

### 3.2 ダム上流締切における地中連続壁による遮水効果の検討

研究年度：令和2年度～令和3年度

研究分野：台形CSGダムの設計に関する研究

調査研究名：砂礫を有する台形CSGダムの締切構築に関する研究

研究者：安田成夫、町屋政蔵、安藤駿平

#### 【要約】

札内川ダムは、ダムサイトに厚さ約40mの河床砂礫が堆積している。当該ダムを重力式コンクリートダムとして建設を進めるにあたり、河床堆積物を掘削除去するとともに、仮締切として、遮水性確保の目的で仮締切堤の下に地中連続壁が計画された。地中連続壁はSMW(Soil Mixing Wall)工法により形成された。本報告では、連続地中壁設計の考え方、および連壁構築後の性能検証についてここに紹介する。

#### 【キーワード】

台形CSGダム、北海道胆振東部地震、3次元解析、材料特性、耐震性能評価

#### 【背景・目的】

地中連続壁の設計では、①力学的安定性の確保と共に、②水理的安定性の確保（浸透流量の低減）が必要とされる。力学的安定性では、地中連続壁下流の掘削法面の安定性を検討することになる。掘削法面の安定性は、法面内の浸潤面の形状が大きく関わることになるので、地中連続壁としてどのような構造・工法を選択するかが重要となる。水理的安定性では地中連続壁を挟んで水位差が発生することにより、地中連続壁下流には、流速や動水勾配が発生することになる。それらに対して掘削法面の安定性が確保されるかを検討することになる。これは、限界流速あるいは限界動水勾配に対して河床砂礫を構成する土粒子の移動の可否を議論することになる。最後に、掘削法面からの排水であるが、地中連続壁下流への浸透流の完全遮水は不可能であり、側方からの浸透水も考えられ、掘削法面からの排水能力が実行可能であるかを検討することになる。

#### 【令和2年度の研究内容】

##### 1. 仮締切堤の要求性能

札内川ダムでは、河床砂礫を約40m掘り下げて、ダム本体を施工することになるので、掘削法面の安定性は重要な課題となっていた。そのため、上流仮締切堤と掘削法面の平面的位置関係及び遮水構造が、掘削法面の安定性に関わることになる。

掘削法面の安定性に関わる項目としては、以下を挙げている。

- ① 掘削勾配：勾配を緩くすることにより掘削量が増加するが、掘削量が最小限となる安定勾配を設定する。

- ② 浸潤面：掘削法面の安定計算にとって重要な要素であるのと、遮水構造上流からの浸透量に大きく関わってくる。安定性の面から、可能な限り浸潤面を低下させること、浸透量を可能な限り低下させる必要がある。

このことから、掘削法肩から仮締切までの距離を100mと設定している。ただし、安定計算は、掘削法肩から仮締切までの距離を50m、100mのケースについて検討した。また、法面勾配は1:2.0、1:2.5について計算を実施している。

これら、予備計算では、ブランクットの有無、地中連続壁の有無について、円弧すべりで安定計算を実施している。

上記は、掘削法面の安定性を力学観点から検討しているが、掘削法面が浸透流に対して構成粒子が流失しないか、あるいは大きな動水勾配によるパイピングが発生しないか、水理的観点からも安定性を検討している。

そのため、掘削法面の安定計算の前に浸透流計算を実施している。

##### 2. 掘削法面の安定性

###### 2.1 力学的安定性

###### 2.1.1 浸潤面の設定（基礎の遮水効果を踏まえた浸透流計算）

安定計算を実施する際に必要となる想定浸潤面を、幾つかの遮水工法について検討し、選択した遮水工法について浸透流計算を実施している

数ある遮水工法のうち、イコス工法、SMW工法及び無処理で浸透路長を長く取る方式について検討を行っている。

矢板工法：安価で完全止水が可能であるが、深さ約40mの砂礫層へ打ち込むのは不可能とした。

注入工法：ソレタンシユ、CCP、コラムジェット等があるが砂礫層に対して効果が期待できないとした（改良目標を設定し、それに対して後述する判定基準をクリアすれば可能性があったのではと考えられる。）

地中連続壁：SMW工法、MACH工法、CMP工法、MEH工法、イコス工法、BW工法を挙げている

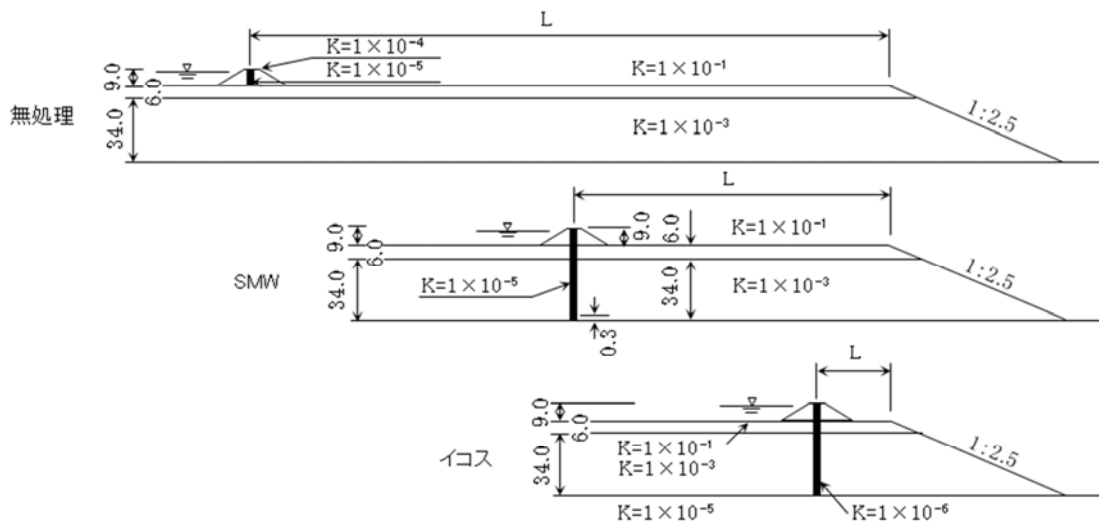
このうち、SMW工法は一種の注入工法で壁体を形成する工法で、これまで（1990年代頃）完全止水は困難（当時の施工会社の完成後の評価では、透水係数が $1.0 \times 10^{-4}$ 程度の遮水効果であった。当時の施工会社への聞き取りによると、当初からSMW壁は透水係数が $10^{-5}$ オーダーを想定していたとのことである。これは都市部地下構造物の土留め+止水壁にH型鋼を挿入した事例があり、その実績から透水

