

地震時の劣化を考慮した道路橋被害を想定した対象地域における孤立危険性評価

中央大学大学院 学生会員 ○松尾 翔太 中央大学 正会員 佐藤 尚次

1. はじめに

我が国は地震大国であり、近年では大規模地震による道路被害が多発している。新潟県中越地震（2004年10月）では道路被害によって散在する集落へ至る交通網が遮断され、集落が孤立する事例が発生した。東北太平洋沖地震（2011年3月）においても地震による橋梁や盛土の損傷により、交通網が遮断され、集落の孤立が発生した。その一方で、「くしの歯作戦」という道路啓開が行われ、素早く道路網の復旧がなされたことから集落の孤立を解消した事例がある。この事例から緊急輸送路の重要性が再認識され、今後発生される大規模地震に備え、全国各地で地域ごとに緊急輸送路が定められている。

また現在、橋梁の劣化が全国各地で問題となっており、橋梁の劣化が進行することで地震時に損傷しやすくなり、道路ネットワークの遮断リスクが高まる。しかし橋梁の補修が追いついていないのが現状であり、特に緊急輸送路内の橋梁において損傷が発生することで、集落の孤立危険性が高まる他、避難や救助活動にも影響を及ぼす。影響を緩和するためには、ネットワークの脆弱な箇所と劣化状態を考慮した橋梁の補修優先度の把握が課題となる。

そこで本研究では緊急輸送路を対象として、地震時の道路橋被害を劣化状態を考慮した上で評価し、道路ネットワーク評価を行い、対象地域における孤立被害発生の評価、検討を行うことを目的とする。

2. 対象とする地域、橋梁、地震の選定

対象地域として福井県と千葉県を選定し、緊急輸送路網を図-1及び図-2に示す。選定理由として福井県は日本海側に位置しており、塩害による劣化が進行している点、そして図-1より緊急輸送路整備があまり進んでおらず、脆弱であり、地震発生時に孤立集落発生危険性がある点から選定した。千葉県は図-2より緊急輸送路整備がある程度進んでいるが、房総半島の先端部に行くほど道路ネットワークが疎となっており、脆弱性が見られる。また地形として県境に江戸川及び利根川が流れており、県として孤立危険性がある点から選定した。

対象橋梁は対象地域における第一次及び第二次緊急輸送路内の橋長15m以上かつ2径間以上の橋梁とする。

対象地震は福井県については東南海地震、千葉県については首都直下地震とし、詳細を表-1¹⁾²⁾に示す。

また、本報告では福井県に限定して評価結果を紹介していく。



図-1 福井県の緊急輸送路図



図-2 千葉県の緊急輸送路図

表-1 対象地震の詳細

	マグニチュード	震源深さ
東南海地震	7.0~9.0	20~40km
首都直下地震	6.7~7.3	

3. 研究手法

本研究の流れは、まず抵抗力と作用力をそれぞれ算出し、モンテカルロ法により、各対象橋梁の破壊確率の算出を行う。その後、算出した破壊確率から最小カットセットにより、道路ネットワーク評価を行い、孤立被害の発生を評価する。

3-1. 抵抗力の設定

地震発生時に橋梁が損傷する箇所は、主に支承、橋脚である。特に支承の損傷は交通機能に影響を及ぼす他、その他の部材の機能に影響を及ぼし、最悪の場合、落橋に繋がる恐れがあるため、補修が重要となる。よって考慮する抵抗力は支承部の抵抗力とする。

劣化状態を考慮する上で、地方自治体で行われる定期点検の結果を用いて、劣化による耐力低下の確

キーワード 孤立被害、緊急輸送路、劣化、モンテカルロ法、最小カットセット

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 Tel 03-3817-1816 Fax 03-3817-1803

率モデルを作成する。確率モデルについては佐竹³⁾が作成した **Gamma** モデルを用いた耐力劣化モデルがある。このモデルを用いるにあたり、使用する健全度と許容応力度設計法における各種応力の設計値を表-2のように設定し、耐力を算出する。

3-2. 作用力の設定

本研究では作用力は地震力とする。また、今回は水平方向のみを考慮し、震度法を用いて式(1)で算出する。

$$S = \frac{\alpha_h}{g} W = k_h W \quad (1)$$

ここで α_h は地震によって地盤が受ける水平加速度[cm/s²], g は重力加速度[cm/s²], W は重量[N]である。式(1)で加速度を用いるが、対象地震は加速度データが存在しない。そこで、加速度を算出するために、計測震度と地震加速度の関係を示した式(2)⁴⁾を用いる。

$$\alpha = 10^{\frac{1}{2}(I-0.94)} \quad (2)$$

ここで α は地震加速度[cm/s²], I は計測震度である。また、震度は式(3)の距離減衰式⁵⁾を用いて算出する。

$$I = 1.36M_j - 4.03 \log_{10}(X + 0.00675 \times 10^{0.5M_j}) + 0.0155h + 2.05 + C_i \quad (3)$$

