

第46回 河川情報センター講演会

近年の豪雨災害とドローン・ICTを活用した 河道及び河川構造物の管理・保全技術

秋田県立大学 生物資源科学部 永吉 武志

農業関連の河川構造物の現状と課題(1)

農業用ダム、堰(頭首工)、農業用排水機場などの河川構造物
⇒ 農業水利施設

受益面積100ha以上の基幹施設に限定しても全国に7千箇所以上

参考:用排水路の長さ:延長約4.8万km(末端の施設まで含む長さ:約40万km 地球約10周分の長さ)

再建設費ベースで約32兆円のストック

施設の機能:食料生産基盤としての機能 + 多面的機能
⇒ 国民共通の社会的資本

自己紹介



永吉 武志 (ながよし たけし)

秋田県立大学 生物資源科学部 准教授
福岡県久留米市出身(北九州市生まれ)

<プロフィール>

岩手大学農学部農業土木学科 卒業

岩手大学大学院農学研究科修士課程 修了

岩手大学大学院連合農学研究科博士課程 修了

<専門分野>

水理学、農業水利学、河川工学

<最近の研究テーマと内容>

洪水流と河床変動との相互作用に関する課題、ドローン及びICTを活用した農業水利施設の管理・保全技術に関する課題など

農業関連の河川構造物の現状と課題(2)

基幹的な施設の大部分が戦後の一時期に集中的に整備

⇒ 近年では老朽化が進行し、機能上のトラブルを抱える施設が増加

解決方法(昨今の厳しい財政状況を鑑みると…)

既存施設を長期間にわたって効果的に活用するための機能保全(長寿命化)技術

農業農村工学分野においては、平成19年度から「ストックマネジメント」を本格導入

⇒「スクラップ＆ビルト」からの大きな方向転換

ライフサイクルコストの最適化、保全・管理費用等の平準化

⇒「ストックマネジメント」「アセットマネジメント」

近年の気象の特徴

短時間の激しい雨、極端な大雨が増加

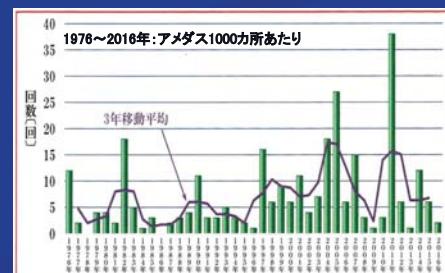
⇒ 「異常気象^{*1}」から「**極端気象**」へ

*1: 気象庁では30年に1回以下の出現率で発生する現象と定義

河川においては、洪水による堰(頭首工)や護岸などといった河川構造物の被害も多く見られ、それら施設の管理・保全のあり方が課題



1時間降水量80mm以上の年ごとの観測回数
書籍、「命を守る水害読本」(毎日新聞出版)より



24時間降水量400mm以上の年ごとの観測回数
書籍、「命を守る水害読本」(毎日新聞出版)より

頭首工の分類・区分(資料)

取入れ方式

自然取入れ: 河川の自然水位から直接取水

堰上げ取入れ・制水型取水: 水位を一定に保つために取水堰を設けて取水

取入れ方法

片岸取入れ: 受益地が片岸、あるいは両岸にある場合^{*3}

両岸取入れ: 受益地が両岸にある場合

*3: 片岸で設計取水量を全量取水し、適当な施設によって分水、もしくは両岸取入れ

取水堰の形態

全固定堰

全可動堰

複合堰(半可動堰など)

取水堰の形式

フィックスド(固定)型: 岩盤の上に直接築造

フローティング型: 浸透性地盤の上に築造

ゲート形式(全可動堰・複合堰の場合の細分)

引上げ式(ローラーゲート、スライドゲート、フラップ付ローラーゲートなど)

起伏式(転倒ゲート、ドラムゲート、ゴム引布製起伏堰など)

頭首工(とうしゅこう)について

食料生産に必要な用水を河川から取水するための代表的な農業水利施設の一つ

取入れ口、取水堰、附帯施設^{*2}及び管理施設^{*3}から構成される農業水利施設の総称

河川法、河川管理施設等構造令などに適合・準拠した河川に設置される構造物

*2: 沈砂池、魚道、舟通し、放水路など

*3: 操作設備、受・配電設備、管理橋など



松倉頭首工(秋田県大仙市 玉川)

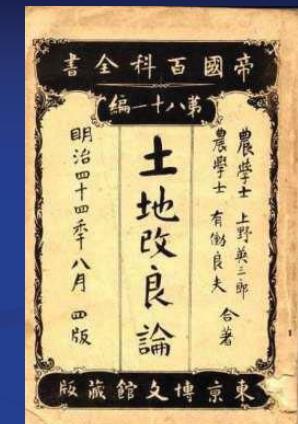
頭首工の名称の由来(資料)

