

地震防災の観点からみた市街地の災害危険度判定手法の開発
A Method for Estimating the Risk of the Urban Disaster by a Great Earthquake

西岡誠治**、新井田浩***

By Seiji NISHIOKA and Hiroshi NIIDA

The Hanshin-Awaji Great Earthquake Disaster reminded us the spread of the densely wooden house built-up area, which has potential to expand the disaster after a great earthquake, in our nation. This study tried to develop a new method to estimate the risk of urban disaster after a great earthquake using basic administrative data. The specialty of this method are easiness for application by ordinary municipalities and easy understanding by citizens. We expect it would be applied to many urban areas and strengthen the policy for urban disaster prevention.

Keywords: Risk Estimation, Evacuation, Fire Spread, House Collapse, Street Blockade

1. はじめに

先般の阪神・淡路大震災における都市整備の観点からの教訓の一つとして、被害が木造住宅密集市街地に集中したことが挙げられる。その多くは家屋倒壊に伴うものであり、自分の住まいを地震に強くすることがいかに大切であるかを我々に教えた。他方、同時多発火災による市街地火災の発生や、家屋倒壊の結果生じた道路閉塞による避難、救出、消火活動の障害、また、一時的な避難場所、救援活動の拠点等のためのオープンスペースの不足など、街の形態や公共施設の配置のあり方に起因する被害も深刻であった。

我が国の都市においては、こうした危険な密集市街地が三大都市圏や大都市を中心に広範に存在しており、これまでも災害時の危険性が指摘されては

いたが、このような市街地が“どのような観点で危険なのか”など、危険に関する情報が乏しかった。このことは、防災上危険な市街地が対策の講じられないまま大量に残されていることの一因と考えられる。

一方で、この震災により、人員の制約や行政中枢施設の破壊など、災害時の緊急対応等における行政の役割に限界があることも明らかになった。現在この教訓をもとに、市民の間に自己責任の防災意識が芽生えつつある。

以上より、今後の都市防災対策においては、全てを行政主体で進めるのではなく、分野に応じては市民の責任と役割分担を求めていくことが必要であり、同時に、行政としては災害に対する危険性や対策の方向性に関する情報を可能な限り市民に提供することが重要である。

このため本検討では、地方公共団体における災害危険度判定の実施、公表を促進することを目的として、直感的で市民に理解しやすく、かつ地方公共団体において広く適用することができる平易な判定手法の開発を行った。

* キーワード：危険度判定、避難、延焼、建物倒壊、道路閉塞

** 正員 工博 建設省都市再開発防災課 都市防災専門官
***正員 工修 同上 企画係長

(〒100 千代田区霞が関2-1-3)

2. 災害危険度判定とは

災害危険度判定は、過去の主な地震災害や各種研究成果において被害との因果関係が概ね明確になっている市街地の属性を用いて、市民の生命、財産に関わる直接被害の危険性を市街地構造の観点で都市的なレベル、地区のレベルそれぞれから評価するものである（本検討では危険度の低い順に危険度1～5の5段階に分類）。したがって、ある特定の地震規模、震源、振動の伝播、それによる建物倒壊、出火の可能性、死傷者等を想定したいわゆる「被害想定」とは異なり、防災上とるべきまちづくりの対策に直接結びつくものである。特に、個人の責任に委ねられる敷地レベルの対策、あるいは街区や町丁等を単位とする地区レベルの対策に加え、都市全体に効果が波及する施設等の優先的な整備等に結びつけることが可能である。

3. 評価項目の設定

評価項目の設定にあたっては、災害危険度判定の趣旨を踏まえ、市街地構造として直接生命や財産に関わる被害拡大要因に着目した。

具体的には、これらの要因を、地震発生から被害が生じるまでの過程を追うことにより抽出した。人的被害、物的被害が生じる過程は概ね次のように考えることができる。

- ① まず、敷地レベルでの建築物等の倒壊あるいは火器使用時にあってはこれらの転倒による出火が発生。→財産の喪失、圧死者、焼死者の発生
- ② 初期の出火に建物倒壊に伴う出火が加わり、初期消火活動が十分機能しない場合には地区レベルの延焼に拡大。建物倒壊が集中すると避難・救助活動が困難→逃げ遅れによる死傷者発生
- ③ 延焼遮断帯が未整備の場合に都市レベルに延焼が拡大（合流火災）→消火困難、財産の焼失、死傷者多数

