

# 巨大地震発生後の愛知県におけるリンク重要度を考慮した道路復旧アルゴリズムの構築

佐々木 啓太<sup>1</sup>・Wisinee Wisetjindawat<sup>2</sup>・藤田 素弘<sup>3</sup>

<sup>1</sup>学生会員 名古屋工業大学大学院 博士前期課程学生 (〒466-0005 愛知県名古屋市昭和区御器所町)  
E-mail:k.sasaki.296@nitech.jp

<sup>2</sup>正会員 名古屋工業大学大学院助教 工学研究科 (〒466-0005 愛知県名古屋市昭和区御器所町)  
E-mail:wisinee@nitech.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 名古屋工業大学大学院教授 工学研究科 (〒466-0005 愛知県名古屋市昭和区御器所町)  
E-mail:fujita.motohiro@nitech.ac.jp

本研究では、被災地の早期復興、被災者の負担軽減を目指し、南海トラフ巨大地震発生後の愛知県における現実的で効率的な道路復旧計画を作成するためのアルゴリズムの構築を行う。このアルゴリズムでは、現行の道路復旧計画では考慮されていない各道路の重要度や被害状況、建設機械数等を考慮した上で、計画範囲を県内の緊急輸送道路網に拡大している。これにより、地震が発生した際には、発災直後から復旧完了まで常に方針に従った道路復旧が可能となり、効率の良い復旧を期待することができる。シミュレーションの結果、約7日間ですべての道路の復旧が完了し、救援物資が輸送困難となっている市区町村の避難所人口は発災後3~4日目には現行の計画より約10万人減少させることができた。

**Key Words** : Road restoration algorithm, Link importance, Constrained resource, Disaster prevention

## 1. はじめに

東日本大震災発生後の救援物資輸送に占めるトラック輸送の割合は食糧が約7割、水が約6割と非常に高かった。そのため被災者の生活を支えるためには、道路復旧を早い段階から、効率よく行うことが非常に重要であるといえる。そこで本研究では、近い将来、高い確率で発生するといわれている南海トラフ巨大地震による愛知県の被害を予測し、地震発生後の道路復旧作業の作業順序を決定するためのアルゴリズムの構築を行う。また、東日本大震災の被害データ、愛知県防災会議地震部会<sup>1)</sup>による被害予測等を利用し、現在策定されている道路復旧計画では考慮されていない各道路の重要度や被害箇所数等の条件、復旧作業の効率、作業を行うことができる建設機械数などの想定を行うことで、より現実的で効率的な道路復旧計画の作成を行うことを目的とする。

効率的な道路復旧計画を発災前に作成しておくことで、地震発生直後からの道路復旧活動を可能とする。また救援物資輸送、緊急車両の通行の円滑化を行うことで、被災地の早期復興、被災者の生活の質の改善、負担軽減を目指す。

## 2. 南海トラフ巨大地震による愛知県の被害予測

本研究では予測される震度、津波浸水深をもとに、住宅被害、電気・水道といったライフライン被害、道路施設の被害の想定を行った。道路施設の被害想定には、東日本大震災の被害を基に津波浸水深、震度から算出された道路施設被害率を使用している。道路施設被害率は、津波浸水地域では津波浸水深、津波浸水地域外では震度からそれぞれ算出を行った。この数値は、道路1km当たりの被害箇所数を示しており、本研究では、この道路施設被害率を各リンクの距離に乗ずることで各リンクの被害箇所数を算出し、被害の想定を行っている。表-1に各津波浸水深、震度における道路施設被害率を示す。

表-1 道路施設被害率

津波浸水地域		津波浸水地域外	
浸水深	道路施設被害率	震度	道路施設被害率
1 m未満	0.13	5 弱	0.035
1m~3m	0.37	5 強	0.11
3m~5m	0.65	6 弱	0.16
5m~10m	1.52	6 強	0.17
10m以上	2.64	7	0.48

