

地形分類, ボーリングデータに基づく増幅度を 考慮した2005年福岡県西方沖地震の 地震動分布推定

福島 康宏¹・末富 岩雄¹・石田 栄介¹・磯山 龍二¹・丸山 喜久²・山崎 文雄³

¹日本技術開発株式会社 リサーチ・エンジニアリング事業部 (〒164-8601 東京都中野区本町5-33-11)

E-mail: fukusimaya@jecc.co.jp, suetomi-i@jecc.co.jp, isida@jecc.co.jp, isoyama-ryo@jecc.co.jp

²千葉大学助教 大学院 工学研究科 建築・都市科学専攻 (〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町1-33)

E-mail: ymaruyam@tu.chiba-u.ac.jp

³千葉大学教授 大学院 工学研究科 建築・都市科学専攻 (〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町1-33)

E-mail: yamazaki@tu.chiba-u.ac.jp

2005年福岡県西方沖の地震における被災地域の地形情報, 地盤ボーリング情報を収集した. 地形分類およびボーリングデータのそれぞれから表層地盤の地震動増幅特性を評価できるが, ボーリングデータが密なところではボーリングデータに基づく評価に, 疎なところでは地形分類に基づく評価となるように両者の統合を行い, 地震動増幅特性の面的分布を求めた. この面的な増幅特性分布を考慮して福岡県西方沖の地震の観測地点地震動を空間補間することにより, 面的な地表面地震動分布を作成した.

Key Words : *The west off Fukuoka prefecture earthquake in 2005, Amplification factor of shallow soil deposits, Mean shear wave velocity, Spectral Intensity*

1. はじめに

2005年3月20日10時53分頃発生した福岡県西方沖の地震(Mj7.0)は, 1995年兵庫県南部地震以降に急速に整備された強震観測網のもとで, はじめて100万人都市が強震動に見舞われた事例であり, 強震域の福岡市内では防災科学技術研究所K-NETや気象庁, 福岡県といった公的機関のほか, 西部ガス(株)や(株)建設技術研究所など, 各機関により貴重な強震記録が多数得られている.

本検討では, 地震動と構造物被害との関係の分析に資する目的で, 強震域における地形情報, 地盤ボーリング情報を収集し, この両者を考慮した, 表層地盤の地震動増幅特性の面的評価を行う. また, この地震動増幅特性を考慮して強震観測点での観測値を空間補間することにより, 地表面での面的な地震動分布を作成する. なお, 本検討で対象とする地震動指標は, 地震時の都市ガス供給停止判断や土木構造物の被害推定に用いられているSI値とする.

2. 地盤増幅度の評価

地盤増幅度を評価する方法は, 地形分類に基づく方法と, ボーリングデータを用いる方法に大別される. 地形分類に基づく方法として, 以前は国土数値情報に基づく1kmメッシュでの地形分類が用いられてきた¹⁾が, 近年では, 若松ら²⁾により, 新しい分類が提案され, 全国を対象に1kmメッシュデータベースが作成されている. 一方, ボーリングデータを用いるものとして, 東京ガス³⁾では, 首都圏の約6万本のボーリングデータを収集し, 各点の深さ20mまでの平均S波速度を評価し, これを空間補間することにより, 50mメッシュ単位でのデータを作成している. これにより, 同一地形分類内でも大小があり, 特に東京東部低地で揺れやすいという詳細な増幅度マップを構築している.

地形分類は, 地盤増幅度を評価する際には現状では平均S波速度を地形分類に応じて評価することを介しているので, ボーリングデータによるN値からの推定の方が直接的である. しかしながら, 地形分類は全国を対象に整備されているのに対し, 十分な密度を有するボーリン

