

第II部門 浅水状態の棧粗度流れにおける周期振動跳水の特性

神戸大学工学部

○学生会員 衣笠 恭介

神戸大学大学院工学研究科

正会員 藤田 一郎

神戸大学大学院工学研究科

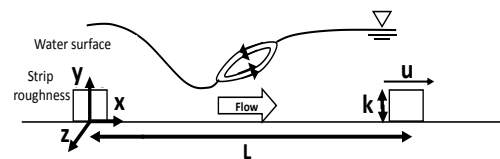
学生会員 谷 昂二郎

1. はじめに

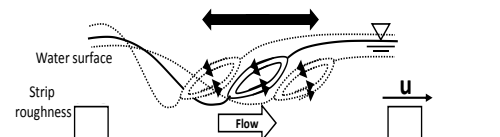
開水路粗面乱流の基礎的な研究においては人工粗度として棧粗度を用い、これまでその抵抗特性に関する検討が数多く行われてきているが¹⁾、水深が粗度高さの数倍程度の浅水流に関する研究例は少ないのが現状である。本研究では浅水状態における様々な水理条件下で実験を行った結果、その過程でこれまで報告例のない波面の規則的な振動を伴う跳水を見出した²⁾。ここでは、この現象を周期振動跳水と命名し、その特性について検討した結果を示す。

2. 実験概要

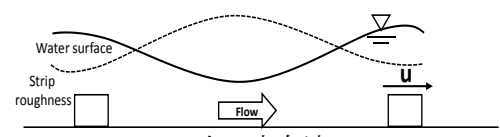
本研究では水路全長約 6.0m、水路幅 0.3m の循環型可変勾配式直線水路を用い、水路底面には一辺が $k=0.9\text{cm}$ の正方形断面の棧粗度を等間隔 L で設置した。粗度の設置間隔は無次元粗度間隔 $L/k=2.5$ から 20 の範囲で 4 通り、勾配は $I=1/50$, $1/100$ の 2 通り、レイノルズ数は 5000 から 36000 の範囲で変化させ、水面変動の様子を調べた。下流端での堰上げは行っていない。その結果、浅水状態の棧粗度流れではいくつかの特徴的な水面変形パターンが発生することがわかった。その特徴を大別すると 4 通りに分類できる。即ち、(a) 定常跳水(NJ)、(b) 周期振動跳水(PJ)、(c) 3次元定在波(3D)、及び(d)平面的(FT)である。レイノルズ数(流量)を徐々に増大させたときに生じる典型的な様子を模式的に示したのが図-1 である。(b)は跳水位置が x 方向に振動する現象、(c)は大きな3次元のコブ状の水面変形が発生する現象、そして(d)は水面変動が起きない現象である。例えば $I=1/50$ のとき、低レイノルズ数では FT や NJ しか発生しないが、徐々にレイノルズ数を増大させると粗度間で発生していた跳水が振動を始めるようになり、次に 3D を発生させた後に FT に近づいていく。



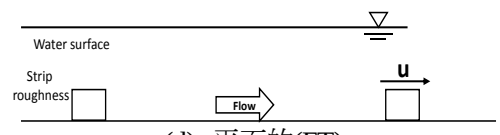
(a) 定常流れ(NJ)



(b) 周期振動跳水(PJ)

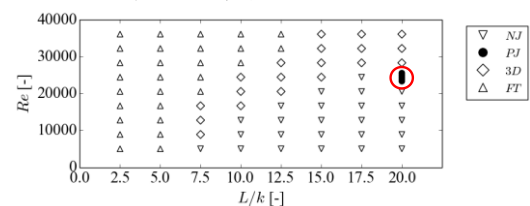


(c) 3次元定在波(3D)

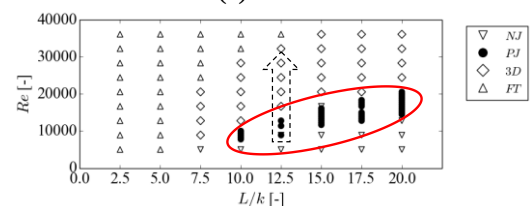


(d) 平面的(FT)

図-1 水面形のパターン



(a) 1/100



(b) 1/50

図-2 周期振動跳水の発生条件

3. 周期振動跳水の発生条件

図-1 に示した周期振動跳水の発生は、基本的には目視で確認しているが、この現象が発生した条件を水深に対するレイノルズ数と併せてプロットしたのが図-2 である。上述のレイノルズ数の増大に伴う水面形の変化に対応するプロットは図-2(b)中に矢印で示した。これによると、PJ が生じるのは勾配が $1/50$ のケースが大半であ

