

道路ネットワーク耐震性指標を用いた 道路耐震化計画のあり方

矢野 和彦¹, 杉田 秀樹², 野崎 智文³

¹正会員 工学 アジア航測(株) 防災部都市防災課 (〒243-0014 神奈川県厚木市旭町 5-42-32)
(元建設省土木研究所交流研究員)

²正会員 工博 建設省土木研究所耐震技術研究センター 防災技術課長 (〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番)

³正会員 工修 建設省土木研究所耐震技術研究センター防災技術課 主任研究員 (〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番)

要 約

震災時の道路交通を確保するためには、道路施設の耐震補強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。したがって、地震に強い道路ネットワークを構築するためには、道路ネットワーク全体としての耐震性や道路区間の補強効果に基づく重要度を定量的に評価することが必要となる。筆者らは、土木研究所が提案する道路ネットワークの耐震性を緊急交通に対するサービス性能に着目した評価手法を用いて、簡単なモデルネットワークにおけるハード/ソフト対策によるネットワーク耐震性向上への効果を比較・検討した。

Key Words : Earthquake, Highway network, Seismic performance, Emergency transportation, Transportation analysis, Traffic control

1. はじめに

震災時の道路交通を確保するためには、道路施設の耐震補強や改築等によるリダンダンシー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。このようなハード/ソフト対策あるいはその組み合わせによる施策の効果を比較する場合、定性的な議論のみならず、道路ネットワーク全体としての耐震性や道路区間の補強効果に基づく重要度を定量的に評価することが必要となる。筆者らは、道路ネットワークの耐震性を土木研究所の提案する道路ネットワーク耐震性評価手法、すなわち救急、消火などの緊急活動に対して道路ネットワークが提供する機能に着目した評価手法を用いて、平常時における耐震補強等のハード対策と地震発生後の交通規制等のソフト対策によるネットワーク耐震性向上への効果を比較・検討する方法を提案した。またモデルネットワークにおける試算に基づき、これらハード/ソフト対策の特徴や道路耐震化計画に応用する際の留意点をとりまとめた。

2. 道路ネットワーク耐震性手法と 道路耐震化計画への応用

(1) ネットワーク耐震性指標の定義

a) ネットワーク耐震性指標 SP の算定式

本研究で用いる道路ネットワーク耐震性指標 (Seismic Performance : SP) は、震災時の交通を消火活動や救急活動等の緊急を要する交通 (緊急交通) とそれ以外の背景交通 (通勤、業務、避難等) に分け、緊急交通が目標時間内に目的地に到着できることによって達成できる活動効果量を算定し、これを緊急交通の総量で除して無次元化して算定する (式(1))。緊急交通の到達目標時間に

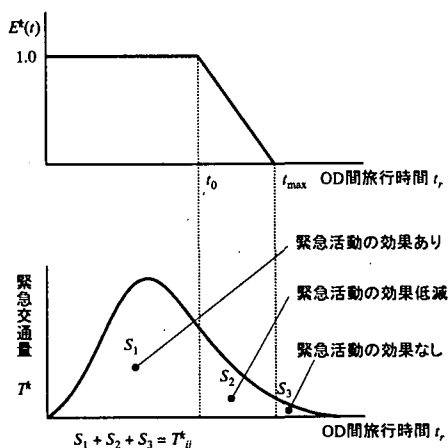


図-1 活動効果量関数の例

は t_0 と t_{max} を設定する(図-1)。

t_0 は緊急交通の目的を完全に満足させることができる閾値となる時間であり、到達時間が t_0 より早ければ緊急交通の目的は100%達成できる。 t_{max} は緊急交通の効果が多少なりとも発揮できる限界時間である。 t_0 を越えて t_{max} までの間では緊急交通の目的達成率が徐々に低下し、 t_{max} を越えると交通の目的が全く達成されない。

$$SP^k = \frac{E_{TOT}^k}{T_{TOT}^k} = \frac{\int_0^\infty E^k(t_r) T^k(t_r) dt_r}{\int_0^\infty T^k(t_r) dt_r} \quad (1)$$

ここで、 SP^k ：目的 k のネットワーク耐震性指標
(SP^k は0~1の範囲)

