

# 定常・非定常流中の物体に作用する流体力の基礎的研究

## 1. 背景と目的

近年、河川を本来の川らしい川に再生し、個性ある地域づくりと豊かな生活環境を創出することを目的に、河川の再生事業が中小都市河川を対象に各地で計画あるいは実施されている。事業後の河川では多くの場合、住民の要望や環境・景観面の配慮から、植生護岸、飛び石や巨石などのモノが比較的短い区間に空間的に配置され、河道内の流れに大きく影響を及ぼす(図-1)。また、洪水氾濫時には家屋などの構造物が氾濫流の挙動に影響を及ぼす(図-2)。このように、河川再生事業後の河道内の流れや氾濫流の挙動を予測する上で、河道内の巨石や洪水氾濫時の家屋などの水没・非水没物体の流水抵抗を適切に評価できることが求められている。本研究では、数値シミュレーションモデルにおける巨石や家屋などの物体の評価方法を確立することを目的として、定常・非定常流中の物体の抵抗係数について調べている。



図-1 河川再生事業



図-2 洪水氾濫

## 2. 実験概要と結果

流体力の予測手法について以下を検討した。

1. 定常自由表面流中に置かれた非水没物体に働く流体力
2. 非定常自由表面流中に置かれた非水没物体に働く流体力
3. 定常自由表面流中に置かれた水没物体に働く流体力

実験には以下の装置を用いた。



可変勾配水路



2分力計



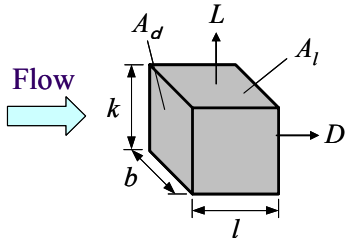
3分力計

<実験概要>

抗力係数、揚力係数の定義は以下の式であらわすことができる。

$$\text{抗力係数: } C_d = \frac{2D}{\rho A_d V_0^2} \quad \text{揚力係数: } C_l = \frac{2L}{\rho A_l V_0^2}$$

ここに、各パラメーターは次に示す通りである。



$D, L$  (N) : 抗力, 揚力  
 $\rho$  ( $\text{N} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$ ) : 水の密度  
 $A_d, A_l$  ( $\text{m}^2$ ) : 抗力, 揚力作用方向の投影面積 ( $=k \cdot b, l \cdot b$ )  
 $d$  (m) : 角柱の投影幅  
 $V_0$  (m/s) : 水路中心軸上の水深平均流速

1. 定常自由表面せん断流中に置かれた非水没状態の正角柱(図-3)の迎角  $\alpha$  と blockage-ratio  $B/d$  を系統的に変化させ、その抗力係数  $C_d$  値について検討した。

$D, L$  (N) : 抗力, 揚力

$\rho$  ( $\text{N} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$ ) : 水の密度

$A_d, A_l$  ( $\text{m}^2$ ) : 抗力, 揚力作用方向の投影面積 ( $=k \cdot b, l \cdot b$ )

$d$  (m) : 角柱の投影幅

$V_0$  (m/s) : 水路中心軸上の水深平均流速

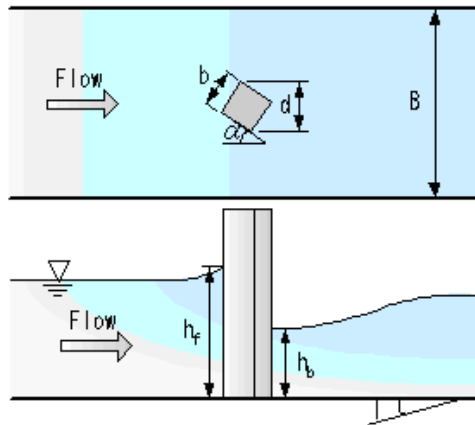


図-3 非水没状態の正角柱

2. 非定常自由表面流中に非水没物体を図-4 のように設置し、ゲートをほぼ瞬間的に開放することによるダム破壊流れを発生させ、抗力係数  $C_d$  値について検討した。水深  $h_f$  は図-5 に示すように、レーザー光を所定の位置に照射し、水路側面から CCD カメラで撮影した画像の解析より求めた。

