

信濃川発電所宮中取水ダム魚道構造改善検討委員会

第2回委員会

日時：平成21年11月12日（木） 14:00～16:00

場所：ホテルニューオータニ長岡

議事次第

I 開会

II 委員長挨拶

III 議事

1. 第1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2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1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2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2回委員会資料

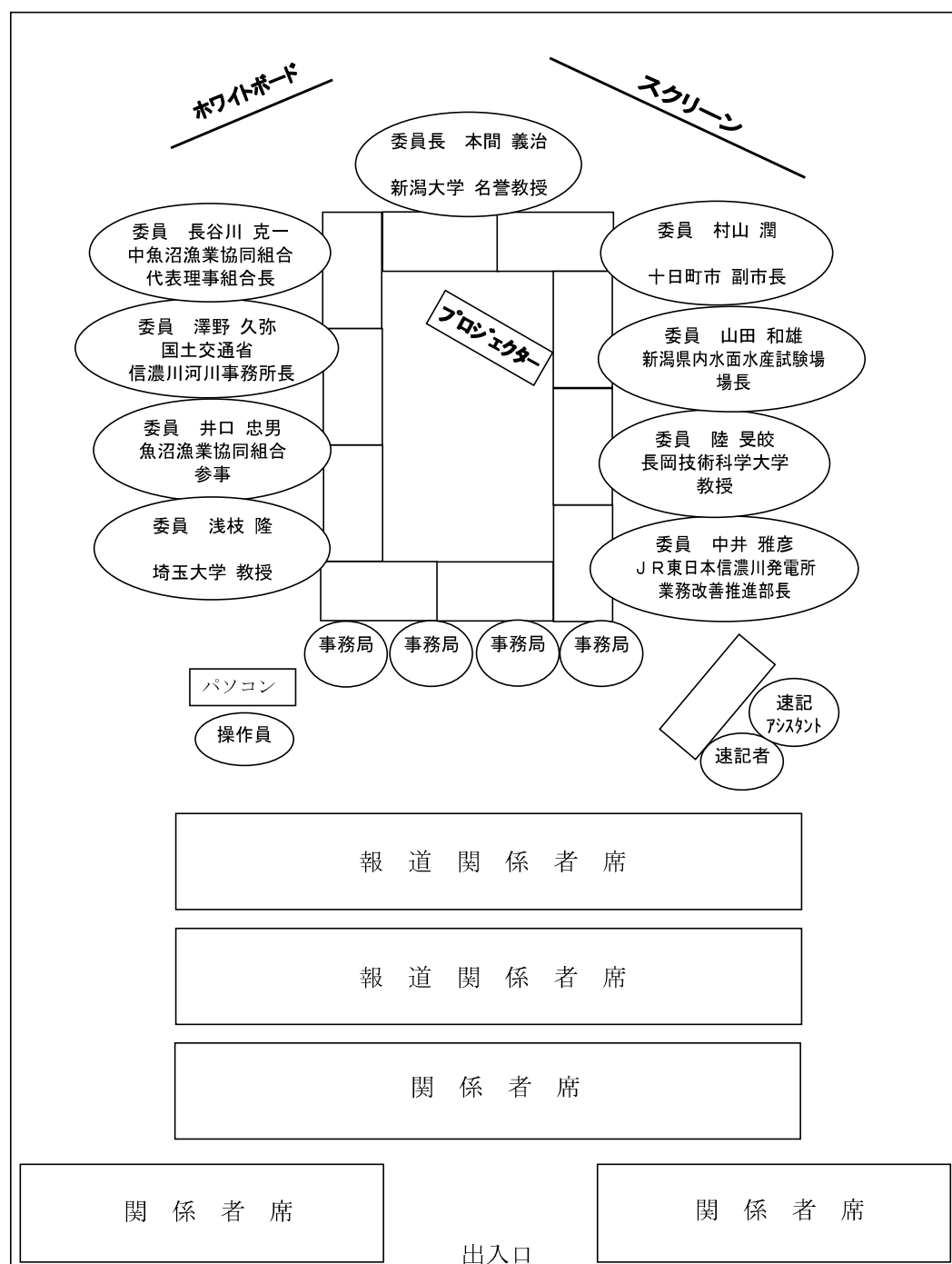
信濃川発電所宮中取水ダム魚道構造改善検討委員会

第2回委員会

日時：平成21年11月12日(木) 14:00～16:00

場所：ホテルニューオータニ長岡

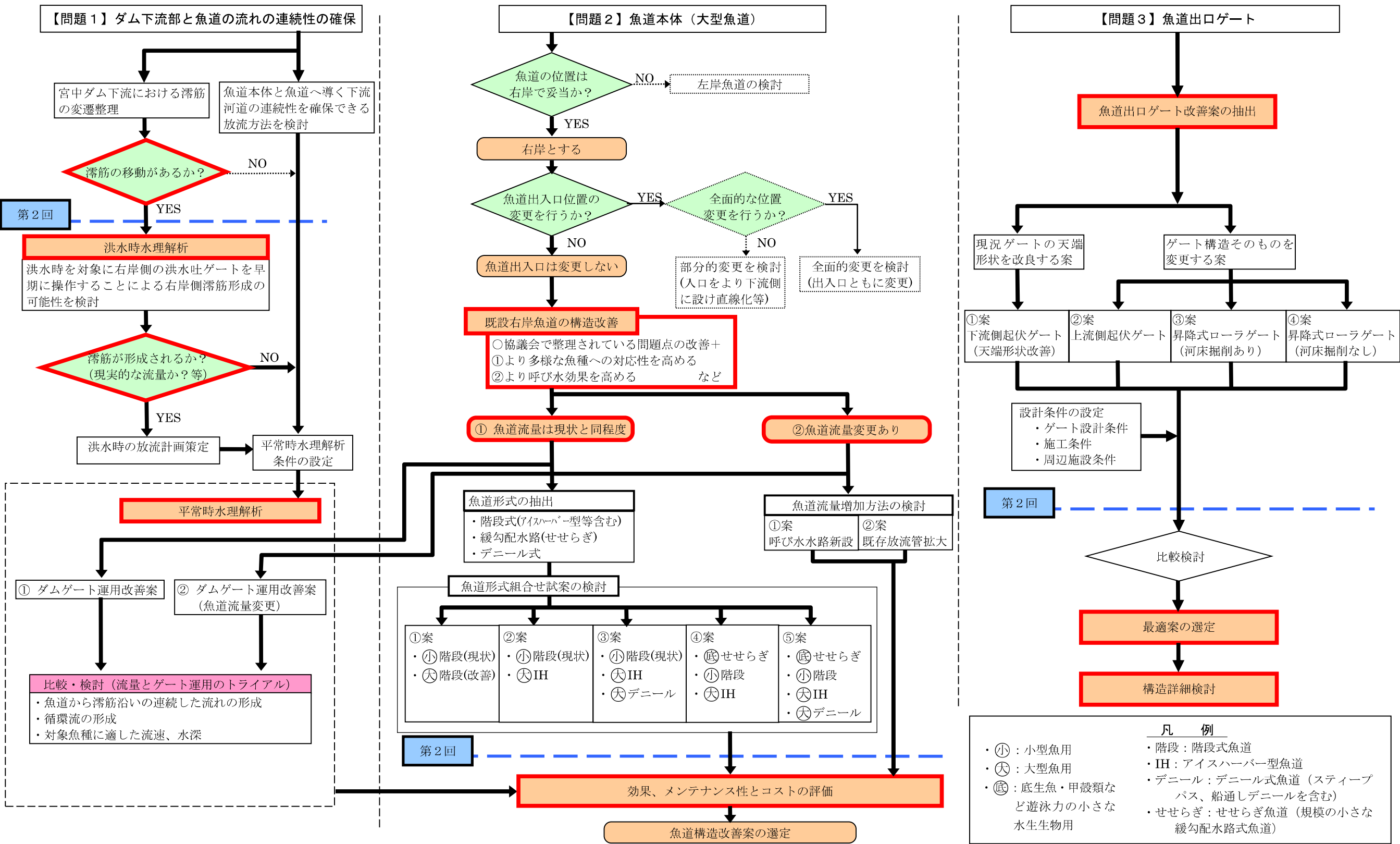
座席表（五十音順）



項目		指摘事項（発言要旨）	事務局の対応	備考
		本間委員長）現在の魚道をそのまま手直しするのであれば実験してみなければならないと思う。根本的にかえるかというところも考えてみないといけない。	○ <u>本日、これらの案をたたき台に、これ以外の案のご提案や不要な案のご指摘、そして改良案を比較検討する上での視点や注意・留意事項など忌憚のないご意見・ご助言をいただき、新たな案も含めまして次回委員会以降に比較検討を行い、案の絞込みを行っていききたいと存じます。</u>	
	2-2	澤野委員）現在の魚道は何 m³/s 流せるのか？全く改築しないと 7m³/s なのか？ 事務局）魚道で 4m³/s、呼び水は能力的に 5m³/s 程度流せる。 本間委員長）次回以降いろいろ多角的に検討してよりよいものを検討しなきゃだめだと思う。右岸側に魚を集めるとなれば、魚道をまっすぐにするようなことも必要だと思う。 本間委員長）維持流量確保のために呼び水のところをすっかり変えてしまうという手もある。		
【問題 3】 魚道出口 ゲートに 関する問 題点	3-1	全委員）協議会でも指摘されている気泡、剥離流の発生やゲート下流の魚の滞留の問題のための改善策の検討について了解する。	【資料 4 § 3 で説明・審議】 ○ 今回、魚道ゲートの改善策について、現況ゲートの天端形状を改良する案とゲート構造そのものを変えてしまう案、計 4 つの案を事務局案として検討・提案させていただきました。 ○ <u>本日、これらの案をたたき台に、これ以外の案のご提案や不要な案のご指摘、そして改良案を比較検討する上での視点や注意・留意事項など忌憚のないご意見・ご助言をいただき、新たな案も含めまして次回委員会以降に比較検討を行い、案の絞込みを行っていききたいと存じます。</u>	
その他		井口委員）維持流量は別途検討し、整合を図るというのはどういう意味ですか 事務局） 1 0 団体と呼んでいる協議会で相談しながら検討していきます 本間委員長）先ほどから問題となっているとおり、これからどの程度水を使えるのか一切わからない状態ですから。机上の検討になってしまうかもしれないが、ありとあらゆる可能性について検討してみる。実験ができるようになったりしたらやってみる。	○ 本委員会の主旨である遡上環境の改善にあたっては、維持流量が何 m³/s かという観点からではなく、魚道に何 m³/s の水を流すことが望ましいのか？構造的に何 m³/s の水を流すことが可能なのか？という観点で当面検討を進めたいと考えます。 ○ アユやサケが遡上する時期を主に想定し、流量条件を設定して検討していきます。	

信濃川発電所宮中取水ダム魚道構造改善検討委員会（第2回）概要について

（本日の委員会内容と協議事項）



信濃川発電所宮中取水ダム魚道構造改善検討委員会
第 2 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 検討方針	1
2. 魚道本体の改善検討	10
2.1 魚道本体の改善案の考え方	10
2.2 魚道の設計条件	11
2.3 既設階段式魚道構造の改善案.....	12
2.4 魚道形式の検討	16
2.5 魚道流量増加方法の検討	18
2.6 宮中取水ダムにおける魚道形式・呼び水方式の組合せ案.....	19
3. 魚道出口ゲートの改善検討	23
3.1 魚道ゲート改善案の抽出	23
3.2 ゲート設計条件	25
3.3 施工条件	26
3.4 周辺施設	26
3.5 その他	26
4. 参考資料.....	27
4.1 魚道形式別水理量の検討	27
4.2 呼び水水路の検討	30

平成 21 年 11 月 12 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 検討方針

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（下流河道とダム直下のいずれも満足する環境）を検討する。

1.1.1 検討手法と考察する項目

洪水時の流況や平常時の魚類の遡上効果を評価するため、流速、水深等を平面的に把握可能な二次元モデルを構築する。

【考察する項目】

- ①洪水時の河床移動状況の推定：宮中ダム下流河道の河道形状（河床高、滞筋等）の変遷を整理した上で、洪水時流況解析を実施することによる右岸側滞筋形成の可能性について考察
- ②平常時の遡上環境改善の効果確認：呼び水の改良、ゲート操作によるダム下流部との流れの連続性確保（連続性、循環流等）について考察

1.1.2 洪水時河床移動状況の推定

現魚道の問題点として挙げられている「滞筋と魚道が反対側に位置しており、呼び水の効果が弱い」の改善方法として、宮中ダム下流河道の河道形状（河床高、滞筋等）の変遷を整理した上で、洪水時のゲート操作による右岸側滞筋形成の可能性を検討する。

(1) 宮中ダム下流河道の変遷

航空写真、横断図等を収集整理し、宮中ダム下流河道の変遷を整理する。

1) 航空写真による河道の変遷

航空写真を経年的に整理し、宮中取水ダム及び下流河道の変遷を整理した。撮影年月日は以下のとおりである。

- ・1947年（昭和22年）11月1日（国土地理院）
- ・1948年（昭和23年）4月26日（国土地理院）
- ・1958年（昭和33年）10月24日（信濃川河川事務所）
- ・1968年（昭和43年）6月7日（国土地理院）
- ・1975年（昭和50年）8月3日（国土地理院）
- ・1976年（昭和51年）8月27日（信濃川河川事務所）
- ・1989年（平成元年）11月27日（信濃川河川事務所）
- ・1998年（平成10年）11月4日（信濃川河川事務所）
- ・2004年（平成16年）10月17日（国土地理院）
- ・2005年（平成17年）8月5日（国土地理院）
- ・2005年（平成17年）8月30日（信濃川河川事務所）

また、昭和7年の宮中ダム地点の風景写真および宮中ダム建設時の写真（昭和8年～13年）についても当時の滞筋を推定する資料として整理した。図1-1に写真を示す。

図1-2、図1-3に河道の変遷を示す。以下に変遷の傾向を示す。

- 宮中ダム建設前の写真より、河川地形が大きく湾曲していることから、宮中ダム地点は滞筋が左岸に大きく寄っていた。
- 宮中ダム建設後、滞筋は大きく変化しておらず、左岸側に固定化されている。しかし、ゲートによってコントロールされるようになり、通常は規程にしたがった中央部からの放流、またサケの遡上に合わせた右岸側ゲートからの放流が行われている。
- その結果、現在では、左岸側の滞筋に加え、右岸側にも滞筋が見られるようになっている。これは、ゲート放流により、右岸側の河床が少しずつ洗掘されたためであると推測される。（図1-4横断図重ね合わせ結果より）
- このため、洪水時の流量規模と右岸側のゲート操作による右岸側の滞筋の形成も期待できると考えられる。

2) 横断図重ね合わせ

宮中ダム下流の4断面の昭和44年～平成18年の横断図の重ね合わせを行った（図1-4参照）。これより、

■滞筋の位置は経年的に概ね変化はない。

■宮中ダム直下の74.5k(No.745)は経年的に右岸側方向に向かって洗掘傾向（河積が拡大）であり、H18では河床が上昇している。

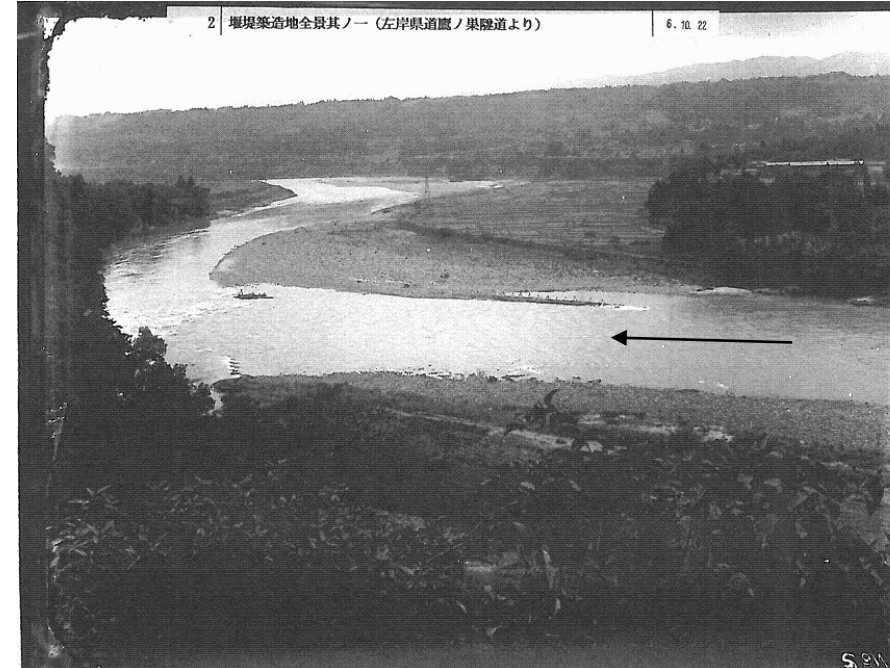
1932 年（昭和 7 年）鳥瞰写真



信濃川下流より取水口を望む：現在の宮中ダム地点は湾曲し、滞筋は左岸に寄っている。

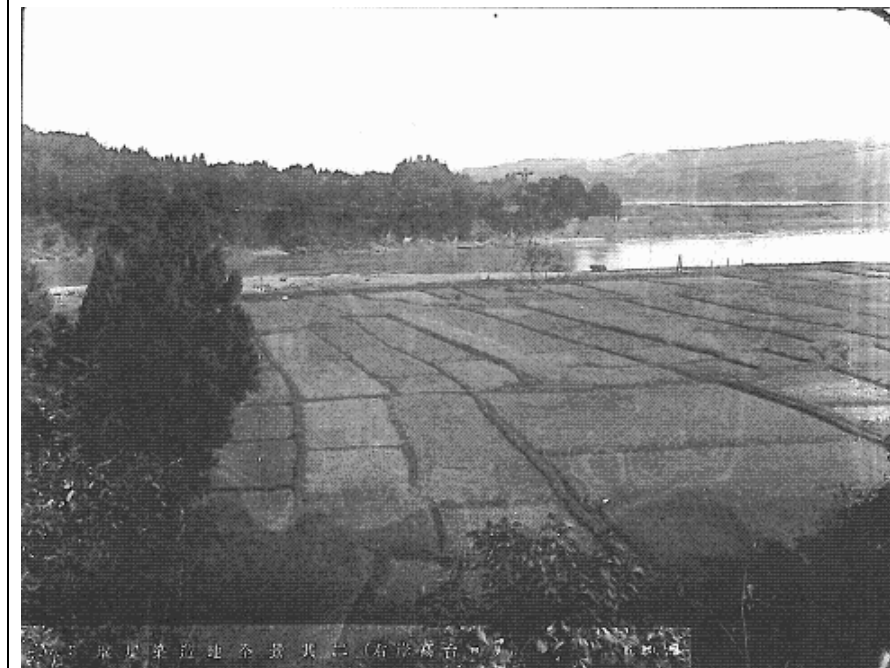
出典：「写真集ふるさとの百年＜十日町・南魚沼＞」（S56. 12. 15 新潟日報事業社出版部）

1931 年（昭和 6 年）11 月



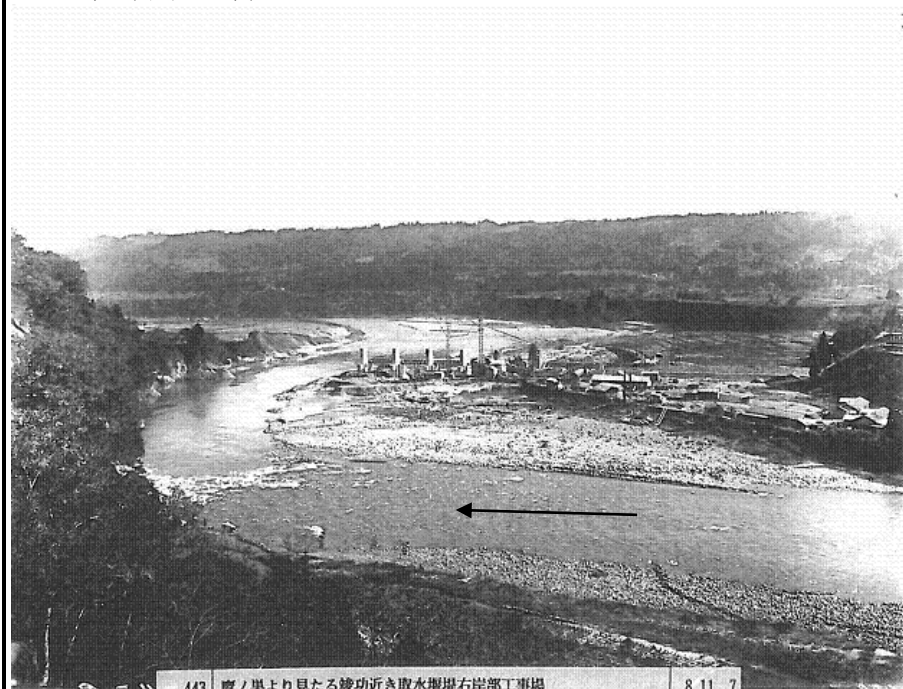
（堰堤築造地全景その1）上流左岸側から宮中ダム地点を望む：右岸側は湾曲し、土砂が堆積している。

