

群馬大学大学院 学生員 湯下 孝司
 群馬大学工学部 正 員 江崎 一博
 名古屋工業大学 正 員 富永 晃宏

1. まえがき 開水路分岐流れの研究は、治水・利水の要請により古くからかなり実験的、理論的に行われている。分岐部付近の流れの現象は極めて複雑な様相を呈しており、分流特有な現象として表層と底層での流線形状のねじれが生じ、主流方向の変化に伴う渦度の伸張のために生じる二次流の効果が認められる。¹⁾²⁾ これまで定量的に流速など物理量の詳細な測定を行って、このような分流特有な現象を明らかにした例はほとんどない。ポテンシャル流理論を用いた解析も行われているが、これでは底層流線の顕著なねじれは再現されない。本研究ではレーザ・ドップラー流速計を用いて格子状に流速を計測し、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 実験は前年度の60°分水路に続いて³⁾⁴⁾ 図1に示す水路幅20.0cm、分岐角90°の亚克力製の矩形断面をもつ「T」型水平分岐水路を用い、表1に示す実験条件のもと水深0.2, 0.4, 0.7, 1.3, 2.0, 2.8, 3.5cmの各7層における主流速 U 、横断流速 W 、および $y \geq 0.7$ cmにおいては鉛直流速 V の三次元成分の流速を計測した。座標系としては図2に示す通りである。また、流速計として4ビーム・レーザ・ドップラー流速計を用いた。 $y < 0.7$ cmにおける (U, W) 計測では、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 $\tan \theta = 0.18$ だけレーザ光線軸を傾けて計測した。この場合 $U = (U_1 + U_2)/2 \cos \theta$ 、 $W = (U_1 - U_2)/\sin \theta$ で計算される。ここで U_1, U_2 はそれぞれ上流側、下流側での平均流速値である。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。

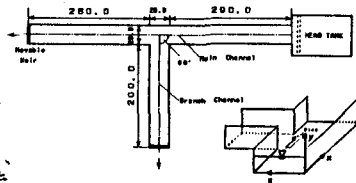


図1 実験装置 図2 座標系

表1 実験条件表

実験ケース NR01	流量 cm ³ /s	水深 cm	流速 cm/s	フルード数 Fr
主水路上流	2001.9	4.118	21.46	0.581
主水路下流	2008.4	4.624	21.73	0.523
分水路	1211.9	4.208	15.23	0.234
流量配分比	0.595	※ 両下流端高さ 20.0cm		

※ 各水深は分岐部より71.8cmの断面平均値

3. 分岐部の水面形状

図3は、 H_m は主水路上流7.5cmの断面平均水深である。分流の特徴として分流側に向かって強い水面勾配がみられる。すなわち分流方向においては開口部上流端近傍で大きい $dh/dz < 0$ の領域が存在し、また主流方向においては、エッジの先端付近で最大になる $dh/dx > 0$ の領域が主水路下流にまで及んでいる。

4. 分岐部の平均流速分布状況

図4は、 U, W 流速ベクトルである。表層近傍ベクトルと底層近傍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付近でより分流側に向かう傾向にあることが分かる。すなわち流線にねじれが生じている。これは、わん曲水路に見られる様な流線の曲率と比べ小さく遠心力に起因するものとは考えられず、分流側への吸い込みによる流速成分と思われる。図5は、 $X/B = 0.2$ の X 軸に直角な断面の U の鉛直分布コンタである。最大流速の位置は分流側に片寄っており、主流速が底層付近の W の影響を受け分水路側に移動していることがわかる。また分岐水路の入口近傍の剥離域の影響により流速は急激に減速されている。図6は

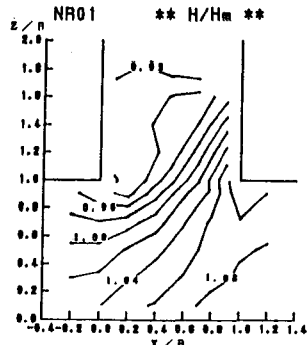


図3 分岐部水面形

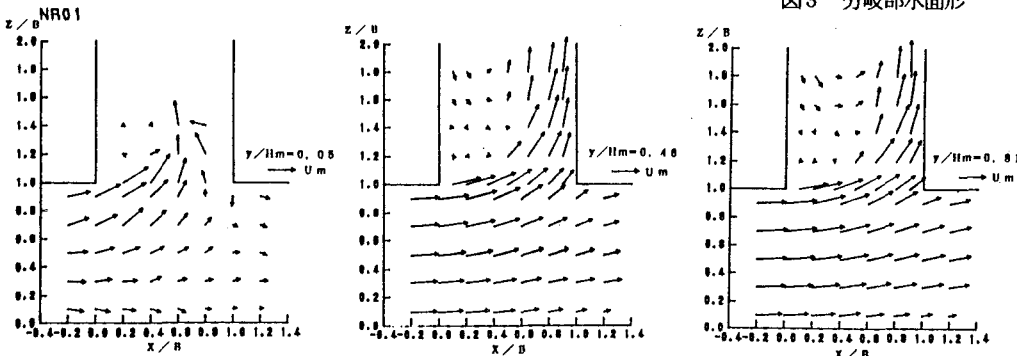


図4 U, W 流速ベクトルコンタ

$X/B=0$ における W の鉛直分布である。 $y < 0.7\text{cm}$ の領域においては、 $Z/B=0.1$ を除き、主水路中央から分流通側に向かう強い流速が存在している。しかし、その領域外においては W の分布はほぼ一様とみなせる。したがって流速分布は、完全流体として扱える領域と底層付近の粘性の影響を受け特に分流へ強く向かい掃流砂などに多く影響を及ぼす領域が存在している。

