

非定常自由表面流中の正角柱に働く流体力に関する実験的研究

九州工業大学大学院 学生員 ○大田 和正, 重枝 未玲, 小林 俊彦
九州工業大学工学部 正員 秋山 壽一郎

1. はじめに

効果的な氾濫原管理を行うためには、氾濫危険区域における家屋の危険度評価がこれまでも増して重要になると考えられる。このような観点から、著者らは氾濫流が家屋に及ぼす外力までも評価できる市街地氾濫流シミュレーションモデルの構築を行っている。このためには、非定常流中における物体や物体群がどのような流体力や衝撃力を受けているのかを十分に把握する必要があるが、これについてはほとんどわかっていないのが実状である。本研究は、以上のような背景を踏まえ、非定常性の強い自由表面流中における非水没状態の角柱に働く流体力や抵抗係数を明らかにすることを目的として実施したものである。

2. 実験条件および方法

非定常自由表面流としては、ダムや堤防の決壊による洪水氾濫あるいは津波氾濫を想定し、非定常性の強いダム破壊流れを採用した。

実験装置は、図-1に示すような、上流側から6.5mの位置に幅0.6mの可動ゲートを設置した水平水路(長さ $L=20.0$ m, 幅 $B=0.6$ m)である。ゲートの上流側(貯水槽)には水深0.07mの水が貯えられており、下流側(氾濫部)は水の無いドライベッド状態である。開放時間0.033秒以内で可動ゲートをほぼ瞬間的に引き上げることで、氾濫部にドライベッド上のダム破壊流れを発生させた。

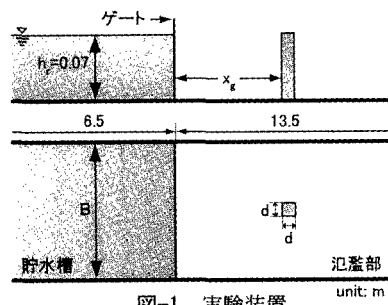


図-1 実験装置

実験条件は、氾濫原に角柱が設置されていない状態(Case0)と設置された状態(Case1~3)について実施した。角柱が設置された場合では、図-1に示すようにゲートから正角柱(幅 $d=0.06$ m)までの距離 x_g を1.0m(Case1)、1.65m(Case2)および2.0m(Case3)の3通りに変化させた。なお、角柱は水深より高い非水没状態であり、迎角 $\alpha=0^\circ$ およびblockage-ratio $B/d=10$ の一定値に設定してある。

表面流速 V_s 、水深平均流速 V 、水深 h および抗力 D を算定するための計測をそれぞれ以下の要領で行った。表面流速 V_s は直径0.006mの多数の発泡スチロール球を投入し、CCDカメラで水路上部から撮影した画像をPTVで解析して求めた。また、水深方向の流速 u はレーザー光を所定の位置に照射し直径 $200\mu\text{m}$ の粒子を可視化し、CCDカメラで水路側面から撮影した画像をPTVで解析して求めた。なお、流速の測定は水路の中心軸上の測定位置の角柱を取り除いた中心地点で行った。さらに、水深 h はレーザー光を所定の位置(Case0:角柱を除いた中心地点, Case1~3:角柱の前面)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。その際、水表面を明瞭に識別できるようにウランで水を着色した。抗力 D は2分力計を用いて算定した。各測定はそれぞれ同一条件下で最低5回行いデータの信頼性を高めた。

3. 実験結果

図-2は、角柱の前面水深 h_f 、水深平均流速 V 、抗力 D および抵抗係数 C_d の時系列を示したものである。ここに、 $t_0=(l/(h_0/g))^{1/2}$ =無次元経過時間、 $C_d=2D/(\rho V^2 A)$ 、 ρ =水の密度および A =角柱の投影面積($=dh_f$)である。なお、代表流速としては角柱が設置された測点でのCase0の水深平均流速 V を用いている。同図より、測定位置とは無関係に衝突直後から $t_0 \approx 180$ までの区間では、 h_f がほぼ一定値を取ること、 V は t_0 の増加とともに減少すること、 D は t_0 の増加とともに若干減少すること、 C_d は t_0 の増加とともに徐々に増加すること、などがわかる。加えて、変動は見られるものの、全体的に D と C_d はCase1→2→3の順に小さくなっていることが見て取れる。また、図-2aから明らかなように、 $t_0 \geq 177$ での諸量 h は計測しておらず、それ以降の傾向は不明である。これは、本研究が非定常性の強い状態での流体力の推定を目的としているためである。

図-3 は、抵抗係数值 C_d を開水路等流での抵抗係数 ($C_{ds} \approx 2.41$)¹⁾ で正規化した抵抗係数比 C_d/C_{ds} の時系列を示したものである。この C_{ds} の値としては B/d の影響を考慮して、 $B/d=10$ の値を採用している。同図より、貯水槽の上流端で反射した波が影響しない $t_s \approx 177$ までの間では、 C_d/C_{ds} は t_s の増加とともに $t_s \approx 70$ までは急激に増加するが、その後は緩やかに増加し、 $C_d/C_{ds} \approx 0.5$ 程度の値となっていることがわかる。

