

# 固定床開水路分流における流量・流砂量配分比に関する実験的研究

## DIVERSION RATIOS OF BED LOAD AND WATER DISCHARGE TO A DIVERSION CHANNEL WITH RIGID BED

川合 茂\*・芦田和男\*\*

By Shigeru KAWAI and Kazuo ASHIDA

Experimental study is made to investigate the discharge ratios of sediment as well as of water in channels of two types, one concerning the Y-shaped channel and other the curved channel, with attention focussed on the geometric features of the dividing flow region.

It was found that both the energy loss and dividing streamline could be determined in terms of the geometry of experimental flume and flow depth. Empirical methods to predict the water discharge ratio and the sediment discharge ratio are presented.

*Keywords*: river improvement, dividing flow, diversion ratio, local flow

### 1. 緒 論

河川分流は治水・利水の目的で広く行われている。また、近年、重要課題となっているダム堆砂の排除に分流工を活用することも可能であろう。河川分流の基本的な問題は、流量・流砂量配分比である。流量・流砂量配分比を規定するものは、主に、分岐部周辺の流路の平面形状と分岐に伴うエネルギー損失であると考えられる。従来、対象とされた流路の平面形状は、Habermaas<sup>1)</sup>や著者ら<sup>2),3)</sup>を除き、直線水路からある角度をもって分水路が取り付けられたT型分岐水路であり、エネルギー損失についてはほとんど議論されていない<sup>4)~8)</sup>。河川分流を有効に行うためには、分岐部周辺の水路の平面形状、エネルギー損失、流量・流砂量配分比の間の関係を知る必要がある。

本研究では、種々の分岐形状を考慮し、その基本的な分岐形状として、Fig.1に示すような、Y型分岐直線水路を、また、分岐部より上流の流路の曲がりの影響を考慮して、湾曲部から分流される湾曲分岐水路の2種類の

分流水路を用いている。そして、固定床実験により、上述の諸量について考察したものである。まずは、Fig.1に示す主・分水路の偏角 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ や分岐点偏角 $\alpha$ とエネルギー損失の関係を調べるとともに、分岐に伴うエネルギー損失の推定法について考察する。ついで、流量配分比に及ぼす偏角の影響を検討し、エネルギー方程式に基づく流量配分比の算定法を提示する。さらに、掃流砂量配分比、偏角、流量配分比の間の関係を実験的に明らかにする。なお、本研究は、既報<sup>2),3)</sup>のデータを再整理するとともに、加筆修正したものである。

### 2. 実 験

Y型分岐水路の諸元は主水路幅20cm、分水路幅10cm、分岐部の上・下流の長さ4mである。湾曲分岐水路の諸元は主水路幅50cm、分水路幅25cm、主水路全長22.4m、分水路長5mで、主水路湾曲部の湾曲偏角は90°、中心曲率半径は150cmである。分水路は、湾曲流に関する村本ら<sup>9)</sup>および分流に関するHabermaas<sup>1)</sup>の研究成果を参考にし、偏角 $\alpha=42^\circ$ 、 $65^\circ$ 、 $90^\circ$ の外岸に設置されている。分岐点偏角 $\alpha=42^\circ$ は湾曲二次流の発生域、 $\alpha=65^\circ$ は発達域に相当し、 $\alpha=90^\circ$ は、掃流砂量配分比が最小となる場所<sup>1)</sup>である。また、湾曲流の影響範囲を知るため、湾曲部終端より主水路幅の5倍お

\* 正会員 工修 舞鶴工業高等専門学校講師 土木工学科  
(〒625 舞鶴市白屋234)

\*\* 正会員 工博 京都大学教授 防災研究所  
(〒611 宇治市五ヶ庄)

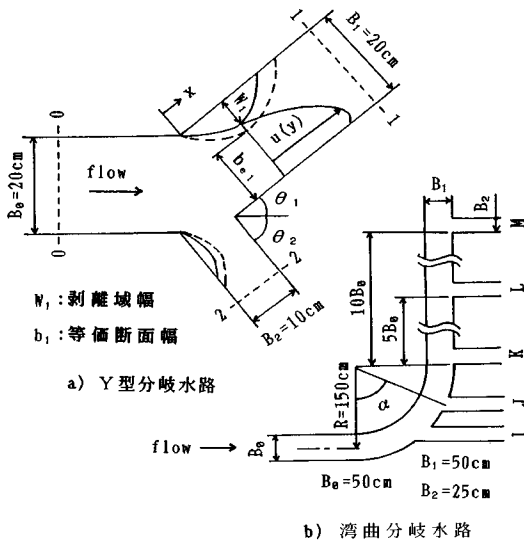


Fig.1 Shape of the experimental flume and definition sketch.

