

常時微動を用いた大阪平野南部における地盤構造の推定

Estimation of underground structures using microtremors in the southern part of the Osaka Plain

飛田 幸樹^{1*}, 川瀬博², 松島信一²Koki Tobita^{1*}, KAWASE, Hiroshi², MATSUSHIMA, Shinichi²¹ 京都大学大学院工学研究科, ² 京都大学防災研究所¹ Graduate School of Engineering, Kyoto University, ² DPRI, Kyoto University

都市圏での広域の高精度の強震動予測を考えた場合、地下の地盤構造を的確に捉えた上で、地震動の増幅特性を正確に把握する必要がある。また、地質・ボーリング情報に基づいて既往の研究でも数多くの地下構造モデルが提案されているが、それらは常時微動観測や地震動観測等の地盤振動観測データによって検証される必要がある。

本研究では、他の地域に比べて比較的地盤情報が少ないとされる大阪平野南部において常時微動観測を行い、観測記録から得られる H/V スペクトル比（以下、H/V と呼ぶ）に着目して、既往の研究から構築した地盤構造を初期モデルとして算出した微動の理論 H/V と比較することで、修正地盤構造を同定するとともにその方法の有用性について検討した。

微動 H/V の理論計算については、拡散場理論に基づけば、微動 H/V はその地点を加振点及び受振点とする点加振グリーン関数の虚部の比に対応するという理論が提案されている (Sanchez-Sesma *et al.*, 2011)。この提案理論に基づき、与えられた地盤モデルに対する微動 H/V を算出する理論計算手法が開発されており、本研究ではこれを用いた。まず、3つの強震動観測点 (OSK006, OSK007, OSKH03) で公開されている地盤構造をもとに地盤構造モデルを構築し、上記の理論計算手法を用いて理論 H/V を算出し、観測 H/V と比較することで、理論 H/V の計算とそれに基づく本研究での地盤構造推定方法に対して検証を試みた。結果として、両者の H/V は良く対応することが分かり、このことから本研究で用いている理論計算手法で、既往の研究から構築した地盤構造初期モデルの理論 H/V を算出し、観測 H/V と合うように地盤構造を同定していけば、堆積盆地内の観測点については、その場所の実際の地盤構造に近い構造が得られると期待できる。

そこで本研究での地盤構造同定方法として、地盤構造モデルの層厚と S 波速度を探索変数としたグリッドサーチを行い、観測記録と地盤構造モデルから得られる H/V の振幅の残差二乗和が最小になるような修正地盤構造を同定した。結果として、観測 H/V に対する理論 H/V の残差は初期モデルから大幅に改善され、観測 H/V の共振ピーク振動数と振幅に合うような修正地盤構造モデルを精度よく同定できた。

また、その同定結果を既往の研究と比較することで、拡散場理論に基づく微動の理論 H/V の新提案理論と、それに従った本研究での同定方法の有用性に対して検証を試みた。まず、上町断層帯付近で行われた微動アレイ観測 (地震調査研究推進本部, 2011) に基づく推定 S 波速度構造と、その推定地点から最も近くに位置する本研究の微動観測点での地下構造推定結果を比較した。結果は、両者の推定 S 波速度構造はその距離に応じた良い対応を示すことがわかり、本研究の同定結果の妥当性が示された。次に、本研究の同定モデルから得られる理論 H/V とレイリー波の楕円率に基づく H/V を観測 H/V と比較した。その結果、理論 H/V とレイリー波の H/V は同様な山谷の振動数特性を示し、本研究で用いた新提案理論との対応が示された。しかし、レイリー波の H/V では、観測 H/V には見られない振幅の急激な落ち込みや 1 次ピーク振動数での振幅の過大な卓越が見られたことから、従来の微動 H/V の解釈であるレイリー波の H/V の振幅情報を地盤構造同定に利用することは難しく、本研究で用いた拡散場理論に基づく微動の理論 H/V の新提案理論の方が有用性が高いことが示された。

最後に本研究では、今回得られた修正地盤構造モデルを強震動計算に応用する場合について検討を行った。本研究の修正地盤構造モデルは各層で個別の速度構造を与えているが、有限差分法等の領域型数値計算法で強震動計算を行う場合、同一速度構造モデルの方が利用しやすい。そこで、上記の個別速度構造を持つ修正地盤構造モデルの結果を参考にして、各観測点の初期モデルとしてあらかじめ同一速度構造与えた上で、層厚のみを対象として再度同定を行った。結果として、同一速度構造モデルでも初期モデルに比べて残差が大幅に改善されるとともに、その理論 H/V と推定地盤構造、および地盤の増幅率は個別速度構造モデルのものとはほぼ同一の結果を示すことがわかり、強震動計算のモデルとしてこの同一速度構造モデルを採用できる可能性が示された。

今後は、本研究で提案した地下構造に基づいて、大阪平野南部での強震動予測について検討を行いたい。また本研究では、上町・生駒断層帯を横切るような東西測線上で 1km ごとに微動観測点を選定しているが、今後は断層付近においてさらに細かい間隔で配置した観測点で常時微動観測を行うことにより、断層周辺の複雑な地下構造の推定に対する本研究での提案手法の適用性についても検討していきたい。

キーワード: 常時微動, H/V スペクトル比, 大阪平野, 拡散場理論

Keywords: microtremors, H/V spectral ratio, Osaka Plain, diffuse field theory

微動探査による表層地盤モデルの不確かさが地盤増幅特性に及ぼす影響 Estimation of variation in site amplification due to uncertainty of shallow Vs profile from microtremor exploration

山中 浩明^{1*}

Hiroaki Yamanaka^{1*}

¹ 東工大 総合理工

¹Tokyo Institute of Technology

地震動の予測結果のばらつきの評価では、断層パラメータの変動による影響を考慮する場合がほとんどである。しかし、地震動特性のばらつきには、地震波が伝播する地殻やマントル、さらに深部・表層地盤構造モデルの不確かさによる影響も含まれている。しかし、地下構造の不確かさが地震動特性のばらつきに与える影響も検討されることは少ない。ひとつの原因として、物理探査や地震学的分析の結果による地下構造モデルに対して、モデルパラメータの確からしさなどが明示されることが少ないことも考えられる。

本研究では、マルコフ連鎖モンテカルロ法（以下、MCMC法）による微動探査データの逆解析から得られるS波速度構造モデルのモデルパラメータの不確かさを求め、それが地盤増幅特性のばらつきへ及ぼす影響について検討を行った。

MCMC法は、観測値と理論値の誤差が最小となるひとつのモデルを探すのではなく、誤差に基づいてモデルパラメータの確率分布に比例するようなモデルを数値的にサンプリングする方法である（山中, 2011）。この方法では、得られる解は、ひとつのモデルではなく、モデルパラメータの確率分布となる。したがって、サンプルされたモデルに対する増幅特性を評価すれば、増幅特性のばらつきの評価が可能となる。

ここでは、能登半島沖地震の際に被害が生じた石川県門前町で実施された、表層地盤を対象とした微動探査結果を例にして検討を行う。山中ほか（2008）によって観測された、周期1秒程度以下のレイリー波の位相速度に対して、山中（2011）によるMCMC法を適用し、サンプルされたすべてのモデルに対する工学的基盤より浅い表層地盤の1次元増幅特性を計算した。さらに、すべてのモデルの増幅特性を平均し、その標準偏差によって周期帯域ごとの増幅特性のばらつきを評価した。その結果、1次モードの卓越周期も含めて広い周期帯域で増幅特性のばらつきは同程度の約30%であることがわかった。また、平均された地盤増幅特性では、短周期帯域で平坦な形状となっている。サンプルされたモデルがそれぞれ異なる高次モードのピークを持っており、平均によってそれらのピークと谷が平滑化されているものと考えられる。一方、通常の位相速度の逆解析で得られるひとつのモデルには、高次モードが卓越する短周期帯域でもピークが認められる。しかし、これらの短周期の高次モードのピークでの増幅特性の信頼性は、今回検討した微動探査による地盤モデルでは低くなっていると考えられる。

キーワード: 増幅特性, 表層地盤, 微動探査, S波速度構造, 逆解析, マルコフ連鎖モンテカルロ法

Keywords: amplification, shallow soil, microtremor exploration, S-wave velocity profile, inversion, Markov chain Monte Carlo method

地震動H/Vスペクトル比を用いた地盤構造の推定と強震動予測 Soil structure inversion and strong motion estimation based on H/V spectral ratio for earthquakes

長嶋 史明^{1*}, 川瀬 博¹, 松島 信一¹, フランシスコ J. サンチェスセスマ², 早川 崇³, 佐藤 智美³, 大島 光貴³
Fumiaki Nagashima^{1*}, Hiroshi, Kawase¹, Shinichi Matsushima¹, Francisco, J. Sanchez-sesma², Takashi Hayakawa³, Toshimi Satoh³, Mitsutaka Ohshima³

¹ 京都大学, ² メキシコ国立自治大学, ³ 清水建設

¹Kyoto University, ²Universidad Nacional Autonoma de Mexico, ³Shimizu Corporation

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では、多くの観測点で1Gを超える加速度や6強以上の震度が観測された。宮城県大崎市にあるK-NET古川(MYG006)では最大加速度585.7m/s²、震度6強が観測され、周囲の建物は強震動や地盤の液状化により深刻な被害を受けた。我々は臨時余震観測を行いK-NET古川周辺の地下構造を推定するとともに、本震時のサイト増幅特性についての検討を行った。

MYG006周辺に5点臨時余震観測点を設置し、2011年6月から6か月間連続余震観測を行った。MYG006で記録された63地震を用いてNSとEW両方向に対しH/Vスペクトル比(HVR)を計算しその平均をとった。MYG006を含む全観測点で0.2Hzに共通のピークが見られ、1.5Hzあたりまで同様の形状を示した。これは古川地域で共通の深部地盤の影響が現れたものと考えられる。

MYG006において、上記の弱震の平均と本震、2011年4月7日の最大余震のHVRとの比較を行った。本震と最大余震ではHVRは同様の形状を示したが、弱震平均よりも長周期側にシフトしており、これは地盤の非線形の影響であるとされる。また、本震、最大余震では建物被害を引き起こすと思われる0.5~2Hzの周波数範囲に大きな増幅が見られ、これが古川地域の建物被害の一因であると考えられる。

弱震動のHVRを再現できるように観測点直下の地盤構造を同定した。初期モデルには先行研究(川瀬・松尾2004)をベースに、より複雑な構造を表現できるように2層増やしたものをを用いた。理論HVRはKawase et al.(2011)の拡散波動場理論に基づいて計算し、S波速度と層厚を変数として観測HVRとの残差を最少とするようハイブリッドヒューリスティック法(山中2007)を用いて同定した。初めに全観測点で共通の深部地盤を同定するために、1秒以上の長周期で全ての観測HVRに合うよう深部3層を同定した。その後個々の観測HVRに合うように0.1~20Hzの範囲で浅部構造を同定した。結果として、観測HVRを広い周波数範囲でよく再現できる構造が得られた。

同定した構造を用いて、地盤の非線形を考慮し等価線形解析で表層を剥ぎ取った。0.1~20Hzの周波数範囲で本震の地震動を地震基盤面まで剥ぎ取った。得られた基盤波の最大加速度はNS方向で159.5m/s²、EW方向では10Hz以上の周波数域で大きく増幅されて454.2m/s²となった。

逆算した基盤波を用いて、ある臨時余震観測点での本震時の地震動を推定した。対象の観測点はMYG006の近くの観測点であり、同定した速度構造もMYG006と似ているので、MYG006での土質構造を参考にG/G0曲線等を与えた。推定した地震波の最大加速度はMYG006での観測波とほぼ同じとなり、地震基盤から表層の伝達関数は地盤の非線形により両者とも同程度長周期側へシフトした。

我々はK-NET古川周辺で臨時余震観測を行い、得られた地震動のHVRから弱震時および強震時の地盤の増幅特性を把握した。得られた弱震時の増幅特性を再現するよう、拡散波動場理論に基づいて地盤構造の同定を行い、広い周波数範囲で観測結果をよく再現できる構造が得られた。また、本震時の地震基盤面の地震動を逆算し、臨時観測点で強震動予測を行った。予測結果はMYG006と似た非線形挙動を示した。

