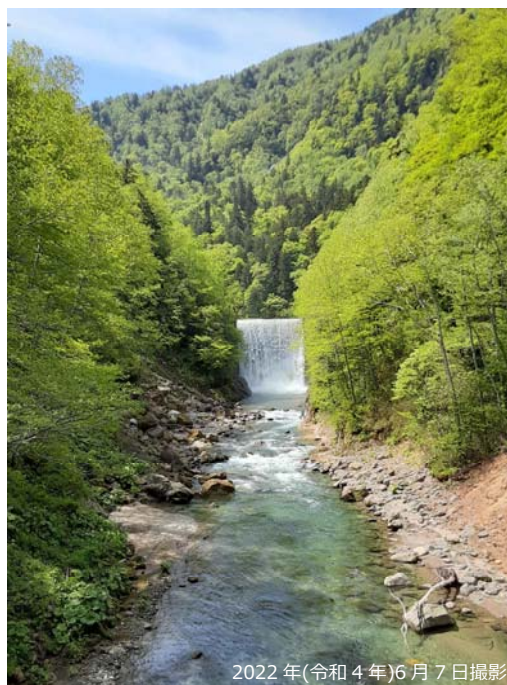


北海道で最初に着手した忠別川砂防事業



■ 忠別川砂防堰堤(清流堰堤) S25～S27



■ クフウンナイ川砂防堰堤(天人峡堰堤) S32～S38

目 次

1. はじめに	1
2. 流域概要	1
3. 砂防事業計画と展開	3
4. 砂防工事	5
4.1 粗石コンクリート	5
4.2 コンクリート配合設計	7
4.3 仮締切工法	10
5. 砂防堰堤構造図	11
5.1 忠別川砂防堰堤(清流堰堤)	11
5.2 ビウケナイ川砂防堰堤(ピウケナイ堰堤)	11
5.3 クフウンナイ川砂防堰堤(天人峡堰堤)	12
5.4 熊ノ沢川砂防堰堤	13
5.5 ノカナン沢川砂防堰堤	13
6. 砂防堰堤施工技術の変遷	14
6.1 砂防堰堤の堤体構築材料の変遷	14
6.2 砂防堰堤の施工技術の変遷	16
7. おわりに	17

北海道で最初に着手した忠別川砂防事業

石川 勲*

(* (株)シン技術コンサル)

概要：石狩川水系忠別川上流の天人峡温泉（東川町・美瑛町）の下流において、北海道で初となる砂防事業が1950年（昭和25年）に着手された。本稿では、北海道の砂防技術の基礎をつくり上げた、忠別川砂防事業開始当時の時代背景や砂防計画、工事などを紹介する。

1. はじめに

北海道では、1948年（昭和23年）、治山事業が着手され、続いて1950年（昭和25年）一級河川石狩川水系忠別川の上流、天人峡温泉の下流に本道初の砂防事業に着手した。（図-1）

その契機となったのは、1947年（昭和22年）8月15日から16日、上川中部の忠別川を中心とする低気圧による局地的豪雨により、忠別川の崖錐崩落に起因する土石流が発生し、松山温泉（現天人峡温泉）の旧館が流失した。このような大規模な流出土砂を伴う洪水災害が、砂防事業のはじまりの原動力となった。この砂防事業のはじまりの経緯については、「石川勲（2022）：近代砂防のあゆみと北海道砂防事業のはじまり，p. 9-23」に詳述している。

忠別川は、石狩川上流の中でも最も急流な河川で、上流部では大規模な崩壊地が集中する土砂生産地帯があり、溪床には巨礫が混入した多量の不安定土砂が堆積し、洪水の度に乱流・偏流が発生して流路が変わる荒廃河川（＝土砂流出の多い川）で、本道有数のいわゆる“暴れ川”である。

本稿では、砂防の専門書などは今日のように簡単に入手できなかった、砂防事業開始の早い時期に、砂防堰堤のコンクリート設計を容積配合から重量配合で設計するなど、今日の北海道砂防技術の基礎をつくりあげた、昭和20年代、30年代における、忠別川砂防事業の計画、工事などについて、各種資料調査や関係者への聞き取り調査で明らかになった事項を踏まえ、紹介するものである。

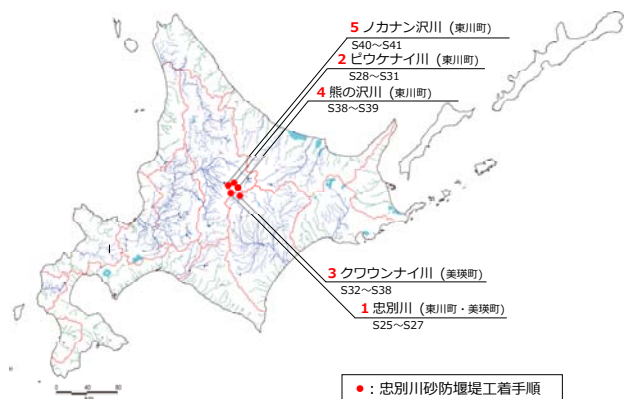


図-1 忠別川補助砂防事業着手溪流順

2. 流域概要

忠別川砂防流域図を図-2、3に示す。忠別川は、大雪山系西側の忠別岳（1,963m）に源を発し、幾つもの支流を集め、渓谷を流下して渓谷美を生み出している。なかでも支流であるアレイポップ川と二見川が合流し、北海道第1位の高さ270mの絶壁を7段に屈折しながら飛瀑する「羽衣の滝」（1954年（昭和29年）9月6日、北海道名勝特別天然記念物に指定：図-4）およびその上流の本川には川幅全体が、高さ20mの雄大な滝をなしている「敷島の滝」がある。また、本川両岸には、「涙壁」、「七福岩」（図-5）、「立琴の岩」などの柱状節理の発達した絶壁が針広混交の原始林とよく調和しており、北海道の中でも特に美しい峡谷として、大雪山国立公園第1種特別地域に指定（国立公園指定：1934年（昭和9年）12月4日内務省告示第568号）されている。（図-7）

この地域は、天人峡と呼ばれ、峡谷の入り口に

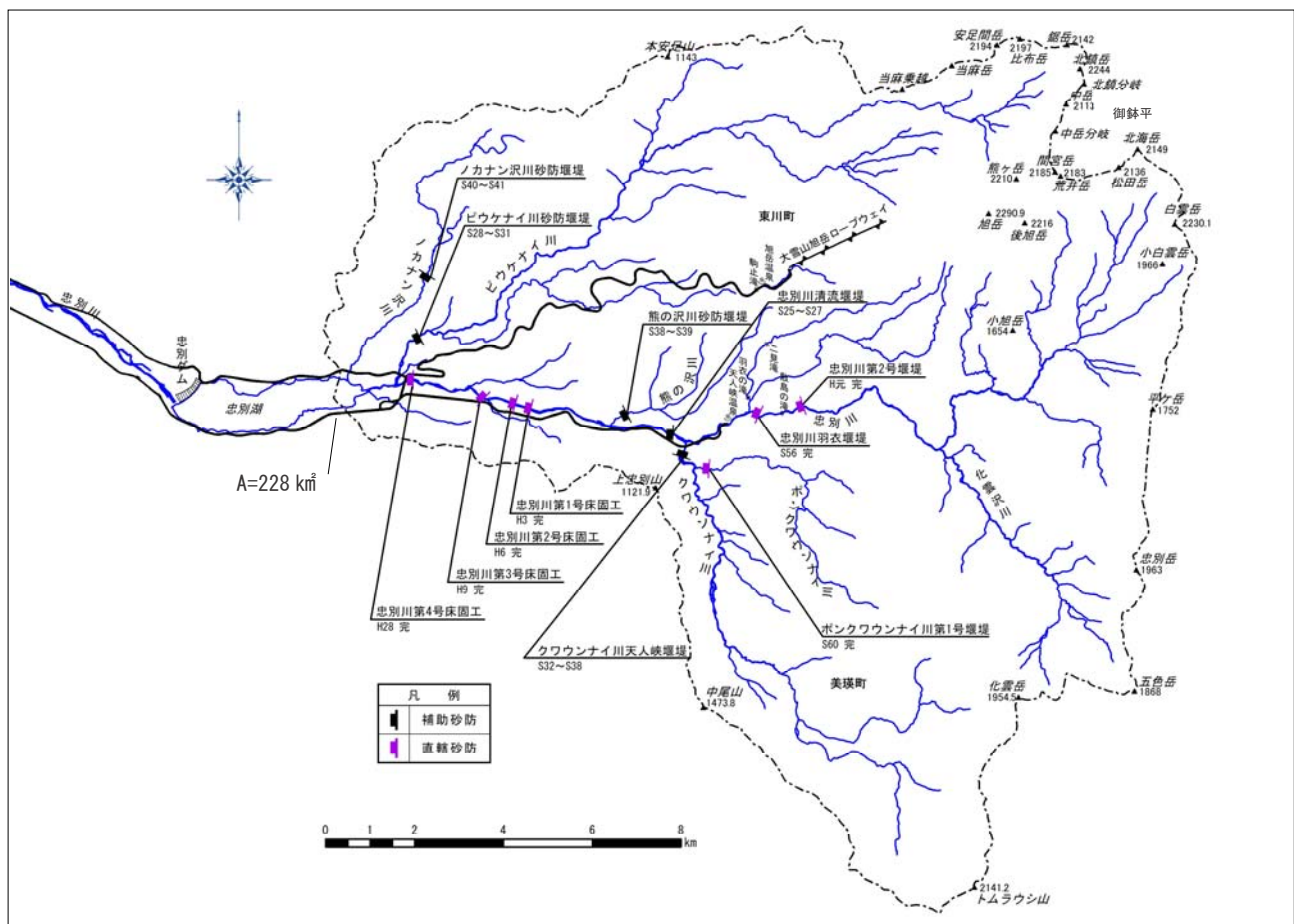


図-2 忠別川砂防流域図

は天人峡温泉があり、観光地として多くの人々が訪れ賑わいをみせている。この温泉より下流は、U字谷が続き、上川盆地の穀倉地帯を貫流（東川町、東神楽町）して、旭川市街地で美瑛川を合流して石狩川に注いでいる。

