

プレキャスト魚道ブロック工法の手引き
～水路式魚道ブロック工法～

平成19年5月

北陸土木コンクリート製品技術協会
魚道ブロック委員会 編

ま え が き

社会資本整備が遅れていた北陸地方も、過去50年にわたる集中的公共投資によって、河川、海岸、砂防、道路などの整備がようやく進捗を見るようになりました。

北陸地方は、季節風が吹き荒れる冬期になると、厳しい豪雪地帯に様変わりします。このため、降積雪期の12月から翌3月の4ヶ月間は土木工事の不適期となり、さらに端境期を除くと良好な工事施工期間は年間で6ヶ月程度という条件下でした。冬期間に最も気候がもっとも安定し良好な施工期となる関東地方と比較してもその条件は大きく異なります。

北陸地方では、この条件差を“通年施工化技術”を駆使して克服してきました。なかでも「国庫債務負担行為」と「大型プレキャスト製品」の活用は、通年施工化技術研究の2大成果でした。「国庫債務負担行為」は公共事業の端境期における効率的な執行を確保し、「大型プレキャスト製品」の活用は、冬期施工に極めて有効であり、コスト縮減、工期短縮に貢献しました。後者の位置付けである大型コンクリート製品類は、「土木用コンクリート製品設計便覧(社団法人北陸建設弘済会発行)」に収録されていますが、最新版では景観配慮型製品や生態系配慮型の製品も収録されるようになりました。

ここで紹介する魚道ブロックは生態系配慮型の代表的製品ですが、北陸地方の河川は急流河川が多く、砂防堰堤をはじめ河川を横断する構造物には、魚道施設を設けないと生態系の維持ができなくなります。

また、北陸地方の山地部は積雪が多いため冬期施工が不可能であり、魚類の遡上期には工事施工を中断しなければならないという条件が加わります。

従って、短期間に魚道施設を施工するためには、製品化された魚道ブロック等の活用が必要になります。

本書は、魚道の中でも比較的多用されている「水路式魚道工法」について、ブロック化をはかり、その設計施工法について紹介したものです。

各地の施工現場において、活用されることを期待するものであります。

平成19年5月

魚道ブロック委員会

目 次

第1章 総 則

1. 1 目 的	1
1. 2 適用の範囲	1
1. 3 用語の意味	2

第2章 計 画

2. 1 計画一般	5
2. 2 魚道の位置・規模	6
2. 3 魚道の形式	7

第3章 設 計

3. 1 基本構造	8
3. 2 水理検討	9
3. 3 構造検討	10
3. 4 製品規格	11

第4章 施 工

4. 1 施工計画	15
4. 2 基礎工	15
4. 3 据付工	16
4. 4 止水工	17
4. 5 コーナー部・折返し部	17
4. 6 施工上の一般事項	18

※ 資料編

資料ー1 付帯施設の例	資- 1
資料ー2 プレキャスト魚道ブロックの事例集	資- 3
資料ー3 参考歩掛	資-29
資料ー4 参考文献	資-30
資料ー5 水理（遡上）検討例	資-31
資料ー6 構造検討例	資-34

第1章 総 則

1. 1 目 的

本書は、水路式魚道ブロック工法の合理的な設計・施工に資することを目的とする。

平成3年、魚類の遡上・降下環境の改善を目的に「魚がのぼりやすい川づくり推進モデル事業」が施行された。当時は技術的に経験の浅かった魚道整備について「魚がのぼりやすい川づくり推進検討委員会」を設置して試行的に事業に取り組んでいた頃である。

それから十余年が経過した現在までに、河川整備には環境保全が第一の目的であるとして、河川学術研究（平成7年）、河川法の改正（平成9年）、自然再生事業の施行（平成14年）等、様々な取り組みが実施されている。

魚道施設に関しても、河川全体の生態系を把握した上で、現場ごとに異なる環境条件を加味した施設の設置が求められるようになった。例えば、これまで水産有用魚であるアユやサケ、マス、イワナ、ヤマメ等を対象としていた魚道施設が、カジカ、ヨシノボリ等の雑魚、両生類（サンショウウオ等）や甲殻類（モクズガニ、手長エビ等）も対象とするようになった。さらに、それら対象生物に対して直接的に影響する工事の時期や期間も問題にされるようになった。

これら諸問題への対応方法は様々な事例をもとに「魚がのぼりやすい川づくりの手引き（平成17年3月）」に取り纏められ、国土交通省河川局ホームページ上でも公開されている。

一方、北陸地方では、従来から機械施工が可能な省人型製品の開発に努め、しかも、生産、且つ、普及の効率性を求めてデザインの一元化（土木用コンクリート製品設計便覧参照）を推進してきている。

この動きを受けて、魚道施設においても工程の短縮・簡素化が求められるようになっており、各種の検討のなかで「生態系配慮型製品」が実用化されるようになった。

以上のことから、本書は、プレキャスト水路式魚道ブロックの機能が十分に発揮されるよう、現時点での情報を取り纏めて標準化をはかったものであり、合理的な設計・施工に資することを目的とした。

1. 2 適用の範囲

本書は、北陸地方で施工されるプレキャストコンクリートブロックを活用した「水路式魚道ブロック工法」に適用する。

北陸地方には急流河川で、しかも豪雪地帯のため雪解け出水量が多いなど、特有の条件下にある河川が多い。その一方で河川に設置される河川横断施設（砂防ダム、床固工等、既設を含む）には、魚道の設置が不可欠となる。河川横断施設の付帯構造物である魚道には様々な種類があるが、本書は、プレキャストコンクリートブロックを活用した水路式魚道ブロック工法について、その計画・設計・施工の手順を示したものである。

1. 3 用語の意味

本書で使用する主な用語は、次のように定義する。

- (1) 全断面魚道、部分魚道——全断面魚道とは河川横断面のほぼ全面にわたってつくる魚道であり、部分魚道とは河川横断面の一部を使って設置する魚道で、水路式魚道に代表される。
- (2) 水路式魚道——河川横断面の一部に構築する魚道であり、魚類の遡上・降下に配慮して各種工夫がなされている。型式はストリームタイプとプールタイプに大別される。
- (3) ストリームタイプ——水路式魚道の底面に粗石等を用いて水流を弱めたり、底面並びに側面に凹凸をつけて水流を弱めたりする構造の魚道をいう。
- (4) プールタイプ——水路式魚道に隔壁を設けてミニプールを設け、魚類の遡上・降下を助ける構造にした魚道をいう。
- (5) 水産有用魚——アユ、サケ、マス、など水産業の対象となる魚類をいう。
- (6) 滞 筋——河川の流水が常時流れる水みちをいう。
- (7) スリット化——既存の砂防堰堤等に縦の間隙を設けることをいう。
- (8) 魚道入り口・魚道出口——魚類が遡上するときの魚道下流側が魚道入り口であり、上流側が魚道出口である。
- (9) セイシュ——越流流れにより生じた水面動揺が、魚道側壁に衝突すると発生する横方向の波動。
- (10) 迷 入——本来の移動経路をそれて取水口等へ迷って入り込むこと。
- (11) 体長、体高、体高比——体長は、魚体の先端から尾びれを除いた長さ（BL：Body Length）をさす。体高はひれを除いた魚体の高さをさす。体高比は体長と体高の比率をさす。
- (12) 方錐形——アユやウグイなどの遊泳中の水の抵抗が少ない魚類の形体をさす。
- (13) 遊泳力——泳ぐ力をさす。一般的に、遊泳力の高い生物は泳ぐ速度も早く、遊泳能力の低い生物は、泳ぐ速度も遅い。
- (14) 突進速度・巡航速度——魚の泳ぐ速度で、突進速度は魚が瞬間に出すことのできる最大の遊泳速度をさす。巡航速度は、持続して遊泳することが可能な速度をさす。
- (15) 余水吐き——必要以上の流量が流入しないよう余水する施設。
- (16) 横越流——越流前の流水の方向が下流水路と直角になるように流入する形式。
- (17) 角落とし——河川の流量変動に合わせて角材によって流量調整する簡易法に用いる。

(1) 全断面魚道、部分魚道

河川横断面のほぼ全面にわたってつくる「全断面魚道」、河川横断面の一部を使って設置する「部分魚道」には、それぞれ特徴と相異がある。

前者の「全断面魚道」は、流量や河状変動への対応が可能となる理想的な構造であるが、施設規模が大きく工費がかかる。それに対し、「水路式魚道」で代表される「部分魚道」の場合は、施設規模が小さく工費を低く抑えることができる。ただし、転石や流木等の流入による機能低下、滞筋の変化への対応に問題がある。しかし、長年の調査研究で、それらへの対応技術が進んでおり、近年においては「水路式魚道」が主流となっている。

(2) 水路式魚道

河川横断面の一部に構築する魚道であるが、転石や流木等の流入による機能低下を避けるため、堰堤袖部の下流側に設置する例が多いが、水通し部に設置する場合もある。いずれも滞筋誘導の工夫が伴う。

(3) ストリームタイプ

水路式魚道的一种であるが、魚道の底面に粗石等を用いて水流を弱める構造の「粗石付斜路式」や「粗石付斜曲面式」、底面並びに側面に凹凸をつけて水流を弱める構造の「デニール式」をはじめ各種タイプが考

案されている。

上下流の高低差によっては、魚道延長が長くなるため途中で魚類が休息できるようにプールを設ける必要がある。

- (注) 1. 粗石付斜路式——水路底面に粗石を埋め込んだスロープ構造
2. 粗石付斜曲面式——粗石付斜路式魚道の縦横断方向に勾配を設けた構造
3. デニール式——水路底面に粗流板を埋め込んだスロープ構造

(4) プールタイプ

水路式魚道的一种で、水路内に隔壁を設けてミニプールを階段状に連続させ、魚類の遡上・降下を助ける構造にした魚道をいう。

「全越流式」、「アイスハーバー式」、「バーチカルスロット式」をはじめ、魚類の遡上・降下に配慮して各種タイプが考案されている。

- (注) 1. 全越流式——越流部が全面越流となる流況を創出する構造
2. アイスハーバー式——越流部の一部は越流せず、その背面には静穏域を創出する構造
3. バーチカルスロット式——隔壁に鉛直の隙間をいれた構造

(5) 水産有用魚

水産業の対象となる魚類で、アユ、サケ、マス、イワナ、ヤマメなどが該当する。これまでは、これらの魚種を対象として魚道の整備が進められてきた。しかし、昨今の整備では、両生類、甲殻類などにも配慮した水生生物を対象とする場合が増えてきている。

(6) 滞 筋 (みおすじ)

河川の水が常時流れる水みちで、これがずれると魚道機能が停止する。したがって、魚道の位置選定（入り口・出口）の検討、位置固定のための補完施設の検討等が、重要な検討事項となる。

(7) スリット化

ワイヤーソーイング工法等を用いて既存の砂防堰堤等に縦の間隙を設けることである。そこに滞筋を誘導することによって、少量ずつ土砂を流出させ、下流の急激な河床低下を抑えつつ、砂防堰堤内の土砂堆積を遅らせることを目的とする。そこに魚道を設けることも可能である。

(8) 魚道入り口・魚道出口

魚道入り口・魚道出口は、魚類が魚道を利用して遡上するときの入り口と出口である。一般に魚道の下流側が入り口であり、上流側が出口である。河道内で魚類の移動経路に魚道の出入り口を設置するのが望ましい。

(9) セイシュ

越流流れにより生じた水面動揺が、魚道側壁に衝突すると発生する横方向の波動をさす。流量、隔壁頂部の形状、プール間落差などによって不安定な状態となり、固有周期の横波が発生する場合がある。

(10) 迷 入 (めいにゅう)

魚類が本来の移動経路をそれて堰やダム取水口、あるいは、発電所等からの放水路へ迷って入り込むことをさす。

(11) 体長、体高、体高比

体長は、魚体の先端から尾びれを除いた長さ（BL：Body Length）をさし、体高は背びれ、腹びれ、尻びれを除いた魚体の高さをさす。体高比は体長と体高の比率をさす。

(12) 方錐形 (ほうすいがた)

アユやウグイなどの遊泳中の水の抵抗が少なく、高速で遊泳するのに適しているものを指す。淡水魚類はおおまかに4つの体形に分類することができ、この方錐形の他に、側扁形（左右が扁平しているタナゴなど、石の割れ目や水草の隙間に接して敵から身を守るのに適している）、伸長形（ドジョウ・ウナギなど、穴にもぐること適している）、縦扁形（上から押し潰されたようなカジカ・ハゼなど、速い

流れに抵抗する能力が備わっている）が挙げられる。

(13) 遊泳力

泳ぐ力をさす。一般的に、遊泳力の高い生物は泳ぐ速度も早く、強い流れに逆らうことができる。一方、遊泳能力の低い生物は泳ぐ速度も遅く、連続して流れに逆らえる時間も短い。

(14) 突進速度・巡航速度

魚の泳ぐ速度で、突進速度は魚が瞬間に出すことのできる最大の遊泳速度をさす。目安として、方錐形をした魚では、魚の体長×10cm/sec程度で表すことができる。巡航速度は、持続して遊泳することが可能な速度をさす。

(15) 余水吐き

必要以上の流量が構造物に流入した場合、必要となる流量以上の流量（余水）を安全に流下させる施設。魚道内の流況は遡上効果に大きな影響を与えるため、魚道施設においては重要な付帯施設となる。

(16) 横越流

越流前の流水の方向が下流水路と直角になるように流入する形式。越流後の水流を受ける水路を横流入水路といい、同水路内で横断方向に回流し、らせん流となって流下する。

(17) 角落とし

河川の流量変動に合わせて魚道内流量を調整するために角材を積み重ねたものをさす。魚道流入部（上流部）の水位に合わせて、その積み重ねた角材の本数を調整するだけで簡易的に流量調整が可能となる。

第2章 計画

2.1 計画一般

水路式魚道ブロック工法の計画は、砂防ダム・床固工等の河川横断構造物、対象生物、土砂移動、水理・水文データ等を十分に把握すると共に、維持管理も考慮して合理的に行うものとする。

北陸地方の砂防ダム、床固工等は、北陸特有の降積雪や雪解け出水量の多い急流河川に計画・設置され、主に治水面・土砂管理面を重視してきた。

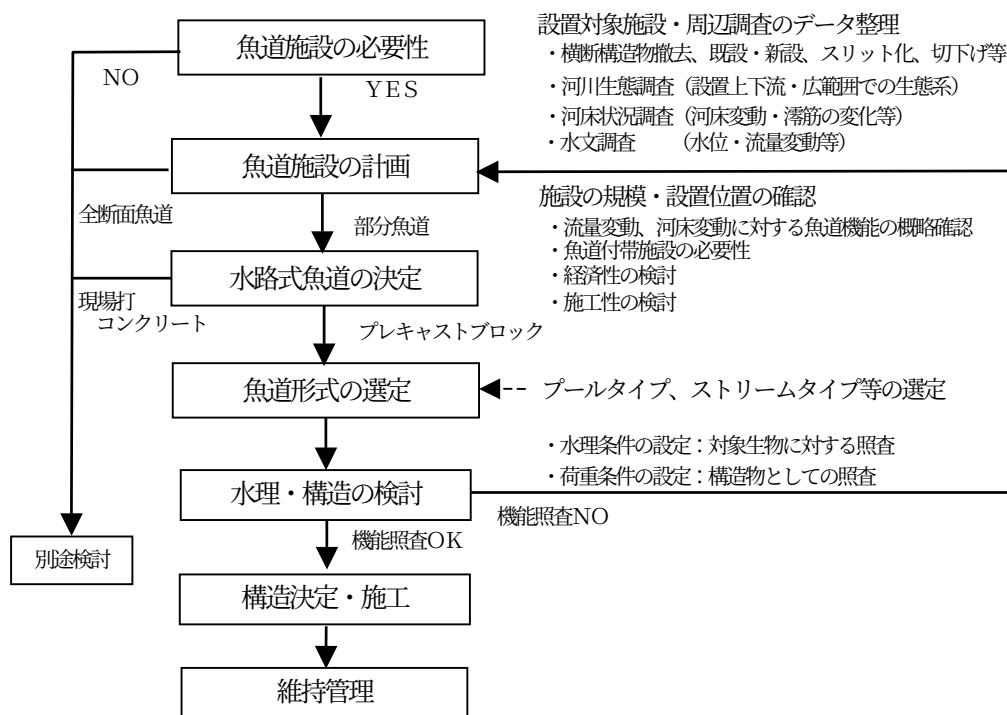
しかし、魚道の計画にあたっては、常に次のような課題がある。

- ① 積雪・雪解け出水による直接的な工事实施の可否
- ② 対象生物生息域への影響等に対する工事实施の可否
- ③ 砂防えん堤等河川横断施設のスリット化の可能性
- ④ 施設破損や土砂堆積・閉塞等を引き起こす転石・流木による機能低下のおそれ
- ⑤ 流量変動や河床変動に対する機能の確保と維持
- ⑥ 対象生物のデータ有無やデータに対する施設の予測評価
- ⑦ 工事・管理用アクセス路の用地的制約
- ⑧ 魚道施設特有の環境面（水産資源面を含む）における地元との合意形成

このようなことから、水路式魚道工法の検討フロー（図－1）の各段階で、検討項目が適切に選定されているかを確認する必要がある。プレキャストブロックを用いた「水路式魚道ブロック工法」は、課題に対する一つの解である。なお、現場打コンクリートの魚道と水路式魚道ブロック工法を比較した場合の後者の利点を以下に示す。

◇ 環境面（生態系や資源循環）での利点

工期短縮によって周辺環境への影響を軽減できる。例えば、現場打ちコンクリート使用量を減らすことで河川へのセメント成分の流出抑制や騒音・水替え作業による周辺環境への直接的影響を最小限に留めることができる。加えて、鉄筋・型枠の組立作業の省略によって発生する廃材を抑制し、資源面でのトータルの配慮が可能となる。



◇ 計画・設計の合理化やそれら業務の簡素化が期待できる。

◇ 施工面での利点
鉄筋・型枠や現場打ちコンクリートの作業工程を削減でき、工期短縮を期待できる。また、工場製作であることから現場の気象条件や工事技術等の諸事情に左右されずに品質管理が可能となる。

図－1 水路式魚道ブロック工法の選定フロー

2. 2 魚道の位置・規模

水路式魚道ブロックの設置位置・規模は、対象施設の立地条件、土砂移動、水理・水文データ等を十分に把握した上で、対象生物が利用できるよう維持管理も考慮して検討する。

魚道の規模・設置位置の選定には、以下の項目に対して総合的に検討し判断する必要がある。

- ・ 多様な生物を対象とするか否か、移動経路として成りうるか
- ・ 堰堤上・下流の滞筋や砂州等の時間的な変動
- ・ 河川横断構造物周辺の河道・地形による施工の可否
- ・ 維持管理における施設へのアクセス等

