

開水路流れ中の角柱に作用する流体力の直接計測

広島大学

学生会員 石川大起

広島大学大学院工学研究科 フェロー会員 河原能久

広島大学大学院工学研究科 正会員 椿 涼太

1. はじめに

河道内には、豊かな水とともに多様な生態系が生まれ、河川環境に適した樹木群が繁茂している場合が多い。河川整備では、生態系や景観の保全のような環境面での利点を活かしつつ、流体抵抗を最小限にするような樹木管理の手法の確立が求められている。このために流れと樹木群の相互作用を明らかにすることが求められている。

本研究では、流れが樹木に及ぼす流体力に関する基礎的な実験を行った。開水路内に樹木群のモデルとして正方形断面の角柱列を並べ、個別の角柱に作用する流体力を直接計測した。特に、角柱群の配列を系統的に変化させ、前方や側方の角柱が個別の角柱に作用する流体力に及ぼす影響を実験的に把握することを試みた。

2. 実験概要

水路長 $L=2400\text{cm}$ 、幅 $B=80\text{cm}$ 、水路勾配 $1/350$ の単断面直線開水路内に樹木モデルを設置した。樹木モデルは一辺 $D=5\text{cm}$ 、高さ 30cm の正角柱である。実際の河川の樹木周りの流れでは、枝や表面の粗度の影響により剥離点が固定されることがわかっており、本実験では Reynolds 数により剥離点が変わる円柱ではなく、剥離点が固定される角柱を使用した。流量はすべての実験において 60 L/s である。

測定項目は角柱に作用する流体力、流速、水深である。流体力の測定には三分力計（日章電機）、流速の計測には I 型電磁流速計（KENEK 社）を用いた。図-1 に示すように、水路中央に三分力計を取り付けた角柱を固定し、表-1 に示すように、角柱の上流側に設置した同寸法の角柱の本数、配置を変化させた。そして、水路中央の角柱の抗力を計測し、まわりの角柱による影響を明らかにした。流れ方向、横断方向の角柱中心間隔をそれぞれ X 、 Y とする。実験結果では、それぞれのケースで計測した抗力を F_x とし、単独に置かれた場合に作用する流体力 F として、 F_x/F について検討した。Case-A では、角柱 1 本を水路中心軸

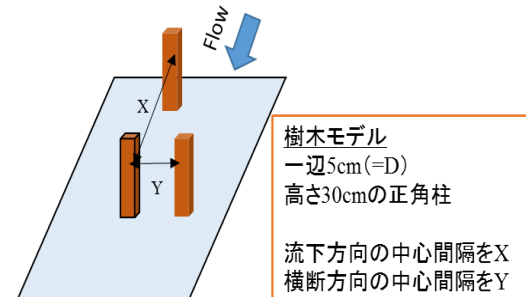


図-1 実験の概要

表-1 実験条件

	流量 (L/s)	角柱 本数	配置の 変化
Case-A	60.0	2	縦断方向
Case-B		2	縦断, 横断方向
Case-C		3	縦断方向

上で移動 (X のみを変化) させた。また、Case-B では、 X 、 Y を変化させた。Case-C では上流側の角柱を 2 本とし、3 本の角柱が水路中心線上で一列で等間隔に並ぶようにした。

3. 実験結果と考察

下流側の角柱に衝突する流速と上流の角柱から放出される渦が下流の角柱にどのように衝突するかが下流側の角柱に作用する抗力に大きく影響する。

3.1 単独の角柱のケース

水路中央に角柱を単独に設置して抗力を計測した。その結果、抗力係数 $C_d=2.13$ となり、秋山ら¹⁾の B/D （水路幅/投影幅）と抗力係数 C_d の関係に関する研究により得られている $C_d=2.12$ とほぼ一致した。

