

## 地震時に建築物の倒壊等によって生じる 街路閉塞の危険度評価法

家田 仁\*

望月拓郎\*\* 上西周子\*\*\*

阪神・淡路大震災では、地区の細街路において街路閉塞が発生し、地震直後の地区内の各種緊急活動に大きな影響を及ぼした。本研究では航空写真の判読作業によって得られたガレキ発生、および街路閉塞現象の観測データを分析し、数理的に処理することによって、街路閉塞発生状況を確認的に予測する方法を考案し、その適用性について検討を行った。こうした成果は、街路整備計画、沿道建築物の強化計画、あるいは震災被害想定や地域防災計画などに応用できる。

### Assessment of Vulnerability of Urban Areas to Street-Blockades Caused by Quake-Collapsed Buildings

Hitoshi IEDA\*

Takuro MOCHIZUKI\*\* Shuko KAMINISHI\*\*\*

Street blockades in district networks of lanes during the Great Hanshin-Awaji Earthquake had a major effect on emergency and rescue activities in the area with narrow streets immediately after the earthquake. This study analyzed observation data of the rubble and street blockades obtained by interpreting aerial photographs. It devised a method of predicting the probability of street blockades using mathematical processing and studied its applications. The conclusions can be applied to street planning, roadside structure reinforcement projects, estimating earthquake damage and in regional disaster prevention projects.

#### 1. はじめに

1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震では、地区の細街路などにおいて老朽木造建築物や電柱な

どが倒壊することによって「街路閉塞現象」が多数発生した。この街路閉塞現象は、避難経路の確保を困難にしたり、消火・救急あるいは救助・救援などのための車両の通行を阻害するなど、地震直後の地区内交通に対してきわめて多くの障害を生じさせた。

筆者らは、地震直後よりこの「街路閉塞現象」による街路の機能的障害に着目し、航空写真を用いた街路閉塞の発生状況の分析と、そのGISデータとしての整理、および消防・警察・自衛隊など緊急活動に携わった各種機関を対象とした影響分析調査を行ってきた<sup>1)</sup>。その結果、木造密集市街地に見られるようなわが国の都市の現状、および自動車の機動性に強く依存する現代の各種緊急活動を勘案すると、

\* 東京大学大学院社会基盤工学専攻教授  
Professor, Dept. of Civil Engineering,  
University of Tokyo

\*\* 東京大学大学院社会基盤工学専攻修士課程  
Graduate Student, Dept. of Civil Engineering,  
University of Tokyo

\*\*\* 東京大学大学院社会基盤工学専攻修士課程  
Graduate Student, Dept. of Civil Engineering,  
University of Tokyo  
原稿受理 1997年5月13日

街路閉塞現象への十分な配慮が地震時の都市防災計画、きわめて重要な課題であることが示された。

今後、防災上安全なまちづくりを進めていくにあたっては、「街路閉塞に対する地区の安全性」を十分に評価・検討していくことが必要である。そのためには、建築物の特性やその破壊特性に応じてどの程度のカレキが発生し、さらにそれが街路インフラの特性に応じてどの程度の街路閉塞現象をもたらすのか、的確に予測・再現することのできる研究ツールが必要であると考えられる。

そこで本研究では、まず、既に計測されたデータのバイアス補正処理を行い、さらに数値的分析を通じて、建築物の倒壊などによって生じるカレキの発生特性を説明する算定式を推定した。次に、推定された算定式を用いた街路毎の閉塞可能性を確率として推定する方法を考案した。さらに、その手法を用いて神戸市内の街区の街路閉塞現象の再現を試み、その適用性と適合性を検討した。

## 2. 分析対象地区と利用データ

本研究では、阪神・淡路大震災時の主要な被災地における街路閉塞の発生状況として、筆者らが1995年に行った地震発生後2日目の航空写真を用いた計測の結果を利用する<sup>1,2)</sup>。計測の対象は、街路閉塞の発生状況に影響を与えると考えられる①建築物の被災度、②建築物の種別、③用途地域、④街路構成、などの特性の違いを勘案して選定した7地区である(Fig.1)。なお、建築物が焼失してしまった地域は除外している。また、一地区は概ね50haで、交差点間の一つの街路セクションを一街路リンクと呼ぶと、平均約400の街路リンクを含んでいる。本研究では、これらの地区のうち、建築物特性などのデータ入手の制約により、芦屋地区を除く神戸市内の6地区を分析の対象とした。

