

震災道路網における復旧計画に関する研究

The restoration planning of road network in earthquake disasters

室蘭工業大学大学院 ○学生員 劉 斌 (Liu Bin)
 室蘭工業大学工学部 フェロー 斉藤 和夫 (Kazuo Saito)
 専修大学北海道短期大学 正員 梶谷 有三 (Yuzo Masuya)

1. はじめに

道路交通システムは我々が生活する上で不可欠なライフラインである。平常時に交通需要と供給のバランスがとれ、円滑で安全な交通機能が確保されている道路ネットワークにおいても、震災によって需要と供給のバランスが崩れることが考えられる。まず供給側では道路網の一部が損壊したり、建物の崩壊によりその残骸が道路に横たわり道路機能を十分に発揮できず、道路網全体の交通処理能力が大きく低下する。需要側としては緊急車両、避難、あるいは安否確認等の平常時とは全く異なる交通が発生し需要が増大する。震災時道路交通システムは、避難路あるいは生活物資や復旧機材の輸送路として重要な機能を担っている。それゆえ、震災時でも交通渋滞を引き起こすことなく円滑な交通機能および安全を確保するため道路システムを早急に復旧することが必要である。そして、そのためには交通需要を交通供給に応じて抑制することおよび道路ネットワークの最適な復旧計画を策定することの両面からのアプローチが必要である。

復旧計画問題は被害リンクの組み合わせの最適化問題である。この問題について、本研究では被災道路網の交通処理能力を表す道路網容量を基礎に、道路網における需給のバランスの面から、各種交通需要抑制策によって発生・集中可能交通量算定のアルゴリズムを提案し、緊急車両の配送拠点と緊急ルートネットワークの作成モデルを構築し、さらに道路ネットワーク復旧計画の最適化計画法のプロセスを探索する。

2. 震災後の道路ネットワークと交通流の分類

阪神・淡路大震災のように、大都市直下形地震の発生データを調べると、道路ネットワークの震災直後からの災害復旧過程は以下のように想定される。まず、道路網容量面では、(1)大地震直後の交通渋滞を回避することは不可能であり、(2)交通管制と交通抑制により交通渋滞がある程度解消し、震災後の道路網容量になり、(3)復旧作業の進行とともに道路ネットワーク容量を通常にまで拡大する。次に、防災計画面からは、(1)調査段階；震災発生の直後における道路網交通状況の実態を把握する段階、(2)最初の管制と抑制段階；渋滞を解消し緊急車両に対して優先的に輸送路を確保する段階、(3)緊急復旧段階；緊急車両に対して交通需要と交通供給のバランスがとれるまでの復旧作業段階、(4)全面復旧段階；一般的交通需要に対して道路容量が回復する段階が考えら

