

よりよき設計のために
「頭首工の魚道」設計指針

平成 26 年 3 月

農林水産省農村振興局整備部設計課監修
公益社団法人 農業農村工学会発行

ま え が き

自然環境に対する社会情勢を背景として、農業農村整備事業においても自然生態系に配慮した施設の整備が求められています。農村地域の生物多様性を保全するため、土地改良長期計画（平成24年3月30日閣議決定）では、水田、ため池等が形成する生態系ネットワークの保全、生態系に配慮した水管理や施設管理、環境配慮施設の順応的管理等を促進することとしています。また、基幹的水利施設の安定的な機能の発揮を図っていくため、食料・農業・農村基本計画（平成22年3月30日閣議決定）では、リスク管理を行いつつ、施設のライフサイクルコストを低減し、施設機能の監視・診断、補修、補強などを機動的かつ確実に行う新しい戦略的な保全管理を推進していくこととしています。

近年の頭首工の魚道に関する設計・施工の動向は、過去に施工された既設魚道の改修事例が増加しており、その改修の理由として、河床低下、老朽化等といった魚道の機能低下に対する対策が大半を占めています。また、魚道の維持管理上の課題として、ごみや流木等の流下物対策や堆砂対策が多くなっています。これらを踏まえ、今回の「頭首工の魚道」設計指針の改定では、機能保全の視点を加味した施設設計・管理の考え方を記載するとともに、近年の魚道の新築及び改修実績の事例を踏まえ、多魚種へ配慮した魚道形式の追加や、集魚効果を向上させるための呼び水施設の留意事項等を記載しています。

さらに、魚道等に関する近年の研究開発の進展に伴う魚類等の生理・生態や魚道内での行動に関する知見の反映や、魚道の流況予測において、従来の水理模型実験に加えて、一部の代表的な魚道形式では数値解析手法（コンピュータシミュレーション）による検討が可能となりつつあることから、その事例を取り入れ内容の充実化を図っています。

今回の改定に当たっては、平成20年度から東海農政局土地改良技術事務所を中心に改定に向けての検討を開始し、平成22年度、23年度には各地方農政局及び都道府県等の関係機関の協力の下、頭首工の魚道に係る実態調査を実施、平成25年度には次の学識経験者等からなる設計指針改定検討委員会を設置し、改定内容の審議を行ってきました。

委員長	泉 完	弘前大学 農学生命科学部 地域環境工学科 教授
委員	藤原 正幸	京都大学 大学院農学研究科 教授
	東 信行	弘前大学 農学生命科学部 生物学科 准教授
	伊藤 保裕	(独) 水資源機構 豊川用水総合事業部 部長
	常住 直人	(独) 農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究所 水利工学研究領域 主任研究員

(所属は平成26年1月現在)

委員の皆様からは、様々な視点から御熱心な検討、御指導をいただいたことを心より感謝申し上げます。

本指針が、頭首工の魚道における環境との調和に配慮した施設設計を行うに当たり、多くの技術者に活用され、設計の一助となることを期待しています。

農林水産省農村振興局整備部
設計課長 奥田 透

目 次

第1章 総説	1
1.1 趣 旨	1
1.2 適用範囲	1
1.3 魚道の定義	1
1.4 魚道設計の基本	3
1.5 魚道設計の手順	4
第2章 調査	6
2.1 調査の基本	6
2.1.1 調査計画	6
2.1.2 調査項目	6
2.2 調査内容	6
2.2.1 魚類等調査	7
2.2.2 立地状況調査	9
2.2.3 施設状況調査	9
2.2.4 流況調査	11
2.2.5 河床状況調査	11
第3章 設計の基本事項	13
3.1 一般事項	13
3.2 魚類等の生理・生態	13
3.2.1 魚類等の分類	13
3.2.2 魚類等の生理	16
3.2.3 魚類等の生態	19
3.3 設計条件の設定	24
3.3.1 設計対象魚種	24
3.3.2 魚道設計流速	25
3.3.3 魚道設計水深	25
3.3.4 設計対象河川流量の範囲	26
3.3.5 魚道設計流量・呼び水設計流量	27
3.3.6 魚道上り口水位	29
3.3.7 魚道下り口水位	30
3.4 魚道位置の選定	30
3.4.1 魚道位置	30
3.4.2 魚道上り口位置	32

