

底部框架-抗震墙砌体结构静力弹塑性分析

李 琪¹ ,顾荣蓉¹ ,杨鼎宜¹ ,王德信²

(1.扬州大学建筑工程学院 ,江苏 扬州 225009 ;2.河海大学土木工程学院 ,江苏 南京 210098)

摘要 :为了得到底部框架-抗震墙砌体结构在地震作用下的弹塑性反应 ,研究了这种结构水平位移模式和水平力模式的分布形式 ,并采用倒三角分布、均匀分布、倒三角 + 均匀分布等加载形式对结构进行了静力弹塑性分析 .结果表明 :水平力模式比位移模式更能准确反映不同地震强度作用下底部框架-抗震墙砌体结构的变形特征 .随着地震强度的增加 ,均匀分布水平力模式的静力弹塑性分析结果更接近时程分析结果 .

关键词 :底部框架-抗震墙砌体结构 ;水平力模式 ;水平位移模式 ;静力弹塑性分析

中图分类号 : TU311 **文献标识码 :** A **文章编号 :** 1000-1980(2007)01-0051-04

底部框架-抗震墙砌体结构(以下简称底框结构)抗震性能较差 .底框结构整体抗震性能既取决于底层框架和上部抗震墙各自的抗震能力 ,又取决于底部与上部结构抗侧力刚度和抗震能力的匹配程度^[1] .静力弹塑性分析(也称 Pushover 分析)方法可应用于现有结构和设计方案的抗侧力计算以及结构抗震能力的评估 .为了得到底部框架-抗震墙砌体结构在地震作用下的弹塑性反应 ,本文研究了这种结构的水平位移模式和水平力模式的分布形式 ,并采用倒三角分布、均匀分布、倒三角 + 均匀分布等加载方式(图 1)对该结构进行了静力弹塑性分析 .

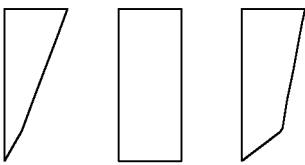


图 1 加载方式的 3 种分布
Fig.1 Three kinds of load distributions

1 静力弹塑性分析方法的基本原理和局限性

静力弹塑性分析方法的基本原理是 :首先对结构施加竖向荷载和某种分布形式的水平荷载或位移 ,逐级增大水平荷载或位移后构件逐步屈服并进入塑性状态 ,当结构成为机构或达到目标位移时停止加载 ,然后对结构进行抗震性能评估并通过评估来判断结构在该水平地震作用下是否满足功能要求 .对于高度不是很高的建筑结构来说 ,地震反应以第一振型为主 ,可用等效单自由度体系代替原结构 ,通过位移形状向量将结构的多自由度体系(MDOF)等效为单自由度体系(SDOF) .这样的等效虽然公式并不唯一 ,但等效原则大致相同 ,即均通过结构 MDOF 的动力方程进行等效 .

地震作用下 MDOF 体系的动力方程为

$$M\ddot{y} + C\dot{y} + F(y) = -MI\ddot{y}_0 \tag{1}$$

式中 : M 、 C ——结构质量和阻尼矩阵 ; $F(y)$ ——名义上的结构弹塑性恢复力 ; y ——结构水平位移向量 ; I ——单位向量 ; $\ddot{y}_0$ ——地震波加速度时程 .

式(1)可写成等效单自由度体系的动力方程^[2]

$$M_e\ddot{y}_e + C_e\dot{y}_e + F_e = -M_e\ddot{y}_0 \tag{2}$$

其中 M_e 、 C_e 、 F_e 、 y_e 分别为等效质量、等效阻尼、等效恢复力和等效位移 .

通过逐步单调加载可得到结构每一步的基底剪力和顶点位移的关系 .此关系可等效为 SDOF 的恢复力关系曲线 .

在静力弹塑性分析中 ,逐级施加的水平侧向力或侧向位移的分布模式称为水平加载方式 .水平加载方式

有水平力和水平位移 2 种模式^[3-7]. 水平加载方式既能反映地震作用下各结构层惯性力的分布特征,又能反映地震作用下结构的位移状况. 在强震作用下,构件屈服进入弹塑性状态,结构的自振周期、惯性力都随之发生变化,任何一种水平加载方式都不可能完全反映结构的变形和受力要求. 文献[2]认为,对于框架结构,水平位移模式比水平力模式更能全面反映不同地震强度作用下的结构受力特征. 文献[8]指出,框架结构的侧向力分布模式对静力弹塑性分析结果有很大影响. 本文应用 CANNY 程序^[9]对底框结构进行动力时程分析和静力弹塑性分析,以研究水平力模式和水平位移模式下结构的受力和变形特征,分析结构的抗震性能.

