

災害による通行止め道路区間の 復旧優先順位の決定方法

溝上 章志¹・田村 亮²

¹正会員 熊本大学大学院 先端科学研究部 (〒860-8555 熊本市中央区黒髪2-39-1)
E-mail:smizo@gpo.kumamoto-u.ac.jp

²正会員 東京建設コンサルタンツ株式会社 (〒101-8462 東京都千代田区神田錦町3丁目22番地)
E-mail:ryotamura22@gmail.com

本研究の目的は、様々な道路閉鎖パターンを想定した上で、閉鎖区間の復旧により得られる金銭ベースの便益に着目した事前、および事後対策に対するリンク優先度決定手法の提案を行うことにある。具体的には、熊本市のネットワークを対象とし、将来想定されているいくつかの地震の予測震度分布から道路閉鎖のパターンを作成する。作成した道路閉鎖パターンに対し、該当リンクを復旧することで得られる金銭ベースの便益を定義するとともに、復旧順序を決定する方法とリンク復旧優先度の評価指標の提案をする。これらの結果をもとに、熊本地震による通行止めとその開放の実態とを対応させて、本研究の有用性の検証を行った。

Key Words: Earthquake, priority index, Restoration simulation

1. はじめに

日本は地震大国であり、近年も阪神淡路大震災や東日本大震災をはじめとする大地震が発生している。今後も南海トラフ地震や首都直下型地震などの大規模な自然災害の発生が予測されており、それらの被害を最小限に抑えるための対策が必要である。

巨大地震による路面の陥没や斜面の崩壊によって生じる多くの道路での通行止めは、直後の被災地の人々の物資輸送などの支援活動に大きな障害となるだけでなく、その後の日常生活や経済活動にも重大な影響を及ぼす。特に自動車分担率が高い地方圏では自動車での移動は不可欠であることから、影響は大きいと考えられる。通行止め区間の早急な補修を行い、いち早く通行止めを解除して通常の交通パターンに復旧することが求められる。

しかし、通行止めとなる区間が多数となる大規模災害の場合、全ての道路を直ちに復旧することは財政的にも容易ではない。また、道路被害はどこで発生するか事前に予測するのは困難である上、通行止めとなる道路の組み合わせによって交通環境への影響の大きさは異なる。2016年4月に発生した熊本地震でも緊急輸送道路を含む重要道路が多数通行止めとなり、その後の復旧期には、主要幹線道路はもちろん、補助幹線に相当するような街路でも激しい交通渋滞が継続して発生した。発生から一

年半以上経過し、交通パターンがおおむね回復したものの、未だに通行止めが解除されていない道路区間もある。このような大地震に対しては、被災による通行止め区間の数を最小限に抑えるための補強などの事前対策、および被災した道路の復旧順序を迅速に示す事後対策をあらかじめとっておくことが必要であろう。

本研究では、様々な道路閉鎖パターンを想定した上で、閉鎖区間の復旧により得られる金銭ベースの便益に着目した事前及び事後対策に対するリンク優先度決定手法の提案を行う。具体的には、熊本市のネットワークを対象とし、将来想定されているいくつかの地震の予測震度分布から道路閉鎖のパターンを作成する。さらに、作成した道路閉鎖パターンに対し、該当リンクを復旧することで得られる金銭ベースの便益を定義するとともに、復旧順序を決定する方法とリンク復旧優先度の評価指標の提案をする。これらの結果をもとに、最後に熊本地震後の実態と対応させて、本研究の有用性の検証と考察を行う。

2. 既往研究及び本研究の位置づけ

道路施設の自然災害の事前対策に関連する研究として、杉浦ら^{1,2)}は道路施設を効率的にマネジメントするための総合維持管理手法を開発している。道路施設が機能不

全を起こすことによる社会的影響度の大きさをリスクとして定義し、舗装、橋梁、危険斜面を対象として対策の必要性を定量評価している。さらに、算出されたリスクに基づいて道路施設の補修必要性を算出した上で、所与の予算制約の下で道路利用者が暴露するリスクの格差縮小と投資金額に対して低減させられるリスクの最大化を図る最適補修戦略決定モデルの構築をおこなっている。藤見ら³⁾は橋梁のフレンジイカーブを基に橋梁の破壊確率を算出し、シナリオ地震発生時の交通ネットワークの遮断・寸断による間接被害額の間接被害を推定している。また、この結果をもとに橋梁の耐震補強の便益の試算をおこなっている。災害への事前対策に関しては、リンクの破壊確率とリンク破壊による社会的費用の大きさを考慮したリスク評価を行うのが一般的である。リンクの破壊確率については、単純な仮定に基づいて与えられているものか、破壊の対象を橋梁としているものが多い。本研究では、リンクの破壊の確率は震度によって決定されると仮定し、計算する。震度に関しては発生する地震の種類によって変動するため、対象とする地域で想定されている地震全てについて考慮することとする。また、道路施設の通行止めによる社会的費用の大きさは通行止め道路の組み合わせによって変化することが考えられる。そのため、事前対策を優先すべきリンクを特定する場合には、実際に発生しうる複数の道路閉鎖パターンを想定してリンク破壊の際の費用を算出する必要がある。そのため、本研究では実際に想定される複数の道路閉鎖パターンを考慮した社会的影響度の大きさを指標によって評価することを試みる。