本流域の地質は、新第三紀―中新世のカウンナイプロピライト（変朽安山岩）が基盤をなし、その上位に、新第三紀―鮮新世から第四紀―現世にかけての火山活動に伴う、安山岩および溶結凝灰岩が堆積する構成である。本川沿いには、忠別川の下刻作用による険しい峡谷（U字谷）が形成されており、天人峡付近では柱状節理が発達した第四紀―更新世の層雲峡溶結凝灰岩の露頭（図-5）が見られる。この峡谷は、比高 300m～400m に達するもので、大規模な崩壊地が多く、忠別川の主な土砂生産源となっている。旭岳周辺では、溶岩流の原形をよく残し、標高 1,400m 付近は平坦な地形を形成し、多くの沼が発達している。



R4.7.30 (株)シン技術コンサル撮影

図-3 忠別川砂防流域全景

忠別川本川の河床勾配は、上流部 1/15 以上、下流部 1/70 程度、本流に築造した砂防堰堤（清流堰堤）地点では、1/35 程度あり（図-6）、これに合流する支渓群は、いずれも急勾配でクワウンナイ川では 1/30 程度、滝となって流入するような支流もあり、まだ浸食過程にあるといえる。



H30.7.8 (株)シン技術コンサル撮影

図-4 「羽衣の滝」

7段の階段状になって落ちて来る姿が優美な天女が羽衣を纏い舞っている様に見えることから名付けられた。

滝の地質は、上部：溶結凝灰岩、中部：軽石質凝灰岩、下部：安山岩となっており、地質の相違により浸食度が変わり、複雑な水の流れとなり、それが独特な趣となっている。

落差 270m は道内最大で、日本の滝百選に選定されている。

この他道内では、オシンコシンの滝（斜里町）、銀河・流星の滝（上川町）アシリベツの滝（札幌市南区）、インクラの滝（白老町）、賀老の滝（島牧村）が選定されている。



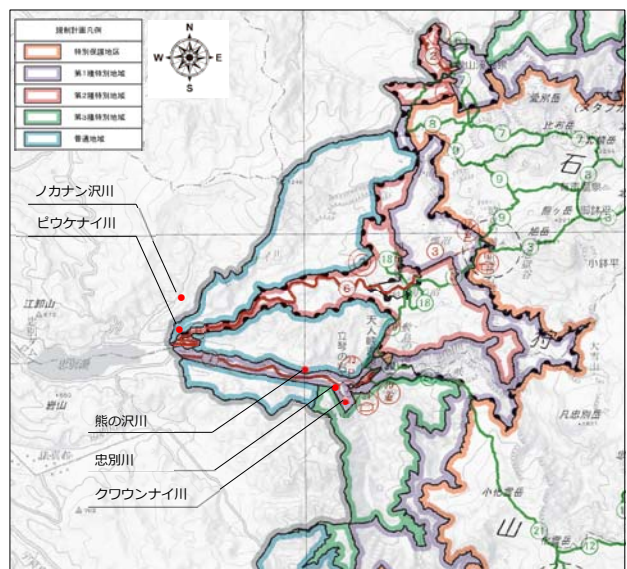
R4.6.7 撮影

図-5 約 3 万年前、旭岳（2,291m）の東方「御鉢平」と呼ばれるカルデラにあった火山が大噴火し、形成された「柱状節理」は、忠別川の下刻作用で、現在の形になり、天人峡の景観を作っている。
写真は、等間隔で並んだ 7 本の岩を七福神に見立て、「七福岩」と呼ぶ。



R4.6.7 撮影

図-6 忠別川とクワウンナイ川合流点より下流を望む（忠別川砂防堰堤堆砂地）



環境省北海道地方環境事務所「大雪山国立公園区域及び公園計画図」より

図-7 大雪山国立公園区域及び公園計画図（忠別川流域を抜粋）に加筆

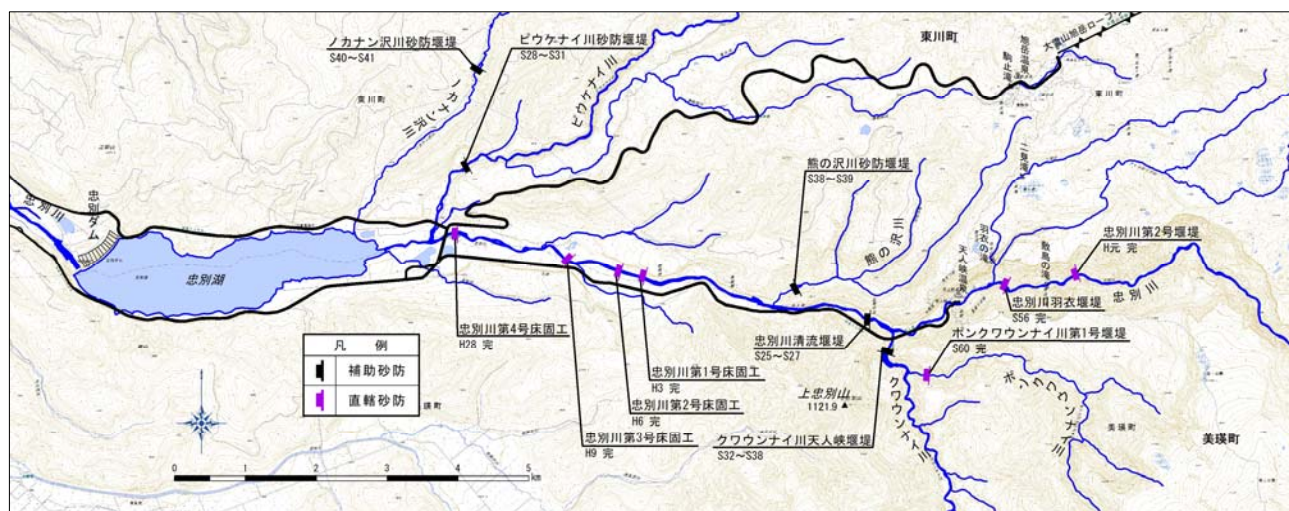
忠別川及びクワウンナイ川砂防堰堤は、第 1 種特別地域内に築造されている。

3. 砂防事業計画と展開

1947 年（昭和 22 年）8 月の低気圧、同年 9 月のカスリーン台風、1948 年（昭和 23 年）9 月のアイオン台風と相次いだ台風等による豪雨に伴い、忠別川流域は、土砂流出を伴う洪水被害はもとより、山地、河川の荒廃が著しく進んだ。

忠別川では、大規模な崩壊地が多く、河道内には多量の不安定土砂が堆積しており、放置しておけない状況から、本道初の砂防事業に着手する。

当時、「溪流の出口に一基ずつ砂防堰堤を配置



国土地理院地図に砂防設備等を追記して掲載

図－8 忠別川流域における砂防設備配置図

表－1 忠別川流域における補助砂防事業の着手溪流

溪流名	市町村名	施行年度	工種	型式	堰堤諸元			流域面積 (km ²)	計画洪水量 (m ³ /sec)	貯砂量 (m ³)
					堤高(m)	堤長(m)	立積(m ³)			
忠別川	東川町 美瑛町	S25～S27	堰堤工	重力式	10	100	5,430	127.9	868	144,000
ピウケナイ川	東川町	S28～S31	堰堤工	重力式	12	82	7,357	60.4	456	113,000
クワウンナイ川	美瑛町	S32～S38	堰堤工	アーチ式	26.7	52	8,080	53.4	400	406,000
熊の沢川	東川町	S38～S39	堰堤工	重力式	10	63	2,967	7.3	59	54,000
ノカナン沢川	東川町	S40～S41	堰堤工	重力式	10	86	3,622	14.0	102	102,000

して上流山地からの土砂流出を抑制する」という国の指導方針のもと、本流及びいくつもある支流の中から、荒廃した主要4溪流に砂防堰堤を一基ずつ計画した。(図－8)

表－1 に示すとおり、1950年(昭和25年)～1966年(昭和41年)までに、

- (1) 忠別川本流
 - (2) 道内第2の高峰、北鎮岳(2,244m)に源を発するピウケナイ川
 - (3) トムラウシ山(2,141m)に源を発するクワウンナイ川
 - (4) 旭岳温泉に源を発する熊の沢川
 - (5) ノカナン沢川
- (1)～(5)の順に、本流1基、支流4基、合わせて5基の砂防堰堤を築造した。

その後、1970年(昭和45年)7月の災害を契機に1971年(昭和46年)より、本道初の直轄砂防

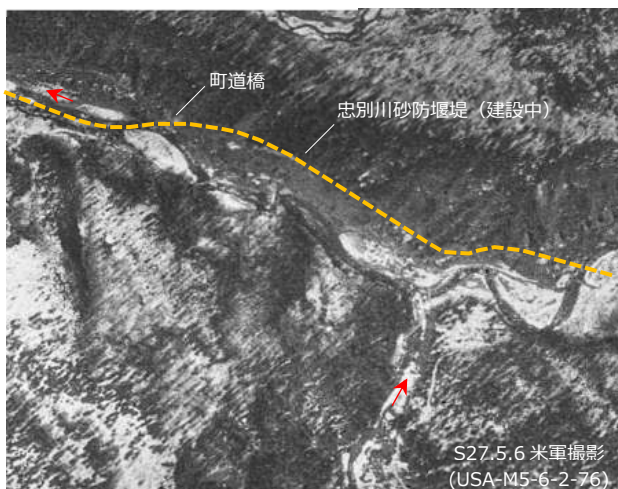
事業が石狩川本流上流域、支川のクツウンベツ川で開始され、1975年(昭和50年)8月の災害を契機に1978年(昭和53年)、石狩川上流域に加えて、忠別川上流域を直轄砂防事業区域に拡大し、現在も継続実施されている。

