

非定常性の強い開水路中での杭群に働く抗力

九州工業大学大学院 学生員 ○有田 由高

九州工業大学工学部 正 員 秋山 壽一郎、浦 勝 非会員 坂井 崇介

1. はじめに

著者らは、現在、高精度氾濫シミュレーションモデルの構築に取り組んでいるが、そのための一つの要素として、非定常状態における樹林帯、透過性水制、家屋などの物体に働く流体力を知る必要がある。本研究は、そのような目的で杭群を設置した水路内でダム破壊流れを発生させ、その流体力について実験的に調べたものである。

2. 実験装置及び方法

非定常ならびに定常状態について、抗力 D 、水深 h および流速 V に関する計測をそれぞれ以下の要領で行った。

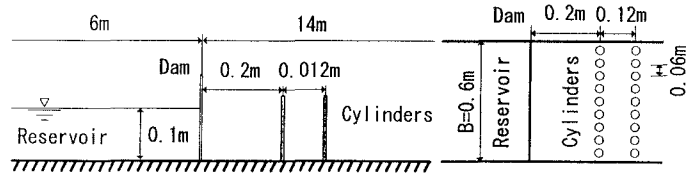


図1 実験装置(左:側面図、右:平面図)

(i)非定常状態: 実験装置は、上流側から 6m の位置に幅 0.6m の仕切りゲートを設置した可変勾配水路(長さ 20.5m、幅 0.6m)である(図1)。開放時間 0.025 秒で仕切りゲートをほぼ瞬間的に引き上げることでダム破壊流れを発生させた。ゲートの上流側は水深 0.1m の貯水槽で、下流側はゲートから 0.2m 下流側よりアクリル製の円柱(直径 $d=0.01\text{m}$ 、長さ $l=0.2\text{m}$)を図1のように設置・配列した水の無いドライベッド状態である。

抗力測定は、水路中心で前列と後列の円柱(流下方向に2列、水路幅方向に9本)について5回行った。抗力測定の再現性は極めて良好であった。サンプリング間隔は 0.01 秒でサンプリング時間は 20 秒である。用いた抗力測定装置は、円柱に長さ 0.45m、幅 0.03m、厚さ 0.002m のアルミニウム製供試体からなる自作の装置(図2)である。水深は、レーザー光を所定の位置に照射することによって可視化した流れを CCD カメラで撮影し、コンピューターに取り込んだ画像を解析することにより算定した。測定は同一条件下で5回行った。流速は、直径 0.006m の発泡スチロール球を多量に流し、それを CCD カメラで水路上部から撮影し、PTV を用いて表面流速 V_s を求めた。測定は同一条件下で5回行った。

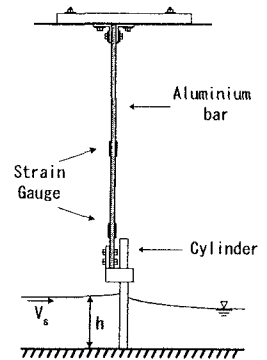


図2 抗力測定装置の概要

(ii)定常状態: 水深を 0.1m の一定に保ちながら流量を変化させることにより、断面平均流速を 0.3~0.5m/s の範囲で変化させ実験を行った。水路の中央 10m の地点に円柱の1列目を配置し、配列は非定常流の場合と同様である。抗力測定は、水路中心の円柱について5回行った。サンプリング間隔とサンプリング時間は非定常の場合と同じである。水深測定は容量式波高計(KENEK 社製)を用い、水路中心の円柱の前面および後面から 0.01m 下流の地点で行った。サンプリング間隔とサンプリング時間はそれぞれ 0.05 秒と 50 秒である。流速測定は2次元電磁流速計(KENEK 社製)を用い、水路中心の円柱の前面から 0.025m 上流の地点で水深方向の4点で行った。サンプリング間隔とサンプリング時間はそれぞれ 0.05 秒と 50 秒である。この測定結果に水路床上で流速が 0 となることを考慮して得られた流速分布より表面流速 V_s を求めた。

3. 実験結果

抗力 D はキャリブレーション結果に基づき算定する方法と応力-歪みの関係から直接算定する方法があるが、図3に示すように検定曲線と応力-歪みの関係より得られた曲線との間にはほとんど差異は見られなかったため、後者の方法により算定した。図4と5に1列目と2列目の円柱についての抗力 D 、表面流速 V_s 、円柱前面の水深 h_f および後面の水深 h_r の時系列をそれぞれ示す。これより、1列目では V_s は変動しながら時間と共にやや増加する傾向が認められるが、 D と h_f および h_r についてはほぼ一定値を取ることが認められた。2列目では、 D 、 h_f および h_r については1列目とほぼ同様な傾向であるが V_s については変動しているものの増加する傾向は認められなかった。