多様な生物を対象としたり、著しい流量変動や河床変動への対応をしたりする場合には、現況河川構造の再現に近い全断面魚道が理想的である。全断面魚道は、流量変動による水際域の変化や河床変動による滞筋の変化に対応することが可能（写真－１）で、土砂の流入・堆積による施設の一部閉塞、転石・流木による磨耗・破損した場合も、一部に経路が確保され、魚道機能を維持できる。しかし、砂防堰堤等では高低差が大きく、河床も急勾配のため、魚道施設の規模が大きくなり工費がかかる傾向にある。加えて、工事規模が大きくなるため、周辺環境への影響も大きくなる。

一方、部分魚道（河川横断面の一部に水路式魚道を設置する構造）では、施設規模が小さいことから工事による生物を含めた周辺環境への影響を低減できると共に、工費を抑えることが可能となる。

この水路式魚道を設置する場合、魚道出入り口が土砂堆積や河床低下によって影響を受けないように、流水の連続性を確保するための検討をはじめ、いくつかの留意点が挙げられる。

例えば、急勾配の河川では、出水時に魚道内へ転石や流木等が流入しやすく、施設の破損や機能低下等の懸念がある。また、河床移動に伴う転石・流木による施設の磨耗・破損（写真－２）や河床変動に伴う滞筋の変化により魚道の出入り口が閉塞（写真－３）する懸念もある。まず、磨耗・転石に対しては基本的に河川横断面の右・左岸、あるいは堰堤袖部の下流側に設置して回避する方法が有効である（写真－４）。土地の制約等で水通し部に設置する場合には、魚道流入口に巨石を設置して転石・流木等による施設破損を軽減する対策もある（写真－５）。その上で、滞筋を誘導する付帯構造物を設置したり、魚道入り口を見つけやすい位置に設置したりすることで魚道機能の効果を高めることが可能となる。

なお、この設置位置による回避や付帯施設による方法の詳細は巻末の資料編「資料－１ 付帯施設の例」を参照されたい。



写真－１ 全断面魚道の事例



写真－２ 転石等により破損した事例



写真－３ 滞筋変化により閉塞した事例



写真－４ 堰堤袖部に設置した事例



写真－５ 置石により転石対策した事例

2. 3 魚道の形式

魚道の形式は、各形式の特徴を十分に理解した上で、対象河川の流量や水位変動の範囲、対象生物とその移動能力、立地条件や経済性、土砂の移動等の諸条件に適したものを選定する。

魚道のタイプは、一般的にストリームタイプとプールタイプに分けられる（図－2）。

前者のストリームタイプは、デニール式や粗石付斜路式等がある。このタイプは、勾配と粗度・流速との関係から、総じて魚道延長が長くなる傾向にあり、一定区間ごとに魚類の休息が可能なプールを設ける必要がある。デニール式は基本形状に対する水理公式はあるものの設計理論が確立されておらず、もともとサケ・マスといった遊泳力のある大型魚種を対象としており、我が国の多くの河川に生息する魚種からすると不向きな形式である。また、阻流板背面に形成される渦流に魚類が迷入するといった報告もあり、遡上効果の部分では曖昧さが残る形式である。また、粗石付斜路式は、粗度抵抗の石材の水理的評価が難しく設計時の予測精度が現場に反映されずに、失敗している事例が見られる（写真－6）。

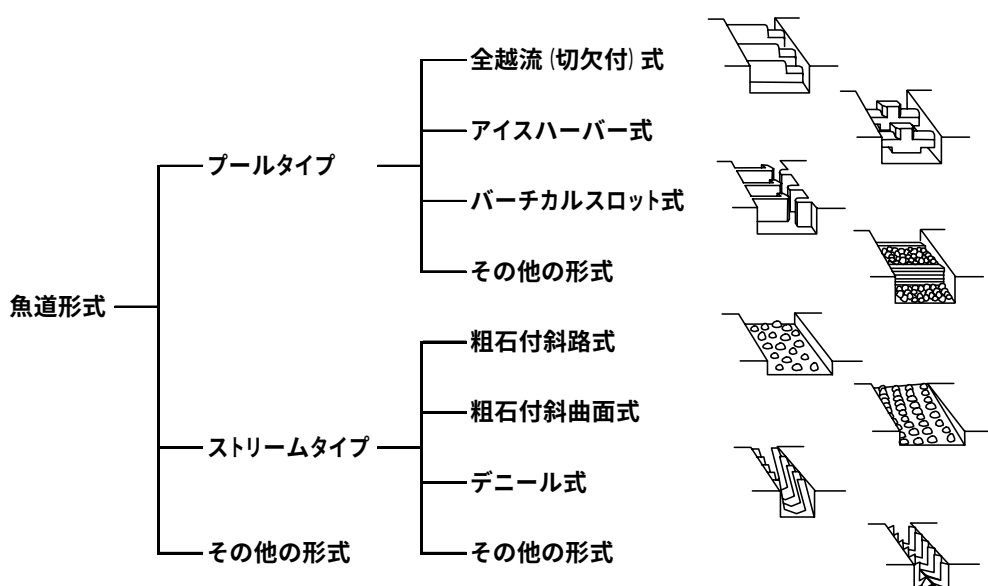
後者のプールタイプには全越流式（切欠付：写真－7）・アイスハーバー式、バーチカルスロット式等が挙げられる。立地条件、経済的条件等により異なるが、プールタイプは各段での減勢効果により、魚道延長が短くなる傾向にあることから経済的な魚道構築には有利である。バーチカルスロット式は、水位変動が激しい河川に向いている形式である。ただ、基本形状に対する水理公式があるものの設計理論が確立されておらず、スリット背面に形成される渦流に魚類が迷入し、デニール式と同様に我が国では不向きであるといった報告がある。更に、魚道内でのスリット部の水深確保のために上下流に別途、プールの設置が必要となると共に魚道内流量を必要とする形式である。全越流タイプやアイスハーバー式は水理公式による設計理論が確立され、国内では実績が最も多いタイプである。水理的なメカニズムとしては全越流式におけるセイシュ発生抑制等の懸念を軽減させたアイスハーバー式を採用することが良いと考えられる。ただ、溪畔林では土砂や



写真－6 粗石付斜曲面式の例



写真－7 全越流（切欠）タイプの例



図－2 魚道形式の分類例

流木等（枝・葉を含む）が直接、魚道内へ流入することが予想され、この枝・葉等によって幅の狭い越流部を閉塞させ、流況を悪化させるといった懸念が残る。このことから、維持管理面を考えると越流幅の広い全越流式の基本性能を採用するほうが望ましい現場条件の場合もある。

第3章 設 計

3. 1 基本構造

水路式魚道ブロック工法の構造は、設置対象となる砂防ダム・床固工等の構造物、対象生物、土砂移動、水理・水文データ等を把握すると共に、施工実績や維持管理も考慮した上で、魚道の機能が十分に発揮されるよう合理的に決定する。

水路式魚道ブロック工法の構造を、実績の多い階段式を事例に記述する。

(1) 水路部

水路式魚道ブロック工法の主構造は、魚道幅と勾配である。

魚道幅については、河道幅に対して幅員率で5～10%(文献2)、低水路幅に対して4～5%程度(文献19)といった既往文献の記事があり、堰堤水通し幅の5%程度を目安とするとよい。また、渓流域では魚道の幅員率5%程度以下では機能効果が損なわれる(文献3、4)との記事もあり、最低幅を1mとする(文献4)。(資料編参照)。

魚道勾配については、現地河床勾配と同等程度とすることが理想的であるが、もともと落差を補完する機能を有するものが魚道であり、条件的には厳しい場合が多い。遡上効果が期待できるのは1/10～1/20勾配(文献13、19)、砂防における実績は1/15より急勾配の実績が大半を占める(文献2)。ただし、1/10を標準とする文献(文献20)等から1/10を目安とするとよい。

しかし、昨今の研究では魚道内水理と生物の特性から1/3や1/5でも遡上率の高い実験結果も得られており(文献11)、水位変動や土砂移動等の現場条件を考慮しても効果が期待できる場合はこの限りではない。

(2) 隔壁部

隔壁部の構造は、隔壁間落差・距離(プール延長)、形状(タイプ)が主体となる。

隔壁間落差については、0.15～0.25mが適切(文献13)とする記事、0.10～0.20mが適切(文献12)とする記事、あるいは多様な魚種に配慮するには0.10m程度(文献14)とする記事や、0.20mの構造で遡上効果が期待できた(文献14)とする記事があることから、0.20mを基本とする。

従って、魚道勾配1/10と隔壁間落差0.20mから、各隔壁間距離は2.0mとする。また、隔壁形状は越流水脈が剥離しないようR型形状(文献6、13)とする。

3. 2 水理検討

水路式魚道ブロックの水理検討は、対象生物の特性や施工実績等を踏まえた上で、土砂の移動、水文データ等の条件に対して魚道機能が発揮できるように行うものとする。

検討項目は、下記5項目とし、必要に応じて現場状況に応じた条件を追加する。

項目1：対象魚種の選定

項目2： // の移動時期

項目3： // の遊泳能力

項目4：対象施設の流量に対する魚道タイプの選定と魚道内流量（流速・水深）

項目5：現場状況に応じた付帯施設等

水理検討は、基本的に検討フローに基づき実施する（図－3）。

魚道設置対象地点の流域に生息する魚類等の中から、代表的な魚種を選定して設計対象とし、その魚種の遊泳能力についてデータ収集を行い整理する（項目1、3）。

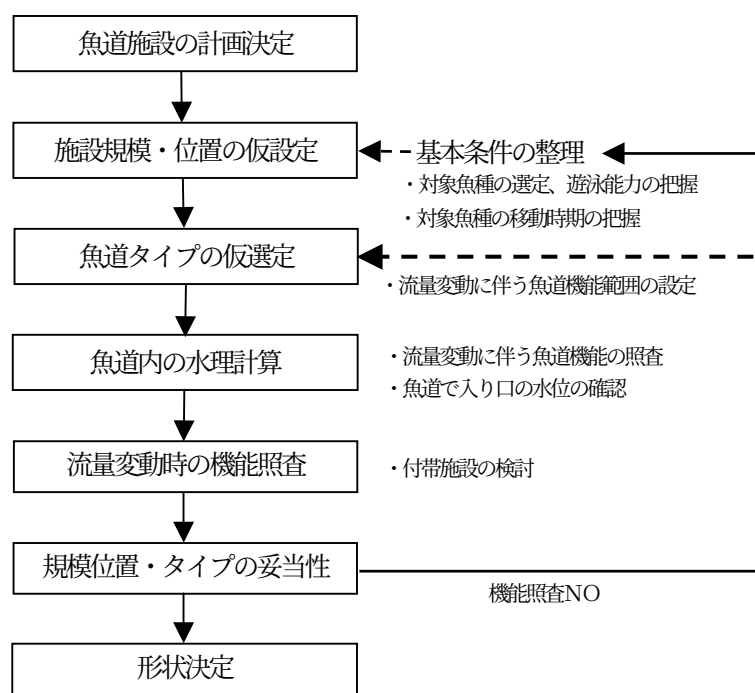
対象魚種が移動（遡上）の際や出水時に流下して上流へ戻る際に、魚道を利用する日数や個体数といった頻度により移動時期を想定する（項目2）。

想定した移動時期の流量（水位）変動に対して対象魚種が移動可能となり、機能が維持できるよう魚道タイプの選定を行う。タイプの選定と同時に魚道内流量（流速・水深等）を照査する（項目4）。

想定した移動時期の流量（水位）変動に対して魚道内流量がほぼ等しく、魚道の出入り口に滞りを誘導

できれば迷入することなく魚道が移動経路となる。しかし、魚道内流量に対して想定した河川流量が多い場合には魚道の出入り口を見つけられずに魚類が迷入する懸念がある。その場合には魚類の迷入防止対策となる付帯施設を検討する必要がある（項目5）。

その他、出水時に魚道内へ土砂・流木の流入によって磨耗や破損の恐れのある現場、あるいは、堤外水路等の取水口等のある現場では、別途付帯施設等による対策を検討する。なお、具体的な計算例を資料編に例示したので参照されたい。



図－3 水路式魚道ブロックの水理検討フロー

3. 3 構造検討

水路式魚道ブロックの構造は、土砂の移動、水文データ、荷重条件、埋戻し材や支持地盤等の土質条件等に対して、荷重の組合せのモデル化して検討を行う

検討項目は、下記7項目とし、必要に応じて現場状況に応じた条件を追加する。

項目1：水路への外荷重(土圧・残留水圧・浮力・輪荷重・積雪荷重等)

項目2：水路への内荷重(内水圧)

項目3：隔壁への荷重(水圧)

項目4：コンクリートの許容応力度（設計基準強度： $30\text{N}/\text{mm}^2$ ）

項目5：鉄筋の許容応力度（許容引張り応力度 $160\text{N}/\text{mm}^2$ ）

項目6：支持地盤の許容支持力度

項目7：その他、必要に応じて滑動に対する安定照査、転石・流木に対する構造照査等

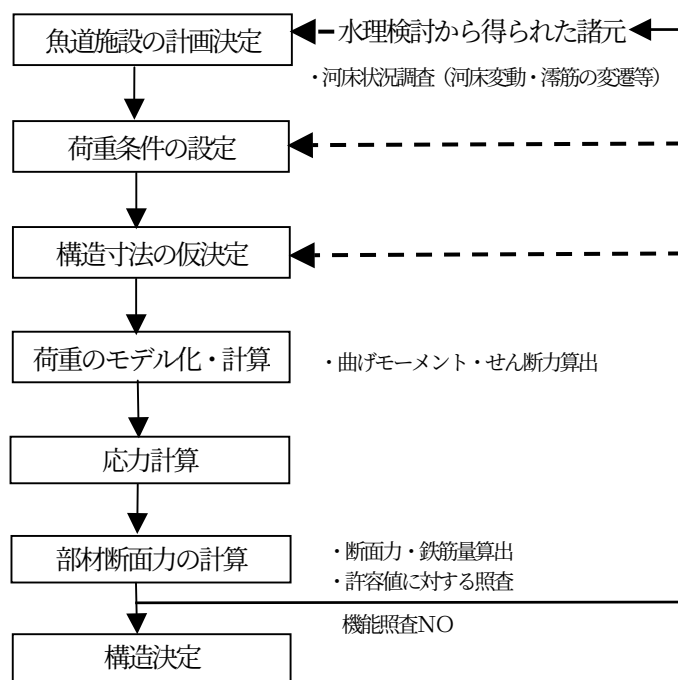
構造検討は、基本的に構造検討フローに基づき計算を実施する（図－4）。

魚道設置の対象地点において、荷重条件を整理・抽出して応力度の計算を行い（項目1～3、6）、断面応力度の照査を行う。その照査にあたっては、基本的にコンクリートの設計基準強度： $30\text{N}/\text{mm}^2$ 、鉄筋の許容引張り応力度： $160\text{N}/\text{mm}^2$ として計算を行うものとする（項目4、5）。

その他、必要に応じて、魚道機能が維持するよう施設の照査を行う（項目7）。ただし、出水時に魚道内へ土砂・流木の流入によって磨耗や破損の恐れのある現場等では、設置位置による回避や付帯施設等による軽減対策を検討することが望ましい。

また、検討にあたっては既往の実績を加味した検討書や基準類を参考に、総合的に検討を行う。

なお、具体的な計算例を「資料－6 構造検討例」に示したので参照されたい。



図－4 水路式魚道ブロックの構造検討フロー

3. 4 製品規格

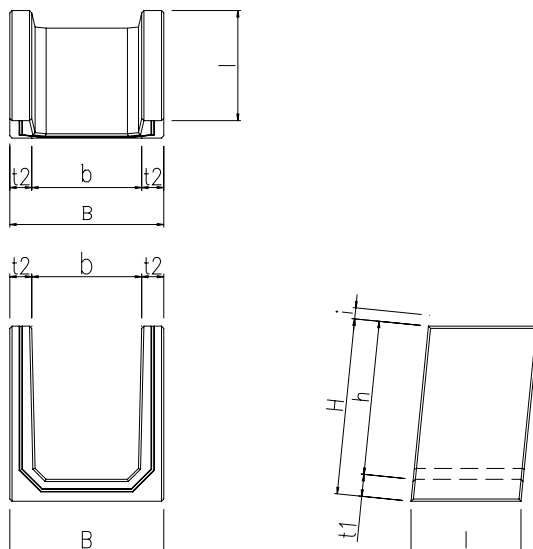
水路式魚道ブロックの製品規格は、魚道の機能が十分に発揮される構造諸元を持ち、かつ現地で組立て易い構造でなければならない。

水路式魚道ブロックの製品規格は、これまでの既往文献や施工実績を参考に、魚道機能が十分に発揮される構造諸元であるとともに、現地で組立て易いように適度に分割したものが望ましい。

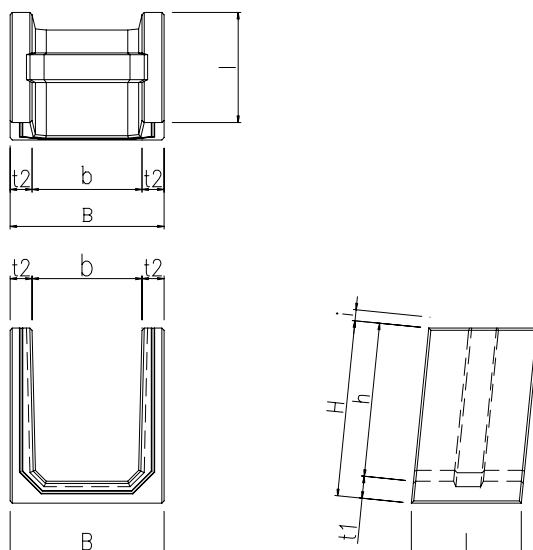
水路式魚道ブロック工法の標準的な構造を水路部と隔壁部に分け、魚道幅 1.0m のタイプと 2.0m のタイプの規格例を以下に示す。

【水路部】

標準部用



隔壁部用



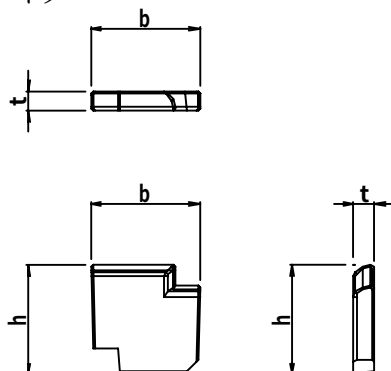
寸法表 (水路部)

呼び名	寸法 (mm)							
	b	B	h	H	l	t 1	t 2	i
1000 型	1000	1400	1400	1600	1001	200	200	100
2000 型	2000	2400	1400	1600	1001	200	200	100

