

19 階段状河床形態の淵の構造と強度

京都大学農学研究科 ○藤田 正治
鳥取大学工学部 道上 正規

1. はじめに

昨年度¹⁾は、現在鳥取県の千代川に見られる階段状河床形の特徴が、5年確率の流量に対するそれに対応することを示した。本研究では、階段状河床形の形成、破壊の実験を通して、階段状河床形態の淵の構造、破壊に対する強度について考察するとともに、これらの知見を使って現地の淵の破壊流量の推定を試みた。

2. 実験の概要

実験には長さ7m、勾配1/10、幅20cmの水路を用い、初期河床は平均粒径1.1cm、最大粒径2.5cmの混合砂を10cmの厚みで敷いて作成した。下流端には砂止めが設置されている。給砂なしの条件で、流量Qを図1のように増減させたときの河床形状、水面形状、河床粒度分布を測定した。各流量の通水時間は各々流砂がほとんどなくなるまでとした。

3. 淵の構造と強度

3.1 実験結果と水理量の計算

図1は流量Q、河床勾配I、河床表面の平均粒径 d_m 、階段状河床波の波高 Δ 、相当粗度高 k_s 、水深h、有効摩擦速度 u_{*e} 、平均および最大粒径に対する無次元有効掃流力 τ_{*cm} 、 τ_{*em} 、 τ_{*cm} の各流量終了時の変化を示したものである。河床形状、水面形状、粒度分布は流量No.1, 3, 12, 23, 36でしか測定していないので、連続的な水理量の変化は次のようにして求めた。まず、 k_s が水深と勾配の実測値と流速の対数分布則から逆算され、hは図中に示す k_s の計算値の内挿線と対数分布則から計算された。また、平坦河床における k_s/d_m の値は4であったので、この関係とhおよび d_m の内挿線より u_{*e} 、 τ_{*cm} 、 τ_{*em} を算定した。また、エギアザロフの限界掃流力の式から τ_{*cm} を求めた。

3.2 淵の構造

淵の構造をまずマクロに考察する。図1によると淵の深さは d_m とほぼ同じ値になっており、アーマーコートが発達とともに大きくなっている。図2は水深で無次元化した淵の間隔 λ とフルード数の関係を示したもので、従来の研究^{1), 3)}で述べら

れているように淵の間隔はケネディーの反砂堆の式で表わされる。したがって、平均的には淵の深さは河床表面の平均粒径程度、間隔は形成流量に対する反砂堆の波長となっている。ついで、ステップの構造をもう少しミクロに見ると、図3のように、側岸付近に止まった礫の上流側に砂礫が堆積してゆくもの(Type I)と水路中央付近に堆積した礫の上流に砂礫が堆積してゆくもの(Type II)があり、前者は上流から見て凹型、

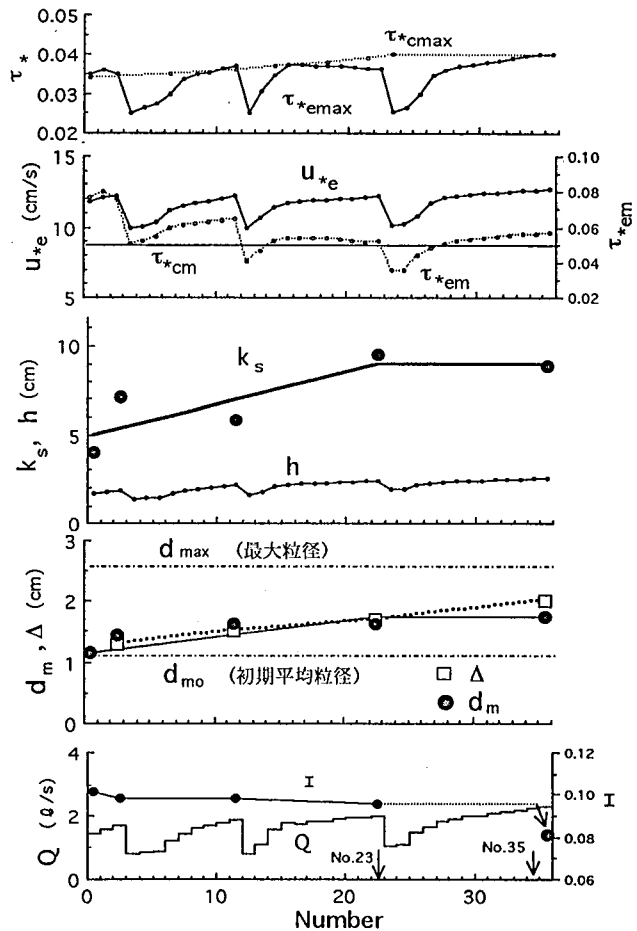


図1 淵の形成と破壊に伴う水理量の変化

後者は凸型になっている。両者を比較すると凸型の方が変形しやすいことが実験で見られた。この理由には、凹型の方が力学的に安定している点やこれらの構造を支えるためには凹型では側壁の礫、凸型では水路中央の礫が重要であるが、中央の方が流速が大きいため凸型の方が変形しやすい点が考えられる。

