

SSS031-01

会場:105

時間:5月23日 10:45-11:00

首都圏地震観測網 MeSO-net で観測される太平洋プレートからの反射波 Reflection from the subducting Pacific plate detected by MeSO-net

小原 一成^{1*}, 平田 直¹, 笠原 敬司¹, 酒井 慎一¹, パナヨトプロス ヤニス¹, 中川 茂樹¹, 木村 尚紀², 明田川 保³
Kazushige Obara^{1*}, Naoshi Hirata¹, Keiji Kasahara¹, Shin'ichi Sakai¹, Yannis Panayotopoulos¹, Shigeki Nakagawa¹, Hisanori Kimura², Tamotsu Aketagawa³

¹ 東京大学地震研究所, ² 防災科学技術研究所, ³ 神奈川県温泉地学研究所

¹ERI, Univ. of Tokyo, ²NIED, ³Hot Springs Res. Inst. of Kanagawa Pref

沈み込むプレート境界付近では、地下構造の急激な変化に伴って様々な地震波の変換・反射・散乱が生じる。これらの二次的に生成された地震波動は、プレート境界の形状やインピーダンスコントラストの解明に有効であり、沈み込み帯の地震テクトニクスを理解する上で重要であるとともに、アスペリティや流体分布を推定する上で重要な情報となる。

Obara and Sato(1988) 及び Obara(1989) は、関東地方に発生する浅い地震のコーダ部分に沈み込む太平洋プレートからの反射波を見出し、防災科学技術研究所の高感度地震観測網（当時の関東・東海地殻活動観測網）のデータを用いて、プレート境界の位置および反射係数の推定を行った。その結果、深さ 70~120km の範囲、つまり首都直下から火山フロント付近まで反射面が広がり、反射係数は非常に高くプレート境界に流体が存在する可能性を指摘した。

反射面が確認されている首都圏では、現在、文部科学省の委託研究「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト」により、東京大学地震研究所が首都圏地震観測網（MeSO-net）を整備し、数 km 間隔の非常に稠密な自然地震観測を実施している。この稠密観測によりコヒーレントな地震波形記録が多数得られており、地下構造の解明に非常に効果的であることが示されているが、太平洋プレート境界からの反射波についても、プレート境界の詳細な形状や反射効率特性を抽出できる可能性がある。そのため、MeSO-net 観測点で記録された地震波形から太平洋プレート境界からの反射波を抽出し、その特徴について調査を行った。

Obara and Sato(1988) 及び Obara(1989) を参考に、関東地方に発生した深さ 40km 以浅、マグニチュード 3 以上の地震を解析対象とした。MeSO-net の加速度データに数種類の周波数帯域通過フィルターをかけて反射波の出現を確認し、最もよく反射波が観察される 4~16Hz 帯の波形記録及びエンベロープ波形記録を直線状に展開されたいくつかの観測点列に沿って並べ、反射波の有無と連続性を調査した。その際、震源と観測点、及び Obara and Sato(1988) によって推定された太平洋プレートの形状から予想される反射波到達時刻を参照データとして用いることにより、反射波の認識力向上を図った。

反射波は、東京周辺から神奈川・山梨・静岡県境付近までの範囲に発生した地震において明瞭に観測された。反射波の初動は非常に不明瞭で、最大振幅まで数秒間徐々に増加する傾向を示し、継続時間は長い場合で 10 秒以上になることもある。反射波が特に明瞭に観測される場合の反射点は、深さ 70~100km で東京湾から東京区部、神奈川県東部の範囲に分布し、千葉・埼玉直下で反射する波線経路では明瞭な反射波が見られなかった。また、反射波走時は仮定したプレート境界からの計算走時と概ね整合的であるが、一部に走時差が見られており、データがさらに蓄積すればプレート境界の位置及び反射効率の分布を詳細に把握することが可能であることを示している。長い継続時間は、反射効率のよい反射面が存在する媒質における 1 次散乱でも説明できる（Obara, 1995）が、厚さ 10~20 km 程度の反射層が太平洋プレート最上部に存在する可能性もある。

キーワード: 太平洋プレート, 反射, 首都圏地震観測網

Keywords: Pacific plate, Reflection, MeSO-net

首都圏地震観測網 (MeSO-net) でとらえた変換波より推定される房総半島下のプレート構造 (その2)

