

粗礫による段落ち部の洗掘防止

愛媛大学工学部 正 員 鈴木 幸一
愛媛大学大学院 学生員 〇岩月 章浩
建設省 正 員 伊藤 康弘

1. はじめに

河川構造物の段落ち直下流部における局所洗掘の防止軽減対策の一つとして洗掘領域を礫で被覆し、河床の掃流力に対する抵抗力を補強することにより洗掘軽減を図る捨て石工法がある。また、洗掘領域が混合砂から成っている場合には、洗掘進行過程で洗掘孔底にarmor coatが形成され、それによって洗掘を抑えられることも報告されている。本研究では、礫による保護工を行った場合の段落ち直下流部の局所洗掘の軽減特性を実験的に検討し、有効な礫護床の条件を明らかにする。

2. 有効な礫護床の概念

図-1に示すように、洗掘される河床砂を粒径 d の均一砂とし、その河床を粒径 D の均一礫で層厚 L で被覆した状況を考える。この状況で洗掘を防止するには、①：『保護工としての礫が流されずに長期的に安定している。』という条件のもとで②：『河床砂が被覆礫層の空隙を通過しない。』あるいは③：『被覆礫と河床砂の接触領域において、河床砂が動かず安定している。』が考えらる。これらに対して条件式(1)～(3)を示す。

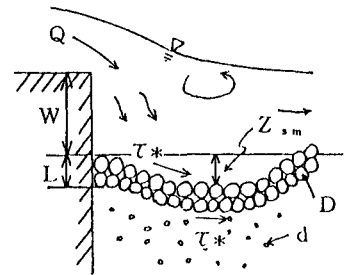


図-1 概念図

$$\frac{U_*'^2}{s g D} < \sim 0.05 \quad (1), \quad \frac{\lambda_A D^3}{d^3} < \alpha \quad (2), \quad \frac{U_*'^2}{s g d} < \sim 0.05 \quad (3)$$

ここに、 U_* ：摩擦速度， U_*' ：礫層下の河床表層砂に作用する摩擦速度， σ, ρ ：砂および水の密度， $s = (\sigma - \rho) / \rho$ ：砂の水中比重， g ：重力加速度， λ_A ：被覆層の空隙率， α ：係数

式(1)は、礫が流送されないという被覆層としての基本条件式であり、この条件のもとで式(2)の被覆層の空隙を河床砂が幾何学的に抜け出せないという条件か、式(3)の礫表層下の河床砂が動かないという条件のどちらか1つが満足されれば河床は安定する。

3. 実験の概要

実験は、全長 3.7m、幅 0.3m、高さ 0.5mの水路を用いて行い、表-1に示すように河床砂 d として RunA～Eの 5種類の均一砂河床を、粒径 $D=1.5\text{cm}$ の礫の被覆層厚 L で被覆した段落ち下流部の洗掘測定を行った。各Runを通して段落ち落差 $W=10\text{cm}$ 、流量を $Q=1.0(\text{l/s})$ とし、下流側水深 $h_t=1.4\text{cm}$ とした。この水理条件は試行錯誤によって見出した段落ち直下流部の被覆礫が移動限界状態（式(4)）にありしかも潜り噴流が生じる水理条件である。すなわち、

$$U_*'^2 / s g D = \tau_* \approx 0.05 \quad (4)$$

図-2は最大洗掘深の時間的変化を示している。この図から同一の被覆層厚では河床砂が小さいほど、また同一の河床砂では被覆層厚が小さいほど洗掘深 Z_{sm} は大きくなっていることがわかる。また、観察によれば洗掘孔形状は、被覆なしの場合は洗掘過程において通水初期から時間的相似性があった。各 Run間でも洗掘深は異なるものの洗掘進行は完全には停止しないので、ここで便宜的に通水後 10^4 秒

表-1 実験条件

Run.No	$d(\text{cm})$	$L(\text{cm})$
RunA-0	0.064	0
1	0.064	1
2	0.064	2
3	0.064	3
4	0.064	4
5	0.064	5
RunB-0	0.185	0
1	0.185	1
2	0.185	2
3	0.185	3
4	0.185	4
RunC-0	0.338	0
1	0.338	1
2	0.338	2
3	0.338	3
RunD-0	0.713	0
1	0.713	1
2	0.713	2
3	0.713	3
RunE	1.5	0

