

地震災害後の交通需要と 道路網最大容量の推定

関 根 淳¹・小 川 好²

¹正会員 修士 (工学) 東京都土木技術研究所技術部 (〒136-0075 江東区新砂一丁目9番15号)

²正会員 博士 (工学) 東京都土木技術研究所地象部 (〒136-0075 江東区新砂一丁目9番15号)

この論文は、地震動や液状化、建物倒壊などから想定されるいくつかの道路網支障パターン別の道路網最大容量を、東京都江東区を対象として評価したものである。解析は、地震後1週間後を対象に、静的なOD需要変動型の利用者均衡配分法を拡張したモデルにもとづいてなされる。解析の結果、震災時のネットワーク最大容量推定法の有効性が確かめられた。

発生・集中交通需要の構造が日常のそれと大きく異ならないならば、被災パターンは最大発生交通量の空間的分布に影響しないことがわかった。また、平均最大発生交通量以上のセントロイドを始点とするリンクの可能交通容量は、必ずしも大きくないことが明らかになった。

Key Words : *Earthquake Disaster, Maximum Road Network Capacity, Traffic Assignment, Traffic Demand, Constrained Life*

1. はじめに

阪神大震災を契機として、道路交通の震災時マネジメントの必要性が指摘されている。筆者らは、東京23区を対象に、直下地震の震源位置と規模（マグニチュード）を与件として東京直下地震被害予測システムを開発中である¹⁾。このシステムの二次被害を予測するサブシステムでは、社会基盤施設や家屋倒壊の被害と震災後の交通需要の推定をもとに道路ネットワーク機能の被害が評価される。したがって、これを発展させることで、道路交通システムの震災時マネジメントに応用できるものと考えられる。

ところで、道路交通システムの震災時マネジメントにおいては、地震後に想定されるトリップの目的や種類、量、性質などをあらかじめ把握しておかねばならない。筆者らは、震災後の社会生活上の制約を軽減するために発生すると考えられるものに限定した需要を推定しているが^{2,3)}、基本的に地震災害後という不確実性が非常に高い状況下では、交通需要量自体を正確あるいは妥当に推定することは非常に難しい。このような状況を評価する方法の1つとして、“被災道路ネットワークで最大どれくらいの交通が処理可能か”という指標で間接的に評価することが考えられる。この考え方は、いわゆる「ネットワーク最大流」として古くから研究対象となっているテーマである。地震被害後を対象にした場合、道路ネットワークの被災パターンとそのネットワーク最大流の関係から帰納的にネットワーク交通流の評

価や震災時マネジメントが可能であると考えられる。そこで、OD需要変動型の静的な利用者均衡配分法を拡張した道路網最大容量推定法にもとづいて解析した。この論文は、その結果をまとめたものである。

2. 需要変動型道路網最大容量推定モデル

(1) 解析とモデルの前提条件

- (a) 現実の道路網は、ノードとリンクからなるネットワークで表現されるものとする。
- (b) 交通需要の発生・集中地点は、モデル内で設定したセントロイドに集約されるものとする。
- (c) 道路利用者は、各自の行動基準にしたがって合理的な判断のもとに交通行動する。また、道路利用者は、全てのリンクについての所用時間を知っており、ネットワーク交通流は利用者均衡状態が実現されるものとする。
- (d) 交通流の表現は、ダイナミックに時々刻々変化する流れを追うのではなく、ある一定時間の平均的な状態を表わすものとする。したがって、一定の交通量が何回となく繰返された場合の期待値的な状態を表わすものとする。
- (e) 解析の時間間隔は1時間とする。

(2) 解析モデル

この論文の解析モデルは、利用者均衡配分法とOD交通需要の推定を統合したモデルである。分布交通量は、与件となる発生・集中交通量とセントロ

イド間のパフォーマンスにしたがって決定される二重制約変動型モデルにより、内生的に決定する。このモデルは式(1)～(2)に示す非線形等価最適化問題で表わされる。

ネットワーク最大容量を求める方法は、数種類が提案されている。この論文では、Excess Demand Formulation⁴⁾を用いる。この方法は、ODペアとなるセントロイド間に可能交通容量が無限度で、リンクコストが一定でかつある大きな値をもつExcess Link (Dummy) を設け、実ネットワーク中を流れきらないOD需要は、このExcess Linkを流れる構造を利用して実ネットワークの最大容量とそのOD需要、超過需要を求める方法である。Excess Linkのコストは、対応するセントロイド間の最大容量に近いときの実ネットワーク中のコストよりも大きな値を設定することで計算が可能となる。

