

# 文化遺産防災における重要道路区間の安全性評価に関する研究\*

## A Study on the Safety Evaluation in Important Road Links for Disaster Mitigation of Cultural Heritage\*

田中耕太\*\*・塚口博司\*\*\*・小川圭一\*\*\*\*

By Kota TANAKA\*\*, Hiroshi TSUKAGUCHI\*\*\*, Keiichi OGAWA\*\*\*\*

### 1. はじめに

歴史都市京都は、1200年余りの歴史を有する日本の古都であり、多数の文化遺産を有する世界的な観光都市でもある。文化遺産は歴史的価値が高く、唯一無二の存在であることから後世に継承していかなければならない。

これらの文化遺産の多くは市街地の中に点在しており、防災を計画する上で、文化遺産と周辺市街地とを一体的に守るという防災対策が必要となる。

そこで本研究では、文化遺産を周辺市街地と一体的に守るという方針のもと、文化遺産と防災拠点との位置関係、ならびにそれらを結ぶ交通インフラの整備状況等が文化遺産防災において重要であると考え、文化遺産防災において特に重視すべき交通ネットワークに関する分析を行う。そして、文化遺産防災における重要な道路区間を道路幅員と沿道建物の倒壊による災害危険因子から評価することとする。本研究の対象地域は京都市上京区である。

### 2. 文化遺産防災のための重要道路区間の把握

代替性のない文化遺産は焼失してしまうと復元することは不可能であることから、火災は文化遺産にとって最も危険な災害である。火災等から文化遺産を守るためには、発災時に迅速に消防車両が到達できることが必要である。そこで、文化遺産と消防署を結ぶ重要な道路リンクを把握することは、文化遺産防災にとって有用な情報となる。なお、これについては、中村らにより京都市内における文化遺産と消防署を結ぶ重要リンクの把握が行われている<sup>1)</sup>。本研究においても、これを踏襲しており、以下にその概要を示す。

重要リンクの抽出に当たっては、京都市内各地に分布する271箇所の文化遺産を取り上げ、GISを利用して、次の3点を条件として消防署と文化遺産を結ぶ経路上の道路リンクを抽出している。

- ① 全幅が4m以上の道路を使用する
- ② 消防署から文化遺産までの最短経路を使用する
- ③ 1つの文化遺産に対して最寄り3箇所の消防署を対象とする

ここで、本研究における最短経路の定義を示す。まず、文化遺産が全幅4m以上の道路に面している場合には、単純に全幅4m以上の道路リンクのみを用いた最短距離の経路とする。一方、文化遺産が全幅4m以上の道路と全く面していない場合には、図1のように文化遺産から全幅4m以上の道路に最短で到達できる地点を選定し、消防署からこの地点までの最短経路と、この地点から文化遺産までの最短経路を合わせたものとする。このように計測された各文化遺産に関する最短経路が通過する回数を道路リンク毎に計測し、これが多いものを重要リンクとして抽出している。

この方法で抽出した道路リンクを使用回数ランクに区分したものが図2である。

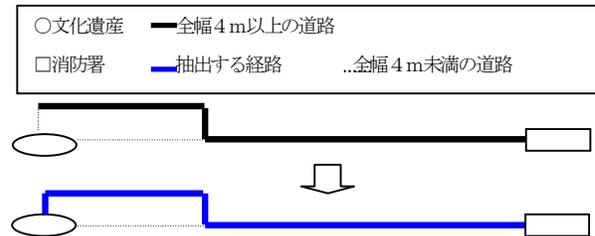


図1 文化遺産が全幅4m以上の道路に面していない場合の最短経路

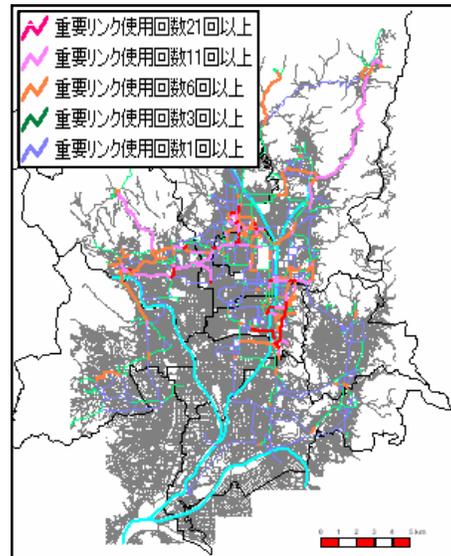


図2 重要リンク抽出結果

\*キーワード: 重要道路区間、建物倒壊を考慮した道路通行可能確率

\*\*学生員、立命館大学大学院理工学研究科 創造理工学専攻

\*\*\*フェロー会員、工博、立命館大学理工学部 都市システム工学科、(〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1 TEL: 077-561-2735, FAX: 077-561-2667)

