

II-258

床固め直下流部の礫護床の水理特性

愛媛大学工学部 正 員 鈴木幸一
愛媛大学工学部 正 員 栗原 崇
愛媛大学大学院 学生員 山本裕規

1. まえがき

捨石工などによる局所洗掘防止は、河川だけでなく明石海峡大橋の主塔橋脚周辺海底の潮流による洗掘などに対しても検討されている。各構造物によってその周辺の流況が異なっているため、捨石工の設計はそれぞれについて異なってくる。本研究では床固め直下流部の河床を礫層で被覆した場合における礫層下の河床砂の抜け出し量と、そのときの礫層表面近くの流速を測定することで、有効な礫護床の条件を検討する。

2. 礫護床の効果に関する実験

実験の概要 実験には全長3.7m、幅0.3m、高さ0.5mの鋼製水路を用い、水路上流端より下流側1.0mを固定床とし、その下流端は落差0.1mの段落ちとしている。被覆礫の粒径 D は1.48cmで、実験はこの礫が基本的には移動しないような水理条件で行った。河床砂粒径 d は0.14cm（実験シリーズA）と0.34cm（シリーズB）の二粒径とし、流量 Q を表-1のように各3通り変化させた。各実験Runで被覆礫層厚 L を0cm（被覆なし）から1cmずつ増加させ、洗掘が全くなるときの L を限界層厚 L_f とした。また、通水中の所定の時間において図-1に示すような、洗掘孔内の最大流速が生じる位置での礫床面付近（ $Z \approx D$ ）の流速 U_b を電磁流速計によって1分間（サンプリング間隔 1/20sec）測定し、同時に水路側壁を通して洗掘孔形状を観測した。

洗掘進行状況と最大流速 図-2には、一例としてRun A-2（礫層厚 $L=1.0$ cm）における洗掘孔形状の時間的変化を示しているが、洗掘は通水5分後以降は鉛直方向よりもむしろ流下方向に緩やかに進行しており、約180分後には洗掘がほぼ停止し河床は安定することがわかる。図-3には、Run A-2のうち $L=0$ cm（被覆なし）と $L=1.0$ cmの場合における洗掘孔内の流速変動特性を示す。なお、ここに示したデータはそれぞれ通水開始15分後の測定値である。被覆礫がない場合では、埋め戻し等による河床の乱れが大きいために流速の変動が激しいが、被覆を行えば流速の変動が小さくなることから、被覆礫がある場合は、礫表層に作用する平均的な流速によって河床砂の移動が評価できる。また、河床砂は常に移動しているわけではなく、ある時間間隔をおいた間欠的な礫間からの抜け出しによって徐々に流送され、洗掘が進行することが確認された。

3. 礫護床による河床砂の抜け出し防止効果

観測結果をもとに、通水中の各時間において最大洗掘深が生じる水平位置より下流側に存在する河床砂が、礫表層に作用する流体力によって流送されるものと仮定する。このときの河床砂の抜け出し量に関しては、pick-up rateの概念を用いて求められる単位時間・単位面積当たりの河床砂の抜け出し率 p_s (1/sec)をパラメータとしている。礫表層における摩擦速度 U_* (cm/sec)は、河床近傍においては便宜

表-1 水理条件

Run No. (A, B)	通水流量 Q (ℓ/sec)
1	5.3
2	2.8
3	1.3

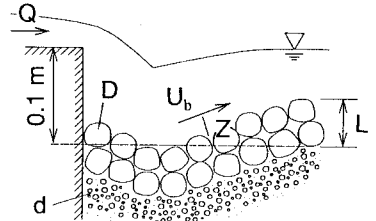


図-1 礫護床の概念図

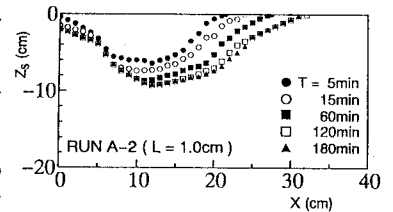


図-2 洗掘孔形状の時間変化

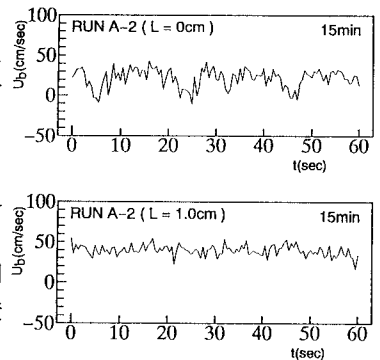


図-3 流速の変動特性

的に対数則が成立するものと仮定して、 $U_* \sim 0.15 U_{bm}$ とした。ここに、 U_{bm} :洗掘孔内流速 U_b の1分間平均値である。図-4に実験途中の各時間において求められた河床砂の抜け出し率 $p_{s*} (= p_s \sqrt{d/s g})$ と無次元掃流力 $\tau_* (= U_*^2 / s g d)$ の関係をRun A, Bについてまとめたものを示す。ここに、 s :砂の水中比重、 g :重力加速度、 d :河床砂粒径である。図中には参考のために掃流砂に対する中川・辻本のpick-up rate推定式：

