

2019/10/16
土木研究所講演会



治水機能増大のための 既設ダムへの増設放流設備の設計



国立研究開発法人 土木研究所
水工研究グループ
グループ長 箱石 憲昭

① 治水機能増大のための放流設備増設の必要性

② 国土交通省による放流設備増設の事例

③ 土木研究所における水理模型実験による設計

- ① 治水機能増大のための放流設備増設の必要性
- ② 国土交通省による放流設備増設の事例
- ③ 土木研究所における水理模型実験による設計

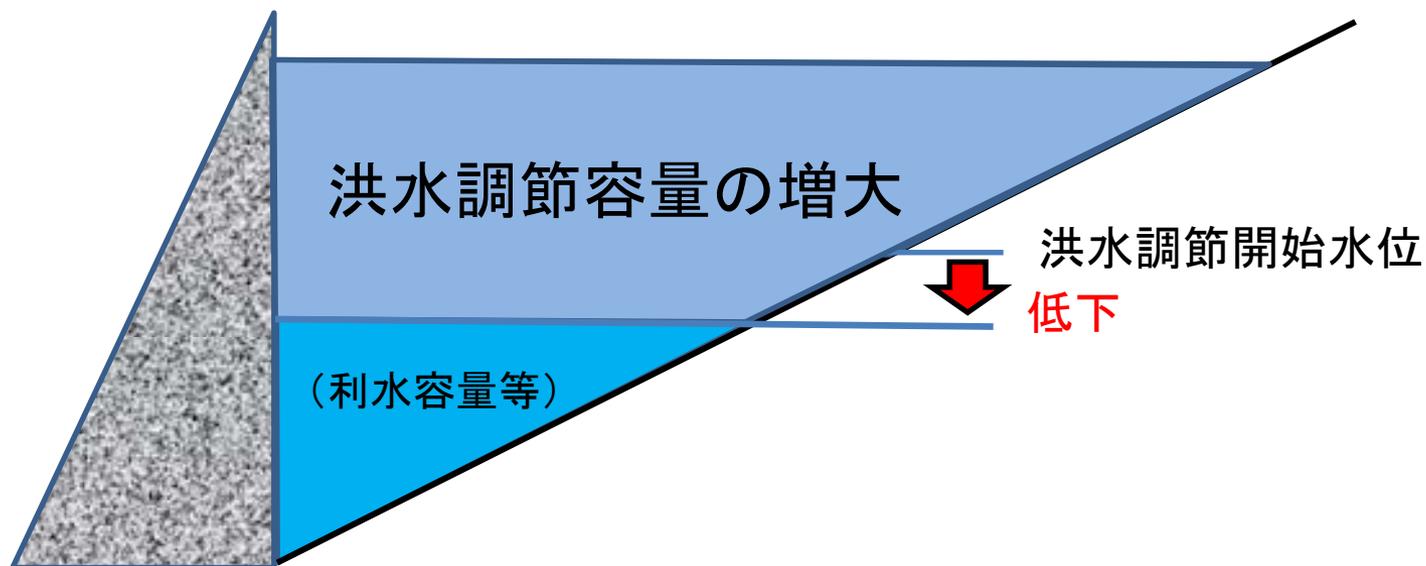
- 水害の頻発
- 気候変動の影響
 - さらなる頻発化・激甚化の懸念
- 我が国の厳しい財政状況
- 生産年齢人口の減少



