

IV-25 災害時を考慮したネットワークへの投資最適化評価モデルの提案

愛媛大学 学生員 ○間嶋信博

愛媛大学 正会員 朝倉康夫

愛媛大学 フェロー 柏谷増男

1. はじめに

災害時に信頼性を低下させる要因の1つとして、一部の道路区間が通行不可能となることによるネットワークパフォーマンスの低下が挙げられる。これに対しネットワーク整備を効率的に行うことにより、災害による道路網全体の処理能力の大幅な低下を回避することができると考えられる。そこで既存リンクを効果的に整備し、災害に対するネットワークの性能を向上させることが重要となる。

本研究の目的は設定された投資額の範囲内で、ネットワークパフォーマンスの期待値が最良となるようなリンクへの投資額を求める投資最適化評価モデルの提案を行うこととする。

2. 計画変数について

投資最適化評価において計画変数はリンクに対する投資額とし、投資額の大小によってリンク連結確率が変化するものとする。例えば、リンクへの投資額とリンク連結確率の関係が連続的であるとすれば、両者の関係は図-1に示すような形で表すことができると考える。

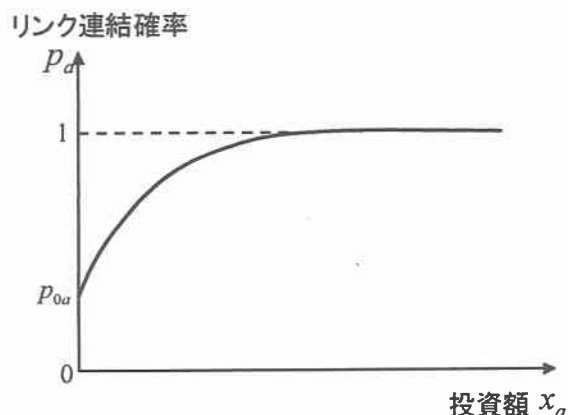


図-1 投資額とリンク連結確率の関係

ここで、 p_{0a} は投資額0のときのリンク連結確率である。

計画変数はリンクに対する投資額の他にノード、特定の経路、ネットワーク全体などへの投資額と考える

こともできる。しかしノードはリンクの集合であると考えれば、ノードへの投資は本質的にはリンクへの投資と同じである。例えば、図-2に示すネットワークはノード6が災害によって機能を停止した状態である。図-3にリンク5, 7, 10が機能を停止したネットワーク状態を示す。図-2に示すネットワーク状態は図-3に示すネットワーク状態と同じということである。

またリンクの集合が経路となるため、計画変数をリンクに対する投資額と考えた中の1つのケースとして特定の経路に対する投資額を考えることが可能である。ネットワーク全体への投資を考えると、実際のネットワークでは膨大な数となる道路区間に少しずつ投資することになり現実的ではない。

以上の理由により計画変数をリンクに対する投資額と考える。

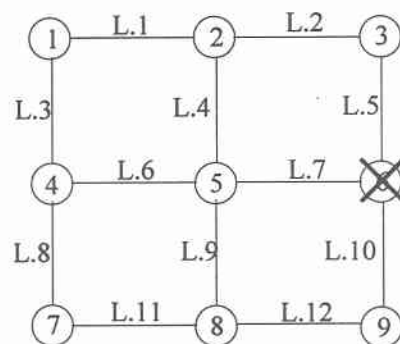


図-2 ノード6が機能を停止した状態

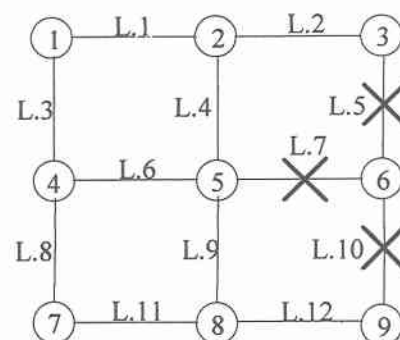


図-3 リンク5, 7, 10が機能を停止した状態

3. 災害時におけるネットワーク信頼性評価の枠組み
本研究では、災害時のネットワーク上でのフローを

各種の交通均衡配分モデル¹⁾によって推定する。その結果を用いてネットワークパフォーマンスに関する信頼性評価を行い、信頼性が最も高くなるようなリンクへの投資額を求める。災害時の信頼性評価においてネットワーク状態は確率的に発生する事象であり、そのパフォーマンスもある確率分布に従う。したがってパフォーマンスを推定することができれば、期待値として信頼性評価指標を考えることができる。信頼性評価指標の算出プロセスは以下の通りである。