被災後の道路復旧順序に関する研究として、渡辺ら⁴⁾は13×13の正方格子状に並んだ169個の需要点からなる仮想都市空間を設定し、各リンクに一樣乱数を与え、10,000パターンの道路閉鎖パターンをつくり逐次最適敷設の方法を用いて復旧シミュレーションを繰り返している。その上で効果指標、頻度指標、順序指標の3つの指標を用いて各リンクの復旧優先度を数値化している。山田ら⁵⁾はネットワーク上を走行する全車の平均旅行時間が復旧にもなって短くなることに着目した道路交通網の機能評価指標を提案し、復旧優先度を検討する手法を示している。大澤ら^{6,7)}は被災道路網の各復旧段階におけるポテンシャル型アクセシビリティの改善に着目し、サービスへの近接性を評価に組み込んだリンクの復旧順序決定手法を提案している。災害後の道路復旧優先順位に関しては、優先順位の決定方法には復旧による移動時間や移動距離、アクセシビリティの改善など様々である。優先度の評価基準としては、道路復旧の際の移動時間、移動距離の改善と対象道路の交通需要の2点を考慮することが必要であると考えられる。

本研究は、この2点を考慮した道路復旧の便益を優先



図-1 熊本市交通ネットワーク

度の評価基準とし、熊本地震の通行止めパターンへの適用を試みる。しかし、移動時間、移動距離の改善量についても通行止め区間の組み合わせによって変化することが考えられるため、複数の道路閉鎖パターンを想定して計算を行うことで、改善量の期待値を求めることを試みる。対象道路の交通需要は、災害後には大幅な変化が起こるため、予測することは非常に困難である。そのため、平常時の交通需要を使用することが一般的であるが、本研究では過去の震災時の交通需要データを用いて計算を行い、平常時のデータを使用した場合とどのような違いが出るかを検証していくことも行う。

これらの既往研究を参考に、本研究では、1)道路閉塞パターンの作成方法、2)特定の区間を復旧した場合のインパクト評価指標、3)復旧優先度評価方法を提案し、これを熊本地震発生時の熊本市道路閉鎖パターンに適用して、4)実際の復旧順序との比較を行う。

3. リンク復旧順序とリンク優先度

(1) 道路閉塞パターンの作成

(a) 対象ネットワーク

分析の対象とする道路網は熊本交通都市圏の道路網であり、図-1のようにノード数829、リンク数1,192で構成されるネットワークでモデル化する。ここでは、自動車交通以外の鉄道や路面電車などの公共交通機関については考慮せず、道路ネットワークと自動車交通のみを考慮する。また、地震による道路区間が通行止めとなる原因には道路の亀裂や橋梁の段差、土砂崩れなどがあり、その発生メカニズムや確率は様々であり、それら全てを

考慮するためには情報が不足している。ここでは通行止めの原因は全て道路の被害によるものであるとする。また、本来なら地震後の道路区間の通行止めのパターンに応じた交通需要パターンも変動し、それに依りて復旧の効用は変わる。しかし、地震後の実際の交通需要パターンを予測することは困難であるため、インパクト評価値の計算時には平常時のOD交通量と各リンクへ配分した値を用いることとする。

(b)道路閉鎖/パターンの作成方法

地震時の道路施設の被害箇所数を求めるのに、本研究では内閣府による南海トラフ巨大地震の被害想定で採用されている被害箇所の推定方法を用いる。これは、1)あらかじめ予測された地震の震度分布と対象地域の道路延長データを用いて、震度別道路延長を求める。2)東日本大震災時の道路被害率(表-1参照)を参照して、震度別道路施設被害率から道路施設被害箇所数を算出する。3)同じ震度の地域内で被害箇所はランダムに分布するものとし、道路閉鎖のパターンを求める、という手順をとる。

本研究では、熊本市が想定している3タイプの地震、立田山断層地震、布田川・日奈久断層帯地震、どこにでも起こりうる直下の地震に対して予測された震度分布を用いる。地震の予測震度分布については図-2に示す。これらの予測震度分布図は、規模や震源となる断層までの距離と揺れの強さの関係、地盤の軟らかさ等の情報を基に地表面付近の揺れの大きさが計算されたものである。立田山断層地震は立田山北麓から熊本市街地の中心を北

東から南西方向に斜断している約15kmの立田山断層が動くことを想定した地震である。マグニチュードは6.5と予測されており、市の中心部ほど震度も高く予測されている。一部地域で震度6強の揺れも予測されているが大半の地域では震度6弱となっている。布田川・日奈久断層帯地震は阿蘇外輪山の西側斜面から八代海の南部まで全体としてほぼ北東-南西方面に延びる約101kmの断層帯が動くことを想定している地震である。予測マグニチュードは7.2~7.6であり非常に強い地震である。震度分布は市の東側を中心に広がっていくと予測されており、東側には震度6強の地域が広がっている。平成28年4月に発生した熊本地震はこの布田川・日奈久断層帯地震にあたり、非常に大きな被害をもたらしている。どこにでも起こりうる直下の地震はまだ確認されていない活断層が熊本市の直下にあることを想定し、予測された地震である。震源の深さは地下4kmと設定されている。予測マグニチュードは6.9であり、市のほぼ全域で震度6強が予測されている。今回はそれぞれの地震に対して1,000パターンずつ、計3,000パターンの道路閉鎖パターンを求めた。それぞれのパターンの予測被害箇所数を表-2に示す。

