

基于 Vague 集的建筑物地震倒塌率研究^{*}

肖东升^{1,2}, 黄 发¹, 赵 勇³, 项 霞⁴, 刘福臻², 贾宏亮², 戴小军²

(1. 西南交通大学 土木工程学院, 成都 610031; 2. 西南石油大学 建筑工程学院, 成都 610059)

3. 中冶成工建设有限公司, 成都 610000 4. 四川大学 水利水电工程学院, 成都 610065)

摘要: 介绍了相似度量及地震事件的建筑物破坏相似因素分析, 并在此基础上建立了基于相似度量的建筑物地震倒塌率的预测函数。最后, 以历史地震事件统计数据为基础, 根据假设检验理论得出了预测误差与相似度量的关系。

关键词: Vague 集; 相似度量; 倒塌率; 误差

中图分类号: P315.9 文献标志码: A 文章编号: 1000-0666(2009)01-0068-06

0 引言

许多学者如周素琴和郭子雄等 (2004) 对人员的伤害 (如伤亡率) 和地震要素 (如震级或烈度) 的相关性做了定量分析, 但对地震事件中建筑物倒塌率的定量分析却很少。本文中笔者对地震中建筑物倒塌率的研究思路是: 相似的地震事件, 必然会导致相似建筑物的相似破坏。虽然出现两个完全相同的地震事件的可能性很小, 但随着时间的推移和地震事件资料的积累, 总能从以往发生的地震事件中找到与刚刚发生的地震事件相似的地震事件, 并以此来预测未来地震事件中建筑物的倒塌率。

1 Vague 集理论

设论域 $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$, X 上 Vague 集由真隶属度函数 \hat{A} 和假隶属度函数 \check{A} 所描述。 $\hat{A}: X \rightarrow [0, 1]$, $\check{A}: X \rightarrow [0, 1]$, 其中 $\hat{A}(x)$ 是由支持 x 的证据所导出的肯定隶属度的下界, $\check{A}(x)$ 是由反对 x 的证据所导出的否定隶属度的下界, 且 $\hat{A}(x) + \check{A}(x) \leq 1$, 元素 x 在 Vague 集 A 中的隶属度被区间 $[0, 1]$ 的一个子区间 $[\hat{A}(x), 1 - \check{A}(x)]$ 所界定, 称该区间为 x 在 A 中的 Vague 值, 记为 $V_A(x)$ 。Vague 集

$$A = \sum_{i=1}^n [\hat{A}(x_i), 1 - \check{A}(x_i)] / x_i \quad (1)$$

$\forall x \in X$ 称 $\pi_A(x) = 1 - \hat{A}(x) - \check{A}(x)$ 为 x 相对于

Vague 集 A 的不确定程度, 它刻画了 Vague 集 A 的踌躇程度, 是 x 相对于 A 的未知信息的一种度量, $\pi_A(x)$ 值越大, 说明 x 相对于 A 的未知信息越多, 但 $\pi_A(x) \leq 1$ 。再设 A, B 是 $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$ 上的 2 个 Vague 集, 如果 $V_A(x) = [\hat{A}(x), 1 - \check{A}(x)]$ 是 x 在 A 中的 Vague 值, $V_B(x) = [\hat{B}(x), 1 - \check{B}(x)]$ 是 x 在 B 中的 Vague 值, 则 Vague 集 A 与 B 的相似度量为

$$W(A, B) = \sum_{i=1}^n w_i M[V_A(x_i), V_B(x_i)] \\ = \sum_{i=1}^n w_i \left[1 - \frac{|\hat{A}(x_i) - \hat{B}(x_i)|}{2} - \frac{|\alpha_A(x_i) - \alpha_B(x_i)|}{2} \right] \quad (2)$$

式中, w_i 为元素 x 在 X 中的权数, $w_i \in (0, 1)$ 且 $\sum_{i=1}^n w_i = 1$, 其中:

