

九州産業大学 正会員 加納正道
九州産業大学 正会員 赤坂順三
九州産業大学 学生会員 松田洋玄
九州産業大学 丸田三四孝・宮城浩

1. まえがき われわれは、拡散水理模型とそれに相似な拡散方程式の数値解析とを同時にとりあげ、両者がよく一致するように実験方法および数値解析方法を改良してきた。前報^{(1),(2),(3)}に報告した水理模型は水平方向および鉛直方向を実湾域に相似な曲線境界に作製し、一方、数値解析の境界は直交格子に組むために、両者の境界条件は厳密に一致がなく実験結果と解析結果に境界条件の差異による影響が懸念された。そこで、本報では水理模型の水平方向境界を数値解析の境界と同じ直交海岸線とし、また水深は全湾域一定として上述の懸念を消した。また、水理模型および数値解析の対象は図-2に示すような領域にポンプ循環による海流を与えて一様乱流中の乱流拡散である。

2. 拡散解析方法 解析対象は5分間の色素のひろがりであるから5分間では色素の沈殿や自己分解は無視できるので保存系とし、また、数値解析の簡単のため鉛直方向に濃度変化は少ないとして2次元拡散問題として取り扱う。また解析方法は、前報^{(1),(2),(3)}に示すように、1次元拡散方程式をOne-sided差分と陰形式中央差分により差分化した一方差分方程式を水平二方向へ適用し、偽拡散誤差は数値移送係数で補正し、拡散係数は $D = k \sqrt{m} n^{5/6} V^{0.2}$ によったものである。そして、移送項および拡散係数に適用する流速は実測流速をメッシュ毎に平均し連続の条件を満足させたものを使用した。格子間隔は $\Delta x = \Delta y = 66.6 \text{ m}$ 、水深は 80 m とし、時間間隔については数値解析の安定条件と収束条件より $\Delta t = 2 \text{ 秒}$ とした。

3. 実験方法 図-2に示す水域に乱流を発生させ、汚染源(図-2中◎印)より色素ローダミン液(約2000 ppm)を連続放流する。これをカラー写真撮影して汚染域を調べ、同時に採水試料を比色定量して汚染濃度(ppm)を調べる。汚染源メッシュの平均濃度が100 ppmであったので各点の濃度を百分の1して相対濃度を求めている。

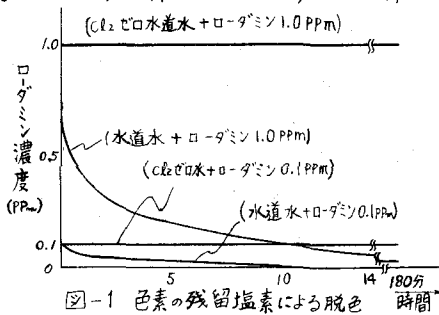


図-1 色素の残留塩素による脱色

3-1. 色素の残留塩素による脱色 実験水槽(容量約200 m³)には九産大水道水を使用している。水道水は残留塩素約2 ppmを含み、このまま色素を放流すると拡散濃度の低い箇所では消色する現象があらわれる。これは残留塩素(以後Cl₂と記す)と色素の化合に原因すると考えられるので、Cl₂ 2 ppmの水道水およびCl₂ ゼロにした水道水でローダミン溶液1 ppmと0.1 ppmを作り時間変化を調べたものが図-1である。Cl₂ があれば0.1 ppmは約10分で消色し、1.0 ppmは0.03 ppmまで退色するが、Cl₂ ゼロ水道水では180分間(本実験開始より定量完了時間)で変色しないことがわかった。従って、本実験では1週間ほどの放置によりあるいはNa₂S₂O₃による還元中和により水道水のCl₂をゼロにして色素放流を行なった。

3-2. 汚染域境界濃度の推定 清澄域へ色素を拡散する場合、汚染域を調べるには肉眼またはカラー写真による識別がよく用いられる。可視境界を汚濁境界とする訳であるが、本実験に使用したローダミンB液の可視境界濃度は、比色管中およびポリバケツ中の各種濃度を調べた結果、およそ0.1 ppmと推定した。これを相対濃度で示すと0.001となる。なお、比色計によれば0.001 ppmまでは0 ppmと区別することができる。

4. 実験結果と数値解析結果の検討 放流開始後30秒、1分および1分30秒後の実験結果をそれぞれ図-2、図-3および図-4に示す。本実験は乱流拡散を取り扱っているので、流れに乱れがあって、放流開始のわずかな初期条件の違いによって拡散のひろがりや拡散の速度に差を生じる。そこで、数回の同条件下での拡散実験は微視的に毎回異なる結果を与えている。図-2～図-4に示した実験結果は数回の実験の平均的なものである。また、図-2～図-4の汚染域内の数字は採水試料の濃度であるが、この数値にはバラツキがあって等濃度線を描くまでにはい

たっていない。そして、カラー写真によって等濃度線を知ることは不可能である。図-5、図-6および図-7にそれぞれ放流開始後30秒、1分および1分30秒の数値解析結果を示している。解析濃度の下限は 10^{-7} まで算出することができ、上述の如く汚染域境界相対濃度を0.001と推定したように0.001より小さい濃度は実験において識別できないので、

