

# レシーバー関数解析による仙台平野の 地下構造のモデル化と地震動シミュレーション

黒瀬 健\*, 秋山伸一 (CTC),  
藤原広行 (防災科研), 山中浩明 (東工大・院・総合理工)

## Modeling subsurface structure for ground-motion simulation in Sendai plain by receiver-function inversion

Takeshi Kurose\*, Shinichi Akiyama (CTC),  
Hiroyuki Fujiwara (NIED), Hiroaki Yamanaka (Tokyo Inst. of Tech.)

**Abstract:** We performed multi-station joint inversion of receiver functions derived from earthquake records obtained at 10 sites in Sendai plain, and modified the model by Japan Seismic Hazard Information Station (J-SHIS), National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention (NIED) based on the inversion result. We then carried out earthquake ground-motion simulation of a deep event which occurred east off Miyagi Pref. by using the modified model, and confirmed that the synthetic waveforms by the modified model agreed with the observed ones better than those by the original model by J-SHIS except for the northwestern area with the thickest sedimentary layer. Therefore, we conclude that modifying the model by referring to the multi-station joint inversion of receiver functions is effective in improving reproducibility of observed earthquake records by ground-motion simulation at many stations.

### 1. はじめに

宮城県沖地震の発生が高い確率で予測されている仙台平野では、地下構造のモデル化や地震観測記録に基づく地震動評価などの研究が多く行われている[例えば、菅原・山中(2007)]. 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の地震観測記録から計算したレシーバー関数の逆解析によるモデルの修正を行っている[黒瀬・他(2007a,b)].

本研究では、はじめに仙台平野内の10地点において地震観測記録から求めたレシーバー関数の多地点同時逆解析[Kurose and Yamanaka(2007)]を行い、地震基盤に至る堆積層のS波速度構造を推定した。次に、J-SHISモデル内の上記10地点周辺の数値構造を修正し、修正前と修正後のモデルを用いて宮城県沖の深い地震(2004/4/4, M4.2)のシミュレーションを行い、観測記録の再現性について検討した。

### 2. 対象領域と J-SHIS モデルの概要

対象領域は仙台平野を含む東西約 80km, 南北約 100km の領域とした。J-SHIS にて公開されているモデルによる地震基盤深度を、後述するシミュレーション対象地震の記録が得られている観測点の位置とともに

図1に示す。J-SHIS によるモデルでは、地震基盤に至る堆積層がS波速度 0.4, 0.7, 1.7(km/s)の3層からなるが、本研究ではS波速度 0.4(km/s)の層は省略した。また、地震基盤以深はJ-SHIS によるモデルを簡略化して平行成層構造に固定した。このようにして構築されたモデル(以下、J-SHIS モデルと記す)の物性値の一覧を表1に示す。

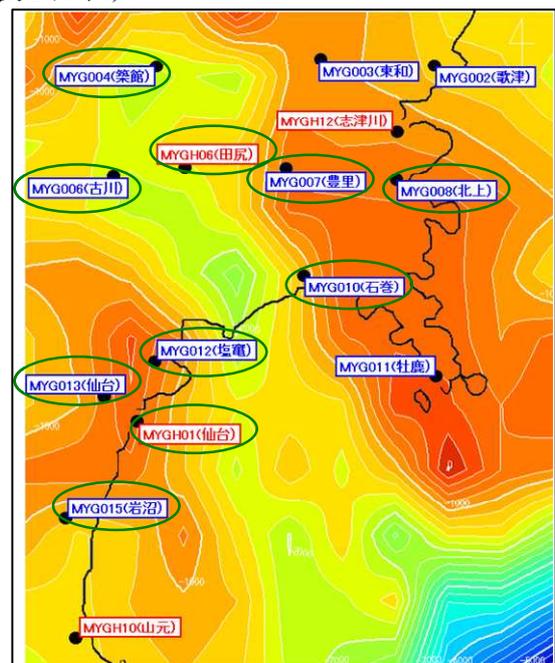


図1 J-SHIS モデルによる地震基盤深度 (○はレシーバー関数解析を行った地点)

