

シナリオ地震による 被災道路網のパフォーマンス評価について

福岡淳也¹・能島暢呂²・杉戸真太³

¹正会員 修士(工学) 日本技術開発株式会社 環境防災事業部 (〒164-8601 東京都中野区本町 5-33-11)

²正会員 博士(工学) 岐阜大学助教授 工学部土木工学科 (〒501-1193 岐阜市柳戸 1-1)

³正会員 工博 岐阜大学教授 工学部土木工学科 (〒501-1193 岐阜市柳戸 1-1)

本研究では、要注意活断層から設定したシナリオ地震による地震動強度と、高架橋被害データに基づき算出した被害確率マトリクスにより、リンク被害確率を推定して、被災道路網の物理的・機能的パフォーマンスの評価を行う手法を提案する。モンテカルロ・シミュレーションによって多数の被災パターンを想定し、各被災パターンに対して、被災道路ネットワークに対応できるように修正された分割配分法を用いて交通量配分を行う。配分終了後、ネットワーク評価指標、断面評価指標、OD評価指標、リンク評価指標など、様々な評価指標を算出して、道路施設の改善、交通の管理・運用に有用な、被災道路網のパフォーマンス評価を行うものである。

Key Words: Scenario earthquake, Earthquake motion prediction, Fragility, Road network, Incremental assignment, Performance assessment

1. はじめに

1995年兵庫県南部地震以後、活断層を震源とするような都市直下地震に対する懸念が高まり、各自治体、研究機関などで、被害想定が行われている。なかでも、都市交通の円滑な機能の確保は地震防災上の重要課題であり、地震が道路網のパフォーマンスに与える影響を予測、評価する手法の確立が必要不可欠である。構造物や人的被害の推定と並び、道路施設の被害推定が行われている例もあるが、道路構造物は個別に扱われるにとどまり、道路施設の集合体としての交通ネットワーク的な特性が注目されることは少なかった。逆に、ネットワーク特性に主眼がおかれた研究では、対象地域に想定される地震が道路網にどのような被害をもたらすかは、あまり考慮されてこなかった。

以上から、本研究では、シミュレーションの対象地域における、要注意となる活断層をもとに設定したシナリオ地震から地震動強度を推定し、被害確率マトリクスから道路網のリンク被害確率を推定することにより、被災道路網の物理的・機能的パフォーマンス評価を行う手法を提案し、その解析事例を示す。

2. 評価手法の概説

本手法の流れを図1に示し、以下順に概説する。

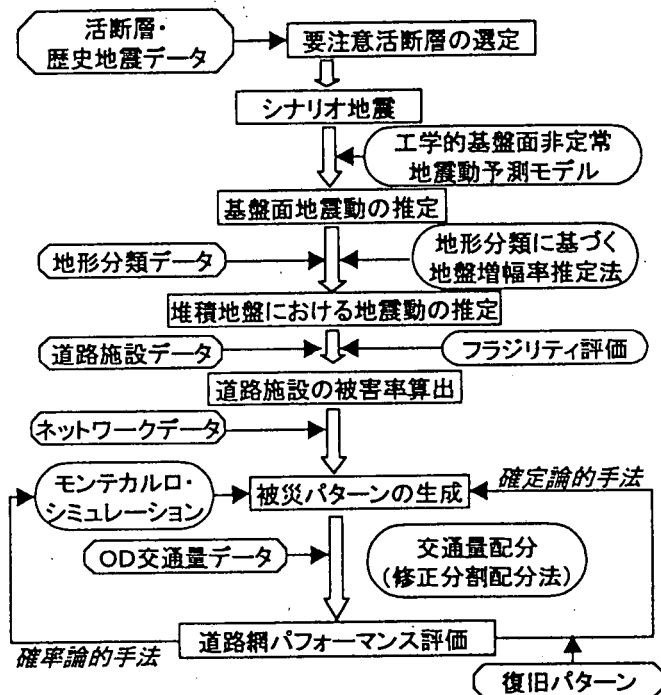


図1 評価手法の流れ

(1) 要注意活断層の選定

要注意活断層(地震を起こす危険性が高く注意の必要な断層)を、固有地震説に基づく、松田¹⁾による要注意活断層の選定法と、活断層系における地震の空白域を要注意活断層とする金折ら²⁾による選定法という2種類の選定手法を補完的に用いて決定した。要注意活断層の分布を図2に示す。18の断層および断層帯が選定され、それぞれについて、地震モーメント、破壊伝播速度など必要なパラメータを決めて地震動の推定に用いた。

