

数量化手法を用いたミクロ地域震災危険度評価法の開発

高田至郎¹・北田敬広²

¹フェロー 工博 神戸大学教授 工学部建設学科 (〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町 1-1)

²学生会員 工修 神戸大学大学院生 自然科学研究科 (〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町 1-1)

従来の地震被害予測手法は膨大なデータの収集・評価値を算出する過程における様々な予測式の活用など、多数の不確定要因の問題や多くの労力を要する。そのため従来の予測手法に替わり、できる限り簡便に地震災害危険度評価を行うことが可能な手法を考案することは意義のある試みと考えられる。本研究では従来手法での被害想定調査で得られたデータをもとに簡便な地域地震診断表の作成ならびにその評価を行う。

Key Words : *method of forecasting seismic damage, qualification theory, local seismic diagnosis table*

1. はじめに

全国各地における地震災害に対する危険性は、当然その地域に適した評価がなされるべきものである。地震災害は震動による建物被害の他に、液状化、地盤災害、津波、火災などの一次災害、さらには避難者の発生、ライフラインの供給停止による生活支障といった二次災害など様々な災害形態が存在し、その地域特有の諸条件が被害の出方に大きな影響を与えている¹⁾。そのため、防災計画が十分整備されている都道府県といった広域範囲なものばかりでなく、例えば、町丁目単位といったさらに狭い地域で、その地域の災害危険性を評価し、把握することは、そこに住む地域住民にとって直接的かつ身近な防災指針となり、今後の地域地震防災性の向上を図るうえで重要になるものと思われる。

また従来から各自治体において実施される地震被害予測法(フラジリティ関数法)は膨大なデータの収集・評価値を算出する過程における様々な予測式の活用など、多数の不確定要因の問題や多くの労力を要する。そのため従来の予測手法に替わり、できる限り簡便に地震災害危険度評価を行うことが可能な手法を考案することは意義のある試みと考えられる。

そこで本研究では従来手法をもとに被害想定調査で得られたデータを用いることによって、説明変数から災害危険性を簡便に評価することが可能な地域地震診断表の作成ならびにその評価を行う。

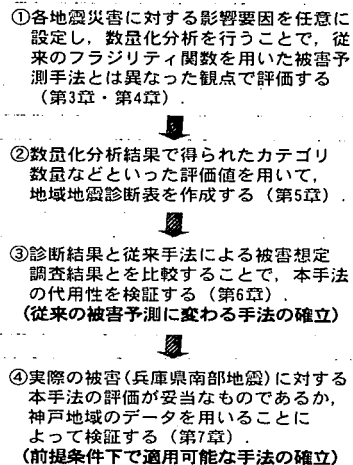


図-1 地域震災危険度評価法の開発

2. 本手法の位置づけならびに既存の被害想定調査との比較

(1) 本手法と従来手法の比較

本研究では図-1のフローに従ってミクロ地域震災危険度評価法の開発を進める。従来の被害予測手法に替わる簡便な災害危険度評価手法の確立およびある前提条件のもとで実データに適用した評価がなされる手法の確立の2点を本研究の目的とする。

表-1 従来の被害予測手法と本手法との比較

	従来の予測手法を用いた災害危険度評価	本手法による災害危険度評価
長所	・詳細なデータを集め、分析することにより 精密な評価が可能である	・地域のデータをもとに、簡便に災害危険度 評価ができる ・各災害において同じ数値化を用いた手法 で行える
短所	・想定単位としてメッシュや町丁目を用 いており統一性がない ・フラジリティ値など複雑なシミュレ ーションを用いている ・最終的な災害危険性を評価するまでに 多くのステップを要する	・被害予測結果を用いて診断表を作成すると、 精密な危険度評価は行えない

表-1に、従来の被害予測手法と本手法との比較を示す。前述したように従来の被害予測手法は災害に対する危険性を評価するうえで、多くのステップを要する。それに対し、本手法では作成した地震診断表を用いることで、説明変数より即座に地域の災害危険性が配点によって評価できるという大きな相違点が挙げられる。さらに、想定単位を行政区分に統一し、数値化I類を各災害に共通した評価方法として用いているため、評価するうえで簡便であり、また分かりやすい点が長所といえる。

(2) 従来手法の概要

従来の予測手法として、いくつかの災害項目に関して、ある自治体の被害想定調査手法²⁾の概要を簡単に説明する。

a) 家屋倒壊

建物被害の予測は構造別(木造および非木造)に構造物の被害率と地震動強さの関係を示す式(1)のフラジリティ曲線を用いて、各想定地震ごとに全壊棟数および半壊数を算出している³⁾。地表最大加速度と木造および非木造建物被害の関係を、兵庫県で調査した建物被害と一致するようにパラメータを一部修正して用いる。

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^{\kappa} e^{-\frac{(\kappa - \kappa_0)^2}{2\sigma^2}} d\kappa \times 100 \quad (1)$$

ここに、P:全壊率または被害率(%), κ:工学的震度(α_sg), α_s:地表最大加速度, g:重力加速度, κ₀, σ:建物の構造、年代に依存するパラメータを表す。

上式より得られた全壊率および被害率を、各メッシュ内の建物数に乗じて木造、非木造建物の全壊数および被害数を算出しており、また木造および非木造建物の半壊数はそれぞれの被害数と全壊数の差としている。

b) 人的被害

兵庫県南部地震の被害状況をもとに作成した経験式を用いて被害値を算出している。具体的に建物被害による人的被害予測手法を以下に示す。死者数・負傷数ともに、兵庫県南部地震における家屋倒壊数と人的被害者数との関係式から算出している。

$$\text{死者数} = 0.0512 \times \text{建物全壊棟数} \times \text{人口補正係数} \quad (2)$$

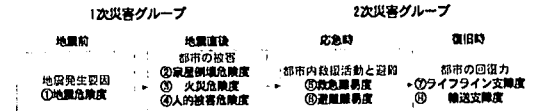


図-2 災害評価項目

$$\text{負傷者数} = 0.1414 \times (\text{建物全壊棟数} + \text{建物半壊棟数}) \times \text{人口補正係数} \quad (3)$$

ここに、人口補正係数は予測時間帯の屋内人口/5 階の屋内人口を表す。さらに発生避難者数の予測を以下の式(4)より算出している。

$$\text{避難者数} = 1.3105 \times (\text{全壊棟数} + \text{半壊棟数}) \quad (4)$$

c) ライフライン(上水道被害予測)

上水道に関する被害予測は、式(5)に示す兵庫県南部地震の被害分析から得られた速度と標準被害率の関係を用いることで、メッシュ毎の標準被害率を算出している。

$$y = 6.33 \times 10^{-5} \times v^{2.10} \quad (\text{ただし, } v \leq 110 \text{ kine}) \quad (5)$$

