

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方法

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. 研究の目的と構成

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。このため広域的防災対策と併せ、地区レベルでのきめ細かい安全性向上策が求められる。

従って本研究は、地震発生後の木造密集市街地を対象に、被災者の視点に立って、地区内の人々等によって行われる諸活動に対し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」「救出活動」「救護活動」「消火活動」の4アクティ

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それぞれの施設の防災性能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を目的とする。

評価システム構成については操作性と精度確保の観点から目的の異なる以下の2段階とする。本稿ではこのうちマクロレベルの評価手法について述べることにする。

- I マクロレベル: 自治体区域(市域等)内で危険性の高い地区を抽出し「相対評価」を可能にする評価手法
- II ミクロレベル: 個々の地区施設の整備状況による影響も反映できる精度を確保した評価手法

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、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

表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			
		4m 未満	4~6m	6~8m	8~ 12m	12m 以上	歩行者		自動車	
							1)健全者 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以上の状況。(非閉塞)						○	○	○	○

キーワード: 防災計画、地区交通計画、経路選択、街路閉塞

*正会員、建設省建築研究所都市施設研究室

(〒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、建設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

通行主体がその地点を通過できるかどうか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¹⁾。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整理した(表1)。

(2) 建物倒壊率、建物倒壊の方向性について

一般に老朽建物といわれる築30年以上を経過した建物（昭和46年以前建築の建物）の倒壊率が高いことから、地区内の建物倒壊を老朽建物のうちのある割合の建物倒壊によるものとし、老朽建物率に「倒壊割合」を加味して建物倒壊率を設定するものとする。また、道路側への倒壊建物数を全ての倒壊建物数で除した割合を「道路側への倒壊比率」と呼ぶこととする。なお、「倒壊割合」「倒壊比率」は建物密度等との関係が考えられることから、建べい率、

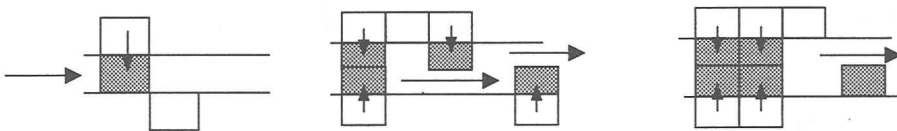
建物倒壊率 = 老朽建物率(昭和46年以前に建築された木造建物棟数率) × 倒壊割合
 道路側への倒壊比率 =
 道路側への倒壊建物数 / 全倒壊建物数

容積率等を用いた幅のある設定が仮定できる。

ここで、建べい率と老朽建物の倒壊割合及び道路側への倒壊比率との関係については、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、建べい率が高まるほど老朽建物の倒壊割合及び道路側への倒壊比率も高まるという相関関係が認められた(図1、図2)ことから、今回は近似的に倒壊割合、倒壊比率として下表のとおり建べい率に応じた値を用いた(表2)。

(3) ネットワーク及び移動距離の算定について

完全グリッドを想定した上で、実態を踏まえた経路延長の割り増しを考慮するモデルを採用した。また、実移動距離はお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)²⁾を用いて実移動距離を直線距離の1.3倍として用いた。



	4m未満道路	4m~6m未満道路	6m~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
閉塞確率	$C_1 = 1 - (1 - Z/2)^{2m}$	$C_2 = 1 - \{1 - (Z/2)^2\}^m$	$C_3 = 1 - \{1 - (Z/2)^2\}^m - m(Z/2)^2 \cdot \{1 - (Z/2)^2\}^{m-1}$

歩行者を対象に、「乗り越え」がないとして、建物倒壊率 = Z、道路側への倒壊比率 = 1/2
 1)リンクに面する片側の平均建物棟数 = m とした場合の式

図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))

