

大震災時における道路の通行可能確率の推定

Estimation on Passable Street Probability in Times of Large Earthquake Disaster

塚口博司¹・小川圭一²・本郷伸和³

Hiroshi Tsukaguchi, Keiichi Ogawa, Nobukazu Hongo

¹立命館大学教授 理工学部都市システム工学科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Professor, Ritsumeikan University, Dept. of Civil Engineering

²立命館大学准教授 理工学部都市システム工学科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Associate Professor, Ritsumeikan University, Dept. of Civil Engineering

³大阪市水道局

Department of Water Supply, Osaka Punicipal Office

Since the Hanshin-Awaji large earthquake disaster, the street blockage in times of earthquake disaster has been examined in several urban areas. But the quantitative data regarding the street blockage by earthquake disasters almost do not exist other than the Hanshin-Awaji large earthquake disaster. Therefore it is meaningful to propose a presumption method of applicable street blockage probability to the other urban area on the basis of the street dysfunction data in the Hanshin-Awaji large earthquake disaster.

In order to achieve the goal, this study adopts a method of presuming the blockade probability of optional street section classified by width as the 1st stage, in the suffering area of the Hanshin-Awaji large earthquake disaster, considering the roadside quality in object areas, as the 2nd stage, to improve the model. In this manuscript, after verifying that occurrence of street dysfunction has followed to Poisson distribution concerning 1st stage, a method of calculating blockade per unit length is proposed.

Key Words : *disaster mitigation , street closure*

1. はじめに

阪神・淡路大震災以来、震災時における道路閉塞に関する検討が行われることが多くなってきた。道路閉塞は、道路幅員、沿道建物の構造および建築年、建物の建て込み状況等の要因に左右されており、本来ならば、当該都市における被害データに基づいて分析することが望ましい。しかし、地震に伴う道路閉塞に関する定量的データは阪神・淡路大震災以外にはほとんど存在しない。そこで、道路機能障害に関する定量的なデータを有していない都市において、地震による道路閉塞状況を推定するために、これらのデータが多数存在している阪神・淡路大震災における道路機能障害に基づいて、適切な値を設定することが妥当であろう。

阪神・淡路大震災における道路機能障害の分析結果を他都市に適用しようとする場合には、第1段階として、阪神・淡路大震災の被災地の任意の道路区間の閉塞確率を幅員別に推定し、第2段階として、対象地区における沿道特性を考慮するという方法を採用することにした。

筆者らは、このような考え方に基づいて、阪神・淡路大震災における道路機能障害データを利用して、道路幅員と沿道建物の状況を考慮し、単位延長当たりの道路閉塞確率を推定している。本稿では、第1段階である、道路幅員を考慮した単位道路区間長当たりの道路閉塞確率の推定方法について述べることにしたい。

2. 阪神・淡路大震災時の神戸市における道路閉塞状況¹⁾

阪神・淡路大震災において、神戸市灘区は特に甚大な被害を受けた。すなわち、都賀川、石屋川、阪急神戸線、ならびに JR 東海道線で囲まれる約 1.1km²の区域（以下では地区 A と呼ぶ）は震度 6 の烈震であった。また、都賀川、石屋川、JR 東海道本線、ハーバーハイウェイに囲まれる約 2km²の区域（以下では地区 B と呼ぶ）は震度 7 の激震であった。両地区における道路の閉塞割合を図 1 および図 2 に示す。

震度 6 であった地区 A では、車両の通行に関しては、幅員 10m を境に道路閉塞状況に違いがあることがわかる。すなわち幅員が 10m 以上の道路であれば道路が部分的に被害を受けても自動車の通行が不能となることはほとんどない。幅員が 8~10m になると、自動車による通行不能な道路リンクが 1/4 程度となる。したがって 10m の幅員は自動車の通行が可能であるか否かに大きく影響する幅員だと考えられる。幅員が 4~8 m の場合には通行可能な道路区間の割合がさらに低くなる。一方、歩行による通行に関しては、幅員 8m 以上では通行不可となる道路区間はなかった。これより幅員 8m 以上の道路であれば歩行者はほぼ通行可能であると考えられる。