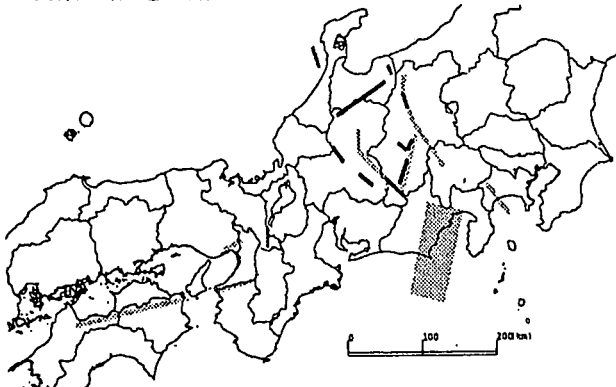


図2 要注意活断層の分布

(2) 工学的基盤における地震動の推定

工学的基盤(S波速度約600~800m/s)での地震動の分布を推定するために、断層の広がりや破壊方向など、震源特性を考慮することができる非定常地震動予測モデルEMPR³⁾を用いた。

EMPRを用いてシミュレーションを行うことにより、活断層を震源とする基盤面地震動分布の推定が可能となる。図3に、要注意活断層の一つである六甲淡路断層帯六甲区間を震源断層とするシナリオ地震による、工学的基盤面における計測震度分布を示す。なお、図中の黒円は断層の破壊開始点を指す。このシナリオ地震のマグニチュードは7.2、地震モーメント 2.1×10^{26} dyne·cm、断層長さ25km、震源深さ10km、破壊伝播速度、地震動伝播速度はそれぞれ、2.5, 3.0 km/sである。破壊の進行方向で、より地震動強度が大きくなるのが分かる。

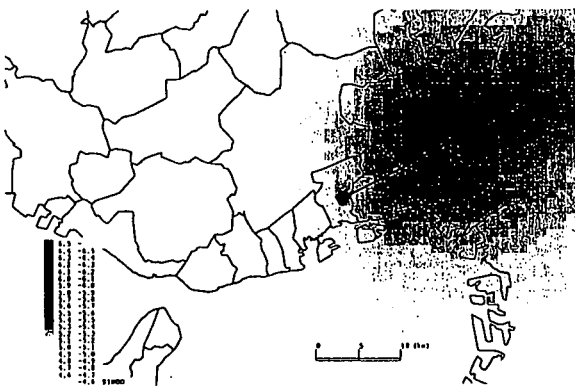


図3 基盤面における計測震度分布

(3) 堆積地盤上の地震動強度の推定

地震動は局所的な地盤条件による影響を大きく受けるため、堆積地盤上の地震動を推定する際には地盤条件を考慮した推定法を用いなければならない。しかし、堆積地盤の詳細な情報を広範囲にわたって得ることは、難しいのが現状である。本研究では、大西ら⁴⁾による、国土数値情報を利用した地盤増幅率の推定法を用いた。これは、国土数値情報の地形・地質分類から堆積地盤における地震動増幅率を算出するものである。

図4は、六甲淡路断層帯六甲区間を震源断層とするシナリオ地震による、堆積地盤上の計測震度分布図である。地形・地質種別の違いから、沿岸部で特に強い地震動となることを示している。

