

オープンなデータによる道路の被災可能性分析 手法の構築と緊急輸送道路網への適用

大澤 脩司¹・藤生 慎²

¹学生会員 金沢大学大学院自然科学研究科 環境デザイン学専攻（〒920-1192 石川県金沢市角間町）

E-mail: s.osawa.ku.sed@gmail.com

²正会員 金沢大学助教 理工研究域環境デザイン学系（〒920-1192 石川県金沢市角間町）

E-mail: fujii@se.kanazawa-u.ac.jp

平成23年3月11日14時46分に発生した東北地方太平洋沖地震に端を発する東日本大震災の教訓や、近年頻発する自然災害への対策として、災害発生時に救援・救護活動や緊急物資等の輸送を迅速に行うため、重要な道路区間の選定及び災害発生時の対応の検討が進められている。このような対策の検討にあたっては、従来は関係機関によってのみ検討が進められてきたが、想定外の難しい自然災害に対しては、より多くの技術者・研究者らによって広く被害想定や対策の検討がなされることは重要である。本研究ではそのための分析手法として、一般的に入手可能なデータを活用した道路の災害時通行可能性の分析手法の構築を行い、構築した手法の適用結果の例示及び適用結果の妥当性の検討を行った。

Key Words : *emergency transportation road, building collapse, sediment disaster, flooding, vulnerability, achievability*

1. 背景・目的

平成23年3月11日14時46分に発生した東北地方太平洋沖地震では、震度7に及ぶ強い地震動に加え、巨大な津波によって甚大な被害を受けた。発災翌日からは、救命・救援ルート確保のため、東北地方の内陸部を南北に貫く東北自動車道と国道4号から、沿岸部に伸びる国道を車両が通行できるだけのルートを切り啓く道路啓開（くしの歯作戦）が実行された¹⁾。この教訓を踏まえ、近い将来発生が予測されている東海・東南海・南海地震等、南海トラフを震源とする巨大地震に備え、津波による甚大な被害が想定される太平洋沿岸部での救援・救護活動、緊急物資の輸送等を迅速に行うため、復旧・復興を見据えた道路啓開オペレーション計画について、あらかじめ関係機関が連携して策定し、共有していくことが重要であるとの認識のもと、中部版くしの歯作戦が策定された²⁾。このような過去の教訓を踏まえ、地震や津波による被害が予測される地域において、重要な道路区間の選定及び地震発生時の対応の検討が進められている。一方、近年台風や集中豪雨による水害や土砂災害が頻発しており、地震に限らず自然災害全般に対して対策を検討することの重要性が高まっている。

災害発生時には緊急輸送道路の指定を受けている道路

が特に重要であると考えられる。災害発生時には避難活動、救援・救護活動、物資輸送など、様々な形で平時とは異なる交通需要が被災地全域で発生する。この交通需要を円滑に処理するためには、緊急輸送道路のような重要度の高い道路が走行可能な状態となっていることが極めて重要である。しかし、災害時には、道路は盛土の崩壊や斜面の崩壊、橋梁の損傷など様々な要因で通行不能となるおそれがある。これは緊急輸送道路であっても例外ではない。一般に災害発生時でも緊急輸送道路は利用可能な状態である場合が多いと認識されているが、平成28年熊本地震では九州自動車道において跨道橋が落橋したことで、高速道路本線の通行が阻害され、緊急輸送道路が通行不能な状態となった。このことから、緊急輸送道路といえども安易に安全であるとは判断できず、緊急輸送道路が被災する可能性も考慮し、孤立地域の発生や到達困難地域の発生を防止するような対策を検討することや、重要道路の被災が被災地内の交通に与える影響を検討することの重要性は大であると考えられる。

さて、このような災害を対象とする場合、被災地域は複数自治体にまたがり、広範になることが想定される。このような場合、先述した道路被害の分析のために必要な情報が十分揃わないことも考えられる。このような課題に対応するためには、データの提供領域が広域的であ