(1)状態ベクトルおよび発生確率

n 本のリンクからなる連結されたネットワークを考える。障害はリンクのみで発生し、ノードでは発生しない。障害が発生したリンクは機能を完全に停止して、片側交互通行などで運用されることはないものとする。また、それぞれのリンクごとに障害はランダムに発生し、その確率はリンク間で相互に独立であると仮定する。このとき、災害発生後に生じうるネットワークの状態をベクトル表示し、その発生確率 $P(\mathbf{x}, \mathbf{z})$ を計算する。

$$P(\mathbf{x}, \mathbf{z}) = \prod_a p_a^{z_a} (1 - p_a)^{(1-z_a)} \quad (1)$$

ここに、 p_a はリンク a の連結確率、 z_a は状態ベクトル $\mathbf{z}$ の要素であり、リンク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。 $\mathbf{x}$ は投資額のベクトルであり、発生確率 $P(\mathbf{x}, \mathbf{z})$ は投資額のベクトル $\mathbf{x}$ および状態ベクトル $\mathbf{z}$ の関数である。

(2)ネットワークフローの記述

それぞれの状態のネットワークに対し、均衡配分モデルを用いて交通流を記述する。その結果を用いて、ネットワークパフォーマンスを表す指標 $Q(\mathbf{z})$ を求める。 $Q(\mathbf{z})$ は投資額のベクトル $\mathbf{x}$ には依存せず、状態ベクトル $\mathbf{z}$ のみの関数である。

(3)信頼性評価指標の算出

ネットワークのすべての状態または一部の状態に対して交通流を記述して得られたネットワークパフォーマンスの期待値を求め信頼性評価指標とする。期待値 $R(\mathbf{x})$ は次式で求めることができる。

$$R(\mathbf{x}) = \sum_{\mathbf{z} \in Z} P(\mathbf{x}, \mathbf{z}) Q(\mathbf{z}) \quad (2)$$

4. 投資最適化評価の定式化

ここでは、3.で示したネットワークパフォーマンスの期待値を目的関数とし、リンクへの投資額を求める最適化問題の定式化を行う。

投資額には上限があると考え、各リンクへの投資額の総和は投資額の上限以下でなくてはならない。また1本のリンクに高額な投資を考える場合、リンク連結確率が1.0に達すれば、それ以上の投資を行ってもリンク連結確率は高くない。最適化問題にはこれらの制約条件を考える必要がある。

ここで、最適化問題の定式化を示す。生じうるネットワーク状態に対するパフォーマンスの期待値を目的関数とする(式(3))。制約条件は式(4)～式(6)を考えることができる。

$$\text{Max.} \quad R(\mathbf{x}) \quad (3)$$

$$\text{Sub. to} \quad x_a \geq 0 \quad (4)$$

$$\sum_a x_a \leq C \quad (5)$$

$$x_a \leq r_a \quad (6)$$

ここで、 C は投資額の上限とする。

式(4)は非負制約、式(5)は投資額の総和が投資額の上限 C を上回らないとする制約条件である。式(6)はリンク a に投資額 r_a を投資すると連結確率 p_a が1.0となり、それ以上の投資を考えないとする制約条件である。

ここに示した最適化問題を用いて、各リンクへの投資額のベクトル $\mathbf{x}$ を求めることが可能である。

5. おわりに

本研究では、災害時におけるネットワークパフォーマンスの向上を目的とし、投資最適化評価モデルの提案を行った。今後の展開として、数値計算を通しモデルの有効性の検証を行う。

参考文献

- 1)土木計画学研究委員会：交通ネットワークの均衡分析－最新の理論と解法－，土木学会，1998