

水中放流する温排水拡散範囲に及ぼす影響要因に関する一提案

中国電力株式会社 電源事業本部 建設土木グループ 正会員 ○玉井 孝謙, 正会員 重川 善信
正会員 安野 孝生, 正会員 高田 英明
正会員 齊藤 直

1. 概要

水中放流する発電所を対象に, 数値モデル (3次元) によるシミュレーション手法を用いて温排水の拡散予測を行った. 数値モデルによるシミュレーション手法は, 流体力学の運動方程式・連続方程式及び熱拡散方程式を, 海域での流動・拡散現象に關与する多くの因子を考慮して数値解析し, 温排水の放水に伴う流動・拡散現象を表現する手法である. 本報告では, 今後温排水拡散解析を実施する実務者に向けて, シミュレーションに用いるそれぞれの因子が温排水拡散計算結果に及ぼす影響について報告する.

2. 計算式の概要

(1) シミュレーション解析のフロー

温排水拡散予測は, 地形及び入力データを作成後, 遠方領域の流速と水位を計算し, その水位を境界条件として, 放水口近傍の水温等を計算して求める (図-1).

(2) 計算式の概要

温排水拡散予測の計算は, 遠方領域 (恒流場) と放水口近傍 (温排水拡散) の2つの計算式を用いて計算している.

遠方領域の計算では, 水平方向の運動方程式を計算し, 計算された水平方向の流速を用いて連続式により鉛直方向の流速を計算する. 次に, 水位上昇の式により計算点での水位を計算する. これを繰り返すことにより, 遠方領域の流速と水位を計算する.

放水口近傍の計算では, 遠方領域で計算された水位を境界条件として, 運動方程式で流速3成分を計算するが, 計算した流速は連続式を満足していないことから, 反復計算することによって, 連続式を満足した流速を用いて, 水温等を計算する (図-2).

これを繰り返すことで, 流速・水温同時計算による放水口近傍域における温排水拡散範囲を予測することとなる.

この計算過程において, 実測される拡散係数等のパラメータの設定が必要であるが, 放水口近傍における周囲水の連行の程度によって, 温排水拡散域に重要な初期希釈や浮上過程が異なることから, 海底地形のモデル化や水平粘性係数の設定が計算結果に大きく影響することになる.

今回の検討では, この海底地形のモデル化と水平粘性係数の計算結果に及ぼす影響を評価した.

キーワード: 水中放流, 温排水, 拡散範囲, 計算式, 海底地形, 水平粘性係数

連絡先 (広島市中区小町 4-33 TEL 082-544-2936 FAX 082-544-2661)

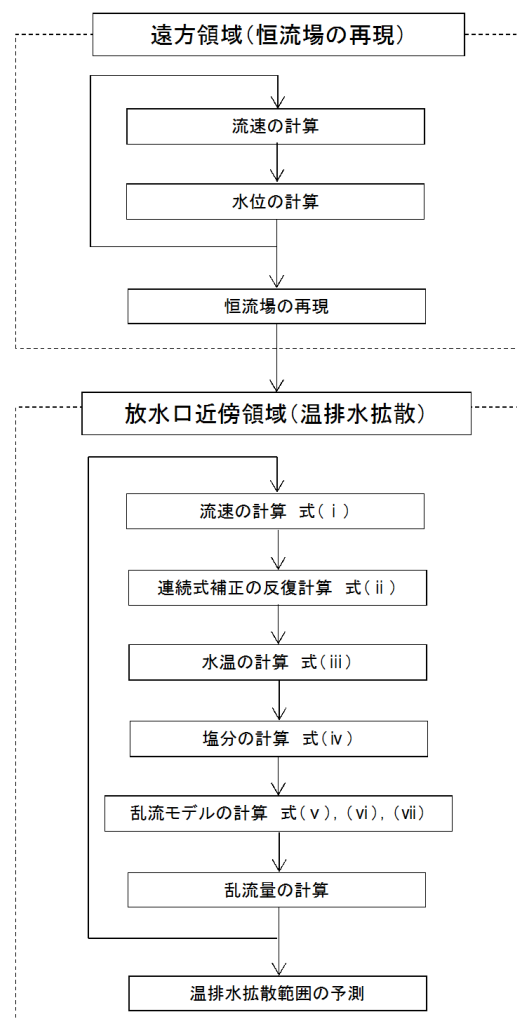


図-1 シミュレーション解析フロー

放水口近傍領域(温排水拡散)の計算式

添え字*i, j*は各項の中に重なるとき総和規約により、*i, j*≠1, 2, 3と動かし総和をとる。

(i) 運動方程式

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\nu \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - u_j u_i \right) + \frac{\rho_e - \rho}{\rho_e} g_i \delta_{i3} \quad (i=1,2,3)$$

(ii) 連続方程式

$$\frac{\partial U_j}{\partial x_j} = 0$$

(iii) 熱拡散方程式

$$\frac{\partial T}{\partial t} + U_j \frac{\partial T}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha \frac{\partial T}{\partial x_j} - u_j \theta_j \right) + \frac{Q_i (T_e - T_i)}{c_p H_w} \quad \text{※右辺第二項は表層メッシュのみ考慮}$$

(iv) 塩分拡散方程式

$$\frac{\partial S}{\partial t} + U_j \frac{\partial S}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha_s \frac{\partial S}{\partial x_j} - u_j \theta_j \right)$$

(v) 乱れエネルギーの輸送方程式

$$\frac{\partial k}{\partial t} + U_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \left(C_k \frac{k^2}{\varepsilon} + \nu \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right\} + P_k + P_b - \varepsilon$$

