

蛍光砂の移動・拡散に関する研究

鳥取大学工学部 正員 野田英明
鳥取大学工学部 正員 ○黒岩正光

1. はじめに 著者ら¹⁾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てきた。しかし、従来の瞬間投入モデルでは十分に満足な結果をうることができない場合もあった。本研究では、この手法の適用範囲を広げるため連続投入モデルの開発を試みる。

2. 連続投入モデル 連続投入の非定常解は原則的には瞬間投入の解を投入時間分だけ積分することによって求められる。しかし、その積分は困難であるので定常に達したときの解を求めるのが一般的である。そこで本研究においても蛍光砂の定常解を求める。図-1 に示すように、砂の

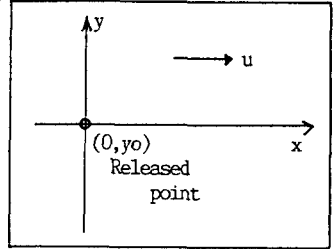


図-1 基礎式説明図

移動方向に x 軸を、それと直角方向に y 軸をとる。砂の移動速度は x 方向のみとし、x 方向の拡散は y 方向のそれに比べ小さく無視できるものとする。また各地点には濃度差はあるが時間的に変化しないとすると、基礎式は

$$\frac{\partial(uC)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) - \lambda C \quad (1)$$

となる。ここに、Cは蛍光砂濃度、uはx方向の平均移動速度、 k_y はy方向の拡散係数、 λ は表面蛍光砂減少係数である。さらに、 k_y は一定とし、uはxの関数であると仮定する。すなわち、 $u(x) = \lambda_a x + u_a$ とする。境界条件は

$$x = 0 \quad \text{で} \quad C(0, y) = f(y) = C_0 (= \text{const}) \quad -b/2 < y < b/2 \quad (2)$$

$$y \rightarrow \pm\infty \quad \text{で} \quad C(x, y) = 0 \quad (3)$$

である。ここに、bは蛍光砂の投入幅を表す。式(1)を条件式(2),(3)を用いて解くと

$$C(x, y) = \left(\frac{u_a}{\lambda_a x + u_a} \right)^{\lambda/\lambda_a + 1} \frac{C_0}{\sqrt{2\pi}} \int_{z_1}^{z_2} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) dz \quad (4)$$

ここに、 $z_1 = -(b/2 + y)/\sqrt{2k_y/\lambda_a \ln(a)}$, $z_2 = (b/2 - y)/\sqrt{2k_y/\lambda_a \ln(a)}$
 $a = (\lambda_a x + u_a)/u_a$

となる。図-2 はその計算例を示したものであって、各係数は無次元量で表し、 $u_a = 1.0 (= u_0 T/b)$, $K_y = 1.0 (= k_y T/b^2)$, $\Lambda_a = 1.0 (= \lambda_a T)$, $\Lambda = 0.0 (= \lambda T)$ とした。

つぎに、解析解のみでは現地への適用に対して不十分であるため、堀江²⁾の差分法を適用して数値計算する。式(1)をx方向に陰形式で差分し、 $U(X) = \Lambda_a (i+1/2) \Delta X + u_a$ とする。図-3 は定常解(実線)と数値解法(破線)を比較したものである。ピーク濃度に多少誤差があるが解析解とほぼ一致しているのがわかる。なお格子間隔は $\Delta X = 0.1$, $\Delta Y = 0.25$ とし、各係数は $K_y = 1.0$, $u_a = 1.0$, $\Lambda_a = 1.0$, $\Lambda = 0.0$ とした。

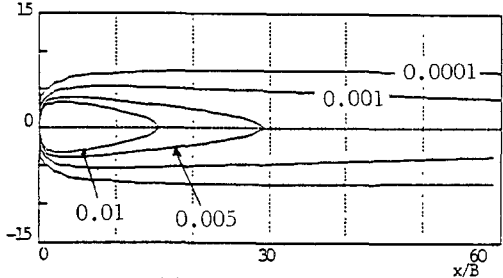


図-2 定常解計算例

3. 各係数の推定法 各係数は従来の方法で推定する。すなわち、蛍光砂の移動速度は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表す。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すことにする。

