

東京都本郷での長周期地震動記録を用いた1931年西埼玉地震の震源モデルの推定

Estimation of source model of the 1931 NISHI-SAITAMA earthquake using long-period ground motion at Hongo in Kanto basin

*中條 良亮¹、山中 浩明¹、地元 孝輔¹、工藤 一嘉²、瀬瀬 一起³、三宅 弘恵³

*Ryosuke Chujo¹, Hiroaki Yamanaka¹, Kosuke Chimoto¹, Kazuyoshi Kudo², Kazuki Koketsu³, Hiroe Miyake³

1.東京工業大学大学院総合理工学研究科、2.日本大学生産工学部、3.東京大学地震研究所

1.Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology,

2.College of Industrial Technology, Nihon University, 3.Earthquake Research Institute, University of Tokyo

The 1931 Nishi-Saitama earthquake occurred in the northwestern part of Saitama prefecture on September 21, 1931 with a magnitude of 6.9. This is one of the most destructive shallow crustal earthquakes in the Kanto district in the last 100 years. Heavy building damage was experienced in the epicentral area during the quake. It is important from the viewpoint of disaster mitigation to know the source model of the earthquake for considering ground shaking during future events. Abe (1974) estimated the focal depth according to observed P-wave travel time in distant station and suggested shallow focal depth. However, the focal depth has not been precisely understood. In this study, we tried to estimate a source model of the 1931 Nishi-Saitama earthquake by comparing a long-period seismogram observed in Hongo, Tokyo, which is the only seismogram recorded completely in the Tokyo Metropolitan area with synthetic seismograms simulated by a 3D finite differential method considering recent detailed model of the Kanto basin. It is clarified that the main part of the observed long-period seismogram is composed of surface waves affected by the three-dimensional effect of the sedimentary layers in the Kanto basin. We also found good agreement between the calculated and observed seismograms, when the depth of the source fault is set to be in a range of 20-30 km with a rupture propagating from the bottom edge of the center of the fault.

キーワード：1931年西埼玉地震、長周期地震動記録、震源深さ

Keywords: The 1931 Nishi-Saitama earthquake, long-period seismogram, focal depth

高精度余震分布データに基づいた経験的グリーン関数法による2008年岩手宮城内陸地震の震源インバージョン解析

Source inversion using EGF for the 2008 Iwate-Miyagi earthquake based on precisely relocated aftershock distribution

*芝 良昭¹

*Yoshiaki Shiba¹

1. 電力中央研究所

1. Central Research Institute of Electric Power Industry

2008年岩手宮城内陸地震(M7.2)ではKiK-net一関西(IWTH25)など複数の地点で1Gを超える大加速度が観測された。この地震は、CMT解や一元化震源要素による余震分布、地表地盤変状の出現位置などからは西傾斜の逆断層メカニズムが想定される。一方で、震源域の稠密余震観測に基づく高精度の余震分布(吉田, 2013)やInSAR地殻変動データを用いた解析結果(Abe et al., 2013)などからは、共役の関係にある複数の断層面が同時に動いた可能性が示唆されている。また強震記録を用いたインバージョン解析でも共役の断層面を仮定した検討が行われた結果、いずれの断層面にも有意なすべりが生じたモデルが示されている(引間・瀬野, 2013)。ここでは、吉田(2013)による余震震源の再決定データに基づき、共役の断層面モデルと西傾斜単独の断層面モデルをそれぞれ仮定し、経験的グリーン関数(EGF)を用いた震源インバージョン解析により、断層面上のすべり分布や実効応力分布の推定を試みる。

共役断層を仮定した初期断層面モデルは3枚の面から構成される。西傾斜の断層面は、余震分布と地表地盤変状のトレースを同時に説明するように、北部と南部で走向、傾斜が異なる2枚の面を仮定し、東傾斜の断層面は北部の西傾斜断層とほぼ共役になるように設定した。一方、西傾斜断層面モデルは共役モデルから単純に東傾斜の断層面を除いたモデルである。EGFには、北部と南部の断層面近傍で発生した2つのいずれもM4クラスの余震記録を用いた。なお共役を考える際の東傾斜断層面のEGFは、北部西傾斜の断層面と共通としている。解析には震源域直上のIWTH25を含む20地点のK-NET、およびKiK-net地中観測点の水平2成分速度波形を用いた。解析周波数帯域は0.1-1Hzである。また本震断層面上から放射される地震波とEGFとのそれぞれに対して、Boore and Boatwright (1984)にしたがい、有限の幅を持つ射出角で平滑化した放射特性を算出し補正を行った。

検討の結果得られた共役断層面の震源モデルでは、西傾斜の北部断層面において、破壊開始点の南側に主要なアスペリティが同定されるとともに、東傾斜の断層面においても有意なすべりが推定された。一方で、西傾斜の南部断層には大きなすべりは生じていない。西傾斜北部断層からは全体の6割強、東傾斜断層からは2割強の地震モーメントが解放されている。また西傾斜と東傾斜の断層面におけるアスペリティの位置関係を水平面内に投影すると、互いに相補的になる傾向が認められる。最大すべり量は西傾斜断層面で5.3mが得られた。一方、西傾斜単独の断層面モデルを仮定した検討では、破壊開始点南部に主要なアスペリティが分布する傾向は変わらず、最大すべり量として6.1mとやや大きめの値が得られた。またいずれのモデルでも、西傾斜断層面のアスペリティは地表変状がみられた領域の近傍に位置するが、その重心はやや深い位置に求められており、明瞭な地表地震断層が出現しなかった観測事実と調和的であると考えられる。

キーワード：2008年岩手宮城内陸地震、震源インバージョン、経験的グリーン関数

Keywords: The 2008 Iwate-Miyagi earthquake, source inversion, empirical Green's function

運動学的震源モデルから求めた2008年岩手・宮城内陸地震の動力学パラメータ

Dynamic source parameters of the 2008 Iwate-Miyagi inland earthquake inferred from kinematic source model

*吉田 邦一¹、宮腰 研¹、染井 一寛¹

*Kunikazu Yoshida¹, Ken Miyakoshi¹, Kazuhiro Somei¹

1.一般財団法人 地域 地盤 環境 研究所

1.Geo-Research Institute

●はじめに

震源の破壊は動力学的パラメータに支配されるので、今後、強震動予測の動的破壊シミュレーションなどにより震源モデルを作成する際に、妥当な動力学パラメータの設定が重要であるし、現在レシピで用いられる特性化震源モデルの改良にも資する。ここでは、2008年岩手・宮城内陸地震を対象に、我々が強震記録から推定した震源モデル（吉田・他、2015、地震学会）を境界条件として、差分法により計算した応力場から摩擦構成則を調べ、震源の動力学パラメータを検討した。

●応力場の計算

解析に用いた震源モデルは、周期1-20秒の地震動記録を用いて推定されており、格子間隔が2 km×2 kmである。Ide and Takeo (1997)と同様に、運動学的震源モデルを境界条件とした応力場を差分法（例えば、Pitarka, 1999, BSSA）により計算し、震源での応力の時間変化を計算した。この地震では断層すべりは地表面に到達し、地表に断層運動に伴う亀裂が生じている（例えば、遠田・他、2010、地震2）ので、計算では地表面を設定し、断層面は運動学的震源モデルと同様に傾斜40°とした。運動学的震源モデルの2kmメッシュのモデルを補間して、333 m×333 mメッシュとし、この補間モデルの格子間隔と一致するように差分法の格子間隔を設定した。また、最上部の点震源を差分法の地表面付近になるよう設定した。速度構造モデルには震源インバージョンで用いたものを、安定な計算となるよう多少改変して用いた。

●結果

解析で得られた動的応力降下量 $\Delta\sigma$ は静的応力降下量と大差ない値が求められたが、アスペリティ全体で約13 MPaであった。この地震では断層面上端にアスペリティがあり、それが地表に接しているが、アスペリティの地表付近に限ると $\Delta\sigma$ は約8 MPaと、小さい値が求まった。この領域では、ライズタイムも深部に比べ長く、 $\Delta\sigma$ の深さ依存性が示唆される。破壊エネルギー G_c は、断層面全体で 6×10^6 J/m²で、Tinti et al (2005)のスケールと整合的であった。また、アスペリティ領域で 2×10^7 J/m²であった。応力最大値を示す時刻（すなわち降伏応力に達した時刻）を破壊開始時刻とみなして追跡すると、アスペリティ内部で破壊が加速する傾向や、断層面上端で破壊伝播が遅れる傾向がみられた。

謝辞：本研究は、平成27年度原子力施設等防災対策等委託費（地震動評価における不確かさの評価手法の高度化）事業による成果の一部である。

キーワード：2008年岩手・宮城内陸地震、動力学パラメータ、運動学的震源モデル

Keywords: The 2008 Iwate-Miyagi inland earthquake, Dynamic source parameter, Kinematic source model

運動学的震源モデルから求めた2013年栃木県北部の地震の動力学パラメータ

Dynamic source parameters of the 2013 Tochigi-ken hokubu earthquake inferred from kinematic source model

*染井 一寛¹、宮腰 研¹、吉田 邦一¹*Kazuhiro Somei¹, Ken Miyakoshi¹, Kunikazu Yoshida¹

1.一般財団法人地域地盤環境研究所

1.Geo-Research Institute

強震動予測レシピにおいて、高精度な予測強震動を得るためには、実際に発生した地震の震源像を詳細に把握し、その知見を特性化震源モデルの構築に活かしていくことが重要である。現在広く用いられている特性化震源モデルの概念は、運動学的震源モデルの上に立脚しているが、断層破壊現象は本質的には動力学で表現される。近年、動的破壊過程に基づいた強震動シミュレーションに関する研究も発展を遂げており、震源での動力学パラメータをモデル化することは、強震動予測の高精度化、或いは特性化震源モデルの高度化において期待されることの1つであると考えられる。本研究は、動力学パラメータの知見を特性化震源モデルに組み込むことを目的とし、2013年2月25日栃木県北部の地震 (M_w 5.8) の運動学的震源モデルから、断層面上での応力変化を推定し、アスペリティや背景領域での動力学パラメータの特徴を調べた。

断層面上での応力の時空間変化は、運動学的震源モデルのモーメント時間関数を境界条件として、運動方程式を3次元有限差分法で解くことで応力の時間変化を推定した (Ide and Takeo, *J. Geophys. Res.*, 102, 27379-27391, 1997)。ここで運動学的震源モデルは、染井・他 (JpGU, SSS23-P19, 2014) による近地強震波形 (0.1-1.0 Hz) インバージョンから推定した不均質震源モデルを採用した。なお、有限差分法の計算は空間に対して4次精度、時間に対して2次精度のStaggeredグリッドを用いた。計算の入力に用いる震源インバージョンモデルは、1.0 km四方の小断層を双一次補間によって250 m四方の分布に補間することで与えた。なお、各小断層の破壊伝播時間の遅れは考慮している。得られた応力変化履歴と変位履歴から、変位と応力の摩擦構成則を評価し、それを基にして、静的応力降下量、動的応力降下量、実効応力、破壊強度 (Strength excess)、臨界すべり量 (D_c)、破壊エネルギーといった動力学パラメータを抽出した。

得られた動力学パラメータの特徴は以下の通りである。1) 臨界すべり量は、アスペリティ領域の方が、背景領域よりも2倍程度大きい。2) アスペリティ領域、および背景領域の臨界すべり量は、最終すべり量の50%程度である。3) 静的、及び動的応力降下量は、アスペリティ領域の方が背景領域よりも3-5倍程度大きい。4) アスペリティ領域での静的、動的応力降下量、及び実効応力の平均値は、各々6.0 MPa, 6.7 MPa, 7.7 MPaと推定され、静的応力降下量に対して、動的応力降下量は1.1倍、実効応力は1.3倍となった。5) 破壊強度は、アスペリティの端部で大きい傾向がある。ここで、アスペリティ領域は、運動学的震源インバージョンモデルのすべり量に基づいて特性化された領域である。今後は、他の震源パラメータ (破壊伝播速度等) との比較や、動力学パラメータ抽出の事例を増やすことでこれらの傾向の統計的特性を調べていく予定である。

謝辞：本研究は、平成27年度原子力施設等防災対策等委託費 (地震動評価における不確かさの評価手法の高度化) 事業による成果の一部である。

キーワード：2013年栃木県北部の地震、動力学パラメータ、運動学的震源モデル

Keywords: The 2013 Tochigi-ken hokubu earthquake, Dynamic source parameter, Kinematic source model

ハイブリッド法における強震動評価のためのすべり速度関数の検討

Slip velocity function for strong motion evaluation based on the hybrid method

*倉橋 奨¹、吉田 邦一²、宮腰 研²、入倉 孝次郎¹*Susumu Kurahashi¹, Kunikazu Yoshida², Ken MIYAKOSHI², Kojiro Irikura¹

1.愛知工業大学、2.一般財団法人地域 地盤 環境研究所

1.Aichi Institute of Technology, 2.Geo-Research Institute

1. はじめに

広帯域強震動を計算する場合、長周期成分は（数値的手法や）理論的手法を、短周期成分は半経験的手法を適用したハイブリッド法が利用され、1Hz付近でマッチングフィルターを通して両成分が足しあわされる。長周期帯域での計算には、単純化されたsmoothed ramp 関数や中村・宮武（2000）などが用いられ、短周期帯域は、経験的グリーン関数法を例にとると、小地震のすべり速度関数と補正関数のconvolutionされたものが利用される。既往の研究で、適切な震源断層モデルが設定できればハイブリッド手法で合成記録は概ね観測記録が再現されることからその有効性が示されている（例えば、釜江・他、1998）。

しかしながら、長周期と短周期のつなぎの周波数帯域については、すべり速度関数の違いによりスペクトルの落ち込みが出る可能性がある。高精度な強震動を予測するためには、すべり速度関数のスペクトルをスムーズにつなぐことを考える必要がある。

