

水門における塩水くさびの侵入限界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 ○中村俊和

1. はしがき

水門開口部付近の流況を実験的に確かめるために、図-1のような密度流実験装置を製作した。今回は基礎的な実験として、水門開口部での塩水くさびの侵入限界を調べ、併せて淡塩水の混合状態についても調べた。

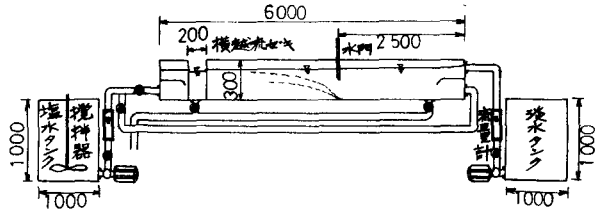


Fig. 1 密度流実験装置

2. 実験装置および実験方法

中央の水路は長さ6m、幅20cm、高さ30cmでこの水路の両端に塩水タンクと淡水タンク（容量はともに1m³）を設け、流量計を通じて任意の流量を流すことができる。水路のほぼ中央に水門が任意の深さでセットできるようになっている。水位は塩水が流入する側に設けられた横越流ゼキによって調節できるようになっている。

実験方法はまず水門を閉じてその両側に塩水と淡水を満たし、所定の水位になったところで水門を上げる。塩水の流入量は60ℓ/minと一定にし、淡水の流入量は最初は塩水が流入しないように多い目にしておき、その後少しずつ減らして塩水くさびの先端がちょうど水門直下で止まるように調節する。塩水くさびの侵入限界は、塩水にフルオレセイン（あるいはローダミンB）を混ぜて着色して目で見て判断するのと、水門直下の水路床に1~2cm離れた電極をセットしこれに接続されたデジタルテスターから電極間の抵抗値を読み取るのを併用して求めた。実験ケースは淡水流入量の能力から水門開口部の深さ a を3~8cm間で種々変化させ、塩水密度 ρ_2 は主に1.02で行ない追加実験として $\rho_2=1.01\sim1.024$ 間で数回行なった。水門開口部付近の流況は水素気泡を発生させて写真撮影を行ない、淡塩水の混合状態は、独自に製作したプローブと濃度計により鉛直方向1cm間隔で塩分濃度を測定した。

3. 実験結果と検討

水門開口部を8cmから順次閉じてゆくと塩水くさびの先端から界面（淡塩かなり混合している）を結ぶ線の水平に対する傾きがだんだん90°に近くなってゆく。すなわち淡水が水門下を通して塩水側にあたかもplume状に流入してゆくが、その軸がしだいに鉛直に近づき軸幅が狭くなってゆく。水門開口部の深さを a （無次元化して a/H_1 、 H_1 は塩水側の水深）と塩水密度 ρ_2 （無次元化して $\varepsilon=(\rho_2-\rho_1)/\rho_1$ 、 ρ_1 は淡水密度）による内部フルード数