キーワード: H/Vスペクトル比, 強震動, 拡散波動場理論

Keywords: H/V spectral ratio, strong motion, diffuse field theory

CCA法の実用化による浅部微動探査の新展開

A new development in shallow explorations using microtremors based on a practical use of a CCA method

長 郁夫^{1*}, 先名 重樹², 中澤 努¹, 藤原 広行²

Ikuo Cho^{1*}, Shigeki Senna², Tsutomu Nakazawa¹, Hiroyuki Fujiwara²

¹産総研, ²防災科研

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

1. はじめに

我々は常時微動の上下動アレイ観測からレーリー波の位相速度を抽出する道具として Centerless Circular Array 法 (CCA 法) の開発を 10 年近く続けてきた。開発初期は、地震計 3 個からなる不規則アレイへの適用性をもって CCA 法の特徴とした (Cho et al. 2004)。後に、データの質によっては SPAC 法よりもアレイサイズに比べて長波長を扱えることを示した (Cho et al., 2006)。近年は、半径 1 m 以内のアレイ (極小アレイ) でもノイズを補正しながら解析することにより、波長 100 m 以上の波を扱えることを示した (Cho et al., 2013)。このように、我々はこれまで CCA 法の手法開発を主眼としてきたが、今回は実用化とその応用について検討したので以下に報告する。

2. コヒーレンス CCA 法と疑似 S 波速度断面

CCA 法の実用化のために我々は基礎式に含まれるクロススペクトルをコヒーレンスに置き換えた (以下、コヒーレンス CCA 法と呼ぶ)。これは実用法として定着した SPAC 法でもクロススペクトルの代わりにコヒーレンスが用いられていることから着想である。様々なサイト、サイズのアレイデータにコヒーレンスを用いる SPAC 法と CCA 法の両方を適用して比較し、コヒーレンス CCA 法の信頼性と安定性を確認した。特に極小アレイにおけるノイズ補正の安定化に効果があり、多くの場合において SPAC 法を適用した場合の解析能力をはるかにしのぐことが明らかになった。

我々はアレイ半径に対する解析可能波長帯域、解析結果の信頼性、安定性の観点から、コヒーレンス CCA 法による極小アレイ ($r < 1$ m) と、必要に応じて 3 点からなる不規則形の「小アレイ」 ($r < 10$ m) を別途実施することで従来よりも実用的な浅部 (深さ数 10 m ~ 100 m 程度) 構造探査が可能になると考えている。3 点からなる不規則小アレイは路地や 5 m 幅の道路の両側の空きスペースに設置できることから市街地での観測に効果がある。CCA 法による極小アレイや小アレイは観測が簡単なので、測線に沿う複数点で観測して「疑似 S 波速度断面」 (凌他, 2003) や「チェーンアレイ」 (原口他, 2010) と呼ばれるような 2 次元構造解析を実施するのも簡単である。これらは適当な変換式によって分散データを S 波速度構造に変換する簡易逆解析である。

3. H/V 構造

H/V スペクトルに関する過去の研究は微動の振幅情報が地下構造推定に有効なことを表している。H/V スペクトルのピーク周波数は速度コントラストの強い軟弱層の厚さや速度に、ピーク高は層間の速度コントラストあるいはインピーダンス比に関連すると考えられている (例えば, Konno and Ohmachi, 1998)。しかし H/V で地盤構造を推定しようとするすべての既存研究には、(i) H/V スペクトルのピークによって示される深さスケールの解釈には地盤速度と層厚のトレードオフに起因する任意性がある、(ii) ピークが低く複数あるためにピークの読み取り自体が難しい場合も多い等の問題が常につきまってきた。

この問題は、単点観測の隣で上下動極小アレイを実施するか、あるいは単に 3 成分地震計で極小アレイを実施することで解決できる。アレイ解析で得られる周波数と波長の関係を H/V スペクトルに適用すれば、周波数 H/V の関係を波長 - H/V の関係に変換できるからである。波長に適切なファクターをかけて深さとみなせれば、H/V スペクトルのピークに対応する深さスケールが一目で分かるようになる。スペクトル全体が速度コントラストの情報になるので、ピークの読み取りが難しいような場合も問題にならない。深さ H/V の関係をここでは H/V 構造と呼ぶ。H/V 構造は、定性的には速度コントラストもしくはインピーダンス比の構造に対応すると考えられる。

4. CCA 法による疑似 S 波速度断面・H/V 断面

我々は、浅部構造探査のために 3 成分単点観測と CCA 法による極小アレイ、小アレイを多点で展開して疑似 S 波速度断面と H/V 断面 (それぞれ疑似 S 波速度構造, H/V 構造の空間補間で得られる 2 次元プロット) を解析し、統合的に解釈することを提案する。こうすることでこれまでよりも多くの情報を簡易に抽出できると期待する。CCA 法による極小アレイ・小アレイ観測は作業コストが低いので多点データの取得に適する。またアレイサイズが小さいので水平方向の空間分解能が高い。今後は適用例を増やしながらか本提案の有効性を検証していきたいと考えている。

防災科学技術研究所と白山工業 (株) の共同開発による微動 / 強震観測キット JU215 (先名他, 2006) はこの目的に適し

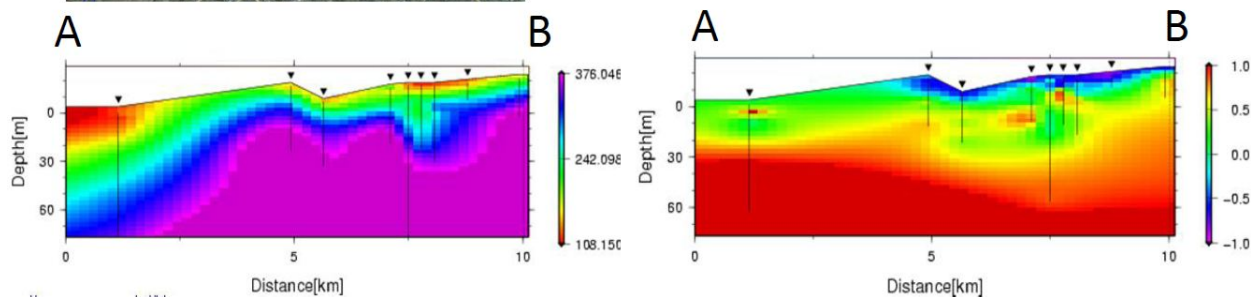
ている．図1は約10 kmの測線に沿う疑似S波速度断面とH/V断面である．これは調査員一名が現地調査を含むのべ二日間の観測でJU215により得たデータの解析結果である．発表では，JU215によるデータの解析例（つくば，柏，浦安，潮来等）と地質構造との関係を示しながら手法の有効性と課題について報告する．

キーワード: 微動, 速度構造, 表面波, 位相速度, 探査, アレイ

Keywords: microtremor, velocity structure, surface waves, phase velocity, expolation method, array



図1 上: 柏測線(約10 km)．
下: 疑似S波速度断面(左)とH/V断面(右)．



スペクトルインバージョン手法に基づく強震動特性の統計的性質に関する研究 Statistical properties of strong ground motions based on the spectral inversion method

仲野 健一^{1*}, 川瀬 博², 松島 信一²

Kenichi Nakano^{1*}, KAWASE, Hiroshi², Shinichi Matsushima²

¹ 京都大学大学院工学研究科建築学専攻, ² 京都大学防災研究所

¹ Graduate students, School of engineering, Kyoto University, ² Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

スペクトルインバージョン手法に基づいて強震動波形のフーリエスペクトルから強震動特性(震源特性、経路特性、サイト増幅特性)を分離する研究はすでに川瀬・松尾(2004)等により試みられている。しかし、応答スペクトルから強震動特性を分離する研究はほとんどおこなわれていない。これは、分離した応答スペクトルの諸特性の物理的意味が明確ではないためである。しかしながら、加速度フーリエスペクトルとその速度応答スペクトルには類似性があることが指摘されており、応答スペクトルを用いた検討も試みる価値がある。また川瀬・松尾(2004)のデータはK-NET、KiK-net、気象庁震度計などの強震ネットワークが本格的に普及し始めた1996~2002年のものであり、それから約10年以上が経過しているため、その間に蓄積されたデータは膨大な量になっている。そこで今回は1996~2011年のデータ(M_j 4.5以上)を用いて、フーリエおよび応答スペクトルから強震動特性の分離・解析をおこない、新しく得られた強震動特性について整理した。

加速度フーリエスペクトルから分離された強震動特性は、地震タイプや領域を問わず、川瀬・松尾(2004)のものと良い一致が得られた。経路特性のうち得られた Q 値は彼らの結果に比べてより安定した振動数に対して線形性の高い傾向となった。また地殻内地震において、従来求められていなかった北海道周辺の Q 値が新たに求まった。またサイト増幅特性も彼らのものと良い一致をみせた。震源特性を一般的によく用いられるBruneの応力降下量に変換して比較したが、これも彼らの結果と顕著に異なることがわかった。推定された応力降下量は、海溝型地震・スラブ内地震において平均で約8MPa、地殻内地震において平均で約1MPaとなり、既往研究で報告されている応力降下量と対応する値となった。

加速度応答スペクトルから求めた Q 値はフーリエスペクトルのそれと1Hz以上の範囲で非常に良い一致をみせたが、約1Hz以下では異なる傾向を示し、応答スペクトルから分離して求めた Q 値は約1Hz以下でも線形的な周波数依存性を呈示した。サイト増幅特性もフーリエスペクトルのものと良い一致を示したが、やはり約1Hz以下では振幅値は減少せず高い値のままフラットな傾向を示すサイトが多いことがわかった。震源特性は擬似速度震源スペクトルとしてフーリエスペクトルから求めたものと比較したが、その傾向は地震タイプごとに異なること、応答スペクトルから分離して求めたものはやはり約1Hz以下で高い値を保つことがわかった。約1Hz以下のこれらの差異は、フーリエスペクトルで卓越する短周期の振幅がインパルス入力として応答スペクトルの長周期側へ影響を与えたため生じているものと推測される。

強震動予測の高度化に活用するため、加速度フーリエスペクトルから分離した震源特性に着目しその統計的性質について検討した。Bruneの応力降下量を川瀬・松尾(2004)のものと同一のデータであるかどうかを t 検定により検定したところ、地殻内地震のみ有意差なしと判定された。また、東北地方太平洋沖地震の前後でも同様に t 検定をおこなったが、地震規模や地震タイプに関係なく有意差なしと判定された。このことから、東北地方太平洋沖地震による応力降下量への影響はほとんどみられないことがわかった。また経験的グリーン関数法においてアスペリティ面積を決定する重要な指標の一つである短周期レベル A について、一般的によく用いられる壇・他(2001)、佐藤(2003)の関係式と比較した。その結果、壇・他(2001)とは同一のデータセットとみなされなかったが、海溝型地震においては、本研究で推定した回帰式は彼らのものとは平均的に近いものであることがわかった。また、佐藤(2003)の得た A の分布と検定したところ、海溝型地震・スラブ内地震については同一のデータセットとみなせることがわかったが、地殻内地震では有意差ありとなった。両者の平均値はほぼ同じなので、これはその分散の違い(本研究の方が大きい)によるものと考えられる。また佐藤(2003)のデータと共通の地震で直接比較をおこなったが、その相関係数はどの地震タイプでも約80%以上であり、非常によく一致していることがわかった。

以上のことから、1996~2011年のデータセットを構築し、そのフーリエスペクトルから分離して得られた強震動特性の統計的性質に関する新しい知見を得ることができた。また、新しい試みとして応答スペクトルから分離した強震動特性についても新たな知見が得られた。今回新たに得られた震源特性をマグニチュードで回帰し、その震源特性にフィッティングさせたスペクトル予測式を構築することが今後の課題である。

