

PSOによる地盤特性同定問題への適用に関する基礎的検討

防衛大学校 ○学生会員 片出 亮
学生会員 作田 健
正会員 香月 智

1. 緒言

地下の地盤構造が有する不確定性は大きなリスクファクターであり、その構造特性の推定精度の重要性は高まる一方である。そのため、ボーリングなどの直接探査を補完するために、常時微動や微小地震波などによる地下構造を推定する手法が研究されつつある^{1),2)}。一方、最適化ツールとして注目されている PSO は、近年、いくつかの研究³⁾が始められ、実用問題の適用性検討が求められている。そこで本研究では、既往の研究を念頭に置いて、将来的に常時微動観測波からの地盤特性値を逆解析する手法を開発するための基礎的検討として、重複反射理論によって導出される伝達関数の卓越振動数を、観測値の卓越振動数と一致させる地盤特性値の探索問題に PSO の適用を試みたものである。

2. 提案システム

2.1 PSO の概要

PSO は生物を真似た粒子群が、情報を共有しながら解空間を探索する手法であり、その探索点更新概念を図-1に示す。本研究では、解の収束を向上させるため、局所ランダム探索域を加えることとした。すなわち、

$$\mathbf{x}_i^{k+1} = \mathbf{x}_i^k + \mathbf{v}_i^{k+1} \quad (1-a)$$

$$\mathbf{v}_i^{k+1} = w\mathbf{v}_i^k + c_1r_1(\mathbf{x}_{Pbesti}^k - \mathbf{x}_i^k) + c_2r_2(\mathbf{x}_{Gbest}^k - \mathbf{x}_i^k) + c_3\mathbf{v}_r \quad (1-b)$$

ここで、 $\mathbf{x}_i^{k+1}$, $\mathbf{x}_i^k$: 粒子 i のそれぞれステップ $k+1$, k における位置, $\mathbf{v}_i^{k+1}$, $\mathbf{v}_i^k$: 粒子 i のそれぞれステップ $k+1$, k における速度, $\mathbf{x}_{Pbesti}^k$: 粒子 i のステップ k における最良位置, $\mathbf{x}_{Gbest}^k$: ステップ k における群の最良位置, w : 粒子の慣性, c_1 : 自身の既往最良値へ戻ろうとする強度パラメータ, c_2 : 群の最良値へ近づこうとする強度パラメータ, r_1, r_2 : $0 \sim 1$ の一様乱数, c_3 : 乱数項パラメータ, $\mathbf{v}_r$: 平均値が 0 で標準偏差が 1.0 の n 次元正規確率変数ベクトル。

2.2 同定

伝達関数の卓越振動数 f_{ti} と H/V スペクトルの卓越振動数 f_{Mi} との相関性が高いと仮定した上で、同定パラメータとして地盤特性の逆解析を定式化し、目的関数を次のように設定した。

$$Z = \sqrt{\sum_{i=1}^{n_f} \left(1 - \frac{f_{Mi}(i)}{f_{ti}(i)} \right)^2} \rightarrow \min \quad (2)$$

ここで、 Z : 目的関数, $f_{Mi}(i)$: 微動 H/V スペクトルにより観測された i 次卓越振動数, $f_{ti}(i)$: 伝達関数による i 次卓越振動数, n_f : モード数。

