

Study of disaster risk assessment of road-network focused on hazardous point

メタデータ	言語: jpn
	出版者:
	公開日: 2020-10-30
	キーワード (Ja):
	キーワード (En):
	作成者:
	メールアドレス:
	所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/00059732

This work is licensed under a Creative Commons
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0
International License.



博 士 論 文 要 旨

災害危険箇所に着目した 道路の災害リスク評価に関する研究

Study of disaster risk assessment of road-network
focused on hazardous point

金沢大学大学院自然科学研究科

環境デザイン学専攻

学 籍 番 号 : 1724052002

氏 名 : 大澤 脩司

主任指導教員名 : 高山 純一教授

ABSTRACT

In Japan, it is predicted that large-scale natural disaster such as Tokyo Metropolitan earthquake and Nankai Trough earthquake in near future. Therefore, it is an important problem that prepare for such natural disasters as much as possible. Among them, transport network especially critical infrastructure that play role of supporting various disaster responses such as evacuation, rescue, reinforcement and recovery. Consequently, it is required that increase the robustness of transport network for natural disasters. To realize this big mission, advancing the transport network evaluation methods for disasters is needed.

For such methods, it is required that considering vulnerability of road-link to disaster, frequency of road use during disasters and possibility of multiple road-link failure. In this paper, I attempted the develop of new evaluation method under such idea through focusing on improving connectivity between disaster prevention bases by decreasing disaster risks on transport network.

To realize this idea, in this paper, a new index - disaster weakness point index that equivalent to disaster risks on transport network is proposed. Moreover, new transport network evaluation method for disasters based on this new index is developed. In addition to it, it is proposed that how apply this method for disaster prevention planning.

第 1 章 序論

我が国では、首都直下地震や南海トラフ地震など近い将来大規模な地震災害の発生が想定されている。さらに近年では自然災害の激甚化を指摘する声もある。これら背景を踏まえば、今後の自然災害に対して可能な限り備えていくことが重要な課題の 1 つである。中でも道路は避難・救助・救援・復旧・復興などの様々な災害対応活動を支える役割を担った重要な施設であり、その災害に対する機能を高めていくことが必要となる。

我が国では過去の大規模な自然災害の教訓を踏まえた道路防災対策が実施されてきた。近年の自然災害でも道路に関する課題は指摘され続けている。例えば平成 28 年熊本地震では様々な要因で緊急輸送道路が通行不能となる事態が発生した。これを受けて災害時を想定した道路ネットワークの評価手法の深度化が指摘されている。

手法の深度化の目的はより効果的な道路防災対策の検討・立案を可能にすることにある。この目的を達成する手段の 1 つに複数の手法を相互補完的に活用することを視野に入れて手法の改良や拡張、新規開発を行なうことが考えられる。これを実現するためには複数の手法が相互補完的に利用されることを想定して手法の深度化が進められる必要がある。これを達成するアプローチには、既往手法の改良や拡張、既往手法の効果的な運用方法の模索、対策方針に関する新たな視点を持つ手法の開発などが考えられる。

対策方針としてはこれまで旅行時間や道路ネットワークの構造的弱点などが着目されてきた。一方で、道路被害とそれに伴う道路ネットワークの機能低下は、道路を構成する各施設が持つ被災リスクに起因して発生することを踏まえば、対策方針として道路の被災リスクに着目することもできる。実際に、隣接する河川の増水や倒木、横断構造物や隣接する建物等の道路沿道に存在する被災リスクをも評価して対策箇所の優先順位を検討する必要があるという提言も出されており、新たな対策方針として着目することの意義は大きい。