$$\hat{\Delta}(x) = \hat{A}(x) + \pi_A(x) \hat{A}(x)$$

$$\hat{\Delta}_B(x) = \hat{B}(x) + \pi_B(x) \hat{B}(x)$$

$$\alpha_A = \check{A}(x) + \pi_A(x) \check{A}(x)$$

$$\alpha_B = \check{B}(x) + \pi_B(x) \check{B}(x)$$

这里, $W(A, B) \in [0, 1]$, 并且 $W(A, B)$ 值越大, Vague 集 A 与 B 越相似 (彭安华, 2006)。

2 地震事件中的建筑物破坏相似因素分析

从地震发生到建筑物破坏, 两地震事件中建

* 收稿日期: 2008-01-22

基金项目: 公益性行业专项 (200808063) 和西南石油大学科技基金联合资助

筑物破坏相似因素主要归类为以下三方面：① 地震强度参数；② 地震波的传播媒介：场地、地基与基础；③ 建筑物结构。

2.1 地震强度参数

(1) 震级

地震震级 M 表示地震规模的大小 (李杰和李国强, 1992), 根据震级的定义

$$M = \lg A$$

(3)

式中, A 为在离震中 100 km 处, 标准地震仪记录到的最大水平地动位移 (单振幅单位为 μm)。同等条件下, 震级越大, 地震对建筑物的破坏越大。

(2) 震源深度

大量的地震现场调查 (程万正和阮祥, 2006) 表明, 在震级相同的情况下, 震源深度越浅, 震中烈度就越高, 破坏也就越重。一些震源深度特别浅的地震, 即使震级不太大, 也可能造成很大的破坏。所以, 震级相同的两个地震, 由于震源深度不同, 其烈度可能会相差较大。

(3) 震中距

1970 年云南通海地震后, 地震工作者曾对发震断裂——曲江断层两侧村庄的震害进行了详细的调查和分析, 发现距离断裂 350 m 的新庄, 震害指数为 0.9 烈度为 X 度; 距离断裂 2 200 m 的相旗营, 震害指数为 0.56 烈度为 $VIII$ 度 (沙海军和吕悦军, 1998), 因此震中距越大震害程度将越低。

(4) 地震的持时

地震的持时是指地震过程中地面激烈震动的那一段持续时间。震害实例表明, 峰值加速度较高但持时较短的地震并不一定都会造成严重的震害, 倒是加速度稍小但地震持时较长的地震会造成严重的震害 (刘惠珊和张在明, 1994)。由此不难得出: 相同条件下地震持时与震害正相关。

2.2 场地

以地基土种类、覆盖层厚度、地下水埋深和地形这四种影响显著的场地条件作为调查研究对象, 这四种场地条件每种又分为 I、II、III 三个子类, 其表现的震害程度逐渐加重 (刘惠珊和张在明, 1994)。

2.3 地基与基础

我国地震工作者曾对 1962 ~ 1971 年间发生在河北宁晋、云南通海等地的 $M \geq 7.0$ 地震进行相关

震害统计, 得到造成建筑物破坏的地基与基础因素的比例: 沙土液化约占 28.00%, 软土震陷约占 11.60%, 不均匀地基约占 44.20%, 填土约占 7.00%, 地裂、地面运动或者不明原因约占 9.20%。可见, 沙土液化、软土震陷和不均匀地基等是造成建筑物破坏的主要原因, 震害程度与各自所占比例正相关 (刘惠珊和张在明, 1994)。

2.4 建筑物的结构

建筑物的结构包括: 结构类型、结构现状、设防标准和建筑物高度等主要因素, 本文仅就前面三项作分析, 建筑物的高度对建筑物破坏的影响是显而易见的, 这里不再赘述。

(1) 结构类型

历次地震震害表明, 建筑物的地震破坏与建筑物的结构类型有密切关系。如钢筋混凝土框架结构、多层砖房、木结构等建筑物, 在相同烈度下受到的破坏轻重程度却不同, 如表 1 所示 (李卫平和鲁跃, 2005)。

表 1 某些地区的地震烈度与建筑物的倒塌率统计

建筑类型	Ⅵ度倒塌率	Ⅶ度倒塌率	Ⅷ度倒塌率	Ⅸ度倒塌率
混凝土结构	0.0	0.0	6.0	11.0
砖结构	0.3	2.2	5.8	13.4
木结构	0.3	0.6	0.4	2.3
城市老旧民房	2.0	4.0	10.0	25.0

(2) 结构现状

建筑物的结构现状是指随着时间流逝, 造成建筑物效用递减引起的结构耐久性能的损失, 通常是通过损耗率的计算来确定的。使用年限法是将建筑物的损耗建立在建筑物的耐用年限、已使用年限或者剩余使用年限的基础上 (文张琳和朱宏亮, 2003)。

