

海洋深層水放水に関する基礎的実験

FUNDAMENTAL EXPERIMENTAL STUDY ON DEEP SEAWATER OUTFALL

山内一彦¹・酒匂敏次²・田中博通³

Kazuhiko YAMAUCHI, Toshitsugu SAKOU, Hiromichi TANAKA

¹正会員 工修 株式会社 東京久栄 (〒103-0027 東京都中央区日本橋3-1-15)

²正会員 Ph.D 東海大学教授 海洋学部 海洋土木工学科 (〒424-8610 静岡県清水市折戸3-20-1)

³正会員 工博 東海大学教授 海洋学部 海洋土木工学科 (〒424-8610 静岡県清水市折戸3-20-1)

This paper shows Fundamental experimental study on Deep seawater outfall. The result showed that condition of plume mixing, Deep seawater outfall is related to internal-Froude-number (Fr).

Deep seawater has three characters. The characteristic of Deep seawater is higher purity, cold and nutrient-rich. Coastal environment is recovered isoyake by utilizing nutrient-rich or cold Deep seawater. A new technology essential for the control Deep seawater outfall.

Key Words: deep seawater, deep seawater outfall, internal-Froude-number (Fr), isoyake

1. はじめに

海洋資源として注目を浴びている海洋深層水は、一般に表層水と比べ、富栄養、清浄、低水温、高密度と違った特性をもっている。深層水の持つ高い生物生産力を利用し、放水による海域環境の改善効果つまり海域の肥沃化、磯焼けによって失われた藻場の回復が考えられている。一方、表層水と違う性質を持つ深層水を海域に放流することによる冷水塊の発生、栄養塩類投入による海域環境の悪化などの海域へのインパクトが懸念される。

一般に深層水は水深約300mで水温約10℃、陸上では約15～20℃と低温かつ高塩分であり、約20～30℃と温かい表層水と比べて密度が大きく、負の浮力（重力）の影響を受けて密度流として鉛直運動を行うものと考えられる。

密度流に関する研究は、火力・原子力発電所からの温排水の拡散現象を解明し、影響範囲をシミュレーションする必要性から研究されてきた。現在、高知県で試験的に行われているような深層水放流による海域肥沃化や、磯焼け回復への利用を考えるのであれば、混合促進の観点だけでなく、放流した深層水の混合特性を把握することによって、放流深層水をいかにコントロールすることが可能であるか検討することが大切である。

そこで、本論文は活用後の深層水を海域に表層水

平放流したときの拡散状況について、水温計測と可視化手法を用いて実験的に求めた結果を基に考察したものである。

2. 実験装置・実験方法

実験は図-1に示す実験装置を製作して行った。高さ53.5cm、長さ300cm、幅30cmの低水槽部に水深が40cmになるように温度調節を行った水を入れ、底面

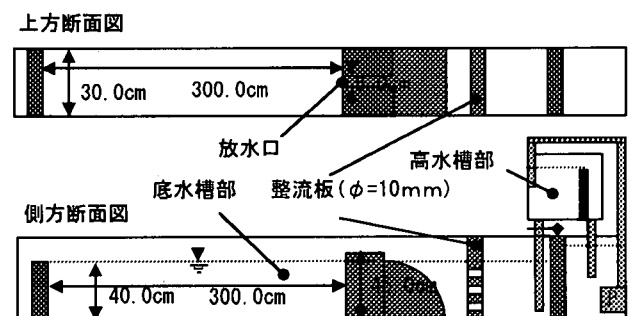


図-1 実験装置

より40cmの位置に設けてある幅5.0cmの放出口から温度調節した水を表層放流した。なお、流量は高水槽のバルブで調節した。水温測定断面は、放出口をX=0cmとしてX=5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70cmの10断面とし、各断面で水深方向に測点を変化させて水温を計測した。水温測定は、熱伝対センサー(φ

2.3mm, 先端φ1.6mm)をデータコレクタ(安立計器(株))に接続して記録した。なお、サンプリング時間は1secである。放流平均流速(U_0)は、測定した放出口の水深(h)から求めた。

実験は、放流深層水と海域の温度差(ΔT)と、放流流速の相違を考慮して、6ケースについて行った。これらの実験条件は $\Delta T=5^{\circ}\text{C}$, 10°C で幅2mの放出口から日量1000 m^3 , 2500 m^3 , 5000 m^3 の水を放流するのに相当する。また、各実験ケースは、(1)式で表される内部フルード数(Fr)によって差別化した。表-1、表-2に実験条件を示す。

