

小型潮流模型実験における底面粗度の影響について

徳島大学工業短期大学部 正員 村上 仁士 同左 正員 細井 由彦
徳島大学大学院 学生員 渡辺 健也 (株) 大林組 森田 寛太

1. まえがき： 従来、潮流模型実験においては底面粗度を試行錯誤的に与えることにより対象水域の流れを再現させており、粗度が流況・拡散現象に与える影響については必ずしも明らかにされているとはいえない。そこで、内湾における物質の拡散・混合に重要であると思われる恒流のうち、樋口¹⁾らによってその発生・維持機構がかなり明らかにされている潮汐残差流が発生するような地形で、形状が最も単純な長方形湾モデルを用いて、湾内における流況・拡散現象に及ぼす粗度の影響を実験的に調べようとするものである。

2. 実験方法： 364cm×182cm×30cmの実験水槽で、この中に湾中央に湾口幅40cmとなるように防潮堤がつけられ幅182cm奥行122cmの湾を設け、潮汐としてヘッドタンクを周期的に昇降させることにより正弦波を発生させた。粗度には、粗度高さ10mmと25mmの人工芝、および粗度高さ33mmのイボ型粗度を用いた。実験は、4種類の異なる粗度(粗度のない場合も含む)について、流況実験・瞬間点源拡散実験を行った。流況はスポンジのフロートを用い、また、メチレンブルー水溶液を図-1に示す3点(A, B, C)に投入し、それぞれ連続写真撮影を行った。なお、実験諸元および粗度係数は表-1に示す。

表-1 実験諸元および粗度係数

Factor	Scale	Proto type	Model
Distance	1/740	13.0m × 9.1m	182cm × 122cm
Water depth	1/100	15m	15cm
Tidal period	1/746	12hr 25min	60sec
Tidal range	1/100	2m	2cm

K_s (mm)	10	25	33
Proto type	0.0045	0.0055	0.0060
Model	0.018	0.022	0.024

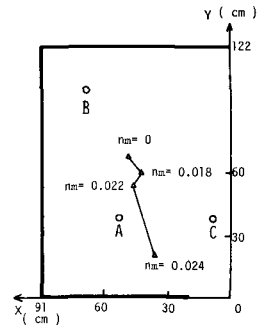


図-1 染料投入点および環流中心位置

3. 流況： 湾口を中央に設けたため、流れがほぼ左右対称となったので、湾の左半分だけについて考えた。流れのパターンは粗度に関係なく常に反時計回りの環流に支配されているが、湾口部の代表流速を調べると、粗度係数の増加に対して流速が減少するのは明らかで、環流の強さが減少することが認められた。図-1は湾口中央を原点にとり粗度係数をパラメータとして、上げ潮最盛時の環流の中心位置を示したもので、これによると粗度の増加に伴い中心位置は湾口による現象がみられ、特にその傾向は $n_m = 0.024$ の時に顕著であり、粗度が環流の特性に大きく影響することがわかる。

表-2 平均乱流度

n_m	Revc	2000	1000	800
0.018		0.66	0.94	0.95
0.022		0.48	0.89	0.91
0.024		0.36	0.70	0.76

4. 拡散： (1) 乱流度 潮流による物質の拡散は乱流拡散であるため、小規模の現象まで再現性があることを期待すべきであり、模型内においても時間的・空間的に乱流が支配的でなければならない。ここでは、樋口²⁾らにちなみ流れが時間的・空間的に乱流状態である割合を乱流度と名付け、それを調べた。図-2は鉛直レイノルズ数 $Rev = U\kappa/\nu$ (U は鉛直平均流、 κ は水深、 ν は動粘性係数) からみた時間的乱流度、また表-2には平均乱流度(空間的な乱流度)を示す。図から、粗度係数の増加に伴い湾中央付近から乱流度の値が減少していく傾向がみられる。一般に環流の強さは鉛直レイノルズ数に関与しているといわれており、流況図と比較しても、その傾向が認められる。また、粗度係数の増加に伴い乱流度の値は小さくなっているが、これは流速が減少すること

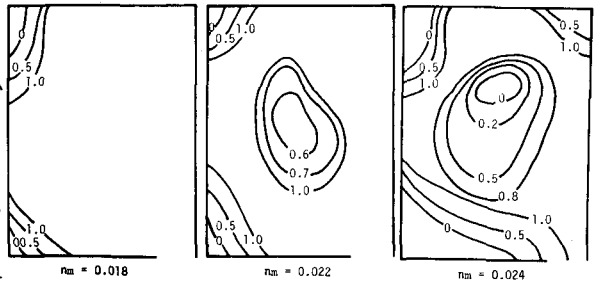


図-2 鉛直レイノルズ数による時間的乱流度 (Revc=1000)

