

2003年宮城県沖の地震における地震動強さと 高速道路運転者の反応の関係

丸山 喜久¹・山崎 文雄²

¹正会員 博(工) 千葉大学助手 工学部都市環境システム学科 (〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町1-33)
E-mail:yamaruyam@tu.chiba-u.ac.jp

²正会員 工博 千葉大学教授 工学部都市環境システム学科 (〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町1-33)
E-mail:yamazaki@tu.chiba-u.ac.jp

日本道路公団の行った2003年5月26日宮城県沖の地震時に高速道路を走行していた運転者へのアンケート調査をもとに、Simple Kriging法により推定した高速道路沿線の地震動強さと自動車運転者の反応の関係について検討を行った。その結果、計測震度4.0未満の地域を走行中の運転者のうち、地震に気付いた運転者は4割に達していないが、計測震度が4.0以上になると8割程度以上の運転者が地震を認識できるようになることが分かった。地震を認識した理由には、車両の異常な振動が最も多くあげられており、震動が車両の走行安定性に何らかの影響を与えることが推測できる。

Key Words : drivers reactions, seismic motion, questionnaire survey, Simple Kriging, spatial distribution

1. はじめに

気象庁では、観測員の体感や周囲の被害状況をもとに決定されていた震度を1996年から計測化している¹⁾。震度の計測化にあたっては、計測値が旧震度と整合するように算出方法を定めた²⁾ので、気象庁震度階級関連解説表¹⁾では震度階級と周辺の現象、被害に関する記述が残されている。近年の地震では、計測震度と震度階級から想定される被害の乖離が指摘されているが³⁾、震度は防災関係機関や住民を対象とした防災情報として広く用いられている。

平成8年2月の震度階級関連解説表では、震度4で「自動車を運転していて、揺れに気付く人がいる」、震度5強で「自動車の運転が困難となり、停止する車が多い」と記述されている¹⁾。また、東京都による震度階級解説表⁴⁾では、車輪がパンクしたような感じがする、ハンドルをとられるような感じがするなど、地震動強さと自動車運転者の反応の関係について詳細に記載されているが、地震時の運転者の反応について検討している研究例は少なく⁵⁾、このような客観的な記述を行うのに十分な検討材料があったとは考えにくい。一方、平成16年4月の自動車保有車両数の調査⁶⁾によると約7700万台(二輪車含む)の車両が全国に存在する。地震時に多くの車両が走

行していることも十分に予想され、地震動強さと運転者の反応の関係について評価しておくことは意義があるものと考えられる。

Kawashima *et al.*⁷⁾は日本海中部地震と千葉県東方沖地震時における運転者へのアンケート調査を、近畿通商産業局は兵庫県南部地震時のアンケート調査をそれぞれ実施している⁸⁾。これらの調査結果では、地震動強さと運転者の反応の関係については、地震計の数がまだそれほど多くなかったこともあり、あまり詳細には検討されていない。

そこで、本研究では日本道路公団(JH)が実施した2003年5月26日宮城県沖を震源とする地震時(以下、宮城県沖の地震と呼ぶ)の高速道路運転者へのアンケート調査の結果を、走行区間の地震動強さに着目し整理した。

2. 地震動強度指標の分布推定

地震動の空間分布を推定する方法は様々あるが、本研究では、確率的空間補間手法のうち平均値(トレンド成分)と共分散を既知とするSimple Kriging法を用いた^{9), 10)}。2003年宮城県沖の地震における東北地方6県のK-NET観測点132地点と、JHが配備してい

る52地点の計184地点の地震データから地震動強度の空間分布を推定した。

空間補間の際には、地盤・地形条件の影響を取り除くため、地震動の地盤増幅度を用いる必要がある。地盤増幅度は、国土数値情報を用いて1kmメッシュ単位で算定されている¹¹⁾⁻¹⁴⁾に加えて、最近では、より細かいメッシュ単位で推定が行われたりもしている^{15),16)}。本研究では、大西ら¹³⁾の国土数値情報を用いた1kmメッシュの地形・地質分類の「山地」を基準とする地盤増幅度を用いた。ただし、K-NET観測点が位置するメッシュの地盤増幅度に関しては、Shabestari and Yamazaki¹⁷⁾により得られた距離減衰式の地点係数より以下のように算出した。

$$\log_{10} ARA_i = c^A_i - c^A_0 \quad (1)$$

$$ARI_i = c^I_i - c^I_0 \quad (2)$$

ここで、 ARA 、 ARI は最大加速度 (PGA)、計測震度 (I)の地盤増幅度で、 c_i はK-NET観測点の地点係数、 c_0 は大西ら¹³⁾の「山地」の平均地点係数 ($c^A_0=0.107$ 、 $c^I_0=0.554$)である。