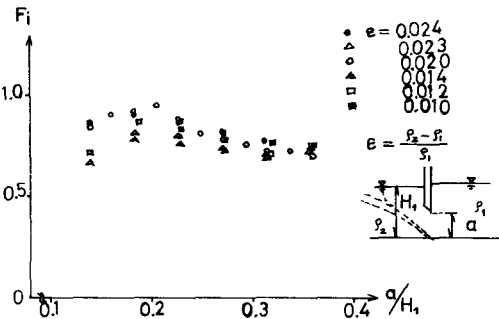


Fig. 2 $\%H_1$ と ε による F_i の変化

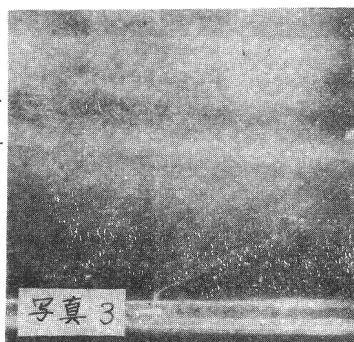
$F_i = U_c / \sqrt{g a}$ の変化を示したのが図-2である。これによると $a/H_1 = 0.2$ 付近で極大値をとるがほぼ $F_i = 0.95 \sim 0.7$ である。水門開口部付近の流況すなわち水門下の淡水の流跡線および流速分布 (写真-1, 2 参照) の図面より $\alpha = \int_A (u/U)^3 dA / A$ を算出し $F_i' = \alpha U_c / \sqrt{g a}$ を求めたが、 $\alpha = 1.14 \sim 1.20$ で $F_i' = 1.1 \sim 0.8$ となり図-2とほぼ同じであった。淡水の平均流入速度 U_c 、塩水くさびの侵入速度 $C = K \sqrt{g H_1}$ としこれら諸数値を示したのが表-1である。(Harleman, 室田より $K = 0.5$ とする。) これによると淡水流入速度より塩水くさびの侵入速度の方が2~3cm大きいところで塩水くさびの侵入限界となっている。これは水門下を流入する淡水の流線の曲がりによる遠心力加速度 U^2/r が水門先端付近で局所的に速度 U が大きく半径 r が小さいために、かなり大きくこの効果によるものと考えられる。

次に塩水くさびが侵入限界にあるときこれを定常状態とみて、塩水側において水門より40cm, 120cm地点で測定した塩水濃度分布を図-3に示す。 $a = 3 \sim 8$ cmで6ケース測定したが、

6ケースともよく似ており、図には $a = 5$ cmの場合を示す。これによると水路床から9cmあたりまでは $\rho \approx 1.017$ で一定であり、これより上層部は水面に近づくに従って塩分濃度は薄くなっており水面近傍では $\rho \approx 1.002$ の値をとる。

A点(水門より120cm地点), B点(同40cm)

と比べるとB点が水門に近いだけ流入してくる淡水との混合が活発で上層部で濃度が約0.002 g/cm^3 の幅をもって変動している。



a cm	H cm	Qc l/min	Uc cm/sec	$\sqrt{g a}$ cm/sec	Fi	$K \sqrt{g H}$ cm/sec
3	21.7	23	6.389	7.768	0.833	10.31
4	22.0	39	8.125	8.854	0.917	10.38
5	22.1	52	8.667	9.899	0.876	10.41
6	22.2	60	8.333	10.844	0.768	10.43
7	22.3	72	8.571	11.713	0.732	10.45
8	22.4	83	8.646	12.522	0.690	10.48

Table. 1

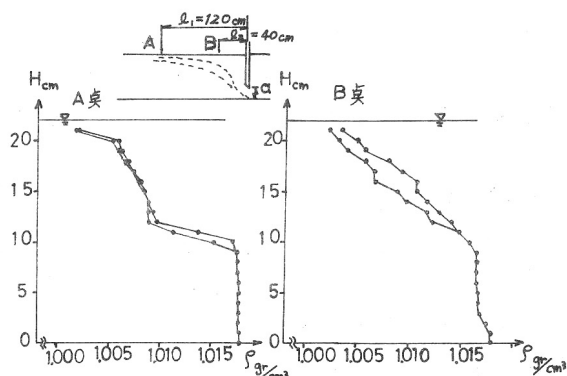


Fig. 3 $a = 5$ cmのときの濃度分布

いる。A点における流況を水門下のときと

同様に水素気泡の写真でみると(写真-3参照), 界面を境にして下層の塩水と上層の淡水の流速分布が明らかである。これより速度勾配 du/dz を算出し、図-3より算出した $d\rho/dz$ を用いてリチャードソン数 $R_i = -g(d\rho/dz) / \rho(du/dz)^2$ を計算してみると $H = 13$ cm のときのみ $R_i = 0.004 < 1/4$ となり不安定だが、その他の点では $R_i \geq 0.288$ となり一応安定している。