

II-212

適応ディジタルフィルタを用いた土石流の流体力の予測

九州大学大学院 学生員○村上 浩史

九州大学工学部 正 員 平野 宗夫

九州大学工学部 正 員 橋本 晴行

1. はじめに

土石流の流体力を予測することは、土石流を考慮した構造設計を行う上できわめて重要である。著者らは、これまで振動形解析法¹⁾により土石流の流体力を予測してきたが、この手法では振動特性定数の決定など数多くの制約条件があり流体力の予測が困難であった。そこで本研究では適応ディジタルフィルタ(Adaptive Digital Filter)のアルゴリズムを適用し、簡潔に、かつ精度よく土石流の流体力を予測しようと試みたものである。

2. ADFの原理

ADFの基本モデルを図-1に示す。ここに、 f_i 、 d_i はシステムの入力と出力、 w_i は雑音成分、 x_i 、 y_i はADFの入力と出力、 e_i は目標値 d_i と予測値 y_i との誤差、 z^{-m} は m 段遅れ要素を、 i は時間添字を示している。

ADFの入出力関係は、出力・入力フィルタ次数をそれぞれ M, N として次式で表わされるARMAモデルとする。

$$y_i = \sum_{k=1}^M a_{k,i} y_{i-k} + \sum_{k=0}^N b_{k,i} x_{i-k} \quad (1)$$

いま、

$$W_i = \text{Col} [b_{0,i}, \dots, b_{N,i}, a_{1,i}, \dots, a_{M,i}] \quad (2)$$

$$Z_i = \text{Col} [x_i, x_{i-1}, \dots, x_{i-N}, y_{i-1}, \dots, y_{i-M}] \quad (3)$$

とおくと

$$y_i = W_i^T Z_i \quad (4)$$

$$e_i = d_i - y_i = d_i - W_i^T Z_i \quad (5)$$

したがって、 $E[e_i^2]$ を最小にする W_i を決定するための逐次アルゴリズム²⁾として、次式を得る。

$$W_{i+1} = W_i - S^{-1} \nabla W_i e_i^2 = W_i - S e_i \nabla W_i e_i \quad (6)$$

$$S = 2S', \quad S' = \text{diag}(s_0^b, \dots, s_N^b, s_1^a, \dots, s_M^a)$$

ここで、 $s_0^b = \dots = s_N^b = v/2$, $s_1^a = \dots = s_M^a = u/2$, $u, v > 0$ とおき、 e_i の $a_{k,i}$ および $b_{k,i}$ に関する勾配を、それぞれ $\alpha_{k,i}$ および $\beta_{k,i}$ とおく。

$$\alpha_{k,i} \equiv -\frac{\partial e_i}{\partial a_{k,i}} = \frac{\partial y_i}{\partial a_{k,i}}, \quad k=1,2,\dots,M \quad (7)$$

$$\beta_{k,i} \equiv -\frac{\partial e_i}{\partial b_{k,i}} = \frac{\partial y_i}{\partial b_{k,i}}, \quad k=0,1,\dots,N \quad (8)$$

このとき、 $\alpha_{k,i}$ および $\beta_{k,i}$ は式(1)により、次の関係式で与えられる。

$$\alpha_{k,i} = y_{i-k} + \sum_{j=1}^M a_{j,i} \alpha_{k,i-j}, \quad k=1,2,\dots,M \quad (9)$$

$$\beta_{k,i} = x_{i-k} + \sum_{j=1}^N a_{j,i} \beta_{k,i-j}, \quad k=0,1,\dots,N \quad (10)$$

ただし、上式の右辺において、 $\partial y_{i-j} / \partial a_{k,i} \equiv \alpha_{k,i-j}$, $\partial y_{i-j} / \partial b_{k,i} \equiv \beta_{k,i-j}$ と近似した。このとき、式(6)から

