

DOI: 10.19701/j.jzjg.2020.09.009

关于高层建筑结构侧向刚度计算方法的讨论

李 远^{1,2}, 王 森^{1,2}, 魏 琰^{1,2}

(1 深圳市力鹏工程结构技术有限公司, 深圳 518034;

2 深圳市力鹏建筑设计事务所, 深圳 518034)

[摘要] 对高层建筑结构楼层侧向刚度的计算方法进行讨论,结合工程实例,采用几种现行不同计算方法进行楼层侧向刚度和楼层侧向刚度比对比分析。计算结果表明,对于复杂高层建筑结构,文献[3]的楼层侧向刚度计算方法能较好地反映层高突变、竖向构件截面变化、环桁架层和伸臂层对楼层侧向刚度的影响,因而计算的楼层侧向刚度比能较为准确判断结构的软弱层,可供工程项目设计参考。

[关键词] 楼层侧向刚度; 楼层侧向刚度比; 高层建筑结构

中图分类号: TU318⁺.1 文献标识码: A 文章编号: 1002-848X(2020)09-0044-06

[引用本文] 李远,王森,魏琰.关于高层建筑结构侧向刚度计算方法的讨论[J].建筑结构,2020,50(9):44-49. LI Yuan, WANG Sen, WEI Lian. Discussion on calculation methods of lateral stiffness of high-rise building structure [J]. Building Structure, 2020, 50(9): 44-49.

Discussion on calculation methods of lateral stiffness of high-rise building structure

LI Yuan^{1,2}, WANG Sen^{1,2}, WEI Lian^{1,2}

(1 Shenzhen Li Peng Structural Engineering Technology Co., Ltd., Shenzhen 518034, China;

2 Shenzhen Li Peng Building Structure Design Institute, Shenzhen 518034, China)

Abstract: The calculation method of the story lateral stiffness of the high-rise building structure was discussed. In combination with engineering examples, several current different calculation methods were used to compare and analyze the lateral stiffness and the lateral stiffness ratio of the stories. The calculation results show that for complex high-rise building structures, the story lateral stiffness calculation method in literature [3] can better reflect the impacts on the story lateral stiffness by sudden changes in floor height, vertical member section changes, ring truss stories and outrigger stories. Therefore, the calculated story lateral stiffness ratio can accurately determine the weak story of the structure, which can be used as a reference in the design of engineering projects.

Keywords: story lateral stiffness; story lateral stiffness ratio; high-rise building structure

0 前言

随着高层建筑体型的日渐复杂,高层建筑结构的楼层侧向刚度的正确计算,是一个比较重要的问题。为了合理准确地计算高层建筑结构的楼层侧向刚度,本文就现行几种楼层侧向刚度的计算方法进行讨论,并通过工程实例进行比较分析,给出高层建筑结构楼层侧向刚度计算方法的相应建议。

1 现行楼层侧向刚度的计算方法

1.1 高规计算方法

根据《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010)^[1](简称新高规)中建议的方法,高层建筑结构的楼层侧向刚度常用地震作用下的楼层剪力与层间位移的比值计算,其计算公式为:

$$K_i = V_i / \Delta_i \quad (1)$$

式中: K_i 为第 i 层的楼层侧向刚度; V_i 为在地震作用(外侧力)下第 i 层的楼层剪力; Δ_i 为在外侧力作用下,第 i 层对于第 $i-1$ 层的层间位移。

该方法简称为高规方法。当结构层高变化和竖向构件刚度变化时,该方法适应性较差,其计算的刚度变化较小,这是该方法的不合理之处。

1.2 广东高规计算方法

广东省标准《高层建筑混凝土结构技术规程》(DBJ 15-92-2013)^[2](简称广东高规)中规定高层建筑结构的楼层侧向刚度常用地震作用下的楼层剪力与层间位移角的比值计算,计算公式为:

$$K_i = V_i / \theta_i = V_i h_i / \Delta_i \quad (2)$$

式中: K_i 为第 i 层的楼层侧向刚度; V_i 为在地震作用(外侧力)下第 i 层的楼层剪力; θ_i 为在外侧力作用下,第 i 层对于第 $i-1$ 层的层间位移角; h_i 为第 i 层的层高。