ここで M_j はマグニチュード, X は震央距離[km], h は震源深さ[km], C_i は岩盤相当の地震動に補正する係数(=0.416)である。予測震源域で過去に発生した地震の震央位置を基に範囲を設定し、その範囲内で震央位置を変化させ、不確実性を考慮した。また、 M_j はマグニチュード発生頻度が **Gutenberg-Richter** 則より、指数分布に当てはまるため、指数分布に従う乱数を発生させ求める。 h は一様乱数を用いて変動性を与えることとした。

3-3. 道路ネットワーク評価

道路ネットワークの各リンクは直列システムと考え、リンク i の破壊確率 P_{fi} はリンク内の各橋梁の破壊確率 B_k を用いて式(4)で算出する。

$$P_{fi} = 1 - \prod_{k=1}^X (1 - B_k) \quad (4)$$

ここで、 X はリンク内の橋梁数である。

道路ネットワークの破壊確率は、最小カットセットを用いる。最小カットセットとは、組み合わせに含まれる全ての要素が故障したときに、システムの故障を引き起こす最小の組み合わせのことである。道路ネットワークの破壊確率 P_f は、一般化した式(5)で算出する。

$$P_f = 1 - \prod_{I=1}^M (1 - \prod_{i \in T} P_{fi}) \quad (5)$$

ここで、 M はカットセット数, T は1つのカットセットに含まれるリンク集合である。

4. 評価結果

遮断確率が80%を超える路線の結果を表-3に示す。表-3より、橋梁数が多い路線は周辺の孤立被害発生確率が高く、大野市の一般国道158号線では100%、小浜市の一般国道158号線、坂井市の一般国道364号線、南越前町の一般国道305号線、おおい町の一般国道162号線では90%を超える結果となった。理由としては路線内の橋梁は直列システムであり、橋梁数が多いほどリンクの破壊に繋がる箇所が多くな

表-2 健全度と許容応力度設計法における各種応力の設定

健全度	設定値
I	許容応力度 σ_a の 1.5 倍
II	許容応力度 σ_a の 1.25 倍
III	許容応力度 σ_a
IV	許容応力度 σ_a の 0.5 倍

表-3 各市町内路線の遮断確率

市町名	路線	橋梁数	遮断確率
大野市	一般国道158号	15	100.00%
小浜市	一般国道162号線①	8	99.77%
坂井市	一般国道364号	8	96.81%
南越前町	一般国道305号	5	96.63%
おおい町	一般国道162号線	4	94.42%
勝山市	一般国道157号①	3	88.39%
福井市	一般国道416号③	4	86.11%
福井市	一般国道416号①	5	85.52%
鯖江市	一般県道福井鯖江線	2	85.05%
若狭町	一般国道162号線	3	84.94%
福井市	主要地方道福井加賀線	4	83.83%
越前町	一般国道417号	3	82.49%
福井市	一般国道305号	3	80.12%

るためであると考えられる。また、橋梁数が少ないにも関わらず90%近い確率の路線も存在し、橋梁の劣化による破壊確率の増加も見られる。よって、橋梁数が多い路線内の劣化が進行している橋梁が補修優先度が高いと考えられる。

ただ、遮断確率が高い路線があることで孤立被害は発生しやすくなるが、ネットワークが整備されているのであれば、孤立被害の発生は抑えることができる。したがって、遮断確率が高い路線があることが孤立危険性に直結するとは一概には言えない。そのため、ネットワークを考慮した各市町村の孤立危険性の評価を行っていく必要がある。

5. おわりに

本論文では、福井県を対象に東南海地震による作用力、劣化状態を考慮した支承部の抵抗力の算出を行った。また、支承の損傷確率から各路線の遮断確率の算出を行った。

今後の課題として、道路ネットワーク評価を行った後、各地域の孤立被害発生評価を行う。また、千葉県における孤立被害発生評価も行っていく。

参考文献

- 1) 南海トラフ地震で想定される震度や津波の高さ, 気象庁, 2013年
- 2) 首都のM7クラスの地震及び相模トラフ沿いのM8クラスの地震等の震源断層モデルと震度分布・津波高等に関する報告書, 内閣府, 2013年
- 3) 劣化橋梁の地震・積雪複合作用に対する破壊確率評価, 佐竹基治, 2015年度中央大学修士論文
- 4) 計測震度の算出方法, 気象庁
- 5) 断層近傍まで適用可能な震度の距離減衰式の開発, 松崎伸一ら, 2006年