(19) 密度流の境界面の安定に関する一実験

東京大学工学部 正員 嶋 祐之
○東京大学大学院 準員 椎貝博美

1 — ある密度を有する静止流体上へそれより低い密度を有する流体が流入するとき，この二種の流体間に生ずる境界面の安定には上層のフルード数，レイノルズ数，二種の流体間の密度差などが関係すると思われる。境界面の一般的な安定条件はまだ明らかにされてはいないが，ここでは主として実験的な方面から，ある特別な場合についてその安定条件を調べた。

2 — 実験に用いた水路の概要は図1に示す。両面ガラスばりの主水路内に1より密度の大なる食塩水を貯えておき，その上へ密度ほゞ1の着色水を流入させてその際に生ずる境界面の様子を側面より写真撮影により観測した。

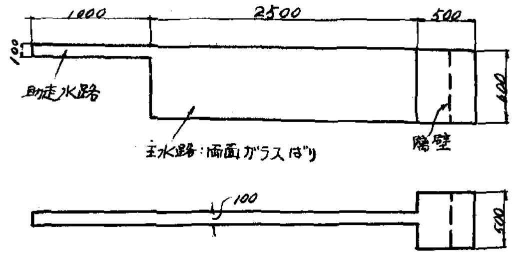


図 1.

3 — 主水路内に貯わえられてある水が，密度1の場合には，当然境界面は生じないで二次元の噴流現象となる。実験に用いたような形状の壁面の場合にはよく知られているトルミエンの解析があるが，ここでは密度流との比較の為に二次元の噴流現象についても実験を行ってみた。

トルミエンはその解析において図-1におけるような壁面の場合には二次元噴流は入口より直線的に拡散するものとした。即ち図2におけるように拡散の巾をb，入口より測った距離をxとするとき，$b = kx$ の形にbが現わされ，定数kの値は0.255程度であることを示した。今度の実験においては，図2の点線のように入口より少し離れた点で拡散が始まり，以後トルミエンの指摘したように直線的に拡散の巾bが広がることが判った。又kの値は図3に示すように流入水のフルード数，（これは助走水路末端における水深をd，流量をQ，水路巾をBとするとき，

$F_r = \bar{U}/\sqrt{gd}$， $\bar{U} = Q/Bd$ で定義した）

あるいは流量によって多少は異なるようであるが，フルード数が0.1～0.5の範囲においては，ほぼ一定値とみなしてもよい。フルード数が小なる時kの値が大きくなるのは発生する渦の為，観測誤差が大になる為であろう。

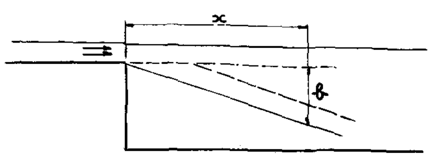
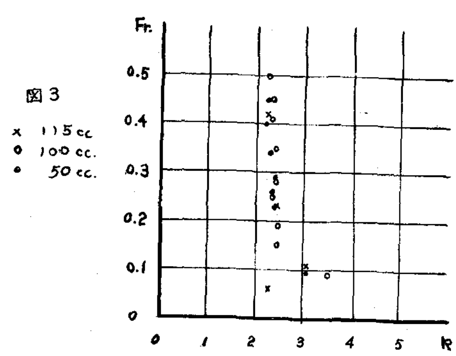


図 2.

図3



4 ー 二つの流体間に密度差が存在する場合には現象は3の場合とはかなり異なってくる。この実験においては，流入水の流量（密度は1），貯留水の密度を一定に保ち，流入水のフルード数を変化させて境界面の安定を調べ，更に流量，密度を変化させて同様の観測を行った。この場合，フルード数が比較的大きい値の時は入口附近で流入水は貯留水上を層をなして流れるが，この層はすぐ攪乱され（一種の内部ジャンプに似た現象と思われる）二層間にはかなり激しい混合がおこる。しかし，これは二種の流体の区別が全くつかなくなる程激しいものではなく，ある程度二層間に攪乱を生じて上層の水深が増加した後は明瞭な境界面を生じて二層の流れが発生する。この場合に生じた境界面は安定であって攪乱は二度と受けない。（上層の水深が増加しているので，フルード数はかなり小になっている）しかしながら，流量，密度差を一定に保ちつつ，フルード数を次第に小さくしていくときは，流入後生ずる攪乱は次第に減じていき，あるフルード数に達すると，入口で多少の攪乱は受けても流入時とほとんど均しい水深を保ちながら安定な境界面と二層間に生じて流れるようになる。このようなフルード数をF_r^*とかくことにすれば，F_r^*は流量Q，密度差$\Delta\rho$の関数であると考えられる。（この場合，レイノルズ数は，$\bar{U}d/\nu$が$\bar{U}$を上層の平均流速と考えれば，Qが一定なるときは同様に一定である）

このような問題の理論的な解析としてはシエンフエルト等のものがある。シエンフエルトは二層をなしている流れについてその境界面に生ずる長波性内部波の波速，$C_i^\pm$を特性曲線法によって

$$C_i^\pm = \frac{\bar{U}'h' + \bar{U}h}{h+h'} \pm \sqrt{\frac{\rho-\rho'}{\rho}\frac{hh'}{h+h'} - \frac{(\bar{U}-\bar{U}')^2 hh'}{(h+h')^2}}$$

の形に求め，$C_i^\pm$が実数になる条件として

$$\rho-\rho'/\rho' > (\bar{U}-\bar{U}')^2/g(h+h')$$

の関係を与え，これをもって長波性の攪乱が境界面に与えられた場合の安定条件であるとした。但しρは密度，$\bar{U}$は平均流速，hは水深，gは重力の加速度であり，プライムは上層に対する値を示す。この実験の場合は$\bar{U}=0$，$\rho'\fallingdotseq\rho=1$であり，$\rho-\rho'=\Delta\rho$とかけば上の条件は

$$\sqrt{\Delta\rho} > \bar{U}/\sqrt{g(h+h')} = F_{ri}$$

となる。いかなる攪乱が与えられた場合でも境界面が安定となる条件は理論的にはまだ明らかではない。

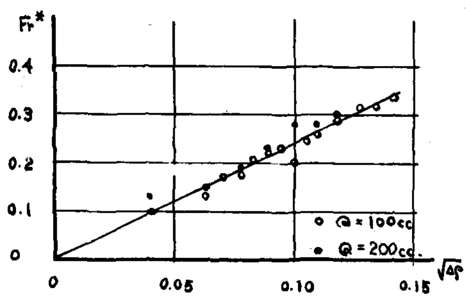


図 4

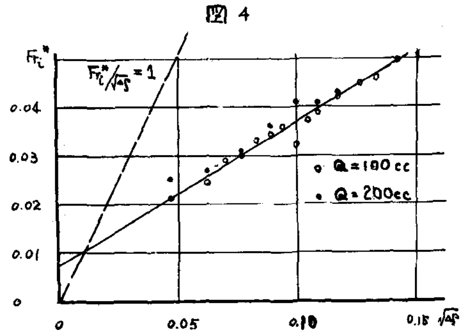


図 5

図3，図4には今度の実験において求められたF_r^*，あるいはF_{ri}^*と$\sqrt{\Delta\rho}$との関係を流入水の流量Qが100 cc，200 cc.の場合について示したものであって，F_r^*，F_{ri}^*と$\sqrt{\Delta\rho}$との関係はほぼ直線になる。又このF_{ri}^*の値は上の条件，$\sqrt{\Delta\rho}/F_{ri}=1$の境界よりはかなり小さい。このような条件の下では，境界面はほぼ安定なるものと考えられる。