

模型水路実験による岡島頭首工上下流の河床掘削計画の検討

Experimental Studies on Solving Troubles of Sand Deposition on Sill of a Barrage

岩手大学農学部

三輪 弌

Hajime MIWA

In recent years, river bed was excavated upto designed elevation to have more capacity for flood than before. So, sill elevation of some new barrages were lower than that of original river bed. Consequently, deposition of sand and gravel on sill caused troubles in operation of these barrages.

These troubles were observed in a model canal(1/1,000), which was designed to realize similarity of pattern of alternating bars in case of the Okajima Barrage.

Comparison of patterns of actual river bed, which were made by some flood, with experimental ones clarified as follows: (1)Only one-fourth of the length of a bar was dredged both in upstream and in downstream of the barrage. This dredging is not enough. (2)Practical proposed dredging reach is one and a half times as long as the length of a bar in upstream and half in downstream.

Keywords:barrage, deposition, dredging reach, alternating bars, model canal

1 研究の目的

将来の河川改修計画に整合させるため、最近建設された頭首工（取水堰）においては、現河床より低く設定された計画河床高に堰の敷高を合わせている場合が多い。堰の建設の際には、堰の上下流の護岸も同時に施工され、かつ、堰の上下流のある区間の河床も計画河床高に掘削される。だが、その掘削は、堰の上下流それぞれに 100m 程度の局所的な掘削なので、洪水のさいに、局所的掘削部分は簡単に埋め戻されて現河床に近く復元し、そのため、可動堰のゲート直下に堆砂して、ゲート操作に支障を生じている場合がある。

筆者は、従来からこの種の堆砂障害の問題をかかえている多数の頭首工についての検討を継続して進めてきた。岡島頭首工（岐阜県揖斐川）と太田頭首工（利根川水系渡良瀬川）については、頭首工のゲート付近への堆砂を防ぐ対策についての考察を含めた検討結果をすでに報告してきた^{1)・2)}。

頭首工の上下流部の十分に長い区間において、河川改修工事が進展し、計画河床高まで掘削されれば、この問題は解消されるであろうが、このような河川改修（掘削）は長年月を要する場合が多い。したがって、それまでの期間の当面の対策が必要であり、堰の上下流の一定の区間の河床掘削によって、ある程度の洪水が出ても、堆砂による大きな支障を生じさせず、そのつど掘削しておくという方法が提案されてきた。しかし、堰の上下流のどの程度の区間の河床を掘削しておけばよいかについては、十分な検討が進んでいなかった。

筆者は、今回、岡島頭首工を例にとり、河道内の洲の形状を含めて、現状再現のできる模型水路を設計し、それを用いてこの掘削区間長と堆砂の関係を実験的に観察し、実際の現象と比較検討したので、報告する。

2 問題の背景

本報告で取り上げた問題は、頭首工周辺の河床材料が石や礫が中心で、ゲート操作による堆砂（礫）フラッシュがあまり利かない、比較的急勾配の河川に設けられた頭首工の場合に深刻である。

反対に、河床材料が砂など比較的小さい粒径である、緩勾配河川にある頭首工については、洪水のさいゲートの直下に堆砂しても、洪水減水期にゲート閉鎖していくさいのゲート流出流によって、ゲート付近の堆砂が、局所的ながらも、フラッシュされ、ゲートが閉鎖できることが経験されている³⁾。

そこで、前者の例である岡島頭首工の場合について、模型水路実験を実施することにした。岡島頭首工では、(1) その上下流部においては、写真-1 (a) によってわかるように、単列の交互砂礫洲が形成されている、(2) 頭首工建設後に、堰の上下流部の掘削部に洪水のさい発生した堆砂は、掘削前の砂礫洲形状を復元させていく形態である、ことは、すでに報告した通り¹⁾である。

なお、この現象は普遍的であり、たとえば、太田頭首工の場合も、掘削部での堆砂形状は、もとの砂礫洲形状へ復元していく形で発生している。

この堆砂問題は、平面的な形状が大きな意味を持っている砂礫洲に密接な関係を持つ現象である。したがって、河床の横断形状を無視して、横断平均の各種水理量（水深、流速、流砂量など）によって、河床の縦断形状の変動を計算する「河床変動理論⁴⁾」によっては取り扱えない問題である。また、「河道平衡理論⁵⁾」は、河川の縦断形状の、何回もの洪水の結果としての長期的な平衡状態を取り扱うのに対し、ここでは、ある1回の洪水による河床掘削部への堆砂を問題にしているので、馴染まない問題である。