广东高规方法在高规方法的基础上考虑了层高的影响因素,然而对于层高相差较大的高层建筑结

作者简介: 李远, 硕士, 工程师, Email: zhongnanxiansheng@163.com。

构,该方法计算结果明显高估了大层高楼层的侧向刚度和低估了小层高楼层的侧向刚度。

1.3 文献[3]层侧向刚度计算方法

文献[3]提出的侧向刚度计算方法能较好地弥补高规方法和广东高规方法在计算高层建筑楼层侧向刚度方面的不足。该方法既能考虑该楼层所有构件的竖向刚度,又能反映其两端转动约束的影响,是一个与构件几何物理特性和边界约束有关,而与外荷载无关的计算方法。

高层建筑中任一楼层均由许多竖向构件(墙、柱)及相连的水平构件构成,楼层侧向刚度是考虑两端转动约束的竖向构件的侧向刚度的总和。由此可以推知,当求第*i*层的楼层侧向刚度时,其计算模型简图如图1所示,第*i*层产生单位水平位移而第*i-1*层无侧移时,在第*i*层所需施加的水平力,即为第*i*层的楼层侧向刚度 K_i 。由此计算模型求出的第*i*层侧向刚度包含了该楼层所有竖向构件刚度的贡献,并考虑了两端转动约束的影响,它是一个只与该层结构构件几何物理特性和两端弯曲约束有关而与外荷载无关的形常数,这一定义可以认为是单个竖向构件侧向刚度定义在高层建筑结构楼层侧向刚度的推广。

1.4 三种楼层侧向刚度计算方法的讨论

对比式(1)和式(2),可知式(2)计算的楼层侧向刚度是对式(1)进行了层高 h_i 的修正。从理论上分析,这两种计算方法存在以下问题。

(1) 楼层侧向刚度应是结构本身固有的一种特性,仅与自身物理几何特性有关而与外荷载无关。然而式(1)和式(2)中的 V_i, Δ_i 均是通过外侧力作用求出的计算结果,外侧力的变化必然引起楼层侧向刚度的变化。

(2) 由于楼层层间位移是由构件的受力变形位移和非受力变形位移共同组成。因此,由于受力变

形位移的存在,式(1)计算的楼层侧向刚度必然低于实际刚度;式(2)进行了层高 h_i 的修正,其计算的楼层侧向刚度可能小于或大于楼层实际侧向刚度。

以深圳金地大百汇为例,其标准层结构平面布置简图如图2所示。该塔楼高度约180m,上部层高均为4.5m。分别采用高规方法(式(1))、广东高规方法(式(2))和文献[3]法计算得到的楼层侧向刚度曲线如图3所示。图3表明,式(1)计算的楼层侧向刚度普遍偏小;由于底层层高修正较大的原因,式(2)计算的底层楼层侧向刚度明显过大,容易造成层高大的楼层侧向刚度较大;而文献[3]法的计算结果较好地反映了刚度变化趋势。

(3) 当高层建筑楼层层高均匀一致、竖向构件刚度明显变化时,式(1)、式(2)计算的楼层侧向刚度变化甚微,无法准确反映楼层刚度变化可能对结构带来的不利影响。以图2高层建筑结构为例,增大上部标准层19层核心筒剪力墙截面,即为调整模型①。三种方法计算得到的楼层侧向刚度如表1所示。由表1可见,高规方法(式(1))和广东高规方法(式(2))计算结果表明竖向构件刚度变化对楼层侧向刚度变化基本无影响,剪力墙截面增大前后其计算的楼层侧向刚度基本一致;剪力墙截面增大后(即调整模型①),文献[3]法计算的楼层侧向刚度明显增大,其计算结果较为准确地反映了竖向构件刚度变化对楼层侧向刚度的影响。

(4) 在结构中上部楼层,当层高变化且竖向构件截面基本一致时,高规方法(式(1))计算的楼层侧向刚度变化甚微,无法准确反映层高变化对楼层侧向刚度的影响;当层高差别大时,广东高规方法(式(2))计算的层高大的楼层侧向刚度较大,层高小的楼层侧向刚度较小,这样容易夸大或者低估楼层的侧向刚度进而造成软弱层及其位置的误判。仍以图2高层建筑结构为例,修改上部标准层19层

