

阪神高速道路ネットワークの耐震性能と被害予測

高田 佳彦¹・平野 敏彦²・鈴木直人³・藤野秀隆⁴

^{1,2}正会員 工修 阪神高速道路株式会社 技術管理室（〒541-0056 大阪市中央区久太郎町4-1-3）

^{3,4}正会員 工修 株式会社建設技術研究所 大阪本社 道路・交通部（〒540-0008 大阪市中央区大手前1-2-15）

1 はじめに

兵庫県南部地震では、地震直後の被害情報の収集に困難を極め、地震後の初動体制の円滑な構築の実現が重要な課題となった。

阪神高速道路では、その教訓から、橋脚補強・上部工耐震補強などハード面の対策だけでなく、被害予測の推定など防災活動を支援するため、総合防災システムの構築などソフト面の対策を進めてきている。^{1), 2)}

現在、総合防災システムにより、阪神高速道路に設置している地震計よりリアルタイムに得られる地震動に基づき、下部工の被害関係より図-1のように地震による被害予測を行い、地震時の初動体制の支援を行っている（図-2）。

本検討では、阪神高速道路ネットワークの区間ごとの、上部工の変位・変状、支承の損傷などのほか、海溝型地震時に被災の恐れがある伸縮継手など付属構造物の損傷を含めた総合的な被害推定方法を検討し、近傍の活断層や海溝型地震を想定した被害推定を行った。検討フローを図-3に示す。

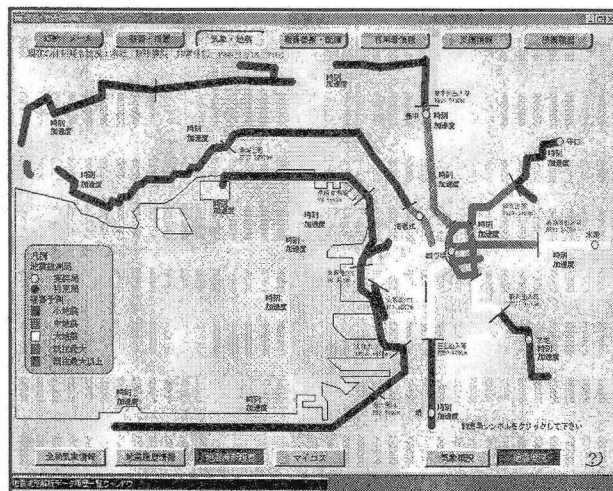


図-1 防災システムでの地震被害予測結果例

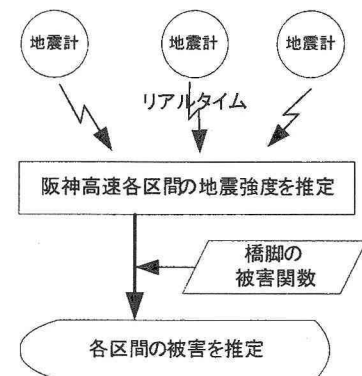


図-2 地震被害予測システム

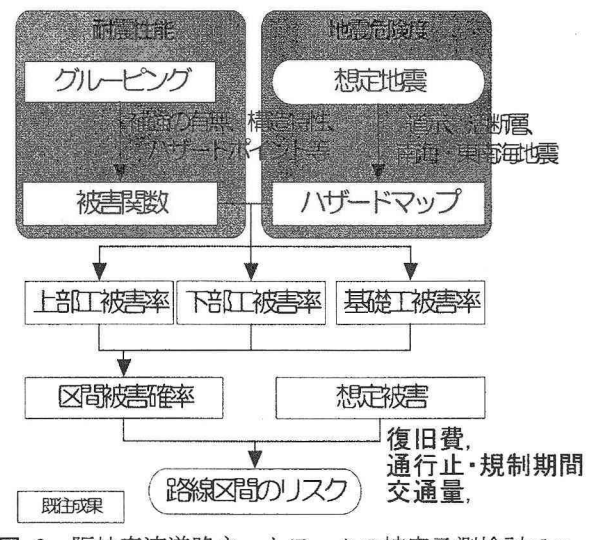


図-3 阪神高速道路ネットワークの被害予測検討フロー

2 ネットワーク耐震性能評価

(1) 被害推定の考え方

橋梁全体の耐震性能を総合的に評価するにあたり、まずネットワークを構成する各区間の被害を As, A, B の3ランクに区分し、各ランク被害の破壊モードを、橋脚・支承・落橋防止装置・伸縮装置・基礎の5つの構成要素の損傷と関係付けたフォールトツリ

