

建設技術研究所 正会員 村田初夫
 東京工業大学 正会員 福岡捷二
 前田建設工業 正会員 荒井 健

／まえがき

1次躍層・2次躍層を有する貯水池に流入する密度流の運動特性・運動方向変化位置での滞留機構の研究結果は、既に著者らによって報告されている。ここでは、密度躍層の極限的な場合である線形密度分布を有する流体中に密度流が進入するときの運動機構について報告する。

2.実験装置と方法

実験は、長さ7m、幅0.2m、水深0.9m、勾配1/10の底板を有する片面ガラス張り水槽で行った。流入前密度が $\rho_0 = 1.006 \text{ g/cm}^3$ (Run No.1), $\rho_0 = 1.018 \text{ g/cm}^3$ (Run No.2) で流量が 0.1 l/sec の2種類の塩水を、流路底に沿って、buoyancy frequency $N (= \frac{g(\rho_0 - \rho_1)}{D})^{1/2} = 3.9 \times 10^{-1} \text{ sec}^{-1}$ の周囲水中に静かに流入させた。斜面沿いに進行する濁水は周囲水と混合しながら、やがて運動方向を変化させ水平に進行していく。濁水の形状・先端速度をカメラ・8mm撮影機で解析した。流速分布は水素気泥発生装置、密度分布は滴定によって測定した。

3.実験結果と考察

線形密度分布を有する周囲水中に濁水が進入していく場合には、躍層を有する周囲水中に進入する場合と異なり、明確な先端部を形成せず、濁水全体が楔状をなして進入していく。図-1は、先端速度・先端形状の一例を示したものである。縦軸に先端速度、横軸に距離と時間をとり、図の上部に先端形状を示している。先端速度・先端形状は、時間にかかわらず、ほぼ一定であることがわかる。Manins²⁾の次元解析によれば、先端速度は $(g \cdot N)^{1/2}$ に比例する。ここで g は単位幅流量である。図-2は、 g の測定結果を示す。 g は着色濁水の形状変化を10秒間隔で撮影し、その面積差から求めたもので、この方法による g の算定は、染料の鉛直方向の拡散が移流による輸送に比して小さいので、ほぼ妥当であると思われる。図-2によれば、実測流量がほぼ一定で、流入時単位幅流量より大きい。このことは、周囲水の混入は、主にplunge point付近で起こり、楔の進入に伴うその後の周囲水の混入は小さい。さらに流入前の濁水密度が大きく、周囲水との密度差が大きい方が、混入量が多いことを示している。このため、plunge point通過後には、流入時の濁水の密度の大きい方が広い範囲の密度分布を有することになり、その結果周囲水が線形密度分布を有する場合には、濁水厚も増すことになる。こうして求めた g と先端速度 U の関係を示したものが、図-3である。図-3の縦軸は先端速度 U 、横軸は $(g \cdot N)^{1/2}$ である。図中の○印は、Manins²⁾の実験から得られたものであり、●印は本実験より得られたものを示している。この図から、実験例は少いが、先端速度はManins²⁾の主張する $(g \cdot N)^{1/2}$ にほぼ比例しているように思われる。図-4は、流速分布測定の一例である。縦軸に高さ、横軸に速度をとっている。図中の斜線部は、濁水の

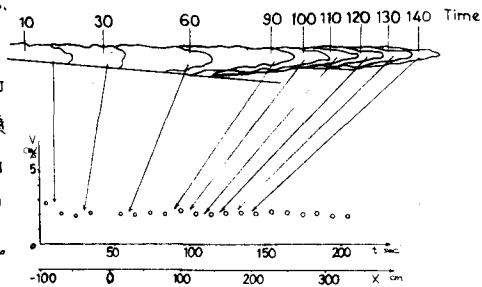


図-1 先端速度・先端形状の測定値

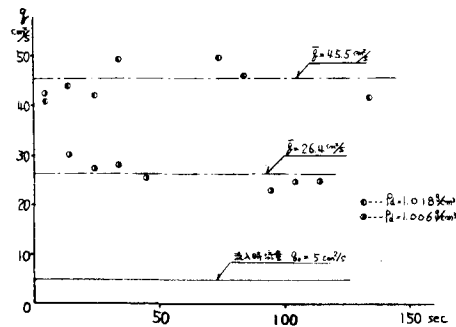


図-2 濁水の単位幅流量

流動範囲を示す。 X は、濁水先端から流速測定位置までの距離を示す。 X が負の値のものは、濁水先端が流速測定位置に到達する以前に周囲水中に生じた流速である。躍層が存在する周囲水中に濁水が進入する場合には、流速の生ずる範囲は、ほぼ濁水厚までであり、濁水と周囲水との界面付近が流速零の点になるが、線形密度分布の場合には濁水厚さを越えて広範囲にわたって流れが生じている。図-5は、この流速分布を無次元表示したものである。縦軸は流速を最大流速で無次元化したものであり、横軸は高さを最大流速の半値半幅で無次元化したものである。図中の実線は、Cosine Curveであり、 $U/U_m = \cos \frac{\pi}{2} [(y-b_0)/b_1]$ で与えられる。図-5から、流速分布が各断面で最大流速を中心に上下対称で相似形をなし、余弦分布で近似し得ることがわかる。