1931 年（昭和 6 年）11 月



（堰堤築造地全景その1）右岸高台より宮中ダム地点を望む：右岸側は湾曲し、土砂が堆積している。

1933 年（昭和 8 年）11 月



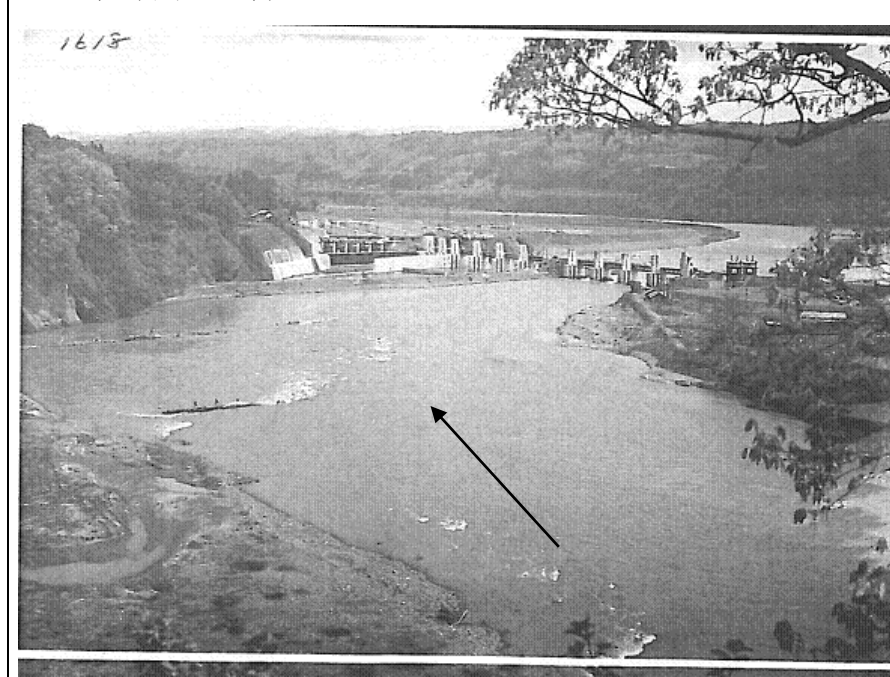
上流左岸側より宮中ダム建設工事現場を望む

1933 年（昭和 13 年）8 月



下流より竣工間近の宮中ダムを望む：瀬替えをしているため、右岸側に流れがある。

1933 年（昭和 13 年）8 月



上流より竣工間近の宮中ダムを望む：瀬替えをしているため、右岸側に流れがある。

図 1-1 宮中ダム建設前後の河道の状況

1947 年（昭和 22 年）11 月



1948 年（昭和 23 年）4 月



1958 年（昭和 33 年）10 月



1968 年（昭和 43 年）6 月



1975 年（昭和 50 年）8 月



1976 年（昭和 51 年）8 月



図 1-2 宮中ダム上下流河道の変遷（昭和 22 年～昭和 51 年）

1989 年（平成元年）11 月



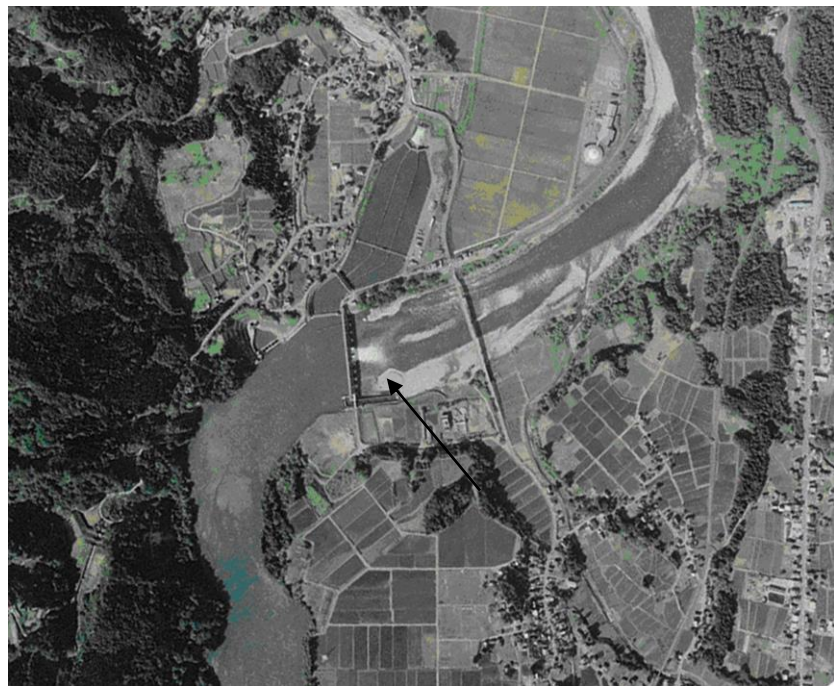
1998 年（平成 10 年）11 月



2004 年（平成 16 年）10 月



2005 年（平成 17 年）8 月 5 日



2005 年（平成 17 年）8 月 30 日

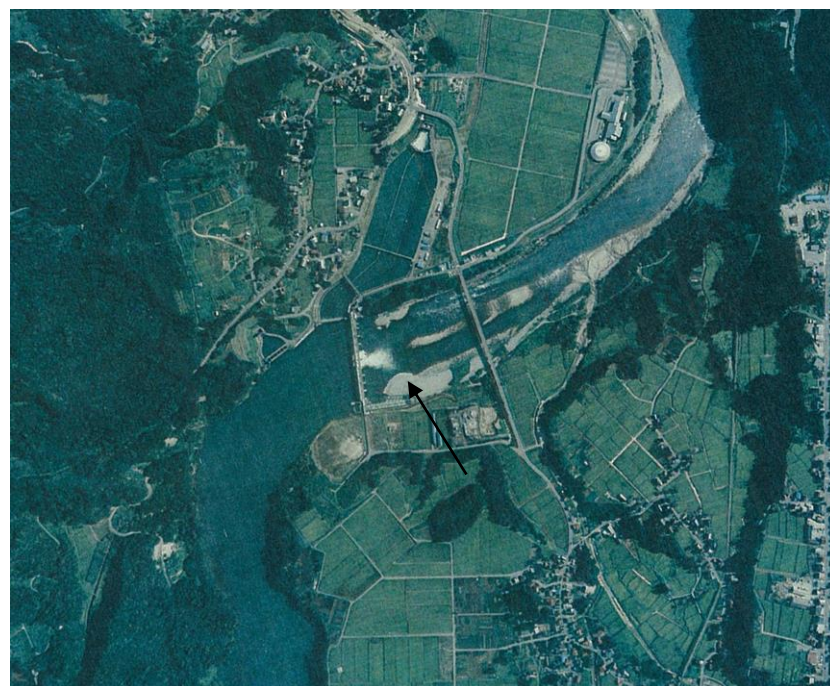


図 1-3 宮中ダム上下流河道の変遷（平成元年～平成 17 年）

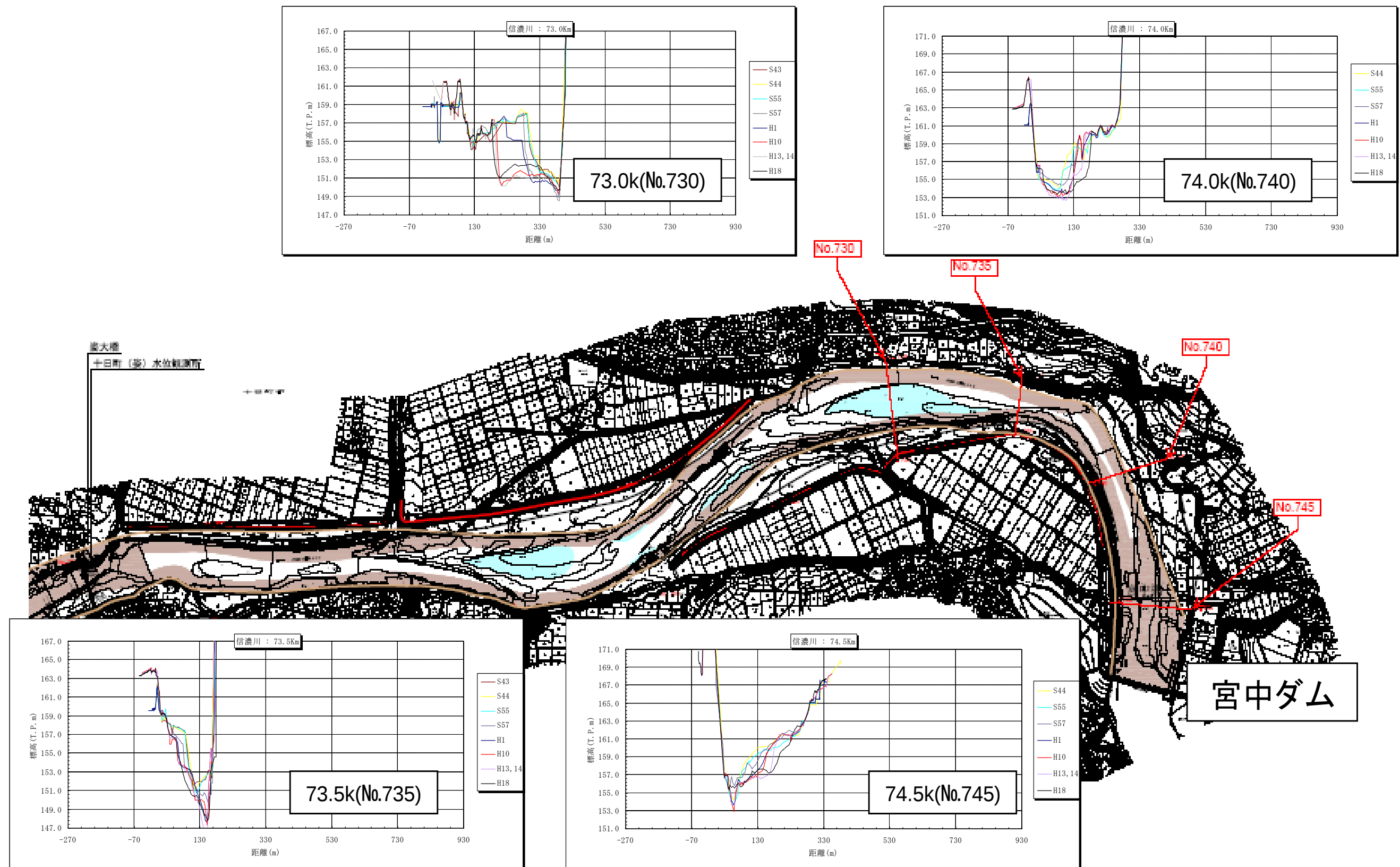


図 1-4 宮中ダム下流の河道横断形状の経年変化

3) 宮中ダムの堆砂状況

昭和 63 年～平成 21 年（概ね近年 20 ヶ年）の宮中ダムの堆砂状況を整理した。これより、

- 宮中ダムの堆砂は H6 以降、計画に比べて少ない状況
- H10 以降は大きく洗掘傾向であり、堆積と洗掘を繰り返し、ほぼ同じ容量（in=out）
- H10、H11、H16、H18 出水がダムの堆砂に影響を及ぼしている

等の状況が明らかになった。

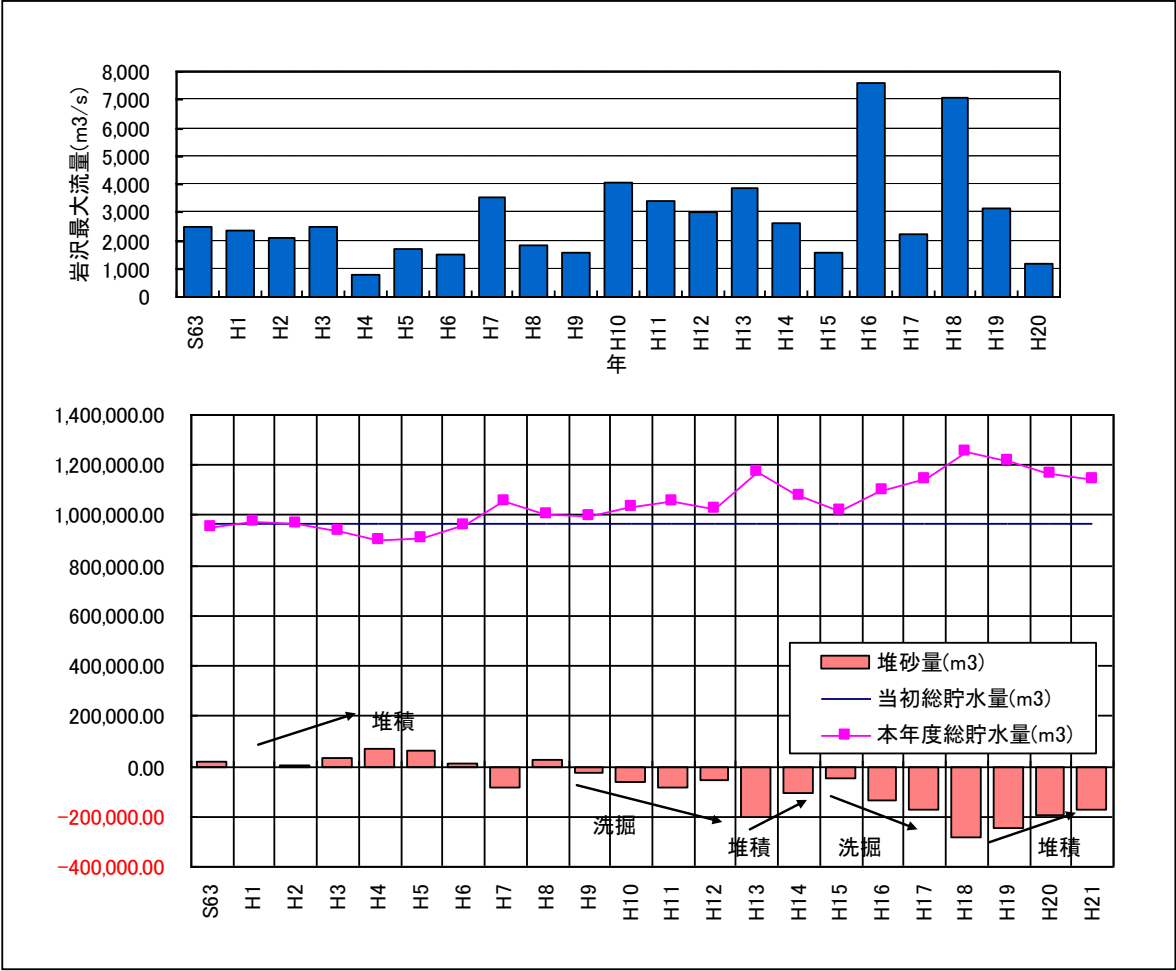


図 1-5 宮中ダムの堆砂状況

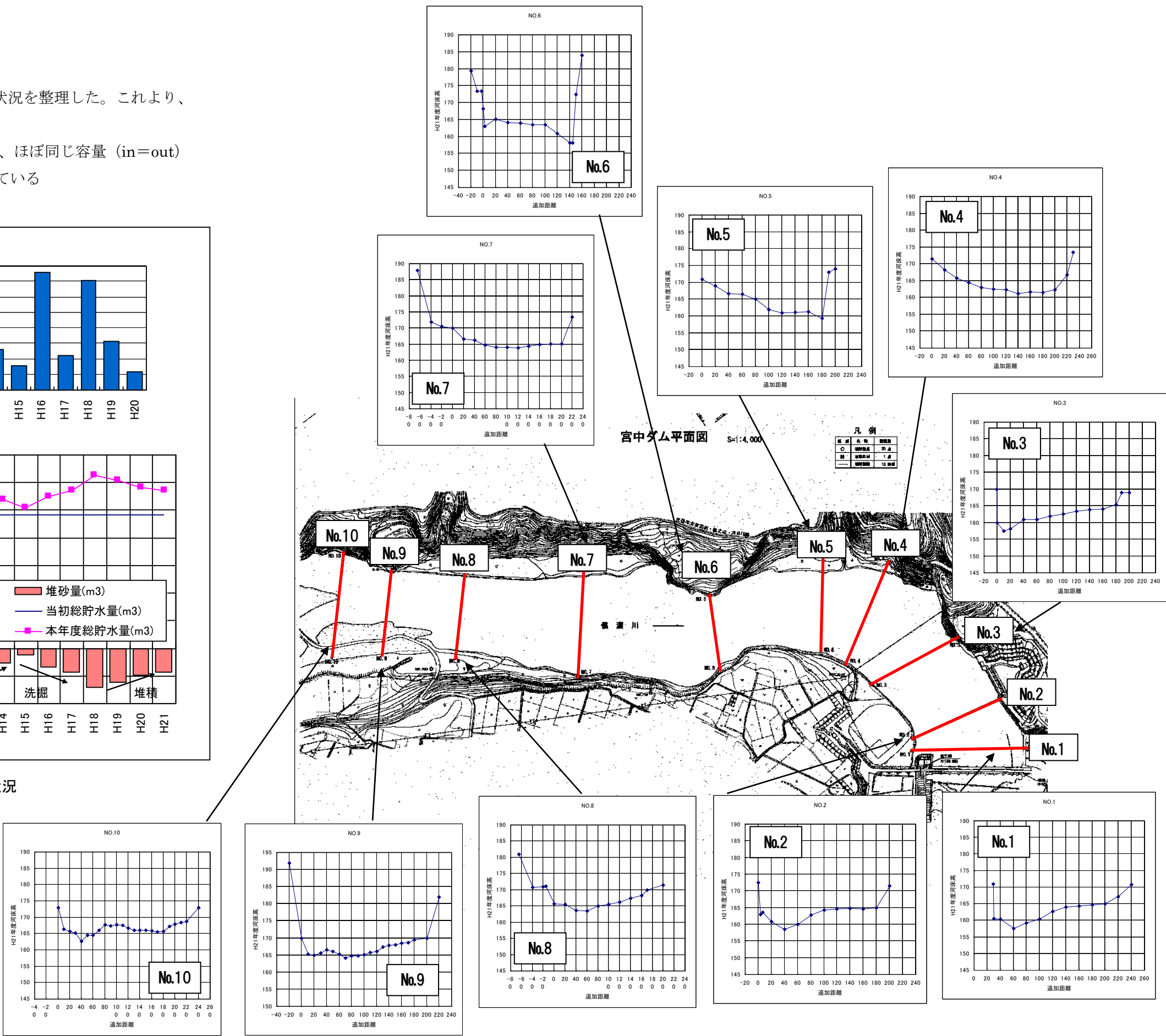


図 1-6 宮中ダム堰水池の横断形状

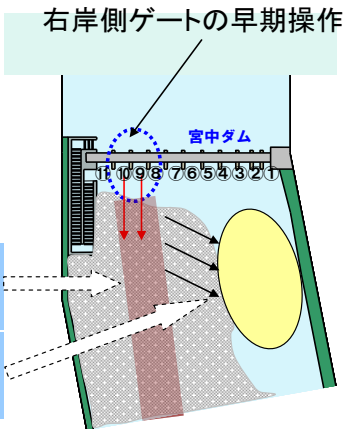
(2) 洪水時水理解析

1) 評価の視点

2～3年に1回程度発生する流量(平均年最大流量:3,000m³/s)～500m³/sの数ケースを対象に、流況解析＋河床変動解析を実施

①洪水初期の操作で滞筋が形成できるか(河床が掘れるか)

②土砂が左岸側に移動し、現在の滞筋が埋まるか



ゲート操作を利用した魚道本体へ導く滞筋の形成

2) 解析条件

解析条件は以下のとおりとする。

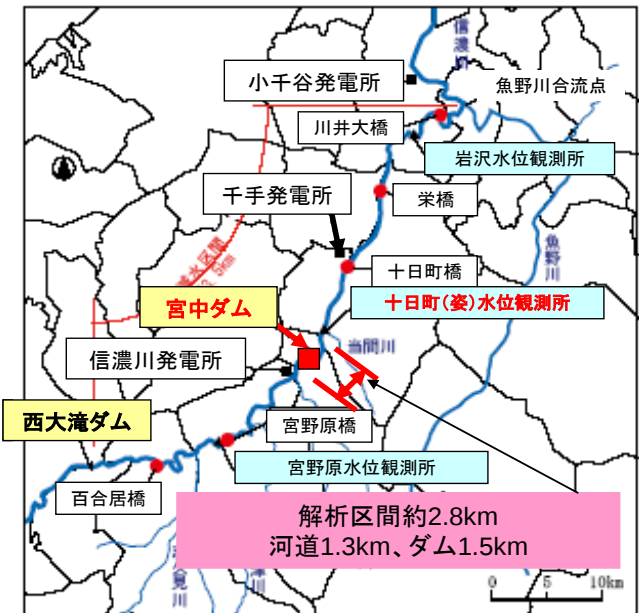


図 1-7 解析区間

表 1-1 解析条件

項目	計算条件
計算手法	平面二次元不定流計算
計算区間	宮中ダム直下(73.5k)～宮中ダム貯水池末端(76.3k)
計算断面	現況河道
粗度係数	低水路0.060、樹木0.500(H16検討)
上流端境界条件(対象流量)	平均年最大流量相当以下3ケース程度(十日町(1999～2008)の平均年最大流量約2,900m ³ /s)
下流端境界条件	十日町地点H-Q式から得られる水位を用いて、一次元不定流計算における73.5k計算水位を下流端水位とする。

表 1-2 十日町(姿)水位観測所月別最大流量(1999-2008)

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
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