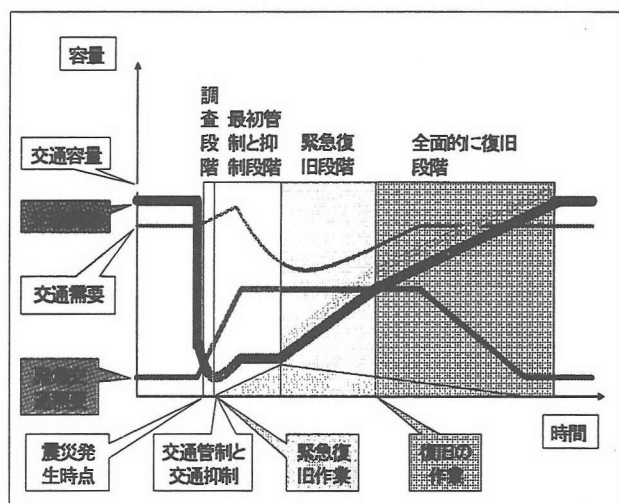


図-1 災後道路網交通容量と復旧図

れる。想定される4つの段階を模式化に図-1に示す

3. 震災道路網復旧について

復旧作業は緊急復旧と全面的復旧の二段階に分けて考えられる。震災により、道路ネットワークのいくつかのリンクが崩壊されると、それらのリンクに対して同時に復旧作業を行うことは困難である。緊急復旧作業として、緊急車両の需要を満足するために、道路ネットワーク容量を速めに拡大し、走行時間と復旧時間を短縮することが重要である。全面的復旧段階では、一般的交通需要に対する復旧作業である。震災道路ネットワークの復旧計画問題は被害リンクの組み合わせの最適化問題である。しかし、すべてのリンクを組み合わせると膨大な計算量になり、特に大規模ネットワークでは計算不可能の場合が考えられるので、それを避けるために、本研究では、均衡配分法により災害道路網のボトルネックを探索し、ボトルネックを構成するリンクの復旧順番を組み合わせ、遺伝的アルゴリズムの成長法により最適化を行う。この過程の繰り返しにより緊急復旧の目標に到達するまで計算を行うものである。

道路網交通容量においては、OD 構成比一定の下で利用者均衡配分法を用いて道路網容量の算定を行う。震災における道路ネットワーク交通容量は、前述の段階を想定する。震災後の交通供給については、交通流の種類を考慮した道路網容量の算定を行う。さらに中継基地や緊急車両を考慮し、道路網容量算定の定式化を試みる。

3. 1 均衡配分による道路網のボトルネック探索

均衡配分法による道路網ネットワークのボトルネック探索の問題は、以下のような数理計画問題として定式化される。

$$Q_{rs} = \sum_{k \in K_{rs}} f_k^{rs} \quad \forall rs \in \Omega \quad (1)$$

$$X_a \geq \sum_{k \in K_{rs}} \sum_{re \in \Omega} \delta_{a,k}^{rs} f_k^{re} \quad \forall a \in A \quad (2)$$

$$X_a = \sum_{k \in K_{rs}} \sum_{re \in \Omega} \delta_{a,k}^{rs} f_k^{re} \quad (3)$$

$$\min .Z_p = \sum_{a \in A} \int_0^{x_a} t_a(w) d_w \quad (4)$$

$$Q_{rs} \rightarrow \text{Max} \quad (5)$$

$$f_k^{rs} \geq 0 \quad (6)$$

ここで、

x_a : リンク交通量

Q_n : OD 交通量

f_k^{rs} : 経路交通量

式(1)から(4)までは利用者均衡 (User Equilibrium) 配分の制約条件式である。式(5)は需要交通容量最大化問題になる。

3. 2 中継基地と緊急路ネットワークの最適化

ここでは、優先的に確保すべき緊急車両、あるいはその緊急車両の中継基地を考慮する。効率的で円滑な緊急輸送を目的とする場合、走行時間最短の緊急輸送路ネットワークを指定し、交通処理能力を確保するために交通規則を行うことが必要である。震災時には各被災ゾーンで必要とされる緊急車両の需要が発生する一方、中継基地側では供給可能な緊急車両に上限がある。その中継基地と緊急路ネットワークの最適化は以下のように定式化することが出来る。

$$\sum_{n=1}^N Q_{mn} \leq Q_m \quad (m=1,2,3, \dots, N) \quad (7)$$

$$\sum_{m=1}^M Q_{mn} = Q_n \quad (m=1,2,3, \dots, N) \quad (8)$$

$$t_{mn} = \sum_{a \in A} t_a \delta_{a,k}^{mn} \quad (m \in M, n \in N) \quad (9)$$

$$\sum_{k \in K_{ij}} \sum_{m \in M, n \in N} \delta_{a,k}^{mn} f_k^{mn} \leq X_a \quad (10)$$

