

Rriority Rank Estimation of Disaster Prevention Base for Road Network Reliability

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2019-04-15 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	https://doi.org/10.24517/00053885

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



道路ネットワークの接続性強化に向けた 防災拠点の重要度ランクの推定

山口 裕通¹・小泉 奏子²・大澤 脩司³・中山 晶一郎⁴

¹正会員 金沢大学助教 理工研究域地球社会基盤学系 (〒 920-1192 金沢市角間町)

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

²非会員 中日本高速道路株式会社 東京支社 横浜保全・サービスセンター (〒 226-0026 神奈川県横浜市長津田町 5509)

E-mail: k.koizumi.aa@c-nexco.co.jp

³学生会員 金沢大学大学院 自然科学研究科 (〒 920-1192 金沢市角間町)

E-mail: osawa-ed904@stu.kanazawa-u.ac.jp

⁴正会員 金沢大学教授 理工研究域地球社会基盤学系 (〒 920-1192 金沢市角間町)

E-mail: nakayama@staff.kanazawa-u.ac.jp

防災拠点は、被害の拡大阻止と生活機能の迅速な復旧のために、災害時においても拠点間をつなぐ連絡・輸送体制が確保されていることが求められる。本研究では、まず、道路ネットワークの耐災害機能強化の視点から、全国各地の地域防災計画における防災拠点指定の現状を整理した。その結果、防災拠点の種類や機能についての全国統一の基準はなく、都道府県ごとに指定の状況が大きく異なり、広域で拠点間の接続性強化を検討することがそもそも困難であることが分かった。その課題を踏まえて、アンケート調査結果から多くの地域・想定で安定的に得られる防災拠点の接続優先度(重要度)ランクを推定した。この重要度ランクに基づいて、道路リンクの耐災害能力強化の優先順位を策定することで、より効率的に防災拠点間の接続性強化を進めることが可能となる。

Key Words: disaster prevention base, disaster prevention plan, road network reliability

1. はじめに

近年日本では大規模災害が頻発し、今後も南海トラフ地震や首都直下地震などが発生すると言われている。阪神淡路大震災や東日本大震災では、交通ネットワークの寸断が広範囲で発生し、救命救急活動や復旧・復興に向けた活動が大きく制約されることとなった。さらに、交通網の途絶から、被災地内の物資の配送拠点が機能せず、物資自体は全国から被災地の市役所指定の倉庫に届いていたものの、多くの避難所では数日間物資が届かなかったといった問題も発生することとなった。

このような災害時には、救命救急活動等による被害の拡大阻止や、生活機能の迅速な復旧に向けた活動を迅速に展開することが求められる。そして、災害時にこのような機能を担う、あるいは補助する施設・場所は「防災拠点」とよばれ、大規模な災害時においても迅速かつ支障なく機能することが求められる。この防災拠点の機能を発揮するためには、災害状況下でも、外部からの物資・人的資源・情報のやり取りを行うために交通・通信ネットワークに接続されている必要がある。とくに、防災拠点となる施設間が走行可能な道路で接続されていることは、被災した地域が外部からの人的・物的な支援を受けるために、最も基本的な要件である

といえよう。

つまり、道路ネットワークの面からは防災機能として、いくつかのリンクが被災し使えなくなるような災害時においても、拠点間の接続性を確保し続ける能力が求められる。実際に、国土交通省が2016年に発表した「道路の防災機能の評価手法(案)」¹⁾では、道路の防災機能の向上効果の計測において、「地域の防災計画等に基づき、災害時において移動経路が確保されている必要のある拠点ペアを評価対象として抽出」²⁾して、代替となりうる経路について、途絶リスク・所要時間を加味しながら防災機能の評価することとしている。災害時における道路ネットワークの防災機能評価を目的として提案された多くの手法^{3),5),6),4)}においても、いくつかの「防災拠点」を設定した上で、その間の接続性を確認するアプローチがとられている。例えば、大澤ら³⁾の研究では、想定しうる複数のハザードを組み込みながら、途絶時の迂回所要時間と到達不可能になるリスクを両方抜いつつ道路ネットワーク上のリンクの脆弱性を評価する手法を提案している。そして、この研究では、接続する防災拠点を県庁から市役所として設定して算出した数値計算例を提示している。

しかし、これらの研究において、「どの拠点を防災拠点とするか?」という疑問に対する答えは、ほとんど明

確には回答されておらず、大澤ら³⁾のように計算「例」を示すにとどまっている。さらに、計算例として採用される拠点ペアについても研究によって大きく異なっている。例えば、わが国内を評価対象とした研究だけに絞っても、岩手県及び高知市を対象に道路ネットワークの信頼性評価の試算を行った原田ら¹¹⁾では「高次医療施設」を、緊急輸送道路の到達可能性を分析した Ahmedら¹²⁾では「県庁と市町村役場」を、道路網の復旧優先度を定めるための基礎指標を提案したうえで、優先順位の高い道路の形状や防災拠点・幹線道路との関係を数理的に明らかにした渡辺・鈴木¹³⁾では「役所・消防署・病院・物資輸送拠点」を、道路ネットワークの復旧戦略検討に有効となる合意形成支援システムを開発した高橋ら¹⁴⁾では「物資集積地と物資供給点としての港・空港・高速道路」を防災拠点として定義して分析している。

行政においても、阪神淡路大震災での教訓を踏まえて、「緊急輸送道路」として防災拠点を相互に連絡する道路を指定して強化する取り組みは行われているが、ここでも「防災拠点」について統一的な基準は存在していない。緊急輸送道路は、第1次から第3次まで設定されるが、その階層区分を決める拠点について全国統一の基準は存在しておらず、各自治体によって異なっている。その結果、「災害時に最低限どのような拠点が走行可能な道路と接続されているべきか？」が明確にされていないまま、多くが規格の高い主要国道等をそのまま指定しているだけにすぎない。つまり、広域においてネットワーク上での拠点間の接続性と各リンクの代替可能性などが考慮されて、緊急輸送道路が指定されているとは言い難いのが現状である。

以上のように、道路ネットワークの設計・対災害能力の強化を図るためには、評価基準となる「拠点」を設定することが重要であるが、「どのような拠点を防災拠点として考えるべきか？」に対する答えが定まっておらず、あいまいなままで道路ネットワークの災害対応能力を進めているのが我が国の現状である。

しかし、多くの拠点機能が、広域の交通ネットワークを介して複数拠点が補完的に機能する必要があることをふまえると、ターゲットがあいまいな状態のままで道路ネットワークの災害対応能力の強化を進めることは非効率である。例えば、物流拠点は被災地内の受け入れ拠点と被災地外の搬出拠点、そしてそれらをつなぐ中継拠点の間が「完全に」接続されている状態でのみ機能を発揮することができる。この場合、機能が途絶する確率は、ほぼネットワーク上で最も脆弱な場所によって決定されることとなる。つまり、片方の地域で重要拠点として指定されて道路機能が強化されていたとしても、対応関係にある拠点が隣の地域で重要視され