この分析では、各街路リンク毎に、街路にせり出したカレキ幅の最大値の街路幅員に対する比率(幅員遮蔽率)を「建築物の倒壊などによるカレキ」と「電柱・信号・街路樹などのポール類」の二種類の要因に分けて計測した。航空写真から同時に計測された街路幅員に幅員遮蔽率を乗ずることにより、各街路リンクに発生したカレキ幅の最大値を求めることができる。本研究は、二種類の要因のうち被害程度の大きかった建築物の倒壊などによるカレキについて分析するものとする。

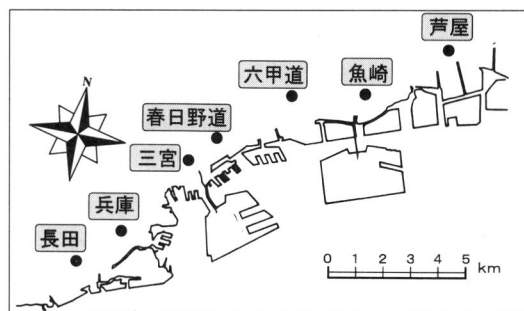


Fig.1 分析対象地区

## 3. 街路リンクの幅員と長さの影響を考慮したカレキ幅確率分布の修正算定とその結果

### 3-1 計測カレキ幅のバイアスと修正の必要性

航空写真の判読により、各街路リンク毎に得られた最大カレキ幅には、次の理由により二種類のバイアスが含まれている。

第一は、街路幅員の上限効果による計測値の下方バイアスである。これは、本来であれば街路幅員以上にカレキが広がるような場合であっても、計測上はカレキ幅が街路幅員以上の値をとらないことによるものである。つまり、幅員遮蔽率が100%である街路リンクの中には真のカレキ幅が街路幅員より大きいものも含まれているはずである。

第二は、街路リンクの長さに応じた最大カレキ幅の増大効果による計測値の上方バイアスである。これは、カレキ幅が各リンクにおける最大値として計測されていることによるものである。当然のことながら、同一の街路リンクにおけるカレキの発生箇所は、街路リンクが長いほど多くなると考えられる。従って、カレキ幅の最大値の期待値は、街路リンクが長いほど大きくなる傾向を持つことになる。

本研究では2章で述べた計測カレキ幅のデータを数理的に処理することによって、上記の二種のバイアスを取り除く。手順としては、まず、街路幅員の上限効果を除去し、次に街路リンクの長さに応じた増大効果をリンク長の基準化により除去する。この二段階の修正処理は個々の街路リンクについて行うのではなく、一定の小さな地区におけるカレキ幅の確率分布関数に対して行う。これは、街路幅員による上限効果の結果、100%遮蔽した個々の街路リンクでは、単に真のカレキ幅が街路幅員以上であることがわかるのみであり、真のカレキ幅を推定することができないからである。このため、以降の処理では個々の対象地区を町丁目に区分し、カレキ幅の発

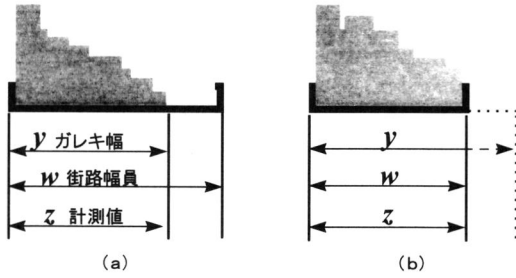


Fig.2 街路閉塞概念図

生を町丁目毎の確率分布として取り扱う。この場合、上記の二つのバイアス効果を確率分布という面から再述すると、前者は「幅員の上限効果による確率分布の下方バイアス」、後者は「リンクの長さに応じた最大ガレキ幅の増大効果による確率分布の上方バイアス」となる。

### 3-2 街路幅員の上限効果によるガレキ幅確率分布の補正方法

ある町丁目における計測ガレキ幅  $z$  の確率密度関数を  $h_z(z)$ 、街路幅員  $w$  の確率密度関数を  $t_w(w)$  とする。これらは、計測データより所与である。これら二つの確率密度関数を用いて、この町丁目における「街路幅員による上限効果」を除去したガレキ幅  $y$  の確率密度関数  $g_y(y)$  を推定する。

ある街路リンクの任意断面を考えたとき、計測ガレキ幅  $z$  は以下のように与えられる。

$$\begin{aligned}
 z &= y && \text{when } w > y \\
 &\text{or} && \dots\dots\dots(1) \\
 z &= w && \text{when } y \geq w
 \end{aligned}$$

