波状跳水の流況特性に対する水路勾配の影響

日本大学理工学部 正会員 〇後藤 浩 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

一波状跳水は流入射流のフルード数の値が1近くで、波状水面を伴いながら射流から常流へと遷移する現象である。 波状跳水は堰など落差を伴う構造物やゲートの下流側や、 勾配が緩勾配から急勾配へ変化する水路の接続部下流側 で観察される場合がある。

従来、著者らは滑面長方形断面水平水路の波状跳水に関して実験的検討を行い、その形成条件を系統的に明らかにした^{1),2)}。また、Chanson and Montes により傾斜水路における波状跳水の形成条件について実験的検討が行われている³⁾。しかしながら、Chanson and Montes による実験では流入射流が等流状態であるとともに、波状跳水の流況特性に対するアスペクト比の影響は言及されていない。したがって、傾斜水路における波状跳水の流況および形成条件については検討の余地がある。

本研究では、滑面長方形断面水路の波状跳水に対する水路勾配およびアスペクト比の影響について実験的検討を行い、傾斜水路上における波状跳水の形成条件を明らかにした。

実験 実験は、可変勾配式滑面長方形断面水路(水路長 18m、水路幅 B=40,80cm)を用いた。また、水路勾配 $tan\Theta$ は $tan\Theta=0\sim1/84$ の範囲で変化させた。スルースゲート・堰を水路上流側に設置し射流を形成させた。すなわち、等流ばかりではなく不等流の射流を形成させた。

跳水始端は圧力が静水圧分布すると定義した。また、波状跳水の流況に対する乱流境界層の発達の影響があることから、ここでは跳水始端で乱流境界層が十分に発達している波状跳水 11 を対象とした(図-1 参照)。さらに、波状跳水の形成に対しレイノルズ数の影響を無視できる条件 Re \geq 65000 のもとで実験を行った 21 (Re= v_1h_1/v ; h_1 :流入射流の水深、 v_1 :流入射流の断面平均流速、v:動粘性係数)。

液状跳水の流況 波状跳水の流況は流入射流のフルード数 F_1 、水路勾配 $\tan \Theta$ 、アスペクト比 B/h_1 によって変化する $(F_1=v_1/(gh_1)^{0.5}$; g:重力加速度)。流入射流のフルード数の値が 1.2 よりも大きくなると、跳水始端付近の両側壁から衝撃波が形成される 1,2)。衝撃波が一波目山頂部より上流側で交差しない場合、波状跳水の流況に対するアスペクト比 B/h_1 の影響を無視することができる (この場合を"Case I"と呼ぶ(図-2(a)))。この場合、水路側壁付近を除いて二次元的な流れとなる。一方、衝撃波が一波目山頂部より上流側で交差するようになると、波状跳水の流況に対するアスペクト比の影響を無視できない(この場合を"Case I"と呼ぶ(図-2(b)))。この場合、流況は三次元的となる。

以下に F_1 および $\tan\Theta$ の変化に伴う流況の変化について説明する。

 $1.0 \le F_1 \le 1.2$ の場合 衝撃波の形成は認められず、二次元的な波状水面が形成される(Nonbreaking undular jump 2);図 -3(a))。この場合、波状水面の凹凸は小さい。なお、水平水路の場合、跳水の形成領域が短いため波状水面の形成は1.2 波程度となる。

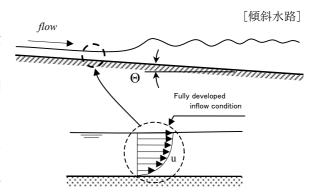
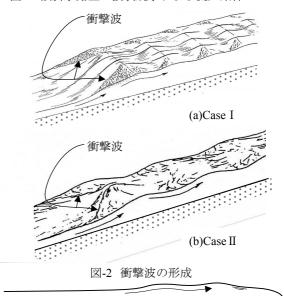


図-1 傾斜水路上の波状跳水および流入条件

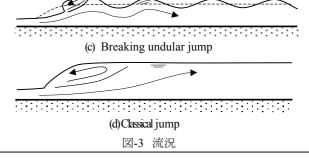


(a) Nonbreaking undular jump

Surface profile along sidewall

(b) Nonbreaking undular jump

Surface roller



キーワード:跳水、波状跳水、開水路流、水路勾配、アスペクト比連絡先:〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台1-8 TEL/FAX 03-3259-0409

 $1.2 \le F_1 \le F_{1 \text{limit}}$ の場合 顕著な波状水面が形成され、水面 の凹凸が下流側に続く(Nonbreaking undular jump;図-3(b))。 ここで、F_{Ilimit}は Nonbreaking undular jump が形成されるフ ルード数の上限値を示す。