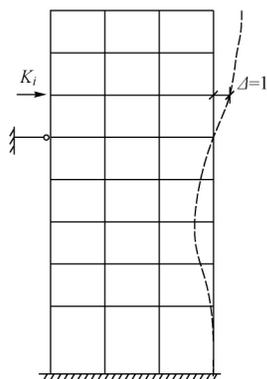


图1 第*i*层楼层侧向刚度计算模型简图

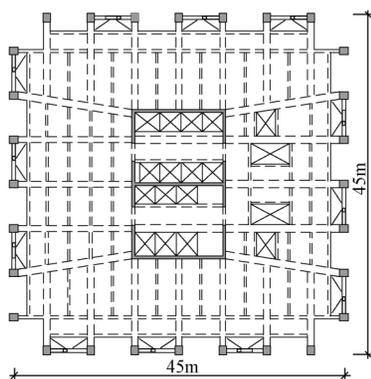


图2 深圳金地大百汇典型楼层结构平面布置简图

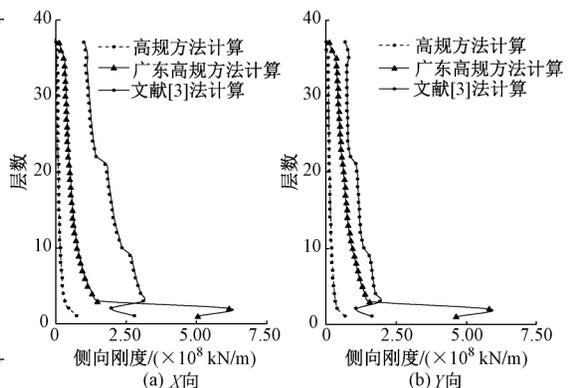


图3 深圳金地大百汇楼层侧向刚度曲线对比

增大19层核心筒剪力墙截面后三种方法计算得到的楼层侧向刚度结果的比较

表1

方法		文献[3]法计算			高规方法计算			广东高规方法计算			
楼层		18层	19层	20层	18层	19层	20层	18层	19层	20层	
X向	侧向刚度/(kN/m)	原模型	1.88×10 ⁸	1.85×10 ⁸	1.82×10 ⁸	1.16×10 ⁷	1.12×10 ⁷	1.08×10 ⁷	5.21×10 ⁷	5.05×10 ⁷	4.85×10 ⁷
		调整模型①	1.89×10 ⁸	2.11×10 ⁸	1.86×10 ⁸	1.16×10 ⁷	1.13×10 ⁷	1.08×10 ⁷	5.21×10 ⁷	5.07×10 ⁷	4.86×10 ⁷
		调整模型①/原模型	1.00	1.14	1.02	1.00	1.01	1.00	1.00	1.01	1.00
Y向	侧向刚度/(kN/m)	原模型	1.15×10 ⁸	1.14×10 ⁸	1.12×10 ⁸	1.52×10 ⁷	1.48×10 ⁷	1.43×10 ⁷	6.85×10 ⁷	6.68×10 ⁷	6.44×10 ⁷
		调整模型①	1.17×10 ⁸	1.24×10 ⁸	1.15×10 ⁸	1.53×10 ⁷	1.50×10 ⁷	1.43×10 ⁷	6.87×10 ⁷	6.75×10 ⁷	6.45×10 ⁷
		调整模型①/原模型	1.02	1.02	1.09	1.02	1.00	1.01	1.00	1.00	1.01

注:调整模型①/原模型指采用3种不同的方法计算分别得到的调整模型①的侧向刚度与原模型的侧向刚度的比值,表2余同。

修改19层高层后三种方法计算得到的楼层侧向刚度结果的比较

表2

方法		文献[3]法计算			高规方法计算			广东高规方法计算			
楼层		18层	19层	20层	18层	19层	20层	18层	19层	20层	
X向	侧向刚度/(kN/m)	原模型	1.88×10 ⁸	1.85×10 ⁸	1.82×10 ⁸	1.16×10 ⁷	1.12×10 ⁷	1.08×10 ⁷	5.21×10 ⁷	5.05×10 ⁷	4.85×10 ⁷
		调整模型②	1.88×10 ⁸	2.31×10 ⁸	1.83×10 ⁸	1.18×10 ⁷	1.15×10 ⁷	1.10×10 ⁷	5.29×10 ⁷	3.45×10 ⁷	4.95×10 ⁷
		调整模型②/原模型	1.00	1.25	1.01	1.02	1.02	1.02	1.02	0.68	1.02
Y向	侧向刚度/(kN/m)	原模型	1.15×10 ⁸	1.14×10 ⁸	1.12×10 ⁸	1.52×10 ⁷	1.48×10 ⁷	1.43×10 ⁷	6.85×10 ⁷	6.68×10 ⁷	6.44×10 ⁷
		调整模型②	1.17×10 ⁸	1.51×10 ⁸	1.14×10 ⁸	1.56×10 ⁷	1.55×10 ⁷	1.47×10 ⁷	7.04×10 ⁷	4.64×10 ⁷	6.63×10 ⁷
		调整模型②/原模型	1.02	1.33	1.02	1.03	1.04	1.03	1.03	0.69	1.03