前者は、真のガレキ幅  $y$  が街路幅員  $w$  より小さく、計測ガレキ幅  $z$  が真のガレキ幅  $y$  と一致する場合である (Fig.2(a))。後者は真のガレキ幅  $y$  が街路幅員  $w$  以上であり、幅員の上限効果により計測ガレキ幅  $z$  が街路幅員  $w$  となる場合である (Fig.2(b))。従って、 $y$  と  $w$  が互いに独立であるものと仮定すると\*1、計測ガレキ幅  $z$  の確率密度関数  $h_z(z)$  は、

$$\begin{aligned}
 h_z(z) &= g_y(z) \cdot \int_z^\infty t_w(w) dw + t_w(z) \cdot \int_0^z g_y(y) dy \\
 &= g_y(z) \cdot \left\{ 1 - \int_0^z t_w(w) dw \right\} + t_w(z) \cdot \left\{ 1 - \int_0^z g_y(y) dy \right\} \\
 &= g_y(z) + t_w(z) - \frac{d}{dz} \left\{ \int_0^z g_y(y) dy \cdot \int_0^z t_w(w) dw \right\} \dots(2)
 \end{aligned}$$

と与えられる。ここで、 $h_z(z)$ 、 $g_y(y)$ 、 $t_w(w)$  の累積分布関数をそれぞれ、 $H_z(z)$ 、 $G_y(y)$ 、 $T_w(w)$  とすると、式(2)を積分することにより式(3)が得られる。

$$H_z(z) = G_y(z) + T_w(z) - G_y(z) \cdot T_w(z) + C \dots(3)$$

ただし、 $C$  は積分定数

ここで  $z \rightarrow \infty$  のとき、 $H_z(z) = 1$ 、 $G_y(z) = 1$ 、 $T_w(z) = 1$  であることから、 $C = 0$  が得られる。よって、式(3)を変形し、変数  $z$  を  $y$  に置き直せば、次式が得られる。

$$G_y(y) = \frac{H_z(y) - T_w(y)}{1 - T_w(y)} \dots\dots(4)$$

上式によって計測ガレキ幅の累積分布関数と街路幅員の累積分布関数から幅員補正後のガレキ幅の累積分布関数  $G_y(y)$ 、さらに、それを微分すれば、確率密度関数  $g_y(y)$  を算出することができることとなる。

### 3-3 街路リンク長分布に基づくガレキ幅確率分布の基準化の方法

次に街路リンク長に応じた最大ガレキ幅の増大効果を除去するための処理を行う。既述のようにリンク長が長いほど計測ガレキ幅の期待値は大きくなると考えられる。そして、その増大効果はガレキ幅によらずリンク長だけに依存する。そこで、 $l$  を街路リンク長としたとき、ガレキ幅  $y$  は次のように表されるものとする。

$$y = y_0 \cdot \theta(l) \dots\dots(5)$$

ここで、 $y_0$  は  $l$  によらない数値で、ここでは基準化ガレキ幅と呼ぶ。また、 $\theta(l)$  は、 $\theta(0) = 1$  となるような  $l$  の増加関数とし\*2、関数  $\theta(l)$  をリンク長効果関数と呼ぶ。

以上を用いて、幅員補正後のガレキ幅が  $y$  となる確率密度関数  $g_y(y)$  を算出する。これは基準化ガレキ幅  $y_0$  と街路リンク長  $l$  の同時確率を式(5)を満たす  $(y_0, l)$  の軌跡上で線積分することによって得られる。そこで、 $f_{y_0}(y_0)$  を基準化ガレキ幅  $y_0$  の確率密度関数、 $s_l(l)$  を街路リンク長  $l$  の確率密度関数とすると、

$$g_y(y) = \int_0^\infty s_l(\theta^{-1}(y/y_0)) \cdot f_{y_0}(y_0) dy_0 \dots\dots(6)$$

\*1  $y$  と  $w$  が独立であるとは、発生ガレキ幅が街路幅員によらないということの意味する。本研究では町丁目内の建築物の特性は均質であるとしているので、理論的には整合的であるが、現実問題としてはやや強い仮定と言えよう。  
 \*2 これは街路リンク長に 0 という仮想的な状態を基準とし、基準化ガレキ幅  $y_0$  を定義していることを意味する。

ただし、 $\theta^{-1}(y/y_0) = l$   
 となる。ここで、関数  $\theta(l)$  の定義より、

$$y_0 \leq y \quad \dots\dots(7)$$

が成り立つから、式(6)の積分域は縮小され、

$$g_y(y) = \int_0^y s_l(\theta^{-1}(y/y_0)) \cdot f_{y_0}(y_0) dy_0 \quad \dots(8)$$

