

(IV-14) 阪神大震災における街路閉塞の確率的発生予測モデルの構築

東京大学 学生員 望月 拓郎
学生員 上西 周子
正会員 家田 仁

1. はじめに

1995年1月に発生した阪神大震災では、建築物の倒壊などに起因する街路の閉塞が数多くみられた。街路閉塞は避難路の確保を困難にし、緊急・救急車両の通行を阻害するなどの諸問題を生じさせた。著者らはこれまでに兵庫県南部地震直後に撮影された航空写真を用いることにより、街路閉塞の状況を把握してきた¹⁾。本研究では、「街路リンク閉塞確率」という概念を導入し、建築物の倒壊に起因する「街路閉塞」によって生じる街路の危険度を表現し、防災面からみた街路網の評価を試みる。本稿はこのうち「街路リンク閉塞確率」の算定について報告するものである。

2. 街路リンク閉塞確率

2.1 定義および概要

街路リンク閉塞確率 $p(x_0)$ を、

「街路リンク (=交差点間の街路セクション) の車道幅員 w_a [m] が建築物の倒壊により許容残存幅員 x_0 [m] (=街路の通行の可否を判断する基準幅員) 未満になる確率」と定義する。

本研究では建築物および地震動の特性は各町丁目内で一様であるとの仮定のもとで、①町丁目ごとに、ある1件の建築物の倒壊によるガレキの幅の確率分布 (=ガレキ幅分布) を建築物・地震動特性より決定する(3章)。次に、②決定された「ガレキ幅分布」と街路の幅員・歩道幅員とを考慮することにより「単位長さ当りの街路リンク

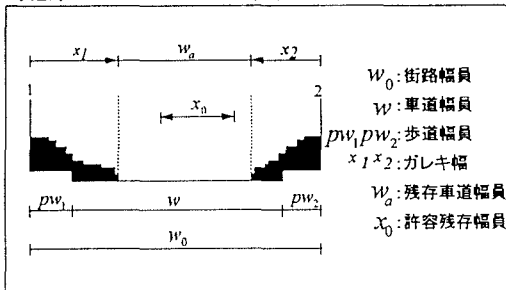


図-1 街路閉塞の概念図

閉塞確率 $p_{unit}(x_0)$ 」を計算する。最後に、③街路リンクの長さを考慮して、「街路リンク閉塞確率 $p(x_0)$ 」を算出する。

2.2 算出方法

ある街路リンクの両側の町丁目の建築物・地震動特性が与えられたとき、ガレキ幅分布は決定される。いま、その密度関数を $f_1(x_1)$ 、 $f_2(x_2)$ であるとし、街路の平面構造を図-1 のようにおくと、 x_0 [m] を定めたときの $p(x_0)$ は次のように導出できる。まず、 $p_{unit}(x_0)$ は

$$\begin{cases} w < x_0 \text{ のとき} \\ p_{unit}(x_0) = 1 \\ w \geq x_0 \text{ のとき} \\ p_{unit}(x_0) = f_1(x_1 > w + pw_1 - x_0) \cdot f_2(x_2 \leq pw_2) \\ \quad + f_1(x_1 \leq pw_1) \cdot f_2(x_2 > w + pw_2 - x_0) \\ \quad + \int_{pw_1}^{w+x_0} f_1(x_1) \cdot \int_{w+pw_2-x_0+x_1}^{pw_2} f_2(x_2) dx_2 dx_1 \\ \quad \dots\dots (1) \end{cases}$$

となる。次に街路リンクの長さを l [m] とおくと、 $p(x_0)$ は

$$p(x_0) = 1 - (1 - p_{unit}(x_0))^{\frac{l}{k}} \quad \dots\dots (2)$$

と算出される。ここで k は建築物平均間口で

$$k = L/n \quad \dots\dots (3)$$

L : 町丁目内の街路リンクの総延長 [m]

n : 町丁目内の建築物件数 [件]

と決定される値であるとする。

3. ガレキ幅分布決定モデルの構築

3.1 概要

2章で定義したように、ガレキ幅分布とは、ある1件の建築物の倒壊によるガレキ幅の確率分布である。一方、昨年度、著者らが神戸市内の6調査地区(1地区概ね50ha)において航空写真より計測したデータは各街路リンクごとの最大ガレキ幅である。従ってここでは、計測値より得られる街路リンクごとの最大ガレキ幅の分布を街路幅員分布および街路リンク長分布に基づいた補正をすることによって、ガレキ幅分布を算出する。次に、このガレキ幅分布を用いて建築物・地震動特性よりガレキ幅の確率密度関数を決定するモデルを構築する。

3.2 計測データの補正

(i) 街路幅員分布に基づく補正

倒壊した建築物のガレキ幅が街路幅員より大きくなった場合、計測値としては街路幅員の値が与えられる。そこで、街路幅員の制約のために過小

評価されたガレキ幅の補正を街路幅員分布を考慮して行なう。

計測より得られるガレキ幅 z [m] の密度関数を $h(z)$ ，街路幅員分布に基づいた補正を行った後の密度関数を $g(y)$ ，街路幅員 s [m] の密度関数を $w(s)$ とおき， $g(y)$ と $w(s)$ は互いに独立であると仮定する。いま z が任意の値 z^* となるのは，

$$\begin{cases} y = z^* \text{ かつ } y \leq s \\ \text{あるいは} \\ s = z^* \text{ かつ } y > s \end{cases} \dots\dots (4)$$

のときである。このとき，

$$h(z^*) = g(z^*) \cdot \int_0^{\infty} w(s) ds + w(z^*) \cdot \int_0^{\infty} g(y) dy \dots\dots (5)$$