および10倍下流にも分水路が設置されている。水路床勾配は、いずれも1/1000に設定し、水路全区間が常流域になるように人工粗度がつけられている。

実験は、Table 1に示すように、 $\theta_1$ ,  $\theta_2$ ,  $\alpha$ を変化させ、39ケースについて行った。いずれのケースにおいても分岐部周辺の流れに着目し、水深、流速、剥離域の大きさを測定するとともに、分離流線を測定した。剥離域は、注射針にて、過マンガン酸カリウム溶液を注入し、順流と逆流の継続時間が等しくなる場所を目視によって定めた。分離流線、すなわち流れが主水路と分水路に分かれる境界の流線は、中立粒子をトレーサーとして流し、その軌跡より求めた。なお、Table 1において、湾曲分流実験のEXP. 記号は Fig. 1 b) の分水路の記号に対応している。また、流量配分比と掃流砂量配分比との相違点を調べるために、底面近傍の流向とそれより上層の流向との違いに着目し、主水路幅15 cm、分水路幅6 cm、長さ5 mのY型分岐水路 ( $\theta_1=0^\circ$ ,  $\theta_2=25^\circ$ ,  $50^\circ$ )を用いて、水素気泡法による層流実験を行った。この実験では、分岐部周辺の流速分布や流跡線を詳細に測定した。実験条件は、流量  $Q=0.85$  l/s、レイノルズ数は約1000である。

3. 分岐部周辺における流況特性

(1) 流速分布特性

分岐部周辺における平均流のエネルギー損失は、主として、垂直軸をもつ渦に支配されていると考えられる。このことについて、垂直方向に平均した流速の横断分布をみる。Fig. 2は、EXP. NO E-2における各断面の流

Table 1 Experimental conditions and some results.

	EXP.NO.	$\theta_1$ (°)	$\theta_2$ (°)	Q (l/s)	$\kappa$	$\kappa_g$	
Y型分岐水路	A 1	30	0	1.0	0.300	0.236	
	2			2.0	0.350	0.280	
	3			3.8	0.389	0.307	
	H 1	30	30	1.0	0.250	0.256	
	2			2.0	0.300	0.308	
	3			3.8	0.324	0.320	
	C 1	30	60	1.0	0.260	0.317	
	2			2.0	0.285	0.429	
	3			3.8	0.295	0.451	
	D 1	60	0	1.0	0.330	0.231	
	2			2.0	0.360	0.275	
	3			3.8	0.324	0.320	
E 1	60	30	1.0	0.300	0.255		
2			2.0	0.335	0.292		
3			3.8	0.355	0.313		
F 1	60	60	1.0	0.275	0.276		
2			2.0	0.310	0.316		
3			3.8	0.324	0.320		
G 1	0	30	1.0	0.315	0.526		
2			2.0	0.322	0.569		
3			3.8	0.324	0.320		
H 1	0	60	1.0	0.290	0.506		
2			2.0	0.303	0.421		
3			3.8	0.324	0.320		
湾曲分岐水路			$\alpha$ (°)				
	L 1	42	0	2.0	0.330	0.352	
	2			5.0	0.346	0.386	
	3			12.0	0.352	0.335	
	J 1	65	0	2.0	0.330	0.269	
	2			5.0	0.316	0.259	
	3			12.0	0.317	0.000	
	K 1	90	0	2.0	0.215	0.088	
	2			5.0	0.226	0.087	
	3			12.0	0.242	0.000	
			$\theta_1$ (°)	$\theta_2$ (°)			
	L 1	0	90	2.0	0.195	0.241	
2	5.0			0.212	0.336		
3	12.0			0.208	0.361		
M 1	0	90	2.0	0.200	0.285		
2			5.0	0.202	0.369		
3			12.0	0.208	0.381		

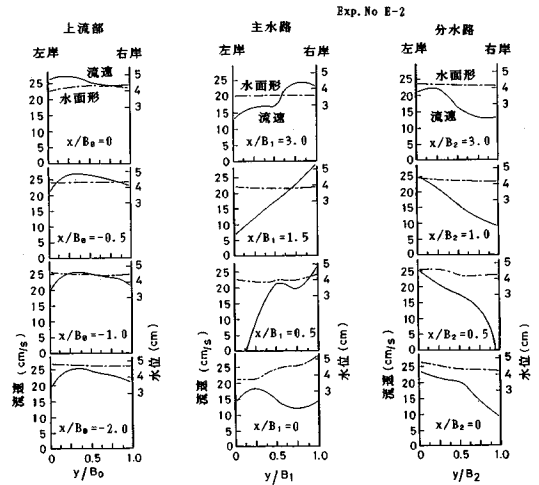


Fig. 2 Velocity profiles at each cross section.

速の横断分布と水面形を示したものである。流速は分岐部より上流ではほぼ様な分布を示すが、分岐部直下流では、主・分水路とも流速の横断勾配が大きくなる。流速の横断勾配が最も大きくなる断面 ( $x/B_1=0.5$ ,  $x/B_2=0.5$ ) では、流速が0あるいは負となる。さらに

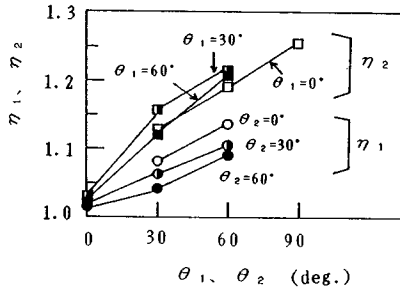


Fig. 3 Momentum correction factor  $\eta$  vs deflection angle  $\theta$ .

