

## 首都圏の地震活動とフィリピン海プレート

### Seismic activity of the metropolitan area and Philippine Sea plate obtained by MeSO-net

酒井 慎一<sup>1\*</sup>, 中川 茂樹<sup>1</sup>, 楠城 一嘉<sup>1</sup>, 笠原 敬司<sup>1</sup>, パナヨトプロスヤニス<sup>1</sup>, 鶴岡 弘<sup>1</sup>, 蔵下 英司<sup>1</sup>, 平田 直<sup>1</sup>, 小原 一成<sup>1</sup>, 木村 尚紀<sup>2</sup>, 明田川 保<sup>3</sup>, 本多 亮<sup>3</sup>

SAKAI, Shin'ichi<sup>1\*</sup>, NAKAGAWA, Shigeki<sup>1</sup>, NANJO, Kazuyoshi<sup>1</sup>, KASAHARA, Keiji<sup>1</sup>, PANAYOTOPOULOS, Yannis<sup>1</sup>, TSURUOKA, Hiroshi<sup>1</sup>, KURASHIMO, Eiji<sup>1</sup>, HIRATA, Naoshi<sup>1</sup>, OBARA, Kazushige<sup>1</sup>, KIMURA, Hisanori<sup>2</sup>, AKETAGAWA, Tamotsu<sup>3</sup>, HONDA, Ryou<sup>3</sup>

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

<sup>1</sup>Earthquake Research Institute, the University of Tokyo, <sup>2</sup>National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Japan, <sup>3</sup>Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefecture

2007年度から始められた文部科学省委託研究事業「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト」が終了した。首都圏地域に展開した首都圏中感度地震観測網 (MeSO-net) により, 人工的なノイズが多い都市部においても, M2程度の地震が検知可能であるなど, 十分な精度の観測データが取得できた。2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震のように, 巨大な地震動でも飽和することなく, 全観測点で地震波形が得られた。さらに, 停電や断線等でリアルタイムのデータ伝送が各地で途切れたにもかかわらず, 復旧後に現地に保持していたデータが自動的に再送され, 欠測のない, 完全なデータセットが得られている。このデータは, 広帯域に十分な感度があることから, 地盤構造分野や建築・土木分野など様々な用途の解析に用いられている。

この MeSO-net 波形データと周辺の観測点のデータを統合させ, 気象庁一元化震源に基づいて地震波形を切り出し, それぞれの P 相, S 相等を読み取り, 地震波速度構造トモグラフィ解析を行った。初期一次元速度構造は, 防災科研で震源決定に使われている速度構造を用い, 防災科研で求めた震源を初期値として, 二重走時差トモグラフィ法を用いて計算した。得られた速度構造から, 沈み込むフィリピン海プレートや太平洋プレートの海洋性地殻に対応すると考えられる。

東北地方太平洋沖地震発生以降, 首都圏では地震活動が活発であったが, その地震のほとんどが, プレート境界で発生する逆断層型の地震であった。銚子沖では, 太平洋プレート上面における余効変動が観測されるなど, プレート運動が引き続いていることがうかがえる。さらに, 2011年10月には, 通常よりも早く房総半島沖のゆっくり滑りが発生したり, 繰り返し小地震の発生頻度が増加したりして, フィリピン海プレートでも沈み込みが進行していることを示唆している。

謝辞 気象庁, 防災科学技術研究所, 神奈川県温泉地学研究所の波形データを利用しました。ここに記して感謝いたします。なお, 本研究は, 文部科学省の研究委託事業「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト 首都圏での構造調査, 震源断層モデル等の構築等」の一環として行われた。

キーワード: 首都圏地震観測網, 超稠密地震観測, 地震活動, プレート構造

Keywords: MeSO-net, ultra-dense seismic network, seismicity, plate structure

## 首都圏で発生した歴史地震の解明

### Clarification of Large or Great Historical Earthquakes in Tokyo Metropolitan Area

佐竹 健治<sup>1\*</sup>, 島崎 邦彦<sup>1</sup>, 都司 嘉宣<sup>1</sup>, 金 幸隆<sup>1</sup>, 室谷 智子<sup>1</sup>, 石辺 岳男<sup>1</sup>

SATAKE, Kenji<sup>1\*</sup>, SHIMAZAKI, Kunihiko<sup>1</sup>, TSUJI, Yoshinobu<sup>1</sup>, KIM, Haeng Yoong<sup>1</sup>, MUROTANI, Satoko<sup>1</sup>, ISHIBE, Takeo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学地震研究所

