

地震防災ポテンシャルの評価手法に関する基礎的研究 —都市特性と被害量による定量評価—

1. はじめに
2. 都市情報の収集と整理
3. 地震災害脆弱性の都市間比較
4. 被害地震と地震防災ポテンシャル値の関係
5. おわりに

天 国 邦 博*
 荏 本 孝 久**
 望 月 利 男***

要 約

阪神・淡路大震災では、神戸市を中心として阪神地域における大都市に甚大な被害を与えた。この震災が発生した後、各都道府県また市町村においては、地震防災対策に関して様々な検討が進められている。しかしながら、都市における地域特性と地震災害との関係は、必ずしも明らかになっておらず、地域特性を定量的に評価し、その結果を都市間で比較することにより、各都市における地震防災対策の優先度の高い地域を抽出する手法についての検討は、十分検討されていないと思われる。

都市の地震防災ポテンシャルとは、自然的条件（地形・地盤・地震環境など）、都市施設などそれぞれの地域の都市的空間構造（建築物分布特性、道路率、ライフライン・ネットワークなど）、社会的条件（人口とその密度、居住者の特性と人口移動、災害弱者の分布など）、地域の防災力（消火に関する人的・物的資源、医療資源、行政職員数、自主防など）から構成される。これらの項目には、災害に対する「予防」、「緊急対応」、「応急復旧」の時間的対応要因も必要である。

本研究は、都市における様々な災害拡大要因と災害抑制要因に対して総合的、定量的評価手法について検討し、日本における13の政令指定都市の地震防災ポテンシャルを試算して都市間比較を試みた。また、これらのポテンシャル評価手法を用いて、過去に被害をもたらした地震（関東地震の東京市、福井地震の福井市、新潟地震の新潟市、十勝沖地震の八戸市、宮城県沖地震の仙台市、及び兵庫県南部地震の神戸市の各区部）について、被害量（額）と地震防災ポテンシャル値の関係を求めてみた。

*東京都立大学大学院都市科学研究科（博士課程）・パシフィックコンサルタンツ株式会社総合研究所

**神奈川大学工学部

***東京都立大学都市研究所

1. はじめに

阪神・淡路大震災では、神戸市を中心として阪神地域における大都市に甚大な被害を与えた。

この震災が発生した後、各都道府県また市町村においては、地震防災対策に関して様々な検討が進められている。しかしながら、都市における地域特性と地震災害との関係は、必ずしも明らかになっておらず、地域特性を定量的に評価し、その結果を都市間で比較することにより、各都市における地震防災対策の優先度の高い地域を抽出する手法についての検討は、十分検討されていないと思われる。

東京都区部を含む13の政令都市を事例として、地震災害脆弱性（防災性）の実態に寄与すると見做せる共通の要因を都市情報のなかから試行錯誤的に探り、大惨事を受けた神戸市が、どの様にそれらの都市の中に位置づけられるのかを明らかにし、より危険度の高い都市はどこかを把握することは重要と考える。ここに選んだ我国の大都市等は、それぞれの地域の中核的機能を担っており、その崩壊は国内外ともに大きな影響を及ぼす。

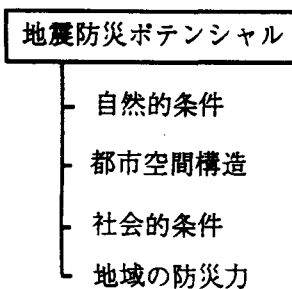


図1 概念図

都市の地震防災ポテンシャルとは、図1に示すように、自然的条件（地形・地盤・地震環境など）、都市施設などそれぞれの地域の都市的空間構造（建築物分布特性、道路率、ライフライン・ネットワークなど）、社会的条件（人口とその密度、居住者の特性と人口移動、災害弱者の分布など）、地域の防災力（消火に関する人的・物的資源、医療資源、行政職員数、自主防など）から構成され

