

第4節 農業農村整備事業の技術

1 土地改良事業の技術

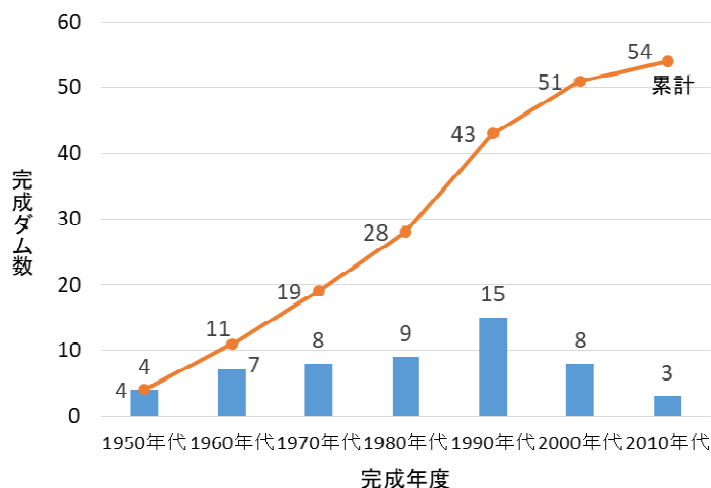
(1) 水源施設と取水施設

ア 水源施設

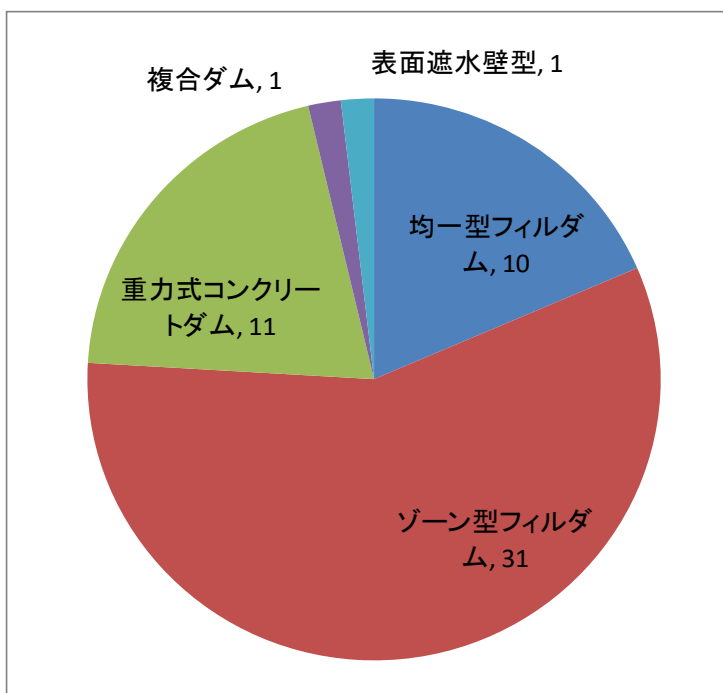
日本のダム建設は、704年、かんがい
を目的に讃岐の国に建設された満濃池
に始まり、これまで全国で数多くのか
んがい用ダムが建設されてきている。
北海道開発局においても開局以来、か
んがい用ダム（ダム高 15m 以上）を 54
箇所建設した（表－1）。初期に建設さ
れたダムは、新規に水田として利用す
るために必要な農業用水を確保するこ
とが主な目的であったが、米の過剰基調
を背景として量より消費者ニーズに対
応する質が問われる時代となって以降
は、代掻き期間を短縮する集中利用、冷
害防止のための深水用水、田畑輪換によ
る土壌透水性の増大への対応など、栽培
管理のために農業用水を確保する目的
に変遷してきた。

ダムの建設は、ダムサイトの地質や周
辺で用意できる材料等からふさわしい
タイプの選定を行い、高さ 15m 未満の貯
水池を含め、種々の工法によってかんが
い用ダムの建設を行ってきた。また、近
年では、ダムサイト適地が少なくなる
中、有限要素法を用いた応力・変形解析
等の設計技術、また、運搬設備、コンク
リート製造設備の大型化等による施工技術を活用して、円滑な執行を図ってきた。

現在までに、北海道開発局が建設したかんがい用ダム（ダム高 15m 以上）のタイプには、重力式コンクリートダム、均一型フィルダム、ゾーン型フィルダム、表面遮水壁型フィルダム、複合ダムがある（表－2）。



表－1 北海道開発局農業水産部の建設ダム数の推移



表－2 ダムタイプ別シェア及び個数
（北海道開発局農業水産部の建設ダム）

(ア) 重力式コンクリートダム

ダムサイトの地質が強固な地点に建設されるもので、一般にダムサイトの形状計数（堤長／堤高）が小さいほど経済的に有利である。（大夕張ダム、駒ヶ岳ダム、神居ダム、大野ダム、苫前ダム等）

a 大夕張ダム（完成 1962 年度）～戦後の食料増産に対応した急ピッチな施工～

大夕張ダムは、第 2 次世界大戦後の復興を目指して北海道開発庁が樹立した、第 1 期北海道総合開発計画において、食料増産、電源の開発を目的に建設された農業用水、発電の利水専用ダムである。ダム建設地点は、石狩川水系夕張川上流の夕張市二股地点にあり、両岸が切り立った V 字状の渓谷である。基礎地質も砂岩を主体にした頁岩、礫岩、凝灰岩とこれら互層からなり、コンクリートダムの基礎としての十分な強度を有していることから、重力式コンクリートダムとして計画したものである。

ダムの建設に当たっては、①それまでの打設方法である柱状ブロック工法は縦継目が生じ工事が煩雑となる等の欠点があったことから、縦継目が生じず短期施工に有利な柱状レヤー工法としたこと、②コンクリート凝固時の温度上昇を押さえるため、北海道内のダムで初めてコンクリート中に通水パイプを配管させ、内部温度を人工的に低下させるパイプクーリングを採用し打設期間の短縮を図ったこと、③せん断力の伝達を確実にする継目歯形（キー）を廃止し、打設継目に止水材による止水工法を採用するなど、現在の主流となっている各種工法を導入し、北海道における、ダム施工技術面の先駆的なダムといえるものである。

昭和 29 年度に工事着手し、昭和 36 年に供用開始以来、開発局の利水専用ダムとしては、唯一直轄管理が行われており、今も夕張川水系の貴重な水源としての役割を果たしている。また、ダム直下に設けられた二股発電所では、最大出力 14.7MW の発電が行われている。

近年の道央地域の発展と農業の近代化に伴い、更なる農業用水の確保、洪水調節、都市用水の確保が必要となり、大夕張ダムの直下流に夕張スーパーダム（国土交通省、農林水産省、石狩東部広域水道企業団、北海道による共同事業）の建設が進められ、平成 27 年度から供用が開始されたことから、大夕張ダムはその役目を譲ることとなった（写真－1、表－3）。



写真－1 大夕張ダムと建設中の夕張スーパーダム

	大夕張ダム	夕張スーパーダム	
目的	かんがい、発電	洪水調節 流水の正常な機能の維持 かんがい、水道、発電	
型式	重力式コンクリートダム	重力式コンクリートダム	
堤高	67.5m	110.6m	約 1.6倍
堤頂長	251.7m	390.0m	約 1.5倍
堤体積	200,572m ³	940,000m ³	約 4.7倍
流域面積	433km ²	433km ²	
港水面積	4.75km ²	15.0km ²	約 3.2倍
総貯水量	87,200千m ³	427,000千m ³	約 4.9倍
有効貯水量	80,500千m ³	367,000千m ³	約 4.6倍

表－3 大夕張ダムと夕張スーパーダムの諸元

(イ) 均一型フィルタイプダム

フィルタイプダムは地盤に与える応力が小さく、基礎地盤に対する適応の幅が大きいのが特徴である。フィルタイプダムは築堤材料によってさらに分類されるが、この均一型フィルタイプは、堤体のほとんど大部分を不透水性の土質材料で建設するもので、このような土質材料では剪断強度や間隙圧の発生の問題から、一般に比較的堤高の低いダムに適用される。(幌新ダム、羽幌ダム、雨煙内ダム、望来ダム、民安ダム、幕別ダム等)

a 幌新ダム (完成 1975 年度) ～綿密な設計・

施工による間隙水圧等の課題を克服～(写真-2)

幌新ダムは空知北部の沼田町西南部及び北竜町の水田用水の補給と、畑地かんがい用水の確保を目的として石狩川水系幌新太刀別川支流支線の沢川に建設された農業利水専用ダムである。

ダム地点の基礎周辺は、砂岩及び泥岩からなり、フィルタイプダムの建設には十分な強度を有するが、これらの岩は耐久性の点からロック盛土材とはなり得ず、また、河床砂礫等も少ないこと、堤高も 27m と低いことから、付近の河岸段丘堆積物の粘性土を利用した均一型ダムとして計画した。

ダム用土は、細粒分が多く、施工管理面から困難が予想されるものであった。このため、室内試験や現場試験など調査を綿密に行い、設計施工の諸数値を決定した。

設計上では、ダムへの浸透水を速やかに排除するため、堤体内ドレーンを十分な断面としたこと、特に水平ドレーンについては、河床部だけでなく、堤敷部全体に数条を設置することとした。