対象区間と考え方

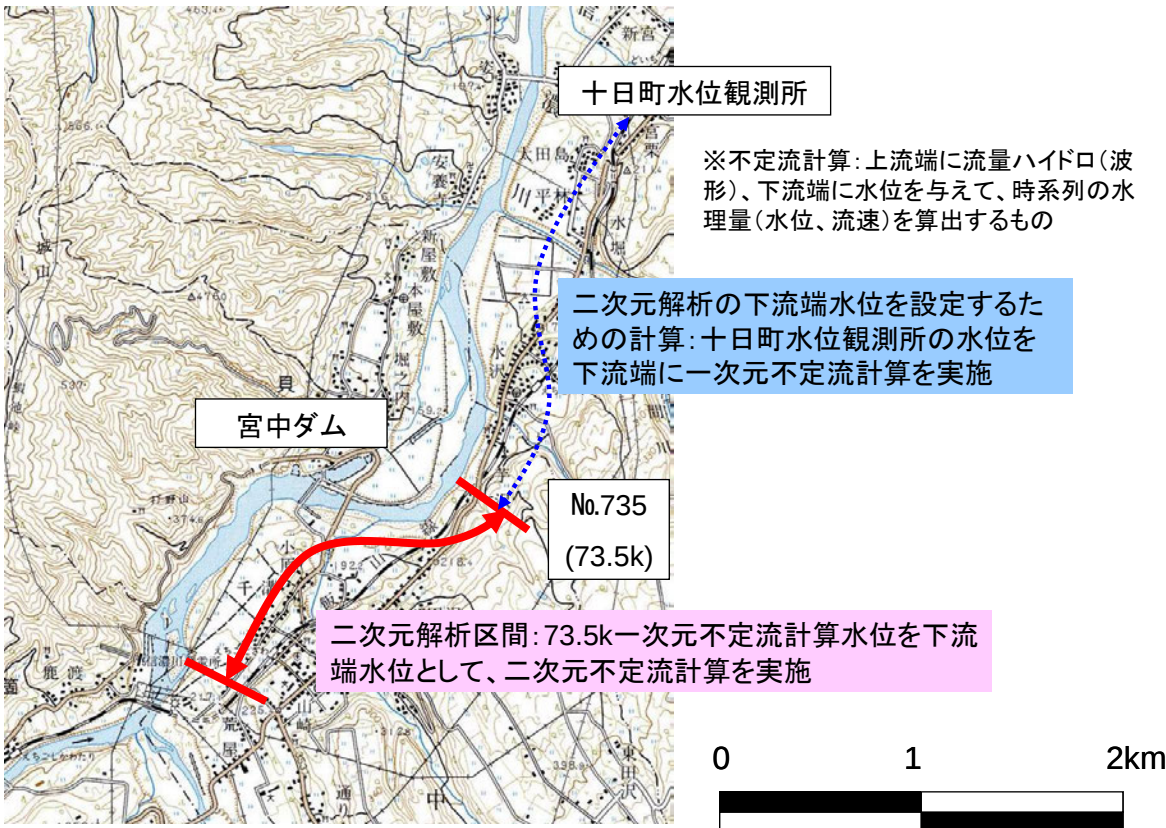


図 1-8 解析区間の考え方

3) メッシュ分割イメージ

ダム下流のメッシュ分割をベースにダム湛水池に延伸し、LPデータを用いた地盤高の精査・修正を行う。

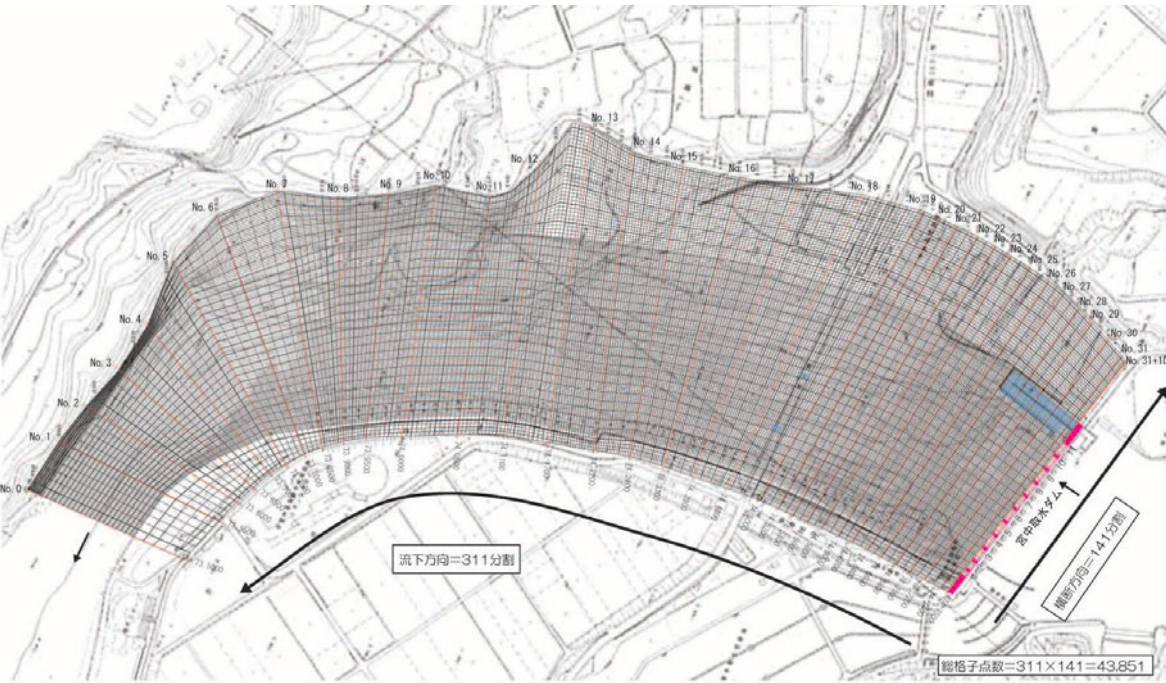


図 1-9 ダム下流のメッシュ分割

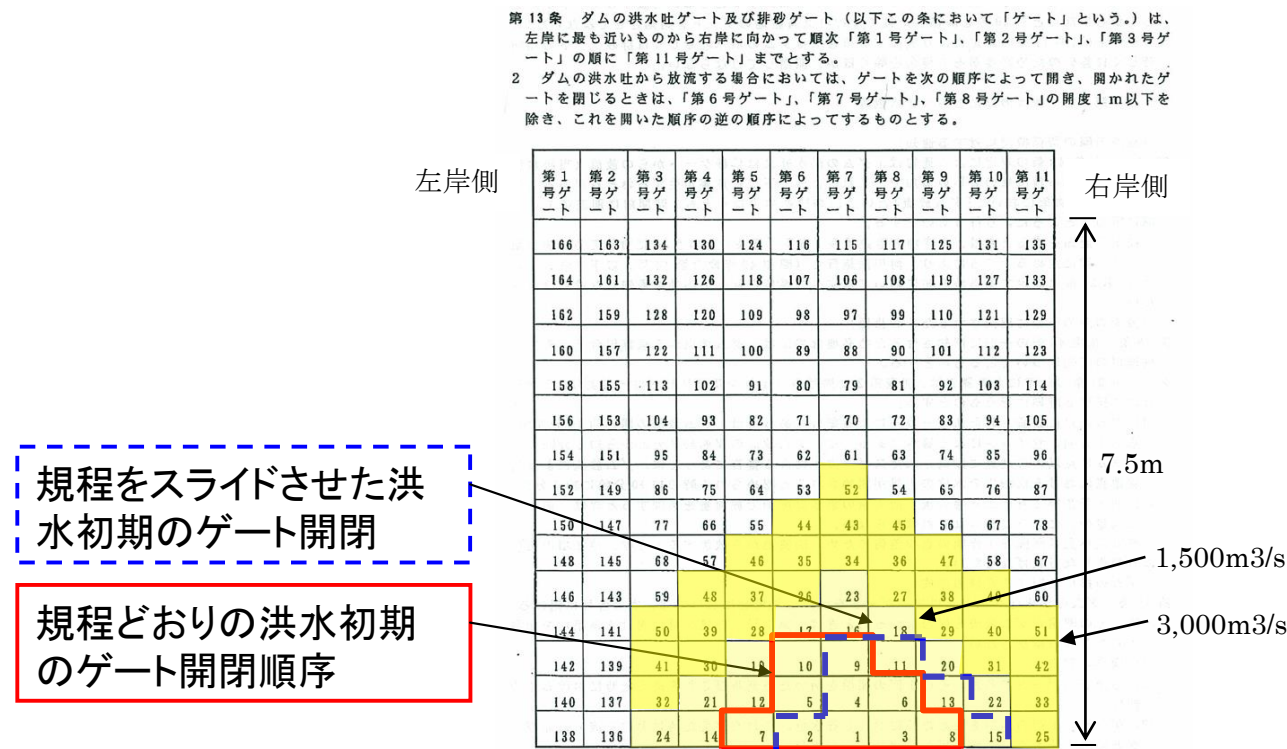
4) ゲート操作の考え方

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。（下表参照）

これより、洪水時は中央の第7号ゲート→第6→第8→第7→第6・・・の順に開くこととなっている。

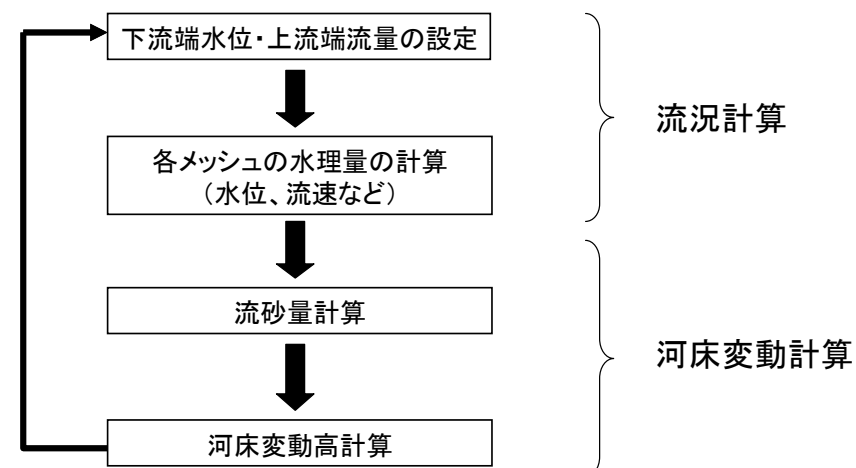
本検討においては、以下のようなゲート操作を想定する。

- 洪水初期：No.8～10 で放流
- 洪水中期～以降：実際の洪水操作を参考に設定



5) 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。

■掃流砂と浮遊砂

掃流砂（bed load）：

河床近傍を移動する土砂粒子。運動形態として滑動（sliding）、転動（rolling）、躍動（salutation）がある。流下していく土砂は河床にある土砂と入れ替わりながら流下する。

浮遊砂（suspended load）：

河床から離れた細かい土砂が水中を浮流しながら流下する。流れが弱くなると土砂は河床に沈降する（土砂の堆積）。流れが強くなれば再び浮遊する。

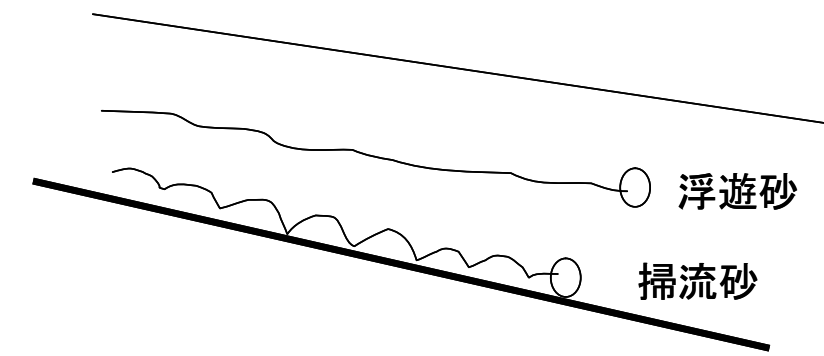


図 1-10 掃流砂と浮遊砂

河床変動の概念は下図に示すとおりである。

計算された流砂量のある断面に入ってくる量と出て行く量の差分により、河床が上昇（入ってくる量が出て行く量よりも大きい）、低下（出て行く量が入ってくる量よりも大きい）となる。

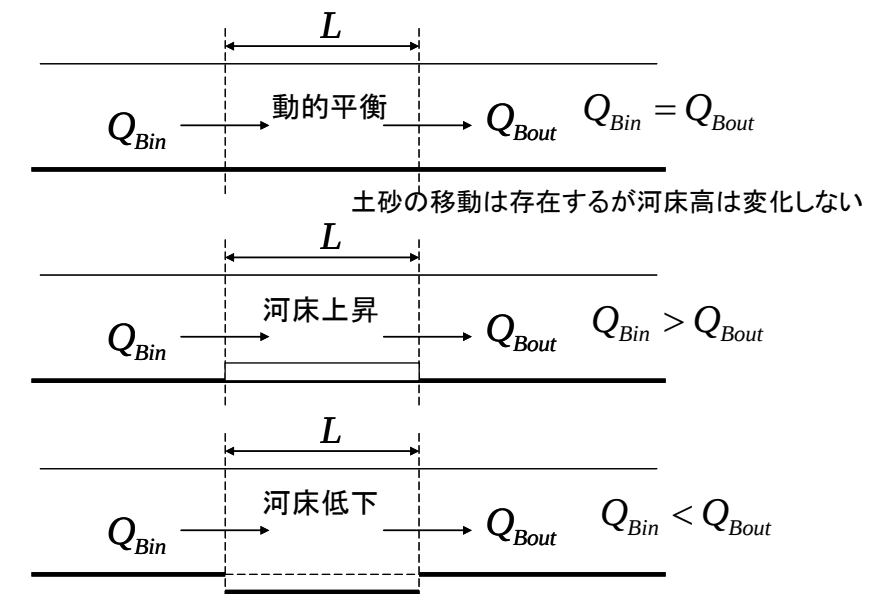


図 1-11 河床変動の概念

1.1.3 平常時水理解析

平常時を対象に放流量の違いによる遡上環境改善の効果を流速の連続性、循環流等の観点から呼び水の改良およびゲート放流による流れの連続性確保方策（下流河道とダム直下のいずれも満足する環境）について検討する。

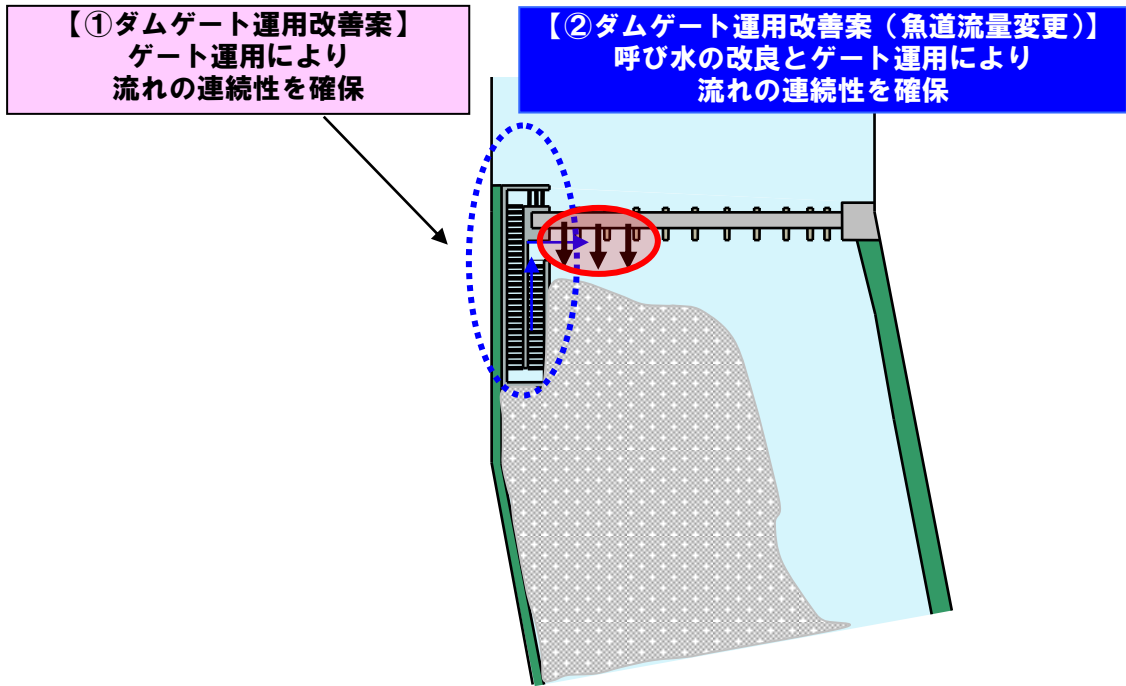


図 1-12 流れの連続性確保方策（案）模式図

考察する項目は、

- 魚道から滞筋沿いの連続した流れが形成されるか
- 循環流が形成され、遡上できない流れになっていないかどうか
- サケ、アユが誘導される適正な流速、水深になっているか

とし、流量の違いによる遡上環境改善の効果を定性的および定量的に比較・考察を行う。

対象流量は、以下のとおりとする。

- 1) **アユ遡上期（4/1～5/31）**
十日町観測所の 10 ヶ年の 4 月～5 月の平均流量より 230m³/s とする。
- 2) **サケ遡上期（10/1～11/30）**
十日町観測所の 10 ヶ年の 10 月～11 月の平均流量より 110m³/s とする。

表 1-3 十日町（姿）水位観測所のアユ・サケ遡上期の月別平均流量（1999-2008） 単位：m³/s

■アユ遡上期(4/1-5/31)										
	1999年	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年
4月	179.82	235.52	221.39	264.44	529.92	169.35	478.37	237.81	26.35	235.13
5月	51.20	188.33	155.95	92.26	215.65	372.42	332.71	460.07	41.09	120.53
										230.42 平均
■サケ遡上期(10/1-11/30)										
	1999年	2000年	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年
10月	78.08	19.55	41.87	82.69	17.80	831.99	49.98	158.21	64.41	32.97
11月	54.50	128.26	37.78	16.95	78.16	445.25	45.44	28.16	19.70	23.31
										112.75 平均

最大

最小

2. 魚道本体の改善検討

2.1 魚道本体の改善案の考え方

魚道本体の改善案の考え方について、根本的に変更するかどうかを含めた広い視点から整理すると以下のとおりである。

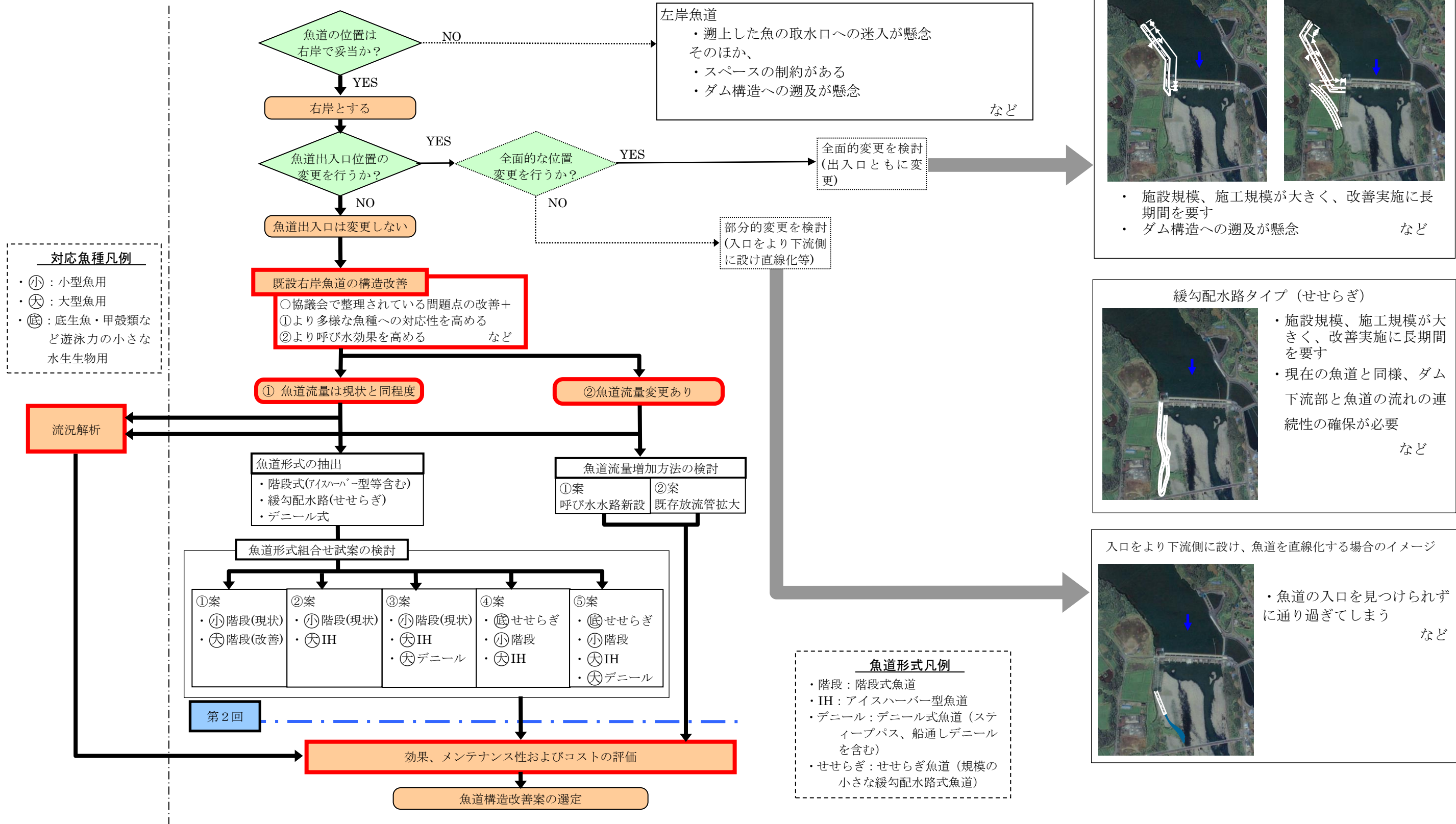


図 2-1 魚道本体の改善案の考え方

2.2 魚道の設計条件

(1) 対象魚

宮中取水ダムの魚道の対象魚は、以下のとおりとする。

カワヤツメ、ウナギ、オイカワ、ウグイ、アカザ、アユ、サケ、サクラマス（ヤマメ）、カジカ大卵型、ウツセミカジカ、オオヨシノボリ

魚道の設計に際しては、下記の魚種を代表魚種として、設計条件を設定した。

- 大型魚：サケ・サクラマス
- 小型魚：アユ
- その他：底生魚・甲殻類など遊泳力が小さい、あるいは、遊泳しない水生生物にも配慮して、多様な生物の移動を可能とすることを目指す。

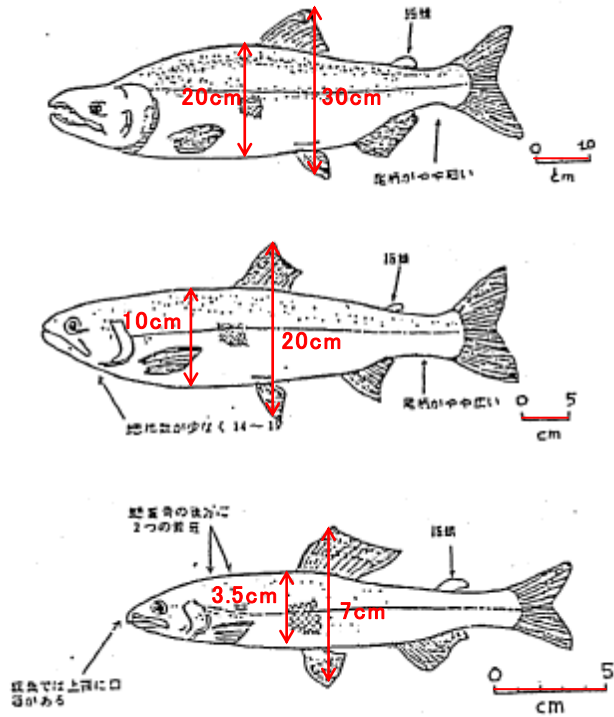


図 2-2 サケ・サクラマス・アユの体高

(2) 水理設計条件

対象魚の遊泳速度や体の大きさを考慮して、大型魚と小型魚に対する水理設計条件を表 2-1 のとおりとする。

表 2-1 魚道の水理設計条件

	全般		支配断面	
	(ストリームタイプのように流下方向に一定な流れの水理量を対象とする場合)		(プールタイプの越流部のように限定された断面の水理量を対象とする場合)	
	流速の上限値	水深の下限値	流速の上限値	水深の下限値
大型魚	0.7m/s程度	40cm以上	1.5m/s程度	40cm以上
小型魚	0.4m/s程度	7cm以上	0.8m/s程度	7cm以上

※ 流速の上限値は、宮中取水ダムの魚道を改良した時の設計報告書「信発宮中取水堰堤魚道他設計報告書」（S61.9 月），pp.20,34-35 にとりまとめられている魚種と遊泳能力（小山長雄などの文献に基づく）をもとに設定した。

※ 水深の下限値は、「魚道のはなし」（中村俊六），pp.187-188 をもとに、魚の体高の 2 倍とした（同著によれば“暫定的な目安”と記載されている）。

(3) 貯水位の変動条件

宮中取水ダムの貯水位は、常時満水位 EL.168.182m、最低水位 167.682m で利用水深は 50cm である。したがって、貯水位の変動幅として 50cm に対する対応を可能とするものとして検討を行う。

なお、貯水位の生起頻度で見ると常時満水位付近の頻度が高くなっていることから、流量調節設備を計画する上では、経済性などの観点から、対応すべき水位変動範囲を小さくすることも考えられる。

2.3 既設階段式魚道構造の改善案

宮中取水ダムの既設階段式魚道については、問題点を改善するための対応策が、既往検討および第 1 回委員会において複数提案されている。これらの提案を踏まえて、対応策と期待される効果を表 2-2 に整理した。個別の対応策の概要を次ページ以降に示す。

