

文章编号:1673-9469(2009)01-0040-03

## T型短肢剪力墙的弹塑性分析

魏翠玲, 邵新刚

(河北工程大学 土木工程学院, 河北 邯郸 056038)

**摘要:**利用 ANSYS 对带暗柱与不带暗柱的短肢剪力墙进行单调荷载作用下的非线性有限元分析, 比较了两者的承载力、延性、及破坏特征。并在此基础上总结出了轴压比和混凝土标号对带暗柱短肢剪力墙的力学特征参数和内力分布的影响, 为实际工程的截面设计提供了有意义的依据。

**关键词:**短肢剪力墙; 暗柱; 非线性有限元

**中图分类号:** TU398.2

**文献标识码:** A

## Elastic-plastic analysis of T-shaped shot-leg shear walls

WEI Cui-ling, SHAO Xin-gang

(College of Civil Engineering, Hebei University of Engineering, Handan 056038, China)

**Abstract:** Nonlinear finite element analysis under monotonic load of short-leg shear wall, with or without concealed column, was carried out by ANSYS software, and the analysis results were compared between bearing capacity, ductility and failure characteristics. The influence of ratio of axial compression and concrete grade on mechanics characteristic parameter and internal force distribution of short-leg wall with concealed column were summarized, which could provide valuable theoretical and experimental references for section design. Seismic performance of the wall could be enhanced effectively by the increase of axial compression ratio and level of concrete wall. However, exorbitant axial compression ratio and level of concrete wall will significantly decrease the ductility.

**Key words:** shot-leg shear walls; concealed column; nonlinear finite element

短肢剪力墙一般是指墙肢截面高度与厚度之比为 5-8 的剪力墙, 墙厚不小于 200mm, 肢长在 1 000mm-2 500mm 之间。在以往的研究中<sup>[1]</sup>, 对短肢剪力墙的非线性有限元分析<sup>[2-4]</sup>, 多采用整体式模型, 即假定钢筋以均匀分布的方式包含在混凝土中, ANSYS 计算求出的是综合了混凝土和钢筋的整体结果, 无法得出钢筋的应力应变。本文在试验研究的基础上, 采用分离式模型对带暗柱短肢剪力墙进行非线性有限元分析, 针对不同的混凝土强度等级和轴压比, 分析了短肢剪力墙从弹性状态到混凝土开裂直至破坏的全过程, 对短肢剪力墙的设计提供一些依据和参考。

### 1 模型设计

采用分离式模型, 即把混凝土和钢筋作为不同的单元来处理, 混凝土采用 SOLID65 单元, 钢筋采用 link8 单元建立 T 形短肢剪力墙结构体系的有限元模型, 试件比例为 1:1。墙肢截面厚度为 200 mm, 翼缘宽度为 1 200 mm, 层高 2.8 m。带暗柱的墙体纵筋按规范[5]要求采用  $\varnothing 10$ , 不带暗柱的采用  $\varnothing 12$ , 带暗柱的墙体箍筋采用  $\varnothing 6$ , 不带暗柱的墙体按构造设拉结筋采用  $\varnothing 6$ , 水平钢筋采用  $\varnothing 8$ 。

在结构的试验模型中, 为避免混凝土在加载时由于应力集中而发生压碎破坏, 故在试件上方

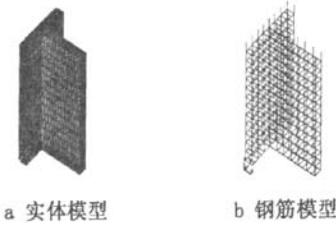


图1 模型  
Fig.1 Model

设置了与试件平面尺寸相同的刚性梁,把竖向荷载和水平荷载均施加在刚性梁上,由刚性梁把力传给试件(图 1a)。并认为刚性梁和试件在  $x$ 、 $y$  和  $z$  三个方向上位移协调,无相对滑移。试验中钢筋的材料性能由规范[6]中表 4.2.2-1、表 4.2.3-1 和表 4.2.4 所确定:钢筋采用 HPB235 (Q235),强度设计值为  $210\text{N/mm}^2$ ,弹性模量为  $210\text{kN/mm}^2$ 。试验中的混凝土采用 C20 至 C40 的混凝土,其材料性能由规范[6]中表 4.1.3、表 4.1.4 和 4.1.5 所确定。

