

文章编号 :1007 - 649X(2001)01 - 0074 - 04

多遇地震下砖砌体结构的随机性分析

赵 雷,马亚丽,王东炜,李广慧

(郑州工业大学土木建筑工程学院,河南 郑州 450002)

摘 要 :运用可靠度理论,依据我国现有的砖砌体结构所采用的设计规范,建立了抗震和非抗震的砖砌体墙的试验模型,采用 Monte - Carlo 随机模拟法,在水平地震作用下对这两类模型进行了试验分析,根据统计学原理,总结出砖砌体结构墙的失效部位主要发生在墙洞口的角部的结论和及其原因,并验证了有约束砌体的共同工作系数等结果.

关键词 :砌体结构 ;可靠度 ;约束 ;失效 ;蒙特卡罗法

中图分类号 :TU 311.2 文献标识码 :A

0 引言

建筑工程的可靠度是对建筑工程进行系统性、综合性评估以及结构设计与维修的重要指标,其可靠性分析具有十分重要的理论意义和工程实用价值.砌体结构在我国有广泛的应用,特别是民用住宅.对砌体结构失效规律进行研究,发现砌体结构的失效特征,对其进行优化设计,抗震加固和震后维修等都具有重要意义.文献[1]曾对 RC 框架结构的地震随机反应,特别是地震作用下的失效相关性问题的进行了研究,并取得了初步成果.

本文通过对两类 4 种砌体墙结构进行的大量的随机分析,并结合已有的砌体结构抗震试验和地震灾害资料,总结出了抗震设计和非抗震设计砌体结构在多遇地震作用下的部分失效规律.

1 研究方法

本文采用 Monte - Carlo 随机模拟法进行数字模拟分析,具体分析方法和参数可参看文献[2],这里仅介绍整个分析过程.多遇地震下砌体结构的失效规律分析过程大致分为三个阶段.

1.1 结构设计阶段

针对砌体墙结构的特点,按墙中开洞的大小和位置,把砌体墙分为 4 种类型:小开口整体墙、联肢墙、短柱墙、壁式框架.分别计算这 4 种墙在

抗震设计(有圈梁、构造柱协同工作,即有约束)的情况和非抗震设计(没有圈梁、构造柱协同工作,即无约束)情况下的多遇地震反应.墙体的设计分别根据《砌体结构设计规范(GBJ 3 - 88)》和《砖石结构设计规范(GBJ 3 - 73)》.

1.2 结构分析阶段

1.2.1 程序的研制

砌体结构在多遇地震下处于弹性阶段,不必考虑其弹塑性性能,因此我们采用线性有限元方法编制了砌体结构随机分析程序,其中随机性是通过调用随机数发生器来完成的.墙体所受荷载根据实际受力情况进行力学简化,以简化后的力学模型做为分析对象.

1.2.2 失效判定准则

根据强度失效准则进行判定,单元效应样本大于单元抗力样本时,对单元作失效统计,否则对单元作可靠统计.关于地震作用下砌体结构受剪承载力计算方法有 2 种:一种是按主拉应力理论,另一种是按剪切 - 摩擦强度理论.根据文献[3]的论述,认为对于砖砌体宜采用主拉应力理论.我们采用了主拉应力理论来确定单元的承载力,即单元抗力.

1.2.3 可能失效单元的确定

在随机试验中,出现过失效样本的单元称为“可能失效单元”.

收稿日期 2000 - 11 - 02 ;修订日期 2000 - 12 - 25

基金项目 国家自然科学基金资助项目(59608008)

作者简介 赵 雷(1969 -)男,河南省郑州市人,郑州工业大学工程师,硕士研究生,主要从事建筑结构与系统可靠性方面的研究.