5. 分岐部の運動機構について

レイノルズ方程式により三成分の運動量式のオーダ比較を行った結果、レイノルズ応力の効果は一桁小さく無視でき、鉛直方向の圧力分布は底層近傍を除く主水路領域においてほぼ静水圧分布を示す。図7は、 X 方向の慣性項総和のコンタであり、主流通側に比べ分流通側で負の加速度を生じており流れが減速されている。逆に図8の Z 方向においては主水路中央付近から分流方向に正の加速度で流れ込んでいる。また図9の表層付近と底層付近の流体の持つ速度エネルギー分布を比較すると底層付近では、開口部において値が卓越しているがその領域は小さく、主水路下流端入口まで及んでいない。しかし、表層付近では分岐部において0.5以上の領域が大半を占め、速度エネルギーが底層に比べて明らかに大きくなっている。さらに、図10は、比エネルギーの分布を示したものである。主水路側においてほぼ一様な値を示す。したがって、分岐流れは、水面形状による圧力勾配が分流通側に向かつて減少し、主水路方向において増加しているため、表層付近の慣性力の強い領域ではあまり分流通側に曲げられず減速されながらも主水路分岐端に達するが、底層近傍の慣性力の弱い領域($y \leq 0.7\text{cm}$)では、圧力勾配の影響により分岐側に多く流れ込み底層流線を曲げていると考えられる。

6. あとがき

本研究では分岐流れを実験により詳細に計測し、流れの構造を明らかにした。分岐流れのこのような特性は、水流の掃流力を利用してダム下流へバイパス方式で排砂する工法に有効なものである。しかし、分流に伴う局所的現象に見られる水面変化や河床変化、さらに掃流砂の運動に關係している底層付近で卓越する二次流の機構などまだ統一的な見解は得られていない。今後はより現実的な分岐流れのケースで検討する必要があるだろう。【参考文献】1)室田 明：開水路分水工の研究、土木学会論文集第70別冊1-1, 1960 2)田中祐 一郎・川成茂：分水路流れの機構に関する実験、第31回土木学会年次演習概要集, 1976 3)石井聡・高坂宏哉：開水路分岐流れの乱流構造と流砂輸送機構、群馬大学卒業論文, 1990 4)石井・湯下・富永・江崎：開水路分岐流れにおける流れの構造と土砂輸送機構、第45回土木学会年次演習講演概要集, 1990

NR01 ** U/U_m ** $x/B = .2$

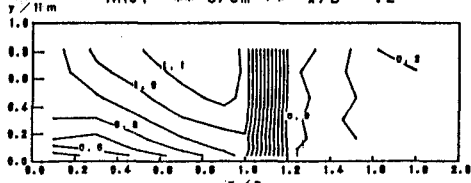


図5 主流速コンタ

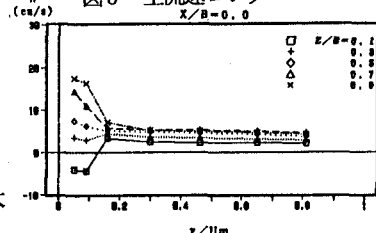


図6 W流速鉛直分布

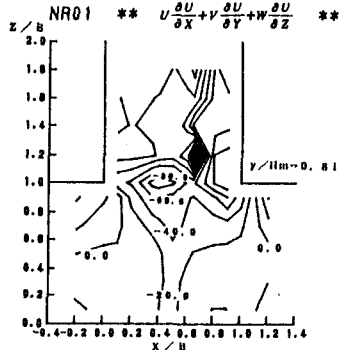


図7 X方向慣性力コンタ

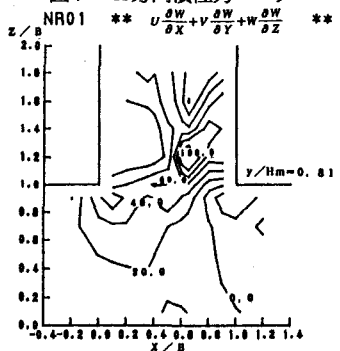


図8 Z方向慣性力コンタ

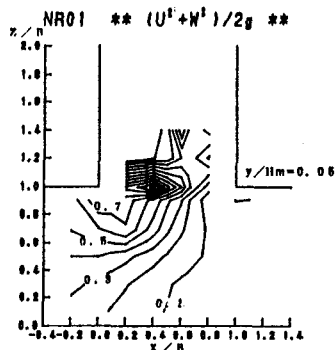


図9 運動エネルギーコンタ

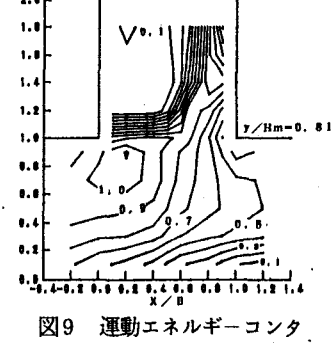


図10 比エネルギーコンタ