<sup>1</sup> Earthquake Research Institute, the University of Tokyo

首都機能が集中する南関東では、フィリピン海プレート（以下 PHS と略記）と太平洋プレート（以下 PAC と略記）が陸のプレート下に沈み込んでおり、様々な型の大地震が発生してきた。我々は、これらの大地震の再来間隔や将来の発生確率を推定するために、津波堆積物や海岸段丘などの地形・地質学的データ、地震被害を記述した歴史資料、ならびに地震波形や震度分布などの地震学的データを用いて、発生履歴や詳細な被害分布の解明、および震源域の推定等を行った。

1703年と1923年にPHSと陸のプレートの境界において、関東地震（M8級）が発生したことがわかっている。しかしながら、その1つ前の関東地震の発生年代は地形・地質学的調査あるいは歴史資料からいくつかの候補が挙げられているもの（例えば石橋, 1991, 1994; Shishikura, 2003）、明らかにされていない。我々は、三浦半島（神奈川県）に位置する小網代湾においてジオスライサー調査を実施し、採取された津波堆積物の解析から、1703年元禄関東地震の1つ前の関東地震が1060～1400年の間に発生したことを明らかにした（Shimazaki et al., 2011）。これは、当時の首都であった鎌倉に甚大な被害を及ぼした1293（正応六または永仁元）年の大地震が関東地震であった可能性を示唆する。我々はまた、同半島南端に位置する江奈湾においてジオスライサー調査を実施し、過去4000年間の津波堆積物を採取した（千葉・他, 2011）。さらに、同半島南部において航空レーザー測量や古い地形図の比較から、大正関東地震による隆起の詳細や、それ以前の地震による海岸隆起に関するデータを得た（Kim et al., 2011）。

関東地方において1600年以降に発生した歴史地震については、詳細な被害を記述した歴史資料が残されている。そこで、歴史資料の記述に基づいてこれらの地震の詳細震度分布を作成した。例えば、1812（文化九）年に発生した神奈川地震では、横浜市内の主な地域は現在の気象庁震度階で6に相当する被害が生じたことが明らかとなり、震度5域の面積からマグニチュードは6.4に推定された（都司, 2009）。また、江戸市中に甚大な被害を及ぼした1855（安政二）年江戸地震に対して、町人地、寺社ならびに大名屋敷の詳細な被害分布、ならびに液状化発生地点の分布を明らかにした。さらに、これらの被害地震に対する歴史資料を整理したデータベースを作成した。

南関東の深さ30～80kmで発生するM7級地震の今後30年間確率は70%程度と推定されており、切迫性が高い（地震調査委員会, 2004）。これは、1885年以降に発生した5つの被害地震（1894年明治東京地震, 1895年茨城県南部の地震, 1921年茨城県南部の地震, 1922年浦賀水道付近の地震, ならびに1987年千葉県東方沖の地震）に基づくが、これらの中にはどこで発生した地震であったのか明らかにされていないものを含む。そこで、我々は既往研究の整理と波形記録や検測値の収集を行い（石辺・他, 2009a, 2009b; 室谷・他, 2011）、収集されたデータの解析、ならびに新たに構築された地震観測網（MeSO-net; 笠原・他, 2009）から明らかにされた地震波速度構造（Nakagawa et al., 2011）との対比から、震源域の推定等を行った。その結果、1894年明治東京地震はPHS内地震あるいはPAC上面で発生した地震であったと考えられる。1895年茨城県南部の地震はPAC内地震であったと考えられる。1921年茨城県南部の地震, 1922年浦賀水道付近の地震, 1987年千葉県東方沖の地震（Okada and Kasahara, 1990）は、いずれもPHSスラブ内部で発生した横ずれ型地震であった可能性が高いことが明らかとなった。

キーワード: 関東地震, 歴史地震, M7級地震, 津波堆積物, 類型化

Keywords: Kanto earthquake, Historical earthquake, M7-class earthquake, Tsunami deposit, Classification

## MeSO-net のデータから推定した、東北地方太平洋沖地震の最大余震の破壊過程 Rupture process of March 11, 2011 Ibaraki oki earthquake obtained from back-projection approach using MeSO-net data

本多 亮<sup>1\*</sup>, 行竹 洋平<sup>1</sup>, 伊東 博<sup>1</sup>, 原田 昌武<sup>1</sup>, 明田川 保<sup>1</sup>, 吉田 明夫<sup>1</sup>, 酒井 慎一<sup>2</sup>, 中川 茂樹<sup>2</sup>, 平田 直<sup>2</sup>, 小原 一成<sup>2</sup>, 木村 尚紀<sup>3</sup>, 松原 誠<sup>3</sup>  
HONDA, Ryou<sup>1\*</sup>, YUKUTAKE, Yohei<sup>1</sup>, ITO Hiroshi<sup>1</sup>, HARADA, Masatake<sup>1</sup>, AKETAGAWA, Tamotsu<sup>1</sup>, YOSHIDA, Akio<sup>1</sup>, SAKAI, Shin'ichi<sup>2</sup>, NAKAGAWA, Shigeki<sup>2</sup>, HIRATA, Naoshi<sup>2</sup>, OBARA, Kazushige<sup>2</sup>, KIMURA, Hisanori<sup>3</sup>, MATSUBARA, Makoto<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 温泉地学研究所, <sup>2</sup> 東京大学地震研究所, <sup>3</sup> 防災科学技術研究所