\*\*\*\*正会員、博(工学)、立命館大学理工学部 都市システム工学科

### 3. 沿道建物の倒壊を考慮した重要道路区間の安全性評価

#### (1) 検討の趣旨

重要道路区間の安全性評価に関しては、本郷は阪神・淡路大震災のデータを用いて道路通行可能率を設定し、これを京都市に適用している<sup>2)</sup>。道路通行可能率の計算方法は、以下の通りである。

まず、航空写真を用いて神戸市灘区の被災地の道路閉塞箇所のデータを分析し、単位延長あたり(100m)に道路閉塞の起こる箇所数がポアソン分布に従うことを確認した。次に、幅員と閉塞箇所の関係は京都市でも変化しないとの前提の下で、先のデータを援用して道路通行可能率を求めている。ここで考慮されていることは道路幅員(車道幅員+歩道幅員)のみである。

阪神・淡路大震災では、多くの道路が建物の倒壊などにより閉塞し、道路機能を十分には果たすことができなかった。阪神・淡路大震災において、木造建物による道路閉塞の確率が高いという調査結果が得られているから、全国的に見ても木造建物の割合が多い京都が被災地となればより道路の閉塞が多数発生してしまうと考えられる。このため、実際の沿道建物状況を考慮する必要がある。

先に述べたように、本郷は道路幅員を考慮しているのみである。そこで本稿では、沿道建物の倒壊を考慮した重要道路区間の安全性評価について考えることにした。なお、兵庫県西宮市、神戸市の実態<sup>3)</sup>を踏まえて検討することとした。

#### (2) 沿道建物の倒壊を考慮した道路通行可能確率の推計

道路通行可能確率と沿道建物条件や道路・沿道条件、倒壊建物の倒壊幅の分布の関係について検討する。緊急車両の当該道路区間通行可否には、図3に示すような要因が関係していると考ええる。

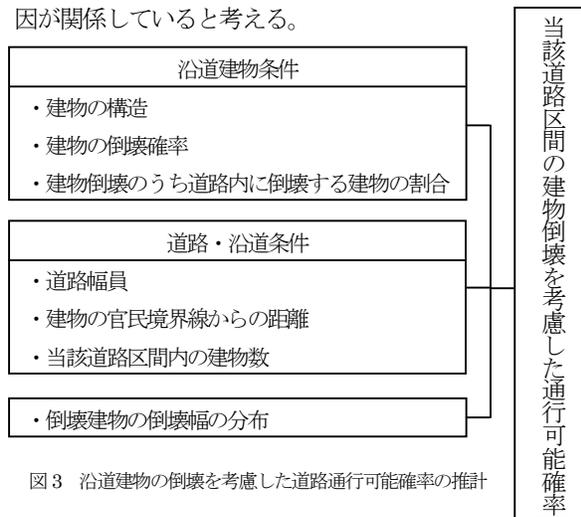


図3 沿道建物の倒壊を考慮した道路通行可能確率の推計

図3に示す諸指標に関しては、以下の通りである。

- ・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点に関しては、阪神・淡路大震災時の実態調査(出典：参考文献3)から得ている。

- ・建物の構造(木造建物、堅牢建物)
- ・道路幅員(車道幅員+歩道幅員)
- ・建物の官民境界線からの距離(セットバック幅)
- ・当該道路区間内の建物数

の4点に関するデータは京都市のデータであり、これらはGISデータとして整理した。なお、堅牢建物は木造建物以外全ての建物属性を指す。

これらのデータを用いて、沿道建物条件と道路・沿道条件、倒壊建物の倒壊幅の分布から、当該道路区間における建物倒壊を考慮した通行可能確率の推計を行うこととする。

#### (3) 沿道建物の倒壊を考慮した道路通行可能確率の計算式

単位延長あたり(100m)の当該道路区間における建物倒壊を考慮した通行可能確率の計算式を提案する。

ここで道路幅員が狭い場合は、片側のみからの建物倒壊による影響も強いと考えられるから、片側のみからの建物倒壊を考慮する場合と両側からの建物倒壊を考慮する場合について計算式を提案する。そして、この両者の積から単位延長あたりの当該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する。計算式は、以下の通りである。