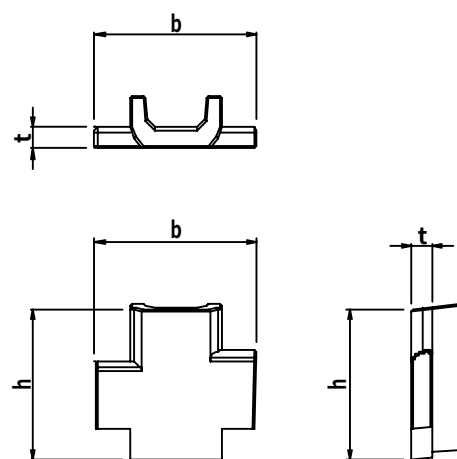
※上記規格寸法以外の形状や下記壁部規格外のバーチカルスロットタイプ等への対応も可能

【隔壁部】

全越流（切欠付）タイプ



アイスハーバータイプ



※流量変動に対応するため、越流部の高さを変えている。

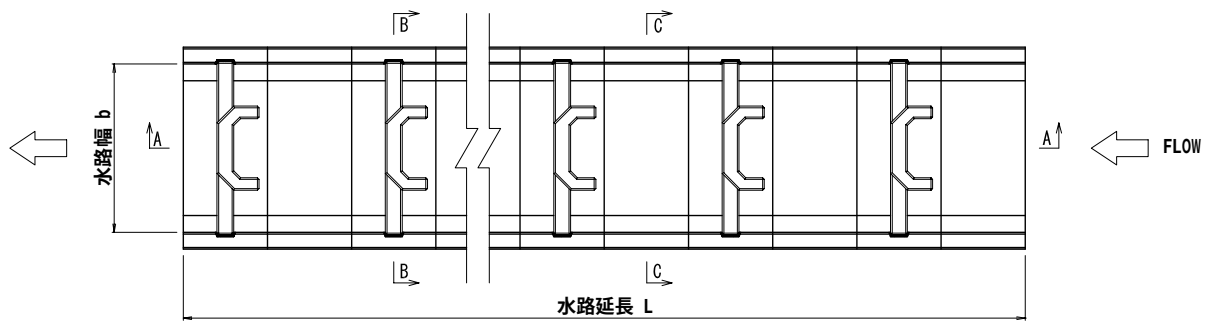
概略寸法表（水路部）

呼び名		寸法 (mm)		
		b	h	t
全越流タイプ	1000 型	1077	1050	200
	2000 型	2077	1050	200
アイスハーバータイプ	1000 型	1074	1450	200
	2000 型	2074	1450	200

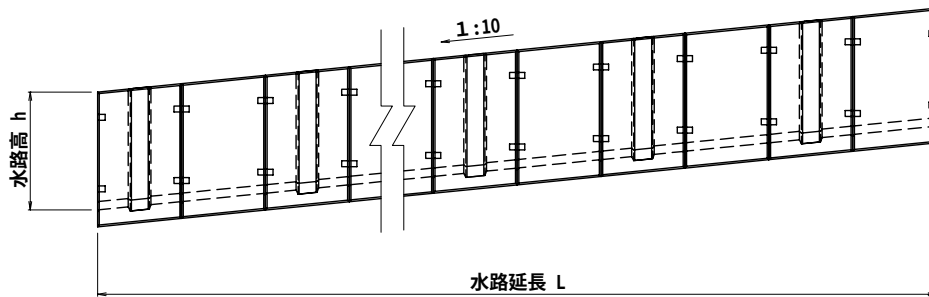
※上記規格寸法以外の形状や規格外のバーチカルスロットタイプ等も対応可能

【組立標準図】

平面図

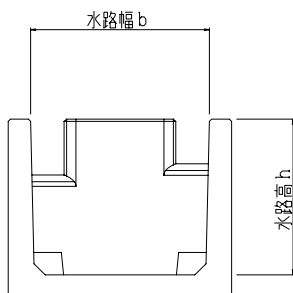


縦断図(A-A)

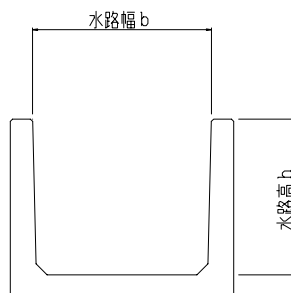


断面図

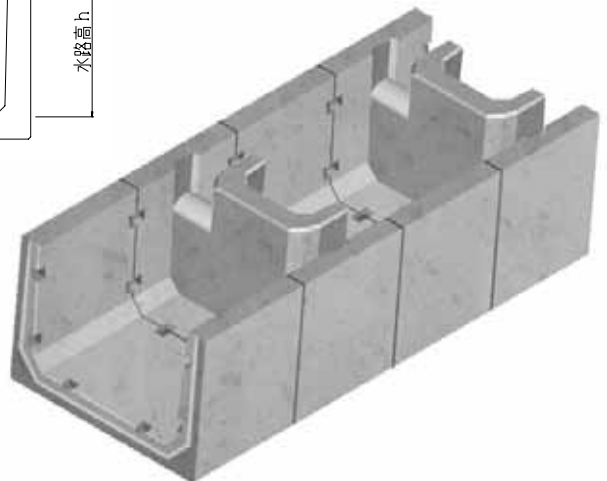
(B-B)



(C-C)

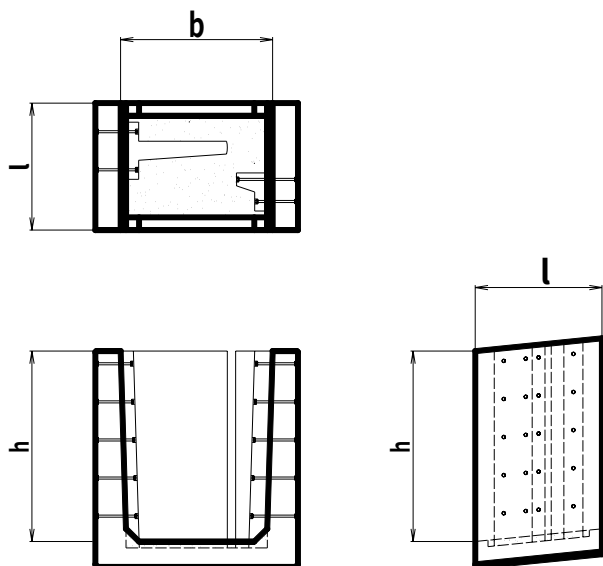


イメージ組み立て斜視図

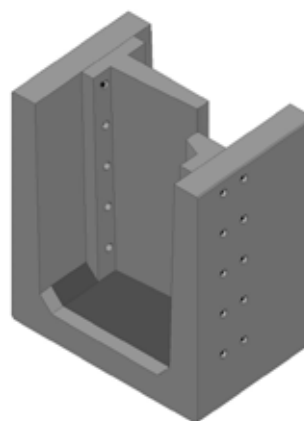


【その他製品規格例】

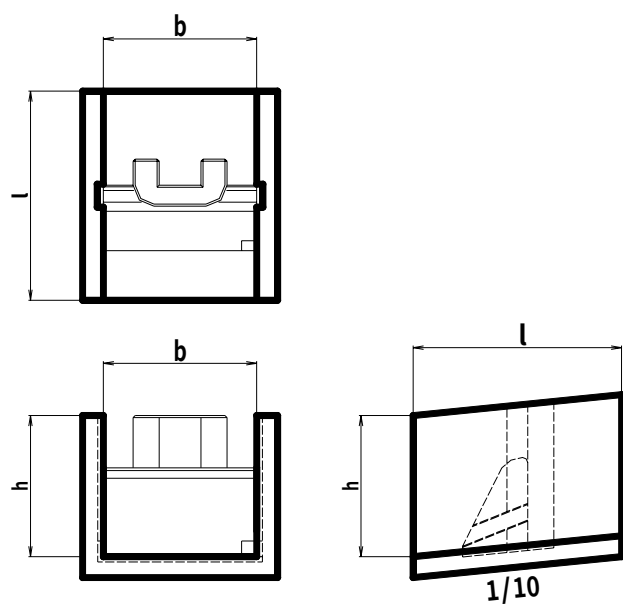
バーチカルスロットタイプ



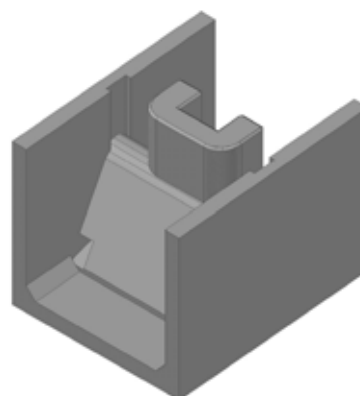
イメージ斜視図



アイスハーバータイプ

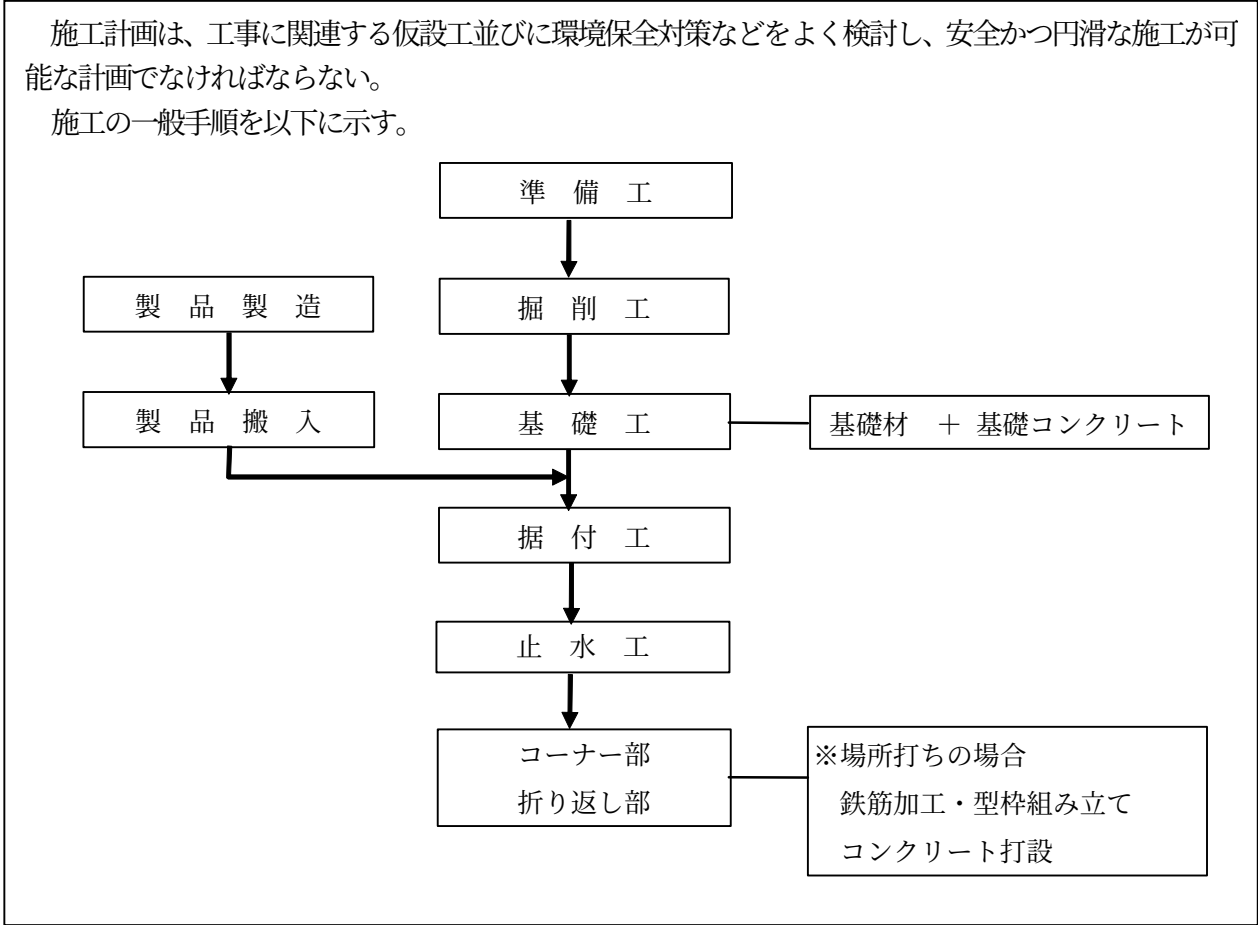


イメージ斜視図



第4章 施 工

4. 1 施工計画



上図は、施工の一般手順を示したものである。

仮設道路および、クレーンの設置位置も、全体工程の一部として施工計画を立てる必要がある。また、既設構造物がある場合は、位置・規模・構造・老朽度などを十分調査し、保全について関係機関と協議の上、対策を確認する必要がある。

4. 2 基礎工

基礎工は、次の事項に留意して行う。

- (1) 基礎工の施工は、設計条件、地盤強度並びに施工条件を勘案して実施する。
- (2) 施工時には現場条件を的確に把握し、設計条件と異なる状況が発生した場合には速やかに調査し、適切な対策を講じなければならない。

基礎工は、一般的に基礎材、基礎コンクリート、均しモルタルの3層で施工するが、均しモルタルは高さ調整用である。

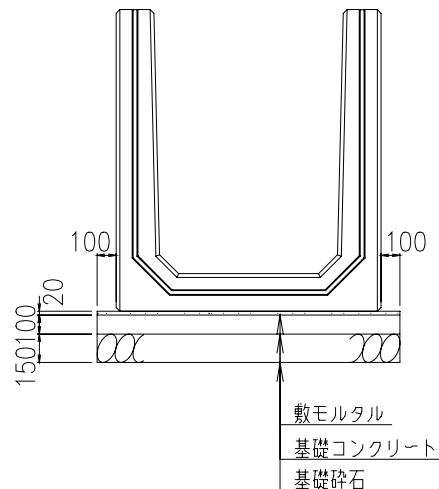
基礎材は碎石類を標準的に使用するが、栗石、再生材、砂利等いずれも利用可能である。敷き均した後に十分に転圧しなければならない。ただし、基礎地盤の土質が基礎材質に相当すると見られる場合は、基礎材を省略することができる。

基礎コンクリートの規格は、次表を標準とする。十分養生する。

呼び強度	スランプ	粗骨材の最大寸法	水セメント比	セメントの種類
18	8cm	25又は40mm	60%以下	高炉セメント(B種)

なお、支持地盤が岩盤の場合は岩盤を必要に応じて切り込み、清掃のうえ、基礎コンクリートを直接施工し、敷モルタルを敷いたうえで魚道ブロックを据え付ける。

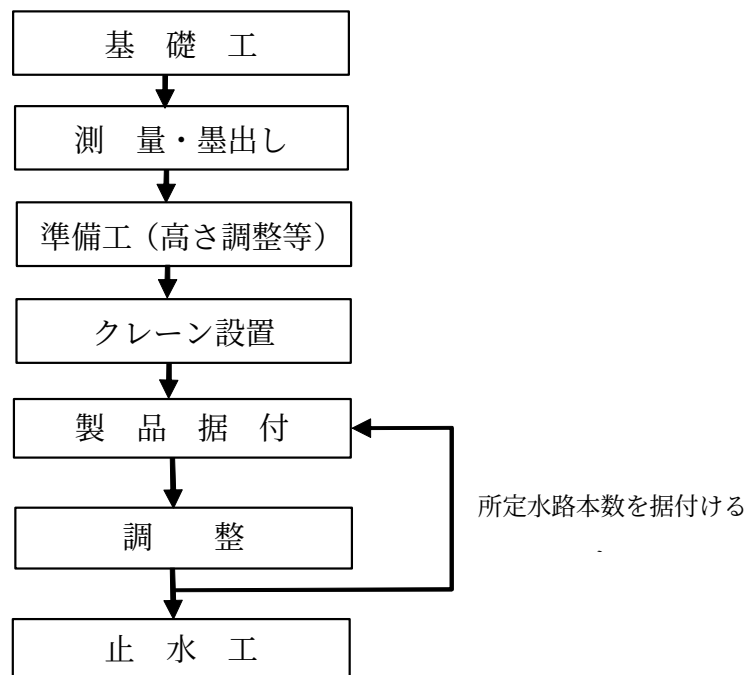
基礎形状の例を下図に示す。



4. 3 据付工

プレキャスト魚道ブロックの据付は、クレーン車による据付工法を標準とする。ただし、クレーン車の搬入が困難な場合は、現場状況および構造特性を十分考慮した工法を選定する。

据付の一般手順を以下に示す。



プレキャスト魚道ブロックの据付工法は安全かつ確実な工法でなければならない。一般にはクレーン車による据付工法を採用する例が多い。従って、クレーン車の設置位置並びに設置地盤の安定性が重要である。

実際の施工に当たっては、最初の1部材を正確に設置し、それを基準に順番に据え付ける方法が効率的である。

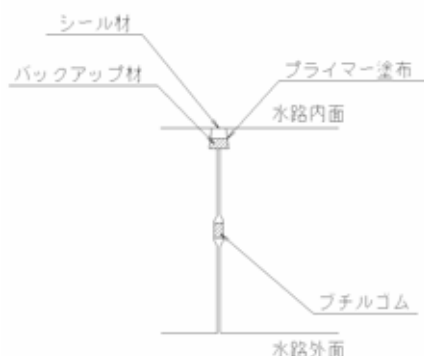
4. 4 止水工

プレキャスト魚道ブロックの目地は、止水目地とする。

魚道内の流量・流速は魚類の遡上に影響があるため、魚道途中で漏水や流入があると基礎工下の空洞化等の悪影響を及ぼすことになる。

従って、プレキャスト魚道ブロックの目地は、ブチルゴム、樹脂系シーリング（コーキング）、防水シート巻立てなどにより完全な止水目地とする必要がある。

止水工の例



4. 5 コーナー部・折返し部

コーナー部・折返し部は、各現場の条件に応じて「場所打ち」または「プレキャスト製品」により施工する。なお、各施工にあたっては連結・接合部の止水施工に留意する。

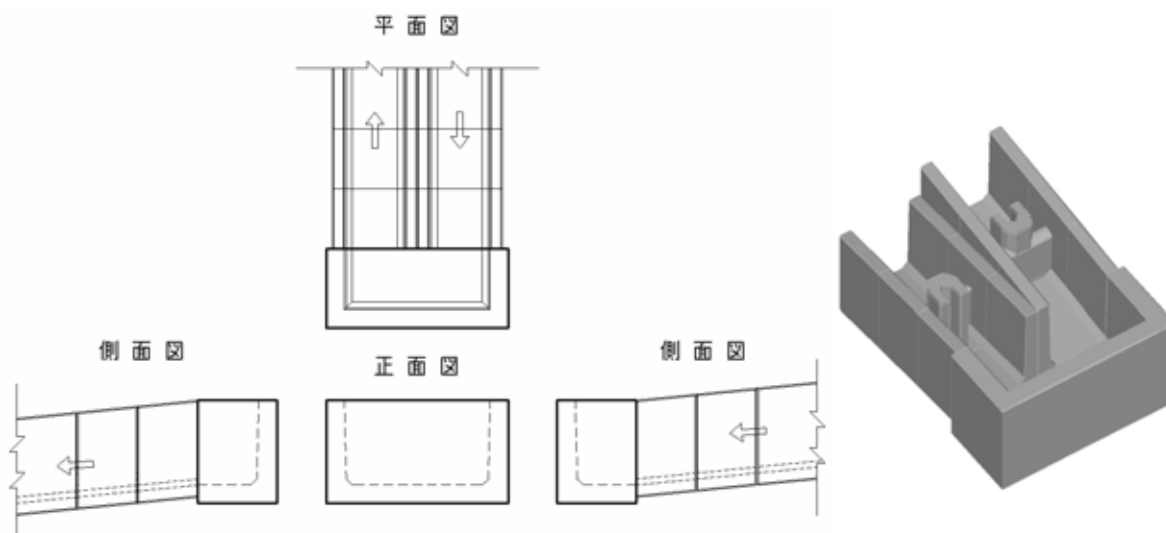
- ① 場所打ち施工の場合は、関係指針類に従い良質なコンクリートとなるよう施工する。
- ② プレキャスト製品の場合、4. 3および4. 4に準じ施工する。

