

交通ネットワークの被災時復旧過程の最適化に関する研究

○中央大学大学院 学生会員 斎藤弘明
中央大学 正会員 佐藤尚次

1.はじめに

災害によってライフラインが分断された場合、復旧活動を最適に進められるような計画を立てることが必要である。著者の佐藤は地震被災時の道路網の基本的な性能模範として交通容量が適切と考え、評価方法としてネットワーク理論の「最小カット＝最大フローの定理」を用いて解析を行ってきた。^{1),2)}しかし交通機能を評価するには交通工学的な分析が不可欠である。そこで本研究では利用者均衡配分（Frank-Wolfe 法）によって得られた所要時間変化の結果とともに優先修復順位を求め、最小カットによる分析との比較検討を試み、その相違点の特徴を探る事にした。

2.評価方法

(i).最小カットを用いた優先修復リンクの探索

最大フローとはリンク容量が与えられたネットワークにおいて、特定の2点間を通過するフローの最大値である。災害時のネットワークを対象にし最小カット断面に含まれるリンクの性能向上が、システムとしての可能最大フローの性能向上に、最も効果的であるという前提で優先修復リンクの順位を決定する（最小カット探索の過程でGAを用いている）。しかし特定の2点間ではネットワーク全体の評価には不十分であると思われる。複数の点を考慮しそれぞれに対し最小カットを求めすべての最小カット断面に注意を払い優先修復リンク探索を行う。

(ii).利用者均衡配分を用いた優先修復リンクの探索

災害時のネットワーク機能の評価に関しては所要時間の範囲内で移動できるかが重要な視点になると考えられる。そこで、災害時における各リンクの所要時間の合計と被災リンクを1つ1つ修復した場合の所要時間の合計とを比較し、最も所要時間の短縮できるリンクがシステム全体の機能向上に、最も効果的であるという前提で優先修復リンク探索を行う。

3.計算例

例として神奈川県三浦半島を想定し17節点25リンクのネットワークを考える。OD需要は平常時のまま変化しないと仮定する。なお、OD需要は平成9年度道路交通センサスにより得られた現況自動車ODを用いている。

各リンクを一律の破壊確率で全壊もしくは半壊させ、2- (i)、(ii)のそれぞれの方法で修復シミュレーションを行った。ここでは代表的結果を1ケース示す。平常時の容量を表3-1に容量変化を表3-2に示す。

(i).最小カットを用いた修復順位

横浜方面につながる点②、東京湾港道路・横須賀横浜道路延長計画のある観音崎⑩、三浦市の中心⑮の3節点を考慮し、評価を行う。節点番号②⑮、②⑩、⑩⑮間の3つの最小カットをそれぞれI、II、IIIと置くと平常時のカットは図3-1のようになる。災害時には最小カットが図3-2のように変化する。3つのカット容量が大きくなるように順位を決めていく。この例ではまず2つの最小カットに含まれていてかつ被害の大きかったリンク4を修復する。修復後の最小カットは図3-3になる。ここではリンク14が2つの最小カットに含まれるが被害が大きいリンク17を修復する。これを繰り返すことにより修復順位を導く。