结构耐久性能退化过程按时间可以分为两个阶段: 混凝土碳化阶段 (T_1) 和钢筋锈蚀阶段 (T_2), 所以耐用年限为 $T = T_1 + T_2$ 。其中 $T_1 = RSI_1 \times A_1 \times A_2 \times B_1 \times B_2 \times C$, $T_2 = RSI_2 \times A_1 \times B_1 \times B_2 \times B_3$, RSI_1 为碳化阶段的参考耐用年限, RSI_2 为锈蚀阶段的参考耐用年限, 其它参数的含义见表 2。参考年限通过理论计算、工程实测数据分析和劣化模型计算等途径取得。一般 RSI_1 取 36 年, RSI_2 取 40 年, 所以 $T = 76$ 年。这一结果与 2002 年北京地区建筑物的耐用年限的调查统计分析结果基本相符 (文张琳和朱宏亮, 2003)。

表 2 耐用年限评定参数含义

参数符号	环境因素			材料因素			人为因素
	A ₁	A ₂	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	C
参数含义	环境湿度	CO ₂ 浓度	混凝土强度	保护层厚度	表面饰材	钢筋直径	施工质量

参照文张琳和朱宏亮（2003）给出的不同地区的具体参数取值可以估算出建筑物的耐用年限。由此计算出云南龙陵、澜沧地区上世纪 70、80 年代的一般建筑物耐用年限约为 45.6 年。本文采用与抗震性能正相关的剩余使用年限作为结构现状指标。

（3）设防标准

依据“小震不坏、中震可修、大震不倒”的抗震设防准则，地震发生时，相同地点、不同地震设防标准的建筑物的破坏程度是不同的，表 3 是参照新疆石河子的建筑物抗震设防统计结果（宋立军和胡伟华，2003）得到的不同设防建筑物的震害指数中值。由表 3 可见，建筑物设防级别越高则震害相对越小。

表 3 不同设防建筑物的震害指数中值（%）

设防水平	不同烈度震害指数中值			
	VI	VII	VIII	IX
VIII度设防水平	0	1	6	17
VII度设防水平	1	6	17	35
VI度设防水平	6	10	21	41
未设防	10	17	28	52

3 两地震事件的相似度量研究

设论域 $X=\{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}\}=\{震级、震源深度、震中距、地震持时、地形地貌、地下埋深、地基土、覆盖层厚度、基础、结构类型、结构现状、设防标准、层数\}$ 。论域中每一因素的均隶属度的值取 $r_i=x_i/x_{i\max}$ 或 $r_i=(1/x_i)(1/x_{i\max})$ ， r_i 取值原则（张城一，2003）如下：

（1） x_i 与震害正相关时，取 $r_i=x_i/x_{i\max}$ 反之，则取 $r_i=(1/x_i)(1/x_{i\max})$ 。

（2）当 x_i 是定性时，先定量化（如专家打分等），然后按原则（1）进行归一化。当 x_i 属性相同时， r_i 取值均为“1”。文中 x_i 属性——地形地貌、地基基础、结构现状、建筑高度（层数）相同时， r_i 均取为“1”。

（3）当 x_i 定量时，则直接按原则（1）进行归一化。

在计算两地震事件的相似度量前，需参照以上论域中每一因素的均隶属度的值取原则，对两地震事件的相似因素进行归一化，具体实例见表 4。

表 4 建筑物破坏的相似因素统计表

类别	参数	相似地震事件	
		龙陵	澜沧
地震参数	震级 x_1	7.4	7.6
	均隶属度 (r_1)	0.97	1.0
	震源深度 $(x_2)/km$	15	13
	均隶属度 (r_2)	0.87	1.0
	震中距 $(x_3)/km$	20	18
	均隶属度 (r_3)	0.9	1.0
场地和地基基础	地震持时 $(x_4)/s$	4	6
	均隶属度 (r_4)	0.67	1.0
	地形地貌 (x_5)	坡地	坡地
	均隶属度 (r_5)	1	1
	地下水埋深 $(x_6)/m$	1~2	>4
	均隶属度 (r_6)	1	0.38
建筑物结构	地基土 (x_7)	I	II
	均隶属度 (r_7)	0.5	1
	覆盖厚度 $(x_8)/m$	10	4
	均隶属度 (r_8)	0.2	0.1
	基础 (x_9)	独立	独立
	均隶属度 (r_9)	1	1
建筑物结构	结构类型 (x_{10})	钢混	钢混
	均隶属度 (r_{10})	1	1
	结构现状 (x_{11})	35	35
	均隶属度 (r_{11})	1	1
	设防标准 (x_{12})	无	VII
	均隶属度 (r_{12})	1	0.67
建筑物结构	层数 (x_{13})	3	3
	均隶属度 (r_{13})	1	1