<sup>1</sup>Hot Springs Research Institute, <sup>2</sup>Earthquake Research Institute, <sup>3</sup>National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震の直後から、M7を超える余震が発生している。その中でも、現在のところ最大のものが茨城県沖で本震の約30分後に発生したM7.6の地震である。本発表では、首都圏に展開された首都圏中感度地震観測網(MeSO-net)のデータを用い、バックプロジェクション法によって最大余震の破壊域を推定した結果を報告する。使用したデータは、247観測点の水平動加速度記録を1回積分して得られた速度波形に0.1-1.0秒のバンドパスフィルターをかけたものである。その中のS波を含むと考えられる部分を対象として、Matsubara and Obara (2011)による3次元速度構造を用いて走時を計算し、断層面上に波形をスタックした。

解析の結果、この地震の破壊域は2008年に茨城県沖で発生したM7.0の地震のアスペリティの深部延長に位置し、2008年の地震のアスペリティとは相補的な関係となっていることが分かった。また、破壊域はおよそ100km四方に及ぶが、破壊は本震時に地震波を放出したと推定される北側には進まず、南西もしくは西方向へ進展していったことが分かった。

最大余震の震源域周辺では、およそ20年間隔で2008年のようなM7級の地震が繰り返し発生していることが知られている。そうした地震の発生には、沈み込んだ海山による固着強度の不均質が影響していると考えられている。また、この震源域付近はフィリピン海プレートの北端部が太平洋プレートと接触していると考えられている領域でもあり、最大余震の破壊域を明らかにすることは、この領域でのプレート関カップリングに伴う地震発生様式を理解する上で重要である。

キーワード: 東北地方太平洋沖地震, バックプロジェクション, 最大余震, MeSO-net

Keywords: The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Back-projection, The largest aftershock, MeSO-net

## 長期地殻変動から推定した伊豆・小笠原弧の衝突モデルによる関東地方の応力蓄積パターン

### Stress accumulation pattern in the Kanto region, Japan, computed with the collision model of the Izu-Bonin arc obtained

橋間 昭徳<sup>1\*</sup>, 佐藤 利典<sup>1</sup>, 伊藤 谷生<sup>2</sup>, 宮内 崇裕<sup>1</sup>

HASHIMA, Akinori<sup>1\*</sup>, SATO, Toshinori<sup>1</sup>, ITO, Tanio<sup>2</sup>, MIYAUCHI, Takahiro<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 千葉大学理学研究科地球生命圏科学専攻, <sup>2</sup> 帝京平成大学

<sup>1</sup>Dept. Earth Sciences, Chiba University, <sup>2</sup>Teikyo Heisei University

関東地方は、四つのプレートが相互作用しあう複雑なテクトニクスのもとにある。関東が位置するユーラシア、北アメリカ・プレートの下にはフィリピン海プレートが沈み込み、さらに太平洋プレートが北アメリカ、フィリピン海プレート下に沈み込んで、房総半島沖に地球上で唯一の海溝-海溝-海溝三重会合点を形成している。また、フィリピン海プレート上の伊豆・小笠原弧は日本列島との衝突を引き起こし、関東地方のテクトニクスに大きな影響を与えていると考えられている。このように複雑な関東地方直下の内部応力場や地質構造を解明する上で本質的に重要なことは、それらを形作ってきた長時間スケールでの変動過程を理解することである。我々はこれまで首都直下地震防災・減災特別プロジェクトにおいて、関東地方の長期地殻変動を地質学的・地形学的手法を用いて求める一方、変位の食い違い運動によるプレート沈み込みモデルを用いて、関東地方周辺のプレート沈み込み運動と伊豆・小笠原弧の衝突を考慮した関東地方の長期地殻変動モデルを構築してきた。本研究では、まず長期地殻変動データを満たすような伊豆・小笠原弧の衝突モデルを求め、これを用いて関東地方の応力蓄積パターンを求める。

関東地方の千年-10万年スケールの変動は旧汀線高度から、また、最近50万年間、100万年間の変動は海成堆積物の現高度から推定されている。これらの結果から、最近100万年の関東地方の変動パターンについては以下のようにまとめられる。(1) 100万年前と50万年前の海成堆積物の現高度からは、50万年前以降から現在までのある時期までは房総半島から東京湾を中心とする地域で沈降が続いていたことがわかる。(2) 詳細に見ると、沈降中心は100万年前から50万年前にかけては房総半島域にあったが、50万年前以降は東京湾下へと移動した。(3) 12.5万年前の旧汀線は関東地方に広く残されているが、このことから少なくとも最近10万年間はそれまでとは逆に関東地方全体として隆起傾向にあるといえる。