その手順を図-2 に重複反射理論を用いた地盤特性値の

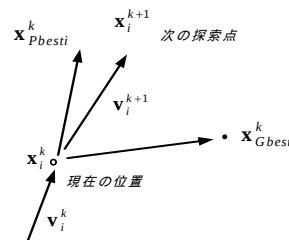


図-1 PSO の探索点更新の概念図

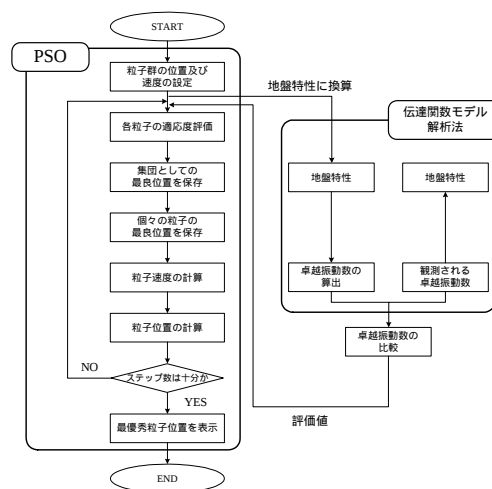


図-2 同定手法のフロー

同定手法を示す。

同定する地盤特性値を PSO の $\mathbf{x}$ ベクトルに割り当てる。

n 個の粒子に $\mathbf{y}$ ベクトルをランダムに発生させ割り当てる。

各粒子の $\mathbf{y}$ ベクトルを変換した座標において地盤特性値 ($\mathbf{x}_i$) を決定する。

与えられた地盤特性値を用いて、重複反射理論により伝達関数を解析し、卓越振動数 $f(i)$ を順解析する。これを地上で観測して得ることの出来る卓越振動数 $f_{ti}(i)$ と比較し、式(2)による評価を与える。

粒子群としての最良値および各粒子の最良値を更新し、保存する。

各粒子の移動を算定し、に戻る。

繰り返し回数終了した後、群最良値に基づく地盤特性値を算定し、順解析結果とともに示す。

3. 計算結果

図-3 に示す 5 層の地盤モデルを用いて、予め伝達関数を算出し、その卓越振動数が仮に H/V スペクトルから与えられたものとして、PSO 逆解析の適用性を検討した。

キーワード Particle Swarm Optimization, 逆解析, 地盤特性, 卓越振動数, 伝達関数

連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 TEL 046-841-3810 E-mail : g45058@nda.ac.jp

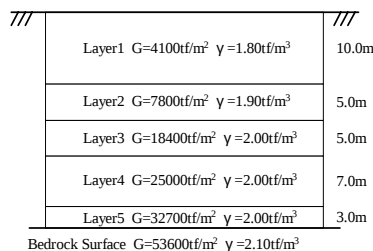


図-3 5層地盤モデル

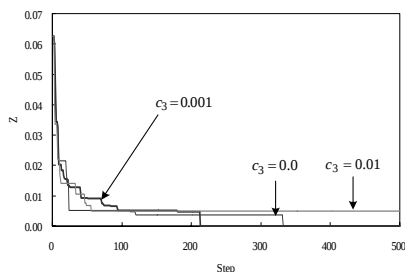
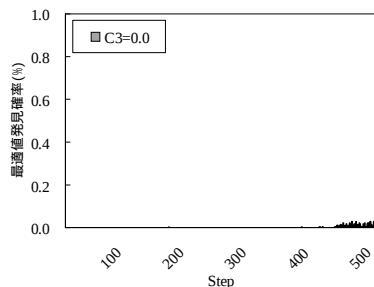
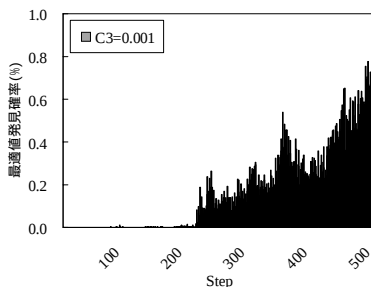
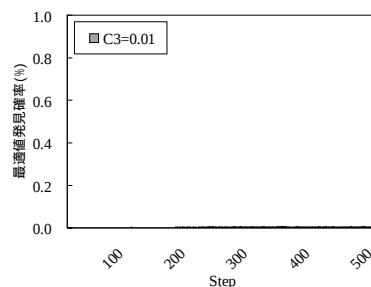
図-4 収束状況に対する c_3 の効果(a) $c_3 = 0.0$ (b) $c_3 = 0.001$ (d) $c_3 = 0.01$

