

強制跳水中に設置されたバッフルブロックに作用する抗力

日本大学大学院理工学研究科

○学生員 須藤 友仁

日本大学理工学部

正会員 高橋 正行

日本大学理工学部

正会員 安田 陽一

日本大学理工学部

フェロー会員 大津 岩夫

はじめに

ダムや堰から流出する放流水のエネルギーを減勢するための方法として、一般的に跳水式減勢工が利用されている。水叩き上において自由跳水が形成される場合、わずかな下流水深の変化によって跳水始端位置が大きく移動する。安定した位置で跳水を形成させる一つの方法として、水叩き内にバッフルブロックを設置することが有効である。跳水中のバッフルブロックには抗力が生じるため、水叩き下流側の水深は自由跳水の終端水深に比べ小さくなる。また、主流がバッフルブロックに衝突することによって水面に向かって上昇し易くなるため、河床洗掘防止のための水叩き長を短縮させることが可能となる。

従来、バッフルブロックの大きさや設置間隔の違いによって跳水中のバッフルブロックに作用する抗力がどのように変化するのかについて、相対ブロック高さ $h_b/h_1 < 1$ (h_b : ブロック高さ、 h_1 : 跳水始端水深) の場合を対象に検討が行われている¹⁾。しかしながら、相対ブロック高さ $h_b/h_1 > 1$ の場合については不明な点が多い。

本研究では、相対ブロック高さ $1.6 \leq h_b/h_1 \leq 1.7$ を対象として、設置間隔の違いによってバッフルブロックに作用する抗力がどのように変化するのかについて明らかにした。

実験

幅 59.5cm、長さ 6.0m の長方形断面水平水路中に立方体のブロックを千鳥配置に並べ、3 列配置にした(図-1)。ブロックの前後面に作用する圧力をマノメータに接続された圧力取り出し孔で測定した。実験範囲は、 $4.91 \leq F_1 \leq 7.06$ 、 $1.6 \leq h_b/h_1 \leq 1.7$ 、 $0.2 \leq X_s/L_j \leq 0.4$ 、 $6\% \leq I \leq 18\%$ (F_1 : 跳水始端でのフルード数、 L_j : 自由跳水長、 X_s : 跳水始端からブロック始端の距離)である(図-1、2)。ここで、 I は粗度集中密度であり、 $(I = (h_b^2/a^2) \times 100)(\%)$ として定義する。また、 a はブロック間隔の長さである(図-1)。

下流水深の変化に伴うフローパターン

バッフルブロック下流側で流れが射流の場合、ブロックによって流線が大きく曲げられ射流の状態では飛散した流況(図-3(a))が形成される。この状態から下流水深 h_t を大きくしていくと、ある段階で跳水が形成され、主流が短区間で水面に向かって上昇する流況(図-3(b))となる。図-3(b)の流況からさらに下流水深 h_t を大きくしていくと、ブロック上流側に Classical jump(図-3(c))が形成される。本研究では、跳水中の主流が短区間で水面に向かって上昇する流況(図-3(b))を対象に検討を行った。

キーワード：減勢工、強制跳水、粗度集中密度、バッフルブロック、抗力

住所：〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8 TEL.& FAX.: 03-3259-0409

