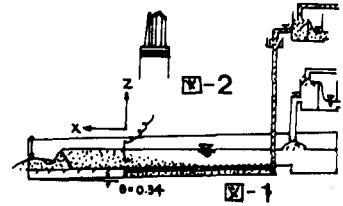


九州大学 工学部 正員 椿 東一郎
九州大学 工学部 正員 小松 利光
九州大学 大学院 学生員 〇八尋 明彦

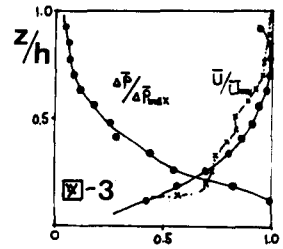
§1. はじめに

成層化した密度場における乱れに関しては、Ellison, Townsendらによる理論的な研究以来、活発な研究が行なわれ今日に到っているが、その多くは気象学の立場から大気の流れを取り扱ったものであり、自由水面を有する水流の成層せん断流における乱流構造の解明は充分とはいえない。今回著者らは水流中に安定成層状態をつくり、流速・密度・圧力に関する精度の良い実験を行なったので報告する。



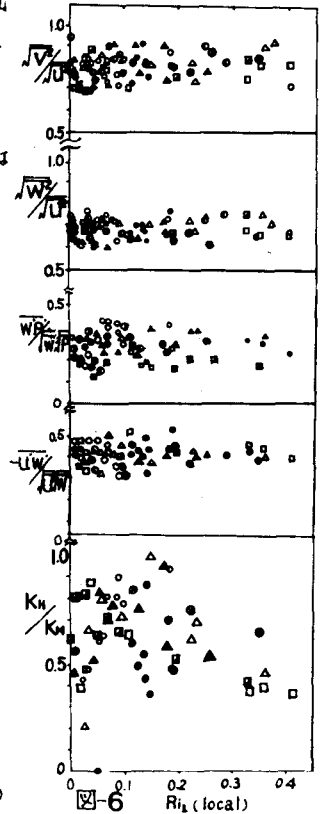
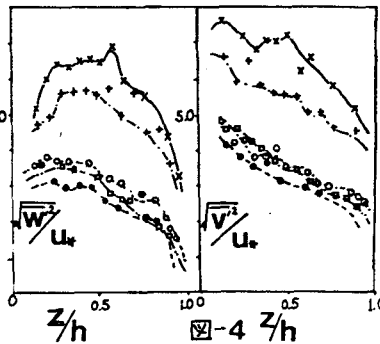
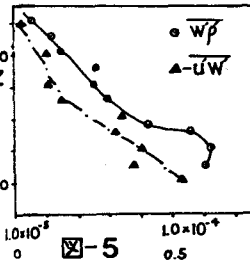
§2. 実験装置および方法

実験装置の概要を図-1に示す。実験に用いた水路は長さ6m、幅25cm、高さ30cmの両面アクリル製で、流れを安定に成層化させるため、水路底面より塩水を滲出させている。また水路底面には粗度として間隔0.9cm、径0.04cmの網をしきつめている。測定はV型hot-film流速計2個を直角に組み合わせ(図-2)、塩分濃度計プローブ、圧力計プローブと結合固定して用いた。したがって流速3方向u, v, w及び密度 ρ 、圧力変動 p をほぼ同一点・同時測定することができた。測定断面は水路中央とし、水深方向に5mm間隔で測定している。実験条件を表-1に示す。



§3. 実験結果および考察

図-3に平均流速 $\bar{U}$ 、平均密度差 $\Delta \bar{\rho}$ の分布の代表的な一例を示す。同図には均一流の場合の流速分布も記しているが、ほぼ同じ傾向を示している。一方、密度分布より流れが安定した成層流であることがわかる。y及びz方向の乱れ強度 $\sqrt{u'_{rms}}$, $\sqrt{w'_{rms}}$ の水深方向の分布を図-4に示す。密度差の大きい安定度の強い流れになればなるほど、乱れ強度は減少している。図には示していないが、 $\sqrt{v'_{rms}}$ についても同様であった。Reynolds stress $-\overline{uw}$ 及び密度flux $\overline{\rho w}$ の分布を図-5に示す。Reynolds stressの分布はほぼ直線的であり、等流に近い流れとなっている。



RUN	α	h	u_*	$\bar{U}$	$\Delta \bar{\rho}$	$R_{\rho 0}$
I	0	8.2	0.374	17.15	0.009	0.0140
	20	8.3	0.374	13.88	0.0109	0.0136
II	0	8.2	0.333	13.46	0.0160	0.0222
	20	8.3	0.303	13.20	0.0160	0.0223
III	x	8.0	0.229	10.19	0	0
IV	x	7.3	0.310	13.24	0	0
V	0	7.3	0.381	17.42	0.0217	0.0192
	20	7.4	0.289	15.63	0.0217	0.0176
VI	0	6.8	0.546	12.61	0.0217	0.0399
	20	6.9	0.302	12.70	0.0217	0.0373

