

床固斜路の階段化における減勢効果

国土交通省 神通川水系砂防事務所 水野正樹
館下コンサルタンツ株式会社 ○佐渡 正, 毛利俊之
富山県立大学 短期大学部 高橋剛一郎

1. はじめに

近年、環境、景観に配慮して下流法を緩勾配化した斜路タイプ、又は魚道として階段状の床固工等が多く建設されている。しかし、床固工は落差をもって強勢跳水を生じさせること等により流勢を減勢する機能を持つ。当然のことながら、落下面を斜路化、階段状とした場合は減勢効果は小さくなるとともに、床固下流は流水が走り洗掘などの悪影響を発生させることが考えられる。本実験は、岐阜県高山市奥飛騨温泉郷において計画された新穂高溪流保全工をモデルに、イワナの遡上を可能とし、かつ減勢効果を確保することを目的として床固下流面を階段状とし、その減勢効果について検証するため模型実験を行った。

2. 実験概要

1/2~1/3といった急勾配の階段状水路について、これまで得られている知見は以下のである。

- (1) 流況・・・Skimming flowとNappe flow及び2つの混合があり、それらの境界条件^{1),2)}
- (2) Skimming flowの平衡条件・・・同flowにおいて擬似等流状態となる鉛直流下距離算定式¹⁾
- (3) 相対ステップ高さ・・・Skimming flowにおいて同一水路勾配、相対落差に対してS(ステップ高)/dc(越流部限界水深)の値が0.4~0.5となるように階段の高さを設定すると、射流エネルギー損失が最大となる。²⁾
- (4) 水路勾配・・・階段式落差工の勾配は、減勢効果と経済性より1:3程度が最適である。²⁾

これらの知見より、新穂高溪流保全工ではSkimming flowであり、越流水は(2)の平衡状態となる前に水叩きに到達することがわかった。(3)(4)より実験ケースを表-1のように決定し、模型縮尺1/40で幅20cm(実幅8m)の図-1に示すような実験水路を作成した。実験ケースを表-1に流量を表-2に示す。また、水位・流速の観測点は図-1に示す番号の位置で、中央及び左・右岸よりの3点とした。なお、実験は無給砂固定床で行った。

表-1 実験 ケース

ケース	実験 条件	要図
1	通常の落差 勾配 1:0.2	図-2
2	斜路 勾配 1:3.0	
3	階段ステップ高 0.70m	
4	階段ステップ高 1.00m	図-3
5	ケース5のステップ勾配1:0.5、平場に深さ0.3mの傾斜	
6	ケース5に若干の水褥池付(深さ0.6m)	図-4
7	ケース5の中央右岸寄りに斜路	
8(追加)	ケース6の水褥池の垂直壁側に逆勾配の斜路	図-5
ケース3~8の勾配は全て1:3.0		

表-2 実験 流量

実験流量 ℓ/s	現地流量※2 m³/s	推定確率※1	等流流速 m/s
15.0	398.9	1/150	9.0
12.5	332.4	1/20	8.4
10.0	265.9	1/5	7.8
7.5	199.5	1/1.5	7.0