が成り立つ。(5) 式より街路幅員分布によって補正されたガレキ幅の分布関数 $G(z^*)$ が求まり，(6) 式のように表される。

$$G(z^*) = \int_0^{\infty} g(y) dy = \frac{\int_0^{\infty} h(z) dz - \int_0^{\infty} w(s) ds}{1 - \int_0^{\infty} w(s) ds} \dots\dots (6)$$

(ii) 街路リンク長分布に基づく補正

次に，各街路リンクにおいて最大値であるガレキ幅以外のすべての建築物によるガレキ幅も考慮するために，「街路リンク長分布」に基づいた補正を行う。いま，ガレキ幅 y [m] は街路リンク長で補正したガレキ幅の代表値 x [m] と街路リンク長の関数 $\theta(t)$ の積

$$y = x \cdot \theta(t) \dots\dots (7)$$

で表されると仮定する。このとき街路リンク長分布に基づく補正を行った後の密度関数を $f(x)$ ，街路リンク長 t [m] の密度関数を $l(t)$ とおき， $f(x)$ と $l(t)$ は互いに独立であると仮定する。このとき，

$$g(y) = \int_0^{\infty} f(x) \cdot l(\theta^{-1}(x, y)) dx \dots\dots (8)$$

と表せ， x は街路リンク長が十分に小さいときのガレキ幅であるので， $f(x)$ はガレキ幅の確率密度関数と見なせる。 $g(y)$ ， $l(t)$ は既知であるので $f(x)$ は求めることができる。

3. 3 モデル式のパラメータの推定

次に，計測値より得られた $f(x)$ と，町丁目ごとの建築物・地震動特性を用いてモデル式の推定を行う。

ガレキ幅分布が指数分布に従うと仮定し，その密度関数 $f(x)$ を，

$$f(x) = \frac{1}{b} \cdot \text{Exp}\left(-\frac{1}{a}x\right) \dots\dots (9)$$

とおいた。計測の行われた町丁目のうち，96 町丁目に対して，当該町丁目の地震動特性を

表すものとして大破率，建築物特性として木造率，階層（延床面積を建築面積で除した値），建築密度（建築面積を宅地面積で除した値），建築年代別延床面積率，を説明変数として重回帰分析を行った結果， a, b の回帰式は (10) 式ようになった。

$$\begin{cases} a = \ln(X_1^{0.37} X_2^{-1.37} X_3^{1.70} X_4^{1.74} X_5^{-0.27} X_6^{-0.30} X_7^{0.07}) + 0.950 & (r = 0.77) \\ b = -2.15X_2 + 4.60X_3 + 6.75X_4 + 3.69X_5 + 8.08X_7 - 8.70 & (r = 0.80) \end{cases} \dots\dots (10)$$

X_1 : 大破率

X_2 : 木造率（建築件数ベース）

X_3 : 階層（建築延床面積／建築面積）

X_4 : 建築密度（建築面積／宅地面積）

X_5 : 建築年代別延床面積率（～S25）

X_6 : 建築年代別延床面積率（S26～S40）

X_7 : 建築年代別延床面積率（S41～S55）

4. 街路リンク閉塞確率の計算結果

街路リンク閉塞確率 $p(x_0)$ を， $x_0 = 3.0$ [m] とし，計測を行った地域に対して (10) 式を用いて計算した。さらに各街路リンクに一樣乱数を与え，確率的に閉塞・非閉塞を判定した。街路幅員別に閉塞したリンクの割合（＝閉塞率）を示したものが表-1 である。なお，カッコ内の数値は阪神大震災時の計測値である。

表-1 街路幅員別街路リンク閉塞率

	(m)	魚崎地区 (%)	六甲道地区 (%)	藤田道地区 (%)	三宮地区 (%)	兵庫地区 (%)	長田地区 (%)
■	0～4	77.4 (71.3)	90.0 (88.7)	87.8 (71.3)	88.4 (42.2)	85.3 (51.2)	91.8 (83.9)
■	4～6	72.0 (41.4)	82.2 (65.3)	80.0 (41.4)	68.0 (32.0)	80.0 (17.8)	79.2 (23.3)
■	6～8	87.2 (13.5)	58.1 (45.8)	57.1 (13.5)	69.8 (15.9)	58.6 (6.4)	63.4 (21.3)
■	8～12	28.9 (4.4)	30.9 (2.0)	20.0 (4.4)	29.4 (7.0)	27.1 (2.2)	29.5 (4.0)
■	12～18	0.0 (7.1)	22.2 (0.0)	0.0 (7.1)	21.3 (10.7)	17.1 (0.0)	0.0 (0.0)
■	18～	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)	20.0 (2.2)	4.2 (0.0)	0.0 (0.0)

計算された街路リンクの閉塞率は計測値と比較して，過大に推定されており，この傾向は街路幅員が大きいほど強くなっている。また，計測値では街路幅員が 6 m 前後で閉塞率は著しく変化しているが，推定ではその様子が十分に表現されていない。これは，実際には街路リンクに接していない建築物が存在することや，町丁目内で建築物平均間口 k が一様でなく街路幅員により k が異なることなどが影響しているものと考えられる。今後は，以上の点を考慮して，街路リンク閉塞率の算定式の改善を行い，街路閉塞の発生予測モデルを構築する。さらに，既存の街路網に適用することによって街路閉塞の発生に対する地区安全性を検討していく予定である。

参考文献 1) 家田仁・上西周子：阪神大震災における「街路閉塞現象」に着目した機能的障害とその影響，土木学会論文集Ⅳ 投稿中