

# 信濃川発電所宮中取水ダム魚道構造改善検討委員会

## 第4回委員会

日時：平成22年 3月29日(月) 14:30～16:30

場所：ハイブ長岡

### 議事次第

- I 開会
- II 委員長挨拶
- III 議事
  - 1. 第3回委員会の内容の確認
  - 2. 宮中取水ダム魚道構造改善検討
    - 2.1 ダム下流部と魚道の流れの連続性の確保
    - 2.2 魚道本体の改善検討
    - 2.3 魚道出口ゲートの改善検討
  - 3. 全体質疑応答
- IV その他
- V 閉会

---

#### 資料

- 資料-1 信濃川発電所宮中取水ダム魚道構造改善検討委員会第4回委員会座席表
- 資料-2 信濃川発電所宮中取水ダム魚道構造改善検討委員会（第3回）における解決すべき問題点とその対応
- 資料-3 信濃川発電所宮中取水ダム魚道構造改善検討委員会（第4回）概要について
- 資料-4 信濃川発電所宮中取水ダム魚道構造改善検討委員会第4回委員会資料

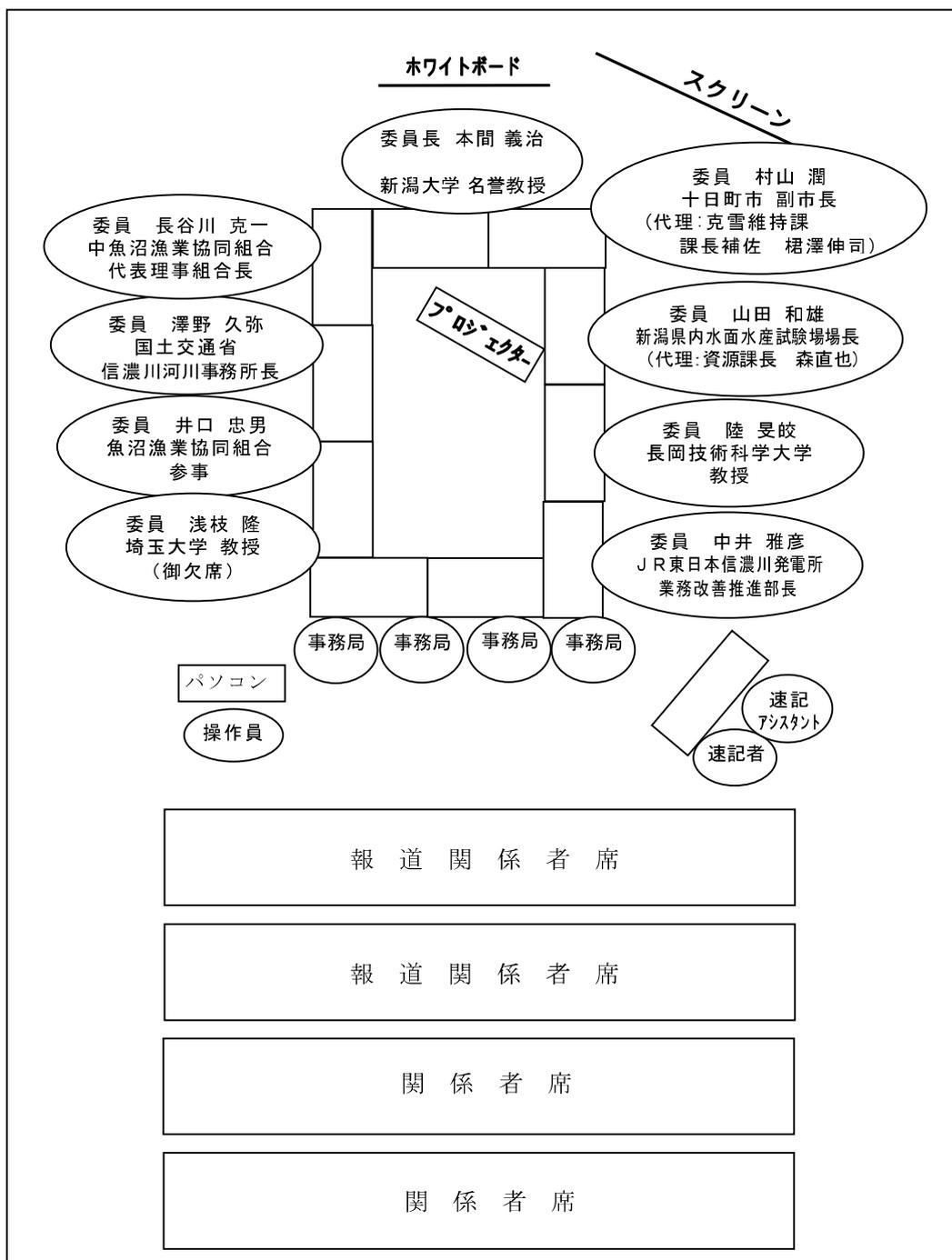
# 信濃川発電所宮中取水ダム魚道構造改善検討委員会

## 第4回委員会

日時：平成22年3月29日(月) 14:30~16:30

場所：ハイブ長岡

### 座席表 (五十音順)

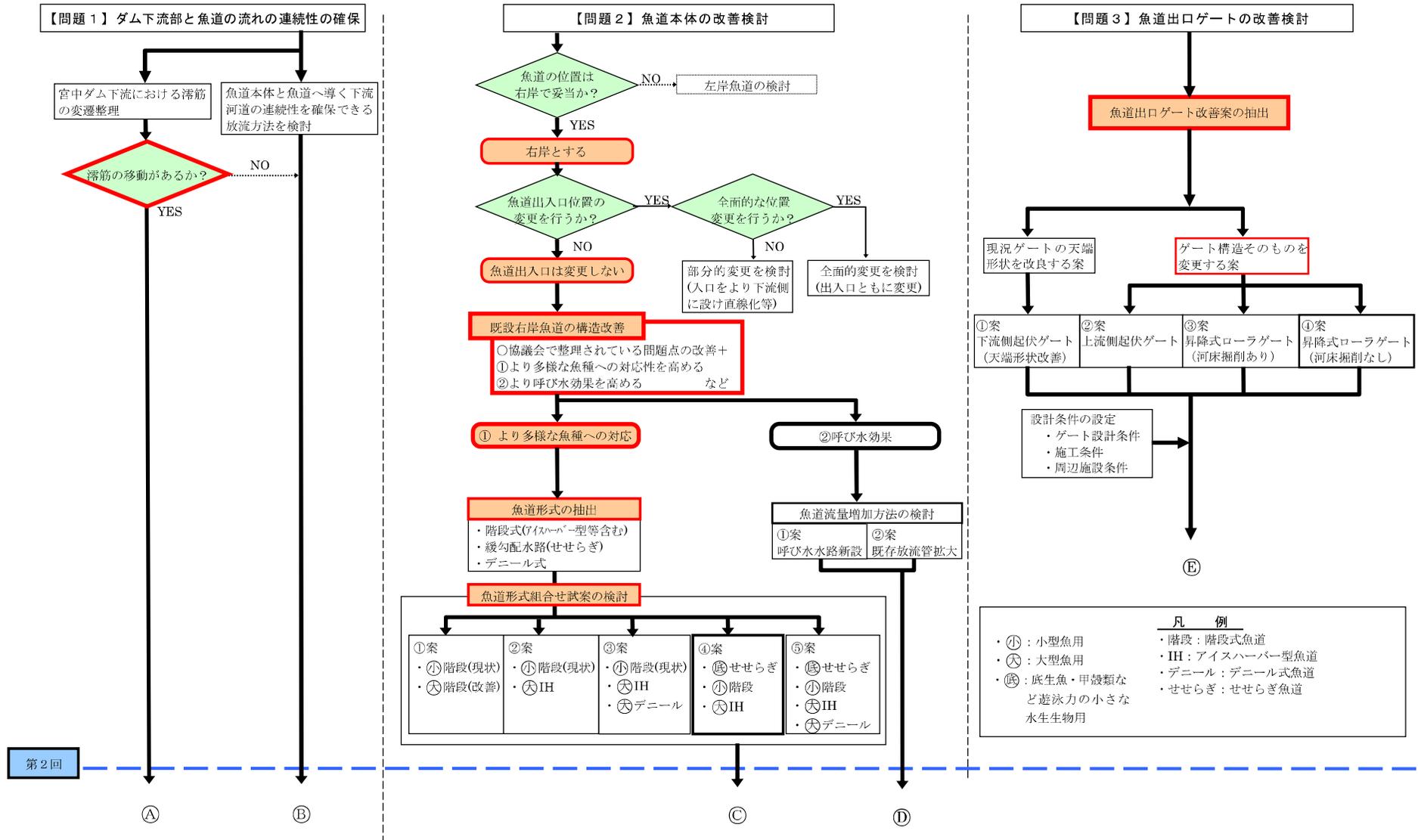


## 信濃川発電所宮中取水ダム魚道構造改善検討委員会（第3回）における解決すべき問題点とその対応

項目	議事要旨（発言要旨）	事務局の対応	備考
【問題1】 ダム下流部と魚道の流れの連続性の確保	<b>流量条件について</b>		
	長谷川委員) 100m <sup>3</sup> /s、200m <sup>3</sup> /s という流量で検討を行っているが、サケの時期に100m <sup>3</sup> /s は厳しいのではないかと？ 山田委員) 維持流量を意識した流量設定を行うべきではないかと。 事務局) シミュレーションは様々な条件で検討を行うことが可能なので、例えば50m <sup>3</sup> /s など相談した上で検討を進めていきたい。	<b>【資料4 §1で説明・審議】</b> ○ 今後計画されている試験放流にあたり、本委員会での検討で作成した流況解析モデルや現地流況確認によって得られた知見等を、具体のゲート運用、効果の予測に活かしてまいります。	
	<b>魚道入り口付近の流況について</b>		
	浅枝委員) 魚道に近い領域の流況を詳細に検討する観点（マイクロな視点）と、魚道入り口付近に魚が到達しうるかどうかを検討する観点（もう少し広い視点）の2つに分けて考えたほうが良いと思う。今回の検討は広い視点のほうであり、マイクロな視点の流況は深さ方向の流れも関わる複雑な流れとなることから、室内実験など異なるツールによる検討を考える必要があるかもしれない。 長谷川委員) 呼び水管とゲート放流の組合せで良好な流況を作り出すとしているが、魚の生態面からの観点が欠けているように思う。流量が多いところに魚が向かっていくのが基本的な習性であるので、呼び水放流量を増やして魚道の流れと並行に流すのが最も良いと考える。したがって、呼び水の流向に着目した検討も必要である。	○ 第3回委員会で示した放流パターン有力案について、現地流況確認を実施したので、その結果をご報告いたします。 ○ 魚道入り口付近まで魚を導くことについては、現地流況確認及び流況解析からゲート放流方法の工夫で適上可能な経路を確保できる結果が得られたと考えています。 ○ 委員からの指摘どおり、魚道入り口付近の流れは拡散して不明瞭となっています。魚道入り口付近まで到達した魚が入り口を見つけられるかという点は今後の課題と認識しているところです。 ○ 検討方法としては、数値シミュレーションでは困難であり、現地実験で検討するのが妥当と考えます。 ○ 今後計画されている試験放流にあたり、現地実験を実施したいと考えております。引き続きご指導賜れば幸いです。	
	<b>気泡の発生について</b>		
	浅枝委員) 気泡の発生については、ゲート直下の形状をスロープにするなどの工夫で、抑えることができるのではないかと。	○ 今後計画されている試験放流にあたり、現地流況確認により気泡の発生範囲を確認し、魚類の適上経路を遮断しないゲート放流方法の検討に反映させます。	
	<b>洪水時の河床状況の推定（第2回委員会からの繰越課題）</b>		
	浅枝委員) 出水期前に、右岸側にあらかじめクレークを掘削しておくことで、滞筋を短期間に形成できるか流況解析で確認できないかと。 本間委員長) 機械力によって人工的に滞筋を誘導する試みはどうか？ 事務局) 洪水時流況解析により河床変動をシミュレーションし、そこで得られた結果から人工掘削等の対策の要否について検討していきたい。	<b>【資料4 §1で説明・審議】</b> ○ 本検討の当初のねらいは、右岸側の魚道へ魚を誘導できる流れを確保するために、流れの力で右岸側に滞筋を形成させようということでしたが、現地流況確認や平常時流況解析からゲート放流の工夫で魚道入り口付近に魚が到達しうる目処がたっています。 ○ 今回、年平均最大流量程度で、現行の中央からのゲート放流と右岸側からのゲート放流の2ケースで流況解析を実施しました。結果を比較すると、流況・河床変動とも両ケースに大差はなく、下流既設構造物の安全性に悪影響を与える侵食・洗掘がない結果となっています。また、右岸側放流では現行放流に対して右岸側の河床変動（10～20cmの低下）が生じているので人工掘削の必要はないと判断しました。 ○ 事務局では、大出水時にはゲートをほぼ全門開けるので右岸側は埋め戻され、滞筋は元の左岸側に戻るのではないかと懸念しています。また操作面での課題も検討する必要があります。 ○ 以上のことから、当面洪水時には従来どおりの放流としたいと考えます。 ○ なお、今後計画されている試験放流にあたり、中小出水時、右岸側放流を試験的に実施し、効果とその課題を確認することを、必要により検討してまいります。引き続きご指導賜れば幸いです。	
	陸委員) 滞筋を変えた後のダム直下流部の既設構造物に対する安全確保をどうするか、モニタリング体制について考えていく必要がある。 澤野委員) 安全に抵触しないよう、流況解析で堤防等構造物への影響がないかを確認するとともに、モニタリング計画を策定し、モニタリングを行っていく必要がある。 浅枝委員) 右岸側に滞筋が移動したときに魚道の足元が洗掘されて支持力が低下し、魚道自体が沈下するなどの変状をきたすことが懸念される。		
	陸委員) ゲート操作方法が変わると、上流部の河床状況も変わると考えられるので、湛水池内のモニタリングも必要である。		

項目	議事要旨（発言要旨）	事務局の対応	備考
【問題2】 魚道本体の改善検討	<b>魚道構造検討の進め方について</b>		
	長谷川委員) 次回の委員会では、具体的な設計に入れるところまで、検討結果を出す予定なのか。  長谷川委員) 例えば、潜孔をどうするか、アイスハーバーの形状をどうするか、階段式でもハーフコーン型などいろいろあるし、横型・縦型プールの検討ということも必要である。細部構造の検討を進めていく上では、いろいろな意見を聴取して進めていった方が良いと思う。	<b>【資料4 §2で説明・審議】</b> ○ 第3回委員会以降、3形式（アイスハーバー型、階段、せせらぎ）の魚道について概略設計を進めてきました。 ○ 特に、アイスハーバー型については、第3回委員会にて今後魚道内流況の確認を行うこととしており、以下の検討を行いました。 ★ アイスハーバー型魚道の1/5縮尺模型を製作し、魚道プール内の流況改善効果と魚道細部構造諸元の検討を行いました ★ 現況大型魚種用魚道隔壁に非越流部を設けて、アイスハーバー型魚道を採用することによるセイシュ抑制効果の確認を行いました ○ 上記検討に基づいて、魚道の構造改善案を作成しました。ご指導・ご助言をお願いします。事務局としては、継続して検討すべき課題の解決・確認と並行して、詳細設計を進めてまいりたいと存じます。	
	<b>魚道流量について</b>		
	浅枝委員) 流量を時期的に変化させるということについて、個別の魚道タイプごとに変化させることが可能なのか。	<b>【資料4 §3で説明・審議】</b> ○ 個別の魚道で流量を変化させることができるように、魚道タイプごとにゲートを設置する計画とします。	
【問題3】 魚道出口ゲートの改善検討	<b>サケへの配慮について</b>		
	長谷川委員) アユ、サクラマスは若くて元気な魚が遡上するため、問題は少ないが、サケについては長い旅をしてくるのでちょっとした障害が深刻な問題になる可能性がある。このことに留意して検討を進めてもらいたい。	<b>【資料4 §2で説明・審議】</b> ○ 第3回委員会で提示したように、アイスハーバー型への改良による休息域の提供、流量の縮小による流速の低減・流況の改善等、現状の魚道よりも魚の遡上に適したものになると考えております。 ○ 今回はさらに、魚体を傷めない隔壁天端形状の採用や潜孔を無くして水抜き孔程度の小さな穴とすることによるプール内の流況改善を提案させていただきます。 ○ 継続して検討すべき課題の解決・確認を行った上で、改善魚道完成後についても、モニタリングと必要に応じた改善（構造的改善、流量変動等）を実施します。引き続きご指導賜れば幸いです。	
全体	<b>せせらぎ魚道のゲートについて</b>		
	山田委員) せせらぎ魚道についても同じようなタイプのゲートを考えているのか。 浅枝委員) せせらぎ魚道については越流水深8cmという非常に薄いものであるが、これが枯れてしまうというようなことはないか。	<b>【資料4 §3で説明・審議】</b> ○ 魚道そのものを上下させるセクター式を採用することを計画しています。 ○ 宮中取水ダムの貯水位の変動状況を整理して、必要な水深を維持できる構造を検討したので、ご指導・ご助言をお願いします。	
	本間委員長) 委員会後の実験や完成後の運用など、委員会としては宮中取水ダムの魚道を今後も見守っていくことが絶対に必要だと思う。	○ (仮称) フォローアップ委員会を設置し、引き続きご指導賜ればと考えております。	

信濃川発電所宮中取水ダム魚道構造改善検討委員会（第4回）概要について



【問題 1】ダム下流部と魚道の流れの連続性の確保

Ⓐ

Ⓑ

現地放流実験  
 ・ダムゲート放流による下流流況  
 ・魚道から滞筋沿いの連続した流れの形成  
 ・循環流の形成等の把握

放流実験からの情報整理  
 ・ゲート放流による下流流況の確認  
 ・解析モデルの妥当性確認  
 ・好ましい放流パターン  
 ・好ましい呼び水放流方法

平常時流況解析  
 ・最適なゲート放流パターン

Ⓐ

Ⓑ

【問題 2】魚道本体の改善検討

Ⓒ

Ⓓ

対象魚の選定と生態整理

魚の遡上に好適な水理条件  
 (流速・水深)・利用時期の整理

現地放流実験から既存放流管の活用が有力

魚道形式組合せ案の絞り込み  
 魚道組合せ案の選定  
 ④案 (せせらぎ+階段+II) 選定

魚道流量と魚道内流況の改善案検討  
 ・適正な魚道流量  
 ・魚道内流況改善案  
 ・魚道運用方法 (流量変化)

Ⓒ

Ⓓ

【問題 3】魚道出口ゲートの改善検討

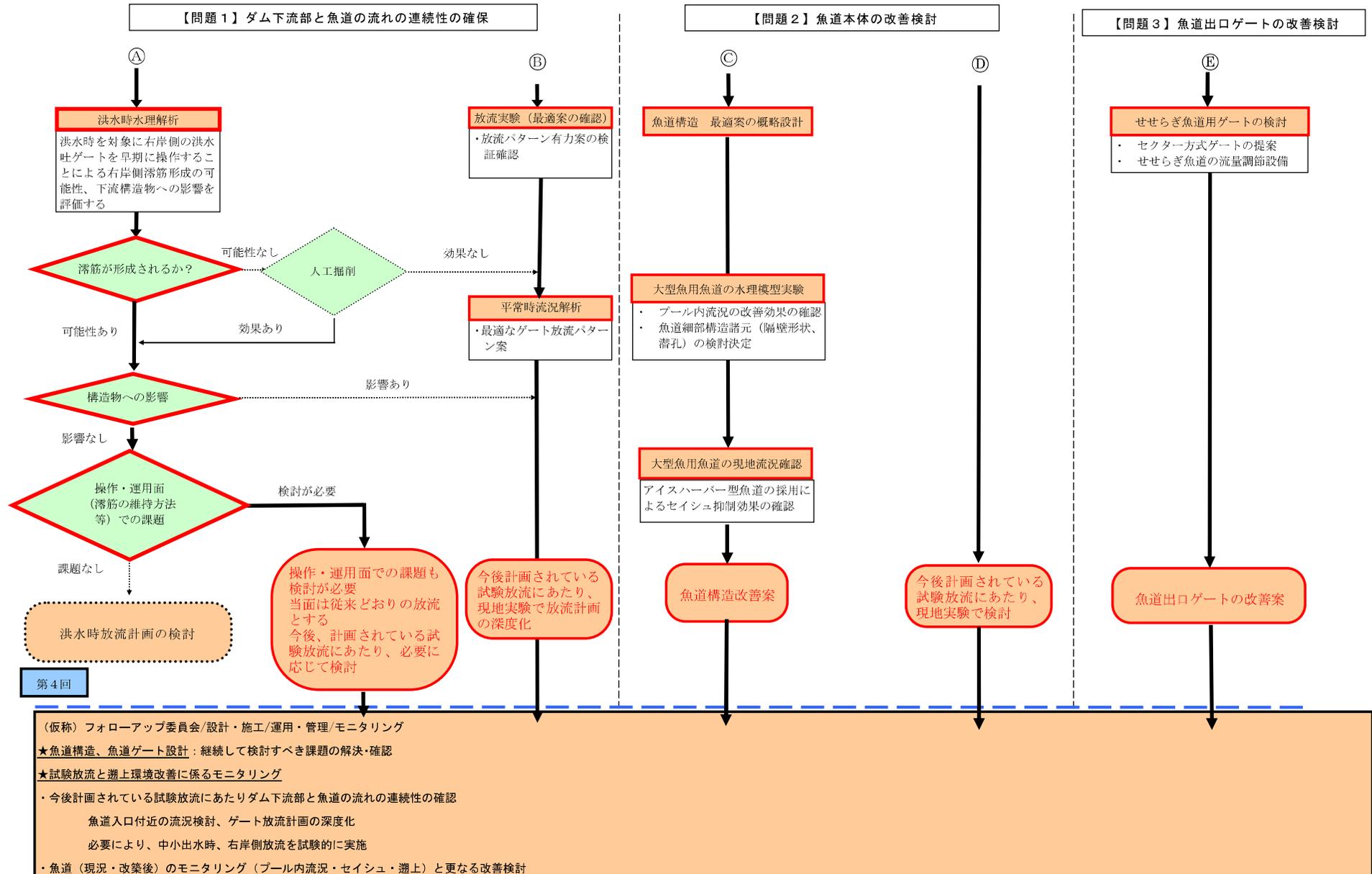
Ⓔ

比較検討

最適案の選定  
 ④案の選定  
 昇降式ローラゲート(河床掘削なし)

Ⓔ

第3回



# 信濃川発電所宮中取水ダム魚道構造改善検討委員会

## 第 4 回 委員会資料

### 目 次

1. ダム下流部と魚道の流れの連続性の確保	1
1.1 平常時の遡上環境改善の効果検討	1
1.2 洪水時の河床状況の推定	7
1.3 まとめと今後の課題	22
2. 魚道本体の改善検討	23
2.1 第 3 回委員会における検討結果	23
2.2 魚道の概略設計検討	23
2.3 まとめと今後の課題	50
3. 魚道出口ゲートの改善検討	51
3.1 階段式魚道（大型魚用・小型魚用）の流量調節設備	51
3.2 せせらぎ魚道の流量調節設備	53
3.3 まとめと今後の課題	56

平成 22 年 3 月 29 日

東日本旅客鉄道(株) 信濃川発電所業務改善事務所

# 1. ダム下流部と魚道の流れの連続性の確保

## 1.1 平常時の遡上環境改善の効果検討

### 1.1.1 現地放流追加実験

#### (1) 追加実験の目的

第3回委員会では宮中取水ダム魚道への魚の誘引効果を発揮できるダム放流パターン案について忌避行動による経路確保を目的にケース1、ケース2について、現地実験で確認を行うとともに、平常時流況解析を実施した結果、魚道入り口付近まで魚を導くことについては、主流路形成による経路確保を目的としたケース3～5のゲート放流方法で可能となることが考察された。

考察の確認を行うとともに、流況解析で表現できない気泡の発生や呼び水管からの湧き上がり流れの状況を把握し、最適ゲート放流方法案を確認することを目的に現地実験を行った。

前回委員会で提示した放流ケース案を図1.1.2に示す。

#### (2) 実験時諸元

追加実験時の諸元は、以下のとおりである。

表 1.1.1 追加実験ケース一覧

本川ゲート放流ケース	ゲート放流量 (m³/s)	実施日
ケース3 【主流路形成による経路確保】 呼び水放流へと繋がる流れを確保するため、魚道に近いゲートからの放流量を大きくして、右岸→左岸に流量大→小と階段状に放流する。ケース1の逆パターン放流である。	140.20～146.45	平成22年2月8日
ケース4 【主流路形成による経路確保】 呼び水放流へと繋がる右岸側の流れをさらに確保するため、ケース3をベースに8番ゲート～10番ゲートの放流量を大きくし、気泡により遡上経路を遮断しないよう、10番ゲートの放流量を抑え、3番ゲート～7番ゲートにもある程度放流する。	161.10～178.33	平成22年2月9日
ケース5 【忌避行動による経路確保】 操作性を考慮したケース2をベースに、左岸側からのゲート1門で比較的大きい流量を放流するとともに、呼び水放流へと繋がる流れを確保するため、8番ゲート～10番ゲートから放流する。	182.15～207.60	平成22年2月16日

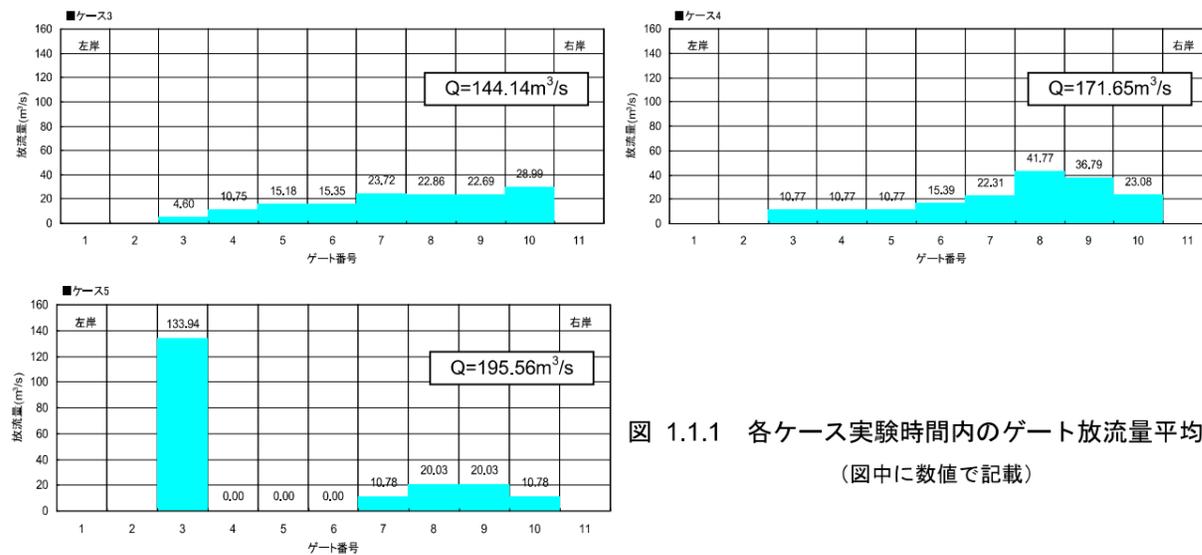


図 1.1.1 各ケース実験時間内のゲート放流量平均値 (図中に数値で記載)

#### ケース1【忌避行動による経路確保】

遡上経路を阻害しないこと、強い流れによって生じる循環流発生を抑制するため、全ゲートから放流する。左岸側から流量大→流量小とすることで遡上の忌避行動により魚道入り口(右岸側)へ誘導する。

#### ケース2【忌避行動による経路確保】

放流ゲート数を減らし、操作性に配慮したケースであり、左岸側の強い流れにより魚が嫌う大量の泡を発生させ、遡上の忌避行動により魚道の右岸側に誘導する放流方法である。

#### ケース3【主流路形成による経路確保】

呼び水放流へと繋がる流れを確保するため、魚道に近いゲートからの放流量を大きくして、右岸→左岸に流量大→小と階段状に放流する。ケース1の逆パターン放流である。

#### ケース4【主流路形成による経路確保】

呼び水放流へと繋がる右岸側の流れを強め、より遡上経路を確保するため、ケース3をベースに8番ゲート～10番ゲートの放流量を大きくし、気泡により遡上経路を遮断しないよう10番ゲートの放流量を抑え、3番ゲート～7番ゲートにもある程度放流する。

#### ケース5【忌避行動による経路確保】

操作性を考慮したケース2(左岸側の強い流れにより魚が嫌う大量の泡を発生させ、遡上の忌避行動により魚道の右岸側に誘導する考え方)をベースに、左岸側からのゲート1門で比較的大きい流量を放流するとともに、呼び水放流へと繋がる流れを確保するため、8番ゲート～10番ゲートから放流する。

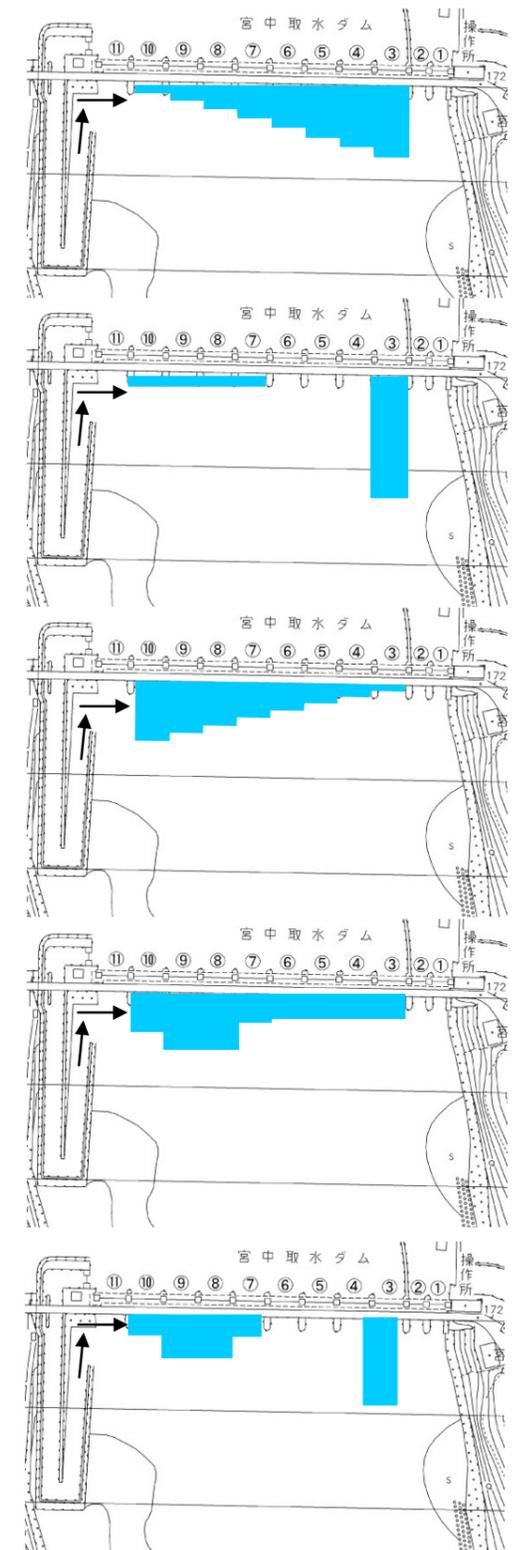


図 1.1.2 放流パターン案 (第3回委員会提示)

(3) 実験結果の概要

1) 宮中ダム下流河道と魚道入り口付近までの連続性確保について

- ケース 3 は、右岸側ゲートの放流による流れの直進性があり、かつ、みお筋である左岸側へ向かう流れが見られる。
- ケース 4 は、ケース 3 に比べてさらに流れの直進性が顕著に見られる。これは流量が  $170\text{m}^3/\text{s}$  程度とケース 3 に比べて  $30\text{m}^3/\text{s}$  大きいことも要因として考えられる。(ケース 3 と 4 を比較すると、ケース 4 は 8 番、9 番ゲート流量で合計  $80\text{m}^3/\text{s}$  程度となり、10 番ゲート流量を合計して約  $100\text{m}^3/\text{s}$  程度。一方ケース 3 は、8、9 番ゲートで約  $45\text{m}^3/\text{s}$ 、10 番ゲート流量を合計して約  $75\text{m}^3/\text{s}$  程度。)
- いずれのケースも魚道入り口付近で弱い循環流があるよどみが発生している。放流量や水位の違いにより異なるため、単純な比較はできないが、ケース 1、2 に比べてその範囲は概ね変わらないか若干小さくなっている。
- 呼び水管からの流れは ( $4.7\text{m}^3/\text{s}$ )、10 番ゲートまで到達しており、呼び水放流とゲート下流の流れの連続性が確保されている。
- 遡上環境として適切と考えられるのはケース 3、4 であり、ケース 5 は大きな循環流が形成されることで右岸側ゲートの放流による流れの直進性が阻害される結果となった。

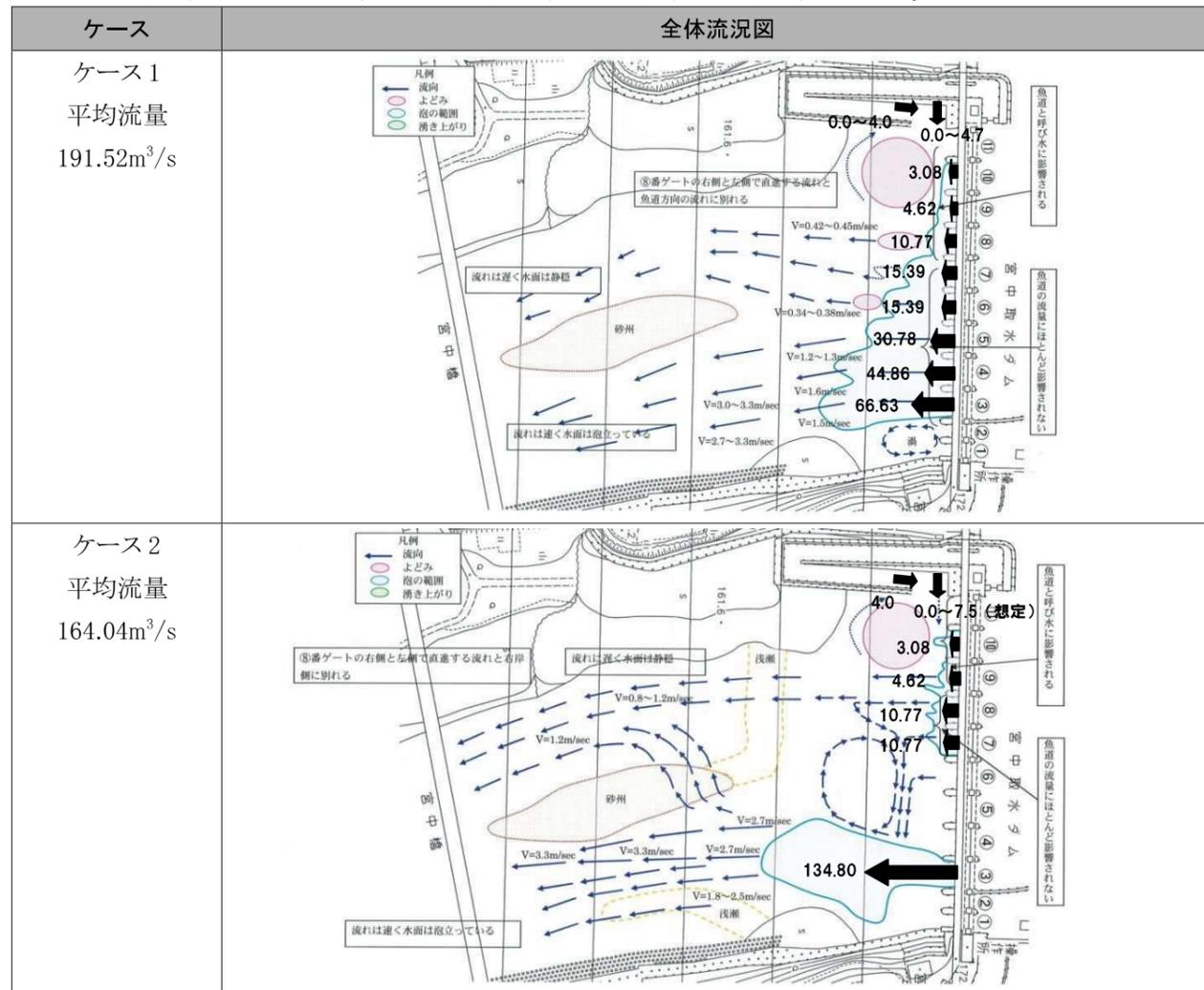


図 1.1.3 現地放流実験による全体流況図 (ケース 1,2 : 前回実験)

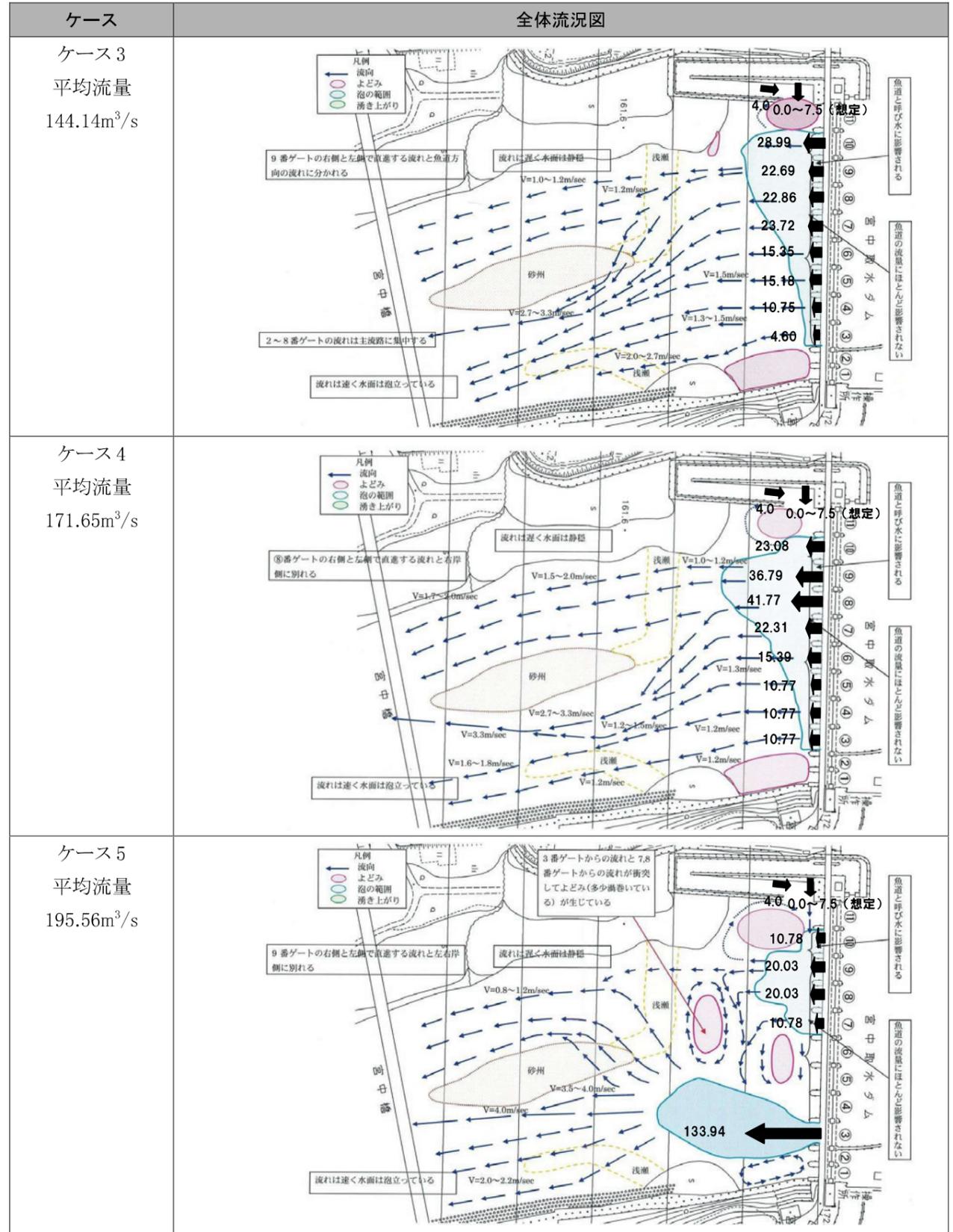


図 1.1.4 現地放流実験による全体流況図 (ケース 3~5 : 追加実験)



写真 1.1.1 宮中橋から宮中ダムを望む (ケース 3)



写真 1.1.2 左岸側から見た放流状況 (ケース 3)



写真 1.1.3 宮中橋から宮中ダムを望む (ケース 4)



写真 1.1.4 左岸側から見た放流状況 (ケース 4)



写真 1.1.5 宮中橋から宮中ダムを望む (ケース 5)



写真 1.1.6 左岸側から見た放流状況 (ケース 5)

## 2) 流況解析の検証

実験結果から遡上環境として適切と考えられるケース 3、4 について、実験当日の流量で平面二次元解析を行った。

図 1.1.5 に流況解析結果との比較を示す。ケース 3 では左岸側へ寄る流れが概ね表現されている。また、ケース 4 では、右岸側の流速が速くなっており、直進する流れが概ね表現されている。このことから、流況解析モデルの再現性の検証がなされたと考えられる。

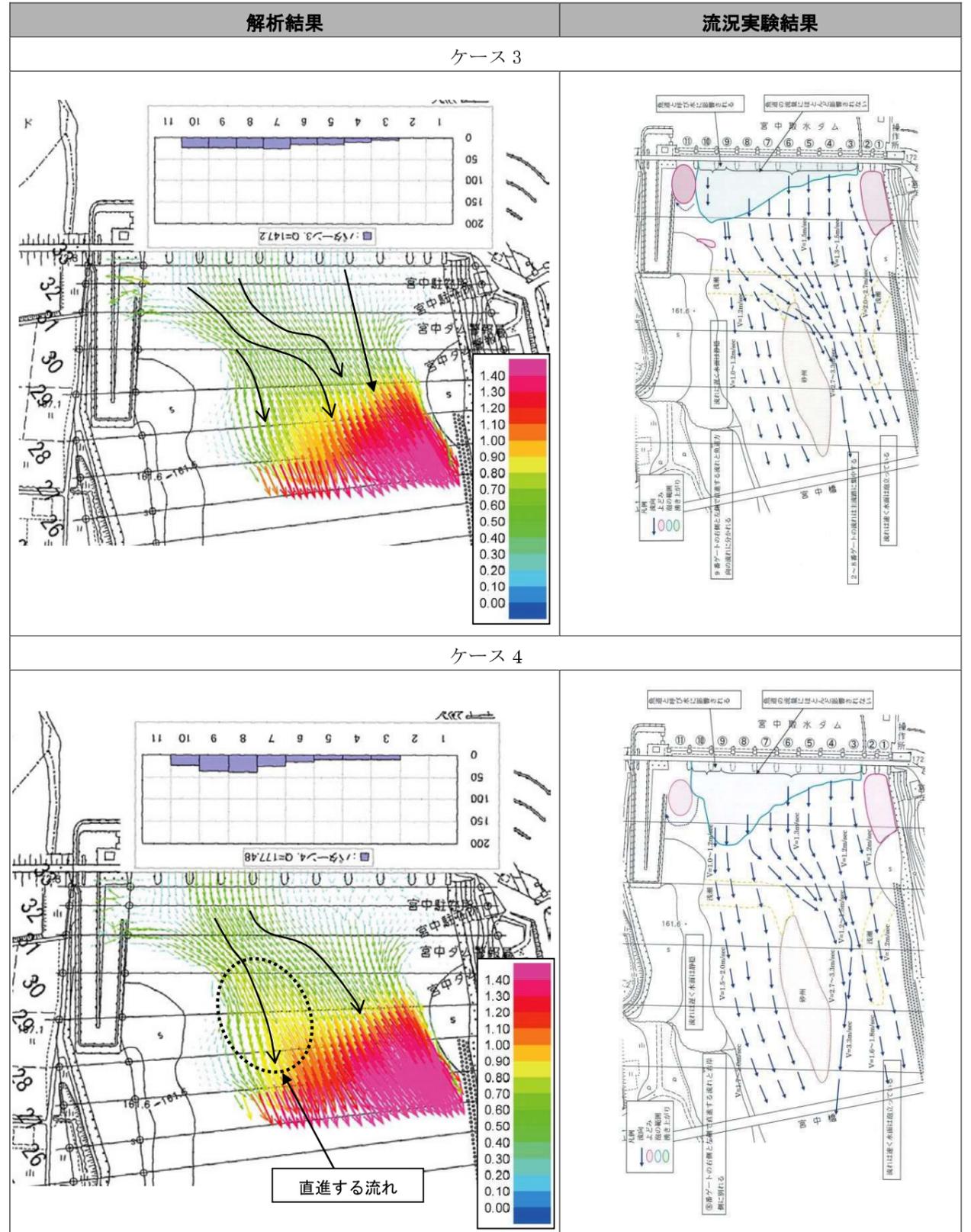


図 1.1.5 流況解析結果との比較 (ケース 3、4)

