

階段状河床におけるプールへの土砂堆積とその侵食

京都大学大学院農学研究科 ○新原伸榮
 京都大学防災研究所 藤田正治
 京都大学大学院農学研究科 水山高久
 京都大学防災研究所 澤田豊明

1. はじめに

階段状河床に自然的または人為的に多量の土砂が供給されると、プールが土砂で埋没してしまう。しかし、その後、無給砂の状態が続くとプールは徐々に回復する。このような堆積と回復過程を明らかにすることは、土砂流出プロセスや生態系の問題と関係して重要である。そこで、本研究では、溪流における排砂後、満砂したプールの回復率についてプールの大きさや流量履歴に着目しながら検討するとともに、従来の掃流砂量式によって平衡状態におけるプール内の堆砂形状を予測する方法について提案する。

2. 満砂状態からの回復過程

2.1 排砂実験

排砂実験は2002年には9月6日に実施された。試験流域の流域面積は0.85km²で、調査範囲は堰堤下流約200mの階段状河床形態の区間である。この排砂によって、プールは平均粒径約3mmの砂で一旦満砂状態になっている。排砂終了後、無給砂状態になるのでプールは徐々に回復して行く。この回復過程は流量時系列に支配されており、2002年の排砂の場合、排砂後通常の流量は0.01~0.02m³/sであるが、11日目と30日目に0.1m³/s、7ヵ月後に0.35m³/s、11ヵ月後に0.16m³/s程度の出水があった。図1は排砂後のプールの回復率を示している。ここで言う回復率とは排砂後のプールの深さを空のプールの深さで除したものである。排砂後、回復率は一旦0になり、1日後、30~40%まで回復しているのは、落水脈の水たたき効果によるものであり、プールが少しでも回復した状態とは言い難い。その後、いくつかの出水により、すべてのプールが回復傾向にあり、小さなプールから回復していくことがわかる。

2.2 解析

プールの回復過程を議論するうえで、各流量に対してどこまでプールの容量が回復するのかが重要である。澤田¹⁾、藤田・澤田ら²⁾はプールからの流出土砂量を底面流速から計算する方法を示している。その考え方をを使うと、流砂がなくなった掃流限界状態では式(1)のように底面流速が表される。また、底面流速と摩擦速度が比例するとし、移動限界時の無次元掃流力が一定値となるとすると、 U_{bc} は式(2)のように表される。

$$U_{bc} = \sqrt{\frac{7.207\alpha^2 q^{4/3}}{0.745V_{wc}^{1/2} + 0.37q^{2/3}}} \quad (1) \quad U_{bc} = \sqrt{\beta s g d} \quad (2)$$

ここに、 U_{bc} :河床底面における掃流限界時の流速、 $q=Q/B_{in}$ 、 Q :流量、 B_{in} :プール入口幅、 V_{wc} :単位幅流量 q のときの掃流限界に対応するプールの容積、 d :砂の粒径、 s :砂の水中比重、 g :重力加速度、 α 、 β は係数である。 α は文献2)によると0.41である。

式(1)、(2)より、 β の値が同定されれば、流量 q に対する定常状態時のプールの回復度が求められる。そこで、実際のプールを模した水路実験により、 q と V_{wc} の関係を調べた。その結果を上記の式による計算値とともに図2に示す。流量が大きいとき計算値が実験値から外れるのは、実験で水路床が現れているからである。この図から β は2.0と見積もられる。

以上より、排砂実験の場合について主な q と V_{wc} の関係を求めると、 $q=0.02\text{m}^3/\text{s}$ のとき $V_{wc}=0.003\text{m}^2$ 、 $q=0.05\text{m}^3/\text{s}$ のとき $V_{wc}=0.06\text{m}^2$ 、 $q>0.1\text{m}^3/\text{s}$ のとき $V_{wc}>0.45\text{m}^2$ となる。これらの数値は前述した排砂後のプール

の回復過程とよく対応している。ただし、大きなプールが十分回復していないのは回復するのに必要な流量の継続時間が短かったためと考えられ、小さいプールの方が回復するために要する流量が小さいので回復に必要な流量の継続時間が長いと推測される。