る。これらの項目には、災害に対する「予防」、「緊急対応」、「応急復旧」の時間的対応要因も必要である。

本研究は、都市における様々な災害拡大要因と災害抑制要因に対して総合的、定量的評価手法について検討し、日本における13の政令指定都市（表1参照）の地震防災ポテンシャル値を試算して都市間比較を試みた。ここで、地震防災ポテンシャル値とは、災害対応の時間的各フェーズを念頭におき、事前・事後における都市の総合的な地域特性（機能）であるハード・ソフトの面を考慮したものである。さらに、各都市特性値と被害量（額）の関係を検討してみた。

2. 都市情報の収集と整理

本研究では、比較的統一されている「平成5年度大都市比較統計年表」（平成7年3月発行）を基本情報とした¹⁾。

表1 対象とした大都市一覧表

	都市名	面積(km ²)	順位	人口(人)	順位
1	札幌市	1121.12	(1)	1,733,077	(5)
2	仙台市	788.05	(2)	951,908	(12)
3	千葉市	272.36	(11)	851,701	(13)
4	東京都区部	621.00	(4)	8,067,703	(1)
5	川崎市	143.85	(13)	1,199,934	(9)
6	横浜市	433.18	(8)	3,291,144	(2)
7	名古屋市	326.37	(10)	2,158,873	(4)
8	京都市	610.21	(5)	1,451,897	(7)
9	大阪市	220.53	(12)	2,586,483	(3)
10	神戸市	545.78	(6)	1,510,735	(6)
11	広島市	740.27	(3)	1,103,107	(10)
12	北九州市	482.86	(7)	1,020,670	(11)
13	福岡市	336.81	(9)	1,270,279	(8)

この統計書資料は、(1)土地及び気象、(2)人口、(3)事業所、(4)農業、(5)工業、(6)商業、(7)サービス業、(8)貿易、(9)金融、(10)物価及び家計、(11)労働、(12)建物及び住居、(13)運輸及び通信、(14)電気ガス及び上下水道、(15)教育及び文化、(16)衛生、(17)民生、(18)警察司法及び消防、(19)市（都）民所得、(20)財政、(21)選挙及び職員の21指標の構成である。また、その他の資料としては、各都市の統計書・年報などを

表2 都市情報と考えられる40項目

番号	項目	番号	項目	
基礎データ	1 人口(人) (H5.10.1)	居住環境	17 道路面積 (km)	
	2 人口(人) (H2国勢調査)		18 都市公園面積 (100m ²)	
	3 世帯数 (H5.10.1)		19 小規模敷地(100m ² 未満)住宅棟数	
	4 DID人口(人) (H2国勢)		20 昭和45年以前建築の住宅棟数	
	5 市域面積 (km ²)		α 住宅総数(建数)	21 非木造住宅棟数
6 DID面積 (km ²) (H2国勢)	α 木造+非木造住宅数 (H6.市財政局)		22 下水道使用戸数	
自然	1 サイズミスティ		23 年間降水量 (1000mm)	
	2 地形(軟弱地盤面積) (ha)		24 51年以降水道管布設延長 (m)	
土地	3 都市計画区域面積 (km ²)		25 都市ガス消費量 (100万kcal)	
	4 DID/市域面積 (%)		26 51年以降ガス管布設延長比 (%)	
	5 小中学校校地面積 (m ²)		27 消費電力量 (1000kwh)	
人口	6 人口密度 (人/km ²)		28 電灯回線(加入電話)数	
	7 DID人口密度 (人/km ²) (H2)		29 携帯・自動車電話普及率 (%)	
	8 年間人口(人) (H2)		医療	30 一般病院数
	9 在日外国人数(人) (H5.12月)			31 診療所数
	10 65才以上人口(人) (H2国勢)		32 医師数(人)	
移動	11 他市町村からの通勤・通学者数(人)(H2)		33 看護婦(士)・准看護婦(士)数(人)	
	12 他市町村への通勤・通学者数(人)(H2)		行政	34 市職員数(人)
経済	13 製造品出荷高(100万円)			35 警察官数(人)
	14 販売業年間販売額(100万円)			36 消防吏員数(人)
財政	15 財政力指数		37 消防団員数(人)	
	16 一般会計支出決算総額(千円)		安全	38 自主防災組織設置自治会数(H6)
家計	α 全自治会数(H6)			39 平常時の火災件数(平成5年の総件数)
	α 低収入(年収500万円未満)世帯数			40 防火木種総容量 (m)