ということから岩盤部までの改良が可能ということから検討の対象としている。

また、その他の工法として、施工速度が遅く高価であるが、完全止水が可能であり、その高い止水効果を期待して多用されているイコス工法（透水係数は $10^{-6}$ オーダー）を検討の対象としている。

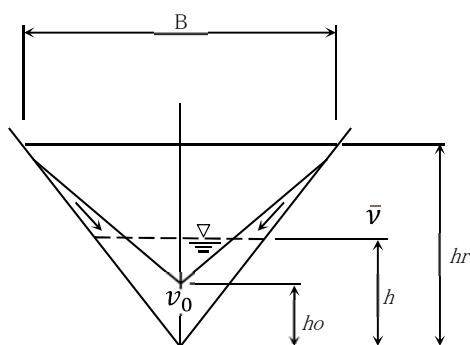
当ダムの仮締切は仮設備であり、永久構造物でないということから地震係数は0.06とした。また、法面の安全率は地震係数を通常の半分にしてということから、フィルダムの安全率1.2と同じにした。更に、ダムサイトがV字谷ということから、浸透水が中央に集まるので、これに対する補正を行っている。

上記3工法のうち、イコス工法と無処理については、特に考慮する条件の違いはないが、SMW工法については、着岩部0.30mの空隙を残した場合と岩盤まで改良した場合の浸透流計算を行っている



係数は $10^{-5}$ オーダーとしているとのことであった。)

図-1 浸透流計算模式図



計算上の浸潤面は青線となるか、実際に緑線のようになる。そのため、二次元で計算された浸潤面は実際の浸潤面によりも浅くなる。

図-2(1) 補正断面

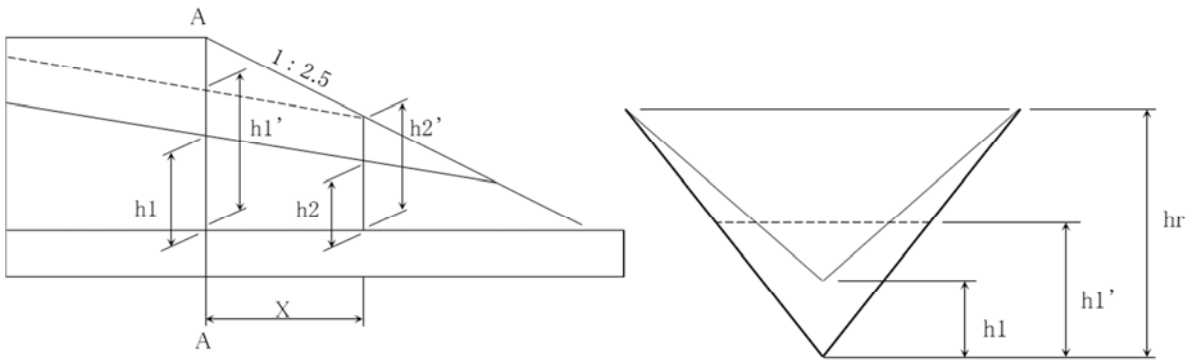


図-2(2) 浸潤面の求め方

浸潤面は、V字谷を流れる浸透水が中央の一番深い部分に集まろうとする。そのため中央の最深断面で求めた2次元解析の結果は、実際より低い水位となる。すなわち、川の両岸斜面を流れる水は斜面にへばりつくのではなく、河床に集まってくるのでそれによる水深を求める必要があり、解析上斜面を下流方向に流れるとした全流量と、河床に集まって流下する全流量は等しいとして、浸潤面の補正を実施した。その手順を以下に示す。

全透水流量 $\Sigma Q$ が等しくなるように、補正断面を以下のようにして求める。補正断面を図-2(1)に示す。

$$\Sigma Q = \frac{1}{2} \frac{h}{h_0} B \cdot h \cdot \bar{v} \quad \text{より}$$

$$h = \sqrt{\frac{2hr \cdot \Sigma Q}{\bar{v} \cdot B}}$$

ここで、 $\Sigma Q$ は全浸透量 ( $\text{m}^3/\text{sec}$ )、 $\bar{v}$ は水深  $h$  における平均流速 ( $\text{m}/\text{sec}$ ) である。

$$\alpha = \frac{h}{h_0}, \quad v = Ki, \quad \frac{i}{i_0} = \frac{h}{h_0}, \quad \bar{v} = \alpha \text{ より}$$

$$\frac{\bar{v}}{v_0} = \frac{h}{h_0} = \alpha$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{2hr \cdot \Sigma Q}{\alpha \cdot \bar{v} \cdot B}} \times \frac{1}{h_0} \quad \text{より} \quad \alpha = \sqrt[3]{\frac{2hr \cdot \Sigma Q}{\alpha \cdot \bar{v} \cdot B \cdot h_0^2}}$$

図-2(1)に示す青線部分の面積を  $a$  と、 $v'$ を青線部分の平均流速とすると、

$$a = (h_0 \cdot B) / 2, \quad v' = \Sigma Q / a \quad \text{なので、}$$

$$\alpha = \sqrt[3]{\frac{v' \cdot hr}{v_0 \cdot h_0}}$$

ここで、青線部分の平均流速  $v'$ と水深  $h_0$  における流速  $v_0$ がほぼ等しいとすると、 $v' \approx v_0$ ならば

$$\alpha = \sqrt[3]{\frac{hr}{h_0}}$$

となり、図-2(2)に示すように  $h_0$  を  $h_1$  とすると、実際的水深  $h_1'$ は次式から求めることができる。

$$h_1' = \sqrt[3]{hr \cdot h_1^2}$$

図-2(2)の断面 A-A で浸透水は中央の低い部分に集まると考えると、実際的水深は計算値よりも大きくなる。掘削法面部的実際の浸潤線は以下の式で与えられる。

$$h_2' = h_1' \frac{h_2}{h_1}$$

### 2.1.2 掘削法面の安定計算

3種類の遮水工法について、浸潤面が求めたので掘削法面の安定性が検討された。表-1に示すように、無処理、SMW工法(着岩、底部に30cmの隙間)、イコス工法についてである。

