

歴史都市における道路機能障害の推定

Estimation on Road-blockage in a Historical City

塚口博司¹・小川圭一²・田中耕太³・本郷伸和⁴

Hiroshi Tsukaguchi, Keiichi Ogawa, Kota Tanaka, and 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日本通運株式会社 (〒105-8322 東京都港区東新橋1-9-3)

Nippon Express

⁴大阪市 水道局 (〒559-8558 大阪市住之江区南港北1-14-16)

Waterworks Bureau, Osaka Municipal Office

A passable probability or a blockage probability of roads in times of large earthquake disasters is indispensable information for rescue and relief operation in emergency times, and disaster mitigation planning. However, there is not enough data which are necessary to discuss it quantitatively. The purpose of this study is to propose an estimation method for calculating the passable probability of urban roads, especially a suitable method for historical cities, Kyoto.

Key Words : *probability of road blockage, historical city, disaster mitigation planning*

1. はじめに

大規模震災時における道路機能障害に関する知見は、有効な防災計画を立案するために非常に重要である。このため、阪神・淡路大震災以降、数多くの分析事例が見られる^{1)~3)}。もっとも、道路機能障害は、一般に地域における道路整備状況や沿道建築物の状況等、地域固有の特性を考慮しなければならず、特に歴史都市における防災計画を立案する際には、当該都市の実情を明確に反映したものであることが望まれる。そこで、本研究では、歴史都市京都を対象として、大規模震災時における道路機能障害について論じることを目的とする。

2. 道路幅員からみた通行可能確率の推定

道路の機能障害に最も大きな影響を及ぼす要因は道路幅員であろう。そこで、道路機能障害について論じるに当たっては、まず道路幅員に注目することは妥当であり、阪神・淡路大震災に関連して上記のような研究が実施された。もちろん幅員だけで機能障害の程度を論じることには無理があるが、リンク特性値として道路幅員だけしか得られない場合もあろう。京都を対象として道路幅員と機能障害の関係について考察しようとする場合、京都で発生した大規模地震において生じた道路機能障害を定量的に分析できる資料は存在しない。そこで、道路幅員以外の要因を含めた詳細な検討は次章で行うこととして、本章では阪神・淡路大震災のデータを用いて、道路通行可能確率を改めて分析してみたい。

道路幅員のみで道路通行可能確率を表現する場合であっても、データはそれぞれ異なったリンク長を持つ

道路区間における通行可否として整理されている。このため、任意の延長を有する道路区間の通行可能確率を求めるには、一次資料に戻り、機能障害が生じた地点の分布状況を明らかにすることが必要である。

そこで、まず阪神・淡路大震災発災直後の空中写真を再度精査し^{注1)}、道路幅員別に単位道路リンク長当たりの閉塞箇所数の平均値を求めた。次に、地震災害時の閉塞箇所の分布がポアソン分布に従うと仮定して、道路幅員別にリンク長 100m の区間の閉塞確率を求めた。具体的手順は以下の通りである。

ポアソン分布の確率密度関数は式(1)に示す通りである。

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

ここで、 m ：単位リンク長当たりの平均閉塞箇所数、 k ：単位道路リンク長あたりの閉塞箇所数である。

式(1)より、単位道路リンク長あたりに 0 箇所閉塞が起こる確率、すなわち道路が閉塞しない確率は式(2)で表すことができる。

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

単位道路リンク長を 100m とした場合の m を m_{100} とすると、リンク長 100m の道路リンクの通行可能確率は、

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

となり、リンク長 x (m) の道路リンクの通行可能確率は、

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

となる。ここで $m_x = m_{100} \cdot \frac{x}{100}$ であるため、式(4)は式(5)で表すことができる。

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

先に述べた空中写真の判読によって得られた道路幅員別単位リンク長当たりの閉塞箇所数の平均値を式(3)に代入すると、表 1 が得られる。表 1 には幅員別に震度 6 と震度 7 における通行可能確率が示されている。なお、車両による通行だけでなく歩行者の通行についても記載した。

表 1 リンク長 100m の道路区間の通行可能確率

道路幅員 (m)	震度 6		震度 7	
	歩行者	車両	歩行者	車両
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	1.00	0.713	0.754	0.464
10~12	1.00	0.934	0.877	0.877
12~16	1.00	0.934	0.942	0.942
16~25	1.00	1.00	1.00	1.00
25~	1.00	1.00	1.00	1.00