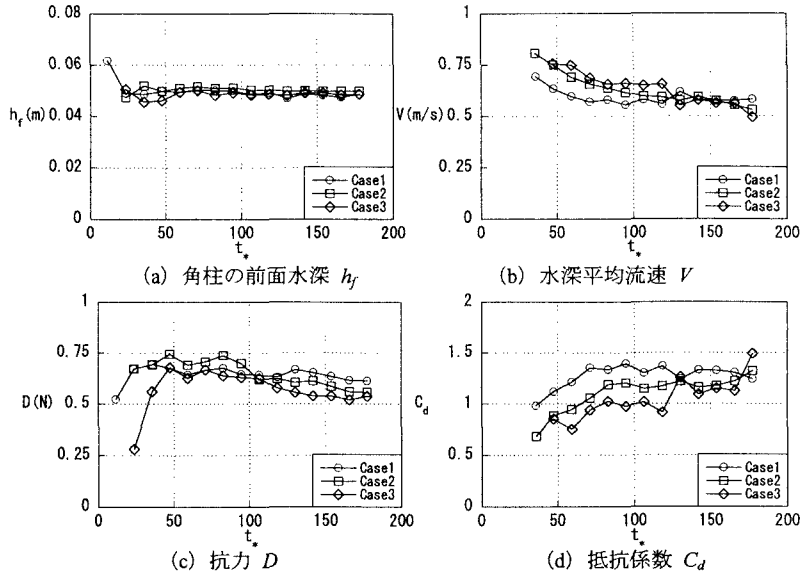


図-2 各特性量の時系列

抵抗係数比 C_d/C_{ds} の傾向については、無次元経過時間 t_s の関係よりも、流れの状態を表すパラメータも含めた関係として捉えた方が好ましいと考えられる。そこで、 C_d/C_{ds} と流れの状態を表すパラメータ $\Phi (=F_r^{-2}(\Delta h/d)[(d/h_f)(2 - (\Delta h/d)(d/h_f))]/C_{ds})$ との関係について調べたものが図-4 である。ここに、 F_r は角柱の前面水深に基づく Froude 数 ($=V/(gh_f)^{1/2}$)、 $\Delta h = h_f - h_b$ および h_b は角柱の後面水深である。 Φ は角柱の前後面で静水圧分布が成立すると仮定した圧力差から得られる関係を C_{ds} で除したものである。図-2a で h_f がほぼ 0.049 の一定値を取ることを勘案すると、 Φ は F_r と非定常性を表すパラメータ $\Delta h/d$ に依存している。同図で示された矢印は、 t_s が増加する方向を示している。また、図中の実線は、静水圧分布から得られる関係である。これより、 t_s の増加とともに Φ が増加すること、 C_d/C_{ds} は Φ でほぼ表すことができるが、 Φ が大きくなると若干のずれが生じることがわかる。ただし、非定常流中での角柱後面の流況は極めて複雑であり、本研究で得られた h_b の精度には検討の余地が残されている。このため、 $\Delta h/d$ の値が必ずしも適正に評価できていない可能性は残っている。このずれの原因については測定方法も含めて今後の課題である。

4. 結論

ダム破壊流れ中の角柱の抵抗係数 C_d は、 t_s の増加とともに $t_s \approx 70$ ($t_s \approx 5.9$ s) までは急激に増加し、その後は緩やかに増加し長時間にわたって等流の場合の約半分程度の値を取ると推察される。このように、等流に比して抵抗係数が小さくなる理由は不明であり、今後の課題である。

抵抗係数比 C_d/C_{ds} と流れの状態を表すパラメータ Φ との関係は、 t_s の増加とともに Φ が増加し、 C_d/C_{ds} は Φ でほぼ表すことができる。ただし、 Φ が大きくなると若干のずれが生じる。このずれの原因についても測定方法も含めて今後の課題である。

参考文献 1) 秋山壽一郎ら：水工学論文集，第 46 巻，2002。

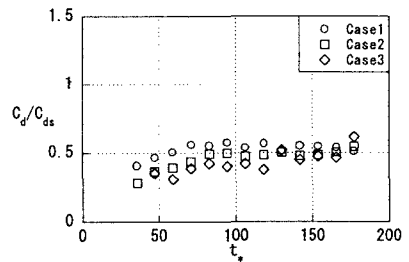


図-3 抵抗係数 C_d/C_{ds}

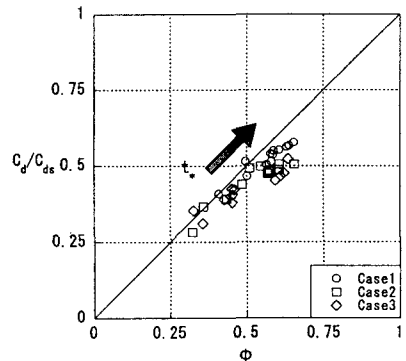


図-4 抵抗係数比 C_d/C_{ds} と流れの状態を表すパラメータ Φ との関係