30 密度成層場における人工湧昇流 発生構造物まわりの可視化

水産工学研究所 高木儀昌, 乃万俊文, 明田定満 日本大学 佐久田昌昭
清水建設㈱(研究当時日本大学) 中村順平。 五洋建設㈱ 今村 均

Flow visualization around an artificial upwelling structure in stratified flow

Norimasa Takagi*, Toshifumi Noma*, Hitoshi Imamura**
Masaaki Sakuta***, Junpei Nakamura****

There is an increase in the propagation of phytoplankton in upwelling zones by reason of raising the deep water involved much more nutrient salts to near sea level by wind oncurrent. Therefore, the bottom of food chain will be raised and the fishing ground become well. At the present time, so many researches and developments have been done for artificial reclamation in such zone. Most of the research in the above have treated the homogeneous flowfield but have not taken account of the density characteristic in such zone. So that, there are so many problems in practical use.

In this paper, flow visualization is treated in order to recognize the flow pattern around an artificial upwelling structure in the case of accounting stratified flow. The way of flow visualization is dyeflow method of tracer method.

As the results, next points become clear. One is characteristic of flow pattern of artificial upwelling structure in stratified flow. The other is the direction of the developments of these structures in future.

1. 緒言

1977年に200海里漁業専管水域が宣言されて以来、日本の漁業は厳しい対応を迫られている。また、日本の沿岸域内での漁場適地の90%が未利用であり、漁場として有効的に利用の拡大を図れる海域である。そこで、注目されているのは、高生産性海域として知られている湧昇流海域である。そこで、人工的に湧昇流を発生させ、または、促進させ、生産力の基礎となる栄養塩を多く含んだ深層水を光合成が可能な表層まで持ち上げればよいことになる。現在、この構造物の必要性が言われ、地形性人工湧昇流発生構造物の開発・検討が行われ実用化が急がれている。しかし、これまでの検討は、深層水の特性を無視した均質流場で行われており、深層水の卓越や夏期に成層し易い海域での検討は行われていない。

本研究では、流れの可視化を用いて、密度成層場における人工湧昇流発生構造物の湧昇効果を検討し、拡散・混合機構を水理実験的に明かにすることを目的とする。

本報では、湧昇流発生構造物の基本形状として鉛直板を用いて、2次元流水実験を行い、流況を明かにした。

* Suisankougaku-kenkyujo Ebidai, hasaki-cho, Kashima-gun, Ibaraki

** Penta-Ocean Construction Co. Kouraku, Bunkyo-ku, Tokyo

*** Nihon University Funabashi-shi, Chiba

**** Shimizukensetu(Nihon University)

2. 水理実験

実験は、水産庁・水産工学研究所内の密度流実験室で実験を行った。実験水槽は、長さ;14.0m、幅;0.2m、深さ;0.6mを使用した。この水槽は、上下の流れの系が異なり、上層の淡水は、貯水槽からポンプで汲み上げ、水槽内に流入させた。下層の塩水も、同様に、循環させ、不連続な内部境界面を有する密度成層場を作成した。各実験パラメータをFig.1のように定めた。上層の流速を u_1 、下層の流速を u_2 、構造物の高さを D 、上層の密度を ρ_1 、下層の密度 ρ_2 、上層厚さを h_1 、下層厚さ h_2 、水深を H として実験を行った。尚、流速測定には電磁流速計を用いた。

本報では、このような深層水の卓越を考慮した、密度成層場での人工湧昇流発生構造物まわりの流況を把握するために、可視化手法として、トレーサ法の色素法を用いて水理実験を行った。そして、結果を流れの可視化の応用例として示す。

実験は、主に基礎的な実験と応用的な実験の2通りを行った。

基礎実験は、構造物を、着底させ、構造物高さ; D と上下層の密度差; $\Delta\rho$ をパラメータにし、Table 1に示す条件で実験を行った。

応用実験は、構造物を移動させ、単列型と2列型の実験を行った。Table 2に実験条件を示す。

ここで、密度フルード数と Re 数は
$$Fe = u / \sqrt{\Delta\rho / \rho_2 \cdot g \cdot (h_1 \cdot h_2 / H)}$$

$$Re = u \cdot D / \nu$$

ここで、 $u = u_1 = u_2$

ν ; 水の動粘性係数 Fe ; 密度フルード数 Re ; レイノルズ数

である。

3 可視化手法

可視化手法としては、主に、トレーサ法の色素法を用いた。内部境界面の形状の可視化には、下層水をウラニンで着色し、ウラニンの上層への混入状態を、可視化した。さらに、構造物まわりの細部の可視化は、ローダミンB水溶液を注射針を用いて、局部に放出し、ブラックライトで照らし、可視化した。