と書き換えることができる。

いま、リンク長効果関数  $\theta(l)$  が得られたとすると、問題は、既知の、 $g_y(y)$ 、 $s_l(l)$ 、 $\theta(l)$  から、式(8)の積分方程式を満たす  $f_{y_0}(y_0)$  を推定することにある。

この問題は、一般に解析的には解くことができないため、ここでは代表座標点法を用いて問題を離散化し、数値解法によって基準化ガレキ幅  $y_0$  の確率密度関数  $f_{y_0}(y_0)$  を推定した<sup>3,4)</sup>。変数  $y$  と  $y_0$  について、それぞれ適当な  $N$  個の代表座標点  $\{y_j\}$ 、 $\{y_{0j}\}$  をとり、各座標における  $g_y(y_j)$ 、 $f_{y_0}(y_{0j})$ 、 $s_l(y_j, y_{0j})$  の値をそれぞれ  $g_{yj}$ 、 $f_{y_{0j}}$ 、 $s_{lij}$  とする。 $f_{y_{0j}}$  に  $y_0$  の刻み幅  $\Delta y_{0j}$  を乗じたものを  $\Delta F_{y_{0j}}$  とすると、式(8)は次のように書き換えられる。

$$\{g_{yj}\} = [s_{lij}] \{\Delta F_{y_{0j}}\} \quad \dots\dots(9)$$

そこで、問題は  $\{g_{yj}\}$ 、 $[s_{lij}]$  が既知のとき、

$$\| \{g_{yj}\} - [s_{lij}] \{\Delta F_{y_{0j}}\} \| \rightarrow \min \quad \dots\dots(10)$$

となるような  $\{\Delta F_{y_{0j}}\}$  を推定する問題に帰着する。式(10)を各  $\Delta F_{y_{0j}}$  について微分すれば連立一次方程式の問題になるから  $\{\Delta F_{y_{0j}}\}$  を、ひいては  $f_{y_{0j}}$  を求めることができる。

### 3-4 リンク長効果関数 $\theta(l)$ の推定

$\theta(l)$  を推定するためには、ガレキ幅とリンク長との関係を求めることが必要となる。しかし、実際にデータとして得られる計測ガレキ幅には街路幅員による上限効果が含まれているため、過小に計測されている。そこで、上限効果を除いた個々の街路リンクのガレキ幅を推定する必要が生じる。

ある町丁目における幅員補正後のガレキ幅の累積分布関数が得られたとする (Fig.3の(A))。この町丁目に含まれる幅員が  $w_0$  の街路リンクにおける計測ガレキ幅の累積分布関数は、Fig.3の(B)のようになる。いま、この街路リンクにおける幅員遮蔽率が100%であるとき、この街路リンクにおける真のガレキ幅  $y$  は、 $w_0 \leq y < \infty$  の範囲にある (その確率密度関数は、 $w_0$  以上の部分での関数(A)の微分によって得

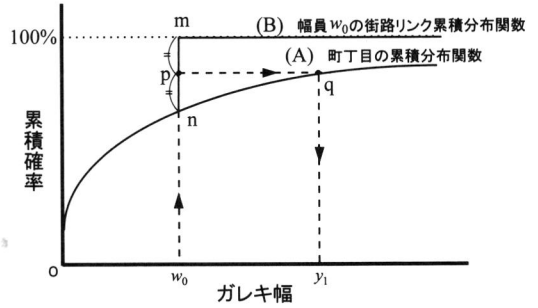


Fig.3 街路幅員による上限効果の修正

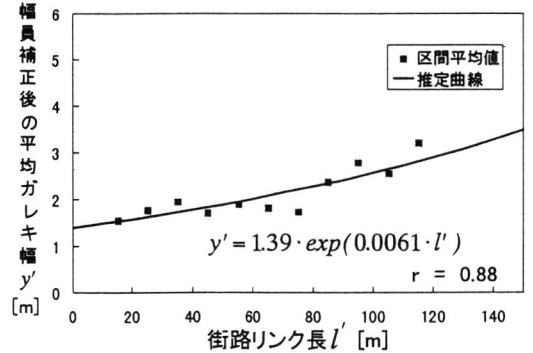


Fig.4 リンク長効果関数  $\theta(l)$  の推定

られる)。ここで、真のガレキ幅の推定値として、発生しうる値域の中央値を用いることにすると、Fig.3の  $y_1$  が真のガレキ幅の推定値となる。

以上のような方法によって幅員遮蔽率が100%の街路リンクにおける真のガレキ幅の推定値を算出した。これに幅員遮蔽率が100%に達していないリンクを合わせた、全街路リンクの計測ガレキ幅のデータについて、街路リンク長を10m間隔で区切り、各区間ごとにガレキ幅（推定値）の平均値を算出した。その結果をFig.4に示す。各リンク長区間のリンク長代表値を  $l'$  [m]、そのリンク長区間における平均ガレキ幅を  $y'$  [m] とし、この両者の関係に指数関数を当てはめた結果、