り、かつ一般に広く公開されており入手が容易であるオープンなデータを利用した手法が必要であると考え。

以上のような背景を踏まえ、筆者らの研究グループではオープンなデータを活用した各ハザードによる道路被害の分析手法の開発を目指している。本研究では災害時における道路の通行可能性に着目し、地震による建物倒壊に伴う道路閉塞、河川氾濫による道路の冠水被害、土砂災害による道路閉塞の3ケースを考慮した道路の通行可能性の分析手法を構築することを目的とする。さらに、これら分析手法の適用可能性を検討するため、新潟県・富山県・石川県・福井県・長野県・岐阜県の6県の緊急輸送道路ネットワークを対象として、構築した手法を用いた分析を行う。

2. 既往研究の整理と本研究の位置づけ

地震による道路閉塞の評価に関する研究として、大都市大震災軽減化特別プロジェクト³⁾、小谷ら⁴⁾、大谷ら⁵⁾、赤倉ら⁶⁾がある。大都市大震災軽減化特別プロジェクト³⁾は、平成14年度からの5年計画で、国の総力を挙げて取り組むべき研究開発課題を対象とする「新世紀重点研究創生プラン」の課題の一つであり、平成18年度まで継続された。このプロジェクトは首都圏や京阪神などの大都市圏において大地震が発生した際の、人的・物的被害を大幅に軽減するための科学・技術基盤の確立を目的としており、その中で道路閉塞シミュレータが開発されている。小谷ら⁴⁾は、道路閉塞を進行もしくは抑制させる要因となる環境特性を抽出し、それらから道路の各被害様相による道路閉塞の危険度評価式を示している。更に、この評価式を用いて、金沢市内の道路を53路線に分割し、道路被害様相別・路線別の道路閉塞危険度を分析している。大谷ら⁵⁾は、各防災拠点が含まれる市町程度の広がり(数km~10km四方程度)の地区を対象とし、震災直後に幹線系道路に影響する施設・要因等として、路面、橋梁といった道路施設、跨道橋や歩道橋といった沿道・専用施設(地上)、水道管・ガス管などの沿道・専用施設(地下)を考慮し、それぞれに被災関数を当てはめ、道路閉塞に与える影響を設定し、そこから交通容量の期待値を算出することにより道路閉塞による影響を評価している。赤倉ら⁶⁾は街路閉塞の発生を地震動強さと街路幅員によってモデル化し、横浜市中心地域が関東大震災と同等規模の地震を受けた場合の被害予測を行っている。また、GISを活用した道路閉塞の研究事例もある。源ら⁷⁾は、道路網ネットワークを作成し、それを道路閉塞予測へ適用している。源らは道路閉塞の予測にあたっては、道路幅員4m未満、道路幅員4m以上8m未満の道路に分けて閉塞確率算定モデルを策定し、沿道建物の倒壊による

道路の閉塞確率を算定している。

土砂災害や河川氾濫による道路閉塞の評価に関する研究には坂本⁸⁾や坂田⁹⁾らなどがある。坂本ら⁸⁾は2000年月11日から12日にかけて発生した東海豪雨時に、豪雨下の走行を経験したドライバーに対してアンケート調査を実施し、集中豪雨下における道路状態・走行経路状況を分析している。これにより時間帯ごとの道路の冠水状態及び地形による道路冠水被害の特徴を明らかにしている。坂田ら⁹⁾は自然斜面・切土斜面に着目し、斜面の崩壊に伴う道路閉塞のリスク分析を行うことで、行政BCPのあるべき方向性について検討している。道路閉塞のリスク分析にはBP法を用い、確率的な評価を行っている。