ずにそちらの道路ネットワークで途絶が発生してしまえば、全体として機能せずに片方の地域の道路の防災機能強化の効果は小さいものとなってしまふ。このような補完的な性質は、医療拠点間での重症患者処置・救助機能・インフラ復旧等に関する域外からの応援体制、なども同様に考えうるものである。さらに、「接続すべき拠点の優先順位」を広域で統一してネットワーク設計を行うことは、防災拠点間の代替性の視点からも重要である。つまり、被災地にある防災拠点が被害を受けた場合にも、道路ネットワークの接続が確保されていれば、近隣にある防災拠点を代替的に活用しうることができる。以上のような、防災拠点の補完的・代替的な側面を踏まえても、この面において道路ネットワークの防災機能強化を効率的に進めるためには、「接続すべき拠点の優先順位」を広域で統一したうえで、弱点となる場所がないようにバランスよく道路リンクを強化することが求められるといえる。

そこで、本研究は「道路ネットワークの対災害能力の強化にあたって、どの拠点を重要視すべきか？」という疑問に答えることを目的として実施した。ここでの「重要」の意味だが、上述のように道路ネットワークの設計・防災能力強化に向けたものとする。つまり、本論文では「災害時の物流・人流の機能を優先的に確保する必要がある」拠点のことを、(道路ネットワークの対災害能力の強化にあたって,)「重要な」拠点であるとし、その優先順位の現状と決定方法について検討・提案を行う。

まず、整合性を図るべきとされる²⁾、各都道府県の「地域防災計画」をレビューし、そこでの防災拠点の指定状況を整理した。その結果として、ここでも防災拠点の種類や機能についての全国統一の基準はなく、都道府県ごとに指定の状況が大きく異なることが改めて確認される。

この現状を念頭に、道路ネットワークの防災機能向上に向けて、防災拠点の重要度ランクをアンケート調査から推定することを試みた。この方法は、災害時の「機能」と「時間軸」に着目しつつ、多くの地域・想定との差異を踏まえながら統計的に有意な、防災拠点機能の重要度ランクを決定しようというものである。この結果を道路ネットワークの強化に活用することで、より効率的な道路ネットワークの災害対応能力の強化が期待できる。とくに、時間軸を加味した防災拠点の重要度のランク付けがされることで、「高規格な代替経路の整備を通じて、災害時にもつねに接続性が確保されることが望ましい拠点」と、「災害発災後に、迅速に接続性の回復ができるような構造にしておくべき拠点」を分離することができ、より効率的にネットワークの災害対応能力強化の計画を立てることが可能となる。

本論文の構成は、以下のとおりである。2. では、各都道府県の地域防災計画における、「防災拠点」の役割とその指定状況について概観し、その課題を整理する。3. では、自治体と防災を専門とする研究者に対するアンケート調査を通じて、機能と時間軸の視点から防災拠点を重要度ごとにランク分けする方法を述べ、その結果を説明する。そして、4. は本論文の結論である。

2. 地域防災計画における防災拠点

(1) 防災拠点の種類と果たすべき役割

防災拠点は、「広義には避難地・避難所から備蓄倉庫、救援物資の集積所、がれき置き場、応急復旧活動の拠点、本部施設やその予備施設等幅広い概念で捉えられている一方、狭義には本部施設や応急復旧活動の拠点の意味で用いることが多い。」⁷⁾とされている。そして、その役割と規模に応じて、1) コミュニティ防災拠点、2) 地域防災拠点、3) 広域防災拠点の3つの種類が考えられている⁸⁾。まず、1) コミュニティ防災拠点は、町内会や自治会の単位で設置されるもので、地区の集会所を兼ねたコミュニティ防災センターと児童公園レベルのオープンスペースで構成される。つぎに、2) 地域防災拠点では、災害時に市町村等の現地活動拠点や中短期の避難活動が可能な避難地、あるいはコミュニティ防災拠点を補完する機能が期待されるもので、小学校区単位もしくはそれらを包括する規模で設置される。そして、3) 広域防災拠点は、災害時に広域応援のベースキャンプや物資の流通配給基地等に活用されるもので、概ね都道府県により、その管轄区域内に1箇所ないし数箇所設置されるものである。

本研究では、広域の道路ネットワークの視点から、防災拠点の指定方策とその重要性のランク付けを考えていくため、広義の意味での3) 広域防災拠点を主な対象とする。ここで、広域防災拠点の機能は災害時と平常時の機能に分けて考えられる。災害時機能の例としては以下の7つが挙げられる。a) 災害対策本部またはその補完機能、b) 広域支援部隊等の活動要員の一次集結・ベースキャンプ機能、c) 災害医療活動の支援機能、d) 備蓄物資の効率的供給機能、e) 救援物資の中継・分配機能、f) 海外からの救助活動要員の受け入れ機能、g) 海外からの救援物資の受け入れ機能である。また、平常時の機能としては、h) 広域支援部隊等の研修・訓練機能、i) 防災に関する市民等への教育・育成機能、j) 防災研究開発機能がある。これらの機能は、すべて外部（都道府県外）との情報・物資・人の輸送・移動の必要があるものであり、災害時・平常時共に情報通信・交通ネットワークに接続されていることが求められることがわかる。

また、地域防災計画作成にあたってのガイドラインとして、平成14年に「市町村地域防災計画（震災対策編）」作成支援に関する調査検討委員会報告書⁹⁾が作成されており、これによると防災拠点としての機能は、避難者の収容機能のほか、物資備蓄機能、応急救護機能、情報収集伝達機能等もあると言われている。

(2) 各都道府県の防災拠点の指定（記載）状況

ここでは、各都道府県の地域防災計画地震編から、「防災拠点」の記載状況に応じて、各都道府県を3種類に分類していく。なお、本研究では都道府県レベルで指定される防災拠点を対象として分析する。立川防災基地など、国や大都市圏ごとに設定される拠点もあるが、より広域の機能を対象とした少数の拠点であり、重要性が高いことは明確であるためにここでは対象外とする。

まず、一つ目の分類では、防災拠点を定義したうえで、さらに第1次～第3次など重要度に応じた区分がなされている、「防災拠点記載（重要度区分付き）」である。この分類に相当する都道府県は、山形・茨城・石川・岐阜・三重・和歌山・島根・岡山・広島・宮崎・沖縄の11県である。しかし、これらの県で記載された、第1次～第3次の重要度区分は都道府県ごとに統一されたものではない状態である。具体的な内容については、(4)でより詳細に提示・整理していく。

次に、二つ目の分類は、地域防災計画の中で、防災拠点について詳細な施設名称が記載されている、または施設概要などが記載されているものであり、以降では「防災拠点記載（重要度区分なし）」と記す。このような記載がされた都道府県は、全体の過半数を占める、30都道府県である。つまり、大半の都道府県では、防災拠点に関して記載しその定義・指定がされているものの、優先順位までは指定していないことが分かる。

