

# 一部可動堰タイプの堰における周辺河床の堆砂と洗掘に関する実験的研究\*

岩手大学農学部 三輪 式

## 1. 研究の背景と目的

日本全国には、図-1のように固定堰と土砂吐や洪水吐という可動堰を組み合わせた一部可動堰タイプの堰が多数存在している。このタイプの堰では、平水時には可動堰ゲートが閉鎖され、ほぼ固定堰天端高までせき上げて取水位を確保する一方、洪水時にはゲートが開放され、洪水流下断面を増大させることができる。

しかし、河川に形成された砂礫堆との位置関係から、洪水主流部が流下断面の狭い固定堰側を走っていたり、可動堰敷上に堆砂を生じて、ゲート閉鎖に支障を生じたりする事例がみられる。砂礫堆が形成される実験水路において、このタイプの堰周辺にみられる堆砂と洗掘の実態を把握し問題点を考察する。堰の計画・設計や維持管理に活かすことを意図している。



図-1 一部可動堰の例（栃木県鬼怒川筋佐貫頭首工）

手前から土砂吐ゲート2門、洪水吐ゲート3門(スルースゲート1門、転倒堰ゲート2門)、固定堰

## 2. 堰構造の種類

河川から取水する方法<sup>1)</sup>としては、取水口のみを設ける「自然取り入れ」と河川を横断する堰を設ける「堰取水」とがある。取水堰には、「固定堰」と、固定堰と可動堰を組み合わせた「一部可動堰（複合堰ともいう）」、すべてが可動堰の「全面可動堰」がある。この研究では、農業用水堰として多く利用されている一部可動堰タイプの堰を取り扱う。

## 3. 実験諸元と実験方法

### 3.1 実験諸元

実験は、幅 20cm の直線水路と蛇行水路の 2 本の水路（水路全長：約 8m）で実施した。いずれの水路でも、砂床には平均粒径 0.8mm の砂（水中比重 1.49）を所定の勾配で平坦に敷き均した後、通水する。直線水路の勾配 1/70 とし、通水流量を 0.4L/s、0.6L/s、0.8L/s の 3 通りについて実験した。これらの流量において、所定の勾配で平坦に砂床を均して通水すると、図-2のように水路全面に砂礫堆が形成され、水流は狭くて深い河岸沿いの「淵」から対岸斜め下流に広がった「瀬」を繰り返しながら

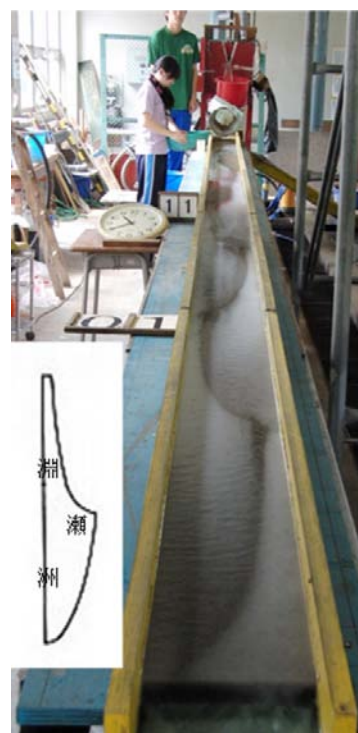


図-2 直線実験水路に形成される砂礫堆とそれに伴う水流蛇行

(2分間通水11回目で停水・減水中、 $Q=0.6L/s$ の場合)

\*Experimental study on deposition and scouring around weir equipped with sluiceway by Hajime MIWA

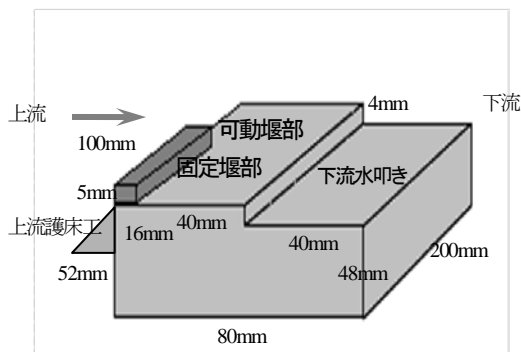


図3 実験に使用した模型堰図 (左岸下流方向から)