以上のような目的を達成するためには、道路沿道まで含めた多様な道路の被災リスクを扱うフレームワークを持つ評価手法を開発する必要がある。さらに、そこで扱われる被災リスクはその大小をもが考慮される必要がある。災害時を想定した道路ネットワーク評価の分野で古くから研究されている連結信頼性評価の考え方自体は、こうした要請を満たしうるものである。しかし、「リンク信頼度をいかに定めるか？」が近年の研究でも依然として重要な課題として挙げられており、前節に挙げたような様々な道路の被災リスクを連結信頼性評価の枠組みの中でどのように扱うべきかという知見は未だ得られていない。そこで、本研究では信頼度とは異なる見方・考え方で道路の被災リスクを捉えることを提案する。具体的には、「道路被害のリスクとなる要素としては認識されているもの自体は多い」ことに着目して、道路ネットワークの評価指標として災害危険箇所数という指標を提案するとともに、これに基づく評価手法を開発する。また、開発した手法に対して、基礎資料として提供できる情報の整理、実務への適用性に関する考察も併せて行なう。

本研究は図-1 に示すような全 6 章構成となっている。

第1章 序論

- 研究の背景・近年の自然災害による道路被害の事例整理・研究の目的・論文の構成

第2章 既往研究の整理および本研究の位置付け

- 道路の防災機能評価手法（案）について
- 災害時を想定した道路ネットワークの評価に関する研究
- 本研究の位置付け

第3章 災害危険箇所数を指標とした道路の災害リスク評価手法の構築

- 災害危険箇所の定義と設定事例の提示。
【災害対応実施の確実性向上の視点（基礎手法）】
「災害危険箇所数を指標とした道路の災害リスク評価手法」
- 災害危険箇所数をネットワークコストとした各拠点ペアの経路抽出、各リンクの通過経路数と災害危険箇所数との比率による対策注目度の提案。
【災害対応実施の確実性向上と対応の迅速性確保の2視点】
「経路距離を考慮した災害危険箇所数を指標とした道路の災害リスク評価手法」
- 経路距離の導入方法を「ネットワークコストの統合」と「経路探索過程の工夫」の2視点で検討。
- k 番目経路探索手法を用いた経路探索による許容経路距離を満足する経路の抽出、各リンクの通過経路数と災害危険箇所数との比率による対策注目度の提案。

第4章 現実道路ネットワークへの災害危険箇所数を指標とした道路の災害リスク評価手法の適用

- 【災害危険箇所数を指標とした道路の災害リスク評価手法】
- 石川県の緊急輸送道路ネットワークと同県の地域防災計画を用いたケーススタディによる本提案手法の妥当性検証および特性把握。
【経路距離を考慮した災害危険箇所数を指標とした道路の災害リスク評価手法】
- 石川県の緊急輸送道路ネットワークと同県の地域防災計画を用いたケーススタディによる本提案手法の妥当性および特性把握。
- 基本手法との結果の差異に関する考察。

第5章 道路防災対策の検討・立案のための活用メニューの提案とその事例分析

- 提案手法の活用方法として対策注目度の指標値順の対策箇所設定とその効果確認、対策注目度上位リンクの比較による検討材料の拡充、高災害リスク拠点ペアの抽出と個別対策の検討の3種類のメニューを提案する。
- 活用メニューの提案にあたっては、各メニューでの活用の意図・目的を整理するとともに、実際の道路ネットワークを用いた事例分析を通して活用手順を示す。

