

### 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

防衛大学校建設環境工学科 学生会員 ○齋藤 良  
防衛大学校建設環境工学科 正会員 林 建二郎

#### 1. 目的

環境問題の高まりと共に河道内樹林や植生の保護・育成やその利用が重要視されている。しかし、河道内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。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も、植生基盤の保持・安定面から重要である。樹幹群や茎群内の流れは固有浸透流と呼ばれ、河床の極近傍から水表面付近までの水深方向に様な流速分布を示す。その結果、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値となり、樹木群を有するの河床部の粗度係数  $n_b$  は、樹木が無い場合の河床部の粗度係数  $n$  より異なるものと考えられる。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、開水路床面（滑面）に鉛直設置された円柱群中の河床せん断力の評価を行ったものである。

#### 2. 実験方法

実験には、図-1 に示す長さ 40m、幅 0.8m、高さ 1m の回流装置付造波水槽を用いた。樹林の樹幹部と見立てた直径  $D=1\text{cm}$  のステンレス製円柱を、一辺が  $S=10\text{cm}$  の正三角形となる千鳥配置（長さ 459cm、幅 50cm）に設置した（図-2 参照）。流れ方向への設置列数は 54 列である。本円柱群の樹林帯密度  $\lambda$ （河床単位に占面積める樹幹部の断面積比： $\lambda = \pi D^2 / (2 \cdot 3^{0.5} S^2)$ ）は 0.0091 である。

本回流水槽に通水し、水平床上の円柱群間に漸変不等流を流した。円柱群内の流速分布特性を調べるために、円柱群の上流端から 34~35 列間における流速の水深方向の流速分布計測を 2 成分レーザードップラ-流速計（ダンテック社製）を用いて行った。水路方向流速成分  $u$  の時間平均値を  $U$ 、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  $V$ 、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。流速計測区間での水深は  $h$  約 15cm、断面平均流速は  $U_m = 0.33\text{m/s}$ 、 $F_r$  数は 0.27 である。

円柱群中の河床せん断力特性を調べるために、小型せん断力計（三計エンジニアリング（株））を用いて計測を行った。定格容量は 100 mgf、空中における固有振動数は  $f_{na} = 85\text{Hz}$ 、減衰定数は  $\zeta_a = 0.025$  である。

#### 3. 結果及び考察

(1) 円柱群がない場合のせん断力 せん断力計の精度確認のため、せん断力計設置位置での水路方向流速成分  $u$  とレイノルズ応力 ( $-\rho u' v'$ ) の鉛直方向分布を 2 成分レーザードップラ-流速計を用いて計測した。断面平均流速  $U_m = 40\text{cm/s}$  の場合の  $U$  とレイノルズ応力の鉛直方向分布を図-3 に示す。 $U$  の対数分布則より求めたせん断応力の値は  $\tau_u = 3.2\text{mgf/cm}^2$  と推定できる。底面近傍のレイノルズ応力の大きさは  $3 \sim 3.3\text{mgf/cm}^2$  であり、せん断力計で計測した時間平均せん断応力  $\tau_{mean} = 3.2\text{mgf/cm}^2$  との一致は良好であった。

