

災害時の道路網信頼性評価モデルに関する一考察

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
(株) りんかい	為広 哲也
愛媛大学工学部 正会員	柏谷 増男

1. はじめに

従来、道路網あるいはODペア間の信頼性評価に関する研究は、ネットワークが連結されているか否かを表す「連結性」と、許容できる所要時間の範囲内でトリップ可能か否かを表す「時間信頼性」の両面から行われている。しかし、災害時であっても道路利用者は許容できる所要時間や迂回距離を考慮すると思われる。また、従来の「連結性」はネットワークが有する交通処理能力が反映されているとは言えない。本研究では、「許容される範囲内の交通処理能力を維持した状態での連結性」に着目し、道路網の災害時における信頼性の評価モデルについて考察することを目的としている。

2. 信頼性評価モデルの枠組み

豪雨などによって、土砂崩れなどの災害が発生したり、事前規制が行われたりすると、交通容量が低下したり、あるいは全面通行止めになる区間を含んでいる状態のネットワークになる。このような状態でのネットワークの交通処理能力(交通量や所要時間)の推定を行い、これを用いて信頼性の評価を行う。この方法の枠組みを以下に示す。

【STEP1】状態ベクトルおよび発生確率の推定

ネットワーク上で発生する可能性のある通行規制の状態を状態ベクトル x_s で表す。状態ベクトルの要素は各リンクについて通行規制される場合を0、そうでない場合を1で表す。状態 s が発生する確率 P_s を求める。

【STEP2】交通流の記述

それぞれの状態に対しネットワーク交通流を求める。

【STEP3】稼働/停止関数の計算

ODペアが機能しているか否かを判断するための基準値として θ を別途に設定し、状態ベクトルごとの稼働/停止関数 $Z(\theta, x_s)$ を求める。ある状態 x_s のもとでODペアが持っている交通処理能力がある規準 θ を満足していれば $Z(\theta, x_s) = 1$ (機能している)、それ以外は0(停

止している)とする。

【STEP4】信頼性の計算

信頼性を「ある基準値に対してODペアが機能している確率」とし、その値を計算する。

3. 状態ベクトルおよび発生確率の推定

各リンクが通行規制される確率は独立であると仮定すると規制区間が N 区間あれば、考えられる状態は 2^N 通りである。リンクが規制されない確率を P_a とすると発生確率は次式によって表される。

$$P_s = \prod_a P_a^{x_a} (1 - P_a)^{1-x_a}$$

x_a : リンク a が規制されるとき0、そうでないとき1

4. 交通流の記述

本研究では、災害時の通行規制下で利用者均衡が成立すると仮定し、リンク容量制約付きOD需要変動型利用者均衡モデルを用いた。以下にその理由を示す。

- (1) 需要固定型では災害時の需要の減少を考慮できない。
- (2) 需要固定型では特定のリンクのみが利用可能となった場合にリンク交通量が容量を超えてしまう可能性がある。
- (3) 需要固定型ではリンク容量を明示的に導入すると実行可能解が存在しない可能性がある。

5. 稼働/停止関数の計算

通行規制時であってもODペアが通常時と比較して、ある程度の交通処理能力を維持していなければ、そのODペアは機能しているとはいえない。稼働/停止関数を求めるために以下の2つの指標を考える。

(1) 交通量の減少率

通常時の経路が通行規制され、きわめて大きな迂回をせざるをえない場合には、トリップの目的によってはそのトリップを取りやめる出控えが生じることが予想される。これによるOD交通量の減少が著しく大きい場合、

そのODペア間は機能していないと考える。交通量の許容減少率の上限値 θ を設けて、ある状態での交通量の減少率がその範囲内であるか否かを求め、その程度を信頼性の指標と考える。