第6章 結論と今後の課題

- 本研究の結論
- 提案した道路の災害リスク評価手法の適用条件
- 今後の課題

図-1 本研究の構成フロー

第2章 既往研究の整理および本研究の位置付け

災害時を対象とした道路ネットワーク評価の我が国における代表的な手法である道路の防災機能の評価手法（案）について、その概要を整理するとともに課題を整理した。その上で、既往研究を連結信頼性に関する研究、道路ネットワークの脆弱性評価に関する研究、道路ネットワークの幾何的構造に基づく評価に関する研究、最適化手法等による対策方法の検討に関する研究の4つの視点で整理した。具体的には、OD間の連結確率に着目した手法、アクセシビリティや距離等の道路ネットワークの交通機能に着目した手法、ネットワークの構造的な弱点あるいは重要箇所に着目した手法、ある条件下での最適な対策戦略に着目した手法がこれまで提案されてきた。災害の発生や被害の精緻な予測の困難さや地域ごとに異なる実状などを踏まえると、これら手法の中から真に望ましい道路防災対策方針を見極めることは難しい。このような中で道路防災対策を進めていくためには、対策の検討・立案において、これら対策方針の異なる手法を相互補完的に活用して対策決定に至るようなプロセスも必要である。一方で、近年の自然災害での教訓から、対策方針として新たに道路沿道まで含めた多様な道路被害のリスクに着目した評価の必要性も指摘されている。しかし、このような方針に対応した手法はこれまでに提案されていない。これを踏まえ、本研究では道路被害のリスクを表現する評価指標として災害危険箇所数指標を新たに提案し、これに基づく評価手法を開発する。本研究は、このような手法の提案によって、対策方針の異なる手法の相互補完的な活用のプロセスを充実化させることを目指すものである。相互補完的な活用の方向性としては、対策方針の異なる既往の各手法での評価結果と、本研究での提案手法による評価結果とを比較・分析することで、対策の検討・立案における有益な示唆の獲得へつなげることを想定している。

第3章 災害危険箇所数を指標とした道路の災害リスク評価手法の構築

本章では、道路ネットワークにおける道路被害のリスクを捉えるため、災害危険箇所数という評価指標を提案し、その定義と設定事例を整理した。加えて、これを基に「共通するリスクへの対策による道路ネットワークの接続性向上」という対策方針を持つ評価手法を構築した。ところで、道路ネットワークは人や物資の移動を伴う各種災害対応を支える基盤施設であり、災害時にこれら対応が実施可能な状態である（機能を持つ）ことが求められる。これより、道路防災対策は、道路ネットワークの機能向上に加えて災害対応の実施可能性を向上させることもその目的に含むと解釈できる。災害対応の実施可能性には対応実施の確実性と対応の迅速性（円滑性）の2要素が挙げられる。これを踏まえ、本章では「対応実施の確実性」に着目した手法と、「対応実施の確実性」に加えて「対応の迅速性」にも着目した手法の2手法をそれぞれ構築した。また、構築した各手法を単純仮想ネットワークに適用し、提案手法の挙動確認を行なうとともに、提案手法による評価の全体像を解説した。

構築した2つの手法のフローは図-2 および図-3 に示す通りである。前者の手法（基礎手法）は①災害リスク評価の条件設定、②各リンクの災害危険箇所の該当判定、③各リンクの

災害危険箇所数の集計, ④災害危険箇所数に基づく各拠点ペアの経路評価, ⑤各リンクの対策注目度の算出の 5 つのフローで構成される. 後者も同様に 5 つのフローで構成される. ただし, k 番目経路探索手法を援用して許容可能距離の制約を付加した経路評価によって一定の距離水準が満足された経路を対策候補として抽出するため, 4 番目のフローのみ「災害危険箇所数と許容可能距離に基づく各拠点ペアの経路評価」に置き換わる.