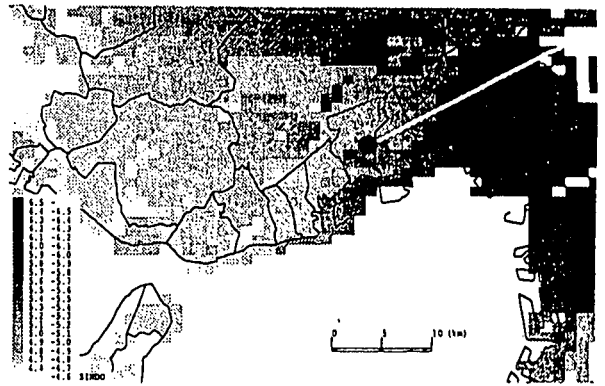


図4 堆積地盤における計測震度分布

(4) 高架橋のフラジリティー評価

地震による道路交通施設の物理的被害を推定するため、地震動強度と道路施設の損傷度の関係性を評価する必要がある。本研究では、阪神高速道路の高架橋を対象として、兵庫県南部地震の被災データを用いた統計処理によってフラジリティー評価を行った。評価対象となった橋脚数は3225本である。C、D(小・無被害、3027本)、B(中被害、130本)、A(大被害、41本)、As(落橋、27本)の各被災度に分類された。

地震動強度の推定には、兵庫県下については高田ら⁵⁾によるアンケート震度調査結果を用い、大阪府下については鶴来ら⁶⁾によるアンケート震度調査結果を用いた。その結果、表1に示す被害確率マトリクスを得た。本研究では、被災度A及びAsを、リンク不通をもたらす橋脚被害と仮定して、次のシミュレーションを行った。

表1 被害確率マトリクス

I _{JMA}	As~D	As~B	As+A	As
5弱	1.000	0.013	0.003	0.000
5強	1.000	0.037	0.007	0.000
6弱	1.000	0.082	0.019	0.000
6強以上	1.000	0.322	0.190	0.102

(5) ネットワークデータと被害確率

阪神地域における道路網を図5のようにモデル化した。OD交通量は、平成6年度、阪神高速道路起終点調査報告書を参考として推定した。

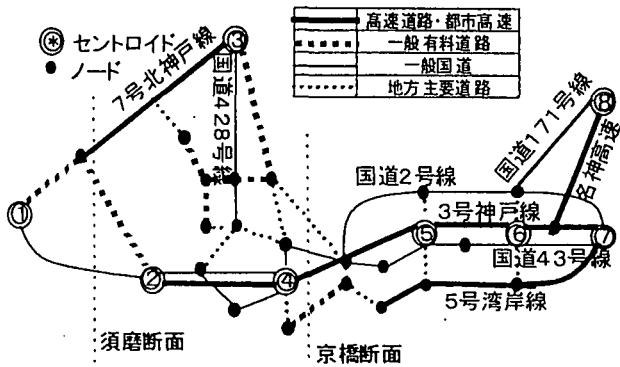


図5 阪神地域におけるモデルネットワーク

このモデルネットワークをGIS(地理情報システム)上でデータベース化し、図4の堆積地盤上計測震度分布と表1の被害確率マトリクスから、橋脚ごとの被害確率を求め、さらにリンクを構成する橋脚の被害確率よりリンク不通確率を算出した。図6は六甲淡路断層帯六甲区間を震源断層とするシナリオ地震でのリンク被害確率を示したものである。図のリンクを示す実線の太さが被害確率を表し、太いものほど被害確率が高いことを指す。ネットワークの東部で特に高い被害確率となることが分かる。

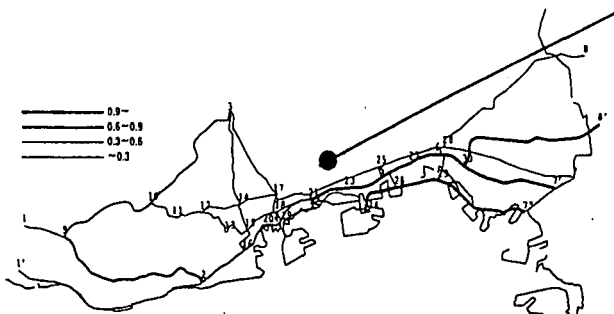


図6 シナリオ地震によるリンク被害確率

(6) 道路網パフォーマンス評価

道路網パフォーマンスの評価手法について記す(図1)。リンク被害確率に基づき、モンテカルロ・シミュレーションによって、1,000種類の被災パターンを生成する。各被災パターンについて、修正分割配分法⁷⁾を適用しOD交通量配分を行なう。修正分割配分法とは、多数のリンク欠損が生じるため通常の分割配分法が適用できなくなる震災時を想定して改良された、配分手法である。到達不能となったODペアを随時配分対象から除外し、交通量配分を行うので、ODパターンが固定されないことが特徴である。

