

文章编号: 1000-5013(2012)01-0074-05

城市群体建筑物的震害预测

王毅恒, 李升才

(华侨大学 土木工程学院, 福建 厦门 361021)

摘要: 从福建宁德市区建筑群体中选取具有典型破坏特征的建筑物作为样本, 采用简化的评价方法并结合结构模型建立震害预测样本库. 在建立样本库基础上, 将其按不同结构类型分类, 提取建筑物结构类型、高度、建设年代、现状质量和用途等主要震害影响因子, 类比出易损性单元格内群体建筑的抗震能力. 通过分析统计求得规划区内房屋的震害矩阵, 并求取得预测建筑物的震害指数进行震害类比预测. 分析统计结果表明: 类比预测法对宁德市群体建筑物的震害预测具有良好的可靠性.

关键词: 震害预测; 群体建筑物; 类比预测法; 样本库; 宁德市

中图分类号: TU 352.11; TU 984.116(257)

文献标志码: A

地震是威胁人民生命财产的严重自然灾害之一. 城市地震具有破坏力大和突发性强等特点, 不仅给居民带来巨大的人员伤亡和经济损失, 而且严重干扰城市正常的生活生产. 由于目前技术有限, 人们并不能准确预测地震发生的时间和地点, 只能预测在不同等级的地震作用下, 城市建筑物的破坏程度; 然后, 找出城市的抗震薄弱环节, 有目的的对城市建筑进行抗震加固, 将地震产生的损失降到最低. 福建是地震活动水平较高的地区, 因此, 有必要对福建省城市群体建筑物进行震害预测, 为编制城市抗震防灾规划提供依据. 福建宁德市区建筑结构类型多样、单体建筑数量巨大, 采用常用的单体震害预测方法, 如当量统计法、专家评估法、模糊类比法等, 需要单体建筑物详尽的结构特性参数, 才能确保计算结果的精度. 这些方法需要对各种结构类型的建筑物进行抽样后逐栋计算, 最后统计出整个城市的易损性矩阵, 现场调查的工作量很大, 给后面震害预测工作带来了很大的困难. 针对这一问题, 本文采用群体建筑类比预测法对宁德市群体建筑物震害进行预测.

1 群体建筑样本库的建立

1.1 样本库的简化评价方法

1.1.1 砖混结构 规划区内砖混结构的样本库抽样达到建筑总量的 5%. 利用抽样出的样本, 进行砖混结构样本库的建立. 样本库中简化评价的样本是类比法群体建筑震害预测的基础. 采用简化评价方法计算出砖混结构样本的 $6^\circ \sim 9^\circ$ 的震害指数(D_s), 即

$$\left. \begin{aligned} D_s(6) &= 1.864 - 0.007R_s, & D_s(7) &= 1.977 - 0.006R_s, \\ D_s(8) &= 1.975 - 0.005R_s, & D_s(9) &= 1.866 - 0.004R_s. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式(1)中: 震害指数(D_s)后括号中数字 6~9 分别表示 $6^\circ \sim 9^\circ$ 震害. 结构震害等级和相应的震害指数, 如表 1 所示.

采用楼层单位面积的平均抗剪强度作为砖结构房屋的抗震能力指标, 即抗力(R_s)的计算式为

$$R_s = \alpha \frac{\sum F_k}{2A_s} R_c. \quad (2)$$

式(2)中: F_k 为第 s 层楼第 k 片墙的断面积; A_s 为第 s 层楼的建筑面积; α 为楼层地震剪力折算系数, $\alpha =$

收稿日期: 2011-05-19

通信作者: 李升才(1960-), 男, 教授, 主要从事结构抗震的研究. E-mail: lsc50605@hqu.edu.cn.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50948036)

$\frac{2n+1}{3}\sum_{s=1}^n i$, 其中 i 为楼层序号, s 为计算楼层序号, n 为总楼层数; R_c 为墙体抗剪强度, $R_c=0.14(n-s+1)+0.14R_m+0.5$.

