

久世 益充¹・都竹 延晃²・岩崎 真二郎³・杉戸 真太⁴

E-mail: kuse@gifu-u.ac.jp

E-mail: r3121012@edu.gifu-u.ac.jp

E-mail: s.iwasaki.ac@c-nexco.co.jp

E-mail: sugito@gifu-u.ac.jp

Key Words : *expressway, earthquake resistance priority, interference of transportation*

1. 背景と目的

関ヶ原IC
 大垣市役所
 小牧市役所
 みよし市役所
 引佐JCT
 御殿場IC
 豊田東JCT
 三ヶ日IC
 浜松市浜北区役所
 島田市役所
 岡崎市役所
 新城市役所

新東名高速道路
 東名・神奈高速道路
 伊勢湾岸自動車道
 伊勢自動車道
 名古屋高速道路

0 50(km)

図-1 対象路線(東名・名神・新東名)と周辺の高速道路路線
(市役所名地点については表-5に後述)

本研究では、図-1に示す東名・名神・新東名高速道路

表-1 基礎データの概要

高速道路名	位置情報 (緯度, 経度, キロポスト)	構造種別 情報の有無	表層地盤情報 (ボーリング本数)
新東名高速道路	御殿場JCT～引佐JCT	—	—
	引佐JCT～豊田東JCT	○	1166本
東名高速道路	御殿場JCT～三ヶ日IC	○	—
	三ヶ日IC～小牧IC	○	964本
名神高速道路	小牧IC～関ヶ原IC	○	
	関ヶ原IC～八日市IC	—	
伊勢湾岸自動車道	豊田東JCT～四日市JCT	○	316本
東名阪自動車道	名古屋西JCT～伊勢関IC	○	364本
伊勢自動車道	伊勢関IC～伊勢IC	○	801本

2. 対象地域の概説と基礎データの整備

(1) 対象地域の概説

1章で前述したように、本研究では、主に東海地域の高速道路路線を対象にデータ収集を実施した。収集した基礎データの概説を表-1に示す。構造種別情報については50m単位に細分化し、2.(2)や3章で後述する地震動予測や耐震化優先度評価においては、50m間隔で行うこととした。地盤データについては、おおむね滋賀、岐阜、三重、愛知県内のデータが収集できているが、ボーリングデータが存在しない区間も多く見られた。さらに、静岡県のボーリングデータは未収集であることから、ボーリングデータの少ない区間と静岡県内においては、各県で整備されているメッシュ地盤データベース²⁾を用いて地盤データを補完することとした。

(2) 想定地震の選定と地震動予測結果の比較

表-2に想定地震の一覧、図-2に想定地震の断層位置をそれぞれ示す。表-2に示す複合型東海地震は、東南海地震、東海地震が連動して発生するケースを想定した³⁾。図-2に示すように、選定した想定地震は、震源域が高速道路直下にあり、地震発生時には被害などの影響が考えられる想定地震である。

前述の想定地震を対象に、高速道路路線の地震動予測を行った⁴⁾。なお、基盤地震動は著者らが開発した工学的基盤レベルの地震動予測手法(EMPR)⁵⁾、地表地震動の算定には周波数依存型等価線形手法(FDEL)⁶⁾を使用した。図-3に、東名・名神高速道路における地震動予測結果を示す。地盤データについては、2.(1)で前述したように、ボーリングデータの無い地点はメッシュ地盤データを使用している。図-2, 3を見てもわかるように、地震規模の大きな複合型東海地震が全域にわたり高震度となっていることが確認できる。また、内陸地震については、断層近傍の関ヶ原IC～岐阜羽島IC、春日井IC～岡崎IC、静岡IC～富士ICでは、他と比べて高震度となる傾向が確認できる。

表-2 想定地震の一覧

想定地震		M	地震発生確率 (30年以内)
複合型 東海地震	東海地震	8.0程度	87%
	東南海地震	8.1程度	60～70%
猿投-高浜断層帯		7.6程度	0～2%
養老-桑名-四日市断層帯		7.7程度	0～0.6%
富士川河口断層帯		8.0程度	10～18%

