

都市内地区施設等の震災時における防災効果のマクロな評価手法

避難行動に着目した地区内道路の防災性評価手法について

A Macroscopic evaluation technique of the disaster prevention effect of the city district facilities in earthquake

新階 寛恭*, 家田 仁**, 長瀬 龍彦***, 篠 恭彦****, 近藤 慶太*****

By Hiroyasu SHINGAI*, Hitoshi IEDA**, Tatsuhiko NAGASE***, Yasuhiko SHINO**** and Keita KONDO*****

1. はじめに

阪神淡路大震災では、市街地大火が広幅員街路や公園、連続不燃建築物等により焼け止まり、これらの延焼遮断帯としての有効性が確認された。また広域レベルでの防災対策の成果が救急活動や復旧に向けた幹線道路の啓開等に概ね反映された。しかし特に木造密集市街地において家屋倒壊による多数の死傷者発生や地区内道路での広範囲な閉塞の発生、延焼による火災の大規模化、これに伴う各種防災活動の困難化等、多くの問題を残した。¹⁾

このため広域的防災対策と併せ、例えば被災直後の一時的な避難や住民どうしの情報交換等にも資するポケットパークの整備や、緊急車両の進入をスムーズにする隅切りの確保やセットバックなどといった、地区レベルでのきめ細かい安全性向上策が求められる。家田ら¹⁾、塚口ら²⁾は地震に伴う街路閉塞による街路の機能的障害に着目し、発生要因や緊急活動に及ぼした影響等を調査しているが、さらに地区施設等の整備・改善に資する検討も求められる。

従って、地震発生直後の木造密集市街地を対象に、地区内の人々等によって行われる諸活動に地区内道路などの地区施設等がどのような影響を及ぼすかという観点から、

- ①被災直後における地区住民や関係機関の「避難行動」「消火活動」「救出・救護活動」の3つのアクティビティにおいて地区施設等の果たす役割・効果の把握
- ②その防災性を総合的に評価することによる個々の施設の効果や地区全体としての危険度を表現するための手法の検討 が必要である。

自治体等の実務者にとってはまず危険地区の抽出が必要であるが、この段階では既存データで簡便に評価できることが望ましく、一方で、住民の視点からも個々の施設の整備効果が少しずつでも反映される評価手法も必要である。

そこで評価システムは操作性と精度確保の観点から目的の異なる以下の2段階の構造が妥当であろうと考える(表1.1、図1.2)。本稿ではこのうち簡便な評価を目的とするマクロレベルの評価手法について詳述する。

表 1.1 地区施設等における防災性能評価手法の考え方(2段階の評価構造)

	マクロレベル防災性評価手法	ミクロレベル防災性評価手法
①評価範囲	既成市街地全体、あるいは幹線道路等で囲まれた領域(1km×1kmまで)	マクロレベル評価で抽出された危険地区(1～数町丁目程度(街区群:10～30ha))
②評価の目的	既成市街地全体の中での危険地区(要整備地区)の“簡便”な抽出、ないし地区の防災性の“簡便”な「相対評価」	地区内における各地区施設等の防災性及び各種整備施策の整備効果の詳細評価
留意点	危険地区(要整備地区)の抽出や地区間の相対比較を想定するが、算定された各地区の評価値が出来るだけ災害時における実際の活動イメージと一致するように評価手法を構築する。	地区施設の各種整備を行った時に、その整備効果が的確に把握できるようにするため、算定された各地区の評価値(絶対値)が防災性の水準を示すように評価手法を構築する。
③評価の視点	災害発生時に住民等が取る行動(アクティビティ:避難、消火、救出・救護)	
④評価単位	幹線道路で囲まれた1～数町丁目程度の地区(街区群:10～30ha)	各街路リンクについてそのリンクに接する街区を含めたゾーン
データ作成上の基礎単位	町丁目	アクセスに関する評価ではリンク単位、延焼に関わる評価では個別建物
⑤評価項目	3つのアクティビティ(避難、消火、救出・救護)の必要性、安全性、容易性・困難性	
評価値算定方法	入手しやすい地区全体についての既存のデータをもとに評価値を算定	個別のリンクや建物についてデータを収集、シミュレーション等により評価値を算定
その他(地震強度の考え方)	既存モデルを活用し、地表面加速度等の地震強度別に評価値を算定する。これにより地震強度により発生する影響を評価でき一般化できる。ただし、地震強度別に整理されたデータは少なく、適用したい係数等が存在しない場合もあり、状況により阪神・淡路大震災などの実際のデータを援用することも考慮する。	
⑥評価結果の表現方法	アクティビティ別に評価結果を表示する。ランク分けした表現(色分け図)で図面上(画面上)に視覚的に表現する。	

