

開水路中に設置された円柱群中の河床せん断力計測

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

1. 目的

近年、環境問題の高まりとともに河道内樹林の保護・育成やその積極的な利用が重要視されている。しかし、河道内樹林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から重要である。高水敷上の水深が樹木の枝下高さより低く、樹幹部のみが浸水している場合の合成粗度係数 n_t は、下記の(1)式で評価されている。式中右辺の第1項の n_b は河床部の粗度係数、第2項は樹幹部の粗度係数の大きさを示す¹⁾。樹幹群内の流れは固有浸透流と呼ばれ、河床の極近傍から水面付近まで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、樹木群が有る場合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、開水路床面に鉛直設置された円柱群中の河床せん断力の計測を試みたものである。

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、アクリル板製の水平水路床の幅全域に、一辺が $S=10\text{cm}$ の正三角形となる千鳥配置で設置した(図-2参照)。円柱群の水路長さ方向設置区間長は459cm、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 λ (河床単位面積に占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。本開水路に単位幅流量 $q=500\text{cm}^3/\text{s}$ を通水し、水平床上的円柱群間に漸変不等流を流した。流速計測区間での水深は h 約15cm、断面平均流速は $U=0.33\text{m/s}$ 、 F_r 数は0.27である。

代表円柱群流速として円柱群の上流端から34~35列間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-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_{mean} 、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_{mean} 、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

樹林帯密度 λ で床面に鉛直設置された円柱群が有する

キーワード 河床せん断力、円柱群、樹林帯、開水路、マニングの粗度係数、河道内樹林

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 046-842-5155 内線 236

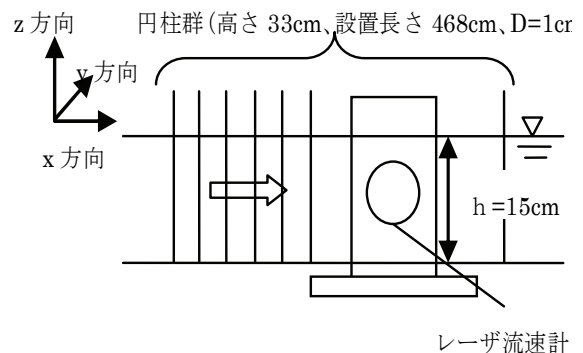


図-1 実験装置

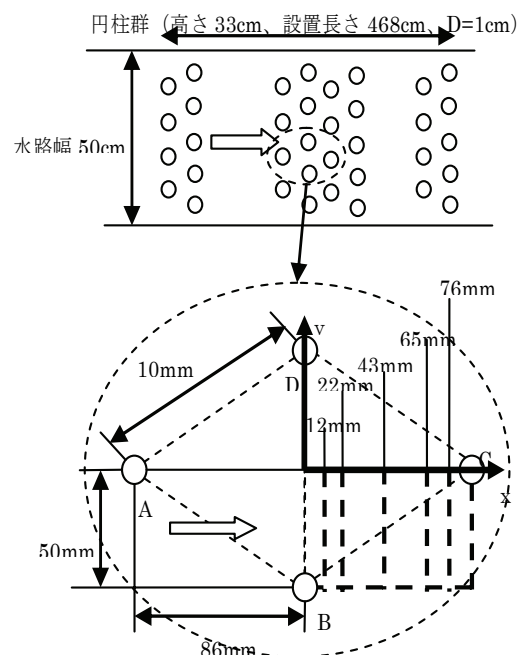


図-2 円柱群の配置

粗度を床面の粗度係数に含めた合成粗度係数 n_t は、
(1)で示される²⁾。

$$n_t = [n_b^2 + C_D 2 \lambda h^{4/3} \{g \pi D(1 - \lambda)\}]^{1/2} \quad (1)$$

式中の n_b は河床部の粗度係数、 C_D は円柱群中の単
独円柱の抗力係数である。

$x=43\text{mm}$ の横断方向測線上の $y=0, -25, -50\text{mm}$ の各
点における、 U_{mean} とレイノルズ応力 $-\rho u'v'$ の水深方
向分布を図-3のa), b)に示す。 $z < 4 \sim 10\text{mm}$ の水路床
近傍においては境界層が存在し、その上方から水表面
付近までは U_{mean} が一様分布となる固有浸透流場が存
在している。これは、鉛直設置された円柱群からの後
流渦により、円柱群内の流れ構造が水深方向に一様化
されたためと考えられる。境界層内の $-\rho u'v'$ は z の
低下に伴い増加し $z=1\text{mm}$ 付近で最大値を示し、粘性応
力が支配的となる床面の極近傍では減少している。
従って、河床せん断力 τ_b は $z=1\text{mm}$ 付近での $-\rho u'v'$
で近似できる。

$x=12 \sim 76\text{mm}$ の各測線上の $z=1\text{mm}$ における U_{mean} と $-\rho u'v'$ の横断方向分布を図-4のa), b)に示す。a)には、
 $x=43\text{mm}$ の測線上の $z=60\text{mm}$ における U_{mean} の横断方向分
布を併せて示す。 $y=0\text{mm}$ と -50mm の位置では、その直
上流側に円柱 A, B がそれぞれ存在する結果、 U_{mean} と $-\rho u'v'$ は共に極小値となっている。 $y=25\text{mm}$ 付近の直
上流には円柱が存在しない結果、 U_{mean} と $-\rho u'v'$ は共に
極大値を示している。

