

温排水放出口付近での流れの計算

東北大学大学院 学生員○今村文彦
東北大学工学部 正 員 後藤智明
東北大学工学部 正 員 首藤伸夫

1. はじめに

長波を対象とした計算では、水深に比べて波長が十分長く水深方向の流速変化は小さいため、流れを断面平均流で扱う積分モデル（単層モデル）がよく用いられる。特に、潮流、津波、高潮、などの数値シミュレーションに数多く適応されその有用性が認められている。しかしながら、発電所からの温排水の放出あるいは人工構造物の存在などといったことにより流れの場が鉛直方向に大きく変わる場合は、このようなモデルでは精度が劣ることも知られている。この問題の解決のためには2つの方法が考えられる。ひとつは鉛直方向に多数の計算点を配置した多層モデルを使用することである。他のひとつは流速分布の効果を意味する運動量補正を考慮した積分モデルを用いるのである。本研究では、比較的容易に実行可能と思われる後者の方法を用いた計算法を検討する。鮫川河口の温排水場に関して現地観測を行ない、運動量補正量を調べ、数値計算を通しこの補正が平均流速場にどのような効果を与えるかについて詳細に検討する。

2. 流況に関する現地観測

福島県いわき市鮫川河口部の渦内において現地観測を行なった。この渦内には火力発電所からの温排水が水中放流方式で放出されている。また、排水口の前面には砂州の一部を開削して設けられた外海への放出口もあり、温排水、波浪及び潮汐流により複雑な流況を呈している。観測は昭和59、60年の2回にわたり行ない、排水口付近での流速を測定している。流況の特性としては（1）排水口から遠ざかるにつれ流速が最大となる点は水表面に近づく。（2）この傾向は温排水の主流方向に特に顕著である。（3）潮汐による流速分布の変化は小さい。ことが上げられる。

運動量補正量をモデル化するため、実測流速の断面平均からのズレを相似形に表わすことを考える。

$$\frac{v}{V_{\max}} = \begin{cases} \exp(-(z-z_0)^2/\sigma^2) \cos \theta & (-\pi < \theta < \pi) \\ -\exp(-(z-z_0)^2/\sigma^2) & (\theta \leq -\pi, \pi < \theta) \end{cases}, \quad \theta = \frac{\pi(z-z_0)}{2\beta(\eta+h)}, \quad \sigma = 2\beta, \quad \beta = 4, \quad z_0: \text{ピークの高さ} \quad (1)$$

がその結果である。図-1にはこの相似形と観測結果との比較を示している。ただし、(1)式は温排水の主流方向において成立するものであるから横方向の分布は2次元噴流特性の関係をを用いた。また、観測結果より $V_{\max}$ と平均流 V との関係を $V_{\max}/V = 0.4$ とすると排水口付近での運動量補正係数は

$$\begin{cases} 1 + \exp\left\{-0.693\left(\frac{5x}{y}\right)^2\right\} 0.4^2 \left[\frac{3}{4} - \frac{1}{2} \frac{z_0}{\eta+h} + \frac{1}{2\pi\beta} \sin\left\{\frac{\pi\beta z_0}{\eta+h}\right\}\right], & (z_0 < \frac{1}{2}(\eta+h)) \\ 1 + \exp\left\{-0.693\left(\frac{5x}{y}\right)^2\right\} 0.4^2 \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \frac{z_0}{\eta+h} + \frac{1}{2\pi\beta} \sin\left\{\frac{\pi\beta z_0}{\eta+h}\right\}\right], & (z_0 > \frac{1}{2}(\eta+h)) \end{cases} \quad (2)$$

となる。

3. 計算結果

基礎式として積分された浅水理論を用い、以下に示す3種類のモデルを計算した。

Aモデル：補正係数を考慮しない積分モデル

Bモデル：温排水の主流方向だけに運動量補正を考慮した積分モデル

Cモデル：温排水の主流方向だけでなく両方向に運動量補正を考慮した積分モデル

計算結果の一例を図-2に示す。上図は断面平均流速ベクトルを下図は平均流速の大きさを表わす。排水口より開削部に向い直線状に強い流れが生じている。この主流の左右には値としては小さいものの剥離した流れも見られる（渦を形成することもある）。各モデルを比較すると、全体での流況はほぼ同じであるが主流付近での流速分布に違いが