### 3. シミュレーション条件の設定

#### (1) リンク重要度の設定

本研究では、愛知県内の緊急輸送道路網を対象に道路復旧作業のシミュレーションを行った。道路ネットワークを1,339本のリンクに分割し、各リンクにリンク重要度を設定することで、重要性の高いリンクの復旧を優先的に行わせ、復旧作業の効率を向上させている。リンク重要度は次の式(1a)、式(1b)のように道路が通行不可能となった際に迂回ルートを通行することによって生じる遅延所要時間 $\Delta C_{ij}^e$ と、その道路を通過する救援物資量 $W_{ij}$ から算出している。この方法で各リンクの重要度を評価することで、リンク単体ではなく、ネットワークのつながりを考慮した重要度の評価を行うことができる。図-1に愛知県内の緊急輸送道路のリンク重要度を示す。

$$\Delta C_{ij}^e = C_{ij}^e - C_{ij}^0 \quad (1a)$$

$$I_e = \frac{\sum_i \sum_{j \neq i} \Delta C_{ij}^e W_{ij}}{\sum_i \sum_{j \neq i} W_{ij}} \quad (1b)$$

$\Delta C_{ij}^e$  : リンク $e$ の被害による $ij$ 間遅延所要時間[分]

$C_{ij}^e$  : リンク $e$ の被害による $ij$ 間所要時間[分]

$C_{ij}^0$  :  $ij$ 間の通常時所要時間[分]

$I_e$  : リンク $e$ のリンク重要度

$W_{ij}$  :  $ij$ 間をトラックで輸送される救援物資量[m<sup>3</sup>]

#### (2) 復旧作業の想定

過去の地震の復旧に携わった企業へのヒアリング調査を行った結果、地震発生時の被害状況や道路復旧作業の効率等のデータを得ることは困難であったため、本研究では、通常時の道路工事をもとに復旧作業を想定した。まず、道路被害は一様であるとし、被害1箇所当たりの復旧所要時間を10時間とした。これに1リンク当たりの被害箇所数を乗ずることで各リンクの復旧所要時間を算出する。この復旧所要時間は、建設機械のグループ1組のみが導入された場合の必要時間であり、建設機械が複数組導入された場合には、その組数で復旧所要時間を除し、時間を短縮する。また、地震発生後の県内の作業可能建設機械数の調査を行った結果から、50組の建設機械のグループが道路復旧作業を行うことが可能であると想定した。これらは、愛知県内の建設機械リース会社から復旧を開始するものとする。復旧開始点は図-1中の丸印で示す28箇所である。

### 4. 道路復旧アルゴリズムの概要

本研究で構築する道路復旧アルゴリズムは、現実性を向上させるため、各道路ごとに条件を設定した上で、復

旧作業の効率、建設機械数等を考慮したものとなっている。また、効率の良い道路復旧を再現するために、復旧順序や、各リンクに導入する建設機械数を決定する際に乱数を用いたスケジューリングを10,000通り行い、すべての道路の復旧に要した時間が最小となったものを結果として出力している。制約条件としては建設機械数の上限を定めるほか、すでに到達しているノードを始点とするリンクのみ復旧作業を行えるものとし、それ以外のリンクの復旧は行わないものとしている。また作業時間が10時間以上であるリンクには、建設機械のグループが3組以上導入されるように設定している。図-2は本研究で構築を行ったアルゴリズムの概要を表したフローチャートである。図-2(a)の復旧作業部分で図-2(b)のフローチャートに進み作業を行い、すべてのリンクの復旧が完了した後、スケジューリング結果を出力して、図-2(a)に戻る。その後、10,000通りの結果からすべての道路の復旧完了時間が最小であるものを選出し、シミュレーション結果として出力する。

