

複断面流れの流量評価に関する研究  
Discharge Assessment for Compound Channel Flows

大阪大学工学部      室 田   明   Akira MUROTA  
福井大学工学部      福 原 輝 幸 Teruyuki FUKUHARA  
建   設   省          勢 田 昌 功 Masanori SETA

A new model of discharge assessment for compound channel flows is proposed based on the characteristics of wall shear stress. It is originally assumed that there is no shear acting on imaginary interface plains between main channel and floodplains. Both subsections hold the equilibrium between gravity force and boundary shear force. The boundary shear force is a function of the floodplain width, main channel width and height, and the ratio of Manning's roughness on the floodplain to that in the main channel. It is confirmed that the proposed model can reproduce not only the discharge-stage curves obtained by authors' experiments but also another researchers' ones.

Keywords : compound channel flow, flow resistance law

## 1. 緒 論

開水路流れの壁面せん断応力と水路の抵抗は密接に関連するが、複断面流れの壁面せん断応力はそれ特有の性質を有している。Mayer<sup>1)</sup>は複断面の接合部を仕切ったときの矩形流れと複断面流れを比較して、低水路では矩形水路よりも壁面せん断応力は減少し、高水数では増大することを示した。室田ら<sup>2)</sup>は低水路と高水数の粗度係数が等しい場合には、断面分割法2(接合部鉛直境界面を潤辺として低水路側には加え、高水数側には含めないような分割法)が流量評価式としては簡便でかつ精度も良いことを報告した。浅野<sup>3)</sup>は低水路と高水数の平均流速と混合係数 $f$ より見かけのせん断応力を表現し、 $f$ は低水路と高水数の力の釣合式を連立させ、実験で得られた水深-流量曲線に一致するように決定される。ただし、高水数と低水路の壁面せん断応力がマニング式から実際に計算で再現できるかどうかは重要な点である。Nicollet<sup>4)</sup>は低水路と高水数の粗度係数の違いに着目して、見かけのせん断応力の評価式を提案した。彼は低水路と高水数の相互作用を低水路と高水数のエネルギー勾配の違いで反映させ、例えば流量評価は低水路の場合、低水路を仮想の矩形断面と考えたときの流量との比で表現している。この中で低水路と高水数のエネルギー勾配を規定する $a$ は、低水路と高水数の径深と粗度係数の比の関数で与えられる。Ogink<sup>5)</sup>は見かけのせん断応力を低水路と高水数のエネルギー勾配に反映させ水深-流量曲線を導いた。ただしここでも浅野<sup>3)</sup>と同じようにマニング式から低水路と高水数の壁面せん断応力を計算している。玉井・河原<sup>6)</sup>は接合部に存在する離散的な大規模渦に着目し、この渦を低水路と高水数の間の運動量効果として捉え、

表-1      実験ケースと実験条件

| C A S E   | $B_f(m)$ | $B_m(m)$ | D (m) | $H_{m1}(m)$ | $H_{m2}(m)$ | $Q_{m1}(cc/s)$ | $Q_{m2}(cc/s)$ | $n_f$ | $n_m$ |
|-----------|----------|----------|-------|-------------|-------------|----------------|----------------|-------|-------|
| R-15-40-3 | 0.146    | 0.4      | 0.029 | 0.0745      | 0.0348      | 10700          | 2930           | 0.023 | 0.01  |
| R-20-30-3 | 0.196    | 0.3      | 0.029 | 0.0898      | 0.0341      | 9230           | 1850           | 0.023 | 0.01  |
| R-25-20-3 | 0.246    | 0.2      | 0.029 | 0.0718      | 0.0380      | 5600           | 1550           | 0.023 | 0.01  |
| R-15-40-5 | 0.146    | 0.4      | 0.049 | 0.0895      | 0.0588      | 15700          | 5990           | 0.023 | 0.01  |
| R-20-30-5 | 0.196    | 0.3      | 0.049 | 0.0899      | 0.0584      | 12500          | 4180           | 0.023 | 0.01  |
| R-25-20-5 | 0.246    | 0.2      | 0.049 | 0.0823      | 0.0590      | 7170           | 2510           | 0.023 | 0.01  |
| R-15-40-7 | 0.146    | 0.4      | 0.070 | 0.1316      | 0.0839      | 21190          | 9440           | 0.023 | 0.01  |
| R-20-30-7 | 0.196    | 0.3      | 0.070 | 0.1283      | 0.0840      | 12070          | 4060           | 0.023 | 0.01  |
| R-25-20-7 | 0.246    | 0.2      | 0.070 | 0.1278      | 0.0847      | 16220          | 7170           | 0.023 | 0.01  |
| S-15-40-5 | 0.150    | 0.4      | 0.047 | 0.0937      | 0.0572      | 18000          | 6900           | 0.010 | 0.01  |
| S-20-30-5 | 0.200    | 0.3      | 0.047 | 0.0947      | 0.0571      | 15550          | 4880           | 0.010 | 0.01  |
| S-25-20-5 | 0.250    | 0.2      | 0.047 | 0.0937      | 0.0568      | 12030          | 3280           | 0.010 | 0.01  |