施工に当たっては、年間の盛土量を圧密の促進を考慮して決定し、密度の増加とせん断強度の増加を図ったほか、転圧方法については、間隙水圧の発生を考慮して盛土転圧試験を行い、施工含水比を規制したこと、まき出し厚を 20cm、6 t タンピングローラーによる 8 回以上の転圧による施工など緻密な調査試験を行って決定し、昭和 50 年に完成した。

b 幕別ダム (完成 2004 年度) ～アースブランケットによる基礎地盤の浸水流抑制～

(写真-3, 図-1)

幕別ダムは、十勝地方中央部幕別町の十勝川右岸低平地の畑を対象に、かんがい用水の確保を目的として、十勝川水系猿別川支流稲士別に建設された農業利水専用ダムである。

ダム地点の地質は、第四期更新世前期の浅海性堆積層である長流枝内層に分類される砂岩層と泥岩より成る。堤体基礎地盤の砂岩層は、固結度が低く、高透水性で、亀裂による浸透ではなく粒子間浸透の性状を示すため、セメントミルクなどの注入(グラウチング)による透水性改良が困難

写真-2 幌新ダム



幌新ダム

堤高	27.0 m	堤頂長	283.1 m
堤体積	284 千 m^3		
総貯水量	5,705 千 m^3		
有効貯水量	5,483 千 m^3		

であった。

このため、本ダムでは、ダム貯水池からの浸透水が下流部に浸出するまでの浸透路長を確保することで浸透水量を抑制する、アースブランケット工法を採用した。このアースブランケットは本堤と同じ難透水性の築堤材料で、上流側河床部から地山斜面まで広範囲に被覆する。この延長及び厚さなどの規模の決定にあたっては、浸透水量を抑制するとともに基礎地盤が水理的な破壊を生じないように、安全性を十分に確保できるものとした。上流ブランケット上流端からドレーン着岩端部までの全浸透路長は 195m である。

河川水を転流させる転流工は、トンネル形式としたが、地盤が固結度の低い砂岩で、地下水が高いことから、掘削断面や地盤の安全性・安定性の観点から、円筒状の機械で掘削面に圧力をかけつつ掘削するシールド工法で施工した。

ダムの築堤材料は、ダム直上流の丘陵から採取される礫質土を主体に、同地点で発生する粘土を混合したものをを用いた。盛立にあたっては 37 カ所の井戸で地下水をくみ上げることで基礎地盤の地下水を低下（ディープウェル工法）させた上で実施した。基礎地盤の砂岩層が低固結度であるため、掘削に伴う地盤のゆるみや風化による粒子間の結合力喪失が懸念された。このため、盛立基盤から 50cm 残した面で地盤の強度試験と地盤検査をし、これを終えた後、仕上げ面まで掘削し、直後に盛り立てる方式とした。

幕別ダムの完成後、平成 15 年から 2 カ年計画で試験湛水を開始したが、平成 15 年 9 月 26 日未明 4 時 50 分に、震度 6 弱（幕別町）を観測した十勝沖地震に見舞われた。この地震で地山斜面ブランケットの表面保護層が部分的に滑落した。このため、試験湛水を一時中断し、被災箇所ほかの調査を実施するとともに学識経験者による安全性評価を行い、地震による堤体の安全性については、特に問題ないという評価を得た。この結果、被災箇所を暫定復旧し、試験湛水を再開し、平成 16 年 10 月に試験湛水を終えた。この後、復旧工事を進め、平成 17 年 3 月に完成し、4 月から供用を開始した。

現在、受益地の農地では、レタス、キャベツ、たまねぎなどの野菜栽培が進展し、幕別町は全道有数のレタス産地となっている。

写真－3 幕別ダム

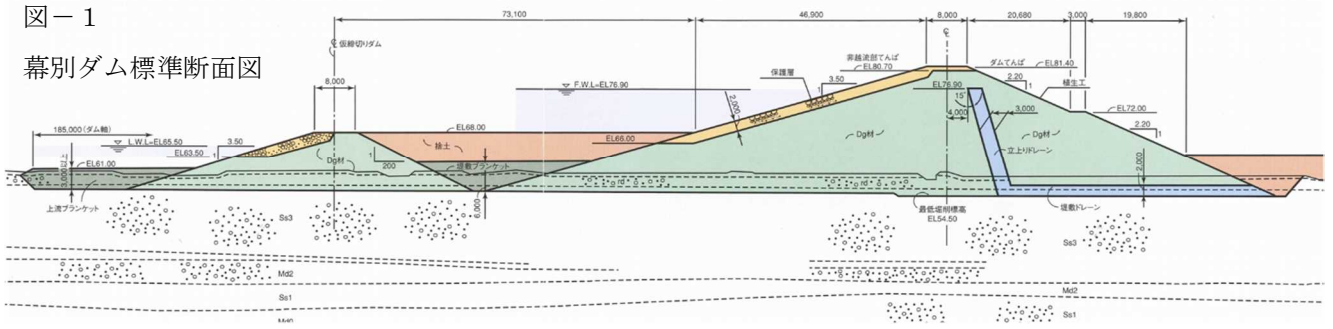


幕別ダム

堤高	26.9 m	堤頂長	335.0 m
堤体積	868 千m ³		
総貯水量	2,300 千m ³		
有効貯水量	2,000 千m ³		

図-1

幕別ダム標準断面図



(ウ) ゾーン型フィルタイプダム

堤体を不透水性材料と透水性の異なるフィル材料でゾーン区分して建設するフィルタイプダムである。この種のダムは、各ゾーンに機能を分担させるため堤高の大きいダムに有利である。フィルタイプとしては最も一般的であるが、不透水性材料の形状によって傾斜遮水ゾーンタイプ（日新ダム、青山ダム等）と中心遮水ゾーンタイプ（穂別ダム、エルムダム、富里ダム、緑ダム、雄武ダム等）に分類される。

a 日新ダム（完成 1974 年度）～地中連続壁工法による基礎地盤の止水対策～（写真-4、図-2）

富良野盆地の北東部の上富良野町の水田地域では、活火山の十勝岳を源流とする富良野川を水源として使用していたが、この水は強酸性を示し、稲作に障害を与えていた。このため、十勝岳の影響を受けない富良野川支流ピリカフラヌイ川に水源を求め、日新ダムを建設して水田へ安定的に良好な用水を補給することとした。

写真-4 日新ダム



ダム建設地点の地質は、柱状節理の発達した溶結凝灰岩の砂礫が最深部で 15m 堆積し、所々に約 50cm の厚さの粘土がレンズ状に狭在しているもので、この止水処理が技術上の最大の課題であった。

ダム基礎地盤の止水処理工法について、ボーリンググラウト、ケーソンなども検討され

日新ダム

堤高	29.5 m	堤頂長	230.3 m
堤体積	358 千m ³		
総貯水量	4,500 千m ³		
有効貯水量	4,133 千m ³		

たが、経済性、安定性から、掘削に際してベントナイト泥水を用いて壁面の安定を保つ地中連続壁工法を採用した。この工法には、掘削方式、排土方式によって、各種工法があるが、1回の掘削長が大きく、ジョイント数を少なくできるエルゼ工法を採用することとした。エルゼ工法は、特殊に開発された油圧ショベルによって掘削排土する工法であり、地下鉄の側壁工事などに使用される工法であるが、ダムの地中連続壁工法として採用されたのは初めてである。

ダム本体の設計は、ロックゾーンを先行して築造し、レンズ状の粘土が沈下圧密した後、遮水ゾーンの築造を行うため、傾斜遮水ゾーン型とし、連続地中壁は管理保守を容易にするため、ダム本体の上流側に離して設置し、遮水ゾーンとブランケットで接続する形を採用した。

ダムは昭和 49 年に完成し、ダムに蓄えられた 450 万トンの真水は、下流水田を酸性水の被害から守り、安定した稲作経営に寄与している。

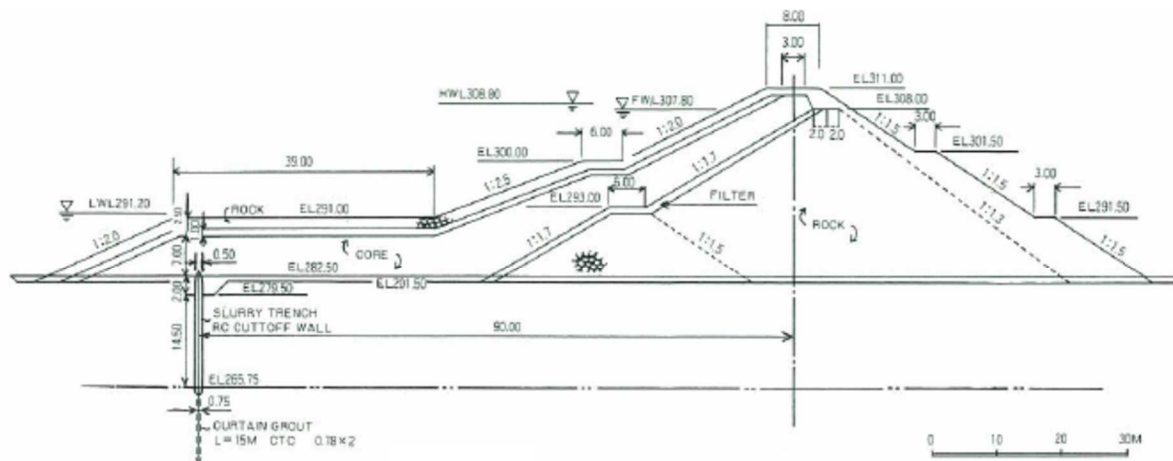


図-2 日新ダム構造断面図

b 穂別ダム（完成 1985 年度）～コア材に粗粒材をブレンドし、コアゾーンの施工性を向上
（写真-5, 図-3）

穂別ダムは、鶴川町、穂別町、占冠村の水田作業の近代化に必要な用水確保を目的に建設された農業利水専用ダムである。ダムサイトは、1 級河川鶴川水系穂別川にあり、その地形は比較的幅の広く両岸が緩い傾斜を成す溪谷で、基礎地質は年代の古い海縁石砂岩、灰色凝灰質岩、頁岩の互層を形成している強固な岩盤である。ダムタイプはサイトの形状係数（堤長／堤高）が 6.52 と大きいため経済的に有利なフィルタイプダムとした。