3.4.3 魚道下り口位置	34
3.5 魚道形式の選定	35
第4章 設計	46
4.1 水理設計	46
4.1.1 基本事項	46
4.1.2 魚道内の水理	48
4.1.3 流況解析	49
4.2 構造設計	52
第5章 タイプ別の設計	59
5.1 プール（隔壁）タイプ魚道	59
5.1.1 全面越流型魚道（越流式）と 切欠き（ノッチ）・潜孔付き型魚道（プールタイプ混合式）	62
5.1.2 アイスハーバー型魚道（部分越流型）	69
5.1.3 ノルウェー型魚道（部分越流型）	71
5.1.4 バーチカルスロット式魚道	72
5.1.5 潜孔式魚道	77
5.2 水路タイプ魚道	81
5.2.1 粗石付き斜路型魚道（斜路式）	82
5.2.2 導流壁型魚道（斜路式）	85
5.2.3 標準デニール型魚道（デニール式）	87
5.2.4 スティープパス型魚道（デニール式）	90
5.2.5 舟通し型魚道（デニール式）	92
5.3 オペレーションタイプ魚道	94
5.4 複合式（ハイブリッド式）魚道	95
5.5 併用式（混合式）魚道	96
5.6 設計に関する留意事項	97
5.6.1 降下対策	97
5.6.2 迷入対策	99
5.6.3 呼び水施設	100
5.6.4 附帯施設	104
第6章 施工	108
6.1 施工計画	108
6.2 施工管理	108
第7章 保全管理	110
7.1 魚道の機能保全	110

7.1.1	魚道の特性を踏まえた検討	110
7.1.2	順応的管理の手順	110
7.1.3	魚道の機能と性能	111
7.1.4	魚道の性能管理	112
7.1.5	魚道の性能低下	112
7.2	魚道の管理・モニタリング・評価	113
7.2.1	日常管理	114
7.2.2	機能診断調査・評価	115
7.2.3	機能保全計画	118
引用文献		121
資料編		125

第1章 総説

1.1 趣旨

本指針は、頭首工に設けられる魚道の設計に関する一般的な事項を示したものである。

本指針は、頭首工の築造（新築）や改修（ここで、改修とは施設の一部又は全体にわたる改造工事をいう。）に際して設けられる魚道の設計を行うために必要な調査、設計、施工及び維持管理について一般的な事項を示したものである。

このため、条件が異なる個々の魚道の設計に当たっては、河川の生態系やその特性、自然的条件、社会的条件を十分に把握した上で、その魚道の目的、規模及びその他の条件の実情に即して、本指針の考え方を踏まえた技術的、経済的観点からの検討を行うことが必要である。

1.2 適用範囲

本指針は、国営土地改良事業によって実施される頭首工の築造や改修に際して設けられる魚道に適用する。

本指針は、国営土地改良事業によって実施される頭首工の築造や改修に際して設けられる魚道に適用するものであり、頭首工の設計に当たっては、土地改良事業計画設計基準・設計「頭首工」によるものとする。

本指針で取り扱う範囲は、魚類等が頭首工区間を容易・安全に移動できるための施設設計であり、遡上・降下以外の目的をもって設置する魚道や、ダム、河口堰、砂防堰堤、落差工及び防潮樋門等に設置する魚道は、本指針で定める以外の要素を考慮する必要があるため適用外とする。

なお、国営土地改良事業以外の土地改良事業として実施される頭首工の築造や改修に際して設けられる魚道の設計については、本指針の適用を受けるものではないが、当該事業主体の独自の判断に基づいて本指針を準用することができる。

1.3 魚道の定義

魚道とは、魚類等の移動に支障があるような場合、移動を容易にするために造られた施設の総称であり、魚道本体（魚道の^{のぼ}り口から^{ぐち}下り口まで）と附帯施設から構成される。