$$y' = 1.39 \cdot \exp(0.0061 \cdot l') \quad \dots\dots(11)$$

が得られた。式(11)はリンク長とガレキ幅の概括的な関係を表すものである。ここで、この式の指数関数部分がリンク長の大小に応じたガレキ幅のバイアス効果であると考えられ、リンク長効果関数は、

$$\theta(l) = \exp(0.0061 \cdot l) \quad \dots\dots(12)$$

$l$  : 街路リンク長[m]

のように得られることとなる。関数  $\theta(l)$  が  $\theta(0) = 1$  を満たしていることは言うまでもない。

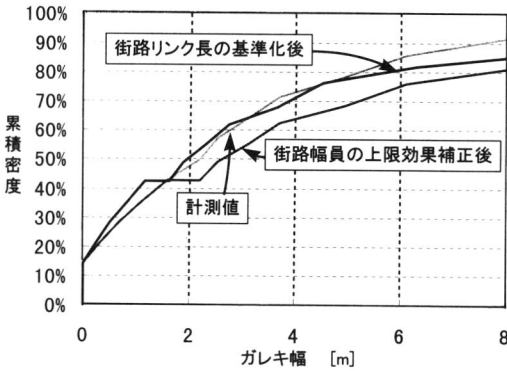


Fig.5 ガレキ幅分布の計測・補正例 (深田町1丁目)

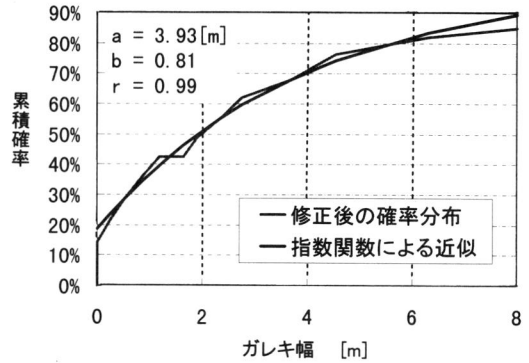


Fig.7 ガレキ幅確率分布の近似例 (深田町1丁目)

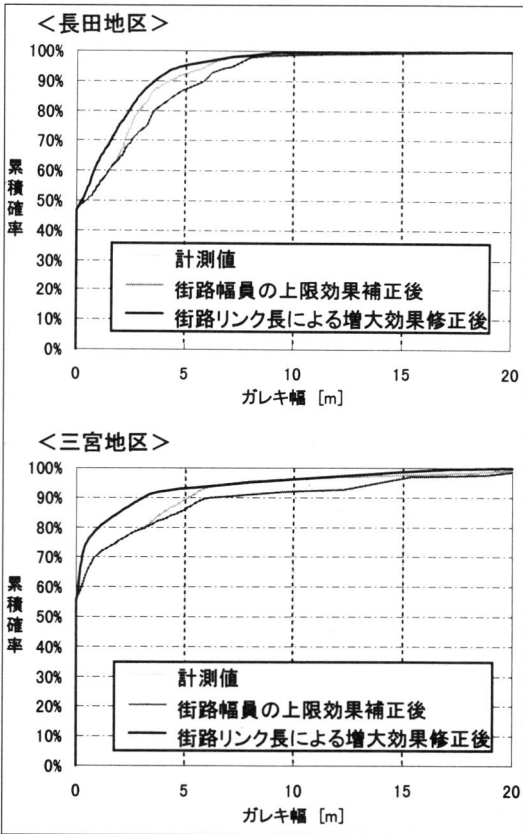


Fig.6 地区別のガレキ幅確率分布の推定

3-5 基準化ガレキ幅の確率分布の推定

まず、式(4)の演算方法に基づいて、各町丁目別に街路幅員補正後のガレキ幅分布を算出した。そして、式(10)、(12)に基づいて基準化ガレキ幅の累積分布関数を求めた。その一例(灘区深田町1丁目)をFig.5に示す。また長田と三宮の二地区について町丁目別に推定した結果を集計した例をFig.6に示す。比較的狭い幅員の街路が多い長田地区では幅員の上限効