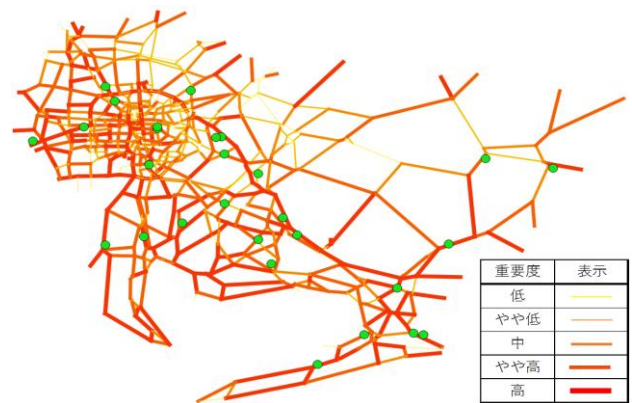


図-1 リンク重要度および復旧開始点

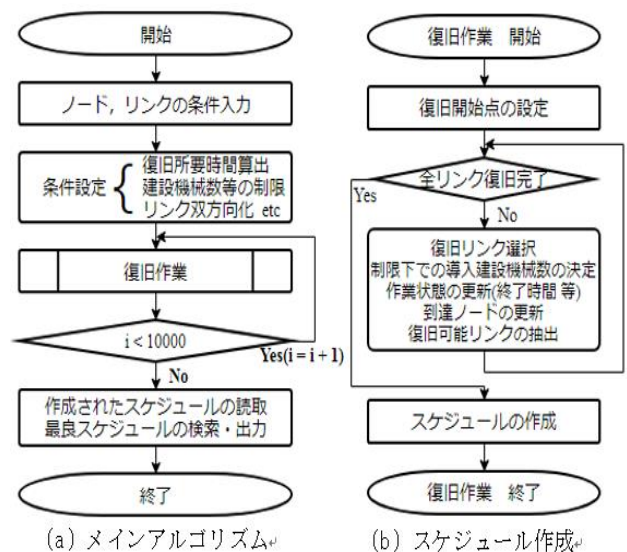


図-2 アルゴリズムの概要

## 5. シミュレーション結果

本研究で構築した道路復旧アルゴリズムを実際に南海トラフ巨大地震発生後の愛知県の緊急輸送道路網に適用しシミュレーションを行った。その結果、すべての道路の復旧が完了するのに約170時間（7日）を要した。図-3に復旧作業開始から1日後、3日後、5日後、7日後の復旧状況を示す。復旧作業は、復旧開始点付近の道路から拡大していき、高速道路等のリンク重要度の高い道路は優先的に復旧作業が行われた。また、復旧開始点が多く位置している西三河地方の復旧は早い段階で行われたのに対し、復旧開始点が少ない尾張北部や尾張南部の多くの道路の復旧は地震発生から5日目以降に行われており、復旧作業の遅れが目立った。

また道路管理防災・震災対策検討分科会<sup>2)</sup>によって策定されている現行の道路復旧計画である「中部版くしの歯作戦」との比較を行った。この計画は東日本大震災発生後に効果を発揮した「くしの歯作戦」の方針を中部地方に適用させたものである。この計画では図-4のように、STEP1として発災後1日以内にすべての高速道路および津波浸水地域外の直轄国道の復旧を行い広域支援ルートの確保をした後、STEP2として2日以内に広域支援ルートから沿岸部へのアクセスルートの確保、STEP3として3日以内に沿岸沿いのルートの道路を啓開を行うという大まかな復旧順序が設定されている。

まず復旧順序の違いを見ると、中部版くしの歯作戦では最初にすべての高速道路の復旧を行うのに対し、本研究で行ったシミュレーションでは、復旧開始点に近い道路から復旧を行っていき、その中で重要度が高い道路の復旧を優先的に行っていくという順序になっている。そのため、名古屋高速道路や名神高速道路の一部では復旧が遅れている。また本研究では、中部版くしの歯作戦では優先的に復旧を行っていない東三河地方の山間部の道路や尾張北部、西三河南部の重要度がやや低い道路も復旧順序決定の際に考慮しているため、発災後3日以内にそれらの道路の一部の復旧が行われている。このように中部版くしの歯作戦では、発災後3日目までの復旧計画のみが策定されており、それ以降は適宜救援物資を輸送するためのルート確保を行うという形になっているのに対し、本研究で行っているシミュレーションでは、愛知県内の緊急輸送道路網のすべての道路の復旧順序を詳細に決定することができ、かつ建設機械が存在する位置を考慮した計画を立てることができた。

次に、救援物資の輸送が困難である市区町村の避難所人口の推移を比較することで本研究のシミュレーション結果の評価を行った。評価の方法は、県内11箇所の広域防災拠点から名古屋市内の各区役所および他の市町村役所までの道路が確保されているかを見ており、道路が確保されていない市区町村の避難所人口を未到達避難所人口としている。図-4に広域防災拠点と市区町村役所の位置を示す。ここで、役所が緊急輸送道路に面していない場合があるため、役所から1km県内の道路に救援物資が輸送可能となった場合に自治体に到達したと判定している。

また、中部版くしの歯作戦においては、ルートから大きく離れている位置に役所が位置している場合があるため、その場合は、3日目以降に道路啓開が行われると想定し、最寄のルートから5km離れるごとに到達日数を1日加算している。