(vi) エネルギー消散率の輸送方程式

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + U_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \left(C_\varepsilon \frac{k^2}{\varepsilon} + \nu \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right\} + \frac{\varepsilon}{k} (C_{\varepsilon 1} P_k - C_{\varepsilon 2} \varepsilon + C_{\varepsilon 3} P_b)$$

(vii) エネルギー生成項及び浮力項

$$P_k = -u_j u_i \frac{\partial U_i}{\partial x_j}, \quad P_b = -\delta_{i3} \rho g_j u_j \theta_i - \delta_{i3} \rho g_j u_j \theta_i$$

[乱流量]

$$-u_j u_i = C_\mu \frac{\kappa}{\varepsilon} \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) - 2/3 \delta_{ij} k, \quad -u_j \theta_i = \alpha_t \frac{\partial T}{\partial x_j}, \quad -u_j \theta_j = \alpha_t \frac{\partial S}{\partial x_j}$$

【記号】

t	: 時間(s)
x_i, x_j	: 各方向の距離(cm)
g_i	: 重力加速度(cm/s ²)
U_i, U_j	: 各方向の平均流速成分(cm/s)
u_i, u_j	: 各方向の流速変動成分(cm/s)
p	: 全圧(g/cm ² s)
ν	: 動粘性係数(cm ² /s)
ρ, ρ_e	: 平均密度と環境密度(g/cm ³) ※密度は水温と塩分から算定
β	: 熱膨張係数(1/°C)
γ	: 塩分収縮係数(-)
T	: 水温(°C)
S	: 塩分(-)
θ_i, θ_j	: 水温の変動成分(°C)と塩分の変動成分(-)
T_i, T_e	: 表層水温(°C)と環境水温(°C)
H_w	: 水面を含む鉛直メッシュ幅(cm)
α	: 拡散係数(cm ² /s)
α_t	: 乱流拡散係数(cm ² /s)
Q_i	: 熱交換係数(J/cm ² /s/°C)
c	: 海水比熱(J/g/°C)
k	: 乱れエネルギー(cm ² /s ²)
ε	: エネルギー消散率(cm ² /s ³)
δ_{ij}	: クロネッカーのデルタ (1; $i=j$; 0; $i \neq j$)
$C_k, C_\varepsilon, C_{\varepsilon 1}, C_{\varepsilon 2}, C_{\varepsilon 3}, C_\mu$	: モデル定数(-)

図-2 放水口近傍領域の計算式

3. 考察

(1) 海底地形による影響

海底地形の変更による温排水拡散範囲の影響を確認するため、地形モデルについて、深浅測量結果を反映したケース、放水口から10m以遠を海底地形まで掘り下げたケース、放水口から0m以遠を海底地形まで掘り下げたケースの検討を実施した。その結果、深浅測量結果を反映したケースでは、コアンダ効果により、放流水は海底面に張り付くように流れ、浮上しにくい状態であることが窺える。一方、海底面を掘り下げたケースでも放流水が浮上しにくい状態であることが窺えるが、これは放流水の浮上よりも、様々な方向から低温の海水が連行され希釈されたことによる効果が大きいと考えられる(図-3)。

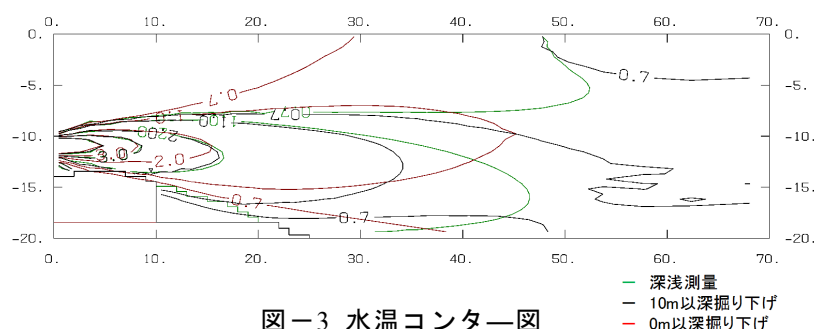


図-3 水温コンター図

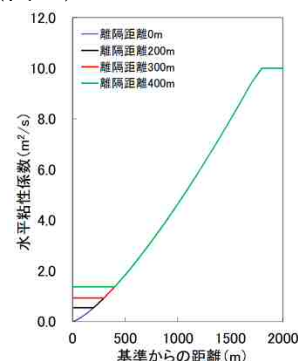


図-4 水平粘性係数(4/3乗則最小距離)

(2) 水平粘性係数(4/3乗則最小距離の適用)による影響

実海域では、護岸に衝突する波などによって、放水口近傍は流れに乱れが生じているが、距離の4/3乗則に比例して計算する水平粘性係数は、放水口近傍で非常に小さい値となり、海域が本来持っている乱れより小さい傾向となることがある。今回の検討では、放水口から一定の離隔距離までを同一の水平粘性係数と仮定した影響を評価した。計算は、離隔距離0m, 200m, 300m, 400mの4ケースである。その結果、図-4に示すように、設定する離隔距離が長いほど拡散範囲は広がる結果となった。

4. まとめ

水中放流の温排水拡散解析において、海底地形の影響は温排水の浮上する形態に影響を及ぼし、水平粘性係数の影響は浮上後の拡散範囲に影響を及ぼすことが明らかとなった。このような傾向を参考として、対象海域の実測結果とバックフィットさせることにより、温排水拡散範囲の予測を有意に行うことができる。