

3 ダムに関する技術

(1) 重力式コンクリートダム

ア 桂沢ダム

ダムサイトの地質は、概ね堅硬な細粒砂岩を主体とし、凝灰岩・礫岩の薄層を挟在する。着工後、計画変更によりダム高を 13.5m 上げたが、既にケーブルクレーンの走行路が出来上がっていたこと、基礎掘削土量が増加して工事費が増大すること、応力的には対応できる岩盤であることなどから、掘削を極力抑えて、両岸のアバット部に遮水を目的としたコンクリートコアウォールを施工した。

コンクリート打設は、両端可動ケーブルクレーンにより行われた。当時はパイプクーリング用の電縫鋼管を大量に入手することが困難であったことから、温度拘束の低減を図るために 15m×15m の柱状ブロック工法で打設した。

セメントは、計画当初、中庸熟ポルトランドセメントを検討したが、道内では製造されておらず高価なことから、普通ポルトランドセメントを用いた。その後、昭和 29 年に室蘭で高炉セメント工場が設立されたことから、高炉セメント 3 種類（スラグ混入率 40%、50%、60%）を製造し、これらを試験した結果、スラグ混入率 50% のものを昭和 30 年 6 月から使用した。

なお、桂沢ダムでは堤体を嵩上げするダム再開発工事が行われている。詳細については「(7) ダムの再開発」に示す。

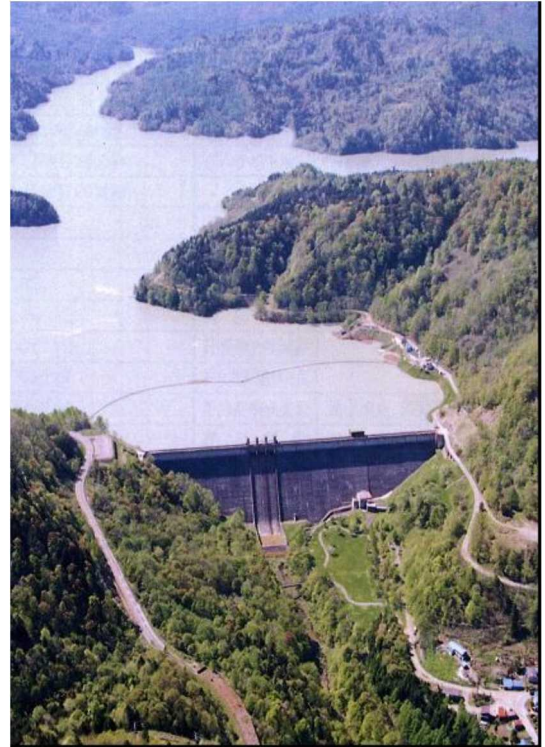


図 3-1-3-1 桂沢ダム（昭和 32 年 5 月竣工）

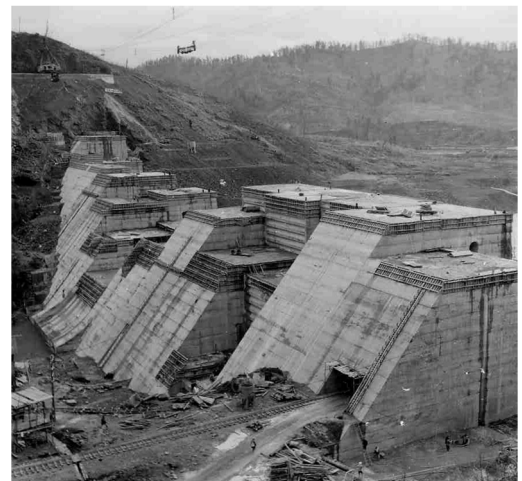


図 3-1-3-2 昭和 29 年 11 月 7 日堤体打設状況

イ 岩尾内ダム

ダムサイトの地質は、上流から輝緑岩、進入角礫岩及び日高層の粘板岩により構成されており、ダムの築造は、進入角礫岩の上に計画した。

ダム形式は重力式コンクリートであり、コンクリート打設はケーブルクレーンによるレアー打設とし、パイプクーリングによる冷却が行われた。河流処理は河川幅が広いことから、半川締切り工法が採用された。

爆破用削孔は、従来、ワゴンドリルやジャックハンマーが使用されていたが、道内のダムとしては初めてクローラードリルを採用し、5m ベンチカットにより堀削能率を上げ、工期の短縮を図った。コンクリート骨材は水没地の河床砂礫であったが、骨材製造プラントからコンクリート製造プラントまでの運搬経路で高低差の大きい尾根を超える必要があったことから、運搬方法は索道方式（単線循環方式架空索道、自動積荷・反転・発車装置）が採用された。また、砂の貯蔵ビンを木材で校倉造りとして、表面水を管理することに成功し、引き出しも容易になった。

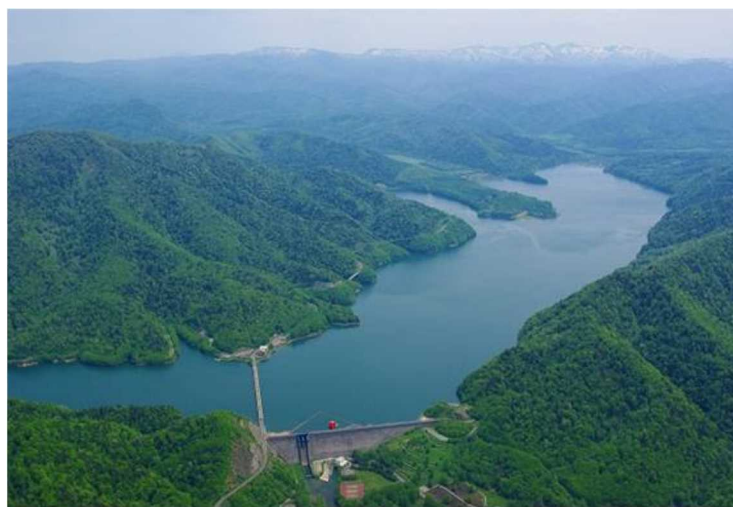


図 3-1-3-3 岩尾内ダムと岩尾内湖（昭和 46 年 3 月竣工）



図 3-1-3-4 ダム本体工事（昭和 45 年 6 月）

ウ 鹿の子ダム

ダムサイトの地質は、新第三紀の安山岩溶岩が主で一部に熱水変質を受けた部分もあるが、ダム位置としては特に問題はなかった。

ダム建設中の特徴として、コンクリート骨材に適当な原石山が近傍に存在しなかったことから、ダムサイトから12.5km下流の民地から河床堆積砂利を採取して使用したことが挙げられる。

跡地の復旧には、貯水池内の土砂を下層に、濁水処理の脱水ケーキを表層に埋め戻し、草地を造成した。脱水ケーキについては、有害物質の含有量及び溶出試験、モノマーの残留量、物理、化学的性状、栽培試験などを行い、問題のないことを確認の上、使用した。

鹿の子ダムは、利水放流を利用する管理用発電所を道内で初めて設置したダムでもある。発生電力は、管理所の光熱用及び機器類の操作用に使用している。



図 3-1-3-5 鹿ノ子ダム（昭和 59 年 3 月竣工）



図 3-1-3-6 管理用水力発電設備

エ 定山溪ダム

札幌市の人口が昭和 60 年には 160 万を突破する勢いがあり、豊平峡ダムのみでは水道用水の著しい不足が予測され、さらに、治水・利水安全度を高めることが望まれたことから、昭和 49 年度から定山溪ダムの実施計画調査に着手した。

この頃から自然環境保護に対する国民的要望が高まってきたが、環境影響評価の技術的手法が十分整備されていなかったことから、定山溪ダムにおいてはフィールドスタディとして、学識経験者からなる環境アセスメント委員会を設置し、その中で調査・評価を行った。この委員会方式は、その後のダム事業の環境調査にも取り入れられ、市民のダム事業に対する理解を深めることに役立った。

定山溪ダムのコンクリート打設に従来のようにケーブルクレーンを用いた場合、兩岸の地山を大きく掘削することになり、その跡地の修景緑化が困難と判断された。このような自然環境保全に対する要望を背景に、全国で初めて大型のジブクライミングクレーンを 3 基設置してコンクリートを打設し、兩岸の掘削を最小限度に抑えるとともに、工期の短縮及び事業費の軽減を図った。



図 3-1-3-7 定山溪ダム（平成 2 年 3 月竣工）



図 3-1-3-8 ジブクライミングクレーン 3 基でコンクリート打設中の定山溪ダム（昭和 61 年夏）

オ 二風谷ダム

二風谷ダムは、昭和 61 年にダム堤体建設工事に着手し、平成 10 年 3 月に完成、同年 4 月から管理に移行した重力式コンクリートダムである。

平成 15 年 8 月には既往最大の洪水が発生し、最大限の洪水調節を行ったほか、約 5 万 m³ の流木を捕捉し、ダムから下流の流木被害を軽減した。また、平成 19 年には近年多発した大雨による洪水調節容量、堆砂容量の見直し、社会情勢の変化によるかんがい、水道、工業用水の見直しを行い、「二風谷ダムと平取ダムの建設にかかる基本計画」の変更を行った。

