

中間堰の堆砂抑制対策について

松岡 忠浩¹・小田 禎彦²・清本 克章³・田原 秀樹¹

¹九州地方整備局 遠賀川河川事務所 管理課 (〒822-0013 福岡県直方市溝掘1-1-1)

²九州地方整備局 遠賀川河川事務所 (〒822-0013 福岡県直方市溝掘1-1-1)

³九州地方整備局 菊池川河川事務所 管理課 (〒861-0501 熊本県山鹿市山鹿178番地)

起伏堰は河川横断構造物として、流水阻害の僅少による治水上の優位性、景観、経済性など、引き上げ式と比較して優位性が認められるが、その構造上、ゲート下流部に堆砂が生じた場合の不完全倒伏が懸念されてきた。

今回、改築の中間堰は、堰下流が河口堰の湛水区間であり、常時5mの水深を有する特殊条件下に設置する堰となる。このため、鋼製起伏式ゲートにて堰改築を行うにあたり、水理模型実験によりゲート下流部への土砂堆積メカニズムを把握し、不完全倒伏を回避するための効果的な土砂堆積抑制対策について、最適なゲート構造等を検討し、模型実験によりその有効性を確認したものである。

キーワード 起伏堰、水理模型実験、背面板、土砂堆積メカニズム

1. はじめに

中間堰とは、遠賀川下流(11k300付近)の遠賀川河口堰湛水域に位置し、昭和4年に設置された取水堰(一部可動化)のことである。(写真-1)



写真-1 中間堰付近の航空写真

現中間堰は、堰付近の河床高が高いため、洪水時の流下断面が不足し、「洪水の安全な流下」を阻害する要因となっている。(図-1)

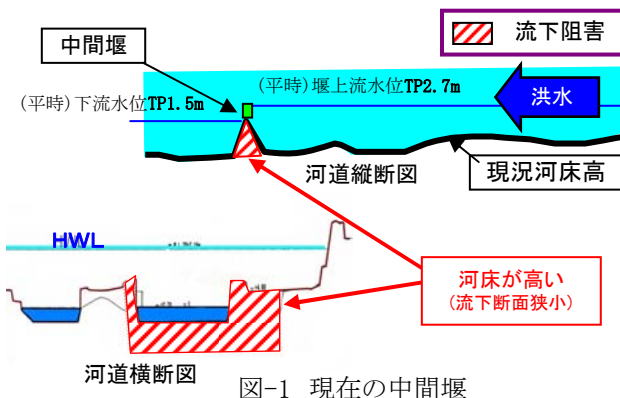


図-1 現在の中間堰

よって、河道断面を確保することにより、洪水時の水位低下を図ることを目的に、河床掘削、河道拡幅を行うとともに、堰の可動化(ゲート設置)を行う堰改築事業に本年度より着手した。

堰改築にあたりゲート形式は、流水阻害の僅少による治水上の優位性、景観、経済性など、引上式ゲートと比較し、優位性が認められる「起伏式ゲート」を採用することとした。(図-2)

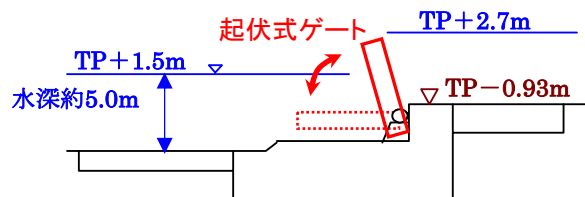


図-2 改築後(起伏式ゲート化)の中間堰

2. 起伏堰採用にあたっての課題・問題点

今回採用した起伏式ゲートは、その構造上、ゲート下流部に土砂が堆積した場合の不完全倒伏が懸念されてきた。(図-3)

当該堰は堰下流が河口堰の湛水区間であり、常時約5mの水深を有する特殊条件下に設置する堰である。

このため、一般的な引上式の堰と比較して、ゲート直下流部の堆砂が平常時及び出水時の流水作用により掃流されることが期待できない。

このような特殊条件下に設置する起伏式の堰に関して、参考となる既往資料もないことから、ゲート下流部の土砂堆積メカニズムを把握することが重要であり、必要に応じて対策を講じることが技術的課題であった。