コーナー部・折返し部の施工には、「場所打ち施工」による場合と「プレキャスト製品施工」による場合があるが、それぞれの特性に留意して適正に施工する。

【場所打ちの場合】

「場所打ち施工」は現場の状況に合せた形状が可能であり、一般部と異なる構造となるコーナー部・折返し部の施工に適している。施工の順序としては、一般部プレキャスト部材の据付完了後に、コーナー部・折返し部の施工を行う。施工にあたっては、場所打ち・プレキャスト間の連結部が打継目となるので、止水目地として慎重に施工する。

コーナー部配置例（場所打ち）

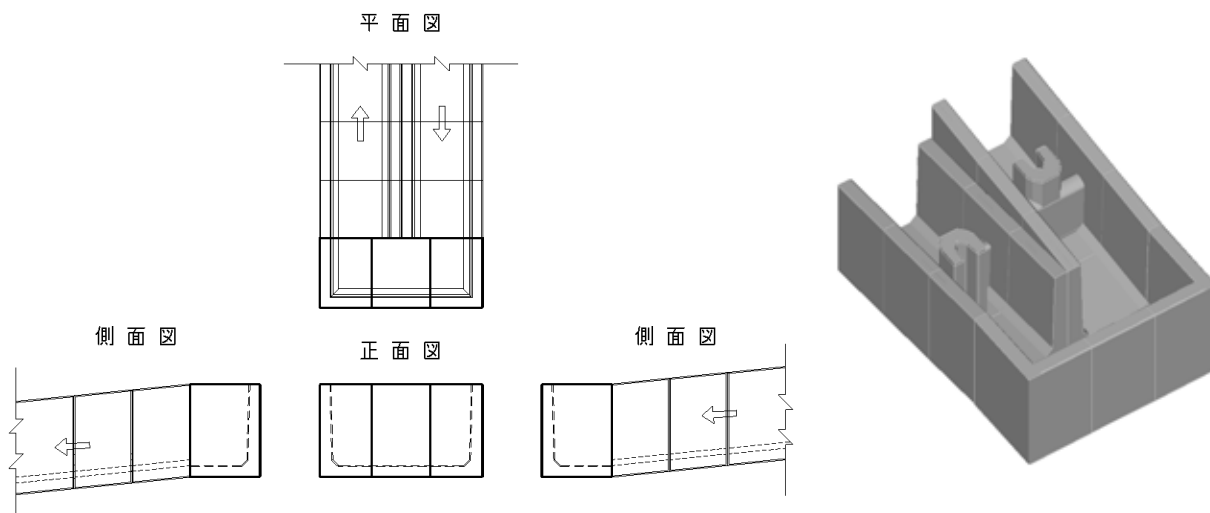


【プレキャスト製品の場合】

「プレキャスト製品施工」は、現場での短期間施工には有効であり、コーナー部・折り返し部についても原価条件によっては活用が可能である。

ただし、直線部の施工誤差がコーナー部に集中しないように留意する必要がある。

コーナー部配置例（プレキャスト製品）



4. 6 施工上の一般事項

施工時に注意すべき一般事項は以下のとおりである。

- (1) 埋戻施工に際しての製品保護
- (2) 背面処理
- (3) 環境汚染

(1) 埋戻施工に際しての製品保護

埋戻施工にあたっては、製品が破損しないよう以下の事項に注意する必要がある。

- ◇ 大きな石や土塊の使用による衝撃。
- ◇ 埋戻し土砂を重機で高いところから落としたり押さえつけたりすること。
- ◇ ランマ等で締め固める際、コンクリート製品に直接触れること。

(2) 背面処理

ブロック背面の含水量が増大すると、土圧の増大や水圧の作用によって構造・安定への悪影響が懸念される。必要であれば排水の対策をする。

(3) 環境汚染

魚道の設置箇所は山間部に多い。そのため周囲の自然環境を汚染しないための注意が必要である。特に施工時における油類・セメントミルクの流出を起こしてはならない。

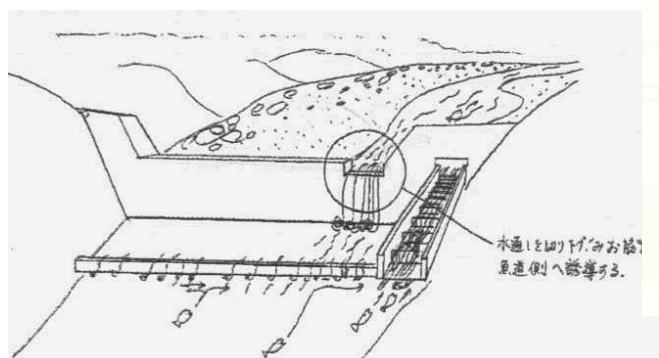
～ 資 料 編 ～

資料 - 1 付帯施設の例

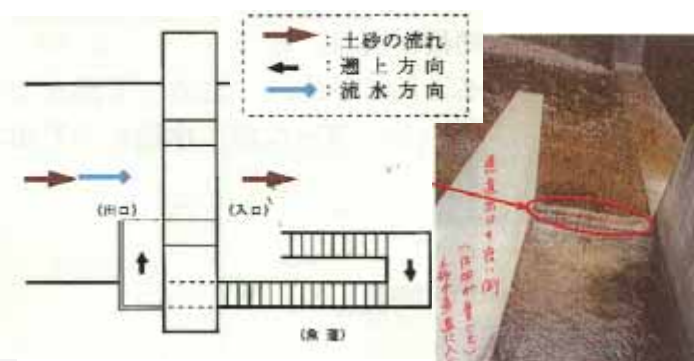
① 土石流対策や滞筋の固定・誘導対策について

治山ダムや砂防ダムに設置する魚道は、転石や流木等によって施設の磨耗・破損の懸念がある。また、河床変動が著しく、滞筋の固定・水深を確保（魚の移動経路）することが難しい。

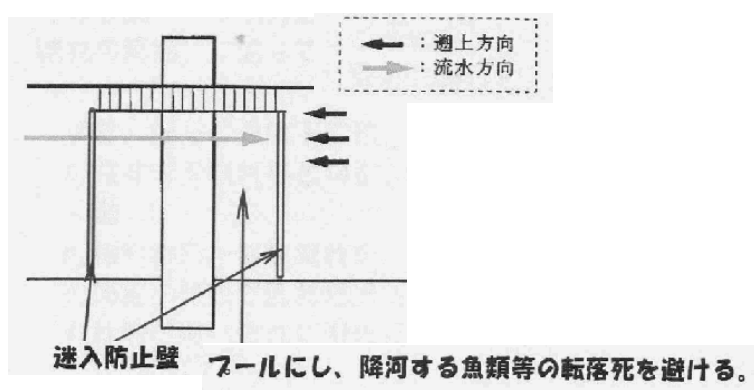
前者の転石や流木等が魚道内に直接流入してくる懸念のある現場では、基本的に袖部に開口部を設けて魚道を設置することが望ましい（図－A）。これは出水時における転石や流木が流下する堰堤水通し部への設置を避けることで、魚道施設への直接的な衝撃等による磨耗・破損を軽減することができる。ただし、通常の流水を魚道出口に誘導することは難しく、次第に閉塞していく懸念があるため、魚道設置側の本堤水通しの一部を切下げることで、滞筋を魚道へ誘導することが可能となる（図－A）。しかし、これだけでは、出水時の魚道への土砂流入を回避することができない。この対策として、魚道水路側壁部に角落とし等の横越流壁（図－B）や土砂吐等の構造物を付帯させて維持管理を軽減させる工夫が必要である（写真－A）。更に、滞筋が急激に変化（土石流や中・大規模出水）しないように、魚道出入口に付帯構造物、例えば、水制工や誘導壁（図－C）を設けたり、下流護床工ブロック等の設置を工夫したりすることで、魚道の機能効果を高めることが可能となる。



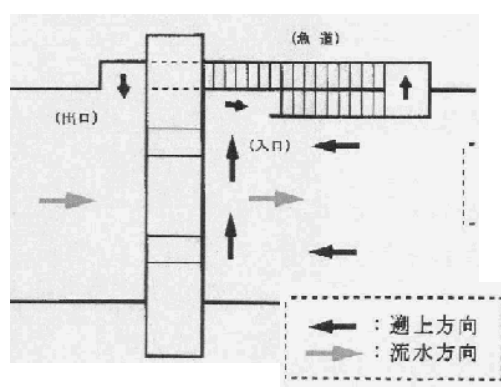
図－A 堰堤の水通し部の一部切欠き滞筋を誘導



図－B 魚道出口の土砂流入低減用の越流壁設置



図－C 付帯施設の例：魚道の出入口への誘導壁・折返しによる設置



※上図A～Cは文献9より出展

② 流量変動に対する魚道の機能範囲の設定について

魚道機能を期待するには、想定した対象魚類等の移動（遡上・降下等）期間内の過去の日流量データ（時系列）を利用して検討することが理想的である（データがない場合には近傍の観測地点の流量を参考に検討する）。その時系列データに対して、例えば、連続して遡上できずにその河川横断施設に留まり生育に影響すると思われる連続日数があれば条件として加味したり、単に年間365日の豊水・平水・低水・渇水の定義に準じて、移動時期の流量（水位）データに対して発生頻度の値を求めて機能範囲を設定したりする方法もある。何れのデータ整理手法も過去に遡ったデータを用いて条件設定して評価したものであるが、昨今の日本における異常気象を考えると魚道機能をどの程度まで厳密に予測評価しているかは懸念が残る。このことから、現地で簡易的で安価に機能範囲を広げてられるような順応的管理の手法を用いることも必要である。例えば、角落とし構造によって現地調整が可能な流量調整用横越流吐き構造や、土砂吐きを兼ねた呼び水水路等の付帯施設の検討を併用する方法が挙げられる（写真－A）。



写真－A 流量変動への対応例

③ 鳥類等の捕食圧軽減対策について

鳥類に対する鳥類等の捕食圧に対しては、魚道の側壁形状を鋭角にして飛来できないよう工夫を施している現場も見られるが、鳥類の適応能力によって飛来するものも見受けられる（写真－B）。このことから、強制的にグレーチング等のよる蓋をすることで、捕食圧の低減に加え、出水時の流木・転石等による施設破損対策を兼ねた対策を講じた例もある（写真－C）。ただ、魚類や鳥類等を含めた生態系のバランスを考えて総合的に対策を講ずる必要がある。

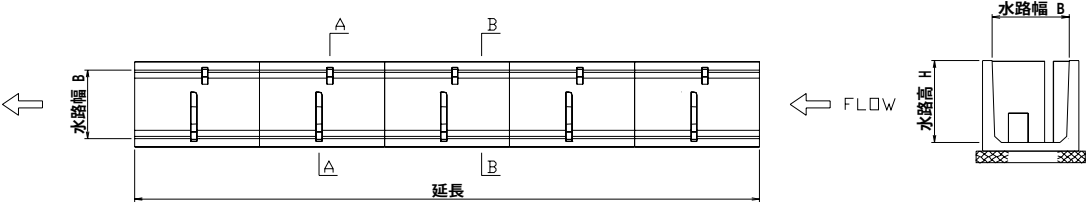
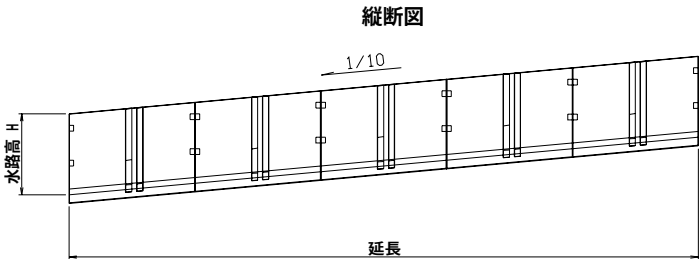
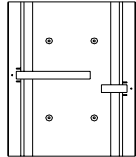
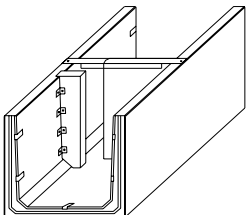
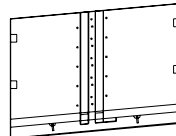
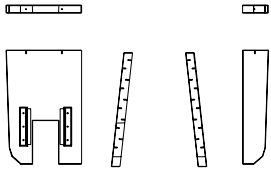


写真－B 捕食圧の低減対策例



写真－C 捕食圧低減と流木対策の例

資料 - 2 プレキャスト魚道ブロックの事例集

名 称		水路式魚道ブロック工法	製品名	魚道ブロック
特 徴	特 徴	バーチカルスロット式の魚道をプレキャスト化したもので、片側スロットに対応しています。 水路幅は条件に合わせた設計が可能です。 その形状の複雑さから現場での型枠組立、配筋、コンクリート打設、型枠脱型という困難な作業を、 ブロックのセット及び止水ゴム貼付け、ボルト締めのみと容易にします。 土砂排出等のメンテナンスを考慮して、隔壁にスルースバルブを設置して土砂吐口を設けています。		
	NETIS	—		
製品図		敷設参考図 平面図  縦断面図  製品形状参考図 水路部  隔壁部    		



名 称		水路式魚道ブロック工法	製品名	遊泳
特 徴	特 徴	・アイスハーバー・全越流など様々なタイプを選択できます。 ・水路幅は1000～3000まであり、条件に合わせた設計が可能です。 ・その形状の複雑さから現場での型枠組立、配筋、コンクリート打設、型枠脱型という困難な作業を、ブロックのセット及び止水ゴム貼付け、ボルト締めのみと容易にします。 ・隔壁は、プレキャストのみが可能な魚の遡上を助ける構造を現実化しています。		
	NETIS	魚道ブロック工法として申請中（平成19年5月現在）		
製品図		敷設参考図 製品形状参考図 水路部 全越流タイプ アイスハーバータイプ		

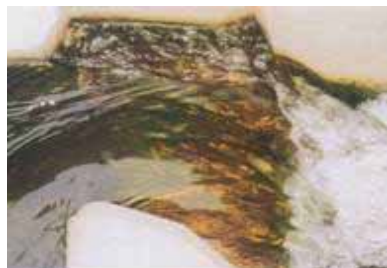
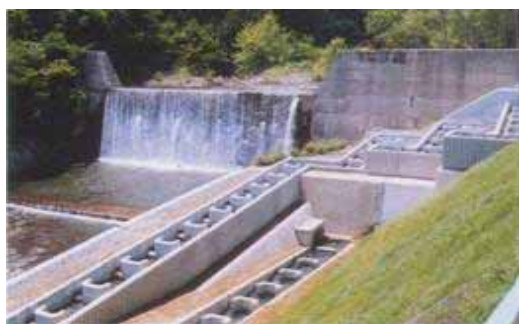
実績写真

施工現場写真

全越流タイプ



アイスハーバータイプ



名 称		水路型魚道ブロック	製品名	NOBOL-SS
特 徴	特 徴	有効水路幅は700,1000の2タイプあり、条件に合わせた設計が可能です。 その形状の複雑さから現場での型枠組立、配筋、コンクリート打設、型枠脱型という困難な作業を、 ブロックのセット及び止水ゴム貼付け、止水コーキング、アンカー鉄筋設置と容易な作業にしています。 隔壁は、プレキャストのみが可能な魚の遡上を助けるR形状をしています。		
	NETIS			
製品図		敷設参考図 平面図 断面図 (B-B) 縦断面図 (C-C) 製品形状参考図 側面図 断面図(a-a矢視) 平面図 隔壁形状図		



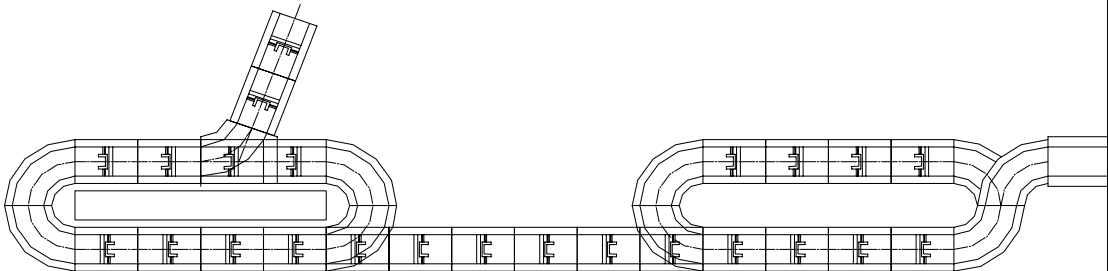
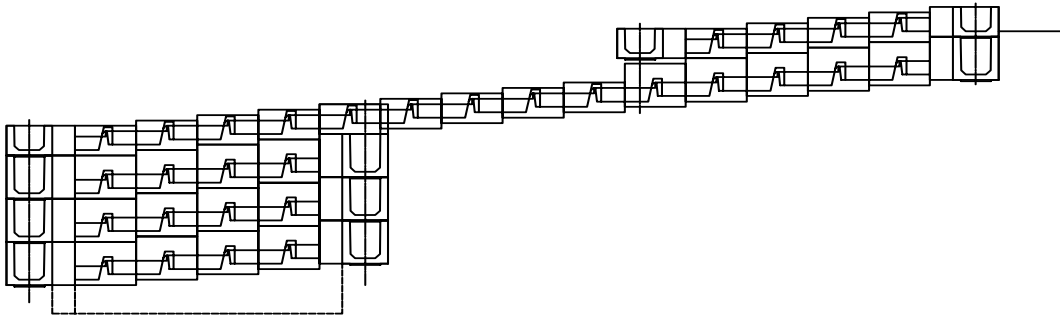
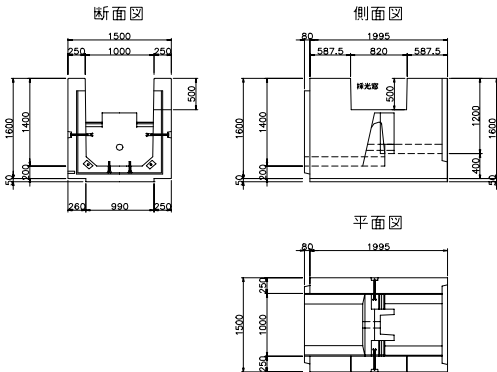
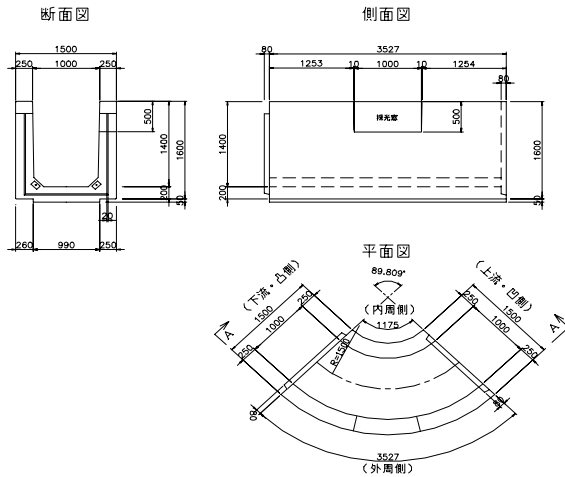
折り返し部