詳しくみると、主・分水路とも分岐直後の断面 ( $x/B_1 = x/B_2 = 0$ ) では流速の横断勾配は小さいが、主水路では右岸側、分水路では左岸側の水位が高く、その直下流では水位は低くなって、水流は加速され、流れの集中が知られる。さらに下流では流れが発散し、水位は平坦になっていくとともに、流速分布も一様化していく。こうした流速の横断分布特性より、垂直軸をもつ剥離渦の形成に伴って、顕著なエネルギー損失の生ずることが推察される。

ついで、流速の横断勾配が最も大きな断面 ( $x/B_1 = 0.5, x/B_2 = 0.5$ ) での運動量補正係数 ( $\eta_1$ : 主水路,  $\eta_2$ : 分水路) を調べてみる。その結果を Fig. 3 に示す。偏角  $\theta_1, \theta_2$  が大きくなるほど  $\eta_1, \eta_2$  は大きくなる。さらに、 $\theta_1 = 0^\circ$  の場合の  $\eta_2$  のデータの不明確さはあるものの、 $\theta_1$  が大なるほど  $\eta_2$  は小さくなり、 $\theta_2$  が大なるほど  $\eta_1$  は小さくなる傾向が知られる。これは、偏角によって流れの集中の程度が変化するためと思われる。こうした傾向は湾曲分岐流においても同様で、分岐点偏角  $\alpha$  が大きいほど  $\eta_2$  は大きくなり、運動量補正係数に対する分岐点偏角の影響は、Y型分岐水路における偏角の影響と同様である。

(2) 剥離域

剥離渦の大きさとエネルギー損失との関連性を議論するに先がけて、剥離域幅を調べる。Fig. 1 a) に示す剥離域幅が最大となる断面の剥離域幅  $W_1$  は、偏角、分岐前後の水量および流体の物性などによって定まると思われる。 $W_1$  に関して次元解析を行うと、次式を得る。

$$W_1/h_1 = f(\theta_1, B_1/h_1, V_0/V_1, V_1^2/g h_1, V_1 h_1/\nu) \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 $V$  は断面平均流速、 $h$  は平均水深、 $g$  は重力加速度、 $\nu$  は動粘性係数である。添字 0 は上流部、1 は分岐部下流の断面を表わし、いずれも分流の影響がほとんど現われない断面である。上式は主水路に対するものであるが、分水路においても同様である。剥離域幅は幾何学的パラメーターに最も依存し、ついで力学的パラメーターに支配されるものと思われる。本実験のフルー

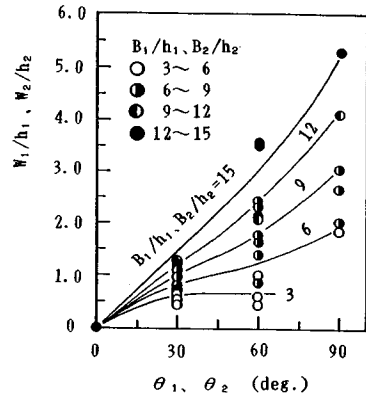


Fig. 4 Width of separation region  $W/h$  vs deflection angle  $\theta$ .

ド数の範囲は、おおむね 0.5~0.7 であるため、ここでは、偏角と幅水深比に着目する。Y型分岐における  $W_1/h_1$  (主水路)、 $W_2/h_2$  (分水路) について、その結果を Fig. 4 に示す。剥離域測定 of 困難さのため、データはかなりばらついているが、 $\theta_1$  や  $\theta_2$  が大きくなると剥離域幅は大きくなり、 $B_1/h_1, B_2/h_2$  が大きいほど剥離域幅も大きくなる傾向がうかがえる。こうした傾向は湾曲分岐においても同じである。図中の実線は、 $\theta_1, \theta_2$  と  $W_1/h_1, W_2/h_2$  および  $B_1/h_1, B_2/h_2$  との関係を実験的に求めたものである。

(3) 分岐部周辺におけるエネルギー損失

分岐部周辺では、剥離渦の形成のために、顕著なエネルギー損失が生ずる。その一例を Fig. 5 に示す。図示のように、分岐水路において顕著なエネルギー損失がみられる。こうしたエネルギー損失の機構は、単水路断面急拡部のそれに類似している。そこで、断面急拡部におけるエネルギー損失の推定法に準じて、分岐によって生ずるエネルギー損失を推定してみる。いま、分岐に伴うエネルギー損失水頭を  $h_L$  とし、次式のように表わす。

