

河川分流における流量・流砂量配分比に関する実験的研究

Experimental Study on the Dividing Ratios of Discharge
and Sediment at Junctions in Open Channels

舞鶴工業高等専門学校 正会員 ○ 川合 茂
京都大学防災研究所 正会員 芦田和男

1. 緒 言

河川分流を有効に行うためには、まず、流量・流砂量配分比を的確に予測するとともに、分流通造物の維持管理の面から、分岐部周辺における洗掘・堆積現象を把握する必要がある。流量・流砂量配分比は、主水路および分水路の平面形状によって規定されるとともに、分岐部周辺の河床形状、つまり、洗掘・堆積形状の影響を受けるという定性的な傾向が、Habermaas¹⁾や著者²⁾らの研究から明らかにされている。したがって、上述したような河川分流に関連した諸問題を解明していくには、まず、主・分水路の平面形状、流量・流砂量配分比および洗掘・堆積現象などの間の関連性を明らかにしなければならない。

本研究は、先の研究^{2), 3)}に引き続いて、彎曲分岐水路、および平面形状に関し、より一般的な形状特性を有すると思われるY型分岐水路による固定床あるいは移動床実験に基づき、上述の諸量について考察を行ったものである。流量配分比は、主水路および分水路の抵抗特性と分岐部周辺のエネルギー損失によって規定されることが明らかにされているので、まず、エネルギー損失と主水路および分水路の平面形状との関係について検討する。ついで、流量配分比に関する算定法を提示するとともに、これによる計算値と実験値との比較を行った後、流量配分比に関するY型分岐と彎曲分岐水路との対応関係について若干の考察を加える。流砂量配分比についても、流量配分比と同様なパラメーターに基づいて考察するとともに、分岐部周辺の局所的な洗掘・堆積現象ならびに河床波との関連について検討する。

2. 実験概要

Y型分岐水路は図-1(a)に示すようなもので、主水路幅20cm、分水路幅10cm、長さ7mの亚克力製であって、分岐部における角度 θ_1 および分岐角度 θ_2 は任意に変化できるようにされている。彎曲分岐水路は図-1(b)に示すように、主水路幅50cm、分水路幅25cm、長さ22.4m、彎曲偏角 90° 、中心曲率半径150cmのコンクリート製で、分水路は、偏角 42° 、 65° および彎曲部終端(90°)に設置されている。彎曲流に関する村本⁴⁾および Habermaas¹⁾の研究成果を参考にすると、分岐点 42° は彎曲二次流の発生域、 65° はその発達域に相当し、彎曲部終端はHabermaasの実験によると掃流砂量配分比が最小となる場所である。また、Y型および彎曲分岐水路とも、路

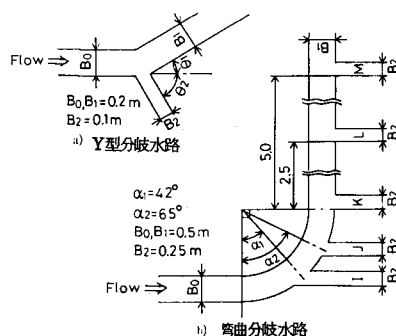


図-1 実験水路平面形状

固定床実験：主・分水路の平面形状が流量・流砂量配分比に及ぼす影響を調べるために、表-1に示すような、主・分水路平面形状13種類(RUN-A~N)、流量3種類の組み合わせにより、合計39ケースの実験が行われた。全てのケースにおいて、分岐部周辺の流れに着目し、水深、流速、死水域および底面近傍の分離流線が測定されている。なお、表-1において、彎曲分岐実験のRUN記号は、図-1(b)の分水路の記号に対応するものであり、RUN-Nは分流をしない場合の実験である。

移動床実験：分水路が 42° (RUN-I)、 65° (RUN-J)、 90° (RUN-K)に設置されている場合および分流しない場合(RUN-N)の4種類に対し、流量2種類の組み合わせにより、合計8ケースの実験が行われた。実験用砂は平均粒径 $d_m = 0.58\text{ mm}$ のほぼ一様とみなせるものである。いずれのケースにおいても、彎曲

