

道路ネットワーク耐震性評価手法の提案

Evaluation Method of Highway Network Performance against Earthquake

杉田秀樹**・野崎智文***・矢野和彦****

by SUGITA Hideki**, NOZAKI Tomofumi*** and YANO Kazuhiko****

1. はじめに

道路施設の地震対策は、橋梁等道路構造物の耐震設計や沿道占用施設の管理等、主として“点の視点”から行われてきた。しかしながら道路は、交通需要が発生するゾーンと到着するゾーンが連結されて始めて機能を果たすのであり、道路区間単位での耐震性確保が必ずしも道路ネットワークとしての機能確保の十分条件足り得ない。これは、切迫した状況下で迅速に行われるべき防災活動交通では特に留意すべき点である。

ここで、地震時の道路交通を確保するためには、道路施設の耐震補強、路線改築等による冗長性確保等のハード対策と、交通規制等のソフト対策が考えられる。道路ネットワークの耐震強化を目指してハード/ソフト対策を効果的に選択するためには、定性的な議論だけでなく、各種対策の効果を相互比較が可能な形で定量的に評価するための方法論が求められている。

本文は、上記の背景を踏まえて、道路ネットワークの耐震性を評価するための実用的な手法を提案するものである。本手法を用いれば、地域で想定される道路施設被害に応じて、道路ネットワークの防災活動交通に対する機能提供度合を定量的に表現できる。また、複数のハード対策/ソフト対策パターンを想定してネットワーク機能への感度分析を行うことにより、耐震補強の優先度評価や交通規制方策の選択に際して定量的な情報を提示することが可能である。

2. 耐震性評価の流れ

任意の地域において、道路ネットワークの耐震強化を図るために、複数の耐震補強対策と地震時交通規制を組合わせて計画する場合を想定する。この場合、

* キーワード：地震防災、道路ネットワーク、信頼性評価、緊急車両

** 正会員、工博、建設省土木研究所防災技術課
(茨城県つくば市旭1番, TEL/FAX 0298-64-3244/64-0598)

*** 正会員、工修、同上

**** 正会員、アジア航測(株) (元土木研究所交流研究員)

①地震直後の防災活動交通に対して道路ネットワークとしてどの程度のサービスを提供できるか、②複数箇所の重要度や事業優先順位をどのように考えるか、③震前の耐震補強対策と地震時の交通規制をいかに効果的に組み合わせるか、の3点を明確にする必要がある。本検討では、上記①に対してネットワーク耐震性指標 (Seismic Performance : SP) を、②に対して区間重要性指標 (Link Importance: LI) を提案し、③に対しては背景交通1台あたりの旅行時間 (Travel Time Per Vehicle: TTPV) と SP を用いて優劣比較を行う方法を提案する。

これら3つの手法を道路ネットワークの耐震強化に活用するイメージを図1に示す。ネットワーク耐震性指標 SP は、①被害想定に基づく各リンクの被災パターン、②地域防災計画等で想定される防災拠点間の交通需要、③防災拠点と被災地域間の交通需要、に基づいて評価される。防災活動交通の旅行時間の増加により防災活動の効果(防災活動効果量)が低下するという概念を導入している点が特徴である。

3. 耐震性評価指標

(1) ネットワーク耐震性指標 SP

防災活動の考え方を示すと図2の通りである。救急・消防・避難等防災活動の目的を k で表わし、ネットワーク上の発生集中交通を生じるノード(セントロイド) i から j に向かう目的 k の OD 交通分布 T_{ij}^k が与えられているとする。この交通が利用する i から j へのルートは複数存在し得るが、このうち任意の一つを r とし、ルート r 上の交通量を T_{ij}^k 、所要時間を t_r

$$E_{ij}^k = \sum_r E^k(t_r) T_{ij}^k \dots\dots\dots (1)$$

$$SP^k = \frac{\sum_i \sum_j E_{ij}^k}{T} = \frac{\sum_i \sum_j \sum_r E^k(t_r) T_{ij}^k}{\sum_i \sum_j \sum_r T_{ij}^k} \dots\dots\dots (2)$$