高为3.00m,即为调整模型②。三种方法计算的楼层侧向刚度如表2所示。由表2可见,层高修改前后高规方法(式(1))计算的楼层刚度变化甚微;由于层高变小的原因,广东高规方法(式(2))计算的楼层侧向刚度反而明显变小,为原楼层侧向刚度的68%左右,与实际不符;层高变小后,文献[3]法计算的楼层侧向刚度明显增大,其计算结果较为准确地反映了层高变化对楼层侧向刚度的影响。

(5)在结构底部楼层,因建筑功能需要底部楼层往往层高较大甚至数倍相邻上层层高,容易在底部楼层形成软弱层。式(2)计算的楼层侧向刚度过大而与实际情况不符,这样容易造成软弱层误判,而给结构抗震带来安全隐患。

2 楼层侧向刚度比的讨论

目前,高层建筑的楼层侧向刚度比(简称层侧刚比)常采用该楼层(第*i*层)刚度 K_i 与相邻上一层楼(第*i+1*层)刚度 K_{i+1} 之比计算,其计算公式为:

$$\gamma_i = K_i / K_{i+1} \quad (3)$$

通过层侧刚比的大小,可直接根据规范规定限值进行楼层侧向刚度规则性和软弱层的判断,并采取有效的抗震加强措施或者采用相应的抗震性能化设计方法。

在《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2002)^[4](简称老高规)中,高层建筑结构层侧刚比用该楼层(第*i*层)刚度与相邻上一层楼(第*i+1*层)刚度比值计算,其计算公式为:

$$\gamma_i = \frac{V_i}{V_{i+1}} \cdot \frac{\Delta_{i+1}}{\Delta_i} \quad (4)$$

老高规规定,抗震设计的高层建筑结构,其楼层侧向刚度不宜小于相邻上部楼层侧向刚度的70%或其上相邻三层侧向刚度平均值的80%。这一规定与《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)^[5](简称抗规)关于层侧刚比的规定是一致的。

在广东高规中,层侧刚比采用式(5)作为侧向刚度规则性和软弱层的判断依据。

$$\gamma_i = \frac{V_i}{V_{i+1}} \cdot \frac{\Delta_{i+1}}{\Delta_i} \cdot \frac{h_i}{h_{i+1}} \quad (5)$$

广东高规规定,层侧刚比不宜小于0.9;对于结构底部嵌固层,该比值不宜小于1.5。

在新高规中对剪力墙、框剪、框筒和筒中筒等结构,将考虑层高修正的层侧刚比作为判定软弱层的依据,具体计算公式见式(5),但对层侧刚比的控制指标做了相应修改,一般情况下层侧刚比不宜小于0.9;当本层层高大于相邻上层层高的1.5倍时,该比值不宜小于1.1;对结构底部嵌固层,该比值不宜小于1.5。

新高规和广东高规计算层侧刚比的公式是一样的,只是对于层侧刚比的限值稍有不同;式(4)和式(5)明显不同,差别在于式(5)多了 h_i/h_{i+1} 的修正。由此可见:

(1)当层高不变且所有构件刚度不变时,两者的计算结果一样;当层高变化较小且所有构件刚度不变时,两者的计算结果相差较小,基本一致。以图2高层建筑结构为例,图4为采用不同方法得到的层侧刚比曲线对比。由图4可见,层高相同且构件刚度一致的楼层,三种方法计算的层侧刚比基本一致。

