

地震観測記録に基づく関東平野の3次元地下構造モデルの構築と 地震動シミュレーション

Revision of 3D Model of the Kanto Basin based upon Earthquake Records and Simulation of Earthquake Ground Motions

吉田 治雄^{*1} 小林 喜久二^{*1} 佐藤 吉之^{*1} 梅田 尚子^{*2} 洒井 慎一^{*3} 平田 直^{*3}
Haruo Yoshida Kikuji Kobayashi Yoshiyuki Sato Naoko Umeda Shinichi Sakai Naoshi Hirata

^{*1} 竹中工務店技術研究所
Research & Development Institute, Takenaka Corporation

^{*2} 竹中工務店設計部
Design Department, Takenaka Corporation

^{*3} 東京大学地震研究所
Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

Estimation of underground structure in the Kanto Basin was carried out using GA inversion of earthquake records. The 177 observation points in total are used which are part of K-NET, KiK-net (National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience) and MeSO-net (Earthquake Research Institute, The University of Tokyo). Based on the estimated underground structure of each point, the 3D model of the underground structure was constructed and earthquake ground motions were simulated by 3D finite difference method. As a result of comparison of the simulation waves by the revised model with those by the model before revision and those by the model of the Headquarters of Earthquake Research Promotion, it was confirmed that the simulation waves of the revised model are better compatible with the observation record than those of other two models.

1. はじめに

長周期構造物への影響が大きい長周期地震動は、通常、震源から検討地域までの3次元地下構造モデルを使用した数値シミュレーションにより予測される。長周期地震動の予測精度向上のためには、使用する3次元モデルの高精度化が重要である。吉田・他(2007)は地震観測記録の逆解析(小林・他,2005)により推定されたK-NET・KiK-net(防災科学技術研究所)の120地点の地下構造モデルに基づいて関東平野3次元地下構造モデルを構築した。本論では、首都圏地震観測網 MeSO-net(洒井・平田, 2009)の内57地点の地下構造を推定し、それらの結果を追加してモデルの改訂を行い、地震動シミュレーションの精度向上に与える効果を確認した。

2. 地下構造の推定と3次元モデルの改訂

本論で用いた地下構造推定は、P波部の水平 Radial 成分と上下成分のフーリエスペクトル比の振幅(P波部 H/V スペクトル比)とその逆フーリエ変換により得られるレシーバー関数及びS波後続部の水平/上下スペクトル比(コーダ部 H/V スペクトル比)を逆解析する方法(梅田・小林, 2010)を用いた。表1に地盤モデルの未知パラメータを示す。本手法では遺伝的アルゴリズム(GA)を用いてパラメータを探索する。図1にそのフローを示す。GAの基本条件は、個体数500、世代数50、突然変異率0.01、交差率0.7、未知変数のビット数8とした。通常世代交代時には、現世代からルーレット選択により重複を許して初期個体数と同じN個体(本解析ではN=500)を選択するが、本解析では進化を促進するために適応度の高い順にN/5個体をまず選定し、そこからルーレット選択によりN個体を選択した。適応度は、観測値と理論値の残差二乗和の逆数を指標とした。各パラメータの探索範囲については、小林・他(2005)に準じて設定した。また、探索の効率化のため、Vpの探索範囲についてはVp-Vsの関係式に基づく拘束を課し、基盤でP波がS波に変換したPS変換

波と直達P波との到達時間差(PS-P時間)及びコーダ部H/Vの1次ピーク振動数について観測値に基づいた拘束条件を導入した。本フローを使用し、まず、乱数初期値を変えた10ケースで第1次解析を行い、次に、その第1次解析で推定されたパラメータの最大・最小値を探索範囲として第2次解析を行い、その結果を最終モデルとした。

図2に本検討で地下構造推定地点として追加した千葉県北東部から東京中心部に設置されているMeSO-net観測点57地点及び吉田・他(2007)の関東平野モデル作成に用いられたK-NET・KiK-net計120地点も併せて示す。逆解析により得られた地盤モデルによるP波H/Vスペクトル比、レシーバー関数及びコーダ部H/Vスペクトル比の理論値と観測値の比較例を図3に示す。各理論値はいずれも観測値の特徴をよく説明している。既往の120地点に加えて今回追加したMeSO-net観測点の計177地点における地下構造モデルを使用し、重力異常データを利用する空間補間法(小林・他, 2006)を用いて吉田・他(2007)の関東平野モデルを改訂した。図4に得られた改訂モデルの地震基盤深さコンター図を示す。吉田・他(2007)モデルと比較すると、追加した観測点が分布する千葉県北部地域及び東京湾岸地域では基盤がやや深い結果となった。

