

高速道路を対象とした地震時機能的フラジリティ関数の構築と震災間比較

岐阜大学大学院 学生会員 ○加藤 宏紀
 岐阜大学 正会員 能島 暢呂
 愛知県庁 非会員 佐藤 多恵

1. 背景と目的

高速道路の地震時における機能的被害・復旧過程の予測は、災害対策の立案のための重要な検討事項であり、これまでも高速道路の復旧予測モデル¹⁾が提案されている。一方、近年、高速道路の通行止めを伴う被害地震が多発していることから、複数の地震災害で高速道路の地震時機能性を定量的に評価して比較するためのデータが蓄積されつつある。そこで本研究では、震度情報に基づく供給系ライフラインの地震時機能的被害・復旧に関する二段階評価モデル(評価モデル)²⁾の手法を応用し、近年の主要地震の被災事例に基づいた高速道路の機能的フラジリティ関数(評価モデルのうち第一段階目に相当)を構築し、震災間比較を行うことを目的とするものである。

2. 国内の主要4地震における高速道路の通行止め状況に関するデータ収集・整理

本研究では、2011年東北地方太平洋沖地震、2016年熊本地震、2018年大阪府北部の地震、2018年北海道胆振東部地震の計4地震の被災事例について分析を行う(以降、2011年東北・2016年熊本・2018年大阪・2018年北海道と表記)。

2.1 対象地震および対象道路と使用データ

本研究では、NEXCO各社管内の高速自動車国道および主要な一般有料道路と自動車専用道路、都市高速道路及び一部の直轄管理道路(以上を高速道路と表記)を分析対象とする。これらの高速道路において、各地震に伴うインターチェンジ区間・ジャンクション区間(IC区間と表記)の通行止めの有無と通行止め発生・解除状況^{3,4)}を収集した。各地震における高速道路の通行止めの有無を図1に示す。地震動分布については、2011年東北は文献⁵⁾の推定震度分布(3月11日14時46分に発生した本震と同日15時15分に発生した最大余震のうち、最大値を採用)を使用し、2016年熊本・2018年大阪・2018年北海道は文献⁶⁾における本震の推定震度分布を使用した(図1)。2018年北海道についてはNEXCO東日本で観測されたIC位置の計測震度も用いた。

2.2 事業者の通行規制基準⁷⁾と各地震の本震に伴う高速道路の交通規制状況^{3,4)}

各事業者では以下の基準を満たすと通行止めが行われる。NEXCO東日本では計測震度4.5以上を観測した場合、NEXCO西日本では概ね震度4以上で安全な走行に支障があると思われる場合、阪神高速道路では震度5弱以上を観測した場合である。各地震における交通規制状況を示す。