一によりモデル化した。As, A, B それぞれの破壊モードのフォールトツリーを示す。同図のモデルにより、各構成要素の被害確率が与えられれば、橋梁全体の被害確率を求めることが出来る。

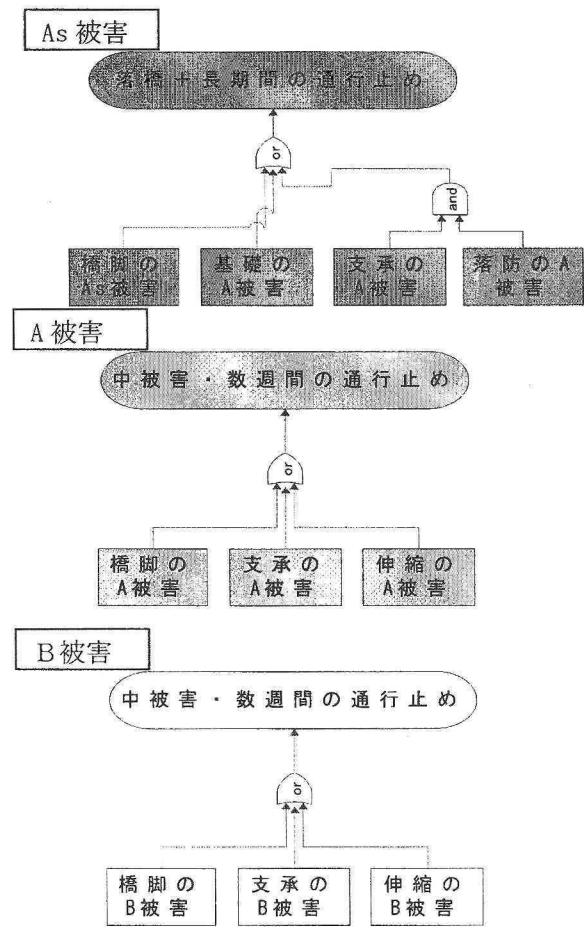


図-4 As, A, B それぞれの被害のフォールトツリー

(2) 構造要素の被害関数

兵庫県南部地震における被害事例や、阪神高速道路の構造諸元データベースを利用した解析的検討により、橋脚や支承、伸縮装置などの被害関数（地震強度と被害確率の関数）を作成した。被害関数は、地震強度（計測震度）と各ランク被害率の関係を曲線で示したものであり、形式や素材、補強の有無により異なる曲線となる。図-5 に例として RC 橋脚（補強後）、ゴム支承（タイプ A）および鋼製伸縮装置の被害関数を示す。平成 14 年道路橋示方書対応の支承（タイプ B）や落橋防止装置については、十分耐震性があるものとして、被害率はゼロとした。