3 頭首工建設前の河道洲の平面形状を相似的に再現する模型水路の設計

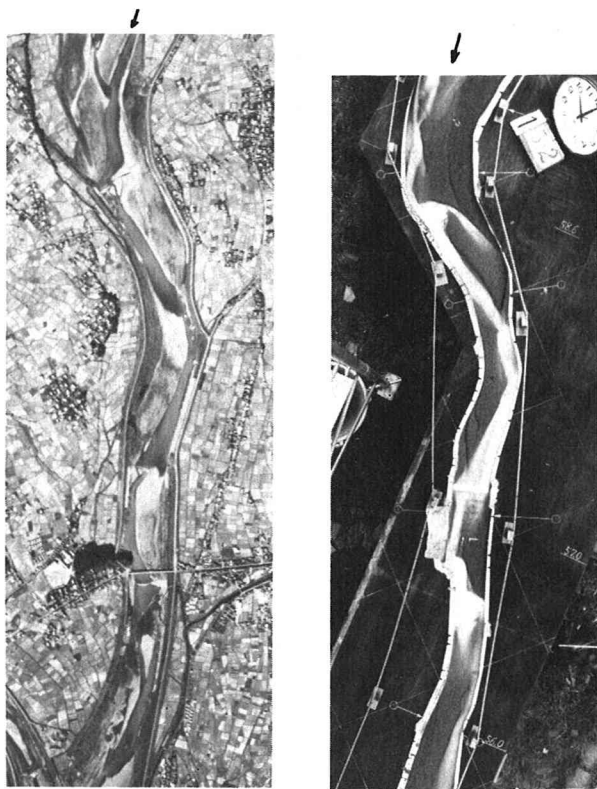
3-1 模型実験の相似則

頭首工のような河川構造物にかかわる実験においては、上下流部の河道区間に形成されている砂洲あるいは砂礫洲の形状が、流水の力によって自然に再現されていなければならない。

フルード相似則だけではなく、砂礫洲形状相似を実現できる河川の模型は、岡島頭首工の上下流の揖斐川については、模型縮尺 1/50 程度の大縮尺模型にすれば、可能である。だが、模型水路の長さが 200m 程度も必要なので、木下⁶⁾が成功を収めた「砂レキ堆相似」による大井川の模型実験にならって、平面縮尺 1/1,000 の小縮尺模型水路にした。（模型水路の水路幅は、約 20cm）

「砂レキ堆相似」の模型水路実験においては、 BI/H と u_* / u_{*c} の 2 パラメータの値を一致させる必要がある。

そこで、水路床材料の砂粒子として、平均粒径 0.8mm (0.6mm~1.0mm) を使用したとき、現地の計画河床勾配 1/256 に対し、上記の 2 パラメータを一致させるような水路床勾配を、木下⁶⁾の大井川模型実験で行なわれた方法にならって、直線水路における予備実験から 1/71.5 と決



(a) 現地の洲の形状 (b) 模型水路 (1/1,000) での洲の形状
(1964年地理院撮影) ($Q=500\text{cm}^3/\text{s}$, $d_m=0.8\text{mm}$, $I=1/71.5$)