ダム築堤材料として、サイト近傍の段丘堆積物、砂岩、頁岩を使用することとしたが、遮水材としての段丘堆積物は、細粒分が多いため、砂岩のうち風化したものをブレンドすること

とした。また、ロック材の原石山は、頁岩が卓越する、砂岩と頁岩の互層であり、その安定性試験、圧縮強度試験から判断して、一般的なロック材に比べて風化しやすく強度も小さい材料とい

写真-5 穂別ダム



穂別ダム

堤高	38.2 m	堤頂長	2832 m
堤体積	529 千 m^3		
総貯水量	10,330 千 m^3		
有効貯水量	9,060 千 m^3		

える。従って施工に当たっては、破碎効果のあるシープフートローラーを使用することとし、現場転圧試験を行い、その適正まき出し厚、転圧回数等を決定した。

本ダムは、昭和 60 年に供用を開始し、流域の水田用水の安定供給に貢献するとともに、国道 274 号線が湖面を橋梁で横断していることから美しい水辺空間を呈している。

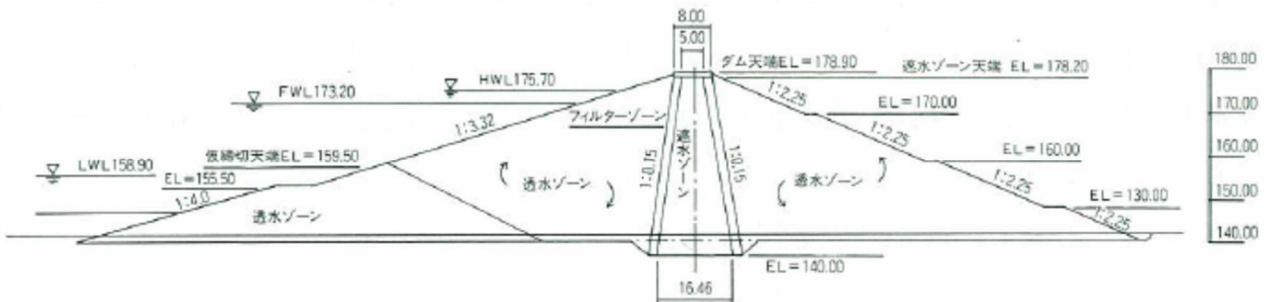


図-3 穂別ダム構造断面図

c エルムダム（完成 1998 年度）～解析技術を駆使し、比較的変形性の大きな基礎岩盤に監査廊を設置（写真-6）

エルムダムは、赤平市の石狩川支流赤間の沢川に建設された農業用水専用ダムで、深川市、滝川市、赤平市の 3 市にわたり、普通畑作物の他、メロン等のためのかんがい用水を確保している。

写真-6 エルムダム



ダム地点の地盤は、比較的年代の新しい火山角礫岩、凝灰角礫岩等からなっており、地盤強度が軟らかい地質上に建設されるダムであること、堤高が 53.7m と比較的高いことを考慮し、最も安定的なゾーン型フィルタイプダムを採用することとした。さらに付近に産出する土質材料を調査し、最も有効に利用できる中心遮水ゾーン型とした。

本ダムは、ダムの管理を目的に農業用フィルダムとしては前例の少ない監査廊を設置しているが、比較的軟らかい基礎地盤の上に監査廊を設けることとなるために、ボーリングや横坑による現場試験、採取試料による室内試験等の詳細な地質情報をもとにしての変形解析のほか、高度な解析技術を駆使して、監査廊の構造設計を行った。

本ダムの完成による地域農業の近代化は勿論のこと、本ダムの監査廊の設計は、その後に建設されたフィルダムにとって貴重な資料として活用された。

(エ) 表面遮水壁型フィルタイプダム

ダム近傍で不透水性材料が得られない場合、特殊な遮水材料で、遮水を行うことがある。表面遮水壁型はダム上流法面を遮水材料で覆うもので、北海道では、双葉ダムがアスファルトを使用したアスファルトフェーシングタイプのダムとして建設された。

a 双葉ダム（完成 1987 年度）～寒冷地に対応した道内初のアスファルトフェーシングタイプ～
（写真－7, 図－4）

双葉ダムは、後志の倶知安町、共和町、京極町等の水田作業の近代化に対応するため建設されたダムであり、北海道では唯一のアスファルトフェーシングタイプの農業利水専用のフィルダムである。

本ダム周辺では、堤体の材料の内、ロック材になる安山岩等は大量かつ容易に採取できる一方でゾーン型として必要な遮水材料（コア材）の入手が困難なため、経済性、施工性等多くの検討を行った結果、堤体上流法面をアスファルト層で覆い遮水を確保するアスファルトフェーシングタイプを採用することとした。このタイプのダムは、本州でも数例しかなく、北海道では初めてのものです、積雪寒冷な土地での採用に注目されたものである。

アスファルトフェーシングは、不透水性構造の基層の上に漏水量管理のための透水性構造の中間層を配し、更に不透水性構造の表層を設けた3層構造とし、それぞれの厚さについては水圧、衝撃波圧、安定性、不透水性等の検討を行い決定した。更に、アスファルトの配合設計について、室内試験、現場打設試験を行い、配合、舗装厚、舗設速度、締め固め密度、転圧回数等を決定した。



双葉ダム	
堤高	59.8 m
堤頂長	234.0 m
堤体積	660,000 m ³
総貯水量	10,500千 m ³
有効貯水量	9,300千 m ³

写真－7 フェーシングの舗設作業

また、アスファルトフェーシングタイプのダムでは、堤体の安定性の十分な吟味が必要であることから、従来行われていた、円弧すべり法による安定計算に加え、地震力を加味した模型実験に基づく解析法である震度円法という設計手法を用いて、堤体法面勾配を決定した。

アスファルトの舗設は堤体上流斜面に、除草材を散布した後、アスファルト乳材による表層処

理を行い、ドイツの技術を導入し製作したウインチポータルに牽引された振動ローラ等によって行った。

その後の追跡調査においても、アスファルトの安定性など構造について良好な結果を得ている。ダムは、昭和 62 年度に完成し、満々と水を湛えた湖面に、北海道の秀峰羊蹄山を映し出し、今日も地域農業の重要な水源として水を送り出している。アスファルト表面の保護層の改修は、平成 15 年度から平成 19 年度に実施し、その後、令和 2 年度から実施中である。

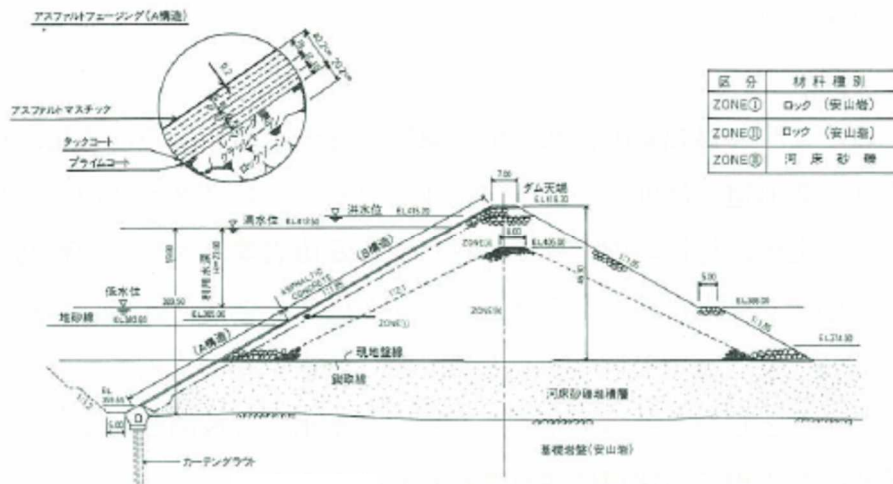


図-4 双葉ダム構造断面図

(オ) 複合ダム

ダム基礎が強固な地盤の場合はコンクリートダムが有利であるが、一部に十分な強度が得られない場合、その部分をフィルタイプとしたほうが経済的な場合がある。このようなタイプのダムを複合ダムと言い、かんがい用ダムとしては、美生ダムが北海道で初めて建設された。

a 美生ダム (完成 1999 年度) ～かんがい用ダムとして道内初の複合ダム、コンクリート部とコアゾーンの接合部の課題を克服 (写真-8)