以上より、本研究では、2008年岩手・宮城内陸地震を対象として、強震動評価のための長周期帯域と短周期帯域の地震動スペクトルをなめらにつなぐためのすべり速度関数について検討する。はじめに、吉田・他（2015）の波形インバージョン結果を参考として、経験的グリーン関数法によるSMGA震源モデルを構築する。次に、吉田・他（2015）が提案しているピークモーメントレートの大きな領域（High Rate Area: HRA）から長周期成分の計算を行う。これらの結果より、長周期側と短周期側をつなぐ周期帯（0.5~1秒）で地震動スペクトルがすべり速度関数に依存してどのように変化するかについて検討を行う。

2. SMGA震源モデルの構築

2008年岩手・宮城内陸地震の強震動生成域のモデルは、倉橋・入倉（2013、2014）などにより更新されているが、吉田・他（2015）により波形インバージョンが更新されたため、再構築を行った。吉田・他

（2015）は、波形インバージョンによるすべり量の大きな領域（アスペリティ）の特性化震源モデルの他に、ピークモーメントレートが大きな領域（High Rate Area: HRA）の特性化震源モデルを提案している。これは、すべりの大きさで推定されたアスペリティ領域よりもすべり速度が大きい場所の方が短周期地震動をより強く励起する可能性があるとの考えに基づいている。そこで、このHRA特性化震源モデルを基として、SMGAを見直した。対象周期は、0.1~3秒とした。

その結果、観測波形の主要な部分については、すべり分布からのアスペリティモデルよりもHRAの領域に基づいてSMGAを設定した方が、強震動の再現性がよいことがわかった。

次に、HRA特性震源モデルの長周期成分の計算を実施する。対象周期は、1~10秒とした。波形計算には、離散化波数法（Bouchon, 1981）を利用した。ライズタイムは、吉田他（2015）の方法を参照しながら、観測波形に合うように設定した。すべり速度関数は、smoothed ramp関数のほかスペクトルがスムーズにつながるような他のすべり速度関数を検討する。長周期側と短周期側では見かけのライズタイムが異なる結果が得られているが、つなぎの周期帯域ではスペクトルがスムーズにつながるすべり速度関数を検討する。

キーワード：すべり速度関数、ハイブリッド法、2008年岩手宮城内陸地震

Keywords: slip velocity function, the hybrid method, 2008 Iwate Miyagi nairiku earthquake

κを用いた高周波数領域におけるスペクトル低減特性に関する検討 ～地殻内地震～

Study on spectral decay characteristics in high frequency range using parameter κ- For crustal earthquakes -

*鶴来 雅人¹、香川 敬生²、入倉 孝次郎³

*Masato Tsurugi¹, Takao Kagawa², Kojiro Irikura³

1.一般財団法人 地域 地盤 環境研究所、2.鳥取大学、3.愛知工業大学

1.Geo-Research Institute, 2.Tottori University, 3.Aichi Institute of Technology

1) はじめに

高周波数領域においてはスペクトルが低減し、 ω^{-2} 則から乖離することが知られており、強震動予測の精度向上のためにはこの領域における地震動特性の解明が必要不可欠である。このスペクトル低減特性を表現する方法として f_{\max} フィルター[Hanks(1982)]による方法、κ [Anderson and Hough(1984)]による方法があり、我が国では前者が、アメリカなど諸外国では後者が主流となっている。ここで、 f_{\max} は主に震源に、κは主に伝播経路やサイト特性に由来すると考えてられているが、最近ではκを震源特性、伝播経路特性、サイト増幅特性に分離する試みが行われている[例えば、Hotte *et al.*(2011)]。

本検討ではすでに f_{\max} フィルターを用いてスペクトル低減特性が評価されている地殻内地震を対象に、κを用いてその低減傾向を評価し、 f_{\max} フィルターとの関係を整理する。

2) 解析概要

Anderson and Hough(1984)はS波の加速度スペクトル $A(f)$ が高周波数領域において指数関数的な低減特性を示すとして、次式のように定式化した。

$$A(f) = A_0 e^{-\pi f \kappa} \quad (f > f_E)$$

本検討では地殻内大地震とその余震を対象として、スペクトルがほぼ平坦となる上限周波数(f_E)およびスペクトル低減の傾きκを求める。

解析対象とした地震は2003年宮城県北部地震、2005年福岡県西方沖地震、2008年岩手・宮城内陸地震の本震および余震の全48地震、その M_j は3.4~7.2、震源深さは3~14kmである。これらの地震について f_{\max} フィルターを評価した際と同様、平均観測スペクトルを求め、その形状から f_E を決め、 $f_E \sim 30$ Hzの範囲で最小二乗法によりスペクトル低減の傾きκを求めた。平均観測スペクトルとは、

* 地中地震計設置深度におけるせん断波速度が2,000m/sec以上の観測点

* 震源距離が概ね100km程度以下のKiK-net地中観測点

の観測スペクトルを平均震源距離におけるスペクトルに補正をして、その平均を求めたものである。なお、既往研究[例えば、鶴来・ほか(2009)]において各本震記録の f_{\max} およびべき乗数 s は以下のように得られている。

* 2003年宮城県北部地震 本震： $f_{\max} = 8.0$ Hz, $s = 0.93$

* 2005年福岡県西方沖地震 本震： $f_{\max} = 6.5$ Hz, $s = 0.90$

* 2008年岩手・宮城内陸地震 本震： $f_{\max} = 9.4$ Hz, $s = 0.84$

3) 解析結果

3つの本震の f_E および κは以下の通りとなった

* 2003年宮城県北部地震 本震： $f_E = 2.6$ Hz, $\kappa = 0.0190$

* 2005年福岡県西方沖地震 本震： $f_E = 2.0$ Hz, $\kappa = 0.0277$

* 2008年岩手・宮城内陸地震 本震： $f_E = 4.5$ Hz, $\kappa = 0.0142$

2003年宮城県北部地震および2008年岩手・宮城内陸地震の余震の f_E は8~15Hz, κ は0.0036~0.0233, 2005年福岡県西方沖地震の余震の f_E は2.6~10Hz, κ は0.0272~0.0408と

なった。Anderson and Hough(1984)による岩盤点における κは0.02~0.06の範囲に分布しており、2005年福岡県西方沖地震の本震および余震の κの値はこれと概ね同等であったが、2003年宮城県北部地震および2008年岩手・宮城内陸地震の本震および余震の κの値はこれよりやや小さい値であった。κ の値の地域依存性については、今後より詳細な検討が必要である。

続いて、 f_{\max} フィルターのパラメータ(f_{\max} , s)と f_E や κとの関係を求めた。その結果、κ と f_{\max} フィル

ターのスペクトル低減の傾き s , および f_E と f_{max} の間には概ね正の相関が認められた。これは、同じ低減特性を異なる方法を用いて表現したことに因るもので、合理的な結果と言える。さらに、 κ に関する既往研究 [例えば、Anderson and Hough(1984), Hotte *et al.*(2011)]では κ の値に震央距離依存性が認められるとしているが、本検討においても同様の傾向が認められた。

謝辞：本研究は、原子力規制庁の委託研究「平成27年度原子力施設等防災対策等委託費（地震動評価における不確かさの評価手法の高度化）事業」の一部として実施しました。独立行政法人 防災科学技術研究所 基盤強震観測網KiK-netの観測記録を使用しました。記して感謝します。

参考文献

Anderson and Hough(1984), BSSA, Vol.74, pp.1969-1993.

Hanks(1982), BSSA, Vol.72, pp.1867-1879.

Houtte *et al.*(2011), BSSA, Vol.101, pp.2926-2941,.

鶴来・ほか(2009), 日本地震工学会論文集, Vol. 9, No.1.

キーワード：スペクトル低減特性、 κ 、 f_{max} フィルター、地殻内地震

Keywords: Spectral decay characteristics, Kappa, f_{max} filter, Crustal earthquakes

時間領域における経験的地盤増幅特性を導入した統計的グリーン関数法

Stochastic Green's Function Method Incorporated Empirical Site Effects in Time Domain

*赤澤 隆士¹、入倉 孝次郎²

*Takashi Akazawa¹, Kojiro Irikura²

1.一般財団法人 地域 地盤 環境 研究所、2.愛知工業大学

1.Geo-Research Institute, 2.Aichi Institute of Technology

地盤増幅特性は、地点毎の地震動特性に大きく影響する特性であり、地震被害想定における震度や建物被害、人的被害等に大きな影響を与える。地盤増幅特性は、地表付近の地盤構造によって特徴付けられ、硬質地盤では揺れの振幅は小さく継続時間は短い、軟弱地盤では振幅は大きく揺れの継続時間は長い、という特性を有する。そのため、強震動予測を高精度で実施するためには、地盤増幅特性の振幅特性（振幅の大きさ）と位相特性（継続時間）を定量的に評価・抽出する必要がある。しかし、ほとんどの手法では、地盤増幅特性は対象地点における地震動の振幅スペクトルのみで評価される。赤澤・他(2009)は、ウェーブレット解析を利用し、複数の地震観測記録の地震動特性を時間領域で評価することで、地盤増幅特性の時刻歴特性（非定常地盤増幅特性）を定量的に抽出することができる経験的手法を提案した。この手法は、振幅に対して周波数に依存した平均的な経時特性（包絡形状）を与え、位相に対して利用地震観測記録に共通したコヒーレントな特性を与える。赤澤・他(2009)は、抽出された非定常地盤増幅特性を利用してMj3~5程度の中小地震の地震動波形をシミュレーションすることで、手法の有効性を示した。

本検討では、赤澤・他(2009)の手法により抽出される非定常地盤増幅特性を統計的グリーン関数法に導入し、大地震（例えば、2011年東北地方太平洋沖地震）時に得られた観測記録をシミュレーションする。非定常地盤増幅特性は対象地点直下の地震基盤からインパルス波が入射した際に対象地点に現れる波形として定義づけられることから、本検討では、統計的グリーン関数法を利用して地震基盤における地震動波形を計算し、それを赤澤・他(2009)の手法により抽出された非定常地盤増幅特性とコンボリューションすることで、検討対象地点の地震動波形をシミュレーションする。大地震に対してこのシミュレーション手法を適用した結果、得られている観測記録が適切に再現され、手法の有効性が確認された。

キーワード：地盤増幅特性、時間領域、統計的グリーン関数法、強震動予測

Keywords: Site Effects, Time Domain, Stochastic Green's Function Method, Strong Ground Motion Method

震源パラメータのばらつきを取り入れた広帯域地震動予測と観測記録の再現性

Broadband ground motion prediction considering variabilities of source parameters and comparison with observed records

*岩城 麻子¹、前田 宜浩¹、森川 信之¹、藤原 広行¹

*Asako Iwaki¹, Takahiro Maeda¹, Nobuyuki Morikawa¹, Hiroyuki Fujiwara¹

1. 防災科学技術研究所

1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

強震動予測手法「レシピ」（地震調査委員会，2009）による特性化震源モデルでは、スケーリング則等に基づく平均的な震源の特徴のモデル化によって震源パラメータを決めている。そのため、レシピに基づいて計算される全国地震動予測地図では、平均的な予測地震動を提示している可能性が高く、破壊開始点の位置やアスペリティ配置設定等も含めて、未知の地震に対する予測としては現状ではまだ十分とは言えないという課題がある。この課題に対処するためには、過去の地震記録の解析により考慮すべき震源パラメータのばらつきの範囲を推定するアプローチ、および、統計的に発生させた多数の震源パラメータの組み合わせからなる震源モデル群を用いた多量の地震動計算によるアプローチが重要であると考えられる。

本研究ではこのようなアプローチへの取りかかりとして、震源パラメータのばらつきを取り入れた震源モデル群を用いて過去の地震に対する「地震動予測」を行い、予測地震動のばらつきと観測記録の再現性を調べる。まずは2000年鳥取県西部地震を対象とし、山田・他(2007)、Yamada et al. (2011)を参考にして、特性化震源モデルを構成するパラメータのうち偶発的ばらつき(aleatory variability)を持つと考えられるパラメータについて、レシピにおける平均的なパラメータ設定からのばらつきを正規分布で表現し、Latin Hypercube Sampling (LHS)によって震源モデル群を作成する。ばらつきを考慮するパラメータは①短周期レベル（地震モーメントの1/3乗との比）、②アスペリティのすべり量（断層全体のすべり量との比）、③破壊伝播速度（震源域媒質のS波速度との比）、④アスペリティ位置、⑤破壊開始点とする。①②③についてはレシピや先行研究を参考にして平均値と標準偏差を設定する。アスペリティと破壊開始点はランダムな位置に設定する。

予備検討として、アスペリティ位置と破壊開始点を固定した上で、短周期レベル、アスペリティのすべり量、破壊伝播速度に平均値または平均値+標準偏差の値を与えたケースについてそれぞれ震源モデルを作成し、接続周期を1秒とした3次元差分法と統計的グリーン関数法のハイブリッド法で広帯域地震動を計算した。震源距離およそ1 ~ 180 kmの40観測点における工学基盤相当の5%減衰擬似加速度応答スペクトルを用いた指標(Goulet et al. 2015)によって観測記録との比較や計算結果同士の比較を行った。全ての震源パラメータに平均値を設定したケース（基本ケース）による予測地震動は、周期1秒より長周期側で観測記録をやや過大評価、短周期側でやや過小評価する傾向があった。短周期レベルだけを平均+ σ としたケースでは、おおむね周期1秒よりも短周期側では観測点全体で基本ケースと比べて振幅が大きくなった。アスペリティのすべり量だけを平均+ σ としたケースは基本ケースとの差が他のケースと比べて小さかった。破壊伝播速度だけを平均+ σ としたケースでは、基本ケースとの差が観測点によって大きくばらつく傾向が見られた。

