

(株)大林組 正員 磯崎正哉
 大阪大学工学部 正員 室田 明
 大阪大学工学部 正員 中辻啓二

1. まえがき

成層せん断流の内部境界面近傍で計測した浮力変動の時系列を観ると、『一度極小値に減少し、その後急激に増大して極大値まで達して、それから緩慢に減少する』ランプ(ramp)状のパターンが間欠的に認められる。この特徴的な変動パターンは混合層や乱流境界層の流速信号や温度信号にも観察され、組織構造の反映した信号として認識されている。本研究では、この浮力変動のパターンに着目してVITA法による条件付標本抽出を行ない、各乱れ諸量の位相関係から成層せん断流の乱流構造および乱流輸送機構を解明する。

2. VITA法による条件付標本抽出

VITA法では時間スケール T で移動平均した局所時間平均 $\hat{b}(t, T)$ に基づいて分散 $\hat{var}(t, T)$ が算出され、それが検出関数として用いられる。すなわち、 $\hat{var}(t, T)$ は次式で定義される時系列である。

$$\hat{var}(t, T) = \hat{b}^2(t, T) - [\hat{b}(t, T)]^2 \quad (1)$$

閾値は浮力変動の分散 b'^2 と閾値パラメータ m の積 mb'^2 で定義され、 $\hat{var}$ と閾値の比較から検出関数 $D(t)$ が1と0の二値で表わされる。

この $D(t)=1$ で検出される乱流変動は次式のように位相を合せて集合平均される。

$$\langle Q(\tau) \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Q(t_i + \tau) \quad (2)$$

ここに、 Q は条件付位相平均される水理量、 t_i は検出の生起時間、 τ は抽出前後の時間の遅れ、 N は総サンプル数を示す。

時間スケール T と閾値パラメータ m は任意定数であり、条件付位相平均を行なう前に、設定した両値の妥当性を検討する必要がある。図-1は T と m を変化させたときの浮力変動の条件付位相平均の結果を示す。 T の値が小さいとき、および m の値が大ききときに、 $\langle b \rangle$ の絶対値が多少大きくなるだけであり、浮力変動の分布形状はあまり変化しない。そこで、以下の解析では T に渦寿命時間 T_l を、 m に0.6の値を採用する。

検出の妥当性を検証するために、浮力変動 $b(t)$ 、分散 $\hat{var}(t)$ および検出関数 $D(t)$ の一例を図-2に示す。同図より、浮力変動が負から正へ急増大する位置で $\hat{var}$ の値も大きくなり、検出関数 $D(t)$ が大規模な浮力変動を良好に抽出している様子が視覚的にわかる。

3. 条件付位相平均の結果と考察

せん断効果の卓越する $Ri_h = 0.021$ (Run 1)の断面の各水深で得られた条件付位相平均 $\langle b \rangle$ 、 $\langle u \rangle$ 、 $\langle v \rangle$ 、 $\langle uv \rangle$ 、 $\langle ub \rangle$ 、 $\langle vb \rangle$ の分布形状を図-3に示す。縦軸は水表面での流速 U_s と浮力 B_s を用いて無次元表示した。 $\tau_*(= \tau U_s / H)$ は τ を U_s と内部境界面水深 H で規格化した無次元時間を表わす。

$\langle b \rangle$ に観られるランプ状の急激な増大と緩慢な減少過程は成層せん断流の全水深にわたって明瞭に認められる。この傾向は乱流境界層でのバースティング現象を温度変動で検出したChen・Blackwelder¹⁾や

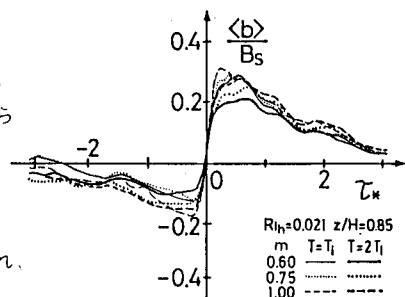


図-1 $\langle b \rangle$ の分布形状に及ぼす T と m の影響

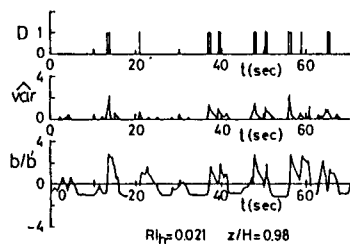


図-2 b 、 $\hat{var}$ 、 D の時系列

Antonia²⁾ の結果と類似している。

$z/H = 0.69$ では $\langle v \rangle$ と $\langle b \rangle$ の位相が完全に一致している。また、 $\langle uv \rangle$ 、 $\langle vb \rangle$ 、 $\langle ub \rangle$ はともに正值であり、フロント前部では低運動量の重い流体 ($\langle u \rangle < 0$ 、 $\langle b \rangle < 0$) を鉛直上向きに輸送し、フロント後部では高運動量の軽い流体 ($\langle u \rangle > 0$ 、 $\langle b \rangle > 0$) を鉛直下向きに輸送するというせん断流特有の輸送形態を呈している。