災害時の道路閉塞に着目した研究としては、近藤ら¹⁰⁾、市川ら¹¹⁾、田村ら¹²⁾がある。近藤ら¹⁰⁾は、道路閉塞の想定として、地震動の場合は橋梁被害、土砂災害は急傾斜地崩壊危険箇所、地すべり指定地、砂防指定地の崩壊、津波被害は道路構造による浸水被害とし、モデル地域における集落の孤立について孤立日数によって評価している。市川ら¹¹⁾はGIS上で、瓦礫は全方向に広がり、かつ流出幅が建物個々の建物高さに一致する倒壊モデルを設定し、道路閉塞の判定を行っている。田村ら¹²⁾は、地震時の建物倒壊によって街路閉塞が発生することを考慮した津波浸水時の避難行動シミュレーションを行っている。

大都市大震災軽減化特別プロジェクトでは、緻密に構築されたモデルと詳細なデータを活用することで、精緻な分析結果を示している。一方で、対象とする地域によってはモデルが要求する精度を満足するデータが揃わないことが考えられ、そのような場合には本研究が目指す広く公開され入手が容易なデータを活用した手法が必要である。小谷ら、大谷ら、赤倉ら、源ら、市川らはある対象地域内の地震による道路の閉塞状況、近藤らは複数の災害によって生じる道路閉塞によって対象地域内の集落で生じる孤立の日数およびリンク重要度の算定、田村らは地震によって生じる道路閉塞を考慮した津波による浸水被害からの避難シミュレーションという視点である。これらに対し、本研究では、対象地域における道路閉塞を分析するだけでなく、閉塞を考慮した道路ネットワークにおけるある地点間の到達可能性を分析することを目的としている。また、道路の冠水被害による通行不能要因として近藤ら、田村らは津波による浸水を対象としているのに対し、本研究は河川氾濫による冠水を対象としているが、浸水あるいは冠水区間を評価する手法には大きな差異はない。一方、津波浸水時の避難シミュレーションを行っている田村らと、津波による道路の浸水被害による対象地域内で生じる集落の孤立日数の評価を目的としているのに対し、本研究では河川氾濫による道路の冠水区間の発生が、ネットワーク内のある地点間の到達可能性に与える影響を分析することを目的としており、

それぞれに目的が異なる。坂本らは豪雨による道路の冠水を対象としているが、時間帯ごとの道路の冠水状態と地形による道路の冠水被害を把握することに留まっており、冠水箇所を考慮したある地点間の到達可能性は分析されていない。建物倒壊による道路閉塞という視点では、赤倉ら、源ら、市川らと立場を同様にするが、これらは比較的限定された地域を対象としているのに対し、本研究では都道府県単位の道路網を対象としており、より広域的な地域を対象としている。源らでは道路幅員によって道路閉塞が生ずる確率を算出しているが、本研究では建物の高さをもとにしている。土砂災害による道路閉塞を対象とした事例は坂田ら、近藤らである。坂田らはBP法により確率的に、近藤らは急傾斜地崩壊危険箇所、地すべり指定値、砂防指定地の崩壊を対象として被災リンクを評価している。坂田らはニューラルネットワークを用いた評価のため、13項目の説明変数を用意しているが、この項目の中には対象地域によっては得られない可能性のあるデータも含まれていると考えられることから、本研究では近藤らと同様に入手が容易なデータを活用する手法をとる。また、坂田らは評価した道路の被災状況からBCP策定に関して検討しており、近藤らは孤立集落に関して分析している。これらに対し、本研究は重要拠点間の到達可能性を分析する。

以上を整理すると、地震による建物倒壊を考慮した研究には様々な事例があるが、広域の道路ネットワークを対象とした研究は行われていない。また、土砂災害や冠水による道路閉塞を考慮した事例は少なく、広く一般に公開され入手が容易なデータを活用した道路の災害時通行可能性の分析手法を構築し、それを対象地域内のある地点間の到達可能性の分析へ分析した事例はない。