表1 J-SHIS モデルの物性値一覧

No.	Layer Name	Vp(km/s)	Vs(km/s)	$\rho$ (t/m <sup>3</sup> )
1	堆積層1	2.00	0.70	1.98
2	堆積層2	3.85	1.70	2.35
3	地震基盤	5.35	3.00	2.63
4	上部地殻	5.90	3.40	2.70
5	下部地殻	6.40	3.70	2.80
6	上部マントル	8.00	4.50	2.90

### 3. レシーバー関数の多地点同時逆解析

図1に○で示した10観測点において地震記録からレシーバー関数を計算し、多地点同時逆解析[Kurose and Yamanaka(2007)]によってS波速度構造を推定した。観測点ごとに、震央距離100km程度、M4~6程度でほぼ同じ到来方向を有する5~7イベントのP波部分からwater-level method[Langston(1979)]でレシーバー関数を計算し、平均値を求めた後、P波初動から5秒間のデータを用いて多地点同時逆解析を行った。逆解析に必要なレシーバー関数の理論値はpropagator matrix method[Haskell(1962)]によって計算した。幾つかの観測点における逆解析結果をJ-SHISモデルと比較して図2に示す。また、逆解析結果による理論レシーバー関数を観測レシーバー関数と比較した例を図3に示す。地震基盤で生じたPS変換波に相当する位相の到達時刻および振幅が逆解析結果によって概ね説明できることがわかる。

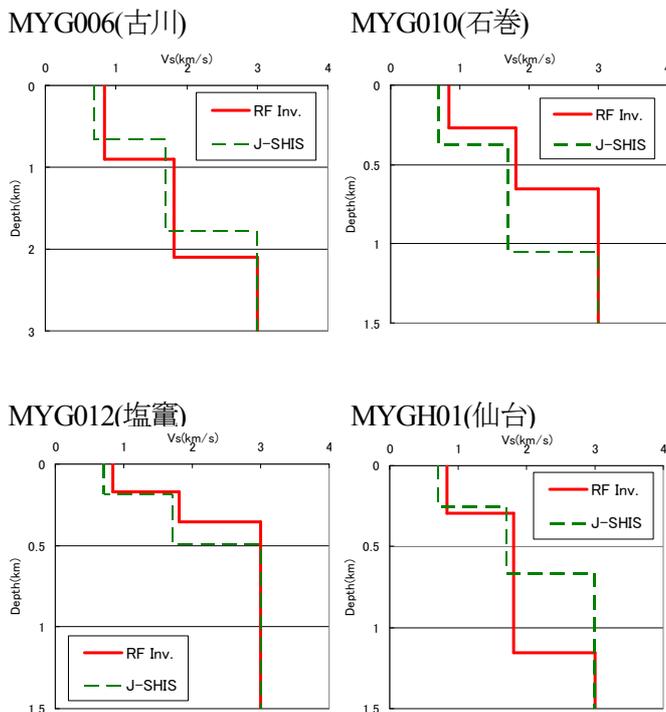
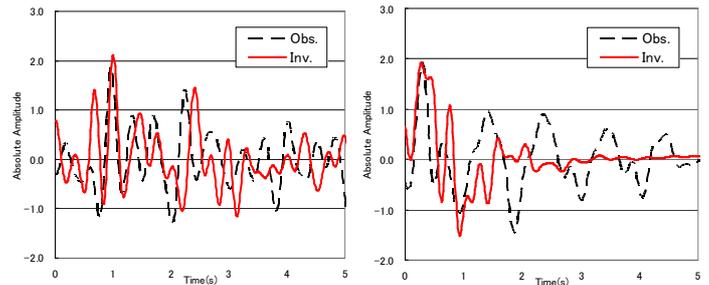


図2 レシーバー関数の多地点同時逆解析結果の例

MYG006(古川)

MYG010(石巻)



MYG012(塩竈)

MYGH01(仙台)

