

急拡段落ち部背後の跳水形態の移行限界の考察

広島県庁 正会員 ○八幡 拓馬
 広島大学 正会員 内田 龍彦
 広島大学 フェロー会員 河原 能久

1. 背景・目的

堰や床止め工などの段落ち部下流における流況は、段落ち高さや上流側の Fr 数あるいは下流の水深などの水理条件によって大きく変化する。下流側水位がある程度より高いと波状跳水状態になり、逆にある程度より低くなると潜り噴流状態になる。潜り噴流状態では、段落ち部下流の河床付近で流体力や洗堀力が大きくなりやすく、波状跳水では水面に沿う速い流れが下流側遠方まで減衰しにくく、付随する水面変動と合わせて、構造物本体の安定性を低下させる原因となる。このため、洪水時の段落ち部下流の流況特性を明らかにすることは重要である。

これまで一様幅水路の段落ち部で生じる跳水の流況特性については多くのことが明らかにされてきた^{1,2)}。一方、断面急拡を有する水路での実験的研究は少ない³⁾。特に断面急拡を有する水路で跳水についての研究は少なく、跳水形態が移行するための必要条件と、流況がどのような条件で移行しなければならないのかを示す移行の十分条件については明らかでない。本研究では、急拡段落ち部における跳水形態について、流れの遷移メカニズムを明らかにすることを目的とする。

2. 実験方法・実験条件

実験には水路幅 0.8m、全長 24m、水路勾配 1/1000 の可変勾配直線水路を用いる。実験区間には塩化ビニルの側壁を設置することで、段落ち部上流側 2.0m の水路幅 B_1 0.08m あるいは 0.16m とし、下流側 3.0m の水路幅 B_2 0.08m, 0.16m, 0.32m, 0.64m, 0.80m, あるいは 0.16m, 0.32m, 0.42m, 0.54m, 0.64m, 0.80m と変化させ、上流端より 0.8m~2.0m の部分に高さ 0.05m あるいは 0.10m の堰模型を設置して実験を行った。測定項目は移行条件、潜り噴流状態時の底面流速、波状跳水状態時の波形勾配である。(Fig.1)

跳水形態の移行条件では、段落ち高さ(w)が 0.05m の場合、流量は 4,6,8,10,12 (ℓ/s) の 5 ケース、段落ち高さ(w)が 0.10m の場合、流量は 4,8,12,16,20,24 (ℓ/s) の 6 ケース実験を行った。ここでは潜り噴流状態から下流端水深 h_t を徐々に上げて流れが波状跳水状態に移行する限界の h_t と、逆に波状跳水状態から h_t を徐々に下げて流れが潜り噴流状態に移行する限界の h_t を測定した。潜り噴流状態時の底面流速は流量 6(ℓ/s) で下流端水深を等しくし、 B_2/B_1 を 2.4 と変化させたときの底面付近(水路床から 0.5cm)の流速をマイクロ ADV(Acoustic Doppler Velocimeter)を用いて測定した。波状跳水状態時の波形勾配は水路右端の第一波について、流量 10(ℓ/s) で下流端水深が三つの場合で B_2/B_1 を 1,4,8 と変化させ計測を行った。

キーワード 開水路流, 跳水, 段落ち部, 急拡部

連絡先 〒739-8527 広島県東広島市鏡山 1-4-1 広島大学大学院工学研究科 社会基盤環境工学 専攻事務室

T E L 082-424-7819

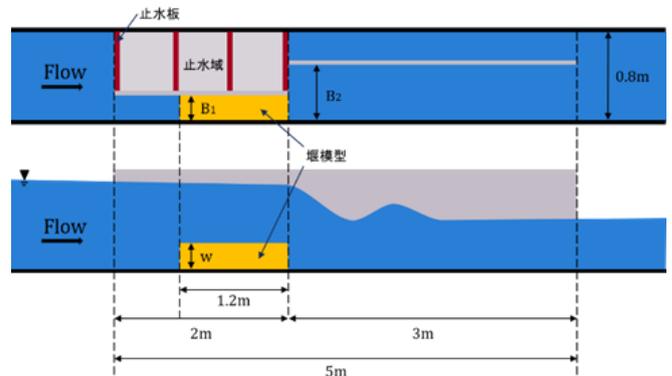


Fig. 1 Plan and side views of experimental channel

3. 跳水形態の移行条件

Fig. 2 は一様幅での移行条件であり、縦軸は下流端水深 h_t を h_c で除したもので、横軸は段落ち高さ w を限界水深 h_c で除したものである。「潜り噴流→波状跳水」の直線と「波状跳水→潜り噴流」の直線の間は、潜り噴流になったり波状跳水になったりする不安定な流況となっている。Fig. 2 における直線の方程式は傾きを a 、切片を b とすると次の(1)式ようになる。

$$(h_t / h_c) = a (w / h_c) + b \quad \dots(1)$$

Fig. 3 に B_2/B_1 を変化させたときの傾き a と切片 b を示す。傾き a は B_2/B_1 が大きくなるほど大きくなる傾向があるが、それによる領域分布の変化は小さかった。一方で、切片 b は B_2/B_1 を大きくする程小さくなる。したがって、 B_2/B_1 を大きくすると h_t/h_c は小さくなり二直線は下に下がる。即ち、Fig.2 より波状跳水の領域が広がることから波状跳水に移行しやすくなり潜り噴流に移行しにくくなるのが分かる。

