

(Ⅱ - 44) 東京湾における流れ及び水質の数値解析

東洋大学 工学部 学生員 秋山 浩一
 東洋大学 工学部 学生員 前田 博勝
 東洋大学 工学部 正 員 福井 吉孝
 佐藤工業(株) 正 員 児玉 敏雄

1. はじめに

河口・内湾域は、快適な生活環境を与えると同時に多くの魚介類などの生産の場であった。しかし、近年わが国の多くの沿岸域の集水域には人口が密集し、人間環境や魚介類に対して大きな影響を与えている。このような状況に対し、人間にとって望ましい環境を再生、創造することが試みられている。その為には、そこで生じている現象の把握が必要であり、数値解析は有力な現象の把握、予測方法である。そこで本研究では日本の代表的な内湾である東京湾を例に取り上げて、東京湾の流れ、水質を解析し、その結果を示した。

2. 支配方程式

三次元ナビエーストックス方程式とオイラーの連続方程式から浅水長波方程式を導き、有限要素法を用いて解くことにより流れの速度、方向を得ることができる。

基礎方程式は、多層モデル(5層)を考慮した浅水長波方程式を用いる。

$$\frac{\partial u_i^{(k)}}{\partial t} + u_i^{(k)} u_{i,j}^{(k)} + \frac{1}{h^{(k)}} \{ (u_i w)^{(k-1/2)} - (u_i w)^{(k+1/2)} \} \quad (1)$$

$$+ \frac{1}{\rho^{(k)}} p_{,i}^{(k)} - f \epsilon_{ij} u_j^{(k)} = \frac{1}{\rho^{(k)} h^{(k)}} \{ h^{(k)} \tau_{ij}^{(k)} + (\tau_{ij}^{(k)} u - \tau_{ij}^{(k+1)}) \}$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \sum_{i=1}^b (h^{(i)} u_i^{(i)}), i=0 \quad (2) \quad w^{(k)} = - \sum_{i=1}^b (h^{(i)} u_i^{(i)}), i=0 \quad (3)$$

ここで、 ∂ は空間方向に関する偏微分を表す。 (k) は層の番号、 $\rho^{(k)}$ は海水の密度、 $\tau_{ij}^{(k)}$ は粘性力、 $\tau_{ij}^{(k)} u$ は自由表面の摩擦力、 $\tau_{ij}^{(k+1)}$ は底面での摩擦力、 f はコリオリの、係数 b は底層になる層の番号、 η は水位上昇量である。 $h^{(k)}$ は層厚を表す。

水質についてはCODに着目し拡散方程式を用いて数値計算を行う。

$$\begin{aligned} & \frac{\partial S^{(k)}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (u^{(k)} S^{(k)}) + \frac{\partial}{\partial y} (v^{(k)} S^{(k)}) + \frac{1}{h^{(k)}} \{ (w S)^{(k-1/2)} - (w S)^{(k+1/2)} \} \\ & = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial S^{(k)}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial S^{(k)}}{\partial y} \right) + \frac{1}{h^{(k)}} D_z \left\{ \left(\frac{\partial S}{\partial z} \right)^{(k-1)} - \left(\frac{\partial S}{\partial z} \right)^{(k+1/2)} \right\} \end{aligned} \quad (4)$$

D_x, D_y, D_z は x, y, z 方向の拡散係数、 u, v, w は x, y, z 方向の流速成分、 S はCODの濃度を表す。

3. 解析例

図1は、海図をもとに沿岸の地形を近似し三角形要素を用いてモデル化したものである。また、4本の川(江戸川、荒川、多摩川、鶴見川)が湾内に入りこんでおり、層は全部で5層である。各層の厚さは5、10、10、10、15mである。計算領域は、総接点数2029、総要素数3474で構成されており、川と東京湾下部のみ開境界であり他はすべて閉境界である。また、湾口境界での入射波の条件として周期12.42時間、振幅0.25mの正弦波を与える。物理定数は、表-1に示す。

河川流入として主要河川の江戸川、荒川、多摩川、鶴見川を考慮し、外力として風を対象とした。

河川流入として主要河川の江戸川、荒川、多摩川、鶴見川を考慮し、外力として風を対象とした。

4. 解析結果

解析は河川の流入量の比較的多い夏期の水質の挙動の追跡を主目的として行った。最初に流速の良好な計算結果を得ることが出来た。(図-2、3)。そして得られた水用量を用いて水質(COD)の分布を求め、コンター図として表したものが図-4であり、拡散係数を変えて計算を行ったものが図-5である。その結果は拡散係数100で行えば実際のCOD分布を再現できることが判った。水質は、多摩川や江戸川など都市河川の河口付近の海は都市から流入する有機物で汚れておりCODの濃度が高いということがわかる。

参考文献

[1] 児玉敏雄：浅水長波方程式の有限要素解析とその応用に関する研究(1992)、[2] 松梨順三郎 編著：環境流体汚染 森北出版、[3] 運輸省 港湾技術研究所：東京湾潮流調査報告書(昭和58年度)



図-1 東京湾の要素分割図

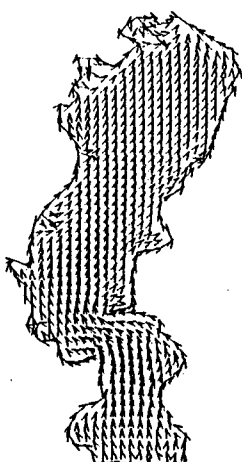


図-2 流速ベクトル図(表層)

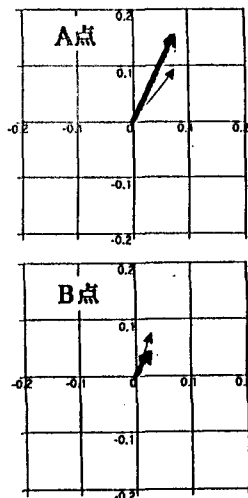


図-3 計算値と実測値の比較
単位(m/s)
太線-計算値 細線-実測値

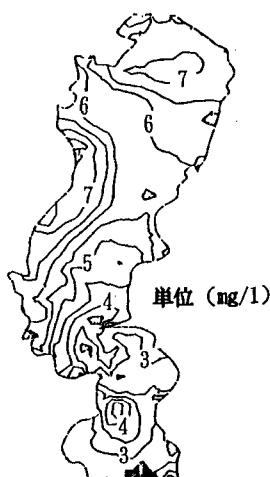


図-4 CODコンター図(表層)

(拡散係数 $10\text{m}^2/\text{s}$)

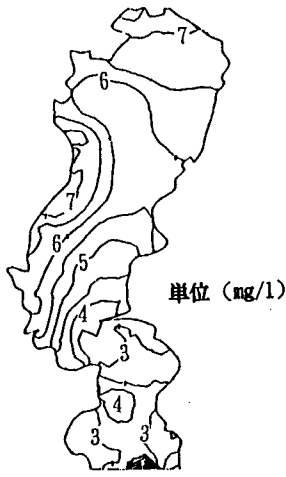


図-5 CODコンター図(表層)

(拡散係数 $100\text{m}^2/\text{s}$)

表1 物理定数

界面摩擦係数 f_m	0.001
底面摩擦係数 f_b	0.0023
渦動粘性係数 A_t	$10.0\text{m}^2/\text{s}$
海水の密度 ρ	$1.019\text{t}/\text{m}^3$
ρ	$1.015\text{t}/\text{m}^3$
ρ	$1.020\text{t}/\text{m}^3$
ρ	$1.025\text{t}/\text{m}^3$
ρ	$1.030\text{t}/\text{m}^3$