上野英三郎^{*4}・有働良夫共著 「土地改良論」

東京博物館(初版: 1902年・明治35年発行)

*4: 農業土木学の開祖であり、忠犬ハチ公の飼い主

「河深大に水量十分に且つ水位高きときは用
水路の頭首に於いて水門或いは扒桿を設くる
のみにして足る然れども多くの場合には低水
量の多からざる為め堰堤を以て川を堰き水を
溜め水面を高むるを要す而して堰堤の上流に
於て沈澱したる土砂を掃除する為めに掃除桿
を要し此に加ふる洪水の時に際し堰堤水門等
の破損を防ぐ為めに遁桿を設け多量の水を放
流せしむ此等の工事を総称して頭首工(Head
Works)と云う」



河川から取水する場合に、用水路系の頭首部(Head)に設けられる工作物(Works)
→ 頭首工

研究の背景と目的(1)

河道内を横断して設置される頭首工には、十分な利水機能と同時に、河川の治水機能に支障を及ぼさないための配慮や洪水に対する安全性が要求される。

わが国のような急流河川に設置された頭首工は、洪水が発生した場合に災害を受けることがあり、被災規模によっては施設更新に至る場合もある。

頭首工災害の実態とその保全対策は、いまだ明らかになっていない点が多いのが実態である。

この理由としては、災害と深い関係にある河床変動や洪水時の流れの予測等が困難であることが挙げられる。

被災直後の本城頭首工(秋田県北秋田市 阿仁川)

砂洲・砂礫堆について

一般に河川は、水深が浅く流れの速い「瀬(せ)」と水深が深く流れが穏やかな「淵(ふち)」を繰り返しながら流れ、所々に砂や礫が堆積した「洲(す)」形成している。

河川工学や砂防工学の分野では、この瀬と淵と洲をひとまとめとした河床の形態を「砂洲(さす)」あるいは「砂礫堆(されきたい)」と呼んでいる。

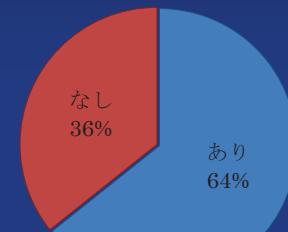


河道に形成された砂洲・砂礫堆と洲・淵・瀬(福井県若狭町 北川)

研究の背景と目的(2)

秋田県における現在の受益面積100ha以上の基幹農業水利施設92箇所中70箇所のデータ（秋田県立大学農地防災保全学研究室調べ）

頭首工の機能障害の発生割合



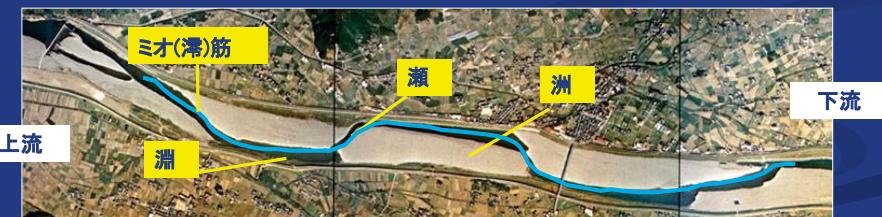
機能障害発生要因の割合



頭首工の災害を防止し、長期間にわたってその機能を維持していくためには、土砂による機能障害と最も関わりの深い砂洲・砂礫堆の移動性やミオ筋の変動性に関する基礎的研究をさらに進展させ、その成果を頭首工の具体的な機能保全対策のための技術として反映していくことが重要

