

地震時交通機能予測モデルに基づく道路ネットワーク要素の重要度評価

岐阜大学工学部 学生員 ○棚橋 昭夫

岐阜大学工学部 正 員 能島 暢呂

岐阜大学工学部 正 員 杉戸 真太

岐阜大学工学部 学生員 福岡 淳也

1. 本研究の目的 道路交通機能の地震時信頼性向上を図り、被災時に円滑な交通機能を確保することは地震防災上の重要課題である。しかし膨大な道路施設をすべて耐震補強することは不可能であり、時間的・経済的な制約条件のもとで合理的に耐震補強を進めるには、施設の重要度に応じた優先順位付けを行う必要がある。本研究では、ネットワーク容量を評価指標とした重要度評価法¹⁾を発展させて、地震時交通機能予測モデル²⁾により算出されるトリップ充足率を評価指標として、道路ネットワーク要素の信頼性改善効果を確率重要度によって定量化し、優先順位付けの意思決定の基礎資料とする方法について検討する。

2. 確率重要度の算出方法 まず道路ネットワークモデルにモンテカルロ・シミュレーションを適用して多数の被災パターンを生成する。各パターンに対して修正分割配分法³⁾による交通量配分を行った結果、得られるOD交通量のトリップ充足率を被災ネットワーク機能の評価指標として算出する。ここで、図1に示すように評価指標を Y で表し、そのヒストグラムをリンク i の破壊/非破壊に分類して描くと、非破壊の場合が破壊の場合よりも全体的に右側にシフトした形状となるため、その形状比較によってリンク i が道路ネットワークに及ぼす影響度を知ることが可能である。さらに図1のように、 Y の平常時の値 Y_0 と所定の要求水準 r ($0 \leq r \leq 1$)の積 $Y^* = rY_0$ を満足するべきシステム機能水準とした場合、 Y^* を超過する斜線部分を比較することにより、リンク i からシステム機能への影響度を確率論的に評価できる。表1はシミュレーションの全試行回数 N を、リンク i の破壊(0)/非破壊(1)とシステム機能の非充足(0)/充足(1)の相互関係に着目して分類したものであり、 n は試行回数の内訳、第1下添字はリンク i の破壊/非破壊、第2下添字はシステム機能の非充足/充足、上添字 i はリンク i に関することを示す。ここで、要素信頼度 p の改善によるシステム信頼度 P の改善効率を表す確率重要度 I を導入する。リンク i の確率重要度は、リンク i が非破壊(1)のときシステム機能が充足(1)される確率 $P(1_i, p)$ と、リンク i が破壊(0)のときシステム機能が充足(1)される確率 $P(0_i, p)$ との差で定義されるが、表1の結果を用いるれば、次式で推定することができる。

$$I_i = \frac{\partial P}{\partial p_i} = P(1_i, p) - P(0_i, p) = \frac{n_{11}^i}{n_{1*}^i} - \frac{n_{01}^i}{n_{0*}^i} \quad (\text{式 1})$$

3. 解析対象モデルと前提条件 図2に示すような10ノード32リンクの仮想道路ネットワークを対象とする(リンクの太さは容量に、リンク長はノード間距離に比例)。評価指標はノード1, 2, 3の各OD間交通量に関するトリップ充足率とし、被災時の要求水準は $r=0.2, 0.4, 0.8, 1.0$ とした。被災時の単位長さ当たりの被害発生率 λ は簡単のため全リンクで一律と仮定して、被災規模によって $\lambda=0.01, 0.02, 0.05, 0.1$ (箇所/単位長さ)のように変化させ、各試行において破壊したリンクの交通容量を0とした。

表1 シミュレーションの試行回数の分類

		リンク i		
		0	1	
システム	0	n_{00}^i	n_{10}^i	n_{*0}^i
	1	n_{01}^i	n_{11}^i	n_{*1}^i
		n_{0*}^i	n_{1*}^i	N

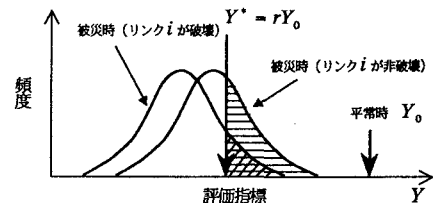
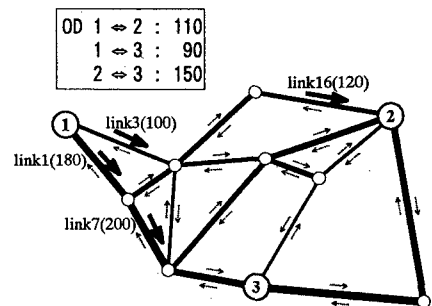
図1 評価指標 Y に関するヒストグラム

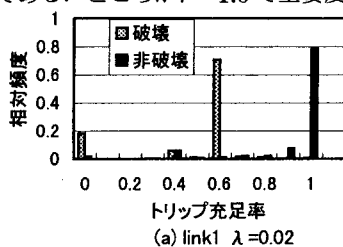
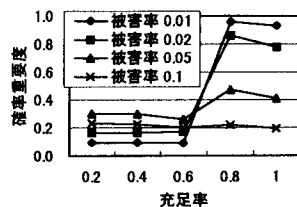
図2 仮想的な道路ネットワークモデル