今後は、LHSによって全てのパラメータについてばらつきを考慮して生成した100ケース程度の震源モデル群を用いて地震動を計算し、予測地震動のばらつきの評価および観測記録との比較を行う。さらに、多くの過去の地震について同様の解析を行い、予測地震動のばらつきが観測記録の有するばらつきと同程度となるような地震動評価手法を検討することが必要である。

キーワード：地震動予測、震源モデル、ばらつき

Keywords: ground motion prediction, source model, variability

破壊伝播効果を考慮した疑似点震源モデルに関する検討

Introduction of rupture directivity effect into the pseudo point-source model

*長坂 陽介¹、野津 厚¹*Yosuke Nagasaka¹, Atsushi Nozu¹

1.国立研究開発法人 港湾空港技術研究所

1.Port and Airport Research Institute

強震動シミュレーションのための震源モデルとして疑似点震源モデル(野津、2012)がある。このモデルは従来の特性化震源モデルよりシンプルながら、これまでに東北地方太平洋沖地震をはじめとするいくつかの地震に対して適用例があり、特性化震源モデルと同程度の再現性を得られることが報告されている。

疑似点震源モデルでは特性化震源モデルと異なり強震動を発生させるサブイベントを時空間的に分割せず、各サブイベントに対して1つのオメガスクエアモデルに従う震源スペクトルを与える。そのためサブイベントのサイズを直接的には考慮しないが、コーナー周波数を適切に与えることによりサブイベントのサイズを間接的に考慮している。また、重ね合わせによる人工的なスペクトルの谷が現れないことがメリットの1つとして挙げられる。

一方、2005年7月23日の千葉県中部の地震(M_w 5.9)への適用例(長坂ら、2015)では、全体的な再現性は良好であったが、震央西の東京湾西側の地点で震源での破壊伝播を考慮していないためと考えられる過小評価が見られた。現状の疑似点震源モデルは震源域での破壊伝播を考慮せずにフォワード側でもバックワード側でも同一の震源スペクトルを与えているため、フォワードディレクティビティが現れる地点では疑似点震源モデルによる結果は過小評価となり得る。照査用地震動への適用を考えると過小評価は大きな問題であり、解決が望まれる。

そこで、本研究では疑似点震源モデルに破壊伝播効果を導入することを目的とし、破壊伝播効果を表すためのコーナー周波数のモデル化について検討を行うこととした。

検討対象は既往研究でも用いた2005年7月23日の千葉県中部の地震(M_w 5.9)のK-NET, KiK-netにおける記録とし、まずは各地点でフーリエスペクトルの観測と計算結果の誤差(0.2-2Hz)が最も小さくなるようなコーナー周波数を調べた。その結果、既往研究で過小評価であった震央西側の地点は1.0Hz程度のコーナー周波数が最適であった。これは既往研究で全体的な最適値としていた0.75Hzより大きな値であり、この地域の観測記録にフォワードディレクティビティが表れていたことを示唆するものである。また、その周辺部では最適なコーナー周波数が小さくなっており、コーナー周波数を適切にモデル化することで再現性が向上することが期待された。

コーナー周波数モデルは、震源をユニラテラルに破壊する線震源と仮定し、破壊進行方向と地震波の進行方向のなす角(ϕ)によってコーナー周波数を変動させるもの考えた。強震動シミュレーションには震源パラメータとして破壊の長さ(L)、破壊伝播速度(V_r)、破壊進行方向が新たに必要となり、コーナー周波数は $(V_r/\pi L)/(1-V_r/V_s \cdot \cos\phi)$ で表される。これは対象地点にとっての見かけの破壊継続時間が変わることによってコーナー周波数を変動し、フォワード側ではコーナー周波数が大きく、バックワード側では小さくなることを表している。検討としては、パラメータを様々に変動させることで最適なパラメータを決定し、コーナー周波数を0.75Hzとした既往の検討結果(長坂ら、2015)と再現性を比較することで検証を行う。また、波形インバージョンにより震源の破壊過程も調べ、得られたパラメータから予想される破壊過程と比較する予定である。

キーワード：強震動シミュレーション、疑似点震源モデル、破壊伝播効果、コーナー周波数

Keywords: strong ground motion simulation, pseudo point-source model, rupture directivity effect, corner frequency

High Frequency Ground Motion Simulation of an Un-happened ShanChiao Fault in Northern Taiwan from an ETF-Based Site Correction Method for Stochastic Simulation

*Jyun-Yan Huang¹, Kuo-Liang Wen^{1,2}, Che-Min Lin¹, Chun-Hsiang Kuo¹, Chun-Te Chen³, Shuen-Chiang Chang²

1.National Center on Research Earthquake Engineering, Taipei, Taiwan , 2.National Central University, Chung-Li, Taiwan, 3.Institute of Earth Science, Taipei, Taiwan

Strong motion generation area (SMGA) was mentioned as an important source parameter for high frequency strong motion simulation (Kurahashi and Irikura, 2011) that was identified as different asperity distribution from traditional source inversion results. Meanwhile, high frequency strong motion simulation is very important in application of engineering seismology. Site correction method from Empirical Transfer Function (ETF, Wen et al., 2013) for stochastic finite fault simulation was applied in Northwestern Taiwan for 1999 ChiChi Taiwan earthquake as high frequency simulation. Except the traditional inverted asperity model was used, random asperity distribution ones were test from Huang et al. (2014). In this study, different construction method of random asperity models followed Japan's Recipe (Irikura et al., 2004; NIED, 2009) are constructed for the same event first to check near fault response for randomly SMGAs. ShanChiao fault is the most important fault system in northern Taiwan owing to it could probably generate earthquake directly hit the Capital urban area. Finally, this study will try to identify possible ground shaking level for Shanchiao Fault system. The simulation results could help to preliminary plan of disaster prevention issue or building design problems in the future.

Keywords: Stochastic Simulation, Empirical Transfer Function, SMGA, ShanChiao Fault

大規模並列計算による2011年東北地方太平洋沖地震 (Mw9.0) の長周期地震動シミュレーション
Simulation of long-period ground motions for the 2011 Tohoku earthquake (Mw9.0) using
large-scale parallel computing

*笠松 健太郎¹、加藤 研一¹

*Kentaro Kasamatsu¹, Kenichi Kato¹

1. (株)小堀鐸二研究所

1. Kobori Research Complex INC.

2011年東北地方太平洋沖地震 (Mw9.0) では、KiK-net此花 (大阪) をはじめとする日本全国の地震観測点で長周期の地震動記録が得られた。各地で観測した長周期地震動の再現性や伝播過程を明らかにすることは、今後、深部地盤のS波速度構造の高精度化や、南海トラフ等で発生する大地震の強震動予測を検討する上で欠かせない。本検討では、日本全国を対象領域とした長周期地震動シミュレーションのために、領域分割に基づいて並列計算を行う三次元差分法の地震動計算コードを作成した。作成したコードを用いて3.11本震による長周期地震動シミュレーションを行い、まずは首都圏で得られた周期2~10秒の観測記録の再現を検討した。

三次元差分法による地震動の並列計算を効率的に実施するために、3台の計算機を配備し、各ノードにintel製のCPU (E5-2690v3, 12コア) を2つ、192Gbyteのメモリを搭載した。伝送速度40GbpsのInfinibandで3ノードを接続し、MPIを用いたノード間通信によって最大72並列を可能とする計算環境を整備した。並列計算は、各ノードに搭載した多数のコアを有効活用するために、3次元の領域分割により行い、ノード内通信もMPIを用いた。簡単な例題を対象に並列化効率を調べたところ、32並列の場合に約15倍のスピードアップが得られた。16ノードで構成される別のPCクラスタ (16ノードx2CPUx8コア) を用いた場合では、64並列の場合に約60倍のスピードアップが得られ、全体の実行時間をほぼ期待通りに短縮できることを確認した。

3.11本震の長周期地震動シミュレーションは、周期2~10秒の震源特性に対する点震源の適用性を検討することを目的として、野津(2012)による疑似点震源モデルを用いて行った。全ての点震源についてすべり角90度を仮定し、タイムウィンドウ数を1つとしたTriangle型の震源時間関数を用いた。ライズタイムは野津(2012)のコーナー周波数に基づいて設定した。深部地盤のS波速度構造モデルは地震調査研究推進本部(2012)を用い、水平600kmx300km、上下約100kmを計算領域として、水平0.2km、上下0.1~1.0kmのグリッド間隔で離散化した。計算に用いた合計の格子点数は約16億Gridであり、時間長を300s、時間間隔を0.005sとした計60001ステップの計算を2日弱で終えた。観測記録とシミュレーション結果の周期2~10秒を比較したところ、点震源を用いていることもあり、首都圏で観測した周期6秒程度以上の振幅を過小評価するが、スペクトルの形状は良く似た結果が得られた。観測記録には茨城県南部で励起した周期6~10秒の表面波が首都圏に伝播した様子が認められるが、振幅を除けばその特徴も概ね再現されることが分かった。引き続き、3.11本震の震源モデルの調整と、長周期地震動の伝播特性の分析について検討予定であると共に、作成した並列計算コードを地球シミュレータに実装中である。

キーワード：並列計算、差分法、2011年東北地方太平洋沖地震、長周期地震動

Keywords: parallel computing, finite difference method, the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, long-period ground motion

首都直下地震を対象にした強震動予測手法に関するベンチマークテスト
Benchmark Test for Strong Motion Simulation in The Tokyo Metropolitan Area.

*石川 理人¹、久田 嘉章²

*ayato ishikawa¹, Yoshiaki Hisada²

1.工学院大学大学院、2.工学院大学

1.Graduate school , Kogakuin University, 2.Kogakuin University

首都直下地震を対象とした強震動予測手法に関するベンチマークテストを実施した。STEP7では2005年の千葉県北西部地震を対象として観測記録との比較も行った。STEP8では想定首都直下地震を対象とした強震動予測を行った。

キーワード：強震動予測手法、ベンチマークテスト

Keywords: Strong ground motion prediction, Benchmark test

地表における速度応答スペクトルの距離減衰式の提案

A New Attenuation Relationship for Velocity Response Spectra at the surface

*野田 朱美¹、松浦 律子²、古村 美津子²、田中 裕人¹、高浜 勉¹*Akemi Noda¹, Ritsuko S. Matsu'ura², Mitsuko Furumura², Hiroto Tanaka¹, Tsutomu Takahama¹

1.株式会社構造計画研究所、2.公益財団法人地震予知総合研究振興会地震調査研究センター

1.Kozo Keikaku Engineering Inc., 2.Earthquake Earthquake Research Center, Association for the Development of Earthquake Prediction

松浦ほか(2011)は、速度応答スペクトルの距離減衰式に、異常震域等による補正として、観測点*i*におけるプレートの深度 δ_i を用いる手法を提案した。その後蓄積されたK-NET, KiK-NETの観測例を追加することによって、マグニチュード範囲はMw5.4~8.7と地震規模のレンジを広げることができた。そこで、今回はInter Plate, Intra Plate, Very Shallow(VS), と地震を3タイプにグルーピングして、各グループに対して、対象周期は0.1~10秒、震源距離には上限を設けず利用可能なデータはすべて解析対象として、M6~9程度の範囲で遠距離まで利用できる距離減衰式を求めた。なお、利用データは、PGV0.1cm/s以下のデータは除外するとともに、地震規模に応じて長周期側を打ち切ることによって、S/Nの悪いデータの混入を防いでいる。

減衰式の形は、個別の地震毎にAICで選択された最適解をグループ内で比較して、タイプ毎に決定した。また、Yabuki and Matsu'ura(1992)を参考として、係数の値を周期の関数として、キュービックBスプライン関数で展開して線形インヴァージョンで求める手法によって一度に決定した。従来の工学的な式の多くは仮想的な基盤上での応答スペクトルの値を与えるが、今回我々の式では、地表での速度応答スペクトルの平均的な値が求まる。用いたのはK-NETとKiK-NETなので、日本で商用電源が確保できる地域の平均的地盤に対する値と言えよう。

モーメントマグニチュード Mw_j の*j*-地震に対する*i*-観測点の周期*t*での速度応答スペクトル Sv_{ij} は、観測点特有の応答 e_{ij} を含めて、InterとIntraに対しては、(1)式の形、VSに対しては(2)式の形で統合できた。

$$\log Sv_{ij}(Mw_j, \Delta_{ij}, \delta_i, t) = A_w(t) \cdot Mw_j + A_c(t) - \beta(t) \log(\Delta_{ij}) - d(t) \delta_i + e_{ij}(t) \quad \text{式 (1)}$$

$$\log Sv_{ij}(Mw_j, \Delta_{ij}, t) = A_w(t) \cdot Mw_j + A_c(t) - b(t) \Delta_{ij} - \beta(t) \log(\Delta_{ij}) + e_{ij}(t) \quad \text{式 (2)}$$

従来の工学的基盤などにおける距離減衰式では必ず組み込まれている、震源距離 Δ_{ij} に比例する $b(t)$ の項は、(2)式では特に短周期において近距離での頭打ちを表す項として働いている。この項が(1)式に無いのは、InterとIntraの地震群には、近地の観測データが殆どなく、統合インヴァージョンでは近距離での頭打ちの部分を取り入れる利得が十分に得られないことと、従来の式では理論的予察から定数としてある、震源距離の対数に比例する項の係数 β を、周期の関数としたこととによる。なお、 b の値は周期数秒以上ではほぼゼロとなった。

今回の検討の過程で、プレートの深度 δ は、PAC, PHSともに、深さの限度を設ける頭打ち方式が回帰を改善することが判った。そこで、式の形とプレート深度の最大値とを、地震毎・周期毎の回帰でAICによって同時に選択した。この作業によって、プレート深さによる項は、従来期待されていた、異常震域と同様にHigh Q・High Vのスラブを伝わる波による効果の補正に留まらず、日本列島の形成とも関係が深い地質的特徴である、東日本の日本海側が太平洋側に比べて減衰が大きいこと、飛騨山脈あたりを境に東西で減衰傾向が異なること、まである程度織り込める便利な項であることが判った。例えばPACの深度は、250km以上は250kmと置き換えると回帰が改善する。但し b と同様、(1)式の d も周期数秒以上では殆ど寄与しなくなる。また、VSの地震に対しては d 項は不要であった。

