

# 宮中取水ダムにおける魚道構造改善および順応的管理について

○竹内洋介, 森山泰明, 枡本拓, 空閑徹也, 澤村里志

## 1. はじめに

信濃川発電所は、新潟県十日町市から小千谷市に位置し、宮中取水ダム、浅河原調整池、千手発電所、山本調整池、小千谷発電所、山本第二調整池、小千谷第二発電所で構成されている。信濃川発電所の鳥瞰図を図-1 に、宮中取水ダムの航空写真を図-2 に示す。宮中取水ダムは、信濃川河口から約134km に位置し集水面積 7,841km<sup>2</sup> であり、右岸側には総落差 11m の魚道が設置されている。信濃川発電所にて発生した電力は、新幹線、首都圏および上越線の列車運転用に供給されている。

宮中取水ダムの魚道は、「信濃川中流域水環境改善検討協議会」の提言において、「ダム下流部との流れの連続性が確保されていない」、「魚道内の流れが不安定である」という2つの課題が挙げられている。この課題を解消するために学識経験者、内水面漁業関係者、地元行政機関、河川行政機関等からなる委員会を2009年に設立し、諸々の検討を実施してきた。本稿では、その検討結果とその後の順応的管理について報告する。

## 2. 宮中取水ダム魚道の課題

### ① ダム下流部との流れの連続性が確保されていない

宮中取水ダム魚道は右岸側に設置されているが、滞筋が左岸側に形成されていることから遡上した魚類が魚道入口へ到達しにくい。また図-3の旧放流パターンように宮中取水ダムのゲート放流により魚道入口付近に循環流が生じ、魚類が右岸側の魚道へ遡上するための環境を阻害することが挙げられたため、ゲート放流方法の変更を検討した。

### ② 魚道内の流れが不安定である

改築前の魚道内は、プールの平面形状が横長で流れが複雑であったことから、流量条件により図-4のように大きな横波（セイシュ）が発生する場合があった。また越流天端幅が狭く流量条件によっては、泡や流れの乱れ、はく離流が生じる場合があることが挙げられたため、魚道構造改善を実施した。