3. 道路の災害時通行可能性の分析手法

(1) 地震による建物倒壊と道路閉塞に関する手法

建物倒壊による道路閉塞の可能性を評価するためには、建物の位置、高さ、建築時期、建物の構造等に関するデータが必要となる。こうしたデータは広く利用可能な形では公開されていないことから、一般に入手可能な別のデータから作成することを試みた。データ作成にはesriジャパンが提供する詳細地図2012¹³⁾を用いた。本データは株式会社ゼンリンの地図データと、国土交通省の基盤地図情報や国土数値情報などを加工して開発された背景地図データベースであり、本研究で目的とする建物に関するデータとして、建物の種類と高さが含まれている。なお、建物の高さは1階あたり3mで考えられており、建物の種類は独自分類となっている。図-1に詳細地図及び詳細地図が含む建物データの表示例を示す。

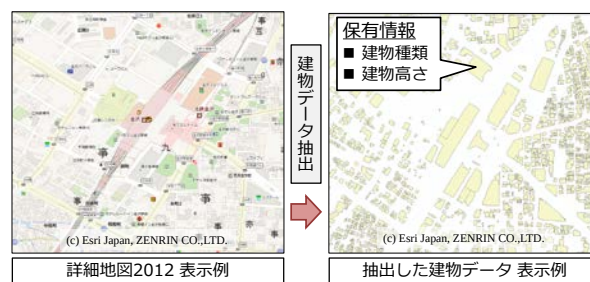


図-1 詳細地図全データ及び建物データの例

表-1 建物データの建物種類と構造形式の分類

建物種類	構造形式	建物種類	構造形式
目標物(宿泊施設)	非木造	目標物(公共施設)	非木造
目標物(商業施設)	非木造	目標物(医療)	非木造
目標物(学校)	非木造	目標物(交通)	非木造
目標物(余暇・レジャー)	非木造	一般家枠(その他) 3階以下	木造
目標物(目標物)	非木造	一般家枠(その他) 4階以上	非木造

地震による建物倒壊を考慮するためには、建物の構造形式と建築年代の情報がさらに必要となる。建物の構造形式については、データの分類に従って表-1のように木造と非木造に分類した。住居に割り当てられている分類の建物を木造としたが、この分類にはマンションなど高層の住居も含まれている。このため、4階以上の建物（高さが9mを超す建物）は非木造に分類した。建築年代に関しては情報が不足していることから、本研究ではすべて最新の建築基準で建築された建物であると仮定する。この仮定によって、本研究が示す建物倒壊に関する結果は最小被害想定ケースとなる。

以上の手順で作成した建物データには、道路閉塞に影響を与えないものも含まれる。したがって、倒壊した際に道路の閉塞に影響を与える建物のみ抽出することを考える。この評価は、建物の高さや道路との位置関係をもとに行う。建物の抽出は、図-2に示すような手順で、建物の重心を求め、求めた重心から、建物の高さを半径とする円を描いた後、その円の中に道路を含む場合はその道路閉塞に影響する建物として抽出する。

抽出した道路沿道の建物に対し、J-SHIS 地震ハザードステーションが公開している地震動予測地図¹⁴⁾など、地震動予測地図を用いて、どの程度の計測震度の揺れに見舞われる可能性があるかを決定する。その上で、地震による建物の被害関数を適用し、各建物の全壊確率を決定する。次に乱数シミュレーションにより、各建物が全壊するかどうかを判定し、全壊した場合にはその建物が隣接する道路では道路閉塞が発生すると評価する。