Plate structure below the Boso Peninsula, central Japan, estimated from converted waves observed by the MeSO-net (2)

木村 尚紀^{1*}, 武田 哲也¹, 小原 一成², 酒井 慎一², 笠原 敬司², 平田 直²

Hisanori Kimura^{1*}, Tetsuya Takeda¹, Kazushige Obara², Shin'ichi Sakai², Keiji Kasahara², Naoshi Hirata²

¹ 防災科研, ² 東大地震研

¹NIED, ²ERI, Univ. of Tokyo

首都圏直下で発生しうる M7 クラスの地震の全体像を探るため、詳細な地下構造を明らかにすることは重要である。関東地方では、フィリピン海プレートが沈みこみ、1923 年関東地震 (M7.9) 等の巨大地震が発生してきた。1923 年関東地震の翌日には、房総沖で最大余震 (M7.6) が発生したことが知られている。これらの現象の発生する場を規定する要因を探ることは、その発生メカニズムを解明する上で重要である。地下の構造を明らかにするために、自然地震の後続位相は、地下の速度不連続面について有用な情報を与えてくれる。房総半島沖で発生する地震で P 波と S 波の間に後続位相がしばしば見られ、多数の波形記録の詳細な検討によりフィリピン海プレート最上部に分布する火山性砕屑物層 (以下、VCR 層とする) での変換波に同定されている (Kimura et al., 2010)。近年、首都圏での自然地震観測の強化を目的として高密度な観測網 (首都圏地震観測網: MeSO-net) が整備された。これまで、MeSO-net による波形記録を調査し、フィリピン海プレート上面で発生した地震について上下動成分で P 波と S 波の間に 1 つ、フィリピン海プレート境界より深い地震で P 波と S 波の間に 2 つの明瞭な位相が見られることを報告した (木村ほか, 2010a)。理論走時との比較・検討より、前者は堆積層基盤、後者は堆積層基盤および VCR 層下面からの SP 変換波と考えられる。しかし、房総半島中部から西岸で理論走時と比較して変換波の到達が系統的に遅く、房総半島の東西で構造の違いがあることが示唆された (木村ほか, 2010b)。そこで、MeSO-net の稠密な観測点分布の利点を活かし、変換面の形状の推定を進めた。

前回までの結果 (木村ほか, 2010b) に加え、変換面の傾斜方向を変化させた場合も検討した。さらに、得られた結果について対象イベントを増やし、信頼性の向上を図った。なお、初期構造モデルは木村ほか (2010b) および Kimura et al. (2010) を元に作成した。関東平野は厚い堆積層に覆われ、低速な未固結堆積物による走時遅れが大きく、中深層観測点と比べて場所により走時遅れが P 波で約 1 秒、S 波で約 3 秒に達する (木村ほか, 2010a)。そこで、堆積層の影響を適切に評価するため、「地震ハザードステーション」(J-SHIS) による深部地盤構造モデル (藤原ほか, 2009) を用いた。同モデルで V_p 3800m/s 以下となる層を堆積層とし、速度構造モデルの浅部をこれで置き換えた。走時計算は Zelt and Barton (1998) による差分法走時計算プログラム FAST を用いた。

試行錯誤的に形状モデルを検討した結果、房総半島東岸の深さ 18km を中心として、N20E の方向を軸に、西に 45 度傾けた場合に走時差の RMS (root-mean-square) が最小となった。そこでこのモデルを採用すると、SP 変換波が VCR 層下面で励起されたとすると、これは房総半島下でフィリピン海プレートの境界が大きく西に傾斜していることを意味する。周辺の地震による観測波形を検討したところ、多くの地震で同様な位相が明瞭に見られた。これらの位相も上記のモデルで再現できた。

このような顕著な構造変化があると地震活動にも影響を与えている可能性がある。変換面の傾斜が推定された場所は、相似地震発生域の西端とほぼ一致する。また、傾斜面を走向方向に南に延長すると、1923 年関東地震と最大余震の境界と重なる。このことから、変換面の形状すなわちフィリピン海プレート境界の形状の変化が、相似地震の発生域を規定し、さらに巨大地震のセグメント境界として機能している可能性がある。武田ほか (2007) は、既存の構造探査データを取りまとめ、相模トラフ周辺の統合プレート形状モデルを構築した。このモデルによると、三重会合点から相模トラフ北西端に向かうにつれフィリピン海プレートの傾斜が急になり、特に房総半島南東沖で大きく屈曲する。これは、房総半島の西側でプレート境界が東側より深いことを示している。今回の結果は、西側が深いという点で武田ほか (2007) と調和的であるが、深さが狭い範囲で急激に変化していることを示唆している。VCR 層を含めたプレート境界構造の空間変化も考慮しつつ、今後さらに検討が必要である。