$$T = \sum_{m \in M, n \in N} t_{mn} \quad (11)$$

$$T \rightarrow \min. \quad (12)$$

ここで、

Q_m : 中継基地 m で供給可能な緊急車両数

Q_n : 需要点 n で要求される緊急車両数

M : 中継基地数

N : 避難所等の需要点数

$\delta_{a,k}^{mn}$: ODペア mn 間第 k 経路がリンク a を含むとき 1, そうでないとき 0

f_k^{mn} : k 経路の経路交通量

式(7)および(8)は緊急車両に関する制限式である。

式(9)は緊急車両の走行時間に関する計算式である。

式(10)は各リンクの交通容量に関する制限式である。

式(11)は緊急車両の総走行時間に関する計算式である。これらの制約のもとで式(12)の総走行時間を最小化する問題となる。

緊急輸送路を優先的に交通規制を行う場合は、道路網交通容量の定式化は以下になる。

$$\sum_{k \in K_{ij}} f_k^{ij} = p_{ij} Q_{ij} \quad (i \in I - I_0, j \in J - J_0) \quad (13)$$

$$\sum_{k \in K_{ij}} \sum_{i \in I, j \in J} \delta_{a,k}^{ij} f_k^{ij} \leq X_a - \sum_{k \in K} \sum_{m \in M, n \in N} \delta_{a,k}^{mn} f_k^{mn} \quad (a \in A) \quad (14)$$

$$\min .Z_p = \sum_{a \in A} \int_0^{x_a} t_a(x) d_w \quad (15)$$

$$f_k^{ij} \geq 0 \quad (16)$$

$$Q_{ij} \rightarrow \text{Max} \quad (17)$$

式(14)は緊急車両を優先的に確保する制限式である。

3. 3 災害道路網復旧コストについて

災害道路網復旧の速さは人命の助けにつながることから、本研究では、被害リンク復旧後の容量の拡大効果のみで、復旧効果の評価を行う。復旧のコストについては、被害リンク復旧の必要時間を考える。したがって、復旧効果評価は、以下のように定式化される。

$$CBR = \frac{\text{容量の拡大量}}{\text{復旧のリンク長}} \quad (18)$$

ここで、

C B R : 復旧効果評価関数

3. 4 GA法で最適化の手法

遺伝的アルゴリズムの原理は、高い評価関数をもつ解の近傍を中心とした広域的な解探索にあるといえる。本研究の問題は本質的に不連続の最適化問題である。膨大な計算量を避けるためにGAモデルを開発し、適用を行う。この問題は以下のように離散的組み合わせ最適化問題として定式化される。

$$\text{目的関数: } f(\{C_i\}) \rightarrow \min \quad (19)$$

制約条件: 改良リンクの組み合わせ $LT_i \in F$

F: 改良リンク L_i ($i=1, n$) の全組み合わせ集合

$$F = n^n \quad (20)$$

$$g_i(C_i) \leq 0 \quad (21)$$

$$\text{設計変数: } \{I_i\} = \{I_1, I_2, \dots, I_n\} \quad (22)$$

この問題は、プロジェクト内の復旧リンクの制約があり、リンクの組み合わせの順番と探索計算を決定する問

題として定義される。原問題は制約条件付きの最小化であるため、GA適用に際し逆数を取る方法により無制約問題に変換する。

$$\Phi(i) = f(\{C_i\}) + \gamma \sum_{m=1}^M \max[g_m, 0] \tag{23}$$

$$CBR(i) = 1/\Phi(i) \tag{24}$$

ここに、 γ ：ペナルティ係数
 m ：制約条件式の種類数
 $CBR(i)$ ：適応関数。

遺伝子線列構成は、構造的に制約条件を満足するように2進法コーディングを用いて行い、制約を満足する交叉・突然変異を行うことになる。全ノード間の復旧リンクの有無を{0, 1}のバイナリで表現する。道路ネットワークノード間リンクが存在する場合に1、存在しない場合は0になる。最初に探索された最小カット構成リンクが初世代になり、ネットワーク初世代の遺伝子線列を生成する。評価関数は復旧効果評価関数(CBR)を用いて評価を行い、適応関数により各個体の淘汰・繁殖を行う。すなわち、適応度の大きいものは生き残る可能性が大きく、小さいものは生き残る可能性が小さいことになる。本研究には、ランダムに個体を選ばずに個体群の中で最も適応度の高いものを強制的に残す。それはエリート戦略である。残りのリンクの組み合わせは、リンク交通容量を復旧する場合に生じる次のカットを構成するリンクを一つずつ組み合わせて次世代を繁殖する。残りの個体群の間で交叉し、次世代が生まれる。本研究の交叉率を0.6として、二点交叉で交叉を行なう。突然変異については、親個体の遺伝子から二つの遺伝子座をランダム選択し交換する。この突然変異を行う個体およびその遺伝子の場所も乱数で確率的に決定する。