### 1.1.2 まとめと今後の課題

第3回委員会において提示した、宮中取水ダム魚道への魚の誘引効果を発揮できるダム放流パターン案について現地放流追加実験を実施し、解析結果との比較を行った結果、概ね実験結果と解析結果が整合していることが確認できた。

このことから、望ましいダム放流パターン案を第3回委員会で提示された「主流路形成による経路確保」案（ケース3、4）とし、100m<sup>3</sup>/sおよび50m<sup>3</sup>/sでの流況解析を実施した結果を図1.1.6に示す。

#### 【望ましい放流パターン案】

##### 「主流路形成による経路確保」案（ケース3、4）

この結果、100m<sup>3</sup>/sでは、ケース3、4ともゲート直下で循環流が生じるが、下流流れとの連続性は確保されている。一方、50m<sup>3</sup>/sでは、ケース3、4とも流量が小さくなることで遡上経路が狭められてしまう結果100m<sup>3</sup>/sと同様にゲート直下で発生する循環流により魚道入り口まで到達できない可能性が考えられる。この理由として、流量が小さくなることで、1門当たりのゲート放流量が小さくなると、下流へ押し出す力が弱まり、流れの直進性が無くなることが挙げられる。

このため、50m<sup>3</sup>/sでは、1門ないし2門程度で1門当たりのゲート放流量を確保する放流方法を検討した。放流パターンについては、現地放流追加実験及び100m<sup>3</sup>/sでの流況解析結果から、ケース3の考え方を採用した。結果を図1.1.7に示す。これより、1門当たりのゲート放流量が確保され下流へ押し出す力が強まることで流れの直進性が強まり、下流流れとの連続性が確保される結果となった。

以上のことから、流量が小さい場合には、ゲート運用門数を少なくし、1門当たりのゲート放流量を確保する放流方法が望ましい。一方で流量が大きい場合には、この運用をベースにゲート運用門数を増やしていき、最終的にケース3、4のような放流方法へ移行していくことが適当であると考えられる。今後、計画されている試験放流により確認、検証を行っていく。

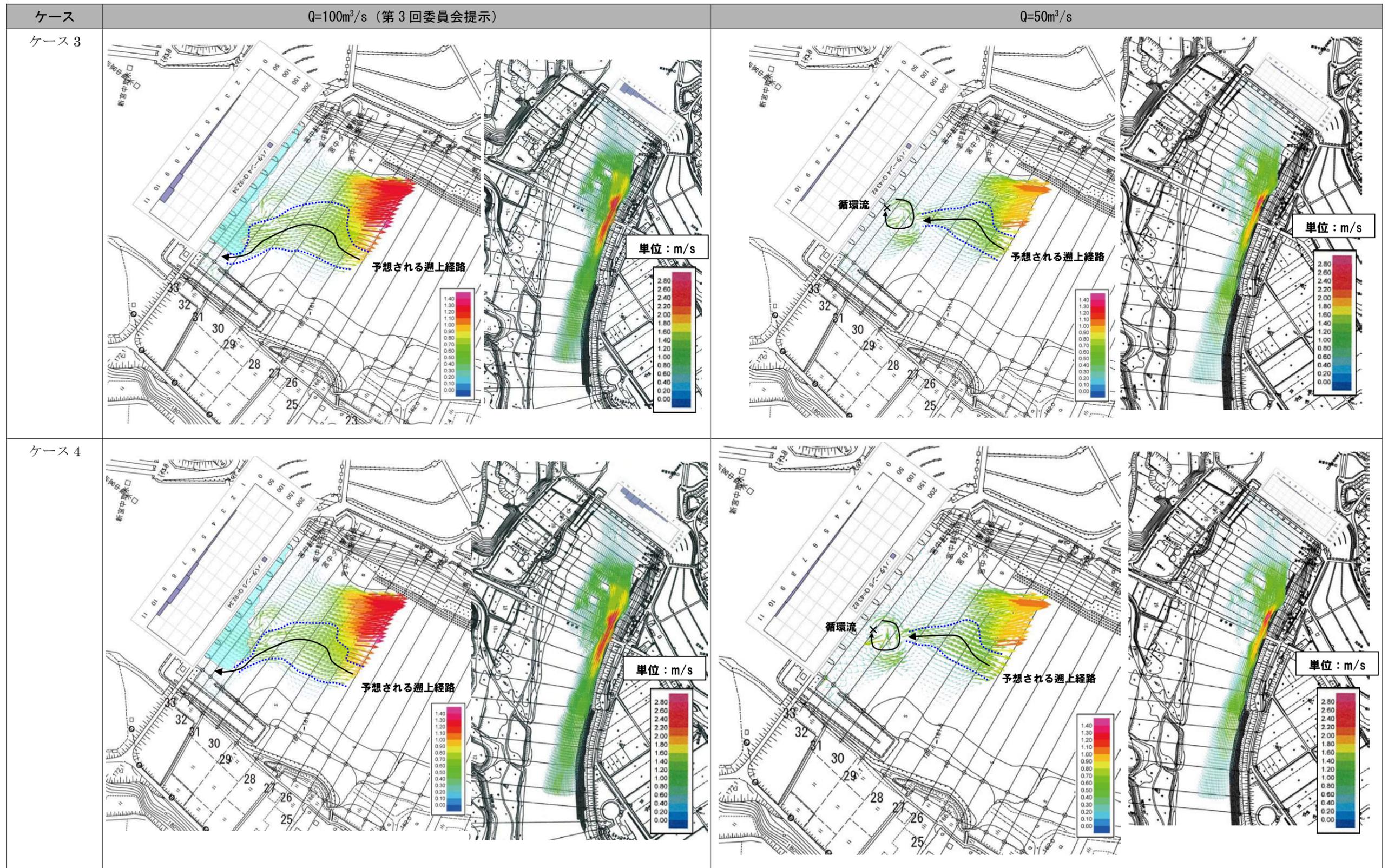


図 1.1.6 「主流路形成による経路確保」案：50m<sup>3</sup>/s、100m<sup>3</sup>/s 時の全ゲート（3 番～10 番ゲート）運用での結果

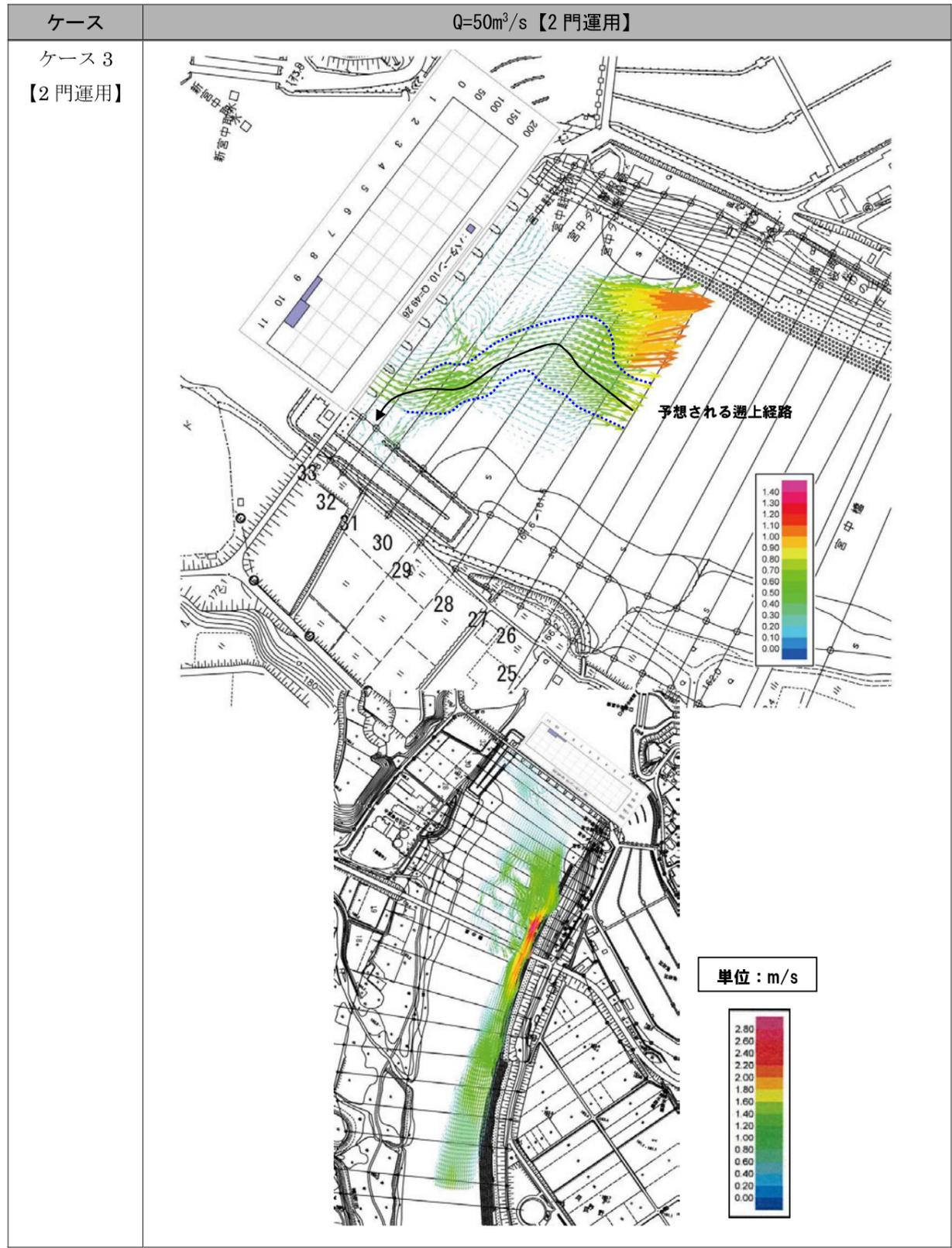


図 1.1.7 「主流路形成による経路確保」案：50m<sup>3</sup>/s 時の 2 門運用での結果

## 1.2 洪水時の河床状況の推定

### 1.2.1 検討目的

平常時流況解析の結果から、滞筋が左岸側のままであっても、ゲート放流方法によりダム下流部の流れとの連続性を確保することが可能であるとの結果が得られた。しかし、滞筋と魚道が反対側に位置していることから、できれば滞筋は右岸側にあったほうが良いと考えられる。

一方、第2回委員会では、宮中ダム下流河道の河道形状（河床高、滞筋等）の変遷を整理した結果、洪水時の流量規模によれば、ゲート操作により右岸側の滞筋の形成が期待できることが確認されている。

このことを踏まえ、洪水時流況解析を実施し、右岸側を優先してゲート放流したときの土砂移動状況を把握し、滞筋形成の可能性について検討を行うとともに、護岸、橋脚等下流既設構造物への影響について検討を行う。

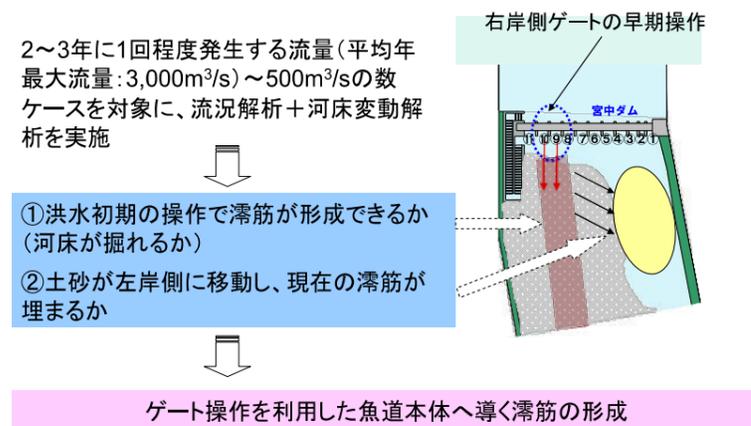


図 1.2.1 洪水時解析の評価の視点

### 1.2.2 解析条件

洪水時解析条件の概要を表 1.2.1 に示す。

表 1.2.1 計算条件概要

項目	内容
対象外力	<ul style="list-style-type: none"> <li>十日町観測所の平成 11 年～平成 20 年の平均年最大流量（年最大流量の平均）である 2,900m<sup>3</sup>/s 程度の流量を記録した平成 19 年 9 月 7 日～8 日出水 (2,504m<sup>3</sup>/s)</li> <li>年最大流量のうち、渇水年を除く最低流量である 1,500m<sup>3</sup>/s 程度の流量を記録した平成 17 年 8 月 15 日～16 日出水 (1,531m<sup>3</sup>/s)。</li> </ul>
対象期間	・1 洪水期間とした。
検証の対象区間	・宮中ダム直下～73.0k（ミオンなかざと下流）
河道断面	・H15 測量断面をベースに H21 測量断面箇所を差し替えて作成
河床材料粒度分布	<ul style="list-style-type: none"> <li>・混合粒径とする。</li> <li>・粒度組成は、平成 21 年度調査結果（ダム上下流）を用いて粒径区分毎に設定</li> </ul>
上流端土砂量	・洪水流量に見合った掃流土砂量を与えた
支川からの流入土砂量	・宮中ダム下流右岸の支川は、規模が小さく、流入土砂は無視しえるほど小さいと考えられるため無視する。
下流端水位	・最下流端断面における不等流水位

### (1) 対象流量

対象流量は、以下に示す 2 波形とした。

- ・十日町観測所の平成 11 年～平成 20 年の平均年最大流量（年最大流量の平均）である 2,900m<sup>3</sup>/s 程度の流量を記録した平成 19 年 9 月 7 日～8 日出水 (2,504m<sup>3</sup>/s)
- ・年最大流量のうち、渇水年を除く最低流量である 1,500m<sup>3</sup>/s 程度の流量を記録した平成 17 年 8 月 15 日～16 日出水 (1,531m<sup>3</sup>/s)。

表 1.2.2 十日町（姿）水位観測所月別最大流量（平成 11 年～平成 20 年）

	平成11年	平成12年	平成13年	平成14年	平成15年	平成16年	平成17年	平成18年	平成19年	平成20年
1月	14.56	40.44	15.56	145.76	83.30	26.62	308.77	438.16	14.16	11.70
2月	95.40	15.91	315.26	13.70	21.48	740.00	311.41	419.11	21.76	10.25
3月	430.80	483.00	342.37	487.79	246.55	96.70	497.41	609.56	135.08	235.68
4月	564.53	842.24	646.10	716.52	1421.15	503.85	730.81	761.92	273.05	906.61
5月	731.00	600.90	765.15	389.87	731.29	1946.43	659.56	988.26	483.10	667.49
6月	3309.57	1162.33	1082.05	43.68	315.56	530.41	888.76	434.95	644.11	1139.72
7月	3335.92	804.51	877.57	2154.01	329.80	384.53	1512.82	5420.56	913.83	532.00
8月	3641.89	220.21	1163.45	288.90	965.49	37.09	1531.11	135.83	184.93	478.16
9月	2215.50	2379.85	3027.64	606.66	393.06	1598.26	678.99	617.15	2504.24	307.07
10月	1452.29	264.00	689.57	1897.60	24.85	6193.00	108.95	1309.75	1156.57	273.90
11月	401.15	1168.75	237.76	35.91	870.30	719.45	128.57	182.11	225.66	158.28
12月	133.92	23.53	63.10	21.81	801.53	1101.08	110.52	1056.90	160.03	382.02
年最大流量	3641.89	2379.85	3027.64	2154.01	1421.15	6193.00	1531.11	5420.56	2504.24	1139.72
									平均	2941.32

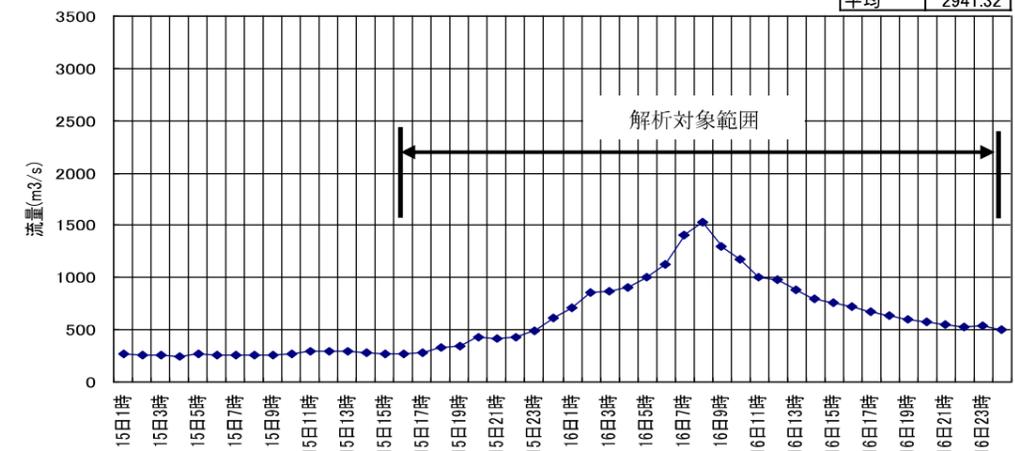


図 1.2.2 対象洪水波形①：平成 17 年 8 月 15-16 日

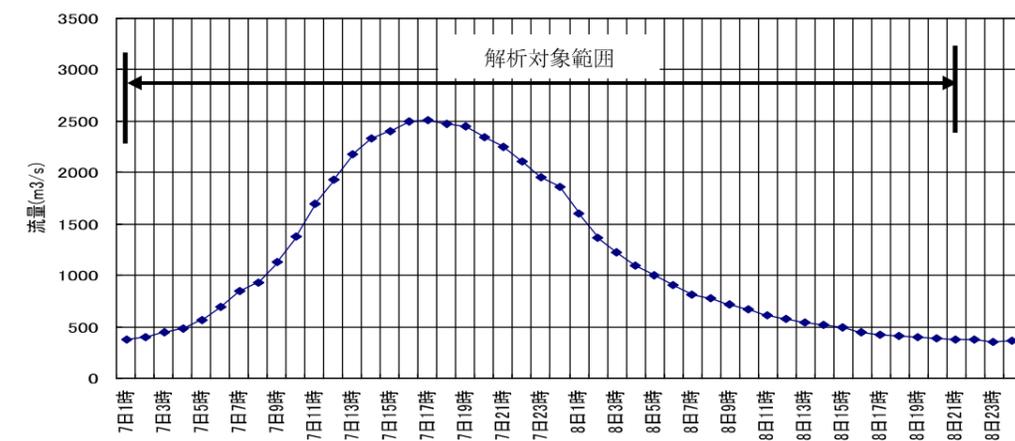


図 1.2.3 対象洪水波形②：平成 19 年 9 月 7～8 日

(2) 河床材料

河床変動計算の粒度組成に使用するため、平成 21 年 12 月、平成 22 年 1 月にダム上下流において河床材料を採取し、粒度試験を実施した。その結果を図 1.2.4 に示す。

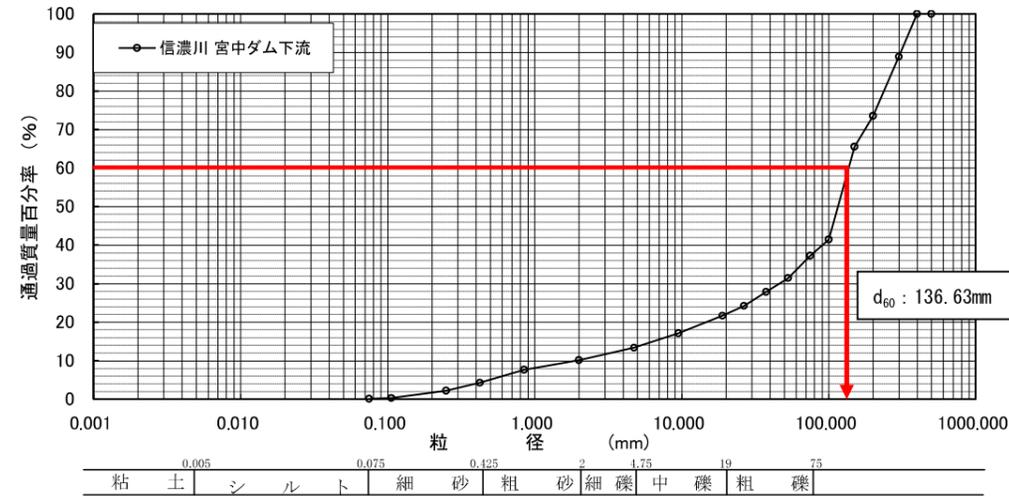


図 1.2.4(1) 粒径加積曲線 (宮中ダム下流)

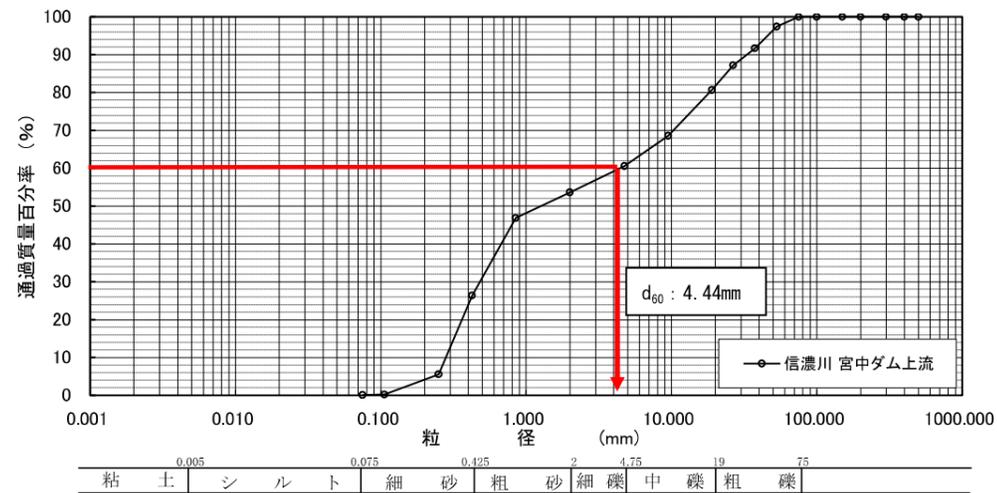


図 1.2.4 (2) 粒径加積曲線 (宮中ダム上流)



写真 1.2.1 宮中ダム下流の河床材料



写真 1.2.2 宮中ダム上流の河床材料

(3) ゲート操作の考え方

洪水時のゲート操作については、「宮中ダム操作規程」により規定されている。1,500m<sup>3</sup>/s および 2,500m<sup>3</sup>/s 時のゲート開閉位置と開度を示す。本解析においては、現行操作規程と現行操作規程を一門スライドさせたゲート開閉の 2 ケースを行った。

第 13 条 ダムの洪水吐ゲート及び排砂ゲート（以下この条において「ゲート」という。）は、左岸に最も近いものから右岸に向かって順次「第 1 号ゲート」、「第 2 号ゲート」、「第 3 号ゲート」の順に「第 11 号ゲート」までとする。  
2 ダムの洪水吐から放流する場合には、ゲートを次の順序によって開き、開かれたゲートを閉じるときは、「第 6 号ゲート」、「第 7 号ゲート」、「第 8 号ゲート」の開度 1m 以下を除き、これを開いた順序の逆の順序によってするものとする。

第 13 条 ダムの洪水吐ゲート及び排砂ゲート（以下この条において「ゲート」という。）は、左岸に最も近いものから右岸に向かって順次「第 1 号ゲート」、「第 2 号ゲート」、「第 3 号ゲート」の順に「第 11 号ゲート」までとする。  
2 ダムの洪水吐から放流する場合には、ゲートを次の順序によって開き、開かれたゲートを閉じるときは、「第 6 号ゲート」、「第 7 号ゲート」、「第 8 号ゲート」の開度 1m 以下を除き、これを開いた順序の逆の順序によってするものとする。

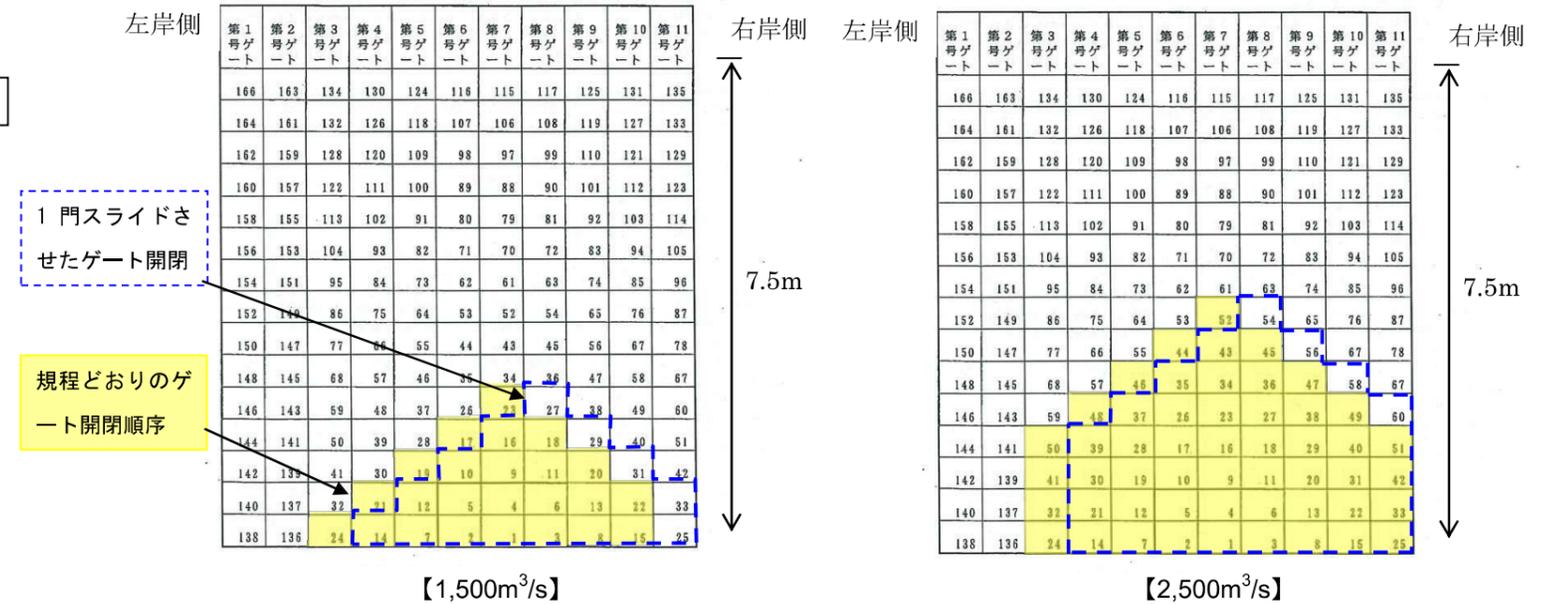


図 1.2.5 ゲート操作の考え方

1.2.3 解析手順

解析手順は、下図のとおりであり、二次元平面流モデルに河床変動モデルを付加し、流れの計算で得られた水理量を用いて、流砂量計算を行い、河床変動量の算定を行う。流砂量は掃流砂と浮遊砂を取り扱い、それぞれ一般的に用いられる流砂量式により流砂量を計算する。

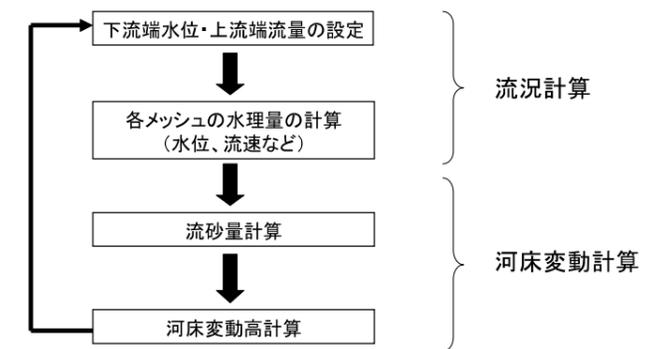


図 1.2.6 解析手順

## 1.2.4 解析結果

### (1) 平成 17 年 8 月 15 日洪水 (Q=1,500m<sup>3</sup>/s 規模)

#### a) 流況

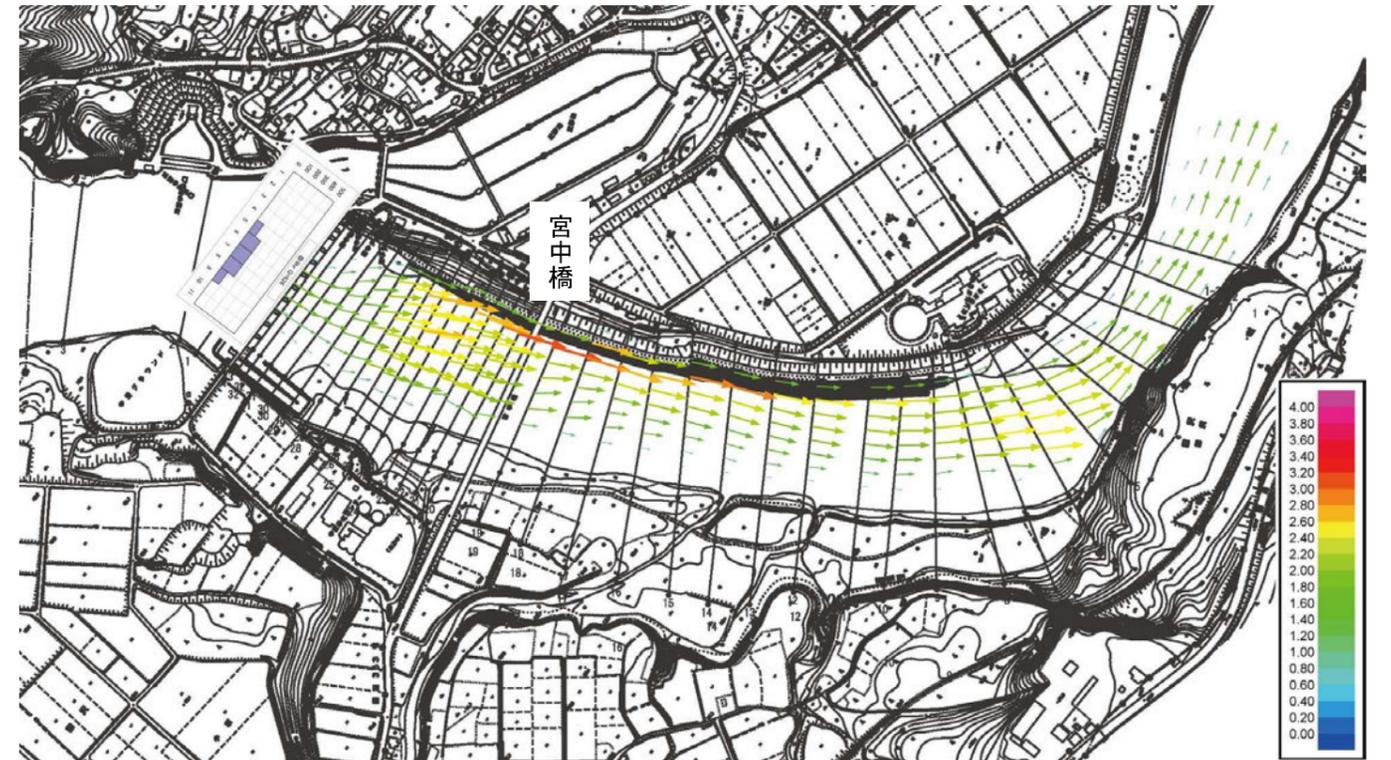
洪水の立ち上がり、ピーク時、低減時の 3 時点の流速ベクトル図を図 1.2.7～図 1.2.9 に示す。

- 現行操作規程と 1 門スライド放流での流速の平面的な変化は、宮中ダムから宮中橋付近までであり、宮中橋下流については、両者の変化はほとんど見られない。
- 1 門スライド放流では、スライドの影響を受け、ダム直下では、4 号、5 号ゲート付近で流速が小さくなり、逆に 10 号、11 号ゲート付近で流速が大きくなるが、1 門スライドによる流れの直進は見られず、左岸側への流れが強く、流向、流速とも宮中橋付近ではほぼ現行操作規程のものと同くなる。
- 宮中橋付近の流速は、両者ともピーク時で 2m/s～3m/s であり、1 門スライドによる変化はほとんど見られない。最大の流速は、宮中橋下流の屈曲下流付近部に発生し、約 3.5m/s 程度に達する。しかし、これらは、現況でも 1 門スライドでも発生位置、大きさに変化は見られない。
- 1 門スライドによる 10 号、11 号ゲートからの直進する流れにより、右岸側に流れが発生するが、宮中橋付近では右岸側の流れはほぼ現況と等しくなる。

#### b) 河床変動

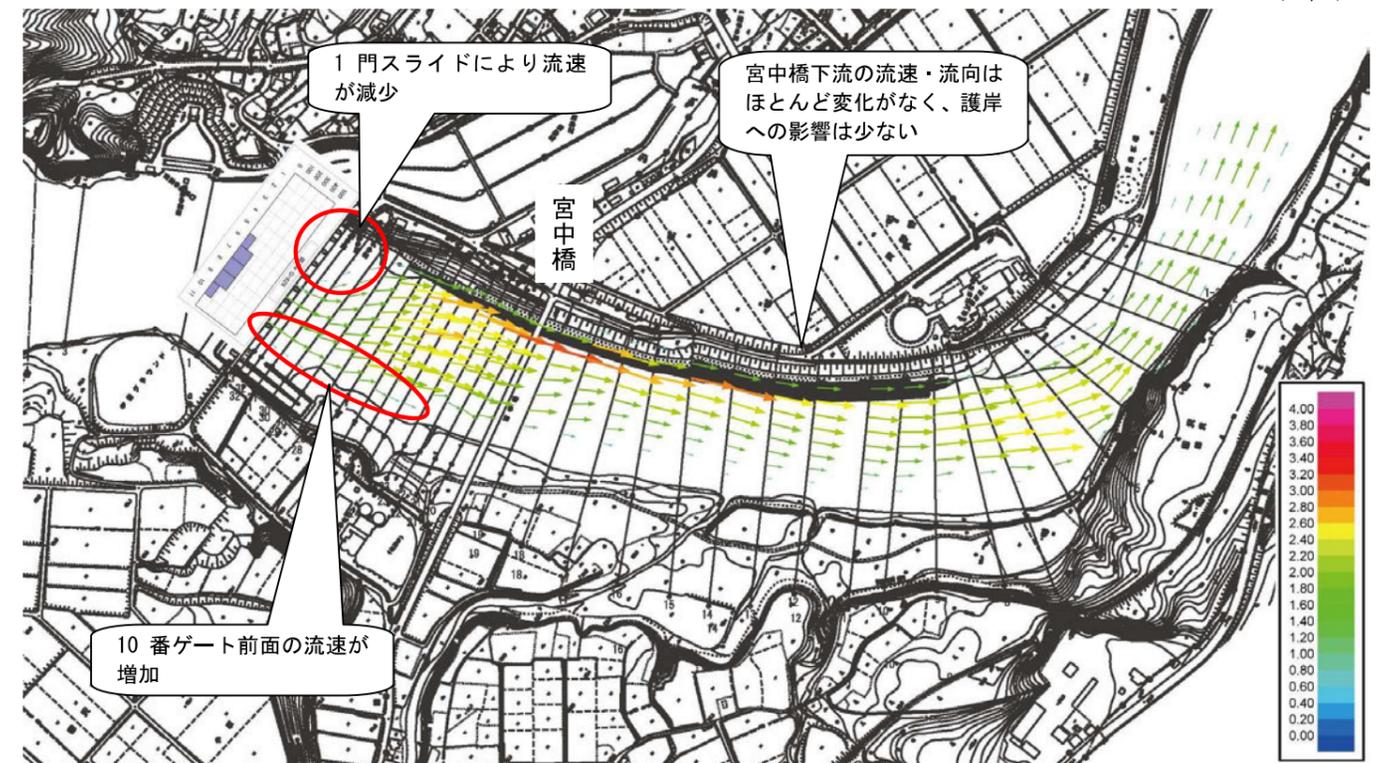
洪水の立ち上がり、ピーク時、減水時の 3 時点の河床変動高図を図 1.2.10～図 1.2.12 に示す。

- 現行操作規程と 1 門スライド放流での河床変動高の平面的な変化は、宮中ダム直下から洗掘傾向にあり、宮中ダム～宮中橋間に最も洗掘する箇所が存在する。その後、宮中橋～宮中橋下流にかけて、概ね変化が少ないか、若干堆積傾向になり、さらに下流区間は左に大きく湾曲している区間で洗掘したのち、その下流で堆積する。これらは、流速の状況と対応しており、概ね現象を表現していると考えられる。
- 洪水ピーク時の河床変動高をみると、宮中ダム～宮中橋において、約 10～20cm の河床低下が予測され、現行操作規程と 1 門スライドでは、1 門スライドのほうが洗掘深の深い箇所が右岸側に発生する。なお、1 門スライドでは、その下流の宮中橋付近には、堆積箇所が発生する。
- 洪水低減時の河床変動高をみると、ダム下流の洗掘は 1 門スライドのほうが若干大きいことが予測された。ただし、宮中橋下流についてはほぼ等しい河床高変動分布となった。1 門スライドでは、ダム下流で洗掘された土砂がその直下に堆積している状況が予測された。
- 宮中橋地点での河床変動状況は、両者とも左岸側の流れが集中する箇所では概ね 20～30cm 程度の洗掘が予測され、中央、右岸側で概ね変化がないか、若干洗掘（10cm 未満）傾向にあることが分かった。ただし、1 門スライドさせることによる影響はほとんどなかった。



【現行操作規程の放流パターン】

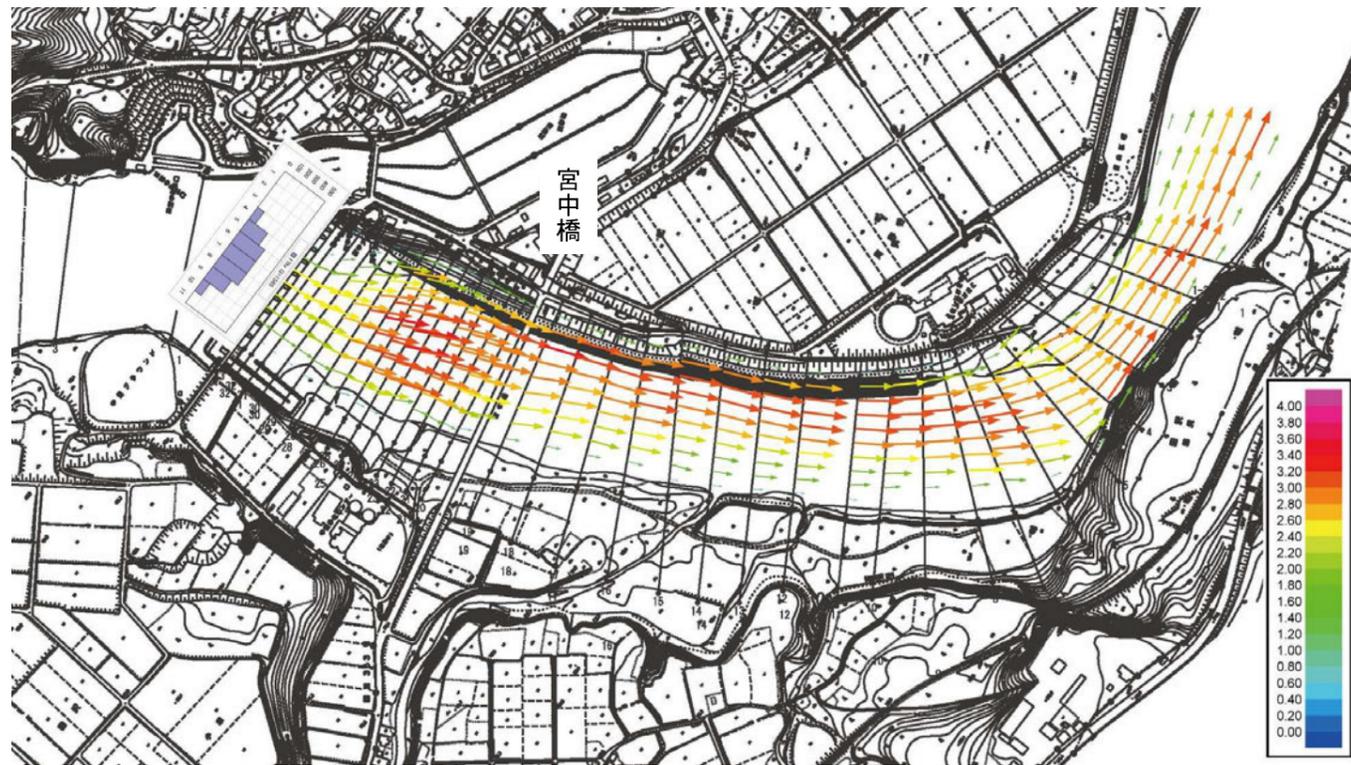
(m/s)



【1 門スライド】

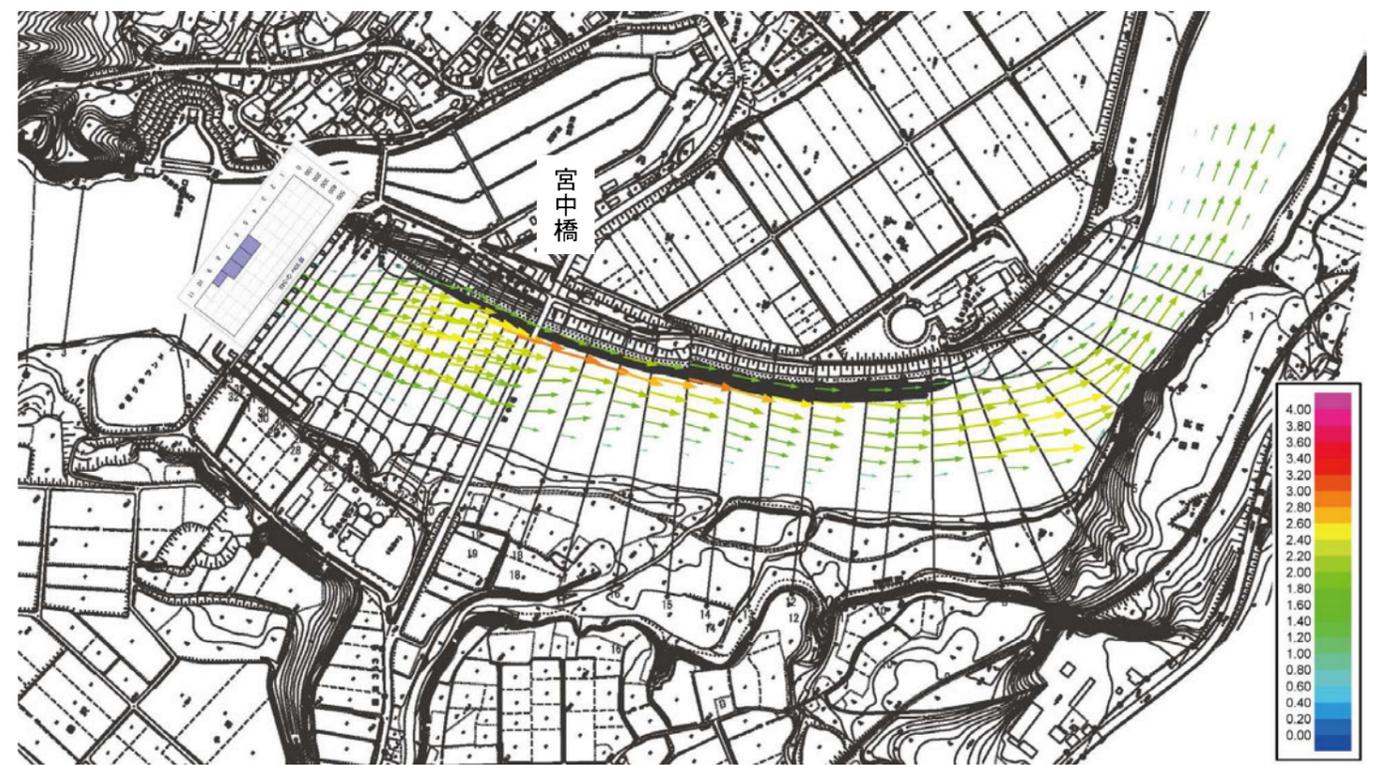
(m/s)

