

II-60 階層構造を有する石礫護床工を用いた洗掘制御に関する研究

摂南大学工学部 正会員 澤井 健二

大 鉄 工 業 永田 素基

正 和 設 計 早瀬 洋

1. まえがき

河床洗掘を防止するために、従来、種々の工法が用いられているが、生態系に対する配慮から、最近、石礫護床工の利用が見直されている。動植物の棲息空間を確保する意味からは、護床工に比較的大きな間隙をもたせることが望まれるが、そうすると、間隙からの河床砂の抜け出しが生じやすくなる。本研究は、石礫護床工を上層から順次粒径の減少する階層構造にすることにより、大きな空隙の確保と河床砂の抜け出し防止を両立させつつ、できるだけ単純かつ経済的な設計条件を見い出そうとするものである。

2. 基本的考え方

護床工の最上層の礫が移動しないためには、礫径が移動限界以上のものであることが必要である。しかしながら、河床は必ずしも初期形状に保持する必要はなく、変形量が許容範囲内であれば、ある程度変形した状態で平衡を保つようにすればよい。場合によっては、洗掘力を弱めるよう、予め河床を変形させた上で、護床工を設置するのも有効である。そうすることにより、最上層の礫径をある程度小さくすることができよう。すなわち、最上層の粒径 D_u は、保持しようとする河床状態における移動限界粒径よりも大きいことが必要である。

次に、2層目以下の礫径の選択であるが、直上の礫層の間隙の大きさよりも大きな礫は、上層の礫が移動しない限り抜け出さない。そこで、そのような条件を満たす隣接層間の限界粒径比を k とすると、粒径 D_u の最上層から順次粒径を減少させて粒径 d の原河床に移行させるのに必要な最小階層数は $N = \log_k(D_u/d)$ 、その層厚の合計は $L = \sum(D_i) = D_u(1 - k^N)/(1 - k)$ となる。ただし、各層は、单一粒径からなり、各層厚はその粒径に等しいものと仮定した。

ところで、礫層内では下層へいくに従って流れがしだいに弱くなるから、その洗掘力に抵抗できるものであれば、上に述べた幾何学的に抜け出せない限界粒径よりも小さい砂礫でも実際には抜け出しは生じない。そこで、どのような粒径でどのような厚さの礫層を通過することによってどの程度洗掘力を緩和できるかがわかれれば、より少ない層数あるいは層厚で護床工を設計できる可能性がある。

3. 実験的検討

そこで、どのような礫径と層厚を組み合わせればどの程度の洗掘が生じるかを調べるために、次のような実験を行った。実験には、幅40cm、深さ30cm、勾配1/100の水路にベニヤ板を用いて落差10cmの段落ちを有する固定床を造り、段落ち部から下流側1m区間を移動床として、下流側がほぼ等流となるように水位を保つて上流から定常流を供給し、河床変動状況を計測した。河床材料には粒径0.5mmの砂を用い、護床工材料には粒径5mm、11mm、22mm、43mmの礫から1～3種を選んで、種々の厚さで層状に敷いた。ただし、それぞれの層は単一粒径とした（図-1参照）。また、洗掘が停止した平衡状態において、摩擦速度を推定を推定するために、最深河床から1cm上方の流速を測定した。

