

ダム破壊流れ中の正角柱に作用する流体力について

九州工業大学工学部 学生員 ○伊瀬知 栄人、正会員 秋山 壽一郎  
九州工業大学大学院 学生員 重枝 未玲、大田 和正

1. はじめに

本研究は、津波氾濫の被災例からも明らかなように、ダム破壊流れが構造物等に壊滅的な被害をもたらすことから、そこでの物体に作用する流体力を明らかにすることを目的としたものである。

2. 実験条件および方法

実験装置は、水路底面の粗度係数  $n=0.01$  で勾配  $I=1/1400$  の可変勾配水路(長さ  $L=20\text{m}$ , 幅  $B=0.6\text{m}$ )のゲートの上流側を初期水深  $h_f(=0.12\text{m})$  の貯水槽, 下流側を水の無いドライベッド状態としたものである。実験装置と角柱の設定条件および測定断面などをまとめて図-1 に示す。可動ゲートをほぼ瞬間的に引き上げることで、ドライベッド上のダム破壊流れを発生させた。なお、この設定条件では、貯水槽の上流端で反射した波がゲート下流の流れに影響しない無次元経過時間  $t_c(=t/(h_f/g)^{1/2})$  は約 217 である。ここに、 $g$ =重力加速度である。

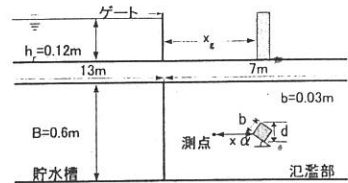


図-1 実験装置と重要な諸量

実験では、水路中に一辺の長さ  $b(=0.03\text{m})$  の正角柱を設置し、迎角  $\alpha(^{\circ})$  を 0, 15, 30 および 45 に変化させた。なお、 $\alpha=0^{\circ}$  の状態で blockage-ratio  $B/d$  が 20 の条件となっており、 $\alpha=45^{\circ}$  でも、等流中で抵抗係数が blockage-ratio の影響を受けない設定となっている<sup>1)</sup>。また、角柱の設置位置  $x_g$  は、 $x_g/h_f=7.5$  と 15 に変化させた。接近流速  $V$  は角柱前面から測って  $x/d=4, 8, 12$  および 16 の地点で、水深は角柱の前面(前面水深  $h_f$ )と後面(後面水深  $h_b$ )で測定した。接近流速  $V$  は実験で得られた水表面流速  $V_s$  に 0.90 を乗じ求めた<sup>2)</sup>。

測定方法は、 $h_f$  と  $h_b$  をレーザースリット光を用いた画像解析、 $V_s$  を直径 0.006m の多数の発泡スチロール球を用いた PTV 解析および抗力  $D$  を 2 分力計で計測した。なお、後述する実験時の振動数(図-5)をフーリエ解析した結果は 0.78Hz であり、2 分力計の固有振動数の 1/5 以内であり、測定時の固有振動数の影響は無視できると考えられる。

3. 実験結果

代表水深として角柱の前面水深  $h_f$  を用いた抵抗係数  $C_d$  は、式(1)で定義される。等流の場合とは異なり、非定常流では接近流速  $V$  が時間的に変化する。そのような観点から、 $x_g/h_f=15$  の場合の  $\alpha=0^{\circ}$  での  $V$  の時系列について調べたものが、図-2 である。これより、測定位置とは無関係に、 $V$  は同様な傾向を示し、 $t_c=100$  を境にして挙動が変化し、 $t_c$  が約 100 以下では減衰するが、それ以上ではほぼ一定となることがわかる。測定位置に着目すると、 $t_c \leq 100$  では測定位置とはほぼ無関係に  $V$  は同様な傾向を示すが、 $t_c=100 \sim 217$  では、 $x/d=8$  で最も流速変動が小さくなることが認められた。なお、 $x_g/h_f=7.5$  の場合も、 $t_c=100$  を境とした  $V$  の全体的な傾向は同じであり、 $x/d=8$  で流速変動が最も弱い点も同様であった。これより、 $V_{x/d=8}$  が接近流速として最適であると考えられるので、以下の議論ではこの接近流速を用いる。