写真-1 模型水路における現地の洲の形状の再現実験

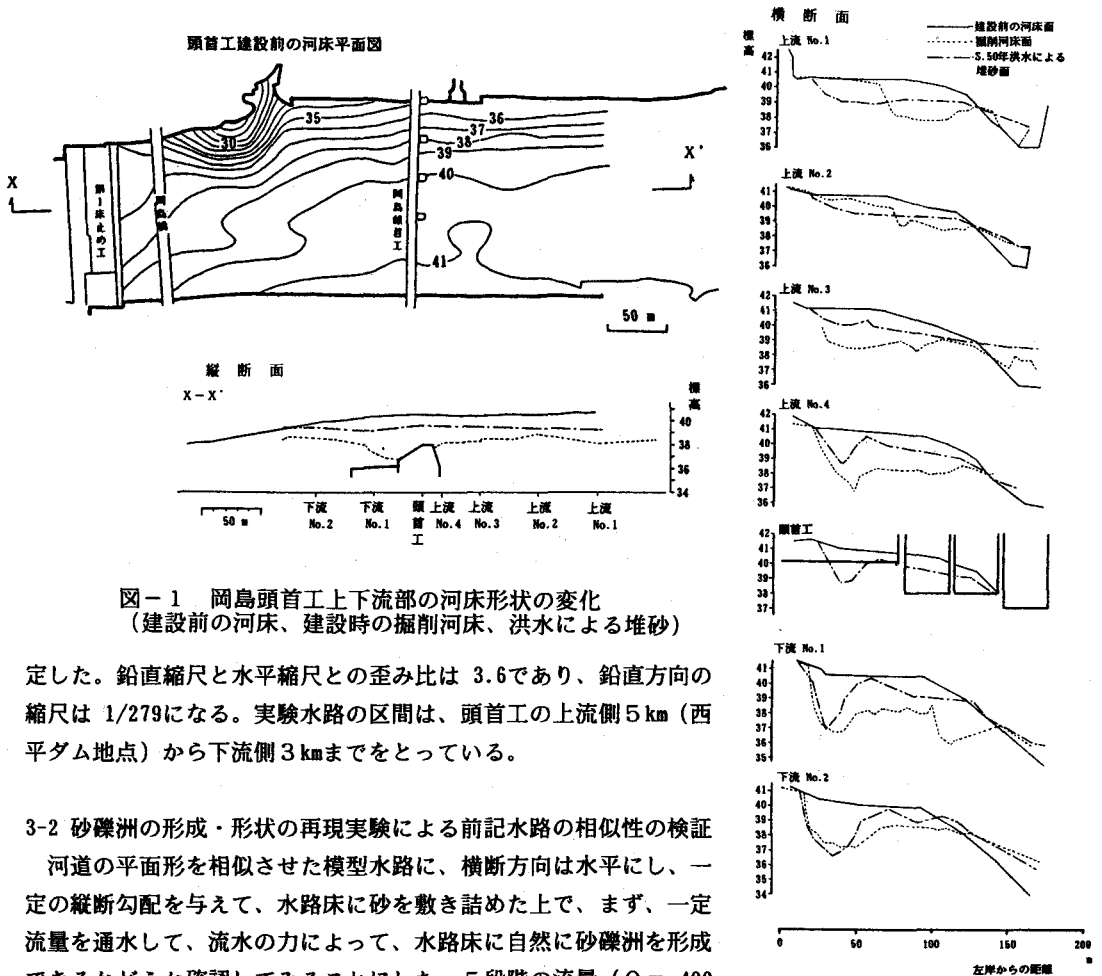


図-1 岡島頭首工上下流部の河床形状の変化
(建設前の河床、建設時の掘削河床、洪水による堆砂)

定した。鉛直縮尺と水平縮尺との歪み比は 3.6であり、鉛直方向の縮尺は 1/279になる。実験水路の区間は、頭首工の上流側 5 km (西平ダム地点) から下流側 3 kmまでをとっている。

3-2 砂礫洲の形成・形状の再現実験による前記水路の相似性の検証

河道の平面形を相似させた模型水路に、横断方向は水平にし、一定の縦断勾配を与えて、水路床に砂を敷き詰めた上で、まず、一定流量を通水して、流水の力によって、水路床に自然に砂礫洲を形成できるかどうか確認してみることにした。5段階の流量 ($Q = 400 \sim 800 \text{ cm}^3/\text{s}$ を $100 \text{ cm}^3/\text{s}$ おき) でそれぞれ通水したところ、どの流量でも通水後 5～10分で、実験水路上には単列の交互砂洲が形成され、現地の砂礫洲の形状と似たような形態が出現した。

なかでも $Q = 500 \text{ cm}^3/\text{s}$ の場合には、写真-1 (b) にみられる交互砂洲が形成され、現地の砂礫洲の形状をもっとも忠実に再現しているとみる事ができた。河道の蛇行形状に合致した単列の砂洲が形成されていて、河道の蛇行によってその位置が安定させられた状態も、うまく再現されている。なお、この実験流量 $500 \text{ cm}^3/\text{s}$ は、現地河川の洪水流量に換算するとおよそ $1,200 \text{ m}^3/\text{s}$ に相当する。