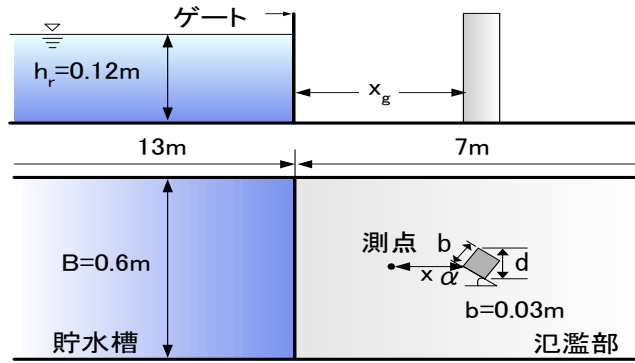


図-4 角柱の設置状況（非常非水没物体）

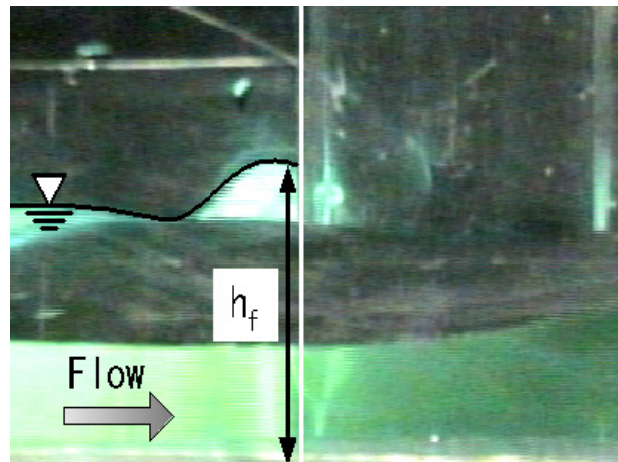


図-5 水深  $h_f$

3. 定常自由表面流中に水没状態の正角柱を図-6のように設置し、代表水深  $h_0$  と物体の高さ  $k$  の比で表される各相対水深比  $h_0/k$  ごとに、Reynolds 数  $Re_d$  および Froude 数  $F_r$  を系統的に変化させ、水没柱状物体の抗力係数  $C_d$  および揚力係数  $C_l$  について検討した。

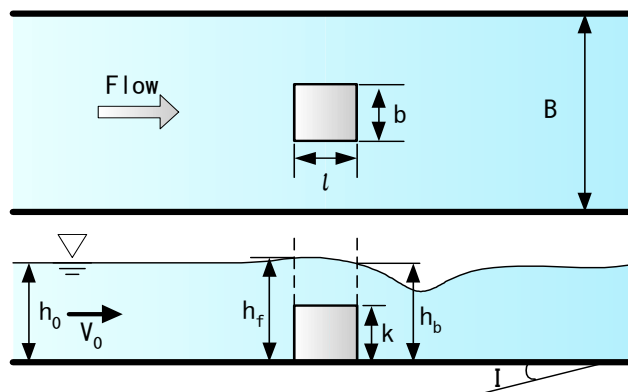


図-6 角柱の設置状況（定常非水没物体）

<結果>

1. 2. 3. の実験より以下の知見が得られている。

1. 図-7 の迎角  $\alpha$  を変化させたときの正角柱の抗力係数  $C_d$  値と  $B/d$  との関係より、blockage-ratio  $B/d \geq 14$  および  $Re_d \geq 2.0 \times 10^4$  の範囲では、正角柱の抗力係数  $C_d$  値が一定となることがわかった。