上記のような地殻変動の変遷が起こるためには、伊豆・小笠原弧の衝突状態が変化するか、プレート運動自体が変わったと考えなければならない。これに該当する地質学的イベントとしては、フィリピン海プレートの運動方向変化が挙げられる。また、最近100万年を通して変動パターンの変化が持続的である原因としては、伊豆・小笠原弧の衝突域(プレート境界面上ですべり速度欠損が生じている領域)がフィリピン海プレートの運動方向変化に即座に対応できず、その後時間をかけてゆっくり変化してきたためであるということが考えられる。

このことを確かめるため、変位の食い違い運動によるプレート沈み込みモデルを用いて長期地殻変動計算を行なった。計算の結果、プレート運動変化以前は、東京湾-房総半島下に沈降域、房総半島南東沖に隆起域が形成されること、プレート運動方向変化以降は衝突域の変化にともなって沈降域と隆起域がそれぞれ移動し、東京湾-房総半島下ははじめ沈降域だったのが隆起に転じること、最終的に関東地方南部全体が隆起域となることを確認した。以上の結果は関東地方の長期地殻変動データと調和的である。このような変動パターンの変化を満たす衝突域の幅は伊豆半島を中心として東西160kmにわたる。

以上、得られた伊豆・小笠原弧の衝突モデルを用いて、プレート内部に形成される応力蓄積速度を計算した。計算の結果、応力蓄積のパターンは、衝突を受けている関東山地では北西に圧縮的、東京湾北部では北西に伸張的、フィリピン海プレート側では横ずれ的となった。このパターンは観測されているプレート内地震のメカニズムと調和的であり、このことは、プレート内地震が長期的に蓄積された応力を解放するように発生することを示している。

キーワード: 応力場, 構造発達シミュレーション, 地殻変動, 関東, 伊豆・小笠原弧, 衝突

Keywords: Stress field, Simulation of tectonic evolution, Crustal deformation, Kanto, Izu-Bonin arc, Collision

## 関東大震災を歩く：現代に生きる災害の記憶

### Search for evidences from the Great Kanto earthquake in the 23 wards of Tokyo

武村 雅之<sup>1\*</sup>

TAKEMURA, Masayuki<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> (株)小堀鐸二研究所

<sup>1</sup> Kobori Research Complex Inc.

関東大震災による東京の火災を調査した東京帝国大学物理学教授の中村清二は報告書の中で次のように述べている。「同じ失敗を何度となく経験しても吾々は一向賢明にならなかったのである。大八車が自動車にかわることはあろうけれども。」江戸時代にあった火災時の家財道具の持ち出し禁止の掟を忘れ、多くの人々が避難場所に大八車で大量の家財道具を持ち込んだ結果、38000人の死者を出した陸軍被服廠跡に代表される大惨事を各所で招いたことへの無念な気持ちと、今後訪れるであろう車社会への警告の言葉でもある。去る3月11日の東日本大震災に際して、首都圏ではまさに中村清二の予言通りのことが起こった。道路という道路を、帰宅を急ぐ車が埋め尽くし史上最大の渋滞が発生したのである。一度火災が発生し自動車に引火すれば、大惨事につながったことは間違えない。

津波からの避難もそうであるが、なぜこうも我々は過去の震災経験を忘れてしまうのだろうか？悲惨な出来事は出来るだけ早く忘れたいというのは人情であるにしても、地震が再来するという事は寺田寅彦に指摘されるまでもなく誰しもが分かっているはずである。私はこの問題を解決するためのポイントは非日常的な震災経験を人々の日常生活の意識の中に組み込む方策を見つけることではないかと思ってきた。

そんなことを考えながら東京の街を歩いて見ると、今でも様々なところに関東大震災の慰霊碑や記念碑などが残っていることに気が付いた。それらは震災の悲惨さを我々に伝えるものであると同時に、歴史的苦難を必死で乗り越えた当時の人々の強さや優しさも感じさせてくれる。様々な痕跡を探し歩くうちに、いずれもが、我々の平安な日常を祈ってくれているようにさえ思えてきた。このような気付きが23区内をくまなく歩く調査のきっかけであった。