謝辞: 走時計算に「地震ハザードステーション」(J-SHIS) による深部地盤構造モデル (藤原ほか, 2009) を使用させて頂きました。記して感謝いたします。

キーワード: 関東地方, MeSO-net, 変換波, プレート境界, 1923 年関東地震, セグメント境界

Keywords: Kanto region, MeSO-net, converted wave, plate boundary, 1923 Kanto earthquake, segment boundary

SSS031-03

会場:105

時間:5月23日 11:15-11:30

関東北東部のフィリピン海スラブの形状: 九十九里-霞ヶ浦測線における地殻構造探査 Geometry of the Philippine Sea slab beneath the northeastern part of the Kanto plain, central Japan

佐藤 比呂志^{1*}, 阿部 進², 蔵下 英司¹, 岩崎 貴哉¹, 平田 直¹, 溝畑 茂治², 酒井 慎一¹, 浅尾一己³, 伊藤 谷生⁴
Hiroshi Sato^{1*}, Susumu Abe², Eiji Kurashimo¹, Takaya Iwasaki¹, Naoshi Hirata¹, Shigeharu Mizohata², Shin'ichi Sakai¹, Kazumi Asao³, Tanio Ito⁴

¹ 東京大学地震研究所, ²(株)地球科学総合研究所, ³千葉県庁, ⁴千葉大学

¹ERI, Univ. Tokyo, ²JGI. Inc., ³Chiba Prefectural Government, ⁴Dept. Earth Sci., Chiba Univ.

はじめに

首都直下では太平洋プレートの上にフィリピン海プレートが沈み込むという特異なプレート構造をなしている。沈み込むフィリピン海スラブと太平洋スラブとの関係を明らかにすることは、首都直下のスラブ内地震の発生ポテンシャルを考える上で重要である。このため文部科学省が実施している「首都直下地震防災減災特別プロジェクト」の一環として、2010年6月下旬から7月上旬にフィリピン海スラブと太平洋スラブの接触域に近い九十九里浜沖から霞ヶ浦に至る延長約70kmの区間で、制御震源を用いた地殻構造探査を実施した。目的はプレート接触域の詳細な構造を明らかにすることである。両スラブの接触部については、霞ヶ浦-つくば測線とつくば-水戸測線に地震計を設置し、稠密自然地震観測を実施した(蔵下ほか, 本大会)。浅部では制御震源を用いて詳細なイメージングを、より深部については自然地震によるイメージングにより、総合的に地殻プレート構造を解明する。

九十九里-霞ヶ浦測線

探査測線は九十九里浜から北北西方向に霞ヶ浦南岸まで52kmの区間と、海域に6kmの長さの海底ケーブルを設置し、計58kmの受振ラインを展開した。沖合20kmの区間まで3020cu.inchのエアガン、陸域では4台の大型パイロサイスを用いた発震作業を行った。発震記録は1520チャンネルの固定展開で収録した。反射法の発震点間隔は陸域で100-150m、海域で50mである。この他、屈折法/広角反射法のためにパイロ・エアガンの集中発震、ダイナマイト発破など計12点の高エネルギー発震を行った。

フィリピン海プレート上面: 高エネルギー発震記録を用いた重合時間断面に対して、首都圏に設置しているMeSO-netの地震観測網[1]によって求められた地震波トモグラフィーによる速度構造を用いて深度断面への変換を行った。得られた深度断面では、フィリピン海プレート上面に対応すると判断される見かけ上北北西に傾斜する反射波群が認められる。九十九里浜では、波群の上面は約25kmの深さに位置し、反射波群は約5kmの厚さを有している。測線に沿って北北西方向に深さを増大させ霞ヶ浦南岸では約38kmの深さまで追跡される。