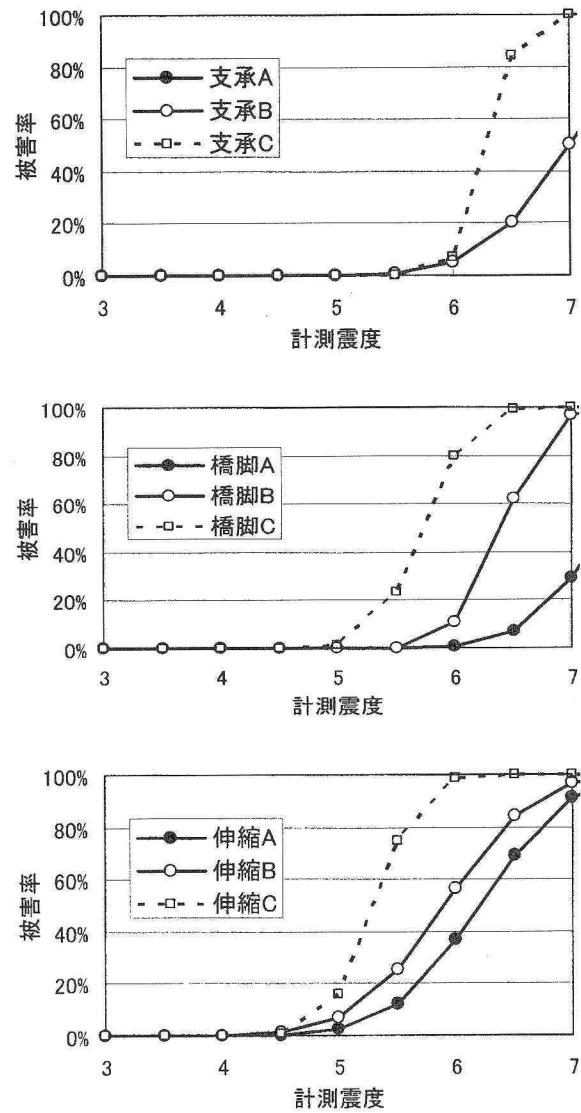


図-5 構成要素の被害関数

(3) 区間の被害関数

阪神高速道路を 35 の区間に分割した各区間の耐震性能を評価するにあたり、まず各区間における 5 つの構成要素の組み合わせごとに被害関数を算定した。そして区間ごとに、構成要素の構成率に応じて被害確率を図-4 に従い加算または乗算して、図-6 のように各区間の被害関数を算定した。これを全ての区間について行い、各被害ランクが発生する震度を算定した。図-7 に被害関数上で As, A 被害率が 5%を超過する震度を示す。この図から、環状 1 や大阪港 1 など数区間は震度 5 強から A 被害率が 5%を超過するが、建設年度が新しい大阪西宮 2 など耐震性能が高い区間では、震度 6.5 の地震が起こっても A 被害率は 5%を超過しないことがわかる。As 被害については、全区間とも 5%超過震度は震度 6.5 以上となっており、落橋等に対する安全性は確保されていることがわかる。

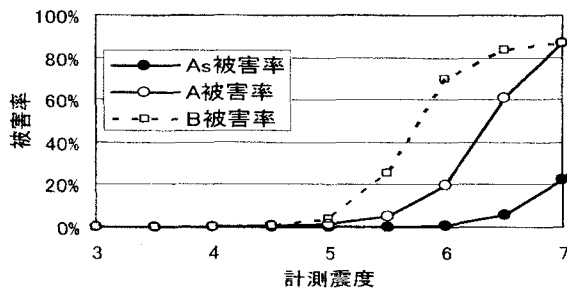


図-6 区間被害関数の例

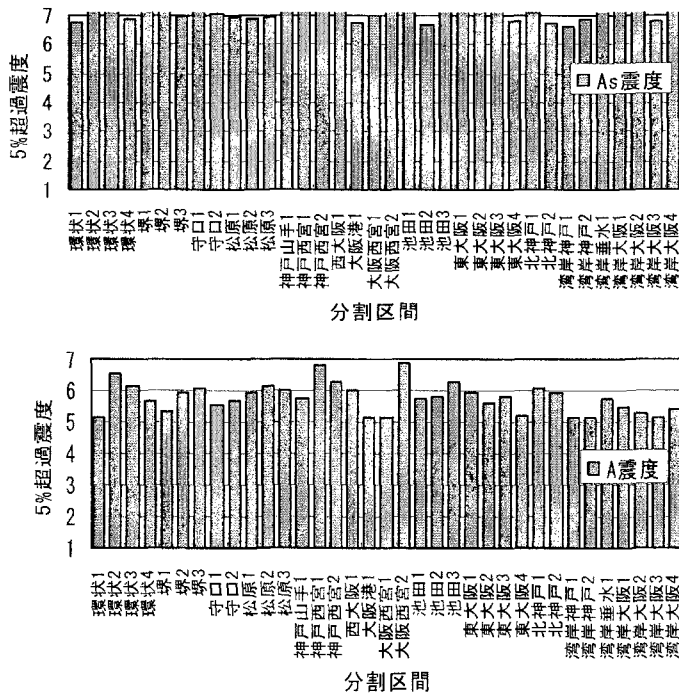


図-7 各被害ランクとなる震度

3 ハザードマップ

阪神高速道路ネットワークに影響を与える近傍の活断層及び南海トラフを表-1のように想定し、確率論的手法によりネットワーク全域のハザードマップを作成した。直下型の活断層に対しては、上町断層系や中央構造線など主要な5断層からの距離減衰式により各区間の地震動を推定し、南海地震については経験的グリーン関数法による強振動予測結果に基づき各区間の地震動を推定した。ここで、各活断層および南海トラフの地震発生確率については、地震調査研究推進本部の長期評価結果を参考に設定した³⁾。確率論的手法により50年超過確率と地震強度の関係を算定した結果の例を図-8に示す。

高速道路の各区間毎に図-8のような曲線を計算し、50年超過確率5%（再現期間1000年、道路橋示方書のレベル2地震相当）および39%（再現期間100年）に相当する各区間の計測震度をハザードマップとして図-9に示す。あわせて、発生確率

を考えない南海トラフによる各区間の計測震度分布を示す。再現期間100年の場合、各地の計測震度は5~6の範囲にあり、再現期間1000年の場合は計測震度6以上となる区間が多い。