そこで見つけた物は、慰霊碑、記念碑、多くの犠牲者が出た場所と逆に多くの避難者の命を救った場所、さらには震災で破壊された跡またはその再生を伝えるもの、復興過程で生まれた建物や施設などである。一方、震災後の帝都復興事業による土地区画整理は、東京に1657(明暦3)年の明暦の大火以来、実に270年ぶりのお寺の大移動をもたらした。幕末以来受難続きのお寺にとって、想像を絶する負担であったが、お陰で江戸の多彩な文化が、都市化によって朽ちることなくひっそりと郊外各地に今も息づいている。そして、最後に、関東大震災以前から江戸・東京をたびたび襲った自然災害についての記念碑や遺構も調査した。関東大震災が初めての災害ではなく、過去の災害経験が忘れ去られていたことが関東大震災の被害をこれほど大きくしたと考えたからである。

調査結果は3月1日、東日本大震災一周年を前に一冊の本にまとめることができた(吉川弘文館発行)。表題はその書名である。拙著を手に23区内を是非とも歩いて欲しい。関東大震災が分かると共に、一方で我々が暮らす東京の大切さも実感することができるだろう。それこそが、東京を来るべき地震から守る減災への第一歩となるものと信じている。今もひっそりと佇む、関東大震災の慰霊碑や記念物、復興のモニュメント。人びとはどのような思いで死者を弔い、どのようなビジョンを持って瓦礫の街を蘇らせたのか。

日本各地には、震災だけでなく火山災害や風水害など様々な記念碑や遺構が残されている。それらを元に一般市民に自らの足許を見つめ直してもらうこと。そのことが、来るべき災害に“未曾有”の称号を与えない近道ではないか考える。今回の成果が、そのような活動を広げる端緒になれば幸いである。

## 地震観測記録を用いた関東平野に於けるサイト応答の方位依存性に関する検討 Investigation of azimuthal dependence of site responses in the Kanto Basin, using earthquake observation data

津野 靖士<sup>1\*</sup>, 山中 浩明<sup>2</sup>, 山本 俊六<sup>1</sup>, 酒井 慎一<sup>3</sup>, 平田 直<sup>3</sup>, 笠原 敬司<sup>3</sup>, 木村 尚紀<sup>4</sup>, 明田川 保<sup>5</sup>

TSUNO, Seiji<sup>1\*</sup>, YAMANAKA, Hiroaki<sup>2</sup>, YAMAMOTO, Shunroku<sup>1</sup>, SAKAI, Shin'ichi<sup>3</sup>, HIRATA, Naoshi<sup>3</sup>, KASAHARA, Keiji<sup>3</sup>, KIMURA, Hisanori<sup>4</sup>, AKETAGAWA, Tamotsu<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 鉄道総合技術研究所, <sup>2</sup> 東京工業大学, <sup>3</sup> 東京大学, <sup>4</sup> 防災科学技術研究所, <sup>5</sup> 神奈川県温泉地学研究所

<sup>1</sup>Railway Technical Research Institute, <sup>2</sup>Tokyo Institute of Technology, <sup>3</sup>University of Tokyo, <sup>4</sup>National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, <sup>5</sup>Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefecture

Recently, several seismic observation networks have been installed in the Kanto Basin, such as K-net, KiK-net, SK-net and MeSO-net. Especially, MeSO-net (Sakai and Hirata, 2009) installed with an interval distance of about 5 km has high densely covered the Tokyo Metropolitan Area with more than about 250 stations. Large ground motions of the Kanto Basin for long periods were observed by these networks, during the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Japan (Mw 9.0). Tsuno et al. (2011) reported complex distributions of earthquake ground motions observed in the Tokyo Metropolitan Area. However the observed ground motions for long periods seem to be small in contrast with those prospected by the scale of the main shock (Mw 9.0). Since the main shock occurred in the Tohoku Region on March 11, 2011, a lot of aftershocks including those with the small scale of magnitude occurred mainly in the East Japan due to the huge scale of the main shock. Also, earthquake ground motions induced by several aftershocks of more than Mj 6 were observed in the Kanto Basin. To investigate azimuthal dependence of site responses excited in the Kanto Basin, therefore, we evaluated the characteristics of ground motions in the Kanto Basin for different moderate aftershocks of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake.

