

効果的な海水交換のための粗度配置に関する実験的検討

九州大学工学部 学生員 ○清水 崇 九州大学大学院 710-員 小松 利光
九州大学大学院 正会員 藤田 和夫 学生員 小橋 乃子 学生員 甲斐 一洋

1. 目的 閉鎖性内湾における水質問題を改善するために、著者らは底面粗度を用いた海水交換促進技術を提案している¹⁾。底面粗度とは海域の流況を制御するために用いられる構造物で、固有の形状特性によって残差抵抗力（粗度から流体に働く時々刻々の抵抗力を一潮汐平均したもの）を流体に与えることができる。この残差抵抗力を平面的にデザインすることで残差流の創造・制御が可能になる。

これまで、底面粗度として主流方向に残差抵抗力を生成する「主方向粗度」、主流方向と直交する向きに残差抵抗力を生成する「直交偏流型粗度」、任意の方向に残差抵抗力を生成する「任意偏流型粗度」という3種類の粗度が開発されている。従来の数値シミュレーションにおいて、これらの底面粗度の抵抗特性がモデル化され、流況制御能力や海水交換の促進効果が確認されている。しかしながら、実験的には人工島背部のような限られた条件下において主方向粗度の効果が確認されているに過ぎない²⁾。人工島があるような場合には構造物に沿った一方向流れが形成されやすく、流況制御に有効であるという知見も得られていることから³⁾、本研究では底面粗度の効果のみを抽出するより一般的なケースとして単純な矩形湾での実験を行った。次に、任意偏流型粗度を配置した場合の実験も行い、粗度なし、主方向の結果と比較することで底面粗度の抵抗特性の違いによる海水交換能と流況パターンの変化を調べた。

2. 粒子追跡実験の概要

(1) 実験装置 本実験で用いた実験水槽はプランジャータイプの潮汐発生装置と幅4m×奥行き6m×高さ0.32mの亚克力製水槽から構成されている。今回は水槽内に幅3m×奥行き4.5mの矩形湾を設定し、湾奥から3m×3mの領域に粗度を配置した(図-1)。本実験で用いた粗度形状は、主方向粗度、任意偏流型粗度とも1/4球型粗度(図-2)であり、いずれについても15cm×15cmの領域に1個の割合で海底に配置した。なお、主方向粗度は主流方向と粗度の中心軸が一致するように(図-3a)、任意偏流型粗度は、主流方向に対して45°傾けて配置した(図-3b; この時、残差抵抗力は主流から60°傾いて与えられる²⁾)。

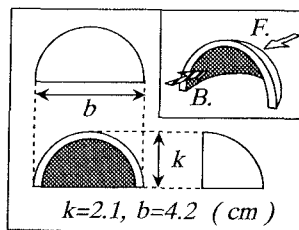


図-2 1/4球型粗度

(2) 実験方法 潮汐条件を干満差 $2a = 4.0\text{cm}$ 、周期 $T = 120\text{s}$ として与え、潮汐変動がほぼ定常状態に達した後、最湾奥部の領域に浮標(直径約5cmの半球型)を同時に投入した。粗度設置領域の中央断面上に浮標カウトラインを設け、各周期の満潮時にカウトラインより湾奥側の領域(1.5m×3m)に残る浮標の個数を計測し、初期投入個数に対する残存率を算出した。また、浮標の流動状況を把握するためビデオ撮影も行った。なお、粗度高さが水深の2割程度となるように、平均水深を10.5cmに設定した。

3. 底面粗度による物質輸送促進効果の検証 粗度なし、主方向粗度、任意偏流型粗度についてそれぞれ3回ずつ実験を行い、それぞれの平均浮標残存率を算出した(図-4)。この結果から主方向、任意偏流型

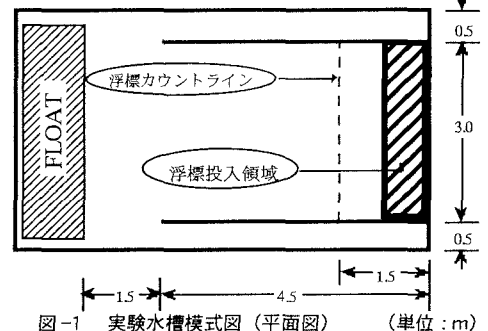
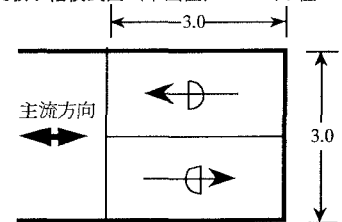
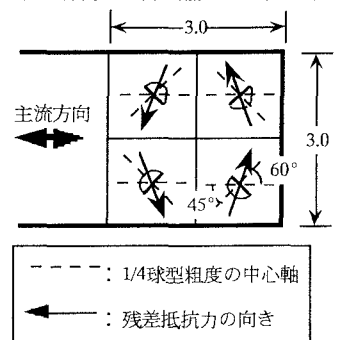


図-1 実験水槽模式図(平面図) (単位:m)



a) 主方向型粗度の配置 (単位:m)



b) 任意偏流型粗度の配置 (単位:m)