表-1 想定した断層と発生確率

	M	発生確率
上町断層系	7.4	5.00%
中央構造線	7.5	9.00%
有馬高槻	7.0	0.05%
生駒断層	6.8	0.24%
大阪湾断層	7.0	1.00%
南海トラフ	8.4	88.00%

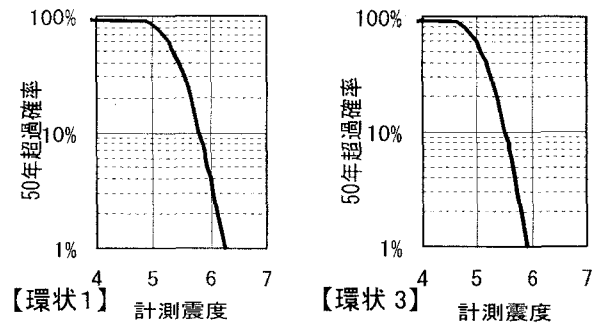
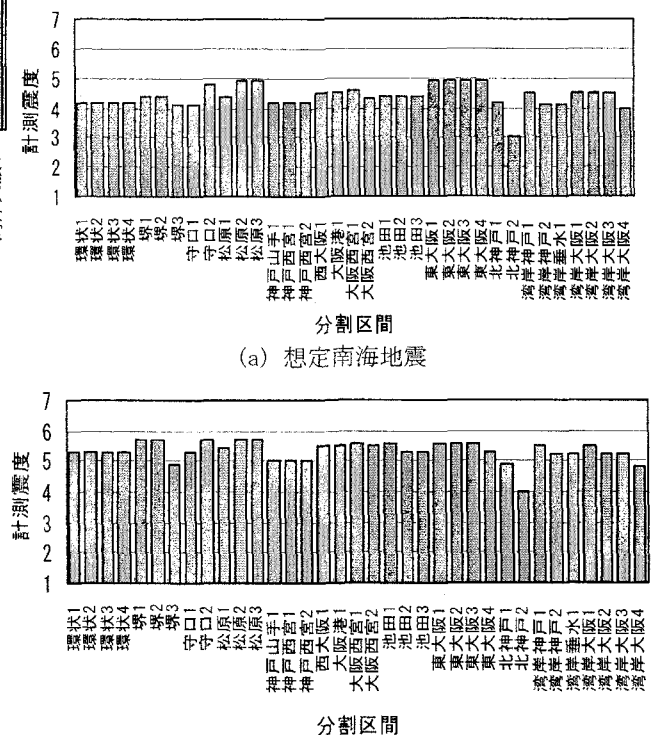
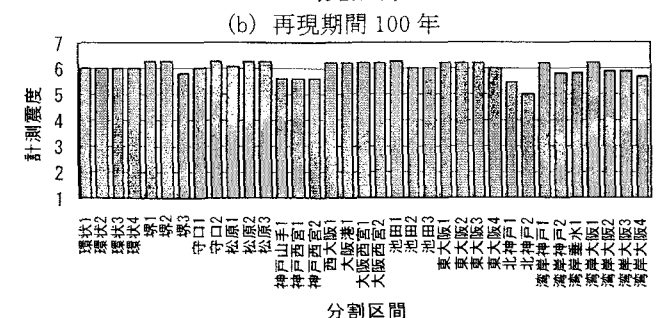


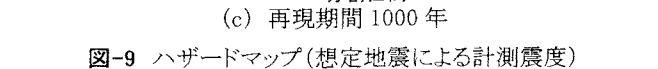
図-8 ハザードカーブの例



(a) 想定南海地震



(b) 再現期間 100 年



(c) 再現期間 1000 年

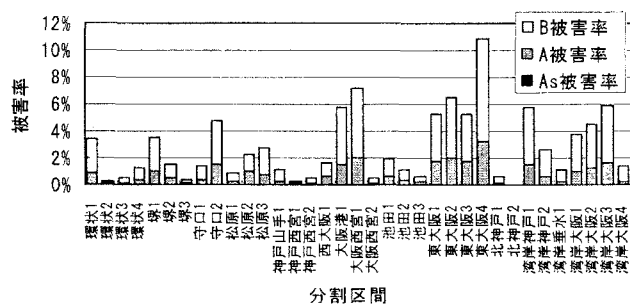
図-9 ハザードマップ(想定地震による計測震度)

