

斜水路下流部の円筒形ブロックの配置およびフルード数による流体力の変化

九州工業大学工学部
九州工業大学大学院
九州工業大学工学部
九州工業大学工学部
九州工業大学工学部

学生員 〇中川達矢 畑中弘憲 中川由美子
学生員 尾関弘明
正会員 鬼束幸樹
フェロー会員 秋山壽一郎
正会員 重枝未玲

1. はじめに

近年、魚の遡上の困難な落差工を撤去して、1/10 勾配の斜水路および減勢池を設置することが望まれている。減勢工はダム下流部に設置される USBR-I, II, III 型などがあるが、当減勢工で用いられるシュートブロックおよびバッフルブロックは人工的構造であり、そのまま河川に用いると違和感がある。安田¹⁾は円筒形ブロックを用いることが景観的に望ましいと述べている。しかし、最適なブロックの配置やフルード数を変化させたときの影響などは解明されていない。本研究では、円筒形ブロックの配置およびフルード数を変化させた際の流体力および跳水の状態を計測し、最適な円筒形ブロックの配置方法について検討した。

2. 円筒形ブロックの配列方法

流下方向に x 軸、鉛直上向きに y 軸、横断方向に z 軸をとる。射流中にかく乱が与えられると、 x 軸に対して z 方向に角度 θ の衝撃波が発生する²⁾。

$$\theta = \sin^{-1} Fr^{-1} \quad (1)$$

ここに、 Fr はフルード数である。フルード数 Fr を 2 とし、衝撃波の角度を算出すると 30° になる。以上を参照し、図-1 のような 3 つの配列を考えた。プール長 L_p 、円筒形ブロックの高さ Δy_b およびエンドシルの高さ Δy は USBR-III 型減勢池の設計規格³⁾に従い、ブロック配置のみを変更した。

3. 実験装置および実験条件

実験には長さ 20.5m、幅 0.6m、高さ 0.6m の循環式水路を用いた。水路内にスルースゲートを設け、その下流部に勾配が 1/10 で長さが 0.3m の水路を設けた。減勢池には 2. で提案した 3 種類のブロックをそれぞれ設置した。

実験条件を表-1 に示す。対象とした流れでは流入フルード数 Fr_1 と相対段上がり高さ $\Delta y/h_1$ が支配パラメータとなる⁴⁾が、ここでは相対段上がり高さを 2.1 に固定し、流入フルード数のみを変化させた。ここに、 h は水深で、添字 1 は跳水始端での諸量を意味する。実験ケース名として、F2.5h2.1N などを用いるが、これは、流入フルード数 Fr_1 が 2.5 で相対段上がり高さ $\Delta y/h_1$ が 2.1 であることを示す。また、N はブロックが傾斜していない場合、U30 および U60 はそれぞれ上流側に 30° 、 60° 傾斜していることを示す。

円筒形ブロックを三分力計のフランジに固定し、 x 方向に加わる力 $\tilde{F}_D$ および y 方向に加わる力 $\tilde{F}_L$ を計測した。計

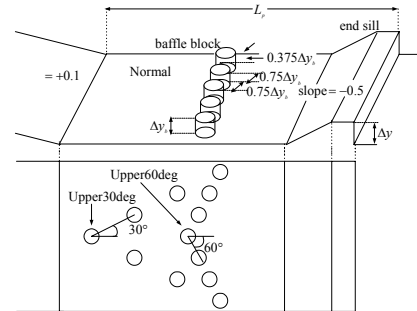


図-1 円筒形ブロックの配列

表-1 実験条件

Fr_1 Tip direction	2.5	3.0	3.5	4.0
Normal	F2.5h2.1N	F3.0h2.1N	F3.5h2.1N	F4.0h2.1N
Upper 30deg	F2.5h2.1U30	F3.0h2.1U30	F3.5h2.1U30	F4.0h2.1U30
Upper 60deg	F2.5h2.1U60	F3.0h2.1U60	F3.5h2.1U60	F4.0h2.1U60

測時間は 51.2s で計測間隔は 0.05s とした。また、 x 、 y 方向の時間平均値を F_D 、 F_L 、標準偏差を F_D' 、 F_L' とした。