表-1 各水路における初期砂均し高

水路の種類	初期砂均し高 (可動堰部敷高を基準0mm)
直線水路	① 上下流とも+3mm
	② 上下流とも±0mm
	③ 上流0mm 下流 -3mm
	④ 上流0mm 下流 -6mm
蛇行水路	上流0mm 下流 -6mm

左右両岸に大きく蛇行する。

蛇行水路は、直線水路を蛇行半波長 86cm ごとに左右に屈折させた水路とし、屈折角は砂礫堆の移動を抑止できる限界蛇行角より少し大きな角度として 24° とした。蛇行波長は、直線水路において形成される砂礫堆の長さにはほぼ合致するように設定した。また、蛇行水路を設置した水路盤の勾配 (つまり蛇行水路の谷線方向の勾配) を 1/70 としている。

### 3.2 実験方法

模型堰は、河道横断の 1/2 区間を固定堰部、取り入れ口側の 1/2 区間を可動堰部とした。図-3 のような構造とし、可動堰敷高を基準として初期砂床均し高を、表-1 のとおりに変化させた。

直線水路においては、水路起点から 5.3m 地点に模型堰を設置した。通水後、砂礫堆が発達・形成され下流へ移動するため、堰との位置関係が変化し、堰周辺河床の洗掘や堆積の状況が変化する。

蛇行水路の場合は、模型堰を水路起点から 4.5m~6.2m の間で 8 か所に移動させて設置した。図-4 の写真にある堰位置が⑩であり、②~⑯の位置に移動させて実験する。蛇行水路では、平坦な河床から砂礫堆が発達した後、水路全域において砂床形状が安定化する。8 基の堰位置それぞれについて、堰と砂礫堆との位置関係のちがひによる洗掘・堆積の変化を観察・測定した。

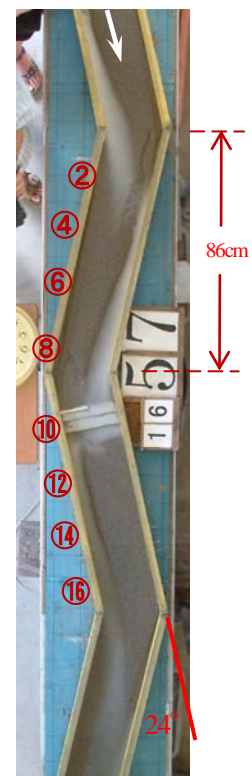


図4 蛇行水路における堰の設置位置

## 4. 実験結果

### 4.1 堰と砂礫堆形成との関係

堰を設置した直線水路において、表-1 のように堰の上下流砂均し高を変えて通水した。堰の上下流ともに砂均し高が+3mm 高い場合には、堰の影響はほとんどなく、砂礫堆が発達し下流へ移動していく。

その他の場合は、いずれの場合も、通水当初は、右岸側に天端高が高い固定堰を配置されているため、天端の低い可動堰部側の流量が多く、下流水叩き部やその下流河床の洗掘が進行する。通水を続けて砂礫堆が発達してくると、堰の上下流で河床高に落差を生じながらも、砂礫堆はその形状と接続パターンを保持しながら、図-5 に見られるとおり、下流に移動していく。固定堰部と可動堰部で天端高をちがえているにも関わらず、基本的には、堰と砂礫堆との位置関係にしたがって、砂礫堆の滞部がかかって洪水の主流が堰を越流する部分の堰下流河床が局所的に洗掘される。図-5 において、合計通水時間 19 分の場合には可動堰側

の下流が洗掘され、23.5 分の場合には固定堰の下流側が洗掘されている。

滞部が固定堰側にかかる場合、固定堰部の上流側に沿って可動堰部に向かう横向きの流れが生じ、堰の上流側砂床が洗掘される。

蛇行水路においては堰下流河床を低くした場合のみで実験した。堰の位置を8か所に变化させて、それぞれ通水したが、堰の位置にほとんど関係なく、この蛇行水路に特有の砂礫堆の形状が発達し、安定した砂床形状となる。砂礫堆との位置関係にしたがって、堰周辺の河床に堆砂し洗掘がおきる。