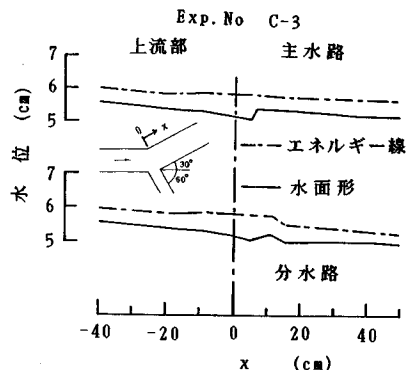


Fig. 5 Water profile and energy line in the dividing region.

$$h_l = \zeta V^2 / 2g \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 $\zeta$ はエネルギー損失係数、 $V$ は分流の影響が消失する下流断面の平均流速、 $g$ は重力加速度である。単水路急拡部におけるエネルギー損失係数は、芦田<sup>10)</sup>によると、主に急拡率の逆数 $\gamma$ の関数として表わされる。

$$\zeta = f(\gamma), \gamma = b_u / b_a \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 $b_u, b_a$ は、それぞれ急拡前後の水路幅である。

分岐部においても、この $\gamma$ に対応する条件、つまり、剥離域の形成や水流の集中に伴う断面の縮小率が設定されると、式(3)を用いて $\zeta$ が推定される。そこで、剥離域幅が最大となる断面における有効な流水断面幅を、最大剥離域幅 $W_1$ および流速の横断分布 $u(y)$ などによって求める。いま、Fig.1 a)を参照して、幅 $(B_1 - W_1)$ の運動量と等価な運動量を有する有効な流水断面幅 $b_{e1}$ (以後、等価断面幅と呼称する)を求め、 $\gamma$ を定める。すなわち、幅 $b_{e1}$ における平均水深 $h_{e1}$ と平均流速 $V_{e1}$ を

$$b_{e1} V_{e1} h_{e1} = (B_1 - W_1) V_m h_m \dots\dots\dots (4)$$

$$b_{e1} V_{e1}^2 h_{e1} = (B_1 - W_1) \eta_1 V_m^2 h_m \dots\dots\dots (5)$$

のように定義すれば、急拡部の $\gamma$ に対応する条件は次式のように表わされる。

$$\gamma = b_{e1} / B_1 = (1/\eta_1) (B_1 - W_1) / B_1 \cdot (h_m / h_{e1}) \dots\dots\dots (6)$$

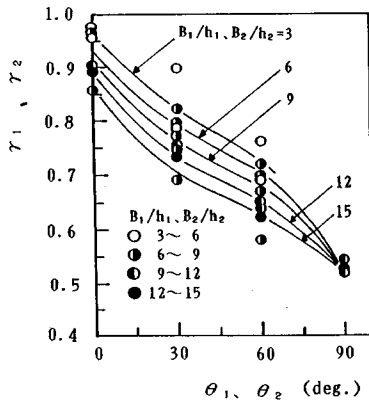


Fig. 6 Equivalent width ratio  $\gamma$  vs deflection angle  $\theta$  in Y-shaped flume.

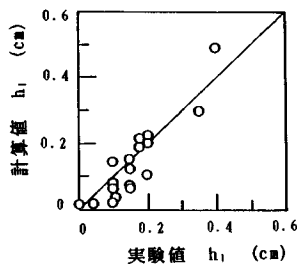


Fig. 7 Comparison between calculated and experimental values for energy loss  $h_l$ .

ここに、 $h_m, V_m$ はそれぞれ幅 $(B_1 - W_1)$ における平均水深、平均流速、 $\eta_1$ は運動量補正係数である。上式は分水路においても同様である。

上式に基づいて、実験値より、 $\gamma_1$ (主水路)、 $\gamma_2$ (分水路)を求め、その特性を調べる。なお、実験結果より $h_m \doteq h_{e1}$ としている。 $\gamma_1, \gamma_2$ を定める主要なパラメーターは、剥離域幅 $W_1$ を定めるものと同じであると考え、データを整理したのがFig. 6で、Y型分岐の場合である。図示のように、 $\theta_1, \theta_2$ が大きくなると $\gamma_1, \gamma_2$ は減少し、 $B_1/h_1, B_2/h_2$ が大きいと $\gamma_1, \gamma_2$ は小さくなる。図中の実線は、剥離域幅の場合と同様に、実験的に求めたものである。湾曲分岐の場合、湾曲水路内では水流の剥離は起こらず、横断方向の速度勾配も小さいため、広い水理条件下で $\gamma_1 \doteq 1$ となる。 $\gamma_2$ についてはデータ数が少ないため、幅水深比に対する $\gamma_2$ の変化は明確ではないが、偏角 $\alpha$ が大きくなると $\gamma_2$ は小さくなり、Y型分岐と同じ傾向を示す。

さて、単水路急拡部における急拡率の逆数に相当する等価断面幅比 $\gamma_1, \gamma_2$ がかなり明らかにされたので、Fig. 6の結果を式(3)に代入して分岐に伴うエネルギー損失を推定する。このようにして得られたエネルギー損失水頭と実験値を比較したのがFig. 7である。両者は比較的よく一致しており、上述の方法によってエネルギー損失は十分に推定されるものと思われる。