各被災パターンの最終状態でのリンク配分交通量に基づいて、リンク指標、断面指標、OD指標、ネット

ワーク指標、などの評価指標を算出して、被災道路網のパフォーマンス評価を行う。

また、復旧パターンを確定論的に与えることによって、被災道路網の復旧過程におけるパフォーマンス評価を行うことも可能である。

3. 数値解析例と考察

六甲淡路断層帯六甲区間西端を破壊開始点とするシナリオ地震による阪神地域の道路網機能評価の例を示す。阪神高速道路3号神戸線は、高架構造であり、国道43号線もしくは2号線上の空間を占有している区間が多い。高架橋の被害による高架下交通への影響を考察するため、高架橋被害時の高架下の通行条件として、「(1)不通」、「(2)一部通行可能(リンク容量1/2かつ、所要時間2倍)」、「(3)通行可能」の3タイプを考慮して、シミュレーションを行った。図7、8は、通行条件が(2)の場合における、トリップ充足率と延べ走行距離および延べ走行時間の平常時比の全シミュレーション結果である。結果は大きくばらつくものの、ほとんどの試行でトリップ充足率の低下の度合いに対して、延べ走行距離および時間の低下の度合いは小さくなっている。重要幹線の被災によって、トリップの迂回や集中が発生し、ネットワークが混雑した状態となることを示している。図9は、断面交通量の相関を示したものである(高架下の通行条件(2))。須磨断面と比較して、京橋断面では交通量のばらつきの範囲が小さくなっている。京橋断面の受ける地震動強度が大きいことから、ボトルネックとなる確率が高いことが分かる。図10はODトリップ長とトリップ充足率の関係を示したものである。トリップ長がトリップ充足率に及ぼす影響が若干見られるものの、リダンダンシーなどのネットワーク特性による影響によって大きくばらつく傾向が理解できる。図11は、横軸にトリップ充足率の全てのシミュレーション結果の平均値、縦軸に延べ走行時間の平常時比の平均値を示したものであり、図12は、縦軸を述べ走行時間の平常時比の平均値としたものである。瓦礫の撤去などによる高架下の復旧が、パフォーマンス評価指標に与える効果を見ることができる。トリップ充足率や延べ走行距離と比較して、延べ走行時間が著しく増加することから、高架下の復旧によって、道路網がより混雑した状態となることが分かる。また、図中の破線は破壊開始点を断層東端とした場合でのシミュレーションの結果である。断層破壊方向が、ネットワーク評価指標に影響を与えることを示している。