本研究の地震動分布推定法の流れを図-1に示す。まず、地表面の地震動観測値 PGA_{si} 、 I_{si} を地盤増幅度を用いて基盤面における PGA_{bi} 、 I_{bi} に変換する。

$$PGA_{bi} = PGA_{si} / ARA_i \quad (3)$$

$$I_{bi} = I_{si} - ARI_i \quad (4)$$

次に、基盤面における地震動指標値を用いて距離減衰式を作成する。本研究により得られた距離減衰式は以下のようである。

$$\log_{10} PGA = 4.768 - \log_{10} r - 0.0050r \quad (5)$$

$$I = 9.014 - 1.89 \log_{10} r - 0.0085r \quad (6)$$

ここで、 r は断層面最短距離で国土地理院の作成した断層モデル¹⁸⁾より算出した。図-2に、基盤面における計測震度の距離減衰特性を示す。

次に、距離減衰式(平均値成分)と基盤面地震動指標値の残差を平均値0の正規確率場と仮定してSimple Kriging法で補間した。相関距離は5.0kmとした¹⁹⁾。このようにして得られた任意地点の残差に基盤面における平均値成分を加えた。最後に、式(3)、(4)を用いて、基盤面の地震動推定値から地表面の推定値を算出した。この地震動分布推定法では、地震観測点での推定結果は観測値と一致する。図-3に、計算領域の一部地域における計測震度分布を示す。Simple Kriging法による推定結果の妥当性は山崎ら¹⁹⁾

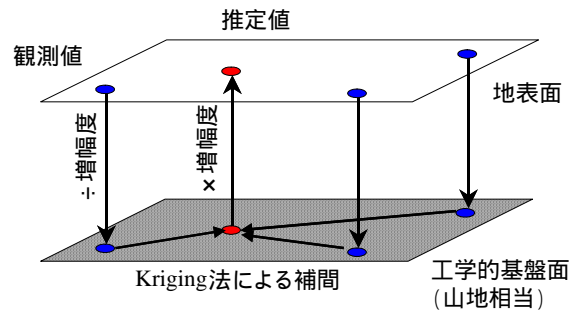


図-1 本研究の地震動分布推定法

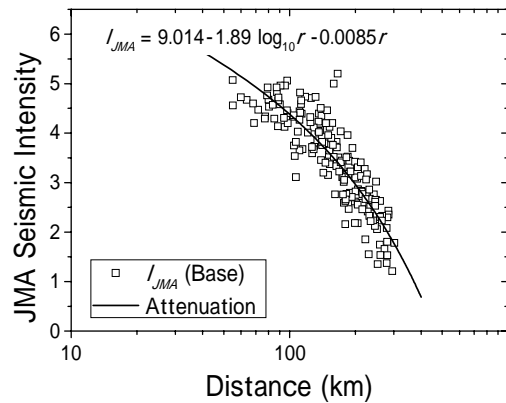


図-2 基盤面計測震度の距離減衰特性

や斎田ら²⁰⁾が示している。

本研究では、高速道路沿線の地震動分布を推定する必要がある。Simple Kriging法により得られた二次元の地震動分布から、高速道路線形に沿った地震動分布を抽出した。例として、東北道の一部区間の計測震度分布を示す(図-4)。

3. 地震動強さと運転者反応の関係

(1) アンケートの概要

JHでは、2003年5月26日に発生した宮城県沖の地震時に高速道路を走行中であった運転者にアンケート調査を行った²¹⁾。地震による通行止め及び速度規制が実施された主要料金所においてアンケート用紙を配布し、206件の回答を得た(回答率1%)。回答者の男女比は、男性195名、女性11名であり、平均年齢44.3歳(標準偏差10.7歳)である。詳細なアンケート項目は付録に示す。