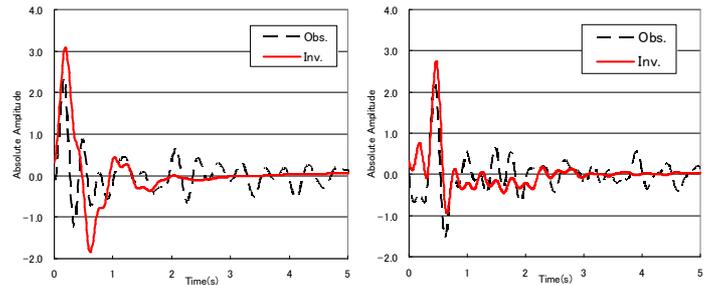


図3 レシーバー関数の理論値と観測値の比較の例

### 4. 逆解析結果に基づくモデルの修正

レシーバー関数の多地点同時逆解析結果に基づいてJ-SHISモデルの修正を行った。モデルの修正は、各観測点直下で第1層/第2層の境界面深度および地震基盤深度が逆解析結果と一致するように、また各観測点周辺で構造が滑らかに変化するように行った。逆解析を行った観測点以外では、J-SHISモデルの層境界深度をそのまま使用した。物性値については、S波速度を多地点同時逆解析によって得られた値に変更した。このようにして作成された修正モデルの地震基盤深度を図4に、物性値を表2に示す。

J-SHISモデルでは平野北西部のMYG004(築館)、MYG006(古川)、MYGH06(田尻)周辺で堆積層が最も厚かったが、修正モデルでは更に厚くなり、最大で2km以上に達する。また、その地域の東側に位置するMYG007(豊里)、MYG010(石巻)、および南西側に位置するMYG012(塩竈)ではJ-SHISモデルより地震基盤が浅くなり、北西部の盆地端がより鋭く立ったモデルとなった。MYG008(北上)では、第1層が非常に薄く、第2層が1km以上堆積しているという逆解析結果の特徴をモデルに反映した。仙台市内のMYG013(仙台)とMYGH01(仙台)では、地震基盤の深さはJ-SHISモデルより若干深くなり1km強となった。

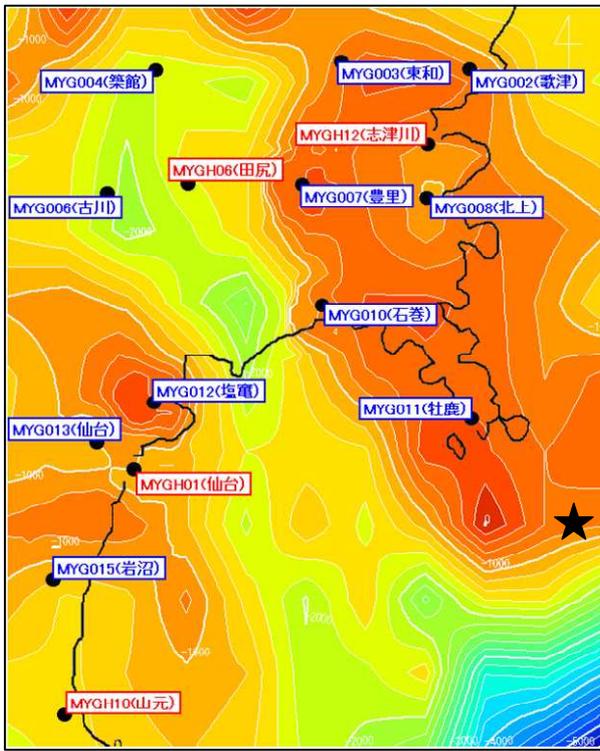


図4 修正モデルの地震基盤深度  
(★は後述するシミュレーション対象地震の震央)

表2 修正モデルの物性値一覧  
(斜体太字は、修正した値)

No.	Layer Name	Vp(km/s)	Vs(km/s)	$\rho(t/m^3)$
1	堆積層1	2.00	<b>0.84</b>	1.98
2	堆積層2	3.85	<b>1.80</b>	2.35
3	地震基盤	5.35	3.00	2.63
4	上部地殻	5.90	3.40	2.70
5	下部地殻	6.40	3.70	2.80
6	上部マントル	8.00	4.50	2.90

## 5. 地震動シミュレーション

モデルの修正による地震観測記録の再現性について検討するために、J-SHISモデルと修正モデルを使用して地震動シミュレーションを行った。震源が深く地下構造モデルの1次元的な性能評価を行うのに適していると考えられるイベントとして、表3に示す地震をシミュレーションの対象とした。なお、震源パラメータはF-netの値を使用した。