表 1 结构震害等级和相应的震害指数

Tab. 1 Earthquake damage classes and corresponding structural damage index

震害等级	宏观现象	震害指数范围
毁坏	大部分构件为Ⅰ级或Ⅱ级破坏, 结构已濒于倒塌或已倒塌, 已无修复可能, 失去了结构设计时的预定功能	$0.85 < D_s$
严重破坏	大部构件为Ⅱ级破坏, 个别构件有Ⅰ级破坏, 难以修复	$0.55 < D_s \leq 0.85$
中等破坏	部分构件为Ⅲ级破坏, 个别构件有Ⅱ级破坏现象, 经修复仍可恢复原设计的功能	$0.30 < D_s \leq 0.55$
轻微破坏	部分构件为Ⅳ级破坏, 个别构件有Ⅲ级破坏现象	$0.10 < D_s \leq 0.30$
基本完好	各类构件损坏, 或个别构件有Ⅳ级损坏现象	$0 < D_s \leq 0.10$

1.1.2 钢筋混凝土框-剪结构和框架结构 框剪体系中的剪力墙首先破坏, 这是框-剪结构体系破坏的主要标志. 由此算出剪力墙分担的地震作用及其水平变位, 就可以判断框剪结构体系的破坏程度.

首先, 进行刚度特征值的计算, 即

$$\lambda = H \sqrt{\frac{C}{\beta E_w I_w}}.$$

(3)

式(3)中: β 为框架和剪力墙刚度降低系数, 取现浇结构 $\beta=1$, 装配式结构 $\beta=0.8\sim 0.9$; H 为结构总高; $E_w I_w$ 为剪力墙部分总刚度, 为各片剪力墙刚度之和; C 为框架部分总刚度, 为各框架柱抗侧刚度之和, $C = \sum K_c = \alpha i_c \frac{12}{h^2}$, i_c 为柱的线刚度.

然后, 分别按上述方法计算出层间屈服承载力和层间地震剪力(或弯矩), 确定屈服承载力系数. 第 i 层框架结构屈服承载力系数($\xi_y(i)$)和剪力墙结构屈服承载力系数($\xi_M(i)$)的计算式为

$$\xi_y(i) = V_y(i)/V_e(i), \quad \xi_M(i) = M_{wu}(i)/M_e(i).$$

(4)

薄弱楼层的判别采用 ξ 值最小法, 取求得的承载力系数中最小或较小值所对应的楼层为薄弱层. 楼层的延伸率的计算式为

$$\mu_{\max} = \frac{1}{\sqrt{\xi_{\min}}} \exp(\alpha(1 - \xi_{\min})).$$

(5)

考虑到抗震设防和加固、施工质量、建筑物现状等都对抗震能力有一定的影响, 为了能对建筑物的抗震能力给出综合评定, 需要按修正式 $\mu = (1 + \sum C_i) \mu_{\max}$ 进行修正. 最后, 结构的震害情况按计算的 μ 值参照表 2 进行判断.

表 2 震害等级与延伸率的关系

Tab. 2 Relationship between earthquake damage classes and elongation ratio

结构类型	震害程度				
	基本完好	轻微损坏	中等破坏	严重破坏	倒塌
框架结构	$\mu \leq 1$	$1 < \mu \leq 3$	$3 < \mu \leq 6$	$6 < \mu \leq 10$	$\mu > 10$
框-剪结构 ^①	$\mu \leq 1$	$1 < \mu \leq 1.5$	$1.5 < \mu \leq 3$	$3 < \mu \leq 5$	$\mu > 5$

① 按剪力墙结构计算

1.2 样本库评价结果

城市规划区内的样本数据库主要由每个易损性单元内具有典型破坏特征的建筑物组成, 包括 7 个子数据库, 即钢筋混凝土结构、高层框架剪力墙结构、砖混结构等. 子样本数据库采用结构类型、层高、建设年代、现状质量用途和墙体材料等信息作为类比依据.

