

II-315

開水路分流の流れの機構に関する実験的研究

群馬大学大学院 学生員 石井 聡
 群馬大学工学部 正 員 江崎 一博
 日本電信電話(株) 湯下 孝司

1. まえがき 開水路分流に関する研究は、流量配分比及び、分岐部周辺の土砂の堆積問題と関連して古くからかなり実験的、理論的に研究が行われてきた。例えば、ドイツのBulleにより、主流・分流の流量配分比が1:1のとき、掃流砂の90%以上が分水路内に流入するという結果が得られている。また大阪大学の室田により、「T」字型分岐水路において流砂量配分比は流量配分比のみの関数で表されるという結果も報告されている¹⁾。そこで、我々はこのような分岐流れの性質を利用して、現在大きな問題となっているダム湖の堆砂問題解決に応用できないかと考えた。しかし、これまで定量的に流速など水理量の詳細な測定を行って分岐流れ特有の現象を明らかにした例はほとんどない。本研究ではレーザー流速計を用いて格子状に流速及び乱れを計測し、分岐部付近の流れの機構を明らかにしたものである。

2. 実験方法 実験は図1に示す水路幅 $B=20.0\text{cm}$ 、分岐角 90° の亚克力製の矩形断面をもつ「T」字型水平分岐水路を用いた。表1に示す実験条件のもと水深 $y=0.2, 0.4, 0.7, 1.3, 2.0, 2.8, 3.5\text{cm}$ の各層における主流速 U 、横断方向流速 W 、そして $y \geq 0.7\text{cm}$ の各層においては鉛直方向流速 V を4ビーム・レーザー・ドップラー流速計を用いて格子状に計測した。

座標系は図2に示す通りである。また、 $y \leq 0.4\text{cm}$ における U, W 計測は底面からレーザーを当てる通常の方法では困難なため、水路側方より側壁に垂直な軸に対して上流側及び下流側へ $\tan \theta = 0.18$ だけレーザー照射軸を傾けてそれぞれ U_1, U_2 を計測した。この場合 $U = (U_1 + U_2) / 2 \cos \theta$ 、 $W = (U_1 - U_2) / 2 \sin \theta$ で算出される。さらに、水面形状はポイントゲージにより格子状に計測した。

3. 分岐部の水面形状 図3に示したものが水面形状である。分岐点より上流 75cm での断面平均水深 H_m を主水路上流部での疑似等流水深として無次元化に用いている。特徴として主水路方向に上り、分水路方向に下りの水面勾配がみられる。このことは後に詳述するが、分岐流れにおいては運動式（レイノルズ方程式）における圧力項が大きな意味を持つことを示している。

4. 分岐部の平均流速分布 図4は、 UW 流速ベクトルである。無次元化に用いた U_m は H_m を測定した地点での平均流速である。表層部ベクトルと底層部ベクトルの向きは明らかに違いが認められ、流速ベクトルの方向は底層部でより分水路側に向かう傾向にあることがわかる。

図5は、 $Z/B=0.9$ （主水路と分水路の接合面付近）における W コンターである。 $y/H_m < 0.2$ の領域においては、上層部に比べ分水路方向への流速が大きくなっている。そして、 $y/H_m \geq 0.2$ の領域においては W の鉛直分布はほぼ一様となっている。従って流速分布は、ほぼ完全流体とみなせる上層、中層領域と分水路方向に比較的大きな流速を持ち掃流砂の挙動を支配する底層領域に分けられる。

5. 分岐部の運動機構について レーザー流速計で得られた流速、乱れ強度、レイノルズ応力分布を用いて、差分化した三次元運動式（レイノルズ方程式）の各項を計算し、オーダー比較を行った。例として分水路方向（ Z 方向）に関する運動式の各項について述べる。

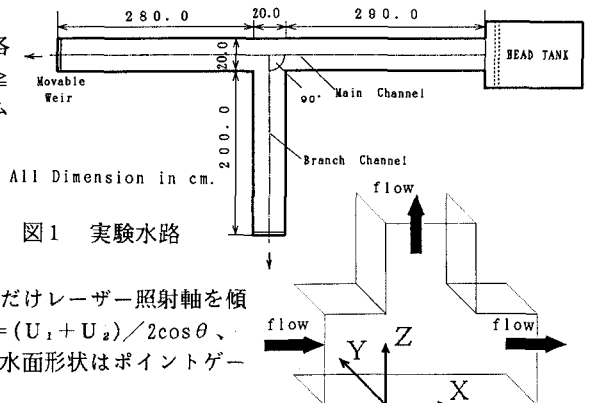


図1 実験水路

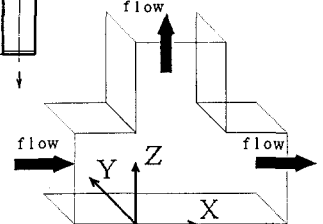


図2 座標系

表1 実験条件

	流量 (cm^3/s)	水深 (cm)	下流増高 (cm)	流量配分比
主水路上流	3300	4.32	----	
主水路下流	2000	4.64	2.0	0.394
分水路	1300	4.31	2.0	