今回求めた距離減衰式は、地表での応答スペクトルの距離減衰式である。この式に対する観測点毎の残差 $e_{ij}(t)$ は、松浦ほか(2010)で示したように、地震のタイプや規模が違ってても、値も周期変化の形も似て $e_{ij}(t) \doteq e_i(t)$ として扱える。また、 $e_i(t)$ は経験的にサイトの微動観測から求まるH/Vの値で代替できることが判っている。従って観測波形の無い場所に対してこの式から応答スペクトルを予測する工学的利用には、地盤

種別やAVS30等の情報がなくても、応答スペクトルを予測すべきサイトのH/Vを実測から求めることで、工学的にも利用可能である。

本研究は文部科学省の委託によって実施された。

キーワード：地震タイプ別速度応答スペクトル距離減衰式、プレート深さ依存の上限設定、AICによる選択、B-スプライン関数展開による逆問題の線形化

Keywords: Attenuation relationships of Velocity Response Spectra, Upper limit of the effective plate depth at a site, Selection by AIC, linear inversion method with cubic B-spline expansion

速度応答スペクトルの距離減衰式の妥当性の検証

Validation of Attenuation Relationships for Velocity Response Spectra, Comparing with Observed Records

*田中 裕人¹、野田 朱美¹、高浜 勉¹、古村 美津子²、松浦 律子²*Hiroto Tanaka¹, Akemi Noda¹, Tsutomu Takahama¹, Mitsuko Furumura², Ritsuko S. Matsu'ura²

1.株式会社構造計画研究所、2.公益財団法人地震予知総合研究振興会地震調査研究センター解析部

1.Kozo Keikaku Engineering Inc., 2.Research Division, Earthquake Research Center, Association for the Development of Earthquake Prediction

野田・他(2016)では、広い周期帯域、広い距離範囲に適用できる速度応答スペクトルの距離減衰式を構築した。この式は、式の係数はもちろんのこと、式の形もAICで決めたものである。この式の妥当性を検証するため、観測記録や既往の距離減衰式と比較した。

検討に用いた地震は、プレート境界の2地震(2003年十勝沖、2011年東北地方太平洋沖)、スラブ内の3地震(2003年宮城県沖、2004年紀伊半島南東沖、2011年宮城県沖)、および、地殻内の3地震(2000年鳥取県西部、2005年福岡県西方沖、2008年岩手宮城内陸)の計8地震である。いずれの地震も、Mwは6.6以上で、K-NET、KiK-net観測点により多数の観測記録が得られている。比較対象の既往の距離減衰式には、内山・翠川(2006)、佐藤(2008、2010)、Morikawa and Fujiwara(2013)を用いた。これらの距離減衰式は加速度応答スペクトルに対する式であるので、比較の際は、擬似速度応答スペクトルに変換した。各距離減衰式で求められている各観測点の増幅率を考慮して地表応答を求め、周期0.1~5.0秒で比較した。距離範囲などの条件は各距離減衰式の適用条件に留意して設定した。

比較の結果から、野田・他(2016)は震源距離200km以上の広い距離範囲まで観測記録をほぼ説明できること、また、0.1~5.0秒の広い周期帯域で観測記録に対する残差のばらつきが小さいことが分かった。これに対し、既往の距離減衰式の短周期側では、震源距離が150km程度まではほぼ観測を説明できるが、遠距離ではばらつきが大きくなる傾向がみられた。野田・他(2016)が遠距離まで精度良く説明できている理由として、異常震域等の補正を担うプレートの深度に比例する減衰項の有効性や、震源距離の対数に比例する減衰項の係数を周期ごとに回帰して求めている点が挙げられる。後者は、震源距離の対数に比例する減衰項の係数を理論的予測から定数(アприオリに1と仮定されていることが多い)で固定することが、日本の場合には適切ではない可能性を示唆している。また、野田・他(2016)が広い周期帯域でばらつきの小さい理由は、距離減衰式に対する観測データの周期ごとの残差から求めた各観測点の増幅率が有効に働いていることにある。

本検討は文部科学省からの委託によるものである。

参考文献

Morikawa, N. and H. Fujiwara, 2013, A new ground motion prediction equation for Japan applicable up to M9 mega-earthquake, *Journal of Disaster Research*, 8, 878-888.

野田朱美・松浦律子・古村美津子・田中裕人・高浜勉、2016、地表における速度応答スペクトルの距離減衰式の提案、地球惑星連合同大会2016年。

佐藤智美、2008、地殻内地震に対するP波部・S波部・全継続時間の水平・上下動の距離減衰式、日本建築学会構造系論文集, 632, 1745-1754.

佐藤智美、2010、日本のスラブ内地震とプレート境界地震の水平・上下動の距離減衰式、日本建築学会構造系論文集, 647, 67-76.

内山泰生・翠川三郎、2006、震源深さの影響を考慮した工学的基盤における応答スペクトルの距離減衰式、日本建築学会構造系論文集, 606, 81-88.

キーワード：距離減衰式、速度応答スペクトル

Keywords: attenuation relationship, velocity response spectra

Probabilistic Seismic Hazard in Low Seismicity Region: Kalimantan, Indonesia

*Sri Hidayati¹, Athanasius Cipta², Amalfi Omang¹

1.Center for volcanology and Geological Hazard Mitigation, 2.Australian National University

The island of Kalimantan lies upon the southeastern margin of the greater Eurasian plate. The features that affected Kalimantan came from its great tectonic activity during Late Paleozoic-Pliocene. The absence of present-day major earthquakes makes the island is considered as a relatively stable block. In the past decades, seismic hazard analysis in Kalimantan is not prioritized due to its low seismicity. However, two moderate yet destructive earthquakes hit the island in 2015: the 6.5 Mw Sabah (Northern part of Kalimantan, Malaysia) earthquake on June 5, and the 6.1 Mw Tarakan (Eastern part of Kalimantan, Indonesia) earthquake on December 21. It seems that the eastern and northern parts of the island are subject to potential hazard from small to medium sized earthquakes. Those recent earthquakes show that Kalimantan is not sterile from destructive earthquakes. Hence, we must remain alert to the possibility of such an earthquake disaster, as it had happened last year and 95 years ago. In addition, more than 18 million people living in this island should be considered.

In order to reduce earthquake disaster, the Kalimantan seismic hazard map was created using probabilistic approach called PSHA. The uncertainties of size, location and time of earthquake sources and GMPE were taken into account in calculation of acceleration. Seismic hazard analyses involve the quantitative estimation of ground-shaking intensity that was obtained by converting the acceleration on 0.3 second RSA (Response Spectral Acceleration) having 10% probability of exceedance in 50 years (500 years return period). Based on ground-shaking intensity, the hazard level was divided into four classes: they are very low ($MMI < V$), low ($V \leq MMI \leq VII$), moderate ($VII < MMI \leq VIII$), and high ($MMI > VIII$) respectively. Important to note, this classification is primarily intended to non-engineered building, a common building in Indonesia.

The hazard level in Kalimantan is mainly controlled by diffuse zones of deformation (background seismicity) while Palu Koro and/or North Sulawesi subduction affected eastern tip of Mangkalihat Peninsula. The inclusion of site amplification is another important aspect that included in the hazard map, since it can change the hazard level significantly.

Keywords: PSHA, Kalimantan , Low Seismicity Region, Seismic Hazard Map

The Impact of Westward Extension of Flores Back-Arc and The Inclusion of an Active Crustal Fault in Southeastern Bali to Bali Seismic Hazard Map (Preliminary Results)

*Amalfi Omang¹, Sri Hidayati¹, Irwan Meilano², Asdani Soehaimi³

1.Center for Volcanology and Geological Hazard Mitigation, Indonesian Geological Agency,
2.Institute of Technology Bandung, 3.Center for Geological Survey, Indonesian Geological Agency

Recent study utilising Global Positioning System (GPS) measurements of surface deformation conducted in western area of Lesser Sunda Islands, show the westward extension of Flores Back-Arc for 300 km onshore into East Java. Another recent study, utilising geology, geophysics and geodetic methods reveal indication of an active crustal fault in southeastern Bali which pass Denpasar, the capital city of Bali Province and the most dense city in its province. The Implications of these findings are the increasing hazard and risk levels in Northern and Southeastern parts of Bali. Seismic hazard analyses (deterministic and probabilistic) using OpenQuake show increasing hazard levels compared to the previous seismic hazard map of Bali. The direct impacts are the number of people and buildings affected by the inclusion of these seismic sources increase significantly. The preliminary results show the need for a careful evaluation of the infrastructures and contingency plan within areas which affected by these seismic sources in order to ensure the safety of the people and to reduce loss of infrastructures.

Keywords: Back-Arc, Active crustal Fault, Seismic Hazard Analyses, OpenQuake

過去最大震度の面的分布図作成の提案

A proposal for creating a maximum seismic intensity map of past damaging earthquakes

*小林 励司¹、中本 浩一²*Reiji Kobayashi¹, Koichi Nakamoto²

1.鹿児島大学大学院理工学研究科、2.鹿児島大学理学部

1.Graduate School of Science and Engineering, Kagoshima University, 2.Faculty of Science, Kagoshima University

1995年兵庫県南部地震を契機に、地震動ハザードを示すものとして地震調査研究推進本部が「全国地震動予測地図」（2008年までは「全国を概観した地震動予測地図」）を作成し、公表している。これには、大きく分けて2つの問題点がある。1つめは、確率が住民に理解されにくいことである。高い確率は危機感を持たれやすいが、低い確率では危機感が薄くなる可能性がある。また実感が伴わないことも挙げられる。2つめは、手法の不確定さが大きく、検証も不十分であり、得られる結果の信頼性が低いことである。実際に初期の「全国を概観した地震動予測地図」とそれ以降の被害地震の対応を見ると、確率の低いところで大きな揺れに襲われているケースが多い。2011年東北地方太平洋沖地震を契機に手法が見直されたが、改善されたかどうかを検証するのはまだ時間がかかるだろう。

そこで、より住民に理解されやすく、不確定さの小さいと思われる、過去最大震度の面的分布図作成を提案する。これまで分かっている震度分布は観測点における震度のみを示しており、観測点が少ないと実感しにくいと思われ、また地盤条件による増幅の違いが分からない。面的な分布図にすることによって、自分の身の回りの、その土地その土地の過去の揺れを実感しやすくなる。この分布図で震度の大きい地域の住民にとっては、我がことと捉えやすくなるのではないかと思われる。特に自分の生まれる前の地震については、その存在すら知らない住民も多いと思われる。その一方で、震度の小さいところに関しては、将来も安全であるとは限らないことは、十分に周知する必要がある。その意味では、この過去最大震度の面的分布図は、補足的に使うことがのぞましい。

本研究では、その試作として著者の1人の実家のある熊本県の明治以降の被害地震6つに絞って作成を行った。手法は、森川ら（2010）の距離減衰式を使って簡便的に行った。距離の計算には、断層モデルが推定されているものは断層面からの距離を使い、分からないものは震源からの距離とした。標高は国土交通省国土制作局で公表されているものを用いた。地盤増幅の計算に必要な30 m平均S波速度（AVS30）は地震ハザードステーション（J-SHIS）で公開されているものを用いた。標高とAVS30はいずれも5次メッシュ（250 m格子）だったので、震度の面的分布図も5次メッシュで計算を行った。地震ごとについて、震度を求めたあと、メッシュごとに最大震度を判定し、それを地図に示した。

広い範囲で震度4以上となった。これは1946年南海地震と1968年日向灘地震の影響が大きい。不確定さを考えると、住民相手には、少なくとも震度5弱程度の揺れには備えておいたほうが良いと言えるだろう。熊本市を中心に大きな震度の分布が見られ、最大で震度6強となっている。これは1889年熊本地震によるものである。

キーワード：震度、防災

Keywords: seismic intensity, disaster prevention

Amplification characteristics in Kanto district estimated from waveforms of the 2015 Ogasawara Deep earthquake with Mw8.0
Amplification characteristics in Kanto district estimated from waveforms of the 2015 Ogasawara Deep earthquake with Mw8.0

植田 直樹¹、*山田 卓司²、河原 純²
Naoki Ueta¹, *Takuji Yamada², Jun Kawahara²

1.茨城大学理学部（学生）、2.茨城大学理学部
1.College of Science, Ibaraki University, 2.Faculty of Science, Ibaraki University

A deep large earthquake with Mw8.0 took place beneath the Ogasawara islands on May 30, 2015. This earthquake caused a large shaking in Kanto district in Japan with the JMA intensity of 4 to 5 major, which provides an opportunity to investigate the amplification characteristics in the region.

We analyzed waveforms of 56 KiK-net sites in Kanto district and investigated the spectral ratio of the observed waveforms at stations on the surface and on the bedrock in the borehole at each site. We first picked arrival times of P and S waves and cut the waveforms from -10.00 to 30.95 s after the arrivals. We then calculated spectra of the waveforms and obtained the spectral ratios of P and S waves. We calculated average values of spectral ratios in the frequency band from 0.1 to 1 Hz (Fig. 1a) and attributed them to amplification factors at each KiK-net station.

We first investigated the relationship between the observed amplification factors and distances of surface and borehole seismometers. The relationship showed a good proportionality with a correlation coefficient of 0.744, indicating that the factors have a strong correlation with the thickness of the sediments the same as results of previous studies. We then calculated the normalized amplification factors (NA factors) for every 100 m of the distance between surface and bedrock stations to remove the effect associated with different thickness of sediment at each site (Fig. 1b). The NA factors were around 1 for sites at mountain regions as expected. In the Kanto plain, only sites around the Tone river had high NA factors.