堆積層

反射法地震探査断面浅層部では、先第三系上面が深さ750mから1000mに分布する。細かい凹凸はなすものの全体としては概して平坦な形状を示す。堆積層はほぼ水平な先第三系上面に、測線南部では約北に10°の傾斜を示す堆積層がオンラップする。測線中央部では緩い傾斜を示す。これらの堆積層は広域的な対比により上総層群に相当する地層群と解釈され、測線南部での広範な隆起・長波長地殻変動に関連している。

キーワード: フィリピン海プレート, 反射法地震探査, スラブ, 地殻構造, 関東, テクトニクス

Keywords: Philippine Sea plate, seismic reflection profiling, slab geometry, crustal structure, Kanto, tectonics

SSS031-04

会場:105

時間:5月23日 11:30-11:45

関東平野の伏在活断層の地下構造 Subsurface structures of active blind thrusts in Kanto plain

石山 達也^{1*}, 佐藤 比呂志¹, 加藤 直子¹, 阿部 進²
Tatsuya Ishiyama^{1*}, Hiroshi Sato¹, Naoko Kato¹, Susumu Abe²

¹ 東京大学地震研究所, ² (株)地球科学総合研究所

¹ERI, University of Tokyo, ²JGI, Inc

本研究では、関東平野に分布する活断層を横断する深部構造探査断面に基づき、伏在活断層の深部形状について考察する。関東平野には、立川断層や深谷断層・綾瀬川断層といった活動的な逆断層が分布する（活断層研究会，1991）。これらは概して平均変位速度が 0.1mm/yr 前後と非常に遅い（須貝ほか，2001; 石山ほか，2005）。反射法地震探査の結果（山口ほか，1998）によれば、立川断層は中新世の半地溝構造を限る正断層が逆断層として再活動しているものと考えられる。また、これらの断層の活動開始は比較的新しく、深谷断層では上盤側の傾斜不整合とその上位の成長層下部の年代（須貝ほか，2001）から中期更新世と考えられる。近年、関東平野では大深度地殻構造探査が数多く行われ、いくつかの測線ではこれらの活断層を横断している。大大特・北関東測線の深部構造探査の結果（佐藤ほか，2010）によると、測線が延びる青梅から春日部にかけての区間では、地下に半地溝構造（ハーフ・グラベン）がいくつか認められる。これらは、既往の反射断面で見出された、前期-中期中新世のハーフ・グラベン（高橋ほか，2006）と同時期に形成されたものであろう。このうち、武蔵野台地北東縁部、綾瀬川断層および守谷-取手隆起帯（貝塚，1987）の地下に分布する半地溝構造については、見かけ上西に傾斜する断層上盤側のリフト期以降の新第三系・第四系に微弱な背斜構造が認められ、鮮新世から更新世にかけて反転した可能性がある。綾瀬川断層については、この反転構造の直上に分布する大宮台地（下末吉面相当）に背斜状の変形が認められる（貝塚，1987）。加えて、ボーリング調査および浅層反射法地震探査から上総層群に撓曲構造が growth strata の証拠が認められ、段丘面の年代および変形量から 0.1 mm/yr の平均変位速度が推定される（石山ほか，2005）。一方、武蔵野台地の地形については、テクトニックな変形を表すとする考え（貝塚，1957）と、ノンテクトニックであるとする考え（廣内，1999）があり、第四紀後期の活動性については十分に検討する必要がある。

SSS031-05

会場:105

時間:5月23日 11:45-12:00

地震波干渉法による首都圏の地震基盤のS波反射強度の推定 Seismic basement S-wave reflection beneath the Tokyo Metropolitan Area inferred from seismic interferometry

吉本 和生^{1*}, 平田 直², 笠原 敬司², 小原 一成², 佐藤 比呂志², 酒井 慎一², 鶴岡 弘², 中川 茂樹², 木村 尚紀³, 棚田 俊收³, 明田川 保⁴, 中原 恒⁵, 木下 繁夫¹

Kazuo Yoshimoto^{1*}, Naoshi Hirata², Keiji Kasahara², Kazushige Obara², Hiroshi Sato², Shin'ichi Sakai², Hiroshi Tsuruoka², Shigeki Nakagawa², Hisanori Kimura³, Toshikazu Tanada³, Tamotsu Aketagawa⁴, Hisashi Nakahara⁵, Shigeo Kinoshita¹

¹ 横浜市立大学, ² 東京大学地震研究所, ³ 防災科学技術研究所, ⁴ 神奈川県温泉地学研究所, ⁵ 東北大学

¹Yokohama City Univ., ²ERI, Univ. of Tokyo, ³NIED, ⁴Hot Springs Res. Inst. of Kanagawa Pref., ⁵Tohoku Univ.