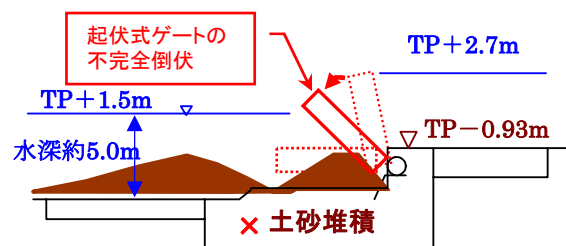


図-3 土砂堆積による起伏ゲート不完全倒伏

3. 水理模型実験条件の整理

ゲート直下部への土砂堆積の懸念に対し、水理模型実験により堆積傾向、堆積メカニズムの検証を行う。

その水理模型実験を行うにあたり、諸条件を次のとおり整理した。

(1) 模型尺度

今回の実験は、ゲート直下流の土砂の挙動を把握するための移動床実験であることを踏まえ、次の①～③の事項を考慮し、再現しうる流量、粒径、掃流力等の各諸元より、模型縮尺は「1/10」とした。(表-1)

- ①水路幅水深比B/hの確保
側壁の影響を少なくするため、B/h比3以上確保
- ②河床材料の再現性(粒径)
実験に用いる河床材料の粒径0.1mm以上
- ③無次元掃流力比 τ^* の整合
堰下流の無次元掃流力の一致

(2) 模型範囲

模型範囲は、堰1門分(水門幅28.0m)とし、上下流河道延長は整流区間を考慮し河道延長210m(川幅の上流側5倍、下流側4倍)を再現した。(図-4, 写真-2)

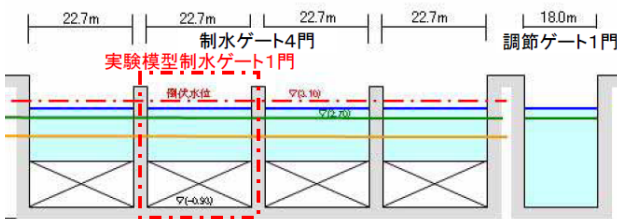


図-4 模型実験横断面図



写真-2 実際に使用した模型

(3) 流量の設定

本実験は、洪水時のゲート下流部への土砂堆積状況、及び洪水末期のゲート操作における土砂挙動を把握することが主目的であるため、次のとおりとした。

- ①土砂堆積：1,370m³/s(平均年最大流量)
- ②ゲート操作時土砂挙動：
655m³/s(起立開始)→200m³/s(起立完了)(図-5)

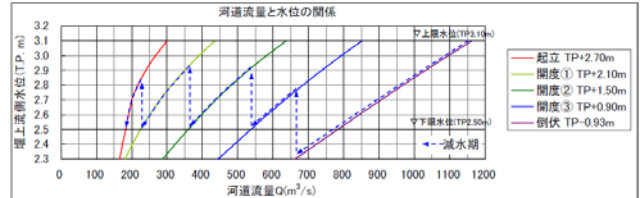


図-5 減水期におけるゲート開度・水位・流量の関係

(4) 実験砂の設定

実験に用いる砂は、堰上下流における近年の河床材料調査結果(H15年,H21年)を基に平均粒度を算出し、その粒度分布(D=0.1mm~1.9mm)を実験砂として設定した。(図-6)

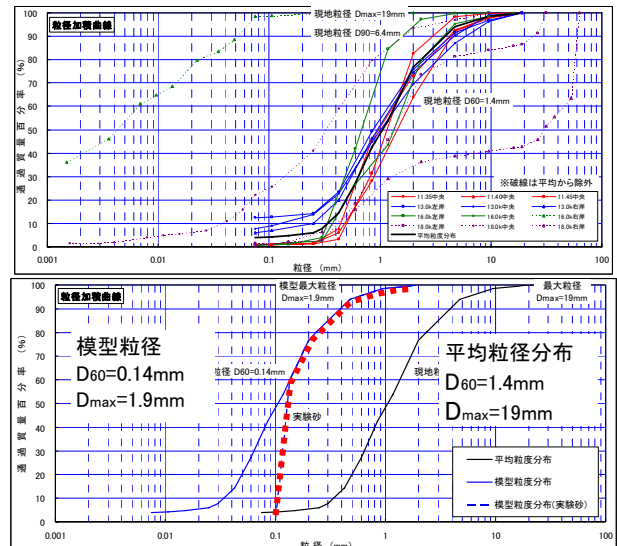


図-6 中間堰付近の河床材料粒度分布

表-1 模型縮尺一覧(模型縮尺1/10)