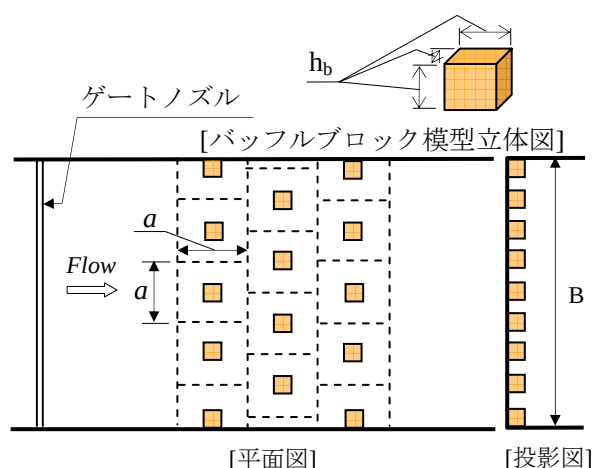


図-1 バッフルブロック配置図

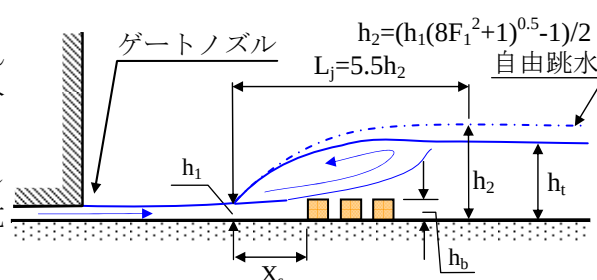


図-2 バッフルブロックにおける跳水

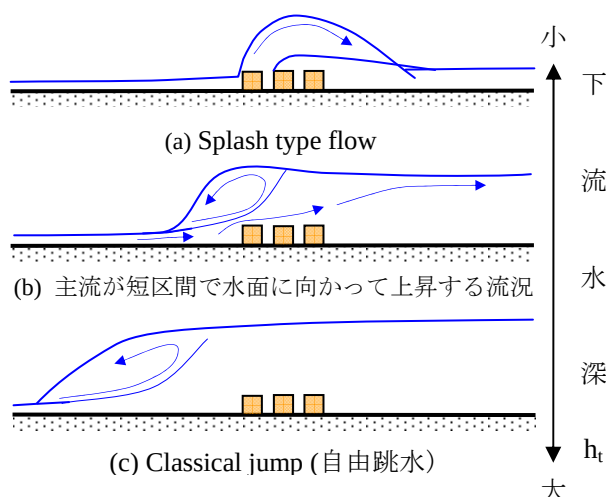


図-3 フローパターン

ブロックに作用する抗力

全てのバップルブロックに作用する抗力を D とし、抗力係数 C_D を(1)式のように定義する。

$$C_D = \frac{D}{\frac{1}{2} \rho V_1^2 B h_1} \quad \cdots(1)$$

跳水中のバップルブロックに作用する抗力係数 C_D は次元解析的考察から(2)式の関係で示されるものと推論される。

$$C_D = f\left(I, \frac{X_s}{L_j}, \frac{h_b}{h_1}, F_1\right) \quad \cdots(2)$$

なお、運動量方程式から導かれる(3)式によって間接的に求められる跳水中の全バップルブロックの抗力係数を C_{Dm} とする。

$$C_{Dm} = \frac{1 - \left(\frac{h_t}{h_1}\right)^2}{F_1^2} + 2\left(1 - \frac{h_1}{h_t}\right) \quad \cdots(3)$$

図-3(b)の流況を対象として、抗力係数 C_D について、(2)式の関係で整理したものを図-4～図-6に示す。図-4～図-6に示されるように、与えられた h_b/h_1 、 F_1 、および I に対して、 X_s/L_j が小さいほど抗力係数は大きくなる。また、与えられた h_b/h_1 、 F_1 、および X_s/L_j に対して、 I が大きくなるにつれて抗力係数が増加する。これは、与えられた h_b/h_1 に対して I が大きくなるとブロック設置間隔 a が小さくなり、主流がブロックに衝突しやすくなるため、抗力係数が増加するものと考えられる。

なお、抗力係数の直接値 C_D と間接値 C_{Dm} との違いは抗力係数の直接値 C_D の値に対して 12%以内である。

粗度集中密度と各列に作用する抗力

$h_b/h_1 \div 1.7$ 、 $F_1 \div 6.00$ を対象として、各列の抗力係数の直接値 C_{Di} の変化を図-7、図-8に示す。 $I=6\%$ では、3列目にまで抗力が作用し(図-7)、 $I=18\%$ では、3列目には抗力がほとんど作用していない(図-8)。すなわち、ブロック設置間隔 a が大きい $I=6\%$ の場合、主流がブロックの隙間を通り、3列目まで抗力が作用するが、ブロック設置間隔 a が小さい $I=18\%$ の場合、ブロックの隙間が狭いことから主流が1、2列目に衝突し、3列目には抗力がほとんど作用しないと考えられる。

結論

本研究では、相対ブロック高さ $1.6 \leq h_b/h_1 \leq 1.7$ 、粗度集中密度 $6\% \leq I \leq 18\%$ の条件下で、跳水中におけるバップルブロックに作用する抗力について実験的に検討した結果、粗度集中密度 I が 18% であるときに、抗力係数が最大となる。また、 $I=18\%$ の場合、1、2列目のブロックに抗力が作用していることがわかった。

