

(29) デジタル道路地図を活用した災害時における 道路閉塞の可視化と道路網の防災性能評価

後藤 浩介¹・小山 茂²・大上 俊之³

¹学生会員 信州大学 工学部土木工学科 (〒380-8553 長野県長野市若里4-17-1)
E-mail:t083018@shinshu-u.ac.jp

²正会員 信州大学准教授 工学部土木工学科 (〒380-8553 長野県長野市若里4-17-1)
E-mail:koyama@shinshu-u.ac.jp

³正会員 信州大学教授 工学部土木工学科 (〒380-8553 長野県長野市若里4-17-1)
E-mail:tohkami@shinshu-u.ac.jp

道路は災害活動において極めて重要な役割を果たしているといえるが、多くの自治体において整備されているハザードマップには、地震動等の危険度は示されているものの、道路自体について触れられている例はあまり見られない。本研究では、災害時の建物倒壊による道路閉塞現象に着目し、道路閉塞確率をデジタル道路地図の道路幅員情報を基に計算することで、長野市中心部における道路の閉塞しにくさ・しやすさを表した道路閉塞地図を作成した。また、災害発生時における道路閉塞の交通流への影響を、作成した地図上でのマルチエージェントシミュレーションの結果より数値的および視覚的に判断することによって、長野市の道路網の防災性能について検討を行った。

Key Words : road blockage, digital road map, multi agent simulation

1. はじめに

1995年に発生した兵庫県南部地震において、建物倒壊等による道路閉塞現象が原因で幹線道路に交通集中が発生し、交通の麻痺が発生した。広域応援や災害派遣要請を受けた車両等の到着が遅れたため、火災の延焼による被害の増大や避難所への緊急物資配送所要時間に影響があった。このように、道路は災害救援・復旧活動において極めて重要な役割を果たしているといえるが、多くの自治体において整備されているハザードマップには、地震動の大きさや水害・土砂災害等の危険度は示されているものの、道路自体について触れられている例はあまり見られない。

災害時における道路閉塞が前もって把握できていれば、この情報をハザードマップに組み込むことによって、救援活動や避難経路の設定に役立つことが期待できる。また、道路の閉塞状況が車両の交通に及ぼす影響を具体的に把握することができれば、災害現場までの所要時間を短縮する経路の選択や効率的な道路の復旧順位の決定が可能となる。更に、以上に示した情報は、通常時においては、防災を目的とした道路整備計画等に活用することもできるであろう。

そこで本研究では、災害時の建物倒壊による道路閉塞

現象に着目し、道路閉塞確率をデジタル道路地図の道路幅員情報を基に計算することによって、長野市中心部を対象にした道路の閉塞しにくさ・しやすさを表した道路閉塞地図を作成する。また、作成した道路網上においてマルチエージェントシミュレーションを実施し、災害発生時における道路閉塞の交通流への影響を数値的および視覚的に判断することによって、道路網の防災性能評価を行う。

2. 道路閉塞地図の作成

(1) 対象範囲

本研究では、長野市による防災アセスメント¹⁾の結果を参考にして解析を行った。道路閉塞地図の作成およびマルチエージェントシミュレーションの対象を、図-1の赤枠内に示した長野市中心部の低地部のみとする。これは、低地部においては本研究で前提としている建物倒壊による道路閉塞の被害が主な交通支障の原因となっているが、山間部においては低地部とは異なり、斜面崩壊による道路施設の被害が主な交通支障の原因となっているためである。

