

災害時の道路啓開における路線の優先度の評価に関する研究

神田 忠士¹・間渕 利明²・金子 正洋³・松本 幸司⁴

¹非会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 国土防災研究室 (〒305-0804茨城県つくば市旭一番地)
E-mail:kanda-t92tb@nilim.go.jp

²正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 構造・基礎研究室 (〒305-0804茨城県つくば市旭一番地)
(元国土交通省国土技術政策総合研究所 地震防災研究室)
E-mail:mabuchi-t2cn@nilim.go.jp

³正会員 独立行政法人 土木研究所 (〒305-8516茨城県つくば市南原一番地6)
(元国土交通省国土技術政策総合研究所 地震防災研究室)
E-mail:m-kaneko@pwri.go.jp

⁴正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 国土防災研究室 (〒305-0804茨城県つくば市旭一番地)
E-mail:matsumoto-k88ce@nilim.go.jp

東日本大震災の経験を受け、各地で道路啓開計画の検討・策定が行われている。如何にして効率良く被災地の外から被災地までの道路ネットワークを確保するのが重要な課題であり、被災想定に合わせ、あらかじめ資機材の配置や人員確保の準備等を進めるための道路ネットワークの事前の評価が必要と言える。

本研究では、自治体等での道路啓開計画の策定に伴い道路ネットワークの評価を行うことを想定し、発災後 72 時間までに行うべき重要な災害対応行動を地域防災計画等から抽出し、GIS ソフトを用い最短時間経路の重ね合わせを試行した。さらに、現場での適用のしやすさを考慮し、災害対応行動の集約化を試みた。また、災害対応行動に必要な「量」の観点を取り込むことで、経路の重み付けをした道路ネットワークの評価を試行した。

Key Words : earthquake, disaster response activities, road clearing, GIS

1. 研究の目的及び経緯

地震発生時には、被災した人を救助・援助するために、救急・救命、消火活動、医療活動、水・食料・医薬品等の提供などの様々な行動(災害対応行動)が、多数の組織によって実施される。特に発災後 72 時間までの時間帯は被災者の生存率に大きく影響するため、道路啓開を行い、早期の道路ネットワーク確保を行う必要がある。

従来、緊急輸送道路ネットワーク計画等策定要領に基づき「緊急輸送道路」が定められているが、道路啓開の順序についての詳細な定めは無く、各地方整備局での道路啓開計画策定で改めて、啓開ルートを選定と啓開の順序設定が行われている状況である。

本研究では、こういった道路啓開計画策定の際に定量的且つ視覚的に道路啓開の優先度を検討する手法の検討を行うことを目的としている。間渕ら¹⁾は災害対応行動について、市販の GIS ソフトを用い拠点間の最短時間経路を重ねて表示させ、重ね合わせられた経路の数が比較

的多いものを「災害対応行動」に必要な道路として評価する手法を試行した。

本研究はそれをベースに発災直後～3 時間後、3 時間後～24 時間後、24 時間後～72 時間後までの 3 つの時間帯において、災害対応行動の最短時間経路と対応必要人数から道路啓開の優先度を評価し、道路啓開を優先して行う路線(区間)を抽出する手法の検討を行った。

2. 研究内容

(1) ネットワーク評価に際しての災害対応行動の集約 a)集約の概要

間渕ら¹⁾の試行の手法では、一つの災害対応行動でも拠点の数だけの経路を扱う必要があり膨大であるため、本研究では現場での適用のしやすさを考慮し、最短経路の重なり具合が極端に変わらない範囲で災害対応行動の集約(抽出)を試みた。