低水路と高水数のエネルギー勾配を計算した。流れの内部構造を表現した渦モデルから流量評価式を導いたことは興味深い。今後は同様に汎用性を持たせることが望まれる。この様に従来の流量評価式は限定された範囲に適用されたり、適用範囲も明確でない。今までの筆者らの実験結果によれば、低水路と高水数の平均壁面せん断応力は矩形断面を対象としたマニング式では単純に評価できないことから、従来の流量評価式の中には水理学的に矛盾する部分も含まれている。特に、この矛盾は高水数の粗度係数が低水路のそれよりも大きいときに顕著となる。

そこで本文では、実験的に得られた壁面せん断力特性を基に、他の研究者のデータとも突き合わせながら、新しい複断面流れの流量評価式を提案する。

## 2. 実験方法

実験に用いた水路は長さ20m、幅0.7m、高さ0.32mの亚克力樹脂製大型水路で、そのうちの10m区間を複断面とした。複断面開水路流れの水深・流量曲線は、高水数高さ、低水路・高水数の幅比、低水路・高水数の粗度係数比などが影響する。複断面水路は左右対称とし、 $n_f/n_m$  ( $n_m$ :低水路粗度係数,  $n_f$ :高水数粗度係数),  $B_m/B$ ,  $D/B$  ( $B_m$ :低水路幅,  $B$ :全水路幅,  $D$ :高水数高さ)を変化させて、種々の断面形状で実験を行った。 $B_m/B$ ,  $D/B$ の設定は実河川で採り得る範囲であることおよび福岡<sup>7)</sup>により指摘されている高水数と低水路の相互作用が抵抗に影響する範囲を参考に決定された。高水数壁面は、低水路と同じ滑面の場合と、栈粗度を用いた粗面の場合の2種類とした。栈粗度には5mmx5mmの正方形断面の亚克力棒を用い、それを流下方向に2cm間隔で設置した。高水数粗面の粗度係数、相当粗度高さは矩形水路における予備実験の結果を参考に決定した。なお、滑面での粗度係数は0.01とした。表-1に断面諸量を示す。実験は等流状態で行われた。表中、高水数粗度係数は水深の大きなきの一定値を示している。水路勾配は全ケースとも0.0006とした。流速測定には直径3mmのプロペラ流速計と1方向ホットフィルム流速計を用いた。壁面せん断応力( $\tau_w$ )は対数則法により求めた。流下方向流速 $U$ と $\tau_w$ の実験値の精度は満足すべき値を得た。<sup>8)</sup>なお本論文では以下、 $n_f/n_m > 1$ の場合をType-Rと、 $n_f/n_m = 1$ の場合をType-Sとそれぞれ呼称する。また添字 $f$ は高水数、 $m$ は低水路をそれぞれ示す。

## 3. 平均壁面せん断応力特性

複断面流れの抵抗を議論する場合には平均壁面せん断応力が重要となる。一般的には、低水路と高水数を鉛直に分離し、それぞれを1つの矩形流れとして捉えることが多い。しかしこの場合、矩形断面の場合と同様に低水路・高水数それぞれの平均壁面せん断応力 $\tau_m$ ,  $\tau_f$ が Manning式で正しく推量できるかどうかを検討する必要がある。径深 $R_m$ ,  $R_f$ を計算するとき、従来の研究では潤辺長さとして低水路と高水数の実際潤辺長を使用したものが多いが、低水路においては低水路・高水数の流れの相互作用が正の抵抗として働くことから、本論文では潤辺に鉛直境界線を加えたものを採用した。一方高水数では、上述の鉛直境界を取り去るような形で相互作用(負の抵抗)を受けるという単純な概念のもとに、潤辺を決定した。以下にその式を示す。

$$\tau_{mcal} = (\rho g U_m^2 N_m^2) / R_m^{1/3}, (R_m = A_m / (2H + B_m)), \tau_{fcal} = (\rho g U_f^2 N_f^2) / R_f^{1/3}, (R_f = A_f / (H_f + B_f)) \quad (1)$$

