

潮汐残差流制御のための有効な粗度配置に関する基礎的検討

九州大学大学院 学生員 ○小橋 乃子 和田 真人

九州大学工学部 フェロー 小松 利光 正会員 安達 貴浩

1. はじめに 本研究で扱う底面粗度とは、潮汐残差流を創造・制御するために海底に沈設される小規模構造物の総称であり、これまで主方向粗度¹⁾、偏流型粗度^{2),3)}という2種類の底面粗度が考案され、室内実験により既に有効な粗度形状がいくつか明らかとなっている。主方向粗度とは主流（潮流楕円の長軸方向）方向に大きな抵抗差をもつもので、各時刻の抗力を一潮汐平均して得られる残差抗力ベクトルが主流方向に作用する構造物となっている。一方、偏流型粗度は主流と異なる方向に残差抗力ベクトルを付与する構造物であり、その中でも主流と直交する方向に潮汐残差流を偏向させる働きをもつ粗度を直交偏流型粗度と呼んでいる。これまでの研究結果から、主方向粗度を主流に対して傾けて配置することで偏流型粗度としても活用できることが分かっており³⁾、主流の流向に拘わらず、ほぼ全方向に残差抗力を付与することが可能となっている（図-1参照）。

以上のような各底面粗度を組合わせて用いることで、より効率的な潮汐残差流の流況制御が期待される。本研究では矩形モデル湾を対象に平面2次元潮流シミュレーションを行い、粗度の組合わせによる潮汐残差流ベクトルの生成効率について簡単な考察を行った。

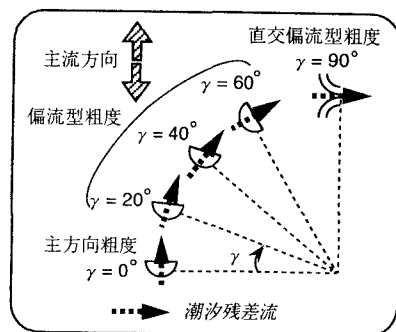


図-1 各底面粗度と残差抗力ベクトルの関係

2. 各底面粗度の組合わせによる流況制御 各底面粗度を組合わせて用いることのメリットとして、潮汐残差流のパターンを自由にデザインできるという点が挙げられるが、同時に生成したい残差環流に沿って設置することにより残差流を直接強化できることから、効率自体も良くなると考えられる。そこで偏流型粗度による残差流生成能力を調べるため、10×10 km²の内湾と10×30 km²の外海をもつ矩形モデル湾を対象とした平面2次元潮流シミュレーションにより検討を行った（図-2参照）。計算条件は計算格子間隔 $\Delta x = \Delta y = 500(\text{m})$ 、時間格子間隔 $\Delta t = 15(\text{sec.})$ 、渦動粘性係数 $100(\text{m}^2/\text{sec.})$ 、コリオリ係数 $0(1/\text{sec.})$ 、粗度なしの海底摩擦係数 0.0026 とした。境界条件は開境界B-Cで振幅2(m)、周期12時間25分の正弦波を与え、外海の開境界A-B, C-Dで $U=0, dV/dx=0$ を、壁面境界上ではno-slip条件を与えている。また、底面粗度の抵抗力の効果は外力項として運動方程式に組み込まれており、その大きさと方向は潮流の向きと抵抗力の関係の室内実験結果を用いることによって、各計算点の流向・流速からその都度決定された²⁾。

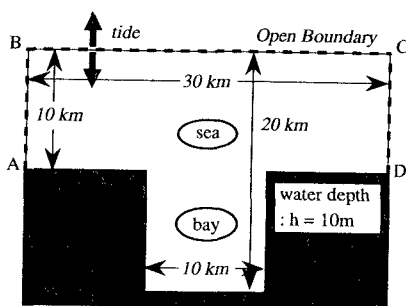


図-2 計算領域（平面図）

計算を行った4種類の粗度配置図を図-3に示す。Type1、3は主方向粗度のみ（1/4球型を想定、粗度高さ2m）を、Type2は主方向粗度と偏流型粗度のみ（1/4球型を想定、粗度高さ2m）を配置したものである。また湾幅とはほぼ同じスケールの残差環流の生成を意識しながらType4では主方向、偏流型、直交偏流型（1/4円筒2重型粗度を想定、粗度高さ2m）の3種類の粗度が配置された。各粗度配置に従って1計算メッシュあたり200個の粗度を配置した場合（1250 m²に1個の割合で配置）の潮汐残差流の計算結果のベクトル図および流線図を図-4に示す。

Type1は主方向粗度のみを用いていることから、湾内に縦長の潮汐残差環流が生成されている。湾奥部、湾口付近では連続条件を満たすように横向きの潮汐残差流が生成されており、残差抗力ベクトルの向きと一致