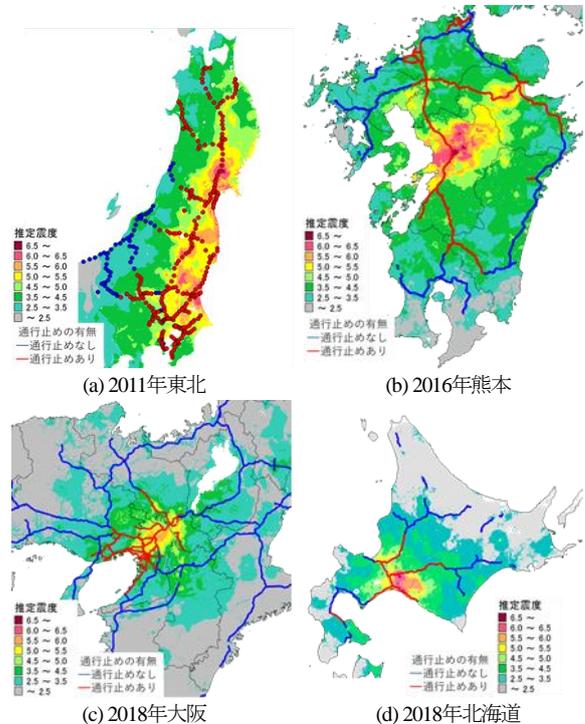


図1 各地震における通行止めの有無(青丸線:通行止めなし, 赤丸線:通行止めあり)と推定震度分布^{5,6)}

- 2011年東北: NEXCO東日本管内の東北自動車道などの約2,316kmで通行止めが発生した。その後順次解除され、本震翌日には約1,090kmの区間で緊急交通路指定がなされた。3月22日には大型車限定で緊急交通路指定が解除され、同24日にはほぼ全線で規制が解除された。
- 2016年熊本: NEXCO西日本管内の九州自動車道、大分自動車道などの7路線と福岡北九州高速道路公社管内の高速道路で計約680kmの通行止めが発生した。その後、九州自動車道が4月29日9時00分に全区間開通し、大分自動車道が5月9日22時40分に全線開通したことで、九州地方の高速道路が全面的に通行可能となった。
- 2018年大阪: NEXCO西日本の名神高速自動車道と山陽道などの11路線と阪神高速道路管内の高速道路で計約530kmの通行止めが発生した。その後、地震当日の13時に大半の区間で通行止めが解除された。
- 2018年北海道: NEXCO東日本管内の道央自動車道と札幌自動車道などを含む4路線と国土交通省北海道開発局の直轄管理区間を含めて最大で計約377kmで通行止めが発生した。NEXCO東日本管内では本震当日の17時05分には通

キーワード 高速道路, 通行止め, 2011年東北地方太平洋沖地震, 2016年熊本地震, 2018年大阪府北部の地震, 2018年北海道胆振東部地震, 機能的フラジリティ関数, 震災間比較

連絡先 〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸1-1 岐阜大学大学院工学研究科 TEL058-293-2466

行止めが解除され、本震から3日後には北海道開発局の直轄管理区間も含めた全線で通行止めが解除された。

3. 各地震における通行止めの有無と震度の関係の分析

3.1 通行止めの有無と震度の関係

各地震およびこれらの被災事例を統合した場合(4地震と表記)における高速道路の通行止め状況と推定震度分布(図1)を重ね合わせ、マッチング可能な全てのIC区間を対象とした通行止め状況を震度別に集計した(図2)。なお、低震度領域における「通行止めなし」のデータを十分に確保するため、図1の範囲外の領域も解析対象とした。1つのIC区間に対して当該区間の両端のIC位置での震度をペアで採用しているためデータ数は全IC区間のほぼ2倍となる。各地震におけるデータ総数およびその内訳を表1に示す。通行止めの有無と震度の関係(図2)を見ると、すべての地震において「通行止めあり」と「通行止めなし」の区間が重なる部分はあるものの、「通行止めあり」の区間のほうが高震度側に分布する傾向が見られる。

3.2 通行止め発生確率とそのモデル化

評価モデルの一段階目は、地震後の通行止め発生確率を機能的脆弱性関数として予測するものである。図2の二値データ(通行止めあり・なし)に最尤法を適用して、通行止め発生確率をロジットモデルでモデル化したものが図3のシンボル付き実線である。参考までに、図2から得られた計測震度別の通行止め発生率(=計測震度別の通行止めありの区間数/計測震度別のデータ総数)を図3にシンボルで示す。震度2.8~3.5程度から通行止めが出始め、震度3.7~4.4で通行止め発生率50%、震度4.8~5.6でほぼ100%に達している。各地震および4地震ともにモデルの適合度を表す尤度比は0.8以上、的中率は0.9以上であった。実測値とモデルはよく適合している。事業者の通行規制基準と機能的脆弱性関数との関係を見ると、2.2で述べた通行規制基準値の付近で急激に増加する傾向がみられる。2016年熊本は震度情報で比較的表現できていると言える。

一方、2011年東北・2018年大阪・2018年北海道については、規制基準値よりも低震度で曲線が立ち上がる傾向がみられる。2018年大阪の事例では、阪神高速は全線を3ブロックに分割して通行規制の有無を判断した影響と考えられる。これによりブロックの一部において通行規制となる震度を超過したことで、低震度の区間も通行止めとなったことが指摘されている⁸⁾。2018年北海道の事例では、計測震度が不明な区間や関連設備の被害に伴って施設制御が不能となった区間において、追加で通行止め措置が取られた影響が考えられる。4地震の結果をみると、全体的には2011年東北の概形と類似しており、低震度領域については2018年大阪の影響が大きいと思われる。今後、通行止め期間の分析とそのモデル化を行う予定である。

謝辞: 本研究の実施にあたり、多くの関係機関からデータ提供を受けた。また、(国研)防災科学技術研究所「首都圏を中心としたレジリエンス総合力向上プロジェクト」の補助を得た。記して謝意を示す次第である。