### 4. 流量配分比

#### (1) 主・分水路の偏角による流量配分比の変化

流量配分比 $x$ (分水路流量/全流量)と偏角 $\theta_1, \theta_2$ や分岐点偏角 $\alpha$ との関係を調べたのがFig. 8, Fig. 9である。前者はY型分岐、後者は湾曲分岐の場合である。Y型分岐の場合(Fig. 8)、偏角 $\theta_1, \theta_2$ に対して、 $\theta_1 \rightarrow$ 大のとき $x \rightarrow$ 大、 $\theta_2 \rightarrow$ 大のとき $x \rightarrow$ 小なる傾向がある。湾曲分岐(Fig. 9)においては、分岐点偏角 $\alpha$ が大きいほど $x$ は小さくなり、その減少は湾曲二次流の発達域において急激で、 $\alpha = 90^\circ$ では $x/B_0 = 5, 10$ (Y型、 $\theta_1 = 0^\circ, \theta_2 = 90^\circ$ )の $x$ にほぼ等しくなる。こうした $x$ の変化は、主・分水路におけるエネルギー損失の原因となっている剥離渦の特性値が偏角に対応して変化するためである。Fig. 6に示す等価断面幅比 $\gamma$ の変化から知られるように、Y型分岐では、 $\theta_1$ が大なるほど主水路におけるエネルギー損失が大きくなって $x$ は増大し、 $\theta_2$ が大きくなると、分水路におけるエネルギー損失が大きくなって $x$ は減少するものと推察される。湾曲分岐においても、 $\alpha$ が大きいほど分水路でのエネルギー損失が大きくなり、 $x$ は減少するものと思われる。そして、発達域における急激な減少は、湾曲部における水流の曲率に関係するようである。湾曲部における河床面近傍を除く流れは、

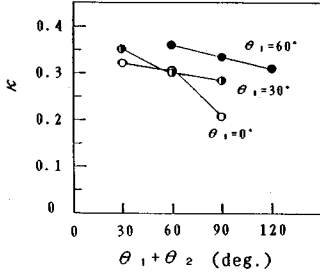


Fig. 8 Dividing discharge ratio  $\kappa$  vs deflection angle  $\theta$  in Y-shaped flume.

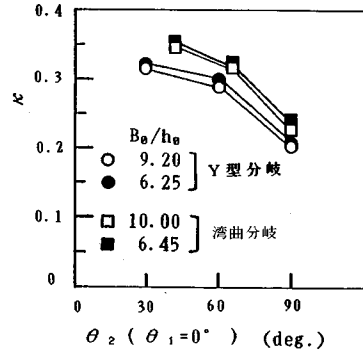


Fig. 10 Dividing discharge ratio  $\kappa$  vs deflection angle  $\theta_2$  in Y-shaped and curved flumes.

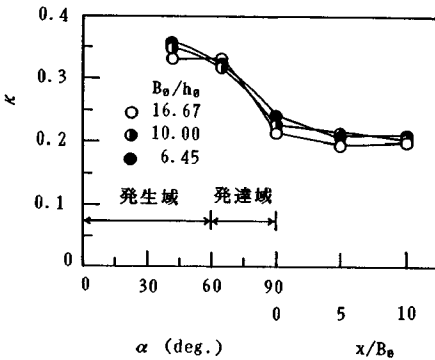


Fig. 9 Dividing discharge ratio  $\kappa$  vs deflection angle  $\alpha$  and distance from the end of curve  $x/B_0$  in curved flume.

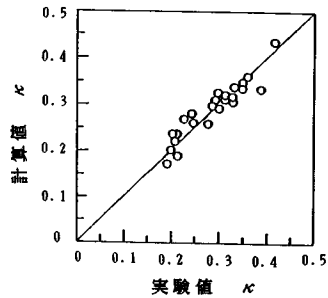


Fig. 11 Comparison between calculated and experimental values for discharge ratio  $\kappa$ .

発達域では流向が水路壁と一致するようになり、分水路への流入が制限されて、 $\kappa$  は急激に減少するものと思われる。Y型分岐と湾曲分岐の対比より、分岐点より上流の水路平面形状の影響の大きさが知られる。

ついで、Y型分岐と湾曲分岐の対応関係を調べる。水路の形状やこれまでの結果から考えて、Y型分岐の偏角  $\theta_1$  に対応する湾曲分岐水路の角度は  $0^\circ$ 、 $\theta_2$  に対する角度は分岐点偏角  $\alpha$  になると思われる。この対応関係に基づき、 $\theta_1 = 0^\circ$  の場合のY型分岐の流量配分比  $x$  と湾曲分岐の  $x$  とを比べたのが Fig. 10 である。同じ  $\theta_2(\alpha)$  に対して、湾曲分岐の  $x$  の方がY型分岐の  $x$  より大きくなっている。これは、分岐部までに生ずる湾曲二次流の発達によって、外岸側に流れが集中するためと推察される。

(2) 流量配分比の算定

分岐部周辺の流れは、分岐に伴うエネルギー損失が卓越することに特徴づけられる。このエネルギー損失は、Fig. 7 に示すように、断面急捻部で行われている方法で推定される。このことは、エネルギー方程式を用いて、流量配分比  $x$  の算定が可能であることを意味している。