洪水主流部が固定堰を通過する場合は、堰下流に洗掘を生じるとともに、固定堰の上流に沿う流れによって堰上流砂床が洗掘される。

#### 4.2 可動堰敷上への堆砂

砂礫堆の寄洲部が、可動堰部に被さってくる位置関係になっている場合（例えば、図-5において合計通水時間22.5分の場合に該当）で、堰上下流河床が可動堰敷高より高い場合（堰上下流とも+3mm 砂床）には、図-6のように、堰の上下流につながった堆砂が発生して可動堰ゲートの閉鎖に支障が生じる。この場合、滞部が固定堰側にあるため、固定堰の上流側に沿う横向きの流れが、やはり発生していて、図-6にも見られるように、寄洲部の一部が侵食されている。しかし、可動堰敷上の堆砂が、堰の上下流でつながって発生しており、可動堰ゲートの開閉の障害になる。

河川改修計画において、流下断面確保のため現況河床より低い計画河床高が設定されていることが多い。河川構造令にしたがって、その低い計画河床高に可動堰敷高を合わせて取水堰を建設した場合、このような堆砂により苦勞する場合がある。

下流河床高が、可動堰部敷高より低くなっている



図-5 砂礫堆の移動による砂床形状変化  
初期砂均し高：上流0mm 下流-3mm ( $Q=0.6L/s$ )

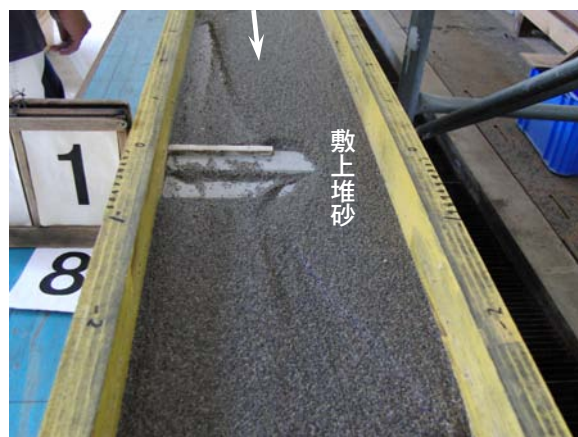


図-6 可動堰敷上への堆砂  
初期均し高：上下流 +3mm ( $Q=0.6L/s$ )



図-7 段落ち流による可動堰敷上堆砂の掃流  
初期均し高：上流0mm 下流-3mm ( $Q=0.6L/s$ )

る場合には、堰をこえる段落ち流れによって流速が大きくなるのに加えて、固定堰上流沿いの横向きの流れが生じるため、図-7に見られるように、寄洲部が被さってきた場合でも、可動堰敷上への堆砂の大部分が掃流される。

#### 4.3 固定堰部上流河床の局所洗掘

今回使用した蛇行水路の場合、平坦な砂床に通水すると、砂礫堆形状が移動・発達し、流量に応じてある時間経過すると、砂粒の移動は継続しているが、ほぼ一定の形状に安定化する。堰の設置位置を変化させると、堰周辺の堆砂・洗掘状況が変化する。

河岸沿いに深く掘れた淵側に固定堰がある場合（図-4の堰位置⑫、⑭、⑯の場合）、堰の上流側河床が、図-8に見られるように局所的に大きく洗掘され、上流護床工が完全に露出している。ここでは堰位置⑭の場合を取り上げて説明する。水表面に散布したパンチ屑の流し撮り写真（図-9）で表面流況を見ると、パンチ屑は、洪水時の主流部が走るラインに乗っている。凸岸頂部から、対岸下流の凹岸から凸岸に向かう河岸の中流部付近にぶつかっていくように流れ、岸に沿って流れた後、凸岸から離れる。パンチ屑の流跡が写っていないところは流速の遅い部分である。

