

粒子フィルタと弾性波探査シミュレーションによる土構造物のパラメータ推定 Identification of Material Property of the Ground by the Particle Filter and the Elastic Wave Survey

○高松 亮佑*, 村上 章*, 中畑 和之**

Ryosuke Takamatsu, Akira Murakami, Kazuyuki Nakahata

1. 背景

農業水利施設などの機能診断を行うために、材料定数を推定し、構造物の状態を把握することが必要である。本論文では粒子フィルタと弾性波探査シミュレーションを用いて材料定数の一つである弾性波速度を推定することを目的とした。実際の調査では観測時にノイズが発生するため、高速フーリエ変換を行い粒子フィルタを適用し、ノイズの影響を減らすことをあわせて検討した。

2. 粒子フィルタ

データ同化は、観測値と数値シミュレーションモデルを組み合わせる方法で、得られたデータを一括して処理する非逐次型と、その都度処理する逐次型に分けることができる。逐次型のうちでも粒子フィルタ (PF) は非線形問題に適用でき、地盤に適用する弾塑性解析に適している¹⁾。PF はリサンプリングの有無により、SIS と SIR に分けられる。リサンプリングとは、確率分布の小さな粒子を消滅させ、確率分布の大きい粒子を複製し、新たなアンサンブルを求めることである。本論文では SIS を用いて推定を行った²⁾。

3. 弾性波探査シミュレーション

弾性波は構造物内部に存在する物性の異なる境界で散乱される。散乱された弾性波を地表面の受信器によって記録する。弾性波の伝播を解析するために、波動方程式を時間領域と空間領域で差分化し、その差分式を時間ステップごとに逐次計算することで対象領域内の波動場を求める。具体的には有限積分法により支配方程式を微小領域で積分した後、離散化を行った³⁾。

4. 推定方法

図1に解析モデル、図2に入力波を示す。構造物は均一で密度 2.5g/cm^3 であるとする。また入力波の中心周波数は 3kHz で入力時間は 0.018s とし、モデルの側面は吸収境界とした。

以下の手順で推定する。

- 観測値を P 波 4.0km/s 、S 波 2.0km/s とし、この値を真値として一様乱数に従い、P 波 $3.5\text{km/s} \sim 4.5\text{km/s}$ 、S 波 $1.5\text{km/s} \sim 2.5\text{km/s}$ の間で 100 個の粒子を作る。弾性波解析に従い、各粒子においてそれぞれの受信点で得られた水平方向の速度に粒子フィルタを適用する。
- 観測波に式(1)に従いノイズを加え、粒子フィルタを適用し重み分布を求める。本論文では、ノイズ比を 0.001 と仮定した。ノイズ比とはシグナルとノイズの比のことである。

$$y_2 = y_1 + \text{noise_ratio} * \text{white_Goussian_noise} \quad (1)$$

y_1 : ノイズ発生前の受信点で得られた速度(km/s), y_2 : ノイズ発生後の受信点で得られた速度(km/s)

- ノイズが乗った観測波に高速フーリエ変換を行い⁴⁾、周波数領域に照らし合わせて粒子フィルタを適用し、重み分布を求め、フーリエ変換前の重み分布と比較した。

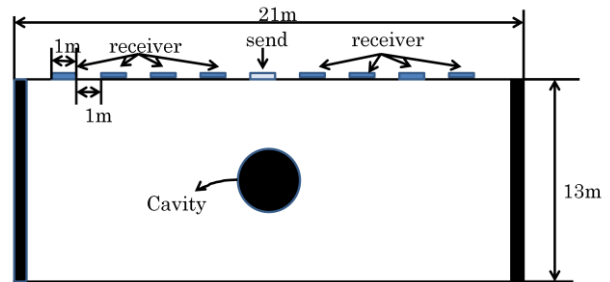


図1 解析モデル

Fig.1 Model Ground

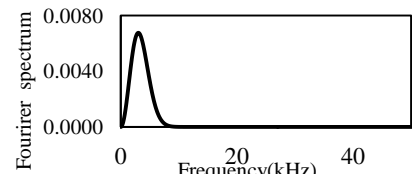


図2 入力波

Fig2.Input Wave

*京都大学大学院 農学研究科**愛媛大学大学院 理工学研究科

*Graduate School of Agriculture, Kyoto University **Graduate School of Science and Engineering, Ehime University

土構造物の解析

5. 結果

図3~5に結果を示す。図3はノイズが発生していない時、図4はノイズが発生した時、図5はフーリエ変換を行った後の重み分布をそれぞれ示す。図4は図3に比べて真値から離れたところの粒子の重みが大きくなり、正確に推定できたとはいえない。図5は真値付近の粒子の重みが大きくなり離れるにつれて重みが小さくなっており正確に推定できたとと言える。この結果からノイズ発生時にはフーリエ変換を用いることにより、ノイズの影響を受けずに材料定数を推定できると考えられる。