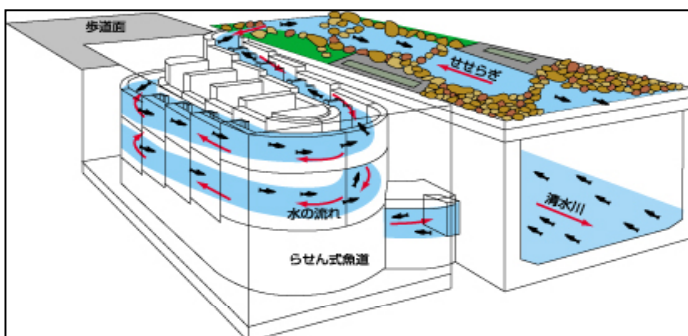


2連設置



階段状に配置した
PC桁上に設置

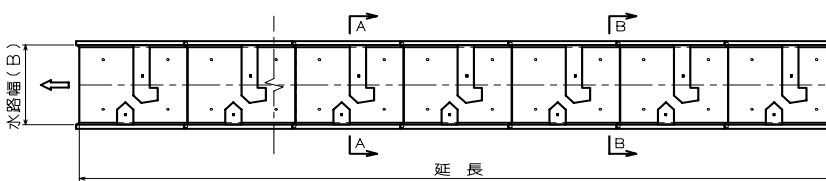
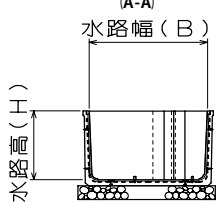
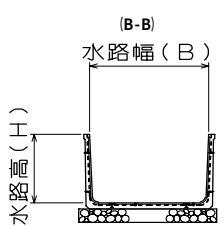
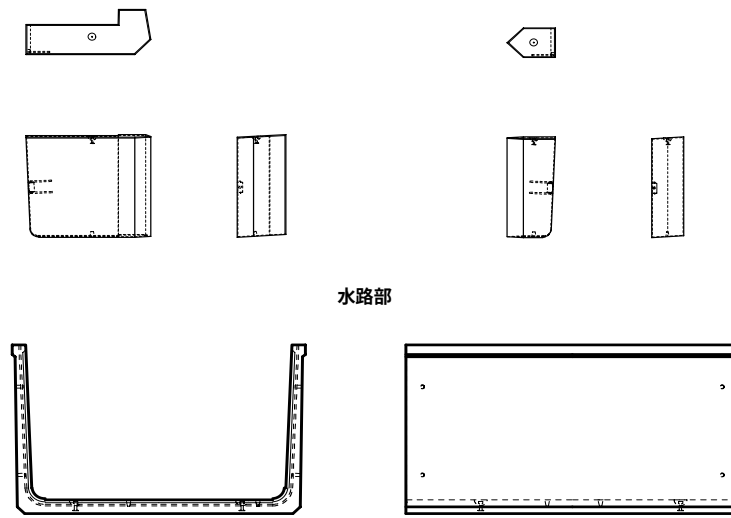
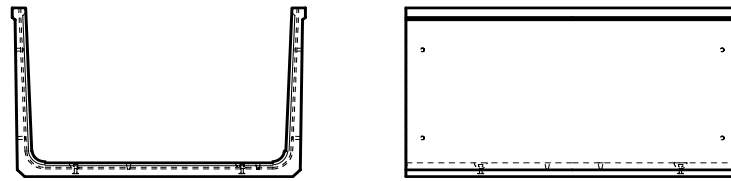
名 称		水路型魚道ブロック	製品名	トラック式スパイラル魚道
特 徴	特 徴	この魚道は、直線の遡上部と半円形の静水部で構成された陸上競技場のトラック形状にして越流部の流速を抑え安定した流況を提供できる構成となっています。従来の螺旋型魚道には下流に行くほど遠心力によって流速が増し、遡上効率の低下を招く欠点がありました。この欠点を改良したものが「トラック式スパイラル魚道」です。 ①敷地面積の有効利用・・・魚道ブロックを積重ねる工法のため、敷地面積を大幅に削減できる。 ②プレハブ化による施工の効率向上 ③半円形部と直線部の組合せ・・・半円形部の間に直線部を設けたトラック形にすることにより、遡上しやすいプール内流況に整える。		
	NETIS			
製品図		<u>敷設参考図</u> 平面図  縦断面図  <u>製品形状参考図</u> 直線部  R 部 		



名 称		水路式魚道ブロック工法	製品名	魚道ブロック(アイスハーバータイプ)
特 徴	特 徴	○ 非越流部による静穏域が休息場所となるため、多くの遊泳魚や底生魚に適応でき、急勾配化に適した魚道です。 ○ 現場打ちでは施工が難しい隔壁越流部については、水流の安定を図り魚が遡上しやすくするため曲面としています。 ○ 側壁と隔壁を一体化してあるタイプや隔壁のみのタイプがあり、現場状況に応じ選択できます。 ○ いろいろなサイズに対応可能です。詳細はお問い合わせ下さい。		
	NETIS	—		
製品図		<u>敷設参考図</u> <u>製品形状参考図</u> 水路部 隔壁部(アイスハーバータイプ)		

アイスハーバータイプ



名 称		水路式魚道ブロック工法	製品名	魚道ブロック(バーチカルスロットタイプ)
特 徴	特 徴	○ 隔壁に鉛直の隙間(バーチカルスロット)が入・れてあり、スロットでの遡上域が表層から底面・まで広い魚道です。 ○ 流れの加速を防ぐためスロットの向きを45度斜交させ、スロットが発生源の循環流が生じ遡上経路を形成します。 ○ 側壁と隔壁は一体化してありますので、施工現場では側壁を敷設すれば、魚道が完成します。 ○ いろいろなサイズに対応可能です。詳細はお問い合わせ下さい。		
	NETIS	—		
製品図		<u>敷設参考図</u> 平面図  断面図 (A-A)  断面図 (B-B)  製品形状参考図 隔壁部(バーチカルスロットタイプ)  水路部 		

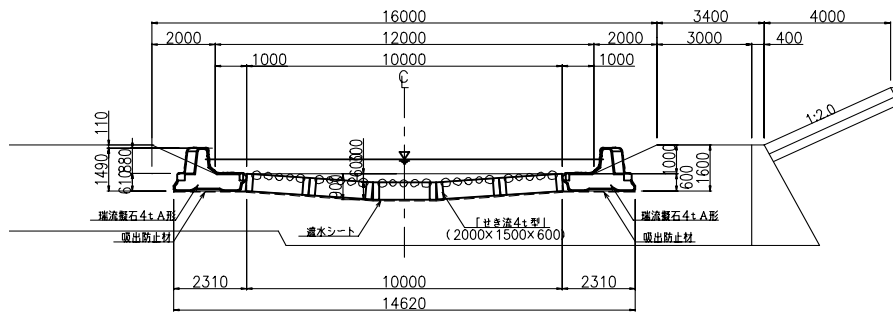
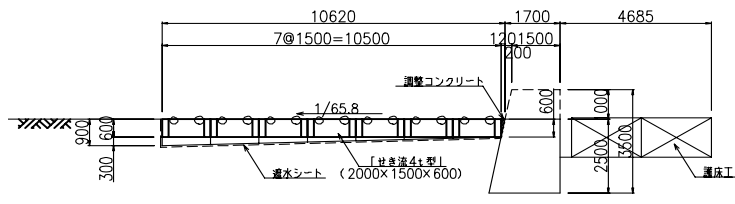
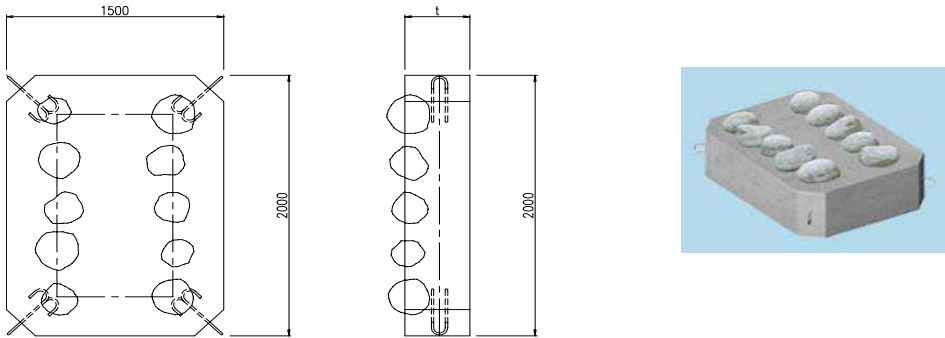
バーチカルスロットタイプ



名 称		全断面魚道ブロック工法	製品名	魚道ブロック(植え石式全面魚道タイプ)
特 徴	特 徴	○ 魚道勾配が1/5から1/15まで対応可能な、階・段型の植え石式全面魚道ブロックです。 ○ $\phi 50\text{cm}$までの自然石が植石でき、転石による・破損が防止できます。 ○ 越流部と非越流部の幅は自由に設定できます。 ○ I型は中小型遊泳魚や底生魚に適応し、II型はサケなどの大型魚にも適用します。 ○ 連続して敷設する場合は、4～5段程度毎に中間プールを設けると、より効果的です。 ○ 魚にやさしく、溪流の景観になじみ、自然環境と調和することができます。		
	NETIS	—		
製品図		敷設参考図 平 面 図 縦 断 面 図 A - A 製品形状参考図 I 型 II 型		

植え石式全面魚道タイプ



名 称		粗石付魚道ブロック工法（護床工兼）	製品名	せき流																
特 徴	特 徴	○根固め・護床ブロックの表面に粗度として石をランダムに埋込んだ魚道ブロック工法です。 ○ブロック表面の石材径・形状は自由に選定することができ、魚道勾配に合せた粗度配列とすることも可能です。 ○粗度配列によってストリームタイプ、プールタイプ等の様々な流れを創出することが出来ます。 ○横断方向に傾斜をつけることで流量変動にも対応することが可能となります。																		
	NETIS	申請中（平成19年5月現在）																		
製品図		横 断 図  縦 断 図 A-A  製品形状参考図  <table><tr><th>名 称</th><th>主要部規格寸法 (mm)</th><th>t 部寸法 (mm)</th><th>参考質量 (t)</th></tr><tr><td>せき流2t型</td><td>2000×1500×320</td><td>320</td><td>2.311</td></tr><tr><td>せき流3t型</td><td>2000×1500×450</td><td>450</td><td>3.184</td></tr><tr><td>せき流4t型</td><td>2000×1500×600</td><td>600</td><td>4.191</td></tr></table>			名 称	主要部規格寸法 (mm)	t 部寸法 (mm)	参考質量 (t)	せき流2t型	2000×1500×320	320	2.311	せき流3t型	2000×1500×450	450	3.184	せき流4t型	2000×1500×600	600	4.191
名 称	主要部規格寸法 (mm)	t 部寸法 (mm)	参考質量 (t)																	
せき流2t型	2000×1500×320	320	2.311																	
せき流3t型	2000×1500×450	450	3.184																	
せき流4t型	2000×1500×600	600	4.191																	



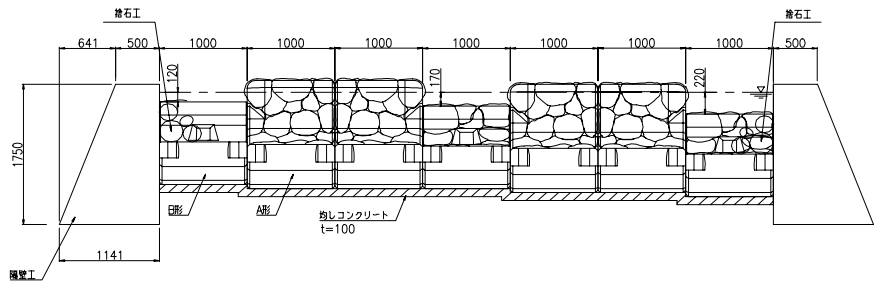
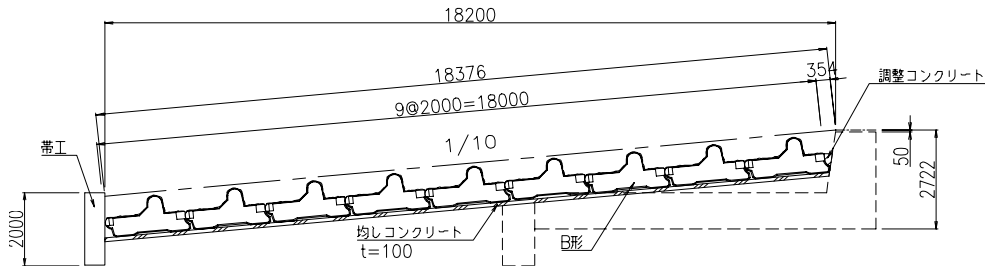
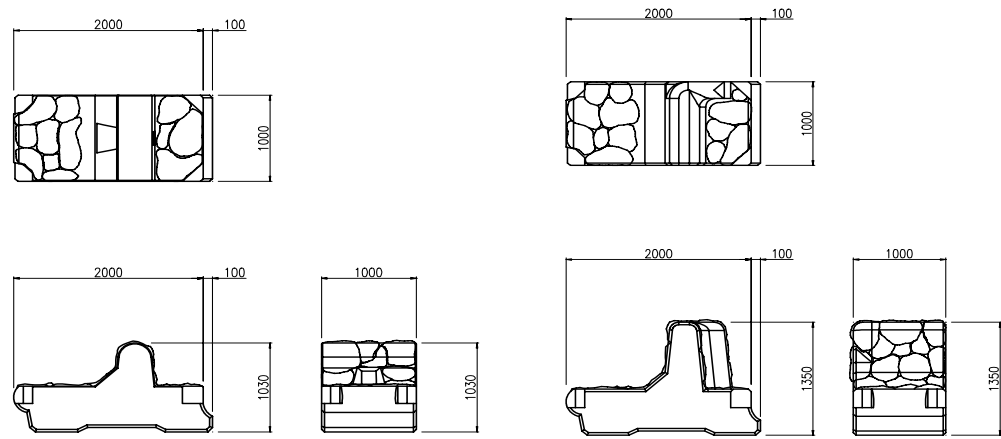
名 称		舟通し型魚道ブロック工法	製品名	ROKU (ロク)
特 徴	特 徴	○水路底の特殊な粗度形状により多様な流速場の創出により、水生生物の移動経路を提供します。 ○粗度の高さが低いため、増水時の流水阻害を受けにくい構造です。 ○水路両側に休憩場を設けており、底生魚や稚魚、水生昆虫等の体力回復の場を提供します。 ○水路両側のスリットが土砂堆積を解消します。 ○両側の休憩場間を繋いだ専用側道によって、水生昆虫や甲殻類等にも優しい魚道となります。		
	NETIS	申請中（平成19年5月現在）		
製品図		製品形状参考図		



フィールド仮設遡上実験



水理模型実験

名 称		アイスハーバー型魚道ブロック工法 (護床工兼)	製品名	瑞流 (すいりゅう)
特 徴	特 徴	○アイスハーバー型の魚道に護床工ブロックの機能を付加した構造を基本としています。 ○河床低下等により生じた落差を簡単な手法により改善して魚の遡上を助けます。 ○ブロック設置の際、すわりが良く施工も容易です。 ○ブロックは金具により連結されているので河床の変化によく順応し、安定性に優れています。 (財) リバーフロント整備センターと共同開発		
	NETIS	TH-990036		
製品図		標準横断面図  縦 断 図  製品形状参考図 		

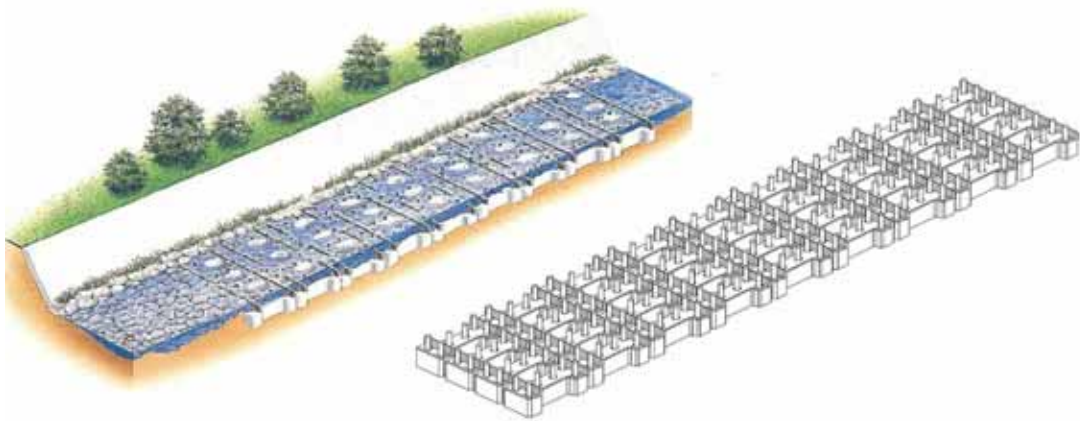
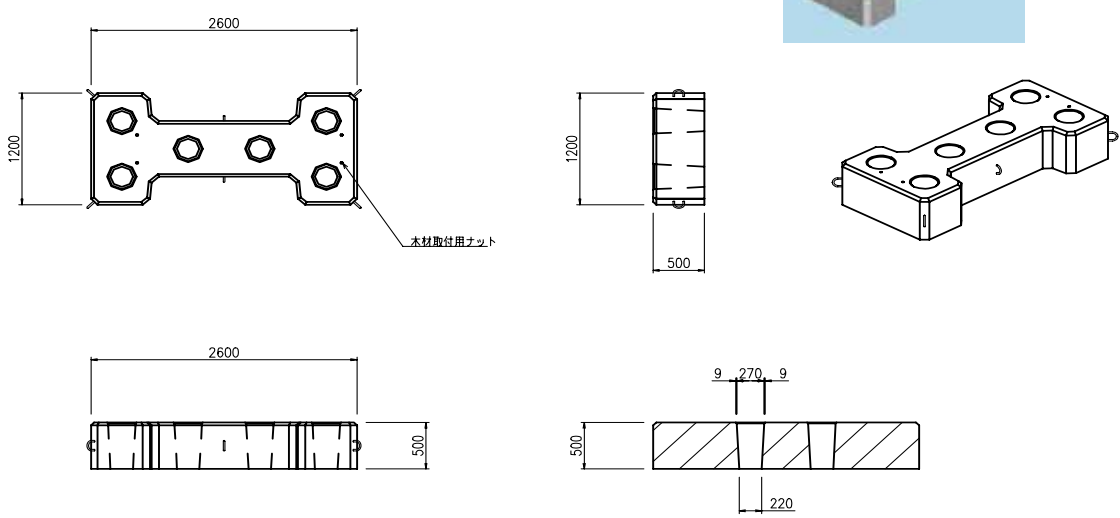


