

落差工による礫床河川の河床安定化 に関する検討

FIELD OBSERVATION OF THE BED PROFILES DOWNSTREAM OF APRON AND INVESTIGATION OF BED PROTECTION WORKS

赤司信義¹・石川誠²・平畑信彦³・小野輝義⁴

Nobuyoshi AKASHI, Makoto ISHIKAWA, Nobuhiko HIRAHATA and Teruyoshi ONO

¹正会員 工博 西日本工業大学教授 工学部土木工学科 (〒800-0394 福岡県京都郡苅田町新津1-11)

²正会員 工学 西日本工業大学助手 工学部土木工学科 (〒800-0394 福岡県京都郡苅田町新津1-11)

³福岡県豊前土木事務所 (〒828-0021 福岡県豊前市八屋2007-1)

⁴福岡県豊前土木事務所 (〒828-0021 福岡県豊前市八屋2007-1)

This study deals with bed profiles of the downstream from weir or ground sill. In order to investigate the stability of bed protection works, field observation and numerical simulations were made. In the field observation, the bed profiles were surveyed longitudinally and transversely, and the water surface profiles and the bed degradation were investigated. It was observed that step-pool systems are formed. An example of rubble work by using step-pool systems is shown

In the numerical investigations, the downstream flows from apron were approximated as curved wall jets. The tractive forces were estimated by the equations arranged the results which have been already characterized. The reduction effect by the height of ground sill is shown.

Key Words: Bed protection work, rubble work, scour from apron, equilibrium scour depth, stilling pool, ground sill, field observation

1. はじめに

堰や床止めの水叩き直下流の護床工は、洪水の度に安定性を脅かされ、その機能が低下した箇所も少なくない。床止めは、河床変動や自然条件への影響が大きく、河道計画では極力採用しないことが望ましいとされていて、天端形状や水たたきの水辱池化など環境に配慮した整備が求められる¹⁾。水叩き直下流の護床工は河床勾配に合わせて直線的に下流河床高に接続したものが多く、魚類等の生息空間の確保を困難にしている。また、水域の連続性などを確保するため、床止めや井堰に新たに魚道を整備する箇所も少なくない。直壁型または緩傾斜型にせよこれらの施設下流では、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。生物空間の連続性を断たないためには、緩傾斜型で連続した石積みの段差によって、より自然な河道に近づけることができる。直壁型を緩傾斜型にする方法も提案されている²⁾。

一般に、水叩き直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、現地材が確保される場合などでは捨石工も用いられる。コンクリートブロック工は河床を被覆して設置され安定性で優っているが、自然景観等を考えれば捨石工が望ましいと考える。捨石工の安定性向上に関する研究としては、礫径を下層に小さくなるように変化させた多層捨石工³⁾や礫層を洗掘深に埋設した捨石工に関する研究⁴⁾がある。これまでの水たたき下流の河床安定化に関する研究としては、洗掘量の予測や洗掘の軽減防止に関するものがほとんどで、洗掘により創出される淵形状を利用した河床構造に関する研究は見当たらない。

本研究は、水たたき下流の淵や急勾配河道での淵の創出を対象として、礫床河川の転石を利用した石積みによる安定的な河床構造を明らかにすることを目的としている。本研究では、礫床河川の河床形状の現地調査を行って、流れの状況や現況河道の特徴を調べ、石積みによる落差工の設置法と事例を示す。水たたき下流の流れによる河床洗掘を湾曲噴流による河床洗掘で近似し、護床工形状の検討と共に、落差工による洗掘量を検討する。

2. 現地調査とその結果

現地調査は、福岡県豊前市の佐井川7.9 km地点の向川原井堰から堂ノ前井堰までの約200m区間について行った。河床形状は、向川原井堰の水叩き下流端より流下方向に8m間隔、横断方向に2m間隔で、測量した。右岸は幅2m程度のコンクリート張り高水敷、左岸は練り石積み護岸で、河床には1m程度の転石が点在している。流量評価は、堰上流に設置している水位計により行い、上下流の堰の形状及び流量係数を調査した。図-1 は、調査地点を示している、洪水時には左岸より偏流して堰を越流する。

