

東京工業大学工学部 正会員 福嶋 祐介
 東京工業大学工学部 正会員 福岡 捷二
 北海道開発局 正会員 宮本 高行

1. はじめに 著者らは、二次元成層貯水池中で生ずる流入濁水の流動・分岐機構について実験と理論の両面から考察を行ない、多くの知見を得た¹⁾²⁾。本研究は、貯水池の幾何形状が濁水の挙動にどのように影響を与えるかを、二次元貯水池での濁水の流動特性と比較検討することにより明らかにする。

2. 実験 貯水池の三次元性の影響を調べるため、水路に幅の拡大する部分を設け、下層流での予備実験を行なった。この結果、図-1に示す水路は、拡幅部で流れが剥離せず、かつ、三次元性が比較的強くあらわれることがわかった。このため分岐実験はこの水路で行なうことにした。水路は、上流側が幅0.2m、下流側が幅0.6mの矩形断面をもち、この間に長さ2.2mの幅の変化する区間が設けられている。水路床勾配は1/10である。測定項目は、下層流、中層流のフロント位置の時間変化、分岐部を挟む上・下流位置の流速分布、密度分布である。測定方法の詳細は文献1に述べられている。座標原点は幅の変化点とし、水平軸をX、鉛直軸をZとあらわす。実験条件を表-1に示す。

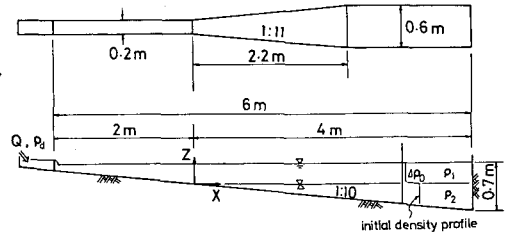


図-1 実験水路

Run No.	Run 1	Run 2
上層の密度 P_1 (g/cm ³)	0.99950	0.99960
下層の密度 P_2 (g/cm ³)	1.00315	1.00260
躍層での密度差 ΔP_0 (g/cm ³)	0.00365	0.00300
躍層の高さ Z_0 (cm)	0	0
流量 Q (l/s)	0.1	0.1
流入水の密度 P_0 (g/cm ³)	1.0305	1.0265
対応する二次元実験 ¹⁾	Run 15	Run 18

3. 流入濁水の分岐機構 図-2はRun 2における先端位置の時間変化を示す。三次元貯水池の実測値は黒塗りの記号で、同じ実験条件に対する二次元貯水池の実測値(文献1のRun 15)は白抜き記号であらわす。流入濁水はX=0cmで密度躍層に到達し、1mほど流下して分岐し、新たに中層流と下層流とになって進行する。この条件では、二次元と三次元の差は、とくに中層流の先端位置の差にあらわれている。二次元の場合には下層流の先端形状は流下方向にほぼ相似であり、先端厚さは次第に増加する。一方、三次元の場合には、側壁の広がりが先端の形状に影響するため、相似形を保てず、先端厚さ、先端移動速度は著しく変化する。

表-1 実験条件

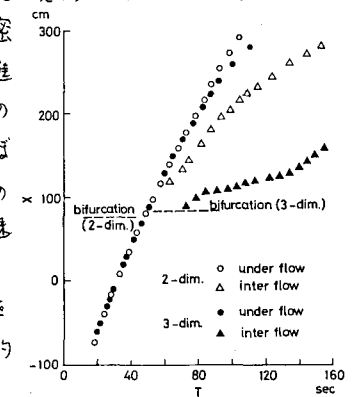


図-2 先端位置の時間変化

図-3は分岐部および分岐後の密度分布を二次元と三次元で比較したものを示す。X=155cmの分岐部の密度 ρ ($=\frac{P-P_1}{P_1}$)は、いずれの場合にも直線的に変化している。一方、平均密度は二次元のほうが三次元に比べ大きい。

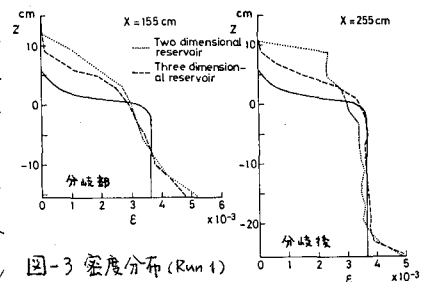


図-3 密度分布 (Run 1)

このことは、濁水の分岐に関して、二次元と三次元の相違を議論するうえで重要である。後で述べるように、分岐後の濁水の流動は分岐部の平均密度差と躍層での密度に強く影響されるためである。二次元と三次元の平均密度の差は、異なる幾何形状のもとで形成される分岐部内での濁水の流動機構の差があらわれたものと解釈される。

図-4は分岐部(X=155cm)の流速分布を示す。三次元の場合には、流速が零となる高さが二次元に比べ小さく、分岐部の濁水厚が二次元に比べ減少していること、中層流・下層流の最大流速が二次元

に比べ小さくなっていることがわかる。流速分布を中層流, 下層流について積分し, それぞれについて単位幅流量を求めると, 中層流の単位幅流量は二次元に比べやや減少しているだけであるが下層流では1/2ほどに減少している。これは, 分岐部における濁水密度が減少した結果, 中層流となる濁水の割合が増加したためである。