キーワード: 応答スペクトル, 強震動特性, Q 値, 応力降下量, 短周期レベル A

Japan Geoscience Union Meeting 2013

(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2013. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SSS33-05

会場:103

時間:5月19日 10:15-10:30

Keywords: response spectrum, strong motion properties, Q value, stress drop, short-period level A

TOWARD BETTER ESTIMATIONS OF GROUND-MOTION VARIABILITY TOWARD BETTER ESTIMATIONS OF GROUND-MOTION VARIABILITY

Fabrice Cotton^{1*}, Rodriguez-Marek Adrian², Archuleta Ralph³, Causse Mathieu⁴

Fabrice Cotton^{1*}, Rodriguez-Marek Adrian², Archuleta Ralph³, Causse Mathieu⁴

¹Disaster Prevention Research Institute (Kyoto Univ.) and ISTerre (Grenoble Univ.), ²Civil and Environmental Engineering Department, Virginia Tech, Pullman, USA, ³Department of Earth Science, University of California, Santa Barbara, California,

⁴Institut des Sciences de la Terre, University Joseph Fourier, Grenoble, France

¹Disaster Prevention Research Institute (Kyoto Univ.) and ISTerre (Grenoble Univ.), ²Civil and Environmental Engineering Department, Virginia Tech, Pullman, USA, ³Department of Earth Science, University of California, Santa Barbara, California,

⁴Institut des Sciences de la Terre, University Joseph Fourier, Grenoble, France

The random ground-motion-prediction variability strongly influences the seismic hazard curve computation, in particular for long return periods. One of the key challenges of seismology is to be able to calibrate and analyze the physical factors that control the ground-motion variability. The exponential growth of seismological near-field records provides the opportunity to separate the source, propagation, and site factors controlling the ground-motion variability (Al-Atik et al., 2010; Rodriguez et al., 2011). Ground-motion variability is usually divided into between-events variability and within-event variability. We describe and discuss some recent results and analysis performed on these two variability components. In a recent study (Rodriguez-Marek et al., 2013) we estimate the within-event variability for five databases from different regions worldwide (California, Switzerland, Taiwan, Turkey, and Japan). We investigate the potential dependency of the within-event variability on region, V_{s30} , distance and magnitude. The results show that the variability of the within-event variability across the different regions is small when compared with the within-event standard deviation. In other words, the event-corrected single-station standard deviation is remarkably stable across tectonic regions. Our results also suggest that moderate earthquakes are more variable for a given magnitude than large ones and that some stations are also showing larger variability of ground motions than others. Our analysis of the between-event variability shows (Cotton et al., 2013) that the between-event ground-motion variability gives an upper boundary to the earthquake stress-drop variability. This quantification of stress-drop variability offers a new way to calibrate future earthquakes ground-motion simulations.

キーワード: strong-ground motion, seismic hazard, stress drop, variability

Keywords: strong-ground motion, seismic hazard, stress drop, variability

強震動波形記録を用いた経験的グリーン関数法による2011年3月11日15時15分茨城県沖地震 ($M_w 7.9$) の震源モデル Source model of the 2011 Ibaraki-oki earthquake by the empirical Green's function method using strong-motion data

久保 久彦^{1*}, 浅野 公之¹, 岩田 知孝¹
Hisahiko Kubo^{1*}, Kimiyuki Asano¹, Tomotaka Iwata¹

¹ 京都大学防災研究所

¹ Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

2011年茨城県沖地震 ($M_w 7.9$) は2011年3月11日15時45分 (JST) に茨城県沖で発生した地震であり、同日14時46分に発生した東北地方太平洋沖地震 ($M_w 9.1$) の最大余震である。Kubo *et al.* (2012) では強震波形記録 (0.02-0.2 Hz) とGPSデータを用いた震源インバージョンによって2011年茨城県沖地震の時空間的なすべりモデルを構築した。本研究では同地震の強震動生成と震源破壊過程の関係をより詳細に調べるために、経験的グリーン関数法を用いた広帯域強震波形のモデリング (0.1-10 Hz) を行い、強震動生成領域 (Miyake *et al.*, 2003; 以下, SMGA) で構成される2011年茨城県沖地震の震源モデルを構築した上で、Kubo *et al.* (2012) による震源モデルとの比較を行った。

2011年茨城県沖地震の強震波形記録において、S波の初動が到達して数秒後に、大振幅の主要動が到着しているという特徴が見受けられる。このことから2011年茨城県沖地震における初期破壊の存在が示唆されるため、本研究では震源で初期破壊が発生して数秒後に主破壊 (SMGAの破壊) が発生したという震源モデルを仮定する。

SMGAの破壊開始の位置と遅れ時間は、S波の初動と主要動の到達時刻の差を用いて、Takenaka *et al.* (2006) や Suzuki and Iwata (2007) と同様の手法で推定した。SMGAの大きさや配置、ライズタイム、破壊伝播速度に関しては、経験的グリーン関数法 (Irikura, 1986) による波形合成を行い、グリッドサーチすることによって決定した。その評価については加速度エンベロープと変位波形の残差の和により行った (三宅・他, 1999; Miyake *et al.*, 2003)。解析にはKiK-net 6観測点での強震波形記録を用いた。小地震の重ね合わせ数および大地震と小地震の応力降下量の比については、観測スペクトル比を用いた source spectral ratio fitting method (Miyake *et al.*, 1999, 2003) によって決定した。小地震と大地震の地震モーメント比についてはF-net 2観測点における観測スペクトル比の低周波数領域におけるフラットレベルから推定した。経験的グリーン関数には2005年10月19日20時44分に茨城県沖で発生した地震 ($M_w 6.3$) を採用した。

解析の結果、SMGAの破壊は初期破壊から9秒後に震源から南東に約10 kmから始まったことが分かった。推定されたSMGAはKubo *et al.* (2012) が推定した大すべり領域よりも深い場所に位置しており、一部が重なっている。SMGAの大きさは28 km*28 kmであり、大すべり領域の大きさ (60 km*30 km) よりも一回り小さい。SMGAのライズタイムは2.8秒、地震モーメントは 3.4×10^{20} Nm ($M_w 7.6$)、応力降下量は42 MPaと推定された。SMGA内の破壊は主として南西方向に4.0 km/sの破壊伝播速度で進展する。他方で、Kubo *et al.* (2012) による震源モデルでは破壊は南東方向に伝播している。

本研究とKubo *et al.* (2012) の両方の結果を踏まえると、2011年茨城県沖地震の震源破壊過程は次のように考えられる。破壊開始から約10秒後に開始点よりやや浅いところで主破壊が開始した。主破壊の前半では比較的短周期の地震波が多く放出された。主破壊全体としては大きなすべりを伴いながら南東方向に進んでいった。

謝辞：本研究では防災科学技術研究所 KiK-net, F-net で観測された強震波形記録を使用しました。

キーワード: 2011年茨城県沖地震, 震源過程, 強震動生成領域, 経験的グリーン関数法

Keywords: The 2011 Ibaraki-oki earthquake, Source process, Strong motion generation area, The empirical Green's function method

経験的グリーン関数法を用いた2011年3月11日(Mw7.6)三陸沖アウターライズ地震の震源モデル Source Modeling of Sanriku-oki 2011(Mw7.6) Outer Rise Earthquakes Using the Empirical Green's Function Method

高井 伸雄^{1*}, 宮原有史¹, 重藤迪子¹, 笹谷努¹
Nobuo Takai^{1*}, Yuji Miyahara¹, Michiko Shigefuji¹, Tsutomu Sasatani¹

¹ 北海道大学大学院工学研究院
¹Hokkaido University Faculty of Engineering

1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震発生直後の15時26分に三陸沖でアウターライズ地震(Mw7.6)が発生しており、この地域では1933年三陸沖地震(Mw8.4)に次ぐ規模である。その後も、三陸沖ではアウターライズ地震が頻発し、地震前には観測記録が稀少で検討できなかった強震動特性の検討が徐々になされている。本地震の震源特性を検討することは、1933年昭和三陸地震はもとより、当地域で将来発生が指摘されるさらに大規模なアウターライズ地震における強震動特性を評価する上で非常に重要である。そこで、本稿では経験的グリーン関数法(EGF法)を用いて、2011年三陸沖アウターライズ地震(以降2011OR)の震源モデルを推定し、得られた震源パラメータを既往のスケール則等から検討を行う。

2. 解析に用いる地震とデータ

要素地震として、本地震の震央付近でメカニズム解が類似している2011年5月5日23時58分に発生した地震(Mw6.1)を用いる。地震記録は、防災科学技術研究所のKiK-net及び北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センターで得られた記録を使用した。

3. 経験的グリーン関数法による震源のモデル化

本研究で推定する震源モデルは、できるだけ単純なモデルで広帯域強震動を説明できるものとするため、震源断層面に矩形の強震動生成領域(SMGA)が配置されているモデルを想定した。この場合、広帯域強震動の地震波は、すべて震源断層面内のSMGAからのみ放射されるとし、背景領域の寄与はないものと仮定している。断層面の推定は、Obana et al.(2012)による海底地震計を用いた余震観測の結果より、断層面は西側に傾斜する節面であると推定した。SMGAの長さの比Nと応力降下量の比Cの推定は、横井・入倉(1991)に基づき、 $N=5$ 、 $C=1.632$ を得た。以上の設定から、SMGAの大きさ、破壊開始点、すべりの立ち上がり時間、破壊伝播速度を求めるため、グリッドサーチを行った。得られた破壊開始点南側に位置し、南北の観測点の波形の包絡形状の違いから推定される伝播方向と合致して、南から北へ向かっての破壊進行であることが確認できた。また、加速度波形の包絡形状、速度・変位波形の形状等がよく再現できた。

4. 微視的断層パラメータ

推定した断層モデルから得られるパラメータを既存のスラブ内地震のスケール則と比較すると、笹谷・他(2006)によるスラブ内地震の M_0 とアスペリティ総面積(=SMGA)の関係、 M_0 と短周期レベルの関係と整合性の高い値が得られた。また、浅野・岩田(2010)によるスラブ内地震の震源深さと応力降下量の関係と比較すると、本アウターライズ地震は浅い地震であるにもかかわらず、深いスラブ内地震と同等に応力降下量が大きいたことが確認できた。

謝辞

本研究では、防災科学技術研究所のKiK-net及びF-net、北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター、Global-CMTより提供されたデータを使用させて頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

キーワード: アウターライズ地震, 震源特性, 経験的グリーン関数法

Keywords: Outer-rise Earthquake, Source Characteristics, Empirical Green's function method

マグニチュード9まで適用可能な距離減衰式(2)

Development of a new ground motion prediction equation applicable up to Mw9 (2)

森川 信之^{1*}, 藤原 広行¹

Nobuyuki Morikawa^{1*}, Hiroyuki Fujiwara¹

¹ 防災科学技術研究所

¹ National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

防災科学技術研究所では、地震ハザード評価への適用を目的とした計測震度、最大加速度、最大速度ならびに加速度応答スペクトルの距離減衰式に関する検討を進めている。観測史上最大規模である平成23年東北地方太平洋沖地震(以下、M9地震)の発生を受けて、既往の距離減衰式では外挿となるマグニチュード9まで直接適用可能な距離減衰式の導出を前回試みた。しかしながら、震源の近傍において振幅を過大評価をしている傾向が見られ、記録の無いマグニチュード8クラス以上かつ断層最短距離30km以下の範囲においても過大評価となっている可能性が高いことを明らかにした(森川・藤原、2012)。そこで、改良に向けた検討を行った。

前回の検討からの改良点は以下の通りである。

- 1) 2011年および2011年に発生した地震による強震動記録を追加することにより、東北地方太平洋沖地震の余震や誘発されたと思われる多くの地震が追加された。
- 2) マグニチュードの二次式による表現に関して、マグニチュードに関する頭打ちを導入した。
- 3) 近距離のデータに大きな重みを付して回帰した。具体的には、10km未満は8.0、10~20kmは4.0、20~40kmは2.0、40km以上は1.0、とした。
- 4) 海溝型地震に関して、プレート間地震とプレート内地震を基本式導出の段階で区別した。

