

ネットワーク解析を用いた地震時における道路閉塞危険度の軽減対策

金沢大学大学院 学生会員 大關洋平
 同 フェロー 北浦 勝
 同 正会員 村田 晶

1. 研究の背景

現代社会において、道路は人々の交通・物流に必要な不可欠であり、地震災害時の避難活動・救援活動・復旧活動においても極めて重要な役割を果たす。しかし、兵庫県南部地震ではコミュニティ内の建築物倒壊や道路破壊により、多くの街路が通行不能となり、避難や救助活動に支障をきたした。また2004年に中山間地で発生した新潟県中越地震では、複数の集落が孤立する事態が生じた。中山間地では道路網が乏しいため、地震災害により集落が孤立する危険性が高い。このリスク軽減のために事前に道路の耐震補強を行うことが求められる。しかし、道路の総延長は長く全てを補強することは財政的に困難であり、効率的に耐震化を行う必要があると言える。

2. 研究の目的

地震防災計画では、地震による道路の被害を最小限にとどめ、道路の寸断が生じた場合にもネットワーク性を活かすことで、完全に孤立する集落が生じないように考える必要がある。¹⁾

本研究ではこの考えに基づき、道路ネットワークの耐震性評価を行い、地震によって発生する道路閉塞を予測することにより、効率的な防災整備の助けとなり、最終的に町全体の道路閉塞を軽減することを目的とする。

3. 簡単ネットワークの定式化

本研究においてはネットワークの補強予算を考慮し、補強後の生存確率を求める。簡単のために以下のネットワークをモデルに定式化を行う。

図-1 のような簡単モデルを考える。また、各記号は以下のようなものである。

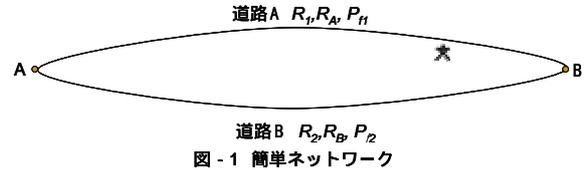


図-1 簡単ネットワーク

R_1, R_2 : 道路A,Bの全面的に補強するのに要する費用
 R_A, R_B : 道路A,Bの補強に使った費用
 P_{f1}, P_{f2} : 道路A,Bの破壊確率

条件式は以下のようなになる。

$$R_A + R_B = R \quad (1) \quad R_1 + R_2 > R \quad (2)$$

補強後の道路の破壊確率は以下のように表される。

$$P_{f1}' = P_{f1}(1-x) \quad (3) \quad P_{f2}' = P_{f2}(1-y) \quad (4)$$

ただし、 $R_A / R_1 = x, R_B / R_2 = y$ とする。

次に補強後のネットワークの生存確率 P_s を考える。Taleb-Agha²⁾を用いて、簡略化すると生存確率 P_s は次のようになる。

$$P_s = 1 - P_{f1}' P_{f2}' \quad (5)$$

式(3)、(4)より式(5)は次のように表される。

$$P_s = 1 - P_{f1} P_{f2} (1-x)(1-y) \quad (6)$$

この式(6)において、生存確率 P_s が最大となるような x, y を求めることが目的となる。このような簡単なネットワークの場合には、 x, y を解析的に求めることが可能であるが、さらに複雑な解析的に解けないネットワークも対象とすることから、ここではコンピュータ上でシミュレーションをする。

4. 重要度決定方法

ネットワーク中のリンクの優先順位に応じて、合理的に補強するためには、各リンクに重要度を割り振る必要がある。

重要度には様々な要因が関与するが、本研究では各要因を個別に考慮する決定方法を二つ考えた。なお、二つの方法では重要度に応じて、リンクの破壊確率の減少割合を与える。リンクの破壊確率の減少割合は以下の表-1

キーワード 道路閉塞、Taleb-Agha、ネットワーク、シミュレーション

連絡先 〒920 1192 石川県金沢市角間町金沢大学自然科学研究科 TEL076 234 4655

のようにする。

4-1 各リンクの重複数からの重要度決定方法

各リンクの重複数を h とする。 h が最大(h_{max})であるリンクの重要度 I を10とし、それ以外のリンクの重要度を $I = h/h_{max} \times 10$ で表す。