(2) 地震動強さと地震認知度

地震動強さと運転者の地震認知の割合について評価する。アンケート結果から、運転者の走行区間が得られるので、図-5に示すような重み付き平均でその区間の地震動強さを決めた。

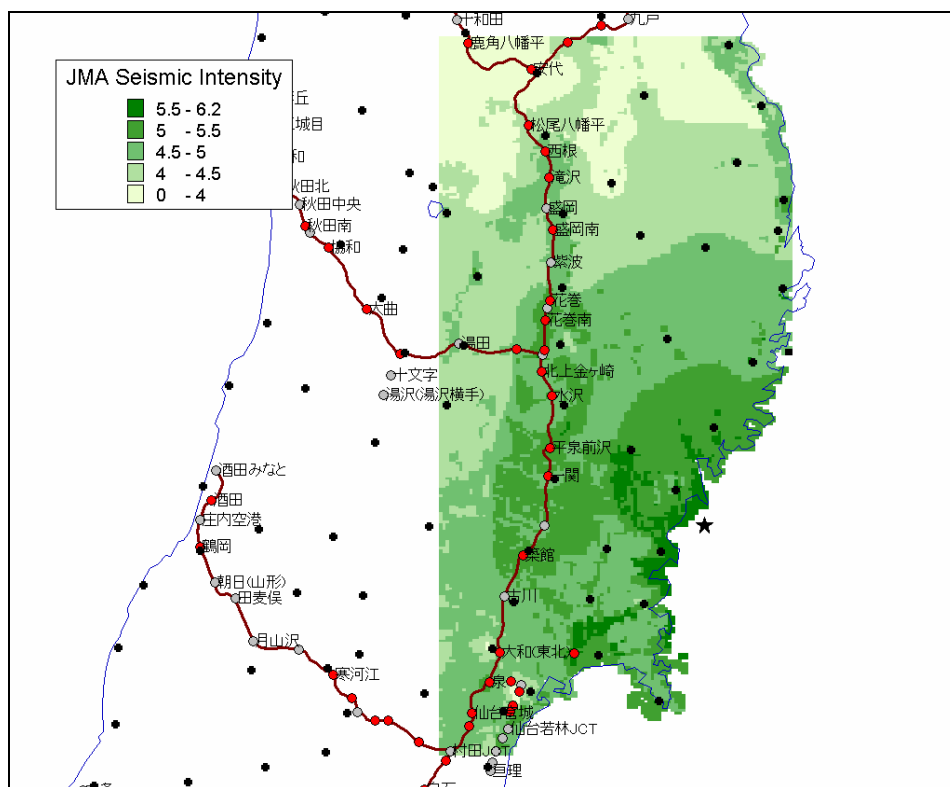


図-3 Simple Kriging 法により推定した宮城県沖の地震の計測震度分布

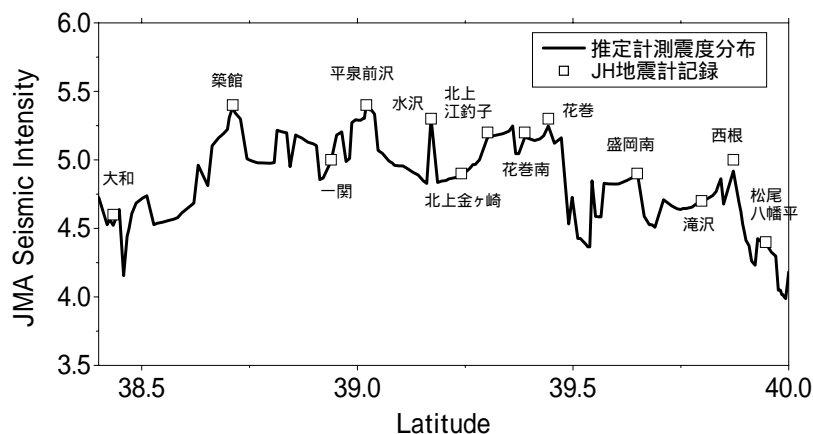


図-4 東北道一部区間の推定計測震度分布

$$\bar{X} = \sum x_i r_i / \sum r_i \quad (7)$$

ここで、 x_i は高速道路上のある位置における地震動指標値、 r_i はその代表長さ、 \bar{X} は区間平均地震動指標値である。

図-6に、地震動強さと運転者の地震認識の割合の関係を示す。地震動強さが大きくなるにつれて、地震を認識しなかった運転者の割合が小さくなる傾向が現れている。計測震度4.0未満では、地震に気付いた運転者は4割に達していないが、計測震度が4.0以上になると8割程度以上の運転者が地震を認識するようになる。計測震度と地震認識程度の相対頻度分布(図-7)を見ても、地震を直後またはしばらく