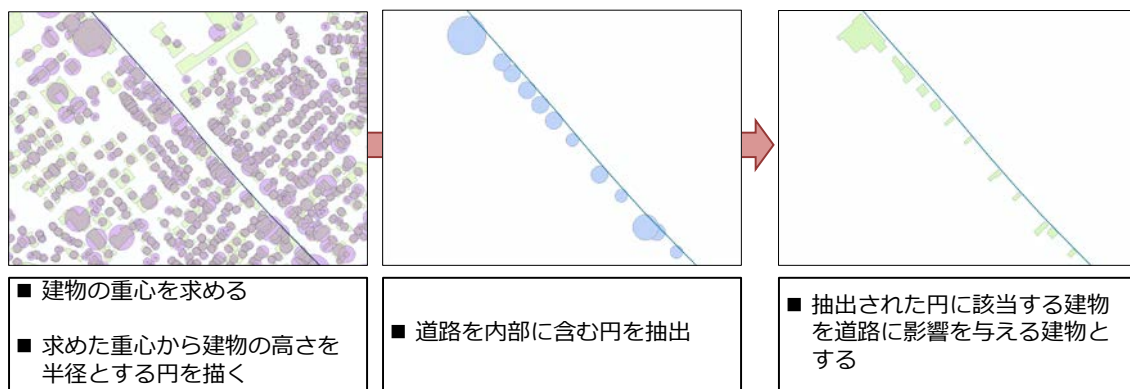


図-2 道路に影響を与える建物の抽出フロー図

(2) 河川氾濫による道路の冠水に関する手法

道路が使用不能となる要因の1つとして、冠水被害が考えられる。道路の冠水被害を評価するために本研究では、全国規模で浸水想定区域及び想定浸水深が公表されている国土数値情報の浸水想定区域データ¹⁹⁾を用いる。このデータでは浸水が想定される範囲のほか、浸水深や対象となる河川、浸水想定区域指定の前提となる計画降雨等のデータが整理されている。このうち浸水深は表1のように5段階または7段階に分けられている。道路が冠水によって使用不能となる状況を、本研究では自動車が走行不能となる浸水深と定義する。一般的に、自動車が走行不能となる浸水深は車両の床面が水に浸かる深さとされている¹⁰⁾。したがって、表-2のうち、浸水深が0.5m以上に分類される浸水想定区域内に存在する道路は河川氾濫時に冠水して通行不能になる可能性がある区間として評価する。なお、道路の冠水区間については、図-3のように、道路と浸水想定区域データをGIS上で重ねあわせた際に、両者が完全に一致した区間とした。

表-2 段階別浸水深ランクと道路状態

浸水深ランク		道路状態
5段階	7段階	
0～0.5m未満	0～0.5m未満	非冠水
0.5m～1.0未満	0.5m～1.0m未満	冠水
1.0～2.0未満	1.0m～2.0m未満	
2.0m～5.0未満	2.0m～3.0m未満	
5.0m以上	3.0m～4.0m未満	
	4.0m～5.0m未満	
	5.0m以上	

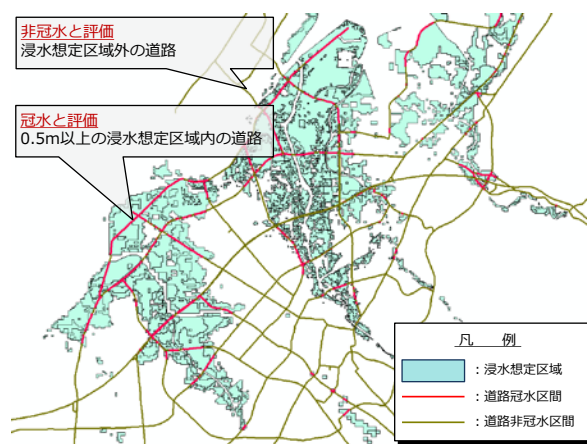


図-3 道路の冠水区間の評価概念図

(3) 土砂災害による道路閉塞に関する手法

道路が使用不能となる要因として、道路の冠水以外に土砂災害による道路の被災が考えられる。道路の土砂災害による被災可能性を評価するにあたり、浸水想定区域と同様に、全国規模で土砂災害警戒区域が公表されている国土数値情報の土砂災害警戒区域データ¹⁷⁾を用いる。このデータでは土砂災害警戒区域の範囲の他に現象の種類や土砂災害警戒区域の指定の種類などが整理されている。冠水区間と同様に、土砂災害により被災のおそれがある道路の区間は、図-4のように道路と土砂災害警戒区域データをGIS上で重ね合わせた際に両者が完全に一致した区間とし、そのような区間を土砂災害によって通行不能になる可能性がある区間として評価する。なお、本研究では被災するリスクのある道路区間を把握するため、指定の種類によらず、土砂災害による道路の被災可能性を評価する。