3.3 淵の強度

図1から流量No.35までは勾配があまり変化しないParallel degradationが維持されているが、No.36では勾配が急変してRotational degradationが生じ、階段状河床形が破壊されていることがわかる。No.23で一旦階段状河床を発達させた後流量を下げてから徐々に流量を増加させたが、No.23を越える流量でも流砂はほとんどなく、No.36で $\tau_{*cm} > \tau_{*cm}^*$ となり最大粒径が移動するようになって階段状河床形が破壊された。このように破壊流量が形成流量よりかなり大きいことは、江頭らの研究²⁾で指摘され、アーマーコートの発達と河床波による形状抵抗の増加のためだと考えられているが、本実験でもアーマーコートの発達による τ_{*cm}^* の増大、 Δ の増大に伴う τ_{*cm}^* の減少が図1から確認される。形状抵抗の変化は k_s/d_m の値で測ることができるが、本実験ではその値は初期値4から6に増大している。以上より、階段状河床型の淵の破壊条件は $\tau_{*cm} > \tau_{*cm}^*$ で与えられるものと考えられるが、淵の強度は τ_{*cm}^* の増加と τ_{*cm} の減少によって決定されるものと考えられる。

4. 現地の淵の強度

昨年度¹⁾、千代川の淵の形成流量は5年確率の流量であることを示したが、ここでは破壊流量の推定を試みて淵の強度を考察する。破壊流量の算定には d_m や $\alpha (=k_s/d_m)$ の変化が必要であるが、それらの情報を入手することは難しい。そこで、本実験で得られた階段状河床の形成前後の k_s/d_m の変化のみを考慮して、 k_s/d_m が3から4、または5に変わった場合の破壊流量を算定する。ここに、 $k_s/d_m = 3$ は形成流量を計算したときの値である。

図3は千代川支流の加地川について、5から50年確率の流量に対する h/d_m と τ_{*cm} の計算値をプロットしたものである。階段状河床の発生領域³⁾とエギアザロフの式に基づくステップの平均粒径の移動限界から求めた破壊領域も示されている。図中の数値は流量の発生確率年である。□は階段状河床形成時に対応するもので、5年確率の流量と $k_s/d_m = 3$ に対して求めた結果である。 k_s/d_m を3から4、または5に変えると同じ5年確率の流量でも描点が非発生領域の方へ移動する。ここから、流量を増加させると描点は破壊領域へ向かい、この図では20から40年確率の流量で階段状河床は破壊されることになる。

5. おわりに

今後、ミクロに見た淵の構造と強度について検討して行きたい。

- 参考文献 1) 道上ら：山地河川の淵の形成と形状，平成7年度砂防学会概要集，pp.131-134，1995。
 2) Egiazaroff: Calculation of nonuniform sediment concentration, Proc. ASCE, Hy. 4, 1965。
 3) 江頭ら：階段状河床波と流砂の挙動，第30回水理講演会論文集，pp.223-229，1986。

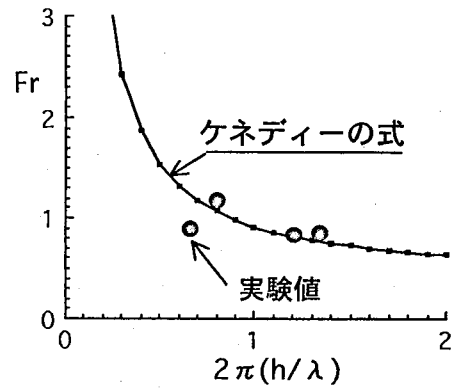


図2 淵の間隔

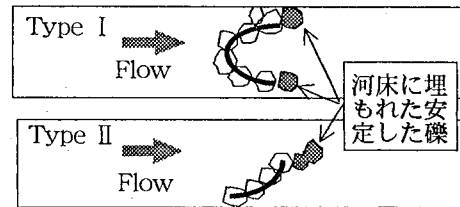


図3 ステップの構造

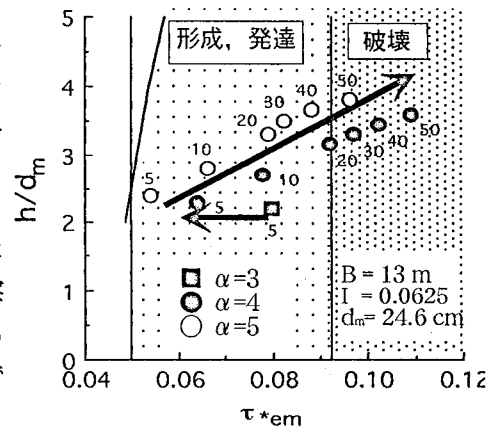


図4 階段状河床の淵の形成、破壊条件