Acknowledgements: We used KiK-net waveform data.

キーワード：スペクトル比、KiK-net、関東地方

Keywords: Spectral ratio, KiK-net, Kanto district

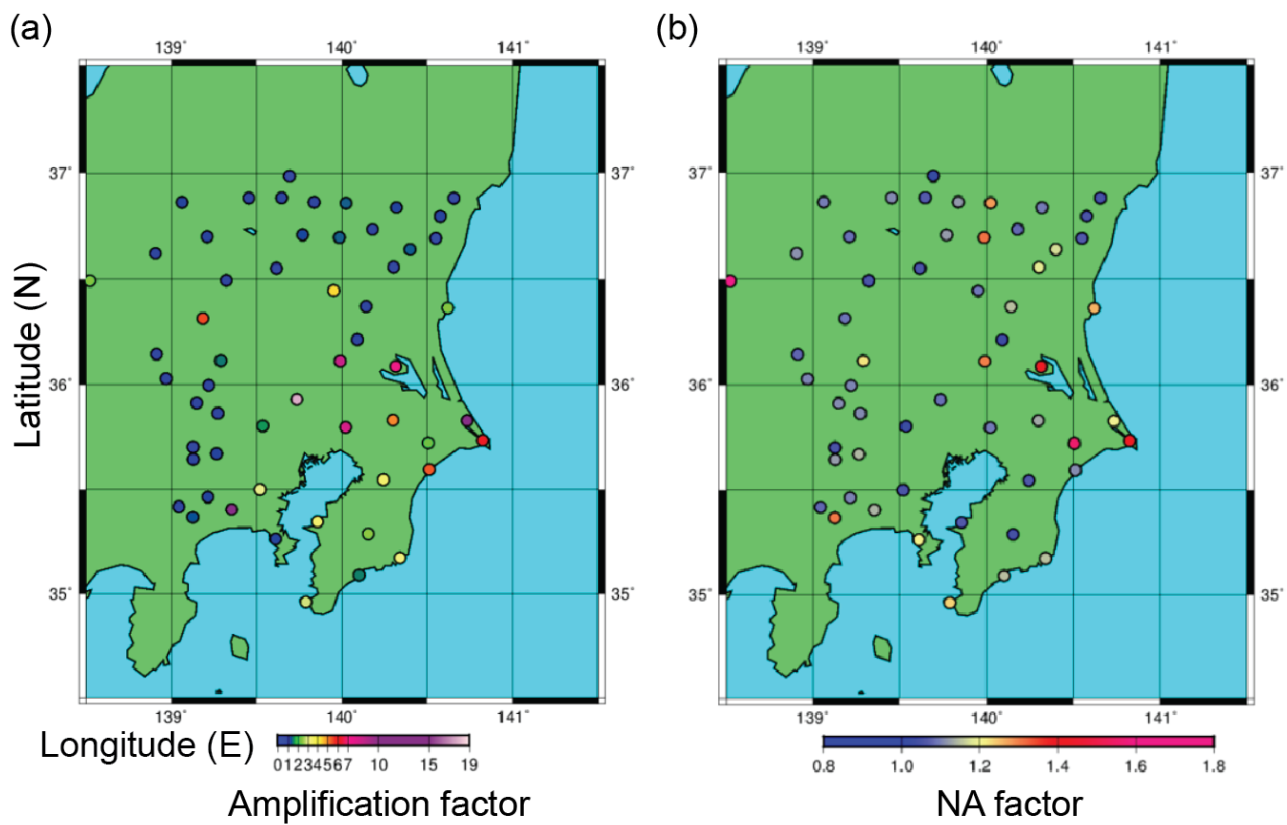


Fig. 1 (a) Amplification factors at KiK-net sites. (b) Normalized amplification factors.

関東平野北部における長周期地震動の大きさと卓越周期の震央方位依存性

Variations in strength and predominant period of long-period ground motions around the northern Kanto sedimentary basin due to epicentral directions

*鍛冶川 謙吾¹、吉本 和生¹、武村 俊介²

*Kengo Kajikawa¹, Kazuo Yoshimoto¹, Shunsuke Takemura²

1.横浜市立大学、2.防災科学技術研究所

1.Yokohama City University, 2.National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

はじめに

関東堆積盆地では周期数秒以上のやや長周期地震動（以下、長周期地震動）が頻繁に観測され、その卓越周期は観測地点の地震基盤の深度と関係があることが指摘されている（例えば、Yoshimoto and Takemura, 2014）。一方で、複雑な地震基盤構造の影響で震央方位による長周期地震動の励起の大きさの差異（震央方位依存性）が現れることが報告されている（例えば、湯沢・南雲, 2012）が、長周期地震動を構成するLove波やRayleigh波の励起過程とその震央方位依存性についての詳細は不明であり、高密度な地震観測網で得られた波形データを用いた調査研究が求められている。

そこで本研究では、関東堆積盆地内に敷設されたK-NET/KiK-netおよびSK-net観測点の強震記録を用い、主に関東堆積盆地の北部における水平動記録と上下動記録を独立に解析することにより、長周期地震動の震央方位別の大きさと卓越周期の特徴を詳しく調べた。

解析に使用した地震と解析方法

関東堆積盆地の周囲で発生した震央方位の異なる8つの浅発地震を解析対象とした。F-netのCMT解では、 M_w は5.8~6.9、震源の深さは8 km以浅であり、逆断層型または正断層型の横ずれ型でない成分を多く含んでいる。S波の後続に発現する長周期地震動を解析するため、震央距離150 km未満の観測点では発震時刻から100秒以上記録されている強震記録、震央距離150 km以上の観測点では発震時刻から200秒以上記録されているまたは記録時間が150秒以上である強震記録のみを解析に使用した。これらの条件を満たす地震波形について、速度波形のフーリエスペクトルから長周期地震動の大きさと卓越周期を評価した。

長周期地震動の大きさと卓越周期の震央方位依存性

上記の解析方法により求められた水平動と上下動のフーリエスペクトルを比較すると、どの地震についても、上下動と比べ水平動においてスペクトル振幅が大きく卓越周期も長いことが分かった。これは、関東堆積盆地内では、Love波の振幅がRayleigh波の振幅よりも卓越するためと考えられる。卓越周期は、どちらの成分についても地震基盤が深くなるほど長周期化することが確認された。しかしながら、この特徴が見られるのは地震基盤の深さが1.5~2 km程度までであり、それより地震基盤が深くなると観測される卓越周期は水平動で6.3秒程度、上下動で4.9秒程度と概ね一定値を示した。この観測現象も、関東堆積盆地内では、水平動にはLove波の振幅、上下動にはRayleigh波の振幅が卓越するためと考えられる。

関東堆積盆地北部における長周期地震動の振幅と卓越周期を2004年新潟県中越地震と2011年福島県浜通り地震で比較したところ、振幅スペクトルの大きさは同程度であったが、卓越周期には大きな違いが見られた。地震基盤の深い（2 km以上）地点における卓越周期は、2004年新潟県中越地震では水平動で6.6秒程度、上下動で5.2秒程度であるが、2011年福島県浜通り地震では水平動で5.6秒程度、上下動で4.6秒程度であった。この解析結果は、長周期地震動の励起が上下動および水平動ともに地震の震央方位に依存することを示唆するものである。

謝辞

本研究では防災科学技術研究所のK-NET/KiK-netの波形記録およびF-netのCMT解を使用しました。また、首都圏強震動総合ネットワークSK-netの波形記録を使用しました。

キーワード：長周期地震動、関東堆積盆地、震央方位依存性、卓越周期、表面波

Keywords: long-period ground motion, Kanto sedimentary basin, variation due to epicentral direction, predominant period, surface wave

関東平野における長周期地震動の震源方位特性とその時系列変動

Source Azimuthal Dependence of Long-Period Ground Motions in the Kanto Basin and the transition of time-history

*野寄 真徳¹、津野 靖士²、山中 浩明³、地元 孝輔³

*Masanori Noyori¹, Seiji Tsuno², Hiroaki Yamanaka³, Kosuke Chimoto³

1.前東京工業大学大学院、2.鉄道総合技術研究所、3.東京工業大学大学院

1.Tokyo Institute of Technology (Former), 2.Railway Technical Research Institute, 3.Tokyo Institute of Technology

2011年東北地方太平洋沖地震の際、関東平野全域で長周期地震動が観測され、超高層建物にも大きな揺れが生じた。その本震や余震等のデータ分析により、関東平野で観測される長周期地震動の増幅特性が震源の方位によって異なることが報告されている(湯沢・南雲, 2012; 津野ほか, 2012)。津野ほか(2012)は、東北地方太平洋沖地震とその余震記録の解析を行っており、地中と地表で観測された地震記録の速度応答スペクトル比から算出されたサイト増幅特性は、周期3秒以上の地震動に対して震源の位置に依存すると報告している。

著者らは、関東平野周辺で発生した10地震の観測記録と地震動シミュレーションの結果を用いて、関東平野における長周期地震動の震源方位特性について検討(Noyori et al., 2015)を行ってきた。その結果、関東平野中心部の観測記録において、関東平野から北西の新潟方面または南西方向の静岡方面に震源が位置する地震に対して周期3秒以上の長周期地震動が卓越しやすく、地震動シミュレーションの結果においてもこの傾向が得られることが分かった。本報告では、関東平野で観測されたKiK-netの記録を一定時刻ごとに区切り地表/地中の速度応答スペクトル比を求め、震源方位特性の時系列変動について検討をした。

キーワード：長周期地震動、震源方位、サイト増幅特性、関東平野

Keywords: Long-period ground motion, Source azimuth, Site effect, Kanto Basin

Equivalent-Linear Site Response Analysis in the Kanto Plain

*Rami Ibrahim¹, Tetsu Masuda¹, Kazuki Koketsu¹, Takeshi Hirose², Hideaki Takaku²

1.Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo, 2.East Nippon Expressway Company Limited

The Kanto plain, the largest and most populated plain in Japan, is covered with thick marine sediments that can cause large amplifications of seismic waves during a big earthquake. The sediments thickness over the engineering base reaches to several hundred meters under the central part of Tokyo Metropolitan area. In this study, we evaluated the nonlinear site responses of layers between engineering base and free surface in the Kanto plain. We adopted an equivalent linear approach using DYNEQ program developed by Yoshida and Suetomi (1996) for the site response analyses. We use stochastic Green's function method to generate synthetic waveforms from 16 hypothetical earthquake source models located in the crust, and on the interface or within the of subducting Philippine Sea Plate. The simulations were done between the seismic sources and the engineering base where shear-wave velocity is equal to 500 m/s. Synthetic waveforms on the engineering base were used as input motion in DYNEQ program. Shear modulus versus strain ($G/G_0-\gamma$) and damping versus strain ($h-\gamma$) relationships of Central Disaster Management Council of Japan (CAO) are recognized to express the dynamic shear deformation of soil (clay, sand, and gravel). Shallow shear-wave velocity structural models above the engineering base were also provided by CAO. Resultant waveforms on the free surface show a systematic dependence on the thickness of soft structures above the engineering base. Large amplifications are dominant at short periods above shallow soft sediments, whereas peak amplitudes shifted to longer periods for sites located above deep soft sediments. Nonlinear site effects, inferred by de-amplification of the site responses, were typically obvious at short periods of approximately 0.2 s and shorter. Predominant periods of the soil was calculated based on empirical relations and compared to those obtained from the spectral ratio. Both predominate periods show disagreement at sites where nonlinear site responses are expected. The large deformations are mostly concentrated in shallow 30 m of soil inferred from shear strain analysis. Our analyses showed considerable effects of nonlinear response of surface layers to large seismic inputs on the engineering base. Our results reconfirm the importance of nonlinear soil effect consideration in risk assessment of structures.

Keywords: Equivalent linear approach, Site effects, Tokyo Meteropolitan Area

The Effects of Thick Sediments to Long-period Ground Motion in Northern China

*Yiqiong Li¹

1. Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing, China

The study of ground motion is a cross research field between earth science and engineering science. Theoretical seismologists are more concerned about propagation path and the effect of seismic focus, while engineering seismologists are more concerned with the ground effect. Studies have shown that the western Taiwan coastal plain is influenced by long-period ground motion from the 1999 Chi-Chi, Taiwan, earthquake, and engineering structures with natural vibration long-period are damaged by strong surface wave in the western coastal plain. The thick sediments in the western coastal plain are the main cause of the propagation of strong long-period ground motion. The thick sediments similar to in the western coastal plain also exist in northern China.

It is necessary to research the effects of thick sediments to long-period ground motion in northern China. The numerical simulation of ground motion based on theoretical seismology is one of important means to study the ground motion. We will carry out the numerical simulation of long-period ground motion in northern China by using the existing tomographic imaging results of northern China to build underground medium model, and adopting finite fault source model for wave input. In the process of simulation, our previous developed structure-preserving algorithm, symplectic discrete singular convolution differentiator (SDSCD), is used to deal with seismic wave field propagation. Our purpose is to reveal the formation and propagation of long-period surface wave in thick sediments and grasp the amplification effect of long-period ground motion due to the thick sediments. It will lay the foundation on providing the reference for the value of the long-period spectrum during determining the ground motion parameters in seismic design. This work has been supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No.41204046, 42574051).