在建立样本库的过程中, 首先, 将城市一般建筑物按照结构类型分为钢筋混凝土框架结构、砌体结构、高层框架剪力墙结构、单层厂房等 7 种. 然后, 在城市规划区内进行易损性单元格的划分. 最后, 在易损性单元格内选取具有典型破坏特征的建筑物作为样本, 建立样本库. 由于城市规划区内样本库数量巨

大,在这里只列举出样本库中典型的重要建筑.表 3 为易损性单元格中的部分震害实例样本.

表 3 宁德市区部分震害实例样本

Tab. 3 Samples of earthquake damage in Ningde City urban region

序号	建筑名称	结构类型	设防烈度	破坏情况	所在易损性单元格
1	蕉城区政府办公楼	框架	6	轻微破坏	ND-JIAOBEI-001
2	宁德署前路砖混居民楼	砖混	6	轻微破坏	ND-JIAOBEI-002
3	蕉城区九都卫生院	砖混	6	中等破坏	ND-JIAOBEI-003
4	东桥区建设局办公大楼	框架	7	轻微破坏	ND-ZHANGWAN-029
5	东侨区政府办公大楼	框剪	7	中等破坏	ND-ZHANGWAN-023
6	宁德人民医院门诊大楼	框架	6	基本完好	ND-JIAOBEI-003
7	宁德联通通信大楼	框架	7	中等破坏	ND-ZHANGWAN-015
8	市电力调度指挥中心	框架	6	基本完好	ND-JIAOBEI-004
9	宁德市体育中心	框架	6	基本完好	ND-ZHANGWAN-010
10	宁德实验中学	框架	6	基本完好	ND-ZHANGWAN-011
11	市汽车南站站台楼 A#	框架	6	基本完好	ND-CHENGAN-020
12	宁德学院办公大楼	框架	6	轻微破坏	ND-JIAONAN-007
13	中华畲族宫居民楼	砖混	6	轻微破坏	ND-JINHAN-016

由于规划区内的建筑在建筑平立面布局及建筑材料使用方面有其自身特点,为保证易损性单元中的样本有比较好的代表性,还需要对具有典型破坏特征的建筑物进行抽样调查.调查采用建立结构模型分析和简化评价相结合方法,以提高样本库震害预测的准确性.

2 群体建筑震害特征类比预测

首先,将所有规划区建筑按上述结构类型进行划分;然后,在每个易损性单元格内按不同结构类型利用加权海明距离类比出各建筑的震害指数,根据震害指数进行震害预测.

用 X,Y 分别表示待预测建筑物与样本库中的两幢建筑物,它们的高度(h)分别用 x_1 和 y_1 表示,建设年代分别用 x_2 和 y_2 表示,现状质量分别用 x_3 和 y_3 表示,用途分别用 x_4 和 y_4 表示.定义加权海明距离($d(X,Y)$)来比较两幢建筑物的相似程度,其计算式为

$$d(X,Y)=\sum_{i=1}^4\omega_i\mid x_i-y_i\mid.$$

(6)

式(6)中: $\omega_i(i=1,2,3,4)$ 为权重,表示每个因素对这一问题贡献的大小. x,y 所代表的编码采取同趋向原则确定,如表 4 所示.

利用海明距离公式对建筑物与知识样本库中的所有具有相同结构类型的建筑物进行类比.首先,利用表 4 的编码方案,将规划区内需要类比的建筑根据建设年代、现状质量、高度、用途得出编码的取值.然后,将建筑物的编码和权重代入海明距离公式(6),求出各建筑之间的海明距离.最后,利用建筑物之间海明距离与震害指数之间的线性关系类比出各