E_{TOT}^k ：目的 k の総緊急活動効果量

T_{TOT}^k ：目的 k の総緊急交通量

t_r ：目的 k の緊急交通の旅行時間

b) 背景交通1台当たりの旅行時間

また、各対策が背景交通に与える影響は、背景交通1台当たりの走行時間(Travel Time Per Vehicle: $TTPV$)の変化となって表される。 $TTPV$ は、ネットワーク全体での背景交通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)で除することで算定される(式(2))。

$$TTPV = \frac{\sum_i \sum_j t_{ij} T_{ij}}{\sum_i \sum_j T_{ij}} \quad (2)$$

ここで、 t_{ij} ：背景交通の ij 間旅行時間

T_{ij} ： ij 間の背景交通量(孤立交通を除く)

(2) 補強対策/交通規制の表現方法と評価方法

災害時の道路交通確保対策には、ハード対策とソフト対策が考えられるが、ここで着目する道路ネットワークに対する SP ならびに $TTPV$ の変化量を求めることで、ハード対策とソフト対策の比較優劣を検討し、道路耐震化計画に役立てることができると考えた(図-2)。

a) 耐震補強によるネットワーク耐震性の向上

耐震補強効果は、着目する道路区間を復活させた場合と復活させない場合について交通推計を行い、 SP や $TTPV$ の値を比較する。 SP の向上は緊急交通に対するネットワークの耐震性の向上を示し、 $TTPV$ の減少は背景交通に対する耐震性の向上を示している。

b) 交通規制によるネットワーク耐震性の向上

交通規制によるネットワーク耐震性の向上は、ネットワーク・トポロジーを変えることなく、交通の流れを変化させて道路交通の円滑化を図るものである。同様の手

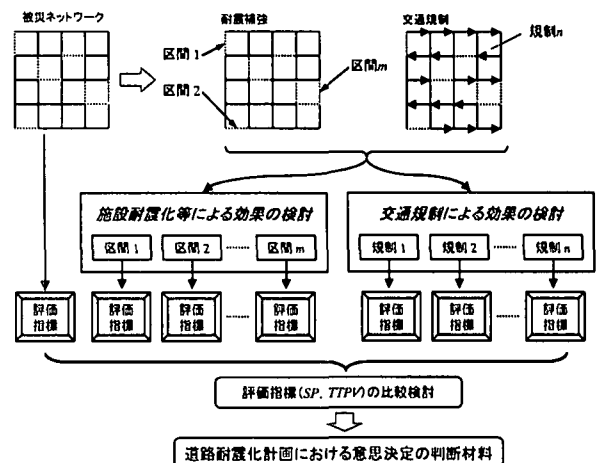


図-2 道路耐震化計画への応用イメージ

法として交通需要制御等があるが、本研究では対象外としている。交通規制の効果は、耐震補強の効果と同様、 SP の向上と $TTPV$ の減少によって表される。

3. ケーススタディー

(1) モデルの設定と諸条件

本研究では、提案した道路ネットワーク耐震性の評価手法を用いて、簡単なモデルネットワークによるケーススタディーを行った。想定する緊急交通は、負傷者等の搬送、すなわち救急活動である。検討するモデルネットワークは、放射環状型、格子型、ラダー型(はしご型)の3つとした(図-3)。

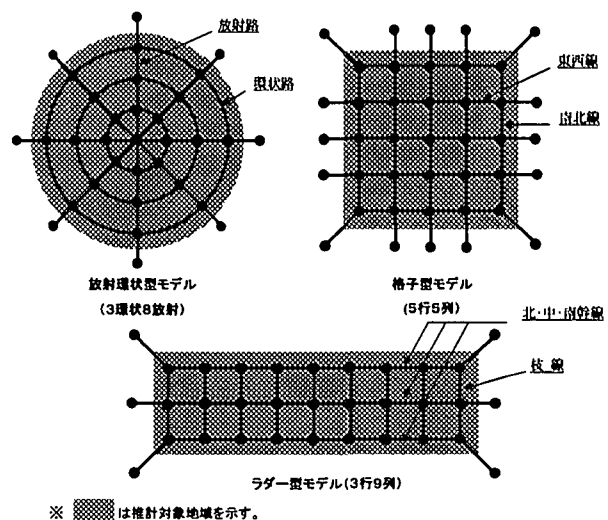


図-3 検討に用いたモデルネットワーク

3つのモデルネットワークの圏域面積、道路密度は全国の平均的な地方生活圏を想定して設定する。また、人口、病院は各ノードに均等に配分した。すなわち、全てのノードが緊急/背景交通のセントロイドとなる。