4. 計算例

ここでは、図-2に示す19個のセントロイド(対象地域内セントロイド13個、対象地域外セントロイド6個)を含め65個のノードおよび200本の方別リンクからなる道路ネットワークを用いて、震災時の道路網の交通容量分析と復旧計画作成を試みる。

表-1は平常時のOD構成比である。表-2は平常時と震災時の道路ネットワークの交通容量である。

表-1 平常時のOD構成比

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	0	0.07	0.03	0.04	0.08	0.05	0	0.08	0.06	0	0.06	0	0.05	0.33	0.05	0.24	0	0	0.08
2	0.07	0	0.02	0.06	0.12	0.04	0	0.12	0.11	0	0.17	0	0.05	0.41	0.08	1.02	0	0.02	0.36
3	0.03	0.03	0	0.1	0.13	0.18	0	0.13	0.08	0.02	0.17	0.07	0.09	0.29	0.64	0.26	0.02	0.1	0.47
4	0.03	0.04	0.12	0	0.12	0.12	0	0.12	0.06	0	0.21	0.06	0.07	0.48	1.01	0.67	0	0.13	0.35
5	0.1	0.11	0.1	0.08	0	0.3	0	0.3	0.25	0.01	0.38	0.06	0.21	0.57	0.57	1.24	0.1	0.28	1.04
6	0.04	0.07	0.15	0.11	0.36	0	0	0.35	0.13	0.02	0.36	0.08	0.15	0.37	0.65	0.43	0.09	0.21	0.48
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.38	0.37	0.67	0	0	0
8	0.1	0.11	0.1	0.08	0.3	0.3	0	0	0.25	0.01	0.38	0.06	0.21	0.69	0.74	1.6	0.1	0.28	1.04
9	0.08	0.1	0.07	0.07	0.27	0.1	0	0.27	0	0	0.27	0.07	0.09	0.47	0.34	1.46	0.03	0.14	0.83
10	0	0	0.02	0.02	0.02	0.02	0	0.02	0	0	0.04	0.03	0.02	0.01	0.11	0	0	0	0.03
11	0.08	0.13	0.14	0.23	0.44	0.37	0	0.44	0.31	0.03	0	0.14	0.31	0.52	0.79	1.5	0.17	0.44	1.59
12	0.01	0.03	0.07	0.06	0.1	0.1	0	0.1	0.08	0.03	0.21	0	0.14	0.12	0.38	0	0.08	0.17	0.35
13	0.05	0.05	0.08	0.08	0.25	0.16	0	0.25	0.13	0.03	0.33	0.11	0	0.27	0.47	0.37	0.14	0.22	1.04
14	0.32	0.46	0.2	0.42	0.59	0.41	0	0.69	0.41	0.02	0.83	0.12	0.25	0	0	0	0	1.09	3.03
15	0.03	0.14	0.76	1	0.73	0.72	0.35	0.89	0.36	0.13	0.99	0.46	0.5	0	0	0.58	0	0.87	3.3
16	0.28	1.13	0.21	0.6	1.41	0.57	0.62	1.65	1.54	0	1.86	0.07	0.43	0	0.69	0	0	0.85	0
17	0	0	0.02	0.02	0.14	0.08	0	0.14	0.03	0	0.2	0.11	0.11	0	0	0	0	0	1.13
18	0.05	0.02	0.11	0.12	0.39	0.27	0	0.39	0.21	0	0.65	0.16	0.31	0.57	0.74	0.77	0	0	0
19	0.09	0.17	0.45	0.35	1.52	0.65	0	1.52	0.85	0.01	2.19	0.36	1.01	1.93	2.17	0	1.1	0	0

