

(3) 住宅地域の震災危険度評価に関する研究

広島県庁 ○京久野 渉
 豊橋技術科学大学大学院 飯吉 勝巳
 豊橋技術科学大学 新納 格
 豊橋技術科学大学 栗林 栄一

1.序論 大都市の住宅地域における地震災害は都市の地盤や地形などの自然的条件の他、都市構造などの社会的条件によって異なり、多数の要因が複雑に関連して発生する。本研究では、上海市区を対象として地盤条件、及び、都市構造に着目し、過去の地震記録から地震動強度を確率論的に表し、住宅倒壊率、住宅地域の焼失率、及び、道路構造物本体の被害程度の推定を行い、これらに伴う地震災害の複合性を考慮して市区地域を単位とした定量的な住宅地域の危険度評価を行うために道路網の連結確率を推定した。

2.地震動強度の推定

過去の地震データより上海市を中心とした半径400km以内で発生した地震を抽出し、震源の分布、断層の位置を考慮して図-1に示すように5つの面震源に分割した。面震源内において将来発生する地震の規模と発生頻度の関係をGutenberg-Richter式で表し、地震の発生をポアソン過程と考え、川島らの提案した地震動の距離減衰式¹⁾を用いて、発生頻度別に地表面加速度応答スペクトルの推定を行った。また、地盤条件を考慮するために堆積年代順に上海市区を5つの地盤に分類し、各地盤に対する伝達関数を用いて地盤別加速度応答スペクトルの推定を行った。

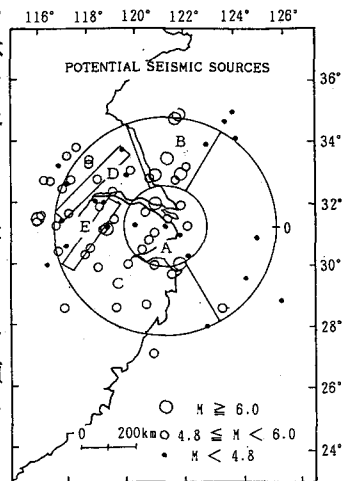


図-1 面震源モデル

3.住宅倒壊率の推定²⁾

上海市区の住宅の約9割を占める3形式の住宅（旧式里弄住宅、新式里弄住宅、新村の住宅）を対象として、これらをせん断質点系にモデル化し、地盤別加速度応答スペクトルを入力値としてモード解析を行った。住宅の倒壊は、応答層間変位が、限界層間変形角から求めた限界応答層間変位を越えた場合に生じるものと定義し、地震動強度、及び、部材強度のばらつきを考慮して住宅倒壊率の推定を行った。表-1に地盤別の住宅倒壊率を示す。

表-1 地盤別住宅倒壊率

地盤	旧式里弄住宅	新式里弄住宅	新村の住宅
A地盤	1.24 (%)	1.34×10^{-3} (%)	6.65×10^{-2} (%)
B地盤	1.40	2.61×10^{-6}	2.03×10^{-3}
C地盤	5.06×10^{-1}	4.16×10^{-5}	4.81×10^{-3}
D地盤	5.32	9.06×10^{-1}	1.89
E地盤	5.68	1.17×10^{-1}	1.63

4.住宅地域の焼失率の推定³⁾

地震時の出火は振動による火気器具の転倒・周囲の可燃物の落下、衝突によって起こり、これらの現象の度合は地震動強度の強さによるものと考えられる。そこで、住宅倒壊率を地震動強度の強さの指標と考え、出火・延焼に対して最悪の条件を仮定して出火率を算定し、住宅地域の焼失率を推定した。

(1)仮定条件

- 1)地震発生時刻は、冬季の午後6時とした。
- 2)風向は冬の卓越風である北とし、風速は火事場風を考慮して12m/sとした。
- 3)出火は出火危険性の高い旧式里弄住宅のみを考えた。なお、簡屋、棚戸と呼ばれる不良住宅においては延焼のみについて考慮した。

4) 住宅地域を幅員20m以上の道路、線路、河川、農地、公園等に囲まれたブロックに分割し、1つでも出火点があれば、そのブロックは焼失するとした。

5) 木造建蔽率が10%未満の住宅地域では延焼しないとした。

6) 消火活動、及び、飛火は考慮しなかった。

7) ブロックの風上、風側には延焼突破しないとした。

表-3 市区別焼失率

市区名	住宅地域焼失率
Huangpu-A	0.079
Huangpu-B	0.352
Nanshi-A	0.423
Nanshi-B	0.226
Luwan	0.257
Xuhui	0.209
Changning	0.236
Jingan	0.169
Putuo	0.345
Zhabei	0.324
Hongkou	0.321
Yangpu	0.281
Wusong	0.332
Minhang	0.000