ここに、y:標準被害率(件/km), v:速度(kine)を表す。さらに、以下の式を用いることで、メッシュ内の被害件数を算出している。地震動の強さによって決定される標準被害率に、管種・口径・液状化の程度による補正を行い、メッシュ内の管種・口径別延長を乗じて求める。

$$N = (1 - S/100) \sum \sum C_d C_p R_0 L_{dp} + (S/100) \sum \sum C_d C_p C_L R_0 L_{dp} \quad (6)$$

ここに、N:被害件数, S:液状化面積率(%), R₀:標準被害率(個所/km), C_L:液状化率 100%の時の液状化補正係数, C_d:口径区分 D に対する口径補正係数, C_p:管種 p に対する管種補正係数, L_{dp}:口径区分 d で管種 p である管路のメッシュ内延長(km)を表す。

3. 被害調査項目と分析手法

(1) 被害調査項目と前提条件

災害危険性を評価する上で、まず被害調査項目を設定することが必要である。そこで各地方自治体が地震被害想定調査でももに実施する評価項目のうち比較的多くのデータが得られる災害項目として図-2に示す8項目について抽出した。人的被害危険度に関しては死者を評価した重度と負傷者を評価した軽度についてそれぞれ分析を行うものとした。

使用したデータは、原則としてある自治体が被害想定を行った結果(家屋倒壊数、人的被害数等)ならびに地図等をもとに作成した実データであり、町単位を基

本としている。

また本研究においては、地震動の大きさが都市の災害程度に与える影響は無視することができず、地震動の大きさと地域の脆弱性が複合した結果、災害が生じるものと捉えた。地震動の影響については、いくつかの想定断層に対して地域被災予測を行っているデータを用いることで加味している。

さらに、季節や時間帯といった前提条件によって、火災や人的被害のモードが異なってくることから、様々な条件での危険度評価が望まれる。

前述したように各種データが各想定地震・各時間帯ごとに整理されていることから、今回の設定では想定地震規模がマグニチュード7.6程度、想定時間帯を3:00~4:00とした分析結果をおもにとりあげる。

(2) 分析手法

災害の要因分析手法として数量化Ⅰ類を用いる。数量化Ⅰ類は定性的な要因をもとに、外的基準を定量的に予測するための手法である。数量化の利点として、簡便であること、各要因の災害に対する影響を相対的に評価しうることが挙げられる。数量化を行うことによりカテゴリ数量並びに範囲(range)が得られ、基準化されたカテゴリ数量を用いると外的基準に対する各アイテムの影響の大きさを知ることができる。範囲の大きいアイテムほど予測値に大きな影響を与えるものであるとともに、外的基準に及ぼす影響も大きな要因であるといえる⁴⁾。また被害発生を各アイテム中でカテゴリ数量の正值の高いものを選出することで見つけることができる。

予測の良さを示す尺度として重相関係数(予測が妥当かどうか)、偏相関係数・範囲(説明特性として用いた個々のアイテムが予測にどれだけ寄与しているか)がある。今回の分析では、とくに上に挙げた重相関係数R、ランク落ち現象をはかる各アイテム間の単相関係数、各カテゴリ数量の値に注意して、最適なアイテムならびにカテゴリ分類をすすめた。この数量化Ⅰ類による回帰モデルは次式のように表現される。

$$y_i = b_0 + \sum_j \sum_k \delta_{i,jk} x_{jk} \quad (7)$$

y_i は予測値、 b_0 は総平均、 x_{jk} はj番目の変数のk番目のカテゴリに割り当てられる係数(重み)、 $\delta_{i,jk}$ はiケースにおいて、j変数の値がkカテゴリに該当するとき1になり、それ以外は0となるような係数である。ここで重相関係数Rの値などから予測値と観測値との分析結果が妥当であるものと判断した上で、この2つの指標を災害項目の評点化のデータとして使用する。

表-2 アイテムならびに外的基準(家屋倒壊危険度)

アイテム	カテゴリ	詳細	アイテム選出理由
建物総数	1	1000棟未満	建造物の多少が家屋の倒壊数に影響
	2	1000~2000棟	
	3	2000棟以上	
建物密集度	1	5000(棟/km ²)未満	建物密集度が家屋倒壊に影響
	2	5000(棟/km ²)以上	
木造家屋率	1	50%未満	木造家屋の割合が高い地域では家屋倒壊数も多い
	2	50%以上	
地形・自然条件	1	低位狭長	家屋倒壊に地盤の条件が大きな影響を与える
	2	沖積層	
	3	沖積軟弱地盤	
震度(計測震度)*	1	平均(6.3)以上	地震動の影響が家屋倒壊に大きく影響
	2	平均(6.3)未満	
外的基準		家屋倒壊数(全壊数+半壊数)を算出	
*震度に関しては各想定断層ごとにカテゴリ分類が変わる			

表-3 家屋倒壊危険度の数量化分析結果

重相関係数: R=0.80

アイテム	カテゴリ	度数	平均値	カテゴリ数量	範囲	偏相関係数
建物総数	1	73	115.68	-274.28	1056.27	0.79
	2	38	502.39	135.91		
	3	19	1086.37	781.99		
建物密集度	1	78	331.44	31.30	78.26	0.13
	2	52	429.33	-46.95		
木造家屋率	1	36	257.58	-35.22	48.71	0.08
	2	94	413.87	13.49		
地形・自然条件	1	3	93.33	-511.27	532.63	0.27
	2	109	413.56	21.36		
	3	18	156.61	-44.12		
震度	1	77	437.99	93.59	229.55	0.36
	2	53	272.68	-135.97		
全体		130	370.59	370.59	1945.42	

4. 数量化分析とその結果

本稿では分析を行った8項目のうち、紙面の都合上、4項目について詳細な説明を加える。なお、地震外力危険度については、各アイテムの偏相関係数など地形・自然条件:0.13、地盤種別:0.25、PL値0.38、断層からの距離0.45で重相関係数は0.62である。

(1) 家屋倒壊危険度

家屋倒壊は地震災害における最も根本的な被害形態であり、まず家屋が倒壊し、そこから火災の発生や人的被害、避難者発生、さらには避難、緊急車両の通行障害など様々な災害へと波及していく。そのため地震防災において家屋の倒壊危険性を把握することは決して欠かすことのできない最も重要な項目であると考えられる。表-2に数量化を行うにあたり選出した外的基準・アイテムの詳細ならびに選出理由を示す。

各アイテム・カテゴリ分類はそれぞれ家屋倒壊に影響を与えるものと推測されるアイテムを任意に選び、外的基準は従来手法による被害予測結果から得られた家屋倒壊数(全壊数+半壊数)を採用した。木造家屋率を用いることで木造・非木造の影響を取り入れ、建設年代については他のアイテムとの精度上のバランスを配慮して取り入れていない。またアイテムに計測震度を導入することで地震動の影響を評価した。カテゴリを想定地域の平均値6.3で分類したのは、データ数の関係と分析精度を考慮に入れたためである。