4. 現地観測結果と数値計算結果 1985年8月に鳥取で実施した蛍光砂調査結果を例にとり、解析解を用いて計算する。図-4 は蛍光砂投入4日後の現地観測結果(実線)と理論解による計算結果(破線)を示したものである。図中に示す◎印は蛍光砂投入点を表す。各係数は、 $u_0=0.2$ (m/day), $k_v=7.295$ (m²/day), $\lambda=0.52$ (1/day), $\lambda_0=0.9$ (1/day) とし、投入幅 $b=2.0$ (m) とした。ただし、 u_0 および k_v は投入点とその沖側の測点の蛍光砂を除いて推定した。また、速度勾配 λ_0 はその推定法がまだ確立されていないので現地観測結果に合うように種々計算のうえ推定した。この図からわかるように定常解による計算結果は観測結果をかなりよく再現している。つぎに、Ingle³⁾ が実施した蛍光砂調査結果を用いて計算する。図-5 は蛍光砂投入 120 min 後の観測結果(実線)および数値解法による計算結果(破線)を示したものである。図中に示す・印は蛍光砂の投入点を表し、計算では濃度が最も高い点を投入点(◎印)とした。なお計算条件として格子間隔は $\Delta x=0.1$ m, $\Delta y=0.25$ m, 各係数は $u_0=0.3$ (m/min), $\lambda=0.025$ (1/min), $\lambda_0=0.033$ (1/min) とした。

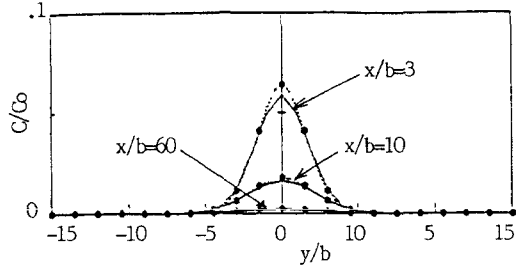


図-3 定常解と数値計算法との比較

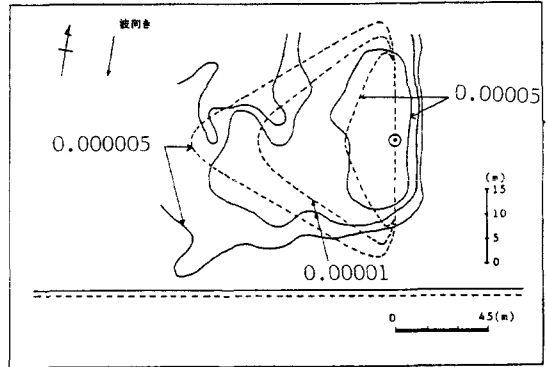


図-4 現地観測結果および定常解

(1985年 8月24日 鳥取砂丘海岸 蛍光砂投入4日後)

また、基準長さを投入幅($b=1.0$ m)にとり、基準時間を観測時間($T=120$ min)として無次元化して計算した。拡散係数は投入点より岸側を一定とし、沖側を場所的に変化させた。すなわち、投入点より岸側を $k_v=0.167$ (m²/min) 沖側を無次元量で ΔY (0.25) ステップ毎に K_0 を1ずつ増加させた。その結果、沿岸方向の濃度分布の非対称性のみでなく岸沖方向の濃度分布の非対称性も再現できた。

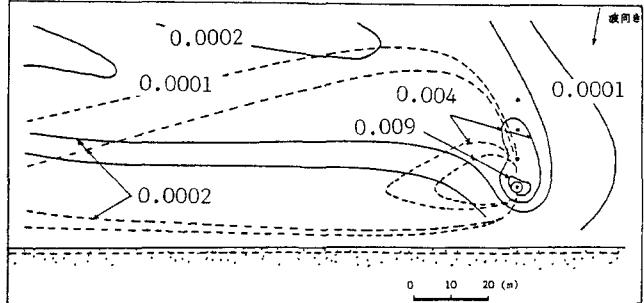


図-5 現地観測結果および数値計算結果

(1962年 3月15日 SANTA MONICA 120 min 後)

5. おわりに 連続投入モデルの定常解を用いて、沿岸方向の濃度分布の非対称性を再現できることがわかった。また、数値解法を適用すれば、拡散係数を場所的に変化させることにより、岸沖方向の濃度分布の非対称性も再現できることがわかった。観測期間毎に蛍光砂の移動および拡散を再現する場合においては定常解では不可能である。今後、連続投入モデルの非定常解を開発する必要がある。

[参考文献]

- 1) 野田英明・黒岩正光: 蛍光砂移動の数値シミュレーションに関する研究, 第40回土木学会中国四国支部講演概要集
- 2) 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.1970
- 3) Ingle, J.C.: The movement of beach sand, Elsevier Publishing Co., 221 p, 1966