4 洪水による掘削河床部への堆砂の再現性の検証実験

4-1 現地での掘削部への堆砂の実態

岡島頭首工の可動堰の数高は、将来の計画河床高に合わせて建設されたために、洪水吐部においては、2 m 程度も元の河床より低い高さに設定されている。そして、堰本体の建設完了 (昭和 50 年 3 月) に合わせて、ゲートの開閉に支障がないように、頭首工の上下流部の河床が掘削された。もとの河床と掘削された河床との関係は図-1 に示した通りである。堰の上流側 150m から下流側 100m の区間において、主として低水路に相当する部分において、計画河床高にみあう高さにまで河床掘削されている。

ところが、50年8月の洪水 (岡島流量観測所における洪水ピーク流量で、約 $2,150 \text{ m}^3/\text{s}$ 。ただし、計画洪水流量は $2,300 \text{ m}^3/\text{s}$ である。) によって、この掘削部に大量の砂礫が堆積し、洪水吐の 2 門が埋没し

てしまった。掘削部における堆砂形状は、図-1の1点鎖線の形状にみられる通りであり、まだいくぶん高さは低いが、元の河道洲の形状が復元されてきている様子がよくわかる。

4-2 模型水路への堰の設置

模型水路において、河道内の洲の平面的な相似性はうまく再現されたし、河床の横断面形状をみてもその凹凸の傾向はきわめて類似している。洲の高さや河岸沿いの深掘れの大きさについては、どのような幾何学的な縮尺を採用すべきであるか、今後の研究に待たなければならない。ただし、本実験に関しては、概略の傾向としては、河床勾配の歪み比から得られた鉛直縮尺の1/279で考えておいてもそれほど大きな間違いはないように見受けられたので、とりあえず、河床高の鉛直縮尺としても1/279を採用した。

そこで、岡島頭首工の模型（木製）を、水平縮尺 1/1,000、鉛直縮尺 1/279で製作し、水路に取付けることにした。

4-3 掘削部への堆砂の再現方法

前記の昭和50年8月の洪水による掘削部への堆砂の状況を、実験水路で再現してみよう。

まず、(1) 水路床に砂を所定の勾配で平坦に敷き詰め、模型頭首工を埋め込み、 $500\text{ cm}^3/\text{s}$ の流量で12分間通水して、写真-1の場合と同様に、現地の洲の形状に近い洲の形状を模型水路上に流水だけで自然に作り出し、次に、(2) 50年3月の状態になるように砂の一部を除去し、(3) 改めて通水した。そのさい、不定流における、砂礫洲の移動速度あるいは形状の復元速度までを含めた相似則は、まだ確立されていないので、前記実験で確認された、現地の洲の形状がよく再現される一定の流量（ $500\text{ cm}^3/\text{s}$ ）を通水し、現地での8月洪水後の河床形状が相似的に再現できないか、試みてみた。

その結果、(1) 再通水後2分間通水で、50年8月洪水後の堆砂形状に似た形状にはなるが、まだ堆砂高が低く、(2) 5分間通水した後に、洪水後の堆砂形状に類似した堆砂形状・堆砂高に復元してくることがわかった。(3) さらに通水を続けると、堆砂高はますます高くなり、合計9分間通水したときには、掘削前の洲の形状がすっかり復元された。

5分間通水後の頭首工付近の河床形は、写真-2にみられる通りであり、洪水吐2門がすっかり埋没した状態が再現されている。

河道に形成されている砂礫洲の平面形状は、1回の洪水中の流量変化や、各洪水のピーク流量のちがいや洪水波形のちがいにもかかわらず、おおそ温存されることがよく知られている（下流への移動によってその位置が変化することはあるが）。そこで、実験の便宜上、洪水の大小は、一定流量（この場合は、 $500\text{ cm}^3/\text{s}$ ）の通水時間の長短で置換し得ると仮定して、以下の実験を進めることにした。

5 頭首工上下流の河床掘削の拡大によるゲート直下の堆砂防止効果に関する実験

昭和50年8月洪水による掘削部での堆砂の形態が、模型水路で、 $Q=500\text{ cm}^3/\text{s}$ の5分間通水によって、ほぼ再現できたので、河床掘削の区間を拡大した場合の効果についても、同等の通水をするこ



