

II-281 風作用下および風停止後における二成層密度流系の内部特性

大阪大学大学院工学研究科 正会員 ○川崎 浩司

大阪大学大学院工学研究科 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：風作用下での密度成層水域の内部特性を取り上げた研究例は比較的少ない。また，Hayami et al.(1996)が実施した琵琶湖の現地観測より，送風停止後，界面変動と内部流動が激しく変化するという結果が得られている。このことは，風作用下のみならず，風停止後での密度成層水域の内部特性を明らかにすることが極めて重要であることを示唆する。そこで，本研究では，二成層密度水域を対象に，風作用下・風停止後での内部流動と界面変動の特性を，SIMPLE法に基づく数値計算より考究する。

2. 数値計算の概要：計算手法は尹(1994)の計算手法と同様で，境界条件の設定が比較的容易で計算の安定性に優れているSIMPLE法に $k-\varepsilon$ 乱流モデルを組み込んだものである。計算領域は，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 $L=540\text{cm}$ ， z 方向に $H=30\text{cm}$ 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，尹(1994)が行った水理実験の条件と同じである。具体的には，水表面での風応力による摩擦速度を $u_* = 6.5 \times 10^{-3}\text{m/s}$ ，全水深を $H=0.3\text{m}$ ，初期上層厚を $h_1=0.1\text{m}$ と一定にし，初期密度差を $\Delta\rho=1.0\sim 38.0\text{kg/m}^3$ の範囲で5，6種類変化させた。なお，送風停止後では，水表面での摩擦速度を $u_* = 0$ とした。

3. 計算結果とその考察：(i) **内部流動特性：**図-1は水路中央部での無次元水平方向流速 U^* の鉛直分布を示す。なお，水域の成層度強さとスケールを示す無次元パラメータとして，Wedderburn数 $W_e = 2\Delta\rho gh_1^2/(\rho u_*^2 L)$ を用いた。同図より，風停止直前($t^*=2.17$)では，上層($z^* > 0.88$)において風応力と同方向の順流が，また $0.6 < z^* < 0.88$ の範囲でそれを補償する逆流が発生している。つまり，極めて成層度が強い $W_e=39.6$ の場合，初期密度界面付近より上層で，鉛直循環流が形成されていることが判明する。しかし，風停止から時間が経過すると($t^* > 2.17$)，水平流速の鉛直分布が全層にわたって変化しており，風停止後での密度成層水域の内部流動が送風中の場合と比べて大きく異なることがわかる。ついで，図-2に，風外力が及ぼす密度成層水域の内部流動シミュレーション結果の一例を示す。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，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。そして，送風停止後，水表面まで湧昇していた風上側の密度界面は重力の復元力によって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する(図-2(d)参照)。また，斜面上部($11 < x^* < 13$ ， $0.2 < z^* < 0.8$)では，斜面が設置されていない場合にはみられなかった渦が生じ，水塊の混合が促進されていると判断できる。(ii) **界面変動特性：**図-3，図-4は，それぞれ $W_e=39.6$ ，5.8の場合で，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無次元表示したものである。ここで，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-3より，密度界面はあまり変動しておらず，風外力による影響をほとんど受けていないことがわかる。しかし， $W_e=5.8$ の場合を示す図-4をみると，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。また，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。以上のことから，風外力が及ぼす密度成層水域の内部特性は，風作用・風停止後に関係なく，Wedderburn数に大きく依存

キーワード：風外力，内部流動，界面変動，数値シミュレーション，二成層密度流系

連絡先：〒565-0871 吹田市山田丘2-1 大阪大学大学院工学研究科土木工学専攻

Tel 06-6879-7605 Fax 06-6879-7607

していることが理解できる。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。

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について議論した。今後、乱流モデルの改良など計算精度を向上させるとともに、密度成層水域の内部特性に及ぼす風効果について詳細に検討を進めていく予定である。

【参考文献】：(1) 尹 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.
(2) 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.