この問題を解く場合のリンクパフォーマンス関数は、交通量に対して狭義凸関数でなければならないが、ここでは単調増加で可能交通容量に漸近するタイプを用いる。通常の実務で用いられる関数は、狭義凸関数であるが交通容量をexplicitに規定しないものが多い。しかし、このタイプの関数は、交通量が可能交通容量を越えた場合のパフォーマンスが無限度で表現されるので、解析結果が可能交通容量を越える場合もあり得る。道路網最大容量を求める際には、必ず可能交通容量以下になる必要があるため、漸近型関数を用いる。なお、リンクパフォーマンス関数は、式(3)に示すDavidson関数を用いた。

3. 解析事例

(1) 解析ネットワークの基本設定

解析対象とした地域は東京都江東区であり、この地域内の実際の道路網から、主に主要地方道より上位の道路網を抽出して解析ネットワークとした（リンク数486、ノード数149、セントロイド数79）。各リンクの可能交通容量は、単路部可能交通容量とし、交差点容量や信号の影響は考慮しないこととした。リンク自由走行速度は、27km/hを基本に可能交通容量を考慮してリンクごとに設定した。セントロイドは、震災時に発生・集中交通量が集中すると考えられる住居系用途地区を中心に任意に設定した。解析の基本ネットワークを図-1に示す。

(2) 被災ネットワークの設定

被害は、関東地震規模の地震により東京23区全域が被災したという想定にもとづく。解析では、この想定にもとづいた江東区部分の被害を基本とした。

震災時の主な道路網被害は、建物倒壊から発生するガレキによる道路閉塞と、地震動や液状化による橋梁被害が考えられる。ガレキによる道路閉塞については、家田ら⁹⁾が提案している街路閉塞幅確率分布算定法と、東京直下地震被害予測システムから得られる沿道倒壊建物数の累積分布より設定した。

$$\begin{aligned} \min Z(x, e, q) = & \sum_{a \in A} \int_0^{x_a} t_a(w) dw \\ & + \frac{1}{\gamma} \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} q_{rs} (\ln q_{rs} - 1) \\ & + \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} \bar{u}_{rs} e_{rs} \end{aligned} \quad (1)$$

subject to

$$\sum_{k \in K_n} f_k^{rs} = q_{rs}, \quad \forall r \in R, s \in S \quad (2a)$$

$$x_a = \sum_{r \in R} \sum_{s \in S} \sum_{k \in K_n} \delta_{a,k}^{rs} f_k^{rs}, \quad \forall a \in A \quad (2b)$$