忠別川本流の砂防堰堤の位置について、

- (1) 河道狭窄部であること
- (2) その上流部は谷幅が広く、多量の不安定土砂が堆積し、土砂扞止、貯留、調節機能が高いこと
- (3) 町道橋(S29.3.30 道道松山美瑛線として路線認定、現道道天人峡美瑛線)の保全などを考慮し、この地点を選定したと考えられる。

なお、この橋梁及びその上下流に接続する道道の一部は、2003年(平成15年)3月、羽衣トンネル(L=872.5m)が忠別川左岸側に完成し、撤去・復元されている。(図－9)

1952 年 (S27.5)



1977 年 (S52.9)



2012 年 (H24.6)



図-9 忠別川砂防堰堤付近の変遷

4. 砂防工事

4.1 粗石コンクリート

1916 年 (大正 5 年) に着手した富士川水系御勅使川 (みだいがわ) 芦安堰堤は、日本で最初の表面石材の粗石コンクリート構造であった。砂防堰堤では、粗石コンクリート構造は昭和 20 年代までは主流であった。当時は、セメント自体が高価であったため、コンクリートの中に粗石 (玉石) を入れることで、セメント使用量の低減と現地発生材料の有効活用を図ったものである。

この時代に築造した忠別川砂防堰堤 (S25～S27) やピウケナイ川砂防堰堤 (S28～S31) は、堤体内部構築材料として、粗石コンクリート構造で施工されている。(図-10、11、12、13)

粗石コンクリート砂防堰堤は、コンクリートの型枠の内部に中詰め石として付近の河床材料を入れ、その間隙にコンクリートを充填した構造をもつ堰堤である。内部の施工方法は、30 cm～40 cm 程度の打設層ごとに粗石を敷ならべた中にコンクリートを投入し、次に粗石とコンクリートを一体化させるため、突き棒で突き固める。打設したコンクリートから粗石が頭を突き出した状態で一層の打設を終了し、この作業の繰り返しにより打設を行うものである。(図-14、15)

バイブレーター登場以前は突き棒を用いた突き固めを行っていた。コンクリートは中埋石の周囲を含めて、密に充填することとされ、打設層境界は堅硬なコンクリートが密着、一体化している。しかし、打設途中でのコンクリート不足或いは手作業による粗石の周囲や打設層下部では突き固めが十分にできず、空隙や多孔質の状態が残ることも多く、打設層下部で連続的な空隙卓越部が生じ、層状の弱部を形成している。また、粗石の下部にもコンクリートが十分に充填されず、空隙となっていたところも多いといわれている。また、昭和 30 年代にはミキサーやケーブルクレーンなどの機械化が進み、1 回当たりの打設能力が増加し、人力作業が必要な粗石の配置・投入や粗石周辺の突き固め作業が非効率であり、純コンクリー

トに移行しつつある時期でもあった。そのような時期の1963年(昭和38年)会計検査院の指摘(孔内に注水した水がすぐに抜けた)を受け、これを契機として、砂防工事での粗石コンクリートの廃止の方針が出された。

このような脆弱部の形成は、当時の施工時の技術や材料の制約の関係で生じたと考えられる。



図-10 粗石コンクリートで築造された忠別川砂防堰堤

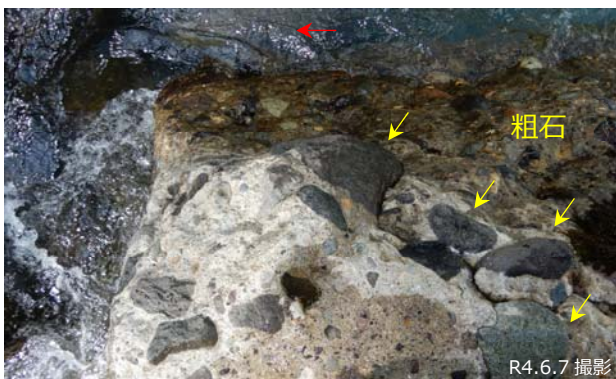


図-11 忠別川砂防堰堤 副堰堤(左岸水通し袖部) 粗石コンクリート



図-12 忠別川砂防堰堤 水叩部 粗石コンクリート



図-13 粗石コンクリートで築造されたピウケナイ川砂防堰堤

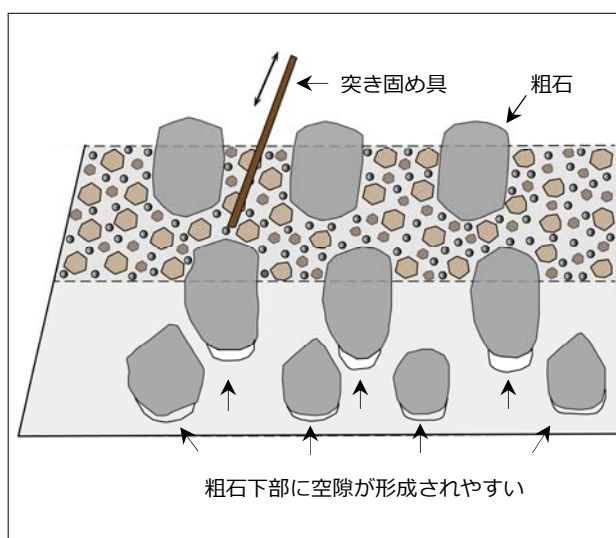


図-14 粗石コンクリートの模式断面図

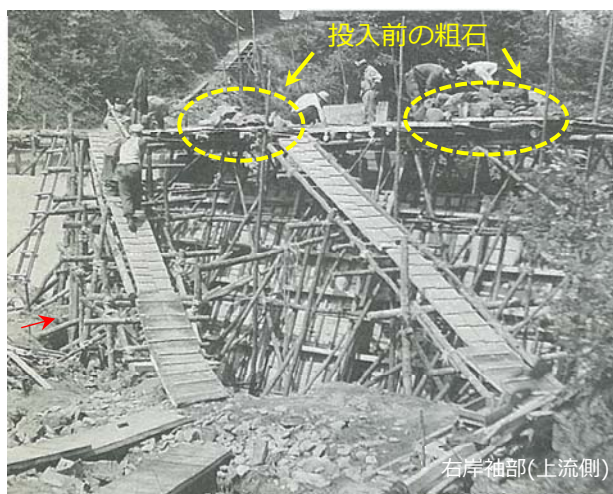


図-15 新川水系琴似発寒川平和堰堤 粗石コンクリート施工中の例 (S30)

4.2 コンクリート配合設計

コンクリートを作るときに強度、耐久性、ワーカビリティ（運搬・打込み・締固め・仕上げなどの作業性）を設定し、セメント、粗骨材、細骨材、水、混和材料の使用量を選定することを配合設計という。配合設計は構造物の用途によって、要求される性能は異なり、砂防堰堤に使われるコンクリートは、重さと水密性、耐久性が求められる一方、一般的な鉄筋コンクリート構造には、強度が求められる。その用途に応じた性能を定める際には、構造安全性を確保するためにコンクリートの設計基準強度が設定され、これを満足する目標強度が定められる。また、型枠内に確実にコンクリートを充填するための施工性能（スランプや材料分離抵抗性など）が定められる。さらに、耐久性を担保するための空気量や水セメント比が仕様として与えられる。

このような考え方に基づく配合理論や品質管理手法が明確に定まっていなかった時代に着手した忠別川砂防堰堤やピウケナイ川砂防堰堤のコンクリートについて、以下に述べる。

大正から昭和の初めにかけてコンクリートの研究が進み、コンクリートに対する仕様も作られるようになったが、まだ、品質管理というような概念は含まれていなかった。品質管理に関する研究論文が発表されるようになったのは昭和 25 年以降のことである。品質管理を行うためには、コンクリートの品質が明確に規定され、その品質を調べるための試験方法が確立されていなければならない。

そのような中であって、経験的に配合割合が定められていた。鉄筋コンクリート用の配合が、セメント：砂：砂利＝1：2：4、無筋コンクリート用が、セメント：砂：砂利＝1：3：6、捨コンクリートが、セメント：砂：砂利＝1：4：8 というようにコンクリートの配合を容積で示していた。しかし、容積といってもセメントは、1：2：4 の場合 330 kg、1：3：6 の場合 220 kg と決められていた。両者の間にはセメント量で 110 kg の差があった。これは、

セメントを多く使ったコンクリートほど良質であるという考え方である。

当時の設計書によれば、無筋コンクリート用は 1：3：6 とし、使用セメント量はコンクリート 1 m³ 当り 4.4 袋（1 袋は 50 kg）、砂は 0.45 m³、砂利 0.9 m³ と記されている。しかし、セメントは 4.4 袋×50 kg＝220 kg の重量でもある。したがって、この 1：3：6 という配合はセメントを重量で、骨材を容積とした「重量と容積」配合の折衷型の配合ともいえる。

粗石コンクリート構造で最初に施工された忠別川砂防堰堤（S25～S27）や二番目に施工された支流のピウケナイ川砂防堰堤（S28～S31）は、容積配合でセメント：砂：砂利＝1：3：6（無筋コンクリート）割合のコンクリートで施工されている。（図－10、11、12、13）

先に述べた粗石コンクリート砂防堰堤では、粗石の量だけコンクリートの量が減少する。このことは、セメントの量が少なくなるため、水和熱が低下し、ひびわれ発生の防止に役立っていたのである。