最後に、防災拠点について、明記されていない「記載なし」の県も存在する。この分類に相当する都道府県は、福島・群馬・福井・滋賀・長崎・鹿児島県の6県である。このように、防災拠点の定義が都道府県間で一致しているどころか、そもそも地域防災計画において防災拠点についての記載が全く存在しない都道府県も存在することが明らかになった。

(3) 防災拠点の内容の都道府県間差

つぎに、「記載なし」の6県を除いた、41都道府県の地域防災計画から、「どのような施設が防災拠点として指定されているのか？」といった点を明らかにしていく。本研究での、施設分類には、表-1のような基準を採用していく。これは、沖縄県の緊急輸送道路ネットワーク計画¹⁰⁾における防災拠点総括表(3-1-2の表)を参考にしながら、「拠点が担う機能」ごとに本研究向

表-1 本研究で用いる9種類の拠点分類

	拠点分類名	施設例
A	役所	県庁, 市役所, 役場, 出先機関
B	医療機関	3次救急病院, その他病院, 診療所
C	救助機能拠点	消防本部, 消防署, 警察本部, 警察署, 自衛隊基地
D	物流拠点	トラックターミナル, 運送会社
E	空港・ヘリポート	空港, ヘリポート
F	港	重要港湾, 地方港湾, 漁港
G	道路関連施設	IC, SA, PA, 道の駅, 道路管理者
H	インフラ管理者	電力会社, 水道局, ガス会社, 通信会社
I	備蓄拠点	備蓄基地, 備蓄庫

けに分類しなおしたものである。

ここでは、A. 役所（災害対策本部の機能）、B. 医療、C. 救助等の対応機関の拠点（消防・警察・自衛隊）、I. 備蓄をそれぞれ一つずつ拠点分類として定義している。その上で、物流拠点とインフラの維持管理・復旧に関する拠点は、主な対象とする「道路」との関係性を基準に細かく分類をした。物流拠点については、D. 道路、E. 空路、F. 海路に分けて、それぞれ別の分類として定義した。インフラの維持管理・復旧に係る拠点については、G. 道路に関連する拠点・施設とH. それ以外のものとして分類した。

施設分類ごとに、地域防災計画において「防災拠点」に位置付けられた都道府県数をカウントした結果を表-2に示す。ここでは、拠点分類に含まれる施設が一つ以上指定されていれば、拠点として指定されているとして、カウントしている。この表から、役所と物流拠点の87.8%、医療機関80.5%、港湾74.2%、空港・ヘリポート70.7%といった拠点分類については、多くの都道府県が防災拠点に指定していることを読み取ることができる。

ここで、特に着目すべき点は、‘全都道府県で共通に指定されている施設が全く存在しない’点である。これは、工業団地や工場、農場、空港跡地などを指定している県もあり、それぞれが地域の実情・資源を活用し、より被災リスクの少ない拠点の確保・指定を実施していることも一因である。また、災害対策本部が設置される、県庁や市町村役場でさえも、指定率が100%にならなかった。その原因は、県庁や市町村役場を全く重要視されていない県があるとは考え難く、いくつかの地域防災計画や緊急輸送道路ネットワーク計画では「広域防災拠点」しか記載していなかったために、本部機能と広域防災拠点の機能を分離して考えた結果であるとも推察できる。しかし、いずれにしても、全国で防災拠点の指定に関する基準が大きく異なることは明らかである。

表-2 各拠点分類の各都道府県地域防災計画における指定率

	拠点分類名	指定県数	指定率 (%)
C	役所	36	87.8
A	医療機関	33	80.5
B	救助機能拠点	28	68.3
E	物流拠点	36	87.8
D	空港・ヘリポート	29	70.7
I	港	26	74.2 ¹
F	道路関連施設	27	65.9
G	インフラ管理者	28	68.3
H	備蓄拠点	7	17.1

かである。

(4) 重要度区分付き防災拠点の指定状況

ここでは、「防災拠点記載（重要度区分付き）」の11県を対象に、重要度区分ごとの防災拠点の指定状況を見ていく。これらの県では、防災拠点を第1次防災拠点から第2次、第3次防災拠点というように2または3段階に区分している。

この区分の基準についてみていくと、各県のあいだでかなりばらつきがみられることが分かった。例えば、島根県などでは、災害時に果たす役割の重要度及び目的に応じて区分している。一方で、岡山県などでは、第1次緊急輸送道路に接続する防災拠点を第1次防災拠点、... というような形で道路ネットワーク側の基準を用いて分類が行われている。この岡山県のように、防災拠点の重要度区分を道路ネットワーク側の基準によって決めることは、より接続性が確保されやすい拠点を上位に設定するという点では、妥当な設定方法の一つ

¹ 防災拠点に関する記載がある都道府県のうちで、港湾が立地していない6県（栃木、埼玉、山梨、長野、岐阜、奈良）を除外した、35県で割って算出。

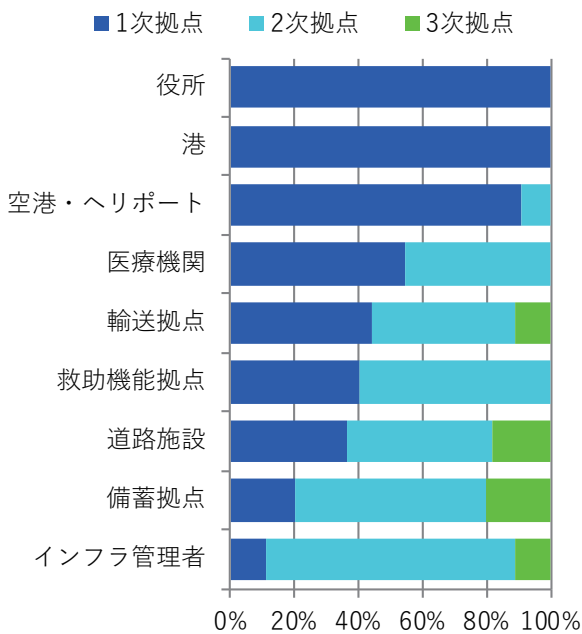


図-1 拠点分類ごとの重要度区分への割り振り状況

といえよう。しかし、この基準を道路ネットワークの災害対応能力の評価・向上に生かすことは不適當である。なぜなら、現状の道路ネットワークの対災害能力が高い場所が、重要度ランクの高い拠点とされるために、この基準を用いてネットワーク上の解析をしても「どことどの間の対災害能力を優先して向上させるべきか？」という疑問に解答することはできないためである。

さらに、拠点ごとの重要度区分への割り振り割合を、図-1 から見ていこう。災害対策本部が設置される、都道府県庁や中心都市の役所については、全ての計画において最も重要度が高い1次拠点として指定されていることが分かる。一方で、港湾や広域物流拠点、病院といった拠点については、1次指定の県と2次指定の県がそれぞれ存在し、(もともと基準が異なるので当然であるが)都道府県間で統一した重要度区分になっているとは言い難い状態であることが確認できる。