キーワード: 防災計画、地区交通計画、整備効果計測法、歩行者交通行動

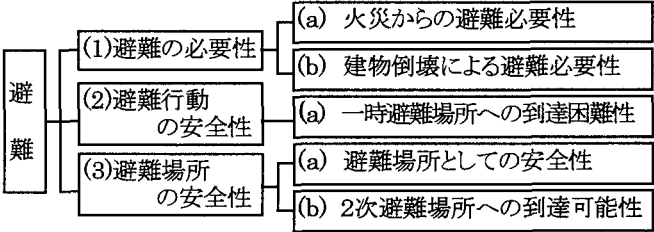


図 1.2 評価項目(避難アクティビティの例)

*正会員、国土交通省建築研究所第六研究部都市施設研究室
(〒305-0802 茨城県つくば市立原1番地
TEL: 0298-64-6620 FAX: 0298-64-6776)

**正会員、工博、東京大学大学院工学系研究科社会基盤工学専攻

***正会員、国土交通省建築研究所都市施設研究室

**** (株)日本能率協会総合研究所地域計画室

***** (株)日本能率協会総合研究所地域計画室

2. 評価システムの基本条件

各アクティビティ評価の基本は道路と考えられることから、本研究では道路機能を考慮したシステム構築を行った。

(1)「閉塞」ランクの分類と通行可能程度

道路上へのガレキ堆積の程度により、人や自動車等の通行主体がその地点を通過できるかどうかは影響を受ける。このような状況を示す道路被害クラスとして、①平常通り通行可能 ②一部被害、車両通行可能 ③車両通行不能、歩行者通行可能 ④全て通行不能 のような複数の段階が考えられている²⁾。これを踏まえ道路被災状況に応じた閉塞程度と各主体の通行可能程度との対応関係を下表のように整理した(表2.1)。

(2) 建物倒壊に伴う道路側へのガレキ流出

建物倒壊に伴い、道路側にガレキが流出することによって道路は被害を受けるが、そのような状況の発生確率は、建物倒壊そのものの確率と、道路側にガレキが流出する確率との積で表されると考えられる。すなわち、

道路上への建物倒壊確率(P)=Z×U (1)

Z:地区の建物倒壊率、U:道路側へのガレキ流出率
これらについて、以下の項で説明する。

(a) 地区の建物倒壊率(Z)

建物倒壊率については、建物特性と地区特性の双方を考慮できるようにする。今回、試算に用いる建築研究所の所有データ(神戸90)³⁾の内容及び今後の各自治体でのデータ入手の容易性を考慮して、建物特性については老朽建物率・木造建物率で、地区特性については容積率で代表することとする(表2.2)。これを踏まえ、地表面最大加速度に対する建築年次別・建物構造別全壊率⁵⁾(図2.3)をもと

表2.2 建物倒壊率算出のための説明項目

	説明項目	特性判断の考え方	分析項目
建物特性	老朽建物率(注1)	阪神淡路の既往調査結果では昭和45年以前建築の建物の全壊率が約60%に及んでおり倒壊率を説明し得ると判断	◎
	木造建物率(注2)	建物倒壊は、木造建物が中心になると判断	◎
	堅牢建物率(注3)	RC、SRC、S造等堅牢建物が多いと建物倒壊率は少なくなると判断	○
地区特性	容積率(注4)	容積率は建物の階数、構造を表す指標であるが、容積率が高まることで耐震性も高まると思われることから倒壊率を説明し得ると判断	◎
	建ぺい率(注5)	建ぺい率は建て詰まりを表す指標であるが、建ぺい率の上昇は道路側への押し出し等の倒れ方に関係すると思われることから、別途道路側への流出確率を説明し得ると判断	○

(注1) 昭和45年以前建物面積の全建物面積に占める割合

(注2) 木造建物軒数の街区全建物件数に占める割合

(注3) 堅牢建物軒数の街区全建物件数に占める割合

(注4) 全延べ床面積の町丁目面積に占める割合

(注5) 全建築面積の町丁目面積に占める割合

に地区の建物全壊率を求め、さらに全壊・倒壊変換係数を設定し、両者を乗じて建物倒壊率を算出することとする。

建物倒壊率(Z)=建物全壊率×全壊・倒壊変換係数 (2)

建物全壊率=Σ(建物分類棟数率×建物分類全壊率)