施工直後

施工後数年経過



水理模型実験

名 称		覆土式緩傾斜ブロック工法（護床工兼）	製品名	棲流（せいりゅう）
特 徴	特 徴	○ブロック上部に構築した杭柵等により、現地河床材や巨石、あるいは土砂を抱腹して緩傾斜の河床を創出します。 ○構築した緩傾斜部は川の掃流力によって堆積・侵食を繰り返し、瀬・淵等の自然河川に近い環境を創出します。 ○緩傾斜部では適度な空気中の酸素を取り入れ、魚類をはじめ底棲生物の生息環境を創出します。		
	NETIS	申請中（平成19年5月現在）		
製品図		敷設イメージ図  製品形状参考図 		

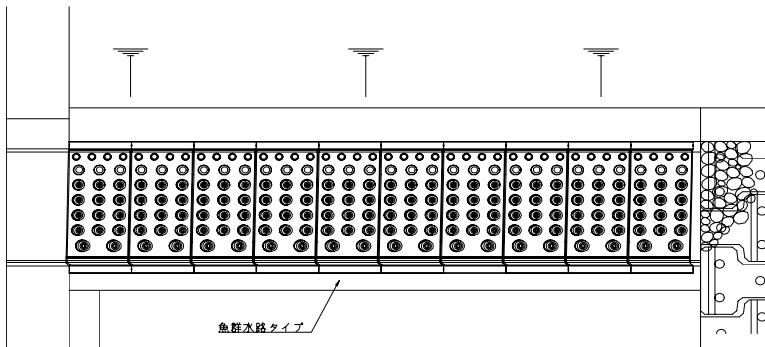
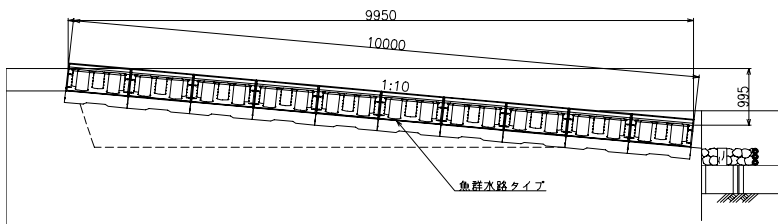
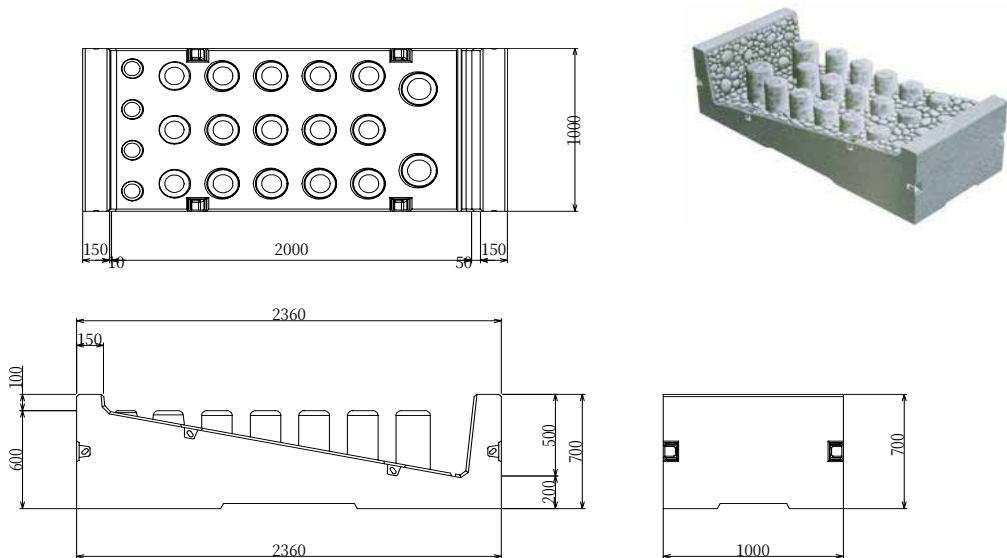


施工直後

施工後2年経過



水理模型実験

名 称		粗石付魚道ブロック工法	製品名	魚群（ぎょぐん）
特 徴	特 徴	○魚道勾配1／5～対応可能な魚道ブロック工法です。 ○横断方向に勾配を設け、流量減少時にも最深部に遡上経路を確保する粗度配置です。 ○横断方向の水深は0～40cm（標準水深）であり、多様な流速場を創出します。 ○底版部は玉砂利模様とし、流速減勢効果をもたせています。 ○遡上実験において、アユの稚魚や底生魚（チチブ、アユカケ）等の遡上が確認されています。 （独）土木研究所と共同開発		
	NETIS	申請中（平成19年5月現在）		
製品図		平 面 図  縦 断 図  製品形状参考図 		



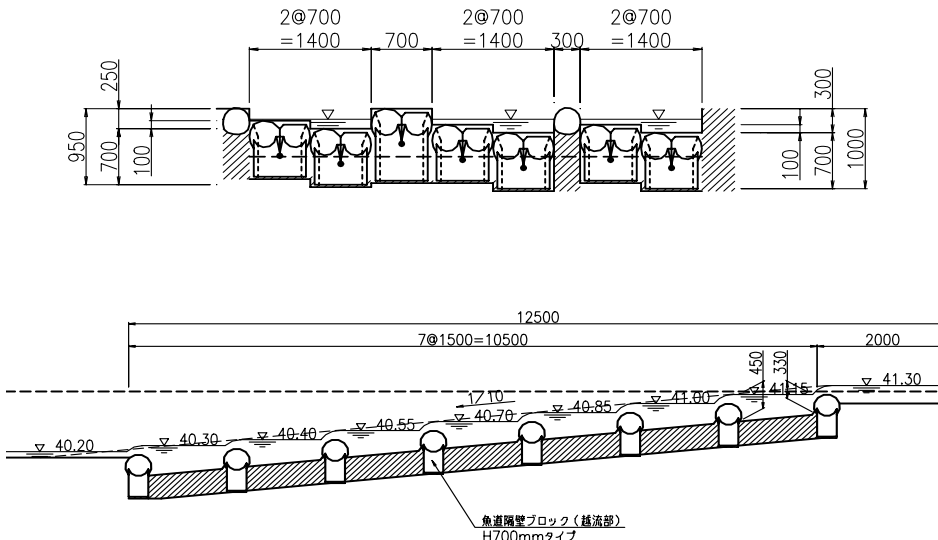
水路内面の擬石（玉石模様）

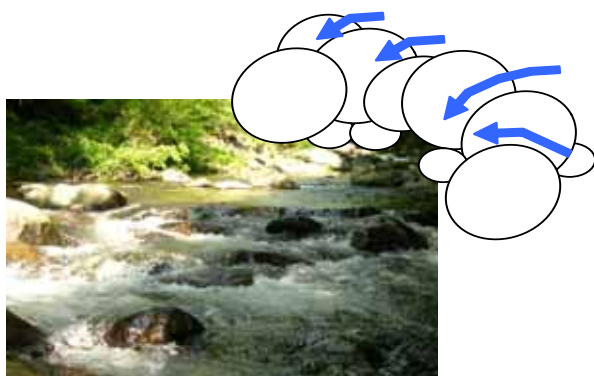


実物スケールでの実験



フィールド調査

名 称		擬石魚道隔壁ブロック工法	製品名	STEP00L（ステップール）
特 徴	特 徴	○階段式魚道の隔壁部をブロック化した製品です。 ○隔壁頂部は石と石の寄り添うV字の切欠状として自然の溪流をイメージしています。 ○V字切欠頂部は安定した越流水脈を形成する形状となっています。 ○現地条件に合せた魚道幅やプール延長等を自由に検討することができます。 ○ブロックの小型化により、渓流域の狭窄部では施工性に優れます。		
	NETIS	申請中（平成19年5月現在）		
製品図		 製品形状参考図		



渓流域の流況（イメージ）



出水時

通常時



資料 - 3 参考歩掛

全越流タイプ2000型

10.00 m 当り 単価表
(H) 1.600 m × (L) 10.00 m

名 称	形 状 寸 法	単位	数 量	単 価	金 額	摘 要
世 話 役		人	1.19			(水路部) 0.110 (人/m) × 10.00 (m) = 1.10 (人) (隔壁部) 0.018 (人/個) × 5 (個) = 0.09 (人)
特殊作業員		"	0.88			(水路部) 0.070 (人/m) × 10.00 (m) = 0.70 (人) (隔壁部) 0.036 (人/個) × 5 (個) = 0.18 (人)
普通作業員		"	2.58			(水路部) 0.240 (人/m) × 10.00 (m) = 2.40 (人) (隔壁部) 0.036 (人/個) × 5 (個) = 0.18 (人)
機械賃賃料	ラフレンクレン 油圧式20t吊	日	0.69			(水路部) 0.060 (日/m) × 10.00 (m) = 0.60 (日) (隔壁部) 0.018 (日/個) × 5 (個) = 0.09 (日)
小 計						(円/m)
水路部Aタイプ	1600×2400×1001	個	5			2650 (kg/個) (概算質量)
水路部Bタイプ	1600×2400×1001	"	5			2700 (kg/個) (概算質量)
全越流タイプ	1050×2077×200	"	5			900 (kg/個) (概算質量)
小 計						(円/m)
ブチルゴム	5.200	m	57.20			
連結金具	ボルト・プレート ワッシャーナット	組	54			
小 計						(円/m)
諸 雑 費		式	1			≤ 1.0 %
計						
1 m 当り						

アイスハーバータイプ2000型

10.00 m 当り 単価表
(H) 1.600 m × (L) 10.00 m

名 称	形 状 寸 法	単位	数 量	単 価	金 額	摘 要
世 話 役		人	1.19			(水路部) 0.110 (人/m) × 10.00 (m) = 1.10 (人) (隔壁部) 0.018 (人/個) × 5 (個) = 0.09 (人)
特殊作業員		"	0.88			(水路部) 0.070 (人/m) × 10.00 (m) = 0.70 (人) (隔壁部) 0.036 (人/個) × 5 (個) = 0.18 (人)
普通作業員		"	2.58			(水路部) 0.240 (人/m) × 10.00 (m) = 2.40 (人) (隔壁部) 0.036 (人/個) × 5 (個) = 0.18 (人)
機械賃賃料	ラフレンクレン 油圧式20t吊	日	0.69			(水路部) 0.060 (日/m) × 10.00 (m) = 0.60 (日) (隔壁部) 0.018 (日/個) × 5 (個) = 0.09 (日)
小 計						(円/m)
水路部Aタイプ	1600×2400×1001	個	5			2650 (kg/個) (概算質量)
水路部Bタイプ	1600×2400×1001	"	5			2700 (kg/個) (概算質量)
アイスハーバータイプ	1450×2062×200	"	5			1350 (kg/個) (概算質量)
小 計						(円/m)
ブチルゴム	5.200	m	57.20			
連結金具	ボルト・プレート ワッシャーナット	組	54			
小 計						(円/m)
諸 雑 費		式	1			≤ 1.0 %
計						
1 m 当り						

<参考資料>

国土交通省土木工事積算基準(H19) 共通工 ⑦排水構造物工 ボックスカルバート据付 区分④適用を引用
 国土交通省土木工事積算基準(H19) 消波根固めブロック工 P358 {据付日当り施工歩掛、2.5 t以下}

資料－４ 参考文献

- 1) 土木研究所砂防研究室：砂防溪流における魚道設置の手引き（案）、第 3530 号 1998
- 2) 土木研究所砂防研究室：砂防における魚道の実態調査、第 2907 号 1991
- 3) 建設省北陸地方整備局河川部：砂防ダム魚道計画マニュアル（案）、1995
- 4) 建設省北陸地方建設局 設計要領（河川編）、1995
- 5) // // 、1999
- 6) 国土交通省河川局：魚が上りやすい川づくりの手引き、2005
(http://www.mlit.go.jp/river/kankyousakana_tebiki/pdf/hyoushi.pdf)
- 7) 建設省河川局治水課：魚ののぼりやすさから見た河川横断施設概略点検マニュアル（案）、1993
- 8) 財）リバーフロント整備センター：魚類のそ升降下環境改善上のワンポイントアドバイス、2000
- 9) 水源地治山対策に関する技術検討会：水源地治山対策に関する技術検討会報告書、2004
- 10) 国土交通省河川局河川環境課：正常流量検討の手引き（案）、2001
- 11) 中村俊六：魚道のはなし、財団法人リバーフロント整備センター、山海堂
- 12) 10) (財) ダム水資源地環境整備センター：最新魚道の設計―魚道と関連施設、信山社サイテック、1998
- 13) 和田吉弘：言いたい放題魚道見聞録、2003
- 14) 建設省土木研究所：四国地建における一日土研資料、土木研究所資料、1989
- 15) 農業土木学会：よりよき設計のために「頭首工の魚道」設計指針、2002
- 16) 端憲二：小さな魚道による休耕田への魚類遡上試験、農業土木学会誌、Vol.65、No5、1999
- 17) NPO 魚道研究会：全国魚道研究実践会議 in 岐阜論文集、2003～2006
- 18) 応用生態工学研究会：応用生態工学特集魚道の評価、VOL.3、No2、2000
- 19) 九州地方整備局河川部魚道検討会：魚道設計参考資料（案）（魚道設計の考え方）、1997
- 20) 北海道建設部土木局砂防防災課：北海道砂防技術指針（案）技術基準編、2006
- 21) 財）国土開発技術研究センター：床止めの構造設計の手引き、1999
- 22) 土木学会：水理公式集、1999
- 23) 土木学会：コンクリート標準示方書構造性能照査編
- 24) 北陸スリット砂防えん堤技術研究会：既設砂防えん堤のスリット砂防えん堤化設計・施工手引書(案)

資料—5 水理（遡上）検討例

① 選定魚種の遊泳力

魚道設置の際、対象とする生物を選定するにあたっては、魚道設置箇所周辺や流域での魚類等の生息調査や学識者や地元住民や漁業協同組合等へのヒアリングを実施して協議を行った上で選定する。

ここで、選定された対象生物が移動できるように魚道機能を水理学的に検討する必要がある。その検討に当たっては、対象生物（魚類）の行動特性を把握する必要がある。特に遡上機能を計算によって事前確認するためには、魚種の体長、体高、体高比、突進速度を把握する必要がある。

例えば、アユ・ウグイ・ヤマメ・イワナを選定した場合には、下記表のように整理することができる。また、対象魚の突進速度が明確でない場合、体形が方錐形であれば目安として魚の体長×10cm/secを用いて検討する。

対象魚種の突進速度と体長・体高

対象魚種	体長 (cm)	突進速度 (cm/s)	体高比	平均体高比	体高 (cm)
アユ	6.6	120	4.7～5.2	4.9	1.3
	11.4	178			2.3
ウグイ	7～10	100	3.6～6.0	4.8	1.5～2.1
	15～	160			3.2～
	2～25	30～200			0.4～5.2
ヤマメ	30（陸封型）	150～250	3.0～4.8	3.9	7.6
イワナ	14～70	150～250	4.1～6.1	5.1	2.7～13.7

※ 上表は文献1、12、15を参考に一つの表にまとめている。



アユ ※



イワナ



ヤマメ



ウグイ ※

※印写真：神奈川水産技術センター内水面試験場HPより転載

② 魚道内水理の検討

設定した魚道の機能範囲の流量に対して、余水吐等の付帯施設等によって調整され魚道内へ流入してきた流量 Q (m^3/sec) に対して、魚道内での水理検討を行う。検討にあたっては、下記水理式を用いて行うものとする。

越流部の流量； Q_w

$$Q_w = 0.61 b h^{3/2} \sqrt{g}$$

Q_w ；越流部の流量 [m^3/sec]

b ；越流幅 [m]

h ；越流水深 [m]

g ；重力加速度 ($=9.8$ [m/s^2])

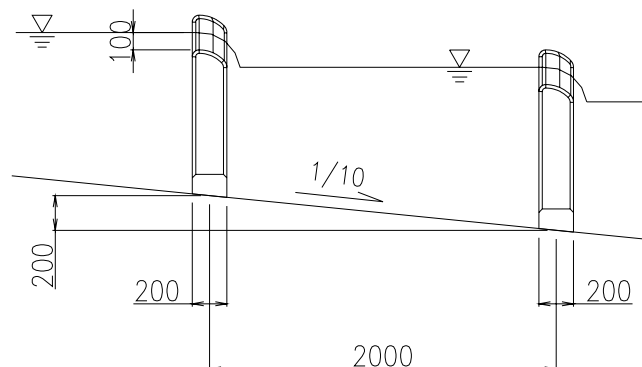
限界流速； V_w

$$V_w = \sqrt{(2/3) g h}$$

V_w ；限界流速 [m/s]

g ；重力加速度 ($=9.8$ [m/s^2])

h ；越流水深 [m]



ここで、対象魚種が遡上可能となる条件は下記に示す A 越流流速、B 越流水深、C 越流幅であり（参考資料）、前章で得られた対象魚の体長、体高、体高比、突進速度のデータを用いて確認する。

A 体長(B. L)より、方錐型の魚の突進速度は一般に $10 \times B. L$ (cm/sec) で与えられ、越流流速（魚道内流速）がその突進速度を下回るように設定する。

B 体高より、越流水深（移動限界水深）がその2倍程度以上となるよう設定する。

C 体長より、越流幅（遊泳可能な幅）がその $1/2$ 程度以上となるよう設定する。なお、安全側に体長程度を確保することが望ましい。

以上の条件を満たすよう、堰堤水通し天端と魚道部の取り合いや魚道内部について遡上可能となるように検討を行う。

ここで、検討結果の値は断面平均流速によるものであり、この値を上回る条件下の現場でも魚類は移動している場合がある。対象生物の移動能力（突進速度や水深等）については、個体によっても様々であると同時に研究レベルでも、あいまいな点が残っていることから、算出された結果は目安とする。