果が大きくなっている。また、区画割りの大きい三宮地区においては街路リンク長による増大効果が大きいことがわかる。

4. ガレキ幅確率分布決定式の推定

4-1 基準化ガレキ幅分布の指数分布近似

ガレキ幅確率分布を決定する要因を特定するために、建築物特性などと基準化ガレキ幅  $y_0$  の確率分布との関係を分析した。

$y_0$  の累積分布関数が以下の式(13)のような指数関数で表されると仮定する。

$$\hat{F}_{y_0}(y_0) = 1 - b \cdot \exp\left(-\frac{1}{a} y_0\right) \quad \dots\dots(13)$$

この関数形において、 $a$  はガレキの広がり の程度を表す。 $a$  が大きいほど累積分布関数は右方にシフトし、ガレキ幅は大きくなる。また、 $b$  が大きいほど、何らかのガレキが発生する確率が増大する。

基準化ガレキ幅を推定する際に用いた代表座標点  $\{y_{0j}\}$  について、式(10)の演算により得られる累積確率  $\{F_{y_0}(y_{0j})\}$  と式(13)による近似値  $\{\hat{F}_{y_0}(y_{0j})\}$  の値を求め、両者の乖離度を表す  $\chi^2$  値が最小になるように、町丁目毎にパラメータ  $a$ 、 $b$  を数値計算により推定した。灘区深田町1丁目の例をFig.7に示す。式(13)による近似が十分妥当であることがうかがえる。また、各町丁目別に推定された、パラメータ  $a$ 、 $b$  を町丁目別の木造率などの変数とともに、各地区別にとりまとめた結果をTable 1に示す。

4-2 基準化ガレキ幅確率分布のパラメータ  $a$ 、 $b$  の要因分析

次に、各町丁目毎に推定されたパラメータ  $a$ 、 $b$  を建築物やその破壊特性などによって要因分析した。データは、調査対象地区内の382町丁目のうち、街路リンク数の少ない町丁目を除いた111町丁目を用

Table 1 対象地区の特性

	魚崎		六甲道		春日野道		三宮		兵庫		長田	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
a [m]	3.58	5.42	3.30	1.50	1.65	2.18	7.38	7.08	2.53	1.84	2.80	1.85
b	0.64	0.23	0.73	0.29	0.46	0.15	0.43	0.21	0.48	0.17	0.57	0.20
全壊率	0.45	0.11	0.43	0.20	0.14	0.10	0.22	0.08	0.50	0.11	0.61	0.20
平均階層	1.65	0.69	1.83	0.47	1.87	0.31	4.31	1.30	2.02	0.29	1.73	0.41
建築密度	0.57	0.08	0.74	0.05	0.73	0.12	0.80	0.13	0.73	0.08	0.76	0.11
木造率	0.65	0.21	0.65	0.17	0.75	0.17	0.25	0.18	0.65	0.15	0.75	0.20
昭和25年以前の建築物比率	0.20	0.14	0.24	0.17	0.04	0.03	0.03	0.04	0.10	0.05	0.30	0.16

いた。各町丁目の面積は概ね1～4 haである。各種の変数と式形について試行錯誤した結果、以下の推定式が得られた。ここで、aの単位は[m]である (Fig.8参照)。

$$a = 4.24 \cdot X_1^{0.404} + 0.356 \cdot X_2^{2.13} + 11.9 \cdot X_3^{18.4} - 2.18$$

$$b = \frac{1.23}{(1 - 0.160 \cdot \ln X_4 - 0.323 \cdot \ln X_5)^{1.37}} \dots\dots(14)$$

X<sub>1</sub>: 全壊率

全壊または大破の建築物

全建築物-火災による損傷建築物-未調査・不明建築物 (棟数ベース)

X<sub>2</sub>: 平均階層 (建築延べ床面積/建築面積)

X<sub>3</sub>: 建築密度 (建築面積/宅地面積)

X<sub>4</sub>: 木造率 (建築棟数ベース)

X<sub>5</sub>: 昭和25年以前の建築物の比率 (建物延べ床面積ベース)

なお、実用性とデータ制約から、説明変数をごくマクロな指標にとどめたこともあって、必ずしも十分な説明力をもつ算定式には至らなかった。しかし、概括値としては概ね妥当な結果が得られた。ここで、全壊率と建築面積については、建設省建築研究所による建築物被災度集計結果データ<sup>5)</sup>を用い、その他の変数に関しては、神戸市により町丁目単位で集計されたデータを用いて算出した。建築物の倒壊には地震動特性が大きく寄与しているものと考えられるが、地震動特性を直接的に表す説明変数としては、町丁目単位の細かいレベルで用いることができる適切な変数が見あたらないので、ここでは、間接的な指標として全壊率を採用した。