1.2.4 随机模拟试验

在上述阶段的基础上,对于给定设计参数(包括截面尺寸、体积质量、弹性模量、抗拉强度等)和实际作用荷载信息的砌体结构,根据相应的均值、均差参数,分别调用这些参数相应的随机数发生器,产生相应的随机数值之后,通过对砌体结构进行随机反应分析,即可实现砌体结构的模拟。

1.2.5 可靠性分析

利用 Monte - Carlo 随机模拟法进行上述模拟试验后,可得到各单元的抗力 R 和效应 S 的均值,并进一步求得抗力和效应的标准差 σ_r 和 σ_s 。当试验次数满足统计试验次数时,利用一次二阶矩理论就可求得各单元稳定的可靠度指标 β 。

需要说明的是,由于结构实际抗力 R 和荷载效应 S 并不严格服从正态分布或对数正态分布,故由一次二阶矩理论算出的可靠指标 β 只具有运算的意义,仅在随机模拟试验中充当一个控制试验进程的量化标准。

1.3 失效规律分析阶段

在完成结构的随机试验以后,通过对失效样本单元的确认与编号,以及单元开裂位置和开裂角度的分析,得出砌体结构的统计失效规律。

2 试验模型简介

考虑到抗震设计结构与非抗震设计结构的可比性,本文主要对不超过 6 层的砌体砖墙结构进行了随机模拟试验。模型分为 6 层小洞口整体墙、

6 层联肢墙、4 层短柱墙和 4 层壁式框架。地震参数暂取为 6 度远震,II 类场地土等常用值。

此外,由《砌体结构设计规范(GBJ 3 - 88)》和《砖石结构设计规范(GBJ 3 - 73)》相比较可知,两者间的差异性主要在圈梁,特别是构造柱的设计方面。对 4 种墙体分为有圈梁、构造柱和没有圈梁、构造柱 2 种情况分别进行试验,其中圈梁为层层加,截面尺寸 $b \times h = 0.24\text{m} \times 0.3\text{m}$,构造柱设在横墙墙体两侧,截面尺寸 $b \times h = 0.24\text{m} \times 0.3\text{m}$ 。为使试验结果简化,墙体的设计均为对称设计、各类型墙的层高均为 3.3 m。各类型墙的洞口面积如下:小洞口:1.5 m \times 1.5 m;联肢墙:2.4 m \times 2.4 m;短柱墙:1.8 m \times 0.9 m;壁式框架:1.5 m \times 2.1 m。

砌体结构具体荷载信息按以下原则选取:①水平荷载,仅考虑水平地震荷载,暂不考虑风载;地震荷载按底部剪力法求得,加载方向自左向右。②竖向荷载,竖向荷载考虑恒载、活载和自重。

3 算例

图形 1 ~ 8 是随机试验结果的统计和归纳情况,显示了在多遇地震下,可能失效单元的位置及其开裂方向的情况。该结果是用我们编写的 FORTRAN 软件画出的。图 1 ~ 图 4 为不设圈梁和构造柱的情况,图 5 ~ 图 8 为设圈梁和构造柱的情况,表 1 为各模型中失效单元的失效概率和可靠指标。