##### ※片側のみからの建物倒壊を考慮する場合

当計算式は、当該道路区間に沿う建物が1つでも倒壊した場合に道路が閉塞することを考慮した計算式である。

$$\text{道路通行可能確率(1)} = (1 - a_1 \times b_1 \times d)^{c_1} (1 - a_2 \times b_2 \times d)^{c_2}$$

$a_1$  : 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

$c_1$  : 木造建物数(沿道両側)

$c_2$  : 堅牢建物数(沿道両側)

$d$  : 倒壊した片側のみ建物の倒壊幅が緊急車両の通行幅3mを確保するために必要な道路幅員(車道幅員+歩道幅員-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

##### ※両側からの建物倒壊を考慮する場合

当計算式は、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組でも倒壊した場合に道路が閉塞することを考慮した計算式である。

$$\text{道路通行可能確率(2)} = \{1 - (a_1 \times b_1) \times g\}^{f_1} \times \{1 - (a_1 \times b_1 \times a_2 \times b_2) \times g\}^{f_2} \times \{1 - (a_2 \times b_2) \times g\}^{f_3}$$

a<sub>1</sub>: 木造建物の倒壊確率=0.618

a<sub>2</sub>: 堅牢建物の倒壊確率=0.221

b<sub>1</sub>: 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<sub>2</sub>: 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

f<sub>1</sub>: 木造建物の組数

f<sub>2</sub>: 木造・堅牢建物の組数

f<sub>3</sub>: 堅牢建物の組数

g: 倒壊した両側の建物倒壊幅の合計値が緊急車両の通行幅 3m を確保するために必要な道路幅員 (車道幅員 + 歩道幅員 - 3m) を超える確率

$\{1 - (a_1 \times b_1) \times g\}^{f_1}$ : 向かい合う木造建物が同時に道路内に倒壊しない確率

$\{1 - (a_1 \times b_1 \times a_2 \times b_2) \times g\}^{f_2}$ : 向かい合う木造建物と堅牢建物が同時に道路内に倒壊しない確率

$\{1 - (a_2 \times b_2) \times g\}^{f_3}$ : 向かい合う堅牢建物が同時に道路内に倒壊しない確率

よって、

建物倒壊を考慮した道路通行可能確率

$$= \text{道路通行可能確率 (1)} \times \text{道路通行可能確率 (2)}$$

#### (4) 重要道路区間の安全性評価における分析

沿道建物の倒壊を考慮した道路通行可能確率の計算式を重要道路区間に適用し、単位延長あたりの重要道路区間において分析を行った。

その結果、道路幅員 9m 以上を有するほぼ全ての道路区間においては道路通行可能確率が 0.9 以上という結果が得られ、従来の道路幅員のみを考慮した道路通行可能率と比較してみたところ、従来の道路幅員のみを考慮した道路通行可能率も 0.9 以上有しており、さほど変わらない結果となった。よって、道路幅員 9m 以上の道路区間においては実状の沿道建物の属性や棟数にそれほど影響されず、道路幅員のみを考慮した道路通行可能率の設定は妥当であると言える。

しかし、道路幅員 9m 未満の道路区間においては道路通行可能確率が最小値 0.02 から最大値 1 の間にばらつきが顕著に見られ、また従来の道路幅員のみを考慮した道路通行可能率と比較してみたところ、道路幅員 8m 台においてもばらつきが多く見られた。よって、道路幅員 9m 未満の道路区間においては、道路幅員と実状の沿道建物の属性や棟数を十分考慮する必要があると考える。

以上のことから、道路幅員 9m 未満の重要道路区間において、各種指標の中でも道路幅員と共に道路通行可能確率に強く影響を与えると考えられる単位延長あたりの木造建物数に着目して分析を行うこととする。

