距離依存するリンク信頼度を用いた緊急輸送道路ネットワークの連結信頼性の基礎的研究

金沢大学理工学域環境デザイン学類　学生会員　○中南　孝晶
金沢大学理工研究域環境デザイン学系　正会員　中山　晶一朗

1. 研究の背景・目的

大地震などの巨大な災害が発生した場合，迅速な避難，救援物資の輸送など，道路に係る役割は非常に大きいものである．そのため，各都道府県は緊急輸送道路を指定し，災害時に円滑な物資輸送を行うためのネットワークとして整備している．この緊急輸送道路が十分に役割を果たせるかどうか，事前に緊急輸送道路が災害によって受ける被害や影響を想定する必要性がある．非常時における緊急輸送道路の連結性能を評価し，広域的な道路網における連結信頼性の推定することが求められている．

道路網の連結信頼性を計算する手法は数多く存在するが，地方単位の広域的な道路網を評価することは，作業効率の面で多くの課題を抱えている．本研究では道路ネットワークの形状に着目し，ネットワークが密な形状を一つのノードとして捉え，連結信頼性の計算量を少なくすることで，作業効率の軽減を図ることを目的とする．今回は，連結信頼性を推定する基礎的分析として，ネットワーク形状およびそのリンク密度が連結確率に与える影響を分析する，

2. 距離依存するリンク信頼度について

本研究では, OD 間の連結確率をモンテカルロシミュレーションによって計算する．その際のリンク通行可能確率については距離に依存するものとし，以下の式で得られる値をそのリンクの通行可能確率とする．

Φ_i：i 番目のリンク通行確率

$$\Phi_i = 0.84^{x_i} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

0.84：東日本大震災時の被災地域の国道 1km 当たりのリンク通行可能確率の推定値

x_i：i 番目のリンク長(単位：km)

このリンク信頼度を用いることで，リンク長さが長いほどリンク通行可能確率が小さくなるということになる．

計算対象とするネットワークは次の 3 つである．

① 一辺 X(km)の正方形を連続に結合させた格子状ネットワーク

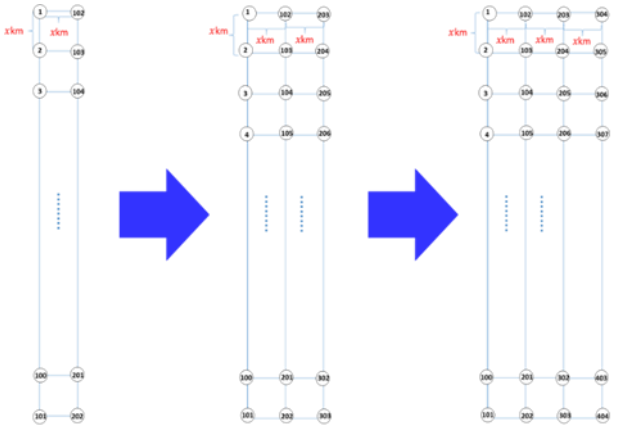

図-1　切り取る格子型ネットワークの概要

② 縦 Y(km)・横 Z(km)の長方形を連続に結合させた梯子状ネットワーク

③ 短辺 A(km)・長辺 B(km)の二等辺三角形を連続に結合させたネットワーク

これらは一定面積当たりに存在するリンク長さが等しくなるように構築する．計算するネットワークは，図-1 のように拡大する．始点ノードは左上のノードとし，全ノードについて連結確率の計算を行った．縦 1 列(Net1)から順々にネットワークを拡大し，縦 10 列(Net10)になるまで計算する．

長方形は縦長と横長の 2 種類。二等辺三角形は図-2 のように，向きによってネットワーク形状が異なるため，三角形(同方向)と，三角形(互い違い)を計算した．なお，モンテカルロシミュレーションにおける乱数での計算回数は10^5(回)に統一した．

3．評価の指標

連結性能を評価するために，今回は以下のような指標を用いることにした．

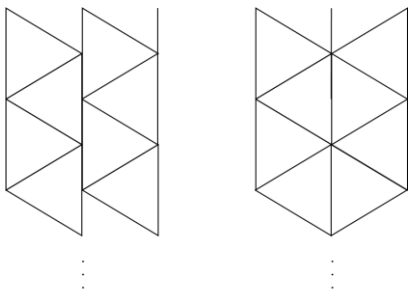

図-2　三角形(同方向)[左]と三角形(互い違い)[右]

指標値=$log_{0.84}R_{OD}/D_{direct}$

R_{OD}：OD 間の連結確率

D_{direct}：OD 間の直線距離

この指標は，各距離の OD ペアを相対的に評価するための指標である．R_{OD}は指数的に変化する値であるので，0.84 を底とする対数をとっている．

縦軸を$log_{0.84}R_{OD}$，横軸をD_{direct}として，OD ペアごとにプロットしたグラフの近似式の傾きが指標値となる．また，始点ノードは 100%連結していると考え，連結確率 1 として考える．