注：资料来源于《云南省志·地震志》（云南省地震局 1999）。

根据式（1）对以上两地震事件分别建立对应的 Vague 集 A（龙陵地区）、B（澜沧岩地区）和相应地震事件 A、B 统一简称 A 和 B 于是有

$$A = \frac{[0.9 \ 1]}{x_1} + \frac{[0.8 \ 0.9]}{x_2} + \frac{[0.9 \ 1.0]}{x_3} + \frac{[0.6 \ 0.7]}{x_4} + \frac{[1.0 \ 1.0]}{x_5} + \frac{[1.0 \ 1.0]}{x_6} + \frac{[0.5 \ 0.5]}{x_7} \\ + \frac{[0.4 \ 0.4]}{x_8} + \frac{[1.0 \ 1.0]}{x_9} + \frac{[1.0 \ 1.0]}{x_{10}} + \frac{[1.0 \ 1.0]}{x_{11}} + \frac{[1.0 \ 1.0]}{x_{12}} + \frac{[1.0 \ 1.0]}{x_{13}},$$

$$B = \frac{[1.0 \ 1.0]}{x_1} + \frac{[1.0 \ 1.0]}{x_2} + \frac{[1.0 \ 1.0]}{x_3} + \frac{[1.0 \ 1.0]}{x_4} + \frac{[1.0 \ 1.0]}{x_5} + \frac{[0.3 \ 0.4]}{x_6} + \frac{[1.0 \ 1.0]}{x_7} \\ + \frac{[1.0 \ 1.0]}{x_8} + \frac{[1.0 \ 1.0]}{x_9} + \frac{[1.0 \ 1.0]}{x_{10}} + \frac{[1.0 \ 1.0]}{x_{11}} + \frac{[0.6 \ 0.7]}{x_{12}} + \frac{[1.0 \ 1.0]}{x_{13}}.$$

地震事件中建筑物破坏因素对建筑物破坏程度的定量目前没有定论, 但根据地震的强度不同起不同作用: 场地、地基基础起加重或者减轻作用, 建筑物的结构起主体作用。地震因素中的前一项和后两项按等原则处理, 其权数分布为

$$w_i = (0.1 \ 0.1 \ 0.1 \ 0.1 \ 0.1 \ 0.1 \ 0.05 \ 0.05 \\ 0.05 \ 0.05 \ 0.01 \ 0.1 \ 0.06 \ 0.1 \ 0.03).$$

由式 (2) 得

$$W(A, B) = 0.78$$

4 相似度量条件下的地震倒塌率分析

4.1 地震中建筑物倒塌率的预估函数的建立

建筑物倒塌率定义为

$$P_d = N_d / N \quad (4)$$

式中, N_d 、 N 分别为该区域建筑物倒塌数和建筑物总数, $P_d(A)$ 为 A 的倒塌率, $P_d(B)$ 为 B 的倒塌率, 与两地震事件的相似程度 $W(A, B)$ 有很强的相关性。由此, 建立下列倒塌率预估模型:

$$P_d(A) = P_d(B) W(A, B) + \epsilon, \quad \epsilon \sim N(0, 1). \quad (5)$$

式中, 相对误差 ϵ (以下简称误差) 为随机波动项, 服从正态分布, 取

$$\epsilon = [P_d(A) - P_d'(A)] / P_d'(A). \quad (6)$$

$P_d(A)$ 为 A 的预测倒塌率, $P_d'(A)$ 为 A 的实际倒塌率, 式 (5) 的实际意义为: 如果 $W(A, B) = 1$ 时, 表示 A 和 B 完全相似, 即 $P_d(A) = P_d(B)$ 。另外, A 和 B 相似, 有相似度 $W(A, B) = W(B, A)$ 。同理, 可根据 A 的倒塌率来反求 B 的倒塌率, 即由

$$P_d(B) = P_d(A) W(B, A) + \epsilon$$

可得

$$P_d(A) = P_d(B) / W(A, B).$$

由 $P_d(A)$ 可以得到由大小不同的两个值构成预测的范围:

