

急勾配階段水路の減勢効果について

西日本工業大学 正員 〇石川 誠
 西日本工業大学 正員 赤司 信義
 山口大学工学部 正員 斎藤 隆

1. はじめに

急勾配水路を流下する洪水時の流れは、著しい流勢をもち、下流河川の流況や下流河道の安定性を阻害する大きな要因となる。通常、こうした流れの減勢のためには、水路終端部に落下水式減勢工や跳水式減勢工が用いられ、急勾配水路を階段式水路として水路を流下する区間で減勢させる方法がとられる。落下水式減勢工や跳水式減勢工についてはこれまでも数多く研究されているが、階段式水路については、導水施設の急下水路として利用されることは知られているものの、どの程度の段落ち高さの階段が最も減勢効果が高いのか、又、その時水深はどのように評価されるのかといったことなど、その設計方法はほとんど明らかにされていない。これは、急勾配水路の流れの多くが空気混入を伴うものであるため、空気混入機構や空気混入量及び流れに及ぼす空気混入の影響等不明な点が多いことに起因している。

急勾配階段式水路の流れは概略的に図1のように示される。図-1の上図は段落ち下流水深 h_2 が段落ち高さ D よりも高い場合であり、図-1の下図は h_2 が D よりも低い場合を示している。又、 D が大きい場合、段落ち背後に空洞 (air-pocket) が形成される。

本研究では、水路勾配 $21/100$ ($= 1/4.76$) のもとで種々の階段形状に対して、水面形状及び下流端減勢池での跳水の流況観察を行い減勢効果を検討したものである。

2. 実験装置とその方法

実験水路は、幅 15cm, 高さ 45cm, 長さ 8m の鋼枠製両面アクリル水路で、水路内に、6段, 12段, 30段, 60段, 120段, 0段 (直線水路) の階段を設けたもので、実験装置の概略を図2に、又階段形状を図3に示した。実験は流量を、3, 6, 12, 17 l/s と変化させて行った。水深の計測は、水面変動が激しく触針式の計測に信頼性がないため、ストロボビデオによって撮影された画像のハードコピー (20cm x 14.8cm) から読み取った。又、流速はピトー管で計測した。

3. 実験結果とその検討

図4は流量 17 l/s ($Re=q/\nu=1.15 \times 10^5$) の時の水面変化を各階段形状に対して示したものである。

水深は水路始端部より、1m付近まではどの階段形状も同じような形で減少し、その後、流過距離 4m 以上でのほぼ一定水深とみられる水深 (擬似等流水深) へとそれぞれ変化している。こうした一定水深が観察されることから、連続的な段落ち流れであっても、乱れは流下に伴って発散せず、階段形状に応じた一定の強度に達するものと考えられる。階段数12段での水深になると限界水深に近い値となっている。この時の流れは完全越流型の連続的な段落ち流れであり、段落ち後の流れは衝突流れを形成し、水面変動は非常に大きい。階段数120段での流れは段落ち高さ D が小さいため、水深内に埋没し流れの状態は直線水路の流れに

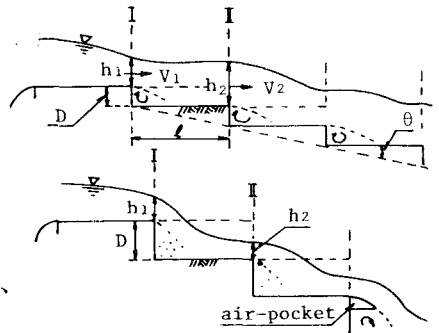


図1 水路始端部での流れの概略

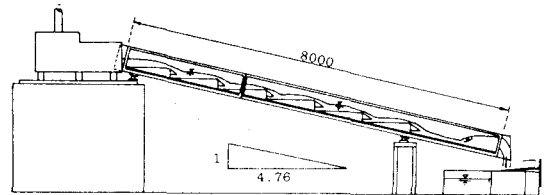


図2 実験装置の概略

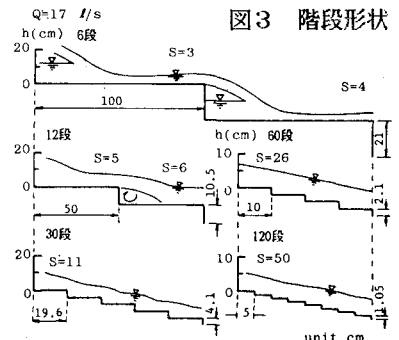


図3 階段形状

近くなっていた。このように、階段数を減少して行くと水深（気泡を含めて）は増大する。これは、水流中に混入される気泡量及び気泡の混入深さが階段数（段落ち高さ D ）によって規定されることを示していて、階段数が少ないほど、つまり一段当りの越流時の衝突エネルギーが高いほど、水流中への気泡の混入深さが大きく、混入空気量が多くなることを示している。

