

II-53

大海域における流れの三次元数値計算

八戸工業大学 学生員○松本 祐司

正会員 佐々木幹夫

1. 研究目的

本研究の最終目的は、青森県の太平洋沿岸における、流れの特性を調べることににより、漂砂及び海岸線の侵食、また、ヤマセ、さらには漁業への影響などを調べることである。この海域には津軽海峡を抜けて南下する寒流（津島対流）と北海道釧路沖海域より南下する寒流（親潮）が到達しており複雑な流れとなっている。

そこで日本海から津軽海峡を抜けて太平洋に入ってくる流れの特性を、数値計算（有限要素法）で三次元的に調べることにした。

2. 従来の研究

従来の研究では、要素を水平方向にしか分割せずに流れの計算をしていたために、各節点においての水深による流速の違いや、流れの方向を明らかにすることができず、すべての深さの流速及び流向の平均値しか求めることができなかった。そのために、特に流速に関しては流れの速い海面部分や流れの遅い海底部分の流速をうまく表現できず、任意の深さの流速を求める場合などには3次元的に数値計算を行い、より正確に表現する必要がある。

また、本研究では有限要素法を用いているために、対象領域を有限の要素で分割する必要がある。この要素の分割においてもこれまで以上に細かくして計算を行っているため、今まで以上に詳しく正確な計算結果が期待できる。

3. 基礎方程式

本研究で用いた運動量及び連続の式を以下のように示す。

$$\frac{Du}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right) + f_v \quad \text{——— ①}$$

$$\frac{Dv}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} \right) - f_u \quad \text{——— ②}$$

$$0 = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g \quad \text{——— ③}$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad \text{——— ④}$$

ここに、 $D/Dt = \partial/\partial t + u\partial/\partial x + v\partial/\partial y + w\partial/\partial z$ で示される微分演算子、 x, y は水平面内にそれぞれ東向き及び北向きにとった座標軸、 z は鉛直面上向きに取った座標軸を示し、 u, v, w はそれぞれ x, y, z 方向の流速成分を示す。 ρ は海水の密度、 τ_{ij} は各方向にかかるせん断力、 f はコリオリ係数（ $2\omega \sin \phi$ ）、 ω は地球の自転の角速度、 ϕ は緯度であり、 h は平均水深、 ζ は潮位で、平均水面からの鉛直変位を示す。

また、本研究では基礎方程式①～④を直交座標（ x, y, z, t ）から σ 座標（ x^*, y^*, σ, t^* ）に変換して計算を行うことにする。ここに $x^* = x, y^* = y, \sigma = (z - \zeta) / (h + \zeta), t^* = t$ としている。 σ 座標とは、大気や海洋の流れの数値計算などに用いられており、海面の垂直方向の座標を0、すべての地点における海底の鉛直方向の座標を-1とおく。これにより、鉛直方向は、0から-1の間での相対水深で簡単に、かつ海底地形に沿った層の分割が可能となるため、より精度のよい数値計算が可能となる。したがって、津軽海峡のような海底の地形が複雑な領域を対象とした場合においては特に有効で、フラ

ックスの連続性も保たせることができるため、大海域を対象とした数値計算を行う場合には適している。

4. 境界条件

本研究の数値計算においての各境界条件を以下のように示す。

海境界 強制的に水位及び流速を与えることができるようにする。ただし、本研究において強制流速は与えていない。流速はすべての方向に流れることができるようにする。

陸境界 法線方向の流速が0となるようにする。

海底境界 σ 方向の流速が0となるようにする。すなわち、 $w(x, y, -1, t) = 0$ である。

海面境界 σ 方向の流速が0となるようにする。すなわち、 $w(x, y, 0, t) = 0$ である。

なお、底面応力は、 n 層においての流速を用いて、 $\tau_{\sigma i, n} = \rho_n C_f (u_n^2 + v_n^2) u_{i, n}$ 、抵抗係数は n 層の中心の高さ z_n と粗度長 z_0 を用いて $C_f = k^2 (1/n(z_n + z_0)/z_0)^{-2}$ である。ここに、 k とは、任意の層を表している。また、海面については、風などの外力による影響を考慮せずに計算している。

5. 計算について

計算を行うために用いた潮位は、八戸港及び深浦港の潮位データを使用した。すなわち、津軽海峡の太平洋側の潮位変化には八戸の潮位記録を、日本海側の潮位変化には深浦の潮位記録を代用して入力してある。また、データは流れの傾向がはっきりと分かるように1995年のデータの中から、満潮時と干潮時で潮位の変化が大きかった9月10日～9月13日の値を採用して4日分計算した。

この潮位データを用いて計算を始めた場合、始めは各節点における流速及び水位は全て0となっているため、流れや水位の周期変化が定常状態となるよに予備計算を行う必要がある。予備計算には9月10日のみの潮位データを用いて各節点における流速及び水位の値がほぼ定常状態となるまで数周期分計算し、その後本計算を行った。

6. 計算結果について

図1に従来の研究による満潮時及び干潮時の流況図を示す。三次元数値計算により求められた結果については十分検討した上で、東北支部技術研究発表会において報告を行うこととする。

参考文献

- 1) 平山彰彦・和気亜紀夫・熊谷道夫(1994)：成層流域を対象にした3次元FEMモデル、海岸工学論文集第41巻、pp.301-305.
- 2) 多部田茂・藤野正隆(1994)：東京湾の恒流と密度場の変動に関する数値計算海岸工学論文集第41巻 pp.306-310.

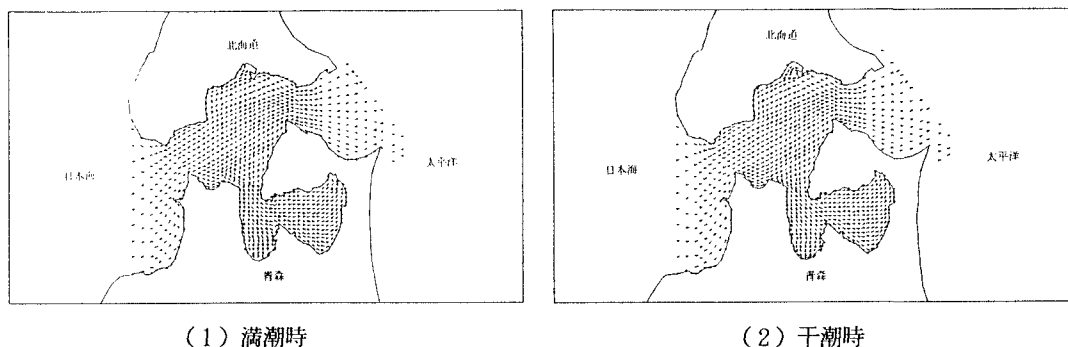


図1 流況図