

(II-41) バッフルブロックによる跳水の形成

日大・理工・学生員
日大・理工・学生員
日大・理工・正員
日大・理工・正員
日大・理工・正員

○橋本隆紀
大江真也
後藤 浩
安田陽一
大津岩夫

1. はじめに

ダムやゲートから流出する高速放流水のエネルギー減勢方法として、跳水現象を形成させることが一般的である。下流水深が跳水必要水深より小さい場合、減勢地内で安定した跳水を強制的に起こさせるために、シルやバッフルブロックなどが用いられている。従来、ブロックを越える流れの流況については十分に把握されておらず、ブロック上で形成される跳水の特性についても、不明な点が多い。ここでは、バッフルブロックを越える流れの流況について実験的に検討を行ない、流況を分類した。また、下流水位の変化に伴うフローパターンがブロックに接近する射流のフルード数、相対ブロック高さ、配列数の違いによって異なることを明らかにした。さらに、各流況の形成領域を示した。

2. 実験

実験は幅80cmの長方形断面水路に、立方体のブロックを千鳥に1～7列に配置して行った(図-1)。実験範囲は、 $4 \leq F_r \leq 8$ 、 $0.2 \leq h_b/h_r \leq 1.0$ 、 $h_b = 1.6\text{cm}$ 、 1.0cm 、粗度集中度 $^{1)} I = 10\%$ である。

3. 流況およびフローパターン

バッフルブロック上を通過する流況は射流のフルード数 F_r 、相対ブロック高さ h_b/h_r および相対下流水位 h_r/h_r によって変化する。表面渦を伴う跳水(Jump type)が形成されたり、表面渦が形成されないWave typeの流況が形成されたりする。Jump typeでは、ブロックによって主流(jet)が短区間で水面近くに上昇する場合(Jump with Surface jet)と主流がブロック上を通過するとき底面近くに位置する場合(Jump with Bottom jet)の2つの場合がある。下流水位の変化に伴う流れのフローパターンは、 F_r 、 h_b/h_r およびブロックの配列数によって異なり、大きく3つに分類することができる。各フローパターンについては、以下に説明を加える(図-2)。

フローパターン Case I

バッフルブロック下流側で跳水が形成されている状態(Blown-out Jump)から下流水位を上げていき、跳水始端がブロック上に位置し始めると、Wave type flowへと変化する。この流況から下流水位を上げていくとWaveが碎波し、表面渦を伴う流況が形成されるようになる。このときの流況は、Jump with Surface jetとなる。この流況からさらに下流水位を上げるとバッフルブロック上流側にClassical jumpが形成される。

フローパターン Case II

バッフルブロック下流側で跳水が形成されている状態(Blown-out Jump)から下流水位を上げていくと跳水始端はバッフルブロック設置位置の直上流側まで移動する。この場合の主流は底面近くに位置するようになる(Jump with Bottom jet)。この流況から下流水位を上げると、表面渦が形成されなくなりWave type flowが形成されるようになる。さらに下流水位を上げていくと、Waveが碎波し表面渦を伴う流況が形成されるようになり、その後、Classical jumpが形成される。

フローパターン Case III

バッフルブロック下流側で跳水が形成されている状態(Blown-out Jump)から下流水位を上げていくと、Jump with Bottom jetが形成され、さらに下流水位を上げるとWave type flowは形成されずに、Classical jumpが形成される。

4. 各フローパターンの形成範囲

下流水位の変化に伴うフローパターンは、 F_r 、 h_b/h_r 、およびバッフルブロックの配列数によって異なることが認められる。各フローパターンの形成範囲を図-3に示す。各フローパターンの形成範囲から次のことが明らかになった。

第1に、配列数が少なくなるほど、各フローパターンの境界を示す相対ブロック高さ h_b/h_r が大きくなる。また1および2列設置の場合、Case IIの領域が認められなくなる。このことは、同一な相対ブロック高さに対して配列数が少なくなると、配列数が多い場合と比べ流入射流が乱されることがなく流下するため、Wave type flowが形成されにくくなるものと考えられる。このことから、1または2列設置の場合でも相対ブロック高さが大きくなると、Wave type flowが形成されるフローパターンになる。