これらを、敷地レベル、地区レベル、都市レベルの各空間単位で捉え、大まかな被害の拡大過程として図-1に示す。

図-1より、大規模地震時における生命や財産に関わる被害は、「敷地レベルから地区レベル、都市レベルへと拡大する過程を辿り、被害の程度は建物倒壊と出火による延焼火災の大きさにより決定づけられる。また、災害時の避難・救助活動、消防活動等の難易性がこれら被害の大きさを左右する。」と説明することができる。

ここで、特に市街地構造に起因する被害拡大要因として、地区レベル、都市レベルそれぞれにおける延焼危険性と避難・救助の困難性を抽出することができ、これらを災害危険度判定の評価項目とした。

なお、以下では延焼危険性を「延焼危険度」、避難・救助の困難性を「避難危険度」と定義する。

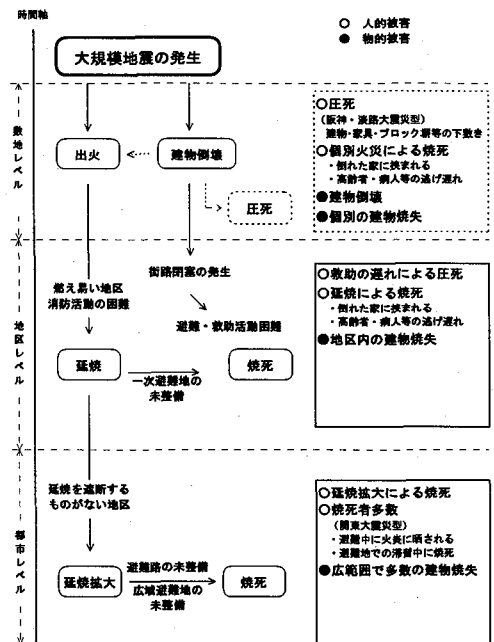


図-1 被害拡大過程

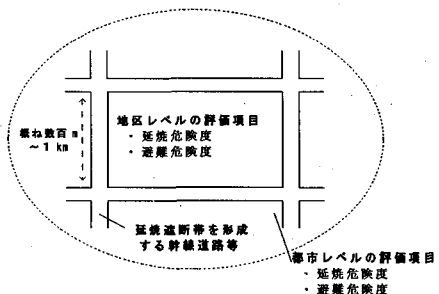


図-2 空間の捉え方と評価項目

4. 評価手法

(1) 都市レベルの評価

(a) 延焼危険度

市街地整備における火災対策は、大正12年の関東大震災における市街地大火を原体験として進められてきている。いわゆる都市防火区画¹⁾の形成に代表される“同時多発火災発生時の被害の極限化対策”と広域避難地や避難路の整備などに代表される“避難対策”である。

このことから、都市レベルの延焼危険度を「都市大火へ拡大する危険性」と定義し、これに対応する評価指標を「都市防火区画の整備率」とした。

都市防火区画は幹線道路、河川、鉄道敷など、連続した一定の幅員を有する施設を骨格として構成される延焼遮断帯のネットワークにより形成される。従って一つの都市防火区画の整備状況を以下のように算定することとした。

都市防火区画整備率

$$= \Sigma \{ 1 \cdot (a/a_0) \cdot (f/f_0) \} / L \quad \text{①}$$

ここで、

- l : 防火区画を形成する延焼遮断帯の延長
- a : 延焼遮断帯の骨格となる道路等の幅員
- a₀ : 延焼遮断帯の骨格となる道路等の必要幅員 (15m^{註1)})
- f : 延焼遮断帯内の不燃化率
- f₀ : 延焼遮断帯内の必要な不燃化率 (70%)
- L : 都市防火区画全周長

