

框剪结构初步设计中剪力墙数量的合理确定

颜家胜, 石建光

(厦门大学土木工程系 福建厦门 361005)

摘要: 剪力墙的数量是直接影响框架-剪力墙结构安全性和经济性的切实问题。在总结已有各种剪力墙数量的确定方法后, 对各类方法进行了比较和评价, 发现通过软件建模并与其它方法相结合是一种更为方便准确的方法。

关键词: 剪力墙数量; 框剪结构; 初步设计; 方法

中图分类号: TU318

文献标识码: A

文章编号: 1004-6135(2014)02-0021-02

Determination of shear wall quantities in frame-shear wall structure at preliminary design stage

YAN Jiasheng, SHI Jianguang

(Civil Engineering of Xiamen University, Xiamen 361005)

Abstract: The quantities of shear walls in frame-shear wall structure is a practical problems which directly influence the structural safety and economy. A detailed literature review was conducted about current methods to determine the quantities of shear walls. Through compares and evaluates all kinds of methods, it discovers that software modeling in combination with other methods is a more convenient and accurate method.

Keywords: Qualities of shear wall; Frame-shear wall structure; Preliminary design; Method

E-mail: 892341739@qq.com

1 概述

框架-剪力墙结构广泛应用于办公楼、酒店、住宅等公共或民用高层建筑。作为一种双重抗侧力结构体系, 其充分发挥了框架结构布置灵活, 剪力墙结构抗侧刚度大的优点。

在框架剪力墙结构中, 剪力墙部分的刚度往往比框架部分的刚度大很多, 所以剪力墙的刚度很大程度上就决定了整个结构的刚度。因此结构布置的关键是剪力墙的数量和位置。

框剪结构中剪力墙布置得过多, 可能会因此产生过大的层间位移而不满足使用要求。而剪力墙布置过多, 刚度过大, 则结构自振周期相应减小, 地震荷载相应增大, 经济上造成不必要的浪费。所以, 剪力墙的数量是直接影响结构安全性、合理性及经济性的切实问题。

在初步设计阶段, 简洁准确地确定框剪结构中剪力墙最优数量, 可避免重复、繁琐调整结构刚度。

2 剪力墙数量的经验数据

根据工程的抗震经验, 以及对震害的调查分析, 日本有学者提出了一些剪力墙相关数值指标, 用于描述剪力墙的合理数量^[1] (见表1)。

在中国, 也有学者^[2] 根据一些合理的工程设计, 总结经验, 提出构件截面面积与楼面面积比值的合理范围, 详见(表2)。

表1 剪力墙数量判断指标

指标名称	计算公式	指标要求
壁率	$\beta = L/A$	$\beta \geq 150 \text{mm}/\text{m}^2$
平均压应力	$\sigma = G/(A_c + A_w)$	$\sigma < 1.2 \text{MPa}$
剪力墙截面率	$\gamma = A_w/A$	$\gamma > 3000 \sim 5000 \text{mm}^2/\text{m}^2$

注: L: 剪力墙长度; A: 楼面面积; G: 楼层重量; A_c : 柱截面面积; A_w : 墙截面面积;

表2 底层结构构件截面与楼面面积比

设计条件	$(A_w + A_c)/A$	A_w/A
7度、II类土	3% ~ 5%	2% ~ 3%
8度、III类土	4% ~ 6%	3% ~ 4%

注: 1. 符号定义与表2.1同

2. 其余设计条件可根据实际工程参照上表采用

经验数据的方法是根据实际工程经验而来, 比较粗糙, 但简单易算, 可用于结构方案阶段快速判断剪力墙数量, 并对初步设计阶段有一定的参考价值。

3 基于底部剪力法的估算方法

在结构高度较低时(一般小于40m), 从框架-剪力墙结构协同工作的连续化分析原理出发, 建立水平荷载作用下框剪结构共同工作的平衡微分方程, 获得框剪结构最大层间位移的简化计算公式。根据满足位移角限值的前提下, 求解使地震作用最小的剪力墙数量^[5]。其中不少学者提出了是否考虑剪力墙剪切变形的情况^{[3][4]}。当结构平立面规则时, 该方法对于超过40m结构也同样适用。

3.1 基本假定

此类方法虽然推导过程和最终计算式有所差别, 但都遵循以下的基本假定: (1) 将整个结构视作单自由度体系, 质量集



作者简介: 颜家胜(1989.1-), 男。

收稿日期: 2013-11-24

中于结构顶部。只考虑第一振型的影响。并用能量法或顶点位移法计算第一周期。(2) 剪力墙只在自身平面内抵抗侧力。(3) 剪力墙为整体墙,可用材料力学方法计算其刚度。(4) 按底部剪力法计算地震荷载。

3.2 剪切变形的影响

通常在计算中引入相关系数来考虑剪力墙中剪切变形的影响(剪力墙剪切变形系数定义: $\eta = C_f/C_w$)。对于剪力墙剪切变形的影响,可从两个方面进行考虑。其中,文献[4]仅对刚度特征系数进行修正,采用的结构位移曲线不考虑剪切变形;文献[3]考虑剪力墙剪切变形铰接体系的结构平衡微分方程。根据其计算结果表明,在剪力墙剪切变形系数 $\eta \leq 0.05$ 时,考虑剪切变形的影响对最终结构影响不大^[3]。而对于大部分框剪结构而言,这一要求基本能够满足。