2 算例及分析方法

算例结构平面和剖面如图 2 所示. 设防烈度为 7 度(0.15g),Ⅱ类场地. 底层钢筋混凝土抗震墙厚 200 mm,框架柱截面尺寸为 450 mm×450 mm, x 方向梁截面尺寸为 300 mm×550 mm, y 方向梁截面尺寸为 300 mm×600 mm,纵向连系梁截面尺寸为 300 mm×450 mm. 框架梁柱及抗震墙的混凝土强度等级为 C30,上部砌体抗震墙厚 240 mm,砖强度等级为 MU10,砂浆强度等级为 M7.5. 楼、屋盖采用现浇钢筋混凝土楼板,过渡层楼板厚 130 mm,其余楼层板厚 100 mm. 底层层高 4.2 m,其余 4 层层高均为 2.8 m.

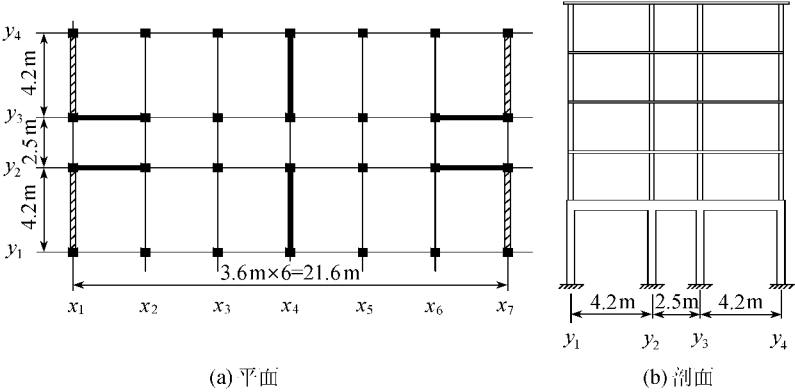


图 2 算例结构的平面和剖面

Fig.2 Horizontal and vertical profiles of a masonry structure in a case study

输入 El Centru(NS),Kob(NS)和 Taf(NS) 3 种地震波分别进行小震、中震和大震(对应的地震加速度为 0.055 m/s², 0.15 m/s² 和 0.31 m/s²)作用下的弹塑性时程分析. 结构计算采用三维空间模型,梁单元分析采用单轴弹簧模型,柱和墙单元分析采用多弹簧模型,恢复力计算采用刚度衰减三折线模型^①. 同时分别采用倒三角分布($u=(1\ 0.82\ 0.64\ 0.45\ 0.27\ 0)$)、均匀分布($u=(1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1)$)、倒三角+均匀分布($u=(1\ 0.91\ 0.82\ 0.73\ 0.64\ 0)$)的力模式和位移模式共 6 种加载方式进行静力弹塑性分析,并将该分析结果与时程分析结果进行比较. 其中,倒三角+均匀分布模式两者的大小按 1:1 的比例进行组合.

3 分析结果

不同分布形式的力模式和位移模式的静力弹塑性分析结果与时程分析(El Centro 波)结果的比较如图 3~5 所示. 由图 3~5 可知,中震和大震时,各种力模式的静力弹塑性分析结果与时程分析结果很接近,即水平力

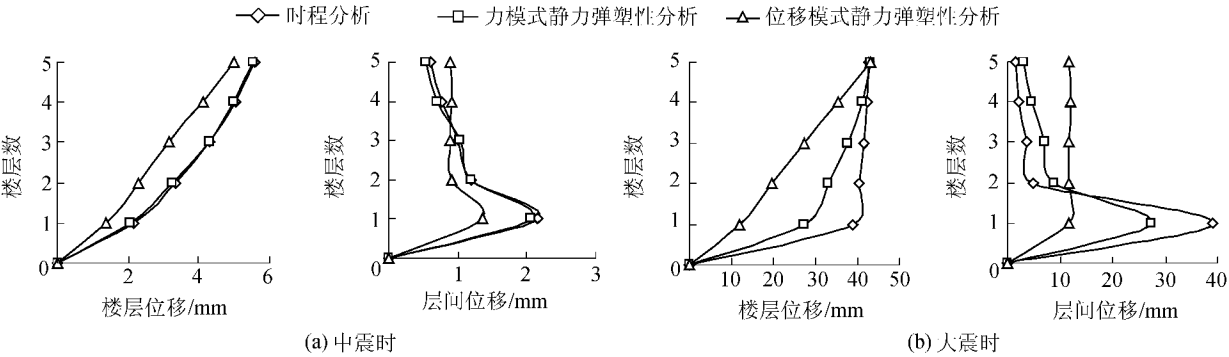


图 3 倒三角分布形式静力弹塑性分析结果与时程分析结果的比较

Fig.3 Comparison of results of pushover analysis of a masonry structure in inverted-triangular load distribution with that of time history analysis

① LI Kang-ning. Three-dimensional nonlinear static/dynamic structural analysis computer program-CANNY Users' Manual and Technical Manual. Canada: 2002.