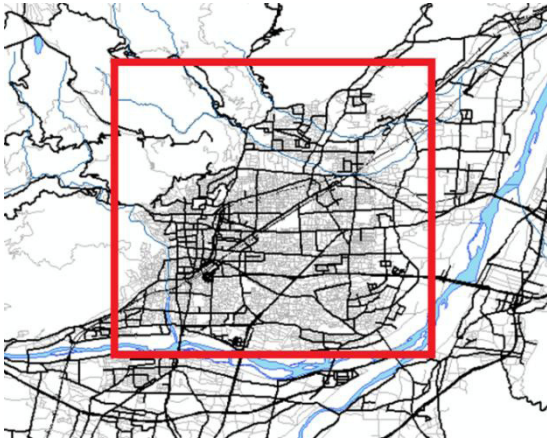


図-1 対象領域

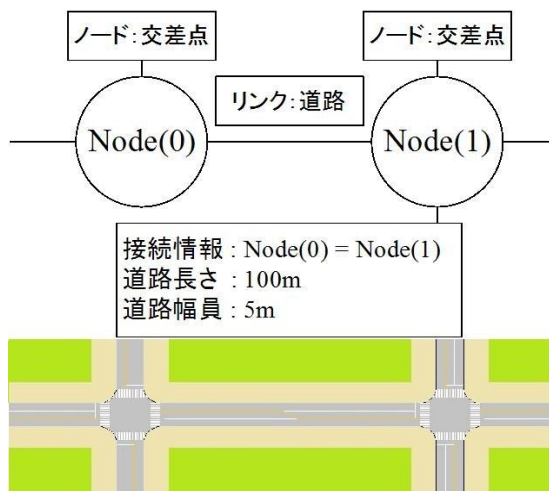


図-2 デジタル道路地図概要

(2) 道路閉塞地図

道路閉塞地図の作成は、デジタル道路地図に含まれている情報を基に行う。デジタル道路地図は図-2に示すようにノード及びリンクで構成されており、それぞれ交差点の位置情報、道路の接続情報、道路長さ、道路幅員などのデータが与えられている。本研究では、災害救援・復旧活動に重要な役割を果たす主要道路を対象とすることとし、全道路データのうち国道・県道・主要地方道で構成される基本道路地図データから、図-3に示す主要道路網の地図を作成し、この地図に道路の閉塞確率を重ね合わせる。

道路閉塞が発生する確率については、家田らの阪神・淡路大震災時の調査データ²⁾に基づき、倒壊した周辺家屋の倒れこみによる道路閉塞率 P が以下の関係式³⁾によって示されている。

$$P(\%) = \begin{cases} 0.9009 * \alpha + 19.845 & (t < 3.5) \\ 0.3514 * \alpha + 13.189 & (3.5 \leq t < 5.5) \\ 0.2229 * \alpha - 1.5026 & (5.5 \leq t) \end{cases}$$



図-3 主要道路地図

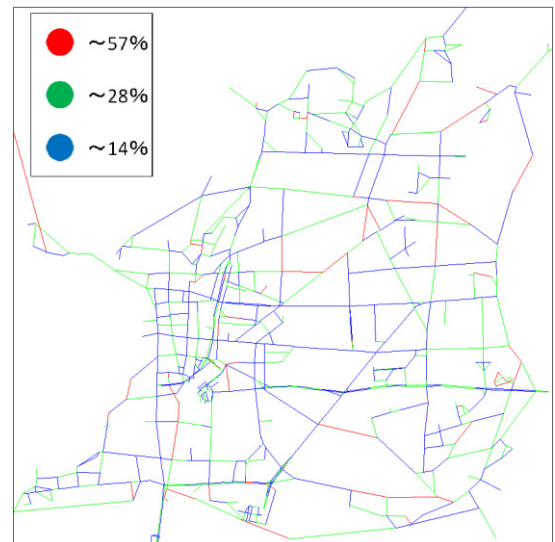


図-4 道路閉塞地図

ここに、 t は道路幅員(m)、 α は建物被災率(%)であり、建物被災率は全壊率に半壊率の二分の一を加えたものとして表される。長野市防災アセスメントより、長野市低地部において平均全壊率 5.54%、平均半壊率 9.12% と予測されており、これにより建物被災率 α は 10.10% となる。上式を用いて、数値地図データのそれぞれの道路幅員に対してリンク閉塞率を算出すると、道路幅員が 3.5 m 未満の場合 28.95%、3.5 m 以上 5.5 m 未満の場合 16.74%、5.5 m 以上の場合 0.75% となる。これらの閉塞率を用い、モンテカルロ法により様々なパターンの道路閉塞地図を生成する。生成した地図を重ね合わせ、閉塞回数の多寡に応じて色分けしたものが、道路の閉塞しにくさ・しやすさを表した道路閉塞地図となる。図-4にその結果を示すが、閉塞がしにくい順に青色、緑色、赤色

