

逆フィルター効果を利用した多層捨石洗掘防止工に関する研究

愛媛大学工学部 正 員 鈴木 幸一
(株) 復建調査設計 正 員 ○山本 裕規

1. はじめに

著者らは河床の局所洗掘防止のために捨石工を粒径の異なる多層石礫層で構成し、相接する層間で物理的に石礫の移動がないいわゆる逆フィルター効果を利用することによって全体の捨石工の層厚を減少させるための各層の満たすべき石礫粒径や層厚の条件について実験的に検討を進めてきた^{1), 2)}。ここでは粒径の異なる石礫を使用した二層石礫逆フィルターによる捨石洗掘防止工の基本的な設計方法について示している。

2. 多層石礫フィルター層の安定条件

石礫による河床の被覆層が長期的に安定して局所洗掘を防止・軽減するためには、被覆する石礫が局所流によって動かされないという条件のもとで、石礫層の空隙を通して直下層の砂礫が吸い出されないことが必要であり、そのためにはフィルター層厚が十分大きくフィルター層を通しての流れの吸い出し力（掃流力）が砂礫の限界掃流力以下であるか、あるいは掃流力が直下の砂礫を動かせる程大きくてもフィルター層の空隙を砂礫が物理的に通過できないかのいずれかの条件を満たせばよい¹⁾。すなわち図-1に示すような粒径の異なる石礫に対しこれらの条件を組み合わせることで全体の石礫層厚を小さくする合理的設計が可能となる。

a) 最上層の捨石が流送されない条件：河床全面が捨石で被覆されている場合の表層に作用する掃流力 ρu_{*0}^2 に対して流送されない最上層の被覆石礫の限界粒径 D_c は次式で与えられる。

$$D_c = u_{*0}^2 / s g \tau_{*c} \quad (1)$$

ここに、 τ_{*c} (≈ 0.05): 無次元限界掃流力、 s ($= 1.65$): 砂の水中比重、 g : 重力加速度、 u_{*0} : 捨石表層の摩擦速度である。

b) 砂礫が上層フィルター層の空隙を物理的に通過できない条件：いま捨石工最上層の石礫径を D_0 、フィルター層厚を L 、河床砂の粒径を d として、 $D/d = a$ とする。中間層を n 層設

けるとすると、接触する石礫層同士の粒径比 D_k / D_{k-1} は実験的に定められる限界条件²⁾

$L/D \leq 1.0: (D_k / D_{k-1})_c = 3.0$, $1.0 < L/D \leq 2.0: (D_k / D_{k-1})_c = 4.5$, $2.0 < L/D: (D_k / D_{k-1})_c = 5.0$ (2)
を満たし、かつ次式を満足している必要がある。

$$(D_0 / D_1)(D_1 / D_2) \cdots (D_n / d) = a \quad (3)$$

c) 石礫被覆層下の吸い出し力が河床砂の限界掃流力より小さい条件：フィルター層を通しての吸い出し力の減衰率は実験式 $\beta = \exp(-0.7L/D)$ によって表される¹⁾。被覆層が n 層と多層の場合、各層の石礫に作用する吸い出し力が限界掃流力以下であるための条件は最上層を 1 として、第 k 層のフィルター層の層厚 L_k と粒径 D_k の比を $(L/D)_k$ とすると

$$\exp(-0.7L_1/D_1) \exp(-0.7L_2/D_2) \cdots \exp(-0.7L_k/D_k) u_{*0}^2 / s g d < \tau_{*c} (\approx 0.05) \quad (4)$$

となる。すなわち、条件 a) のもとで条件 b) あるいは c) が満足されれば洗掘は生じない。

3. 多層捨石工の設計例

河床砂の粒径 $d = 0.05\text{m}$ 、洗掘領域における摩擦速度 $u_{*0} = 0.57\text{m/s}$ 、水の密度 $\rho = 1.0 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ 、砂礫の密度 $\sigma = 2.65 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ 、無次元限界掃流力 $\tau_{*c} = 0.05$ とする場合では、表層の摩擦速度に対し流送されない石礫粒径 D_c は(1)式より $D_c = 0.4\text{m}$ である。被覆層表層に粒径 $D_0 = 0.4\text{m}$ の石を設置すると仮定した場合について、被覆層を一粒径または二粒径にした場合の捨石工の設計例(現場規模)を表-1に示す。この例では一粒径であれば被覆層厚は 1.2m 以上必要になるが、中間層を一層加えることで(D)の例では層厚が 0.54m と一層の場合の半分以下になることがわかる。図-2(a)には表層石礫の粒径 $D_0 = 0.4\text{m}$ と河床砂粒径 $d = 0.05\text{m}$ を与