部外岸沿いの洗掘形状の変化に着目して、河床形状、水面形および流量・流砂量配分比の時間変化が測定された。さらに、流砂量配分比の時間的変動特性を検討するために、分岐部周辺における河床波の諸特性を測定するとともに、軽量骨材を流し、8mmカメラによって河床波上の流跡線が求められている。

3. 分岐部周辺におけるエネルギー損失

流線の剝離に伴う死水域とエネルギー損失との関係について、著者²⁾らは、Y型分岐水路による実験的考察より次のことを明らかにしてきた。分岐部周辺における死水域の形成について、 $\theta_1 > 0^\circ$, $\theta_2 > 0^\circ$ のとき、死水域がそれぞれ主水路、分水路に形成され、その規模すなわち死水域幅は、主に θ_1 および θ_2 によって規定される。さらに、単水路における断面急拡部のエネルギー損失機構と分岐部周辺におけるエネルギー損失機構との類似性に着目して、分岐部におけるエネルギー損失の推定に関し、次の方法を提案した。

$$h_{l1} = \zeta_1 u_1^2 / 2g, \quad h_{l2} = \zeta_2 u_2^2 / 2g \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 h_{l1} および h_{l2} は分岐部における主水路および分水路のエネルギー損失、 ζ_1 , ζ_2 は損失係数、 u_1 , u_2 は断面平均流速である。単水路の急拡部における ζ は、芦田⁵⁾によると、断面拡大率の逆数 r_e とフルード数の関数、すなわち

$$\zeta = f(r_e, Fr) \quad \dots\dots\dots (2)$$

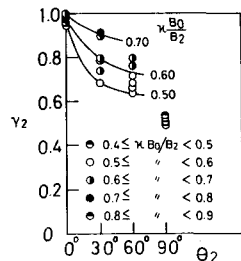
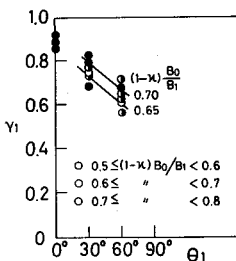
で与えられるので、分岐部において r_e に対応する条件が設定できると、(2)式を用いて ζ_1 , ζ_2 が推定できる。主水路および分水路におけるそれぞれの死水域幅 W_1 , W_2 , 流速分布および運動量保存則などによって定義される等価断面幅 b_1 および b_2 を用いると、 r_e に対応する条件は、

$$r_i = \frac{b_i}{B_i} = \frac{1}{\eta_i} \cdot \frac{B_i - W_i}{B_i} \cdot \frac{h_{mi}}{h_{bi}} \quad (i = 1 : \text{主水路}, i = 2 : \text{分水路}) \quad \dots\dots\dots (3)$$

のように表示できる。ここに η_i は運動量補正係数、 h_{mi} および h_{bi} はそれぞれ死水域の外側および等価断面幅域の水深である。さて、Y型分岐水路における実験的考察によって、上述の点が明らかにされているので、 r_1 および r_2 に関する実験的考察を行い、表-1に示すY型分岐実験に対して、(1)および(2)式を適用するとともに、彎曲分岐水路の実験に対しても適用してみよう。図-2、図-3はY型分岐水路における r_1 および r_2 に関する実験値をそれぞれ $(1-\kappa)B_0/B_1$, $\kappa B_0/B_2$ (κ : 流量配分比, B_0 : 分岐点上流の水路幅, B_1 : 分岐点下流の主水路幅, B_2 : 分水路幅) をパラメーターにして、それぞれ θ_1 および θ_2 との関係でみたものである。同図より、角度 θ_1 , θ_2 が大きくなると、それに対応して r_1 , r_2 は減少し、 $(1-\kappa)B_0/B_1$ および $\kappa B_0/B_2$ が大きくなると r_1 および r_2 は大きくなることわかる。これは、 θ_1 , θ_2 が大きくなると剝離に伴う死水域幅が増加するた