Kiyosuke KINUGASA, Ichiro FUJITA, Kojiro TANI

ifujita@kobe-u.ac.jp

り、また図中に赤枠で示したように Re 及び L/k の双方に強く依存して、ある限られた条件でのみ発生するようである。

4. 周期振動跳水の振動周波数

振動跳水の様子を可視化するために本研究では、図-3 に示すような水路上方から斜めに LED ライトを照射し、水面からの反射光を HD ビデオカメラ (SONY-HDR-CX720) で撮影して比較した。即ち、跳水波面からは反射光が強まるため、跳水が振動している様子をうまく捉えることができる。一例として、図-4 に撮影した画像 ($L/k=15$, $I=1/50$, $Re=12777$ のケースで周期振動跳水の半周期分) を示す。これより、跳水は水路中央と側壁付近で逆位相の振動をすることがわかるが、時間的な変動をさらに詳しく調べるために図中の検査線に対する時空間画像を生成した例を図-5 に示す(4 秒間, 116 枚相当)。跳水波面が非常に規則的に変化していることがよくわかる。これらの情報から振動周波数を求め、整理したのが図-6 である。周波数 f の無次元量であるストローハル数 St を $St = fk/u$ で定義する。ここに、 f は周期振動跳水の振動周波数(Hz), u は粗度上平均流速 (cm/s), k は粗度高さで 0.9(cm) である。図-6 では St 数と粗度要素に対するレイノルズ数 $Re_k (=uk/\nu)$ の関係を示しているが、レイノルズ数の増大とともにストローハル数が減少する傾向をみてとれる。但し、この関係が Re_k のどの範囲まで及ぶのかは未知であるため、今後、さらなる検討が必要である。

5. おわりに

本研究では、浅水状態の栈粗度流れにおいて見出した周期振動跳水に焦点を当て、その振動特性の発生条件について実験的な検討を行った。また、周期振動跳水のストローハル数がレイノルズ数と強い相関があることがわかった。但し、今回の実験は水理条件の範囲(例えば、 Re 数や k のサイズなど) が狭いため、今後は粗度高さや水路幅などのスケールを変化させて、より普遍的な発生条件を調べていく予定である。

参考文献

- 1) 富永晃宏：栈粗度の相対栈間隔が開水路の乱流構造に及ぼす影響，水工学論文集，第 36 巻，pp.163-168, 1992.
- 2) 谷昂二郎・藤田一郎・能登谷祐一：浅水状態の栈粗度乱流場における水面変動のパターン変化に関する画像計測による検討，水工学論文集，60 巻，pp.I_559-I_564, 2016.

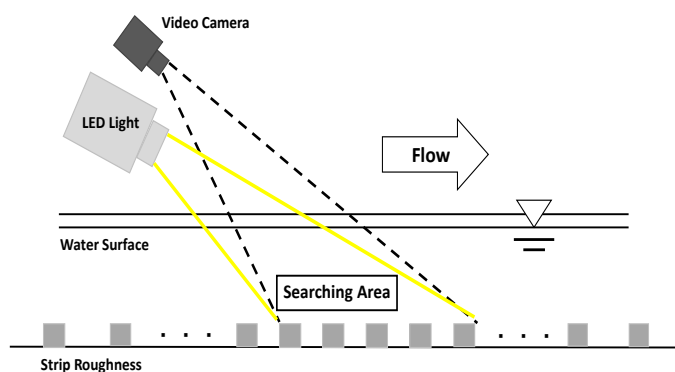
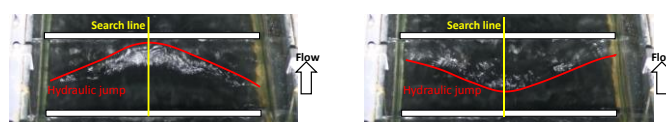


図-3 水面変動の可視化方法



(a) $t=0(s)$ (b) $t=0.31(s)$

図-4 半周期分の撮影画像

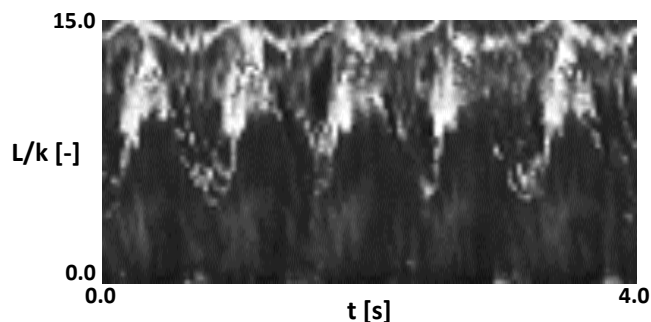


図-5 水面変動の時空間画像

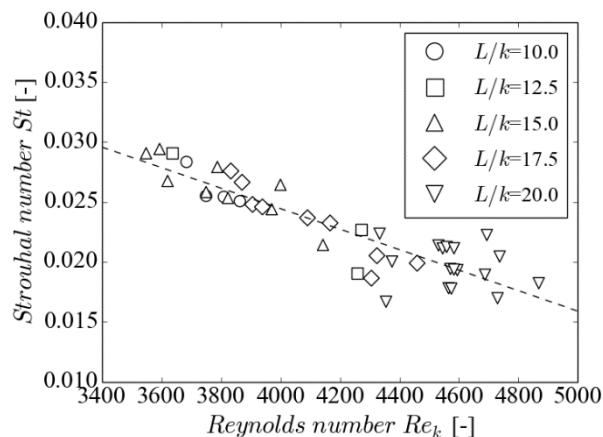


図-6 ストローハル数とレイノルズ数の比較