洪水主流部は、堰を越流する流れと固定堰上流に沿って可動堰部側に向かう流れに分かれる。表面の流れはほぼ堰を越えるが、堰上流に沿って横向きにラセン的な流れが生じているため、堰の上流手前から流跡線も少し左岸側に曲げられている。この横向きラセン流によって、堰上流側の河床が洗掘される。

直線水路の場合でも、同様の位置関係になるとき、図-7の固定堰上流をよく見ると、局所洗掘を生じていることが分かる。

#### 4.4 可動堰部上流河床の局所洗掘

堰位置⑭の場合とは、固定堰の配置が反対になった場合に相当するのが、堰位置⑥の場合である。河岸沿いの深く掘れた淵部に可動堰部があるので、砂礫堆形状の横断形とおよそは合致している。このとき、図-10に見られるとおり、上流側河床に局所的な洗掘を生じている。側壁に沿った洪水流の高速部が可動堰部の側壁沿いを流下する位置関係にあり、堰を越える主流のほかに堰の上流で横方向にむかうラセン的な流れ

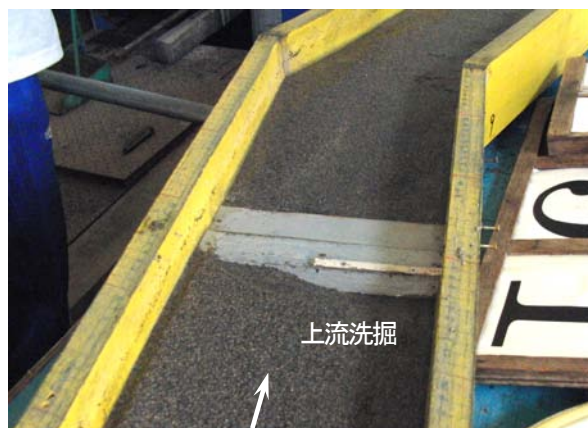


図-8 固定堰部上流河床の局所洗掘（堰位置⑭）  
初期砂均し高：上流0mm 下流-6mm(Q=0.6L/s)



図-9 固定堰上流に局所洗掘を発生する場合の水表面流跡線（堰位置⑭，散布パンチ屑流し撮り t=1/10 秒）  
初期砂均し高：上流0mm 下流-6mm(Q=0.6L/s)



図-10 可動堰部上流河床の局所洗掘（堰位置⑥）  
初期砂均し高：上流0mm 下流-6mm(Q=0.6L/s)

が生じる。そのため、堰に沿う洗掘部が堰中央部まで広がっている。

#### 4.5 堰下流河床の局所洗掘

砂礫堆が連続する河床では、河岸沿いの狭くて深い淵から対岸に向かって瀬と洲に広がり河床も高くなる。河道を直角に横断する堰にとっては、左右いずれかの岸に近い部分で淵を通過する必要がある。洪水の主流部は、淵の最深部よりは少し下流の岸にぶつかり、水衝部となった岸に沿って流れた後、対岸の淵下流部に向かって流れの方向を変える。

水衝部付近に堰が設置されたとき、堰下流河床の局所洗掘が大きくなる<sup>2)</sup>。局所洗掘は、固定堰部であるか可動堰部であるかにかかわらず発生する。そのさい、堰下流河床が低くなればなるほど局所洗掘は大きくなる。

可動堰部が水衝部側にあるとき（堰位置⑥に相当）、その敷高が淵の深さに相当するほど低く設定されていれば、洪水の主流部が通過しても局所洗掘は生じない。通常は、そこまで低く設定されていない場合が多いので、図-11に見られるとおり、可動堰部の下流においても河床洗掘が発生する。

#### 4.6 砂礫堆形状に合致した堰

水衝部付近に集中していた洪水時の流れは、対岸下流の瀬と洲の方向に広がりながら下流の淵に流れ込む。瀬の付近に位置し淵の下流側に敷高の低い可動堰部が設置されている場合は、固定堰部が寄洲側にあり、堰と砂礫堆の形状が合致している。したがって、図-12に見られるとおり、堰の上流の局所洗掘はなく、可動堰敷上の堆砂も発生しない。堰下流においても局所的な大きな深掘れを生じていない。