表 4 震害因子量化方案及权重

Tab. 4 Quantitative plan and weight of earthquake damage factors

因素	数据类型	取值	意义	权重
建 ^① 设 年 代	整数	1	50 年代以前	600
		2	50~80 年代	
		3	80~90 年代	
		4	90 年代以后	
现 状 质 量	整数	1	极差	800
		2	差	
		3	中	
		4	良	
		5	优	
		8	0~4	
		7	4~8	
		6	8~12	
h/m	整数	5	12~18	1 000
		4	18~25	
		3	25~35	
		2	35~50	
		1	50 以上	
		1	工业	
		2	住宅	
		3	旅游	
用 途	整数	4	办公	200
		5	商场	
		6	教育	
		7	医疗	
		8	公用设施	
		9	其他	

① 均指 20 世纪

建筑的震害指数, 并利用建筑震害指数进行群体建筑物的震害预测.

利用海明距离公式求得各建筑之间的海明距离后, 采用最小二乘法类比出建筑的震害指数. 即对海明距离最小的 3 个值所对应的震害指数与海明距离进行一次线性回归, 取其截距所对应的震害指数作为预测建筑物的震害指数, 具体计算方法如图 1 所示.

令 x_1, x_2, x_3 分别为求得的最小 3 个加权海明距离, y_1, y_2, y_3 为相应的震害指数, 采用一次线性回归的方法. 如图 1, 若令截距为 b_0 , 则有

$$b_0 = \bar{y} - b\bar{x} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 y_i - \frac{\sum_{i=1}^3 [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\sum_{i=1}^3 (x_i - \bar{x})^2} \cdot \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 x_i.$$

(7)

利用式(7)并通过图 1 进行线性拟合, 能够利用已有建筑物震害指数类比出其他相同结构类型的震害指数, 以及进行震害预测. 通过上述方法, 对震害类比预测法进行了简化, 提高了通过类比得出的相似建筑物震害结果的可信度. 群体震害预测有如下 7 个具体步骤.

- 1) 从样本库中读取典型样本作为计算数据.

2) 对预测库中的每一个预测单元, 按海明距离公式计算和群体建筑类比预测方法单元格的划分.

3) 从 n 个海明距离中找 3 个最小值及相应样本的震害指数.

4) 如果预测单元与对应样本的设计烈度、场地类别不同时, 对预测单元的预测烈度进行修正. 即根据二者的差值, 进行预测烈度修正, 并按修正后的烈度在对应样本中找震害指数; 修正后的烈度与样本单元的烈度不吻合时, 则采用线性内差法.

5) 如果预测单元与对应样本的建设年代、现状质量不一样时, 对震害指数进行修正.

6) 将 3 个修正后的震害指数的平均值或按最小二乘法的外推值作为预测单元的震害指数的最终结果, 并据此确定震害破坏程度.

7) 将计算结果写入预测库中.

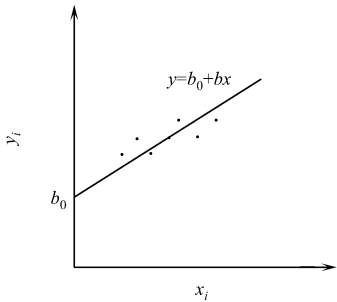


图 1 线性拟合求震害指数
Fig. 1 Damage index
by liner fitting

3 应用实例

根据宁德市的具体情况, 采用群体建筑类比预测方法进行震害预测, 在规划区的每个单元格内将建筑物分为 7 种结构类型, 一共调查 27 259 幢, 建筑总面积为 $584.95 \times 10^4 \text{ m}^2$. 利用地理信息系统(GIS)统计出各类结构类型的建筑面积, 如表 5 所示. 表 5 中: m 为建筑数量; r 为相应比例; A 为建筑面积.

通过类比预测方法对宁德市调查建筑物数据进行类比计算分析, 得出规划区内震害矩阵, 如表 6 所示. 通过规划区内震害矩阵结果, 利用 GIS 软件显现出宁德市规划区内各单元格内建筑物建筑物的抗震能力分布图, 如图 2 所示.