表 2-2 個別の対応策を採用した場合に期待される効果

課 題	原 因	対 応 策													備 考	
		幅方向の改善案		切欠きの改善案			潜孔の改善案			プールの改善案			コーナー	ロープ		
		B1	B2	K1	K2	K3	S1	S2	S3	= P1	P2	P3	P4	C		R
		縦長とする 側壁を設けて魚道を分割・	る アイスハーバー型に改造す	に配置する	切欠きを同一の位置（片側）	切欠きの幅を縮小する	切欠き高を小さくする	潜孔を同一の位置（片側）に配置する	潜孔なしとする （閉塞する）	潜孔の流れの減勢を図る （玉石投入）	プールの底上げを行う （玉石投入）	流木・倒木などを投入する	阻柱をプール内に設置する	魚道に蓋をする （鳥害対策）		コーナー部に円弧を入れる
セイシュの発生	横長のプール形状である	○	○													
	潜孔と切欠きが交互に配置されている			○			○									
	切欠きの比率が 1：2 である（切欠き幅が大きい）				○											
	水深が大きい								●	○						
	規則性がありすぎる										○	○				
プール内の複雑な流れの発生	切欠きからの流れが減勢されずに下流に越流する				○	○										
	潜孔からの強い流れが下流側隔壁にぶつかる							○	○	●						
折返しプールの水面揺動	上流側と下流側の潜孔が潜孔が近接している						○	○	○	●						
	プールのコーナー部が直角である													○		
多様な魚種への対応	隔壁を越流する水流のみが移動経路となっている								○	●						○
	潜孔からの流れが強い								○	●						
魚の休憩場所・隠れ家の確保	規則性がありすぎる		●								○		○			
対応策の有効性（有効な場合○、他の課題が発生すると考えられる場合△）		○	○	○	○	△3	○	△5	○	○	△6	△7	○	○	○	
改善の施工性（容易な場合○、大規模あるいは困難な場合△）		△1	△2	○	○	○	△4	○	○	○	○	○	○	○	○	

※ S3、P1 はいずれもプール内に石を投入することによって改善可能であり、（閉塞するわけではないが）潜孔なしとする S2 の効果も期待される。また、アイスハーバー型への改良 B2 は、魚の休憩場所確保において、流木・倒木の投入と同様の効果が期待できる。このため、他への効果が期待されるものについては、●を付した。

※ 対応策の有効性、改善の施工性の△については、以下のとおり。

△1：隔壁の取壊し、側壁構築が必要	△2：隔壁の一部取壊し、非越流部壁の構築が必要	△3：越流水深の異なる多様な流況が失われる	△4：隔壁を取壊さない場合には施工が困難
△5：メンテナンス時の水抜きができない	△6：塵芥・流木の詰まりを助長する可能性がある	△7：阻柱はプール内流況を複雑にする	

表 2-2 に示す対応策の内容および効果について、概要を以下に整理する。

(1) プール形状を縦長にする案 (B1)

大型魚道のプールは、幅 10m、長さ 3.75m と横長の形状となっており、横長のプールではセイシュが発生しやすいことが知られている。

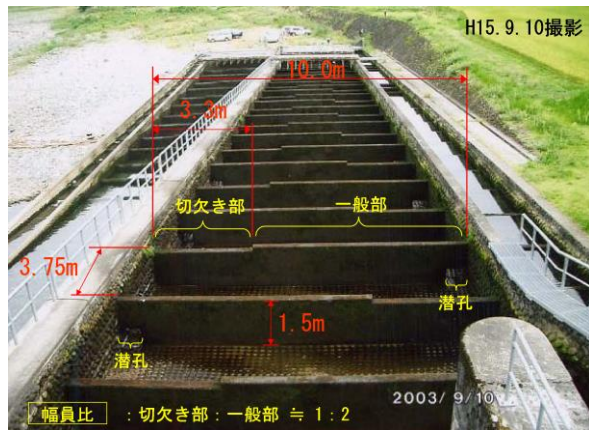


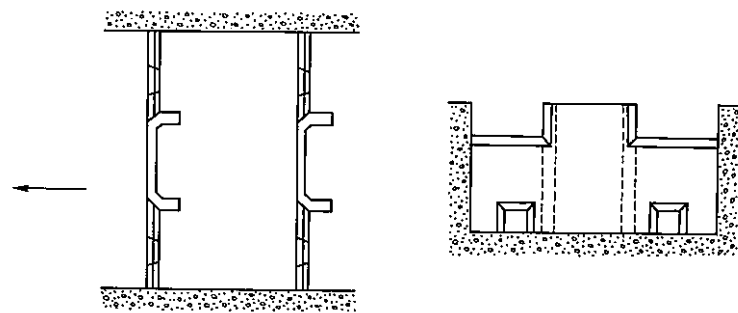
図 2-3 宮中ダムの魚道

これを解消する方法としては、現状の魚道を横断方向に 3～4 分割することによって、縦長のプールとする方法が考えられるが、側壁の増設によって純魚道幅と魚道流量が減少すること、メンテナンスが行いにくくなることなどの課題がある。

(2) 非越流部を設ける案 (B2)

セイシュの対策として、アイスハーバー型への改良を行うことも有効と考えられる。

コロンビア川のマクナリーダムに設置された幅の広い魚道では、振幅が時に 2.4m にも達する横波が発生した。この対策を検討する経緯の中で生まれたのが、アイスハーバー型魚道である（「魚道の設計」，平成 3 年，(財)ダム水源地環境整備センター，p.56 より）。



(「魚道の設計」，平成 3 年，(財)ダム水源地環境整備センター，p.56 より)

図 2-4 アイスハーバー型魚道

(3) 切欠きを改善する案 (K1、K2、K3 および S1)

切欠きは、当初、急勾配の階段式魚道において、流れを蛇行させることによって勾配を緩やかにし、流速を抑えることを目的として、交互に設けられていたと考えられる。しかし、流量が増えると蛇行した流れを形成せず、乱流が激しくなり、魚類の遡上が困難となる。そのため、近年では、切欠き部を片側のみに設置すること (K1) によって、横方向の流れをできるだけ発生させないようにし、越流水深の異なる流れを作り出すことによって、多様な魚種が利用できることを目的として設けられるものとなっている。

以上のことから、切欠きの高さを小さくすること (K2) は、多様な魚種の利用を目指す方向性に対して反するものになると言える。

切欠きの幅については、水平部：切欠き部の比が 3：1 の魚道では、流れが切欠き部側に片寄り、横揺れが発生し、流況を著しく乱している事例が報告されており、切欠き部幅は魚道幅の 1/4～1/5 程度にする (K3) のがよいとされている（宮中取水ダムの大型魚用魚道の切欠きの比率は、2：1 である）。

(参考：『最新魚道の設計』，平成 10 年，(財)ダム水源地環境整備センター，pp.244-245)

潜孔を交互に設けることも、切欠きを交互に設けることと同様の考え方（潜孔部からの流れを減勢させる）に基づいているものと考えられ、最近では、横方向の流れが発生してプール内の流況を複雑にしないように、潜孔を片側のみに設けること (S1) が多い。

(4) プール内に玉石を投入する案 (S2、S3 および P1)

プール内に玉石を投入することの効果は、①プール水深を浅くすること (P1) の他に、②潜孔部の流速を抑えることができること (S3)、③隔壁を越流した流れの減勢効果を有することが挙げられ、非常に有効である（図 2-5）。

岐阜県の砂防堰堤に設置した魚道ではプール内に潜孔を埋める形（厚さ 15cm）で石を投入したところ、底生魚（カジカやヨシノボリ）や遊泳力の弱いとされている魚（アカザやカマツカ）の遡上が確認されている。玉石で潜孔部を埋めると、流速が弱まると同時に、礫間を利用した魚の遡上が可能となっているものと推定される。



図 2-5 プール内への玉石投入の効果

なお、潜孔からの流れを減勢するのではなく、閉塞してしまうこと (S2) も考えられるが、魚道のメンテナンス時の水抜きが重力によってできなくなるため、設置しておいたほうがよいと考えられる。

(5) 流木・倒木などの投入（P2）

階段式魚道のプール内の流況安定や遡上経路の多様性、休憩場所の確保のためには有効な方法と考えられる。しかしながら、流木や倒木は、魚道に流入してくる流木や塵芥による詰まりを助長するおそれがあるため、維持管理の頻度を高くすることが懸念される。

なお、アイスハーバー型への改良を行った場合には、規則的ではあるが、流木・倒木を投入した場合と同様に、流況安定や休憩場所確保の効果が期待できると考えられる。



図 2-6 宮中取水ダムにおける流木・塵芥の処理作業（平成 21 年 7 月 22 日撮影）

(6) 阻柱（バップルピア、P3）

プール内の流況を減勢させることを目的として、古い魚道で設置されている例が見られるが、プール内の流況を複雑にさせることから、近年では設置例は少ない。



（「魚道の設計」，平成 3 年，（財）ダム水源地環境整備センター編，口絵写真より）

図 2-7 西平ダムのバップルピア付き階段式魚道

(7) 鳥害対策としての蓋の設置（P4）

大河津分水工洗堰の魚道の写真を図 2-8 に示す。写真の一番左側の魚道（ハーフコーン型一階段式魚道の一種）の隔壁の水に浸かっていない箇所に鳥がいて、遡上魚を狙っている。

このような鳥害に対しては、魚道全体を覆うような蓋を設置することが有効と考えられる。



図 2-8 大河津分水工洗堰の魚道

(8) コーナー部のラウンディング（C）

魚道屈曲部では、気泡流と乱流が激しく起き、遡上魚は上下・左右に振られ無方向に遊泳するもの、屈曲部の水裏部で動きを止めているものが見られ、屈曲部プール内での滞留時間が長くなり、遡上効率に著しく影響を及ぼしている例が見られる。

魚道屈曲部プールの容積を魚道プールの 3 倍以上とし、屈曲部を湾曲させて整流を行うとともに、魚の休憩場所としても利用できるような配慮が必要である。

（以上、「最新魚道の設計」，平成 10 年，（財）ダム水源地環境整備センター，pp.246-247 参照）



（「最新魚道の設計」，平成 10 年，（財）ダム水源地環境整備センター編，pp.247 より）

図 2-9 長良川上流大鷲砂防堰堤に設置されている階段式魚道の屈曲部

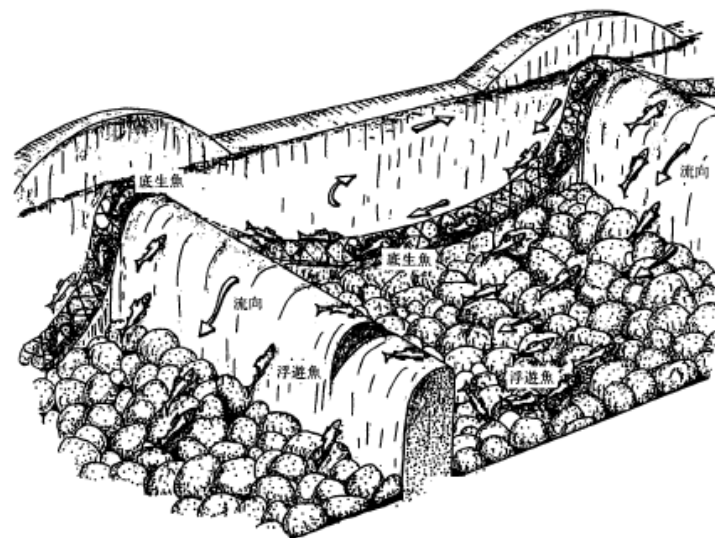
(9) ロープの設置 (R)

長良川河口堰では、階段式魚道にマニラロープを這わせ、モクズガニ遡上用の足場としている。

また、「最新魚道の設計」によれば、側壁沿いに帯状に安打金網に石を敷いた物を付設し、底生魚の遡上効率を高める方法が考案・紹介されている。



図 2-10 階段式魚道へのロープの設置例



(「最新魚道の設計」, p.235 より)

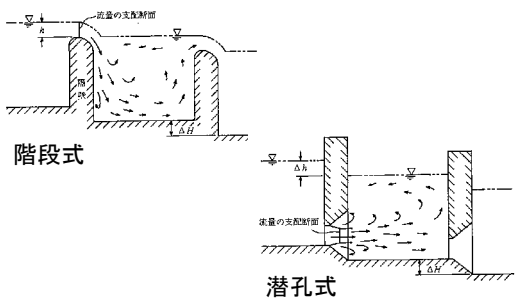
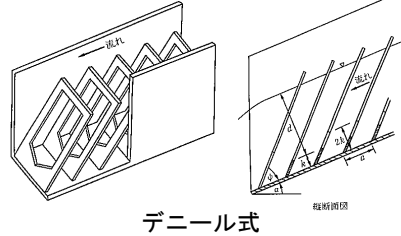
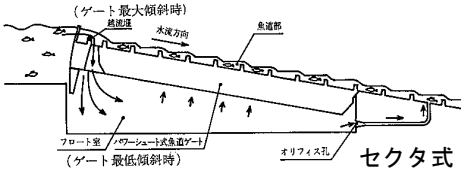
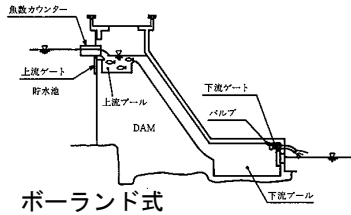
図 2-11 底生魚の遡上路として金網に石を敷いた物の付設イメージ

2.4 魚道形式の検討

2.4.1 魚道形式の分類と一次抽出

魚道形式について宮中取水ダムにおける適用性を評価し、検討対象とする形式の一次抽出を行った（表 2-3）。

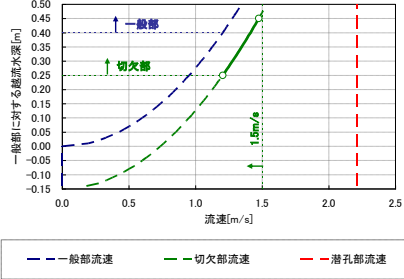
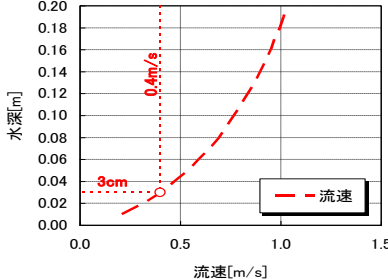
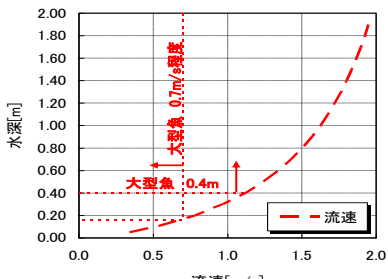
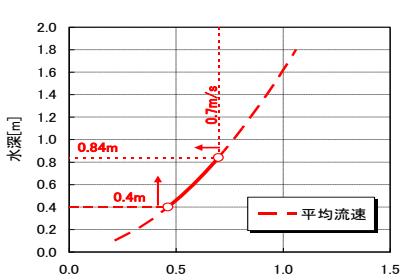
表 2-3 魚道形式の一次抽出表

大分類	中分類	概略図	評 価	抽出
プールタイプ魚道 隔壁によって形成されるプールを連続させることによって魚の休憩池を確保しつつ、高度を稼ぐタイプ	階段式(アイスハーバー型・傾斜隔壁式などを含む)		わが国で最も一般的に広く用いられている形式であり、宮中取水ダムの魚道として採用されている形式である。 切欠きを設ける、非越流部を設ける、潜孔を併設するなどによって、さまざまな細分が行われているが、これらを含めて検討対象とする。	○
	潜孔式		宮中取水ダムの魚道におけるプール間落差 $\angle H=25\text{cm}$ （小型魚用では 18cm ）に対して、潜孔部流速（ $=\sqrt{2g\angle H}$ ）は 2.2m/s （小型魚用では 1.9m/s ）となり、対象魚の遊泳に適した流速に抑えることができない。 プールの底に石を敷くことなどによって流水抵抗を増すことにより、流速を抑えて、多様な魚種への対応性を向上させることも可能であるが、確実な流量制御を行うことは困難である。 したがって、潜孔のみの魚道は採用せず、階段式魚道に潜孔を併設するものとし、階段式魚道として検討を行う。	×
水路タイプ魚道 一定勾配の水路を連続させるタイプ。基本的にはプール部分がなく、止水部分がないものの	緩勾配水路式（せせらぎ水路）		堰など落差が小さい場合に適用可能な形式である。 宮中取水ダムにおけるメイン魚道としての適用性は低いが、小規模なものを補助的に設置することによって、多様な水生生物への対応を可能とすることも考えられることから、検討対象とする。	○
	粗石付き斜路式		落差が大きい場合の適用性が低いが、砂防施設などでの適用例は多いため、検討対象とする。	○
阻流板式魚道 水路式ではあるが、流れを制御する隔壁等により、止水部分を設けたもの	デニール式		流速が大きくなるが、深さ方向の流速分布の中で流速の小さいところを魚が利用するという見解もあることから、検討対象とする。	○
	深導流壁式(バーチカルスロット式)		宮中取水ダムの魚道におけるプール間水位差 $\angle H=25\text{cm}$ （小型魚用では 18cm ）に対して、スロット部流速（ $=\sqrt{2g\angle H}$ ）は 2.2m/s （小型魚用では 1.9m/s ）となり、対象魚の遊泳に適した流速に抑えることができない。 したがって、検討対象としない。	×
水位追従型魚道 貯水池側の水位変動に追従して、魚道そのものが変動するもの	セクター式		二風谷ダム（堤高 32m、上下流水位差 16m、水位変動幅 5m）、目保呂ダム（堤高 40m、上下流水位差 約 14m、水位変動幅 2m）の二例のみである。 水位変動幅が比較的大きい場合に設置される流量調節設備を兼ねた魚道である。 宮中取水ダムでは水位変動幅 0.5m で、3 枚の起伏式ゲートで対応可能であることから、本形式の適用性は低い。	×
ロック式魚道 門扉等により一時的に魚を幽閉し、水圧等により移動せしめるもの	ボーランド式		ボーランド式は、水位差および水位変動幅が大きい場合に採用される形式であるが、わが国での採用事例はない。	×
	閘門式		閘門式は、シップロックと同じ原理で魚を遡上させるものである。 長良川河口堰では、通船用ロックと兼用の魚道として設置されており、魚道用の操作では遠隔自動操作が行われている。 自動操作が可能ではあるものの、魚の移動状況のモニタリングとその結果に応じたゲート操作の見直しが望ましく、操作・運用面での課題が多いことから、通船ゲートの必要性がない限り、宮中取水ダムにおける適用性は低い。	×
エレベータ式魚道 魚を幽閉した魚槽そのものを移動させるタイプの魚道	すくいあげ式、ほか		水位差および水位変動幅が大きい場合に採用される形式である。 わが国では、かつて小牧ダムで当形式が採用されていたが、現在では撤去され、使用されていない。	×

2.4.2 魚道形式の二次抽出

各魚道形式に対して水理設計条件を考慮した水理計算を行い、魚道形式の二次抽出を行った（表 2-4）。

表 2-4 魚道形式の二次抽出表

魚道形式	水理量に対する評価	流量調節の必要性	魚種に対する対応可能性			検討の方向性	抽出
			大型魚	小型魚	底生魚・甲殻類		
階段式魚道	大型魚用魚道では、切欠部の水理設計条件を満足させるには、一般部の越流水深が 25cm～45cm の範囲にあればよい。一般部の越流水深が 40～45cm の範囲であれば、一般部・切欠部のいずれも流速、水深の条件を満足する。 小型魚用魚道では越流水深が 8.5cm～18cm の範囲において、水理設計条件を満足する。		○	○	△	多様な魚種への対応が可能と考えられることから、宮中取水ダムにおけるメインの魚道形式として位置づける。	○
緩勾配水路式 （せせらぎ魚道）	小型魚の巡航速度 0.4m/s 以下の流速とするためには、水深 3cm 程度とする必要がある。 水深 3cm は非常に小さいものであるが、底生魚あるいは甲殻類への対応としては、この程度の水深でもよいと考えられる。		×	×	○	多様な水生生物への対応を目指す手法として、設置を検討する。	○
粗石付き斜路式	大型魚の巡航速度 0.7m/s 以下の流速とするためには、水深を 16cm 程度以下とする必要がある。流速と水深（大型魚で 40cm 以上）の条件をいずれも満足させることはできない。		×	×	×	水理設計条件として設定した流速の上限値と水深の下限値を満足させることは困難であるため、当該地点の適用性に欠けると判断し、抽出しない。	×
デニール式	大型魚の巡航速度 0.7m/s 以下の流速とするためには、水深を 84cm 程度以下とする必要がある。大型魚の遊泳のためには十分な水深である。 魚道内の流況が激しいことから、小型魚の遡上は困難と考えられる。		○	×	×	大型魚（サケ・マス）用に特化した魚道として、検討を行う。 単位幅流量が大きいのが、呼び水としての効果を有するほどではない。	○

2.5 魚道流量増加方法の検討

魚道流量（呼び水流量）を増加させる方法としては、下記の2ケースが想定される。

- ケース1：大型魚道の一部を呼び水水路に変更する案
- ケース2：既設の呼び水放流管の規模拡大、あるいは増設を行う案

(1) 大型魚道の一部を呼び水水路に変更する案

下記的前提条件のもと、検討を行った。

- ・呼び水水路の最大設置幅は、セイシュが発生していない小型魚道の縦横比程度となる5mとする
- ・魚道入り口における放流水を魚が横断する状況を避けるために、呼び水水路は内側に設置する

放流方法としては、表 2-5 に示す3つの方法が考えられるが、現実的な案としては、開水路方式の1案である。

表 2-5 放流方法

	概要	概要図	評価
1案 開水路	呑口から吐口までを開水路で放流する方法。		折り返し部においても衝突による水の跳ね上がりが水路高を超えないようにする。
2案 開水路 蓋がけ	呑口から吐口までを開水路で放流することを基本とするが、折り返し部にふたがけをして、衝突による水の跳ね上がりを抑えることで少しでも多くの呼び水を水路から放流する案。		放流量は見込めるが、折り返し部のふたの規模（重量）が大規模となり、現実的ではない。 ・・・×
3案 管路敷設	呑口から吐口までを管を敷設して放流する案。		維持管理が困難で、管路の折り返しによるロスが非常に大きいため、比較検討案から除外する ・・・×

1 案にて水理検討を行った結果は以下のとおりで、いずれのケースでも魚道流量は 20m³/s 程度である。

- 開水路放流案（水路幅 B=2.00m×2 スパン）……………Q=17.5m³/s
- 開水路放流案（水路幅 B=1.25m×3 スパン）…Q=19.7m³/s