最も予測被害箇所数が多い地震はどこにでも起こりうる直下の地震の場合であり、68箇所となる。これは直下型の場合、震度6弱以上の震度地域が市域の大半を含めるからである。市全体で震度がほぼ一様であるため、地震時の地域ごとの道路区間の被害確率に偏りが無いといえる。次に多い地震は布田川・日奈久断層帯地震の場合であり、66箇所となる。震度分布は東側が震度が高く、西に行くにつれ震度が低くなっている為、市東部の道路区間の被害確率が高くなっている。予測被害箇所数が最も少ないのは立田山断層地震の場合であり、58箇所であった。3タイプの地震全てにおいて市中心部域の震度が大きくなるため、中心部の道路ほど閉鎖となる確率が高くなっている。

表-1 震度別道路施設被害率

震度	原単位 (箇所/k m)
震度 4以下	-
震度 5弱	0.016
震度 5強	0.049
震度 6弱	0.071
震度 6強	0.076
震度 7	0.21

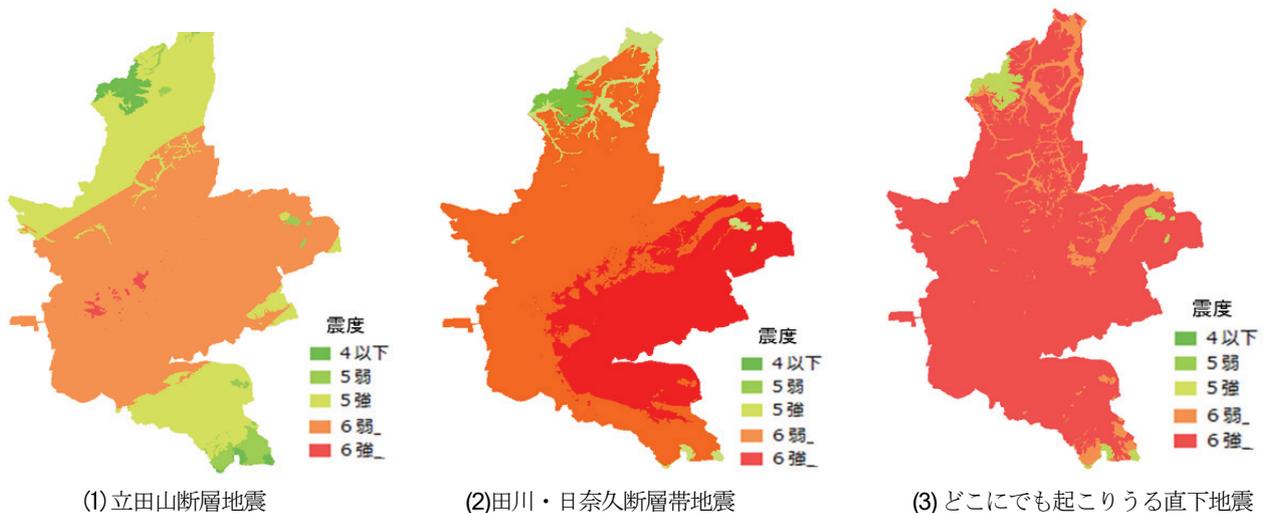


図-2 各地震による予想震度分布

表-2 それぞれの地震の震度別道路延長と道路施設被害数

震度	立田山断層地震		布田川・立田山断層帯地震		どこにでも起こりうる直下の地震	
	道路延長 (km)	被害箇所数 (箇所)	道路延長 (km)	被害箇所数 (箇所)	道路延長 (km)	被害箇所数 (箇所)
震度 4 以下	-	-	-	-	-	-
震度 5 弱	17.2	0	-	-	-	-
震度 5 強	212.8	10	9.9	0	-	-
震度 6 弱	657.6	47	359.5	26	13.6	1
震度 6 強	11.1	1	527.3	40	884.1	67
震度 7	-	-	-	-	-	-
計	898.7	58	896.6	66	937.7	68

(2)リンクの優先度指標

(a)復旧シミュレーション

被災して閉鎖された道路区間の復旧作業においては、複数の閉鎖区間が同時に復旧されることが想定される。しかし、その組み合わせは膨大な数となるため、それらすべての組み合わせについて復旧のインパクトを計測するのは困難である。ここでは各復旧段階で行う復旧は1区間とする。復旧順序については後述する。これを発生させた3,000の道路閉鎖パターンに対して行う。全てのゾーン間の移動は走行経費と走行時間経費の総和で定義する走行費用が最小となる経路を通して移動するものと仮定し、リンクの復旧前後の走行費用の差を便益とする。道路閉鎖によって到達不能になったODペアに関して、この間の道路区間を出来るだけ早期に復旧するために、仮に通常時の走行費用の2倍になっていると仮定した。ノードが孤立する状況を生み出さないように配慮することで、全ノードを対象とした走行費用を計算できるようにしておき、閉鎖されたリンクを通らないと到達できないようなノードを含めたリンクの復旧優先順序の選定を可能としつつ、到達不可能なノードを早期に復旧することを優先させた復旧順序を計算する。復旧シミュレーションの詳細なフロー図を図-4に示し、以下に説明する。