$$\sum_{s \in S} q_{rs} = O_r, \quad \forall r \in R \quad (2c)$$

$$\sum_{r \in R} q_{rs} = D_s, \quad \forall s \in S \quad (2d)$$

$$q_{rs} \geq 0, \quad \forall r \in R, s \in S \quad (2e)$$

$$q_{rs} + e_{rs} = \bar{q}_{rs}, \quad \forall r \in R, s \in S \quad (2f)$$

$$e_{rs} \geq 0, \quad \forall r \in R, s \in S \quad (2g)$$

$$t_a(x_a) = t_{a0} \left\{ 1 + J x_a / (C_a - x_a) \right\} \quad (3)$$

where

x_a ; リンクaの交通量

f_k^{rs} ; ODペアrsのk番目経路 交通量

q_{rs} ; ODペアrs間のOD 交通量

O_r, D_s ; 発生, 集中交通量

$\delta_{a,k}^{rs}$; Path - Link Incident Matrix

$\bar{u}_{rs}, \bar{q}_{rs}$; ODペアrsの定数

e_{rs} ; ODペアrsの超過 OD 交通量

$t_a(\cdot)$; リンクパフォーマンス 関数

γ, J ; パラメータ

C_a ; リンク可能交通容量

t_{a0} ; リンク自由走行速度

家田らの算定方法は、街路にガレキが発生した場合にある閉塞幅員が発生する確率を求めるものであり、特定の道路区間にガレキが発生するかどうかは考慮されていない。したがって、道路網のどこの区間にガレキが発生しやすいかを別途推定しなければならない。そこで、東京直下地震被害予測システムより、リンクが存在する町丁目の倒壊建物数の累積分布を求め、それをガレキの発生度合いとした（累積分布の50%～90%、10%ごとに5段階）。この2つの方法の組み合わせより閉塞の危険性が高いリンクを抽出し、そのリンクの可能交通容量を通常の20%～60%（10%ごとに5ケース）と設定した。また橋梁の被害は、液状化危険地域内に存在する橋梁のう

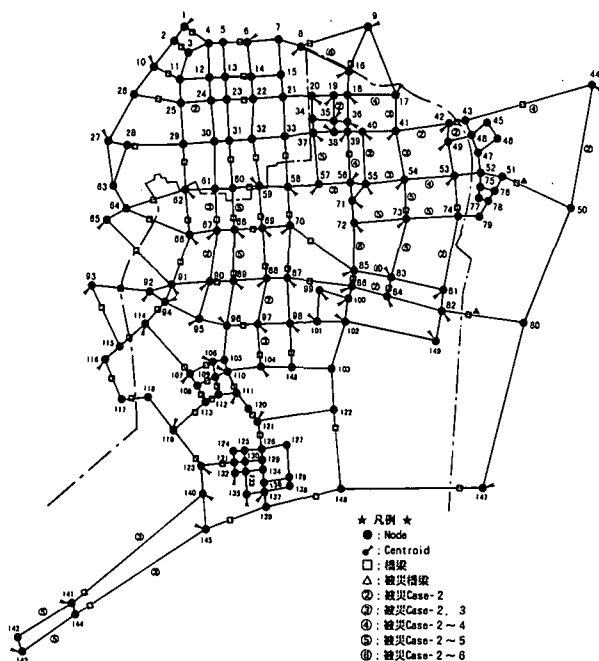


図-1 解析対象ネットワーク

表-1 設定被害パターン (計算パターン)

条件	全壊建物・ (棟以上)	ガレキによる 閉塞確率 ** ($Pr(w<3.0)$ 以上)	可能交通容量 の設定減少率 # (%)	被災対象 リンク数 ## (リンク)
ケース				
Case-1	0.0	0.0	0.0	0(0)
Case-2	47.6	0.7	20.0	72(4)
Case-3	57.4	0.7	30.0	54(4)
Case-4	68.2	0.7	40.0	36(4)
Case-5	80.6	0.7	50.0	28(4)
Case-6	95.5	0.7	60.0	10(4)

注) *: 加速度と液状化による全壊建物数の累積分布より算出
 **: 参考文献(1)による道路閉塞確率分布算定方法より算出, W: 通行可能幅員
 #: 単路部可能交通容量
 ##: カッコ内は橋梁被害による完全閉塞リンク数であり, 液状化危険地域内で可能交通容量の小さい2つの橋梁がその対象。

ち, 通常の可能交通容量が小さい橋梁を対象に, リンクを完全閉塞として設定した。ネットワークの設定被害パターンをまとめたものが表-1である。

(3) 発生・集中交通需要の設定

解析の与件となるセントロイドの発生・集中交通量は, 道路ネットワークが被災, 非被災に関係なく1パターンとし, その基本は, 想定される震災後の交通需要とした。まず, 地震発生1週間後の社会生活上の制約を軽減するために発生することが想定される交通需要^{2,3)}を, その目的や性質別にゾーン特性を考慮してセントロイドに配分した。次に, 震災後には需要が少ないと思われる観光や行楽, レジャー, 娯楽などの目的交通を, 日常の発生・集中交通量から控除し, 残りの需要をゾーンの夜間人口比率よりセントロイドに配分した。これら2種類の需要を足し合わせたものを発生・集中交通量の推定値とした。

計算では, 式(2f)に示すように, 発生・集中交通量はネットワーク最大容量以上としなければならないが, 対象ネットワークの最大容量が未知であるので, 推定した各セントロイドごとの発生・集中交通量に一律10,000台/hを加えたものを入力値とした。