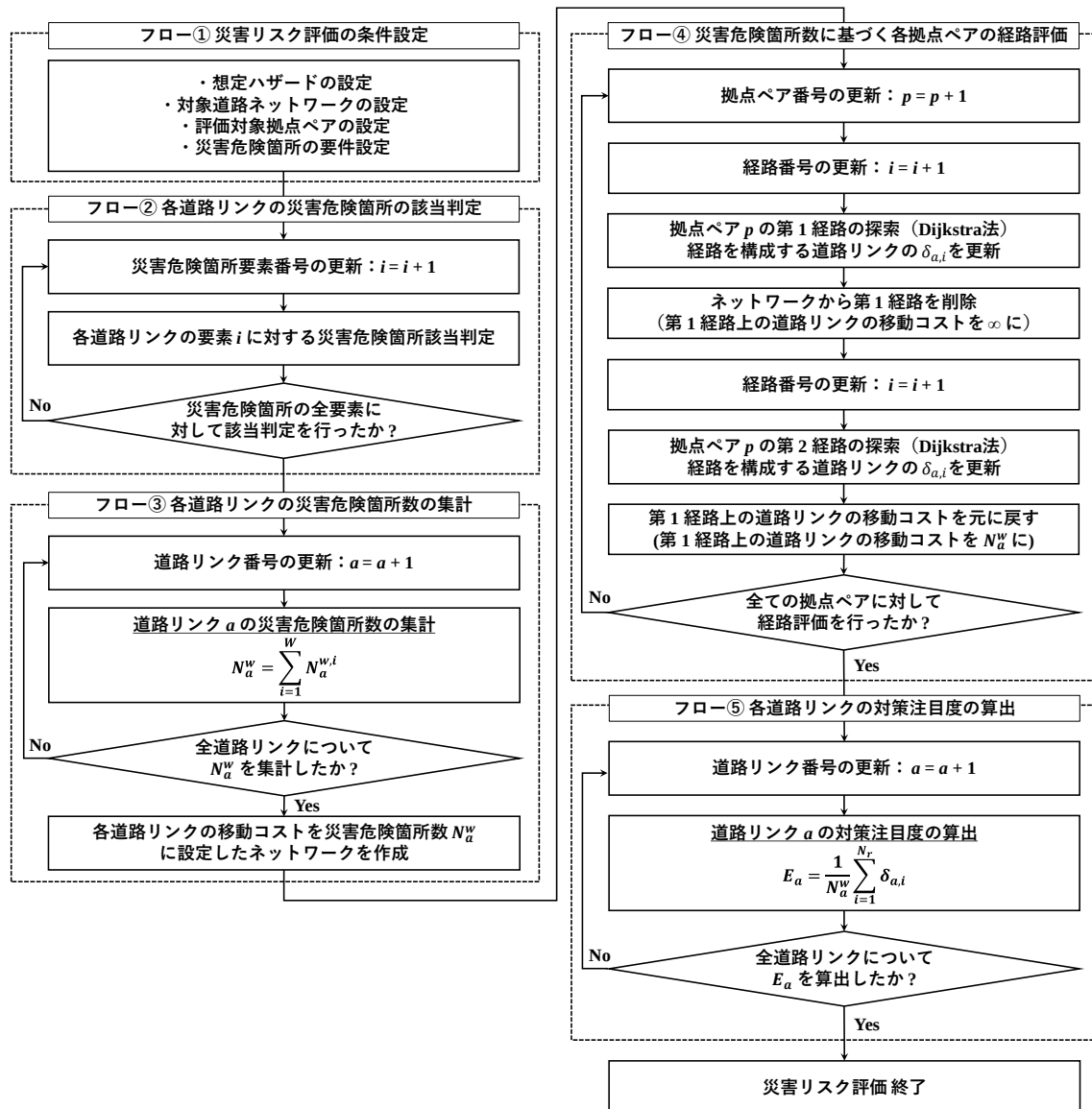


図-2 災害危険箇所を指標とした道路の災害リスク評価手法フロー図

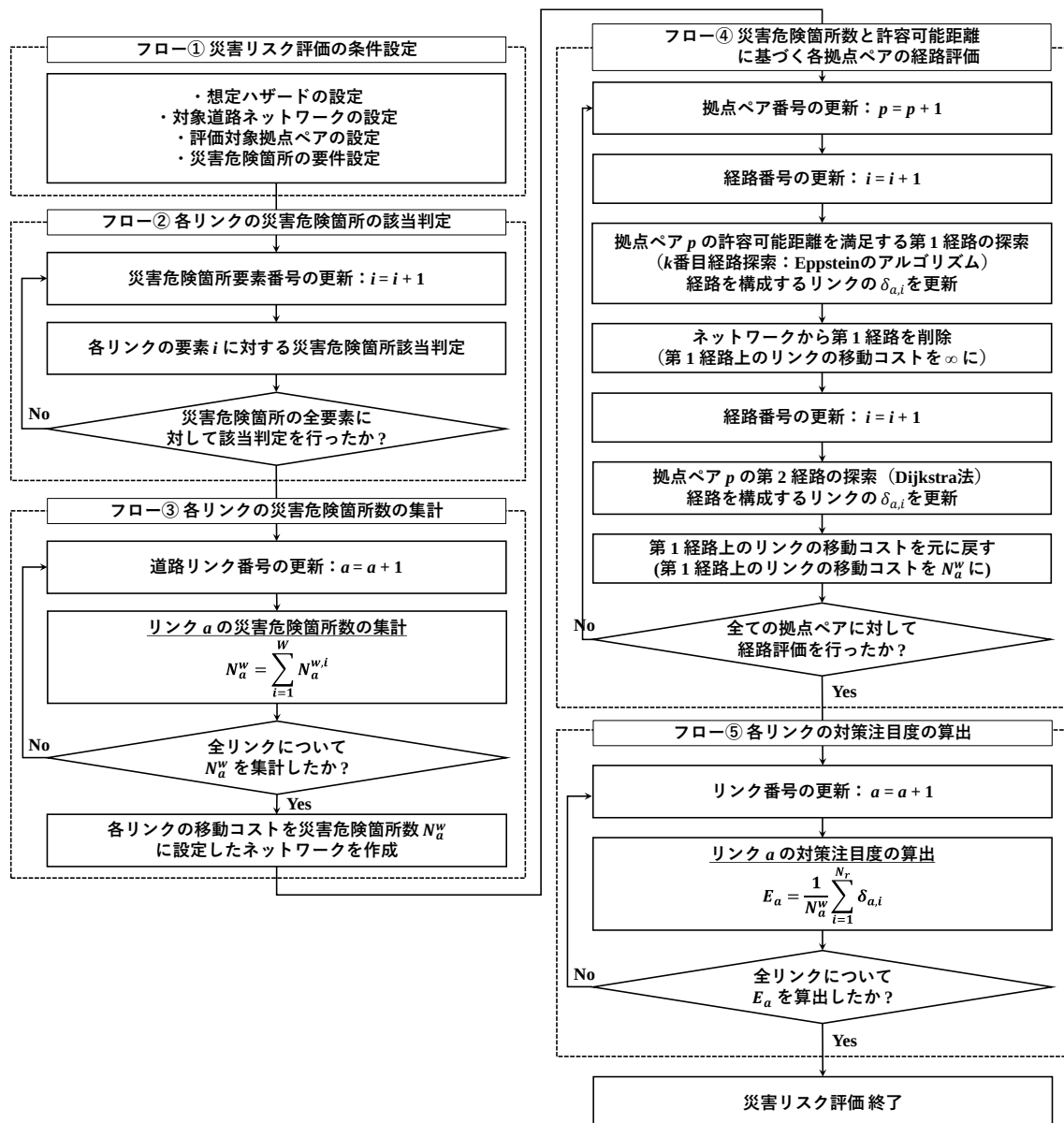


図-3 経路距離を考慮した災害危険箇所を指標とした道路の災害リスク評価手法フロー図

第 4 章 経路距離を考慮した災害危険箇所を指標とした道路の災害リスク評価手法の構築

本章では実際の道路ネットワーク・地域防災計画を対象としたケーススタディを行い、提案した 2 つの手法の妥当性の検証および特性の把握を行なう。具体的には、石川県の緊急輸送道路ネットワークと地域防災計画を対象としたケーススタディを行なった。ただし、2 つの手法のうち拡張手法にあたる「経路距離を考慮した災害危険箇所数を指標とした道路の災害リスク評価手法」については、手法単独での妥当性の検証に留まらず、基礎手法と分析結果を比較した場合における妥当性の検証も行い、それぞれ以下のような知見を得た。

