IV－6

道路交通ネットワークの信頼度解析について

金沢大学工学部　正会員　高山純一
金沢大学工学部　学生員○大野　隆

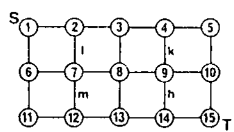
1．はじめに

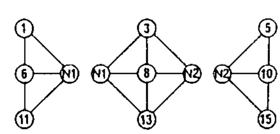
道路網の信頼性を表す概念としては，通行可能性，代替性，安全性，確実性，定時性，速達性などがあるが，震災時においては道路網の通行可能性（つまり連結性能）が最も重要な要素となる。

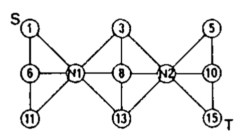
連結性能を評価する研究には，従来から用いられてきた最小パス法，最小カット法，Edge-decomposition法，Taleb-AghaによるSSP(Series Systems in Parallel）ネットワークを用いる方法[1]，Fratta,Montanariによるブール代数法[2]，山田善一等によるInclusion-Exclusion Principle を用いた反復分割法[3]，KhalilによるBiconnected Networksを用いる方法[4]などがあるが，いずれもネットワーク規模の増大に伴い計算時間が指数関数的に増大する。したがって大規模ネットワークにおいて連結確率を求めるためには，何らかの近似解法が必要となる。飯田等[5]は，最小パス，最小カットの選択により，ブール演算を省略する近似解法を提案している。本研究では，簡略ネットワークを用いた２点間信頼度（2-Terminal Reliability）および，全点間信頼度(Overall Reliability）の近似的な計算方法を提案し，簡単なモデル計算により，その適用性を検討する。

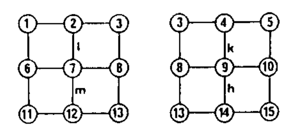
2．２点間信頼度の近似解法

２点間信頼度とは，グラフGに含まれるある２節点間が互いに到達可能である確率により表される。２点間の信頼度を計算する場合，対象とするネットワークをいくつかの部分ネットワークに分解すれば，計算時間の節約が可能となる。図－１のネットワークを例としてその近似解法を示す。まず，図－１の基本ネットワークにおいてノード2,7,12及びノード4,9,14を短絡し，図－２のネットワークに変換する。次に図－３のような部分ネットワークに分解し，それぞれの部分ネットワークの連結確率をかけ合わせ，S-T(Source to Terminal）間の信頼度を計算すればよい。ところで，図－１の基本ネットワークと図－２の簡略ネットワークが同値であるためには，短絡されるリンク(l,m,k,h）の破壊確率が０である必要がある。しかし，実際は各リンクの破壊確率は０でないので変換による影響を補正する必要がある。そこで集約されたノードN1,N2 について内部抵抗値を考慮する。ノードの内部抵抗値は，短絡された部分のネットワーク要素だけで表すことはできない。つまり，短絡による影響はネットワーク全体に及んでいると考えられる。しかし，その影響が最も大きいのは短絡された部分の周辺であるので，図－４のように近傍のネットワークを取り出して，短絡されるリンクの破壊確率が０の場合と，実際値である場合の端点間の連結確率を計算し，その比をとることによって内部抵抗値を決定すれば，２点間の信頼度は部分ネットワークの連結確率と集約されたノードの内部抵抗値をかけ合わせて求めることができる。


図－１基本ネットワーク


図－３部分ネットワーク


図－２簡略ネットワーク


図－４短絡されるリンクの近傍のネットワーク

3．全点間信頼度の近似解法

全点間信頼度とは，グラフGに含まれる全ての節点間が互いに到達可能である確率で表される。ここでは，基本ネットワークに含まれる強連結グラフをいくつかのノードに集約してネットワークを簡略化し，全点間信頼度を求める手法を提案する。ただし，ネットワークを簡略化する場合，次の３項目が成り立つと仮定する。

