

## 開水路中における河床せん断力の直接計測

防衛大学校建設環境工学科 学生会員 ○野田智博  
 防衛大学校建設環境工学科 正会員 林建二郎  
 防衛大学校建設環境工学科 正会員 八木 宏

### 1. はじめに

環境問題の高まりとともに河道内に生育している樹林やヨシ等の抽水植物の保護・育成やその積極的な利用が重要視されている。しかし、これら植生群は大きな粗度であり、その抵抗則を把握することは洪水対策面や、植生群が有する土砂の堆積効果の評価において重要である<sup>1)</sup>。また、これら植生群を有する河床面において生じる幹や茎まわりの局所洗掘量の評価も、植生基盤の保持・安定面から重要である<sup>2)</sup>。開水路中の河床せん断力は、エネルギー勾配  $I_e$  と水深  $h$  の計測や、流れ方向流速成分の水深方向分布に対数分布則を適用することにより評価可能である。しかし、樹木群がある場合は、河床上の境界層厚さは樹木が無い場合に比べて非常に小さいため、河床せん断力の評価は、上記の評価法では困難である。本研究は、樹木群がある河床部の抵抗則を明らかにすることを目的として、開水路中における河床せん断力の直接計測を試み、計測精度に対する更なる検討を行ったものである。

### 2 実験装置および方法

実験には、長さ 40m、幅 0.8m、高さ 1m の回流水槽を用いた。本水槽の床面下部に設けた回流用管路とポンプ運転により水路内に開水路流れを発生できる。せん断力計（三計エンジニアリング(株) S10-1）を用いて、本開水路の河床せん断力  $\tau_b$  を直接計測した。アクリル製の床面上に設置したせん断力計の概略を **図-1**、**写真-1**、**写真-2** に示す。直径 10 mm、厚さ 0.09 mm のステンレス製円盤の中心をリン青銅製の片持梁支柱に取り付けたものである。shear plate 上面に作用する流れ方向の床面せん断力による曲げモーメントを、支柱下部に貼られた半導体歪ゲージで測定するものである。この曲げモーメントを歪ゲージと shear plate の間の距離で割れば shear plate に作用するせん断力が算定できる。このせん断力を shear plate の表面積で割り、河床せん断力  $\tau_b$  を求めた。shear plate の側部や下部に付着する小さな異物や空気を排泄するためにせん断力計の側壁には内径約 1mm の排泄パイプを取り付けている。

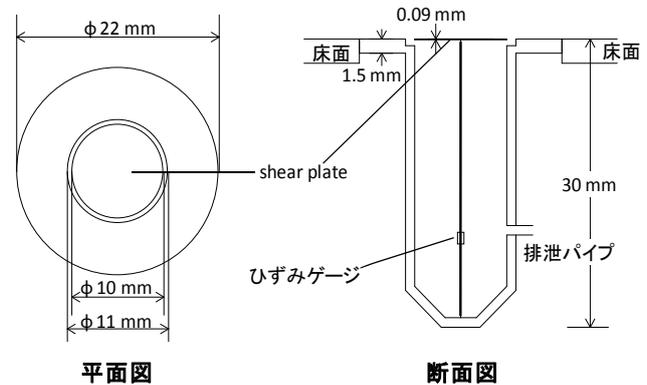


図-1 せん断力計の概略図

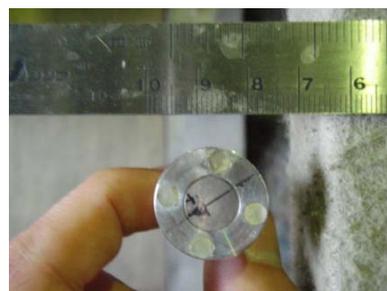


写真-1 小型せん断力計（平面図）



写真-2 小型せん断力計（側面図）

小さな異物や空気を排泄するためにせん断力計の側壁には内径約 1mm の排泄パイプを取り付けている。

計測に先立ち、本せん断力計の静的検定を行った。0 ~ 50 mgf/cm<sup>2</sup> (0.00049 N/cm<sup>2</sup>) の荷重範囲において荷重と出力電圧の比例関係は十分であり、1mgf/cm<sup>2</sup> (0.0000098 N/cm<sup>2</sup>) 以下の分解能を有することを確認した。また、静水中における本せん断力計の固有振動数は  $f_{nw}=38\text{Hz}$  であった。

キーワード 河床せん断力, せん断力計, 摩擦損失係数, マニングの粗度係数, レーザードップラー流速計

連絡先 〒239-8686 横須賀市走水 1-10-20 Tel 046-841-3810 ⑥e-mail : hayashik@nda.ac.jp

開水路における流速の水深方向および水路横断方向の流速分布計測を2成分レーザードップラー流速計（ダンテック社製）を用いて行った。流速測定部の大きさは、流れ方向および鉛直方向に0.1mm以下、水路横断方向の流速分布計測を2成分レーザードップラー流速計（ダンテック社製）を用いて行った。流速測定部の大きさは、流れ方向および鉛直方向に0.1mm以下、水路横断方向に1mm以下である。水路方向流速成分  $u$  の時間平均値を  $U_m$ 、その乱れ成分を  $u'$  とする。鉛直方向流速成分  $v$  の時間平均値を  $V_m$ 、その乱れ成分を  $v'$  とする。 $-\rho u'v'$  の時間平均値をレイノルズ応力とする。サンプリング周波数は100Hz以上、サンプリング時間は60sとした。