SMW工法は、着岩している場合、安全率1.2を満足している。イコス工法は透水係数が  $1.0 \times 10^{-6}$  とSMW工法よりも一桁遮水性が高くなっているため、上流仮締切から法肩までの距離はSMW工法と同じでも安全率が格段に大きい結果となった。

表-1 掘削法面の安全率 1.2 の場合

工法	安全率 1.2 となる締切の法肩からの距離	備考
無処理		法肩からの距離を確保しても、法面の安定確保は困難。
SMW 工法(底部 30cm 隙間)	450m	転流工トンネル延長が長くなる。 骨材採取が遠くなる。
SMW 工法(着岩)	60m	—
イコス工法	40m	—

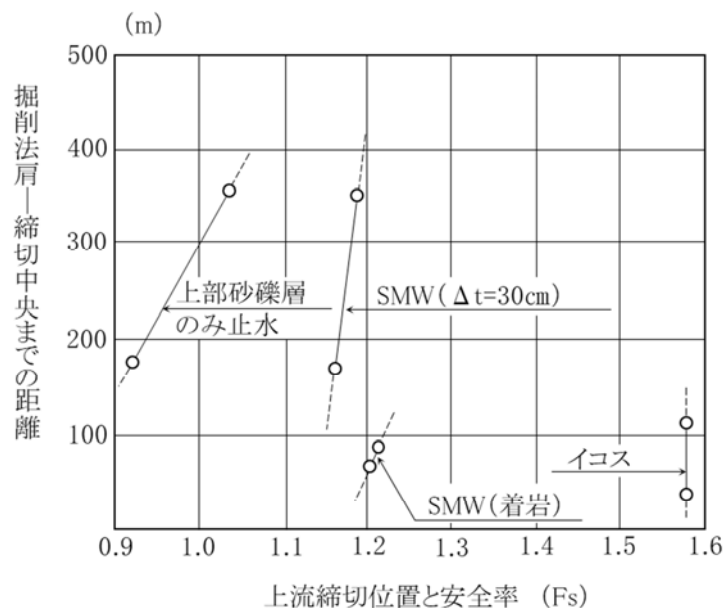


図-3 上流締切位置と安全率の関係

## 2.2 水理的安定性

ここでは、浸透水に対する掘削法面を構成する河床砂礫のパイピングに対する抵抗性を検討している。

### 2.2.1 限界流速に関する検討

ここでは、Justin の方法によって検討が実施されている。Justin は土粒子の径に対し、浸透流速の限界値を次のように求める。粒子は浸透流速がある限界値を超えると移動し、パイピングが発生するとし、この限界値を限界流速と呼んでいる。計算は単純であり、土粒子の重量と土粒子断面が下から受ける流速のバランスが崩れる流速をもって、限界流速としている。まず、粒子径と限界流速の関係を Justin の式により求める。対象粒子径 0.05 mm の限界流速 2.29cm/sec に対して、浸透流解析から求まる Darcy の平均流速から求まる実流速との比較で安定性を確認している。安全率は 100 としている。

### 2.2.2 限界動水勾配に関する検討

限界流速は、土粒子と流速の関係であったが、ここでは浸透水圧と土柱重量との関係を確認することになる。水が静止状態にある場合、土粒子に作用する水圧は間隙圧のみであるが、流水状態にある時には、浸透水圧を受ける。浸透水圧がある限度以上になると、粒子は浮遊状態になる。この現象をクイックサンド現象といい、パイピングに移行する危険性がある。図-4 で洗掘された箇所における浸透水圧と土柱重量とのバランスを考える（一般的に、砂礫材料の水中重量は間隙比にもよるが、1.0kN/m<sup>3</sup>前後であることから、限界動水勾配も 1.0 前後となる。）。限界動水勾配は、土柱の比重と間隙比で求められ、ここでは 0.94 となり妥当な結果である。計算によって求まる動水勾配  $i_c$  は、図-5 に示すように掘削法面内における浸潤面で最大勾配となる箇所の値とした。この動水勾配が 1.0 を超えるようであれば、ボーリングが発生する。ここでの安全率は 3.0 を採用している。