表-2 各リンクの交通容量

リンク	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	14	35	31	14	35	31	14	35	31	14	35	31	14	35	31	14	35	31	14
2	35	1	31	35	1	31	35	1	31	35	1	31	35	1	31	35	1	31	35
3	31	35	1	31	35	1	31	35	1	31	35	1	31	35	1	31	35	1	31
4	14	52	52	14	52	52	14	52	52	14	52	52	14	52	52	14	52	52	14
5	35	36	2475	35	36	2475	35	36	2475	35	36	2475	35	36	2475	35	36	2475	35
6	1	37	1200	1	37	1200	1	37	1200	1	37	1200	1	37	1200	1	37	1200	1
7	31	30	2880	31	30	2880	31	30	2880	31	30	2880	31	30	2880	31	30	2880	31
8	29	29	2475	29	29	2475	29	29	2475	29	29	2475	29	29	2475	29	29	2475	29
9	59	3	1440	59	3	1440	59	3	1440	59	3	1440	59	3	1440	59	3	1440	59
10	3	4	1440	3	4	1440	3	4	1440	3	4	1440	3	4	1440	3	4	1440	3
11	53	53	1200	53	53	1200	53	53	1200	53	53	1200	53	53	1200	53	53	1200	53
12	52	36	1440	52	36	1440	52	36	1440	52	36	1440	52	36	1440	52	36	1440	52
13	36	37	1440	36	37	1440	36	37	1440	36	37	1440	36	37	1440	36	37	1440	36
14	37	5	1440	37	5	1440	37	5	1440	37	5	1440	37	5	1440	37	5	1440	37
15	30	29	1200	30	29	1200	30	29	1200	30	29	1200	30	29	1200	30	29	1200	30
16	37	38	2475	37	38	2475	37	38	2475	37	38	2475	37	38	2475	37	38	2475	37
17	5	39	2160	5	39	2160	5	39	2160	5	39	2160	5	39	2160	5	39	2160	5
18	30	27	2880	30	27	2880	30	27	2880	30	27	2880	30	27	2880	30	27	2880	30
19	29	28	2475	29	28	2475	29	28	2475	29	28	2475	29	28	2475	29	28	2475	29
20	38	39	1440	38	39	1440	38	39	1440	38	39	1440	38	39	1440	38	39	1440	38
21	27	28	1440	27	28	1440	27	28	1440	27	28	1440	27	28	1440	27	28	1440	27
22	28	32	1440	28	32	1440	28	32	1440	28	32	1440	28	32	1440	28	32	1440	28
23	15	15	2160	15	15	2160	15	15	2160	15	15	2160	15	15	2160	15	15	2160	15
24	3	58	1440	3	58	1440	3	58	1440	3	58	1440	3	58	1440	3	58	1440	3
25	4	6	1200	4	6	1200	4	6	1200	4	6	1200	4	6	1200	4	6	1200	4
26	53	7	1200	53	7	1200	53	7	1200	53	7	1200	53	7	1200	53	7	1200	53
27	51	51	1440	51	51	1440	51	51	1440	51	51	1440	51	51	1440	51	51	1440	51
28	36	41	2475	36	41	2475	36	41	2475	36	41	2475	36	41	2475	36	41	2475	36
29	38	40	2475	38	40	2475	38	40	2475	38	40	2475	38	40	2475	38	40	2475	38
30	39	8	2160	39	8	2160	39	8	2160	39	8	2160	39	8	2160	39	8	2160	39
31	27	26	2880	27	26	2880	27	26	2880	27	26	2880	27	26	2880	27	26	2880	27
32	28	9	2475	28	9	2475	28	9	2475	28	9	2475	28	9	2475	28	9	2475	28
33	32	16	1200	32	16	1200	32	16	1200	32	16	1200	32	16	1200	32	16	1200	32
34	15	58	1440	15	58	1440	15	58	1440	15	58	1440	15	58	1440	15	58	1440	15
35	6	6	480	6	6	480	6	6	480	6	6	480	6	6	480	6	6	480	6
36	7	7	480	7	7	480	7	7	480	7	7	480	7	7	480	7	7	480	7
37	51	41	480	51	41	480	51	41	480	51	41	480	51	41	480	51	41	480	51
38	41	40	2160	41	40	2160	41	40	2160	41	40	2160	41	40	2160	41	40	2160	41
39	40	40	2160	40	40	2160	40	40	2160	40	40	2160	40	40	2160	40	40	2160	40
40	26	9	1440	26	9	1440	26	9	1440	26	9	1440	26	9	1440	26	9	1440	26
41	9	16	1440	9	16	1440	9	16	1440	9	16	1440	9	16	1440	9	16	1440	9
42	10	10	2160	10	10	2160	10	10	2160	10	10	2160	10	10	2160	10	10	2160	10
43	58	57	1200	58	57	1200	58	57	1200	58	57	1200	58	57	1200	58	57	1200	58
44	5	5	1200	5	5	1200	5	5	1200	5	5	1200	5	5	1200	5	5	1200	5