魚道は、魚道本体（魚道上り口から魚道下り口まで）及び附帯施設から構成される（**図-1.3-1**及び**図-1.3-2**参照）。

なお、魚道上り口とは遡上する魚類等の入口、すなわち魚道の下流端のことであり、魚道下り口とは降下する魚類等の入口で魚道の最上流端のことである。

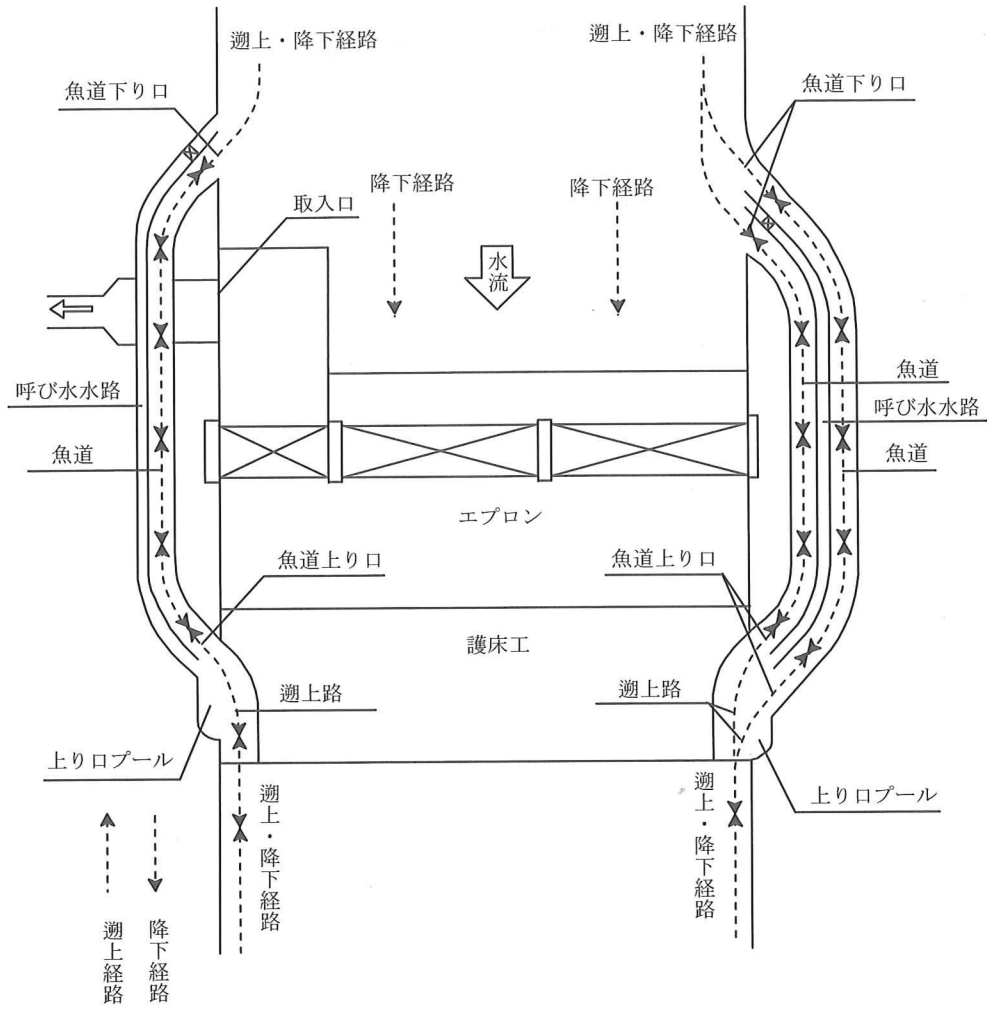


図-1.3-1 頭首工の魚道の概念図

※一般に、魚道下り口は、取入口への迷入・吸引が問題となることから取入口より上流側に設置するが、立地条件の制約等から取入口より下流側に設置する場合もある。

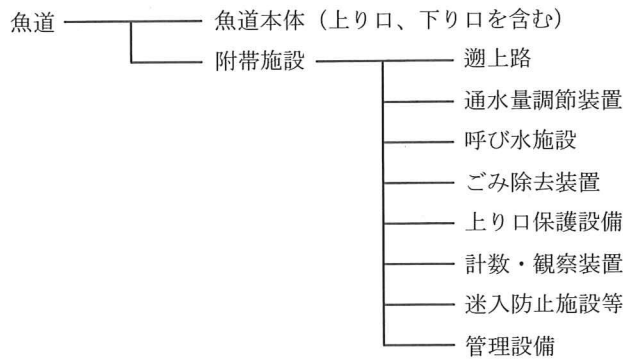


図-1.3-2 頭首工の魚道の構成

1.4 魚道設計の基本

魚道の設計は、頭首工において魚類等が容易・安全に移動できるようにするため、立地条件や施工・管理条件等を踏まえ、環境との調和に配慮しつつ、必要な機能と安全性、維持管理性を有し、経済的な施設となるように適切に行う。

(1) 設計の基本

魚道の設計は、頭首工において魚類等が容易・安全に移動できるようにするため、立地条件や施工・管理条件を踏まえ、環境との調和に配慮しつつ、必要な機能と安全性、維持管理性を有し、経済的な施設となるように適切に行う。

このため、魚道の機能を十分理解すること、当該河川における魚類等の調査、対象魚種の選定、対象魚種の生態（遡上期、降下期、移動時期など）とその遊泳能力、河川流量の変動、魚道流量等について十分に検討することが必要である。

(2) 魚道の機能

魚道施設に求められる機能は、以下のとおりである。

a. 遡上する魚類等が、魚道上り口に集まりやすいこと

遡上する魚類等が魚道上り口以外の場所に集まらないようにする。