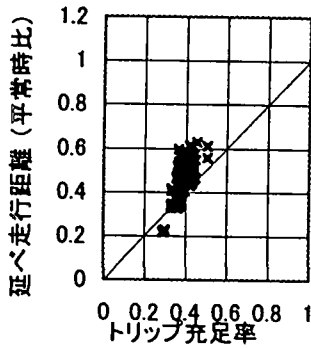


図7 トリップ充足率と
延べ走行距離の散布図

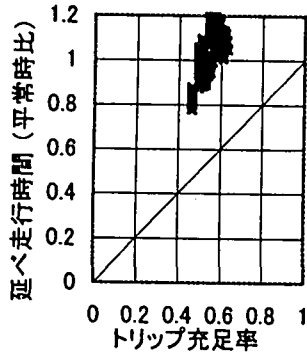


図8 トリップ充足率と
延べ走行時間の散布図

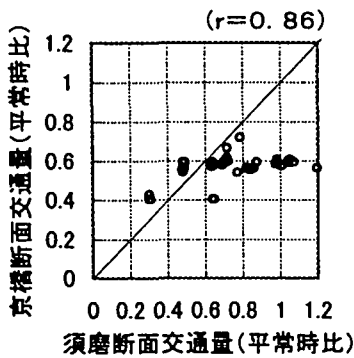


図9 断面交通量の相関

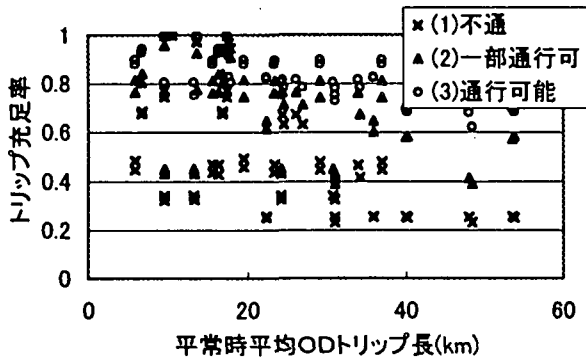


図10 トリップ充足率とODトリップ長の関係

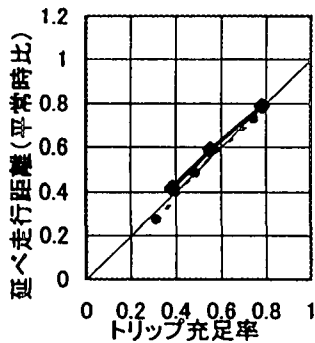


図11 トリップ充足率と
延べ走行距離の推移

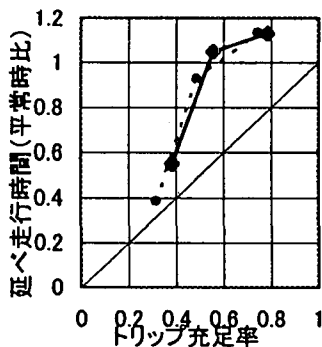


図12 トリップ充足率と
延べ走行時間の推移

4. おわりに

本研究ではシナリオ地震による被災道路網のパフォーマンス評価手法を提案した。ここでは、ごく一部の適用例を示したにすぎないが、いくつかのシナリオ地震を想定したシミュレーションの結果、被災道路網のパフォーマンスの多面的な評価が行えることが確認された。事前に想定されたシナリオ地震によって、発生しうる交通状況を把握できることから、道路施設の耐震強化プランや緊急時の交通運用管理方策の検討への有効活用が期待される。

また、本手法をより有用なものとするためには、さらに詳細な実データを基にネットワークのモデル化やフレンジー評価を行い、種々のパラメータを仮定する必要がある。

謝辞：道路施設のフレンジー評価に関しては、阪神高速道路公団、工務部および大阪管理部の方々からデータ提供を受け、京都大学防災研究所、亀田弘行教授ならびに田中聡助手らと共同で研究を行った。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 松田時彦：「要注意断層の選定」の再検討, 活断層研究 14号, 1996, pp.1-8
- 2) 金折裕司, 川上紳一：内陸被害地震の危険度評価と中部日本の活断層系への適用, 応用地質, 37巻3号, 1996, pp.53-70
- 3) 洞谷元司, 杉戸真太, 古本吉倫, 杉山武：非定常スペクトルの重ね合わせによる強震動予測手法の再検討, 土木学会第53回年次学術講演会論文集 I(B), 1998.10, pp.550-551
- 4) 大西純一, 山崎文雄, 若松加寿江：気象庁地震記録に基づく地盤増幅度と地形分類との関係, 第10回日本地震工学シンポジウム, 1998, pp.909-914
- 5) 神戸大学工学部建設学科土木系教室耐震工学研究室 兵庫県南部地震アンケート調査グループ (代表 高田至郎, 嘉島嵩志)：兵庫県南部地震に関するアンケート調査 一集計経過報告書一, 1996
- 6) 鶴来雅人, 沢田純男, 入倉孝次郎, 土岐憲三：アンケート調査による兵庫県南部地震の大阪府域の震度分布, 土木学会論文集, No.612/46, 1999.1, pp.165-179
- 7) 能島暢呂：道路交通ネットワークの地震時機能評価モデルの開発, 第三回都市直下地震防災シンポジウム, 1998.10, pp.513-516