II－69　二層密度流に関する一実験

東京工業大学　正員　日野　幹雄
○　電源開発ＫＫ　正員　谷　順一

密度流ないしは二層流の安定問題は，流体力学の基礎的な課題であり；また水工学・海洋学・気象学等の分野の諸現象とも関連がある。この問題はKelvin，Helmholtz以来，Taylor，Goldsteinら多くの理論的研究がなされ，最近ではDrazin−Howardの理論，Milesの一般法則も提出されている。一方，安定問題の実験にはIppen−Harleman，Macagno−Rouse，岩崎，浜田らの研究がある。

本研究は断面6 cm×6 cmの水路を直径60 cmの円環状のendless channelとし，その上面の壁を一様角速度で回転させて得られる剪断流により二層密度流の安定を調べた実験の報告である。二層流は水と油により作った。Channelの上面を回転させると，channelの壁面に沿う旋回流の境界層が生じるが，流れの中心部は剪断流となっている。二層流（水深／幅の比が小さくなる）では，この二次流は顕著でなくなる。

水流部の流速分布は，水素気泡法により求めた。また，波長・波速は極小型の波高計により測定した。

a) 不安定限界：二層の境界面に内部波が発生する限界流速 U_c と密度差 $\Delta\rho$ の関係を水深比 $h_1/h_2 = 5$ の場合について示せば，Fig. 1のように $U_c \propto \sqrt{\Delta\rho}$ の関係が成り立っている。これをRe vs F_r の関係で整理すれば，Fig. 2のようになって，二層流の安定を支配するのはdensimetric Froude no. $F_r = U/\sqrt{\frac{\Delta\rho}{\rho}gh}$ であることが示される。実験条件が異るので，他の実験結果と厳密な比較はできないが（と云うのは，この種の安定問題は，流速や密度の分布・境界条件に敏感であるから），これまでの

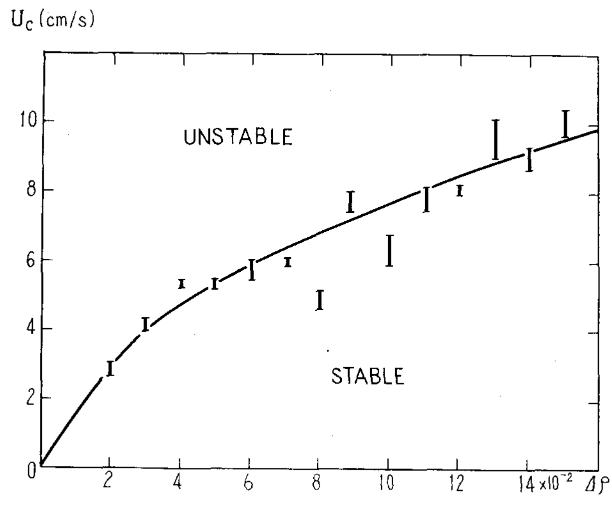

Fig. 1

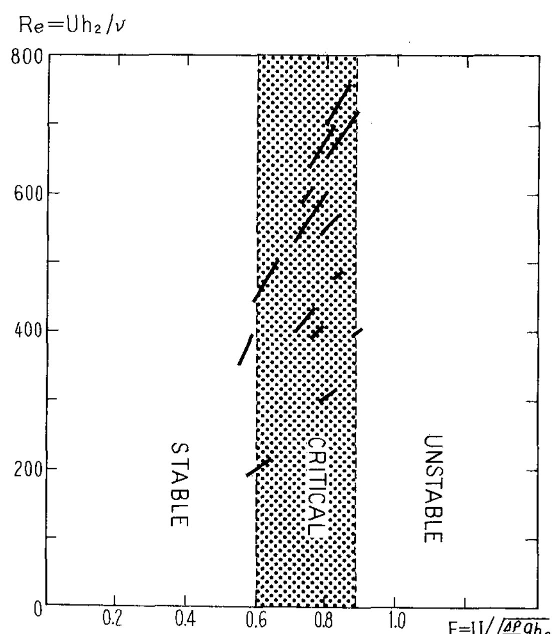

Fig. 2

研究の限界内部フルード数よりやゝ小さな値となっている。

b) 卓越波長 ： 不安定領域で内部波の波長と$\Delta\rho$，回転角速度ωの関係を求めるとFig. 3の様になり，卓越内部波の波長λは，ほゞ一定である。これは，攪乱の波長とその増幅率およびRichardson数の一般的な傾向（Fig. 4）一卓越波長はRiにほとんど無関係という結果と一致する。

