

II-175

波状跳水の二、三の特性について

日大理工 正員 後藤 浩
 日大理工 正員 安田 陽一
 日大理工 正員 大津 岩夫

はじめに 一般に、射流から常流へ遷移する場合、射流のフルード数が1近くで波状水面を呈した流況が形成される。このような流況は、波状跳水と呼ばれている。前報¹⁾では、長方形断面の水平水路において形成される波状跳水の流況および諸特性(波の高さ、波長など)を支配する水理量を明確にした。また、波状跳水の始端近くから形成される衝撃波(図1,2参照)の交差位置によって波状跳水の諸特性が影響されることを示し、その影響が認められる水理条件を明らかにした。さらに、波状跳水の流況を分類し(図2)、諸特性を示した。ここでは、各流況が形成されるための水理条件を明確にした。また、各流況に対応した流速特性を示した。

流況の説明 波状跳水の流況は跳水始端のフルード数 $F_1(=v_1/\sqrt{gh_1})$ 、 v_1 :跳水始端の平均流速、 g :重力加速度、 h_1 :跳水始端水深)、跳水始端での乱流境界層の発達状態²⁾を示す無次元量 δ/h_1 (δ :跳水始端での乱流境界層の厚さ)、衝撃波の影響を含んだ水路の幅を示す無次元量 L_s/L_w [$L_s=B/(2\tan\theta)$; B :水路の幅、 θ :衝撃波と水路側壁とのなす角、 L_w :衝撃波始端から一波目山頂部までの水平長さ] およびレイノルズ数 $Re(q/\nu)$; q :単位幅流量、 ν :動粘性係数)によって変化する^{1),3)~4)}。 $Re \geq 6.5 \times 10^4$ 、 $L_s/L_w \geq 1.0$ の場合、流況は F_1 および δ/h_1 によって分類される。[Side View]

$$1.2 \leq F_1 \leq 1.7$$

DEVELOPING INFLOW この場合、顕著な波状水面が形成され下流側遠方まで水面の凹凸が続く。この場合、水路側壁に沿っても顕著な波状水面が形成される(図2(A))。

DEVELOPED INFLOW この場合、顕著な波状水面が形成され下流側遠方まで水面の凹凸が続く。この場合、水路側壁近くでは波状水面は形成されない(図2(B))。

$$1.8 \leq F_1 \leq F_{1\text{limit}}$$

DEVELOPING INFLOW この場合、一つの大きな定常的なwaveが形成される。このwaveの底面付近では逆流が常に観察される。また、この場合、2波目から下流側の水面の凹凸は不規則で小さい(図2(C))。

DEVELOPED INFLOW この場合、常に表面渦を伴う流況が形成される。すなわち、弱跳水が形成される(図2(D))。

なお、ゲート直下に跳水始端が位置した場合、 $F_1 \leq 1.7$ においても弱跳水が形成される。

各流況が形成されるための条件 図2に示される各流況の形成領域($\delta/h_1, F_1$)を図3に示す。図中実線は先に提案した波状跳水と弱跳水との境界を示している¹⁾。また、破線は、本実験によって得られた波状跳水と弱跳水との境界を示しており、(1)式によって近似される。

$$\delta/h_1 = 0.12(F_1 - 1)^3 + 0.18$$

$$(F_1 \geq 1.2, Re \geq 6.5 \times 10^4, L_s/L_w \geq 1.0)$$

(1)

図3に示されるように、 $0.2 \leq \delta/h_1 \leq 0.5$ の場合、跳水始端での乱流境界層の発達状態 δ/h_1 が小さくなるほど、第1波目が砕波し始めるときの F_1 が小さくなる。すなわち、跳水始端の位置によって $F_1 \leq 1.7$ においても弱跳水が形成されることを意味する。波状跳水の始端がゲート近くに位置するとき、ゲート上流側の水位が低い状態である。このとき、ゲート上流側の水位の