してから認識した運転者は、計測震度4.5以上になると急に増えてくる。一方、地震時に異常を全く感じなかった運転者は、計測震度4.5以下が6割以上を占めている。また、Kawashima *et al.*⁷⁾が指摘しているように、震度5以上(計測震度4.5以上)の地域を走行している運転者の中でも、地震に気付かなかった人もいた。

計測震度が4.5以上の区間を走行していた運転者に関して、車種と地震認識の程度を評価した(図-8)。これによると、乗用車、中型車、大型車と車体が大きくなるにつれて、地震認識の割合が低下していく傾向が見られる。車体が大きいほど重心が高くなって、地動加速度による慣性力の影響は大

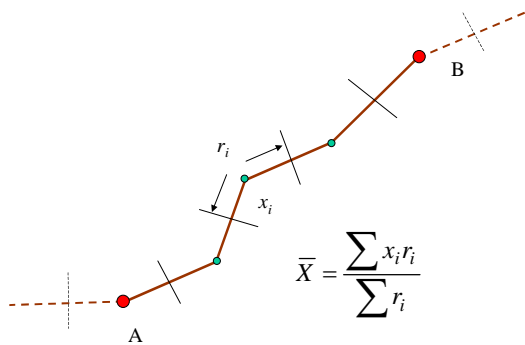
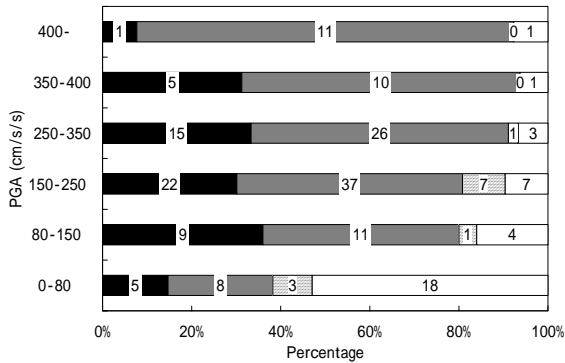
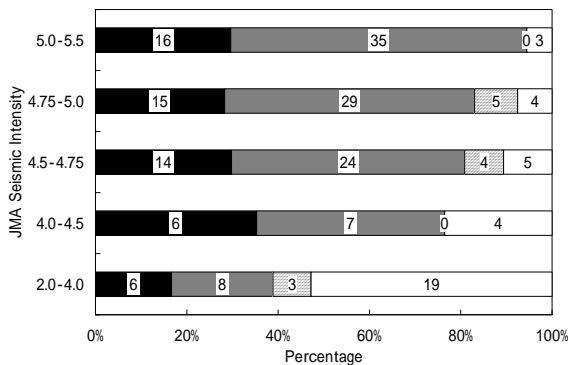


図-5 高速道路区間の重み付き平均



(a) PGA



(b) 計測震度

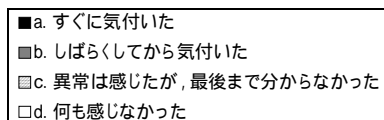


図-6 地震動強さと地震認知度の関係

きいと思われるが、今回の結果からは逆の知見が得られた。大型車両は通常走行時の車両の振動が乗用車タイプのもの比べて大きいので震動に気付きにくいということや、大型車と普通自動車のサスペンション構造の違いなど様々な要因が影響していると考えられ、車種と地震時の走行安定性の関係については、今後検討が必要であろう。

