

道路ネットワーク耐震性能指標を用いたケーススタディ Evaluation of Highway Network Performance against Earthquake

杉田秀樹**・野崎智文***

by SUGITA Hideki** and NOZAKI Tomofumi***

1. はじめに

大規模地震に対する道路ネットワークのリスクマネジメントでは、新設構造物の耐震性能を向上する一方で、限られた諸資源の制約の下で膨大な既設道路を効果的に強化するための戦略が重要である。このためには、種々の道路施設が組み合わされたネットワークとしての耐震性能を客観的に評価し、耐震補強が必要な道路区間の選定や耐震補強の優先度設定を合理的に行うための計画学的アプローチが必要である。

本稿では、まず、道路ネットワークの耐震性能評価を客観的・実務的に行うための方法論について考察する。次に、既に著者らが提案したネットワーク耐震性能指標を実地域に適用し、路線・区間の重要性や耐震補強優先度の意思決定への適用性を検討した結果を報告するものである。

2. 耐震性能評価の方法論

道路ネットワークの耐震性能は、一般に、想定地震に対して地域で要請される交通機能の満足度合と考えることができる。このため、耐震性評価の方法論は、想定地震に対する道路ネットワークの被災状況を想定し、任意の道路区間が通行不能となった場合の道路交通への影響を計測することが基本となる。

耐震性能評価の方法論に関する種々の取り組みは、道路交通への影響をどのような指標で計測するかに応じて、迂回路の数で評価する方法、迂回や渋滞を考慮した道路交通の旅行時間の増加で評価する方法、及び、旅行時間の増加による防災活動や経済活動の損失で評価する方法等に分類することができる。迂回路の数や旅行時間の増加を指標とする方法は、計算が比較的簡便で実務に適用しやすい反面、道路被害の地域

* キーワード：地震防災計画、道路ネットワーク、信頼性評価、防災活動交通

** 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(現 建設省道路局道路防災対策室)

活動に対する影響が直接的には表現されないことに注意が必要である。これに対して、防災活動や経済活動の損失を指標とする方法は、地域活動に対する影響を直接的に表現できる反面、道路交通モデルに加えて防災活動に伴う交通需要予測や経済波及効果に関する分析モデルが必要とされる。地震時の緊急交通需要や経済的損失の波及過程には未解明な点も多く残されているが、災害経験を通じて知見を蓄積するとともに、実務的には複数のシナリオを用意するなどの工夫により、より説明性が高い指標を用いた方法論の構築に向けて研究を進める必要がある。

3. ネットワーク耐震性能指標

上述した取り組みの一環として、著者らは、道路ネットワークの耐震性能指標 *SP*(Seismic Performance Index)、道路区間の重要性評価指標 *LI*(Link Importance)、及び、背景交通1台あたりの走行時間 *TTPV*(Travel Time Per Vehicle)を提案している¹⁾。これらの指標は、道路ネットワークの被災状況を与件として、防災活動の損失を定量評価するものである。道路ネットワークの耐震強化を、ハード対策としての耐震補強とソフト対策としての地震時交通規制を組合せて計画する際に、定量的な判断材料を得ることができる。

(1) 耐震性能指標 *SP*

救急・消防・避難等の防災活動の目的を *k* で表わし、ネットワーク上のノード *i* から *j* に向かう目的 *k* のOD交通分布 T_{ij}^k 、ルート *r*、ルート *r* 上の交通量 T_{ijr}^k 、及び所要時間 t_r が与えられているとする。目的 *k* の防災活動交通が時間 *t0* 以内に到着すれば目的を達成でき、*tmax* 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 $E^k(t)$ を定義すれば(図1)、防災活動交通の効果量 E_{ij}^k は式(1)で与えられる。

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

防災活動効果量の全てのODペアに対する総和を、ネットワーク中の総交通量 *T* で無次元化した値をネット

トワーク耐震性能指標 SP と定義すれば、防災目的 k に対する耐震性能指標 SP^k は式(2)で与えられる。 SP^k は 0 ~ 1 の値をとり、全ての防災活動交通トリップが目標時間 t_0 以内に完了すれば SP^k は 1 となる。一方、旅行時間が t_0 を超える交通が増加するに従って、 SP^k は 1 より小さくなる。

$$SP^k = \frac{\sum_i \sum_j E_{ij}^k}{T} = \frac{\sum_i \sum_j \sum_r E^k(t^r) F_{ijr}^k}{\sum_i \sum_j \sum_r T_{ijr}^k} \quad (2)$$

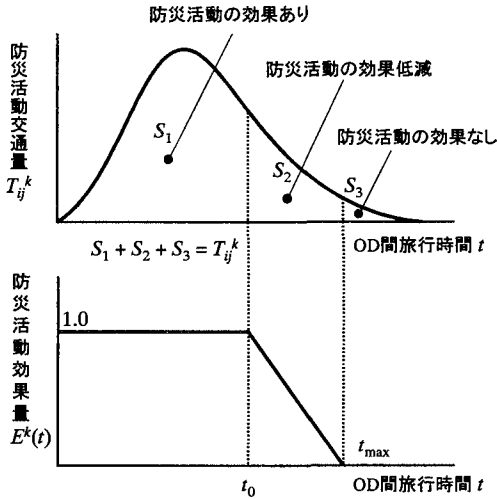


図1 防災活動効果量

(2) 道路区間の重要性評価指標 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能指標 SP^k と、道路区間 l のみ復活させた場合の耐震性能指標 SP_l^k を比較することにより、式(3)で与えられる。