模式比位移模式更能准确反映不同地震强度作用下的结构变形特征.中震和大震时 3 种力模式分布形式的静力弹塑性分析结果与时程分析结果的比较如图 6 所示.

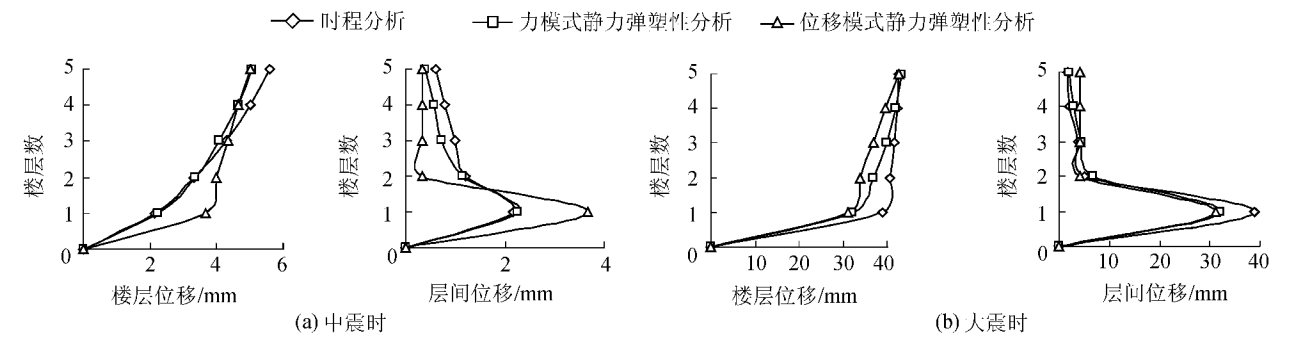


图 4 均匀分布形式静力弹塑性分析结果与时程分析结果的比较
Fig.4 Comparison of result of pushover analysis of a masonry structure in uniform load distribution with that of time history analysis

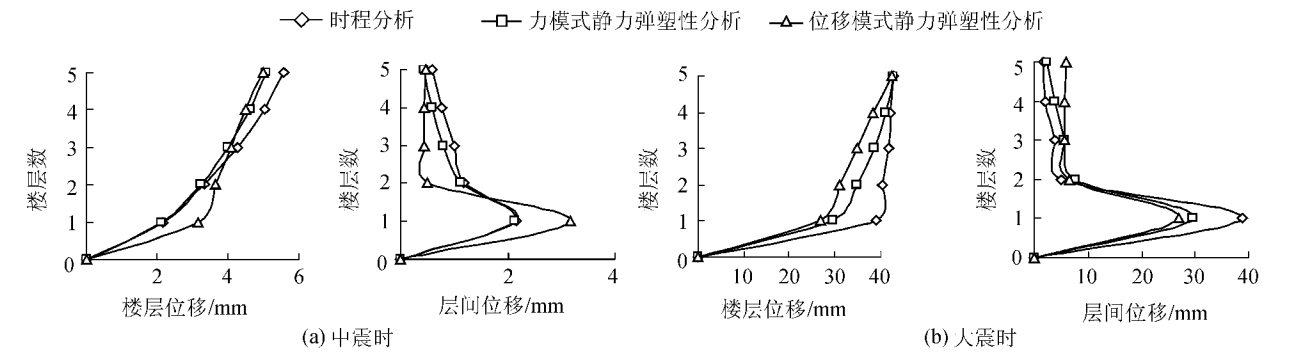


图 5 倒三角+均匀分布形式静力弹塑性分析结果与时程分析结果的比较
Fig.5 Comparison of result of pushover analysis of a masonry structure in combination of inverted-triangular and uniform load distributions with that of time history analysis