このためには、魚道設置位置、魚道上り口位置の選定、頭首工における遡上経路の確保、呼び水施設等の検討、取水堰調節ゲートからの放流管理など、総合的に検討する。

b. 魚道上り口に集まった全ての魚類等が、魚道に進入できること

魚道上り口は、洗掘・河床低下などによる大きな段差、魚道上り口付近に循環流が発生することによる魚類等の滞留、魚道上り口付近の土砂が堆積、あるいは護床工やエプロンが障害となることにより、魚類等の魚道への進入が困難にならないようにする。

このためには、大きめの上り口プールを設置することも一つの方法である。

c. 魚道内に進入した全ての魚類等が、容易に安全にその魚道を移動できること

魚道内で魚類等が捕獲されたり、損傷したり、極度に疲労したり、また、プール（隔壁）タイプ魚道ではプール内の循環流などにより魚類等が滞留したりすることなく、容易に安全に遡上できるようにする。

d. 魚道通過後の魚類等が、安全に河川を遡上できること

魚道を遡上した魚類等が取入口などに迷入・吸引されたりせず、また、取水堰からの越流やゲートからの放流に流されたりしないで、遡上経路を見出して遡上できることが必要である。

このためには、魚道下り口位置の検討が必要であり、また、魚道を遡上してきた魚類等が、十分休息して河川上流へ遡上できるように、大きめの休息プールを設けることも一つの方法である。

e. 降下する魚類等が魚道下り口を見つけやすく、安全に下ることができること

当該頭首工の上流でふ化した仔魚や産卵などのため下流に向かう成魚等が、降下障害を生じないで安全に降下できるようにする。降下する魚類等は、魚道を通過するよりも、河川の流れとともに流下し取水堰を通過するが多い。また、ふ化した仔魚は、遊泳能力（約 3cm/s 以下）はほとんどなく、河川の流れにまかせて降下する。魚道を通らずにエプロン部に落下する魚類への影響を軽減するために、水クッション部を設けることも考えられる。