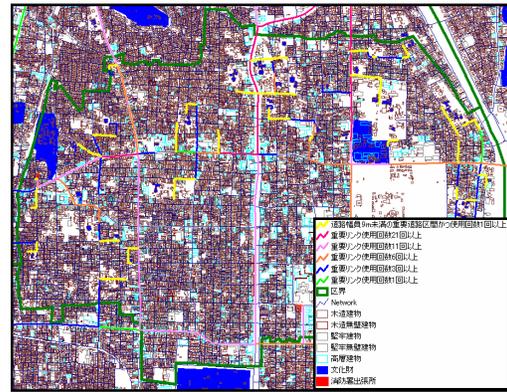


図4 道路幅員 9m 未満の重要道路区間

また、図 4 で示した道路幅員 9m 未満の重要道路区間 (黄色の実線を指す) は、重要道路網の所々に位置していることが把握できる。

#### 4-1) 道路幅員のみを考慮した道路通行可能率との比較

各重要道路区間の道路幅員および木造建物数を図 5 に、各重要道路区間の建物倒壊を考慮した通行可能確率と道路幅員のみを考慮した通行可能率の比較結果を図 6 に示す。

図 6 から、道路幅員のみを考慮した道路通行可能率の方が全般的に高く求められていることが把握できる。その中で、図 5 より道路幅員 5m 程度未満の道路区間に着目して見ると、図 6 では同じ道路区間において両者の差は大きく、道路幅員のみを考慮した道路通行可能率の方が高く評価されている傾向が見受けられる。言い換えれば、実状の沿道建物条件を加味したことから一層現実味を増したと言え、道路幅員のみを考慮した道路通行可能率がその値よりも高いということは危険性を低く見積もっていたことが分かる。

道路幅員が 5m 程度以上有している道路区間に関しては、建物倒壊を考慮した道路通行可能率の方が全般的に高く算出された結果となった。しかし、その中でも道路幅員のみを考慮した道路通行可能率の方が高い道路区間も存在しており、建物属性を無視できないと言える。

以上の結果から、道路幅員 9m 未満の道路区間においては、道路通行可能確率と道路幅員および木造建物数が密接に関係していると判断できる。

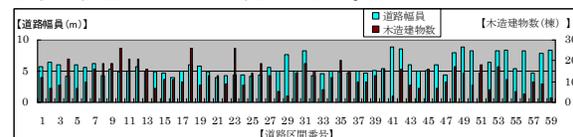


図5 各重要道路区間の道路幅員および木造建物数

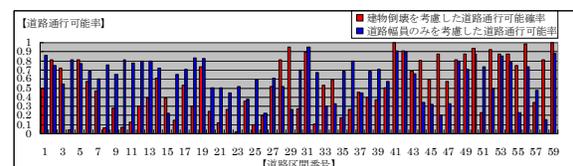


図6 各重要道路区間の建物倒壊を考慮した通行可能確率と道路幅員のみを考慮した通行可能率

## 4-2) 道路通行可能確率と各種指標の関係性

前文で述べたように、道路幅員 9m 未満の重要道路区間においては、道路幅員と木造建物数の関係が道路通行可能確率に何らかの影響を与えている結果が得られた。

そこで、沿道建物の倒壊を考慮した道路通行可能確率と各種指標（単位延長あたりの道路幅員と木造建物数）の関係性について分析を行う。沿道建物の倒壊を考慮した道路通行可能確率と道路幅員および木造建物数の関係を図 7、8 に示す。

ここで、図 7、8 を用いて以下のような考察を行った。

道路幅員が 6.5m 以上 9m 未満の道路区間に関しては、木造建物数にほぼ左右されることなく道路通行可能確率は最低値でも 0.81 と高い値が得られている。単位延長あたりの平均道路通行可能確率は約 0.912（該当道路区間数は 13 箇所）であった。また、平均木造建物数は約 10 棟であった。

道路幅員が 5m 以上 6.5m 未満の道路区間に関しては、道路通行可能確率にばらつきが大きいことからその道路区間に沿う木造建物数が大きく影響していることが把握できる。しかし、ある程度の道路幅員を有していることから、単位延長あたりの平均道路通行可能確率は約 0.570（該当道路区間数は 24 箇所）であった。また、平均木造建物数は約 12 棟であった。

