

実測データを考慮した選択取水数値シミュレーション

中部電力(株) 電力技術研究所 正員 ○河島宏治
同 上 正員 浦上博行
(株)三菱総合研究所 システム科学部 大石みち子

1. はじめに 汽力発電所において下層の低温海水を効率良く取水することは、昇温した冷却水を海域に放水する際の環境保全の見地からも重要である。このため、選択取水の取水流動の解明には、今まで水理模型実験を中心に研究が行われてきた。しかし、数値シミュレーションについては、それらの実験結果との比較にとどまっており、実海域を再現することはあまり行われていない。

そこで本検討では、既設の火力発電所においてカーテンウォール方式を採用した深層取水設備の前面海域を対象とした現地観測データをもとに、数値モデルを用いて選択取水に関する数値シミュレーションを行い、その取水流動特性の比較検討を行った。数値モデルとしては、非圧縮性運動方程式・連続式・拡散方程式を適用、さらに運動方程式に対し静水圧近似を用いた鉛直2次元モデルを適用し、鉛直方向の流動成分は連続方程式より求めた。また、対象とした海域は淡塩成層が発達しているため、拡散方程式は水温と塩分を個々に与えた。

その結果、取水の影響による流動層と、影響を受けない滞流層を分ける分離流線がはっきりと現れ、その位置は、現地観測データとほぼ一致していた。また、取水密度、取水流速分布なども現地観測データとの整合性がとれており、良好な結果が得られた。本文ではその概要を報告し、この数値モデルを用いた解析手法の適用性を述べる。

2. 数値シミュレーションによる解析手法

2.1 支配方程式

乱れのある場での流体の運動は、Navier-Stokes方程式および連続式によって支配される。ここでは鉛直2次元断面領域に対する適用を考え、支配方程式の誘導には、次のような仮定を設けた。

- (1) 取水流は完全乱流の状態にあり、分子拡散による輸送は無視できる。
- (2) 密度変化は重力項のみに含まれる。

A) 運動方程式

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(A_x \times \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(A_z \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (1)$$

$$p = g \int_z^\eta \rho \, dz \quad (2)$$

B) 連続方程式

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

ここに、 x, z : 直交座標軸、 u, w : x, z 軸方向の流速成分、 P : 圧力、 A_x, A_z : x, z 軸方向の渦動粘性係数
 η : 水位、 g : 重力加速度

また、海面の条件として次式を用いる。

C) 海面方程式

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + u_s \frac{\partial \eta}{\partial x} = w_s \quad (4)$$

ここに、 u_s, w_s : 水面での x, z 軸方向の流速

D) 拡散方程式

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad (5)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + u \frac{\partial S}{\partial x} + w \frac{\partial S}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial S}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial S}{\partial z} \right) \quad (6)$$

ここに、 T : 海水温、 S : 塩分濃度、 K_x, K_z : x, z 方向の渦動拡散係数

E) 密度方程式 (クヌーツセン式を適用)

$$\rho = 1.0 + 10^{-3} \sigma_t \quad (7)$$

$$\sigma_t = \Sigma_t + (\sigma_o + 0.1324) [1 - A_t + B_t (\sigma_o - 0.1324)]$$

$$\sigma_o = -0.069 + 1.4708 C_1 - 0.001570 C_1^2 + 0.000398 C_1^3$$

ここに、 Σ_t, A_t, B_t : 海水温 T だけの関数

2.2 解析モデル

(1) 解析手法

解析手法として、差分法を用い、その計算対象範囲および格子モデルを図-1、図-2に示す。

(2) 計算条件

ア. 水温・塩分 本モデルにおいては、現地観測結果を用い、図-3、図-4のように初期水温、初期塩分を与えた。

イ. 密度 本モデルでは、式(5)、(6)により水温、塩分を別々に解き、密度は計算終了後、式(7)を用いて算出するが、ア、イより密度の初期条件を求めると、図-5のようになる。

ウ. 初期流速 初期の密度成層場においては、場の流速はないと仮定して計算を開始した。

エ. 境界条件 境界条件を図-6に示す。

オ. 取水諸元 鉛直2次元モデルでは、取水口とカーテンウォールの幅の違いをモデル上で再現できない。そのため、取水流量から理論的に算出される流速がカーテンウォールで保存されるように取水口前面での流速を設定した。これらをまとめると表-1のようになる。