※水深は分岐点より75cm離れた地点での断面平均値

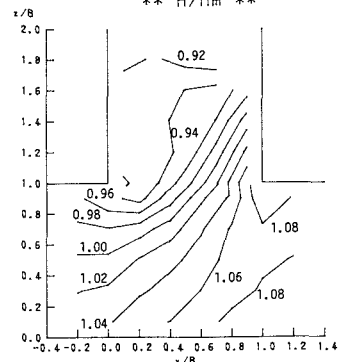
** H/H_m **

図3 水面形状

図6に表層部、図7に底層部の慣性項計算値を、図8に水面形から算出した圧力項、図9にレイノルズ応力項計算値を示す。まずレイノルズ応力項であるが、このように慣性項、圧力項にくらべ非常に小さな値を示していることが分かる。次に表層部と底層部での違いは、図6、図7を比較しても分かる通りあまり大きな差はない。そして圧力項分布も慣性項とはほぼ同じ値と形状を示している。これらのことから分水路内の剥離域を除けば、レイノルズ応力項は底層部から上層部にかけて慣性項、圧力項に比べ非常に小さい値をとることがわかった。また鉛直方向（Y方向）流速 V も非常に小さい値であるため、これを含む慣性項と鉛直方向に関する運動式の全ての項もほとんど無視できることが分かった。従って分岐流れにおける運動式は次の(1)、(2)式のように近似できる。

$$U \frac{\partial U}{\partial x} + W \frac{\partial U}{\partial z} = -g \frac{\partial h}{\partial x} \quad \text{-----(1)}$$

$$U \frac{\partial W}{\partial x} + W \frac{\partial W}{\partial z} = -g \frac{\partial h}{\partial z} \quad \text{-----(2)}$$

以上のことから分岐流れの機構は次のように推論される。水面形状による圧力勾配は分水路方向に下降し、主水路方向に上昇している。しかし表層部、中層部の運動量の大きい領域ではあまり分水路側に曲げられず減速されながらも主水路下流部に達する。一方、底層部の運動量の小さい領域は圧力勾配の影響が支配的になり、分水路側により多く流れ込む。従ってこのような分岐流れ特有の現象が起こるものと考えられる。

6. あとがき 本研究では分岐流れの機構を詳細な計測により明らかにした。今後は数値シミュレーションなどを用いて、先程の推論を実証し同時に流量配分比の算出法考案なども行う予定である。しかし土砂をダム下流へバイパス方式で排除することに分岐流れの特性を応用するには河床変動に伴う分岐機構の変化、排砂効率など更に現実的な検討を加える必要があると思われる。【参考文献】1) 室田明：開水路分水路の研究、土木学会論文集第70別冊1-1, 1960

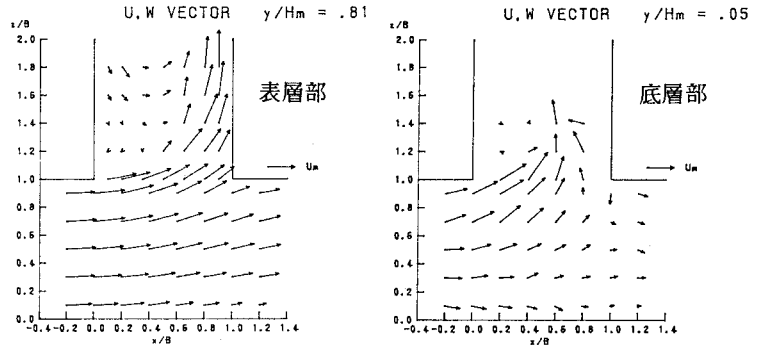


図4 U W流速ベクトル

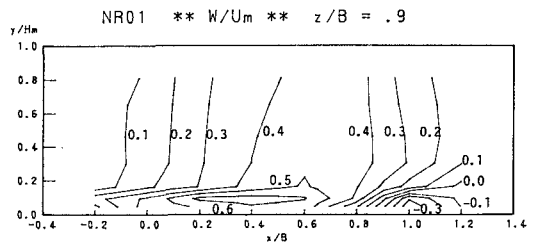


図5 Wコンター（z/B=0.9）

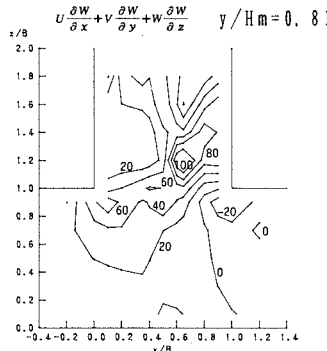


図6 慣性項（表層部）

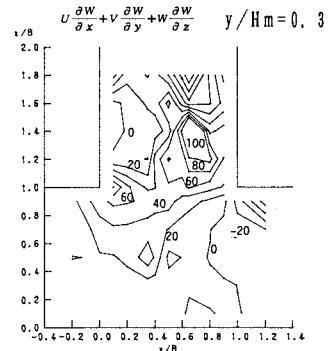


図7 慣性項（底層部）

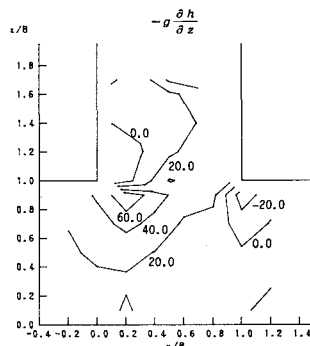


図8 圧力項

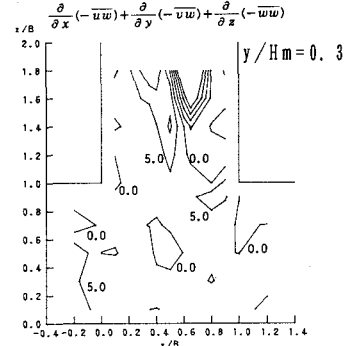


図9 レイノルズ応力項