と考えると明らかである。ただし、この場合境界レイノルズ数 Re_{bc} の与え方に問題が残るが、今回の実験の流れが鉛直レイノルズ数に依存していることから、表-2 より一応乱流域であると判断することができると考えられる。(2) 拡散係数 図-3は平野・杉浦による円形パッチ理論より求めたもので、横軸に染料の面積より求めた相当半径を、縦軸は拡散係数を示す。これによると、拡散係数は粗度に関係なくC点で最も大きく、続いてB点、A点の順に小さくなっている。また、C点では多少のばらつきはあるものの、だいたい1つの直線に沿うことがわかるが、A・B点ではばらつきが大きくC点のような傾向はみられない。そこで、環流域で望ましいと考えられている Joseph-Sender の仮説をA点に適用し、 $\ln(t_i/t_0)$ と $(r_0/t_i) - (r_i/t_i)$ の関係を図-4に表わすと、ほぼ直線に沿うことがわかる。したがって、今回の実験結果が環流水域の1つの特徴と考えることもできる。A点では流速が小さく、しかも湾口から湾奥への流れと、湾奥から湾口への流れの影響を受けて流向が激しく変化を受けるため、シア-分散の大きさが時間により変化し、この影響が拡散係数にばらつきを与えていると思われる。またC点では、ほぼ、多乗の線にしたがっている。これは、投入点Cが湾中央付近であり、左右の環流の影響を受けて幅方向の拡がりが大きく、しかも湾奥に進むにつれ、その傾向が強くなるためと思われる。また、A点と比べ拡散係数の値が大きいのも、この環流によるシア-分散の効果が強いためであろう。次に、C点について粗度の影響を考えてみると、粗度の増加に対して拡散係数の値も増加し、特に $\eta_m = 0.024$ では、その傾向が強く現われている。これは、明らかに乱れによる拡散の効果が強く現われたものと考えられる。図-5は、Gifford の方法に基づいてC点における拡散係数を水平分散から求めたもので、横軸は拡散スケールを示しており、各粗度における拡散係数の変化、あるいは粗度による値の違いが平野・杉浦の方法による結果と非常によく似ていることがわかる。流れが環流に支配されているような場合には拡散は等方性を有しないため、分散を用いて拡散係数を求める方が望ましいが、C点では左右の環流の影響を受け、染料が流れ方向だけでなく幅方向にもかなり拡がっており、等方性に近い拡がり方をするためによく似た結果が得られたものと考えられる。以上のことより、 $\eta_m = 0.022$ では流れの減少に伴うシア-分散効果の減少、また、 $\eta_m = 0.024$ では粗度係数の増加に伴う乱れ拡散の作用が顕著に現われ、粗度係数の大きいことにより、拡散現象に大きな変化を与えることが予測できる。

5. あとがき： 今回の実験は歪率 74.5 とかなり大きく、この影響も今後検討する必要があると思われる。また、フルードの相似則によったため、拡散に関して原型に換算して議論することは難しく、粗度係数の値にも問題が残る。最後に、多大の研究論文を提供していただいた、愛媛大学の樋口明生教授に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 樋口・柳： Tidal residual circulation に関する基礎的研究(Ⅱ), 京大防災研年報, 19号B, pp. 391~395, 1976.
- 2) 樋口： 潮流模型における乱流度に関する一考察, 京大防災研年報, 15号B, pp. 425~430, 1972.
- 3) 平野・杉浦： 河川流入のある内湾の塩分分布について, 東海工水産研報告, 第22号, pp. 1~15, 1951.

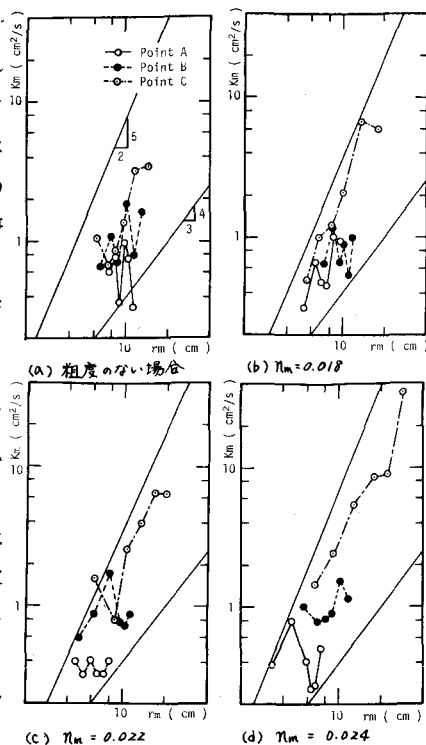


図-3 相当半径と拡散係数

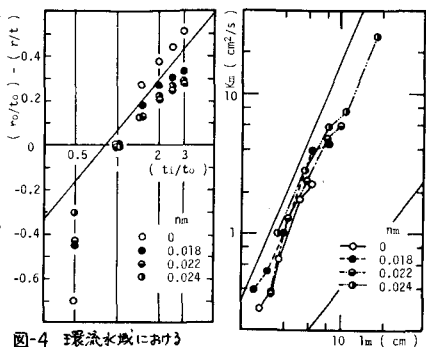


図-4 環流水域における $\ln(t_i/t_0)$ と $(r_0/t_i) - (r_i/t_i)$ の関係

図-5 長さスケールと拡散係数