(5) 現状の防災拠点指定における現状と課題

地域防災計画における、防災拠点の指定状況をまとめると、以下の2点が明らかになった。1点目は、地域防災計画における「防災拠点」の扱い方は都道府県で大きく異なる点である。拠点を重要度別に区分しているような県もあれば、まったく「防災拠点」について記載がない県も多くあることがわかった。2点目は、記載されている県の中でも、指定に関する基準は大きく異なる点である。その結果として、全都道府県で共通に指定されている施設が全く存在しないというのが現

状であることがわかった。

ここで、道路ネットワークの災害対応能力の強化を考えると、防災拠点の指定に関する基準が、各都道府県で全く統一されていないことは大問題である。物資輸送機能にしても、救命救急機能にしても、災害時に機能するためには出発地から目的地までのすべてで接続性が確保されている必要があり、広域な大規模災害において、どこか一か所で分断されてしまえば、その機能はゼロに等しくなる。つまり、ネットワークの耐災害能力は最も弱いところで決定されるため、ある防災拠点についてとくに対策をとっていない県があると、その周辺の県を中心に全体でその拠点の機能(災害時の対応能力)が低い状態となってしまう。

さらに、より効率的に道路ネットワークの耐災害能力強化を図るためには、防災拠点が「機能の重要性」と「災害時の時間軸」の視点から、優先順位がランク付けされていることが望ましい。しかし、現時点では、たった11県しか重要度区分を設定しておらず、その基準についても11県の中でバラバラである。なかには、接続されている緊急輸送道路の分類が適用されており、道路ネットワークの機能評価に用いるには不適當な基準で重要度区分が決まっているケースもあることが明らかになった。

3. アンケート調査による防災拠点の重要度ランクの設定

(1) 重要度ランクの設定に向けたアイデア

そこで、本研究では、道路ネットワークの耐災害機能評価に用いるための、防災拠点の重要度ランク設定方法を検討・提案する。ここでは、道路ネットワークの災害対応能力の評価には、a) その重要度に応じて区分わけがされていること、b) 日本全国で統一して適用できる基準であること、という2つの要件を満たした防災拠点の分類が望ましいと考える。

まず、a)の重要度の区分わけについてだが、我が国の道路インフラは多くの場所で深刻な老朽化が進行しており、維持管理のために膨大な個所の点検・補修が必要な状態の中で、ネットワークの災害対応能力を維持・強化していくことが求められる。そのため、弱点となりうる箇所をすべて強化することは非現実的であり、災害対応時に各リンクが担う機能(接続する拠点の機能)の重要性に応じて、強化の優先順位を設定することは必須である。とくに、この重要度が時間軸に応じて決められていれば、「ほとんどのハザードに耐える能力が求められるところ」と「すぐに復旧できる状態であれば一次的な途絶も許容できるところ」にわけて、効率的に道路ネットワークの強化を進めることが

A. 防災拠点の重要度についてお聞きします。

参考資料(別紙)を参考にしてお答えください。

問1-1 下記の【想定1】の場合、以下の拠点を被災後早急に走行可能な道路に繋ぐべきだと思うものから順番に数字をふってください。また、円滑な復旧を考えた際に、その拠点をどの時期に繋ぐ必要があるか記号a~eをふってください。拠点の具体的な施設名称は参考資料の拠点表に示しています。

【想定1】熊本地震のように主に自県だけが被害に見舞われ、特に県の中心都市に顕著な被害が生じた場合

順番※1	時期※2	拠点
		役所
		空港・ヘリポート
		港
		救助機能拠点
		医療機関
		輸送拠点
		インフラ管理者
		道路施設
		備蓄拠点

記号	時期
a	~12時間
b	~24時間
c	~48時間
d	~72時間
e	~以降

※1 道路で繋ぐ順番をふってください。
 ※2 どの時期に必要な記号をふってください。
(どちらも同率可)

図-2 実施したアンケート調査票（想定1に関する部分のみ抜粋）

可能となる。

つぎに、b)の日本全国で統一して適用できる基準だが、ある拠点について、ほかの県からの人的・物的な支援を受け入れながら、災害時に救命・救援・復旧機能を最大限に引き出すには、同一の機能を持つほかの都道府県の拠点と接続されて、人的・物的に充実した支援を受けることが望ましい。このとき、災害時により広域で連携した機能を発揮できなくなる確率は、最も弱い都道府県のネットワーク脆弱性によって決まる。たとえば、一部の地域である拠点について高規格な接続性を確保したとしても、他の地域のネットワークが脆弱であり途絶が発生してしまえば、結局広域の連携機能を発揮することは不可能になってしまう。そのため、ネットワークの災害対応能力を効率的に強化するためには、日本全国で最小限共通して重要視する拠点・機能を統一し、そのうえで道路リンクの強化を進めることが望ましいと考える。

しかし、地域の地形や施設配置の状態や、災害の想定内容によっては、「どの拠点を重要視すべきか？」という疑問に対する答えは大きく異なることが予想される。そこで、本研究では、全国の都道府県やそれぞれで視点が異なると考えられる防災の研究者に対して、各防災拠点の重要度に関するアンケート調査を実施し、その結果から得られる統計的に有意な大小関係のみを抽出して拠点の重要度ランクを決める方法をとる。このようなアプローチを採用することで、地域・視点のばらつきを加味した安定的な重要度ランクを推定できる。これは、道路ネットワークの災害対応能力強化に向けた、全国に統一的に適用しうる「拠点の重要度ランク」

として適当な性質だと考えられ、本研究ではアンケート調査を通じてこのようなランクを推定することを目指す。

(2) アンケート調査の概要

a) アンケート調査の調査内容

上述のようなアイディアに基づいて、アンケート調査を通じて、複数の状態において安定的な防災拠点の優先順位を確認していく。

本アンケートでは、2パターンの地震災害の想定の下で、被災後早急に走行可能な道路で繋ぐべき拠点の「順位」と、その「時期」を質問した。2パターンの地震災害は、以下のように設定した：

【想定1】

熊本地震のように主に自県だけが被害に見舞われ、特に県の中心都市に顕著な被害が生じた場合

【想定2】

東日本大震災のように複数の県が被害に見舞われ、自県の複数の都市で顕著な被害が生じた場合
 このような想定を指定することで、災害の規模感を統一しつつ、その中で自治体の空間・経済的な状況による想定の違い、各研究者の視点による想定の違いを踏まえた防災拠点の優先順位データを得ることが期待できる。

そして、まず表-1の9個の拠点分類について、「道路に繋ぐ」というポイントを前提に優先順位と必要となる時期を図-2のアンケート票に回答をいただいた。ここでは、順位について同順位も認めるものとしている。また、発災後に各機能が必要となる時間については、回

