

東京都内の道路ネットワークにおける橋梁劣化の影響の分析 (その2: ネットワークにおける重要度評価)

中央大学 学生会員 遊佐 亮太郎 中央大学 学生会員 玉田 雄亮
中央大学 正会員 佐藤 尚次

1. はじめに

現代の市民生活は、種々のライフラインの健全な運用のもとに成り立っている。それらのライフラインは図-1に示すようなノード(節点)とリンク(節点間の連結部)からなるネットワーク状の構造物として表われ、一部分の機能の向上低下が他に影響を及ぼすという性質を持つ。また、及ぼす影響の度合も各リンクで異なることから、各リンクには重要度の差がある。しかし、どれほど重要度が高いリンクでも、安全性を無限にとることは経済的に許されない。

このような背景から、ライフラインネットワーク全体としての安全性と経済性について最適な維持・管理のために、各リンクの重要度を評価することは有益である。

本研究では、ある交通ネットワークを想定し、道路網の基本的な性能規範として交通容量が重要であると考え、道路ネットワークの最大フローを評価指標とし、遺伝的アルゴリズム(Genetic Algorithm:以下 GA)を用いてネットワークの解析を行なう。そして、それをもとに、ネットワーク全体の信頼性・経済性を考慮して、各リンクに最適な重要度評価を行なうことを目的とする。

また、東京都の橋梁の破壊確率を使用して、橋梁の損傷によるリンク容量の減少がネットワークに与える影響から、どのリンクが重要となるかを検討していく。

2. 研究の手法

2.1 GAを用いた最小カットの探索

ネットワークフローを考える問題では、通常各リンクに通過容量が付加されており、ノードの流入量と流出量が等しい時、「最小カット=最大フローの定理」が成立し、カットを横切るリンク容量の総和の最小値に対し、必ずそれと一致する実行可能なフロー解が存在し、最大値をも与える。つまり、最小カットは、ネットワークのボトルネックを表わし、そのカットを構成するリンクが、重要度の高いリンクということになる。しかし、大規模ネットワークでは、全カットの計算は現実的ではないので、本研究では、最適化手法であるGAを用いて最小カットの計算を行なうこととする。

本研究では、対象として、東京の主要幹線道路を抽出し、モデル化した交通ネットワーク(図-1)を使用する。また、解析は、想定される交通の目的に応じて、ソース(流入点)とシンク(流出点)の位置を変えて、部分的に行なった。今回は例として、都心から西へ向かう図-2のような部分モデルを扱う。その時のリンク容量を表-1に示す。

2.2 リンク重要度の評価

GAにより得られたカット集合(最小カットや第2,第3の準最小カット)から、有効なリンク重要度決定方法を探る。

まず、すべてのリンクの重要度を同一とし、同じ信頼度(損傷確率)(表-2のGrade2)を与える。その確率に応じて各リンクの容量を変化させ、GAを用いて最小カットを求める、というシミュレーションを5000回行ない、最小カット容量

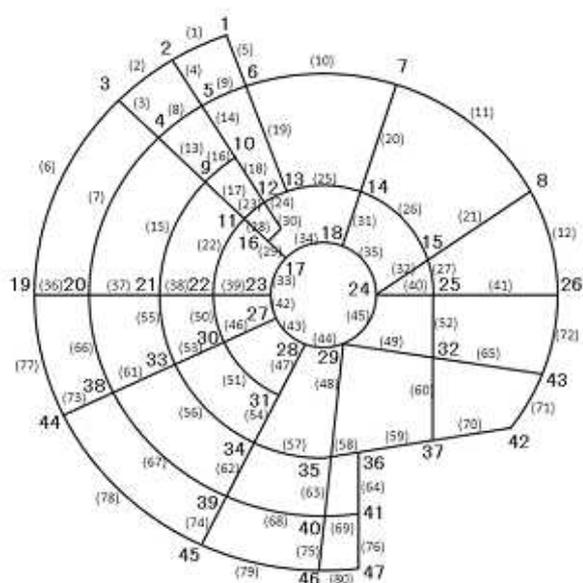


図-1 東京都心の交通ネットワークモデル

表-1 図-2のリンク容量表

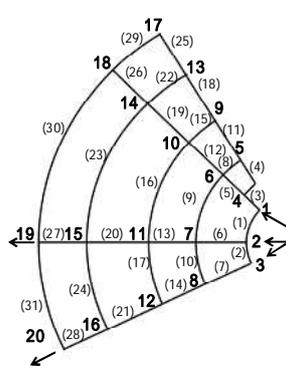


図-2 部分モデル(西)