二風谷ダムの河流処理の特徴として、①ダムサイトの川幅が広く、河床部には約 10m の河床堆積物が分布していること。②ダムサイト左岸直下には河川堤防があり、国道、家屋、競走馬の牧場、田畑が分布していること。③流域面積が 1,215km² で、基本高水流量 (5,400m³/s) が大きく、洪水吐は川幅全体に配置されていること。④川幅全体が洪水吐のため、放流管、ゲートなどの埋設金物が多く、据え付け時期など工程上の配慮が必要なこと等が挙げられる。以上を踏まえ、河道中央部分に分流壁を建設し、この分流壁を半川締め切りの一部として使用する方法を採用した。これにより、締め切り内における作業性の向上や、流下断面の確保が図られた。

沙流川は、サケ、サクラマス、シシャモなどが遡上する河川として知られている。このうちサクラマスは、産卵や生息場所の多くが二風谷ダムの上流にあることから、二風谷ダムにはサクラマスの資源保護を目的に魚道を設置した。二風谷ダムの魚道は、堤体を貫通する魚道の一部を可動式としたスイングシュート方式ゲートであり、ダム貯水水位の変化により最大で 5.9m の水位変動に対応することができるよう設計した。

魚道ゲートの可動部分は、ダム貯水水位の変化に合わせてゲートの高さを自動で追従させ、魚道内に流れる水量をほぼ一定に保ち、魚が上りやすいよう配慮したものである。近年の調査では、ウグイ、サケ、サクラマスなど多彩な魚種に利用されている。



図 3-1-3-9 二風谷ダム右岸下流より望む

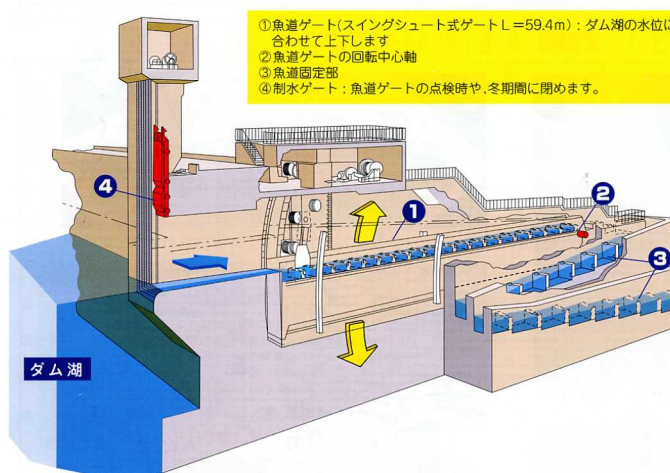


図 3-1-3-10 魚道ゲート (スイングシュート式)

カ 札内川ダム

ダムサイトの地質は、中生代白亜紀の日高累層ヤオロマップ川層であり、岩石は主として砂岩で、泥質岩を伴っている。

ダムの建設地点は、日高山脈襟裳国定公園内に位置することから、建設に当たっては、環境保全が最重要課題とされた。

環境保全の取組の中で、CO₂ 問題としてのセメント量の低減及び資源利用としての産業副産物の有効利用を目的に、地球環境に配慮したダムコンクリート技術としてダム用セメントを開発し、RCD 工法によりダム建設を行った。従来工法では、札内川ダムの規模では8万トンに及ぶセメント量を用いることとなるが、その約45%に当たる3万6千トンのセメントを低減（高炉スラグ微粉末に置換）し、ダム事業全体で発生するCO₂の総量に対して約25%の低減につながった。

また、湛水地内の樹木保全の観点から、通常の水位から中小洪水の水位までは、主に冠水に弱い針葉樹のみを伐採し、それより上に位置する樹木については全て残すことにより、従来の水際の伐採範囲のうち、約21万m²に及ぶ樹木を保全した。



図 3-1-3-11 札内川ダム（平成 10 年 7 月竣工）



図 3-1-3-12 堤体打設状況

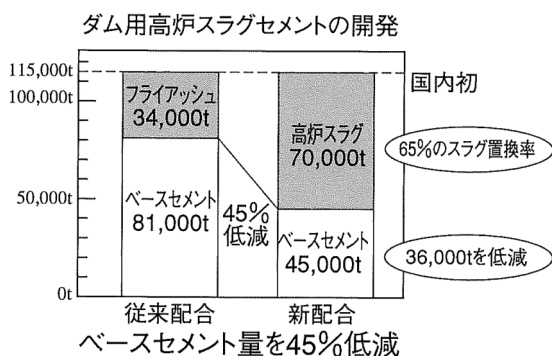


図 3-1-3-13 堤体用セメント配合

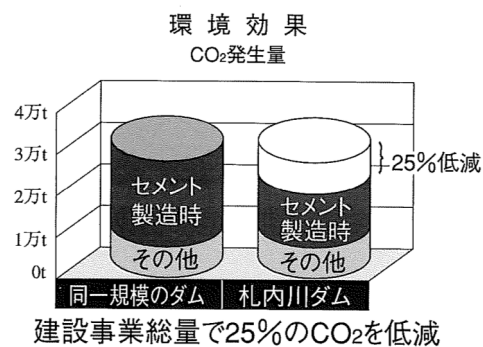


図 3-1-3-14 新セメントの環境効果

さらに、道道静内中札内線の補償工事において、工事計画、施工管理を徹底し、土工量を最小限にとどめるよう努めた。完成後の平成 15 年 8 月には、記録的な流入量 674m³/s（計画 700m³/s）を観測したが、ダムによる洪水調節により、下流域の被害を軽減した。また、平成 11 年度からのダム運用後においても札内川は、清流日本一（国土交通省河川局認定）を 3 回達成している。

キ 滝里ダム

ダム建設は平成4年からコンクリート打設を開始し、平成5年からRCD工法により施工、平成9年10月末に打設を完了し、平成11年に竣工した。

RCD工法のコンクリート運搬方法としては、ダンプトラック直接進入による運搬が一般的であるが、当ダムの場合、空知川の河道が右岸直上流の崖下に寄っていること、上流仮締切堤や既設の発電所用取水堰があったことから、上流側からの進入路の取付けが困難であったため、どのような地形条件にも適合して環境の改変が少なく、据付撤去費が安価であり、熟練運転手を必要としないなど、省力化になじむベルトコンベア方式を堤体外に採用し、堤体内の運搬にはダンプトラックを併用したベルトコンベア・ダンプ運搬方式を採ることとした。

当ダムの河流処理方式は半川締切り工法であり、堤体コンクリートの打設が左右岸に分断されることから、ベルトコンベアを左岸部・右岸部の各々に設ける2系列配置とした。

バッチャープラントは左岸側にあるため、ベルトコンベアによる堤体への乗入れは左岸向けの延長が約150～200mなのに対して、右岸向けは約320～380mとなった。よって、コンクリートの運搬時間に違いが生じ、品質を極力均質にする方法として、右岸向けについては乗継ぎのないパイプベルトコンベア、左岸向けについては平ベルトコンベアを採用した。

パイプベルトコンベアは平成4年秋に設置して試運転を行った後、平成5年から実用運転に入り、平成9年まで5年間稼働した。ダム用コンクリート運搬にパイプベルトコンベアを採用したのは、当ダムが国内で最初の事例である。

また、滝里ダムでは、管理用設備として水力発電設備を設置し、その発生電力を滝里ダムの管理用電力に使用するとともに、余剰電力を一般電気事業者において利用を図ることにより、ダム管理費の削減等、ダム管理の合理化に努めている。



図 3-1-3-15 滝里ダム(平成11年11月竣工)



図 3-1-3-16 コンクリート打設状況
(パイプベルトコンベア)