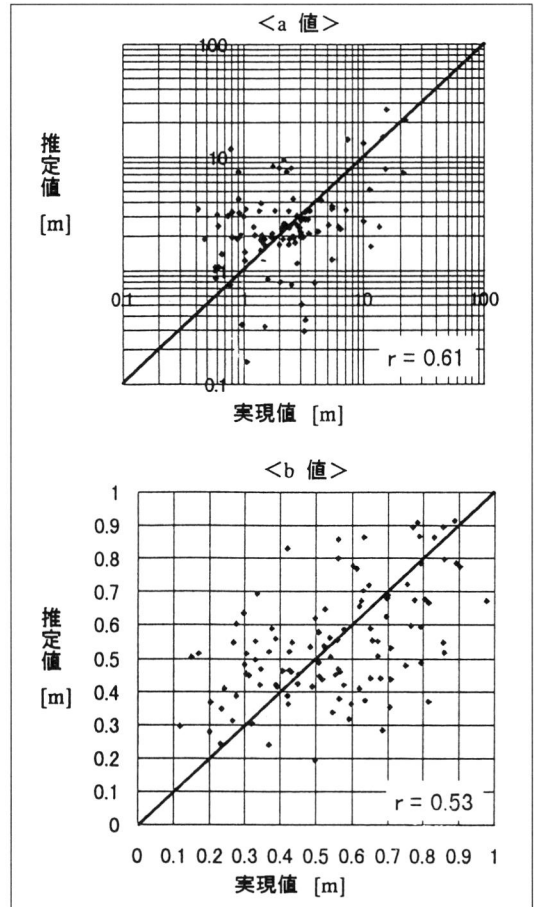


Fig.8 a、bの推定結果

5. 街路閉塞発生状況の推定

5-1 街路リンク閉塞確率の定義およびシミュレーション方法

まず、ある街路リンクにおける「閉塞」を「通行可能幅員があらかじめ定められた限界値より小さくなる状態」と定義し、その状態が発生する確率を「街路リンク閉塞確率」と呼ぶことにする。よって、各街路リンクについて閉塞発生の危険性はこの「街

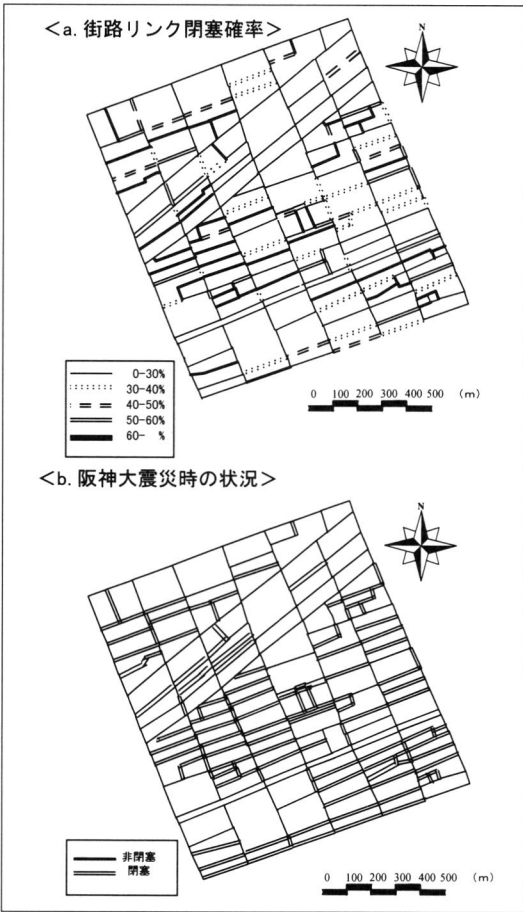


Fig.9 街路リンク閉塞率図(六甲道地区)

路リンク閉塞率」によって表現されることになる。そこで、いくつかの地区の街路について、4章で推定したガレキ幅確率分布の算定式に基づきこの街路リンク閉塞率を算出し、実際の閉塞現象の発生状況と比較することによって、本研究の方法の再現性を確認する。

その手順はまず、各町丁目の建築物の特性や全壊率から式(14)を用いて基準化ガレキ幅確率分布のパラメータ  $a$ 、 $b$  の推定値を算出する\*3。しかし、 $a$ 、 $b$  の真の値は、こうして算出された推定値を中心にして確率的に分布する。そこで、 $a$  は対数正規分布(標準偏差  $\sigma_a=0.849$ )に、 $b$  は正規分布( $\sigma_b=0.175$ )に従って変動するものと考えた。なお、両分布の標準偏差は式(14)の残差分散から推定した。次に、再現シミュレーションの対象地区の各街路リンク毎に、上記の変動に従う乱数を与えることによって、確率

