

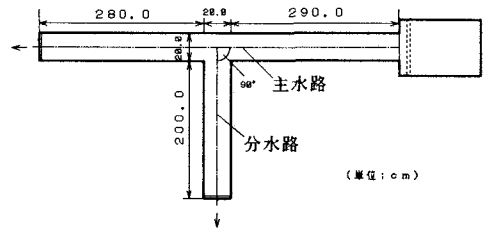
II-52

急勾配開水路分流の流れの機構に関する実験的研究

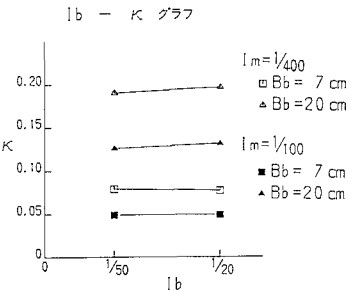
○群馬県庁 正員 石井 聡
群馬大学工学部 正員 江崎一博
(株)トーヨーサッシ 門倉利率

1. まえがき 本研究では、ダム湖に流入する土砂が貯水能力を低下させるという背景をもとに計画されているダム湖直上流の山地河川に取り付けられるバイパス方式の排砂路の機能についていくつかの検証を行う目的でモデル水路で水路の勾配を変えた場合の掃流砂の挙動、流量配分比、流砂量配分比などの特性について実験的に検討を行った。また急勾配分流についての詳細な水理量の測定は過去にほとんど行われていないためレーザー流速計を用いて分流付近の流速を測定して各種水理量を求め、それらを用いて求めたReynolds方程式を差分化した式の各項の計算値のオーダー比較を行うなどして急勾配分流の流れのミクロな構造の特性を調べた。

2. 実験方法 図-1のようなT字型分岐水路において主水路、分水路各下流端の堰上高(0cm)、流量($Q_1 = 3500 \text{ cm}^3/\text{s}$)及び主水路幅($B = 20 \text{ cm}$)の各条件を固定し、主水路勾配 I_m を水平、 $1/400$ 、 $1/100$ 、分水路勾配 I_b を水平、 $1/50$ 、 $1/20$ 、分水路幅 B_b を 20 cm 、 7 cm と変化させてこれらをいろいろな組み合わせで水路条件を設定し、投入する砂は平均粒径 D は 1.4 mm 、 3.5 mm 、 7.5 mm の3種類用いて分岐点での砂の挙動をビデオ撮影し同時に流量配分比、流砂量配分比、分岐点前後の水深及び分岐点での水面形を測定した。そしてそれらを様々な観点からグラフ化を試み、エネルギー式、運動式による流量配分比の一次元解析も行い、考察を加えた。また、レーザー流速計を用いて主水路幅 20 cm 、分水路幅 7 cm に固定した水路を主に主水路勾配を変化させて分流付近の流速を格子状に測定して平均流速、乱れ強度、Reynolds応力を求めた。

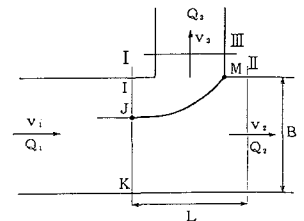


【図-1】 実験水路



【図-2】 流量配分比と分水路勾配との関係

3. 流量配分比 主水路勾配 $1/400$ 、 $1/100$ のケースの流量配分比 ($\kappa = \text{分水路流量} / \text{総流量}$) をグラフ化したものを図-2に示す。このように分水路勾配の変化による影響は非常に少ないといえる。従って流量配分比は主水路勾配と分水路幅ではほぼ決まってくるため以下のような一次元的な解析による流量配分比の算定を試みた。図-3のように分岐流れを主水路内へ流下する流量 Q_2 を求める目的で分岐流れを3つの断面で区切り、断面Iと断面IIに関するエネルギー式と運動量式を立てた。実測した水深と流量配分から損失水頭を計算したが、これは非常に小さいことが分かり、水路床の高低さも水深と比較して非常に小さいため(1)式のような



【図-3】 一次元解析の概念図

【表-1】 Q_2 の計算値と実験値

ケース	水路床勾配 主 分	Fr	h_1 (cm)	h_2 (cm)	エネルギー式 (cm^3/s)	運動式 (cm^3/s)	実験値 (cm^3/s)
S D 0 1	0 0	0.777	3.383	3.840	3152	3140	3076
S D 0 2	0 1/50	0.804	3.184	3.758	3151	3131	3048
S D 0 3	0 1/20	0.777	3.295	3.747	3248	3239	3076
S D 0 4	1/400 1/20	1.095	2.967	2.832	3519	3544	3270
S D 0 6	1/400 1/50	1.099	2.987	3.180	3492	3523	3225
S D 0 8	1/100 1/20	1.547	2.233	2.080	3344	3400	3324
S D 1 0	1/100 1/50	1.552	2.270	2.106	3351	3408	3337

形に置くことができる。これをフルード数などを用いて変形し、無次元化すると(2)式のようになる。運動量式は断面の幅の大きさを流量配分比を用いて表し{(3)式}、無次元化した{(4)式}。