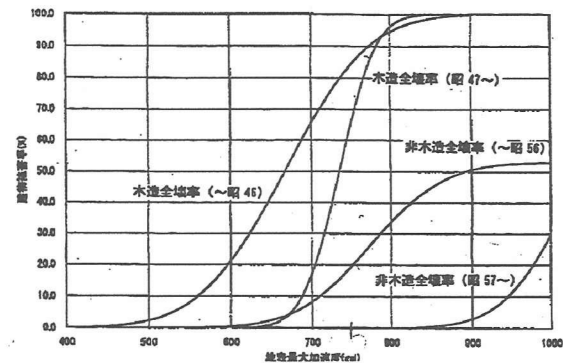


表 2.1 閉塞ランク別の建物倒壊状況及び通行可能程度

閉塞 ランク	建物倒壊状況	道路の幅員区分					通行者			
							歩行者		自動車	
							1)健常者	2)高齢者、子供 3)歩けるけが人 4)担架移動者 5)救出機運搬者等	1)一般車 2)救急車等	3)消防 車等
ランク4	道路上の全幅にわたってガレキ等が堆積し、かつ並列する2つ以上の建物長さに渡り堆積が連続している状態が1リンクに1箇所以上発生						×	×	×	×
ランク3	道路上の概ね全幅にわたって(人の通行可能な有効幅員未満になるまで)ガレキ等が堆積する状態が、1リンクに1箇所以上発生。						△ (乗り越えがある場合)	×	×	×
ランク2	ガレキの堆積していない幅員(有効幅員)が1.7m未満になる状態が1リンクに1箇所以上発生。						○	○	×	×
ランク1	ガレキの堆積していない幅員(有効幅員)が2.5m未満になる状態が1リンクに1箇所以上発生。						○	○	○	×
ランク0	ガレキの堆積していない幅員が常に2.5m以上確保できる状況。(非閉塞)						○	○	○	○

(b) 道路側へのガレキ流出率(U)

建ぺい率と道路側へのガレキ流出率との関係について、阪神淡路大震災時の航空写真から神戸市長田区、東灘区、灘区の3地区32街区、526棟を対象に建物倒壊状況を計測したところ、建ぺい率が高まるほど建物倒壊によりガレキが道路上に流出する確率も高まるという相関関係が認められた(図2.4)ため、今回は近似的に道路側へのガレキ流出率として下表の通り建ぺい率による推定値を用いた(表2.5)。

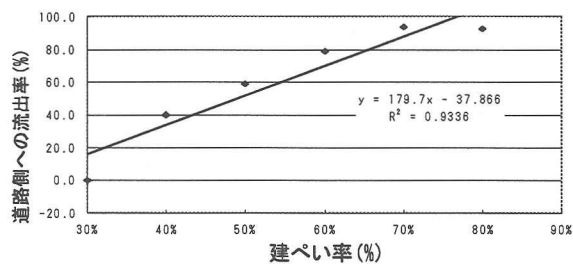


図 2.4 建ぺい率と道路側へのガレキ流出率との関係

表 2.5 建ぺい率に対する道路側へのガレキ流出率

建ぺい率	道路側へのガレキ流出率
40%未満	20%
40%以上 50%未満	40%
50%以上 60%未満	60%
60%以上 70%未満	80%
70%以上 80%未満	90%
80%以上	100%

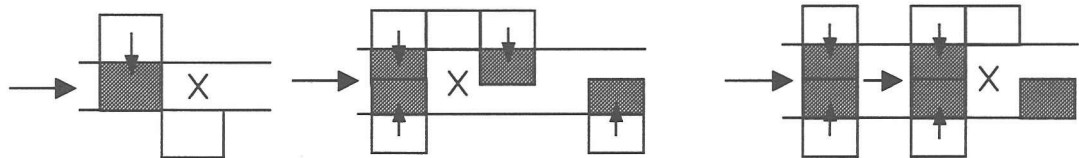
(3) ネットワーク及び移動距離の算定について

完全なグリッドを想定し、実態を踏まえた経路延長の割増しを考慮するモデルを採用した。また、実移動距離はおよそ目的地までの直線距離より長くなることから、「道路距離」(腰塚1983)⁴⁾を用いて実移動距離を直線距離の1.3倍として用いた。

3. マクロレベルの評価手法(例:『避難』アクティビティ「避難行動の安全性」における考え方)

(1) 「乗り越え」の考慮

避難行動の安全性の基本的な考え方は、徒歩での避難



	4m未満道路	4m以上6m未満道路	6m以上8m未満道路
閉塞の考え方	対面するどちらかの建物が倒壊した時	対面する一対の建物が同時に倒壊した時	対面する2組の建物が同時に(連続しなくても)倒壊した時
1リンクの閉塞確率	$C_1 = 1 - (1 - ZU)^{2m}$	$C_2 = 1 - \{1 - (ZU)^2\}^m$	$C_3 = 1 - \{1 - (ZU)^2\}^m - m(ZU)^2 \cdot \{1 - (ZU)^2\}^{m-1}$

前提条件 対象：歩行者、「乗り越え」の考慮：なし、1リンクに面する片側の平均建物棟数：m
建物倒壊率：Z、道路側へのガレキ流出率：U

図 3.3 建物倒壊状況と閉塞確率の例(歩行者(乗り越えがない場合))

が閉塞によってどの程度困難になるかという点を評価するものであることから、ガレキの「乗り越え」を考慮するかどうかにより2通りの考え方があり得るが、今回は安全側に見て「乗り越え」がないとした場合についてモデルを設定する。

