

流況制御のための海底粗度ブロックの有効な配置方法についての検討

九州大学 学生員 ○神山 泰 小橋 乃子 甲斐 一洋
九州大学大学院 フェロー 小松 利光 正会員 安達 貴浩 藤田 和夫

1. 目的

閉鎖性内湾における水質問題を改善するために、海底に海底粗度ブロック(以下、粗度と呼ぶ)と呼ばれる構造物を設置し、内湾と外海との海水交換を促進する技術¹⁾が提案されている。海底粗度ブロックとは流れの向きによって抵抗の異なる構造物で、流れやすい方向(順流方向)と流れにくい方向(逆流方向)の抵抗差によって往復流場での流況制御が可能となっている。

本手法を実海域に適用する際、経済性や対象場の地形的特徴によって配置個数が制限されることが考えられるため、効率の良い粗度配置を行うことが重要な意味を持つてくる。そこで本研究では、効率的な流況制御を実現する粗度配置を調べることを目的として粗度の配置間隔に着目した室内実験を行った。

2. 粗度の配置パターンと γ_b^2 の関係

粗度の配置パターンの違いが残差流生成能力に及ぼす影響について調べるため、まず、抗力測定実験A, Bを行った。実験Aは最も単純な配置パターンである等方配置について調べた実験で、粗度間隔を5, 7.5, 10, 15, 20, 25cmの6通りに変化させた。また、実験Bでは単位面積当たりの粗度密度が一致するような3ケースの配置パターンに対して抗力測定実験を行った。各ケースの粗度配置は、Case1:等方配置($\lambda_L = \lambda_T$; 図-1(a)), Case2:流れと直交方向に密に配置した場合($\lambda_L : \lambda_T = 4 : 1$; 図-1(b)), Case3:流れ方向の配置を密にした場合($\lambda_L : \lambda_T = 1 : 4$; 図-1(c))となっている。ここで、 λ_L , λ_T はそれぞれ、流れ方向の粗度間隔、流れと直交する方向の粗度間隔を表している。実験は小松²⁾と同様の直線開水路(全長600cm, 幅50cm, 高さ50cm)を用い、水路の上流端から365cmの位置に設置された三分力計を用いて測定板上の群体粗度に作用する流体力を測定した。実験に使用した粗度はすべて高さ $k = 2.1$ cm, 幅4.2cmの1/4球型粗度で、三分力計から上流側に125cm, 下流側に75cmの範囲に粗度を配置した。また、実験条件をレイノルズ数 $Re \approx 6.5 \times 10^4$, 相対水深 $h/k = 7.0$ (水深 $h = 14.7$ cm)に固定して順流方向、逆流方向の抗力をそれぞれ3回ずつ測定した。それらを平均した群体の抗力から下に示す式を用いて海底摩擦係数を算出した。

$$\frac{\tau}{\rho} = \gamma_b^2 u |u|$$

ここで、 τ : 群体粗度に作用する単位面積当たりの抗力, ρ : 水の密度, u : 断面平均流速である。

実験Aの結果を図-2に示す。群体粗度のもつ残差流生成効果の代表量である $\Delta \gamma_b^2$ は、 $\lambda/2k = 1.2$ で最大値を取り、 $\lambda/2k$ が大きくなるにつれて減少傾向を示すことが分かる。しかしながら、 $\lambda/2k = 3.0 \sim 6.0$ では単位面積当たりの粗度個数が減少しているにも拘わらず、 $\Delta \gamma_b^2$ の値はほぼ一定を示すことから、この範囲内では $\lambda/2k \approx 6.0$ が最も効率的な粗度間隔であることが分かった。

ところで、粗度の配置間隔が大きくなると単位面積当たりの粗度個数が減少するため γ_b^2 も減少傾向を示すはずである。しかし、 $\lambda/2k = 3.0 \sim 6.0$ の範囲では順流、逆流どちらの方向についても γ_b^2 は一定となり、単体の粗度もたらす抗力が大きくなっていることを意味している。この要因として、