- 既存ストックを有効活用
- 「ダム再生ビジョン」(国土交通省:2017.6)
 - 既設ダムの有効活用をより一層推進

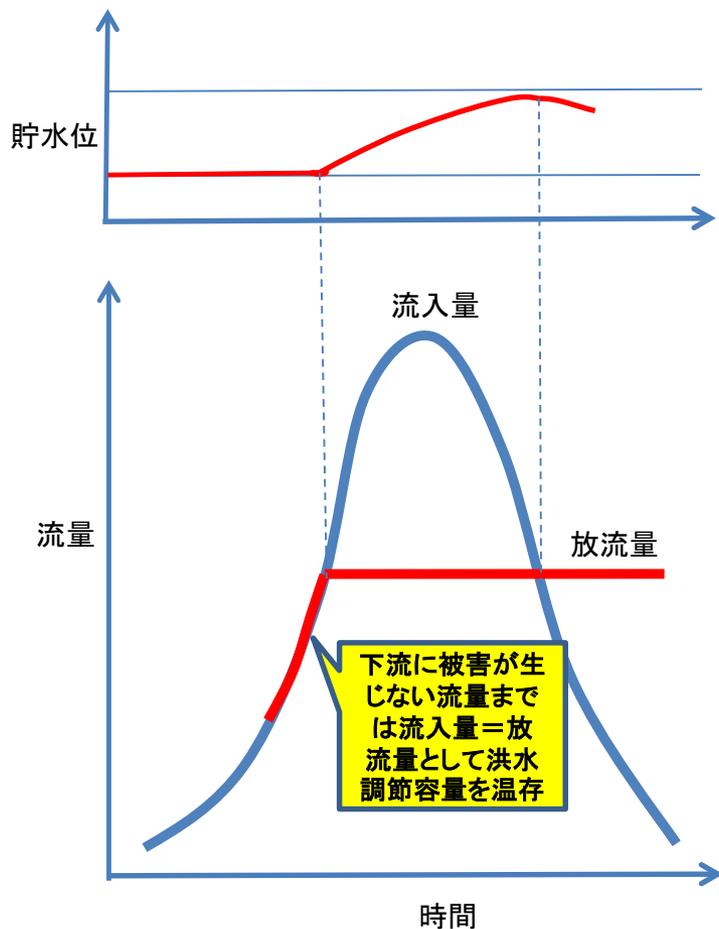
治水機能の増大→洪水調節容量の増大

- ・ダムを嵩上げせずに洪水調節容量を増やす場合

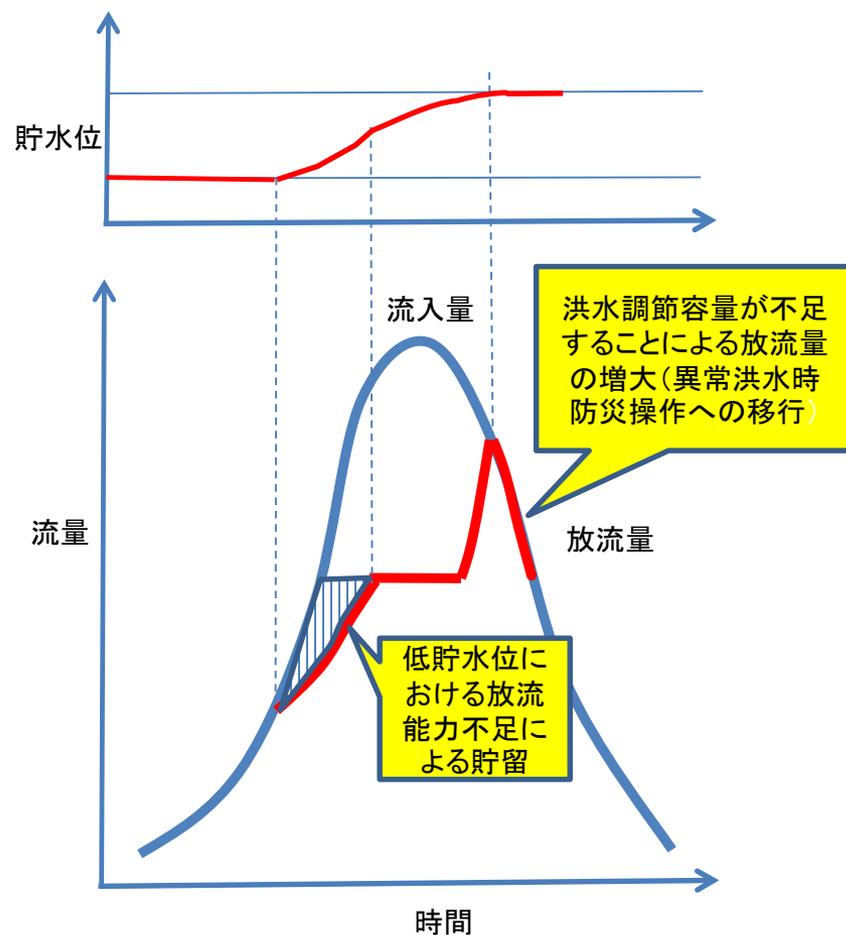


- ・洪水調節開始水位を低くする

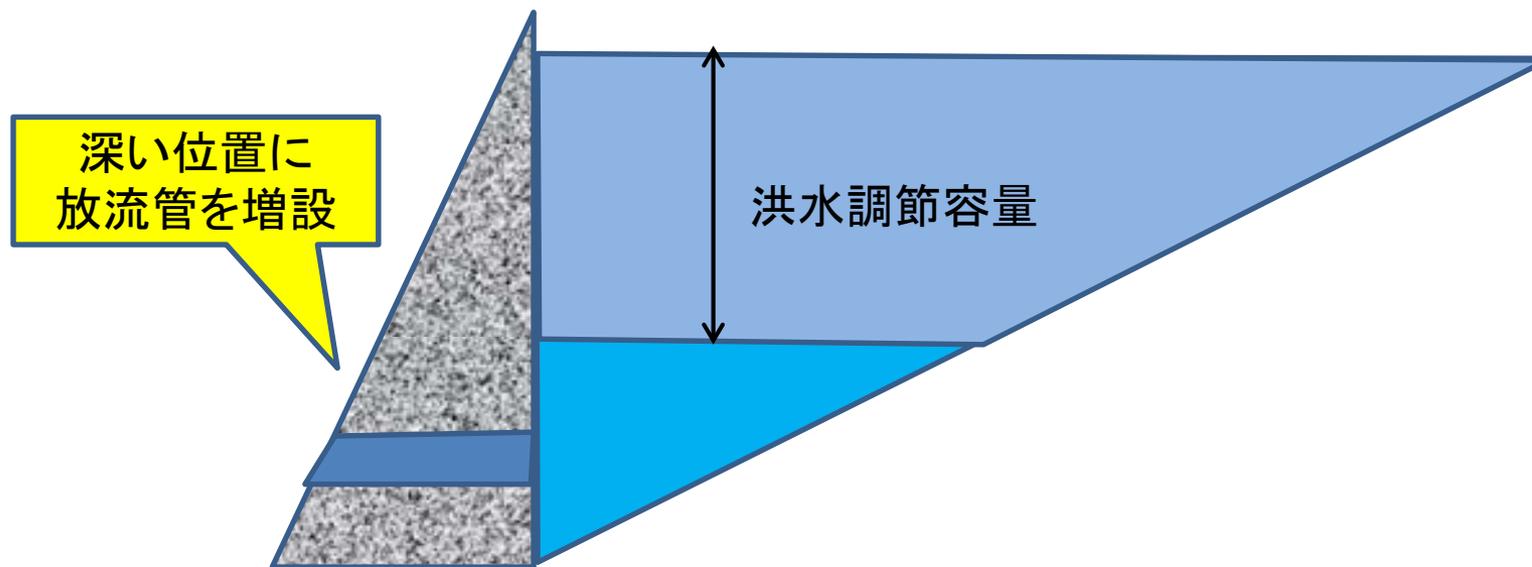
低貯水位における放流能力不足の解消



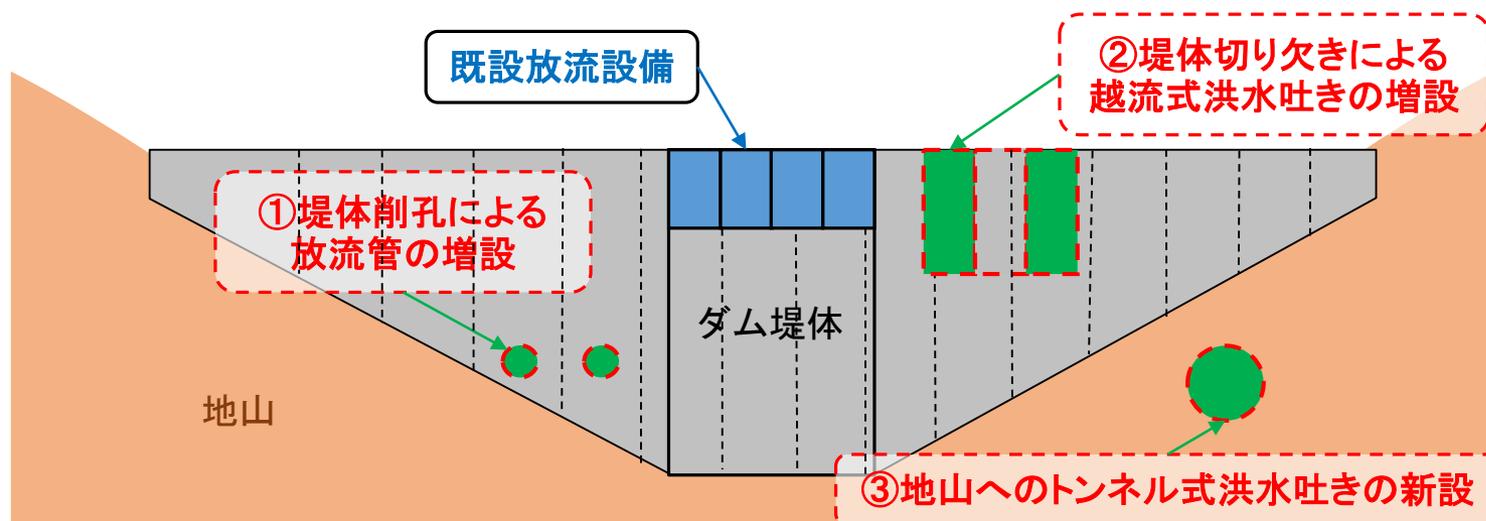
増強した洪水調節容量の有効活用



低貯水位における放流能力不足



- 深い位置に大規模な洪水調節用放流管を増設
- 下流に被害が生じない流量は調節せずに放流
- 洪水調節容量を効率的に利用



- 既設ダムの放流設備の配置や周辺地形により堤体に増設できる箇所は限定される

① 堤体削孔による放流管の増設

- 堤体構造面で削孔径に限界(ブロック幅の1/3→5m程度以下 ※詳細な堤体応力解析を行わない場合)
- 水理面で管内流速に限界 (キャビテーション防止→10m/s程度以下 ※水理模型実験を行わない場合)
→放流管1条あたりの放流量(=断面積×流速)には限界

② 堤体切り欠きによる越流式洪水吐きの増設

- ダムの構造への影響を考慮

③ 地山へのトンネル式洪水吐きの新設

- 堤体における放流設備の増設が困難な場合

なぜ放流管内流速に限界があるのか？

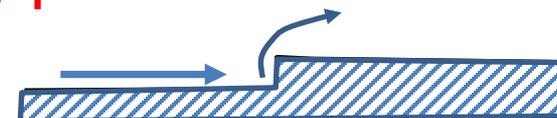
- ベルヌーイの定理 (= エネルギー保存則)
- 速度水頭 + 圧力水頭 + 位置水頭 = 一定

$$\frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\rho g} + h = \text{const.}$$

v : 流速, p : 圧力, h : 基準面からの高さ, ρ : 密度, g : 重力加速度

➤ 同じ位置で速度を増加 → 圧力が低下

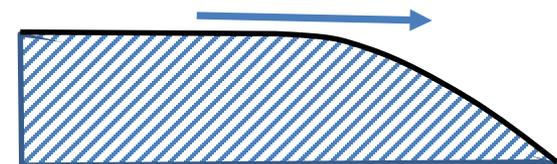