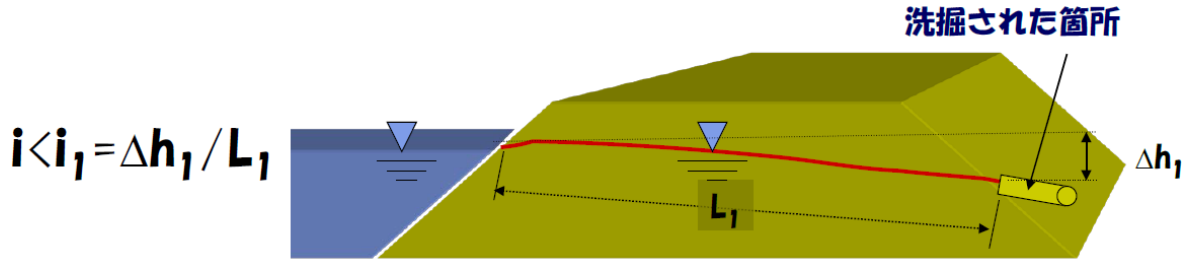


図-4 クイックサンド現象

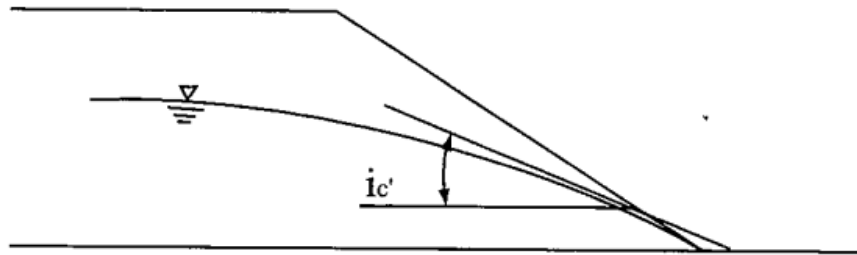


図-5 河床砂礫内浸潤面勾配

### 2.2.3 掘削法面からの浸透流量

浸透流量を計算する断面幅は、仮締切堤建設地点の河床幅としている。この浸透流量が掘削法面内に

貯留されるわけであり、設置されるポンプの排水能力の設定根拠となる。

表-2 力学的安定及び水理的安定の検討結果一覧

ケース	1		2		3		4		
	1	2	1	2	1	2	1	2	
工 法	上部砂礫を矢板止水		SMW 工法 (30cm 隙間)		SMW 工法 (着岩)		イコス工法		
掘削法肩～締切中央	170m	350m	170m	350m	60m	80m	40m	110m	
円 弧 す べ り	安全率	0.93	1.04	1.16	1.18	1.21	1.22	1.21	1.22
	評価	×	×	×	×	○	○	○	○
浸 透 流 速	ダルシ (cm/sec)	$1.57 \times 10^{-4}$	$6.65 \times 10^{-5}$	$4.08 \times 10^{-4}$	$3.41 \times 10^{-4}$	$2.55 \times 10^{-5}$	$2.52 \times 10^{-5}$	$2.56 \times 10^{-5}$	$2.56 \times 10^{-5}$
	実流速 (m/sec)	0.0523	0.0222	0.1360	0.1137	0.0085	0.0084	0.0085	0.0085
	安全率	44	103	17	20	269	273	269	269
	評価	×	○	×	×	○	○	○	○
動 水 勾 配	最急勾配	0.35	0.24	0.22	0.16	0.14	0.23	0.094	0.024
	安全率	2.7	3.9	4.3	5.9	4.1	6.7	10.0	39.2
	評価	×	○	○	○	○	○	○	○
浸 透 量	単位幅 (m <sup>3</sup> /sec)	$4.76 \times 10^{-4}$	$3.19 \times 10^{-4}$	$2.24 \times 10^{-4}$	$2.17 \times 10^{-4}$	$2.14 \times 10^{-4}$	$1.41 \times 10^{-4}$	$1.31 \times 10^{-4}$	$1.31 \times 10^{-4}$
	全量 (m <sup>3</sup> /sec)	2.86	1.91	1.31	1.30	1.28	0.85	0.79	0.79
	評価	○	○	○	○	○	○	○	○
総合評価	×	×	×	×	○	○	○	○	

## 【備考】

**MACH 工法**：岩盤や転石層の掘削に最適とされているダウンザホールハンマによる破碎方式に、リバーサーキュレーションによるカッティングス排出方式を取り入れた合理的な掘削工法。従来は困難とされていた岩盤、崖錐、崩積土、転石、捨石層等での、大口径掘削を必要とする各種工事に適用することができる。滞水層や水中での掘削、あるいは安定液の使用が可能。

**CMP 工法**：ソイルセメント柱列式地中連続壁 工法特許（通水性地中連続壁およびその構築方法）

**MEH、MHL 工法**：バケット式掘削工法、油圧または電動油圧開閉式バケットと、それを懸吊するベースマシン部（クローラクレーン、専用台車）によって構成される。特にMEH機は、超厚壁大深度掘削機。

**BW 工法**：回転垂直多軸式掘削工法、BW ドリルは、専用機またはクローラクレーンで吊り下げられ、2台の水中モータで駆動する5個または7個の縦軸回転ビットで掘削。掘削土はサクションポンプによるリバーサー循環で排出される地中連続壁構築工法。

## 3. 地中連続壁完成後の検証

### 3.1 揚水試験による連続地中壁の遮水性

SMW 工法による地中連続壁完成後に、**図-6**に示す上流仮締切にダム軸方向に3測線設定し、上下流方向に観測井を設置した。SMW 施工前の揚水試験によるデータを基礎データとするとのことである（ヒアリングによれば、厳密には施工前のデータではない。何故なら地中連続壁完成前のNo.1、No.2の水位差が既に3.0mとなっている。施工前にこの3測線の地下水位、原位置揚水試験を実施しておけば、地山周囲からの地下水の流入状況を評価できたと考えている。実際には堤体基礎掘削が開始されており、進入路等の影響で観測井を設置できなかった。また、実際には上流仮締切より下流、ダム軸までの間に小さな沢などがあったため、U字溝などを設置して、上流仮締切より上流に流したとのこと。）。