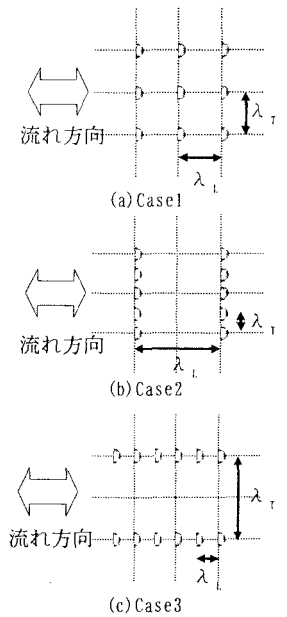


図-1 Case2の粗度間隔

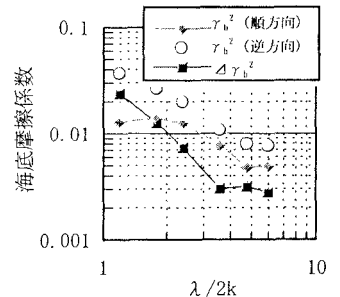


図-2 実験Aの結果

は単体粗度の生成する抗力がCase2, 1, 3の順に大きくなっていることを意味している。流れ方向の粗度間隔 λ_L に注目するとこの順に広がっていることから、流れ方向の粗度間が狭くなるに連れて相互干渉が起り、抵抗が小さくなっている事がわかる。従って、以上の結果から、群体の粗度の抵抗は幅方向の影響よりも流れ方向の特性に大きく影響を受けている可能性が高い。一方、 r_b^2 の値は順流方向と逆流方向の相対的な関係から決定されるため、本実験の結果ではCase3の粗度配置が最も大きくなることが分かった。

3. 海水交換促進効果の比較

海底摩擦係数による配置間隔の議論では、配置間隔の違いが平面的な残差流のデザインに及ぼす影響を評価することができない。そこで、平面二次元水槽において配置間隔を実験BのCase1~3と変化させ、浮標の流出状況ならびに残差流パターンの違いを平面水槽における実験によって調べた。実験は幅4m×奥行き6m×高さ0.32mの平面二次元水槽中に設けられた幅3m×奥行き4.5mの矩形湾を対象に行った(図-4)。潮汐条件は周期120秒、干満差40mmで、平均水深を10.5cmとし粗度模型の高さととの比が5:1となるようにした。いずれのCaseでも湾奥から3m×3mの領域に反時計回りに残差環流が生成されるよう粗度を配置し、湾奥1m×3mの領域に投入された288個の浮標が最湾奥から1.5mの領域に残る量によって海水交換率を算定した。更に、浮標の移動状況をビデオ撮影し、それぞれの粗度配置によって生成された残差環流の特性を調べた。図-5の結果を見ると、Case2の30周期後の残存率がCase1, Case3に比べて低くなっており、Case2が海水交換に最も効率的な配置であったと思われる。しかしながら、この結果に反して実験AではCase3の方が残差流生成能力が高いという結果が得られていた。そこで、Case2とCase3の浮標追跡結果(図-6, 7)を見ると、Case2に比べてCase3の方が幅方向の残差流が強く、大きな軌跡を描いて移動していることがわかる。この結果から、残差抗力が最も大きいCase3の場合でも、流体粒子の移動経路と残存率の定義の仕方の兼ね合いによって、必ずしも効果的な配置となるわけではないと言える。

4. まとめ

本研究により、単位面積当たりの粗度個数が同じでも粗度配置によっては、効率的に残差抗力を生成できることが分かった。また、粗度配置より残差流のパターン自体も変化する可能性があることが分かった。

参考文献

- 1) 方向性をも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, 第41巻, pp323-328
- 2) 流れを偏向させる働きをもつ偏流型粗度を用いた潮汐残差流の創造, 第42巻, pp577-582

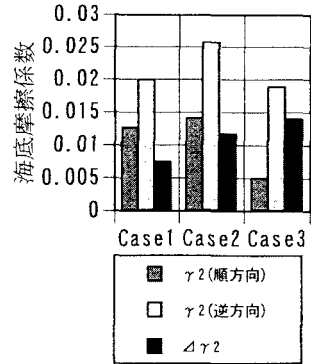


図-3 海底摩擦係数の比較

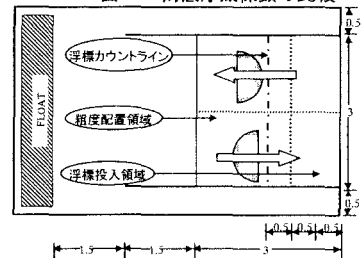


図-5 実験水槽模型図 (単位: m)

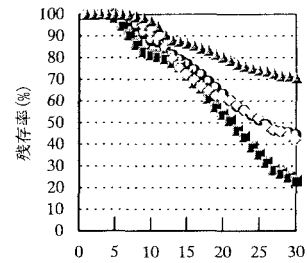


図-6 各配置パターンについて
の全領域平均残存率

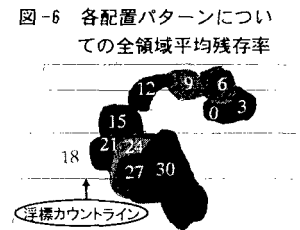
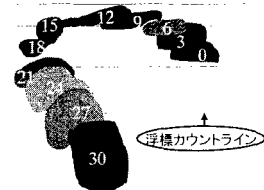


図-7 領域Aに投入された
浮標の分布の様子(Case2)



*但し、数字は経過周期を表す
図-8 領域Aに投入された
浮標の分布の様子(Case3)