1. はじめに

首都直下地震防災・減災特別プロジェクトでは、首都圏に新たな首都圏地震観測網 (MeSO-net) を設置し、自然地震の稠密観測を実施している。MeSO-net の構築によって、首都圏における地震観測点の数と空間分布密度は飛躍的に高まった。本報告では、MeSO-net 及び首都圏強震動総合ネットワーク (SK-net) の観測点において記録された地震波形に地震波干渉法を適用して推定された地震基盤の S 波反射強度とその地域変化について紹介する。

2. データと解析

解析には、MeSO-net と SK-net の地震観測点で 1997 年以降に記録された約 2 万 7 千の地震波形を使用した。地震波干渉法では、各観測点の加速度波形を変位波形に変換し、直達 S 波を含む 10 秒間の SH 成分について自己相関関数を求めた後に、重合処理を施して地盤の S 波レスポンス関数を評価した。次に、S 波レスポンス関数中に見られる地震基盤からの反射 S 波位相 (卓越周波数 1Hz 程度) に着目し、その発現時間 (地表と地震基盤間の S 波往復走時に相当) と振幅を測定した。この結果をもとに、既往研究による堆積層の S 波減衰の Q 値 (木下・大池, 2002) を使用して非弾性減衰の効果を補正し、地震基盤の S 波反射強度とその地域変化を調べた。

3. 結果

推定された地震基盤の S 波反射強度 (反射係数) には、地域ごとに明瞭な差異が見られた。首都圏の北東部にあたる茨城県南部や千葉県北部では、0.5 程度の特にならぬ反射係数の値が求められた。一方、首都圏の南西部にあたる神奈川県内では、0.1 程度の有意に小さい反射係数の値が得られた。このような地域差は、主に、地震基盤面を挟んでのインピーダンスコントラストの地域性を反映したものであり、地震基盤を構成する岩石の物性に大きく依存していると考えられる。例えば、首都圏の西部では、秩父帯と四万十帯に分類される基盤岩が伏在しており、その地質境界は東京都と神奈川県の都県境付近に推定されている (例えば、林, 2006)。本解析で得られた反射係数は、この地質境界を挟んで、相対的に北側で大きく、南側で小さい。この傾向は、基盤岩とその上部の堆積層のインピーダンスコントラストが形成年代の比較的新しい四万十帯の分布する地域において相対的に小さいと考えるとことで解釈できる。

さらに、反射係数の大きさには、地表と地震基盤間の S 波往復走時 (地震基盤の深度) の増大とともに小さくなる傾向が見られた。測定値は、ばらつきは大きいものの、平均的に見れば、地表と地震基盤間の S 波往復走時が 4 秒くらいまでの浅部 (約 2km 以浅) においては 0.3 程度、それ以深では 0.2 程度或いはそれより小さい値を示す。この結果は、地震基盤面を挟んでのインピーダンスコントラストが深さとともに小さくなる傾向にあることを示す。定性的には、堆積層を構成する地層のインピーダンスが深さとともに増大し、基盤岩のその値に漸近するためであると解釈できる。

謝辞

本研究では、首都圏地震観測網で記録された地震波形及び、首都圏強震動総合ネットワークの東京都、東京消防庁、茨城県、神奈川県、群馬県、埼玉県、千葉県、栃木県、横浜市、防災科学技術研究所、気象庁、東京大学地震研究所の強震波形記録を利用しました。また、本研究は、東京大学地震研究所共同研究プログラムの援助を受けました。ここに記して感謝します。

キーワード: 地震波干渉法, 地震基盤, 首都圏地震観測網, 首都圏強震動総合ネットワーク, 反射係数

Keywords: seismic interferometry, seismic basement, MeSO-net, SK-net, reflection coefficient

千葉県における浅部・深部統合地盤モデルの検討

Examination of integrated velocity model of shallow and deep structure in Chiba Prefecture