f. 構造は堅牢で、維持管理が容易であること

魚道は、本体施設相当の耐用年数が必要であり、また、将来の維持管理を考慮した施設とする。

このためには、構造は堅牢・単純で維持管理の容易なものが望ましい。さらに、砂礫・流木・

ごみ等の流下により、魚道の閉塞又は機能低下が生じるので、ごみ・流木・堆積土砂除去の容易な構造とするとともに、適切な維持管理を行い常に良好な状態にする。

(3) 留意事項

魚道の設計に当たっては、魚道に求められる機能が十分発揮できるよう次のような点に留意する。

- a. 魚道の設計に当たっては、地域条件に応じた適切なものとなるように、施設管理者や関連団体、関係機関、周辺住民、学識経験者等の意見を踏まえ、地域の合意形成を図りつつ、魚道設置位置や魚道形式・管理方法等について総合的な検討を行うことが望ましい。
- b. 魚道の位置については、魚道上り口部と河川の本筋との関係について留意する。
- c. 自然河川の場合と同程度に、河川流量の変化に対して、遡上経路の連続性が確保されること。
- d. 魚類等の遊泳能力に関する十分な情報収集を図ること。
- e. 魚道の設置前後で生物相に変化があってはならない。
- f. 魚類等の移動のためには、将来にわたって水理的な連続性が確保されなければならない。このため、施設設置後の河床変動についても検討する。

1.5 魚道設計の手順

魚道の設計は、河川の生態系やその特性、魚類等の生理・生態を踏まえ、自然的条件、社会的条件を十分に把握した上で、その魚道の目的、規模及びその他の条件の実情に則して、適切な手順により行う。