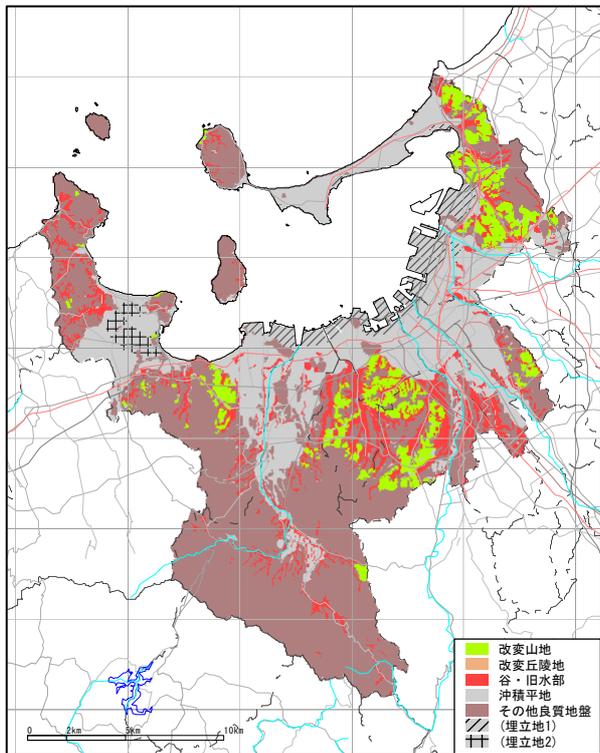


図-1 福岡市地形分類

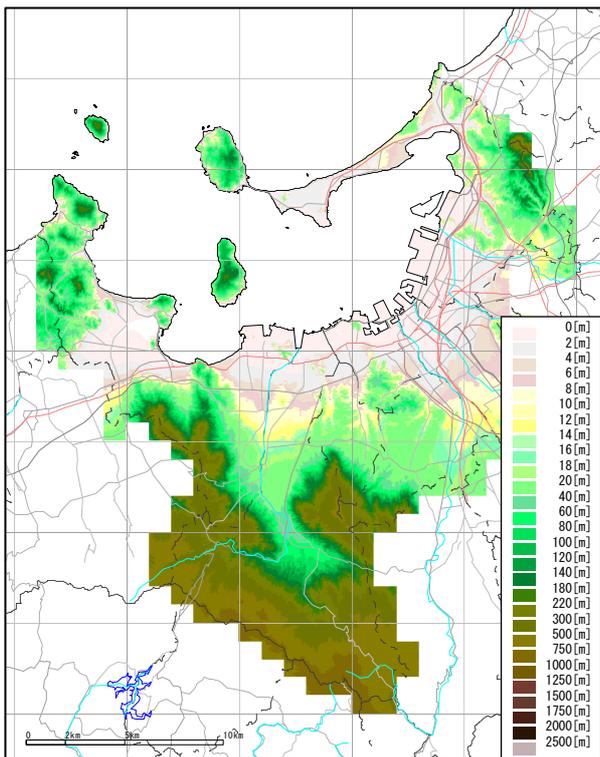


図-2 50mメッシュ標高

グデータのデータベースを構築することは、大都市圏以外では困難であるなど、それぞれ一長一短がある。これまでは二者択一の問題として捉えられることが多かったが、両者を統合して地盤パラメータを評価する方法が末富ほか⁴⁾により提案され、2004年新潟県中越地震での地震動分布推定に適用されている。本検討でも、末富ほかと同様の手法により統合評価を行う。

表-1 福岡市地形分類に基づくVs30評価係数

福岡市地形分類での地形・表層地質	翠川・松岡(1995)での分類	係数		標高の範囲	
		a	b	下限	上限
改変山地・改変丘陵部	Plateau	2.00	0.28	10m	400m
谷・旧水部	Valley plain	2.07	0.15	10m	500m
沖積平地	Delta	2.34	0.00	—	—
その他良質地盤	Mountain	2.64	0.00	—	—
埋立地1, 埋立地2	Reclaimed land	2.23	0.00	—	—