計算値と実験値の比較結果を図-1、2に示す。図-1よりType-Sの低水路の結果は相対水深( $H/D$ )にかかわらず良好に実測値を近似できているが、Type-Rの結果は全体として20~40%の過小評価になっている。図-2から高水数部でのType-Sの結果は $H/D$ が小さいときに30%程度の過小評価となるが、水深の増加と共に実測値を良好に再現するようになる。一方Type-Rでは高水数高さによって多少ばらつくが、全体的に10~40%程度の過大評価となる。以上、平均壁面せん断応力の近似式、式-(1)は高水数が低水路に比べて粗度係数が大きいときに精度が落ちる。この結果はまた、仮想鉛直境界線を潤辺に加ええない方法(断面分割法1)<sup>2)</sup>で壁面せん断応力を計算すれば、低水路ではさらに計算値が実験値を過大評価することを示唆している。

## 4. 流量評価式の基本的考え方

流量評価式は複断面流れを低水路と高水数に鉛直に分離して考え、エネルギー勾配は双方同一であるとの基本概念のもとに構築された。流量評価式の特徴は低水路と高水数相互作用の大きさを反映した壁面せん断

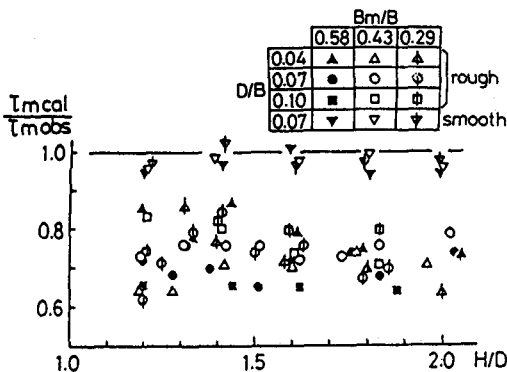


図-1  $\tau_{mcal}$ の再現性

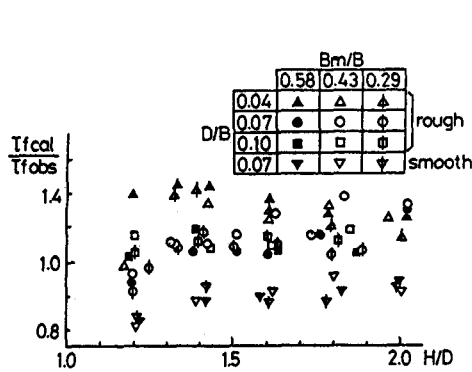


図-2  $\tau_{fcal}$ の再現性

応力特性を考慮した点にある。最初に、鉛直断面分割法の問題点を指摘する。従来より使用している径深の定め方は潤辺として壁面に沿う部分を採用し、低水路・高水敷の流水断面積は鉛直に仕切った形式が多い。この場合の径深は以下の式で与えられる。

$$R_m = A_m / (2D + B_m) \quad , \quad R_f = A_f / (H_f + B_f) \tag{2}$$

この径深および実測された断面平均流速  $U_m, U_f$  を使用することにより、複断面流れにおける低水路と高水敷の見かけ上の粗度係数はマニング抵抗則を変形させた以下の式で与えられる。

$$N_m = (R_m^{2/3} S^{1/2}) / U_m \quad , \quad N_f = (R_f^{2/3} S^{1/2}) / U_f \tag{3}$$

これとは別に低水路高水敷それぞれの平均壁面せん断応力  $\tau_m, \tau_f$  および流速  $U_m, U_f$  を用いて、式-(4)からも粗度係数  $N_m'$  および  $N_f'$  が求められる。

$$N_m' = (\tau_m / \rho g)^{1/2} (R_m^{1/6} / U_m) \quad , \quad N_f' = (\tau_f / \rho g)^{1/2} (R_f^{1/6} / U_f) \tag{4}$$