(2) 「避難行動の安全性」評価項目の説明指標

まず避難場所までの平均的な最短経路の延長を算出する(図3.1)。次に、地区面積と地区内道路総延長から、平均的なグリッドが算出できるが、このグリッド間隔の長さを1リンクの長さとする。これを用いて、平均的な最短経路1ルートのリンク数を算出する(図3.2)。さらに、リンクごとの道路閉塞確率を道路の幅員構成に応じて算定し(図3.3)、「地震後に建物を出てから道路を通り避難場所に辿り着けない確率=到達不能率」として避難行動の困難性を表すこととした。

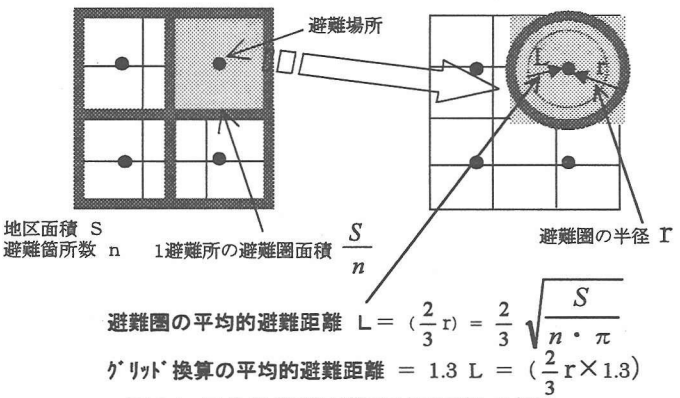


図 3.1 平均的な避難距離(最短経路)の概念

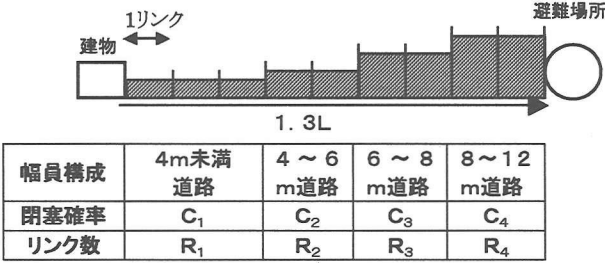


図 3.2 平均的な最短経路におけるリンク数と幅員構成

今回のマクロレベル評価では実態の反映と操作性とのバランスを踏まえ、1経路の場合とグリッドを想定した場合の2つのケースを考えることとする(図3.4)。

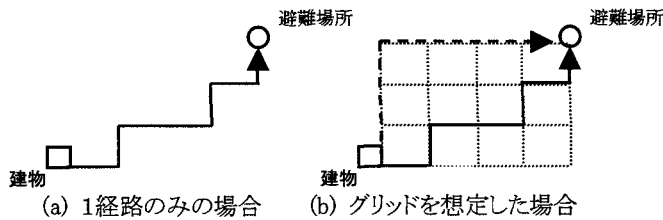


図 3.4 マクロレベルの評価モデル

(a) 最短1経路における到達不能率

1ルートのみを想定した到達不能率は以下の式となる。

最短1経路における到達不能率

$$\begin{aligned} Pr_1 &= 1 \text{ ルートにおいて1箇所でも閉塞に遭遇する確率} \\ &= 1 - (\text{全てのリンクで閉塞が起こらない確率}) \\ &= 1 - \{(1 - C_1)^{R_1} \times (1 - C_2)^{R_2} \times (1 - C_3)^{R_3} \times (1 - C_4)^{R_4}\} \end{aligned}$$

(b) グリッドを想定した到達不能率

一方、想定したグリッドをもとに、起点から避難場所までの全てのルートを考慮し、避難場所までの全ての最短経路が閉塞する場合に到達不能になるとし、到達困難性の指標として全ての経路が閉塞する確率を以下の通り算定した。ただし、閉塞は各ルートごとに独立に起こるとし、また各経路の閉塞確率も同一とした。

避難場所までの最短経路の道路が全て閉塞する確率
(グリッドを想定したときの到達不能率)

$$Pra = (Pr_1)^{Srn}$$

Pra : 避難場所までの最短経路の道路が全て閉塞する確率

Pr_1 : 評価手順1の式により算定される1最短経路が閉塞する確率

Srn : 最短経路数 = $m + n - Cm$ (長辺 m リンク、短辺 n リンク)

4. 評価手法に基づく試算結果

(1) 道路総延長の到達不能率への影響

下図は3パターンの道路総延長ごとに、老朽建物率別、道路延長率別の到達不能率を示したものである(図4.1)。道路総延長及び幅員が大きくなるほど到達不能率は低減しており、基盤整備によるリダンダンシー効果を反映しているものと考えられる。

(試算条件)

