

レシーバー関数の多地点同時逆解析による仙台市周辺の深部地下構造のモデル化

○黒瀬 健¹⁾・秋山伸一²⁾・藤原広行³⁾・山中浩明⁴⁾

- 1) 非会員 伊藤忠テクノソリューションズ(株), 東京都千代田区霞ヶ関3-2-5
- 2) 正会員 伊藤忠テクノソリューションズ(株), 東京都千代田区霞ヶ関3-2-5
- 3) 正会員 防災科学技術研究所, 茨城県つくば市天王台 3-1
- 4) 正会員 東京工業大学 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259

1.はじめに

仙台平野では、宮城県沖地震の発生が高い確率で予測されていることから、地下構造調査^{1), 2), 7)}や地震観測記録を用いた地下構造モデルの構築³⁾、地下構造モデルと地震観測記録に基づく地震動評価⁴⁾などの研究が多く行われている。

著者らも既に、防災科研の「地震ハザードステーション(J-SHIS)」にて公開されているモデル⁵⁾を用いて地震動シミュレーションを行うとともに、K-NET, KiK-netの地震観測記録を利用したレシーバー関数解析によるモデルの修正を試みている⁶⁾。

本研究では、仙台市周辺のK-NET, KiK-netサイトを対象としてレシーバー関数解析を行い、既往の微動アレイ探査結果⁷⁾との比較検討を行う。また、複数地点で得られたレシーバー関数を利用して多地点同時逆解析⁸⁾を行い、堆積層の連続性を考慮した深部地下構造モデルを構築する。

2.対象地域と観測点

仙台市周辺では既に微動アレイ探査が行われており、地震基盤に至る堆積層のS波速度構造が得られている⁷⁾。本研究ではこの地域に位置するK-NET, KiK-netの観測点においてレシーバー関数解析を行うこととした。対象地域と観測点を図1に示す。

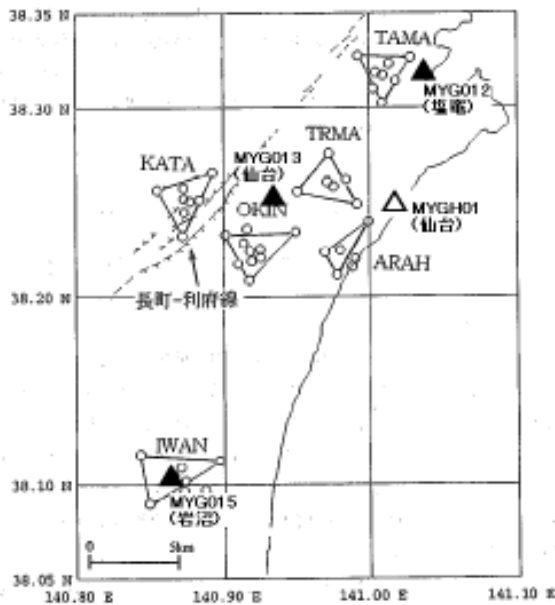


図1. 対象地域と観測点 (佐藤・他(1998)に加筆)

3.レシーバー関数の逆解析

レシーバー関数の逆解析(単独解析)^{6), 9)}は以下の手順で行った。震央距離80~120km, M4~6程度ではほぼ同じ到来方向を有する複数の地震(6~7イベント)のP波部分にwater-level法¹⁰⁾を適用し、レシーバー関数を計算した。計算には周期帯域0.3~5秒のフィルタを使用した。得られたレシーバー関数の平均を求めたのち、遺伝的アルゴリズム(GA)¹¹⁾により逆解析した。逆解析で最小化すべきmisfitは以下の式で定義した。

$$\phi = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{R_{obs.}(t_i) - R_{cal.}(t_i)}{\sigma(t_i)} \right)^2 \quad (1)$$

また、上式の計算で必要となるレシーバー関数の理論値はPropagator Matrix Method¹²⁾で計算した。P波の入射角については、J-SHISの地震基盤以深の構造⁵⁾を用いて各イベントの入射角を計算し、それらの平均値を逆解析に使用した。