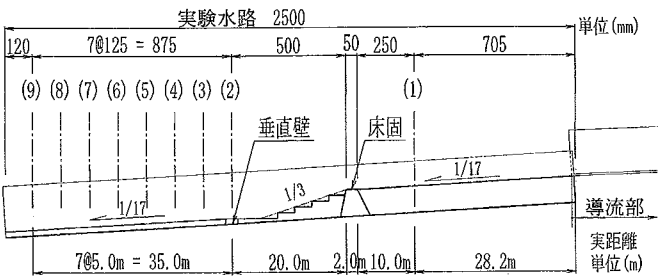


図-1 実験水路断面図 ()は水深観測点

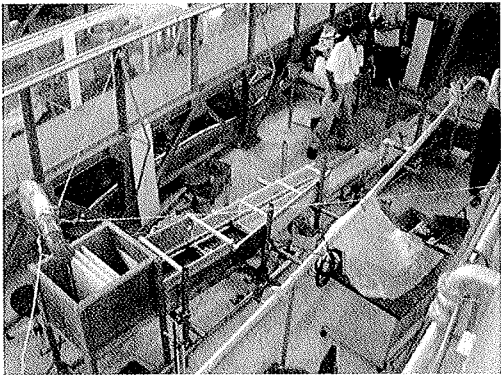


写真-1 施設写真

3. 実験結果と考察

写真-2にcase-1、写真-3にcase-8の流況を示す。

Case-1では越流水は落差の約2倍の10m地点に落下し、天端下流端の空気層は天端より約50cmまでで、後は全て水で満たされている。Case-2~8までは空気は全く入らず、全てSkimming flowの状態であった。予備実験として、case-1の形状で空気の入らない状態を行った。落下点は落差の約1倍となった。負圧により水脈が床固下流面から離れず、水脈飛距離が空気入りに比べ約1/2となった。また、下流の流速は0.4~0.5m/s速くなった。

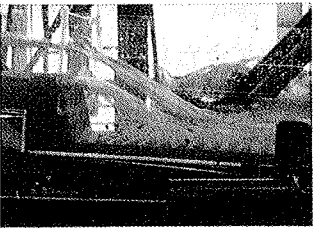


写真-2 case-1落下流況 (399m³/s)

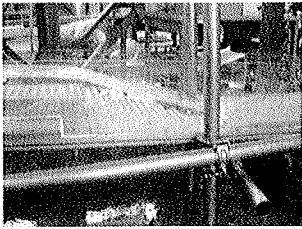


写真-3 case-8落下流況 (399m³/s)

Case-3と4は2. (3) よりcase-4の方が減勢されると考えていたが反対の結果となり、case-5はcase-3, 4とほとんど変わらなかった(図-8～10)。Case-6では、落下流は垂直壁に当たって強制的に減勢され、水深の最大点が垂直壁直下に現れ、飛沫も高く跳ね最大4.6mまで上がった。下流の乱れも非常に大きくなった。

Case-7では、落下流そのものが乱れ下流の乱れも水深、流速共に最後まで残り、中央と左右岸の差も最大であった。

Case-8ではcase-6の改良形であるが、垂直壁上流側の1:2の逆勾配面の効果は大きく、case-6に対して下流の乱れは大きく改善された(図-7)。しかし、水深、流速共にcase-6より大きくなった。

全てのケースにおいて、床固天端の水位はほぼ水平であるが、垂直壁上(観測点2)では中央部の水深が低く、両岸が高い。測点4～6において、中央部が高くなり逆転した。また、形状、流量に関係なく中央部の流速が速い。流量の減少に伴って、平均水深、平均流速も概ね平行に減少する(図-6)。また、平均水深、平均流速は垂直壁上の観測点2において水深最低、流速最大となるが、35m下流の観測点9においても、なお等流状態に戻らない(図-8, 9)。

図-7より流況が最も安定しているのはcase-8と言える。なお、流量が少ない(199m³/s)場合は、case-4, 5が安定していた。また、最大流速が基本形状であるcase-1より下回ったのはcase-6と8のみであった。Case-8は水樋池の底部を流れて垂直壁上流側で上昇する流れと、流下水の表面部を流れる水が干渉しあって、減勢されるものと考えられる。

予想どおりcase-2は減勢効果はなく、流れを加速させ影響も後々まで続く(図-8)。Case-3～5の差は落差が少ないためか、読み取れなかった。Case-7は減勢効果が高いように見えるが、左右岸・中央部の差はあまりに大きく、平均すると図-8～10のように表れるだけで効果は大きいとは言えない。Case-8はcase-6より減勢効果は少ないが、case-1とほぼ同じであり、流況も最も安定している。また、浅い水樋池でも減勢効果は大きいことが確認された。

4. まとめ

以上の実験結果より、斜路はcase-8の断面とし、落差0.70mの階段にスロープや小段をランダムに配置し、イワナの遡上を可能にするものとした。なお、現地はイワナしか生息せず、また現地のイワナは0.4～0.3mの何段もの自然のステップを遡上していることが確認されている。

なお、本実験は計画河床勾配1/17という急勾配溪流保全工を対象に行ったものであり、流れは斜流区間である。常流の区間では減勢効果は変わる可能性がある。土砂を流していないので、この点も現実とは異なる。