項目	原形値	模型値1	適正值	備考
延長	(m) L	210	21.0	上流5B, 下流4B
水路幅	(m) B	28.00	2.80	堰柱中心幅 22.7+5.3m
流量	(m ³ /s) Q	65	0.204	0.3m ³ /s以下 堰倒伏流量Q=300m ³ /s 原形値左:1門流量、右:1管理橋幅流量
水深	(m) h	4.93	0.49	0.49
水路幅水深比	B/h	5.7	5.7	3以上
水面勾配	i	1/2600	1/2600	1/2600
河床材料	D90 D60	自然砂 自然砂	自然砂 自然砂	
粒径	(mm) D	6.4 1.4	0.64 0.14	
比重	ρ_s	2.64	2.64	
掃流力	(N/m ²) τ	0.019	0.002	$=\rho g R i$
摩擦速度	(m/s) U_*	0.136	0.043	$=\sqrt{(g R i)}$
無次元掃流力	τ^*	0.181 0.826	0.181 0.826	$=U_*^2/g/(\rho_s-\rho_w)/D$
無次元掃流力比	τ^*/τ_{*c}	-	1.000 1.000	0.8~1.2程度 $=\tau_{*c}/\tau_{*c}$
限界掃流力	τ_{*c}	0.050 0.036	0.034 0.086	岩垣公式 ^{※1}
沈降速度	(m/s) ω_0	0.261 0.118	0.074 0.015	RUBEYの式 ^{※2}
摩擦速度/沈降速度	U_*/ω_0	0.52 1.15	0.58 2.91	
摩擦速度/沈降速度比	$(U_*/\omega_0)r$	-	0.895 0.396	0.6~1.5程度
評価			D_{90} の相似則が一致	D_{90} の相似則が一致

※1 限界掃流力 岩垣公式(水理公式集平成11年版 P158)

水温設定 20℃

※2 RUBEYの式(水理公式集平成11年版 P157)