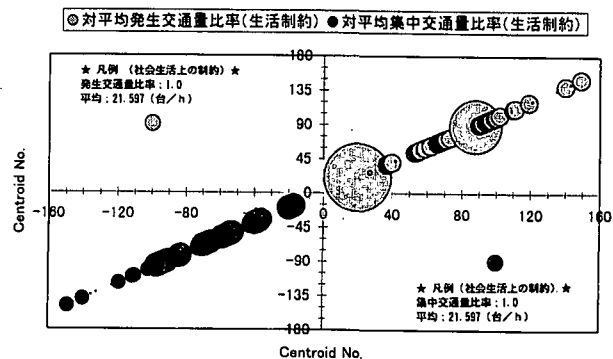


図-2-1 設定発生・集中交通量 (生活上の制約軽減)

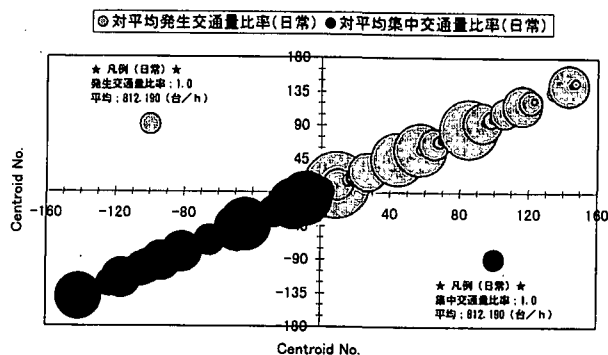


図-2-2 設定発生・集中交通量 (日常の交通)

その推定値を示したものが図-2である。

4. 解析結果の考察

(1) 解析の妥当性の検討

無被害のネットワークにおける解析の結果, その最大容量は, 約135,000台/hであった。江東区の日常のOD交通量は, 設定基本ネットワークに対応させて換算すると約64,000台/hである。また, 信号交差点などの影響を考慮した設計交通容量をベースとした混雑度は約1.07である。このことから, 現実の江東区内道路網最大容量は, ほぼ約64,000台/h前後であると推測される。この解析では, 可能交通容量は信号交差点などの影響を考慮していないので, 単純に推定すると, 最大容量は解析結果の約半分程度であると考えられる。したがって, 現実の状況とほぼ一致することになり, 解析の妥当性が確認された。

(2) ネットワーク全体のパフォーマンス

図-3は, 解析ネットワーク全体における各被害パターンごとの総可能交通容量や平均リンク交通量(経路ベース), 平均リンク交通量容量比, 平均超過需要OD比, 平均リンク交通量超過需要比の5つを, 無被害のケースと比較したものである。被害パターン3~4に注目すると, 総可能交通容量は増加しているにもかかわらず, 平均超過需要OD比が増加し, 平均リンク交通量容量比や平均リンク交通量, 平均リンク交通量超過需要比は減少していることがわかる。これは, 明らかに被害パターンにしたがってOD間の経路長が変化している状況を示している。