忠別川で三番目に着手した支流のクワウンナイ川（S32～S38）は、アーチ式コンクリート砂防堰堤である。アーチ式コンクリートダムは、貯水の水压等の荷重を主として堤体のアーチ作用によって左右の基礎岩盤に伝達する構造物であり、堤体断面を適切に選定すれば、コンクリートの強度を最大限に利用できる薄さまで、堤体断面を小さくすることができる。しかし、反面、基礎岩盤に伝達する単位面積当りの荷重は大きくなり、重力式コンクリートダムに比べ、基礎岩盤の地形、地質の制約を受けやすい。よって、アーチ式コンクリートダムの基礎岩盤に対しては、重力式コンクリートダムに比べ剛性、強度に関する制約が大きくなる。また、アーチ作用による荷重を基礎岩盤の厚みで支える必要があるため、アーチ式コンクリートダムのアバットメントの下流には十分な厚みを有する基礎岩盤が要求され、基礎岩盤内にアーチ作用を受けたときに、すべりやすい方向

の弱層が存在する場合には、十分注意が必要である。アーチ式コンクリートダムは、谷幅が狭いほど有利で、地質的条件に恵まれている場合には、谷幅が高さの3倍程度までは、重力式コンクリートダムよりも経済的となる場合が多いといわれている。

このような地形、地質などの自然条件をクワウンナイ川の砂防堰堤では満たしていたが、課題となったのは良質で均一なコンクリート即ち所要の強度を有し、品質のばらつきの少ないコンクリートであった。

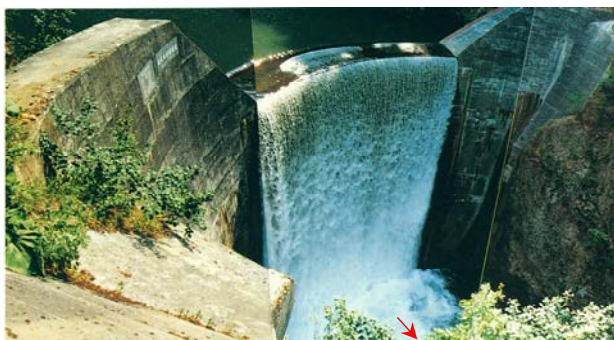
例えば、砂は水分状態によって容積が大きく変化する。さらに最もコンクリートに重要な使用水量が示されていないという容積配合では、所要の品質を満足し、施工の容易なコンクリートを得ることができないことが指摘されていた。良質で均一なコンクリートを作るには、材料はすべて重量によって配合、計量する、いわゆる重量配合が前提となり、これによって、コンクリートの所要の品質が確保される。

重量配合に取り組むことになった当時の状況について、「クワウンナイ川では、兩岸に岩盤が確認できたし、効率的に土砂を貯留できる理想的なダムサイトで、高い砂防堰堤を作ることができるということで、着手に至った。このときの課題はコンクリートの配合のことでした。当時のコンクリートは、全て容積配合で「1:3:6」と言って、セメントが1、砂が3、砂利が6の割合でかき混ぜてコンクリートを作っていた。そんな時代でしたが、アーチダムは、断面が薄いのでコンクリートの管理もそういうやり方では十分ではない。そこで、重量配合でコンクリートを練ることにしました。参考書などはほとんど入手できない当時の状況でしたから、現地にコンクリート試験室を作ってコンクリートの配合設計を決め施工したものです」と吉田弘（昭和29年～昭和43年旭川土木現業所）は話す。

また、「天人峡のアーチダムは、碎石を使用して施工した。忠別川では、玉石は現地採取できるが、

コンクリート骨材としてそのまま使用できないため、現地採取した玉石を砕いてコンクリート骨材として使用した」と寺岡利章（昭和33年～昭和42年旭川土木現業所）は話す。

こういった背景から、クワウンナイ川において、北海道で初めて重量配合設計のコンクリートでかつ純コンクリートの砂防堰堤が1957年（昭和32年）に着工された。（図-16）



昭和58年撮影

図-16 クワウンナイ川砂防堰堤（アーチ式）
北海道で初めて重量配合設計のコンクリートでかつ純コンクリートで施工された（写真は完成から20年経過）

この重量配合設計の仕様は、資料がなく詳細は不明であるが、粗骨材最大寸法80mm、骨材は忠別川産碎石を使用していた。表-2に示すとおり、1963年（昭和38年）に着手した富良野川1号砂防堰堤（S38～S43）の重量配合から、クワウンナイ川での重量配合を推定する。クワウンナイ川砂防堰堤の完成年と富良野川1号砂防堰堤の着手年が同時期であるため、配合の設計条件や重量配合の設計は、使用したコンクリート骨材の違い（富良野川は空知川産）を除き、表-2の配合表と大きな相違は無いと考えられる。

その後の砂防堰堤のコンクリートは、この時のコンクリート重量配合設計をベースに、粗骨材最大寸法80mmを基本として、現場ごとに重量配合を決め、バッチャープラントを設置して現場練りで製造し、コンクリートが打設された。

ただし、粗骨材最大寸法80mmのコンクリートを用いる砂防堰堤は、忠別川および富良野出張所

管内（富良野地区：富良野市、中富良野町、上富良野町、南富良野町、占冠村）のみである。他道内は、コンクリート用骨材供給の関係などから粗骨材最大寸法 40 mm としていた。

富良野出張所管内の砂防堰堤に用いるコンクリートは、粗骨材最大寸法 80 mm を基本に現場練り施工で、1978 年（昭和 53 年）まで続き、翌年から富良野地区で粗骨材最大寸法 80 mm の生コンクリートの製造が開始され、2019 年（平成 31 年）3 月まで続き、4 月から使用量や設備投資などの関係から粗骨材最大寸法 40 mm の生コンクリート（C-11）に変更となっている。

粗骨材最大寸法について、粒度が良ければ最大寸法の大きい粗骨材を用いる方が、所要のワーカビリティを得るのに必要な単位水量は少なくなる。したがって、それだけ単位セメント量を減じることができ、貧配合となり水和熱が低下し、ひびわれ発生の防止に役立つのである。

表－3、4 に示すとおり、粗骨材最大寸法 80 mm と 40 mm の単位セメント量を普通ポルトランドセメント使用で比較すると、粗骨材最大寸法 80 mm の方が、28 kg/m³、高炉セメント B 種使用では、37 kg/m³、減じられ貧配合となっている。

コンクリートの製造技術は、容積配合から重量配合に、手練りから機械練りにと変わり、現在では、ほとんど全自動式のバッチャープラントで製造されている。また、製造場所は工事現場から生コンクリート工場へと移行し、製造の管理も生コンクリートメーカーによって行われている。

表－2 粗骨材最大寸法 80 mm 現場練り配合例
（富良野川 1 号砂防堰堤：S38～S43）

配合の設計条件：80 mm 普通ポルトランドセメント

設計強度	スランプ	空気量	粗骨材の最大寸法	セメント種類
16	5cm	3.5%	80mm	N

配合表 (kg/m³)

セメント	水	細骨材 2.5mm	粗骨材 5～40mm	粗骨材 40～80mm	混和剤 AE 剤
238	114	663	722	722	0.60
水セメント比 W/C		50.0%	細骨材率 s/a		32.0%

注1 細骨材：空知川産
注2 粗骨材：空知川産

表－3 粗骨材最大寸法 80 mm
生コンクリート配合例

配合の設計条件：80 mm 普通ポルトランドセメント

呼び強度	スランプ	空気量	粗骨材の最大寸法	セメント種類
21	5cm	4.5%	80mm	N

配合表 (kg/m³)

セメント	水	細骨材 2.5mm	粗骨材 5～20mm	粗骨材 20～40mm	粗骨材 40～80mm	混和剤 AE 減水剤
214	122	730	558	421	422	1.712
水セメント比 W/C		57.1%	細骨材率 s/a		37.0%	

注1 細骨材：石狩川水系比布産（陸砂）
注2 粗骨材：中富良野町字奈江産（碎石）

配合の設計条件：80 mm 高炉セメント B 種

呼び強度	スランプ	空気量	粗骨材の最大寸法	セメント種類
21	5cm	4.5%	80mm	BB

配合表 (kg/m³)

セメント	水	細骨材 2.5mm	粗骨材 5～20mm	粗骨材 20～40mm	粗骨材 40～80mm	混和剤 AE 減水剤
220	119	671	584	438	439	1.760
水セメント比 W/C		54.0%	細骨材率 s/a		34.0%	

注1 細骨材：石狩川水系比布産（陸砂）
注2 粗骨材：中富良野町字奈江産（碎石）

表－4 粗骨材最大寸法 40 mm
生コンクリート配合例

配合の設計条件：40 mm 普通ポルトランドセメント（C-11）

呼び強度	スランプ	空気量	粗骨材の最大寸法	セメント種類
21	5cm	4.5%	40mm	N

配合表 (kg/m³)

セメント	水	細骨材 2.5mm	粗骨材 5～20mm	粗骨材 20～40mm	粗骨材 40～80mm	混和剤 AE 減水剤
242	142	839	832	357	—	1.936
水セメント比 W/C		58.6%	細骨材率 s/a		44.1%	

注1 細骨材：石狩川水系比布産（陸砂）
注2 粗骨材：中富良野町字奈江産（碎石）

配合の設計条件：40 mm 高炉セメント B 種（C-11）

呼び強度	スランプ	空気量	粗骨材の最大寸法	セメント種類
21	5cm	4.5%	40mm	BB

配合表 (kg/m³)

セメント	水	細骨材 2.5mm	粗骨材 5～20mm	粗骨材 20～40mm	粗骨材 40～80mm	混和剤 AE 減水剤
257	143	810	838	360	—	2.056
水セメント比 W/C		55.7%	細骨材率 s/a		43.1%	