帯広市の西方に広がる十勝川水系美生川周辺の畑作、酪農地域は、降雨のみに頼る営農であったため、農作物の安定生産が難しい状況にあった。

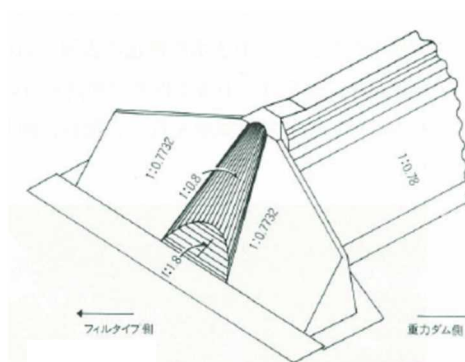
美生ダムはこの要望に答えて、美生川上流の芽室町字美生地点に建設された農業利水専用ダムである。

ダム地点は、河床部が砂岩、粘板岩を主体とした堅固な岩盤で、コンクリートダムも築造可能であるのに対し、右岸の河岸段丘部に広がる礫層は強度的にフィルタイプのダムの築造が相応しく、経済的な複合ダムを採用することとした。複合ダムでは、コンクリート構造部分とフィル部分の接合部が、それぞれの力学特性、地震時の震動特性等が違うことから重要であり、本ダムではグループジョイント方式を採用することとした(図-5)。この方式は、接合部のコンクリート部分に半月状の窪みを設け、その中に、遮水機能を持ったコア部を抱え込ませるもので、この方法によって、それぞれの接触面積を大きくすることができるほか、地震時にはフィル部の振動を

抑制するとともに、震動によって発生する内部の緩みを堤体の持つ自癒効果により速やかに復旧するものである。この方式は全国的にも数例しかなく、北海道では初めて採用される新しい技術であった。



写真－8 下流から見た美生ダム



図－5 グループジョイントの構造

美生ダム

堤高	47.2 m	堤頂長	350.0 m
堤体積	201 千 m^3		
総貯水量	9,400 千 m^3		
有効貯水量	6,000 千 m^3		

(カ) 貯水池 (ダム高 15m 未満)

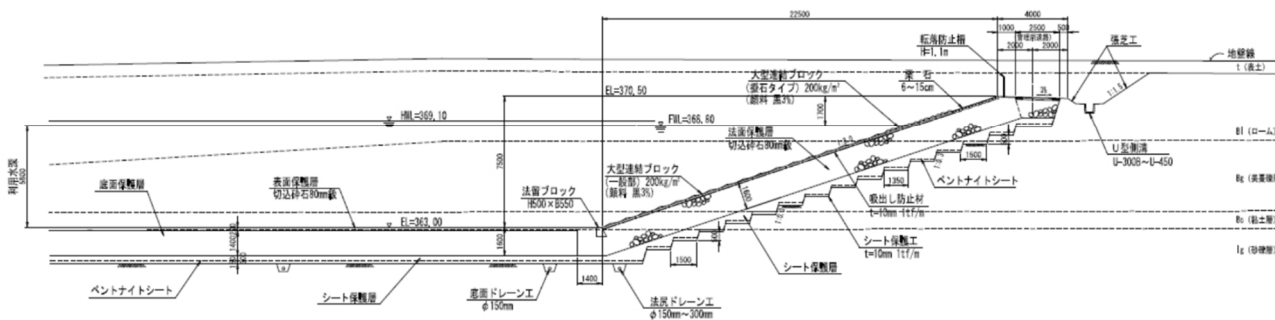
近年、地元の多様な水需要に対応するために小規模な貯水池の建設も進められている。建設に際しては、前述のダムと同様に基礎地盤の安定性や必要な遮水性を確保する必要がある。(美蔓貯水池、生田原貯水池、いしかり調整池等)。

a 美蔓貯水池～ベントナイトシート (二次製品) による遮水対策で施工性を向上 (図－6, 7)

美蔓貯水池は、十勝地方鹿追町に建設され十勝川と然別川に挟まれた美蔓高台の畑地へのかんがい用水の安定供給に資するものである。貯水池建設地点の地形は概ね平坦面地形を呈し、また分布する地質は第四紀更新世代の美蔓面堆積物 (主部砂礫層、基底部粘土層) で、一定の支持力が得られることから、掘込み式貯水池とした。

図－6 美蔓貯水池

標準断面図



なお、下層の池田層群（砂礫層）の透水性が高く、また周辺地下水位が掘削底面より低いことから、遮水対策が必要と判断し、現地での施工性、遮水性、耐久性、経済性から、ベントナイトシートによる遮水工法を採用した。

ベントナイトとは、アメリカワイオミング産の天然粘土鉱物で、水分を吸着すると体積が増える、いわゆる膨潤性の性質から遮水効果が期待され、このベントナイトをシート構造にしたベントナイトシートは、農業用ため池や遊水池、廃棄物最終処分場などに遮水材として用いられている。

美蔓貯水池では、シート特性及び施工性を勘案し、池敷底面部には比較的軽量で施工効率の良い粒状ベントナイトシート（ベントナイトと高密度ポリエチレンシートとの2層構造）、法面部には一次膨潤させるために、柔軟性に富んだ一次膨張ベントナイトシート（ポリプロピレン織布及び不織布とベントナイトシートとの3重構造）を使い分けることによって、それぞれの利点を生かしている（表-4）。

美蔓貯水池は、平成29年度から供用開始となった。東大雪山系を眺望出来る美蔓高台に位置し、新たな水辺空間が創造

されることから、かんがい用水の安定供給に寄与するだけでなく、地域の新たな環境資源として周辺の整備が行われ、展望の丘公園として活用されている。

イ 取水施設（取水塔、頭首工、揚水機場）

(ア) 取水塔

a 寒冷地における温水取水のための表層取水技術（フローティング取水塔）

ダムで貯水した水を下流の水田や畑に供給するために、取水する設備が取水塔である。北海道の場合は、稲作の北限地帯であることから、稲の栽培にとって水温の影響が著しく、古くから温水の手当が渴望されてきた背景から、取水設備の開発と改良が計られてきた。

ダムやため池などで貯留される静水は、太陽の照射によって表層部分が深い層より温度が高く

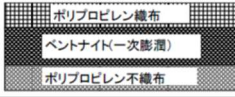
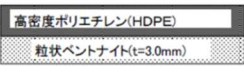
	一次膨潤ベントナイトシート	粒状ベントナイトシート
構造		
構造特徴	一次膨潤させているので偏り等は生じにくい。	粒状のベントナイトを使用しているので偏りが生じる可能性がある。
透水係数	1×10^{-9}	1×10^{-9}
シートの幅	2 m	5 m
柔軟性	柔軟性に富む。	柔軟性に不安が残る。
重量	重量はあるがクレーンを使用するので問題は少ない。	軽量である。
コメント	柔軟性に富むため、段切りした法面部の施工に有利である。	軽量で施工性が高く、幅広シート(5 m)であるため底面部の施工に有利である。

表-4 ベントナイトシートの比較表

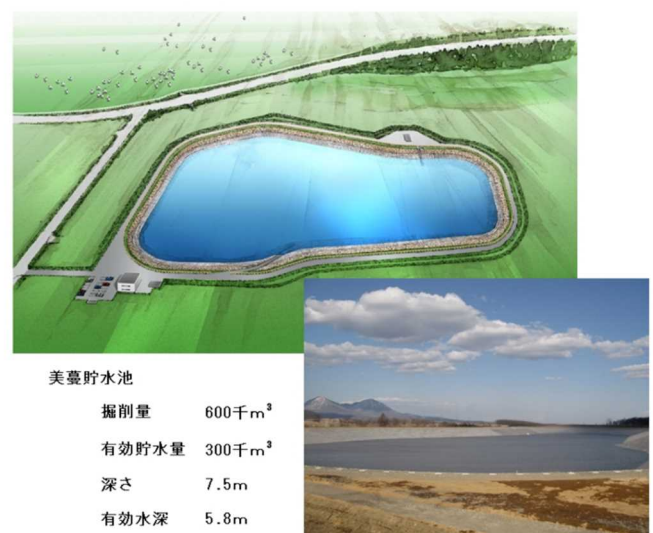


図-7 美蔓貯水池

密度の小さな軽いものとなる。これは、あたかも水面に浮かぶ油のように、低温で比較的密度の重い深い層に乗って比較的安定した温度成層を保つようになる。この表層の温度は、北海道でも夏期には時として 20℃以上にも温められる。

温水取水の設備は、取水口付近の流速を遅くすることで下層冷水を巻き込まず、常に、表層の温水をかんがい用として安定的に供給するものであり、そのため取水口付近の流速は、表層及び下層の密度と粘性の差によって決まる「限界流速」以下にしなければならない。これが温水取水基礎の条件である。

b 表層取水設備構造の変遷

北海道開発局における表層取水設備の建造は、昭和 39 年度に完成した雨竜地区尾白利加ダムが最初である。その後も先導的に、同型式のものに順次改良を加えつつ現在まで道内で 30 基以上が建設されている。

表層の温水を取水できるフローティング取水塔の機構は、上部水面部のフロートがその下部に直結した漏斗状の取水盤及び取水管等の一連の装置を吊す浮力となり、水位の変動に対してフロートが常に水面上にあって、取水管装置が自在に伸縮追随し、表面の温水のみを常に取水する構造となっている（図-8）。