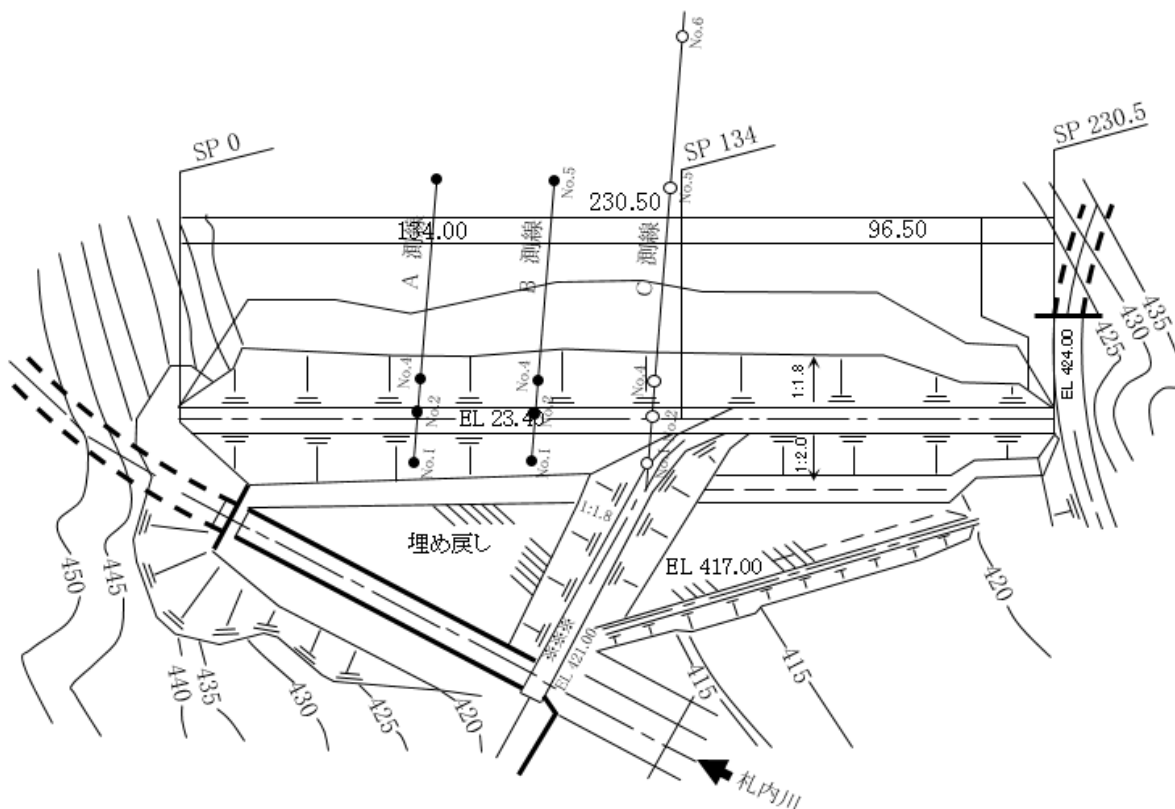


図-6 観測井の位置（3測線設定されている。）

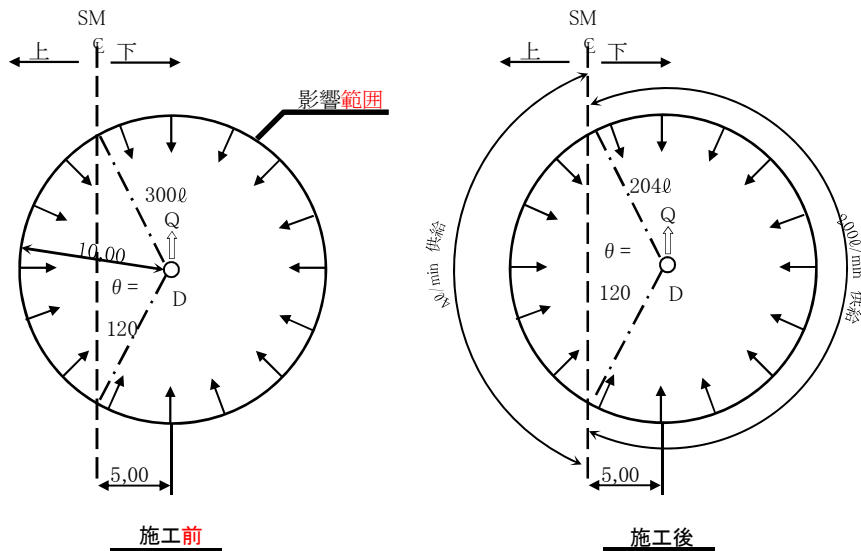


図-7 浸透水の供給モデル(平面図)

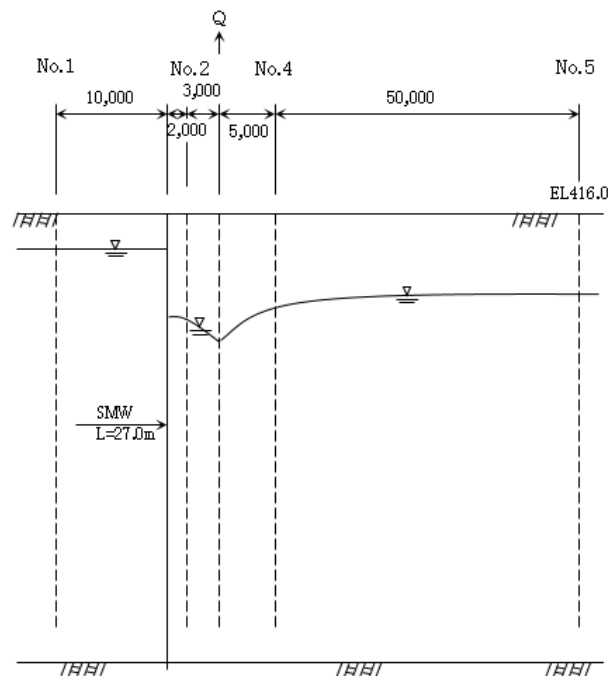


図-8 揚水試験解析モデル

札幌川ダムでは、SMW 造成前後で、図-7.8 に示したように、揚水試験を実施している。

SMW 造成前の揚水量： 300 ㎥/分

SMW 造成後の揚水量： 204 ㎥/分

また、図-7 に示すように SMW の下流からの浸透量  $Q_1$  とすると、

$$Q_1 = 300 \times 240^\circ / 360^\circ = 200 \text{ ㎥/分}$$

SMW 造成後の浸透量  $Q_2$  とすると、

$$Q_2 = 204 \text{ ㎥/分となり、}$$

$$\text{SMW からの浸透量 } Q_w \text{ は、 } Q_w = Q_2 - Q_1 = 204 - 200 = 4 \text{ ㎥/分となり、}$$

SMW の平面において長さは 2093cm (半径 10m なので  $2 \times 10 \times \pi \times 120 / 360$ ) なので、単位幅当たり 0.03185cc/秒/cm の浸透量となる。

SMW 造成前後の No.1, No.2 の水位差は、以下のとおりとなった。

SMW 造成前の水位差： 3.0m (不透水層からの水位 H:19.46m。ただし、No.1. No.2 は至近距離な

ので、そもそも水位差が発生するのかは疑問ではあるものの、実際にはEL.416m 地表面から-4.0mは、透水係数が高く、更にはSMW 壁もかなり良くできているので、揚水後比較的短時間で水位差がついたと考えている。この揚水試験は、ローカルな状況把握には適しているものの、マクロ的に全体の遮水性を把握するという観点からすると精度的に問題があるかもしれない。しかし、河床部の掘削開始にあたって、何等かのよりどころが必要であったと理解している。）