表-3 拠点分類ごとの道路接続優先順位の回答結果（自治体・[想定 1]）

	拠点分類名	順位									回答数計	平均順位
		1	2	3	4	5	6	7	8	9		
C	救助機能拠点	35	10	3	2	0	0	0	0	0	50	1.44
B	医療機関	34	9	6	1	0	0	0	0	0	50	1.48
A	役所	33	8	3	2	3	1	0	0	0	50	1.74
I	備蓄拠点	14	11	9	3	6	2	2	1	2	50	3.14
H	インフラ管理者	14	11	5	7	2	2	3	3	1	48	3.23
E	空港・ヘリポート	19	8	6	0	5	3	1	5	2	49	3.29
D	物流拠点	8	14	9	5	2	6	4	1	0	49	3.37
G	道路関連施設	14	10	6	2	5	4	6	2	1	50	3.52
F	港	12	5	6	3	2	1	3	3	6	41	4.07

表-4 拠点分類ごとの道路接続優先順位の回答結果（研究者・[想定 1]）

	拠点分類名	順位									回答数計	平均順位
		1	2	3	4	5	6	7	8	9		
B	医療機関	9	5	5	1	0	0	0	0	0	20	1.90
C	救助機能拠点	8	8	2	0	1	1	0	0	0	20	2.05
A	役所	9	4	5	0	0	1	1	0	0	20	2.25
I	備蓄拠点	1	0	1	7	2	4	1	2	2	20	5.35
G	道路関連施設	0	1	1	1	7	2	5	3	0	20	5.75
D	物流拠点	0	1	0	5	4	3	2	3	2	20	5.80
E	空港・ヘリポート	0	0	4	1	3	5	1	5	1	20	5.85
H	インフラ管理者	0	2	1	5	1	1	4	3	3	20	5.85
F	港	0	0	2	1	0	2	4	2	9	20	7.35

答者が考える時間オーダーを統一するために、図-2 右側の表にある選択肢を提示している。

b) 調査対象と回収率

アンケート調査を行う対象は、全国の 47 都道府県の県庁、政令指定都市 20 市・中核市 48 市の 115 の自治体と、全国土木系教員名簿 2016 年版（大学・高専）に記載されている教員のうち専門に「防災」「減災」と入っている教員（以下、研究者と示す）94 名とした。その結果、自治体からは 61 件（回収率：53.0%）の回答を、研究者からは 20 件（回収率：21.3%）の回答を得た。この回答結果のデータを用いて、各防災拠点分類の重要度ランクを明らかにしていく。

(3) アンケート調査結果の基礎集計

a) 自治体アンケートの基礎集計結果

まずは、自治体を対象とした、優先順位の回答結果を見ていこう。

表-3 は、想定 1 について拠点分類 × 順位ごとの回答数をそれぞれ示したものである。この想定 1 の結果から、役所・救助機能拠点・医療機関の 3 種類は、過半数が優先順位を 1 位に指定しており、特に重要であることが分かる。

一方で、9 種類のどの機能についても優先順位が 1 位、つまり他より優先順位が低くないという回答が存在している。また、特に平均順位が上位であった、役所・救助機能拠点・医療機関の 3 種類の行について見ていくと優先順位が 3 位以上でない、つまりこの 3 種類以外の拠点の方が優先順位が高いという回答があることが確認できる。

このような回答の差異の原因は、自治体（地域）ごとに [想定 1] でイメージされる災害による被害と必要となる対応の状況が大きく異なることが原因と考えられる。たとえば、人口規模・密度が大きい自治体であれば、大多数の人の生活・生命を確保するために大量の物資を輸送し続ける必要があり、物流拠点が道路ネット

順番	拠点
1	A
2	B
3	C
	⋮

- ・ A > B
- ・ A > C
- ・ B > C

(a) 順位がすべて異なる場合の読み替え

順番	拠点
1	A
1	B
2	C
	⋮

- ・ A > B
- ・ A < B
- ・ A > C
- ・ B > C

(b) 同一順位が存在する場合の読み替え

図-3 順位回答結果の大小関係情報への読み替え

ワークに接続されて機能できることの必要性は格段に大きいであろう。このような特徴は、他の種類の防災拠点についても、地域内や隣接地域の配置・数などによって道路ネットワークが果たす役割は大きく異なり、表-3はこのような状況を反映した結果であろうと考えられる。

b) 研究者アンケートの基礎集計結果

つぎに、研究者による、優先順位の回答の基礎集計結果を表-4から見ていこう。研究者の回答結果では、自治体アンケートと異なり、順位1位と回答された拠点分類は、9分類中4つのみであった。このうち、備蓄拠点について1位としていたのは1人の回答のみであり、大半の回答では、上位3つが医療拠点・救助機能拠点・役所であることがわかる。

しかし、それ以外については、自治体による結果と同様に回答者ごとの差異が大きく、各分類ごとの明確な平均順位の傾向はこの表からは把握することができない。

(4) 二項検定による、重要度ランクの決定

上述の結果から、単純に集計しただけでは、防災拠点の明確な順位を確定することが不可能であることが分かった。そこで、本研究では、二項検定を用いて、アンケート調査の回答結果に存在する、統計的に有意に判断できる大小関係を抽出することでグループ分けを試みていく。

まず、順位データを図-3にあるように、全拠点分類ペアごとの大小関係の回答結果に読み替えていく。つまり、図-3(a)のように拠点分類Aが1位、拠点分類Bが2位、拠点分類Cが3位という回答については、すべての拠点分類間の組み合わせごとに、「A>B」「A>C」「B>C」という3つの回答に分解する。

また、図-3(b)のように順位が同じという回答は、「どちらの優先順位もありうる」という回答と考える。そこで、「A=B」(AとBの順位が等しい)という回答の情報は、「A>B」(BよりAの方が順位が高い)という回答が1件、「A<B」(BよりAの方が順位が低い)の回答が1件という合計2件の回答があったとして取り扱う。このように読み替えることによって、この先で実施する二項検定において、「AとBの順位が等しいという回答をした」に相当する情報をその意図通りに統計量に反映することができる。

以上の読み替え作業を、すべての拠点分類ペア (α, β) について実施すると、優先順位の大小関係を回答した数 $N_{\alpha < \beta}$ と $N_{\alpha > \beta}$ が導出される。自治体の[想定1]に対する回答結果について、この読み替えを実施し、すべての組み合わせの $N_{\alpha < \beta}$ を算出した結果が、表-5である。なお、港湾の立地しない自治体については、他の自治体と港についての考え方が大きく異なる可能性が高いため、この表を算出する際に、港の列・行では当該自治体の数をカウントしておらず、港の重要性について回答がないものと扱っている。

そして、この $N_{\alpha < \beta}$ を用いて、帰無仮説:「拠点分類 α と拠点分類 β の優先順位はどの地域・視点でも同じである」、対立仮説:「拠点分類 β は拠点分類 α より優先順位が高い(A>B)」とした仮説検定を実施していく。ここでは、帰無仮説が真である(「 $\alpha < \beta$ 」という回答を得られる確率が0.5である)と仮定したときに、 $N_{(\alpha, \beta)} = N_{\alpha < \beta} + N_{\alpha > \beta}$ 個の回答を得た場合に、 $\alpha < \beta$ という回答が $N_{\alpha < \beta}$ 以下である確率(p-値)を二項分布を用いて算出する。このp-値は、以下の式から算出される:

$$\sum_{k=0}^{N_{\alpha < \beta}} N_{(\alpha, \beta)} C_k \left(\frac{1}{2}\right)^{N_{(\alpha, \beta)}} \quad (1)$$