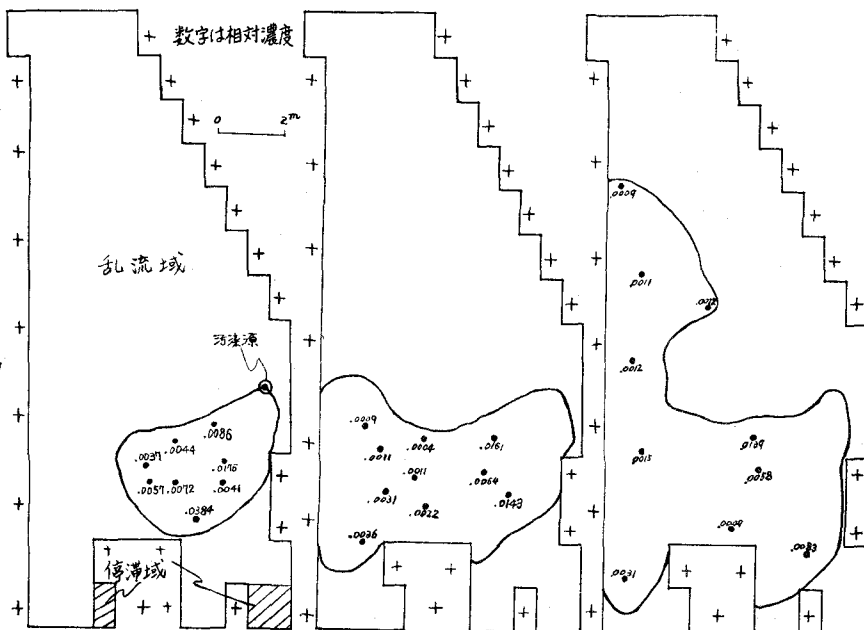


図-2 実験結果 30秒

図-3 実験結果 1分

図-4 実験結果 1分30秒

ここでは解析結果を実験結果と照合する意味で0.001ppm以下の相対濃度は図-5～図-7には表示しない。

ここで、実験結果と解析結果を各時間と比較すれば、汚染境界は30秒、1分および1分30秒ともほぼ一致していると言えよう。

5. ちすび 拡散水

理模型実験は3次元拡散現象であり、一方、数値解析は2次元拡散という差異がある

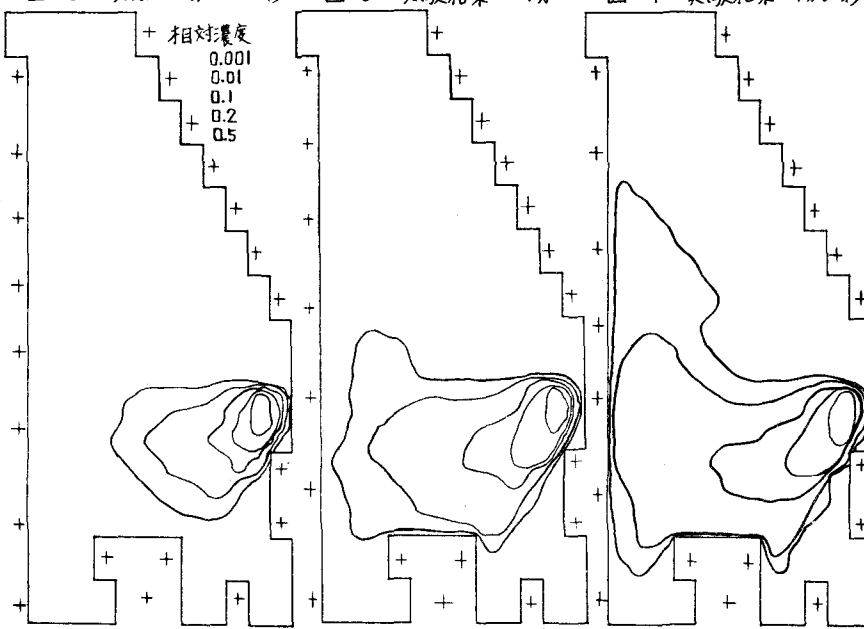


図-5 解析結果 30秒

図-6 解析結果 1分

図-7 解析結果 1分30秒

にもかかわらず、本報の対象とした凹凸の多い境界条件での乱流拡散を拡散実験結果と数値解析とをほぼ一致させることができた。また、拡散実験による正確な等濃度線を得ることができるよう、今後実験手法を研究していきたい。

参考文献

- 1) 加納, 崎山他: 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年度土木学会西部支部研究発表論文集 P109
- 2) 加納, 崎山: 湾域における汚濁物質の拡散解析について, 土木学会第四回環境問題シンポジウム講演論文集 1976 P60
- 3) 加納, 崎山, 細川: 湾域における汚染物質の拡散解析について, 昭和51年度土木学会西部支部研究発表論文集 P195
- 4) たとえば; 松江吉行: 水質汚濁指針, 恒星社厚生閣 P314