

やや深い基盤構造を反映した 地域固有の地震動推定に関する考察

久世 益充¹・杉戸 真太²・近藤 拓巳³

¹岐阜大学 流域圏科学研究センター 助教 (〒501-1193 岐阜市柳戸1-1)

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

²岐阜大学 流域圏科学研究センター 教授 (〒501-1193 岐阜市柳戸1-1)

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

³岐阜大学 大学院工学研究科 博士前期課程 学生 (〒501-1193 岐阜市柳戸1-1)

E-mail: p3121011@edu.gifu-u.ac.jp

着目する地域固有の地震動特性について、特にやや深い基盤構造の影響による、地域固有の地震動推定法に関する検討を行った。検討では、過去の地震動観測記録に基づいた地震動算定法EMPRを用いた地震動推定法を開発するため、EMPRに基づいた、地域固有の地震動特性推定手法を検討した。推定では、EMPRモデルにおける震源特性を規定する、M6相当の非定常パワーに対する補正倍率(重ね合わせ数)に着目した。複数の地震における、複数地点の観測記録を用いて、それぞれの観測記録より重ね合わせ数を算出し、着目する地域とその他周辺地域の重ね合わせ数を比較した結果、地域固有と思われる周期数秒レベルの地震動特性を確認することができた。

Key Words : Prediction of Ground Motion, Long Period-Spectra Characteristics, Characteristics of Local region, Deep Ground Structure

1. はじめに

東海地域においては、近い将来、東海地震の発生が危惧されている。このような背景の下、各自治体においては、地震被害予測や対応策の検討が進められている¹⁾。地震被害予測においては、着目する地域や地点で予測される地震動を算定し、これに基づいて揺れによる被害や構造物の耐震性照査が実施される。このため、想定地震の発生確率や断層モデルに加え、表層地盤の地震動増幅特性などを十分に考慮した手法により地震動が算定される。

一方、2003年十勝沖地震では、深部基盤構造の影響に起因すると考えられる長周期地震動により生じた石油タンク火災の事例²⁾が報告されている。さらに、2011年3月11日に発生した平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震(以下、「東北地方太平洋沖地震」と表記する)においては、広い周期帯で地震動レベルの大きな揺れであったことが報告されている³⁾。この地震を契機に、南海トラフで発生する東海・東南海・南海の3連動地震発生の危険性や対策が指摘されている⁴⁾。前述した固有周期の長い構造物に対する耐震性検討や、巨大地震発生を想定した地震動予測において、長周期地震動特性を的確に把

握できることが要求されている。

長周期地震動の予測に関しては、近年、地下構造調査や観測データに基づく広帯域地震動予測法の検討が積極的に進められている⁵⁾。このような背景の下、本研究では、著者ら⁶⁾による、着目地点周辺のやや深い基盤構造に起因する、地域固有の長周期地震動特性推定法の適用性について考察した。なお、本手法の長周期地震動とは、概ね周期数秒程度を対象としている。

2. 推定手法の概要

(1) 地震動算定手法の概要

本研究では、過去の地震動記録に基づいた平均的な地震動特性を算定可能な、工学的基盤レベル($V_s=500\text{m/sec}$ 相当)を対象とした地震動算定手法EMPR⁷⁾に基づき、地域固有の地震動特性を推定する。EMPRと著者らの推定手法⁶⁾について、以下に概説する。

非定常性を有する地震動は、次式で表現できる。

$$x(t) = \sum_{k=1}^m \sqrt{4\pi \cdot G_x(t, 2\pi f_k) \cdot \Delta f} \cdot \cos(2\pi f_k t + \phi_k) \quad (1)$$

ここに、 $G_x(t, 2\pi f_k)$ は時刻 t ,周波数 f_k における非定常パワースペクトル⁸⁾($\text{gal}^2/(\text{rad}/\text{sec})$), Δf は振動数の刻み幅, ϕ_k は $t=0$ における初期位相角($0 \sim 2\pi$ の一様乱数)である。

