

框架-剪力墙高层建筑剪力墙构件 的计算机辅助设计初探*

王全凤

(土木工程系)

摘 要

本文提出一个适当的计算机程序来确定框架-剪力墙结构剪力墙的最优刚度,从而决定剪力墙构件断面尺寸和配置钢筋,把建筑物的设计烈度,地基场地土性质、材料性能、结构使用条件和几何条件输入计算机就能直接进行剪力墙构件设计,实现设计过程自动化

关键词 框架-剪力墙,最优化,CAD

一、前 言

对层数超过八层的普通钢筋混凝土结构,如果只靠框架来抵抗水平地震荷载,必然是肥梁胖柱。如果增设一些剪力墙构件,这些剪力墙则可承担大部分的水平地震荷载,框架构件断面尺寸毋需很大就能满足该结构对侧向位移的要求,这就是框架-剪力墙体系广泛使用的原因。如果剪力墙数量配置不够,框架容易受震害,就达不到预期采用框架-剪力墙结构体系的目的。因此,在设计这样体系的高层建筑时,首先必须确定设置剪力墙的数量。目前国内有些设计单位和学者采用先凭经验设置后再验算的方法,有的也提出了确定剪力墙数量的简化公式。前者需要多次耗时试算,其设计方案的好坏又很大程度上取决于设计者的技能,后者虽采用了简化的方法来减少设计工作量,但由于传统设计方法的局限性,难以从根本上解决这个问题。随着计算机技术的广泛应用和最优化数值方法的日益成熟,优化设计已成为现今工程设计的最终目标。本文利用最优化理论使结构设计,从单纯分析结构(在外界荷载作用下)的内力、变形和承载能力等反应特征,逐步发展到能动地设计结构并使之达到最理想,这就是1962年以后发展起来的计算机辅助全部设计过程(Computer Aided Design)中的计算机优化部分^[1]。

二、分析 方法

在地震区,如果剪力墙的刚度选择过小,就不能达到抵抗水平地震荷载的预期目的,如

本文1988年9月7日收到。

*该文是CAD在土木工程中应用的系列论文之一。

果增大剪力墙刚度, 房屋的自振周期减少, 地震荷载就相应加大, 所以这里存在着剪力墙刚度如何最合理地取值问题, 使它具有最小抗侧移刚度, 又能满足房屋的使用要求。

按现在的观点, 随着优化手段的发展, 优化目标也在不断扩大, 从最轻重量、最低造价到现在最佳构件布置、最优结构形状、最好受力状态等^[2]。上述问题显然可以归结为结构优化问题, 找到一个最合适的剪力墙刚度, 使地震荷载尽可能地小, 而又能满足结构的变形要求, 即取地震荷载为目标函数, 剪力墙有效刚度为设计变量, 选择适当的约束条件, 通过优化方法, 找到一个剪力墙最优刚度值, 使整个结构呈现最佳受力状态。

现在来分析结构优化的约束条件。国际上普遍认为, 对高层建筑在 seismic 时是否安全, 除强度外, 变形能力即刚度和延性更为重要。有些人认为以能量吸收能力和限制侧移为基础的抗震设计, 今后将代替目前的应力抗震设计。其二, 本文目标函数取得是地震荷载, 地震荷载大小与剪力墙刚度直接有关。如果在最小剪力墙刚度对应最小地震荷载情况下, 结构能满足变形条件, 那末这个最小剪力墙刚度值显然就是最优值。除了对结构最大水平位移限制之外, 为了防止非结构构件破坏, 层间最大相对水平位移也必须进行限制。再者, 我们讨论是在框架—剪力墙结构中如何设置剪力墙的问题。所以剪力墙刚度非负问题自然得到满足, 本约束条件是非负约束条件。最后, 各结构构件应力条件必须满足。