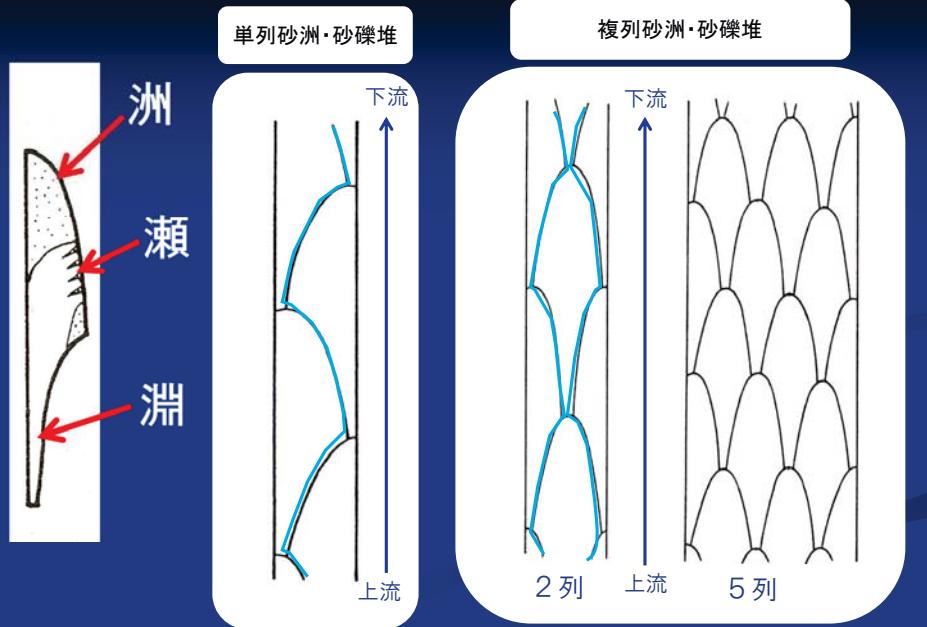
河川の地形区分と砂洲・砂礫堆

河川の上流から下流まで 河川の地形的区分

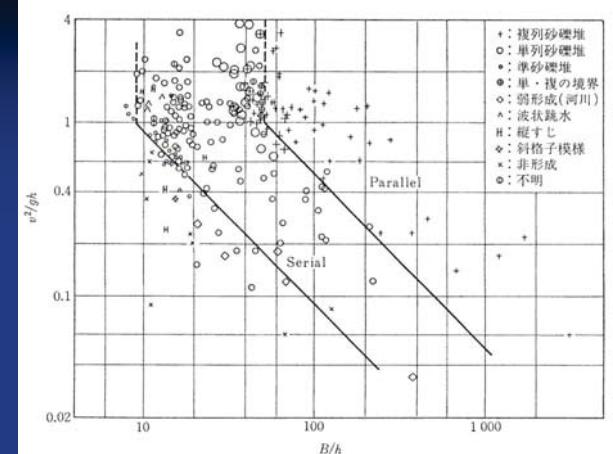


那賀川(徳島県)の砂洲・砂礫堆
「国土交通省四国地方整備局」HPより

砂洲・砂礫堆の配列パターンと水流の蛇行



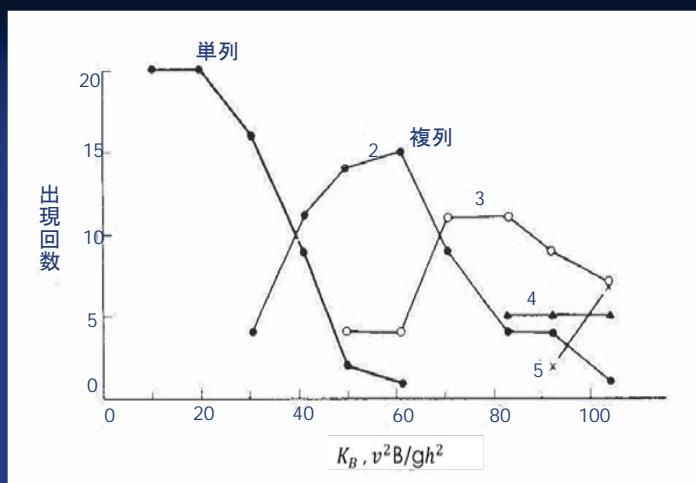
砂洲・砂礫堆の形成(1)



砂洲・砂礫堆の領域区分図(三輪)

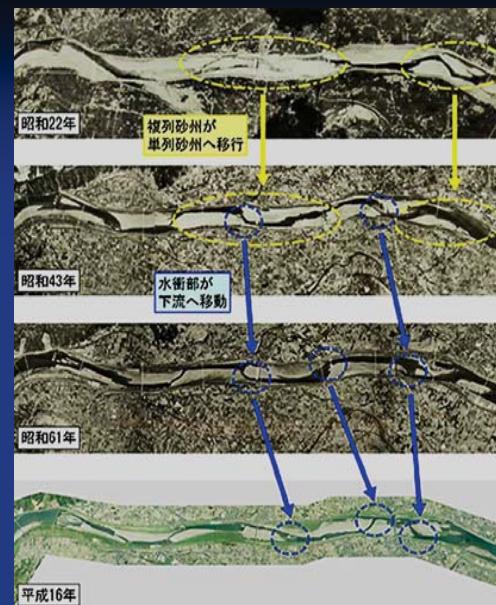
单列砂礫堆の領域 : $10 \leq (v^2/gh) \times (B/h) < 50$
複列砂礫堆の領域 : $50 < (v^2/gh) \times (B/h)$