表-1 実験条件および結果

RUN. No.	θ_1	θ_2	Q(l/s)	λ	λ_g	Fr0
A	1	2	1.0	0.300	0.236	0.300
	2	3	2.0	0.350	0.290	0.400
	3	3	3.8	0.389	0.307	0.500
B	1	2	1.0	0.250	0.256	0.280
	2	3	2.0	0.300	0.308	0.370
	3	3	3.8	0.324	0.320	0.490
C	1	2	1.0	0.250	0.317	0.300
	2	3	2.0	0.285	0.429	0.370
	3	3	3.8	0.295	0.451	0.480
D	1	2	1.0	0.330	0.231	0.300
	2	3	2.0	0.360	0.275	0.380
	3	3	3.8	0.421	0.308	0.490
E	1	2	1.0	0.300	0.255	0.300
	2	3	2.0	0.335	0.292	0.370
	3	3	3.8	0.355	0.313	0.480
F	1	2	1.0	0.275	0.276	0.300
	2	3	2.0	0.310	0.316	0.360
	3	3	3.8	0.342	0.336	0.480
G	1	2	1.0	0.315	0.526	0.300
	2	3	2.0	0.322	0.569	0.400
	3	3	3.8	0.330	0.506	0.500
H	1	2	1.0	0.290	0.506	0.310
	2	3	2.0	0.303	0.421	0.410
	3	3	3.8	0.330	0.475	0.540
I	1	2	2.0	0.330	0.352	0.167
	2	3	5.0	0.346	0.386	0.240
	3	3	12.0	0.352	0.325	0.350
J	1	2	2.0	0.330	0.269	0.165
	2	3	5.0	0.316	0.259	0.240
	3	3	12.0	0.317	0.000	0.334
K	1	2	2.0	0.215	0.088	0.160
	2	3	5.0	0.226	0.087	0.236
	3	3	12.0	0.242	0.000	0.324
L	1	2	2.0	0.195	0.241	0.160
	2	3	5.0	0.212	0.336	0.236
	3	3	12.0	0.208	0.362	0.324
M	1	2	2.0	0.200	0.285	0.160
	2	3	5.0	0.202	0.369	0.236
	3	3	12.0	0.208	0.381	0.324
N	1	2	2.0			0.160
	2	3	5.0			0.236
	3	3	12.0			0.324
移	1	2	7.0	0.325	0.244	0.561
	2	3	12.0	0.332	0.433	0.600
	3	3	7.0	0.332	0.433	0.561
J	1	2	7.0	0.243	0.440	0.600
	2	3	12.0	0.280	0.080	0.561
	3	3	7.0	0.113	0.111	0.600
実	1	2	7.0			0.561
	2	3	12.0			0.236
	3	3	7.0			0.600



めであって、 $(1-\kappa)B_0/B_1$, $\kappa B_0/B_2$ が大きくなると、主水路および分水路への流れ込み流量が大きくなり、死水域幅が減少するためである。図-4は彎曲分岐水路に関して、水深をパラメーターにして r_2 と分岐点偏角との関係を示したもので、偏角が大きく、また水深が大きくなると r_2 は小さくなっている。同図の r_2 と偏角の関係および図-3の r_2 と θ_2 の関係を比較すると、両者は同様の傾向を示すことが明らかであって、 r_2 に対して、彎曲分岐における偏角はY型分岐の θ_2 と同様な効果をもっていることがわかる。なお、彎曲分岐の

主水路では、水流の剝離は起らないので、広い範囲の水理条件下で $r_1 \approx 1$ となる。以上のように、急拡部を有する単水路の断面拡大率の逆数に相当する量 r_1, r_2 がかなり明らかにされたので、図-2、図-3および図-4の結果を(2)式に代入して分岐部におけるエネルギー損失を算定する。これらの結果と実験結果を比較したのが図-5である。推定値と実験値の多少のばらつきはみられるが、両者は比較的よく一致し、エネルギー損失は上述の方法によって十分に推定されるものと思われる。