集約(抽出)は、図-1 のフローにより岩手県をモデル

として行った。災害対応行動は地域防災計画等の各種防災計画を元に間瀬ら¹⁾が定義づけしており、タイムスパンも発災後1ヶ月以降のタイミングで行われる行動も含まれている。本研究では道路啓開の目的に鑑み、災害発生後72時間後までの多くの災害対応行動の中(段階A)から、中継拠点を經由する行動(トリップチェーン)を考慮した集約(段階B)を行い、次に被災者の「人命を救う」ことに直結する代表的なものを抽出(段階C)し、さらに「人命を救う」ために重要と考えられるものを抽出した上で、組み合わせを変え、感度分析をした上で集約(段階D)を行った。

その結果、災害対応行動は114行動から31行動まで集約出来た。

b) 段階Bでの集約

段階Bではトリップチェーンとして人の移動だけでなく、モノ(支援物資等)の移動についても着目し、空間的ダイアグラムを作成した上で集約化を行った。図-2に救命救急や緊急輸送活動の例を示している。自衛隊や消防隊は被災現場である市町村の外から被災現場まで駆けつける際、広域防災拠点や当該市町村内の消防本部を中継基地としており、被災現場までの一連の行動をひとつの災害対応行動として集約するものである。緊急輸送活動においても、緊急輸送物資の避難所までの一連の移動や、物資の仕分けをする担当者の仕分けを行う体育館までの一連の移動をひとつの災害対応行動として集約した。