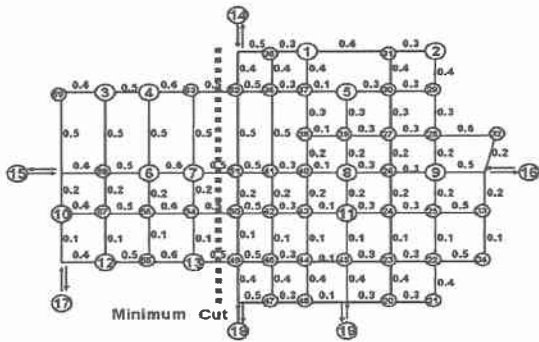


図-2 道路ネットワーク

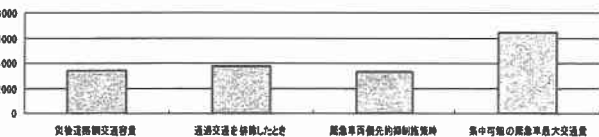
図-2に示す道路ネットワークのリンク上の数字はリンク長である。セントロイド14、15、16、17、18、19、は中継基地である。走行時間関数のパラメータを $\alpha=2.62$ 、 $\beta=5$ とする。平常時におけるこの道路ネットワークの交通容量は20225台になる。道路網上でボトルネックが発生するリンク、いわゆる道路ネットワーク最小カット構成するリンクはリンク13、41、62、83である。これらの状況を図-2に示す。

4. 1 震災時の道路ネットワークの交通容量

この道路ネットワークは大地震により、道路網容量が低下する。一部は平常交通容量の七分の一になり、一部は四分の一になる。そのとき、道路ネットワークの交通容量は3370台になった。最小カットを構成するリンクはリンク13、41、62、83となり、通過交通を排除したときの交通容量は3778台になった。最小カットを構成するリンクはリンク13、41、62、83である。通過交通を排除した場合のODを表-3に示す。