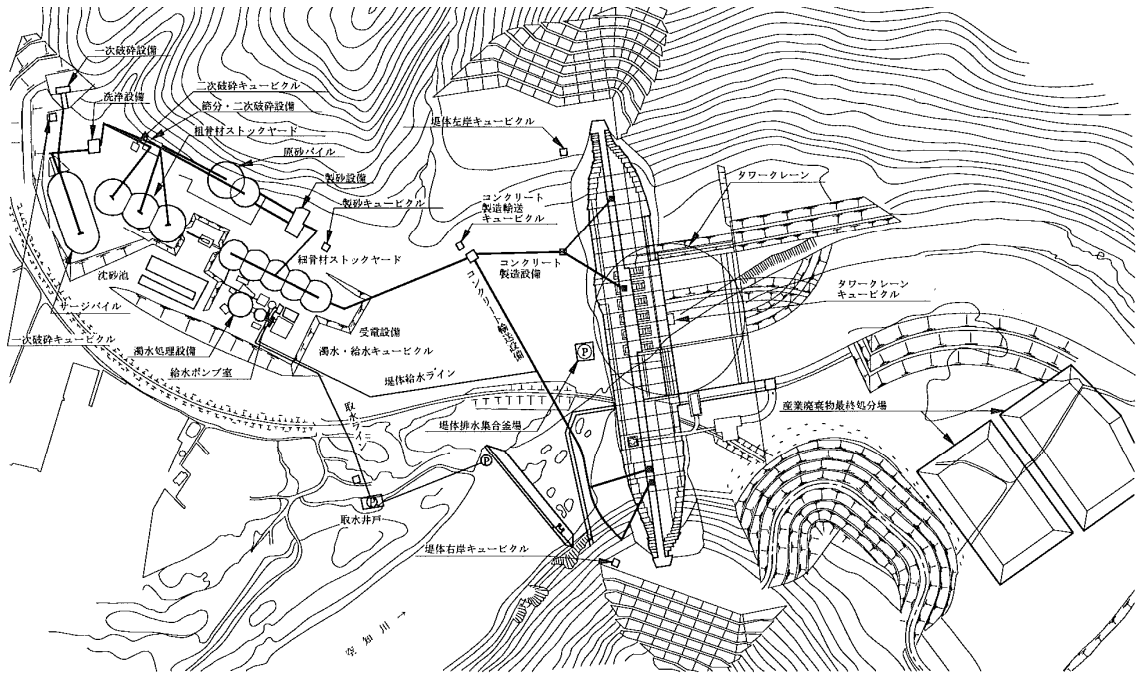


図 3-1-3-17 施工設備配置図

ク 平取ダム

平取ダムは、沙流川総合開発事業の一環として、平成10年3月に完成した二風谷ダムと合わせて、沙流川流域の洪水調節及び各種利水への補給を担うため、支川額平川に建設された多目的ダムである。ダムサイトは、額平川と宿主別川の合流点直下流に位置し、右岸側には急崖地形が発達し、左岸側の段丘面と非対称の地形を形成する。左岸側段丘部には、未固結の堆積物が認められ、常時満水位とサーチャージ水位の間に存在する基質流出部からの浸透が懸念されたため、浸透経路に対する止水対策として、止水性、耐久性に優れた地中連続壁を採用した。



図 3-1-3-18 平取ダム施工状況

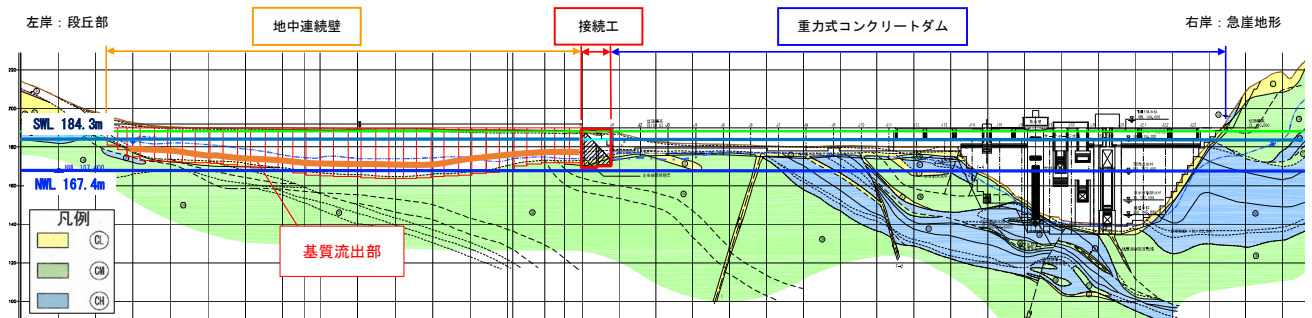


図 3-1-3-19 平取ダムと地中連続壁

また、計画堆砂量の設定において、平成15年8月の既往最大洪水を代表とする近年の豪雨により、流域の山地崩壊が顕著であることから、流況が豊富で利水補給を必要としない融雪期の4月から5月にかけて、ダム軸における河床高標高に設置する融雪期放流設備を開扉して貯水池を空虚にし、通常の流水の掃流力により土砂を自然流下させる計画とした。あわせて、計画堆砂量に用いる堆砂形状は、一次河床変動計算によるダム完成100年後の堆砂形状とした。

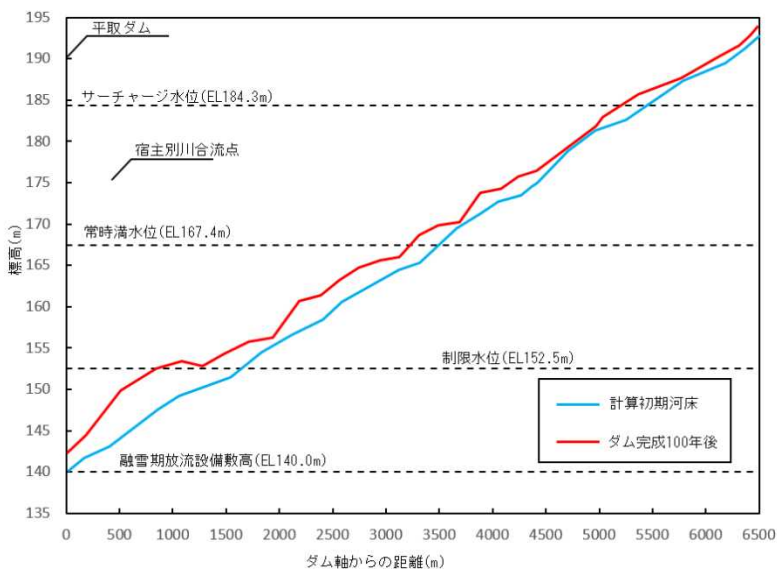


図 3-1-3-20 平取ダム完成100年度堆砂形状(糠平川)

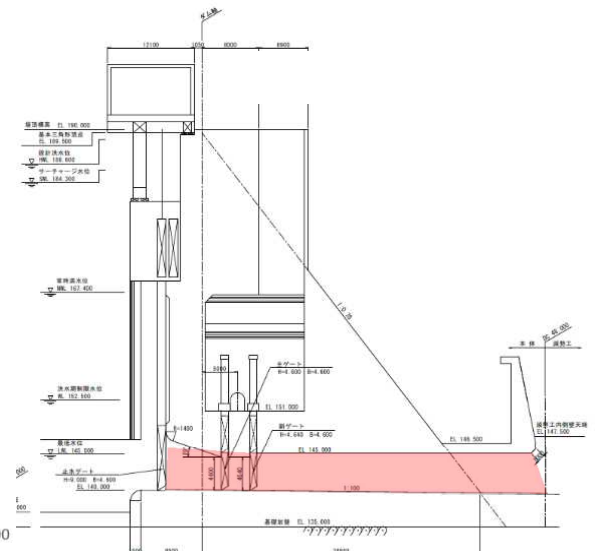


図 3-1-3-21 融雪期放流設備 断面図

(2) 中空重力式コンクリートダム

ア 金山ダム

金山ダムの基礎岩盤は輝緑岩であり、下流には輝緑凝灰岩層、上流には輝緑凝灰岩層、圧砕岩、下部菊石層の砂岩、泥岩の互層が分布する。

金山ダムは、基礎岩盤の強度に恵まれたことから、ダム型式に中空重力式を採用している。中空重力式ダムは、特定多目的ダムとして道内において唯一であり、全国においても 13 ダムのみであり、ダム内部が空洞という独特な構造をしている。このため、コンクリート量を重力式コンクリートダムと比較して 23%減じることが可能となり、工期の短縮及び費用の節減を図った。

建設当時、市販の高炉セメントはスラグ混入率が 40%（桂沢ダム 50%）であったが、金山ダムでは熱応力による初期の亀裂の発生を防ぐため、スラグ混入率を 55%に増加し、 $4,000\text{cm}^2/\text{g}$ 近い粉末度を $3,400\text{cm}^2/\text{g}\pm 200$ にした。さらに、1.6%前後であった SO_3 （石こうによる無水硫酸）を 2.4 ± 0.2 にして、良質のフライアッシュセメントと同等以上の成果を挙げており、以後、ダム用セメントとして岩尾内、有明、様似、駒ヶ岳及び佐幌ダムに使用されてきた。



図 3-1-3-22 「金山ダム」と「かなやま湖」



図 3-1-3-23 最盛期を迎えたダムコンクリート打設
(昭和 40 年。中空重力式ダムの I 型断面と中空部がよく現れている)