4. 実験結果および考察

(1) 時間平均された流体力の特性

図-2 に N、U30、U60 における時間平均抗力 F_D の横断分布を示す。それぞれフルード数の上昇にともない F_D が増加している。これは、流入フルード数の増加に伴いブロックに衝突する流速が増加したことによるものである。ケース N では横断方向にほぼ一様となっているのに対し、U30 および U60 では水路中央で大きな値となっている。これは、水路中央のブロックが始めに斜流の流れに衝突するため、大きな流体力を受けたことを意味する。

図-3 に N、U30、U60 における時間平均揚力 F_L の横断分布を示す。揚力においては抗力とは対称的にフルード数の上昇にともない F_L は減少する傾向にある。これは下流水深の上昇によって水圧が増したことが原因と考えられる。

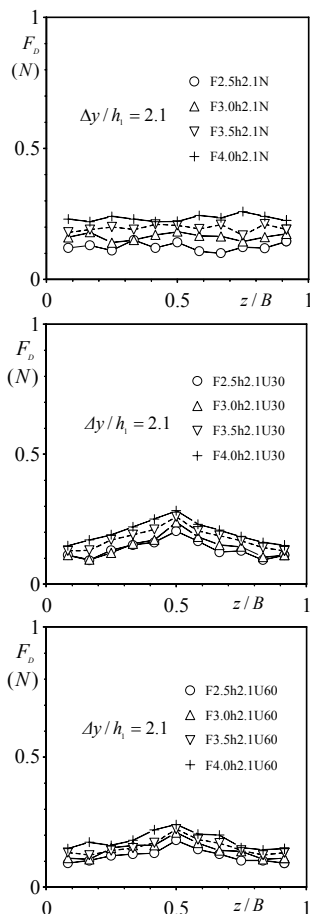
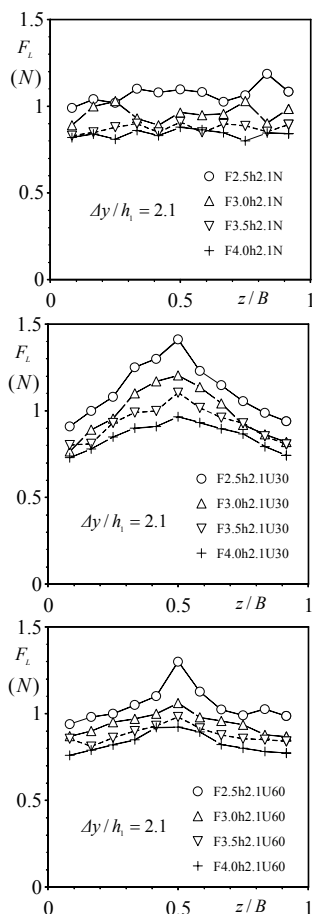
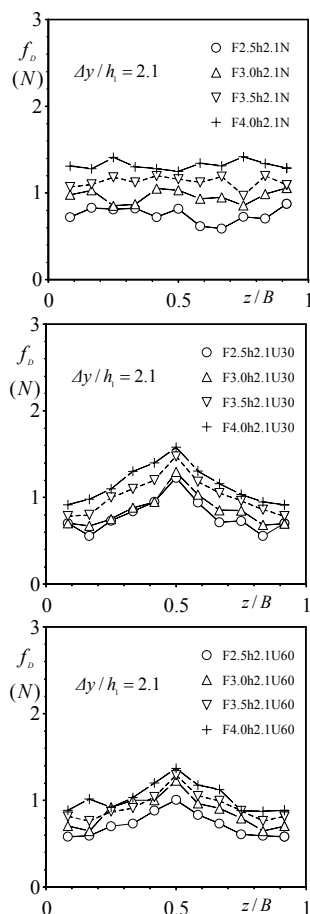
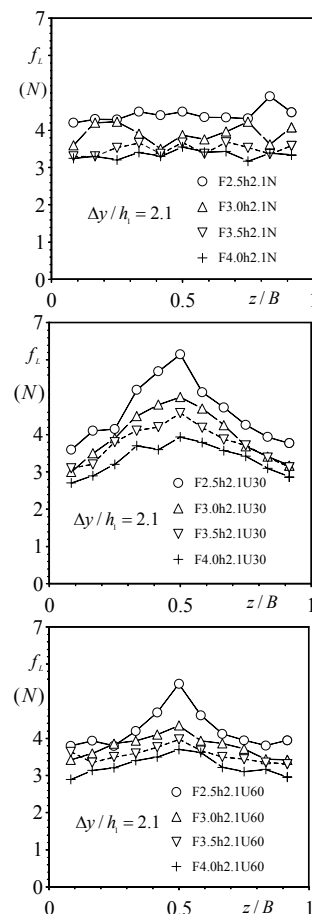
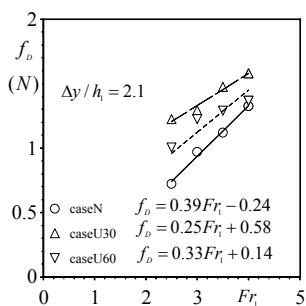
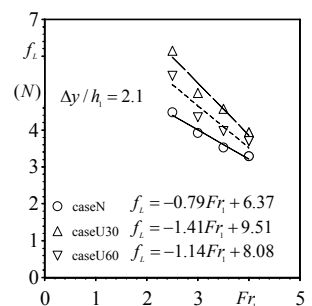
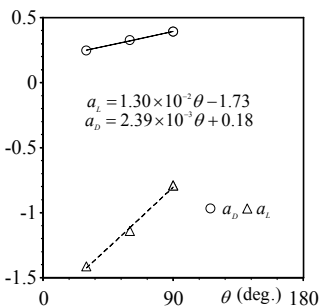
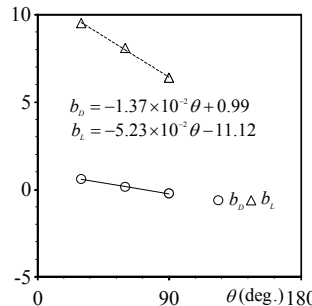
(2) 円筒形ブロックの設計基準