表-3のアイテムには“数”や“率”で表現された項目が混在しているが、そのアイテムが相対的に危険度に与える重みを定量的に分析することを目的としている。

表-3に数量化分析結果、図-3に家屋倒壊数の観測値

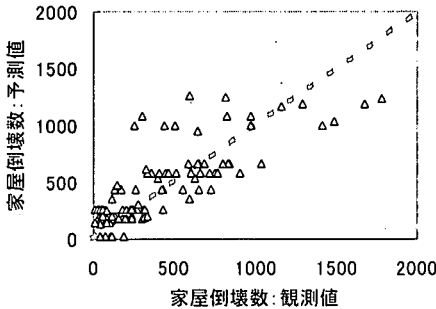


図-3 家屋倒壊数の観測値と予測値

表-4 アイテムならびに外的基準(人的被害危険度)

アイテム	カテゴリ	詳細	アイテム選出理由
弱年・高齢者率	1	25%未満	弱年・高齢者の割合が被害程度に深く (弱年・高齢者率: 0~14歳 65歳以上人口割合)
	2	25%以上	
建物総数	1	1000棟未満	建築物の多少が被害の死者・負傷者発生に影響
	2	1000~2000棟	
	3	2000棟以上	
木造家屋率	1	50%未満	木造家屋の割合による圧死が多い
	2	50%以上	
不燃領域率	1	50%未満	火災延焼による死者・負傷者への影響
	2	50%以上	
地形・自然条件	1	低位段丘	家屋倒壊に地盤の条件が大きな影響を与える
	2	沖積心	
	3	治山脆弱地盤	
震度(計測震度)	1	平均(6.3)以上	地震動の影響による災害の拡大化
	2	平均(6.3)未満	
外的基準			死者・負傷者を選出

と予測値の関連を示す。

アイテム選出ならびにカテゴリ分類は、度数・カテゴリ数量値・偏相関係数等に着目し設定を行った。重相関係数が $R=0.80$ であり、精度の良い分析が行われたものと考えられる。図に示す観測値は想定自治体が被害予測を行った結果得られた家屋倒壊数であり²⁾、予測値というのは数量化を行い算出されたカテゴリ数量値等をもとに式(7)から算出された家屋倒壊数である。各アイテム間の範囲を比較すると、圧倒的に建物総数が家屋の被災棟数に及ぼす影響が高い。結果的に、この分析から地域の家屋倒壊数というものが、おおた建物総数、地形・自然条件、震度で決まってしまうといえる。カテゴリ数値から、建物総数が多い、計測震度が総体的に高い地域が家屋倒壊に与える影響の高い地域であるといえる。また地形分類については低位段丘に属する地域に関して他のカテゴリとの比較から家屋被災に大きなマイナスの影響を及ぼしている。

(2) 人的被害危険度

地域において人的被害(死者・負傷者)を予測し正確に評価することは、救助活動を行う上ではあらかじめ危険性の高い地域を把握することができ、緊急時の迅速な対応にはつながっていく。表-4に人的被害危険度に関して数量化を行うにあたって選出した外的基準・アイテムの詳細ならびに選出理由を示す。

人的被害危険度に関しては、外的基準を死者と負傷

表-5 人的被害危険度の数量化分析結果

(a) 人的被害(重度)						
重相関係数: $R=0.71$						
アイテム	カテゴリ	度数	平均値	カテゴリ数量	範囲	偏相関係数
弱年・高齢者率	1	16	1.77	-0.60	0.69	0.03
	2	104	7.74	0.09		
建物総数	1	64	2.29	-5.06	17.80	0.68
	2	37	9.15	2.22		
	3	19	18.28	12.74		
木造家屋率	1	27	4.90	-1.48	1.90	0.11
	2	93	7.53	0.43		
不燃領域率	1	28	8.09	0.30	0.39	0.02
	2	92	6.59	-0.09		
地形・自然条件	1	3	0.44	-9.31	9.64	0.21
	2	104	7.57	0.33		
	3	13	3.44	-0.49		
震度	1	75	8.30	2.00	5.34	0.34
	2	45	4.68	-3.34		
全体		120	6.94	6.94	35.08	

(b) 人的被害(軽度)						
重相関係数: $R=0.79$						
アイテム	カテゴリ	度数	平均値	カテゴリ数量	範囲	偏相関係数
弱年・高齢者率	1	16	29.09	8.13	9.39	0.07
	2	104	59.62	-1.25		
建物総数	1	64	18.00	-41.23	148.53	0.78
	2	37	70.58	16.21		
	3	19	152.76	107.31		
木造家屋率	1	27	47.06	-6.42	8.28	0.08
	2	93	58.02	1.86		
不燃領域率	1	28	59.13	-0.71	0.93	0.01
	2	92	54.46	0.22		
地形・自然条件	1	3	13.15	-66.51	69.83	0.26
	2	104	59.97	3.32		
	3	13	29.99	-11.25		
震度	1	75	63.00	13.98	37.28	0.38
	2	45	43.14	-23.30		
全体		120	55.55	55.55	264.86	

者に分けて分析を行うことで、重度と軽度を評価することにした。同じアイテムを選んだ理由として、同一アイテム間の死者と負傷者における影響割合を比較ができる点が挙げられる。また、想定時間帯を屋内人口が最大である3~4時とした。弱年・高齢者率のカテゴリ分類は、想定市域の平均値がおおよそ25%前後であり、それよりも大きい小さいかによって分類した。不燃領域率はおもに火災による人的被害への影響や非木造家屋の存在を考慮したものである。家屋倒壊による被害が最も多いと考え、全体的に家屋の倒壊危険度評価と重なるアイテムが多い結果となった。

表-5に数量化分析結果、図-4、図-5に死者・負傷者の観測値と予測値の関連を示す。

重相関係数 R が0.71、0.79と比較的精度の良い結果が得られた。それぞれ危険度に影響を与えるアイテムとして建物総数が挙げられる。建物の多いところでは必然的に人口も集中し、家屋倒壊にともなう被害数も多くなる。死者と負傷者発生において影響要因を相対的に比較すると、他のアイテムと比較して偏相関係数は0.1以下で小さいものの、弱年・高齢者率と不燃領域率に関して傾向の違いが見られる。弱年・高齢者率が上がると死者数の増加に影響を及ぼすのに対して、逆に負傷者の発生には負の影響を及ぼしている。これは高齢者が多い地域ほど人的被害の状況が負傷から死に移行していくのに対して、高齢者の少ない地域では被害程度が負傷にとどまることが一因として考えられる。兵庫県南部地震のケースからも年代別に死者の比率を比較すると65才以上の高齢者の占める割合が非常に高いことからこの傾向の妥当性が伺われる。