(2) 既設呼び水放流管の放流能力を高める案

既設呼び水放流管の概略配置ルートを図 2-12 に示す。

この放流管の改造を行うためには、図 2-13 に示すように魚道基礎の取壊しを行う必要がある。

放流管の管径を 2 倍（φ1,200⇒φ2,400）にしたとすると、流量は概ね 4 倍になり、3×4=12m³/s 程度となる。

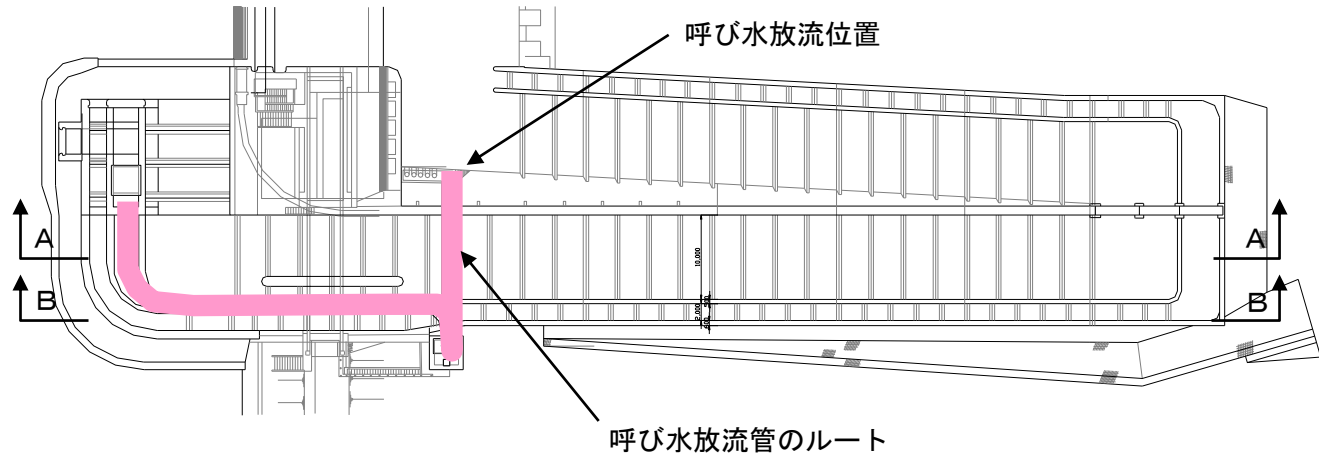


図 2-12 宮中取水ダム魚道平面図

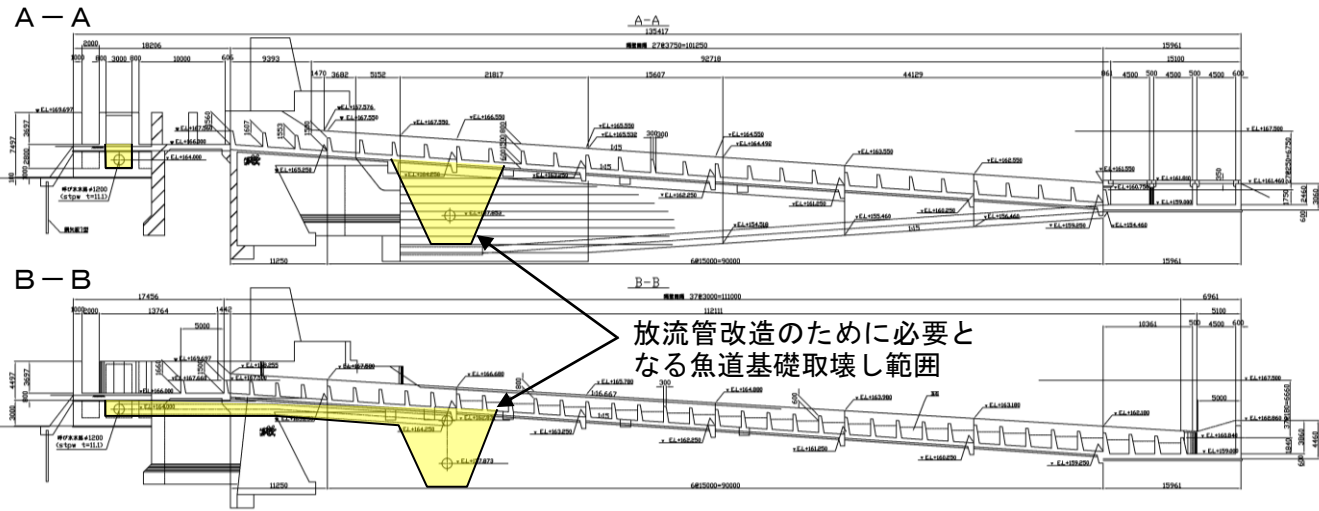


図 2-13 宮中取水ダム魚道縦断面図

2.6 宮中取水ダムにおける魚道形式・呼び水方式の組合せ案

前節までの検討結果を踏まえて、宮中取水ダムにおける魚道形式・呼び水方式の組合せ案を整理した。組合せ案の位置付けを表 2-6 に示す。

表 2-6 組合せ案の位置付け

		組合せ案による変更部分			魚道形式組合せ案の位置付け				魚種別経路数			
		小型魚用 魚道の部分	大型魚用魚道の部分		概 要	組合せの目的			大型魚	小型魚	底生魚・甲殻類	
						る問題点	協議会で指摘されている	多様な魚種への対応				呼び水効果（魚道流量）
魚道形式の組合せ案	1 案※1	㊦階段式 （現状のまま）	㊦階段式の構造改善（例えば、石の投入・切欠き位置を揃えるなど。表 2-2 をもとに改善案を選定）		・すでに把握されている問題点を解決するために、 ㊦階段式の構造改善を行う。	○	△※4	(3. 99m³/s)	1	1	△※4	
	2 案※1	㊦階段式 （現状のまま）	㊦アイスハーバー型への改良		・㊦階段式を大アイスハーバーに改良することによって、問題点の解決を図る。	○	△※4	(3. 18m³/s)	1	1	△※4	
	3 案※2	㊦階段式 （現状のまま）	㊦アイスハーバー型への改良	㊦デニール式魚道の追加	・㊦アイスハーバーによる問題点解決を図る。 ・㊦型魚の遡上経路の多様化を目指すとともに、呼び水の効果も期待する。	○	△※4	△ (3. 29m³/s)	2	1	△※4	
	4 案	せせらぎ魚道	㊦アイスハーバー型への改良		㊦階段式の位置変更	・㊦アイスハーバーによる問題点解決を図る。 ・せせらぎ魚道によって、遊泳力の小さな水生生物の遡上経路を整備する。	○	○	(2. 67m³/s)	1	1	1
	5 案※3	せせらぎ魚道	㊦アイスハーバー型への改良	㊦階段式の位置変更	㊦デニール式魚道の追加	・㊦アイスハーバーによる問題点解消を図る。 ・せせらぎ魚道によって遊泳力の小さな水生生物の遡上経路を整備する。 ・㊦型魚の遡上経路の多様化を目指すとともに、呼び水の効果も期待する。	○	○	△ (2. 71m³/s)	2	1	1
流量増加案 ※5	水路	㊦階段式 （現状のまま）	㊦階段式の構造改善		呼び水水路	・現在の大型魚用魚道の一部に呼び水水路を設ける。	○	△※4	○ (20m³/s)	1	1	△※4
	既設放流管増強	㊦階段式 （現状のまま）	㊦階段式の構造改善 魚道下部に配置されている既設呼び水放流管の増強		・既設呼び水放流管の拡大や増設によって、放流量を増加させる。	○	△※4	○ (16m³/s)	1	1	△※4	

注) ㊦＝小型魚用魚道 ㊦＝大型魚用魚道

※1 1 案と 2 案の組合せ（㊦階段式＋㊦階段式＋㊦アイスハーバー）は、階段式とアイスハーバーが同魚種を対象としており、越流という水理機構においても大きな差がないことから、組み合わせる価値が少ないと判断した。

※2 3 案以下の大型魚用魚道の部分に新たな形式の魚道を設置する案（側壁を設ける案）では、隔壁の取壊しが前提となることから、階段式の構造改善を組み合わせるのではなく、アイスハーバー型を組み合わせるべきと判断した。

※3 5 案は、3 案と 4 案の組合せ案である。

※4 越流式の魚道（階段式またはアイスハーバー型等）であってもロープを設置すること、石の投入によって潜孔部流速を抑制することなどによって、底生魚や甲殻類の遡上経路確保が可能と考えられることから、△とした。

※5 流量増加案では、魚道形式の組合せを考えることも可能である。

魚道形式組合せ案の構造概要と各形式の対象魚種を表 2-7 に、各組合せ案の概略平面配置図と形式別の魚道単位幅流量を図 2-14 に示す。

表 2-7 魚道形式の組合せ案一覧表

案	形式の組合せ案	概要図	大型魚	小型魚	底生魚・ 甲殻類
1	小型魚用階段式魚道（現状）＋ 大型魚用階段式魚道（改善）		○	○	△ △
2	小型魚用階段式魚道（現状）＋ 大型魚用アイスハーバー型魚道		○	○	△ △
3	小型魚用階段式魚道（現状）＋ 大型魚用アイスハーバー型魚道＋ 大型魚用デニール		○ ○	○ ×	△ △ ×
4	底生魚・甲殻類用せせらぎ魚道＋ 小型魚用階段式魚道＋ 大型魚用アイスハーバー型魚道		×	×	○ △ △
5	底生魚・甲殻類用せせらぎ魚道＋ 小型魚用階段式魚道＋ 大型魚用アイスハーバー型魚道＋ 大型魚用デニール		×	×	○ △ △ ×

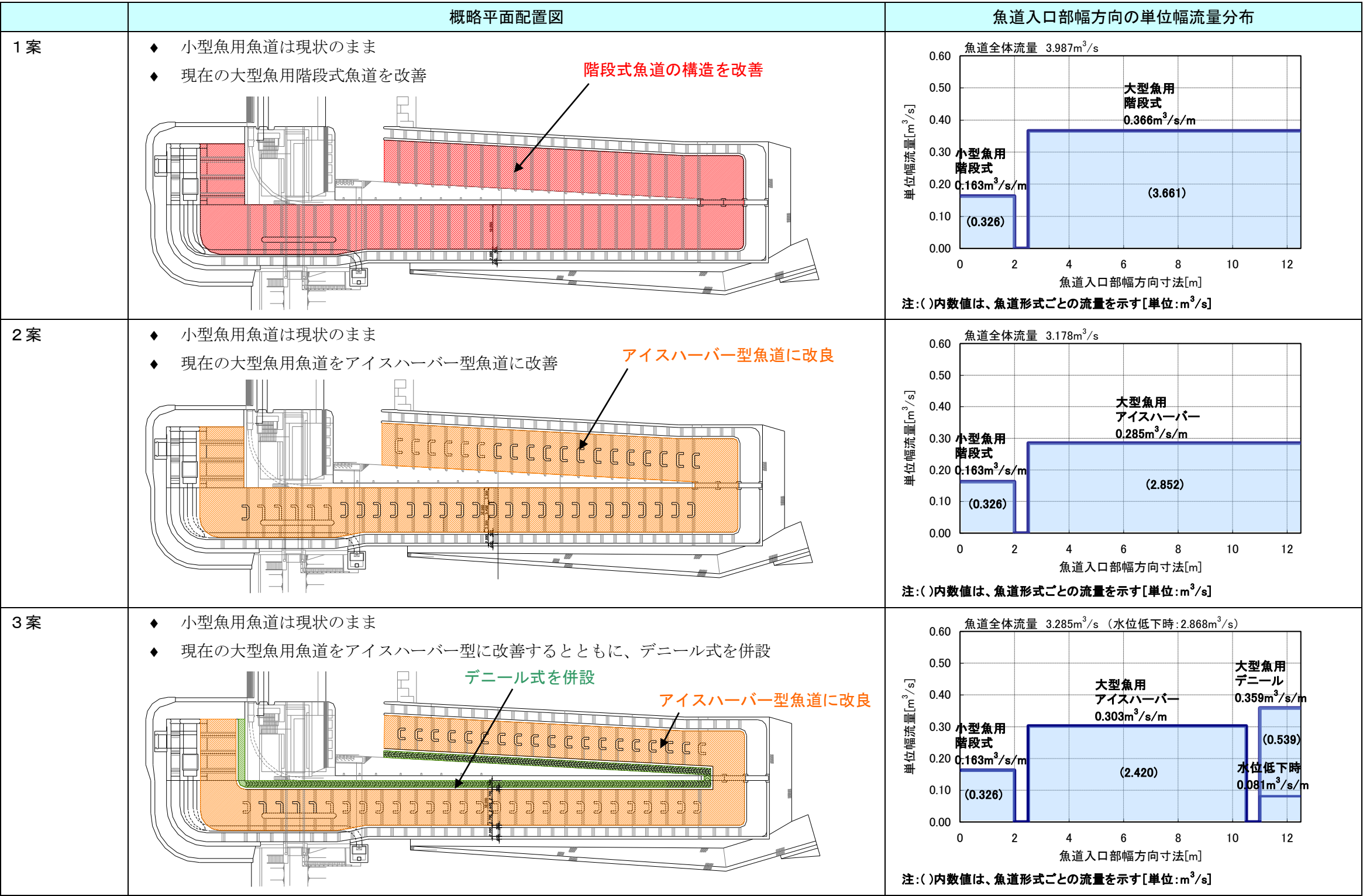


図 2-14(1) 魚道形式組合せ案の概略配置図と単位幅流量分布 (その 1)

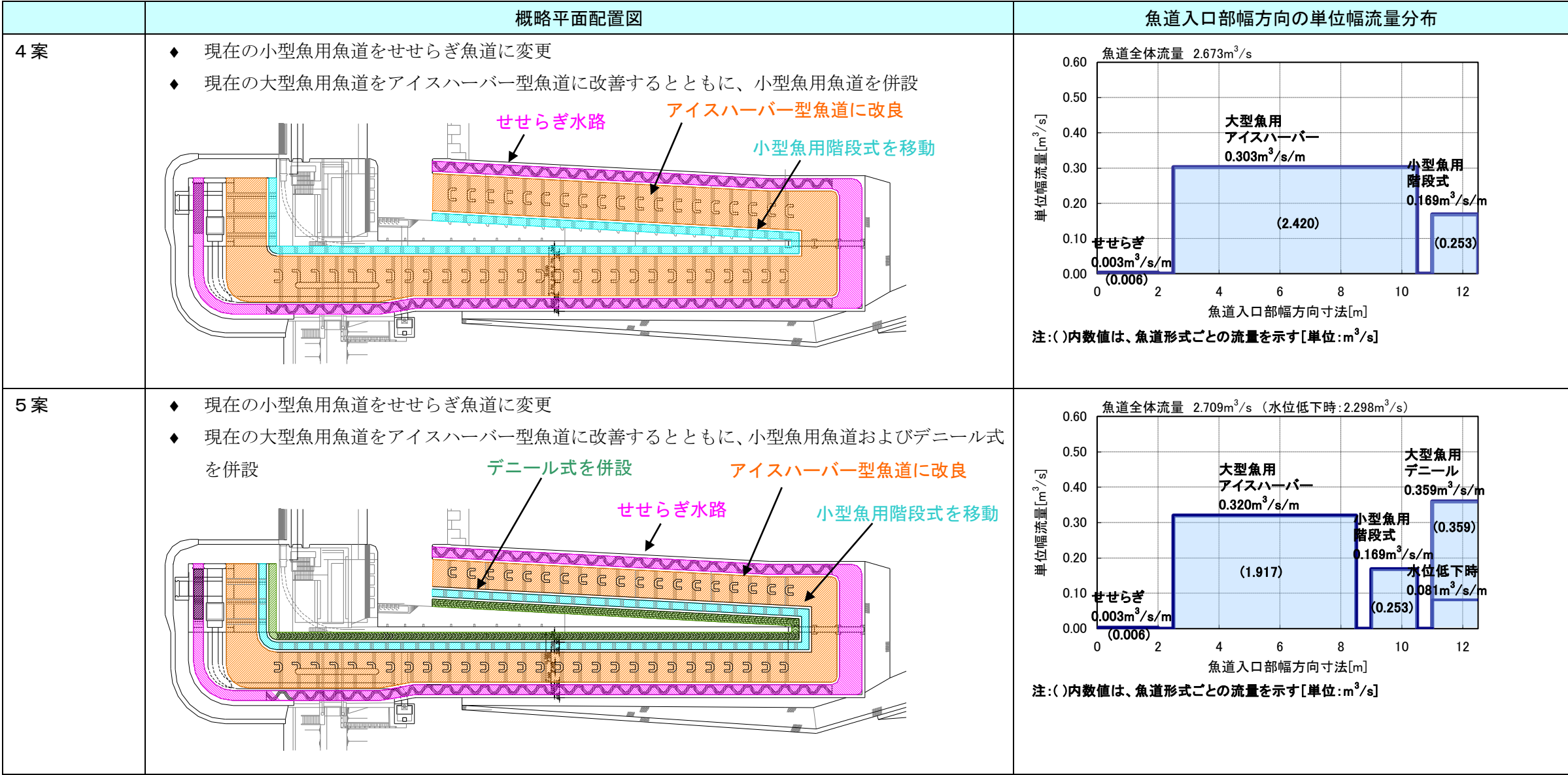


図 2-14(2) 魚道形式組合せ案の概略配置図と単位幅流量分布 (その 2)

3. 魚道出口ゲートの改善検討

宮中ダム魚道ゲートに関する流況と魚類の遡上効率の改善を目標に、既往資料等の文献調査を行い、ゲート天端形状及びゲート形式について検討する。

表 3-1 改善方策（案）

	概 要	概 要 図
現況 下流側起伏式ゲート	扉体を下流側に倒伏させることによって水位変動に対応する	
第 1 案 扉体形状の変更等	扉体天端形状に丸みをつけることなどによって、剥離流の改善等を図る	
第 2 案 上流側起伏式ゲートへの変更	扉体を上流側に倒伏させることによって、扉体下部への魚の潜り込みと剥離流の改善を図る	
第 3 案 昇降式ゲートへの変更	扉体を昇降させることによって、水位が変化しても扉体天端越流部の流況が変わらないようにする	

3.1 魚道ゲート改善案の抽出

3.1.1 現況魚道ゲートの天端形状の改善

現況の天端形状は、大型・小型魚道ゲートともにおよそ図 3-1 の通りであり、小流量時にはく離流等が発生しやすいものである。

天端形状は、「最新 魚道の設計」（（財）ダム水源地環境整備センター編）に示される実験結果等を参考に以下のとおりとする（図 3-2）。

- ①天端部の形状は傾斜型とする
- ②傾斜板の傾斜角度は 60° とする
- ③傾斜板が突出して魚の遡上を妨げないように下流側には蓋板を設ける

また、現況の大型魚道ゲートの各扉体の扉高の差は 144mm であるが、魚道ゲートの上下流落差は 532mm であり、この落差を3連の扉体で均等に受持つためには、各扉体の扉高の差は177mmとすべきであるため、改善形状案はこれを考慮したものとする。

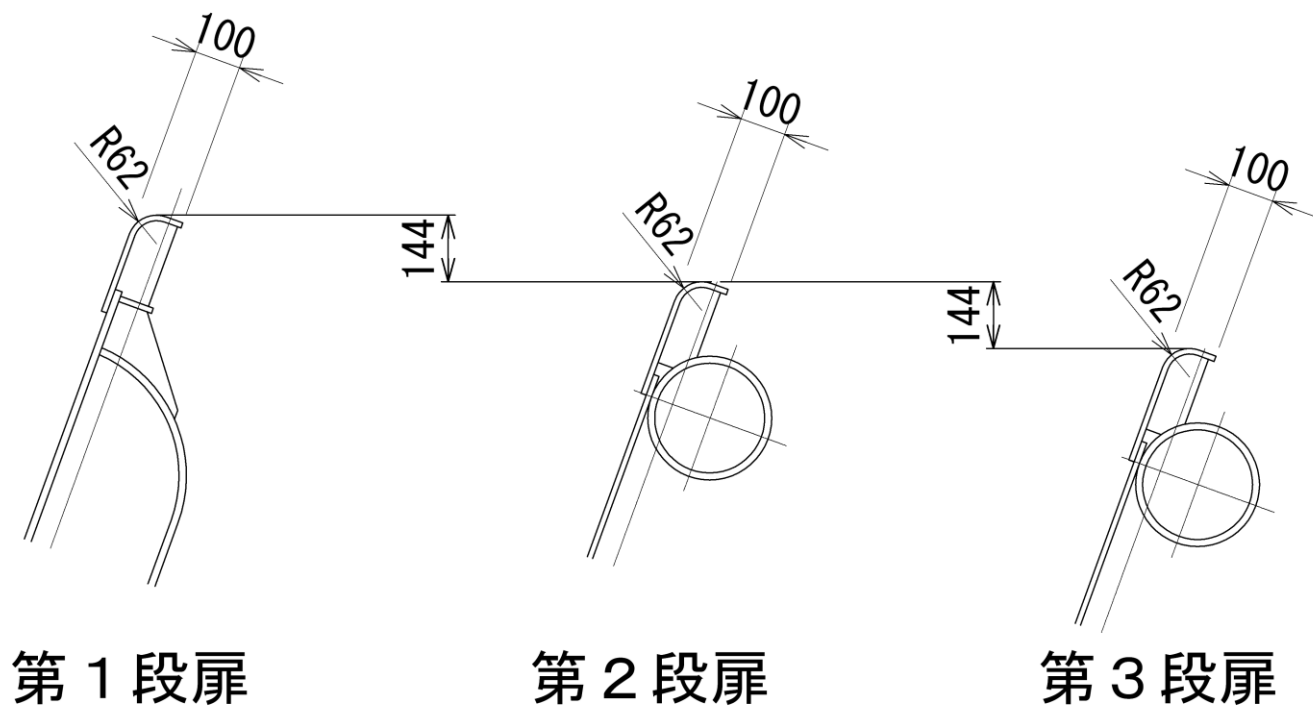


図 3-1 現況魚道ゲートの天端形状

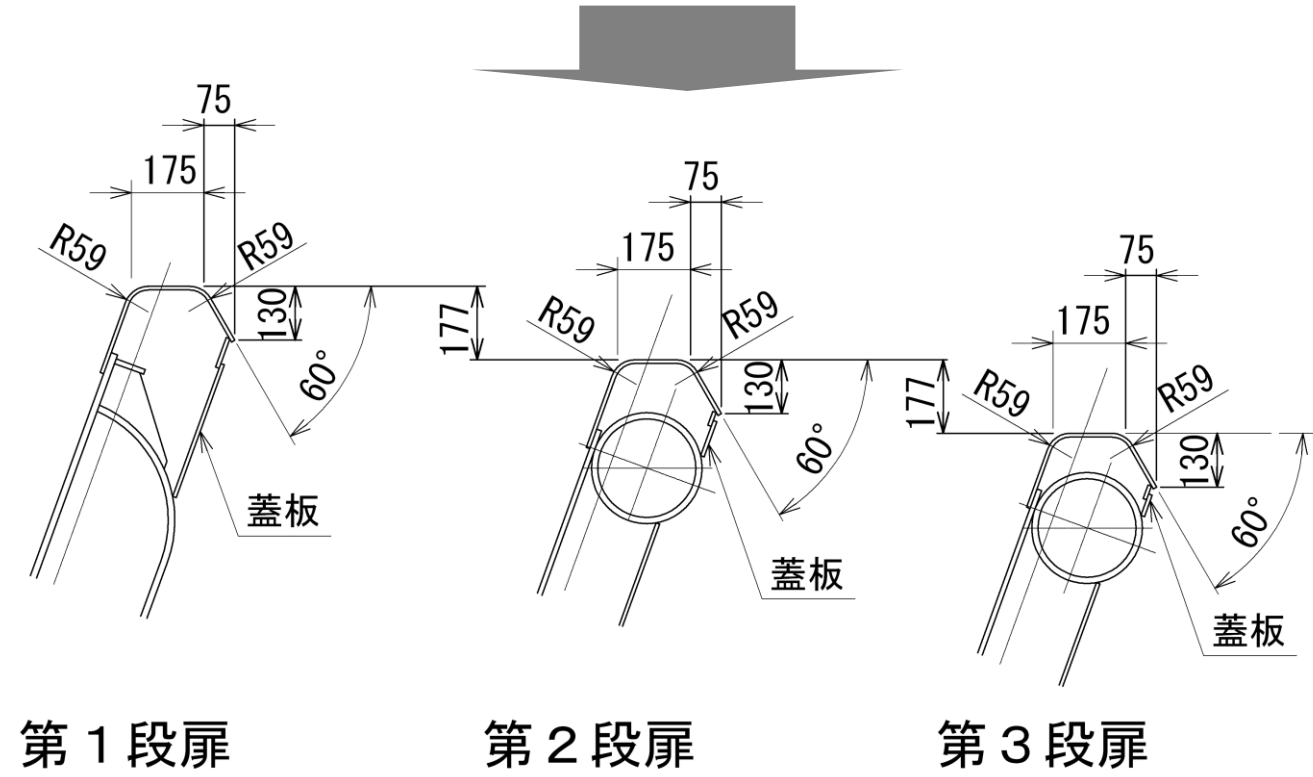


図 3-2 魚道ゲート天端形状の改善案（①案）

3.1.2 魚道ゲートの形式の変更案

表 3-2 に示す一般的な組合せを参考として、魚道ゲート形式を変更する案は、宮中ダム特性（魚類の遡上効果、土木形状、土砂堆積状況等）を考慮して以下の3案とする。

- ②案：上流側起伏ゲート
- ③案：昇降式ローラゲート（河床掘削なし）
- ④案：昇降式ローラゲート（河床掘削あり）

（理由）

- ・②案は、協議会の指摘事項であるはく離流と下流側起伏に起因する魚の滞留現象の改善が期待できるとともに、一部土木構造物が流用できる。
- ・③案は、現状最も魚道ゲートとして優れていると考えられている形式であるが、土木構造物はほとんど流用できない。
- ・180°起伏ゲートは、魚道ゲート敷高がダム底面より5m以上高いことより土砂排出をさほど重視しなくてよいこと、昇降式ローラゲートと同様に改造が大掛かりとなるが、魚類の遡上効果は昇降式に劣ることから、比較対象とはしない
- ・開閉方式は、土木構造物との整合（開閉装置用の堰柱がない）と、運用後に若干の扉高調整等が行える油圧シリンダ式とする
- ・昇降式ゲートは、片側駆動にも対応するため、開閉時の摺動抵抗が小さく自重降下可能なローラゲートとする
- ・「③案：昇降式ローラゲート」は、全開時に現状のゲートと同等の通水面積を確保するためには、河床掘削が必要となるが、あえて通水面積を確保する必要性はないため、ゲートの扉高を河床掘削の不要な高さに抑えた昇降式ローラゲート（④案）も比較対象案とする。