砂洲・砂礫堆の形成(2)



砂洲・砂礫堆の各列の出現頻度(三輪)

砂洲・砂礫堆の基本的性質



- ・蛇行性
- ・移動性

集中と発散を繰り返しながら流れが蛇行

河床の堆積部(洲)と洗掘部(淵)の接続形態を保ちながら砂洲・砂礫堆が移動



取入れ口前に砂礫が堆積し、取水が困難になる。

可動ゲート敷上に大量の砂礫が堆積してゲートが閉鎖できなくなる。

那賀川(徳島県)における河床変動の様子
「国土交通省四国地方整備局」HPより

砂洲・砂礫堆の移動性に関する実験

実験における水理条件

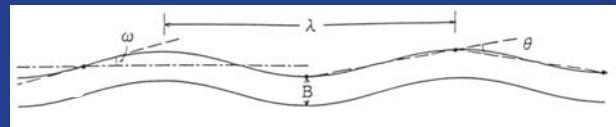
実験	水路床粒子 平均粒径 d_m (cm)	水路床粒子 比重 s	水路床 勾配 I	流量 Q (l/s)	平均流速 V_m (cm/s)	平均水深 h_m (cm)	水路幅・ 水深比 B/h_m	フルード数 V_m^2/gh_m	無次元排流力 $h_m I / (s-1) d_m$
I	0.08*	2.49	1/200	1.6	35.2	1.75	14.9	0.72	0.073
II	0.08*	2.49	1/100	1.0	32.9	1.17	22.2	0.95	0.098
III	0.15**	2.49	1/100	1.6	39.1	1.58	16.5	0.99	0.071
II-2	0.08*	2.49	1/100	0.7	29.2	0.92	28.3	0.95	0.077
II-3	0.08*	2.49	1/100	1.3	38.9	1.29	20.2	1.20	0.108

直線実験水路の仕様: 全長 $L = 19.8\text{m}$, 水路幅 $B = 26\text{cm}$

* : 0.06~0.10cm の範囲でふるい分けられた砂。 ** : 0.10~0.20cm の範囲でふるい分けられた砂
水理諸量の測定: 初期平坦砂床時に色素流下法によって平均流速を測定。平均水深ほかの数値はそれから算出



直線水路における砂洲・砂礫堆



sine-generated curve 蛇行水路

水路形状の比較

$\lambda/B = \infty$
 $\omega = 0^\circ$



$\lambda/B = 12$
 $\omega = 7.5^\circ$



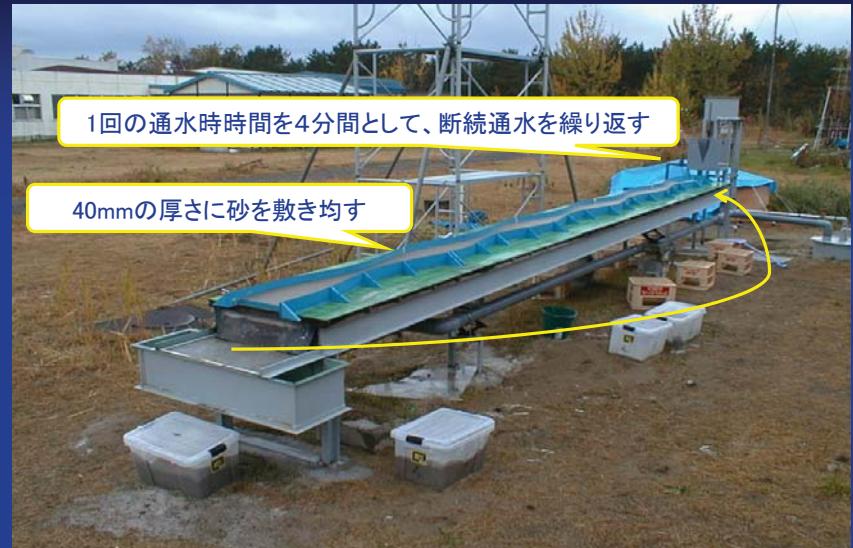
$\lambda/B = 12$
 $\omega = 12.5^\circ$



$\lambda/B = 14$
 $\omega = 7.5^\circ$



実験の流れ



蛇行水路において砂洲・砂礫堆が移動する場合 ($\lambda/B = 12$, $\omega = 7.5^\circ$)

通水開始後

24分



32分



40分



蛇行水路において砂洲・砂礫堆が停止する場合 ($\lambda/B=12$, $\omega=12.5^\circ$)