SMW 作成後の水位差： 5.77m （不透水層からの水位  $h$  : 22.23m。）

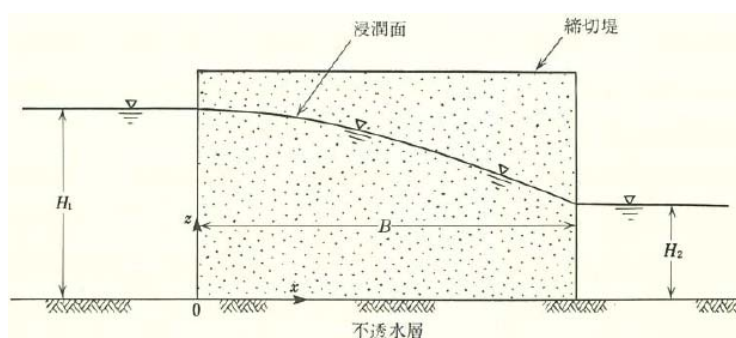


図-9 締切堤内の一次元流  
(ここでは、この締切堤が地中連続壁となる)

### 3.2 浸透流解析との比較による連続地中壁の遮水性

河床部の掘削を開始した後、図-6 に示した観測井 (C 測線) の水位を継続的に観測し、図-10 に示す浸透流解析モデルによって求めた浸潤面、浸透量と実測によるそれらを比較することによって、SMW の透水係数を確認した。

解析モデルを図-11 に示す。実測記録を図-12 に示す。掘削法面からの湧水量(法尻で計測)は 2.2 m<sup>3</sup>/分であり、連続地中壁の延長を 154.7m とすると SMW 単位幅当たり 2.37cc/秒/cm となる。

SMW の厚さが、55cm なので、図-9 の一次元流を考慮して SMW の透水係数  $k$  は、 $Q_w = k / (2 \times 55) \cdot (H^2 - h^2)$  なので、 $0.0385 = k / (2 \times 55) \cdot (2223^2 - 1946^2)$  より、 $k = 1.8 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$  となる。

ここで、実際の浸透量は掘削法面底部釜場で 2.37cc/秒/cm なので、揚水量は局所的な値であるとはいえ 0.3185cc/秒/cm であるので、二桁異なっている。釜場での浸透量がマクロ的に妥当とすると、遮水壁の透水係数  $k=1.8 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$  となり、後述の浸透流計算から求めた遮水壁の透水係数と整合するものと考えられる。

表-3 透水係数及び上流側地下水位

名称	透水係数 (cm/秒)
砂礫層	$1.0 \times 10^{-1}$
シルト混じり砂礫層	$6.0 \times 10^{-3}$
不透水層	$1.0 \times 10^{-10}$
SMW 壁	(解析結果に示す。)
上流側地下水位	El. 412.7m

SMW の透水係数は表-4 のように設定した。

表-4 透水係数の設定

ケース	透水係数 (cm/秒)
①	$1.0 \times 10^{-5}$
②	$3.0 \times 10^{-5}$
③	$5.0 \times 10^{-5}$
④	$7.0 \times 10^{-5}$