- 不陸・段差や湾曲部等



- 流れの剥離 → 局所的に圧力が極端に低下

→ キャビテーション発生

- 水の蒸気圧以下 → 水が気化 → 気泡発生
- 圧力回復 → 気泡崩壊 → 衝撃発生



- 水路面の損傷

- 振動・騒音の発生

洪水吐きのキャビテーション損傷事例



Karun dam, Iran

スイス連邦工科大学水理・水文・氷河学研究所 (VAW) HPより

ゲートのキャビテーション損傷事例



Cavitation on bottom of gate leaf

ゲートのキャビテーション損傷事例



Cavitation on bottom of gate leaf

※キャビテーション対策については後述

- ① 治水機能増大のための放流設備増設の必要性
- ② 国土交通省による放流設備増設の事例
- ③ 土木研究所における水理模型実験による設計

● 鎧畑ダム利水放流設備増設 (1990)

- 既設ダム1957完成
- 上流に新設する玉川ダムからの利水放流を通過
- 貯水池機能維持
 - ✓ 仮締切設置(以下すべての事例も)
- 利水放流設備の新設
($69.1\text{m}^3/\text{s}$)
- 放流管径3.2m
- 削孔径 4.4m
- 管内流速 10m/s 以下
 - ✓ 利水放流設備と同様
 - ✓ 水理模型実験なし



秋田県HPより

◆ 基本となる施工方法の開発



貯水池側仮締切(五十里ダム)



仮締切の堤体接触部の木材
(鶴田ダム)



自由断面掘削機による堤体掘削(五十里ダム)

放流能力増加対応(管内流速増加)



- 田瀬ダム洪水吐き増設(1998)
 - 既設ダム1954完成
 - 洪水調節操作の改善目的
 - 放流管径3.6m
 - 削孔径 5.0m
 - 放流能力 $130\text{m}^3/\text{s}$
 - 管内流速約 $13\text{m}/\text{s}$
 - 放流管水理模型実験で圧力確認



田瀬ダム 国土交通省北上川ダム統合管理事務所HPより

放流能力増加対応(管内流速増加)



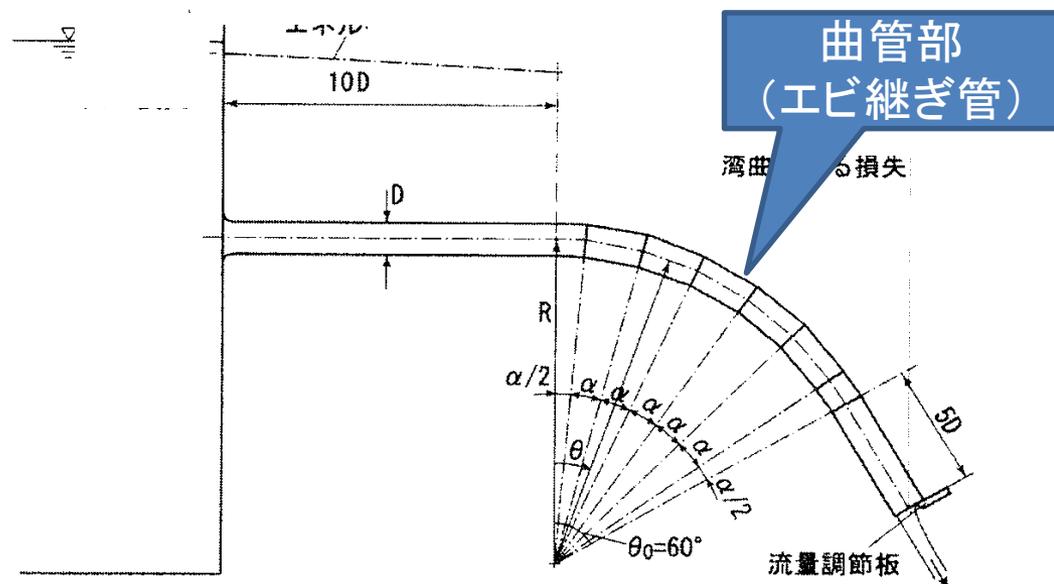
● 五十里ダム洪水吐き増設(2002)

