

## 9. Ai net 観測データの解析 - レシーバー関数法を用いた三河平野の地下構造の推定 -

佐口浩一郎・正木和明

### 1. はじめに

愛知県三河地域は我が国でも有数の産業が集積しており、近い将来、東海・東南海地震といった大地震が発生した場合、多大な死者と経済損失の発生が危惧される。構造物の被害や人的被害の軽減等、今後の地震対策強化ためにも構造物の耐震安全性の検討・被害予測などに強震動予測は必要不可欠である。しかしながら、この地域における強震動予測を行う際に必要な3次元地下構造モデルは未だ十分とは言えない。本研究は、三河地域を中心に展開している地震観測網（Ai-net）において得られた観測記録から、レシーバー関数法を用いた多地点同時インバージョンによる三河地域における地下構造の推定を行った。

### 2. レシーバー関数による PS-P 時間の検出

本研究では図1に示す35地点から地震観測網のうち十分な観測記録が蓄積されている30地点（図中の黒丸）を解析対象とした。レシーバー関数の算出には表1に示す7地震を使用した。各観測点におけるレシーバー関数は次式により算出できる<sup>1) 2)</sup>。

$$R.F.(t) = \sum_{n=1}^N \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{Fh_n(\omega)}{Fv_n(\omega)} e^{i\omega t} d\omega \quad \dots (1)$$

ここに、 $Fh_n(\omega)$  は水平動（Radial成分）のフーリエスペクトル、 $Fv_n(\omega)$  は上下動のフーリエスペクトルであり、 $N$  は地震の総数である。

表1 解析に用いた地震の諸元

| No. | Date       | Time  | Lat.  | Long.  | M   | H(km) |
|-----|------------|-------|-------|--------|-----|-------|
| 1   | 2005/12/24 | 11:02 | 35.2° | 136.8° | 4.8 | 50    |
| 2   | 2006/03/16 | 06:24 | 35.3° | 137.1° | 3.9 | 40    |
| 3   | 2006/12/19 | 18:33 | 35.3° | 137.2° | 4.3 | 10    |
| 4   | 2007/04/15 | 12:19 | 34.8° | 136.4° | 5.3 | 10    |
| 5   | 2009/07/27 | 09:44 | 35.1° | 137.3° | 4.0 | 40    |
| 6   | 2009/08/11 | 05:07 | 34.8° | 138.5° | 6.6 | 20    |
| 7   | 2010/01/10 | 01:44 | 34.6° | 137.6° | 4.4 | 30    |

解析区間はP波初動より約5秒間とし、P波初動部分は図2に示すようにAICを用いることにより検出を行った。得られた解析結果の一例として、図3にAIN019地点におけるレシーバー関数を示す。図3より、PS-P時間は0.26秒となっている。なお、レシーバー関数には1Hz～10Hzのバンドパスフィルターを施してある。