Fig. 1 a) に示すように、分岐前後に検査面をとり、主水路上・下流および分水路を添字 0, 1, 2 を付して表わすと、連続式およびエネルギー方程式は次のように表

わされる。

$$Q_1 = (1-x)Q_0, \quad Q_2 = xQ_0 \dots\dots\dots (7)$$

$$E_0 = z_0 + h_0 + \beta_0 V_0^2 / 2g = z_1 + h_1 + \beta_1 V_1^2 / 2g + h_{11} = z_2 + h_2 + \beta_2 V_2^2 / 2g + h_{22} \dots\dots\dots (8)$$

ここに、 $Q$  は流量、 $z$  は位置水頭、 $h$  は水深、 $V$  は平均流速、 $h_i$  は形状損失水頭、 $\beta$  はエネルギー補正係数である。いま、 $z_1 = z_2$  とし、また、断面 1 および断面 2 では流速は一樣と考えられるから、 $\beta_1 = \beta_2 = 1$  とすると、式 (7)、式 (8) より流量配分比に関する次式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} x &= 1/(1+\Omega) \\ \Omega &= (B_1 F_{r1} / B_2 F_{r2}) [(F_{r2}^2(1+\zeta_2)+2) / (F_{r1}^2(1+\zeta_1)+2)]^{3/2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (9)$$

ここに、 $F_r$  はフルード数、 $B$  は水路幅、 $\zeta$  はエネルギー損失係数である。

流量配分比  $x$  を求めるには、与えられた流量条件のもとで、まず  $x$  を仮定し、 $F_{r1}$ 、 $F_{r2}$  を求めるとともに、エネルギー損失のところ述べていた方法で  $\zeta_1$ 、 $\zeta_2$  を求める。ついで、それらが式 (9) を満足するかどうかを調べ、満足しなければ  $x$  を仮定しなおして式 (9) を満足するまで繰り返す。こうして求めた流量配分比と実験値を比較したのが Fig. 11 である。計算値と実験値はよ

く一致し、この算定法の妥当性がうかがえる。ここに提案した流量配分比の算定法は、エネルギー損失の推定に関して、その一般性に問題は残るが、流路の偏角によるエネルギー損失が考慮されているため、従来の算定法<sup>(4), (6), (11)</sup>より一般性が高く、よりの確に流量配分比を推定することができる。

5. 掃流砂量配分比

偏角  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  や分岐点偏角  $\alpha$  による掃流砂量配分比  $x_g$  の変化を示したのが Fig. 12, Fig. 13 である。いずれの場合も掃流砂量配分比  $x_g$  は、水路床近傍における分離流線をもとに求めている。つまり、分流の影響が現れない上流部で、水路幅に対する分水路側壁から分離流線までの幅（分離流線幅）の比が  $x_g$  に相当するものとしている。まず、Fig. 12 に示す Y 型分岐の結果をみると、 $\theta_1$ ,  $\theta_2$  に対して、 $\theta_1 \rightarrow$  大のとき、 $x_g \rightarrow$  小、 $\theta_2 \rightarrow$  大のとき  $x_g \rightarrow$  大となり、Fig. 8 に示される流量配分比の場合と逆の傾向を示す。流跡線の測定から知られることであるが、これは、分流に伴う二次流の発生により、水路床近傍では、 $\theta_1$  が大きくなるほど、 $\theta_2$  が小さくなるほど分離流線幅が狭くなるとともに、それより上層の分離流線との間でねじれが生ずるためである。

ついで、Fig. 13 に示す湾曲分岐の結果をみる。 $\alpha$  が大きくなるほど  $x_g$  が減少する傾向は流量配分比と同じであるが  $x_g$  の減少の方がより急激で、発達域では  $x_g = 0$

となる場合もある。さらに、湾曲部における水深の増大に伴って  $x_g$  は減少する傾向がみられ、流量配分比の場合と逆の傾向である。これは、分岐点より上流の湾曲二次流の発達程度によるものと思われる。つまり、 $\alpha$  が大きいほど水路床近傍の分離流線幅は狭くなって  $x_g$  は減少し、水深が増大するほど湾曲二次流の規模が大きくなって、分離流線幅はさらに狭くなり  $x_g = 0$  となる場合も生ずるものと推察される。

このような湾曲分岐の特性は、湾曲部の下流の直線領域において、分岐点が下流に移るに伴い、やがて消失することが推察される。このことについて、分岐点が水路幅  $B_0$  の 5 倍および 10 倍下流のデータに着目してみる。 $x/B_0 = 5$  の場合、掃流砂量配分比と流量配分比の比でみると、 $x_g/x = 1.2 \sim 1.7$  で、 $x/B_0 = 10$  では、 $x_g/x = 1.6 \sim 2.0$  となっている。従来の  $\theta_1 = 0^\circ$ ,  $\theta_2 = 90^\circ$  においては  $x_g/x = 1.6 \sim 2.0$  程度の値<sup>(4), (7)</sup> が得られていることから、 $x/B_0 = 5$  の地点では、湾曲流の影響が消失するものと推察される。