- 既設ダム上流湯西川ダム完成後の治水計画に対応
- 洪水調節開始水位で500m³/s放流(2条)
- 放流管径3.8m
- 削孔径 5.0m
- 管内流速約22m/s
- 高速放流管曲管部の水理特性に関する研究(土木研究所)
- 放流管水理模型実験



五十里ダム 国土交通省鬼怒川ダム統合管理事務所HPより

- 管径1m程度以上の曲管は曲げ加工が困難
- 斜めに切断した直管を連結した**エビ継ぎ管**として製作
- 内側の接合部付近で流れが剥離、局所的**圧力低下**
 - **キャビテーション発生**の懸念
- **エビ継ぎ管の屈折角 α と圧力低下特性の関係**
 - 数値シミュレーションと水理実験より説明→**設計法に反映**



放流管曲管部(エビ継ぎ管)模型概要

五十里ダム放流管(エビ継ぎ管)据付状況
国土交通省鬼怒川ダム統合管理事務所提供

● 鶴田ダム再開発 (2018)

- 既設ダム1965完成
- 発電容量を洪水調節容量に振替
- 洪水調節開始水位で900m³/s放流(3条)
- 放流管径4.8m
- 削孔断面
6.0m × 6.0m
 - 施工時水位等を考慮した詳細な堤体応力解析
- 管内流速最大約29m/s



鶴田ダム 国土交通省川内川河川事務所提供

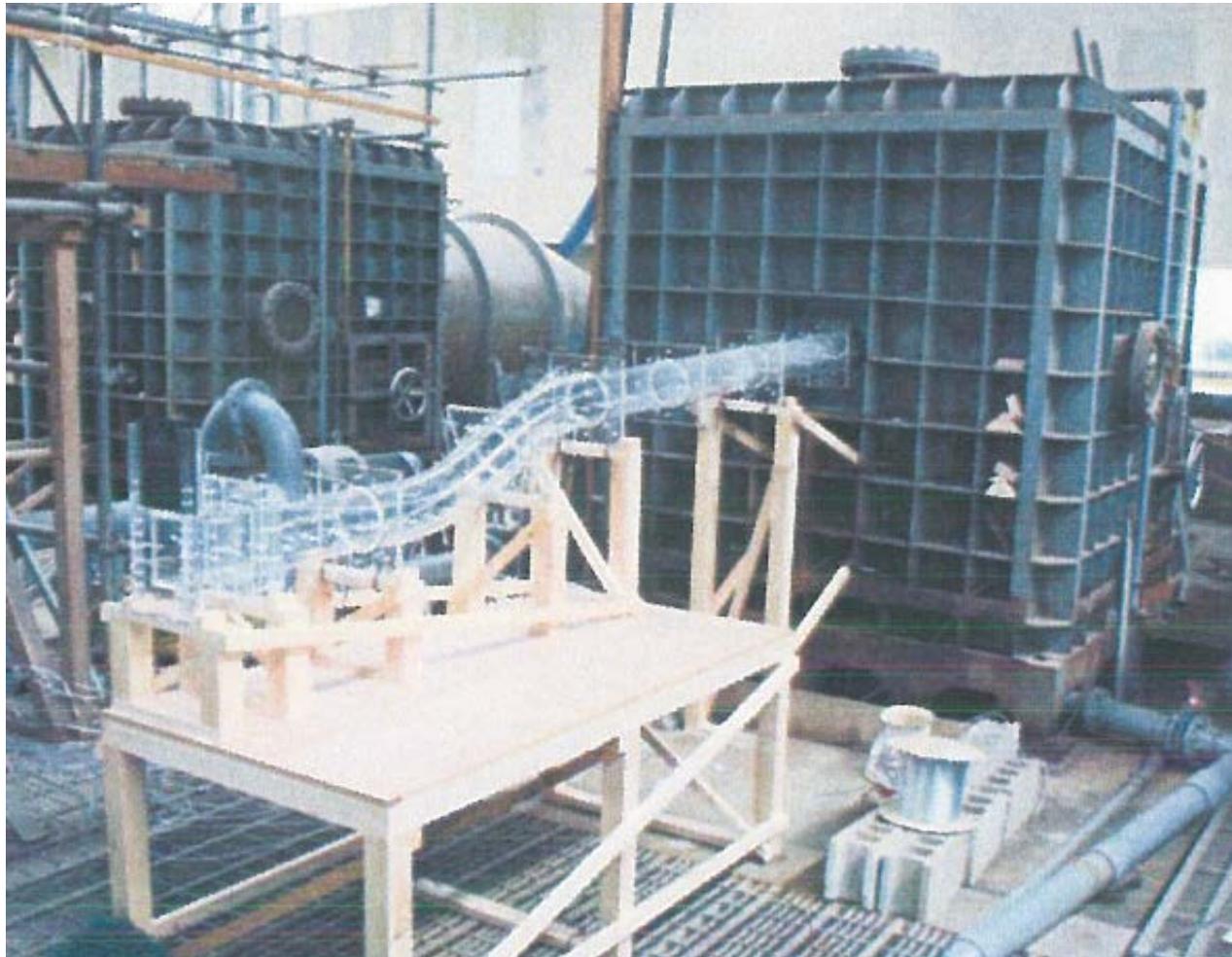
● 鶴田ダム再開発(2018)

- 高速流に対応したエビ継ぎ放流管



鶴田ダム増設放流管据付状況





● 長安口ダム改造(工事中)

- 既設ダム1955完成
- ダム高 85.5m
- 洪水調節開始水位低下及び予備放流量増への対応
- 堤体切り欠き最大約37m
- 新設ゲート2門(国内最大規模)
- 厚い放流水脈の流向を変えて減勢工に導流



長安口ダム(国土交通省那賀川河川事務所HPより)

● 長安口ダム改造(工事中)