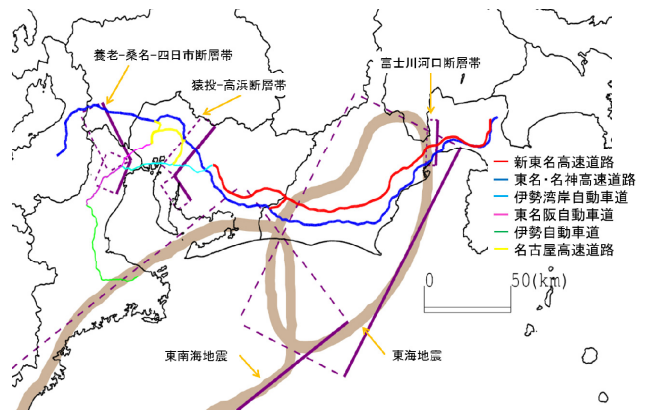


図-2 想定地震の断層位置

表-3 耐震化優先度評価指標の一覧

指標	評価式 (数字は本文中の式番号)
震度の期待値 F	$F_j' = \sum_{i=1}^4 \left\{ \left(\frac{p_i}{p_1} \right) \times \left(\frac{\delta_{i,j}}{\delta_{i,\max}} \right) \right\} \quad (1), \quad F_j = \frac{F_j'}{F_{\max}} \quad (2)$
路線重要度 I_n	$I_n = \frac{(t_n^i / t_n^e)}{I_{\max}} \quad (5)$
IC間交通機能支障度 σ	$\sigma_{k,j} = F_j \times S_{k,j} \times I_n \quad (3), \quad \begin{cases} \sigma_{1,j}: S_{1,j} = V_j \\ \sigma_{2,j}: S_{2,j} = (1 - R_j) \end{cases} \quad (4)$
非効率度 IN_n	$IN_{n,j} = \frac{(t_{n,j}^e / t_n^e)}{I_{\max}} \quad (9)$
都市間交通の通行性を考慮した交通機能支障度 σ'	$\sigma_{k,j}' = F_j \times S_{k,j} \times IN_n \quad (6), \quad \begin{cases} \sigma_{1,j}': S_{1,j} = V_j \\ \sigma_{2,j}': S_{2,j} = (1 - R_j) \end{cases} \quad (7)$

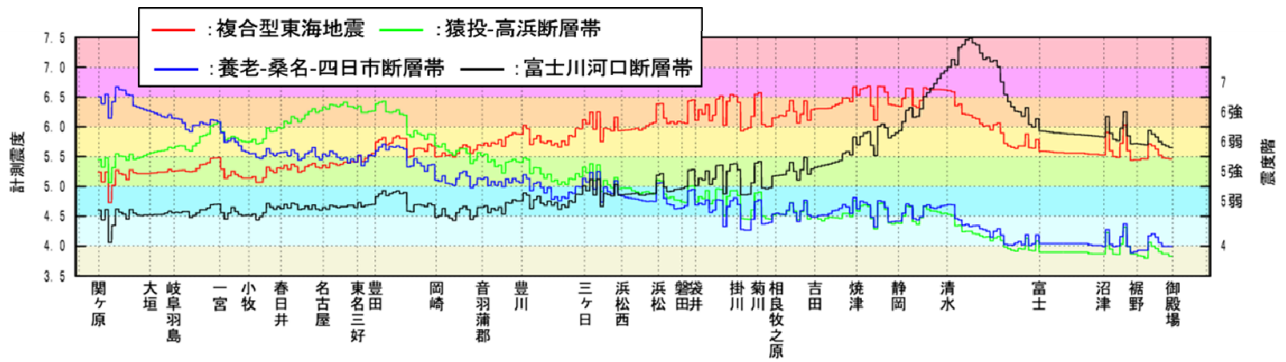


図-3 地震動予測結果の比較(東名・名神高速道路)