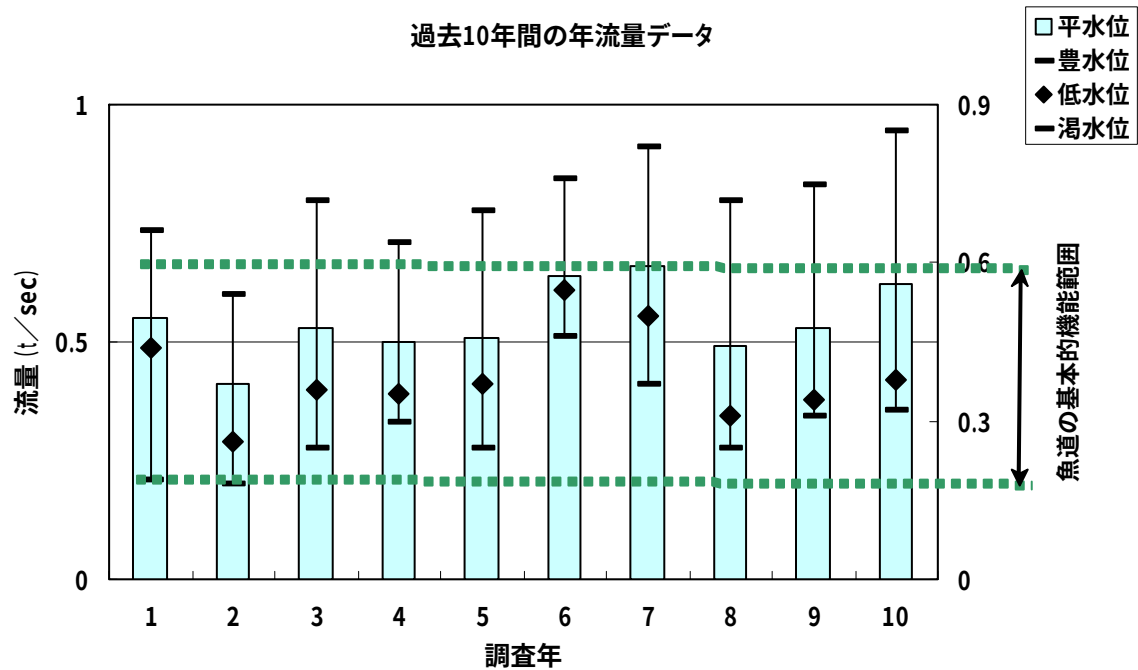
※ 潜孔部について

これまでの実績から、土砂・枯れ枝等によって目詰りした場合、越流水深が潜孔の有無によって大きく変化することを確認している。魚道上流部から下流部までの書くプールで安定した流況が形成されることが移動経路としては好条件として、水理学的な観点から設けない方が望ましい。ただし、維持管理の作業効率から考えると設ける方が効率はあがる。

以上のことから、潜孔には蓋をする構造とすることで上記2つを満たすことが可能となる、参考までに、簡易的に脱着可能な潜孔用蓋としてプレートとブロックを用いた事例を以下に示す（下写真）。



③ 対象魚の移動時期の流量データと魚道機能の範囲設定



魚道機能の範囲を設定するための1つの目安として、過去10年間に遡る対象魚の移動時期の流量データにより検討する方法が挙げられる（文献19）。このデータを参考に機能範囲を設定すればよい。単に、総データに対して検討する方法もあるが、対象魚の遡上・降下時期を抽出したデータに対して検討することが費用対効果の面から望ましい。更に機能を期待するには、日流量の時系列データを基に、連続して遡上できない日数（遡上できないために生育に影響すると考えられる日数）等を条件に加える方法（文献11、12）もある。

例えば、過去10年を遡る流量データに対して魚道機能を期待する範囲を設定する。この設定された流量範囲のデータに対して魚道内と魚道以外を流下する流量を計算する。そして、その魚道内流量データに対して魚道内の水理検討を行い、魚道機能の効果を予測する。ここで、魚道内への流量が著しく多い場合には、流量調整ゲートや横越流（角落とし）等の付帯施設の検討を行う。逆に流量の少ない場合には、隔壁ブロックに切欠部等を設けて魚道内部の構造を工夫する。

資料—6 構造検討例

水路式魚道ブロック工法の構造検討として、①安定計算例や②構造計算例を以下に示す。

① 安定検討例

以下に検討モデル・荷重ケースについての詳細を示す。

§1 設計条件

ブロック質量 2000 型	水路部	2650	(kg/m)
		25.9	(kN/m)
	隔壁部 全越流タイプ	675	(kg/m)
		6.6	(kN/m)

1.1 設計条件

(1)擁壁形式	水路式魚道ブロック
(2)基礎形式	直接基礎
(3)擁壁高さ	$H = 1.600 \text{ (m)}$
(4)土 圧	試行くさび法による土圧
(5)地表面載荷重(上段反力)	$q = 15.6 \text{ (kN/m}^2\text{)}$

1.2 土質条件

(1)擁壁背面の裏込め土	
せん断抵抗角	$\phi = 30.00 \text{ (}^\circ\text{)}$
単位体積重量	$\gamma_s = 19.0 \text{ (kN/m}^3\text{)}$
(2)支持地盤の定数	
擁壁底版と基礎地盤の間の摩擦係数	$\mu = 0.600$
// の粘着力	$c = 0.0 \text{ (kN/m}^2\text{)}$
許容地盤反力度	$q_a = 15.63 \text{ (kN/m}^2\text{)以上必要}$

1.3 安定条件

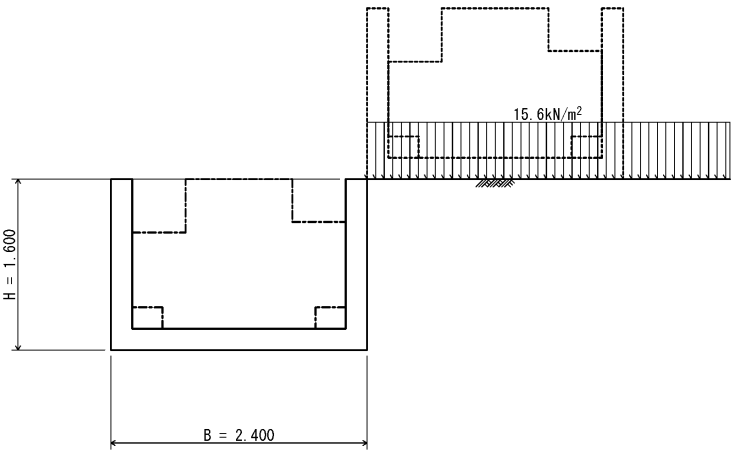
(1)滑動に対する検討	滑動安全率	$F_s \geq 1.2 \sim 1.5$
(2)転倒に対する検討	転倒安全率	$F_s \geq 1.2 \sim 1.5$

1.4 参考文献

一、道路土工 一 擁壁工指針	(社)日本道路協会
----------------	-----------

§ 2 一般形状寸法図

2.1 一般図



§ 3 計算結果

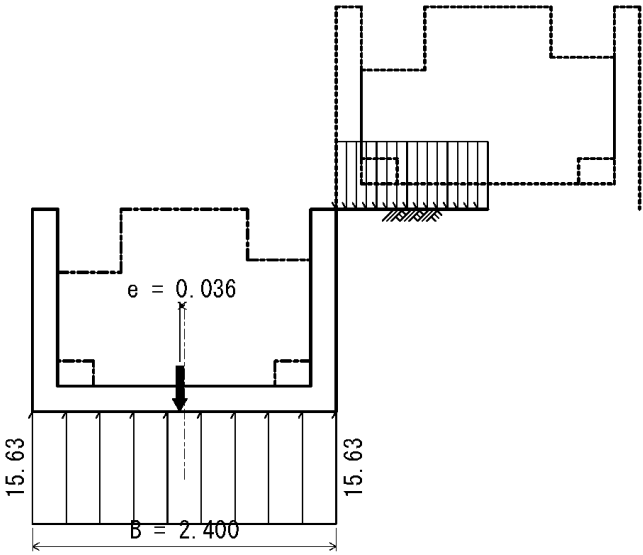
3.1 安定計算結果

安定計算は、滑動・転倒・支持の安定に対して検討を行った。

(1)全体の安定計算

鉛直荷重 ΣV (kN)	水平荷重 ΣH (kN)	転 倒 安全率 F_s	滑 動 安全率 F_s	地盤反力度 q_1 q_2 (kN/m²)		判定
37.51	13.77	6.95	1.63	15.63	15.63	O.K.
許 容 値		1.2~1.5	1.2~1.5			

《地盤反力図》



§4 計算方法の解説

4.1 土圧の計算

主働土圧合力

$$p_a = \frac{W \cdot \sin(\omega - \phi)}{\cos(\omega - \phi - \delta - \alpha)}$$

ここに、

- P_a : 主働土圧合力 (kN/m)
 W : 土くさびの重量 (kN/m)
 ω : すべり角 (°)
 ϕ : 裏込め土のせん断抵抗角 (°)
 δ : 壁面摩擦角 (°)
 α : 土圧作用面と鉛直面のなす角 (°)

鉛直荷重・水平荷重

$$\begin{aligned} V &= P_a \cdot \sin(\delta + \alpha) \cdot L \\ H &= P_a \cdot \cos(\delta + \alpha) \cdot L \end{aligned}$$

ここに、

- V, H : 鉛直荷重, 水平荷重 (kN)
 L : 擁壁の奥行き (計算幅) $L=1.000$ (m)

4.2 安定計算

1) 滑動に対する検討

滑動に対する安全率は次式により照査を行なう。

$$F_s = \frac{\text{滑動に対する抵抗力}}{\text{滑動力}} = \frac{\Sigma V \cdot \tan \delta + C \cdot B \cdot L}{\Sigma H} \geq F_{sa}$$

ここに、

- F_s : 滑動安全率
 F_{sa} : 滑動安全率の許容値
 ΣV : 底板下面における全鉛直荷重 (kN)
 ΣH : 水平荷重 (kN)
 $\tan \delta$: 壁面底板と基礎地盤の間の摩擦係数
 $\tan \delta = 0.600$
 C : 擁壁底板と基礎地盤の間の粘着力 $C = 0.0$ (kN/m²)
 B : 擁壁の底板幅 $B = 2.400$ (m)
 L : 擁壁の奥行き (計算幅) $L = 1.000$ (m)

2) 転倒に対する検討

転倒に対する安全率は次式により照査を行なう。

$$F_s = \frac{\Sigma M_r}{\Sigma M_o} \geq F_{sa}$$

ここに、

F_s : 安全率

ΣM_r : 抵抗モーメント (kN・m)

ΣM_o : 転倒モーメント (kN・m)

F_{sa} : 転倒安全率の許容値

3) 支持に対する検討

地盤反力度は次式により求める。

$$\left. \begin{array}{l} q_1 \\ q_2 \end{array} \right\} = \frac{\Sigma V}{B \cdot L}$$

ここに、

q_1, q_2 : 地盤反力度 (kN/m²)

ΣV : 鉛直荷重 (kN)

B : 擁壁の底版幅 $B = 2.400$ (m)

L : 擁壁の奥行き (計算幅) $L = 1.000$ (m)

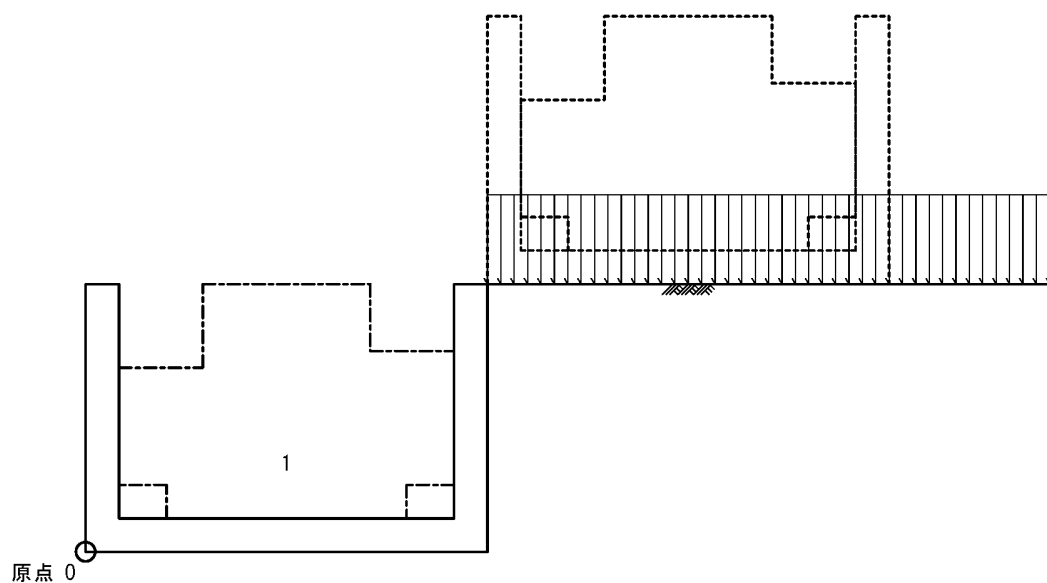
§5 設計荷重

擁壁に作用する荷重は、以下の荷重を考える。

- ・自 重
- ・土 圧

5.1 荷重の計算

擁壁に作用する荷重の、鉛直荷重 V 、水平荷重 H 、および、原点 O に対する作用位置 (X , Y) の計算を奥行き長 1.000m あたりで行なう。



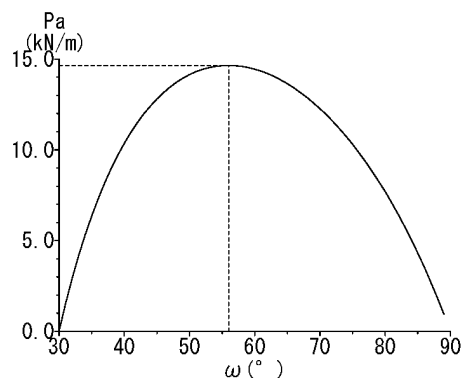
5.1.1 水路部自重

		体積 V_o (m^3)	単位重量 γ (kN/m^3)	鉛直荷重 V (kN)	作用位置	
					x (m)	y (m)
壁 体	2000 型全越流タイプ			25.90	1.200	0.531

5.1.2 土圧

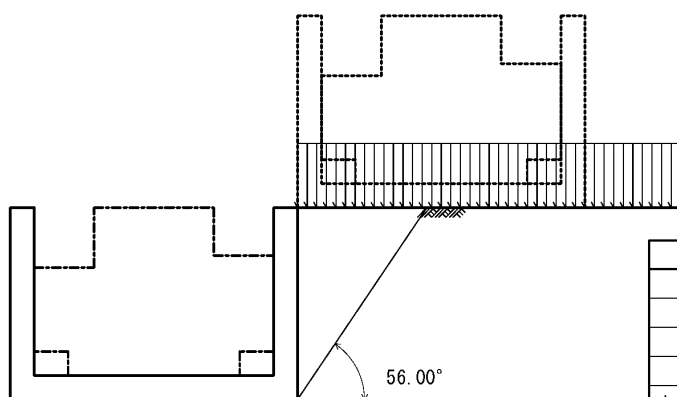
土圧の計算は、試行くさび法により行なう。また、土圧は三角形分布するものとする。

$$\begin{aligned} h &= 1.600 \quad (\text{m}) \\ \alpha &= 0.00 \quad (^\circ) \\ W &= 33.23 \quad (\text{kN/m}) \quad [\text{載荷重: } 16.84] \\ \omega &= 56.00 \quad (^\circ) \\ \delta &= 20.00 \quad (^\circ) \\ \phi &= 30.00 \quad (^\circ) \end{aligned}$$



最大主働土圧合力

$$\begin{aligned} P_a &= \frac{33.23 \times \sin(56.00 - 30.00)}{\cos(56.00 - 30.00 - 20.00 - 0.00)} \\ &= 14.65 \quad (\text{kN / m}) \end{aligned}$$



ω	P_a	W
60.00	14.444	28.45
59.00	14.534	29.61
58.00	14.602	30.80
57.00	14.637	32.00
* 56.00	14.647	33.23
55.00	14.636	34.50
54.00	14.597	35.80
53.00	14.532	37.14
52.00	14.431	38.50

鉛直荷重

$$V = 14.65 \times \sin(20.00 - 0.00) \times 1.000 = 5.01 \quad (\text{kN})$$

水平荷重

$$H = 14.65 \times \cos(20.00 - 0.00) \times 1.000 = 13.77 \quad (\text{kN})$$

作用位置

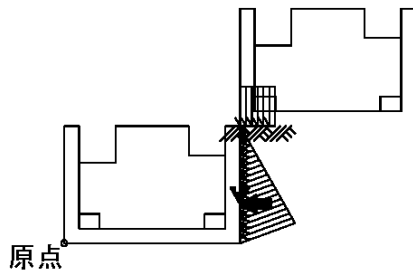
$$x = 2.400 \quad (\text{m})$$

$$y = \frac{1.600}{3} = 0.533 \quad (\text{m})$$

5.2 荷重の総括

5.2.1 荷重の集計方法

基礎のつま先下端を原点として荷重を集計する。



5.2.2 荷重の集計

算出された荷重を集計する。

			荷 重		作用位置		モーメント	
			鉛直 V (kN)	水平 H (kN)	x (m)	y (m)	抵抗 V・x (kN・m)	転倒 H・y (kN・m)
壁体	水路部自重	壁 体	25.90		1.200	0.531	31.08	
	土圧		5.01	13.77	2.400	0.533	12.02	7.34
	隔壁部		6.60		1.200	0.900	7.92	
合 計 Σ			37.51	13.77			51.02	7.34

§6 安定計算

集計した荷重を用いて、安定検討を行う

『設計荷重』 荷重の総括より、

$$\begin{aligned}\Sigma V &= 37.51 & (\text{kN}) \\ \Sigma H &= 13.77 & (\text{kN}) \\ \Sigma Mr &= 51.02 & (\text{kN} \cdot \text{m}) \\ \Sigma Mo &= 7.34 & (\text{kN} \cdot \text{m})\end{aligned}$$

1) 滑動に対する安定

$$\begin{aligned}F_s &= \frac{\Sigma V \cdot \mu + c \cdot B \cdot L}{\Sigma H} = \frac{37.51 \times 0.600 + 0.0 \times 2.400 \times 1.000}{13.77} \\ &= 1.63 \geq F_{sa} = 1.2 \sim 1.5\end{aligned}$$

