

## Fuluidyne-NS による三次元温排水拡散モデルの解析

日本大学大学院 学生会員 中村 倫明 (株)東京久栄 正会員 竹下 彰  
 日本大学大学院 学生会員 家塚 史仁 (株)アーク情報システム 正会員 佐々木 孝  
 日本大学大学院 正会員 和田 明

### 1. はじめに

発電所から海洋に放出される温排水の環境アセスメント対応の拡散予測には、平面二次元モデルが用いられてきた。だが、平面二次元モデルの拡散予測では水中放流方式の放流による拡散予測には不向きであることから、三次元モデルが研究されてきた。三次元モデルでは計算時間がかかる上に、潮汐流、恒流、放水流の3つを同時に計算すると、解析が困難か解析できても計算時間が膨大にある傾向がある。また、環境アセスメントに対するためには、色々な流況や、放水条件での解析結果が必要であるが、三次元モデルを使用しての検証計算が少なく、また統一した知見が少ないのが現状である。

そこで本研究では、水中放流方式発電所の温排水拡散予測に適用する三次元数値予測手法において、フランスで開発された汎用流体解析モデルの適用性や妥当性の検討を行うことを目的とし、水理実験の結果と三次元モデルによる結果の比較を行った。

### 2. 水理実験

本研究では、水理模型実験結果を用いて汎用流体解析結果の妥当性及び適用性について研究するもので、ここでは、比較・再現データとしての位置づけで水理模型実験を行った。模型縮尺は1/154とし、流量、流速、時間縮尺はフルードの相似則による。環境条件は水温15、上昇温度7、環境密度 $\rho_0=1.025587$ 、放水密度 $\rho_1=1.023839$ 、放水フルード数 $F_{r0}=10.9(2.0\text{m/s})$ とした。また放水諸元は表-1に示す。なお、ノズル間隔については三次元モデルによる予備検討を行った結果から判断して、相互干渉の大きい管間隔3Dに決定した。

### 3. 三次元モデル計算

#### 3.1 計算手法

三次元モデルにおける数値計算手法として、メッシュ分割は有限体積法とし、時間項の差分はEuler implicit、粘性項、拡散項の差分には中心差分を、移流項およびTVDリミッタ関数には3次風上差分、MinMod関数によるTVD

表-1 放水諸元

諸元	設定値(原型値)	模型値
放水量	50m <sup>3</sup> /s	10.19 ℓ /m
放水口形状	マルチノズル	マルチノズル
ノズル本数	8本	8本
ノズル内径D	2m	12.98mm
ノズル間隔	6m	39mm
設置位置水深	15m	9.74cm
立上げ高さ	3m	1.95cm
放水流速	2.0m/s	16.1 cm/s

表-2 計算条件

パイプの口径(m)	放水流速 $U_0$ (m/s)	放水量 $Q$ (m <sup>3</sup> /s)	パイプ間隔 (m)
2.0	2.0	50.0	3D
設置水深 (m)	放水温 $T_0$ (°C)	取水温 $T_\infty$ (°C)	内部フルード数
15.0	22.0	15.0	11.0

を用いた。また、圧力項の解法はSIMPLE法を用いた。乱流モデルは標準k- $\epsilon$ モデルとした。

#### 3.2 計算条件

計算条件を表-2に示す。渦動粘性係数は、k- $\epsilon$ 係数モデルより求めた。拡散係数は、乱流プラントル数より求めた。また、大気への放熱は放出されてから水面に達するまでの短期間の挙動を解析するため考慮していない。

また、放水口前面における乱流粘性の経験式を以下に示す。

$$\nu_t = 0.0128 V_0 D \quad (1)$$

ここで、 $V_0$ :放水流速、 $D$ :パイプ径である。これに基づき乱流粘性を設定し、この値となるように $k$ を設定した。

キーワード 温排水、三次元拡散モデル、k- $\epsilon$ モデル、乱流粘性係数

連絡先 〒102-8251 東京都千代田区五番町12番5号 日本大学大学院総合科学研究科 TEL090-4224-5282

ただし、プログラム上では、cps の条件設定は不要で、代わりに  $\ell$  を設定するようになっている。

鉛直噴流現象に関わる主要なパラメータは、管径  $D$ 、放出流速  $U_0$ 、場の密度  $\rho$ 、放出密度  $\rho_0$  であり、これらによる無次元数  $F_0$  (以下(2)式)により整理できる。

$$F_0 = \frac{U_0}{\sqrt{(\Delta\rho/\rho_0)gD}} \quad \Delta\rho = |\rho_0 - \rho_\infty| \quad (2)$$