(3) アーチ式コンクリートダム

ア 豊平峡ダム

ダム型式は、河床部の地質が脆弱で骨材の原石量が乏しいため、コンクリート量が少なく、応力の大半を兩岸の地山に伝播するアーチダムが技術的・経済的に最も有利なことから、中心角を小さくした放物線アーチが採用された。

ダムサイトは、支笏・洞爺国立公園特別地域であって溪谷の美しい地点であることから、工事用道路については溪谷を避けて迂回させ、仮設備及び土捨場を貯水池内に設け、跡地については緑化による修景に努め、環境保全に配慮しつつ建設したものである。

完成後は、ハウエルバンガーバルブを利用して観光放流を行い、その飛沫によって溪谷に美しい虹のアーチを描き出し、観光客の目を楽しませている。



図 3-1-3-24
ハウエルバンガーバルブから放水する豊平峡ダム

(4) ロックフィルダム

ア 大雪ダム

基盤岩盤は、白亜紀の粘板岩と砂岩の互層であり、重力式コンクリートダムを築造可能であったが、近郊においてコンクリート骨材が得られないことから、当時の直轄ダムとしては全国で初めてとなる大型ロックフィルダム形式を選定した。

材料は、ダムサイトから1km以内にある4か所の原石山から、表層の風化岩盤をコア粗粒材料とし、弱風化岩盤以上のものをロック材料とした。ロック材料採取の大部分を5回にわたる坑道式大発破により行い、積込み及び運搬は国産3m³パワーショベル・20t ダンプトラックで実施された。

当時は、国内において建設されたロックフィルダムで監査廊を設置した例は少なかったが、大雪ダムでは初めて、堤体全長にわたって、オープンカットトレンチ内に監査廊を設置した。また、堤体全長を5区間に分割して漏水量観測をできるように工夫をし、漏水箇所を正確に把握することができるようにしたことは高く評価され、以後、漏水量観測を分割するダムが多くなった。

品質管理面では、礫を多く含むコア材料の現場締固め度を、Walker, Holtz の礫率補正理論を応用した管理方式で行い、あわせて、試験材料の乾燥に電子レンジを利用して、急速管理試験を実施したダムである。



図 3-1-3-25
大雪ダムと大雪湖
(昭和50年10月竣工)

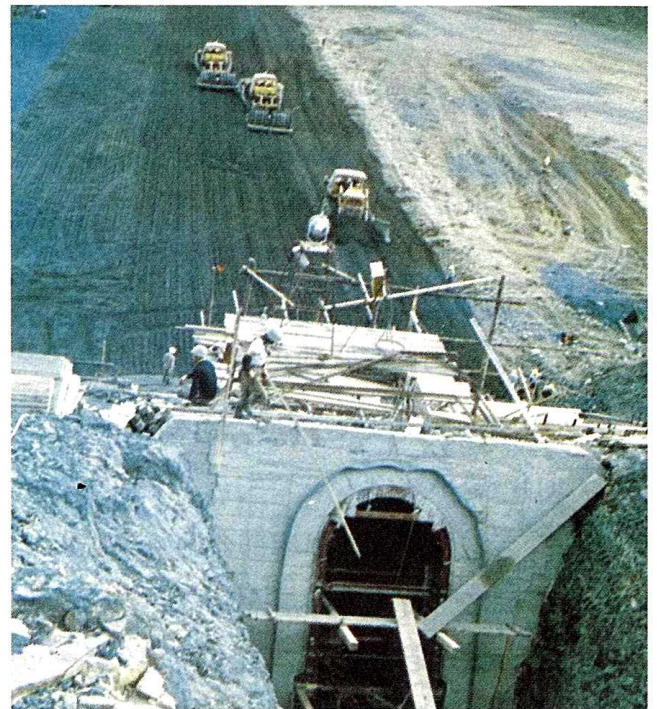


図3-1-3-26 堤体盛立中の大雪ダム
(手前はコア直下の岩盤を開削して造られる監査廊)
(昭和48年)

イ 十勝ダム

地質は、角斑岩、粘板岩、輝緑凝灰岩及び輝緑岩からなり、河床部にはダム軸直角方向に5本の断層が集中し、右岸アバットメントについても柱状節理及び板状節理に富んでいる。そのため、断層処理、コア岩着面の安定性及び透水性への配慮から、補強梁兼用を含めて置き換えコンクリートを約23,000m³打設し、一部はロックアンカーにより引き締めている箇所もある。ダムサイトの地形の制約上、クレストゲートは設計洪水流量2,600m³/secに対して幅15m高さ13mの2門であり、当時、我が国において最大のものとなった。また、常用洪水吐は、左岸を迂回させ、トンネル内の高圧スライドゲートにより洪水調節を行うという、我が国では初めて採用されたものであり、その規模は最大操作水深61m、ゲート幅2.4m、高さ3.6m、全水圧荷重556.3tで、世界でも最大クラスの高圧スライドゲートである。コア材料は風化粘板岩であるが、細粒分が不足したため、粗粒分と細粒分を互層にした材料を混合して使用した。しかし、自然含水比(7~9%)が最適含水比(11%)を大きく下回ることから、加水混合調整が必要となったため、ベルトコンベアと2色赤外線水分計を組み合わせた自動含水比調整設備を開発して、良好な品質管理を行うことができた。

また、十勝ダムは、建設中の昭和56年8月上旬に、戦後最大規模の洪水によって被災し、復旧と建設再開のために建設関係者は大変苦勞した。同年8月3日から6日にかけて北海道を通過中であつた前線及び台風12号は、十勝ダム流域に総雨量335.5mmの豪雨をもたらし、5日早朝から十勝川は増水を続け、19時頃にダムサイト流入量は最大の1,500m³/sに達した。ダム貯水位は上昇し続け、6日4時頃、最高貯水位296.2mに達した。貯水量は約700万m³に達し、十勝ダムは建設中から治水効果を発揮して下流の被害軽減に役立った。雨と洪水により、現場内各所において土砂流出が発生し、仮設備資材の流出等大きな被害を被つたが、水位低下後、直ちに建設再開に向け昼夜作業で土砂及び流木の処理を行い、1か月の作業の後、9月上旬に堤体盛立を再開、昭和57年8月堤体盛立完了、昭和59年10月に十勝ダム完成に至った。



図 3-1-3-27 十勝ダムと東大雪湖



図 3-1-3-28 昭和 56 年 8 月 5 日 洪水吐下流

ウ 漁川ダム

ダムサイトの地質は、新第三紀の砂岩・礫岩を基盤として、その上に洪積世の火山噴出物がほぼ整合状態で幾重にも堆積している。上位の強溶結凝灰岩 (Wtm2、Wtm1) の強度は高いが、柱状節理で透水度は5～20 ルジオンである。中位の低溶結凝灰岩 (WtL) は板状節理で、強度はやや低いが、透水度は5～10 ルジオン程度である。ダム本体と貯水池の基盤となる軽石凝灰岩 (Ps) は極低溶結で、強度は150kg/cm²以下と小さく



図 3-1-3-29 漁川ダムとえにわ湖
(昭和 55 年 9 月竣工)

ショベルなどで掘削することができる。透水度は10～50 ルジオンと高く、割れ目のない均一な地層のため等圧浸透流となり、グラウチングは注入困難であり、しかも、最下位の礫層から被圧を受けている。

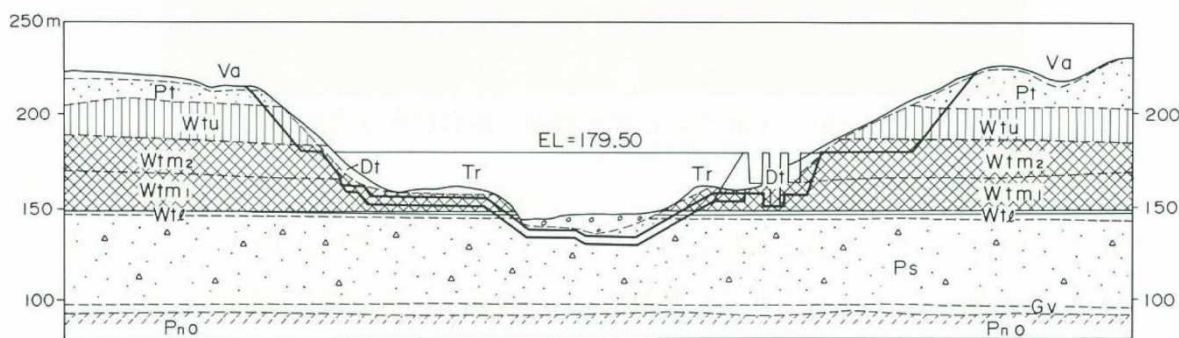


図 3-1-3-30 漁川ダム地質断面図

ダム築造上問題となる (Ps) 層の透水度は、深さ 20m の豎坑を掘削して段階揚水試験及び水位回復試験によって求めた。また、サンプルを削り出して室内パイピング試験を行うとともに、横坑と平行な水平ボーリング孔内に加圧し、地層内には間隙水圧計を配して圧力計測を、横坑内の受圧壁にはダイヤルゲージを取り付けて変位計測を行い、現位置パイピング試験を実施した。その後、豎坑周辺の浸透流解析を有限要素法によって実証比較を行い、堤体基礎の浸透流解析に応用して安全性を確認した。Ps 層では、そのほかにも現位置剪断試験及び孔内載荷試験を行い、基礎設計資料とした。

