

文章编号: 1000-5013(2008) 03 0440- 03

厦门市中小学及幼儿园地震人员伤亡预测

周素琴, 郭子雄

(华侨大学 土木工程学院, 福建 泉州 362011)

摘要: 在厦门市中小学及幼儿园建筑资料的调查和统计分析的基础上, 计算出该地区学校主要结构类型砖混结构和多层钢筋混凝土框架结构的震害矩阵. 引入地震人员伤亡指数和地震人员伤亡概率分布矩阵的概念, 建立一种与建筑震害直接相关的地震人员伤亡预测方法, 并据此进行不同地震烈度影响下的人员伤亡预测. 结果表明, 厦门市中小学及幼儿园用房的抗震性存在明显不足, 急需进行维修和加固.

关键词: 震害矩阵; 伤残指数; 伤亡概率; 分布矩阵; 学校建筑; 厦门市

中图分类号: P 215. 9; TU 244(257) 文献标识码: A

破坏性地震发生时, 人们最为关注的莫过于人员伤亡的规模与数量. 破坏性地震中与人员伤亡有关的研究, 一直是国内外防震减灾领域研究的一个重要课题. 厦门市地处我国东南沿海, 位于环太平洋地震带和我国东南沿海地震区, 地震活动频繁, 历史上地震灾害较多, 近年来更处于地震活跃期, 防震减灾的任务很重. 中小学及幼儿园是人口密度较大的单位, 在正常教学期间, 大量师生聚集在建筑物内, 若发生地震, 短时间内疏散人流难度较大, 人员伤亡的可能性较高. 另外, 由于中小学学生、幼儿园的儿童的自我保护能力较差, 地震时, 也将可能产生更大的人员伤亡. 本文在调查和统计分析的基础上, 建立一种与建筑震害直接相关的地震人员伤亡预测方法.

1 调研及资料收集

在《厦门市中小学及幼儿园在役建筑抗震性能调查、评价及加固分析报告》的基础上, 经过统计分析可得厦门市中小学及幼儿园建筑的总体情况, 如表 1 所示. 表 1 中, S_i 为总建筑面积, n 为人数. 可知, 各校的在役建筑中结构体系以砖混结构和框架结构为主. 本文仅针对这两类结构的地震易损性进行研究, 并预测由此带来的人员伤亡. 其他结构型式建筑面积仅占 7. 5%, 多为 1980 年以前修建的, 现在一般作为辅助用房, 学生使用率较低, 其人员伤亡数可不予考虑.

2 地震易损性分析

地震易损性分析(震害预测) 是反映城市不同区域抗震能力的有效技术途径, 它是依据统计分析理论, 通过对典型样本的评价来反映样本所在区域在给定设防地震动下的破坏程度估计, 称为震害矩阵. 地震灾害的经济损失和人员伤亡与建筑物的震害直接相关, 建筑物的地震易损性分析是地震灾害损失研究的主要因素之一. 一般将建筑物遭受到地震袭击时可能产生的破坏状态分为 5 个等级, 即 $j = 1$ (基本完好), $j = 2$ (轻微破坏), $j = 3$ (中等破坏), $j = 4$ (严重破坏), $j = 5$ (毁坏). 这 5 个等级都有明确的定

表 1 厦门市中小学校幼儿园建筑情况统计表

Tab. 1 Statistic of buildings status including the junior, senior schools and kindergartens in Xiamen

区域	S_i / m^2			$n / 人$
	砖混结构	框架结构	其他结构	
同安区	45 3657	131 773	55 524	110 305
厦门岛	12 5334	266 718	16 187	31 653
杏林区	31 227	31 075	13 873	8 431
集美区	76 346	49 796	2 321	15 761
合计	686 564	479 362	87 905	166 150

收稿日期: 2007- 09- 16

作者简介: 周素琴(1974), 女; 通信作者: 郭子雄(1967), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事抗震防灾的研究. E-mail: guozxcy@hqu. edu. cn.

