

アクセシビリティ指標を援用した大規模災害後の道路啓開計画モデルの提案

高知大学	正会員	○坂本 淳
四電技術コンサルタント	正会員	小笠原 誠
四電技術コンサルタント	非会員	石川 ひとみ
呉工業高等専門学校	正会員	山岡 俊一

1. 研究の背景と目的

東日本大震災の道路啓開計画の教訓をこれからの減災対策に生かすため、特に広域的な津波による道路ネットワークの寸断が想定されている地域で道路啓開計画の策定が開始された。この計画は、まず想定地震、震度予測、津波浸水深から寸断が想定される道路の特定が行われ、次に緊急輸送道路ネットワーク等に基づき、優先的に復旧（啓開）すべき道路が示されたものである。しかし、復旧対応可能人員や重機の確保の問題等、まだ検討すべき課題は多い。

そこで本研究では、大規模災害による広域的な道路寸断を想定し、様々なステージの復旧対応力を想定した最適な道路啓開計画を算出できるモデルを提案する。まず大規模災害後に最重要となる道路啓開ルートのアクセシビリティの回復率を評価指標として、復旧対応力に応じて優先的に復旧すべき道路を特定する手法を説明する。次に、当該手法を四国4県の広域ネットワークに適用し、実ネットワークの道路啓開計画でも活用できることを示す。

2. 提案モデル

2-1 概要

本研究では以下の復旧対応手順を提案する。

Step1：対象とする道路ネットワークについて、平時に作成している道路啓開計画に基づき、重要な出発・集結拠点（ノード）リストを作成する。

Step2：災害発生後、すぐに寸断された道路区間数を特定し、道路ネットワークデータに入力する。これを、「寸断道路区間数」とする。

Step3：国・地方自治体と建設業者等の道路啓開等に関する協定から、発災後すぐに稼働できる人員や重機の情報を整理する。これを、「対応可能道路区間数」とする。

Step4：「寸断道路区間数」と「対応可能道路区間数」から、多様な道路啓開パターンが想定できる。ここから出発・集結拠点リストのアクセシビリティを最大化するパターンを特定し、これを最適な道路啓開パターンとして示す。

2-2 計算手順

まず、寸断道路区間数 n と対応可能区間数 r から、考えられる道路啓開パターンを算出する。これは nC_r で求めることができるが、道路ネットワークが大きくなると、すべての組み合わせの計算が困難になる。そこで、非復元抽出の無作為標本を繰り返し作成することで近似的に求める。具体的には、寸断道路区間 n の集合から、非復元抽出法により無作為に r 区間を抽出する。これを一つの道路啓開の組み合わせとし、繰り返し計算の回数だけ組み合わせを用意する。

次に、この組み合わせ毎に、Hansenにより提案されたアクセシビリティ指標を基本とした式(1)により、出発・集結拠点のアクセシビリティ ACC の合計値を算出する。設定した繰り返し回数だけ ACC を算出し、その中で最大となる ACC を求め、この時の道路啓開の組み合わせを「復旧対応力に基づく最適な道路啓開パターン」として示す。

$$\max ACC = \sum_k D \cdot f(c_{ij}) \quad (1)$$

D は出発・集結拠点ペアのサービス機会、 $f(c_{ij})$ は距離減衰関数、 k は出発・集結拠点ペア数である。

距離減衰関数については、関連する分野で最も多く用いられている、負の指数関数に基づくものを採用する。これは式(2)で示される。

$$f(c_{ij}) = \exp[-\alpha \cdot c_{ij}] \quad (2)$$

c_{ij} は距離減衰であり、出発拠点 i から集結拠点 j までの最短の旅行時間を代入する。 α は関数の変化率を調整するためのパラメータである。すなわち、 c_{ij} 、 α の値が小さいほど、 $f(c_{ij})$ は大きな値となり、距離減衰の影響を受けにくくなる。

キーワード 道路啓開, 大規模災害, アクセシビリティ指標, 優先順位
連絡先 〒750-8520 高知市曙町 2-5-1
Tel: 088-844-8092

3. 四国道路ネットワークへの適用

南海トラフ地震を想定した四国における道路啓開計画に本モデルを適用し、その有効性を考察する。

3-1 データの概要と計算条件

平成27年度道路交通センサスの四国4県をベースとしたものを道路ネットワークデータとする。ただし、論文執筆時点の現状に近づけるため、センサス実施以降に追加された高規格幹線道路をいくつか追加している(5,287リンク, 6,839ノード, リンク総延長12,782km)。

出発・集結拠点リストは、四国道路啓開等協議会が平成28年3月に作成した資料の「四国おうぎ(扇)作戦」で設定されている出発・集結拠点リスト(75のODペア)を用いる。