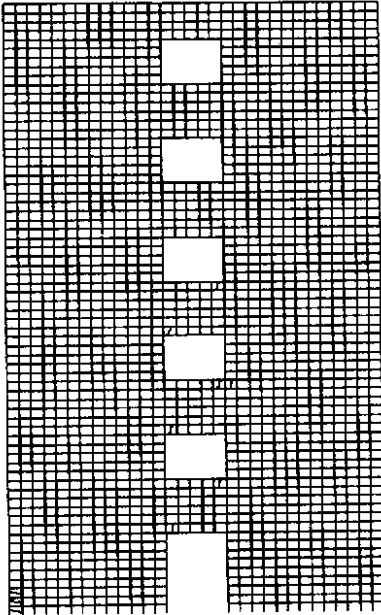


图 1 无圈梁构造柱小开口墙

Fig.1 Non-restrained small open wall

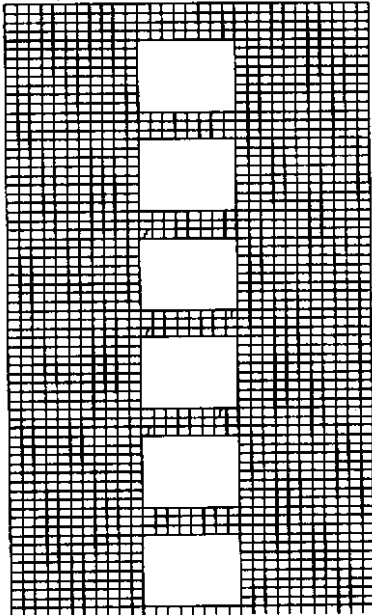


图 2 无圈梁构造柱联肢墙

Fig.2 Non-restrained linked-branch wall

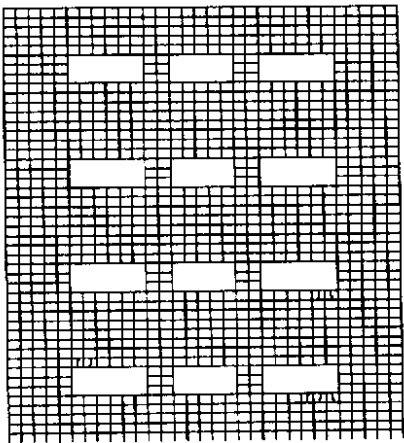


图 3 无圈梁构造柱短柱墙

Fig.3 Non - restrained short column wall

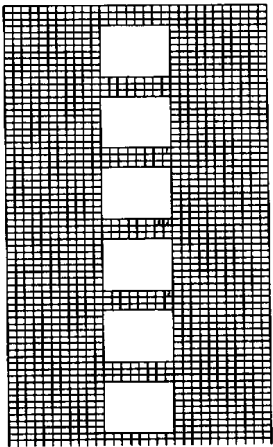


图 4 无圈梁构造柱壁式框架

Fig.4 Non - restrained frame wall

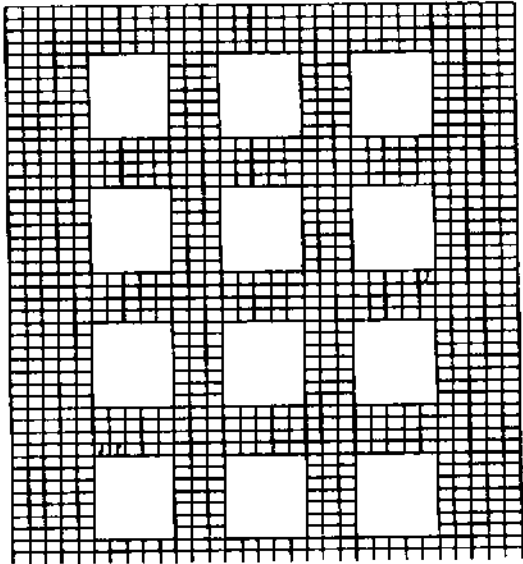


图 5 有圈梁构造柱小开口墙

Fig.5 Restrained small open wall

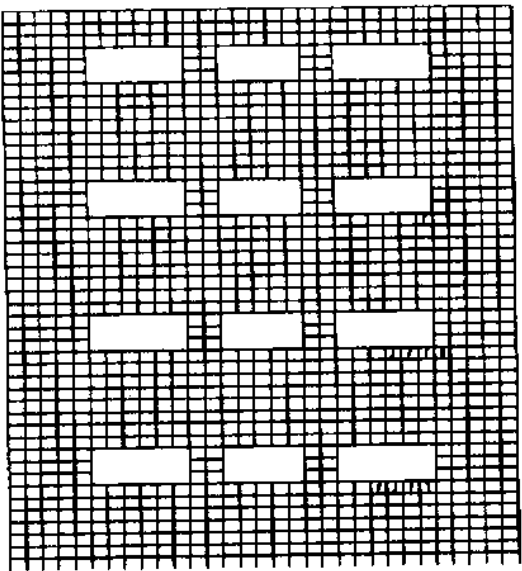


图 6 有圈梁构造柱联肢墙

Fig.6 Restrained linked - branch wall

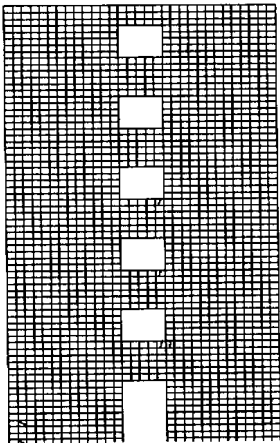


图 7 有圈梁构造柱短柱墙

Fig.7 Restrained short column wall

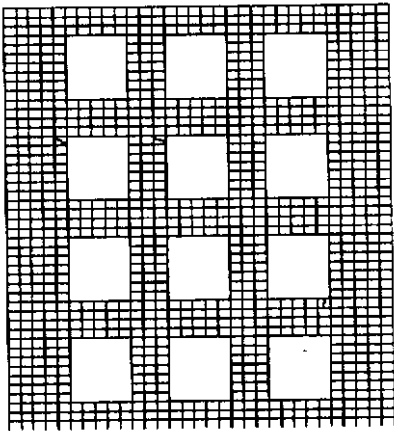


图 8 有圈梁构造柱的壁式框架

Fig.8 Restrained frame wall

表 1 试验模型的失效概率与可靠指标

Table 1 Probability of failure and Raliability index of test models

图号	失效单元编码	失效概率 P_f	可靠指标 β	图号	失效单元编号	失效概率 P_f	可靠指标 β
图 1	904	0.0457	1.923	图 7	451	0.0450	1.642
	1055	0.0610	1.568		739	0.0300	2.055
	1220	0.1323	1.446		740	0.1050	1.080
	1221	0.0120	2.335		741	0.1375	0.942
	1371	0.0843	1.376		742	0.0305	1.773
	1536	0.0670	1.465		1028	0.0490	1.781
	1687	0.0157	2.095		1029	0.0950	1.212
	1783	0.0127	2.839		1030	0.1105	1.005
	1796	0.0243	2.513		1031	0.0955	1.204
	1809	0.0317	2.243				
图 2	634	0.0425	1.676	图 6	551	0.0215	1.982
	847	0.0400	1.800		816	0.0465	1.832
	900	0.1870	1.054		817	0.0740	1.477
	112	0.0115	1.981		1083	0.0480	1.717
	1166	0.0515	1.454				
图 3	802	0.1160	1.618	图 5	873	0.07533	1.516
	803	0.1245	1.327		1189	0.09167	1.207
	1000	0.0100	1.502		1505	0.08900	1.116
	1001	0.0435	1.837		1506	0.03633	1.750
	1091	0.0230	1.662		1753	0.01533	2.596
	1092	0.0890	1.546		1792	0.01533	2.934
	1093	0.0815	1.545				