注1 細骨材：石狩川水系比布産（陸砂）
注2 粗骨材：中富良野町字奈江産（碎石）

4.3 仮締切工法

1957 年（昭和 32 年）に着手したクワウンナイ川砂防堰堤の仮締切工について、「川名信・寺田昌一（1961）：忠別川静内川における薬液注入を利用した仮締切工法について、Vol. 14, No.1, p. 1-7」の題名で新砂防に掲載されており、それを要約して紹介する。

本堰堤を施工するにあたり、第一に締切り水替えを如何にするかは重要である。クワウンナイ川砂防堰堤では、トンネルによる仮排水路と岩盤を切って開水路を設けて排水する 2 案を比較設計し、図-17 に示すとおり、左岸側の岩盤に沿ってコンクリート擁壁を立て、岩盤を切って開水路を設け排水することとした。

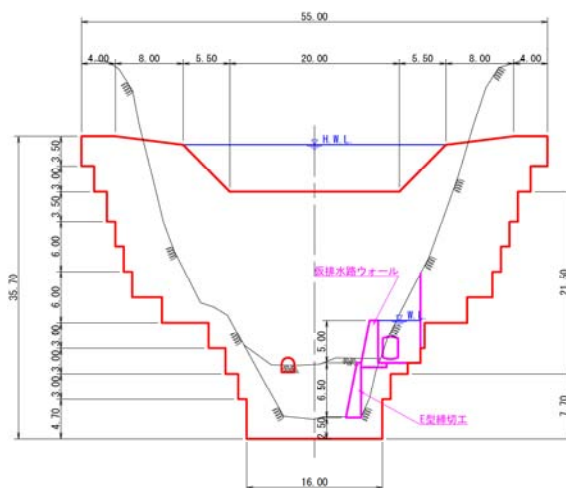
当初計画では、このコンクリート擁壁は岩盤上に立ち上げる予定であったが、実際に掘削をしてみると岩盤の一部に窪みがあり砂利層の上に立ち上げなければならないことが判明した。本堰堤基礎部の掘削は、砂利層が現河床から 6.2m、さらに基礎岩盤 2.5m ある。このような状況から仮排水路からの漏水が相当量見込まれる。さらに基礎掘削時、掘削面の崩壊が予想される。このことから排水路下部の漏水止めと砂利層の固結を図る必要が生じ、河床以下に薬液注入を行い、止水壁を構築した。

薬液注入に使用した材料は、①セメント（普通高炉セメント）②フライアッシュ（ポゾラン）③ハイドロック（A 剤：珪酸ソーダ類の一種で、水ガラスといわれる。B 剤：主成分は重炭酸ソーダで、塩化アンモニア、カルパミン酸ソーダ、重炭酸アンモニア等の混入した白色の粉末。C 剤：珪弗化ソーダ）この三剤の主作用は、A 剤がそれ自身固まる性質をもち、B 剤が他を固める性質で、C 剤は強度促進剤である。C 剤はその度合いを大にしても、それに比例して強度が大になるとは限らない。

セメントとフライアッシュは、ハイドロックが高価なため、増量剤として使用した。

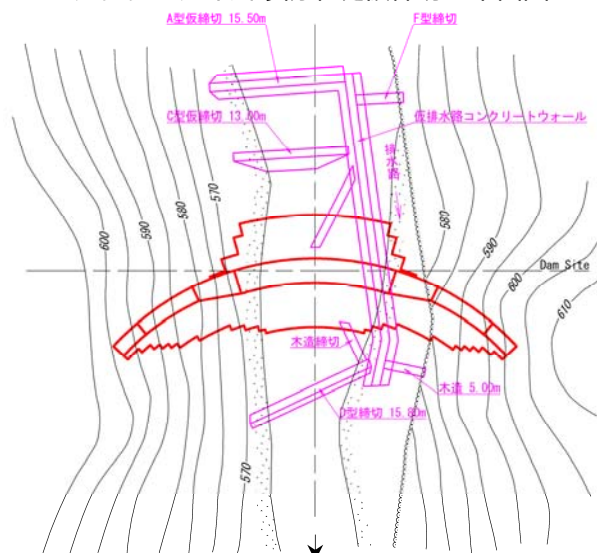
薬液の配合は次のとおりで、ハイドロック 1

クワウンナイ川砂防堰堤仮締切工正面図



川名信・寺田昌一（1961）から加筆修正して掲載

クワウンナイ川砂防堰堤仮締切工平面図



川名信・寺田昌一（1961）から加筆修正して掲載

図-17 クワウンナイ川砂防堰堤 仮締切工図

Batch 当り、1. B 剤 36ℓ 2. フライアッシュ 4 kg 3. セメント 6～8 kg 4. 石綿（充填剤）10 kg 5. C 剤 3 kg 6. A 剤 36ℓ（番号はミキサーに投入する順序である）

上記の配合で主に A 型仮締切工に配合したハイドロックを注入した。ハイドロックは凝固時間が短いという特徴があり、河床以下の多量の伏流水対策に大きな効果があった。他のセメントグラウト式の方法では成功は出来なかったと考える。この薬液注入工事の施工直後、排水路の天端まで来る洪水が発生、また、堤体掘削時の土砂崩れも無く、止水壁の効果を発揮した。