震度 7 であった地区 B では、車両の通行に関して幅員 12m を境に道路閉塞状況に違いがあることがわかる。すなわち幅員が 12m 以上の道路であれば、道路が部分的に被害を受ける割合は小さくないが、ほとんどの道路区間は車両の通行が可能である。幅員 10~12m では車両の通行できない道路リンクが約 2 割存在した。幅員 8~10m では車両の通行できない道路区間の割合が急増する。幅員 6~8m では多くの道路リンクが閉塞し、幅員 4~6m では 8 割以上の道路リンクが車両通行不可であった。一方、歩行による通行に関して、幅員 10m 以上の道路区間であればほぼ通行可能であった。

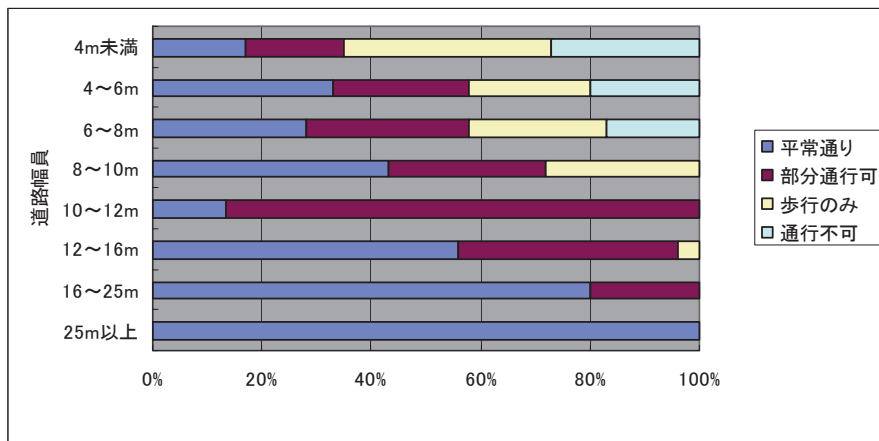


図 1 神戸市灘区東部の道路閉塞割合 (地区 A)

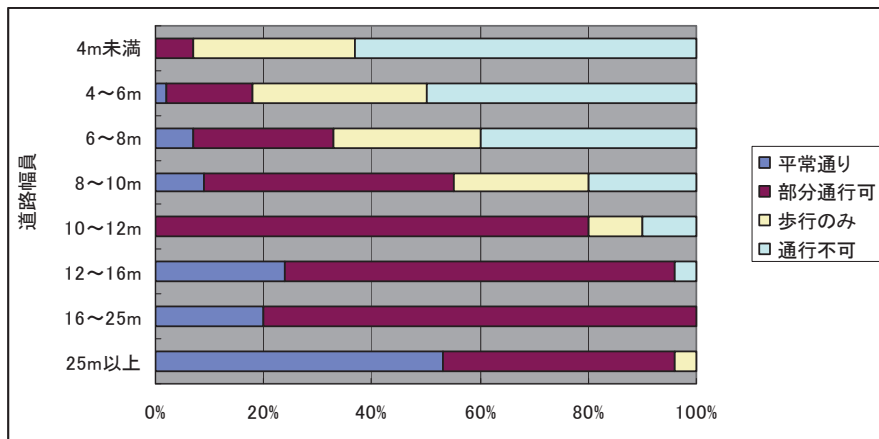


図 2 神戸市灘区東部の道路閉塞割合 (地区 B)

3. 道路閉塞個所の分布状況²⁾

(1) 道路閉塞個所の分布状況

本章では、まず震災時の道路閉塞個所の分布がポアソン分布に従うと仮定して、震度ごとに道路幅員別および交通主体別の道路通行可能率を求めた。ここでは、単位区間長を 100 m とし、単位区間において道路閉塞が生じる確率を以下のように表した。