$$P_d(A) = [P_d(B) W(A, B); P_d(B) / W(A, B)].$$

其对应的预测值的下界为

$$P_d(A) = P_d(B) W(A, B).$$

根据建筑物倒塌率的预估函数模型, 对地震事件中建筑物倒塌率的预估实例见表 5。

4.2 相似度量下界与误差的定量分析

由 $\epsilon \sim N(0, 1)$, 得 $W\epsilon \sim N(0, W^2)$, 故用 t 检验。提出假设检验: $H_0: W\epsilon = 0$; $H_1: W\epsilon \neq 0$ 。统计量

$$t = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (W_i \epsilon_i - 0) / (S / \sqrt{n}). \quad (7)$$

式中,

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left[W(A, B)_i \left(\frac{P_{di} - P_{di}'}{P_{di}'} - 0 \right)^2 \right]}.$$

显然, 讨论误差 ϵ ($\epsilon \neq 0$) 与相似度量 W 的关系, 即是拒绝 H_0 , 接受 H_1 。假设 $W(A, B)$ 为相似度量的下界, 即相似度量

$$W_1(A, B) = W(A, B),$$

由 $|t| > t_{\alpha/2}(n-1)$, 即

$$|W(A, B) \epsilon / (S / \sqrt{n})| > t_{\alpha/2}(n-1)$$

表 5 地震倒塌率预估统计表

相对历史地震事件 (A)					地震事件 (B)					W(A B)	倒塌率估计 下界 (%)
年—月—日	震中位置	震级	相似地点	倒塌率 (%)	年—月—日	震中位置	震级	相似地点	倒塌率 (%)		
1974—05—11	永善大关	7.1	永善大关	17.88	1996—02—03	云南丽江	7.0	大研	15.6	0.76	13.68
1997—03—01	新疆伽师	6.0	巴格托拉	5.68	1998—03—19	新疆阿图什	6.0	克州	6.20	0.87	4.94
1999—11—01	大同阳高	5.6	阳高	2.00	1999—11—29	海城岫岩	5.6	碾盘	1.83	0.66	1.32
1998—07—28	新疆拜城	5.5	拜城	1.00	1900—01—27	丘北弥勒	5.5	洛那	0.85	0.72	0.72
1998—01—10	河北张北	6.2	海流图	7.00	1998—05—29	新疆皮山	6.2	汉吐格	10.1	0.69	4.83
1976—05—29	云南龙陵	7.4	龙陵县城	29.70	1988—11—06	云南澜沧	7.6	帅岩	24.14	0.78	23.17
1967—03—27	河间大城	6.3	留古	4.00	1996—05—03	内蒙包头西	6.4	色气湾	5.00	0.80	3.20
1965—11—13	新疆博格	6.6	天山分区	6.30	1900—09—12	青海兴海	6.6	温泉	8.56	0.65	0.41
1900—01—15	云南姚安	5.9	大苴	0.50	1900—06—06	甘肃景泰	5.9	骗马	1.51	0.64	0.32
1976—11—15	冀宁河西	6.9	汉沽	13.00	1974—05—11	新疆阿图什	6.9	哈拉俊	16.7	0.78	10.14

注：相关资料来自《中国大陆地震灾害损失评估汇编》（中国地震局监测预报司，2001）、《中国地震考察（第二卷）》、（国家地震局地球物理研究所，1990）、《中外典型震害》（安徽省地震局，1996）、《河北省震灾社会调查》（陶如谦和王子平，1996）、《华北地震灾害与对策》（华北地震灾害与对策编辑委员会，1993）和《云南省志·地震志》（云南省地震局，1999）等。

推得

$$W(A B) > \left[S/\sqrt{n} \cdot t_{\alpha/2}(n-1) \right] / |\epsilon|, \tag{8}$$

由式（8）可知一定水平条件下，W(A B)与|ε|成反比。由表 5统计计算得：n=10 S=0.166 7 不同水平 α对应的各元素的值为 α=0.1 S/√n t_{α/2}(n-1)=0.096 6 α=0.2 S/√n t_{α/2}(n-1)=0.072 9 α=0.5 S/√n t_{α/2}(n-1)=0.037，代入 W(A B) > [S/√n t_{α/2}(n-1)] / |ε|，就可模拟出在不同 α时相似度量下界 W(A B)与误差|ε|的关系（图 1）。