逆解析の結果得られたS波速度構造を、近傍の微動アレイ探査結果⁷⁾と比較して図2に示す。

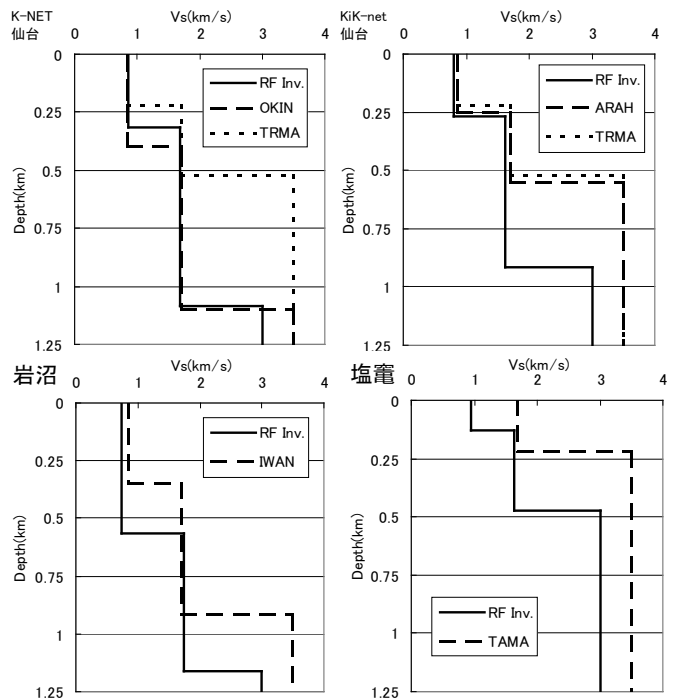


図2. レシーバー関数の逆解析結果と微動アレイ探査結果の比較

K-NET 仙台の逆解析結果はOKINの微動アレイ探査結果とよく一致する。その他の地点では、各層

の V_s は概ね一致するものの、全般に層境界の深さが微動アレイ探査より深く推定された。

K-NET 仙台におけるレーザー関数の観測値と逆解析結果による理論値の比較を図3に示す。他の観測点でも観測値の特徴が逆解析結果によって説明できており、妥当な結果が得られたと考えられる。

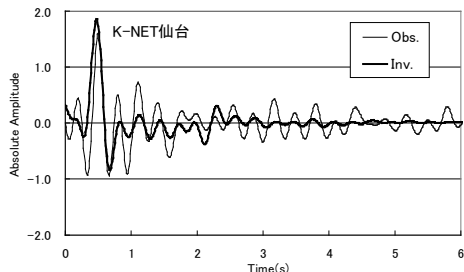


図3. K-NET 仙台におけるレーザー関数の観測値と理論値の比較

4. レーザー関数の多地点同時逆解析

多地点同時逆解析⁹⁾は、堆積平野の地下における各層の物性値を一定であると仮定することで、層の連続性を考慮し、複数地点で得られたレーザー関数を同時に逆解析するものである。この手法の概念図を図4に示す。

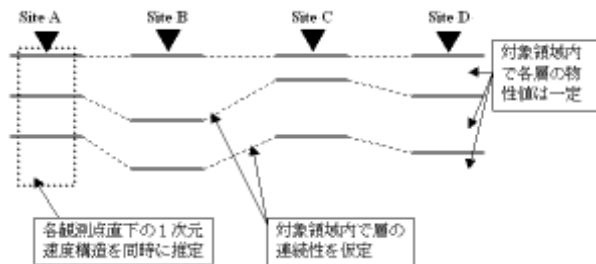


図4. 多地点同時逆解析の概念図(Kurose and Yamanaka(2007)を修正)

多地点同時逆解析で最小化すべき misfit は下式で定義する。

$$\phi = \frac{1}{L} \sum_{j=1}^L \phi_j \quad (2)$$

ここで、 ϕ_j は j 番目の観測点での観測値と理論値の残差 2 乗和であり、観測点ごとに式(1)で計算される。L は観測点数である。また、多地点同時逆解析では GA の効率化のため、一点交叉¹¹⁾に替えて一様交叉¹³⁾を導入した。

