

日本大学工学部 正員○長林 久夫

日本大学工学部 正員 木村 喜代治

1. はじめに

近年、都市河川の周辺は高密度に利用され、洪水流量の増大に対しても、河道幅の余地はなく水路幅に比べて水深がより深くなる傾向にある。このような流れには、側壁効果がより強く作用し、また二次流等の効果と相まって、最大流速位置は自由水面下に存在するようになる。本研究では、数年来、側壁効果の強い開水路流れを対象として、壁面粗度をもとに流速および乱流特性量について実験的に検討してきた。本報では、水路幅水深比の小さな水路での流速分布に対する、側壁、自由水面の効果の検討を従来の計算モデルと比較し、問題点を検討するものである。

2. 長方形開水路に及ぼす側壁効果

長方形開水路における流速分布への側壁効果の計算法には、支配領域を底面と側壁に区分する断面分割法と、側壁近くの領域には底面・側壁の両者が壁面の摩擦力に従って影響するとした相互干渉法（仮称）とがある。そのモデルの一例を図1に示す。

断面分割法は底面と側壁の隅角部の二次流が底面と側壁に領域を分割し、分割線上の流速を等しいとする方法で、Einstein^①以来、足立^②、大同等多く利用されている。この分割線は乱流強度差の $(W^2 - V^2) = 0$ の境界線とはほぼ一致している。しかし、この領域でのレイノルズ応力、流速分布の対数則の見掛けの直線区間は、側壁付近で分割法の境界より大きく、また中央部では小さくなる傾向にあり、大同のように分割線の境界を二次元水深に見立てると、せん断力応力の計算値は実測値に比較して、側壁側で過小評価、中央部寄りでは過大評価になりやすい。

相互干渉法では筆者のひとりの木村^④が対数則を底面、側壁から相互に合成し、水路内の任意点で、両者から計算した流速は等しいとし、壁面せん断力の合計が全断面のせん断力に等しくなるよう計算する方法を提案した。図に示すように、周面摩擦速度から計算した二次元領域の境界は交差し、断面分割法の境界と比較すると、側壁近くでより大きく、中央付近では小さくなり、隅角部付近の壁面せん断力の分布を良く示すようになる。

吉川等^⑤は B/H が4～10までの長方形開水路において、せん断力応力の測定から、底面せん断力応力が二次元分布を示す限界の距離を $Z/H = 2$ 程度とした。これより側壁側では混合距離 $(L = \gamma^2 z^3)$ が底面と側壁の場所の関数とした。図2は B/H が2～0.5 までのより水深の深い流れについて、水路半幅を水深とした摩擦速度 U^* と、壁面各点の摩擦速度の比

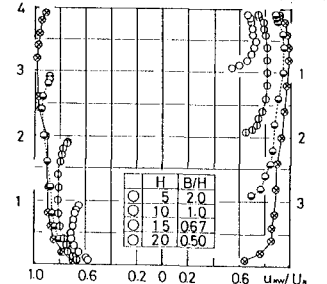
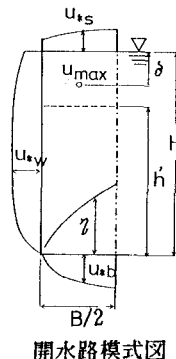
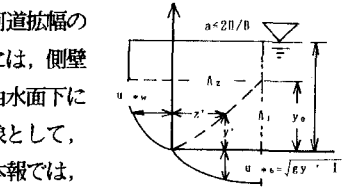


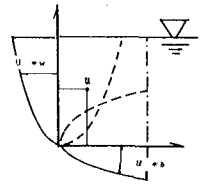
図-2. 側壁面摩擦に対する二次流と自由水面効果



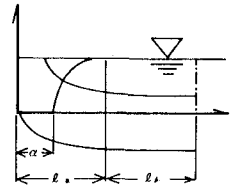
開水路模式図



足立・大同モデル



木村モデル



吉川・福井モデル

図-1. 流速分布への側壁効果

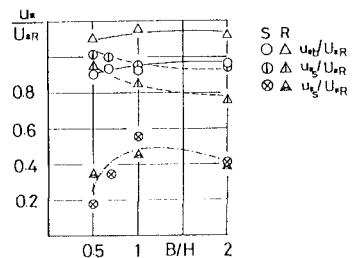


図-3. 摩擦速度分担率

を示す。二次元的となる距離は B/H
 $= .5 \sim 0.67$ でほぼ $Y/(B/2) = 2.5$
 程度で、吉川等の指摘した広長方
 形開水路に比べ若干大きい。この
 ときの最大流速以下の摩擦速度分
 布は別報において、長方形管路の
 ものとも一致することが指摘され
 る。また図3から、自由水面効果
 は、 $B/H = 1$ 付近で最も顕著となり、
 B/H の増加に伴い漸減する。

鶴谷の流速分布モデル

$$U(z) = \frac{u_{*w}}{k} \ln \left(\frac{z_{*w} + d}{z_{*w} - d} \right) - \frac{u_{*w}}{k} \ln \left(\frac{d + z_{*w} + z}{z_{*w}} \right)$$