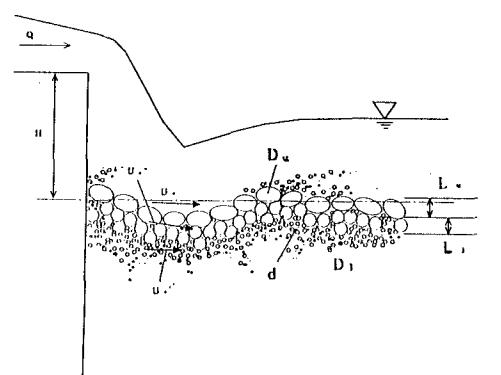


図-1 記号説明

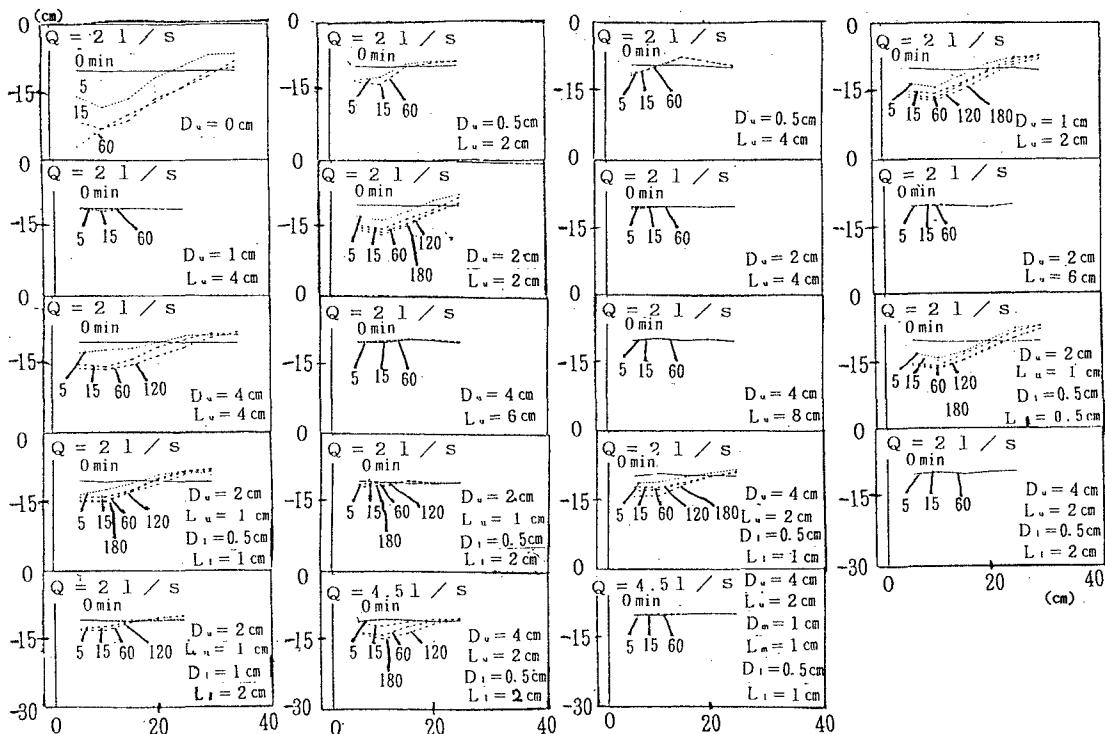


図-2 河床形状の時間変化

図-2は、各組合せにおける河床形状の時間変化を示したものである。 $Q = 2 \text{ l/s}$ の場合、表層礫の粒径 D_u が1cm以下では、それ自体が輸送されて河床が変動した。 D_u を2cm以上にすると、それ自体の輸送は生じないが、層厚しきが薄いと間隙から下層の砂礫が抜け出し、河床が低下している。 L_u が大きくなると、その粒径層だけで河床砂の抜け出しを防止できるが、それに必要な限界層厚 L_{uc} は D_u が大きいほど大きくなる。

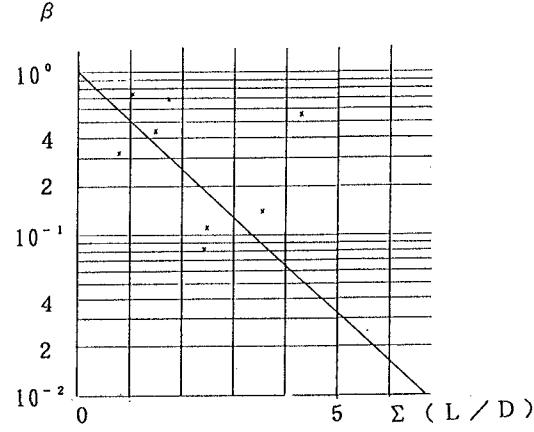
中間粒径層を入れた場合には、その組合せを適切に選ぶと、合計の礫層厚 ΣL_i が L_{uc} よりも小さくても河床砂の抜け出しを防止できている。

中間層をさらに区分して粒径階を増やすと、同じ合計層厚でより大きな掃流力に対して抵抗できることも明らかとなった。

4. 従来の研究との比較

鈴木ら¹³は、単一粒径の礫層による掃流力減衰率の推定式として、 $\beta = \exp(-0.7L/D)$ を提案している。そこで、これを拡張して、本実験で得られた β と $\Sigma(L/D)$ との関係をプロットしたものが図-3である。図中の直線は $\beta = \exp(-0.7\Sigma L/D)$ を示している。ここに、 β は護床表面と底面における掃流力の比で、前者は最深河床上方1cmにおける流速から対数則を仮定して推定し、後者は河床砂の限界掃流力に等しいものと仮定した。

参考文献 1) 鈴木幸一・山本裕規・栗原崇：局所洗掘防止に有効な石礫護床の条件、水工学論文集、第39巻、pp. 695-700、1995。

図-3 β と $\Sigma(L/D)$ の関係