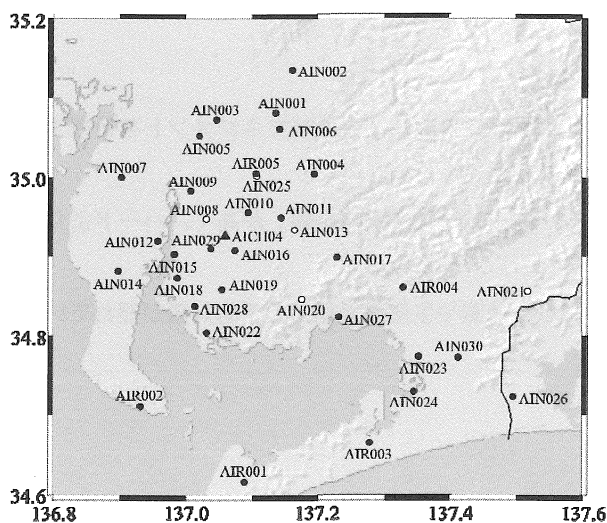


図1 愛知県三河地域における地震観測網と解析に使用する観測点（黒丸）

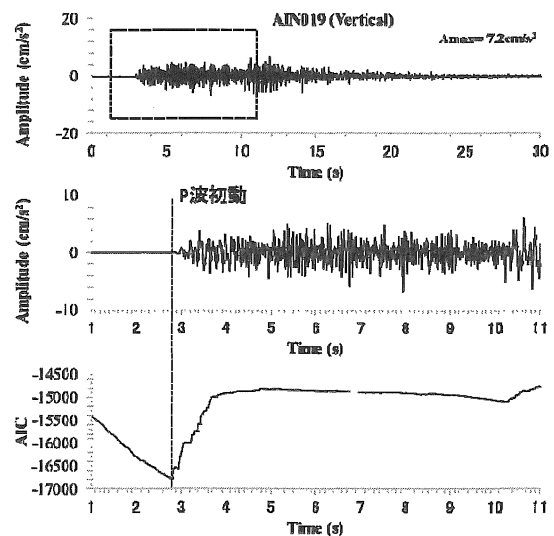


図2 AICによるP波初動部分の検出

### 3. 焼きなまし法による地下構造の同定

各観測点直下の地下構造の同定には観測記録から算出したレーシーバー関数を用いて焼きなまし法<sup>3)</sup>を用いた。同定に用いるレーシーバー関数の理論値は次式に示すHASKELL法<sup>4)</sup>によるインパルス応答によって算出した。

$$R.F.(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{G_s(\omega)}{G_p(\omega)} e^{i\omega t} d\omega \quad \dots (2)$$

ここに、 $G_s(\omega)$  はS波によるインパルス応答(伝達関数)、 $G_p(\omega)$  はP波によるインパルス応答である。

すべての観測点を用いた多点同時インバージョンでは、焼きなまし法による地下構造の同定を行う。なお、初期モデルは図1に示すkik-net観測点(AICH04)を用いた。探索パラメータは $V_p$ (P波速度)、 $V_s$ (S波速度)および $H$ (層厚)とし、探索範囲は $V_p$ および $V_s$ では初期値 $\pm 20\%$ 、 $H$ では初期値 $\pm 90\%$ とした。ここで、 $V_p$ および $V_s$ は全観測地点で共通であり、 $H$ のみ各観測地点で固有のものとした。また、 $Q$ 値はそれぞれ $Q_p = V_p/15$ および $Q_s = V_s/15$ とした。地下構造の同定における評価関数 $E_m$ は次式により与えられる。

$$E_m = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \left[ \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \left| \frac{R.F.^c(t_n) - R.F.^o(t_n)}{\sigma(t_n)} \right| \right] \quad \dots (3)$$

ここに、 $R.F.^c(t_n)$  はレーシーバー関数(理論値)、 $R.F.^o(t_n)$  レーシーバー関数(観測値)、 $\sigma(t_n)$  は標準偏差であり、 $N$ はデータ数、 $M$ は観測点数である。図4に同定結果の一例としてAIN019における観測記録から算出したレーシーバー関数(観測値)と同定結果によるレーシーバー関数(理論値)との比較を示す。図4が示すように両者の整合性は概ね良好である。