動粘土係数 0.0101 cm²/s

注)摩擦速度/沈降速度比は、実験目的よりD90が掃流可能であればD60も掃流可能であることから、D90を適正値内とした。

4. 土砂堆積メカニズムの検証

前記実験条件に基に、洪水時及びゲート操作時における下流部の土砂堆積傾向の検証を水理模型実験により検証した。

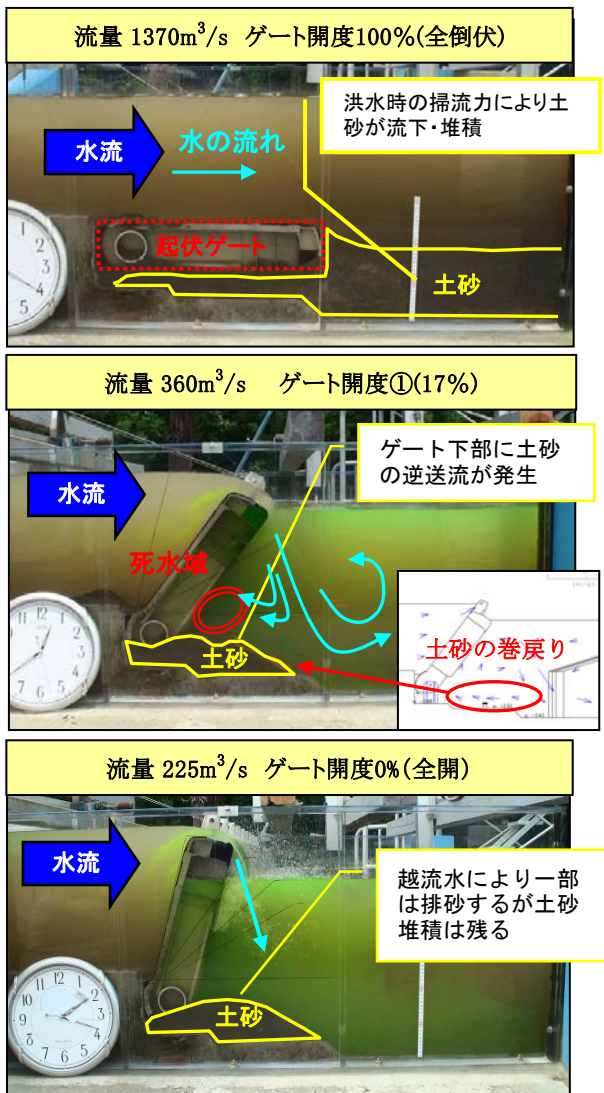


写真-3 模型による堆砂メカニズム検証

実験の結果、ゲート起立操作時にゲート直下部の死水域へ土砂の逆流送が発生し、最終的には土砂堆積が残る(発生)という状況が確認された。(写真-3)
この土砂堆積により、次期洪水時、ゲート不完全倒伏(河積阻害)の恐れがあると判断される。(写真-4)



写真-4 土砂堆積によるゲート不完全倒伏

5. 課題(土砂堆積)の解決方法の検討

このゲート下部への土砂堆積に対する排砂方法として、次の方法が上げられる。

- ①浚渫(堆積した土砂を取る)
 - ・浚渫船、仮締め切りによる土砂撤去
- ②強制排砂機器の設置
 - ・ブロウ、ポンプ等による圧送強制排砂
- ③背面板
 - ・ゲート越流水を利用し排砂

①、②の方法では、初期、及び維持管理費用の増大、目詰まり等のメンテナンス性の観点で課題が残る。
よって、本堰では流下水流の力により排砂(掃流)を行う「③背面板」による堆砂抑制対策の検証を行った。
背面板とはゲート背面に鋼板(背面板)を配置し、ゲートと背面板の間に流下水を流すことにより、ゲート下部に水の流れを作る仕組みのことである。(図-7)

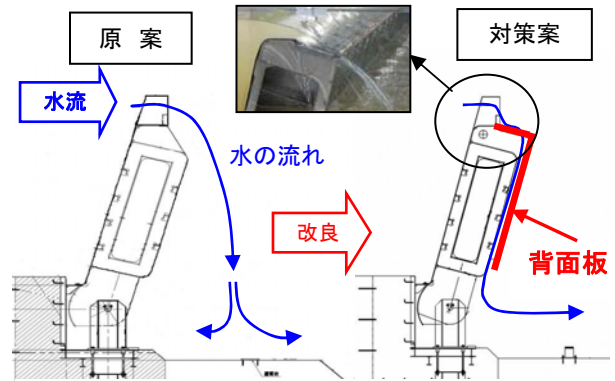


図-7 背面板のゲート構造図

6. 背面板(原案)での堆砂抑制実験

この背面板設置による堆砂抑制の効果を、模型実験にて検証した。(写真-5)

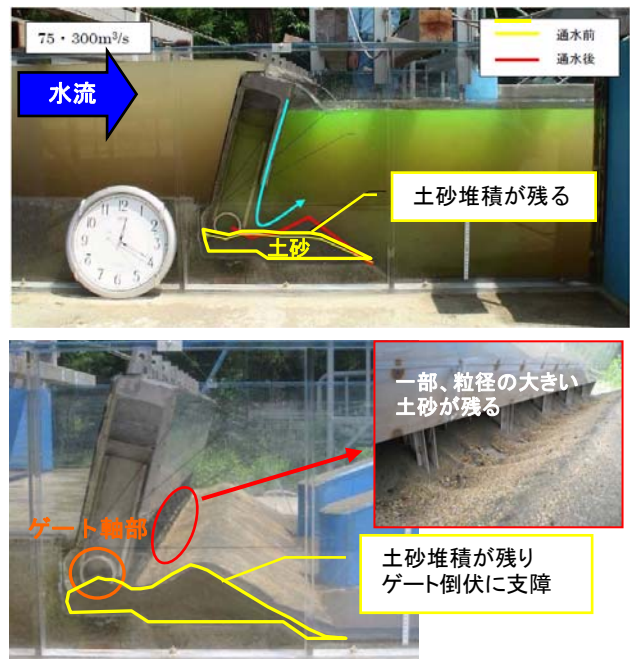


写真-5 背面板による堆砂抑制検証結果

実験の結果、背面板の設置効果として、ゲート軸部に関しては排砂されるものの、下流水位の影響が大きい
ため排砂効果は少なく、比較的大きい粒径の土砂が残
存する結果となった。(写真-5)