第2に、配列数が6列以上になると、各フローパターンの境界は、配列数に関わらなくなる。このことは、ブロックが6列以上設置されても、6列以降のブロックに作用する流体力が小さいこと²⁾と対応している。すなわち、6列以上ブロックを設置してもブロックが有効に機能しないことが示された。

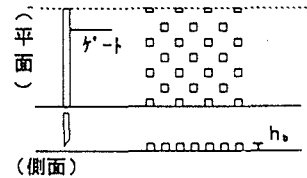


図-1 ブロック配置図

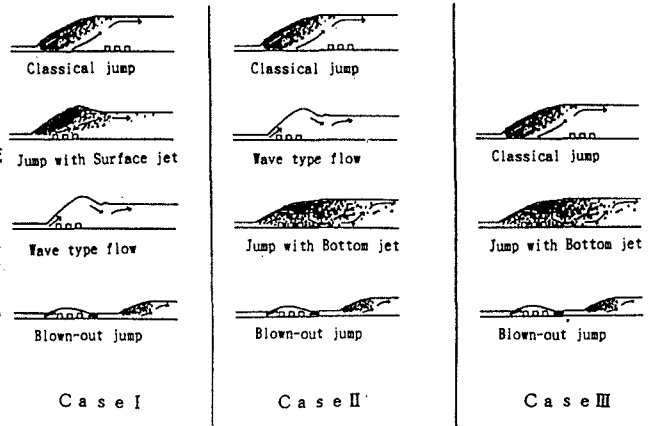
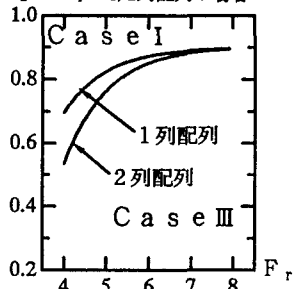
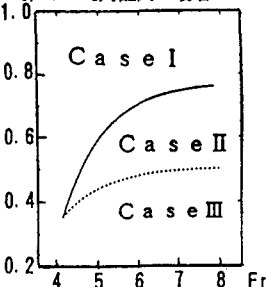


図-2 流況図

h_b/h_r 1, 2列配列の場合



h_b/h_r 4列配列の場合



h_b/h_r 6, 7列配列の場合

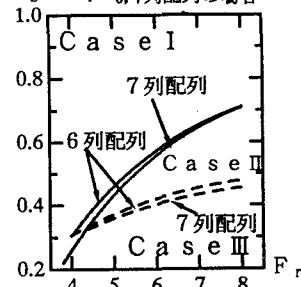


図-3 各フローパターンの形成範囲

5. 各流況の形成領域

フローパターンCase Iにおける各流況の形成領域について(1)の関係で整理したものを、図-4に示す。

$$h_t/h_r = f(F_r, h_b/h_r, N) \quad (1)$$

なお、図中破線は、水平水路における自由跳水の場合 $[h_t/h_r = (\sqrt{8F_r^2 + 1} - 1)/2]$ を示す。

図に示されるように、同一の相対ブロック高に対して配列数Nによって、各流況の形成領域が異なることが認められている。すなわち、配列数Nが小さくなるにつれて、ブロックの設置長が短くなるため、Wave type flowの形成領域が狭くなる[図-4(1), (2)]。また、同一の配列数Nおよび射流のフルード数 F_r に対して、相対ブロック高さが小さくなると、ブロックによって主流が上方に曲げられにくくなるためWave type flowの形成領域は狭くなる[図-4(2), (3)]。すなわち h_b/h_r が小さいと、Blown-out Jumpの状態から下流水位を上げても、直ちにWave type flowが形成されることなくJump with Bottom jetが形成される。(フローパターンCase IIとなる。)

