

地震波速度の鉛直勾配を考慮した堆積層構造のモデル化 関東平野北部での表面波の励起・伝播についての考察

吉本和生・武村俊介（横浜市立大学）

1. はじめに

首都圏における長周期地震動の発生を正確に評価するには、関東平野の大深度地盤構造（地表地震基盤間の堆積層構造）の精緻なモデルが求められるが、使用にあたっての利便性の観点からは、少数のパラメタで簡便に表現できるモデルが望まれている。現状では、成層構造モデル（三層程度）が主に使用されているが、本研究では、地震波速度の鉛直勾配を考慮した3パラメタモデルに基づく堆積層構造のモデル化について提案する。また、この手法に基づいて構築した速度構造モデルを用いた地震動シミュレーションと観測記録の比較によって、関東平野北部（堆積盆地の端部）での表面波の励起・伝播の特徴について考察する。

2. S波速度の深さ変化

ある地点の深さ z (km) の堆積層の S 波速度 $V(z)$ (km s^{-1}) は、次式 (Ravve and Koren 2006) により表わせると仮定する。

$$V(z) = V_0 + \Delta V [1 - \exp(-\alpha z / \Delta V)] \quad (1)$$

V_0 は深さ 0 km での S 波速度 (km s^{-1})、 ΔV は S 波速度の最大増大値 (km s^{-1})、 α は定数値 (s^{-1}) である。この式では、右辺の第 2 項が鉛直勾配を表わし、その大きさは深さとともに小さくなる。S 波速度の最大値は $V(\infty) = V_0 + \Delta V$ (km s^{-1}) である。深さ 0 - z km 間の S 波走時 $t(z)$ (s) は、次式によって求められる。

$$t(z) = \frac{\Delta V}{\alpha(V_0 + \Delta V)} \ln \frac{(V_0 + \Delta V) \exp(\alpha z / \Delta V) - \Delta V}{V_0} \quad (2)$$

本研究では、防災科学技術研究所の中深層観測井における VSP 法調査の S 波走時の測定結果 (Yamamizu 1996, 山水 2004) に対して式(2)をフィッティングして、各パラメタの最適値を求めた。堆積層の S 波速度は深さの増大とともに地震基盤のその値に漸近すると考えられるので $\Delta V = 3.2 \text{ km s}^{-1}$ とした。 V_0 と α の最適値を求めた一例をグラフにして図 1 に示す。フィッティングの結果は、全深度で測定値を良く表現している。

3. 堆積層構造のモデル化

関東平野全域にわたっての堆積層の S 波速度構造モデルは、複数の中深層観測井で得られた上記の結果を空間的に内挿・外挿することで求められ、各地点における V_0 と α の値についても再度のフィッティングによって決定できる。S 波速度構造が求まれば、既往の研究で提案されている経験式に基づいて P 波速度 (例えば、文部科学省 2007) や密度 (例えば、Shiomi et al. 1997) についても推定できる。本研究では、堆積層を含む 3 次元不均質構造モデルを JIVSM

(Koketsu et al. 2008)に基づいて構築した。具体的には、JIVSM では3層で表現されている堆積層の構造を、本研究で求めた堆積層のモデルで置き換えた(以降、modified JIVSM と呼ぶ)。この置き換えによって、地表 地震基盤間の地震波走時はあまり変化しないが、堆積層 地震基盤境界面でのインピーダンスコントラストは著しく変化し、結果として同境界面での反射率は堆積盆地の端部ほど大きくなった(図2)。

4. 地震動シミュレーションと観測記録の比較

2013年2月25日に栃木県北部の深さ5kmで発生した地震(M_w 5.8)を対象として、関東平野北部(堆積盆地の端部)での表面波の励起・伝播の特徴について考察した。震源は点震源を仮定し、発震機構解にはF-netによるCMT解を利用した。関東平野を含む320km × 220km × 64kmの領域を、水平方向0.1km、鉛直方向0.05kmの間隔で離散化し、空間4次精度の差分法を用いて波動伝播シミュレーションを行った。計算結果と観測記録の比較によって、堆積層内の地震波速度と表面波の励起・伝播の関係について考察した。

