

- 3 道路防災計画の高度化に関する研究

Earthquake Disaster Mitigation Measures for Highway Network Systems

(研究期間 平成 11～13 年度)

国際地震工学センター

杉田秀樹

International Institute of Seismology and Earthquake Engineering

Hideki Sugita

This paper roughly describes the research accomplishments on the disaster mitigation strategies for upgrading the highway performance during earthquakes. Seismic performance of highway network was studied in the case of 1995 Kobe Earthquake. Several types of analytical index were proposed in order to assess the highway network durability. A “Guideline for the Earthquake Disaster Mitigation Measures for Highway Structures, Japan Highway Association, 1986” is presently under revising taking these knowledge into account.

兵庫県南部地震等の既往地震において、救援救護、消防、復旧活動を担う道路施設の損失は被災地域の住民生活や経済活動に深刻な影響を及ぼした。これらの災害経験に基づいて我国の道路防災対策は転機を迎え、構造物被害を未然に防止する従来の防災技術に、構造物被害が生じた場合の影響を抑制する減災技術を組み合わせた危機管理型の防災計画への取り組みが要請されている。

本研究は、道路構造物の震災復旧技術、及び、ネットワーク性を考慮した道路網の耐震性評価技術について調査を行い、道路防災計画の高度化に必要な減災技術を提示するものである。本研究の成果は、(社)日本道路協会が発行する「道路震災対策便覧、1986」改訂の基礎資料として、道路管理者の防災実務に還元することを旨とする。

平成 12 年度までに、兵庫県南部地震による道路施設被害の傾向分析を行い、本年度は道路網の耐震性評価指標の提案と簡単な試解析を行った。また、本研究の成果を整理し、道路震災対策便覧の改訂作業に反映した。

【研究内容】

道路施設被害の傾向分析では、兵庫県南部地震時の実態データを用いて、施設被害の頻度分布、施設被害と交通規制の関係、施設被害と所要復旧時間の関係を整理した。実態データとしては、道路管理者に対して土木研究所等が実施したヒアリング調査結果を利用した。

また、耐震性評価指標の提案では、道路網の耐震性を地震時交通需要の満足度合と考え、道路防災計画の立案に利用可能な 3 種類の指標（ネットワーク耐震性指標 SP 、区間重要性指標 LI 、背景交通指標 $TTPV$ ）を提案した。これらの指標は単に現状の耐震性を評価するだけでなく、ハード対策（耐震補強）とソフト対策（地震時の交通規制）の優劣を検討する場合や、事業予算と事業期間の制約の下で施設間の耐震補強優先度を比較検討する場合に客観的な判断材料を提供するものである。

【研究結果】

(1)道路施設被害の傾向分析：国、公団、自治体の管理道路について、通行規制の原因となった施設被害の頻度分布を図 1 に示す。これによれば、道路施設自体の被害は全体の 67%（155 箇所）と大半を占めるが、沿道施設や占用施設の被害が規制に結びついた事例も 33%（77 箇所）あることがわかる。また、規制内容の内訳をみると、全面通行止が 59%（135 箇所）、車線規制が 34%（80 箇所）であり、阪神高速道路の高架橋被害に伴う通行止を除くと、全面通行止 2 車線以下の道路で生じた事例が多い。

次に、施設被害の時間経過に伴う復旧過程を分析すると、地震発生から 30 日間で 60%（133 箇所）の施設被害が復旧しているが、道路施設自体の被害は沿道・占用施設に比べて長期間を要している。また、既往の山地型地震（伊豆大島近海地震）や市街地型地震（宮城県沖地震、日本海中部地震、釧路沖地震）と被害傾向を比較すると、多岐にわたる被害が地域に分散して生じたこと、及び、当該地域の地表面最大加速度が概ね 250gal を超えた地域で道路施設被害が生じたこと等、従来の市街地型地震との類似点が多い。地表面加速度と施設被害の関係については、兵庫県南部地震では、最大加速度が 600gal を超えると被害件数が大きく増加する傾向が認められた。

(2)道路網の耐震性評価指標：評価指標の提案に際して、まず防災活動効果量の概念を導入した。つまり救急、避難等、防災活動の目的を k で表し、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 t_0 内に到着すれば目的を達成でき 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 $E_k(t)$ を定義すれば、防災活

