

芝浦工業大学 正夏 菅 和利
東京大学工学部 正夏 玉井 信行

1. はじめに

直線水路の底面に沿って進行する充分に発達した密度フロントの挙動については多くの研究がなされている。しかし、実際の貯水池、河道ではその地形は平面的にも二次元的でなく、さらに支川の合流等の複雑な要因が多い。これらの要因を考慮する才1歩として、合流部を通過する密度フロントの挙動を実験的に検討した。

2. 実験装置及び方法

実験に用いた装置は長さ6m、深さ0.9m、幅0.6mの水槽に0.6mの水平部と勾配0.1の傾斜底面を設け、図-1(b)に示すように、幅0.1mの直線水路Bに同じ幅の水路Aを交角 24° で合流するように仕切を設けた。清水を流した水路に、水路Aの上流より塩水を流入し、A水路を進行して来た密度フロントが合流部を通過した後、B水路を進行する様子を写真撮影により観察した。A水路に流入した塩水が速かに密度フロントを形成するように、清水の被り水深を6cmと充分にし、厚さ2cmの噴出口より底面に沿って流入させた。又現象を簡単にするために、B水路には通水をせず、A水路のみから給水した。測定項目は①密度フロントの最大水深、②フロント部に続く定常部水深、③フロントの移動速度、④流速分布、濃度分布、⑤合流部の流況、である。①～④の項目については、1秒間隔の写真撮影のフィルムより読み取った。

流速測定は、水素気泡発生装置を $X=120\text{ cm}$ の地点の水路の中心に固定し、密度フロントがこの点より10cm、20cm、30cm…と10cmつつ進行した時刻に測定した。又採水装置を $X=120\text{ cm}$ の点の水路中央に設置し、流速測定と同じ時刻に5mm間隔で採水し、導電率計により塩分濃度を測定した。さらに、フロント内での密度分布の流下方向の変化を観察するために、 $X=0$ 、120、180、270、370 cmの位置に密度フロントが来た時に、ほぼフロントの最大水深の出現する位置で採水し、密度分布を測定した。さらに、B水路に通水が無い場合には、合流後塩水の一部が上流に向かって遡上するので、この様子も写真撮影により観察した。

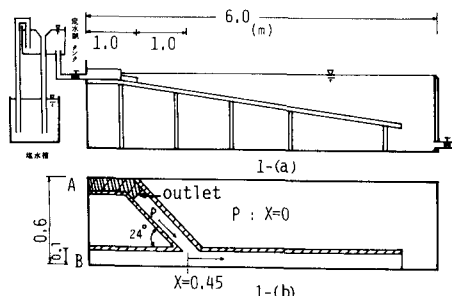


図-1 実験装置

3. 実験結果及び考察

3-1 合流部での流況

噴出口より噴出した塩水は速かに密度フロントを形成して、合流部に向かって流下する。このフロントが合流部に達すると、対面のガラス面に沿って上昇し、合流部に滞留し周囲水と激しく混合する。その後に向きを変えて、再び密度フロントを形成し、最大水深を増加しながらB水路を進行する。同時に、塩水の一部はB水路の上流に塩水楔としてゆっくりと進入して行く。そして合流部での界面の上昇がフロントの通過後ゆっくりと下降するにつれて、進入した塩水楔も後退し、ある定常な位置にとどまる。B水路を進行する密度フロントの前面では、直線水路の場合と同様な運動をくり返しながら進行する。

3-2 密度分布

図-2は $X=20$ 、120 cmの地点での密度分布の1例を示したものである。図中の数字はフロントの位置を示したものであり、 $X=40\text{ cm}$ の密度分布は合流前のものである。直線水路の場合と同様に、フロントの密度はそれに続く定常部に比して大きいことがわかる。注目に値するのは、合流後のフロントの密度が、底付近を除い

て合流前に比して大きいことである。これは合流部では移動速度が小さくなり、滞留している間に底付近の速度が大きく密度の大きい温水が補給され、これと混合した後に合流部を通過して再びフロントを形成するためと考えられる。分布(A)は、 $x=228\text{ cm}$ の地点にフロントがあるときに、それより 20 cm 上流のものであり、フロントが発達するにつれて、先端部での渦運動による混合のために一様化することが見られる。

