

地震時の道路橋被害を想定した道路ネットワークの信頼性評価

中央大学 学生会員 ○大澤 寧子
中央大学 正会員 佐藤 尚次

1. 研究の背景と目的

地震発生直後、被災地へアクセスする為の道路の確保は重要な課題である。2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、津波で大きな被害が想定される沿岸部への進出の為、「くしの歯作戦」と称した道路啓開が行われた。道路啓開とは、緊急車両等の為に、1車線でも通行できるよう道路上の障害物を除去し、簡易な段差修正を行い、救援ルートをあけることをいう。このケースでは内陸をはしる東北道、国道4号に着目し、救援ルートをくしの歯型に設定した。震災から1週間後には97%が通行可能となり、道路啓開は終了しました。東日本大震災の教訓として以下のことがあげられる。

- (1) 橋梁の耐震補強を実施してきた結果、地震動による致命的な被害を防ぐ。
- (2) 津波を考慮して高台に計画された三陸縦貫自動車道（開通率51%）の部分供用区間が緊急輸送路として機能。
- (3) 東北道からのアクセス道路の間隔が広く、速やかに到達できない地区が発生。

本研究では、道路啓開を行う上で道路橋が被災していないことが重要と考え、道路橋に焦点をあてる。そして、要素としての道路橋の耐震信頼度の違いが、道路ネットワークシステム信頼度に及ぼす影響を評価し、対策の重要度を定量的に把握することを目的とする。

2. 対象ネットワーク

2.1 対象地域

南海トラフ地震の発生が危惧されており、地震が発生した場合に著しい被害が生じる恐れのある地域¹⁾の中から和歌山県を対象にした。和歌山県を対象地域に選定した理由として以下のことがあげられる。

- (1) 紀伊半島の先端部分は高規格幹線道路の空白地帯であること。くしの歯作戦では、高規格道路を活かしたことが目的の早期達成に繋がったが、そのような策をとるのが難しい環境である。
- (2) 国道42号が津波被害で寸断される可能性が高いこと。南海トラフ巨大地震では沿岸を走る国道42号の津波被害が想定されており、孤立地域が生じる可能性が高い。
- (3) 道路改良率が低いこと。和歌山県内の道路改良率は一般国道、県道合わせて54.4%²⁾である。全国平均（政令市分除く）が75.6%、近畿地方の平均が69.3%と和歌山県の改良率が低いことが分かる。

2.2 対象路線

対象路線は和歌山県緊急輸送道路に指定されている路線の内、高規格幹線道路（京奈和自動車道、近畿自動車道紀勢線等）を除いた路線とする。対象路線の端点及び交差点をノード、ノード間の道路をリンクとし、モデル化したものを図-1に示す。赤い点はIC等、矢印は除外した高規格幹線道路を示し、赤い矢印は2015年供用開始予定の近畿自動車道紀勢線（田辺～すさみ）を表している。

2.3 対象橋梁

橋長15m以上、複数径間の道路橋とする。

3. 地震力の想定

地震力の指標にはSI値を用いる。南海トラフに発生する地震はいくつかの発生位置及び震源域について予測されており、今回は①東南海地震単独で発生する場合②南海地震単独で発生する場合③想定し得る最悪のケースとなる南海トラフ巨大地震の3ケースの予測震度¹⁾³⁾を用いる。予測震度 I から式(1)⁴⁾によってSI値を推定する。

$$SI = 10^{-1.16+0.5 \cdot I} \quad (1)$$

地震ハザードステーション J-SHIS⁵⁾で公表されている東南海地震、南海地震の発生確率（2012年モデル）を表-1に示す。

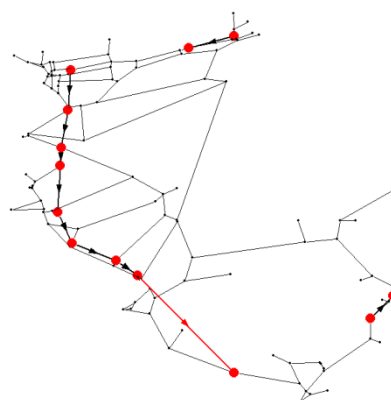


図-1 対象ネットワークモデル

表-1 東南海地震・南海地震の発生確率

	東南海地震	南海地震
マグニチュード	8.1	8.4
平均発生間隔[年]	86.4	90.1
最新活動期時期[年前]	67.1	65
30年発生確率[%]	72	61.9
50年発生確率[%]	94.1	90.2

キーワード 道路ネットワーク 信頼性 道路橋 地震被害

連絡先〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学理工学部都市環境学科設計工学研究室 TEL03-3817-1816

4. 道路ネットワークの破壊確率

4.1 道路橋の耐震性能

道路橋の耐震性能は適用道路橋示方書により異なる。兵庫県南部地震等の過去の地震において被害が生じたのは、昭和55年道路橋示方書より古い基準を適用したものであった。また平成8年道路橋示方書以降の基準は、兵庫県南部地震相当の地震力を想定して設計されている。このことから、道路橋の耐震性能を以下の3つに分類する。