での洗掘深 Z_{sm} を平衡最大洗掘深 Z_{sf} と定義する。図-3は Z_{sf} と被覆層厚 L との関係を示したものである。 Z_{sf} が礫粒径 D の半分程度では洗掘が生じていないとみなすと、 $Z_{sf}/D=0.5$ となる時の L/D の値が洗掘が生じない限界層厚 L を示している。その状態では、

$$U_*'^2 / s g d = \tau_*' c \approx 0.05 \quad (5)$$

である。いま、仮りに

$$U_*'^2 = \beta U_*^2 \quad (6)$$

と定義すると、本実験は式(4)の条件で行われているので $\beta = d/D$ となる。この β と L/D の関係を示したのが図-4であり、この図から β と L/D の関係は実験的に次式(7)で表すことができる。

$$\beta = \exp(-0.7L/D) \quad (7)$$

4. 有効な礫護床条件

式(7)の関係が限界状態以外にも成立するとすれば β が求まり、式(6)によって U_*' が U_* から求められる。したがって、被覆礫表面での U_* が推定されれば、河床砂が空隙を通過できる状態でも河床砂が動かない条件③が算出できる。

つぎに、被覆層 L がここで求めた厚さより小さく河床砂 d が移動しても幾何学的に礫層の間隙を移動できない条件②は、図-2において被覆が1層の場合でも洗掘が生じない場合の最小の河床砂径 d として求めることにする。本実験では RunD-1 がこの状態にあたりとみなすと、この時の砂粒径 $d (=0.71\text{cm})$ をこれ以上小さくすると河床砂が空隙を通過し、洗掘が生じることになる。したがって式(2)で

$$\alpha = \frac{\lambda_A D^3}{d^3} = 0.4 \frac{(1.5)^3}{(0.71)^3} = 3.72$$

となり、式(2)の条件は、

$$D/d < 1.55 \lambda_A^{-1/3} \quad (8)$$

となる。これは河床砂が動いても被覆層を通過できない条件である。

5. おわりに

本研究では、実験結果をもとに有効な礫護床条件について検討を行い、先に述べた条件式を明らかにした。しかし、洗掘されていない状態の定義が各条件で異なっていることや、実験で用いた均一砂の種類が少ない事などから実河川への適用には信頼性にかける。今後は、条件式に一般性をもたせることや、洗掘を生じた時の精度のよい平衡最大洗掘深の推定などの検討が必要だと考えられる。

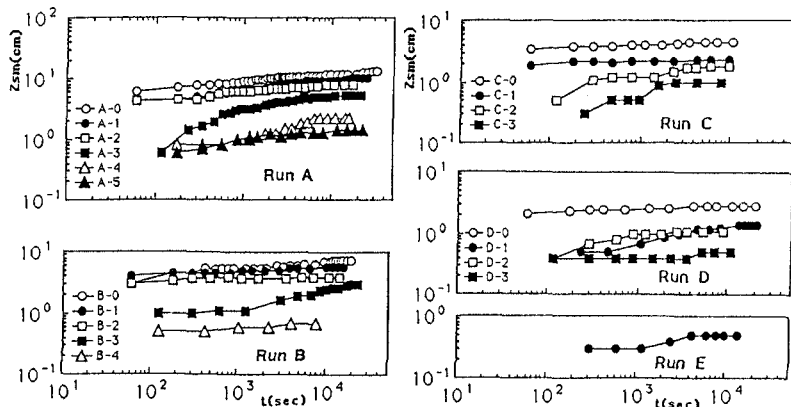


図-2 最大洗掘深の時間的变化

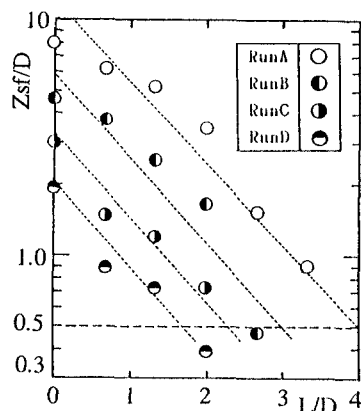


図-3 平衡最大洗掘深と層厚との関係

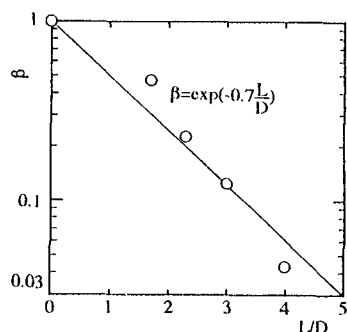


図-4 掃流力減衰定数