図 1.2.7 宮中ダム下流流速ベクトル計算結果 (H17.8.15 洪水 : Qp=1,565m<sup>3</sup>/s, T=9hr, Q=626m<sup>3</sup>/s)



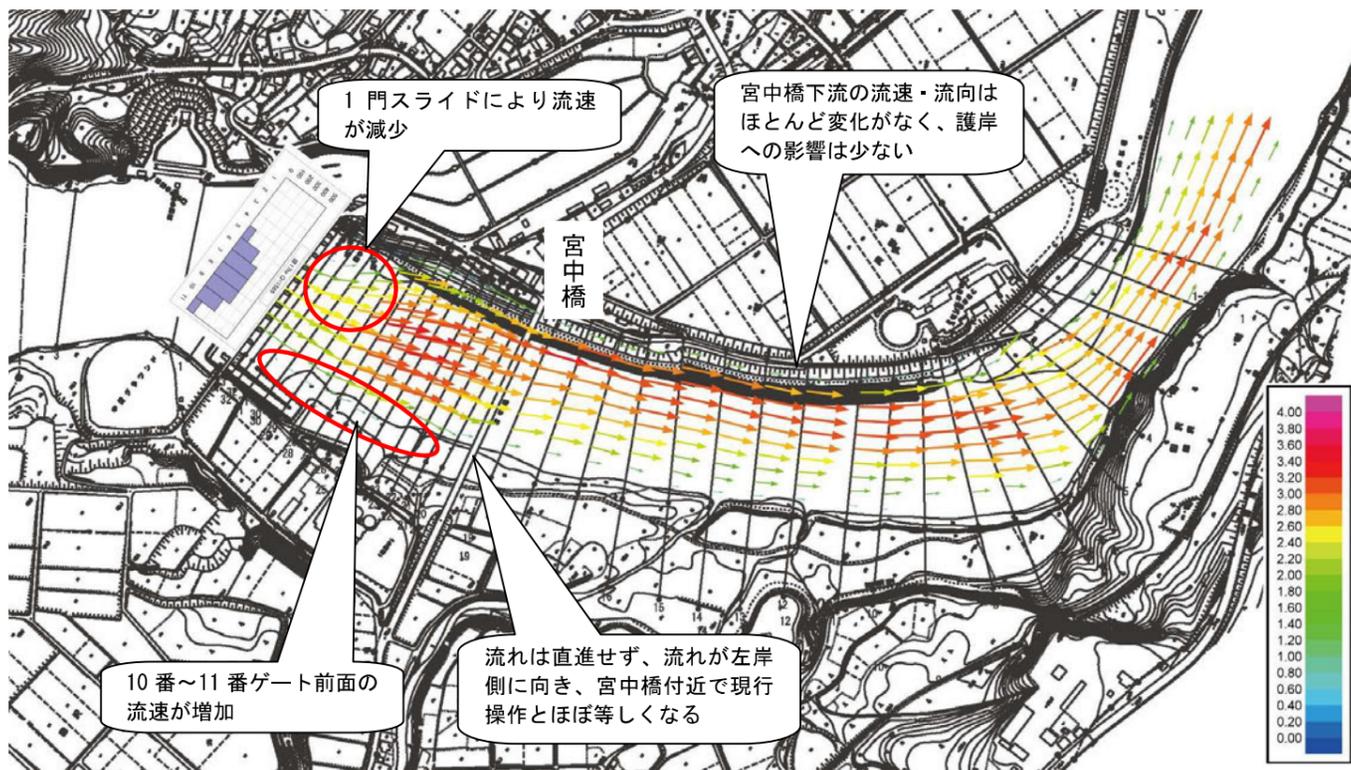
【現行操作規程の放流パターン】

(m/s)



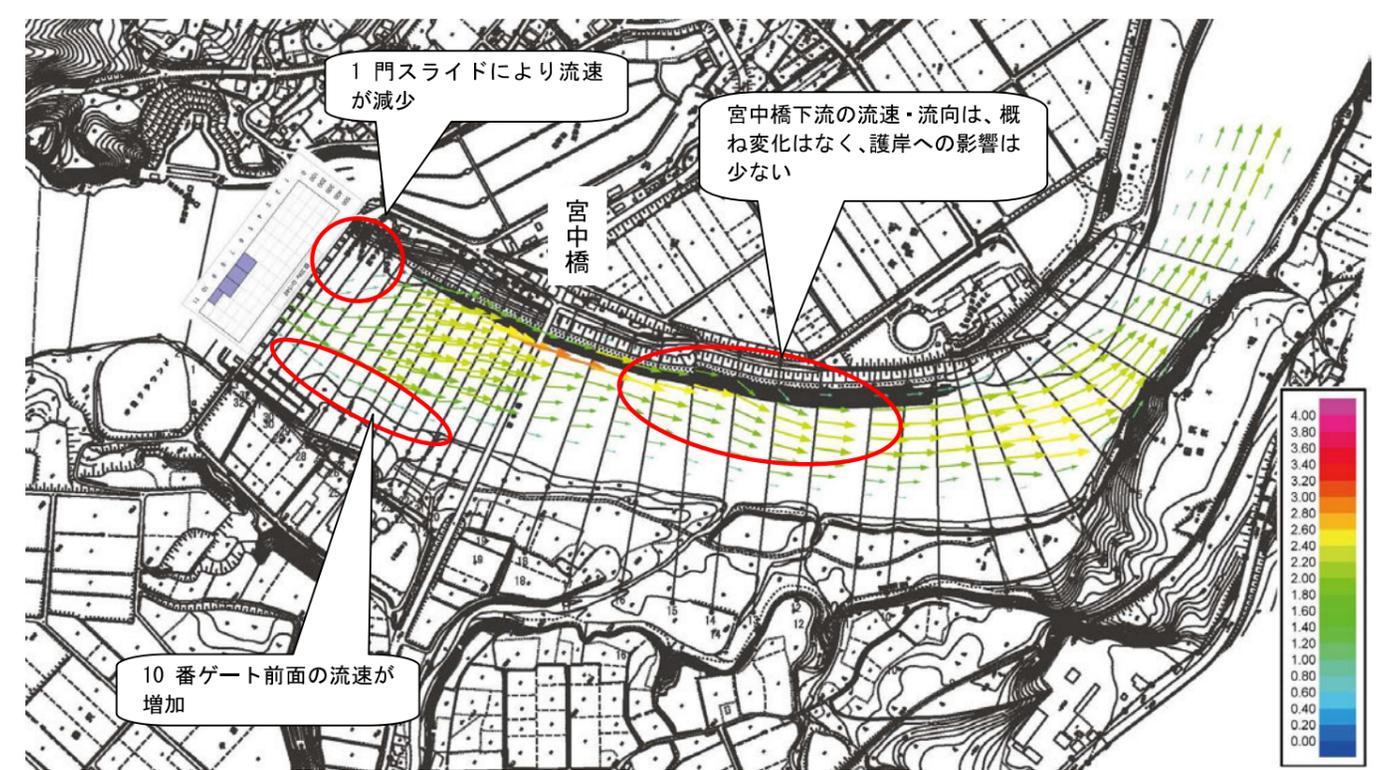
【現行操作規程の放流パターン】

(m/s)



【1 門スライド】

(m/s)

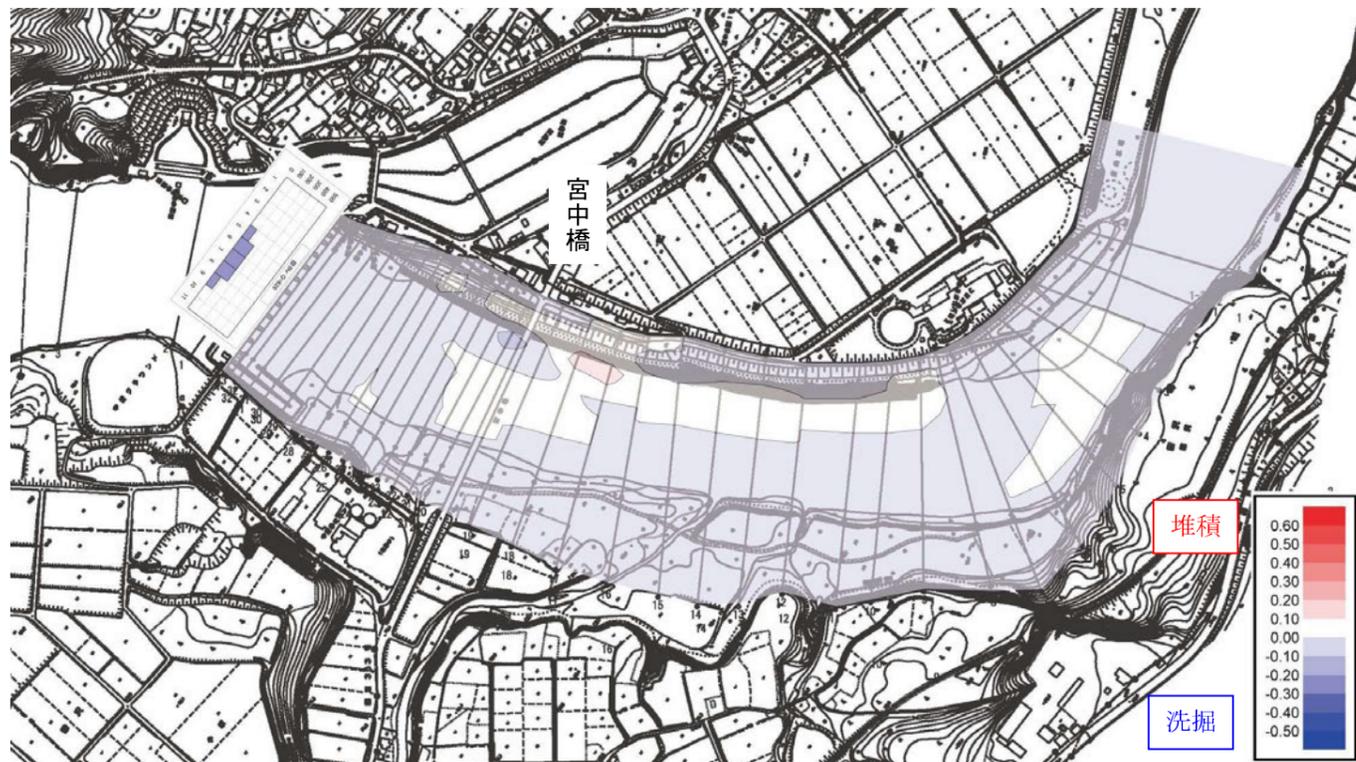


【1 門スライド】

(m/s)

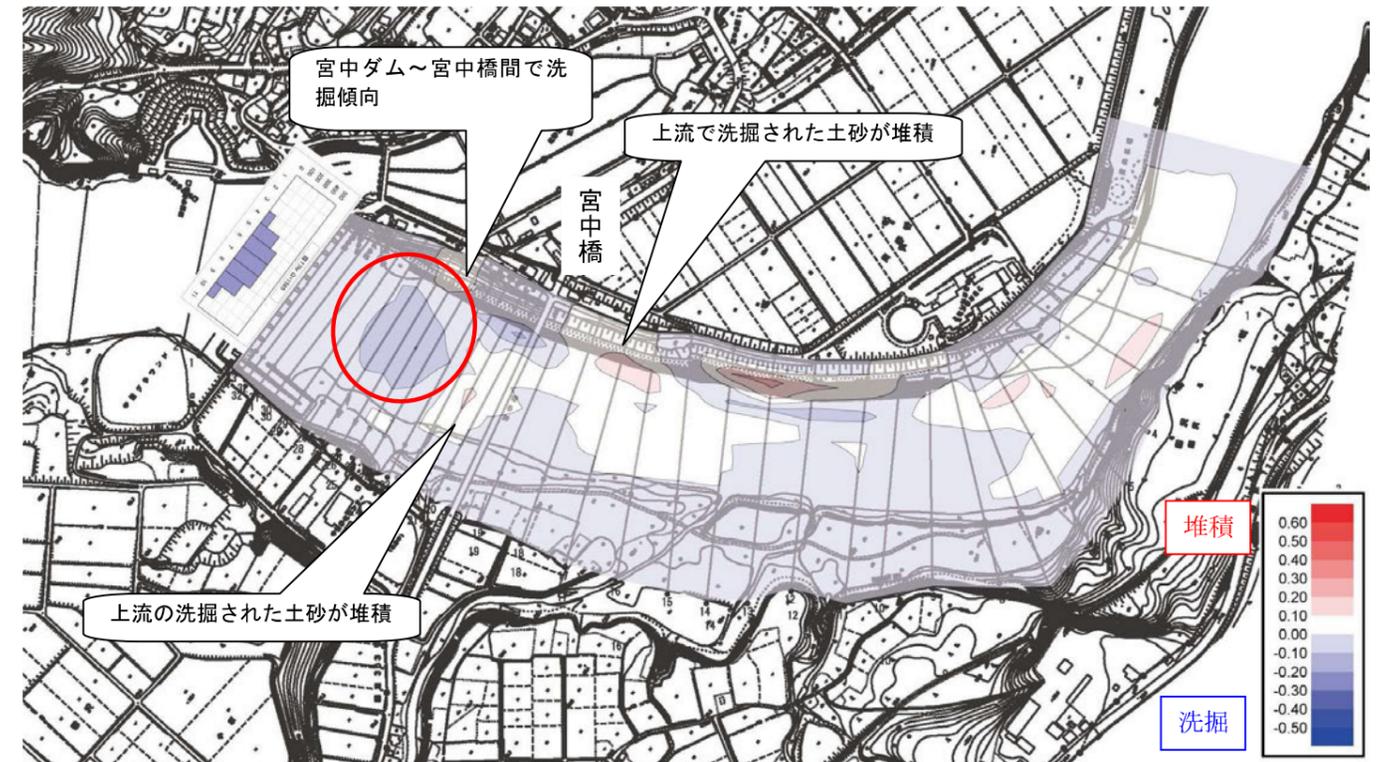
図 1.2.8 宮中ダム下流流速ベクトル計算結果 (H17.8.15 洪水:  $Q_p=1,565\text{m}^3/\text{s}$ ,  $T=17\text{hr}$ ,  $Q=1565\text{m}^3/\text{s}$ )

図 1.2.9 宮中ダム下流流速ベクトル計算結果 (H17.8.15 洪水:  $Q_p=1,565\text{m}^3/\text{s}$ ,  $T=30\text{hr}$ ,  $Q=548\text{m}^3/\text{s}$ )



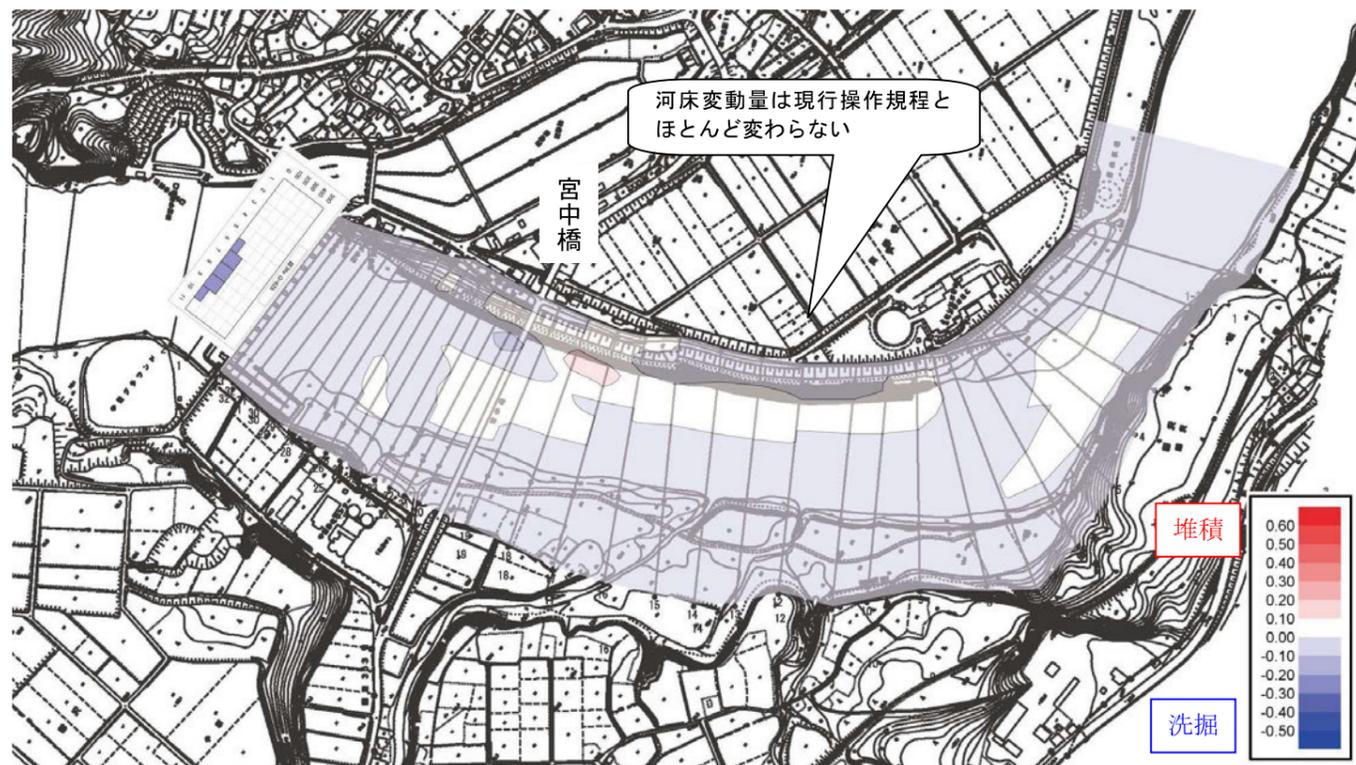
【現行操作規程の放流パターン】

(m)



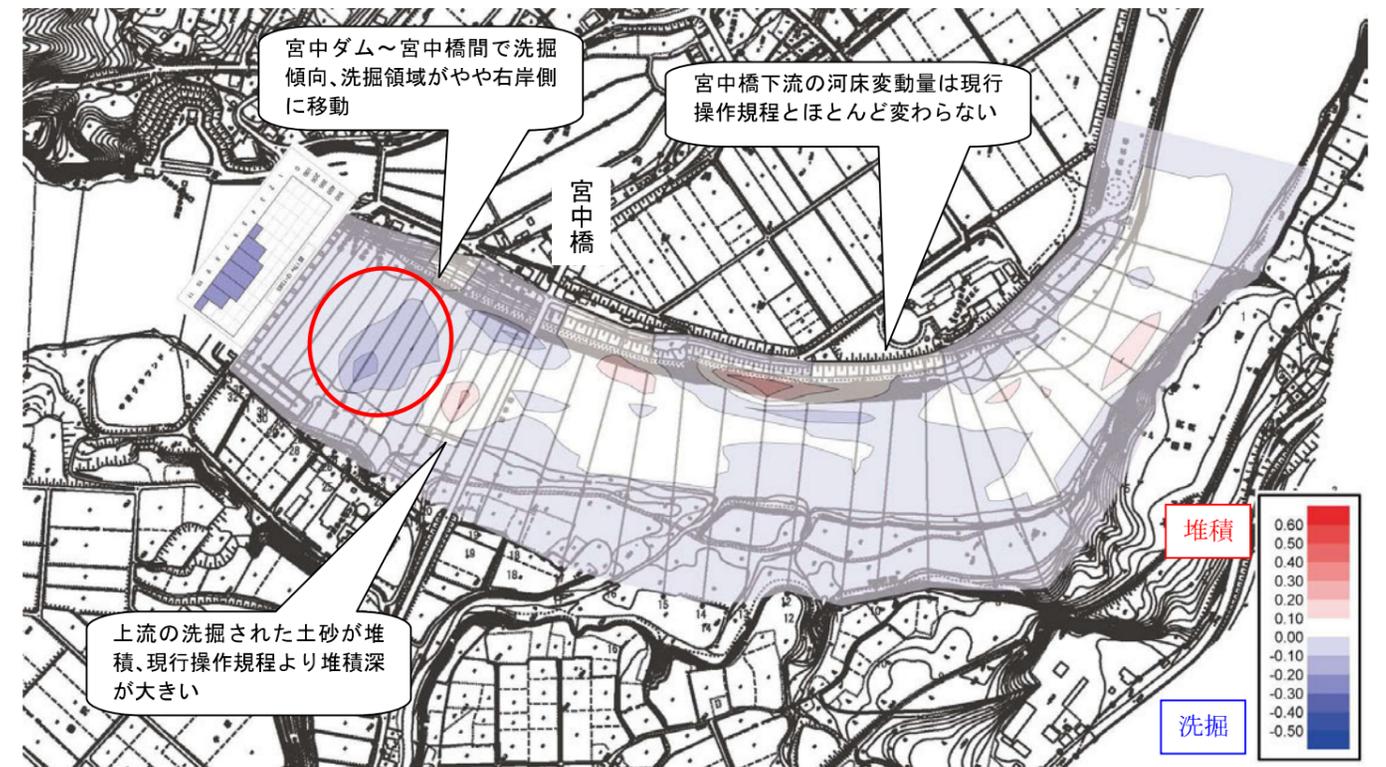
【現行操作規程の放流パターン】

(m)



【1門スライド】

(m)

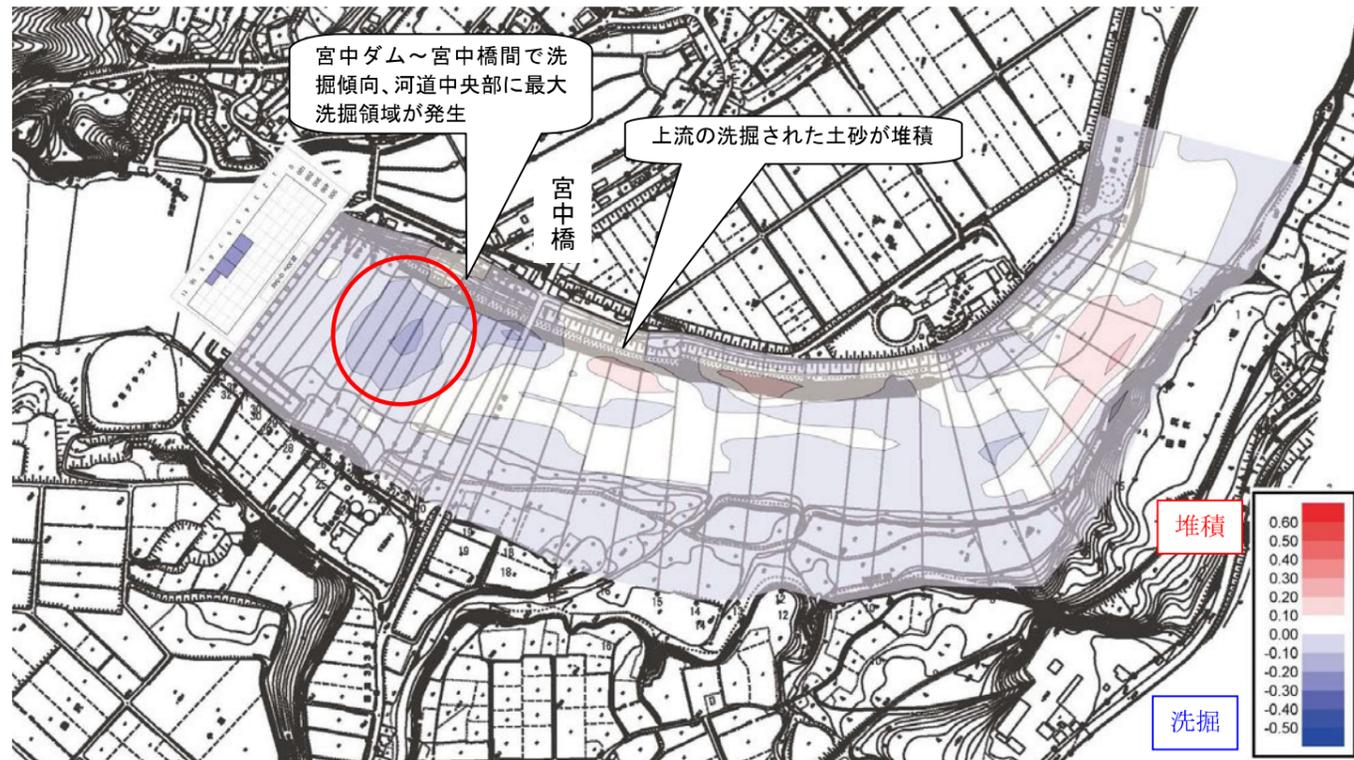


【1門スライド】

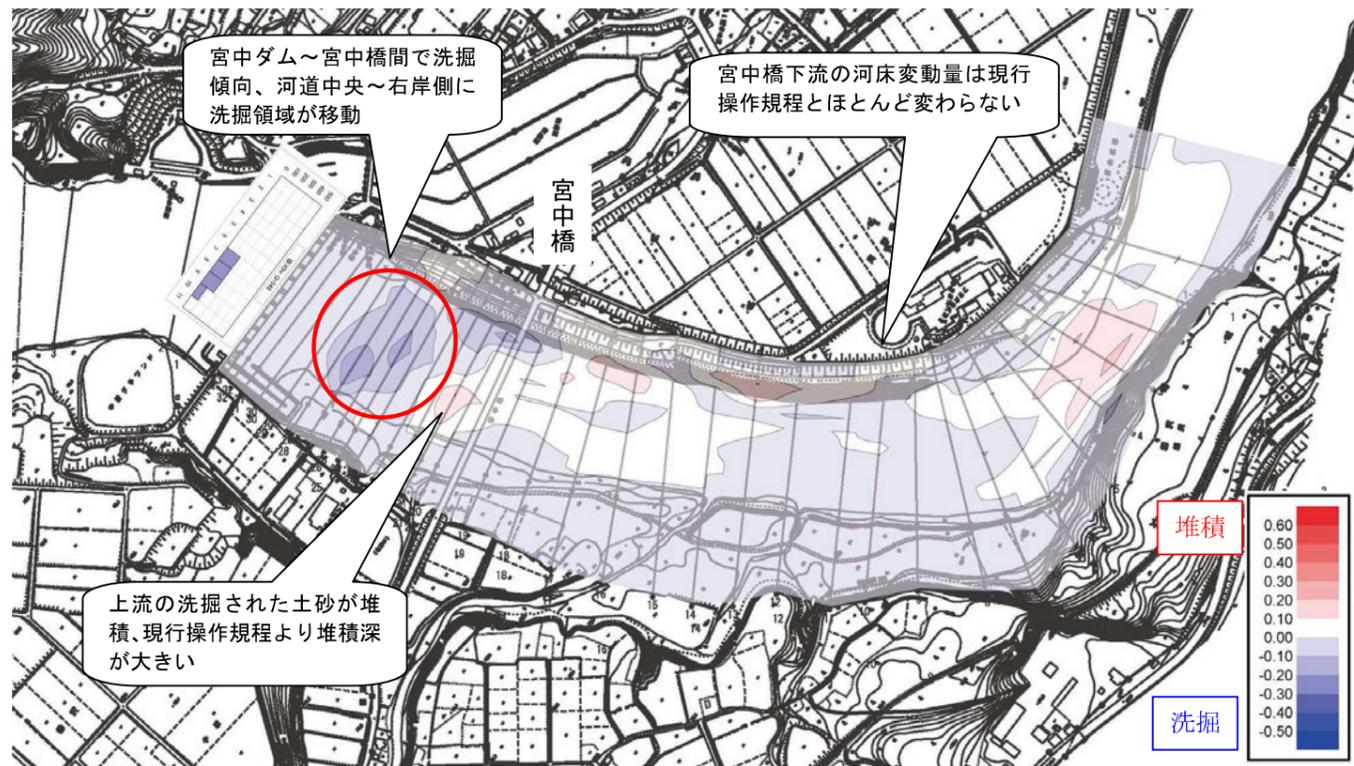
(m)

図 1.2.10 宮中ダム下流初期河床からの変動量 (H17.8.15 洪水 :  $Q_p=1,565\text{m}^3/\text{s}$ ,  $T=9\text{hr}$ ,  $Q=626\text{m}^3/\text{s}$ )

図 1.2.11 宮中ダム下流初期河床からの変動量 (H17.8.15 洪水 :  $Q_p=1,565\text{m}^3/\text{s}$ ,  $T=17\text{hr}$ ,  $Q=1565\text{m}^3/\text{s}$ )



【現行操作規程の放流パターン】



【1門スライド】

図 1.2.12 宮中ダム下流初期河床からの変動量 (H17.8.15 洪水 :  $Q_p=1,565\text{m}^3/\text{s}$ ,  $T=30\text{hr}$ ,  $Q=548\text{m}^3/\text{s}$ )

(2) 平成 19 年 9 月 7 日洪水 (Q=2,500m<sup>3</sup>/s 規模)

a) 流況

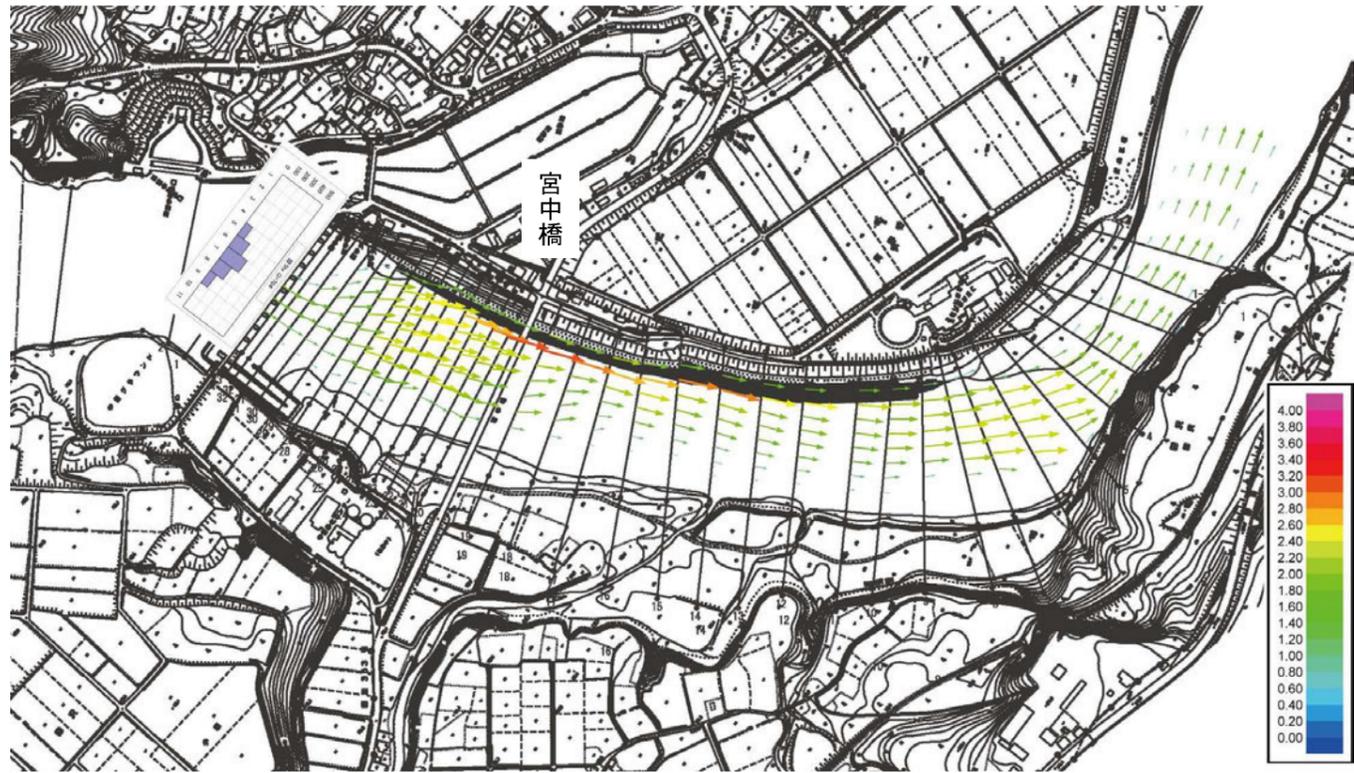
洪水の立ち上がり、ピーク時、低減時の 3 時点の流速ベクトル図を図 1.2.13～図 1.2.15 に示す。

- 現行操作規程と 1 門スライド放流での流速の平面的な変化は、宮中ダムから宮中橋付近までであり、宮中橋下流については、両者の変化はほとんど見られない。
- 1 門スライド放流では、スライドの影響を受け、ダム直下では、4 号、5 号ゲート付近で流速が小さくなり、逆に 10 号、11 号ゲート付近で流速が大きくなる。1,500m<sup>3</sup>/s 規模と比較して、1 門スライドにより右岸側に流れが発生し、3m/s 程度に達するが、流向は次第に左岸側へ向き、流向、流速とも宮中橋付近ではほぼ現行操作規程のものと同しくなる。
- 宮中橋付近の流速は、両者ともピーク時で 2m/s～3.5m/s であり、1 門スライドによる変化はほとんど見られない。最大の流速は、宮中橋下流部湾曲部外岸側に発生し、約 4.0m/s 程度に達するが、現況でも 1 門スライドでも発生位置、大きさに変化は見られない。
- 1 門スライドによる 10 号、11 号ゲートからの直進する流れにより、右岸側に流れが発生するが、宮中橋付近では右岸側の流れはほぼ現況と同しくなる。

b) 河床変動

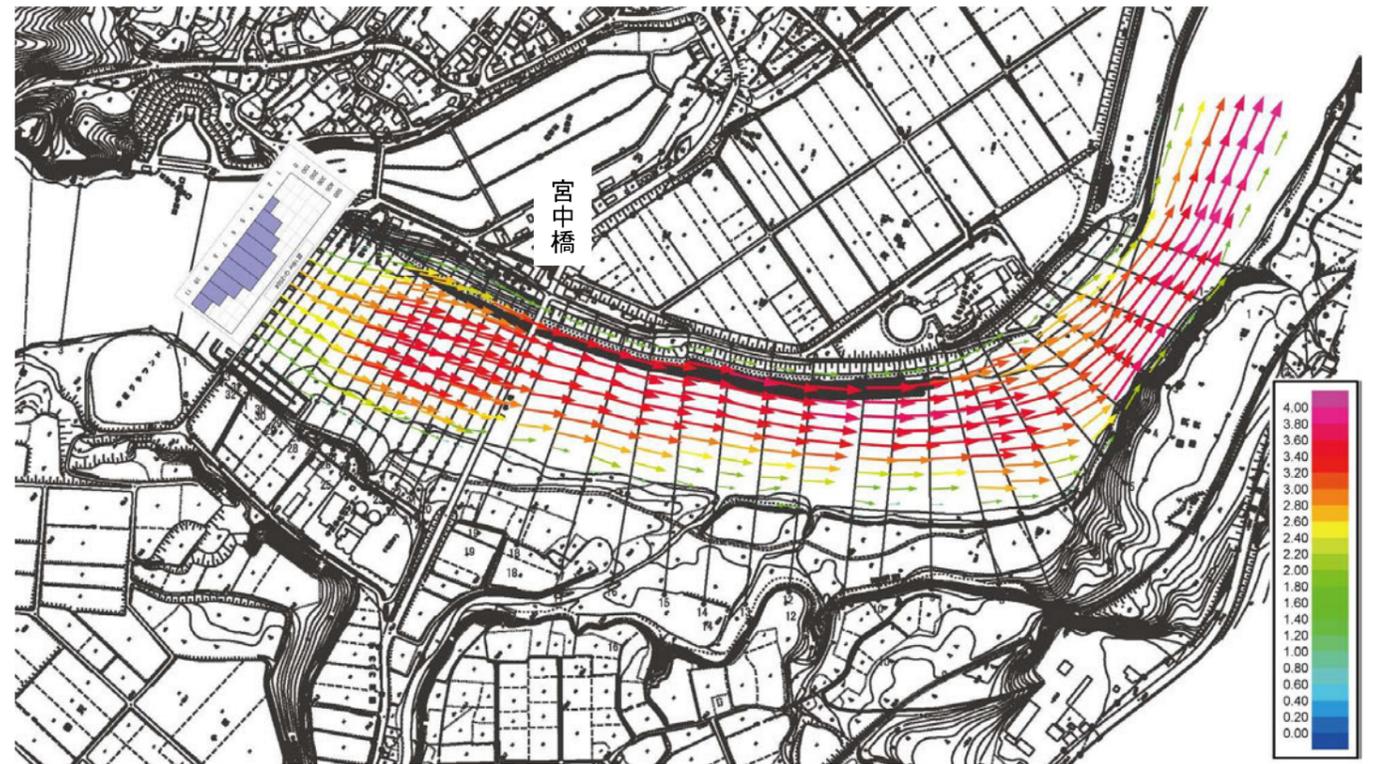
洪水の立ち上がり、ピーク時、減水時の 3 時点の河床変動高図を図 1.2.16～図 1.2.18 に示す。

- 現行操作規程と 1 門スライド放流での河床変動高の平面的な変化は、1,500m<sup>3</sup>/s 規模と同じように、宮中ダム直下から洗掘傾向にあり、宮中ダム～宮中橋間に最も洗掘する箇所が存在する。その後、宮中橋～宮中橋下流にかけて、概ね変化が少ないか、若干堆積傾向になり、さらに下流区間は左に大きく湾曲している区間で洗掘したのち、その下流で堆積する。1,500m<sup>3</sup>/s 規模と比較すると、洗掘、堆積量は全体的に大きくなる。
- 洪水ピーク時の河床変動高をみると、宮中ダム～宮中橋において、現行操作規程では約 20～30cm の河床低下範囲が広がるのに対し、1 門スライドでは、さらに洗掘深の深い 30～40cm の範囲が右岸側に発生する。これはスライドによる影響と考えられる。その洗掘された土砂は、1,500m<sup>3</sup>/s 規模と同じく、下流宮中橋付近に堆積するが、堆積量は最大 60cm 程度に達する。
- 洪水低減時の河床変動高をみると、ダム下流の洗掘は 1 門スライドのほうが大きく、範囲も深さも大きくなることが予測された。また、宮中橋下流についてはほぼ等しい河床高変動分布となるが、現行操作規程も 1 門スライドも、河道中央部は最大 50cm 以上の堆積が生じ、河岸では、40cm 程度の洗掘が見られる。ただし、本区間は山付き区間であり、影響はほとんどない。
- 宮中橋地点での河床変動状況は、両者とも左岸側の流れが集中する箇所で概ね 20～30cm 程度の洗掘が予測され、中央、右岸側で概ね変化がないか、若干洗掘 (10cm 未満) 傾向にあることが分かった。右岸側には、上流の洗掘に伴う堆積域が見られ、1 門スライドのほうが顕著に堆積する状況が予測された。



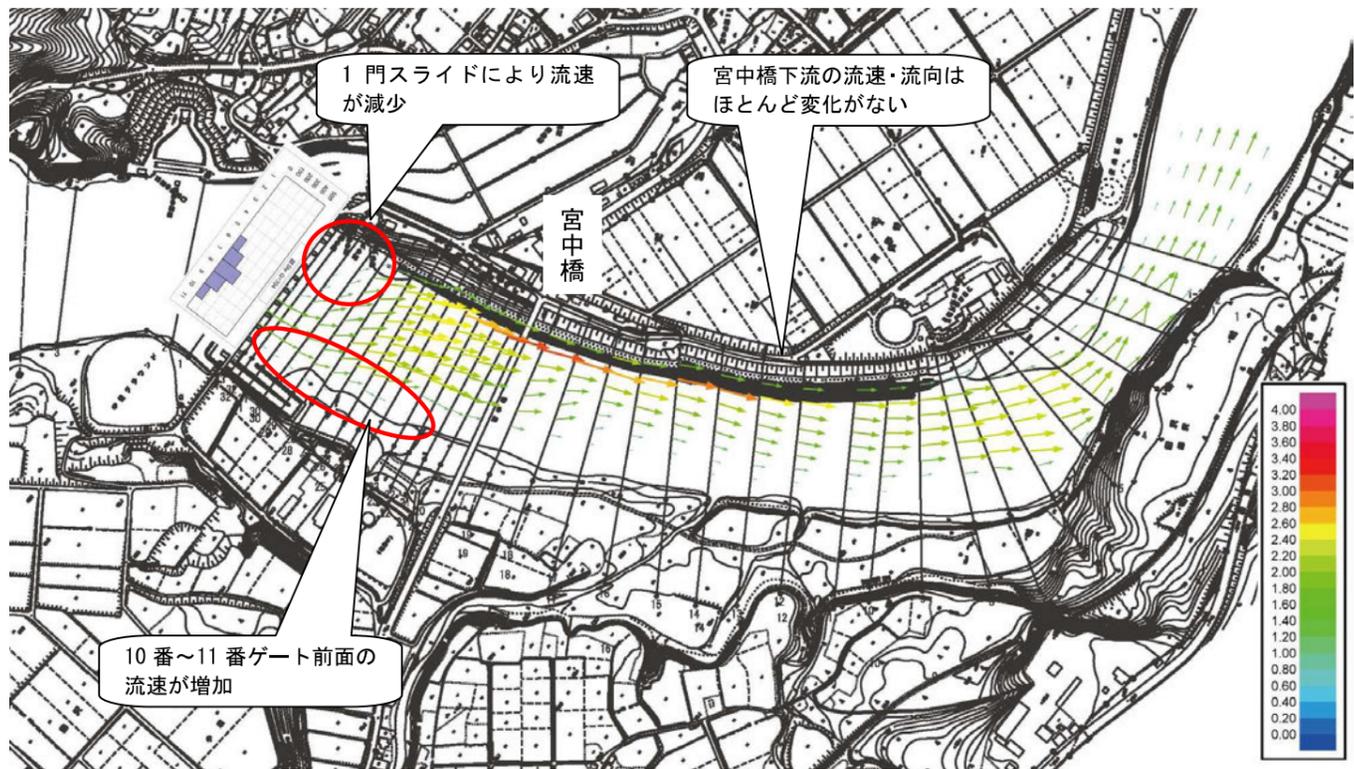
【現行操作規程の放流パターン】

(m/s)



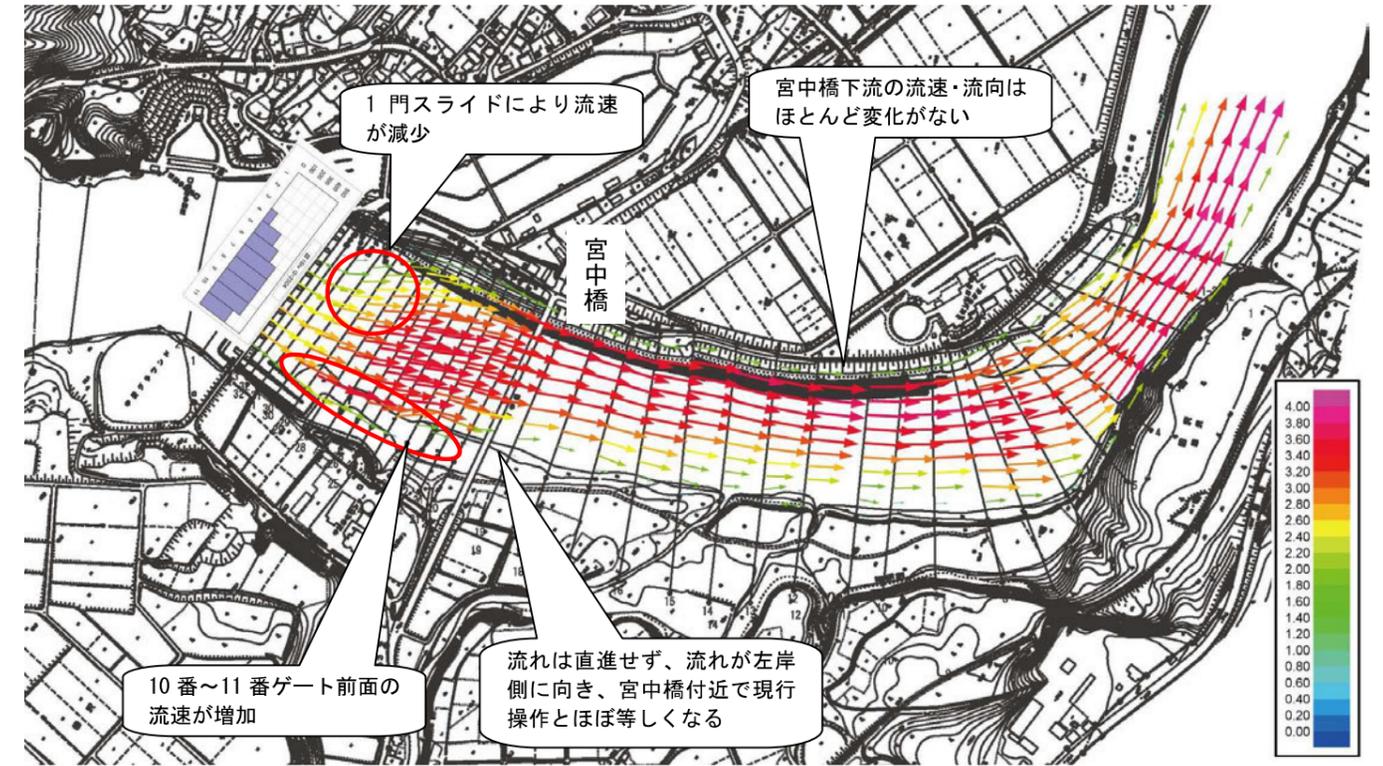
【現行操作規程の放流パターン】

(m/s)



