

段落ち部の洗掘深と粗礫による河床被覆の効果

愛媛大学工学部 正員 鈴木幸一
東急建設(株) 正員 高石賢司

1. はじめに

ダムや床止め工などの河川構造物の段落ち直下流部では、流水を局所的に変化せしめるために時として大規模な洗掘が発生することがある。この局所洗掘は河川構造物の本来の機能を阻害するばかりでなく、構造物自体の安定性に重大な影響を及ぼすため洗掘防止対策や基礎の十分な根入れ深さの検討が必要となる。洗掘の防止・軽減に対する考え方は、河床面に作用する流体力を減少させる方法と、その流体力に対する河床の抵抗力を大きくする方法に分けられる。ここでは、粗砂礫で被覆することにより河床の抵抗力を補強した段落ち直下流部河床の洗掘特性を実験的に明らかにする。

2. 実験の概要

実験は、全長 3.7m、幅 30cm の鋼製水路を用い、段落ち直下流部河床を平均粒径 0.185cm のほぼ均一な砂で移動床とし、これを平均粒径 1.5cm の礫で 1~3 層に分けて被覆した状態で最大洗掘深 Z_{sm} と段落ちから最大洗掘深の生じている地点までの水平距離 L_{sm} の測定を中心に行った。また、段落ち高さ W は 10cm(一部 9.2cm) と一定とし、流量 Q を 2.5~5.1ℓ/s、下流側水深 Y_t を 3~9cm と種々に変化させて合計 30 ケースの実験を行

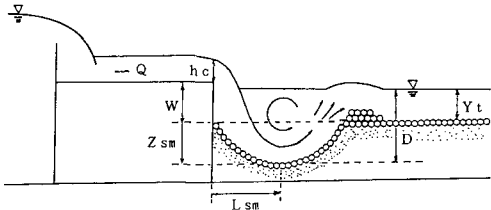


図-1 潜り噴流による洗掘と記号図

た。一般に、局所洗掘現象は図-1 に示すような潜り噴流によって引き起こされるが、本実験の水利条件は段落ち上下流の水位差が大きく全て潜り噴流のみが発生する条件である。

3. 最大洗掘深と洗掘孔形状の時間的变化

礫による河床の被覆状態の変化に伴う最大洗掘深の変化を比較するために、最大洗掘深 Z_{sm} を限界水深 h_c で無次元化した Z_{sm}/h_c の時間的变化の一部を図-2 に示す。図-2 によると、均一砂のみの場合はいつまでも洗掘が進行するのに対し、礫で被覆した場合は洗掘孔底部に armor coat が形成されるため途中で洗掘進行がほぼ停止した状態となる。厳密には洗掘進行はいつまでも停止しないが、 $\sqrt{g/h_c} \cdot t$ の値が 10^5 のとき洗掘進行が十分緩慢になっていると見なすことができるため、このときの最大洗掘深を平衡最大洗掘深 Z_{smf} と定義する。礫で被覆した場合、この平衡最大洗掘深は 1 層被覆のとき被覆しない場合の約 40%、2 層のとき約 25%、3 層のとき約 15% となっており被覆層が大きくなるに従って減少している。

洗掘孔形状の時間的变化を調べるため図-3 に段落ちから最大洗掘深の生じている地点までの水平距離 L_{sm} を最大洗掘深 Z_{sm} で無次元化した L_{sm}/Z_{sm} の時間的变化の一部を示す。図-3 によると、洗掘初期は礫の影響により洗掘が抑制されるため洗掘孔形状は比較的浅い形状を呈しているが、時間の経過とともに、潜り