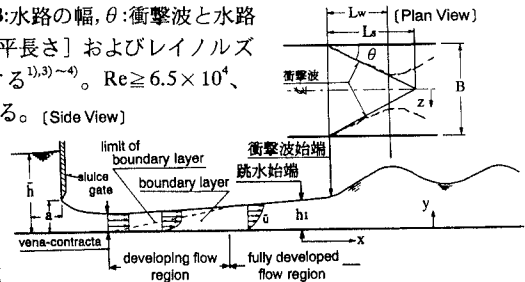


図1 定義図

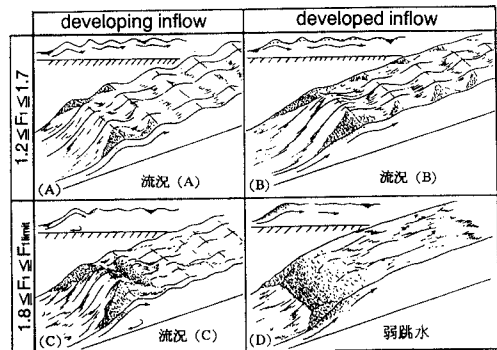


図2 流況

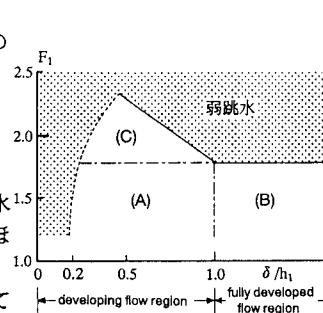


図3 各流況の形成領域

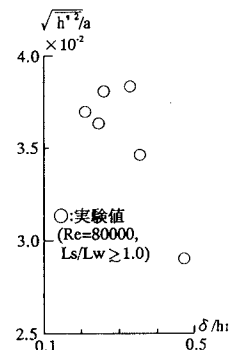


図4 ゲート直上流での水面変動

変動が大きく、その影響がゲート下流側の流れに伝わり碎波しやすくなるものと考えられる。図4は、ゲート直上流側（ゲートから開口高 a の大きさ分、上流側に位置した断面）の水面変動 $\sqrt{h^2}$ [$h=h_1$; h :時間平均された水深]と跳水始端での乱流境界層の発達状態 δ/h_1 との関係を示す。図4に示されるように、跳水始端がゲート近くに位置したとき水面変動が大きな値を示していることが確かめられる。なお、 $\delta/h_1 \leq 0.2$ では、波状跳水の形成は認められないことが図3から示される。すなわち、ゲート直下流ではフルード数 F_1 が1近くでも波状跳수가形成されず弱跳수가形成される。

各流況の内部特性 図5～7に各流況の x 方向の時間平均された流速 $\bar{u}/v_1$ および乱れ強さ $\sqrt{u'^2/v_1^2}$ の分布を示す。

流況A 最大流速が水面付近に位置し流れが水面に沿って流下していることが認められる（図5）。また、流下方向への流速の減衰はほとんど認められない。 $\sqrt{u'^2}/v_1$ は、水深方向に大きく変化し、速度勾配 du/dy が大きいところで大きくなる。特徴的な点として、跳水始端が境界層が発達中の領域に位置しているため、一波目の水面付近では $\sqrt{u'^2}/v_1$ の大きさは小さくなる。また、 $\sqrt{u'^2}/v_1$ の大きさは、流れが加速、減速を繰り返すため谷部で小さくなり、山頂部で大きくなることが認められる。さらに、この場合、水路中央部と水路側壁付近の $\bar{u}/v_1$ 、 $\sqrt{u'^2}/v_1$ の分布と大きさに大きな違いは認められない。

流況B 流況Aの場合とは異なり、主流が水路側壁に沿わないため水路側壁付近の $\bar{u}/v_1$ の大きさは水路中央部の $\bar{u}/v_1$ の大きさに比べ小さくなる（図6）。また、この場合、跳水始端が境界層が十分に発達した領域に位置しているため、 $\sqrt{u'^2}/v_1$ の水深方向に対する大きな変化は、認められない。

流況C 水路中央部の第1波目の底面付近で $\bar{u}/v_1$ が負となり、逆流が形成されていることが認められる（図7）。またこの場合、第1波目の底面付近で渦が形成されているため、流下方向に対する $\bar{u}/v_1$ の減衰が大きく、短区間で水面の凹凸が顕著でなくなる。