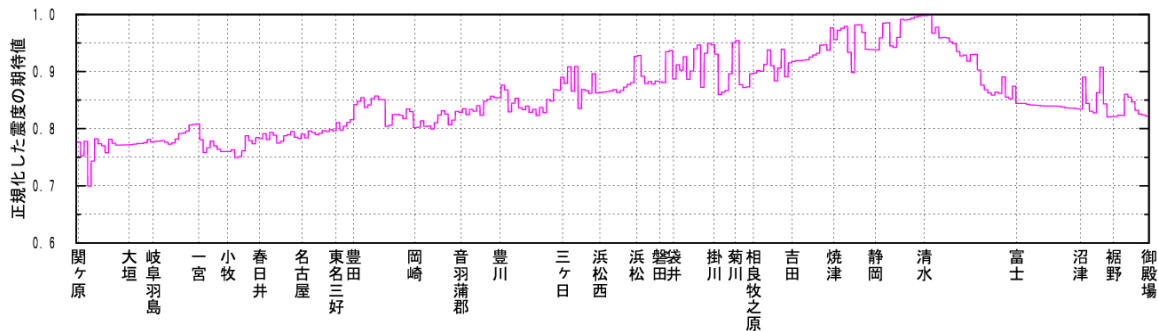


図-4 複数の想定地震を考慮した震度の期待値 F の分布

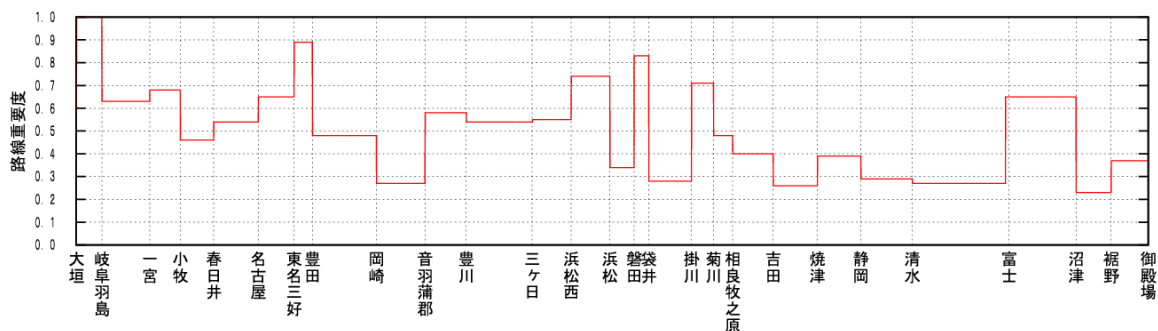


図-5 路線重要度 I の分布

3. 耐震化優先度評価の検討

(1) 概説

2章で前述した基礎データを基に、耐震化優先度評価指標の検討を行った。以下に検討した耐震化優先度評価指標について述べる。表-3に、本研究で提案した評価指標の一覧を示す。なお、各指標の説明については、次節以降に後述する。

(2) 予測震度と発生確率を考慮した震度の期待値 F

図-3に前述した地震動予測結果を用いて、複数の想定地震と、これらの発生確率を考慮した各地の相対危険度を次式により提案した⁷⁾。

$$F_j' = \sum_{i=1}^4 \left\{ \left(\frac{p_i}{p_1} \right) \times \left(\frac{\delta_{i,j}}{\delta_{1,\max}} \right) \right\} \quad (1)$$

ここに、 F_j' は地点 j の相対危険度、 p_i は表-2に示す地震 i の30年地震発生確率⁸⁾、 $\delta_{i,j}$ は地震 i 地点 j の予測震度、 $\delta_{1,\max}$ は図-3に示す複合型東海地震の最大震度、 p_1 は複合型東海地震の発生確率である。表-2に示すように、対象とした想定地震においては、複合型東海地震の発生確率が他の内陸地震と比べて高いことから、複合型東海地震の予測震度、発生確率を基準に相対的な危険度を定めることとした。

さらに、 F_j' を構造物特性を考慮した耐震化優先度評価に活用するため、 F_j' の最大値 $F_{\max}'$ で正規化した震度の期待値 F を定義した。

表-4 構造物指標の比較

(a) 脆弱度 V

構造種別	脆弱度 V				
	5弱	5強	6弱	6強	7
盛土	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
切土	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50
地山	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50
橋梁	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10
トンネル	開口部	0.04	0.08	0.12	0.20
	内部	0.02	0.04	0.06	0.08
構造境界	盛土境界	0.30	0.60	0.90	1.00
	切土境界	0.20	0.40	0.60	0.80