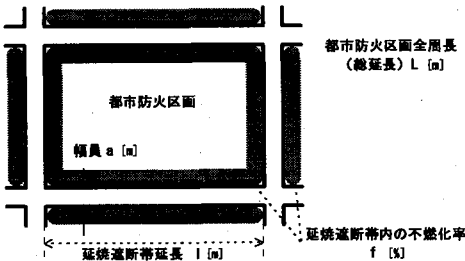


図-3 都市防火区画の概念図

なお、80m程度の幅が確保できれば空地のみで延焼遮断帯として機能することから、①式において a ≥ 80m の場合については、延焼遮断帯内の不燃化率

^{註1} 延焼遮断帯は避難路を兼ねる場合が多いことから、必要幅員を避難路の設計幅員とした。

と関係なく延焼遮断帯の整備率を100%と見なすこととした。

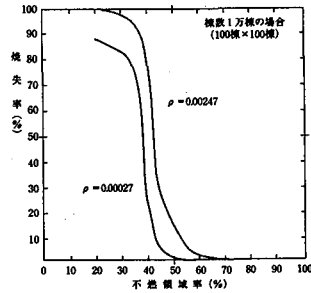
また、②式で表される不燃領域率が70%以上の地区(20~30ha:概ね町丁単位)については、平均延焼速度も遅くまた焼失率もほとんどゼロに近いことから、都市防火区画の整備率100%とほぼ同等と見なし、「都市大火への拡大の危険性なし」とした。

$$\text{不燃領域率} = S_1 / S \quad \text{②}$$

S₁ : 当該地区の不燃領域面積 (地区内における一定規模以上の空地面積+耐火建築物の面積)

S : 当該地区全体の面積

ここで、一定規模以上の空地とは「短辺又は直径40m以上かつ面積が1500m²以上の水面、公園、運動場、学校、一団地の施設等の面積と幅員6m以上の道路」をいう。



ρ : 関東大震災規模の地震が発生した場合の出火率
2つのケース (阪神・淡路大震災では0.00042)

図-4 不燃領域率と焼失率との関係¹⁾

都市防火区画の整備率の評価は、整備率が「市街地大火への拡大の危険性」と正比例するものと判断し、整備率0~100%を5等分し、都市防火区画毎に危険度1~5とした。

(b) 避難危険度

地震時における避難対策については、前項で示したように関東大震災の教訓をもとに避難地、避難路の整備により進められてきている。具体的には、地域防災計画等において避難人口と避難場所の収容能力等を勘案しながら避難場所毎の地区割当て計画(避難圏域の設定)を作成し、これに従って広域避難地等の施設計画や避難誘導計画などが定めら

れている。

このことから、都市レベルの避難危険度を「広域避難困難者発生の危険性」と定義し、これに対応する評価指標として広域避難困難区域率を用いた。なお、避難路の整備状況についても評価の対象とすべきところであるが、延焼危険度における防火区画の整備率の評価により、避難路についても概ね評価されることから、ここでは避難困難区域率を広域避難地の整備状況で代表した。

また、評価は都市レベル延焼危険度で設定した都市防火区画を1単位として行うこととした。

$$\text{広域避難困難区域率} = S_2 / S_0 \quad \text{③}$$

S_2 : 当該都市防火区画における広域避難困難区域面積

S_0 : 当該都市防火区画の面積

ここで、避難圏域は広域避難地からの避難可能距離に基づき設定され、通常この避難可能距離は概ね2kmとされていることから、広域避難困難区域は広域避難地から歩行距離2km以遠の区域とした。なお建設省の避難地の設置基準においても広域避難地までの歩行距離を2kmと設定している。⁴

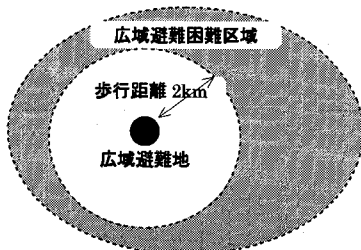


図-5 広域避難困難区域の考え方

広域避難困難区域率の評価については、人口分布がほぼ均一であるとすれば広域避難困難区域率がすなわち、広域避難困難人口比率に置き換えられることから、広域避難困難区域率0~100%を5等分し、都市防火区画毎に危険度1~5とした。

(2) 地区レベルの評価

(a) 延焼危険度

地区レベルの延焼危険度は、都市大火には至らないまでも、阪神・淡路大震災での神戸市長田区に代

表されるような、密集市街地等における延焼火災に対する危険性を表すものである。これは、図-1からも「燃え」と「消し」の双方の側面から決定され、これらはそれぞれ「建物、空地条件等から規定される地域の延焼性」と「消防活動の困難性」に代表できると考えられる。