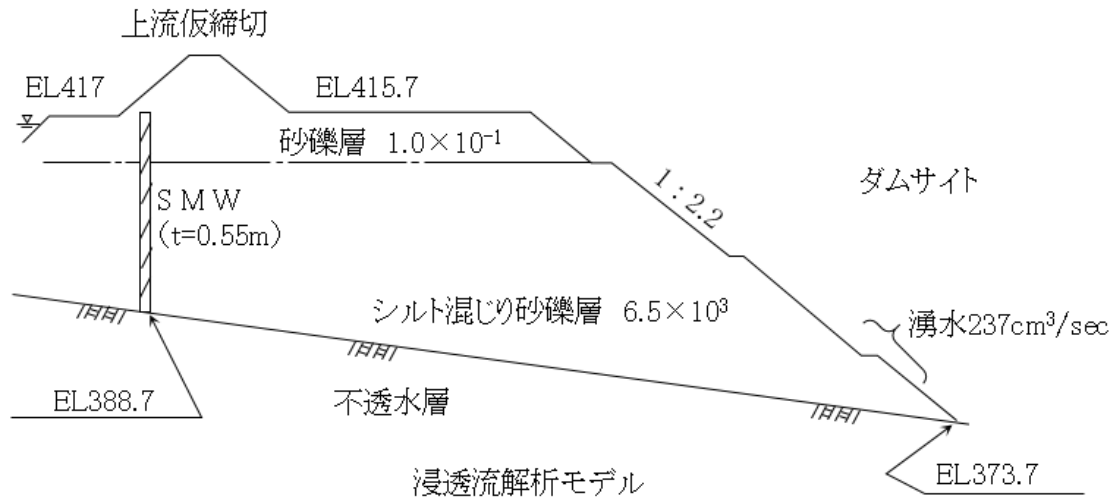


図-10 浸透流解析モデル

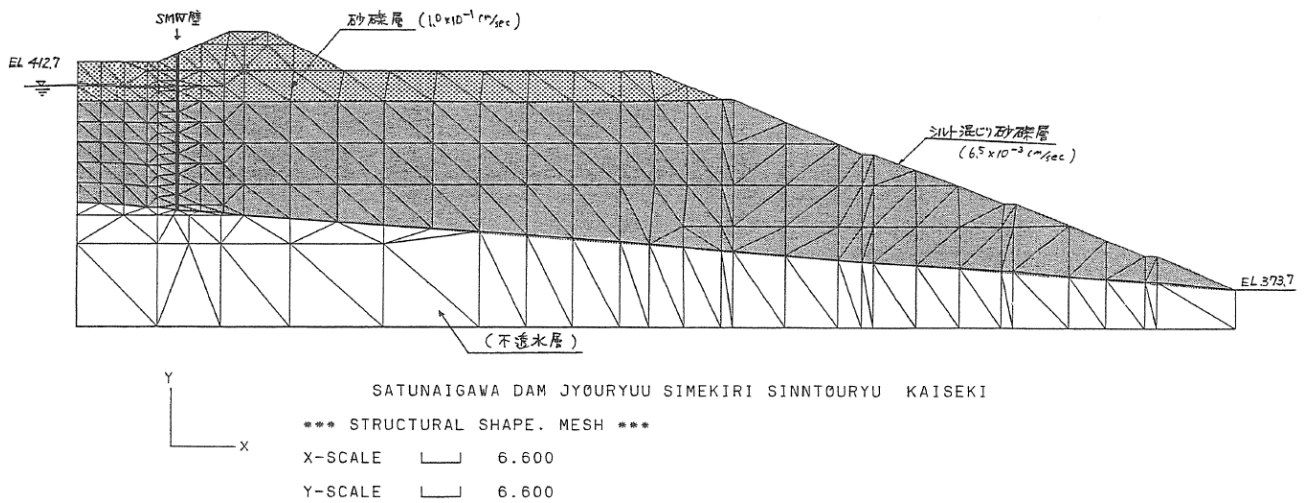


図-11 有限要素

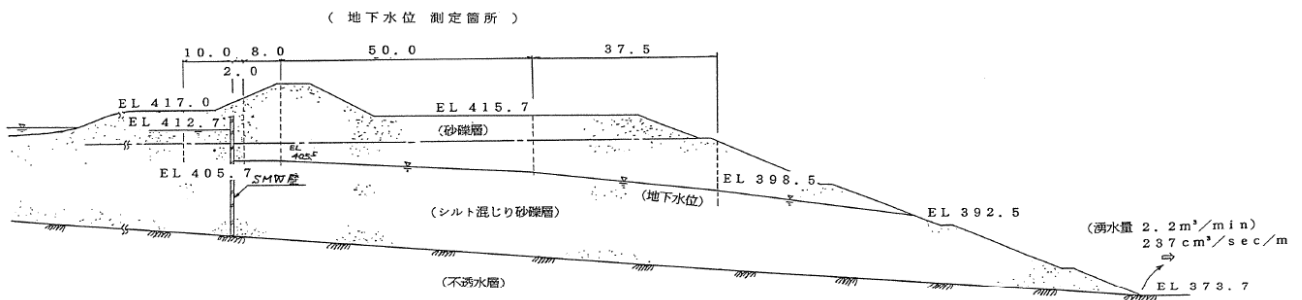


図-12 観測井による連続地中壁下流の水位と湧水量

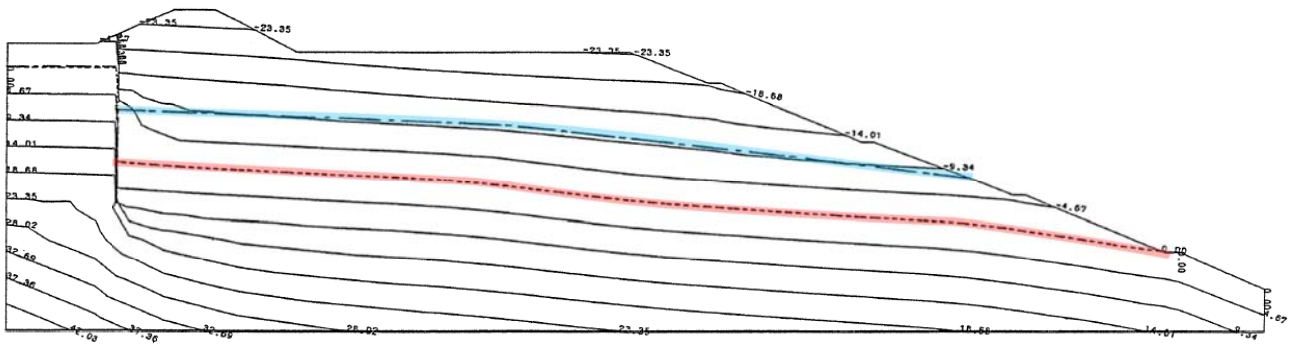


図-13 ケース① ( $1.0 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ )  
 点鎖線：実測水位、破線：解析による水位

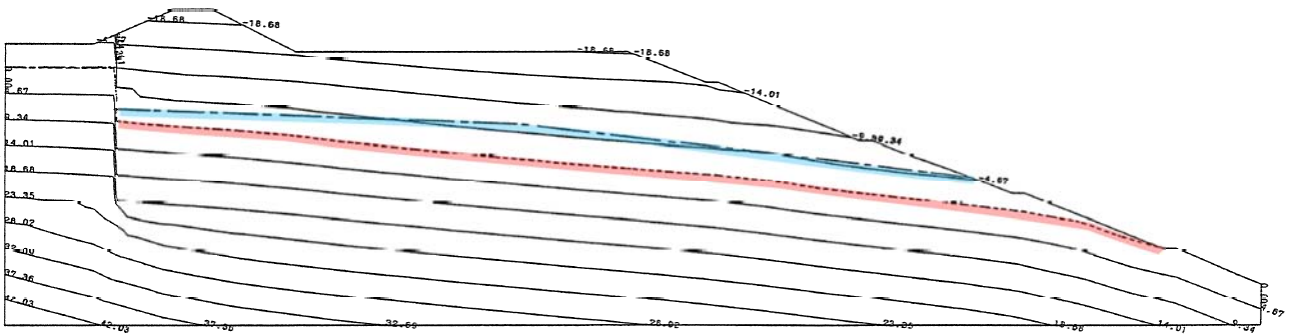


図-14 ケース② ( $3.0 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ )  
 点鎖線：実測水位、破線：解析による水位

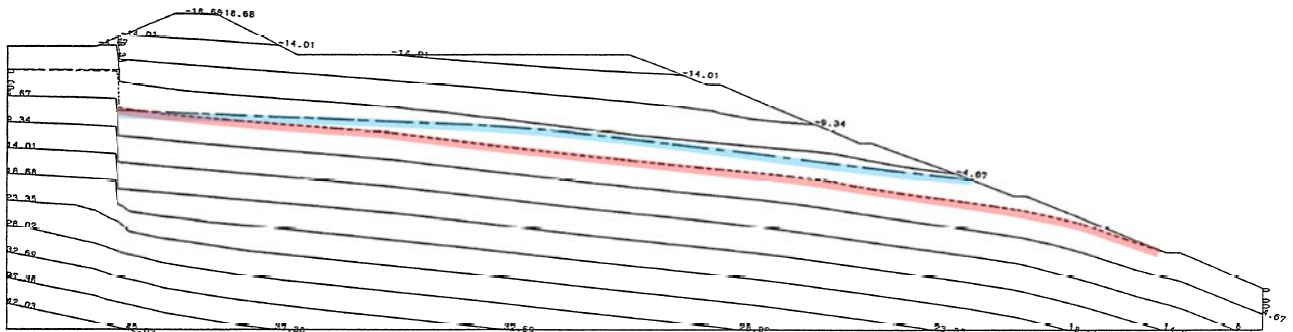


図-15 ケース③ ( $5.0 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ )  
 点鎖線：実測水位、破線：解析による水位