図-2 は向川原井堰の出水時の状況である。このときの越流水深は0.6mで、跳水は水叩き上で起こり、終端部は水叩き下流の捨石部に現れている。向川原井堰の全長は47mである。堰中央部は天端が低くなっているため、跳水は下流側に下がっている。堂ノ前井堰も、同様な形状である。図-3 は測量結果を基にして、横断面毎に平均河床高を求め、河床位から差し引いた標高差を基にして等高線として描いたものである。図中の白い描点は断面毎の最深部位置である。水叩き直下流の最深部は左岸側であるが、ほぼ横断的に洗掘孔が認められる。洪水時には、水叩き直下流部から100m区間までは左岸側から右岸側に向かう流れとなり、その後左岸側に向かう流れとなることが認められる。縦断的な最深部は、流路中央軸に対して並列して現れていて、ステップ・プール構造が形成されているものと考えられる。図-4 は上流堰の越流水深Hmbが2m, 1m, 0.6mの時の不等流水面形の計算結果を示している。下流堰により堰上げられているが、洪水時には部分的に波状跳水が観察されたことと関係して、水位が高くなると河床の凹凸に応じて計算上のみかけの支配断面が複数現れた。上流堰の図中には、堰上流水位と堰越流後の射流水深を示している。また、水面形の図中に最深部縦断曲線を示していて、水叩き直下流の最深部に続くステップを含めて、ステップは5箇所あり、間隔は20~50m程度で、ステップ・プール構造の波長として知られている水深流路幅程度のスケールと一致している。