- ①全壊率: 建物構造別・建築年次別(木造 S46 以前・47 以降、非木造 s56 未満・57 以降) 地表面加速度別の全壊率フランチティエー曲線⁵⁾から全壊率を算出

i. 想定地震動: 沖積層における予想加速度 684gal

ii. 全壊率(P): 次表のとおり

最大加 速度(gal)	980galに 対する比	累積確率			
		木造 46 年以前	木造 47 年以降	非木造 56 年以前	非木造 57 年以降
684	0.69796	0.58367	0.08542	0.06263	0.04724

- ② 倒壊率: 倒壊率 = 全壊率(P) × 変換係数 0.15

(ただし変換係数は2. (2)②で用いた計測値より算出)

- ③ 道路側ガレキ流出率: 建ぺい率を変数にした回帰式により算出(2. (2)②で用いた計測値より算出)

その他の試算条件

- ・地区面積: 80ha(固定)
 - ・建坪率: 70%(固定)
 - ・道路総延長: 1万m、3万m、6万m(変化)
 - ・避難地数: 5箇所と設定(固定)
 - ・4m未満道路幅員別延長: 1万m; 500mずつ、3万m; 1500mずつ、6万m; 3000mずつ変化
 - ・4m以上道路幅員別延長: 4~6m、6~8m、8m以上を2:2:3の比で算出(固定)
 - ・建物総棟数: 木造 6000 戸、非木造 200 戸
 - ・建物構造別比率: 老朽建物率(木造 S.64 以前、非木造 S.56 以前の比率)を 10%ずつ変化
- それ以外の建物棟数は総戸数から老朽建物棟数を差し引き算出

※ (東京における直下地震の被害想定に関する調査報告書、平成 9 年 8 月、東京消防庁)

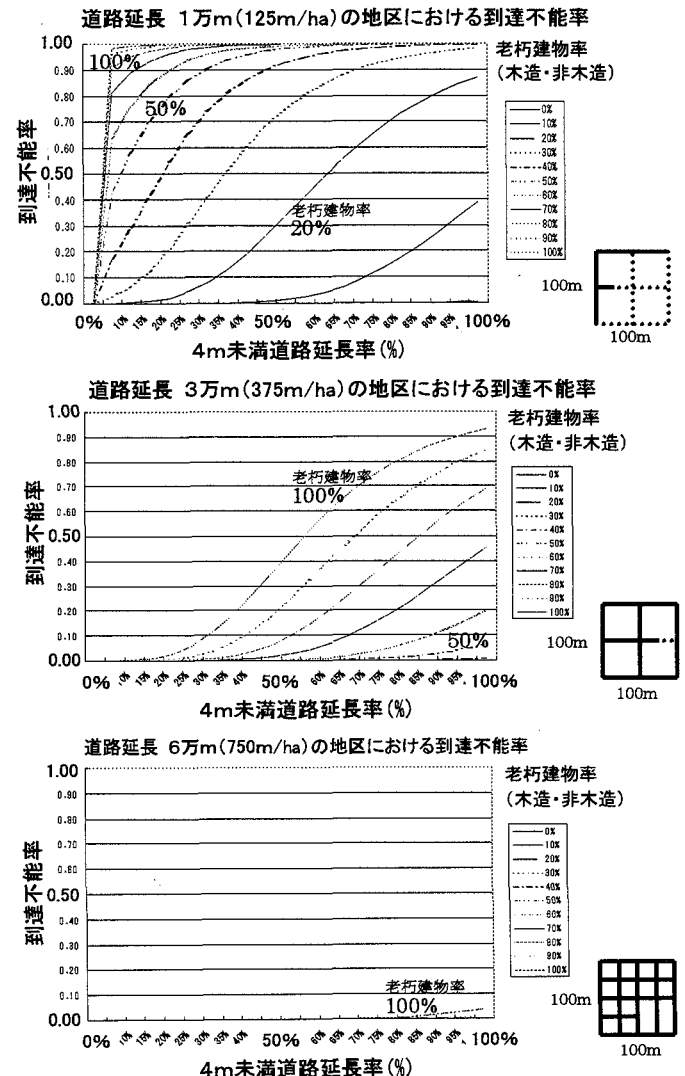


図 4.1 道路総延長別、老朽建物率別の 4m未満道路延長率に対する到達不能率

(2) ケーススタディ（既存市街地への適用例）

今回、東京区部及び神戸市内の下表の既存市街地6地区を対象に、前述の2つのケース

- (a) 最短1経路のみに限定した場合
 - (b) グリッドを想定し複数の避難経路を考慮した場合
- と、あわせて同じ前提条件で、
- (c) モンテカルロ法を用いて、グリッド上で仮想的に街路閉塞を発生させることによる避難シミュレーションを行い、到達不能率の試算を行った(表4.2、図4.3)。

その結果、東池袋地区、長田地区は3つのケースとも他と比べて値が高く、一方六甲道地区、太子堂地区は(a)のケースのみ高く(b)(c)は低い値が出た。次いで魚崎地区、成城地区の順にいずれのケースとも値が低くなった(図4.4)。