(b) 復旧度 R

構造種別	復旧度 R		
	1日後	1週間後	1ヶ月後
盛土	0.40	0.70	1.00
切土	0.40	0.70	1.00
橋梁	0.01	0.10	0.50
地山	0.40	0.70	1.00
トンネル	開口部	0.01	0.50
	内部	0.01	0.10
構造境界	盛土境界	0.01	0.10
	切土境界	0.40	0.70

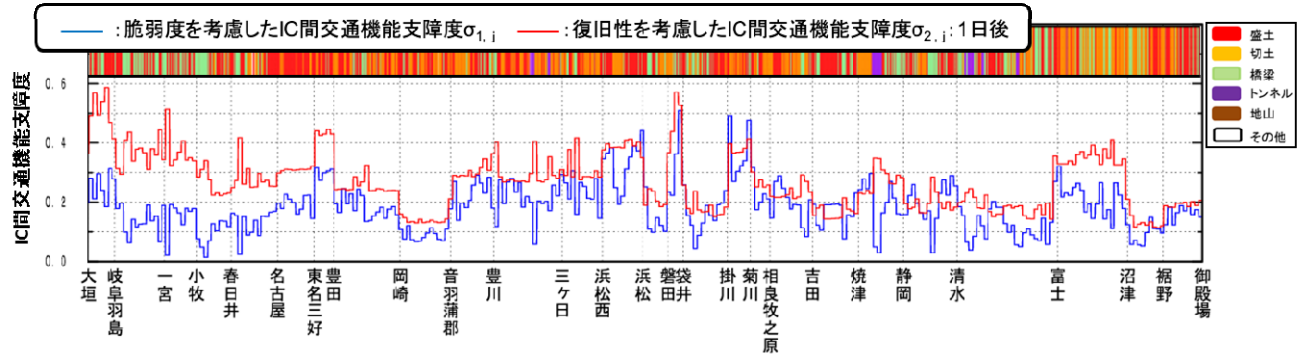


図-6 東名・名神高速道路における IC 間交通機能支障度の比較

(約 50m 単位で計算した結果を、1km 単位に集計)

$$F_j = \frac{F'_j}{F_{\max}} \quad (2)$$

図-4に、東名・名神高速道路における震度の期待値 F の分布を示す、図-3に示した各想定地震による震度分布と比較して、発生確率の高い複合型東海地震の分布形状に近い傾向を示していることがわかる。

(3) IC間交通機能支障度 $\sigma_{k,j}$

次に、構造物特性を考慮した評価指標について検討した。評価においては、式(2)に前述した地点 j における震度の期待値 F_j 、着目する指標 k (式(4)に後述)による構造物特性 $S_{k,j}$ 、地点 j が含まれるIC区間 n における路線重要度 I_n により定義される交通機能支障度 $\sigma_{k,j}$ を定義した⁹⁾。

$$\sigma_{k,j} = F_j \times S_{k,j} \times I_n \quad (3)$$

構造物特性 S は次式に示すように、構造物の被災確率に相当する脆弱度 V_j 、または、構造物が被災し、

仮復旧までに要する時間に相当する復旧度 R_j により与えることとした。なお、脆弱度 V_j 、復旧度 R_j を考慮した交通機能支障度はそれぞれ、脆弱性を考慮した IC 間交通機能支障度 $\sigma_{1,j}$ 、復旧性を考慮した IC 間交通機能支障度 $\sigma_{2,j}$ と定義した。

$$\begin{cases} \sigma_{1,j} : S_{1,j} = V_j \\ \sigma_{2,j} : S_{2,j} = (1 - R_j) \end{cases} \quad (4)$$

表-4に、構造別の脆弱度 V_j 、復旧度 R_j を示す。同表(a)の脆弱度 V_j については、高速道路盛土の被害関数¹⁰⁾を基に盛土部の脆弱度を震度階別に設定した。橋梁、トンネルは過去に地震により被害を受けた事例がほとんど無いため、盛土部の脆弱度の1/10程度と仮定した。さらに、盛土・切土と橋梁の境界部分においては、段差が生じることで通行に支障が出ることが多い部分であるため、盛土部と同程度の脆弱度を設定した。