ポアソン分布 (Poisson's distribution) の確率密度関数は以下の通りであるから、

$$p_n = \frac{m^n}{n!} \cdot e^{-m} \quad \dots \dots \dots (1)$$

m : 単位道路区間長あたりの閉塞箇所数の平均値
 n : 単位道路区間長あたりの閉塞箇所数

式(1)より、単位区間内で 0 ヶ所が閉塞する確率、すなわち 1 ヶ所も閉塞しない確率は

$$p_0 = \frac{m^0}{0!} \cdot e^{-m} = e^{-m} \quad \dots \dots \dots (2)$$

と表すことができる。ここでは、単位区間長を 100 m としているから、この場合の m を m_{100} とすると、区間長 100m の道路区間の通行可能確率は、

$$p_{0[100_m]} = e^{-m_{100}} \quad \dots \dots \dots (3)$$

となり、また区間長 X (m) の道路区間の通行可能確率は、

$$p_{0[x_m]} = e^{-m_x} \quad \dots \dots \dots (4)$$

となる。ここで $m_x = m_{100} \cdot \frac{x}{100}$ であるため、式(4)は

$$p_{0[x_m]} = e^{-m_{100} \cdot \frac{x}{100}} \quad \dots \dots \dots (5)$$

と表すことができる。

式(5)を用いて通行可能確率を推定する際には、単位道路区間長(ここでは 100 m)あたりの閉塞箇所数の平均値が必要となる。本稿では、上記の地区において震災直後に撮影された航空写真を用いて、新たに計測した。

(2) 阪神・淡路大震災のデータを用いた検証

2 章で述べた神戸市灘区の地区におけるデータを用いて、道路閉塞状況が実際にポアソン分布に従っているかを χ^2 検定によって検定する。

検定を行なうにあたり、各道路区間を幅員ごとにつなぎ合わせて一本の長い道路として扱い、これを 100m ごとに分割した。つなぎ合わせる道路区間の順により検定結果が変わると考えられるため、ランダムにつなぎ合わされた 3 パターンについて検定した。検定結果は表 1 に示す通りである。なお、道路幅員 10m 以上の道路について検定を行っていないのは、閉塞が発生しておらず検定の必要がない、あるいはサンプル数が少な過ぎるからである。これらの検定結果より、地震災害時における単位道路区間長あたりの閉塞箇所数は、震度 6 と震度 7 の場合、道路幅員別および交通主体別にみてポアソン分布に適合することが有意水準 5% で確認できる。

