

礫床河川の床止め下流の河床変動に関する検討

西日本工業大学 学生会員 高橋 宏道
 西日本工業大学 正会員 赤司 信義
 西日本工業大学 正会員 石川 誠

1. はじめに

堰や床止めの水叩き直下流では、河床の洗掘が著しくなる場合があり、適切な河床構造が求められる。河床を安定化させるため、水叩き下流の護床工は連結したコンクリートブロック工が多く用いられるが、生態系に配慮した多様な空間を確保する場合や現地で石材が確保される場合などでは捨石工も用いられる。本研究は、水叩き下流の河床を捨石工とした場合の洗掘特性を明らかにすることを目的として、現地調査を行うと共に、礫の洗掘実験を行って従来知られている洗掘特性との比較を行い洗掘解析法の適用性を検討したものである。

2. 現地調査

調査対象地点の井堰の断面形状を図・1に示している。堰長は約45mで、中央部17mは堰を切り欠いて約30cm堰高を下けている。下流に橋脚があり、堰兩岸は、法勾配1:1.5の練り石積み護岸で橋台に擦り付けられている。堰の直上流の河床は堰より30cm程度下がっていて、河床は20cm

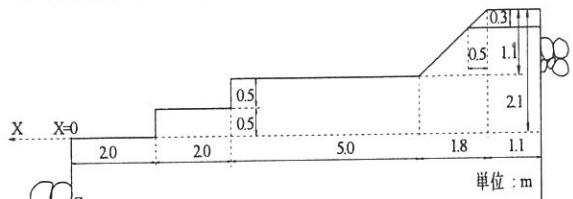


図1 調査地点の堰の断面形状

程度の礫で覆われている。水たたきの長さは5mであるが、その後に段差0.5m、長さ2mのステップが2段設置されている。平常時は、2段目のステップの上5cm程度に水面が見られる。写真1は、越流水深が50cm程度の出水時の越流状況を示したものである。跳水始端部は、1段目のステップ付近になっていて、2段目のステップから橋脚の間中付近までローラーがあるように見える。左岸には取水門が設置されていて、流れは、堰高の下がった中央付近で強くなっていて、流向はやや中央部より右岸向きになっている。



写真1 出水時の流況

水叩き下流の河床高を、ステップから橋脚部分までの20m区間について、下流方向に2m毎、横断方向に2m毎に測量した。図2は、測量結果より作成した等深淺図を示したものである。ステップ終端の河床は30~50cm下がっていて、右岸の橋脚前面では2m以上下がっている。流れがやや右岸寄りになること、水叩きからの流れは、ステップを走り噴流状の流れとなってステップを越え、湾曲噴流となって河床に衝突すると流れと橋脚前面に衝突して河床に向かう流れとなり、洗掘を引き起こして河床の低下が著しくなっているものと考えられる。

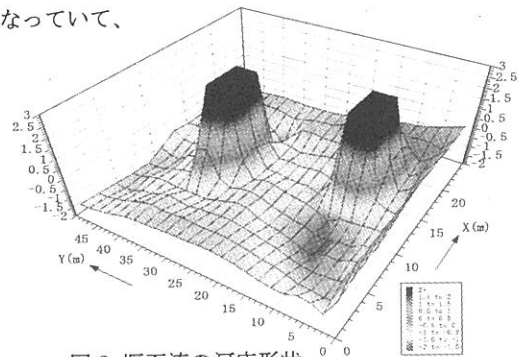


図2 堰下流の河床形状

図3は橋脚前面の縦断面図を示している。最深部では2.1m程度の深さになっていて、底には径が1m程度の石が沈んでいる。その他の河床も径が0.5~1m近くの石で覆われているが、全体的にステップ終端高より1m程度低下している。

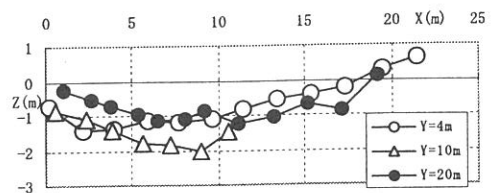


図3 最深部付近の縦断面形状

3. 噴流による礫河床の洗掘実験

写真2は水平噴流による洗掘の状況を示している。実験水槽は幅20cm、長さ4m、高さ0.7mで、幅1cmのノズルを設けている。

河床には、代表径1.75、3.14cmのほぼ均一な石を敷き均した。従来の実験は、ノズル幅より小さい砂を対象にしたもので、ノズル幅より大きな径の石を用いた実験は見当たらない。写真は1.75cmの時の実験で、砂の場合と同様に、水平噴流は湾曲噴流と