図-2 宮中取水ダム位置

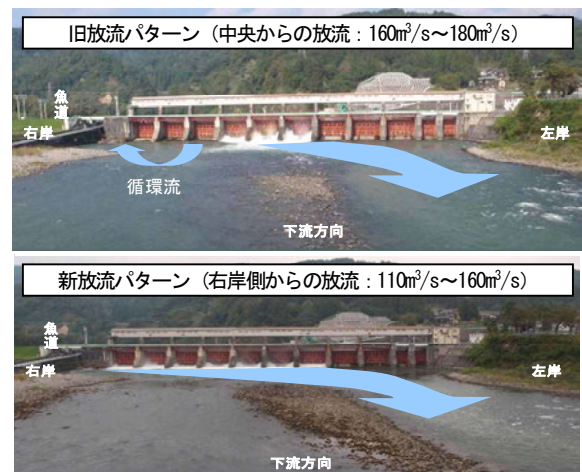


図-3 宮中取水ダム放流の新旧放流パターン



図-4 魚道改築前の大型魚道横波発生状況

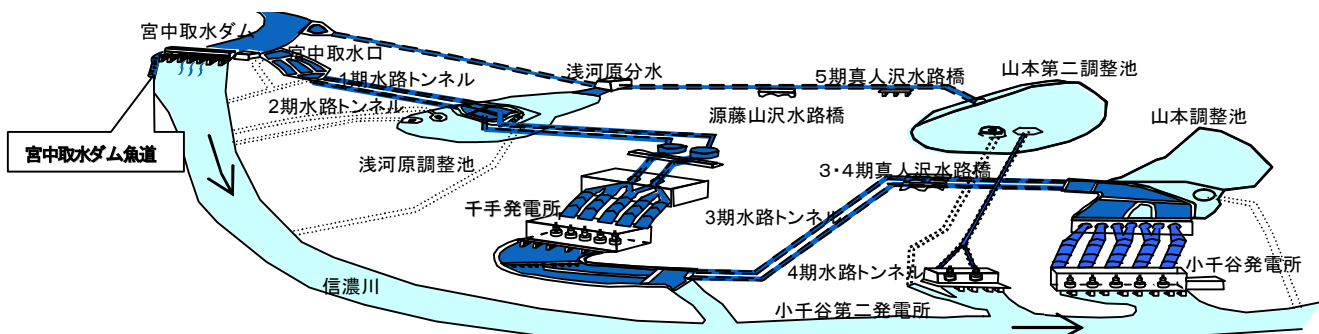


図-1 信濃川発電所管内鳥瞰図

- \*1 東日本旅客鉄道(株) 信濃川発電所業務改善事務所 河川環境調査 G (発表者)
- \*2 東日本旅客鉄道(株) 信濃川発電所業務改善推進部 河川環境 G 課長
- \*3 東日本旅客鉄道(株) 信濃川発電所業務改善事務所 河川環境調査 G 課長
- \*4 東日本旅客鉄道(株) 信濃川発電所業務改善推進所 河川環境調査 G
- \*5 東日本旅客鉄道(株) 信濃川発電所業務改善事務所 河川環境 G

### 3. ゲート放流方法の変更による改善検討

#### 3.1 検討手法および結果

宮中取水ダムは、従来は図-3 の旧放流パターンに示すような、ダム中央部に位置する 6 号、7 号、8 号洪水吐ゲートからのダム放流を主体とするゲート操作で運用していた。そのため滞筋が左岸側に形成され、魚道入口付近には循環流が生じてしまい、遡上した魚類が魚道入口へ到達しにくい状態となっている。そこで、宮中取水ダム下流と魚道の流れの連続性を確保するために、ダム放流方法の変更による主流路形成の検討を行った。

検討方法は、3 号～11 号洪水吐ゲートでの流況解析後に実際の流況を確認するための現地放流実験を行い、複数のパターンによる組合せを解析モデルに反映させ精度を高めていくこととした。

以上により、図-3 の新放流パターンに示した、魚道側に近いダム右岸側を主体とする放流方法へと変更することで、宮中取水ダム下流と魚道との流れの連続性が確保され、魚道への誘引効果のある新放流パターンを見出すことができた。

#### 3.2 モニタリング調査による有効性の確認

##### 3.2.1 サケテレメトリー調査

流況解析および現地放流実験で見出した新放流パターンにおける有効性を把握するために、サケに発信機を装着してテレメトリー調査を実施した。なお、テレメトリー調査で移動経路に供する個体数は、新、旧放流パターンともに 5 個体とした。図-5 に移動経路を示す。魚道入口部および折返し部までの到達割合は、旧放流パターンで 40%、新放流パターンで 80% だった。以上のことから新放流パターンによる有効性が確認できた。

##### 3.2.2 アユの迷入個体調査

魚道入口部付近に定置網を上流向きと下流向きの 2 方向で設置し、アユの迷入個体調査を実施した。上流向きは遡上個体、下流向きは循環流による迷入個体を対象とした。図-6 より新放流パターンは、循環流による迷入個体が存在しないことから、魚道入口部付近までの遡上経路が連続して確保されており新放流パターンによる有効性が確認できた。

### 4. 魚道構造改善

#### 4.1 目的および検討方法

魚道プール内の複雑な流れに伴い発生する大きな横波および、魚道構造により生じるはく離流といった課題を改善するとともに、多様な魚種へ対応するために魚道構造、配置の検討、水理模型実験および現地流況実験を行った。

#### 4.2 主要魚種の選定

宮中取水ダム魚道改築にあたり多様な魚種の遡上に適応するために、現地調査で確認されている魚種および文献調査や聞き取り調査を元に漁業権魚種を含む 16 種類を選定し、魚道形式の組合せを検討した。選定した 16 種の魚種を表-1 に示す。