$$p_{s*} = 0.03 \tau_* (1 - 0.035 / \tau_*)^3 \quad (1)$$

を示している。たとえ一層でも礫による被覆を施せば、被覆しない場合に比べて明らかに河床砂の抜け出し率が減少していることがわかる。

各Runともにデータのばらつきが大きく、層厚の変化に伴う抜け出し率に明確な違いが見い出せないが、巨視的には層厚の増加によって河床砂の抜け出し率が徐々に減少し、最終的には洗掘が停止するものと考えられる。このような河床砂の抜け出し特性をもとに、任意の水量に対応する礫護床の設計条件を考える。粒径 d の均一砂の河床表層を粒径 D の礫で被覆する場合に、安全な礫護床の条件として著者ら¹⁾は次式を提案している。

$$U_*^2 < \sim 0.05 s g D \quad (2), \quad U_*'^2 = \beta U_*^2 < \sim 0.05 s g d \quad (3)$$

$$D/d = 1.55 \lambda_A^{1/3} \quad (4)$$

ここに、 U_* :被覆礫表層の摩擦速度、 U_*' :河床砂表層の摩擦速度、 β :礫層を通しての流体力の減衰率、 λ_A :被覆礫の空隙率である。 β については被覆礫層厚 L と礫粒径 D の関数とした次式が提案されている。

$$\beta = \exp(-0.7 L/D) \quad (5)$$

すなわち、式(2)の条件のもとで、式(3)か式(4)が満たされれば河床は安定する。実験データより、通水180分後では河床砂は移動限界状態であるから(3)式を用いて掃流力減衰定数 β がそれぞれのRunに対して求められる。図-5に β とこのときの礫層厚 L の関係を示し、今回の実験結果と以前著者ら¹⁾が行った実験結果を比較しているが、(5)式と比較的よく一致しており礫層による流体力の減衰効果が(5)式で表せることが確認された。また図-4において表された、洗掘過程での礫表層の掃流力に対して(3)式を適用し、礫層による影響を排除して河床砂表層に作用する掃流力に変換したものを図-6に示す。図中の実線は(1)式である。均一砂としての抜け出し率にかなり近づいていることから、河床砂の移動は掃流力によって評価することができ、式(2)～(5)を用いて洗掘防止条件が求められることがわかった。

4. おわりに

本研究では、河床砂の抜け出し特性を明らかにすることで、礫護床による河床砂の洗掘防止方法に関する検討を行った。今後は被覆礫を多層にした場合の洗掘防止効果を、粒径の比較的小さい礫層のフィルター効果に注目して検討する予定である。

参考文献 1) 鈴木、他：第47回年次学術講演会概要集，pp.138～139, 1992。

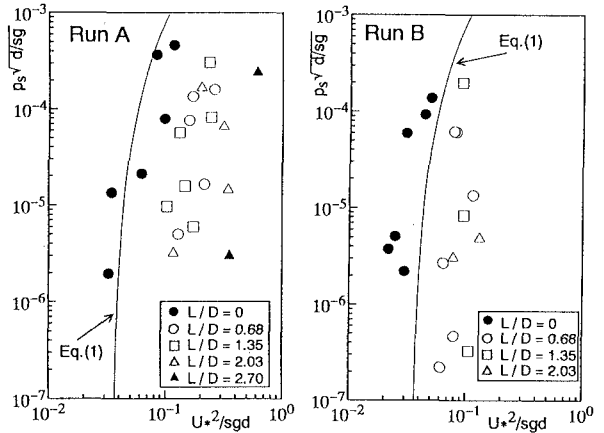


図-4 河床砂の抜け出し特性

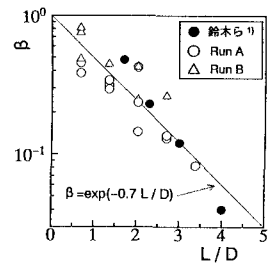


図-5 掃流力減衰定数

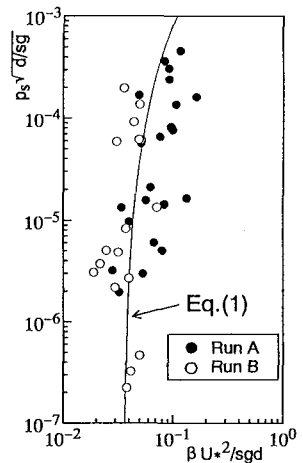


図-6 河床砂に作用する掃流力と抜け出し率