図-5 局所ランダム頂付加による最適値発見確率

3.1 ランダム頂付加効果

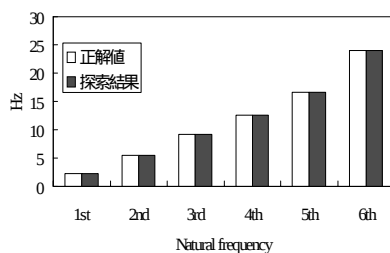
ここでは、せん断剛性のみを一意的に決定すると仮定する。この時、 Z_{Gbest} の収束状況に対する c_3 の効果を図-4 に比較して示す。これより、第4項は空間の 10^3 分の1程度の標準偏差値のばらつきとすることにより、探索効率が向上することがわかる。また、図-5 には局所ランダム頂付加による最適値発見確率にモンテカルロシミュレーションを用いて示す。 c_3 を適切な値に設定することにより、発見確率が向上することがわかる。これはランダム探索範囲が大きく、全探索範囲が大きくなりすぎるためである。

3.2 層厚の同定結果

図-6 の層厚を未知数として推定した場合を見ると、探索値の振動数は既知数のものと完全に一致しており、最小目的関数値を得ていることがわかる。また、この結果、5層までの層厚は完全に正解値を得ている。

3.3 せん断波速度(V_s)の同定結果

図-7 は、層厚を既知としたうえで、せん断波速度を未知とした場合の結果を示す。まず、伝達関数の卓越振動を見ると、この場合にも、1~6次の振動数は推定値と完全に一致しており、探索の目的関数は最小値を得ていることがわかる。しかしながら、第1層と第3層目は良く合っているものの、第2, 4, 5層目はあまり合っていない。これより、深い部分の特性値は伝達

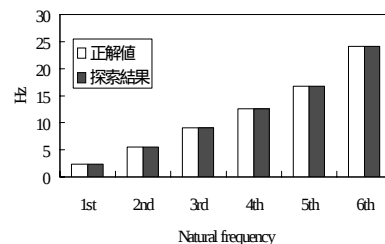


(a)卓越振動数

Layer	層厚(m)	
	正值	推定値
1	10.0	10.0
2	5.0	5.0
3	5.0	5.0
4	7.0	7.0
5	3.0	3.0

(b)地盤特性値

図-6 探索結果(層厚)



(a)卓越振動数

Layer	S波速度(m/sec)	
	正值	推定値
1	149.5	146.2
2	200.7	231.2
3	300.4	298.6
4	350.2	455.8
5	400.5	315.9

(b)地盤特性値

図-7 探索結果(V_s)

関数へ及ぼす影響が小さく、同定が難しいことがわかる。

4. 結言

本研究は、地下構造の推定のために、重複反射理論解から得られる伝達関数の卓越振動数を、地上で観測される振動の卓越振動数と一致させる同定問題に PSO を適用させる基礎的検討を行ったものである。重複反射の卓越振動数を観測値より決定される複数の振動数と一致させるよう地下の水平層構造の有する物性値を同定する問題に PSO を適用すると、ほぼ適切な解を得られた。その際、ランダム探索機能を付加すると探索効率が上がる。

参考文献

- 1) 中村豊, 上野真: 地表面震動の上下動と水平動を利用した表層地盤特性推定の試み, 第7回日本地震工学シンポジウム論文集, pp.265-270, 1986.
- 2) 酒井久和: GA を用いた基盤入射地震動推定のための非線形地盤特性値の同定, 土木学会論文集, No.682/I-56, pp.165-175, 2001.7.
- 3) 坊原尚記, 作田健, 香月智, 嶋丈示: PSO を用いた鋼製砂防えん堤の最適断面設計, 土木学会論文集 A, Vol.62, No.3, pp.681-692, 2006.7.