この両式から計算された  $N_m$  と  $N_m'$  の比較の一例を図-3に示す。本来、矩形流れにおいては、この両値は一致するはずである。しかしながら複断面流れでは全く一致しない。相対的に  $N_m$  よりも  $N_m'$  の方が値が大きく、 $B_m/B$  が小さいほど  $N_m$  と  $N_m'$  の差は大きくなる。すなわち式-(2)の径深では矛盾が生じる。基本的にはマニングの抵抗表現を使用するので、新しい径深と流速と壁面せん断応力との関係は低水路・高水敷とも、式-(3)と(4)を等号で結ぶことにより満たされる。潤辺として実際潤辺長  $P_m, P_f$  を使用すれば径深は次式で与えられる。

$$R_{m0} = \tau_m / \rho g S = A_{m0} / P_m \quad , \quad R_{f0} = \tau_f / \rho g S = A_{f0} / P_f \tag{5}$$

ここに、 $R_{m0}, R_{f0}$  は低水路・高水敷の径深を、 $A_{m0}, A_{f0}$  は低水路・高水敷の仮想流水断面積を表す。上式を変形させると、低水路・高水敷部の壁面せん断力 ( $P_m \cdot \tau_m, P_f \cdot \tau_f$ ) はそれぞれの体積力と等しくなる。このことは  $R_{m0}, R_{f0}$  を適用するにあたってその流水面積は、体積力の流下方向成分と壁面せん断力とがそれぞれ等しくなるように与えられる。換言すれば低水路・高水敷はそれぞれの潤辺に働く壁面せん断力と同じ比率に分離することを示し、水理学的には内部せん断応力が0となる境界で分離する概念に等しい。これに従って定式化された流量評価式は次のようになる。

$$Q = Q_{m0} + 2Q_{f0} \quad , \quad Q_{m0} = 1/N_m \cdot A_{m0} \cdot R_{m0} \cdot S^{1/2} \quad , \quad Q_{f0} = 1/N_f \cdot A_{f0} \cdot R_{f0} \cdot S^{1/2} \tag{6}$$

$$A_{m0}/A = S_m/S_{a11} \quad , \quad A = A_{m0} + A_{f0} \quad , \quad R_{m0} = A_{m0}/P_m (= \tau_m / \rho g S) \quad , \quad R_{f0} = A_{f0}/P_f (= \tau_f / \rho g S) \tag{7}$$

### 5. 流量評価式の精度

式-(6)中の未知変数は唯一、低水路潤辺と全潤辺でのせん断力の比  $S_m/S_{a11}$  である。 $S_m/S_{a11}$  の実験値より流量評価式中の精度を検討したものが図-4、5であり、前者がType-S、後者がType-Rにおける結果である。Type-Sでは高水敷高さによる精度は確かめられないが、低水路幅比に対する誤差は最大±8%内に収まっている。Type-RのH/Dが小さくて低水路幅比が小さい場合 ( $B_m/B = 1.29$ ) には、最大10%程度の流量の過小評価を示すが、

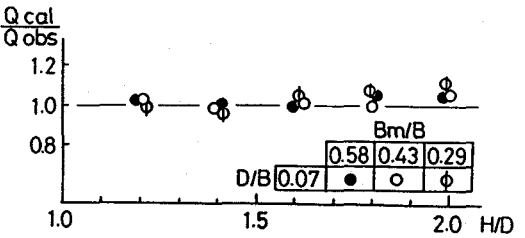


図-4 流量評価式の精度 (Type-S)

