

密度成層した閉鎖性水域の混合機構に及ぼす風外力の影響

大阪府 正員 ○ 渡 邊 昇
 橋大林組 正員 長 坂 誠 司
 大阪大学工学部 正員 中 辻 啓 二
 大阪大学工学部 正員 村 岡 浩 爾

1. はじめに

密度成層した閉鎖性水域に風外力が作用すると、風上側における密度躍層の上昇と風下側における下降が起こる。界面付近では内部波や内部静振が発生し、成層が破壊されることもある。このような諸現象を含む混合形態に対して、Spigel・Imberger¹⁾は Ri^* 数と形状比 $L/2h$ を用いることによって4つの形態に分類することを提案している。著者らは東京湾の青潮発生機構の解明に向けた基礎実験²⁾でその妥当性を検証した。しかし、その実験の過程で送風停止後にみられる内部静振や内部段波の発生が混合に対して大きく寄与しているように思われた。そこで、本研究では成層状態にある水槽の水表面上に風を吹かせた場合に生ずる混合現象を観測するとともに、送風停止後に界面付近で発生する現象に着目し、それらが混合にどの程度寄与しているかもあわせて考察する。

2. 実験概要

実験装置は風洞と観測用水路から成り立っている。水路は全長600cm、高さ45cm、内幅15cmの一樣矩形断面である。風洞は分巻モーターによって駆動されるファンで風を送る方式の送風機を備え付けている。実験は、観測用水路に塩水と水道水を用いて初期密度差 $\Delta\rho$ (kg/cm^3)、上層厚 h (cm)の二成層密度場を作り、その水表面上に風を吹かせたときの密度界面の挙動や混合特性を可視化観測した。下層水はメチレンブルーで着色し、風上側から0cm、300cm、550cmの三点において目視観測するとともに、写真撮影、ビデオ解析も同時に行った。本研究で行った実験条件を表-1に示す。

3. 実験結果

設定した二成層場に風外力を作用させた際の水槽内の状況の経時変化の模式図を図-1に示す。図の右端が水路の上流端、左端が下流端であり、初期界面の位置を一点鎖線で表してある。図中の実線は界面を、破線は中間層と上層との密度境界面を示している。また、送風を停止した後の各測点における界面位置の時間変動を図-2に示す。それぞれのシンボルは●が風上端、■が水路中央、▲が風下端において観測された

表 1 実験条件

$u^*(\text{m/s})$	$h_u(\text{m})$	$\Delta\rho(\text{kg}/\text{m}^3)$	Ri^*	$L/2h_u$	Regime
6.5×10^{-3}	0.10	38.0	1090	27.5	A
6.5×10^{-3}	0.10	12.0	360	27.5	B-A
6.5×10^{-3}	0.10	7.0	180	27.5	B-B
6.5×10^{-3}	0.10	4.0	93	27.5	B-C
6.5×10^{-3}	0.10	1.0	23	27.5	C

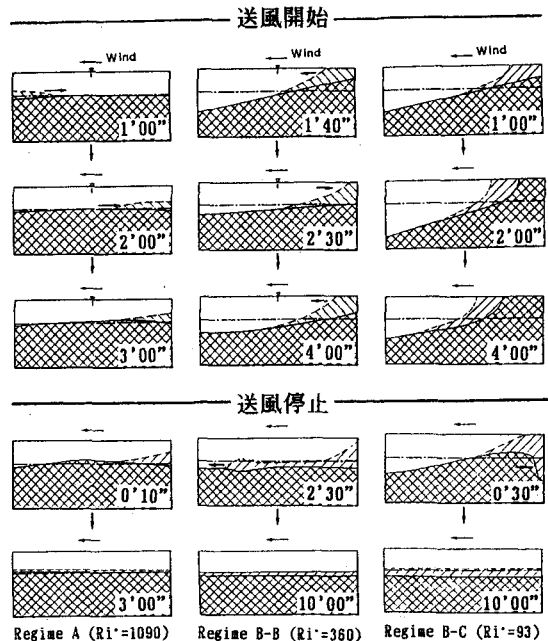


図-1 流動形態別の水域内の経時変化

Noboru WATANABE, Seiji NAGASAKA, Keiji NAKATSUJI, Kohji MURAOKA

界面の鉛直方向位置である。シンボル○は風上端で観測した混合によって生じた上流端における中間層と上層との密度境界面の位置を示す。図の縦軸は初期界面からの相対的な高さである。また、横軸は送風停止からの経過時間を示す。