復旧度 R_j は、被害を受けて通行不能となった場合を想定し、仮復旧に要するおおよその日数を仮定して設定した。具体的には、盛土・切土部は2009年駿河湾沖地震の復旧事例¹⁾を参考に1～10日程度の復旧日数、橋梁・トンネルは数週間以上の復旧日数であると仮定し、表-3(b)に示すように、地震後1日後、1週間後、1ヶ月後の各段

表-5 複数路線を考慮した都市間交通の非効率度の比較

市役所名		路線					複数路線に おける 非効率度 I/N_n
		一般道	東名・名神高速道路		新東名高速道路		
自	至	所要時間 (分)	所要時間 (分)	単独路線に おける非効率度	所要時間 (分)	単独路線に おける非効率度	
大垣	小牧	68	36.0	0.54			(0.54)
小牧	みよし	60	40.0	0.69			(0.69)
みよし	岡崎	43	36.0	0.86	55	1.00	0.86
岡崎	新城	66	45.0	0.70	47	0.56	0.39
新城	浜松市浜北区役所	80	67.0	0.86	45	0.44	0.38
浜松市浜北区役所	島田	70	68.0	1.00	50	0.56	0.56

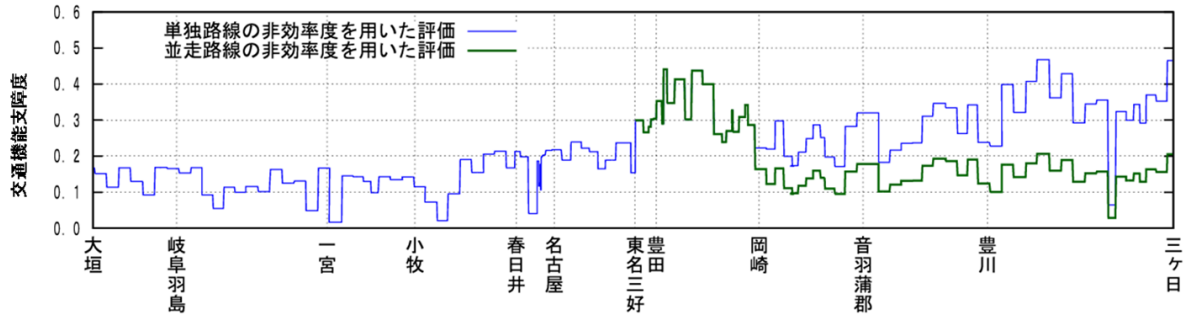


図-5 都市間交通を考慮した交通機能支障度の比較 (東名・名神高速道路における脆弱度評価)

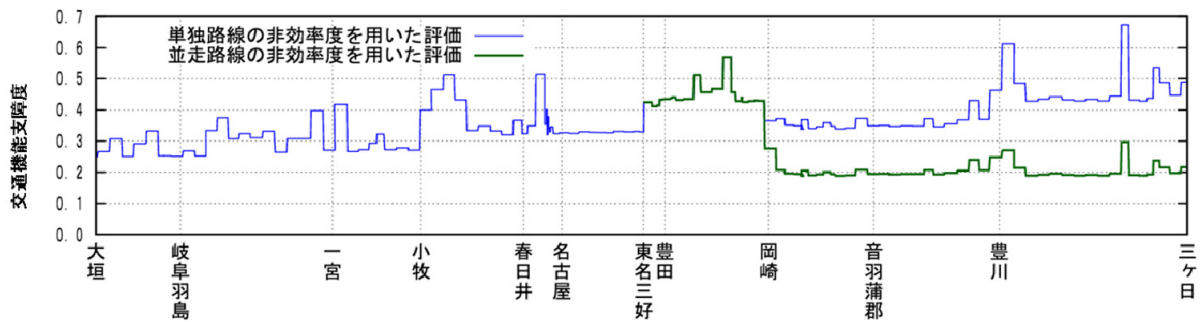


図-6 都市間交通を考慮した交通機能支障度の比較 (東名・名神高速道路における復旧度(1日後)評価)

