

II-405

一般曲線座標系を用いた準3次元モデルによる播磨灘の流動解析

大阪工業大学大学院 学生員 松田如水 水資源開発公団 正員 柳生光彦
大 阪 府 正 員 畑 志野 大阪工業大学工学部 正員 綾 史郎

1. はじめに 本研究は、一般曲線座標系を用いた準3次元数値解析モデルとそれを用いた播磨灘海域における数値解析結果について述べたものである。すなわち、本研究では、地形に沿った数値格子網を扱うことが可能で、対象領域の複雑な地形を比較的正確に表現でき、従来のデカルト座標系に比べ計算機の容量や計算時間および境界条件の取り扱いに関して有利である一般曲線座標系を用いたモデルと、計算時間の短縮のためにMode Splitting法を用いた数値解法を提案する。すなわち、水深平均流速 $\bar{\phi}$ を平面2次元モデルにより求め(外部モード計算)、3次元流速 ϕ をその偏差 $\phi'' = \phi - \bar{\phi}$ により求めて(内部モード計算)、3次元解析を行う。

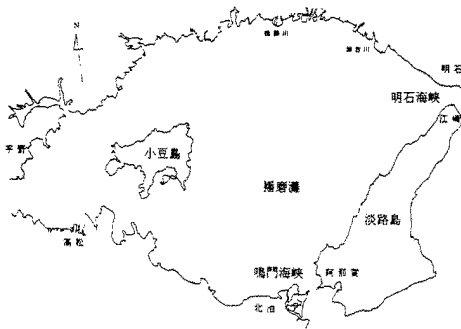


図-1 播磨灘の地形図

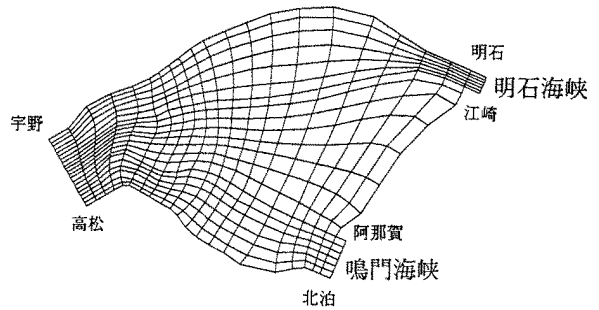


図-2 数値計算で用いた格子網

2. 基礎方程式 本研究で用いた静水圧分布仮定とBoussinesq近似を適用した海域の3次元流動の基礎式を以下に示す。なお、水平面内に一般曲線座標 ξ_1, ξ_2 を、鉛直方向に鉛直上向きのデカルト座標 $\xi_3 = z$ を用いた。

・連続式

$$\frac{\partial}{\partial \xi_1} \left(\frac{u^1}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi_2} \left(\frac{u^2}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi_3} \left(\frac{u^3}{J} \right) = 0 \quad (1)$$

・ ξ_1 軸方向の運動方程式(u^1 の方程式)

$$\begin{aligned} \frac{\partial u^1}{\partial t} = & J^2 \frac{\partial x_1}{\partial \xi_2} \left[\frac{\partial}{\partial \xi_1} \left(\frac{1}{J} \frac{\partial x_2}{\partial \xi_1} u^1 u^1 + \frac{1}{J} \frac{\partial x_2}{\partial \xi_2} u^1 u^2 \right) + \frac{\partial}{\partial \xi_2} \left(\frac{1}{J} \frac{\partial x_2}{\partial \xi_1} u^1 u^2 + \frac{1}{J} \frac{\partial x_2}{\partial \xi_2} u^2 u^2 \right) \right] \\ & - J^2 \frac{\partial x_2}{\partial \xi_2} \left[\frac{\partial}{\partial \xi_1} \left(\frac{1}{J} \frac{\partial x_1}{\partial \xi_1} u^1 u^1 + \frac{1}{J} \frac{\partial x_1}{\partial \xi_2} u^1 u^2 \right) + \frac{\partial}{\partial \xi_2} \left(\frac{1}{J} \frac{\partial x_1}{\partial \xi_1} u^1 u^2 + \frac{1}{J} \frac{\partial x_1}{\partial \xi_2} u^2 u^2 \right) \right] \\ & - \frac{\partial w u^1}{\partial z} + J^2 \left[\frac{\partial x_2}{\partial \xi_2} \left(\frac{\partial}{\partial \xi_1} \frac{\tau^{11}}{J \rho_0} + \frac{\partial}{\partial \xi_2} \frac{\tau^{12}}{J \rho_0} \right) - \frac{\partial x_1}{\partial \xi_2} \left(\frac{\partial}{\partial \xi_1} \frac{\tau^{21}}{J \rho_0} + \frac{\partial}{\partial \xi_2} \frac{\tau^{22}}{J \rho_0} \right) \right] \\ & + \frac{\partial}{\partial z} A_v \frac{\partial u^1}{\partial z} - g J^2 \left(G_{22} \frac{\partial \zeta}{\partial \xi_1} - G_{12} \frac{\partial \zeta}{\partial \xi_2} \right) + g J^2 \left(G_{22} \frac{\partial D_{en}}{\partial \xi_1} - G_{12} \frac{\partial D_{en}}{\partial \xi_2} \right) \\ & + f J (G_{12} u^1 + G_{22} u^2) \end{aligned} \quad (2)$$

$$Den \equiv \frac{1}{\rho_0} \int_s^{\zeta} \Delta \rho dx_3 \quad \Delta \rho = \rho_0 - \rho \quad G_{12} \equiv G_{21} \equiv \left(\frac{\partial x_1}{\partial \xi_1} \frac{\partial x_1}{\partial \xi_2} + \frac{\partial x_2}{\partial \xi_1} \frac{\partial x_2}{\partial \xi_2} \right) \quad G_{22} \equiv G_{11} \equiv \left(\frac{\partial x_1}{\partial \xi_2} \right)^2 + \left(\frac{\partial x_2}{\partial \xi_2} \right)^2$$