表 3-2 魚道のゲート形式と開閉方式等の一般的な組合せ

駆動形態	ゲート形式	駆動方向	開閉方式		
			油圧シリンダ式	ワイヤロープ式	フロート式
ヒンジ式	起伏ゲート （連結式を含む）	下流側起伏	○	○	△
		上流側起伏	○	△	△
		180°起伏	○	△	×
	セクタゲート	—	○	○	○
昇降式	ラジアルゲート	—	○	△	△
	ローラゲート	—	○	○	○
	スライドゲート	—	○	△	×
引上げ式 （ロック式）	2段式ローラゲート	—	○	○	×

（注）上記は一般的な組合せを示すが、条件等によれば採用可能な場合もある

3.1.3 魚道ゲート改善比較検討案

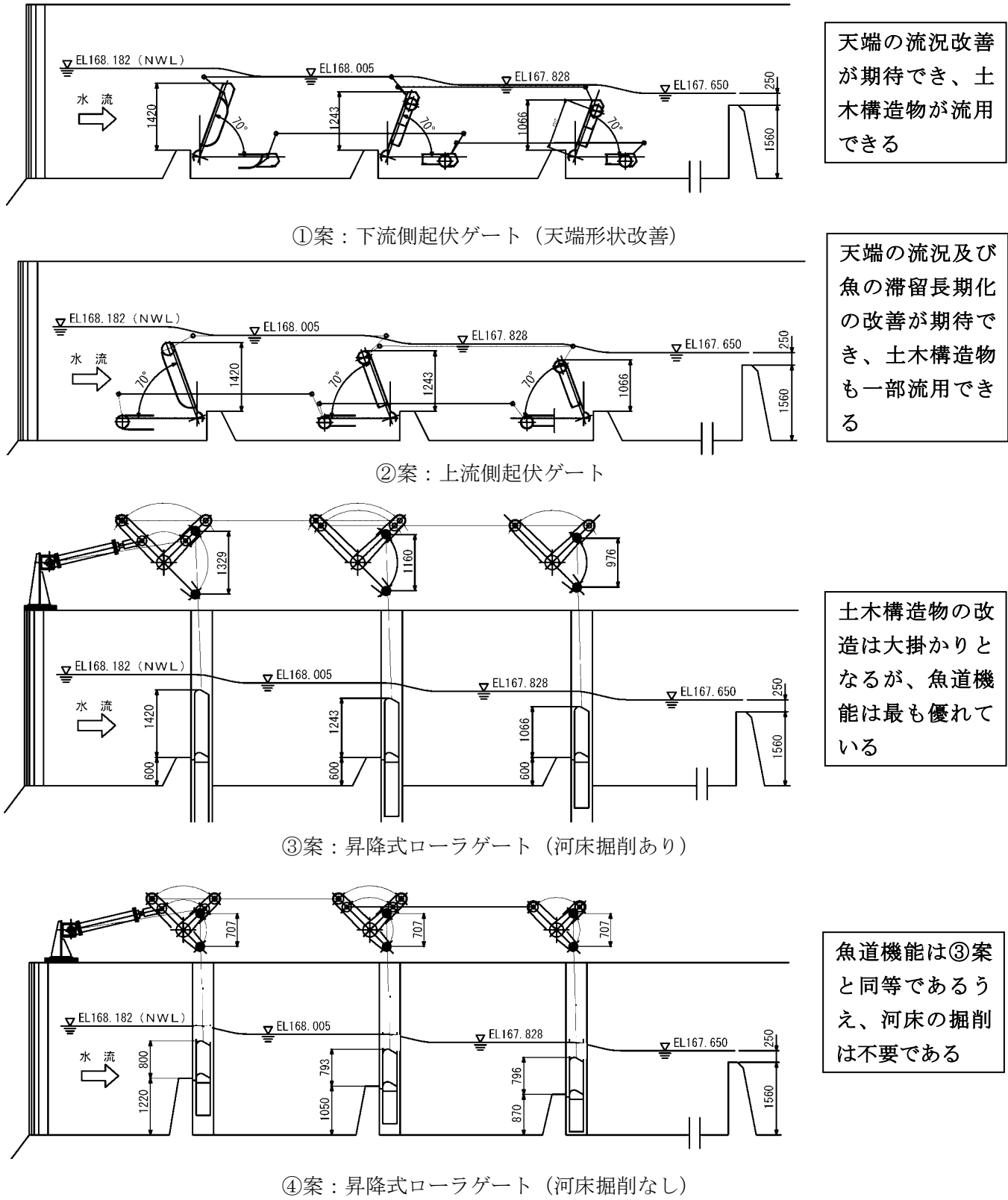


図 3-3 魚道ゲート改善検討の比較対象案

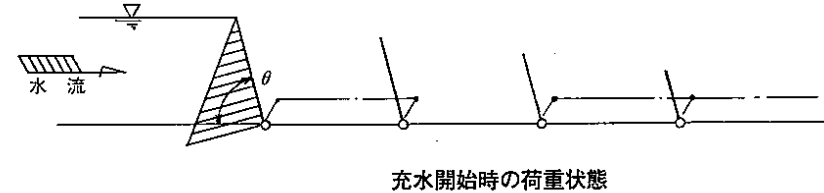
3.2 ゲート設計条件

ゲート形式を昇降式ローラゲート（河床掘削なし）とし、呼び水水路を大型魚道に設けた場合のゲート設計条件を表 3-3 に示す。

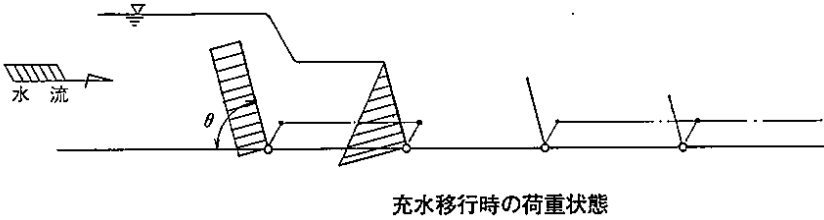
表 3-3 ゲート設計条件（昇降式ゲートの場合）

	大型魚用魚道ゲート	小型魚用魚道ゲート	備 考
常時満水位	EL168.182		
最低水位	EL167.682		
形式	ステンレス鋼製昇降式ローラゲート(3連式)		
純径間	4.750 m	2.000 m	
扉体天端標高	(No.1) EL167.860	(No.1) EL167.993	
	(No.2) EL167.683	(No.2) EL167.826	
	(No.3) EL167.506	(No.3) EL167.658	
河床標高	EL165.840		
下部戸当り部高さ	1.220～0.870 m		扉高は全てほぼ同じとし、下部戸当り部高さを変えて扉体天端標高を調整する
扉高	(No.1) 0.800 m	(No.1) 0.800 m	
	(No.2) 約 0.800 m	(No.2) 約 0.800 m	
	(No.3) 約 0.800 m	(No.3) 約 0.800 m	
下流側隔壁天端標高	EL167.500	EL167.400	
越流水深	0.322 m	0.189 m	
作用荷重	(1) 充水時 ① 充水開始時 1段ゲート … 扉高分全水圧、自重 他ゲート … 自重 ② 充水移行時 充水部上流側ゲート … 水位差※、自重 充水部ゲート … 扉高分全水圧、自重 他ゲート … 自重 (2) 通水時 全ゲート … 水位差※、自重		※水位差は越流水深相当とする 荷重状態は図 3-4 参照
水密方式	全面3方ゴム水密		
開閉装置	片側油圧シリンダ駆動式		
開閉時間	10 min以内		
操作方式	機側操作		
余裕厚	0 mm		
たわみ度	支持間隔の1/800以下		
材料の許容応力度	ダム・堰施設技術基準(案)による		

- ① 充水開始時：1 段ゲート……………全水圧，自重
他ゲート……………自重



- ② 充水移行時：充水部上流側ゲート……水位差，自重
充水部ゲート……………全水圧，自重
充水部下流側ゲート……自重



- ③ 通水時：全ゲート……………水位差（ $\theta = 0^\circ \sim 180^\circ$ ），自重

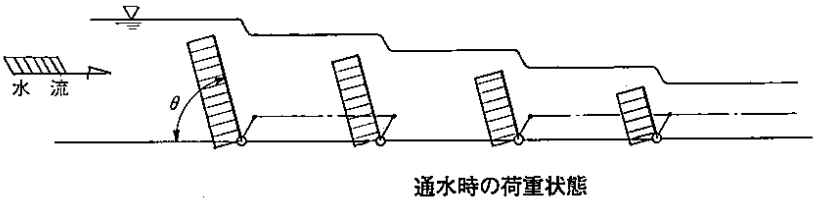


図 3-4 ゲート荷重の考え方

3.3 施工条件

- ダムの貯水位を維持した状態で工事を行う
- 施工範囲が魚道水路内（最上流管理用橋梁から下流）に限定される場合には、魚道上流端角落しによって水替え可能である。
- 施工範囲が魚道水路よりも上流側に及ぶ場合には、貯水池内に締切設備を設置する必要がある。

3.4 周辺施設

魚道ゲート周辺に存在する既存施設としては、下記のものが挙げられる。

- ゲート上流側に管理用橋梁（移設可能）
- 大型魚用と小型魚用ゲートの間に油圧シリンダ格納室
- ゲート左岸上流側にクレストゲートピア（変更不可）
- ゲート左岸下流側に 500kg ウインチ基礎（変更不可）



(魚道上部より) (クレストゲート側より)

図 3-5 魚道ゲート部の周辺施設

3.5 その他

呼び水水路を設置する場合、魚道と分離した水路が必要となるため、ゲートスパンが変更となる。

また、呼び水水路としての流量調節のために、別途ゲートを設ける必要があり、以下の形式のゲートが考えられる。

- 魚道ゲートと同様の越流タイプのゲート（起伏式など）
- オリフィス形式のゲート（スライドゲートなど）

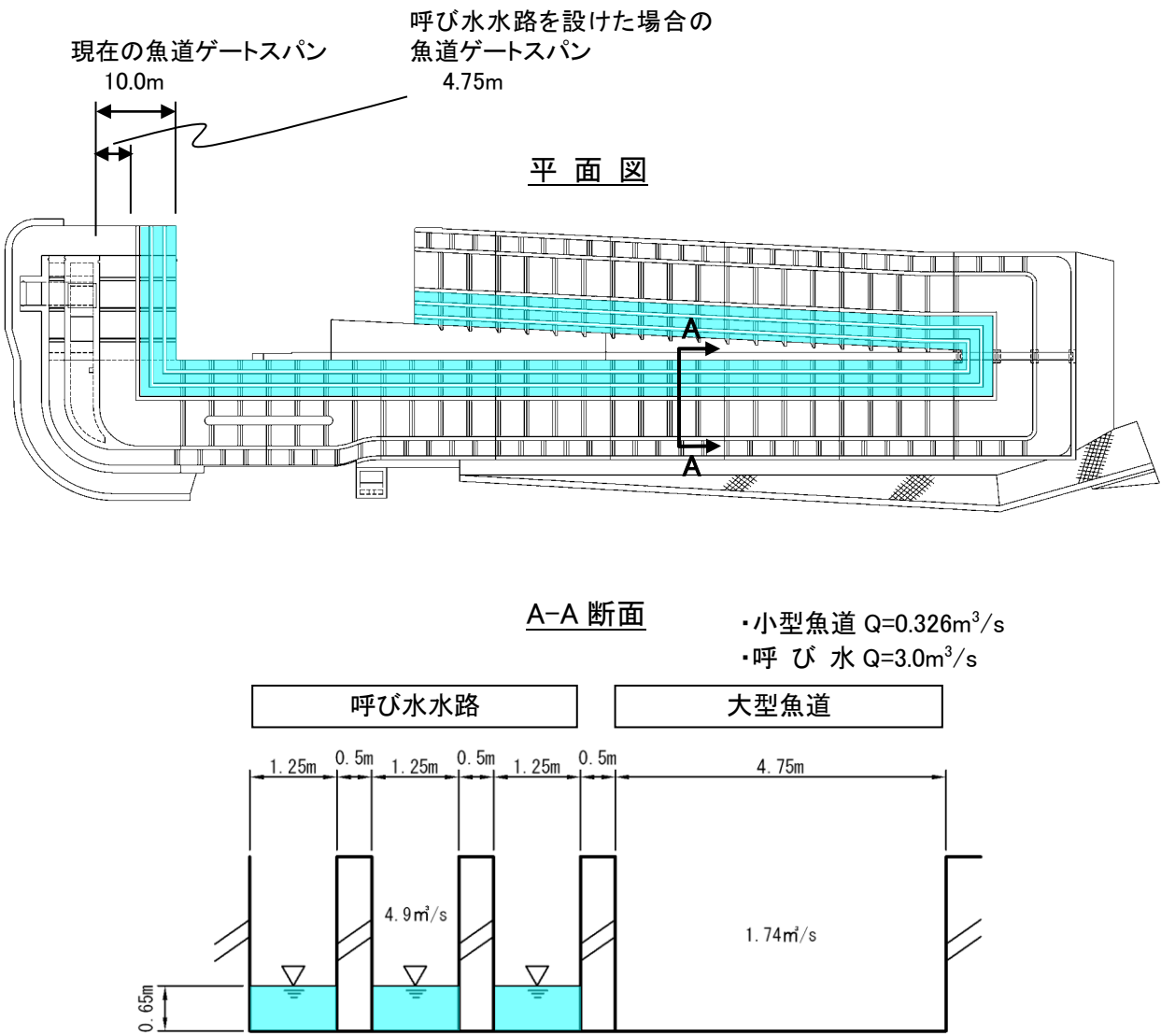


図 3-6 呼び水水路を設置する場合の魚道レイアウト案

4. 参考資料

4.1 魚道形式別水理量の検討

(1) 階段式魚道

階段式魚道の流量と流速は、以下の式によって算定する。

$$Q = mBh\sqrt{2gh}$$

ここに、Q：流量(m³/s)

m：越流部の越流係数（=0.43）

B：魚道幅(m)

h：越流水深(m)

g：重力加速度（=9.8m/s²）

階段式魚道については、現在設置されている魚道諸元をもとに算定した。

算定結果を図 4-2、図 4-3 に示す。

大型魚用魚道では一般部の越流水深が 40～45cm の範囲（切欠部の越流水深 55～60cm）であれば、一般部・切欠部のいずれも流速と水深の条件を満足する。切欠部のみで水理設計条件を満足させる場合には、一般部の越流水深が 25～45cm の範囲（切欠部の越流水深 40～60cm）にあればよい。

小型魚用魚道では越流水深が 8.5cm～18cm の範囲において、水理設計条件を満足する。

水位変動 50cm に対しては、魚道ゲートによる流量調節で対応可能である。

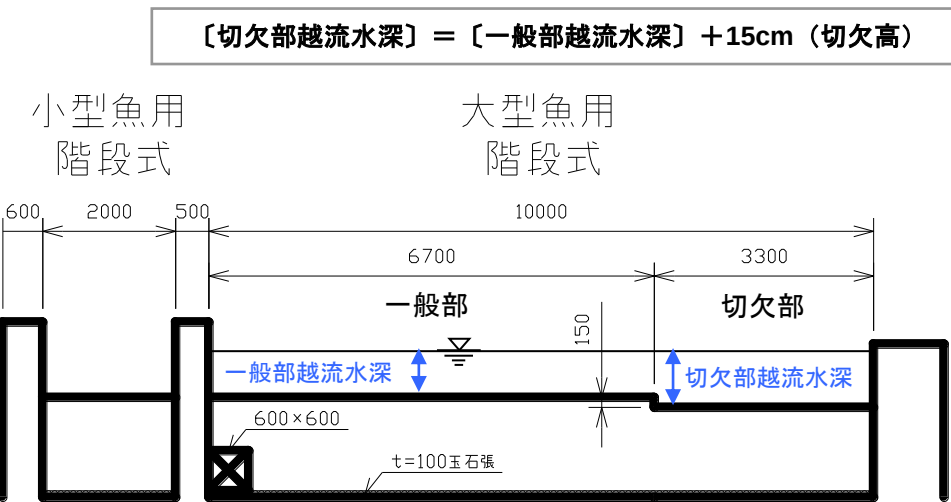


図 4-1 大型魚用階段式魚道の一般部と切欠部の説明図

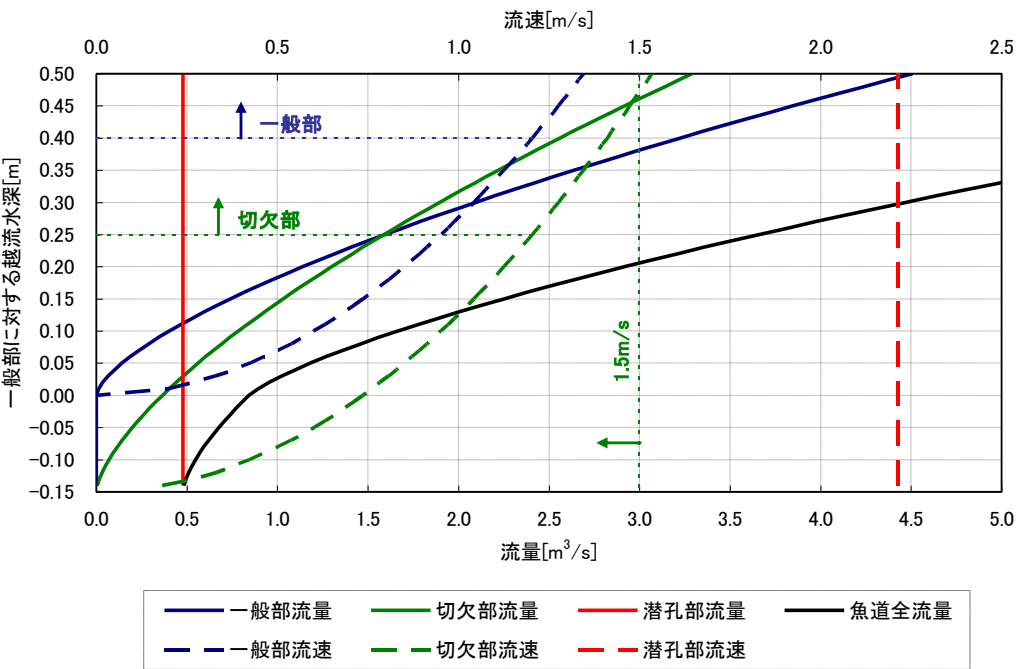


図 4-2 大型魚用階段式魚道の水理量

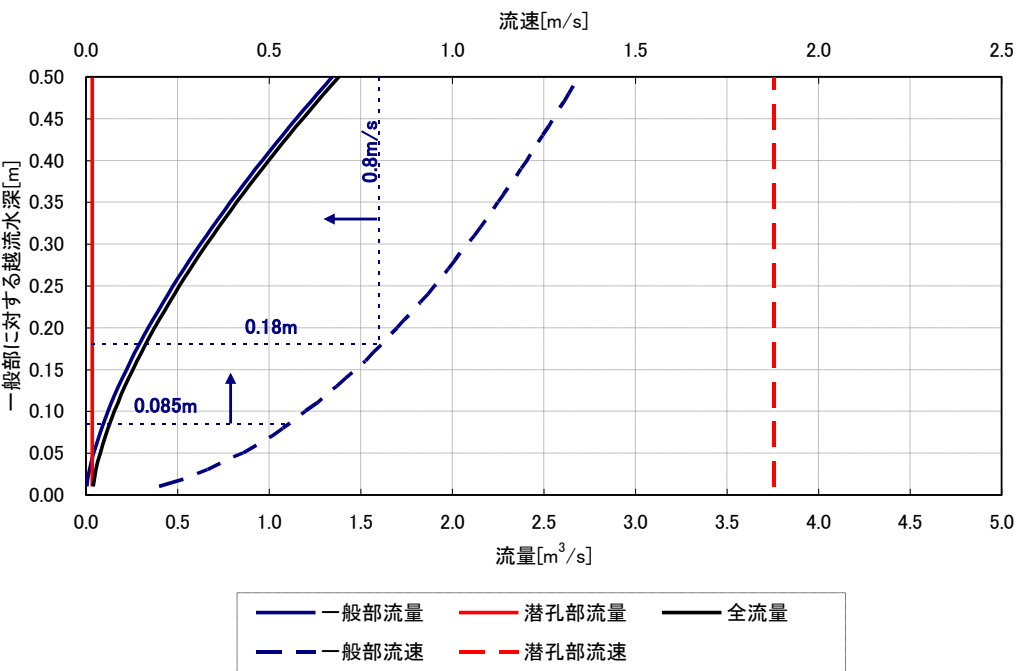


図 4-3 小型魚用階段式魚道の水理量

(2) 緩勾配水路式（せせらぎ魚道）

緩勾配水路式の水理量は、等流計算（マンニングの式）によって算定する。

$$Q = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \cdot B h$$

ここに、 n ：粗度係数

I ：水路勾配[m]

B ：水路幅[m]

h ：水深[m]