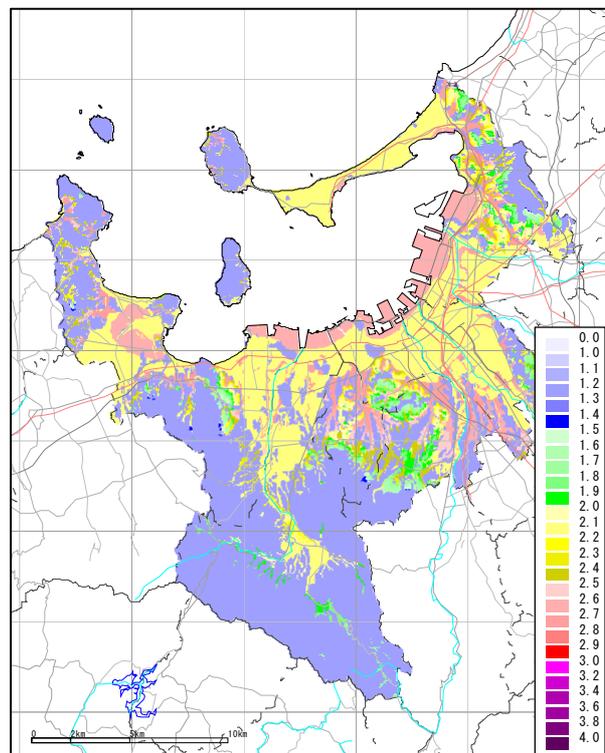


図-3 地形分類に基づき評価したSI値増幅度

(1) 地形分類に基づく増幅特性の評価

福岡県西方沖の地震での強震域にあたる福岡市では、図-1に示す地形分類図が1984年に作成されている⁵⁾。本検討では、これを50mメッシュ(標準地域メッシュ第3次区画の20×20分割)単位に分割して用いる。

地震動の増幅度は、図-1の地形分類から直接関係づけるのではなく、地形分類と図-2に示す標高データとから、松岡・翠川の方法⁶⁾によりいったん深さ30mまでの平均S波速度Vs30の評価を行う。

$$\log(Vs30) = a + b \log H \quad (1)$$

ここで、 a 、 b は表-1に示す係数、 H は標高[m]である。現状では、Vs30とSI値増幅度との関係づける式がなく、かつ最大速度とSI値の差は数%であるので、最大速度の増幅度ARVとSI値増幅度ARSIとが等しいと仮定し、Midorikawa et al.⁷⁾による、Vs30とARVの関係式を用い、