表一3 通過交通排除したOD構成比

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	0	0.09	0.04	0.05	0.1	0.06	0	0.1	0.07	0	0.07	0	0.06	0.41	0.08	0.29	0	0	0.1
2	0.09	0	0.02	0.07	0.15	0.05	0	0.15	0.14	0	0.21	0	0.06	0.5	0.1	1.25	0	0.02	0.44
3	0.04	0.04	0	0.12	0.16	0.22	0	0.18	0.1	0.02	0.21	0.09	0.11	0.36	0.79	0.32	0.02	0.12	0.58
4	0.04	0.05	0.15	0	0.15	0.15	0	0.15	0.07	0	0.28	0.06	0.09	0.59	1.24	0.82	0	0.16	0.43
5	0.12	0.14	0.12	0.1	0	0.37	0	0.37	0.31	0.01	0.47	0.07	0.26	0.85	0.91	1.97	0.12	0.34	1.28
6	0.05	0.09	0.18	0.14	0.43	0	0	0.43	0.18	0.02	0.44	0.11	0.19	0.45	0.8	0.53	0.11	0.26	0.59
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.47	0.45	0.82	0	0	0
8	0.12	0.14	0.12	0.1	0.37	0.37	0	0	0.31	0.01	0.47	0.07	0.26	0.85	0.91	1.97	0.12	0.34	1.28
9	0.1	0.12	0.09	0.09	0.33	0.12	0	0.33	0	0	0.33	0.09	0.11	0.58	0.42	1.79	0.04	0.17	1.02
10	0	0	0.02	0.02	0.02	0.02	0	0.02	0	0	0.05	0.04	0.02	0.01	0.14	0	0	0	0.04
11	0.1	0.16	0.17	0.28	0.54	0.45	0	0.54	0.38	0.04	0	0.17	0.38	0.64	0.97	1.84	0.21	0.54	1.95
12	0.01	0.04	0.09	0.07	0.12	0.12	0	0.12	0.1	0.04	0.26	0	0.17	0.15	0.47	0	0.1	0.21	0.43
13	0.06	0.06	0.1	0.1	0.31	0.2	0	0.31	0.18	0.04	0.41	0.14	0	0.33	0.58	0.45	0.17	0.27	1.28
14	0.39	0.57	0.25	0.52	0.72	0.5	0	0.85	0.5	0.02	1.02	0.15	0.31	0	0	0	0	0	0
15	0.04	0.17	0.93	1.23	0.9	0.88	0.43	1.09	0.44	0.18	1.22	0.57	0.61	0	0	0	0	0	0
16	0.34	1.39	0.26	0.74	1.73	0.7	0.76	2.03	1.89	0	2.28	0.09	0.53	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0.02	0.02	0.17	0.1	0	0.17	0.04	0	0.25	0.14	0.14	0	0	0	0	0	0
18	0.06	0.02	0.14	0.15	0.48	0.33	0	0.48	0.26	0	0.8	0.2	0.38	0	0	0	0	0	0
19	0.11	0.21	0.55	0.43	1.87	0.8	0	1.87	1.17	0.01	2.69	0.44	1.24	0	0	0	0	0	0



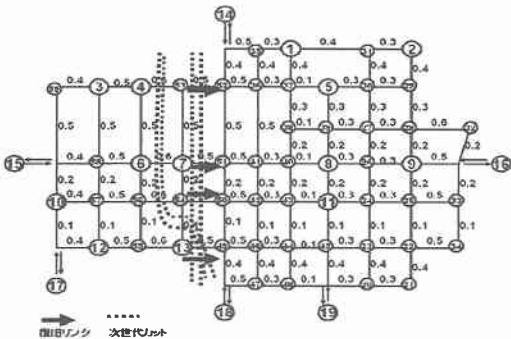
図一3 各種抑制施策に対する道路ネットワーク容量の変化

緊急車両を優先的に処理するように道路ネットワークを抑制するときの交通容量は 3331 台になり、この内緊急車両は 650 台である。内々交通と内外交通をすべて抑制する場合は、集中可能な最大緊急車両の交通容量は 6364 台になる。各種抑制策に対する道路ネットワーク容量へ変化を図一3に示す。

4. 2 復旧計画について

震災直後は緊急車両を優先的に確保するためにすべての交通需要を抑制すべきである。しかし、震災地域内々交通に対する抑制は困難である。本計算例では緊急復旧に対して内外交通と通過交通を抑制し、緊急車両の交通容量が 1000 台になるような緊急復旧計画の策定を試みる。

震災後に道路ネットワークの交通容量は内外交通と通過交通を抑制するとき 3331 台になり、この内緊急車両は 650 台である。このとき発生する最小カットを図一2に示す。構成リンクはGA法最適化探索の一代目‘人口’になる。このリンクを別々に復旧すると二代目の最小カットの探索が出来る。二代目のカットと構成リンクを図一4に示す。