神戸市灘区の震度 7 の地区では、道路幅員 16 m 以上 25m 未満の道路リンクには閉塞箇所がなかったが、道路幅員 25m 以上である国道 43 号線においては阪神高速 3 号神戸線の高架構造物の倒壊によって道路閉塞が生じた。都市高速道路の高架構造物の存在は道路幅員と道路機能障害との関係を一般的に論じる場合には

注 1) 通行可否の判断は、文献 1) で採用した方法と同様であり、車両に関しては有効残存幅員がおよそ 1 車線分程度以上存在すれば通行可とし、歩行者に関しては道路全面が瓦礫で覆われていなければ通行可と判定した。

特殊な状況と考えられるから、本研究では震度 7 においても道路幅員 25m 以上の道路リンクは通行可能と設定した。

次に、通行不能箇所がポアソン分布に従うか否かを検定する。検定を行なうに当たっては、各道路リンクを幅員ランクごとに繋ぎ合わせて一本の長い道路リンク(以下、長リンク)として扱い、これを 100m ごとに分割した。もっとも、繋ぎ合わせる道路リンクの順により検定結果が変化するため、ランダムにつながり合わせた 3 パターンの長リンクを検定に用いた。自動車に関する検定結果を表 2 に示すが、歩行者についても同様の結果が得られている。これらの検定結果より、地震災害時における単位道路リンク長あたりの閉塞箇所の分布は、道路幅員別、震度別、および交通主体別(自動車、歩行者)に見たすべての場合においてポアソン分布に適合していると考えてよいであろう。

表 2 χ^2 検定の結果

震度	道路幅員(m)	サンプル数	自由度	χ^2
6	0~4	22	2	(1.89~4.95)*
	4~6	71	3	(0.13~5.69)*
	6~8	84	3	(0.00~0.60)*
	8~10	18	2	(0.07~1.54)*
7	0~4	47	3	(0.03~1.15)*
	4~6	61	3	(3.92~7.61)*
	6~8	127	3	(0.12~7.19)*
	8~10	50	2	(0.44~3.39)*

注 1 : 5% 有意

注 2 : () の数字は上記の 3 パターンに関する χ^2 値の範囲を示す。

3. 道路幅員および沿道建物の状況を考慮した通行可能確率の推定

(1) 道路機能障害に影響する諸要因

本章では、道路幅員を含めた道路条件、沿道建物条件を考慮して通行可能確率を推定する。車両の道路通行可否には、図 1 に示すような要因が関係していると考えられる。

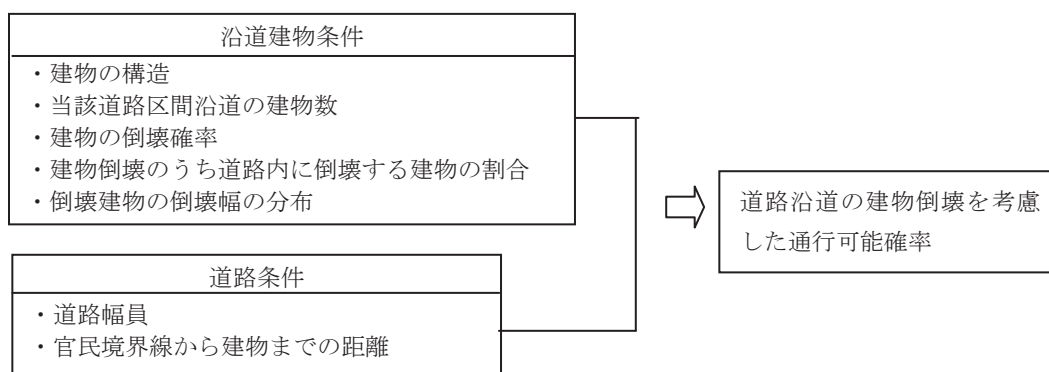


図 1 通行可能確率に影響する各種要因

図 1 に示す各指標のうち、建物の倒壊確率、建物倒壊のうち道路内に倒壊する建物の割合、倒壊建物の倒壊幅の分布の 3 指標に関しては、阪神・淡路大震災時の実態調査結果(文献 4)を利用した。建物の構造(木造建物および堅牢建物)、道路幅員(車道幅員と歩道幅員の合計)、官民境界線から建物までの距離(セットバック幅)、当該道路区間沿道の建物数の 4 指標は新たに京都市において作成したデータであり、これらは GIS データベースとして整理してある。なお、堅牢建物には木造建物以外のすべての建物を含んでいる。