このため、背面板による堆積土砂抑制には、排砂効果
(掃流力)の向上が必要不可欠である。

7. 背面板による排砂効果向上の検討

(1) 排砂効果の影響要素

排砂効果(掃流力)の向上を検討する上で、次の①～
③の項目が「効果的な排砂」に大きな影響を与えること
を模型実験により確認した。

- ① 流入量
 - ・背面板への流入水量
- ② 排砂時間
 - ・背面板への流入水流による掃流時間の長短
- ③ ゲート下流水位
 - ・河口堰湛水位の変動

本検討では起伏ゲートの「確実な倒伏操作」を行うた
めの検討であることから、これら各項目について検証を
行った。

(a) ① 流入量

排砂効果の向上を図るにあたり、背面板への流入量
の増加が排砂効果(掃流力向上)に比例することから、
排砂効果の高い流入量規模(300m³/s → 310m³/s →
320m³/s)を検証した。

検証の結果、流入量320m³/s以上の時に、高い排砂
効果が得られることが確認できた。(写真-6)

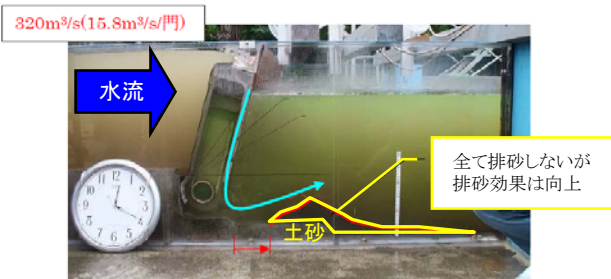
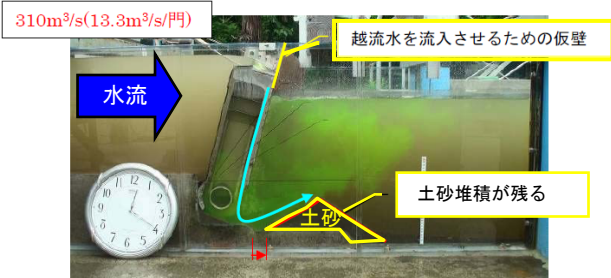


写真-6 流入量変化による排砂効果検証

(b) ② 排砂時間

確実な排砂効果を確保するために、排砂効果の低い
条件下における排砂効果の実験・検証が必要となる。

排砂時間が短い場合、排砂効果が低下する傾向にあ
ることから、過去10年の代表洪水を抽出し、減水期(起
立開始665m³/s→全起立225m³/sまで)における最も短
い排砂時間(50m³/s間隔ごとに最も短い減水時間の総
和)である3時間40分を実験検証の排砂時間として設定
した。(図-8)

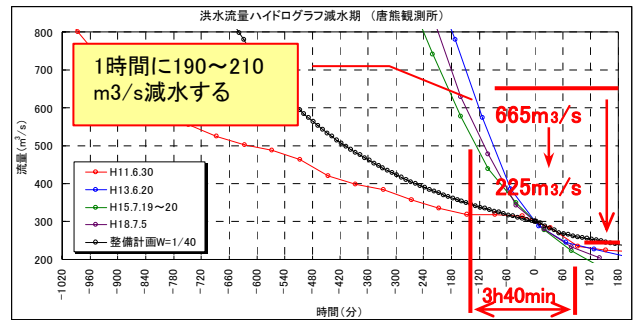


図-8 代表洪水減水期の流量ヒドログラフ

(c) ゲート下流水位(河口堰湛水位)

ゲート下流水位に関しても、下流水位が高い場合に
排砂効果が低下する傾向にあることから、過去10年の
代表洪水末期における堰下流地点の最高水位(当初
設定(常時満水位):T.P+1.5m → 変更:T.P+1.89m)を下
流側水位として設定した。(図-9)