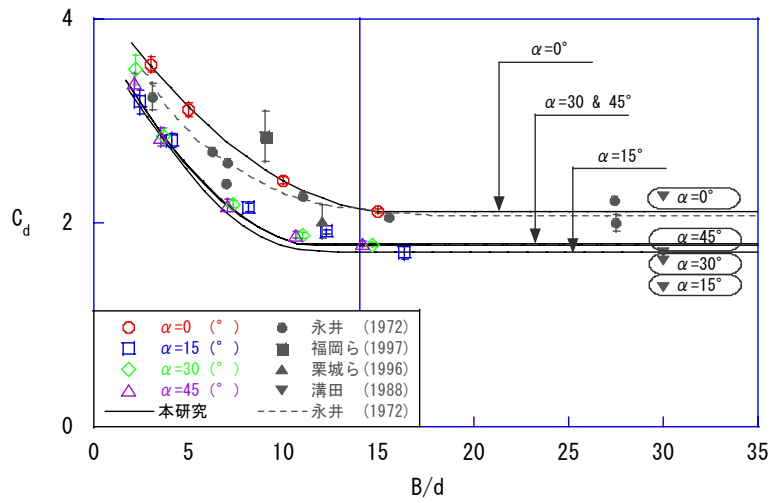


図-7 迎角  $\alpha$  を変化させたときの正角柱の  $C_d$  と  $B/d$  との関係

2. 図-8 のような角柱の設置位置での水面勾配  $dh/dx$  と各  $\alpha$  での抵抗係数  $C_d$  値を各  $\alpha$  での等流中の抵抗係数  $C_{ds}$  値で除した  $C_d/C_{ds}$  との関係が得られた。

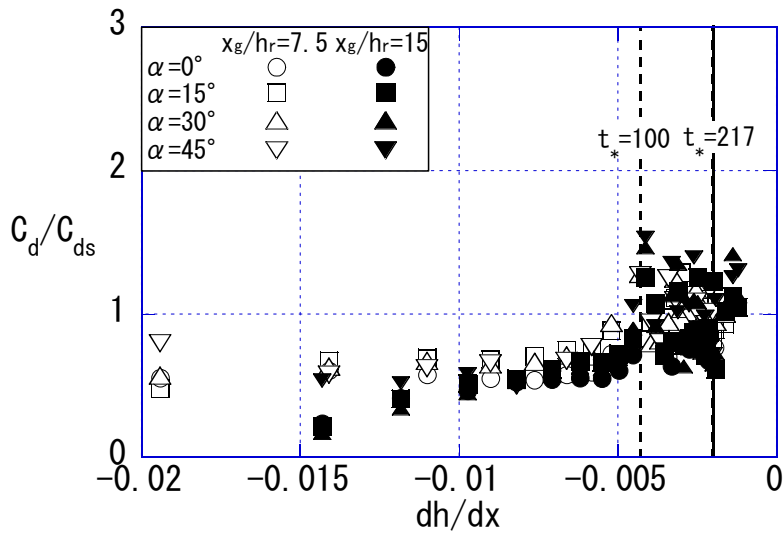


図-8  $C_d/C_{ds}$  と水面勾配  $dh/dx$  との関係

3. 図-9~11 の  $C_d$  値あるいは  $C_l$  値と  $Re_d$  数,  $F_r$  数,  $h_0/k$  との関係より,  $B/d \geq 14$  および  $Re_d = 1.0 \times 10^4 \sim 1.0 \times 10^6$  の範囲では, 正角柱の  $C_d$  値と  $C_l$  値は, 射流では若干のばらつきはあるものの平均的には一定となること, 常流では  $C_d$  値は  $h_0/k$  に依存し,  $h_0/k > 2.0$  で一定値となり,  $C_l$  値は自由表面の影響を受け大きく変動することがわかった。

