

I - B 503 地震時交通機能評価モデルを用いた道路ネットワーク要素の重要度解析

岐阜大学工学部 正会員 能島暢呂  
 岐阜大学工学部 正会員 杉戸真太  
 笠松町 正会員 棚橋昭夫

**1. 研究の目的** 時間的・経済的な制約条件のもとで道路ネットワークの耐震強化を合理的に進めるには、施設の重要度に応じた優先順位付けを行う必要がある。確率論的重要度解析<sup>1)</sup>により求められる重要度係数は、要素信頼度とシステム信頼度の関連を表わす指標として有用であるが、節点連結信頼度を評価基準とした感度分析に適用範囲が限られていた。そこで能島<sup>2)</sup>は、flow-independent な道路網容量を評価指標とした重要度解析手法を提案した。本研究ではさらに flow-dependent な特性を考慮するため、地震時交通機能評価モデル<sup>3)</sup>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度改善効果を「インパクト係数」によって定量化し、優先順位付けのための客観的な判断材料とする方法について検討する。

**2. インパクト係数の算出方法** リンク信頼度に基づくモンテカルロ・シミュレーションにより、道路ネットワークの被災パターンを多数生成する。各パターンに対して修正分割配分法<sup>2)</sup>による交通量配分を行い、特定の OD ペア  $ij$  における OD 交通量のトリップ充足率をシステム機能の評価指標として算出する。図1に示すように評価指標を  $Y$  で表し、 $Y$  のヒストグラムをリンク  $k$  の破壊/非破壊に分類して描くと、一般的に、リンク  $k$  が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。ここで、 $Y$  の平常時の値  $Y_0$  と所定の要求水準  $r$  ( $0 \leq r \leq 1$ ) の積  $Y^* = rY_0$  を満足すべきシステム機能水準とした場合、 $Y^*$  を超過する部分を比較することにより、リンク  $k$  の破壊がシステム機能に与える影響の程度を評価できる。表1はシミュレーションの全試行回数  $N$  を、リンク  $k$  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る。この結果より、リンク  $k$  の要素信頼度を改善することによる OD 交通量のトリップ充足率の改善効果を、式(1)の「要素-OD インパクト係数」 $I_k^{ij}$  で推定する。さらに、OD 交通量  $q_{ij}$  を重み係数としたネットワーク全体での加重平均を考え、リンク  $k$  からシステム全体への影響度を表わす「要素-システムインパクト係数」 $I_k$  を式(2)のように定義する。

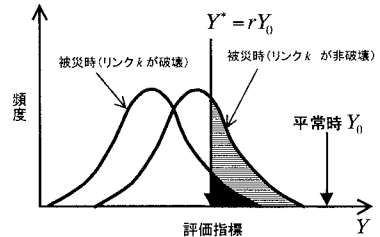


図1 評価指標  $Y$  に関するヒストグラム

表1 シミュレーションの試行回数の分類

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

$$I_k^{ij} = \frac{n_{11}^k}{n_{1*}^k} - \frac{n_{01}^k}{n_{0*}^k} \quad (1)$$

$$I_k = \frac{\sum_i \sum_j I_k^{ij} q_{ij}}{\sum_i \sum_j q_{ij}} \quad (2)$$

**3. 仮想モデルを用いた数値計算例**

**(1) 解析対象モデルと前提条件** 図2に示す 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。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  $r=0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0$  を考える。単位長さ当たりの被害発生率  $\lambda$  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。シミュレーション試行回数は  $N=10000$  回とした。

**(2) 解析結果と考察** まずノード 1→3 の OD ペアに対するリンク 1, 16 (リンク容量はそれぞれ 180, 120 単位) の影響に着目する。図3は  $\lambda=0.02$  におけるトリップ充足率の相対頻度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

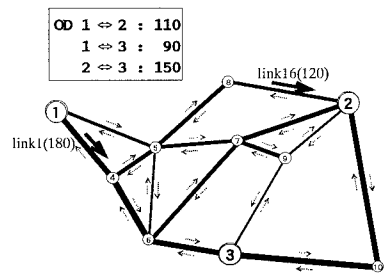


図2 仮想的な道路ネットワークモデル

対して、図3(b)のリンク16では分布の相違はほとんど見られない。インパクト係数を用いてこのことを定量的に考察する。図4は、要求水準（トリップ充足率 $r$ ）と要素-ODインパクト係数の関係を表したものである。図4(a)のリンク1については、 $\lambda$ が比較的低い場合、 $r \geq 0.6$ で急激にインパクト係数が高くなっている。リンク1が破壊してもリンク3が非破壊であれば $r \leq 0.4$ の要求水準を満たす可能性が高いが、 $r \geq 0.6$ 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 $\lambda$ が高い場合はネットワーク上に被害が多発するため、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、インパクト係数は低くなっている。図4(b)のリンク16に関しては、インパクト係数は0に近い値をとっている。これはノード1→3のOD交通との関連性が低いため、リンク16の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。図5は全ODペアに関して平均化した要素-システムインパクト係数を示す。ノード1付近でリダンダンシーが乏しいことを反映して、リンク1の方がリンク16よりも大きな値となっている。

