

均衡条件下の道路網容量推定法の震災時への適用*
Application of Maximum Road Network Capacity Estimation Method
under Equilibrium Condition to Earthquake Disaster*

関根 淳**, 小川 好***
SEKINE Atsushi**, OGAWA Yoshimi***

1. はじめに

大規模地震時の被害予測と、それにもとづく被害軽減戦略の立案は重要課題である。一方、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新たな課題として指摘されている。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、性質などの把握と、それにもとづく交通ネットワーク機能の評価が基本となる。筆者らは、震災後の社会生活上の制約を軽減する目的で発生する需要を推定しているが^{1,2)}、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。そこで道路交通ネットワーク機能を評価する1つの方法である道路網容量による評価を検討する。

震災時の道路網容量を扱った研究は多いが³⁾、筆者らの知る限り、OD 需要変動型の利用者均衡条件下における解析事例はまだない。また、震災時の交通マネジメントに焦点をあてたものは少なく、仮想的なネットワークを対象にしたものや、道路網の整備効果を対象にした解析が多い。そこで静的な OD 需要変動型の利用者均衡配分法(統合モデル)を拡張した道路網最大容量推定法にもとづいて、実際規模の道路網を対象に、震災時交通マネジメントを念頭においた特性をまとめた。

2. 道路網最大容量推定モデル

(1) 解析とモデルの前提条件

解析対象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、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。また、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し、その結果静的な利用者均衡状態が実現されるものとする。なお、解析時間間隔は1時間とする。

(2) 解析モデル

この論文の解析は、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を用いる。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。道路網最大容量を求める方法は、Excess Demand Formulation⁴⁾を用いる。リンクコスト関数は、リンク交通量に対して狭義凸関数ではないが、解析結果が必ず交通容量以下になる必要があるため、単調増加で交通容量に漸近する関数を用いる。この論文では、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)。したがって、概ね幹線街路により構成されるネットワークと位置づけられる。各リンクの可能交通容量は単路部1時間の可能交通容量とし、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一般街路の平均走行速度を基本とし、各リンクの交通量が1台のときの走行時間を修正 BPR 関数より算出してリンクごとに設定した。なお、一

* キーワード：防災計画、配分交通量、ネットワーク交通流

** 正会員 修士(工学) 東京都土木技術研究所 技術部

*** 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 1-9-15 asckinc@olive.ocn.ne.jp

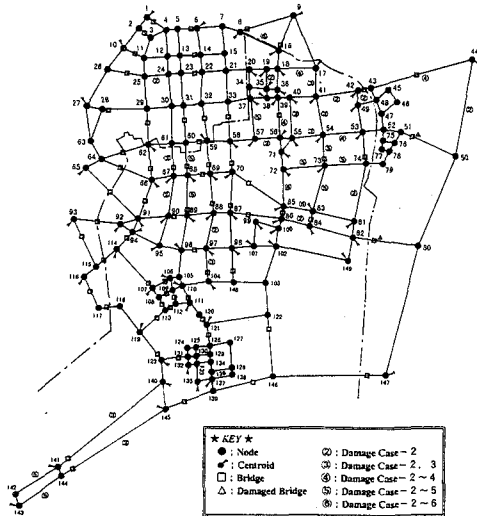


図-1 解析対象ネットワーク

般街路の平均走行速度は 27km/h とした。

また、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、東京直下地震により江東区全域が被災したという想定にもとづく。

震災時の道路網被害の主な要因は、沿道の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関しては、家田ら⁵⁾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全壊建物数の分布を組合わせて設定した。家田らの算定方法は、ある幅員の街路にガレキが発生した場合に任意の閉塞幅が発生する確率を求めるものである。しかし、この算定法は道路網の任意区間のガレキ発生確率は考慮されていない。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全壊建物数から累積分布を求め、ある全壊建物数以上のときの相対度数を便宜的にガレキの発生確率とした。具体的には、ガレキの発生確率が $0.5 \sim 0.9$ 以上に相当すると考えられる累積分布の $50 \sim 90\%$ の範囲を 10% ごとに5段階設定し、各段階での全壊建物数を近似関数より推定した。この推定値とリンク沿道の全壊建物数分布から、

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 ^{**} ($P(w \leq 3.0)$ 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	80.5	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 5) による街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。

各リンクのガレキ発生確率を設定した。

この2つの方法の組合わせより、ガレキ発生の危険性が高く、かつ発生ガレキ幅による限界幅員が 3.0m (緊急車両の通行が可能な最小幅員) 以下となる確率が 0.7 以下のリンクを抽出し、そのリンクの可能交通容量を、通常の $20 \sim 60\%$ の範囲で 10% ごとに減少させた5ケースを被害パターンとして設定した。

また、地震動や液状化による橋梁被害に関しては、液状化危険地域内に存在する橋梁のうち、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、道路網の被災パターンの影響を検討する場合と、発生/集中交通量パターンの影響を検討する場合の2パターン設定した。

