,而日本直接对中震进行设计,所以对结构“不坏”的同样要求下地震作用取值大;

b、对于初选截面尺寸,我们一般用长、宽、高相互间比例关系,凭经验取值;而日本引用了梁率和柱率的概念。

c、我国规范第一阶段设计按小震下的众值烈度对框架结构进行弹性体系计算,日本按中震下的设防烈度对框架结构进行弹塑性体的计算都是可行的。前者属于低烈度法,而后者属于低地震作用法。我国 20 世纪 80 年代之前的抗震规范也使用低地震作用法,当时是用结构影响系数 C 来降低地震力的,而日本则采用弱梁模型来降低刚度,减少地震力,虽是异曲同工,但日本方法较我国老规范略优。事实上,无论低烈度法,还是低地震作用法均是在充分利用结构的延性基础上进行的,均是可取的。

d、在内力重分布中,我们是根据抗震等级确定调幅系数,而日本设计过程中有区分轴线处弯矩和考虑构件尺寸后的弯矩,对于内力再分配要满足 20% 的端面弯矩上下浮动的限制。

e、最终构件配筋在塑性铰部位日本配筋结果与我们相近甚至低于我国的配筋结果,在非塑性铰部位我国的配筋仅是日本配筋结果的 2/3 甚至一半。

总而言之,尽管我国和日本在地理位置、政治、经济等方面存在差异,在结构抗震设计的方法手段上也多有不同,但设计的目标却是一致的,都希望用最少的资金建造最牢固的实用的建筑结构,这是我们一直努力的方向,也是本文进行比较的目的,期待在总结自己好的经验的基础上再借鉴些别国先进的概念,使我国的结构设计能够更加完善。

参考文献

- [1] 陈肇元: 要大幅度提高建筑结构设计的安全度, 建筑结构, 1999 年第 1 期
- [2] 土木学会, 《混凝土标准示范书》, 德岛大学附属图书馆
- [3] 青山博之, 《钢筋混凝土建筑物的极限强度型抗震设计法》, 日本技报堂出版 1990 版