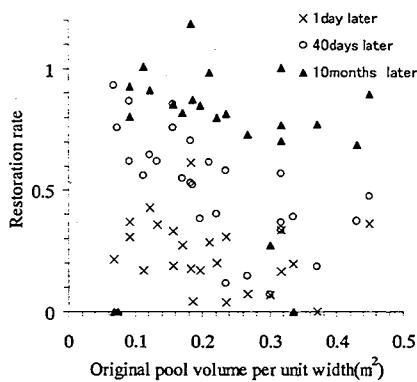


図1 排砂後のプールの回復率

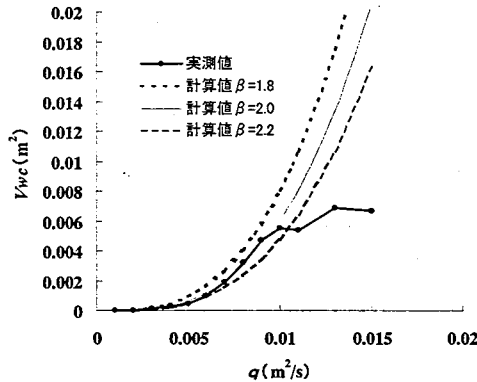


図2 q と V_{wc} の関係

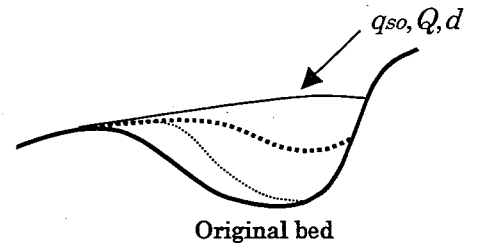


図3 模式図

3. プール内の堆積および侵食形状の予測

あるプールにおける定常状態の堆積および侵食形状は、流入土砂量、流量、砂礫の粒径によって決まる。図3はそれを模式化したものである。堆砂勾配は堆積過程で流入土砂量が小さいときや回復過程で流量が大きいとき負になる場合もある。ここでは、プール内の堆積・侵食形状の予測を堆砂勾配で評価する方法について考える。定常状態の堆砂勾配は掃流砂量式を用いて評価できる。ここでは、芦田・道上の式³⁾、と劉の式⁴⁾でそれを計算する。劉による式では洗掘孔の出口付近の堆砂勾配が計算できる。

いま、長さ、深さ、幅、入口幅、出口幅が各々27, 5, 15, 11, 9cmであるプールに、いくつかの流量に対する流入土砂量と堆砂勾配の関係の計算は図4のようになる。堆砂勾配がプール出口の勾配に一致する条件を境に流砂量式を使い分けている。また、図5は流入土砂量がないとき、すなわち回復時の堆砂勾配と流量の関係の求めたものである。この図にこの条件に対応した実験値もプロットしている。図4, 5によると堆積過程、回復過程ともに計算値と実測値とがかなり近いものになった。このことから掃流砂量式により堆砂勾配が推定でき、プールの堆砂形状が推定できる。

4. おわりに

本研究をさらに発展させて回復に要する時間などを評価できるようにしたい。

参考文献 1)澤田：京都大学博士論文, pp.51-85, 2)藤田ら：水工学論文集, 第44巻, pp.1215-1221, 3)芦田ら：土木学会論文集, 第206号, pp.59-69, 1972, 4)Bing-Yi Liu：京都大学博士論文, pp.175-183, 1991.

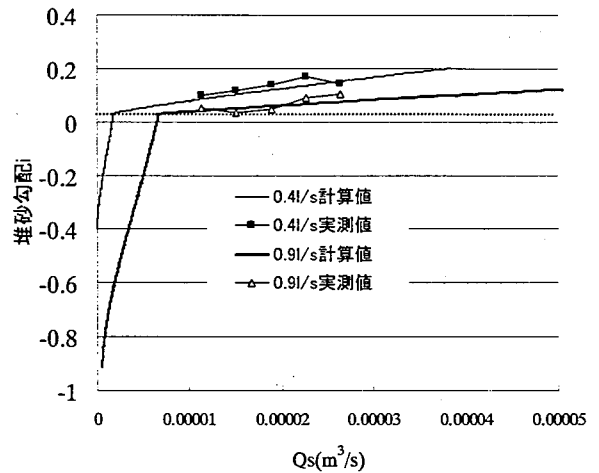


図4 プール内の堆砂勾配 (堆積過程)

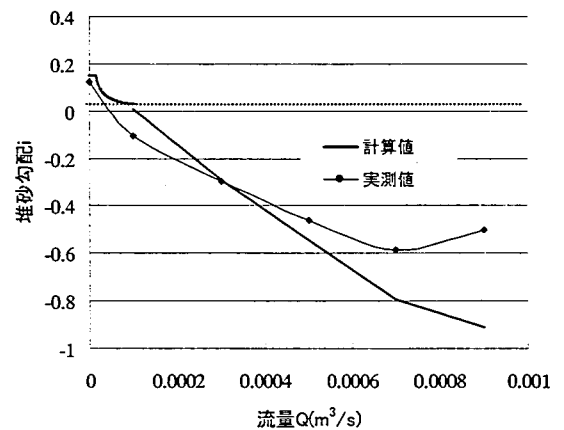


図5 プール内の堆砂勾配 (回復過程)