

(II-113) 波状跳水の特性に対するレイノルズ数・アスペクト比の影響について

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

まえがき 一般に射流から常流へ遷移する場合、射流のフルード数 $F_1 (=v_1/\sqrt{gh_1})$: 跳水始端での平均流速, g : 重力加速度, h_1 : 跳水始端水深) が 1 近くになると波状跳水が形成される。近年、Chanson & Montes や Reinauer & Hager によって波状跳水の水利特性が調べられている^{1), 2)}が、波状跳水を支配する水理量が十分考慮されていないため、提示された結果については統一的な見解が得られていない。最近、著者らは跳水始端で乱流境界層(図-1)が十分に発達した長方形断面水平水路において形成される波状跳水の波の高さや波長が F_1 ばかりでなくレイノルズ数 Re およびアスペクト比 B/h_1 によって変化する可能性があることを示した^{3)~5)}が、 Re および B/h_1 によって内部の水理特性がどのように影響するのか不明な点が多い($Re=v_1h_1/\nu$; ν : 動粘性係数, B : 水路幅)。

ここでは、跳水始端で乱流境界層が十分に発達した長方形断面水平水路において形成される波状跳水の特性、特に流況、および内部の流速特性が Re および B/h_1 によってどのように影響するのかについて明らかにした。

実験 実験は、長方形断面水平水路を用いて広範囲な実験条件のもとで行った(表-1)。また、色素の注入、写真撮影、水深・流速の測定によって流況を把握した。なお、流速の測定には 2 次元電磁流速計(採取時間 60s, 採取間隔 40ms)、プロペラ流速計およびピトー管を用いた。

流況 $F_1 \geq 1.2$ で波状跳水が形成されると、跳水始端付近の両側壁から衝撃波が形成される(図-2)。衝撃波が一波目山頂部より上流側で交差する場合、波状跳水の流れが三次元的となり、特に水路中央部の流れが水路側壁の影響を大きく受けるようになる。この場合、波状跳水の流況が B/h_1 の影響を大きく受けるようになる。一方、衝撃波が一波目山頂部より下流側で交差する場合、水路側壁付近を除いて波状跳水の流れは二次元的となり、波状跳水の流況は B/h_1 の影響を受けない^{3)~5)}。また、 $Re < 65000$ となると波状跳水の流況に対する Re の影響が認められるようになる^{1)~3)}。

衝撃波が一波目山頂部より下流側で交差する場合

$Re \geq 65000$ の場合 側壁付近を除いて二次元的な波状水面が形成され、水面の凹凸が下流側遠方まで続く。なお、水路側壁に沿った水面の凹凸は時間的に不規則で小さい^{1)~3)}(図-3(a))。

$Re < 65000$ の場合 図-3(b)に示されるように、流況の形成に対する粘性の影響が大きくなり、側壁付近、特に水面および底面近くでは流速が非常に小さくなり死水域となる。なお、一波目山頂部底面付近で時間的に逆流が観察されたり、されなかったりする。

衝撃波が一波目山頂部より上流側で交差する場合

$Re \geq 65000$ の場合 跳水始端付近の両側壁から形成される衝撃波が一波目山頂部より上流側で交差

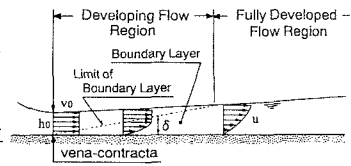


図-1 境界層の発達

表-1 実験条件

F_1	1.18 ~ 2.46
$Re (\times 10^4)$	2.10 ~ 17.0
h_1 (cm)	2.20 ~ 11.8
B (cm)	10.5, 15.5, 20, 28, 40, 80