ここに、 u^1, u^2 : それぞれ ξ_1 軸方向の計算面での3次元流速、 u^3 : z 軸方向の3次元流速、 g : 重力加速度、 J : Transformation Jacobian、 ζ : 水位、 τ^{ij}/ρ_0 : ξ_i 軸に垂直な面に作用する ξ_j 軸方向の渦動粘性応力、 A_h, A_v : それぞれ水平、鉛直方向の渦動粘性係数、 f : コリオリ係数である。 ξ_2 軸方向の方程式と連続式は省略する。実際の計算にあたっては、(1)、(2)を水深積分し平面2次元モデルを得るとともに、(2)より平面2次元モデルの基礎式を差し引き、偏差流速 $u^{1'}$ の方程式を得て、これらを解く。

3. 解析方法 対象領域は図-1に示す播磨灘海域である。この海域を図-2に示すように ξ_1 方向に20分割、 ξ_2 方向に20分割し、2-5kmの大きさの一般曲線格子を構成した。また、 z 方向には水深30mの様な海底と仮定し、10.0mごとに区切った上層・中層・下層の3層モデルを考え、上層の上面をT.P. ± 0.0 mとした。境界条件として、明石海峡で明石の潮位、鳴門海峡で北泊の潮位、備讃瀬戸で宇野の潮位を ξ_2 方向に一樣に、1時間ごとに14日分与え、その間は1次関数で内挿補間した。なお、今回の計算ではコリオリ力を無視した。

4. 数値解析の結果と考察 図-3は明石での大潮のほぼ満潮時における流速ベクトル図を示したものである。全体的に西に向かう流れが見られる。また上層と比較すると下層での流れはほとんどなくなっている。図-4は同日の前後3時間の上層流速ベクトル図を示したものである。3時間前では、ほぼ満潮時と同じ西に向かう流れが生じているのに対し、3時間後では、東向きの流れが見られ、宇野での流速は減少している。図-5は同日前後3時間における等水位図を示しており、1cm刻みである。明石海峡、鳴門海峡、備讃瀬戸付近では、流れ方向と垂直な等水位線が生じている。

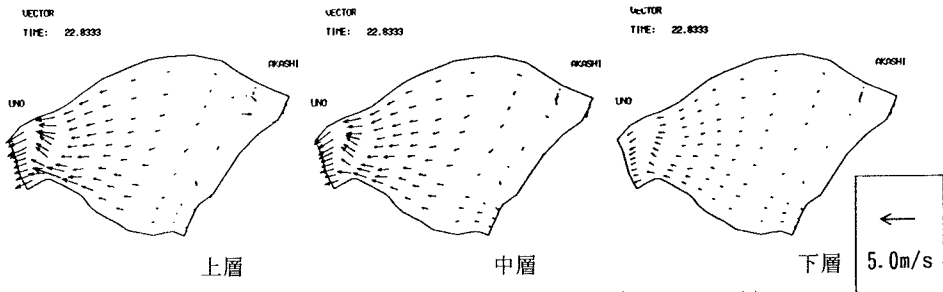


図-3 上層・中層・下層の流速ベクトル図(1990年1月9日19時)

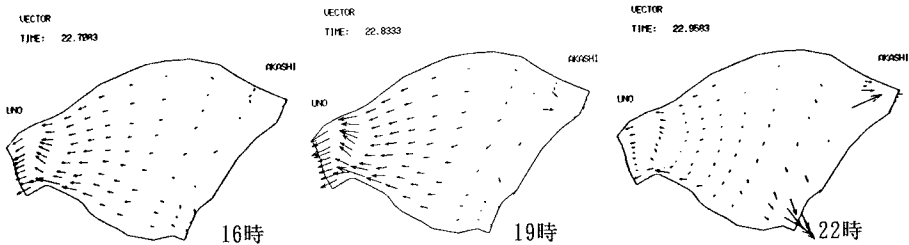


図-4 上層流速ベクトル図(1990年1月9日)

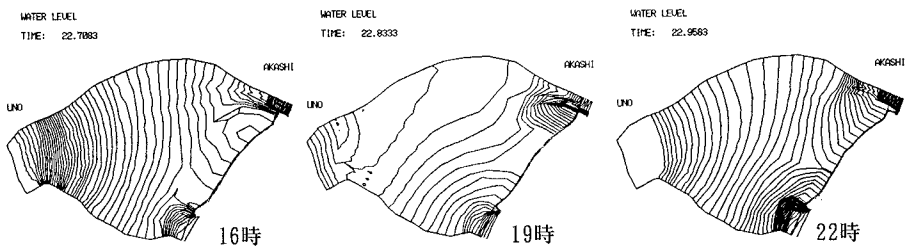


図-5 等水位図(1990年1月9日)

5. おわりに 今後の課題としてコリオリ力の導入、小豆島や海底等の地形を考慮し、3次元解析の精度を高めていく必要がある。また、本研究で示した流れの基礎方程式に生態系の数値モデルを加えて一般曲線座標系による数学モデルを構成し、速度場とともに水質指標の濃度場を解析し、数値解析結果と実測値を比較検討することにより海域の富栄養化モデルの適用性を検討したいと考えている。

参考文献：・ 綾史郎・吉田大・柳生光彦：“一般曲線座標系による淀川大堰上流水域の3次元数値モデル”，土木学会第49回年次学術講演会講演概要集，pp. 116-117, 1994。