

自由跳水の流況形成に対するレイノルズ数の影響

Effect of Reynolds number on free jump formation

日本大学理工学部 学生員 ○持田 俊

日本大学理工学部 正員 安田陽一

日本大学理工学部 フェロー 大津岩夫

はじめに

水平矩形断面水路に形成される自由跳水の流況は跳水始端のフルード数によって変化することが一般的に知られている¹⁾。特に、跳水始端のフルード数が小さい場合は表面渦が形成されず波状水面を呈する波状跳水が形成されることが示されている¹⁾。最近の研究²⁾では、波状跳水の形成条件は、跳水始端のフルード数ばかりでなくアスペクト比、跳水始端での乱流境界層の発達状態、およびレイノルズ数によって変化することが明らかにされている。また、表面渦の形成を伴う跳水 (Classical free jump) については、跳水始端の乱流境界層によって跳水内部の流速特性に違いがあることが示されている³⁾。しかしながら、表面渦の形成を伴う跳水の流況がレイノルズ数によってどのように変化するか不明である。ここでは、動揺跳水 (Oscillating jump) が形成されると一般に言われているフルード数の範囲 ($2.5 \leq F_1 (= V_1 / \sqrt{gh_1}) \leq 4.5$)¹⁾ を対象に、水平矩形断面水路に形成される自由跳水の流況に対するレイノルズ数の影響について実験的に検討した結果を示す。

実験

水平矩形断面水路上に自由跳水を形成させ、自由跳水の流況について検討するため、水路幅 40cm および 80cm の矩形断面水路 (水路長 14m、ゲート上流部の高さ 1m、下流部の高さ 60 cm) を用いた。また、上・下流側のゲートを用いて射流・常流水深の調節を行った。流量測定は水路下流端に設置された全幅刃型せきを用いた。水深測定はポイントゲージを用いている。跳水の流況変化を把握するためデジタルカメラを用いて記録撮影を行った。実験条件を表 1 に示す。

表 1 実験条件

$F_1 = \sqrt{gh_1}$	$Re = V_1 h_1 / \nu$	境界層の 発達状態
(一)	(一)	
2.86～ 3.08	9900～ 150545	Undeveloped inflow Fully developed inflow
3.87～ 4.11	9900～ 150545	Undeveloped inflow Fully developed inflow

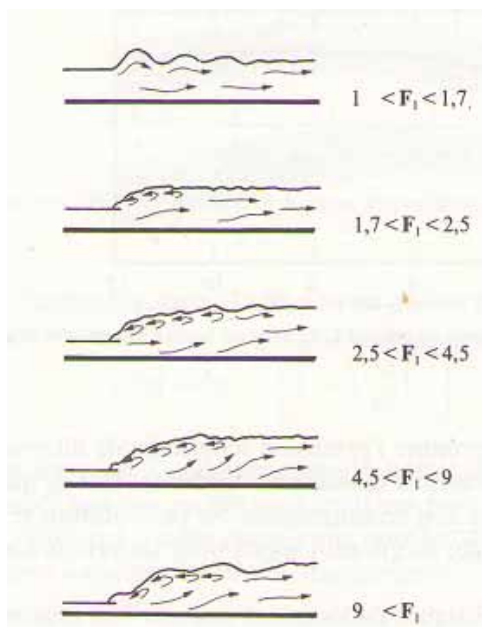
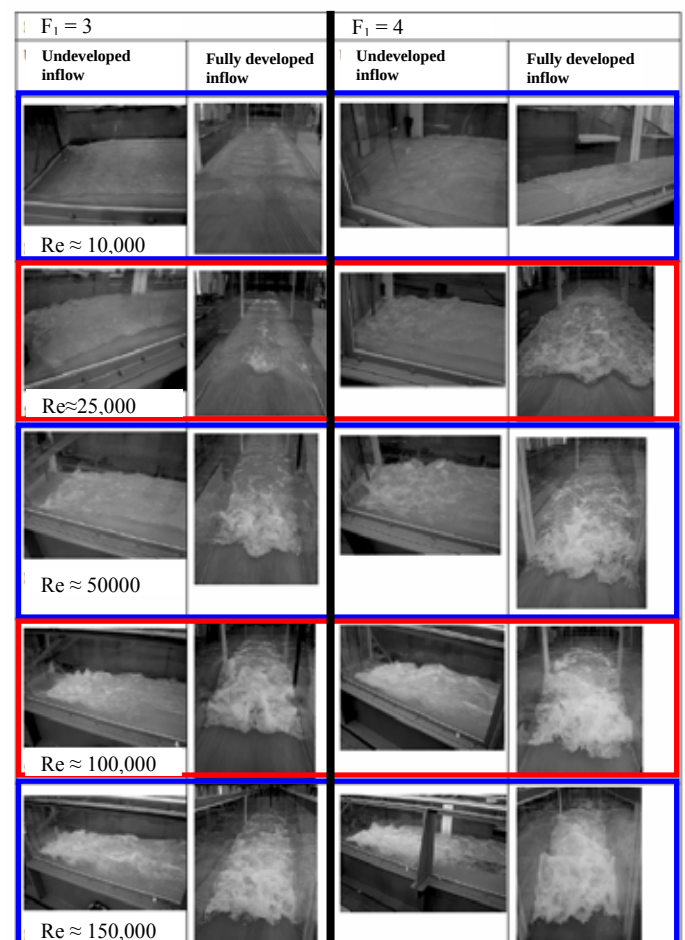