Sugito et al.⁷⁾は, 国内で観測された地震動記録水平118成分を工学的基盤相当に変換し, これを基に, マグニチュード M と震源距離 R に対する, 非定常パワースペクトルをモデル化した. さらに, 断層の広がりや破壊伝播方向を考慮した, 大規模断層による非定常パワースペクトルを, 図1に示すように, 小規模断層破壊の重ね合わせとして次式のように表現した.

$$\begin{aligned} & \sqrt{G_x(t, 2\pi f_k)} \\ &= \frac{\beta(f_k, M_0) \cdot N_G(M_0)}{N_x \cdot N_y} \sum_{i=1}^{N_x} \sum_{j=1}^{N_y} \sqrt{G_{ij}(t, 2\pi f_k)} \end{aligned} \quad (2)$$

ここに、 $\sqrt{G_{ij}(t, 2\pi f_k)}$ は $M=6$ 相当の非定常パワースペクトル($\text{gal}^2/(\text{rad}/\text{sec})$), N_x, N_y は断層の長さ方向, 幅方向の小断層分割数, $N_G(M_0)$ は地震モーメント M_0 に対する, EMPRが対象とする全周波数帯($0.13\text{Hz} \sim 10.03\text{Hz}$)の平均的な非定常パワースペクトルの重ね合わせ数(以下, 本文では, 「平均的な重ね合わせ数」と表記する), $\beta(f_k, M_0)$ は, 周波数ごとに非定常パワースペクトルを補正する係数である.

式(2)に示すように, EMPRでは, モデル化された $M=6$ 相当の非定常パワースペクトルを, 地震の規模による補正 $N_G(M_0)$, 周波数ごとの補正 $\beta(f_k, M_0)$ をそれぞれ行うことで, 所定の地震規模に対する非定常パワースペクトルを算出する. 補正係数 $\beta(f_k, M_0) \times N_G(M_0)$ は, 「EMPRにおける, $M=6$ 相当の非定常パワースペクトルの重ね合わせ数」(以下, 本文では「重ね合わせ数」と表記する)である.

なお, $N_G(M_0)$ と M_0 (Nm)については, 次式の関係がある⁷⁾.

$$\log N_G(M_0) = -13.02 + 0.4088 \log M_0 \quad (3)$$

(2) 地域固有の地震動特性推定法の概要⁶⁾

前述の考えに基づき, ある地震の観測記録に対して, EMPRにおける $M=6$ 相当の非定常パワースペクトルに対する比率, すなわち, 観測記録の持つ平均的な重ね合わせ数 $n_g(f_k)$ は, 次式より算出できる.

$$n_g(f_k) = \frac{\int_0^T \sqrt{G_{obs}(t, 2\pi f_k)} df_k}{\int_0^T \sqrt{G_{x, M=6}(t, 2\pi f_k)} df_k} \quad (4)$$

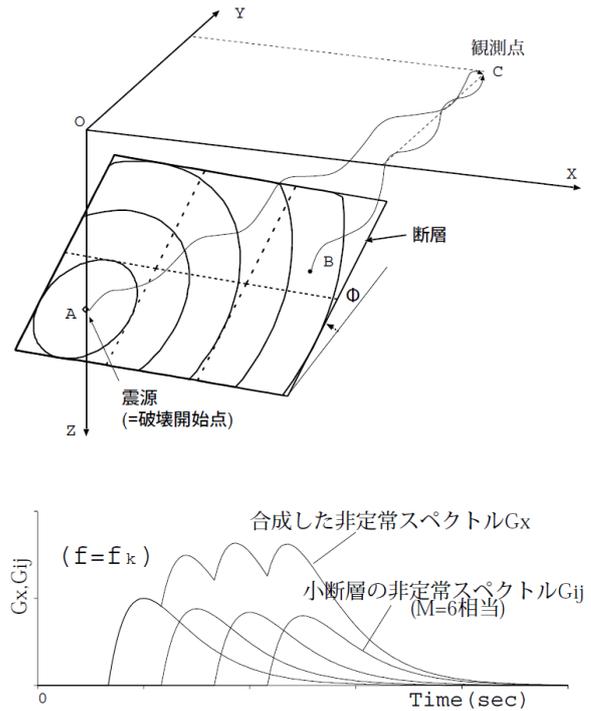


図-1 大規模断層破壊による非定常パワースペクトルの合成

ここに、 $G_{x, M=6}(t, 2\pi f_k)$ はEMPRにおける, $M=6$ 相当の非定常パワースペクトル, $G_{obs}(t, 2\pi f_k)$ は, 観測記録より得られる非定常パワースペクトル, T は観測記録長さ(秒)である.