堤体盛立てに際した課題は、被圧水が盛立面である Ps 層全体に滲出したためコアの盛立てができないことであった。対策は被圧水を抜くことであるが、完全に除去すると Ps 層の固結組織が崩れて火山灰に戻り、盛立て基盤には適さなくなる。よって、監査廊内部から上下流方向に L=11.7m の水抜き水平ボーリングを 0.5m～1.0m 間隔に行い、バルブを取り付けて脱水を調節し、表面乾燥によって内部を飽和状態に保ちながら、慎重な盛立てを行った。

エ 留萌ダム

留萌ダムの基礎岩盤は、新第三紀鮮新世の細粒砂岩を主体とした軟岩で、スレーキングによる岩盤劣化が著しいことから、監査廊・洪水吐の基礎岩盤の仕上掘削後、速やかに基礎岩盤の保護として吹付コンクリートを施工する必要があった。このようなことから、仕上掘削の作業効率向上を図るため、人力掘削から機械施工掘削とした。

使用機械は、岩盤特性を踏まえ、バックホウに装着したツインヘッドとし、品質確認のための試験施工を行った結果、仕上げ面の形状及び掘削面の亀裂の開口・岩盤の浮きなどの顕著な岩盤のゆるみや、岩盤の軟質化などは確認されなかった。また、岩の強度・ゆるみの状況を確認するため、掘削面とその10cm下、20cm下の岩盤で針貫入試験及び簡易動的コーン貫入試験を実施した結果、掘削面とその下部ではほとんど差が認められなく比較検討のため行った人力施工と比べても試験値に差はなく、仕上がり形状では機械仕上げの方が均一であること、また、安全面においても機械掘削の優位性を確認した。これにより、監査廊・洪水吐のコンクリート打設及びコアの盛立の早期施工が可能となり、スレーキング対策がより確実なものとなった。

また、コアゾーンにおいて新たな越冬対策を採用した。冬期間の環境が厳しい北海道において施工されるフィルダムのコアゾーンの越冬対策は、従来コア上部に凍結防止保護層としてロック材等透水材料を1m程度盛り立て、翌春撤去し、盛立作業を再開するのが通例であったが、この施工方法では以下のような課題があった。

- ① コア盛立施工可能時期終盤において、一度凍結防止保護層のロック材を盛り立てると天候が良くなってもコア盛立を再開することは困難である。
- ② 凍結防止保護層のロック材がコア材に食い込み、凍結防止保護層撤去時にコアが緩んだり、取り除かれたりするため、前年度最終層は再施工の可能性が大きい。



図 3-1-3-31 留萌ダム



図 3-1-3-32 仕上掘削状況



図 3-1-3-33 保護コア越冬養生状況

このようなことから、コアゾーンの越冬対策として、コスト面でも優れるコア最終層を凍結防止保護層として採用した。これにより、気象状況に応じた盛立が可能となり、保護層撤去時のコア材の品質についても保持することができた。なお、越冬期間中は温度観測計器を設置し、気象変化がコア越冬面に与える影響について調査を実施し、その結果、コア内部では凍害等の影響を受けていないことを確認した。

留萌ダムの堤体材料として利用した原石山の地質は玄武岩質溶岩を主体としているが、良質材が原石山深部に分布するため、効率的な材料採取が課題であった。このため、低品質材料を有効利用するための各材料の試験及び評価並びに材料特性に応じた堤体のゾーニングを行い、設計に反映させた。この結果、効率的な施工が可能となり、コスト削減が大きく図られた。また、原石山掘削時の環境負荷についても低減することができた。

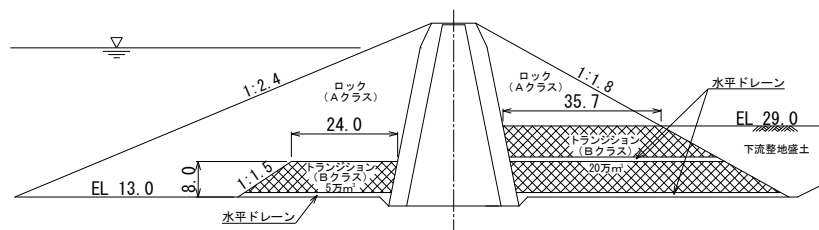


図 3-1-3-34 保護コア越冬養生状況



図 3-1-3-35 盛立施工状況

(5) 複合ダム

ア 美利河ダム

ダムサイトの地質は、新第三紀の砂岩、泥岩、頁岩、及びシルト岩から成る軟岩であり、ダム基礎としては技術的課題のある岩盤であった。よって、マットコンクリート、フィレットなどで、断面を変化させてせん断応力に対応することができる左岸部はコンクリートダム(RCD)として洪水吐を配置し、右岸部はロックフィルダムという複合ダムとした。

地質で課題となったのは粗粒砂岩〔Ssc(B)〕層であり、強度が低く、弱い被圧を受け、透水係数も 10^{-3} cm/sec と高く、オープン掘削とする場合には、上部のダム基礎となる細粒砂岩〔Ssf〕層に緩みを生じる恐れがあった。このため、40ブロックの基礎岩盤〔Shm〕層から上部の基礎岩盤〔Ssf〕層にわたる工法として、ダム基礎としては日本で初めて場所打ちの「箱型地下連続壁」を採用し、内部にはコンクリートを打設して堤体の一部とするとともに、基礎掘削時には土留壁とした。

〔Ssc(B)〕層はグラウト注入が困難である上に、「箱型地下連続壁」付近が流線の集中する箇所であることから、41 から 43 ブロックまで地下連続壁による遮水工を設け、44 ブロック以降に超微粒子セメント注入するという、二重管ダブルパッカー工法を主体とするカーテングラウチングを行った。

また、41 から 45 ブロックまでの岩盤強度が不足することから、超微粒子セメント注入の二重管ダブルパッカー工法によるコンソリデーショングラウチングを施し、大規模なマットコンクリートを打設した。美利河ダムに採用されたこれらの新工法は、現在においても国土交通省で進められているダム新技術開発に大きく貢献することとなり、特に軟岩を基礎とするダム建設の貴重な資料となっている。



図 3-1-3-36 美利河ダム（平成 3 年 5 月試験湛水中）

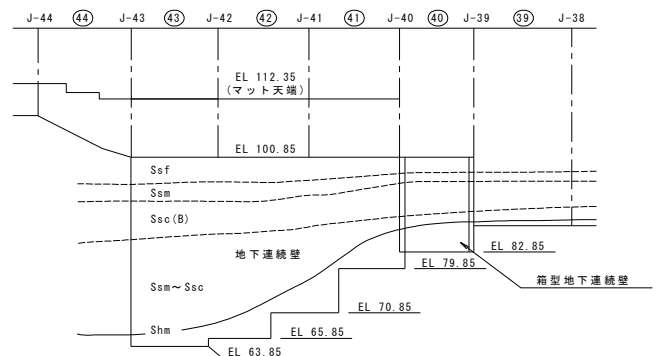


図 3-1-3-37 美利河ダム地質断面図

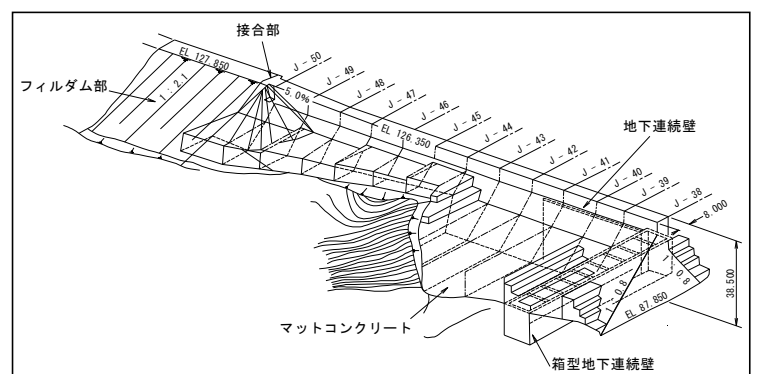


図 3-1-3-38 美利河ダム箱型地下連続壁

美利河ダムは平成4年から管理運用を開始したが、魚道が整備されていなかったことから、魚類の遡上・降下ができない状況となっていた。このような中、河川環境保全に関する協議会である「後志利別川の水環境を考える連絡会」が設置され、流域自治体から魚道設置に関する要望書が提出された。平成9年度には「ダム水環境改善事業」が採択され、有識者を中心とした「美利河ダム魚道検討委員会」により、各種検討が行われた。