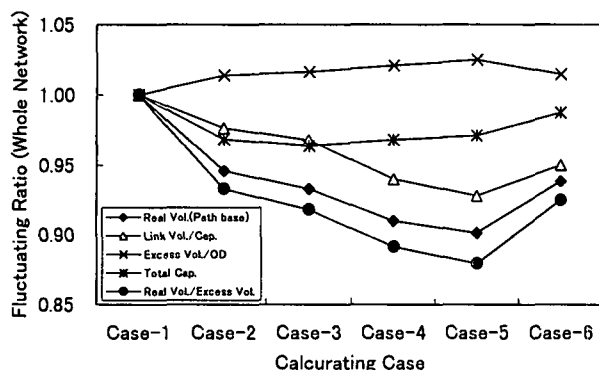


図-3 ネットワーク全体の特性

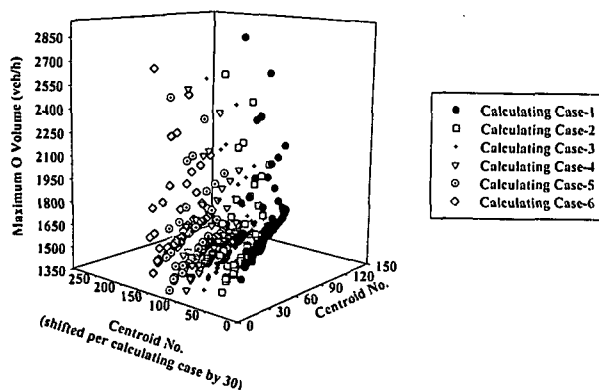


図-4 セントロイドの最大発生交通量

つまり、被害により需要が迂回を余儀なくされているために、ネットワーク全体のパフォーマンスが低下していることを示している。

(3) 最大発生交通量

図-4は、被害パターンごとに各セントロイドの最大発生交通量を示したものである。最大発生交通量の多い(少ない)セントロイドは、被害パターンには影響されないことがわかる。ただし、この解析では、発生・集中交通需要パターンは1ケースしか与えていないため、需要構造が変化する震災時には、最大発生交通量の多い(少ない)セントロイドが異なる可能性が高い。震災時の発生・集中交通需要パターンが日常のそれと大きく異ならないと仮定すれば、日常的に多くの交通量を発生させることができることを示している。

(4) セントロイドの特性

各セントロイドを始点とする接続リンクの合計可能交通容量や最大・最小可能交通容量、平均可能交通容量を、平均最大発生交通量を境にして考察した。図-5は、その結果をまとめたものである。

解析の結果、平均最大発生交通量以上のセントロイド数は13、それ未満のセントロイド数は66であった。つまり、ネットワーク全体の総最大発生交通量から

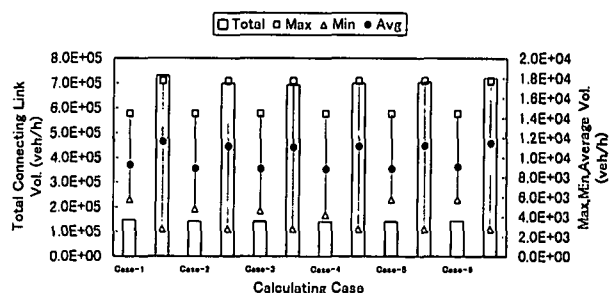


図-5 セントロイドの接続リンク可能交通容量

みて、その分布は特定のセントロイドに集中する傾向にある。また、平均最大発生交通量以上のセントロイドには、必ずしも可能交通容量が大きいリンクが接続(始点)しているわけではなく、その合計可能交通容量も小さいことがわかる。接続リンクが被災しているケースも含まれていることを考慮すると、最大発生交通量の多いセントロイドを始点とする接続リンクは、利用率が高い(混雑の度合いが高い)ことが推測される。これらの傾向は、OD需要パターンが変化しても変わらないものと考えられる。

5. おわりに

以上の解析結果は、次のようにまとめられる。

- この論文の解析法の妥当性が確かめられた。
- 被災した道路網の復旧戦略は、発生するOD交通需要とネットワークの交通流を推定して、時間的・空間的観点から検討しなければ、そのパフォーマンスの向上に寄与しない。
- 特定の発生・集中交通需要構造の下では、最大発生交通量の空間的分布形態は、被災パターンに影響されない。
- 平均最大発生交通量以上のセントロイドを始点とするリンクの可能交通容量は、必ずしも大きくない。
- 発生・集中交通需要パターンを変化させた解析が必要である。

参考文献

- 小川 好, 阿部 博: 東京直下地震被害予測システムの開発, APA測量調査技術, No. 61, pp67-71, 1995.
- SEKINE, OGAWA, SASAKA: Estimation of Traffic Demand owing to the Constrained Life of Earthquake Disaster in Tokyo, Proceeding of the 6th Japan/United States Workshop on Urban Earthquake Hazard Reduction, 1999.
- 関根 淳, 小川 好, 笹岡弘治: 東京での震災後の社会生活上の制約から生じる交通需要の推定, 土木計画学研究・講演集, No. 21(2), pp201-204, 1998.
- 赤松 隆, 宮脇 治: 利用者均衡条件下での交通ネットワーク最大容量問題, 土木計画学研究・論文集, No. 12, pp719-729, 1995.
- 家田 仁, 望月拓郎, 上西周子: 街路閉塞現象による機能的障害と地区の危険度評価法, 阪神・淡路大震災土木計画学調査研究論文集, pp433-440, 1997.