さて、従来、Y 型分岐で  $\theta_1 = 0^\circ$  の場合における  $x_g$  は  $x$  のみの関数として表わされている。上述の結果より、一般に、 $x_g$  は次式のように表わされるであろう。

$$x_g = f(x, \theta_1, \theta_2 \text{ or } \alpha) \dots \dots \dots (10)$$

実験結果をもとに上式の関係を調べる。Fig. 14 がその関係を示したもので、偏角  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  の比  $\theta_2/\theta_1$  をパラメーターにしている。同図には  $\theta_1 = 0^\circ$  の場合の室田<sup>(4)</sup>の実験式も示している。湾曲分岐の一部のデータを除いて、 $x$

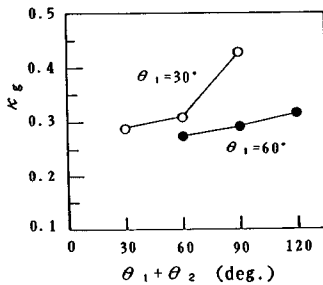


Fig. 12 Sediment discharge ratio  $x_g$  vs deflection angle  $\theta$  in Y-shaped flume.

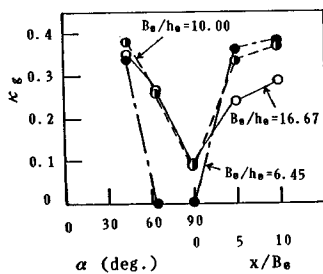


Fig. 13 Sediment discharge ratio  $x_g$  vs deflection angle  $\alpha$  and distance from the end of curve  $x/B_0$  in curved flume.

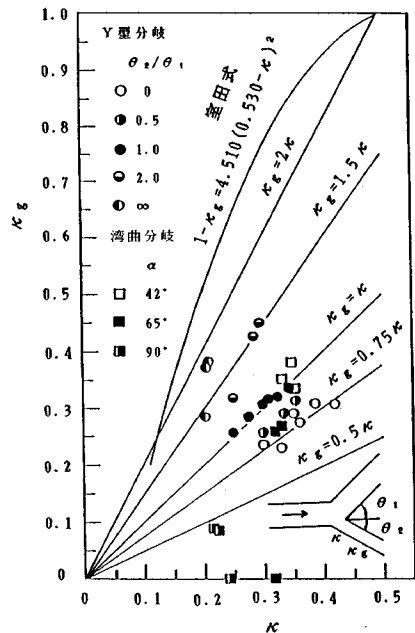


Fig. 14 Relation of sediment discharge ratio  $x_g$  to discharge ratio  $x$  and deflection angles  $\theta_1/\theta_2$ ,  $\alpha$ .

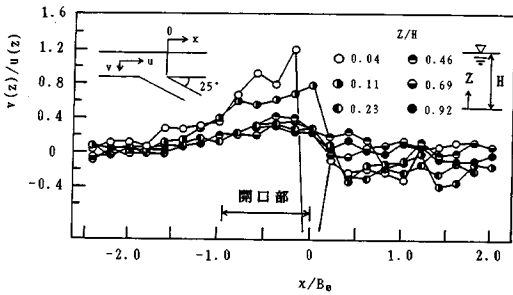


Fig. 15 Flow direction  $v(z)/u(z)$  around the dividing region.

の増大に伴って  $x_g$  も増大する傾向が知られる。そして、著者らの実験範囲では、 $x_g$ ,  $x$ ,  $\theta_2/\theta_1$  の間に、おおよそ次のような関係が認められる。

$$\left. \begin{aligned} \theta_2/\theta_1=0 \quad & \text{のとき} \quad x_g \doteq 0.75 x \\ \theta_2/\theta_1=0.5 \quad & \text{のとき} \quad x_g \doteq 0.9 x \\ \theta_2/\theta_1=1.0 \quad & \text{のとき} \quad x_g \doteq x \\ \theta_2/\theta_1=2.0 \quad & \text{のとき} \quad x_g \doteq 1.5 x \\ \theta_2/\theta_1=\infty \quad & \text{のとき} \quad x_g \doteq (1.5 \sim 2.0)x \end{aligned} \right\} \dots\dots(11)$$

図中、室田の実験式は  $\theta_1=0^\circ$ ,  $\theta_2=30^\circ$  に関するものであって、著者らのデータと比較すると若干大きな値となっている。これについては有意な差か、実験誤差なのかは定かでない。