次に、定常および非定常状態における抗力係数 C_d を $C_d = 2D/(\rho V_s^2 A)$ よりそれぞれ算出した。ここに、 D =抗力(N)、 ρ =水の密度($N \cdot s^2/m^4$)、 V_s =表面流速(m/s)、 A =投影面積($=dh_f$)(m^2)である。定常状態における抵抗係数としては、完全乱流状態の一樣流中における円柱の C_d 値は1.2であるが、せん断流中では代表流速として断面平均流速 V を用いると $C_d = 1.49^2$ あるいは $1.0 \sim 1.5^3$ などの結果が得られている。本研究では V を用いた抵抗係数は $C_d = 1.2 \sim 1.5$ であった。 V の代わりに円柱前から0.025m上流の点での表面流速 V_s を用いると、一樣流速のものと比べてやや大きく Reynolds 数 $Re_c (=V_s d/\nu)$ が3000~5000の範囲で1列目は $C_d = 1.58$ 、2列目は $C_d = 1.25$ のほぼ一定値であった。ここに、 ν =水の動粘性係数である。

図4で見たようにダム破壊流れでは流れの状態、特に1列目の V_s が時間と共に変化することが大きな特徴である。そこで、円柱が設置された場におけるダム破壊流れの状態を示す無次元パラメータ $\lambda (= (gh_0)^{1/2} / (h_f/t))$ を導入し、 C_d と λ との関係を調べたものが図6である。ここに、 t はダム破壊後の経過時間、 h_0 はダム初期水深($=0.1m$)である。図中では C_d 値を定常状態の C_d 値で除した抵抗係数比 C_d^* として表示してある。これより、ダム破壊流れ中に設置された円柱では、時間の経過とともに変動は見られるもののほぼ一定であり、 C_d 値は定常状態の値よりも常に小さく1列目と2列目のいずれも約50%であった。また、2列目の方が変動が小さいことも認められた。ただし、ダム破壊流れについては表面流速と断面平均流速との対応関係が得られているわけではないので、これが今後の課題である。

参考文献

- (1) 秋山ら、水工学論文集、第43巻、1999.
- (2) 池田ら、土木学会論文集、No.551/II-37、pp.63-73、1996.
- (3) 清水ら、土木学会論文集、No.447/II-19、pp.35-44、1992.

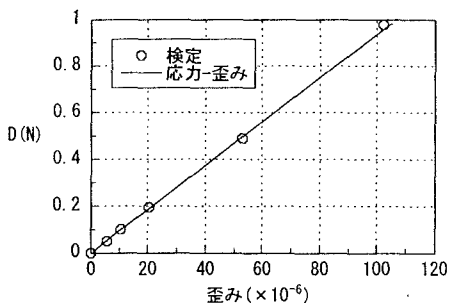


図3 抗力のキャリブレーション結果

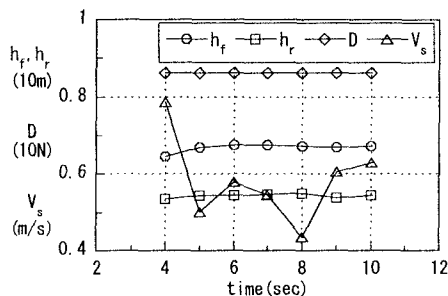


図4 抗力 D 、表面流速 V_s 、水深 h_f および h_r の時系列(1列目)

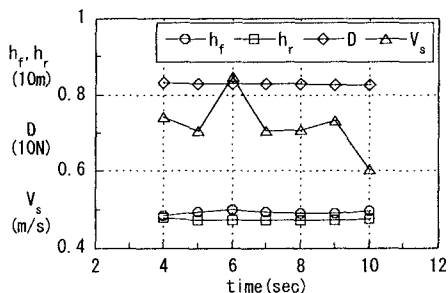


図5 抗力 D 、表面流速 V_s 、水深 h_f および h_r の時系列(2列目)

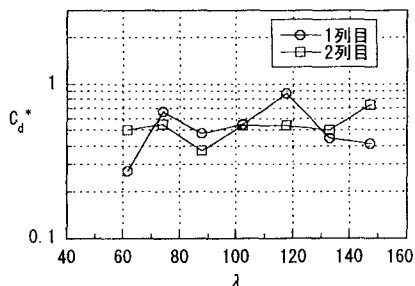


図6 抗力係数比 C_d^* と λ との関係