Regime A, $Ri^*=1090$ の場合、送風開始とともに下流側で中間層が生じ、それは上層に形成される循環流によって上流側に移動する。界面は中間層とともに下がり、図のようなくさび形を呈して送風開始6分後には疑似定常状態に達する。送風を停止すると、風による吹き寄せ効果から解放された中間層が下流側に向かって移動し、それにともない界面は内部静振的な挙動を示す。その振幅は最大3 cm程度であった。中間層はその後ゆっくりと水槽内を往復するものの、その流動は穏やかに混合にはほとんど寄与していないと思われる。

Regime B-B, $Ri^*=160$ の場合は、上流側の界面で内部波が発生し、その発達と砕波を通して混合が進む。上流側へ運ばれた中間層は約90秒後に水表面に達し、さらに水表面付近の流れによって下流側へ拡がっていく。また、界面では内部静振が観察され、その周期は約3分であった。送風を停止すると、中間層は内部段波を形成しつつ、急激に下流側へ移動する。このとき、中間層のフロント部では混合水が上層へ巻き上がり、混合が進行する。中間層と上層との密度境界面は極めて不鮮明になる。中間層は送風停止後3分10秒に下流端に達して砕け、その流動は弱まる。最終的な中間層厚は送風中よりも大きくなり、界面位置は水表面から約12 cm、中間層厚は6 cm程度であった。このことより、送風中よりも送風後に生じる現象の方が混合に大きく寄与していると思われる。

Regime B-C, $Ri^*=93$ の場合は、送風を開始するとすぐに風によるせん断力の作用で乱れが生じ、界面上の広い範囲にわたって下層水が上層水に連行される。Spigel・Imberger の Regime C と似た挙動を示す。中間層、密度界面はともに水表面に到達し、中間層は水表面付近で下流側に拡がる。送風停止とともに上流側では中間層が下流側に移動するのにもなって、界面が急激に上昇する。その際、中間層は大きく乱れ、内部段波を形成しつつ下流側へ移動する。内部段波の進行により中間層と上層との密度境界面は不安定になる。中間層厚は8 cm前後まで増加した。密度界面はその後も減衰しながら振動を続け、図-2に示すようになかなか定常状態に到達しない。最終的には密度界面は初期界面位置より3 cm程度下方で安定したが、上層の水は内部段波の進行にともなって全体的に薄く着色され連行量がかなり多いと考えられる。

4. 結論

以上の実験結果は、成層した閉鎖性水域に風外力が作用した場合に生ずる混合を考える場合には、単に領域区分にとらわれるのではなく、送風停止後に発生する諸現象に着目する必要性を示唆するものである。今後は定量的な考察を続行する予定である。

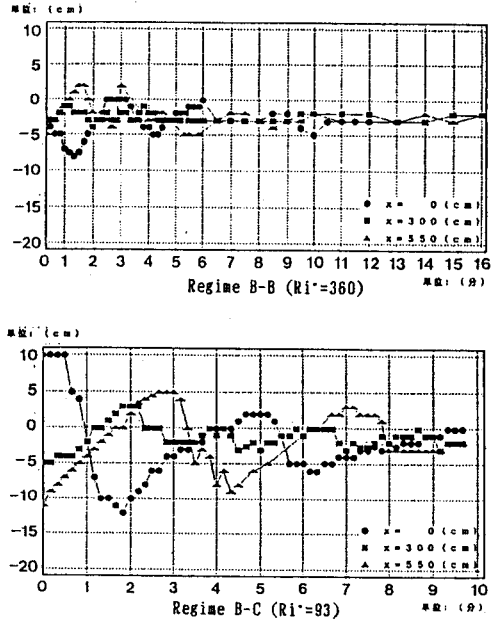


図-2 送風停止後の界面位置の時間変動

(参考文献) 1) Spigel, R. H. and J. Imberger: The classification of mixed-layer dynamics in lakes of small to medium size. J. Phys. Oceanogr., Vol. 10, pp. 1104~1121, 1980. 2) 中辻啓二, 長坂誠司, 村岡浩爾: 東京湾の青潮の発生機構に関する基礎的実験, 水工学論文集, 第35巻, pp. 603-608, 1991.