上記、3)の効果により、震源近傍での予測値が前回の検討結果と比べて小さくなることが確かめられた。ただし、回帰におけるデータの無いMw7以上かつ30km以内に関する不確かさは残されており、今後海外の記録等も用いた検討が必要である。

謝辞: 防災科学技術研究所のK-NET、KiK-net、気象庁の震度計および港湾空港技術研究所の港湾地域強震観測網をはじめとした多数の機関により観測、提供された強震動記録を使用しました。

キーワード: 距離減衰式, 強震動, 地震ハザード評価

Keywords: ground motion prediction equation, strong ground motion, seismic hazard assessment

海溝型巨大地震の強震動予測レシピの考え方(2)

How to construct a recipe for predicting strong ground motions from great subduction earthquakes

入倉 孝次郎^{1*}, 倉橋 奨¹

Kojiro Irikura^{1*}, Susumu Kurahashi¹

¹ 愛知工業大学

¹ Aichi Institute of Technology

1. はじめに

2011年東北地震は、震源近傍域で極めて密な強震動観測データが得られた初めてのMw9.0の超巨大な海溝型地震である。南海トラフに繰り返し発生してきた東海、東南海、南海地震は、東北地震と同じタイプの海溝型巨大地震である。したがって、この東北地震の強震動データの解析により、強震動生成のための震源断層モデルを明らかにすることができれば、将来の海溝型巨大地震に対する被害軽減対策を考える上で重要な信頼性の高い強震動予測が可能となる。

2. 東北地震の短周期震源モデル

この地震の震源近傍での強震動記録には、孤立した複数のパルス状の波群がみられる。センブランス解析により、これらの波群は5つの強震動生成域から到来した波動であることが分かった。フォーワード・モデリングによりシミュレーションを行った結果、観測波形によく一致する合成記録が得られ、最適な短周期震源モデルが推定された。

しかしながら、上記の合成波形は、詳細にみると、観測波形に見られる各波群の始まりの衝撃的波形が再現できていない。これまでの強震動生成の震源モデルは、強震動生成域の内部で一様な応力パラメータを持つと仮定しているが、強震動生成域の応力パラメータが一様ではなく、不均質性を有するとして、強震動生成域の破壊開始点付近に大きな応力パラメータの小領域を設定して、強震動のシミュレーションを行うと、観測に見られる衝撃的な波形の再現が可能となる。応力パラメータの不均質性がどの程度考慮すればいいか、強震動予測にとって重要な問題である。

3. 周期依存の震源モデル

この地震の短周期地震モデルの強震動生成域は、バックプロジェクション法により推定された短周期地震波の放射は震源より西側でプレートの沈み込みのダウンディップの先端域に集中している結果(例えば、Ishii, 2011)とよく一致している。

一方、この地震の地殻変動データなど超長周期のデータを用いた逆解析により推定された震源モデルでは、震源よりも東側で震源断層の浅い側で大きなすべりが推定されている(例えば、国土地理院, 2012)。スマトラ地震(Mw 9.2)や2010年チリ地震(Mw 8.8)でも、破壊過程が深さ依存の性質をもつことはLay et al.(2012)13)により研究されている。

これらの海溝型巨大地震は、広い断層破壊域のなかで、深いところで短周期が生成され、大きなすべりを生じた浅いところではほとんど生成されなかった、と考えられる。

4. 海溝型巨大地震の巨視的・微視的震源パラメータのスケーリング則

海溝型巨大地震の巨視的震源パラメータのスケーリングは、Mw8.4以下の地震について、断層面積 S は地震モーメント M_0 の $2/3$ 乗に比例して大きくなる(Murotani et al. (2008))。田島・他(2012)はMw8.4以上の地震を加えると、 $S \propto M_0$ 関係はMurotani et al.(2008)の延長よりも小さくしている。東北地震の $S \propto M_0$ 関係は、田島・他(2012)の関係に良くのっている。

海溝型巨大地震の強震動生成域の面積に関して、これまで長周期強震動データから求めたすべり分布による SaL は断層面全体の約20%程度と評価されていたが、短周期強震動データにより推定された強震動生成域 SaS は SaL の約3分の1になる。加速度震源スペクトル(A)と地震モーメント(M_0)の関係から推定される強震動生成域の面積(Sa)は SaL にほぼ一致する。これらの関係から評価された強震動生成域の応力パラメータはばらつきはあるが、中央値(median)を求めると約26MPaとなる。

5. 海溝型巨大地震の強震動予測のためのレシピの考え方

2011年の東北地震の短周期震源モデルとして推定された5つの強震動生成域の位置は、地震調査委員会による「地震活動の長期評価」16)のために設定した領域分けに係りづけられる。(図1)。

これらの解析結果をもとにして、海溝型巨大地震のレシピの考えは以下にまとめられる。

a. 全破壊域およびセグメントを与える。

東北地震を例にとると、強震動生成のための地震セグメントは、過去の地震活動から分けられた、三陸沖中部、三陸沖南部、宮城県沖、福島県沖、茨城県沖の5つとする(図1左)。海溝寄りの津波地震セグメントからは、強震動の生成は小さいと考えられるので、ここでは排除する。

b. 各セグメントに強震動生成域は1つ設定。2つ以上を設定しても、強震動への影響は大きくはない。

c. 強震動生成域での応力降下量は25~30 MPa

SSS33-10

会場:103

時間:5月19日12:00-12:15

- d. 強震動生成域の面積は応力降下量とセグメントの面積から決める。
より短周期の地震動予測が必要な場合には、さらに次のような震源のモデル化を行う。
- e. 強震動生成域の応力パラメータの分布に不均質性を与える。

キーワード: 海溝型巨大地震, 強震動, 短周期震源モデル, 強震動予測レシピ

Keywords: great subduction earthquakes, strong ground motions, short-period source model, strong motion prediction recipe

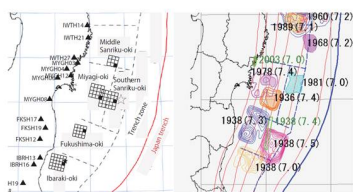


図1 左: 東北地震の強震動生成域と長期評価の領域分け(セグメント)の関係。右: 過去の地震(1960-1993)の応力パラメータ分布。

長大横ずれ断層の地震の強震動予測レシピの検討

Study on a recipe for strong ground motion prediction for large inland earthquakes along long strike-slip faults

小穴 温子^{1*}, 石井 透¹, 壇 一男¹, 藤原 広行², 森川 信之²

Atsuko Oana^{1*}, Toru Ishii¹, Kazuo Dan¹, Hiroyuki Fujiwara², Nobuyuki Morikawa²

¹ 清水建設技術研究所, ² 防災科学技術研究所

¹Institute of Technology, Shimizu Corporation, ²National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

地震調査研究推進本部(地震本部)による強震動予測のための「レシピ」において、断層が長大になると、手順に従って計算される背景領域のすべり量が負となって断層モデルを設定できない場合があり、一つの課題となっている(地震本部、2005a)。その課題に対して、壇・他(2011)は、長大横ずれ断層においても断層パラメータを組むことができる、横ずれ断層による内陸地震を対象としたアスペリティモデルの新しい設定方法を提案している。

本検討では、全長約360kmに及び中央構造線断層帯沿いの地震を対象として、上記の壇・他(2011)による方法および地震本部(2005b)によるアスペリティモデルの設定方法に基づいて複数の断層モデルを設定し、統計的グリーン関数法を用いて強震動を試算し、それらの結果の妥当性と問題点について検討した。

地震本部(2005b)の検討を参照して適用した場合のうち、短周期レベルの経験式からアスペリティの面積を求めたケース(参考ケースA)では、背景領域のすべり量が負となり、断層モデルが設定できないことを確認した。そこで、断層モデルを破綻させないように、地震本部(2005b)の検討と同様に工夫を加えたモデルを2つ考え、アスペリティの面積をSomerville *et al.* (1999)の経験的な比率である22%とし、円形クラックの式により平均応力降下量を与えた参考ケースBと、Fujii and Matsu'ura (2000)に基づき平均応力降下量を3.1 MPaとしたケースCを設定した。また、それらとは別に、壇・他(2011)の提案した方法を適用した断層モデルとしてケースDを設定した。

それぞれのケースの断層モデルを用いた強震動の試算結果と司・翠川(1999)の距離減衰式による推定値を比較した。参考ケースBの試算結果は、短周期レベルが他のモデルの約3倍に設定されたため、最大速度が震源近傍で平均的に300 cm/s程度となり、距離減衰式を大幅に上回る結果となった。ケースCの試算結果は、概ね距離減衰式のばらつきの範囲内ではあるが、震源近傍では最大速度が平均的に150 cm/s程度となり、式の平均値よりもやや大きめに評価された。ケースDの試算結果は、震源近傍では最大速度が平均的に100 cm/s程度となり、距離減衰式と整合した。したがって、長大横ずれ断層の強震動評価において、壇・他(2011)による断層パラメータの設定方法は適切であると評価できる。

キーワード: 長大断層, 断層モデル, 強震動予測

Keywords: very long fault, fault model, strong motion prediction

震度分布に基づく太平洋プレート内のスラブ内地震の短周期励起特性 Short-period radiation properties of intra-slab earthquakes in the subducting Pacific plate from seismic intensity data

神田 克久^{1*}, 広谷 浄², 石川 和也²

Katsuhisa KANDA^{1*}, HIROTANI, Kiyoshi², ISHIKAWA, Kazuya²

¹ 小堀鐸二研究所, ² 東北電力

¹ Kobori Research Complex Inc., ² Tohoku Electric Power Co., Inc.

沈み込む海洋プレート内部で発生するスラブ内地震は、同じ地震規模で比較すると内陸地震やプレート境界地震よりも短周期地震動の励起が大きく、広範囲に大きな加速度を生じさせることがある。ここでは、太平洋プレート内部で発生するスラブ地震で被害地震となった宮城県沖と釧路沖の3つに地震を対象として、震度データを用いて短周期地震動の励起特性について分析を行うとともに、震度インバージョン解析を用いて断層面の短周期地震波発生域を評価する。

宮城県沖では2003/5/26 (MJ7.1、深さ72km)、2011/4/7 (MJ7.2、深さ66km)のM7クラスのスラブ内の被害地震が発生している。2003/5/26の地震では岩手県南部および宮城県周辺で震度6弱を観測し、負傷者174人、全壊2棟の被害が生じた。2011/4/7の地震では宮城県栗原市や仙台市宮城野区で震度6強を観測したほか、岩手県南部および宮城県周辺で震度6弱を観測するなど広い範囲で強い揺れを観測し、この地震により死者4人、負傷者296人の被害が生じた(総務省消防庁)。まず、それぞれの余震の計測震度データを用いて距離減衰式を作成し、震度観測点の揺れ易さの震度尺度である相対震度を評価した。また、本震、余震を含めて距離減衰式の残差項を評価し、それぞれの地震の震度に関係した短周期地震動の励起の差を分析した。短周期地震動の励起は震源深さに対して大きくなるという依存性があることが分かった。この短周期地震動の励起の深さ依存性はこの地域のプレート境界地震でも同様であることが指摘されており[Lay et al.(2012)]、深さによって断層の特性が影響を受けると考えられる。また、短周期地震動の励起は2003/5/26の地震と2011/4/7の地震では異なることも分かった。この差は、マントルウェッジにおけるQ値の空間的な構造と関係している可能性がある。震度インバージョン解析を行い断層面の短周期地震波発生域を求めて波形インバージョンによるすべり分布を比較すると、すべりの大きい領域と概ね対応していることが分かった。

釧路沖では1993/1/15 (M7.5、深さ101km)の地震が発生し、釧路が震度6で、死者2名、負傷者966名、全壊53棟の被害が発生した。この地震の周辺で発生した最近の地震を宮城県沖の地震と同様な手法で分析した。釧路沖の地震の短周期地震動の励起は宮城県沖と類似しており、深さに依存して大きくなる傾向も同じだった。1993年釧路沖地震では、計測震度は観測されていないので気象庁発表体感震度とアンケート震度のデータを用いて、震度インバージョン解析を行い、断層面上の短周期地震波発生域を明らかにした。

キーワード: 震度インバージョン, 短周期地震動, 宮城県沖, 釧路沖地震, スラブ内地震, 震源深さ

Keywords: seismic intensity inversion, short-period energy radiation, the 1993 Kushiro-oki Earthquake, off Miyagi Prefecture, intra-slab earthquake, focal depth

動力学的震源モデルを用いた上町断層帯で発生する地震の強震動予測 Strong ground motion prediction of the Uemachi fault zone using dynamic rupture scenarios

加瀬 祐子^{1*}, 関口 春子²Yuko Kase^{1*}, Haruko Sekiguchi²¹産総研 活断層・地震研究センター, ²京大防災研¹AFERC, AIST, ²DPRI, Kyoto Univ.