表-1

成層せん断流において密度効果の程度を表わす局所的なパラメータとして浮力項と乱れの生成項の比である local Richardson 数 $Ri_l = \rho g \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} / (\rho \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z})$ が一般的によく用いられている。図-6 に種々の乱れ特性量と Ri_l の関係を示す。乱れ強度の比 $\sqrt{w^2}/\bar{u}$ は Ri_l に関係なくほぼ一定でそれぞれ 0.8 と 0.7 程度である。すなわち安定性が增大しても圧力変動の効果で 3 方向にはほぼ同じ割合で密度効果は影響を及ぼしており、乱れの構造を変化させることなく乱れ全体を減少させている。このことは相関係数 $\overline{w^2}/\bar{u}^2$, $\overline{u^2}/\bar{u}^2$ がやはり Ri_l に規定されずほぼ一定値をとることからも明らかである。 K_H/K_M (K_H : 渦動拡散係数, K_M : 渦動粘性係数) もやはり Ri_l には規定されず random に散らばっている。次に密度効果による乱れの減少の程度を明らかにするため、over-all Richardson 数 $Ri_a (= \bar{\epsilon} g h / \bar{u}^3, \bar{\epsilon} = \bar{\rho} - \rho_0 / \rho_0, \rho_0$: 淡水密度, h : 水深, $\sim$ は断面平均を表わす) を導入する。図-7 に $\sqrt{w^2}/\bar{u}$ と Ri_a の関係を示す。いずれも Ri_a の増加とともに著しく減少しており、密度効果により乱れは各方向とも圧縮されている。また図-8 に密度 flux に関する相関係数の断面平均 $\overline{w^2}/\bar{u}^2$ と Ri_a の関係を示す。 Ri_a の増加とともに大きく減少しており、分母の $\bar{u}$ 自身密度効果によって抑えられることを考慮すると $\overline{w^2}$ は 2 重に安定成層の影響を受けることになる。一方、図-9 に示された $\overline{u^2}/\bar{u}^2$ に関しては Ri_a に無関係にはほぼ一定となっており、 $\overline{u^2}$ の場合と対称をなしている。これにより、乱れの発生メカニズムは安定度に影響されず、その絶対量が減少することになる。図-10 は K_H/K_M と Ri_a の関係を表わしたものであるが、明らかに K_H/K_M は安定度が増すにつれて減少し、Ellison や他の研究者らの一連の実験結果と同じ傾向を示している。これは図-8 の密度 flux の減少傾向が大きく奇手しているわけであるがその詳細なメカニズムについてはまだ明らかではない。

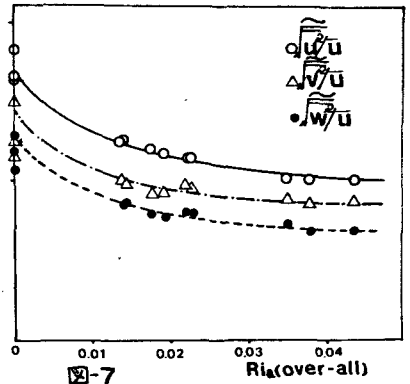


図-7

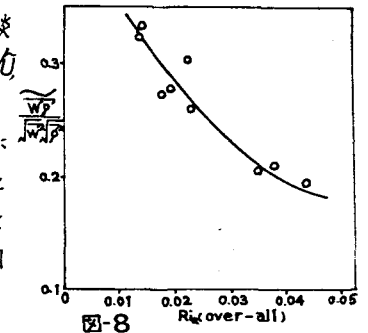


図-8

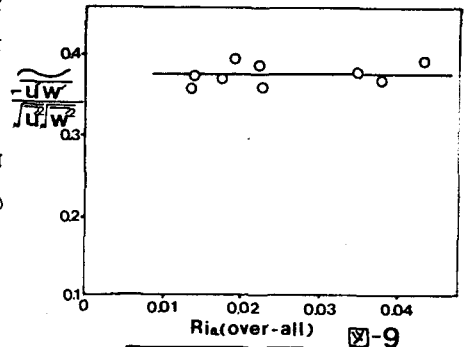


図-9

§4. おわりに

今回の実験では底面粗度上の水のせん断流を用いて測定を行っており、気象学などで研究対象とされる constant flux layer は、この実験では底面のごく近傍だけに限られている。したがってデータの大部分は一般的な成層せん断流の領域において得られたものである。このことから従来 constant flux layer について得られている知見とは、若干異なった結果が得られている。乱れ特性量は、密度効果による顕著な減少を示しているが、乱れの内部構造は何ら影響を受けない。したがって、その特性は local Richardson 数では表わえず、over-all Richardson 数に規定される。これらの process において圧力変動が大きな役割を果たしているものと思われる。幸い圧力も同時測定されているので今後明らかにしていきたい。

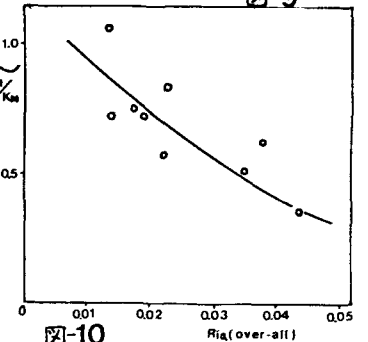


図-10

参考文献: Webster, C.A.G. (1964): J.F.M. 19 221-45, T.H.Ellison (1957): J.F.M. Townsend A.A. (1958) J.F.M. 4 361-75
小森 浩, 水島 昌郎: 乱流シンポジウム S.P.S. Arya & E.J. Plate: J.A.S. 26 656-665