\*3 予測に用いる場合には、別途、全壊率を推定する作業<sup>6)</sup>をつけ加えればよい。

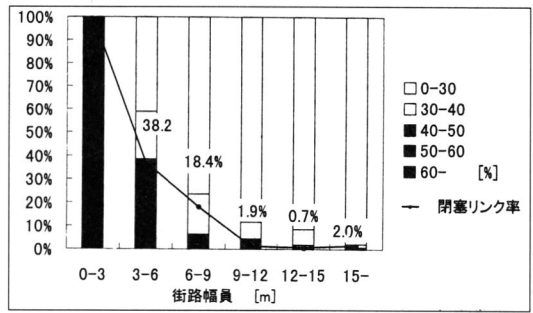


Fig.10 幅員別街路リンク閉塞率

的にパラメータ  $a$ 、 $b$  を定める。こうして、式(13)より各街路リンク毎に基準化ガレキ幅確率分布が得られる。さらに、式(12)によってリンク長の効果を加味した各リンク毎のガレキ幅確率分布が算出される。この分布と街路幅員、および別途定める閉塞限界値を用いて、街路リンク閉塞率を算出することができる。

### 5-2 街路リンク閉塞シミュレーションの例

以上のガレキ幅算定式、および閉塞率の算定方法の総合的再現性を確認するため、航空写真による計測の行われた地域に対して、街路リンク閉塞シミュレーションを試みた。ここで、閉塞限界値は消防車両の通行可能性を考慮して3mとした。

Fig.9は六甲道地区についてシミュレーションした結果を阪神大震災時の実際の閉塞状況と合わせて図示したものである。Fig.9のaは街路リンク閉塞率を計算した結果を段階別に示したものである。Fig.9のbは航空写真による計測の結果、通行可能な幅員が3m未満と判別された街路リンクを閉塞として表示したものである。街路リンク閉塞率の高い街路リンクが集中している地域に実際に閉塞リンクが多いといった、閉塞状況、およびその発生傾向が概ね再現されていることがわかる。

Fig.10は、全調査対象地区の街路リンクについて街路幅員別に全街路リンクの街路リンク閉塞率別の内訳を示したものである。幅員の増加に伴い閉塞率の低いリンクが増加していることがわかる。また、阪神・淡路大震災時に実際に閉塞(3m未満)した街路リンクの割合を折れ線で示した。街路リンク閉塞率が40~50%以上の街路リンクの割合が実際の閉塞現象と等価となっているのがわかる。

### 6. まとめ

本研究で得られた主な成果は以下のとおりである。

(1)建築物の倒壊によって生じる街路閉塞現象の危険性を街路リンク毎に「街路リンク閉塞確率」として推定評価する手法を提案した。

(2)分析の際に基本的データとして用いる航空写真より計測されたガレキ幅の数値から、二つの重要なバイアス「街路幅員の上限効果によるバイアス」と、「街路リンク長に応じた最大ガレキ幅の増大効果によるバイアス」を除去し、分析のためのデータとして加工する方法を開発した。

(3)さらに、発生ガレキ幅を町丁目毎の確率分布として捉え、そのパラメータを木造率や全壊率などの建築物の特性により説明する算定式を推定した。

(4)そして、上記の成果をベースにして、街路リンク毎に街路リンク閉塞確率を試算して、阪神・淡路大震災時の状況と比較することにより、実現象の再現性を確認し、概ね良好な結果を得た。

#### 参考文献

- 1) 家田・上西・猪俣・鈴木「阪神大震災における「街路閉塞現象」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IV(投稿中)1997年
- 2) 家田・上西・猪俣・鈴木「阪神大震災における街路機能障害に関する研究～航空写真による概況把握」『土木計画学研究・講演集』、No.18(2)、pp.847～850、1995年
- 3) 松本・角・田辺「一般化出発時刻に基づく交通の実質消費時間の推定」『土木学会論文報告集』第337号、pp.177～183、1983年
- 4) Massy, W.F., D.B. Montgomery and D.G. Morisson: Stochastic Models of Buying Behavior, M.I.T. Press, P. 29, 1970
- 5) 建設省建築研究所『平成7年兵庫県南部地震被害調査最終報告書』1996年
- 6) 例えば、山口「GISを用いた西宮市の地震被害分析」東京大学工学系研究科修士論文、1997年等