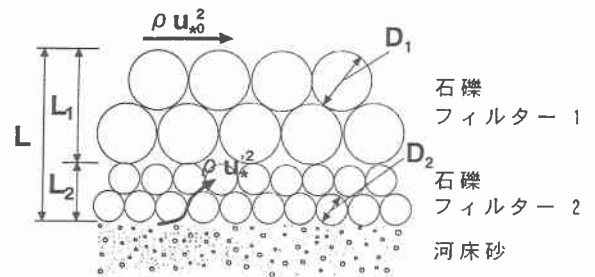
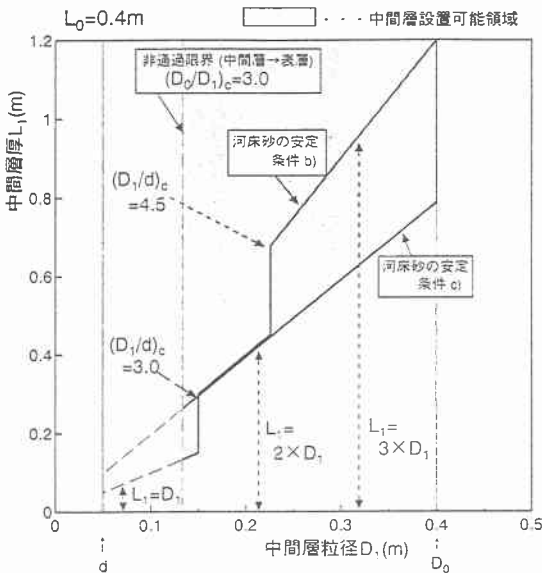


図-1 多層捨石工

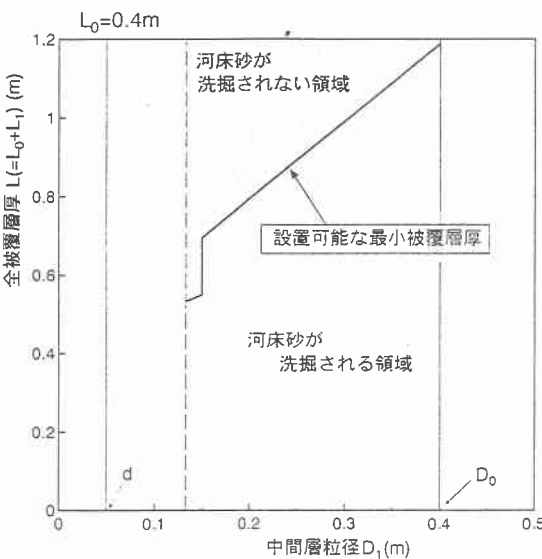
えた場合の、洗掘防止に必要な中間層の粒径 D_1 とその層厚 L_1 の関係を示している。また、図-2(b)にはそのときの全層厚 L_n を示している。なお、ここでは表層石礫の層厚を最小限度の一層($L_0=0.4\text{m}$)とした場合についてのみ示している。図では中間層石礫が表層より抜け出せない領域内において、中間層と河床砂の間で満たすべき2通りの条件b)およびc)が現れるが、いずれかの条件をみたしていれば河床砂は安定するので、この場合は中間層として粒径 $D_1=0.14\sim 0.15\text{m}$ 程度の粒径のものを層厚 $L_1=0.15\sim 0.20\text{m}$ 程度で設置すれば、河床を粒径 $D_0=0.4$ の均一礫のみで被覆する場合の1/2程度に抑えることが可能である。

表-1 多層捨石工の設計例 (現場規模)

	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)
概念図					
表層石礫粒径 D_0 (cm)	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0
$(L/D)_0$	3.0	1.0	1.0	1.0	2.0
表層厚 L_0 (cm)	120.0	40.0	40.0	40.0	80.0
$D_0\sim D_1$ 間の満たす条件	条件 c)	条件 b),c)	条件 b)	条件 b)	条件 b)
D_0/D_1	8.0	2.0	3.0	3.0	3.0
中間層石礫粒径 D_1 (cm)	-	20.0	14.0	14.0	9.0
$(L/D)_1$	-	2.0	2.0	1.0	1.0
中間層厚 L_1 (cm)	-	40.0	28.0	14.0	9.0
$D_1\sim d$ 間の満たす条件	-	条件 b),c)	条件 b),c)	条件 b)	条件 b),c)
D_1/d	-	4.0	2.8	2.8	1.8
全層厚 L_n (cm)	120.0	80.0	68.0	54.0	89.0



(a) 中間層厚 L_1 と中間層粒径 D_1 の関係



(b) 全層厚 L_n と中間層粒径 D_1 の関係

図-2 洗掘防止に必要な中間層の条件

4. おわりに

本研究は多層捨石工の合理的な設計法に関する基本的な考え方を述べたものであり、今後は対象とする流れ場を設定して実験を行い、多層捨石工の有効性についてより詳細な検討を進める予定である。

参考文献 1) 鈴木・山本・栗原：局所洗掘防止に有効な石礫護床工の条件,水工学論文集,第 39 巻,pp.695-700, 1995. 2) 鈴木・山本・藤岡・徳安：混合砂礫逆フィルターによる河床洗掘防止効果に関する研究, 土木学会四国支部平成 8 年度技術研究発表会講演概要集, pp.190-191,1996.