用いた²⁾。

都市情報として用いたものは、表2に示すように『社会的条件』、『自然的条件』、『被災要因』、『社会的吸収力』、『施設・設備的吸収力』の5つのカテゴリーに大分類された40項目である。この40項目について防災エキスパートによるアンケート調査(幾つかの大学の地震防災研究者、防災行政関係者、技術者を対象とした)を行い、地震防災力に寄与する各指標項目ごとに-2、-1、0、+1、+2の点数を設定して頂いた。

この数値の意味は、一側はいわば都市の地震災害脆弱性への寄与を示し、+側はその逆、すなわち防災力への寄与を示すものである。

本研究では、防災エキスパートによる種々の都市特性を示す都市の地震防災力値を定量的に比較するために、前述の40項目の各評価点に対して主成分分析を行ない、各指標の防災ポテンシャルの重付けを行った。

最終的には、それらの解析結果から28項目、そして16項目と絞り込み、それらの指標のもつ評価値が各都市の地震災害脆弱性あるいは防災力に寄与する要因と考えられるものを選定した(ライフラインなどの資料は、この段階で消去となった)。

ここに事例として採用した13都市の16項目の

具体的内容は、次のものである。

- A. 社会的条件：人口密度、都市的土地利用の程度を示すDID地区における人口密度、全人口に対する高齢者人口の多さを示す65才以上の人口比、
- B. 自然的条件：サイズミスティ(建築基準法等の設計用入力地震力の地域係数で、北九州市、福岡市は0.8、札幌市、仙台市、広島市は0.9、その他は1.0)、地形(都市面積全体のうちの軟弱地盤面積比率)
- C. 被災要因：低収入世帯数、全住宅棟数に対する小規模敷地住宅棟数の比率、同様に古い住宅の棟数比率(1981年建築基準法改正以前に建設)、同住宅不燃化率、
- D. 社会的吸収力：人口当たりの医師数、人口当たりの看護婦等の医療スタッフの数、人口当たりの市や都の職員数、人口当たりの消防吏員数、人口当たりの消防団員数(消防団=セミプロ的消防組織)

E.施設・設備的吸引力：人口当り小中学校地面積比率、人口当り都市公園面積、携帯・自動車電話普及率、人口当り診療所数、人口当り防火水槽総容量を示す。

以上の16項目についての主成分分析結果によると、第1主成分の固有値は、4.94、累積寄与率は23.4%であった。16項目についての因子負荷量を表3に示す。これによると、第1主成分が都市の地震防災力を表わしていると考えられる。第1と第2主成分の関係は、図2に示すように、危険要因と抑止要因の各グループに分類されていることが読みとれ、主成分分析結果の因子負荷量による地震防災ポテンシャル値への評価として利用出来ることが判明した。

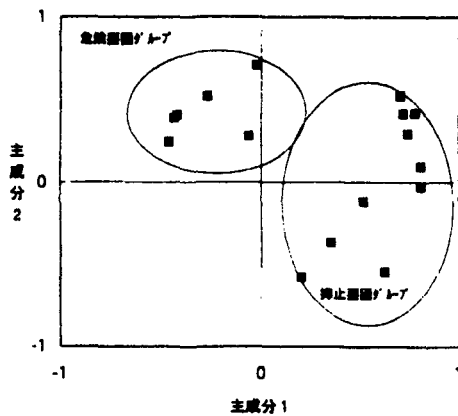


図2 主成分1と主成分2の関係

これらの因子負荷量と政令指定都市の防災ポテンシャル値のランクから、相対的指標値を各大分類ごとに算出し、総合的な地震防災ポテンシャル値を求めた。相対的評価値の意味は、ポテンシャルが正の時、防災力があるとみることが出来る。