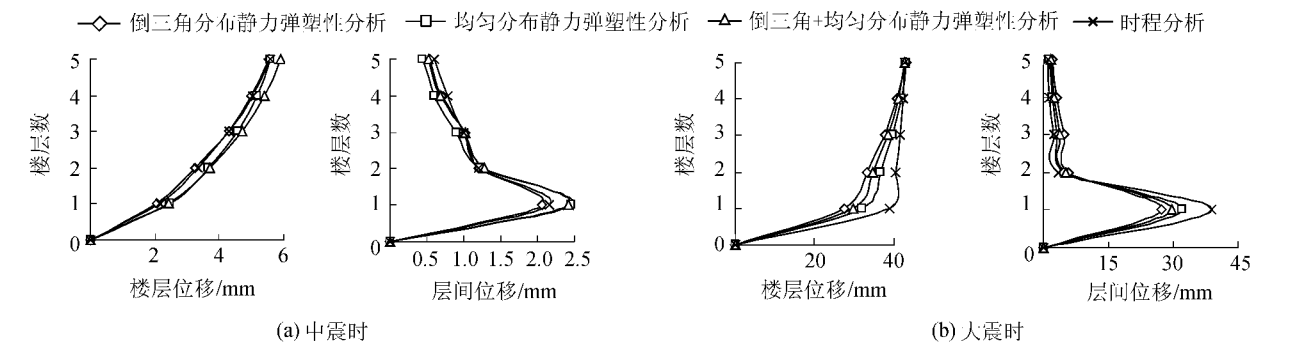


图 6 水平力模式下 3 种分布形式静力弹塑性分析结果与时程分析结果的比较
Fig.6 Comparison of results of pushover analysis of a masonry structure in three kinds of horizontal load-patterns with that of time history analysis

由图 6 可知:中震时,倒三角分布力模式的静力弹塑性分析结果与时程分析结果非常接近;大震时,均匀分布力模式的静力弹塑性分析结果最接近于时程分析结果.因为随着地震强度的增加,底框会出现严重的柱铰屈服机制(图 7),而上部抗震墙刚度降低不大,各楼层水平地震力变化有限,所以结构的楼层侧移更接近均匀分布形式.

4 结 语

- a. 在对底部框架-抗震墙砌体结构进行静力弹塑性分析时,水平力模式比位移模式更能准确反映不同地震强度作用下的结构变形特征.
- b. 在水平力模式中,中震时宜采用倒三角分布力模式,而随着地震强度的增加,均匀分布力模式的分析结果越来越接近时程分析结果.因此,在进行底部框架-抗震墙砌体结构的设计计算时应采用均匀分布力模式进行静力弹塑性分析.

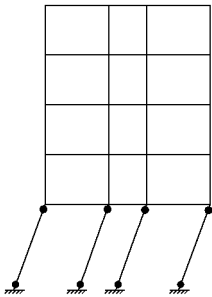


图7 柱铰屈服机制
Fig.7 Column yielding mechanism

参考文献:

[1] 郑山锁,薛建阳.底部框剪砌体房屋抗震分析与设计[M].北京:中国建材工业出版社,2002:1-5.

[2] 李琪,顾荣蓉,王德信.基于位移模式静力弹塑性方法的研究[J].河海大学学报:自然科学版,2005,33(4):688-691.

[3] 杨溥,李英民,王亚勇,等.结构静力弹塑性分析(pushover)方法的改进[J].建筑结构学报,2000,21(1):44-51.

[4] 尹华伟,汪梦甫,周锡元.结构静力弹塑性分析方法的研究和改进[J].工程力学,2003,20(4):45-49.

[5] KRAWINKLER H,SENEVIRATNA G D P K.Pro and cons of a pushover analysis of seismic performance evaluation[J].Engineering Structure,1998,20:452-464.

[6] 魏巍,冯启民.几种 pushover 分析方法对比研究[J].地震工程与工程振动,2002,22(4):66-73.

[7] GUPTA B,SASHI K.Adaptive spectra-based pushover procedure for seismic evaluation of structures[J].Earthquake Spectra,2000(2):367-391.

[8] 熊向阳,戚震华.侧向荷载分布方式对静力弹塑性分析结果的影响[J].建筑科学,2001,17(5):8-13.

Pushover analysis of masonry structure with frame-shear wall at the bottom

LI Qi¹, GU Rong-rong¹, YANG Ding-yi¹, WANG De-xin²
(1. College of Architectural Science & Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China;
2. College of Civil Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: A study was performed on the horizontal displacement-pattern and horizontal load-pattern of the masonry structure with frame-shear wall at the bottom to investigate the elasto-plastic responses of the structure to earthquakes. The inverted-triangular load distribution, uniform load distribution and combination of the two kinds of load distributions were adopted in the pushover analysis. It is shown that the horizontal load-pattern is more accurate than the horizontal displacement-pattern in reflecting the deformation characteristics of the masonry structure under different intensities of earthquakes, and that the result of pushover analysis of the masonry structure with horizontal load in uniform distribution is much close to that of time history analysis as the earthquake intensity increases.

Key words: masonry structure with frame-shear wall at the bottom; horizontal load-pattern; horizontal displacement-pattern; pushover analysis