カ. 渦動粘性係数(A), 渦動拡散係数(K)

鉛直方向の渦動粘性係数(A_z)、渦動拡散係数(K_z)は、現地観測データ

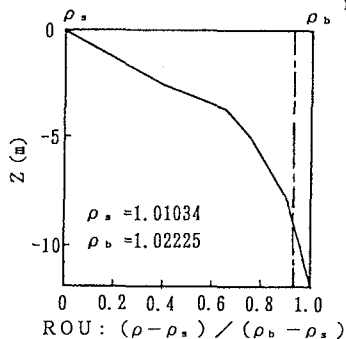


図-5 密度の初期条件

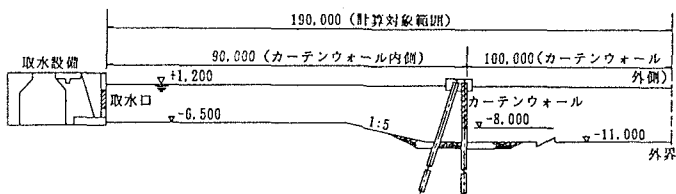


図-1 深層取水設備概要図

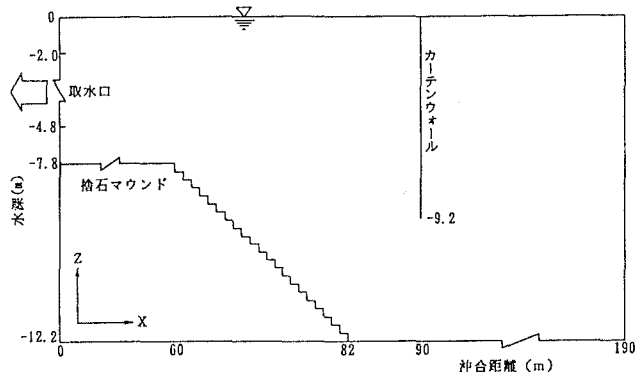


図-2 格子モデル ($\Delta X = 1.0 \text{ m}$, $\Delta Y = 0.2 \text{ m}$)

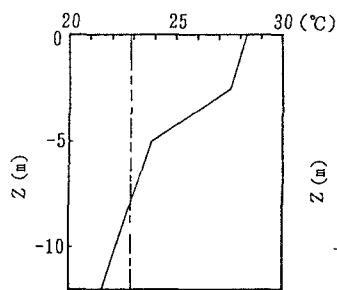


図-3 水温の初期条件

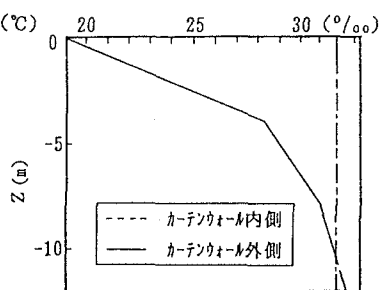


図-4 塩分の初期条件

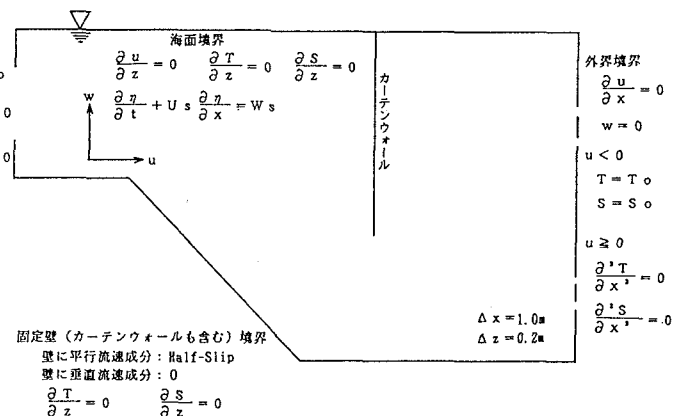


図-6 境界条件

表-1 取水諸元

取水量 (m^3/s)	取水口 流速 (m/s)	カーテンウォール 流速 (m/s)	カーテンウォール 幅 (m)	カーテンウォール 高さ (m)	取水口 高さ (m)
49.9	0.097	0.162	102.5	3.0	4.8