- 国内最大規模のローラゲート
- 高さ約20m



長安口ダム増設ゲート据付状況





国土交通省那賀川河川事務所提供





国土交通省那賀川河川事務所HPより

● 鹿野川ダム改造 (2019)

- 既設ダム1958完成
- 洪水調節開始水位低下及び予備放流量増への対応
- トンネル内径11.5m
- 延長457m
- 放流量約1,000m³/s



鹿野川ダム 国土交通省山鳥坂ダム工事事務所提供



① 治水機能増大のための放流設備増設の必要性

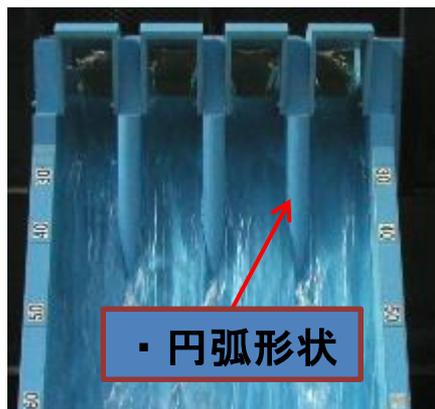
② 国土交通省による放流設備増設の事例

③ 土木研究所における水理模型実験による設計

水理模型実験によるダムの洪水吐きの設計

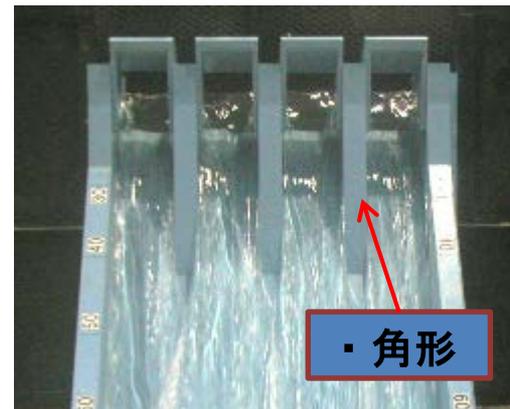
- ダムからの放流水は重力によって加速されて高速に
- 形状の微妙な変化で流れが大きく変化
- このような複雑な流れを数値シュミレーションで再現することは困難
- 水理模型実験により流れの状況を確認しながら設計

修正前(ピア円弧形状)



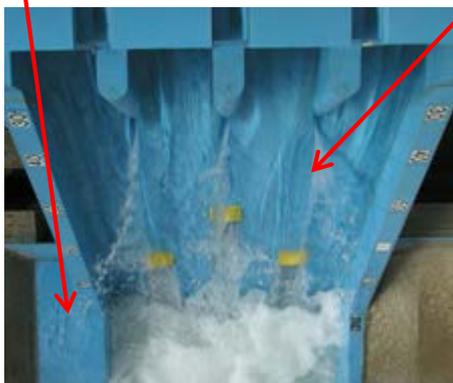
正面から

修正後(ピア角形状)



正面から

・ヒレ状水脈発生、堤体導流部逸脱

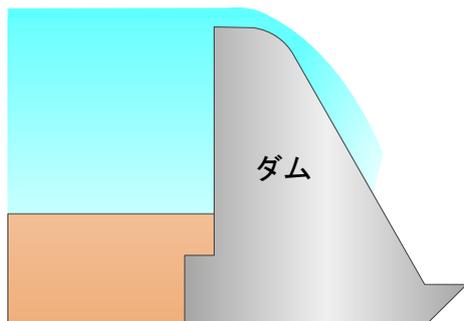


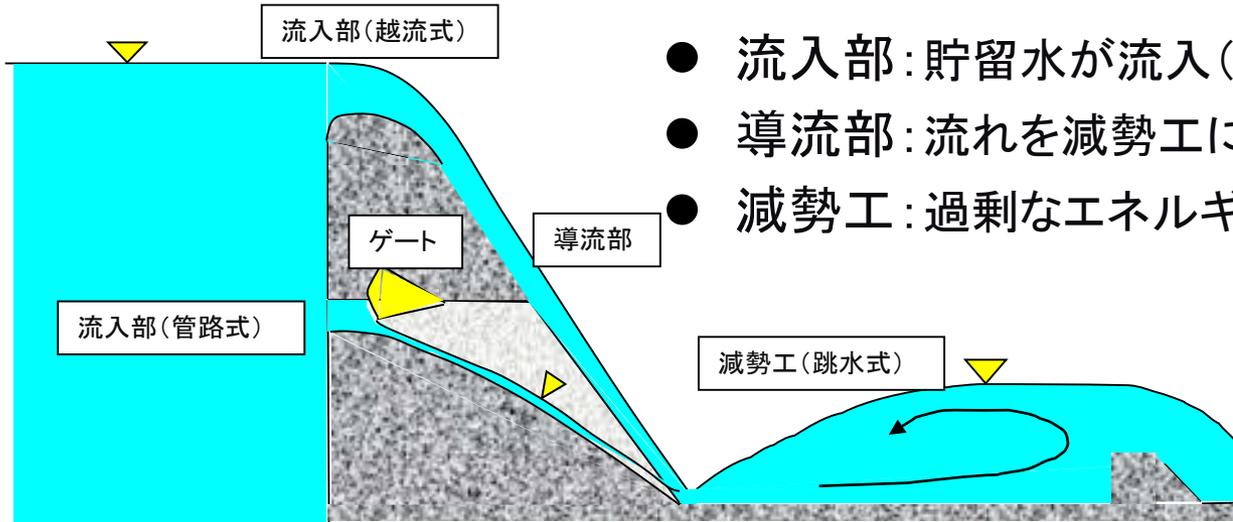
上から

・流れが回り込んで干渉



上から





放流設備の形式と構成要素

- 流入部：貯留水が流入(放流量を調節)
- 導流部：流れを減勢工に導く
- 減勢工：過剰なエネルギーを減勢し下流河道へ放流

- 貯水池～流入部～導流部～減勢工～下流河道に至るまでの流れの状態を確認
 - 流量を規定する部分(流入部)において**所定の放流能力**(水位・放流量条件)を満たすことを確認
 - 流れを**安定した状態**で減勢工に導流できるか
 - **減勢工が十分に機能**し下流河道の流れをダム築造前の状態に復すことができるか
- 必要に応じて形状を修正→流れの状態を確認→さらなる修正・・・

- 模型で計測した流量、流速等の値を実物に換算する方法＝相似則
 - ダムからの流れは重力が支配的
 - 重力と慣性力の比が実物と模型で同じと仮定→**フルードの相似則**