（１）部分グラフが連結であれば１つのノードに置き換えることができる。

（２）部分グラフが非連結であるとは，部分グラ

フがさらにいくつかの互いに連結でないグラフに分割されることであるから，２個以上のノードに置き換えることができる。

（３）部分グラフが非連結でいくつかのグラフに分割されるとき，その分割数が部分グラフに接続しているリンク数より大きければ，その基本ネットワークは非連結である。

図－５のネットワークを対象とするとき，強連結グラフを図－６のG_1, G_2 とし，G_1, G_2 が連結であれば１つのノードに置換し，非連結であれば２つ以上のノードに置換することにより簡略ネットワークを作成する。ただし，G_1, G_2 が４つ以上のグラフに分割される場合では，ネットワークは非連結になるので，２つ又は３つに分割される場合に限定する。まず，強連結グラフG_1, G_2 の連結確率を計算しR_1，R_2とする。次にグラフG_1, G_2 が共に連結である場合（事象Ａ）その生起確率は$R_1 \cdot R_2$でありネットワークはG_3のように簡略化できる。また，グラフG_1が連結でG_2が非連結な場合（事象Ｂ）その生起確率は$R_1 \cdot (1-R_2)$であり，ネットワークはG_4～G_7のように簡略化される。ここで事象Ｂが生起したときに，G_4～G_7が生起する確率を全て等しいと仮定する。またグラフG_1が非連結でG_2が連結な場合（事象Ｃ）その生起確率は$(1-R_1) \cdot R_2$であり，ネットワークはG_8～G_{11} のように簡略化される。ここで同様に事象Ｃが生起したときに，G_8～G_{11} が生起する確率を全て等しいと仮定する。またグラフG_1, G_2 が共に非連結である場合（事象Ｄ）その生起確率は$(1-R_1) \cdot (1-R_2)$であり，ネットワークはG_{12} のように簡略化できる。簡略グラフG_i (i=1～12) について生起確率をA_i，連結確率をB_iとすれば，全点間の信頼度REは式(1) によって求めることができる。

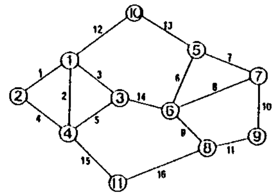
$$RE = \Sigma A_i \cdot B_i \qquad (1)$$

４．計算結果

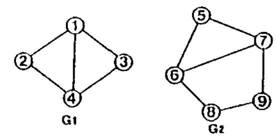
図－５のネットワークにおいて，各リンク長をリンク番号順に250, 300, 250, 250, 250, 269, 269, 380, 212, 250, 206, 320, 292, 206, 283, 380mとし，2000mに１ヵ所の確率でリンクが破壊すると仮定し，ポアソン確率によって各リンクの破壊確率を求め，ネットワークの信頼度（全点間）を計算すると，厳密解は0.903634，近似解は0.926221，その誤差は約2.5 %となる。

５．結論

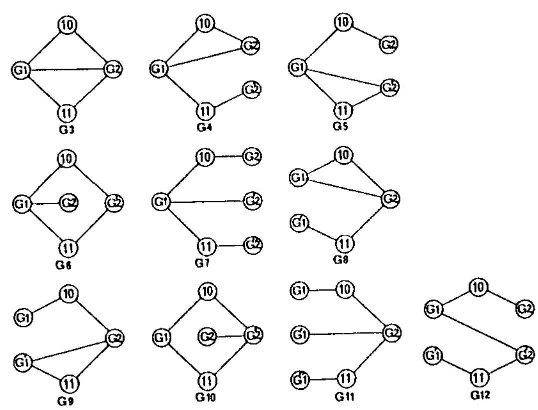
厳密解法を用いた場合，道路網規模が増大すると計算時間は指数関数的に増大するため，大規模な道路網においては計算不可能であったが，本手法を用いれば，比較的大きな道路網に対しても信頼度の近似値を単時間で求めることが可能である。



図－５基本ネットワーク



図－６強連結ネットワーク



図－７簡略ネットワーク

＜参考文献＞

1)Taleb-Agha,G.;Seismic risk analysis of networks,Seismic DesignDecision Analysis-Report No.22,MIT,Dept.of Civil Eng.Res.R75- 49,1975.

2)Luigi-Fratta,Ugo G.Montanari;A Boolean Algebla Method for Computing the Terminal Reliability in a Communication Network,IEEE Transactions on Circuit Theory,vol.CT-20,NO.3,May 1973.

3)山田善一，家村浩和，野田茂，小笠原洋一；反復分割法による震災後の上水供給系の事変信頼性解析，土木学会論文報告集，第326 号，pp.1～13，1982年10月.

4)Z.Khalil;On the Reliability of Biconnected Networks,Microelectron Reliab.Vol.23,No.1,pp.71～78,1983.

5)飯田恭敬，若林拓史，吉木務；ミニマルパス，ミニマルカットによる道路ネットワークの信頼度の近似計算法について，土木学会第42回年次学術講演会講演概要集，昭和62年９月.