

(財)電力中央研究所 正員 和田 明
同 上 同上 〇片野尚明
同 上 同上 角湯正剛

1. まえがき 火力および原子力発電所の冷却水取水口は、出来る限り表層温水の混入を避けて、冷水の存在する表層水を選択して取水する方式をとる。具体的な事例として、防波堤で遮蔽された泊地水域内より表層取水を行なうために、泊地奥部にカーテンウォール方式表層取水口を設けた場合を考える。一般に、表層冷水を安定に取水するためには、泊地内の水素が十分泰くて沖合水の流入が保障されることと、上層温水と下層冷水が混合しないように上下二層向の相対流速を小さくすることが必要である。本文は、海底地形が水平な場合と、取水特性の改良を意図して取水口前面海底を一部の範囲にわたって掘り下げた場合の取水特性の比較を、鉛直二次元現象として取り扱った水理実験および数値実験によって検討したものである。

2. 水理実験の内容と実験結果 実験装置は図-1にその概略を示すように、21.5"×0.2"×1.0"の規模を有する鉛直二次元水槽を中心にして構成されている。水槽の一端には開口高を任意に可変できるカーテンウォール表層取水口を、もう一端には温水および冷水を一時的に貯める3"×3"×1.5"の貯留水槽を設けてある。水温分布の測定はサーミスタ型水温計を用い、現象が定常に達したころをねらって水槽内の3地点でそれぞれの鉛直分布を測定した。実験結果の一例を図-2および図-3に示す。図-2は海底が水平な場合の水温分布を示したものであり、図-3は取水口前面を一部掘り下げた場合の水温分布を示したものである。図中に示してある内部フルード数 Fr_0 および混入率は次の定義に従う。

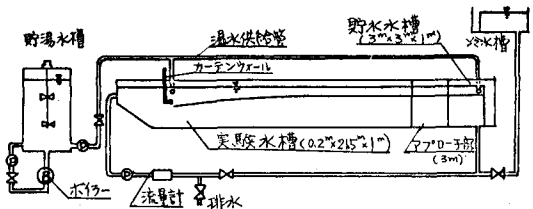


図-1 実験装置の概略図

$Fr_0 = u_0 / \sqrt{g \frac{\rho}{\rho_0} h_0}$, $\lambda = T_2 - T_0 / T_2 - T_0$ (1), ただし, u_0 : 平均取水流速, g : 重力の加速度, $\Delta\rho$: 上下二層向の密度差, ρ : 下層の密度, h_0 : 取水口開口高, T_2 : 取水温, T_0 : 下層水温, T_2 : 上層水温.

図-2, 3より, 水温成層の境界面と思われる位置は取水口に近付くに従ってしだいに下降し, その低下量は取水流速が大なる程増加する傾向にある。また, 取水口近傍の温水層に注目すると, 水平海底面の場合は厚くはなるが比較的強い成層が保たれるのに対して, 段落部を有する場合は内部中間層の発達した分布形状をとる。この現象は次のように説明することができよう。すなわち, 取水に伴なう境界面低下の影響が段落部上流側に波及し, 下層が薄くなると共に下層の内部フルード数が限界条件の1を越える。この条件で内部境界面は段落に沿って低下し, 下流側でいわゆる内部ジャンプを生起して鉛直混合を生じる。結果的に水温成層は中間層の発達したものに移行する。図-4は水平海底面と段落海底面における境界面の低下量の違いを示すために, Fr_0 と段落の上下流の上層水深比 h_{u2}/h_{u1} との関係を示したものである。境界面の低下割合は内部フルード数の増加に伴なってほぼ比例的に増加し, 水平海底にくらべて段落海底の低下量がかかなり大きいことを示している。

3. 数値モデルの内容とその計算結果 海域の流れと水温分布を支配する基礎方程式は, 運動, 質量および密度の保存式より成る。いま, 鉛直断面内の現象を対象とするため, 流れの関数 ψ および温度 θ を導入することができ, 最終的に次式のように書き表わすことができる。

$$2 \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} \frac{\partial \theta}{\partial x} - \frac{\partial \psi}{\partial x} \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) = -g \alpha \rho_0 \frac{\partial T}{\partial x} + 2(A_x \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + A_z \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2}) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial A_x}{\partial z} \frac{\partial \psi}{\partial z} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial A_x}{\partial z} \frac{\partial \psi}{\partial z} \right) + \frac{\partial A_x}{\partial x} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} - \frac{\partial A_x}{\partial z} \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} \quad (2)$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial z} \frac{\partial T}{\partial x} - \frac{\partial \psi}{\partial x} \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{K_x}{\rho_0} \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{K_z}{\rho_0} \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad (3)$$