そして、このp-値が有意水準(本研究では5%とする)より小さい場合には、対立仮説(拠点分類 β は拠点分類 α より優先順位が高い)を採択していく。

自治体・[想定1]の回答結果について、式(1)を用いて、すべての組み合わせの拠点分類ペア (α, β) の大小関係の、p-値を算出した結果が、表-6である。全ての拠点分類ペアのうちで、有意な大小関係が確認できる(p-値が0.05未満である)ペアは、19ペアである。そして、この19ペア以外のp-値を確認すると、ほぼすべて非常に大きい値であり、ほとんど大小関係を判断できないことが分かる。

表-6から確認できる、統計的に有意な大小関係を図示したものが、図-4(a)である。この図は、9種類の拠点分類について、2つの統計的に有意な大小関係があることを表現している。1つ目は、グループ1(救助機能拠点・医療拠点・役所)とグループ2(それ以外)の間

表-5 優先順位の回答数 $N_{\alpha < \beta}$ (自治体・[想定 1])

		β									
		C	B	A	E	I	D	H	G	F	
α	C 救助機能拠点		37	38	21	17	14	18	17	12	
	B 医療拠点	42		35	20	16	10	16	16	12	
	A 役所	39	41		23	16	11	19	17	14	
	E 空港・ヘリポート	45	46	47		30	26	30	30	23	
	I 備蓄拠点	48	49	46	33		32	28	29	23	
	D 物流拠点	48	50	47	35	39		32	36	24	
	H インフラ管理者	50	50	47	32	33	32		30	22	
	G 道路関連施設	48	49	46	35	38	37	37		22	
	F 港	38	38	39	37	30	29	29	30		

表-6 二項検定 p-値の算出結果 (自治体・[想定 1])

		β									
		C	B	A	E	I	D	H	G	F	
α	C 救助機能拠点		0.326	0.500	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	B 医療拠点	-		0.283	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	A 役所	-	-		0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	E 空港・ヘリポート	-	-	-		0.401	0.153	0.450	0.310	0.046	
	I 備蓄拠点	-	-	-	-		0.238	0.304	0.164	0.205	
	D 物流拠点	-	-	-	-	-		0.550	0.500	0.292	
	H インフラ管理者	-	-	-	-	-	-		0.232	0.201	
	G 道路関連施設	-	-	-	-	-	-	-		0.166	
	F 港	-	-	-	-	-	-	-	-		

灰色: 有意水準 (5%) より小さい組み合わせ

の大小関係で、このグループ間のすべてのペアについて、グループ 2 よりグループ 1 の拠点の方が優先順位が高いことを示している。2 つ目の大小関係は、グループ 2 に含まれる、空港・ヘリポートと港の間では前者の方が優先順位が高いという関係である。そしてこの 2 つ以外には、統計的に有意な大小関係は見られなかったことが分かる。

つぎに、図-4 の全体から、災害の想定規模と調査対象の間での結果の違いを見ていこう。まず、自治体から得られた結果の想定 1 と想定 2 を比較すると、全く同じであることが確認できる。つまり、図-4 (a) で見られた 2 つの優先順位は、自治体の視点では災害の規模に対して頑健であるといえる。

(c) と (d) の研究者からの回答結果を見ていくと、港に関連する優先順位のみが異なることが分かる。まず、(c) の研究者・[想定 1] では、港がほかのグループ 2 のすべての拠点より優先度が統計的に有意に低くなってい

る。これは、1 県程度の広さの災害においては、隣県からの道路交通による支援が期待できるため、その機能を保持するための拠点はグループ 2 として確保する必要があるが、大量の物資を遠方から輸送する港湾機能は比較的優先度が低いと判断されたと推察できる。一方で、想定 2 では、隣県も同時に被災している状況であり、相対的に港の重要性が高まるために、物流拠点・備蓄拠点・インフラ管理者との有意な大小関係はない結果となっている。そのなかでも、それほど大量輸送はできないものの、高速かつ長距離の輸送・移動拠点となる、空港・ヘリポートと道路交通の結節点や復旧拠点となる道路関連施設の 2 種類については依然として港湾より優先順位が高い結果となっている。

以上の結果から、港の優先順位については多少の差異が見られるものの、グループ 1 (救助拠点・医療拠点・役所) とグループ 2 (その他) の間の優先順位関係は、4 つの結果全てで共通であり、空間的な要件・専門分野