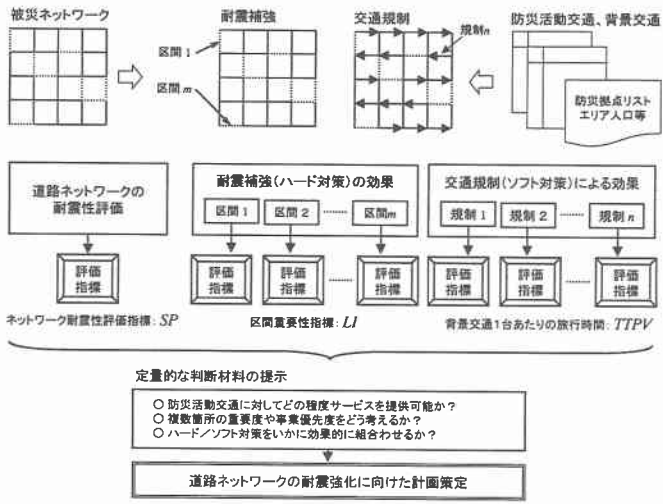


図1 耐震性評価手法の道路ネットワーク耐震強化への活用

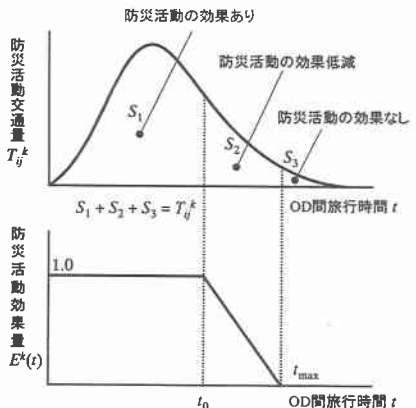


図2 防災活動交通量と防災活動効果量

とする。ただしこれらの量は、地震直後に道路ネットワークが被災した状態で把握されているものとする。ここで、目的 k の交通が時間 t_0 以内に到着すれば所要の目的を達成でき、 t_{max} 以上の時間を要した場合には目的を達成できないと考え、単位防災活動効果量 $E^k(t)$ を定義する。この $E^k(t)$ を用いれば、ノード i から j に向かう目的 k の防災活動交通の効果量 Eij^k は式(1)により与えられる。この Eij^k をすべての OD ペアに対して加算し、さらにこれをネットワーク中の総交通量 T を用いて無次元化したものを、活動目的 k に対するネットワーク耐震性指標 SP^k として定義する。

SP^k は $0 \sim 1$ の値をとり、すべての防災活動交通トリップが目標時間 t_0 以内で完了すれば SP^k は 1 となる。一方、旅行時間が t_0 を超えるトリップが増加する

に従って、 SP^k は 1 よりも小さくなる。すなわち、ネットワーク耐震性指標 SP^k は、検討対象エリアにおいて防災活動交通の目的達成率を表現する指標と言える。

(2) 区間重要性指標 LI

防災活動目的 k に対する道路区間 l の重要性 LI_l^k は、被災後のネットワーク耐震性指標 SP^k と、道路区間 l のみを復活させた場合のネットワーク耐震性指標 SP_l^k を比較することにより次式で得る。

$$LI_l^k = SP_l^k - SP^k \dots \dots \dots (3)$$

すなわち、区間重要性 LI_l^k は、想定された被災パターンの下で、ネットワーク耐震性に対する道路区間 l の感度を表現する指標であると言える。

(3) 背景交通 1 台あたりの旅行時間 $TTPV$

防災活動交通の確保を目的とした耐震補強や交通規制は、地震時の背景交通にも影響を与える。ハード/ソフト対策の優劣比較では、防災活動に対する機能提供度合だけでなく、背景交通への影響も総合的に勘案する必要がある。ここに、各対策が背景交通に与える影響は、背景交通 1 台あたりの走行時間 $TTPV$ の変化で評価できる。 $TTPV$ は、ネットワーク全体での総走行時間をネットワーク上に配分された総交通量（孤立 OD を除く）で除することにより次式で得られる。

$$TTPV = \frac{\sum_i \sum_j t_{ij} T_{ij}}{\sum_i \sum_j T_{ij}} \dots \dots \dots (4)$$

すなわち、 SP の向上は防災活動交通に対するネットワーク耐震性の向上を表わし、 $TTPV$ の減少は背景交通に対する耐震性の向上を表わす。

(4) 防災活動交通の想定

防災活動交通 Tij^k を算出するためには、防災活動目的に応じた防災拠点間連絡マトリクスと防災活動交通量が必要である。これらは本来未知量であり、地域特性や被災規模により変化する交通特性を適切に想定する手法については別途検討する必要がある。本研究では便宜上、防災拠点間連絡マトリクスを表 1 のように定め、ゾーン内の防災拠点数と平常時ネットワー