地震を認識できた理由（複数回答可）としては、車の異常な振動を感じたと答える運転者が最も多く、

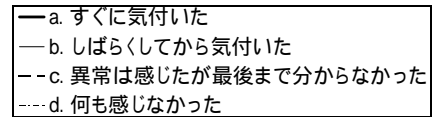
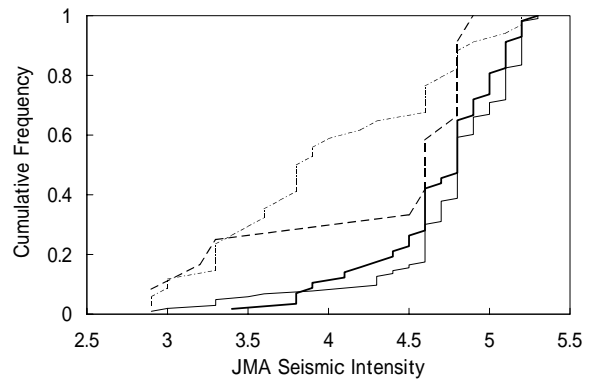


図-7 計測震度に対する地震認知程度の相対頻度分布

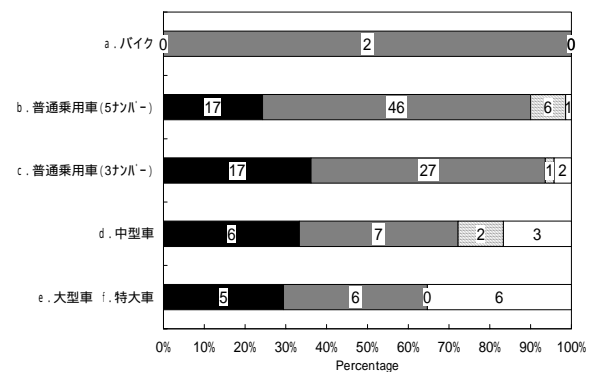


図-8 車種ごとの地震認知程度（凡例は図-6と同じ）

周辺の道路施設や家屋の振動を見たためと答える運転者も2割程度いる（図-9）。このことから、地震の影響で車両が通常とは異なる振動特性を示すということが想像され、安定走行に何らかの影響を与えられると思われる。また、計測震度の大小による回答の明確な違いはとくに見られない。

(3) 地震時の走行の様子

アンケートでは、地震時にどのような走行を行ったかを調査している（複数回答可）。地震を認識した運転者についての結果をまとめたものを図-10に示す。計測震度4.0未満の地域を走行している地震認識運転者の約4割は、地震を感じながらもそのまま走行している。計測震度が大きくなるにつれて、その割合は小さくなり計測震度が4.75以上になると10%程度になる。また、計測震度4.5以上の地域を走行していた地震認識運転者のうち、2割以上が路肩に停車しており、その割合は計測震度の増加とともに大きくなる。全体としては、ゆるやかに減速した人が最も多く、計測震度4.0程度から路肩などに停車する運転者が見られる。また、走行車線上に停

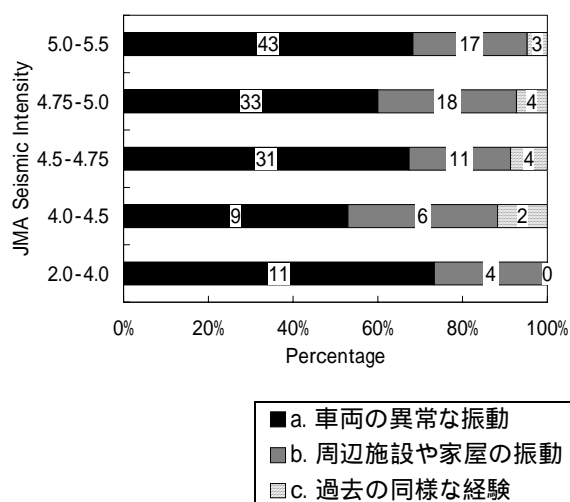


図-9 地震を認識した理由

車した運転者が3名見られた。

4. 結論

本研究では、日本道路公団（JH）が行った2003年5月26日に発生した宮城県沖の地震時のアンケート調査結果をもとに、地震動強さと運転者の反応の関係について検討を行った。