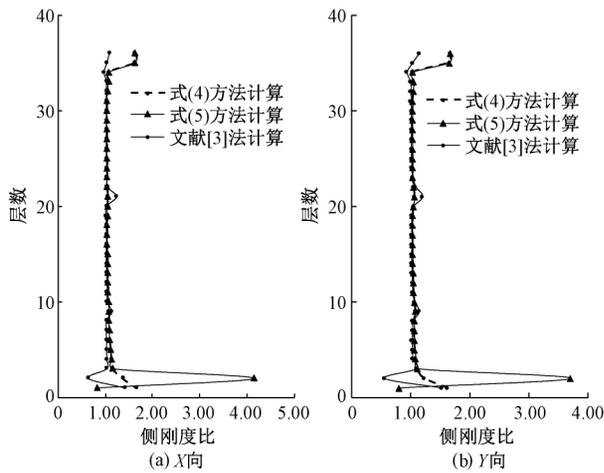


图 4 深圳金地大百汇层侧刚比曲线对比

(2) 在结构底部嵌固层,当首层层高大于相邻上层层高较多甚至数倍时,式(5)求得的 γ_i 偏大,为式(4)的 h_i/h_{i+1} 倍,这样容易夸大首层侧刚,导致底层薄弱的误判。

(3) 在结构中上部楼层,当竖向构件刚度变化且楼层层高一致时,式(4)和式(5)计算的 γ_i 变化甚微,无法反映楼层刚度变化可能带来的不利影响。这是由层间位移远大于层间构件受力变形位移引起的。由表 3 可见,式(4)和式(5)计算结果表明竖向构件刚度变化对层侧刚比基本无影响,剪力墙截面增大前后其计算的层侧刚比基本一致;剪力墙截面增大后,文献[3]法计算的层侧刚比明显增大,其计算结果较为准确地反映了层侧刚比的变化。

(4) 在结构中上部楼层,当本层层高小于相邻上层层高较多时,式(5)求得的 γ_i 偏小,这样容易低估该层侧向刚度,导致软弱层位置误判。由表 4 可见,层高修改前后式(4)计算的层侧刚比变化甚微;由于层高变小的原因,式(5)计算的层侧刚比为 0.70 左右,容易造成该层为软弱层的误判;层高变

小后,文献[3]法计算的楼层侧向刚度明显增大,其计算本层的刚度比较大且其下层的刚度比较小,与实际较为符合。

综上所述,文献[3]法对层侧刚比的计算结果能较真实地反映层侧刚比的变化。结合两个工程实例,对三种不同方法计算的层侧刚比进行分析对比,其结果如下。

3 工程实例分析

3.1 恒裕项目(工程实例 1)

工程实例 1 屋面高度为 249.03m,地上 54 层,标准层层高为 4.50m,其中 1 层层高为 19.50m; 8, 19, 30, 41 层层高为 5.10m;其结构平面布置简图和抗侧结构布置示意图如图 5、6 所示。该结构体系为带加强层的巨柱框架-钢筋混凝土核心筒结构。塔楼核心筒连续贯通,外围长约为 24.5m,宽约为 21m,高宽比为 11.8。核心筒内采用普通钢筋混凝土梁板,核心筒外的大部分楼层采用无梁楼板。19 层和 41 层均设置包含环桁架和伸臂桁架的加强层,加强层上下层的楼板均采用梁板体系。

采用上述三种方法计算该结构侧向刚度,其楼层侧向刚度和层侧刚比曲线如图 7、8 所示。

图 7 表明: 1) 高层建筑结构的侧向刚度的计算方法不同,其侧向刚度也不一样,但均呈现“上小下大”趋势。2) 对于设置环桁架和伸臂桁架的 19、41 层,该两层构件刚度明显增大,高规方法和广东高规方法的计算结果并无明显变化,而文献[3]法计算的楼层刚度明显偏大,与实际情况较为符合。3) 对于层高 5.10m 的 8、30 层,该两层层高变大而导致楼层侧向刚度变小,文献[3]法计算的楼层侧向刚度明显偏小,而广东高规方法计算的楼层侧向刚度变化甚微。4) 对于首层层高 19.50m 的 1 层,高规方法计算的楼层侧向刚度大小与文献[3]法计算的

增大 19 层核心筒剪力墙截面后三种方法计算得到的层侧刚比结果的比较

表 3

方法		文献[3]法计算			式(4)方法计算			式(5)方法计算		
		18层	19层	20层	18层	19层	20层	18层	19层	20层
X 向	原模型	1.02	1.01	1.03	1.03	1.04	1.04	1.03	1.04	1.04
	调整模型①	0.90	1.13	1.03	1.03	1.04	1.04	1.03	1.04	1.04
Y 向	原模型	1.01	1.02	1.05	1.03	1.04	1.04	1.03	1.04	1.04
	调整模型①	0.94	1.08	1.06	1.02	1.05	1.04	1.02	1.05	1.04