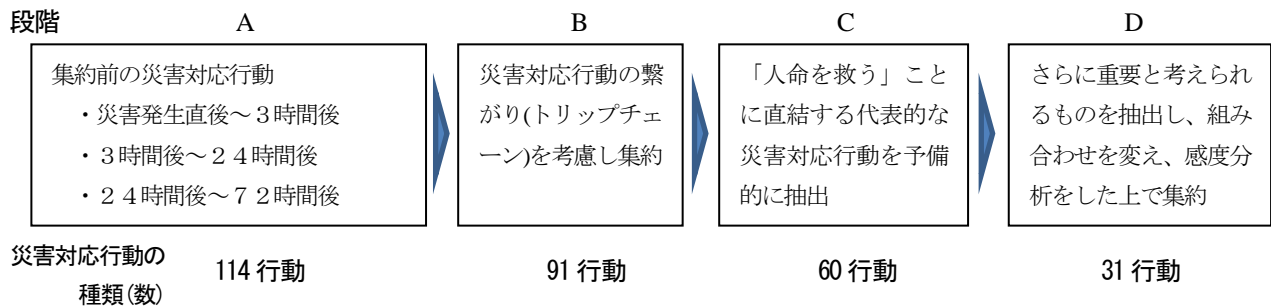


図-1 災害対応行動の集約化の過程

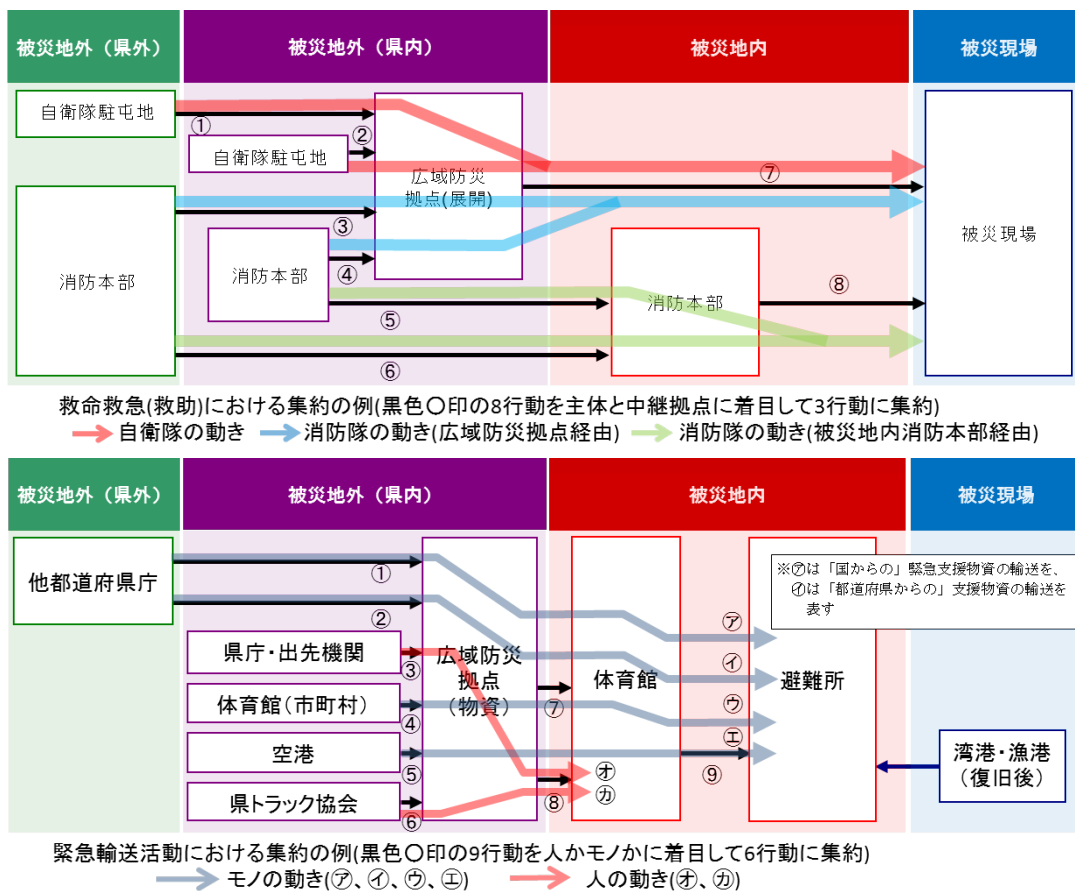


図-2 トリップチェーンによる災害対応行動の集約の例

c) 段階Cでの集約

段階Cでは「人命を救う」ことに直結する代表的な行動として、「救急救命(救助)」「医療(処置)」「消防(消火・警戒)」「緊急輸送活動」に分類される災害対応行動を抽出した。

d) 段階Dでの集約

段階Dにおいては、まず、段階Cで抽出された災害対応行動から、さらなる絞り込みを行うため、「人命を救う」ために重要と考えられる条件を下記のように設定した。

イ：被災現場に直結する災害対応行動

被災現場に直接接続する災害対応行動はより重要だという趣旨で設定した。

ロ：長時間継続して行われる災害対応行動

複数の時間帯で行われる災害対応行動はその

継続性のため、より重要だという趣旨で設定した。

ハ：トリップチェーンを形成する災害対応行動
トリップチェーンを形成した場合、地理的により広範囲な行動となるため、より重要だという趣旨で設定した。

なお、段階Cで抽出された災害対応行動60種類と上記3条件に合致する災害対応行動との関係は図-3のようになる。

感度分析は、この3つの条件の組み合わせを変えて(表-1の試行①～試行⑦)、各条件の組み合わせに合致する災害対応行動を抽出し、各時間帯毎に経路一致率の変化を調べた。

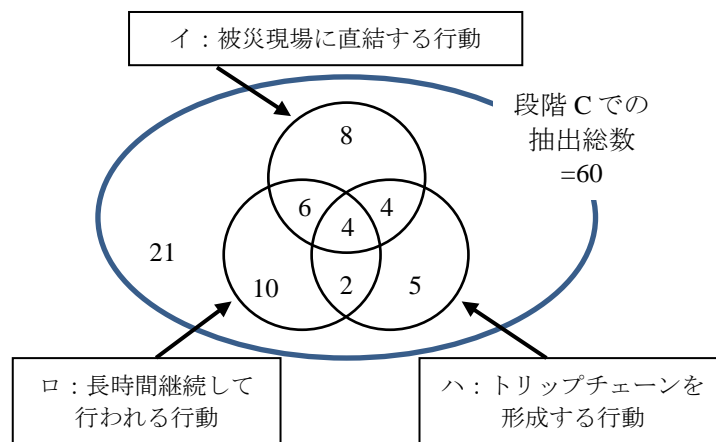


図-3 段階Cで抽出された災害対応行動と
“「人命を救う」のに重要と考えられる3つの条件”に合致する災害対応行動との関係
(円内の数字はそれぞれの条件に合致する災害対応行動の数)