魚道施設の設計における一般的な手順を示すと、**図-1.5-1**のとおりである。

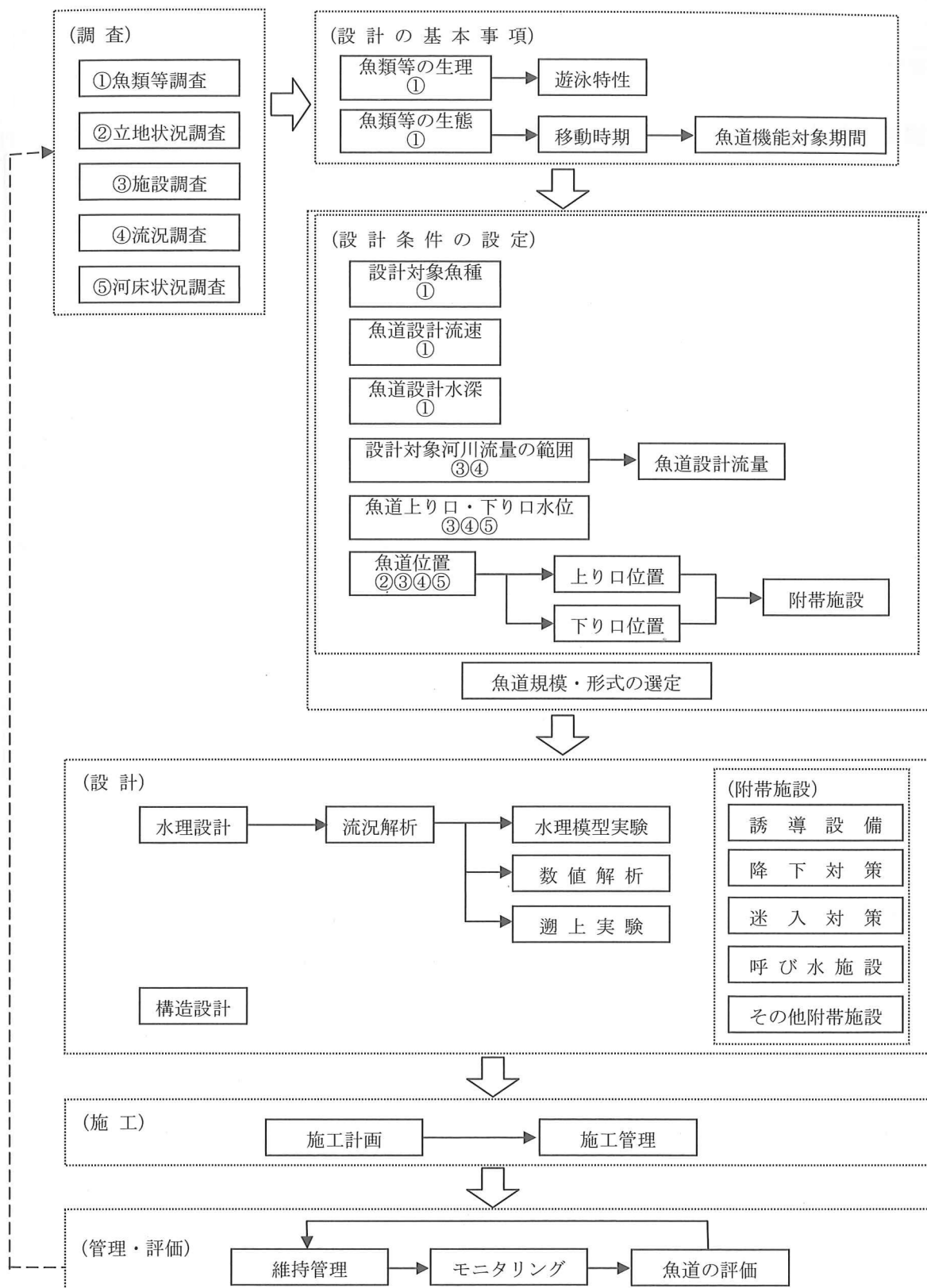


図-1.5-1 魚道設計の一般的な手順

注 1) (設計の基本事項)、(設計条件の設定) に示す①～⑤は、(調査) における項目番号に同じで、関連する項目を示している。

注 2) 実際の設計作業においては、ここで示すそれぞれの段階においても、細かなフィードバックが繰り返されることになる。

第2章 調査

2.1 調査の基本

調査は、魚道の設計に必要な基礎資料を得るために行うものであり、周到な調査計画に基づいて適切に実施する。

調査は、その初期段階から魚道施設に係る設計・施工・維持管理までを含めた広い視点に立って、計画性をもって実施する。

このためには、施設管理者等からの情報及び学識経験者の指導・助言を踏まえ、調査項目、調査方法等について調査方針を作成し、調査計画を立案する。

2.1.1 調査計画

魚道の計画から維持管理の各段階に応じて、調査事項、調査範囲、調査内容、精度等について適切な調査計画を立てて行う。

現地の自然的、社会的諸条件等を踏まえ、調査事項、調査範囲、調査内容、精度等を検討し、適切に調査計画を立案する。特に、魚類等の生理・生態に関する調査については学識経験者からの助言を踏まえつつ、調査計画を立案することが望ましい。

2.1.2 調査項目

魚道の目的、規模、自然的条件、社会的条件等に応じて、魚道の設計に必要となる調査事項を総合的に検討した上で、調査項目を定め、調査を合理的かつ効率的に行う。

魚道の目的・規模、自然的条件、社会的条件等に応じて、魚道の設計に必要となる調査事項を総合的に検討した上で、調査項目を定めることが重要である。また、調査は合理的かつ効率的に行う。

2.2 調査内容

魚道の設計に当たっては、魚類等、立地状況、施設状況、流況、河床状況等について調査を行う。

魚道の設計に当たっては、その魚道の目的・規模、自然的条件、社会的条件等に応じて、原則として、次のような調査内容について調査を行う。

- (1) 魚類等
- (2) 立地状況
- (3) 施設状況
- (4) 流況
- (5) 河床状況

なお、これら以外にも必要な調査内容があれば、適宜追加して行わなければならない。

第3章 設計の基本事項

3.1 一般事項

魚道の設計に当たっては、対象魚類等の生理・生態を十分に把握した上で、設計対象魚種等の選定、設計流量・流速の検討、魚道水深・幅や魚道上り口・下り口水位の設定等を行い、必要な機能と安全性を確保し、経済的な施設となるように施設設計を実施する。

魚道の設計に当たっては、立地条件や施工管理条件等を踏まえるとともに、環境との調和への配慮、関係する各種法令の遵守、関連する他の計画との整合等を考慮して検討を行う。加えて、対象魚類等の生理・生態を十分に把握した上で、設計対象魚種の選定、設計流量・流速の検討、魚道水深・幅や魚道上り口・下り口水位の設定等を行い、必要な機能と安全性を確保し、経済的な施設となるように施設設計を実施する。

3.2 魚類等の生理・生態

対象魚類等の生理・生態を十分に把握した上で、魚道の設計を適切に行う。

対象魚類等の生理・生態の把握は、魚道形式の選定、魚道設計流速の決定等魚道設計において特に重要である。魚類等の分類、習性行動を十分に把握した上で、魚道の設計を行う。