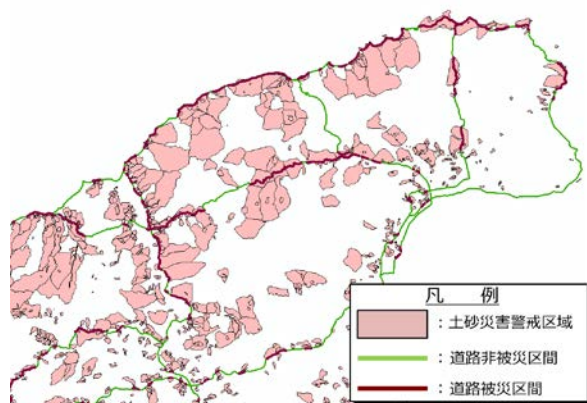


図-4 土砂災害による道路閉塞の評価概念図

4. 構築した分析手法を用いたケーススタディー

3章に示した手法は、ネットワーク解析のための手法である。本研究では、緊急輸送道路ネットワークに対して手法を適用し、妥当性を検討する。なお、緊急輸送道路ネットワークは一般に公開されている国土数値情報の緊急輸送道路データ¹⁰⁾を使用する。緊急輸送道路は、災害時に円滑な緊急輸送を行うために指定される道路であり、非常に重要度の高い道路である。従って、緊急輸送道路の災害時の通行可能性の分析としては、単純な通行可能・不可能区間の分析だけでなく、災害時にある地点間を相互に行き来可能であるかという到達可能性を分析することが重要である。分析ケースは結果の理解が容易であることが望ましい。一方、ネットワーク解析としての手法の妥当性評価のためには、広いネットワークへの適用が望ましい。このような条件を満たすネットワークの設定として、単一の出発地かつネットワーク全域に散らばる複数の到着地という設定が考えられる。現実の緊急輸送道路ネットワークにおいてこのような設定を満たすものは複数考えられるが、本研究ではその一例として、出発地をネットワークにおける代表的な地点として都道府県庁、到着地をネットワーク内全域に存在する避難所としたケース設定とする。このケース設定では人の往来や物資の輸送を想定していると言える。図-5に分析対象とした6県の緊急輸送道路ネットワークを示す。また、手法適用にあたり、建物倒壊による道路閉塞の可能性を検討するために、想定する地震動の大きさと建物の被害関数を選定する必要がある。想定する地震動としては、緊急輸送道路の長期的なリスクの評価という位置づけで、J-SHIS 地震ハザードステーションが公開している確率論的地震動予測地図¹⁴⁾のうち、50年間で超過確率が2%となるような予測計測震度（図-6）建物の被害関数については、具体的な数値を公表している南海トラフによる東京の被害想定¹⁹⁾に示されている全壊率曲線（図-7）を採用した。なお、本研究ではすべての建物の建築時期は最新の建築年代であると仮定しているため、実際に使用する曲線は図-7に赤枠で示した曲線のみである。

以上の設定で、構築した手法を適用し、妥当性を検討する。分析結果については講演時に示す。

参考文献

- 1) 啓開「くしの歯」作戦，東北地方整備局震災伝承館，<http://infra-archive311.jp/s-kushinoha.html>，（2016.03.05閲覧）。
- 2) 中部地方幹線道路協議会 道路管理防災・震災対策検討分科会，中部版 くしの歯作戦，平成26年5月改訂版，2014，http://www.cbr.mlit.go.jp/road/kanri-bunkakai/pdf/kushinoha_kaitai.pdf，（2016.03.05閲覧）。