まとめ $Re \geq 6.5 \times 10^4$ 、 $L_s/L_w \geq 1.0$ の場合、波状跳수와弱跳수와境界はdeveloping inflowのとき跳水始端での乱流境界層の発達状態 δ/h_1 およびフルード数 F_1 によって定まり、developed inflowのとき F_1 によって定まる（図3）ことを明らかにし波状跳水の形成条件を示した。また、 $\delta/h_1 \leq 0.2$ の場合（跳水始端がゲート直下流に位置した場合）、フルード数 F_1 が1近くでも弱跳数が形成されることを示した。さらに、波状跳水の流速特性から各流況が特徴づけられた。

参考文献

- 1) 大津, 安田, 後藤, “波状跳水の二、三の特性について”, 第49回年報, II-161, 1994.
- 2) 大津, 安田, 後藤, “波状跳水の特性について”, 第50回年報, II-A173, 1995.
- 3) Ohtsu, I. and Yasuda, Y., “Characteristics of Supercritical Flow Below Sluice Gate”, J. of Hydr. Engrg., ASCE, Vol. 120, No. 3, 1994.
- 4) Ohtsu, I., Y. Yasuda and Gotoh, H., “Characteristics of Undular Jumps in Rectangular Channels”, Proc. of the 26th IAHR Congress, IC14, London, UK, 1995.
- 5) Ohtsu, I., Y. Yasuda and Gotoh, H., Discussion of “Characteristics of Undular Hydraulic Jumps: Experimental Apparatus and Flow Patterns”, J. of Hydr. Engrg., Vol. 121, No. 2, 1995 (to be published).

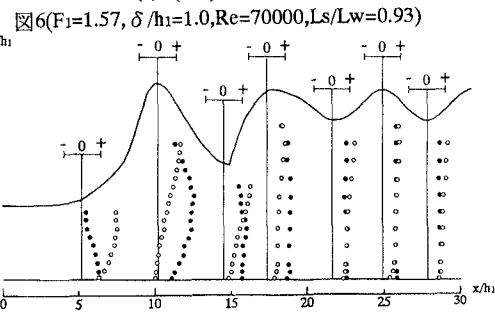
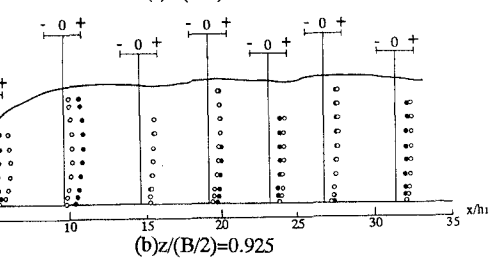
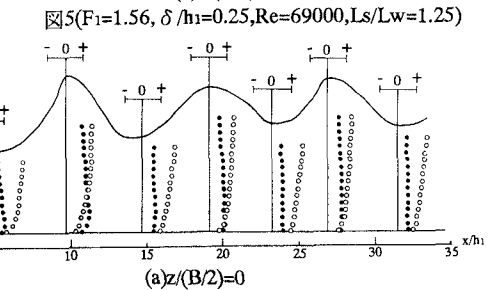
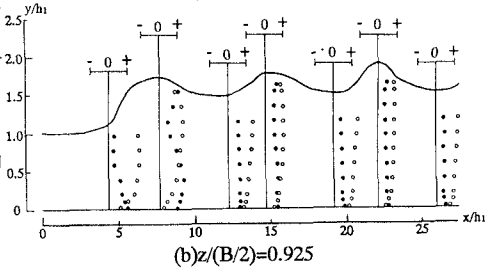
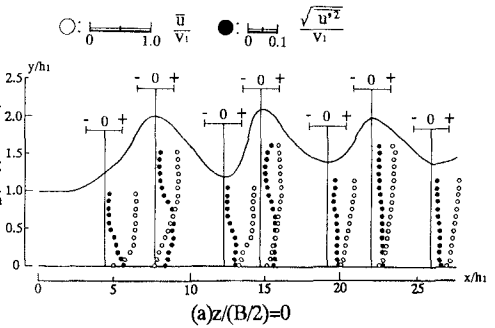


図7($F_1=1.99$, $\delta/h_1=0.49$, $Re=69000$, $L_s/L_w=0.86$, $z/(B/2)=0$)