図-3 底面粗度の配置状況

とも、粗度なしに比べて明らかな物質輸送の促進効果が認められる。もともとが開放性の湾であるため、粗度なしにおいても残存率の低下が見られたが、これは定常的な残差流というよりもむしろ傾向性のないランダムな流出であった。これに対し、主方向粗度を用いた実験では、ばらつきながらも反時計周りに移動する様子が観測されている（図-5a）。このことから、人工島がないような開放性の海域に主方向粗度を配置するだけで残差流を生成することができ、湾奥の物質輸送を促進できることが分かった。

また、任意偏流型の残存率を見ると、主方向粗度よりも更に物質輸送能力が強化されていることが分かる。このことは、任意偏流型粗度の残差抵抗力が主方向より大きく（約1.6倍）、粗度の配置個数は同じでも、強い残差環流が生成されていたためであると考えられる。このような結果は粗度の抵抗特性を組み込んだ数値計算においても確認されている。

次に、主方向粗度と任意偏流型粗度によって形成される流況パターンを比較すると（図-5a, b）、任意偏流型の場合には粗度設置領域内で小さく閉じているのに対し、主方向粗度は設置領域を越える大きな渦を形成していることが分かる。このことは、任意偏流型粗度による残差抵抗力が環流を形成するように閉じて与えられているのに対し、主方向粗度では反時計周りのトルクとして残差抵抗力が与えられているだけで、どこで環流が閉じるかは潮汐運動や湾形状に起因しているといった違いから生じているものと考えられる。

以上のことから、同じ領域に同じ個数の底面粗度を配置しても、その抵抗特性によって残差環流の強さ、スケールとも大きく異なることが明らかとなった。従って、これらの底面粗度の特徴を十分に把握し、上手な組み合わせを行うことによって、より効果的・効率的な物質輸送の促進が期待できる。

4. 結論 本実験により以下の様な知見が得られた。

- ・単純な矩形湾においても底面粗度を配置することによって残差流を生成することができ、湾内の物質輸送が促進される。
- ・主方向粗度、任意偏流型粗度の2種類の底

面粗度を用いて残差環流の生成を試みた結果、環流の強さは任意偏流の方が強いが、スケールは主方向の方が大きいという数値計算と同様の傾向が見られた。

参考文献

- 1) 小松ら：方向性を持つ底面粗度を用いた潮汐残差流の創造と制御，水工学論文集，41，PP.323-328，1997.
- 2) 小松ら：任意の方向に潮汐残差流を創造するための偏流型粗度の開発，水工学論文集，43，PP.833-838，1999.
- 3) 小橋ら：人工底面粗度の設置による海水交換能力の実験的検証，年講概要集第2部，52，PP198-199，1997.

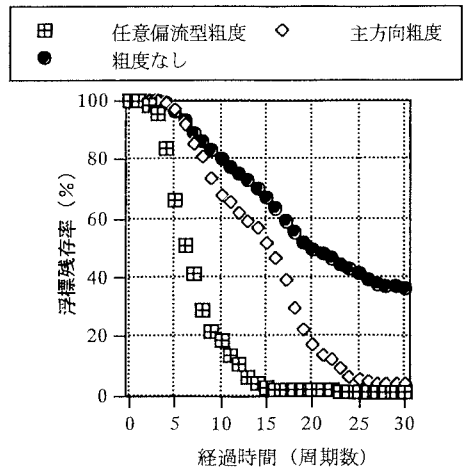


図-4 平均浮標残存率の経時変化

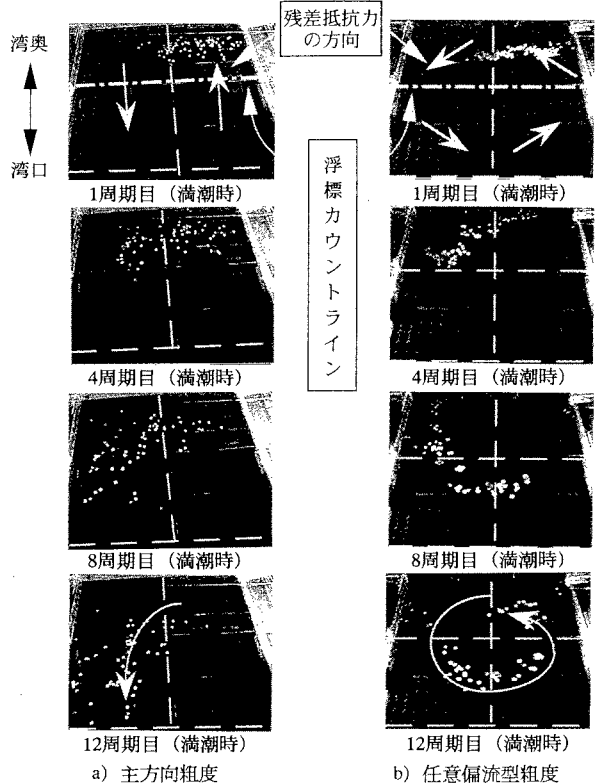


図-5 浮漂流出状況（湾口側から湾奥部を撮影）