表 1 混凝土材料性能( $\text{N/mm}^2$ )

Tab.1 Properties of concrete materials

混凝土种类	强度标准值		强度设计值		弹性模量
	受拉	受压	受拉	受压	
C20	1.54	13.4	1.1	9.6	25500
C30	2.01	20.1	1.43	14.3	30000
C40	2.39	26.8	1.71	19.1	32500

## 2 短肢剪力墙抗侧力试验设计

根据有限元分析模型,短肢剪力墙仿真试验分 3 种情况进行,分别模拟影响短肢剪墙受力的两种因素。

第一组试验是带暗柱墙体和不带暗柱的墙体在混凝土等级 C30、轴压比 0.3 不变情况下,对模型施加竖向荷载后,再对其施加横向荷载直至其

破坏,观察其暗柱对短肢剪力墙结构承载能力和变形能力的影响。

第二组试验是带暗柱墙体在轴压比 0.3 不变情况下,改变混凝土等级大小,观察其对短肢剪力墙结构承载能力和变形能力的影响。

第三组试验是带暗柱墙体在混凝土等级 C30 不变情况下,改变轴压比大小,观察其对短肢剪力墙结构承载能力和变形能力的影响。

在模拟试验时,剪力墙分析模型的底部被完全约束,考虑楼板的无限刚性,故采用集中力的方式在试件顶部上加水平方向的荷载。理论上分析,集中力将对试件各截面产生力矩,引起试件一边受拉,一边受压;由于混凝土抵抗压力的能力比抵抗拉力的能力强,所以裂缝将出现在受拉区。考虑到 T 形短肢剪力墙,其翼缘截面积大于腹板截面积,所以翼缘一侧比腹板一侧能承受更大的拉力。由此可知,在图 1 所示的 Y 轴负方向上加水平集中力是最不利的加载方式。所以,以下主要对试件在 Y 轴负方向加载的情况进行具体研究。本文的加载方式采用倒塌控制的推覆分析法。推覆分析法(Push Over)主要用于对结构进行静力线性或非线形分析。控制方法大体上有两种,一是倒塌控制,当结构物产生足够的塑性从而形成机构时停止分析;二是位移或荷载控制,当结构中的控制点按照假定的模态,达到期预先给定的位移或力时停止分析。在模拟试验时,首先在刚性梁上施加轴向面荷载,该数值大小由试验设计的轴压比大小确定。在整个试验过程中,保持轴向荷载数值不变。随后再在试件上逐步加载水平荷载,直到试件最终破坏。

## 3 仿真试验结果分析

通过三组仿真试验分析,得到各因素对 T 形短肢剪力墙结构开裂、极限荷载的影响(表 2)。

表 2 模拟试验结果

Tab.2 Simulation experiment results

各种因素	无暗柱墙体	轴压比 0.1	轴压比 0.5	C20	C30	C40
开裂荷载	2 550 000	2 050 500	1 050 000	1 050 000	2 550 000	3 400 000
屈服荷载	5 550 000	4 050 000	8 050 500	5 550 000	6 049 500	6 734 000
极限荷载	11 514 500	12 723 000	13 291 500	10 056 000	13 222 500	17 448 000
屈服位移	0.0 087	0.0 172	0.007	0.0 057	0.0 082	0.016
极限位移	0.0 819	0.1 771	0.0 353	0.0 318	0.0 915	0.1 396
$\mu$	9.414	10.28	5.02	5.54	11.21	8.68

