

成層せん断流の乱流構造 (4) 浮力効果

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
 大阪大学大学院 学生員○ 浅田 浩章

1. まえがき ; 浮力による成層化が乱流の鉛直運動を抑圧し、乱れ強度を低下させることはよく知られている。本研究では、成層せん断流の乱流構造、とくに乱れの規模に及ぼす浮力効果について検討する。実験および計測データは前報と同じである。今回解析の対象としたRun 1およびRun 3はそれぞれ、せん断層リチャードソン数 $Rih=0.021, 0.234$ の流れである。成層せん断流は、 $Rih=0.12$ を境にして流動形態が大きく変化する。Run 1は噴流型の流動形態を示し周囲水の連行希釈が活発に生じるせん断流卓越領域に属する。一方、Run 3は弱安定型二成層流となる浮力支配領域の流れである。

2. 渦スケールの特性 ; 図-1は、流程方向及び鉛直方向の平均渦スケール L_x, L_z を内部境界面水深で無次元化して示す。 L_x, L_z はそれぞれ流程方向、鉛直方向の流速変動 u, v の自己相関関数から求まる積分時間スケール T_I より、Taylorの凍結乱流近似に基づいて次式で求められる。

$$L = T_I \cdot U, \quad T_I = \int_0^{\infty} R(\tau) d\tau$$

この平均渦スケールは、乱れエネルギーを含む渦のスケールを代表している。内部境界面($z/H=1.0$)に近づくにしたがって、つまり局所的な成層度の増大にともなって、またRun 1からRun 3へと平均的な成層度が強くなるほど、 L_x, L_z の値は小さくなる傾向にある。すなわち、浮力が乱れの規模を縮小するように働くことが同図よりわかる。流程方向と鉛直方向の渦スケールの比 L_x / L_z は水深方向にほぼ一定となり、 $L_x / L_z = 2.5$ である。均質流体の自由せん断流における L_x / L_z の値が2.0であることを考えると、浮力は、鉛直方向の平均渦スケール L_z に対して、より強い影響を及ぼしているようである。

つぎに、エネルギーの粘性逸散に関する渦スケールを代表する最小渦スケール λ_x を図-2に示す。今回の研究では、 $\lambda_x = \sqrt{15 \nu u'^2 / \epsilon}$ で定義されるTaylorの最小渦径を用いた。ここで ϵ はエネルギー

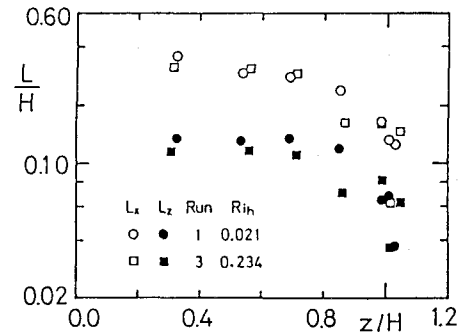


図-1 平均渦スケールの変化

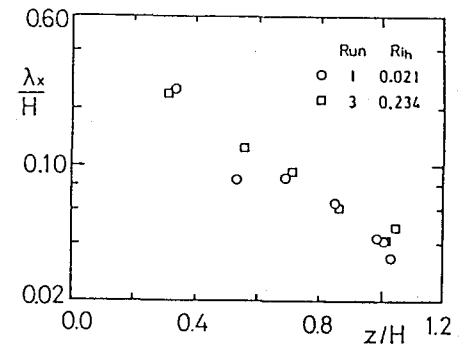


図-2 最小渦スケールの変化

Akira MUROTA, Keiji NAKATSUJI and Hiroaki ASADA

ギー逸散率である。 $\lambda x / H$ は成層度による差異はなく、鉛直方向に一樣に減少する。したがって、エネルギーの粘性逸散に対しては浮力の影響が及ばないことがわかる。

平均渦スケール，最小渦スケールを合わせて考えると、浮力の効果は、乱れエネルギーを有する平均渦スケールのような比較的規模の大きい乱れを抑圧するように働き、乱れエネルギーはより小規模の乱れに移るが、エネルギーの粘性逸散に関係するような小規模の乱れに対してはその影響が現われないことがわかる。これは、浮力が加速度であり、小規模の乱流運動よりも大規模な乱流運動に対して大きな影響を及ぼすことから納得できることである。

3. パワースペクトルの特性 ; さらに、乱れスケールに及ぼす浮力の影響をより詳細に把握するために、各波数成分に対する成層度の影響を調べた。図-3は、 $z/H=0.85$ における鉛直方向流速変動 v の対数スペクトル $k \cdot P_v(k)$ を示す。先の平均渦スケールの特性から、この $z/H=0.85$ は成層度による差異が最も顕著に現われる水深である。同図においてスペクトル曲線と横軸に囲まれた面積は乱れエネルギー $\overline{v^2}$ を表わす。成層度の強いRun 3ではRun 1にくらべて乱れエネルギー $\overline{v^2}$ は小さく、その成分はRun 1のそれよりも高波数側へ移る。詳細にみれば、Run 1では $k=0.6(1/cm)$ の非常に卓越したピークがみられるのに対し、Run 3ではこのような明瞭なピークは認められない。これまでの研究によって、Run 1では組織的な乱流構造が存在することが指摘されており、 $k=0.6$ のピークはこの組織的乱流構造に対応している。

このスペクトル形状の成層度あるいは鉛直方向の位置による差異を明確にするために、平均エネルギー $\overline{v^2}$ に対する貢献度がそれぞれ、10, 20, 50, 80, 90%となる波数 k の分布を示したものが図-4である。Run 1では内部境界面($z/H = 1.0$)近傍を除いて等エネルギー波数 kH は水深方向にほぼ一定となるのに対して、Run 3では $z/H > 0.7$ の範囲で一樣に増大しており、図-1の平均渦スケール Lz/H の傾向と一致している。また流程方向流速変動 u についてもパワースペクトル $P_u(k)$ の変化は $P_v(k)$ と同様な傾向を示し、等エネルギー波数 kH の分布は Lx/H の分布形と一致する。したがって、平均渦スケールの変化は、浮力効果で大スケールの組織的な乱流運動が抑圧されることによって起こるものと考えることができる。

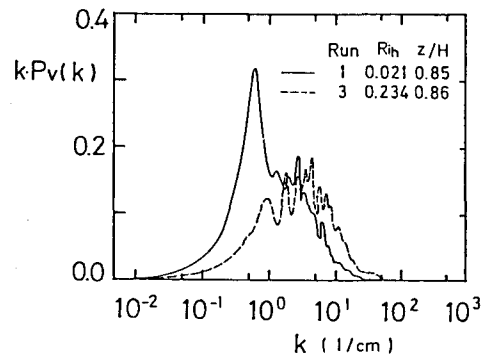


図-3 対数スペクトル $k \cdot P_v(k)$

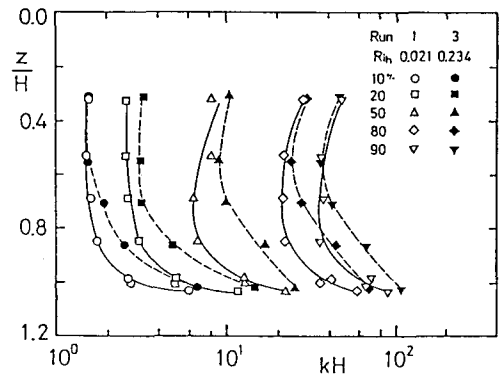


図-4 等エネルギー波数 kH

参考文献 室田，中辻 他：成層せん断流の乱流構造，関西支部講演集，1981～1983