塔体の構造は、初期において多角形の複雑な柱組み形状であったが、現在では、六角柱組み方式が主流になり構造がシンプルなものになっている（写真-9）。また、塔上の操作室や管理橋の設置が付加されるとともに、フロート内部の構造もトラス補強方式からトランスバース補強方式に改良されてきた。さらに、スライドする取水管取り合い部の水密性の改良や、取水盤下部にサブフロートを設け装置重量の軽減と性能の向上を図るなど、それぞれの改良がなされてきた。

近年になって、メンテナンスフリーをめざして、普通鋼材に代えステンレス鋼や強化プラスチックなどの新材料の採用が特筆される。これは、北海道の場合、通年湛水のダムはもとより、寒冷地特有の気象条件から 9 月以降の塗装の塗り替えの困難なこ

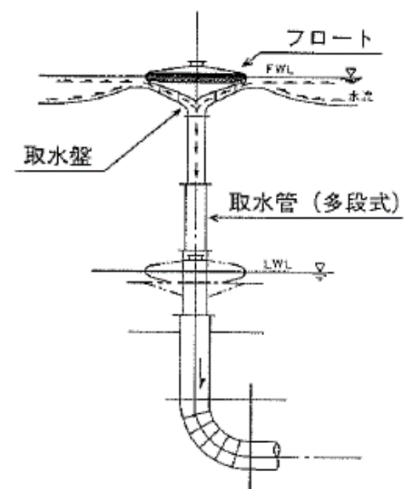


図-8 表面温水取水の概念と構造



写真-9 フローティング取水塔

と、あるいは、長期的な保守管理のうえから錆びない材料の使用が得策との判断によるものである。

なお、現在、ダム本体に付属する形や地山に直接取りつける傾斜型も含め選択取水形式の取水設備も逐次実施されている。取水設備は、機能を損なうことなく部材の簡素化をさらに進めているとともに、機器類の操作の単純化や水質監視装置などの高度化した技術が利用されている。

c 取水塔設備の凍結防止技術

北海道の場合、他府県地域と相違することは、取水施設の冰雪被害に対処しなければならないことである。冬期の貯水池は、約 50～60cm の厚さの結氷が設備の部材に張り付くように発達し、それが落下して施設に被害を与える。それを防御する手段として考案されたのが凍結防止装置である。

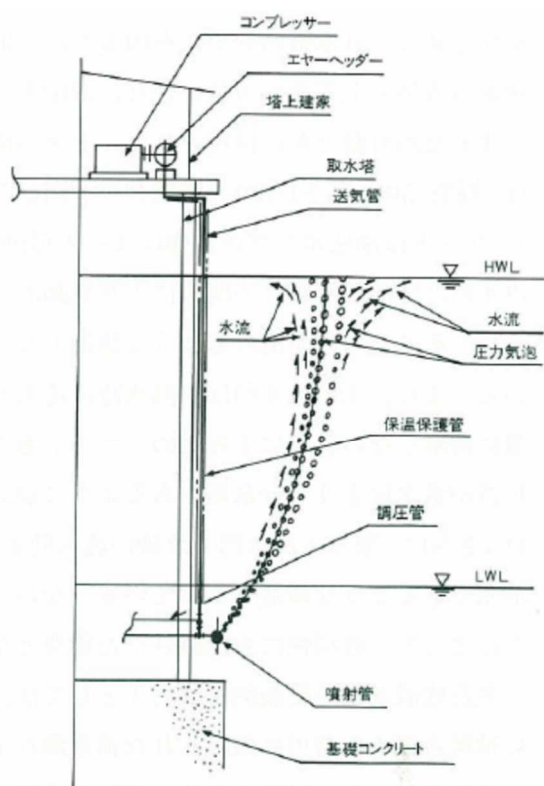
凍結防止装置の方式は、電熱融解方式や遠赤外線放射式、送風機による結氷防止、水中ポンプによる混層方式などが考えられたが、維持管理費用や管理労力の問題、厳寒化での機能維持の面などから種々検討の結果、「圧力方式による上下水温混和方式」が採用された。本装置は、コンプレッサーから空気が圧送され、貯水池の底に固定された噴射管により気泡が多量に放出されることにより、上下層の水の対流を促し比較的暖かい湖底部分と混合することで表層の結氷を防ぎ、また、一旦張った氷をも解氷するものである（図－9）。

詳しい解氷のメカニズムは、圧力气泡によって起きる貯水池の対流で、下層（水温約 4℃）の上昇によりまんべんに行われる熱収支及び軽い打撃によって解氷がなされる。解氷の状態を観察すると氷の表面を突き破って水が吹き出し、

徐々に氷の表面に浸透し始めると、先ず大きな氷塊が浮遊し、さらに細かく割れ始め、水に接する断面が多くなると、浮遊される速度が早くなり融解が急速に進んでいく。

凍結防止装置の費用は、コンプレッサーの運転費用がほとんどであり、無氷状態を維持する連続運転を行えば費用がかさむが、間断運転を実施するほうが得策である。なぜなら、外気温が -11°C ～ -24°C 程度での結氷厚は、概ね 2～5 cm であるから、装置の運転時間が 30～40 分で解氷できる。したがって、連続運転は一般に必要としないからである。

凍結防止装置は、北海道の通年湛水のダムではほとんど設置され、現在に至るまで十分その機能を発揮している。

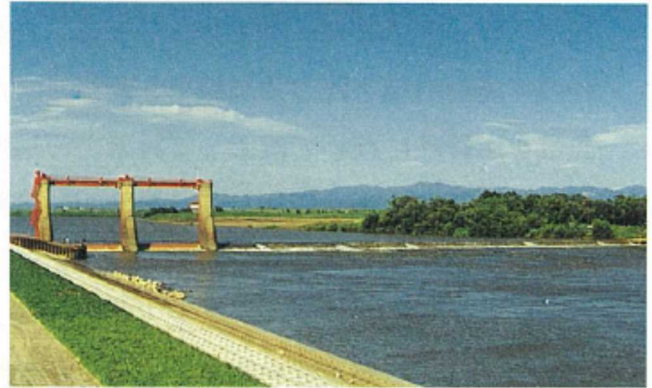


図－9 凍結防止装置の概念図

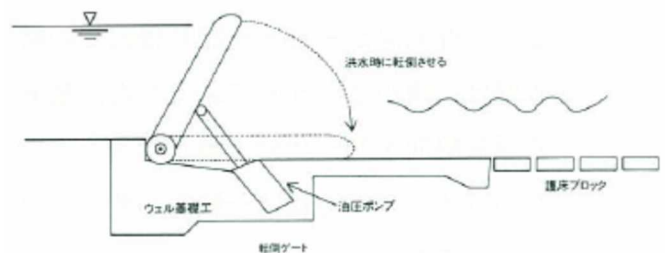
(イ) 頭首工

頭首工は、河川などを横切って設ける取水堰や土砂吐施設、用水を水路に取り入れる取り入れ口、及び、その付帯施設として魚が上流へ通過できるための魚道などから構成される。

戦後の食料増産対策を目的として、昭和30年代に実施された篠津泥炭地域の農業開発においては、この地域の水田に篠津運河を利用して用水を供給するために、月形町に石狩川頭首工が建設された（写真－10）。本頭首工は、石狩川を横断する高さ2.37m、長さ155mの水位・流量を調節する装置のない固定堰と幅20m、2門の土砂吐水門、取り入れ水門、さらに篠津運河へ用水を導く導水路などから構成されている。本頭首工の主要部である固定堰工法は、地形・基礎地盤・洪水・冬の工事などを検討した結果、水中プレキャストコンクリート工法がとられた。この工法は、あらかじめ型枠内に投入した粗骨材の隙間に特殊モルタルをパイプを通して注入するもので、当時では画期的な工法であった。



写真－10 石狩川頭首工(S38完成)の全景



図－10 転倒ゲート断面図

北海頭首工は、石狩川右岸に拓けた大水田地帯の用水不足解消と、新規開田地帯の用水を供給するため昭和40年に、赤平市の空知川に建設されていた旧頭首工を改築したもので、その取水量は全国でも有数の規模を誇るものである。この取水堰は、全体が水位、流量を調節する可動装置をそなえた可動堰である。改良の要点は、上流域の開発により空知川に流木や土砂が多量に流下するようになったことや、洪水の規模が大きくなったことを考慮し、流水障害をなくすとともに、低水敷の安定化を図るため、可動堰が採用された。堰の構造は、幅32.5m、高さ1.8mの転倒ゲート門からなり、ゲートは油圧ポンプの操作によって可動し、洪水時には油圧バルブの開放により自動的に倒れて、その上を水が流れるような構造となっている（図－10）。また、土砂吐水門は、洪水時に流木が多量に密着しないようにするため、ゲート巻上げ位置が洪水位より十分余裕があるように設計され、さらに、取り入れ水門も土砂の流入防止に必要な高さを保った土砂吐敷より1.7m高い位置から取水できるような構造となっている。なお、古い頭首工のウェル基礎及び護床の一部を利用することによって、経済性にも配慮された構造となっている。

