

港内における移流・拡散の研究

神戸大学 正 覧 源亮

神戸大学 学○山崎 篤

1 まえがき

海域拡散を解明する場合、移流による拡散と乱流拡散などの程度全体の拡散に影響を与える分は、興味ある問題である。そこで本研究は港内域を例にとりあげ、模型実験によって得られた流速分布を用いて、拡散係数を種々に分えて implicit の解法で数値計算を行ない検討した。

2 基礎式

基礎式としては Fick の拡散方程式を水深の方向に積分し 2 次元化した次式を用いる。ただし港内における水深は一定とした。

$$\frac{\partial S}{\partial t} = -u \frac{\partial S}{\partial x} - v \frac{\partial S}{\partial y} + K \left(\frac{\partial^2 S}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 S}{\partial y^2} \right) \quad (1)$$

ここで S : 物質濃度 t : 時間 x, y : 座標 K : 拡散係数

3 差分化

数値計算誤差を補正するために $S(x, y, t + \Delta t)$ を Taylor 展開して $(\Delta t)^2$ の項までとり、空間における差分を 中央差分-半陰型式で行なうと次式を得る。

$$a S_{i,j}^{n+1} + b S_{i+1,j}^{n+1} + c S_{i-1,j}^{n+1} + d S_{i,j+1}^{n+1} + e S_{i,j-1}^{n+1} - f S_{i+1,j+1}^{n+1} + f S_{i+1,j-1}^{n+1} + f S_{i-1,j+1}^{n+1} - f S_{i-1,j-1}^{n+1} = C^n \quad (2)$$

ここで

$$C^n = a' S_{i,j}^n - b S_{i+1,j}^n - c S_{i-1,j}^n - d S_{i,j+1}^n - e S_{i,j-1}^n + f S_{i+1,j+1}^n - f S_{i+1,j-1}^n - f S_{i-1,j+1}^n + f S_{i-1,j-1}^n$$

$$a = 1 + K \cdot \Delta t / (\Delta x)^2 + 1/2 \cdot (u \cdot \Delta t / \Delta x)^2 + K \cdot \Delta t / (\Delta y)^2 + 1/2 \cdot (v \cdot \Delta t / \Delta y)^2$$

$$b = 1/4 \cdot u \cdot \Delta t / \Delta x - 1/2 \cdot K \cdot \Delta t / (\Delta x)^2 - 1/4 \cdot (u \cdot \Delta t / \Delta x)^2$$

$$c = -1/4 \cdot u \cdot \Delta t / \Delta x - 1/2 \cdot K \cdot \Delta t / (\Delta x)^2 - 1/4 \cdot (u \cdot \Delta t / \Delta x)^2$$

$$d = 1/4 \cdot v \cdot \Delta t / \Delta y - 1/2 \cdot K \cdot \Delta t / (\Delta y)^2 - 1/4 \cdot (v \cdot \Delta t / \Delta y)^2$$

$$e = -1/4 \cdot v \cdot \Delta t / \Delta y - 1/2 \cdot K \cdot \Delta t / (\Delta y)^2 - 1/4 \cdot (v \cdot \Delta t / \Delta y)^2$$

$$f = u \cdot v \cdot (\Delta t)^2 / (8 \cdot \Delta x \cdot \Delta y)$$

$$a' = 1 - K \cdot \Delta t / (\Delta x)^2 - 1/2 \cdot (u \cdot \Delta t / \Delta x)^2 - K \cdot \Delta t / (\Delta y)^2 - 1/2 \cdot (v \cdot \Delta t / \Delta y)^2$$

n は時間ステップ, i, j は距離のステップ, $\Delta x, \Delta y$ はメッシュ間隔, Δt は計算時間間隔を示す。

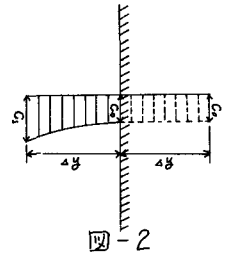
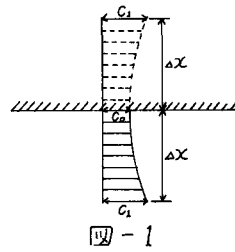
4 計算条件

境界条件は 外海域との接続部において 南北の境界 東西の境界は それぞれ図-1 図-2 に示すようにした。また初期条件は図-3 に示すように 単純に陸側の 3 河川から拡散物質が 瞬間点源として流入すると想定した。

5 計算結果

図-4 は図-3 における A 点での濃度の時間変化を示したものである。この図より K の値が $10^4 \text{ cm}^2/\text{sec}$ 程度までは 比較的似た時間変化を示す。しかし、 $10^5 \text{ cm}^2/\text{sec}$ になる

と立ち上がり之急で、その後はほとんど単調に減少していく傾向が見られる。このことは $K=10^4 \text{ cm}^2/\text{sec}$ 程度までは、移流による拡散に支配されているが、 $K=10^5 \text{ cm}^2/\text{sec}$ になると、乱流拡散の効果が加わり、拡散の速度が急速に増すからであると考えられる。



四-5, 四-6 は それぞれ $K=10^3 \text{ cm}^2/\text{sec}$ $K=10^5 \text{ cm}^2/\text{sec}$ における、24 時間後の濃度分布を等濃度線で図示したものである。これより、移流の効果が卓越する $K=10^3 \text{ cm}^2/\text{sec}$ のときには、港の西部および中央部のうずの発生にしたがって、拡散が進行されていくが、乱流拡散の効果が顕著である $K=10^5 \text{ cm}^2/\text{sec}$ のときには、拡散速度は非常に速くなり、24 時間後には、港内ではほとんど一定の濃度分布になる。なお $K=0 \text{ cm}^2/\text{sec}$ のときは $K=10^3 \text{ cm}^2/\text{sec}$ のときとほとんど同じ濃度分布を示した。

6 おすび

以上の計算結果により、渦流をともなうような非定常流においては、移流による拡散が大きく、これを無視することはできない。

<参考文献>

- 1) 池田 亨 数値解析 流体解析編
サイエンス社