多地点同時逆解析によって得られた仙台市周辺の S 波速度構造の模式図を図5に示す。これによると、仙台市周辺の地震基盤は北東から南西に向かって深くなっていることがわかる。また、KiK-net 仙台と塩竈におけるレーザー関数の観測値と逆解析結果による理論値の比較を図6に示す。塩竈では地震基盤で生じた PS 変換波と思われる位相において、理論値が観測値を上回っている。これは、塩竈での単独解析では第1層の V_s が $0.94(\text{km/s})$ と推定されたが、多地点同時逆解析では各層の V_s を一定と仮定

したため、平均的な V_s が得られたことに起因する⁸⁾。しかし、PS 変換波の到達時刻はよく再現されており、各層の物性値が一定という拘束条件の下で妥当なモデル化が行われたものと考えられる。なお、塩竈での単独解析結果では、PS 変換波に相当する位相は振幅も含めてよりよく再現されていた。

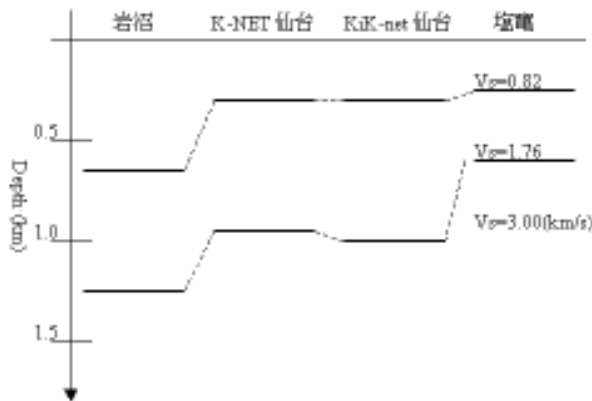


図5. レーザー関数の多地点同時逆解析による仙台市周辺の地下構造

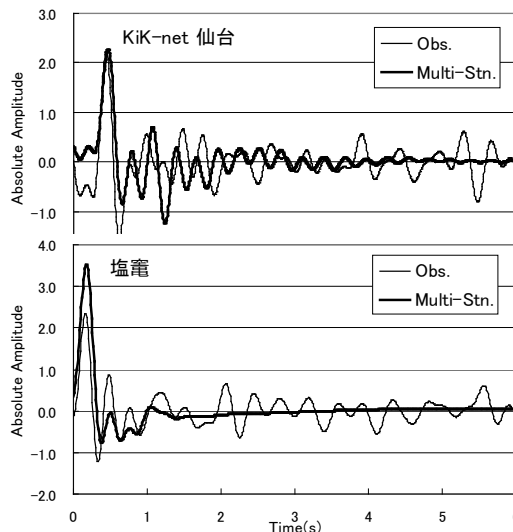


図6. レーザー関数の観測値と理論値の比較

5. まとめ

本研究では、地震記録のレーザー関数解析によって仙台市周辺の深部地下構造のモデル化を行った。

今後はこの結果を用いて地震動シミュレーションを行い、モデルの検証を行う予定である。

<参考文献>

- 1)宮城県, 2003, 平成14年度仙台平野南部地域地下構造調査報告書
 - 2)宮城県, 2004, 平成15年度仙台平野南部地域地下構造調査報告書
 - 3)笠松・他, 2006, 日本地震学会秋季大会梗概集
 - 4)源栄・他, 2006, 宮城県沖地震緊急調査研究成果報告書
 - 5)藤原・他, 2004, 防災科学技術研究所研究資料, 第249号
 - 6)黒瀬・他, 2007, 日本地球惑星科学連合2007年大会, S150-118
 - 7)佐藤・他, 1998, 日本建築学会構造系論文集, **503**, 101-108
 - 8)Kurose and Yamanaka, 2007, 物理探査, **60**, 19-28
 - 9)Kurose and Yamanaka, 2006, 物理探査, **59**, 93-101
 - 10)Langston, 1979, *J. Geophys. Res.* **84**, 4749-4762
 - 11)山中・石田, 1995, 日本建築学会構造系論文集, **468**, 9-17
 - 12)Haskell, 1962, *J. Geophys. Res.* **67**, 4751-4767
 - 13)Syswerda, 1989, *Proc. 3rd Int'l Conf. GA*, Morgan Kaufmann, 2-9
- <謝辞>本研究ではK-NET, KiK-netの地震観測記録を使用した。