先名 重樹^{1*}, 前田宣浩¹, 森川信之¹, 藤原広行¹

Shigeki Senna^{1*}, Takahiro Maeda¹, Nobuyuki Morikawa¹, Hiroyuki Fujiwara¹

¹ 防災科学技術研究所

¹ NIED

1. はじめに

強震動予測を高度化するためには、0.1秒から10秒程度の広帯域の地震動特性を評価できるような地盤モデルの構築が重要な課題の1つである。そのためには、これまで別々にモデル化を実施してきた浅部地盤モデルと深部地盤モデルを統合し、観測記録を再現できるようなモデルの作成を進めていくことが不可欠である。本研究では、千葉県全域において面的に詳細な常時微動探査を実施し、既往の浅部・深部統合地盤モデル(地質初期モデル)を初期値として、面的に多数の微動アレイ探査および単点による微動探査(H/Vスペクトル比)を実施し、地盤のS波速度構造、Q値および増幅特性(スペクトル増幅率)等を求め、地盤モデルの高度化を行った。また、面的な補間方法の検討も行い、250mメッシュ単位の浅部・深部統合地盤モデルを作成した。

2. 微動観測について

本研究では、千葉県全域において、自治体等が所有している地盤に関する基礎的な情報調査としてボーリングデータの収集と常時微動観測を行った。単点による微動観測については、平成21年5月~平成22年8月にかけて、千葉県全域において、主に小・中・高校の敷地を利用した単点による微動観測(合計772地点)と、K-NET、KiK-net、自治体の震度観測地点において微動アレイ観測(合計67地点)をそれぞれ実施した。観測には水平2成分上下動1成分およびロガー(LS-7000XT)が装備された微動観測装置JU-210およびJU-215(白山工業社製)を用いた。単点による微動観測は、主に千葉県の自治体の地震観測地点や、小・中・高等学校の敷地内等で実施した。また、本研究では、浅部・深部統合地盤モデルの高度化を最終的な目標としているため、統合化の中でも特に速度層としての同定が難しい工学的基盤相当層($V_s=300\sim 700$ (m/s))の位相速度分布の面的分布の推定と、既往の地盤モデルに対するS波速度構造のチューニングを行うために微動アレイ観測も実施した。微動アレイ観測については、単点観測と同地域において既往の研究に基づき5~10km間隔で設定し、アレイの中心点は、主に自治体の震度計・K-NET、KiK-netの地震計ある位置を中心として、半径 $R=300$ m、100mの大きさの三角計のアレイと、それよりも小さな半径については一辺75mのL字アレイ(一部 $R=40\sim 60$ mの三角アレイ)を展開し、三角アレイについては、1時間程度、L字アレイ等については30分~40分程度の観測を行った。

3. 微動観測によるS波速度構造と増幅特性の検討

本研究においては、K-NET、KiK-netおよび自治体震度計等の地震波形記録を用い、R/Vスペクトル比を求め、微動アレイによる観測位相速度との間で、ジョイントインバージョン処理を行い、広帯域での周期特性の合わせ込みを行った。その結果、特に0.5秒~2秒付近において、特に理論H/Vと地震動のR/Vによる周期特性が良く合う結果となった。そこで、推定された速度構造モデルの増幅特性の検証として、Q値とS波増幅構造についても検討を行った。サイト増幅特性の計算については、Tsuda et al.(2010)を参考に計算を行った。また、Q値による減衰と幾何減衰を補正した後の観測スペクトルと震源スペクトルの残差を地震毎に求め、相対的サイト増幅特性とした。用いた地震観測記録は、千葉県内の強震計で観測された、M5~6の中規模地震とし、震源深さは30km以深とした。回帰分析には震央距離200km以内の記録のみを用いた。S波初動から20.48秒までのNS成分とEW成分のフーリエスペクトルを求め、周波数0.3HzのParzen windowによる平滑化をした後に、NS成分とEW成分の相乗平均を求めた。求められた相対的サイト増幅特性に対し、ジョイントインバージョンによって求めたS波速度構造と比較したこの結果、既往の地盤構造モデルの結果に対し、全体的に観測記録との結果の差(標準偏差)が小さく、地盤モデルが改善されたといえる。また、この結果より、微動観測による速度構造結果を反映した上で、面的に分布を広げるための手法についても、面的に広げた地盤モデルによる位相速度と、単点微動のH/Vスペクトル比による2秒よりも短周期部分のジョイントインバージョンにより検討し、250mメッシュの浅部・深部統合地盤モデルを作成した。