北空知の大水田地帯にかんがい用水を供給するために神居古潭の石狩川に設けられた神竜頭首工（写真－11）は、大正3年に最初の施設が建設され昭和37年に改築されたが、河道の変動、河床の低下、土砂の堆積等から維持管理面での課題が多く、また、近年の農業の近代化や施設の老

朽化から、現在の頭首工に改築されたものである。本頭首工は河状が安定し治水の面からも支障がなく、また、受益地が近く経済的であることや、維持管理の面なども考慮して位置、構造が検討された。その結果、構造は全面引上げ式可動堰とした。また、河床には岩が露出していることから岩の上に直接設置するフィックスドタイプが採用された。洪水吐ゲートは、機構が簡単で信頼性の高いシェル構造ローラーゲートとし（図-11）、土砂吐ゲートは取水量の調節や下流放流に配慮してシェル構造スライド2段ローラーゲートとし、自然排砂の可能な斜流水路方式が採用された。また、魚道を土砂吐に接して設置して将来の河道変動にも対応できるようにし、取り入れ口敷を土砂吐敷より幾分高くして土砂の流入を防止する形状とした。さらに、堰上下流の河床エプロン部には、耐摩耗性を高めるため、特殊配合のコンクリートを打設するなど、種々の工夫がなされている。

これまで述べてきた頭首工は、比較的勾配の緩い河川に設置するタイプであるが、場合によっては河川の上流の溪流部に設置することもある。十勝の芽室川に建設された円山頭首工は畑地かんがい用水を確保するもので、散水するため一定の水圧が必要なことから河

川の上流に設置することとし、溪流取水タイプが採用された。このタイプは、交通の不便な山間部にあつて十分な取水管理ができ難い場所での取水に考えだされたもので、一般に流域面積が小さく河床勾配が急なため、流量の増減が急激で河床の石礫の粒子が大きいことと洪水時の流出速度が速いことが特徴である。取水形式は、取水量、地形、流況等を考慮して決められ、一般にバースクリーン型（チロル型）（図-12）、側方取水型、集水暗渠型があり、本頭首工はバースクリーン底部取水型溪流取水方式を採用した。これは固定堰越流斜面流水方向に棒を並べたスクリーンを適度な角度、長さ、間隔で取付け、石礫や流木を排除しながらスクリーンからの落水を集水路に受けて取水するものである。以上のように、頭首工は建設された時代や設置する場所などにより種々のタイプが考案されてきている。



写真-11 神竜頭首工の全景

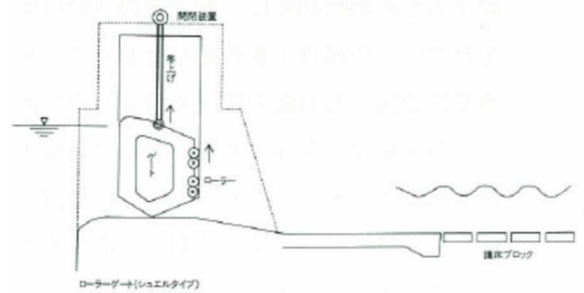


図-11 ローラーゲートの断面

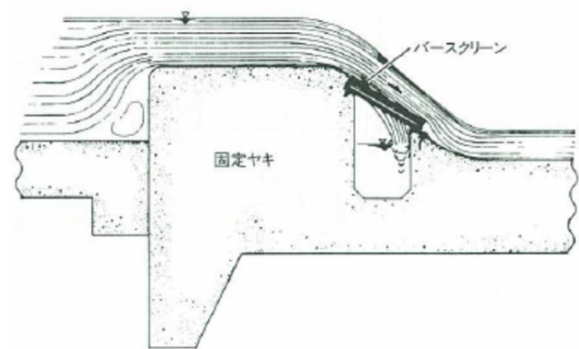


図-12 チロル型セキ断面

また、戦後多く建設された頭首工は、施設の老朽化や、水需要の多様化、さらに環境に配慮し、改修の計画が進んでいる。頭首工を改修する場合の技術的課題となる河道内の工事では、河川の流下断面に対する阻害を小さくするための仮設計画（締切工法等）に工夫が必要となる。

a 石狩川頭首工（改修）～大河川石狩川の流下を阻害しないように締切工法を工夫（図-13）

昭和 38 年度に完成した石狩川頭首工は、老朽化によるひび割れ等が発生し、施設の安全性の確保や安定的な取水が困難な状況であるため、平成 8 年度より従来の頭首工より 315m 下流において、新石狩川頭首工の建設に着手した。

新頭首工は、洪水吐ゲート 5 門（幅 42.0m、高さ 4.6m）、土砂吐ゲート 1 門（幅 20.0m、高さ 4.9m）などから構成されており、堤長 257m のフローティングタイプ全可動堰である。

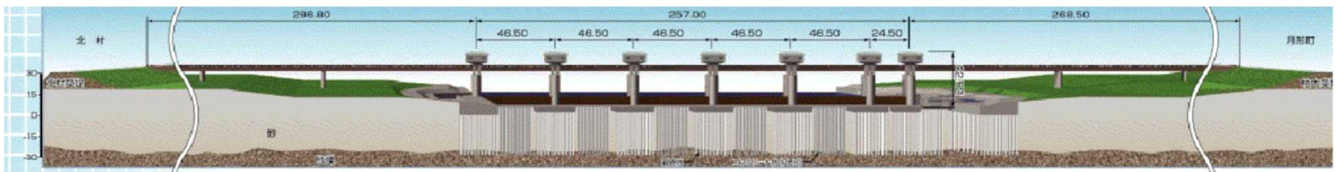


図-13 石狩川頭首工断面図

新頭首工の建設における制約は、河川の安全性を確保するために施工可能期間が 1 年のうち洪水期（8、9 月）を除く 10 ヶ月間であること、及び洪水時における河川の通水阻害率を 10% 以下にすることであった。

このため頭首工の施工は、当初、取水口のある右岸側より順次、4 回に分けて締切を行うこととし、仮締切工は H 鋼杭を打込み、つなぎ材や桁受桁を現地で組立てた後、これを足場に止水矢板を施工する「栈橋＋一重鋼矢板締切工法」を計画していた。

その後、栈橋及び仮締切の設置に要する工期短縮やコスト縮減、止水性の向上による締切内の安全性に着目した検討を行い、二列に配置した鋼管杭を基礎に作業構台を載せ、その両側に止水矢板を施工する「二重鋼矢板締切工法」に変更を行った（図-14, 写真-12）。

この仮締切工法の採用により、限られた施工可能期間においても 3 回仮締切による施工を可能とし、中央部、右岸部、左岸部の順に施工することが可能となり、当初の工程より仮締切の期

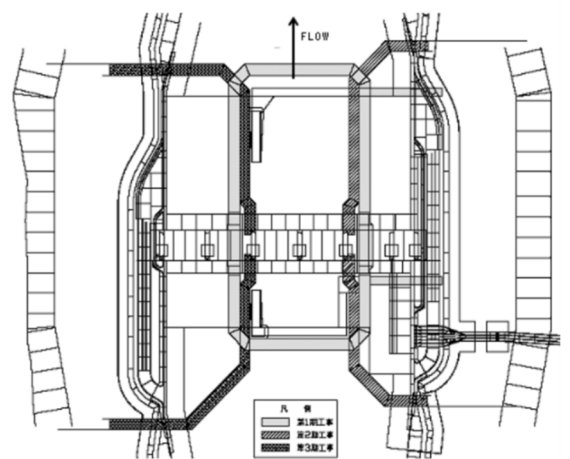


図-14 石狩川頭首工仮締切計画図



写真-12 石狩川頭首工仮締切状況

間が9.5ヶ月短縮された。

また、作業構台についても海洋・港湾工事で主に使用されている、つなぎ材や桁受桁を工場でブロック化（プレキャスト）したものを架設するジャケット工法の採用により（写真-13）、作業構台の施工日数が従来工法に比べ概ね1/2程度まで短縮された。

更に頭首工の中央部（1期工事）の施工においては、通水障害率を満足するために洪水時や洪水期に撤去し、その後、作業再開時に再設置することとしていた搬入路（栈橋）について、ジャンボジェット機の格納庫など大規模な建築物の屋根を持ち上げて建設するために開発されたリフティング工法用ジャッキを使用することにより（写真-14）、計画高水位より上に搬入路（栈橋）をジャッキアップすることで洪水時においても通水障害率が満足でき、設置撤去費の縮減のみならず、限られた施工可能日数下においても締切内での作業日数を確保した。



写真-13 作業構台施工状況



写真-14 リフティング工法用ジャッキを使用した栈橋



写真-15 施工中の新石狩川頭首工（写真中央）と旧石狩川頭首工

新石狩川頭首工は、平成25年11月から供用が開始され、約7,500haの農地へ農業用水の安定供給を行っている（写真-15）。

(7) かんがい用の揚水機場 ～地形条件を克服する～

かんがい用水を河川から取水する施設としては、河川からのせき上げによる自然取水が一般的であるが、地形や取水地点の関係から自然取水が困難な場合、ポンプによって河川から水を汲み

上げるために揚水機場を設置する。揚水機場は、かんがい用水の目的と農地の立地条件等によってポンプの規模や型式が定められる。

例えば、水田用水の場合では、最も遠い田面まで水が流れるようにポンプの揚程・圧力が確保され、かんがい期のなかで代掻き期と普通期等の使用量が異なる時期にも過不足なく、経済的にポンプが運転できるよう台数が決められる。

