

IV-25 道路ネットワークの階層性と信頼度についての一考察

愛媛大学大学院 学生員 藤原 健一郎

愛媛大学工学部 正会員 朝倉 康夫

愛媛大学工学部 正会員 柏谷 増男

1. はじめに

道路網計画においては、道路の機能分類に応じた階層的なネットワーク構成とすることが重要である。階層性を持った道路網は平常時において安全で円滑な交通を確保する上で有効であるが、道路の機能に応じて道路区間の頑強性に差を持たせておくことと災害時においてもネットワークの信頼性を確保できることが期待される。本研究の目的は、道路機能に応じた頑強性を持つ道路区間を階層化することと、ネットワークの信頼度の関連性について考察することにある。

2. 階層性と信頼度

道路ネットワークの階層性に関する従来の研究は、ネットワークの結合関係や形態特性に着目したものがほとんどで、交通フロー特性が考慮されたものは少ない。本研究では、道路ネットワークを構成するリンクに対して期待される交通機能（計画機能）と実際の利用形態からみた機能（実態機能）に差異が小さいネットワークを機能階層化されたネットワークと考える。

一方、災害時におけるネットワークの信頼度については「ODペア間のサービス水準が許容される範囲に保たれている確率」とする。サービス水準の指標を距離とし、許容範囲を無限大（迂回路が残されていればトリップする）とすれば、信頼度はOD間の連結度に他ならない。サービス水準を所要時間とし、許容できる時間の上限を与えると、時間信頼度の指標となる。

ネットワークの信頼度を向上させるには、外力 F に対して個々のリンクが構造的に機能する確率であるリンク信頼度 $P(F)$ を高めることが有効である。しかし、経済的制約を考慮すると、すべてのリンクの構造的頑強性を同一の水準にまで一様に高めることはかなり困難である。そこで、外力の大きさが同じであれば、期待される交通機能が上位のリンク（具体的には主要幹線）ほど信頼度が高くなるように交通機能に応じてリンクの構造的頑強性の水準を差別化する（図1）。このとき同時に、ネットワークを階層化することによってネットワーク（ODペア間）の信頼度が向上するこ

とを期待するのである。

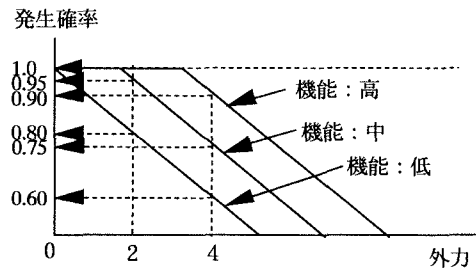


図1 交通機能に応じたリンク信頼度

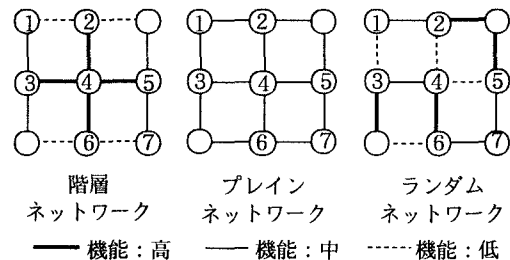


図2 ネットワーク

具体的に、階層性と信頼度の関係をみるために、図2に示す3種類のネットワークを考える。

- (1) リンクの交通機能に差のないネットワーク（プレーンネットワーク）
- (2) リンクの交通機能に差はあるが構成がランダムなネットワーク（ランダムネットワーク）
- (3) リンクの交通機能に差を設け階層性を期待したネットワーク（階層ネットワーク）

外力が小さい場合、交通機能が低いリンクを含む階層ネットワークはプレーンネットワークに比べて信頼度が低くなるかもしれない。しかし、リンクが通行不可能となる確率が小さいので、階層ネットワークでも著しく信頼度が小さくなることは考えられない。

一方、外力が大きい場合、交通機能が高いリンク以外はほとんど通行不可能となる。したがって、すべてのリンクの機能が中程度であるプレーンネットワークの信頼度は小さくなる。しかし、機能の高いリンクを含む階層ネットワークでは信頼度はそれほど小さく

らないであろう。また、外力の大きさにかかわらず、ランダムネットワークに比べて階層ネットワークのほうが信頼度が高くなることが予想される。

3. 信頼度の計算手法

以下では、外力 F がすべてのリンクに一樣に作用するとしたときのネットワーク信頼度の計算手順について述べる。ネットワークの切断状態に応じて交通フローが変化することを前提に、OD間の交通サービス水準の指標に所要時間をとり、時間信頼度によりネットワークを評価する。