5. 砂防堰堤構造図

5.1 忠別川砂防堰堤（清流堰堤）

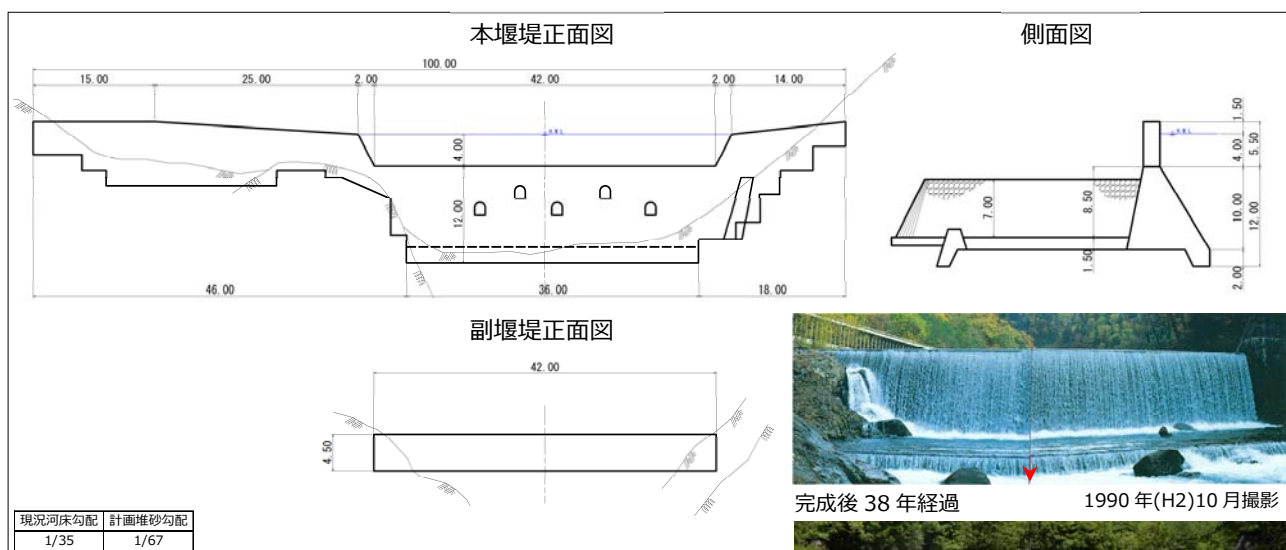


図-18 忠別川砂防堰堤（清流堰堤）S25～S27

5.2 ピウケナイ川砂防堰堤

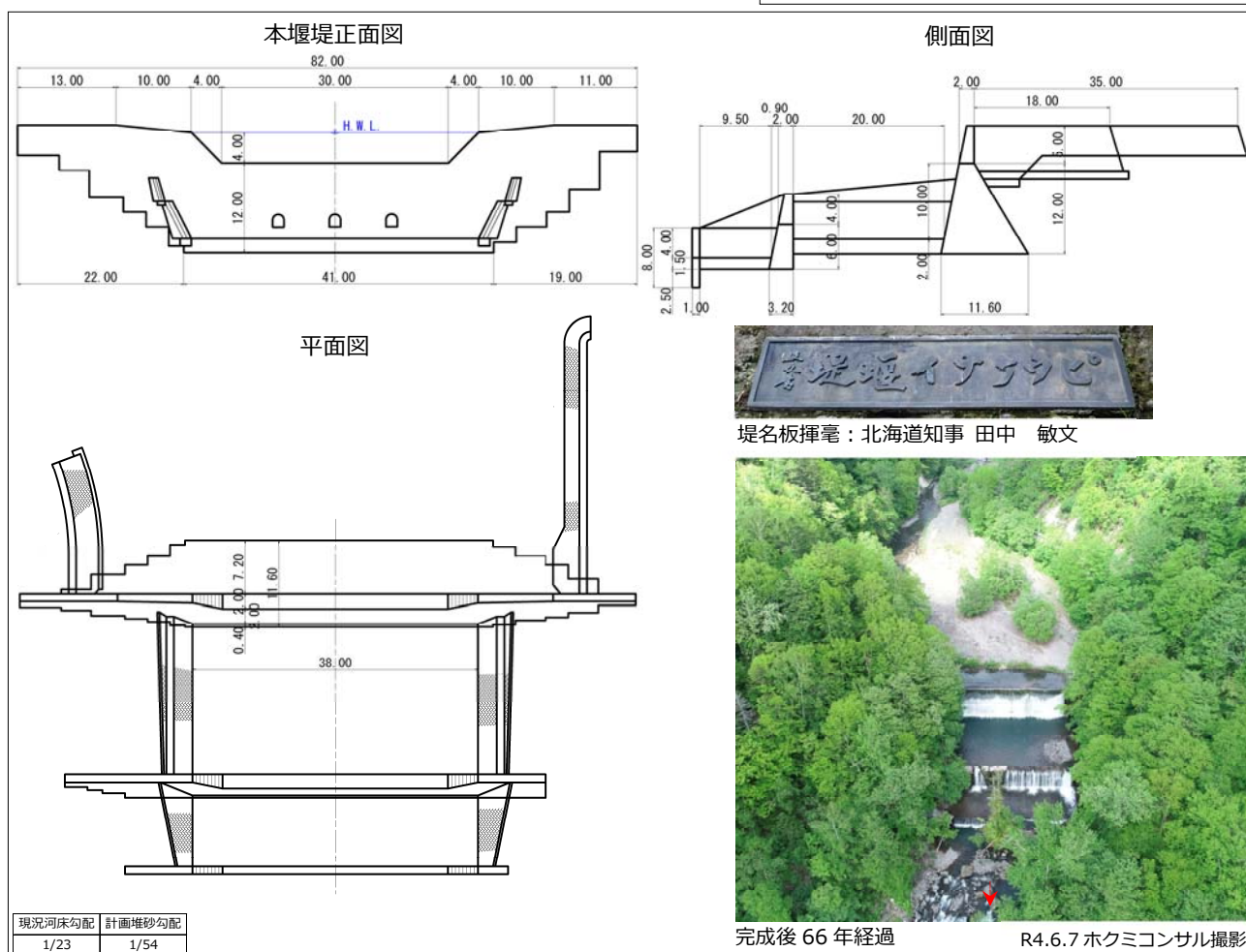
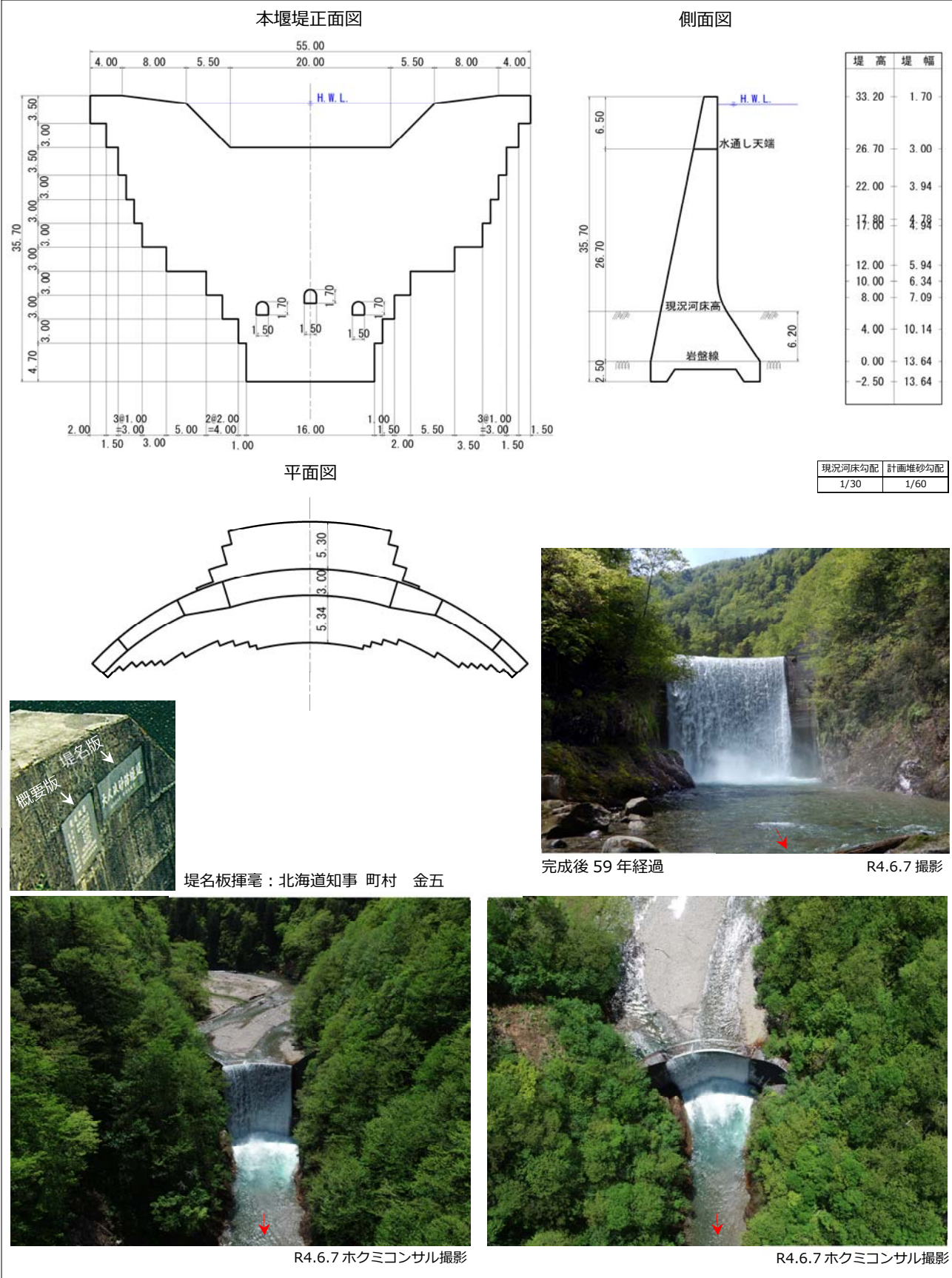


