

II-255

深層域からの鉛直水中放流の流動および連行特性について

中部電力(株) 正員 服部孝之・渡辺増美
中電工事(株) 正員 佐藤公己

1. はじめに

近年の調査で、海域の深層に存在する豊富な栄養塩を表層へ輸送する湧昇流水域が好漁場となることが明らかにされている。人工湧昇流の1方法として、汽力発電所の温排水を水中放流することにより、深層水を表層へ輸送し、植物プランクトンを増殖させ食物連鎖により漁場開発に寄与させることを考えた。従来の水中放流方式は、水深10～15m程度に設置して水温を低減することのみを目的に研究されており、豊富な栄養塩が存在するといわれている水深50m以深での放流（以後、深層放流方式と呼ぶ）についての研究例は少ない。そこで、本研究では深層放流方式の1形式である鉛直水中放流について水温、流速の低減特性、連行流量特性等を検討したので報告する。

2. 実験装置と実験方法

実験装置は、図-1に示す幅4.5m、奥行き2.5m、高さ2.2mの鉄筋コンクリート製の水槽、温水供給装置・流量計からなる放水装置および水槽内の水位を一定に保つために設けた取水装置からなる。相似則はフルード則を適用し、模型縮尺1/100の無歪模型とした。実験は、温度一様な静水域で行い取放水温度差 $\Delta T_0 = 7^\circ\text{C}$ 、原型量で放水量 $5\text{ m}^3/\text{s}$ 、放水口水深80mとした。表-1に実験ケースを、図-2に鉛直放水管の断面

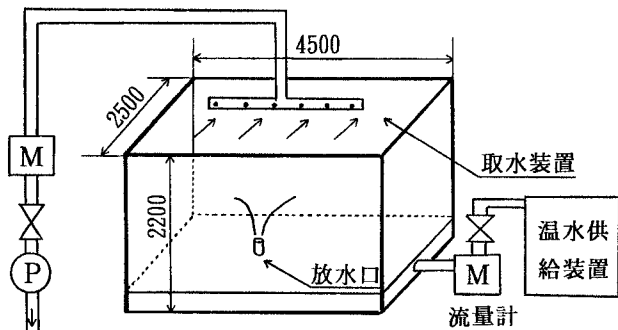


図-1 実験装置の概要

面図を示す。水温測定は、サーミスタ温度計の先端を水平に並べ自動昇降機を用いて各設定水深まで降下させて測定を行った。流速測定は、噴流中心軸をプロベラ流速計、連行流速をサーマル式微流速計、変動流速を電磁流速計を用いて計測した。

3. 実験結果

(1) 噴流中心軸における水温、流速低減特性

図-3、4は噴流中心軸上の水温ならびに流速の低減特性を無次元量で示した。縦軸と横軸はchen-Rodiの提唱した式(1)で表わされる無次元量である。

$$\left. \begin{aligned} \text{水温 } T_1 &= (\Delta T_\infty / \Delta T_0) F_{ro}^{1/2} (\rho_0 / \rho_a)^{3/4} \\ \text{流速 } U_1 &= (U_\infty / U_0) F_{ro}^{1/2} (\rho_0 / \rho_a)^{-1/4} \\ \text{距離 } X_1 &= (Z/D) F_{ro}^{-1/2} (\rho_0 / \rho_a)^{-1/4} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

図より、VDU05を除けば T_1 ならびに U_1 は X_1 と負の比例関係にあり、その勾配はベキ乗則にしたがっている。図中の実線は中間領域($0.5 \leq X_1 < 5$)について最小自乗法により求めた直線であり、また破線はchen-Rodiの半径経験式を示す。水温の回帰式は勾配がchen-Rodiに比べ緩く水温低減が悪い傾向が見られる。一方流速の回帰式は勾配はほぼ一致しており流速の低減傾向は同じで

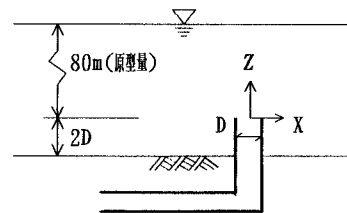


図-2 鉛直放水管断面図

表-1 実験ケース表（模型量）

CASE	U_0 (cm/s)	D (cm)	F_{ro}
VDU05	4.9	3.6	2.0
VDU20	19.6	1.8	11.1
VDU35	32.5	1.4	22.3
VDU45	44.2	1.2	30.5
VDU60	63.7	1.0	43.8
VDU80	78.6	0.9	62.7