表1 χ^2 検定結果

全幅	震度	通行方法			全幅	震度	通行方法		
0~4	6	歩行			0~4	6	車両		
	サンプル数	自由度	5%有意水準	検定統計量		サンプル数	自由度	5%有意水準	検定統計量
1回目	22	2	<5.99	0.888945304	1回目	22	2	<5.99	1.889649926
2回目	22	2	<5.99	0.042925763	2回目	22	2	<5.99	1.889649926
3回目	22	2	<5.99	2.303784689	3回目	22	2	<5.99	4.945875256
平均	22	2	<5.99	1.078551919	平均	22	2	<5.99	2.908391703
全幅	震度	通行方法			全幅	震度	通行方法		
4~6	6	歩行			4~6	6	車両		
	サンプル数	自由度	5%有意水準	検定統計量		サンプル数	自由度	5%有意水準	検定統計量
1回目	71	2	<5.99	0.787254331	1回目	71	3	<7.81	6.02581007
2回目	71	2	<5.99	1.863722504	2回目	71	3	<7.81	0.132161007
3回目	71	2	<5.99	0.126015963	3回目	71	3	<7.81	5.693000458
平均	71	2	<5.99	0.925664266	平均	71	3	<7.81	3.950323845
全幅	震度	通行方法			全幅	震度	通行方法		
6~8	6	歩行			6~8	6	車両		
	サンプル数	自由度	5%有意水準	検定統計量		サンプル数	自由度	5%有意水準	検定統計量
1回目	84	2	<5.99	1.355582135	1回目	84	3	<7.81	0.598040668
2回目	84	2	<5.99	3.50763954	2回目	84	3	<7.81	0.447063766
3回目	84	2	<5.99	2.903828773	3回目	84	3	<7.81	0.002385085
平均	84	2	<5.99	2.589016816	平均	84	3	<7.81	0.349163173
全幅	震度	通行方法			全幅	震度	通行方法		
8~10	6	歩行			8~10	6	車両		
	サンプル数	自由度	5%有意水準	検定統計量		サンプル数	自由度	5%有意水準	検定統計量
1回目					1回目	18	2	<5.99	0.069827799
2回目					2回目	18	2	<5.99	0.069827799
3回目					3回目	18	2	<5.99	1.538573951
平均					平均	18	2	<5.99	0.55940985
全幅	震度	通行方法			全幅	震度	通行方法		
0~4	7	歩行			0~4	7	車両		
	サンプル数	自由度	5%有意水準	検定統計量		サンプル数	自由度	5%有意水準	検定統計量
1回目	47	3	<7.81	5.282415422	1回目	47	3	<7.81	0.029449824
2回目	47	3	<7.81	5.397471463	2回目	47	3	<7.81	1.153176662
3回目	47	3	<7.81	3.725446475	3回目	47	3	<7.81	0.599206655
平均	47	3	<7.81	4.801777787	平均	47	3	<7.81	0.59394438
全幅	震度	通行方法			全幅	震度	通行方法		
4~6	7	歩行			4~6	7	車両		
	サンプル数	自由度	5%有意水準	検定統計量		サンプル数	自由度	5%有意水準	検定統計量
1回目	61	3	<7.81	1.191017597	1回目	61	3	<7.81	5.374912272
2回目	61	3	<7.81	3.319819556	2回目	61	3	<7.81	7.614722258
3回目	61	3	<7.81	0.489039161	3回目	61	3	<7.81	3.921502326
平均	61	3	<7.81	1.666625438	平均	61	3	<7.81	5.637045619
全幅	震度	通行方法			全幅	震度	通行方法		
6~8	7	歩行			6~8	7	車両		
	サンプル数	自由度	5%有意水準	検定統計量		サンプル数	自由度	5%有意水準	検定統計量
1回目	127	3	<7.81	0.05696426	1回目	127	3	<7.81	0.115658251
2回目	127	3	<7.81	2.552790285	2回目	127	3	<7.81	7.191918532
3回目	127	3	<7.81	0.07030956	3回目	127	3	<7.81	1.514498431
平均	127	3	<7.81	0.893354702	平均	127	3	<7.81	2.940691738
全幅	震度	通行方法			全幅	震度	通行方法		
8~10	7	歩行			8~10	7	車両		
	サンプル数	自由度	5%有意水準	検定統計量		サンプル数	自由度	5%有意水準	検定統計量
1回目	50	2	<5.99	0.450186428	1回目	50	2	<5.99	0.707688767
2回目	50	2	<5.99	0.359087761	2回目	50	2	<5.99	3.389751229
3回目	50	2	<5.99	1.820214897	3回目	50	2	<5.99	0.442121028
平均	50	2	<5.99	0.876496362	平均	50	2	<5.99	1.513187008

(3) 100 m区間の通行可能確率

以下では、阪神・淡路大震災のデータから、先述の地区における 100 m区間の通行可能確率を表 2 のように算出した。なお、震度 7 であった地区 B では、16 m以上 25m 未満の道路区間に閉塞がなかったが、全幅 25m 以上の道路区間には閉塞している箇所が存在していた。しかし、これは国道 43 号線の上部に阪神高速 3 号神戸線が存在し、阪神高速が崩れたことにより道路閉塞が生じた特殊なケースである。このため、表 2 では震度 7 においても幅員 25m 以上の道路区間は 100%通行可能であるとしている。

表 2 100m 区間の通行可能確率

道路幅員(m)	震度 6		震度 7	
	歩行者	自動車	歩行者	自動車
0~4	0.579	0.335	0.354	0.211
4~6	0.630	0.370	0.429	0.229
6~8	0.716	0.434	0.475	0.254
8~10	1.0	0.713	0.754	0.464
10~12	1.0	0.934	0.877	0.877
12~16	1.0	0.934	0.942	0.942
16~25	1.0	1.0	1.0	1.0
25~	1.0	1.0	1.0	1.0