通水開始後

32分



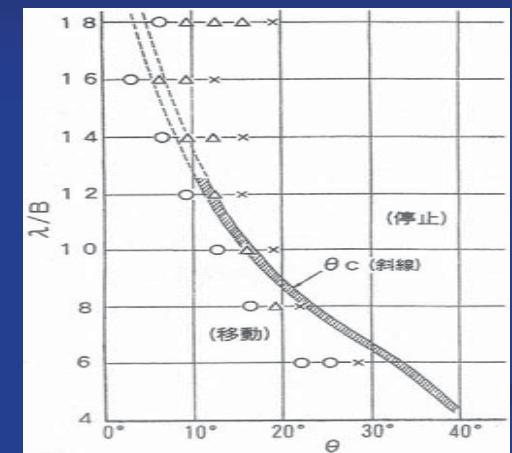
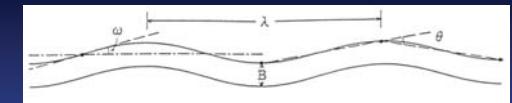
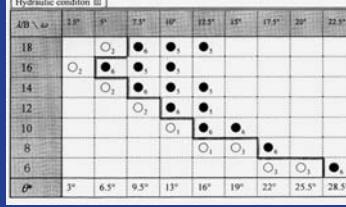
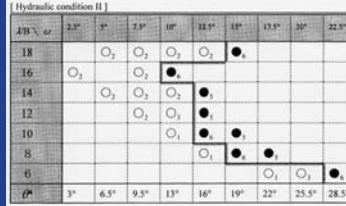
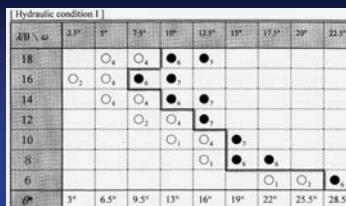
64分



96分



砂洲・砂礫堆の移動と停止の条件



実験水路における砂洲・砂礫堆の移動抑止条件
(木下・三輪、三輪・永吉)

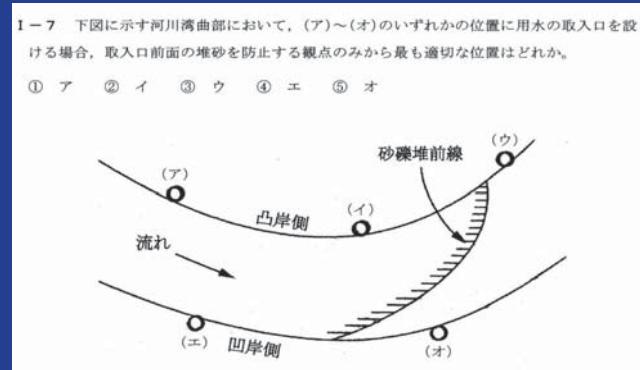
頭首工の設置位置の選定

河川の状況、受益地の位置等を考慮

必要な取水機能および構造上の安定が確保でき、維持管理に便利な地点を選定



設置後の堆砂によるトラブルを回避するという観点からも、ミオ筋が入れようとする河岸に近く、安定していて、洪水による河床の変化が少ない地点を選定



平成26年度技術士(農業)2次試験必須問題

現地調査

東日本において特に土砂による機能障害が問題となっている頭首工を調査対象とした。



六堰頭首工の諸元

所在地	埼玉県・荒川
型式	フィックストタイプ 全面可動堰
せき上げ高	2.75m
堤長	197.0m
最大取水量	17.037m³/s
受益面積	3820ha
主要施設	土砂吐ゲート 22.0m×1門 洪水吐ゲート 40.75m×4門 魚道 2ヶ所

森田頭首工の諸元

所在地	栃木県・荒川
型式	フローティングタイプ 全面可動堰
堤長	63.1m
最大取水量	1.763m³/s
受益面積	2748ha
主要施設	土砂吐ゲート 10.6m×1門 洪水吐ゲート 23.3m×4門 魚道 2ヶ所

岡本頭首工の諸元

所在地	栃木県・鬼怒川
型式	フローティングタイプ 全面可動堰
せき上げ高	2.00m
堤長	367.0m
最大取水量	12.2m³/s
受益面積	3008ha
主要施設	土砂吐ゲート 20.0m×1門 洪水吐ゲート 40.0m×8門 魚道 1ヶ所