(2) 焼失率の推定

地震時の出火率は式-1⁴⁾より、住宅倒壊率から推定し、表-2

$$Pf = (6.05 \cdot 10^{-3} \cdot \delta + 8.31 \cdot 10^{-5} \cdot \exp(7.5 \cdot \delta) \cdot (1 - \delta)) \alpha \cdot \beta \quad (1)$$

Pf: 出火率 δ : 住宅倒壊率 α : 火気使用率 (午後6時:2.50)

β : 季節係数 (冬季:2.6459)

のような結果になった。この値に旧式里弄住宅の戸数を乗じて各市区における出火点数を求め、式-2を用いてブロックに出火点が生起する確率を求めた。

表-2 地盤別出火率

地盤	出火率(%)
A地盤	0.1972
B地盤	0.2034
C地盤	0.1689
D地盤	0.3546
E地盤	0.3685

$$P(k) = \frac{N!}{k! \cdot (N-k)!} i^k \cdot (1-i)^{N-k} \quad (2)$$

k: ブロック内出火点数 P(k): 出火点の生起確率

N: 市区内総出火点数 i: 出火比数

また、各ブロックを風下ブロックに延焼しない焼止り領域と1つでも出火点があれば延焼する延焼突破領域に分類し、焼止りの条件と出火点の生起確率から風下ブロックに延焼突破しない確率(焼止り確率)を算定した。ブロック内の焼失率(A)は自己焼失のない確率(P(k=0))と焼止り確率(B)から式-3を用いて焼失率を推定した。住宅地域の焼失率は、焼失面積と住宅地域面積の比数で表した。表-3に住宅地域の焼失率を示す。

$$A = 1 - P(k=0) \cdot B \quad (3)$$

4 道路網の連結確率⁵⁾

道路構造本体の被害程度を推定し、市区を単位とする閉じられた道路交通網の中で被害があっても通行止めがなく、目的地に到達できる確率(連結確率)を地震災害の複合性を考慮して推定した。

(1) 道路構造本体の被害程度の推定

道路構造本体の被害程度は地盤、道路構造によって左右されると考えられ、本研究では1983年日本海中部地震の被害報告⁶⁾を基に数量化理論II類を用いて被害形態及び被害程度に対するアイテム別カテゴリー得点を求めた。(表-4)

表-4 アイテム別カテゴリー得点

	カテゴリー	頻度	カテゴリー値	偏相関係数(レンジ)
ビ ー ク 数	1	75	-0.717	0.377 (3.797)
	2	18	0.857	
	3	29	0.898	
	4	4	3.080	
振 動 数	~0.5	29	2.423	0.557 (7.233)
	0.5~0.8	56	0.960	
	0.8~1.0	19	-0.959	
	1.0~	22	-4.810	
応 答 倍 率	~ 9.0	6	-0.873	0.391 (3.848)
	9.0~12.0	42	-1.351	
	12.0~15.0	64	0.422	
	15.0~	14	2.498	
構 造 形 式	平地	46	0.017	0.176 (0.775)
	盛土	25	-0.188	
	盛土(堤防)	13	-0.529	
	その他	42	0.246	
表 層 地 質	砂質土主体の地盤	43	-0.062	0.168 (0.653)
	砂質土	33	0.402	
	粘性土主体の地盤	47	-0.209	
	有機質土	3	-0.251	
被 害 形 態	亀裂	54	0.229	相関比 0.391
	すべり	11	-0.013	
	陥没	24	-1.255	
	沈下	37	0.484	

	カテゴリー	頻度	カテゴリー値	偏相関係数(レンジ)
ビ ー ク 数	1	75	0.064	0.154 (0.234)
	2	18	-0.170	
	3	29	-0.048	
	4	4	-0.088	
振 動 数	~0.5	29	-0.090	0.157 (0.234)
	0.5~0.8	56	0.073	
	0.8~1.0	19	-0.028	
	1.0~	22	-0.043	
応 答 倍 率	~ 9.0	6	0.078	0.038 (0.091)
	9.0~12.0	42	0.001	
	12.0~15.0	64	-0.013	
	15.0~	14	0.020	
構 造 形 式	平地	46	-0.772	0.903 (2.170)
	盛土	25	-0.391	
	盛土(堤防)	13	-0.834	
	その他	42	1.336	
表 層 地 質	砂質土主体の地盤	43	0.042	0.134 (0.406)
	砂質土	33	-0.031	
	粘性土主体の地盤	47	0.007	
	有機質土	3	-0.385	
被 害 形 態	亀裂	54	-0.101	0.224 (0.262)
	すべり	11	0.039	
	陥没	24	0.161	
	沈下	37	0.032	
被 害 程 度	大	6	-0.475	相関比 0.850
	中	31	-0.737	
	小	41	-0.747	
	軽微	48	1.173	

