

大阪大学大学院工学研究科 正会員 ○川崎 浩司

大阪大学工学部

大谷 知樹

大阪大学大学院工学研究科 正会員

中辻 啓二

1. はじめに

青潮現象は、底層の無(貧)酸素水塊が風などの物理的作用によって表層へ急激に湧昇するのが原因とされている。そのため、従来より、風作用下での密度成層水域の内部特性について検討されてきた。しかし、Hayami et al.(1996)による琵琶湖の現地観測では、送風停止後、界面変動や内部流動が激しく変化するという知見が得られており、風作用下のみならず、風停止後での密度成層場の内部特性を十分に解明することが重要である。そこで、本研究では、風作用下・風停止後での二成層密度場の界面変動と内部流動の特性を、SIMPLE法に基づく数値計算により明らかにすることを目的としている。

2. 数値計算の概要

表-1 計算条件

本計算手法は、尹(1994)の計算手法と同様、境界条件の取り扱いが比較的容易で計算の安定性に優れているSIMPLE法に k - ε 乱流モデルを組み込んだものである。計算対象領域は、全水深一定の場合と風上側に1/7.5勾配の斜面を設けた場合を考え、 x 方向に

Case No.	u_* (m/s)	h_1 (m)	H (m)	$\Delta\rho$ (kg/m ³)	R_i	We
1	6.5×10^{-3}	0.1	0.3	38	1090	39.6
2	6.5×10^{-3}	0.1	0.3	12	360	13.1
3	6.5×10^{-3}	0.1	0.3	7	160	5.8
4	6.5×10^{-3}	0.1	0.3	4	93	3.4
5	6.5×10^{-3}	0.1	0.3	1	23	0.8

540cm、 z 方向に30cmとし、 x, z 方向のメッシュ間隔をそれぞれ $\Delta x = 7.5\text{cm}$ 、 $\Delta z = 1.0\text{cm}$ と一定にした。計算条件は、本計算手法の妥当性を検証するために、尹(1994)が行った水理実験の条件と同じである(表-1)。ここで、表中の記号は、 u_* : 水表面の摩擦速度、 h_1 : 上層の水深、 H : 全水深、 $\Delta\rho$: 上下層間の密度差、 $R_i (= \Delta\rho gh_1 / \rho u_*^2)$: Richardson数、 $We (= 2R_i h_1 / L)$: Wedderburn数である。なお、送風停止後では $u_* = 0$ とした。

3. 計算結果およびその考察

(i) 界面変動特性: 図-1は、風上端($x^* = 18$)、中央部($x^* = 9$)、風下端($x^* = 0$)の地点における密度界面の経時変化を図示したものである。なお、本研究では、数値計算による密度界面を、上下層の初期相対密度の平均値 $\rho^* = 0.5$ として定義した。図-1(a)より、風影響下では、送風開始直後から風上側の密度界面は上昇し、風下側の密度界面は下降しているのがわかる。一方、風停止後での界面変動は、送風中の場合とは大きく異なり、風下側の密度界面が上昇するとともに、送風中に水表面まで湧昇していた風上側の密度界面が重力の復元力により下降し、周期性をもって振動している様子がみられる。ここで、計算結果による振動周期 T_c を算定すると、 $T_c \simeq 90\text{s}$ となり、二層モデルによる内部セイシュの基本モード $T_i \simeq 72\text{s}$ に比べて大きいことがわかる。また、数値計算は水理実験をある程度再現しており、本計算手法の妥当性が検証される。なお、紙面の制約上図示しないが、 We 数が大きくなると水域の成層度が増すため、風作用下においても上下層の水塊があまり混合せず送風開始後の短時間で定常状態に達し、送風後では界面変動が若干振動することが認められた。

(ii) 内部流動特性: 図-2に、斜面を設けた場合における風外力が及ぼす密度成層場の内部流動を示す。図-2(a)~(c)より認められるように、送風開始直後から上昇し始めた風上側の密度界面は水表面に到達しており、送風時間の経過とともに、水表面に達した密度界面がフロントを形成しながら風下側へ移動している。一方、送風停止後での内部流動を示す図-2(d)~(f)をみると、水表面まで湧昇していた風上側の密度界面は、送風停止

後、重力の復元力によって傾斜した密度界面が水平に戻ろうとするのが認められる。このとき、斜面上で強い流れが発生し、斜面上部 ($11 < x^* < 13$, $0.2 < z^* < 0.8$) において、斜面が設置されていない場合には確認されなかった渦が生じている。そのため、この付近では水塊の混合が促進されていると判断できる。

4. おわりに

本研究では、SIMPLE法に基づく数値計算により、風作用下・風停止後での二成層密度場の界面変動と内部流動の特性を議論した。今後、乱れの非等方性を考慮できるよう乱流モデルを改良するとともに、密度成層水域の内部特性に及ぼす風の効果についてより詳細に検討を進めていくつもりである。

[参考文献]

伊 鐘星 (1994) : 密度成層水域における貧酸素水塊に湧昇現象に関する水理学研究, 大阪大学学位論文, 163p.
Hayami, Y. et al. (1996) : Internal Surge in Lake Biwa Induced by Strong Winds of a Typhoon, Jpn. J. Limnol., 57 4(2), pp.425-444.

