傾斜水路における波状跳水の形成条件

日本大学理工学部 学生員 〇長田昇、 日本大学大学院理工学研究科 学生員 中野雅生 日本大学理工学部 正員 後藤浩、 正員 安田陽一、 正員 大津岩夫

波状跳水は流入射流のフルード数F1の値が1近くで波状水面を伴いながら射流から常流へ遷移する現象である(F1=v1/(gh1)¹²、v1:流入射流の断面平均流速、h1:流入射流の水深、g:重力加速度)。波状跳水は堰などの落

差を伴う構造物やゲート下流側で観察されることが多い。水工 設計上および河川管理上、波状跳水の特性を知ることは重要 である。従来、著者らは長方形断面水平水路の波状跳水に関 し実験的検討を行い、その特性を系統的に明らかにした^{1)~4)}。 本研究では、長方形断面水路の波状跳水の流況・形成条件に 対する水路勾配の影響について実験的な検討を加えた。すな わち、水平水路の場合と急勾配水路の場合の波状跳水の流況 特性についての比較を行い、その違いについて考察を加えた。

<u>実験</u>

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=80・40cm)を用いた。水平水路の場合、射流はスルース ゲートを用いて形成させた。また、急勾配水路の場合、流入 射流を等流状態とした。なお、急勾配水路の勾配 i は i=1/80~ 1/330 である。

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²⁾を対象とした(図-1参照)。また、波状跳水の形成に対 するレイノルズ数 Re の影響が無視できる条件(Re \geq 6.5×10、 Re= v_1h_1/v 、v:動粘性係数)⁴⁾のもとで実験を行った。

波状跳水の流況

流入射流のフルード数 F_1 の値が 1.2 よりも大きい場合、跳水 始端付近の両側壁から衝撃波が形成される(図-2参照)⁴⁾。ま た、波状跳水の流況は流入射流のフルード数 F_1 および水路の 勾配によって次のように分類される。

1<F₁<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 jump⁴⁾;図-3(a))。こ の場合、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。 1.2<F₁<F₁(F_{11mit}の場合 顕著な波状水面が形成され、下流側に 続く(Nonbreaking undular jump;図-3(b))。定常的な波状水面が 形成されている領域においては、水平水路の場合、一定の波 長を有する波状水面が形成される。一方、急勾配水路の場合、 下流側の波長は水平水路に比べて短くなる傾向がある。ここ に、F_{11imit}は Nonbreaking undular jump が形成される流入射流の フルード数の上限値である。

 $F_1 > F_{1limit}$ の場合 表面渦を伴う流況が形成される (Breaking undular jump⁴⁾;図-3(c))。なお、流入射流のフルード数の値が F_{1limit} 近くでは主流が水面に沿うため下流側に波状水面が形成 される。さらに流入射流のフルード数 F_1 の値が大きくなると 波状水面が形成されなくなり、自由跳水(Classical Jump)が形成 される。



図-1 水平水路および急勾配水路での波状跳水の形成



キーワード: 跳水、波状跳水、開水路流、親水設計、河川環境 連絡先:東京都千代田区神田駿河台 1-8; TEL.& FAX.: 03-3259-0409; E-mail: yokyas@civil.cst.nihon-u.ac.jp

<u>波状跳水の形成条件</u>

図-4 は、水平水路および急勾配水路の場合の波状跳水の形成条件を示したものである。図中の破線は、 Nonbreaking undular jump と表面渦を伴う流況 (Breaking undular jump および Classical jump)の境界を示す。 また実線は、Case I と Case II の境界を示す。ここに、Case I は波状跳水の流況特性に対するアスペクト比の 影響が無視できる場合であり、Case II はアスペクト比によって流況特性が変化する場合である(図-2 参照)。 図-4(a),(b)に示されるように、 F_{1limit} は水路勾配の影響を受ける。Case I の場合、アスペクト比によらず水平 水路の場合は F_{1limit} =1.78 となり急勾配水路の場合は F_{1limit} =1.5~1.6 となる。Case II の場合、 F_{1limit} の値は水路 勾配の影響により同一のアスペクト比 B/h₁ に対し、急勾配水路の場合の方が水平水路の場合に比べ F_{1limit} の 値が小さくなる。また、この場合、衝撃波が一波目山頂部より上流側で交差するためアスペクト比 B/h₁ が小 さくなることに伴って F_{1limit} が小さくなる。



底面圧力・底面流速

図-5・6 は、Case I の場合の水平水路およ び急勾配水路における水路中央面での水 面形・底面圧力水頭・底面流速の流下方向 への変化を示したものである。図中、pb/w は底面圧力水頭、vb は底面流速、w は水の 単位体積重量、x は衝撃波始端(図-2 参照) から水路床に沿った流下方向への長さを 示す。底面圧力・底面流速ともに、図-5・6 に示されるように水平水路の場合が急勾 配水路の場合に比べ流下方向への圧力 勾配が急勾配水路の場合、正であるが水平 水路の場合、負となる。また、一波目山頂 部より上流側については、図-5・6 に示さ れるように、急勾配水路の場合は水平水



路の場合より、静水圧からの反れ(dynamical pressure)¹⁾が顕著に表れている。すなわち、同一のフルード数 F₁ のもとで急勾配水路の場合の方が水平水路の場合より、一波目前面の流線の曲率が大きいことが理解される。 謝辞:本研究を実施するにあたり、平成 15 年度日本大学学術フロンティア「地域環境の評価と保全に関する 研究」から研究助成を受けた。ここに記して謝意を述べる。

<u>参考文献</u>

- 1) Ohtsu, I., Yasuda, Y., and Gotoh, H. (1995), Characteristics of Undular Jumps in Rectangular Channels, *Proc. of the 26th IAHR Congress*, 1C14, London, UK.
- 2) Ohtsu, I., Yasuda, Y. and Gotoh, H. (2001), Hydraulic Conditions for Undular-Jump formations, *Journal of Hydraulic Research*, IAHR, 39(2), pp.203~209.
- 3) Ohtsu, I., Yasuda, Y. and Gotoh, H. (2002) ,Reply to the discussion of "Hydraulic Conditions for Undular-jump Formations" by Chanson, H., *Journal of Hydraulic Research*, IAHR, 40(3), pp.382~384.
- Ohtsu, I., Yasuda, Y. and Gotoh, H.(2003), Flow Condition of Undular Hydraulic Jumps in Horizontal Rectangular Channels, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE.129(12), pp948~955.