図 3-1-3-39 箱型地下連続壁

美利河ダム周辺流域には遡上回遊魚が多く生息していることから、魚道形式は貯水池を bypass しないバイパス水路式を採用した。平成12年度から第I期工事に着手し、平成17年4月には第I期魚道2.4km区間の供用を開始した。

今後、魚道機能の検証を行い、引き続き、魚類の移動の連続性の確保に努めていく。



図 3-1-3-40 美利河ダム魚道計画図



図 3-1-3-41 美利河ダム魚道

イ 忠別ダム

ダムサイトの地質は、主に新第三紀中新世中期から後期の陸上火山活動による輝石安山岩類が分布し、これを第四紀の段丘堆積物、崖錘堆積物、河床堆積物等の未固結層が覆う。特にダム軸中央部付近には層圧最大 40m 程度の河床堆積物が分布している。また、左岸部の基礎岩盤は大雪山の火山活動による熱水変質作用を受けており、ダム建設における多くの技術的課題があった。

これらの課題を解決するため「忠別ダム技術検討委員会」が設置され、ダム軸、ダム型式及び砂礫部の基礎処理について種々の検討を行い、左岸側を重力式

コンクリートダムとして洪水吐を配置し、砂礫層が堆積する右岸側を中央コア型フィルダムの複合ダム型式とした。右岸側の砂礫層は、コアの基礎となり得る変形係数を有する深さまで掘削した。砂礫基礎部の止水には鉄筋コンクリートによる連続地中壁を設け、監査廊はコア中央部に最大水深の約 2 割の幅 (15m) で配置し、その上下流のコア敷にアスファルトコンクリートの止水層 (コア敷保護) を設けた。連続地中壁の深度は着岩 + 1m、監査廊コンクリートとの接合部は非接触とし、互いの変位量の相違に対して水密性を損なわない構造とした。

コンクリートダム部の施工は RCD 工法とし、コンクリート用骨材については貯水池内から河床砂礫を採取した。また、下流連絡通路、天端通路、エレベータシャフト、常用洪水吐操作室スラブ及び壁面にはプレキャスト型枠を用いて、施工の合理化等のコスト縮減に努めた。

フィルダム部の盛立材料についても、貯水池内の河床砂礫及び段丘堆積物を採取したが、河床砂礫には微粒分が多く含まれていたことから、そのままフィルター材及びシェル材に使用すると透水性に問題が生じるため、水中掘削による洗浄を行い、各ゾーンの盛立材料とした。

フィル部の基礎処理は、岩盤部と砂礫基礎部で施工区分し、岩盤部は一般的なフィルダム施工と同様に施工したが、砂礫基礎部では砂礫基礎引き締めグラウチング、連続地中壁及び監査廊のコンタクトグラウチングを施工した。砂礫基礎引き締めグラウチング及び連続地中壁コンタクトグラウ

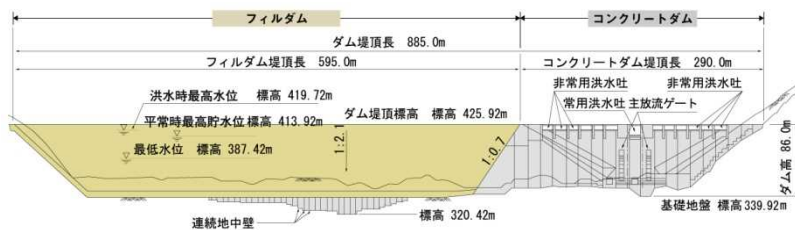
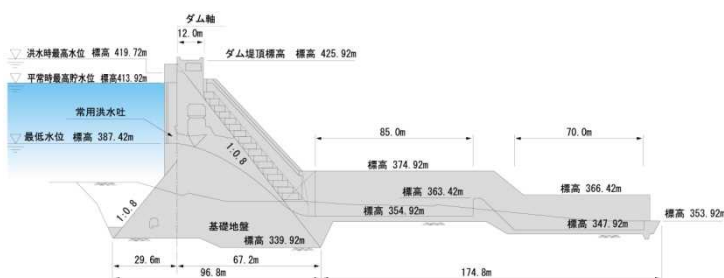


図 3-1-3-42 ダム下流面

【コンクリート部断面図】



【フィル部断面図】

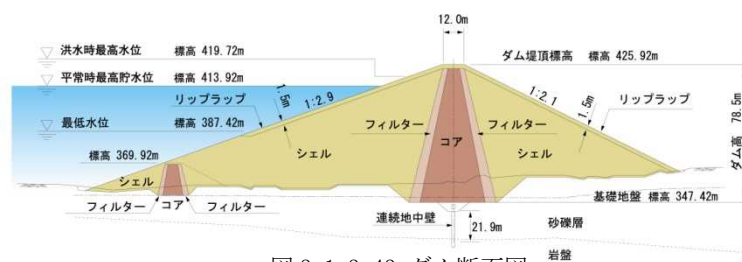


図 3-1-3-43 ダム断面図

チングは、忠別ダムで技術開発した鉛直スリット工法を採用した結果、セメントミルクは注入孔周辺の砂礫層の軟質部に選択的に注入され、ウォータージェットによる掘削面の洗浄時においても崩壊や緩みは認められず、全体に均質性が高まった。

忠別ダムは、砂礫層の上に構築された国内最大級の複合ダムであり、多くの技術的課題を解決して平成 18 年度に無事完成し、平成 19 年には「砂礫上に建設した国内最大級の複合ダム」として土木学会賞を受賞している。



図 3-1-3-44 フィル部 コア敷保護工

(6) 台形 CSG ダム

ア サンプルダム

サンプルダムは、国内最北の一級河川である天塩川の一
次支川・名寄川の支川に当たるサンプル川に建設した、洪
水調節、流水の正常な機能の維持、水道用水の供給及び
発電を目的とする、総貯水容量 57,200 千 m³、有効貯水
容量 50,200 千 m³、集水面積 182.5km²、湛水面積 3.8km²
の多目的ダムであり、直轄ダムとしては国内最北に位置
する。

昭和 63 年に実施計画調査に着手、平成 5 年に建設事
業に着手、平成 30 年度に試験湛水を実施し、平成 31 年
3 月に完成した。

堤体規模は、堤高 46m、堤頂長 350m、堤体積 495 千 m³、
堤体型式は北海道開発局施工としては初、全国では 4 例
目となる台形 CSG ダム型式を採用、堤体材料を近傍貯水
池内の河床砂礫とすることにより、大幅な合理化を実現
させた。

台形 CSG ダム型式とは、堤体形状を「台形形状」とし、
堤体材料に「CSG (Cemented Sand and Gravel : セメントで固めた砂礫)」を用いるダム型式を指す。

堤体断面形状を台形とすることにより、一般的な重力式コンクリートダムの直角三角形断面と比
較し、堤体内部に発生する応力を小さくできる（設計の合理化）。所要強度が小さいため低品質な
材料の利用が可能となり、材料選定の幅が広がることとなる。サンプルダムでは、堤体材料の大部分
を、堤体近傍貯水池内の河床砂礫を母材とする CSG とした（材料の合理化）。河床砂礫を通常のコ
ンクリート骨材のような破碎・洗浄・分級を行わずに堤体材料とすることで、原石山、骨材プラン
トの省略、施工設備の簡素化が可能となり、環境の保全と大幅なコスト削減を図ることが可能とな
った（施工の合理化）。



図 3-1-3-45 サンプルダムと下川町市街



図 3-1-3-46 試験湛水中のサンプルダム

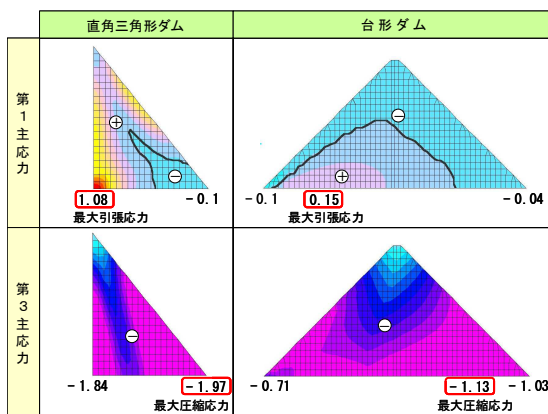


図 3-1-3-47 応力分布の例

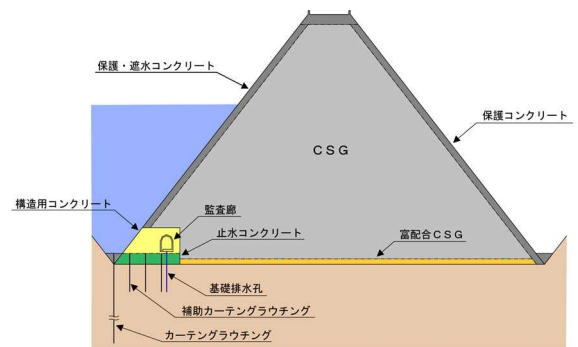


図 3-1-3-48 サンプルダム断面図

台形 CSG ダム型式の採用により、材料の合理化、設計の合理化、施工の合理化を同時に達成可能となった一方で、材料のばらつきをある程度許容するが、その分品質管理を確実にを行う必要があることから、材料の性状変化を確実に管理することが施工に際しての課題となっていた。