4. 流量配分比

4.1 固定床の流量配分比に関する考察

前述の方法により、分岐部におけるエネルギー損失係数を求め、これと他の条件をエネルギー方程式に適用すると、流量配分比 κ が求められる。 κ の推定式は既報^{2), 6)}に述べられているように、次式で示される。

$$\kappa = \frac{1}{1+Q}, \quad Q = \frac{B_1 Fr_1}{B_2 Fr_2} \left\{ \frac{Fr_2^2 (\zeta_2 + 1) + 2}{Fr_1^2 (\zeta_1 + 1) + 2} \right\}^{3/2} \quad (4)$$

ここに、 B は水路幅、 Fr はフルード数、添字1, 2はそれぞれ分岐点下流域の主水路および分水路の諸量を意味する。図-6は、前述の方法と(4)式を用いて算定される流量配分比と実験値を比較したものである。図中、彎曲水路の移動床実験における計算値は、固定床の結果(図-4)により r_2 を推定し、エネルギー損失係数を求めて算定されたものである。同図より、Y型分岐の場合も彎曲分岐の場合も計算値と実験値はよく一致しており、前述の方法の妥当性が伺える。

移動床における結果の比較から明らかなように、流量配分比の算定法は、固定床実験の結果に基づいて議論されているにもかかわらず、彎曲分岐の移動床の場合についても適用できるようである。このことについて、固定床および移動床の分岐部周辺の水面近傍における流跡線の撮影結果を比較しつつ、若干の考察を行ってみよう。図-7は偏角 42° (RUN-I)の流跡線の状態を示したものである。同図よりさらに明らかなように、両者はほぼ同じ形状をしており、移動床特有の分岐部周辺の洗掘・堆積形状は、水面近傍の流れの状態に顕著な影響を及ぼしていない。そのため、流量配分比は固定床流れにおける種々の水理特性によって定められていることが推察される。

4.2 Y型分岐と彎曲分岐の対応関係

彎曲分岐の流量配分比は、前述したように、図-4を用いることにより算定できる。この方法は任意の分岐形状に対しても適用できるが、そのためには、それぞれの形状に対応した r_1, r_2 を求める必要があり、多くの実験を必要とする。しかし、より一般的な分岐形状における実験によって、他の形状の流量配分比が類推されると、その基本的な形状だけについて実験を行えばよいことになる。そこで、彎曲分岐とY型分岐の対応を考えてみる。

流量配分比を算定する際に重要となる r_1 および r_2 と主・分水路平面形状との関係について、彎曲分岐とY型分岐を比べると、彎曲分岐水路における主・分水路平面形状とY型分岐水路のそれとの対応は、前述の実験結果から考えて、図-8