シミュレーションはボクセル型有限要素法によって行った。タイムステップは0.01秒、計算対象時間は40秒間とした。モデルの総要素数は28,237,500であり、対象周期は2秒以上である。

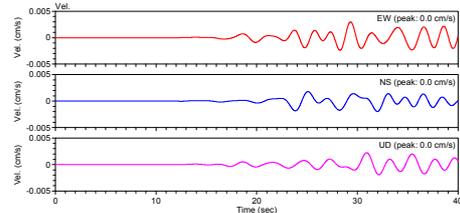
J-SHISモデルと修正モデルによる計算波形を観測波形と比較して図5に示す。なお、これらの波形はいずれも2~5秒の帯域通過フィルタを施した速度波形である。

表3 シミュレーション対象地震の諸元

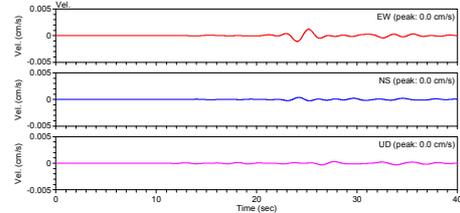
Date	2004/4/4
Time	4:05
Lat.(°)	38.18
Lon.(°)	141.68
M	4.2
Mw	3.9
strike(°)	12
dip(°)	39
slip(°)	-90
Mo(Nm)	$6.85 \times 10^{14}$
Depth(km)	50

MYG006(古川)

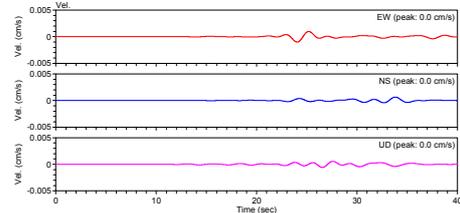
Observed



J-SHIS

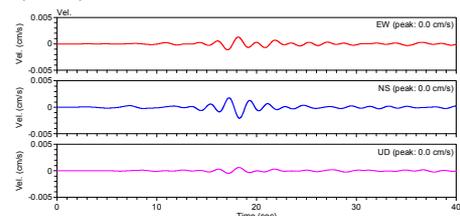


Modified

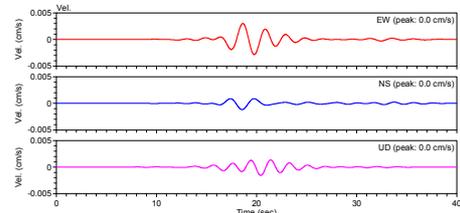


MYG010(石巻)

Observed



J-SHIS



Modified

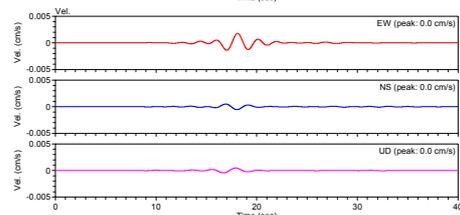
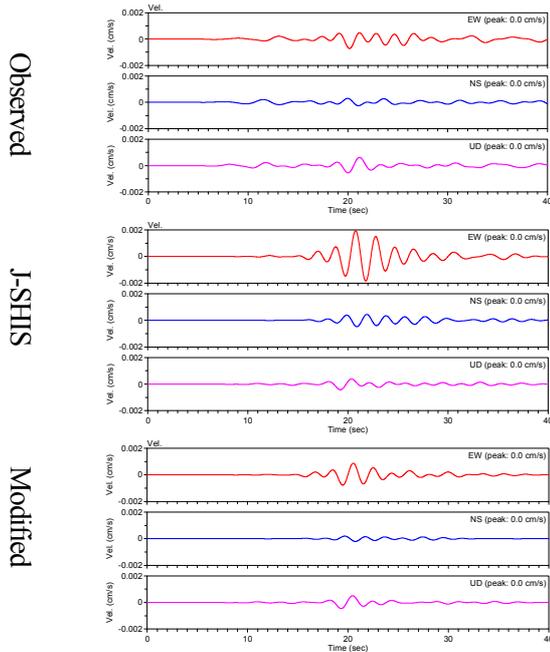


図5(a) 観測波形と計算波形の比較(上からEW,NS,UD)