そして、道路幅員が 4m 以上 5m 未満の道路区間に関しては、その道路区間に沿う木造建物数が少なくても道路通行可能確率に与える影響は大きく、木造建物数が多い場合には道路通行可能確率は極端に低い結果となった。単位延長あたりの平均道路通行可能確率は約 0.243（該当道路区間数は 22 箇所）であった。また、平均木造建物数は約 15 棟であった。該当道路区間の平均道路通行可能確率が他の道路幅員間よりも極端に低い値となった理由としては、他の道路幅員間に比べて平均道路幅員が小さい値であると同時に、平均木造建物数が多いことが重なったためであると考えられる。

よって、少なくとも道路幅員 6.5m 未満の道路区間を有する重要な道路区間において、道路整備が必要不可欠になると考える。

しかし、道路幅員 6.5m 未満の道路区間の中でも一部ではあるが、木造建物の棟数に関わらず通行可能確率の高い道路区間が見受けられた。この結果に対しては、実際の木造建物の分布状況を見てみると、木造建物が沿道片側のみに偏って存在していることや木造建物同士が向かい合っていないことが分かり、これらが比較的道路通行可能確率を高めている原因であると説明できる。

また図 7 を全体的に見ると、道路幅員の値が大きくなるにつれて道路通行可能確率の値も大きくなっており、右上がりの分布図となった。それとは逆に、図 8 を全体的に見ると、木造建物数が多くなるにつれて道路通行可能確率の値は低くなっており、少しばらつきは見られる

が右下がりの分布図となった。

以上の結果から、道路幅員と木造建物の棟数や建ち並び方の関係が道路通行可能確率に与える影響は大きいと言える。

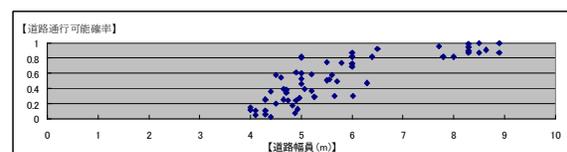


図 7 沿道建物の倒壊を考慮した道路通行可能確率と道路幅員

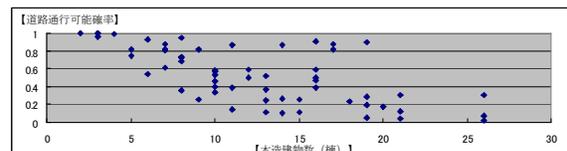


図 8 沿道建物の倒壊を考慮した道路通行可能確率と木造建物数

## 4. おわりに

本研究は、道路幅員と沿道建物倒壊を考慮することにより災害時の実状に近い確率計算式を提案し、重要道路区間の安全性評価について検討した。

その結果、道路幅員が 6.5m 未満の道路区間においては、沿道建物条件が道路通行可能確率に与える影響は大きいことを把握した。本研究の対象地域である上京区には、重要リンクの中で単位延長あたり道路幅員 6.5m 未満の道路区間が 46 箇所も存在していることから、沿道建物条件を加味する必要性を認識した。

ここでまた、災害時に道路が沿道建物から受ける危険因子には建物倒壊だけでなく、建物火災も考える必要があるため、今後は沿道建物の火災を考慮した重要道路区間の安全性評価を検討したい考えである。

そして、沿道建物の倒壊および火災を考慮した重要道路区間の安全性評価結果を踏まえた上で整備が必要となる道路網の箇所を選定し、整備方法を提案する。そして、その整備効果を示す予定である。

京都市街地の防災を考える上で、歴史的な特色を壊さないよういかに整備するかが課題となり、特色をできるだけ残すような道路網における整備案を見出したいと考える。道路網における整備案としては道路幅員の拡幅を提案するが、道路幅員の拡幅によって道路網の信頼性を高めていくことは歴史的な京都市街地の特色を壊しかねない。そこで、木造建物が道路内に及ぼす影響が大きいことから考えると沿道建物の堅牢化という案を同時に推進することが有効であると言える。

### 【参考文献】

- 1) 中村真幸, 塚口博司, 小川圭一, 山内健次, 東郷真也: 文化遺産防災における重要道路区間の抽出と道路モニタリングシステムに関する一考察, 土木計画学研究・講演集, Vol.32, CD-ROM, No.39, 2005
- 2) 本郷伸和: 道路ネットワーク特性からみた歴史都市防災に関する研究, 立命館大学大学院修士論文, 2005.
- 3) 村西正実: 沿道建物の倒壊を考慮した道路の横断面構成, 交通施設と農業施設の被害と復旧, 阪神・淡路大震災調査報告, pp.189-198, 1998.