$$\log(ARSI) = -0.66 \cdot \log(Vs30) + 1.83 \quad (2)$$

で与える。得られたSI値増幅度分布を図-3に示す。

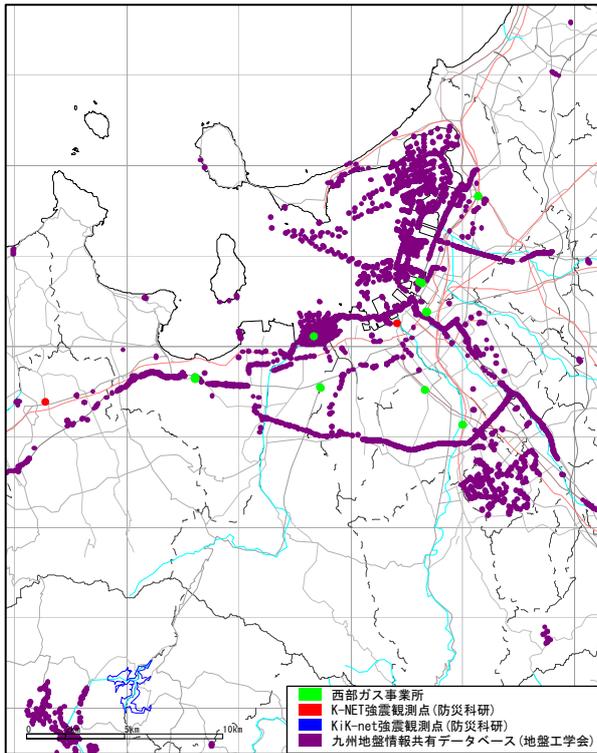


図-4 福岡市周辺のボーリング位置

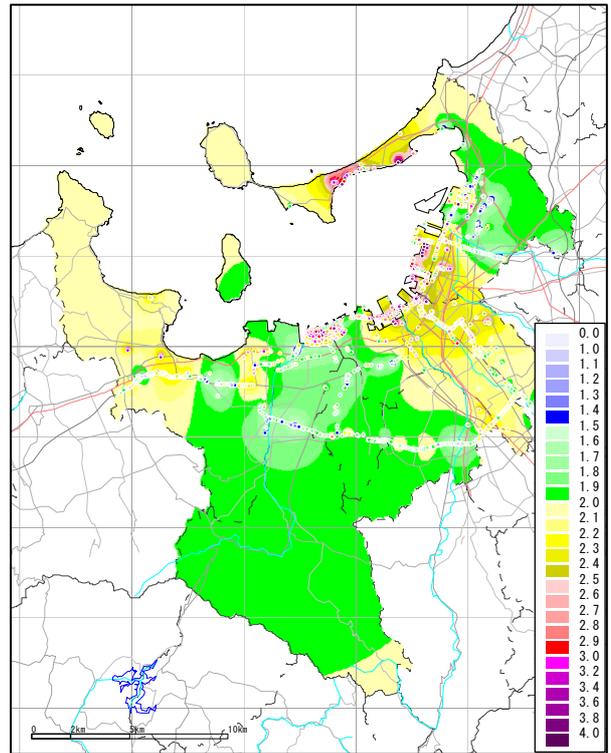


図-5 ボーリングデータに基づき評価したSI値増幅度

(2) ボーリングデータに基づく増幅特性の評価

福岡市周辺におけるボーリングデータについては、(社)地盤工学会九州支部⁸⁾より「九州地盤情報共有データベース」CD-R が公開されており、福岡市内では 1779 本のデータが存在する。その他、西部ガス(株)より提供を受けたボーリング 26 本、(独)防災科学技術研究所で公開されている K-NET⁹⁾観測点でのボーリング 1 本を加えた計 1806 本を用いる。これらの分布を図-4 に示す。

まずは、ボーリング地点での深さ 20m までの平均 S 波速度 V_{s20} を評価する。 V_{s20} の計算には走時(総総厚 20m を波動伝達所要総時間で除す方法)を用いている。

$$V_{s20} = \frac{\sum_k H_k}{\sum_k V_{s_k}} = \frac{20}{\sum_k \frac{H_k}{V_{s_k}}} \quad (3)$$

(k はボーリングの層番号)

なお、各層の平均 S 波速度 V_{s_k} は、防災科研 K-NET 強震観測点のボーリングについては PS 検層からの S 波速度を、それ以外(九州地盤情報共有データベース、西部ガスのボーリング)は、平均 N 値 N_k と土質種別から、道路橋示方書¹⁰⁾の式を用いて計算している。

$$V_{s_k} = 100N_k^{1/3} \quad (\text{粘性土}) \quad (4)$$

$$V_{s_k} = 80N_k^{1/3} \quad (\text{砂質土}) \quad (5)$$

次に、S 波速度 600[m/s]相当の工学基盤に対する SI 値増幅度は、田村ら¹¹⁾による下式を用いて計算する。

$$\log(ARSI) = -0.785 \cdot \log(V_{s20}) + 2.18 \quad (6)$$

以上のように評価された SI 値増幅度を 50m メッシュ単位で補間した結果を図-5 に示す。補間は、各参照値の対数に距離の 2 乗分の 1 の重みをつけて平均値計算を行うことにより算出している。

(3) 統合評価

図-3 に示した地形分類に基づく増幅度と図-5 に示したボーリングデータに基づく増幅度とを比較すると、図-5 で見られる、海の中道付近、箱崎埠頭付近、那の津付近などで局所的に増幅度が大きい様子は地形分類では捉えることができない。一方、山地部などボーリングデータがない地域にまでボーリングデータを適用するのは無理がある。そこで、両者を統合して評価する。

地形分類に基づく地盤パラメータとボーリングデータに基づく地盤パラメータを統合して評価する方法は、末富ほか⁴⁾によって提案されており、2004 年新潟県中越地震での地震動分布推定に適用されている。末富らの提案では、深さ 30m までの平均 S 波速度 V_{s30} を統合しているが、前項(2)のボーリングデータに基づく増幅特性の評価では、増幅度を求めるための地盤パラメータとして V_{s30} ではなく V_{s20} を用いていることから、本検討では、平均 S 波速度同士を統合するのではなく、SI 値増幅度