表-7 避難難易度の数量化分析結果

(a) 避難者の発生

単相関係数: R=0.76

アイテム	カテゴリ	度数	平均値	カテゴリ数量	範囲	偏相関係数
木造家屋数	1	69	142.55	-302.17	903.31	0.59
	2	27	531.81	15.23		
	3	34	1145.65	601.14		
不燃領域	1	29	556.17	-66.92	86.14	0.09
	2	101	465.52	19.22		
配水管敷設距離	1	74	209.20	-86.53	302.99	0.23
	2	27	703.85	4.67		
	3	29	988.34	216.46		
地形・自然条件	1	3	122.67	-705.50	737.96	0.25
	2	109	542.07	14.06		
	3	18	205.17	32.46		
震度	1	77	574.10	108.68	266.58	0.30
	2	53	357.38	-157.90		
全体		130	485.75	485.75	2296.97	

(b) 避難難易度

単相関係数: R=0.64

アイテム	カテゴリ	度数	平均値	カテゴリ数量	範囲	偏相関係数
避難所	1	71	2209.13	-981.54	2403.78	0.49
	2	49	4875.01	1422.23		
避難所までの最短距離	1	95	3792.80	287.60	2249.25	0.31
	2	18	1754.70	-755.01		
	3	7	546.20	-1961.65		
国・県道隣接状況	1	42	2671.92	-90.26	138.87	0.03
避難者数	1	78	3022.89	204.90	585.43	0.14
	2	42	3808.05	-380.53		
弱年・高齢者率	1	82	3403.20	31.96	100.94	0.02
	2	38	3070.04	-68.97		
全体		120	3297.70	3297.70	5478.25	

と選出理由を示す。

まず避難者の発生については想定自治体の予測結果として算出されている発生避難者数を外的基準として、避難者発生を主要因として、住居の損失ばかりでなく、ライフラインの供給断絶も関与しているためである。また災害前にライフライン供給停止による影響を把握するためには、アイテムとして配水管被害件数をなく敷設距離を選ぶ方が妥当であると考えた。今回は、なかでも生活に最も重要な役割を担う上水道システムを対象とした。さらに、第二段階として避難難易度として地域特性値を作成した。これは任意の地域から最も近い場所にある避難所の収容可能人員をその距離で除した値である。この特性値は避難所までの最短距離が短く、避難所の収容人員が多いほど値が大きくなり避難に対する地域の困難度が緩和されていくと考えられる。また避難難易度評価において説明変数に避難者数を項目として取り込むことによって地域の診断表を作成するとき、避難者発生と避難難易度の2段階の流れを配点作成に結びつけて評価できるものと考えられる。

表-7に数量化分析結果、図-6、図-7に避難者・避難難易度に関する地域特性値の観測値と予測値の関連を示す。

表-7の数量化結果から分析の精度は避難難易度の重相関係数値がおおよそ0.64とやや低いものとなった。避難者の発生には木造家屋数の与える影響が最も大きい。これに地震動が影響して家屋の倒壊を促進するため、震度や地形・自然条件の影響も大きいことがカテゴリ数値や範囲から読みとれる。避難者発生に与える影響の高い要因として、木造家屋が多いこと・配水管敷設距離が長いことなどが挙げられる。地形・自然条件では沿岸軟弱地盤の影響が強く、これは配水管被害が埋立地

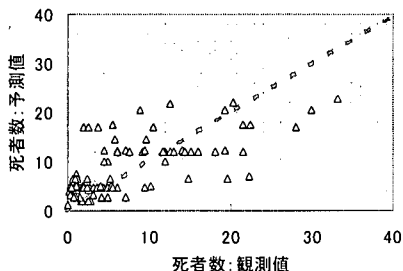


図-4 死者数の観測値と予測値

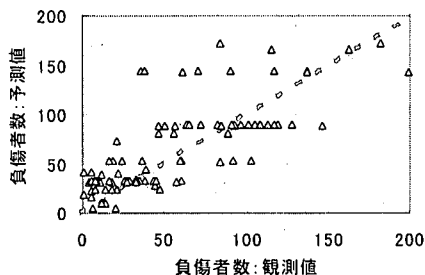


図-5 負傷者数の観測値と予測値

表-6 アイテムならびに外的基準(避難難易度)

(a) 第一段階

アイテム	カテゴリ	詳細	アイテム選出理由
木造家屋数	1	500棟未満	耐震性の低い木造家屋が密集することで避難者が発生
	2	500~1000棟	
	3	1000棟以上	
不燃領域	1	50%未満	オープンスペースの存在と火災延焼のない区域割合
	2	50%以上	
配水管敷設距離	1	5~10km	ライフライン(上水道)の供給停止が避難者の発生に影響
	2	10km以上	
	3	低位段丘	
地形・自然条件	1	沖積層	家屋の倒壊やライフラインの被害に影響
	2	沿岸軟弱地盤	
	3	低位段丘	
震度(針測震度)	1	平均(6.3)以上	震度の違いによって地震災害の規模も変化する
	2	平均(6.3)未満	
外的基準			避難者数を選出

(b) 第二段階

アイテム	カテゴリ	詳細	アイテム選出理由
避難所	1	なし	指定避難場所があるか否かで地域の充実度がはかれる
	2	あり	
避難所までの最短距離	1	500m以内	避難所までの距離が避難難易度に影響
	2	500m~1km	
	3	1km以上	
国・県道隣接状況	1	なし	幅員の広い道路が存在すると避難し易くなる
2	あり		
避難者数	1	500人未満	避難者が増大すると避難所の収容力を越える
	2	500人以上	
弱年・高齢者率	1	30%未満	災害弱者にとって避難行動は負担がかかる
	2	30%以上	
外的基準			地域特性値(収容人員÷最短距離)を選出

(3) 避難難易度

災害時に人は、住む場所を失ったり、ライフラインの供給停止などによって、一時的とはいえ、より生活のしやすい環境を求めて避難所などに居場所を求める。地域社会において災害時の避難場所は欠かすことのできない空間であることが、震災であらためて証明された。そのため地域の避難の難易性を評価することは地域防災性を高めるうえで必要なことである。避難難易度(地域に「指定避難所があるか」「避難所までの距離がどのくらいか」「避難者がどれだけ発生するか」などの要因から住民にとって避難が容易かどうかを判断)を評価するには、避難者発生状況→避難者を受け入れる施設能力・状況と2つの段階を捉えなければならない。表-6に避難難易度に関する外的基準・アイテムの詳細

