

成層密度流における界面連行に関する実験的研究

大阪大学 工学部 正員 室田 明
 大阪大学 工学部 正員 平田 健正
 大阪大学 工学部 学生員 ○沢田 隆

1. はじめに 成層密度流の界面からの連行量, あるいは抵抗係数について従来から Keulegan¹⁾, 岩崎²⁾, 岸³⁾らの研究があり, 実験公式も種々提案されてきたが, いずれもパラメータでの整理の段階であり実用的なものとはなっていない。そこで本研究は, 成層密度流の界面現象を実験的に明らかにしようとする第1段階としてレーザービームと光電池を用いて時々刻々の鉛直方向濃度分布を流れを乱すことなく, しかも精度よく計測するためのスキニング装置を開発, 試作し, これによって得られた連行量に対し若干の考察を行なったものである。

2. 濃度計測手法とスキニング装置, 光が色素濃度中を通過する場合, 透過する光量は色素の種類と光の溶液通過距離(ライトパス)が同一であれば, 色素濃度のみで決まることが知られており, この特性を利用して色素濃度を計測することができる。本研究では光源としては波長6328Åの赤色のHe-Neガスレーザー(出力1mV), 透過光量を電気量に変換するための受光部として光電池, 溶解させる色素としてメチレンブルーを用いる。図-1にライトパス10cmの色素濃度と出力電圧の関係を示しているが, かなりの範囲で線形性がみられる。そこで, あらかじめ色素をレーザーとして塩水に溶解させておくと, 淡水層への塩水の連行に色素粒子が追随するものと仮定すれば, 水路を横切りビームを入射させてその透過量を測定すれば, あらかじめ求めておいた検定曲線から間接的に水路横断方向の平均塩分濃度が求まる。この手法を用いれば, 流れを乱すことなく, しかも精度よく計測可能となる。そこでビームと受光部の光軸を一致させて上下に運動させ, 連続的に鉛直方向濃度分布を計測する為に開発したのが図-2に示すスキニング装置である。図中に示した様に光源から発射されたレーザービームは全反射ミラーで反射し, 水路を横断し光電池に

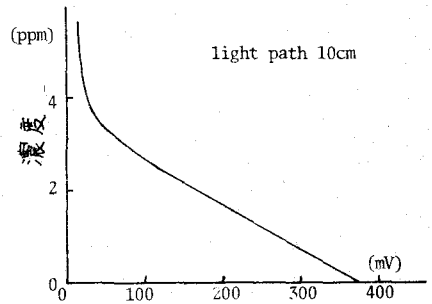


図-1 濃度と出力

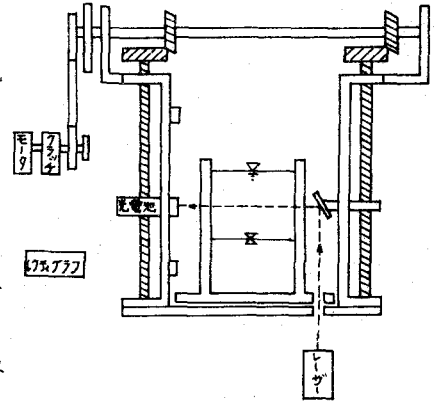


図-2 スキニング装置

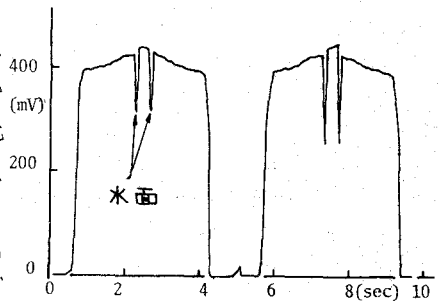


図-3 濃度記録

到る。モーターで駆動し、反転は電磁クラッチで行っているが、移動速度は5~10cm/secの範囲で可変であるため波速が7~8cm/secの内部波の波形をとらえることができない。スキヤニング装置を用いて得られた濃度分布の記録の一例を図-3に示す。

3. 実験装置と方法 実験水路は長さ10m, 幅10cm, 高さ20cmの側壁透明の塩化ビニル製である。本実験は上層流動, 下層静止とし, 実験中の塩水の補給は行っていない。絶対密度差 $\epsilon = (\rho_2 - \rho_1) / \rho_1$, ρ_1, ρ_2 はそれぞれ淡水, 塩水の密度)は0.0105と0.0276の2つである。濃度分布は前述したスキヤニング装置を上流端から4.3mと6.3mに設置して求め流速分布は水素気泡およびキシレンと四塩化炭素の混合物を着色したものをそれぞれトレーサーとして用い, その軌跡を16mmシネカメラで撮影して求めた。また, 本実験は内部フルード数 $F_i = 0.5 \sim 0.7$, レイノルズ数 $Re = 2000 \sim 7000$ の範囲にある。

4. 連行速度および付加抵抗係数 上流側および下流側の濃度と流速をそれぞれ $C_u(z)$, $C_d(z)$, $U_u(z)$, $U_d(z)$ とすると, 連行速度 U_e は(1)式で求まる。

$$U_e = \left\{ \int_0^{h_1} \rho_1 C_u U_u dz - \int_0^{h_1} \rho_2 C_d U_d dz \right\} / (\rho_2 C_2 L) \quad (1)$$

ここに L : 区間長, C_1, C_2 : それぞれ上層, 下層の塩分濃度, h_1 : 淡水深である。図-4に U_e と上層平均流速 U_1 との関係を示す。図からわかる様に $U_e = 0$ で見かけ上の限界流速 U_c は密度差によって異なるが, 本実験の範囲では U_e は U_1 の増加に伴いほぼ線形に増加している。そこで U_e を $(U_1 - U_c)$ で無次元化し普遍リチャードソン数 Ri で整理したものが, 図-5であるが Ri 数の増加に伴い $U_e / (U_1 - U_c)$ は指数的に減少する。次に界面連行による付加摩擦力 f_a はクーリガンにより(2)式で表現される。

$$\tau_a = f_a U_e U_1 \quad (2)$$

また, 付加抵抗係数 f_{ia} を用いれば

$$\tau_a = \frac{1}{2} f_{ia} \rho U_1^2 \quad (3)$$

とも表現できる。つまり, f_{ia} は

$$f_{ia} = 2 U_e / U_1$$

となる。この f_{ia} と $\psi = U_e^2 / U_1 \Delta \rho g$ を示したのが図-6である。

図より f_{ia} は ψ の増加に伴い増加する。これは岩崎らの得た界面摩擦力 f_i と ψ の関係 $f_i = a \cdot \psi^n$ とは全く逆の傾向を示すものである。

参考文献

- 1) Keulegan, G.H.: Interfacial instability and mixing in stratified flows, Jour. of Res. of Nat. Bur. of Standards 1949
- 2) 岩崎敏夫: 2層流密度流における乱流強度について, 第9回年報
- 3) 岩井加藤上進: 2層流の風による密度混合について, 第14回年報