- ① 昭和55年道路橋示方書より古い基準
- ② 昭和55年から平成6年道路橋示方書
- ③ 平成8年道路橋示方書以降の基準

耐震補強は、昭和55年より古い基準を適用したものを中心に行われてきた。東北地方太平洋沖地震ではその効果が示されたが、耐震信頼度を評価するのは困難な為、昭和55年道路橋示方書と同様の性能と考え進めていく。

4.2 ネットワークの破壊確率

道路橋の被害発生確率 B_k は、立地位置で想定されるSI値と適用示方書に応じ、図-2の被害関数⁶⁾から求める。そして、リンク内の橋梁数を X とし、リンク破壊確率 P_{fi} を式(2)で算出する。

$$P_{fi} = 1 - \prod_{k=1}^X (1 - B_k) \quad (2)$$

また、最小カットセットとなるリンクの組み合わせを求める。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時、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。被災地へ到達できない確率をシステム破壊確率 P_f 、 T を1つのカットセットに含まれるリンク集合、 M をセット数とし、リンク破壊確率 P_{fi} から式(3)で算出する。

$$P_f = 1 - \prod_{i=1}^M \left(1 - \prod_{i \in T} P_{fi} \right) \quad (3)$$

ただし、この手法で和歌山県全域のシステム破壊確率を求めるのは効率的でないため、現在の近畿自動車道紀勢線の終点である南紀田辺ICから南部の地域にあるノードを対象に算出する。

5. 結果

5.1 道路橋の被害発生確率

南海トラフ巨大地震は最悪のケースを想定しているため被害発生確率90%を超える道路橋が、耐震補強前で全体の1/4、現在は1/7であった。

東南海地震は、3ケースの中ではマグニチュードも小さく、震源も離れているため、全体的に道路橋の被害発生確率は小さく、ほとんどが10%以下であった。最も高い被害発生確率は40%程度だった。

南海地震では、被害発生確率90%を超える道路橋が、耐震補強前で3橋、現在は1橋であった。ただし、半数の道路橋の被害発生確率は10%以下であり、道路橋により大きく異なる結果となった。

5.2 リンク破壊確率

南海トラフ巨大地震は、個々の道路橋の被害発生

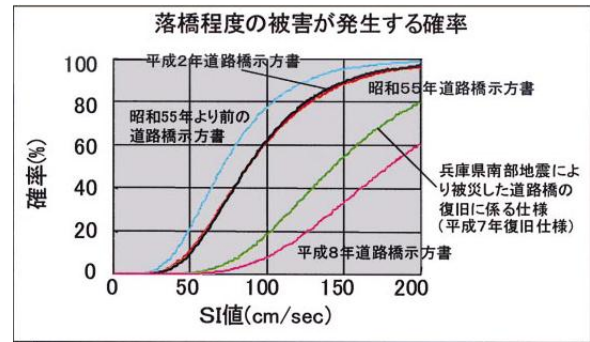


図-2 被害関数

確率が高い為、リンク破壊確率も高い結果となった。耐震補強の前後で10%程度変化したリンクが多かったが、補強前の破壊確率が高すぎるため、効果があったとは言い難い。

東南海地震は、道路橋の被害発生確率が低いので、破壊確率も低いリンクが多い。しかし、橋梁数の多いリンクでは補強前で40~65%、現在は30~55%までであった。

南海地震は、道路橋の被害発生確率と同様の傾向で、破壊確率30~40%のリンクが多いが、90%を超えるリンクもあるという結果になった。補強前の破壊確率が40~70%だったリンクで、補強後に20%程度変化していることが多かった。

5.3 システム破壊確率

南海トラフ巨大地震、南海地震では、全てのノードで100%に近い値となった。南海トラフ巨大地震は、地震力が大きく道路橋の被害発生確率が高いことが影響していると考えられる。これに比べ南海地震の被害発生確率は低いが、同等の結果となった要因として、ネットワークが単純でルートが限られており、一つ一つのリンクの重要度が高いことが影響していると考えられる。

東南海地震では、耐震補強の前後で10~20%程度の変化がみられた。これらの結果の詳細は当日図示する予定である。

6. まとめ

東南海地震、南海地震、南海トラフ巨大地震の3つのケースについて、道路ネットワークシステムの信頼性を評価した。その結果、個々の道路橋の耐震信頼度の違いは道路ネットワークシステムに影響を及ぼすが、それ以上にネットワークの多重性、代替性が重要となってくると考えられる。

参考文献

- 1) 内閣府：南海トラフの巨大地震モデル検討会
- 2) 和歌山県：県土整備部道路局
- 3) 内閣府：東南海・南海地震等に関する専門調査会
- 4) 童華南、山崎文雄（1996）：地震動強さ指標と新しい気象庁震度との対応関係；生産研究 48 巻 11 号、pp.31-34.
- 5) 地震ハザードステーション (J-SHIS) : <http://www.j-shis.bosai.go.jp/>
- 6) 国土技術政策総合研究所：国総研アニュアルレポート 2003, 地震に強い国土をつくる技術と技術政策