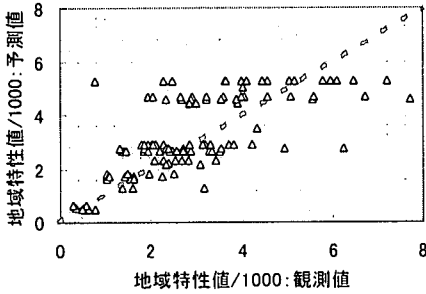


図-6 避難者数の観測値と予測値

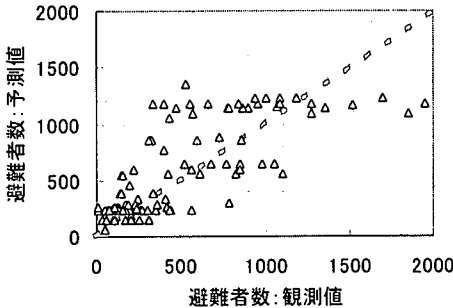


図-7 避難難易度に関する地域特性値の観測値と予測値

表-8 アイテムならびに外的基準(ライフライン支障度)

アイテム	カテゴリ	詳細	アイテム選出理由
世帯数	1	1000世帯未満	地域の世帯数が多いと初期断水による避難人口が増える
	2	1000世帯以上	
管路耐震化率	1	DIP率の未満	管路の耐震化率が高いと配水管の被害が少ない
	2	DIP率の以上	
配水管敷設距離	1	3m未満	敷設距離が小さいと被害を受ける割合が高い
	2	3m以上	
地形・自然条件	1	低地・低丘	地形条件が配水管の被害を増やす
	2	河川沿	
	3	沿岸部・敷設	
震度(影響度)	1	平均(6.3)以上	埋設配水管に被害を受けやすい
	2	平均(6.3)未満	
外的基準		地震発生時に初期断水による影響人口を避ける	

などの軟弱地盤に最も多く発生することが関係しているものと考えられる。避難難易度は外的基準として選んだ地域特性値の性質上、避難所の有無や避難所までの最短距離の影響が非常に大きい結果となった。

(4) ライフライン支障度

ライフラインの供給停止による地域住民の生活支障は非常に大きい。なかでも水は生きるうえでなくてはならないものであり、行政側にとって上水道供給停止にともない影響を受ける住民の数を把握し、緊急飲料水の確保といった緊急対応に備えた準備をしていかななくてはならない。そのために災害時のライフライン供給停止による支障度を評価することは重要である。今回はライフラインシステムのうち上水道に着目した。表-8 にライフライン支障度に関する外的基準・アイテムならびにアイテム選出理由を示す。

外的基準として影響人口を選出した。この影響人口は尼崎市の予測で得られた配水管被害率をもとに算出

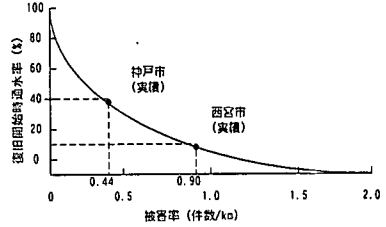


図-8 被害率対断水率関連図⁵⁾

表-9 ライフライン支障度の数値化分析結果

重相関係数: R=0.67

アイテム	カテゴリ	度数	平均値	カテゴリ数量	範囲	偏相関係数
世帯数	1	87	506.42	-1266.02	2754.15	0.51
	2	57	3824.00	1488.13		
管路耐震化率	1	16	523.01	113.45	130.25	0.02
	2	108	2254.91	-16.81		
配水管敷設距離	1	68	880.87	-498.67	1104.20	0.23
	2	56	3428.56	605.53		
地形・自然条件	1	3	3479.67	-679.84	727.39	0.07
	2	107	2160.77	47.55		
	3	14	732.61	-217.75		
震度	1	76	1764.25	-32.35	83.57	0.02
	2	48	2454.49	51.22		
全体		124	2031.44	2031.44	810.96	

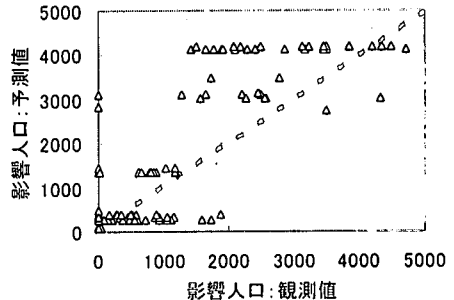


図-9 影響人口の観測値と予測値

したものである。その被害率と復旧開始時通水率との間には図-8 に示す関係があり⁵⁾、この関係から初期断水率を求め、人口を乗ずることで影響人口とした。アイテムのうち管路耐震化率とは、管路のうち耐震性の優れた DIP 管の占める割合を評価したものである。

表-9 に数値化分析結果、図-9 に影響人口の観測値と予測値の関連を示す。

重相関係数の値が 0.7 近くの結果が得られた。ライフライン供給停止による影響人口に影響を及ぼす項目として、人口と深い関連性がある世帯数、配水管被害に大きな影響を及ぼす管路埋設距離が挙げられる。人口集中地域では、一般家屋が多く配水管敷設延長が長くなることと、口径の小さな配水管の割合が多くなるため、管路の被害率が高くなり支障度が高くなる傾向が伺われる。管路耐震化率や地形・自然条件は支障度に影響を与えるが、用いたデータではほとんどの地域で耐震化ができていないこと、地形・自然条件は概ね同じであることが表-9 の結果となってあらわれている。また、地域における人口の集中度合いなどによって影響を受ける人数が変わっていくことが要因として考えら

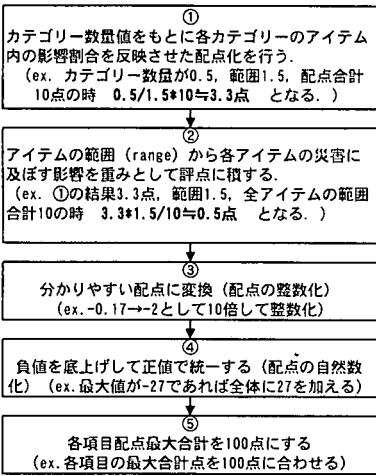


図-10 評点化方法

表-10 人的被害危険度(重度)に関する評点化例

アイテム	カテゴリ	カテゴリ数値	範囲	段階1	段階2	段階3	段階4	段階5
弱年・高齢者率	1	-0.60	0.69	-6.67	-0.17	-2	25	12
	2	0.09		1.33	0.03	0	27	13
建物総数	1	-5.06	17.80	-2.84	-1.44	-14	13	6
	2	2.22		1.25	0.63	6	33	16
	3	12.74		7.16	3.63	36	63	31
木造家屋率	1	-1.48	1.90	-7.75	-0.42	-4	23	11
	2	0.43		2.25	0.12	1	28	14
不燃領域率	1	0.30	0.39	7.67	0.08	1	28	13
	2	-0.09		-2.33	-0.03	0	27	13
地形・自然条件	1	-9.31	9.64	-3.04	-2.65	-27	0	0
	2	0.33		0.34	0.09	1	28	13
	3	-0.49		-0.51	-0.14	-1	26	12
震度	1	2.00	5.34	3.75	0.57	6	33	16
	2	-3.34		-6.25	-0.95	-10	17	8
全体		6.94	35.08					