の3段階で表した。

(3) 長野市中心部の道路閉塞の特徴

図-4の地図より、図の中央部から北東寄りに閉塞しやすい道路が連続していることが読み取れる。この地域は、善光寺東部に位置する住宅街であり、道路幅員が狭く住宅が密集している地域である。長野市防災アセスメントによれば、火災の発生や死者数が多いとされる地域でもあり、道路閉塞がこの地域の救援・復旧活動に支障をきたす可能性がある。

3. マルチエージェントシミュレーションによる道路網の防災性能評価

(1) マルチエージェントシミュレーション

前章で作成した道路閉塞地図より、災害時の道路閉塞状況をおおよそ予測することが可能となるが、道路閉塞が救援・復旧にあたる車両の交通にどのような影響を与えるかについては必ずしも明確にはならない。そこで、前章でモンテカルロ法により作成した複数の地図上でマルチエージェントシミュレーションを実施することにより、道路閉塞が発生した場合の車両の交通の面から長野市の道路網の防災性能について検討する。マルチエージェントシミュレーションとは、独自の意思決定メカニズムに基づき自立的に行動し、エージェント間で相互作用を及ぼし合うことによって複雑な社会現象を分析するためのツールである。車両をエージェントとしてシミュレーションを行うことにより、結果が数値として求められるだけでなく、車両の動きや位置関係が視覚的に得ることができるという利点がある。本研究では、構造計画研究所が開発した artisoc⁴⁾ を用いてシミュレーションを行った。

(2) シミュレーション設定

長野市防災アセスメントを参考にして、三種類の車両を設定した。第一は消防署から各被災地へ向かう緊急車両（市内走行）、第二は、避難所へ向かう国や県内外の地方自治体から派遣される救援車両（市外より流入）、第三は市役所から各支所へ向かう連絡車両（市内走行）である。それぞれの車両の出発地と目的地を図-5に示す。赤い線により区切られた地域は各消防署の管轄を表し、緊急車両はその地域内のみを走行する。赤い矢印は外部からの救援車両の流入位置を示すが、長野市付近の高速道路のインターチェンジの位置を考慮し、東側と南側の二カ所に限定した。

地図上を走行する車両エージェントは、その時点で通行可能な道路の中から最短で目的地で到達できる経路を



図-5 車両の出発地と目的地

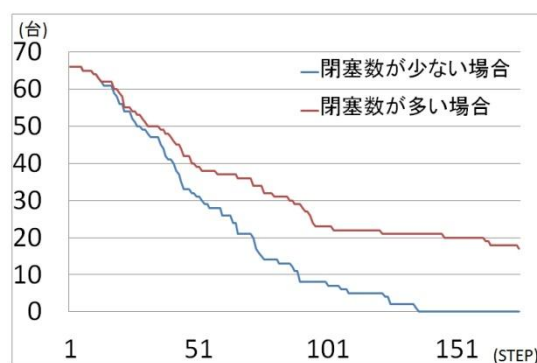


図-6 善光寺北東部道路閉塞の有無と車両の未到着数

Dijkstra 法を用いて探索する。最短経路決定後に移動を開始し、道路の幅員や対向車の有無などに応じて走行速度を変更するルールに従い、目的地へ向かう。

(3) 解析結果

モンテカルロ法によって生成した21種類の道路閉塞地図上においてマルチエージェントシミュレーションを実施し、各車両の動きを観察すると共に目的地への到達台数を計測した。その結果得られた特徴的な点について以下に示す。

図-6は前章で述べた善光寺北東地域において、道路閉塞の発生数が多い場合と少ない場合とを比較したものであり、縦軸を目的地へ到達していない車両数、横軸を時間変位に取って表した。道路閉塞数が少ない場合には、150ステップで全車両が目的地へ到達完了するが、道路閉塞数が多い場合には同ステップでおよそ3割の車両が到達していないことが分かる。この地域では、北部に位置する消防署から管轄内へ向かう緊急車両の通行が半数を占めており、消防車両や救急車などの緊急車両の交通