カテゴリー得点に対する被害形態iの頻度分布は正規分布と仮定すると式-4で表される。

$$f_i(s) = \frac{1}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{1}{2} \left(\frac{s - \mu_i}{\sigma_i}\right)^2\right\} \cdot N_i \quad (4)$$

s: カテゴリー得点, μ_i : 被害形態iに対するカテゴリー得点の平均

σ_i : 被害形態iに対するカテゴリー得点の標準偏差, N_i : 被害形態iのデータ数

任意のカテゴリー得点に対する被害形態iの生じる割合は式-5で表される。

$$q_i = \frac{f_i(s)}{\sum f_i(s)} \quad (5)$$

被害程度も被害形態と同様にカテゴリー得点tに対する頻度分布が正規分布に従うものと仮定すると式-6で表される。

$$g_j(t) = \frac{1}{\sigma_j \sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{1}{2} \left(\frac{t - \mu_j}{\sigma_j}\right)^2\right\} \cdot N_j \quad (6)$$

t: カテゴリー得点, μ_j : 被害程度jに対するカテゴリー得点の平均

σ_j : 被害程度jに対するカテゴリー得点の標準偏差, N_j : 被害程度jのデータ数

ある条件のもとで、被害形態に対するカテゴリー得点s、被害形態iが生じたときの被害程度に対するカテゴリー得点をt_iとすると、被害程度jの生じる割合は式-7で与えられる。

$$R_j = \frac{\sum (g_j(t_i) \cdot q_i(s))}{\sum \sum (g_j(t_i) \cdot q_i(s))} \quad (7)$$

(2) 連結確率の推定

交差点（ノード）と道路区間（リンク）から構成される公共路線網を道路網として考え、得られた各被害程度の割合から各種交通規制をとる確率をもとめ、この結果を用いて連結確率の推定を行った。なお、被害程度と交通規制の関係を表-5のように仮定した。

被害の発生箇所は全くランダムかつ独立であると仮定すれば、リンクkでX件の交通規制を伴う被害が発生する確率は式-8のようにポアソン分布関数で与えることができる。

表-5 被害程度と交通規制の関係

被害程度	交通規制内容
大	通行止め m=3
中	片側交互通行 m=2
小	大型規制 m=1
軽微	規制無し m=0

$$P_k(X) = \frac{(\alpha r_k L_k)^X}{X!} \cdot \exp(-\alpha r_k L_k) \quad (8)$$

$r_k = \sum_{j=1}^3 R_j$: 交通規制率, α : 1km当りの被害発生箇所数, L_k : リンク長

ここで、1km当りの被害箇所数は、1983年日本海中部地震の被害調査報告及び1978年宮城県沖地震の被害調査報告⁷⁾から0.2箇所/kmとした。

1つのリンクにn件の交通規制を伴う被害があるとした場合、n件のなかに1件でも通行止めがあればそのリンクは通行止めとなり、n件全てが大型規制である場合のみそのリンクは大型規制となる。また、道路交通は建物の倒壊、及び、火災などによっても遮断されるので、地震災害の複合性を考慮する必要があるそこで、今回は火災による影響を考え、火災が発生した場合、そのブロックに接する道路は遮断され通行止めとなると仮定した。従って、リンクkにおいてX件の交通規制を伴う被害が生じたとき、規制種mをとる確率は焼失率(A_k)を用いて式-9で与えられる。

$$C_{k,m=1} = \delta_{m=1} \cdot A_k$$

$$C_{k,m=2} = (\delta_{m=1} + \delta_{m=2}) \cdot A_k - C_{k,m=1} \quad (9)$$

$$C_{k,m=3} = (\delta_{m=1} + \delta_{m=2} + \delta_{m=3}) \cdot A_k - C_{k,m=1} - C_{k,m=2}$$