表-1 試行ケース一覧

	行動数	「人命を救う」ために重要と考えられる条件			各時間帯毎の行動数		
		被災現場に直結する行動	長時間継続して行われる行動	トリップチェーンを形成する行動	～3時間後	3～24時間後	24～72時間後
試行①	22	●			5	21	7
試行②	22		●		12	22	13
試行③	15			●	5	11	7
試行④	34	●	●		12	33	14
試行⑤	31		●	●	12	27	17
試行⑥	29	●		●	7	24	13
試行⑦	39	●	●	●	12	34	18

経路一致率は段階Cで選定された道路の実延長に対する各試行で選定された道路の実延長の割合とした。例えば、段階Cで選定された道路ネットワーク

として図-4(左図)を考える。試行αで図-4(右図)の道路が選定された場合の経路一致率は81.8%となる。

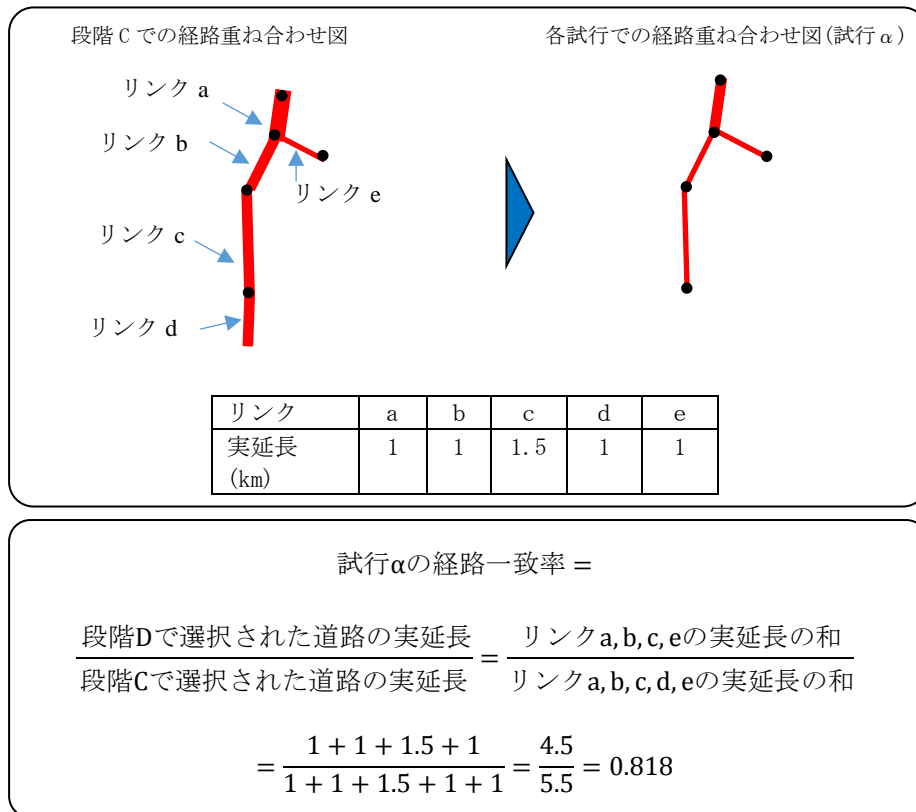


図-4 経路一致率の計算の例

各時間帯毎に条件の組み合わせを変えた際の行動数と経路一致率の折れ線グラフを作成したところ、3時間後～24時間後の時間帯で試行⑤にあたる組み合わせにおいて、経路一致率の折れ線グラフの屈曲点が明瞭に現れた(図-5の赤線の赤丸、経路一致率93.0%)。