注:强度单位:Pa 位移单位:m  $\mu$ :为延性系数

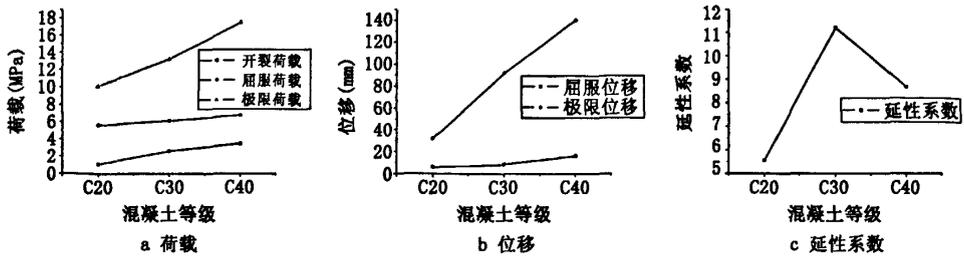


图2 混凝土等级影响

Fig.2 Effect of concrete grade

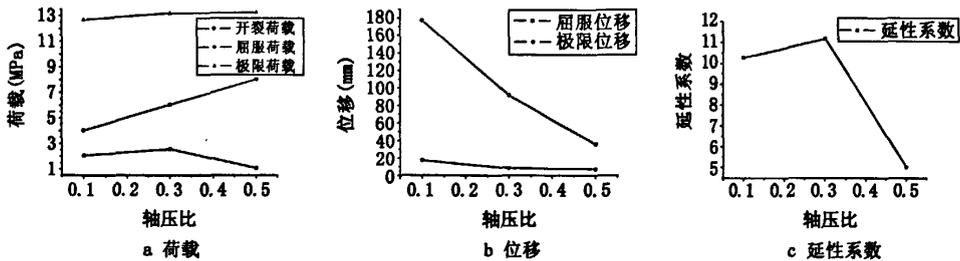


图3 轴压比影响

Fig.3 Influence of ratio of axial compression

### 3.1 承载能力分析

无暗柱墙体和 C30 墙体数据的对比,加暗柱的墙体由于箍筋的约束和纵筋面积的增大使混凝土剪力墙的屈服荷载由 5 550 000Pa 增加到 6 049 500Pa,提高了 9% 的强度。极限荷载由 1 151 4500Pa 增加至 13 222 500 Pa,明显提高了 15%。由于混凝土的开裂荷载由混凝土的抗拉强度决定,所以同标号墙体的开裂荷载没有因为暗柱而变化。

通过对图 2a 的分析,混凝土等级对于短肢剪力墙的影响显著。通过提高混凝土的等级,混凝土的抗压及抗拉强度都有了相应的提高,从而墙体的开裂荷载,屈服荷载,及极限荷载都有了相应的提高,单从承载力角度考虑,通过提高混凝土的等级来提高墙体抵抗水平力的能力是十分有效的。

通过对图 3a 的分析和比较,轴压比在一定范围内时,由于轴压力在短肢剪力墙体系截面上产生压应力,因此可以抵消截面受拉一侧拉应力,使混凝土和钢筋所受拉应力减小,因而可以提高试件的承载力。轴压比 0.1 到 0.3 时承载力得到了提升,当轴压比再提高到 0.5 时,承载力也不再明显增长。而屈服强度在提高轴压比的同时有了显

著的提高,屈服强度的提高使墙体更加可靠。由于轴向压力的作用,轴压比过大会导致根部混凝土在压力下开裂,从而降低了整个墙体的开裂荷载,可以看出轴压比为 0.3 时最为有利。

### 3.2 变形能力分析

试件最大位移与屈服位移的比值能够体现试件延性的大小。其比值越大,试件延性性能就越好。外力作用下其变形能力越强,消耗的能量也就越大。由表 2 中无暗柱墙体和 C30 时墙体数据的对比,墙体暗柱的存在对于屈服位移没有太大的变化,但是极限位移有了一定程度的提高,其延性系数也得到了提高,说明暗柱能够有效改善墙体的抗震性能。

由图 2b 混凝土等级从 C20 提高到 C40,最大位移值从 31.8mm 增大到 139.6mm。曲线呈上升趋势,说明混凝土等级的增加能显著提高钢筋混凝土短肢剪力墙结构体系的变形能力。结合图 2c 可以看出在混凝土取 C30 时延性系数最大,墙体的延性是最好的。

通过对图 3b 的分析,随着轴压比的提高,轴向压力越来越大,墙体的极限位移越来越小,也就是在压力增大的情况下,墙体的延性系数急剧减小,也就是说墙体的塑性随着轴压(下转第 50 页)