またいずれの地区にも当てはまるが、(a)のケースと(b)(c)のケースの到達不能率には乖離が生じた。

以上より計算方法ごとに乖離はあるが、得られた値の地区間での相対関係は、4m未満道路延長率を市街地の密集の程度とみなせば、概ねこれに対応した結果となった。

表 4.2 マクロレベル評価のケーススタディ結果

地区名		1.東池袋地区 (豊島区)	2.六甲道地区 (神戸市)	3.長田地区 (神戸市)	4.太子堂地区 (世田谷区)	5.魚崎地区 (神戸市)	6.成城地区 (世田谷区)
地区面積(ha)		25.0	115.0	45.0	34.3	8.0	46.0
道路総延長(m)		9,700	42,500	15,000	12,300	2,500	13,000
道路線密度(m/ha)		(388)	(370)	(333)	(359)	(313)	(283)
4m未満道路延長、 同延長率(%)		4,400 (45.4)	7,700 (18.1)	4,900 (32.7)	4,500 (36.6)	370 (14.8)	1,400 (10.8)
住宅棟数 棟数密度(棟/ha)		2,161 (65)	7,485 (65)	3,125 (69)	1,803 (53)	4,114 (51)	1,180 (26)
老朽建物率(%)		95.1	94.4	90.3	93.4	91.7	80.9
到達不能率	最短1経路	0.48	0.48	0.45	0.34	0.18	0.02
	グリッド想定	0.108	0.012	0.093	0.002	0.000	0.000
	モンテカルロシミュレーション	0.18	0.00	0.11	0.06	0.01	0.00

試算の前提：①面積、道路総延長、幅員別道路延長は図上より計測 ②建物総数及び老朽住宅率は、東京については「地震に関する地域危険度測定調査」(平成10年、東京都)、神戸市は図面計測による。③初期避難地は1箇所当り20haを誘致範囲として地区面積に応じて設定(1近隣住区(100ha)に街区公園4箇所、地区公園1箇所計5箇所を配置すると想定) ④地震動は、最大加速度を沖積層における想定値「684gal」として算出。