3. 観測地震動のシミュレーション解析

改訂した関東平野の堆積盆地モデルに地震本部(2009)の地殻・マントル構造を接続し、シミュレーション用モデルとした。また、比較用として、改訂前の堆積盆地モデル(吉田・他, 2007)に同様に地震本部(2009)の地殻・マントル構造を接続したモデルならびに堆積盆地、地殻・マントル構造とも地震本部(2012)としたモデルを使用した。解析領域は図4に示した範囲、深さ方向は90kmとした。シミュレーションは、2005年4月11日千葉県北東部の地震(Mj6.1, 深さ52km)について行った。差分法プログラムはAoi & Fujiwara(1999)のGMSを使用し、グリッド間隔は深さ10kmまでは200m、それ以深は600mとした。堆積層の平均的なQ値については、地震本部(2012)を参考に参照周期はTo=2sとし、参照周期のQ値はVs/5(Vsの単位:m/s)を目安にして設定した。震源パラメータはF-netを参照し、震源時間関

連絡先: 吉田治雄, 株式会社竹中工務店技術研究所,
〒270-1395 千葉県印西市大塚1-5-1, Tel:0476-47-1700,
Fax:0476-47-3050, E-mail:yoshida.haruo@takenaka.co.jp

数はライズタイム 2 秒の smoothed ramp 関数を仮定、計算刻み時間は 0.01 秒とし、12000 ステップの解析を行った。

各モデルによる計算波形と観測波形の相似性を定量的に把握するため、周期 4~15 秒のバンドパス処理を施した観測と計算の速度波形の相互相関係数の最大値を指標にした。地盤モデルによる相互相関係数の最大値を比較して図 5 に示す。ここでは EW 成分を示す。図 5(a)には吉田・他(2007)モデルと地震本部(2012)モデルの比較を、図 5(b)に本改訂モデルと地震本部(2012)モデルの比較を示す。地下構造推定地点を追加した東京中心部及び千葉県北部において、図 5(b)に示した本改訂モデルの相互相関係数の最大値は図 5(a)に示した吉田・他(2007)による値より全体的に大きくなっており、精度が向上したことを示している。

4. 結論

千葉県北東部から東京中心部の MeSO-net 57 地点における地下構造推定結果に基づき吉田・他(2007)で構築した関東平野モデルを改訂し、2005 年千葉県北東部の地震のシミュレーション解析を行った。その結果、観測波形の再現性は改訂前の吉田・他(2007)モデルよりも良くなり、観測点数を追加することで堆積平野 3 次元モデルの精度が向上することが確かめられた。今後、さらに広域の MeSO-net 観測点の地下構造推定結果を追加することにより予測精度の向上を図る予定である。
謝辞:本研究では K-NET、KiK-net のデータを使用しました。

参考文献

- Aoi & Fujiwara(1999):BSSA, 89,918-930.
 梅田・小林(2010):日本建築学会大会学術講演梗概集, 813-814.
 小林・他(2005):日本建築学会大会学術講演梗概集,185-186.
 小林・他(2006):第 12 回日本地震工学シンポジウム, 1454-1457.
 地震調査研究推進本部(2009):
http://www.jishin.go.jp/main/chousa/09_choshuki/index.htm.
 地震調査研究推進本部(2012):
http://www.jishin.go.jp/main/chousa/12_choshuki/index.htm.
 酒井・平田(2009):地震研究所叢報, Vol.84, 57-69.
 吉田・他(2007):日本建築学会大会学術講演梗概集, 409-410.

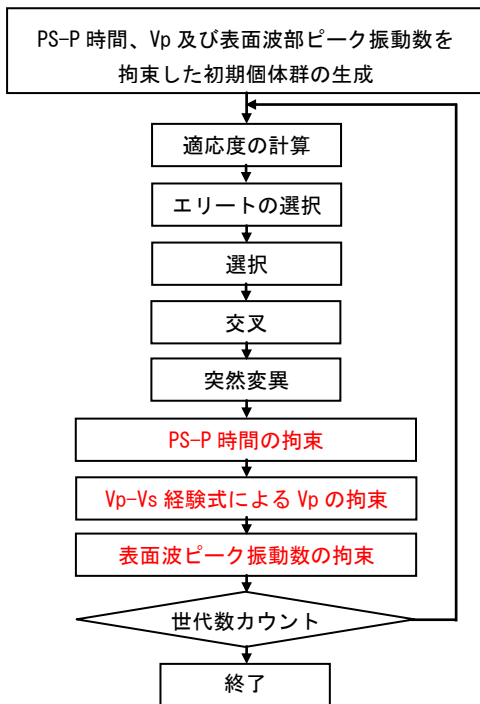


図 1 逆解析のフロー (赤字は追加した拘束条件)

