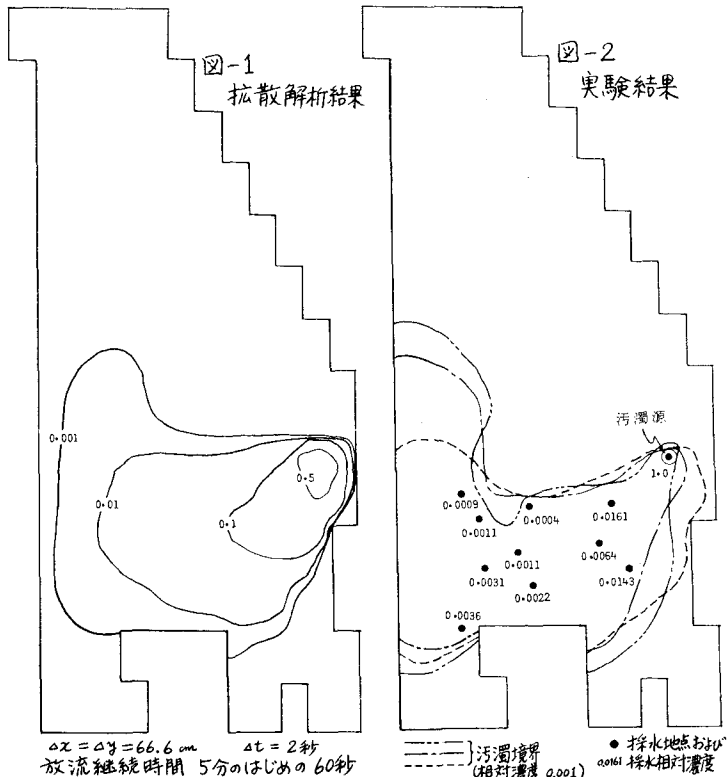


1. まえがき 湾内における汚濁物質の濃度解析にあたり、われわれは拡散方程式の数値解析とこれに相似な水理模型実験を行ない、その適合性を高めるように解析過程および実験方法に検討を加えてきた。われわれは、拡散数値解析をする場合に、移流項の流速および拡散係数を $D = k\sqrt{m}h^{3/2}V^{1/2}$ により与えるときの流速 V に実測平均流速を適用して実験結果とほぼ一致させている。流速を得る方法として i) 実測によるもの、ii) 模型流速から現地流速へ換算するもの、iii) 流況シミュレーションによるものがある。i) の方法は模型においては比較的容易にできるが、現地湾域においては、種々な気象状況における流速測定は実例はあるものの費用と時間がかかり、また埋立による境界条件の変化や将来の予測への応用が困難である。ii) の方法は広い面積を対象とする湾域の歪模型では渦動粘性係数などの相似則が成り立ち難い欠点がある。iii) の方法には MAC 法、Deardorff モデルおよび Navier-Stokes 式（以後 N-S 式と記す）の数値解析などがあり、東京湾や瀬戸内海では N-S 式の解析結果と汚濁調査へ適用している。本報は、N-S 式の数値解析をとりあげ、渦動粘性係数によるせん断応力、差分近似化法および初期条件と境界条件の導入法などを検討し、解析平均流速と実測平均流速がよく一致するよう研究を進める過程でえた若干の知見をのべたものである。

2. 拡散数値解析と拡散実験 拡散数値解析方法は、前報¹⁾²⁾に示したように、1次元拡散方程式と One-Sided 差分と陰形式中央差分により差分化した1次元拡散方程式を水平2方向へ適用し、偽拡散誤差は数値移送係数で補正し、拡散係数は $D = k\sqrt{m}h^{3/2}V^{1/2}$ によったものである。解析結果の1例を図-1に相対濃度で示す。拡散実験は、図-3に示すポンプ循環流により発生した乱流中に、汚濁源より色素を連続放流し、これを30秒間隔でカラー写真撮影して汚濁域を調べ、同時に採水を採取して汚濁濃度 (PPm) を調べる方法によった。実験結果の1例を図-2に示す。図-2中3本の曲線は同じ条件下の3回の実験の汚濁境界線である。これは、乱流拡散を扱っているのどれれがあって (最大 Re 数 $= 2 \times 10^5$)、放流開始時の初期条件の違いによって拡散のひろがりに差を生じたものであろう。また図-2中の●印は採水地点を示し●印の下に数字は汚濁源付近濃度を1.0とした場合の相対濃度である。この相対濃度には時間的および場所的バラッキがあって等濃度線を描くまでにはいたっていない。図-1の数値解析結果と図-2の実験結果の汚濁境界濃度を比較すれば、ほぼ一致しているといえよう。