可視化実験は放流水をウラニンで染色し、水路上面からブラックライトを照射し、水路側面からビデオカメラで撮影した。可視化実験はcase7, case8の2ケース行った。

表-1 実験条件(その1)

case NO.	Q(cm^3/s)	b(cm)	h(cm)	$u_0(\text{cm}/\text{s})$
case 1	4.14	5.00	0.48	1.73
case 2	15.05	5.00	0.56	5.38
case 3	34.19	5.00	0.60	11.40
case 4	3.72	5.00	0.48	1.55
case 5	11.3	5.00	0.50	4.52
case 6	34.17	5.00	0.60	11.39
case 7	13.62	5.00	0.55	4.95
case 8	7.78	5.00	0.50	3.11

表-2 実験条件(その2)

case NO.	$T_1(^{\circ}\text{C})$	$T_2(^{\circ}\text{C})$	$\rho_1(\text{g}/\text{cm}^3)$	$\rho_2(\text{g}/\text{cm}^3)$	Fr
case 1	10.0	15.0	0.99970	0.99910	3.25
case 2	10.0	15.0	0.99970	0.99910	9.37
case 3	10.8	15.8	0.99962	0.99898	18.57
case 4	11.3	21.1	0.99957	0.99798	1.79
case 5	11.0	21.3	0.99960	0.99793	5.00
case 6	11.0	21.3	0.99960	0.99793	11.49
case 7	11.1	16.3	0.99959	0.99890	8.12
case 8	11.1	21.2	0.99959	0.99795	3.47

ここで、

- Q : 放流流量 (cm^3/s)
- b : 放流口幅 (cm)
- h : 放流水水深 (cm)
- U_0 : 放流平均流速 (m/s)
- T_1 : 放流水の水温 ($^{\circ}\text{C}$)
- T_2 : 周囲水の水温 ($^{\circ}\text{C}$)
- ρ_1 : 放流水の密度 (g/cm^3)
- ρ_2 : 周囲水の密度 (g/cm^3)
- Fr : 内部フルード数

$$Fr = \frac{u_0}{\sqrt{\frac{\Delta\rho}{\rho_1}gh}} \tag{1}$$

ここで、

- $\Delta\rho$: $\Delta\rho = |\rho_1 - \rho_2|$ (g/cm^3)
- g : 重力加速度 (m/s^2)
- h : 放流口での水深 (cm)

3. 水温計測結果及び考察

水温計測結果を図-2、図-3に等温度分布図で示す。図-2は $\Delta T=5^{\circ}\text{C}$ と一定にし、放流平均流速を変化させたcase1, case2, case3の等温度分布である。また、図-3は ΔT を約 10°C とし、放流平均流速を変化させたcase4, case5, case6の等温度分布である。

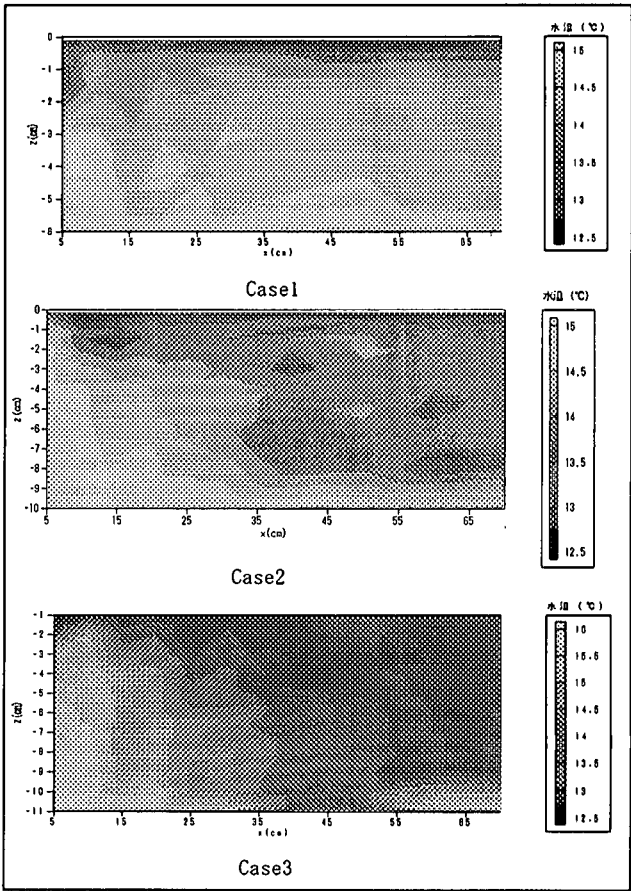


図-2 等温度分布 (case1, case2, case3)

