

II-81

洪水時における樹木の抵抗評価に関する実験的検討

日本大学大学院 学生員 ○藤井 誠

日本大学工学部 正 員 長林 久夫

1. はじめに

河道内には多くの草木が繁茂しており貴重な自然環境を形成している。一方、出水時には河道内樹木や河畔林による土砂の捕捉効果や流体力の軽減による堤防保護の役割を有する反面樹木そのものの抗力が水位上昇に関与することもあり、河道内樹木の計画的な管理が必要とされる。そこで平成10年8月の集中豪雨後の阿武隈川において樹木調査を実施し、樹木の基本分布を想定した模型実験を行い抗力特性について検討した。検討には円柱に関する二次元モデルのPetrykの式を適用し、主流流速から樹木分布に対する後流域の計算手法について検討した。

2. 現地調査及び実験概要

阿武隈川における樹木調査¹⁾で出水時に抵抗として作用した樹木はニセアカシアとヤナギであり、ニセアカシアは下葉高（葉より下の幹の部分）まで水没し円柱と同様な抵抗特性、ヤナギは樹幹長まで水没し枝・葉が大きな抵抗特性となることが分かった。そこで、ニセアカシアは塩化ビニール製の円柱パイプで模擬し、ヤナギは図1に示すようにOHPシートを取り付け枝・葉による揺動を再現した。円柱の直径はニセアカシアの樹林帯密度²⁾0.005: $\lambda = \pi d^2 / 2S^2$ (直径d、樹木間隔Sで河床単位体積に占める樹木の断面積の割合)を参考に0.8cmと決め、ヤナギ模型もヤナギの $\lambda = 0.008$ (近い間隔)と0.002 (離れた間隔)から0.8cmと決めた。模型の配列は現地の樹木分布を参考にして図2に示す配置を基本分布と置いた。実験は全長14m、幅40cmの長方形開水路を用いて水路勾配1/1000、水深6cmの等流で行った。流速の測定は流下距離X=4.8, 12, 16, 20cm、横断方向Z=±2.4, 6.8, 10cm、Y=5mm間隔で計測した。抗力係数の評価には抗力計を用いて直接流体力を測定した。表1に実験水理諸量を示す。

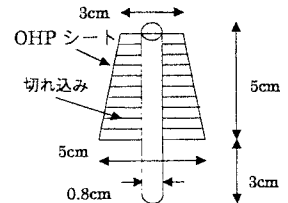
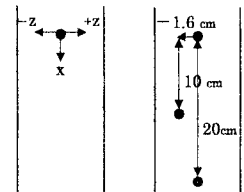
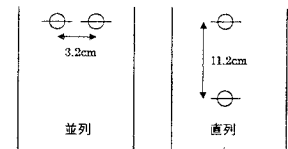


図1 ヤナギ模型



円柱実験



模型実験

図2 実験概要図

3. 結果及び検討

円柱に関する検討にはLi.R.M & Shen.W³⁾のものがあり、その後流域に対してPetrykによる式(1)が適用できることを示している。

$$\left. \begin{aligned} u &= \frac{u_{\max}}{2} \left[1 + \cos\left(\frac{\pi z}{2b_{1/2}}\right) \right] \quad \frac{2b_{1/2}}{C_d d} = 0.48 \left(\frac{x}{C_d d}\right)^{0.59} \\ \frac{u_{\max}}{U_0} &= -0.9 \left(\frac{x}{C_d d}\right)^{-0.7} \left(\frac{1}{1 + \frac{2gS_0}{U_0^2}}\right)^{1/2} \end{aligned} \right\} (1)$$

ここでu:減衰流速、 $u_{\max}$:水深方向に平均された後流域の中心部における最大減衰流速、 U_0 :主流流速、 C_d :抗力係数、d:円柱の直径、 $b_{1/2}$: $u=u_{\max}/2$ となる後流域幅、g:重力加速度、 S_0 :河床勾配である。図3に模式図を示す。 U_a は後流の影響が無くなる流速である。Petrykの式の適用目的は主流流速から樹木分布における全体的な抗力係数を用いて後流域の流速分布を求めるためである。そこでまず円柱1本の抗力係数について検討した。抗力計で直接流体力を測定して一般式 $D=C_d S \rho U^2/2$ から C_d を算出し、Petrykの式から C_d を計算して比較検討した。ここで、D:物体に

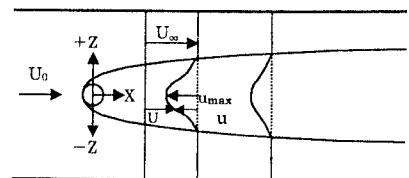


図3 流速分布の模式図

表1 実験水理諸量

case	水深 h(cm)	流量 Q(cm ³ /s)	平均流速 v(cm/s)	フルード数 Fr=v/(gh) ^{1/4}	レイノルズ数 Re=vh/ν	レイノルズ数 Re=vd/ν
円柱1本	5.99	11600	48.21	0.629	2.89×10^4	3.86×10^3
円柱3本	6.02	11800	49.04	0.639	2.95×10^4	3.92×10^3
一本	6.02	10160	42.18	0.549	2.67×10^4	3.55×10^3
並列	6.02	10200	42.32	0.551	2.68×10^4	3.56×10^3
直列	6.01	10400	41.80	0.545	2.64×10^4	3.52×10^3