1) 延焼性の評価

延焼理論については、浜田⁵らによって火災被害の実態調査、火災実験を基礎資料とした延焼シミュレーションの開発等が行われてきた。これらは、昭和52年~56年にかけて実施された建設省総合技術開発プロジェクト「都市防火対策手法の開発」において一応の集大成がされたと認識している。

この中では、市街地の延焼に関して「不燃領域率」という概念が提案されたわけであるが、市街地における延焼(速度)は、風速、建築物の構造、隣棟間隔等によって規定され、不燃領域率のみでは、この指標が建築物の建て詰まり(隣棟間隔)の概念を有していないことから、「安全」の評価はできても、「危険」の評価をするための指標としては不十分である。

したがって、本検討では不燃領域率に加えて、木造(防火造含む。)建築物の隣棟間隔により算出される木防建べい率を評価指標として用いた。

$$\text{木防建べい率} = S_3 / S_6 \quad \text{④}$$

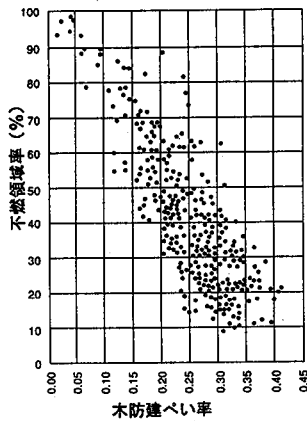
S_3 : 地区内の木造、防火造の建築物の建築面積

S_6 : 一定規模以上の空地を除いた地区全体の面積

ここで、「一定規模以上」は不燃領域率算出時の定義と同様とした。

(参考：木防建べい率と不燃領域率との関係)

木防建べい率と不燃領域率との関係を図-6に示す。この図から、ほぼ延焼の危険性がゼロと判断できる不燃領域率70%以上の領域については、不燃領域率と木防建べい率との相関が高いが、70%以下の領域では同一の不燃領域率に対する木防建べい率に相当の幅があることがわかる。この事は、例えば、基盤整備がなされている(6~8m道路が区画整理事業等によりある程度整備されているなど)木造住宅地等に対する評価が「不燃領域率」と「木防建べい率」とでは異なることを意味している。



建設省建築研究所資料

図-6 木防建べい率と不燃領域率の関係

木防建べい率と焼失率との関係については、建設省建築研究所において、建築物間の燃え移りを建築物の構造別延焼確率、間隔等をパラメータとして表現した確率式をもとにモンテカルロ法により検討した結果が得られている。これをもとに、木防建べい率と焼失率との関係を整理し、図-7に示す。この図から木防建べい率40%以上では木造、防火造がどのような分布であっても焼失率がほぼ100%に達し、一方木防建べい率20%以下では焼失率がほぼゼロとなることがわかる。

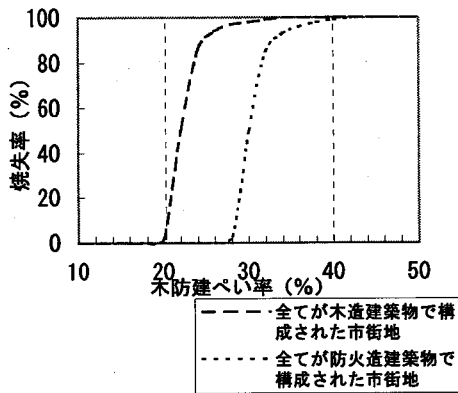


図-7 木防建べい率と焼失率との関係

これらのことから、延焼性の評価については以下のとおり5段階に分類した。

表-1 延焼性の評価

危険度	不燃領域率・木防建べい率
1	不燃領域率70%以上
2	不燃領域率70%未満かつ 木防建べい率20%未満
3	木防建べい率20%以上30%未満
4	木防建べい率30%以上40%未満
5	木防建べい率40%以上