4. 結果及び考察

4.1. 成層場での流況特性

成層場での代表的な流況写真をPhoto.1に示し、模式図をFig.3に示す。また、その時の流速測定結果をベクトル図でFig.4に示す。均質場では、約2.0倍程度の湧昇効果が見られたが、写真と模式図から判るように、成層場では、構造物上部付近で、上層と下層の境界である内部境界面が盛り上がり、湧昇効果として見られる。しかし、背後で下降しており、構造物の高さの約5倍後方に内部跳水(Internal hydraulic jump)が見られ、内部波(Internal wave)が発生する。さらに、構造物の高さを変えた場合、高くなるほど界面が上昇し、跳水が激しくなると共に内部波波高も高くなり、上層と下層が混合する。これを、Fig.4の流速から考察すると、構造物背後での下降時に流速が最大2倍程度となり、その後、界面で最小となることが理解できる。この速度差が、内部波の発生に関係しており、構造物が高くなると、この速度差がより大きくなり、混合を増進させている。また、この速度差によって、跳水が生じていると考えられる。

4.3. 成層場での湧昇効果の促進

基礎的な実験では、境界面上昇効果が抑えられてしまい湧昇効果と言えるほどの現象は見られなかった。ここでは、応用実験とし、成層場で湧昇効果を促進させる実験を行った。結果として、代表的な流況写真をPhoto. 2からPhoto. 4に示し、模式図をFig. 4からFig. 6に示す。

Fig. 4を見ると、構造物下部で下層水が縮流され、その損失されたエネルギーが、構造物を通過すると同時に、構造物背後で吸い込まれ、湧昇効果が顕著に見られる。その後、上層へ拡散され、構造物上部を通過した下層水と交わり混合が見られる。

Fig. 5では、構造物下部で下層水が縮流され、そのエネルギーの損失分、構造物の8倍後方付近で界面が上昇し湧昇効果が見られる。その後、若干の混合は、見られるが下降の傾向が見られる。しかし、構造物の高さを高くすると、下降せず混合が見られた。

Fig. 6では、2列型の代表的な結果を示してあるが、先方の構造物で縮流され、構造物間での吸い込みにより渦が生成されている。さらに、後方の構造物で再び縮流され、渦が周期的に発生し、湧昇効果が見られる。

Table.1 Fundamental experiment condition

	D(cm)	H(cm)	h1(cm)	h2(cm)	U(cm/s)	$\Delta\rho$ (g/cm ³)	Density -Fe	Re-Number
H ₀	8.16	40.0	0.0	0.0	4.0	0.0	—	2.0E+1~6.0E+1
P	20.32	40.0	20.0	20.0		0.001~0.006	0.2~0.90	

* H: Homogeneous, P: Pycnocline

Table.2 Applicational experiment condition

D(cm)	H(cm)	h1(cm)	h2(cm)	U(cm/s)	$\Delta\rho$ (g/cm ³)	Density -Fe	Re-Number
8.0	40.0	20.0	20.0	4.0	0.001~0.003	0.5~1.3	2.9E+1~3.1E+1

Photo.1 Main phenomenon(D=8cm, u1=u2=4cm/s, $\Delta\rho=0.006$, Fd=0.34, Re=2300)

Fig.2 Main phenomenon(D=8cm, u1=u2=4cm/s, $\Delta\rho=0.006$, Fd=0.34, Re=2300)

Fig.3 Test result of velocity(D=8cm, u1=u2=4cm/s, $\Delta\rho=0.006$, Fd=0.34, Re=2300)

Fig.4 Main Phenomenon(Neutral model, D=8cm, u1=u2=4cm/s, Δρ=0.003, Fd=0.73, Re=3000)

Fig.5 Main Phenomenon(Hang model, D=8cm, u1=u2=4cm/s, Δρ=0.003, Fd=0.66, Re=3000)

Fig.6 Main Phenomenon(Two attend model, D=8cm, u1=u2=4cm/s, Δρ=0.002, Fd=0.88, Re=3000)

5. 結言

① 成層場での湧昇効果を引き起こす形態としては、内部境界面の盛り上がり、または、跳水などによる境界面の破壊から上層と下層が混合するという2つの形態の存在が、明らかになった。

② 成層場では、海底面に着底型のような抵抗板を設けた場合と比べて境界面付近に垂直に抵抗板を設置する方が効果が多大であり、さらに、単列よりも複数列型の方が効果がある。

③ 本研究により、今後の人工湧昇流構造物の開発の方向性を明確にすることができた。今後は、3次元実験により湧昇効果を定量的に把握し、生物的な考察を踏まえて、湧昇流による漁場造成を考える必要がある。

【参考文献】

1) 川島・高木・佐久田；折面型上昇流発生板の研究（その1）（その2）

日本建築学会大会学術便概集 1985, 8

2) 明田・今村；海底構造物による密度界面の上昇・混合過程に関する実験的研究

海岸工学講演集, 1989 pp849～pp853