働く抗力、 S ：射影面積、 ρ ：水の密度である。主流流速は C_d に大きく影響を与えるので取り方について検討する必要がある。そこで理想的な主流流速の提案として、

表2 抗力計による測定結果と抗力係数の計算

case	測定抗力 D (gf)	射影面積 S (cm ²)	中央側線		正規化±Z6以上		正規化	
			流速 U_0 (cm/s)	抗力係数 C_d	流速 U_∞ (cm/s)	抗力係数 C_d	流速 U_∞ (cm/s)	抗力係数 C_d
円柱1本	4.03	4.8	38.93	1.21	34.38	1.39	35.47	1.31
模型1本	17.74	15.6	39.25	1.45	35.49	1.77	36.67	1.66

1) 中央側線流速：円柱上流側の横断方向±Z0における実測値の流速、2) 正規化流速±Z6以上：横断方向±Z6以上の流速を U_∞ と置き流下距離で平均して横断方向にも平均した値、3) 正規化流速：横断方向±Z6 以上の実測値の流速から−Z5〜+Z5の流速を推定し±Z0における流速の3つを定義した。計算に最適な主流流速を提案するため、最大減衰流速について実測値と計算値から比較した。表2に示す抗力測定結果を示す。これらの検討から、図4に示す正規化流速を取るのが最適であり、円柱の抗力係数は1.3という結果が得られた。3本実験で1.3を樹木分布の平均抗力係数と置けるか検討した。1本目の主流流速を基本分布の主流流速と置き、減衰流速の重ね合わせを行い実測と計算値の比較検討を図5に示す。両者はほぼ一致し、ニセアカシアを想定した基本分布にLi.R.M & Shen.Wの検討が適用できることが示せた。

ヤナギ模型の後流域の計算に Petryk の式が適用できるか検討した。ここでの問題は射影面積と直径の取り方である。模型を水深6cmの円柱に置き換えると $d=2.6\text{cm}$ となる。そこで正規化流速を用いて抗力係数を評価したところ、表2に示す抗力測定結果1.66と図6に示す最大減衰流速の実測値と計算値の比較から一致しない結果が得られ、ヤナギ模型に式(1)を適用するためには式の修正が必要であることが分かった。そこで、正規化流速と抗力係数1.6を用いて式を修正したところ、

$$\left. \begin{aligned} \frac{u_{\max}}{U_0} &= -1.4 \left(\frac{x}{C_d d} \right)^{-0.7} \left(\frac{1}{1 + \frac{2g x S_0}{U_0^2}} \right)^{3/2} & \frac{2b_{1/2}}{C_d d} &= 0.9 \left(\frac{x}{C_d d} \right)^{0.59} \end{aligned} \right\} (2)$$

式(2)の修正式が得られた。図7に示す修正式を用いた減衰流速について計算値と実測値を比較した結果、ほぼ一致することが示せた。

4. おわりに

今回の検討では、円柱に関する Petryk の式を用いてニセアカシアの樹木分布における後流域の計算ができ、修正式からヤナギについても計算できることが示せた。今後はヤナギの基本分布について検討していく予定である。

<参考文献>

- 1) 藤井誠, 長林久夫：平成10年8月末の集中豪雨後の阿武隈川における河道内樹木調査, 東北地域災害科学研究第35巻, pp167～pp171, 1999年3月
- 2) 橋本晴行：樹林帯における掃流土砂量と河床変動に関する研究, 第50回年次学術講演概要集第2部, pp580～pp581, 1998年10月
- 3) Ruh-Ming Li and Hsieh W. Shen MASCE: Effect of Tall Vegetation on Flow and Sediment, JOURNAL OF THE HYDRAULICS DIVISION, pp793～pp814, MAY 1973

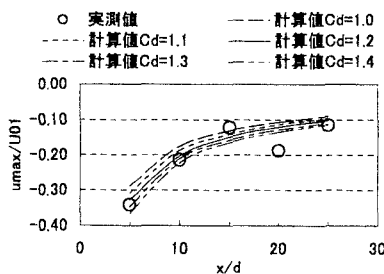


図4 円柱1本における抗力係数の評価

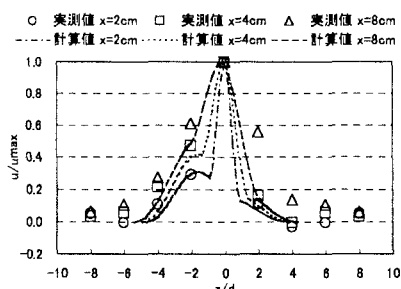


図5 3本目における減衰流速の比較

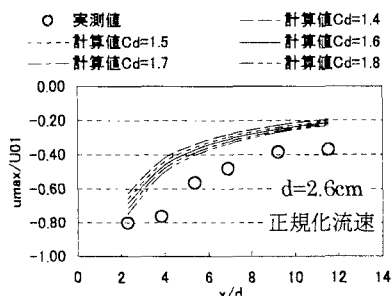


図6 ヤナギ模型における抗力係数の評価

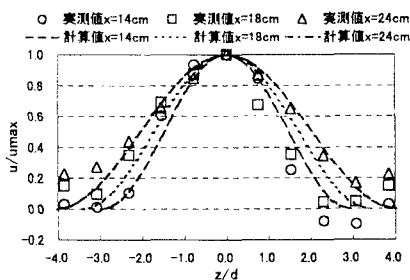


図7 模型1本における減衰流速の比較