災害対応行動の集約にあたり、出来るだけ少ない災害対応行動で全体の特性を効率よく表現できることが必要であり、本研究では行動数の増加に対しての経路一致率の上昇率が少なくなる限界点、つまり折れ線グラフの屈曲点で災害対応行動の組み合わせを決めることが最適だと判断した。

それ以外の時間帯(直後～3時間後、24時間後～72時間後)での試行⑤の経路一致率も3時間後～24時間後の経路一致率と大差がない(それぞれ100.0%(図-5の青線の赤丸)と88.2%(図-5の緑線の赤丸))ことが分かった。

したがって、試行⑤にあたる組み合わせ(31行動)を集約(抽出)結果とした。

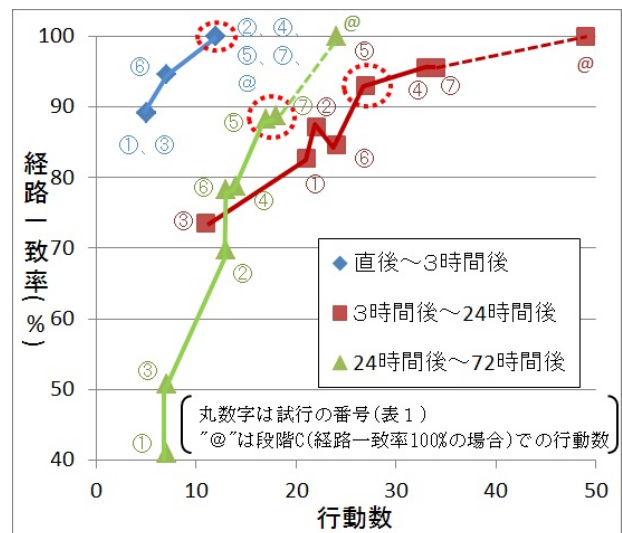


図-5 各試行による経路一致率の変化

表-2に集約(抽出)された災害対応行動の一覧を記載する。

表-2 災害対応行動の集約(抽出)結果

番号	分類	行動主体	出発地	中継地	目的地 (括弧内の斜字体は災害対応行動の補足説明を示す)	道路利用のタイミング		
						直後～ 3時間	3時間～ 24時間	24時間～ 72時間
1	救急救命(救助)	救急隊	消防本部 (被災地外)	広域防災拠点	被災現場	○	○	
2		救急隊	消防本部 (被災地外)	消防本部 (被災地内)	被災現場	○	○	
3		自衛隊	駐屯地	広域防災拠点	被災現場	○	○	
4		警察隊	警察署	—	被災現場	○	○	
5	医療(処置)	DMAT	医療機関 (被災地外)	災害拠点病院 (被災地内)	被災現場		○	
6		DMAT	医療機関 (被災地外)	空港	被災現場		○	
7		医者・看護師	県立病院	—	避難所・医療施設 (被災地内)	○	○	
8		医者・看護師	自衛隊 駐屯地	—	避難所・医療施設 (被災地内)	○	○	
9		医者・看護師	赤十字病院	—	避難所・医療施設 (被災地内)	○	○	
10		重症患者	被災現場	災害拠点病院 (被災地内)	広域防災拠点		○	
11		重症患者	被災現場	救急告示病院 (被災地内)	広域防災拠点		○	
12		重症患者	避難所	救急告示病院 (被災地内)	広域防災拠点		○	
13		市役所等職員	市役所等	—	救護所 (設置)	○	○	
14		医者・看護師	市町村営医療機関	—	救護所 (医療班の編成・派遣)	○	○	
15		保健師	都道府県庁等	—	救護所 (保健指導の実施)		○	○
16		傷病者	被災現場	—	緊急ヘリポート		○	○
17		傷病者	被災現場	広域防災拠点	災害拠点病院 (被災地外)		○	○

(次ページに続く)