3. 結果および考察

本せん断力計の精度確認のため、開水路床面せん断力計測点上の水路方向流速  $u$  およびレイノルズ応力  $(-\rho u'v')$  の水深方向分布を2次元レーザー流速計を用いて計測した<sup>3)</sup>。水深は、 $h = 約15cm$ に固定した。 $U_m = 40cm/s$ の場合における  $U_m$  の鉛直方向( $z$ 方向)分布を図-2に示す。 $z$  は床面からの距離である。摩擦速度  $U^*$  の算定には、 $U_m = 40cm/s$ の場合の本せん断力計による計測値  $\tau_m = 3.2mgf/cm^2$  ( $0.000031N/cm^2$ )を用いた摩擦速度は  $U^* = (\tau_m / \rho)^{0.5} = 1.77cm/s$  である。図中には、(1)式で示す対数分布則を実線で示している。実測値  $u_m$  と対数分布則との一致は良好であり、床面せん断力は  $\tau_u = 3.2mgf/cm^2$  ( $0.000031 N/cm^2$ ) と推定できる。

$$u_m / U^* = 5.75 \log(U^* z / \nu) + 5.5 \quad (1)$$

$U_m = 40cm/s$ の場合のレイノルズ応力  $(-\rho u'v')$  の鉛直方向分布を同じく図-2に示す。床面近傍の  $(-\rho u'v')$  では  $3 \sim 3.3mgf/cm^2$  ( $0.00029 \sim 0.000032 N/cm^2$ ) であり、 $U_m = 40cm/s$ の場合の河床せん断力の計測値  $\tau_{bm} = 3.2mgf/cm^2$  ( $0.000031 N/cm^2$ ) との一致は良好である。

$U_m = 23cm/s$ 、および  $U_m = 50cm/s$ の場合においても、対数分布則およびレイノルズ応力分布より推定した床面せん断力と、本せん断力計計測による床面せん断力との一致は良好であった<sup>3)</sup>。

円柱がない開水路床面に本せん断力計を設置し、床面せん断力  $\tau_b$  を計測した。その時間平均値  $\tau_{bm}$  の、下記の代表流速  $U_m$  に対する変化を図-3に示す。これら円柱がない場合の  $\tau_{bm}$  と  $U_m$  より算定した水深  $h=15cm$ の場合における本開水路床部の Manning 粗度係数は、 $n_b = 0.0011$ であった。今回新たに行った  $h=20cm$ の場合においても同様であった。

図中には、比較として円柱群を設置した場合の結果も示している。鉛直設置した円柱群からの後流渦生成により、円柱群内の流れ構造が水深方向に一様化され、床面近傍に大きな速度勾配を有する境界層流れが存在する<sup>3)</sup>。その結果、円柱群内の河床せん断力は、円柱群がない場合に比べて増加することを確認した。

参考文献 1) 橋本晴行, 平野宗夫: 樹林帯における掃流砂量と河床変動に関する研究, 樹林帯を利用した土砂災害対策工の開発, 文部省科学研究費(基盤研究(B)(1)), pp.1-6, 2000. 2) 八木澤順治, 田中規夫: シナダレスズメガヤの繁茂量の違いを考慮した土砂移動限界の変化および洪水時流失条件の評価, 水工学論文集, 第51巻, pp.1249-1264, 2007. 3) 林建二郎・斎藤 良: 開水路中に設置された直立円柱群中の河床せん断力評価, 水工学論文集, Vol.54, pp.985-990, 2010.

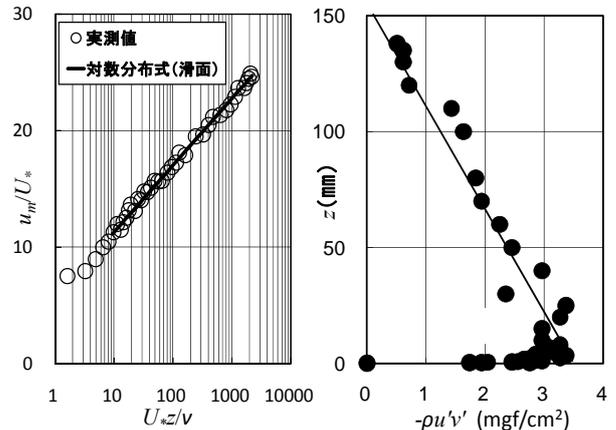


図-2 流速およびレイノルズ応力の水深方向分布 (円柱群が無い場合  $U_m = 40cm/s$ ,  $h = 15cm$ )

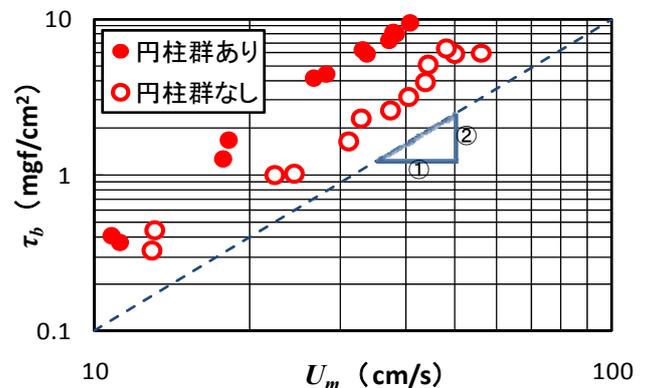


図-3  $\tau_{bm}$  と  $U_m$  の関係 (開水路, 水深  $h=15cm$ )