こに、 u, w : それぞれ x, z 方向の流速、 A_x, A_z : x, z 方向の渦動粘性率、 K_x, K_z : x, z 方向の渦動拡散率、 T : 水温、 ρ_w : 密度 ($= \rho_0 (1 - \alpha T)$)、鉛直方向の渦動粘性および渦動拡散率の設定はれい状態におよぼす熱成層分布の影響が、リチャードソン数 Ri によって支配されるとしたMamayeveの提案式を基本として次に示す形を採用した。

$$\left. \begin{aligned} A_z &= (A_1 + A_0 e^{-m Ri}) \\ K_z &= (K_1 + K_0 e^{-n Ri}) \end{aligned} \right\} \text{----- (4)}$$

ただし、 $n = 0.8, m = 0.4$ とし、 $A_1 = K_1 = 0.01 \text{ m}^2/\text{sec}, A_0 = K_0 = 0.1 \text{ m}^2/\text{sec}$ を用いた。

計算モデルは取水南口高を2.5 m、深さ8 mの水平な海底面に対して、取水口より50 mの区間にわたって3 m掘り下げるものとする。したがって、取水口前面の水深は11 m、取水南口高は5.5 mとなる。取水流速は比較のために2通りの流速値について行なった。また、計算境界の1つである半無限海域の水温鉛直分布は図-5に示すように表面で20℃、海底で15℃の値をとるものとし、その間の水温値は鉛直方向の拡散式 $d/dz \cdot (K_z/\rho_w \cdot dT/dz) = 0$ を満足するように式(4)との関係で定めるものとする。

数値計算の結果、取水口前面を一部掘り下げた場合の水温分布は図-6に示す通りである。水温分布の変化の様相は水理実験の結果と類似的な傾向がみられ、現象的には再現性があり、理論的に根拠のあることが確認された。したがって、今後の茶層取水口の設計において、海底地形を十分考慮することが必要であり、取水特性を改善するために取水口前面を一部の範囲だけ掘り下げる方策は無意味であるばかりか、取水条件によっては取水特性を悪化させることが予想される。

4. あとがき 本文の範囲では、役落地形がおよぼす取水特性の影響に関して、定性的な検討段階で終わったが、設計に供し得るパラメトリックなデータは、現在、数値計算を進めて作成中である。議論の際には、その一端を紹介する予定です。

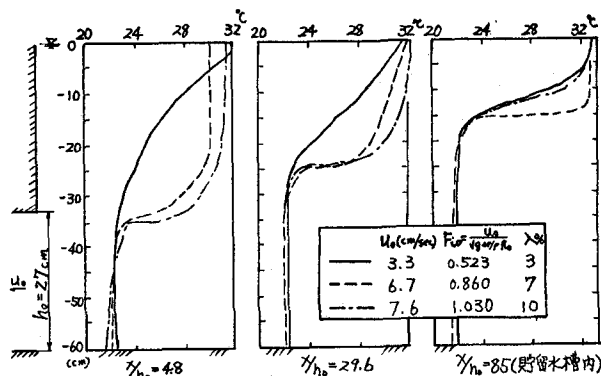


図-2 水平海底面における水温分布(実験)

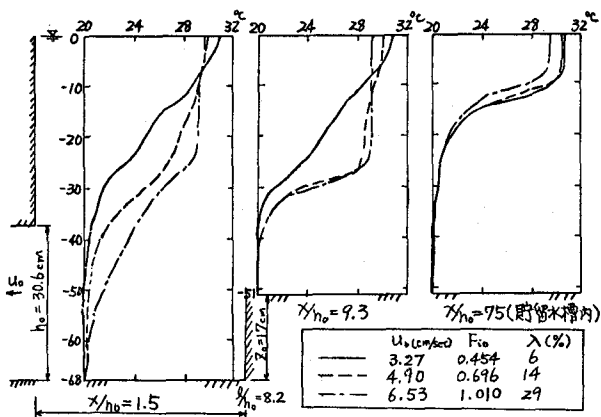


図-3 段落海底面における水温分布(実験)

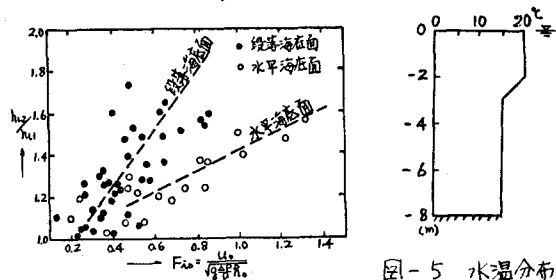


図-4 境界面の低下割合

図-5 水温分布のモデル

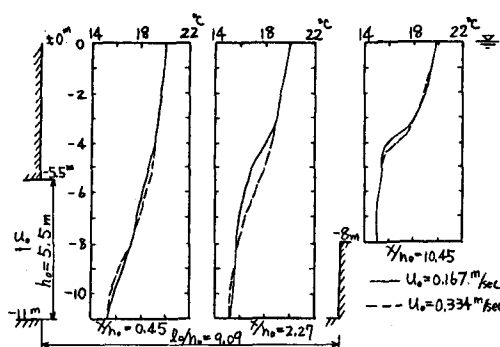


図-6 段落海底面における水温分布(計算) →