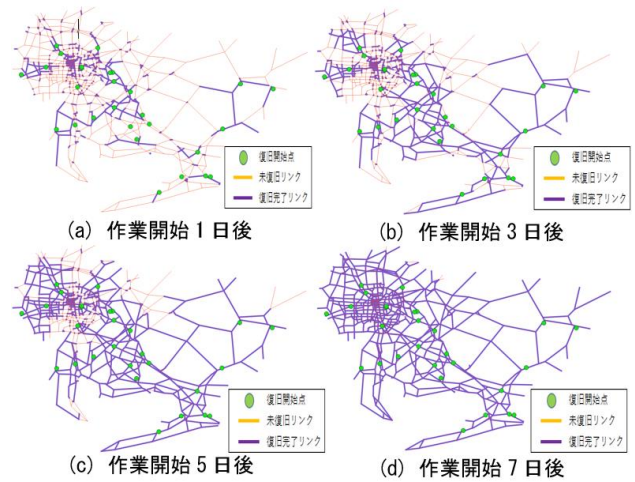


図-3 復旧状況

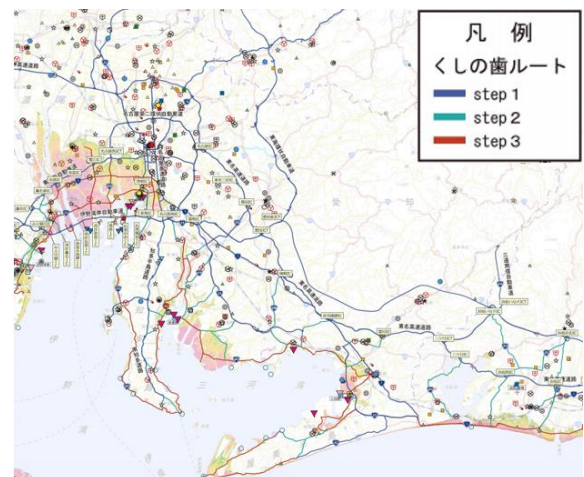


図-4 中部版くしの歯作戦

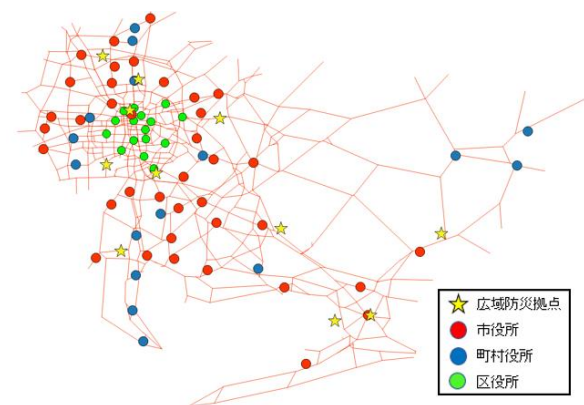


図-5 広域防災拠点および市区町村役所の位置

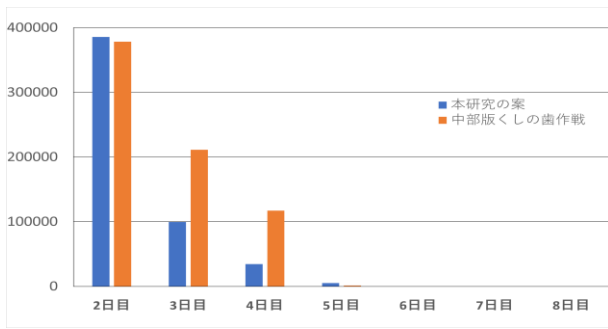


図-6 未到達避難所人口の比較

表-1 各市区町村への救援物資到達日数の比較

市区町村	到達日数		市区町村	到達日数		市区町村	到達日数		市区町村	到達日数	
	現行	本研究		現行	本研究		現行	本研究		現行	本研究
千種区	1	0	一宮市	1	2	東海市	2	4	豊山町	1	0
東区	1	0	瀬戸市	5	3	大府市	2	4	大口町	4	6
北区	1	0	半田市	3	2	知多市	2	1	扶桑町	5	6
西区	1	0	春日井市	1	3	知立市	1	1	大治町	1	2
中村区	4	0	豊川市	2	2	尾張旭市	4	4	蟹江町	3	3
中区	1	0	津島市	3	3	高浜市	2	1	飛鳥村	3	3
昭和区	4	0	碧南市	2	3	岩倉市	4	2	阿久比町	1	1
瑞穂区	4	0	刈谷市	2	3	豊明市	1	2	東浦町	3	1
熱田区	1	0	豊田市	4	1	日進市	4	1	南知多町	2	4
中川区	4	2	安城市	4	1	田原市	2	3	美浜町	2	5
港区	1	2	西尾市	2	2	愛西市	4	3	武豊町	2	2
南区	1	1	蒲郡市	3	3	清須市	4	1	幸田町	2	2
守山区	1	1	犬山市	5	6	北名古屋市	4	1	設楽町	7	1
緑区	1	0	常滑市	1	1	弥富市	3	3	東栄町	6	1
名東区	1	1	江南市	4	5	みよし市	4	1	豊根村	7	6
天白区	4	1	小牧市	1	5	あま市	4	3			
豊橋市	1	0	稲沢市	4	2	長久手市	4	1			
岡崎市	1	1	新城市	4	1	東郷町	5	1			

青塗り：本研究の案が早く到達 赤塗り：本研究の案が遅く到達

発災後2日目から8日目までの未到達避難所人口の推移の比較を図-6に、各市区町村への救援物資の到達日数の比較を表-2に示す。表-2中の青く塗られているのは本研究のシミュレーションの方が先に到達した市区町村、赤く塗られているのは到達が遅れた市区町村である。未到達避難所人口は中部版くしの歯作戦の方が2日目では約7,000人、5日目では約3,500人少なくなっているが、3日目、4日目では本研究のほうが約100,000人少

なくなった。この要因としては、69市区町村のうち、34市区町村では本研究のシミュレーションの方が先に到達したのに対し、到達が遅れたのは17市区町のみであり、被害規模の大きい名古屋市内の区役所や豊橋市等への到達が本研究の方が早かったことをあげることができる。また、すべての市区町村に救援物資が到達するのに要した日数は中部版くしの歯作戦が7日であるのに対し、本研究では6日となっており、効率的に道路復旧を行うことができるといえる。

