

Ⅱ-322 複雑な境界面を有する水路における壁面せん断力の評価についての検討

日本大学工学部 学生員 小金 理宏

日本大学工学部 正会員 長林 久夫・木村 喜代治

1. はじめに

実河川の横断面は流下方向に局所的に変化しており、その形状は複雑である。そのため、流れの構造は3次元式的となり、より複雑な乱流構造になることが予想され、流速分布や壁面せん断応力分布に影響を与えることが推測される。これまでに実河川においては、数多くの乱流計測がなされているが¹⁾、実河川において横断面が局所的に変化し、加えて、複雑な境界面を有している地点での乱流構造や、壁面せん断力の評価については測定例は少なく、より多くの検討が必要とされている。従って、このようなケースにおける乱流構造の把握と壁面せん断力の評価についての検討を目的として、流路延長 $L=1.5\text{km}$ 、平均水深 $h_m=1.5\text{m}$ 、水面幅 $b=7\text{m}$ の前田川（小規模河川）の直線区間 300m の中間地点において3次元乱流計測を行い²⁾、壁面せん断応力分布と各境界面への全せん断力の分担率について検討した。

2. 結果および検討

2-1. 壁面せん断応力分布についての検討

鉛直方向の対数則分布を図1-aと横断方向の対数則分布を図1-b、図1-cにそれぞれ示す。図1-bは左岸から右岸の横断分布を、図1-cは右岸から左岸の横断分布を表している。ここで、図中の $h(z)$ は横断方向の水深を、 $b(y)$ は鉛直方向の水路幅をそれぞれ表している。さらに、壁面において計測始点測線から計測終点測線までを河床、計測開始測線より左側を左岸、計測終了測線より右側を右岸とした。図1-aにおける河床摩擦速度： U_{*b} はレイノルズ応力- uv の鉛直分布に河床付近で2次元開水路の直線分布を適用して U_{*b} を仮定し、それより対数則から平均粗度高さ： y を求めて再度対数則によって評価したものである。河床粗度の局所的な変化がない $Z30\sim 50$ ($z=2\sim 5\text{m}$) 測線では、 $y/h(z)=0.2$ 付近まで対数則が適用されているのがわかる。しかし、局所的に境界面が変形している測線においては等流速線が歪んでおり²⁾、測線と直交していないため、対数則から離れたものと推測される。また、図1-b,cにおける側岸摩擦速度： U_{*wL}, U_{*wR} は両岸の植生がないものと考えてレイノルズ応力- uw の横断分布の最下点通るように、2次元の開水路直線分布を適用して U_{*b} と同様にそれぞれ評価したものである。両側岸ともに、局所的な境界面の変化がない水面から 0.9m (Y050) までの測線において $z/b(y)=0.2$ 付近まで対数則で評価できることが確認できる。次に、対数則から評価した壁面摩擦速度によって求められた壁面せん断応力分布を断面平均せん断応力： $\tau_0 = wRI_s$ で無次元化して図2に示す。横軸は、潤边上の距離変化： L を計測開始測線を原点として平均水深： h_m で無次元化したものである。 $L/h_m=0.0, 3.1$ 付近にお

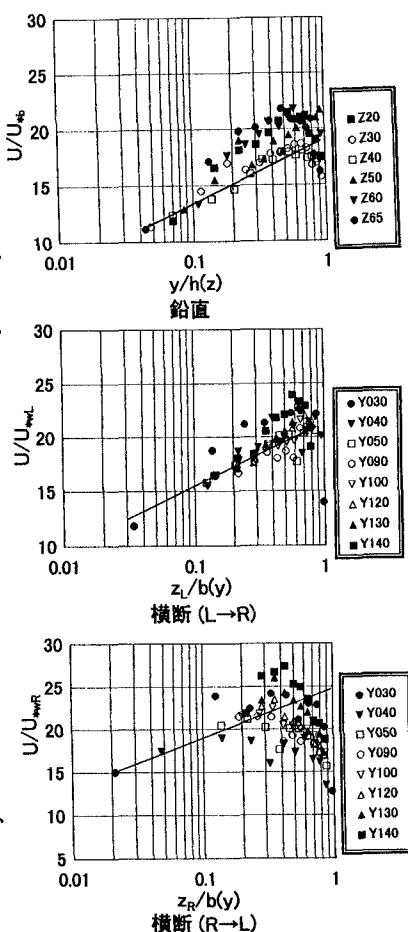


図1 対数則分布

キーワード：壁面せん断力、壁面せん断力の評価、小規模河川

連絡先：日本大学工学部土木工学科（福島県郡山市田村町徳定字中河原1）TEL 0249-56-8724 FAX 0249-56-8858

て、壁面せん断応力が急減しているのは、この測線を境界としたため隅角部となっていること、壁面せん断応力評価において、 $0 < L/h_m < 3.1$ で鉛直方向の流速分布に対数則を適用してきたものを、 $L/h_m < 0, L/h_m > 3.1$ では横断方向の流速分布に対数則を適用したことなどが推測され、評価方法に疑問が残る。また、各壁面における平均せん断応力と τ_0 との割合を表1に示す。潤辺平均が τ_0 よりも大きいのは、 τ_0 の評価において水面勾配を用いたため、正確な値ではなく、不等流計算を行いエネルギー勾配を求め再度検討する必要がある。