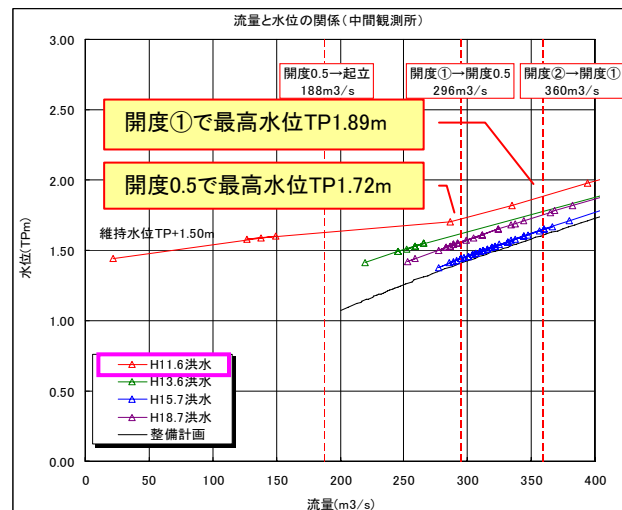


図-9 下流の流量と水位の関係

(2) 排砂効果の高いゲート構造等の検討

排砂効果(掃流力)を向上させるため、ゲートの各部
構造、ゲート敷形状に関して検討を行った。

(a) ゲート天端構造の改良

背面板への流入量増大が排砂効果向上につながるこ
とから、背面板への流入口であるゲート天端構造の開
口長・天端角度について改良を行った。(表-2)

表-2 ゲート天端構造の改良

原案	改良案
開口長:800mm	開口長:1,100mm
設置天端角度:15°	設置天端角度:0°

(b) 背面板構造の検討

背面板の設置位置及び延長について、次の①～②の項目について検討を行った。

- ①背面板の延長(3.0m→3.9m)
 - ・堆砂部近傍より流出することで排砂効果向上
- ②背面板設置離隔(通水幅)の変更(200mm→100mm)
 - ・通水面積の狭小化により通水速度の向上

上記ゲート構造の改良を行い、実験により検証した結果、次の事項が確認できた。(写真-7)

- ①背面板の延長 → 排砂効果は向上(但し、堆積土砂全量は排砂しない)
- ②通水幅の変更 → 効果なし(顕著な差は確認できない)

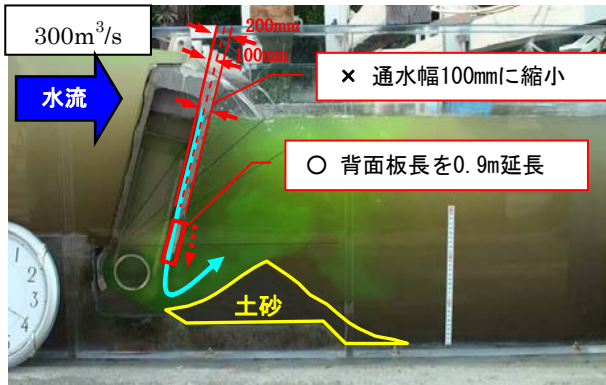


写真-7 背面板位置・延長変更による排砂効果検証

(c) ゲート敷形状の検討

ゲート敷の形状について、流下方向に対し鋭角な箇所が死水域となり、土砂が堆積しやすい傾向にあることから、ゲート敷に関し「フラット+段差」形状から「スロープ」形状に改良することにより、ゲート直下部における堆砂を抑制することとした。(写真-8)