(1) 基礎手法に関する知見

災害危険箇所数を指標とした道路の災害リスク評価手法に関して、①各拠点ペア間の経路を構成するリンクの特性に関する分析、②経路距離と累積災害危険箇所数に関する分析、③経路距離と最短経路距離に関する分析、④第 2 経路抽出の効果に関する分析の 4 つの分析を行い、各分析から以下のような知見を得た。

①の分析からは、危険リンクの経路通過率に着目することで、対策検討・立案のための基礎情報として、対策上の注目度が低いリンク、拠点ペア個別あるいは小数拠点ペアのグループ単位での対策効果が期待できるリンク、拠点ペア全体に共通して対策効果を期待できるリンクの 3 情報を獲得できることを示した。また、経路通過率をリンクの災害危険箇所数と関連付けることで、対策上の注目リンクを上記リンクから抽出する際の判断基準を示した。

②の分析からは、経路距離と累積災害危険箇所数との間には比例関係があり、経路をグルーピングできる可能性を示した。これには、グループごとの共通の対策箇所や課題の抽出、グループ間での対策の優先度や方針分けなどの検討材料としての活用可能性がある。

③の分析では、本ケーススタディの結果に対する経路距離と最短経路距離との関係性を整理した。これより、「第 1 経路と第 2 経路の経路距離はトレードオフの関係にある」ことを述べた。また、経路距離に関する分析を行なうことで、経路の長さや経路距離の偏りなどのチェックに活用可能であることを述べた。

④の分析からは、石川県のような道路ネットワークでは第 2 経路を抽出することで対策方針の期待通りの効果が得られることを確認した。一方、第 2 経路を考慮する場合としない場合とでは評価結果が大きく変動することから、対策方針次第で経路の扱いを慎重に検討する必要があることを指摘した。同様に、道路ネットワークの形状次第では期待した効果が得られないことも想定されることから、この点でも経路の扱いを慎重に検討する必要があることを指摘した。

(2) 経路距離を考慮した災害リスク評価手法に関する知見

累積災害危険箇所数に関する基礎手法との比較を行い、提案手法の特性の把握を行った。その結果、以下のような特性が明らかとなった。

第 1 経路について、基礎手法と比べて累積災害危険箇所数が大きく増加する拠点ペアが散見された。これは、このような拠点ペアでは、許容可能距離を満足する経路には多数の災害危険箇所を含むものしか存在しないことを意味する。すなわち、災害対応の迅速性を確保するためには重点的な対策を要する拠点ペアである。

第 2 経路について、基礎手法と比べて、平均累積災害危険箇所数が減少する可能性があることを確認した。これより、第 1 経路では対策を要する箇所は増大するが、第 2 経路まで含めて拠点ペア全体でみれば、対策を要する箇所は大きく変化しない可能性が示唆される。ただし、これは第 2 経路で災害対応の迅速性を考慮していない場合の結果である。本来の目的である災害対応の迅速性確保のためには第 1 経路への対策が必要であることを認識した上で結果を解釈する必要がある。

第 5 章 道路防災対策の検討・立案のための活用メニューの提案とその事例分析

本章では本研究で提案した 2 つの道路の災害リスク評価手法を道路防災対策の検討・立案へ適用するための活用メニューについて、以下の 3 メニューを提案した。

(1) 対策注目度の評価値順の対策箇所設定とその効果確認

リンクの評価値として得られる対策注目度の順に対策箇所を設定するメニューである。本メニューは「N 本の道路を対策した場合に得られる拠点ペア間の災害リスクの低減効果」の確認や「拠点ペア間の災害リスクをある水準まで低減しようとした場合にどの程度対策を進める必要があるか」を確認するための資料として活用されることを想定している。

(2) 対策注目度上位リンクの比較による検討材料の拡充

対策の検討・立案の際に、対策費用や拠点ペアごとの重要度など、災害リスク評価で扱われていない要素を分析者が考慮することも考えられる。そこで、対策注目度を検討材料の 1 つとして位置づけ、現状ネットワークにおける対策注目度上位リンクの空間分布や、各リンクを対策した場合に次に対策注目度が上位となるリンクの空間分付を比較することで検討材料の拡充を図るメニューである。本メニューは対策箇所選定のための検討材料の拡充を目的として活用されることを想定している。

