

(I-3) 情報エントロピーを用いた道路システムの安全性の検討

武蔵工業大学 学生員 清水勝正, 金高淳夫
攻玉社工科短期大学 正員 山本欣弥
武蔵工業大学 正員 星谷 勝

1. 目的

ライフライン等のネットワークシステムは、構成要素の部分的な破壊がシステム全体の破壊に直結するとは限らない。システムの保有耐力が大きく、地震等の災害が発生した場合でも機能が全面停止しないことは、利用者にとっても重要である。このことから、信頼性が同じシステムにおいても、システムの一部が破壊した場合に機能を維持できる度合いが大きい、つまり、冗長性が大きいシステムが、より安全性の高いシステムであると考えられる。Hoshiya and Yamamoto¹⁾²⁾、山本・星谷³⁾は、工学システムの冗長性を表現する指標として、冗長性指数 R_E を情報エントロピーを用いて定義している。さらに、情報エントロピーにより、ライフライン等のネットワークシステムの冗長性を表現することが可能であると考えられる。そこで、本研究においては、伊豆半島の主要幹線道路ネットワークを対象として、信頼性と情報エントロピーによって表される冗長性について検討を行う。

2. 解析方法および解析対象モデル

道路システムは、利用者の目的地までの移動や、物資の輸送等に日常利用される。また、地震等の災害時には、被災者の救援、避難、資機材等の輸送などを行うために重要なシステムである。そのため、壊滅的な被害を受けないようにすることはもちろんであるが、被害が発生した場合も、早期復旧が行えるように事前対策を施しておくことや、迂回経路を確保することが重要である。特に、孤立する地域が発生しないようにしなければならない。このようなことから、本研究では、モデル化した道路ネットワークにおいて、ソースから目標とするノードへの連結確率および迂回経路の距離に着目し、解析を行う。また、簡単のために、各道路の車線数や幅員等の違いによる交通容量の差および、縦断・横断線形等による差は考慮しない。

図-1 に、伊豆半島の幹線道路のネットワークモデルを示す。道路をリンクで表し、道路の交差する地点をノードで表す。ソースは、No.1, 23, 24, 27 である。リンクが破壊したときの、ソースから、No.7, 8, 11, 12 の各ノードまでの最短距離を計算し、被災前のネットワークにおける最短距離との比を、距離増加率として求め、さらに、ノードがソースと連結されなくなる確率を、孤立確率としてあわせて求める。1978 年伊豆大島近海地震⁴⁾で被害の発生したリンク (No.5, 8, 9, 12, 13, 17, 19, 20, 21, 24, 28, 55, 56) にのみ被害が生じるものとして、シミュレーションを行った。また、道路ネットワークの冗長性は、情報エントロピーを用いて次のように求めた。①リンクに被害が発生しないものとして、ソースから対象のノードまでの経路を探索する。ただし、最短経路長の 2 倍を超える経路は除く。また、1 つの経路上では、同じノードを 2 回以上通過しないものとする。②経路探索の結果、リンク k が経路に使用される回数 n_k を求める。③全てのリンクの n_k の合計 $N = \sum n_k$ をもとめる。④情報エントロピー $I(N)$ を(1)式より計算する。

$$I(N) = - \sum_k \frac{n_k}{N} \log_2 \frac{n_k}{N} \quad (1)$$

$I(N)$ が小さい値をとるときは、ソースとノードを結ぶ経路が少なく、かつ n_k の値にばらつきが大きい。これは、経路間で重複するリンクが多いことを意味する。つまり、個々の経路が、重なり合う部分が多いことを表している。また、 $I(N)$ が大きい値をとるときは、ソースとノードを結ぶ経路が多く、かつ n_k の値にばらつきが少ない。これは、経路間で重複するリンクが少ないことを意味する。つまり、個々の経路が互いに独立

キーワード：情報エントロピー、信頼性、冗長性、ライフライン、道路ネットワーク

連絡先：東京都世田谷区玉堤 1-28-1 Tel.03(3703)3111 ex.3269, Fax.03(5707)2187

していることを表す。以上より、 $I(N)$ が大きい値をとるとき、冗長性が大きいといえる。

3. 解析結果

図-1 中の太線はソース 1 からノード 8 への最短経路である。表-1 に各ソースからのノードの孤立確率および、距離増加率を示す。表-1 よりノード 7 および 8 が、リンクの破壊によって孤立する確率がともに 0.499 で等しく、ノード 11 とノード 12 は、0.424 で等しい。また、ノード 7 は、孤立しなかった場合でも、距離増加率が、最大 2.316 倍、最小でも 1.896 倍と大きな値をとる。ノード 8 は、孤立確率はノード 7 と等しいが、距離増加率は、約 1.7 倍から 1.4 倍程度となっている。ノード 11 とノード 12 は、距離増加率は、小さい値でほぼ等しくなっている。