次節では、これらのデータを用いて、沿道建物条件および道路条件に基づいて、沿道建物の倒壊状況を考

慮した道路通行可能確率の推定を行うこととする。なお、通行可能確率は単位延長あたり（100m）で表現する。

(2) 沿道建物の倒壊を具体的に考慮した道路通行可能確率

単位リンク長（100m）の道路区間における建物倒壊を考慮した通行可能確率の算出式を次のように提案する。

道路幅員が狭い場合は、片側のみからの建物倒壊によって道路が通行不能となる場合もある。そこで、片側のみから建物が倒壊する確率と、両側から建物が同時に倒壊する確率を求める算出式を求め、両者の積から単位リンク長（100m）の道路区間における建物倒壊を考慮した通行可能確率を求めることとした。算出式は、以下の通りである。

【片側のみからの沿道建物の倒壊を考慮する場合】

次式は、当該道路区間沿道の建物が1棟でも倒壊した場合に道路が閉塞することを想定している。

通行可能確率(A)

$$= \{ (1 - a_1 \times b_1 \times d)^{c_1} (1 - a_2 \times b_2 \times d)^{c_2} \}^{(100/f)} \dots \dots \dots (6)$$

ここで、

a_1 : 木造建物の倒壊確率=0.618

a_2 : 堅牢建物の倒壊確率=0.221

b_1 : 倒壊した木造建物のうち道路内に倒壊する建物の割合=0.482

b_2 : 倒壊した堅牢建物のうち道路内に倒壊する建物の割合=0.143

c_1 : 沿道両側の木造建物数

c_2 : 沿道両側の堅牢建物数

d : 沿道片側建物の倒壊幅が消防車両の通行幅 3m を確保するために必要な道路幅員(全幅-3m)を超える確率

$(1 - a_1 \times b_1 \times d)^{c_1}$: 沿道両側の木造建物が道路内に倒壊しない確率

$(1 - a_2 \times b_2 \times d)^{c_2}$: 沿道両側の堅牢建物が道路内に倒壊しない確率

f : 当該道路区間長

【両側からの沿道建物の倒壊を考慮する場合】

当算出式は、当該道路区間に沿う両側の建物が向かい合う組を抽出し、その内 1 組でも同時に倒壊した場合に道路が閉塞することを想定した算出式である。

通行可能確率(B)

$$= [\{ 1 - (a_1 \times b_1)^2 \times k \}^{j_1} \times \{ 1 - (a_1 \times b_1 \times a_2 \times b_2) \times k \}^{j_2} \times \{ 1 - (a_2 \times b_2)^2 \times k \}^{j_3}]^{(100/f)} \dots \dots \dots (7)$$

ここで、

a_1 : 木造建物の倒壊確率=0.618

a_2 : 堅牢建物の倒壊確率=0.221

b_1 : 倒壊した木造建物のうち道路内に倒壊する建物の割合=0.482

b_2 : 倒壊した堅牢建物のうち道路内に倒壊する建物の割合=0.143

j_1 : 沿道木造建物の組数

j_2 : 沿道木造・堅牢建物の組数

j_3 : 沿道堅牢建物の組数

k : 沿道両側建物の倒壊幅の合計値が、消防車両の通行幅員 3m を確保するために必要な道路幅員（全幅-3m）を超える確率

$\{ 1 - (a_1 \times b_1)^2 \times k \}^{j_1}$: 向かい合う沿道木造建物が同時に道路内に倒壊しない確率

$\{ 1 - (a_1 \times b_1 \times a_2 \times b_2) \times k \}^{j_2}$: 向かい合う沿道木造建物と沿道堅牢建物が同時に道路内に倒壊しない確率

$\{ 1 - (a_2 \times b_2)^2 \times k \}^{j_3}$: 向かい合う沿道堅牢建物が同時に道路内に倒壊しない確率

f : 当該道路区間長

以上より、沿道建物の倒壊を考慮した道路通行可能確率は次式で与えられる。

沿道建物の倒壊を考慮した通行可能確率

$$= \text{通行可能確率 (A)} \times \text{通行可能確率 (B)} \dots \dots \dots (8)$$

筆者らは京都市における文化遺産防災にとって重要な道路区間の抽出方法を提案している⁵⁾。ここでは、この方法によって抽出した重要道路区間に対して式(8)を適用し、通行可能確率を求めた。図2には式(8)を用いて求めた通行可能確率と道路幅員の関係が示されている。道路幅員の増加に伴い、通行可能確率が增大していることがわかる。