動交通の効果量 E_{ij}^k は次式で与えられる。

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

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ワーク耐震性指標 SP (Seismic Performance Index) と定義すれば、防災目的 k に対する指標 SP^k は次式で与えられる。 SP^k は 0~1 の値をとり、旅行時間が t_0 を超えるトリップが増加するに従って 0 に近づく。

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

道路網の耐震性に寄与する道路区間の感度を区間重要性指標 LI (Link Importance) と定義すれば、活動目的 k に対する道路区間 l の重要性 LI_l^k は、被災後の耐震性指標 SP^k と、道路区間 l のみ復活させた場合の耐震性指標 SP_l^k を比較することにより次式で与えられる。

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

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、同時に、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、防災活動の向上度合だけでなく、背景交通の影響も総合的に勘案しなければならない。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。背景交通指標 $TTPV$ は、道路網上の総走行時間をネットワーク配分された総交通量で除することにより次式で与えられる。

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

本研究で提案した耐震性評価指標の防災対策への適用性を検証するため、静岡市内の実在道路網を対象として各指標の試算を行った。道路網は図 2 に示すように県道以上の主要道路とし、防災活動の種類は消防署～被災地と被災地～病院拠点の救急活動を想定した。試算結果の一例として、ハード/ソフト対策による道路網耐震性の変化を図 3 に示す。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基本に、震前の耐震補強（ハード対策）により静岡バイパス断面、藤枝静岡線断面、国道 1 号線断面、国道 150 号線断面が各々被災しないと想定した場合の変化、また、地震後の交通規制（ソフト対策）により市内への流入規制を実施した場合の変化を示している。これにより、静岡市の道路防災に有用な事

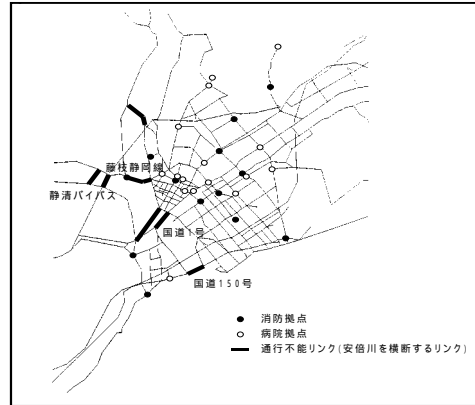


図 2 静岡市内の道路網

Fig.2 Highway Network Model (Shizuoka City)

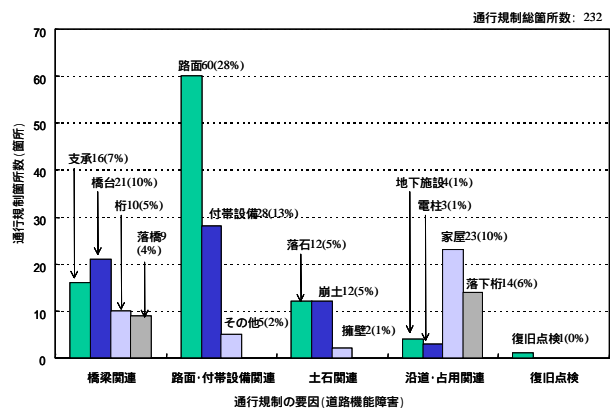


図 3 対策による道路網耐震性の変化

Fig.3 Variation of SP and TTPV by EQ Countermeasures

項が得られた。

- 1)耐震補強により道路網耐震性は向上する。性能向上の程度は、国道 1 号線断面、藤枝静岡線断面、静岡バイパス断面、国道 150 号線断面の順で大きい。
 - 2)背景交通の流入規制によっても道路網耐震性は向上する。向上程度は耐震補強と比較して遜色なく、地震後の適切な交通規制が極めて有効であることを示唆している。
 - 3)耐震補強は背景交通に対しても有効に働く。交通規制は静岡市内に起終点を持つ背景交通に有効であるが、市外を起点とする交通を排除する点に注意が必要である。
- (3)道路震災対策便覧：本年 7 月発刊を目的に改訂作業を進めている。本研究の成果は、「震前対策編第 2 章地震災害の特徴、第 3 章震災予防計画」に反映予定である。

[当該研究に関連した発表論文等]

- 1)杉田他：道路網の耐震性評価指標の提案、土木学会年次学術講演会、第 55 回、第 56 回、2000.10、2001.10
- 2)日本道路協会：道路震災対策便覧（改訂作業中）