$$a_{k,i+1} = a_{k,i} + u e_i \alpha_{k,i}, \quad k=1,2,\dots,M \quad (11)$$

$$b_{k,i+1} = b_{k,i} + v e_i \beta_{k,i}, \quad k=0,1,\dots,N \quad (12)$$

を得る。

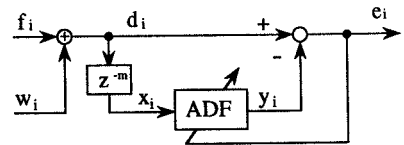


図-1 ADFの基本モデル

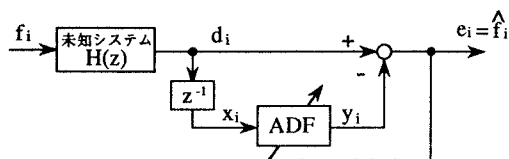


図-2 時系列同定のADFモデル

表-1 AR(3)による同定結果

繰り返し回数	同定パラメータ		
i = 1000	$b_1 = 0.608278$	$b_2 = 0.278316$	$b_3 = 0.112652$
i = 2000	$b_1 = 0.608177$	$b_2 = 0.278164$	$b_3 = 0.112467$
i = 4000	$b_1 = 0.608212$	$b_2 = 0.278144$	$b_3 = 0.112451$
真 値	$b_1 = 0.6$	$b_2 = 0.2$	$b_3 = 0.1$

3. 時系列同定への応用

システム同定を行う場合には入出力データが既知であると仮定するが、実際入手されるデータは出力データだけであることが多い。このような場合には、出力データに適した時系列モデルを採用し、時系列のパラメータを同定すればよい。時系列同定の原理は図-2に示すように、ADFによって逆システムを構成することである。

まず、使用するADFの信頼性を確かめるために、2000個のデータをランダムに取り出して入力 f_i とし、次式で表わされる次数3のARモデルを適用して出力 d_i を計算する。

$$d_i = 0.6d_{i-1} + 0.2d_{i-2} + 0.1d_{i-3} + f_i$$

このとき、ADFモデルは次のように構成される。

$$y_i = b_1d_{i-1} + b_2d_{i-2} + b_3d_{i-3}$$

$u=0$, $v=2.5 \times 10^{-8}$ としたときの同定結果を表-1に示す。さらに、真の入力値と表-1の結果を用いて予測した入力値を図-3に示す。この結果、かなり良い精度で予測されたといえる。

次に、実験により得られた円柱に作用する土石流の抗力についてこのADFアルゴリズムを適用し、土石流の流体力を推定する。使用したデータは、粒径0.17mm、単位幅流砂量 $473\text{cm}^2/\text{s}$ の2000個（2秒間）で、 $u=0$, $v=0.0005$, 繰り返し回数を2000とした。その結果を図-4に示す。出力に現われていた低周波成分が取り除かれていることがわかる。さらに、比較のため以前著者らが行った振動形解析法により推定された土石流の流体力を図-5に示す。

4. おわりに

ADFアルゴリズムを用いることにより、制約条件の多かった振動形解析法に比べて比較的簡単に土石流の流体力が予測できた。しかしながら、今回の解析では出力の低周波成分が除かれただけであって、精度のよいものとは言い難い。そこで今後の課題として、まず最適な同定パラメータを導くための u, v の決定方法の確立があげられる。さらに、解析するデータの種類を増やすことが考えられる。

参考文献

- 1) 村上・平野・橋本・田熊・鳥野：円柱に作用する土石流の流体力の変動特性, 土木学会第47回年次学術講演会, 1992
- 2) B.Widrow, Adaptive Sampled-Data Systems, Proc. of 1st IFAC Congress (Moscow, 1960), London, Butterworths(1960)

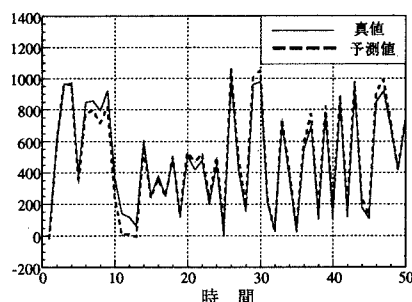


図-3 AR(3)による同定結果

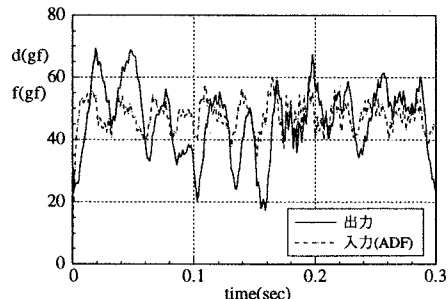


図-4 ADFによる土石流の流体力の予測

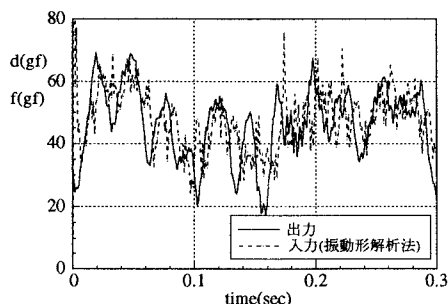


図-5 振動形解析法による土石流の流体力の予測