δ_m : 1件の道路被害が規制種mをとる確率

よって、リンクkで規制種mをとる確率は式-10で与えられる。

$$PC_{k,m=0} = \exp(-\alpha r_k L_k) \cdot (1 - A_k)$$

$$PC_{k,m=1,2} = \sum_{X=1}^n P_k(X) \cdot C_{k,m=1,2} \quad (10)$$

$$PC_{k,m=3} = \sum_{X=1}^n P_k(X) \cdot C_{k,m=3} + \exp(-\alpha r_k L_k) \cdot A_k$$

連結確率は、通行止め確率 $PC_{k,m=3}$ を用いて、田村・川上により提案されたモンテカルロ法による方法⁸⁾に従い1000回のシミュレーションを行って推定した。ノードでの被害はないものと仮定した。

5. 住宅地域の危険度

住宅地域の危険度は、表-6、及び、図-2に示すように市区別の道路網の連結確率で表した。連結確率は0.255から0.981となり、火災の影響を考慮しない場合(0.956~0.992)に比べ低い値を示すことから、連結確率の値は火災によって大きく左右されることが分かった。この結果、HUANGPU JIANG RIVERの東側の地域(Huangpu区B地域、Nanshi区B地域)及びNanshi区A地域において危険度が高くなった。

6. 結論

地震による都市災害の特性は、複合性、波及性を持ち、その災害の拡大の過程の中で人的被害も増大していく点にある。特に、火災及び道路の機能低下は、避難や復旧に大きな影響を与える。連結確率が小さな値を示した地域において、火災被害の低減、及び、道路の機能保持を図るには道路網の整備が必要であると思われる。

参考文献

- 1)川島一彦他:最大地震動及びスペクトルの距離減衰式,土木研究所報告,第166号,昭和60年9月
- 2)T.Niuro, et al: A Comparative Study of an Assessment of Earthquake Disaster Risk in Shanghai, Proc. of 9WCEE, Vol. VII PP637-642, Tokyo-Kyoto, 1988
- 3)飯吉勝巳他:地震動強度からみた住宅地域の焼失危険度評価,昭和63年度研究発表会講演概要集,土木学会中部支部,平成元年3月10日
- 4)建設省都市局:「防災都市建設計画調査」防災アセスメント手法編,昭和53年3月
- 5)京久野涉他:道路交通の震災危険度評価に関する研究土木学会中部支部,平成元年3月10日
- 6)応用地質調査事務所:1983年5月26日日本海中部地震被害調査報告,昭和59年1月15日
- 7)東北地方建設局: '78年宮城県沖地震災害報告書,昭和54年11月
- 8)田村重四郎,川上英二:モンテカルロ法による地中埋設管システムの耐震性の評価手法,土木学会論文報告集,第311号,1981年7月

表-6 市区別連結確率

市区名	連結確率	
	火災の影響あり	火災の影響なし
Huangpu-A	0.794	0.992
Huangpu-B	0.254	0.964
Nanshi-A	0.254	0.986
Nanshi-B	0.267	0.956
Luwan	0.691	0.983
Xuhui	0.742	0.978
Changning	0.644	0.980
Jingan	0.818	0.992
Putuo	0.573	0.978
Zhabei	0.587	0.978
Hongkou	0.654	0.980
Yangpu-A	0.598	0.969
Yangpu-B	0.548	0.976
Wusong	0.464	0.977
Minhang-A	0.974	0.974
Minhang-B	0.981	0.981

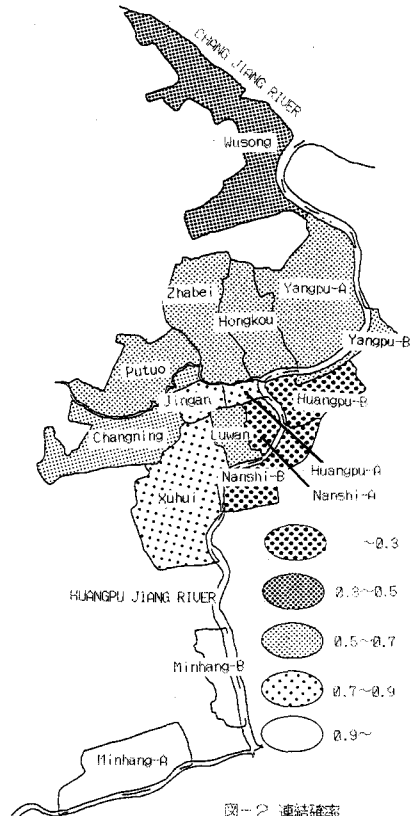


図-2 連結確率