リンク	端点1	端点2	容量	リンク	端点1	端点2	容量
1	1	2	13200	17	11	12	8800
2	2	3	17600	18	9	13	13200
3	1	4	8800	19	10	14	8800
4	4	5	8800	20	11	15	13200
5	4	6	8800	21	12	16	13200
6	2	7	13200	22	13	14	8800
7	3	8	13200	23	14	15	8800
8	5	6	8800	24	15	16	8800
9	6	7	8800	25	13	17	13200
10	7	8	8800	26	14	18	8800
11	5	9	13200	27	15	19	13200
12	6	10	8800	28	16	20	13200
13	7	11	13200	29	17	18	8800
14	8	12	13200	30	18	19	8800
15	9	10	13200	31	19	20	13200
16	10	11	8800				

表-2 階層化したリンクの等級と損傷確率

	全壊	容量半減	無損傷
Grade 1	1%	3%	96%
Grade 2	10%	30%	60%
Grade 3	20%	60%	20%

の変化をみる。次に、GAにより得られたカット集合から各リンクの重要度の高低を判断し、それぞれのリンクに高い信頼度(Grade1)、低い信頼度(Grade3)を与え、信頼度を階層化し、同様のシミュレーションを行ない、最小カット容量の変化をみる。ここで、m番目のリンクのコスト L_{cm} を、そのリンクの無損傷の確率 P_m とリンクの容量 q_m を掛け合わせたものと考え、

$$L_{cm} = P_m \times q_m$$

とし、トータルコストの増減は5%以内と、あまり変わらないようにする。以上の2通りの結果を比較し、行なったリンク重要度決定方法の妥当性を検討する。

キーワード : 遺伝的アルゴリズム, ネットワーク, 最小カット

連絡先 : 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 tel.03-3817-1816

本研究では、次のような方法でリンク重要度を評価した。まず、得られたカット集合のうち、n 番目のものの容量を C_n とし、そのカットに m 番目のリンク(容量 q_m)が含まれるとする。健全時の最小カット容量を C_{min} として、

$$C_n - q_m < C_{min}$$

が満たされるとき、m 番目のリンクに Grade1 を与える。そして、カット集合の、どのカットにも含まれないリンクから Grade3 を与えていき、コストの調整をする、という方法をとる。図-3 に、リンク信頼度を均等化した時と、階層化した時の最小カット容量の減少量の変化を示す。リンク信頼度を階層化した時の方が、容量減少の少ない部分の頻度が上がり、容量減少の大きな部分で全体的に頻度が下がっていることがわかる。このことから、行なった重要度の評価方法が有効であったと言える。

3. 橋梁の損傷による影響の検討

橋梁の30年後の損傷確率を、各リンクの信頼度に変換したものを表-3 に示す。これは「30年後に、そのリンク内のどの橋梁も交通可能である確率」を示す。橋梁の損傷により、その区間の容量が半減すると仮定し、最小カット容量に与える影響をみる。

まず、表-3 の信頼度(非損傷確率)に従い、リンク容量を変化させ、健全時からの最小カット容量の減少量を求める。次に 2.2 において重要度が高いと判断したリンクの橋梁に、補修を施し、高い信頼度を維持させるとする。その上で最小カット容量の減少量を求める。図-4 にグラフを示す。橋梁の損傷による最小カット容量の減少を低減させる効果がみられる。特に大きな減少量について改善がみてとれる。

また、橋梁という要素が加わることで、2.2 では重要とされなかったリンクに高い重要度が評価される可能性を考え、探索を行なった。ここでは、放射状道路と環状道路それぞれにおいて同様の操作を行ない、最小カット容量の減少量の変化を比較した。効果がみられた道路としてノード 2 と 20 を結んだ放射状道路、ノード 17 から 21 を結んだ環状道路を例に挙げ、結果のグラフを図-5 に示す。放射状道路への補修により、非常に大きな減少量の頻度が大幅に下がっていることがみてとれる。減少量の小さな部分でも環状道路への補修より、放射状道路への補修の方が、大きな効果が出ている。これは、ソースとシンクが放射状道路によって結ばれるような位置に設定したからだと考えられる。また、この計算では環状道路の重要性が余り出ていないが、例えば、南方からの流入交通をソースとし、西方への流出交通をシンクとするような交通需要に対しては、重要性の判断が変わってくることも考えられる。何れにせよ、橋梁にもネットワークにおける重要度の差があることがわかる。