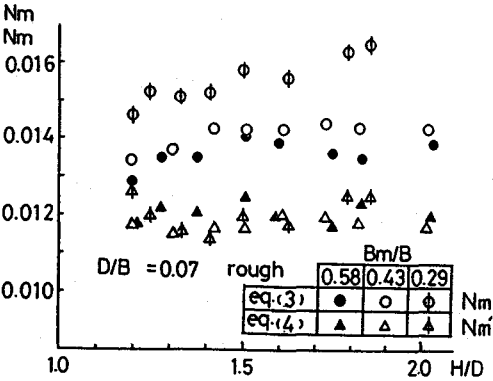


図-3  $N_m$  と  $N_m'$  の比較

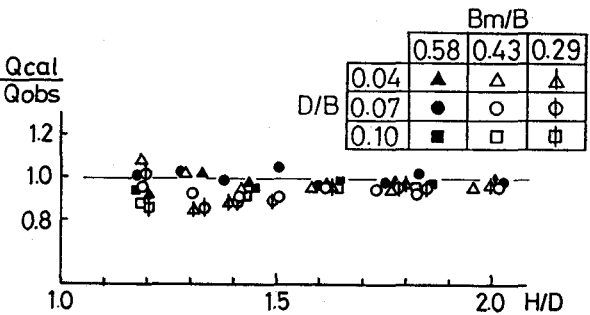


図-5 流量評価式の精度 (Type-R)

水深増加に伴いその傾向も薄れ、全体として最大±7%の誤差に収まるようになる。これよりこの流量評価式は高水敷の粗滑にかかわらず、実測流量を再現できる。

### 6. 低水路と高水敷の壁面せん断力の分担予測および流量評価式とH-Q曲線

図-6にType-R( $n_f/n_m > 1$ )の $S_m/S_{a11}$ と $R_{a11}/R_m$ との関係の一例を示す。この場合、 $R_{a11}$ は全流水断面積を全淵辺で除したもので、複断面流れを1つの矩形流れとして求めた径深である。 $R_m$ は低水路部だけから求めた径深であり、計算の簡便性を考慮して式-(2)より求めた。実験値は断面形状および高水敷の粗度係数などにより異なる曲線を構成するが、水深が増加するに従い $R_{a11}/R_m$ の値は大きくなり、一様に $S_m/S_{a11}$ の値は減少する曲線となっている。この曲線は極端に高水敷水深が小さい場合、 $S_m/S_{a11}$ は1.0となる。すなわち水深Hが高水敷高さDに近づくことより、 $R_{a11}/R_m$ は後述する式(8)の値 $\alpha$ に近づく。また高水敷水深が大きくなるに従い $S_m/S_{a11}$ は単調減少するが、 $R_{a11}/R_m$ は最大値(式(8)の $\beta$ )に達した後に減少に転ずる。 $\beta$ に対応する $S_m/S_{a11}$ の値を $\gamma$ と記述し、図中には予想される曲線を破線で示している。しかしながら実際には相対水深が3.0の範囲以下であれば、 $R_{a11}/R_m$ は最大値( $\beta$ )に達せず、実用上は $\beta$ 以上の範囲をほとんど考慮する必要はない。3つの変数 $\alpha$   $\beta$   $\gamma$ のうち、 $\alpha$ と $\beta$ は式-(8)に示すような無次元化された断面形状の諸量から与えられる。

$$\alpha = (B^* + 2D^*) / (1 + 2D^*)$$

$$\beta = (H^* - D^* + B^* D^*) (B^* + 2D^*) / (1 + 2H^*) H^* B^* \quad (8)$$

$$B^* = B_m / B, \quad D^* = D / B$$

$$H^* = (1 - B^*) D^* + ((D^* (1 - B^*))^2 + D^* (1 - B^*) / 2)^{1/2} \quad (9)$$

ここに、 $H^*$ は $R_{a11}/R_m$ の極大値を与える無次元水深として定義される。また、 $\gamma$ は実験値を通して図から読み取られる。この $S_m/S_{a11}$ の近似式を式-(10)に示す。

$$S_m/S_{a11} = (-a + (a^2 + 2b(R_{a11}/R_m) - \Delta)^{1/2}) / (R_{a11}/R_m - \Delta) \quad (10)$$

$$a = 2\gamma(\Delta - \beta), \quad b = 2\gamma^2(\Delta - \beta)$$

$$\Delta = (\alpha - 2\beta\gamma + \beta\gamma^2) / (\gamma^2 - 2\gamma + 1) \quad (11)$$

この近似式と実測値の比較の一例を図-7に示す。いずれの断面形状においても、水深の小さいときに $S_m/S_{a11}$ は過大評価となっているが、その精度は最大±8%に収まっている。この近似式の特徴は式中に断面形状によって定まるパラメータ $\alpha$ 、 $\beta$ を組み込んだことにある。