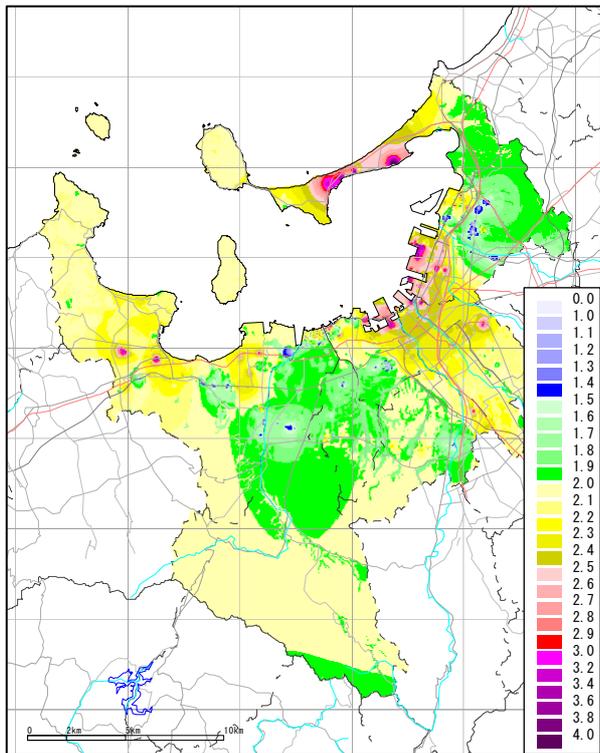


図-6 地形分類とボーリングデータの統合処理によるSI値増幅度

同士を末富ほかの式を用いて統合することとする。

メッシュ j での統合増幅度 \overline{ARSI}_j は、以下の式で求める。

$$\overline{ARSI}_j = \frac{\sum_{i=1}^N w_{ij} ARSI_i + w_g ARSI_g}{\sum_{i=1}^N w_{ij} + w_g} \quad (7)$$

$$w_{ij} = \frac{\xi}{r_{ij}^n}, \quad w_g = \frac{1}{r_g^n} \quad (8)$$

ここで、

$ARSI_i$: i 地点のボーリングデータによるSI値増幅度

$ARSI_g$: 地形分類によるSI値増幅度

(最大速度増幅度と同じと仮定)

w_{ij} : ボーリングデータの重み

w_g : 地形分類の重み

r_{ij} : ボーリング地点 i とメッシュ j 間の距離 [km]

$r_g = 1$ [km]

である。 ξ は、地形分類が同じである点の重みを増すための係数であり、末富ほかと同様に、 i 地点とメッシュ j とで地盤分類が同じ場合 10、異なる場合 1 を与える。また、 n は石田ほか¹²⁾によるSI値増幅度評価と同様に、

表-2 補間推定に用いた強震観測点での観測値一覧

強震観測点	経度 [deg]	緯度 [deg]	SI値 [kine]
導管保安C[西部ガス]	130.4148	33.6120	44
松島[西部ガス]	130.4371	33.6234	42.92
西光[西部ガス]	130.4296	33.6065	42.59
茶山[西部ガス]	130.3659	33.5617	41.36
福岡空港[西部ガス]	130.4435	33.5887	39.06
原田[西部ガス]	130.4401	33.6148	37.57
駅東[西部ガス]	130.4243	33.5903	23.82
博多駅[西部ガス]	130.4237	33.5876	21.10
松崎[西部ガス]	130.4429	33.6359	20.79
山王[西部ガス]	130.4337	33.5812	19.62
香椎タウン[西部ガス]	130.4557	33.6476	19.31
西春[西部ガス]	130.4687	33.5367	19.25
西供給所[西部ガス]	130.2884	33.5670	15.60
四箇田[西部ガス]	130.3334	33.5331	15.35
福岡[防災科研K-NET]	130.4008	33.5936	50.39
東福岡[国交省]	130.4300	33.6408	27
福岡中央区大濠[気象庁]	130.3767	33.5800	27.46
福岡中央区舞鶴[福岡県]	130.3917	33.5875	58.08
福岡早良区百道浜[福岡県]	130.3578	33.5864	37.25
福岡西区今宿[福岡県]	130.2794	33.5697	28.53
福岡博多区博多駅前[福岡県]	130.4217	33.5817	27.74
福岡南区塩原[福岡県]	130.4286	33.5617	20.71
福岡城南区神松寺[福岡県]	130.3775	33.5494	14.61
CTI福岡ビル[建設技術研究所]	130.3937	33.5853	85.41