4 被害分析

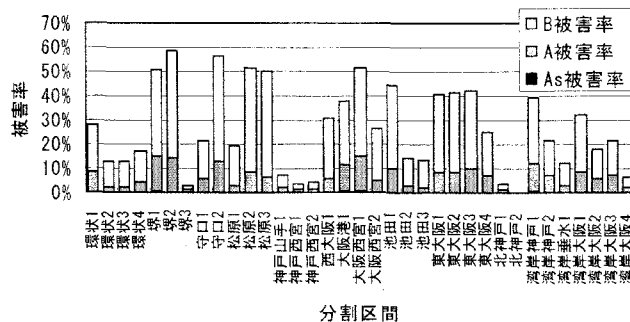
図-9 に示すハザードマップと図-6 に示す被害関数を乗ずることにより、各区間の被害確率を計算することができる。図-9 に示す地震動に対して、各区間の被害確率を算定した結果を図-10 に示す。

推定南海地震では、断層に近い湾岸部より地盤の増幅特性の大きな区間の地震強度が大きく推定される。その結果、被害確率は東大阪 4 では 11% 程度発生するが、いずれの区間でも As 被害率はきわめて小さく A 被害率も 2～3% 程度となっている。

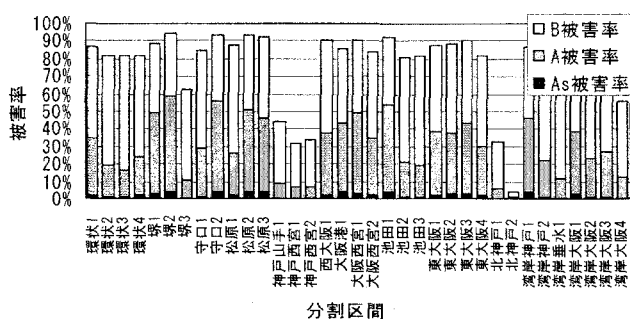
再現期間 1000 年の地震では、震災復旧をした神戸西宮線や地盤が安定している北神戸線は被害確率が低い、その他多くの区間では、80% 程度の確率で B 被害が起こる。しかし、As 被害の起こる確率は 0.5% 以下と極めて低い値である。



(a) 想定南海地震



(b) 再現期間 100 年



(c) 再現期間 1000 年

図-10 想定地震による被害率

5 まとめ

本検討では、高速道路を構成する上部工、下部工、伸縮装置などの構造形式や耐震補強整備水準を反映した区間ごとの耐震性能を検討した。得られた結論は、以下のとおりである。

- 1) 橋梁全体の被害形態を As, A, B ランクに区分し、構成要素（橋脚、伸縮装置、支承、落橋防止装置、基礎）の損傷程度との関係をフォールトツリーによりモデル化した。
- 2) 既往の研究や被災データをもとに、構成要素の被害関数を設定した。ここで、被害関数は構成要素の種類や耐震補強の有無により区分した。各構成要素の被害関数をフォールトツリーにもとづき加算、乗算することにより橋梁全体の被害関数を得た。
- 3) 阪神高速道路に影響が大きいと考えられる活断層および南海トラフを想定し、確率論的手法によりハザードマップを策定した。
- 4) 被害関数とハザードマップより、路線各区間の被害確率を算定した結果、再現期間 1000 年の稀に起こる地震でも As 被害の発生はほとんどないことを確認した。想定南海地震の場合では、地震強度の大きな区間や耐震補強の進捗がやや遅れている区間で、B 被害率が 5% を超えることがわかった。

本検討では、確率論的手法による想定地震動による被害推定を行ったが、リアルタイムに得られる強震計観測記録をもとに被害推定を行うことも可能である。地震発生直後に全体的な被害程度を把握するとともに、伸縮装置、支承部および下部工関係の被害推定結果を個別に出力することにより、効率的な緊急点検に役立てることが期待される。

今後は、耐震補強の整備水準に併せて施設データを最新のものに保ち、総合防災システムの被害予測システムの更新を行っていく必要がある。

参考文献

- 1) 加賀山 泰一, 奥西 史伸, 鈴木 直人, 澤田 吉孝: 阪神高速における地震防災システムの開発, 地震工学研究発表会講演論文集 Vol: 25-2, pp.1033-1036, 1999.
- 2) K.Miyawaki, Y.Sawanobori, F.Okunisi, N.Suzuki: The Real-Time Damage estimation system in Hanshin Expressway, Proc.of 20th REAAA Conference, 2000
- 3) 地震調査推進本部地震調査委員会, 活断層の長期評価 http://sparc1038.jishin.go.jp/main/chousa/katsu_ichiran.htm