図 1 自由跳水の流況分類
(CHOW(1959) "Open Channel hydraulics"
より転載)

写真 1 $F_1 = 3, 4$ における自由跳水の流況



キーワード：自由跳水、レイノルズ数、乱流境界層、フルードの相似則

連絡先：〒101-8308 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

第 35 回土木学会関東支部技術研究発表会第 II 部門

跳水始端が縮流部に位置した場合 (Undeveloped inflow)、および乱流境界層が十分に発達した断面に位置した場合⁴⁾ (Fully developed inflow)について、与えられたフルード数 $F_1=3, 4$ に対して、レイノルズ数 Re を大きく変化させた実験を行った。

流況の概要

従来、自由跳水の流況は図 1 に示されるように分類されている¹⁾。すなわち、 $F_1 = 1 \sim 1.7$ では波状跳水 (Undular jump)、 $F_1 = 1.7 \sim 2.5$ では弱跳水 (Weak jump)、 $F_1 = 2.5 \sim 4.5$ では動揺跳水 (Oscillating jump)、 $F_1 = 4.5 \sim 9$ では定常跳水 (Stabilized jump)、 $F_1 = 9$ 以上では強跳水 (Strong jump) が形成されることが一般に示されている。ここでは、動揺跳水が形成されると言われているフルード数 $F_1=3, 4$ の跳水を対象として、跳水の流況のレイノルズ数 Re による変化を明らかにする。

$F_1 = 3, 4$ における自由跳水の流況を写真 1 に示す。写真 1 に示されるように、自由跳水の流況はレイノルズ数 Re および境界層の発達状態によって変化していることが示される。一般にフルード数 F_1 が $F_1 = 2.5 \sim 4.5$ では動揺跳水が形成されるものとされているが、本実験によると、レイノルズ数 Re および境界層の発達状態 (Undeveloped inflow, Fully developed inflow) によって、動揺跳水ばかりでなく、弱跳水および定常跳水と判断できる流況が観察される。

さらに、レイノルズ数が小さい場合、 $F_1 = 3$ において乱流境界層の発達状態によっては表面渦を伴う跳水ばかりでなく定常的な波状水面を呈する波状跳水 (Breaking Undular jump) が形成される (写真 2 参照)。

なお、波状跳水の形成について $Re \geq 65000$ ($Re = q/v$; q = 単位幅流量, v = 動粘性係数) でかつ跳水始端の乱流境界層が十分に発達した場合 (Fully developed inflow)、 $F_1 = 1 \sim 1.7$ の範囲では碎波していない波状跳水 (Non-breaking Undular jump) が形成される²⁾。また、 $F_1 = 1.8 \sim 2.2$ の範囲では碎波した波状跳水 (Breaking Undular jump) が形成される²⁾。



自由跳水の流況形成に対するレイノルズ数の影響

レイノルズ数 Re が 50000 以下の場合、与えられた跳水始端のフルード数に対して Re によって流況が変化する。すなわち、自由跳水の流況が粘性の影響を受けている。

表面渦を有する跳水現象については、 $Re \leq 50000$ の場合、 Re が減少するにつれて気泡の混入量が減少している。また、 Re によって弱跳水、動揺跳水、定常跳水の形成が確認され、動揺跳水のみ形成されることはない。一方、 $Re > 50000$ の場合、 Re による流況の違いはほとんどない。また、跳水部の気泡混入量が多く、動揺した跳水は形成されず定常跳水が形成される。

跳水始端での乱流境界層が十分に発達した場合 (Fully developed inflow)、 $Re = 10000 \sim 25000$ では、 $F_1 = 3$ で碎波した波状跳水 (Breaking Undular jump) が形成され、 $F_1 = 4$

写真 2 Breaking Undular jump

($F_1=3, Re=10000$, Fully developed inflow)

で弱跳水が形成される。 $Re = 25000 \sim 50000$ で Re の増加に伴い弱跳水、動揺跳水、定常跳水へ遷移する状況が見られる。 $Re = 100000, 150000$ では定常跳水が形成される。

跳水始端での乱流境界層が発達していない場合、すなわち、ゲート直下の縮流部に跳水始端が位置した場合 (Undeveloped inflow の場合)、 $Re = 10000 \sim 50000$ では弱跳水が形成され、 $Re = 50000 \sim 150000$ では定常跳水が形成される。すなわち、動揺跳水の形成が認められない。

まとめ

水平矩形断面水路上に自由跳水を形成させ、 $F_1=3, 4$ を対象に跳水の流況に対するレイノルズ数および乱流境界層の発達状態の影響を検討した結果、 $F_1=2.5 \sim 4.5$ では動揺跳水ばかりでなく碎波した波状跳水 (Breaking Undular jump)、弱跳水、定常跳水などレイノルズ数および跳水始端での境界層の発達状態によって流況が異なることを明らかにした。

参考文献

- 1) Chow, V.T., Open channel hydraulics, McGraw-Hill Book Company, New York, 1959.
- 2) Ohtsu, I., Yasuda, Y., and Gotoh, H., Flow conditions of Undular hydraulic jumps in horizontal rectangular channels, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol.129, No.12, 2003, pp.948-955.
- 3) Ohtsu, I., Yasuda, Y., and Awazu, S., Free and submerged jumps in rectangular channels, Report of Research Institute of Science and Technology, Nihon University, No.35, 1990, pp.1-50,
- 4) Ohtsu, I. and Yasuda, Y., Characteristics of supercritical flow below sluice gate, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol.120, No.3, 1994, pp.332-346.