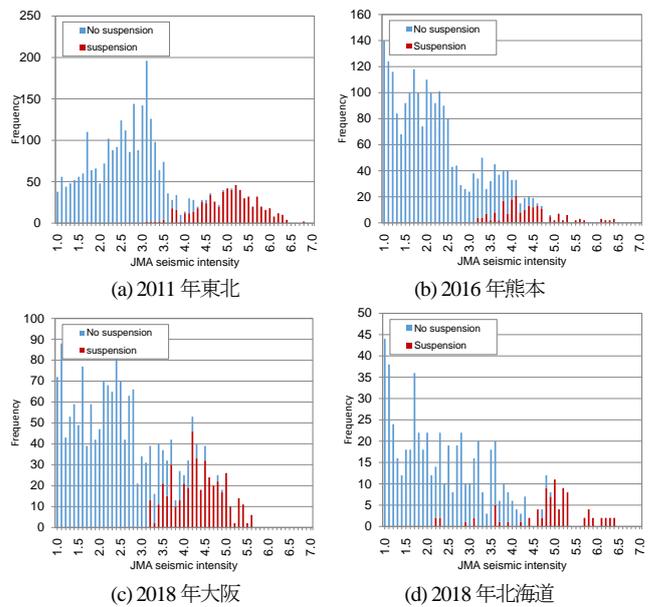


図2 各地震の通行止め有無と計測震度の関係 (青: 通行止めなし, 赤: 通行止めあり)

表1 各地震におけるデータ総数およびその内訳

(2016年熊本・2018年北海道は本州のIC区間も含む。4地震も同様。2018年北海道における括弧内の数字は、通行止め状況とNEXCO東日本で観測された計測震度を重ね合わせて得られたデータ数を示す)

| | データ総数 | 通行止めあり | 通行止めなし |
|----------|---------|--------|---------|
| 2011年東北 | 3,262 | 644 | 2,618 |
| 2016年熊本 | 3,048 | 198 | 2,850 |
| 2018年大阪 | 2,285 | 438 | 1,847 |
| 2018年北海道 | 729(61) | 87(31) | 642(30) |
| 4地震 | 9,324 | 1,367 | 7,957 |

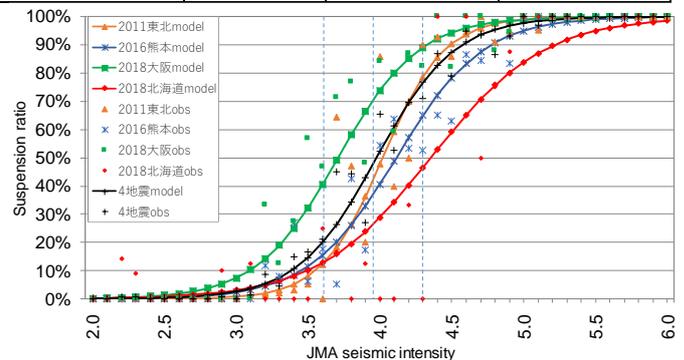


図3 計測震度別の通行止め発生確率(実測値: 2011年東北(▲), 2016年熊本(*), 2018年大阪(■), 2018年北海道(◆), 4地震(+), モデル: 2011年東北(—▲—), 2016年熊本(—*—), 2018年大阪(—■—), 2018年北海道(—◆—), 4地震(—+—))

参考文献 1) 例えば、五十嵐翼・丸山喜久: 道路構造の影響を考慮した大規模地震後の高速道路の復旧時間予測モデル, 土木学会論文集A1, Vol.74, No.4, pp.I_258-I_266, 2018. 2) 能島暢呂・杉戸真太・鈴木康夫・石川裕・奥村俊彦: 震度情報に基づく供給系ライフラインの地震時機能リスクの二段階評価モデル, 土木学会論文集, Vol.724/I-62, pp.225-238, 2003.1. 3) 国土交通省: 災害・防災状況, <http://www.mlit.go.jp/saigai/> (2019.2.1 閲覧) 4) NEXCO 西日本: お知らせ・ニュースリリース一覧, 「平成28年(2016年)熊本地震による高速道路の通行止め・災害状況等について(第1報~第13報)」5) (独)産業技術総合研究所: 地震動マップ即時推定システム HP, <http://qq.ghz.geogrid.org/QuickMap/about.html> (2011.8.23 取得) 6) 中村洋光ほか: リアルタイム被害推定・状況把握システムの開発状況, 日本地震工学会 年次大会・国際シンポジウム2015, pp.4-32, 2015. 7) NEXCO 西日本: 「天候などの自然現象等に伴う通行規制」, https://www.w-nexco.co.jp/safety_drive/restriction/ (2019.1.15 閲覧) 8) 産経ニュース: 「阪神高速道路、災害時の通行止め基準を見直し」, <https://www.sankei.com/west/news/181023/wst1810230029-n1.html> (2019.1.17 閲覧)