地域固有の地震動特性推定は, 規模の異なる複数の地震により観測された, 複数地点の地震動観測記録を使用する.

EMPRにおける, 等価な地震モーメント M'_0 は, 式(3)に基づき, 次式で算出できる.

$$\log M'_0 = \frac{13.02 + \log \tilde{N}_G}{0.4088} \quad (5)$$

$$\tilde{N}_G = \frac{\sum_{i=1}^m n_{g,i}(f_k)}{m} \quad (6)$$

ここに、 m は用いた観測記録数である. \tilde{N}_G は式(6)に示すように, 観測記録より得られる平均的な重ね合わせ数 $n_{g,i}(f_k)$ より算出される. すなわち, 着目する地震における, 地震の規模を考慮した補正パラメータ(式(2)の $N_G(M_0)$)に相当)である.

式(5), (6)に基づき, M'_0 における, EMPRの重ね合わせ数に対する, 観測記録の重ね合わせ数の比 $r_0(f_k)$ は, 次式より得られる.

$$r_0(f_k) = \frac{n_g(f_k)}{\beta(f_k, M'_0) \cdot N_G(M'_0)} \quad (7)$$

地域固有の地震動特性の補正係数 $r(f_k)$ は、複数の地震、複数の観測記録より得られた $r_0(f_k)$ の平均 $\tilde{r}_0(f_k)$ を用いて、式(8), (9)により、ごく表層付近の地盤の影響を受けると考えられる高周波数領域は除外した係数として定義する。

$$r(f_k) = \tilde{r}_0(f_k)^{a(f_k)} \quad (8)$$

$$a(f_k) = \begin{cases} 1.0 & (f_k \leq 0.5\text{Hz}) \\ 1.33 - 0.67f_k & (0.5\text{Hz} < f_k \leq 2.0\text{Hz}) \\ 0.0 & (f_k > 2.0\text{Hz}) \end{cases} \quad (9)$$

以上の補正係数 $r(f_k)$ を用いて、地域固有の地震動特性を考慮した地震動を算定する場合には、 $r(f_k)$ を式(2)に加えた非定常パワースペクトルを用いて、式(1)により加速度時刻歴を算出する。

$$\begin{aligned} & \sqrt{G_x(t, 2\pi f_k)} \\ &= \frac{r(f_k) \cdot \beta(f_k, M_0) \cdot N_G(M_0)}{N_x \cdot N_y} \sum_{i=1}^{N_x} \sum_{j=1}^{N_y} \sqrt{G_{ij}(t, 2\pi f_k)} \quad (10) \end{aligned}$$

3. 地域固有の地震動特性推定と適用性に関する考察

(1) 概説

本章では、2章で述べた手法を用いて推定した、地域固有の地震動特性推定事例について述べる。名古屋港周辺地域に限定した既往の推定事例⁹⁾では、比較的規模の大きな地震については、当該地域特有の傾向と思われる長周期成分が卓越する傾向が確認できた。本研究では、手法の適用性について考察するため、次節以降で後述する2地域を対象に、地震動特性の推定を行った。

(2) 濃尾平野への適用例

前述のように、名古屋港周辺地域の地震動特性を推定した。名古屋港は、図2に示すように濃尾平野の一部であるため、久世ら⁹⁾が推定した名古屋港地域の地震動特性は、濃尾平野においても同様の特性であると思われる。そこで、図2のK-NET, KiK-net観測点の観測記録より重ね合わせ数を求めて考察を行った。

図3に、紀伊半島沖地震(2004.9.5, M7.1), 東海道沖地震(2004.9.5, M7.4), 能登半島地震(2007.3.25, M6.9), 東北地方太平洋沖地震(2011.3.11, M9.0)の地震に対して、重ね合わせ数を比較した結果を示す。なお、地震ごとの比較を容易にするため、図中の縦軸は、3章で述べた、EMPRの重ね合わせ数に対する観測記録の重ね合わせ数の比 $r_0(f_k)$ である。また、図3に示した比の平均値は、濃尾平野を含む、多地点の観測記録より算出した、震源スペクトル特