3. 流況シミュレーション方法 N-S式と連続式を基礎方程式とし数値解析する。解析の簡単のため両式を水面から海底まで積分してあらわせば



$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{M}{h+s} \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{N}{h+s} \frac{\partial M}{\partial y} = -g(h+s) \frac{\partial}{\partial x} (s-s_0) + \tau_s(x) - \tau_0(x) + f + N + \varepsilon \left(\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} \right) \dots (1)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{M}{h+s} \frac{\partial N}{\partial x} + \frac{N}{h+s} \frac{\partial N}{\partial y} = -g(h+s) \frac{\partial}{\partial y} (s-s_0) + \tau_s(y) - \tau_0(y) - f + M + \varepsilon \left(\frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2} \right) \dots (2)$$

$$\frac{\partial s}{\partial t} = - \left(\frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} \right) \dots (3) \text{ となる。}$$

但し u, v : x, y 方向の流速, h : 水深, s : 水位変位量,
 $M = \int_A u \, dz$, $N = \int_A v \, dz$

解析対象は図-3に示す水理模型であるから, f (コリオリ係数) = 0。また, 吹送流の定量的モデル化は難しいので¹⁰⁾, ここでは風による応力は与えていない。したがって, τ_s (風の応力) = 0 となる。せん断応力 $\left(\varepsilon \left(\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} \right), \varepsilon \left(\frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2} \right) \right)$ の評価については, 湾の形状による境界条件の影響および潮流成分である循環流の慣性とのバランスを考えて行なう必要がある。平均流速としてかなり長時間の平均化ができる場合には, せん断応力を無視しても実湾域の潮汐残査流をおよそ再現することができる¹⁰⁾ようである。われわれは, 渦動粘性係数 ε は, Prandtl の混合距離理論により乱れ強さと平均流速勾配より定義されるものとして, 水理模型による乱れ強さ測定値より試算したとを数値実験的に数段階与え, 図-3に示す実測平均流速を検討データとしてせん断応力項の影響を調べる方法をとることにした。また, 基礎方程式(1)(2)(3)の差分化は, 次のようにした。すなわち, (3)式の各項および(1)(2)式の線型項には中央差分を使用し, 非線型項には M, N の正負により $One-Sided$ 差分を使用する⁹⁾。

4. 流況シミュレーション結果 平均流速の解析結果の1例を図-4に示している。これは, $\varepsilon = 0$ としせん断応力を無視し, 格子間隔を 66.6cm としたものである。図-3の実測値と比較すれば, 流向についてはおよそ一致させることができたが, 流速は解析値の方が小さくなっている。これは, ポンプ吐出流速を初期条件に与える場合に, このシミュレーション方法が流量 M または N の算定式であるために, メッシュ間の平均流量として与えることになり, 流速が小さくなることに起因し, 格子間隔を小さくすることにより流速を大きくしうる。今後, 格子間距離, 境界条件, 差分化およびせん断応力を吟味して解析流速がよく実測流速と一致するよう研究を進めていきたい。

参考文献

- 1) 加納, 山崎他: 湾内汚染物質追跡の数値計算モデルについて-その2-, 昭和50年度土木学会西部研究発表論文集 P.109
- 2) 加納, 山崎: 湾域における汚濁物質の拡散解析について, 土木学会第4回環境問題シンポジウム講演論文集 1976. P.60
- 3) 科学技術庁研究調整局: 内海水域味津に關する総合研究 中間報告書, 545年
- 4) 福岡市港湾局: 博多湾拡散調査報告書, 昭和49年
- 5) たとえば松江吉行: 水質汚濁調査指針, 恒星社厚生閣 PP.325~374
- 6) 土木学会: 数値解析/流体解析編, 日工社 PP.25~35
- 7) 建設省関東地方建設局土木研究所: 東京湾汚濁調査, 昭和47年3月
- 8) 産業公害防止協会: 徳山湾西海域における工場排水の漁業に及ぼす影響調査報告書, 昭和51年3月 PP.325~374
- 9) 伊藤 剛: 数値計算の応用と基礎, フテネ出版 PP.1~5
- 10) Fisher, H.B.: Some Remarks on Computer Modeling of Coastal Flows, Proc. of A.S.C.E., Vol 102, No WW-4, PP 395~406, December 1976
- 11) たとえば, 椿東一郎: 水理学 I, 森北出版 PP.79~83