図5は段落ち高さ D と Fr 数 ($Fr=q/\sqrt{gh^3}$, q は単位幅流量, h は気泡を含めて評価した水深であって、気泡混入を含む流れに対してこうした Fr 数で流れを評価することは適切でないのだが) の関係を示したものである。この図から、 Fr 数の変化は Re 数に関係せず段落ち高さ D と限界水深 h_c の比 D/h_c で規定されることが分かる。流れの観察をもとに気泡が水路底にまで達していた条件を図中の点線上に矢印として記入している。これから、気泡を全水深にわたって含む流れはほぼ $D > h_c/2$ であると言える。 D/h_c が 0.5 より小さくなるにつれて気泡の混入深さが浅くなっていた。

図6は段落部水深 h_2 と段落ち高さ D の関係を示したもので、図中の同一記号を結ぶ矢印の点は水路始端部の2段目の h_2 を、又矢印の終わりの点は最後の階段の h_2 を示している。図中に示す種々の曲線は、段落部水深 h_1 と次の段落部水深 h_2 との断面で静水圧分布を仮定した運動量方程式をもとに最初の断面（水深 h_1 ）でのフルード数 F_1 をパラメーターにして示したものである。又、図中の原点を通る直線は $D=h_2$ である。水路始端部より2段目の水深 h_2 はほとんどが $F_1=1.0$ の曲線より上にあり、明らかに静水圧分布の仮定が成立しないことが分かる。流れの観察によれば、 $D > h_2$ のデータでは気泡は全水深にわたって存在していたことから、水路始端部の最初の段落部での水深によって、下流の流れの気泡混入率等を表わせるのではないかと考える。

図7は水路終端部の跳水始端での速度分布である。6段の速度分布は、段落ち高さ D が大きいとき、越流水脈の河床衝突に伴う壁面噴流的な分布を示している。最大流速は直線水路に比べてかなり減少しているものの、最大流速が底面近くにあるため跳水の状況はかなり不安定であった。

4. おわりに

本実験は直線水路 21/100 勾配上に種々の階段を設置し、水深計測、流れの観察のみで、減勢効果を検討したものである。気泡を全水深に渡って含むのは段落ち高さ D が $h_c/2$ より大きい時である。気泡を含めた水深は階段数が少なくなるほど増大するが、その場合、流れの河床衝突の影響が著しく現れて、流れが非常に不安定になる。今後、本研究で得られた知見をもとに流速減勢や流れの安定性を検討するため系統的に実験を行い気泡混入状況や流れの変動特性等を明らかにしていきたい。

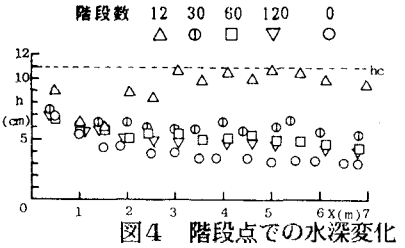


図4 階段点での水深変化

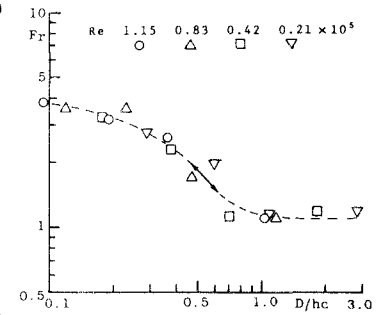


図5 Fr 数と階段高 D の関係

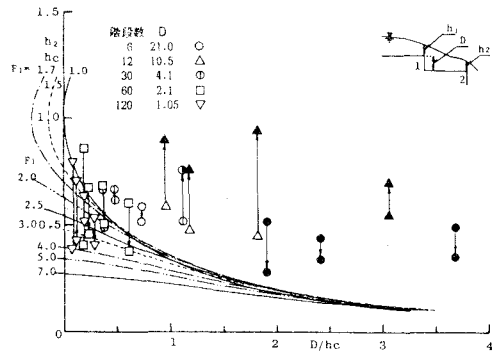


図6 段落ち部水深と段落ち部高さの関係

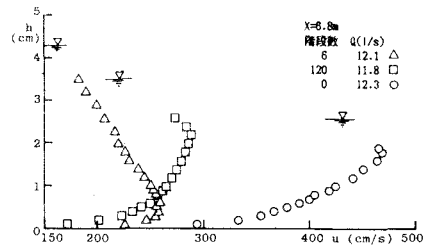


図7 跳水始端部の速度分布