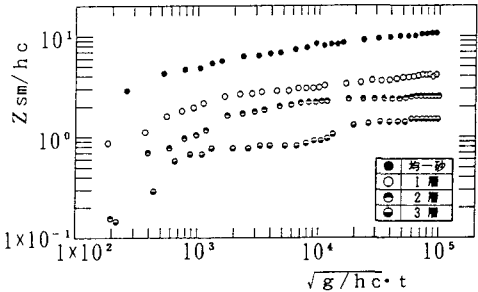


図-2 最大洗掘深の時間的变化

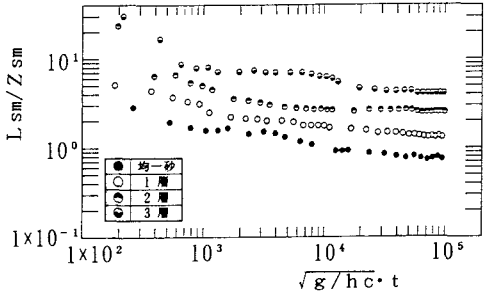


図-3 洗掘孔形状の時間的变化

噴流による鉛直方向の洗掘が卓越してくるため、洗掘後期では初期と比べ深い形状となっている。また洗掘後期には、洗掘孔底部に形成される armor coat の影響が大きくなるため L_{sm} と Z_{sm} の時間的变化は小さくなる。このため、洗掘初期と後期とはそれぞれ異なった洗掘孔形状であるが、洗掘後期ではほぼ相似形を保ちながら洗掘が進行した。全ての実験における平衡状態の L_{sm}/Z_{sm} の平均値を比較すると、(均一砂)=1.51, (1 層被覆)=2.29, (2 層被覆)=2.78, (3 層被覆)=3.11 となっており礫の層が厚くなるに従ってこの値は大きくなっている。これは層厚により洗掘孔底部および斜面のプロテクト状態が異なるために起こり、特に斜面に存在する礫が被覆層厚が大きくなる程多くなっているためである。

4. 平衡最大洗掘深の推定

段落ち直下流部の平衡最大洗掘深 Z_{smf} の推定に関する従来の推定式を Mason ら¹⁾ はまとめているが、その中で代表的なものは次に示す Mason らの式(1)と Jaeger の式(2)である。

$$D = K(q \cdot \Delta E^y \cdot Yt^w) / (g \cdot d^z) \quad (1) \quad D/hc = \alpha (\Delta E/hc)^{1/4} (Yt/d)^{1/3} \quad (2)$$

ここに、 D :平衡最大洗掘部の水深、 q :単位幅流量、 ΔE :段落ち上下流の水頭差、 Yt :下流側水深、 d :河床砂の平均粒径である。また、 $K=6.42-3.10\Delta E^{0.10}$, $x=0.60-\Delta E/300$, $y=0.15+\Delta E/200$, $w=0.15$, $v=0.30$, $z=0.10$, $\alpha=1.06$ である。式(1)および式(2)を用いて本実験データの適合性を調べたものを図-4 および 5 に示す。図中、破線は Mason および Jaeger の式を示し、河床を礫で被覆した場合は粒径 d を $d_1(=1.5\text{cm})$ とした場合と $d_2(=0.185\text{cm})$ とした場合について示している。図-4,5 によると、均一砂のデータは計算値に比べ実測値がかなり大きくなっておりこれらの推定式に適合しているとは言えない。図-5 から礫で被覆した場合も河床砂の平均粒径を $d=1.5\text{cm}$ とすると式(2)からはずれてくるが、式(2)において係数を $\alpha=3$ とすると均一砂および礫で被覆した場合のデータはこの Jaeger の式に適合してくる。また、図-4 において礫で被覆した場合も平均粒径を $d=0.185\text{cm}$ としてプロットしたものと均一砂のデータを比較すると、計算値はほぼ同じであるが実測値は礫で被覆したもののほうがかなり小さくなっている。この実測値の差が礫の効果であり、図-5 では礫の層厚による影響はあまりはっきりと現れていないが、1 層で被覆しただけでもかなりの効果があるようである。

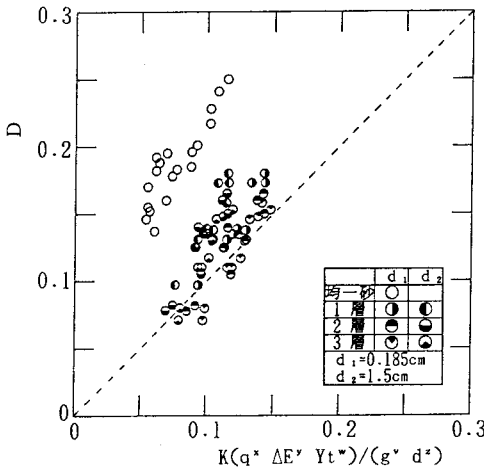


図-4 Mason らの式(1)の検討

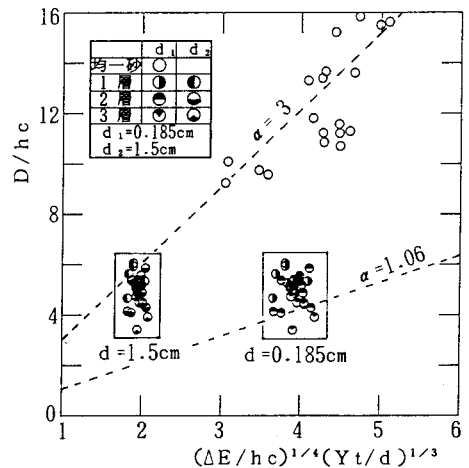


図-5 Jaeger の式(2)の検討

5. おわりに

河床を礫で被覆した場合、1 層で被覆しただけでも洗掘特性にかなりの影響を及ぼすこと、および平衡最大洗掘深は係数 1.06 を 3 程度とすることにより Jaeger の式を用いて推定できることなどがわかった。

参考文献:

- 1) Mason, P.J and Arumugam, K. Proc. ASCE, Vol.111, No.2. 1985, pp.220~235