2) 消防活動の困難性の評価

消防活動の困難性は、震災時利用可能な消防水利とここに至る道路の整備状況によって決定される「消防活動困難区域率」にて評価した。

$$\text{消防活動困難区域率} = (1 - S_4) / S \quad \text{⑤}$$

S_4 : 地区内で震災時消防自動車が行き可能な道路に面する有効水利から消火活動が可能な範囲の面積

ここで、東京消防庁の基準を用いた場合、「震災時消防車が通行可能な道路」は幅員6.5m(液状化の可能性のある地区では7.5m)、「消火活動が可能な範囲」は震災時有効水利から280mの範囲となる。なお、震災時有効水利は阪神・淡路大震災において消火栓がほとんど機能しなかったこと等から、(耐震性)貯水槽を対象とすべきである。

3) 延焼危険度の評価

延焼危険度は、延焼の危険性と消防活動の困難性の双方により評価することになるが、現状においては、延焼の危険性に応じた火災の状況、火災の状況に応じた消防力の寄与等、延焼と消防との関係が明確に示されていない。従って、本検討においては延焼性の評価と消防活動困難区域率の評価との相加平均を以て地区レベルの延焼危険度とした。

(b) 避難危険度

地区レベルにおいて避難(救助)活動を規定する主な要因は、建物倒壊に伴う道路閉塞と一次避難地の整備状況と考えられる。

地区レベルの避難危険度を都市レベルの避難危険度と同様に「一次避難困難者発生危険性」と定義し、道路閉塞と一次避難地の整備状況の観点から評価を行った。

1) 道路閉塞率の評価

阪神淡路大震災においては、幅員 4m 未満の道路のほとんどが建物倒壊等により閉塞し、一方 8m を超える道路については、ほぼ自動車の通行まで可能であった。このことから、図-8 に示すように幅員 4m と 8m を基準値として設定し、幅員 4~8m に関しては建物倒壊確率によって道路閉塞の可能性が変化すると仮定した。道路閉塞率は下式により算出した。

$$\text{道路閉塞率} = \frac{\Sigma (l_1 + l_2 \times C)}{L_R} \quad \text{⑥}$$

- l_1 : 幅員 4m 未満道路延長
- l_2 : 幅員 4m 以上 8m 未満の道路延長
- C : 幅員 4m 以上 8m 未満の道路閉塞確率
- L_R : 地区内の全道路延長

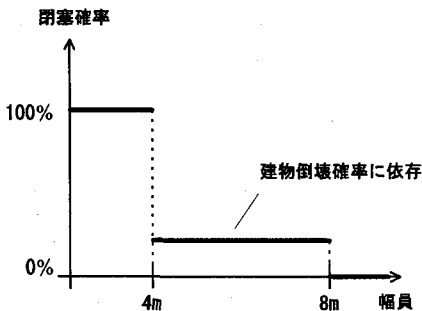


図-8 道路幅員と閉塞率との関係

なお、⑥式におけるCの値は、「向かい合う建物が同時に倒壊した場合に道路が閉塞する」という仮定をおき、以下のモデルにより算定した。

$$C = 1 - (1 - r)^n \quad \text{⑦}$$

- r : 建物倒壊確率
- n : 1本の道路に面する建物の軒数

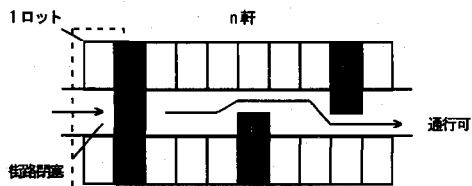


図-9 道路閉塞率の考え方 (幅員 4~8m)

ここで、 n の値は現在の市街地の一般的な状況を考え、「 $n=10$ 」とした。また、建物倒壊確率は地盤条件と老朽建物の割合に依存すると考えられる

ことから、以下のように仮定した。

表-2 倒壊確率の考え方

	倒壊確率
液状化の危険が高い地域	100% ^{注1)}
上記以外	倒壊確率=老朽建物率 ^{注2)}

注1) ただし、明らかに基礎杭が支持層まで達しているもの(大型のビル等)については、倒壊しないものとして扱うことができるものとした。

注2) 「老朽建物」は現在の耐震基準の制定時期を考慮し、昭和46年以前の木造建築物とした。

道路閉塞率の評価は、以下のモデルを用いて道路閉塞率と避難危険度との関係を求めることにより行った。

図-10 に示すような $(m \times m)$ のグリッド上のリンクに対して確率 γ ($0 \leq \gamma \leq 1$) でランダムに閉塞状態を発生させ、リンクを辿って外周部分まで到達できないノード(閉ノード)の数をモンテカルロ法によって求め、これが $(m \times m)$ の全ノードに占める割合を閉ノード率として算出した。