水理模型実験による 鹿野川ダムトンネル式洪水吐きの設計



■ 洪水調節能力の増強 (増加した洪水調節容量を有効に活用するため施設改造を行います。)

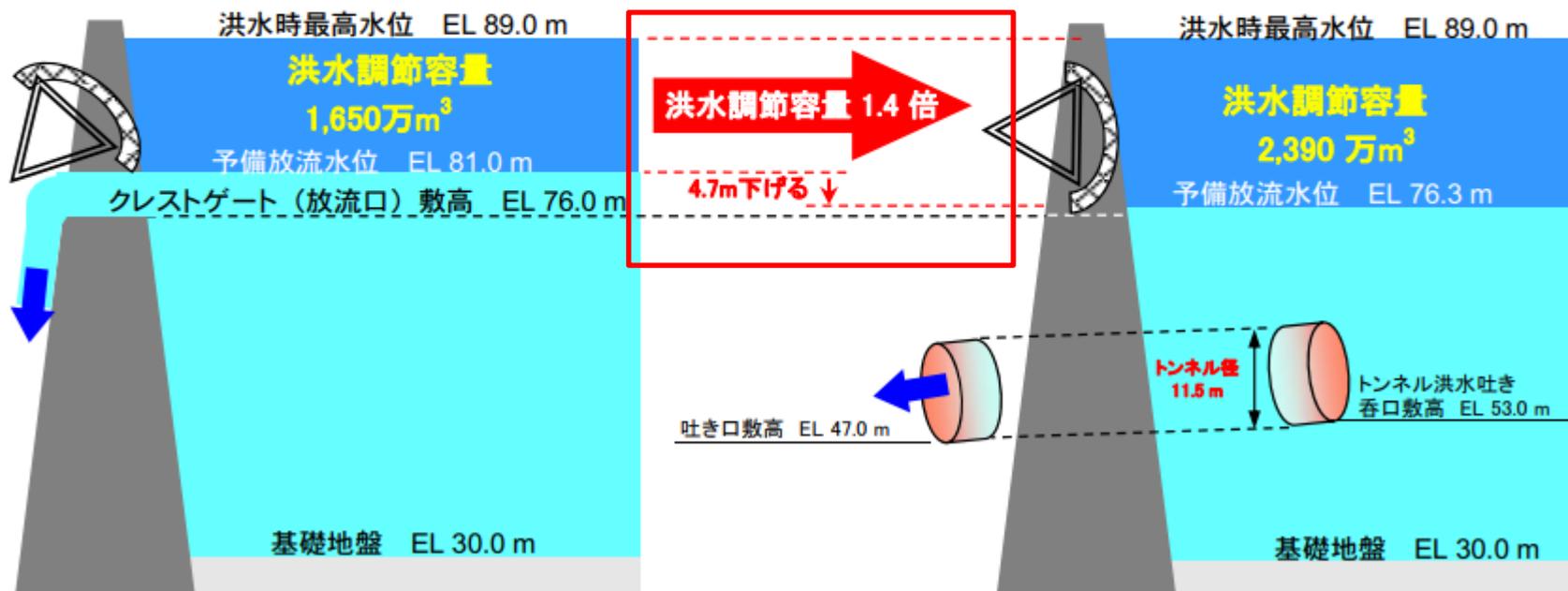
トンネル洪水吐きの設置

クレストゲートの改良

- 予備放流水位を下げることで洪水調節容量を増加させます。
- 洪水調節容量を適正に活用できるように低い水位での放流能力を高めるため、トンネル洪水吐きを設置します。
- ゲートの老朽化による更新に合わせて、きめ細かな洪水調節操作が行えるよう改良しました。

改造前 (クレストゲート4門)

改造後 (トンネル洪水吐き+クレストゲート4門)