性に相当する⁹⁾。

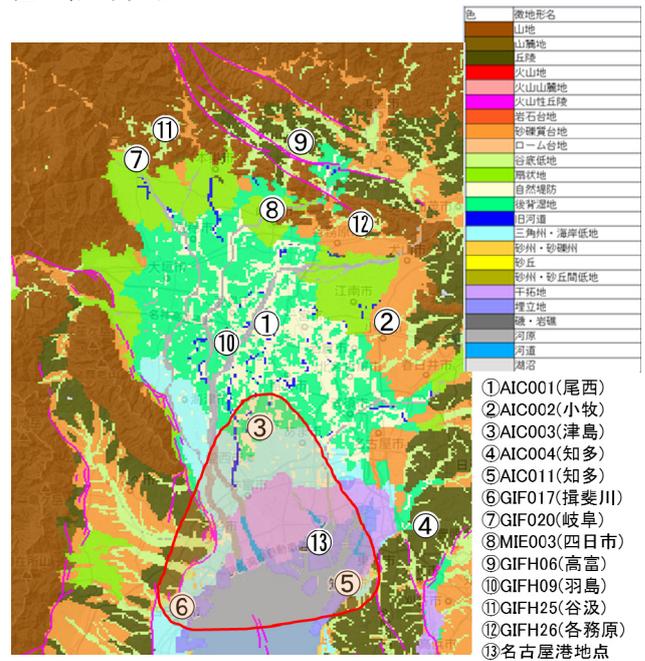


図-2 濃尾平野の地形区分と観測地点の分布 (J-SHIS¹⁰⁾に加筆, 赤線は名古屋港地域)

図より、濃尾平野内および南部の地点においては、0.2~0.6Hz付近の卓越が見られ、前述した震源スペクトル特性と比較しても、重ね合わせの比が大きい。また、図3(d)の東北地方太平洋沖地震においても、他の地点と比べて顕著な卓越が見られた。さらに、図示は省略するが、久世らが推定した名古屋港地域の地震動特性⁹⁾も同様の傾向であることから、濃尾平野固有の地震動特性であると考えられる。