**4. 阪神地域の道路網への適用例** 阪神地域における道路網を図6のようにモデル化した。ノード数30（うちセントロイド数8）、リンク数は102で、 $r$ 、 $\lambda$ 、 $N$ は仮想モデルと同様の値を用いた。ここでは須磨断面のリンク2、8（リンク容量はそれぞれ2480、3700台/時）の影響に着目し、図7に要素-システムインパクト係数を示す。リンク2は仮想モデルにおけるリンク1と類似した傾向を示す。一方、リンク8はリンク2と比較して影響度が低いことが分かる。

**5. おわりに** インパクト係数は従来の重要度係数とは異なり、(1)被害発生率、(2)要求水準、(3)ネットワーク形態、(4)リンク容量など、種々の要因の影響を考慮できることが分かった。一方、複数のリンクでの相互作用が認められることから、単独リンクではなく、並列的あるいは直列的なリンクの組み合わせを考慮した重要度解析法を検討する必要がある。

**参考文献** 1) Henley, E. J. and Kumamoto, H.: *Reliability Engineering and Risk Assessment*, Prentice Hall Inc., 1981, pp.418-435. 2) 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. 3) 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, 1998.10, pp.513-516.

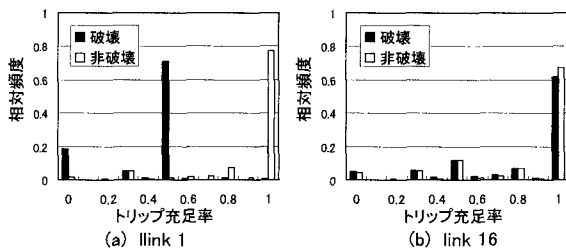


図3 トリップ充足率に関するヒストグラム

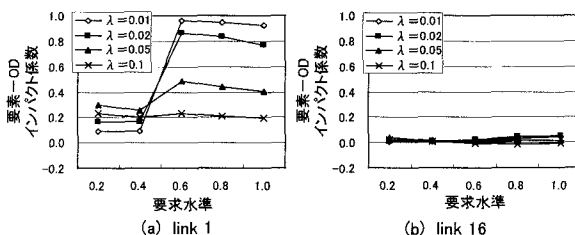


図4 要求水準と要素-ODインパクト係数

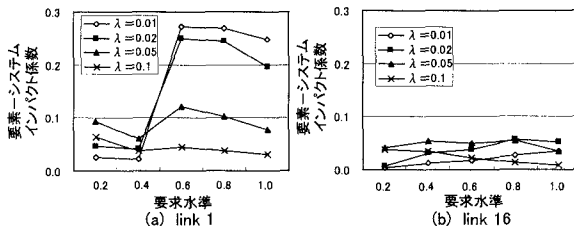


図5 要求水準と要素-システムインパクト係数

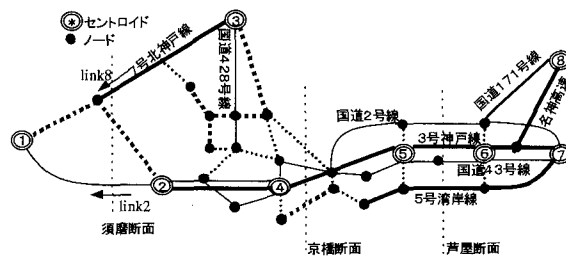


図6 阪神地域の道路ネットワークモデル

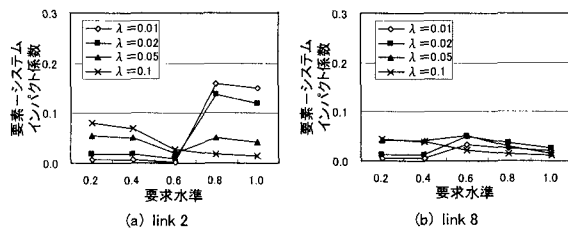


図7 要求水準と要素-システムインパクト係数