IV－51

通行規制時の道路網信頼性評価モデルの数値計算法

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」にネットワークが部分的に切断された場合の交通フローの変化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フロー水準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の数値計算法について考察する．

2．信頼性評価モデル

(1)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，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交通流の推定を行い，その結果を用いて信頼性の評価を行う．この方法の枠組みは次の通りである．

【STEP1】状態の発生確率の推定
【STEP2】状態に対するネットワーク交通流の推定
【STEP3】稼働／停止関数の計算
【STEP4】信頼度の上限値と下限値の計算
【STEP5】近似解の計算と収束判定

各ステップの詳細を以下に示す．

(2)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$\mathbf{x}_S=\{x_1,\cdots,x_a\cdots,x_N\}$で表す．状態ベクトルの要素はリンクａが通行規制される場合は０，そうでない場合は１である．リンクａが規制される確率P_aがリンク間で相互に独立と仮定すると状態ｓが発生する確率P_Sは以下のようになる．

$$P_S=\prod_a P_a^{x_a}(1-P_a)^{1-x_a} \qquad \cdots\cdots(1)$$

発生確率の大きい順番にP_Sを並べ第Ｊ番目までの累積確率$P(J)$を求めておく．

$$P(J)=\sum_{j=0}^{J-1}P_{Sj} \qquad \cdots\cdots(2)$$

この値は近似解の計算に用いる．

(3)交通流の記述

ネットワークの状態が$\mathbf{x}_S$であるときに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により交通流を記述する．以下にその理由を示す．

(i)災害時の需要の減少が考慮できる．
(ii)特定のリンクのみが利用可能となった場合でもリンク交通量が容量を超えない．
(iii)リンク容量を明示的に導入しても実行可能解が存在する．

リンク容量制約を明示的に考慮するために，リンクパフォーマンス関数としてはDavidson関数を用いる．

$$t_a(V_a)=t_a^0\left\{\frac{C_a-(1-J)V_a}{C_a-V_a}\right\} \qquad \cdots\cdots(3)$$

ここに，t_a^0:リンクａの自由走行時間，C_a:リンクａの容量，V_a:リンクａの交通量($V_a<C_a$)，J:パラメータ($0\leqq J\leqq 1$)である．

また，通常時からの需要の減少を考慮するために需要関数として次式を用いた．

$$D_{ij}(t_{ij})=D_{ij}^0\exp\{-\gamma(t_{ij}-t_{ij}^0)\} \qquad \cdots\cdots(4)$$

ここに，t_{ij}：ＯＤ間の所要時間，t_{ij}^0：通常時のＯＤ間の所要時間，D_{ij}^0：通常時のＯＤ需要，γ：パラメータである．

リンク容量制約つきの需要変動型利用者均衡モデルは，次のようにして解くことができる．ＯＤペアｉｊ間のトリップの上限値をD_{ij}^Uとおき，超過需要量を$e_{ij}=D_{ij}^U-D_{ij}$とおくと，需要関数は超過需要関数に変換できる．その結果，ネットワーク構造としては，実際

のネットワークに，各ＯＤペア間の起点ノードと終点ノードを直接結ぶ仮想リンクを付け加えたネットワークになる．超過需要量は仮想リンクの交通量であり，超過需要関数は仮想リンクのパフォーマンス関数に相当する．実際のネットワークを流れない交通は仮想リンク上を流れ，その値と顕在化するＯＤ交通量の和は一定（D_{ij}^U）である．このように需要変動型均衡問題は需要固定型の問題に変形できる．この問題はリンク容量制約を持つが，実行可能解は必ず存在し，Daganzoの方法（Frank-Wolfe法のステップ幅を調節する方法）により解くことができる．なお，初期実行可能解を求めるには，すべてのＯＤ交通量を仮想リンクに流せばよいので，アルゴリズムはより簡易になる．

(4)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，ある程度の交通フロー水準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．そこでＯＤペアｉｊ間について，通常時のＯＤ交通量に対する状態ベクトル$\mathbf{x}_S$のときのＯＤ交通量の減少率を求め，減少率が設定された許容値θを下回ればネットワークが機能しているとみなす．この関係を稼働／停止関数$Z_{ij}(\theta, x_S)$で表す．ＯＤペアが機能しているとき$Z_{ij}(\theta, x_S)=1$，そうでないときは０である．

(5)信頼度の上限値と下限値の計算

信頼度を「交通量の減少率が許容できる範囲内である確率」と定義する．この確率は以下のような近似解法で計算できる．信頼度には上限値と下限値があることがわかっている．発生確率Ｊ番目までの状態ベクトルまでのＯＤペアｉｊ間の信頼度の下限値を$R_{ij}^L(J)$，上限値を$R_{ij}^U(J)$と書く．これらはそれぞれ次式で示される．

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

$$R_{ij}^L(J)=\sum_{j=0}^{J-1} P_{Sj} Z_{ij}(\theta, x_{Sj})+\{1-P(J)\}Z_{ij}(\theta, x_w) \quad \cdots\cdots (5)$$

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である．

(6)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．

$$R_{ij}(J)=\{R_{ij}^U(J)+R_{ij}^L(J)\}/2 \quad \cdots\cdots (6)$$

$$\varepsilon_{ij}(J)=\{R_{ij}^U(J)-R_{ij}^L(J)\}/2 \quad \cdots\cdots (7)$$

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度の値とする．それ以外は【STEP2】へ戻り，Ｊ＋１番目の状態ベクトルに対し交通流の計算を行う．

３．小規模ネットワークでの計算例

計算に用いたネットワークを図1に示す．Davidson関数のパラメータ値Jを0.5，需要関数のパラメータ値γを0.02，計算停止規準εを0.01として計算を行った．ＯＤ交通量の減少率に関する許容値θ=0.3とし，ＯＤペア1,2について信頼度の近似解の収束状況を調べたのが図２である．得られた近似解は0.760である．一方，別途に求めた厳密解は0.758である．以上により，近似解法は妥当であることが数値的に確認できた．

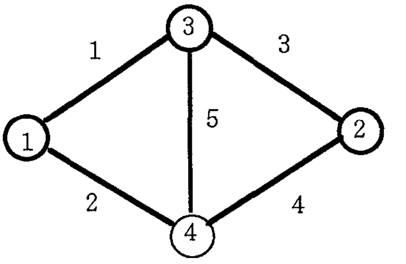

図1　小規模ネットワーク図

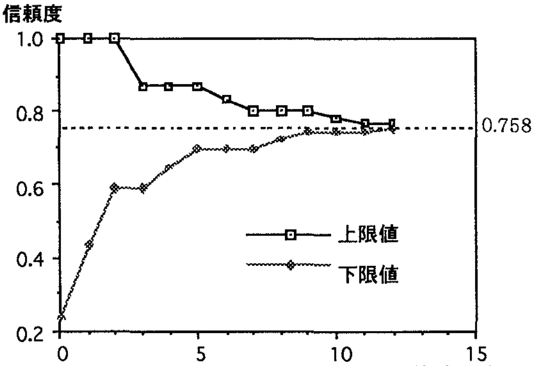

図2　θ=0.3の近似解の収束の様子（ＯＤペア1→2）

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