この場合、閉塞リンクが発生する確率を道路閉塞率、閉ノード率を一次避難困難者率とそれぞれ読替えることができる。

m の値が3~20までの7ケースについての計算結果を図-11 に示す。

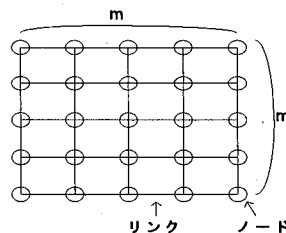


図-10 算定モデル

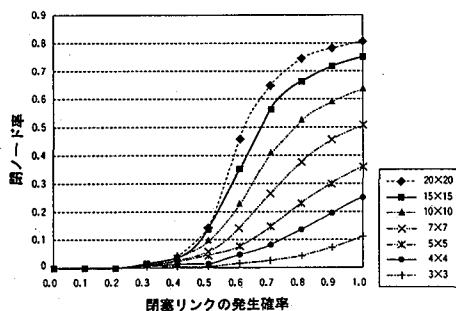


図-11 閉塞リンクの発生確率と閉ノード率

上記グラフより閉塞リンクの発生確率0.4以下では閉ノードがほとんど存在しないことがわかる。一方、境界の影響が少ない $m \geq 10$ において、閉塞リンク確率 ≥ 0.7 の領域で閉ノード率が特に高い値を示している。

これらのことから、道路閉塞率についても40%、70%の値に着目して以下のように危険度1～5の5段階とした。

表-3 道路閉塞率の評価

危険度	道路閉塞率
1	40%未満
2	40%以上 50%未満
3	50%以上 60%未満
4	60%以上 70%未満
5	70%以上

2) 一次避難困難区域率の評価

一次避難地の整備状況については、都市レベル避難危険度と同様の考え方のもと、一時避難困難区域率により評価した。

$$\text{一次避難困難区域率} = S_3 / S \quad \text{⑧}$$

S_3 : 当該地区における一次避難困難区域面積

S : 当該地区面積

ここで、一次避難困難区域は一次避難地等から一定距離以遠の範囲とし、一定距離については以下の理由から500mとした。

- 一次避難地は通常、小中学校や近隣公園等が指定されている場合が多く、これらの誘致距離が概ね500m程度であること。
- 阪神・淡路大震災においては、小中学校や公民館等が避難場所として利用され、避難圏域は概ね500～600mの範囲であったこと。⁶

評価についても、都市レベル避難危険度と同様一次避難困難区域率0～100%を5等分し、地区単位(町丁単位等)毎に危険度1～5とした。

3) 地区レベルの避難危険度の評価

一次避難の阻害要因が道路閉塞、一次避難困難区域の何れであっても円滑な避難活動はできないが、一次避難を阻害する要因として何れがより大きく

働くかについて、現状では明確な関係が見出されていないため、本検討においては地区レベルの延焼危険度の評価と同様、街路閉塞率の評価と一次避難困難区域率の評価との相加平均を以て地区レベルの避難危険度とした。

(3) 総合評価

総合評価については、ここで示した4つの危険度の相互関係を整理した上で行うべきであるが、本稿で検討した災害危険度評価手法は、

- 危険度評価に応じた、都市整備の観点での対策を明確する
 - 市民に公表することを前提とする
- ものであることを踏まえ、ここでは以下の2つ総合評価(表示)手法を紹介する。