修改 19 层层高后三种方法计算得到的层侧刚比结果的比较

表 4

方法		文献[3]法计算			式(4)方法计算			式(5)方法计算		
		18层	19层	20层	18层	19层	20层	18层	19层	20层
X 向	原模型	1.02	1.01	1.03	1.03	1.04	1.04	1.03	1.04	1.04
	调整模型②	0.82	1.26	1.03	1.02	1.04	1.04	1.54	0.70	1.04
Y 向	原模型	1.01	1.02	1.05	1.03	1.04	1.04	1.03	1.04	1.04
	调整模型②	0.77	1.33	1.06	1.01	1.05	1.05	1.52	0.70	1.05

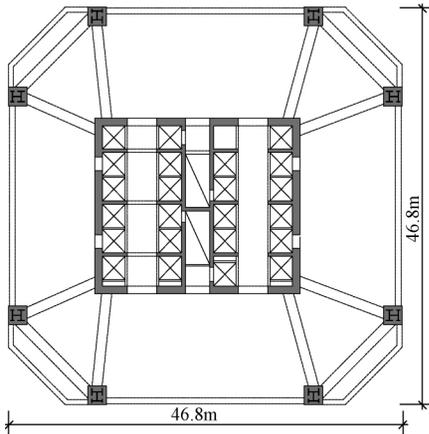


图5 工程实例1典型楼层结构平面布置简图

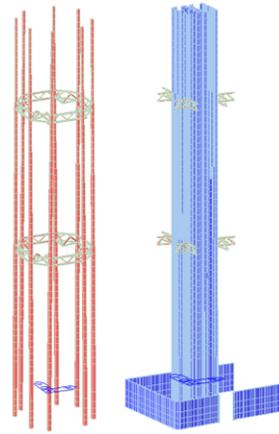


图6 工程实例1抗侧结构布置示意简图

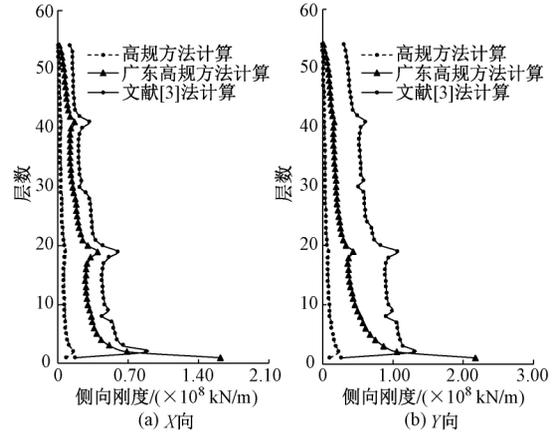


图7 工程实例1楼层侧刚曲线对比

相近,而广东高规方法计算的楼层侧向刚度过大,这是由于层高过大的原因造成的。5)对于该结构顶部,楼层侧向刚度和层高基本没变化,高规方法和广东高规方法计算的侧向刚度明显偏小且变化较大,与实际不符。文献[3]法计算的楼层侧向刚度较好地反映了顶部楼层刚度的变化。

图8表明:1)文献[3]法能明显反映出层高变化、伸臂和环桁架层对层侧刚比的影响。2)对于底层层高为19.50m的1层,式(5)计算的层侧刚比较大,明显不符合实际情况,容易带来软弱层的误判。3)顶部楼层构件刚度和层高基本没变化,文献[3]法计算的层侧刚比基本没变化。而式(4)和式(5)计算的层侧刚比变化很大,这与实际情况不太相符。

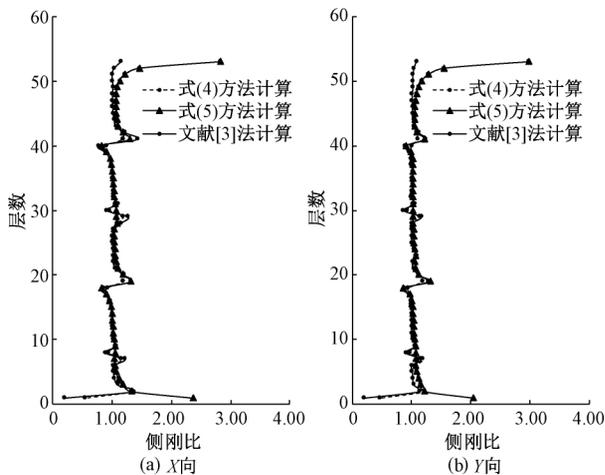


图8 工程实例1层侧刚比曲线对比

3.2 华侨城大厦(工程实例2)