R ：径深[m]（ $=A/S$, A は断面積, S は潤辺）

せせらぎ魚道は、現在の小型魚用魚道（ $B=2\text{m}$ ）の内部に幅 50cm のものを蛇行させて配置することとし、勾配 $1/20$ 、粗度係数 0.05 の長方形断面とする。

算定結果を図 4-4 に示す。

0.4m/s 以下の流速とするためには、水深 3cm 程度とする必要がある。水深が非常に小さくなるが、底生魚あるいは甲殻類への対応としては、この程度の水深でもよいと考えられる。

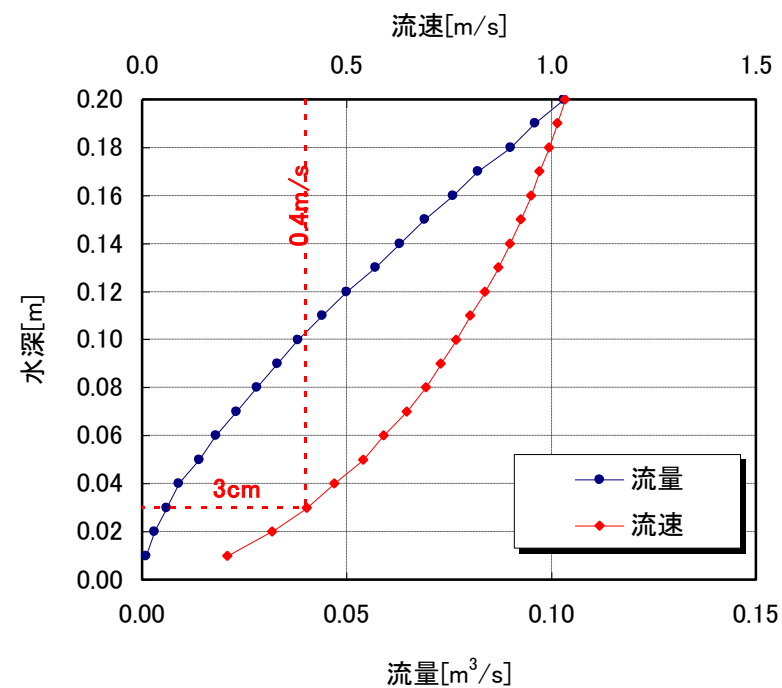


図 4-4 緩勾配水路式（せせらぎ魚道）の水理量

上流貯水池の水位変動は 50cm であるため、これに対応するための流量調節設備が別途必要となる。

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。

流入口を複数設けるタイプ（図 4-5）では、せせらぎ水路の水深を 3cm とすると、少なくとも流入口を 17 箇所（ $\approx 50\text{cm} \div 3\text{cm}$ ）設置する必要がある、その場合でも、せせらぎ水路内の流況は水位変動に応じて断続的な変化を生じることになる。

水路そのものを上下動させるタイプ（図 4-6）では、水位変動に対して連続的な流量調節が可能であるが、設備規模が大きく、高価なものとなる。

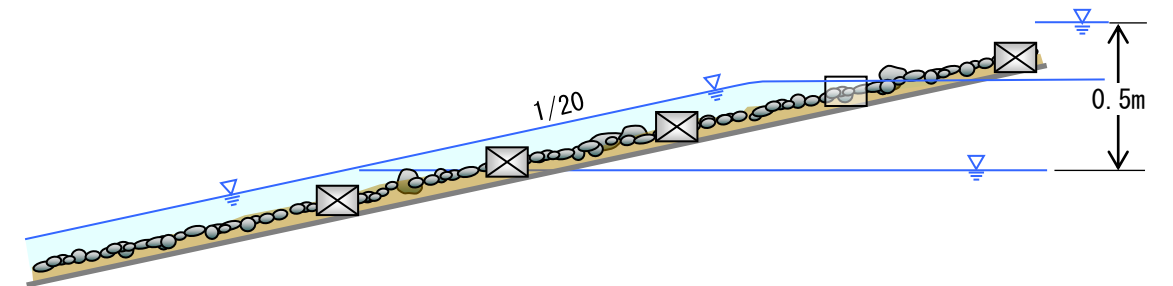


図 4-5 流入口を複数設けておくタイプの流量調節設備

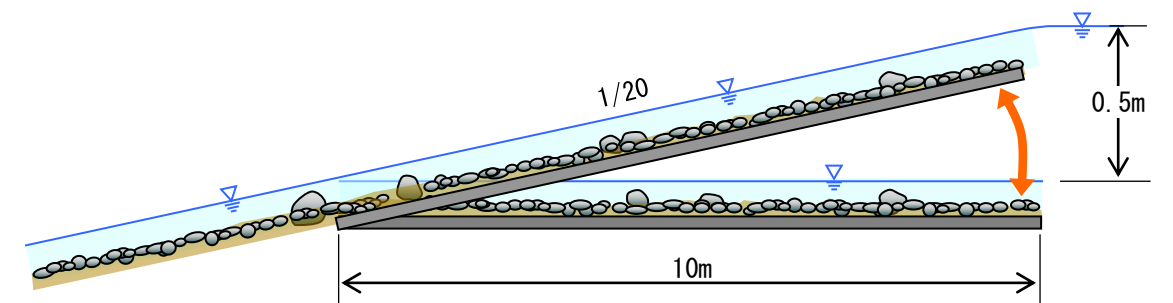


図 4-6 せせらぎ水路そのものを上下動させるタイプの流量調節設備

(3) 粗石付き斜路式

粗石付き斜路式魚道の水理量は、緩勾配水路と同様、等流計算（マンニングの式）によって算定する。

$$Q = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \cdot B h$$

ここに、 n ：粗度係数(0.05～0.15の程度と思われる)

I ：水路勾配[m]

B ：水路幅[m]

h ：水深[m]

R ：径深[m]（ $=A/S$, A は断面積, S は潤辺）

粗石付き斜路式魚道は、現状の大型魚用魚道の範囲内に設置することを想定し、勾配 1/15、幅 2m の長方形断面水路とする。粗度係数は、『魚道の設計』によれば「0.05～0.15 の程度と思われる」と記載されていることから、その中央値として 0.1 を用いる。

算定結果を図 4-7 に示す。

0.7m/s 以下の流速とするためには、水深を 16cm 程度以下とする必要があり、大型魚の遊泳のための水深としては非常に厳しいものとなる。また、貯水池の水位変動 50cm に対して流速の変化が大きい。

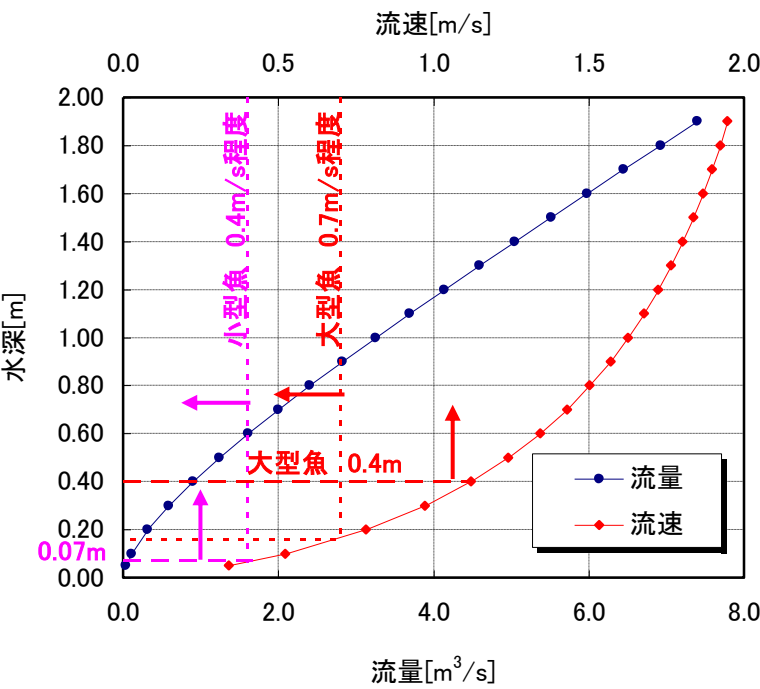


図 4-7 粗石付き斜路式魚道の水理量

(4) デニール式

デニール式魚道の水理量は、以下の式によって算定する（『最新 魚道の設計』，平成 10 年，(財)ダム水源地環境整備センター，p.268）。

$$\frac{Q_d}{\sqrt{g \cdot i \cdot b^5}} = 0.97 \cdot \left(\frac{h}{b}\right)^{1.55}$$

ここに、 g ：重力加速度（ $=9.8\text{m/s}^2$ ）

i ：勾配（適用範囲： $5\% < i < 31.5\%$ ）

b ：スロット幅 [m]

h ：水深 [m]

定数 0.97 と 1.55、および適用範囲は、ステープパス型の場合の値である。スロット幅は $b=1.5\text{m}$ とした。算定結果を図 4-8 に示す。

0.7m/s 以下の流速とするためには、水深を 84cm 程度以下とする必要がある。大型魚の遊泳のためには十分な水深である。また、貯水池の水位変動 50cm を考慮して、水深が小さくなった場合を想定すると、水深 30cm 程度、流速 0.4m/s 程度であり、大型魚の必要水深を若干下回るものの水位変動に対する対応も可能と考えられる。

ただし、下記の点について、留意しておく必要がある。

- 魚道内の流況が激しく、小型魚の遡上は困難と考えられること
- 支配断面を設ける形式ではないため、魚道流量の制御と把握が困難となること

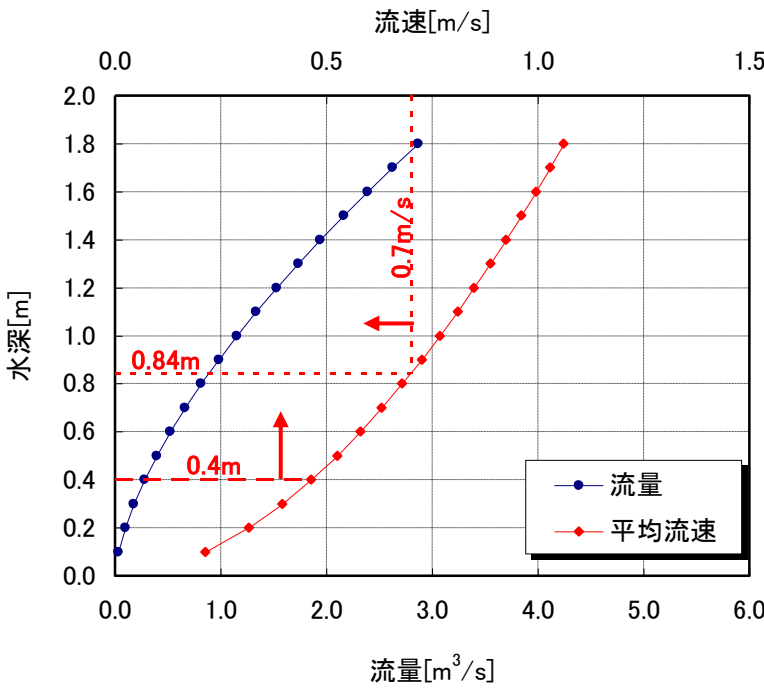


図 4-8 デニール式（ステープパス型）の水理量

4.2 呼び水水路の検討

現在の魚道の一部を呼び水水路に改良した場合の、魚道部からの放流可能流量を検討した。

4.2.1 現在の魚道の放流量

現在の魚道の放流量を表 4-1 に示す。

表 4-1 現在の魚道の放流量

		大型魚道		小型魚道		呼び水		
		現在の流量 Σ Q=3.7m3/s	計画時の流量 Σ Q=3.64m3/s	現在の流量 Σ Q=0.31m3/s	計画時の流量 Σ Q=0.29m3/s	最大放流能力 Σ Q=5.4m3/s	現在の流量 Σ Q=4.76m3/s	計画時の流量 Σ Q=3m3/s
一般部	幅(m)	6.7	6.7	2.0	2.0	$\phi=1.2$ $\phi=0.5\times 5$ (吐口)	$\phi=1.2$ $\phi=0.5\times 5$ (吐口)	$\phi=1.2$ $\phi=0.5\times 5$ (吐口)
	越流水深(m)	0.25	0.25	0.19	0.18	—	—	—
	越流係数	0.43	0.43	0.43	0.43	—	—	—
	流量(m3/s)	1.594	1.594	0.315	0.291	5.400	4.760	3.000
	流速(m3/s)	0.952	0.952	0.830	0.808	—	—	—
切欠部	幅(m)	3.3	3.3	—	—	—	—	—
	越流水深(m)	0.4	0.4	—	—	—	—	—
	越流係数	0.43	0.43	—	—	—	—	—
	流量(m3/s)	1.589	1.589	—	—	—	—	—
	流速(m3/s)	1.204	1.204	—	—	—	—	—
潜孔部	形状	600×600	600×600	—	—	—	—	—
	水位差(m)	0.25	0.25	—	—	—	—	—
	流量係数	0.6	0.6	—	—	—	—	—
	流量(m3/s)	0.478	0.478	—	—	—	—	—
	流速(m3/s)	1.328	1.328	—	—	—	—	—
合計流量(m3/s)		3.66	3.66	0.315	0.291	5.400	4.760	3.000

■魚道内の流速・越流水深の計算

(1)小型魚用魚道

小型魚道は、切り欠き部を設けないため、流量と流速は次式で計算される。

$Q=mBh\sqrt{2gh}$

ここで、

- Q : 流量(m3/s)
- m : 越流部の越流係数 (m=0.43「信濃川水力発電再開発に伴う漁業影響調査報告書 S61.12
- B : 魚道幅 (B=2.0m) 国鉄信濃川工事事務所」の現況魚道調査結果よりの実例値
- h : 越流水深(m)
- g : 重力加速度 (9.8m/s2)

$V=\frac{Q}{Bh}$

ここで、

- V : 流速(m/s)

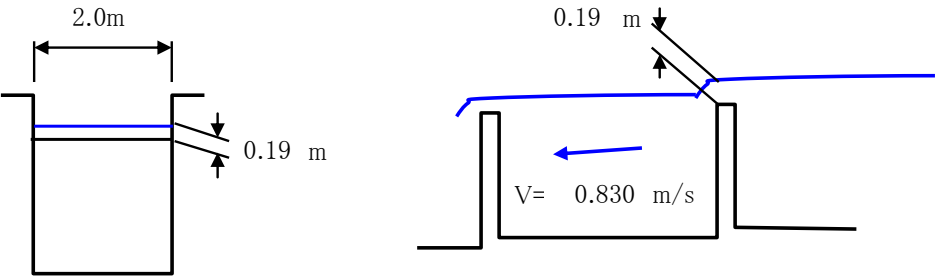
h= 0.19 m として流量を算出すると
 $Q = 0.43 \times 2.0 \times 0.19 \times \sqrt{19.6 \times 0.19}$
 $= 0.16 \times \sqrt{3.72}$
 $= 0.315 \text{ m3/s}$

その際の流速は、

$V=\frac{Q}{Bh} = \frac{0.315}{2 \times 0.19} = 0.83 \text{ (m/s)}$

となる。

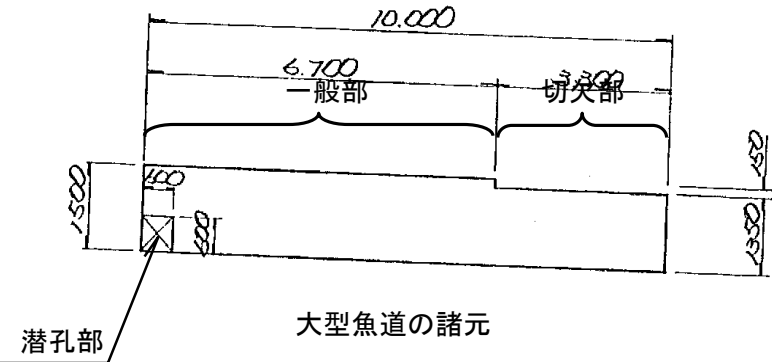
以上より、流量が0.31m3/s程度になる流速・越流水深は、以下の通りとなる。
V= 0.83 (m/s) h= 0.19 (m)



小型魚道の流速と越流水深

(2)大型魚用魚道

一般部、切欠部、潜孔部に分けて、流速および越流水深(潜後部は除く)を算出する。



・一般部

$$Q1=mBh_1\sqrt{2gh_1}$$

$h1= 0.25 \text{ m}$ として流量を算出すると

$$\begin{aligned} Q1 &= 0.43 \times 6.7 \times 0.25 \times \sqrt{19.6 \times 0.25} \\ &= 0.72 \times \sqrt{4.90} \\ &= 1.594 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

その際の流速は、

$$V1 = \frac{Q}{Bh} = \frac{1.594}{6.7 \times 0.25} = 0.95 \text{ (m/s)}$$

となる。

・切欠部

$$Q2=mBh_2\sqrt{2gh_2}$$

$h2= 0.4 \text{ m}$ として流量を算出すると ($h2=h1+0.15$)

$$\begin{aligned} Q2 &= 0.43 \times 3.3 \times 0.4 \times \sqrt{19.6 \times 0.4} \\ &= 0.57 \times \sqrt{7.84} \\ &= 1.589 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

その際の流速は、

$$V2 = \frac{Q}{Bh} = \frac{1.589}{3.3 \times 0.40} = 1.2 \text{ (m/s)}$$

となる。

・潜孔部(□600×600)

$$Q3=CA\sqrt{2gh_3}$$

ここで、

C : 流量係数 (C=0.6)

A : 流積(m²)

h_3 : 上下流水位差(m)=一般部の越流水深

$$\begin{aligned} Q3 &= 0.6 \times 0.6 \times 0.6 \times \sqrt{19.6 \times 0.25} \\ &= 0.22 \times \sqrt{4.90} \\ &= 0.478 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

その際の流速は、

$$V3 = \frac{Q}{Bh} = \frac{0.478}{0.6 \times 0.6} = 1.33 \text{ (m/s)}$$

となる。

以上より、大型魚道の流量は、

$$\begin{aligned} \Sigma Q &= Q1 + Q2 + Q3 \\ &= 1.59 + 1.59 + 0.48 \\ &= 3.66 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

となる。

以上より、流量が3.7m³/s程度になる流速および越流水深(潜後部は除く)は、以下の通りとなる。

<一般部>

$$V= 0.95 \text{ (m/s)} \quad h= 0.25 \text{ (m)}$$

<切欠部>

$$V= 1.2 \text{ (m/s)} \quad h= 0.40 \text{ (m)}$$

<潜孔部>

$$V= 1.33 \text{ (m/s)}$$

呼び水水路の放流能力

呼び水水路の最大放流能力については、損失水頭は流量の2乗に比例するため、ある流量Qの場合の損失水頭（バルブ開度100%）を求めて、その損失水頭と水位条件の水位差との比の平方根をQに乗ずれば、最大放流能力が求まる。

(1) 損失水頭の計算式

1) 摩擦による損失

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2g}$$
..... (1)

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

ここに

h：損失水頭(m)、L：管路長(m)、D：管径(m)、V：管内平均流速(m/s)、Q：流量(m3/s)
f：摩擦損失係数

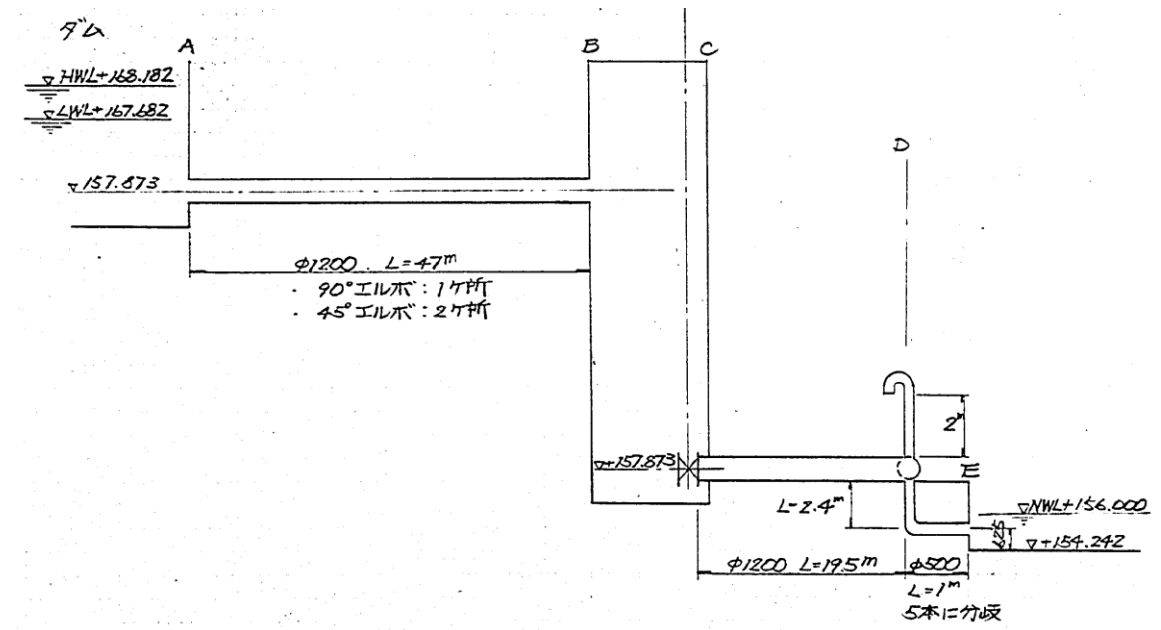
2) その他の損失

(流入、流出、屈折)

$$h = f \frac{V^2}{2g}$$
..... (2)

ここに

h：損失水頭(m)、V：管内平均流速(m/s)
f：各種損失係数



呼び水水路概略図

Q=5.4m3/sの場合の損失水頭計算(検証計算)

1) 流量と構造条件

Q=	5.40	m3/s
φ1=	1.20	m
L1=	47.00	m
L2=	19.50	m
φ3=	0.50	m
L3=	3.40	m
本数n3=	5	本

2) 水位条件

湛水位	LWL	167.682
ダム下流水位		156.000
水位差		11.682

2) 損失水頭の計算

区間	種類	f	L/D (摩擦のみ)	1/2g	V ²	箇所数	損失水頭	損失水頭	備考
		a	b	c	d	e	h= a*b*c*d*e	区間Σh	
A～B	流入	0.500	1.000	0.051	22.797	1	0.582	3.583	
	摩擦	0.0057	39.167	0.051	22.797	1	0.261		
	屈折(90°)	0.990	1.000	0.051	22.797	1	1.151		
	屈折(45°)	0.183	1.000	0.051	22.797	2	0.426		
	流出	1.000	1.000	0.051	22.797	1	1.163		

バルブ	制水	1.000	1.000	0.051	22.797	1	1.163	1.163	開度100%
-----	----	-------	-------	-------	--------	---	-------	-------	--------

C～D	流入	0.500	1.000	0.051	22.797	1	0.582	3.005	
	摩擦	0.0057	16.250	0.051	22.797	1	0.108		
	屈折(90°)	0.990	1.000	0.051	22.797	1	1.151		
	屈折(45°)								
	流出	1.000	1.000	0.051	22.797	1	1.163		