国土交通省四国地方整備局HPより

- 洪水調節開始水位 (予備放流水位) の低下により洪水調節容量を1.4倍に
- 低水位での放流能力増強が必要

鹿野川ダムトンネル式洪水吐き平面図

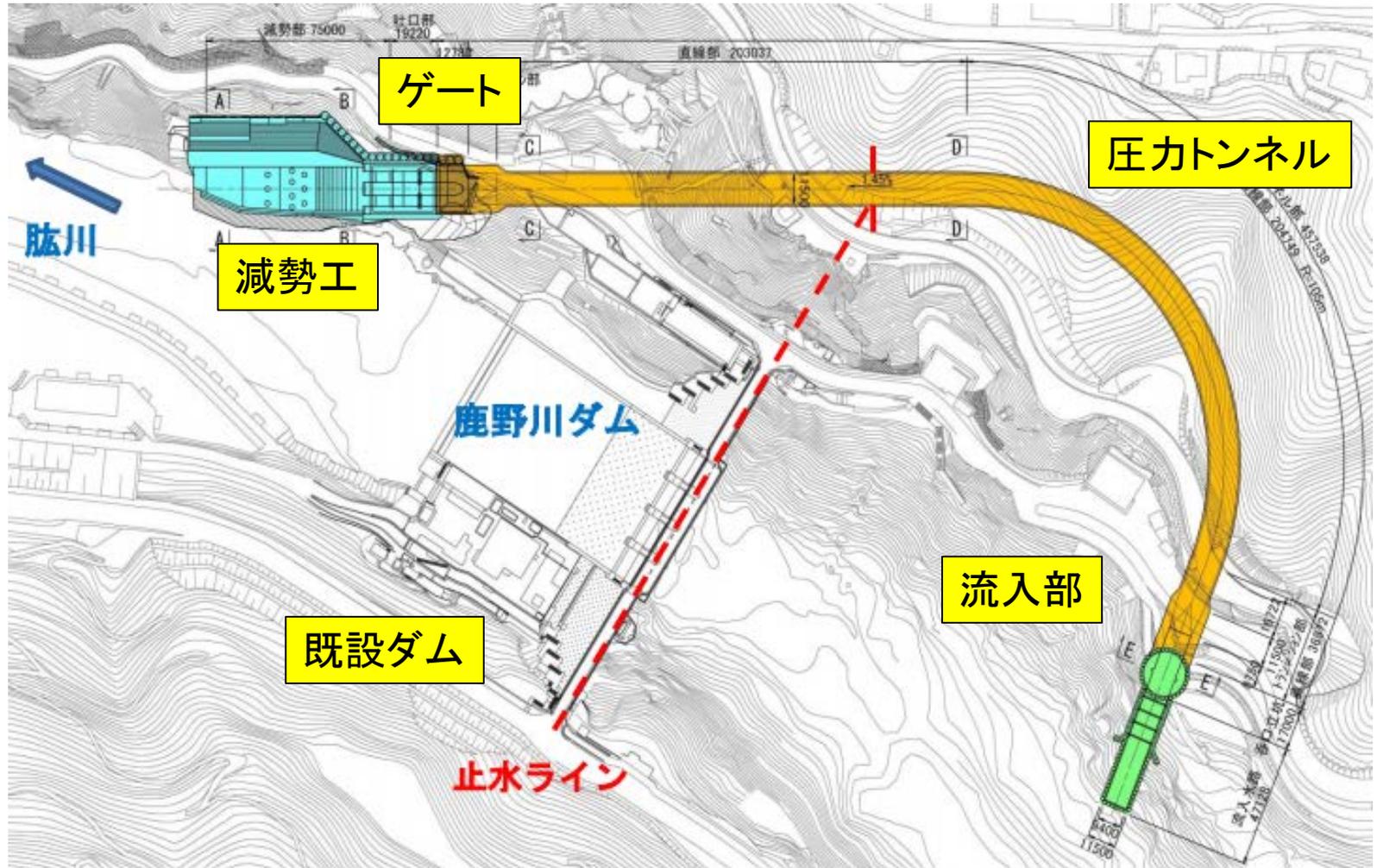
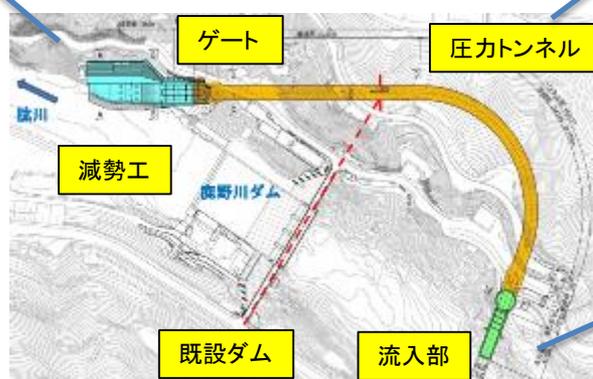
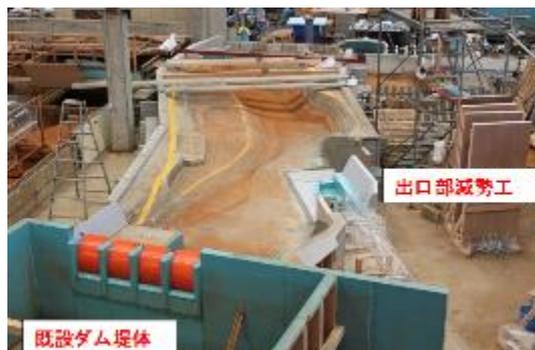


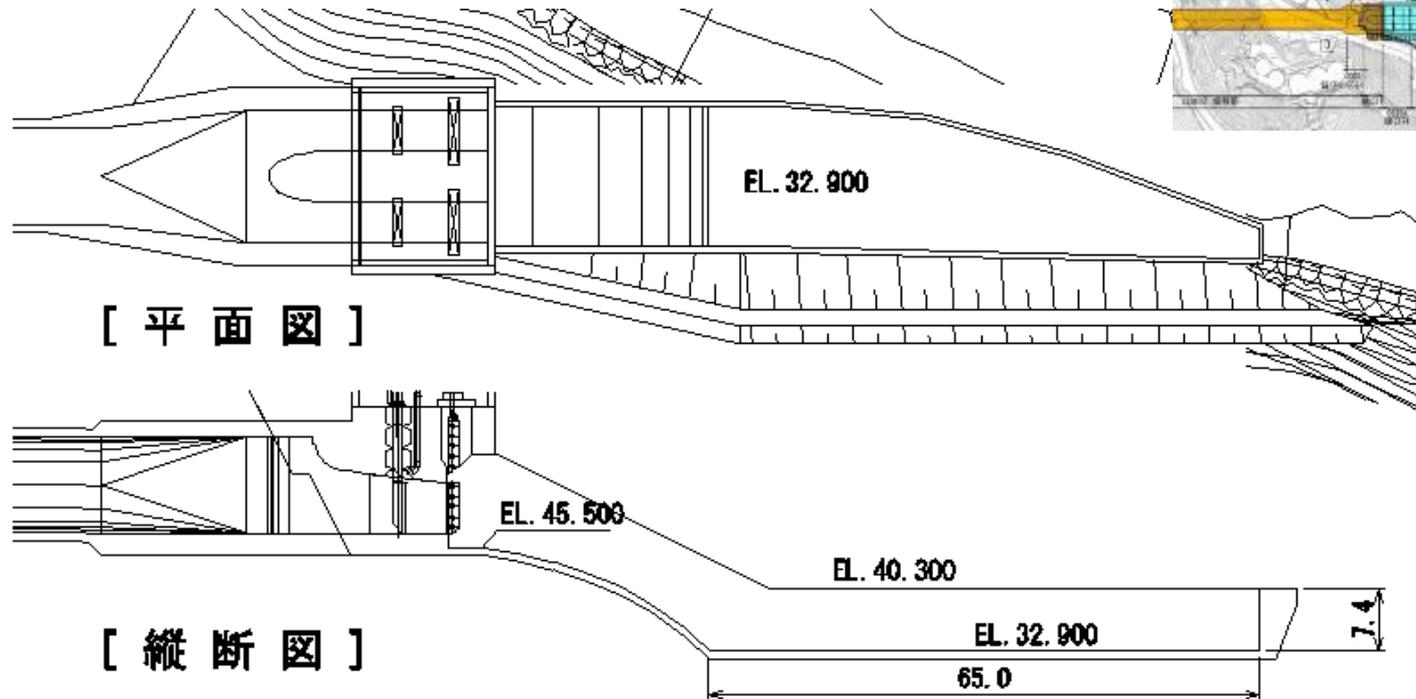
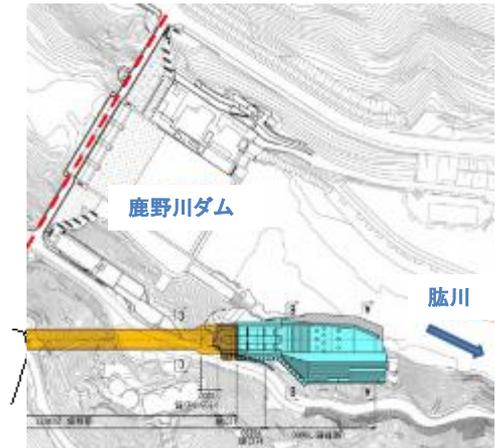
図: 国土交通省四国地方整備局HPより