工程实例2塔楼屋架高度约301.00m,塔楼屋顶高度为278.10m,地上59层,标准层层高为4.50m,其中1~6层层高分别为5.00,5.50,6.90,5.10,5.10,5.10m;避难层16,29,30,43,56层层高

分别为5.10,4.80,4.80,5.10,4.80m;空中大堂31,32层层高分别为5.00,6.00m;屋顶会所57~59层层高均为5.10m;其结构平面布置简图和抗侧结构布置示意简图如图9,10所示。该结构体系为带斜撑的巨柱框架-钢筋混凝土核心筒混合结构。塔楼核心筒连续贯通,Y向最大宽度为53.31m,平均宽度约为27.00m,高宽比约为10。核心筒内采用普通钢筋混凝土梁板,核心筒外的大部分楼层采用桁架组合楼板。4道腰桁架分别设置在16,29,30,43层。

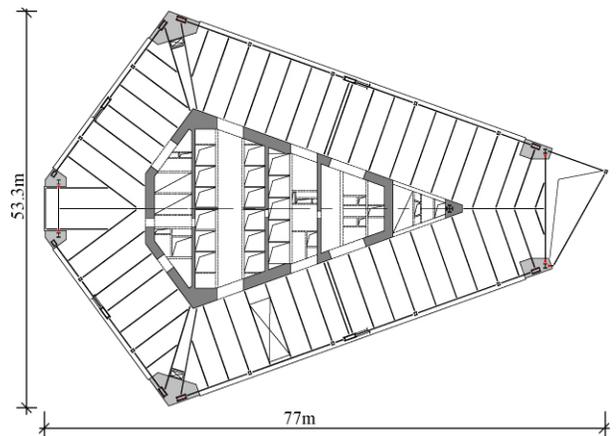


图9 工程实例2典型楼层结构平面布置简图

采用上述三种方法计算该结构侧向刚度,其层侧向刚度和层侧刚比结果如图11,12所示。

图11表明:1)高层建筑结构的侧向刚度的计算方法不同,其侧向刚度也不一样,均呈现“上小下大”趋势。2)对于设置腰桁架的16,29,30,43层,其楼层侧向刚度明显增大,文献[3]法计算的X向楼层侧向刚度明显偏大,与实际情况较为符合。而在16层和43层的Y向楼层侧向刚度变化不大,这是由于腰桁架的结构布置对Y向刚度影响较小,计