(1)状態の発生確率の計算：ネットワーク上で発生する可能性のある状態を $X = \{x_1, x_2, \dots, x_a, \dots, x_N\}$ で表し、状態ベクトル X と呼ぶ。 x_a はリンク a が連結され通行可能であれば1、そうでなければ0である。ネットワークに外力 F が作用したとき、そのネットワークが状態 X である確率は式(1)となる。

$$P(X|F) = \prod_a p_a(F)^{x_a} (1 - p_a(F))^{1-x_a} \quad \dots(1)$$

$p_a(F)$ は外力 F に対するリンク a の信頼度であり、リンク間で相互に独立であるとする。

(2)OD間の所要時間の計算：ネットワークが状態 X であるときのネットワークフローを求めて、ODペア間の所要時間を算出する。リンクの容量制約とサービス水準の変化による交通需要の変化を考慮するために、リンク容量制約付きの需要変動型利用者均衡モデルによりフローを記述する。

(3)稼働・停止関数の計算：ネットワークの状態が X であるときのODペア間の稼働・停止関数を式(2)で表す。状態 X のときのODペア間の所要時間 $t_n(X)$ が平常時のODペア間の所要時間 $t_n(X_0)$ に比較して許容できる範囲にあれば、そのODペアは機能していると判断する。ODペアが機能しているとき稼働・停止関数は1であり、そうでなければ0である。

$$Z_n(a, X) = \begin{cases} 1 & \text{if } t_n(X)/t_n(X_0) \leq \theta \\ 0 & \text{if } t_n(X)/t_n(X_0) > \theta \end{cases} \quad \dots(2)$$

ここに θ はODペア間の所要時間に関する判断基準である。

(4)信頼度の計算：信頼度は稼働・停止関数の期待値として式(3)で与えられる。

$$R_n(\theta) = \sum P(X|F) Z_n(a, X) \quad \dots(3)$$

4. 小規模ネットワークでの計算例

図1に示すリンク信頼度、および、図2に示すネットワークにおける数値計算により、ネットワークの階層構造と信頼度の関係を調べる。表1に外力 $F=2.0$ のときと $F=4.0$ のときの信頼度を示す。

(1)外力が小さい場合 ($F=2.0$)：階層ネットワークとプレインネットワークを比較すると、信頼度の値はともに高い。信頼度にあまり差がみられないが、階層ネットワークのほうが少しではあるが信頼度が高い。

階層ネットワークとランダムネットワークを比較しても前者のほうが信頼度が高い。ランダムネットワークでは外力が小さくても信頼度があまり高くないODペアがある。

(2)外力が大きい場合 ($F=4.0$)：階層ネットワークとプレインネットワークを比較するとセントロイド1に関するODペアではプレインネットワークのほうが信頼度が高い。逆にセントロイド2に関するODペアでは階層ネットワークのほうが信頼度が高い。階層ネットワークとランダムネットワークを比較すると階層ネットワークのほうが信頼度が高い。

表1 ODペア間の信頼度

ODペア	F=2.0			F=4.0		
	階層	プレイン	ランダム	階層	プレイン	ランダム
1↔2	0.95	0.94	0.94	0.67	0.74	0.65
1↔3	0.95	0.94	0.73	0.74	0.74	0.40
1↔4	0.95	0.99	0.92	0.70	0.80	0.56
1↔6	0.95	0.99	0.97	0.68	0.78	0.64
2↔3	0.99	0.98	0.93	0.83	0.82	0.53
2↔4	0.99	0.94	0.85	0.83	0.70	0.43
2↔6	0.99	0.98	0.94	0.82	0.67	0.58

5. おわりに

階層ネットワークとランダムネットワークでは、信頼度の値に顕著な差がみられた。しかし、今回示した計算例では、階層ネットワークとプレインネットワークでは、明確な差がみられなかった。階層性の指標を明確に示すとともに、どのような階層性を持たせれば、ネットワークの信頼度が高くなるのかについて検討する必要がある。

【参考文献】

朝倉康夫, 柏谷増男, 藤原健一郎(1995) 交通ネットワークにおける災害時のフローの変化を考慮したODペア間の信頼度の指標。土木計画学研究講演集, No.18(2), pp.737-740