参考文献

- 1) 後藤浩、安田陽一、大津岩夫、バップルブロックによる跳水の制御、流体力の評価とその応用に関する研究論文集、土木学会基礎水理部会、第2巻、pp.13-16、2003

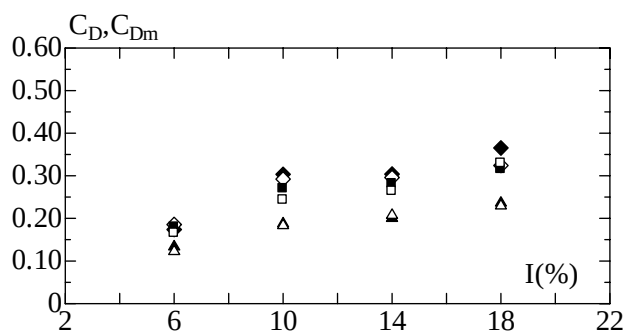


図4 粗度集中密度と抗力係数の関係 ($h_b/h_1 \div 1.6$, $F_1 \div 5.00$)

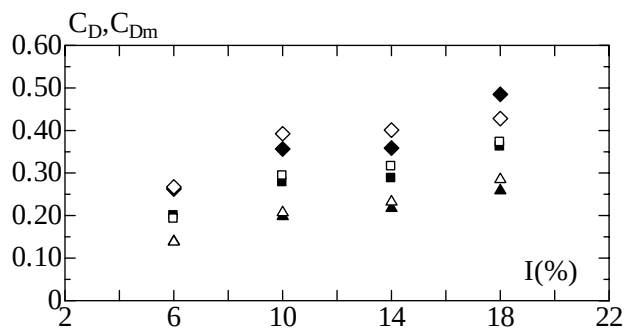


図5 粗度集中密度と抗力係数の関係 ($h_b/h_1 \div 1.7$, $F_1 \div 6.00$)

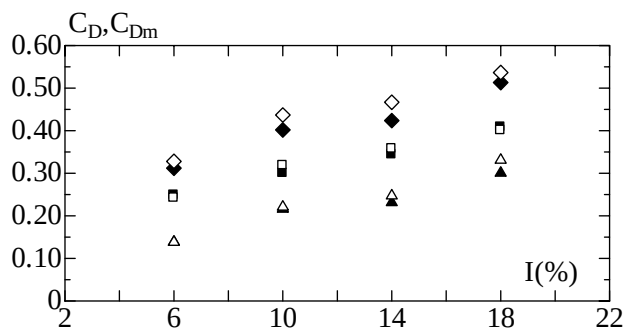


図6 粗度集中密度と抗力係数の関係 ($h_b/h_1 \div 1.7$, $F_1 \div 7.00$)

C_D : ◆ $X_s/L_j=0.2$	C_{Dm} : ◇ $X_s/L_j=0.2$
C_D : ■ $X_s/L_j=0.3$	C_{Dm} : □ $X_s/L_j=0.3$
C_D : ▲ $X_s/L_j=0.4$	C_{Dm} : △ $X_s/L_j=0.4$

図-4～図-6の凡例

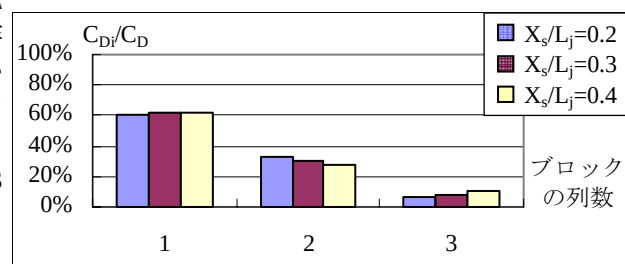


図-7 各列に作用する抗力の関係 ($I=6\%$, $F_1 \div 6.00$)

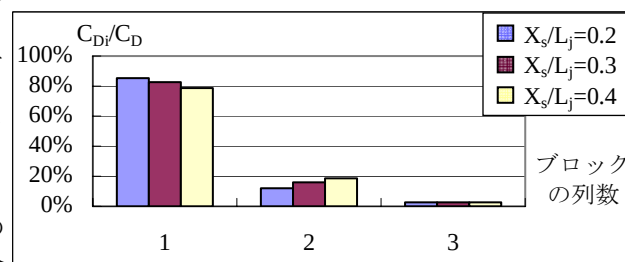


図-8 各列に作用する抗力の関係 ($I=18\%$, $F_1 \div 6.00$)