图 4	498	0.0130	2.270	图 8	334	0.0140	2.031
	807	0.1310	1.261		367	0.0205	1.386
	808	0.0120	2.221		703	0.0505	1.228

4 试验结果

通过对上述各试验模型的试验结果的统计、归纳和分析,得出了多遇地震下砌体结构的部分失效规律如下:

(1)多遇地震下砌体结构的失效单元多出现在洞口的角部,开裂方向与水平轴成 45°或 135°.

(2)小洞口整体墙的根部因受弯矩较大,易发生开裂.

(3)联肢墙的开裂位置出现在结构所形成的柔梁的两端,而短柱墙的开裂单元并未发生在短柱内.

(4)砌体结构在加了圈梁和构造柱后可提高其整体强度的 10%~20%.此结论曾在以前的实验中^[4]得到验证.在本文的模拟试验中,圈梁、构造柱和砌体的共同工作系数 $\eta=0.25$ 的结论^[5]亦

得到验证.

(5)加了圈梁和构造柱后,砌体单元开裂的位置和形式变化不大.当圈梁代过梁时,砌体洞口上部的开裂受到控制.

参考文献:

[1] 傅方,李广慧,王东炜.截面验算水平下 RC 框架随机分析中的若干问题[J]. 郑州工业大学学报, 1998, 19(2):14-19.

[2] 傅方. RC 框架结构失效相关性及其可靠性分析[D]. 郑州: 郑州工业大学, 1998.

[3] 李宏男,王前信. 建筑抗震设计原理[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1995.

[4] 杨玉成,杨柳. 多层砖房的地震破坏和抗裂抗倒设计[M]. 北京: 地震出版社, 1981.

[5] 周新刚. 带构造柱砖墙的延性分析[M]. 北京: 工业抗震出版社, 1995.

(上接 77 页)

Study on the Failure Law of Masonry Structure under Small Earthquake

ZHAO Lei , MA Ya - li , WANG Dong - wei , LI Guang - hui

(College of Civil & Building Engineering Zhengzhou University of Technology Zhengzhou 450002 ,China)

Abstract :This paper takes advantage of theory of reliability , researching the failure laws of masonry structure under small earthquakes , especially facing to be utilized extensively in civil residence and according to two codes building in our country . In order to present a significant analysis basis for the theory reliability analysis , seismic strengthening and postearthquake repairing , we set up two kinds structure models - the aseismic and the non - aseismic masonry wallls , analyzing failure position and causes of masonry by Monte - Carlo simulation method .

Key words :masonry structure ; reliability ; restriction ; failure ; Monte - Carlo random simulation