地震動予測に用いる地震シナリオは、対象とする断層の個性を反映して設定されたものほど、実現性が高くなり、予測精度を向上させるものと期待される。これまで、地形・地質学的データに基づいて断層形状と応力場を想定し、その条件下で物理的に起こりうる破壊過程を数値計算で求めるという手順で、強震動予測のための地震シナリオを作成することを試みてきた。今回は、上町断層帯における重点的な調査観測で取得された地形・地質学的データに基づく上町断層帯の断層面三次元形状および断層走向に沿った平均上下変位速度分布を用いて、動力学的震源モデルを作成し、上町断層帯で発生する地震の強震動予測をおこなった。

上町断層帯は、大阪平野の中央部にほぼ南北走向で位置し、長さは約 48 km、地震発生層の主要部分では、50-60 度で東に傾斜する。この断層の破壊過程をシミュレーションするための応力場については、まず、想定される平均的なすべり分布モデルを作成し、これを応力場パラメータに変換した上で、高周波数域の地震動を生成するために必要な短波長の不均質を付加するという流れで設定した。初めに、反射法地震探査やボーリング調査などの結果に基づいて作成された平野の堆積層構造モデル（堀川ほか、2003）、および、段丘面の詳細な標高分布（近藤ほか、本大会）を用いて、上町断層帯の走向に沿った累積変位量の空間変化を求めた。新淀川の南側での段丘面の標高から、この地点での最新イベントによる地表上下変位量は 1.3 m と推定されている（近藤ほか、本大会）。これらのデータから、1 回の地震で生じる地表変位量の平均像を作成し、走向方向のすべり量分布とした。傾斜角方向のすべり量分布は、予備的な動的破壊の数値実験により作成した。広域応力場は、テクトニックな応力場（Yamashita et al., 2004）を考慮し、主応力は深さに比例、最大主応力の向きは東西方向、最小主応力の向きは鉛直方向で、大きさはかぶり圧に等しい、とした。次に、上町断層帯の断層面三次元形状（木村ほか、2012）の上にこのすべり量分布を与えたときの応力変化分布を Okada (1992) により求め、これを静的応力降下量分布の長波長成分とした。応力降下量分布の短波長成分は、フラクタル的な不均質分布を作成した。それらを合成することで、それぞれ異なる乱数から作成された複数の静的応力降下量分布を生成した。更に、応力降下量と法線応力変化の不均質は水平方向の主応力の不均質によって生じると仮定し、応力降下量の走向方向成分と傾斜角方向成分から、最大水平圧縮応力と最小水平圧縮応力の不均質分布を求めた。最後に、静摩擦係数は断層面で均一とし、断層面上の法線応力分布に乗じて、断層面上の強度不均質の初期値分布とした。ここで、静摩擦応力が剪断応力の絶対値を下回る地点は、剪断応力を支えるだけの強度を持たないと考えられるため、剪断応力の初期値を動摩擦応力と等しいと置き直した。こうして得られた応力場モデルに対し、複数の破壊開始点を設定し、すべりに依存する摩擦構成則を仮定して、差分法（Kase, 2010）により動的破壊過程を計算した。応力場の不均質を反映して、破壊はなめらかには伝播せず、ところどころで壊れ残りも生じた。浅い部分での強度が小さいものの、破壊が浅い部分で先行する様子は、ほとんど見られない。破壊開始点の位置により、破壊域の広がり方が異なり、Mw6.5-7.0 の地震シナリオが得られた。地震調査研究推進本部の「レシビ」に従って断層長さから推定されるこの断層帯の起こす地震規模は Mw7.1 であり、我々のモデルはこれに比べてやや小さい。得られた地震シナリオのうち断層面全体が破壊する最も大きいレベルのものによる地震動は、すべり量の大きい北部領域で特に大きくなり、断層近傍では 100 cm/s を越えた。

謝辞：本研究は、文部科学省科学研究費補助金基盤研究 (C) 課題番号 21510190 および文部科学省（平成 24 年度）科学技術基礎調査等委託事業「上町断層帯における重点的な調査観測」として実施されました。

キーワード：動力学的震源モデル, 上町断層帯, 強震動予測, 地形学, 地質学

Keywords: dynamic rupture, the Uemachi fault zone, ground motion prediction, geomorphology, geology

内陸浅発地震によって励起された Diffracted P and S waves Diffracted P and S Waves Excited by Shallow Inland Earthquakes

重藤 迪子^{1*}, 笹谷努¹, 高井伸雄¹

Michiko Shigefuji^{1*}, Tsutomu Sasatani¹, Nobuo Takai¹

¹ 北海道大学大学院工学院

¹Hokkaido University

本研究では、内陸浅発地震で観測された Diffracted P and S waves の励起特性と地下構造との関係について検討を行う。2010年12月2日石狩地方中部の地震 (Mw4.6, h=5.0 km) の震央から北北西の測線 (NNW 測線) における観測記録には、直達波と同じ見かけ速度を有し、振幅の大きい特異な後続波が P 波, S 波に対して確認できる。NNW 測線付近以外ではこの特異な波の励起は確認できない。直達波と後続波の卓越周期はほぼ等しく、その見かけ速度は地震基盤相当 ($V_p \approx 6 \text{ km/s}$, $V_s \approx 3 \text{ km/s}$) で、後続波と直達波の走時差は P 波では約 2 秒, S 波では約 4 秒である。また、直達波の振幅は、ある距離以遠で震央距離の自乗に反比例して減衰する。一方、その距離における後続波は、直達波の振幅を上回ることが分かる。この特異な後続波は、約 2 分後に発生した余震の記録においても確認できる。

以上から、この後続波は表面波や地殻内の不連続面による反射波とは異なり、直達波が自由表面と地震基盤上面 (境界面) で反射した波であると考えられる。さらに、直達波および後続波の見かけ速度からこれらが地震基盤上面に沿って水平方向に伝播していること、直達波の距離減衰関係が Head wave のそれと類似していることから、これらは Diffracted P and S waves である可能性が高い (Ben-Menahem and Singh, 1981)。Diffracted P and S waves は、理論的には、震源が境界面下に位置し、かつ境界面に近接している場合に、堆積層へ透過する角度が臨界面角相当に達して励起されることが知られているが、強震記録に基づきこれらの波の検討を行った既往研究例は無い。そこで、これを検証するために、3次元差分法 (Aoi and Fujiwara, 1999; Pitarka, 1999) により、石狩平野の地下構造モデル (吉田ほか, 2007) を用いた強震動シミュレーションを実施した。震源パラメータには Shigefuji et al. (2012) を用い、点震源を仮定した。最小格子間隔は地震規模を考慮して 0.025 km とした。有効周波数は 2 Hz 以下である。本計算条件では、この NNW 測線における地震基盤上面は水平方向に起伏が乏しく、その深さは約 4 km、震源はそのすぐ下 5 km に位置する。

NNW 測線における計算波形の特徴は、上述の観測記録のそれと調和的である。これらの結果から、NNW 測線の観測記録に見られる直達波および特異な後続波は、直達および反射 Diffracted P and S waves であり、震源が地震基盤上面直下に位置していることで励起されたことが明らかになった。また、NNW 測線付近以外では、計算波形においても Diffracted P and S waves の励起は確認できない。これは Diffracted P and S waves が平行成層とほぼ仮定できる地下構造によって励起されるためである。一方で、今回の強震動シミュレーションは、地下構造モデルの検証でもあり、観測波形と計算波形との良い一致から、NNW 測線に沿った地域の深部地盤構造の妥当性も検証できたと言える。Diffracted P and S waves は地下構造の検証にも有用な情報を含んでいることが分かった。

謝辞: 本研究では、防災科学技術研究所の K-NET、北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター、気象庁、札幌市、北海道ガス (株)、上山試錐工業 (株) による観測記録を使用しました。記して感謝の意を表わします。

キーワード: Diffracted P and S waves, 内陸浅発地震, 三次元シミュレーション, 深部地盤構造

Keywords: Diffracted P and S waves, Shallow Inland Earthquakes, Three dimensional simulation, Deep subsurface structure

2011年東北地方太平洋沖地震の際の広域での表層地盤の非線形挙動 Nonlinear behavior of soft soil deposits in wide area during the 2011 Tohoku earthquake

若井 淳^{1*}, 野津 厚¹
Atsushi Wakai^{1*}, Atsushi Nozu¹

¹ 港湾空港技術研究所
¹Port and Airport Research Institute

地震動が構造物に与える影響を正確に理解する上で、表層地盤の非線形挙動が地震動に与える影響を評価することは重要である。2011年東北地方太平洋沖地震では、全国をカバーする強震観測網により、非常に広範な地域で強震記録が得られている。本研究では、これらの観測記録の地表フーリエスペクトルのピーク周波数が線形時サイト増幅特性（地震基盤～地表）のピーク周波数からどの程度移動したかを表す指標に基づいて、非線形挙動強さを評価する。そして、地震動強さを表すいくつかの指標（PGA, PGV 及び PSI 値）と非線形挙動強さとの関係を調べ、それらの関係を適切に表現する経験式を提案した。その結果、非線形挙動強さはPGVと最も相関が良く、その関係は双曲線モデルで最も適切に表現されることがわかった。また、非線形挙動強さの経験式からの偏差が線形時のサイト増幅特性のピーク周波数と相関があることがわかった。

キーワード: 非線形挙動, 強震動, 2011年東北地方太平洋沖地震, 経験式
Keywords: nonlinearity, strong motion, the 2011 Tohoku earthquake, empirical equation

大阪堆積盆地三次元地盤速度構造モデルの改良 Improvement of Three-Dimensional Velocity Structure Model of the Osaka Sedimentary Basin

吉見 雅行^{1*}, 浅野 公之², 関口 春子², 林田 拓己¹, 堀川 晴央¹, 竿本 英貴¹, 岩田 知孝²

Masayuki Yoshimi^{1*}, Kimiyuki Asano², Haruko Sekiguchi², Takumi Hayashida¹, Haruo Horikawa¹, Hidetaka Saomoto¹, Tomotaka Iwata²

¹(独)産業技術総合研究所 活断層・地震研究センター, ²京都大学防災研究所

¹AFERC, GSJ/AIST, ²DPRI, Kyoto Univ.