Wave type flowとBlown-out Jumpの境界線(境界A)、および、Wave type flowとJump with Surface jetの境界線(境界B)の実験式を以下に示す。

(境界A)

$$N=3 \quad h_t/h_r = 1.29F_r - 1.74h_b/h_r + 0.556 \quad (\text{適用範囲 } 0.890 \leq h_b/h_r \leq 0.895 \quad 4.00 \leq F_r \leq 7.98)$$

$$N=5 \quad h_t/h_r = 1.27F_r - 2.10h_b/h_r + 0.646 \quad (\text{適用範囲 } 0.499 \leq h_b/h_r \leq 0.898 \quad 4.00 \leq F_r \leq 8.00)$$

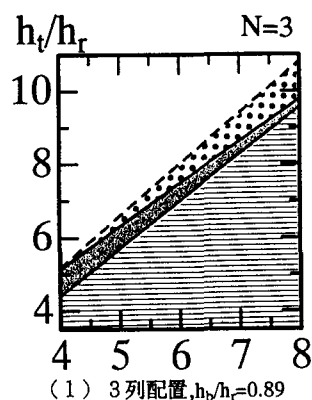
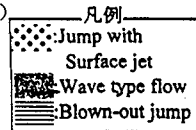
$$N=7 \quad h_t/h_r = 1.26F_r - 2.39h_b/h_r + 0.660 \quad (\text{適用範囲 } 0.506 \leq h_b/h_r \leq 0.905 \quad 4.08 \leq F_r \leq 8.00)$$

(境界B)

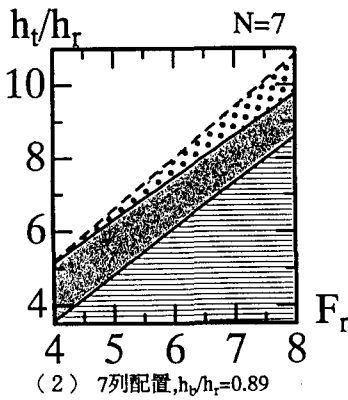
$$N=3, 5, 7 \quad h_t/h_r = 1.16F_r + 0.502 \quad (\text{適用範囲 } 0.499 \leq h_b/h_r \leq 0.905 \quad 4.00 \leq F_r \leq 8.00)$$

ただし、適用範囲は、全てフローパターンCase Iの形成範囲内。

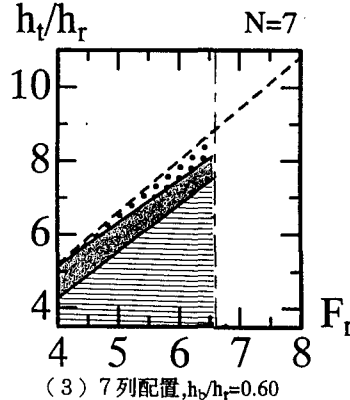
境界Bについては、配列数Nと h_b/h_r には関わらず、 F_r のみの関数となる。



(1) 3列配置, $h_b/h_r = 0.89$



(2) 7列配置, $h_b/h_r = 0.89$



(3) 7列配置, $h_b/h_r = 0.60$

図-4 Case Iにおける各流況の形成領域

6. 結論

バップルブロックの配列数によって、下流水位の変化に伴うフローパターンが異なることを明らかにし、各フローパターンの形成範囲を明確にした。また、Jump type flowおよびWave type flowの形成領域を示した。

記号説明

h_b : バップルブロックの高さ, h_r : バップルブロックの影響を受けてない最も下流側の射流水深, F_r : 射流水深が h_r のときのフルード数($F_r = v_r/\sqrt{gh_r}$),

h_t : 跳水終端の水深, N: バップルブロックの配列数

参考文献

- William W. Sayre, Maurice L. Albertson "ROUGHNESS SPACING IN RIGID OPEN CHANNEL" AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS TRANSACTIONS Paper NO. 3417 (Vol. 128. Part I 1963)
- 大津、安田、石橋 "バップルブロックによる跳水の制御" 第49回土木学会年報, 1994年