階において仮復旧できる確率に相当する値として設定した。

路線重要度 I_n は、高速道路が通行できない場合において、一般道を迂回通行することで生じる所要時間の増加率に相当する値とした。具体的には、IC 間 n において、高速道路による通行時間 t_n^e 、同区間の一般道による通行時間 t_n^l を用いて、次式により I_n を定義した。

$$I_n = \left(t_n^l / t_n^e \right) / I_{\max} \quad (5)$$

ここに、 $I_{\max}$ は I_n の最大値である。図-5 に、路線重要度 I_n を示す。前述したように、迂回路の長い IC 間は I_n は高い。

図-6 に、東名・名神高速道路における IC 間交通機能支障度 $\sigma_{1,j}$ 、 $\sigma_{2,j}$ (地震 1 日後) を示す。表-3 に示したように、脆弱度の高い構造物は復旧度も高いため、 $\sigma_{1,j}$ 、 $\sigma_{2,j}$ は異なる傾向を示していることがわかる。

しかし、磐田 IC から袋井 IC のように、盛土・切土部と橋梁が交互に建設されている区間においては、構造物境界が多いことで $\sigma_{1,j}$ 、 $\sigma_{2,j}$ 両方が高い値となる傾向が確認できた。

(4) 都市間交通の通行性を考慮した東名・新東名高速道路の交通機能支障度 $\sigma_{k,j}'$

前節の評価結果を踏まえて、東名・新東名高速道路のような、地域をほぼ並走している高速道路路線においては、どちらか一方の高速道路が通行できれば、緊急輸送路としての通行機能は維持できると考えられる。そのため、耐震化優先度評価を考える場合は、東名高速道路単独路線よりも、東名・新東名高速道路の両路線は耐震化優先度を低くするべきである。そこで式(3)の IC 間交通支障度を拡張し、並走する路線を評価可能な、都市間交通の通行性を考慮した交通機能支障度 $\sigma_{k,j}'$ を定義した。

$$\sigma'_{k,j} = F_j \times S_{k,j} \times IN_n \quad (6)$$

なお、構造物特性 $S_{k,j}$ は、前述式(4)と同様に、脆弱性・復旧性を考慮して次式で与えられる。

$$\begin{cases} \sigma'_{1,j} : S_{1,j} = V_j \\ \sigma'_{2,j} : S_{2,j} = (1 - R_j) \end{cases} \quad (7)$$

非効率度 IN_n は、式(5)の路線重要度 I_n に相当するパラメータであり、「一般道利用に対する、高速道路(東名・新東名)利用の非効率性」を表す指標として定義した。

$$IN_n = \prod_{m=1}^2 IN_{m,n} \quad (8)$$

$$IN_{m,n} = \frac{(t_{m,n}^e / t_n^l)}{t_{\max}^m} \quad (9)$$

ここに、 $IN_{m,n}$ は、高速道路 m を利用した場合、すなわち、単独路線における非効率度、 $t_{m,n}^e$ は、区間 n の自動車移動において、高速道路 m を利用した場合の所要時間、 t_n^l は区間 n の移動に一般道を利用した場合の所要時間、 $t_{\max}^m$ は高速道路 m における、 $t_{m,n}^e / t_n^l$ の最大値である。

表-5 に、非効率度算定に用いた 2 地点(図 1 に前述した市役所地点)間の所要時間と非効率度を示す。比較のため、単独路線となる大垣市役所～みよし市役所間の非効率度も示す。表に示すように、みよし市役所～岡崎市役所間では、新東名高速道路の利用は一般道より所要時間が長くなるため、非効率度が高い。しかし、東名高速道路は一般道よりも所要時間が短くなるため、東名・新東名高速道路両路線を選択可能であると考え、式(9)により、非効率度は若干低減する。

以上の検討を基に、東名高速道路を基準に考えた、都市間交通の通行性を考慮した交通機能支障度 $\sigma'_{1,j}$ を算定した結果を図-6 に示す。東名高速道路のみと比較して、新東名高速道路により交通機能支障度が低減していることが確認できる。なお、東名三好 IC～岡崎 IC においては、交通機能支障度は変化しない。同区間は表-5 に示すみよし市役所～岡崎市役所に相当する区間であり、新東名高速道路の利用が所要時間短縮に繋がらないためである。