まず道路網の被災パターンの影響を検討する場合は、地震発生1週間後の社会生活上の制約を軽減する目的で発生あるいは集中することが想定される交通需要^{1,2)}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、日常的な発生/集中交通量から観光や行楽、レジャー、社交、娯楽などの震災後には発生することが少ないと考えられる目的交通を除いた需要(総トリップ目的構成比率: 0.9075)を、発生交通量は東京直下地震被害システムより推定される建物被害率とその被災者人口比率より、集中交通量は逆に非建物被害率と非被災者人口率より配分した(ピーク時比率: 0.0989)。この社会生活上の制約を軽減するための需要と日常交通から設定した需要の2種類を足し合わせたものを発生・集中交通量の与件とした。図-2は設定し

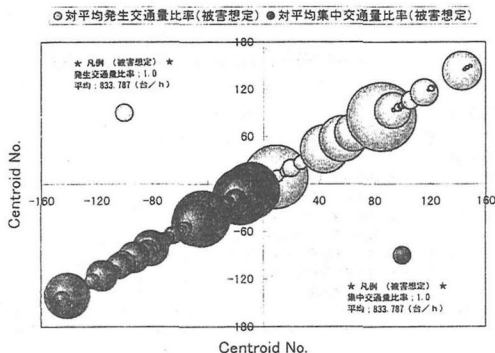


図-2 設定発生/集中交通量 (被害想定)

た各セントロイドの対平均発生/集中交通量を示したものである。

次に、発生/集中交通量パターンの変化の影響を検討する場合であるが、地震後の混乱期における社会生活上の制約を軽減する目的で生じる需要の時間当たりの発生・集中比率は明確でない。想定上の危険性を最大限に考慮するとすれば、日常交通のピーク時比率よりも高くなることを場合を検討しなければならない。そこで、日常交通から設定した需要は被災パターンの影響を検討する場合と同様とし、社会生活上の制約を軽減する目的交通の1時間当たりの発生・集中比率を、日常交通のピーク時比率を基本に(1706.2台)、一日の総需要の20%(3449.8台)、50%(8624.5台)、100%(17249.0台)と増加させた場合を検討することとした。

なお解析では、発生/集中交通量は道路網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。

4. 解析結果の考察

(1) 被災パターン別のパフォーマンス

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平均実交通量(経路ベース)や平均可能交通容量比、平均超過需要OD比、総可能交通容量、平均実交通量超過需要比を、無被害のケースと比較したファンチャートである。

被災ケース3～5に着目すると、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比は増大し、一方で平均可能交通容量比や平均実交

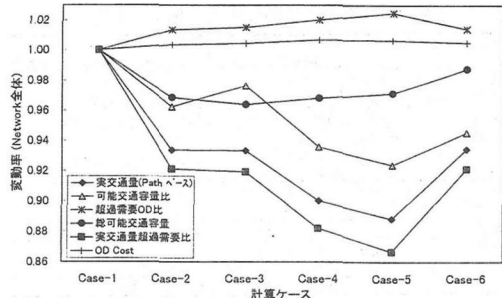


図-3 ネットワーク全体の特性

通量、平均実交通量超過需要比は減少する傾向がみられる。これは、平均ODコストの変動からも明らかのように、ネットワーク全体の総可能交通容量は増加していても、OD個々の経路長が被害パターンによって長くなるために、全体のパフォーマンスが悪化している状況を示しているものと考えられる。

また、被災ケース6でパフォーマンスが向上しているが、これは大規模な被害が偏在するよりも、小規模な被害が散在するほうが交通流に与える影響が大きいことを示している。

(2) 最大発生/集中交通量

表-2は、各セントロイドの最大発生/集中交通量について、無被害の場合との分散比および平均値の差を検定したものである。

被災による最大発生/集中交通量の減少傾向に關するセントロイドの空間的分布は、被害パターンには影響されないことがわかる。これは、仮に震災時の発生/集中交通需要が日常と大きく異ならないならば、日常的に多くの交通量を発生/集中させることが可能な地点は、震災時においても他の発生/集中地点に比べて相対的にそれを担保することができる可能性を示している。

ところで、赤松ら⁶⁾も指摘しているように、各セントロイドの最大発生/集中交通量とその空間的分布は、与件である発生/集中(OD)交通量パターンに影響される。発生・集中交通量パターンを同一とした解析から得られた最大発生/集中交通量は正比例の関係にあった。これは、分布交通量の内生段階で目的地選択確率による重みを与えていないためであると考えられる。震災時の道路網最大容量を解析する上では、発生/集中交通需要の推定と同時に、被