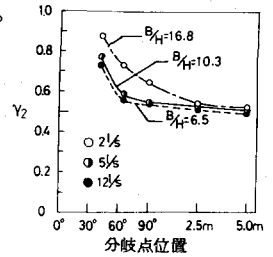


図-4 r_2 と分岐点偏角の関係

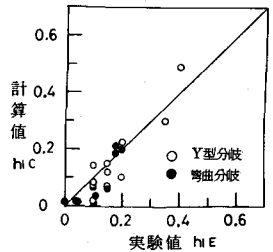


図-5 h_L の計算値と実験値の比較

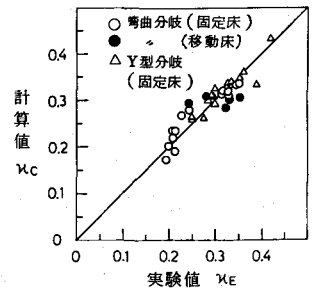


図-6 流量配分比 κ の計算値と実験値の比較

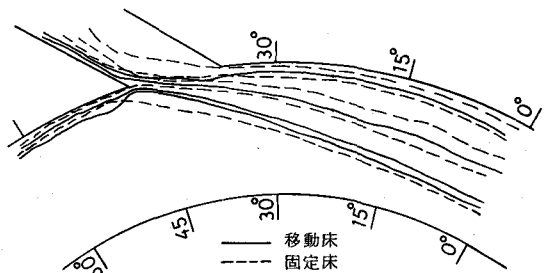


図-7 分岐部周辺の水面近傍における流跡線

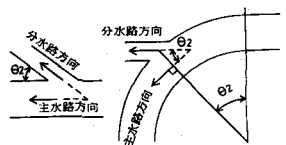


図-8 分岐形状の対応

に示されるような、 $\theta_1 = 0^\circ$ 、 $\theta_2 =$ 分岐点の偏角になると思われる。 $\theta_1 = 0^\circ$ の場合のY型分岐の流量配分比 κ と彎曲分岐（偏角 $=\theta_2$ ）のそれとを、 θ_2 を変数として示したのが図-9である。同図より明かなように、同じ θ_2 に対して彎曲分岐の κ の方がY型分岐の κ より若干大きくなっている。これは、彎曲二次流の発生、発達に伴って、図-10に示すような分離流線のずれが生ずるためと思われ、次のように考えられる。この分離流線のずれをもたす彎曲二次流速を $v(z)$ とすると、彎曲分岐の分離流線は、Y型分岐の分離流線のそれに比べて、 $\partial y / \partial x = v/u$ だけ異なる。すると、彎曲の影響が現われない地点（ $x=l$ ）において、Y型と彎曲分岐水路における分離流線の差 Δy は次のようになる。

$$\Delta y = \int_0^l \psi / u dx, (u \neq \text{const.})$$

これに伴う彎曲分岐の分水路流量の増分 ΔQ は、

$$\Delta Q = \int_0^h \int_0^l \Delta y(z) dz = \int_0^l \int_0^h v dz dx \dots\dots\dots (5)$$

と表される。ここで、 $\int_0^h v(x, z) dz = q_r$ についてみると、

図-11に示すように、彎曲二次流の発生域においては、 $q_r > 0$ となり、発達域においては $q_r \approx 0$ となることが推察される。したがって、(5)式の ΔQ は図-11に示すように、発生域においては、偏角 α が大きくなるにつれて増加し、発達域では一定値となる。そこで、実験結果より、 ΔQ による κ の増分を推算してみると、彎曲分岐において、分岐点が 42° 、 65° および 90° の場合、Y型分岐の κ に比べて、それぞれ15%~17%、17%、10%~16%程度大きくなっている。現段階においては、 $v(z)$ に関する研究が十分でなく、(5)式に基づいた十分な議論はできないが、Y型分岐における実験値の違いは上述の対応関係によって説明できるとと思われる。

5. 掃流砂量配分比

5.1 固定床における実験結果の考察

まず、Y型分岐水路から得られた流砂量配分比 κ_g の結果を示すと、図-12、図-13のようである。 κ_g に関するデータは底面近傍における分離流線幅比から求められている。図-12より明かなように、 κ_g はフルード数が大きくなると増加し、角度 θ_1 、 θ_2 に対しては、

$\theta_1 \rightarrow$ 大 のとき $\kappa_g \rightarrow$ 小、 $\theta_2 \rightarrow$ 大 のとき $\kappa_g \rightarrow$ 大

となる。これは、水路の曲りによる二次流と関係し、 θ_1 が大きくなると底面近傍の分離流線が分水路側へ、 θ_2 が大きくなると主水路側へずれるためと思われる。さらに、図-13から κ_g と流量配分比 κ の関係をみると、

$\theta_1 > \theta_2$ のとき $\kappa_g < \kappa$ 、 $\theta_1 = \theta_2$ のとき $\kappa_g \approx \kappa$ 、 $\theta_1 < \theta_2$ のとき $\kappa_g > \kappa$ なる興味深い傾向が認められる。これは、 θ_1 と θ_2 の相対的な大小関係によって、底面近傍の分離流線とこれより上層の分離流線とが、二次流の発達の程度に応じてずれることに起因するものである。