3. 地震災害脆弱性の都市間比較

各政令指定都市の脆弱性と防災力を表す相対評価は、前述の5つのカテゴリーの各項目ごとに求め、地震防災ポテンシャル値とした。

各都市の相対評価値は、マクロな視点からの日

本の主として大都市の地震防災ポテンシャルの相対的評価であり、その値が一側にあり、かつ数値が高い都市ほど耐震化、即ち防災投資等の必要性があることを順序付けしていると考えられる(図3参照)。また、阪神・淡路大震災の被災地の中心都市である神戸市が地震防災力の視点から日本の都市の中でどのように位置付けられているかをみることにより、他の都市の被害概要が推測できると考える。

図によれば、神戸市は日本の他の12都市に比較してそれ程、地震災害脆弱性の高い都市とは言えないと考えられ、神戸市と同程度の地震入力規模を想定すれば、より甚大な被害を受けると考えられる都市は、川崎市、横浜市、千葉市、大阪市、福岡市、仙台市とも考えられる。

表3 16項目の主成分分析による因子負荷量

項目	主成分1	主成分2	主成分3	主成分4	主成分5
サイズミステイ	-0.063	0.283	-0.187	0.651	0.414
地形	-0.421	0.410	-0.460	0.378	-0.063
人口密度	-0.435	0.392	0.651	0.080	-0.031
DID地区人口密度	-0.463	0.247	0.654	0.121	-0.300
65才以上人口比	-0.272	0.524	0.200	-0.458	0.437
道路面積比	0.200	-0.572	0.196	0.522	-0.268
人口当り都市公園面積	0.621	-0.541	0.173	-0.082	-0.119
古い住宅の構成比率	-0.025	0.711	0.044	0.022	-0.128
住宅不燃化率	0.347	-0.361	-0.045	-0.331	0.001
人口当り一般職数	0.741	0.294	0.043	-0.065	-0.002
人口当り診療所数	0.780	0.421	-0.133	-0.059	-0.221
人口当り警察数	0.716	0.418	0.038	0.049	-0.299
人口当り非営利医療従事者数	0.703	0.325	-0.118	0.040	-0.236
人口当り防火水槽数	0.807	0.094	0.192	0.000	0.274
人口当り消防員数	0.807	-0.027	0.060	0.114	0.325
人口当り防火水槽容量	0.516	-0.113	0.444	0.322	0.311

以下に、それらの都市の地震災害脆弱性がどのような都市特性要因により規定されているかを述べる。

川崎市：軟弱地盤面積比が高く、昼間人口は夜間人口より少なく、東京への通勤・通学者が多い。また医療施設、医療関係者数、行政職員数が少なく都市公園面積も低位である。

横浜市：人口密度、DID人口密度など密集度はやや高い。昼間人口は夜間人口より少なく東京への通勤・通学者数が多い。丘陵地が多いため地盤条件は良い。低収入世帯数、古い住宅が多く、医療関係者数、行政職員数が少ないとともに施設・設備面での吸引力が弱

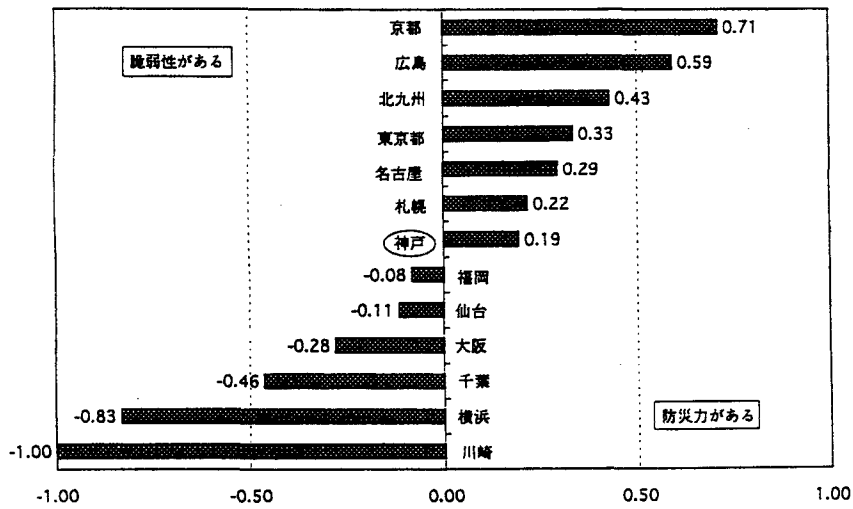


図3 地震防災ポテンシャル (相対評価値)