4. 跳水形態の遷移メカニズム

跳水形態の移行条件より B_2/B_1 が大きくなると波状跳水に移行しやすくなり、 B_2/B_1 が小さくなると潜り噴流に移行しやすくなる。これは急拡段落ち部下流の跳水形態の移行メカニズムについて、以下に急拡部の流れによる移行の必要条件と十分条件を検討する。

「潜り噴流→波状跳水」では、下流端水深は等しいものとして B_2/B_1 を大きくする場合を考える。 B_2/B_1 が大きくなると急拡損失が大きくなり、エネルギー損失が大きい潜り噴流から比較的損失が小さい波状跳水に移行しても良い流況、即ち必要条件が満たされる。潜り噴流では、底面付近に運動量が運ばれそれは急拡部側に拡散する。 B_2/B_1 を大きくすると、急拡部側への運動量の拡散は大きくなると考えられる。Fig. 4 に底面流速のコンター図を示す。縦軸は段落ち部からの流下距離、横軸は水路右端からの横断距離となっている。二つの流況の $Y=8\text{cm}$ の流速を比較すると、 $B_2/B_1=4$ では

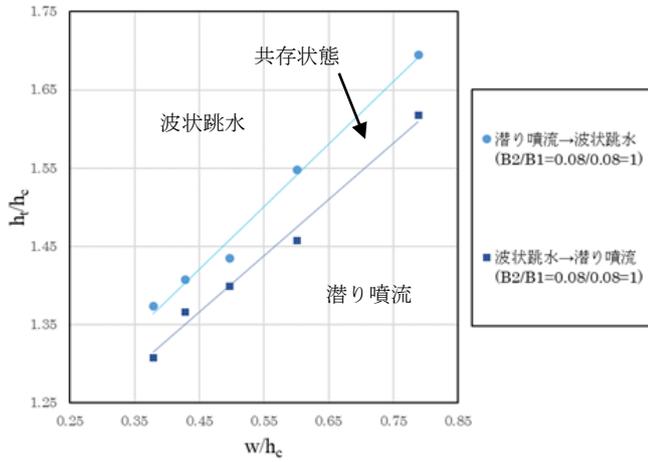


Fig. 2 Transition conditions between submerged jet and wave jump downstream a negative step

運動量が比較的多く急拡部側へ輸送される。よって主流の運動量は減少し比力は小さくなる。これにより、潜り噴流時に B_2/B_1 を大きくすると波状跳水に移行しなければならない十分条件となると考えられる。

「波状跳水→潜り噴流」では、下流端水深は等しいものとして B_2/B_1 を小さくする場合を考える。潜り噴流から波状跳水に移行する場合と同様に B_2/B_1 が小さくなると急拡損失が小さくなり、エネルギー損失の小さい波状跳水である必要がなくなり潜り噴流に移行しても良い流況となる。また波状跳水では次のようなことが考えられる。波状跳水の主流底面付近では圧力の高低が生じ、それと急拡部での一定の領域と影響し合う。波状跳水の主流の波高は B_2/B_1 を大きくすると、急拡部の圧力一定の領域が大きくなり波高は低くなる。逆に B_2/B_1 を小さくすると、急拡部の一定の圧力の領域が狭くなり波高の抑制が小さくなり碎波すると考えられる。

Fig. 5 は波形勾配 (h_w/L_w) と B_2/B_1 の関係を示している。 h_w , L_w の定義を Fig. 6 に示す。Fig. 5 より下流端水深を等しくし B_2/B_1 を大きくすると、波形勾配は小さくなるのが分かる。これは上述した通り波状跳水主流の底面付近に存在する圧力の高低と急拡部の圧力一定の領域が相互に影響し合っているためと考えられる。したがって、波状跳水時潜り噴流に移行しても良い条件を満たしている場合、 B_2/B_1 を小さくすると波状跳水の主流の波形勾配は大きくなり碎波する。このとき潜り噴流に移行すると考えられる。