【1門スライド】

(m/s)

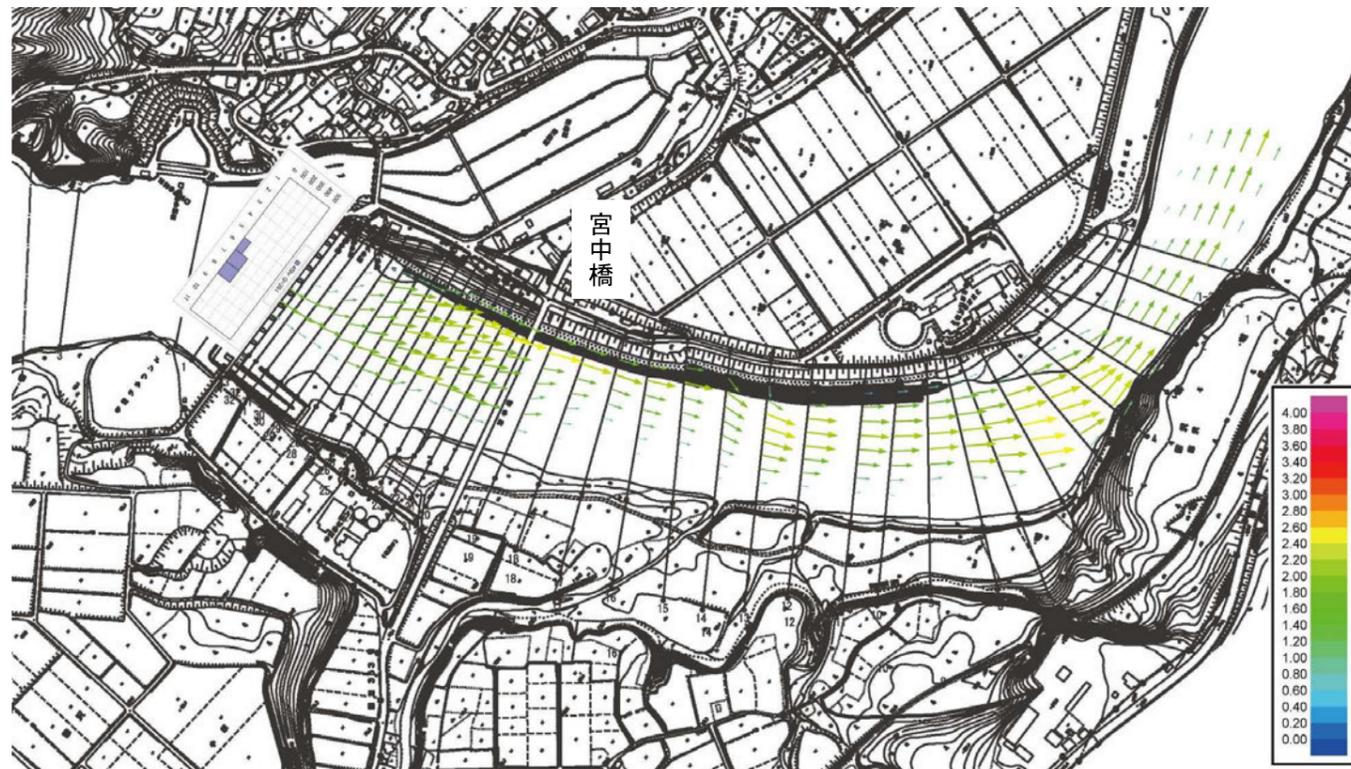


【1門スライド】

(m/s)

図 1.2.13 宮中ダム下流流速ベクトル計算結果 (H19.8.7 洪水 :  $Q_p=2,504\text{m}^3/\text{s}$ ,  $T=5\text{hr}$ ,  $Q=704\text{m}^3/\text{s}$ )

図 1.2.14 宮中ダム下流流速ベクトル計算結果 (H19.8.7 洪水 :  $Q_p=2,504\text{m}^3/\text{s}$ ,  $T=16\text{hr}$ ,  $Q=2,504\text{m}^3/\text{s}$ )



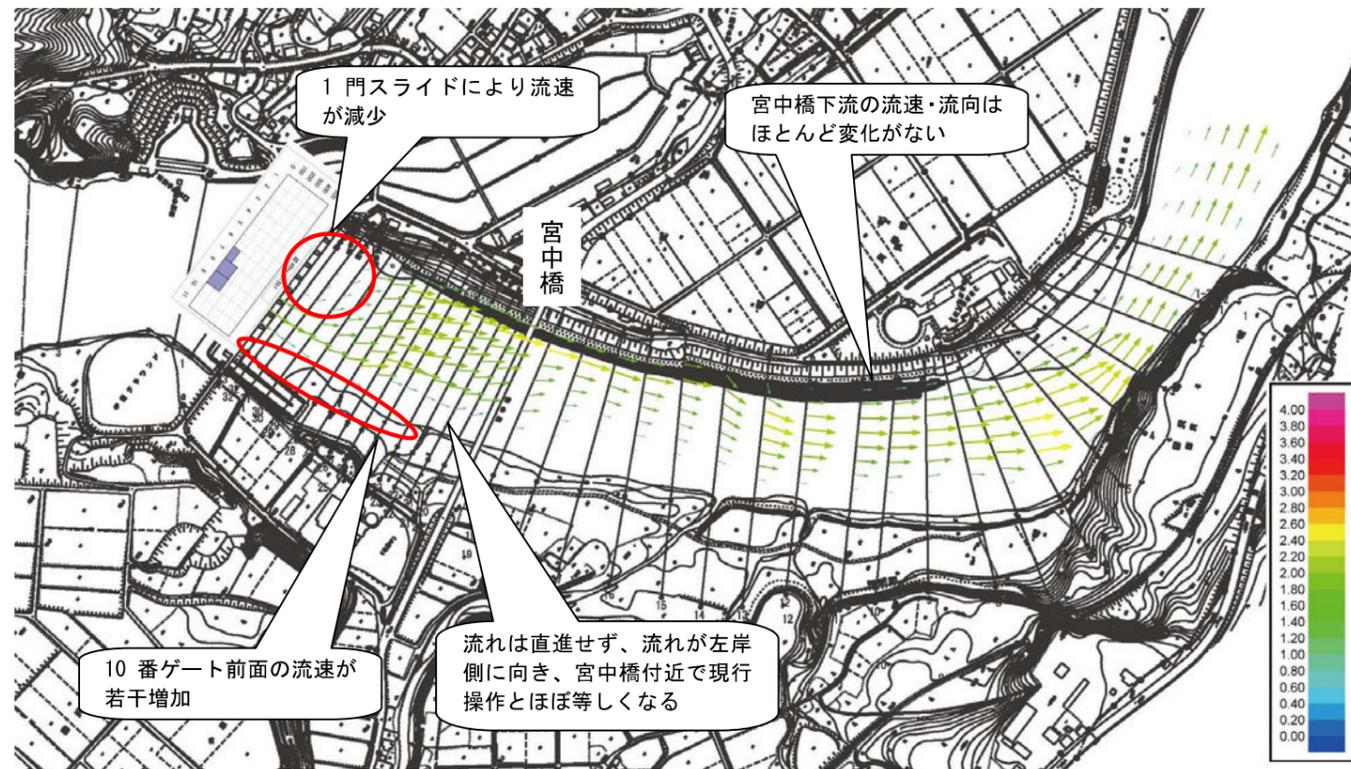
【現行操作規程の放流パターン】

(m/s)



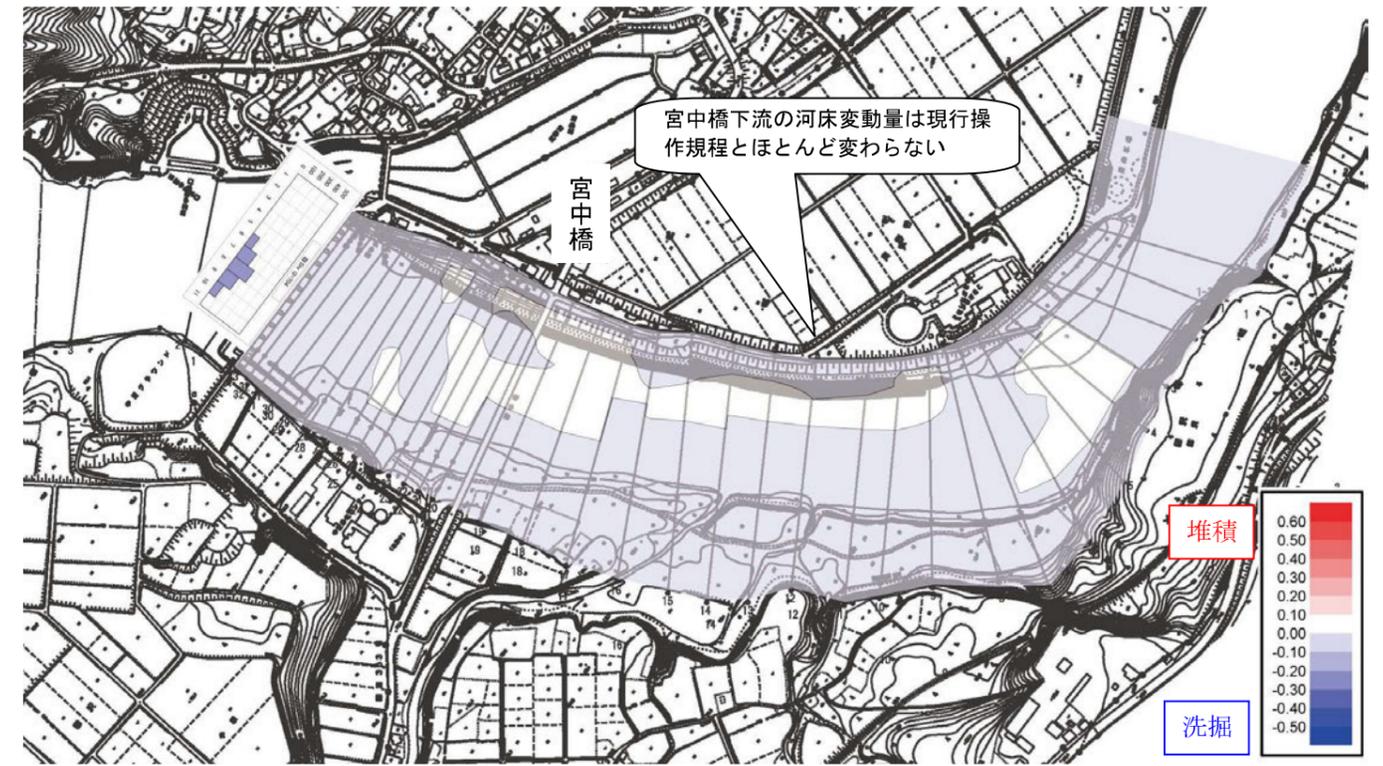
【現行操作規程の放流パターン】

(m)



【1 門スライド】

(m/s)

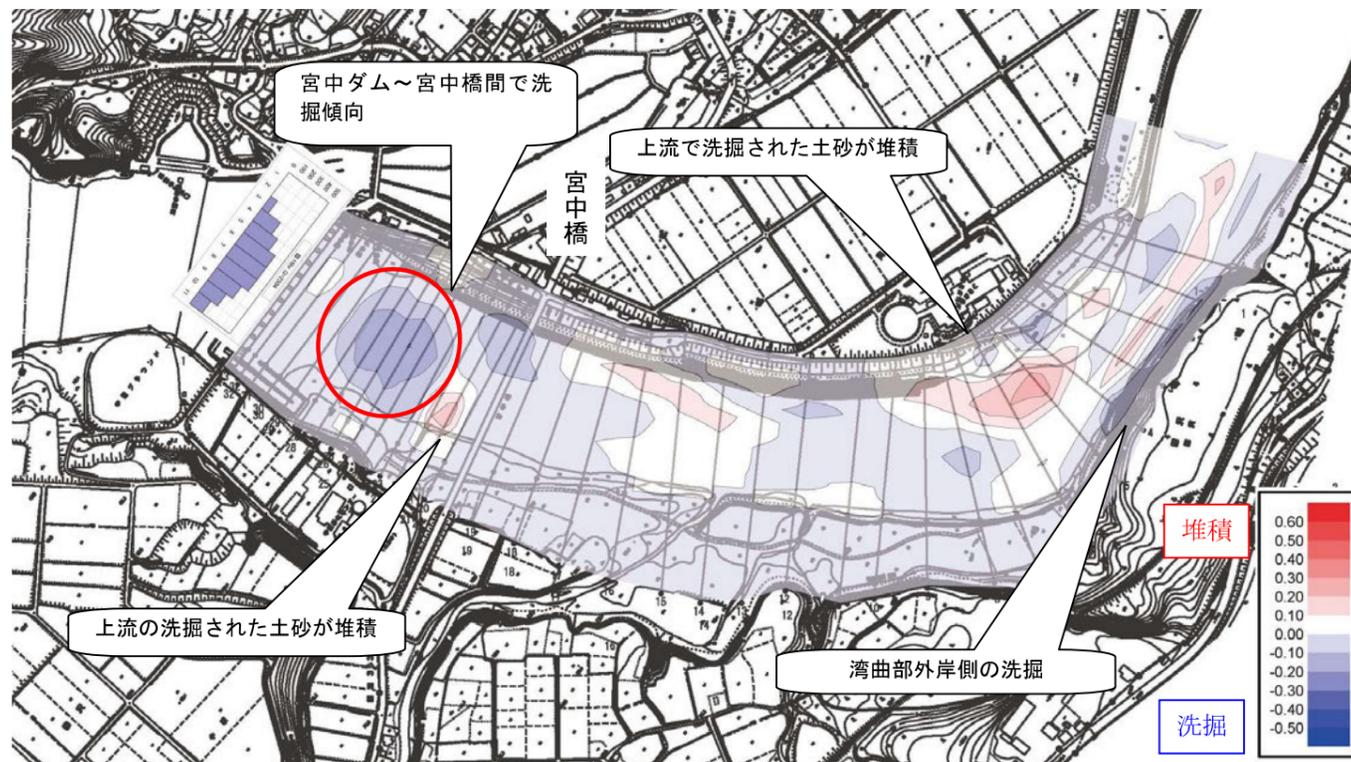


【1 門スライド】

(m)

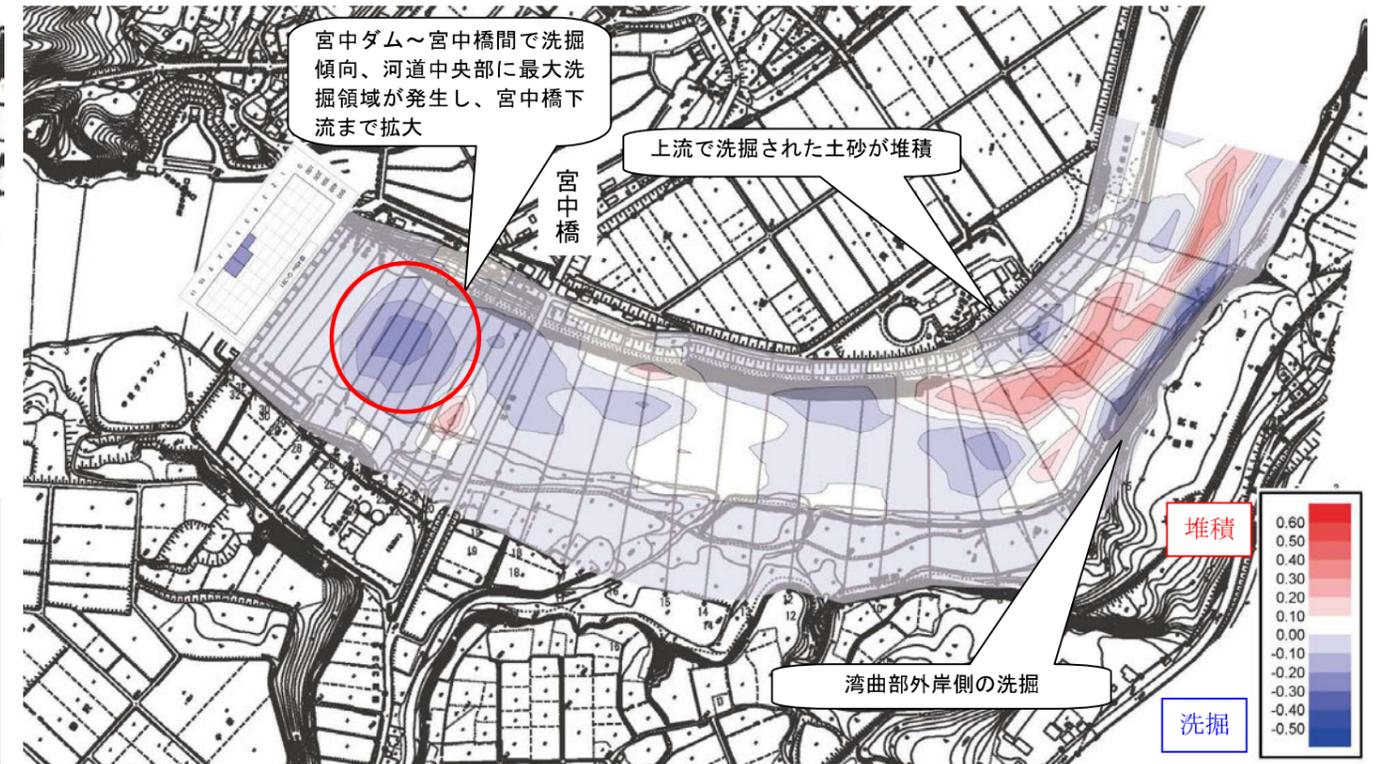
図 1.2.15 宮中ダム下流流速ベクトル計算結果 (H19.8.7 洪水 :  $Q_p=2,504\text{m}^3/\text{s}$ ,  $T=45\text{hr}$ ,  $Q=391\text{m}^3/\text{s}$ )

図 1.2.16 宮中ダム下流初期河床からの変動量 (H19.9.7 洪水 :  $Q_p=2,504\text{m}^3/\text{s}$ ,  $T=5\text{hr}$ ,  $Q=704\text{m}^3/\text{s}$ )



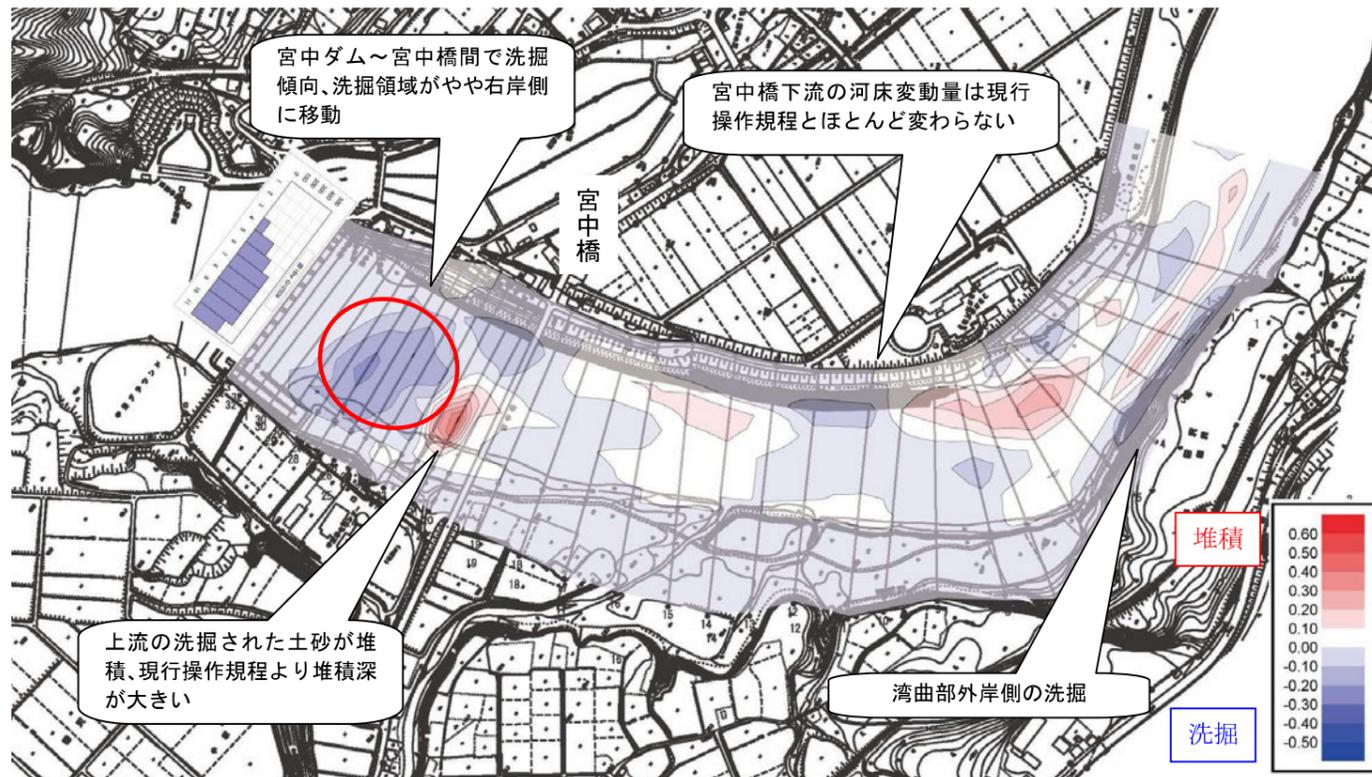
【現行操作規程の放流パターン】

(m)



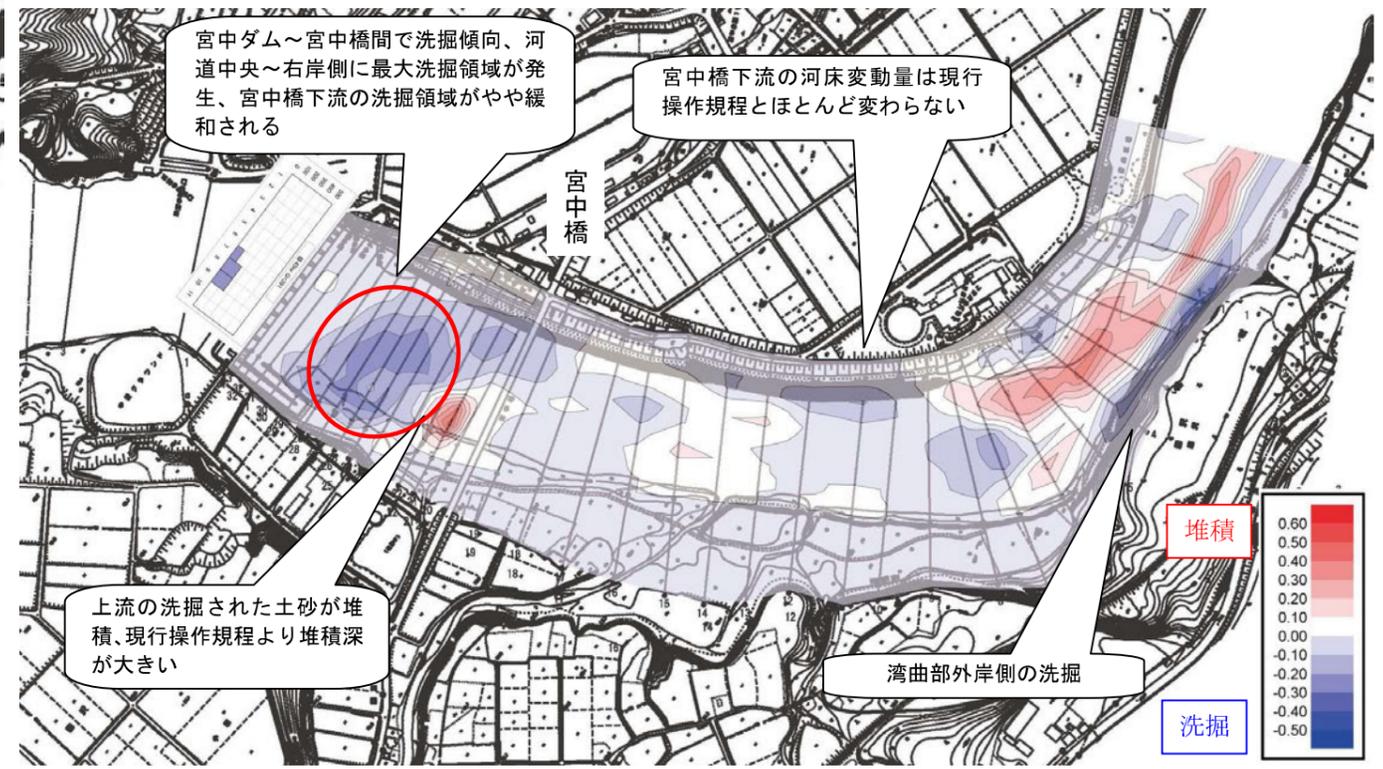
【現行操作規程の放流パターン】

(m)



【1門スライド】

(m)



【1門スライド】

(m)

図 1.2.17 宮中ダム下流初期河床からの変動量 (H19.9.7 洪水 :  $Q_p=2,504\text{m}^3/\text{s}$ ,  $T=16\text{hr}$ ,  $Q=2,504\text{m}^3/\text{s}$ )

図 1.2.18 宮中ダム下流初期河床からの変動量 (H19.9.7 洪水 :  $Q_p=2,504\text{m}^3/\text{s}$ ,  $T=45\text{hr}$ ,  $Q=391\text{m}^3/\text{s}$ )

### (3) 洪水前後の河床高の変化

洪水時の水理解析（流況、河床変動）において、現行操作規程と 1 門スライドのケースについて、洪水前後の河床高を比較した結果を図 1.2.19～図 1.2.20 に示し、併せて横断重ね合わせ図を示す。これより、以下のことが予測された。

- 現行操作規程と 1 門スライドでの放流による洗掘深に大きな違いはない。
- 洗掘される箇所は、宮中ダム～宮中橋間が顕著であり、堆積していた土砂が流送され、河床が洗掘している。洗掘深は概ね 20～30cm 程度であり、流量の大きいほうが洗掘範囲は大きい。
- 横断図より、洗掘する範囲は概ね滞筋に位置しており、滞筋沿いの流速の速い箇所で洗掘している。
- 現行操作規程と 1 門スライドでの放流による洗掘深に大きな違いはなく、1 門スライドにより、洗掘する範囲は右岸側に若干移動するものの、平均年最大流量相当規模では滞筋を形成させるまでには至らず、現滞筋の方向に流れが向くことになる。
- このことから、最深河床を連ねた位置を滞筋とした場合、現行操作規程と 1 門スライド放流にほとんど変化は見られなかった。

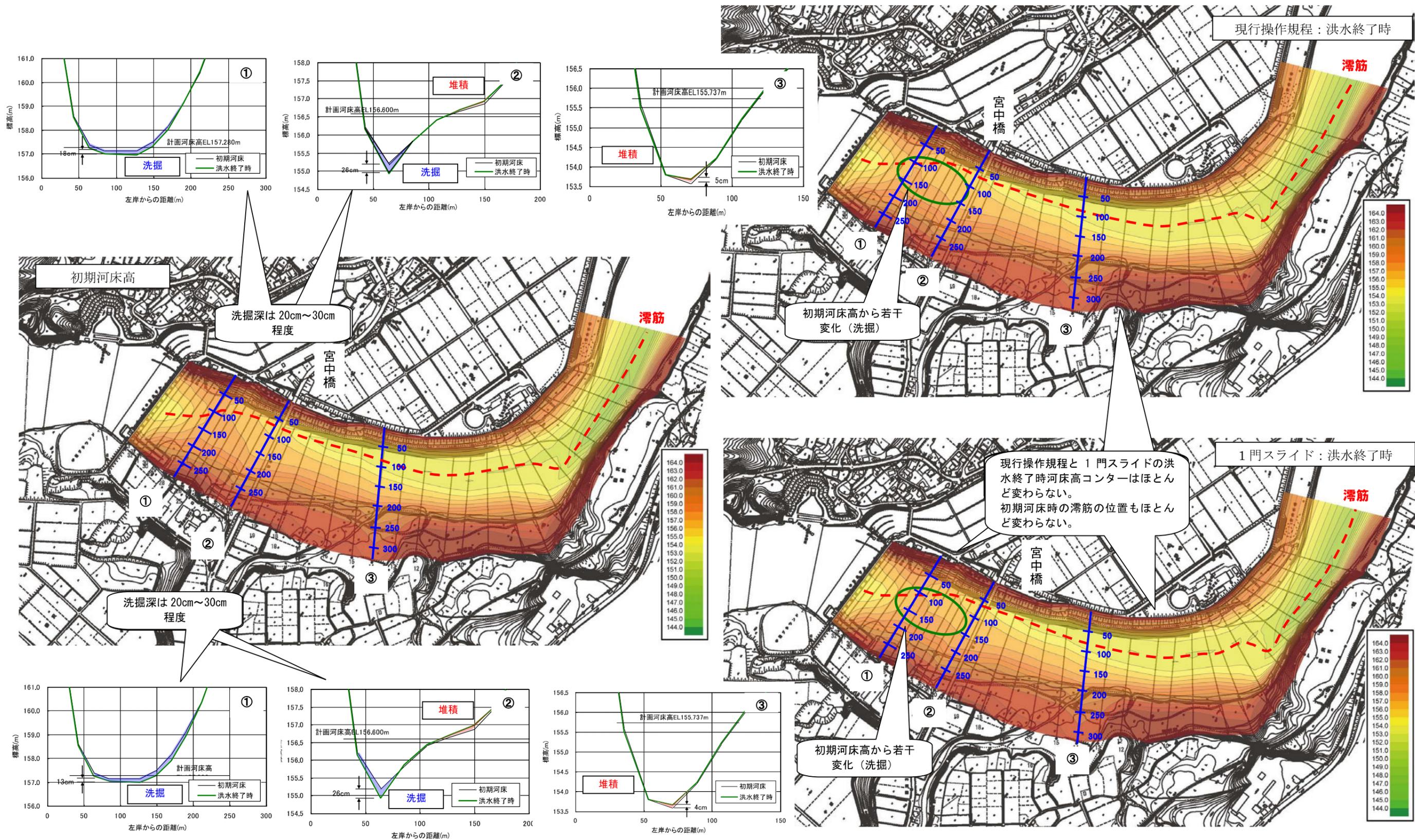


図 1.2.19 宮中ダム下流河床高カウンター図 (H17.8.15 洪水 :  $Q_p=1,565\text{m}^3/\text{s}$ )

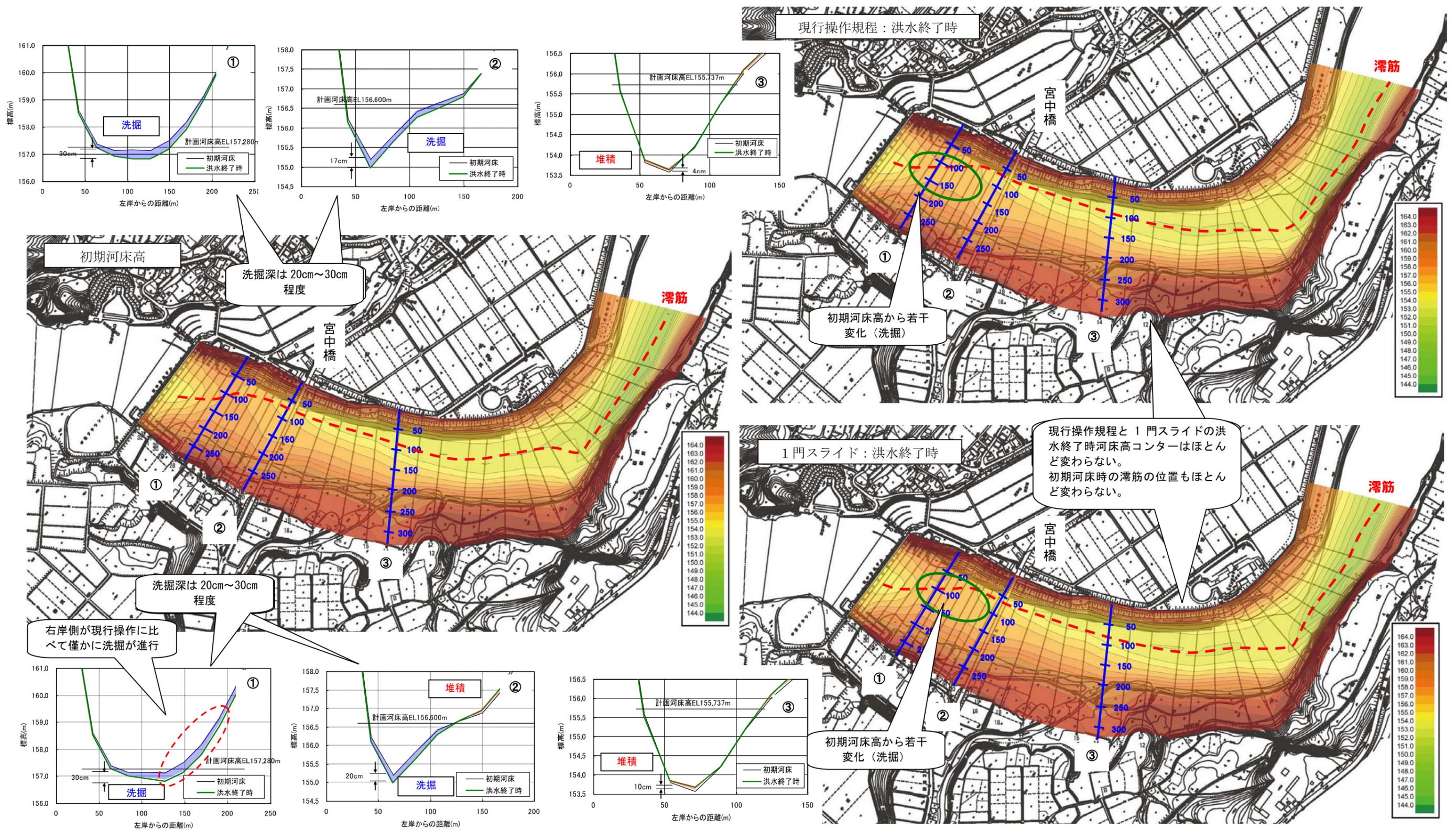


図 1.2.20 宮中ダム下流河床高コンター図 (H19.9.7 洪水 :  $Q_p = 2,504 \text{ m}^3/\text{s}$ )

#### (4) 構造物への影響

ゲート放流位置の違いによる河床変動状況を横断図上で整理し、宮中橋等構造物への影響について考察した。対象とした測線は図 1.2.21 に示す 2 地点である。

- ①魚道：測線 I=4 (魚道擁壁前面の洗掘状況を確認)
- ②宮中橋：測線 I=14 (宮中橋橋脚部の洗掘状況を確認)

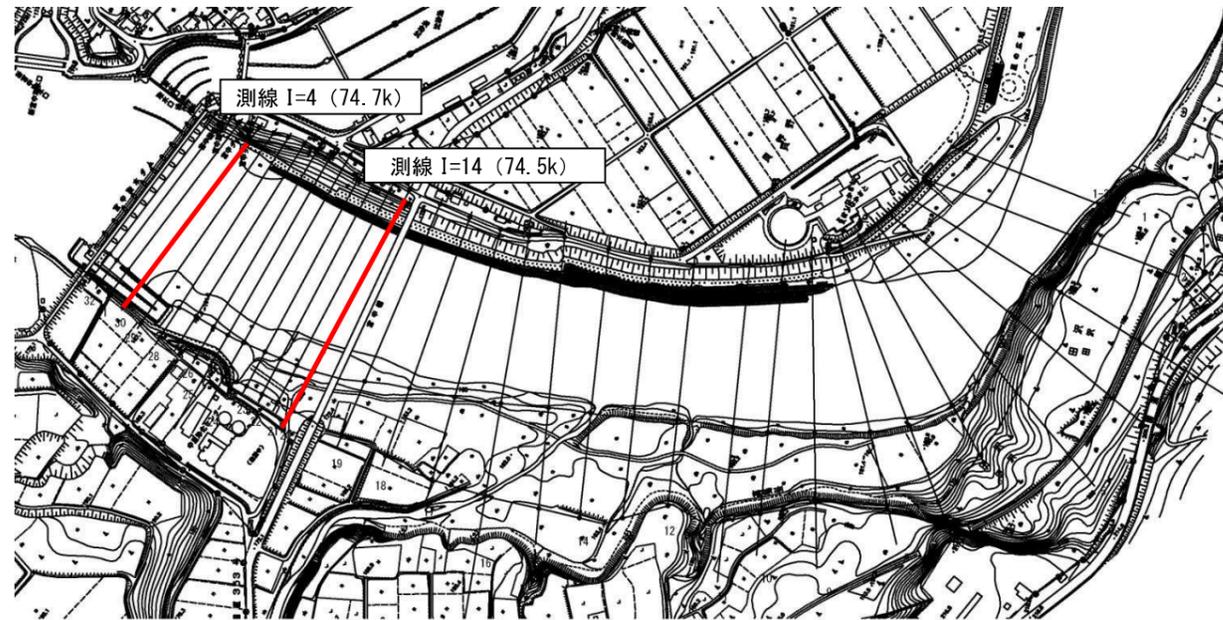


図 1.2.21 対象横断測線位置

洪水規模の大きい 2,500m<sup>3</sup>/s 相当での測線における初期河床高、洪水時予測最深河床高の横断重ね合わせ結果を図 1.2.22～図 1.2.23 に示す。これより、以下のことが推察される。

##### 1) 魚道

図 1.2.22 より、魚道擁壁前面の河床高は、ほとんど変化がなく、ゲート放流位置の違いによる変化の差は僅かである。このことから、ゲート放流位置の違いによる影響は小さいと考えられる。

##### 2) 宮中橋

図 1.2.23 より、宮中橋地点は、左岸側にみお筋が形成されており、計画河床高よりも最深河床高のほうが低くなっている。最浅基礎高はそれよりも深い EL152.25m 付近となっている。計算結果より、洪水時の最深河床高は EL154.98m 付近であり、ゲート放流位置の違いによる変化の差は僅かである。さらに、橋梁の基礎高まではさらに約 2.7m 程度の余裕を有している。このため、橋梁への影響は小さいと考えられる。

##### 3) その他

護岸を設置している宮中橋上下流左岸の河床変動高もゲート放流位置の違いによる変化の差は僅かである。

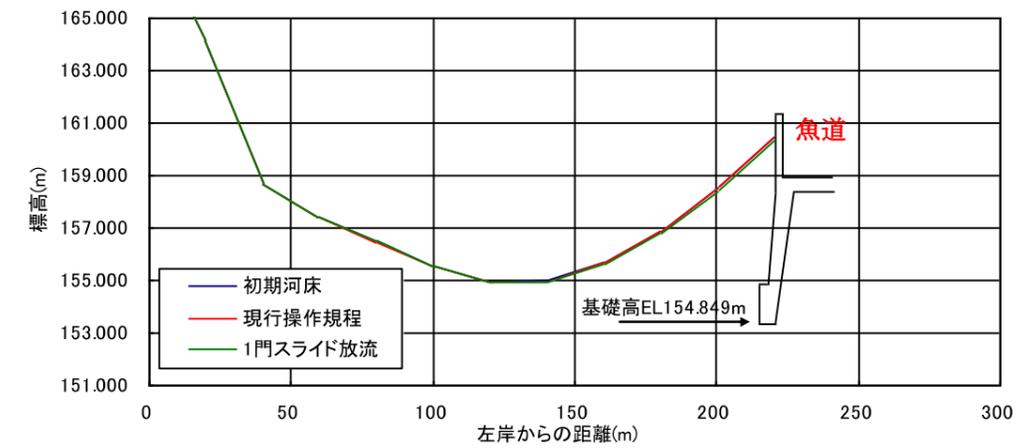


図 1.2.22 魚道擁壁基礎高とゲート放流位置の違いによる河床高の関係

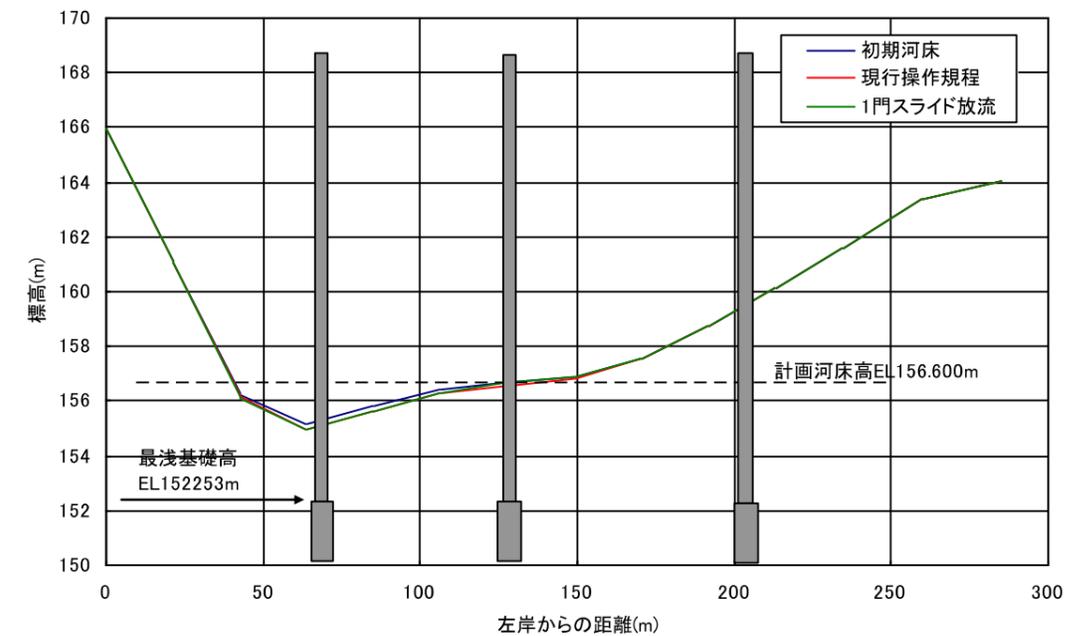


図 1.2.23 宮中橋基礎高とゲート放流位置の違いによる河床高の関係

【右岸側から放流することの優位性】

右岸側から放流することにより、左岸側の流速が低減されることを確認するため、放流位置（左岸、中央、右岸）の違いによる左岸側の流速を比較した。対象波形は、H19.7 洪水（平均年最大流量相当：2,500m<sup>3</sup>/s）とした。結果を図 1.2.24 に示す。

これより、左岸放流の場合、宮中ダム～宮中橋下流にかけて左岸側に 4m/s を超える流速が予測される。一方で、中央放流の場合は、河道中央部において 3m/s～3.5m/s の流速となるものの、左岸側の流速が大幅に緩和される。さらに、右岸放流の場合は、河道中央部から右岸側にかけて高流速領域が見られるが、左岸側の流速はさらに緩和される。

