

蛍光砂移動の数値シミュレーションに関する研究

鳥取大学工学部 正 員 野田英明
鳥取大学大学院 学生員 ○黒岩正光

1. はじめに 従来、漂砂の移動形態を把握するため蛍光砂を用いた現地観測がなされてきたが、一般に漂砂の観測は連続的なデータを得ることが困難である。本研究は蛍光砂による調査結果を補間する意味を持つ蛍光砂の時空間分布に関する数値シミュレーション手法を開発しようとするものである。

2. 蛍光砂の移動拡散の数値モデル 図-1に示すように汀線にほぼ平行にx軸をとり、これと直角冲向きにy軸をとる。いま、海底表面における蛍光砂濃度をC、xおよびy方向の蛍光砂平均移動速度をそれぞれuおよびv、また拡散係数をそれぞれKxおよびKyとすると拡散方程式は

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial (uC)}{\partial x} + \frac{\partial (vC)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left[Kx \frac{\partial C}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[Ky \frac{\partial C}{\partial y} \right] - \lambda C \quad (1)$$

なる。ここにtは時間であり、λは蛍光砂減少係数である。式(1)の右辺第3項は蛍光砂が時間とともに海底表面から砂層にもぐり込む量が蛍光砂濃度に比例すると仮定していることを意味する。数値計算法として堀江¹⁾が適用したADI法で差分をし、計算をした。本研究における数値計算では、計算誤差や論理的な誤りを検証するために、解析解との比較する方法を用いた。拡散方程式で表現される変数や諸定数を無次元化して表現すると、後の比較が容易かつ精度よく行える。したがって、無次元量でADI法を解析解と比較検討する。蛍光砂投入点は実際には点源ではなくある程度の幅をもつ面源である。拡散理論における解析解では投入点は面源であるため、数値計算の場合、初期値の与え方について検証しておく必要がある。

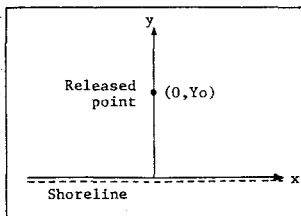


図-1 基礎式説明図

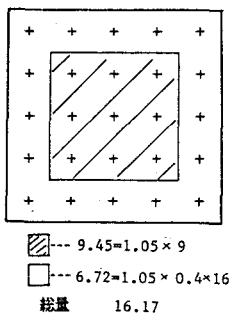


図-2 初期値の与え方

図-2は計算の格子点(+印)とそれらにおける初期濃度 C_0 (下段の数字)を示すものであって、理論解では投入半幅 $L=1.0$ の範囲内で初期濃度 $C_0=1$ としている。この図からわかるように、数値計算では $L=1.0$ であって、その範囲内で $C_0=0.42-1.05$ と変化させている。(格子間隔 $\Delta x=\Delta y=0.5$) 図-3は上記の初期濃度、格子間隔に対し $\Delta t=0.005$ としたときの数値解と解析解の濃度分布を比較したものであってかなりよく一致することがわかる。次に移動速度を与えた場合Taylor展開において省略した項の影響のため誤差が大きくなる。そこで擬似拡散係数 $(D_N)^{2)}$ による補正が必要となり、拡散係数を $D_{NX}=Kx \frac{U}{\Delta x} - D_{NX}$ と置き換えて計算を行うと図-4に示すようになり解析解と一致することがわかる。ただし、擬似拡散係数による誤差は時間間隔および格子間隔に依存し負の濃度が発生することがあるので、注意する必要がある。

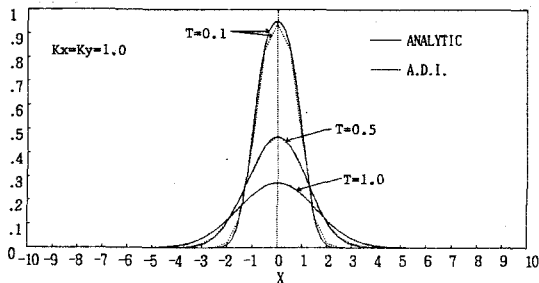


図-3 ADI法と解析解との比較

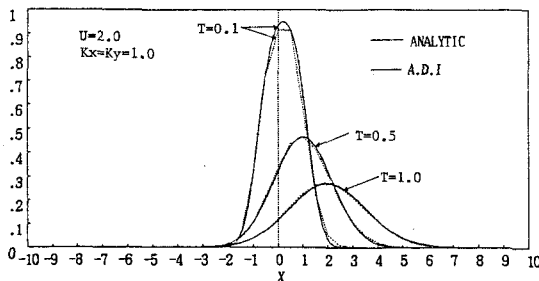


図-4 ADI法と解析解との比較

3. 各種係数の推定法 蛍光砂の移動速度は実際には場所的にも時間的にも変化するが、その推定法は確立されてないため、これらは時間的平均値として取り扱った。移動速度は蛍光砂濃度分布の重心の移動速度で、拡散係数は分散の時間的変化率で、さらに蛍光砂減少係数は表面蛍光砂総個数の時間的変化率で表した。