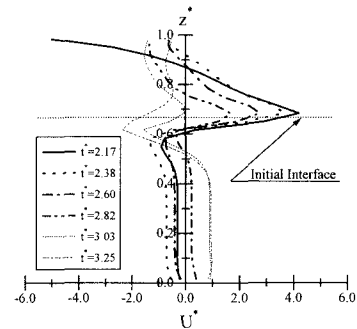


図-1 水路中央部での無次元水平流速の鉛直分布（全水深が一定の場合， $W_e=39.6$ ）

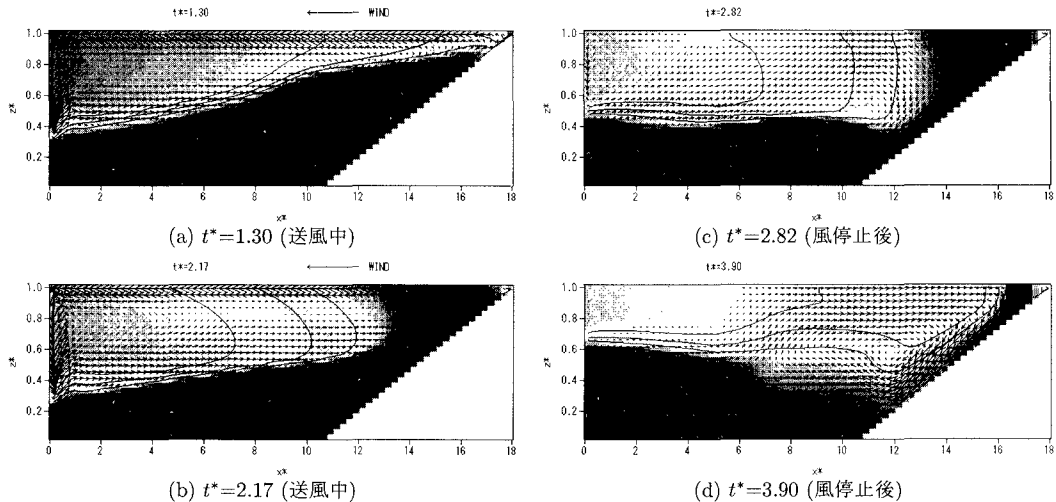


図-2 斜面を設けた場合での内部流動の経時変化 ($W_e = 3.4$)

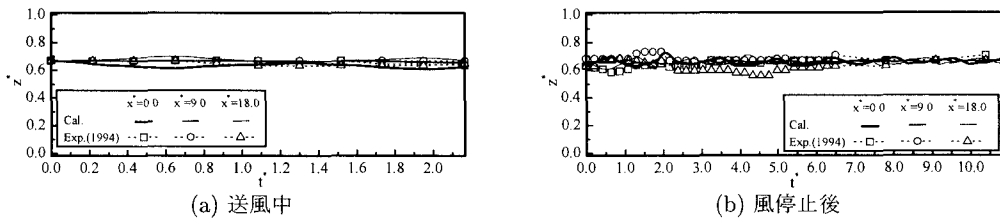


図-3 全水深が一定の場合での密度界面の経時変化 ($W_e = 39.6$)

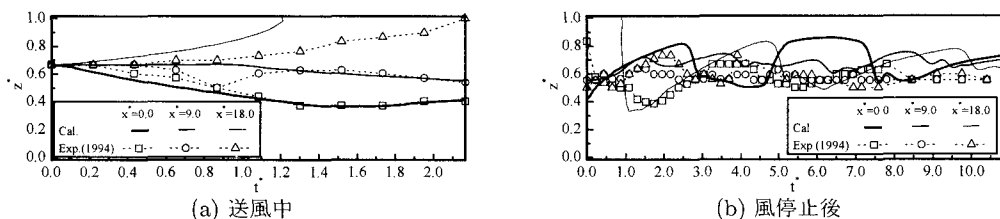


図-4 全水深が一定の場合での密度界面の経時変化 ($W_e = 5.8$)