ドローンとその他の手法による写真との比較

地上写真



- ♦ 即時撮影が可能
- ♦ 必要なときに写真を得ることができ
- ♦ 頭首工周辺の全体像を把握することは難しい

セスナによる航空写真



- ♦ 頭首工周辺を把握可能
- ♦ 衛星写真よりも画質が高い
- ♦ 撮影を依頼する場合は多額の費用がかかる
- ♦ 雲や影が映りこむ

衛星写真



- ♦ 頭首工周辺を把握可能
- ♦ 撮影頻度が少ない
- ♦ 画質がそれほど高くない
- ♦ 雲が映りこむ

ドローンによる空中写真



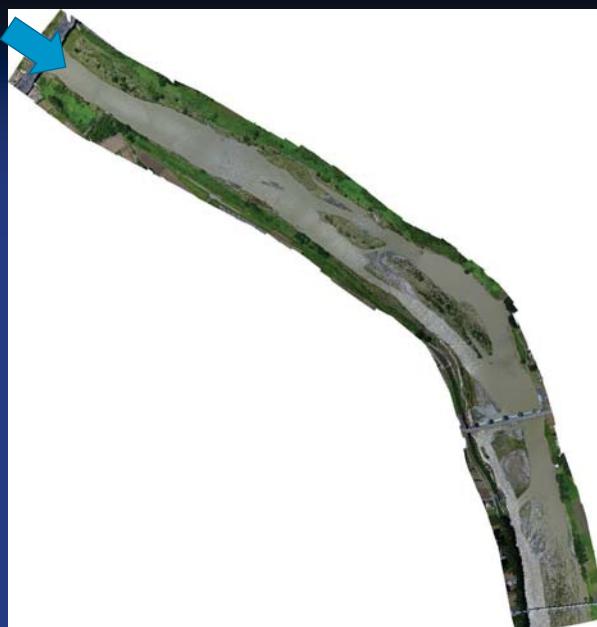
- ♦ 即時撮影が可能
- ♦ 頭首工周辺を把握可能
- ♦ 画質が非常に高い
- ♦ クラックや堆砂箇所などの状況を接近して撮影が可能

頭首工における土砂トラブルの例(その1)



六堰頭首工(埼玉県荒川)の斜め写真

頭首工における土砂トラブルの例(その1)



六堰頭首工(埼玉県荒川)のオルソ・モザイク写真

頭首工における土砂トラブルの例(その2)



森田頭首工(栃木県荒川)の斜め写真

頭首工における土砂トラブルの例(その2)



森田頭首工(栃木県荒川)のオルソ・モザイク写真

頭首工における土砂トラブルの例(その3)



岡本頭首工(栃木県鬼怒川)の斜め写真

頭首工における土砂トラブルの例(その3)



岡本頭首工(栃木県鬼怒川)のオルソ・モザイク写真

堰体構造の大原則

「河川管理施設等構造令(昭和51年施行)」

「第37条 可動堰の可動部以外の部分及び固定堰は、流下断面(計画横断形が定められている場合には、当該計画横断形に係る流下断面を含む。)内に設けてはならない。」

背景

昭和49年に発生した宿河原堰(多摩川)左岸の堤防決壊

(強度 : 堤防(土質材料) < 堰(コンクリート等) = 危険であるという認識に)

河道改修計画の改訂(ダム貯水による洪水流量の低減と河道における洪水流下能力の増加による治水安全度の向上)

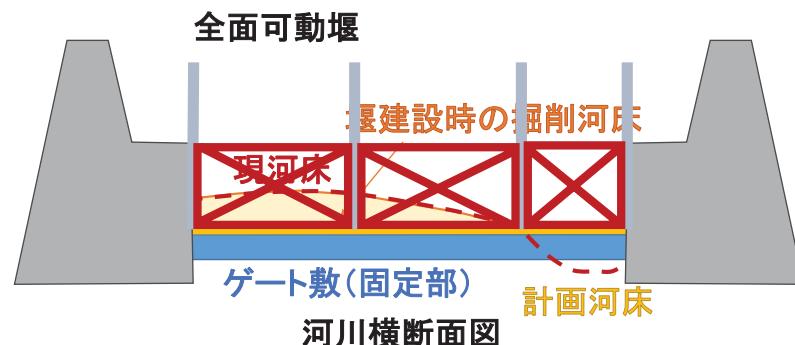
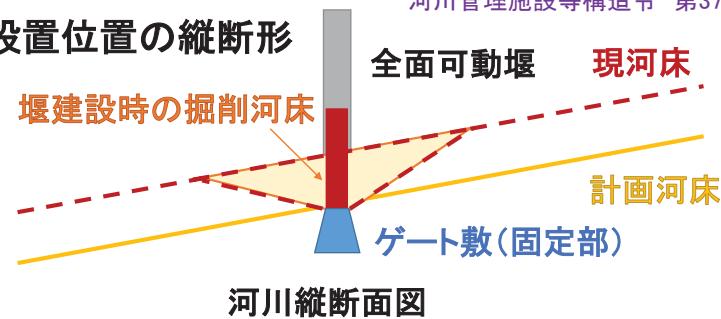
現状や計画の河床高より高い天端の固定堰によって取水位を堰上げる固定堰の建設は原則不可