表-2 渦動粘性係数および渦動拡散係数

渦動粘性係数(m^2/s)		渦動拡散係数(m^2/s)	
A_x	A_z	K_x	K_z
0.5	5.0×10^{-4}	0.5	5.0×10^{-4}

をもとにオーダー評価を行い、 $5.0 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ とした。また、水平方向の渦動粘性係数(A_x)、渦動拡散係数(K_x)も、広域調査で得られた値を用い、 $0.5 \text{ m}^2/\text{s}$ とした。表-2にこれらの値を示す。

3. 解析結果

3.1 流速ベクトル

取水開始1、2、3時間後の流速ベクトルを図-7に示した。流動層と滞流層を分ける分離流線をZ方向流速Wが下向き(負)から上向き(正)に変わる点と定義した場合、1時間後に分離流線が出現し始め、2時間後に明確となる。

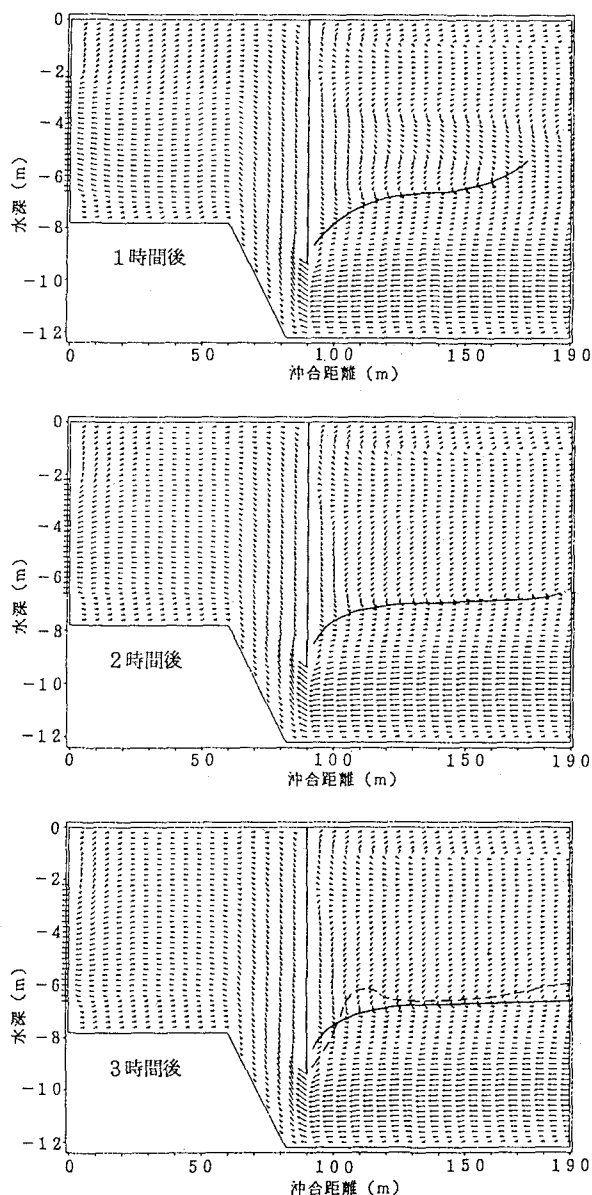
また、分離流線の位置は沖合距離150mで海底から約5.5mであり、ほぼ現地観測結果と等しい値であった。しかし、カーテンウォール近傍では分離流線の形状に違いがみられた。なお、3時間後のベクトル図に現地観測結果を同時に示した。

3.2 流速および密度鉛直分布

取水開始3時間後の流速(X方向成分)と密度の鉛直分布を現地観測結果と同時に図-8に示した。密度変化からみると、3時間後にはほぼ定常状態となる。流速Uが0となる位置は、定義から考えると分離流線より上側となるが、ほぼ等しい位置である。

また、分離流線より上の流動について流速分布に違いがみられたが、これは現地観測結果では海域の流れや潮位変動による影響、シミュレーション結果では境界条件による影響と考えられる。

今回の取水現象は、 $X = -7 \text{ m}$ (カーテンウォール内側)の密度変化や分離流線の位置から判断すると、ほぼ下層の海水を選択取水しており、上層水の混入はほとんどないと考えられる。



—— 分離流線 (----- 現地観測結果)