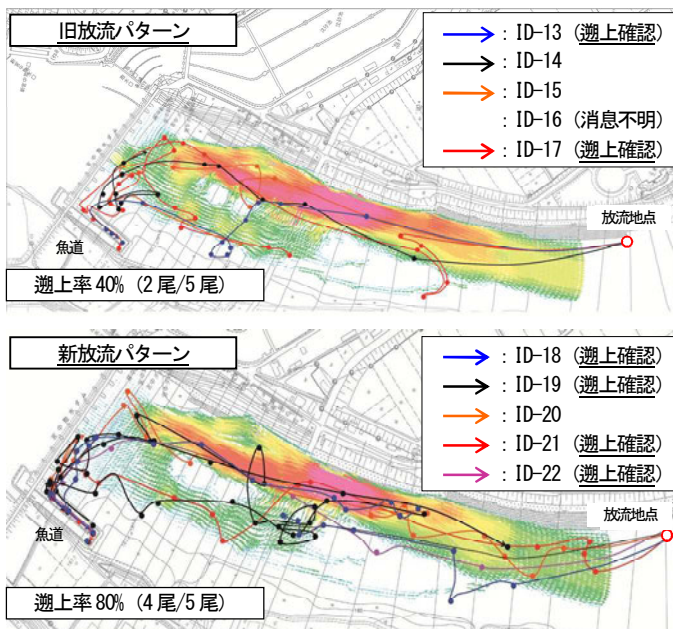


図-5 放流パターン別のサケ移動経路

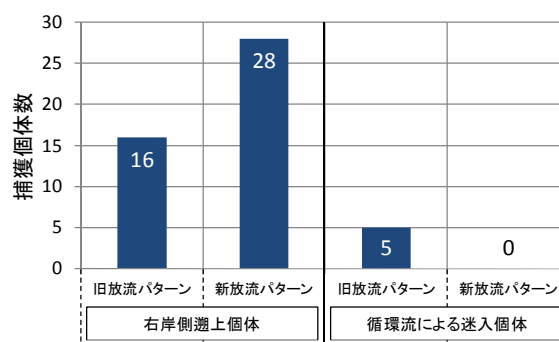


図-6 アユの迷入個体調査結果

表-1 対象魚種一覧

| 魚種名  |                                                                                  |
|------|----------------------------------------------------------------------------------|
| 対象魚種 | カワヤツメ、ウナギ、コイ、フナ、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、サクラマス（ヤマメ）、カジカ、ヨシノボリ類 |

#### 4.3 魚道構造改善

宮中取水ダム魚道は、図-7 に示すような大型魚道、小型魚道で形成されていた。魚道改築の構造は、改築前の魚道の輪郭を活用しその範囲内を基本に魚道を配置することとした。

大型魚道は、幅員を 10m から 8m に縮小するとともに、アイスハーバー型とすることでプール横断方向の流れを抑制し、非越流部背面に流速の静穏域を形成した。小型魚道は、既存の構造で特に問題がないことから、既存の構造形式を採用した。また大型魚道、小型魚道の折返しプール部を半円弧形状化するとともに隔壁天端部は、はく離流を解消し滑らかな構造とする複合 3 円弧形状化を図り、減勢機能効果を高めるためにプール内粗度として底部を玉石張りとした。

また従来の魚道に加えせせらぎ魚道を配置し、より多様な魚種が遡上するための改築を図った。主に遊泳力の小さな水生生物である底生魚、甲殻類を対象とし、遡上経路を図-8 に示すとおり蛇行させる構造として 1/20 程度まで緩勾配化

を図った。またプール内は固定しない玉石を設置し任意の水  
路形状を形成するように整備した。

## 5. 順応的管理

### 5.1 フラッシュ放流

せせらぎ魚道は、出水時のダムゲート放流により魚道入口  
部に土砂が堆積しやすい環境であり、魚道折返し部の上流の  
玉石には、付着藻類が異常繁茂していた。その結果、遊泳力  
の小さな魚種の遡上環境を阻害することから、維持管理での  
課題となっていた。そこで通常のせせらぎ魚道の流量  
 $0.022\text{m}^3/\text{s}$  (水深  $0.08\text{m}$ ) を約 1 時間、最大  $0.123\text{m}^3/\text{s}$  (水深  $0.2\text{m}$ )  
に増加させ、堆積土および付着藻類を除去するためのフラッ  
シュ放流を実施し、掃流効果の確認を行った。

フラッシュ放流後は、図-9 のように魚道入口部に堆積して  
いた深さ  $0.1\text{m}$  程度の土砂が掃流され河床の玉石を目視で確  
認することができるようになった。また魚道折返し部上流区  
間に異常繁茂していた付着藻類は、主に流心部に掃流、除去  
されていることを確認した。以上によりせせらぎ魚道内のフ  
ラッシュ放流による維持管理上の有効性を確認するとともに  
に遊泳力の小さな魚種の遡上環境の維持を確認できた。