図-5は, 分岐部における中層流と下層流の濁水厚の比を示す。濁水厚は, 目視, 流速分布, 密度分布より求めることができる¹⁾。図中の実線は分岐部の密度分布を直線分布,

$$\Delta P_b = \Delta P_{bm} (1 - \beta u (z - \frac{1}{2})) \quad z = z/\delta_b \quad (1)$$

で近似し, 濁水密度が下層水の密度と等しい高さで分けられるとして得た理論値である。三次元の実験値は二次元に比べバラツキが大きい, 式(1)で $\beta u = 0.8 \sim 1$ としたとき, 理論と実験値はほぼ一致する。このことは, 分岐部の密度分布が二次元と三次元で大きな差がないことを意味する。

著者は文献2で分岐点の位置が分岐部の平均密度差 ΔP_{bm} と躍層における密度差 ΔP_0 の比のみによって決まることを示した。図-6は分岐点位置の実験値を理論値と比較したものを示す。図より, 三次元の場合にも理論で説明できることがわかる。二次元理論では圧カとして静水圧分布を仮定している。したがって, この条件より幅の変化が大きい水路では流線の拡がりの影響が無視できず, 二次元理論の適用の限界があると考えられる。

分岐後の中層流の単位幅流量 q_{ib} , 下層流の単位幅流量 q_{ub} の比 q_{ib}/q_{ub} は分岐部の濁水厚 δ_{ib} と δ_{ub} と密度分布によって決まる。著者は, 分岐部の流量比に関して, 次のような理論式を提案した²⁾。

$$\frac{q_{ib}}{q_{ub}} = C_0 \left[\frac{\frac{1}{2} \{ 1 - (1 - \frac{\beta u}{2}) \} (1 + \frac{\beta u}{2} + 3) (\frac{\beta u}{2} - 1 + 3)^3}{(1 + \frac{\beta u}{2} + 3)^2} \right]^{1/2} \quad \beta = \frac{\Delta P_{bm}}{\Delta P_0} \quad (2)$$

式(2)は, 流量比が分岐部の密度差のみによって決まることを示している。式(2)の導出にあたっては分岐部の密度が直線分布することを仮定しているが, 三次元の場合にもこの条件は近似的に満たされている。図-7は式(2)と実験値を比較して示す。三次元の実験値は二次元の実験値の示す傾向とほぼ一致しており, 式(2)の補正係数 C_0 の値を $C_0 = 0.8$ としたとき, 理論値とよく一致する。二次元と三次元で対応する実験を比較すると, 分岐部の平均密度は三次元のほうが小さく, これに伴って流量比は三次元のほうが大きくなっている。このため, 分岐後の濁水の運動は二次元と三次元とで非常に異なることになる。

4. おわりに 貯水池の三次元性の影響は, 分岐部での混入の増加と分岐部密度の減少としてあらわされる。この結果, 二次元と三次元とでは, 分岐部の濁水厚さ, 分岐後の流量配分に差があらわれ, これらが幅の増加に伴う単位幅流量の減少とあいまって, 分岐部の流動特性に大きな影響を与えている。レカレ, 分岐部での混合に対する三次元性の影響については不明の点が多く, 今後の検討課題としたい。

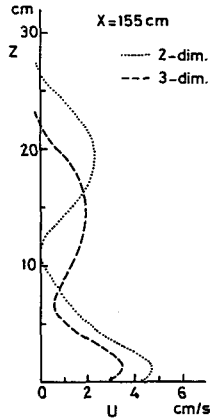


図-4 流速分布 (Run 1)

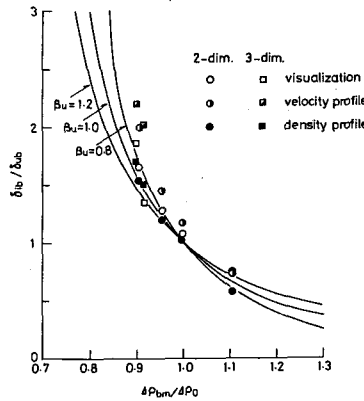


図-5 分岐部の濁水厚比

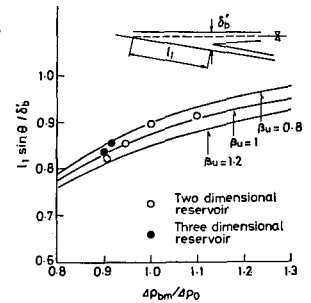


図-6 分岐点位置

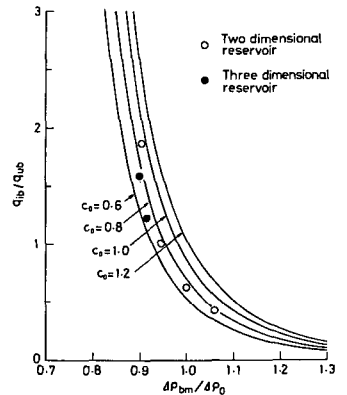


図-7 分岐流量比

1) 福岡, 福岡, 村田, 荒井: 土木学会論文報告集, 第293号, 1980

2) 福岡, 福岡: 土木学会論文報告集, 第294号, 1980.