表1 防災拠点間連絡マトリクスの例

		医療機関				救急・救命			避難地被災地	
		17	18	19	20	21	22	23	30	31
医療機関	17	県立・市立病院	●	●	●		●	●	●	●
	18	総合病院		●	●		●	●	●	●
	19	保健所・支庁			●		●	●	●	●
	20	血液センター			●		●	●	●	●
救急・救命	21	警備隊								●
	22	消防署								●
	23	自衛隊								●
避難地・被災地	30	広域被災地								●
	31	被災地								●

クのゾーン間距離に基づく重力モデルから、防災活動交通量を算定した。

4. 簡単なモデルケースによる試算

(1) モデルネットワーク

本検討で提案した耐震性評価手法を用いて、**図3**に示す放射環状型、格子型、ラダー型の簡単なモデルネットワークに対する試算を行った。3種類のモデルネットワークの各々に被災パターンを想定し、耐震補強を実施した場合と交通規制を実施した場合について SP 及び $TIPV$ を比較した。

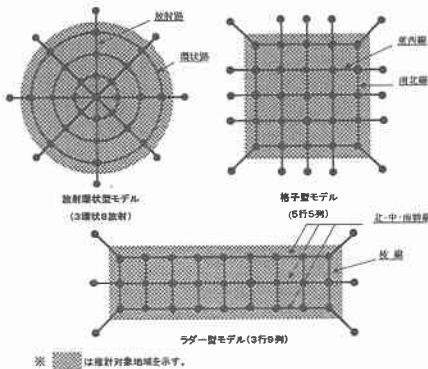


図3 モデルネットワーク

ここに、防災活動交通は救急活動の1種類のみとし、モデルネットワークの圏域面積と道路密度は平均的な地方生活圏を想定して定めた。また、人口と病院は各ノードに均等に配分し、全てのノードを防災活動と背景交通のセントロイドとした。

防災活動交通のネットワーク上への配分は、背景

交通の配分結果から得られる各リンクの区間速度に基づく一括配分とした。これは、防災活動交通量が背景交通に比べて少なく、震後の区間速度に大きく影響しないと考えたためである。一方、背景交通は多段階配分手法により配分した。また、ODマトリクスの生成では、防災活動交通には被災後のネットワークを、背景交通には被災前のネットワークを各々を用いた。これにより、防災活動交通には被災区間が知らされているが交通の混雑状況は知らされていない状態、背景交通には被災区間自体が知らされていない状態を表現した。

(2) ネットワーク耐震性

耐震補強と交通規制が各々ネットワーク耐震性の向上に与える効果を、放射環状型モデルを対象に比較検討した一例を示す。耐震補強パターンと交通規制パターンを**図4**に、また、ネットワーク耐震性指標 SP と背景交通の走行時間 $TIPV$ の変化を**図5**に示している。これによれば、ネットワークに被災区間が生じない場合は防災活動交通がほぼ100%満足される ($SP=1.0$) のに対して、被災状況下では目標達成率は低下する ($SP=0.84$)。

(2) 耐震補強の効果

図4に示すように、耐震補強は被災リンクのいずれか1本を復活することで表現する。耐震補強を実施した場合、 SP はわずかであるが向上し、 $TIPV$ は減少する。震前の耐震補強は、防災活動交通と背景交通の双方に対して交通サービスを向上させる傾向があり、補強箇所を増加させただけ大きな効果が期待できる。

(3) 交通規制の効果

本検討では、片側2車線道路を想定し、**図6**に示す2種類の交通規制の効果を検討した。一つめは背景交通に対する進行方向規制（以下、方向規制と呼ぶ）である。交通規制を実施しない場合には防災活動交通と背景交通が車線を共有している状況を想定し、方向規制下では背景交通の規制方向（**図4**の矢印方向）では防災活動交通と背景交通は車線を共有し、反対方向を防災活動交通が占有するものとした。二つめの交通規制は、防災活動交通専用車線の設定（以下、防災レーン設置と呼ぶ）である。防災レーン設定の場合、片側2車線のうち1車線を防災活動交通専用とするため、背景交通に対しては車線数が減少することになる。