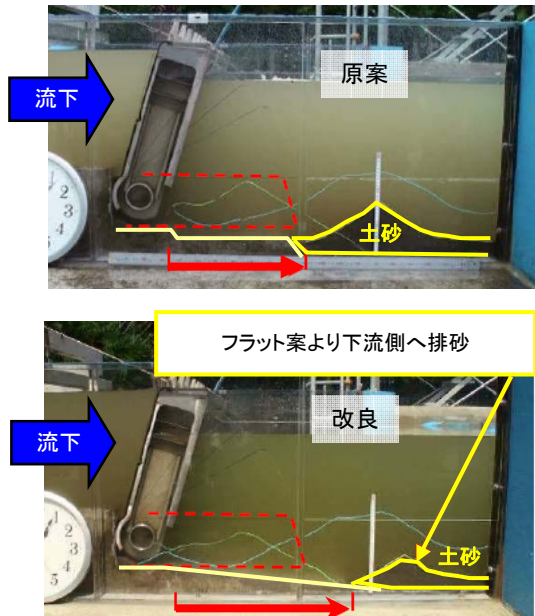


写真-8 ゲート敷のスロープ化による排砂効果

(3) 排砂効果向上のためゲート操作を活用

背面板への流入量増大(320m³/s以上)が効果的排砂につながることから、洪水末期のゲート起立操作時における流量を活用し、効果的な排砂を行うこととした。

本堰では洪水末期の流下水量減少に合わせ4段階での起立操作(全倒伏→開度③→開度②→開度①→全起立)を行う予定である。(図-5)

この起立操作途中における、全起立前の開度を排砂効果に活用するものである。

原案	： 全起立時に排砂
改良	： 全起立時及び起立操作時に排砂

また、単に全起立前の開度を活用するのではなく、背面板への流入量が多く、かつ、流入時間を長く確保できるゲート開度の抽出を行い、開度2/3(開度12%)を操作開度として設定した。

原案	： 倒伏→開度③→開度②→開度① → 起立
改良	： 倒伏→開度③→開度②→開度2/3→起立

(4) 排砂効果向上の検討まとめ

以上、これまでの排砂効果向上のための検討より、「排砂効果の高いゲート構造等」として、次の改良を行った。(図-9)

- ①排砂効果への影響要素整理
 - ・効果的な流量(河道流量320m³/s以上)
 - ・「確実な排砂効果」確保のため、排砂効果の低い条件を設定
 - 排砂時間(起立開始～完了:3h40min)
 - 下流側水位(原案:T.P+1.5m → 改良:T.P+1.89m)
- ②ゲート構造等の改良
 - ・背面板の延長(原案:3.0m→改良:3.9m)
 - ・ゲート天端角度(原案:15° →改良:0°)
 - ・ゲート天端開口長(原案:800mm→改良:1,100mm)
 - ・スロープ化(原案:フラット→改良:スロープ化)
- ③ゲート操作を活用
 - ・排砂にゲート操作を活用
 - ・排砂効果の高いゲート開度を抽出
 - 原案:倒伏→開度③→開度②→開度① → 起立
 - 改良:倒伏→開度③→開度②→開度2/3→起立

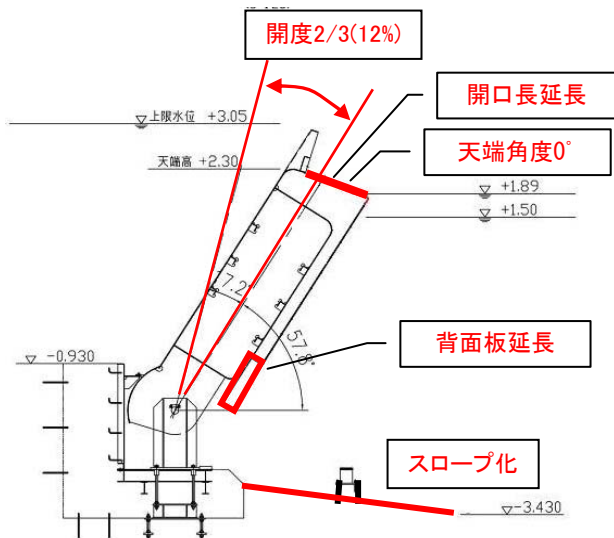


図-9 排砂効果の高いゲート構造(最終)

上記改良を基に、水理模型実験により排砂効果の検証を行った。(図-9)(写真-9)