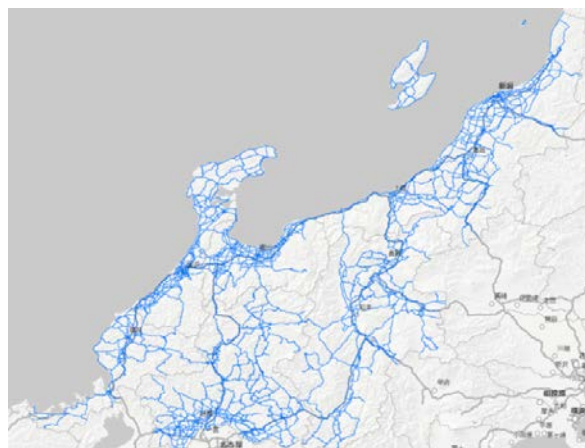


図-5 平常時の緊急輸送道路ネットワーク

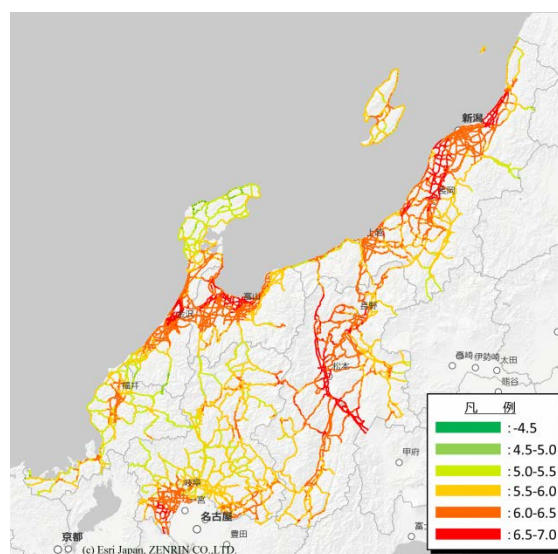


図-6 50年間超過確率2%となる計測震度の分布

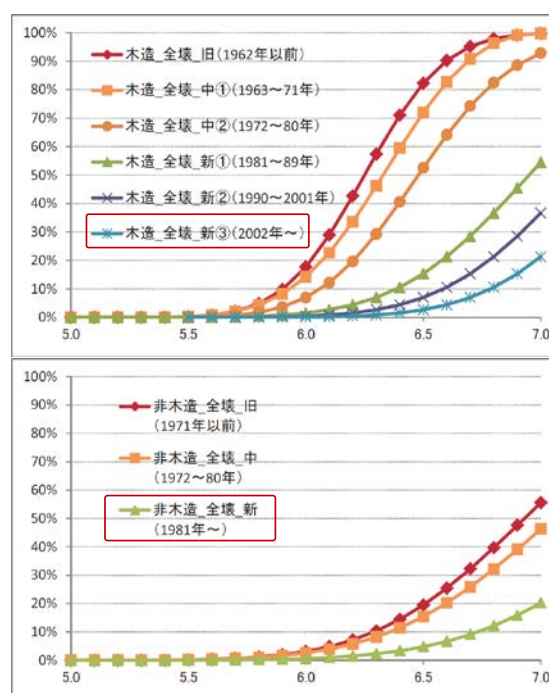


図-7 建物の被害関数である全壊率曲線

- 3) 文部科学省, 大都市大震災軽減化特別プロジェクト総括
成果報告書 III.1 震災総合シミュレーションシステム
の開発, 平成19年3月, [http://dil-
opac.bosai.go.jp/publication/gaibu/ddt-all/view/0614s_308.pdf](http://dil-opac.bosai.go.jp/publication/gaibu/ddt-all/view/0614s_308.pdf),
(2016.03.05閲覧)
- 4) 小谷武司, 池本敏和, 北浦勝: 大地震時における道
路閉塞危険度評価法の開発と金沢市への適用, 第 24
回地震工学研究発表会講演論文集, pp.1101-1104,
1997.
- 5) 大谷康史, 村越潤: 幹線系道路の耐震性評価に関す
るケーススタディー, 第 26 回地震工学研究発表会講
演論文集, pp.1465-1468, 2001.
- 6) 赤倉康寛, 高橋宏直, 中本隆: 大規模地震による街
路閉塞予測シミュレーションの構築, 土木学会論文
集, Vol.1999, No632, pp77-92.
- 7) 源貴志, 成行義文, 天野健, 平尾潔: GIS による道
路網ネットワーク及び属性データの作成方法と道路
閉塞予測への適用, 土木情報利用技術論文集,
Vol.15, pp.127-138, 2006.
- 8) 坂本淳, 藤田素弘, 鈴木弘司, 三田村純: 集中豪雨下の
道路冠水状態と交通動画シミュレーションの開発, GIS-
理論と応用, Vol.14, No.1, 2006, pp.9-19.
- 9) 坂田朗夫, 伊藤則夫, 川本篤志, 白木渡: 道路ネットワ
ーク上の内在リスク分析を踏まえた行政 BCP 策定に関す
る研究, 土木学会論文集 F6 (安全問題), Vol.67, No.2,
2011, pp.71-76.
- 10) 近藤伸也, 照本清峰, 太田和良, 片家康裕, 高尾秀
樹, 河田恵昭: 道路閉塞に着目した広域災害におけ
る集落の孤立危険度マップの検討, 生産研究,
Vol.62, No.4, pp.417-419, 2010.
- 11) 市川総子, 阪田知彦, 吉川徹: 建物倒壊および道路閉
塞のモデルに なる 避難経路の危険度を考慮した避難地へ
の到達前能性に関する研究, Theory and Applications of GIS,