ケーススタディーでは、3つのモデルについてそれ

それに被災パターンを想定し、耐震補強を施した場合と方向規制や防災レーンの設置などの交通規制を実施した場合についてSPおよびTTPVを算定・比較した。

緊急交通のネットワークへの配分は、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、緊急交通が背景交通に比べて交通量が少なく、震後の区間速度に大きな影響を及ぼさないと考えたことによる。一方、背景交通は多段階配分手法により配分した。また、ODマトリックスの生成については、緊急交通では被災時の道路ネットワークを用い、背景交通では無被災時の道路ネットワークを用いた。これにより、緊急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する。

(2) 耐震補強と交通規制の効果比較

耐震補強と交通規制の効果比較を行ったひとつの事例として、放射環状型モデルにおいて放射路の一部が被災したケースの検討結果を示す。図4はそのケースにおける耐震補強と交通規制のパターンの一例であり、図5はこのときのSPとTTPVを示したものである。耐震補強と交通規制の効果量は、対策実施前後のSPの差ΔSPで表わされる。

放射環状型モデルでは、ネットワークに被災区間が生じない場合、緊急交通はほぼ100%満足される($SP=1.0$)が、図4に示す被災パターンでは84%の目

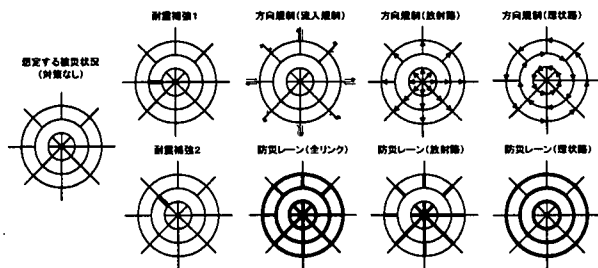


図4 想定したハード/ソフト対策の一例

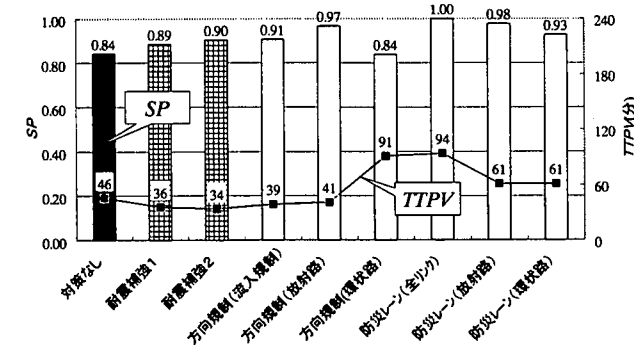


図5 道路耐震化対策の効果比較の一例
(放射環状型モデル)

的達成率となる。

a) 耐震補強の効果

耐震補強は図4に示すように被災リンクのうち1本をつなげることで表現する。耐震補強を行った場合、SPはわずかであるが向上し、TTPVが減少する(図5)。このように耐震補強では、緊急交通/背景交通ともに交通サービスが向上しており、補強区間を増やせばそれだけ大きな効果も期待できる。

b) 交通規制の効果

想定した交通規制は2つに大別される(図6)。ひとつは背景交通に対する進行方向規制であり、本稿ではこれを方向規制と呼ぶこととする。ケーススタディーでは、片側2車線道路を想定し、交通規制を実施しない場合、緊急交通と背景交通が車線を共有している状況を想定しているが、方向規制では、背景交通の規制方向(進行可能な方向=図4の矢印方向)では緊急交通/背景交通は車線を共有し、反対方向を緊急交通専用とするものと設定する。もうひとつの交通規制は、緊急交通専用車線(防災レーン)の設定である。防災レーンを設定する場合、片側2車線のうち1車線を緊急交通専用とし、緊急交通の優先的な通行を想定する。したがって、背景交通については車線数が減少し、旅行速度の低下が予想される。

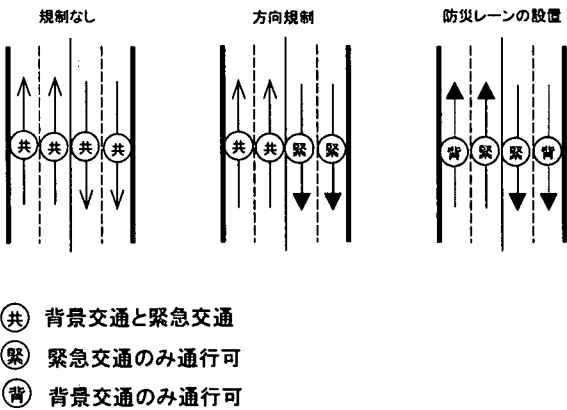


図6 想定した交通規制

以上の条件下で交通規制による効果を検討した結果、次のような特徴がみられた。

- ア) 方向規制では、想定する被災パターンと規制方法の組み合わせによってその効果が異なる場合があり、必ずしもSPが向上するとは限らない(図5中、放射路の方向規制→ $SP = 0.97$ 、環状路の方向規制→ 0.84)。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。
- イ) 防災レーンの設置では、背景交通と緊急交通を切り離すことでSPを規制前よりも確実に高くすることができる。特にネットワークの全区間に防災レーンを設置した場合には、緊急活動は完全に満た