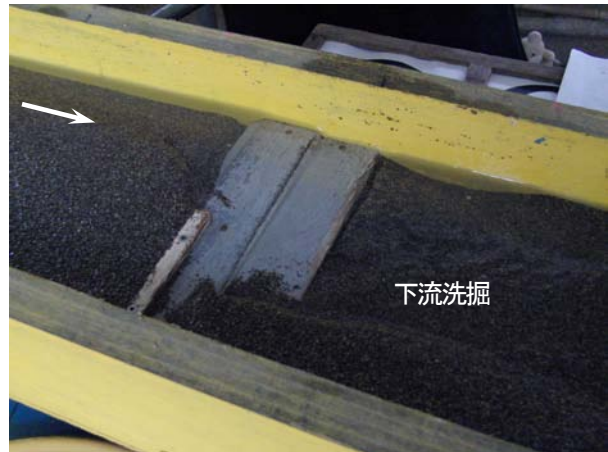


図-11 可動堰部下流河床の局所洗掘（堰位置⑥）  
初期砂均し高：上流0mm 下流-6mm(Q=0.6L/s)



(1) 水表面流跡線（散布パンチ層流し撮り t=1/10 秒）



(2) 堰周辺の砂床形状

図-12 砂礫堆形状に合致した堰の場合（堰位置③）  
初期砂均し高：上流0mm 下流-6mm(Q=0.6L/s)

### 5. 実例との比較考察

固定堰の上流側が大きく河床洗掘された事例が、図-13に示した山城頭首工（秋田県雄物川）である。砂礫堆の淵が右岸側の固定堰部の上流側にあり、左岸可動堰部上流に広い寄洲が広がっている。図-4の堰位置⑭にあたっており、図-8のように、堰上流部が大きく洗掘されるため、洗掘防止の護床ブロックが大量に投入されていることが分かる。



図-13 固定堰部上流側河床の洗掘事例（1）  
山城頭首工（秋田県雄物川，平成22年11月25日三輪撮影）

図-14には葛丸頭首工（岩手県北上川支流葛丸川）の上流河床における局所洗掘例<sup>3)</sup>を掲げた。左岸可動堰部の径間長が短く、全面固定堰に近い構造である。図-4の堰位置⑥にあたり、図-10と同様に、固定堰の上流を左岸から右岸に向かうラセン流によって大きく河床洗掘された様子がうかがえる。



図-14 固定堰部上流側河床の洗掘事例（2）  
葛丸頭首工（岩手県，平成19年9月27日三輪撮影）

## 6. まとめと提言

堰の一部が堰天端高の低い可動堰になっている場合でも、河川の砂礫堆形状の形成とそれに伴う水流蛇行が基本的な現象であり、堰の構造の違いは、副次的な影響を与えるものであることが分かる。ただし、洪水水衝部が固定堰を越える位置関係にあるとき、一部可動堰の場合、固定堰上流側に沿う流れで発生する河床洗掘が、より大きな深掘れとなるので、洗掘防止の対策が必要である。

堰位置と構造の決定にあたっては、砂礫堆形状とその変化を的確に把握すること重要性が改めて明らかになった。

〔謝辞〕 実験の遂行には、科学研究費補助金・基盤研究（C）（研究代表者：三輪 弉，課題番号：20580260）および日本工営（株）奨学寄付金のご援助とともに、平成21，22年度三輪研究室専攻学生のご協力を得た。記して謝意を表す。

### 〔参考文献〕

- 1) 農水省農村振興局（2009）：設計「頭首工」，土地改良事業計画設計基準及び運用・解説，付録技術書139-141.
- 2) 高井・三輪（2010）：堰下流河床洗掘の発生メカニズムと深掘れ軽減対策，農業農村工学会誌78-1，49-52.
- 3) 三輪 弉（2010）：頭首工周辺の堆砂と洗掘による諸問題，農業農村工学会東北支部講演要旨集53，40-43.