

成層せん断流の乱流構造 (1) 運動量輸送とスカラー量輸送

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
関西電力(株) 正員 〇角谷 孝義

1. まえがき: 浮力効果は流体中の鉛直方向の運動量輸送ならびにスカラー量輸送を著しく劣化させる。この乱流輸送過程に与える浮力効果を解明するためには、運動量輸送とスカラー量輸送の差異を明らかにし、輸送現象の理解をより一層深める必要がある。本報では、浮力効果が小さく、連行加入の認められる成層せん断流で流速二方向成分および濃度の同一点・同時長時間計測を行ない、それに基づいて乱れの相乗積(レイノルズ応力および乱流浮力フラックス)等を求め、浮力影響下における運動量・スカラー量輸送機構の差異を分析することを試みた。

2. 実験内容: 実験水路は長さ 6.0^m × 高さ 0.5^m × 幅 0.15^m の両面アクリル製水路であり、表層放流した噴流速度、初期密度差および放流水深はそれぞれ $27.0^{\circ}/sec$, $1.3 \times 10^{-3} g/cm^3$, 1.86^m である。検査断面は確立領域に属すると思われる $z/H_0 = 43.0$ の位置で鉛直方向に数十点にわたり計測を行ない(サンプル数 $n = 8000$, サンプル間隔 $\Delta t = 0.005^sec$)、主要な数点においては長時間計測を行なった($n = 9400$, $\Delta t = 0.025^sec$)。なお、この断面の成層度は断面平均リチャードソン数 $\overline{Ri} = 0.058$ であり、下層からの塩水の連行が認められる断面である。

3. レイノルズ応力および乱流浮力フラックスの分布: 図1にレイノルズ応力 $-\overline{uv}$ とその相関係数 $-R_{uv}$ を、図2に乱流浮力フラックス $-\overline{vb}$ とその相関係数 $-R_{vb}$ を示す。 $-\overline{uv}$ と $-\overline{vb}$ の分布形状は若干異なっているが、ともに $z/H = 0.25$ で最大値をとったのちに、水深の増加とともに一様に減少しているのがわかる。相関係数は噴流内部ではそれぞれ異なった値を示すが、 $0.84 < z/H < 1.0$ の範囲では $-R_{uv}$ と $-R_{vb}$ は同様の値と傾向を示す。

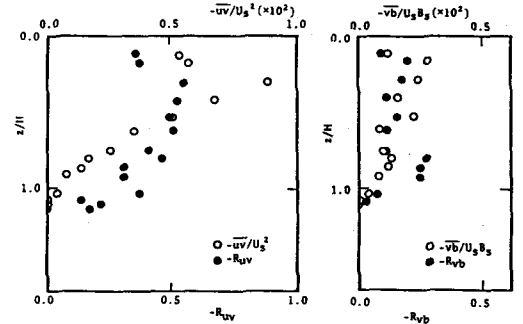


図1. レイノルズ応力と $-R_{uv}$

図2. 乱流浮力フラックスと $-R_{vb}$

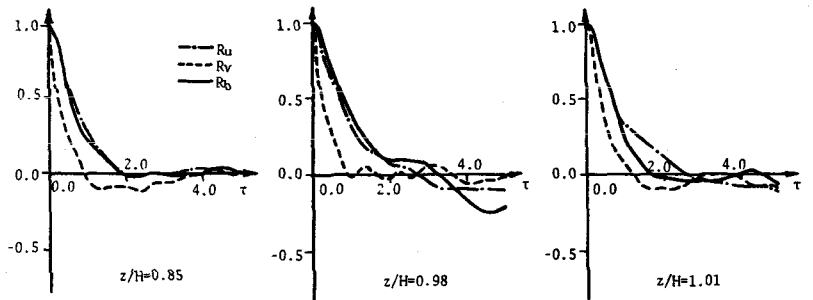


図3. u, v および b の自己相関関数

4. 自己相関関数: 図3は成層界面をはさむ点

で長時間計測した u , v および b の自己相関関数を示す。同図より、 u と v の関数形は概ね同様な分布形を呈しているのがわかるが、 v の相関は z の小さな範囲で減少し、 v 変動には高周波成分が多く内在することを示す。また、断面内のすべての平均水深 $\bar{z}$ は界面に近づくにつれて増大し、とくに T_u/T_v の値は界面に近づくにともない等方性乱流での値 2.0 より大きくなる。さらに、 $(T_u+T_v)/2T_b$ の値も界面近傍で急減少して、0.5 の値となる。