される ($SP=1.0$)。一方、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 (対策なし $\rightarrow TTPV = 46$ 、全リンク防災レーン $\rightarrow TTPV = 94$)。

格子型/ラダー型モデルについても、上記と同様の特徴があることが分かった。すなわち、方向規制においては、規制の区間や方向を適切に設定しなければ緊急交通の効率化は図れず、また、防災レーンの設置では、必要最小限の規制にとどめる努力が必要であるといえる。さらにここ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、緊急活動をほぼ満足し、かつ $TTPV$ も低下することが確認された。このことは、背景交通への影響を抑えながら緊急交通の効果を満足する防災レーンの設置に関する可能性を示している。なお全体として、格子型/ラダー型モデルでは放射環状型モデルに比べて SP が低く、道路ネットワークのトポロジーによってリダンダンシーの傾向に違いが出ることを確認された。

4. 考 察

ケーススタディーの結果から、震災時の道路交通管理に関し、次のような知見を得た。

- ア) ハード対策としての耐震補強は、確実に SP を向上させるのに対して、ソフト対策としての交通規制は、場合によっては緊急交通の活動や背景交通の状況を悪化させることもある。ただし、規制パターンを適切に選択すれば限られた区間を補強するよりも高い効果を示す。
- イ) ネットワークモデルによっては、被災区間を設定した場合にネットワーク全体の区間速度が大きく低下するケースが多くみられた。これは、平常時の時点で交通容量の限度に近い交通状況であり、設定した単位効果量関数の閾値に近い場合、わずかな道路区間の被災によってたちまち緊急交通の円滑な処理が困難になってしまう状況に対応する。このような道路ネットワークは、背景交通の交通状況も含めて考えたときに、ネットワーク全体としての耐震性が低い。すなわち、対象とする道路ネットワークが十分な耐震性を確保できているかどうかについて、本手法を用いることで把握することが可能であり、震災前における道路ネットワークを整備する上で有効である。
- ウ) 交通規制は、緊急交通に有利に働く反面、多くの場合、背景交通を阻害する。したがって、費用対効果を十分考慮し、規制パターンや補強戦略との比較を行う方法を検討する必要がある。

なお、今回のケーススタディーにおいて、補強対策と

交通規制の併用による効果の検討は行わなかったが、実地域における応用を考える場合、考えられる広域的な交通規制と耐震補強の最適な組み合わせを事前に検討しておくことが、定められた予算規模の中で効率的に道路ネットワークの耐震性を高めていくひとつの方法であると考えられる。

5. おわりに

本稿において提案した手法を用いることで、地震に強い道路ネットワークづくりのための意思決定支援を図ることができると考えられる。特に災害時の交通規制は、耐震補強やリダンダンシー確保などのハード対策の実施優先度 (プライオリティー) を考える上で大きな影響を与えるものであり、欠く事のできない検討事項である。また、本手法は、平常時の補強/規制計画を支援するものであるが、地震発生後の道路応急復旧の優先度を設定するための手がかりにも応用することができる。

なお、本研究のケーススタディーで得られた結果は、設定した条件下におけるものであり、普遍的なものではない。具体的には、対象とする地域の道路ネットワーク形状、道路の属性、効果量関数の設定等に加え、防災拠点施設の配置や人口分布等に左右される交通特性により、求められる指標は変化する。ただし、緊急交通と背景交通それぞれに対するネットワークの耐震性を、 SP や $TTPV$ を用いて定量的に評価することが可能であることは確認できた。今後、実地域におけるケーススタディー等により、さらに問題点を洗い出すことで実用化に向けて前進できると考える。

参考文献

- 1) 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指標との関連，土木計画学研究・講演集 19(2)，1996 年 11 月，pp275，土木学会
- 2) 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-22 号，1998 年 3 月，pp173
- 3) 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) ネットワーク耐震性指標の提案とその計算方法の開発，土木研究所資料，第 3589 号，1998
- 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 2) 地震時の道路交通管理手法に関するケーススタディー，土木研究所資料，第 3621 号，1999