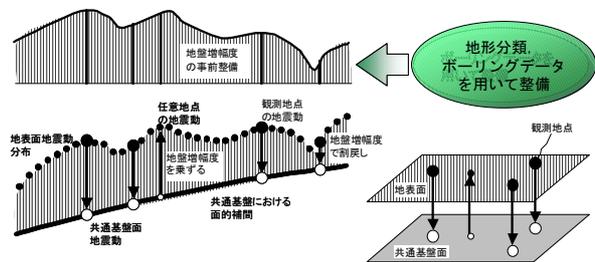


図-7 地震動の補間推定のイメージ

$n=2$ とする。

以上のようにして作成された統合増幅度分布を図-6に示す。

3. 地表面地震動の面的分布推定

前章2. で評価した、地形分類とボーリング情報より統合評価されたSI値増幅度を考慮し、強震観測点での観測SI値を空間補間することにより、福岡県西方沖の地震本震の地表面SI値分布を作成する。用いた強震観測点での観測SI値を表-2に示す。

地震動の補間推定のイメージを図-7に示すが、まず、強震観測点において、観測された地表面SI値をSI値増幅度で除すことにより基盤でのSI値を計算する。次に、基盤での観測SI値と距離減衰式により計算されるSI値との比をとり、これを面的に距離の2乗の重みで補間する。この比の補間結果に、各メッシュごとに距離減衰式を用いて計算した基盤SI値分布とSI値増幅度を乗ずることにより、距離減衰式をトレンドとした地表面SI値分布を作成する。

なお、SI値の距離減衰式には、Shabestari and Yamazaki¹³⁾による下式を用いる。

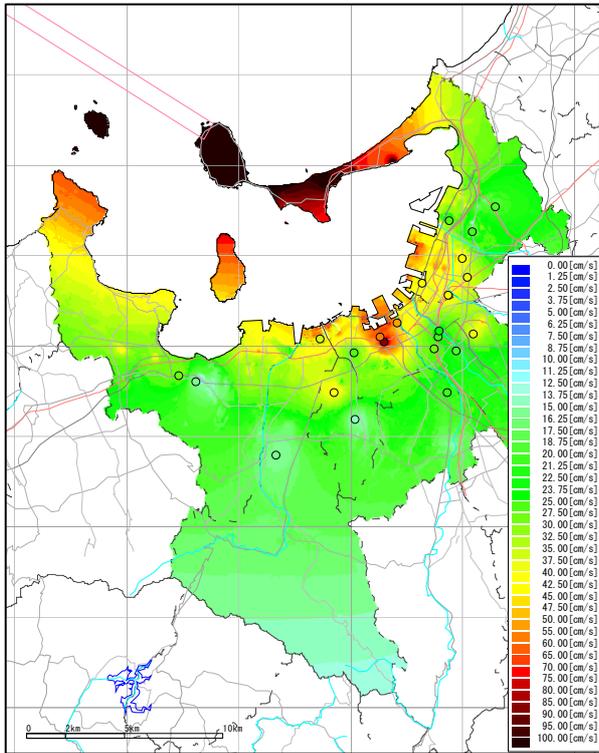


図-8 作成した地表面SI値分布

$$\log SI = 0.491318M - 0.001463r - \log r + 0.03591h - 0.784515 + \log 0.562341325 \quad (9)$$

ここで、 M はマグニチュード、 h は震源深さ [km]、 r は断層最短距離 [km] であるが、断層形状は Asano and Iwata¹⁴⁾によるモデルを用いた。

以上のようにして求められた地表面 SI 値分布を図-8に示す。断層近傍の玄界島、志賀島、海の中道で 100cm/s 以上、能古島や西浦、宮浦付近で 60cm/s 以上という結果となった。断層に近いエリアを除く福岡市中心部では、中央区舞鶴から赤坂、大名にかけての警固断層沿いで局所的に大きな地震動となっているが、これは、建設技術研究所の CTI 福岡ビル地点での観測値が大きかったことによるもので、本検討で用いたボーリングデータは乏しく、増幅度では捉えるには至っていない。警固断層付近では、断層の西側では基盤面が浅く、東側では基盤面が深くなっており、断層の東側で地震動が増幅された可能性が指摘されているが¹⁵⁾、本検討での推定でも、結果的には、およそ警固断層の断層線の辺りで急激に地震動が変化している。

4. おわりに

地形分類に基づく地盤増幅度とボーリングデータに基

づく地盤増幅度を統合処理することにより、福岡市内の地盤増幅度分布を評価した。さらに、この増幅度分布を考慮し、強震観測点での観測SI値を空間補間することにより、2005年福岡県西方沖の地震本震の地表面SI値分布を作成した。