(3) 高災害リスク拠点ペアの抽出と個別対策の検討

他の拠点ペアに比べて災害リスクが高く、個別での対策が望まれるような拠点ペアを抽出し、個別対策を実施する上で注目すべきリンクを提示することを目的としたメニューである。本メニューは拠点ペア個別の状況把握による個別対策の必要性判断および対策箇所の検討に活用されることを想定している。

第 6 章 結論と今後の課題

本研究で得られた成果を総括し、本研究で提案した道路の災害リスク評価手法の適用条件を図-4 のように整理するとともに、以下のような今後の課題を示している。

(1) 災害危険箇所数を評価指標とした道路ネットワークの評価手法としての課題

本研究では、少ない対策箇所により多くの経路の災害リスクを減少できることを意図して対策注目度指標を提案した。一方で、対策を要する災害危険箇所数の大小に依らず、最も災害リスクを低減できるようなリンクに対策上着目するという考えをとることもできる。このように、道路防災対策上の着眼点として他にどのようなものがあり、さらにそれと災害危険箇所がどのように対応付けられるかを整理することが必要である。

また、本研究では災害危険箇所はその要素に依らず、すべて等しく 1 単位の災害危険箇所として扱った。しかし、対策の容易さや道路被害を生じる危険性など、本来は要素ごとに性質が異なるはずである。要素別の重みの検討や、単純な箇所数での災害リスクの定義からの脱却など、評価指標としての改良・拡張が必要である。また、災害危険箇所の具体的な設定

方法は本研究で示した3例に留まらない。より効果的な道路防災対策を実現するためには、どのような要素を災害危険箇所として設定すべきであるかという議論が必要である。このためには、過去の自然災害での道路被害について、どのような種類の、どのような条件を持つ道路構造物が被害を受けたのか分析し、災害危険箇所の判断条件を整理する必要がある。また、この判断条件をどのようなデータから取得できるかの検討も必要である。

(2) 災害時を対象とした道路ネットワークの評価手法の運用方法に関する課題

本研究では手法の運用方法に関する議論は扱っていない。しかし、運用方法の工夫次第で、より効果的な分析結果を得られる可能性は大いにある。このことから、効果的な運用方法の検討も重要な課題と言える。例えば、拠点が必要とされる時間軸を考慮した拠点ペア設定や、拠点として設定すべき施設の種類や規模に関する検討などが考えられる。

(3) 道路の強化以外の対策手段の適用に関する課題

本研究では対策手段としてリンクの強化に着目した。一方で、リンクの強化だけで全ての備えを行なうことはできず、他の対策手段との併用が欠かせない。例えば、ノードの新設や移転（防災拠点の新設・移設）によって、リンクの強化を経ずに拠点ペアの機能を高めるといった方向性もありうる。本研究で提案した災害危険箇所という考え方が、このような方向性での拡張性を有するのかという点も含め、今後検討されるべき課題であると考ええる。