番号	分類	行動主体	出発地	中継地	目的地 (括弧内の斜字体は災害対応行動の補足説明を示す)	道路利用のタイミング		
						直後～ 3時間	3時間～ 24時間	24時間～ 72時間
18	消防 (消火・警戒)	消防隊	消防本部 (被災地内)	—	被災現場	○	○	○
19		消防隊	消防本部 (被災地外)	—	被災現場 (消火活動)		○	○
20		消防隊	消防本部 (被災地外)	—	被災現場 (特殊消火活動)		○	○
21		消防隊	消防本部 (被災地外)	—	被災現場への 出動(輸送・補給活動)		○	○
22	緊急輸送活動	石油会社等	油槽所・ 精油所	—	ガソリンスタンド		○	○
23		石油会社等	油槽所・ 精油所	—	病院・公共機関		○	○
24		物流会社等	他都道府県庁	広域防災拠点・ 体育館	避難所(国からの 緊急支援物資の輸送)			○
25		物流会社等	他都道府県庁	広域防災拠点・ 体育館	避難所(都道府 県からの緊急 支援物資の輸送)			○
26		物資の仕分け 要員	都道府県庁 等	広域防災 拠点	体育館	○	○	○
27		物流会社等	市町村 (被災地外)	広域防災拠点・ 体育館	避難所(市町村 からの緊急支 援物資の輸送)			○
28		物流会社等	空港	広域防災拠点・ 体育館	避難所			○
29		物流専門家	県トラック 協会	広域防災 拠点	体育館	○	○	○
30		物流会社等	流通団地・ 流通センター	—	大型小売店 (被災地内)		○	○
31		物流会社等	大型小売店 (被災地内)	—	流通団地・流 通センター(不 要品の回収)		○	○

(2) 災害対応行動の重み付けの試行

前項では「災害対応行動の数」で道路ネットワークの評価を行った。次に、災害対応行動に必要な「量」を反映させることで重み付けをした評価を行った。「量」を表す典型的なものとして「負傷者数」といった人数に関連するものが多いので、前項で集約化された災害対応行動に応じた重み付け(この場合、災害対応行動を必要とする対象者の人数の算出)を行い、道路ネットワークの評価を試みた。モデルである岩手県の場合、東日本大震災での被災実績^{2)~6)}を参考に重み付けを行った。

表-3 災害対応行動ごとの指標

災害対応行動	重み付けの指標
救急救命	要救助者数
医療	死者・行方不明者・負傷者数
消防(消火)	焼死者数
緊急輸送活動	飲料水供給者数 [※]

※「飲料水輸送量(1日)/1人1日あたりに必要な水分量」で計算

その結果、災害対応行動による道路ネットワークの評価を「行動数」から「救援を必要とする人数」で行うことが可能になった(図-6)。

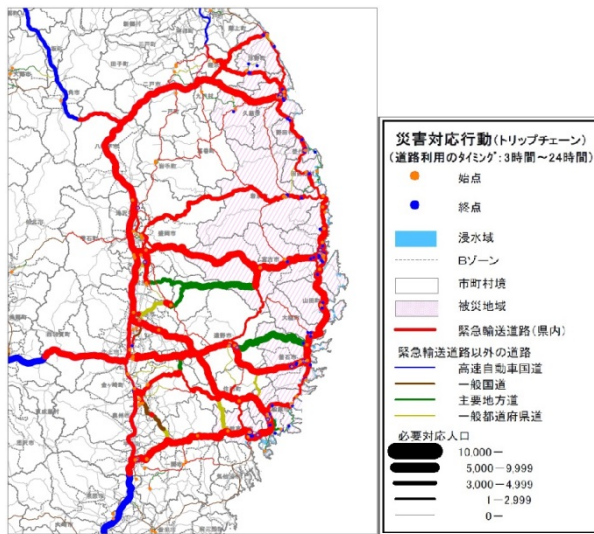


図-6 モデルでの道路ネットワーク評価
(発災後 3~24 時間後の例)