2-2. 全せん断力の各境界面における分担率についての検討

主流等流速線図（細線）を図3に示す。なお、 $z < 1m, z > 5.5m$ の等流速線は植生がないものとして結んだ線である。図中の太線は各境界面からの等流速線の直交曲線を表している。この太線によって区分された領域を各境界面の効果が及ぶ範囲とする。×領域は河床の効果が及ぶ範囲を、点領域は側岸の効果が及ぶ範囲を、残りの領域が水面の効果が及ぶ範囲をそれぞれ示している。各領域の面積と断面積：A との割合が、各境界面が水の全重量（全せん断力）を受け持つ割合として考え、その百分率を表2に示す。この表より水面が約17%の全せん断力を分担することが確認できる。さらに、図4に示す壁面せん断分布の $L/h_m = 0.0, 3.1$ 付近の欠損したせん断力（斜線部分の面積）： 4ϵ 、対数則から評価した壁面せん断力： $\Sigma \tau_p$ 、水面に分担しているせん断力： $\Sigma \tau_s$ とすると全せん断力： $\Sigma \tau_e = \alpha \Sigma \tau_p$ は補正係数： α を用いると次式で仮定される。なお、 $4\epsilon = 0.409$ である。

$$\Sigma \tau_e = \alpha \Sigma \tau_p = \Sigma \tau_p + \Sigma \tau_s + 4\epsilon \cdots \cdots (1)$$

$$\alpha = \frac{1}{1 - \%SF_s} \left(1 + \frac{4\epsilon}{\Sigma \tau_p} \right) \cdots \cdots (2)$$

$$\%SF_s = \frac{\Sigma \tau_s}{\Sigma \tau_e} : \text{全せん断力の水面分担率}$$

式(2)より $\alpha = 1.28$ となる。これより、等流速線の直交曲線から評価した全せん断力は、対数則から評価した壁面せん断力の約3割ほど大きくなっているのが分かる。

3. おわりに

複雑な境界面を持つ水路の壁面せん断力評価について検討した結果、主流等流速線の直交曲線によって水路断面を境界区分した場合、水面における全せん断力の分担率は、17%の全せん断力を受け持つことが確認された。水面における全せん断力を考慮した、等流速線の直交曲線から評価した全せん断力是对数則から評価した壁面せん断力の約3割ほど大きな値を示した。

<参考文献>

- 1) 榎津・富永・中川：河川乱流の野外計測と2次流に関する研究、土木学会論文集、第467/II-23, pp.49-56, 1993
- 2) 小金・長林・木村：前田川におけるADVによる3次元乱流計測、水工学論文集、第41巻, pp.1067-1072, 1997

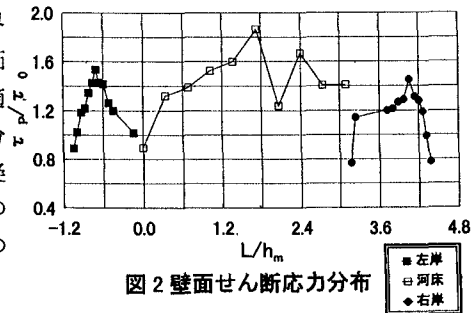


図2 壁面せん断応力分布

表1 平均せん断応力（対数則）

河床	左岸	右岸	潤辺平均
τ_{Pb0}/τ_0	τ_{PwL0}/τ_0	τ_{PwR0}/τ_0	τ_{P0}/τ_0
1.465	1.175	1.133	1.327

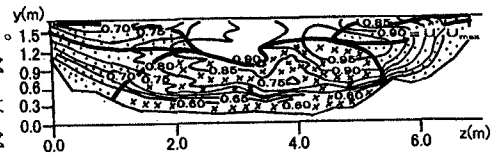


図3. 主流等流速線図

表2. 全せん断力の各境界面分担率

河床	左岸	右岸	水面
$\%SF_b$	$\%SF_{wL}$	$\%SF_{wR}$	$\%SF_s$
(%)	(%)	(%)	(%)
48.0	18.5	16.2	17.4

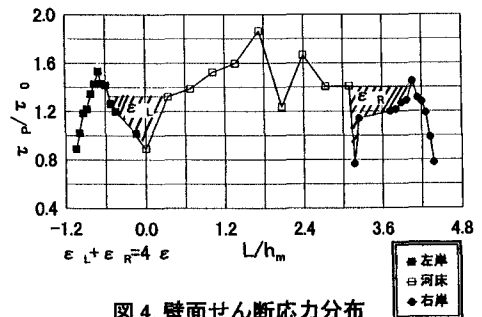


図4. 壁面せん断応力分布