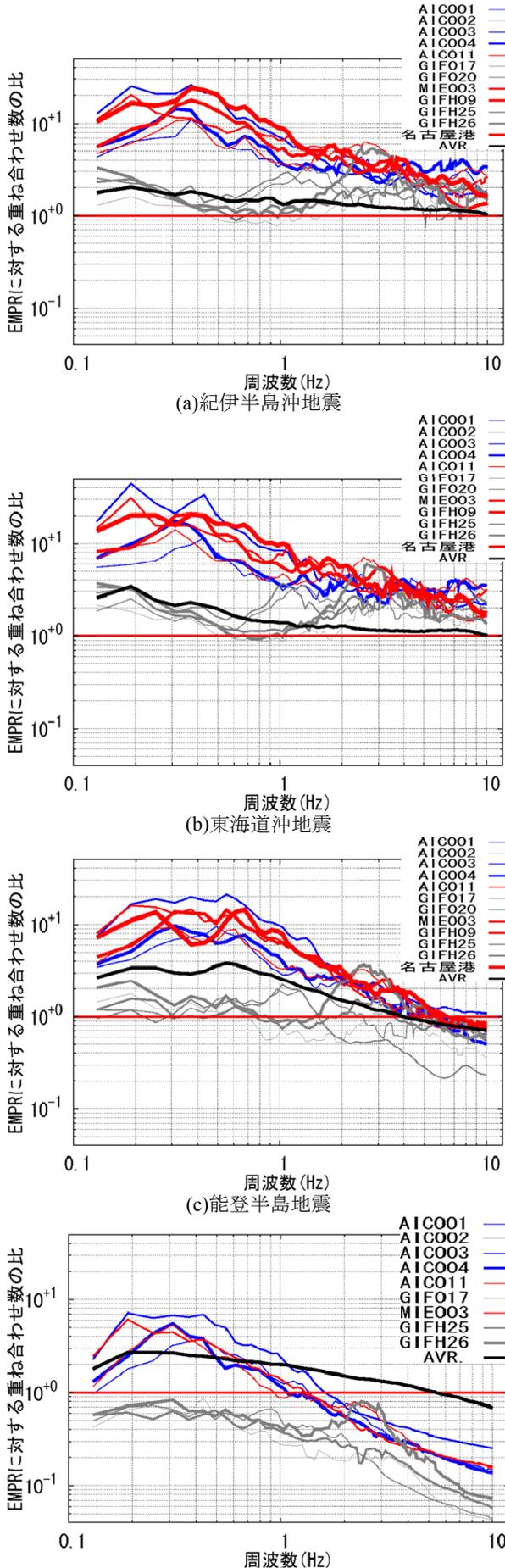
(3) 勇払平野への適用例

前節と同様に、勇払平野のK-NET, KiK-net観測記録を用いて、勇払平野固有の地震動特性推定を試みた。図4に、勇払平野内の観測地点の分布、図5に、2003年十勝沖地震(2003.10.26, M8.0), 東北地方太平洋沖地震(2011.3.11, M9.0)の重ね合わせ数の比をそれぞれ示す。震源スペクトルと比較して、0.5Hz未満においては卓越の傾向がみられると共に、HKD126(鶴川), IBUH03(厚真)では1Hz付近の卓越が顕著である。他の地震の観測記録でも同様の傾向が見られたことから、前述の傾向は勇払平野固有の地震動特性と考えられる。しかし、地点ごとの違いについては、さらに地震動観測データを追加して考察を進める必要があると考えられる。

3. おわりに

本研究では、著者ら⁹⁾の手法を用いて推定した、地域固有の地震動特性の有効性、ならびに手法の妥当性について考察した。地点ごとの特徴の違いや伝播経路特性による地震動特性の比較などの検討を進め、適用性に関してさらなる考察を進める必要があると

思われる。



(d)東北地方太平洋沖地震
 図-3 濃尾平野における重ね合わせ数の比較

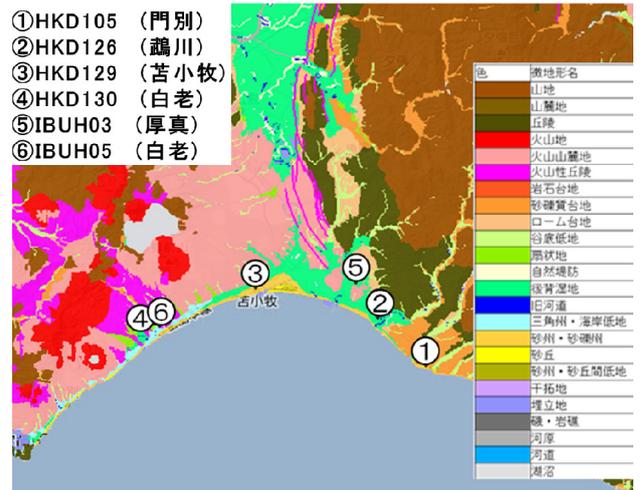


図-4 勇払平野の地形区分と観測地点の分布
 (J-SHIS¹⁰)に加筆)