鹿野川ダムトンネル式洪水吐き全体模型(1/40)

- 所定の貯水位において必要な放流能力を満足することの確認
- 呑口部で吸い込み渦の発生を抑える形状の検討
- トンネル内部および吐口の放流管に作用する圧力の確認
- **減勢工形状の検討**
- 下流河道への放流状況の確認
- 管理のための貯水位－ゲート開度－放流量の関係式の作成等



- 減勢工の設計
 - 環境への配慮
 - 河道から減勢工への土砂の流入を防止
 - 減勢工を河道内に張り出させない
 - 厳しい設計条件への対応



減勢工原案形状

減勢工の流況(原案)

- 減勢工に対して最も負担の大きい放流条件
 - トンネル式洪水吐きのみ放流(ダム本体からの放流なし)
 - 貯水位:サーチャージ水位(洪水時最高水位)
 - 放流量:河川整備基本方針対応の洪水調節開始流量
- 放流水脈は十分に減勢されず、対岸の道路が常に冠水



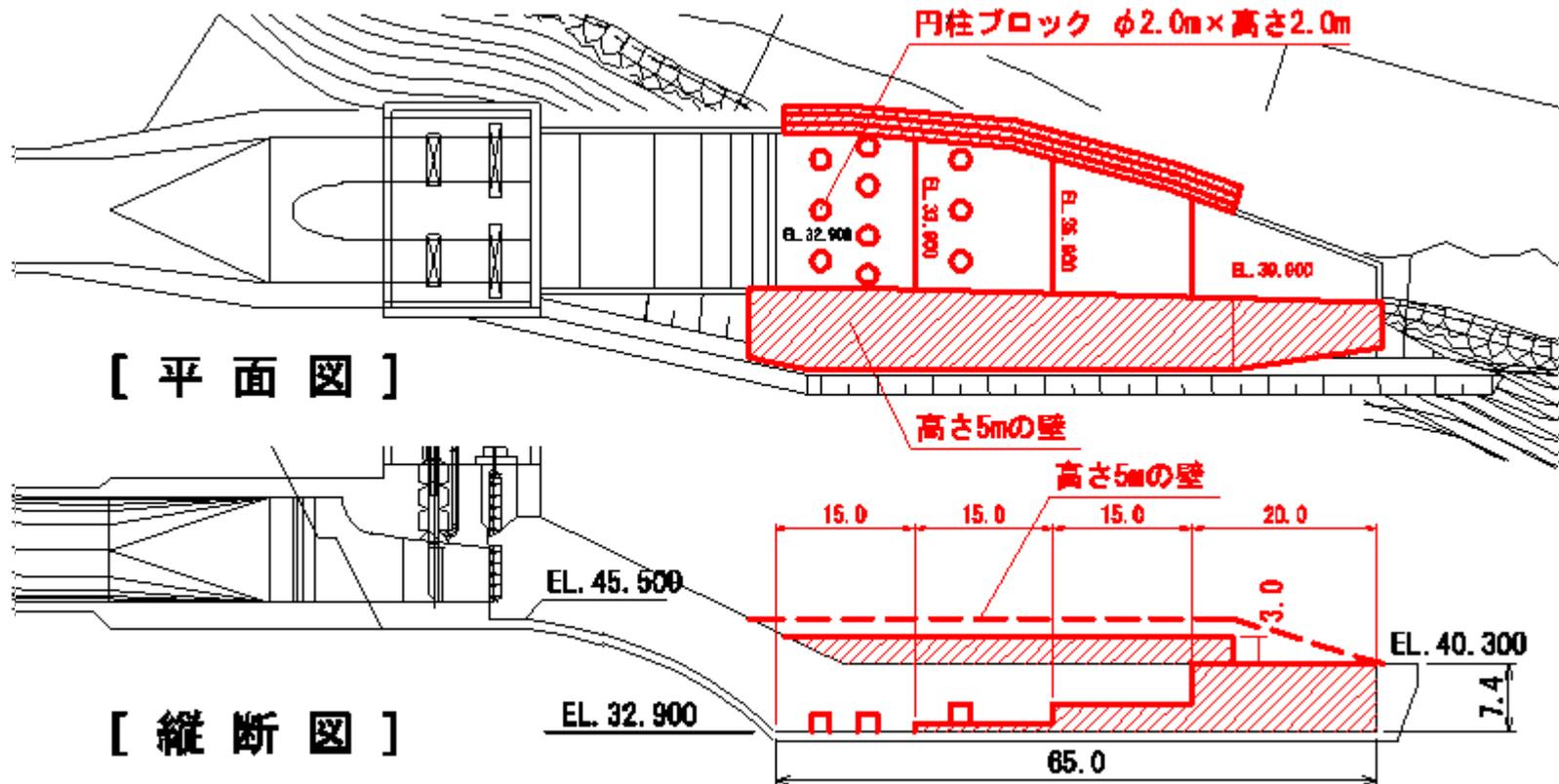
下流から



上から

減勢工の設計(最終案)

- 流れの状態を改善→模型を改造して試行錯誤的に検討
 - 減勢工内の水位確保→減勢工左両岸への壁の設置
 - 流れに対する抵抗増+掘削量削減→段上がり形状の水叩きの検討
 - 抵抗増→跳水発生→円柱ブロックの配置



減勢工の設計(最終案)

減勢機能が向上して対岸への冠水は生じなくなり
掘り込み式減勢工の長さを20m短縮してコンパクトに



下流から



上から



上流から

国土交通省山鳥坂ダム工事事務所提供

1/40 模型600m³/s放流

フルードの相似則

流量 $(1/40)^{2.5} = 1/10,119 \rightarrow 59$ リットル/秒

時間 $(1/40)^{0.5} \rightarrow 1/6.32 = 0.158$ 倍速

←0.12倍速映像

下流から

● 既設ダムへの放流設備の増設

- 個々のダムの増設放流設備の設計を行いながら、より厳しい条件での設計を可能とするための研究を実施
- 今後も治水機能増大のための放流設備の増設は続くものと思われる
- 現場ニーズに対応した研究により、課題の解決に貢献していきたい

ご清聴ありがとうございました。