次に唯一実験より定められる $\gamma$ の特性を検討する。図-4で示されるように $\gamma$ は高水敷高さの変化に対してあまり影響されない。また低水路幅比と $\gamma$ の関係を整理したのが図-8である。同図にはKnight<sup>9)</sup>、Peterら<sup>10)</sup>による計算結果も示している。 $\gamma$ は $B_m/B$ のみならず粗度係数比( $N_f/N_m$ )の関数でもあることが判る。実験から得られたType-SとType-Rの回帰式を式-(12)に示す。

$$\gamma = 1.23B_m/B - 0.066 \quad (N_f/N_m = 1.0),$$

$$\gamma = 1.23B_m/B - 0.160 \quad (N_f/N_m = 2.3) \quad (12)$$

図-8中のPeterらの $\gamma$  ( $N_f/N_m = 1.55$ )の結果<sup>10)</sup>は、著者

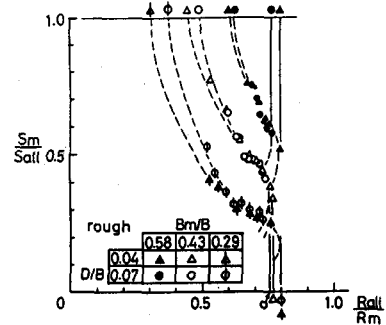


図-6  $S_m/S_{a11}$ と $R_{a11}/R_m$ との関係

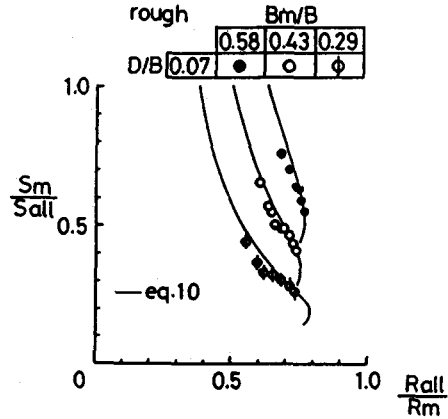


図-7 近似曲線の再現性

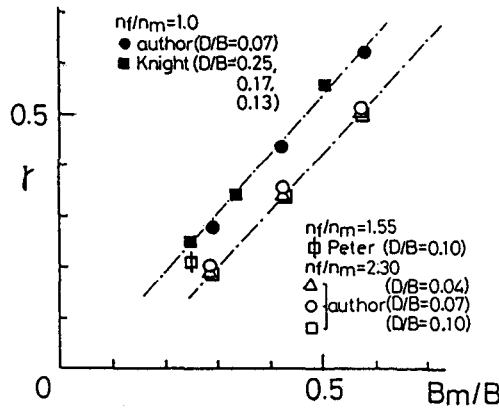


図-8  $\gamma$ の特性

らの2種類の粗度係数比( $N_f/N_m=1.0$ と $2.3$ )の間に位置する。そこで、Peterらの値も回帰式と同じ勾配の直線上に存在しているとし、粗度係数の違いによる回帰直線のy切片の値 $\eta$ の変化を図-9に示す。同図よりPeterらの結果から得られた $\eta$ の値は著者らの結果の中間にあり、 $\gamma$ と $N_f/N_m$ との関係は直線近似される。従って、 $\eta$ は次式で与えられる。

$$\eta = -0.072N_f/N_m + 0.006 \quad (13)$$

以上、低水路・高水数の壁面せん断力の分担率予測について述べてきた。水路の断面形状と低水路・高水数の粗度係数さえ定まれば、 $S_m/S_{a11}$ は提案された回帰式により広い範囲で予測可能である。図-10は計算のフローチャートを示しており、断面形状と低水路・高水数の粗度係数が与えられれば水深 $H$ から流量 $Q$ が計算される。図-11に本モデルによる全ての計算結果と実測値との比較を示す。このモデルの誤差は最大でも $\pm 10\%$ 以内に収まる。さらに他の研究者による $H$ - $Q$ 曲線への適用例として図-12に玉井・河原<sup>6)</sup>、今本<sup>11)</sup>と筆者らのType-Sにおける結果を、図-13にType-Rでの著者らの結果をそれぞれ示す。同図にはまた他の計算方法による結果として、合成粗度法(Method 1)、断面分割法1と2(Method 2と3)<sup>8)</sup>、Nicollet<sup>4)</sup>およびOgink<sup>5)</sup>による結果も示している。Oginkの流量評価式<sup>5)</sup>の中で見かけのせん断応力は筆者らの実験結果とも良好に一致したKnight<sup>9)</sup>の回帰式を適用している。これらの図より、壁面せん断応力分布の特性を考慮した本モデルは他の計算モデルより精度良く水深-流量曲線を再現できることが知れる。