3.3 方法的步骤及相关计算

笔者根据文献中对此类方法公式推导过程做了一般总结。主要步骤有(1)基于协同工作原理,得到水平荷载作用下的平衡微分方程;(2)确定荷载沿高度的变化规律;(3)得到相应框剪结构的侧移曲线 y ;(4)对位移曲线 y 二阶求导数,得到层间位移角极值;(5)返回计算得到剪力墙 的公式(6)以结构地震作用最小为目标函数,最大层间位移角为约束条件。反复迭代求解。

下表为文献[4]中给出的三种不同荷载与层间最大位移角的计算关系式:

荷载类型	$q = (1 + \frac{1}{2n}) \frac{2F_{EK}}{H}$ (倒三角荷载)	$q = \frac{F_{EK}}{H}$ (均布荷载)	$P = F_{EK}$ (集中荷载)
$[\theta]_{\max}$	$\frac{qH}{c_f \lambda} \varphi_l$	$\frac{qH}{c_f \lambda} \varphi_l$	$\frac{PH^2}{EI_w}$

C_f : 框架抗推刚度 λ : 刚度特征值

$$\lambda = H \sqrt{\frac{C_f}{(1-\eta)EI_w}}$$

φ_λ : 与 λ 相关,可由文献[4]中给出的 $\varphi_\lambda - \lambda$ 曲线确定

4 以层单元为基础的矩阵位移法

一般而言,框架剪力墙结构中,构件截面尺寸或混凝土强度等级都会沿着高度变化,所以,当结构高度大于 40m 时,若还采用等刚度的近似计算方法,难免会产生一定的误差。

从沿高变刚度框剪结构协同分析的连续离散化分析原理出发,提出采用以层单元为基础的矩阵位移法计算结构响应。其中采用振型分解反应谱法计算地震作用。

4.1 基本假定

沿高变刚度更为符合结构的实际情况,其基本假定也与上述之底部剪力法存在差别:(1) 楼板在自身平面内绝对刚性(2) 忽略结构的扭转变形(3) 剪力墙只在自身平面内抵抗侧力(4) 考虑剪切变形的影响(5) 在抗侧平面内,计算刚度矩阵时,采用平面弯剪模型。计算自振频率时,采用平面剪切模型。(6) 忽略阻尼的影响(7) 每层只有一个自由度,质量集中在楼层处。即采用层单元为计算模型。

4.2 方法的步骤

(1) 根据位移曲线的微分方程以及荷载形式构造相应的层单元刚度矩阵 K^e ^[6]

$$[K]^e = \frac{SE_w I_w}{h^3} \times \frac{\lambda^2}{C_6} \begin{bmatrix} \lambda C_3 & \lambda C_2 h & -\lambda C_3 & \lambda C_2 h \\ \lambda C_2 h & C_5 h^2 & -\lambda C_2 h & C_1 h^2 \\ -\lambda C_3 & -\lambda C_2 h & \lambda C_3 & -\lambda C_2 h \\ \lambda C_2 h & C_1 h^2 & -\lambda C_2 h & C_5 h^2 \end{bmatrix}$$

式中 $C_1 \sim C_2$ 为与刚度特征值 λ 有关的系数。

(2) 采用通过柔度方程 $[\delta][M]\{\ddot{y}\} + \{y\} = 0$ 求解特征值和特征向量。

(3) 通过反应谱法求得水平地震力 $F_{ji} = \alpha_j \gamma_{ij} x_{ji} G_i$

(4) 引入边界条件 $y_1 = 0; \theta_1 = \frac{Q_0}{C_A + \frac{CA_w}{\mu}}$,求解刚度方程

$[F] = [K][\Delta]$,得到位移响应。

(5) 计算最大层间位移角,并与框剪结构最大位移角限值做比较。

4.3 评价

可以考虑结构高度大于 40m 以及竖向构件截面和材料变化的影响,并且用振型分解反应谱法计算地震作用,更为符合一般高层建筑的实际情况。应用时,需要计算编程进行计算。

5 通过计算软件初步建模确定

利用结构计算软件对结构进行初步布置,并进行模态分析,振型合理判断。通过比较层间位移和层间位移角来判断结构的布置是否合理。并对结构主要指标,如周期比,位移比,刚重比,轴压比等进行比较,得出最优的布置方案和剪力墙尺寸。

6 总结

上文介绍的几种方法中,各有其优缺点。经验数据的方法,可以很快得出剪力墙数量,但缺乏理论依据,并且通常得出的结果会偏大,造成资源浪费。底部剪力法概念明确清晰,但仅适用与高度较低且刚度沿高变化不大的结构。以层单元为基础的矩阵位移法,适用范围广,但应用时需要编程计算。在这两种方法中虽然都考虑了框剪结构的协同作用,并且都以层间最大位移角为控制指标,但方法运用中,剪力墙端柱对剪力墙的贡献难以考虑,所获得的剪力墙数量应该偏少。通过计算软件初步建模确定的方法,应该是最为直观和准确的方式,并且可以考虑剪力墙布置位置的影响,但方法带有一定的盲目性,应该与其他几种方法结合运用。

参考文献

[1] 李静,基于剪力墙刚度最优的框剪结构设计,2011.
 [2] 魏忠泽,秦桂娟,框剪结构体系中剪力墙的合理数量,沈阳建筑工程学院学报,1996.
 [3] 刘哲峰,苏志力,框剪结构剪力墙布置合理性判别的简化方法,建筑结构,2010.04.
 [4] 孟焕陵,沈蒲生,框剪结构考虑墙肢剪切变形时剪力墙的合理数量,湖南大学学报,2005.06.
 [5] 孟焕陵,沈蒲生,基于优化原理框剪结构中剪力墙合理数量,湖南大学学报,2006.10.
 [6] 黄世敏,魏琰,地震区框架-剪力墙结构最优剪力墙数量的研究,工程抗震,2003.03.