また、水理学的な解析を行うには、実験ケースが少なく困難と予想されるが、今後はこの課題に取り組みたい。

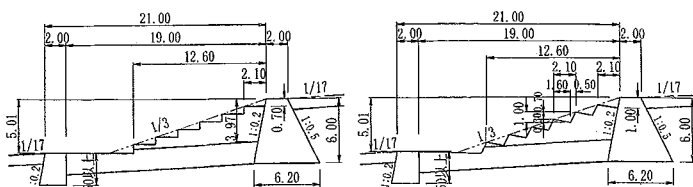


図-2 case-3断面図

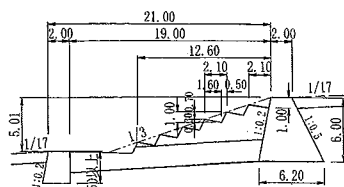


図-3 case-5断面図

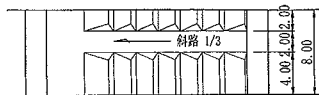


図-4 case-7平面図

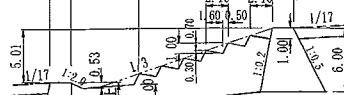


図-5 case-8断面図

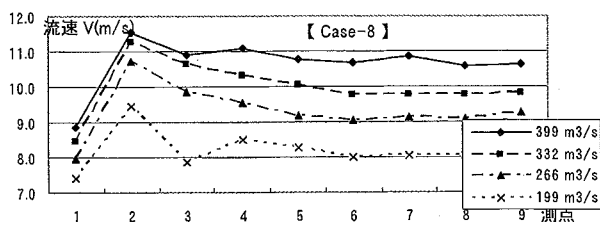


図-6 流量変化による流速の変化(case-8)

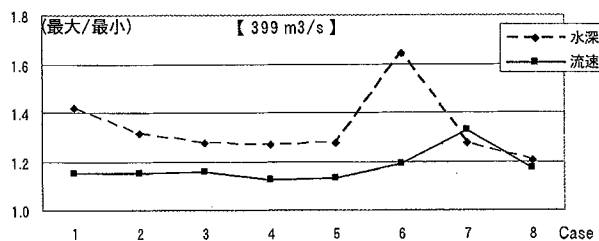


図-7 測点3～9の最大・最小比

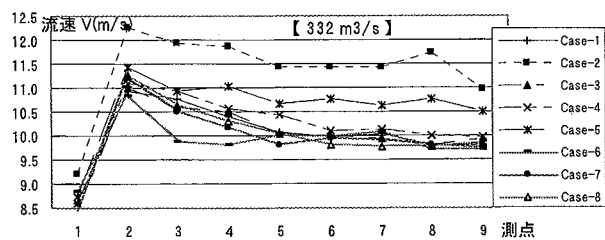


図-8 流速比較図

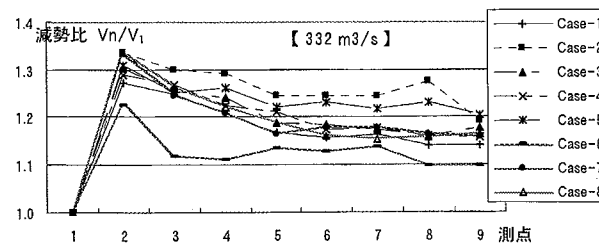


図-9 減勢比 ($V_{No. n} / V_{No. 1}$) 比較図

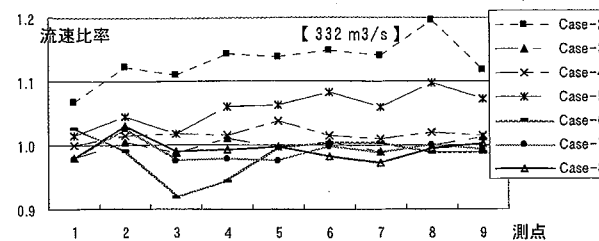


図-10 流速比 (Case-1を1とした場合) 比較図

- 1) 安田陽一・高橋正行・大津岩夫 階段状水路の流水抵抗
水工学論文集, 第44巻, 2000. 2 pp. 527～532
- 2) 高橋正行・安田陽一・大津岩夫 階段状水路におけるSkimming flowのエネルギー減勢
水工学論文集, 第45巻, 2001. 2 pp. 415～420