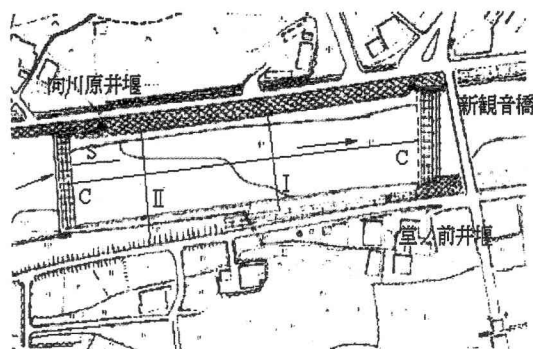


図-1 調査地点平面図

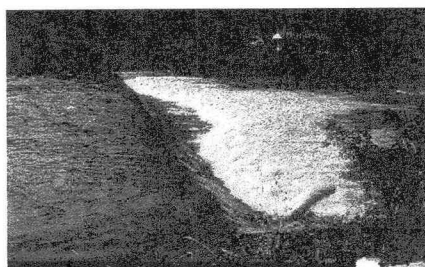


図-2 堰下流の流況

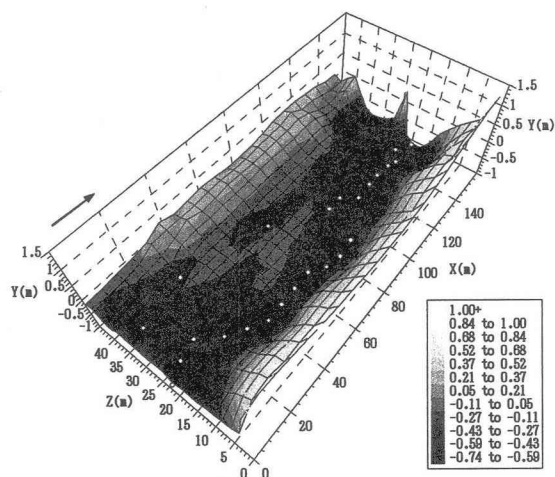


図-3 等深線図

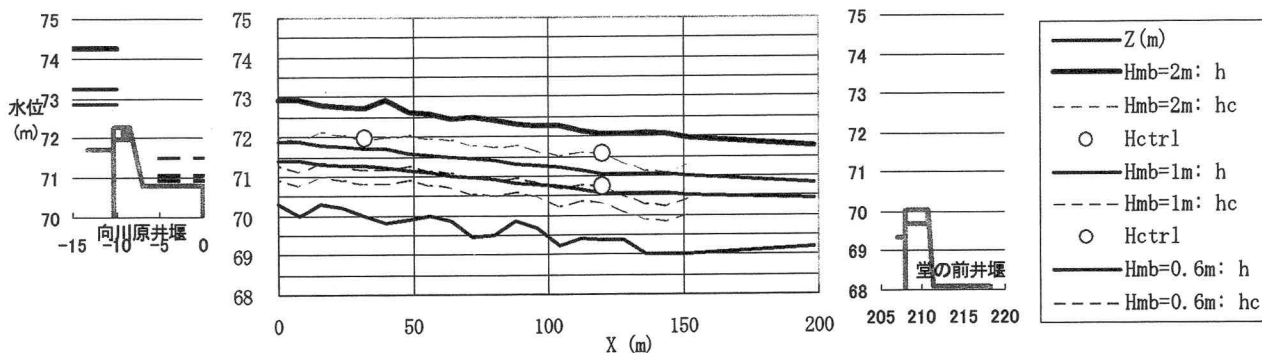


図-4 河床形状と水面形状

3. 落差工の整備

落差工を改善する方法の代表例を図-5 に示す。水たたきを下流河床高よりも掘り下げて減勢機能と共に魚類等の生息空間としての水域を確保するもの、他は落差が小さい場合に床止め上に大小の石を積み上げて緩傾斜にするものである。落差が大きくなると、段階的に落差を緩和する必要がある。図-6 は模式的に連続した落差の小さい床止めを描いているが、床止め下流の護床工にプール構造が必要である。また、床止め本体には転石等を利用した石梁構造が求められる。階段状落差工では、落差、落差工の間隔、落差工下流の河床形状を設定する必要がある。石梁構造の下流には自然にプールが形成されるが、安定的な淵構造とするためには、河床形状は洗掘形状に擬した形状が必要となる。

図-7 は、図-3 の等深線図を平面的に示したもので、想定した落差工地点を示している。間隔は、河床の凹凸に応じてステップ・プールになっている形状に合わせて設置するものとして描いている。石材で組む場合、互いにかみ合わせてアーチ構造にすることが必要である。

図-8、図-9 は、河床構造の類似した城井川での実際の落差工の設置事例を示している。落差工の単体あたりの落差は0.2m程度とし、アーチ構造の支点となる力石の根入れ深さは1m程度として施工されている。上流の床止めは、魚類の遡上を考え、中央部を改修して、石組みによる階段状落差工としている。

4. 水たたき下流の河床形状

落差工下流の洗掘形状を評価することは、落差工下流に淵を創出する場合や落差工の安定性を検討する上で、重要である。水たたき下流の洗掘に関する研究は、水平噴流による湾曲噴流による河床洗掘に関する研究⁹⁾や床止め下流の洗掘に関する研究⁹⁾などが上げられ、これまでの研究によって、洗掘機構はほぼ明らかにされているが、洗掘量の評価についてはあいまいな点もあり、系統的に明らかにすることは河床設計において有用である。

ここでは、落差工を越流した流れによる河床洗掘を水平噴流による湾曲噴流⁹⁾とみなして、礫河床の洗掘量の解析を行い、淵形状となる洗掘形状の評価を行う。計算に使用した基礎式は、非平衡状態の河床変動の式で、この式に水平噴流による湾曲噴流の流れの抵抗則などの特性式を実験式化して、洗掘計算を行った。

水たたき上では、下流水深によって跳水の出現位置が規定され、それによって水たたき下流の河床洗掘に作用する流れが決定される。跳水の発生位置による流れの違いや掃流力の評価は困難であるが、床止め下流で跳水が起こる場合、流れのエネルギーの大半は水面の大きなローラーで失われるので、河床に働く掃流力は湾曲噴流