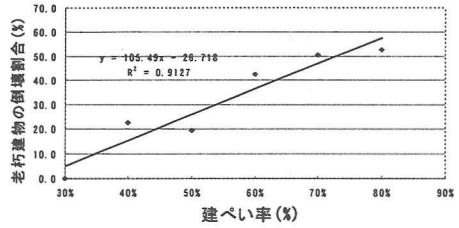


図1 建べい率と老朽建物の倒壊割合との関係

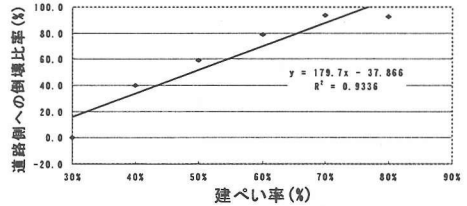


図2 建べい率と道路側への倒壊比率との関係

表2 建べい率と倒壊割合・道路側への倒壊比率

建べい率	倒壊割合	道路側への倒壊比率
30%未満	10%	20%
40%	20%	40%
50%	30%	60%
60%	40%	80%
70%	50%	90%
80%以上	60%	

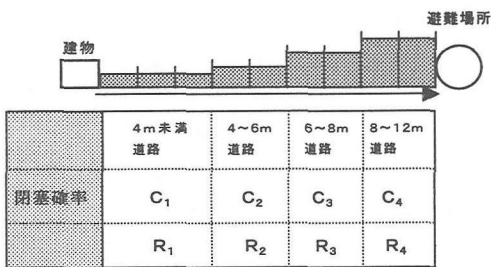
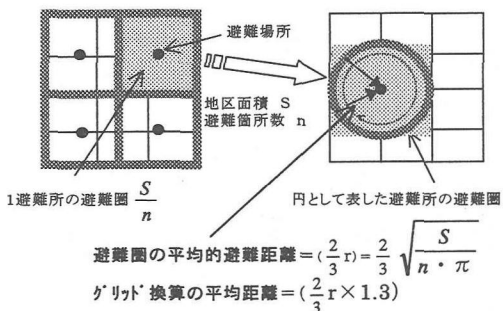
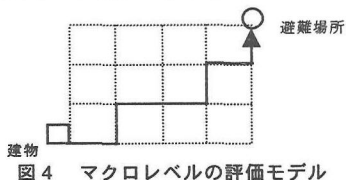
3. マクロレベルの評価手法(『避難』アクティビティにおける例)

(1) 閉塞確率の考え方

避難行動における道路閉塞の基本的な考え方は徒歩での避難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「乗り越え」の有無により2通り考えられるが、今回はより危険側である乗り越えがない場合についてモデルを設定する(図3)。

(2) 説明指標の設定

マクロレベルでは実態の反映と操作性とのバランスを踏まえてグリッドを想定し(図4)、避難場所までの平均的な最短経路(図5)の各ルートにおける道路閉塞確率を道路の幅員構成(図6)に応じて算定し、「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説明することとした。



(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
 $P_{r1} = 1 - \text{1ルートにおいて1箇所でも閉塞に遭遇する確率}$
 $= 1 - (\text{全てのリンクで閉塞が起こらない確率})$
 $= 1 - \{(1 - C_1)^{R_1} \times (1 - C_2)^{R_2} \times (1 - C_3)^{R_3} \times (1 - C_4)^{R_4}\}$

(b) グリッドを想定した到達不能率

一方、今回グリッドを想定していることから、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、閉塞は各経路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) $Pra = (Pr1)^{Srn}$
 Pra: 避難場所までの最短経路の道路が全て閉塞する確率
 Pr1: 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 = $m+nCm$ (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7)。道路総延長及び幅員が大であ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するものと考えられる。

- ・地区面積 : 80ha(固定)
- ・道路延長 : 1万m、3万m、6万m(変化)
- ・老朽建物率 : 0~100%(変化)
- ・倒壊率 : 60%(固定) ※
- ・建物倒壊比率: 道路側1/2(固定)
- ・避難地数 : 5箇所と設定(固定)
- ・4m以上道路幅員別延長比率: 4~6m:6~8m:8m以上の比=2:2:3(固定)
- ・想定道路閉塞ランク: ランク4(どの幅員も健常者でも通過できない建物倒壊)(固定)

※ (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)