当然, 与框架梁、柱及层高有关的框架平均抗剪刚度也同时可以作为设计变量。但从工程实践中提出的问题, 一般都是在建筑材料、结构及其构件型式已定的条件下确定剪力墙的数量, 大量的工程设计实践已经总结出一套有规律性的东西, 如房屋的高度及垂直荷载已知的情况, 柱子断面尺寸基本也可确定。文献[3]也有一个结论, 剪力墙刚度变化对框架柱内力影响不大, 所以把柱断面作为常量处理在理论上是容许的, 这样必然给优化分析带来很大方便; 从优化设计理论范畴也是允许的, 这样的优化方法叫经验优化方法。严格说来, 它不是最优值, 但它很接近于最优值。这种单变量的优化可以大大减少机时和计算机容量, 为现在基本普及微机的应用开辟了广阔的前景。

综上所述, 确定框架—剪力墙结构剪力墙最优刚度的数学模型可以用文字描述如下: 求剪力墙有效刚度(设计变量), 使得地震荷载(目标函数)为最小, 并满足结构位移约束条件和作为几何约束的结构各构件的应力条件。

三、设计方法

从发展上看, 使优化手段能为工程设计人员所乐意接受, 就必须建立一个现成、泛用的优化程序系统, 当然这里的程序系统是指接近于优化、花费少的程序, 而不是高精度、但花费大的程序。因为框架—剪力墙高层结构属于高次超静定空间结构, 地震荷载(目标函数)与剪力墙有效刚度(设计变量)的关系, 位移(约束条件)与设计变量的关系等都是复杂的非线性函数关系, 整个数学模型属于非线性规划问题。鉴于上述这些特点, 本文用直接搜索法求解。尽管直接搜索法有收敛慢的缺点, 但从本文搜索情况看, 一般迭代 7~8 次就能收敛。程序的粗框图如图 1 所示。运算此程序, 计算机输出结果是剪力墙有效刚度。当所需剪力墙有洞口时, 洞口大小对截面刚度影响可近似处理如下: 当开口系数为

$$p = \sqrt{\frac{\text{洞口面积}}{\text{墙面积}}} \leq 0.4;$$

洞口上过梁高 $d \geq 0.2h$ (层高)

时可按小开口整体墙考虑，惯性矩按组合截面计算；当不满足上述条件之一时，即认为是大开口墙，如过梁刚度很弱时，可按两片单独墙计算惯性矩，过梁刚度效强时，通常求折算惯性矩。

在剪力墙有效刚度不小于计算机输出剪力墙最优刚度前提下，可人为地选择剪力墙断面尺寸及布置它们，使它们满足剪力墙最小间距、厚度等构造要求。

确定了剪力墙数量之后，可对该结构进行内力分析。考虑框架与剪力墙的共同工作，进行框架与剪力墙之间地震剪力分配；接着按日本学者武藤清提出按剪力墙协同刚度分配剪力墙间剪力^[4]。考虑了框架与剪力墙共同工作以后，每片剪力墙成为一个静定的高度为结构总高度的竖向悬臂构件，在各楼层截面处有地震剪力、地震弯矩和竖向荷载产生的轴力作用。剪力墙的竖向钢筋和横向水平钢筋数量按抗弯强度和抗剪强度要求输出；对于开有洞口的剪力墙，因洞口有应力集中，必须配置洞口加强钢筋。