4. 数値シミュレーション結果と観測結果 図-5 (a)-(c) は1986年に鳥取砂丘海岸で実施した蛍光砂調査結果をもとに数値計算を行ったもので、境界は汀線のみを考慮した開境界である。図中に示す実線および破線はそれぞれ実測値および計算値であり、⊙は蛍光砂の投入点で×は蛍光砂濃度分布の重心位置である。表-1に示すように14日間に3回の蛍光砂測定がなされ、その間の移動速度及び拡散係数は観測日毎に変化しているのがわかる。数値計算もこれらに対応するように各係数を変化させて行った。その結果、蛍光砂濃度分布の重心の移動経路及び蛍光砂の広がり方についてはかなりよく観測結果を再現しているが、重心付近の蛍光砂濃度が異なっている。次に港湾など複雑な境界もつ領域に対しても数値計算は可能であり、1985年に鳥取港で行われた調査を例にとって計算をした。詳細な観測データがないため各係数に補正を加え、 $U=-1.8(\text{m/day})$, $V=-3.0(\text{m/day})$, $Kx=70.0(\text{m}^2/\text{day})$, $Ky=-120.0(\text{m}^2/\text{day})$, $\lambda=0.3(1/\text{day})$ として計算した。図-6に示す実線及び破線はそれぞれ投入後33日目の実測値及び計算値であり、かなりよく観測結果を再現していることがわかる。

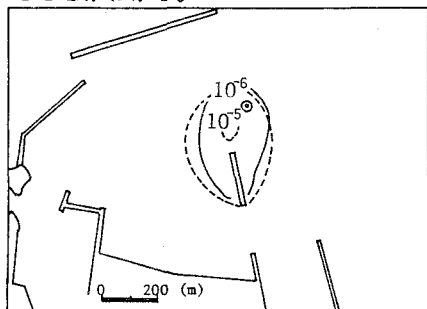


図-6 鳥取港における実測値と数値計算結果

5. 結語 解析解とADI法との比較からその誤差は初期値の設定の仕方に大きく左右され、擬似拡散係数の導入により移流項に関する解析解との誤差をある程度減少させることがわかった。また複雑な境界の場合にも本計算法が適用できることも明らかとなった。

参考文献 1) 堀江毅；沿岸海域の水の流れと物質の拡散に関する水理学的研究，港湾技研資料，pp45-67, NO.360, Dec, 1980 2) Bella, D.A, Gernny, W.J ; Finite-difference convection error, SA6, Prof of A.S.C.E., pp1361-1375, Dec, 1970 Prych, E.A. ; Numerical studies of unsteady dispersion in estuaries, SA 5, Prof of A.S.C.E., pp959-967, Oct, 1969

表-1 各種係数

経過日数	1	3	14
$U (\text{m/day})$	3.1	11.5	-2.7
$V (\text{m/day})$	7.1	-0.9	0.2
$Kx (\text{m}^2/\text{day})$	136.1		11.8
$Ky (\text{m}^2/\text{day})$	3.2		
$\lambda (1/\text{day})$	0.00016		

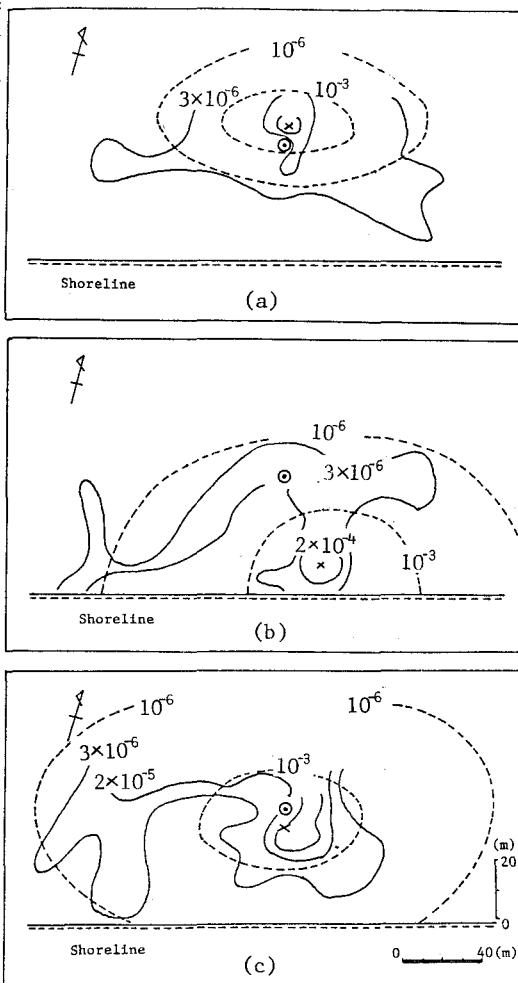


図-5 砂丘海岸における実測値と数値計算結果