D～E (小径5本)	流入	0.500	1.000	0.051	30.254	1	0.772	3.924	
	摩擦	0.0077	6.800	0.051	30.254	1	0.081		
	屈折(90°)	0.990	1.000	0.051	30.254	1	1.528		
	屈折(45°)								
	流出	1.000	1.000	0.051	30.254	1	1.544		

合計							11.675	11.675	
----	--	--	--	--	--	--	--------	--------	--

≒水位差

4.2.2 放流方法

呼び水を放流するための放流方法を抽出する。

なお、呼び水水路設置にあたっては、以下に示す前提条件を満足するものとする。

＜呼び水水路の前提条件＞

- ・呼び水水路は、大型魚道に設置する。
- ・呼び水水路の最大設置幅は、セイシュが発生していない小型魚道の縦横比程度となる 5m とする
- ・魚道入り口における放流水を魚が横断する状況避けるために、呼び水水路は内側に設置する

放流方法としては、表 4-2 に示す 3 つの方法が考えられる。現実的と思われる開水路方式の 1， 2 案について検討する。

表 4-2 放流方法

	概要	概要図	評価
1案 開水路	吞口から吐口までを開水路で放流する方法。		折り返し部においても衝突による水の跳ね上がりが水路高を超えないようにする。
2案 開水路 蓋がけ	吞口から吐口までを開水路で放流することを基本とするが、折り返し部にふたがけをして、衝突による水の跳ね上がりを抑えることで少しでも多くの呼び水を水路から放流する案。		放流量は見込めるが、折り返し部のふたの規模（重量）が大規模となり、現実的ではない。 ・・・×
3案 管路敷設	吞口から吐口までを管を敷設して放流する案。		維持管理が困難で、管路の折り返しによるロスが非常に大きいため、比較検討案から除外する ・・・×

4.2.3 呼び水水路の規模と流量

次頁に呼び水水路規模と流量・流速の関係を示す。

【第 1 案：開水路案】

- ・呼び水水路の水深を 0.5m、0.65m、1.0m、1.5m とした場合に必要な呼び水水路の規模と流量を検討した。（魚道の隔壁高さが 1.5m であることから、発生しうる最大水深を 1.5m とした）。
- ・“H=1.0m” と “H=1.5m” の場合は、呼び水水路の幅が非常に狭く、維持管理面で問題がある。
- ・水路内に人が入って作業できる幅程度で 1m 程度は確保したいことから、（水深 0.5m×幅 2.0m×2 スパン）あるいは（水深 0.65m×幅 1.25m×3 スパン）が現実的な規模である。

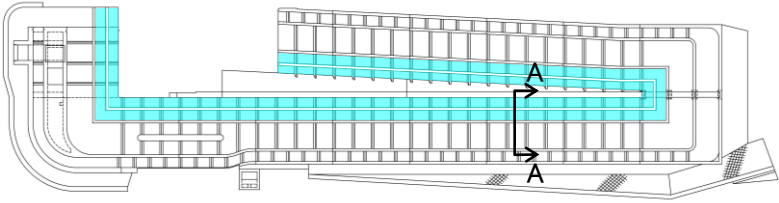
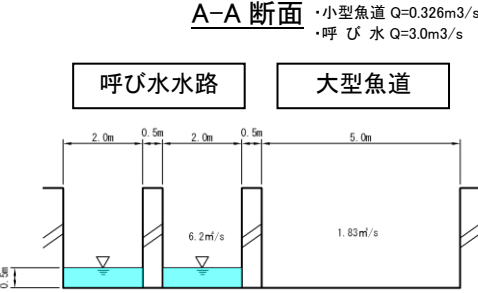
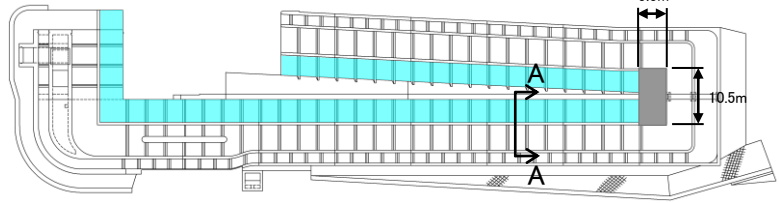
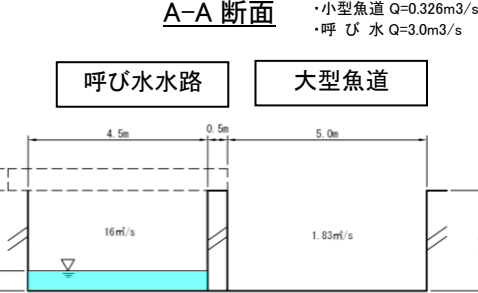
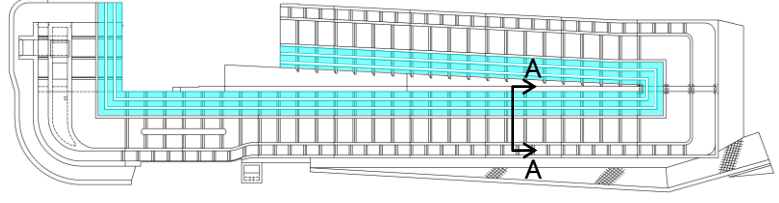
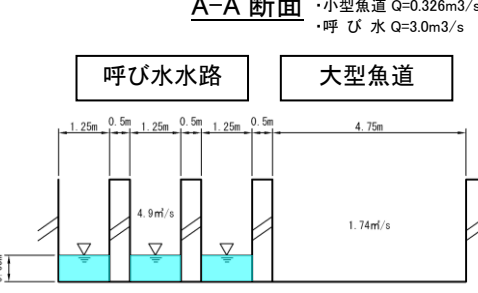
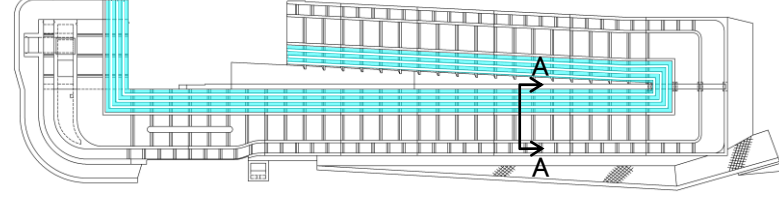
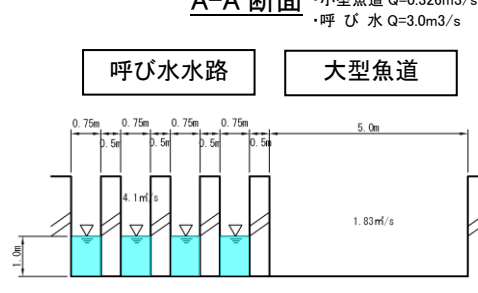
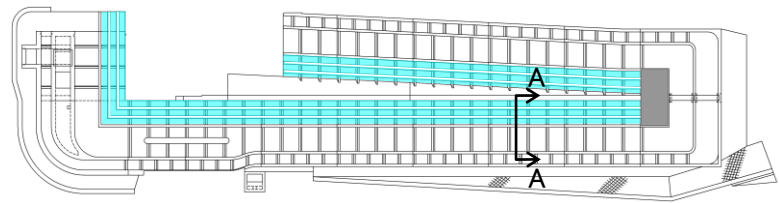
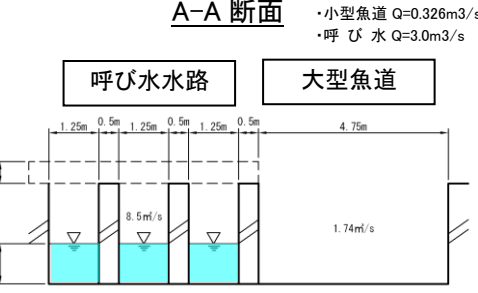
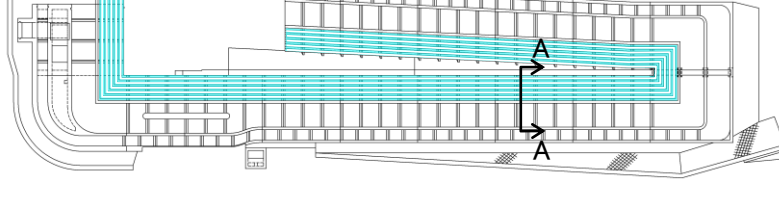
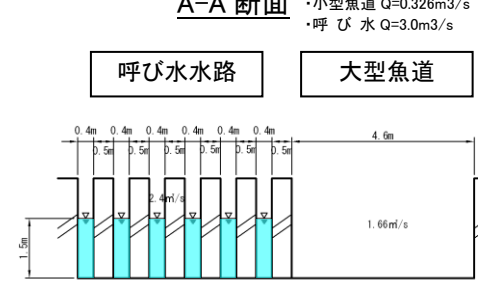
【第 2 案：蓋がけ案】

- ・呼び水水路の（水深 0.5m×1 スパン）と（水深 1.0m×3 スパン）の 2 ケースについて示す。
- ・蓋重量は両ケースとも $W=10.5\text{m} \times 5.5\text{m} \times 0.55\text{t/m}^3 = 79.5\text{t}$ となり、現在の魚道の補強が必要になると考えられるとともに、維持管理の際に大型クレーンが必要になることから現実的ではないと判断する。

以上より、現実的に可能な案は以下の 2 ケースである、

- A) 開水路放流案（水路幅 B=2.00m×2 スパン）・・・ $Q=17.5\text{m}^3/\text{s}$
- B) 開水路放流案（水路幅 B=1.25m×3 スパン）・・・ $Q=19.7\text{m}^3/\text{s}$

表 4-3 呼び水水路規模と流量・流速の関係

水深	開水路放流案	開水路放流案 (折り返し部ふたがけ)
H=0.5m	水路幅 B=2.0m×2 流速 V=6.2m/s 放流量 Q=12.4m3/s (全放流量 Q=17.556m3/s) 平面図  A-A 断面  呼び水水路 大型魚道 ・小型魚道 Q=0.326m3/s ・呼び水 Q=3.0m3/s	水路幅 B=4.5m×1 流速 V=7.1m/s 放流量 Q=16.0m3/s (全放流量 Q=21.156m3/s) 平面図  A-A 断面  呼び水水路 大型魚道 ・小型魚道 Q=0.326m3/s ・呼び水 Q=3.0m3/s
H=0.65m	水路幅 B=1.25m×3 流速 V=6.0m/s 放流量 Q=14.7m3/s (全放流量 Q=19.766m3/s) 平面図  A-A 断面  呼び水水路 大型魚道 ・小型魚道 Q=0.326m3/s ・呼び水 Q=3.0m3/s	
H=1.0m	水路幅 B=0.75m×4 流速 V=5.4m/s 放流量 Q=16.4m3/s (全放流量 Q=21.556m3/s) 平面図  A-A 断面  呼び水水路 大型魚道 ・小型魚道 Q=0.326m3/s ・呼び水 Q=3.0m3/s	水路幅 B=1.25m×3 流速 V=6.8m/s 放流量 Q=25.5m3/s (全放流量 Q=30.566m3/s) 平面図  A-A 断面  呼び水水路 大型魚道 ・小型魚道 Q=0.326m3/s ・呼び水 Q=3.0m3/s
=1.5m	水路幅 B=0.4m×6 流速 V=4.1m/s 放流量 Q=14.4m3/s (全放流量 Q=19.386m3/s) 平面図  A-A 断面  呼び水水路 大型魚道 ・小型魚道 Q=0.326m3/s ・呼び水 Q=3.0m3/s	

* 等流計算により算定。屈曲のロスは未考慮。

(呼び水水路の規模と流量の計算)

各水深（H=0.5m、0.65m、1.0m、1.5m）の呼び水水路規模と流量・流速は、マンニングの式および連続の式を利用して求める。

<マンニングの式>

$$V = 1 / n \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

ここで、

V：流速（m/s）

n：粗度係数（=0.020）

R：設計水深に対する径深（m）

I：エネルギー勾配

<連続の式>

$$A \cdot V = Q$$

ここで、

A：流積（㎡）

V：流速（m/s）

Q：流量（m3/s）

なお、必要水路高は、呼び水水路を流下してきた水が折り返し部に衝突して跳ね上がる高さとし、流速を速度水頭に換算して求めている。

・必要水路高さ＝水深＋V²/（2*9.8）

また、下図に示すように折り返し部の擁壁高が約 2.5m であることから、必要水路高が 2.5m より大きくなる場合は、蓋がけが必要となる。

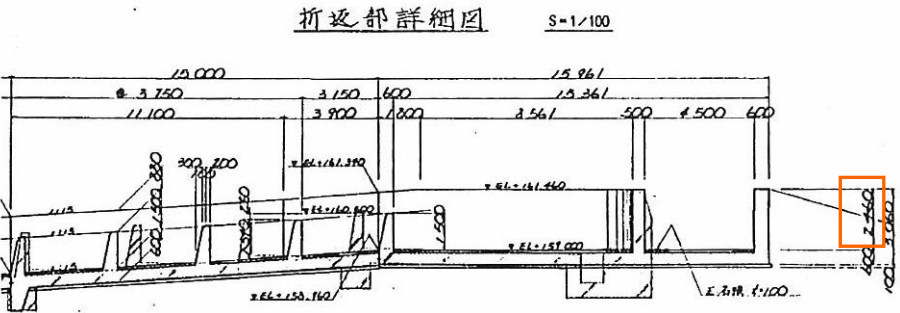


図 折返部詳細図

表 呼び水水路規模と流量・流速の関係(h=0.5m)

水路幅 B(m)	等流水深 H(m)	粗度係数 n	勾配 i	流積 A(m2)	潤辺 P(m)	径深 R(m)	流速 V(m/s)	流量 Q(m3/s)	フルード数 Fr	必要水路高 E(m)
0.00	0.00	0.020	0.067	0.0	0.0					1.0
0.50	0.50	0.020	0.067	0.3	1.5	0.2	3.9	1.0	1.766	1.3
1.00	0.50	0.020	0.067	0.5	2.0	0.3	5.1	2.6	2.314	1.8
1.50	0.50	0.020	0.067	0.8	2.5	0.3	5.8	4.3	2.614	2.2
2.00	0.50	0.020	0.067	1.0	3.0	0.3	6.2	6.2	2.804	2.5
2.50	0.50	0.020	0.067	1.3	3.5	0.4	6.5	8.1	2.936	2.7
3.00	0.50	0.020	0.067	1.5	4.0	0.4	6.7	10.1	3.033	2.8
3.50	0.50	0.020	0.067	1.8	4.5	0.4	6.9	12.0	3.107	2.9
4.00	0.50	0.020	0.067	2.0	5.0	0.4	7.0	14.0	3.166	3.0
4.50	0.50	0.020	0.067	2.3	5.5	0.4	7.1	16.0	3.214	3.1
5.00	0.50	0.020	0.067	2.5	6.0	0.4	7.2	18.0	3.254	3.1
5.50	0.50	0.020	0.067	2.8	6.5	0.4	7.3	20.0	3.287	3.2
6.00	0.50	0.020	0.067	3.0	7.0	0.4	7.3	22.0	3.315	3.2
6.50	0.50	0.020	0.067	3.3	7.5	0.4	7.4	24.0	3.340	3.3
7.00	0.50	0.020	0.067	3.5	8.0	0.4	7.4	26.0	3.361	3.3
7.50	0.50	0.020	0.067	3.8	8.5	0.4	7.5	28.1	3.380	3.4
8.00	0.50	0.020	0.067	4.0	9.0	0.4	7.5	30.1	3.397	3.4
8.50	0.50	0.020	0.067	4.3	9.5	0.4	7.6	32.1	3.411	3.4
9.00	0.50	0.020	0.067	4.5	10.0	0.5	7.6	34.1	3.425	3.4
9.50	0.50	0.020	0.067	4.8	10.5	0.5	7.6	36.1	3.437	3.5
10.00	0.50	0.020	0.067	5.0	11.0	0.5	7.6	38.2	3.448	3.5
10.50	0.50	0.020	0.067	5.3	11.5	0.5	7.7	40.2	3.458	3.5
11.00	0.50	0.020	0.067	5.5	12.0	0.5	7.7	42.2	3.467	3.5

表 呼び水水路規模と流量・流速の関係(h=0.65m)

水路幅 B(m)	等流水深 H(m)	粗度係数 n	勾配 i	流積 A(m2)	潤辺 P(m)	径深 R(m)	流速 V(m/s)	流量 Q(m3/s)	フルード数 Fr	必要水路高 E(m)
0.00	0.00	0.020	0.067	0.0	0.0					1.0
0.25	0.65	0.020	0.067	0.2	1.6	0.1	2.9	0.5	1.137	1.1
0.75	0.65	0.020	0.067	0.5	2.1	0.2	5.0	2.4	1.963	1.9
1.25	0.65	0.020	0.067	0.8	2.6	0.3	6.0	4.9	2.386	2.5
1.75	0.65	0.020	0.067	1.1	3.1	0.4	6.7	7.6	2.650	2.9
2.25	0.65	0.020	0.067	1.5	3.6	0.4	7.1	10.5	2.832	3.3
2.75	0.65	0.020	0.067	1.8	4.1	0.4	7.5	13.4	2.965	3.5
3.25	0.65	0.020	0.067	2.1	4.6	0.5	7.7	16.4	3.067	3.7
3.75	0.65	0.020	0.067	2.4	5.1	0.5	7.9	19.4	3.147	3.9
4.25	0.65	0.020	0.067	2.8	5.6	0.5	8.1	22.4	3.213	4.0
4.75	0.65	0.020	0.067	3.1	6.1	0.5	8.2	25.5	3.267	4.1
5.25	0.65	0.020	0.067	3.4	6.6	0.5	8.4	28.5	3.312	4.2
5.75	0.65	0.020	0.067	3.7	7.1	0.5	8.5	31.6	3.351	4.3
6.25	0.65	0.020	0.067	4.1	7.6	0.5	8.5	34.7	3.384	4.4
6.75	0.65	0.020	0.067	4.4	8.1	0.5	8.6	37.8	3.413	4.4
7.25	0.65	0.020	0.067	4.7	8.6	0.6	8.7	40.9	3.439	4.5
7.75	0.65	0.020	0.067	5.0	9.1	0.6	8.7	44.0	3.461	4.5
8.25	0.65	0.020	0.067	5.4	9.6	0.6	8.8	47.1	3.481	4.6
8.75	0.65	0.020	0.067	5.7	10.1	0.6	8.8	50.2	3.500	4.6
9.25	0.65	0.020	0.067	6.0	10.6	0.6	8.9	53.4	3.516	4.7
9.75	0.65	0.020	0.067	6.3	11.1	0.6	8.9	56.5	3.531	4.7
10.25	0.65	0.020	0.067	6.7	11.6	0.6	8.9	59.6	3.545	4.7
10.75	0.65	0.020	0.067	7.0	12.1	0.6	9.0	62.7	3.557	4.8

：開水路放流案

：開水路放流案（折り返し部ふたがけ）

表 呼び水水路規模と流量・流速の関係(h=1.0m)

水路幅	等流水深	粗度係数	勾配	流積	潤辺	径深	流速	流量	フルード数	必要水路高
B(m)	H(m)	n	i	A(m2)	P(m)	R(m)	V(m/s)	Q(m3/s)	Fr	E(m)
0.00	0.00	0.020	0.067	0.0	0.0					1.0
0.25	1.00	0.020	0.067	0.3	2.3	0.1	3.0	0.7	0.953	1.5
0.50	1.00	0.020	0.067	0.5	2.5	0.2	4.4	2.2	1.410	2.0
0.75	1.00	0.020	0.067	0.8	2.8	0.3	5.4	4.1	1.734	2.5
1.00	1.00	0.020	0.067	1.0	3.0	0.3	6.2	6.2	1.983	3.0
1.25	1.00	0.020	0.067	1.3	3.3	0.4	6.8	8.5	2.181	3.4
1.50	1.00	0.020	0.067	1.5	3.5	0.4	7.3	11.0	2.344	3.7
1.75	1.00	0.020	0.067	1.8	3.8	0.5	7.8	13.6	2.481	4.1
2.00	1.00	0.020	0.067	2.0	4.0	0.5	8.1	16.3	2.598	4.4
2.25	1.00	0.020	0.067	2.3	4.3	0.5	8.4	19.0	2.699	4.6
2.50	1.00	0.020	0.067	2.5	4.5	0.6	8.7	21.8	2.787	4.9
2.75	1.00	0.020	0.067	2.8	4.8	0.6	9.0	24.7	2.865	5.1
3.00	1.00	0.020	0.067	3.0	5.0	0.6	9.2	27.6	2.934	5.3
3.25	1.00	0.020	0.067	3.3	5.3	0.6	9.4	30.5	2.995	5.5
3.50	1.00	0.020	0.067	3.5	5.5	0.6	9.6	33.4	3.051	5.6
3.75	1.00	0.020	0.067	3.8	5.8	0.7	9.7	36.4	3.101	5.8
4.00	1.00	0.020	0.067	4.0	6.0	0.7	9.9	39.4	3.147	5.9
4.25	1.00	0.020	0.067	4.3	6.3	0.7	10.0	42.4	3.189	6.1
4.50	1.00	0.020	0.067	4.5	6.5	0.7	10.1	45.5	3.227	6.2

表 呼び水水路規模と流量・流速の関係(h=1.5m)

水路幅	等流水深	粗度係数	勾配	流積	潤辺	径深	流速	流量	フルード数	必要水路高
B(m)	H(m)	n	i	A(m2)	P(m)	R(m)	V(m/s)	Q(m3/s)	Fr	E(m)
0.0	0.00	0.020	0.067	0.0	0.0					1.5
0.2	1.50	0.020	0.067	0.3	3.2	0.1	2.7	0.8	0.695	1.9
0.4	1.50	0.020	0.067	0.6	3.4	0.2	4.1	2.4	1.059	2.3
0.6	1.50	0.020	0.067	0.9	3.6	0.3	5.1	4.6	1.336	2.8
0.8	1.50	0.020	0.067	1.2	3.8	0.3	6.0	7.2	1.561	3.3
1.0	1.50	0.020	0.067	1.5	4.0	0.4	6.7	10.1	1.751	3.8
1.2	1.50	0.020	0.067	1.8	4.2	0.4	7.3	13.2	1.914	4.2
1.4	1.50	0.020	0.067	2.1	4.4	0.5	7.9	16.6	2.056	4.7
1.6	1.50	0.020	0.067	2.4	4.6	0.5	8.4	20.1	2.182	5.1
1.8	1.50	0.020	0.067	2.7	4.8	0.6	8.8	23.8	2.294	5.4
2.0	1.50	0.020	0.067	3.0	5.0	0.6	9.2	27.6	2.395	5.8
2.2	1.50	0.020	0.067	3.3	5.2	0.6	9.5	31.5	2.487	6.1
2.4	1.50	0.020	0.067	3.6	5.4	0.7	9.9	35.5	2.570	6.4
2.6	1.50	0.020	0.067	3.9	5.6	0.7	10.1	39.6	2.646	6.7
2.8	1.50	0.020	0.067	4.2	5.8	0.7	10.4	43.7	2.715	7.0
3.0	1.50	0.020	0.067	4.5	6.0	0.8	10.7	48.0	2.780	7.3
3.2	1.50	0.020	0.067	4.8	6.2	0.8	10.9	52.2	2.839	7.5

：開水路放流案

：開水路放流案（折り返し部ふたがけ）