

I - B79

非線形地盤震動パラメータの同定問題への GA の適用

若築建設（株） 正会員 酒井久和

1. はじめに

筆者らは、これまでに地盤の非線形性を考慮に入れて時間領域で基盤入力地震動を逆算する方法を提案し¹⁾、基盤部での地震記録から入射波成分を分離する問題への適用性について検証を行ってきた²⁾。この逆算法では、基盤入射波は設定された地盤条件において非常に高精度に推定できることから、実問題に適用する場合には、基盤入射波の推定精度は設定した地盤パラメータの精度に大きく依存する。すなわち、入射波の推定精度を上げるためには、適切な地盤パラメータを設定することが必要不可欠となる。そこで本研究では、適切な地盤物性値を設定するにあたり、遺伝的アルゴリズム（genetic algorithms : GA）を用いて非線形な動的パラメータの同定を行う。ここで、大自由度非線形系の動的システム同定問題への GA の適用は、各個体の応答計算に時間を要するため実用的でないことから、各応答計算部分は非反復時間積分法³⁾を用いて計算時間を軽減する。

2. 動的地盤パラメータの同定方法

本研究では、鉛直アレーで観測記録が得られている2つの深度に挟まれる地盤のパラメータを同定する。地盤は1次元の集中質点系にモデル化し（図1参照）、その復元力特性として、BaberとWenが提案した万能型劣化復元力モデル³⁾を採用する。 i 層目（質点間）の復元力特性を次式に示す。

$$\tau_i = G_{0i}\phi_i, \quad \phi_i = \alpha_i\gamma_i + (1-\alpha_i)z_i, \quad \dot{z}_i = (A_i\dot{u}_i - v_i(\beta_i|\dot{\gamma}_i|z_i|^{n_i-1}z_i + \lambda_i\dot{\gamma}_i|z_i|^{n_i})) / \eta_i$$

ここに、 τ_i , G_{0i} , ϕ_i は、質点間のせん断応力、初期せん断剛性、非線形復元力特性で、 α_i , γ_i , z_i はそれぞれ、降伏比、せん断ひずみ、せん断履歴ひずみを示す。ただし、 β_i , λ_i , A_i , η_i , v_i , n_i は非線形劣化履歴パラメータで、 A_i , η_i , v_i は次式による。

$$A_i = A_{i0} - \delta_A \varepsilon_i, \quad \eta_i = \eta_{i0} - \delta_\eta \varepsilon_i, \quad v_i = v_{i0} - \delta_{v_i} \varepsilon_i$$

ここに、 A_{i0} , η_{i0} , v_{i0} は初期値で、本研究では $A_{i0}=\eta_{i0}=1$, $v_{i0}=100$ とし、 ε_i は微分方程式、 $\dot{\varepsilon}_i = (1-\alpha_i)G_{0i}z_i\dot{\gamma}_i$ を満たすものとする。

地盤パラメータのうち、せん断波速度 V_{si} 、単位体積質量 ρ_i を既知、Rayleigh 減衰定数 α_i , β_i 、および、7つの非線形劣化履歴パラメータ (α_i , β_i , λ_i , δ_A , δ_η , δ_{v_i} , n_i) を未知とする。これらの未知パラメータの同定問題を最適化問題と捉え、近年離散化最適化問題に適用され、その有効性が注目されている GA を適用する。GA とは、候補解の集団の中から各解の候補のグループとしての個体を多数抽出し、評価の良いものを遺伝的に後世へ残して、最終的に最良の解を得ようとする方法である。図2に本検討における GA の流れ図を示す。

本同定問題の場合には、深い方の観測点の記録を入射波としたときに、上方の観測点における応答加速度と観測記録の適合度により個体の妥当性を評価する。評価関数 J を次のように定義する。

$$J = \sum_{m=1}^M (\ddot{x}_i(m) - \ddot{y}_i(m))^2 / \sum_{m=1}^M \ddot{y}_i^2(m)$$

ここに、 $\ddot{y}_i(m)$ は観測記録の m 番目の加速度値、 $\ddot{x}_i(m)$ はそれと同時刻の絶対応答加速度を表し、下付の添え字 i は質点番号、 M は観測記録のデータ数を意味する。

また、前述のように、GA では何世代にも渡って多数の個体に評価を下さなければならないことから、1 個体の評価に長い計算時間を要しては実用的でない。したがって、本研究では非線形系の時刻歴応答解析に非反復

キーワード：遺伝的アルゴリズム、非線形同定、地震応答、時間積分法、万能型復元力モデル

連絡先（住所：〒153-0064 目黒区下目黒 2-23-18, TEL:03-3492-0556, FAX:03-5487-3867）

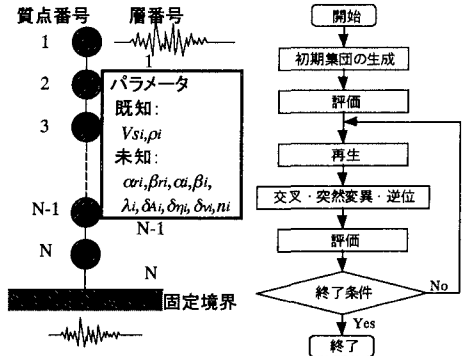


図1 解析モデル

図2 GAの流れ図

時間積分法を採用し、計算時間の軽減を図る。

3. 解析例

解析は、層厚 6m, 20m, 40m の 2 ケースを対象とし、それぞれ層厚を 2m ピッチに分割し、3, 10, 20 集中質点系にモデル化する。各解析モデルの下端は固定境界とし、El Centro (1940) の NS 成分を 20 秒間入射する。本検討では、入射波と最上端の加速度記録が観測されており、 ρ と V_s が既知として、各層について残りの 9 つのパラメータ、計 27, 90 個を同定する。GA は Eshelman が提案した CHC⁴⁾ を採用し、制御パラメータは、個体数 100, 拡散率 0.35 とする。