## 7. 結 論

複断面開水路流れの断面諸量や水理条件を系統的に変化させて壁面せん断力特性を調べ、その特性を基に新たな流量評価式を提案した。提案した流量評価式はマニング抵抗式に基づいて評価される低水路・高水数の粗度係数と体積力と壁面せん断力の釣り合い式から決定されるそれらとが等しくなるという概念の基に導かれた。これより次のことが明かとなった。

(1) 従来の鉛直断面分割法に対してマニング公式を適用すると、計算された壁面せん断応力は断面形状と高水数粗度の有無によりばらつくが、低水路では過小評価され、高水数では粗面になると過大評価される。

(2) 低水路壁面せん断力の全せん断力に対する比 $S_m/S_{a11}$ は式(10)によって予測できる。

(3) 低水路と高水数のせん断力分担率に従い分離した面積と、それぞれの実測潤辺を用いて定められる径深を使用しマニング抵抗則を適用した場合、低水路と高水数の粗度係数の違いにかかわらず、水深-流量曲線を良好に再現できる。

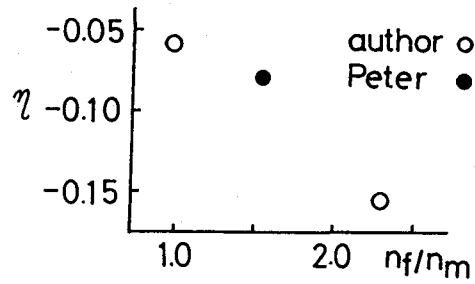


図-9  $\eta$  の特性

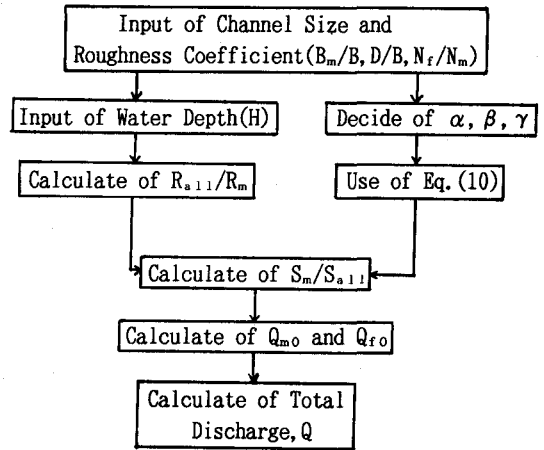


図-10 計算のフローチャート

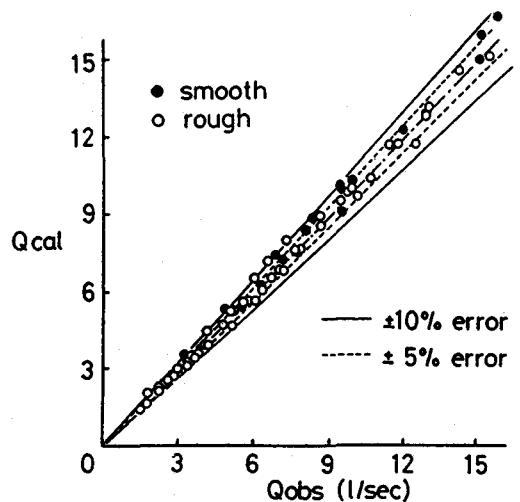


図-11 本モデルの精度

ただし、本モデルの適用範囲は $N_r/N_m=1.0\sim 2.3$ ,  $B_m/B=0.29\sim 0.80$ ,  $D/B=0.04\sim 0.18$ であり、低水路幅が小さくて(著者の結果では $B_m/B=0.29$ ), 相対水深も小さい( $H/D=1.2\sim 1.4$ )場合、若干流量の過小評価の傾向が現れる。なお、本実験範囲では $\gamma$ は高水敷高さによらないものとした回帰が行われたが、 $D/B$ が大きな場合には $\gamma$ の値に高水敷高さの影響がないとは言いきれない。しかしながら実河川では $D/B$ はそれほど大きくなく、今回の実験範囲で十分通用すると考えられる。