つぎに、彎曲分岐に関する結果を示すと、図-14（○印）のようである。同図には後述の移動床の結果（●印）も示されている。さて、図から明かなように、彎曲領域においては、分岐点が発生域にあると、 κ_g は最も大きく、分岐点が下流にあるほど減少し、発達域においては、水深の増大に伴い $\kappa_g = 0$ となる場合が生ずる。こうしたことは、彎曲二次流の発達に伴い、底面近傍の流向が、より強く内岸に向けられることによるものと思われる。このような彎曲分岐の特性は、彎曲下流域の直線領域において、分岐点が下流へ移るに伴い、やがて消失することが推察される。このことをみるため、 $X = 2.5 \text{ m}$ （RUN-L）および $X =$

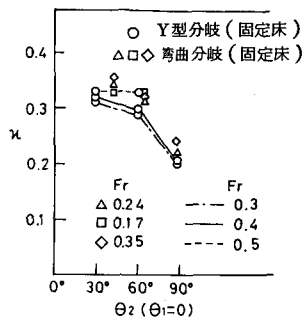


図-9 Y型分岐と彎曲分岐の流量配分比の比較

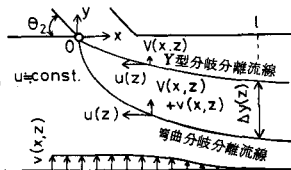


図-10 Y型および彎曲分岐の分離流線

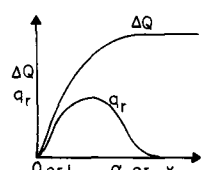


図-11 ΔQ , q_r の α による変化

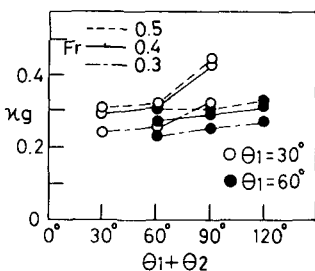


図-12 κ_g と $\theta_1 + \theta_2$ の関係

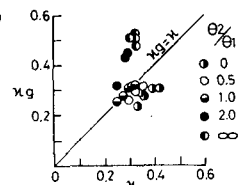
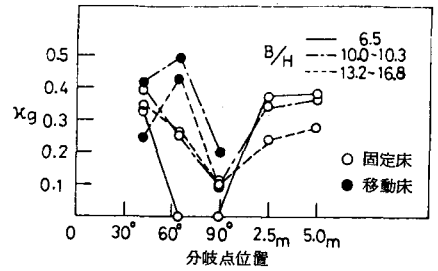


図-13 κ_g と κ の関係

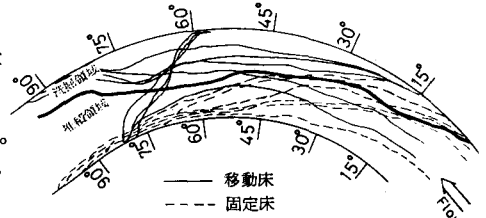
5 m (RUN-M) のデータに着目してみよう。 $X = 2.5$ m 地点は彎曲部終端から水路幅の5倍下流地点に相当し、ここでは、 κ_g が0.24～0.37の範囲にあって、流量配分比との比でみると $\kappa_g/\kappa = 1.2 \sim 1.7$ の範囲である。一方、 $X = 5.0$ m 地点は彎曲部終端より水路幅の10倍下流にあって、ここでは、 $\kappa_g/\kappa = 1.6 \sim 2.0$ となっている。これに対して、Y型分岐の $\theta_1 = 0^\circ$ 、 $\theta_2 = 90^\circ$ においては $\kappa_g/\kappa = 1.6 \sim 2.0$ 程度の値が得られている。これらのことを総合すると、彎曲部終端から水路幅の5倍下流では彎曲流の影響が残り、10倍下流ではその影響が消失すると推察される。



