

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

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震の際、甚大な被害が想定された太平洋沿岸地域への進出のために「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、1 車線で緊急車両のみでも通行できるように（迂回路を含め）、道路上の障害物等を除去し、簡易な段差修正を行い、救援ルートをあけることである。このケースでは、内陸を走る東北道・国道 4 号に着目し、緊急輸送道路をくしの歯型に設定した。震災翌日には全 16 ルート中 11 ルートを確保するなど、早期に目的を達した。この理由として、道路橋の耐震補強により落橋等の致命的な被害が防げたことがあげられる。

本研究では、要素としての道路橋の耐震信頼度の違いが、システム信頼度に及ぼす影響を評価することから、道路橋の耐震補強の重要度を定量的に把握することを目的としている。

2. 分析対象

対象地域は福島県内の国道 4 号から国道 6 号の間とする。

道路ネットワークは約 10km メッシュを網羅するように、国道・主要地方道の中から選定した。道路ネットワークを図-1 に示す。水色が国道 4 号、国道 6 号、黒色が道路ネットワークである。分析を行うため、道路ネットワークをノードとリンクからなるネットワークとしてモデル化する。ノードとは道路ネットワークの端点、及び交差点等とし、リンクとはノード間の道路のことを指す。

橋梁は橋長 15m 以上、複数径間の道路橋を対象とする。

3. 地震力の推定

地震力の指標には式(1)で定義される SI 値を用いる。

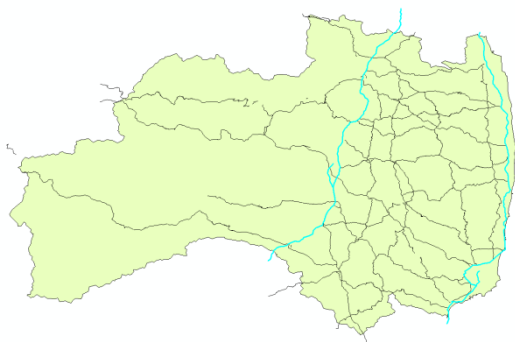


図-1 道路ネットワーク

$$SI = \frac{1}{2.4} \int_{0.1}^{2.5} S_v^{h=0.2}(T) dT \quad (1)$$

$S_v^{h=0.2}$ は減衰定数 20% の速度応答スペクトルである。K-NET/KiK-net¹⁾で観測された東北地方太平洋沖地震（2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分発生、震源深さ 24km、マグニチュード M9.0）の強震記録を利用して SI 値を算出した。SMDA2(Strong Motion Data Analysis Ver.2)では減衰定数 1%, 2%, 5%, 10% の速度応答スペクトルしか算出できない。そこで減衰定数 20% の速度応答スペクトルは、減衰定数 5% の速度応答スペクトルに式(2)の補正係数を乗じて換算した²⁾。

$$C_D = \frac{1.5}{40h + 1} + 0.5 \quad (2)$$

Ordinary Kriging 法を用いて 1km メッシュ単位で SI 値を推定した。推定に用いた K-NET/KiK-net 観測点は福島県内の 41 観測点である。推定した SI 値分布を図-2 に示す。

4. 道路橋の被害推定

本研究では詳細な被害を推定することが目的ではないため橋脚に焦点をあて、道路啓開を想定し、耐荷力の低下に著しい影響のある損傷を生じており、落橋等致命的な被害の可能性がある場合と定義される³⁾被災度 A の被害を推定する。推定方法は小林らが提案した被災度推定手法⁴⁾や、適用道路橋示方書年次別の被害関数（図-3）⁵⁾等を参考に行う。

4.1 適用道路橋示方書による分類

適用道路橋示方書（以下道示）により耐震性能が異なるため、

1. 昭和 55 年道示より古い基準を適用した橋脚
 2. 昭和 55 年、平成 2 年道示を適用した橋脚
 3. 平成 8 年道示以降の基準を適用した橋脚
- の 3 つに分類する。

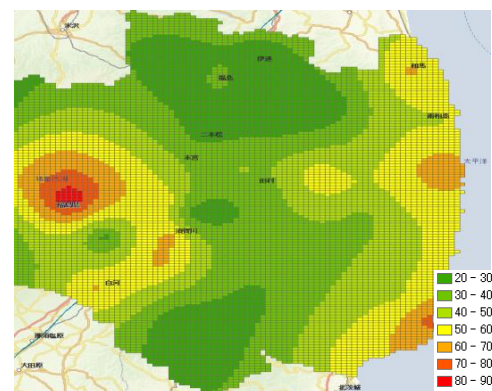


図-2 SI 値分布

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

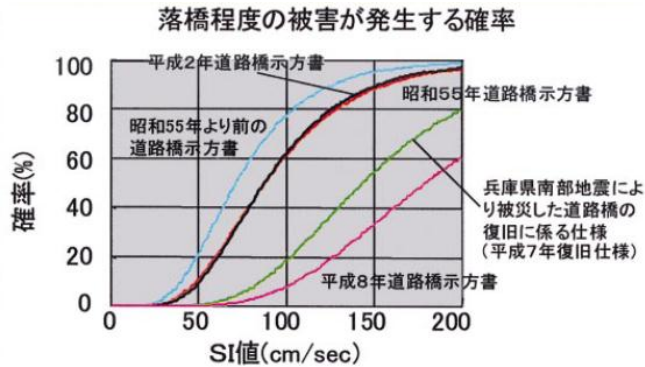


図-3 被害関数

平成 8 年道示以降の橋脚については、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ので、落橋等の致命的な被害の発生確率は小さい。