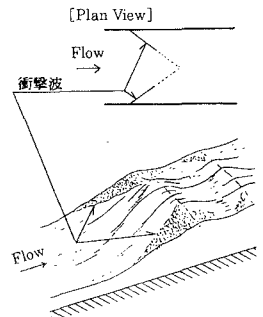


図-2 衝撃波の形成

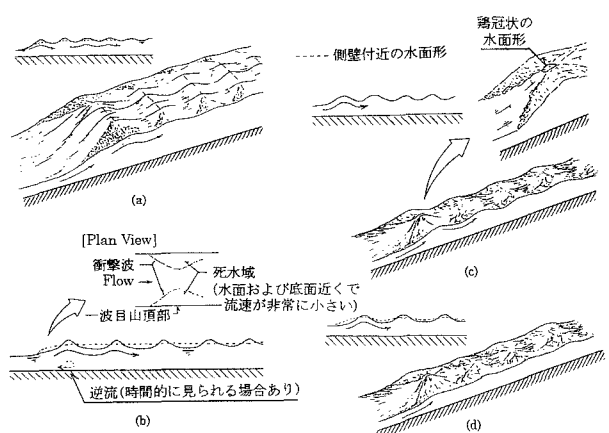


図-3 波状跳水の流況

キーワード: 開水路流、跳水、波状跳水、レイノルズ数、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. 03-3259-0668 FAX. 03-3259-0409

するため、流れは三次元的になり一波目山頂部付近で鶏冠状の水面形が形成される(図-3(c))。特に、 $B/h_1 < 4$ になると図-3(c)で示されるように、水路側壁に沿っても水路中央部と同様な波状水面が形成されるようになる。

$Re < 65000$ の場合 流況の形成に対する粘性の影響が大きくなるため側壁近くの流速は、 $Re \geq 65000$ の場合と比べて小さくなる。このことによって、たとえ B/h_1 が小さくても水路側壁に沿った水面の凹凸は顕著でなくなる(図-3(d))。

流速特性 図-3(a)、(b)および(c)の流況に対応した水路中央部および水路側壁付近の流速コンター図を図-4~6に示す(x : 跳水始端から流下方向への水平長さ、 y : 水路床からの垂直長さ、 z : 水路中央部から水路側壁方向への長さ、 u : (x, y, z)における x 方向の流速)。

衝撃波が一波目山頂部より

下流側で交差する場合

$Re \geq 65000$ の場合、水路中央部では、主流が水面に沿って流下していることが認められる(図-4(i))。この場合、水路側壁付近を除いて流速は水路中央部の場合とほぼ同様な分布を示す。水路側壁付近では、水路中央部の場合とは異なり流速の値は小さい(図-4(ii))。 $Re < 65000$ の場合、粘性の影響が大きくなり水路横断方向に対する流速の変化が大きく衝撃波下流側の水路側壁付近(水面および底面近く)で死水域が形成される(図-5(ii))。

衝撃波が一波目山頂部より

上流側で交差する場合

$Re \geq 65000$ の場合、水路中央部ばかりでなく水路側壁付近においても主流が水面に沿って流下していることが認められる(図-6)。この場合、一波目を除き流速は水路中央部の場合と同様な分布を示す。特に、 $B/h_1 < 4$ になるとこの傾向は顕著となる。なお、 $Re < 65000$ の場合、実験によると、粘性の影響のため水路横断方向の流速の変化が大きく衝撃波下流側の水路側壁付近の流速は小さいことが確認された。

結論 跳水始端で乱流境界層が十分に発達した波状跳水について Re と B/h_1 を系統的に変化させ流況を特徴づけ流速特性を明らかにした。その検討の結果、 Re 、 B/h_1 の変化によって水路側壁付近の流速特性が大きく異なることを明らかにした。

参考文献

- 1) Reinauer, R., and Hager, W.H., Non-breaking Undular Hydraulic Jumps, *Journal of Hydraulics Research*, IAHR, 33(5), pp.1~16, 1995.
- 2) Chanson, H., and Montes, J.S., Characteristics of Undular Hydraulic Jump: Experimental Apparatus and Flow Patterns, *Journal of Hydraulics Engineering*, ASCE, 121(2), pp.129~144, 1995.
- 3) Ohtsu, I., Yasuda, Y., and Goto, H., Characteristics of Undular Jumps in Rectangular Channels, *Proc. of the 26th IAHR Congress*, IC14, London, UK, 1995.
- 4) 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.
- 5) 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, 43巻, 1999(掲載予定).