モデルでは過去の災害の実績のデータを用いて重み付けを行ったが、他の地区では地域防災計画等に記載されている被災想定を使って算出することになる。

(3) 地方整備局や地方自治体における道路啓開計画の事例収集と比較

一方、いくつかの地方整備局や地方自治体において既に道路啓開計画が策定されており、これらを横断的に比較整理することで、道路啓開計画に関する問題認識を明らかにした。

道路啓開計画の比較整理に先立ち、対象とする計画を抽出するにあたり、以下のように比較整理項目を設定した。

- 路線選定に当たっての考え方
- 路線選定上の課題
- 啓開オペレーション上考慮すべき課題
- さらなる取り組みの状況

上の2つは道路啓開を優先して行う路線(区間)の考え方や問題認識を把握するために設定し、下の2つは実際の道路啓開作業を行う上での問題認識を把握するために設定した。

これら4つの比較整理項目が記載されており、かつ地域と策定主体のバランスを考慮し、対象計画を下記の3つとした。

- 中部版くしの歯作戦(H26.5 更新)⁷⁾
- 首都直下地震道路啓開計画(初版)
(H27.2 策定)⁸⁾
- 愛媛県道路啓開計画(H26.3 策定)⁹⁾

比較整理の結果(表-4)、路線選定に当たっては災害対応拠点を結ぶ緊急輸送道路を基本としているが、被災地到達までの迅速性が求められていることから、被災の少なさ、耐震性の高さを考慮している計画もあった。あるいは発災後に被害の少ない路線に変更

して啓開作業を行うことを想定している計画もあった。

表-4 道路啓開計画の比較

	中部版くしの歯作戦	首都直下地震道路啓開計画(初版)	愛媛県道路啓開計画(概要版)
	平成26年5月改訂	平成27年2月策定	平成26年3月策定
路線選定上の課題	外海は地震発生後10分以内に1mの高さの津波が到達(p7) 大規模地震発生後は津波警報発令中であり、パトロール車による沿岸部のパトロールが出来ない。(p22)	都心部には想定される被災者数や被害規模に比べ、道路啓開等に必要となる人員、物資や機材が不足している。(p3)	大規模災害が発生した直後においては、被災状況の把握が不十分な状況の中で、啓開作業着手を余儀なくされることが予想される。(p4)
路線選定に当たっての考え方	主に緊急輸送道路の中から、3つのSTEPに分けて選定する。(p13) 災害協定業者から報告された資機材・人員確保状況と被災状況等により作業計画の検討を実施する。(p28)	都心に向けた八方向毎に優先啓開ルートを設定 各道路管理者が連携・協力のもと、八方向毎に、高速道路、国道、都道の被害が少ない区間を交互に利用する。(p4) 発災時には、被災箇所・被災規模が比較的少ない路線・区間を交互に組み合わせ優先啓開ルートを設定する。(p12)	緊急輸送道路を啓開路線に選定することが基本である。 目標地点の重要度を考慮し、ステップ(I~III)を設定した。 なお、ステップI及びII時点では、資機材を集中し目標地点に対して早くアクセスすることを重視し、1つの目標地点に対して複数路線の啓開は考えないことにした。(p4) 道路啓開作業と並行して、道路の被害状況及び復旧見込み等の情報整理を進める中で、適切な緊急輸送ルートを選定し、啓開路線を決定することが必要となる。(p12)
啓開オペレーション上考慮すべき点	道路管理者間で災害協定業者が重複しないよう担当区間を事前調整する。(p19)	特に環状八号線の内側を中心に、深刻な道路交通麻痺等の発生が懸念されている(p20)	障害物等の除去及び集積(p14)
選定路線において啓開作業をより効率化させるための取り組み	事前の対策箇所を抽出する。(p32) 各ルートの道路啓開の難易度を評価する。(p33)	より効率的に車両を撤去出来るよう新たな撤去技術に関する研究開発を進める。(p53)	各市町を網羅する道路啓開サポートマップを作成(p3)