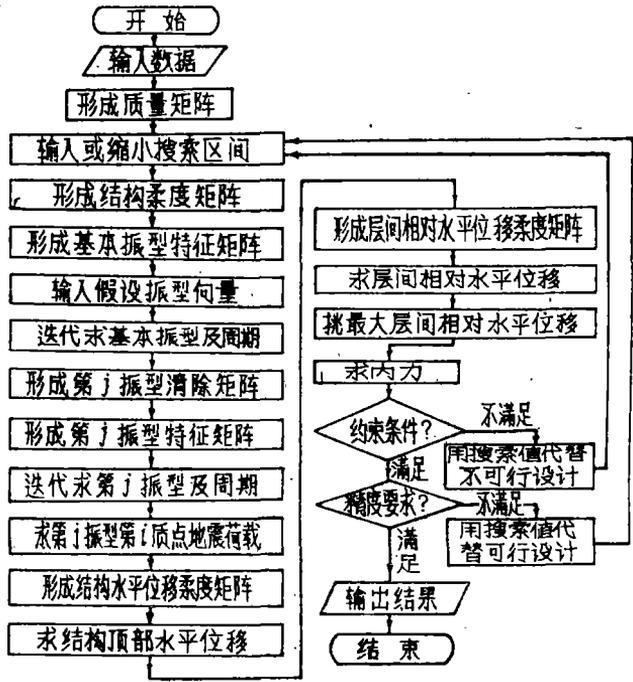


图 1

四、设计实例

本例目的是通过计算机辅助设计与文献[5]现在常用的抗震设计方法得到不同的结果来说明计算机辅助设计优越性和直接经济效果。设计条件如下：

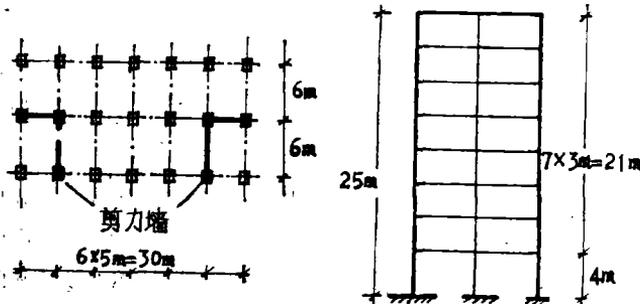


图 2

八层框架-剪力墙结构，抗震设计烈度为 8 度，地基按 II 类场地土，结构平面及剖面示意图见图 2。梁、柱及剪力墙为现浇结构，楼板为装配整体式结构。梁截面尺寸为 $22 \times 60 \text{cm}^2$ ，200 号混凝土；柱截面 $50 \times 50 \text{cm}^2$ ，首层混凝土 300 号，其它层 200 号。

根据现行的抗震设计方法，文献[5]给出了所需剪力墙有效抗弯

总刚度为 $3.843 \times 10^8 \text{kN-m}^2$ ，墙厚 15cm，横向布置两道(见图 2)，混凝土体积 33.33m^3 。若按照本文的方法，所需剪力墙有效抗弯总刚度为 $3.142 \times 10^8 \text{kN-m}^2$ ，布置的形式同上。若采用现浇剪力墙，墙厚按构造要求取 14cm，此时它的有效抗弯总刚度为 $3.711 \times 10^8 \text{kN-m}^2$ (大于 $3.142 \times 10^8 \text{kN-m}^2$)，混凝土体积 31.108m^3 ，节省了 6.7%。从本例可以看出，计算机辅助设计除了速度快以外，还有明显的经济效果。如果不是剪力墙断面构造要求限制，这个效果会更明显。

五、结 论

计算机辅助设计是一项集计算机技术，专业设计理论和设计经验于一体的新技术。从上述分析可以看出，利用最优化理论确定框架—剪力墙结构中剪力墙的数量，使结构受荷最小既能满足结构的使用要求，又有经济效益。所以计算机辅助设计的装备和应用完全可以成为衡量一个设计单位技术水平的重要标志和投资竞争的重要手段。

参 考 文 献

- [1] 施肇诺、汪逸、张小慧，CAD 技术在国内外的发展形势和若干个实用问题的分析，建筑技术通讯 (暖通空调)，5 (1987)，1—6。
- [2] MacGregor, J. G., Lyes, I., Structural Design of Tall Concrete and Masonry Buildings, Monograph on planning and Design of Tall Buildings, CB, Printed in the U. S. A., (1978)。
- [3] 王全凤、施士升，框架—剪力墙高层建筑结构抗地震荷载剪力墙数量的优化分析，土木工程学报，14, 3 (1981)，1—12。
- [4] 武藤清，耐震设计三リリースエ，耐震计算法，丸善株式会社，昭和38年7月版。
- [5] 北京建筑工程学院，南京工学院，建筑结构抗震设计，地震出版社，(1981)。

Preliminary CAD for Shear Wall Member in Frame-ShearWall System

Wang Quanfeng

Abstract

This paper presents an appropriate program for determining the optimum stiffness of shear wall in a frame-shear wall system. The dimension of cross section of shear wall member and the disposition of reinforcement can be determined thereby, and the entire process of design will be automated. As soon as the relevant data including the design earthquake intensity, site soil condition, material properties, service condition and geometrical condition of the construction are input computer, the shear wall design will be carried out directly by the computer.

Key words frame-shear wall, optimization, computer aided design