

日大理工 正 後藤 浩

日大理工 正 安田 陽一

日大理工 正 大津 岩夫

一般に射流から常流に遷移する場合、射流のフルード数 F_1 が 1 近くになると波状跳水が形成される ($F_1 = v_1 / \sqrt{gD_1}$; v_1 : 跳水始端での平均流速, g : 重力加速度, D_1 : 跳水始端での水理水深)。波状跳水の特性を知るとは、河川の護岸や水路の設計、河川管理上必要である。河川の断面形には台形断面が多く、台形断面水路において形成される波状跳水の流況は長方形断面の場合と異なることが報告されている¹⁾。しかしながら、その流況特性については不明な点が多い。ここでは、台形断面水平水路において形成される波状跳水について系統的な検討を行いその水理特性を明らかにした。

実験 実験は、台形断面水平水路を用い、広範囲な実験条件のもとで行われた (表 1) ($m = \tan \alpha$, b : 水路の底面幅, h_1 : 跳水始端水深 (図 1))。

流況 台形断面水平水路において形成される波状跳水は $1.2 \leq F_1 \leq F_{1\text{limit}}$ ($F_{1\text{limit}}$: 波状跳水が形成される上限のフルード数) で形成され、図 2 に示されるように流況は水路の側壁勾配 m およびアスペクト比 b/h_1 によって変化し二つに大別することができる。なお、 $F_1 \geq 1.2$ で波状跳水が形成されると、跳水始端近くの側壁付近から衝撃波が形成される (図 2 参照)。衝撃波は、与えられた F_1 、 m に対して b/h_1 の値が小さくなると、一波目山頂部より上流側で交差するようになる。衝撃波が一波目山頂部より上流側で交差する場合、波状跳水の形成に対する衝撃波の影響が認められる^{2)~6)}。一方、 b/h_1 の値が大きくなり衝撃波が一波目山頂部より上流側で交差しなくなると、波状跳水の形成に対する衝撃波の影響はほとんど無視することができる。ここでは、衝撃波が一波目山頂部より上流側で交差しなかった場合の流況を対象として流況を次のように分類した。

流況 A 与えられた b/h_1 に対して m が小さい場合に形成され、顕著な水面の凹凸が下流側へ続く。また、水面の凹凸の大きさは下流側に行くほど徐々に小さくなる (図 2(A))。この場合、長方形断面水路において形成される波状跳水の流況と類似となる。なお、 $F_1 > F_{1\text{limit}}$ となると一波目が breaking し常に表面渦を伴った対称な流況が形成される。

流況 B 与えられた b/h_1 に対して m が大きい場合に形成され、流況 A の場合に比べて波状水面の凹凸は顕著でない (図 2(B))。この場合、水路中央部の流れが側壁の影響を受け、跳水始端での水面形の勾配および跳水の共役水深比が小さくなる。なお、 $F_1 > F_{1\text{limit}}$ となると主流が右岸または左岸に偏向しその対岸で広範囲にわたり逆流域が生じる非対称な流況が形成される。

各流況の形成範囲 流況 A、B の形成領域について整理したものを図 3 に示す。与えられた側壁勾配 m に対してアスペクト比 b/h_1 の値が大きくなると側壁の影響が小さくなり、長方形断面における波状跳水と類似な流況 A が形成される。また、 m

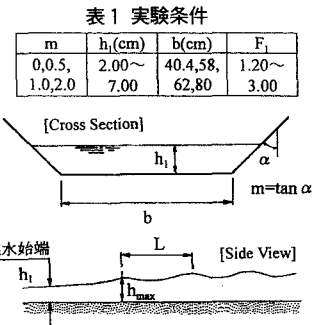


図 1 定義図

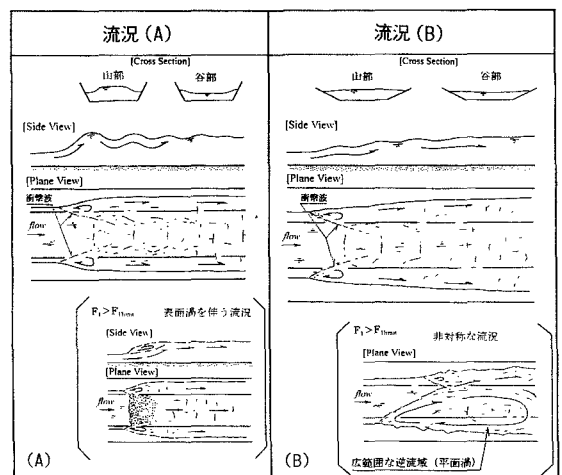


図 2 流況

キーワード：波状跳水，跳水，開水路流，台形断面水路

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

の値が大きくなるに伴って側壁の影響が水路中央部の流れに影響しやすくなるため、流況 A が形成されるために必要なアスペクト比 b/h_1 の値は大きくなる。

波状跳水の諸特性

波の高さ 図 4 は、一波目の波の高さ $h_{\max}$ について $h_{\max}/h_1=f(F_1, b/h_1, m)$ の関係で整理したものである。図中実線は、長方形断面の場合 $[(h_{\max})_{\text{rec}}/h_1=(1.51F_1-0.35)]$ を示す^{2),4)}。図に示されるように、与えられた b/h_1 と m に対して $h_{\max}/h_1$ の値は F_1 が大きくなるに伴って大きくなる。また、流況 A の場合の $h_{\max}/h_1$ の値は長方形断面の場合と一致し、流況 B の場合の $h_{\max}/h_1$ の値は長方形断面の場合より小さくなる。このことは、一波目の波の高さを $h_{\max}/(h_{\max})_{\text{rec}}=f(m, b/h_1)$ の関係で整理した図 5 からも理解される。与えられた m に対して b/h_1 が大きくなるほど流況 B の一波目の波の高さは大きくなり流況 A の場合と近づく。図 3、5 から、長方形断面の場合と類似な流況 A が形成されるためには m が大きくなるに伴って大きい b/h_1 が必要となることが理解される。