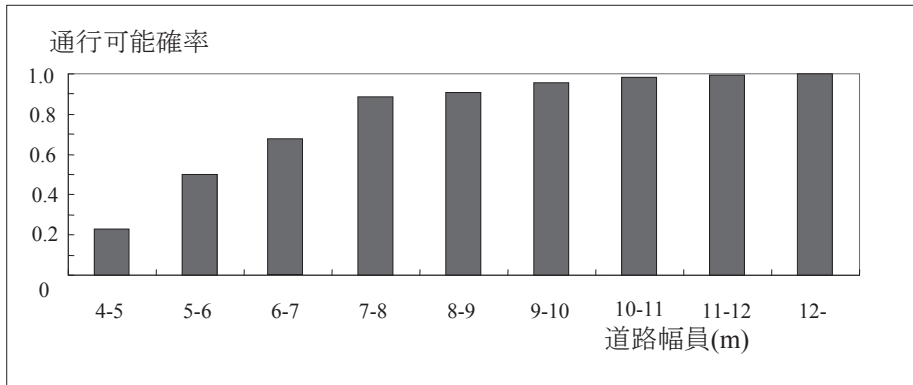


図2 幅員ランクと通行可能確率

次に、木造家屋率との関係を示すと図3のようであり、当該指標が大きくなると通行可能確率が低下することがわかる。木造家屋率が30-35%の場合、通行可能確率が高くなっているが、これはデータ数が少なく(2サンプル)有意な傾向ではない。

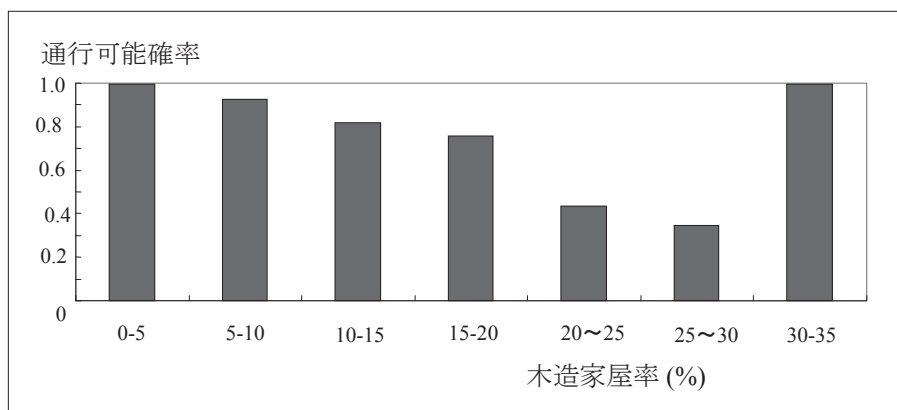


図3 幅員ランク別にみた通行可能確率と木造家屋率の関係

(3) 道路幅員のみを考慮した通行可能率と沿道建物の倒壊を具体的に考慮した通行可能確率の比較

沿道建物の倒壊を具体的に考慮した通行可能確率と道路幅員のみを考慮した道路通行可能確率の比較を図4に示す。図4では単位延長あたりではなく、各リンクの実延長に対する値を示してある。なお、道路幅員のみに基づいた道路通行可能確率推定モデルを京都市において作成してはいないので、前節で述べた阪神・淡路大震災における分析結果を用いている。

図4より、道路幅員6m以下の狭幅員道路の場合には、道路幅員のみを考慮した通行可能確率の方が高くなっている。幅員6m~10mのランクでは逆に沿道建物の倒壊を具体的に考慮した通行可能確率の方が高く、10m以上の場合には両者がほぼ等しくなっている。「幅員のみを考慮した通行可能確率推定モデル」は阪神・淡路大震災における被害状況の分析結果であり、「沿道建物の倒壊を具体的に考慮した通行可能確率推定モデル」は京都の実情を反映したものであるから、後者の方が妥当であることは明らかであるが、後者の