到最外圈环向支撑进入塑性,此时辐射桁架等于失去了所有的平面外支撑,整个结构成为松散的辐射桁架单体,失去整体承载能力。如极限状态的应力云图(图7)所示,此时辐射桁架大部分构件仍然处于弹性阶段,因此决定浅壳结构整体承载能力的关键因素是环向支撑的强度,而非桁架本身的强度。

通过弹塑性极限承载力可知,结构是否失效不一定由失稳来判断,也有可能由材料的破坏导致结构失效。上述分析表明,结构在正常使用情况下具有足够的安全储备。

## 5 结论

1) 预应力钢桁架结构具有明显的壳体结构受力特征,灵活运用滑动支座可以释放结构的水平推力,合理布置拉索使结构成为自平衡体系。该结构具有良好的传力体系及整体承载能力。

2) 对于预应力张拉结构,尽管加大预拉力可以有效控制结构竖向位移,但会导致杆件内力增大,因此不一定为最优方法。对于大跨结构可采用预起拱的方法来调节竖向位移幅值,但要确保拉索在各种不利荷载工况下均不松弛,且有一定

余留拉力。

3) 屋面采用柔性支撑,满足结构的承载力要求,且节省钢材,但后续分析表明,该做法降低结构的抗扭转能力,在设计时需慎重考虑。

4) 结构的失效由稳定和材料破坏双重控制,必须进行稳定性与弹塑性分析才能真正了解结构的破坏机制。对于大跨浅壳结构,经常是材料破坏起控制作用,且塑性发展规律一般为环向支撑体系从内向外破坏,最后使完整结构成为互不联系的单榀孤立桁架。

## 参考文献:

- [1] 美国 ANSYS 有限公司. ANSYS 实用手册[M].北京:科学出版社,2000.
- [2] 康晓菊,丁洁民,何志军.北京奥运会乒乓球馆屋盖结构的弹塑性极限承载力分析[J].结构工程师,2005,21(6):8-11.
- [3] 丁洁民,何志军,康晓菊.2008 奥运乒乓球馆预应力钢屋盖非线性分析与研究[J].同济大学学报(自然科学版),2007,35(7):871-875.
- [4] 马洪涛.南通市体育会展中心铸钢节点模型的非线性有限元分析[J].建筑钢结构进展,2007,9(2):38-42.

(责任编辑 刘存英)

(上接第 42 页)

比的提高而显著的降低(图 3c),轴压比高的短肢剪力墙的开裂荷载、屈服荷载和极限承载力要比轴压比低的短肢剪力墙大,但延性和耗能能力要比后者小;其中轴压比为 0.3 左右的短肢剪力墙试体,综合性能较好,因此建议短肢剪力墙的轴压比应控制在 0.3 左右。

## 4 结论

1) 分离式建模方式可以更精确地模拟短肢墙的结构形态,进而了解短肢墙钢应力分布,可以对短肢墙的破坏形态进行更为准确和精确的分析。

2) 加暗柱可以有效改善短肢剪力墙承受水平荷载的能力,并提高其抗震性能。

3) 当轴压比为 0.3 时,结构的延性最好,对抗震最有利,结构设计中尽量将其控制在 0.3 左右。

4) 随着混凝土等级的增加,T形短肢剪力墙的

开裂荷载、屈服荷载和极限荷载最大位移都持续增加,但延性性能先增加后减小。混凝土等级达到一定值后,试件承载能力将继续增加,但其变形能力却减小了。混凝土强度为 C30 时,T形短肢剪力墙试件的承载能力、变形及延性性能较好。

## 参考文献:

- [1] 胡启平,张华,许瑞萍,等.框架-剪力墙-薄壁筒斜交结构分析的初参数法[J].河北建筑科技学院学报,2004,21(3):37-41.
- [2] 陆新征,江见鲸.用 ANSYS Solid 65 单元分析混凝土组合构件复杂应力[J].建筑结构,2003,33(6):22-24.
- [3] 张颖.短肢剪力墙结构的弹塑性性能研究[J].四川建筑,2007,(5):197-199.
- [4] 王建祥.T形短肢剪力墙静力性能仿真分析及优化[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2006.
- [5] JGJ3-2002,高层建筑混凝土结构设计规程[S].
- [6] GB50010-2002,混凝土结构设计规范[S].

(责任编辑 闫纯有)