

CS-9

漂砂量式におけるパラメータの同定

中央大学理工学部	学生会員	蜜石	一太
アイ・エヌ・エー	正会員	高木	利光
中央大学理工学部	正会員	川原	睦人

1 はじめに

漂砂とは波あるいは流れによって海浜物質が輸送される現象のことをいう。その漂砂の移動量が場所ごとに異なると、土砂収支のバランスが崩れて海岸地形に変化が生じる。このようなことから漂砂は、港湾の航路や泊地の埋没、海岸侵食といった重要な問題と密接な関連をもつ。しかしながら現在のところ、漂砂量を直接測定するのは困難であり、通常は海底土砂の堆積量、侵食量を深浅測量図から求めて推定している。本研究では、最終的には漂砂量を含めた土砂収支を推定することを目的とする。まず第一段階として、ある漂砂量式を仮定し、その式中のパラメータを観測結果から同定することを試みた。パラメータを同定する方法には、有限要素法による数値解析をもとに、アルゴリズムが比較的簡単に大規模計算に適している共役勾配法の一つである Fletcher-Reeves 法^[1]を用いた。

2 基礎方程式

水深 h は次に示す漂砂の連続式により表される。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + q_{i,i} = 0 \quad (i = 1, 2) \quad (1)$$

ここに q_i は漂砂量であり、次式で表されるものを仮定する。

$$q_i = c \cdot u_i^3 \quad (2)$$

ここに u_i は流速成分、 c は $[s^2/m]$ の次元を持つ漂砂量パラメータである。実際の流れ場の流速は海浜流、潮流など様々な外因によって引き起こされるが、ここでは簡単に流量フラックス Q_i が与えられ、なおかつ時間的に変化しないとし、その場合流速を、次のように定義する。

$$u_i = Q_i/h \quad (3)$$

初期条件はある時刻を定め、その時点を経験の原点とし、その時点における水深が全て求められているものとする。

$$h_i|_{t=t_0} = \hat{h}_i^0, \quad \text{in } V \quad (4)$$

境界条件は以下になる。

$$h_i = \hat{h}_i \quad \text{on } S \quad (5)$$

ここで、 V 、 S は解析領域および解析領域の境界であり、 $\hat{h}$ は境界上で与えられた値を表す。

3 評価関数

評価関数は、水深の観測値と計算値の残差の平方和で、以下のように表す。

$$J(c) = \frac{1}{2} \sum_{\mu=1}^n \int_{t_0}^{t_f} \{\tilde{h}_\mu(t) - h_\mu(t, c)\}^T [S] \{\tilde{h}_\mu(t) - h_\mu(t, c)\} dt \quad (6)$$

ここで、 $\tilde{h}_\mu(t)$ は観測点 μ における水深の観測値、 $h_\mu(t, c)$ は観測点 μ における水深の計算値そして n は観測点の数を表す。 t_0 は観測の出発時間で、 t_f は観測の終点時間である。また $[S]$ は重み行列を表し、ここにおいては単位行列とした。この評価関数が最小となるようなパラメータ c を Fletcher-Reeves 法で求める。

4 数値解析例

数値解析例として、矩形水路のモデルを用いた順解析結果を観測値として与えることで、本手法の妥当性を検討した。順解析は、図-1に示した有限要素分割図（節点数153、要素数200）を用いて2段階的解法^[2]でおこなった。図-2は水深の時刻歴を示す。初期条件として図-2における $t = 0$ (s)の水深を用い、境界条件は単位幅流量 $Q_x = 0.2 \text{ m}^2/\text{s}$ 、 $Q_y = 0 \text{ m}^2/\text{s}$ とした。パラメータ c は図-1に示すように左半分を $c_1 = 2.0 \text{ s}^2/\text{m}$ 、右半分を $c_2 = 1.0 \text{ s}^2/\text{m}$ と場所的に変化させた。まず式(3)で流速を解き、次に式(2)、式(1)より水深を求める。その水深を用いて再び式(3)で流速を解き、それを繰り返して水深の時間変化を求める。そこから得られた全節点の水深の時刻歴のうち、120秒毎のデータのみを観測データとし、パラメータ c_1 、 c_2 の同定を試みた。また、観測データにノイズを付加しない場合と、付加した場合（標準偏差0.01 mと0.1 m）の3通りの計算をおこなった。その時のそれぞれの評価関数の収束状況を図-3～図-5に、パラメータの収束状況を図-6～図-8に示す。ノイズを付加しない場合と標準偏差0.01 mを付加した場合、2つのパラメータはほぼ真値に収束したが、標準偏差0.1 mを付加した場合、真値には収束しなかった。

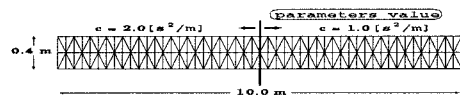


図-1 有限要素分割図

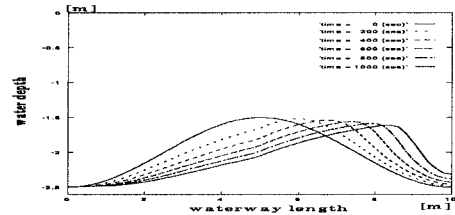


図-2 水深の時刻歴

図-3～図-5に、パラメータの収束状況を図-6～図-8に示す。ノイズを付加しない場合と標準偏差0.01 mを付加した場合、2つのパラメータはほぼ真値に収束したが、標準偏差0.1 mを付加した場合、真値には収束しなかった。

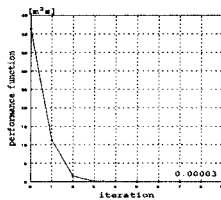


図-3 評価関数の収束状況

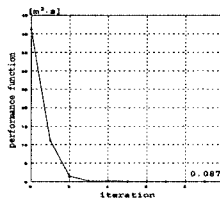


図-4 標準偏差0.01の場合

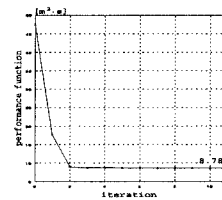


図-5 標準偏差0.1の場合

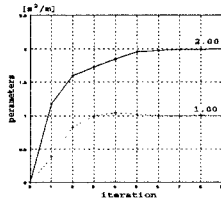


図-6 パラメータの収束状況

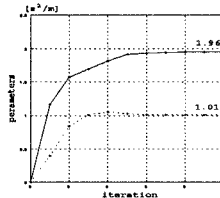


図-7 標準偏差0.01の場合

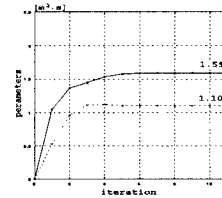


図-8 標準偏差0.1の場合

5 終わりに

ノイズを付加しなかった場合には、2つのパラメータの真値が得られることが確認できた。また、観測値に加わるノイズの大小により、同定の精度に影響があることがわかった。今後、通常深浅測量で入り込むノイズ程度に対応できるよう、モデルの適用性の向上が必要である。また、式(3)の代わりに、浅水長波方程式モデル等により流速を推定しながら、パラメータ同定する手法を開発する方針である。

参考文献

- [1] 嘉納秀明、システムの最適理論と最適化、pp.53 - 86、コロナ社、1987.
- [2] 川原睦人、有限要素流体解析、日科技連、1985.