4-2 重要施設の有無からの重要度決定方法

重要施設(警察、消防、病院、避難所)が含まれており、なおかつ、重要施設の個数を q とする。 q が最大(q_{max})のリンクの重要度 I を10とする。また、そのリンク以外の重要施設が含まれているリンクの重要度は $I = q/q_{max} \times 10$ とする。そして、重要施設が含まれていないリンクの重要度の決定方法は $I = q_{min}/q_{max} \times 10 \times 0.5$ とする。

5. 計算結果

図-1において、重要度を考慮しない場合について計算を行う。ただし、各値は以下のように設定する。

$$R_1 = 300 \quad R_2 = 400 \quad P_{f1} = 0.6 \quad P_{f2} = 0.4$$

また、予算パターンは補強リンクにおける重要度を考慮した時の補強費の50%~100%で計算を行った。各計算結果を図-2、図-3に示す。

6. まとめ

重要度を考慮する時、各リンクの重複数からの重要度決定方法と重要施設の有無からの重要度決定方法において差が見られた。リンクの重複数からの重要度決定方法の場合、図-1においては重複するリンクがないため、各重要度が10となる。このため、補強費が100%の時、各リンク(TS)の生存確率が100%となる。これに対して重要施設の有無からの決定方法の方が道路Bの生存確率が低くなった。重要施設の有無からの重要度決定方法の場合、重要施設がないリンクの重要度は低くなる。このため、目標となる破壊確率の減少割合が低くなることから、補

表-1 重要度ごとの目標となる破壊確率の減少割合

重要度 I	目標となる破壊確率の減少割合 x, y (%)
$0 < I < 1$	0~10
$1 < I < 2$	0~20
$2 < I < 3$	0~30
$3 < I < 4$	0~40
$4 < I < 5$	0~50
$5 < I < 6$	0~60
$6 < I < 7$	0~70
$7 < I < 8$	0~80
$8 < I < 9$	0~90
$9 < I < 10$	0~100

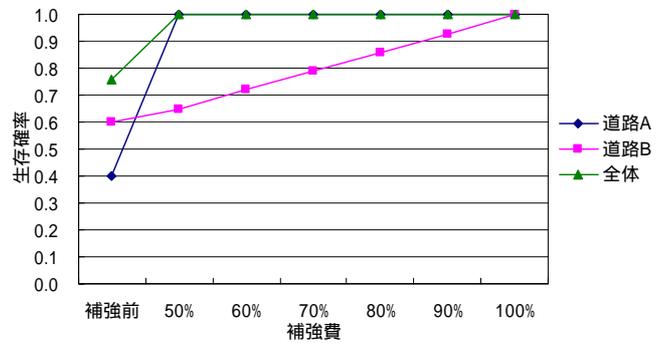


図-2 重複数からの重要度決定方法の結果

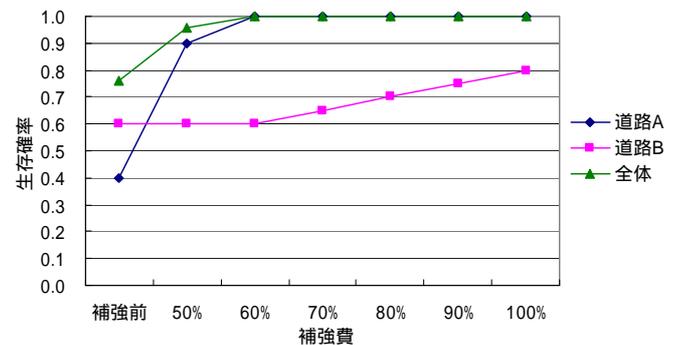


図-3 重要施設の有無からの重要度決定方法の結果

強費が100%の時に生存確率が低くなった。また、一つのタイセットの生存確率が100%となった時、全体の生存確率も100%となった。これは、2点間が確実に行き来可能であるためである。

参考文献

- 1) 國生剛治・大塚悟：「新潟県中越地震の地盤災害に関する提言」の取りまとめ報告、土と基礎、Vol.53, No.11, 2005.
- 2) Taleb-Agha, G " Seismic Risk Analysis of Networks ", Seismic Design Decision Analysis-Report, No.22, MIT, Dept. of Civil Eng. Res. Rep. R75-49, 1975