K-NET観測点とJHが高速道路沿線に配備している地震計の記録を用いて、Simple Kriging法による空間補間を行い高速道路沿線の地震動分布を推定した。推定された地震動強さに基づきアンケート調査による運転者の反応を評価すると、計測震度4.0未満の区間を走行している運転者のうち、地震に気付いた運転者は4割に達していないが、計測震度が4.0以上になると8割程度以上の運転者が地震を認識するようになる。また、計測震度5.0以上の地域を走行している運転者の中でも、地震に気付かなかった人も見られた。地震を認識できた理由としては、車の異常な振動が最も多くあげられており、地震動は安定走行に何らかの影響を与えらると思われる。

地震を認識した運転者のうち、計測震度4.0未満の地域を走行していた運転者の約4割は、地震を感じながらもそのまま走行している。計測震度が大きくなるにつれて、その割合は小さくなり計測震度が4.75以上になると10%程度になる。計測震度4.5以上の地域を走行していた地震認識運転者のうち2割以上が路肩に停車していた。

今回のアンケート調査では、乗用車、中型車、大型車と車体が大きくなるにつれて、地震認識の割合が低下していく傾向が見られた。車体が大きいほど、重心が高くなり地動加速度による慣性力の影響は大

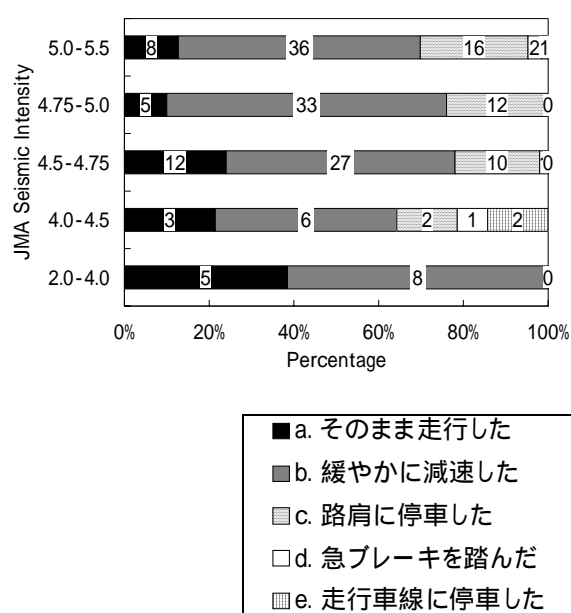


図-10 地震認識者の地震時の走行状況

きいと思われるが、今回の結果からは逆の知見が得られた。このことには、走行状況など様々な要因が影響していると考えられるので、結論づけるには、今後さらに地震体験運転者へのアンケート調査等を行う必要がある。

謝辞：本研究で使用したアンケートデータは、日本道路公団より提供頂いた。記して、謝意を表する。

付録 アンケート項目

日本道路公団の行ったアンケート項目は以下の通りである。

・地震発生時、どこを走行していましたか？

・地震だと分かりましたか？

- すぐに分かった
- 異常を感じたが、しばらくしてから地震だと分かった
- 異常は感じたが、最後まで地震とは分からなかった
- 特に何も感じなかった

・なぜ地震だと分かりましたか？（複数回答可）

- 車両の異常な振動を感じた
- 周辺の道路施設（照明塔など）や家屋が振動しているのを見て
- 過去に同様の経験があった

・地震直後にどのような異常を感じましたか？（複数回答可）

- 路面の凹凸による車両の振動
- タイヤのパンク
- めまい

d. その他 ()

地震時にどのように走行しましたか？(複数回答可)