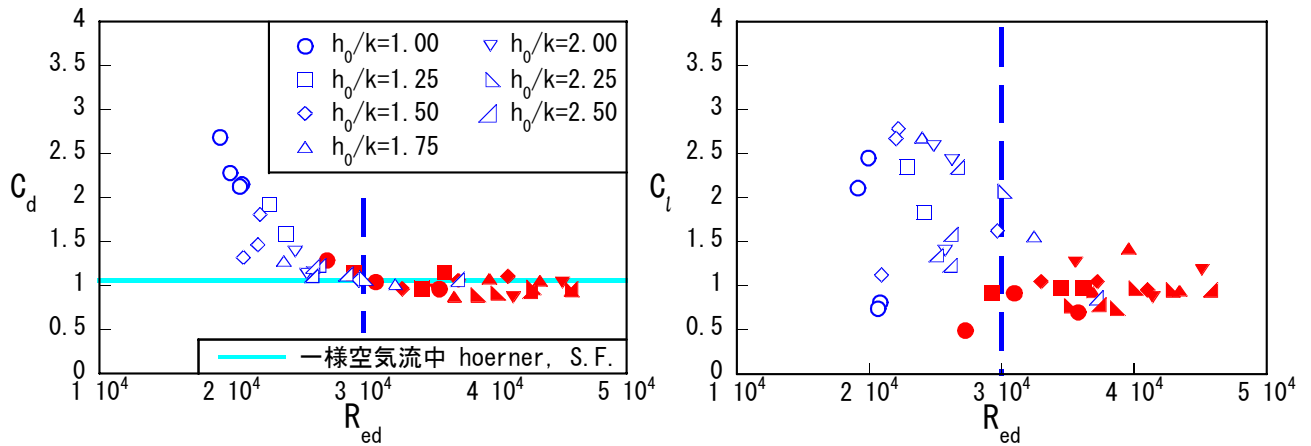


図-9  $C_d$ あるいは $C_l$ と $R_{ed}$ との関係

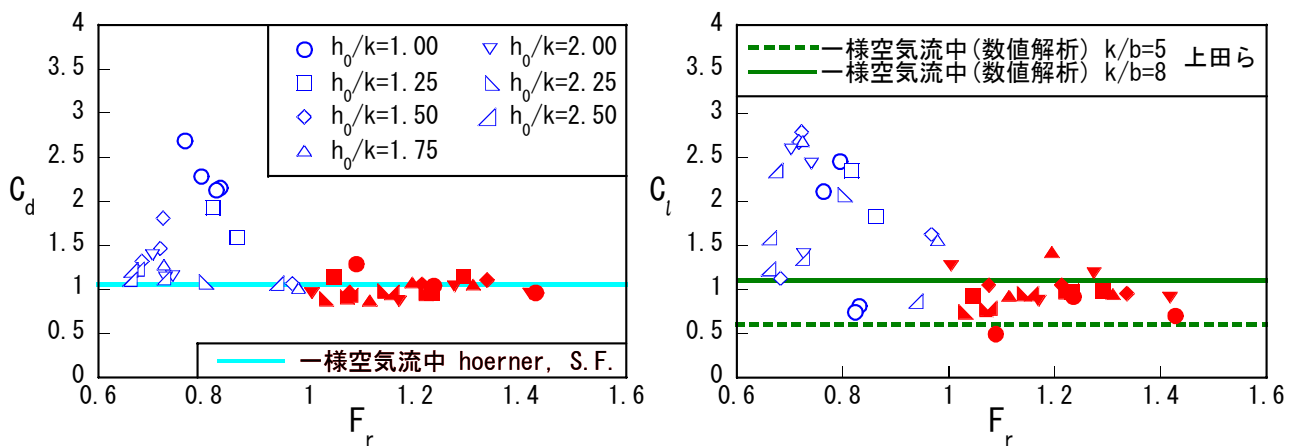


図-10  $C_d$ あるいは $C_l$ と $F_r$ との関係

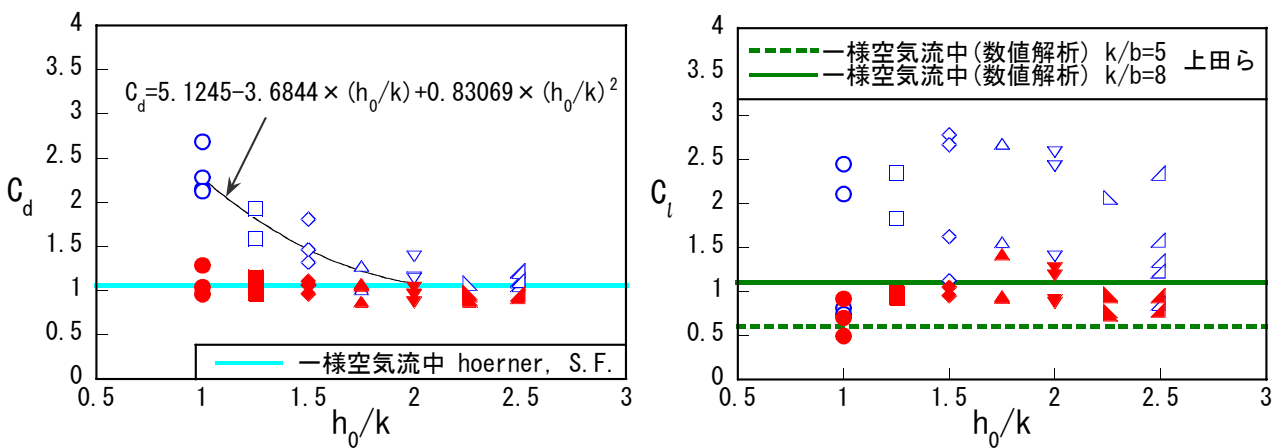


図-11  $C_d$ あるいは $C_l$ と $h_0/k$ との関係

以上の定常自由表面流中に置かれた水没・非水没状態の角柱に対して行った研究結果を踏まえると、非水没状態から相対水深比  $h_0/k$  が 2.5 までの水没・非水没状態の立方体の抵抗係数は図-12 のように求めることができる。ただし、Reynolds 数  $R_{ed}=1.0 \times 10^4 \sim 1.0 \times 10^6$  の場合、水路幅  $B$  と投影幅  $b$  の比  $B/b \geq 14$  の場合を満たす場合に限る。



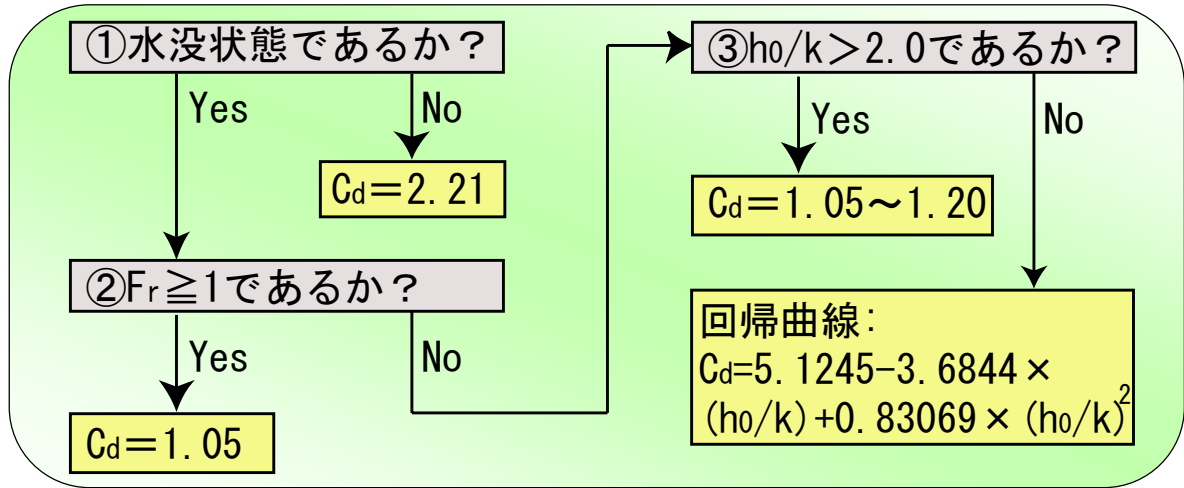


図-12 非水没状態から相対水深比 $h_0/k$ が2.5までの立方体の抵抗係数の設定方法

### 論文リスト

- 1) 重枝未玲, 秋山壽一郎, 石原仁: 常流あるいは射流中に置かれた水没柱状物体に働く流体力, 水工学論文集, 第50巻, pp.889-894, 2006.
- 2) 重枝未玲, 秋山壽一郎, 野中雅之, 浅野孝典: 定常自由表面流中の水没物体に働く流体力, 水工学論文集, 第48巻, pp.877-882, 2004.
- 3) 秋山壽一郎, 重枝未玲, 大田和正: 迎角をもってダム破壊流れ中に置かれた正角柱に作用する流体力, 水工学論文集, 第47巻, pp.799-804, 2003.
- 4) 秋山壽一郎, 重枝未玲, 浦 勝, 小林俊彦, 大田和正: 非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巻, pp.1205-1210, 2002.
- 5) 秋山壽一郎, 重枝未玲, 浦 勝, 小林俊彦, 大田和正: 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巻, pp.827-831, 2002.