宮中橋下流については、それほど明確な違いは見られない結果となった。

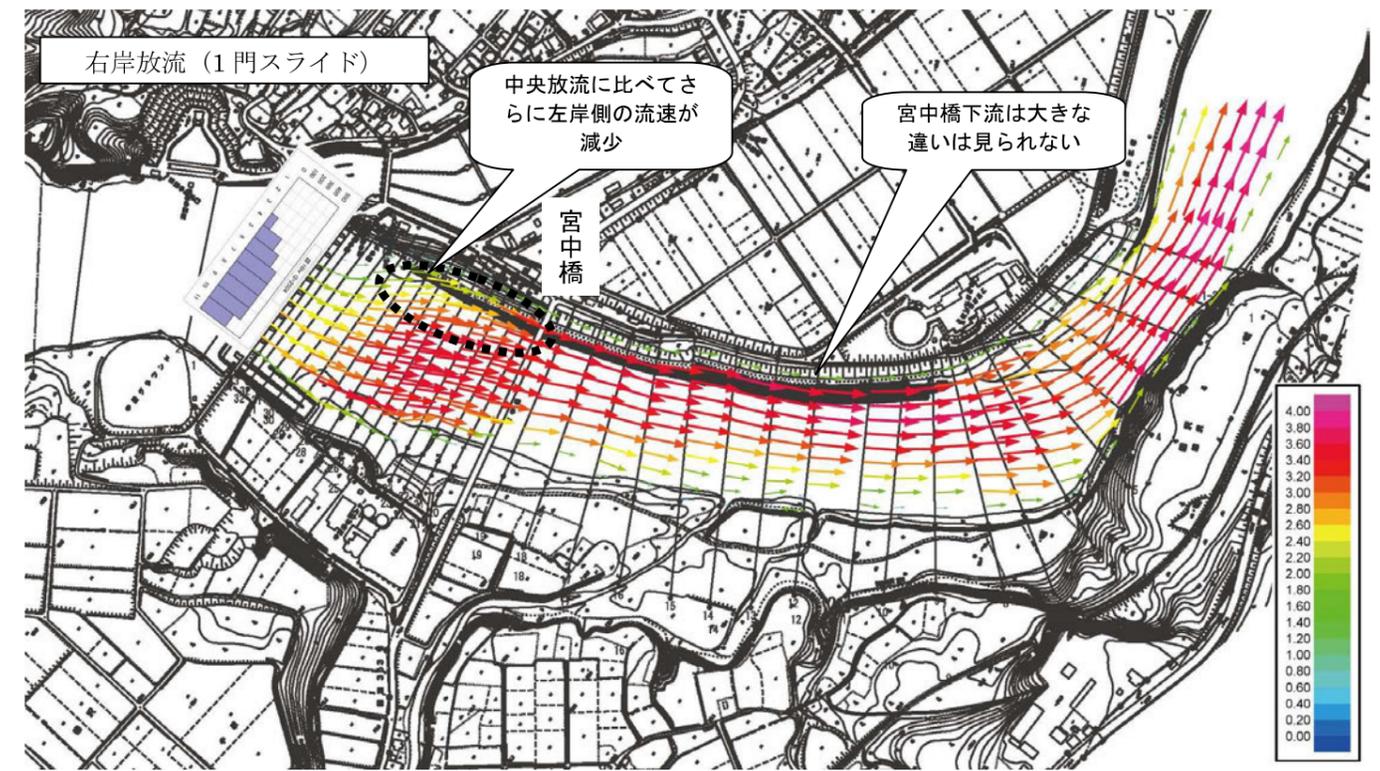
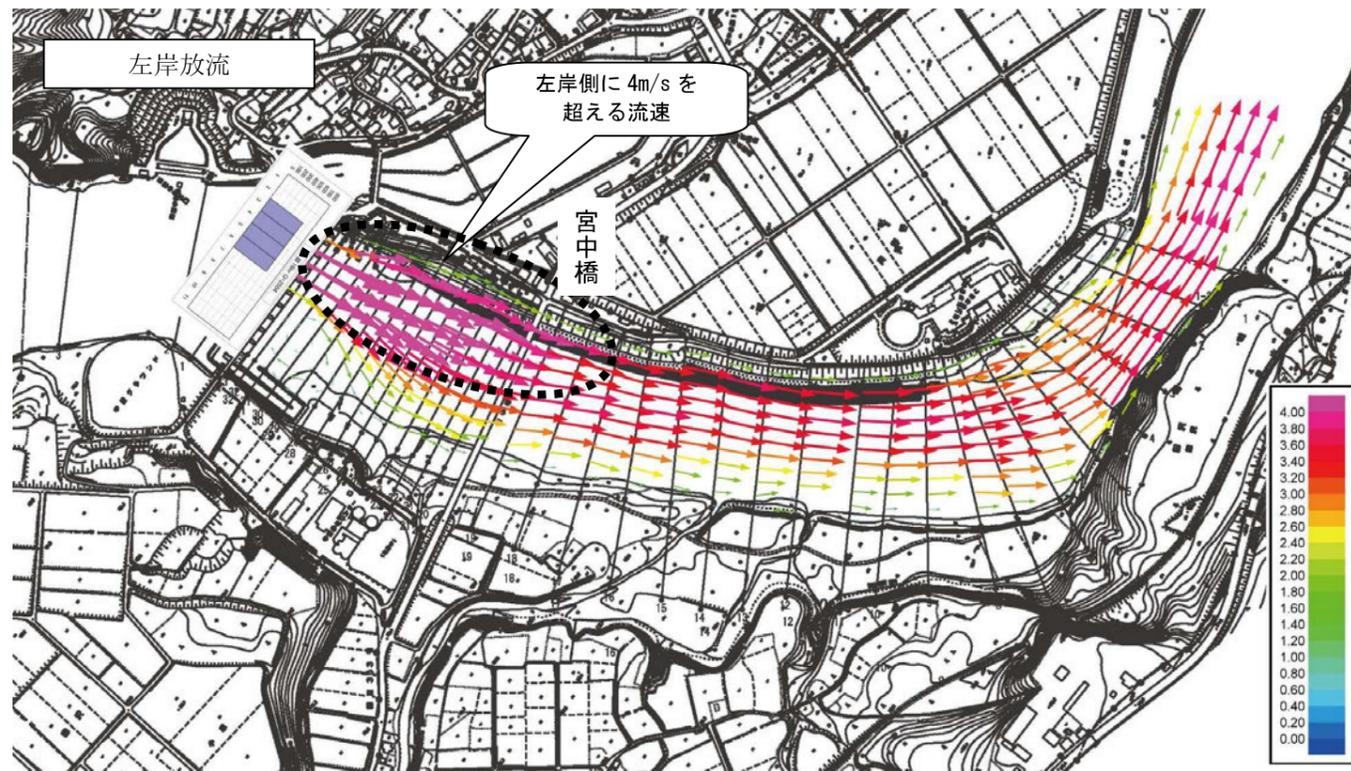
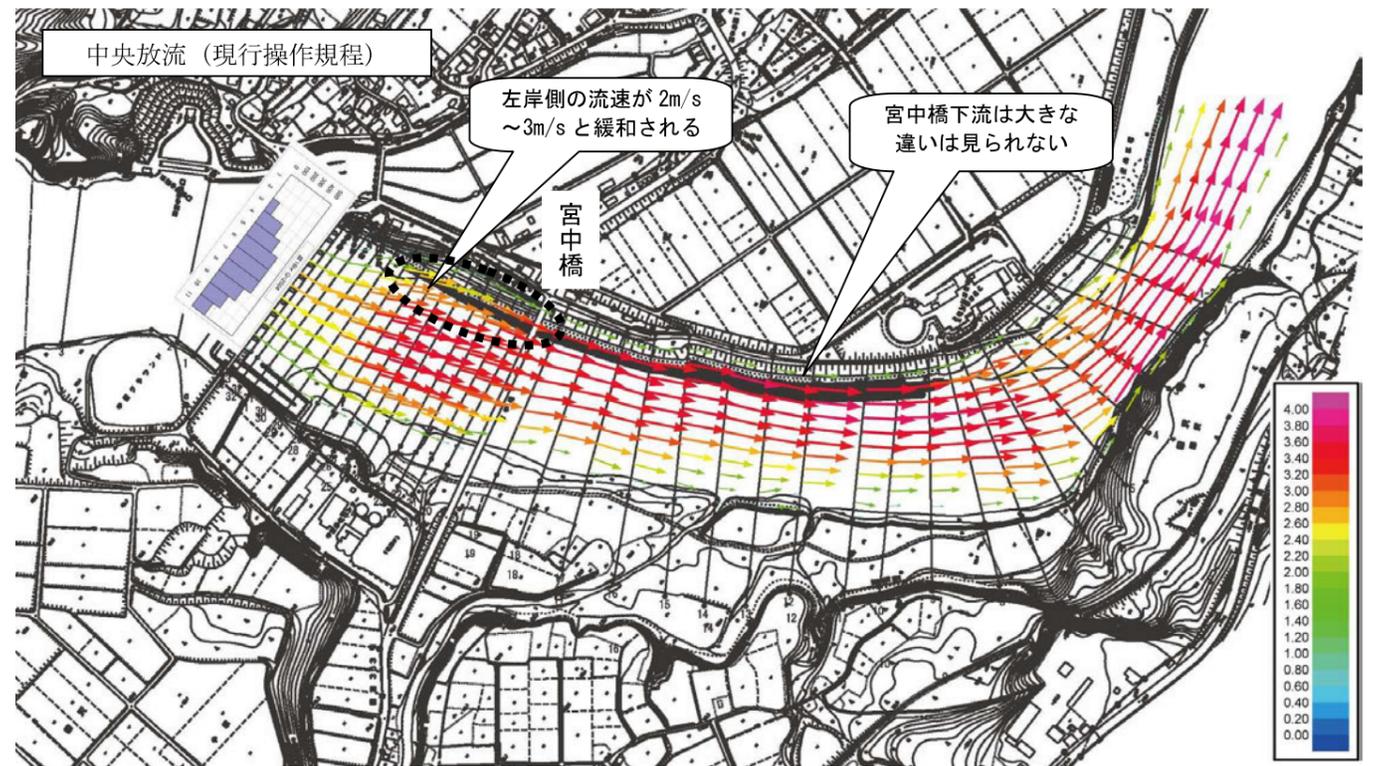


図 1.2.24 ゲート放流位置の違いによる洪水時流速ベクトルの比較（H19.7 洪水：Qp=2,504m<sup>3</sup>/s）

### 1.3 まとめと今後の課題

宮中取水ダム魚道本体と魚道へ導く下流河道の魚類遡上環境改善を目標に、呼び水ならびにゲート放流による流れの連続性確保方策を検討した。以下にまとめと今後の課題を記す。

#### 1.3.1 魚道本体と魚道へ導く下流河道の連続性を確保できる放流方法

宮中取水ダム魚道は、右岸側に設置されているが、一方で下流部の滞筋は左岸側に形成されている。そのため、魚類は左岸側から右岸側へ移動して、魚道入り口に到達する必要があるということが課題である。

この課題に対して、望ましい放流方法と考えられる。

(1) 忌避行動による経路確保案

(2) 主流路形成による経路確保案

の2案を対象に現地放流実験および平常時水理解析により検討した結果、魚道入り口付近まで魚を導くことについて、「主流路形成による経路確保案」により可能であることが考察された。

#### 1.3.2 魚道へ魚をさらに誘引できる右岸側滞筋形成について

望ましい放流方法として挙げた「主流路形成による経路確保案」により、ゲート放流の工夫で魚道入り口まで魚を導くことが可能であると考えられ、魚道へ魚をさらに誘引する方策として、洪水時のゲート操作による右岸側滞筋形成の可能性を洪水時河床変動解析により検討した。その結果、流況・河床変動とも現行操作規程と1門スライドのゲート放流で大差は見られないものの、宮中ダム～宮中橋間で洗掘範囲が右岸側に拡大することが確認された。また、下流既設構造物への安全性に悪影響を与えるような侵食・洗掘は見られない結果が得られた。

#### 1.3.3 今後の課題

- ・今後計画されている試験放流にあたり、平常時および洪水時での流況解析モデルおよび河床変動解析モデルならびに現地流況確認で得られた知見等を具体のゲート運用、効果の予測に活かしていく。
- ・魚道入り口付近まで魚を導くことについては、現況流況確認及び流況解析からゲート放流方法の工夫で遡上可能な経路を確保できる結果が得られたが、魚道入り口付近の流れは拡散して不明瞭となっている。このため、今後計画されている試験放流にあたり、現地実験を実施していく。
- ・試験放流中の中小出水時には、右岸側放流を試験的に実施し、効果と課題を確認する。

## 2. 魚道本体の改善検討

### 2.1 第3回委員会における検討結果

#### (1) 対象魚

宮中ダム魚道の対象魚は、下記に示す16種とする。

カワヤツメ、ウナギ、コイ、フナ（フナ類）、オイカワ、ウグイ、ウケチウグイ、ニゴイ、アカザ、アユ、ニッコウイワナ、ニジマス、サケ、ヤマメ・サクラマス、カジカ、ヨシノボリ類

#### (2) 魚道構造改善案

##### 1) 魚道形式の組合せを選定した。

表 2.1.1 宮中ダム魚道形式の組合せ（第4案）

魚道形式	特徴	主な対象魚種
アイスハーバー型魚道 (大型魚用階段式魚道を改良)	<ul style="list-style-type: none"> <li>横波対策として有効</li> <li>流速の静穏域を形成できる</li> <li>プール横断方向の流れを抑制し、複雑な流況を回避</li> </ul>	<b>【一般部】</b> ・アユ、イワナ、ヤマメ、その他 <b>【切欠部】</b> ・サケ、サクラマス、ニジマス
小型魚用階段式魚道 (現在の位置を移動)	<ul style="list-style-type: none"> <li>実績が豊富</li> <li>現状でも流況が良好</li> </ul>	・小型遊泳魚
せせらぎ魚道	<ul style="list-style-type: none"> <li>底生魚・甲殻類にも対応</li> </ul>	・カワヤツメ、ウナギ、アカザ、カジカ、ヨシノボリ類

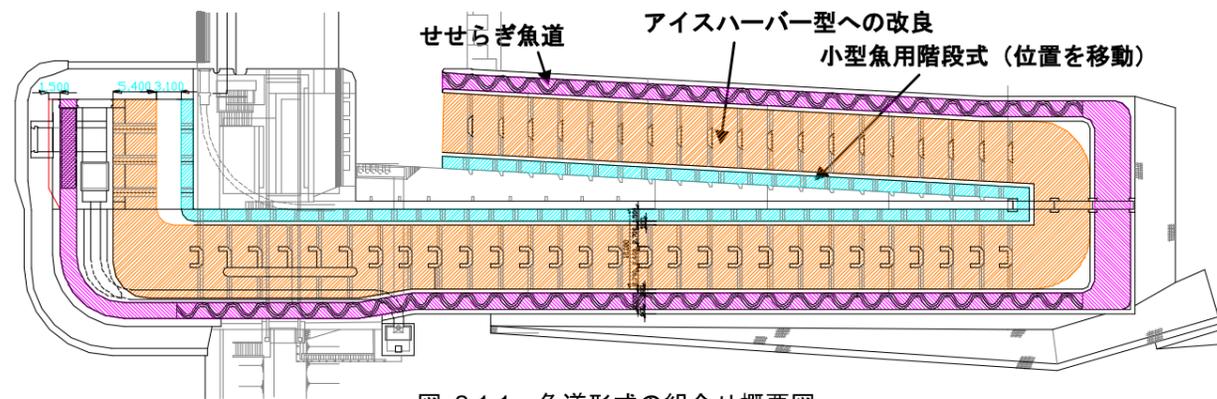


図 2.1.1 魚道形式の組合せ概要図

- 代表魚の選定を行い、期別・魚種別の水理特性条件により適正な流量を検討した。
- アイスハーバー型魚道について、今後現地通水実験による流況確認を検討する。

#### (3) 魚道流量の変化方法

魚道流量は、魚道出口部ゲートによって変化させ、それと連動する形で呼び水放流管の流量調節を行うことによって、魚道流量+呼び水流量を常に一定とする方法が考えられる。

今回の委員会では、第3回委員会において今後検討とした課題等、下記の検討について報告する。

- ◆ 選定した3形式の魚道に関する概略設計検討
- ◆ アイスハーバー型魚道について、水理模型実験、現地流況確認による流況改善効果の確認

## 2.2 魚道の概略設計検討

### 2.2.1 魚道の全体配置

#### (1) 魚道配置方法

宮中ダムの魚道は、多様な魚種に対応可能となるように3つの魚道形式を組み合わせることとした。

この3形式の魚道は、アイスハーバー型階段式魚道→小型魚用階段式魚道→せせらぎ魚道の順に遊泳力の大きな魚に対応した魚道となっており、魚の遡上経路を考慮すると、遊泳力の小さな魚類に対応する魚道はできるだけ岸側に寄せて配置することが望ましい。

この点から考えると、前回提示した魚道配置では、小型魚用魚道が大型魚用魚道よりも流況の激しい箇所配置されることになり、小型魚が魚道入口に到達するかという点が懸念される。

したがって、大型魚用アイスハーバー型階段式魚道と小型魚用魚道の位置を入れ替えることとした。

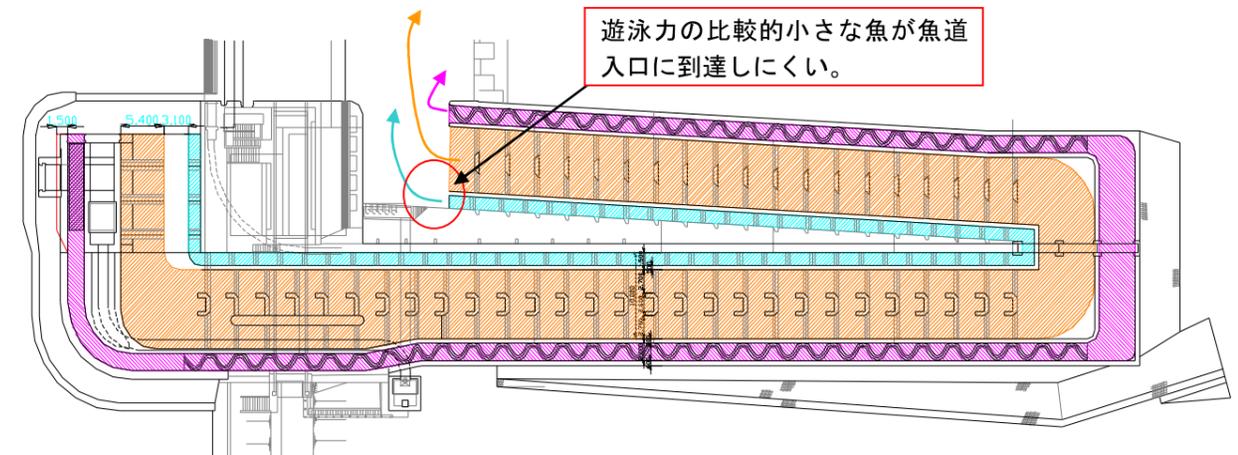


図 2.2.1 各形式の魚道配置を考える際に配慮すべき事項

#### (2) 魚道全体配置図

魚道位置図、魚道全体配置平面図、縦断図を図 2.2.2～

図 2.2.5 に示す。

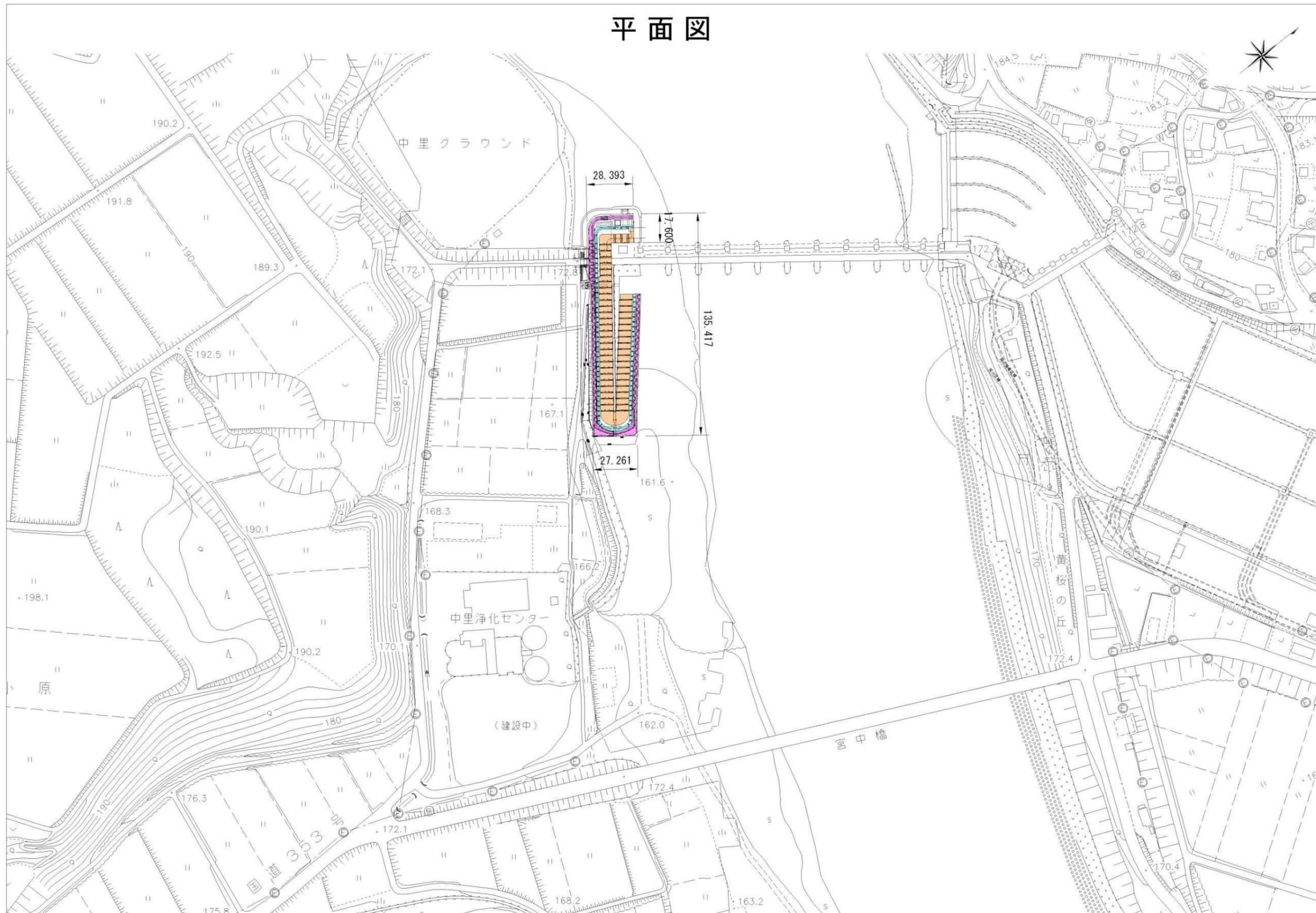


図 2.2.2 魚道平面位置図



# 魚道・魚道縦断図(1) S=1/200

(大型魚用アイスハーバー型)  
135.417

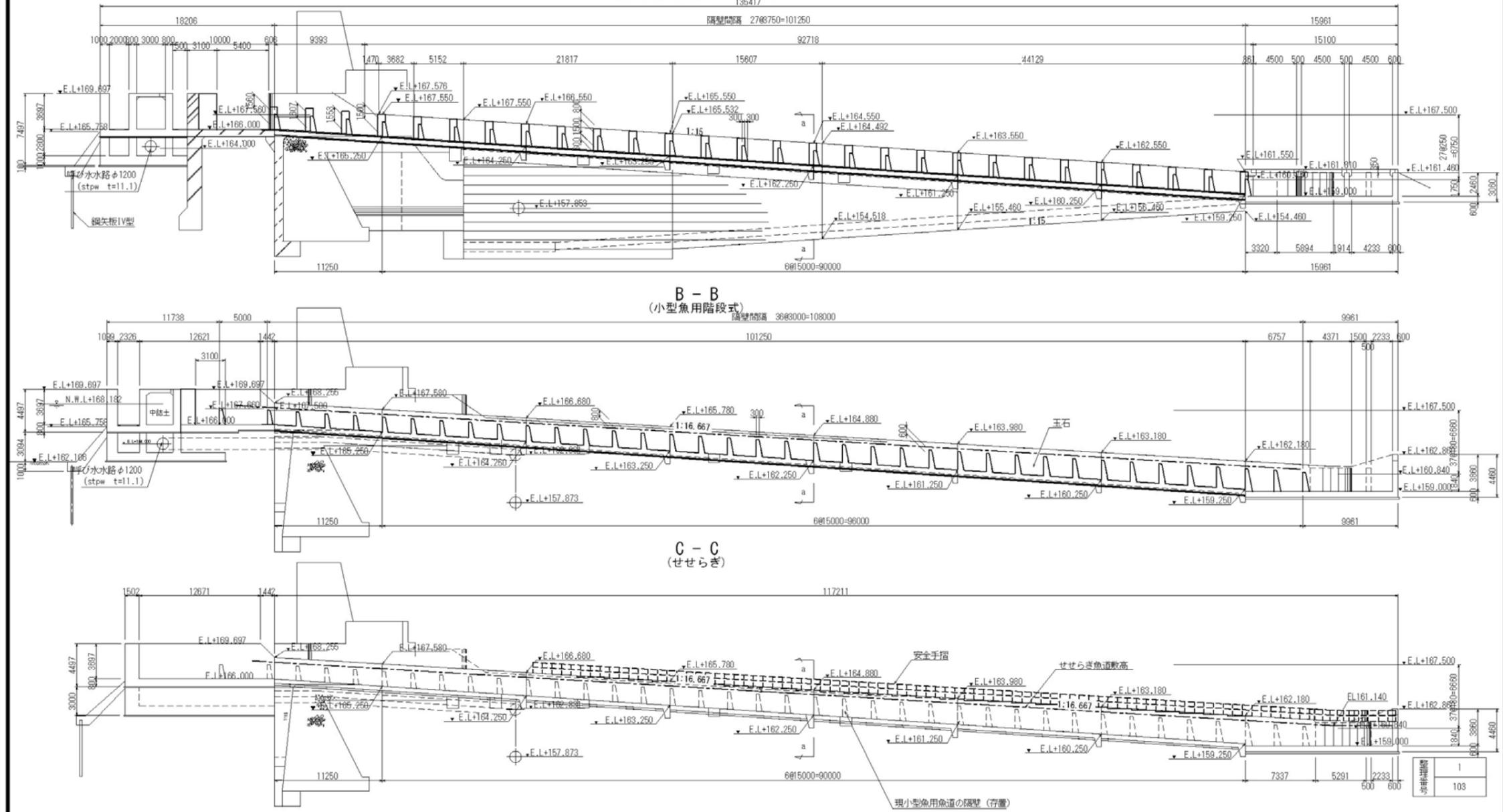


図 2.2.4 魚道縦断図(1)

魚道・魚道縦断面図(2) S=1/200

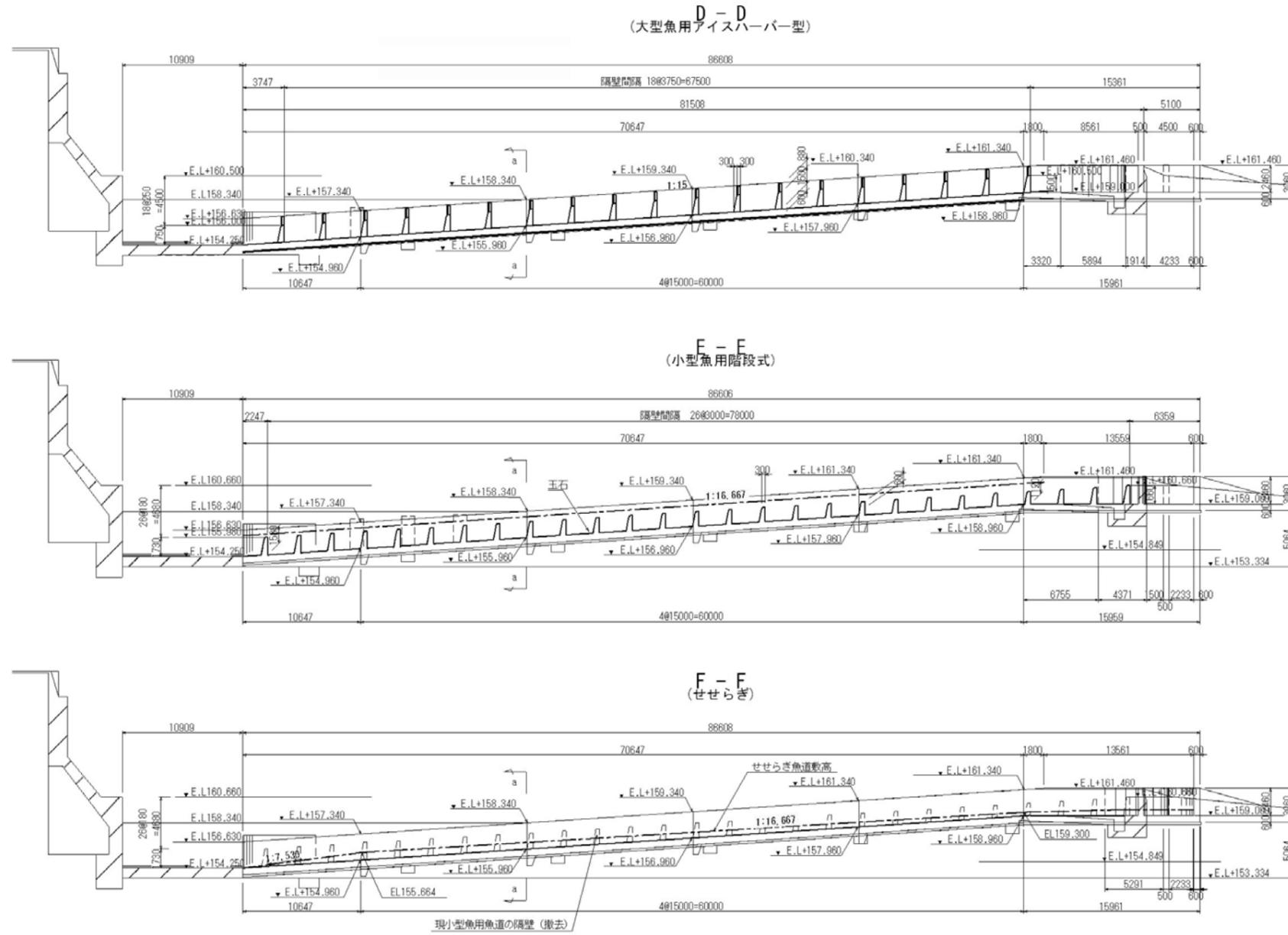


図 2.2.5 魚道縦断面図(2)

## 2.2.2 大型魚用魚道（アイスハーバー型階段式魚道への改善）

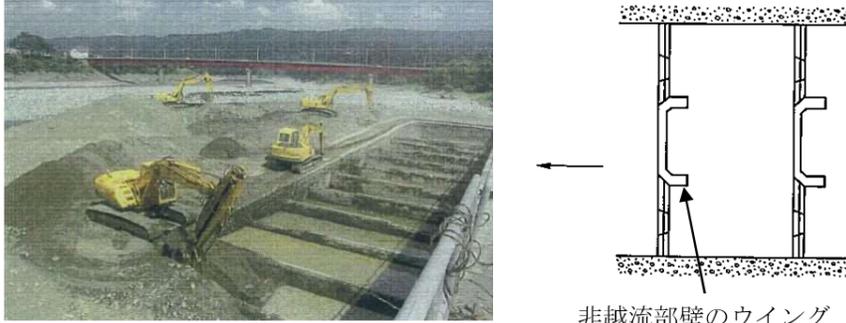
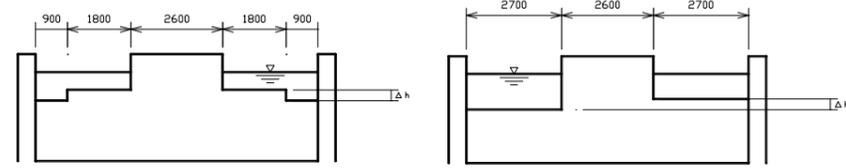
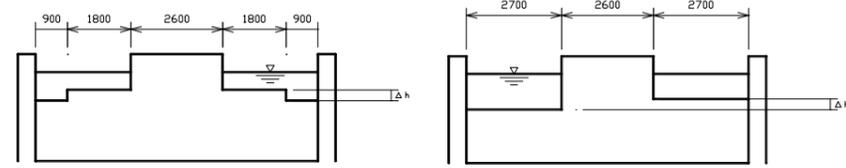
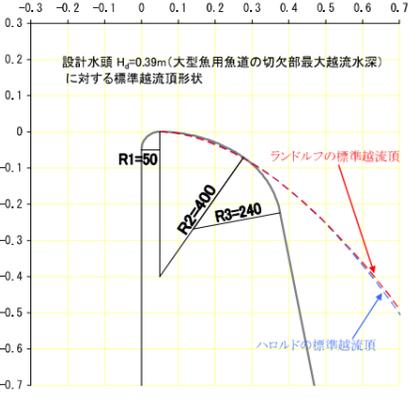
### (1) 改善項目

大型魚用魚道の改善項目について、以下に整理する。

改善案については、水理模型実験および現地流況確認によって流況改善の確認を行った。

#### 【改善案の目的】

- アイスハーバー型に改良することによって、協議会で指摘されている問題点の解決を図る。
- 横波対策として有効とされている。
- 非越流部背面に流速の静穏域を形成（休憩場所あるいは隔壁を越えるときの助走空間の提供）。
- プール横断方向の流れを抑制し、3次元的な複雑な流況を回避する。

構造細目	採用案	解説図
(1) 水抜き孔 (潜孔の縮小)	アイスハーバー型の特徴として、落下流状態を強制的に保つために大きな潜孔を設けている（中村俊六「魚道のはなし」, p.50 参照）ことが挙げられるが、下記のことから、 <b>潜孔は現状の 600×600 (A=0.36m<sup>2</sup>) から VPφ200 (A=0.03m<sup>2</sup>) へ縮小し</b> 、水抜き孔としての機能を持たせるのみとする。 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 落下流状態に保つことができる流量範囲内での運用を計画しており、後述する水理模型実験でも落下流状態となることが確認されていること</li> <li>• 潜孔からの激しい流れはプール内流況を乱す原因となると考えられること</li> </ul>	 <p>写真 2.2.1 宮中ダム魚道の土砂除去作業</p> <p>非越流部壁のウイング</p>
(2) 非越流部壁	アイスハーバー型の標準的な非越流部壁として、 <b>ウイング付き非越流部壁</b> を設ける。 ただし、宮中ダムの魚道では、折返しプール下流部に土砂が堆積するため、年数回の頻度で土砂除去作業が行われている（写真 2.2.1 参照）。この際、バックホウによるプール内土砂の除去を行う上で、アイスハーバー型のウイング（非越流部壁の左右端部から上流側プールに伸ばす導流壁）がついていると、バケットによる作業が不可能となる。したがって、 <b>折返しプール下流の非越流部壁にはウイングを設置しない</b> こととする。	 <p>(1 案：左右に切欠きを設ける場合) (2 案：左右の隔壁高さを変える場合)</p>
(3) 切欠き	大型魚と小型魚が遊泳力に応じた遡上箇所を選択できるように、切欠きに相当する措置を行うものとする。大別すると下記の 2 つの方法が考えられる。 第 1 案：左右の越流部に切欠きを設けること 第 2 案：左右の越流部の高さを変えること 第 2 案の場合、非越流部左右岸の流量の違いがプール中央の静穏域に回転流を生じさせるなどの懸念があることから、 <b>両側の越流部側壁沿いに切欠きを設ける第 1 案を採用することとする。</b>	 <p>(1 案：左右に切欠きを設ける場合) (2 案：左右の隔壁高さを変える場合)</p>
(4) 切欠き部隔壁天端形状	サケの場合は、母川回帰の長旅で疲労した魚が魚道を利用することになるため、できるだけ障害を除去することが必要である。したがって、サケの利用が想定されるアイスハーバー型魚道の切欠き部については、下記の点を考慮して、隔壁を越流する水脈がはく離しないように標準越流頂形状*を若干膨らませた <b>複合 3 円弧形状</b> を採用することとする。 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 天端を越流する水脈を滑らかにする</li> <li>• 隔壁と水脈の間に空洞が発生しないようにする</li> <li>• 隔壁天端の隅角部が遡上する魚の魚体を傷つけないようにする</li> </ul> 具体的な形状は、上流側から R <sub>1</sub> =5cm、R <sub>2</sub> =40cm、R <sub>3</sub> =24cm で隔壁下流面にすりつける（図 2.2.7）。	 <p>図 2.2.6 切欠きの設置方法</p> <p>図 2.2.7 切欠き部隔壁天端形状（複合 3 円弧形状）</p>
(5) プール内粗度	減勢機能を高めるためにプール内粗度として、プール底部は <b>玉石張り</b> とし、プール側壁には <b>石積み模様の化粧型枠</b> を使用する。	
(6) 折返しプール隅部のラウンディング	折返しプールにおける水面揺動を抑え、魚道の流水を円滑に 180° ターンさせて流下させるために、 <b>折返しプールの隅部に円弧を挿入</b> する。	

\* 標準越流頂形状とは、刃型堰を越流するナップ下面に沿わせた形状であり、水脈をはく離させることなく、最大の越流係数を得ることのできる越流頂形状である。このような形状を魚道の隔壁天端形状に採用することについては、「ダム・堰施設技術基準(案) (基準解説編・マニュアル編)」, H11.3, p.446 や 柏井・村岡・田中「階段式魚道の水理特性」, 土木技術資料, 1994.11 に記載されている。

(2) 水理模型実験による流況確認

1) 水理模型実験の目的

魚道の改善方法としては、大型魚道に非越流部を設ける（アイスハーバー型）案を提案している。本検討は、この非越流部を設ける（アイスハーバー型）案について、水理模型実験により流況調査を行い、対象魚の遡上空間として適しているかどうかを検証することを目的とする。

2) 実験のポイント

- 現況魚道の運用時の流況を調査し、魚の遡上空間としての問題点とその要因を明らかにする
- 大型魚道に非越流部を設ける（アイスハーバー型：潜孔部なし）案が、対象魚種の遡上に適していることを確認する
- 比較案として実施する潜孔部あり、非越流部なしによって、非越流部の効果、潜孔部のプール内流況への影響等を確認し、本提案形状が魚道隔壁として有効であることを確認する

表 2.2.1 抽出模型実験によって確認すべき内容

確認項目	確認する内容	
①プール内流況の確認	隔壁直下の流況	落下流、遷移流、表面流の確認
	流速分布	定位、休息可能な流速場の存在 遡上可能な流速場が縦断方向に連続で存在するかどうかの確認
	水面形	上下流で一定の越流水深が得られるかどうかの確認
	対象魚の遡上	上記結果より、遡上空間としての適切かどうかの確認
②水理条件の確認	越流水深 0.05～0.25mの範囲を対象として、 ①の流況より、対象魚の遡上に適した水理条件の確認	
③隔壁形状の確認	非越流部の有無、潜孔部のありなしについて、 非越流部の必要性の確認（魚の定位、休息空間として） 潜孔部の必要性の確認（プール式魚道として必要かどうか）	

3) 実験概要

a) 実験模型

水の流れる現象は、重力や慣性力が支配的になるため、フルード数が流れの形態を支配している。本実験では、現地と模型とのフルード数を合致させるフルードの相似則に従うものとした（水理現象の基本となるベルヌイの式における3つの水頭の比率を現地と模型で一致させる）。

実験模型は、できる限り原寸に近い縮尺が望ましいが、再現できる施設の規模や流量に限界がある。実験模型は、施設で確保できる流量（0.8m<sup>3</sup>/s）以下となる縮尺で、かつ水の粘性の影響を受けず、魚道内流況の再現性が得られる越流水深（3.0 cm以上）を確保することが必要条件となる。

以上を踏まえ、実験模型の縮尺は表 2.2.2 に示す条件より模型縮尺 1/5 と設定した。表 2.2.3 に現地水理量と模型水理量の関係を示す。

- 模型縮尺：1/5 → 水深、水面変動は、模型の5倍  
流速は、 $\sqrt{5}$ 倍（約2.2倍）
- 再現範囲：魚道隔壁4基を再現

表 2.2.2 模型縮尺の設定条件

水理条件	現地	模型縮尺					境界条件
		1/2	1/5	1/10	1/15	1/20	
現況の一般部の越流水深(m)	標準水深 0.25	0.13	0.05	0.03	0.02	0.01	0.03m以上
流量 Qr(m <sup>3</sup> /s)	最低流量	1	0.1768	0.0179	0.0032	0.0011	0.0006
	最大流量	5	0.8839	0.0894	0.0158	0.0057	0.0028

表 2.2.3 現地と模型の水理量の比較

水理条件	現地	模型値	相似
		縮尺1/5	
越流水深 (m)	0.25	0.05	1/5
魚道幅 (m)	10	2.0	1/5
流量 Qr(m <sup>3</sup> /s)	5	0.089	1/5 <sup>5/2</sup>
流速 (m/s)	2.0	0.894	1/5 <sup>1/2</sup>
魚道勾配 r	1/15	1/15	無次元

b) 計測内容

ア 越流部のH～Q調査

隔壁形状（非越流部の有無、潜孔部の有無）の変化に伴う隔壁部の越流水深（H）と流量（Q）の関係を調査する。

イ プール内の流況調査

プール内の流れが、落下流になるか、遷移流、表面流になるかを調査する。

対象魚が定位、休憩可能となる流速を示す場が存在するか、越流部から下流隔壁まで、突進速度以下の遡上可能となる流れ場が連続で形成されるかを調査する。

4) 実験条件

魚種毎の遊泳条件に必要な隔壁一般部の越流条件は、表 2.2.4 のとおりである。

本実験では、以下の越流水深（一般部越流水深）3 ケースを対象に流況調査を行うものとした。

- ① 一般部越流水深 0.05m：一般部でアユが遡上可能な（最）小流量
- ② " 0.15m：一般部で宮中取水ダム魚道の全対象魚（底生魚を除く）が遡上可能な流量
- ③ " 0.25m：秋期に移動する対象魚が遡上可能な最大流量

表 2.2.4 対象魚の遊泳条件と水理条件

	魚種名	魚種に応じた遡上部位ごとの設計条件				一般部越流水深		魚道流量	
		魚種	遡上部位	突進速度 [cm/s]	確保水深 [cm]	最大値 [m]	最小値 [m]	最大値 [m <sup>3</sup> /s]	最小値 [m <sup>3</sup> /s]
浮遊魚	5月上旬～6月下旬	アユ	小型魚 一般部	100	4.0	0.15	0.04	1.003	0.381
		サクラマス	大型魚 切欠部	400	7.5	0.24	-0.07	1.682	0.120
	9月中旬～11月下旬	イワナ・ヤマメ	小型魚 一般部	130	14.0	0.25	0.14	1.766	0.936
		サケ	大型魚 切欠部	500	12.5	0.24	-0.02	1.682	0.203
通年	コイ・フナ・オイカワ・ウグイ・ウケチウグイ・ニゴイ	小型魚 一般部	100	13.0	0.15	0.13	1.003	0.871	
	ニジマス	大型魚 切欠部	170	12.5	0.24	-0.02	1.682	0.203	

#### 5) 魚道の隔壁形状検討ケース

【Case0】として、現況大型魚用魚道の設計越流水深 25cm 時の流況調査を行い、課題の把握を行った上で、【Case1】大型魚道に非越流部を設ける（アイスハーバー型：潜孔部なし）案の他、比較案として、【Case2】非越流部のない隔壁、【Case3】アイスハーバー型に潜孔部を設けた隔壁の3形状について流況調査を行った。図 2.2.8～図 2.2.11 に4ケースの隔壁形状図を示す。