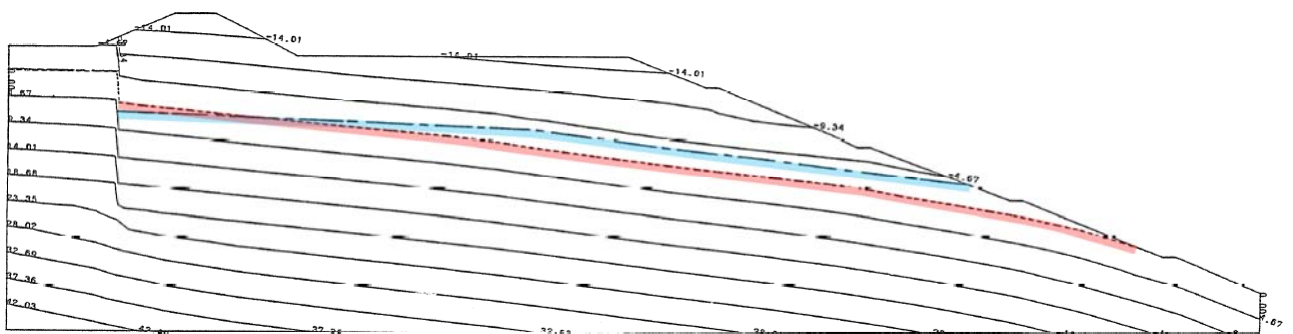


図-16 ケース④ ( $7.0 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ )  
 点鎖線：実測水位、破線：解析による水位

実測の水位(浸潤面)は、解析による水位(浸潤面)を比較すると、ケース③( $5.0 \times 10^{-5}$ )、ケース④ ( $7.0 \times 10^{-5}$ ) は、再現性が良い。また、掘削の法面からの湧水量は表-5②示すとおりであり、湧水量も実測が  $2.37\text{cc/秒/cm}$  となっており、オーダー的にはケース④の値( $1.686\text{cc/秒/cm}$ )が近くなっている。

結果として、SMW の透水系数を  $1.0 \times 10^{-4}$  としても再現性は確保されるのではと考えられる。また、揚水試験における検討においても場合によっては SMW の透水系数は  $1.8 \times 10^{-4}$  ということもあり、結論として札内川ダムにおける SMW の透水系数は  $1.0 \times 10^{-4}$  として差し支えないのではないかと思われる。

表-5 法面からの湧水量

ケース	透水系数(cm/秒)	湧水量(cc/秒/cm)
①	$1.0 \times 10^{-5}$	0.698
②	$3.0 \times 10^{-5}$	1.28
③	$5.0 \times 10^{-5}$	1.506
④	$7.0 \times 10^{-5}$	1.686

実測の浸透水量： $2.37\text{cc/秒/cm}$

#### 4. 現場での対応

札内川ダムの河床砂礫掘削後の対応として、使用したポンプは吐出径 200mm, 50Hz, 出力 75kw 400V, 全揚程 60m, 最大吐出量  $4.5\text{m}^3/\text{分}$  で、2台設置していた。降雨による浸透量の増加に備えて 15台用意していた。降雨がない日は、ポンプの汲み上げ量は  $2.5\text{m}^3/\text{分}$  であった。 $237\text{cc/秒/m}$  の浸透量が釜場で記録されていたことから、地中連続壁の延長  $154.7\text{m}$  (大きめに見積もる) とすると、 $237 \times 60 \times 154.7 = 2199834\text{cc/分} = 2.1\text{m}^3/\text{分}$  となり、ポンプの実際の汲み上げ量に相当する。

地中連続壁の前後の観測井は、実際は施工途中に設置したのであって、施工前の地下水位を計測しているわけではない。地中連続壁施工前の状態を計測しておけば、地中連続壁の効果を適切に評価することができた可能性が高い。

当時の工事担当者からのヒアリングによれば、札内川ダムは、源流の札内岳 (1900m 峰) からわずか  $14\text{km}$  の地点に建設され、更にはアイヌ語でサチナイ、乾いた川の意味で、普段の河流は伏流水となっている。しかし、いざ洪水となると暴れ川となる急流河川であった。今では「ぴょうたんの滝」となって村民に親しまれている箇所には、過去には発電所

が築かれたが、完成後 1 年足らずで、堤高 18m の取水ダムが洪水による土砂の流入で、一晩で埋まってしまったという逸話がある河川であり、鳥海ダムに比べて転石の径が大きいとのことである。これは、工事担当者が実際に鳥海ダムのダムサイトを訪問した際の印象である。

また、浸透流解析上、掘削法面に浸潤線が出現するが実際はどうであったか、特に降雨があると浸潤線から浸透水が出てきて浸食の原因となる懸念がある。これも、当時の工事担当者によれば、実際に掘削法面に浸潤線が現れることはなく、砂礫内へ浸透水していた。ただし、法面に浸透水が現れて法面が浸食されないよう、蛇籠を浸透流解析上の法面に出現する浸潤線を覆うように設置したとのことであった。また、降雨時の法面浸食について留意する必要があるとのことであった。

#### 【結果とりまとめ】

今回、厚い河床砂礫層を有するダムサイトにダムを築造する際の遮水壁として自立連続壁を検討する場合の考え方、その検証を含め札内川ダムで実施された検討をここで紹介した。浸透流解析を実施するにあたり、何を評価指標とするのかによって構造・工法も少し幅広に選択肢が増えるとともに、安定性を確保しつつ費用低減にも大きく関わることが明らかとなった。今後のこのような検討を実施予定のダムにあっては、必ずや施工後の検証をすることによってさらなる知見が蓄積されるものと期待される。

#### 【謝辞】

本資料をまとめるにあたり、札内川ダム管理所から工事誌使用の承諾を得るとともに、株式会社安藤ハザマから資料の提供を受けました。ここに謝意を表します。

#### 【参考文献】

- 1) 国土交通省北海道開発局帯広開発建設部；札内川ダム工事誌、平成 13 年 12 月
- 2) 間・地崎・三井共同企業体、平成 2 年度 札内川ダム建設事業の内 札内川ダム堤体建設工事報告書、平成 2 年 3 月