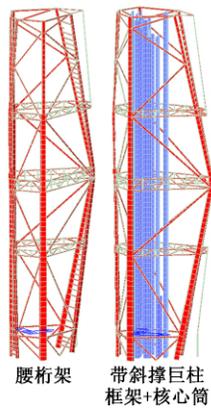


图 10 工程实例 2 抗侧结构布置示意简图

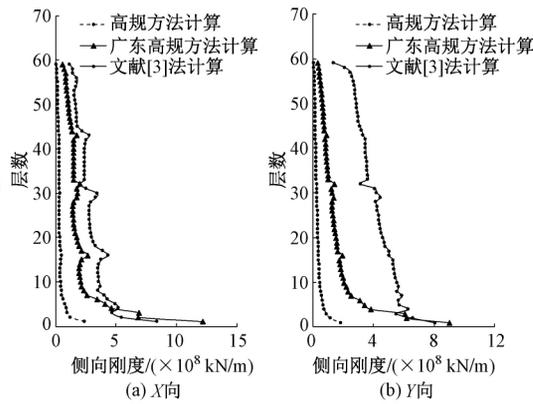


图 11 工程实例 2 楼层侧向刚度曲线对比

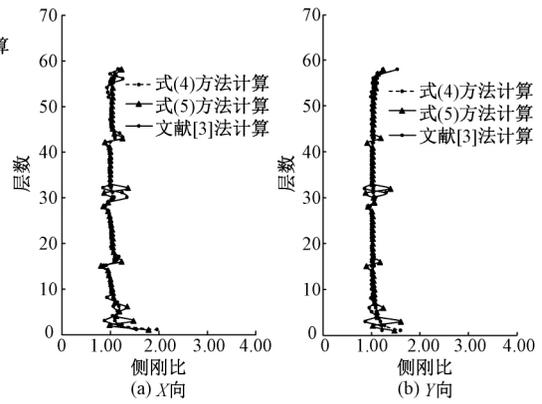


图 12 工程实例 2 楼层侧向刚度曲线对比

算结果与实际情况较为符合。而高规方法计算结果变化甚微,广东高规方法计算结果变化较小。3) 对于空中大堂 31、32 层层高较大,该两层层高变大导致楼层侧向刚度变小,其楼层侧向刚度应比其他楼层侧向刚度稍小,文献[3]法计算的楼层侧向刚度明显偏小,而广东高规方法计算的楼层侧向刚度却大于上下层楼层侧向刚度,显然与实际不符,这主要是由于层高修正刚度所造成的。4) 对于层高 6.90m 的 3 层,在楼层构件截面刚度变化不大的情况下其楼层侧向刚度应小于上下层的楼层侧向刚度,而广东高规方法计算的该层侧向刚度大于其上下层的侧向刚度,高规方法计算的该层侧向刚度大于其上层的侧向刚度,这与实际情况不大相符,文献[3]法计算的该层侧向刚度小于其上下层的侧向刚度,与实际情况较为符合。

图 12 表明: 1) 文献[3]法能明显反映出层高突变、腰桁架层对层侧刚比的影响。2) 对于腰桁架层(29、30 层)上部的空中大堂(31、32 层),其层侧刚比应较小,腰桁架层侧刚比较大,在该部位的层侧刚比趋势应为“下大上小”,文献[3]法能较好反映该部位的层侧刚比变化趋势。而式(4)计算的层侧刚比趋势与文献[3]一致,但反映不明显;式(5)计算的层侧刚比趋势为“下小上大”,明显与实际情况不符。3) 对于层高 6.90m 的 3 层,在楼层构件截面刚度变化不大的情况下其层侧刚比应较小,而式(4)计算的层侧刚比稍大,式(5)计算的层侧刚比更大,这样容易造成软弱层的误判。

4 文献[3]层侧向刚度计算方法的特点

通过两个高层建筑结构的实例比较得出,相对于高规方法和广东高规方法,文献[3]法具有以下特点: 1) 文献[3]法具有比较明确的力学含义,是一个与本层结构几何物理特性和两端弯曲约束有关而

与外荷载无关的形常数; 2) 文献[3]法能较好反映出底部楼层大层高的楼层侧向刚度变化; 3) 文献[3]法能明显反映出层高变化对楼层侧向刚度的影响; 4) 文献[3]法能明显反映出环桁架和伸臂对楼层侧向刚度的影响; 5) 文献[3]法能明显反映竖向构件截面变化对楼层侧向刚度的影响; 6) 文献[3]法能较准确反映出上部楼层侧向刚度变化; 7) 文献[3]法能较准确反映高层建筑结构的层侧刚比变化,进而能准确判断软弱层的位置。

5 结语

结合工程实例,讨论了高层建筑结构的三种侧向刚度的计算方法及其对应的层侧刚比计算方法,并分析了目前现行楼层侧向刚度计算公式存在的一些问题和不足。文献[3]的层侧向刚度计算方法概念清晰,力学含义明确,能较真实地反映楼层侧向刚度的实际状况。对于一些复杂的高层建筑,文献[3]法能较好反映出层高突变、竖向构件截面变化、环桁架层和伸臂层对楼层侧向刚度的影响,进而通过层侧刚比能准确判断结构的软弱层,建议在工程项目设计中参考应用。

参 考 文 献

[1] 高层建筑混凝土结构技术规程: JGJ 3—2010 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.
 [2] 广东省住房和城乡建设厅. 高层建筑混凝土结构技术规程: DBJ 15-92-2013 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.
 [3] 魏珺, 王森, 孙仁范. 高层建筑结构层侧向刚度计算方法的研究[J]. 建筑结构, 2014, 44(6): 4-9.
 [4] 高层建筑混凝土结构技术规程: JGJ 3—2002 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
 [5] 建筑抗震设计规范: GB 50011—2010 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.