想定する寸断道路は、前述の計画書に記載がある想定被害箇所(落橋・下部工の倒壊、橋梁段差、落石・自然斜面の崩壊等)と重複する道路区間とする(73区間, 230kmの道路が寸断された道路として識別)。

アクセシビリティ算出のための D は、全てのペアが等しく重要と考えて全て1とする。 α は0.1とし、 c_{ij} は道路交通センサスの各区間に入力されている指定最高速度とリンク長から算出した旅行時間を用いる。

本ケースで適用する繰り返し計算回数は以下のシミュレーションに基づき設定する。最も繰り返し計算回数が多くなる、73区間の寸断道路から37区間(復旧対応率50%)をランダムに選択し、ACCが大きい値となれば解を更新する計算を5,000回繰り返した結果を図-1に示す。図中の数値は、繰り返し計算回数とACC回復率であり、例えば1,91.9%は、1回目に計算した結果、ACC回復率91.9%となったことを意味している。図より、3,000~5,000回の繰り返し計算では解の更新が1度しかなく、この時点で最大となるACCの近似解が求まったと考え、繰り返し計算回数は3,000回とする。

3-2 結果と考察

復旧対応率とACC回復率の関係を図-2に示す。0%から10%の復旧対応率の段階で最もACCが回復レンジが大きい(4%改善)ことが確認できる。その後は徐々に緩やかに改善(1%程度)し、80%の段階で平時とほぼ同じ値となる。図-3は復旧対応率50%の時の最適な復旧すべき道路を図示したものであり、道路ネットワーク全体を踏まえて考察すると、寸断さ

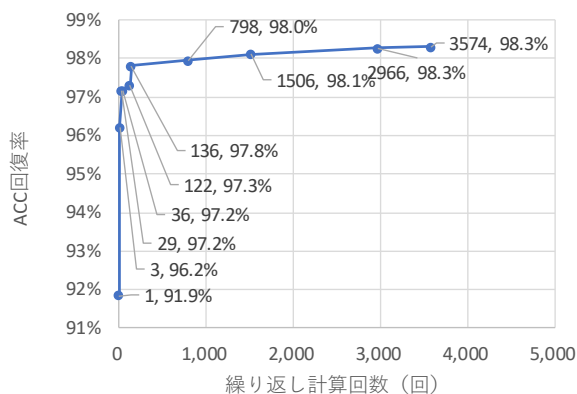


図-1 繰り返し計算回数と ACC 回復率

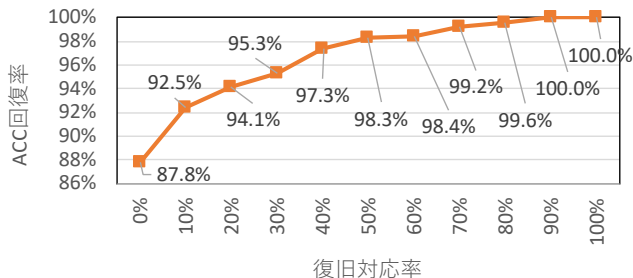


図-2 復旧対応率と ACC 回復率

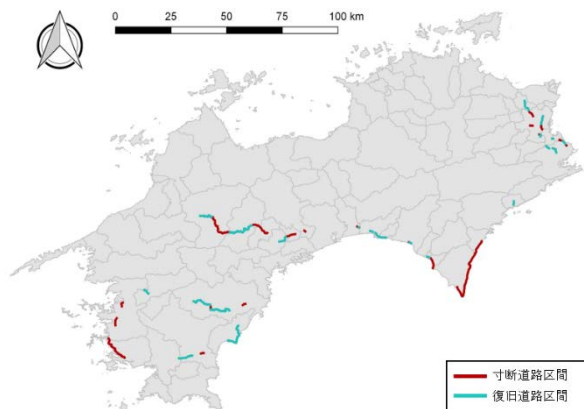


図-3 復旧対応率50%時の最適な復旧道路

れていない道路との接続部を優先的に復旧するパターンが最適であることが示された。

4. まとめ

本研究では、大規模災害からの復旧対応力を考慮した道路啓開計画モデルを提案した。このモデルを用いれば、道路管理者が平時から道路ネットワークデータを整備しておくだけで、大規模災害発生後に道路の被災状況と各地域の復旧対応力に関する情報を入力し、最適な道路啓開パターンが把握できる。今後の課題として、復旧作業人員や重機の実情を考慮したモデルの実用化を検討する必要がある。

<謝辞> 本研究の遂行にあたり、(一財)日本デジタル道路地図協会から助成を受けた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 四国道路啓開等協議会：四国広域道路啓開計画～南海トラフ地震の大規模災害に備えて～(2016.3), <https://www.skr.mlit.go.jp/road/dourokeikai/pdf1/honpen.pdf>