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

すなわち区間重要性 LI_l^k は、想定される被災パターンの中で、ネットワーク耐震性能に対する道路区間 l の感度を表現する指標とすることができる。

(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、各種対策が背景交通に与える影響は、背景交通 1 台あたりの旅行時間の変化で

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、式(4)で与えられる。

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

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能の向上を表わし、 $TTPV$ の減少は背景交通に対する耐震性能の向上を表わす。

4. 実地域に対するケーススタディ

(1) 道路ネットワーク

ケーススタディの対象地域として静岡県を選定し、静岡市内の救急輸送活動に対する道路ネットワークの耐震性能を評価した。道路ネットワークは通過交通の影響を考慮するために県道以上の道路網とし、救急輸送活動 OD は地震直後の一次医療活動を想定して消防署→被災地、被災地→病院拠点とした。

背景交通は静岡県全域の各ゾーン間を行き来し、背景交通の影響を受ける道路交通状況の下で、静岡市内の消防拠点（13 箇所）、被災各ゾーン（24 の B ゾーン）、病院拠点（19 箇所、診療所を除く）の間の救急輸送活動の効果量を評価することとした。ここに、背景交通 OD 設定には、道路交通センサス（1994）B ゾーン OD 表を用いた。また、救急輸送交通量の設定に際しては、阪神淡路大震災の実態データ等に基づいて死傷者率と死傷者あたりトリップ数を仮定し、これを被災各ゾーンに対して付与した。

表1 被災状況のシナリオ設定

	被災箇所	目的地選択	主眼
シナリオ A	東名高速道路のオーバースタック部分で、東名と一般道が通行不能	固定、変動	路線被害の影響
シナリオ B	静清 BP のオーバースタック部分で、静清 BP と一般道が通行不能	固定、変動	路線被害の影響
シナリオ C	安倍川を横断する部分で通行不能（耐震補強、交通規制）	固定、変動	ハード/ソフト対策の影響

(2) 被災状況のシナリオ設定

ケーススタディでは、路線被害による耐震性能の変化、目的地の選択方法による耐震性能の変化、及び、ハード/ソフト対策による耐震性能の変化を検討する



(a) シナリオ A(東名高速部分が通行不能)



(b)シナリオ B(静岡BP部分が通行不能)



(c)シナリオ C(安倍川横断部分で通行不能)

図2 ネットワークの被災状況

ため、被災状況に関して3種類のシナリオを想定した

(表1)。3種類のシナリオに対応するネットワークの被災状況を示すと図2の通りである。なお、これらの被災状況は静岡県における被害想定ではなく、ネットワーク耐震性能を試算するための仮定したものであることに注意を要する。図中の●印は消防署拠点、○印は病院拠点(診療所を除く)であり、このほかに負傷者が発生する被災地(Bゾーン)のセントロイドを設定している。

なお、救急輸送に関する図1の単位効果量関数のパラメータは、心肺停止時間と蘇生率の関係(ドリンカー曲線)に基づき、蘇生率が0%となる10分を t_0 とした。また、防災活動目的を達成するための上限 t_{max} は t_0 の3倍の30分と仮定した。

(3) 路線被害による耐震性能の変化

シナリオA及びシナリオBについて、静岡市内の緊急輸送交通の旅行時間別頻度分布を示すと図3の通りである。この場合の旅行時間は、消防署拠点～被災地～病院拠点の旅行時間である。両シナリオとも旅行時間の分布が右側にシフトしており、被災の影響によって緊急輸送に長時間を要することがわかる。