### 5.2 魚類遡上モニタリング

魚道構造改善に伴う魚種の遡上状況を把握するために、改  
築前、改築後に魚道上流端にトラップを設置し、全数採捕調  
査から確認された魚種の比較を実施した。図-10 にトラップ  
設置状況を示す。トラップは大型、小型、せせらぎ魚道の  
上流端にそれぞれ、6 基、2 基、1 基ずつ設置した。採捕は 7  
時から 19 時まで 1 時間ごとに行い、計 13 回実施した。採捕  
期間は、6 月の初旬から約 1 ヶ月とした。表-4 に平成 22 年  
(改築前)、平成 24 年から平成 26 年 (改築後) までの魚道  
上流端における採捕結果の比較表を示す。

宮中取水ダム魚道では、19 種類から 24 種類の魚種を採捕  
することができ、改築後はウケクチウグイやサクラマス、トウ  
ヨシノボリ、ニッコウイワナといった新たな遡上魚種を確認  
できた。26 年度には新たにドジョウを上流端で確認できた。

大型魚道では、ウグイやニゴイといった大型の魚種が、小  
型魚道では、オイカワといった小型の魚種が多く遡上してい  
ることから、魚種の体長によって、遡上する魚道を使い分け  
ていることが確認された。また魚道を改築するうえで設計対  
象魚種としているトウヨシノボリ類がせせらぎ魚道を選択  
し遡上しているため、せせらぎ魚道の設計効果の有効性を確  
認することができた。

また大型魚道において、比較的流速が緩い側壁側の採捕カ  
ゴ (①、⑥) と非越流部の両隣の採捕カゴ (③、④) に多く  
の採捕が確認された。これより、流速が緩いところで休みな  
がら遡上していると考えられる。

魚道改築後には、改築前の魚種 14 種類も遡上しているこ  
とから、遡上環境の保全と創造を図ることができた。

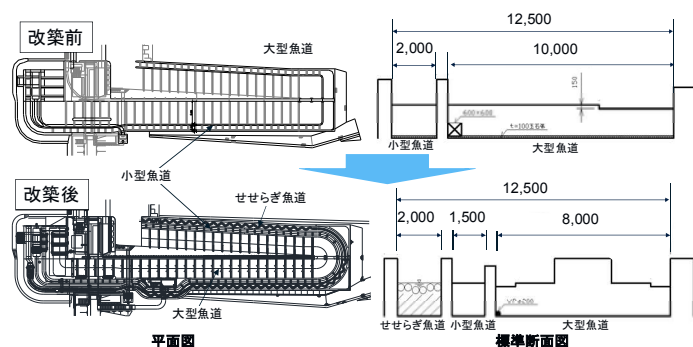


図-7 魚道構造

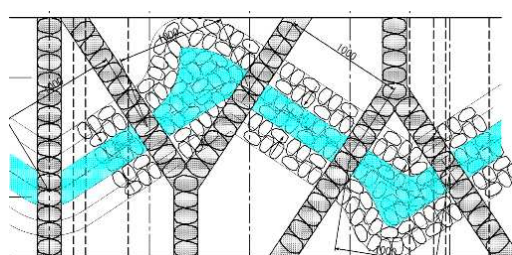


図-8 せせらぎ魚道遡上経路

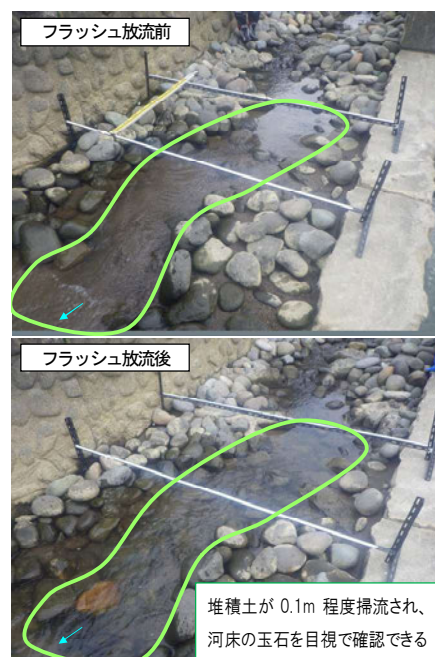


図-9 フラッシュ放流前後の堆積状況



図-10 捕獲カゴの設置の状況  
(左：大型魚道 右：小型魚道 下：せせらぎ魚道)