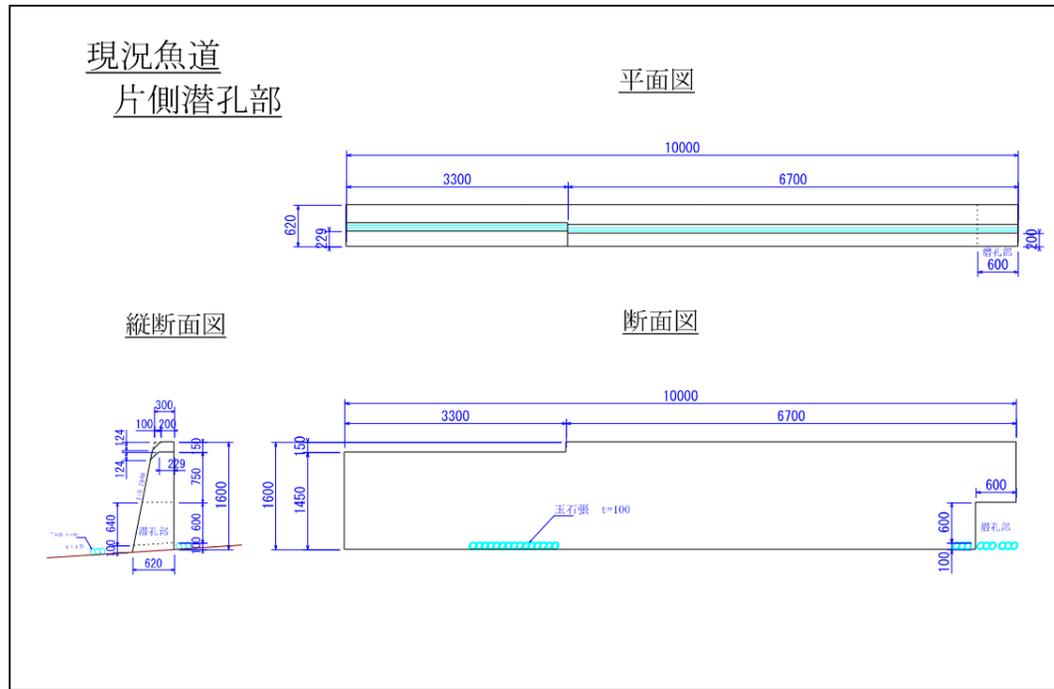


図 2.2.8 【Case0】非越流部なし／潜孔あり／潜孔・切欠き交互配置（現況大型魚用魚道）

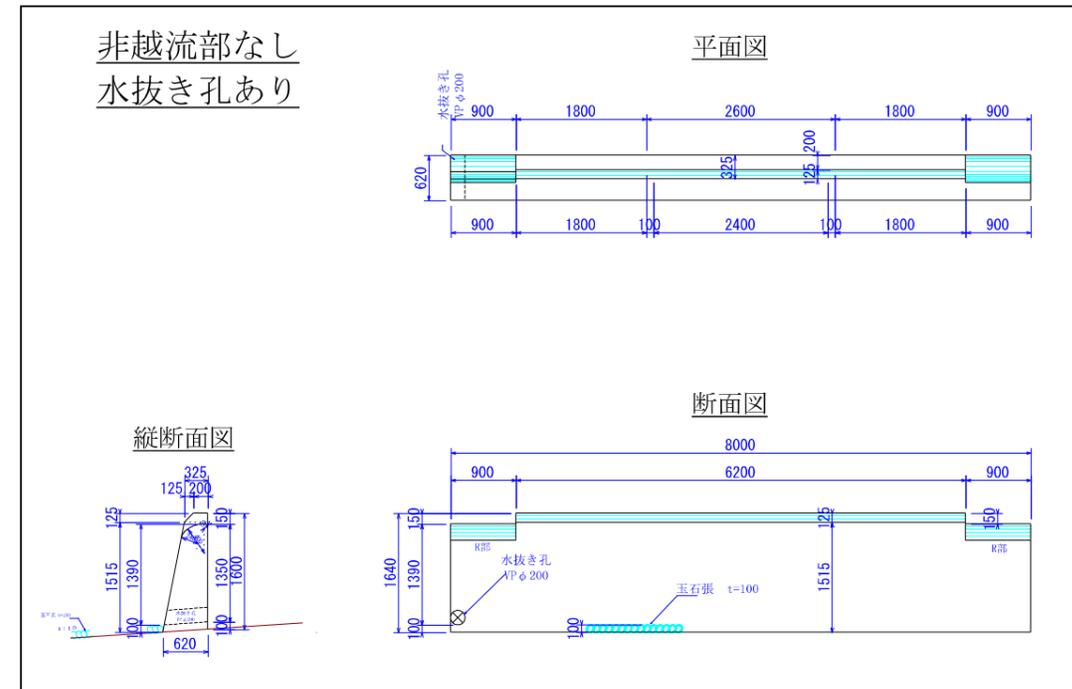


図 2.2.10 【Case2】非越流部なし／水抜き孔あり

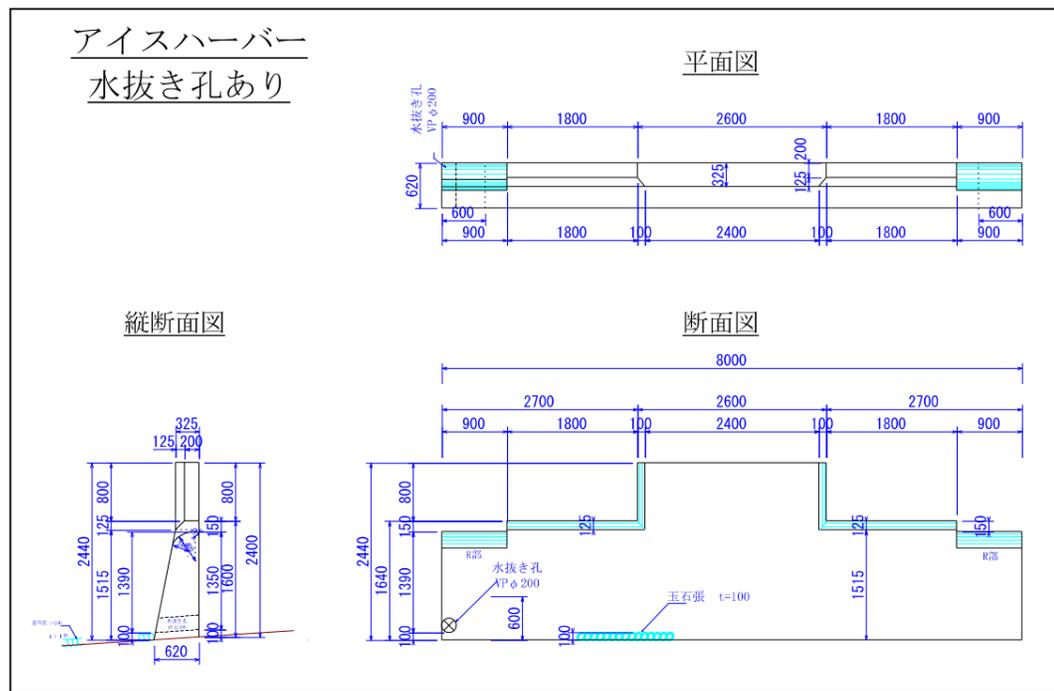


図 2.2.9 【Case1】非越流部あり／水抜き孔あり

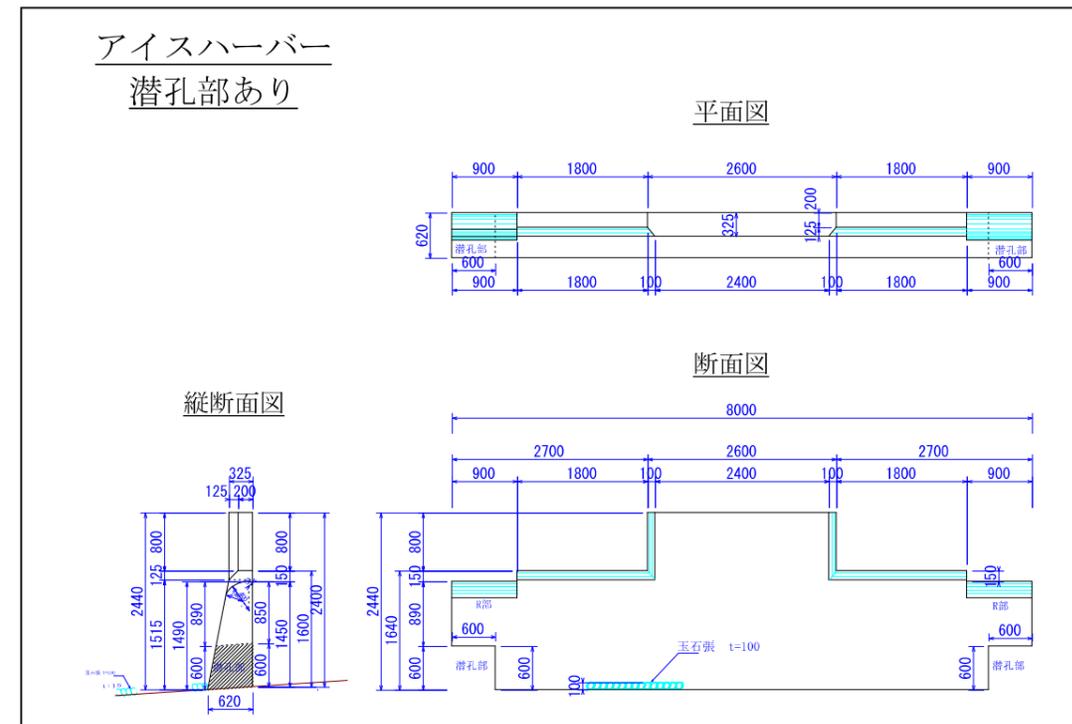


図 2.2.11 【Case3】非越流部あり／潜孔あり

6) 実験結果

Case0～3 の鉛直流速分布図と写真を表 2.2.7～表 2.2.10 に示す。また、各ケースの水位－流量関係（H～Q）を図 2.2.12 に、最大流速を表 2.2.6 に示す。各ケースの実験結果をまとめると表 2.2.5 のとおりである。

表 2.2.5 実験結果のまとめ

		【Case0】（現況の大型魚用魚道） 非越流部なし／潜孔あり ／潜孔・切欠き交互配置	【Case1】 非越流部あり／潜孔なし	【Case2】 非越流部なし／潜孔なし	【Case3】 非越流部あり／潜孔あり
水理特性	H～Q	・全面越流となること、切欠の幅が全幅の 1/3（3.3m）あること、潜孔（0.6m×0.6m）があることより、越流水深 0.25m を確保するには約 3.8m³/s と多くの流量が必要となる。	・隔壁に非越流部を設けた場合、所定の越流水深は少ない流量で確保できる。	・隔壁に非越流部がない場合、所定の越流水深を確保するには、多くの流量が必要となる。	・潜孔からの流量が多いため、所定の越流水深を確保するには、多くの流量が必要となる。
	水面変動	・ <b>3次元的な流れとなり、流量も多いため、水面変動が大きい。</b>	・水面変動も含め、 <b>安定した水面形が連続で確保できる。</b>	・ <b>流量が多い場合は、Case1 に比べて水面変動が顕著となる。Case0 と同程度。</b>	・プールによって流れの形態が異なっており、 <b>水面変動が小さいプールと顕著なプールが存在する。</b>
	水面勾配	・潜孔部が交互に設けられているため、潜孔部からの流れは、下流隔壁に衝突して減勢され、流速は小さくなる。そのため、各プールの潜孔部からの流量は一定となり、水深も一定の水深が上流から下流まで連続で確保できている。 ・水面勾配も <b>魚道勾配 1/15 を確保できる。</b>	・潜孔部がないため、下流水位の影響を受けず各プールが独立している。そのため、下流水位が変動しても所定の越流水深が連続して確保できる。 ・水面勾配も <b>魚道勾配の 1/15 を確保できる。</b>	・潜孔部がないため、下流水位の影響を受けず各プールが独立している。そのため、下流水位が変動しても所定の越流水深が連続して確保できる。 ・水面勾配も <b>魚道勾配の 1/15 を確保できる。</b>	・ <b>隔壁に潜孔部を設けた場合、プール内流況は、下流水位の影響を受ける（写真 2.2.2 参照）。</b> 下流水位が低い場合は、水面勾配が 1/15 より急勾配になり、最上流部で所定の越流水深を設定しても、下流側プールの越流水深は低下傾向を示す。 流量が少ない場合には、所定の下流水位であっても、中間隔壁では設定した越流水深以下となる。
	流速分布	・落下部の一部と潜孔部（直下で 2.0m/s 以下）を除けば <b>1.0m/s 以下を示し、比較的遅い</b> （体長 10cm 以上の魚の突進速度以下）流れ場が形成されている。	・非越流部の上流側は、 <b>死水域</b> に近い流況が形成され、最大流速は 0.3～0.6m/s である。	・非越流部がないため、切欠きのない部分の流速が最も小さく、 <b>最大流速は 0.4～1.1m/s</b> である。	・ <b>非越流部の上流側は、死水域</b> に近い流況が形成され、最大流速は 0.6～0.7m/s である。 ・ <b>潜孔部の流速は、最大値で 2.3～2.7m/s</b> を示し、プール内で流速が減勢しない。
魚が利用する空間	魚の遡上空間	・切欠きが交互配置であるため、側壁選好性を示す魚にとって隔壁 1 枚ごとに不適切な水量の部分の遡上しなければならない。 ・潜孔流速が大きいため、潜孔の活用は期待できない。	・遡上空間は 3 案の中で最も少ないが、有効性から評価すれば大差はない。	・一般に魚は側壁選好性を示す傾向が強いため、隔壁全体を越流可能な空間と位置づけても有効に活用できる可能性は低い。	・潜孔部の流速が大きいため、潜孔部からの遡上はあまり期待できない。
	魚の定位空間	・ <b>同一プール内で落下流と表面流が混在する流れ</b> となり、魚の向流性に着目すると、 <b>魚にとって上流位置を確認しづらい</b> プール内流況を形成していると判断される。	・ <b>流量が最も多い（越流水深 25cm）場合でも越流部において落下流が形成されており、遡上魚は上流に頭を向けて定位すると推定される。</b>	・ <b>流量が最も多い（越流水深 25cm）場合でも越流部において落下流が形成されており、遡上魚は上流に頭を向けて定位すると推定される。</b>	・ <b>潜孔部直下は、独立した流れ場が形成されるため、魚の定位空間としてのプール水深は、この潜孔部（0.6m）を除いた上側 0.9m 部分となり、越流部での定位が容易ではないと推定される。</b>
	魚の休息空間	・ <b>死水域に近い流況となる箇所が少なく、安定しない。</b>	・非越流部の上流側は、 <b>死水域に近い流況が形成されるため、下流から遡上した魚の休息空間となる。</b>	・非越流部がないため、 <b>魚の休息空間はプール内で形成される流れの遅い部分に限られる。</b>	・非越流部の上流側は、 <b>死水域に近い流況が形成されるため、下流から遡上した魚の休息空間となる。</b>

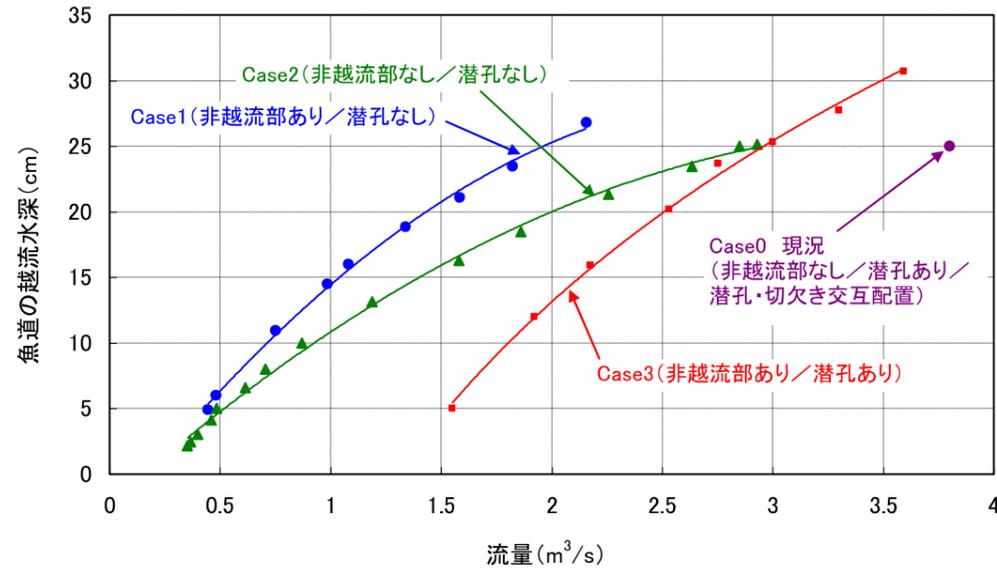


図 2.2.12 3 ケースのH~Q関係

表 2.2.6 魚道内最大流速

最大流速値 (m/s)					
越流水深 (cm)	計測線	計測部	Case1 非越流部あり 潜孔部なし	Case2 非越流部なし 潜孔部なし	Case3 非越流部あり 潜孔部あり
5.0	切欠部	越流部	1.5	1.6	—
		プール部	1.4	1.5	2.7
	一般部	越流部	0.8	1.0	—
		プール部	0.5	0.4	0.6
非越流部	プール部	0.3	—	0.4	
	切欠部	越流部	1.9	1.9	1.9
		プール部	1.5	1.6	2.6
15.0	一般部	越流部	1.7	1.8	1.2
		プール部	0.7	0.8	0.7
	非越流部	プール部	0.4	—	0.5
25.0	切欠部	越流部	2.1	2.3	2.3
		プール部	1.9	1.9	2.3
	一般部	越流部	2.0	1.8	1.9
		プール部	1.0	1.1	0.7
非越流部	プール部	0.6	—	0.7	

表 2.2.7 鉛直流速分布と流況写真 (Case0)

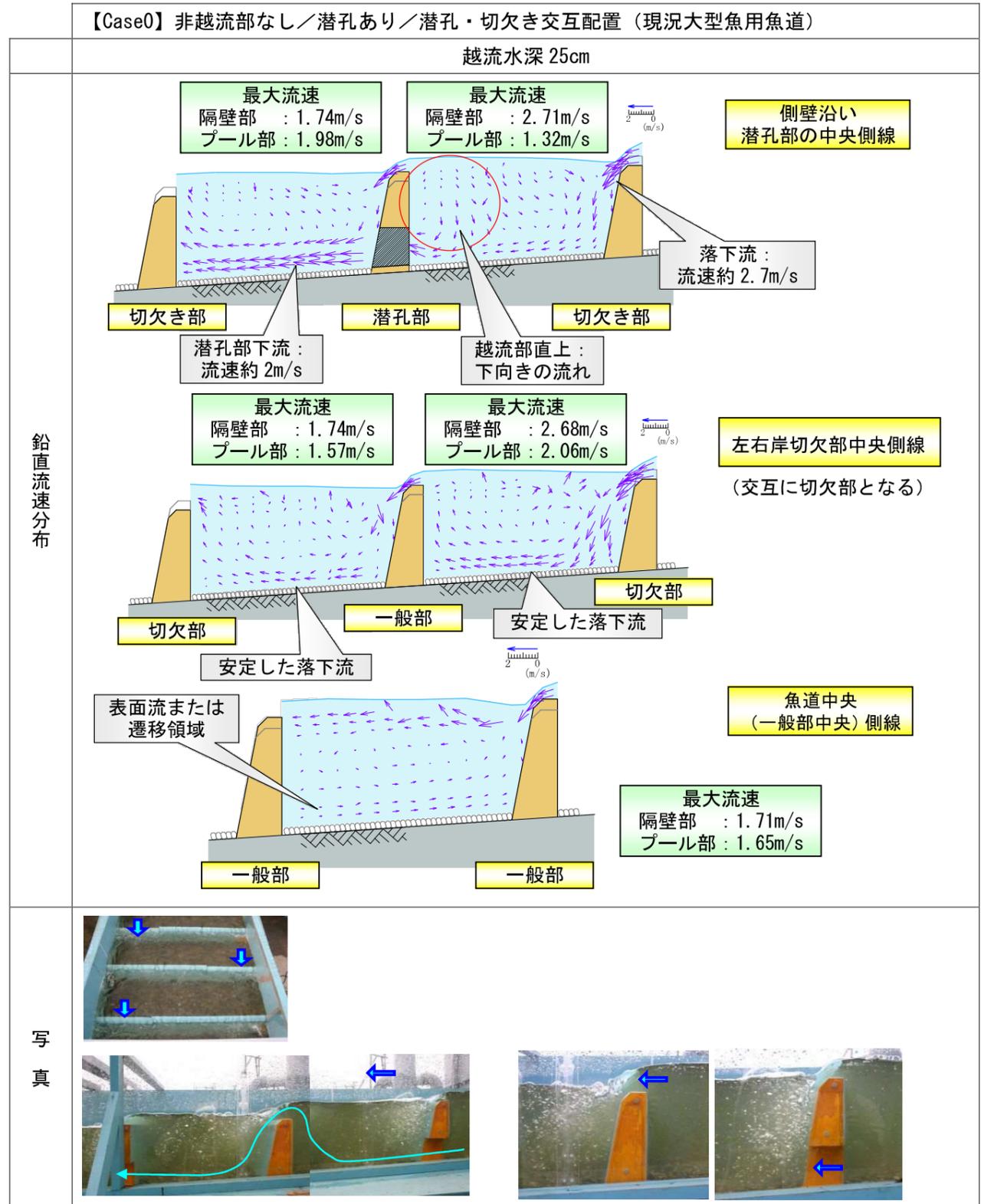


表 2.2.8 鉛直流速分布と流況写真 (Case1)

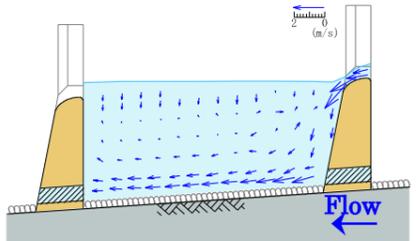
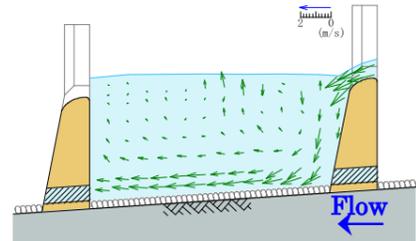
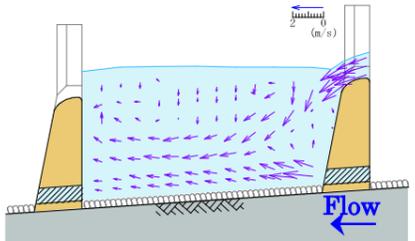
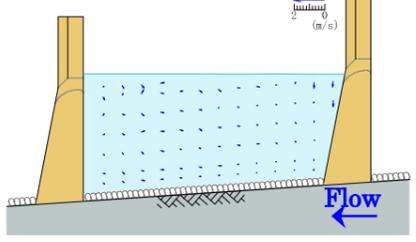
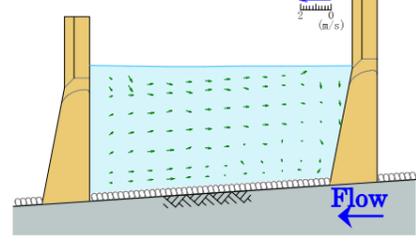
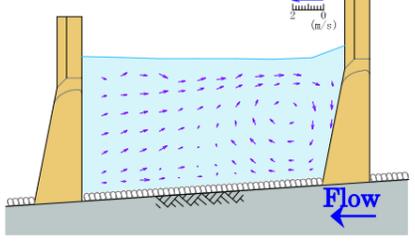
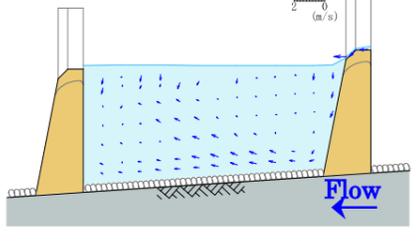
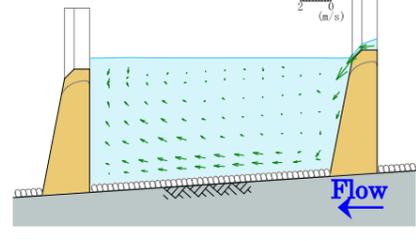
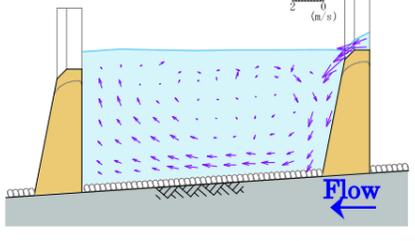
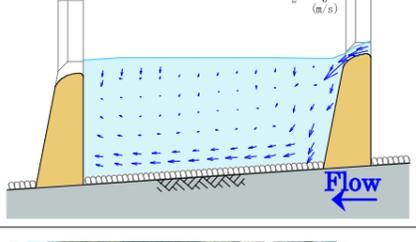
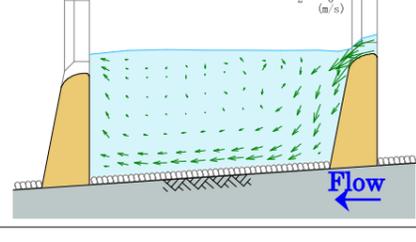
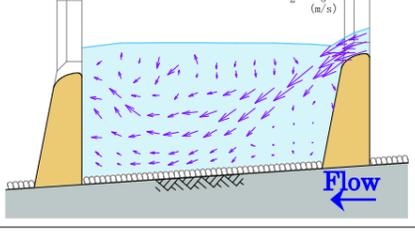
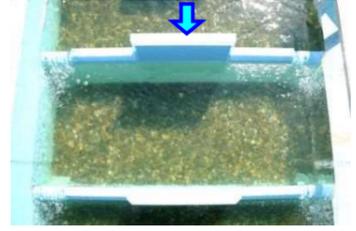
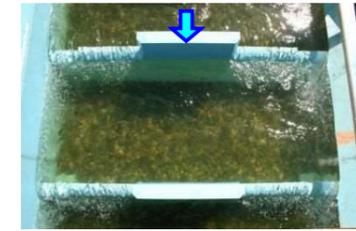
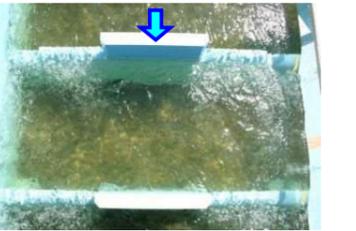
		【Case1】 非越流あり／潜孔なし		
		越流水深 5cm	越流水深 15cm	越流水深 25cm
鉛直流速分布	 <p>右岸切欠部 [水抜き孔]</p> <p>最大流速 隔壁部 : 1.5m/s プール部 : 1.4m/s</p>	 <p>右岸切欠部 [水抜き孔]</p> <p>最大流速 隔壁部 : 1.9m/s プール部 : 1.5m/s</p>	 <p>右岸切欠部 [水抜き孔]</p> <p>最大流速 隔壁部 : 2.1m/s プール部 : 1.9m/s</p>	
	 <p>非越流部</p> <p>最大流速 プール部 : 0.3m/s</p>	 <p>非越流部</p> <p>最大流速 プール部 : 0.4m/s</p>	 <p>非越流部</p> <p>最大流速 プール部 : 0.61m/s</p>	
	 <p>一般部</p> <p>最大流速 隔壁部 : 0.8m/s プール部 : 0.5m/s</p>	 <p>一般部</p> <p>最大流速 隔壁部 : 1.7m/s プール部 : 0.7m/s</p>	 <p>一般部</p> <p>最大流速 隔壁部 : 2.0m/s プール部 : 1.0m/s</p>	
	 <p>左岸切欠部</p> <p>最大流速 隔壁部 : 1.5m/s プール部 : 0.9m/s</p>	 <p>左岸切欠部</p> <p>最大流速 隔壁部 : 1.9m/s プール部 : 1.2m/s</p>	 <p>左岸切欠部</p> <p>最大流速 隔壁部 : 2.1m/s プール部 : 2.1m/s</p>	
写真				
				
				

表 2.2.9 鉛直流速分布と流況写真 (Case2)

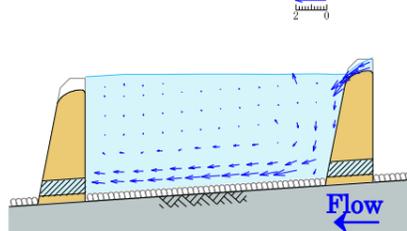
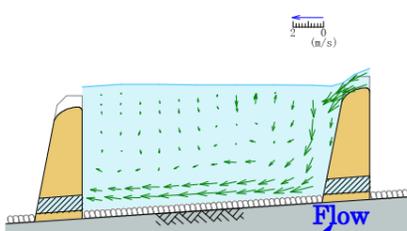
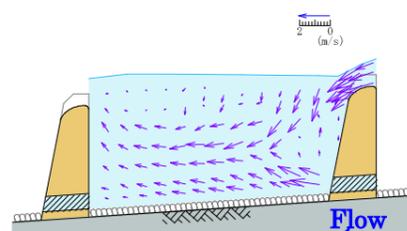
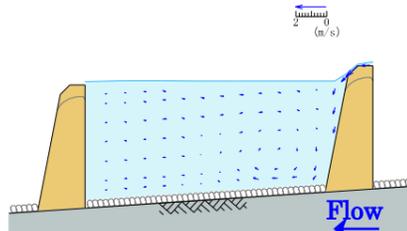
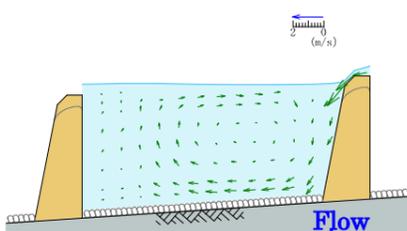
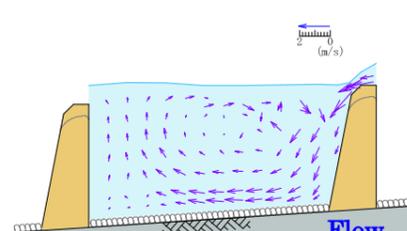
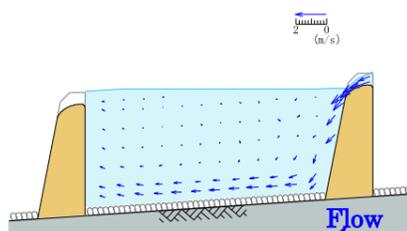
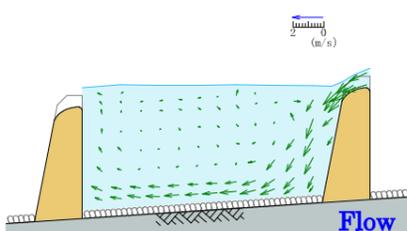
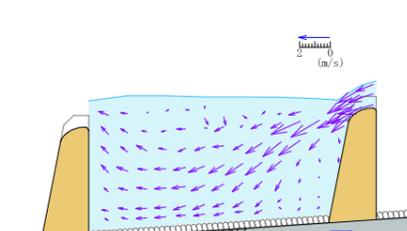
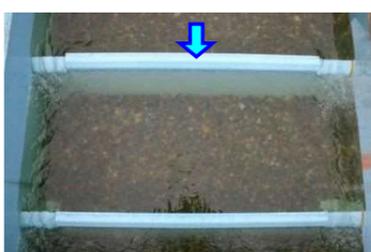
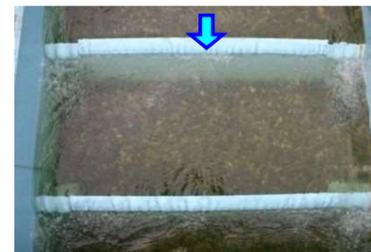
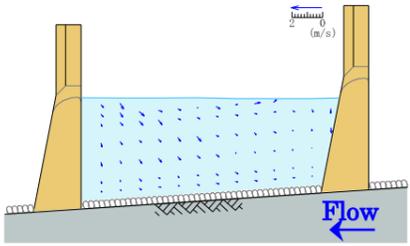
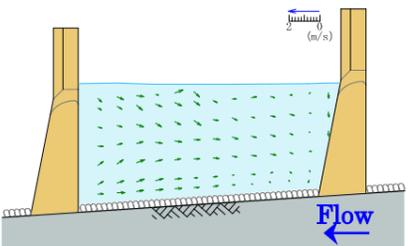
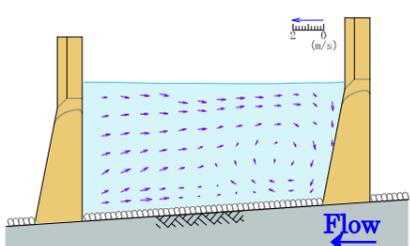
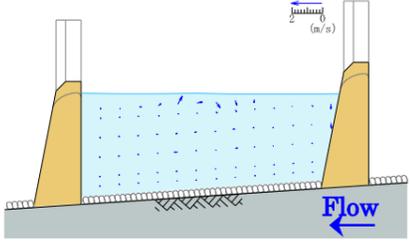
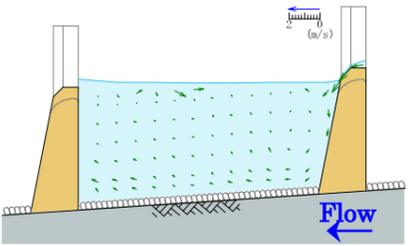
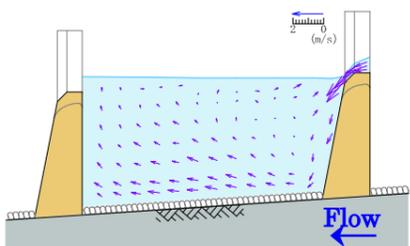
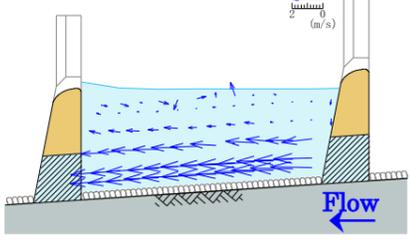
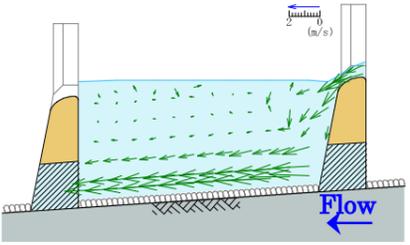
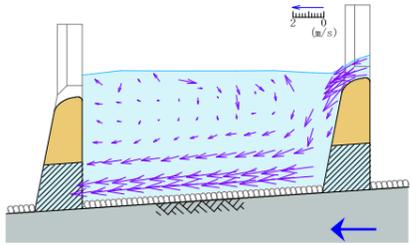
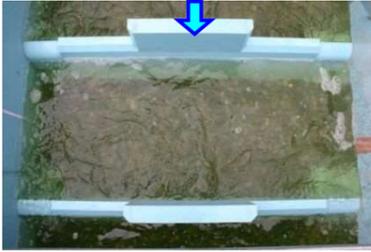
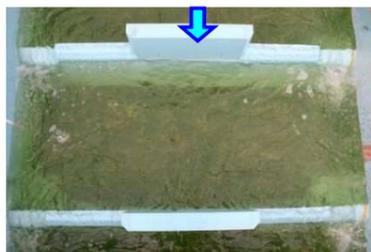
		越流水深 5cm (模型 1cm)	越流水深 15cm (模型 3cm)	越流水深 25cm (模型 5cm)
鉛直流速分布	右岸切欠部 [水抜き孔]	 <p>最大流速 隔壁部 : 1.6m/s プール部 : 1.5m/s</p>	 <p>最大流速 隔壁部 : 1.9m/s プール部 : 1.6m/s</p>	 <p>最大流速 隔壁部 : 2.3m/s プール部 : 1.9m/s</p>
	一般部	 <p>最大流速 隔壁部 : 1.0m/s プール部 : 0.4m/s</p>	 <p>最大流速 隔壁部 : 1.8m/s プール部 : 0.8m/s</p>	 <p>最大流速 隔壁部 : 1.8m/s プール部 : 1.1m/s</p>
	左岸切欠部	 <p>最大流速 隔壁部 : 1.6m/s プール部 : 0.8m/s</p>	 <p>最大流速 隔壁部 : 1.9m/s プール部 : 1.3m/s</p>	 <p>最大流速 隔壁部 : 2.3m/s プール部 : 2.1m/s</p>
写真	上			
	下			

表 2.2.10 鉛直流速分布と流況写真 (Case3)

		越流水深 5cm (模型 1cm)	越流水深 15cm (模型 3cm)	越流水深 25cm (模型 5cm)
鉛直流速分布	 <p>非越流部 最大流速 プール部 : 0.4m/s</p>	 <p>非越流部 最大流速 プール部 : 0.5m/s</p>	 <p>非越流部 最大流速 プール部 : 0.73m/s</p>	
	 <p>一般部 最大流速 隔壁部 : 越流なし プール部 : 0.6m/s</p>	 <p>一般部 最大流速 隔壁部 : 1.2m/s プール部 : 0.7m/s</p>	 <p>左岸 越流部 最大流速 隔壁部 : 1.9m/s プール部 : 0.7m/s</p>	
	 <p>切欠部 潜孔部あり 最大流速 隔壁部 : 越流なし プール部 : 2.7m/s</p>	 <p>切欠部 潜孔あり 最大流速 隔壁部 : 1.9m/s プール部 : 2.6m/s</p>	 <p>切欠部 潜孔部あり 最大流速 隔壁部 : 2.3m/s プール部 : 2.3m/s</p>	
写真				
	 	 	 	

(参考写真：Case3 で発生した特異事例)

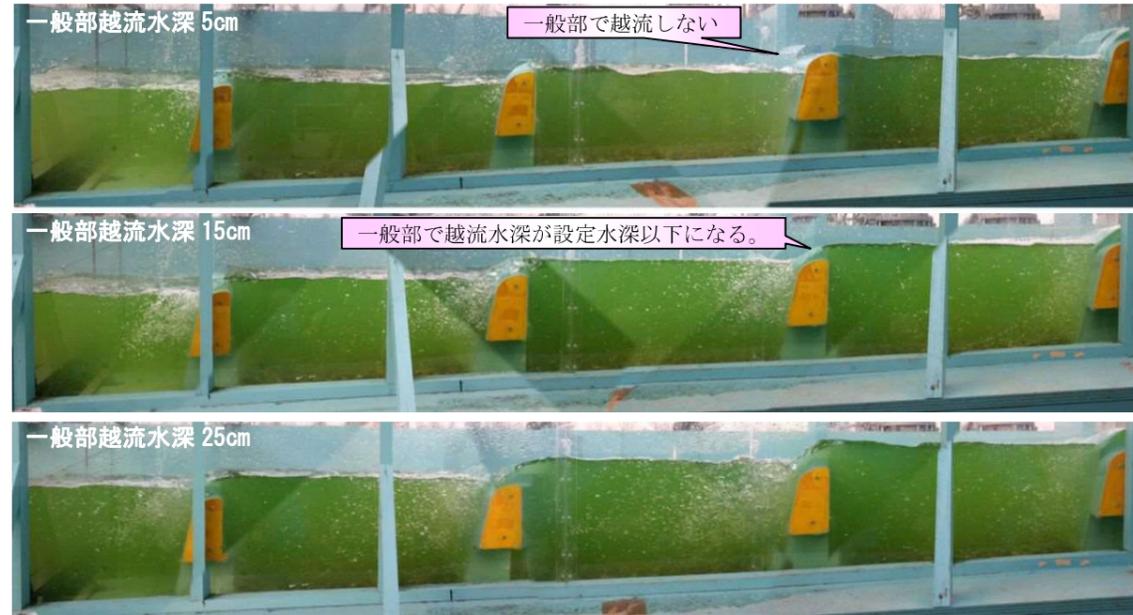


写真 2.2.2 Case3 における水面勾配

### 7) 評価

現況の階段式魚道では、水量としては適切な値が得られるが、落下流と表面流が混在するプール内流況を形成し、かつ側壁沿いの流れ場が縦断方向に不連続（切欠きと潜孔の交互配置による）となるため、魚の遡上経路として改良の余地がある。

非越流部なしとした Case2 では、休息空間が形成できないことから、Case1 に比べて機能面で劣る。潜孔を設けた Case3 では、プール間の水面勾配が等流状態にならず、必要水深が確保できないプールが出現すること、潜孔部は流速が大きく遡上が期待できないこと、魚の定位空間が少ないことから、不適である。

以上のことから、非越流部あり、潜孔なしとした Case1 が最適であると評価した。

表 2.2.11 水理模型実験の評価

Case	【Case0】 (現況の大型魚用魚道)	【Case1】	【Case2】	【Case3】
形状	非越流部なし ／潜孔あり ／潜孔・切欠き交互配置	非越流部あり ／潜孔なし	非越流部なし ／潜孔なし	非越流部あり ／潜孔あり
評価	<b>落下流と表面流が混在</b> するプール内流況を形成し、かつ <b>側壁沿いの流れ場の水理特性が縦断方向に不連続</b> となる。そのため、遡上空間、定位区間、休息空間が安定的に形成されない。	越流部において必要水深が確保でき、かつ定位および遡上可能な流れ場が越流部下流に形成されること、非越流部下流では死水域が形成され、休息空間となることより、最適な隔壁形状と考えられる。	越流部における必要水深が確保でき、かつ定位および遡上可能な流れ場が越流部下流に形成されるが、 <b>休息空間が形成できないこと</b> より、Case1 に比べると機能面で劣ると考えられる。	潜孔部の流速が加速し、潜孔部からの流下流量が各プールで異なるため、各越流部において <b>一定の越流水深が確保できないこと</b> 、 <b>潜孔部の遡上も流速が速いため期待できないこと</b> 、かつ <b>魚の定位空間も縮小すること</b> より、隔壁に潜孔を設けることは、不適と考えられる。

8) 机上水理検討の検証

a) H～Q関係

水理模型実験で得られたH～Qと対比して、机上水理検討の妥当性を検証した。

結果を図 2.2.13 に示す。

越流水深 20cm 程度までは、実験結果と計算結果はほとんど一致しており、机上検討は妥当であると判断できる。一方、越流水深が 20cm 付近よりも大きくなると差が大きくなっているが、落下流から遷移流への移行を示しつつあるものと推察される。

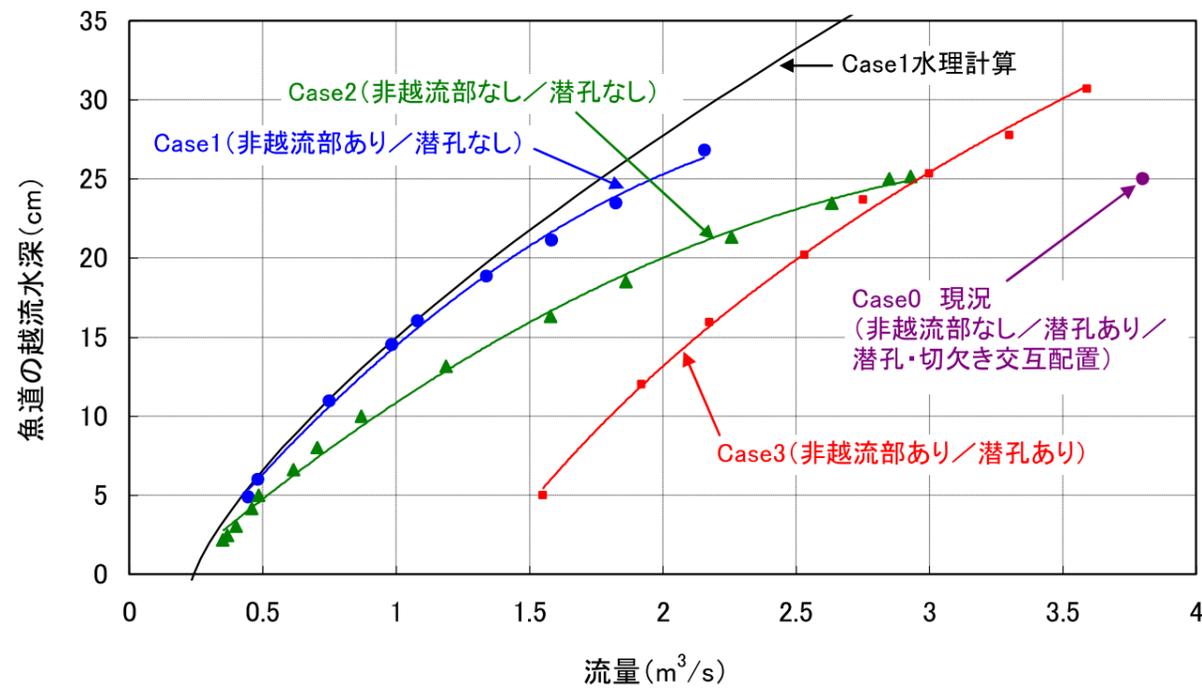


図 2.2.13 水理模型実験結果と水理計算の対比

b) 越流水深と流速の関係

採用した複合 3 円弧形状は、図 2.2.7 に示したとおり、標準越流頂よりも厚みをもたせた形状となり、また常に設計越流水深で越流させるわけではないことから、円弧上の流れとして水脈の厚さを算定し、プール水面への突入流速を算定する。また、45° カット形状の越流部についても円弧上の流れと仮定して突入流速を算定する。