よって、滑動安全率は安定条件を満足している。

2) 転倒に対する安定

$$F_s = \frac{\Sigma Mr}{\Sigma Mo} = \frac{51.02}{7.34} = 6.95 \geq F_{sa} = 1.2 \sim 1.5$$

よって、転倒安全率は安定条件を満足している。

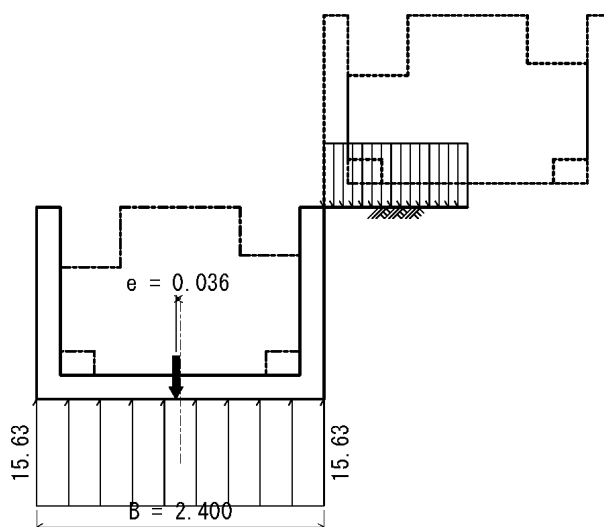
3) 支持に対する安定

最大地盤反力度

$$\begin{aligned}q &= \frac{\Sigma V}{B \cdot L} = \frac{37.51}{2.400 \times 1.000} \\ &= 15.63 (\text{kN} / \text{m}^2)\end{aligned}$$

よって、上記の値以上の支持力が必要である。

《地盤反力図》



② 構造計算例

以下に検討モデル・荷重ケースについての詳細を示す。

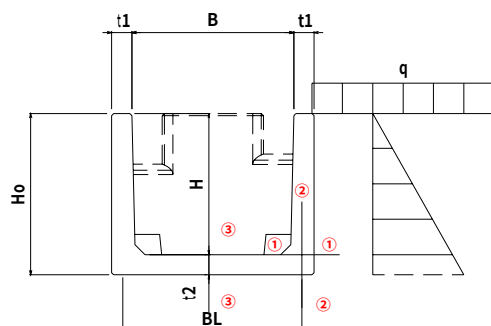
● 設計条件

上載荷重 (積雪荷重)	q_1	=	15.60	(kN/m ²)
背面土				
土の単位体積重量 (空中)	γ_t	=	19.00	(kN/m ³)
(水中)	γ_{tw}	=	10.00	(kN/m ³)
土の内部摩擦角	ϕ	=	30.00	(°)
土の粘着力	c	=	0.00	(kN/m ²)
壁面摩擦角	δ	=	20.00	(°)

魚道ブロック

コンクリートの単位体積重量	γ_c	=	24.50	(kN/m ³)
コンクリートの設計基準強度	σ_{ck}	=	30	(N/mm ²)
コンクリートの許容圧縮応力度	σ_{ca}	=	10	(N/mm ²)
コンクリートの許容せん断応力度	t_a	=	0.45	(N/mm ²)
鉄筋の許容引張応力度	σ_{sa}	=	160	(N/mm ²)

● 形状寸法図



H_0	=	1600	(mm)
H	=	1400	(mm)
B	=	2000	(mm)
B_L	=	2200	(mm)
t_1	=	200	(mm)
t_2	=	200	(mm)

● 計算結果

断面	項 目	外圧を受けた場合 (外側)			内圧を受けた場合 (内側)		
		計算値	許容値	判定	計算値	許容値	判定
側壁	コンクリートの圧縮応力度	1.5	10.0	OK	0.2	10.0	OK
	コンクリートのせん断応力度	0.06	0.45	OK	0.01	0.45	OK
	鉄筋の引張応力度	65	160	OK	11	160	OK
底版	コンクリートの圧縮応力度	1.5	10.0	OK	1.8	10.0	OK
	コンクリートのせん断応力度	0.07	0.45	OK	0.07	0.45	OK
	鉄筋の引張応力度	65	160	OK	75	160	OK

● 部材断面に作用するせん断応力及び曲げモーメント

(1) 側壁及び底版に外圧を受ける場合（水路内空虚）

a. 側壁外側に作用するせん断応力及び曲げモーメント (①—①断面)

試行くさび法により土圧を算出した結果、以下のような結果を得た。

くさび角	ω	=	56.0	(°)	
土砂重量	W	=	16.404 + 16.836		
土圧合力	P	=	$\frac{W \cdot \sin(\omega - \phi)}{\cos(\omega - \phi - \delta - \alpha)}$	=	14.652 (kN)
水平成分	P_h	=	$P \cdot \cos \delta$	=	13.768 (kN)
鉛直成分	P_v	=	$P \cdot \sin \delta$	=	5.011 (kN)
土圧係数	K_h	=	$P_h / (1/2 \cdot \gamma_t \cdot H^2)$	=	0.5661
	K_v	=	$P_v / (1/2 \cdot \gamma_t \cdot H^2)$	=	0.2060
せん断力	S_{s01}	=	$1/2 \cdot \gamma_t \cdot H^2 \cdot K_h$		
		=	$1/2 \times 19.0 \times 1.400^2 \times 0.5661$	=	10.541 (kN)
曲げモーメント	M_{s01}	=	$1/6 \cdot \gamma_t \cdot H^3 \cdot k_h$		
		=	$1/6 \times 19.0 \times 1.400^3 \times 0.5661$	=	4.919 (kN・m)

b. 底版端部に作用するせん断応力及び曲げモーメント (②—②断面)

側壁の中心間を B_L とし、両端に側壁の自重が加わり、 B_L に等分布するものとする。

	WR	=	$(2 \cdot t_1 \cdot H \cdot \gamma_c + 2 \cdot P_v) / B_L$		
		=	$(2 \times 0.200 \times 1.400 \times 24.50 + 2 \times 5.011) / 2.200$		
		=	10.792 (kN・m)		
せん断力	S_{T02}	=	$WR \cdot B_L / 2$		
		=	$10.792 \times 2.200 \times 1/2$	=	11.871 (kN)
曲げモーメント	M_{T02}	=	M_{S01}	=	4.919 (kN・m)

c. 底版中央部に作用するせん断応力及び曲げモーメント (③—③断面)

せん断力

$$\begin{aligned} S_{T04} &= WR/2 \cdot (B_L - 2 \cdot X) \\ &= 10.792 / 2 \times (2.200 - 2 \times 1.100) \\ &= 0.000 \quad (\text{kN}) \end{aligned}$$

曲げモーメント

$$\begin{aligned} M_{T04} &= M_{S01} - 1/8 \cdot WR \cdot B_L^2 \\ &= 4.919 - 1/8 \times 10.792 \times 2.200^2 \\ &= -1.610 \quad (\text{kN} \cdot \text{m}) \end{aligned}$$

(2) 側壁及び底版に内圧を受ける場合 (満水状態)

a. 側壁外側に作用するせん断応力及び曲げモーメント (①—①断面)

せん断力

$$\begin{aligned} S_{S11} &= 1/2 \cdot H^2 \cdot (W_o - \gamma_t \cdot K_h) \\ &= 1/2 \times 1.400^2 \times (9.0 - 19.0 \times 0.5661) \\ &= -1.721 \quad (\text{kN}) \end{aligned}$$

曲げモーメント

$$\begin{aligned} M_{S11} &= 1/6 \cdot H^3 \cdot (W_o - \gamma_t \cdot K_h) \\ &= 1/6 \times 1.400^3 \times (9.0 - 19.0 \times 0.5661) \\ &= -0.803 \quad (\text{kN}) \end{aligned}$$

b. 底版端部に作用するせん断応力及び曲げモーメント (②—②断面)

せん断力

$$S_{T12} = S_{T02} = 11.871 \quad (\text{kN})$$

曲げモーメント

$$M_{T12} = M_{S11} = -0.803 \quad (\text{kN})$$

c. 底版中央部に作用するせん断応力及び曲げモーメント (③—③断面)

せん断力

$$S_{T14} = 0.000 \quad (\text{kN})$$

曲げモーメント

$$\begin{aligned} M_{T14} &= M_{T12} + 1/8 \cdot WR \cdot B_L^2 \\ &= -0.803 + 1/8 \times 10.792 \times 2.200^2 \\ &= 5.726 \quad (\text{kN} \cdot \text{m}) \end{aligned}$$

(3) 部材断面に作用するせん断力及び曲げモーメント集計表

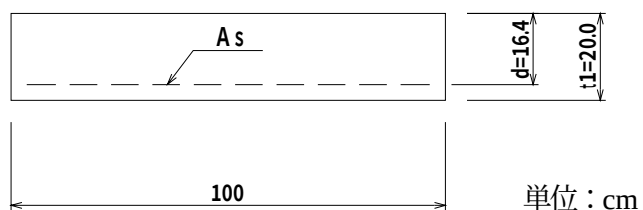
	断 面	外圧を受けた場合 (外側)		内圧を受けた場合 (内側)	
		S (kN)	M (kN・m)	S (kN)	M (kN・m)
側壁	①—①	10.541	4.919	−1.721	−0.803
底板	②—②	11.871	4.919	11.871	−0.803
	③—③	0.000	−1.610	0.000	5.726

以上、底板の最大曲げモーメントが作用する点は、外側 ②—② 断面
(内側 ③—③ 断面)
となり、これらの断面により照査を行う。

● 応力度照査

(1) 外圧を受けた場合

a. 側壁 (外側)



鉄筋量

$$A_s = D13 - 4 \text{ 本} = 1.267 \times 4 = 5.068 \text{ (cm}^2\text{)}$$

鉄筋比

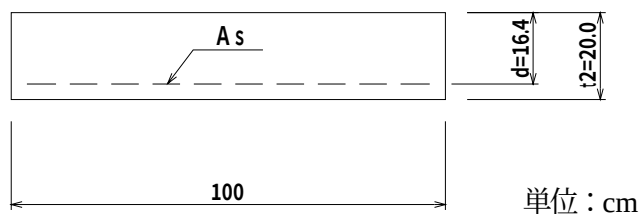
$$p = A_s / (b \cdot d) = 5.068 / (100.0 \times 16.4) = 0.0031$$

$$k = \sqrt{\{2 \cdot n \cdot P + (n \cdot P)^2\}} - n \cdot P$$

$$= \sqrt{\{2 \times 15 \times 0.0031 + (15 \times 0.0031)^2\}} - 15 \times 0.0031 = 0.262$$

$$j = 1 - k/3 = 1 - 0.262 / 3 = 0.913$$

b. 底版 (外側)



鉄筋量

$$A_s = D13 - 4 \text{ 本} = 1.267 \times 4 = 5.068 \text{ (cm}^2\text{)}$$

鉄筋比

$$p = A_s / (b \cdot d) = 5.068 / (100.0 \times 16.4) = 0.0031$$

$$k = \sqrt{\{2 \cdot n \cdot P + (n \cdot P)^2\}} - n \cdot P$$

$$= \sqrt{\{2 \times 15 \times 0.0031 + (15 \times 0.0031)^2\}} - 15 \times 0.0031 = 0.262$$

$$j = 1 - k/3 = 1 - 0.262 / 3 = 0.913$$

a. 側壁（外側）

コンクリートの圧縮応力度： σ_c

$$\begin{aligned}\sigma_c &= \frac{2 \times M}{k \times j \times b \times d^2} = \frac{2 \times 4.919 \times 10^6}{0.262 \times 0.913 \times 1000 \times 164^2} \\ &= 1.5 \text{ (N/mm}^2\text{)} < \sigma_{ca} = 10 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \text{OK}\end{aligned}$$

コンクリートのせん断応力度： τ

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{S}{b \times d} = \frac{10.541 \times 10^3}{1000 \times 164} \\ &= 0.06 \text{ (N/mm}^2\text{)} < \tau_a = 0.45 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \text{OK}\end{aligned}$$

鉄筋の引張応力度： σ_s

$$\begin{aligned}\sigma_s &= \frac{M}{p \times j \times b \times d^2} = \frac{4.919 \times 10^6}{0.0031 \times 0.913 \times 1000 \times 164^2} \\ &= 65 \text{ (N/mm}^2\text{)} < \sigma_{sa} = 160 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \text{OK}\end{aligned}$$

b. 底版（外側）

コンクリートの圧縮応力度： σ_c

$$\begin{aligned}\sigma_c &= \frac{2 \times M}{k \times j \times b \times d^2} = \frac{2 \times 4.919 \times 10^6}{0.262 \times 0.913 \times 1000 \times 164^2} \\ &= 1.5 \text{ (N/mm}^2\text{)} < \sigma_{ca} = 10 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \text{OK}\end{aligned}$$

コンクリートのせん断応力度： τ

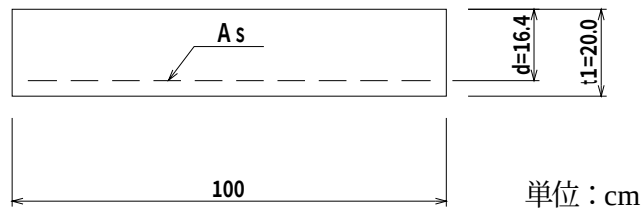
$$\begin{aligned}\tau &= \frac{S}{b \times d} = \frac{11.871 \times 10^3}{1000 \times 164} \\ &= 0.07 \text{ (N/mm}^2\text{)} < \tau_a = 0.45 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \text{OK}\end{aligned}$$

鉄筋の引張応力度： σ_s

$$\begin{aligned}\sigma_s &= \frac{M}{p \times j \times b \times d^2} = \frac{4.919 \times 10^6}{0.0031 \times 0.913 \times 1000 \times 164^2} \\ &= 65 \text{ (N/mm}^2\text{)} < \sigma_{sa} = 160 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \text{OK}\end{aligned}$$

(2) 内圧を受けた場合

a. 側壁 (外側)



鉄筋量

$$A_s = D13 - 4 \text{ 本} = 1.267 \times 4 = 5.068 \text{ (cm}^2\text{)}$$

鉄筋比

$$p = A_s / (b \cdot d) = 5.068 / (100.0 \times 16.4) = 0.0031$$

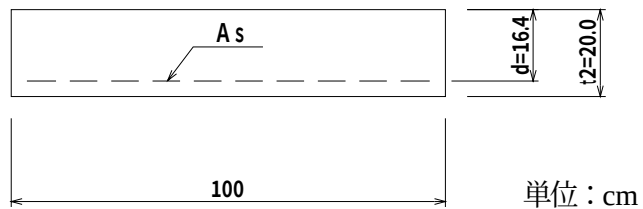
$$k = \sqrt{\{2 \cdot n \cdot P + (n \cdot P)^2\}} - n \cdot P$$

$$= \sqrt{\{2 \times 15 \times 0.0031 + (15 \times 0.0031)^2\}} - 15 \times 0.0031$$

$$= 0.262$$

$$j = 1 - k/3 = 1 - 0.262 / 3 = 0.913$$

b. 底版 (外側)



鉄筋量

$$A_s = D13 - 4 \text{ 本} = 1.267 \times 4 = 5.068 \text{ (cm}^2\text{)}$$

鉄筋比

$$p = A_s / (b \cdot d) = 5.068 / (100.0 \times 16.4) = 0.0031$$

$$k = \sqrt{\{2 \cdot n \cdot P + (n \cdot P)^2\}} - n \cdot P$$

$$= \sqrt{\{2 \times 15 \times 0.0031 + (15 \times 0.0031)^2\}} - 15 \times 0.0031$$

$$= 0.262$$

$$j = 1 - k/3 = 1 - 0.262 / 3 = 0.913$$

a. 側壁（内側）

コンクリートの圧縮応力度： σ_c

$$\begin{aligned}\sigma_c &= \frac{2 \times M}{k \times j \times b \times d^2} = \frac{2 \times 0.803 \times 10^6}{0.262 \times 0.913 \times 1000 \times 164^2} \\ &= 0.2 \text{ (N/mm}^2\text{)} < \sigma_{ca} = 10 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \text{OK}\end{aligned}$$

コンクリートのせん断応力度： τ

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{S}{b \times d} = \frac{1.721 \times 10^3}{1000 \times 164} \\ &= 0.01 \text{ (N/mm}^2\text{)} < \tau_a = 0.45 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \text{OK}\end{aligned}$$

鉄筋の引張応力度： σ_s

$$\begin{aligned}\sigma_s &= \frac{M}{p \times j \times b \times d^2} = \frac{0.803 \times 10^6}{0.0031 \times 0.913 \times 1000 \times 164^2} \\ &= 11 \text{ (N/mm}^2\text{)} < \sigma_{sa} = 160 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \text{OK}\end{aligned}$$

b. 底版（内側）

コンクリートの圧縮応力度： σ_c

$$\begin{aligned}\sigma_c &= \frac{2 \times M}{k \times j \times b \times d^2} = \frac{2 \times 5.726 \times 10^6}{0.262 \times 0.913 \times 1000 \times 164^2} \\ &= 1.8 \text{ (N/mm}^2\text{)} < \sigma_{ca} = 10 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \text{OK}\end{aligned}$$

コンクリートのせん断応力度： τ

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{S}{b \times d} = \frac{11.871 \times 10^3}{1000 \times 164} \\ &= 0.07 \text{ (N/mm}^2\text{)} < \tau_a = 0.45 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \text{OK}\end{aligned}$$

鉄筋の引張応力度： σ_s

$$\begin{aligned}\sigma_s &= \frac{M}{p \times j \times b \times d^2} = \frac{5.726 \times 10^6}{0.0031 \times 0.913 \times 1000 \times 164^2} \\ &= 75 \text{ (N/mm}^2\text{)} < \sigma_{sa} = 160 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \text{OK}\end{aligned}$$

北陸土木コンクリート製品技術協会 技術委員会

委員長	五十嵐 正之	(株)アドヴァンス
委員	五十嵐 耕二	昭和コンクリート工業(株)
〃	五十嵐 直	新和コンクリート工業(株)
〃	市川 敬	(株)ミルコン
〃	市川 秀明	(株)アドヴァンス
〃	岡崎 康晴	共和コンクリート工業(株)
〃	金子 邦男	藤村ヒューム管(株)
〃	佐久間 真澄	日本サミコン(株)
〃	谷口 晴紀	(株)ホクコン
〃	中島 光嘉	長栄工業(株)
〃	永井 義行	永井コンクリート工業(株)
〃	本江 康伸	(株)ケンチ
〃	前川 仁	(株)ホクエツ信越

魚道ブロック委員会

委員長	本田 隆秀	共和コンクリート工業(株)
委員	五十嵐 耕二	昭和コンクリート工業(株)
〃	市川 秀明	(株)アドヴァンス
〃	西嶋 貴彦	共和コンクリート工業(株)
〃	西山 聖二	藤村ヒューム管(株)
〃	増田 知巳	共和コンクリート工業(株)