図-19 ピウケナイ川砂防堰堤（S28～S31）

5.3 クワウンナイ川砂防堰堤（天人峡堰堤）



図－20 クワウンナイ川砂防堰堤（天人峡堰堤） S32～S38

5.4 熊ノ沢川砂防堰堤

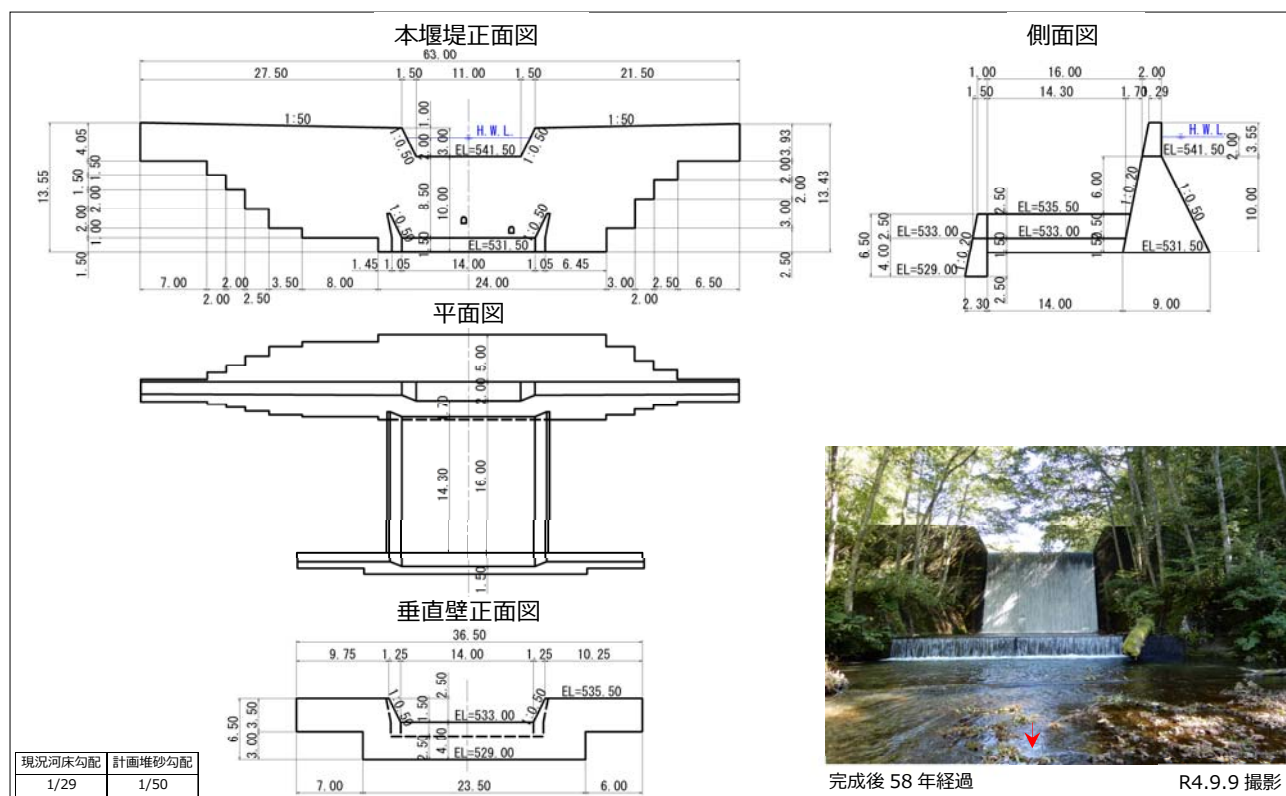


図-21 熊ノ沢川砂防堰堤 S38～S39

5.5 ノカナン沢川砂防堰堤

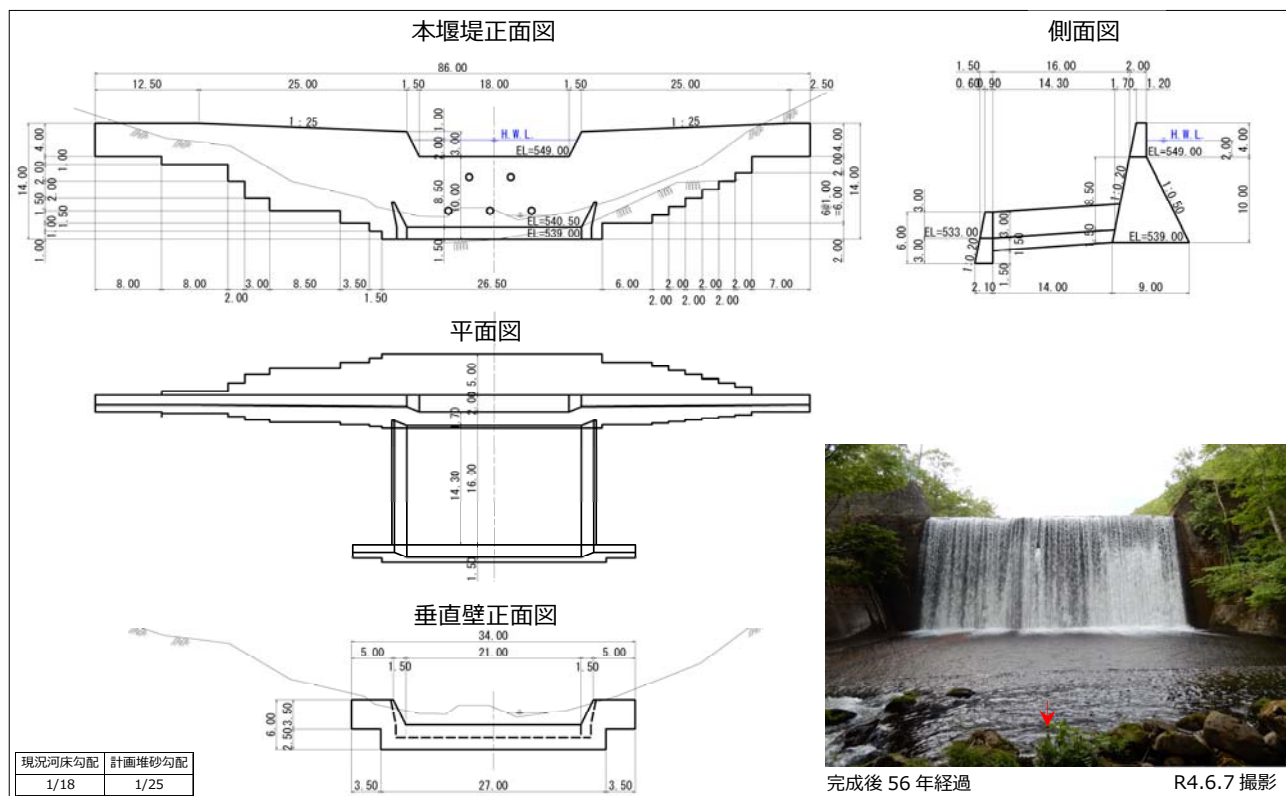


図-22 ノカナン沢川砂防堰堤 S40～S41

6. 砂防堰堤施工技術の変遷

6.1 砂防堰堤の堤体構築材料の変遷

砂防堰堤の堤体構築材料は、「石、土、木」が根幹となっていた時代を経て、近年では砂防技術の進展により、「鋼製砂防構造物」や「砂防ソイルセメント」などが普及し、砂防堰堤の要求機能に見合った工法の選択幅が広がっている。一方、今日で最も多い砂防堰堤の形式は、重力式コンクリート形式である。この要因としては、コンクリート技術の進歩によるところが大きであるが、砂防堰堤は流送砂礫の摩耗や厳しい気象環境などに対して、十分な耐久性を有している必要がある。

近年、砂防堰堤の長寿命化に対するニーズの高まりとともに、砂防堰堤の堤体材料の老朽化状況の評価が重要になってきている。老朽化は、施工時のコンクリートの品質も大きく影響している。

長寿命化対策を行ううえでの基礎資料として、時代ごとの砂防堰堤の堤体構築材料や施工方法の変遷を以下に整理した。(図-29)

(1) 石積・土

江戸時代～明治時代に主に用いられた材料である。当時は上流域の禿嶺地等からの土砂流出防止を想定していたため、法勾配は緩く、小規模である。ほとんど土堰堤を主構造とし、天端、下流だけを石積としている。空石積は出水で被災することが多く、その後は練石積が主体となった。砂防堰堤の大型化や強度等の要求品質の拡大に伴い衰退していった。(図-23、24)

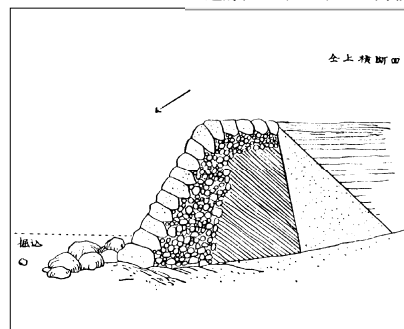
(2) 粗石コンクリート

大正時代にセメントの普及が進んだが、当時はセメント自体が高価であったため、コンクリートの中に粗石(玉石)を入れることで、セメント使用量の低減と現地発生材料の有効利用を図ったものである。

1916年(大正5年)、富士川水系御勅使川(みだいがわ)芦安堰堤は、日本で最初にコンクリート(粗石)を使用して築造された。(図-25)その後、粗石コンクリートが普及し、1955年(昭和30年)以前に施工された砂防堰堤は、粗石コンクリ



遠藤隆一(1955)から掲載



遠藤隆一(1955)から掲載

図-23 【野面石堰堤】 蘭工師ヨハデレイケ氏設計砂防工図解(明治13年原本透写図)(十六圖の内、第貳圖)



京都府建設交通部砂防課「京都府の砂防」から掲載

図-24 ヨハネス・デ・レーケの指導により淀川水系不動川に築造された日本最古の砂防堰堤で通称「デレーケ堰堤」といわれる。明治13年頃完成(京都府木津川市)

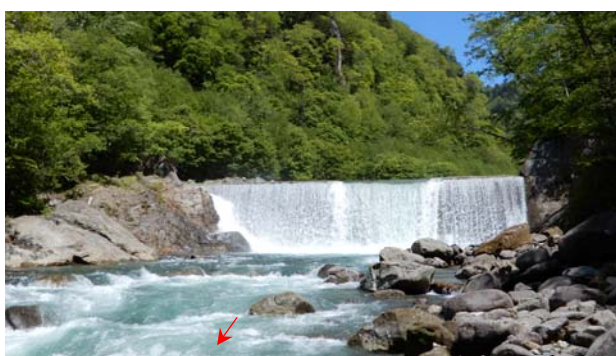
ートが一般的である。(図-26)

昭和30年代になるとミキサやケーブルクレーンなどの機械化が進み、人力作業が必要な粗石の配置や粗石周辺の突き固め作業が非効率であった。さらに、1963年(昭和38年)、粗石の周囲(特に下部)等で堤体内部の空隙の発生に対する会計検査院による指摘があり、これを契機として、砂防工事での廃止の方針が出された。



山梨県 県土整備部 砂防課より提供

図-25 富士川水系御勅使川に築造された、日本で最初のコンクリート（粗石）砂防堰堤「芦安堰堤」（山梨県南アルプス市）



R4.6.7 撮影

図-26 石狩川水系忠別川に粗石コンクリートで築造された、道内で最初の砂防堰堤（S25～S27）

(3)（純）コンクリート

純コンクリートによる砂防堰堤は、「適當の石材が得られる場合又は特殊の形状を有する堰堤」に用いると 1928 年（昭和 3 年）の「實用砂防工学」に記されている。昭和初期には河床に粗石（玉石）が採取できない箇所では純コンクリートの砂防堰堤が採用されていた。昭和 20 年代まで、純コンクリートの採用は限定的であった。

昭和 30 年代には施工機械の普及とともに採用が増えるようになり、1958 年（昭和 33 年）には、河川砂防技術基準（案）が制定され、工事方法についても同基準によって規定され、品質のばらつきが少なくなったものと考えられる。（図-27）

しかし、昭和 30 年代の砂防堰堤は、乾燥収縮に伴う亀裂や水平打継ぎ面からの滲み出しなど、施工管理技術が十分でなかったことが伺える。



R4.6.7 撮影

図-27 石狩川水系クウンナイ川に（純）コンクリート（重量配合設計）で築造された、道内で最初の砂防堰堤（アーチ式）

(4) 鋼製砂防構造物

昭和 40 年代から開発がなされた工法で、1976 年（昭和 51 年）から土石流補足工として採用された。土石流の実態解明が調査研究により進展したことで、土石流に対してマッシブな重力作用を有した構造形式だけでなく、強度による抵抗性を有した構造形式も有効であることから、鋼材を活用した砂防堰堤が築造されるようになった。

北海道では、1978 年（昭和 53 年）から有珠山周辺溪流において築造されている。（図-28）



昭和 54 年撮影

図-28 長流川水系壮瞥温泉川に築造された、道内で最初の鋼製スリット（A型）砂防堰堤（S53：壮瞥町）

(5) 砂防ソイルセメント

平成の始め頃から、建設残土とセメント或いはセメントミルクの現位置攪拌方法を用いた INSEM 工法（転圧タイプ）や ISM 工法（流動タイプ）が開発された。これらの工法はコスト縮減や環境負荷の低減、工期短縮等、条件によってはコンクリートと比べての優位性が発揮される。また、要求性能に対する目標強度を設定しており、活用部位に応じて材料の品質を変える設計としている。1995 年（平成 7 年）、雲仙普賢岳における水無川 1 号砂防堰堤の両袖部に、現地発生材料にセメントを混合した、この工法が採用された。