5. 鉛直方向流速成分 v の確率密度分布: 図4は図3に対応した水深で求めた v の確率密度分布であり、 u および b の正負の条件付表示で示した。成層界面上の噴流内部領域では低速流体 ($u < 0$) を上向き ($v > 0$) に、また重い流体 ($b < 0$) を上向きに輸送する割合が大きいことがわかる。運動量輸送に関しては成層界面以下でも同様な傾向がみられるが、スカラー量輸送については、界面およびそれ以下で軽い流体 ($b > 0$) を下向き ($v < 0$) に輸送する挙動が多く存在するようになり、運動量輸送との違いが現われる。しかしながら、両輸送に直接的に係わると考えられる乱れ強度の大きい変動(例えば、図中の $|v|/v' > 1.0$) をみれば、両輸送は同様の傾向を示す。

6. フヒーレンス特性: 図5は u - v および v - b 間の各周波別相関度を、鉛直方向位置をパラメーターに選んで示したものである。レイノルズ応力 $-\overline{uv}$ は成層界面近傍では約 0.1 Hz でピークを示すものの全般的にいて低周波領域での運動量交換により定まるものと考えることができよう。一方、乱流浮力フラックス $-\overline{vb}$ は図2に示した相関係数の大きくなる成層界面直上では低周波の乱れによる輸送により影響を受けるが、その他の水深では 0.1 Hz 以下の低周波数の乱れはほとんど関係しないことがわかる。また、卓越したピークを示す約 0.3 Hz はブルントバイサラ振動数と一致しており、

波状の運動と高周波の乱れによる混合が浮力輸送に貢献するようになる。このように長時間平均に基づいた $-\overline{uv}$ と $-\overline{vb}$ を乱流混合による運動量輸送とスカラー量輸送と見なす場合にはその内部構造はかなり異なっていることに注意を払う必要がある。

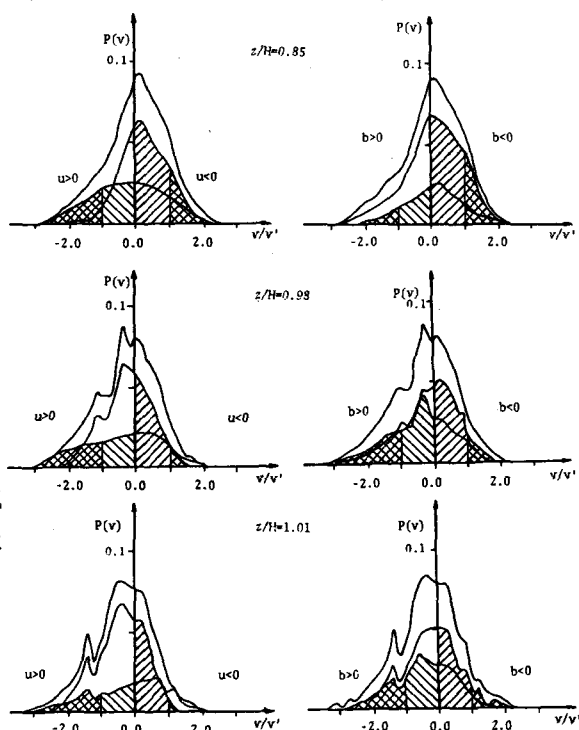


図4. v の確率密度分布

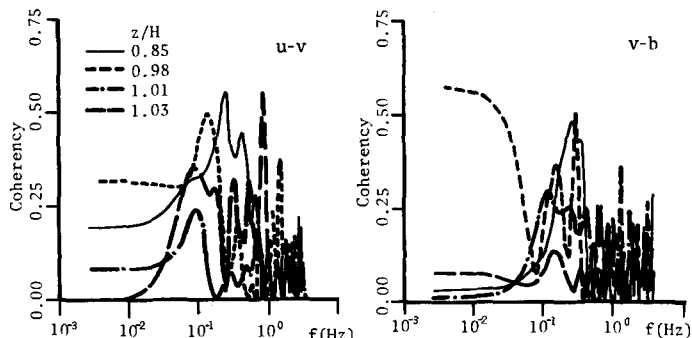


図5. uv および vb の各周波数別相関度