表-2 にソースとノードとの連結性に着目して求めた情報エントロピーの値を示す。表-2 より、ノード 7 は、ソース 24 以外で、エントロピーの値が低いことがわかる。

表-1 および 2 において、ノード 7 のエントロピーと距離増加率に注目してみる。ノード 7 のエントロピーが最小値 3.945 であるソース 1 との連結において、距離増加率は、ノード 7 で最大の 2.316 となる。

また、エントロピーが最大値 5.253 となるソース 24 とでは、距離増加率が 1.896 とノード 7 では最小となる。これは、ネットワークの冗長性を顕著に表しているものであると考える。

ただし、本解析において、破壊するリンクを限定したため、この傾向は、他のノードではあまり顕著に表れていない。

4. 今後の課題

本研究では、ネットワークの形状に着目し、冗長性について検討した。しかし、シ

ステムの冗長性は、システムの形状のみで判断することはできない。システムの形状、破壊確率、地震等のさまざまな要因のもつ不確定性等に影響されて定まる。そのため、今後の課題としてこれらの複雑な外部要因を考慮に入れた冗長性の検討および、システムの安全性の評価への適用方法の検討等があげられる。

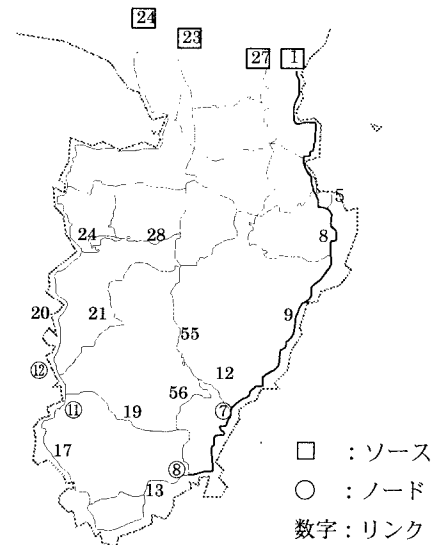


図-1 伊豆半島幹線道路網

表-1 シミュレーション結果

表-2 エントロピー

ソース	ノード	距離増加率	孤立確率	最短距離(Km)
1	7	2.316	0.499	57.0
	8	1.711	0.499	71.0
	11	1.030	0.424	91.0
	12	1.033	0.424	89.0
23	7	1.974	0.499	58.0
	8	1.464	0.499	71.0
	11	1.063	0.424	71.0
	12	1.040	0.424	69.0
24	7	1.896	0.499	63.0
	8	1.433	0.499	76.0
	11	1.034	0.424	76.0
	12	1.037	0.424	74.0
27	7	1.933	0.499	66.0
	8	1.463	0.499	80.0
	11	1.021	0.424	86.5
	12	1.023	0.424	84.5

ソース	ノード	エントロピー
1	7	3.945
	8	4.539
	11	5.294
	12	5.421
23	7	4.950
	8	5.451
	11	5.331
	12	5.085
24	7	5.253
	8	5.343
	11	4.918
	12	4.621
27	7	4.724
	8	5.303
	11	5.490
	12	5.458

参考文献

- 1) Masaru Hoshiya and Kinya Yamamoto: Role of Entropy in Safety Evaluation of Structural Systems, Workshop of US-Japan Cooperative Research on Urban Disaster Mitigation, pp.29~32, Honolulu, Hawaii, Oct.29 to 31, 1998
- 2) Masaru Hoshiya, Kinya Yamamoto and Haruo Ohno: Reliability and Redundancy of Engineering Systems by Information Entropy, Proceeding from the Seventh Japan-U.S. Workshop on Earthquake Resistant Design of Lifeline Facilities and Countermeasures Against Soil Liquefaction, University, Seattle, USA, August 12-14, 1999
- 3) 山本欣弥, 星谷勝: I-A4 「エントロピーを用いたネットワークの冗長性の評価」, 土木学会 第 54 回年次学術講演会概要集, pp.8~9, 1999 年 9 月
- 4) 社団法人日本道路協会, 道路震災対策委員会: 道路の震災対策に関する報告書(1) -1978 年伊豆大島近海地震災害-, 昭和 54 年 3 月