6.2 砂防堰堤施工技術の変遷

(1) コンクリートの製造方法

砂防堰堤にコンクリートが用いられ始めた大正期は全て人力施工で行われ、運搬手段等の制約もあり、コンクリートは昭和に入ってから長らく現場で製造されていた。

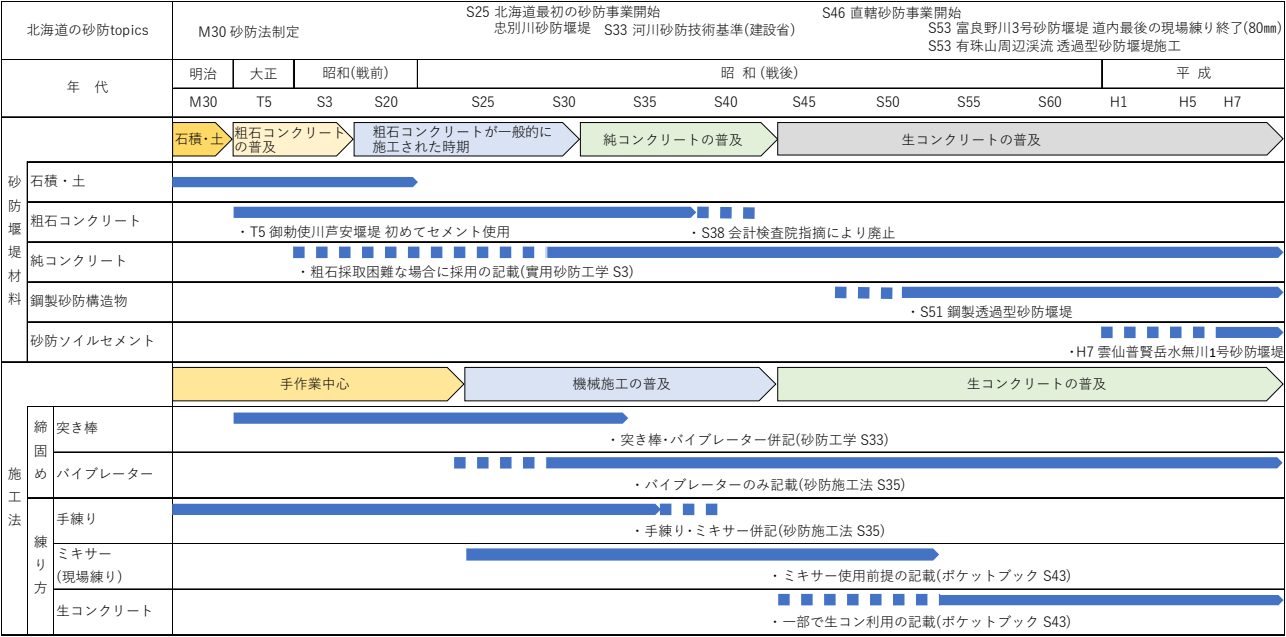
手作業の時代のコンクリートは、鉄板を敷いてそこにセメント、砂、骨材、水をスコップで練り混ぜ、製造していた。昭和 20 年代からミキサーが普及しはじめ、1958 年（昭和 33 年）制定の河川

砂防技術基準（案）ではミキサー利用が必須となった。その他の施工方法についても同基準によって規定された。

1949 年（昭和 24 年）11 月、東京地区で生コンクリートの製造が開始され、道内では、1960 年（昭和 35 年）10 月、札幌地区で開始される。しかし、山間部が主体の砂防工事では運搬環境等も影響して、長らく現場練りが行われていた。1968 年（昭和 43 年）の「現場技術者のための砂防・地すべり防止工事ポケットブック」では、一部で生コンクリートが使用されている旨の記載があるが、現場練りのための記載が多く、生コンクリートが全国各地に普及していなかったとみられる。

道内において砂防堰堤に用いる生コンクリートの製造は、粗骨材最大寸法 40 mm を主体とし、各地区へ広がっていった。一方、富良野地区のみ粗骨材最大寸法 80 mm の生コンクリートの製造が 1979 年（昭和 54 年）4 月から開始され、2019 年（平成 31 年）3 月まで続いた。これ以降は、粗骨材最大寸法 40 mm に変更となっている。

なお、道内最後の現場練り（粗骨材最大寸法 80 mm）現場は、1978 年（昭和 53 年）富良野川 3 号砂防堰堤であった。（図－30）



尾関信幸・亀澤奈央(2014)からデータを増やし加筆修正して掲載

図－29 砂防堰堤材料と施工方法変遷図



図一30 石狩川水系富良野川 3 号砂防堰堤
現場練りコンクリートで築造した
道内で最後の砂防堰堤（S48～S55、S59）
（コンクリート立積 26,545 m³の内、
現場練り 21,251 m³、S48～S53 まで）

(2) コンクリートの打設

大正期のコンクリート打設は、突き棒を用いて締め固めを行っていた。突き棒は直径 10 cm の棒で、作業員がそれを突き下ろしてコンクリート内の空隙をなくしていた。昭和 20 年代までは、ほぼ突き棒を用いていたが、昭和 33 年の河川砂防技術基準（案）では、砂防工事におけるコンクリート打設方法としてバイブレーターと突き棒の使用が併記され、昭和 30 年代でバイブレターの普及がはじまったと考えられる。

このように、時代ごとの施工方法の変遷を整理し、施工方法の変化に対応する堤体構築材料について述べてきた。その時代時代の堤体内部構造の特性を知っておくことは、砂防堰堤などの健全度を評価するうえで、重要なことである。

砂防堰堤では、粗石コンクリートが廃止される 1963 年（昭和 38 年）以前まで堤体材料として一般的に採用されており、現在も多数の砂防堰堤などが現役設備として機能している。現在のコンクリート基準の圧縮強度 18N/mm²で評価すると、多くの砂防堰堤などが NG になることが想定される。

しかし、堤高 15m 未満の重力式砂防堰堤の場合、安定計算における最大圧縮応力は、0.6 N/mm²程度以下であり、内部応力に対する抵抗材としては要求性能を満たす場合が多い。重力式砂防堰堤の場合、外力に対して自重により抵抗するため、全体としては重量さえあれば良いことになる。外部は所要の耐久性（強度）が必要となり、内部は所要

の強度と自重があれば良く、過剰な耐久性（強度）は必要ない。これらを踏まえると、堤体の内部と外部で材料の品質を変えることが、力学上合理的と考えられる。しかし、砂防堰堤のコンクリートにおいては経済性、施工性の面からいうと必ずしも優位になるとは限らないため、堤体全体において均一な品質で使用している。

コンクリート構造物の劣化の問題が表面化したことによる耐久性の向上に対する要請や生コンクリートの規格化が進み、低強度の規格が廃止されたことなどにより、砂防堰堤の内部に用いられるコンクリートの強度が必要以上のものになっていると考えられる。

近年の砂防技術の進展や設計、施工の合理化の推進によって様々な工法が確立されてきた。これらを複合的に用いることによって、砂防堰堤の力学的、経済的な面を満足できる設計、施工法が考案され、砂防設備の老朽化対策や維持管理に活かしていくことが望まれる。

7. おわりに

北海道の砂防事業黎明期、アーチ式砂防堰堤を築造するため、道内の砂防現場では採用されていなかった重量配合で設計して品質が一定に保たれているコンクリートが必要となり、そのための試験や研究を重ねて、北海道で初めて重量配合設計による砂防堰堤を完成させた。

こういった取り組みを担った者たちは、未知の分野に挑戦する気概に燃える若き技術者たちであり、北海道の砂防技術の基礎をつくりあげ、後の北海道砂防の発展に深く関わっていったのである。

これら幾多の先輩、先人の叡智と情熱を注いだ偉業を受け継ぎ、その技術の伝承・技術力の向上に向けて、「温故創新」（温故知新の造語：過去の事実を研究して新しいことを知るだけでなく、それを形にして創り上げていく、つまり、技術・知恵を受け継ぎ、新しい発想で、新しいことに挑戦する）していきたいものです。

参考文献

- 遠藤隆一（1955）：デレーケ工法と砂防模型, 砂防学会誌, 1955 巻, 17 号, p. 21-27
- 川名信・寺田昌一（1961）：忠別川静内川における薬液注入を利用した仮締切工法について, 砂防学会誌, Vol. 14, No.1, p. 1-7
- 尾関信幸・森俊勇・星野和彦（2010）：練石積砂防堰堤(粗石コンクリート構造)の特性と重点的な管理・補修施設の選定の考え方, 平成 22 年度砂防学会発表会概要集
- 尾関信幸・亀澤奈央（2014）：砂防堰堤におけるコンクリートの施工技術の変遷, 平成 26 年度砂防学会発表会概要集
- 赤木正雄（1975）：砂防工事
- 社団法人砂防学会（1991）：砂防学講座 第 1 巻-1 砂防総論(1), 第 2 章 砂防の歴史, 第 3 章 行政と法体系,
- 社団法人砂防学会（1991）：砂防学講座 第 1 巻-2 砂防総論(2), 第 7 章 日本各地の砂防・治山事業
- 社団法人全国治水砂防協会（1989）：砂防・地すべり防止施設事例集
- 社団法人全国治水砂防協会（1990）：日本の砂防
- 財団法人砂防・地すべり技術センター（1988）：北海道砂防計画論,
- 財団法人砂防・地すべり技術センター（1994）：鋼製砂防構造物設計便覧 平成 5 年度版
- 砂防ソイルセメント工法活用研究会（2002）：砂防ソイルセメント活用ガイドライン
- 社団法人北海道土木協会（1988）：琴似発寒川 30 年史



■ 忠別川砂防堰堤（清流堰堤）



■ ピウケナイ川砂防堰堤（ピウケナイ堰堤）



■ クワウンナイ川砂防堰堤（天人峡堰堤）



■ ノカナン沢川砂防堰堤