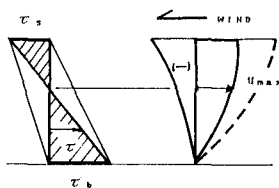


図-4. せん断力分担モデル

自由水面がせん断力を有する場合
 $\ell = \frac{k}{d} (d + z + z_{*w}) \cdot (z_{*w} - z)$
 自由水面のせん断力をゼロとする場合
 $\ell = k y * \sqrt{1 - (y/H)}$

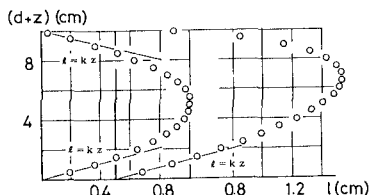


図-5. 混合距離分布

3. 自由水面効果の検討
 開水路流れへの自由水面効果を検討したものには、鶴谷等による
 風送流の研究があり、底面と自由水面から対数則を相互に組み合わ
 せて分布を与えている(図4)。また Reid も混合距離を図5に示
 すように底面・水面から成立するとして流速分布を与えている。図
 6は Reid による流速分布を示している。図7は鶴谷、Reid の
 方法による底面・水面のせん断応力の分担率と最大流速位置との関
 係を示している。これより、 $\tau_b / \tau_s = 10$ 程度でも0.09と最大流
 速位置が水面下に存在することが分かる。

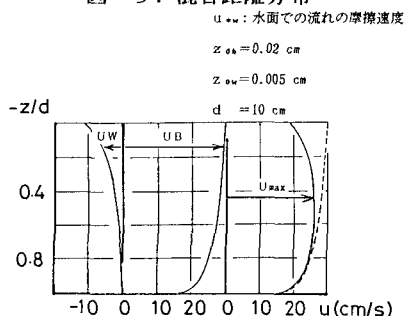


図-6. Reid式による自由水面効果

図8は鶴谷の方法による流速分布と滑面開水路の実験値との比較

を示す。図8Aは $R_0 = Z_b / H = 0.001$ (Z_b : 底面相当粗度)で滑面状態である。同図は底面・自由水面のせん断力分担
 率による、最大流速位置を検討したものである。図中の○印は滑面水路の流速分布をプロットしたもので、鶴谷の計算
 値を満足している。またこの図から B/H が0.6 以下ではせん断力比 $\tau_b / \tau_s = 7 \sim 10$, $B/H = 1$ で3 ~ 4 程度となり、正
 方形に近い形状の水路が水面
 のせん断力分担率が大きいこ
 とが分かり、図7に示す水面
 せん断力分担率の傾向を良く
 説明している。図8Bはせん
 断力分担率を自由水面に対し
 底面を10倍と固定して、底
 面粗度の効果を検討したもの
 である。また R_0/R_1 は9であ
 る。図中の○印の $B/H = 0.5$ の
 滑面水路のデータからほぼ $R_0 = 0.001$ と判定される。

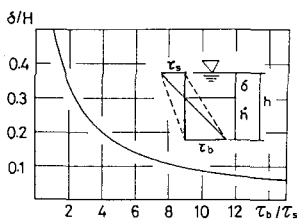


図-7. せん断力分担比と
最大流速位置

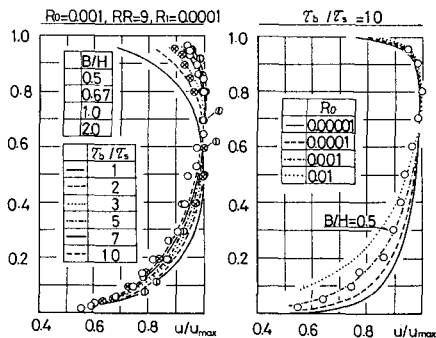


図-8. 鶴谷式による自由水面効果と滑面流速分布

4. おわりに 以上の結果を総括すると以下の通りである。①底面と側壁の隅角部では、各境界面からの相互作用を
 考慮する必要がある、 B/H が小さい場合の最大流速位置以下の特性は広長方形開水路とほぼ同様な影響範囲を有する。
 ②自由水面のせん断力分担率は $B/H = 1$ 程度のものが最も大きく、 B/H の増加とともに漸減する。 ③開水路流れへの自由
 水面効果は自由水面に見掛けのせん断力を考慮することにより、この付近での流速を推定することが可能である。

- 〔参考文献〕 ① 例、河村三郎著：土砂水理学Ⅰ、森北出版 ② 足立 昭平：土木学会論文誌、No.81 号、1962
 ③ 大同 淳之：第29回水理講演会論文誌、1985 ④ 木村喜代治：土木学会論文誌、No.251、1976
 ⑤ 吉川、福井他：第31回水理講演会、1987 ⑥ 鶴谷 広一：昭和59年度港湾技術研究所講演集
 ⑦ 照井、長林、木村：昭和62年度土木学会東北支部