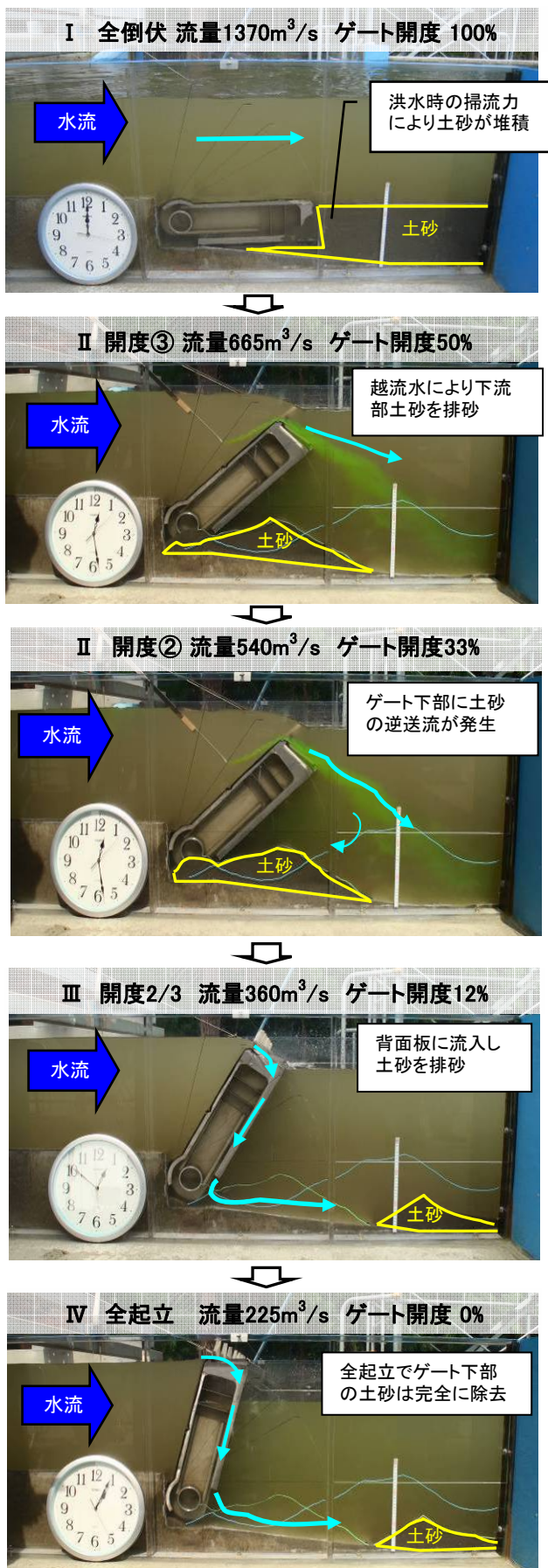


写真-9 最終形状での水理模型実験

「排砂効果の高いゲート構造等」による水理模型実験の結果、高い排砂効果を確認でき、次期洪水時にゲート倒伏操作の支障となる土砂堆積は完全に抑制されることを確認した。(写真-9)

8. 総合評価

起伏式ゲートという形式を採用するにあたり、課題となる下流部への土砂堆積について、下流が湛水域という特殊条件下においては、ゲート起立操作に伴い、堆積した土砂がゲート越流水の影響によりゲート直下部に逆流送され、土砂堆積が発生するという状況が確認された。

この状況下において再度洪水が発生した場合、土砂堆積に起因するゲートの不完全倒伏が生じ、河道断面不足による「治水上の安全性」に支障をきたすものと判断される。

このため、効率的かつ効果的となる維持管理を目指し、最適な堆砂抑制対策として次の対策を行った。

- ①ゲートに背面板の設置
- ②ゲート敷部のスロープ化
- ③ゲート起立操作を活用

これら対策を講ずることにより、治水上の問題となる土砂堆積を抑制することが可能であると判断する。

9. 考察

今回の検討においては、河床材料などの現地条件を水理模型実験に反映させているが、実際の洪水における土砂の掃流や堆積する土砂の性状など不確実な部分もあるため、工事中の掃流試験や完成後の土砂動態をはじめとするモニタリングなどにより、効果の確認を実施するように考えている。

謝辞: 先例のない特殊条件下に設置する鋼製起伏堰において、堰直下流への土砂堆積に起因する不完全倒伏の懸念について、建設・維持管理のコスト縮減、構造のシンプル化、及び維持管理の容易性を目指し、河川流水を活用した今回の堆砂抑制対策における技術的検討を行うにあたり、国土技術政策総合研究所 河川研究部 河川研究室、並びに土木研究所にご指導いただいたことに対し、ここに謝意を記す。

参考文献

- 1)建設省土木研究所河川部河川研究室:河川水理模型実験の手引 土木研究所資料;第2803号
- 2)土木学会:水理公式集(平成11年版)