あるが、下側に平行移動した形になっており流速低減はchen-Rodi の結果より良い。

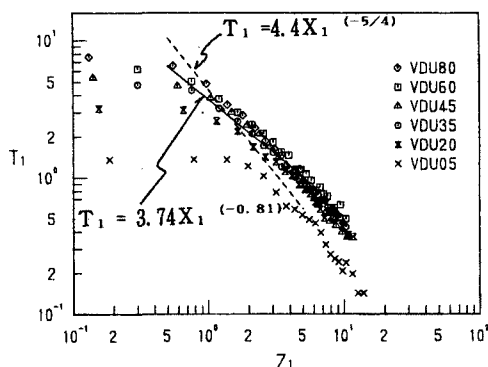


図-3 無次元水温低減率

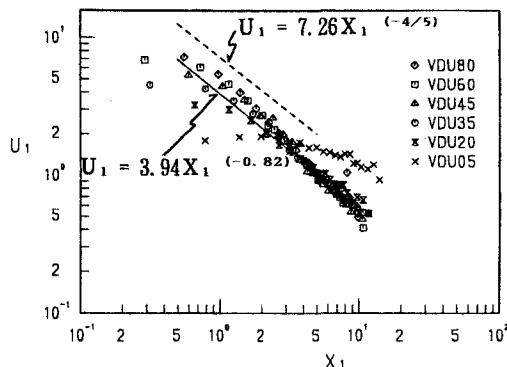


図-4 無次元流速低減率

(2) 連行流量特性

連行される周囲水の流向を目視観測してみるとその向きは噴流からある程度離れたところで水平であった。その流速を測定しその計測値から連行流量 Q_v を算出した。一方噴流の温度分布から平均水温を求め、熱量が完全に保存されていると仮定し温度の計測値から連行流量 Q_t を算出した。図-5は Q_v と Q_t を比較して示したもので、図中の実線は Q_v/Q_o 、破線は Q_t/Q_o を示す。図より放水口から $Z=40\text{m}$ 付近までは Q_v と Q_t は比較的良好一致しており、両者とも流下するにしたがって連行流量がほぼ線形に増加している。また連行流量の増加率は F_{ro} が大きいほど大きくなっており、本研究の目的である深層水の連行を考えた場合 F_{ro} が大きいほど有利であることがわかった。

(3) 乱れ速度 $|\overline{U'V'}|$ の特性

図-6は流れ場の乱れ強さを示す指標のひとつであるレイノルズ応力 $|\overline{U'V'}|$ の水平方向分布を示す。 $|\overline{U'V'}|$ の分布は $\eta=0$ でほぼ0をとり、 $\eta=\pm 0.8$ 付近で最大値となる双頭形を示す。 $|\overline{U'V'}|$ は F_{ro} が大きいほど大きい値を示しており、連行流量と同じ傾向を示した。連行量は $\sqrt{|\overline{U'V'}|}$ と比例関係にあると言われているが、そのことを裏付ける結果と言える。

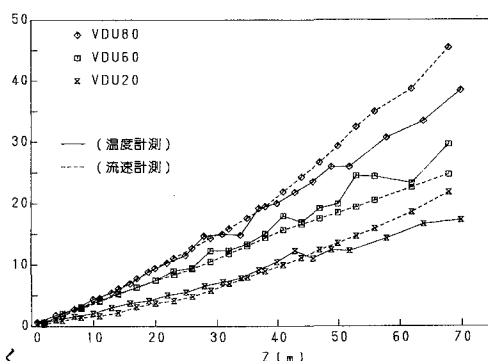


図-5 連行流量の比較

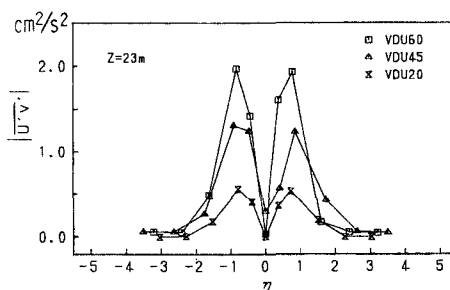


図-6 乱れ速度 $|\overline{U'V'}|$ の水平分布

4. おわりに 今回は深層放流方式の内、鉛直水中噴流の水温・流速低減特性、連行特性、水温の乱れ強度について検討した。今後は、水平水中噴流について噴流特性を検討する予定である。

記号: $\Delta T_e = T_e - T_a$, $\Delta T_o = T_o - T_a$ (T_e : 噴流中心軸上の測定水温, T_a : 環境水温, T_o : 放水水温), F_{ro} : 放出内部フルード数, U_e : 噴流中心軸上の測定流速, U_o : 放水流速, ρ_o : 放水密度, ρ_a : 環境密度, $\eta = X/X_{0.5}$ ($X_{0.5}$: 半値半幅), U' : 流下方向変動流速, V' : 横方向変動流速
参考文献 室田 明・中辻 啓二・中井 正則: 二次元フォーストブルームの連行係数に関する理論的研究, 土木学会論文集 第 369号//II-5, PP23~31, 1986