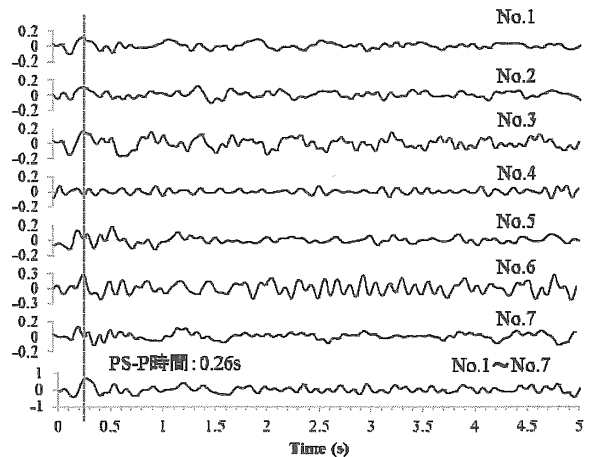


図3 AIN019におけるレーシーバー関数

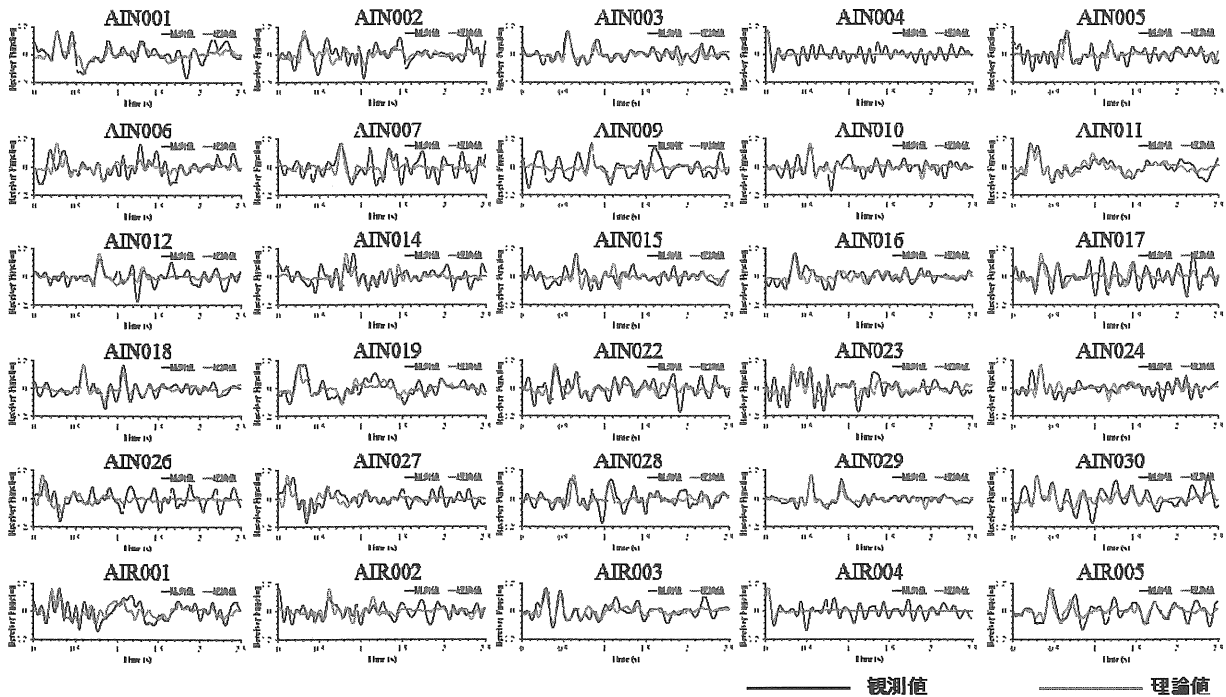


図4 各観測地点におけるレーシーバー関数の同定結果

多点同時インバージョンによる各観測地点の速度構造を図5に示す。これにより、三河地域における地下構造は5層の堆積層と地震基盤からなる速度構造モデルが得られた。

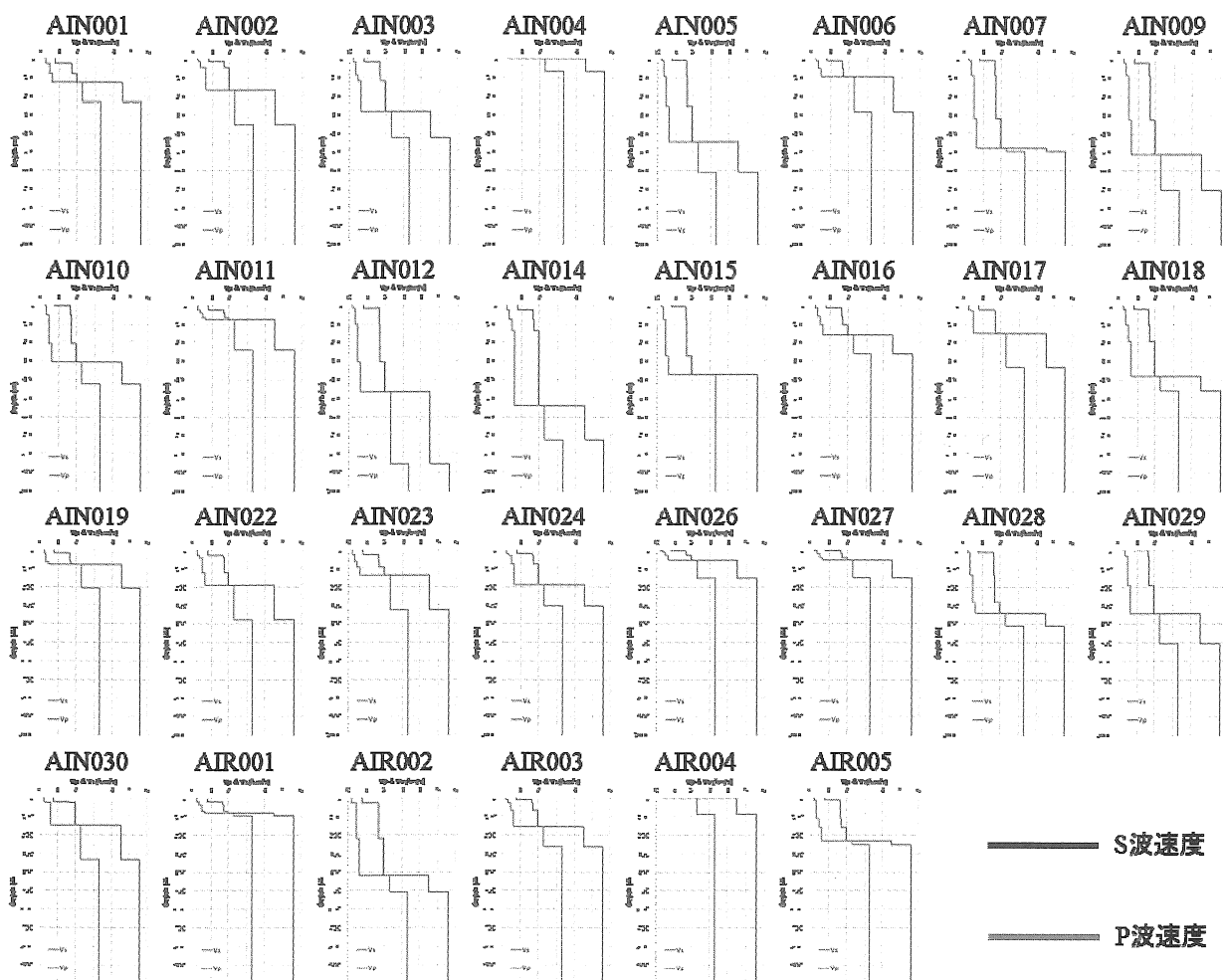


図5 多点同時インバージョンにより得られた各観測地点における速度構造

#### 4. まとめ

本研究では三河地域において地震観測 (Ai-net) を実施し、得られた観測記録からレーバー関数法を用いて焼きなまし法による多地点同時インバージョンから、三河地域における地下構造の推定を行った。今後は地震動シミュレーションによる、三河地域における3次元地下構造モデルの構築を行う予定である。

#### 参考文献

1. Langston, C.A. : Structure under Mount Rainier, Washington, inferred from teleseismic bodywaves., J. Geophys. Res. 84, 4749-4762, 1979
2. 小林喜久二・植竹富一・真下貢・小林啓美：深い地盤構造評価のためのPS変換波の検出方法に関する検討，日本建築学会構造系論文集，No505，45-52，1998.3，2008
3. Ingber, L. : Very fast simulated annealing, Math. Comput. Modeling, Vol.12, No.8, pp.967-973, 1989
4. Haskell, N. A. : Crustal reflection of plane P and SV waves. , J. Geophys. Res. 67, 4751-4767, 1962