表-2 分散比と平均値の差に関する検定

検定種類		Case-1vs. Case-2	Case-1vs. Case-3	Case-1vs. Case-4	Case-1vs. Case-5	Case-1vs. Case-6
最大交通 発生量 (veh/h)	F test	$F_{18,76}(0.05)^*$ F値	1.4547 ←	1.1924 ←	1.2732 ←	1.3489 ←
	$\sigma^2 = \sigma_j^2$	採択	採択	採択	採択	採択
	t test	$t(0.05, 156)^*$ t値	1.6547 ←	2.9737 ←	4.0010 ←	4.9410 ←
	$\mu = \mu_j$	棄却	棄却	棄却	棄却	棄却
	$\mu = \mu_j$	棄却	棄却	棄却	棄却	棄却
最大交通 集中量 (veh/h)	F test	$F_{18,76}(0.05)^*$ F値	1.4547 ←	1.1932 ←	1.2851 ←	1.3672 ←
	$\sigma^2 = \sigma_j^2$	採択	採択	採択	採択	採択
	t test	$t(0.05, 156)^*$ t値	1.6547 ←	3.4544 ←	4.8564 ←	5.7552 ←
	$\mu = \mu_j$	棄却	棄却	棄却	棄却	棄却
	$\mu = \mu_j$	棄却	棄却	棄却	棄却	棄却

注) *:有意水準5%, 自由度=78, 右片側検定
#:有意水準5%, 自由度=78, 右片側検定

災状況などを反映した目的地選択確率を推定する重要性は高いと考えられる。

(3) 発生/集中交通量パターン別のパフォーマンス

図-4は、発生・集中比率を変化させた場合の実交通量(平均)や可能交通容量比(平均)とその分散、総最大発生/集中交通量、最大発生/集中交通量(分散)、実交通量尖度の変動を示したものである。

実交通量(平均)や可能交通容量比(平均)、総最大発生/集中交通量は大きく変化しないが、可能交通容量比の分散は発生・集中比率の増加にともなって大きくなっている。経路交通量で検討すべきであるが便宜上実交通量の尖度をみると、概ね増大傾向にある。これは特定の路線に交通が集中する傾向を示していると考えられる。したがって空間的あるいは量的に偏った需要マネジメントを実施した場合、道路網容量の求解の観点からは特定路線への需要の集中度が高まる可能性があるものと考えられる。

一方、最大発生/集中交通量の分散は発生・集中比率の増加につれて減少する傾向にある。最大発生/集中交通量が発生/集中(OD)需要パターンに依存することを考慮すると、分布交通量の量的な分布が、その内生段階においてODコストによる需要変動の影響から偏る傾向にあるためと考えられる。これはODコストの尖度が増加・一定化傾向にある(1.00, 1.17, 1.21, 1.22と変動)ことから裏付けられる。しかし、分布交通量がODコストのみに依存する仮定の下での解析であるため、被災状況を分布交通量に反映させた解析が必要である。

5. おわりに

以上の解析結果は次のようにまとめられる。

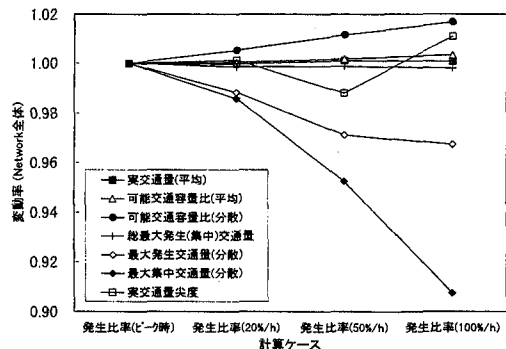


図-4 発生/集中交通量パターンごとの変動率

- 1) 特定の発生/集中交通需要パターン下では、最大発生/集中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。仮に震災時の発生/集中交通需要パターンが日常と大差ないならば、日常の交通流を対象にした解析から、多くの交通量を発生/集中させることが可能な地点は、震災時にもそれを担保することが可能であると考えられる。
- 2) 特定地点の発生・集中交通量を増加させた場合、道路網の平均実交通量や平均可能交通容量比、総最大発生/集中交通量への影響は少ないが、需要が特定の路線に集中する傾向にあると考えられる。
- 3) 統合需要変動型道路網最大容量推定法によって地震被害によるOD需要の変動パターンにもとづく最大発生/集中交通量への影響を分析するためには、より正確な発生/集中交通量パターンの推定と、被災状況を反映した目的地選択確率の導入が今後の課題としてあげられる。

【参考文献】

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) 例えば, 倉内文孝, 飯田恭敬, 杉本昌彦: 震災時の利用可能道路網からみた最大集中交通量の推計, 土木計画学研究委員会 阪神・淡路大震災調査研究論文集, pp193-200, 1997.
- 4) G.H. Gartner: Optimal traffic assignment with elastic demands, A review part II: Transportation Science, No. 14, pp174-191, 1980.
- 5) 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, 土木計画学研究委員会 阪神・淡路大震災調査研究論文集, pp433-440, 1997.
- 6) 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.