- 1)道路閉鎖パターンの更新:作成した全3,000パターンの中のkパターン目の道路閉鎖パターンをネットワークモデル上で該当するリンクを通行不可に設定する。
- 2)復旧段階の更新:復旧段階を $O^k=O^k+1$ に更新する。
- 3)復旧前走行経路の決定:復旧段階 O^k での走行費用と走行時間経費の和が最小となるような経路を決定する。
- 4)復旧対象リンクの更新:復旧段階 O^k での閉鎖区間集合の中からまだ復旧便益を計算していない閉鎖区間iを選択し、復旧を行う。
- 5)復旧時点の走行経路の決定:閉鎖区間iの復旧を行った場合の走行費用と走行時間経費が最小になるようなゾーン間の走行経路を決定する。
- 6)復旧による便益 D_i^k の計算:閉鎖区間iが復旧する前後の走行費用から、閉鎖区間iが復旧した際の便益を計算

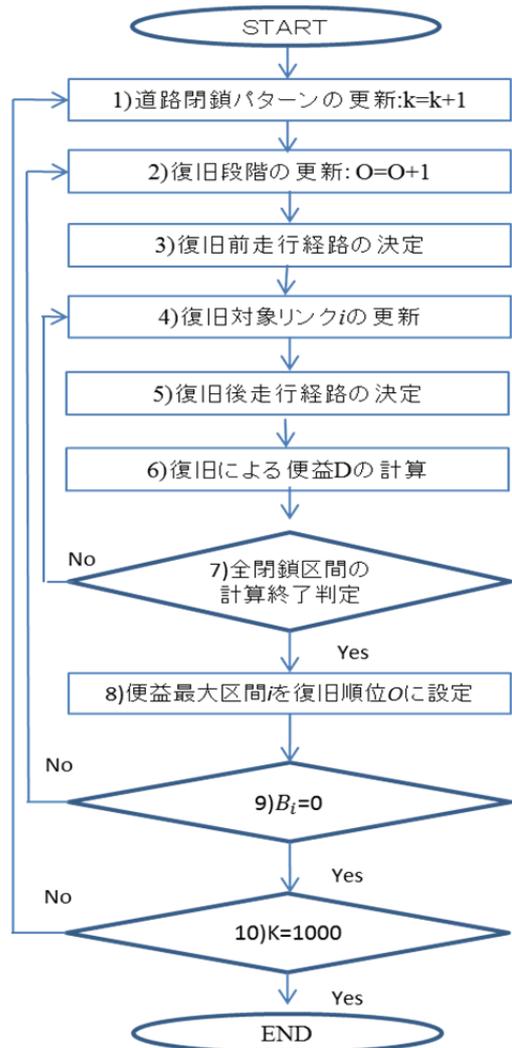


図-4 復旧シミュレーションの計算フロー

- し、記録する。その後、区間iを通行止めに戻す。
- 7)全閉鎖区間の計算終了の判定:復旧段階 O^k での閉鎖区間集合全てについて、復旧による便益の計算が終わっているかどうかの判定を行う。
- 8)便益最大区間iを復旧順位 O^k に設定:便益が最大となる区間iの順位を O^k に決定し、復旧を行う。

9)道路閉鎖パターン k の終了判定：道路閉鎖パターン k において、復旧段階 O_i^k の時の最大復旧便益が0の場合、次の道路閉鎖パターンの復旧優先順位決定に移る。

10)道路閉鎖パターンのチェック：全3,000パターン分の道路閉鎖パターンについて2)~9)の復旧シミュレーションを行ったかを判定する。

(b) リンクの事前対策・復旧優先度指標

区間 i の復旧によって得られるインパクト（以下では便益と記す）を定義する。全パターンのうち、 k 番目の道路閉鎖パターンにおいて、閉鎖区間 i を復旧した際に得られる便益 D_i^k を式(1)で定義した。

$$D_i^k = (a \cdot \frac{1}{v_i} + \beta_i) \cdot \sum_{o,d} (q_{iod} \cdot l_{iod}^k) \quad (1)$$

ここで、 a は時間価値、 β_i は区間 i の走行費用原単位であり、費用便益分析マニュアルより平成20年の値を使用した。また v_i は区間 i の平均走行速度、 q_{iod} は発ゾーン o と着ゾーン d 間のOD交通量のうち道路区間 i を通過する交通量、 l_{iod}^k は道路閉鎖パターン k のときに区間 i が復旧した場合の発ゾーン o から着ゾーン d への移動距離減少分である。したがって式(1)は区間 i が復旧した時のネットワーク全体での走行費用と走行時間経費の減少分を貨幣評価したものである。 q_{iod} と v_i は第4回PT調査のOD交通量を対象ネットワークモデルに配分した値を用いる。配分されたリンク交通量を図-5に示す。交通量が特に多いリンクは熊本市を南北に渡って縦断している九州自動車道をはじめ、市中心部から南北に延びる国道3号、環状道路である国道57号である。これらの道路は通行止めになった際に迂回する交通量も多い為、通行止めの影響が大きいリンクであると考えられる。