基金项目: 福建省重大专项前期研究项目(2005YZ1017); 厦门市建设与管理局科研项目(2007)

义^[1]. 对于砖混结构和框架结构, 震害矩阵为^[2-3]

$$P(D_j | I) = \int_0^\infty f(R)P(D_j | R, I) dR.$$

上式中, R 为建筑物的抗力, 表征建筑物抗震能力的参数; $f(R)$ 为建筑物抗力 R 的概率密度分布函数; $P(D_j | R)$ 为地震烈度为 I , 建筑物抗力为 R , 发生 j 级破坏的概率. 一个城市或一个地区某类建筑在未来 T 年内, 由于地震而发生 j 级破坏 D_j 的概率 $P(D_j) = \sum_i P_i P(D_j | I)$. 其中, $P(I)$ 为 T 年内发生烈度为 I 的地震概率. 由 2001 年《厦门市震害预测及减灾研究》查得, 采用单体抽样法得出的厦门市中小学及幼儿园两种主要结构体系按面积计算的震害矩阵, 如表 2 所示.

表 2 两种房屋结构体系的震害矩阵

Tab.2 Earthquake damage matrix of two type buildings

烈度	多层钢筋混凝土框架结构/ %					多层砖混结构/ %				
	$j = 1$	$j = 2$	$j = 3$	$j = 4$	$j = 5$	$j = 1$	$j = 2$	$j = 3$	$j = 4$	$j = 5$
VI	99.68	0.32	0	0	0	81.22	18.78	0	0	0
VII	83.25	16.46	0.29	0	0	4.20	83.40	12.40	0	0
VIII	28.85	55.54	14.95	0.58	0	0	12.58	70.66	16.16	0
IX	0.95	34.06	47.02	17.31	0.66	0	0.60	20.69	74.70	4.01
X	0	1.76	17.44	57.02	23.78	0	0	0.36	60.20	39.44

3 地震人员伤亡预测

3.1 人员伤亡指数和伤残等级的划分标准

定义参数 C 为人员伤亡指数, 表征在破坏性地震中受困人员的身体受到的伤残程度. $C = 0$ 表示无伤残, $C = 1$ 表示人员已死亡, 在 $C(0, 1)$ 区间内, 再分为 5 个区间, 分别对应于人员伤亡的 5 个不同级别, 即 C_1 (基本无伤残), C_2 (轻微伤残), C_3 (中等伤残), C_4 (严重伤残)和 C_5 (生命垂危). 5 种伤残等级都有明确的详细划分标准, 各伤残等级均有对应的伤残指数^[4].

3.2 地震人员伤亡分布概率矩阵

在破坏性地震中人员伤亡的轻重, 很大程度上决定于结构的破坏状况, 因此, 将结构破坏等级这个最直接的因素同人员伤亡等级联系起来. 目前的结构震害矩阵是在某一烈度下 5 种破坏等级的发生概率矩阵, 那么可以设想在 5 种人员伤亡等级定义的情况下, 可给出结构在某一破坏等级下此 5 种人员伤亡等级各自的分布概率 $P(C_i | D_j)$ ^[5]. 在确定的结构类型和确定的结构破坏等级下, 伤亡状态矩阵为

$$P(C_i) = \sum P(C_i | D_j)P(D_j).$$

通过计算可得砖混结构和多层钢筋混凝土结构震害造成的人员伤亡分布概率矩阵, 如表 3 所示.

表 3 人员伤亡分布概率矩阵

Tab.3 Matrix of seismic casualty probability distribution

房屋结构	破坏等级	$C_1[0, 0.1]$	$C_2[0.1, 0.3]$	$C_3[0.3, 0.6]$	$C_4[0.6, 0.9]$	$C_5[0.9, 1.0]$
多层钢筋混凝土结构	$j = 1$	1.000	0	0	0	0
	$j = 2$	0.999	7.01×10^{-4}	1.00×10^{-5}	0	0
	$j = 3$	0.990	9.95×10^{-3}	6.57×10^{-4}	1.00×10^{-4}	2.27×10^{-5}
	$j = 4$	0.938	4.92×10^{-2}	8.78×10^{-3}	2.58×10^{-3}	1.00×10^{-3}
	$j = 5$	0.060	0.765	0.175	0	0
多层砖混结构	$j = 1$	1.000	0	0	0	0
	$j = 2$	0.991	9.33×10^{-4}	1.60×10^{-5}	0	0
	$j = 3$	0.986	1.25×10^{-2}	9.68×10^{-4}	1.60×10^{-4}	3.87×10^{-5}
	$j = 4$	0.926	5.79×10^{-2}	1.14×10^{-2}	3.62×10^{-3}	1.60×10^{-3}
	$j = 5$	0.040	0.781	0.179	0	0

3.3 地震人员伤亡的预测

根据结构的人员伤亡分布概率矩阵 $P(C_i)$ 和人数分布 $P(N_i)$ 进行地震人员伤亡预测, 发生地震时伤亡等级为 i 的人数 $P(B_i) = \sum P(D_j)P(C_i)$.