堰は洪水時の流下を阻害しない
全面可動堰が原則になるとともに、
可動堰敷高(ゲート戸当り部天端)は、現況より低いことが多い計画
河床高に一致させて設計・施工

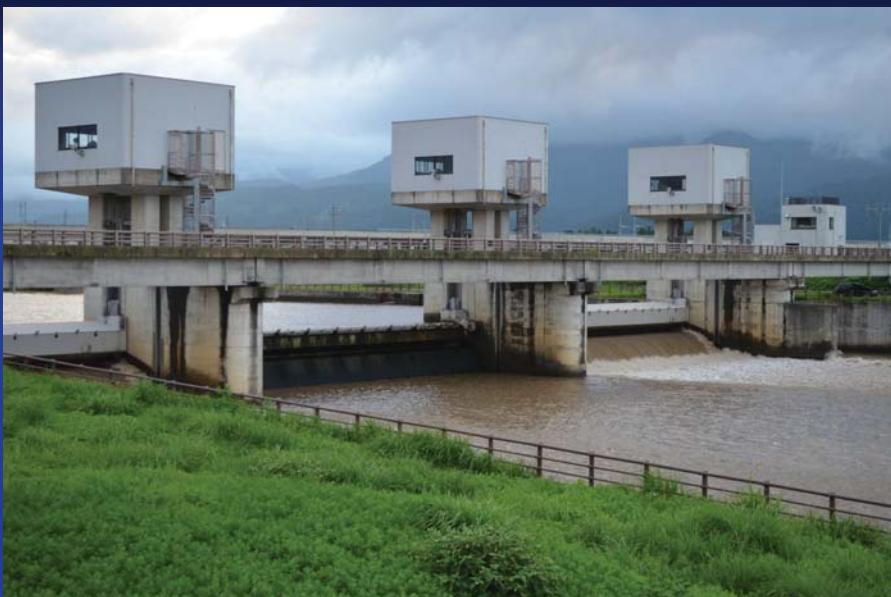


多摩川水害と宿河原堰(昭和49年9月1日)
「多摩川散歩」JHPより

頭首工設置位置の縦断形



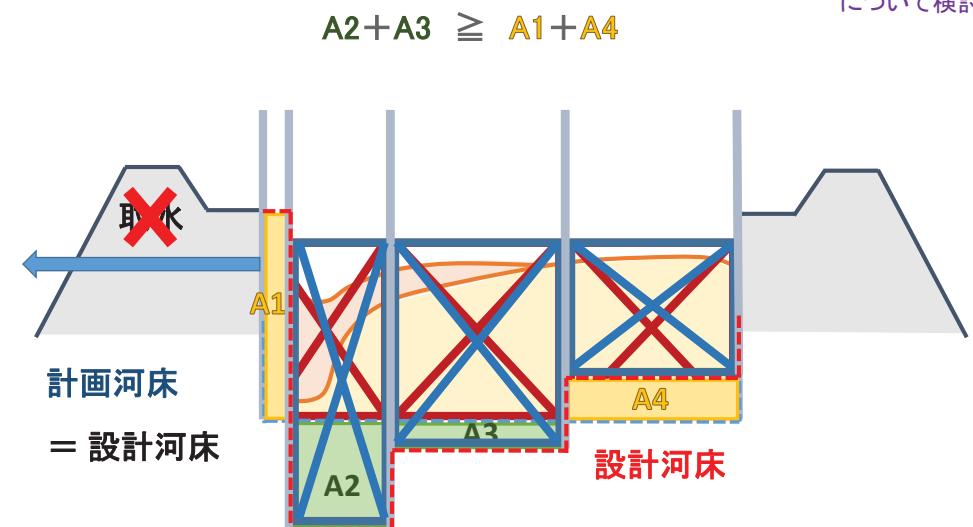
土砂トラブルを回避できている例(その1)



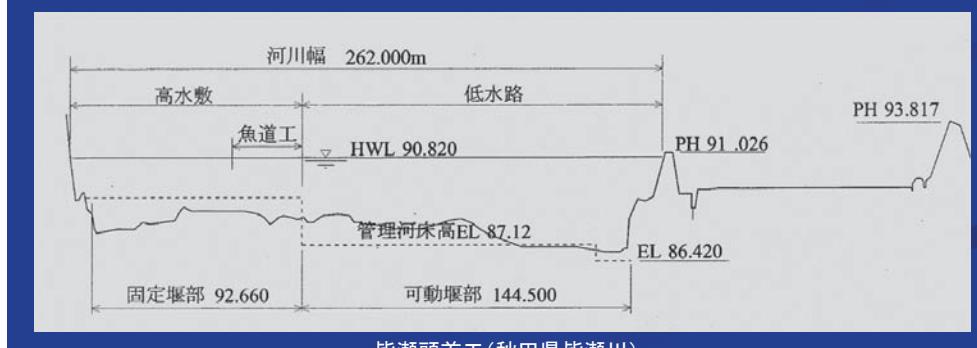
関川頭首工(新潟県関川)