(c) 復旧優先評価指標

閉鎖区間の復旧優先順位を決める為に、リンクごとの復旧優先指標を設定する。ここでは、式(2)に示す累積便益に基づく指標 B_i と、式(3)に示す復旧順序に基づく指標 O_i 、式(4)に示す平均便益に基づく指標 A_i の3つの指標を設定した。

$$B_i = \sum_{k=1} D_i^k \quad (2)$$

$$O_i = \sum_{k=1} b_i^k \cdot e_i^{-o_i^k} \quad (3)$$

$$A_i = \frac{1}{N_i} \sum_{k=1} D_i^k \quad (4)$$

ここで、 b_i^k は k 番目の道路閉鎖パターンにおいて区間 i を復旧する場合に1、復旧しない場合には0をとるダミー変数、 O_i^k は k 番目の道路閉鎖パターンにおいて区間 i が復旧する順位、 N_i は全ての道路閉鎖パターンにおいて区間 i を復旧した回数の合計である。

B_i は各パターンで当該区間を復旧すると得られる便益の全パターンにわたる累積値であり、当該区間復旧の際

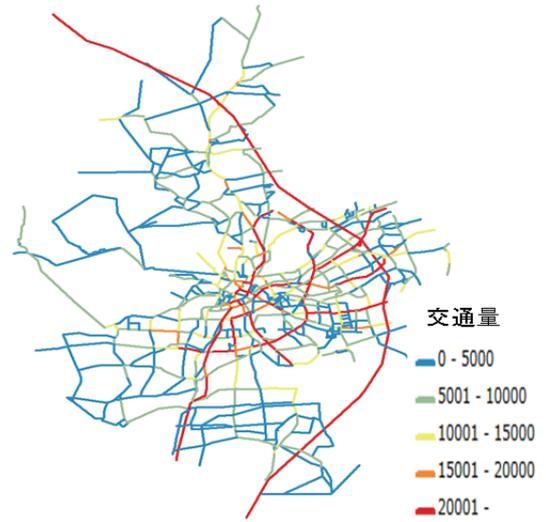


図-5 平常時のリンク推計交通量

の便益と地震時の被害率の高い区間ほど大きな値となる。したがって、地震発生に備えた事前対策として優先して対策すべき道路区間を特定するのに有効な指標である。

一方、 O_i は各パターンの復旧順位に対して指数関数的な重みを与え、その累積を評価する指標である。復旧する順序が早いほど高く評価される指標であり、地震の事前対策と事後の復旧の両方において早期に復旧すべきリンクを特定するのに有効な指標である。

A_i は閉鎖区間 i を復旧した場合の便益の平均値を示す指標である。この指標は、道路区間の被害率が低くても、復旧した場合の便益が大きい区間が高く評価されるので、地震後被災リンクが判明した状態で優先して復旧すべき区間の位置を特定するのに有効である。

全ての道路閉鎖パターンに対しての閉鎖区間 i ごとにこの3指標を算出し、それらの値が大きい順に地震の事前対策・事後の復旧の優先順位の高い区間の列挙を行う。

4. 熊本市への適用結果

将来発生が予測されている3つの地震それぞれに対する3つの評価指標値の算出結果を図-6に示す。いずれの指標においても、予測震度の大きい市の中心部において評価値が高くなっており、逆に震度が小さく予測されている市の南端部、北端部では小さい評価値となっている。これは市中心部に日常の交通量が多い道路区間が集中していることも原因として考えられる。市の中心部から北部に伸びる道路に優先度の比較的高いものが集中していることも読み取れる。これは日常の交通量が多いことと、道路密度が低い為、通行止めになった場合の影響が大きいことが原因と考えられる。指標ごとの特徴を見ると、