ただし、地盤定数は簡単のため全層均一として、 $\rho=1.8t$, $V_s=250m/sec$, $\alpha_r=1.0$, $\beta_r=1.0 \times 10^{-3}$, $\alpha_i=\lambda_i=0.05$, $\beta_i=0.95$, $\delta_{A_i}=5.0$, $\delta_{\eta_i}=\delta_{\mu_i}=20.0$, $n_i=1$ を採用し、最上質点の時刻歴応答加速度を順解析により計算した。また、順解析および同定の際の時刻歴応答解析に用いた計算時間間隔は 1/500 秒で、最上質点の観測記録は 1/100 秒間隔でサンプリングされているとした。

各解析モデルに対する評価関数値の推移を図 3 に、10 質点系のケースについて、100 世代目の各種パラメータの推定値を設定値で除した値を図 4 に示す。また、参考のため、10 自由度のケースで 250 世代目の推定値を用いた時の最上質点の応答加速度と観測記録の比較図を図 5 に示す。ちなみに、この場合の評価関数値は約 2% である。

図 3 より、3 自由度および 10 自由度の場合には、50 世代までに評価値が 5% 以内に収まっているが、自由度が 20 になると 250 世代でも 16% の評価値に留まっている。

一方、動的パラメータの同定精度を見ると、図 4 に見られるように、個々のパラメータに関して十分に同定できているとは言いがたい。しかし、観測記録を再現するという観点からすれば、図 5 に示すように十分な精度で波形を再現できていることが分かる。

4. まとめ

本研究では、非線形の大自由度振動系における動的パラメータの同定問題に遺伝的アルゴリズム (GA) を適用した。ここで、各個体の時刻歴応答計算は非反復時間積分法を採用し、計算時間の低減を図った。さらに、数値解析例を通じて、解析精度の検証を行った。その結果、観測点における時刻歴応答加速度が観測波を再現する動的パラメータを同定するという観点からは、適切な動的パラメータの設定が可能であった。今後、採用する GA 方法、パラメータ等を見直すことにより、より効率的な同定手法を検討する必要があると考えられる。

[参考文献]

- 1) 酒井久和, 澤田純男, 土岐憲三: 時間領域での基盤入力地震動の推定法に関する基礎的研究, 土木学会論文集, No.577, pp.53-64, 1997.
- 2) 酒井久和, 澤田純男, 土岐憲三: ポートアイランドにおける時間領域での基盤入力地震動の推定, 土木学会論文集, No.612, pp.373-378, 1999.
- 3) Baber, T.T. and Wen, Y.K.: Random vibration of hysteretic degrading systems, ASCE, Journal of Engineering Mechanics Division, ASCE, Vol.107, No.EM6, 1981.
- 4) 坂和正敏, 田中雅博: 遺伝的アルゴリズム, 朝倉書店, 1995.

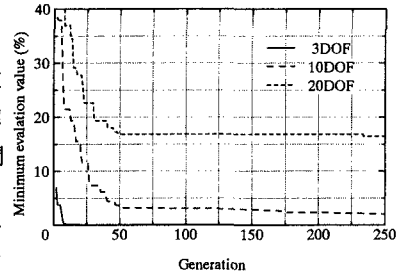


図 3 評価関数値の推移

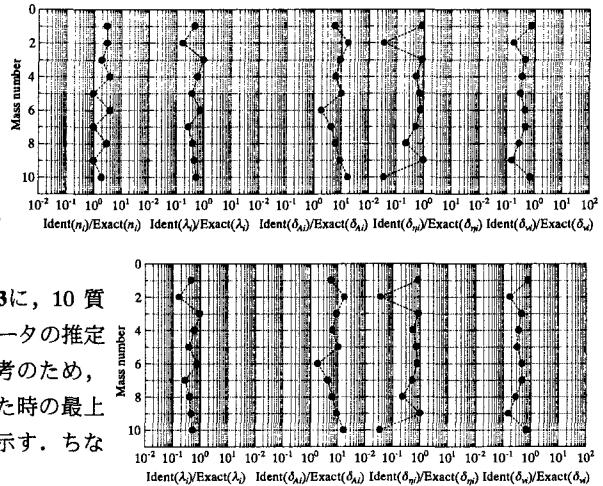


図 4 各種パラメータの推定精度 (N=10)

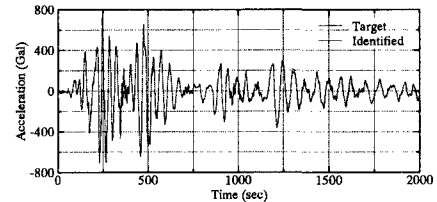


図 5 応答加速度と観測記録の時刻歴波形