3-3 フロント最大水深 $f_{\max}$

1秒間隔の写真撮影より求めたフロント部の最大水深を渦運動による変動を平均化して、流下距離に対して示したのが図-3である。図中の破線B、Cは2次元水路で、十分にフロントが発達した領域での変化率を示したものである。破線(C)は、上流より連続的な運動量の供給の無い場合で、破線(B)は連続的な供給のある場合である。密度差の大きい場合には、合流部での運動量の変化が大きく、滞留効果が強く現れ、塩水端は重力効果で流下を始める。その為に(C)の変化率に近くなる。密度差の小さい場合には、合流部での運動量の変化は小さく、流下してまた状態に回復し、新しい水路に流入する。その為に(B)の変化率に近くなる。このことは、密度差の小さい方が短い距離で充分発達したフロントと同様な挙動となることを示している。図中黒丸は直線水路で充分に発達したフロントに対する福岡⁽¹⁾の計算方法をRun 7に適用し、実験より得られた合流後での水理量を初期条件として、計算を行ったものである。

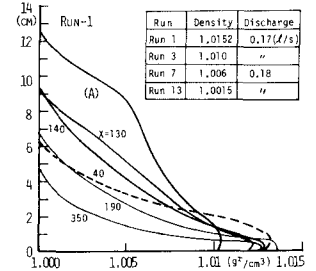


図-2 密度分布

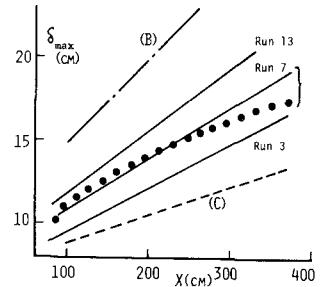


図-3 最大水深

3-4 フロントの移動速度

合流部を通過した後のフロントの移動速度を1秒間隔の写真撮影より読み取り、変動を平均化して流下距離に対して示したのが図-4である。

密度差が小さい程又流量が小さい程、移動速度は小さいが、実験の範囲の距離では直線的に増加している。増加の割合は密度差によらずほぼ同程度である。又図中破線(D)は直線水路において、Run 7と同じ密度の塩水を流入した場合にフロントが充分に発達した領域での変化の割合を示したものである。この図より、合流部を密度フロントが通過すると加速性が増加することがわかる。このことは合流部での滞留に伴う密度差の増加による重力効果の増大と、界面の上昇による圧力勾配の増加により加速性が増すものと考えられる。この実験の範囲よりさらに進行すると、移動速度の増加はだんだんと小さくなり(D)の傾きに近づくものと思われる。わずかにあるが、密度差の小さい方が増加率が小さく、3-3で述べたように、早く(D)の増加率になると考えられる。図中白丸は、Run 7について、 $f_{\max}$ と同様な方法で計算したものであり、加速性についての検討が必要であることを示している。

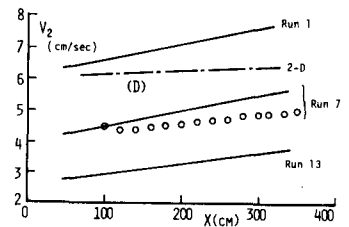


図-4 移動速度

4 結論

合流部を密度フロントが通過したときの特性についての実験的研究により次のような定性的な特徴が明らかになった。①滞留と混合損失により密度フロントの移動速度は減少するが、密度差が1~2割増加し、重力効果が増加する。②密度差の小さい方が、移動速度の増加率は小さく、最大水深の増加率は大きい。③合流部は、損失として作用すると共に加速性を増大させる作用を有する。(尚、密度差の増加については本論文中には触れられなかったが、合流点前後における計測の結果である。)

本研究の一部は文部省科学研究費一般(C)の補助を受けた。

参考文献 (1)福岡 捷二、その他：土木学会論文報告集、第274号、1978年

(2) Simpson, J.E. : Jour. of Fluid Mech. Vol 53, Part 4, 1972年