表 5 宁德市建筑物调研结果

Tab. 5 Investigation results of
buildings in Ningde City

序号	结构类型	$m/\text{栋}$	$r/\%$	$A/\times 10^4 \text{ m}^2$
1	砌体结构	18 588	68.04	320.38
2	框架结构	3 931	14.39	160.08
3	钢砼高层	51	0.19	15.60
4	单层厂房	156	0.57	4.77
5	木结构	61	0.22	0.78
6	老旧民房	3 824	14.00	76.64
7	其他	708	2.60	6.70

表 6 宁德市房屋震害矩阵

Tab. 6 Earthquake damage matrix of buildings in Ningde City

烈度/ (°)	按栋数					按面积					%
	基本完好	轻微破坏	中等破坏	严重破坏	毁坏	基本完好	轻微破坏	中等破坏	严重破坏	毁坏	
6	52.30	37.30	8.32	0.08	0	58.16	30.64	10.16	1.04	0	
7	15.50	59.21	14.18	8.01	2.11	11.04	51.06	25.54	11.75	0.62	
8	0	11.39	50.70	28.77	8.14	0	10.75	42.16	31.68	13.41	
9	0	2.10	19.16	61.04	17.70	0	1.36	36.69	38.36	23.60	

结合表 5 和图 2 可以得出: 宁德市的抗震薄弱环节位于规划区的左下侧, 即主要位于蕉城区的蕉城

北路、城乡结合部金涵乡等处. 宁德市蕉城区在遭遇设防烈度时有 8.32% 的建筑发生中等及以上破坏,是抗震加固的重点.

4 结束语

按照《城市抗震防灾规划标准实施指南》规定,根据城市建筑震害预测的需要,提出利用建筑普查结合 GIS 进行城市群体建筑物震害预测的方法,简化了震害预测工作,提高了城市综合抗震规划编制的效率. 采用海明距离的模糊数学方法进行类比预测,突出了建筑质量、结构类型等主要因素对结构抗震性能的影响,但其他因素的权重和编码还需要大量实际震害预测经验来完善. 采用上述方法对宁德市进行群体建筑的震害预测,与传统建立力学模型相比会有一些误差,但在工程允许范围之内,能够满足城市综合抗震规划的要求,而且在操作上简单易行.

参考文献:

[1] 马东辉. 城市抗震防灾规划标准实施指南[M]. 北京: 中国建筑工业出版社,2007.

[2] 赵少伟. 建筑结构震害预测方法研究与实践[J]. 地震工程与工程振动,2006,26(3):52-53.

[3] 汪陪庄. 模糊集合论及其应用[M]. 上海: 上海科学技术出版社,1983.

[4] 王志涛,苏经宇,马东辉,等. 群体建筑物震害特征类比预测方法与应用[J]. 北京工业大学学报,2008,34(8):843-847.

[5] 郭晓冬,苏经宇,马东辉,等. 城市建筑物快速震害预测系统[J]. 自然灾害学报,2006,15(3):128-134.

[6] 尹之潜. 地震灾害损失预测研究[J]. 地震工程与工程振动,1991,11(4):87-96.

Earthquake Damage Prediction of Urban Building Group

WANG Yi-heng, LI Sheng-cai

(College of Civil Engineering, Huaqiao University, Xiamen 361021, China)

Abstract: The building group with typical damage was selected as sample in Ningde City urban region. The sample data base was established by simplified evaluation and structure model method. Based on sample data, according to the different structure type classification, the main seismic damage factors include the building structure, building height, construction year and current situation of quality, the building vulnerability is predicted. Finally, by the analysis of earthquake damage matrix, the earthquake damage index of building is obtained. The result shows the reliability of the prediction method.

Keywords: earthquake damage prediction; building group; analog prediction method; sample data base; Ningde City

(责任编辑: 钱筠 英文审校: 方德平)



图 2 宁德市建筑物 6°震害面积分布图

Fig. 2 Distribution of building earthquake damage area under seismic intensity 6 degree in Ningde City