れる。

5. 評点化手法と地域地震診断表

ここでは各地震災害危険度を評価するために数量化分析を行った結果、算出された範囲・カテゴリ数量をもとに実際各アイテム・カテゴリの評点化を行う。前述したように、数量化I類によって得られた各アイテムの範囲・カテゴリ数量は外的基準にそのアイテムが及ぼす影響をはかる指標となるものであり、この値を上手く利用することで地震災害に対する影響因子を評点化することが可能であると考えられる。範囲・カテゴリ数値をもとにした評点化手順は図-10 に示すとおりであり、アイテムが与える危険度に対する重みのイメージの把握が容易であるように配点を設定した。また、実際に図-10 に示す手順にそって人的被害(重度)に関する危険度について各アイテム・カテゴリを評点化した結果を表-10 に示す。

フローに示した手順にそって評点化を行ったわけであるが、最終的な配点結果を見ると、例えば人的被害危険度(重度)に関する不燃領域率の評点ではカテゴリ

表-11 各災害項目における地域地震診断表例

①地震危険度			
アイテム	カテゴリ	詳細	評点
地形・自然条件	2	低位段丘	6
	3	沖積層	20
地盤硬さ	1	3層地盤	8
	2	3層地盤	8
PL値	1	PL値0~5	13
	2	PL値9~15	33
	3	PL値16以上	32
断層からの距離	1	10km未満	0
	2	10km以上	25

②家屋倒壊危険度			
アイテム	カテゴリ	詳細	評点
建物総数	1	1000棟未満	7
	2	1000~2000棟	18
	3	2000棟以上	37
建物密度	1	5000棟/km ² 未満	15
	2	5000棟/km ² 以上	13
木造家屋率	1	50%未満	14
	2	50%以上	15
地形・自然条件	1	低位段丘	0
	2	沖積層	15
震度	1	低位段丘	13
	2	平均(6.3)以上	17
	2	平均(6.3)未満	11

③弱年・高齢者率			
アイテム	カテゴリ	詳細	評点(重度)
弱年・高齢者率	1	25%未満	12
	2	25%以上	13
建物総数	1	1000棟未満	6
	2	1000~2000棟	16
	3	2000棟以上	31
木造家屋率	1	50%未満	11
	2	50%以上	14
不燃領域率	1	50%未満	13
	2	50%以上	13
地形・自然条件	1	低位段丘	0
	2	沖積層	13
	3	沿線軟弱地盤	12
震度	1	平均(6.3)以上	16
	2	平均(6.3)未満	8

④弱年・高齢者率			
アイテム	カテゴリ	詳細	評点
弱年・高齢者率	1	50%未満	3
	2	50%以上	3
建物総数	1	1000棟未満	1
	2	1000~2000棟	4
	3	2000棟以上	6
木造家屋率	1	50%未満	3
	2	50%以上	3
不燃領域率	1	50%未満	3
	2	50%以上	3
地形・自然条件	1	低位段丘	0
	2	沖積層	3
	3	沿線軟弱地盤	3
震度	1	平均(6.3)以上	3
	2	平均(6.3)未満	2

⑤弱年・高齢者率			
アイテム	カテゴリ	詳細	評点
弱年・高齢者率	1	なし	23
	2	あり	0
弱年所までの最短距離	1	500m未満	11
	2	500~1km	21
	3	1km以上	32
国・県道開通状況	1	なし	14
	2	あり	13
木造家屋率	1	500%未満	2
	2	500~1000%	3
	3	1000%以上	5
不燃領域	1	50%未満	17
	2	50%以上	2
配水管敷設距離	1	5m未満	2
	2	5~10m	3
地形・自然条件	1	低位段丘	0
	2	沖積層	3
震度	1	沿線軟弱地盤	3
	2	平均(6.3)未満	3
	2	平均(6.3)未満	2
弱年・高齢者率	1	30%未満	13
	2	30%以上	14

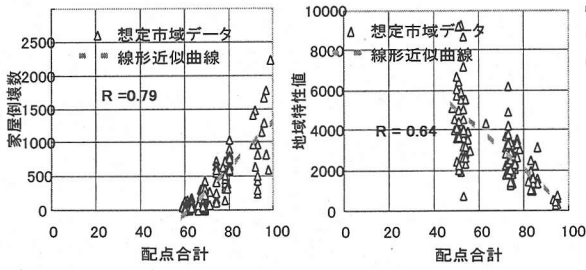
⑥弱年・高齢者率			
アイテム	カテゴリ	詳細	評点
弱年・高齢者率	1	50%未満	3
	2	50%以上	3
建物総数	1	1000棟未満	1
	2	1000~2000棟	4
	3	2000棟以上	6
木造家屋率	1	50%未満	3
	2	50%以上	3
不燃領域率	1	50%未満	3
	2	50%以上	3
地形・自然条件	1	低位段丘	0
	2	沖積層	3
	3	沿線軟弱地盤	3
震度	1	平均(6.3)以上	3
	2	平均(6.3)未満	2
国・県道開通状況	1	なし	19
	2	あり	17
医療機関	1	なし	20
	2	あり	0
病院までの最短距離	1	1km未満	17
	2	1km以上	21
緊急車保有有無	1	なし	20
	2	あり	16

⑦輸送支障度			
アイテム	カテゴリ	詳細	評点
燃費有無	1	なし	9
	2	あり	12
緊急輸送路有無	1	なし	11
	2	あり	8
国・県道開通状況	1	なし	0
	2	あり	0
輸送機関までの距離	1	1km未満	7
	2	1km以上	22
地形・自然条件	1	低位段丘	4
	2	沖積層	7
	3	沿線軟弱地盤	25
震度	1	平均(6.3)以上	10
	2	平均(6.3)未満	9

間において、結果的に同じ配点になった。これは他のアイテムと比較すると不燃領域率という項目が死者の発生に与える影響に関してこの2つのカテゴリ間においてほとんど差がないことに起因する。従って、最終的に危険度評価結果には影響しない項目であるといえる。ただ他のアイテムとの相対的な配点比較は結果として示されていると考えられる。それに対して、死者の発生に大きな影響を与える建物総数の場合はとくに各カテゴリ間の配点差が他のアイテムと比較して非常に大きなものとなっている。