We selected 5 aftershocks of the same scale (Mj 6.4 to 6.7) occurred in the different azimuth for the Kanto Basin. Also, the epicentral distances from the Kanto Basin for these events were around 200 km. The aftershock events used in this study were as follows: the Northern Nagano Prefecture Earthquake (March 12, 2011, Mj 6.7), the off Ibaraki Prefecture Earthquake (March 13, 2011, Mj 6.4), the Eastern Shizuoka Prefecture Earthquake (March 15, 2011, Mj 6.4), the Fukushima Prefecture Earthquake (April 12, 2011, Mj 6.4) and the off Fukushima Earthquake (July 31, 2011, Mj 6.5). At first, we confirmed the stability of ground motions observed in the seismic bed rock at Shimosa (CHBH04), Iwatuki (SITH01) and Koto (TKYH11) where the borehole stations by KiK-net were installed. To remove the effects of source and pass for different earthquakes, we obtained spectral ratios of underground motions on surface to the averaged ground motions by three stations in the bed rock. The site responses estimated by 5 different events were similar for periods of 1 and 0.5 seconds at the central stations in the Tokyo Metropolitan Area. However, the site responses were clearly different for periods of 5 and 8 seconds. The site responses obtained by the Northern Nagano Prefecture Earthquake and the Eastern Shizuoka Prefecture Earthquake were larger than those obtained by other earthquakes, in spite of the largest ground motions in the bed rock observed by the off Ibaraki Prefecture Earthquake. For example, site response for all the periods at TKY007 (Shinjyuku by K-NET) was almost same for the off Ibaraki Prefecture Earthquake, the Fukushima Prefecture Earthquake and the off Fukushima Earthquake. On the other hand, the site response for a period of 5 seconds obtained by the Northern Nagano Prefecture Earthquake and the Eastern Shizuoka Prefecture Earthquake were extremely larger than those obtained by other earthquakes by around 4 times.

We confirmed the azimuthal dependence of local site responses in the Kanto Basin, using the different moderate earthquakes of Mj 6.4 to 6.7. The ground motions for periods of 5 to 8 seconds in the Tokyo Metropolitan Area were largely excited by the Northern Nagano Prefecture Earthquake and the Eastern Shizuoka Prefecture Earthquake. To evaluate and/or predict ground motions for long periods in the Kanto Basin induced by the Tokai Earthquake, which is supposed to occur in the Southern Shizuoka for the near future, we need to understand more clearly the azimuthal dependence of local site responses in the Kanto Basin.

キーワード: 地震動, 方位依存性, サイト応答, 関東平野, 余震記録, 2011年東北地方太平洋沖地震

Keywords: Ground motions, Azimuthal dependence, Site response, Kanto Basin, aftershock recordings, 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake

## 浅部・深部統合地盤モデルの作成手法の検討

### Examination of the creation technique of integrated model of shallow and deep structure

先名 重樹<sup>1\*</sup>, 前田宜浩<sup>1</sup>, 鈴木晴彦<sup>2</sup>, 稲垣賢亮<sup>2</sup>, 森川信之<sup>1</sup>, 藤原広行<sup>1</sup>

SENNA, Shigeki<sup>1\*</sup>, Takahiro Maeda<sup>1</sup>, Haruhiko Suzuki<sup>2</sup>, Yoshiaki Inagaki<sup>2</sup>, Nobuyuki Morikawa<sup>1</sup>, Hiroyuki Fujiwara<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 防災科研, <sup>2</sup> 応用地質(株)

<sup>1</sup>NIED, <sup>2</sup>OYO Corp

#### 1. はじめに

地震被害想定を行う際に、まずは基本となる断層モデルや地震動を計算するための地盤構造モデルを用意した上で、地震波形や震度を計算し、その結果に基づき被害想定を行うのが一般的な進め方である。地盤構造モデルの作成については、モデル作成に必要な地盤データの収集を行い、さまざまな解析手法等の手続きを行った上で作成されている。地盤モデル自体は、非常に作業量は多く、手続きも多い分、作成方法もまちまちである。地盤構造モデルの作成方法が「レシピ」化され、統一的に実施されれば、国や自治体の被害想定で使用する際にも品質が確保されるだけでなく、隣り合った自治体同士の地盤モデルの不整合もなくなり、効率のよい被害想定を行うことができる。本研究では、地盤構造モデル作成の手順をまとめるため、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浅部地盤モデルと深部地盤モデルを統合した地盤モデルの作成手法を構築することを目的としている。その検討を詳細に実施するため、茨城県・千葉県全域(主に低地・台地部)において、浅部・深部統合モデル(初期地質モデル)の作成を行い、手法の取りまとめを行った。

#### 2. 浅部・深部統合地盤モデル作成の流れ

浅部・深部統合地盤モデルの作成は、下記に示す順序にて評価を行った。

- (1) 初期浅部・深部統合モデル(地質モデル)の作成
- (2) 微動データ+地震観測データによるジョイントインバージョン処理
- (3) 面構造への拡張方法の検討
- (4) S波増幅特性と周期特性の評価(SH・差分法)
- (5) 単点微動(H/Vスペクトル比)によるインバージョン処理