1. はじめに

文部科学省委託研究「上町断層帯における重点的な調査観測」の一環で、大阪堆積盆地地盤速度構造モデルの開発を行った。大阪盆地における強震動予測の高度化のためには、妥当な震源像の策定と並び、地震動の増幅特性に大きく寄与する堆積層速度構造モデルの精緻化が重要である。既存の速度構造モデルをベースに、微動アレイ探査、単点微動観測、中小地震記録のレシーバ関数解析など新たに実施した観測・解析結果をもとに、地盤速度構造モデル作成手法の開発も行いながら、堆積盆地の地盤速度構造モデルの高度化を進めてきた(関口・他, 2012, 2013)。本発表では、このうち地盤速度構造モデルの改良に関する報告を行う。

2. 速度構造モデル改良に資する新たな観測および解析

大阪堆積盆地では、これまでも各種の物理探査が行われ、それらによる速度構造情報が三次元地盤速度構造モデル作成に用いられてきた(香川・他, 2002; 堀川・他, 2003; 大阪府, 2005; Iwata et al., 2008)。本プロジェクトでは、2010~2012年度にかけて、6地点での微動アレイ探査(吉見・他, 2012)、100点での単点微動観測(浅野・他, 2012a)、15地点での連続微動観測(浅野・他, 2012b)、2本のP波反射法地震探査(岩田・他, 2012, 2013)を実施した。また、大阪府震度計などの中小地震記録を収集し、レシーバ関数法によるPS-P時間の抽出(堀川, 2012)や差分法による中小地震の地震動シミュレーション(関口・他, 2012)を行った。これらの解析結果に既存の物理探査データを加え、速度構造情報改良のためのデータセットとして準備した。

大阪府2004モデル(大阪府, 2005)から計算される位相速度、H/Vスペクトル比の卓越周期、PS-P時間をこれらデータセットと比較した結果、特に、大阪平野南東部の丘陵域、大阪湾岸南部、大阪盆地北端部付近などで、モデル改良の必要性が見出された。

3. 物性値経験式の検討

本研究では既存の速度構造モデル(堀川・他(2003)、大阪府(2005))をベースに改良を行った。これらのモデルでは、モデル領域が断層によってブロック分割され、各ブロックの堆積層のP波速度は堆積年代と埋没深度との経験式によって与えられる。各深度での堆積年代は、ボーリングと反射法地震探査に基づく鍵層(Ma10, Ma3, Ma-1, 福田火山灰層, 松山-ガウス境界, 神戸層群上面)深度および基盤深度を用いて設定されている。S波速度と密度は、P波速度と深度から松本・他(1998)の経験式により求めた間隙率を用い、Gassmann(1951)の関係式を適用して算定されている。本研究では、P波速度に関しては、反射法探査の区間速度と比較し、堀川・他(2003)による経験式が観測結果をよく説明することを確認した。一方、S波速度に関しては、大阪層群のP波速度とS波速度の既往経験式を、大阪堆積盆地内での既存のPS検層結果と比較したところ、Nakagawa et al.(1996)によるP波速度とS波速度の経験式がPS検層結果をよく再現することがわかった。

ただし、これら経験式は平野部のPS検層結果をよく説明するが、地表付近にS波速度の大きな堆積層がある状況をうまく表現できない。そこで、特に丘陵域における大阪層群の堆積環境の違いや削剥等の効果を念頭に、P波速度算定時の埋没深度を補正することとし、この補正量をMa10層の削剥量として見積もり、新たに導入した。

4. モデルの改良

関口・他(2013, 本大会)が堀川・他(2003)および大阪府(2004)のモデルをベースに再構築した地盤速度構造モデルをもとに、本研究で得られた各地点での微動アレイ位相速度、単点微動H/Vスペクトル、レシーバ関数PS-P時間を合わせるように、基盤深度や鍵層深度の修正を実施した。これにより、各種の観測データの再現性が向上した。今後、改良後のモデルについて、連続微動観測によって得られた観測点間グリーン関数および中小地震波形記録をターゲットとした三次元地震動シミュレーションを行い、速度構造モデル改良の成果を確認する。

謝辞: 本研究は文部科学省委託「上町断層帯における重点的な調査観測」の一部として実施しました。

Japan Geoscience Union Meeting 2013

(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2013. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SSS33-16

会場:103

時間:5月19日 15:15-15:30

キーワード: S波速度, 強震動予測, 上町断層, H/V スペクトル, 微動アレイ, レシーバ関数解析

Keywords: S-wave velocity, strong ground motion prediction, Uemachi fault, H/V spectra, ambient noise survey, receiver function analysis

3次元速度構造モデルの記述方法の開発 - 大阪堆積盆地 Description of 3D velocity structure: Osaka Basin

関口 春子^{1*}, 竿本 英貴², 吉見 雅行², 浅野 公之¹, 堀川 晴央², 林田 拓己², 岩田 知孝¹

Haruko Sekiguchi^{1*}, Hidetaka Saomoto², Masayuki Yoshimi², Kimiyuki Asano¹, Haruo Horikawa², Takumi Hayashida², Tomotaka Iwata¹

¹ 京大防災研, ² 産総研 活断層・地震研究センター

¹ DPRI, Kyoto Univ., ² AFERC, AIST

1. はじめに

文部科学省委託「上町断層帯における重点的な調査観測」のプロジェクトの一環で、大阪堆積盆地地盤構造モデルの開発を行った。物性値構造の本質的な改良もさることながら、3次元速度構造モデルの構成方法についても改良を行った。本稿では、3次元速度構造モデルの構成方法について、過去の本地域を対象としたモデルのレビュー、本研究での方針と手法について述べる。一方、物性値構造の修正過程については、吉見・他(2013、本大会)で、モデルの概要については関口・他(2013、本大会)で述べる。

2. 大阪堆積盆地の既存地盤構造モデル

大阪堆積盆地は、他地域に比べて地下構造探査密度が高く、早くから3次元堆積層構造モデルが作られている。既存モデルは大きく分けて、香川ほか(1993)に始まるJ系統モデル(香川ほか, 1993; 宮腰ほか, 1997; 宮腰ほか, 1999; 香川ほか, 2002; Iwata et al., 2008; Iwaki and Iwata, 2011)と、産総研モデル(堀川ほか, 2003)に始まるH系統モデル(堀川ほか, 2003; 大阪府, 2004)の2つがある。この2つの系統は、地層境界面形状や物性値(P波速度, S波速度, 密度)構造の記述方法が大きく異なる。J系統モデルでは地層境界面がスプライン関数で与えられている。堆積層部分は、反射法地震波探査や常時微動アレイ観測の結果を基に3層に分割され、同一層内は同一の物性値が配されている。そのため、任意の場所の物性値を簡単に決めることができる。数値計算の様々なグリッド間隔への対応が簡単であり、ユーザーによる不適当な内外挿処理も防ぐことができる。一方、H系統モデルでは、地質構造を忠実に表現し逆断層形状などの急峻な形状も組み込めるよう、モデルは固定の3次元メッシュで記述されている。堆積層内に6枚の鍵層構造を作って堆積年代を与え、物性値は埋没深度と堆積年代に依存した経験式で与えており、PS検層結果に見られるミラージュ層の様相に対応している。

2つの系統の長所や短所は、裏返しの関係にある。H系統モデルは、実際の地下構造をできるだけ再現するように精巧に作られているが、任意グリッドで切り出すのが難しくモデル自体の修正作業はモデル作成者以外には困難という欠点がある。一方、J系統モデルは、三次元不均質構造の記述方法が明快なため、地震動計算やモデル自体の修正作業が比較的容易だが、地下構造の表現の精緻さにおいて劣るという欠点がある。どちらも、あらゆる物理探査モデルをコンパイルして3次元構造モデルを作成しているが、H系統モデルでは、ボーリングデータと地質構造の再現に重きがおかれ、J系統モデルでは、地震動データに基づくモデル化と三次元モデル構築作業の明確化に重きが置かれたことに起因しているのであろう。

3. モデルの構成方法

本研究で作成する地下構造モデルとしては、H系統モデルのように地層境界面や物性値構造を可能な限り探査データに忠実に精緻に表現しつつ、J系統モデルのように地層境界面を関数系で表現し、任意の間隔のメッシュで物性値構造が取り出すことが可能なものを目指すこととした。これを実現するため、次の3つの柱で3次元モデルを構成した。

- 1) 断層などの急峻な構造変化を境界とするブロックに分割する
- 2) ブロック毎に地層境界面を複雑な形状に対応できる関数形で表現する
- 3) 物性値(P波速度, S波速度, 密度)を深さ、堆積年代、地域性に依存した式で与える
- 4) 任意の地点の地層境界面深度や地域係数を抽出し、物性値を計算するツールとデータセットを地下構造モデルとする

1) および3) はH系統モデルで採用されている方法を踏襲したもので、3) については物性値式の改良を行った(吉見・他, 2013)。2) について、次節で説明する。

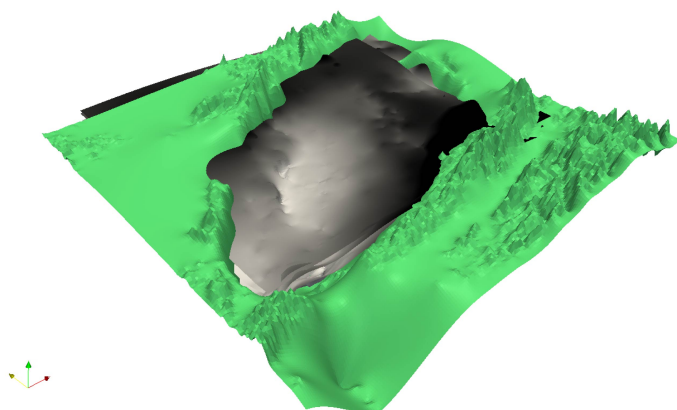
4. 地層境界面の関数形による記述

大阪堆積盆地ではこれまでに多くの反射法探査やボーリング掘削, H/V解析や微動解析が行われており、地層境界面に関する情報が比較的豊富である。加えて、本事業を通じて新たな情報が得られた。これらの情報を統合し、適切な補間によって合理的な地層境界面を生成することを目指した。

近年の3次元レーザースキャナーの発達にともない、多くの点群から面を合理的に生成する手法についての研究がコンピュータ・グラフィックスの分野を中心として活発に行われている。この分野における研究成果の1つとして、放射基底関数 (Radial Basis Function: RBF) を用いた補間法が挙げられる (RBF法)。RBF法は実装が比較的容易であり、従来用いられているスプラインを利用した補間に比べ、(1) 平滑度を調整できることや (2) 外挿時にロバストであることなどの利点がある。図は地震基盤、神戸層群、福田火山灰層、Ma-1層、Ma-3層、Ma-10層の各地層境界についてRBF法を用いて生成した境界面を示す。

キーワード: 地層境界, 鍵層, 補間, 放射基底関数

Keywords: layer boundary, key layer, Radial Basis Function, interpolation



Overview of the studies on bedrock depth distribution beneath Istanbul, Turkey by microtremor measurements Overview of the studies on bedrock depth distribution beneath Istanbul, Turkey by microtremor measurements

Oguz Ozel^{1*}

Oguz Ozel^{1*}

¹Istanbul University Engineering Faculty Geophysics

¹Istanbul University Engineering Faculty Geophysics

On August 17, 1999, a devastating earthquake with a moment magnitude of $M_w=7.4$ struck the Kocaeli and Sakarya (Adapazari) provinces, and part of suburbs of Istanbul in the northwestern of Turkey, a very densely populated region in the industrial heartland of Turkey. This earthquake is considered to be the largest event to have devastated a modern, industrialized area since the 1923 Great Kanto earthquake. This earthquake caused about 30,000 losses of life and collapsed thousands of buildings. Thus, total loss figure amounted to about \$16 Billion. Following the losses during this large earthquake, there has been a broad recognition among Turkey governmental, non-governmental and academic organizations of the need for extensive response planning based on detailed risk analysis of likely seismic hazard, microzonation studies and ground-motion researches in Turkey, in general, and Istanbul particular. In this frame, several studies are performed to map the bedrock depth distribution in the west part of Istanbul. Local S-wave velocity-depth profiles and bedrock depth distribution are key factors in assessing seismic hazard and earthquake ground motion characteristics since they allow determination of the amplification potential of geological formations overlying bedrock. In a project supported by Istanbul University, S-wave velocity structure beneath the European side of Istanbul is determined. One of the aims of the project is to improve the knowledge about the influence of local geology on the expected earthquake ground motion. In this project, both array measurements and single station microtremor measurements at 40 sites are conducted. In another study by Birgoren et al. 2009, an empirical relationship between the thickness of Tertiary-Quaternary sediments overlying Palaeozoic bedrock and their resonance frequencies is calculated for the Istanbul region and the bedrock depth distribution beneath the city is presented. The bedrock distribution beneath populated areas of Istanbul is obtained by applying the derived relationship from this study to 86 strong-motion sites, where the resonance frequencies are known. Picozzi et al. 2008, have investigated the site characterization by seismic noise in Istanbul. Single station seismic noise measurements were carried out at 192 sites in the western part of Istanbul, Turkey. This extensive survey allowed the fundamental resonance frequency of the sedimentary cover to be mapped, and identify areas prone to site amplification. There sults obtained by this study are in good agreement with the geological distribution of sedimentary units, indicating a progressive decrease of the fundamental resonance frequencies from the northeastern part, where the bedrock outcrops, towards the southwestern side, where a thickness of some hundreds meters for the sedimentary cover is estimated. From these studies and the other studies, not mentioned here, the conclusion is that the bedrock dips towards SW from NE and S-wave velocity structure shows the presence of strong impedance contrast being responsible of seismic ground motion amplification. On the other hand, the particular distribution of fundamental resonance frequencies indicates that local amplification of the ground motion might play a significant role in explaining the anomalous damage distribution in the west part of Istanbul after the 17 August 1999 Kocaeli Earthquake.