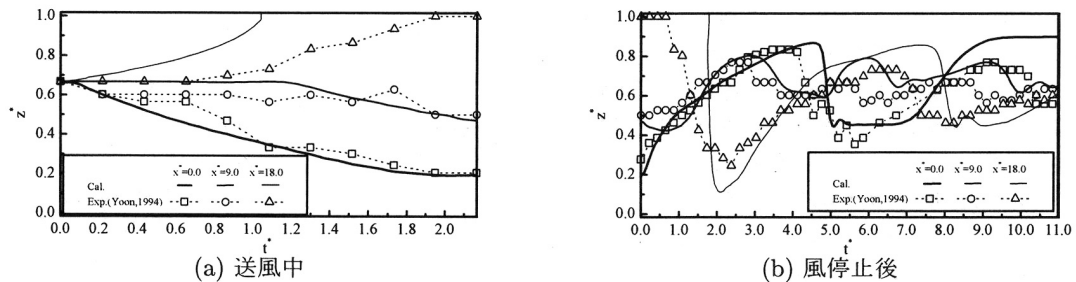


図-1 全水深が一定の場合での密度界面の経時変化 ($We = 3.4$)

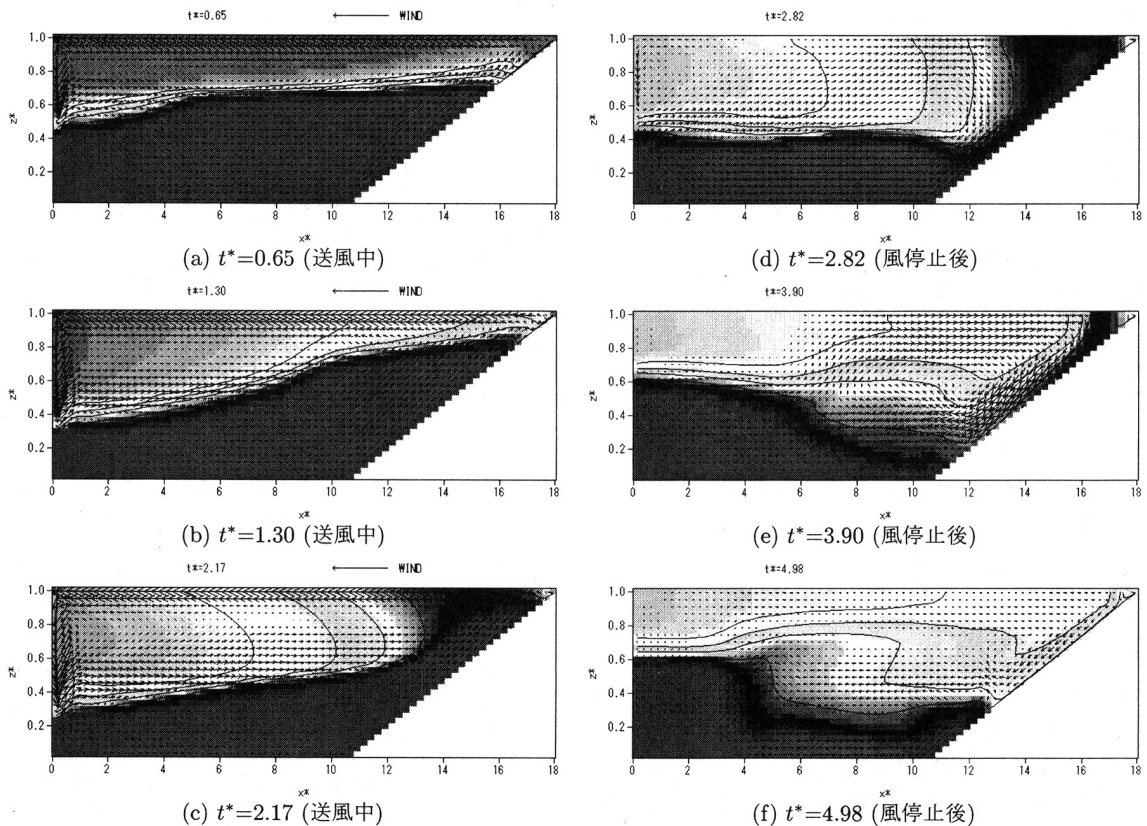


図-2 斜面を設けた場合での内部流動の経時変化 ($We = 3.4$)