交通規制の特徴として、以下の点が指摘される。

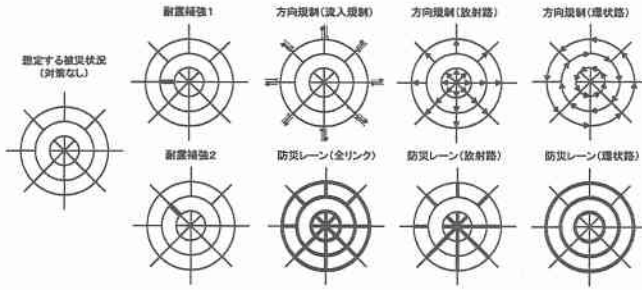


図4 被災ネットワークと耐震補強／交通規制パターン

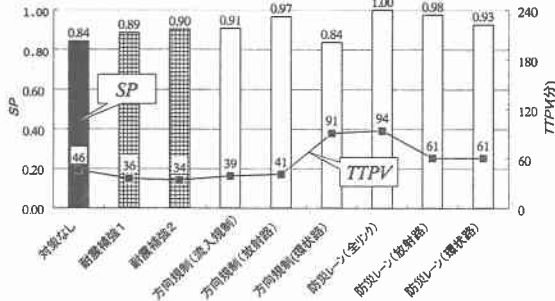


図5 耐震補強と交通規制の効果 (放射環状型モデル)

a) 方向規制については、被災パターンと規制方法の組合せによって効果が異なる場合があり、SP が必ず向上するとは限らない。また、TTPV の増加や孤立交通の発生など、背景交通に与える影響は大きい。

b) 防災レーンを設置すれば、背景交通と防災活動交通が分離されるため SP を確実に向上できる。例えばネットワークの全区間に防災レーンを設置すれば、防災活動交通は完全に満足される。しかしながら、背景交通への影響は大きく、交通サービス供給量が半減することにより TTPV は大きく増加する。

なお、格子型モデル及びラダー型モデルについても、上記と同様の傾向が認められた。すなわち、方向規制では規制区間や規制方向を適切に設定しなければ防災活動交通の効率化は図れず、また、防災レーン設

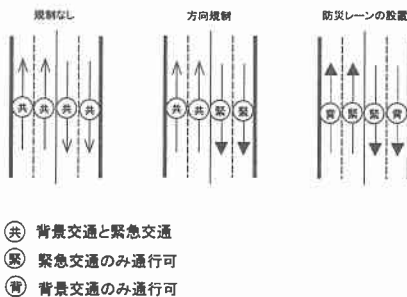


図6 交通規制のパターン

置では、必要最小限の規制に止める工夫が必要である。さらに本文では示していないが、ラダー型モデルにおいて一部の道路区間に防災レーンを設定した場合、防災活動交通をほぼ満足し、かつ TTPV も低下することが確認された。このことは、耐震補強等ハード対策以外でも、背景交通への影響を抑えながら防災活動交通を満足できるソフト対策の可能性を示唆するものである。

5. まとめ

・本文では、防災活動交通に対する道路ネットワークのサービス程度を表現するネットワーク耐震性指標 SP、ネットワークにおける道路区間の重要性を表現する区間重要性指標 LI、及び、背景交通 1 台あたりの旅行時間 TTPV と SP を用いて耐震補強対策と地震時交通規制の優劣比較を行う方法を提案した。本文で提案した手法は、耐震補強優先度の設定や交通規制区間の設定など、道路管理者がハード／ソフト対策を組合わせて道路ネットワークの耐震強化を計画する際に定量的な判断材料を与えるものである。

また、簡単なモデルネットワークを想定した試算を通じて、耐震補強や交通規制がネットワーク耐震性に与える効果の傾向を検討した。ただし、解析対象地域のネットワーク形状、道路属性、効果量関数の設定法等に加え、防災拠点配置や人口分布等により左右される交通特性に応じて、求められる指標は変化する。今後、実地域を対象とした試算を通じて、本手法の実用化に向けた検討を継続する。

参考文献

- 1) 建設省道路局道路防災対策室監修：新時代を迎える地震対策—地震に強いみちづくりへの提言、H8.10
- 2) 藤原健一郎、朝倉康夫、柏谷増男：道路網の機能的階層性とネットワーク信頼性評価指標との関連、土木計画学研究・論文集 19(2)、1996.11
- 3) 永松善敬、大塚久哲、松田泰治、富永臣悟：緊急輸送道路網における耐震安全性評価手法の開発、自然災害西部地区部会報・論文集、Vol.22、1998.3
- 4) 建設省土木研究所：道路ネットワーク耐震性評価手法に関する研究 (その1) (その2)、土木研究所資料第 3589号、第 3621号、1998.9、1999.1