湾曲分岐の場合、 $x_g$  の決定機構は、Y型分岐の場合よりきわめて複雑である。これは、 $x_g$  が  $x$  ばかりでなく、湾曲二次流の影響を強く受けるためであって、極端な場合には、図にもみられるように  $x_g=0$  となる場合も現われる。ちなみに、 $x_g=0$  のデータは水深が大きく、湾曲二次流の強度が大きい場合のものである。このように複雑ではあるものの、次のような傾向がみられる。すなわち、 $\alpha$  が大きいほど  $x_g/x$  は小さくなり、 $x_g=0$  の場合を除くと、 $\alpha$  が  $42^\circ$  の場合は  $x_g \doteq x$ ,  $65^\circ$  の場合は  $x_g \doteq 0.8 x$ ,  $90^\circ$  の場合は  $x_g \doteq 0.4 x$  となる。

以上のように、流量配分比は上層の流れに依存し、掃流砂量配分比は水路床近傍の流れに支配されているために、一般に  $x_g \neq x$  となっている。このことを調べるために、水素気泡法により調べた流況をみている。Fig. 15はY型分岐水路 ( $\theta_1=0^\circ$ ,  $\theta_2=25^\circ$ ) における分岐部周辺の流向偏角の縦断変化を各水深方向について示したもので、いずれの値も各水深における横断方向の平均値である。流向偏角  $v(z)/u(z)$  は開口部周辺で大きく分水路側に向くとともに、その値は水路床近傍で大きくなるのが知られる。水路床から水深の1割程度までは  $v(z)/u(z)=0.8 \sim 1.3$  に達するのに対し、それより上層では  $v(z)/u(z)=0.3 \sim 0.4$  とかなり小さくなっている。 $\theta_2=50^\circ$  の場合の流向偏角は  $\theta_2=25^\circ$  の場合より大きくなるが、流向偏角が大きく変化する深さはほぼ同じで

あって、水路床から水深の1割程度のところである。ところが、分水路へ向かう流速成分  $v(z)$  の水面から水路床までの変化は、流向の変化に比べて小さい。つまり、水路床から水深の1割程度までの流れと、それより上層の流れのねじれは、主に、 $u(z)$  の鉛直分布に起因するものと思われる。

## 6. 結 論

Y型分岐直線水路と湾曲分岐水路を用いた固定床実験を行い、流路の偏角、エネルギー損失、流量・流砂量配分比の間の関係を調べ、以下のような興味ある結果が得られた。

- (1) 分岐部直下流では、垂直軸をもつ剥離渦が形成され、その規模は偏角  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  や  $\alpha$  が大きいほど大きくなる。そして、そこでのエネルギー損失が顕著となる。
- (2) 分岐部周辺のエネルギー損失は、単水路断面急拡部で行われている方法によって推定される。その基礎となる等価断面幅比  $\gamma$  に関し、 $\gamma$  と偏角との関係図を明らかにした。

(3) 流量配分比とエネルギー損失が密接に関係していることから、エネルギー方程式に基づき、偏角を考慮した流量配分比の算定法を提案し、その妥当性を確かめた。

(4) Y型分岐について、掃流砂量配分比は流量配分比と偏角によって定まることを示すとともに、それらの間の関係式を実験的に求めた。

流量・流砂量配分比と流路の平面形状、エネルギー損失の間の関係がかなり明らかになった。今後は、湾曲分岐の掃流砂量配分比について、湾曲二次流の影響程度を明らかにする必要がある。また、流量・流砂量配分比と分岐部周辺の局所洗掘や河床波との関係を明らかにする必要がある。

最後に、本研究を進めるにあたり、有益なご助言を頂いた京都大学防災研究所江頭進治助教授に謝意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) Habermaas, F. : Geschiebeeinwanderung in werkkanale und deren Verhinderung, Wasserkraft und Wasserwirtschaft, pp.97~103 1935.
- 2) 芦田和男・川合 茂 : 分岐部周辺における流れの水理特性について, 京都大学防災研究所年報, 第22号, B-2, pp.491~505, 1979.
- 3) 川合 茂・芦田和男 : 河川分流通る流量・流砂量配分比に関する実験的研究, 第25回水理講演会論文集, pp.515~520, 1981.
- 4) 室田 明 : 開水路分水工の研究, 土木学会論文集, 第70号, 別冊1-1, 1960.
- 5) 中川博次・武内 等 : 開水路分流通る実験的考察,

- 土木学会第22回年次講演会概要集，Ⅱ-71，1967.
- 6) Milen-Thomson, L.M. : Theoretical Hydrodynamics, 5th edition, Macmillan, pp.289~292, 1968.
- 7) 道上正規・村雲 治：分水路における土砂配分，土木学会第32回年次講演会概要集，pp.313~314, 1977.
- 8) 田中祐一郎・川合 茂：分水路流れの機構に関する実験，土木学会第31回年次講演会概要集，pp.255~256, 1976.
- 9) 村本嘉雄・井上喬之：開水路湾曲流の内部機構，京都大学防災研究所年報，第8号，pp.415~427, 1965.
- 10) 芦田和男：開水路断面急拡部の水理とその適用に関する研究，京都大学防災研究所年報，第5号A，pp.223~251, 1962.
- 11) 芦田和男・土屋昭彦・神谷隆太郎：河川分流の設計法（2），土木技術資料，2-4，pp.131~132, 1960.
- (1988.7.1・受付)
-