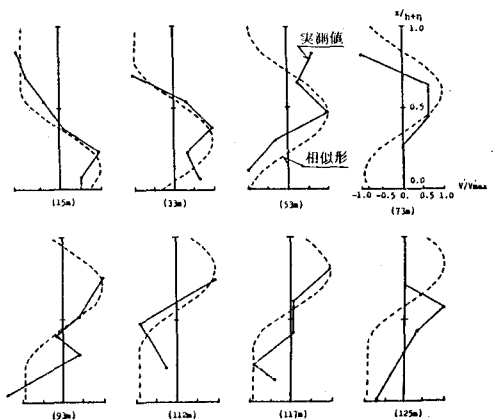


図1 相似形と実測値の比較

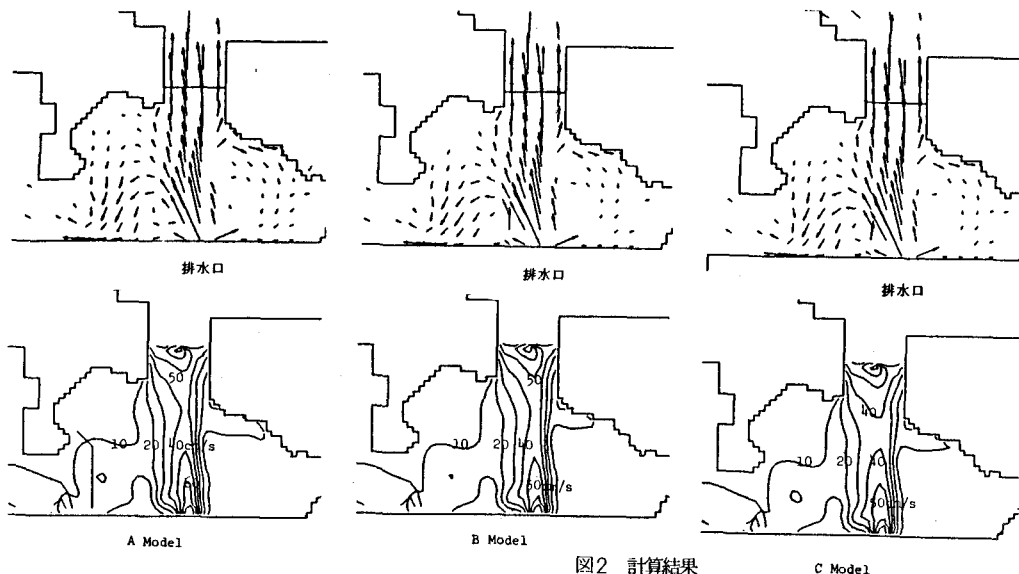


図2 計算結果

見られることがわかる。A及びBモデルでは流速コンターの幅は変わらず主流方向の流速の変化が異なっている。Cモデルの流速コンターは横方向に広がり全体にふくらんだ分布となっており、Bモデルと同様排水口前面では流速は小さい。したがって、運動量補正係数は温排水による流れを主流方向では小さくし横方向に拡がらせる効果（拡散の効果）を持つことが分かる。図-3にはこの主流方向での各モデルと観測結果（黒丸印）の比較を示す。計算結果と観測結果は良好な一致を見せているが、この観測結果だけではどのモデルが最も再現性の高いものであるかの判断をするには不十分である。最後にCモデルの流速からAモデルの流速を差し引いた差を百分率で表わしものを図-4に示す。図中の斜線部はCモデルの流速の方が大きい場所である。主流付近ではAモデルの方が大きくその周辺ではCモデルが大きくなっている。差は大きい場所で20%になり、平均で10%程度である。

4. おわりに

局所的に鉛直方向の流速分布が大きくなりその影響が無視できないような流れについては従来多層モデルによる計算がなされていたが、流速分布に関して何んらかの経験則を必要とするものの運動量補正を考慮した積分モデルで容易に同等の計算が可能であることを示すことが出来た。従来の積分モデルに比べ運動量補正を考慮したモデルは流れを拡散させる効果を持つことが分かり、その差は10 - 20 %程度であることが明らかとなった。

謝辞：現地観測において（株）常磐共同火力に協力いただいた。また、本研究の一部は文部省科学研究費（代表 東北大 栗原康教授）によった。ここに記して謝意を表わす。

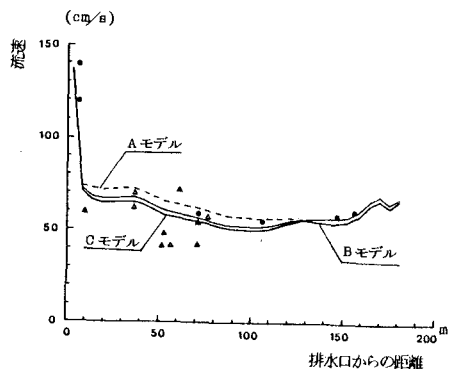


図3 主流方向での実測値と計算値の比較

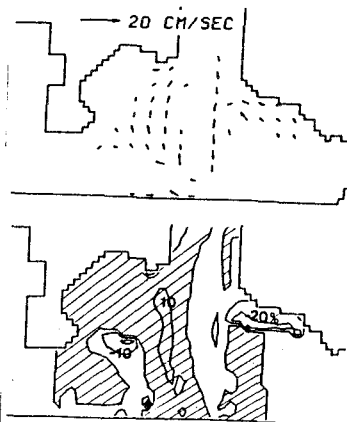


図4 残差ベクトルと誤差分布