キーワード: Earthquake disaster, Microtremor, Dominant frequency, Istanbul

Keywords: Earthquake disaster, Microtremor, Dominant frequency, Istanbul

GPS 波浪計の Soliton と 2011 東日本大震災の地震波との関係 The Relationship between Soliton in GPS Wave gage and Seismic Wave of 2011 the Tohoku District Pacific Ocean Earthquake

西澤 勝^{1*}Masaru Nishizawa^{1*}¹ なし¹ none

1. まえがき

本論文では東日本大震災によって発生した津波の岩手県南西沖の GPS Wave gage でとらえた Soliton(図 1) と実際に観測された Seismic Wave 特にここでは主として Strong-motion accelerograms recorded at K-NET Tsukidate (MYG004) の関係について述べる。

2. Soliton と Seismic Wave

文献 (1) の尾池和夫著「日本列島の巨大地震」p10 の図 1 において、1 が Soliton、2-7 が Break down of Solitary wave Solitons であることは 2012 日本地球惑星科学連合学会 (JpGU)(S-SS30-P12) と 2012, 10, 日本地震学会秋季大会 (D22-01) で述べたとおりである。この Soliton を発生させるべき地盤変動が、実際の地震波 (Seismic Wave) でとらえられているかを検証した。K-NET 築館 (MYG004) の加速度記録を見てもらいたい。ここは観測された最大の加速度 (3 成分合成値) で 2,993gal を記録した所である。上から NS、EW、UD と Seismic Wave が示されている。今 Soliton を考えると、最も注目すべきは UD 方向つまり、上下方向の加速度 (PGA) or 速度 (PGU) である。MYG004 の UD の加速度の Seismic Wave は、地震発生後 50 秒足らずで第 1 回目の地震を感ずる。その後多少の変動があるのは見たとおりであるが、90 秒過ぎぐらいに急激な加速度の上下変動が認められる。筆者は、この 90 秒過ぎぐらいの急激な加速度の上下変動、つまり海底断層の急激な上下変動が先の GPS Wave gage 1 の Soliton を発生させたものと考え、おそらく PGU で 80-90cm/s ぐらいはあったものと思われる。NS、EW にも認められることは、地震波を見た通りであるが、Soliton を考える場合は特に UD 変動が大切である。その海底変動が海水に伝わる。液体中は P 波つまり縦波として伝わり、それが海面になって波 (Wave) を発生する。今回の巨大地震では、MYG004 での急激な UD 変動が P 波 (縦波) として海水中を伝わり、海面に水位変動、特に Soliton を発生させた。巨大地震の場合は Solitary Wave であったり、Soliton であったりするわけである。これは 2012 年函館での地震学会で述べた通りである。自然災害における Soliton 発生を著者が知るの他に 2 つほどある。1 つは同じ 2012 年地震学会で発表された、京大防災研の山田真澄氏の“地盤の深層崩壊”で、もう一つは新幹線がトンネルに入ると反対側の出口の空気の変動に Soliton が認められる。このように、Soliton は発生原因となる源の“急激”な変動があった場合に発生しやすいと考えて良い。MYG004 は K-NET で地表面に設置された地震計による地震波である。

Soliton と Solitary Wave の関係は文献で述べたが、Science of Form で数学の Normal Distribution との関係などは良く理解する必要がある。Fourier Spectrum の Frequency 表示の重要性も理解できると思われる。なお、今回の東日本大震災の地震波では、主として福島県以北では、2 つの主要動が認められる。一つ目は水面にゆっくりした上昇をもたらし、二つ目の地震は Soliton を発生させる地震である。したがって、一つ目と二つ目の地震の発生原因は全く異なり、一つ目はプレート型であり、二つ目はいわゆる断層型という海底の急激な上下変動によるものである。

3. まとめ

GPS Wave gage の Soliton 発生原因である Seismic Wave が 2011,3,11 東日本大震災の場合、K-NET MYG004 の UD 成分に美しく認められた。

参考文献

- 尾池和夫著 「日本列島の巨大地震」 岩波科学ライブラリー 185, p10, 図 2
- 地震動によるフーリエスペクトルの山の形 (正規分布形) の考察
Study of Shape of Mountain (Normal Distribution) of Fourier Spectrum of Earthquake Motion
西澤 勝、Masaru Nishizawa
Japan Geoscience Union Meeting 2012, (May 20-25, 2012), S-SS30-P12, (2012, 日本地球惑星科学連合学会)
- Handling by Solitary Wave and Soliton of Earthquake Motion
西澤 勝、Masaru Nishizawa
2012, 10 月日本地震学会秋季大会 (D22-01)
- 東日本大震災調査報告, 2012,3, 主要災害調査 48 号
NIED(独) 防災科学技術研究所
- 「東日本大震災の科学」, 東京大学出版会, 2012, 11
- 「巨大地震・巨大津波」, 朝倉書店, 2012, 11

Japan Geoscience Union Meeting 2013

(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2013. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SSS33-19

会場:103

時間:5月19日 16:30-16:45

7. 科学, 岩波書店, vol. 81, No.5, May, 2011

2011年東日本大震災に伴う人間被害 (3) 死者の年齢依存性 その2 Severity of Mortality in the 2011 East Japan Earthquake (3) Examination of Age-dependency Part II

太田 裕^{1*}

Yutaka Ohta^{1*}

¹ 太田 裕

¹Ohta, Yutaka

1. はじめに

地震の襲来時には災害弱者(子供と年配者)で死亡率が特に高くなることがいわれている。しかし、こういった事実が常に出現しているかについては未だ定かではない。この問題に関わって、前報では死亡率の年齢依存性に注目し、内陸性・海洋性地震の資料を使って実状把握に努めた。その結果、年齢を横軸(右向きに昇順)、縦軸を死亡率とした関係でみると両端に位置する子供と年配者の双方で大きな値をとり、中間の青・壮年期で小さくなる分布-英語のU字型をもつ-が存在することを確認した。その一方で、加齢と共に死亡率が右上がりに漸増する-英語のJ字型-分布をもつものもあることが判った。死亡率が低い場合、年齢に依存しないFlat型(F型)となる様子もみられた。第3報となる本報告では、これらの成果をさらに的確にすべく対象とする地震・津波群を追加し、詳しい分析を心がけた。併行して、疫学分野で疾病率等の説明に多用されるBeta密度関数導入によって、この問題が統一的に扱えることを確認した。

2. 対象とした地震群

1) 外国の地震

代表事例として2004年インド洋地震(M9.0)がある。特にスマトラ北部(西岸,東岸)においては組織的な調査が実施されており、相互比較を可能とする資料も豊富である(Doocy et al, 2007)。この調査では典型的なU字型分布を示すが、さらに半島の東西で津波高さが大きく違うことに対応した死亡率となっている。一方、トルコの内陸地震群(1970 Gediz, M7.1, 1976年 East Turkey, M7.4)では地震毎に様相を大きく異にしている。Gediz地震では死亡率が多様に変化した数少ない事例となっている。震央に近く、大規模な延焼火災があった地区ではU字型となるものの、震央距離の増大でJ型となり、やがてF型に近い形となる等、単一の地震で3つの異なるパターンを示す、稀な事例である。また、1976年東部地震では年配層の死者発生率が逆に低減するという意外性を示す。地震の発生が午後2時22分で、年長者のほとんどが農事に従事し、屋外にいたためと考えられる。

2) わが国の地震

関連研究の先駆は恐らく山下(2005)による1933三陸沖津波地震(M8.3)であろう。U字型に近い関係となり、子供・年配者で死亡率が高いことを指摘している。1993年北海道南西沖地震についても同様の考察を行っており、U字型を思わせる分布を与えている。前者は地動が弱く津波が不意打ち的に襲来したケ-スであり、後者は震源が近く津波の第1波が5分以内に到着し、また夜分という悪条件が重なったことに起因する。

一方、年齢と共に死亡率が上昇するJ字型分布の典型事例は近年の2大地震-1995年神戸の地震と今回の東日本大震災である。神戸の地震は地震発生が早朝のため、家族が在宅しており年少者へのケアが最大限行き届いたことが挙げられ、年少死者低減に大きく寄与した。一方、東日本大震災では地震発生が午後2時45分で、津波襲来までの時間が1時間近くあったこと、当日が水曜日で学童・生徒のほとんどが在校状態で、教職員のコントロール下にあったこと、さらに東北沿海岸一帯では「地震と津波は一体として受け止め、迅速な避難をすべし」という災害文化が相当定着していた点が大きかった。

3. 結果のまとめ

これらの結果は、以下のように取り纏め出来る。

1)当初は死亡率の低いF(lat)型-年齢に依存しない-で始まり、外力の上昇と共に年少者・年配者に厳しいU字型に移行する。外力が強い程U字型の底部が深くなる。U字型分布は外力が相当大きく、他方支援態勢とか防災認知が不十分な場合に出現する、最悪の形態である。

2)死亡率の推移は2個のパラメータをもつBeta密度分布を導入することで統一的に表現できる。

3)行動能力が大きく低下し、対災害感性も劣化した年配層の救済を如何に達成するかが世界的には勿論、わが国においても特段の難問として横たわっている。

参考文献

- H. Ohashi and Y. Ohta, Importance of Indoor and Environmental Performance, Proc. 8th WCEE, 1984.
- S. Doocy, A. et al, Tsunami mortality in Aceh Province, Bull. World Health Org. 85, 273-28, 2007.
- 太田裕, 2011年東日本大震災に伴う人間被害の激甚性(2)死者発生時の年齢依存性(1)2012年地震学会秋季大会.
- 山下文男, 溺死者の最多は子供と老年世代, 歴史地震, 20, 165-167, 2005.

Japan Geoscience Union Meeting 2013

(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2013. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SSS33-20

会場:103

時間:5月19日 16:45-17:00

キーワード: 東日本大震災, 国内外地震, 死者, 年齢依存性

Keywords: 2011 East Japan Earthquake, Inland and Oceanic Earthquake, Mortality, Age-dependency

地震ハザード情報を RESTful に提供する J-SHIS Web API の開発 Development of J-SHIS Web APIs provide seismic hazard information via REST scheme.

東 宏樹^{1*}, 早川 俊彦², 浅香 雄太², 藤原 広行¹

Hiroki Azuma^{1*}, Toshihiko Hayakawa², Yuta Asaka², Hiroyuki Fujiwara¹

¹ 独立行政法人防災科学技術研究所, ² 三菱スペース・ソフトウェア株式会社

¹National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, ²Mitsubishi Space Software Co.,Ltd.