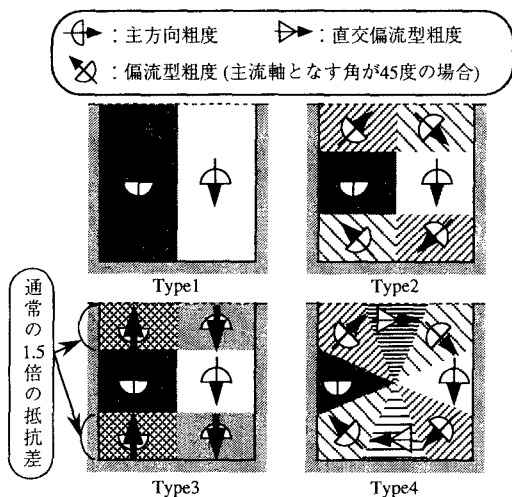


図-3 粗度配置図 (10km×10kmの湾内のみ敷設)

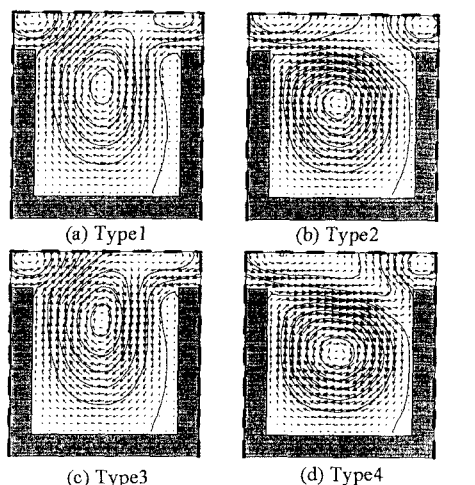


図-4 潮汐残差流のベクトル図・流線図

しないことから効率の悪い環流生成であることが予想される。そこで、主方向粗度に45度の偏流型粗度を組合わせたType2の計算結果を見ると、偏流型粗度の働きによりほぼ湾スケールの環流が形成されていることが分かる。また、残差流ベクトルの大きさ自体も強化されている。

得られた結果から粗度配置領域内 (矩形湾内10×10 km²) における残差流ベクトルの絶対値の空間平均値 $\sqrt{v^2}$ を算定し、底面粗度の潮汐残差流生成効率を表す指標として用いた。その際、1メッシュ当たり ($\Delta x = \Delta y = 500\text{m}$) に設置する粗度の個数を変化させ、各粗度配置についての比較を行った (図-5参照)。Type1とType2を比較すると、Type2の方が大きな残差流が生成されており、効率の良い配置であることが分かる。しかし、1/4球型粗度は主方向粗度として用いられる時よりもむしろ主流方向から約40°から60°傾けて設置された方が1.5倍ほど大きな残差抗力を生成するため³⁾、残差流が強化された理由が抵抗差が大きくなったことによるものか、偏流型粗度によって効率的な流況制御が行われたためなのかを判断することはできない。そこで粗度配置Type2における偏流型粗度の配置領域に相当するType1の領域の主方向粗度の抵抗差を1.5倍することにより両者の残差抗力をほぼ一致させて計算を行った (Type3)。その結果、Type1よりはType3の方が大きな残差流ベクトルが生成されているものの、Type2と比較するとその効果は低くなっている。これは主方向粗度のみの一方向の制御では設定方向以外の残差流も生成されることになり、効率が悪くなるためと考えられる (図-4参照)。従って偏流型粗度を用いて、潮汐残差流を生成したい方向に残差抗力ベクトルを作用させることにより、効率的な残差流生成ができることが明らかとなった。更に、主方向粗度、直交偏流型粗度および任意方向の偏流型粗度を全て組み合わせたType4の結果を見るとType2の環流は更に強化され、Type1 (主方向粗度のみ) では400個近く用いてやっと生成される残差流レベルでもType4の配置では半分程度の数で生成できることが分かった。

3. 結論 本研究の結果、主方向粗度と偏流型粗度を組合せて用いることにより潮汐残差流の生成効率を飛躍的に向上できることが平面2次元数値シミュレーションより明らかとなった。

参考文献) 1)小松ら, 水工学論文集, 41, PP. 705-710, 1997. 2)小松ら, 水工学論文集, 42, PP. 577-582, 1998.

3)小松ら, 水工学論文集, 43 (投稿中)

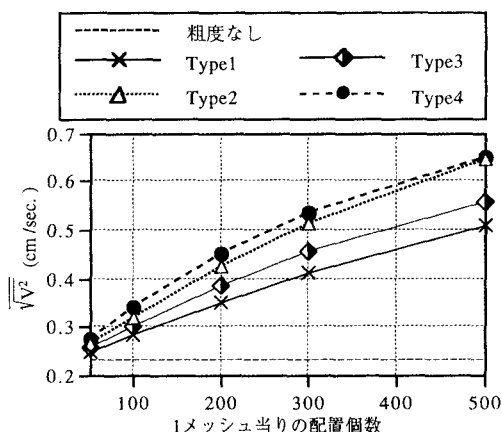


図-5 粗度配置密度と環流強度の関係