このことから、物性値の事前確認とマシンガイダンスによる河床砂礫の品質適合材料のみの採取、最新のデジタル画像処理技術の応用と非接触型 RI 水分計の活用による堤体材料品質の常時監視及び新規の急傾斜サンドイッチベルトコンベアの開発等により、堤体材料品質安定化の取組を行い、冬期休工を除く約 13 か月の短期間において、安定的に本体コンクリート打設を完了させた。

また、サンル川流域のサクラマス資源を主とする魚類生息環境を保全するため、堤体付きの階段式魚道、7 km に及ぶバイパス水路、本川との接続箇所等からなる一連の魚道を設置し、ダム及び貯水池を迂回する遡上・降下の機能を確保した。



図 3-1-3-49 堤体打設状況（平成 29 年 8 月）

階段式魚道



図 3-1-3-50 サンルダムの魚道

(7) ダムの再開発

ア 夕張スーパーパロダム

夕張スーパーパロダムは、昭和 37 年に完成した大夕張ダムの再開発事業として、その直下流 155m 地点に建設している重力式コンクリートダムである。

ダムサイトの基礎岩盤は、白亜紀後期の函淵層群を主体とし、下流には古第三紀の石狩層群の登川層と幌加別層が分布している。

既設ダムである大夕張ダムは、利水ダムであることから洪水調節機能を持たないが、 $1,300\text{m}^3/\text{s}$ の放流可能な洪水吐を有している。かんがい用水の補給は 4/20～8/20 の期間において行われ、大夕張ダム直下流にある二股発電所を介して補給している。夕張スーパーパロダムの建設にあたっては、これらのかんがい補給及び発電機能を維持した転流計画を策定する必要があった。

再開発ダムの転流方式には、既設ダムの機能を維持しながらの施工やスペースの制約から、既設ダムの貯水池から下流へバイパスする仮排水路トンネルを設ける場合があるが、大夕張ダムの放流能力が $1,300\text{m}^3/\text{s}$ と大きいことから断面規模が大きくなるといった課題があった。

このため、転流方式として、開水路（1次転流）とダム堤体に設ける堤内仮排水路（2次転流）を組み合わせた半川締切方式を採用した。

2次転流工は、断面が $5.0\text{m} \times 8.5\text{m} \times 4$ 条と国内最大級の規模であり、また、基礎岩盤からの打ち上がりが少ないことや、工程上、越冬後すぐに通水する必要があったことから、堤内仮排水路に限定した温度応力解析を行い、対策として堤内仮排水路内部の保温や傾斜継目を実施した。

また、大夕張ダムのクレストゲート（天端ゲート）からの放流量によっては、大夕張ダムの直下にある二股発電所が逆流によって水没する可能性があることから、二股発電所の放流口に逆流防止ゲートを設置した。

堤体コンクリート用骨材は、原石山の地質性状や賦存量から、良質な骨材のみならず、風化の影響を受けた低品質骨材についても使用する必要があった。そのため、原石を風化の程度により、良質材「原石Ⅰ」、中風化材「原石Ⅱ」及びその他「廃棄岩」に区分し、「原石Ⅰ」と「原石Ⅱ」を混合して使用することとした。

取水設備の型式については、連続サイフォン式を採用した。これは、これまでのサイフォン式取



図 3-1-3-51 工事実施状況（平成 23 年 6 月撮影）



図 3-1-3-52 2次転流工

水設備の機能に、貯水位の変動に応じた連続的な表層取水や、任意の水深からの取水が可能である従来の多段式ゲートと同様の取水性能を確保した新形式の取水設備である。この型式の取水設備の採用事例としては、志津見ダム、尾原ダム（共に中国地方整備局）に続き、全国で3番目となるが、積雪寒冷地での採用としては初であり、また、その規模は国内最大級である。

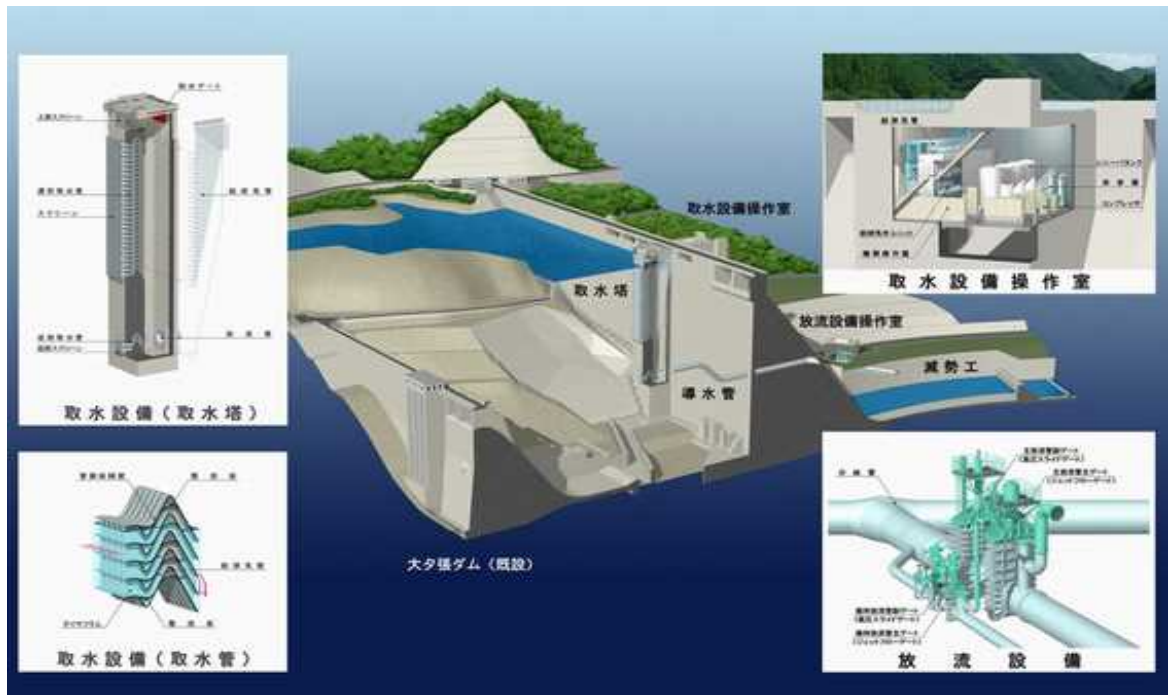


図 3-1-3-53 連続サイフォン方式の取水設備

イ 新桂沢ダム

新桂沢ダムは、昭和 32 年に完成した北海道初の直轄多目的ダムである桂沢ダムを嵩上げする再開発ダムであり、洪水調節、流水の正常な機能の維持、水道、工業用水、発電を目的としている。嵩上げ高は 11.9m で、堤高が約 1.2 倍になることで総貯水容量が 1.6 倍となり、効率的な治水・利水機能の増大によって既設ダムの有効利用が可能となるとともに、建設に伴う環境負荷を低減することができる。ダム建設は、平成 29 年からダム本体コンクリート打設を開始し、工事を進めている（令和 2 年度時点）。



図 3-1-3-54 建設中の新桂沢ダム（令和 2 年 9 月）

我が国の直轄ダムとしては初めてとなる同軸嵩上げ案の選定に当たっては、新設及び既設堤体堤敷に、堤体の安定性に直接影響する規模の断層破碎帯・劣化帯が分布せず、座取り選定上の問題がなかったこと、新桂沢ダムの取水放流設備を先行して施工することで、工事中であっても既設桂沢ダムの洪水調節機能や利水補給を確保できることから、最も経済的である当該案が採用された。ただし、新桂沢ダムは、既存の桂沢ダムを運用しながら同軸嵩上げ工事を行うため、新設ダムにはない配慮が必要となる。

既設桂沢ダムは、河川管理施設等構造令が制定される以前に建設されたダムであり、新桂沢ダムを現行の設計基準に基づいて設計するためには、改めて既設堤体堤敷を含めた岩盤評価を行う必要がある。既設堤体堤敷は、基礎掘削時に直接岩盤を確認することが不可能である。また、既設桂沢ダム建設当時の基礎岩盤の詳細な情報は残っていなかった。