い。特に、公園面積、病院数が少ない。

千葉市：東京への通勤・通学者数が多い。被災要因のうち全住宅棟数に対する小規模敷地住宅棟数比率が高く、住宅不燃化率が低い。社会的吸収力のうち市職員数、警察官数が少なく、病院数も低位である。

大阪市：人口密度が高く、高齢化が進んでいる。自然条件としての軟弱地盤面積、DID面積比率が高い。低収入世帯数、小規模敷地住宅、古い住宅の比率が高い。水道管、ガス管とも古いものが多い。平常時の火災件数が多い。

福岡市：人口密度はやや低い。軟弱地盤面積比率が高い。防火水槽容量が少ない。日本の大都市のなかでは地震災害脆弱性の視点から極く平均的な都市といえる。

仙台市：自然条件は良い都市である。平均収入は高いが、住宅の不燃化率は低い。市職員・警察官・消防吏員数は少なく、道路面積率、一般病院数も少ない。

東京都区部の地震災害脆弱性は、そう高くない結果となった。その理由は、社会的条件である人

口密度、DID地区人口密度、昼間人口指数、65才以上の人口比の全てにわたり極めて悪く、自然条件である軟弱地盤面積比率、DID地区面積比率も共に高く脆弱側となるのだが、被災条件のカテゴリに属する住宅不燃化率は高い、ただし低収入世帯数は多く、小規模敷地住宅、古い住宅比率は共にやや高い。一方、ここで社会的吸収力と考えた医療関係者数、行政職員（消防・警察を含む）数、消防団員数、自主防災組織率などが全てにわたって非常に高いランクを占め、かつ施設・設備面から見た吸収力である道路面積比・診療所数・防火水槽容量などが高い数値を占め地震災害脆弱性に関する総合相対評価値を高い側に押し上げている。

震災時の神戸市は、全体的に人口密度は低い方だが、震災で大被害を受けたインナーエリアは人口や住宅が密集していた。地形的には、六甲山系が海岸に迫っており、山地、丘陵地が多く、かつ低地も扇状地が大半を占め、埋め立て等の土地も軟弱地盤面積比率は低い。また、北区、西区等の郊外地域の面積比率が非常に高いため、DID面積比率は全体的には低い。低収入世帯数、小規模敷地住宅は少ないが、古い住宅が多い。住宅の不燃化率は高く、新しい水道管・ガス管の比率も高い。医療関係者数は、やや多いが、警察官、消防吏員は少なく、それを消防団員の多さでカバーしている。自主防災加入率は、やや高い。道路面積比は