図-2で示しているcase1, 2, 3は、 $\Delta T=5^{\circ}\text{C}$ であるため、密度差は小さいがcase1からcase3になるに従い u_0 が大きくなるため、表-2に示すように内部フルード数が順に大きくなる。よって、case1, 2, 3の順に浮力効果が減少することから内部フルード数が大きくなる。放流水は流下するにつれ下方に拡散する。また、内部フルード数が大きくなるに従い流下方向へ広がり幅を増しながら拡散していることがわかる。

図-3で示しているcase4, 5, 6も、図-2と同様に拡散状況は内部フルード数に関係していると考えられ内部フルード数が大きくなるに従い下方に拡散する。また、内部フルード数が小さいもののほうが放水口付近に滞留していることが確認できる。

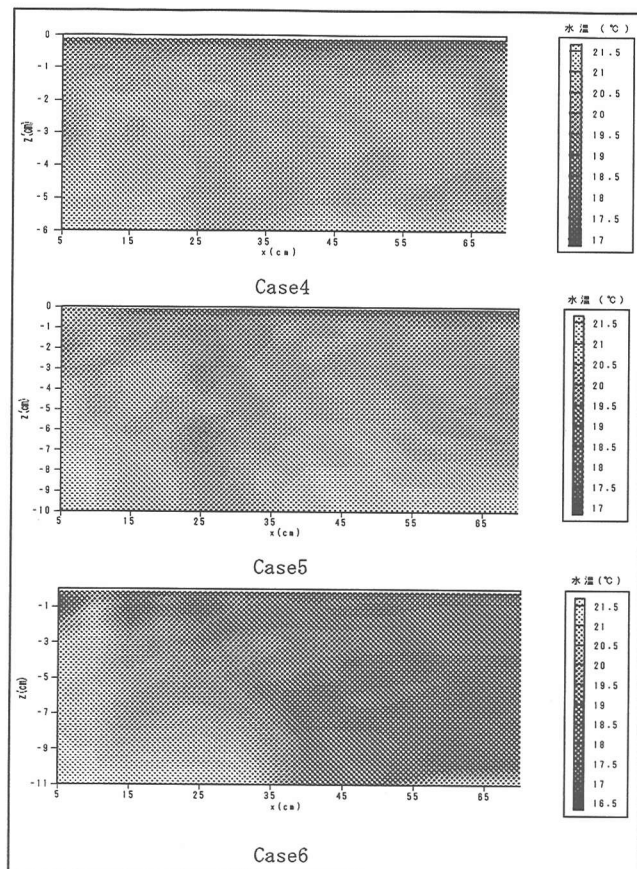


図-3 等温度分布 (case4, case5, case6)

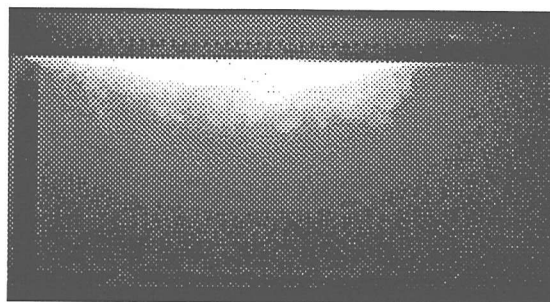
4. 可視化実験結果及び考察

写真-1、写真-2、はそれぞれcase7, case8の経過時間ごとの流況である。放流直後に表層を流下した放流水は、斜めに落下しながら広がり、その後、底面に到達した放流水は底面上を拡がっていく。また、底面上の放流水のフロントは徐々に流下するが、底面に沿って放流口の方へ向かう流れもある。境界面における混合は、放流水の界面に発生した渦の闖入による渦拡散によることがわかる。

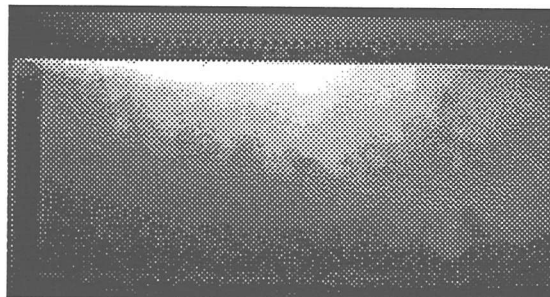
5. 結論

以上のことより、結論として次のことがいえる。

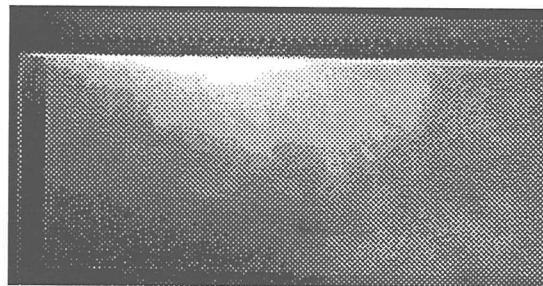
1. 放流水の拡散状況は、内部フルード数に関係し、その現象は内部フルード数で整理できる。
2. 表層水平放流を行ったとき、内部フルード数が小さいときほど放流口に近い位置で放流水が沈降する傾向が有る。
3. 放流水の拡がり、放流水の界面に発生した渦の闖入による渦拡散によるものである。