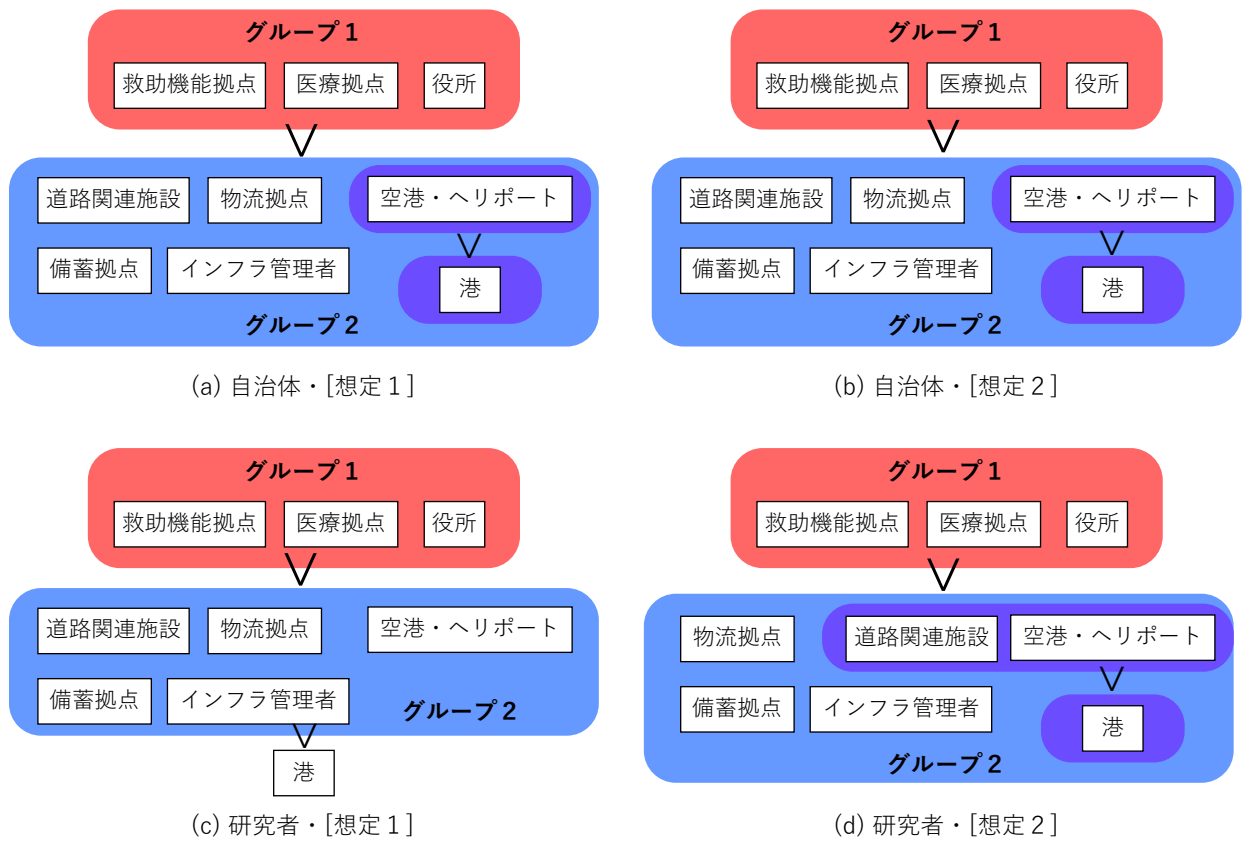


図-4 優先順位の二項検定結果

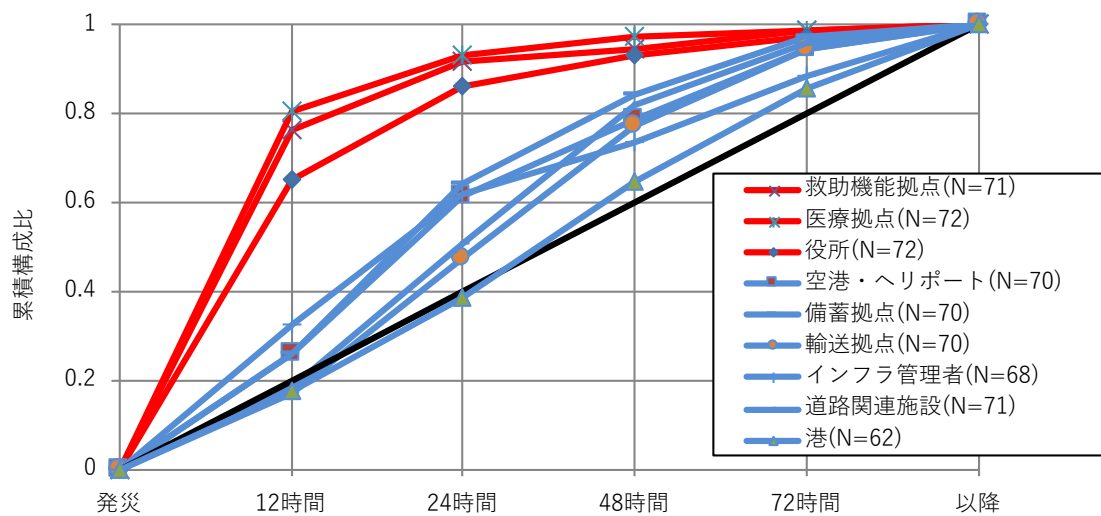


図-5 防災拠点が必要になる時期の回答結果 (累積図)

の違いによる視点の違いに対しても、非常に頑健な大小関係であることが分かる。さらに、(港のみを例外として、) それぞれのグループの内部においては統計的に有意な優先順位の大小が確認できないことが明らかになった。つまり、表-3で確認できる平均順位の大小関係の大半は、空間的な状況の差異や災害の視点によって変わりうるものであり、2つのグループ間での大小関

係のみを取り扱えば十分であるといえる。そこで、グループ1の接続性を確保するために強化すべきリンクの組み合わせを導出する問題と、グループ2の接続性を確保すべきリンクの組み合わせを導出する問題をそれぞれ解くことで、効率的な道路ネットワークの防災機能強化の道筋を立てることが可能である。

(5) 時間軸情報による、優先順位ランク

つぎに、2項検定から得られた優先順位ランクの特徴を、「各拠点が必要となる時間」に関する回答結果から確認していこう。図-5は、「必要となる時間」の回答結果を累積図の形で示したものである。ここでは、上述の優先順位ランクの検定結果から、グループ1とされた3分類を赤線、グループ2を青線で示している。

この結果から、グループ1とグループ2で、明確に必要な時間に差があることが確認された。グループ1に属す拠点は、24時間以内につなぐ必要があると考える回答が80%以上であり、多くのケースにおいて、道路の途絶が発生しない、あるいは早期に道路による接続性を確保することが求められていることが分かる。一方で、グループ2では、24時間以内につなぐ必要があるという回答は多くても65%程度であり、一段階優先順位は低く、発災後一時的に接続性が確保できなくなっても、すぐに繋ぐことができるような環境を整えておく必要がある拠点であるといえよう。

以上の結果から、グループ1の拠点間については、代替経路を確保するなど、災害時において短期的であっても途絶が生じにくいように、道路ネットワークを設計し最大限備えることが求められるといえる。それに対して、グループ2については、グループ1の接続性と比較すれば優先順位は低く、ある程度早期に道路啓開が可能となるような対応・準備をしておくことで十分であるといえよう。

4. おわりに

本研究では、道路ネットワークの接続性強化という視点から、「防災拠点」の現状の問題点を明らかにしたうえで、アンケート調査から安定的に成立する重要度ランクの推定を実施した。

まず、全国の都道府県の地域防災計画（地震編）をレビューし、防災拠点の指定に関する現状を整理した。その結果、1) 防災拠点の定義が都道府県間で一致しているどころか、そもそも地域防災計画において防災拠点についての記載が全く存在しない都道府県も存在すること、2) 記載のある全都道府県のなかでも、共通に指定されている拠点分類は1つも存在せず、基準が都道府県間で大きく異なることが明らかになった。このような状況は、道路ネットワークの災害対応能力の強化という視点では、ネットワークの脆弱性は最も弱いところで決まるといえる性質から、大問題である。

このような問題意識から、本研究では、ネットワークの防災機能を評価する際に利用すべき拠点を、多くの場所・想定に対しても安定的な重要度ランクをつけた形で提示するために、アンケート調査を実施した。自