ブロックの破壊は平均流速によるものではなく、瞬間的な流体力による。流体力の変動成分の RMS 値 F_D' を考慮すると、ブロックに必要な無次元耐力 f_D は次式で表される。

$$f_D = (F_D + nF_D')/W \quad (2)$$

ここに、 W はブロックの自重で n は安全率である。一方、 y 方向の無次元耐力 f_L は自重を考慮すると次式となる。

$$f_L = (F_L + nF_L' - W)/W \quad (3)$$

図-2 時間平均抗力
(上から N, U30, U60)図-3 時間平均揚力
(上から N, U30, U60)図-4 流下方向耐力
(上から N, U30, U60)図-5 鉛直方向耐力
(上から N, U30, U60)図-6 f_D と Fr_1 の関係図図-7 f_L と Fr_1 の関係図図-8 傾きと角度 θ の関係図図-9 切片と角度 θ の関係図

安全率 n は任意に決められるが、仮に 99.7% の信頼が要求された場合は $n=3$ となる。この時の f_D を図-4 に、 f_L を図-5 にそれぞれ示す。図-6 に流下方向必要耐力 f_D とフルード数との関係図を示す。ただし、 f_D 値は、case N では横断平均値で、case U30 および U60 では最大値で定義した。両者はほぼ線形関係にあるため、次式より両者の関係を得た。

$$f_D = a_D \times Fr_1 + b_D \quad (4)$$

図-7 に示した鉛直方向必要耐力 f_L についても同様な解析を行った。係数 a_D 、 b_D 、 a_L 、 b_L はブロックの配置角度 θ と一義的な関係があると考えられる。図-8 および図-9 に抗力および揚力に関する係数と配置角度 θ との関係を示す。4 つの係数の全てが配置角度 θ とほぼ線形関係にあるため、図中のような式を得た。図-6～9 中に提案された式を用いることで、ブロックに必要な設計耐力を求めることができる。

5. おわりに

本研究は斜水路下流部の減勢池において、円筒形ブロックの配置およびフルード数を変化させたときの、ブロックに必要な耐力と水理量との関係を検討したものである。その結果、相対段上がり高さ $\Delta y/h_1$ が 2.1 の場合は、図-6～9 中に提案された式を用いることで、ブロックに必要な設計耐力を求めることができるようになった。今後、フルード数のみならず、相対段上がり高さも変化した実験を行い、体系的な結論を得たいと考えている。

参考文献

- 1) 安田陽一, ながれ, Vol.23, pp.87-95, 2004.
- 2) 椿東一郎: 水理学I, 森北出版, p.139-141, 1991.
- 3) 米国内務省開拓局: ダムの計画と設計, 日本大ダム会議, 1970.
- 4) 鬼束幸樹ら, 応用力学論文集, Vol.8, pp.755-764, 2005.