- a. そのまま走行した
- b. ゆるやかに減速した
- c. 路肩に停車した
- d. 急ブレーキを踏んだ
- e. 走行車線上に停車した

参考文献

- 1) 気象庁：震度を知る，ぎょうせい，1996.
- 2) 鉢嶺猛：震度の計測化について，験震時報，Vol. 52, pp. 43-68, 1989.
- 3) 境有紀，神野達夫，瀧澤一：建物被害と人体感覚を考慮した震度算定方法の提案，第11回日本地震工学シンポジウム論文集，CD-ROM, 2002.
- 4) 嶋悦三：わかりやすい地震学，鹿島出版会，1995.
- 5) 丸山喜久，山崎文雄：ドライビングシミュレータを用いた地震時運転者の反応特性に関する基礎的検討，土木学会地震工学論文集，Vol. 27，CD-ROM，8p，2003.
- 6) 社団法人 日本自動車連盟ホームページ：<http://www.jaf.or.jp/data/carnum.htm>
- 7) Kawashima, K., Sugita, H. and Kanoh, T.: Effect of earthquake on driving of vehicle based on questionnaire survey, *Structural Eng. / Earthquake Eng.*, Japan Society of Civil Engineers, Vol. 6, pp. 405-412, 1989.
- 8) 山之内宏安，山崎文雄：運転シミュレータを用いた地震時の走行安定性に関する検討，第25回地震工学研究発表会講演論文集，pp. 1049-1052，1999.
- 9) Deutsch, C.V. and Journel, A.G.: *Geostatistical Software Library and User's Guide*, Oxford University Press, 1992.
- 10) 野田茂，星谷勝：条件付き確率場の補間法に関する一提案，鳥取大学工学部研究報告，Vol. 28，pp. 175-197，1997.
- 11) 松岡昌志，翠川三郎：国土数値情報を利用した広域震度分布予測，日本建築学会構造系論文報告集，第447号，pp. 51-56, 1993.
- 12) 福和伸夫，荒川政知，西阪理永：国土数値情報を活用した地震時地盤増幅度の推定，構造工学論文集，Vol. 44B, pp. 77-84, 1998.
- 13) 大西淳一，山崎文雄，若松加寿江：気象庁記録の距離減衰式に基づく地盤増幅特性と地形分類との関係，土木学会論文集，No. 626/I-48, pp. 79-91, 1999.
- 14) 藤本一雄，翠川三郎：日本全国を対象とした国土数値情報に基づく地盤の平均S波速度分布の推定，日本地震工学学会論文集，Vol. 3, No. 3, pp. 13-27, 2003.
- 15) 齋田淳，松岡昌志，Shabestari, K.T., 山崎文雄：兵庫県内の強震観測点における地震記録と常時微動記録を用いた計測震度分布の推定，土木学会論文集，No. 731/I-63, pp. 159-168, 2003.
- 16) 若松加寿江，松岡昌志，久保純子，長谷川浩一，杉浦正美：日本全国地形・地盤分類メッシュマップの構築，土木学会論文集，No. 759/I-67, pp. 213-232, 2004.
- 17) Shabestari, K.T. and Yamazaki, F.: Attenuation relation of strong ground motion indices using K-NET records, 第25回地震工学研究発表会，pp. 137-140, 1999.
- 18) 国土地理院：<http://www.gsi.go.jp/WNEW/PRESS-RELEASE/2003/0527.htm>
- 19) 山崎文雄，大西淳一，田山聡，高野辰雄：高速道路構造物に対する地震被害推定式の提案，第10回日本地震工学シンポジウム論文集，Vol. 3, pp. 3491-3496, 1998.
- 20) 齋田淳，Shabestari, K.T., 松岡昌志，山崎文雄：鳥取県西部地震及び芸予地震の計測震度の空間分布推定，第11回日本地震工学シンポジウム論文集，pp. 2265-2270, 2002.
- 21) 河北新報：2003年9月1日朝刊，2003.

(2004. 9. 9 受付)

RELATIONSHIP BETWEEN SEISMIC INTENSITY AND DRIVERS' REACTION IN THE 2003 MIYAGIKEN-OKI EARTHQUAKE

Yoshihisa MARUYAMA and Fumio YAMAZAKI

The relationship between the seismic intensity and the reactions of expressways drivers was investigated based on the questionnaire survey conducted by Japan Highway Public Corporation in the 2003 Sanriku-Minami earthquake. Only 40 % of drivers were aware of the earthquake in the areas where the Japan Meteorological Agency (JMA) seismic intensity is smaller than 4.0. On the contrary, more than 80 % of drivers recognized the earthquake in the areas where the JMA seismic intensity is larger than 4.0. The abnormal vibration of the vehicle was indicated as the reason why the drivers recognized the earthquake. Hence, the seismic motion is considered to affect the safe and stable driving.