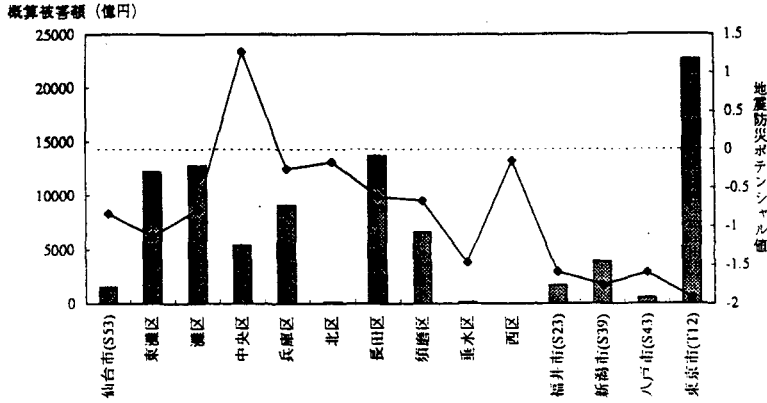


図4 防災ポテンシャル値と被害額

低い、都市公園面積比は高い。防火水槽はやや少ない。図3から見られるように神戸市は、日本の大都市の中では極く平均的な地震災害脆弱性を有する都市であったと言える。

4. 被害地震と地震防災ポテンシャル値の関係

過去の被害地震と地震防災ポテンシャル値の関係は、都市特性情報を示す5つのカテゴリーの相対評価値と地震外力である震度を用いて、概算被害額を予測してみた。

$$\text{概算被害額} = f(\text{社会的条件, 自然的条件, 被災要因, 社会的吸収力, 施設・設備の吸収力, 地震外力})$$

検討した都市は、過去に被害をもたらした地震(関東地震の東京市、福井地震の福井市、新潟地震の新潟市、十勝沖地震の八戸市、宮城県沖地震の仙台市、及び兵庫県南部地震の神戸市の各区部)である。目的変数である概算被害額は、当時の被害額を現在(平成7年)の額にするため、GNPデフレータを用いて求めた。また、神戸市と各区部については、神戸市単独として被害総額が発表されていないため、兵庫県下で示されている9兆9,268万円を総住宅被害棟数からの神戸市の住宅被害棟数比率で各区ともに配分することにより設定した。

その結果は、図4に示すようなものとなり、西

区と北区の地震防災ポテンシャル値が低いにも関わらず、概算被害額が小さいのは、社会・施設・設備による災害吸収力が低いため、全体的にポテンシャル値が低い結果であるが、地震外力がやや小さいことによると考えられる。その他の傾向は、地震防災ポテンシャル値と被害額の関係に妥当性があると考えられる。

また、過去に地震被害を受けた都市は、全体的に防災ポテンシャルが低い結果であった。これは、被害を抑止する全項目が低く、社会・自然的条件のポテンシャル値がプラスにも関わらず、全体を

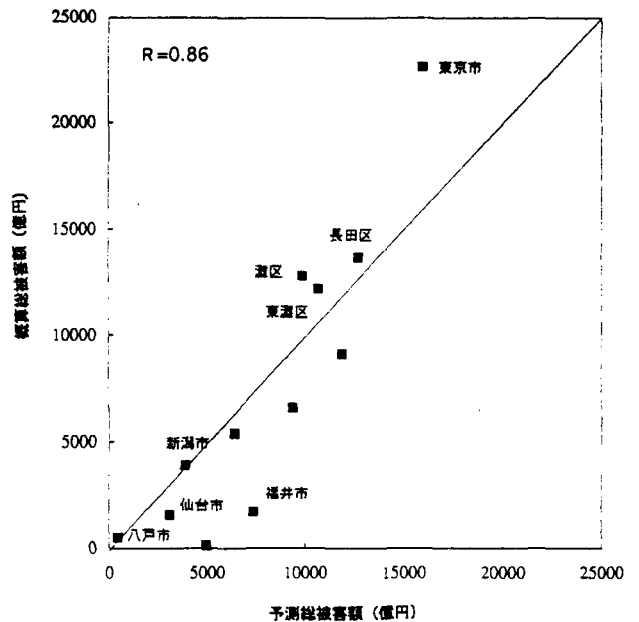


図5 予想被害額と概算被害額の関係

押し下げているためである。しかし特出できるのは、大正12年の東京市は、防災ポテンシャル値が極めて低いものであったために、大被害を受けその後の都市計画の推進により、現在のポテンシャル値がプラス側に移行していることである。

予測被害額と概算被害額の関係では、図5に示すようにやや相関性のある関係を求めることができた。

5. おわりに

本調査・研究では、阪神・淡路大震災における神戸市の全体像を把握し、それが日本の主として大都市の中で如何なる位置付けをもつのかを明らかにしようと試みた。そのために、それぞれの都市の都市特性を示す指標を抽出し、主成分分析で各都市の地震防災ポテンシャルをマクロ的に評価した。

また、これらのポテンシャル評価手法を用いて、過去に被害をもたらした地震(関東地震の東京市、福井地震の福井市、新潟地震の新潟市、十勝沖地震の八戸市、宮城県沖地震の仙台市、及び兵庫県南部地震の神戸市の各区部)について、被害量(額)と地震防災ポテンシャル値の関係を求めて、その妥当性を見いだしたと考える。

これらの結果、震災前の神戸市は、日本の都市の中で極く平均的な位置にあり、より脆弱な他の都市が未だ数多く存在することが明らかとなった。

また、各都市の地震防災ポテンシャルは、地震発生前に各都市がもつ地震災害への備えから災害対応力の強・弱を指す都市特性量から成り、本調査・研究が対象としている期間は、発災から応急対応・応急復旧(ライフライン、仮設住宅の建設)の間と考えるべきである。