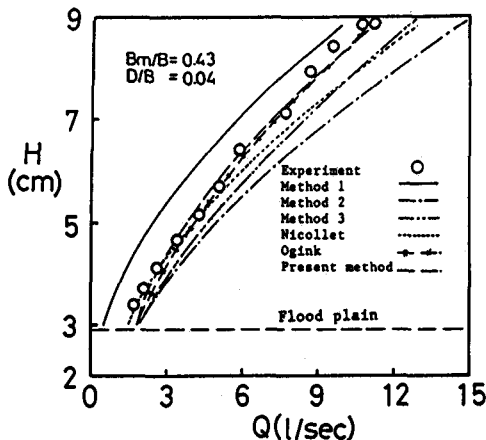
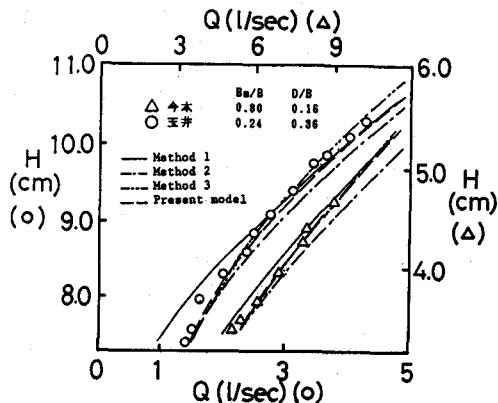
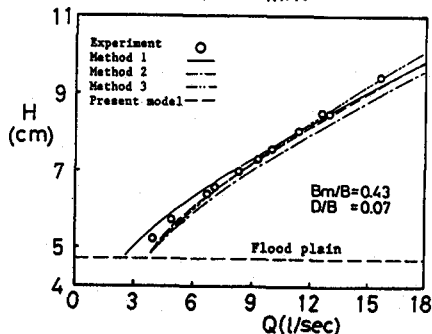


図-13 水深-流量曲線(Type-R)



玉井・河原と今本らの結果



筆者らの結果

図-12 水深-流量曲線(Type-S)

#### 参考文献

- (1)Mayers, C. and Elsayy, M.: Boundary shear in channel with floodplain, J. Hydr. Div., Proc. of ASCE, Vol.101, HY7, pp.933-946, 1975
- (2)室田明・福原輝幸・勢田昌功: 高水敷と低水路との流量配分特, 昭和60年度関西支部年次学術講演会論文集, II-35, 1985
- (3)浅野富雄: Characteristics of variation of Manning's roughness coefficient in a compound cross section, 21st. IAHR, pp.30-34, 1985
- (4)Nicollet, G. and Uan, M.: Ecoulements permanents a surface libre et lits composes, La Houille Blanche No.1, pp.21-30, 1979
- (5)Ogink, H.J.M.: The effective viscosity coefficient in 2-D depth-averaged flow model, 21st. IAHR, pp.475-479, 1985
- (6)玉井信行・河原能久: 複断面流れの特性と抵抗則に関する研究, 第25回水理講演会論文集, pp.113-118, 1981
- (7)福岡捷二・浅野富雄・藤田光一・坂野章: 複断面河道における洪水流の抵抗特性, 第30回水理講演会論文集, pp.499-504, 1986
- (8)室田明・福原輝幸・勢田昌功: 複断面粗面開水路流れの水理学的特性に関する実験的研究, 土木学会論文集投稿中
- (9)Knight, D.W. and Demetriou, J.D.: Flood plain and main channel flow interaction, J. Hydr. Div. Proc. of ASCE, Vol.109, HY8, pp.1073-1092, 1983
- (10)Peter, R.W., John A. and Panos H.: Discharge assesment in compound channel flow, J. Hydr. Div. Proc. of ASCE, Vol.108, HY9, pp.975-994, 1983
- (11)今本博健・久下俊夫・吉野清文: 開水路複断面流れに関する実験的研究(1), 昭和51年度関西支部年次学術講演会論文集, II-35, 1976