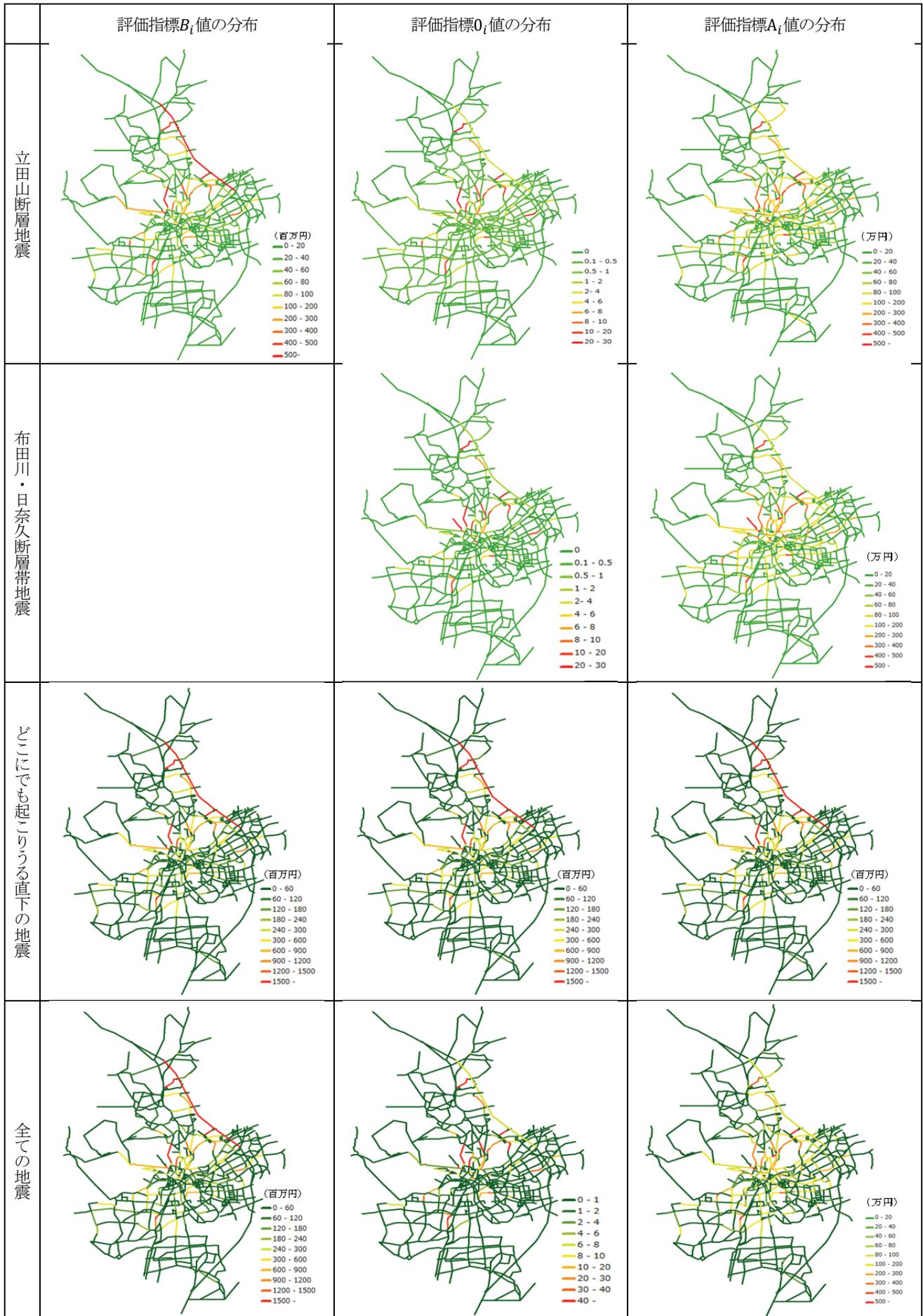


図-6 地震種別各評価指標の分布
6

指標 B_i と指標 A_i ではリンクの優先度に若干の違いがある。これはリンク復旧の便益は高いが被害確率が低いリンクや、リンク復旧の便益はそれほど高くないが被害確率が高いリンクが存在している為であると考えられる。特にリンク長が長いリンクは被害率も高くなるため、道路区間の破壊確率を考慮すべき事前対策と、修復したときの効果の大きさが重要となる復旧とで優先度に違いが出やすいリンクなのではないかと考えられる。インターチェンジだけがノードとなるため、区間長が長い九州縦貫自動車線道にこの傾向が顕著に表れている。指標 O_i に関しては、リンクごとの優先度の違いが顕著に出る指標であるため、事前に補強できるリンク数が限られている場合や、被災直後に迅速に復旧すべきリンクを選ぶ場合に有効であるといえる。リンクごとの評価値は地震毎にあまり差が出ていなかった。今回想定されている全ての地震において、ほとんどのネットワークが震度6弱以上の地域にある。本研究で使用した震度別道路施設被害率では震度6弱と震度6強の地域における被害率にあまり差がないため、通行止め箇所の地域における偏りがあり表れなかった。そのため、全ての地震について評価値の分布が似通ってしまったと考えられる。

本来なら、発生しうる3タイプ全ての地震を想定した分析を行うべきである。そのためには、それぞれの地震の発生確率に関する情報が必要である。立田山断層地震とどこにでも起こりうる直下の地震に関しては、今後30年の発生確率が不明である。そこで、3タイプの地震の発生確率は等しいと仮定し、3,000パターン分の復旧シミュレーションのデータを用いて、各評価指標を算出した。各評価指標の分布図を最下段に示す。

地震における復旧区間数分布を図-5に、復旧区間数の最頻値、最小値、最大値を表-3に示す。全ての地震において全被害区間数の約半数の区間の復旧で復旧は終了している。今回の復旧順序決定方法を用いた場合、全ての通行止め区間を復旧する必要はなく、全体の通行止め区間数の半数ほどの復旧で十分であることが分かる。平均復旧箇所は被害箇所数の最も少ない立田山地震が箇所が一番少なく、復旧箇所数の分布も他の地震と比べて少ない区間数の比率が大きくなっている。

復旧シミュレーションにおける各地震での道路復旧による総便益分布は図-6に、総便益の平均値、最大値、最小値を表-4に示す。総便益の平均値は全ての地震において2,400万円ほどであった。被害区間数が多い地震ほど総便益の平均値も大きくなる傾向にあるが、3つの地震間に大きな差は見られない。最小値は各地震900万円ほどとなり、最大値は約5,000万円となっていた。このことから、道路の閉鎖パターンの違いで復旧による総便益は4,000万円ほどの差が出る事が分かる。これは通行止めになった際全ての地震の分布の形状は平均値を中心