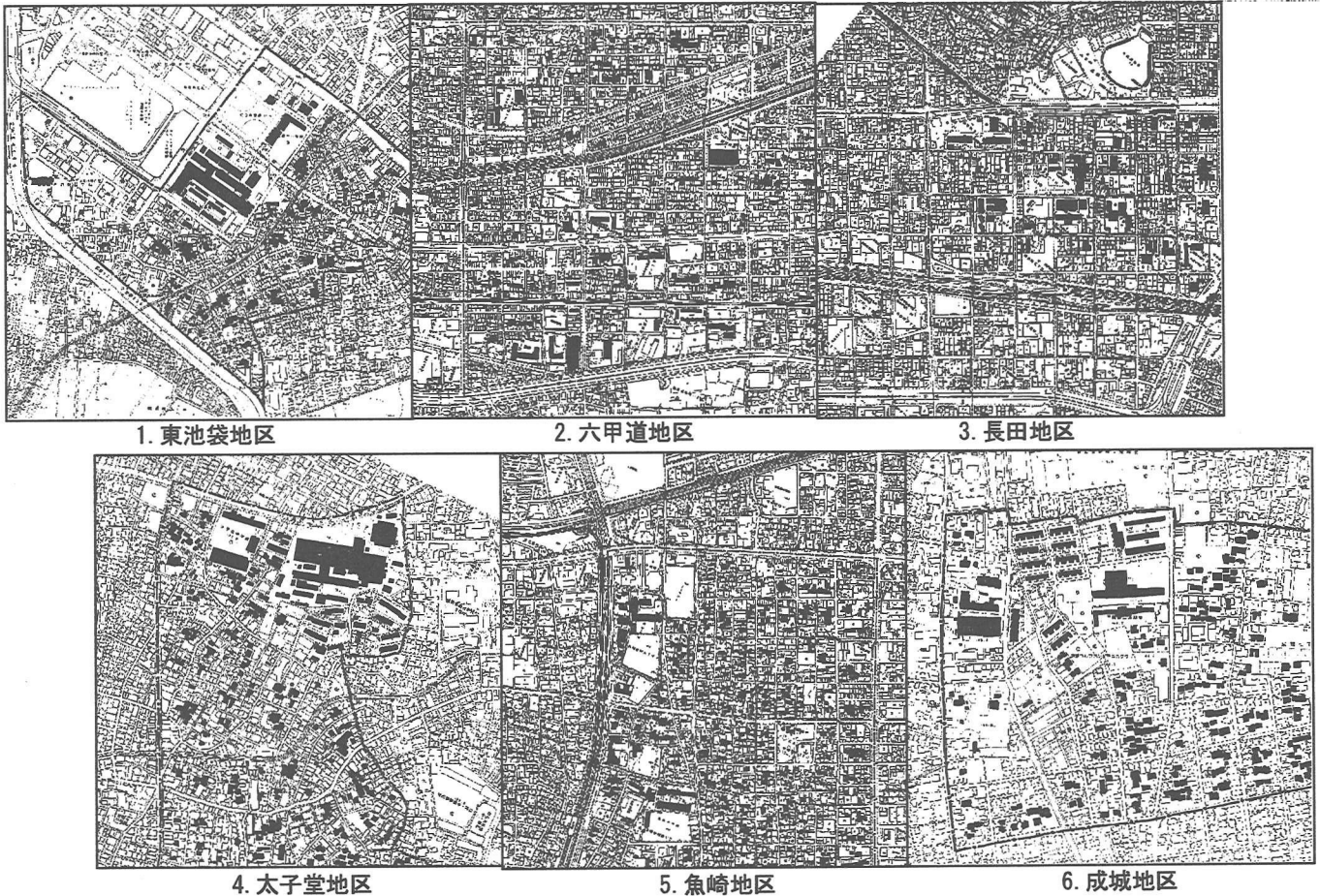


図 4.3 マクロレベル評価のケーススタディ対象地区

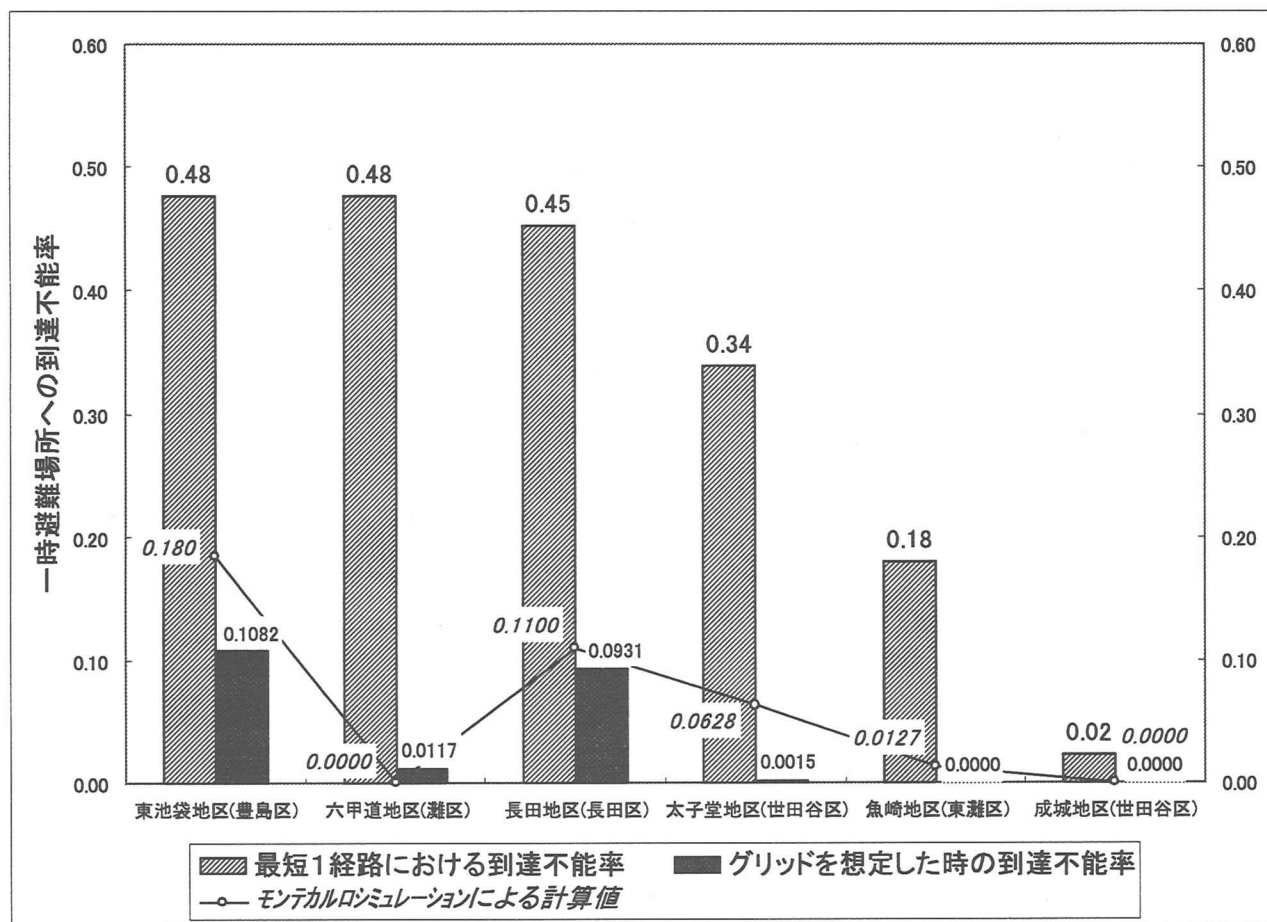


図 4.4 6 地区における防災性（避難行動の安全性）評価についてのマクロ手法による試算結果

5. 結論及び今後の課題

本稿では、地表面最大加速度に対応した建物全壊率ならびに建ぺい率から道路閉塞確率を推定し、一時避難場所への到達不能率を求めることにより、密集市街地全体の中での危険地区を簡便に抽出することを目的としたマクロな評価手法を提案した。