$0 < x < 86\text{mm}$ 、 $-5\text{mm} < y < 0$ の領域内で計測した $z=1\text{mm}$
における $-\rho u'v'$ の平均値 $(-\rho u'v')_{mean}$ を求め、(1)式
に代入し、樹林帯密度 $\lambda=0.0091$ の円柱群を有する本
水路河床部の粗度係数 n_b を算定した。

$$n_b = \{ \tau_b h^{1/3} / (\rho g U_{mean}^2) \}^{1/2} \quad \text{-----} \quad (2)$$

図-5に、本装置の円柱群が無い場合 $\lambda=0$ と、 λ
 $=0.011$ 、 $\lambda=0.015$ の結果、および n_t と C_D の計測値1)
式に代入し n_b を算定した石川ら³⁾の結果(粗面)を合
わせて示す。樹林帯密度 λ の増加に伴い、河床部の粗
度係数 n_b が増加していることが分る。

参考文献 1) 河川における樹木管理の手引き、リバーフロン
ト整備センター編集、山海堂、2006。 2) 林ら：開水路中にお
ける円柱群に作用する流体力、水工学論文集、45巻、2001。
3) 石川芳治：河道に存在する樹林に作用する抗力と密生度：
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)、代表者：橋本晴行)、pp. 28-41、2000。

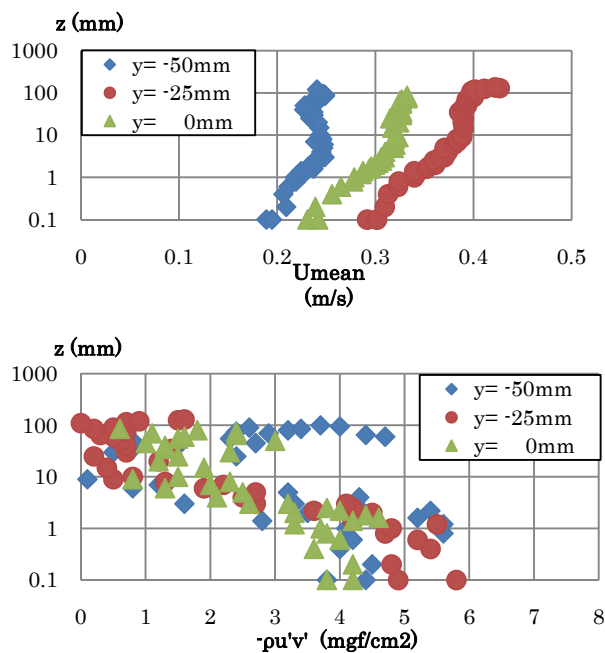


図-3 U_{mean} と $-\rho u'v'$ の水深方向分布

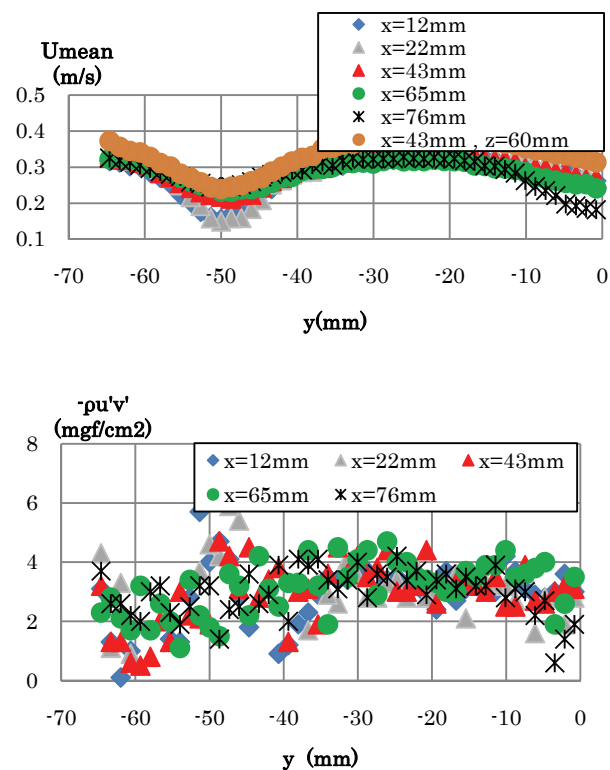


図-4 U_{mean} と $-\rho u'v'$ の横断方向分布

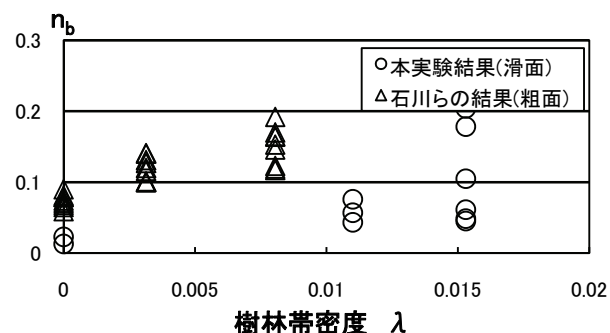


図-5 粗度係数 n_b と樹林帯密度 λ の関係