地震動シミュレーションと観測記録で得られた0.125–0.25 HzのTransverse成分の速度波形の比較を図3に示す。震源距離60km程度までは、観測される地震動の特徴がよく再現されている。このことから、震源モデルおよび地殻・マントルなどの速度構造は概ね妥当であるといえる。震源距離80kmを越えると、JIVSMによるシミュレーションでは観測された表面波(Love波)の発現時間と振幅を再現できないが、modified JIVSMでは適切に再現されている(図4)。速度勾配を含んだ堆積層を導入することにより、堆積層 地震基盤境界面でのインピーダンスコントラストの深度変化がより現実的にモデル化され、表面波の励起・伝播の適切な評価が可能になったものと考えられる。

5. まとめ

本研究で提案したモデル化の特徴は、少数のパラメタを用いて堆積層の地震波速度の深度変化を(不自然な不連続性を導入せずに)より現実的に表現できることである。その結果として、堆積層 地震基盤境界面でのインピーダンスコントラストの深度変化を、より適切にモデル化できるなどの利点もある。地震動シミュレーションを実施したところ、観測された表面波の励起・伝播をより正確に再現できることを確認できた。以上の結果は、堆積盆地の端部における表面波の励起・伝播の特徴を正確に評価するためには、堆積層内の地震波速度のより現実的なモデル化が重要であることを強く示唆している。

謝辞

本研究では、防災科学技術研究所のK-NET/KiK-net強震記録ならびにF-netのCMT解を使用させて頂きました。また、首都圏強震動ネットワークの強震記録を使用しました。地震動計算には、海洋研究開発機構の地球シミュレータを使用させて頂きました。記して感謝いたします。