円弧上の流れの水面形は、下式で算定する（出典：柏井・宮脇「台形越流頂およびオリフィス下流円弧部の壁面作用圧力」, ダム技術 No.124, 1997.1）。

$$H + R(1 - \cos \theta) - q^2 / (2g(R + h)^2 \ln^2(1 + h/R)) = 0$$

ここに、H：越流水頭

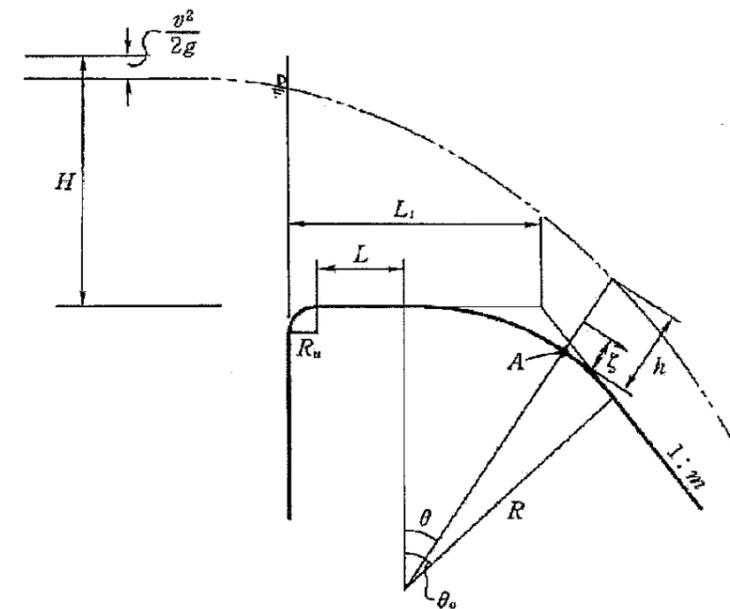
R：下流側の円弧半径

$\theta$ ：鉛直面と算定しようとする断面のなす角

q：単位幅当り流量

g：重力加速度

h：算定断面位置の水深



出典：柏井・宮脇「台形越流頂およびオリフィス下流円弧部の壁面作用圧力」, ダム技術 No.124, 1997.1

図 2.2.14 円弧状の流れの水面形算定に使用する諸量説明図

越流水深 3 ケースについての検討結果を図 2.2.15、表 2.2.12 に示す。

水面形計算から算定した突入流速値は、実験値に比較すると、かなり大きめの値となっている。

この差異の原因としては、下記に示す水面形計算の仮定による誤差、越流部近傍の流況による誤差、下流プールの流況の影響を考慮していないことによる誤差などが考えられる。

- 流れのエネルギー損失がない。
- 流れは円弧面に沿って流れ、円弧状の底面からの距離  $\xi$  の位置での流れの曲率半径は、 $R + \xi$  となる。

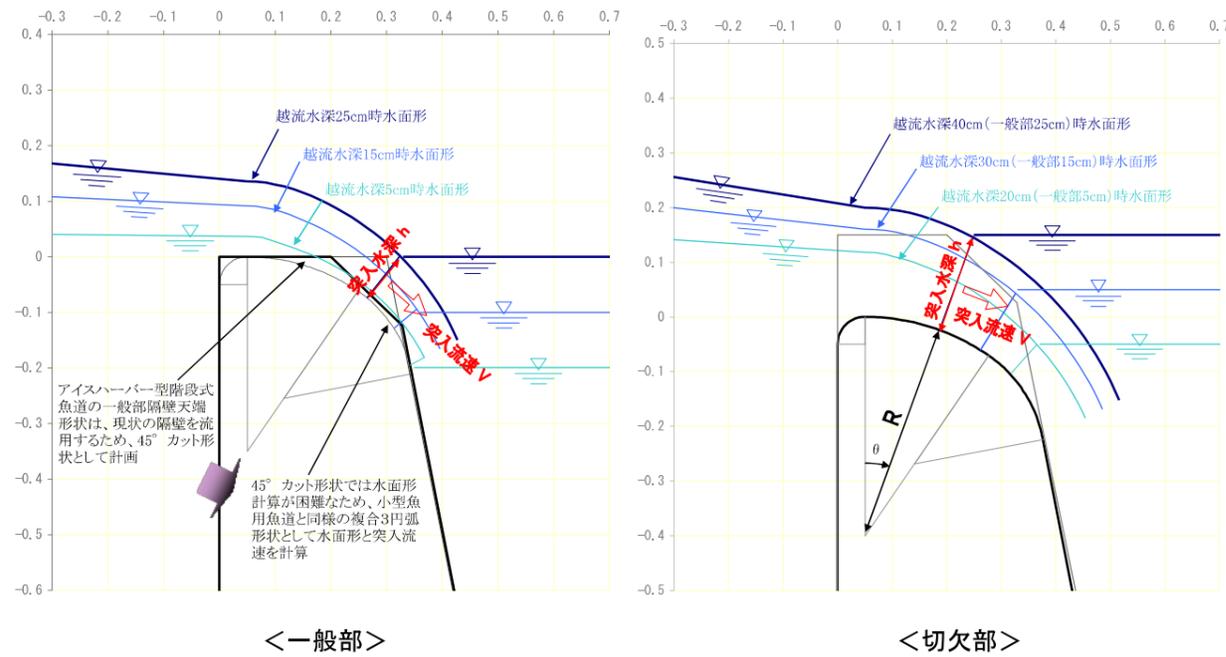


図 2.2.15 アイスハーバー型階段式魚道の水面形計算結果

表 2.2.12 水面形計算から求めた突入流速と実験結果の比較

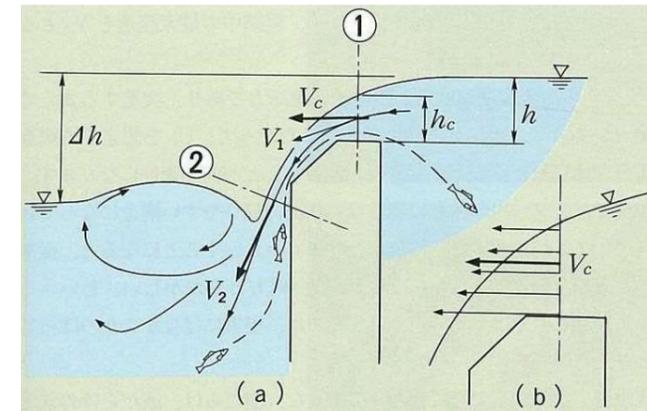
		一般部			切欠部			
水面形による 計算結果	一般部越流水深	[m]	0.05	0.15	0.25	0.05	0.15	0.25
	越流水深 h	[m]	0.05	0.15	0.25	0.20	0.30	0.40
	突入水深 H	[m]	0.010	0.047	0.096	0.071	0.122	0.180
	流量 Q	[m <sup>3</sup> /s]	0.077	0.398	0.857	0.306	0.563	0.867
	単位幅流量 q	[m <sup>2</sup> /s]	0.021	0.111	0.238	0.170	0.313	0.482
	突入流速 V	[m/s]	2.156	2.331	2.487	2.398	2.558	2.677
Case1の 実験結果	隔壁部最大流速	[m/s]	0.8	1.7	2.0	1.5	1.9	2.1

以上に示した流速の値をもとに、遡上魚に対する適性を考察した。

まず、切欠き部については、サケ・サクラマスといった大型魚を対象としており、これらの魚は突進速度が 4~5m/s 程度であるため、2m/s 程度の突入流速が問題になることはないといえる。

一般部を利用すると想定している小型の魚種については、突進速度 1m/s と想定しており、これに対して突入流速は約 2m/s となっている。しかしながら、下記のことから遡上する魚にとって問題になるようなものではないと考えられる。

- 越流水脈の突入部はごく一部の断面に過ぎないため、遡上魚は、逆流領域など(例えば、図 2.2.16 (a) に示す隔壁の下流面沿いの部分や非越流部壁の下流側の部分) から接近して流向ベクトルに対して斜めに進入することや跳躍することによって、遡上しうると考えられること
- 計算値は一次元計算に基づく断面平均流速であるが、実現象としては、図 2.2.16 (b) に示すような流速分布をもっており、実験による測定結果においても表面付近では 1m/s 程度の流速となっていること



(出典：中村俊六「魚道のはなし」, 1995.7, p.43.)

図 2.2.16 越流頂を越える流れの流速分布

(3) 大型魚用階段式魚道の現地流況確認

1) 現地流況確認の目的

宮中ダム魚道の改善目標のひとつにセイシュの発生抑制があり、第3回委員会においてアイスハーバー型に改良することでセイシュの抑制を図る提案を行なった。

そこで、現在の階段式魚道をアイスハーバー型に改造することで、どの程度セイシュを抑制できるかを確認することにした。

2) 実施方法

a) 改造内容

アイスハーバー型への改造は、折返しプールから下流の4枚の隔壁とし、非越流部壁を設けた。

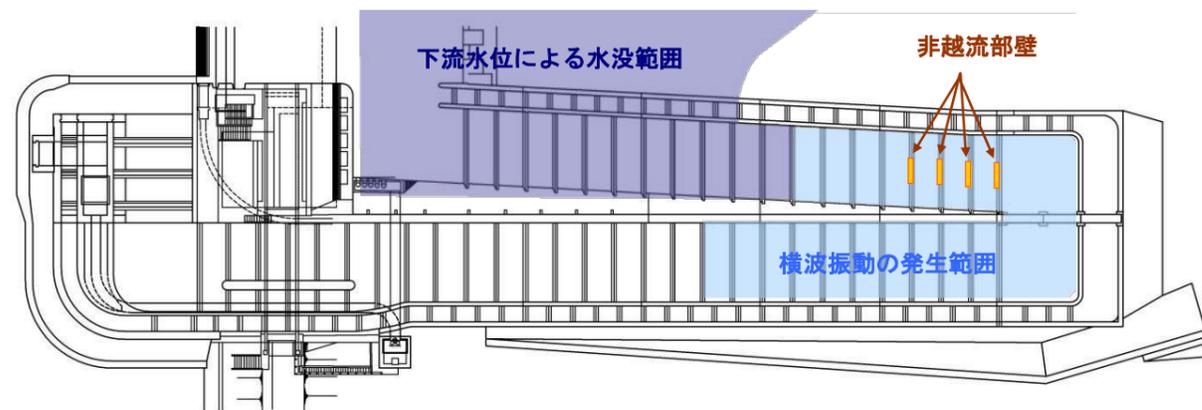


図 2.2.17 隔壁改造箇所の平面位置図

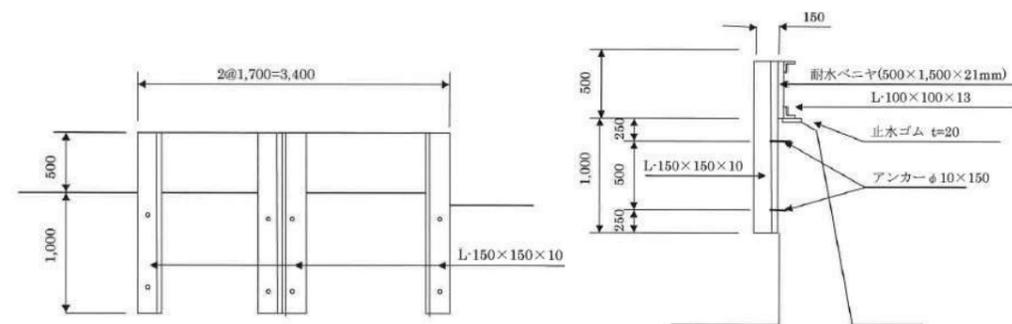


図 2.2.18 非越流部設置概要図



写真 2.2.3 非越流部設置状況

b) 確認項目

現地観測は、非越流部取り付け前と取り付け後に実施した。

セイシュが発生する魚道の流量は既往検討によると  $Q=2.6\text{m}^3/\text{s}\sim 3.06\text{m}^3/\text{s}$  (大型魚用魚道の流量) である。魚道流量をこの範囲を含めて段階的に変更し、各々1時間程度観測を行った。

図 2.2.19 に示すように魚道側壁にスタッフを沿わせて手摺に固定し、水面変動幅を読み取った。また、ビデオ撮影により、魚道内の流況を確認した。

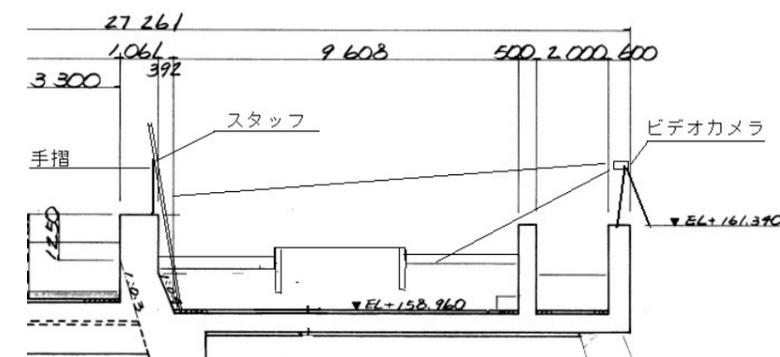


図 2.2.19 スタッフ取り付けとビデオ撮影

3) 実験結果

実験を行った結果、現況魚道と非越流部取り付け後のいずれのケースにおいても横波 (セイシュ) が発生することが確認された。横波発生範囲は、いずれのケースにおいても概ね図 2.2.17 に示すとおりで、折返しの上流側 10 段めのプールから下流のすべての範囲である。

a) 現況魚道での実験

現況大型魚道で流量を 3.0m<sup>3</sup>/s から概ね 0.5m<sup>3</sup>/s 刻みで流量を減らし、セイシュの発生状況を確認した。

- ★ 流量 0.61m<sup>3</sup>/s、3.08m<sup>3</sup>/s ではセイシュの発生は無かった。
- ★ 最大のセイシュは流量 1.97m<sup>3</sup>/s で、側壁部での水面は最大約 32cm 変動した。
- ★ セイシュの発生状況は折り返し点より上流魚道、下流魚道で同時に発生が確認できた。

表 2.2.13 現況魚道での結果

ケース	越流水深*	流量	流況観察結果
1	21cm	3.08 m <sup>3</sup> /s	・横波（セイシュ）の発生は見られない。 ・最大水面変動幅は 9cm
2	15cm	2.30 m <sup>3</sup> /s	・水面変動幅の小さい弱い横波（セイシュ）が 1～3 分間発生するが、その後 4～7 分は水面の変動は収まる。この現象が繰り返される。 ・最大水面変動幅は 17cm
3	13cm	1.97 m <sup>3</sup> /s	・水面変動幅の大きい（30cm 程度）セイシュが 4～5 分続く。その後 1 分程度セイシュがやや小さくなるが、再び大きい横波（セイシュ）が発生する。 ・常に横波（セイシュ）が発生している。 ・最大水面変動幅は 32cm
4	8cm	1.48m <sup>3</sup> /s	・変動幅（20cm 程度）の大きい横波（セイシュ）が 2～3 分間発生する。その後 2～3 分間やや弱くなるが、再び大きい横波（セイシュ）が発生する。 ・常に横波（セイシュ）が発生している。 ・最大水面変動幅は 23cm
5	2cm	0.97 m <sup>3</sup> /s	・弱い横波（セイシュ）が 30 秒～1 分発生する、その後 4～5 分間は水面の変動は小さい。 この現象が繰り返される。 ・最大水面変動幅は 10cm
6	-1cm	0.61 m <sup>3</sup> /s	・横波（セイシュ）の発生はほとんど見られず、水面の変動は小さい。 ・最大水面変動は 8cm

※ 越流水深は、水理計算による流量からの逆算値である。



写真 2.2.4 折り返し上流でもセイシュが発生



写真 2.2.5 現況での最大セイシュの発生

b) 非越流部設置後の実験

現況魚道実験でセイシュが発生した折り返しプール下流の隔壁に、越流幅の 1/3 に相当する幅の非越流部を設置した。流量を 3.0m<sup>3</sup>/s から概ね 0.5m<sup>3</sup>/s 刻みで流量を減らし、セイシュの発生状況を確認した。

- ★ 流量 1.2m<sup>3</sup>/s 以下ではセイシュの発生は無かった。
- ★ 最大のセイシュは現況とほぼ同じ流量 1.92m<sup>3</sup>/s で、側壁部での水面は最大約 32cm 変動する。
- ★ セイシュの発生状況は折り返し点より上流魚道、下流魚道で同時に発生が確認できた。

表 2.2.14 非越流部設置時における結果

ケース	越流水深*	流量	流況観察結果
1	20cm	2.29 m <sup>3</sup> /s	・水面変動幅の小さい弱い横波（セイシュ）が 1～3 分間発生するが、その後 4～7 分は水面の変動は収まる。この現象が繰り返される。 ・最大水面変動幅は 16cm
2	15cm	1.92 m <sup>3</sup> /s	・上流魚道で発生した横波（セイシュ）は下流まで及び、非越流部設置区間でも横波による水面の変動が見られた。6 分に 1 回程度で変動幅の大きい（32cm）セイシュが発生する。その間には変動幅の小さい（15cm 程度）セイシュが発生した。 ・最大水面変動幅は 32cm
3	11cm	1.54 m <sup>3</sup> /s	・上流魚道で発生した横波（セイシュ）は下流まで及び、非越流部設置区間でも横波による水面の変動が見られた。 ・4 分に 1 回程度で変動幅の大きい（20cm）セイシュが発生する。その後は変動幅の小さい（10cm 程度）のセイシュが発生した。 ・最大水面変動幅は 20cm
4	6cm	1.17 m <sup>3</sup> /s	・非越流部設置区間でのセイシュの発生はほとんど見られず、水面は安定していた。 ・最大水面変動幅は 8cm
5	-2cm	0.76 m <sup>3</sup> /s	・非越流部設置区間で横波（セイシュ）の発生はほとんど見られず、水面の変動は小さい。 ・最大水面変動幅は 8cm
6	—	0.33 m <sup>3</sup> /s	・非越流部設置区間で横波（セイシュ）の発生はほとんど見られず、水面の変動は小さい。 ・最大水面変動は 7cm

※ 越流水深は、水理計算による流量からの逆算値である。「—」は、潜孔部流量のみで 0.478m<sup>3</sup>/s となるため、解がない。



写真 2.2.6 非越流部設置での最大セイシュの発生状況



写真 2.2.7 同じ越流水深における現況魚道

表 2.2.15 現況魚道と非越流部を設置した場合におけるセイシュ発生状況

	同じ流量での比較 (両ケースとも最大のセイシュが発生)		同じ越流水深での比較	
	現況 ・流量 $Q=1.97\text{m}^3/\text{s}$ ・越流水深 $h \approx 13\text{cm}$ ・最大水面変動 $H \approx 32\text{cm}$	非越流部設置 ・流量 $Q=1.92\text{m}^3/\text{s}$ ・越流水深 $h \approx 15\text{cm}$ ・最大水面変動 $H \approx 32\text{cm}$	現況 ・流量 $Q=2.30\text{m}^3/\text{s}$ ・越流水深 $h \approx 15\text{cm}$ ・最大水面変動 $H \approx 17\text{cm}$	非越流部設置 ・流量 $Q=1.92\text{m}^3/\text{s}$ ・越流水深 $h \approx 15\text{cm}$ ・最大水面変動 $H \approx 32\text{cm}$
0 秒				
2 秒経過				
4 秒経過				
6 秒経過				
8 秒経過				

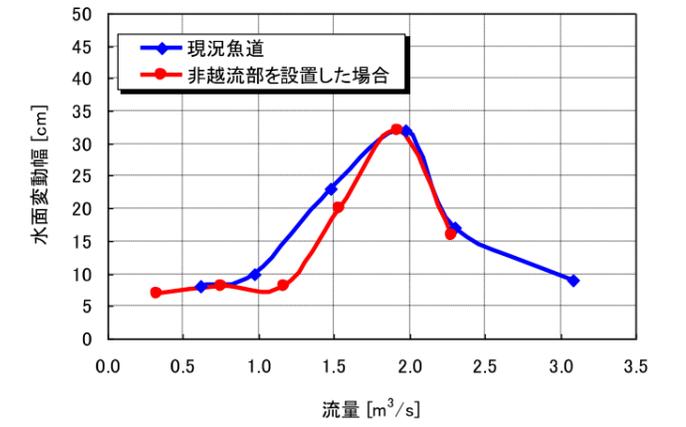


図 2.2.20 魚道流量と水面変動幅の関係

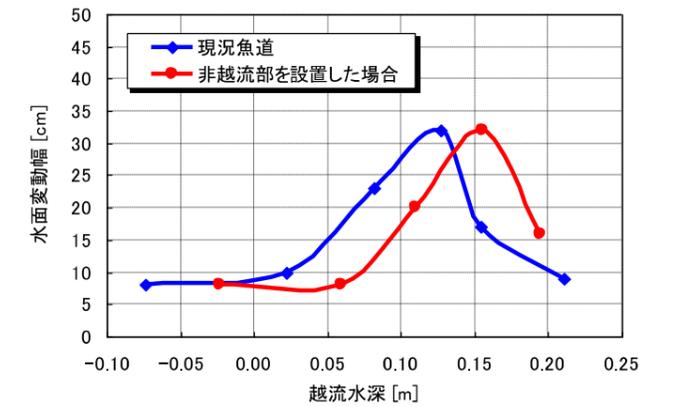


図 2.2.21 越流水深と水面変動幅の関係

c) 実験結果のまとめ

- セイシュは現況魚道、非越流部設置とも、概ね流量 1.0~3.0m<sup>3</sup>/s の範囲で、セイシュは折り返しの上下流で同時に発生する。
- 最大のセイシュは現況魚道、非越流部設置とも、流量約 2.0m<sup>3</sup>/s 付近で発生している。表 2.2.15 の写真を見比べると非越流部を設置した場合の方が、水面の波立ち加減がやや穏やかに見えるものの、水面変動幅はともに 32cm である。
- 魚道流量と水面変動幅の関係を図 2.2.20、に示す。流量が少ない場合と 2.0m<sup>3</sup>/s を超えた場合には、水面変動幅は小さくなる。また、非越流部を設置した場合でもセイシュが発生することは避けられないことがわかる。
- 越流水深と水面変動幅の関係を図 2.2.21 に示す。越流水深が小さい場合、非越流部を設置したケースでは、水面変動幅が小さくなっている。

4) 考察

a) セイシュの発生機構について

- ★ セイシュは魚道プールがもつ固有振動数と水面波の周期が合致して固有振動が発生し増幅する現象であり、魚道プールの幾何形状（幅、長さ、深さ）に支配される現象である。したがって、同一形状のプールが連続している場合には、セイシュが発生する可能性があると考えられる。
- ★ しかしながら、階段式魚道においてセイシュが発生する事例は限られており、同一形状のプールが連続しているだけで、セイシュが発生するというわけではない。

b) セイシュの発生原因について

- ★ 「魚道のはなし」（中村俊六，p.46）によれば、「階段式魚道の流れでは常に流下方向の波（水面揺動）は存在している。これに対して、魚道が途中で曲がっているなど何らかの理由で縦方向の波が横方向の成分を持つと、横波が激しくなる可能性が出てくる。」とされている。
- ★ 宮中ダムの魚道で横方向の成分を生じる原因を考えると、大きな潜孔からの流れが交互であること、切欠きも交互であることが挙げられる。

c) セイシュの抑制策について

- ★ 今回の流況確認は、折返しプールの上流側で発生してしまったセイシュを下流側の非越流部によって抑えうるかどうかを確認したものであり、その結果、セイシュが発生してしまうと非越流部を設けてもそれを消滅させる効果がないことが明らかとなった。しかしながら、そのことが非越流部を設けることがセイシュ抑制に効果がないことを示すものではないと考える。このことは図 2.2.22 に示すように明確な効果が得られている例があることからとも言える（この例では、魚道の最上流部から非越流部を設けているが、今回の宮中ダムでの流況確認ではそこまでの改造は行わなかった）。
- ★ 横方向成分を発生させない対策については、今回、水理模型実験より最も水面変動が少ないアイスハーバー型（切欠きを同位置にする、潜孔を小さく同位置にする）を採用することとしており、セイシュ発生原因そのものを抑制することとしている。

- ★ 一方、図 2.2.20、図 2.2.21 によると、一定流量で運用を行う魚道であれば、セイシュ発生が抑制される流量で運用を行えばよいが、宮中ダムでは季節別の流量設定やアダプティブな運用としての流量変動を考慮しており、流量によってはセイシュが発生する可能性があることを常に意識しておく必要がある。
- ★ セイシュが発生する流量・越流水深・位置・水面変動の大きさを事前に予測することは困難であるため、魚道完成後、予定している流量変動の範囲について通水確認を行い、セイシュが発生する領域がある場合には、その対策を検討することが妥当な方法と考えられる。



写真のおりに見事に横波が抑制されていますが、これは、両側に強い鉛直流が与えられた結果、セイシュが生じるために必要な側壁部分での水粒子の上下動が抑制されたためと考えられます。いわば宿命的にセイシュ発生の可能性を秘めているプールタイプの横波の発生を防ぐには、まだこれでは不十分なのですが、実用上はこれで十分に効果的であることが示されたわけです。

（出典：中村俊六「魚道のはなし」、pp.48-55）

図 2.2.22 非越流部を設けてセイシュを抑制した事例

d) 考察のまとめと対応

- セイシュが発生する原因は、横方向の成分を有する外力であると考えられ、今回の改善案ではできるだけそれを無くするものとしている。
- 非越流部を設置することで、水面変動幅を小さくすることはできそうであるが、セイシュが発生しなくなるかどうかはわからない。流量を変動させる運用を行うため、セイシュ発生の可能性のあることを意識しておく必要がある。
- セイシュの事前予測は困難であることから、改善後の通水確認による対応を行う。

(4) 大型魚用魚道一般図

大型魚用魚道の一般図を図 2.2.23 に示す。

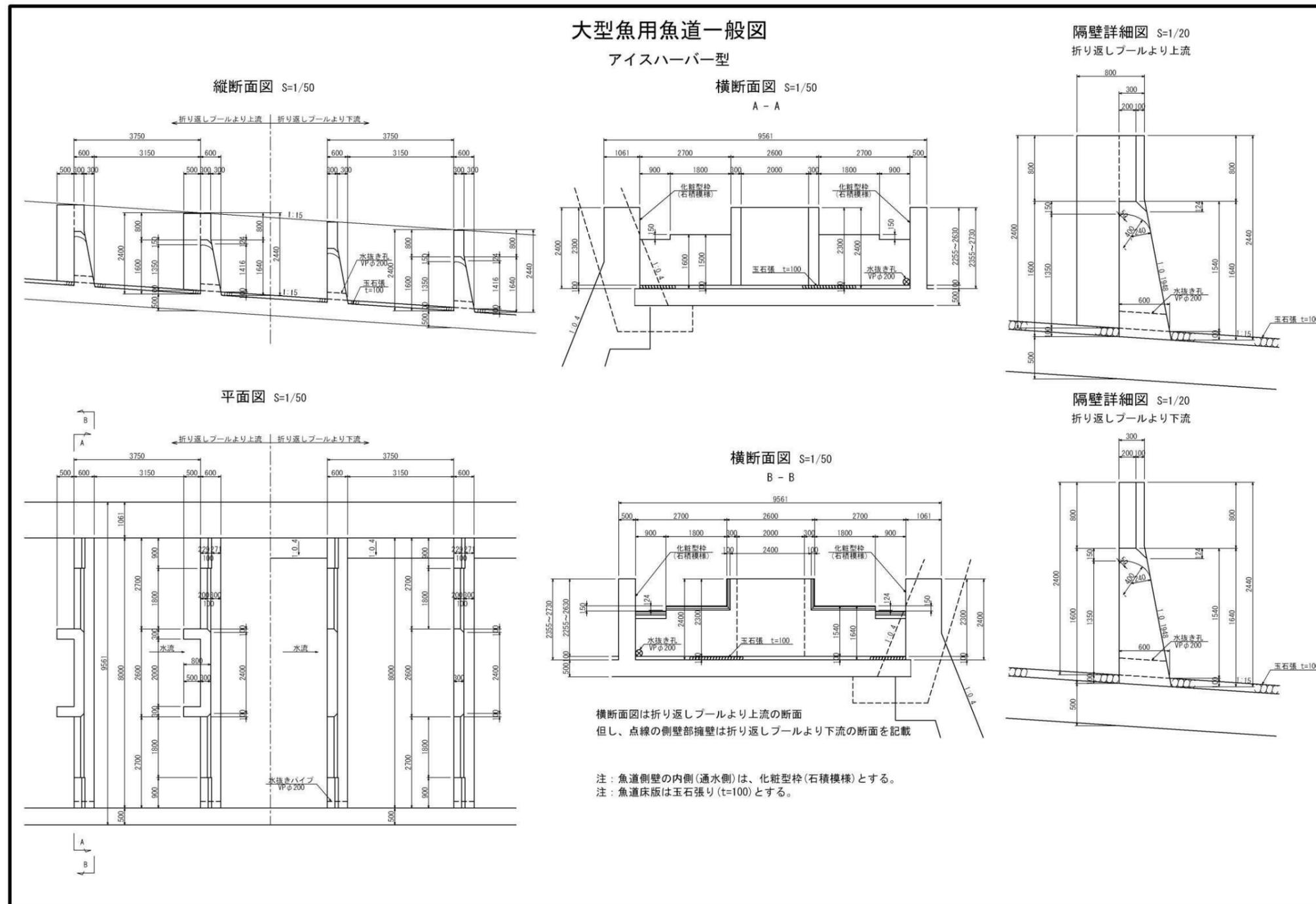


図 2.2.23 大型魚用魚道 (アイスハーバー型階段式魚道) 一般図

### 2.2.3 小型魚用魚道（階段式魚道）

#### (1) 改善項目

#### 【改善案の目的】

- 階段式魚道は多様な魚種への対応が可能と考えられる形式である。
- 年間を通して河川内移動を行う可能性のある魚種（遊泳力はそれほど高くない）にも対応可能なものとする。

構造細目	採用案
(1) 基本的な考え方	小型魚用魚道については、流況に関しては、現状で特に問題はないことから、 <b>現在の構造でそのまま移動させる</b> ことを基本的な考え方とする。
(2) 配置位置	遡上力の小さい魚に対応するせせらぎ魚道を最も岸側に配置する必要性から、現状の小型魚用魚道の位置にせせらぎ魚道を設けるため、 <b>魚道配置位置を魚道中央側へ移動</b> する。 魚道幅は、天端橋梁ピアより右岸側に小型魚用魚道とせせらぎ魚道を配置することと、下流部への線形を直線として連続性を確保することを踏まえて、 <b>幅 1.5m</b> とした。
(3) 隔壁天端形状	小型魚用魚道は、せせらぎ魚道の設置に伴い、配置箇所を移動することとしたため、新たに隔壁を設置することとなる。したがって、アイスハーバー型魚道の切欠き部と同様に、下記の目的で <b>複合 3 円弧形状を採用</b> することとする。 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 天端を越流する水脈を滑らかにする</li> <li>• 隔壁と水脈の間に空洞が発生しないようにする</li> <li>• 隔壁天端の隅角部が遡上する魚の魚体を傷つけないようにする</li> </ul> 具体的な形状は、越流水深が最大（15cm）のときの越流水脈が天端からはく離しないように、標準越流頂形状よりも膨らませた形状とする*。
(4) プール形状	小型魚用魚道では、前回の魚道改築時にセイシュが発生した経緯がある。この原因は、ピアを避けるためにつけられた魚道の平面曲線によるものと推察され、これを抑えるためにカーブ下流のプールに玉石投入等の対策が行われている（写真 2.2.8）。セイシュは、プールの深さ、幅、長さの形状によって決まるため、数プールごとに形状を変更することによって避けることができると考えられる。 しかしながら、今回のレイアウトでは、基本的に <b>直線形状を採用していることからプールごとの形状変更は行わないこととし</b> 、魚道完成後の通水確認を行うものとする。
(5) 水抜き孔	大型魚用アイスハーバー型階段式魚道と同様に、メンテナンス性に配慮して、 <b>隔壁端部に VP φ 100 (A=0.008m<sup>2</sup>) の水抜き孔</b> を設ける。
(6) プール内粗度	大型魚用アイスハーバー型階段式魚道と同様に、減勢機能を高めるためにプール内粗度として、プール底部は <b>玉石張り</b> とし、プール側壁には <b>石積み模様の化粧型枠</b> を使用する。

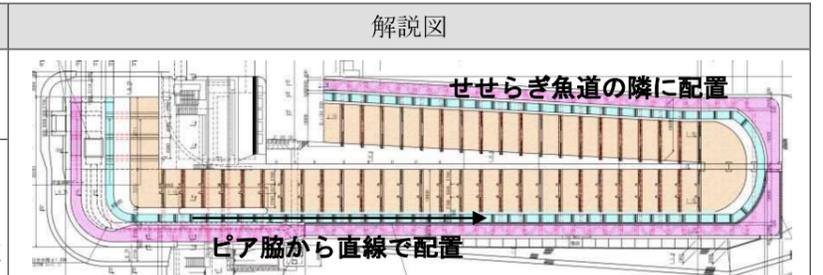


図 2.2.24 小型魚用魚道（階段式）の配置

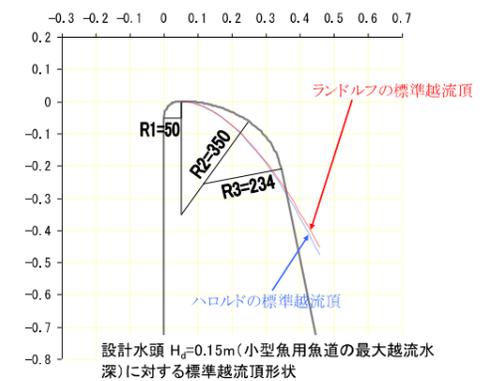


図 2.2.25 隔壁天端形状（複合 3 円弧形状）



写真 2.2.8 現況の小型魚用魚道のピア部のカーブと投入した玉石

\* 小型魚用魚道の複合 3 円弧形状は、標準越流頂形状に対して大きく膨らんだ形状としている。幾何的には、 $R_3 > R_2$  の円弧を採用することによって、より標準越流頂に沿わせた形状とすることも可能であるが、隔壁天端の厚みが非常に薄くなり流下物による破損の懸念があること、 $R_2 > R_3$  とするのが一般的であること（前出、「ダム・堰施設技術基準(案)」、「階段式魚道の水理特性」参照）から、この形状を採用している。

(2) 小型魚用魚道一般図

小型魚用魚道の一般図を図 2.2.26 に示す。

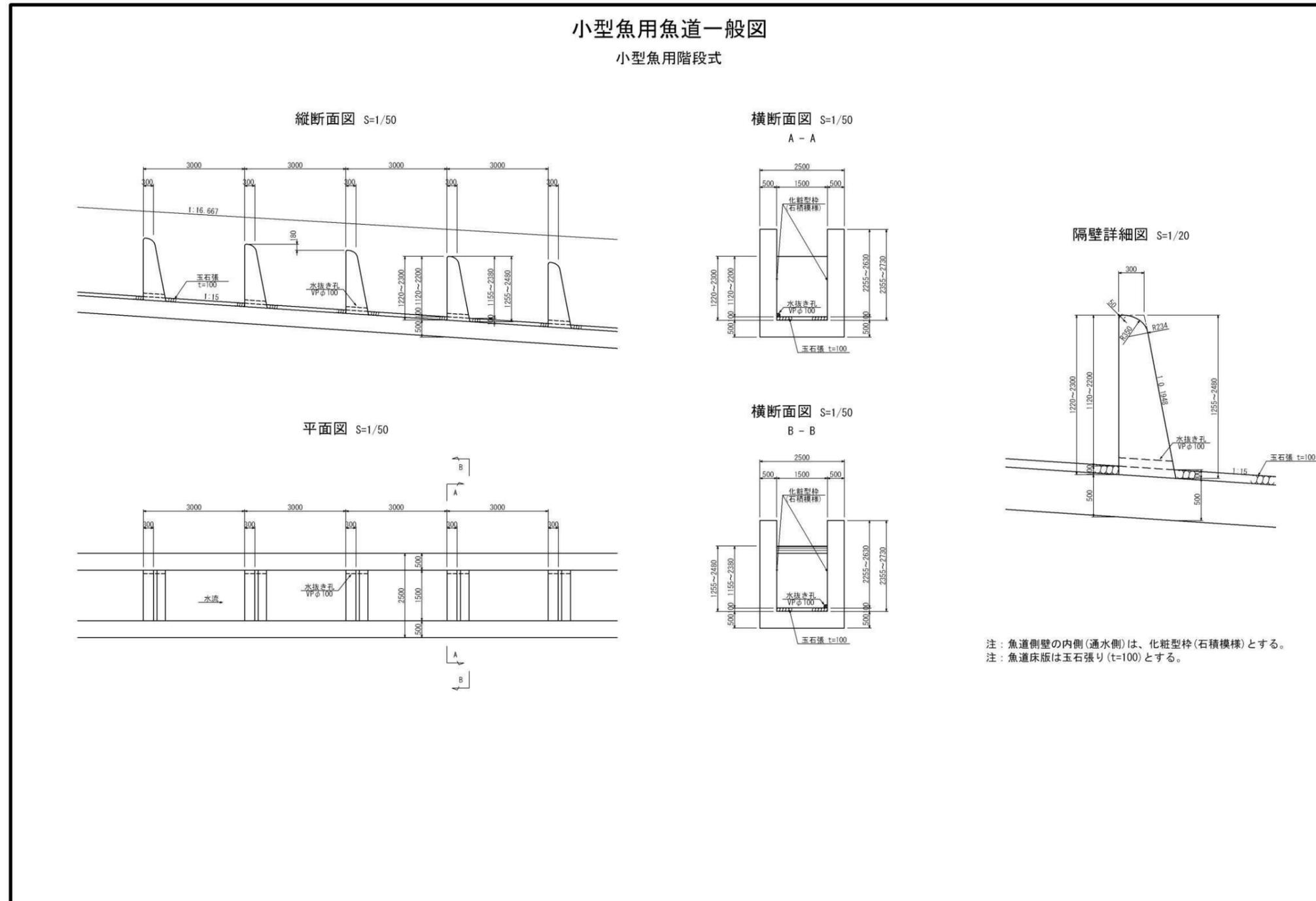


図 2.2.26 小型魚用魚道（階段式魚道）一般図

2.2.4 せせらぎ魚道

(1) 改善項目

【改善案の目的】

- 多様な水生生物への対応を目指すために設置する。
- 遊泳力の小さな水生生物の遡上経路を整備する。

構造細目	採用案	解説図									
(1) 魚道形式	<p>せせらぎ魚道は、人工的に自然河川に近い緩やかな流れを作り出した魚道水路のことをこのように呼んでいる例が多い。水理的機構からみたときの分類（魚道形式）について明確な考えはないようであるが、大別するとプール式（階段式）と水路式に分けられる。</p> <p>宮中ダムでは、以下の理由により<b>プール式（階段式）魚道</b>を採用することとし、<b>魚道部を蛇行させることによって、1/20 程度までの緩勾配化を図る</b>こととする。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 宮中ダムの魚道は、落差の大きいダム魚道であり、緩勾配の魚道とすることができないため、粗度によって流速を抑える水路式魚道よりも、各プールで確実に減勢することのできるプールタイプのほうが適している。</li> <li>• 湛水池管理の面において、越流形式で流量を制御できるプールタイプが適している。</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>表 2.2.16 プール水路床構成案の得失</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>案</th> <th>長所</th> <th>短所</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>浮き石床</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 自然河川に近い河床が形成できる</li> <li>• 礫間を隠れ家等に利用することができる</li> </ul> </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>• メンテナンスが繁雑となる</li> <li>• 河床材料が変化していく可能性がある</li> </ul> </td> </tr> <tr> <td>固定床（石張り）</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>• メンテナンス性に優れる</li> <li>• 流体力による堆積土砂の除去など維持管理作業の軽減を図ることができる可能性がある</li> </ul> </td> <td> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 魚にとって自然河川からほど遠い環境となる</li> <li>• 礫間を利用できない</li> </ul> </td> </tr> </tbody> </table>	案	長所	短所	浮き石床	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 自然河川に近い河床が形成できる</li> <li>• 礫間を隠れ家等に利用することができる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• メンテナンスが繁雑となる</li> <li>• 河床材料が変化していく可能性がある</li> </ul>	固定床（石張り）	<ul style="list-style-type: none"> <li>• メンテナンス性に優れる</li> <li>• 流体力による堆積土砂の除去など維持管理作業の軽減を図ることができる可能性がある</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 魚にとって自然河川からほど遠い環境となる</li> <li>• 礫間を利用できない</li> </ul>
案	長所		短所								
浮き石床	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 自然河川に近い河床が形成できる</li> <li>• 礫間を隠れ家等に利用することができる</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• メンテナンスが繁雑となる</li> <li>• 河床材料が変化していく可能性がある</li> </ul>								
固定床（石張り）	<ul style="list-style-type: none"> <li>• メンテナンス性に優れる</li> <li>• 流体力による堆積土砂の除去など維持管理作業の軽減を図ることができる可能性がある</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 魚にとって自然河川からほど遠い環境となる</li> <li>• 礫間を利用できない</li> </ul>								
(2) 隔壁	<p>下記のことを踏まえて、<b>隔壁に自然石を用いること</b>によってプールを形成する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 瀬・淵を繰り返す自然溪流に近い水路を作り出す</li> <li>• 自然石間の空隙によって、越流部に多様な水量（水深と流速）の水域を形成する</li> </ul>										
(3) プールの水路床構成	<p>プール内の水路底面は自然河川に近い状況を作り出すためには、材料を固定しない礫床とすることが望ましい。その一方で、水路床の材料を固定しないと、流量増加時に材料が流送されることや堆積土砂の除去作業が繁雑になることなど、メンテナンス上の課題がある（表 2.2.16 参照）。</p> <p>両者の長所を共有させる方法として、流水の力で流送されないような比較的大きな粒径の礫を浮き石床の材料として使用することが考えられる。この場合には、流量を増加させて、蛇行した魚道沿いの流れではなくせせらぎ魚道の外郭沿いの流れで放流を行うことによって、細粒の堆積土砂などを流送除去することが期待できる。</p> <p>以上のことを踏まえて、水路床構成材料は、<b>流量を増加させても移動を生じない粒径の礫を固定せずに用いるものとし、10~15cm 程度の礫を敷くこととする</b>（図 2.2.27）。</p>										
(4) プール内の形状	<p>せせらぎ魚道のプール内は固定しない礫を敷くため、任意の水路形状を形成することが可能である。幅 25cm の画一的な水路ではなく、<b>休息場所となるようなよみ域を設ける</b>ようなことを考える。</p>										
(5) プール内粗度	<p>プールには固定しない石礫を投入することから、プール底部には特に粗度を設けない。側壁には、大型魚用、小型魚用と同様に<b>石積み模様の化粧型枠</b>を使用する。</p>										
(6) 鳥害対策	<p>せせらぎ魚道は水深が浅いため、鳥類による捕食が懸念される。その対策として、<b>魚道水路上に防鳥ネットを張る</b>（図 2.2.28）ことを考えるが、具体的な方法については、今後の詳細設計を行う中で検討する。</p>										