シミュレーション回数は $N=10000$ 回とした。なお本稿では紙面の関係上、ノード1→3のODペアに対するリンク1, 3, 7, 16(リンク容量はそれぞれ180, 100, 200, 120単位)の影響に着目した記述を行う。ノード1を起点とする交通量は200単位(うちノード3を終点とするもの90単位)である。

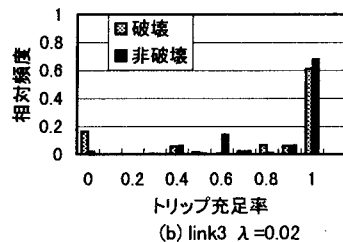
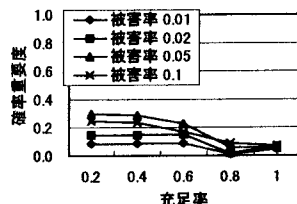
4. 解析結果と考察 図3は図1に対応するもので、 $\lambda=0.02$ におけるトリップ充足率のヒストグラムである。図3(a)のリンク1では破壊/非破壊の分布が明確に分離されているのに対して、リンク3, 7, 16(図3(b)~(d))の場合、分布は明確に分離されていない。以下では、(式1)により推定される確率重要度をを用いた比較検討を行う。図4は要求水準(トリップ充足率 r)と確率重要度 I との関係をリンクごとに表したものである。図4(a)のリンク1については、 λ が比較的低い場合、 $r > 0.6$ で急激に確率重要度が高くなっている。リンク1が破壊してもリンク3が非破壊であれば $r \leq 0.6$ の要求水準を満たす可能性が高いが、 $r > 0.6$ ではリンク1の非破壊が必要条件となるためである。また λ が高い場合はネットワーク上に被害が多発し、リンク1の破壊/非破壊に関わらず要求水準が満たされる可能性が低いので、重要度は低い。また r も λ も低い場合に重要度が低くなるのは、低い要求水準であればリンク3によって満たされるため、リンク1の改善効果が低下することを示している。図4(b)のリンク3では、 $r \leq 0.6$ 程度まではリンク1と同様の傾向を示すが、 $r > 0.6$ では重要度が低下している。リンク3単独では $r > 0.6$ の要求水準を満たせず、大容量のリンク1の重要性が増すためである。ところが $r=1.0$ で重要度が逆に高くなるのは、この要求水準ではリンク1, 3の非破壊が必要条件となることによる。図4(c)のリンク7は大容量であるが、ボトルネックとなる可能性が低いため、リンク1と比較すると重要度は低い。図4(d)のリンク16は、ノード1→3のOD交通との関連性が低いため、確率重要度は0に近い値をとり、信頼度改善によりノード1→3のOD充足率が向上する効果がないことを示している。

5. おわりに 確率重要度は、(1)被害率、(2)要求水準、(3)ネットワーク形態、(4)リンク容量、など種々の要因に左右される。これに加えて、複数の要素間(リンク1とリンク3)で重要度が連関する傾向が確認された。今後、並列のリンクや直列のリンクを組み合わせた重要度評価を検討する必要がある。また今回は、特定のOD交通(ノード1→3)についての重要度を算出したが、このように単独の交通機能ばかりでなく、全体ネットワーク機能を総合的に判断することが課題である。

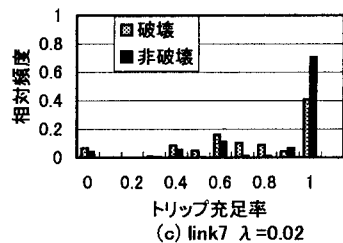
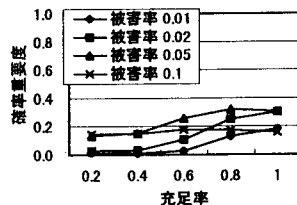
参考文献 1)能島暢呂:ネットワーク信頼性解析に基づく道路網の地震防災戦略について、第24回地震工学研究発表会、1997.7, pp.1293-1296. 2)能島暢呂:道路交通ネットワークの地震時機能評価モデルの開発、第3回都市直下地震災害総合シンポジウム論文集、1998.10, pp.513-516.

(a) link1 $\lambda=0.02$ 

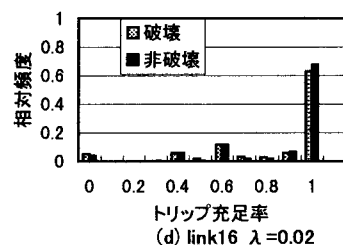
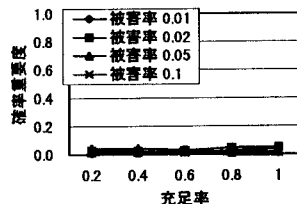
(a) link1

(b) link3 $\lambda=0.02$ 

(b) link3

(c) link7 $\lambda=0.02$ 

(c) link7

(d) link16 $\lambda=0.02$ 

(d) link16

図3 トリップ充足率に関するヒストグラム

図4 要求水準と確率重要度の関係