(a) レーダーチャートによる方法

各危険度の評価結果を地区毎に以下のレーダーチャートにし、その面積の大小により災害危険度を評価する方法である。

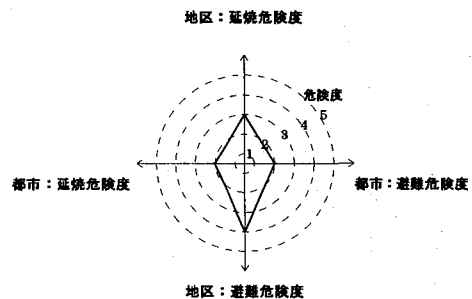
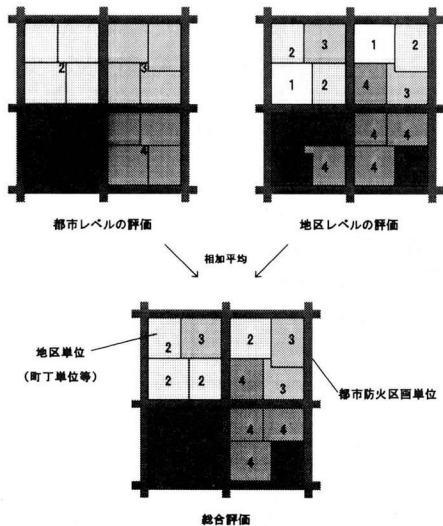


図-12 レーダーチャートによる表示

(b) 相加平均による方法

4つの危険度を単純に相加平均して総合評価とする方法である。

すなわち、都市レベルの延焼危険度と避難危険度を都市防火区画単位で平均したものと、地区レベルの延焼危険度と避難危険度を地区単位(町丁目単位等)で平均したものとを、さらに相加平均して総合評価とするものである。



図一13 相加平均による方法

5. 評価結果の活用

ここでは、災害危険度の評価をもとに要整備地区、さらにその中でも優先的に整備すべき地区等の絞り込み方法について提案する。

要整備地区を明確にする際には、相加平均による総合評価だけでなくレーダーチャートを利用する等により、地区毎の危険性の違いに十分注意する必要がある。

特に、地区毎の危険度が同程度の場合には、以下の点に留意しながら順位づけを行うことが適切であると考えられる。

【周辺地区の延焼危険度】

当該地区の延焼危険度が低い地区であっても、周辺地区の延焼危険度が高い地区では地区外で延焼が拡大する可能性が高いため、その地区に延焼が及ぶ危険性も高くなる。

【地区レベルの延焼危険度】

地区レベルの延焼危険度が低い場合においては、避難を行う必要性も低くなる。

【都市レベルの避難危険度】

避難活動は延焼の発生・拡大によりその必要性が生じるが、延焼速度は最大でも数百m/hであることから、避難路・避難地によって延焼に対する生命の安全は確保される。

優先的に整備すべき地区は要整備地区の中から各自治体の整備目標と現在の目標到達度、達成のための手段、予算、期間及びその整備効果等を十分検討した上で、住民の意向等も取り入れながら絞り込むことが適切である。また絞り込んだ結果については、当該地区に対する大まかな整備方針と併せて積極的に市民に公表していくことが望ましい。

さらに、(例えば、ある地区内に道路を整備することでその周辺地区も含めて地域全体の防災性が向上する等)複数地区における危険度の改善に資する施設については、都市レベルの観点から優先的に整備する施設として選定することも有効である。

6. おわりに

本検討では、市街地整備の観点から「延焼」、「避難」の大きく2つの側面で地震に対する危険性の評価手法を開発した。この中では、現時点でほぼ明らかとなっている市街地構造と被害との関係を用いたが、特に地区レベルの延焼や街路閉塞のメカニズム等については、被害実態に関するデータの不足等により評価手法に十分な根拠が得られていない。今後これらの分野に関する詳細な研究が望まれる。

また、評価の実施にあたって、地理情報システムの活用や、市民へのわかりやすい公表方法等についても今後技術の開発が必要である。

最後に、本検討は市民に対する情報提供の一手法を提示したものであり、本手法の開発をきっかけとして、地方公共団体における防災まちづくりへの取り組みが推進されることが望まれる。

参考文献

- 1 建設省「都市防火対策手法の開発」1982
- 2 建設省「防災都市建設計画調査」1979
- 3 建設省「都市防火区画形成手法に関する調査」1996
- 4 建設省「都市防災構造化対策に関する調査」1996
- 5 浜田 稔「火災の延焼速度について—火災の研究」相模書房 1951 他
- 6 日本建築学会建築計画委員会「阪神・淡路大震災と建築計画研究」1995