図一 14 κ_g と分岐点位置の関係

5.2 移動床における実験結果の考察

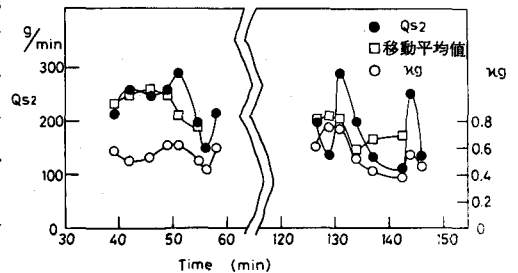
(1) 分岐点位置による掃流砂量配分比の変化：流砂量配分比は、後述の図-16に示すように、時間的に変動する。図-14 (●印) の結果は、ある時間内の変動を平均して、分岐点位置の相違による変化を調べたものである。同図より明かなように、固定床の結果と比べると、流砂量配分比 κ_g は、移動床の場合が大きくなり、水深の増加に伴い、この傾向は顕著になるようである。特に、分岐点偏角が 65° においては、固定床の場合 $\kappa_g = 0$ となることもあるのに対し、移動床では $\kappa_g = 0.5$ 程度になっている。また、分岐点が下流にあるほど κ_g が減少するという、固定床でみられた傾向は、移動床ではみられず、 κ_g は偏角 65° の分岐において最大となっている。こうした両者の相違は、移動床と固定床における河床面近傍の流れの状態の相違に起因するものと推察される。このような違いは、分岐をしない場合の河床面近傍の流れを比較することによって、ある程度把握できるであろう。そこで、固定床の場合 (破線, RUN-N-3) と移動床の場合 (実線, 図-15 彎曲部における河床面近傍の流跡線 RUN-N-5) における河床面近傍の流跡線を比較したのが図-15である。これによると、固定床の場合、内岸に向う流れが流下に伴って強くなり、偏角 $65^\circ \sim 75^\circ$ 付近の内岸に集中して流れている。しかし、移動床の場合、太線で区分される外岸沿いの洗掘領域に流れ込み、 $65^\circ \sim 70^\circ$ 付近に集中し、ここから外岸に沿って流れる場合や、内岸の 75° 付近へ向けて洗掘領域を脱出する流れがみられる。



図一 15 彎曲部における河床面近傍の流跡線

こうした河床面近傍における固定床と移動床の流れ特性の相違が、流砂量配分比に関する固定床と移動床の結果の差異をもたらしている。すなわち、洗掘深が大きくなると、流れが外岸側に集中して κ_g は増加すると推察され、上述の移動床の結果にみられるような、偏角 65° 分岐において κ_g が最大となるのは、流れが集中する領域に分岐点があるためと思われる。

(2) 分水路における掃流砂量の変動特性：図-16は、RUN-I に関する下流端流砂量 Q_{s2} および流砂量配分比の時間的変動を示したものである。なお、図示のデータの測定時間は約1分である。さて、同図からわかるように、流砂量 Q_{s2} は、時間的にみて、かなり規則的に変動するようである。こうした時間的な変動は、いずれの実験ケースにもみられるものであって、これは開口部における土砂の供給量の時間変化と分水路における河床波の伝播特性とによって規定され、分水路が短い場合は前者の影響が卓越し、長い場合は後者、すなわち分水路における河床波の周期などの影響が支配的になるものと思われる。