<u>F₁>F_{1limit}</u> の場合 一波目山頂部に表面渦を伴う流況が形 成される(Breaking undular jump²⁾;図-3 (c))。なお、流入射流 のフルード数の値が F_{Ilimit} 近くでは主流が水面に沿う流況 が形成されるが、流入射流のフルード数 F₁ の値が大きく なるにつれ波状水面が形成されず自由跳水(図-3 (d))が形 成される。

波状跳水の形成領域

図-4(a),(b)は Case I の場合および Case II の場合の形成条 件を示したものである。ここで、横軸は与えられた水路勾 配 tanΘ を限界勾配 tanΘ。で割った値、縦軸は流入射流のフ ルード数 F_1 を示す。また、図-4(a),(b)中の実線は $F_{1 limit}$ を示 す。

水路勾配の影響 図-4(a)に示されるように、水路勾配が水 平から限界勾配までの範囲では、F_{Ilimit}は水路勾配に影響さ れない。水路勾配が限界勾配より大きくなると、水路勾配 が大きくなるとともに F_{Ilimit} の値は小さくなる。これは、 波状跳水の上流側・下流側の水面形の違いが影響している と考えられる。また、急勾配水路の場合、水路勾配が大き くなるにつれて一波目前面の流線の曲がりが大きくなり、 砕波しやすくなったものと考えられる。

水路勾配が限界勾配より大きくなると射流が等流状態 の波状跳水が形成される。本実験では、等流のフルード数 より小さな値を得るため、水路途中に厚みのある平板を設 置して S2 曲線の水面形を形成させる工夫をし、平板の設 置下流で圧力が静水圧に一致する最初の断面のフルード 数を求め、得られたフルード数の最小値を示した。図-4中 の破線は、与えられた tanΘ に対して平板の高さを様々変 化させたものである。図-4(a),(b)中の右下の実験値のない 領域の流況については今後検討する予定である。

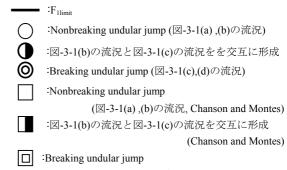
アスペクト比の影響 図-4(a),(b)に示されるように、Case II の場合の F_{Ilimit} の値は衝撃波が一波目山頂部より上流側で 交差するため、Case I の場合の F_{Ilimit} の値に比べて小さくな る。また、Case II の場合も Case I の場合と同様に、水路勾 配が限界勾配より大きくなると、水路勾配が大きくなると ともに F_{Ilimit} の値は小さくなる結果が得られた。なお、図 -4(b)に示されるように、本研究での実験結果は Chanson and Montes が行った実験結果 3)と一致する。

<u>まとめ</u> 流入射流のフルード数、アスペクト比、水路勾配 による波状跳水の流況の変化を示した。

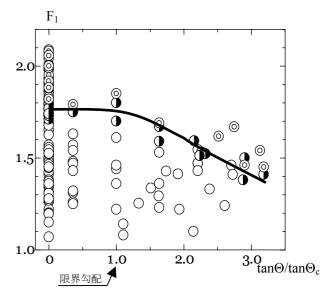
図-4(a),(b)において波状跳水の形成領域図を示した。また、 水路勾配が水平から限界勾配までの範囲では、F_{Ilimit} は水路 勾配によらず、水路勾配が限界勾配より大きくなると、水 路勾配が大きくなるとともに Filimit の値は小さくなること を示した。

参考文献

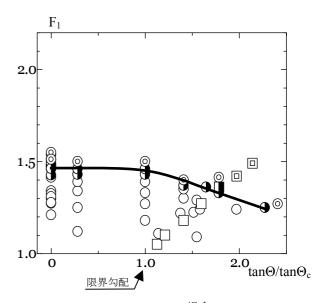
- 1) Ohtsu, I., Yasuda, Y. and Gotoh, H. (2001), Hydraulic Conditions for Undular-Jump formations, Hydraulic Research, IAHR, 39(2), pp.203~209.
- 2) Ohtsu, I., Yasuda, Y. and Gotoh, H.(2003), Flow Condition of Undular Hydraulic Jumps in Horizontal Rectangular Channels, Journal Hydraulic Engineering, ASCE.129(12),pp.948 \sim 955.
- 3) Chanson, H. and Montes, J.S.: Characteristics of Undular Jump: Experimental Apparatus and Flow Patterns, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 121(2), pp.129~144, 19







(a) Case I の場合



(b) Case II の場合 波状跳水の形成条件に対する水路勾配の影響