## 6. まとめ

本研究では、南海トラフ巨大地震発生後の愛知県における道路復旧計画を作成するためのアルゴリズムを構築し、シミュレーションを行った。愛知県内の緊急輸送道路すべての重要度や被害状況、作業可能である建設機械数を考慮したアルゴリズムをシミュレーションに用いることで、現行の道路復旧計画と比較し、より現実的で効率的な復旧作業の想定を行うことができたといえる。また、すべての道路の復旧順序を決定しているため、発災直後から復旧完了まで常に方針に従った道路復旧を行うことができ、救援物資をすべての避難所により早く輸送することを期待できる。ただし、現行の計画と本研究では前提条件に違いがあるため、今後は条件を統一した上で比較を行っていく。また、さらに現実的な道路復旧計画を作成するために、地震発生後の被害状況や、復旧作業の再現性を向上させるとともに、建設機械の移動を考慮することができるようアルゴリズムの変更を行っていく予定である。

## 参考文献

- 1) 愛知県防災会議地震部会ホームページ「愛知県東海地震・東南海地震・南海地震等被害予測調査結果」
- 2) 道路管理防災・震災対策検討分科会ホームページ「中部版くしの歯作戦 平成29年5月改訂版」

(?)

## Construction of road restoration algorithm considering link importance in Aichi prefecture after a huge earthquake

Keita SASAKI, Wisinee WISSETJINDAWAT and Motohiro FUJITA

In this study, to deliver a quick recovery from disaster and alleviation of the victims, we make a construction of the algorithm in order to make a realistic and effective plan for road restoration in Aichi prefecture after the Nankai Trough Earthquake. In this algorithm, we expand the range of the plan to the emergency transportation road network in Aichi prefecture, considering the importance, the situation of the damage, and the number of construction machines which are not considered in the current road restoration plan. We can expect an effective recovery due to this plan because it will be possible to make a road restoration which always follows the line from soon after the earthquake happens to the complete of the restoration. According to the result of the simulation, all the roads get restored in seven days, and the number of the people in evacuation sites where it is difficult to send relief goods decreases approximately 100,000 people three or four days after the occurrence of the earthquake compared to the current plan.