災害危険箇所数を指標とした道路の災害リスク評価手法	経路距離を考慮した災害危険箇所数を指標とした道路の災害リスク評価手法
方針1：道路ネットワークのどのような機能の向上を図るか ☐ 拠点ペア間の接続性の向上（災害時における接続性の維持）	方針1：道路ネットワークのどのような機能の向上を図るか ☐ 拠点ペア間の接続性の向上（災害時における接続性の維持）
方針2：道路ネットワークの機能向上のために何を改善するか ☐ 拠点ペア間の災害リスク（累積災害危険箇所数）の低減	方針2：道路ネットワークの機能向上のために何を改善するか ☐ 拠点ペア間の災害リスク（累積災害危険箇所数）の低減
方針3：対策候補の経路をどのように考えるか ☐ 拠点ペア間の最小災害リスク（累積災害危険箇所数）経路	方針3：対策候補の経路をどのように考えるか ☐ 拠点ペア間の最小災害リスク（累積災害危険箇所数）経路 ◇ 一定の距離水準（許容可能距離）を満足する経路
方針4：経路の冗長性をどのように考えるか ☐ （可能な限り）重複しない2本の経路によって冗長性を確保*	方針4：経路の冗長性をどのように考えるか ☐ （可能な限り）重複しない2本の経路によって冗長性を確保*
対象とする道路ネットワークの条件について ☐ 異なる拠点ペアの第1経路と第2経路で共通したリンクが通過されるような構造のネットワークである 例：石川県緊急輸送道路ネットワーク	対象とする道路ネットワークの条件について ☐ 異なる拠点ペアの第1経路と第2経路で共通したリンクが通過されるような構造のネットワークである 例：石川県緊急輸送道路ネットワーク
方針5：対策上の注目箇所をどのように考えるか ☐ 通過する経路の本数が多く、災害危険箇所数が少ないリンク（災害危険箇所1箇所あたりの通過経路数が多いリンク） = 少ない対策で多数の経路の災害リスク低減が可能なリンク	方針5：距離制約を付す経路をどのように考えるか ☐ 第1経路にのみ許容可能距離の制約を課す**
方針6：対策上の注目箇所をどのように考えるか ☐ 通過する経路の本数が多く、災害危険箇所数が少ないリンク（災害危険箇所1箇所あたりの通過経路数が多いリンク） = 少ない対策で多数の経路の災害リスク低減が可能なリンク	方針6：対策上の注目箇所をどのように考えるか ☐ 通過する経路の本数が多く、災害危険箇所数が少ないリンク（災害危険箇所1箇所あたりの通過経路数が多いリンク） = 少ない対策で多数の経路の災害リスク低減が可能なリンク

* 単独の経路のみを対象とすることもフレームワーク上可能

* 単独の経路のみを対象とすることもフレームワーク上可能

** 第2経路にも許容可能距離の制約を課すこともフレームワーク上可能

図-4 本研究で提案した道路の災害リスク評価手法の適用条件チェックシート

学位論文審査報告書（甲）

1. 学位論文題目（外国語の場合は和訳を付けること。）

災害危険箇所に着目した道路の災害リスク評価に関する研究

2. 論文提出者 (1) 所 属 環境デザイン学 専攻

(2) 氏 名 おおさわ しゅうじ
大澤 脩司

3. 審査結果の要旨（600～650字）

本学位申請論文は、①道路の災害に対する弱さと②災害時の利用頻度、さらには③複数道路が同時に損傷する可能性、という3つの要素を考慮した道路ネットワークの災害リスク評価を行う新しい方法を提案したものであり、道路が本来包含している危険箇所（災害が発生した場合に危険となる箇所）に着目した評価手法である。具体的には、新たな評価指標・評価手法を提案（開発）することによって、道路防災対策の検討ならびに防災対策案の立案を検討できる新たな方法を提案しているところに、新規性が認められる。本研究では、提案手法を実際の道路ネットワーク（石川県の主要道路ネットワーク）に適用したケーススタディを行い、その妥当性の検証と評価手法の特性把握を行っている。また、実際の道路防災対策の検討（計画立案）のための評価手法の活用メニューの提案も行っている。これまで限界を伴う旅行時間のみで道路防災対策を検討せざるを得なかったが、本手法により接続性確保の視点での議論も可能になった。これらの研究成果は、土木学会論文集 D3（土木計画学）に1編掲載されている。また、国際コミュニケーション能力についてはアジア交通学会（EASTS2019）において発表を行っており問題がない。よって、博士（工学）の学位を授与するに値すると判断した。

4. 審査結果 (1) 判 定（いずれかに○印） 合 格 ・ 不合格

(2) 授与学位 博 士（ 工 学 ）