

II-44

礫護床による段落ち直下流部の洗掘防止

愛媛大学工学部 正 員 鈴木 幸一
愛媛大学大学院 学生員 岩月 章浩

1.はじめに 捨て石工法による橋脚周辺の局所洗掘防止工の設計条件と有効性が報告されている.¹⁾ また、礫による護床工の設計条件が de Graauw²⁾ によって研究され、定常流下で河床砂が護床礫の空隙を通過できない幾何学的条件として $D_{50f} < \sim 5D_{50b}$ (D_{50f} : 被覆礫の50%粒径, D_{50b} : 河床砂の50%粒径) などの条件が実験的に得られている. 本研究では、礫による護床工設計の考え方を示すとともに、段落ち直下流部の局所洗掘へ適用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.

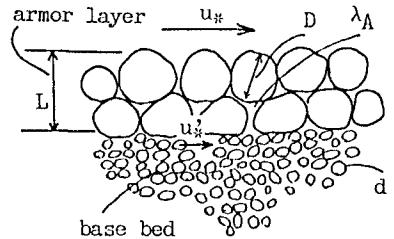


図-1 記号図

$$u_*^2 / s g D < \sim 0.05 \quad (1), \quad \lambda_A D^3 / d^3 < \alpha \quad (2), \quad u_*'^2 / s g d < \sim 0.05 \quad (3)$$

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,

$s = (\sigma - \rho) / \rho$: 砂礫の水中比重, 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 $D=1.5\text{cm}$ の礫を用いて層厚 L で被覆した段落ち下流部の洗掘深の測定を行った. 各Runを通して段落ち落差を $W=10\text{cm}$ 、流量を $Q=1.0(\text{l/s})$ とし、下流側水深を $h_t=1.4\text{cm}$ と一定とした. 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、最大摩擦速度 u_* は次式で求める.

$$u_*^2 / s g D \approx 0.05 \quad (4)$$

表-1 実験条件

Run No.	d (cm)	L (cm)
A-0	0.06	0
A-1	0.06	1
A-2	0.06	2
A-3	0.06	3
A-4	0.06	4
A-5	0.06	5
B-0	0.19	0
B-1	0.19	1
B-2	0.19	2
B-3	0.19	3
B-4	0.19	4
C-0	0.34	0
C-1	0.34	1
C-2	0.34	2
C-3	0.34	3
D-0	0.71	0
D-1	0.71	1
D-2	0.71	2
D-3	0.71	3
E-0	1.50	0