ODペア $i-j$ 間について、通常時のOD交通量を $f_{ij}(x_0)$ 、状態ベクトル x_s のときのOD交通量を $f_{ij}(x_s)$ とすると、OD交通量の減少率 $y_{ij}(x_s)$ は、

$$y_{ij}(x_s) = \frac{f_{ij}(x_0) - f_{ij}(x_s)}{f_{ij}(x_0)}$$

$$0 \leq y_{ij}(x_s) \leq 1$$

となる。減少率が設定された許容減少率 θ を上回るか否かにより、ODペア $i-j$ 間の稼働/停止関数を次式のように定義する。

$$Z_{ij}(\theta, x_s) = \begin{cases} 1 & \text{if } y_{ij}(x_s) \leq \theta \\ 0 & \text{if } y_{ij}(x_s) \geq \theta \end{cases}$$

(2) 許容できる時間の範囲

通常時の経路が通行規制された場合、迂回時の許容時間の上限値の範囲内でトリップが可能であるか否かを考える。

ODペア $i-j$ 間について、通常時の所要時間を $t_{ij}(x_0)$ 、状態ベクトル x_s のもとでの所要時間を $t_{ij}(x_s)$ とすると、設定された m (1)での θ に相当する)のもとで稼働/停止関数は次式のように定義できる。

$$Z_{ij}(m, x_s) = \begin{cases} 1 & \text{if } y_{ij}(x_s) \leq m \\ 0 & \text{if } y_{ij}(x_s) \geq m \end{cases}$$

$$\text{ただし, } y_{ij}(x_s) = t_{ij}(x_s) / t_{ij}(x_0)$$

6. 信頼性の計算

信頼性を、「交通量の減少率が許容できる範囲内である確率」あるいは「許容できる所要時間の範囲内でトリップを完了することができる確率」と定義する。

(1) 厳密解法

状態ベクトルすべてについて稼働/停止関数を求め、その期待値として信頼性を計算する方法である。ODペア $i-j$ 間の信頼性の値は次式で表される。

$$R_{ij}(\theta) = \sum_{s=0}^w P_s Z_{ij}(\theta, x_s)$$

(2) 近似解法

厳密解法を用いれば、非常に精度の高い信頼性が計算できる。しかし、 N の値が大きくなると、すべての状態について計算することは困難であり、非効率である。また、発生確率 P_s が細分化され、微小になるという場合も考えられる。そこで、近似解法を考える。

【STEP1】発生確率の並べ替え

発生確率を大きい順番に並べ換える。

【STEP2】累積確率の計算

発生確率の大きい順番に第 J 番目までの累積確率 $P(J)$ は次式で示される。

$$P(J) = \sum_{j=0}^{J-1} P_j$$

【STEP3】信頼性の上限値と下限値の計算

信頼性には上限値と下限値があることがわかっている。

$R_{ij}^L(J)$ を下限値、 $R_{ij}^U(J)$ を上限値とすると次式で示される。

$$R_{ij}^U(J) = \sum_{j=0}^{J-1} P_{sj} Z_{ij}(\theta, x_{sj}) + \{1 - P(J)\} Z_{ij}(\theta, x_0)$$

$$R_{ij}^L(J) = \sum_{j=0}^{J-1} P_{sj} Z_{ij}(\theta, x_{sj}) + \{1 - P(J)\} Z_{ij}(\theta, x_w)$$

ただし、 x_0 ：通常時の状態ベクトル

x_w ：最悪時の状態ベクトル

【STEP4】近似解の計算

近似解 $R_{ij}(J)$ と誤差 $\varepsilon_{ij}(J)$ は次式で示される。

$$R_{ij}(J) = \{R_{ij}^U(J) + R_{ij}^L(J)\} / 2$$

$$\varepsilon_{ij}(J) = \{R_{ij}^U(J) - R_{ij}^L(J)\} / 2$$

誤差が設定した計算停止基準を満たせば、そのときの近似解を信頼性とし、それ以外は【STEP3】へ戻る。

数値計算例は講演時に述べる。

本研究は、建設省四国地方建設局道路計画二課より資料等の提供をいただいた。ここに記して感謝致します。

参考文献

為広哲也(1995)、自然災害による通行規制を考慮した道路網信頼性の評価モデル、愛媛大学大学院修士論文