3.2.1 魚類等の分類

魚類等は、回遊性（遡河・降河・両側）魚類、純淡水魚及びその他に分類される。

主な回遊性魚類及び純淡水魚等の分類（生活型別分類）は、おおむね次のとおりである。

なお、日本の主要な回遊魚及び純淡水魚の特質について表-3.2-1に示す。

(1) 遡河回遊魚

淡水域でふ化し、しばらくの時期を淡水で過ごした後、海へ降下して成長し、産卵のため淡水域へ戻ってくるもの。

a. 底生魚	ヤツメウナギ科	カワヤツメ
	ハゼ科	シロウオ
b. 遊泳魚	キュウリウオ科	キュウリウオ、シシヤモ
	サケ科	カラフトマス、サケ、サクラマス、サツキマス
	トゲウオ科	遡河型イトヨ

(2) 降河回遊魚

海水でふ化し淡水域で成長し、産卵のために海へ降りるもの。

底生魚	ウナギ科	ウナギ
	カジカ科	ヤマノカミ、アユカケ

第4章 設 計

4.1 水理設計

水理設計においては、設計対象魚種の生理・生態等を踏まえ魚類等が容易・安全に移動できるような配慮を行う。

水理設計においては、なるべく多くの魚種が遡上できるように配慮を行わなければならない。

4.1.1 基本事項

水理設計では、魚類等の遡上経路として、魚道において適正な流速、適正な流況及び十分な流水断面を確保するとともに、魚道上り口と下り口の水位変動に対し、魚道が十分に機能するよう設計する。

(1) 遡上経路

魚道上り口・下り口及び魚道内の区間において魚類等の遡上経路として、適正な流速、適正な流況及び十分な流水断面を確保するよう設計する。

a. 適正な流速

適正な流速とは、魚道上下流及び魚道内の区間を設計対象魚種の突進速度以下の流速とし、また、魚類等の遡上を誘う流速（最低流速）がなければならない。

b. 適正な流況

以下(a)～(f)の条件を満たすような流況とすることが望ましい。

- (a) 遡上不可能となるような過度の泡立ち、流れの乱れ（流速・流向の変動）がないこと。
- (b) 魚類等が跳躍して遡上するような水位差としないこと。
- (c) 魚類等を滞留させるような穏やかすぎる流況としないこと。
- (d) 遡上経路を見失い迷走するような流況は作らないこと。
- (e) 越流式魚道の場合は、遷移状態となる流況としないこと。
- (f) 潜孔式魚道の場合は、基本的にオリフィス流れとなるようにすること。

c. 十分な流水断面

遡上する魚類等の大きさ（体高・体幅）から判断して、十分余裕のある断面を確保する。

遡上経路内で上記 a. ～c. の条件を満たすように設計を行う。

なお、これらの条件は、遡上経路の条件であり、遡上経路から外れた部分は必ずしも満足しなくてもよい。

(2) 魚道上り口・下り口水位変動範囲内での検討（図-4.1-1 参照）

水理設計では、魚類等の遡上経路の確保以外に、魚道上り口水位と下り口水位の変動範囲内のいかなる条件においても、設計対象魚種が遡上できるように設計を行わなければならない。

- a. 魚道下り口水位が最高の水位で、魚道上り口水位が最低の水位の条件において、設計対象魚種の中で最も遊泳速度の遅い魚種が遡上できる流速・流況とする。
- b. 魚道下り口水位及び魚道上り口水位が最低の水位の条件において、設計対象魚種の中で最大の体長・体高の魚種が遡上できる流水断面を確保する。
- c. 魚道下り口水位が最低の水位で、魚道上り口水位が最高の水位の条件において、魚道上り口の集魚効果が十分に得られるようにする。

第5章 タイプ別の設計

5.1 プール（隔壁）タイプ魚道

プールタイプ魚道は、隔壁で仕切られたプールが上下流に階段状に連なった形式で、隔壁部の形状により越流式（全面越流型、部分越流型）、バーチカルスロット式、潜孔式に分類される。