## MYG012(塩竈)



## MYGH01(仙台)

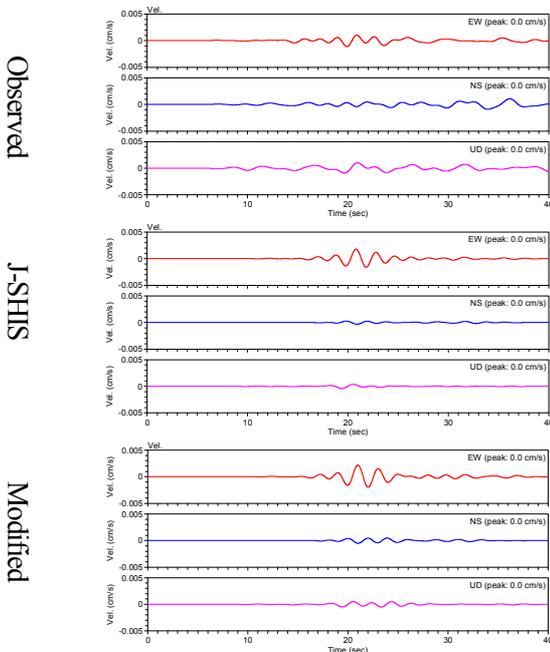


図5(b) 観測波形と計算波形の比較(上からEW,NS,UD)

図5を見ると、MYGH01(仙台)では、J-SHISモデル、修正モデルともに観測波形を概ね再現していることがわかる。また、MYG010(石巻)やMYG012(塩竈)では、J-SHISモデルによる計算結果は振幅がやや過大評価であったが、修正モデルでは振幅が小さくなり観測波形の再現性が向上している。これは、モデルの修正によってS波速度が若干大きくなり地震基盤が浅くなったことにより、堆積層による増幅が抑制されたためであると考えられる。他の多くの観測点でも同様の傾向が見られたことから、多くの観測点では層厚およびS波速度が適切に修正されたことが示唆される。しかし、

MYG006(古川)では、修正モデルでもS波初動部の振幅が過小評価のままであり、観測記録に特徴的な大振幅の後続位相も再現されていない。この傾向は、平野北西部の堆積層の厚い地域に位置するMYG004(築館)、MYGH06(田尻)にも共通して見られた。このことから、堆積層の厚い地域に関しては本研究で示した修正モデルでもまだ十分であるとは言えず、更なるモデルの検討と修正が必要であると考えられる。

## 6. まとめ

本研究では、仙台平野内の10地点において地震記録のP波部分からレスーバー関数を計算し、それらの多地点同時逆解析によって地震基盤に至る堆積層のS波速度構造を推定した。また、この逆解析結果に基づいてJ-SHISによる地下構造モデルを修正し、地震動シミュレーションを行った。その結果、平野北西部の堆積層の厚い地域以外では、レスーバー関数解析に基づくモデルの修正が、シミュレーションによる観測記録の再現性の向上に有効であることが確認された。

## 謝辞

本研究では、K-NETおよびKiK-netの地震記録、F-netによるCMT解、J-SHISによる地下構造モデルのデータを使用しました。記して感謝いたします。

## 参考文献

- Haskell, N.A., 1962, Crustal reflection of plane P and SV waves. *J. Geophys. Res.*, **67**, 4751-4767
- 黒瀬 健・秋山伸一・池上泰史・藤原広行, 2007, 地震動シミュレーションとレスーバー関数解析を用いた仙台平野の3次元深部地下構造モデルの評価. 地球惑星科学連合2007年大会, S150-118
- 黒瀬 健・秋山伸一・藤原広行・山中浩明, 2007, 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. 日本地震工学会大会-2007梗概集, 64-65
- Kurose, T. and H. Yamanaka, 2007, Multi-station joint inversion of receiver function and surface-wave phase velocity data for exploration of deep sedimentary layers. *物理探査*, **60**, 1, 19-28
- Langston, C.A., 1979, Structure under Mount Rainier, Washington, inferred from teleseismic bodywaves *J. Geophys. Res.*, **84**, 4749-4762
- 菅原達哉・山中浩明, 2007, 2003年宮城県北部地震の震源域における余震記録を用いたレスーバー関数による地下構造モデルの推定. 日本建築学会大会学術講演梗概集, 21117