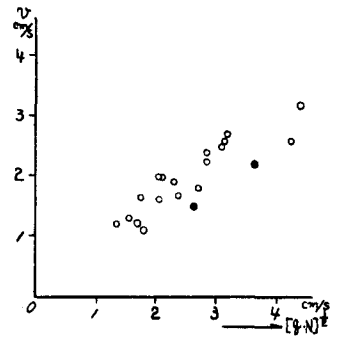


図-3 先端速度と $(8-N)^{1/2}$ の関係

ガウス分布でも最大流速付近は近似し得るが、流速が零に近づくにつれて、実験値を説明し得なくなる。図-6に Run No. 2 の場合の密度分布の一例を示す。縦軸は高さ、横軸は密度である。実線は、周囲水の初期密度分布を示す。黒く塗り潰したものが濁水の動いている範囲である。 X は測定位置、 X' は先端から測定位置までの距離を示す。 $X=55\text{cm}$ の位置は、濁水の運動が斜面沿いから水平方向に変化する位置である。この位置では、濁水が進行している間、異なる時間で三回密度分布・貯留量を測定したが、時間的変化は見られなかった。また他の断面の密度分布は、 $X=55\text{cm}$ の密度分布と同様な分布を示している。周囲水の密度分布の変化をみると、濁水下方では、初期密度分布と一致しており、濁水上方の周囲水の密度勾配が初期密度勾配とほぼ一致していることから、進入した濁水が周囲の軽い流体を押し上げていることがわかる。従って、濁水は、それ自身の最大密度に等しい周囲水の密度の場所を最下層として、周囲水の密度分布に応じた分布形をなして進入していくことがわかる。

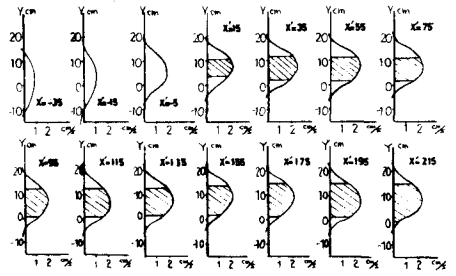


図-4 流速分布

以上のことから、線形密度分布をもつ流体中に濁水が進入する場合には、濁水の移動速度はほぼ一定で、流速分布は対称形をなし、かつ相似である。運動方向変化位置での密度分布は時間的に変化せず、各断面における密度分布も同様な分布形をなす。進入位置は濁水の最大密度に等しい周囲水の密度の場所を最下層とし、濁水及び周囲水の密度分布から決定される。先端速度は一定であるので plunge point での混入量を考慮した濁水の密度分布と流速分布、および先端形状が求まれば、与えられた線形密度分布をもつ流体中に進入する濁水の運動（移動速度、濁水厚さ、進入位置等）が把握できる。現在、この点に関して理論的に検討している。

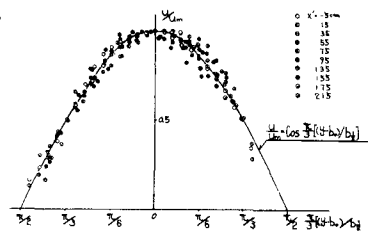


図-5 流速分布

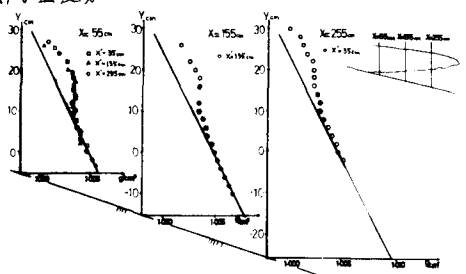


図-6 密度分布

参考文献

1) 篠田健二・福嶋祐介・村田和夫・栗井健; 成層化した貯水池に進入する density front の運動, 第22回水理講演会論文集, 1978, pp/01-106
 2) Manins, P.C.; Intrusion into a stratified fluid, Journal of Fluid Mechanics, 1976, vol 74, part 3, pp547-560