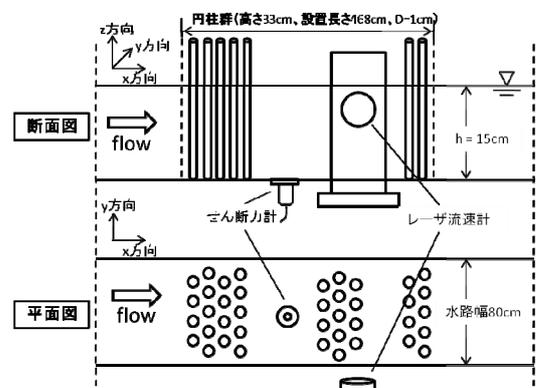


図-1 実験装置概略図

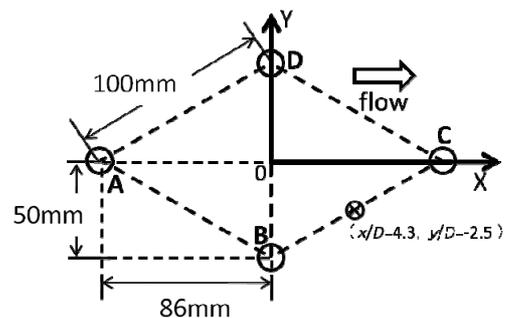


図-2 円柱群の拡大図 (D=1cm)

キーワード 河床せん断力, 円柱群, 開水路, 摩擦損失係数, マニングの粗度係数

連絡先 〒239-8686 横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校建設環境工学科 TEL 046-841-3810(内線 3524)

水路河床部の摩擦損失係数  $f'$  およびマンニングの粗度係数  $n$  は, (1), (2)式でそれぞれ定義される.

$$f' = \tau_{mean} / 0.5\rho U_m^2 \quad (1) \quad n = [f'h^{1/3} / 2g]^{1/2} \quad (2)$$

式中,  $\rho$  は水の密度,  $g$  は重力加速度である.

実験で得られた  $U_m$  と  $\tau_{mean}$  の値を(1), (2)式に代入すると, 円柱群がない場合の本水路河床部の摩擦損失係数は  $f' = 0.0043$ , マンニングの粗度係数は  $n = 0.011$  となる.

**(2) 円柱群内の流速分布** 円柱群中の  $x/D=4.3, y/D=-2.5$  における  $u$  の時間平均値  $U$  と乱れ強度  $\text{rms } u'$  の水深方向分布を図-4 に示す(図-2 参照). 図中には, 円柱群が無い場合の  $U$  と  $\text{rms } u'$  の水深方向分布を比較のために示す. 円柱群が無い場合の  $U$  は, 境界層が水面まで発達しているため, 水路床近傍では小さく水路床から水表面に向かって大きくなっている. 一方, 円柱群の  $U$  は, 水路床近傍から水表面付近まで一様であることが分かる. これは, 鉛直設置された円柱群からの後流渦により, 円柱群内の流れが水深方向に一様化されたためと考えられる. 円柱群内の乱れ強度  $\text{rms } u'$  は, 円柱が無い場合より大きく, 水深方向に一様となっている. このような壁面セン断流としての特徴を有しない円柱群内の流れ場は, 固有浸透流場と呼ばれている.

**(3) 円柱群がある場合のせん断力** 円柱群がある水路床面のせん断力  $\tau_{mean}$  の断面平均流速  $U_m$  に対する変化特性を図-5 に示す. 水深  $h$  は円柱がない場合と同様に約 15cm に固定した. せん断力計の設置位置は, 図-2 に示す円柱 B の後方  $x/D=4.3, y/D=-2.5$  の点である. 図中には, 円柱群がない場合の水路床面の  $\tau_{mean}$  の結果を比較として示す. 円柱群中の  $\tau_{mean}$  は, 円柱群が無い場合に比べて増加していること, および  $\tau_{mean}$  は流速の 2 乗  $U_m^2$  に比例していることが分る. 円柱群がある場合のこの位置 ( $x/D=4.3, y/D=-2.5$ ) における摩擦損失係数は  $f' = 0.010$  となり, 上記の円柱がない場合 ( $f' = 0.0043$ ) の約 2.3 倍となっている.

円柱群中の各点における時間平均せん断応力  $\tau_{mean}$  の分布特性を図-6 に示す. せん断力  $\tau_{mean}$  については, 円柱群が無い場合のせん断応力の時間平均値  $\tau_{0mean}$  で無次元化している. 円柱群中の多くの領域で  $\tau_{mean}$  は円柱群が無い場合より 2~5 倍程度増加していることが分る. 円柱の真後ろとなる  $y/D=0, 1.2 < x/D < 2.5$  の領域では, せん断力は流れの上流方向に作用している. また, 円柱近傍(円柱真横)において, 10 倍以上のせん断力が局所的に発生している.