Vol, 12, No.1, pp.47-56, 2004.
- 12) 田村保, 西畑剛, 森屋陽一, 瀧本浩一, 三浦房紀:
街路閉塞を考慮した津波浸水時の避難シミュレーシ
ョン手法の適用, 海岸工学論文集, Bok.52,
pp.1286-1290, 2005.
- 13) esri ジャパン, ArcGIS データコレクション 詳細地
図: [http://www.esri.com/products/arcgis-data-collection-
detail/](http://www.esri.com/products/arcgis-data-collection-detail/), (2016.09.02 閲覧)
- 14) J-SHIS 地震ハザードステーション J-SHIS MAP:
<http://www.j-shis.bosai.go.jp/map/>, (2016.09.02 閲覧)
- 15) 国土数値情報 浸水想定区域データ:
<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-A31.html>,
(2016.09.02 閲覧)
- 16) 日本自動車連盟 (JAF) クルマ何でも質問箱 Q ク
ルマが冠水・浸水してしまったら?:
<http://www.jaf.or.jp/qa/accident/trouble/05.htm>, (2016.09.02 閲
覧)
- 17) 国土数値情報 土砂災害警戒区域データ:
<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-A33.html>,
(2016.09.02 閲覧)
- 18) 国土数値情報 緊急輸送道路:
<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-N10.html>,
(2016.09.02 閲覧)
- 19) 東京都防災会議, 南海トラフ巨大地震等による東京の被
害想定, 第 3 部被害想定手法 4-2 各被害の想定手法,
2013,
[http://www.bousai.metro.tokyo.jp/_res/projects/default_pro-
ject/_page_/001/000/402/part3-4-2.pdf](http://www.bousai.metro.tokyo.jp/_res/projects/default_pro-
ject/_page_/001/000/402/part3-4-2.pdf) (2016.09.02 閲覧) .

(受付)

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF AN ANALYSIS METHOD OF DISASTER RISK OF THE ROAD

Shuji OSAWA, Makoto FUJII