

海洋深層水放流の拡散現象について

東海大学大学院 学生員 三上 和孝
東海大学海洋学部 正 員 田中 博通
東海大学海洋学部 正 員 酒匂 敏次
東海大学海洋学部 飯田 直人
東海大学海洋学部 濱 慎也

1. はじめに

海洋深層水は低温性、富栄養性、清浄性、恒常性が特徴である。この特性を利用するために高知県をはじめ、現在では静岡県など様々な地域で実験が行われている。一般に、海洋深層水を利用後、海域に放流した場合、周囲水よりも低温であることが考えられる。従って、環境への影響や拡散範囲を予測する場合、低温水を周囲水に放流したときの挙動を把握することが重要である。

本研究は表層水よりも低温である深層水を放流した時の放流形式と放流量による拡散・混合状況を計測と可視化手法で求め、経過時間ごとの流況の変化を基に拡散現象を支配する要因について検討した。

2. 実験方法

1.8m×1.8m×0.45m の平面水槽を用いて実験を行い、放流方式は表層放流（開水路：放出口幅 4.5cm）と水中放流（管水路：内径 1.8cm、中間水深：水深 15cm）とする。放水量は、原型で 500m³/day、1000 m³/day、2000m³/day の 3 ケースを想定し、周囲水と放流水の温度差(ΔT)は 5℃、10℃の 2 ケースとした。なお、原型と模型の縮尺は 1/20 とした。

測定は熱伝対センサー6ch による温度測定と可視化手法を用いて行った。座標系は放出口から流下方向に x 軸、横断面方向に y 軸、水深を z 軸とした。

表-1 実験条件（表層放流）

Case	Q(cm ³ /s)	b(cm)	h(cm)	U ₀ (cm/s)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	ρ ₁ (g/cm ³)	ρ ₂ (g/cm ³)	Fr
S1-1									
S2-1	6.30	4.50	0.3	4.67	9.0	14.0	0.99978	0.99924	11.72
S3-1	14.10	4.50	0.3	10.44	9.0	14.0	0.99978	0.99924	26.20
S1-2	3.10	4.50	0.2	3.44	9.0	20.6	0.99978	0.99807	5.94
S2-2	6.33	4.50	0.3	4.69	9.0	20.2	0.99978	0.99816	6.80
S3-2	13.25	4.50	0.3	9.81	9.5	20.0	0.99974	0.99820	14.58

表-1、2 はそれぞれ表層放流と水中放流の実験条件である。表中の記入 S は表層放流、P は水中中間放流、P_b は水槽底面からの水中放流を表す。

表-2 実験条件（水中放流）

Case	Q(cm ³ /s)	D(cm)	U ₀ (cm/s)	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	ρ ₁ (g/cm ³)	ρ ₂ (g/cm ³)	Fr
Pc1-1	3.39	1.80	1.33	9.0	14.5	0.99978	0.99917	1.28
Pc2-1	6.31	1.80	2.48	9.2	14.3	0.99976	0.99920	2.49
Pc3-1	14.07	1.80	5.53	9.5	14.4	0.99974	0.99918	5.56
Pc1-2	3.50	1.80	1.38	10.3	20.4	0.99967	0.99812	0.83
Pc2-2	6.47	1.80	2.54	10.3	20.3	0.99967	0.99814	1.55
Pc3-2	13.87	1.80	5.45	10.3	20.2	0.99967	0.99816	3.34
Pb2-1	6.31	1.80	2.48	9.2	14.3	0.99976	0.99920	2.49
Pb2-2	6.47	1.80	2.54	10.3	20.3	0.99967	0.99814	1.55

可視化実験は、放流水をウランインで着色し、ブラックラ

イトを照射して実験水槽の上面、側面から同時撮影し、流れが定常になった後も撮影した。実験終了後、VTR テープに 1/30 秒でカウンターを打ち込みパソコンに取り込んだ画像から、流況と鉛直・水平方向の拡がり幅を求め、移流拡散現象について検討した。

3. 実験結果及び考察

表層放流を示す図-1 では、放流水が初期の段階で表層を流下する流れがあるが、その後、壁面に沿って流下する流れが主流となり底面に到達した後は底面上を拡がる現象となった。この現象は Fr（内部フルード数）が大きいと放流水が水面上を拡がり、Fr が小さいと z 軸方向に垂直に流下する傾向になった。実験結果より Fr=10 を境界として、その前後で拡散現象の違いが見られた。次に、図-2 の水中中間放流であるが、Fr 数が小さいほうが底面上での拡がり小さくなると言える。図-3 の水中底面放流では底面に沿って楕円形状に拡散する現象になった。また、今回の実験では放出流速（U₀）がほぼ同程度であるので ΔT が大きく、