現在のボーリングデータは埋立地周辺のものが多く、国道202号線周辺など少し陸側に入った地域のボーリング情報を収集することが今後の課題である。

謝辞：防災科学技術研究所K-NET、気象庁、福岡県震度情報ネットワーク、国土交通省河川・道路等施設の地震計ネットワーク情報、西部ガス株式会社、株式会社建設技術研究所の強震観測波形や観測値を使用させていただきました。その他、西部ガス株式会社からはボーリングデータを提供いただきました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 翠川三郎, 松岡昌志: 国土数値情報を利用した地震ハザードの総合的評価, 物理探査, 第48巻, 第6号, pp. 519-529, 1995.
- 2) 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.
- 3) 清水善久, 石田栄介, 磯山龍二, 山崎文雄, 小金丸健一, 中山渉: 都市ガス供給網のリアルタイム地震防災システム構築及び広域地盤情報の整備と分析・活用, 土木学会論文集, No. 738/I-64, pp. 283-296, 2003.
- 4) 末富岩雄, 石田栄介, 福島康宏, 磯山龍二, 澤田純男: 地形分類とボーリングデータの統合処理による地盤増幅度評価と2004年新潟県中越地震における地震動分布の推定, 日本地震工学会論文集, 第7巻 第3号, pp. 1-12, 2007.
- 5) 福岡市: 福岡市土地分類図(細部)調査 地形分類図, 1984.
- 6) 松岡昌志, 翠川三郎: 国土数値情報を利用した地盤の平均S波速度の推定, 日本建築学会構造系論文報告集, No. 443, pp. 65-71, 1993.
- 7) Midorikawa, S., M. Matsuoka, and K. Sakugawa: Site Effects on Strong-Motion Records during the 1987 Chiba-ken-Tohoku, Japan Earthquake, The 9th Japan Earthquake Eng. Symp., Vol. 3, pp. 85-90, 1994.
- 8) (社)地盤工学会九州支部 九州地盤情報システム協議会: 九州地盤情報共有データベース 2005, CD-R, 2005.
- 9) (独)防災科学技術研究所: 強震ネットワークK-NET, <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/k-net/>
- 10) (財)日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 V耐震設計編, 2002.
- 11) 田村勇, 山崎文雄, K. T. Shabestari: K-NET地震記録を用いた

- 平均S波速度による地盤増幅度の推定, 第55回土木学会年次
学術講演会講演概要集, I-B, pp.714-715, 2000.
- 12) 石田栄介, 磯山龍二, 山崎文雄, 清水善久, 中山涉: 防災
GIS を用いた地盤増幅度の面的整備と地震動面的分布推定
に関する検討, 第26 回地震工学研究発表会講演論文集,
pp.421-424, 2001.
- 13) Khosrow T. SHABESTARI and Fumio YAMAZAKI: Attenuation
Relation of Strong Ground Motion Indices Using K-Net
Records, 第25回地震工学研究発表会, 第1分冊, pp.137-140,
1999.
- 14) Kimiyuki Asano and Tomotaka Iwata: Source process and
near-source ground motions of the 2005 West Off Fukuoka
Prefecture earthquake, Earth Planets Space, Vol.58, No.1,
pp.93-98., 2006.
- 15) 土木学会西部支部福岡県西方沖地震被害調査団: 2005年福
岡県西方沖地震被害調査報告書, (社)土木学会西部支部,
230p., 2005.

(2007.06.29 受付)

ESTIMATION OF SURFACE GROUND MOTION DISTRIBUTION DURING 2005 WEST OFF FUKUOKA EARTHQUAKE USING MIXING METHOD OF GEOMORPHOLOGIC CLASSIFICATION AND BOREHOLE DATA

Yasuhiro FUKUSHIMA, Iwao SUTOMI, Eisuke ISHIDA, Ryoji ISOYAMA,
Yoshihisa Maruyama and Fumio YAMAZAKI

Estimation of amplification on surface soil is very important in order to estimate detail distribution of earthquake ground motion.

The distribution of earthquake ground motion during 2005 west off Fukuoka earthquake was estimated from the observation records taking account of amplification factors of surface soil deposits by using mixing method to combine geomorphologic classification and borehole data.