石狩川から水田用水を汲み上げる揚水機場の代表的なものとして、南美原揚水機場がある。この施設は、平成2年に6箇年の工事期間と約35億円の工事費を投入して完成したもので、石狩川下流右岸の水田地帯1,350haのかんがいを目的としたものである。ポンプ設備としては、最大吐出量が $6.62\text{m}^3/\text{s}$ （代掻き期）、全揚程が13.4mと吐出量の割には高いことから、「横軸両吸込渦巻きポンプ」が採用され、900mm口径のポンプを4台設置し、代掻き期と普通期（ $4.76\text{m}^3/\text{s}$ ）のそれぞれの必要用水量に合わせて運転ができるよう設計されている。

運転操作では、河川水位の変動に伴ってポンプの揚水量も刻々と変化するため、慎重な管理操作が必要である。特に、南美原揚水機場にあっては、ポンプ揚水後、吐出槽から幹線用水路と3条の支線用水路に同時に分水される複雑な構造のため、各用水路に超音波式流量計を設け、機場操作室から遠隔操作でゲートとバルブの開度調整を随時行い、経済性も考慮した用水の安定供給が行われている。なお、南美原揚水機場については、河川由来の堆砂により維持管理に苦慮していることから、統廃合が予定されている。

(2) かんがい動脈としての用水路

これまで、北海道開発局によって建設された「かんがい用水路」は、総延長 5,061km におよび、その多くは石狩川流域に広がる水田地帯において整備されたものである。用水路は、ダムや頭首工から取水されたかんがい用水を途中の損失を最小限にとどめるとともに、末端の圃場に安定して供給するため必要な施設であり、このかんがいの動脈として果たす機能は、地域の安定した農家経営にとって欠くことのできないものとなっている。

ア 用水路構造の変遷

用水路の構造は、従来、土水路が殆どであった。戦後、開田そして増産が盛んな時代となり、大規模なかんがい事業が行われるにつれ、水路の法面浸食防止、水草の繁茂による通水阻害の対策、漏水対策などの必要から、緊急的な措置としてライニング水路（水路装工）が多く採用されることになる。このときのライニング工法は、石積みやコンクリート張りによるものが主流であったが、昭和 30 年代になると、コンクリートの品質管理技術の向上と石材の枯渇や石積み熟練工の減少等から、工場生産による強度・耐久性の高いコンクリートブロック製品が相次いで開発され、水路工事に導入されるようになる。また、積みブロックや張りブロックも多量に使用されることとなる。一方では、米国の技術を導入して、愛知用水事業で採用された「薄型コンクリートライニング工法」が、効率的な布設機械の導入とともに普及し、これが近代の水路ライニング工法変革の契機となる。

その後、より大規模な用水路に対応するため、用地の制約条件、工期の短縮や施工性の向上、経済性の追求などから、現場に携わる多くの担当者の創意と工夫の結晶として「大型 L 型ブロック装工」（図-15）及び「大型コンクリートフリーム」が開発された。また、泥炭地に代表される軟弱地盤には、鋼板や軽量資材を使用した水路の開発も進められた。

これらの水路構造は、昭和 50 年代中ほどまでに、地域的な相違はあるが主流として実施されている。代表的な事業とし

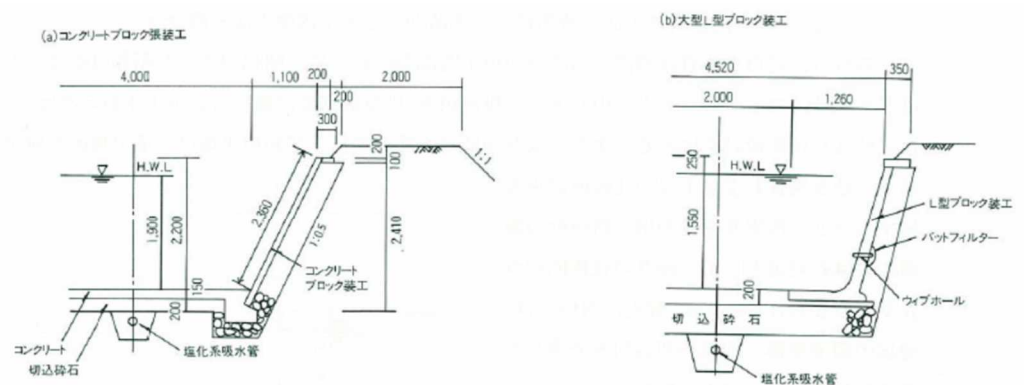


図-15 昭和 30～50 年代の用水路構造

ては、美唄地区（昭和 32 年～昭和 54 年）の L 型ブロック装工、天塩川上流地区（昭和 42 年～昭和 61 年）の大型コンクリートフリーム装工、篠津地区（昭和 26 年～昭和 46 年）の軟弱地盤対策としてのコルゲートシート装工が挙げられる。

イ 用水路の凍上対策技術

寒冷地において建設される構造物は、積雪および土中の水分の凍結による凍上、その他の物理的な影響を受けて、その後の機能を失うことがある。

昭和 30 年代から、従来のタイプの現場打ちコンクリートに代わり多く建設され始めたコンクリートフリーフォーム型水路等の一部においても、凍上と思われる水路側壁の傾倒、破損が生じた。これに伴い、昭和 47 年頃からその解明と抜本的な対策を図るため、現地に観測施設を設ける等して開発土木研究所（現寒地土木研究所）を中心に組織的な検討が始まった。



写真-16 場所打コンクリートライニング水路

更に、昭和 50 年からは、農業土木学会水路凍上対策調査委員会の専門的な指導と助言を得る中で調査、検討を加え、これら一連の検討結果が、昭和 55 年 4 月 1 日に北海道開発局が制定した「積雪寒冷地における用水路の設計技術基準」と成って集約され、寒冷地用水路技術の発展に大きな足跡を残すことになる。

凍上対策の基本的な工法は、次のとおり 3 系統に整理される。

- ・回避工法
 - 管渠、函渠による埋設工法
 - 置樋工法
- ・置換工法
 - 一般置換工法（切込材料で置換して、凍上を軽減し更に残留凍上力に対しては、側壁自体で処理する）
 - 特殊置換工法（フルイ材料で置換、凍上影響を皆無に近くする）
- ・断熱工法
 - 一般断熱工法（断熱材により背後土砂を凍結させない）
 - 特殊断熱工法（断熱材での凍結抑制と置換工法の組合せ）
 - 完全断熱工法（断熱材での凍結抑制と完全置換工法の組合せ）

その後も、局用水施設技術検討協議会の用水路部会において、昭和 59 年より昭和 61 年まで天塩川上流地区の L 型ブロックを中心とした現況調査（原位置強度試験、背面地下水位の測定等）から始まり、凍上対策の技術検討が加えられる。また、軟弱地盤用水部会では、空知中央地区、道央地区の現況調査、地質調査および工法の比較検討を実施するなど、積雪寒冷地の用水路や軟弱地盤における対策として、種々の技術的な改良が行われた。

これまで凍上対策工法としては、用水路側壁部を砂利に置き換える「置換工法」（図-16）が主流であったが、近年、置換えのための砂利の入手が困難となってきたことや、置換部の発生土による建設副産物処理費が嵩むことなどから、工事発生土の軽減によるコスト縮減が図られる工法が求められている。このため、空知中央地区（昭和 54 年～平成 20 年）では、透水性断熱材（発砲ポリスチレン）を用いて、水路側壁背面の凍結を抑制し、凍上力の発生を緩和する「断熱工法」（図-17）を採用し、後続の北海地区（平成 22 年～）に引き継がれている。

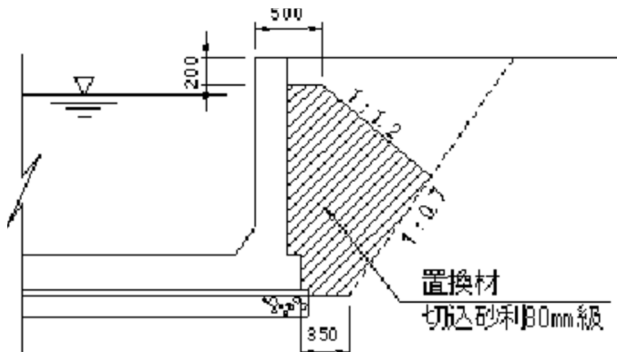


図-16 凍上対策工法－置換工法

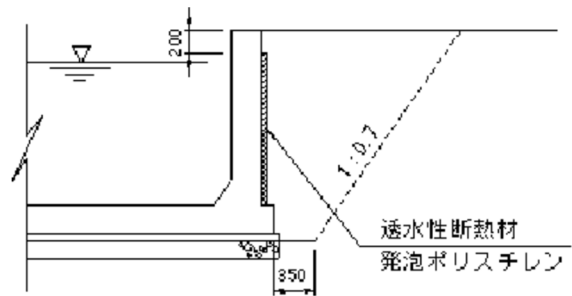


図-17 凍上対策工法－断熱工法

ウ パイプライン技術の変遷

(ア) パイプラインの材料

北海道におけるパイプライン（管路）の萌芽は、大正時代の彎管渠（木製サイホン、写真-17）であり、木管が二十余年の使用に耐え、その台座が今も上川管内鷹栖町に残されている。