４．計算結果と分析

まず，リンク密度を固定し，ネットワーク形状の違いによる影響を分析する．リンク密度1041.7(m/km^2)とした縦 2 列分ネットワークのグラフを図-3 に，縦 1 列(Net1)および縦 2 列分(Net2)の指標値を表-1 に示す．

図-3 および表-1 より，三角形(同方向)と，三角形(互い違い)では指標値が異なる．このことから，同じ二等辺三角形のネットワークであっても，形状の違いが連結確率に影響を与えていることが確認できる．同様に，四角形の形状の違いも連結確率に影響があると考えられる．

次に、リンク密度を変化させた場合に，指標値がどのように変化するか分析する．正方形ネットワークにおいて，密度を変化させながら指標値を計算した．そのグラフを図-4 に示す．また，指標値の予測式をプロットした値の近似式として出した．

この予測式を用いて，リンク密度の変化とネットワーク形状の変化が連結性能に与える影響について，指標値

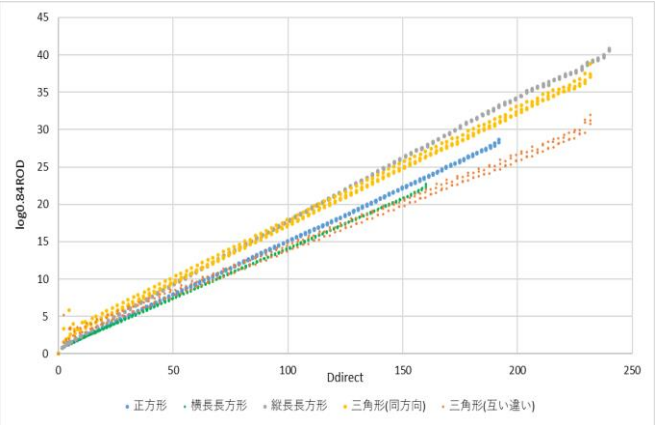

図-3　縦 2 列における連結確率

表-1　縦 1 列と 2 列の指標値

正方形		横長長方形		縦長長方形		三角形(同方向)		三角形(互い違い)	
1列	2列	1列	2列	1列	2列	1列	2列	1列	2列
0.3586	0.1488	0.3405	0.1406	0.3903	0.1724	0.3492	0.1659	0.3446	0.1345

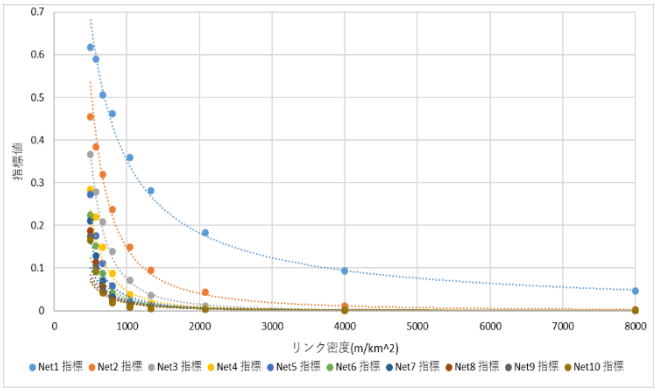

図-4　リンク密度を変化させた場合の指標値の変化

で比較する．

Net2 を対象として考えると，表-1 より，ネットワークの形状変化による指標値の最大差は 0.0236 である．この差は予測式において，リンク密度1041.7(m/km^2)から 1153.9(m/km^2)に変化させる影響とほぼ等しい．

５．まとめ

今回の計算では，ネットワーク形状の変化およびリンク密度の変化がどの程度連結性能に影響を与えるかを知ることができた．

６．今後の課題

今後は，計算サンプル数を増やし，ネットワークの形状およびリンク密度の変化が連結性能に与える影響について更に細かく分析する予定である．最終的には，距離・ネットワークの大きさなどの情報から，どのネットワークの連結性能が高いという結論まで導き出したいと考えている．また，連結性能の指標はこれで十分なのか，モンテカルロシミュレーションにおける妥当な計算回数ついても検討したい．

謝辞

本研究は国土交通省国土技術政策総合研究所の委託研究により実施したものを含んでいる．ここに記して感謝いたします．

参考文献

1) 飯田恭敬，若林拓史，福島博：道路網信頼性の近似解析方法の比較研究，土木学会論文集，No. 407/IV-11，pp. 107-116，1989.

2) 中山晶一朗：ネットワークレベルでの道路交通の信頼性研究の諸相・展望とその便益評価の一考察，土木学会論文集 D3，Vol. 67，No. 2，pp. 147-166，2011.