表-11 に各災害項目において作成した地域地震診断表の一例を示す。

配点を統合した結果、避難・救急難易度ともそれぞれ避難者数や負傷者数の地域特性値に対する影響度が他のアイテムと比較してそれほど高くはないことから、第1段階の避難者発生や負傷者発生における各アイテムの評点が総体的に低い配点となった。またアイテム・カテゴリ数が多いほど、各項目の評点が細分化されるため、さらに厳密な評価を行うには現状よりもアイテムやカテゴリを増やすことが必要であると考えられる。次章では数量化分析結果から作成したこの診断表を実際用いた災害危険度の評価方法について述べる。



(a) 家屋倒壊危険度 (b) 避難難易度

図-11 想定市域における診断結果と評価値との比較

表-12 想定市域の各災害項目危険度ランク分類例

配点区間	地震		家屋倒壊		火災		人的被害(重)		人的被害(軽)		避難		救急		ライフライン		輸送			
	頻度	割合	頻度	割合	頻度	割合	頻度	割合	頻度	割合	頻度	割合	頻度	割合	頻度	割合	頻度	割合		
0~10	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
11~20	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
21~30	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
31~40	0	0.00	0	0.00	23	17.7	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
41~50	4	3.1	0	0.00	48	36.9	0	0.00	0	0.00	11	8.2	0	0.00	0	0.00	40	33.3	0	0.00
51~60	34	26.2	12	9.2	20	15.4	0	0.00	2	1.7	37	30.8	10	8.3	50	41.7	15	12.5	0	0.00
61~70	15	11.5	63	48.5	22	16.9	23	18.2	60	50.0	1	0.8	32	26.7	13	10.8	50	41.7	0	0.00
71~80	47	36.2	37	28.5	9	6.9	58	45.7	40	33.3	47	38.2	24	20.0	0	0.00	4	3.3	0	0.00
81~90	11	8.5	0	0.00	6	4.6	25	20.8	8	6.7	17	14.2	44	36.7	18	15.0	8	6.7	0	0.00
91~100	19	14.6	18	13.8	2	1.5	16	13.3	10	8.3	7	5.8	10	8.3	39	32.5	4	3.3	0	0.00

■ 危険度ランク(危険度大) □ 危険度ランク(危険度平均) □ 危険度ランク(危険度小) 太字は平均

6. 想定市域の診断結果

従来の被害想定調査手法に対して本手法の代替性を評価するうえで、想定市域において、作成した地震診断表を用いて各町の災害危険度評価を行った。図-11 に家屋倒壊危険度と避難難易度に関する診断結果と評価値との比較をとりあげた。

相関係数はそれぞれ数量化分析時における重相関係数 R の値と同程度である。当然のことではあるが、想定市域のデータを用いて作成した地震診断表であるため配点結果と評価値の間には全体的に数量化分析結果に対応した比較的相関の良いものとなっている。このことから、従来の被害想定調査手法に対して、数量化によって任意の説明変数から危険度評価を行った本手法の代替性が示されたと考えられる。

今回の想定市域の評点結果から一例として表-12 に示す危険度ランク分けを行った。具体的には、配点結果の平均値が含まれる配点区間を危険度ランク 2(平均的)とし、その区間より配点が上であれば危険度ランク 3(危険側)、下であれば危険度ランク 1(安全側)とすることを基本とした。このような分類を行うことで、各町の危険度を相対的に比較する上で非常に分かりやすいものとなる。

図-12 に災害項目すべてに関して、想定市域の診断結果をもとに危険度ランク分類を行い、総合的なレーダーチャートを作成した。

想定市内の任意の 3 町、例えば MM 町の総合的な地震災害危険度が他の 2 町よりも低いなどといった、他の

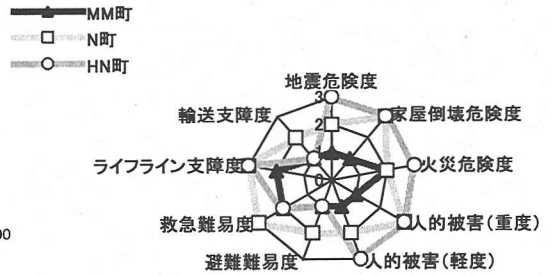


図-12 各災害項目における想定市域の危険度評価

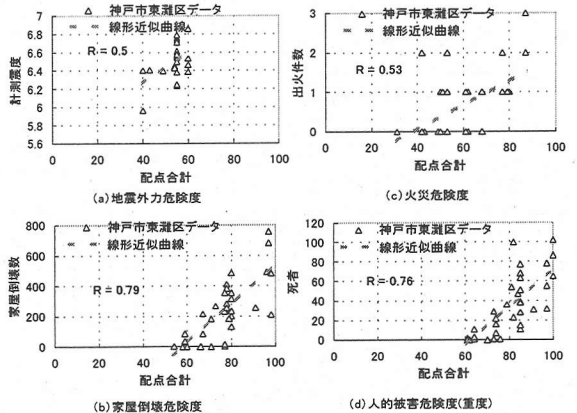


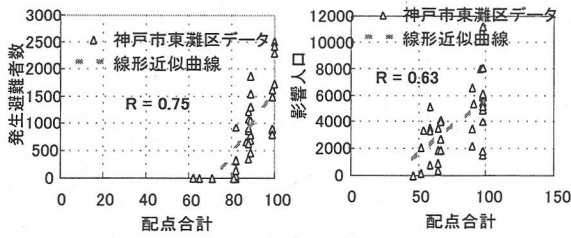
図-13 神戸市東灘区における診断結果と

その評価(一次災害グループ)

地域との相対的な評価が一目瞭然である。二次災害に関しては地域の施設有無やその場所へのアクセス性など、地域の特有な性質がより災害危険度に影響する診断表が作成できたものと考えられる。このように総合評価として各災害ごとの評点を 1 つのレーダーチャートの形で図示することで感覚的に各町ごとの災害危険度の特徴を容易に把握することが可能になる⁸⁾ちなみに、MM 町は震度が小さく人口密度も小さい。また N 町は重要施設が少ない地域で震度は中程度、HN 町は震度が大きく、被害が予想される地域である。

7. 作成した地域地震診断表の検証

作成した地域地震診断表が前提条件のもとで他の地域においても適用可能か検証することは重要である。そこで前提条件にしたがって、兵庫県南部地震時における神戸市東灘区(計 36 町)における地震被害データを用いることによって、実際の被害数と作成した診断表による地域の配点結果との比較を図-13、図-14 に行った。使用するデータとしてその精度が不明瞭なものは除外した。神戸市東灘区を検証地域として選んだのは、作成した診断表が地震規模マグニチュード 7.6 程度の地震を想定したものであり、検証に使用できる多くの



(a) 避難難易度(避難者発生) (b) ライフライン支障度

図-14 神戸市東灘区における診断結果と
その評価(二次災害グループ)