5. 結論

B_2/B_1 を大きくすることにより、波状跳水に移行しやすくなり潜り噴流に移行しにくくなる。急拡段落ち部下流の跳水形態の移行メカニズムについて、急拡損失が必要条件であるが、逆流域の流れが移行する十分条件を生じさせることを明らかにした。

参考文献

- 1) 鈴木幸一, 道上正規, 川津幸治: 床固め直下流部のながれと局所洗堀過程について, 第26回水理講演会論文集, pp.75-80, 1982.
- 2) Ohtsu,I, Yasuda,Y : Transition from supercritical to subcritical flow at an abrupt drop, Journal of Hydraulic Research, Vol.29, No.3, pp.309-328, 1991.
- 3) 松下玄: 開水路の断面急変損失について, 農業土木学会論文集第98号, pp.49-57, 1982.

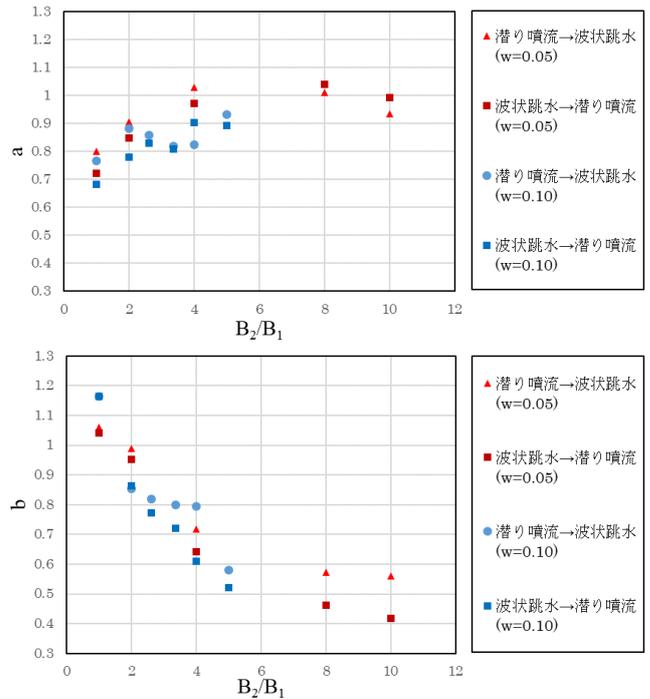


Fig. 3 Variation in the parameters of the transition conditions with various width ratios (Top: a, Under: b)

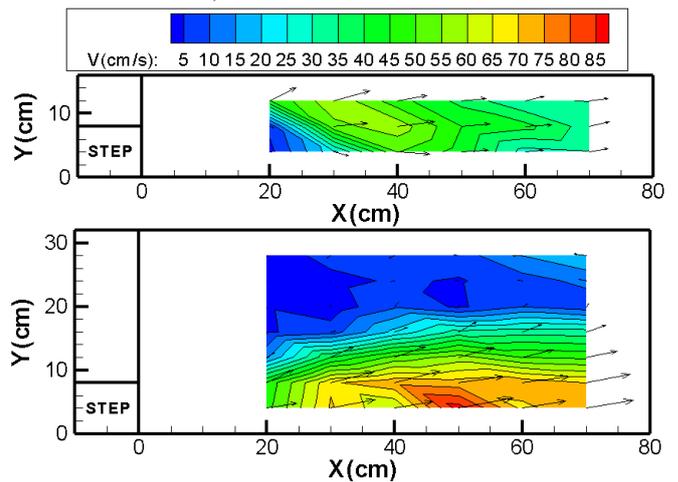


Fig. 4 Bed velocity in the submerged jet (Top: $B_2=0.16m$, Under: $B_2=0.32m$)

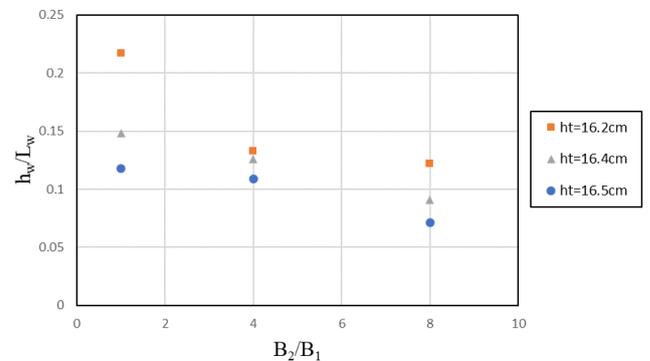


Fig. 5 Wave steepness in the wave jump

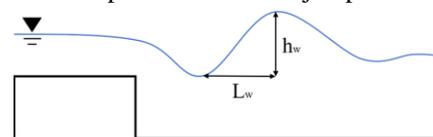


Fig. 6 Definition of h_w and L_w