4. まとめ

今後、本研究で実施した手法を用い、茨城県をはじめとして関東全域に展開し、より高精度な浅部・深部統合地盤モデルの構築方法を検討する予定である。

<謝辞>

本研究を実施するにあたり、応用地質（株）の鈴木晴彦氏にモデルの検討についてご協力いただいたここに謝意を表します。

キーワード: 統合地盤モデル, 強震動, 微動観測, S波速度構造, Q値

Keywords: Integrated structure model, strong-motion, microtremor measurements, S-wave velocity, Q-value

マルコフ連鎖モンテカルロ法による表面波の位相速度の逆解析 Surface-wave phase velocity inversion using Markov Chain Monte Carlo method

山中 浩明^{1*}

Hiroaki Yamanaka^{1*}

¹ 東京工業大学総理工

¹Tokyo Institute of Technology

微動探査は、比較的容易にS波速度構造モデルを推定できることから、地震動予測のための地盤モデルの構築の際によく用いられている。首都圏でも、多数の微動探査が行われ、堆積層の3次元S波速度構造モデルも提案されている(例えば、山中・山田, 2006)。今後も、同様の探査が行われ、モデルが改良・更新されることになると期待されるが、追加されたデータの効果を理解するためには、モデルの精度や分解能などの議論が不可欠である。

微動探査では、表面波の位相速度の推定とその逆解析が主要な要素技術である。位相速度の逆解析では、最小2乗法だけでなく、GAやSAなどのヒューリスティック探索法も使われている(例えば、山中, 2007)。ヒューリスティック探索法の利点のひとつは、目的関数の微分係数を用いていないので、アルゴリズムのロバスト性が高いことである。そのために、位相速度の逆解析だけでなく、多くの分野で用いられている。その一方で、最小2乗法などに比べてパラメータの感度が直接的にはわかりにくいという短所もある。例えば、全く感度がないパラメータでも、ヒューリスティック探索による最小誤差のモデルでは探索範囲内である値に決まることになるので、結果の評価には十分に注意しなければならない。これに対して、山中ほか(1999)では、適応解の概念を用いて、目的関数が小さい解のパラメータの分布を求め、解のユニーク性を定性的に調べているが、これにしても十分に感度や分解能を理解できるわけではない。

マルコフ連鎖モンテカルロ(MCMC)法は、目的関数のパラメータのマルコフ連鎖の状態のランダムサンプリングから、その確率分布を求める統計的な手法であり、解析的に目的関数の形状が求められない場合を対称として開発されたもので、最近、様々な分野で注目されている(例えば、伊庭, 2005)。さらに、ベイズ定理によれば、逆解析の解のパラメータの事前確率が一樣であれば、観測値の尤度が解の事後確率となり、逆解析のモデルの決定だけでなく、その分解能も評価できることになる。逆解析では、観測値と計算値で決まる尤度の確率分布をMCMC法に基づいて推定することになる。したがって、GAやSAと同様に高ロバストである利点を有しているといえる。本研究では、マルコフ連鎖モンテカルロ法を位相速度の逆解析に適用することを試み、関東平野での実データへの応用を行った。

まず、関東平野の深部地盤を模擬した4層モデルを仮定して数値実験を行った。周期0.5 - 10秒の基本モードのレイリー波の位相速度を計算し、これらに以下のように仮定した標準偏差の20%のランダムなノイズを与え擬似観測データを作成した。これらの擬似観測値の5から40%の値を観測値の標準偏差として与えた。逆解析では、S波速度と層厚を未知数とした。実際の計算では、温度一定のSAに類似したMetropolis-Hastings法を用いて、サンプリングを行った。モデルの変化量を与える提案密度関数としては、正規分布を仮定し、最終的な受理確率が5割程度になるように、正規分布の標準偏差を決定した。各パラメータに対して3万回のモデル更新を行うことにしたので、合計21万回の順計算を行うことになる。サンプリングしたS波速度と厚さから平均値と標準偏差を求め、それらを逆解析の解とした。観測誤差によらず、得られた解は、正解値に近いものであった。一方、当然ながら、モデルパラメータの標準偏差は観測値の誤差に依存し、観測値の誤差が大きいほど、モデルパラメータの推定誤差も大きくなっている。観測値とパラメータの標準偏差との比較から、モデルパラメータの誤差を10%以内にするには、観測誤差を10%以内にする必要があることがわかった。ただし、深部の厚さに関するモデルの分解能は低く、周期10秒でもデータが不十分であることを示している。