図一4 二代目道路ネットワーク最小カット

親リンクと二代目カット構成リンクを組み合わせると二代目“人口”を生まれる。この“人口”に対する適応関数が高い順番からエリート戦略で淘汰を行なう。残り個体を交叉し、突然変異を行い次世代が生まれる。以上

の手順を繰り返して探索し緊急車両が 1000 台になる時の結果を表一4に示す。

表一4 緊急復旧の各世代関数

世代数	1	2	3	4
リンク	13→49	49→13	6→7	7→6
交通容量	3891	4301	4561	5282
緊急車両の交通容量	759	839	890	1031
適応関数	6.8	2.2	4	

緊急復旧を終わってから全面的復旧を始める。全面的復旧する時、平常のOD交通構成比を使う。そのとき道路ネットワークの交通容量は 4285 台になる。前述の手法を繰り返して探索し、道路ネットワークが平常の交通容量 20225 台になるときの結果を表一5に示す。

表一5 全面復旧の各世代関数

世代数	復旧リンク	交通容	適応関	世代数	復旧リンク	交通容	適応関
1	53→52	4297	2.7	26	5→30	12481	10.2
2	49→48	4433	25.2	27	16→33	12788	8.1
3	58→6	5695	9.9	28	11→43	12949	66.8
4	4→53	6190	1.6	29	51→41	13617	4.2
5	14→35	6285	5.1	30	47→48	13825	8.1
6	59→3	6539	6.2	31	19→20	14067	2.6
7	36→37	6788	22.5	32	9→28	14146	6.8
8	3→4	7462	2.4	33	18→47	14282	21.8
9	52→36	7583	0.7	34	10→57	15370	23.7
10	17→12	7620	0.7	35	18→49	16317	2.7
11	48→19	7648	28.3	36	56→6	16426	5.7
12	16→9	7931	9.2	37	9→26	16540	24.8
13	46→44	8393	7.8	38	50→49	17285	45.2
14	15→59	8627	18.1	39	10→15	17737	7.9
15	1→31	9532	10.3	40	3→58	17895	2.4
16	37→5	9945	9.9	41	1→35	18016	12.4
17	7→51	10044	8.7	42	12→55	18387	5.4
18	44→48	10480	8.8	43	55→13	18656	11.5
19	5→39	10833	11.1	44	50→42	19348	0.8
20	14→52	11166	3.8	45	13→54	19386	6.2
21	56→54	11318	2	46	16→32	19448	19.5
22	8→26	11438	8.4	47	28→29	19837	4
23	54→50	11690	4.5	48	42→43	19956	1.8
24	2→31	11916	6.6	49	32→28	20011	3.6
25	57→56	12115	7.3	50	56→55	20225	

5. まとめ

本研究では、震災地道路ネットワークについて抑制施策を考えるため、均衡配分法により緊急車両の配送拠点と緊急ルートネットワークの作成モデルを構築し、さらに被災地道路ネットワーク復旧計画の最適化モデルを提案した。この手法を比較的大規模道路ネットワーク（65ノードモデル）に適用した。その結果として次のことが明らかにされた。第一に、多数の道路リンクが被害を受けたとき、道路ネットワーク機能をできるだけ早く回復するための復旧順位を決定しなければならないことから、道路網容量の回復貢献度が大きいリンクあるいは路線を序列化する探索が必要である。第二に、緊急抑制施策によって緊急ルートと緊急復旧順位に大きい影響がある。第三に、緊急車両の配送拠点の場所と提供車両数によって震災道路網の交通容量と復旧順位に大きい影響がある。今後の課題は、道路の規格を考慮し、実際の大规模道路網へ適用可能性を検討することである。

参考文献

Masuya et al., Determination of Allowable Private Vehicle Flows Considering Classification of OD Trip in Earthquake Disaster. Journal of EASTS, Vol.3, No.6, pp.138—150, 1999)