表-4 魚道上流端における採捕結果

| 目名     | 科名     | 種名      | 平成22年度 |      |        | 平成24年度 |      |        | 平成25年度 |      |        | 平成26年度 |      |        |
|--------|--------|---------|--------|------|--------|--------|------|--------|--------|------|--------|--------|------|--------|
|        |        |         | 【改築前】  |      |        | 【改築後】  |      |        | 【改築後】  |      |        | 【改築後】  |      |        |
|        |        |         | 大型魚道   | 小型魚道 | せせらぎ魚道 | 大型魚道   | 小型魚道 | せせらぎ魚道 | 大型魚道   | 小型魚道 | せせらぎ魚道 | 大型魚道   | 小型魚道 | せせらぎ魚道 |
| ウナギ    | ウナギ    | ウナギ     |        | ○    |        |        | ○    |        |        |      |        |        |      |        |
| ヤツメウナギ | ヤツメウナギ | カサヤツメ   |        |      |        |        |      |        |        |      |        |        |      |        |
| コイ     | コイ     | モツゴ     | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      |
|        |        | オイカワ    | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      |
|        |        | ナマズ     | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      |
|        |        | フナ      | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      |
|        |        | コナギ     | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      |
|        |        | ウグイ     | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      |
|        |        | モツゴ     | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      |
|        |        | ナマズ     | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      |
|        |        | フナ      | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      |
|        |        | コナギ     | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      |
|        |        | ウグイ     | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      |
|        |        | モツゴ     | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      |
|        |        | ナマズ     | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      |
|        |        | フナ      | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      |
|        |        | コナギ     | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      |
| ドジョウ   | ドジョウ   | カサヤツメ   |        |      |        |        |      |        |        |      |        |        |      |        |
|        |        | ドジョウ    |        |      |        |        |      |        |        |      |        |        |      |        |
| ナマズ    | ナマズ    | ナマズ     | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      |
|        |        | アカザ     |        |      |        |        |      |        |        |      |        |        |      |        |
| サケ     | サケ     | ニジマス    | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      |
|        |        | サケ      | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      |
| カサゴ    | カサゴ    | カサゴ     | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      |
|        |        | サンフィッシュ |        |      |        |        |      |        |        |      |        |        |      |        |
| スズキ    | スズキ    | スズキ     | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      | ○      | ○    | ○      |
|        |        | ハゼ      |        |      |        |        |      |        |        |      |        |        |      |        |
| 6目     | 11科    | 29種     | 10種    | 12種  | 14種    | 14種    | 9種   | 17種    | 13種    | 10種  | 14種    | 11種    | 7種   |        |
|        |        |         |        | 14種  |        |        | 22種  |        |        | 24種  |        |        | 19種  |        |

## 5.3 洪水期モニタリング

### 5.3.1 概要

洪水吐ゲートからの放流は、これまでは中央の7号ゲートからの旧放流パターンで行ってきたが、魚道へと遡上魚をさらに誘引できる右岸側滞筋形成に向けて、右岸側のゲートからの新放流パターンを当面継続していくこととした。そのため、放流方法の変更に伴う下流への影響を確認する目的で、洪水期モニタリングを平成22年から実施している。洪水期モニタリングは、1,500m³/s以上の放流量が発生した場合に、目視による確認を行い、河床変化が認められた場合、河川横断測量を実施した。モニタリング内容を図-11に示す。

### 5.3.2 モニタリング結果

平成25年9月16日(3,880m³/s)の洪水では、洪水前に比べ河道形状に変化が生じたため、目視による確認の後、河川横断測量を実施した。目視による確認では、右岸側滞筋～河岸の形状の変化、および宮中橋下流右岸の流路の拡大、および宮中取水ダム～宮中橋間の中洲の表層に変化がみられた。河川横断測量の結果においては、宮中取水ダム～宮中橋間の中洲表層の洗掘、宮中橋から下流区間の右岸側滞筋の延伸、河岸侵食が確認された。左岸滞筋部については、平成23年7月の測量結果と比較しても特段大きな変化はないことから、洪水前後で河道の変化はないと想定された。洪水前後の航空写真を図-12に示す。