中小学及幼儿园仅在正常教学期间人口密度较大,因此本文的地震人员伤亡预测也仅针对发生在这一时段的地震进行的,预测结果如表 4 所示.表中, B_1, B_2, B_3, B_4, B_5 分别对应 C_1, C_2, C_3, C_4, C_5 伤残状态的人数.从表 4 计算数据分析,厦门市中小学及幼儿园在遭遇设防烈度 VII 度的地震作用下,中等表 4 各等级伤亡人数计算表

Tab. 4 Seismic casualty for every earthquake grade

烈度	B_1 /人		B_2 /人		B_3 /人		B_4 /人		B_5 /人	
	框架	砖混	框架	砖混	框架	砖混	框架	砖混	框架	砖混
VI	90 966	63 517	12	2	0	0	0	0	0	0
VII	90 794	63 422	165	12	8	0	1	0	0	0
VIII	89 417	62 990	1 371	73	1 333	14	44	8	16	1
IX	83 151	61 690	6 323	1 358	1 248	230	177	45	68	19
X	53 853	46 173	30 149	14 033	6 761	3 127	141	133	55	58

伤残及以上人员便接近 10 余人;而当遭遇 VIII 度及以上烈度的地震作用时,中等伤残及以上人员便达到千人以上.由此可见,厦门市中小学及幼儿园用房的抗震性能还存在明显不足,急需进行维修和加固.

4 结束语

地震人员伤亡与地震发生的时间有很大关系,本文人员伤亡预测结果仅针对地震发生在正常上班时段,其余时段该类建筑用房的使用人数较少,其人员伤亡数将大为减少.对地震人员伤亡预测的方法可应用于其他各功能结构,但对整个城镇进行震害预测时,应注意不同功能建筑,以免重复计算影响预测结果.按本文方法进行震害人员伤亡预测的结果,是针对地震发生后 24 h 以内的伤亡情况,24 h 以后被困人员仍未被救助,其伤亡程度将日趋加重,建议考虑采用动态方法进行评估.

参考文献:

[1] 尹之潜,李树桢,杨淑文,等.震害与地震损失估计方法[J].地震工程与工程振动,1990,10(1): 99-108.
[2] 尹之潜,李树桢,赵直,等.地震灾害预测与地震灾害等级[J].中国地震,1991,7(1): 9-19.
[3] 尹之潜,李树桢,孙萍舜.多层建筑楼层变位与屈服强度的关系和控制变位防止结构倒塌问题[J].地震工程与工程振动,1985,5(1): 78-87.
[4] 赵振东,林均歧,钟江荣,等.地震人员伤亡指数与人员伤亡状态函数[J].自然灾害学报,1998,7(3): 90-96.
[5] 周素琴,郭子雄.地震人员伤亡的动态评估[J].华侨大学学报:自然科学版,2004,25(1): 54-57.

Seismic Casualties Forecast of School Buildings in Xiamen

ZHOU Sur-qin, GUO Zi-xiong

(College of Civil Engineering, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China)

Abstract: Based on the investigation and collection of the structural characteristics of school buildings including the junior, senior schools and kindergartens in Xiamen, the earthquake damage matrixes of masonry structure and multi-storey reinforced concrete structure are determined. A seismic casualty forecast method which is directly related to the building earthquake damage is established by introducing the index of seismic casualties and seismic casualty probability distribution matrix. Finally, the number of seismic casualties of these school buildings is calculated. The results show that there exist significant defects of antiseismic performance of these school buildings, the maintenance and strengthening are necessary urgently.

Keywords: earthquake damage matrix; index of seismic casualty; seismic casualty probability; distribution matrix; schools buildings; Xiamen

(责任编辑: 钱筠 英文审校: 方德平)