昭和 55 年道示より古い橋脚については、兵庫県南部地震など過去の地震における橋脚の被災データと SI 値の関係を整理したものを参考に、SI 値 60 以上で被災度 A と推定する。

昭和 55 年、平成 2 年道示の橋脚については、被災事例がないことから、図-3 等を参考に SI 値 80 以上で被災度 A と推定する。

4.2 耐震補強

本研究での耐震補強とは、緊急輸送道路の橋梁耐震補強 3 箇年プログラム⁶⁾を示す。このプログラムは、兵庫県南部地震と同程度の地震動に対しても落橋等の甚大な被害を防止し、緊急輸送道路としての機能を確保するため、平成 17 年度から平成 19 年度までの 3 箇年を対象期間とし、緊急輸送道路の橋梁の耐震補強を重点的に実施した。昭和 55 年道示より古い基準を適用した橋梁のうち、特に優先的に耐震補強を実施する必要がある橋梁を対象とする。

耐震補強後の耐震性能を評価することは困難なため、昭和 55 年道示以上の耐震性能を有することが耐震補強の目的であることを考慮し、耐震補強後は昭和 55 年道示と同様の基準を用いて推定する。

5. 結果

被災度を推定した結果、被災度 A と推定された橋梁数は耐震補強前であれば 4 つ、現在は 1 つであった。現在 1 つだけ被災度 A と推定された道路橋の SI 値は 60.1 であるため、SI 値の推定方法によっては結果が変わってくる。この道路橋は緊急輸送道路対象外、未耐震補強であり、国道 6 号に近い路線にある。国道 4 号と国道 6 号を結ぶ最短パスには該当しないが、南北を結ぶ路線であり、迂回路としての役割が大きいと考えられる。東北地方太平洋沖地震のような津波被害を考慮すると、耐震補強を行い道路橋の耐震信頼度が高くなることで、ネットワークシステムの信頼性も向上すると考えられる。

また図-3 を用いて、道路橋に落橋等の被害が発生する確率を算出し、リンク毎の損傷確率を算出した。現在のリンク毎の損傷確率を図-4 に示す。損傷確率 1%以下を青、1~9%を緑、10~29%を黄、30~49%

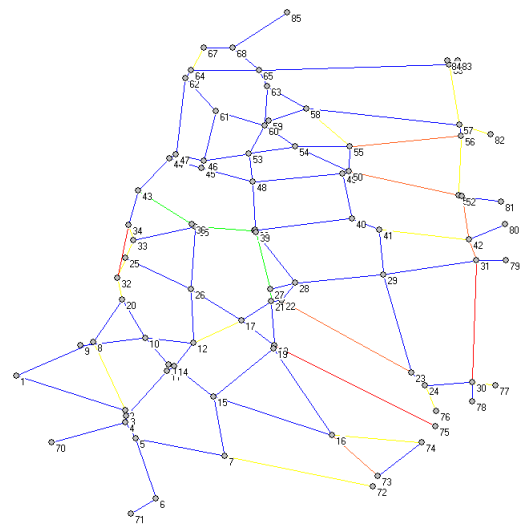


図-4 リンク毎の損傷確率

をオレンジ、50%以上を赤で表している。SI 値の高い地域をとるリンク、橋梁数の多いリンクで損傷確率が高くなっている。南北を結ぶリンクは橋梁数も少なく、損傷確率が低いものが多い。

6. 今後の課題

複雑なネットワークシステムの解析を行うため、FTA (故障の木解析: Fault Tree Analysis) 等の方法を検討中である。FTA 等には最小カットセットという考えがある。カットセットとは要素の組み合わせで、その組み合わせに含まれる全ての要素が故障した時に、システムの故障を引き起こす組み合わせのことである。カットセットの組み合わせにカットセットとなるものが存在しない最小の組み合わせが最小カットセットである。本研究では、道路ネットワークが広域で迂回路の数が膨大となるため、最短経路の 1.5~2 倍までの距離になる経路を迂回路とする等の条件を付加し、複雑な道路ネットワークシステムの信頼性評価方法を検討する。

参考文献

- 1) 防災科学技術研究所: 強震観測網
- 2) 丸山喜久, 山崎文雄: 応答スペクトルの距離減衰式に及ぼす減衰定数の影響, 土木学会論文集 A, Vol.62, No.2, pp.384-392 (2006)
- 3) 日本道路協会: 道路震災対策便覧 (震災復旧編), 2002.4
- 4) 小林寛, 運上茂樹: 大地震時における道路橋の被災度推定手法, 土木技術資料 47-12, 2005.12
- 5) 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
- 6) 国土交通省: 緊急輸送道路の橋梁耐震補強 3 箇年プログラム