Keywords: Thick Sediments, Long-period Ground Motion

地震波形の広帯域性を考慮した三次元速度構造インバージョン

A multi-period inversion of broadband seismic waveforms for 3-D velocity structures

*郭 雨佳¹、瀨瀬 一起¹*Yujia Guo¹, Kazuki Koketsu¹

1.東京大学地震研究所

1.Earthquake Research Institute, University of Tokyo

信頼度の高い長周期地震動の予測や、地震波の長周期成分を用いた正確な震源過程解析を行うには、三次元速度構造モデルの高度化が必要不可欠である。また、堆積盆地や海溝沿いの付加体などの三次元速度構造が地震波の長周期成分の伝播に複雑な影響を与えることが、多くの既往研究において指摘されている。そのような影響を考慮に入れるべく、地震波形そのものを用いた三次元速度構造のインバージョンは非常に有効な手法である。波形インバージョンに基づく三次元速度構造の推定は、これまでに先行研究がいくつかある。Aoi (2002) は三次元堆積盆地の形状を波形インバージョンによって求める手法を提案した。Iwaki and Iwata (2011) は実際の観測記録を使用して、Aoi (2002) の手法を大阪平野の堆積盆地構造に適用した。引間 (2006) は速度層の層厚を未知パラメータとして、震源と観測点を結ぶ二次元断面で速度構造を推定し、その結果を補間して三次元速度構造モデルを作成する手法を開発し、実観測記録に適用した。また、南カルフォルニアでは、波動場とアジョイント法を組み合わせたアジョイント・トモグラフィによる地震波速度や非弾性減衰の推定の事例もある (e.g., Askan and Bielak, 2008; Tape *et al.*, 2010)。

長周期地震動の評価では、周期2-3秒から20秒程度までの周波帯域における地震波が重要である。そこで、本研究は、このような広い周波帯域の観測波形を再現できる三次元速度構造を、波形インバージョンによって推定する手法を提案する。本手法では10-20秒、次に5-20秒、最後に2-20秒というように、対象とする周期を複数に分割する。長周期側の成分からインバージョンを開始し、得られた暫定解を次の短周期成分を含む波形インバージョンでの初期モデルとして利用し、対象周期全体をカバーする帯域の波形インバージョンまでこれを繰り返す。インバージョンの未知パラメータは引間 (2006) と同様、層内の物性値が一定な複数の速度層の各層の層厚とし、非線形のダンプ付き最小二乗問題を線形近似して反復法で解く。本手法は、長周期側成分のインバージョンでインバージョン節点の間隔を粗く設定できる (e.g., Bunks *et al.*, 1995) うえ、短周期側成分を含んだ波形インバージョンでの解の収束が速いことから、従来のインバージョンと比べてフォワード計算の回数を削減できる利点がある。また、多数の速度層からなる複雑な速度構造に対しても、安定的に解が求まる。

インバージョンに必要な偏微分波形は差分近似で求め、その際のフォワード計算はKoketsu *et al.* (2004), Ikegami *et al.* (2008) によるボクセル有限要素法を使用する。また、インバージョンの反復の安定化を図るため、修正Marquardt法を使用する。各反復では、ヤコビ行列を特異値分解して解を求める。広帯域波形に対する再現性および地震波の波長等に基づく適切な周波帯の分割方法など、本手法の妥当性を確認するための数値実験を実施した。発表ではその結果について報告する。

キーワード：速度構造モデル、波形インバージョン、広帯域地震波形、ダンプ付き最小二乗法、非線形問題

Keywords: Velocity structure model, Waveform inversion, Broadband seismic waveform, Damped least-squares method, Non-linear problem

大分県の震度計データを用いたH/V, R/Vスペクトルの算定と既往速度構造モデルの検討
Performance Check of the Velocity Structure Model of Oita Prefecture Using Strong Motion
H/V and R/V Spectral Ratio

*吉見 雅行¹、山田 雅行²

*Masayuki Yoshimi¹, Masayuki Yamada²

1.産業技術総合研究所活断層・火山研究部門、2.株式会社ニュージェック

1.Geological Survey of Japan, AIST, 2.NEWJEC Inc.

大分県の自治体震度計49点およびK-NET, KiK-netの地震波形記録について、H/VスペクトルおよびR/Vスペクトルを算出した。解析対象は自治体震度計で波形記録が得られた2005年3月から2015年11月までの全68地震である。主な地震の震源域は、2005年3月20日福岡県西方沖地震(M7.0)とその余震、2007年6月別府湾北西部付近の浅い地震(最大M4.9)、伊予灘付近のやや深い地震(最大は2014年3月14日のM6.2)、大分県中部の深い地震(D=145km, M6.2)、2015年7月13日大分県南部の地震(D=58km, M5.7)である。大分県自治体震度計は全て加速度計で構成され、サンプリング周波数は100Hz、自治体役場・支所、消防署等の公共施設に設置されている。震度計の波形記録は60秒間を1単位として切り出されており、ほとんどのデータ長は60秒間である。また、観測点によっては数個の地震記録しか得られていないところもある。

収集した地震観測記録の主要動部分(後続波含む)を用いて、H/Vスペクトルを算定した。0.2~10Hzの周波数帯域について地震間のスペクトル平均をとり、観測H/Vスペクトルとした。さらに、地震規模の大きな地震についてR/Vスペクトルを算定した。S波初動から20.48秒以降の後続波部分を用いた。ただし、大分県震度計については、観測データ長が60秒間のものが多いため高々数個の地震の平均値となった。

これらH/V, R/Vスペクトルを既往速度構造モデル(大分県, 2008)による理論H/Vスペクトルと比較した。大分県の地質構造は臼杵-八代構造線以南の主に地震基盤相当が露頭する地域、構造線付近の上部白亜系堆積岩類(大野川層群)が分布する地域、深い地震基盤相当面の上に新第三紀から第四紀の地層が厚く分布する「別府-島原地溝」の地域、およびその北部の地域に大別される。この地質構造に対応して、理論H/Vスペクトルは概して「別府-島原地溝」の地域で1Hz以下にピークを持ち、それ以外の地域では低周波数帯域に明瞭なピークを持たないものが多い。既往モデルはK-NET, KiK-netおよび気象庁の観測記録を用いた補正が行われているが、自治体震度計の近傍にこれらの観測点がある場合には、自治体震度計のスペクトル特性は既往速度構造モデルで概ね説明可能である。ただし、大野川層群の分布地域ではやや理論値と観測値にズレがある傾向が見られたが、浅部地盤の影響である可能性もあり精査が必要である。今後はこれらのデータを基に、速度構造モデルを修正する予定である。

謝辞: 大分県生活管理部防災危機管理課には自治体震度計ネットワークのデータをご提供頂きました。防災科研のデータを使用しました。また、本研究は文部科学省委託「別府-万年山断層帯(大分平野-由布院断層帯東部)における重点的な調査観測(平成26~28年度)」の一環として実施しました。

キーワード: H/Vスペクトル、R/Vスペクトル、3次元速度構造モデル

Keywords: H/V spectral ratio, R/V spectral ratio, three-dimensional velocity structure model

レシーバー関数を用いた鳥取県内の地震観測点における地盤構造推定

Estimation of Subsurface Structure Using Receiver Function at Seismograph Observatory Site in Tottori Prefecture

*野口 竜也¹、西川 隼人²、吉田 昌平¹、香川 敬生¹

*Tatsuya Noguchi¹, Hayato Nishikawa², Shohei Yoshida¹, Takao Kagawa¹

1.鳥取大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻、2.舞鶴工業高等専門学校

1.Department of Management of Social Systems and Civil Engineering, Civil Engineering Course Graduate School of Engineering, Tottori University, 2.National Institute of Technology, Maizuru College

鳥取県ではM7クラスの1943年鳥取地震、2000年鳥取県西部地震が発生しており、地盤震動の影響による地震被害の相違が報告されている。本研究では、鳥取県内の地震観測点の地震記録から得られたレシーバー関数（野口ら、2015）を用いて、微動探査による表層地盤モデル（野口ら、2014）、既存の深部地盤モデル（鳥取県、2005）およびJ-SHISの地盤モデル等を基に地盤構造の推定を行った。解析手順としては、まず地震記録によるレシーバー関数と既往の地盤構造モデルのパラメータによるPS-P時間を比較し、層厚を調整することにより推定を行った。次に既往の地盤構造モデルからHaskellマトリックスに基づく1次元解析によりレシーバー関数を求め、観測値のレシーバー関数と比較し、両者が一致するように試行錯誤で地盤構造のモデリングを試みた。

キーワード：レシーバー関数、地盤構造、地震観測点、鳥取県

Keywords: Receiver function, Subsurface structure, Seismograph observatory site, Tottori Prefecture

鳥取県中部地域における地下構造探査および地震記録の分析

Exploration of Underground Structure and Analysis of Seismic data in Central Area of Tottori Prefecture

*野口 竜也¹、上野 太士¹、中井 翔¹、有村 翔也¹、吉見 和¹、香川 敬生¹、吉田 昌平¹

*Tatsuya Noguchi¹, Hiroshi Ueno¹, Sho Nakai¹, Shoya Arimura¹, Kazu Yoshimi¹, Takao Kagawa¹, Shohei Yoshida¹

1.鳥取大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻

1.Department of Management of Social Systems and Civil Engineering, Civil Engineering Course
Graduate School of Engineering, Tottori University

鳥取県中部地域では、1983年M6.2の地震が発生し、倉吉市を中心にその地震による被害が報告されている。ほぼ同じ震源域で2015年10月と12月にM4クラスで最大震度4の地震が立て続けに4回発生している。本研究では同地域の湯梨浜町、三朝町、鳥取市青谷町において微動および重力探査により地下構造探査を行った。また、2015年に発生した地震後に震源域周辺で臨時観測点の設置による余震観測を行い、自治体に常時設置されている震度計の地震記録とともにデータの整理と分析を行った。地下構造探査の結果、対象地域のS波速度構造および微動H/Vの卓越周期、重力異常による基盤構造を得ることが出来た。また、地震記録の分析により対象地点の地震指標の特徴を把握することができた。

キーワード：地下構造、物理探査、地震記録、鳥取県中部

Keywords: Underground structure, Geophysical exploration, Seismic data, Central Area of Tottori Prefecture

阿蘇山の長周期火山性微動記録を用いたRayleigh波位相速度の推定—別府湾周辺地域—

Estimation of Rayleigh Wave Phase Velocities around the Beppu Bay Area using Long-period Volcanic Signals

*林田 拓己¹、吉見 雅行²*Takumi Hayashida¹, Masayuki Yoshimi²

1. (国研) 建築研究所 国際地震工学センター、2. (国研) 産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門
1.IISEE, Building Research Institute, 2.Geological Survey of Japan, AIST

別府湾および周辺地域における深部地盤構造モデルの検証を目的として、2014年8月より湾の周囲12地点に広帯域地震計を展開し、地震動および微動の連続観測を実施している(林田・他、2015年連合大会)。観測点の設置とほぼ同時期に、阿蘇山の火口周辺を振動源とする火山性の長周期微動(e.g. Kaneshima et al., 1996, Science)が活発化しており[三反畑・他(2015年連合大会); 松澤・他(2015年連合大会)]、本観測網で得られた波形記録においても10か月以上にわたって明瞭なシグナルが捉えられている。観測されたシグナルの特徴として、(1) 0.06-0.12Hz(周期8-16秒)の周波数帯域において明瞭に観測されること、(2) 水平動成分に比べて上下動成分の振動が顕著に見られること、(3) Rayleigh波の挙動を示すこと、(4) 伝播速度は約3.2km/sであることが挙げられる。本観測網で得られる常時微動記録を用いた地震波干渉法処理では、観測点間隔の都合上0.2Hz以下の低周波数帯域におけるグリーン関数の抽出が困難であることから(林田・他、2015年地震学会)、より広い周波数帯域における表面波の分散性を把握するための手段としてこのシグナルに着目した。まず、阿蘇山中央火口から別府湾までの距離(50-100km)に比べて十分に短い観測点間距離を有する観測点ペア15組を選定し、明瞭なシグナルが見られる上下動成分の速度波形に対して0.05-0.12Hzの範囲内で0.001Hz毎に通過帯域フィルタを施した。そして2地点の波形の位相差とシグナルの入射方位よりRayleigh波の位相速度を推定し、既往の地震波速度構造モデルから導出される理論分散曲線との比較を行った。推定された位相速度は多くの観測点ペアで分散性を有しており、0.06-0.08Hzの帯域における推定値(3.4-3.6km/s)は広域の地殻構造モデル(Nihsida et al., 2008, JGR)から得られる理論値と調和的である。一方、0.1Hz前後では推定値に地域性が見られる。また、一部の観測点ペアでは0.1H前後において推定値と理論値が乖離しており、必ずしもシグナルの入射方位が阿蘇山の方角と対応していない可能性も示唆される。既往の微動アレイ探査(吉見・他、2015年地震学会)との整合性の確認や深部地盤構造モデルに基づく長周期微動の理論波形との比較を行うことで、推定値の妥当性を検討する必要がある。

謝辞：本研究は、文部科学省委託「別府—万年山断層帯(大分平野—由布院断層帯東部)における重点的な調査観測(平成26~28年度)」の一環として実施しました。

キーワード：阿蘇山、長周期微動、位相速度、Rayleigh波

Keywords: Aso volcano, long period tremor, phase velocity, Rayleigh wave

長周期地震動評価のための簡易地下構造モデルの構築方法 –レイリー波の分散特性の利用–

A method for constructing seismic velocity structure model for long-period ground motion evaluation - utilization of Rayleigh-wave dispersion information -

*増田 啓¹、吉本 和生¹、武村 俊介²

*Kei Masuda¹, Kazuo Yoshimoto¹, Shunsuke Takemura²

1.横浜市立大学大学院生命ナノシステム科学研究科、2.防災科学技術研究所

1.Yokohama City University, 2.National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