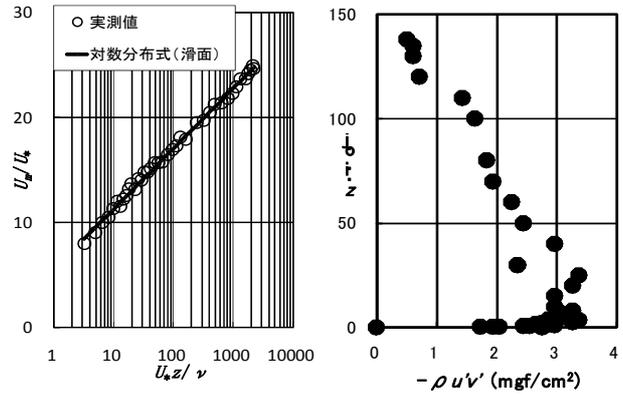


図-3 流速分布及びレイノルズ応力

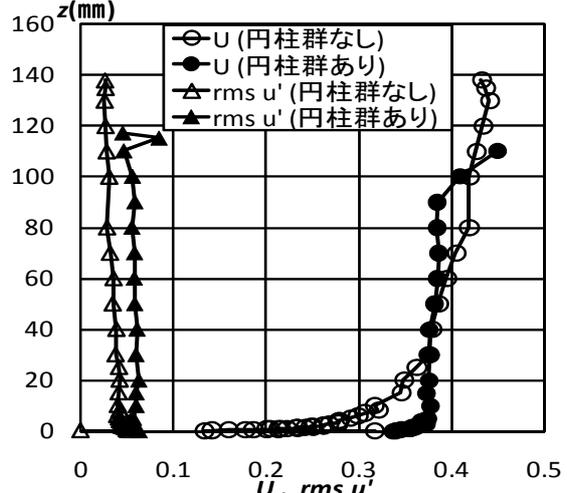


図-4 流速の水深方向分

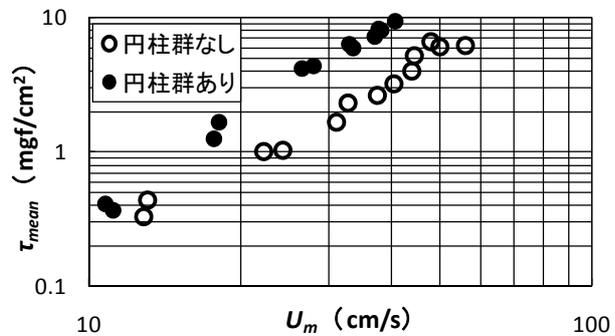


図-5  $\tau_{mean}$  と  $U_m$  の関係

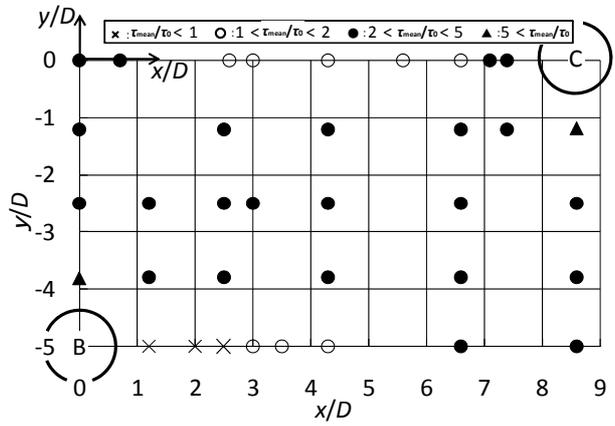


図-6 円柱群中のせん断力分布