これを用いて現実の市街地を対象にケーススタディを行ったところ、平均的最短経路1ルートのみを考慮して求めた到達不能率と、グリッドを想定して複数の最短経路を考慮して求めた到達不能率は、ともに地区間の相対関係については概ね市街地の密集の程度に対応した妥当な結果となった。しかしそれぞれの方法で求めた値が絶対値としては乖離する結果となったことから、中間的な、あるいはより妥当な値を求めるべく改良を加えていくことが必要である。さらに、地区ごとに各手法による値の違い方にもばらつきがあるため、避難圏面積や道路延長など、前提となる地区データ別の影響の度合い等も考慮する必要があることがわかった。

以上を踏まえつつ、今後の課題としては以下の4つが考えられ、より総合的な視点から地区の防災性評価に関する検討を行う必要がある。

1) 地区内道路以外の個々の施設の整備効果の計測

2) 3つのアクティビティ(避難、消火、救出・救護)の評価手法の構築および総合化手法の検討

3) マクロ評価手法とミクロ評価手法の整合性の検討

4) 行政や市民等、現場への適切な活用を図るための評価手法の妥当性・説明性に関する検討

なお本研究は国土交通省総合技術開発プロジェクトの一環として行われたものであるが、その際には小谷通泰氏、塚口博司氏、宮野道雄氏のほか、建設省、東京消防庁等の関係者には多くの示唆を頂いた。ここに謝意を表したい。

【参考文献】

- 1) 家田仁 他：阪神・淡路大震災における「街路閉塞状況」に着目した街路網の機能的障害とその影響，土木学会論文集，No.576，pp69-82，1997
- 2) 塚口博司：道路幅員について，交通工学，Vol.30，増刊号，pp18-21，1995
- 3) 建築研究所：神戸90，1991
- 4) 腰塚武志 他：道路距離と直線距離，都市計画論文集，No.18，pp43～48，1983
- 5) 嘉嶋崇志 他：兵庫県南部地震による建物被害の分析，日本建築学会大会学術講演梗概集，1996
- 6) 小谷通泰 他：震災による地区道路網の閉塞状況に関する分析，交通工学研究発表会論文報告集，Vol.16，pp89～92，1996
- 7) 塚口博司 他：阪神・淡路大震災における道路閉塞状況に関する研究，国際交通安全学会誌，Vol.22，No.2，1996
- 8) 家田仁 他：地震時に建築物の倒壊などによって生じる街路閉塞の危険度評価法，IATSS Review，Vol.23，No.3，pp6-13，国際交通安全学会，1998

都市内地区施設等の震災時における防災効果のマクロな評価手法

新階 寛恭、家田 仁、長瀬 龍彦、篠 恭彦、近藤 慶太

本研究は、地震発生直後の木造密集市街地を対象に、地区内道路等の地区施設に着目して、2段階の評価構造により地区の防災性を評価する手法を提案した。そのうち避難に関するマクロな評価手法として、老朽建物率・木造建物率・容積率から建物倒壊率・道路閉塞確率を算定し、1経路のみ・グリッドを想定した場合の2つのケースについて、平均的なある地点から一時避難場所までの到達不能率を求めた。この手法を用いて、東京区部・神戸市内の市街地に適用したところ、得られた値の相対関係は、2つのケースとも概ね市街地の密集の程度に対応した結果となった。

A Macroscopic evaluation technique of the disaster prevention effect of the city district facilities in earthquake

By Hiroyasu SHINGAI, Hitoshi IEDA, Tatsuhiko NAGASE, Yasuhiko SHINO and Keita KONDO

This study has constructed a method to evaluate the regional prevention effect just after earthquakes by the evaluation structural of two stages. It aimed at regional facilities such as regional streets, taking densely built-up area of wooden construction as an object. As one of the macroscopic method to evaluate the evacuation, the impossibility of concentration from some average point to the temporary refuge was calculated. Two cases of 'One route only' and 'Assuming grids' were set in this method, calculating the ratios of collapsed buildings and street blockades, from the ratios of decrepit buildings, wooden buildings and floor-area. Applying this method to the urban districts of Tokyo and Kobe City, the relative concerns of the readings were mostly resulted to correspond the concentration degree of the urban districts, both in two cases.