はじめに

首都圏における周期数秒以上の長周期地震動の評価のためには関東堆積盆地の精緻な地震波速度構造モデルが必要である。近年、Yoshimoto and Takemura (2014) により同堆積盆地内では堆積層のS波速度の鉛直変化が簡便な3変数モデル (Ravve and Koren 2006) により近似できることが指摘され、Takemura et al. (2015) によりそのモデル化手法が長周期地震動の評価に有効であることが示された。本研究では、このモデル化手法に基づき、長周期地震動のアレイ解析と微動アレイ解析から得られるレイリー波の分散特性を用いた長周期地震動評価のための簡易地下構造モデルの構築方法を提案し、その実用性を数値テストにより検討した。

簡易地下構造モデルの構築方法

簡易地下構造モデルの構築にあたり、レイリー波の位相速度に関する情報を、長周期帯 (6-8秒程度) では高密度強震観測網で得られた長周期地震動波形のアレイ解析から、短周期帯 (1-3秒程度) では微動アレイ観測とそのデータ解析から利用できるものと仮定する。上述した3変数モデル (変数: 地表のS波速度, S波速度の深さ方向への変化率, S波速度の堆積層内の最大増大値) は、堆積層内のS波速度の最大増大値を地震基盤のS波速度に固定することで、2変数モデルに単純化できる。さらに密度とP波速度をS波速度との経験式から仮定することで、レイリー波の位相速度の分散特性を最適に説明する堆積層の地震波速度構造の逆解析は、2変数のグリッドサーチによる残差評価で簡単に実行可能となる。

数値テストの結果

上述の逆解析手法の実用性を評価するために数値テストを実施した。横浜観測井の地下構造 (山水 2004) をテストモデルとして、どの程度のレイリー波の位相速度の情報が利用できれば、堆積層の地震波速度構造を正確に逆推定できるのか調べた。具体的には、位相速度の情報が長周期帯では周期6, 7, 8秒で利用できるとし、短周期帯では周期1, 2, 3秒のうち幾つかに限って利用できるものとした。1次元構造中のレイリー波の位相速度についてはHerrmann (2013) によって評価した。

様々な数値テストの結果、長周期帯の情報だけでは安定的に地震波速度構造は推定できないが、短周期帯のうち特に地表のS波速度に感度の高い周期1秒の位相速度を利用できれば、モデルパラメタ空間における残差分布に明瞭な局所的最小値が現れ、安定して地震波速度構造を推定できることがわかった。この結果は、長周期地震動波形のアレイ解析で得られるレイリー波の位相速度の情報に比較的小規模の微動アレイ観測で得られる情報を追加することにより、本研究の逆解析手法を用いて、長周期地震動評価のための簡易地下構造モデルを構築できる可能性を示すものである。

学会発表では位相速度の測定値に誤差が混入する場合の逆解析の安定性などについて詳しく説明する。

キーワード: 長周期地震動、堆積層構造、レイリー波、位相速度

Keywords: long-period ground motion, sedimentary structure, Rayleigh-wave, phase velocity

微動アレイ観測による関東地域全域の3次元S波速度構造モデルの構築

Estimation of 3D S-wave velocity model of sedimentary layers in Kanto area, using microtremor array measurements

*神 薫¹、先名 重樹¹、若井 淳¹、藤原 広行¹

*Kaoru Jin¹, Shigeki Senna¹, Atsushi Wakai¹, Hiroyuki Fujiwara¹

1. 国立研究開発法人 防災科学技術研究所

1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

1. はじめに

防災科研は、地震動特性の評価の精度を向上させる目的で、これまでに関東地域において浅部・深部統合地盤モデルの作成に取り組んできている¹⁾。この地盤モデルを高度化するため、2009年～2015年にかけて関東地域の平地部において、微動探査（アレイ・単点・極小アレイ）を高密度に実施してきた。先名ほか(2015)²⁾は、2014年度までに実施してきた約320地点の微動アレイ、約5000地点の極小アレイ微動探査結果と強震記録を用いて既往の地盤モデルをチューニングし、成果を得ている。

このモデルに対して2015年度に実施した微動観測データを加えてさらにチューニングを施し、関東地域全体の地盤モデルについてまとめている（先名ほか(2016)※本大会発表）。ここでは、前述のデータおよび、防災科研の微動データベース等に登録されているものも含めた関東地域全域での微動アレイ探査の結果について報告する。

2. 微動アレイ探査について

防災科研で実施した研究業務における微動アレイ探査はこれまでに、関東地域7都県の平地部において約5km程度の間隔で、強震観測地点264地点を含めた414地点で実施している。展開したアレイの大きさは、工学的基盤相当層以深をターゲットとして、半径100～400m（一部半径800mでの観測も実施）の正三角形アレイおよび辺長75mのL字型とした。また観測にはJU210、JU215（白山工業社製）およびアレイの一部ではVSE-15D6（東京測振社製）を用いた。

またS波速度構造は、微動アレイ探査によって得られた位相速度に対して、強震記録のR/Vスペクトル（または微動記録のH/Vスペクトル）を併せ、ジョイントインバージョンによって求めた。

なお、既往の微動探査が実施され結果が公表されている³⁾⁴⁾地点等では、その既往微動アレイの位相速度と本研究での観測で得られた位相速度とを接合して、速度層解析に使用した。

3. まとめ

この結果に対して差分法を用いて検証した結果、微動アレイ探査と強震記録により、特に、山地部との境界付近と、平地部の350～900m/s程度の中速度層（0.5～3Hz程度の周波数帯に対応）が大きく改善されたことが確認できた。

今後は、関東地域の地盤モデルの精度をさらに向上させるとともに、東海地域においても関東地域同様に統合地盤モデルの作成に取り組んでいく予定である。

謝辞

本研究は、総合科学技術・イノベーション会議のSIP（戦略的イノベーション創造プログラム）「レジリエントな防災・減災機能の強化」（管理法人：JST）によって実施されました。また、埼玉県環境科学国際センターの白石英孝氏より、微動アレイデータの提供を頂きましたことに感謝します。

参考文献

- 1) Senna, S., T. Maeda, Y. Inagaki, H. Suzuki, H. Matsuyama, and H. Fujiwara (2013): Modeling of the subsurface structure from the seismic bedrock to the ground surface for a broadband strong motion evaluation, *J. Disaster Res.*, 8, 889-903.
- 2) 先名・松山ほか(2015)；関東地域における微動観測に基づくS波速度構造の推定と地盤モデルの構築，物理探査学会第133回学術講演会論文集，p.58-61.
- 3) 松岡・白石(2002)；関東平野の深部地下構造の精査を目的とした微動探査法の適用性－埼玉県南部地域の三次元S波速度構造の推定－，*BUTSURI-TANSA*, Vol.55, No.2, pp.127-143.

4) 山中浩明・山田伸之(2002) : 微動アレイ観測による関東平野の3次元S波速度構造モデルの構築, 物理探査, 55, pp.53-65.

キーワード: 微動アレイ探査、速度構造

Keywords: microtremor array observation, velocity structure

関東地域における極小・不規則アレイ微動観測に基づく浅部地盤モデルの高度化

Improvement of shallow subsurface structure models based on miniature and irregular array microtremor observations in Kanto Area

*若井 淳¹、先名 重樹¹、神 薫¹、長 郁夫²、藤原 広行¹

*Atsushi Wakai¹, Shigeki Senna¹, Kaoru Jin¹, Ikuo Cho², Hiroyuki Fujiwara¹

1.防災科学技術研究所、2.産業技術総合研究所

1.National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, 2.National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

1. はじめに

巨大地震による被害推定を行う上で、広域における広帯域の地震動特性を精度良く評価できるようにすることは重要である。そのためには、より高度化された地盤モデルの構築が重要な課題の一つである。

防災科研ではこれまでに、広帯域(0.1Hz~10Hz程度)の地震動特性を評価できるような地盤モデルを構築するため、特に浅部と深部地盤の双方に影響のある周期付近(0.5~2.0秒)の地震動をうまく説明する上で重要となるボーリングデータおよび物性値データ(主に微動観測データ)を収集し、浅部・深部を結合した地盤モデルを作成してきている。現在、防災科研では、内閣府SIP「レジリエントな防災・減災機能の強化」の⑤「リアルタイム被害推定・災害情報収集・分析・利活用システム開発」のテーマの1つである「地震被害推定のための地下構造モデルの構築」において、関東・東海地域の広域地盤モデルの構築を実施している。

本検討では、SIP事業として2014年度後半から2015年度に極小・不規則アレイ微動観測を実施した関東1都6県を対象として、極小・不規則アレイ微動観測記録から得られる1次元S波速度構造や2次元S波速度構造断面を用いて、既存のボーリングデータや表層地質情報に基づいて作成された初期地質モデルの修正を行い、当該地域における浅部地盤モデルの高度化を試みる。ここでは特に、浅部・深部統合地盤モデルの構築を目標に据えていることを踏まえ、浅部および深部地盤の遷移領域に相当すると考えられる工学的基盤面周辺

(Vs300m/s~500m/s層程度)の速度構造に着目した検討を行う。

2. 極小アレイ微動観測

常時微動観測については、関東地域の主に低地・台地において、アレイ半径60cmの「極小アレイ」、3m~10mの「3点不規則アレイ」を実施している。極小アレイおよび3点不規則アレイ観測は主に、公道上や地震観測点(K-NET, KiK-net, SK-NET および気象庁)など合計で約5,000地点(2016年2月現在)において実施した。観測機器としては、一体型常時微動観測機材JU210, JU215およびJU410(白山工業社製)¹⁾を用いて、約1~2km間隔で各地点15分間の観測を行った。また、サンプリング周波数は100Hzもしくは200Hzとした。

3. 浅部地盤S波速度構造の解析手法

本検討では、近年の研究^{2)~5)}で提案・高度化されている微動観測に基づく浅部地盤探査手法により、1次元S波速度構造の評価を行う。解析は微動解析ソフト「BIDO」等を用いて、以下の手順で行う。

- (1) 分散曲線およびH/Vスペクトル比の自動解析, 読み取り
- (2) AVS30等の増幅特性の抽出
- (3) 分散曲線の直接変換(Simple Profiling Method; SPM)
- (4) H/Vスペクトル比の深度変換等
- (5) 簡易逆解析(Simple Inversion Method; SIM)等の逆解析処理

以上により得られる1次元S波速度構造や2次元S波速度構造断面にて、既存の初期地質モデルと比較・検討した上で、必要に応じた修正を行う。

- (6) Vs350およびVs500上面深度の抽出

4. まとめ

本検討では、関東地域の主として低地・台地における極小アレイ微動観測で得られたデータに基づいて、1次元S波速度構造や2次元S波速度構造断面を推定して、当該地域における既存の初期地質モデルと比較・検討した上で適切に修正する。特に、工学的基盤面周辺(Vs300m/s~500m/s層程度)に着目した浅部地盤モデルの高度化

を試みている。結果の詳細については、大会にて報告予定である。

謝辞

本研究は、総合科学技術・イノベーション会議のSIP（戦略的イノベーション創造プログラム）「レジリエントな防災・減災機能の強化」（管理法人：JST）によって実施されました。

参考文献

- 1) 先名重樹, 藤原広行, 微動探査観測ツールの開発 その1-常時微動解析ツール-, 防災科学技術研究所研究資料, 313, 2008.
- 2) 長郁夫, 多田卓, 篠崎祐三, 極小アレイによる新しい微動探査法, 浅部地盤平均S波速度の簡便推定, 物理探査, 61(6), 457-468, 2008.
- 3) Cho, I., S. Senna, and H. Fujiwara, Miniature array analysis of microtremors, *Geophysics*, 78, KS13-KS23, doi:10.1190/geo2012-0248.1, 2013.
- 4) 長郁夫, 先名重樹, 藤原広行, 微動のH/V スペクトルを用いたS波速度不連続の概査法の提案, 第129回物理探査学会学術講演会, P-4, 2013.
- 5) 先名重樹, 長郁夫, 藤原広行, 常時微動を用いた浅部地盤構造探査の高度化について, 物理探査学会第130回学術講演論文集, 43-46, 2014.

キーワード：浅部地盤、速度構造、極小アレイ、微動

Keywords: shallow subsurface structure, velocity structure, miniature array, microtremor

常時微動のH/Vスペクトルの推定値とF分布との関係に関する一検討

An examination of the relation between the distribution of microtremor

Horizontal-to-Vertical spectral ratios and the F distribution

*長 郁夫¹、岩田 貴樹²*Ikuo Cho¹, Takaki Iwata²

1.独立行政法人 産業技術総合研究所、2.常磐大学

1.National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 2.Tokiwa University

3種類の微動波形（ランダム位相波形、地盤モデルを仮定した現実的な数値微動波形、観測微動波形）を用いてそれぞれHorizontal-to-Vertical Spectral Ratio (HVSr)推定値とF分布との関係性を評価した。F分布との適合性の評価には、Kolmogorov-Smirnov (KS) 検定の統計量Dを乖離度の指標として用いた。ランダム位相波を用いたHVSr推定のシミュレーションによって、微動の波の到来方向の分散が大きければ大きいほどHVSrはF分布に近付くことが示された。すなわち、F分布との乖離度は微動の波動場に依存する。現実的な数値微動波形及び観測微動波形を用いて様々なスペクトル解析パラメータの組み合わせでHVスペクトルを推定したところ、HVSrの推定値の標本数が3000の時にはDの実現値が1.5~6 %の範囲に入ることが示された。この範囲にはF分布の統計的適合性の閾値が含まれるので、このばらつきの中でF分布の統計的適合性は変わり得る。以上の結果は、現実の微動では標本数が十分に大きい場合のDの下限すなわち微動のHVSrとF分布との乖離度は数%もしくはそれ以下であること、Dの具体的な値や適合度検定の結果は微動の波の到来方向の偏りやその揺らぎに依存する可能性があることを示している。

キーワード：微動、H/Vスペクトル、確率分布

Keywords: microtremor, H/V, probability distribution

空間自己相関法による埼玉県加須低地の微動アレイ探査

Microtremor array survey with spatial autocorrelation technique of Kazo lowland in Saitama prefecture, Japan

*白石 英孝¹、八戸 昭一¹、佐坂 公規¹

*Hidetaka Shiraishi¹, Shoichi Hachinohe¹, Kouki Sasaka¹

1. 埼玉県環境科学国際センター研究推進室

1. Center for Environmental Science in Saitama

埼玉県北東部に位置する加須低地を対象に、空間自己相関法(SPAC法)による微動アレイ探査を実施し、およそ深度3000mまでのS波速度構造の推定を行った。

異なる半径をもつ3つのタイプのSPACアレイそれぞれ半径100m、300m、600mのアレイを各調査サイトの地盤上に設置し、およそ1時間の微動観測を行った。調査サイトは、全11地点で、東西約20km、南北15kmの領域に展開した。この観測により、レーリー波基本モードに対応する位相速度分散曲線が、およそ0.2~1.5Hzの範囲で得られた。

S波速度構造は、遺伝的アルゴリズムを用いた観測分散曲線の逆解析によって推定し、初期値には地震被害想定調査で作成されたモデルを使用した。

全11地点の1次元S波速度構造モデルを推定し、既存の探査結果と比較したところ、全体の傾向としては概ね調和的であったが、細部では既存モデルの微修正が必要になるものと推測された。

キーワード：微動探査法、空間自己相関法、S波速度構造

Keywords: Microtremor survey method, Spatial autocorrelation technique, S-wave velocity structure

島根県出雲平野北縁の異常震動帯における微動チェーンアレー探査

Microtremor chain array survey across the abnormal damaged zone of the 1946 Nankai Earthquake in the northern part of the Izumo Plain, Taisha-cho, Izumo City, Shimane Prefecture, Japan.