上記の各項目のうち、(1)については、層序モデルの作成を基本とし、まずは、対象地域の地質層序を設定し、柱状図を地質で区分し、各柱状図から地層の連続性を読み取る。地層境界データの補間、メッシュへの割り振りにより地質構造モデルを作成し、N値からS波速度に変換した上で、S波速度構造モデルを作成している。(2)では、(1)のモデルを基本として、地震動のR/Vスペクトル比と微動アレイの位相速度によるジョイントインバージョンを行い、モデルを修正する。(3)で求められた構造を3次元方向に展開し、(4)にて2秒よりも長周期は、差分法で、2秒よりも単周期側は、観測スペクトルから求めたS波増幅特性と作成した地盤モデルからSHにより計算した結果と比較している。(5)では、主に2秒よりも短周期の部分のみについて、微動のH/Vスペクトル比によるインバージョン処理を行い主に浅部地盤モデル部分の速度構造の修正のみを行い、最終的な構造モデルを作成した。

#### 3. 作成した浅部・深部統合地盤モデルの評価

最終的に、千葉県・茨城県全域の浅部・深部地盤構造モデルを250mメッシュ単位で作成した。本検討でチューニングされた地盤モデルは、広帯域全体の精度、特に2~0.5秒付近の周期特性およびS波増幅特性が大幅に改善するものとなった。なお、最終結果の浅部・深部統合地盤モデルにおけるAVS30の結果と既往の地盤構造モデルの結果を比較した場合、浅い地盤構造(AVS30(m/s))は若干速度が大きくなり、それよりも深い構造 $V_s=500\sim 700$ (m/s)が厚くなる傾向を確認することができた。

#### 4. まとめ

本研究において、特に1秒周辺の解析結果の収束性も非常に良くなった。今後、地域毎にこのような取り組みを実施し、他の地域においても浅部・深部統合地盤モデルの構築について検討を行う予定である。また、これまで実施した地域においても精度の向上を目指す。

<謝辞>

本研究は、文科省委託事業「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト」(H19~H23)により実施したものである。

# Japan Geoscience Union Meeting 2012

(May 20-25 2012 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2012. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SSS33-P07

会場:コンベンションホール

時間:5月22日 17:30-18:30

キーワード: 浅部深部統合地盤モデル, 強震動, 微動観測, 地質層序, S波速度構造

Keywords: integrated model of shallow and deep structure, Strong-motion, Microtremor measurements, Geology stratigraphy, S-wave velocity



## An evaluation of 3-D velocity models of the Kanto basin for long-period ground motion simulations

### An evaluation of 3-D velocity models of the Kanto basin for long-period ground motion simulations

Yadab Prasad Dhakal<sup>1\*</sup>, Hiroaki Yamanaka<sup>1</sup>  
Yadab Prasad Dhakal<sup>1\*</sup>, YAMANAKA, Hiroaki<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tokyo Institute of Technology

<sup>1</sup>Tokyo Institute of Technology

Many institutes are involved in constructing and updating the 3-D velocity structure model of the deep sedimentary basins for the seismic disaster mitigation planning in Japan. The 2009 J-SHIS model for the deep sedimentary layers of the Kanto basin was reconstructed using diverse suite of data: the geological data, seismic reflection and refraction surveys, gravity surveys, H/V inversions, deep borehole profiles, and layer boundaries estimated by microtremor exploration method (e.g., Fujiwara et al., 2006). On the other hand, Yamada and Yamanaka (2011) introduced a new model (hereafter YY model) for the deep sedimentary layers of the Kanto basin based on the Rayleigh wave phase velocities at periods from 0.5 to 5 s deduced from the microtremor array observations at more than 250 sites in the area. There exist also other velocity models of the Kanto basin based on refraction data and geological data.

In this paper, we select the 2009 J-SHIS model and the 2011 YY model to evaluate their performance for the long-period ground motion simulation. We simulate waveforms in the period range of 2 to 10 s (0.1 ~ 0.5 Hz) for two moderate magnitude intermediate depth earthquakes: Mw 5.9, depth 68km (2005/07/23, 16:35, JST); and Mw 5.8, depth 80km (2011/04/16, 11:19, JST), which occurred beneath the Kanto basin, using a 3-D finite difference method. We used strong-motion records at about 600 and 450 sites to evaluate the models for the 2005 and 2011 events, respectively, recorded by the K-NET, KiK-net, and SK-net. For details about the earthquake source parameters, velocity models, waveform simulations, and goodness-of-fit measure, we refer readers to our previous paper (Dhakal and Yamanaka, 2012) and references therein.

We derived the goodness-of-fit (gof) values from the PGVs and Fourier spectra using the algorithm proposed by Olsen and Mayhew (2010). We found that more than 95% of sites belong to the fair fit and above for both the models for the 2005 event, and 85% for the 2011. The J-SHIS and YY models give one class high gof values at about 20%, and 15%, respectively, of about 600 sites used in this study, suggesting that one model performs better than the other at those sites.