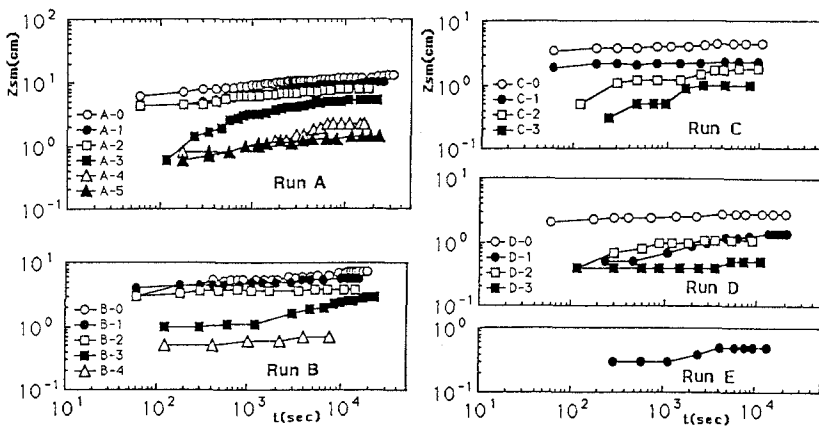


図-2 最大洗掘深の時間的变化

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。ここで、洗掘進行は完全には停止しないが便宜的に通過時間 t が $t_f=10^4$ 秒後にほぼ平衡状態になっているとして、その時の洗掘深 Z_{sm} を平衡最大洗掘深 Z_{sf} と定義する。図-3は RunAについて段落ち部から最大洗掘の生じている位置までの距離 L_1 とその時の最大洗掘深 Z_{sm} の比 L_1/Z_{sm} と t/t_f の関係を示している。被覆層厚が比較的大きな RunA-3, A-4, A-5については L_1/Z_{sm} は通水初期において大きく、時間とともに減っていくのに対し、被覆層厚が薄い RunA-0, A-1, A-2では通水開始から小さくほぼ一定である。したがって、洗掘孔形状は被覆層厚が大きくなるにつれて時間的相似性が見られなくなる。図-4は平衡状態での

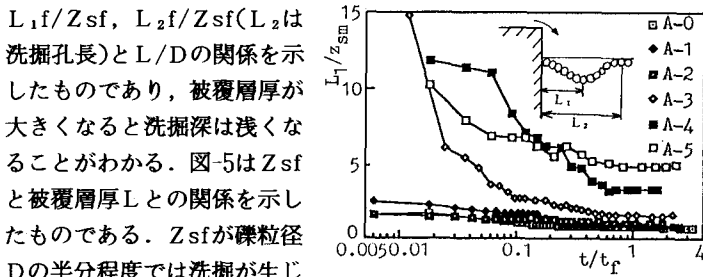


図-3 洗掘孔形状の時間変化

L_1f/Z_{sf} , L_2f/Z_{sf} (L_2 は洗掘孔長)と L/D の関係を示したものであり、被覆層厚が大きくなると洗掘深は浅くなることがわかる。図-5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、 $u_*'^2/sgd \approx 0.05$ (5) である。いま、仮りに $u_*'^2 = \beta u_*^2$ (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 $\beta=d/D$ となり、この β と L/D の関係は図-6より実験的に次式(7)で表すことができる。

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

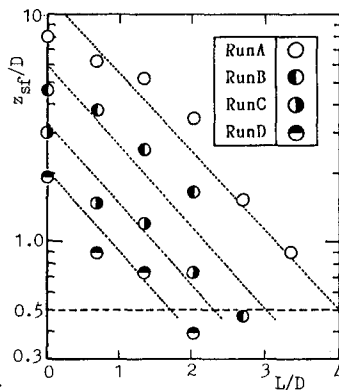


図-5 平衡洗掘深と被覆層厚

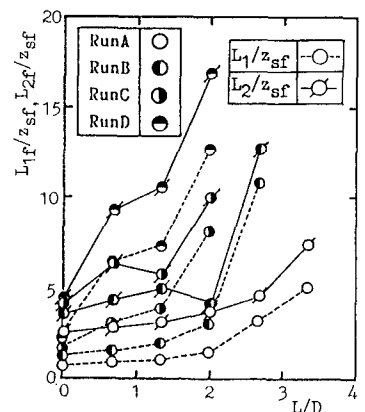


図-4 平衡洗掘孔形状と被覆層厚

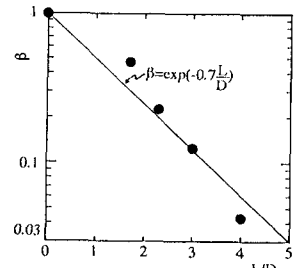


図-6 掃流力減衰定数

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被覆層下の掃流力の減衰率 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、被覆層厚 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 $\alpha=\lambda_A D^3/d^3=0.4 \cdot (1.5)^3/(0.71)^3=3.72$ 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 本研究で得られた式(7)、式(8)の結果は段落ち直下流部の潜り噴流という条件下での洗掘に対してしかも限られたデータから得られたものであり、水制や橋脚の周辺部など流況が全く異なる場での洗掘に対してそのまま適用できるものではない。

参考文献 1) 加島,他:強潮流下における大規模橋梁基礎の洗掘特性に関する研究,土木学会論文集 1991.

2) de Graauw,他: Granular filters: design criteria, Proc. ASCE, vol. 110, No. 1 1984.