3.2 角柱が流れ方向に 1 列で並ぶケース

Case-A と Case-C の実験結果を図-2 に示す。

Case-A では、水路中心軸上に 2 本設置した場合の

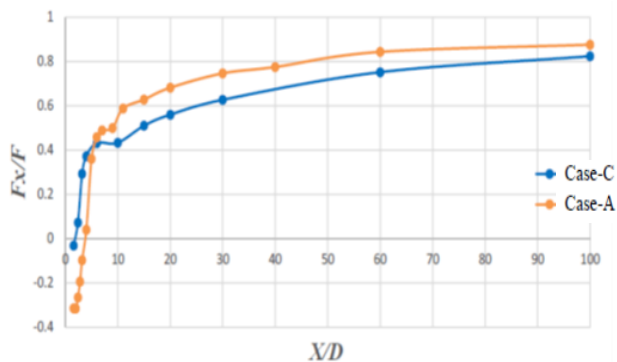


図-2 角柱間の距離が抗力に及ぼす影響

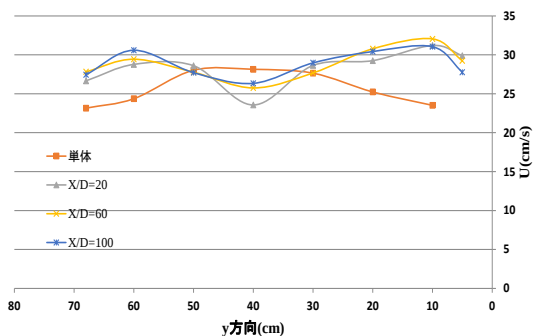


図-3 角柱背後での横断方向の主流速分布
(Case-A)

前方の角柱の影響を検討した。間隔の狭い $X/D < 4$ では、角柱背後の渦の形成により、逆流が発生し、角柱背面に作用する全水圧が増加したため、抗力は上流側に働いている。また、間隔 X/D が広くなるにつれ、 F_x/F は増加し、約 0.9 に漸近している。これは図-3 に示すように、下流側の角柱への接近流速が回復しないためである。

Case-C では水路中心軸上に 3 本の角柱が存在する。2 本の角柱の場合と比較すると、抗力の示す全体的な傾向は同様である。しかし、漸近値が 0.8 程度と低下していること、抗力が上流側に向く X/D の範囲が狭いこと、 X/D が 4~10 程度で変化しない領域が顕在化することに違いが認められる。

3.3 角柱が縦断・横断方向に変化するケース

Case-B で得られた抗力の実験結果を図-4 に示す。Case-A と同様に、水路中心軸付近に設置した場合、後方の角柱は後流域にあるため、 $F_x/F \leq 1$ という結果となっている。中心軸から離れた位置に設置した場合、 F_x/F が 1 を超えている。図-3 に示す Case-A の角柱背後での流速分布からもわかるように、前方に角柱が存在する場合、水路側壁側で流速が大きくなっている。これらの結果より、水路中心軸から離れた位置に設置

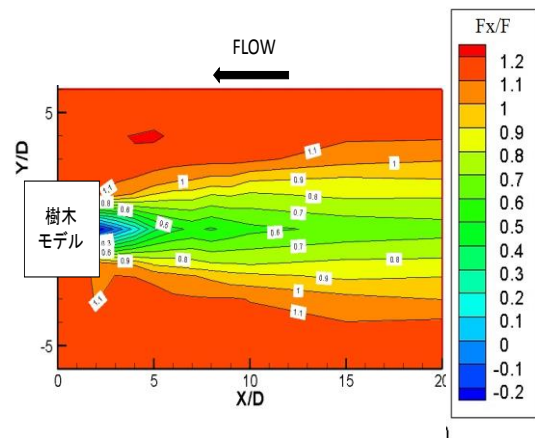


図-4 前方の角柱の位置と後方の角柱に作用する抗力の関係

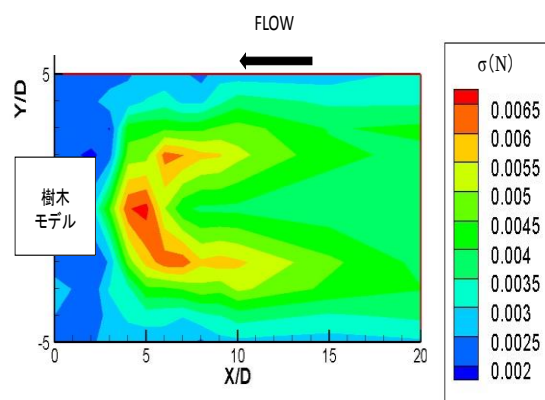


図-5 角柱配置と抗力の変動の標準偏差

した場合、水路中央の角柱に単独に置かれた場合よりも流速の大きい流れが衝突するため、 $F_x/F \geq 1$ を示していると考えられる。

抗力は時間とともに変動する。図-5 は角柱配置と抗力の変動の標準偏差（次元を有する表記）の関係を示している。 X/D が 4~8 程度場合では、前方の角柱から放出された剥離渦の影響により、抗力が大きく変動することがわかる。また、 X/D が大きくなっても抗力の変動はなかなか減少しないことが確認される。それぞれの実験結果より、形成される渦が作用する力

4. おわりに

今後、さらに多数の角柱群中の角柱に作用する流体力の分布を計測し、数値解析との比較を進める予定である。

参考文献

- 1) 秋山壽一郎ら：定常自由表面流中の正角柱に働く流体力，水工学論文集，第 46 回，pp. 827-832，2002