境界条件は、放水管側壁、海底面、埋立護岸側面はノンスリップ条件、放水口では表-2に示した条件、その他は外界境界条件とした。

#### 4. 数値(乱流)モデルと水理実験との比較

本研究では、水中放流方式発電所の温排水拡散予測に適用する三次元数値予測手法において、モデルの妥当性、検証を行うため、水理実験の結果と三次元モデルによる結果の比較を行った。図-1は鉛直中心断面における水温分布である。図中上が三次元モデルによる計算結果であり、下が実験結果である。両者を比較すると水温上昇1及び1.5の上昇域は両者とも良く一致している。だが、水温上昇2の分布については、計算結果では水面に到達しないが、水理実験の結果では、非常に狭い範囲ではあるが、水面上に2の上昇域が認められる。

また、図-2は表層における水温分布の比較である。図中の矢印がある線が実験より得られた分布であり、コンター線によるものが計算結果から得られた分布である。水温上昇のパターンは両者とも相似している。1の上昇域については、計算結果は比較的幅が狭く広がっているが、水理実験結果は沖合に行くにつれて、その拡散幅が計算値に比べて広くなる。0.5の水温上昇域は両者とも良く一致している。

#### 5. まとめ

Fludyn-NSモデルは、流体力学の運動の方程式、連続方程式、 $k-\varepsilon$ 方程式から構成され、既往の式系<sup>1)</sup>と同じである。このFludyn-NSモデルは機械工学の流体现象、原子力工学の炉内、管内の流動現象の分野で展開されてきたもので、このモデルをそのまま海洋動態力学に適用するには適切な処置が必要となる。

具体的には運動方程式、スカラー量の保存式、乱流エネルギーの保存式、乱流散逸率の保存式に含まれる、水平方向(x,y方向)、水深方向の乱流粘性係数は等方性として組み込まれている。しかしながら、実際の海洋では水平方向と鉛直方向の粘性係数はオーダーが異なり、プ

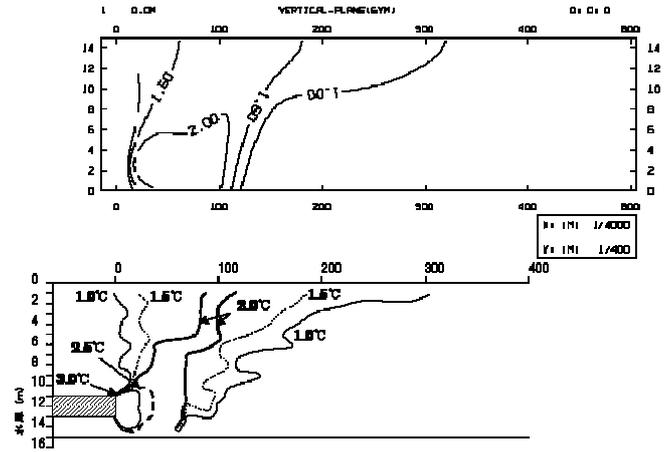


図-1 水温(鉛直中心断面)

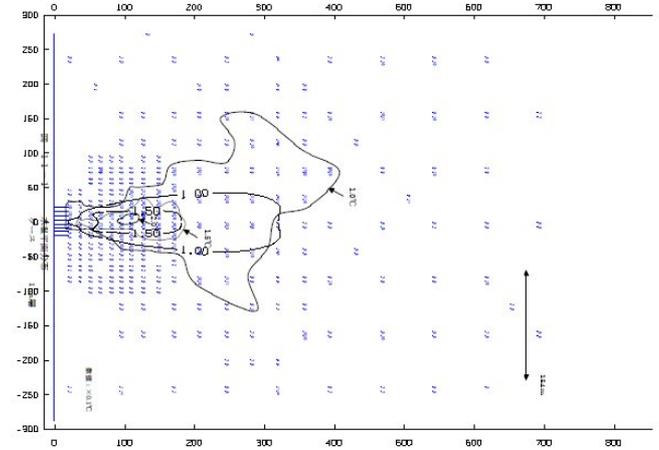


図-2 表層水温分布の比較

ルームは水平方向に広がる傾向にあるのが一般である。

#### 6. 今後の課題

水中放流方式による海面付近の水温上昇範囲は理論的に考えられるとおり、放水口での内部フルード数、放水口の設置水深などの因子によりほぼ決定される。この点が、表層放流方式による希釈効果と大いに異なる点である。水中放流方式では、放水量と水温上昇範囲との間に一次的な関係は無く当該地点での放流水深、放流口内部フルード数、放流方式などの人為的に採りうるパラメータの値により、結果が異なるものと考えられ、今後も数値モデルの精度向上を目的とした現地観測データの取得に努める必要がある。したがって、乱流モデルによる解析は、環境アセスメント用としての用途には未だ解決すべき事項がいくつか残されている。

#### 参考文献

- 1) 小林, 和田, 角湯: 流体数値実験, 朝倉書店, 1989
- 2) 坂井, 松梨, 仲敷, 坪野, 丸山: 3次元 - モデルによる沿岸域における水平重力噴流の計算, 水工学論文集 第41巻, pp.303-310, 1997.