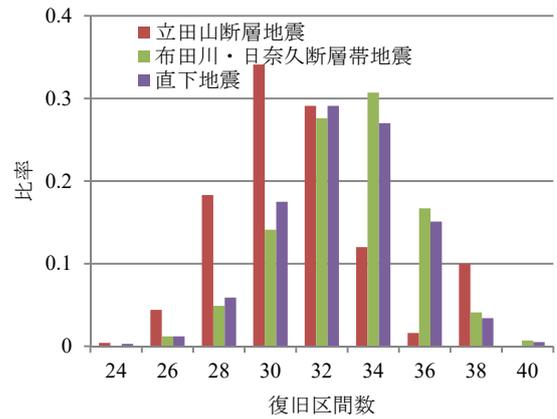


図-5 各地震における復旧区間数分布

表-3 各地震時の復旧区間数

復旧箇所数	立田山	布田川・日奈久	直下
最頻値	30	33	32
最小値	24	25	23
最大値	37	40	40

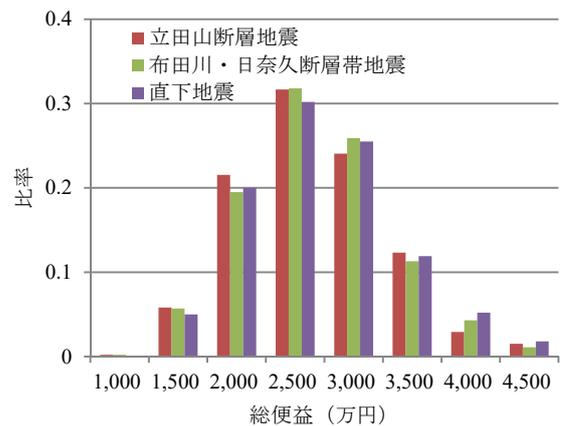


図-6 各地震の道路復旧による総便益分布

表-4 各地震の総便益

総便益	立田山	布田川・日奈久	直下
平均値(万円)	2402	2434	2465
最大値(万円)	926	942	973
最小値(万円)	4885	4986	4707

に右に少し歪んだ形をしており、期待値よりも大きい総便益が得られる確率が高いことを示している。

図-7は、復旧区間数がそれぞれ3箇所、5箇所、10箇所の際の総便益に対する便益の比を地震毎に示したものである。復旧を3箇所行えば、復旧によって得られる総便益の約半分を得ることができることが分かる。このことは、地震後に発生した通行止め区間のうち、復旧優先順位の上位3箇所を迅速に復旧することができれば、約5割の損失した便益が回復可能であるといえる。5箇所復

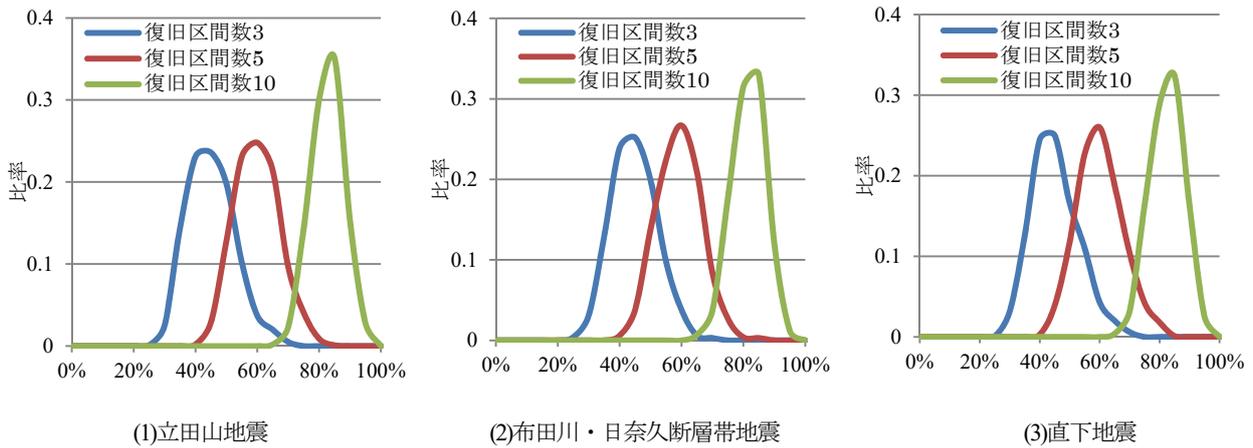


図-7 直下地震での復旧区間数毎の総便益比

旧した場合には、総便益の5割以上の便益を得ることができている。10箇所復旧した場合には、総便益の8割以上の便益を得ることができている。地震のタイプ別には大きな差が見られないことから、熊本市においてはどのような震度分布の地震が発生したとしても通行止め区間の解放による便益の回復の程度にはあまり差はないが、地震の復旧段階においては早急に適切な区間の初期復旧を行うべきである。

5. まとめと今後の課題

本研究では、地震後の通行止め区間を復旧することで得られる便益を定義した上で、便益に基づいた復旧順序決定方法を提案するとともに、複数の道路閉鎖パターンを作成し、復旧シミュレーションを行うことでその結果に基づいた道路区間の事前対策及び、復旧の優先度の評価指標の提案を行った。さらに提案した復旧順序決定方法を熊本地震における実際の道路閉鎖パターンに適用し、適切な復旧順序を示すとともに実際の復旧順序との比較を行った。その結果、以下のような知見が得られた。