頭首工設置位置の横断形

河川管理施設等構造令 第37条関連
現状と計画横断形が著しく異なる場合:
複断面又は複々断面
暫定的な上げ越し構造
について検討



土砂トラブルを回避できている例(その2)



皆瀬頭首工(秋田県皆瀬川)

土砂トラブルを回避できている例(その3)



山城頭首工(秋田県雄物川)

堰上下流の河床掘削とゲートフラッシュによる対策

- ・堰上下流の河床掘削計画の範囲と砂洲・砂礫堆の波長との密接な関係
⇒ 堰の下流は流路幅の2倍以上、上流は6倍以上の掘削が必要(三輪)



- ・ゲートフラッシュに必要な上下流の水位差と河床材料の粒径との密接な関係
⇒ 河床材料の最大粒径の5倍以上の水位差が必要(三輪)

注: 河床勾配が大きく流れが速い河道区間でも、河床材料の粒径が大きい場合はゲートフラッシュが困難なことが多い。

設置位置の工夫だけでは土砂トラブルを解決できない場合の対策

設置後でも可能な対策

暫定的な上げ越し(ゲタ履き)構造

関川頭首工(新潟県関川)

十ヶ字頭首工(新潟県関川)

加治川第二頭首工(新潟県加治川)

三ツ木堰(埼玉県元荒川) など

課題

将来的な構造物の撤去、取水位の調整など

堰上下流水位差を利用したゲートフラッシュ

北空知頭首工(北海道石狩川)

皆瀬頭首工(秋田県皆瀬川) など

課題

ゲートの損傷、堰上下流水位差の確保など

堰上下流の河床掘削

課題

河床の復元時間の予測など

設置前にやっておくべき対策

堰設置位置の横断形

皆瀬頭首工(秋田県皆瀬川) など

課題

法令のクリアなど

堰の形態・構造(複合堰)

山城頭首工(秋田県雄物川)

皆瀬頭首工(秋田県皆瀬川) など

課題

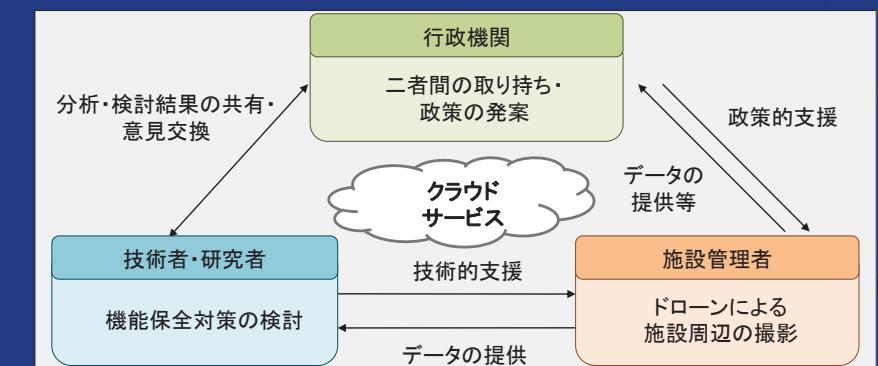
法令のクリア、下流側河床の低下
など

ドローンとICT(クラウドサーバ)の活用事例

ドローンによるモニタリング



クラウドサーバによるデータ共有



ドローン写真測量による3Dモデルの例



岡本頭首工周辺の3Dモデル(栃木県県鬼怒川)

おわりに

ドローン等を活用した定期的なモニタリングは、施設の管理者である土地改良区や水利組合等の職員が行うことが望ましい。

しかし、河川の流れや河床変動の予測技術に基づく個々の頭首工の機能保全対策の提案については、専門の技術者・研究者でなければ困難である。

また、ドローンを安全かつ確実に操作するためには、ある程度のトレーニングが必要である。

現場の管理者と専門の技術者・研究者とのICT等を利活用した相談・支援体制の構築が必要になるものと思われる。

ご清聴ありがとうございました。



秋田県羽後町でのドローン活用講習会(講義)



秋田県羽後町でのドローン活用講習会(実習)