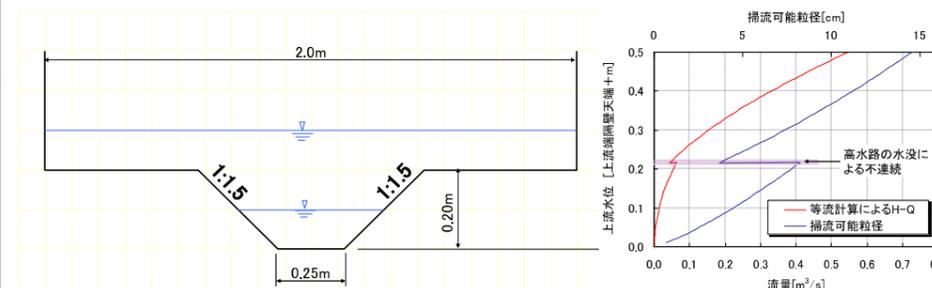


図 2.2.27 せせらぎ魚道の等流計算による掃流可能粒径

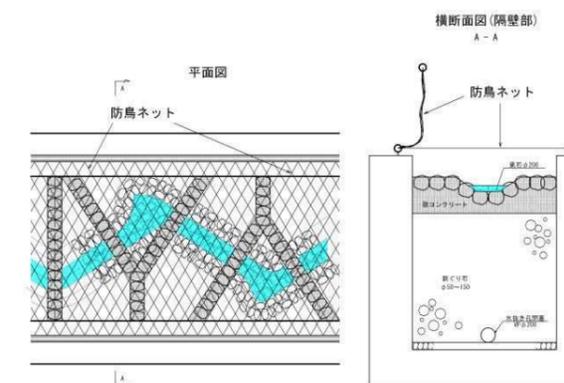


図 2.2.28 防鳥ネットのイメージ図

(2) せせらぎ魚道一般図

せせらぎ魚道の一般図を図 2.2.29 に示す。

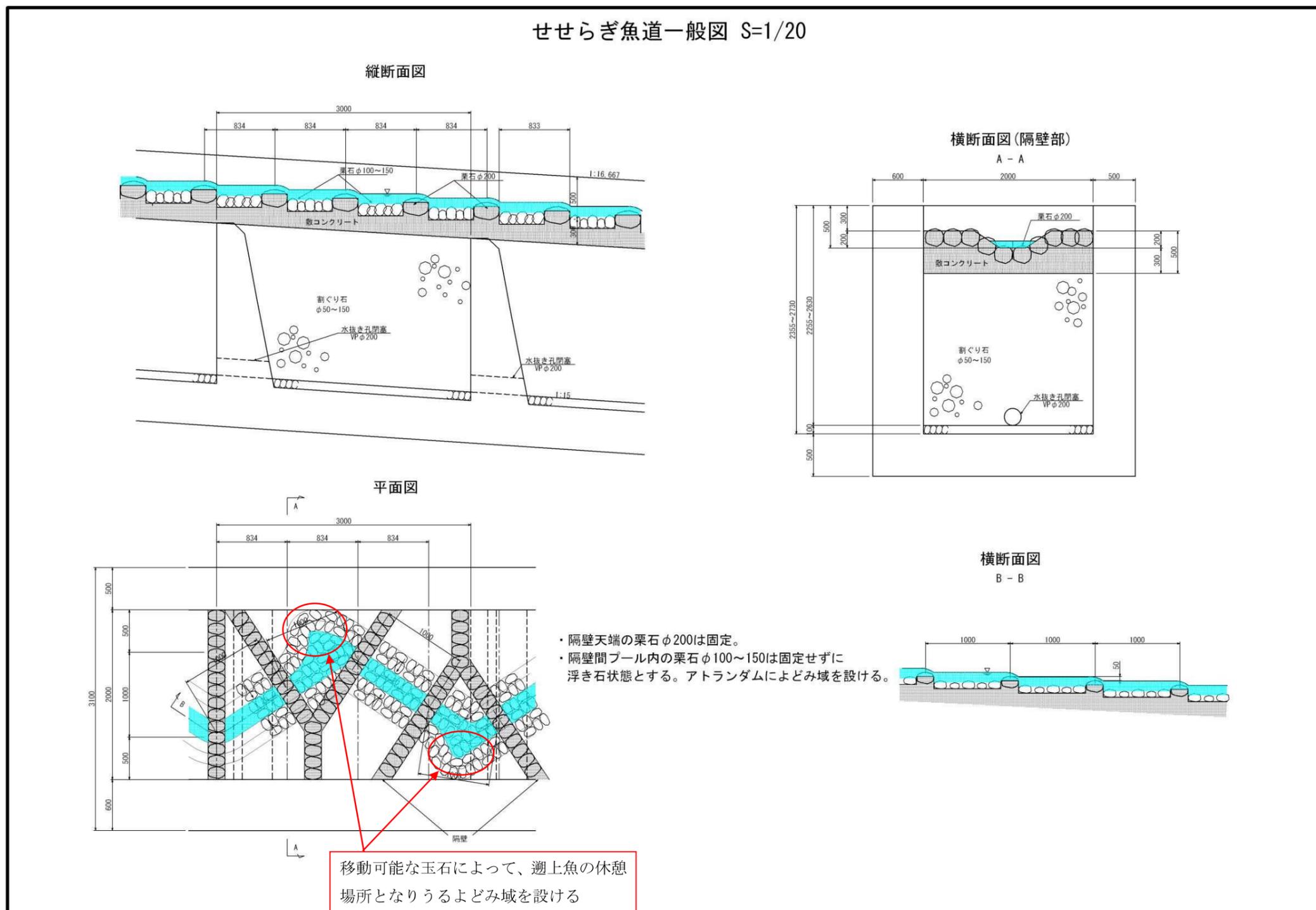
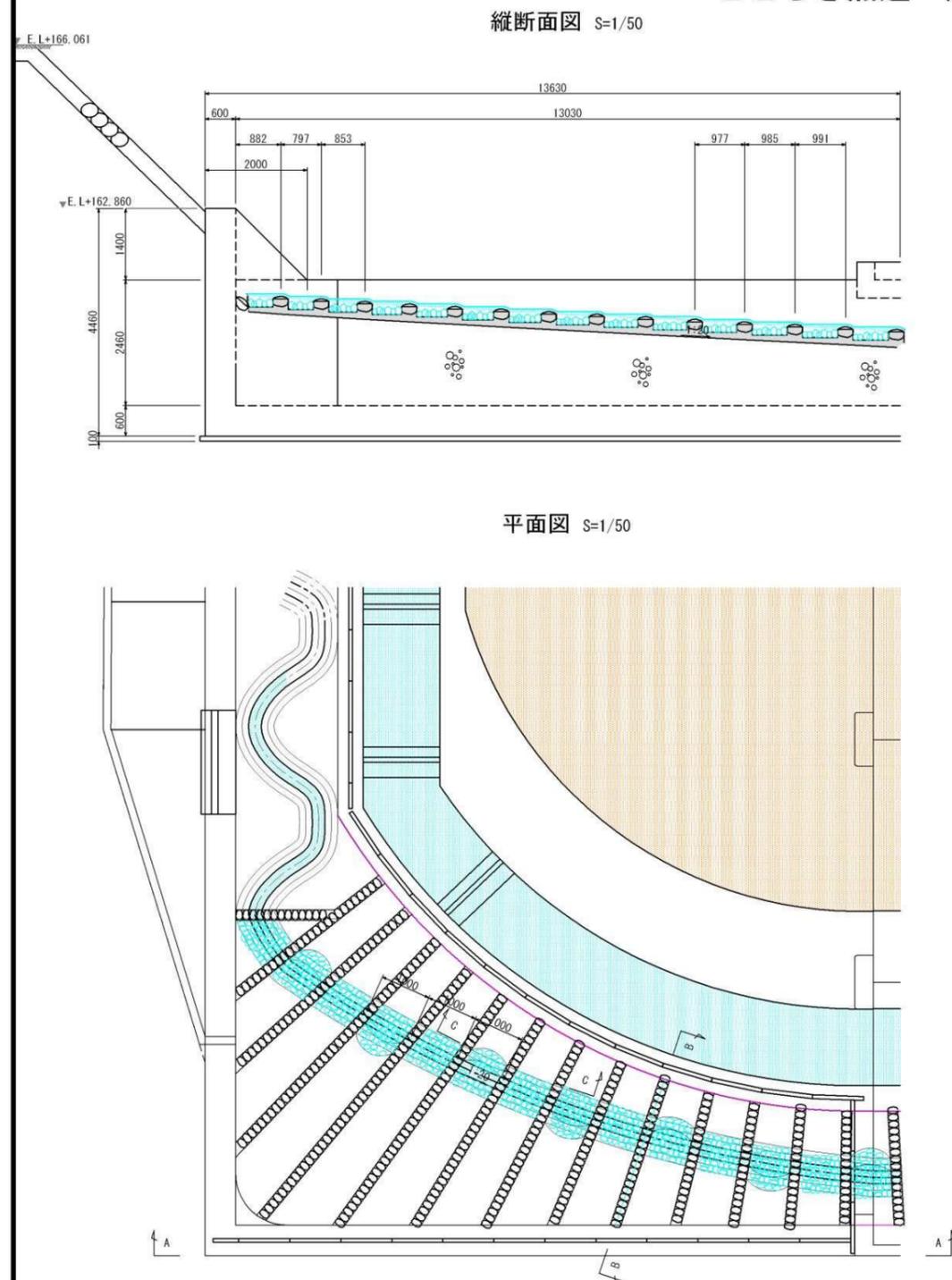
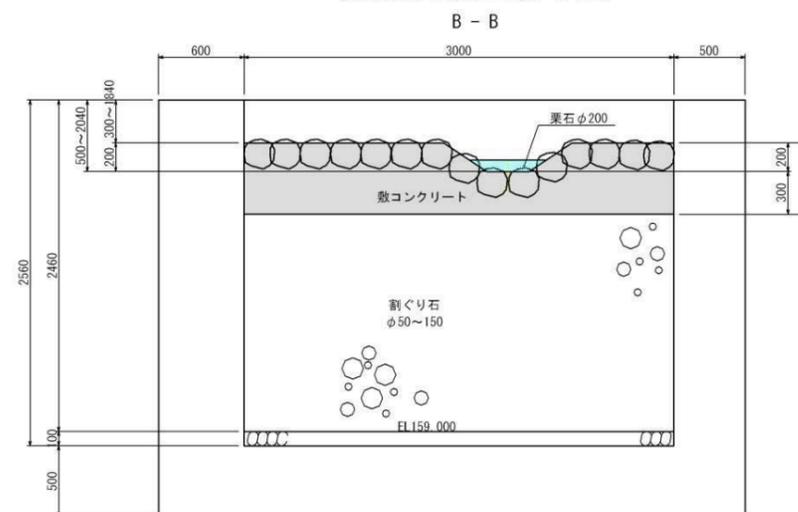


図 2.2.29(1/2) せせらぎ魚道一般図

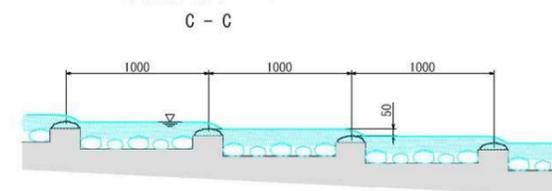
### せせらぎ魚道一般図(折り返しプール部)



### 横断面図(隔壁部) S=1/20



### 横断面図 S=1/20



- ・隔壁天端の乗石φ200は固定。
- ・隔壁間プール内の乗石φ100~150は固定せずに  
浮き石状態とする。アトランダムによどみ域を設ける。

図 2.2.29(2/2) せせらぎ魚道一般図(折返しプール部)

## 2.3 まとめと今後の課題

### (1) 対象魚

宮中ダム魚道の対象魚は、下記に示す16種とする。

カワヤツメ、ウナギ、コイ、フナ（フナ類）、オイカワ、ウグイ、ウケクチウグイ、ニゴイ、アカザ、アユ、ニッコウイワナ、ニジマス、サケ、ヤマメ・サクラマス、カジカ、ヨシノボリ類

### (2) 魚道構造改善案

#### 1) 魚道形式の組合せを選定した。

表 2.3.1 宮中ダム魚道形式の組合せ

魚道形式	特徴	主な対象魚種
アイスハーバー型魚道 (大型魚用階段式魚道を改良)	<ul style="list-style-type: none"> <li>横波対策として有効</li> <li>流速の静穏域を形成できる</li> <li>プール横断方向の流れを抑制し、複雑な流況を回避</li> </ul>	<b>【一般部】</b> ・アユ、イワナ、ヤマメ、その他 <b>【切欠部】</b> ・サケ、サクラマス、ニジマス
小型魚用階段式魚道 (現在の位置を移動)	<ul style="list-style-type: none"> <li>実績が豊富</li> <li>現状でも流況が良好</li> </ul>	・小型遊泳魚
せせらぎ魚道	<ul style="list-style-type: none"> <li>底生魚・甲殻類にも対応</li> </ul>	・カワヤツメ、ウナギ、アカザ、カジカ、ヨシノボリ類

2) 代表魚の選定を行い、期別・魚種別の水理特性条件により適正な流量を検討した。

3) アイスハーバー型魚道について、現大型魚用魚道の問題点を踏まえ、流況改善を検討した。

### (3) 魚道流量の変化方法

魚道流量は、魚道出口部ゲートによって変化させ、それと連動する形で呼び水放流管の流量調節を行うことによって、魚道流量+呼び水流量を常に一定とする方法が考えられる。

### (4) 今後の課題

- ◆ モニタリング等、更なる現状把握を踏まえた改善検討を継続して実施する。
- ◆ 設計等構造改善実施に向けた取組を深度化する。
- ◆ また、改善魚道完成後についても、モニタリングと必要に応じた改善（構造的改善、流量変動等）を実施する。

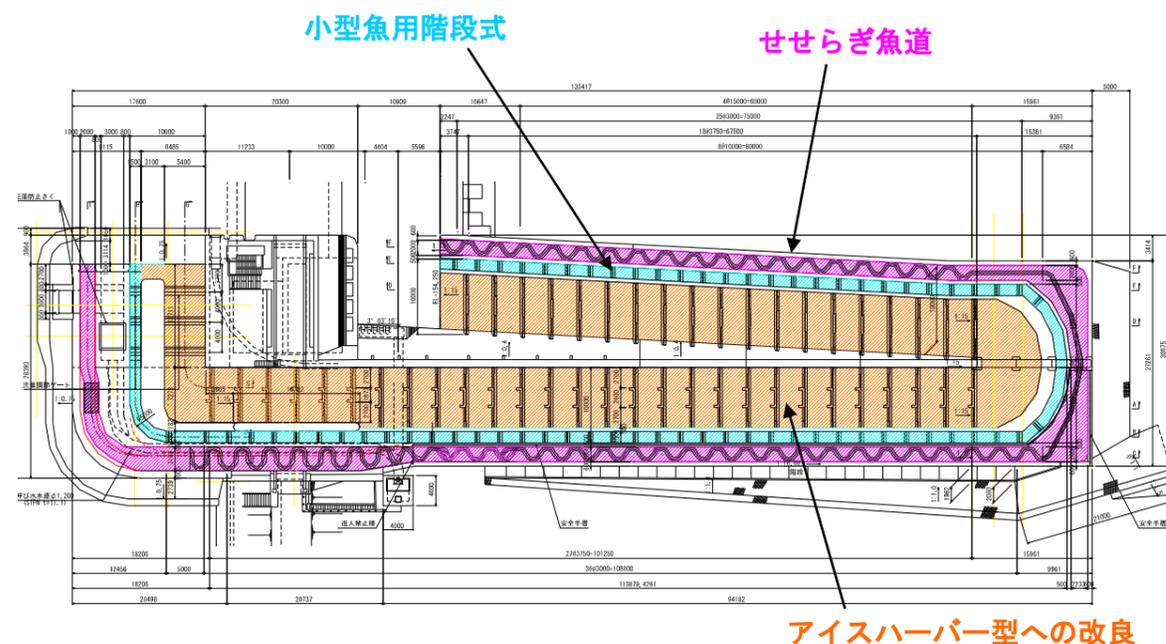


図 2.3.1 魚道形式の組合せ概要図

### 3. 魚道出口ゲートの改善検討

#### 3.1 階段式魚道（大型魚用・小型魚用）の流量調節設備

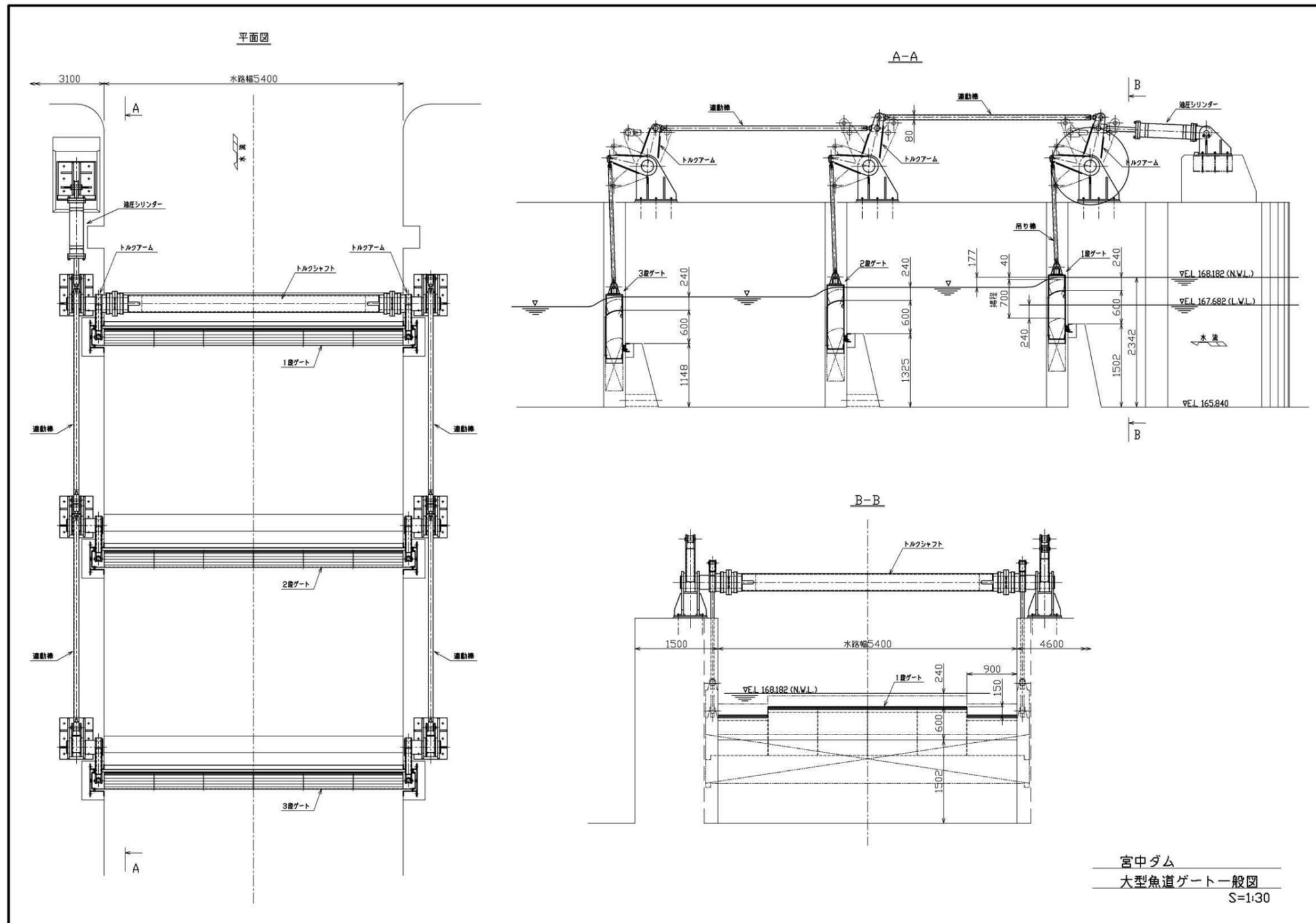


図 3.1.1 大型魚用魚道ゲート一般図（昇降式ゲート）

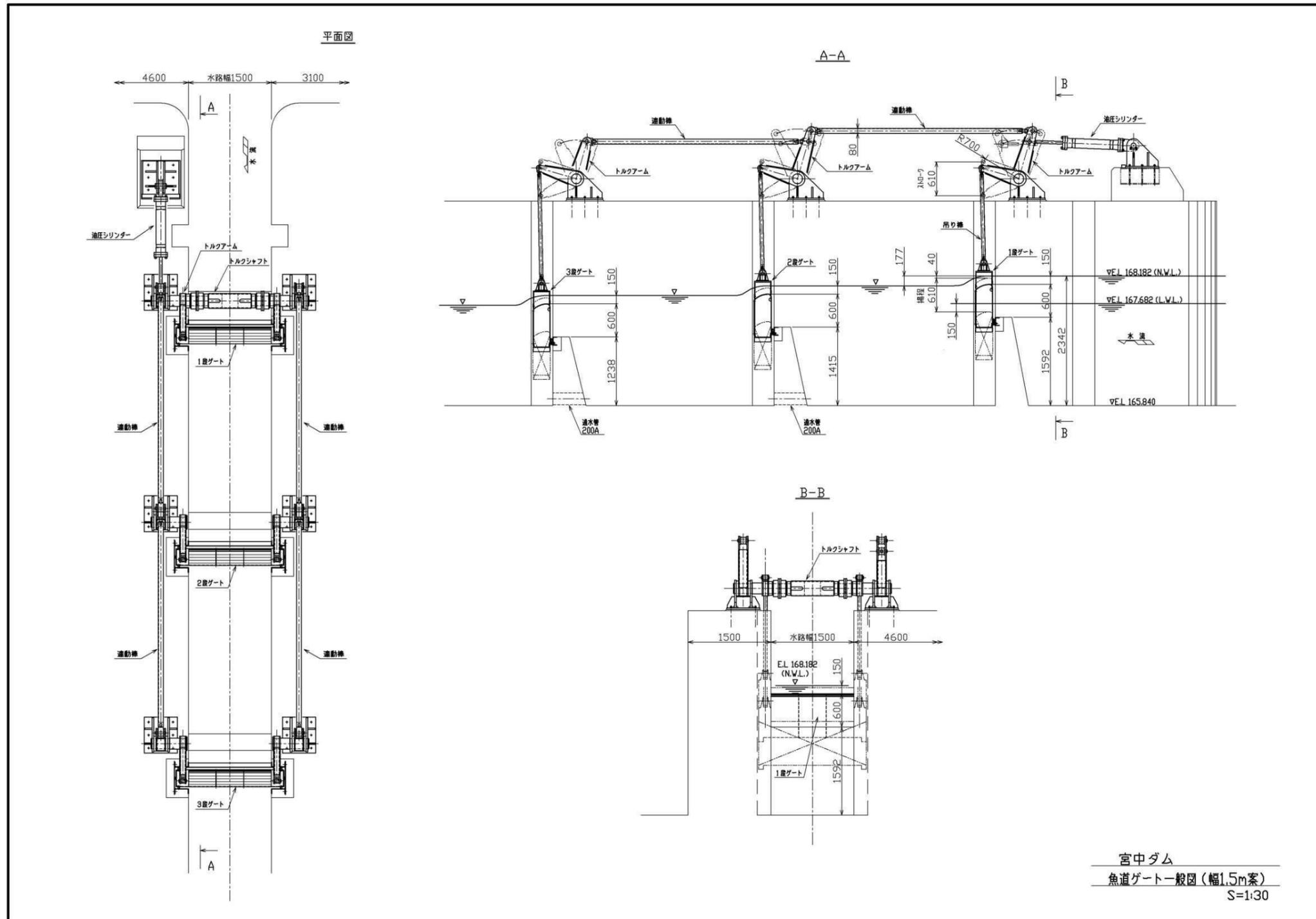


図 3.1.2 小型魚用魚道ゲート一般図 (昇降式ゲート)

### 3.2 せせらぎ魚道の流量調節設備

#### 3.2.1 せせらぎ魚道における流量調節設備

宮中ダムの水位変動 (0.5m) に対応可能とするために、魚道出口に流量調節ゲートを設置する必要がある。流量調節設備は、流入口 (魚道出口) を複数設けておき貯水位に応じた流入口から取水を行うタイプ、あるいは、せせらぎ水路をそのまま上下移動させるタイプ (セクター式) が考えられる。常に魚道を機能させるためには、水位変動に対して連続的な流量調節が可能となるセクター式が望ましいが、設備規模が大きいこと、魚道出口部の設備配置が複雑となることから、メンテナンス性や水位生起頻度などを踏まえて調節形式や対応範囲を設定する必要がある。

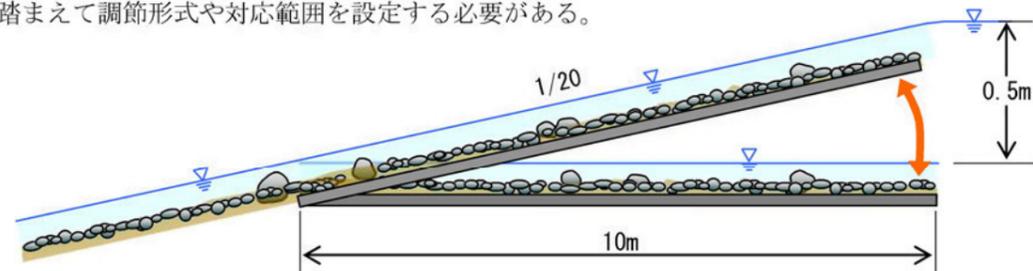


図 3.2.1 せせらぎ水路そのものを上下動させるタイプの流量調節設備 (セクター式) の概念図

#### 3.2.2 貯水位低下頻度の整理

セクター式魚道ゲートは、対応すべき水位変動範囲が大きくなればなるほど延長が長くなり、ゲートの剛性を高める必要性から、比例関係以上の割合で鋼材重量が大きくなる。

一方、宮中ダムの貯水位は、基本的には常に常時満水位状態にあり、水位を低下させるのは洪水時、メンテナンス時である。洪水時には、せせらぎ魚道を利用するような遊泳力の弱い魚は隠れ家に潜んでおり、遡上活動は行わないと考えられる。したがって、洪水時には、せせらぎ魚道は水を枯らさないようにしておけばよく、遡上経路として適切な流況を確保し続ける必要性はないとも考えられる。

このような観点から施設の簡素化を図ることによる操作性の向上と施設規模の適正化について検討を行うために、貯水位頻度の整理を行った。

平均的な流況となった平成 13 年度の貯水位を図 3.2.2 に示す。この実績をもとに貯水位の生起頻度を整理した結果を表 3.2.1、図 3.2.3 に示す。これより、0.2m 程度の変動に対応できるような施設とすれば、概ね平常時の運用は十分可能と考えられる。

#### 3.2.3 流量調節設備の比較検討

以上のことを踏まえて、水位変動 0.5m すべてに追随する①案、0.2m に対応しそれ以下に低下したときは水だけ供給し続ける②案、0.2m に対応しそれ以下に低下したときは水を供給しない③案の 3 案について、比較を行った。比較表を表 3.2.2 に示す。

対象水位を下回る最大継続時間が 3 日弱 (67H) であること、せせらぎ水路に魚の休息場所としてよどみ域を設けることから追従する水位変動幅を 0.2m とし、0.2m 以上水位が低下したときにも水を供給することによって水温上昇を抑えることができる②案：「水位変動 0.2m に追従し、水位低下時も放流を行う」案を採用する。

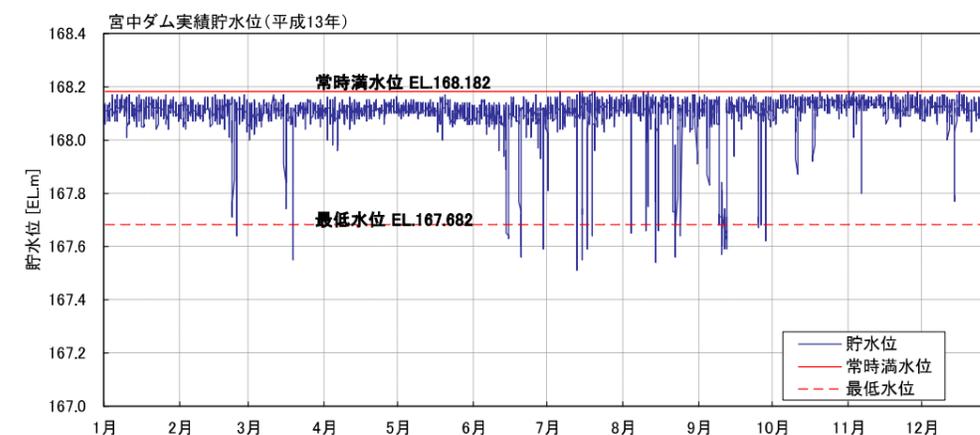


図 3.2.2 宮中ダムの貯水位実績 (平成 13 年、時刻ピッチ)

表 3.2.1 平成 13 年の貯水位低下頻度

常時満水位からの水位低下幅[m]	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6
対象水位[EL.m]	168.132	168.082	168.032	167.982	167.932	167.882	167.832	167.782	167.732	167.682	167.632	167.582
1年間で対象水位を下回る時間[hr/年]	6,644	1,254	406	308	266	236	214	194	166	113	42	9
対象水位を下回る状態になる回数[回]	764	364	68	42	35	30	29	29	27	32	25	7
対象水位を下回る状態の最大継続時間[hr]	122	68	67	67	67	67	50	47	32	21	4	2

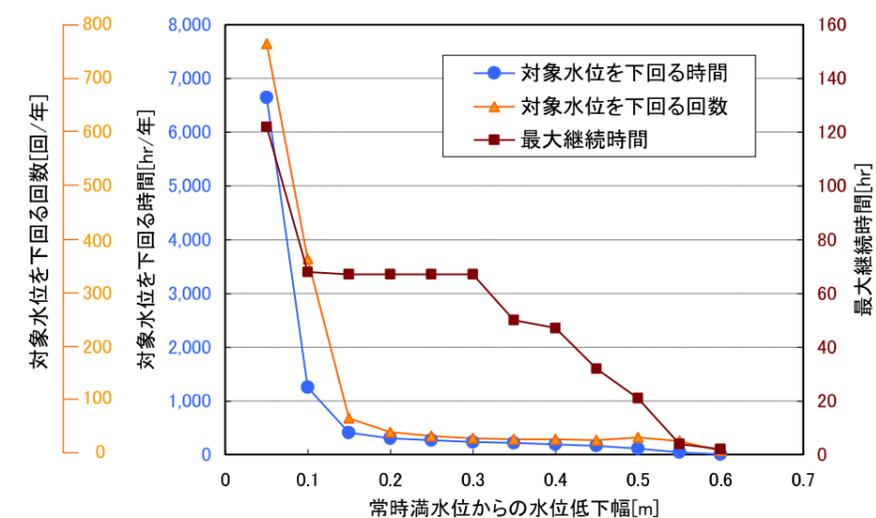


図 3.2.3 平成 13 年の貯水位低下頻度とその継続日数

表 3.2.2 せせらぎ水路の流量調節ゲートの比較

	①案：水位変動 0.5m に追従	水位変動 0.2m に追従																																											
		②案：水位低下時も放流を行う	③案：水位低下時は放流を行わない																																										
概要図																																													
構造説明	<ul style="list-style-type: none"> <li>純径間 2.0m の幅で鋼製の河床を設け、その上面に所要の幅の鋼製ピットを設置して、そのピット内にコンクリートと栗石等によりせせらぎ水路を設ける。鋼製河床の下流側にはヒンジを設け、鋼製河床の上流側背面に取付けられたローラを、下から油圧シリンダで突上げることにより水位に追従させる。</li> <li>鋼製河床背面の維持管理のために、せせらぎ水路を蛇行させてスペースを確保し、マンホールを設けて出入りが可能なようにする。</li> <li>雨天時および洪水時には鋼製河床背面に水が浸入するため、自動起動の水中ポンプを設置しておき適宜排水する。</li> </ul>																																												
概要説明	<ul style="list-style-type: none"> <li>水路勾配を 1/20 程度とするため、鋼製河床の長さは 10.0m 程度となる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>水路勾配を 1/20 程度とするため、鋼製河床の長さは 4.0m 程度となる。</li> <li>水位低下時でもせせらぎ水路の水を枯らさないために、維持放流管と制水主バルブ（油圧シリンダ駆動）と副バルブ（手動）を設ける。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>水位低下時には水路に水は流れないため、魚類は魚道プール内に滞留する。</li> </ul>																																										
遡上魚に与える影響	<ul style="list-style-type: none"> <li>貯水位の変動範囲すべてに追従するため、常に遡上することが可能である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>貯水位が 20cm 以上低下するときには、魚道内を途中まで遡上することはできるが、貯水池までのぼりきることはできない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>貯水池が 20cm 以上低下するときには、魚道のプール内に滞留する。夏季は水温上昇の影響が懸念される。</li> </ul>																																										
長所	<ul style="list-style-type: none"> <li>NWL から LWL の水位に追従できる。</li> <li>常時せせらぎ水路に水が供給される。</li> <li>維持放流設備が不要なため、保守管理が省力化できる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>鋼製河床の重量が軽く、油圧シリンダの荷重も小さくなるため、経済的であるが、維持放流設備が必要。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>鋼製河床の重量が軽く、油圧シリンダの荷重も小さくなるため、経済的である。</li> <li>機器点数が一番少ないため、維持管理は最も容易である。</li> </ul>																																										
短所	<ul style="list-style-type: none"> <li>鋼製河床の重量が重く、油圧シリンダの荷重も大きい。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>機器点数が 3 案で一番多いため、維持管理は最も煩雑である。</li> <li>維持放流管の出口を下流せせらぎ水路に設けるが、必要流量 (0.03m³/s) を確保するためには上流側水位よりある程度低い位置にする必要がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>水位低下時は、魚類の遡上が中断し、隔壁間プールの浅いたまり水に魚が滞留することになる。水の流れがなくなるため、日射により水温が上昇し、滞留する魚の生存に影響が及ぶ可能性がある。</li> </ul>																																										
概略質量	<table border="1"> <tr><td>鋼製河床</td><td>11 t</td></tr> <tr><td>戸当り</td><td>1 t</td></tr> <tr><td>開閉装置</td><td>2 t</td></tr> <tr><td>操作盤および油圧ユニット</td><td>3 t</td></tr> <tr><td colspan="2"><hr/></td></tr> <tr><td>合計</td><td>17 t</td></tr> </table>	鋼製河床	11 t	戸当り	1 t	開閉装置	2 t	操作盤および油圧ユニット	3 t	<hr/>		合計	17 t	<table border="1"> <tr><td>鋼製河床</td><td>4 t</td></tr> <tr><td>戸当り</td><td>1 t</td></tr> <tr><td>開閉装置</td><td>1 t</td></tr> <tr><td>付属設備</td><td>1 t</td></tr> <tr><td>維持放流設備</td><td>2 t</td></tr> <tr><td>操作盤および油圧ユニット</td><td>3 t</td></tr> <tr><td colspan="2"><hr/></td></tr> <tr><td>合計</td><td>12 t</td></tr> </table>	鋼製河床	4 t	戸当り	1 t	開閉装置	1 t	付属設備	1 t	維持放流設備	2 t	操作盤および油圧ユニット	3 t	<hr/>		合計	12 t	<table border="1"> <tr><td>鋼製河床</td><td>4 t</td></tr> <tr><td>戸当り</td><td>1 t</td></tr> <tr><td>開閉装置</td><td>1 t</td></tr> <tr><td>付属設備</td><td>1 t</td></tr> <tr><td>操作盤および油圧ユニット</td><td>2 t</td></tr> <tr><td colspan="2"><hr/></td></tr> <tr><td>合計</td><td>9 t</td></tr> </table>	鋼製河床	4 t	戸当り	1 t	開閉装置	1 t	付属設備	1 t	操作盤および油圧ユニット	2 t	<hr/>		合計	9 t
鋼製河床	11 t																																												
戸当り	1 t																																												
開閉装置	2 t																																												
操作盤および油圧ユニット	3 t																																												
<hr/>																																													
合計	17 t																																												
鋼製河床	4 t																																												
戸当り	1 t																																												
開閉装置	1 t																																												
付属設備	1 t																																												
維持放流設備	2 t																																												
操作盤および油圧ユニット	3 t																																												
<hr/>																																													
合計	12 t																																												
鋼製河床	4 t																																												
戸当り	1 t																																												
開閉装置	1 t																																												
付属設備	1 t																																												
操作盤および油圧ユニット	2 t																																												
<hr/>																																													
合計	9 t																																												
評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>常時満水位から 0.2m 以上水位低下する頻度 <math>(308 / (24 \times 365) = 0.035)</math> を踏まえ、せせらぎ水路途中に魚の休息場所としてよどみ域を設け、その水を交換することによって水温上昇を抑えることが可能な②案を採用する。</li> </ul>																																												

3.2.4 せせらぎ魚道ゲート一般図

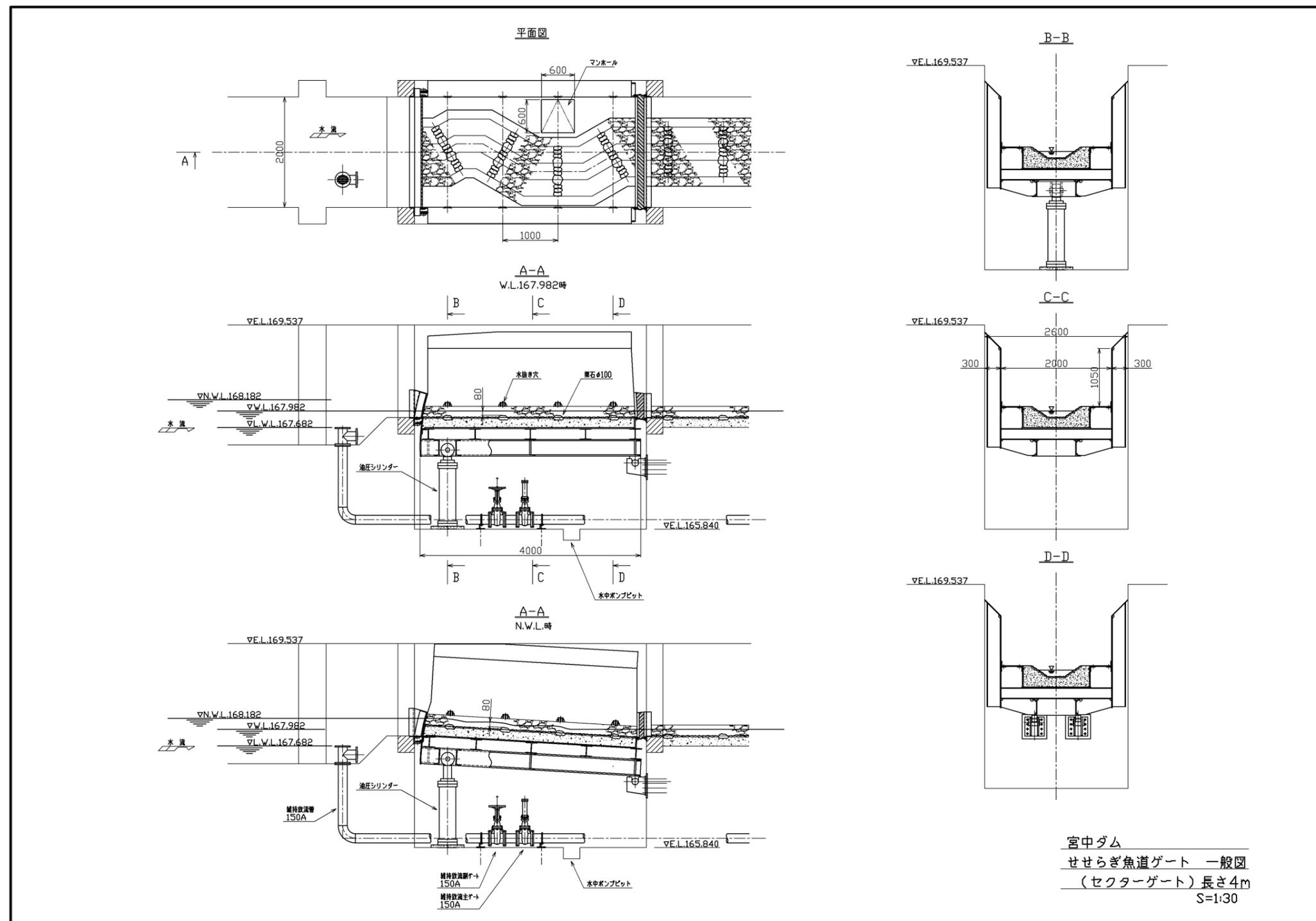


図 3.2.4 せせらぎ魚道ゲート一般図 (セクターゲート)

### 3.3 まとめと今後の課題

#### (1) まとめ

- 現魚道ゲートの問題点を踏まえ、昇降式ゲートを検討した。
- せせらぎ魚道の選定に伴い、セクター式ゲートを検討した。

#### (2) 今後の進め方

- ◆ モニタリング等、更なる現状把握を踏まえた改善検討を継続して実施する。
- ◆ 設計等構造改善実施に向けた取組を深度化する。
- ◆ また、改善魚道完成後についても、モニタリングと必要に応じた改善（構造的改善、流量変動等）を実施する。

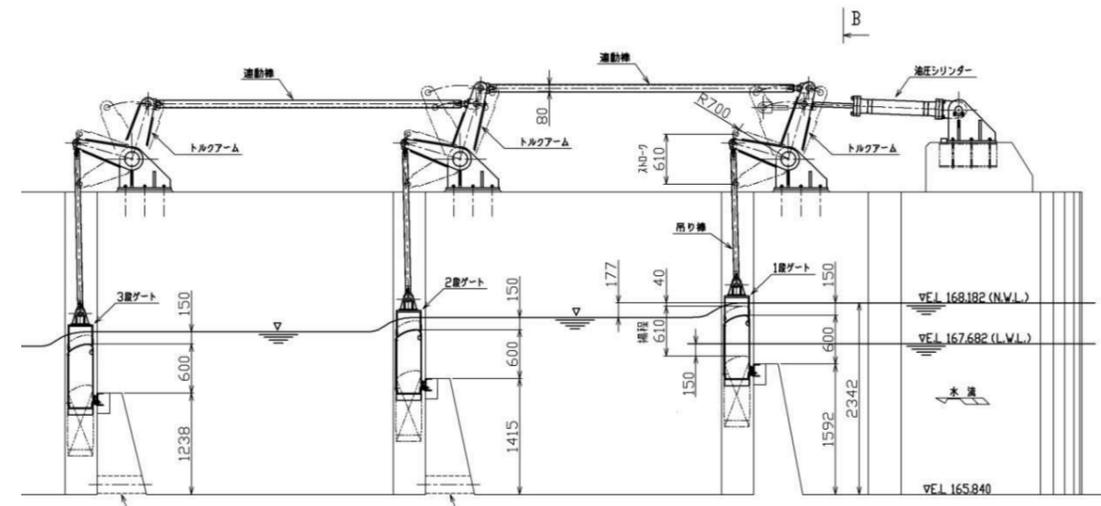


図 3.3.2 小型魚用魚道ゲート（昇降式）の縦断面図

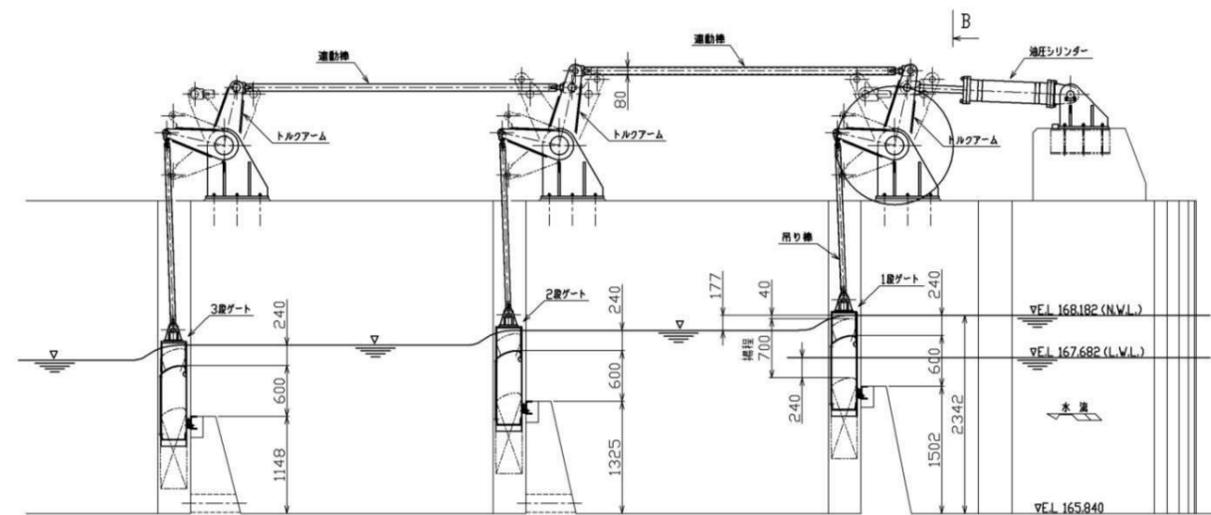


図 3.3.1 大型魚用魚道ゲート（昇降式）の縦断面図

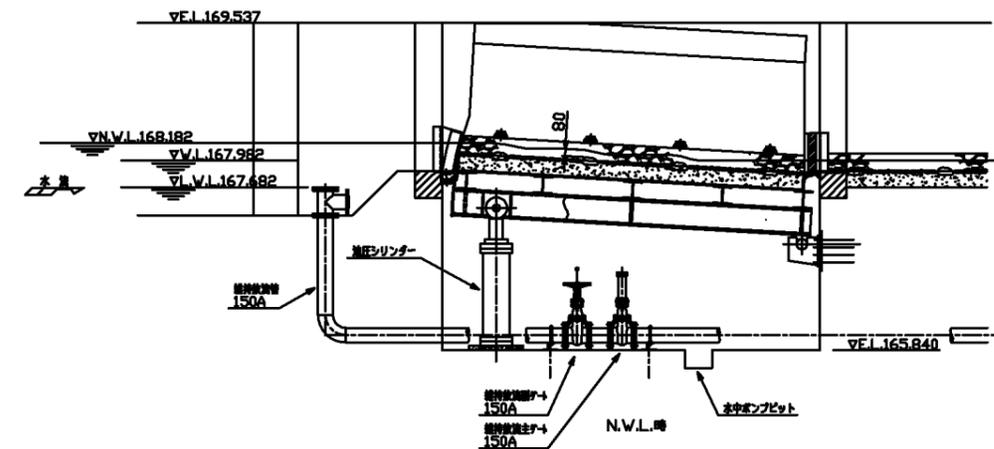


図 3.3.3 せせらぎ魚道用ゲート（セクター式）の縦断面図