In this paper, we extended the goodness-of-fit analysis in our previous paper to the cross correlation measure. We obtained cross correlation at 105 K-NET and KiK-net sites, which are located in the basin, for the 2005 event. The waveforms are shifted to match the S-wave arrivals. We found that, for a time window of 20s, starting from 10s before the S-wave, 76% and 79% of sites belong to the class of fair fit and above for the EW component, which had dominant amplitude over other components, for the J-SHIS and YY models, respectively. On the other hand, for a time window of 70s, starting from 10s before the S-wave, 62% and 51% of sites belong to the class of fair fit and above for the J-SHIS and YY models, respectively.

The above results suggest that the two models perform somewhat differently and need further revision. Also, an improved model can be obtained by integrating the two models.

#### Acknowledgement

This study was partially supported by -Special Project for Earthquake Disaster Mitigation in the Tokyo Metropolitan Area-supported by Ministry of Education, Sports, Culture, Science and technology, Japan.

#### Reference

Dhakal, Y. P. and Yamanaka, H., 3-D Finite Difference Simulation of Long period Ground Motions for the Performance Analysis of two Subsurface Velocity Models of the Kanto Basin Using Moderate Magnitude Earthquakes, Joint Conference Proceedings, 9th International Conference on Urban Earthquake Engineering/ 4th Asia Conference on Earthquake Engineering, March 6-8, 2012, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan.

# Japan Geoscience Union Meeting 2012

(May 20-25 2012 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2012. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SSS33-P08

会場:コンベンションホール

時間:5月22日 17:30-18:30

キーワード: Kanto basin, J-SHIS, Subsurface structure, Long-period ground motion, Goodness of fit

Keywords: Kanto basin, J-SHIS, Subsurface structure, Long-period ground motion, Goodness of fit

## 地震波干渉法によって推定された関東平野のグリーン関数のシミュレーション Simulation of the Green's function estimated from seismic interferometry in the Kanto basin

地元 孝輔<sup>1\*</sup>, 山中浩明<sup>1</sup>

CHIMOTO, Kosuke<sup>1\*</sup>, YAMANAKA Hiroaki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京工業大学

<sup>1</sup>Tokyo Institute of Technology

地震波干渉法理論により2点の地震記録の相互相関からグリーン関数を合成できる。著者らは前大会で関東平野において地震波干渉法に基づいて推定されたグリーン関数の表面波群速度と既往のモデルによる理論値とを比較してその妥当性を検証した。しかし理論上ではグリーン関数が合成できるとされているものの、これまでの多くの研究ではその速度推定のみにとどまっている。そこで Prieto and Beroza (2008) や山中ほか (2010) では微動記録の相互相関と地震記録を比較し、それらの波形が類似していることを示した。また、Prieto et al. (2009) ではコヒーレンス関数の減衰により1次元モデルによる深さ方向のQ値の推定を試みている。Ma et al. (2008) は有限要素法による理論グリーン関数のシミュレーションを行い、微動記録の相互相関関数と比較している。このように最近では観測された相互相関の到達時刻だけでなく、振幅も含めたグリーン関数の合成が検討されている。しかし実際の波動場は複雑なため、理論的な考察はシミュレーションに頼らざるを得ない。そこで、地震波干渉法によるグリーン関数合成の妥当性を検証するために、関東平野において地震波干渉法により推定されたグリーン関数と、三次元差分法によって計算された理論グリーン関数の比較によってその妥当性を検証した。

地震波干渉法によるグリーン関数の推定は、前大会と同様にした。関東地方において観測された約半年以上の微動記録を用いて、周期2秒から6秒の帯域通過を施し、1ビット化 (Campillo and Paul, 2003) 処理後に、各観測点間の相互相関関数を計算した。比較のための理論グリーン関数は三次元差分法を用いて各観測点の上下加振1点インパルス応答を計算した。計算に用いた地盤モデルは山中・山田 (2006) を参考にした。震源には周期6秒に中心周波数をもつリックカーウェーブレットを用いた。計算された理論グリーン関数と推定グリーン関数の比較により、両波形の到達時刻はおおよそ合っていることがわかった。このことにより地震波干渉法に基づいたグリーン関数の速度推定が実際の波動場にも十分に適用できることがわかる。特に、観測点間隔が数km程度でかつ観測点間の地下構造が大きく変化しない場合には両波形がよく一致していることがわかった。一方、平野端部に観測点が位置する場合や観測点間隔が大きい場合、理論グリーン関数は後続位相が長く複雑な波形を示し、推定グリーン関数との比較では両波形の差異が大きくなった。このような場合には観測点間の地下構造の変化が複雑なため、波動伝播も複雑になりモデルと現実との差の影響が大きくなるためと考えられる。またこのため、グリーン関数は直達波成分が卓越するとは限らないので速度推定においても注意が必要であることがわかった。

キーワード: 地震波干渉法, グリーン関数, シミュレーション, 微動, 関東平野

Keywords: seismic interferometry, Green's function, simulation, microtremors, Kanto basin