1. J-SHIS Web API

地震ハザードステーション J-SHIS は 2005 年から地震本部の公表する地震動予測地図の情報を主に人間が読めるかたち(地図)で提供してきた。2012 年 4 月からは機械が読める(プログラミング可能な)データ形式で API (Application Programming Interface) を公開している。この J-SHIS Web API (以下、本 API) は値を様々なデータと組み合わせて使用(マッシュアップ)することや、地震ハザード情報を再解釈してグラフや図にするなど別の形式での表現を可能にした。

2. 具体的に何ができるのか

本 API を利用すると、J-SHIS のデータを HTTP にて直接取得・検索できるので、独自に作成したウェブページで地震ハザード情報や表層地盤データなどを表示したり、モバイル端末上で現在位置のメッシュに影響の大きい地震断層を検索するアプリケーションなどを作成したりすることが可能となる。具体的には緯度経度情報や地域メッシュの情報を元にその地点の地震ハザード情報を JSON 形式および XML 形式で問い合わせることができ、戻り値を様々な形に加工して Web サービスやモバイルアプリケーション等で活用する事が可能である。

3. Restful な設計

本 API は、REST (REpresentational State Transfer) に準拠した設計をなされている。REST とは分散システムを連携させるための設計原則で、Web の設計思想に従い、1) ステートレス性、2) 情報操作メソッドの制限、3) すべてのリソースを URI で一意に表現、といった項目からなる概念である。J-SHIS は地震ハザードに関連する情報の一次的な Web リソースとして機能することが求められているため、REST の概念に従った設計により取得する情報の所在が永続的であることが明確になり、外部利用者の利便性が高まる。また、REST な設計は Web サーバの数で性能がスケールするため、今後 API の利用が増えた場合の対策としても重要である。リクエストに対するレスポンスは Web リソースの標準的な表現である XML (GML) の他、JavaScript から利用しやすい JSON (GeoJSON) を選択可能とした。

4. 9 つの公開 API

2013 年 1 月時点で提供中の API は以下の 9 種類である。確率論的地震動予測地図に関する API として 1. 地震ハザード情報提供 API、2. ハザードカーブ情報提供 API、表層地盤に関する API として 3. 表層地盤情報提供 API、4. 表層地盤物性値情報提供 API、深層地盤タブに関する API として 5. 深部地下構造情報提供 API、6. 深部物性値情報提供 API、想定地震に関する API として 7. メッシュ別被害地震検索 API、被災人口に関する API として 8. 自治体別被害地震検索 API、上記のデータを横断的にデータ抽出する API として 9. メッシュ検索 API がある。

5. 利活用事例

本 API を用いて作られているサービスやアプリケーションは既に複数存在する。具体例として朝日新聞デジタルの「揺れやすい地盤」や「インフラリスク」、大和ハウス工業の「ココゆれ」、スマートフォンアプリケーション「もしゆれ」等が挙げられる。このようにオープンなデータ公開形式は使用する側の創意工夫で思いがけない価値を生むこともあり、今後も任意地点を指定可能な地震動ハザード評価データのより一層の幅広い利活用が期待される。

建物用 IT 強震計を用いた地域防災情報システム～地域の地震速報メールの活用～ Regional Disaster Information System by using IT Kyoshin Seismometer for Buildings : Making the Regional Earthquake Earl

鷹野 澄^{1*}, 伊藤 貴盛¹

Kiyoshi Takano^{1*}, Takamori Ito¹

¹ 東京大学情報学環 / 地震研究所

¹ III & ERI, University of Tokyo

我々は建物用 IT 強震計 (鷹野他 2005) を提唱して、これまで大学の建物等に設置して学内ネットワークを介して情報を収集し学内に提供するシステムを構築してきた (鷹野他 2012 など)。これに対して、建物用 IT 強震計の地域の防災情報システムとしての活用の可能性を検証するために、実際にある地域の協力を得て複数の一般の住宅に設置させていただき、様々な課題を抽出している。ここでは、その中で、地域の地震速報メールの活用について紹介し議論する。

地震時には、気象庁から各市区町村の震度が発表されるが、身近な住宅やオフィスにおける実際の揺れはこれとは異なることが多い。日頃から、気象庁が発表する地域の揺れだけでなく、身近な地域の揺れと建物の中の揺れを知ること、自助・共助による地域防災力の向上に寄与すると考えられる。

現在我々は、茅ヶ崎市のある自治体の中の複数の住宅の中に、実際に建物用 IT 強震計を設置し、一般の住宅における地震観測を継続的に行っている。このシステムで我々は、地域の地震速報メールを開発して利用している。

地域の地震速報メールは、地震が発生したときに IT 強震計を設置したお宅 (利用者) に配信されるもので、IT 強震計によって得られた自宅の周辺地盤、1 階床、2 階床、天井裏などの揺れと、同じ地域の複数の建物の平均の揺れを同時にメールで送るものである。情報は簡易震度 (K) で送られて、メールの送り先としては、自分や家族等の複数の携帯電話等のメールアドレスが設定できる。

このメールの活用方法としては (1) 周辺の建物の平均的な揺れと比較して自宅の揺れやすさを知り防災対策に役立つ、(2) 大地震発生の際には、自宅や周辺の被害の状況を推測して迅速な対応を取る、などが考えられる。また任意の携帯電話に送れるので、(3) 勤務先から自宅の揺れがわかる、(4) 高齢者が住んでいるお宅では離れた身内に自宅の揺れを伝えられる、(5) 近隣の自主防災組織で情報を共有して初動体制の確立などに活用する、など様々な利用が考えられる。

本報告では、このシステムの概要と課題等について発表する。

参考文献

鷹野澄・伊藤隆盛, 2005, 建物用 IT 強震計システムの開発, 地震工学会, 2005.11

鷹野澄・伊藤隆盛, 2012, 建物用 IT 強震計の地震速報メールとその活用方法, 地震学会, 2012

キーワード: IT 強震計, 地域防災情報, 地震速報

Keywords: IT Kyoshin Seismometer, Regional Disaster Information, earthquake early information

2011 東北地方太平洋沖地震の地震動と建物被害率の関係

Relationship between damage ratios and ground motion characteristics during 2011 Tohoku Earthquake

呉 浩^{1*}, 正木 和明², 入倉 孝次郎³

Hao Wu^{1*}, Kazuaki Masaki², Kojiro Irikura³

¹ 愛知工業大学大学院工学研究科, ² 愛知工業大学都市環境学科, ³ 愛知工業大学地域防災研究センター

¹Graduate School of Engineering, Aichi Institute of Technology, ²Department of Urban Environment, Aichi Institute of Technology, ³Disaster Prevention Research Center, Aichi Institute of Technology

The relationship between ground motion indices, e.g., PGA, PGV, I_{JMA} , SI, and three different building damage ratios, i.e., total collapse ratios (TCRs), collapse ratios (CRs) and damage ratios (DRs), were constructed for the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake. It was found that DRs relate better with ground motion indices than TCRs or CRs. It was also found that PGA was sensitive to predominant period of velocity response spectrum. Large PGA was not related with high DR if the predominant period is shorter than 0.4s or longer than 2.0s. However, the damage ratios are calculated based on an administrative unit, large variability can be seen from the fragility curves. It is necessary to examine the variability of ground motions within a small district, if the ground motions are estimated properly.

As the earthquake motions H/V can be represented theoretically, in proportional to the ratio of transfer functions between S- and P-wave, it has been suggested that H/V of earthquake motions can be used to determine the velocity structures. It implies that the microtremor H/V can also be used to estimate the velocity structures at damaged sites, if the consistency of H/V spectral ratios between microtremors and earthquakes can be confirmed there. The ground motions at some damaged sites are estimated by using the underground velocity structures inverted from the microtremor H/V spectra ratios. Then the estimated ground motions are used to be related with damage ratios at the damaged sites.

キーワード: 建物被害率, H/V スペクトル比, 速度構造, 推定した地震動

Keywords: building damage ratio, H/V spectral ratio, velocity structure, estimated ground motions

インドヒマラヤ地域における強震動観測ネットワーク Strong ground motion observation network in Himalaya, India

瀧澤 一起¹, 鷹野 澄¹, 古村 孝志¹, 大木 聖子¹, 増田 徹^{1*}, 伊藤 貴盛², Rajender Kumar Chadha³, Davulurib Srinagesh³
Kazuki Koketsu¹, Kiyoshi Takano¹, Takashi Furumura¹, Satoko Oki¹, Tetsu Masuda^{1*}, Takamori Ito², Rajender Kumar Chadha³,
Davulurib Srinagesh³

¹ 東京大学地震研究所, ² 慶應義塾大学, ³ インド国立地球物理研究所

¹Earthquake Research Institute, ²Keio University, ³National Geophysical Research Institute

自然災害を予防・軽減するための対策には自然現象と社会基盤に関する情報の収集と分析が必要であり、また災害発生時における救援活動や復旧・復興活動の計画には災害状況の把握が不可欠であることは過去の経験から指摘されているが、技術的基盤や運用環境は未だに整備されておらず世界的な課題となっている。「自然災害の減災と復旧のための情報ネットワーク構築に関する研究」はこの課題に対する JST と JICA の国際共同研究「地球規模課題国際科学技術協力プロジェクト」のひとつであり、日本から慶應義塾大学、東京大学、インドから Indian Institute of Technology Hyderabad、CSIR:National Geophysical Research Institute、Indian Institute of Technology Kanpur、Indian Institute of Technology Madras、International Institute of Information Technology Hyderabad、India Meteorological Department Hyderabad、India Meteorological Department Pune が参加している。

インドにおいては、毎年発生するモンスーンによる豪雨や洪水による死者数百名～数千名、家屋倒壊等数千万人を引き起こす気象災害、また、死者数2万人以上の2001年のインド西部地震やパキスタン側を含めて死者数9万人以上の2005年のカシミール地震などの地震災害に見舞われている。災害の規模は極めて大きいことが特徴的である。我が国においても、台風や活発な前線による豪雨と洪水による気象災害、また、近年内陸で発生した地震や2011年東北地方太平洋沖地震など大規模な地震や津波による災害を多く経験している。

防災の観点からみると、インドでは、電力、道路、上下水道などの基本的な生活インフラが発展段階であるため、未整備段階にあるインフラに自然災害による影響が及んだ場合、生活の復旧に支障をきたし大きな混乱に陥りやすい。我が国においては、災害時における情報技術の活用については比較的意識が高く一定の経験を有しているものの、1995年兵庫県南部地震、2004年福井・新潟豪雨、2011年東北地方太平洋沖地震などでは災害時の情報の取り扱いが問題になるなど課題も多い。

本研究の目的は、地震及び気象現象の観測網を整備しグローバル情報ネットワークを活用して地震及び気象に関するデータを収集することにより防災のための分析を行う基盤を構築すること、災害が発生した時に被災地への通信インフラを短時間で提供することにより災害情報を共有できるようにし救援活動や復旧・復興を効率的に行うための基盤の構築に関する技術開発をすること、インドをフィールドとして我が国が経験した防災に関する問題点を実証的に検証することによって地球規模で対応可能な自然災害に対する総合技術基盤を確率することである。このプロジェクトは、地震災害の軽減、気象観測基盤の構築、持続可能な通信基盤の構築、緊急事態および減災のための情報通信プラットフォームの開発の四つの研究項目から構成されている。

地震災害の軽減に関する研究の目的は、インドの中で地震活動度の高いヒマラヤ地域とそれに隣接し人口の密集するヒンドスタン平野を対象として、強震動の観測、GPSによる地殻変動観測、建物振動観測のネットワークを構築することにより、地震ハザード及び地震リスクを把握しヒンドスタン平野の将来の地震災害の軽減を目指すものである。本報告ではこのうちインドにおける強震動観測ネットワークの構築について紹介する。インドは高温多湿な気候である。センサーモジュールと通信モジュールは、そのような環境下で十分な精度を持って動作が保証されることが条件となる。また、十分整備されているとは言えないインフラ環境で実装展開可能であることも条件となる。また、観測データの有効性を考慮して近地地震の強震動に加えて遠地地震による長周期地震動も十分な精度で観測できるように速度型強震計を選択した。観測点はインド北部ヒマラヤ地域の地震活動度の高い領域に26地点を選んで配置した。今後、観測点とNGRIに置く観測センターとをネットワークで繋ぐ予定である。また、ネットワークのデータ、GPS観測ネットワークのデータ、地質調査データ、及び既存の観測資料を用いて、当該地域の地震活動及び震源からヒンドスタン平野への強震動伝播の特徴の分析、建物への影響評価を行う予定である。

キーワード: 強震動, 観測, ネットワーク, ヒマラヤ

Keywords: strong ground motion, observation, network, Himalaya