$z/H = 0.85$ は間欠関数を用いた条件付解析によれば組織的乱流構造の最も発達した水深であり

3) $\langle b \rangle$ 、 $\langle u \rangle$ 、 $\langle v \rangle$ の正の極大値が大きい。 $\langle uv \rangle$ と $\langle vb \rangle$ はフロント後部の $\tau_* = 0.0 \sim 1.44$ の範囲で鋭いピークをもち、その値は $3.14 \overline{uv}$ 、 $2.18 \overline{vb}$ である。とくに、 $\langle vb \rangle / U_s B_s$ の最大値は 0.014 と大きい。すなわち、組織立った乱流運動により大量の高運動量の軽い流体が鉛直下方に輸送されている。

これに対して、内部境界面近くの $z/H = 0.98$ になると、 $\langle v \rangle$ の最大値はフロントの前部に移り、 $\langle v \rangle$ と $\langle b \rangle$ は逆位相を呈するようになる。

この v - b の位相差が $\pi/2$ になることから内部波の存在が示唆される。これに附随して、 $\langle uv \rangle$ と $\langle vb \rangle$ も前二者とは異なった変動パターンを呈する。 $\langle uv \rangle$ は検出原点に対称な正值の分布を示しているのに対して、 $\langle vb \rangle$ は原点に逆対称でありフロント前部で負、後部で正となっている。この $\langle vb \rangle$ の変動パターンは内部波に誘起された変動であり、実質的な浮力輸送は生じない。他方、 $\langle uv \rangle$ は組織構造によって $z/H = 0.85$ から輸送された高運動量の流体 ($\langle u \rangle > 0$) を鉛直下方に輸送しており、運動量輸送と浮力輸送の相違が認められる。 $\langle ub \rangle$ の変動パターンは $z/H = 0.85$ でのそれと類似しており、組織構造の寄与がうかがわれる。すなわち、内部境界面上では大部分の浮力は流れ方向に移流されることになる。

比較のために、成層化の顕在化した $Ri_h = 0.234$ (Run 3) で図-3と同様に検出した $\langle uv \rangle$ 、 $\langle vb \rangle$ 、 $\langle ub \rangle$ の分布形状を図-4に示す。成層化により組織構造が崩壊するため、この断面で検出した乱流変動の規模は時間的にも強度的にも $Ri_h = 0.021$ と比較して小さい。 $\tau_* = 0.7$ で $\langle uv \rangle$ と $\langle vb \rangle$ がわずかに突出している程度である。 $z/H = 1.02$ では $Ri_h = 0.021$ の $z/H = 0.98$ と同様に、 $\langle vb \rangle$ は内部波の存在を示唆する位相関係を示す。以上より、 $Ri_h = 0.234$ では安定な内部境界面を形成し、波動的な運動を呈するとともに、運動量および浮力の鉛直方向輸送が著しく抑制されていることがわかる。

(参考文献)

- 1) Chen, C.H.P. and R.F. Blackwelder : J. Fluid Mech., Vol. 89, pp. 1-31, 1978.
- 2) Antonia, R.A. : J. Fluid Mech., Vol. 56, pp. 1-18, 1972.
- 3) 室田明・中辻啓二・磯崎正哉 : 第27回水理講演会論文集, pp. 597-602, 1983.

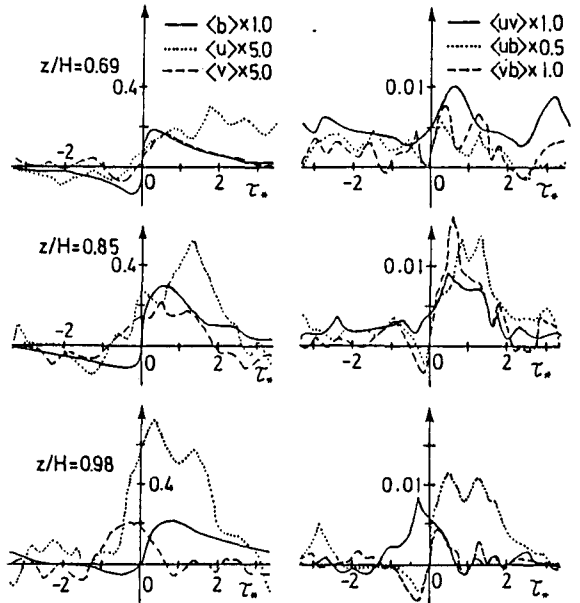


図-3 条件付位相平均された変動パターン ($Ri_h = 0.021$)

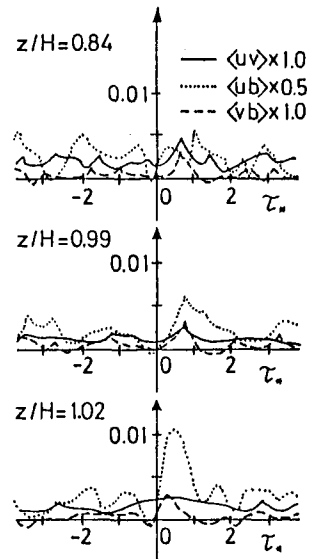


図-4 条件付位相平均された変動パターン ($Ri_h = 0.234$)