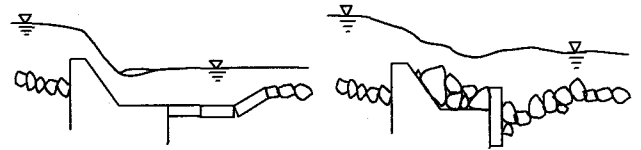


図-5 水たたきのプール化と床止めの緩傾斜^{1), 2)}

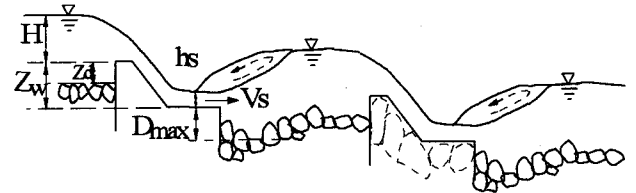


図-6 階段状落差工

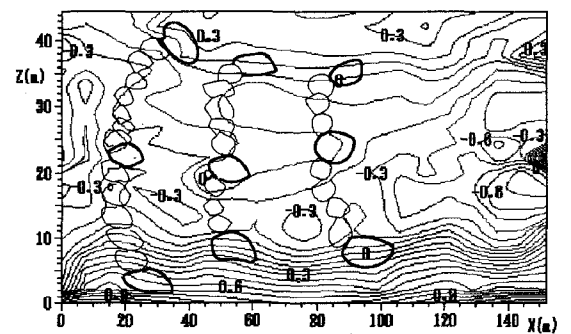


図-7 調査地点の河道の想定落差工

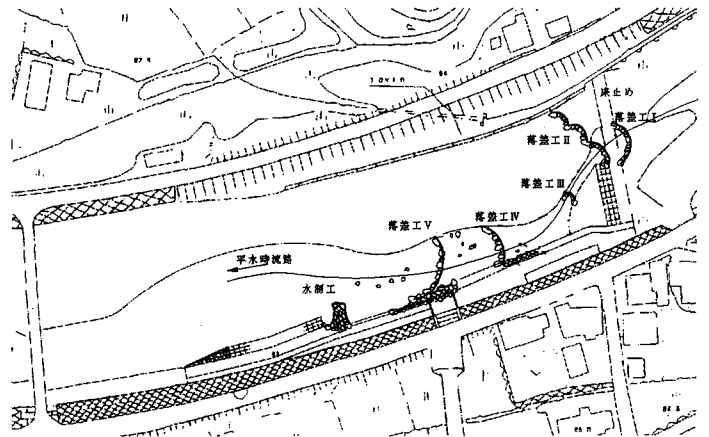


図-8 落差工設置事例平面図

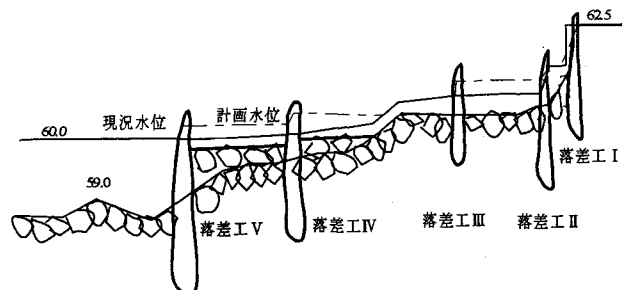


図-9 落差工設置事例縦断面図

に比べて半減するものとして計算した。

図-10 は、上流堰の越流水深が1mで、床止め工の高さが1.5mの場合について、河床礫径を5cmから30cmに変化させて洗掘形状の違いを示した。湾曲噴流による洗掘機構は、下流水深によって異なり、水たたき下流では、噴流的な流れのもぐり流れと流向がほぼ水平になる波状流れが交互に現れ、もぐり流れによって洗掘され、波状流れによって埋め戻される。淵の形状として、もぐり流れによる形状をとるとして、計算では波状流れによる掃流力や埋め戻しの機構を取り入れず、洗掘面にそう流れのはく離と安息角より急な斜面の崩落を考慮して、最終状態として洗掘形状を定めた。礫径が大きくなれば洗掘量は減少するという結果示されている。図中の丸印は、調査地点の水たたき下流の河床洗掘形状を描点したものである。礫径は20cm程度であることから、ほぼ計算結果は観測形状と一致している。図-11 は、堰越流水深が1mで、礫径が10cmの場合について床止め工の高さを変化させて、洗掘形状の違いを示したものである。大きな床止め工でなく、階段状の落差の低い床止め工を設置する場合、洗掘形状はかなり狭まることが分かる。図-12 は、洗掘深さ D_{max} を、水たたき流速 V_s 、水たたき水深 h_s 、礫径 d を用いて、表示したものである。洗掘形状は洗掘深さに対して礫の安息角斜面を上下流に構成することで、落差工下流の河床形状が設定される。