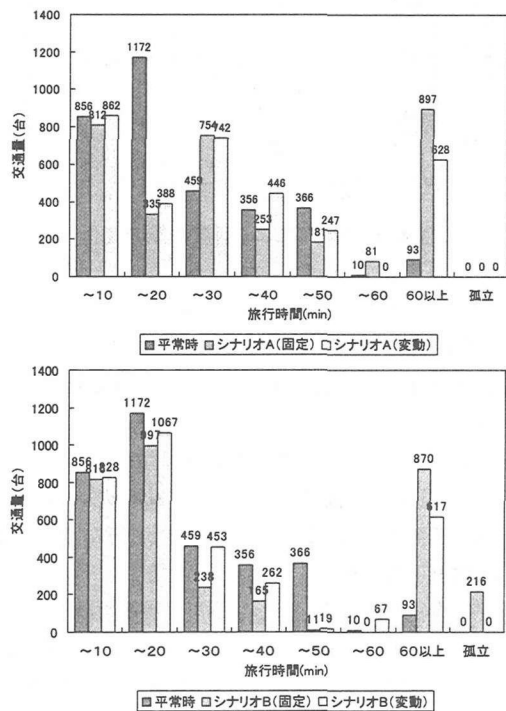


図3 救急輸送活動の旅行時間別の交通量分布

災地～病院拠点の旅行時間である。両シナリオとも旅行時間の分布が右側にシフトしており、被災の影響によって緊急輸送に長時間を要することがわかる。

シナリオ A とシナリオ B について、耐震性能指標 SP を計算した結果を示すと図 4 の通りである。図中には、背景交通 1 台あたりの旅行時間 TTPV も併せて示している。図 3 では旅行時間の頻度分布として表現されていた救急輸送活動の状況が、ネットワークの被災状況毎に単一の指標で表現されている。シナリオ A と B を比較することにより、路線被害による耐震性能の変化に関して、以下の点が指摘される。

- 1) 東名高速断面や静清 BP 断面の被災により、救急輸送活動に対するサービスレベルは低下する。
- 2) 東名高速断面の方が静清 BP に比較して救急輸送活動に大きな影響を与える。
- 3) 背景交通に対しても、東名高速断面の方が静清 BP 断面に比較して大きな影響を与える。

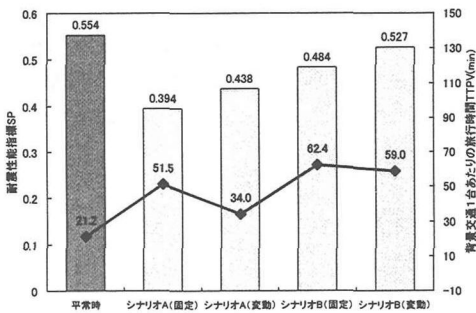


図 4 路線被害による耐震性能の変化

(4) 目的地の選択方法による耐震性能の変化

目的地の選択方法を固定/変動とした場合について、各々耐震性能指標 SP を計算した結果を図 4 中に併せて示している。ここに「目的地固定」では、病院拠点を平常時のネットワークと旅行時間に基づいて選択し、救急輸送交通に対して被災情報が知らされない状況が表現される。また「目的地変動」では、病院拠点を被災したネットワークと旅行時間に基づいて選択し、被災状況が既知である状態が表現される。

図 4 によれば、シナリオ A と B とも、目的地変動の方が目的地固定の場合に比較して耐震性能指標 SP が大きい。これは、地震後の混乱した状況下において、道路ネットワークの被災状況や交通状況に関する情報把握と情報提供が重要であることを示すものである。

(5) ハード/ソフト対策による耐震性能の変化

シナリオ C について、耐震性能指標 SP 及び背景交通 TTPV の計算結果を示すと図 5 の通りである。シ

ナリオ C では、安倍川を横断する主要道路が全て通行不能となった場合をベースに、震前の耐震補強により静清断面、藤枝静岡線断面、国道 1 号断面、国道 150 号断面が各々被災しない想定した場合の比較、及び、地震後の交通規制により静岡市内への背景交通の流入を規制した場合の比較を行っている。図 5 によれば、ハード/ソフト対策による耐震性能の変化に関して、以下の点が指摘される。

- 1) 耐震補強によりネットワーク耐震性能は向上する。耐震性能の向上効果は、国道 1 号断面、藤枝静岡断面、静清断面、国道 150 号断面の順で大きい。
- 2) 背景交通の流入規制を実施した場合も、ネットワーク耐震性能は向上する。流入規制による耐震性能の向上効果は耐震補強に対して同等以上であり、地震後の適切な交通規制の有効性を示唆している。
- 3) 震前の耐震補強は、救急輸送活動だけでなく、背景交通に対しても有効である。また、震後の流入規制は静岡市内に起終点を持つ背景交通に対して有効に作用するが、市外を起点とする流入交通を排除している点に注意が必要である。

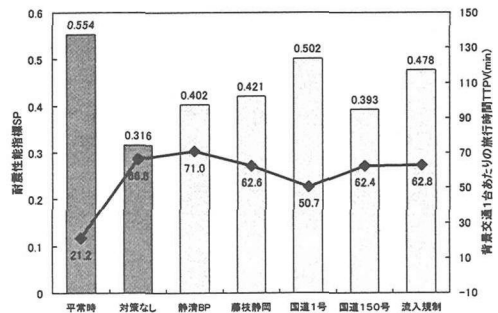


図 5 ハード/ソフト対策による耐震性能の変化

5. まとめ

本稿では、道路ネットワークの耐震性評価を客観的・実務的に行う方法論の方向性について考察した。また、著者らが提案した防災活動効果に基づく耐震性能指標を実地域に対して適用し、耐震補強や交通規制等を組合せてネットワークの耐震強化を計画する際の定量的な判断指標として利用可能であることを確認した。

【参考文献】

- 1) 杉田秀樹、野崎智文、矢野和彦(1999)、道路ネットワークの耐震性評価手法の提案、土木計画学研究・講演集 22、pp.179-182