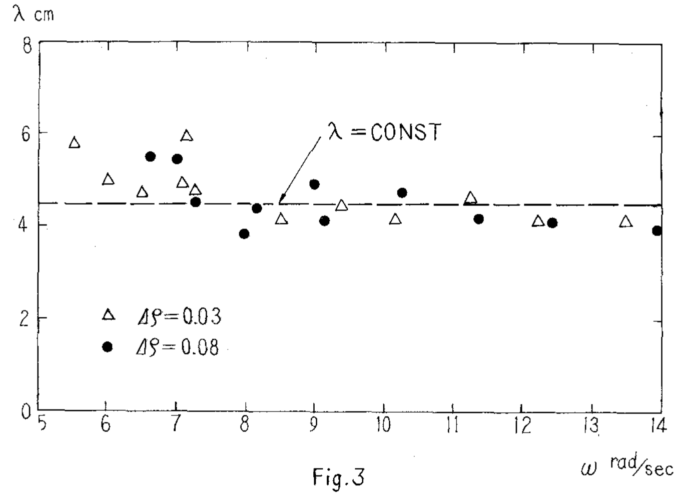

Fig. 3

c) 境界面の抵抗係数 ： 流速分布の測定より $\tau = \mu \frac{dU}{dy}$ を求めると，ほゞ $\tau =$ const となっている（$\Delta\rho$ = const について）。これより，

$f_i = \tau/\rho U^2 = K \Psi^{-2/3}$, ($\Psi = Re\,Fr^2$) の関係が示唆される。

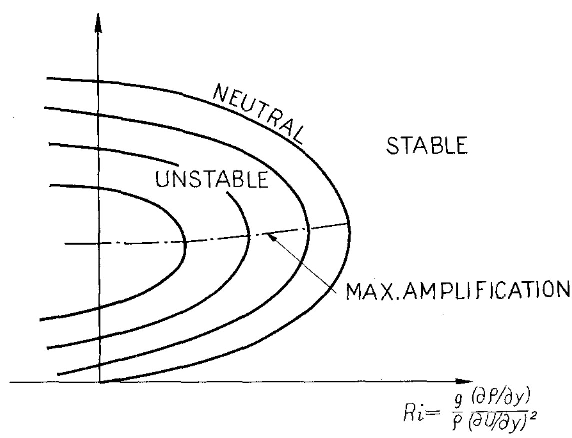

Fig. 4

d) 内部波のスペクトル ： 内部波のスペクトルは，岩崎・阿部，椿・浜村・石本，岩佐・井上・竹林により測定されており，また thermocline 変化のスペクトルは Charnock，La Fond，Munk らにより測定されている。

Phillips は解析的に内部波スペクトルのべキ乗則を導き，椿らは内部波の支配要素を（$\nu\Delta\rho g/\rho$）と考えて，$\Phi_{\eta\eta}(\omega) \propto (\nu\Delta\rho g/\rho)^{2/3}\omega^{-3}$ のスペクトルを提案している。これらは，混合型内部波の $Ri > 1/4$ の場である。こゝで対象とした非混合型内部波の $Ri < 1/4$ の場合について，われわれは次の様に考える。

内部波のエネルギーは卓越波長の所で主に供給され（その割合 E_i は Fr に関係する），カスケード・プロセスにより高周波域へ輸送される。高周波数域では，風波における Phillips スペクトルと同様に，relative gravity $\Delta\rho g/\rho$ がスペクトル形を支配する。したがって，dimensional consideration により，

$$\Phi_{\eta\eta}(\omega) = \begin{cases} \alpha \cdot E_i^{1/5}\,\omega^{-11/5} & (\omega_0 \ll \omega \ll \omega_1) \\ \beta \cdot (\Delta\rho g/\rho)^2\,\omega^{-5} & (\omega_1 \ll \omega) \end{cases}$$

のスペクトル関数形が導かれる．（$\alpha \cdot \beta$ は定数）（この $\omega^{-11/5}$ の形は，風波スペクトルのピークの近傍についても適用されるであろう。）

なお，混合型成層流では内部波を支配する要素は Brunt－Väisälä 周期 $\left(-\frac{g}{\rho}\frac{\partial\rho}{\partial y}\right)^{1/2}$ と考えられるから，次のスペクトル形が導かれる。

$$\Phi_{\eta\eta}(\omega) \propto \left(-\frac{g}{\rho}\frac{\partial\rho}{\partial y}\right)^{1/2}\omega^{-3}$$