4. おわりに

本研究では、GA によって求めた最小カット容量を、ネットワーク全体の信頼度の指標とした各リンクの重要度評価について検討した。また、橋梁の損傷によるリンク容量の減少の影響についても検討した。

今後の課題としては、ソースとシンクの位置を変え、ネットワーク全体におけるリンク重要度の評価を行なうことが挙げられる。

《参考文献》

1) 杉本博之, 田村亨他: GA によるライフライン被災ネットワークの復旧プロセス支援に関する研究, 構造工学論文集 vol.43A,1997.
 2) 佐藤尚次: GA によるネットワークフローの最小カット探索, 第 4 回システム最適化に関するシンポジウム講演論文集,1995.

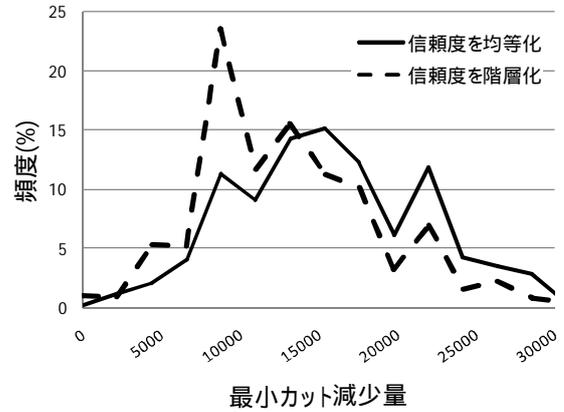


図-3 信頼度の階層化による最小カット減少量の変化
表-3 各リンクの30年後信頼度

番号	信頼度	番号	信頼度	番号	信頼度
1		11		21	0.254
2		12	0.375	22	0.198
3	0.571	13	0.571	23	0.000
4		14		24	0.198
5	0.658	15	0.571	25	0.445
6	0.445	16	0.106	26	0.445
7	0.445	17	0.326	27	0.293
8	0.433	18	0.445	28	0.293
9	0.433	19	0.198	29	
10		20		30	0.081
空欄は橋梁のないリンク					
				31	0.293

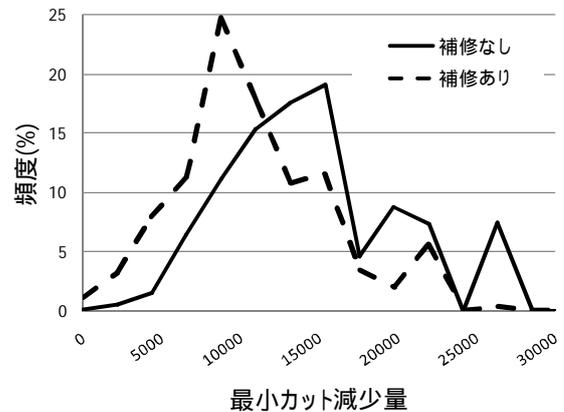


図-4 重要リンク内の橋梁の補修の効果

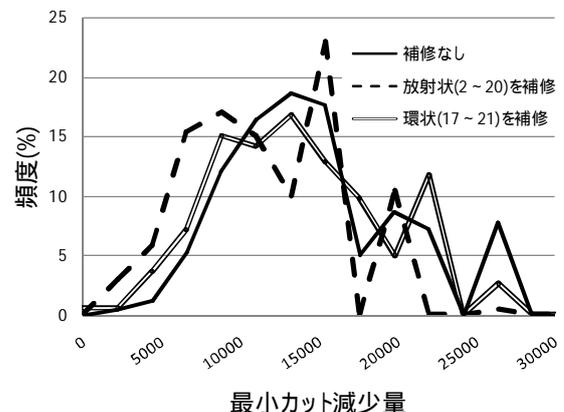


図-5 放射状、環状道路の補修の効果

3) 大村寛和, 佐藤尚次: 被災時復旧優先度による道路ネットワーク要素の目標信頼性の階層化に関する研究, 第 7 回システム最適化に関するシンポジウム講演論文集,2001