この2つの式に断面Ⅰと断面Ⅱにおける平均水深を代入して断面Ⅱでの流量 Q_2 を求め、実測した Q_2 との値を比較した(表-1)。

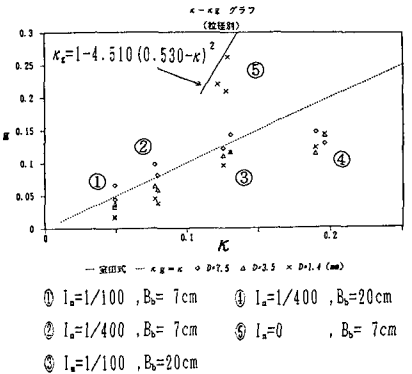
$$\frac{v_1^2}{2g} + h_1 = \frac{v_2^2}{2g} + h_2 \quad \dots\dots(1) \quad F_1^2 \left(\frac{Q_2}{Q_1} \frac{h_1}{h_2} \right)^3 = (F_1^2 + 2) \left(\frac{h_1}{h_2} \right) - 2 \quad \dots\dots(2)$$

$$\rho Q_2 (v_2 - v_1) = \frac{1}{2} \rho g B \frac{Q_2}{Q_1} h_1^2 - \frac{1}{2} \rho g B h_2^2 + \frac{\rho g}{2} B \left(1 - \frac{Q_2}{Q_1} \right) \left(\frac{h_1 + h_2}{2} \right)^2 + \frac{\rho g}{2} B \left(h_2 + \frac{Q_2}{Q_1} h_1 \right) L \sin \theta \quad \dots\dots(3)$$

$$\left(\frac{h_2}{h_1} \right)^3 - \frac{1}{4} \frac{h_2}{h_1} \left(1 + \frac{h_2}{h_1} \right)^2 \left(1 - \frac{Q_2}{Q_1} \right) - \left(2F_1^2 + 1 + \frac{L \sin \theta}{h_1} \right) \frac{h_2}{h_1} \frac{Q_2}{Q_1} + 2F_1^2 \left(\frac{Q_2}{Q_1} \right)^2 - \frac{L \sin \theta}{h_1} \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^2 = 0 \quad \dots\dots(4)$$

その結果、 $Fr \approx 1$ のケースであるSD04とSD06では両方の式による計算値が総流量よりも大きくなってしまい、実験値と比較はできないが、他のケースについては実験値に近い結果がでており、特に急勾配のSD08、SD10のケースのエネルギー式はかなり正確な結果を出している。このように限界流を除いては分岐点前後の水深が分かれば大まかな流量配分比の計算が可能であるといえる。

4. 流量配分比と流砂量配分比の関係 図-4は流量配分比と流砂量配分比(κ_s =分水路流砂量/総流砂量)の関係を表したグラフである。主に5つのグループに分かれているが、これは主水路勾配と分水路幅の組み合わせの違いによって現れたグループであらう。従って、流量配分比と流砂量配分比の関係は分水路勾配や粒径にはあまり影響されず主水路勾配と分水路幅の組み合わせによってほぼ決まってくるといえる。主水路勾配が水平の⑤のグループは室田¹⁾が提唱した式にはぼの傾向が見られるが、そのほかのグループは $\kappa_s = \kappa$ の式にのり、④のグループは $\kappa_s < \kappa$ という結果がでた。従って主水路勾配が1/400より大きい急勾配になると分岐流れをその特性を生かして土砂を排除することに応用しても効率の良い排砂はあまり期待できないと思われる。



【図-4】 流量配分比と流砂量配分比との関係

5. 運動式の各項のオーダー比較

本研究ではレーザー流速計で測定して算出した平均流速、乱れ強度、Reynolds応力及び水面形を用いて計算した運動方程式 {Reynolds方程式、X方向についての式は(5)式、Y方向(6)式、Z方向(7)式}の各項の値のオーダー比較を行った。

$$\bar{U} \frac{\partial \bar{U}}{\partial x} + \bar{V} \frac{\partial \bar{U}}{\partial y} + \bar{W} \frac{\partial \bar{U}}{\partial z} = -g \sin \theta - g \frac{\partial h}{\partial x} \cos \theta + \frac{\partial (-\bar{u}\bar{u})}{\partial x} + \frac{\partial (-\bar{u}\bar{v})}{\partial y} + \frac{\partial (-\bar{u}\bar{w})}{\partial z} \quad \dots\dots(5)$$

$$\bar{U} \frac{\partial \bar{V}}{\partial x} + \bar{V} \frac{\partial \bar{V}}{\partial y} + \bar{W} \frac{\partial \bar{V}}{\partial z} = -g \cos \theta - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial (-\bar{u}\bar{v})}{\partial x} + \frac{\partial (-\bar{v}\bar{v})}{\partial y} + \frac{\partial (-\bar{v}\bar{w})}{\partial z} \quad \dots\dots(6)$$

$$\bar{U} \frac{\partial \bar{W}}{\partial x} + \bar{V} \frac{\partial \bar{W}}{\partial y} + \bar{W} \frac{\partial \bar{W}}{\partial z} = -g \frac{\partial h}{\partial z} + \frac{\partial (-\bar{u}\bar{w})}{\partial x} + \frac{\partial (-\bar{v}\bar{w})}{\partial y} + \frac{\partial (-\bar{w}\bar{w})}{\partial z} \quad \dots\dots(7)$$

ここに θ は水路床傾斜角である。結果のみを示すと、Reynolds応力項はほとんど無視することができ、慣性力項(各式の左辺)と圧力勾配のみで表示することが可能であることが分かった。また分水路接合部付近では鉛直方向流速成分 V の値が大きいため慣性力項の中の $\bar{V}$ を含む項は無視できないが、分水路接合部から離れた主水路上流部から主水路下流部に流れる領域では(6)式と $\bar{V}$ を含む項を無視することが可能であることが分かった。このことは先に述べた流量配分比の1次元算定法の正確さを裏付けている。

参考文献 1) 室田明：開水路分水路の研究，土木学会論文集70号別冊1-1，1955，p.1～p33。