4. まとめ

本研究では、高速道路路線の耐震化優先度評価のため、各種の評価指標について検討した。特に、並走する路線に対する交通機能支障度について検討を行い、区間ごとの相対的な違いを比較できる指標を用いて、耐震化優先度評価を行うことができた。交通機能支障度算定に必要な脆弱度、復旧度などのパラメータにおいては、これを裏付ける資料が十分ではないため、過去の被害事例の収集や、現場技術者の経験的な知見を踏まえ、パラメータ設定を考える必要がある。また、路線重要度、非効率度は所要時間を基準に算定したが、交通量や人口分布などを考慮したパラメータの検討なども必要と思われる。

謝辞： 本研究では、NEXCO 中日本より、高速道路路線のボーリングデータ、ならびに構造物データに関する詳細な資料提供いただいた。また、元岐阜大学大学院生、丹羽健友氏、井上公究氏には、データ整備に協力をいただいた。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) NEXCO 中日本高速道路株式会社：駿河湾を震源とする地震による東名高速道路の復旧状況, <http://www.nexco.co.jp/news/1495.html>(2013 年 9 月 13 日閲覧)
- 2) 古本吉倫・久世益充・能島暢呂・杉戸真太・谷口仁士：東海地方における強地震動推定のための広域地盤メッシュデータの統合、第 14 回地盤工学シンポジウム, pp.75-80, 2002.
- 3) 久世益充・杉戸真太・能島暢呂：南海トラフの巨大地震を想定した広域震度予測、自然災害科学, Vol.22, No.1, pp.87-99, 2003.
- 4) 丹羽健友・久世益充・杉戸真太・黒木孝司：基幹交通ネットワークにおける地盤データベース整備と耐震化優先度評価の基礎的検討、第 29 回日本自然災害学会概要集, pp201-202, 2010.
- 5) Sugito, M., Furumoto, Y., and Sugiyama, T.: Strong Motion Prediction on Rock Surface by Superposed Evolutionary Spectra. 12th World Conference on Earthquake Engineering, Paper No.2111 (CD-ROM), 2000.
- 6) 杉戸真太・合田尚義・増田民夫：周波数特性を考慮した等価ひずみによる地盤震動解析法に関する一考察, 土木学会論文集, No.493/III-27, pp.49-58, 1994.
- 7) 久世益充・井上公究・杉戸真太・平井英章：地域地震危険度を考慮した基幹交通ネットワークの耐震化優先度の基礎的検討, 土木学会第 66 回年次学術講演会, I-403(CD-ROM), 2011.
- 8) 地震調査研究推進本部、長期評価, http://www.jishin.go.jp/main/p_hyoka02.htm(2013 年 9 月 18 日閲覧)
- 9) 杉戸真太・井上公究・久世益充・丹羽健友・福島淑人：高速道路の構造物被害と長期的影響を考慮した耐震化優先度評価の一考察, 平成 24 年度全国大会第 67 回年次学術講演会, I-204(CD-ROM), 2012.
- 10) 久世益充・杉戸真太・八嶋厚・三山敬・櫛田末治・近藤功規：2004 年新潟県中越地震の被災事例に基づ

(???? ?? ?? 受付)

EVALUATION OF EARTHQUAKE RESISTANCE PRIORITY IN THE EXPRESSWAY

Masumitsu KUSE, Nobuaki Tsuzuku, Shinjiro IWASAKI and Masata SUGITO

The evaluation index for the Tomei, Meishin, and Shin Tomei Expressway was considered. First, the soil structure models and structure classifications of the expressway were collected. We developed the basic data every 50 meters using by the soil and structure data. Next, the evaluation index of earthquake resistance priority was examined of the seismic intensity, important degree, and structure characteristics. The important degree define the based on the traffic times of expressway and general way. The Shin Tomei expressway is constructed in parallel with the Tomei expressway. We developed the impotent degree due to the parallel espreessway.