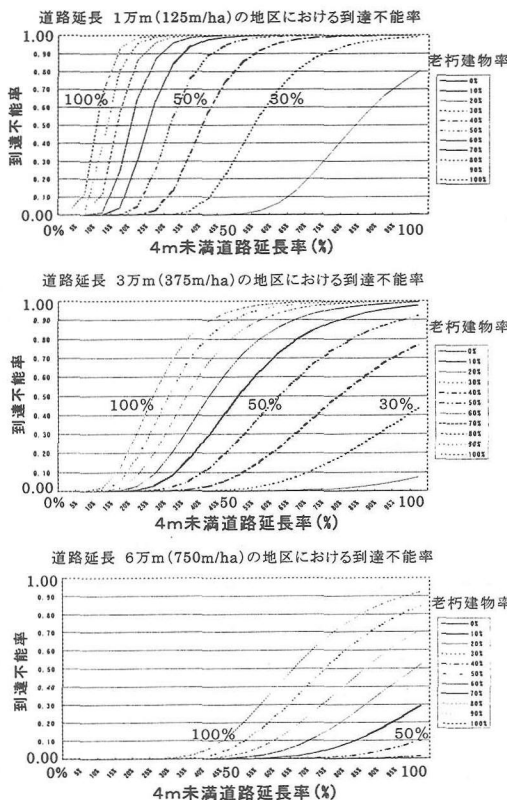


図7 道路総延長別、老朽建物率別の4m未満道路延長率に対する到達不能率

表3 マクロレベル評価のケーススタディ結果

地区名	東池袋地区	六甲道地区	成城地区	
地区面積(ha)	25.0	115.0	46.0	
建物棟数 棟数密度(棟/ha)	3,700 (389)	4,800 (42)	1,030 (22)	
道路総延長(m)	9,700	42,500	13,000	
道路線密度(m/ha)	388	370	283	
4m未満道路延長、 同延長率(%)	4,400 (45.4)	7,700 (18.1)	13,000 (10.8)	
老朽建物率(%)	61.7	60.0	31.5	
到達不能率	最短1経路	0.989	0.71	0.25
	グリッド想定	0.937	0.13	0.02
	1.000 0.500 0.000 左:最短1経路 右:グリッド想定			
地区現況図 (塗りつぶしは堅牢建物)				
試算の前提: ①地区面積、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の地区については「東京都及び国における防災都市づくり」(平成12年1月、東京消防庁)、神戸市は図面計測による。③初期避難地は1箇所当たり20haを誘致範囲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)				

(2) ケーススタディ(既存市街地への適用例)

上表の既存市街地3地区について、到達不能率の試算を行った(表3)。最短1経路における到達不能率、さらにグリッドを想定したときの到達不能率をそれぞれ試算した結果、ともに東池袋地区が最も値が高く、次いで六甲道地区、成城地区の順になった。東池袋地区は、平均的最短経路1本の場合とグリッドを想定した場合ともに避難地までほとんど到達できない確率となった。また六甲道と成城地区では2つの手法による到達不能率の値に乖離が生じた。

5. むすび

平均的最短経路1ルートのみで計算した場合と、ある同一リンクにおける閉塞確率がルート毎に独立に与えられるようなグリッドを想定した場合ともに、避難地への到達困難性を示す到達不能率に関する地区間の相対関係は概ね妥当な結果となった。しかし、同一地区における2つの手法の結果はかなりの乖離が生じていることから、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。

以上を含めて、今後の課題としては以下の3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) 4つのアクティビティ(避難、救出、救護、消火)評価手法の構築および総合化手法の検討
- 2) マクロ評価とミクロ評価の整合性の検討
- 3) 消防署員、学識経験者等の専門家による評価手法の妥当性チェックの検討

なお本研究は建設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) 塚口博司: 道路幅員について, 交通工学, Vol.30, 増刊号, pp18-21, 1995
- 2) 藤塚武志 他: 道路距離と直線距離, 都市計画論文集, No.18, pp43~48, 1983
- 3) 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
- 4) 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
- 5) 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
- 6) 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