このように、MCMC法による逆解析では、誤差が最小となる一つのモデルを探索するのではなく、パラメータの確率分布を求めることになり、逆解析モデルの分解能などの定量的な評価が可能となる。これは、GAやSAにはない利点であると考えられる。今後、関東平野で得られている位相速度のデータへの適用を行い、推定モデルの分解能の空間的理解を行い、関東平野の3次元モデルの更新などの検討を行う予定である。また、強震動や地盤特性に関する他の逆解析に対して応用可能であり、推定パラメータの分解能が定量的に評価できるので、非常に有効な逆解析方法であると考えられる。

キーワード: 微動探査, 地盤モデル, 表面波, 位相速度, S波速度構造, マルコフ連鎖モンテカルロ法

Keywords: microtremor exploration, basin model, surface wave, phase velocity, S-wave velocity, Markov Chain Monte Carlo

SSS031-08

会場:105

時間:5月23日 12:30-12:45

首都直下地震の地震動予測とその結果の活用 Ground motion prediction and results utilization for next Tokyo metropolitan earthquakes

瀧 一 起^{1*}, 三宅 弘 恵¹, 増 田 徹¹, 酒 井 慎 一¹, 小 林 道 和²

Kazuki Koketsu^{1*}, Hiroe Miyake¹, Tetsu Masuda¹, Shin'ichi Sakai¹, Michikazu Kobayashi²

¹ 東京大学地震研究所, ² 文部科学省

¹Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo, ²MEXT

首都圏とその周辺（ほぼ南関東地域に相当）では大正関東地震（1923年）や元禄関東地震（1703年）など、マグニチュード（M）8クラスのプレート境界地震が200年程度ごとに繰り返し発生しているが、こうした巨大地震の静穏期約200年の間、特にその後半の約100年間にもM7クラスの大地震が複数発生して、江戸や東京に大きな被害をもたらしてきた。このM7クラスの大地震がいわゆる首都直下地震である。資料などがそれ以前に比べれば比較的整っている明治期は大正関東地震直前のM7クラス活動期に相当し、5つの首都直下地震が南関東地域で発生したと考えられている。これらの認定に基づいて政府の地震調査委員会は、今後30年以内に首都直下地震が発生する確率は約70%という長期評価を公表している。

本研究ではまず酒井（2010）などを参考にして、今後発生する可能性が高かつ首都圏への影響が大きい首都直下地震を複数選り出す。そして、それらの震源モデルをIrikura and Miyake（2011）のレシピなどに基づいて構築する。ただし、こうしたレシピは主に内陸地殻内地震（陸域の浅い地震）を対象にしているのに対して、首都直下地震は深さ数十kmのやや深いプレート境界地震あるいはスラブ内地震であるので、レシピに含まれるパラメータや関係式はこの種の地震に向けたものに変更する必要がある。次に、Koketsu et al.（2009）のレシピなどに基づいて南関東地域の地下構造モデルを構築する必要があるが、長周期地震動予測地図2009年試作版のためにこの地域の1次地下構造モデル（地震動記録を用いたチューニングが済んでいるモデル）が作られているので、これに対して最小限の修正を施すことで首都直下地震のための地下構造モデルを構築する予定である。

以上の震源モデル、地下構造モデルを用いて長周期成分は地震動シミュレーションにより、短周期成分は統計的グリーン関数法により計算し、両者を周期2~3秒程度でハイブリッド合成して広帯域の地震動予測を実現する。その予測の結果は首都圏各地の工学的基盤における地震動波形であるが、これらを工学分野などに活用してもらうために応答スペクトルの提示も行う予定である。また、長周期地震動予測地図での経験を生かして、最大速度や計測震度、継続時間、いろいろな周期の応答スペクトルなどの分布地図も作成し、さらなる利用促進を促す予定である。

キーワード: 首都直下地震, 地震動予測, 結果の活用

Keywords: Tokyo metropolitan earthquakes, ground motion prediction, results utilization