※括弧内はそれぞれの計画の出典ページを指す

(4) 今後の課題等

本研究では拠点間移動の需要面から事前に啓開路線を決めておく、という観点から道路ネットワークの評価を行ってきたが、既往の道路啓開においては、事前に啓開路線を計画の中で位置づけるだけでなく、発災時に被災状況を確認した上で啓開路線を決定していた。

また、道路啓開作業に必要な資機材の調達・配置や実際の被害状況の早期把握、道路交通麻痺への対応、瓦礫の集積、等様々な課題を想定していた。

したがって、事前に啓開路線を想定する際、需要の他に被害想定や資機材の準備状況を定量的に評価し考慮する必要があると言える。

さらには大規模災害になると、被災地外から多くの支援部隊が駆けつけ支援業務を行うことにもなるため、被災状況の把握から道路交通麻痺への対応も含めた作業部隊の移動・運用、瓦礫の集積までの各段階での状況把握と関係者間の情報共有・各種調整を円滑に行うための研究が今後必要になると考えられる。

特に、首都直下地震が発生した際には深刻な道路交通麻痺が想定されており、円滑な道路啓開を行うためにも対処方法を検討しておく必要があると言える。東日本大震災の後、警視庁での交通規制方法の変更¹⁰⁾や東京都等での帰宅困難者対策¹¹⁾等が進められていることもあり、それらを踏まえた検討が必要であると言える。

3. 研究成果

市販のGISソフトを使用し、災害時の道路啓開に際し、災害対応行動による需要を定量的・視覚的に評価する手法を開発した。間瀬ら¹⁾の試行版と比較し、評価を行う災害対応行動を集約しており、実際の検討に適用しやすいものとなった。今後、道路管

理者が道路啓開計画の策定・改定にあたって参考に
する基礎資料として活用されれば幸いである。

参考文献等

- 1) 間瀬利明,金子正洋,木村祐二:国総研レポート2014,国土技術政策総合研究所,2014.
- 2) 岩手県:岩手県東日本大震災津波の記録,2013.
- 3) 全日本トラック協会:東日本大震災における緊急支援物資輸送活動の記録,2013.
- 4) 東京都防災会議:東京都地域防災計画(震災編),2014.
- 5) 岩手県:岩手県東日本大震災津波復興計画 復興基本計画,2011.
- 6) 総務省:平成22年度国勢調査結果,2010
- 7) 中部地方幹線道路協議会:「中部版 くしの歯作戦」(平成26年5月改訂版)【道路啓開オペレーション計画】,2014.
(http://www.cbr.mlit.go.jp/road/kanri-bunkakai/pdf/kushinoha_kaitei.pdf)
- 8) 首都直下地震道路啓開計画検討協議会:首都直下地震道路啓開計画(初版),2015.
(http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000617046.pdf)
- 9) 愛媛県土木部:愛媛県道路啓開計画(概要版),2014.
(<http://www.pref.ehime.jp/h40900/documents/11gaiyouban.pdf>)
- 10) 警視庁:広報けいしちょう第53号web版,2012
(http://www.keishicho.metro.tokyo.jp/kouhoushi/no53/wide_koho53.htm)
- 11) 東京都:東京都防災ホームページ 帰宅困難者対策
(http://www.bousai.metro.tokyo.jp/kitaku_portal/)

Research on evaluation of priorities of road clearing in disaster

Tadashi KANDA, Toshiaki MABUCHI, Masahiro KANEKO and Koji MATSUMOTO

In this Research, the Author developed a method to choose routes along which Road manager should cut the way to disaster area at the first priority, and took it on trial in a model area. Each shortest course of activities is drawn by GIS software one by one. And routes on which many shortest courses are piled up, take first priority at the time of a disaster.

In this way, Road manager can plan preparing materials and equipment for disaster recovery and can prepare for disaster prevention effectively.