図-7 流速ベクトル図

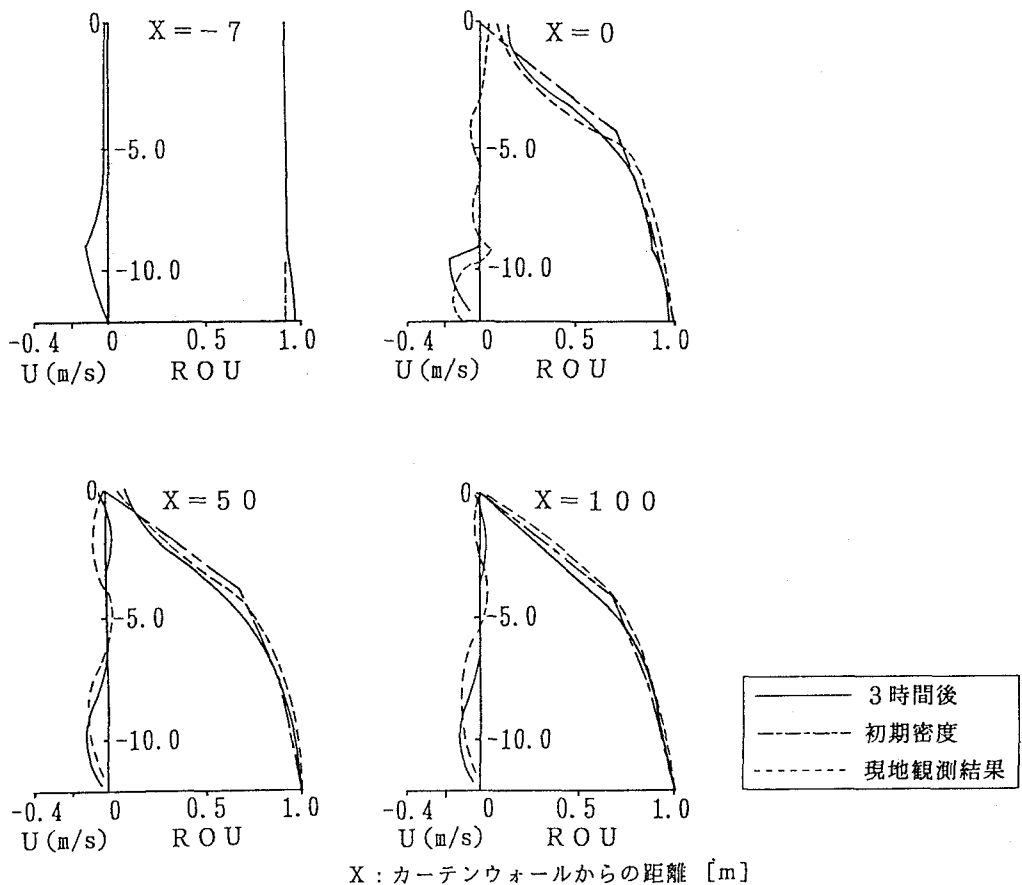


図-8 流速・密度鉛直分布図

4. おわりに 今回、鉛直2次元モデルを用いた数値シミュレーションより、取水流動特性を妥当に再現することができた。特に分離流線が明確に現れ、その位置も現地観測結果を再現しており、大きな成果であった。この検討においては、鉛直方向の渦動粘性係数および渦動拡散係数は、観測結果をそのまま与えたが、鉛直方向の関数として与えることも可能である。また、潮位変動を考慮した3次元モデルを適用した検討も、取水流動を精度よく評価するうえで必要である。

本検討は、数値シミュレーションを中心に報告したが、現地観測結果、数値シミュレーション、および既往の実験式とを比較検討した総合的な取水流動特性について、今後報告していく予定である。

最後に、本検討を行うにあたり、東海大学 海洋

学部 和田明教授、および電力中央研究所 我孫子研究所水理部の関係各位のご指導を得たことを記し、ここに感謝の意を表します。

<参考文献>

- (1) 宮池克人：密度成層海域における発電所冷却水の選択取水特性に関する水理学的研究、名古屋大学博士論文, 1989
- (2) 宮池克人：発電所冷却水の深層取水特性に関する研究、中部電力総合技術研究所報告、No. 0225, 1981