プールタイプ魚道において、隔壁部は、流速が最大、流積が最小になるので、隔壁部の流速や流積の設計が重要となる。

(1) 概要

各プールの水理条件が同一であれば設計は容易になる。

プールタイプの基本的な形は、設計対象魚種が遡上する場合、流速・水深・幅などの条件が最も厳しい状態になる断面（多くの場合は、隔壁において生じる）と、それを通過すれば休息することができるプールとの組み合わせを一つの基本単位（ユニット）として、いくつかのユニットが直列に連なるというものである。

この原則は、ユニットごとに水理条件が同一であることを要求するものであり、この原則が満足されていれば、水理計算は一つのユニットにおいて行えば十分である。実際には、上流側の数ユニットにおいて、流れにある程度の加速が生じることは避けられないが、その加速は特に障害になるほどのものではなく、数ユニット通過後は水理条件が同一となるのが一般的である。

ただし、魚道の上下流側の水位（水深）変動により各ユニットの流況の差異が大きくなる場合もある。その場合には、遡上する魚類等にとって最も厳しい条件になるユニットにおいて検討を行わなければならない。

(2) プール

プールの水理的役割は、最大流速の流れがプールを通過することによって減勢され、次のユニット（プール）における水理条件を同一状態に戻すことである。

遡上する魚類等にとってのプールの役割は、任意に十分な休息をとることのできる場所を提供することである。休息に必要な場所の条件について概略の目安としては、以下のように考えることができる。

- a. 休息場所内での流速は、設計対象魚種の巡航速度以下であること。
- b. 休息場所内での流速の変動（乱れ）は、遡上を促す刺激ともなるので、ある程度は許容できるが、巡航速度を大きく超える流速が頻繁に生じる事態は休息場所になりにくいので、避けた方がよい。
- c. 休息場所内での循環流は、巡航速度以下であり、遡上可能な主流に接続していることが必要である。（図-5.1-1 参照）。
- d. 遡上する魚類等一尾が必要とする休息場所として十分な空間は、設計対象魚種の最大のサイズ程度と考えられる。

休息に必要な場所の条件については、魚道内調査事例（資料編 3.1 II. 魚道の水理特性）などを参考とする。

目次

1. 総論	128
1.1 頭首工の魚道の歴史的経緯	128
1.2 頭首工の魚道の意義	129
2. 用語解説	130
3. 調査事例	136
3.1 アイスハーバー型魚道における魚類の遡上実態とその水理特性	136
3.2 アイスハーバー型魚道における魚類の隔壁遡上特性	141
3.3 自然誘導式スタミナトンネルを用いた高速流条件での野生魚の突進速度	148
3.4 頭首工の改築に伴う魚道機能の向上	154
3.5 流況解析（数値解析（コンピュータシミュレーション））	160
4. 設計事例	167
4.1 八乙女頭首工（プール（隔壁）タイプ・水路タイプ魚道を両岸に設置）	167
4.2 田山堰頭首工（プール（隔壁）タイプ魚道）	180
4.3 赤石川第2頭首工（プール（隔壁）タイプ魚道）	183
4.4 犬山頭首工（放流量の改善、モニタリングシステム）	189
4.5 石部頭首工（多魚種への対応、観察窓）	195
5. 魚道写真集と解説	203
(1) プール（隔壁）タイプ越流式全面越流型	204
(2) プール（隔壁）タイプ越流式部分越流型	205
(3) プール（隔壁）タイプ越流式傾斜隔壁越流型	207
(4) プール（隔壁）タイプバーチカルスロット式	208
(5) 水路タイプ斜路式	209
(6) 水路タイプデニール式	210
(7) 魚道ブロックタイプ	211
(8) 堤体全面魚道	212
(9) 呼び水施設	213
(10) 魚道ゲート	214
(11) 水理模型実験	215
6. 機能保全の視点を加味した魚道整備等の事例	216
(1) 魚道改修事例（吉田頭首工）	216
(2) モニタリング調査事例（川上頭首工）	222
(3) 河床低下対策事例	229
(4) 維持管理に関する事例	
①堆砂・ごみ等への対策、②維持管理のための経路、③捕食防止	230
[参考となる文献]	233