図一 16 分水路流砂量および κ_g の時間変動

開口部における流砂の供給量の変動は、開口部と砂堆前縁との位置関係、それに伴う河床近傍の流れの状態および淀み点⁷⁾が主水路側に現われるか分水路側に現われるのか

によって変化する。これらのことを検討するため、開口部の砂堆上の流況をみたのが図-17である。これは、洗掘領域内の 30° 付近で発生する砂堆が開口部に達した状態において、撮影された流跡線に基づいて模式化したものである。同図より明かなように、砂堆前縁の流れ方向は、藤田⁸⁾により示される斜め段落ち部の底面流向と同じで、土砂は前縁に沿って流れ、分水路へ流入する(a)と流入しない(b)の2つの場合が観察される。これは同図に示されるように、淀み点が主水路側にあるか、分水路側にあるかで分離流線がずれるためと推察される。つぎに、分水路で新たに形成される砂堆に着目し、これが Q_{s2} に与える影響を検討するため、 Q_{s2} の移動平均を調べたものを図-16 (口印) に示している。同図にみられるように、移動平均を行っても変動する場合とはほぼ一定値となる場合がある。変動しているものについては、開口部での流砂の供給量の変動周期 T_1 と分水路での砂堆の周期 T_2 とが、互いに影響を及ぼしており、一定値となっているものについては、 T_1 と T_2 が一致するか、あるいは T_2 の影響が卓越しているものと推察される。このように、 Q_{s2} の時間的変動には上の2つの原因が複雑に関与するものと思われ、このことを明確にするためには、開口部での河床波の挙動および分水路での河床波について、さらに多くの実験データを収積して検討する必要があるとともに、中規模および大規模河床変動の影響も検討する必要がある。

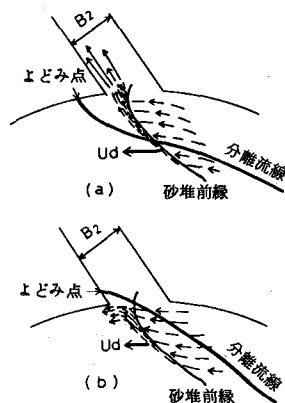


図-17 開口部における砂堆前縁の流れ

6. 結 語

流量配分比や流砂量配分比が水理条件や主水路および分水路の平面形状によってどのように変化するかを知らるために、Y型分岐と彎曲分岐を対象とした実験を行って、以下のような興味ある結果が得られた。

流量配分比に関して、流量配分比の算定法の妥当性を確かめるとともに、その基礎となる r_1 および r_2 の推定法を実験的に明らかにした。さらに、彎曲分岐水路における流量配分比をY型の流量配分比を用いて表わすことの可能性を示唆した。これは、実験計画、実施上の問題において重要な意義をもつものと思われる。流砂量配分比に関しては、洗掘・堆積現象ならびに河床近傍の流れの状態に着目して、固定床上の現象と移動床上の現象との相違点を明確にするとともに、主・分水路の平面形状による流砂量配分比の変化を明らかにした。本研究で得られた主要な結果は以上のようなものであるが、今後に解明すべき問題も多く、本研究をさらに発展させるためには、分岐部周辺の局所流や河床形態が流砂量配分比に及ぼす影響などを明らかにしていかなければならない。

最後に、本研究を進めるにあたり終始御協力頂いた舞鶴工業高等専門学校田中祐一郎教授、京都大学防災研究所江頭進治助手、実験の遂行と資料整理に労をわずらわした舞鶴工業高等専門学校学生諸君に謝意を表す。

参考文献

- 1) Harbermaas, F: Geschiebeinwanderung in Werkkanale und deren Verhinderung, W. u. W. 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, 京大防災研究所年報, 22号B, 1979.
- 3) 川合茂・芦田和男・田中祐一郎: 彎曲分流における流量および掃流砂量配分比について, 第35回年講.
- 4) 村本嘉雄・井上喬之: 開水路彎曲流の内部機構, 京大防災研究所年報, 8号, 1965.
- 5) 芦田和男: 開水路断面変化部の水理とその適用に関する研究, 京大防災研究所年報, 5号A, 1962.
- 6) 川合茂・芦田和男: 分流における流量配分比の算定法について, 第34回年講.
- 7) 田中祐一郎・川合茂: 分水路流れの機構に関する実験(2), 第32回年講.
- 8) 藤田裕一郎: 交互砂州上の流況特性に関する実験的研究, 第24回水理講演会論文集, 1980.