従って、脆弱性の高い都市は、今後、都市の防

災性の向上と行政・企業・住民の防災に対する対応が必要と考えられる。

防災都市づくりのためには、高額な防災投資も不可欠である。そして再びあの惨事をくり返さないためにはどうしてもハード面の耐震化は避けられない。現在、公共建物、公共土木施設の補強等による耐震化は、日本の各地域(都市)で進められつつある。民間の建物等についても耐震化を促進するために補助金などの制度を設けたところもある。

これらは、阪神・淡路大震災でこれらの重要施設が壊れたからであり、中央政府から自治体まで日本の気象庁の震度階の最高値の震度7の地震入力でも、人命や都市機能に重大な影響を及ぼす施設は破壊しないようにするとの政策決定によるものである。但し、これが民間建物等の耐震化にどの程度寄与するかは疑問である。というのも災害に対する一般住民の記憶の風化は早く、阪神・淡路大震災から数カ月で防災への関心は著しく低下している実態がある。

謝 辞

本研究に際して、東京都立大学都市研究所の大学院生の神頭綾子嬢、高雄誠君、深澤崇幸君に多大なデータ収集整理をして頂きました。

ここに記して、多大なるご支援を下された方々に心より厚く御礼を申し上げます。

文 献 一 覧

- 1) 『大都市比較統計年表』1993年。
- 2) 『13都市のそれぞれの市統計書』『消防年表水道統計・土地分類図』付属資料、1993。
- 3) 神戸市消防局『阪神・淡路大震災における消防活動の記録などの被害記録』1995。

Key Words (キー・ワード)

Earthquake (地震), Social Conditions (社会条件), Urban System (都市システム), Vulnerability (脆弱性), Urban Characteristics (都市特性)

Fundamental Research on Methods for Evaluation of Earthquake Disaster Prevention Potential : Quantitative Evaluation according to Urban Characteristics and Damage Volume

Kunihiro Amakuni* , Takahisa Enomoto** and Toshio Mochizuki***

*Graduate Student, Tokyo Metropolitan University, Pacific Consultants CO., LTD.

** Faculty of Engineering, Kanagawa University

*** Center for Urban Studies, Tokyo Metropolitan University

Comprehensive Urban Studies, No61, 1996, pp.193-200

The Hanshin-Awaji Earthquake caused very serious damage to large cities in the Hanshin district, mainly to Kobe city. Since this earthquake disaster, each prefecture or municipality has been carrying out various studies concerning earthquake prevention measures. However, the relationships between regional characteristics and earthquake disaster have not necessarily been clarified yet, and studies regarding methods of identifying the high priority areas for earthquake disaster prevention in each city are considered to be not yet thoroughly done.

Urban earthquake disaster prevention potential is constituted of the natural conditions (topography, ground, seismic environment, etc.), urban space structure (building distribution characteristics, road rate, lifeline network, etc.) including urban facilities in each area, social system (population and its density, characteristics of residents, population migration, distribution of weak persons when disaster has occurred, etc.) and the disaster-preventive capability of the area (human and material resources for fire fighting, medical resources, number of administrative officials, and voluntary disaster-prevention organizations, etc.).

In this research, we have studied a method for comprehensive and quantitative evaluation of various disaster-expanding factors and disaster-restraining factors in cities, carried out trial calculation of earthquake disaster prevention potential in 13 cities specially designated by government ordinance in Japan, and compared these potentials for these cities. We also determined the relationships between the amount of seismic damage and earthquake disaster prevention potential values regarding earthquakes that caused damage to urban areas in the past (Tokyo city by the Great Kanto Earthquake, Fukui city by the Fukui Earthquake, Niigata city by the Niigata Earthquake, Hachinohe city by the Tokachi Offshore Earthquake, Sendai city by the Miyagi Prefecture Offshore Earthquake, and each ward section in Kobe city by the Hanshin-Awaji Earthquake) using these potential valuation methods.