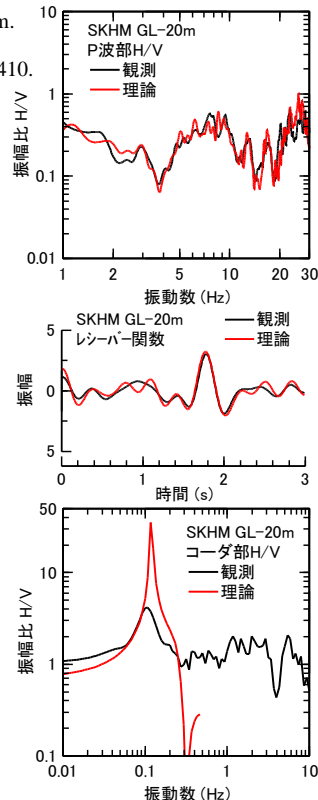


図 3 観測値と理論値の比較 (MeSO-net, SKHM 地点)

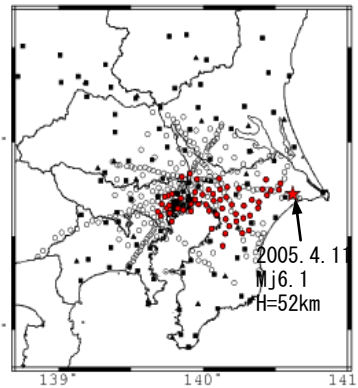


図 2 地下構造推定に用いた地震観測点及び地震シミュレーションに用いた地震の震央位置

- MeSO-net,
- MeSO-net, (本検討の地下構造推定追加地点)、
- K-NET・▲ KiK-net, (吉田・他(2007)で使用した地下構造推定地点)、
- ★ 解析地震の震央

表 1 探索パラメータ

パラメータ	意味
V_s	S波速度
V_p	P波速度
ρ	密度 (V_s と連動)
H_i	各層厚
Q_s	S波のQ値
Q_p	P波のQ値 (Q_s と連動)
θ	基盤入射角

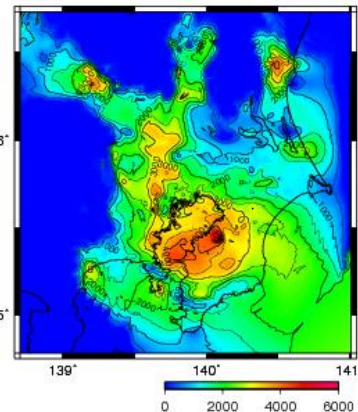
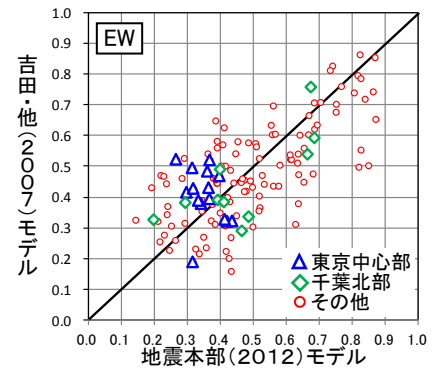
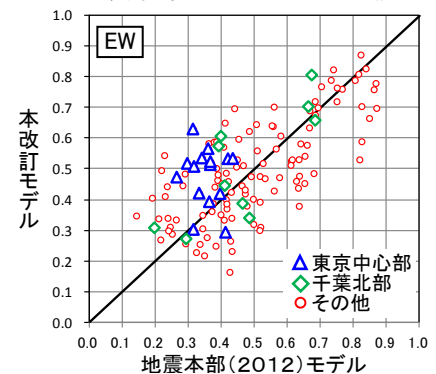


図 4 本改訂モデルの地震基盤深さコンター図



(a)吉田・他(2007)モデルと地震本部(2012)モデルの比較



(b)本改訂モデルと地震本部(2012)モデルの比較

図 5 観測波形と計算波形の相互相関係数の最大値 (周期 4~15sBPF)