写真-2 河床掘削部へのS.50年洪水による堆砂の再現実験（ $Q=500\text{ cm}^3/\text{s}$ で5分間通水、停水後）

ず、上流部右岸側にもともとあった洲の位置に堆積し、発達しながら下流へ進行してくる。一方で、堰の直上流部左岸にも、5-1 の場合と同様に堆砂域が現われ、徐々に下流へ進行してくる。(1) 2分通水後には、この直上流部の堆砂の先端は、堰まで到達しないが、(2) 5分間通水後には、堰を通過してその下流に達し、写真-4にみられるように、固定堰よりの洪水吐部に若干の堆砂が生じてしまった。さらに通水を継続すると、(3) 合計9分間の通水後には、5-1 の5分間通水後と似たような形態になり、土砂吐よりの洪水吐1門を埋めてしまう。

5分間通水の段階では、掘削部より上流部から掃流されてきた砂の大半は、掘削区間上流部の右岸側の砂洲の発達に使われている。堰の上下流付近では、平均的には掘削された河床高がまだ維持された状態にあり、もとの砂洲の位置に生じた堆砂の高さはまだ低く、一つ上流側の砂洲を掘削した効果がはっきりと現われている。

この程度の堆砂であれば、赤川頭首工の例など^{3), 7)} から判断して、洪水の減水時にゲートを閉鎖していくさいのゲート下端からの流出流によってフラッシュされる可能性も高く、大きな支障にはならないであろう。ただし、このままで放置すれば、次の洪水では、9分間通水後の状態にまで堆砂域が広がり、堆砂高も高くなってしまいますので、洪水のつど、同じ区間を掘削しておく必要がある。

6 まとめ

近年、従前河床を掘り下げて建設された頭首工（取水堰）における堆砂について、岡島頭首工を例にとり、模型水路によって実験的に検討した。

頭首工など河川構造物にかかわる実験においては、現地河川の砂礫洲の形状の相似を再現できる模型水路を使用する必要がある。そこで、まず、木下の「砂レキ堆相似」による大井川の模型実験にならって、平面縮尺 1/1,000の模型水路を製作し、その水路で現地の砂礫洲の形状に相似した交互砂洲の形状が、実験水路上に流水の力だけで自然に作り出されることを確認した。次に、模型水路上に、現地で発生した頭首工上下流の河床掘削部での堆砂を再現してみるとともに、上下流・掘削河道区間長と洪水による堆砂との関係について実験を行ない、実際の現象と比較検討した結果、以下のような点が明らかになった。

(1) 昭和50年8月洪水による、頭首工上下流の河床掘削部での堆砂形態を、模型水路においても再現することができた。

(2) 頭首工上下流の河床掘削の区間長を変化させ、洪水による堆砂との関係が実験的に観察された。その結果、当面の堆砂防止対策としては、頭首工の上流側 1.5砂洲長、下流側 0.5砂洲長の河床掘削を実施しておくことが、実用上妥当である。

【謝辞】本実験を実施するにあたっては、自由学園最高学部・木下良作博士より、直接、間接にご教示頂いたことが多い。記して、改めて心から感謝の意を表する次第である。また、岩手大学農学部・岡本雅美教授から、多くのご助言を頂いた。お礼申し上げる。

【引用文献】

- 1) 三輪 式：将来計画河床高に敷高を合わせた頭首工の河床掘削計画、水と土 48、1982。
- 2) 三輪 式：将来計画河床高に敷高を合わせた取水堰の堆砂問題、第31回水理講演会論文集、1987。
- 3) 三輪 式：可動堰における堆砂フラッシュの実態、農業土木学会講演要旨集、1988。
- 4) たとえば、芦田和男ほか：河川の土砂災害と対策、森北出版、1983。
- 5) たとえば、吉川秀夫：流砂の水理学、丸善、1985。
- 6) 木下良作：大井川牛尾狭窄部開削の影響に関する「砂レキ堆相似」による模型実験、建設省中部地建・静岡工事事務所、1980。
- 7) 三輪 式：可動堰のゲート流出流による堆砂フラッシュの実験的検討、東北地域災害科学研究 25、1989。