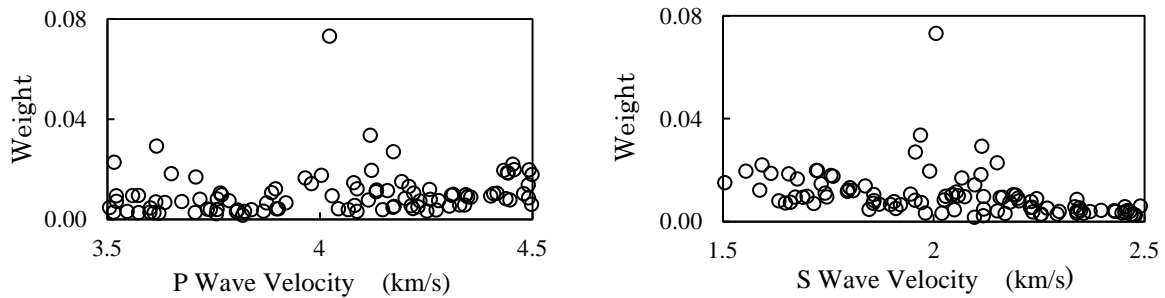


図3 ノイズ非発生時の重み分布

Fig.3 Weight distribution without noise

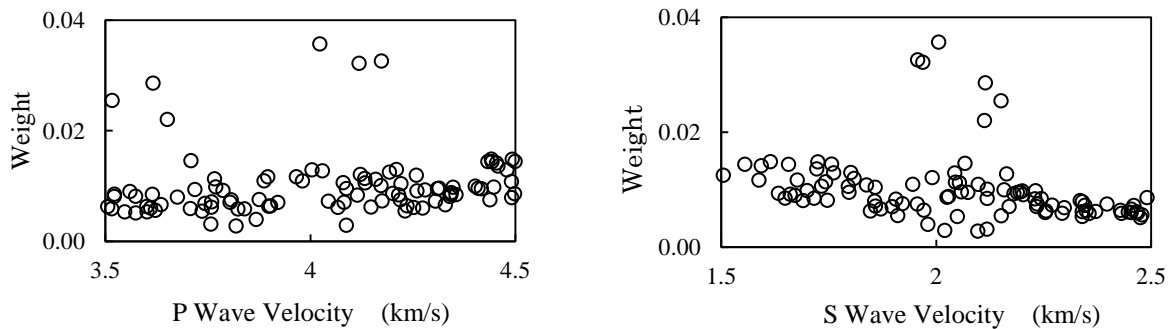


図4 ノイズ発生時の重み分布

Fig.4 Weight distribution with noise

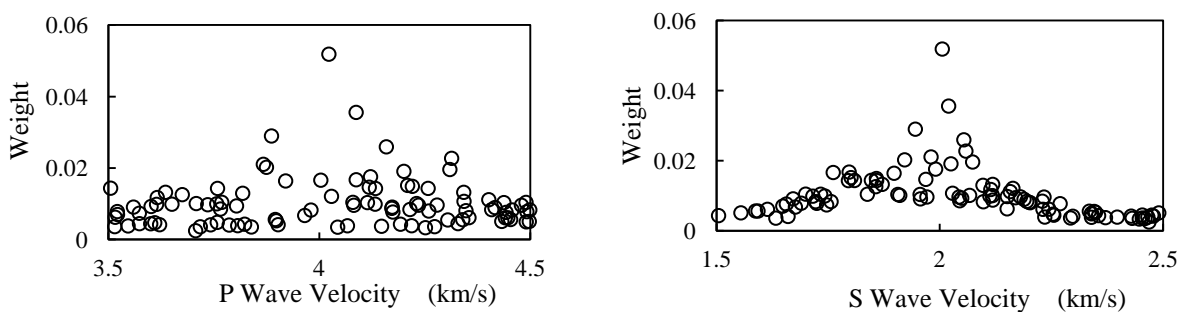


図5 フーリエ変換後の重み分布

Fig.5 Weight distribution after Fourier transform

参考文献

1) 珠玖隆行, 村上 章, 西村伸一, 藤澤和謙, 中村和幸 (2010): 粒子フィルタによる神戸空港島沈下挙動のデータ同化, 応用力学論文集, 13, 67-77. 2) 増谷 優 (2013): 欠測値を有する地盤挙動を対象としたEMアルゴリズムによる観測誤差分散推定と粒子フィルタによるパラメータ同定, 京都大学修士論文, 2-14. 3) 徳永淳一 (2009): EFIT と AFIT の結合解法による超音波伝播シミュレーション, 愛媛大学修士論文, 1-10. 4) 大崎順彦 (2013): 新・地震動のスペクトル解析入門, 鹿島出版会, 25-79.