- 1) 累積便益指標 B_i による復旧優先度は、被害率が高く、復旧した際の便益が高い道路区間が高く評価される傾向にあり、平常時のトリップが多く、リンク長の長い道路区間が高い値を示していた。
- 2) 順位指標 O_i では、復旧順位が高いリンクが特に高く評価される指標であるため、事前対策、復旧段階の両方で迅速に対応すべき場合に有効に使用することができる。
- 3) 平均便益指標 A_i では、累積便益指標 B_i と比較すると被害率が高いが復旧した際の便益はあまり高くはないリンクを発見することができ、被害率は低い復旧した際の便益が大きいリンクを特定することができた。
- 4) 通行止め復旧による便益を考えた場合、復旧の際は全ての通行止め区間を復旧する必要はなく、全通行止め

区間の半数以下の区間の復旧でよいことが分かった。また、復旧による便益は復旧区間数が3箇所ほどの段階から総便益の半分近くになることが分かった。そのため、事前対策や復旧作業を行う場合には適切な順序で迅速に行うことで大きな効果を得ることができる。

今後の課題としては、以下のようなものが挙げられる。

- 1) 本研究では地震による道路区間の通行止めの要因を道路の亀裂や陥没のみとしているが、実際には橋梁の段差や土砂崩れ、周辺家屋の倒壊が原因となるものも多い。それらの要因ごとの発生確率を設定し、より詳細で正確な道路閉鎖パターンを作成していく必要がある。また、震度別道路被害率から道路閉鎖パターンを考える場合、市町村単位では地域毎震度の違いがあまり無いため、県単位などのより広範囲を対象にすることで、想定するいくつかの地震毎の道路閉鎖パターンや復旧優先道路区間の違いをより考慮することができると考えられる。
- 2) 復旧シミュレーションに関して、今回は計算量の都合から各復旧段階において逐一配分を行わず、各道路区間の平均移動速度は平常時と変わらないとし、人々の移動は各ゾーン間の走行費用と走行時間経費の和が最小になるような経路を全ての人が通ると仮定している。しかし、実際の被災時には一部の道路に交通量が集中し、混雑することから、大幅な走行時間経費の増加が予想される。そのため、実際に配分を行うようなシミュレーションを行うか、通行止め後の代替経路での移動速度減少を考慮したような計算や複数の代替経路を通ることを想定した計算を行う必要がある。
- 3) 今回の研究では復旧にかかる時間を考えず、全て1日単位の便益から計算をおこなっているが、実際には復旧にかかる時間に加え、対策用工事費用や復旧費用も考えて復旧順序を考える必要がある。
- 4) 今回の研究では各復旧段階での復旧区間数を1区間としたが、実際には複数のリンクを同時に復旧することが多い。そのため、複数リンクを同時復旧する際に便益が

大きくなるような組合せを発見し、評価できるようなシミュレーションや指標の設定をすることが求められる。

参考文献

- 1) 杉浦聡志, 高木朗義, 倉内文孝: 道路施設の破損リスクに基づく最適補修戦略決定モデルの構築, 土木学会論文集D3(土木計画学), Vol.69, No.5, pp.I_145-I_152, 2013.
- 2) 杉浦聡志, 金森吉信, 高木朗義, 倉内文孝, 森本博昭: リスク評価に基づいた道路施設の総合維持管理手法の開発, 土木学会論文集F4(建設マネジメント), Vol.67, No.4, pp.I_103-I_112, 2011.
- 3) 藤見俊夫, 松田泰治, 溝上章志, 清田玲夫: フラジリティカーブに基づく交通ネットワークの地震被害評価, 土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol.68, No.4(地震工学論文集第31-b巻), pp.I_1044-I_1051, 2012.
- 4) 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, Vol.44, No.1, pp.30-37, 2009.
- 5) 山田善一, 家村浩和, 野田茂, 伊津野和幸: 道路交通網の最適な震後復旧過程の評価, 土木学会論文集, 第368号, I-5, pp.355-362, 1986.
- 6) 大澤脩司, 中山昌一郎, 高木純一, 藤生慎, 溝上章志: 自然災害時の被災道路復旧優先順序設定手法に関する研究, 第54回土木計画学研究発表会・講演集, 2016.
- 7) 大澤脩司, 中山晶一郎, 藤生慎, 高山純一, 溝上章志: アクセシビリティ指標を用いた自然災害時の道路網の復旧優先順位設定手法に関する研究, 土木学会論文集D3(土木計画学), Vol.73, No.5(土木計画学研究・論文集第34巻), pp.I_281-I_289, 2017.
- 8) 費用便益分析マニュアル, 国土交通省, 2008.
- 9) 南海トラフ巨大地震の被害想定項目及び手法の概要～ライフライン被害, 交通施設被害, 被害額など～内閣府, 2013.

A DECISION METHOD OF ROAD RESTORATION PRIORITY RANK AT THE TIME OF A DISASTER

Shoshi MIZOKAMI and Ryou TAMURA

This paper proposes the road evaluation method of the road restoration priority rank. The target is made the Kumamoto earthquake which has occurred in April, 2016. A huge earthquake causes road closed at many spots. A huge earthquake had a big influence on traffic environment by damage of social infrastructure. So we need to repair immediately road closed for efficient traffic. First, I simulate the process of restoration in various patterns of road closed and evaluate the restoration priority of road with three priority indices. Next, we apply the road restoration method to the pattern of road blockade at the time of Kumamoto earthquake.