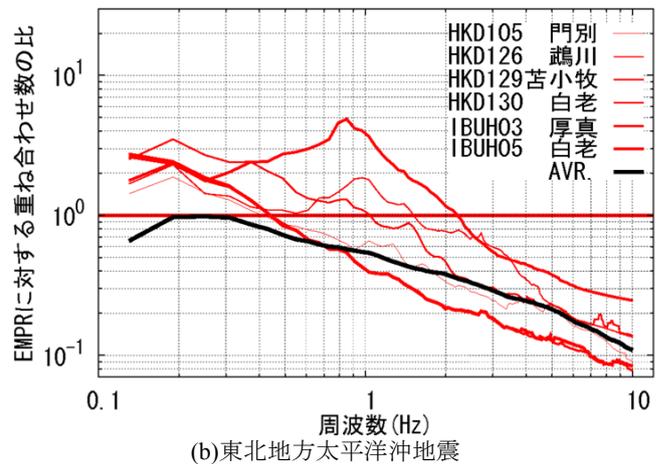
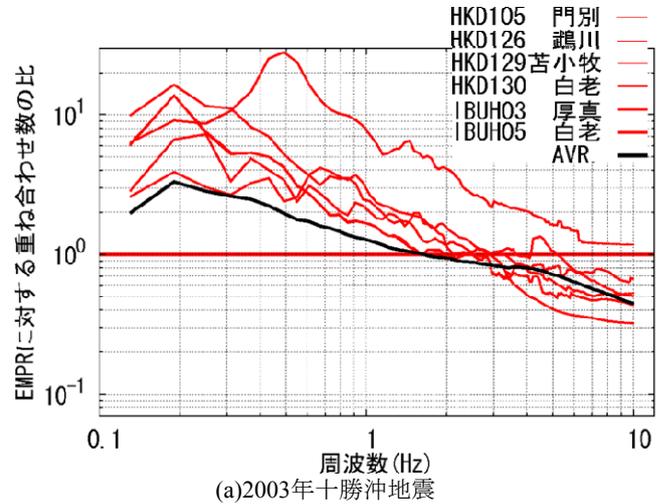


図-4 勇払平野における重ね合わせ数の比較

謝辞：本研究では、防災科学技術研究所K-NET, KiK-net観測記録を使用した。また、NEXCO中日本より、名古屋港地点の地震動記録を提供いただいた。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 例えば, 岐阜県: 岐阜県東海地震等被害想定調査結果, <http://www.pref.gifu.lg.jp/pref/s11115/toukaihighaicyo-usa/2003.7.15higaikekka.html>, 2003.
- 2) 畑山健, 座間信作, 西晴樹, 山田實, 廣川幹浩, 井上涼介: 2003年十勝沖地震による周期数秒から数秒の長周期地震動と石油タンクの被害, 地震 第2輯, 第57巻, pp.83-103, 2004.
- 3) 例えば, 東大地震研究所 アウトリーチ室: 長周期地震動の比較: 都心の地震動の特徴と構造物の影響, http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/eqvolc/201103_tohoku/#lngprd
- 4) 例えば, 9県知事会議, 第3回政策提言書(平成23年9月16日), http://www.pref.kochi.lg.jp/uploaded/life/58326_167911_misc.pdf
- 5) 座間信作: 長周期地震動, 地震 第2輯, 第61巻特集号, pp.433-440, 2009.
- 6) 久世益充, 杉戸真太, 近藤拓巳: 地域固有の地震動特性を考慮した設計用地震動算定法の検討, 第13回日本地震工学シンポジウム, pp.1989-1996, 2010(CD-ROM).
- 7) Sugito, M., Furumoto, Y., and Sugiyama, T.: Strong Motion Prediction on Rock Surface by Superposed Evolutionary Spectra. 12th World Conference on Earthquake Engineering, 2000, Paper No.2111 (CD-ROM).
- 8) 亀田弘行: 強震地震動の非定常パワースペクトルの算出法に関する一考察, 土木学会論文報告集, 第235号, pp.55-62, 1977.
- 9) 古本吉倫, 杉戸真太, 梅原秀哲: 非定常スペクトル合成法による1995年兵庫県南部地震における強震動の推定, 第11回日本地震工学シンポジウム, pp.573-578, 2002.
- 10) 防災科学技術研究所: 地震ハザードステーション J-SHIS, <http://www.j-shis.bosai.go.jp/>

EARTHQUAKE MOTION PREDICTION BASED ON THE LONG PERIOD-SPECTRAL CHARACTERISTICS DUE TO THE DEEP GROUND STRUCTURE OF LOCAL REGION

Masumitsu KUSE, River Basin Research Center, Gifu University
Masata SUGITO, River Basin Research Center, Gifu University
Takumi KONDO, Graduate Student, Gifu University

A strong motion prediction technique was developed, including the long period ground motion due to each individual local region. The study was focussed on the long period-spectral characteristic derived from deep ground configuration of region, which is generally verified in strong ground motion records. The technique was applied to the Noubi Plain of the Tokai district and the Yufutsu Plain of Hokkaido, Japan.