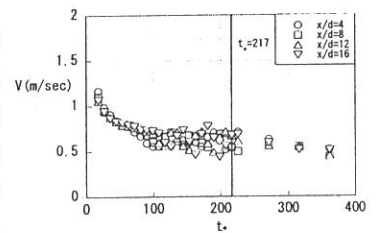


図-2 異なった位置での接近流速  $V$  の時系列 ( $\alpha=0^{\circ}$ )

図-3 と図-4 は、それぞれ  $x_g/h_f=15$  の場合の角柱の前面水深  $h_f$  と後面水深  $h_b$  の時系列を示したものである。 $h_f$  は  $t_c$  の増加とともに僅かに減少する傾向があるが、ほぼ一定値を取る。一方、 $h_b$  は  $t_c=80 \sim 100$  を境にして挙動が変化し、 $t_c$  が約 80 以下では増加するが、それ以上ではほぼ一定となることがわかる。図-5 は、 $x_g/h_f=15$  における各  $\alpha$  での抗力  $D$  の時系列を示したものである。全体的に  $t_c$  の増加とともに若干減少する傾向と明確な  $\alpha$  の影響が認められる。

角柱の前面と後面の圧力差  $\Delta P$  は、静水圧分布が成立すると仮定すると、式(2)ようになる。等流中の正角柱の抗力  $D$  は、 $\Delta P$  とよく一致することがわかっている<sup>1)</sup>。式(1)と式(2)より、 $C_d$  は式(3)のようになる。ここで、 $\rho$ =水の密度、 $A$ =角柱の投影面積(=d $h_f$ )、 $d$ =角柱の投影幅、 $F_r$ =角柱の前面水深に基づく Froude 数(= $V/(gh_f)^{1/2}$ )、 $\Delta h$ =角柱前面と後面の水深差(= $h_f-h_b$ ) および  $g$ =重力加速度である。

$$C_d = \frac{2D}{\rho V^2 A} \quad (1)$$

$$D \approx \Delta P = \frac{\rho g (h_f^2 - h_b^2) d}{2} \quad (2)$$

$$C_d = F_r^{-2} \left( \frac{\Delta h}{d} \right) \left( \frac{d}{h_f} \right) \left[ 2 - \left( \frac{\Delta h}{d} \right) \left( \frac{d}{h_f} \right) \right] \quad (3)$$

$$\frac{dh}{dx} = - \left( \frac{2}{9t_*} \right) \left[ 2 - \left( \frac{x_g}{h_r} \right) \left( \frac{1}{t_*} \right) \right] \quad (4)$$

等流中では、式(3)の左辺を右辺で除したパラメータ  $\phi (=C_d F_r^2 / (\Delta h/d)(d/h_f)[2 - (\Delta h/d)(d/h_f)])$  は、1.0 に近い値を取らなければならない。しかし、静水圧分布の仮定が成立しない場合はそうはならない。図-6 は、 $x_g/h_r=7.5$  と 15 における各  $\alpha$  での  $\phi$  と  $\Delta h/d$  との関係をプロットしたものである。これから明らかなように、いずれの位置でも  $\Delta h/d > 1.7$  では  $\phi < 1.0$ 、それ以下の  $\Delta h/d$  では  $\phi \approx 1.0$  となっており、 $\Delta h/d$  が小さくなると各  $\alpha$  に応じて  $\phi=1.0$  に漸近していくことがわかる。これは、 $\Delta h/d < 1.7$  では静水圧分布の仮定が成立していることを示唆している。等流中での  $\Delta h/d$  を  $\Delta h/d|_S$  と表示すると、 $\Delta h/d|_S$  は各  $\alpha$  に応じた一定値を取る<sup>1)</sup>。非定常流中の  $\Delta h/d$  と  $\Delta h/d|_S$  との差  $(\Delta h/d)^*$  (=  $\Delta h/d - \Delta h/d|_S$ ) が流れの非定常性に起因した角柱前後面での無次元余剰水深差となる。そこで、 $x_g/h_r=7.5$  と 15 における  $(\Delta h/d)^*$  と Ritter 解から得られる角柱の設置位置での水面勾配  $dh/dx$  との関係について調べたものが図-7 である。ここで、図中の実線は  $t_* \approx 217$ 、破線は  $t_* \approx 100$  である。これより、 $(\Delta h/d)^*$  と  $dh/dx$  との間には強い相関があることが明確に認められる。Ritter 解を微分すると式(4)の関係が得られる。このように、1 次元ダム破壊流れの局所的な  $dh/dx$  は  $t_*$  と  $x/h_r$  に依存するので、 $t_*$  が同じであっても  $x_g/h_r$  が異なると  $dh/dx$  は異なってくる。図-8 は、 $x_g/h_r=7.5$  と 15 における  $C_d/C_{dS}$  と  $dh/dx$  との関係について調べたものである。これより、 $x_g/h_r$  に対する依存性が認められ、 $C_d/C_{dS}$  は全体的に 1.0 より小さな値を取り、 $|dh/dx|$  の減少とともに 1.0 に漸近することがわかる。