治体・防災を専門とする研究者による、拠点分類ごとの接続優先度の順位の回答結果から、二項検定で統計的に有意な大小関係のみを抜き出した。その結果、防災拠点は2種類の重要度ランクに分類できることが明らかになった。1つ目は、優先順位の高いグループ1（救助拠点・医療拠点・役所）であり、こちらでは発災当日にも接続が回復していることが望ましく、代替経路も確保するなど、最大限の接続信頼性の確保が望ましい拠点と言える。2つ目は、比較的、優先順位が低いグループ2（道路関連施設、インフラ管理者、物流拠点、空港・ヘリポート、港）で、こちらは災害後に迅速に接続性を回復できるような準備を整えておくことが望ましい拠点であるといえる。また、これらの2つのグループの中では、港の例外的な大小関係を除けば、統計的に有意な大小関係が見られないことが明らかになった。つまり、全国統一的な道路ネットワークの防災機能評価では、2段階で防災拠点の接続性を評価するようなアプローチで十分であり、この評価軸を応用して「災害に対しても最大限接続性を確保すべきODペア・リンク」と「災害後に早急な回復ができるような準備を整備すべきODペア・リンク」を確定・導出することを通じて、拠点をつなぐ道路の防災機能を効率的に向上させることが期待できる。

なお、各地域ごとの空間的・経済的な特徴によっては、本研究で得られたものより細かい優先順位の大小関係が得られることが予想される。このようなことを踏まえると、本研究で得られた2グループ間での優先順位は、国土全体で確保すべき最低限の「必要条件」として扱うことが望ましいであろう。その上で、各地域に応じた状況に応じて必要な拠点を格上げして対応する必要があると考える。このような考え方から、特に重要となる救助機能拠点・医療機関・役所の間での高度な接続性を日本全国で確保しながら、そのネットワークに各地域ごとに重要な拠点を接続する戦略の下で計画・設計を行うことで、より効率的に道路ネットワークの災害対応能力を高めることができるであろう。

なお、本研究で提示した分類を実際に適用するためには、2つの課題が残っている。1点目は、9種類の拠点分類に含まれる施設を確定することである。本研究では、表-1にあるように、各拠点分類に含まれる施設について、機能を持つものを広く含んだ形で分析を実施した。しかし、道路ネットワークの強化を効率的に実施するためには、拠点機能に必須な施設のみに絞り込むことが望ましい。そのため、同じ拠点分類の中の施設について精査し、広域での災害対応機能に影響が小さい施設については優先順位が低いものとして除外すべきであり、その基準の検討が必要となる。

2点目は、本研究で実施したアンケート調査の災害想

定の範囲である。ここでは、イメージしやすいように [想定1] と [想定2] として、東日本大震災と熊本地震を例示して、アンケート調査を実施した。そのために、地震に限定された関係を抽出している可能性は否定できない。つまり、本研究の重要度ランクは地震災害においては頑健であることが確認されたが、実装に向けては同様かつ想定を広げたアンケートを追加的に実施しより広範囲な頑健性を確認することが望ましいであろう。

謝辞： 本研究の一部は、国土交通省新道路技術会議において採択され、国土交通省国土技術政策総合研究所の委託研究により実施したものである。さらに、多くの自治体・研究者の方々に、防災拠点に関するアンケート調査にご協力をいただいた。これらのご協力により集まった貴重な情報がなければ、本論文を執筆することは不可能であり、この場を借り、ご協力いただいた皆様に心より感謝いたします。

参考文献

- 1) 国土交通省 道路局 都市局：道路の防災機能の評価手法（案），2016. (<http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-hyouka/pdf/hyouka.pdf>, last access: 2018.2.23).
- 2) 国土交通省 道路局 都市局：道路ネットワークの防災機能の向上効果 計測マニュアル（案），2016. (http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-hyouka/pdf/nw_manual.pdf, last access: 2018.2.23)
- 3) 大澤脩司, 藤生慎, 中山晶一郎, 高山純一：地震に対する道路網の脆弱区間評価手法の構築と緊急輸送道路網への適用, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.73, No.4, pp. I.467-I.478, 2017.
- 4) Sanchez-Silva, M., Daniels, M., Leras, G. and Patino, D.: A transport network reliability model for the efficient assignment of resources, *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 39, No.1, pp.47-63, 2005.
- 5) Bell, M. G. H.: A game theory approach to measuring the performance reliability of transport networks, *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 34, No.6, pp.533-545, 2005.
- 6) Szeto, W. Y.: Cooperative game approaches to measuring network reliability considering paradoxes, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 19, No.2, pp.229-241, 2011.
- 7) 首都圏広域防災拠点整備協議会：首都圏広域防災拠点整備基本構想, 2001. (<http://www.bousai.go.jp/jishin/sonota/pdf/kihonkousou.pdf>, last access: 2018.2.23).
- 8) 総務省消防庁：広域防災拠点が果たすべき消防防災機能のあり方に関する調査検討会報告書, 2003. (http://www.fdma.go.jp/html/new/030815_hokoku.pdf, last access: 2018.2.23).
- 9) (財) 消防科学総合センター：「市町村地域防災計画（震災対策編）」作成支援に関する調査検討委員会報告書—「市町村地域防災計画（震災対策編）」作成の手引き—, 2002 (http://www.bousaihaku.com/bousaihaku2/images/plan/pdf/i_all.pdf, last access: 2018.2.23).
- 10) 沖縄県緊急輸送道路ネットワーク計画等策定協議会：緊急輸送道路ネットワーク計画, 2011 (<http://www.pref.okinawa.jp/site/doboku/dorokan/hoshu/kinkyu.html>, last access: 2018.2.23).
- 11) 原田慎也, 栄徳洋平, 戸根智弘, 三木智, 若林拓史: 道路の連結信頼性の実用的な評価方法の提案, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.69, No.5, pp.67-74, 2013.
- 12) Ahmed, W. U., 大澤脩司, 藤生慎, 高山純一, 中山晶一郎: 地震に対する道路網の脆弱区間評価手法の構築と緊急輸送道路網への適用, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.72, No.4, pp.756-767, 2016.
- 13) 渡辺 泰弘, 鈴木 勉: 復旧優先度指標による震後復旧優先道路形状に関する数理的研究, 都市計画論文集, No.44, pp.30-37, 2009.
- 14) 高橋亨輔, 白木渡, 岩原廣彦, 井面仁志, 磯田千雅子: 道路ネットワーク復旧戦略検討のための合意形成支援システムの開発, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), Vol.71, No.2, pp.176-187, 2015.

(2018. 2. 23 受付)

PRIORITY RANK ESTIMATION OF DISASTER PREVENTION BASE FOR ROAD NETWORK RELIABILITY

Hiromichi YAMAGUCHI, Kanako KOIZUMI, Shuji OSAWA and Shoichiro NAKAYAMA

As ‘network reliability’, road networks are required to connect important bases even in large-scale disasters for life-saving and quick recovery. Many studies proposed the methodologies for evaluating the network reliability, however only a few studies answered “Which base should be used for evaluation as important one?” In this paper, the problems of the current disaster prevention base are organized, and the priority ranks of disaster prevention base are estimated. At first, from the viewpoint of road network reliability, the current state of disaster prevention base designation in the regional disaster prevention plan across the country was arranged. As a results, we presented that there is no criterion for disaster prevention bases designation and the type of designated bases are different between prefectures. Based on that, we estimated the simple priority ranks of disaster prevention bases which stably obtained with many areas / assumptions. By clarifying this estimated ranks as the national unity standard, we will be able to improve the network reliability efficiently.