Fr 数が小さいほど拡がり幅が大きくなる傾向がみられた。

図-4～図-9 は画像から読み取った経過時間ごとの x,y,z 方向の拡がり幅の分布である。 ΔT 時間における拡がり幅を ΔL とすると流体粒子の Lagrange 流速 (v_l) は $v_l = dL/dT \approx \Delta L / \Delta T$ となり、乱流拡散係数 (K) は $K = \overline{v_l Y}$ となる。これについて、近似的に拡がり幅の図を用いて 0～150 秒までの乱流拡散係数を 5 秒ごとに求めると、水中中間放流では底面到達後の x,y 軸での拡がり幅が流速の増加につれて大きくなったが底面到達前ではそのような現象を示していない。これは底面到達前での乱流拡散係数が大きいことから密度流による乱れが大きく、定常的な流れをしていないために起こる現象である。このような放流水による乱れは温度差が小さく Fr が大きいほど現れ、特に流下方向である x 方向においては放流初期段階での乱流拡散係数の値が大きい (放流開始から 5 秒後の Pc1-2 Pc2-2 Pc3-2 の x 方向の乱流拡散係数は $K_x=9.032, 8.686, 2.672$ である。) 流下方向以外への拡散流動が著しく現れてしまったと考えられる。以上に述べたような放流初期に起こる放流水の乱れの違いが、その後の流況の変化に大きな要因を及ぼす事が言える。しかし各種放流形式に対して、より詳細に拡散現象の支配要因を解明していくためにはより多くの実験を行う必要がある。

4. おわりに

今回、現状規模での深層水放流について基礎的な実験を行い上記の結果を得たが、今後の海洋深層水の取水規模と活用法を鑑み、放流形式と広い範囲での放流条件を考慮するとともに、放流時に生じる拡散特性の相違について検討する必要があるものと考えられる。

最後に、本研究の実施にあたり、長野善徳氏 (信幸建設株式会社) およびの鈴木康仁氏 (株式会社安田) に実験・データ整理において協力を得た。ここに記して謝意を表します。



図-1 流況 (CaseS2-2)



図-2 流況 (CasePc2-2)

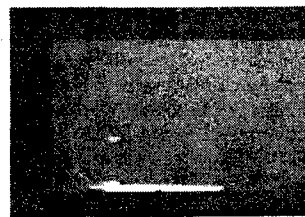


図-3 流況 (CasePb2-2)

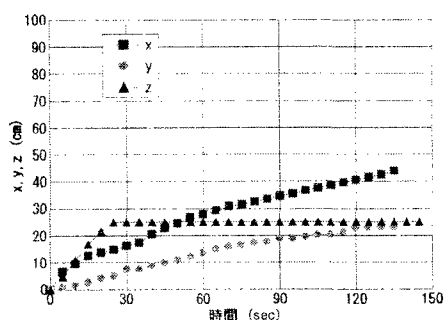


図-4 拡がり幅 (CasePc1-2)

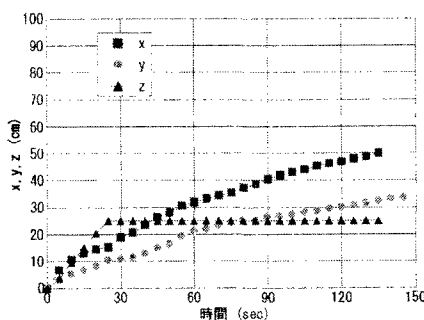


図-5 拡がり幅 (CasePc2-2)

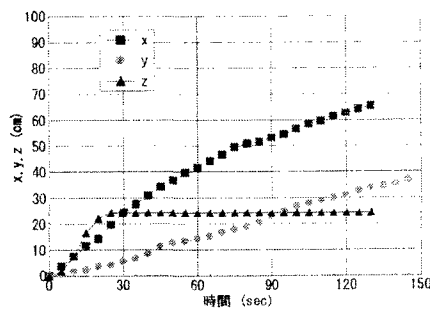


図-6 拡がり幅 (CasePc3-2)

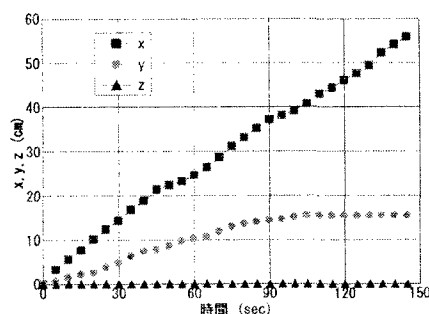


図-7 拡がり幅 (CasePb1-2)

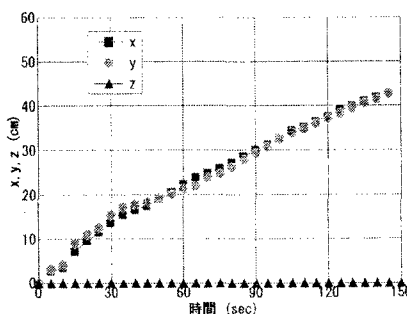


図-8 拡がり幅 (CasePb2-2)

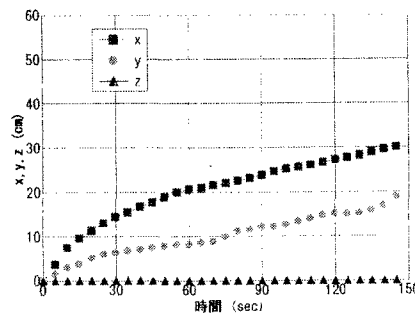


図-9 拡がり幅 (CasePb3-2)

参考文献 田中博通：海洋深層水の取水技術と利活用の現状と今後の課題，

第 23 回海洋工学パネル，pp.16-23，2001