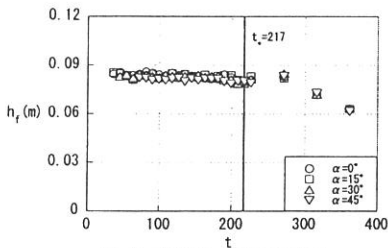


図-3 各迎角  $\alpha$  での角柱の前面水深  $h_f$  の時系列

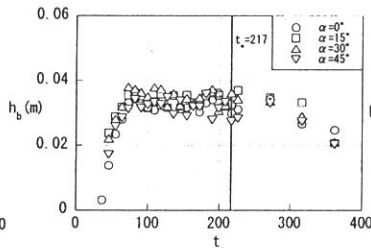


図-4 各迎角  $\alpha$  での角柱の後面水深  $h_b$  の時系列

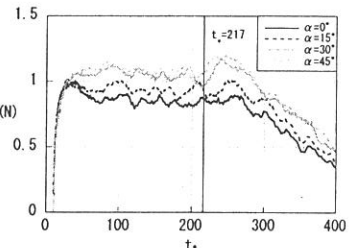


図-5 各迎角  $\alpha$  での抗力  $D$  の時系列

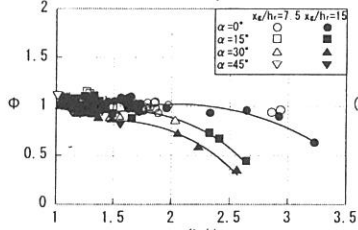


図-6 各迎角  $\alpha$  での  $\phi$  と  $\Delta h/d$  との関係

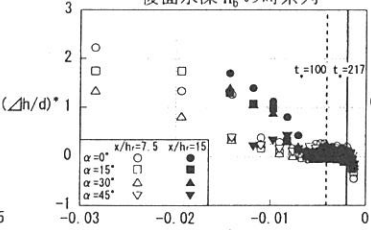


図-7  $(\Delta h/d)^*$  と水面勾配  $dh/dx$  との関係

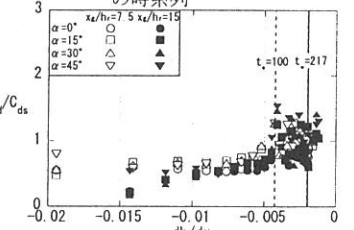


図-8  $C_d/C_{dS}$  と水面勾配  $dh/dx$  との関係

#### 4. まとめ

1 次元ダム破壊流れ中の正角柱の  $C_d$  値は等流中のものより小さい値を取り、その値は Ritter 解から得られる角柱の設置位置での  $dh/dx$  に依存する。ただし、一般的に非定常流の  $dh/dx$  は時空間的に変化するため、1 次元ダム破壊流れ中の  $C_d$  値は  $x_g/h_r$  の値によって変化する。本研究では測定位置が  $x_g/h_r=7.5$  と 15 の 2 点に限定されているが、この 2 点の結果よりこれら以外の点でのおおよその  $C_d$  値を推定することは可能である。

参考文献：

- 1) 秋山壽一郎：水工学論文集，第 46 巻，pp.827-831，2002。 2) 秋山壽一郎：水工学論文集，第 46 巻，pp.1205-1210，2002。