5. おわりに

礫床河川の河床調査により、河道にステップ・プール構造の形成が認められ、低落差の床止め工を連続的に設置する場合など現況河床の詳細な調査の必要性が示唆された。淵の創出に有用な落差工下流の洗掘形状を検討した結果、落差を小さくすれば洗掘量が小さくなるという当然の結果を定量的に評価した。礫床河川での床止め工の改修では、階段状の落差工を石組みによりアーチ状の石梁構造とすることが有用であるが、一般にはかなりの経験を必要とするが、石梁を構成する大石などに働く力や洗掘形状の評価を進め、より自然な河道設計につなげていきたい。

なお、落差工の整備事例は西日本科学技術研究所(代表福留脩文)の指導により施工されたものであること、本研究は西日本工業大学特別研究費の補助を得て進められたこと、河床調査には2001年度卒研生の野村明弘、八ツ繁公平両君の協力を得て行われたものであることを付記して、謝意を表する。

参考文献

- 1) 国土開発技術研究センター編：床止め構造設計の手引き，山海堂，1998。
- 2) 中村俊六監修：多自然型魚道マニュアル，山海堂，1998。

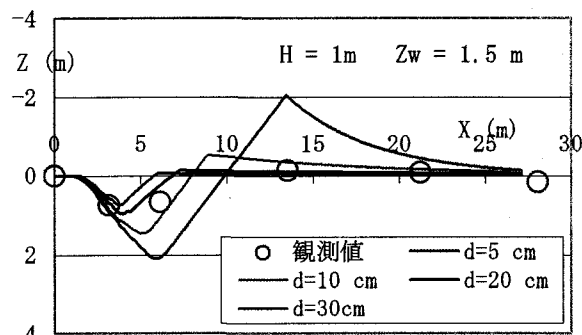


図-10 河床材料と河床形状

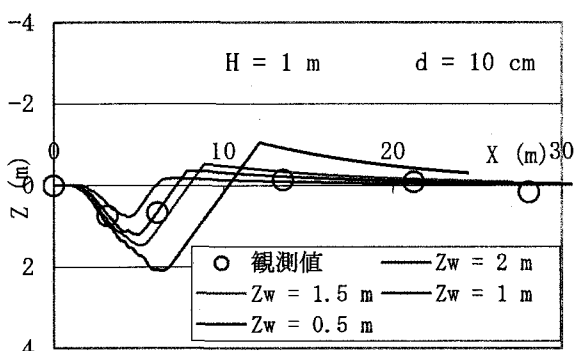


図-11 落差による河床形状による違い

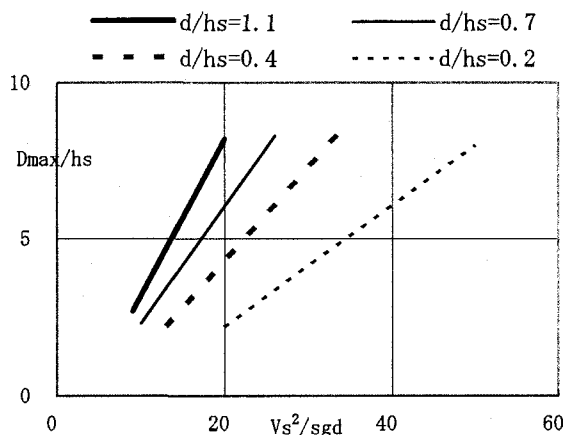


図-12 水たたき下流の洗掘深さ

- 3) 鈴木幸一，山本裕規，徳安芳典：逆フィルターを利用した捨石洗掘防止工に関する基礎的研究，土木学会論文集，No. 572/II-40，pp. 1-9，1997。
- 4) 神田佳一・村本嘉雄・藤田裕一郎：護床工下流部における局所洗掘とその軽減法に関する研究，土木学会論文集，No. 551/II-37，pp. 21-36，1996。
- 5) 斎藤 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，pp. 53-63，1978。
- 6) 鈴木幸一・道上正規・香川章：床固め直下流部の局所洗掘について，土木学会第35回講演会概要集，第2部，pp. 308-309，1980。

(2002. 4. 15 受付)