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．

道路橋は橋長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SI値を用いる．K-NET/KiK-net[1]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5%の速度応答スペクトルに式(1)の補正係数を乗じて，減衰定数20%の速度応答スペクトルに換算した[2]．

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

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．

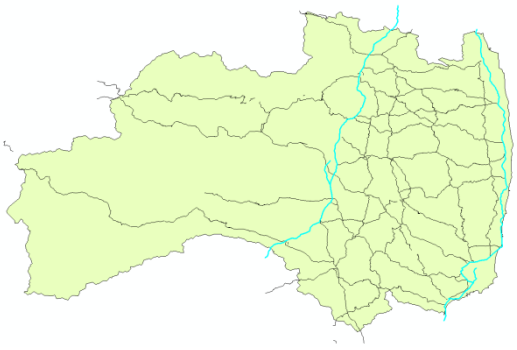

図-1　道路ネットワーク

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．

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

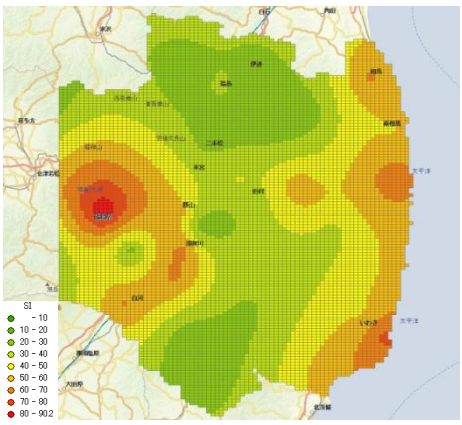

図-2　SI値分布

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

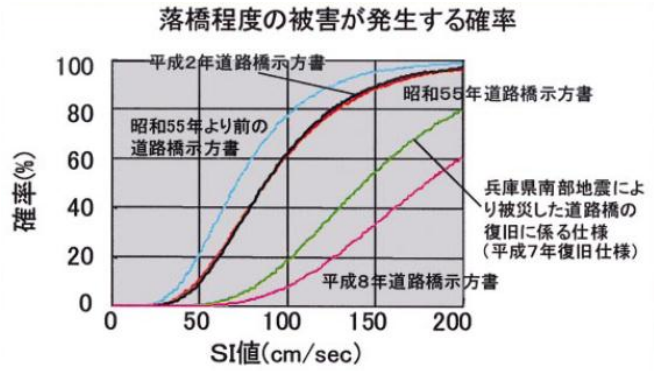

図-3　被害関数

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の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．

4.3 ネットワークシステム破壊確率

図-3を用いて道路橋の被害発生確率を算出し，リンク毎の破壊確率を求めた．現在のリンク毎の破壊確率を図-4に示す．対象ネットワークが広域のためedge betweenness法を用いて4つに分解し（図-5），各ネットワークにおいて端点への最小カットセットを求め，端点のシステム破壊確率を算出した．

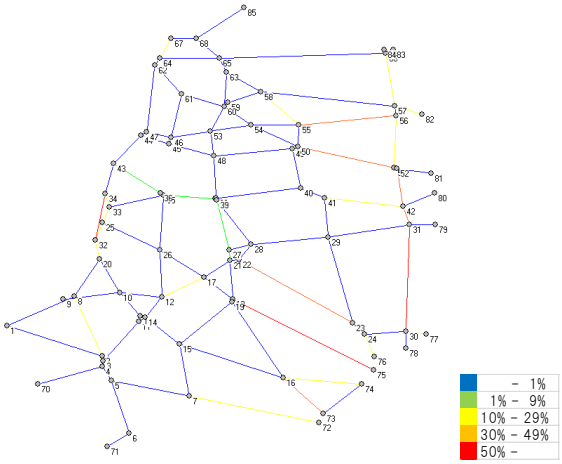

図-4　リンク毎の損傷確率

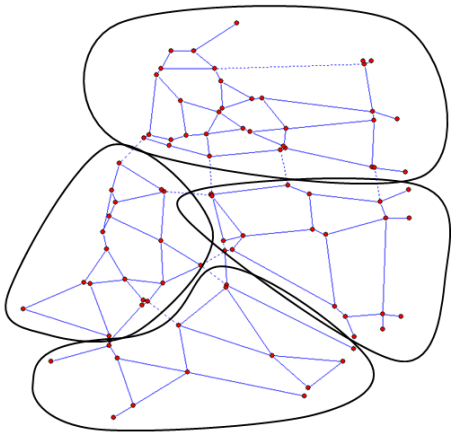

図-5　4つに分解したネットワーク

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号に近い路線上にある．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．

リンク毎の破壊確率を算出した結果，耐震補強の前後で破壊確率が下がっているリンクが多い．しかし，現在でもSI値の高い地域を通るリンク，橋梁数の多いリンクでは破壊確率が高いままとなっている．また，国道6号付近のノードにおけるシステム破壊確率を算出した結果，耐震補強によってシステム破壊確率は大きく下がった．これは迂回路，特に南北を結ぶリンクの破壊確率が小さいことが影響していると考えられる．

6. 今後の課題

複雑な道路ネットワークにおける結果の可視化方法の検討，発生が危惧されている東海地震等で被害の生じる恐れのある地域での信頼性の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