波長 L/h_2 の値は、図 6 に示されるように流況 A の場合、長方形断面の場合と一致し、流況 B の場合の L/h_2 の値は長方形断面の場合より小さくなる。なお、流況 B は流況 A の場合に比べ波状水面の凹凸は小さくなる。

まとめ 台形断面水平水路において形成される波状跳水に関して、広範囲な実験条件のもとで流況、波の高さや波長の諸特性について検討を行った結果、流況を長方形断面の場合と類似な流況(流況 A)と水路中央部の流れが側壁勾配の影響を受け水面の凹凸がなくなる流況(流況 B)とに大別し、各流況の形成範囲が m と b/h_1 によって示されることを明らかにした。また、与えられた m に対して長方形断面の場合と類似な流況 A

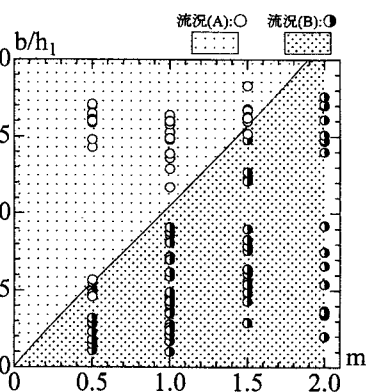


図 3 各流況の形成範囲

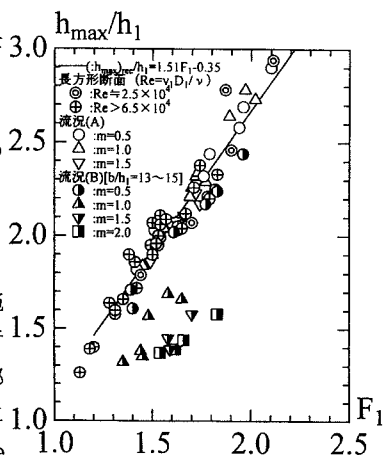


図 4 波の高さ

が形成されるために必要なアスペクト比 b/h_1 の値を示すことができた。

参考文献

- 1) 大津, 台形および長方形断面水路の自由跳水と潜り跳水, 土木学会論文報告集 248 号, pp.57~72, 1976.
- 2) 大津, 安田, 後藤, 波状跳水の形成条件について, 水工学論文集, 土木学会, 第 42 巻, pp.673~678, 1998.
- 3) 後藤, 安田, 大津, 波状跳水の形成条件に対するレイノルズ数・アスペクト比の影響について, 水工学論文集, 土木学会, 第 43 巻, pp.299~304, 1999.
- 4) Ohtsu, I., Yasuda, Y., and Gotoh, H., Characteristics of Undular Jumps in Rectangular Channels, *Proc. of the 26th IAHR Congress*, 1C14, London, UK, 1995.
- 5) Ohtsu, I., Yasuda, Y., and Gotoh, H., Discussion of Non-breaking Undular Hydraulic Jumps, *Journal of Hydraulic Research*, IAHR, 34(2), pp.567~572, 1996.
- 6) Ohtsu, I., Yasuda, Y., and Gotoh, H., Discussion of Characteristics of Undular Hydraulic Jumps: Experimental Apparatus and Flow Patterns, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 124(2), pp.161~162, 1997.

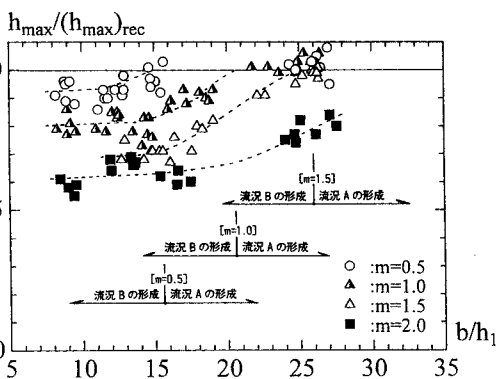


図 5 波の高さ

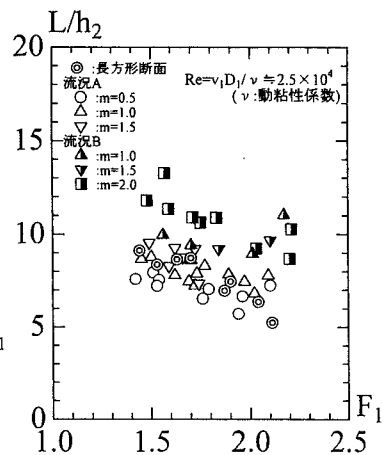


図 6 波長