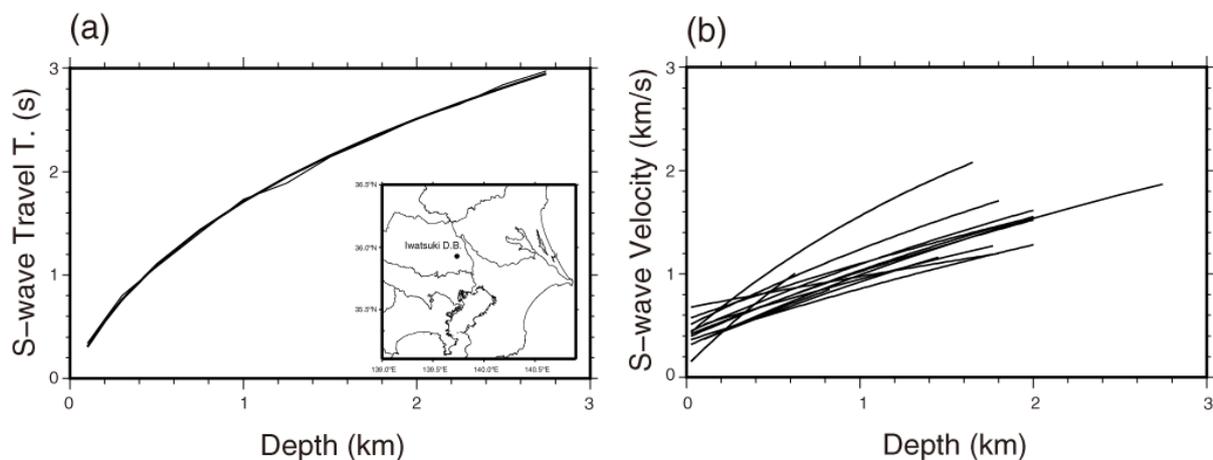


図1 . (a) 岩槻観測井における VSP 法調査で測定された S 波走時 (細線) と式(2)を用いた最適フィッティングの結果 (太線). 最適パラメタの値は, $V_0 = 0.29 \text{ km s}^{-1}$, $\Delta V = 3.2 \text{ km s}^{-1}$, $\alpha = 0.79 \text{ s}^{-1}$. 小地図に岩槻観測井の位置を示す. (b) 関東平野の中深層観測井 (伊勢崎, 岩槻, 江戸崎, 下総, 千葉, 所沢, 成田, 日高, 府中, 富津, 真岡, 養老, 横浜) における VSP 法調査で測定された S 波走時より推定した S 波速度の深度変化 (式(1)による表現). 測定値のある深度まで表示.

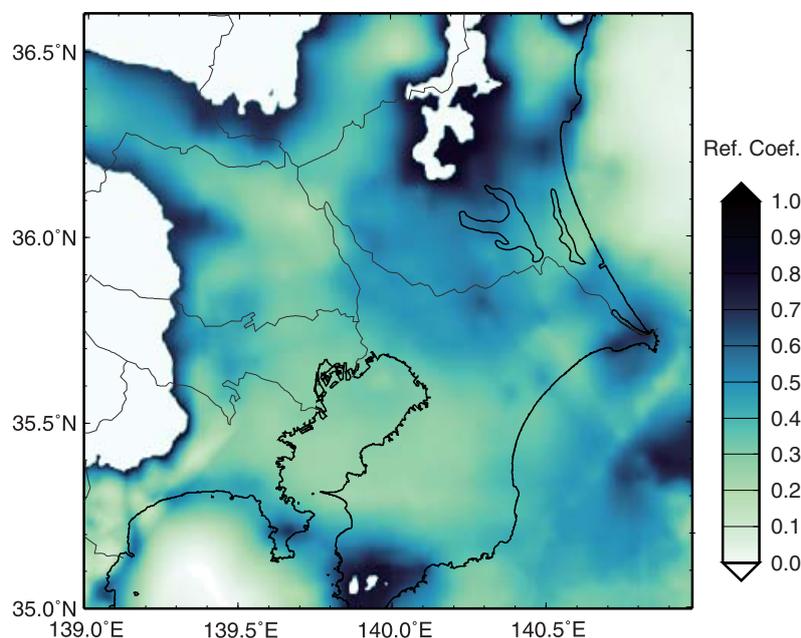


図2 . 本研究での modified JIVSM の堆積層 地震基盤境界面での S 波反射係数 (境界面での垂直反射を仮定). VSP 法調査地点から大きく離れた地域 (海域を含む) では相対的に誤差は大きい.