結果、修復順位は4→17→14→19→12→8となる。

キーワード 復旧計画、最小カット

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

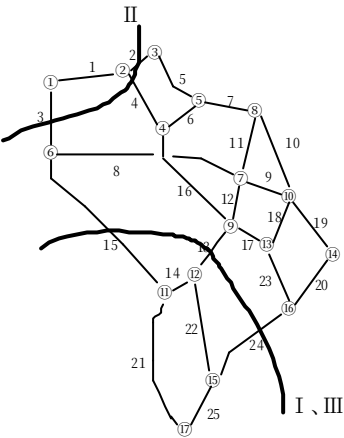


図 3-1 平常時の最小カット

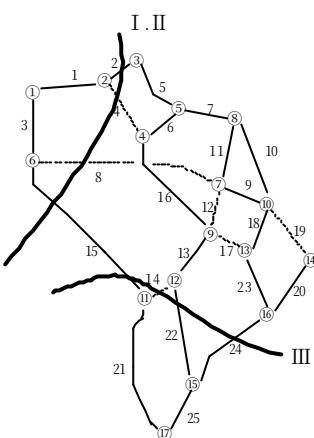


図 3-2 災害時の最小カット

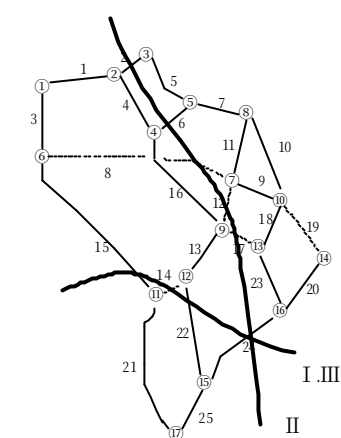


図 3-3 リンク 4 修復後の最小カット

表 3-1 リンク容量

リンク	両端節点(i,j)	容量
1	1 2	664
2	1 3	664
3	2 6	629
4	1 4	3633
5	3 5	2043
6	4 5	1082
7	5 8	2043
8	6 7	841
9	7 10	895
10	8 10	1695
11	7 8	826
12	7 9	791
13	9 12	1009
14	11 12	1009
15	6 11	628
16	4 9	3466
17	9 13	3997
18	10 13	1075
19	10 14	1695
20	14 16	1695
21	11 15	843
22	12 17	848
23	13 16	1075
24	17 16	839
25	15 17	843

(ii).利用者均衡配分を用いた修復順位

表 3-3 に示すように、各リンク所要時間変化の合計により、優先リンクを導く。被災後所要時間が約 84 であるがリンク4を修復すれば約32と最も時間短縮している。これを繰り返すことにより修復順位を導く。

結果、修復順位は 4→8→14→19→12→17 となる。

表 3-3 各リンク所要時間合計の変化

災害後	被災リンク	修復後の時間変化					
84.34	4	32.16	—	—	—	—	—
	8	53.38	21.66	—	—	—	—
	12	65.95	27.69	19.36	11.97	7.34	—
	14	67.53	22.89	14.70	—	—	—
	17	70.47	28.21	18.49	11.60	7.69	6.53
	19	69.75	25.32	15.04	9.12	—	—

表 3-2 被災リンクの容量変化

リンク	容量変化
4	3633→0
8	841→0
12	791→0
14	1009→0
17	3997→0
18	1695→848

4. 考察

最小カットによる修復はシステム全体を評価したいために複数の節点間を考慮したが、修復するにつれ 2 点間の評価になってしまうため初期の段階で有効であると思われる。

今回示した結果のみならず他のシミュレーションの結果とともに両者の手法から得られた解は一致しない結果となった。ここで各リンクの所要時間の合計でなく、3 節点間の所要時間合計変化による評価を表 4-1 に示す。修復順位は 4→17→14→8→12→19 となる。これと最小カットの結果を比較すると初期の段階で一致している。最小カットによる評価はネットワークの中心都市複数を考慮しても、その地点間の評価しかできずシステム全体の評価を行うことは困難であると思われる。

表 4-1 3 節点間の時間変化

災害時	被災リンク	修復後の時間変化					
47.47	4	10.18	—	—	—	—	—
	8	21.64	7.36	5.34	3.85	—	—
	12	42.23	7.77	5.84	3.96	3.37	—
	14	43.15	7.25	4.96	—	—	—
	17	45.59	6.82	—	—	—	—
	19	47.37	9.95	6.54	4.67	3.71	3.27

参考文献

- 1) 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
- 2) 佐藤尚次：ネットワーク機能回復のための優先修復リンクの GA 探索、第 5 回システム最適化に関するシンポジウム講演論文集