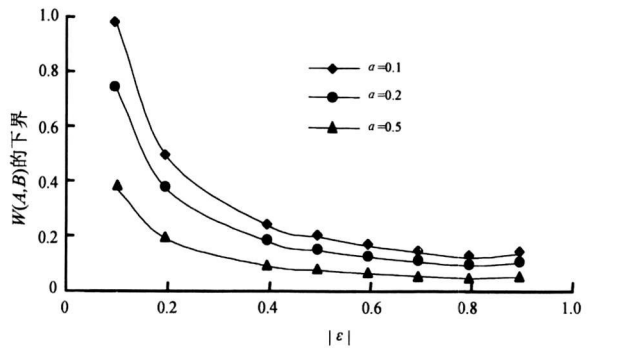


图 1 相似度量下界 W(A B)与误差|ε|的关系曲线

从图 1可知，当 α=0.1时，|ε|=0.1对应的相似量度下界 W(A B)=0.961，即要使误差|ε|=0.1，则 A和 B的相似度量下界应为 0.961。|ε|=0.4对应的相似度量下界 W(A B)=0.24 随着显著水平 α的增加，相同的误差|ε|对应的相似度量下界是降低的，其可靠性也随之降低。

5 结论

- (1) 建立了基于 Vague集的地震中建筑物倒塌率预估函数。
- (2) 以历史地震数据为资料，根据假设检验得到不同水平下的|ε|与 W(A B)的关系。
- (3) 在未来发生地震时，使用本文提出的预估函数可以快速预估出建筑物的倒塌率。

参考文献：

安徽省地震局. 1996. 中外典型震害 [M]. 北京：地震出版社。
程万正，阮祥. 2006. 川滇次级地块震源机制解类型与一致性参数 [J]. 地震学报，(11): 561—573.
国家地震局地球物理研究所. 1990. 中国地震考察：第 2 卷 [M]. 北京：地震出版社。
华北地震灾害与对策编辑委员会. 1993. 华北地震灾害与对策 [M]. 北京：地震出版社。
李杰，李国强. 1992. 地震工程学导论 [M]. 北京：地震出版社。
李卫平，鲁跃. 2005. 北京地区未来地震中各种类型建筑可能造成的人员死亡率 [J]. 灾害学，(12): 62—64.
刘惠珊，张在明. 1994. 地震区的场地地基基础 [M]. 中国建筑工业出版社。
彭安华. 2006. Vague集的相似度量分析在材料选择中的应用 [J]. 煤矿机械，(5): 891—892。
宋立军，胡伟华. 2003. 石河子建筑物现状及抗震性能分析 [J]. 工程抗震，(9): 29—34。
沙海军，吕悦军. 1998. 云南通海及其周边地区地震烈度衰减关系研究 [M]. 北京：地震出版社。
陶如谦，王子平. 1996. 河北省震灾社会调查 [M]. 北京：地震出版社。
文张琳，朱宏亮. 2003. 对使用年限法确定建筑物损耗率的思考

- [J]. 房地产评估, (3): 35—37.
- 周素琴, 郭子雄. 2004. 地震人员伤亡的动态评估 [J]. 华侨大学学报, 25 (1): 54—57.
- 云南省地震局. 1999. 云南省志·地震志 [M]. 昆明: 云南人民出版社.
- 中国地震局监测预报司. 2001. 中国大陆地震灾害损失评估汇编 [M]. 北京: 地震出版社.
- 张城一. 2003. 关于 Vague 集之间的相似度量 [J]. 计算机工程与应用, 17 (8): 92—94.

Vague Set based Building Earthquake Collapse Ratio

XIAO Dong-sheng², HUANG Ding-fa, ZHAO Yong,

XIANG Xia, LIU Fu-zheng, JIA Hong-liang, DAIXiao-jun

(1. School of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, Sichuan, China)

(2. School of Civil Engineering and Architecture, Southwest Petro University, Chengdu 610000, Sichuan, China)

(3. MCC Chengong Construction Co., Ltd., Chengdu 610000, Sichuan, China)

(4. College of Water Resource & Hydropower, Sichuan University, Chengdu 610065, Sichuan, China)

Abstract

We introduce similarity measures, analyze similar factors in building collapse caused by an earthquake, and build the prediction function of building collapse ratio based on similarity measures. In light of the statistic data of historical earthquake events, we analyze the relation between similarity measures and prediction error based on hypothesis test theory.

Key words: vague set; similarity measure; collapse ratio; error