平成25年10月16日(1,563m³/s)の洪水では、目視による確認において、中洲の位置や大きさ、右岸滞筋部に大きな変化は見られなかった。そのため河川横断測量は実施していない。また魚道擁壁周辺の河床洗掘がみられたが、施設の安全性に影響はないと判断した。

放流パターンの変更は、遡上魚をさらに魚道へと誘引する右岸側滞筋形成を目的としているが、滞筋形成は長期に及ぶと想定されるため、今後も経過を確認していくこととする。

## 6. まとめ

宮中取水ダムにおける2つの課題を解消するために、ダム放流方法の見直しおよび魚道構造を改善することで以下の評価を受けた。

- ・流況解析および現地放流実験を組み合わせることにより、魚道とダム下流部の流れの連続性を確保する新放流パターンを見出すとともに、実魚の遡上効果を検証することで新放流パターンの有効性を確認した。
- ・従来の大型魚道、小型魚道の構造に加え、遊泳力の小さい水生生物に適したせせらぎ魚道を整備し、信濃川中流域の水生生物の多様性に対応した魚道へと改善することができた。
- ・せせらぎ魚道内のフラッシュ放流を行うことで、維持管理上の有効性を確認するとともに、遊泳力の小さな魚種の遡上環境の維持を確認できた。
- ・モニタリング調査により多様な魚種の遡上が確認され、遡上環境の保全および創造性の有効性を検証できた。
- ・洪水期モニタリングにより1,500m³/s程度の出水では河道

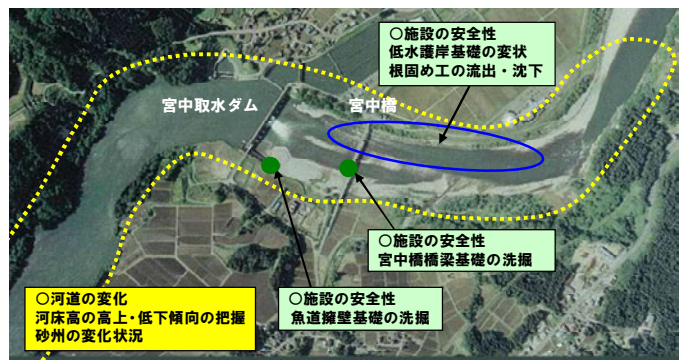


図-11 洪水期モニタリング調査概要図

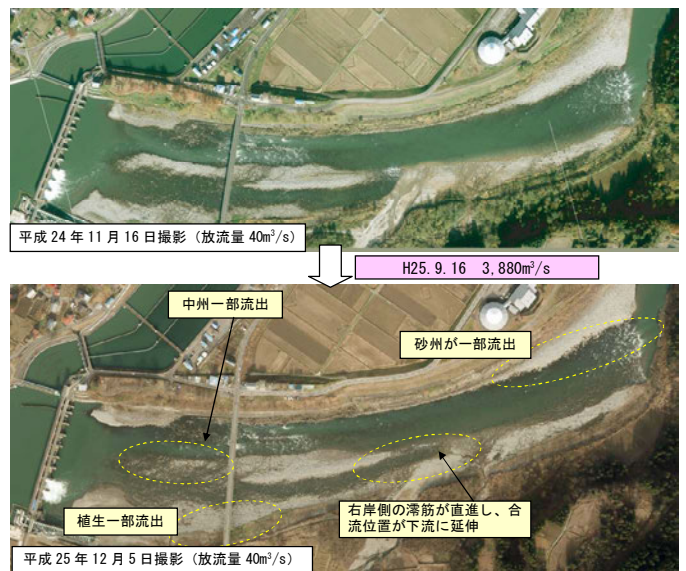


図-12 平成25年9月16日出水前後の航空写真

の変化は見られず、3,500m³/sを超える出水では、洗掘、堆積といった河道変化が発生するが、施設への安全性には影響がないことを確認できた。

今後も、宮中取水ダム魚道を実運用していくうえで、目的としている機能を果たしているかを引き続きモニタリングを実施し、順応的管理を行うとともに、水力発電と河川環境との調和に取り組んでいく。