*林 広樹¹、桑田 庸平¹、汪 発武¹

*Hiroki Hayashi¹, Yohei Kuwada¹, Fawu Wang¹

1.島根大学大学院総合理工学研究科

1.Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Shimane University

島根県出雲市大社町の出雲平野北縁付近では、1946年の昭和南海地震の際に、東西方向の直線的な異常震動帯が出現した。この異常震動帯を横切る南北約140mの微動チェーンアレー探査を実施した結果、深度40mまでの位相速度断面が得られた。得られた位相速度断面を疑似S波速度やM値に換算し、周辺資料と対比した結果、深度約11mに更新統差海層と完新統中海層の境界が存在するものと考えられる。両層の境界は、出雲平野地下に広く分布する埋没平坦面の一部に相当する可能性がある。測線中央付近には、埋没平坦面をさらに10m近くV字型に削り込む埋没谷が認められ、地震被害との関連が示唆される。

キーワード：微動チェーンアレー、昭和南海地震、出雲平野

Keywords: microtremor chain array, the 1946 Nankai Earthquake, Izumo Plain

微動アレー観測に基づいたボゴタ（コロンビア）盆地における速度構造モデルの構築

Estimation of Bogota (Colombia) basin velocity model from microtremors array measurements for strong motion simulations

*プリード ネルソン¹、先名 重樹¹、関口 徹²、山中 浩明³、地元 孝輔³、中川 博人⁴、Eraso Jaime⁵、Garcia Helber⁵、Perico Nelson⁶、Reyes Juan⁷

*Nelson Pulido¹、Shigeki Senna¹、Toru Sekiguchi²、Hiroaki Yamanaka³、Kosuke Chimoto³、Hiroto Nakagawa⁴、Jaime Erasos⁵、Helber Garcia⁵、Nelson Perico⁶、Juan Carlos Reyes⁷

1.防災科学技術研究所、2.千葉大学、3.東京工業大学、4.建築研究所、5.コロンビア地質調査所、6.ボゴタ危機管理庁、7.ロスアンデス大学

1.National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, 2.Chiba University, 3.Tokyo Institute of Technology, 4.Building Research Institute, 5.Servicio Geológico Colombiano, 6.Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático, 7.Universidad de los Andes

Bogota a megacity with almost 8 million inhabitants is prone to a significant earthquake hazard due to nearby active faults as well as subduction megathrust earthquakes. The city has been severely affected by many historical earthquakes in the last 500 years, reaching MM intensities of 8 or more in Bogota. The city is also located at a large lacustrine basin composed of extremely soft soils which may strongly amplify the ground shaking from earthquakes. The basin extends approximately 40 km from North to South, is bounded by the Andes range to the East and South, and sharply deepens towards the West of Bogota. The city has been the subject of multiple microzonations studies which have contributed to gain a good knowledge on the geotechnical zonation of the city and tectonic setting of the region. In order to construct a detailed velocity model of the basin we conducted 68 small to medium size microtremors arrays measurements (radius from 60 cm to 50 m) at 26 sites within the city, and two large arrays measurements at the central part of the basin (radius of 500 m and 1000 m). We calculated dispersion curves and inferred velocity profiles at all the sites. Our velocity profiles for the shallower sediments are characterized by a wide variability in Vs30 whose values range from 80 ~ 150 m/s in the northern and central part of the basin, and 120 ~ 390 m/s in the southern part. Our velocity models reached values of Vs=2000 m/s at a 2 km depth at the central part of the basin, but previous models suggest that the basin depth may largely increase further west. Our preliminar results indicate a sharp boundary in shallow S wave velocities between very soft sediments North of the basin and harder sediments to the South. This striking difference appears to have a strong correlation with the very large water content of the shallower soils (clays and silts) to the North as compared to the small water content of soils (gravels and sands) to the South. Our initial results indicate the need of denser microtremors measurements within the city by including large arrays that allow to characterize in detail the geometry of the basin depth.

Acknowledgements

These activities are a component of a multidisciplinary cooperative research project between Colombia and Japan entitled "Application of state of the art technologies to strengthen research and response to seismic, volcanic and tsunami events and enhance risk management in Colombia (2015-2019)", sponsored by SATREPS. We would like to thank members of our SATREPS team involved in this study; Monica Arcila, Diana Arevalo, Ivan Bautista, Luisa Castillo, Cristina Dimaté, Cristian Gonzalez, Jessica Luengas, Elizabeth Mayo, John Mora, Patricia Pedraza, Leonardo Quiñones, Gustavo Redondo, Andrea Riaño, Marta Tovar.

キーワード：地盤モデル、強震動予測、ボゴタ盆地

Keywords: Soil velocity model, Strong motion simulation, Bogota basin

The strong resemblance between Fourier Spectrum and Phase difference Spectrum of the Seismic Wave.(Science of Form)

The strong resemblance between Fourier Spectrum and Phase difference Spectrum of the Seismic Wave.(Science of Form)

*西澤 勝¹

*Masaru Nishizawa¹

1.なし

1.none

1.The phase difference Spectrum and The Phase Wave of the seismic wave.

Fig-(1). Show "The relationship between the phase difference spectrum and the phase wave". Please refer to reference (3). Find the phase difference Spectrum from the phase wave on the right -hand side, the peak position and added an expanse state of Spectrum are in perfect harmony accord. In short (in other words), in case of the frequency of the phase wave is high, the shape of the normal distribution of the phase difference spectrum is build up sharp. And in the case of large frequency get a flat normal distribution of spectrum. This phenomena stand up all right frequency is high or low. Of course this phenomena is reversible was stated reference (3).

I shall state a next item 2, the seismic wave and this phase wave should be a one-to-one relation. And still more the Fourier spectrum of the seismic wave and the phase difference Spectrum should be a one-to-one relation.

2.The Fourier Spectrum and the normal distribution of seismic wave.

We think that the case of the epicenter length is becoming shorter little by little. The large epicenter length to get along with, the seismic wave energy is dispersed in every direction and still more had died out. As a result, the shape of the Fourier spectrum don't become a hill shape and happened occasionally a pointed shape. The shorter epicenter length to get along with, the shape of the Fourier spectrum of seismic wave is formed a hill and soon are considered the shape of the normal distribution.

Reference. "Earthquake" written by Seismologist KIYOO Wadachi. The Chuukou Library. (A pocket edition) 1933 and 1993(reprint) p.99

"In the near area to the epicenter, the earthquake have very sharp motion. In many case, intense vertical motion happens in the early shocks of an earthquake. The longer the epicenter length little by little, vibration of seismic wave become slow little by little and becomes superior in a horizontal vibration."

The shape of this normal distribution has flat hill and besides has large frequency of the peak of the hill. But get shorter little by little, the shape of the normal distribution (or Bell type) becomes sharp and becomes short frequency.

Moreover make the short epicenter length, we shall study the normal distribution theory (Gaussian distribution, Mt.Fuji-type or Bell type) of probability and statics.

In the reference (4), I have explained the KdV equation.(literature (3),(4))

Abstract

1. The shorter epicenter length shorter, the shape of the normal distribution becomes sharp. And this frequency too becomes small. The case of the epicenter length is large, the normal distribution of spectrum of seismic wave was not build up. Only build up a scattered peak.

2. On the case of the phase wave and the phase difference spectrum, the same phenomenon too come into being.

Reference

1. Yorihiro Osaki "Shin Jishindou no Spectrum Kaiseki Nyumon" P78.
2. Masaru NISHIZAWA. (2012): Study of shape of Mountain (Normal Distribution) of Fourier Spectrum of Earthquake Motion. May 20-25, S-SS30-P12(2012, JpGU)
3. Masaru NISHIZAWA. (2012): Handling by Solitary Wave and soliton of Earthquake Motion: October D22-01, 2012, The Seismological Society of Japan.
4. Masaru NISHIZAWA. (2015): Normal Distribution of Seismic Wave Spectrum and Solitary Wave in Water Waves (Science of Form). October 27. S01-P20, 2015, The Seismological Society of Japan.
5. Research Report on the 2011 Great East Japan Earthquake Disaster. NIED, Japan.

キーワード : Fourier Spectrum、Phase difference spectrum、Seismic wave、Phase wave、Science of Form、Normal distribution

Keywords: Fourier Spectrum, Phase difference spectrum, Seismic wave, Phase wave, KdV equation, Solitary wave

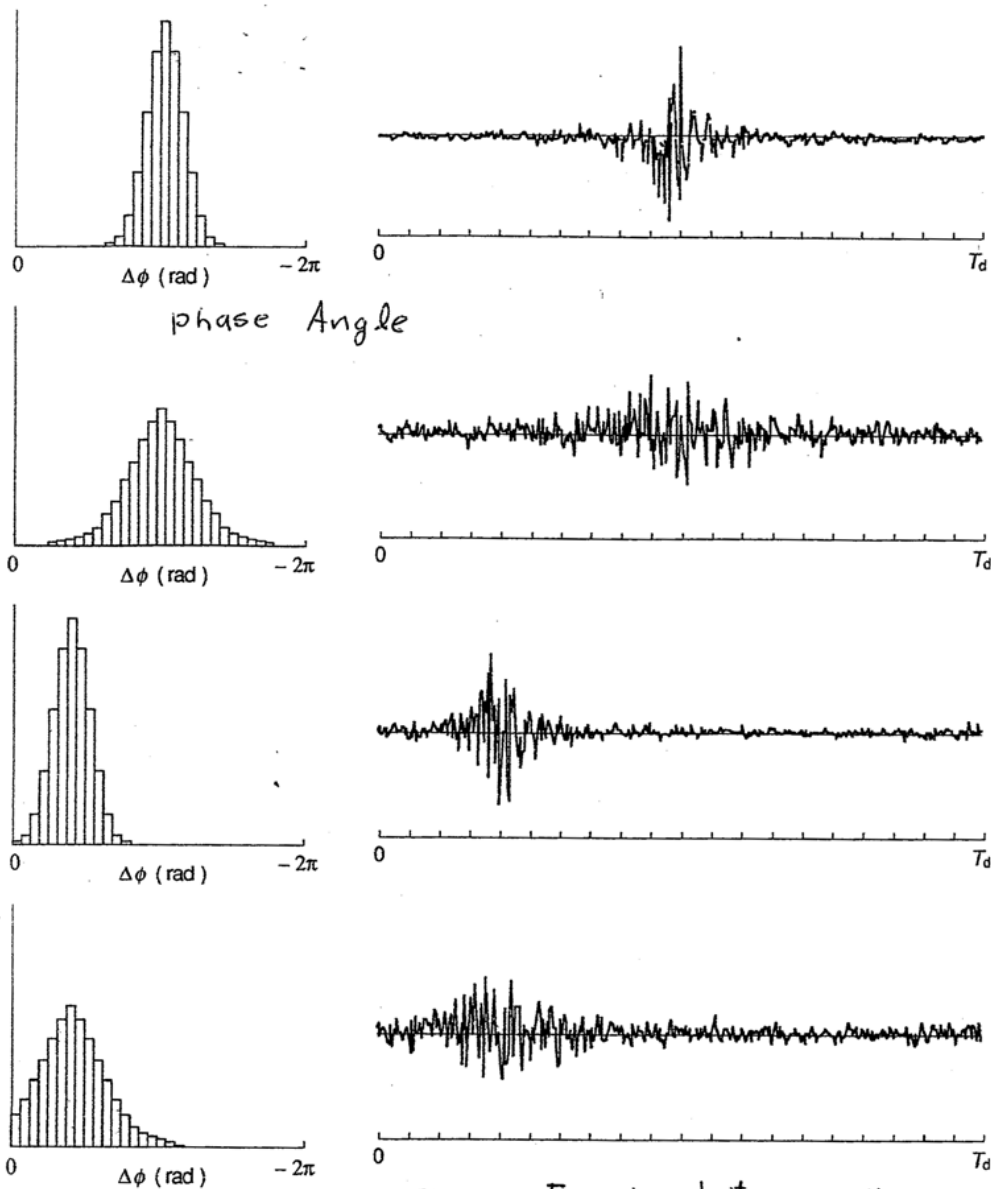


Fig-1 The relationship between the Phase difference Spectrum and the Phase Wave.
~~図-1~~ 位相差分スペクトルと位相波の関係