場合には諸指標の値を求めるために詳細な分析が必要であり、幅員だけで表わした推定モデルを準用せざるを得ない場合も少なくない。このような場合に、上記のように特に 6m 程度以下の狭幅員道路の場合には危険側の結果となる恐れがあることに注意する必要がある。幅員が 6m 以上の道路の場合には、道路幅員だけを考慮した簡便モデルを用いても大きな問題は生じないようである。

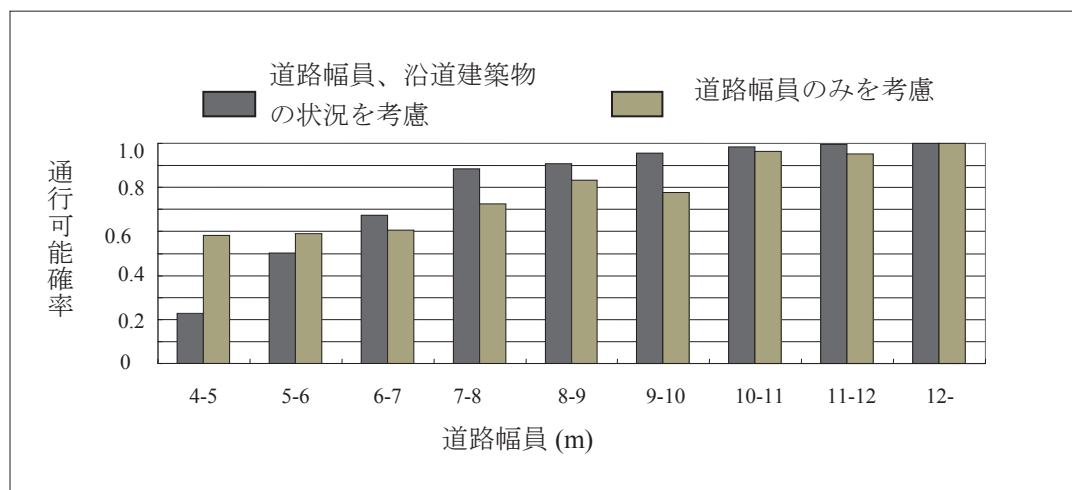


図 4 幅員および沿道建物の状況を考慮した通行可能確率

4. まとめ

本研究では、歴史都市京都における防災・減災計画に適用するための道路機能障害を推定するモデルを提案した。京都では、過去に発生した大規模地震災害の記録が定量分析に活用できるレベルでは残っていないから、いくつかの指標を組合わせて通行可能確率を表現するモデルを提案した。諸指標の値を設定するには十分注意を払ったが、ここで提案したモデルの信頼性を直接評価する方法は現時点では存在しない。

一方、データが多数得られている阪神・淡路大震災関連のデータを用いて作成した簡便なモデルを用いた試算も行った。このモデルは阪神地域における防災計画には有用なものであるが、京都にそのまま適用することには問題が多いことも事実であろう。このため、両者を比較する意味は慎重に検討すべきであるが、京都の市街地の狭幅員道路について考える場合には、道路の機能障害に対する幅員以外の要因の影響が大きく、幅員だけで判断すると危険側の評価となる恐れがあることを指摘することはできよう。

なお、本研究で構築した道路機能障害推定モデルを用いて、京都市市街地における災害危険度評価、地域防災力向上に向けた文化遺産周辺道路網整備、それに伴う文化遺産の防災性評価について検討している。これらについては改めて報告することにしたい。

参考文献

- 1) 塚口博司・戸谷哲夫・中辻清恵：阪神・淡路大震災における道路閉塞状況に関する研究, IATSS Review, Vol.22, No.2, 1996.
- 2) 家田仁・望月拓郎・上西周子：街路閉塞減少による機能的障害と地区の危険度評価法, 阪神・淡路大震災土木計画学調査研究論文集, pp433-438, 1997.
- 3) 国土交通省建築研究所・国土交通省土木研究所・(財)国土技術研究センター：防災まちづくりにおける防災性能評価手法の基本フレームと防災対策推進方策に関する調査報告書, 2001.
- 4) 村西正実：沿道建物の倒壊を考慮した道路の横断面構成, 阪神・淡路大震災調査報告, pp189-198, 1998.
- 5) 小川圭一・塚口博司・中村真幸・本郷伸和：歴史都市における文化遺産防災のための重要道路区間の抽出に関する研究, 土木計画学研究・論文集, No.23, 2006.