データがあり、被災の有無が地域的に分布しているために東灘区を選定した。

図-13 に神戸市東灘区の各町において、一次災害グループに関して、作成した地域地震診断表を用いた診断結果の値と実際の被害値との比較を行った。家屋倒壊危険度・人的被害危険度(重度)においては、相関係数の値が0.7以上と比較的良好な相関関係が得られ、他の地域でも十分適用できる可能性が示唆された。地震危険度や火災危険度に関しては、評価点と被害数との間にばらつきが生じた。地震危険度は診断する評価項目が少ないため、一評価項目が配点合計に与える影響が非常に大きくなり、わずかな差で配点結果に大きな変動が生じる。このような現象を防ぐには、診断表を作成する上で数量化分析時に地震動に影響すると予想されるアイテムの数や内容についてさらに検討する必要がある。各アイテムの相関係数に違いがあるものの、本手法によって作成された診断表が項目によっては、実際の兵庫県南部地震による神戸市東灘区の家屋倒壊危険性など、ほぼ適切に評価していることが相関係数の値などから判断される。

避難難易度に関しては今回、発生避難者数を評価基準として、避難難易度の第一段階目を評価した。避難者発生に関しては評価値と配点合計との間にRの値がおよそ0.75以上と高い相関がみられた。ライフライン支障度に関する評価は相関係数が0.6よりもやや高い値となった。評価値として影響人口を選んだわけであるが、この値は前章の影響人口算出方法と同様に算出した。配水管被害率は、東灘区における町ごとのデータである。診断表作成時に、外的基準として新たな地域特性値を作成した災害項目に関しては、今後検証を行う上で、災害危険度を表現する適切な評価値が必要となる。

神戸市東灘区の被害データを用いて実際に検証を行った災害項目のうち、とくにある程度相関性の得られた家屋倒壊危険度、ライフライン支障度に関して危険度ランクを設定し、図-15、図-16にGIS上に表示した神戸市東灘区の危険度マップを示す。また危険度ラン



図-15 神戸市東灘区の家屋倒壊危険度マップ

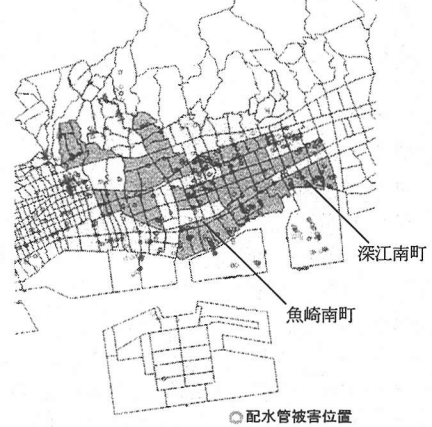


図-16 神戸市東灘区のライフライン
支障度マップ

クの分類は配点区間と関連づけて表-13に示すようなものとした。平均点が含まれている区間をランク2として、それぞれの頻度分布を参考にランク1とランク3を決定している。家屋倒壊危険度マップには木造家屋倒壊数、ライフライン支障度マップには配水管被害位置を同時に出力した。

図から、兵庫県南部地震において、震災の帯と呼ばれる地域で総体的に家屋倒壊危険度が高くなっているのが分かる。魚崎南町や深江南町といった(図-16参照)海岸寄りの地域において、実際よりも危険側の評価がなされている。ライフライン支障度に関しては、配水管被害位置と照らし合わせることで評価を試みた。ライフライン支障度は地域における影響人口を評価指標としたものであるため、必然的に人口の多い町で支障度が高い結果となった。また、配水管被害との関連も無視できず、埋め立て沿岸地域などといった被害の多い地域で支障度が高く評価されていることが読みとれる。ただ、なかには配水管被害が集中している地域においても、総体的に支障度ランクが低く見積もられ

表-13 危険度ランク分類

配点区間	家屋倒壊 危険度ランク	ライフライン 支障度ランク
0~10	ランク1	ランク1
11~20		
21~30		
31~40		
41~50		
51~60		
61~70	ランク2	ランク2
71~80		
81~90	ランク3	ランク3
91~100		

ているケースも存在し、今後、診断表作成に際して数
量化の精度を上げることで解消できるものと考えられ
る。

8. 結言

本研究では従来の被害予測手法に替わる手法として、

- 1) 簡便に災害危険度を評価することができる手法
- 2) ある前提条件下で実際の被害に適応した評価が
可能な手法

の2点を踏まえた地域震災危険度評価手法の開発を目
的とした。ある市域を対象とした数値化結果をもとに、
地域特性を加味した地震診断表作成を進めた。この診
断表は、地域のデータを利用することで各災害に対す
る地域の危険性を採点形式によって簡便に評価するこ
とができる。地域の総合的な災害危険度評価はレーダ
ーチャートを用いることによって、他地域との相対的
な危険度比較や地域の危険度特性を把握することが可
能となった。また作成した診断表を用いて評価した災

害危険度と神戸市東灘区を対象とした実際の被害値と
を比較したところ、家屋倒壊危険度などに関して比較
的良い相関が得られ、前提条件をほぼ同じくする地域
への適用可能性が示唆された。また本手法による診断
表作成は、数値化分析において、各災害項目を評価す
る適切な外的基準・アイテムの選出、ならびにカテゴリ
分類が最も重要であり相関性の高い結果を用いなければ
正確な診断表を作成するのは難しいことが示唆され
た。

参考文献

- 1) 損害保険料率算定会：地震被害想定資料集，1998.9.
- 2) 尼崎市：尼崎市被害想定調査業務，報告書（案），
pp. 89-245，1999.3.
- 3) 高田至郎，嘉嶋崇志，水越薫：兵庫県南部地震による
建物被害の分析その2 建物フラジリティ曲線の評価，
日本建築学会大会学術講演梗概集，pp. 3-4，1996.9.
- 4) 有馬哲，石村貞夫：多変量解析のはなし，東京図書，
pp. 185-209，1987.10.
- 5) 関西水道事業研究会：市民の視点にたった水道地震
被害予測及び震災時用連絡管整備に関する一考察，
関西水道事業研究会耐震計画分科会報告書，pp. 1-6，
1996.3.
- 6) 永松義敬，松田泰治，大塚久哲，中尾由紀子：地理
情報システム(GIS)を利用した福岡都市圏の地震危
険度，第24回地震工学研究発表会講演論文集，
pp. 1229-1232，1997.7.

(2000.4.18 受付)

DEVELOPMENT OF SIMPLIFIED METHOD EVALUATING LOCAL VULNERABILITY TO SEISMIC DISASTER BASED ON QUALIFICATION THEORY

Shiro TAKADA and Takahiro KITADA

A conventional method predicting seismic damage, using vulnerability functions, requires a lot of labors, the use of a huge data and a variety of forecast methods. Therefore, to design a new method to evaluate the disaster as simple as possible is thought to be very important. We proposed a new simplified method to evaluate the seismic risk in local areas by employing the qualification theory base on the data obtained by the conventional method.