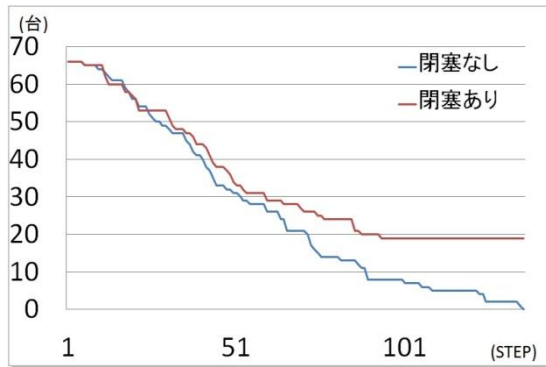


図-7 市内IC間道路閉塞の有無と車両の未到着数

に支障が発生することによって、更なる被害の拡大を招く可能性がある。

図-7に長野市内とインターチェンジとを結ぶ道路に閉塞が発生した場合の典型的な結果を示す。縦軸と横軸の値は図-6と同様である。この場合においても、道路閉塞の有無が車両の到達数へ大きな影響を与えていることが分かる。長野市内と東部のインターチェンジとを結ぶ道路には、道路閉塞が複数箇所発生するパターンがあり、目的地までの経路が断絶されるために迂回路が存在せず到達不能となった車両が2割以上発生した。また、東部または南部の両インターチェンジから長野市内へ向かうためには、長野市を流れる千曲川または犀川を越える必要があり、橋梁付近で道路閉塞が発生した場合、周辺に迂回路が存在しないもしくは迂回路までの距離が極めて遠いために、目的地までの経路が見つからない事例や、目的地へ到着できたとしても所要時間の大幅な増加の事例が見られた。

一方で、長野駅～善光寺間の中心市街地においては、図-8を見ても分かるように、道路閉塞の数の影響はほとんど見られなかった。これは、市街地においては整備された道路が多数存在するため、たとえ道路閉塞が複数発生したとしても迂回路として残されている道路があるためである。

4. おわりに

本研究では、地震災害時の建物倒壊による道路閉塞に着目し、デジタル道路地図の幅員情報を基に、長野市中心部の道路閉塞地図を作成した。また、閉塞地図を利用した緊急車両通行のマルチエージェントシミュレーションを行うことにより、道路網の防災性能についての検討を行った。その結果として第一に、善光寺北東地域において道路閉塞が発生した場合、緊急車両の通行に支障が発生し、長野市防災アセスメントにも記載されているよ

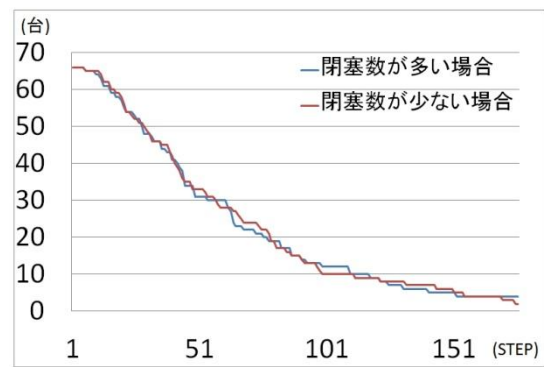


図-8 中心市街地道路閉塞の有無と車両の未到着数

うに被害の拡大を招く可能性があること。第二に、市外からの救援車両が利用する道路の数が限られているため、これらの道路閉塞によって救援活動に重大な支障をきたす可能性があるという知見を得た。

今回のシミュレーションでは、車両エージェントの経路探索に時間を要するという理由から、設定する車両の種類を限定し、一般車両の走行については考慮しなかった。また、救援・復旧活動の重要性から主要道のみを対象とし、その他の道路については考慮しなかった。今後は以上の点について改良を行い、対象範囲を中心部以外にも広げると同時に、解析アルゴリズムの最適化などを行いシミュレーションの高速化を進める予定である。

謝辞：本研究では、一般財団法人日本デジタル道路地図協会様よりデジタル道路地図データの貸与を受け実施しました。記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 長野市、国際航業株式会社：平成 22 年度長野市地域防災計画見直し[防災アセスメント]業務 報告書、2011。
- 2) 家田仁、上西周子、猪俣隆行、鈴木忠徳：阪神・淡路大震災における「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 No.576/IV-37, 69-82, 1997。
- 3) 中央防災会議事務局：内閣府中央防災会議「東南海、南海地震等に関する専門調査会」中部・近畿圏の内陸地震に係わる被害想定手法（案）について、http://www.bousai.go.jp/jishin/chubu_kinki/syousai/pdf/siryou3_02.pdf. (入手 2013.7.11)
- 4) 山影進：人口社会構築指南 artisoc によるマルチエージェントシミュレーション入門、書籍工房早山、2008。