4. 歴史都市「京都」への適用

前章で述べた通行可能確率の算出結果は、神戸市灘区の地区特性を反映したものであり、この値が地域移転性を有するか否かについて検討しておく必要がある。本来ならば、沿道建物の構造および建築年、建物の建て込み状況等を直接考慮して道路閉塞状況を分析し、これに基づいて通行可能確率の算出方法を提案しなければならないが、本稿では表 2 に示す道路幅員のみを考えた通行可能確率について、若干の考察を行なっておく。

本章では、表 2 を歴史都市「京都」に適用する場合について考えてみたい。まず、阪神・淡路大震災の直前である 1995 年の神戸市灘区における住宅統計調査³⁾と、2003 年の京都市における住宅統計調査⁴⁾から得られるデータを比較する。ここで、1980 年以前の住宅戸数と 1981 年以降の住宅戸数に注目する。それは、1978 年の宮城県沖地震後、1981 年に耐震設計法が抜本的に見直されて耐震設計基準が大幅に改正されて現行の新耐震設計基準が誕生したが、この新耐震設計基準による建物は、阪神・淡路大震災においても被害が少なかったとされているからである。

京都市は、戦災を受けていないから戦前住宅の占める割合が全国平均よりも高い。このことより一般的に、京都市には古い住宅が多いと思われるが、実際は表 3 に示すとおり耐震設計基準が大幅に改正された 1981 年以降に建築された住宅の割合が阪神・淡路大震災時の神戸市灘区より約 25%高い。これは、京都市が戦災を受けていないために他の都市よりも住宅の平均年齢が高くなり、建て替えが進んだためではないかと考えられる。

次に 1980 年までに建築された木造住宅の戸数および全住宅戸数に対する割合を表 4 に示す。同表より 1993 年の神戸市灘区と比較して、現在の京都市は耐震性の高い住宅の割合が高いと考えられる。以上より、阪神・淡路大震災時における神戸市灘区の道路閉塞データに基づいて得られた表 2 を京都市の道路区間に適用しても通行可能確率は過大推計とはならないと考えられる。

表 3 建築年代別の住宅戸数

建築時期	神戸市灘区 (1993 年)	京都市 (2003 年)
~1960 年	10070 戸	59820 戸
1961~1970 年	10090	52070
1971~1980 年	12120	109210
1981~1990 年	13490	130820
1991 年~	2400	173450

表4 1980年以前に建築された木造住宅戸数

	神戸市灘区 (1993年時点)	京都市 (2003年時点)
木造住宅戸数(戸)	19830 (41.7)	148610 (28.3)

()は構成比全木造住宅戸数に対する構成比

5. まとめ

本稿では、阪神・淡路大震災における JR 六甲道駅を中心とした地区を対象として、道路閉塞地点の分布がポアソン分布に従うことを示した上で、道路幅員別に道路の単位延長当たりの通行可能確率を求めた。次に、この値を他都市における道路評価に使用できるか否かについて、京都市を対象として考察を加えた。

筆者らは先に述べたように、阪神・淡路大震災における道路機能障害データに基づいて、道路幅員と沿道建物の状況を考慮して、単位延長道路の通行可能確率を推定している。本稿は、このうちで、道路幅員を考慮した単位延長道路の通行可能確率について述べたが、道路幅員と沿道建物の状況を考慮した単位延長道路の通行可能確率の算定方法と京都市における算出事例は改めて述べることにしたい。

参考文献

- 1) Tsukaguchi, H., Vandebona, U., and Li, Y: Planning of Residential Street Network for Disaster Prone Urban Areas, Selected proceedings of the 8th World Conference on Transport Research, Vol.2, pp.411-424, 1999.
- 2) 本郷伸和:都市構造からみた文化遺産防災に関する研究－道路ネットワーク特性ならびに交通マネジメントの視点から－, 立命館大学修士論文, 2005.
- 3) 総理府統計局:平成5年度住宅統計調査報告 第3巻, 都道府県編 No. 28 兵庫県, p. 198.
- 4) 総理府統計局:平成15年度住宅統計調査報告 第3巻, 都道府県編 No. 26 京都府, p. 306.