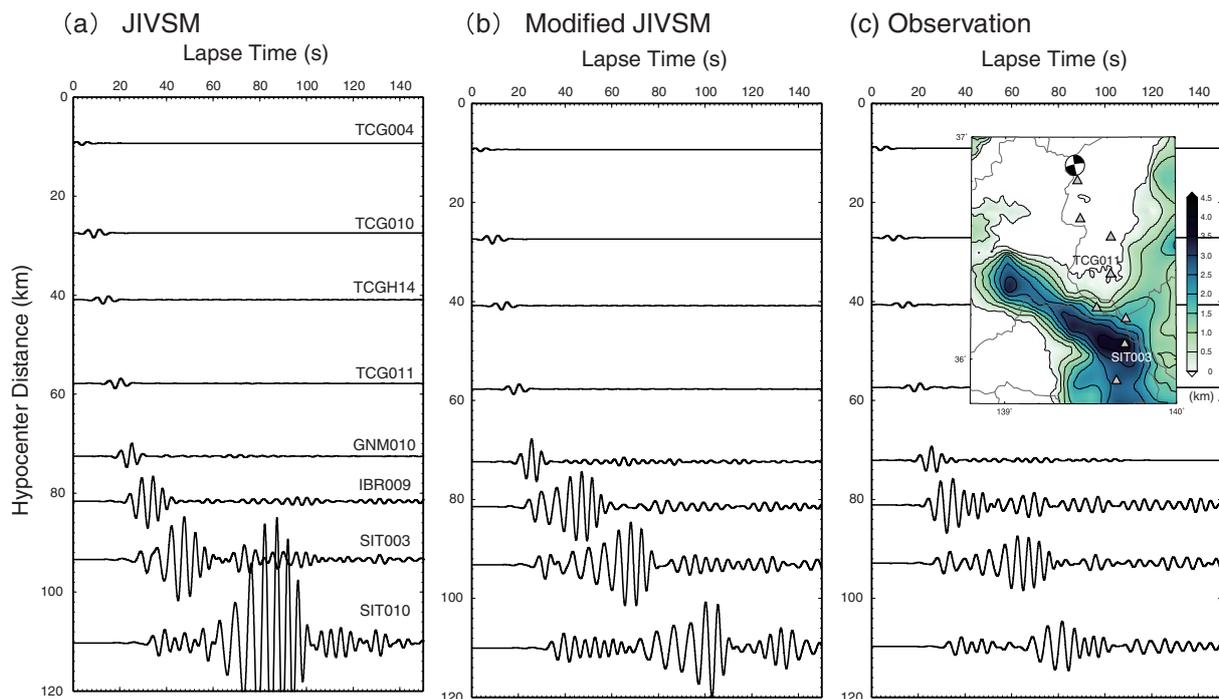


図3.地震動シミュレーションの波形と観測波形の比較(速度波形の Transverse 成分): (a) JIVSM で計算した波形, (b) modified JIVSM で計算した波形, (c) 観測波形. 透過帯域 0.125-0.25 Hz のバンドパスフィルタを適用. 各トレースの波形は, 震源距離に比例する倍率で振幅を拡大して表示. 図中の小地図は, 震央, 発震機構, 観測点の位置, 地震基盤の深さの地域変化を示す.

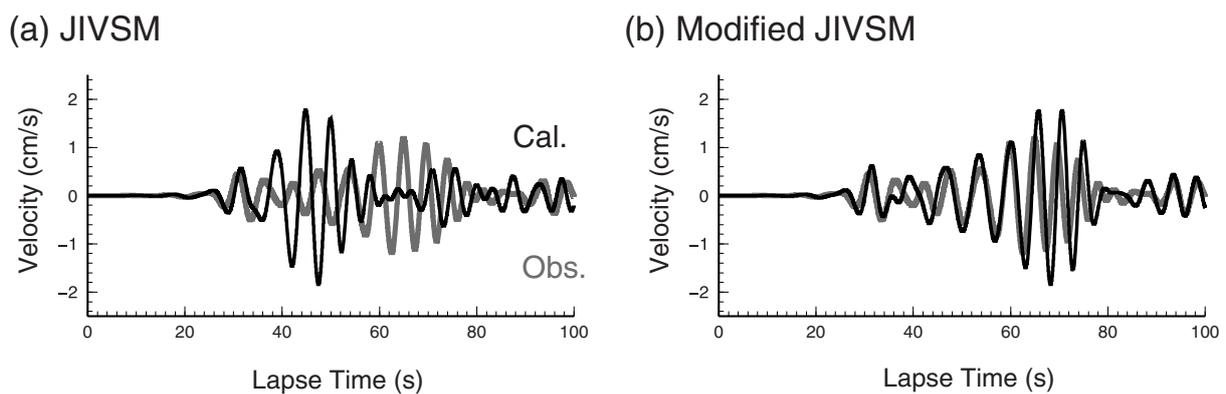


図4. 観測点 SIT003 における 0.125-0.25 Hz の Transverse 成分の速度波形の比較: (a) JIVSM で計算した波形と観測波形, (b) modified JIVSM で計算した波形と観測波形.