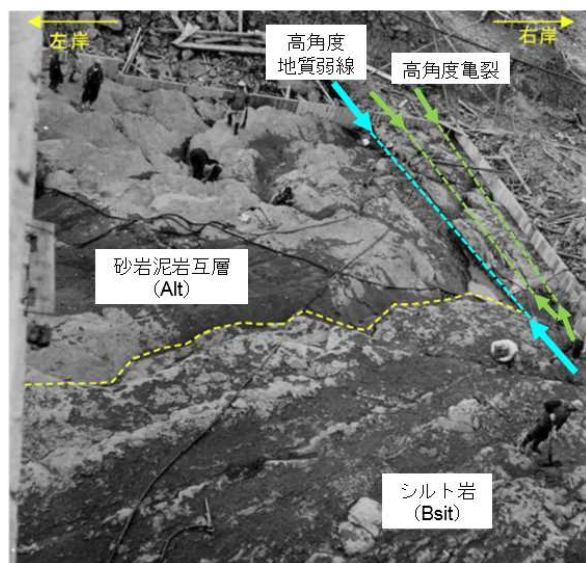


図 3-1-3-55 既設桂沢ダム施工時記録写真

通常のダム地質調査では、露頭、横坑、トレンチ、ボーリング等の調査により、地質の性状を直接把握することになるが、既設堤体部においては、地質調査のグリット測線上のボーリング調査を行うことができない。このため、既設桂沢ダムの基礎排水孔の再設置を兼ねて、監査廊沿いに概ね 5m 間隔で着岩 5m 深度までボーリング調査を行い、詳細な地質・岩盤情報を得た。また、ボーリング調査を行うことができない既設堤体堤敷の地質情報を補完するため、既設桂沢ダム建設当時の施工記録写真等の情報を活用し、掘削面の地質状況を推定した。

工事期間中における桂沢ダム貯水池機能（利水補給流量 $Q=23.5\text{m}^3/\text{s}$ 、洪水調節流量 $Q=70\text{m}^3/\text{s}$ ）を保持するため、新設ダムにおける転流工に当たる「取水放流設備」を、本体工事に先行して平成 25 年度に完成させた。貯水位を維持したまま取水放流設備の呑口を施工するために、大水深においても

地山に独立塔型式により設置することができる大規模な鋼管矢板井筒締切方式を採用した。躯体の一部として残置することができるため、鋼管杭の撤去を最小限にとどめ、取水塔完了後においても呑口構造を形成している。

なお、本方式のダムへの適用は僅少であり、新桂沢ダムの設計内容を参考に、近年の再開発ダムにおいて採用され始めている。

取水放流設備完成後においても、計画を越える異常洪水時には、既設桂沢ダムの洪水吐ゲートから放流される可能性があった。このため、融雪期に当たる4月から6月上旬までの期間は、現場内の安全性を考慮して、既設桂沢ダムの洪水吐ゲートのあるブロック（16～18BL）でコンクリートの打設を行わない施工計画とした。また、既設桂沢ダムにおける洪水吐ゲートの撤去期間は、洪水時最高水位を超える洪水が発生しても洪水吐ゲート撤去箇所から越水しないよう、事前に貯水位を低下させることにした。

同軸嵩上げにおいては、新旧堤体コンクリートの一体化を確保が求められる。そのため、新旧堤体の接合部においては、既設堤体下流面を約3cmの厚さでチップングし、表層の劣化した部分の除去を行うとともに、既設堤体表面を粗面にすることで新旧コンクリートの付着を高め、その後、モルタルを1.5cmの厚さに塗布してから、コンクリートを打設している。また、既設堤体天端から上方向へのひび割れが発生しないようにブレイク処理として、半割鋼管及び天端補強鉄筋を設置し、一体性の確保を行った。なお、チップングにより生じたコンクリート片は「桂沢ダムのかげら」としてダム工事見学者に配布し、好評を博している。また、温度応力対策は積雪寒冷地における建設ダム技術の共通の課題であるが、同軸嵩上げを行う新桂沢ダムにおいては、越冬時のリフト表面の内部拘束応力により、新旧堤体接合面に応力集中するリスクがあった。同軸嵩上げは、新旧堤体の一体化が必要であるため、温度応力による新旧堤体接合部の引張ひずみをコンクリートの許容引張ひずみ内に収める必要がある。施工においては、新旧堤体コンクリートに生じる温度差を抑制するため、新堤体コンクリートの打ち込み温度の低減や、越冬前の春から秋にかけての旧堤体コンクリートの給熱、越冬期の養生強化（写真-5）を行っている。



図 3-1-3-56 取水放流設備



図 3-1-3-57 既設堤体下流面チップング状況



写真-5 養生の施工状況

ウ 雨竜川ダム

雨竜川ダム再生事業は、平成 29 年 7 月に変更された雨竜川河川整備計画において、既設ダムを有効活用するダム再生事業が位置付けられた。既設の発電専用ダムである雨竜第一ダム及び第二ダムの利水容量のうち、予備放流水位以上の容量を洪水調節容量に振替えるとともに、雨竜第二ダムの嵩上げと併せ約 2,500 万 m³ の洪水調節容量を確保することとしている。

雨竜第二ダムは、昭和 18 年に完成したダム高 35.7m の重力式コンクリートダムである。

嵩上げを行うためには、豪雪厳寒地で約 80 年経過した堤体コンクリートの性状や強度の確認など、健全性を評価する必要がある。そのため、堤体コンクリート内部の最大 200mm に及びボーリング、ボアホールカメラによる観察などを実施した。その結果、堤体コンクリートには材料分離がほとんどなく、また、コンクリート密度や圧縮強度についても堤体安定計算に使用している設計値を満足しているとともに、漏水量についても非常に少なく健全な状態を保っているため、既設堤体を活用した同軸嵩上げが可能である。

既設堤体の地質状況については、建設当時の記録が少なく、工事実施時に基礎掘削による確認をすることができないため、ボーリング、ボアホールカメラなどによる入念な地質調査を実施した。その結果、堤体基礎として必要な強度や透水性に対して概ね良好な岩盤であることを確認している。今後は、横坑調査や原位置せん断試験などを実施し、堤体基礎としての力学特性や、定量的な岩級区分指標を把握していく予定である。

引き続き、雨竜川ダム再生事業を推進するため、雨竜第二ダムの嵩上げ工事着手に向けた入念な地質調査や堤体設計等を行い、雨竜川流域の洪水被害軽減に努めることとしている。



図 3-1-3-58 雨竜第二ダム（平成 29 年 9 月撮影）

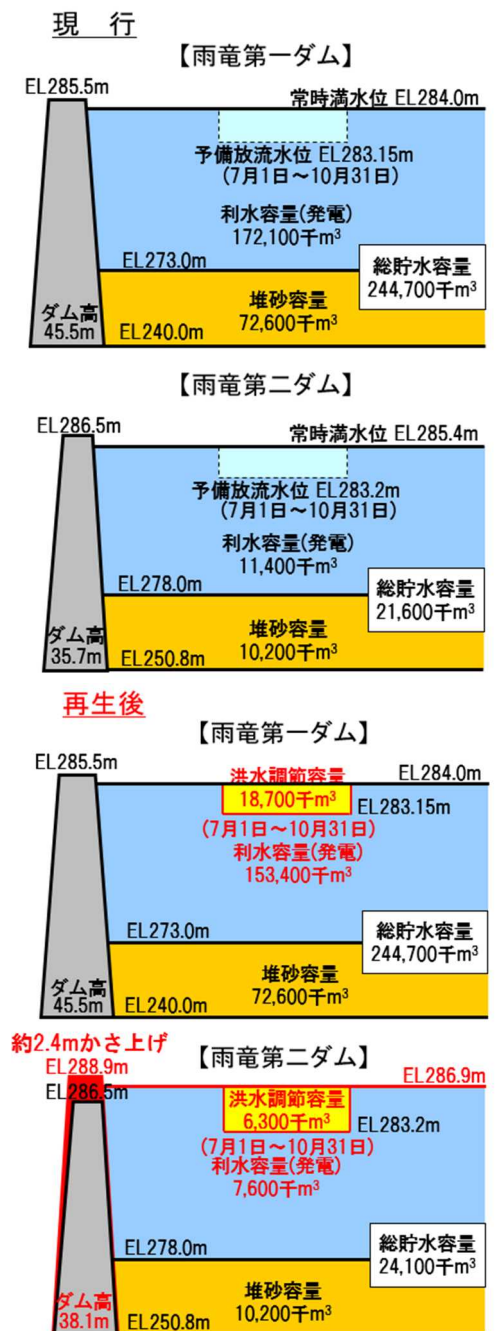


図 3-1-3-59 再生事業前後の貯水池容量配分