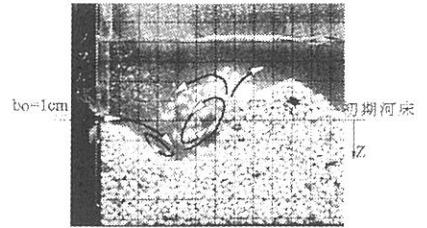


写真2 礫の洗掘実験

なって、河床に衝突し、堆積部の洗掘穴斜面の石を噴き上げて、堆積部頂点を越えて流送される量によって、洗掘の進行する様子が分かる。また、周期的に流向が上向き、下向きに変化することによる間歇的洗掘も観察された。図4は、最大洗掘深Dと洗掘穴長さLoで無次元化した洗掘形状を示している。

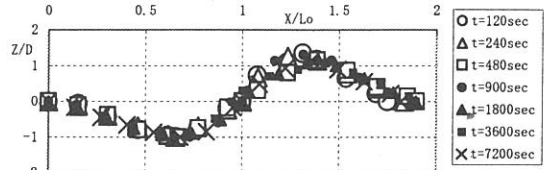


図4 洗掘形状($b_0=1\text{cm}$ 、 $d=1.75\text{cm}$)

砂の場合の形状と同様に、堆積部の形状は安息角の斜面を形成している。径が3.14cmの石の場合も同様で、洗掘機構に違いはないものと考えられる。

4. 洗掘の数値的検討

図5は、洗掘の数値解析を行うため、従来取り扱われている湾曲噴流の流れのモデルを示している。段落ち高さDの時、湾曲噴流はXRに再付着し、そこから縮流によって加速され、XS~XEの区間でコア的な流れとなり、XE以後で壁面噴流となって減衰する。洗掘の進行過程は、最大洗掘深の位置に壁面があるとして、湾曲噴流による壁面噴流の流れ特性を砂移動の基礎式に導入することで、解析される。

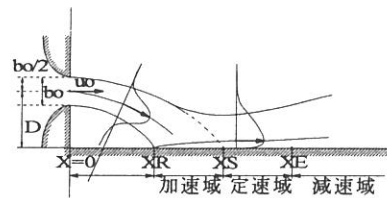


図5 湾曲噴流の概略

文献を参考にして、壁面噴流の場合と段落ち高さ $D/b_0=1, 2, 5$ の場合の流れ特性を導入して、礫の径 d とノズル幅の比 $d/b_0=2$ の場合の掃流力の分布を示したものが、図6である。 u_0 は、噴出速度である。

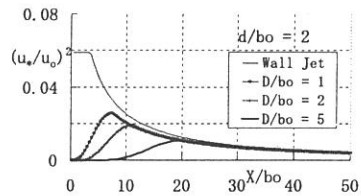


図6 湾曲噴流の掃流力の分布

図7は、砂礫の移動の飛距離を10倍、流砂量式の係数 k を1とした時の最大洗掘深の計算結果を実験結果と比較したものである。礫径が大きい時の流砂量式の評価はかなり困難であるが、ほぼ洗掘特性を説明できるものと考えられる。

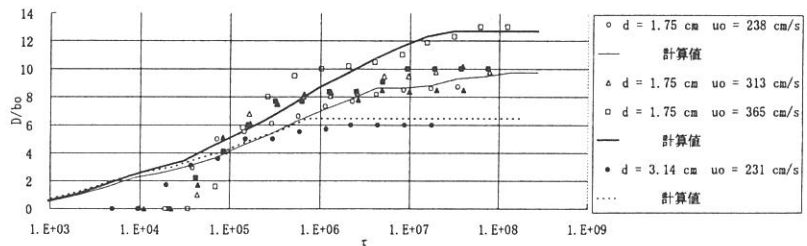


図7 最大洗掘深の時間的変化(実験結果と計算結果との比較)

5. おわりに

現地では、流れの幅よりも数倍大きな石で河床を構成する必要があるため、噴流による洗掘実験を行ってその検討を行った。流れの幅のスケールと同程度または、それよりも大きい時、従来の抵抗則でもほぼ適用できることが認められた。水引き下流の流れについては、今後さらに検討する必要がある。

参考文献 齋藤 隆:水平噴流による洗掘に関する研究, 土木学会論文報告集, Vol.282, pp53-63.