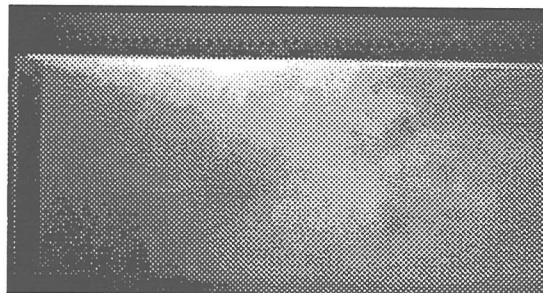
(a) 40秒後



(b) 80秒後



(c) 120秒後



(d) 160秒後

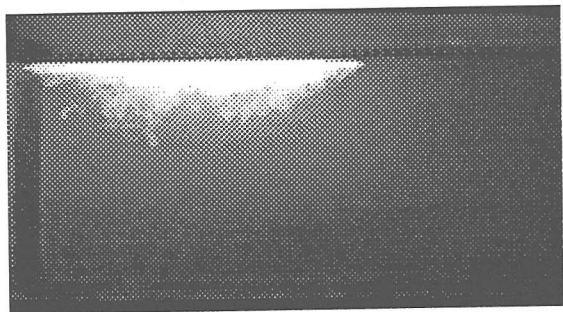
写真-1 流況の時間変化 (case7)

6. おわりに

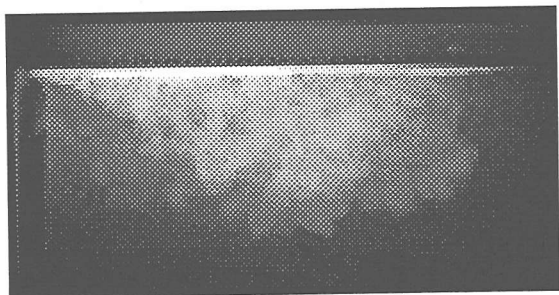
先に述べたように、密度流に関する研究は、火力・原子力発電所からの温排水の拡散現象を解明し、影響範囲をシミュレーションする必要性から研究されてきた。しかし、放流した深層水を海域の環境改善のために利用するためには、混合促進の観点だけでなく利用するのに最適な放流を創造する必要がある。そのためにも、今後、放流水深、放流水の水温、などの、放流条件を変化させた実験を行い、放流深層水を利用するためのガイドラインを作成することが望まれる。

参考文献

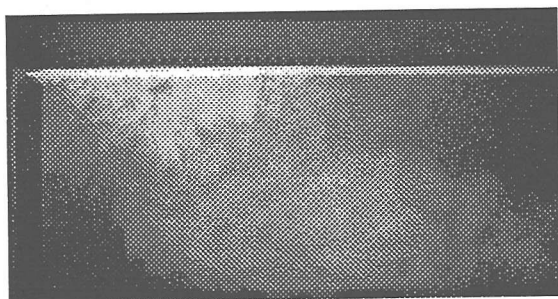
- 1) 山内一彦：海洋深層水取放水計画の基礎的研究，1999年度東海大学大学院修士論文，1999.
- 2) 小松雅之ほか：海洋深層水放流による海域肥沃化検討のためのモデル開発，第3回海洋深層水利用研究会全国集会講演要旨集，pp. 11-12, 1998.



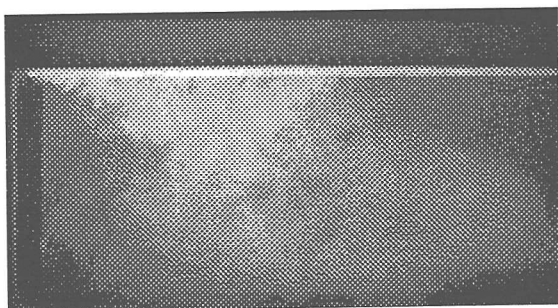
(a) 20秒後



(b) 60秒後



(c) 100秒後



(d) 140秒後

写真-2 流況の時間変化 (case8)