近代的パイプラインの幕開けは、篠津地域の泥炭地で昭和30年代に始まるが、この地域は石狩川中流右岸に位置し、厚い泥炭層に覆われた非常に軟弱な地盤であった。そこで、軽量で沈下に強く、施工も容易な鋼製コルゲート管が使用されるようになるが、鋼製コルゲート管は、軽量で沈下に強い反面、浮力による浮上りに弱く、また、酸性水に弱いという難点があった。

その後、内面が滑らかで同じ流量を流す場合に小口径化できる鉄筋コンクリート管が使用されるようになるが、同じ鉄筋コンクリート管でも、より大きな水圧に耐えられるプレストレストコンクリート管が主に使用されるようになった。鉄筋コンクリート管の使用にあたっては、管体の重量が増加することから、胴木基礎（梯子状の台木）等によって荷重を分散することで不等沈下の防止を図っていった。

畑地かんがいでは一般にスプリンクラーを使うため、散水に $3 \sim 5 \text{ kg/cm}^2$ での水圧を必要とすること、また、傾斜地が多いため、水路も山腹部をはしり土質の変化、谷越えなど地形条件に適応できる高圧管が必要となり、ダクタイル鋳鉄管、鋼管、強化プラスチック複合管（写真-18）など

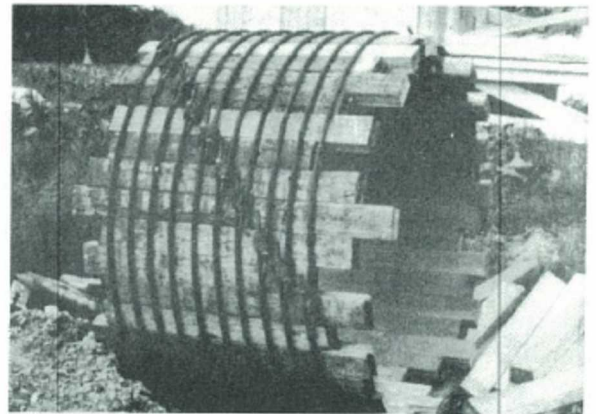


写真-17 復元された彎管渠



写真-18 強化プラスチック複合管の敷設状況

が特性を活かして用いられている。

これらの管は大別してとう性管と不とう性管に分類され、それぞれの特性によって管の厚さや埋設の構造が設計される。

ダクタイトル鑄鉄管は、高い内圧に耐え小口径でも接合がボルト締めにより確実で施工性の良いパイプであり、かんがい用ダムを有し、散水に必要とされる水圧の確保が求められる雄武中央地区などで使用されている。

鋼管は、高い内圧に耐え同じ容量のダクタイトル鑄鉄管に比べ軽量で溶接による接合も確実で、特に大口径で施工性が良いため、水田に大きい流量を送水し、軟弱地盤の不等沈下に対処することが求められる篠津中央地区などで使用されている。

最近では、大口径で軽量なパイプが製作されるようになったことで、軟弱地盤の水田地帯でもパイプライン化が進んでいる。強化プラスチック複合管は軽量で施工性が良く、柔軟であるため不等沈下にも強く、管上を覆土し浮力を押さえることにより道央地区などで使用されている。

(イ) パイプラインシステム

農業用パイプラインの特徴は、上水道などに比べ、高い圧力で大量の水が流れることである。このため、その計画・設計には、上水道と異なった配慮が必要である。

一般に、パイプラインの型式は、その機構からオープンタイプ、クローズドタイプ、セミクローズドタイプの3つに分けることができる。オープンタイプは、管路の途中に自由水面を持たせるため開放スタンドを配置する型式であり、クローズドタイプは、上流から下流まで自由水面がない閉鎖型の管路型式である。また、セミクローズドタイプは、下流の利用量に追従して送水量を調整できるフロート弁類を中間点に配置する型式である。

この3つの型式は、それぞれの利用条件や管理体制に合わせて選択されるが、いずれも管路の末端部はクローズドタイプである。このタイプは、上水道と同様に、水を使う受益者（農家）が、取水栓（蛇口）を開きいつでも必要な水量を得ることができる便利な方式である。しかし、パイプライン全体が圧力管路となるために、取水栓にかかる圧力の差によって水の出方に差が生じる。つまり、標高の低い所で取水する農家は多く取水でき、逆に標高の高い所では少ない量しか取水できなくなる。また、各農家が同時に取水することによる圧力変動が、他の農家の利用に複雑に影響を与え不安定な取水となる。

このような農家間の不公平をなくすために、従来考えられたのは、1つの管路系から取水する農地の標高差をできるだけ少なくして小さな面積毎に管路系を分け、農家間の利用調整によって、不公平で不安定な取水を解消しようという方式である。この方式



写真-19 自動定圧定流量取水栓

を北海道の畑地かんがい地域に適用した場合には、大変複雑なものとなる。これは、対象面積が大きく地形が複雑であるところに、各取水栓の吐出量を安定させるため、団地内の高低差をおよそ 20m 以内に抑えることを前提に、1つの管路系の支配団地をおよそ 300ha 程度とするためである。

一方、同一地域において仏国で開発された“自動定圧定流量取水栓”（写真-19, 図-18）を末端に導入して設計した場合は、従来方式のものに比べて非常にシンプルなシステムになる。これは、この取水栓装置がかんがいに必要な圧力と量を一定に保ち、管路圧力の変動に対しても自動的に調整する機能を有しているためである。この装置の採用によって、1つの管路系の支配団地をおよそ 1,000ha 程度まで拡大でき、配水系団地の構成面積についても原則として制限の必要がなくなっている。

このように、農業パイプラインは、“自動定圧定流量取水栓”の登場で、路線延長の短縮やファームポンドの数などが大きく統合され、それによりシステムが著しくシンプルとなり、建設費の軽減と水及び施設管理労力、費用の抑制が可能となった。

(ウ) パイプラインの施工技術

大口径パイプライン工事で問題となる要因としては、「沈下」と「浮上」があるが、施工箇所が軟弱地盤帯である場合、現地盤と管材の単位体積重量の格差が大きいことから管路は容易に「沈下」することになる。一方、「浮上」に対しては、埋戻し土の重量のみを期待した対策を施すと、土被りが大きくなり、掘削深の増加に伴う施工性の低下や掘削断面の拡大に伴う工事費の増嵩を招くことになる。

このため、軟弱地盤帯でパイプラインを設置する場合は、沈下、浮上の両方を考慮した設計が重要となってくる（図-19）。

近年実施されている対策工法としては、現地発 生土にセメント系固化材を混合した改良土を基礎（120° 支承）とし、浮上防止

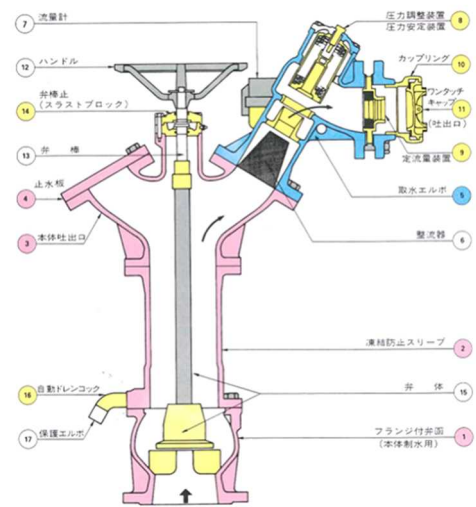


図-18 自動定圧定流量取水栓
(イメージ図)

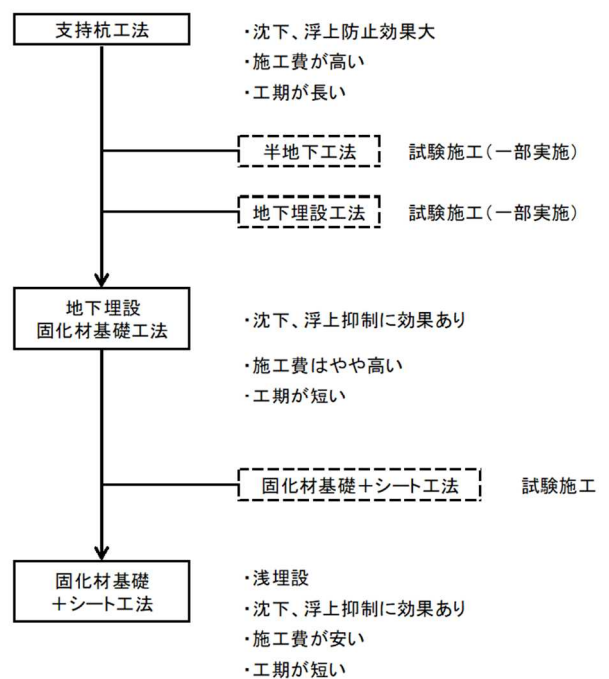


図-19 用水管路施工方法経緯図

対策として固化材基礎上面から管頂部までの埋戻土を浮上防止シートで巻き込む「固化材基礎+浮上防止シート工法」があり(図-20)、篠津中央地区(昭和60年~平成18年)で採用されている。これにより、従来の支持杭基礎工法に比べて軽量の基礎を構築することが可能であり、更に、建設費の抑制、工期の短縮及び残土処理の軽減が図られた。

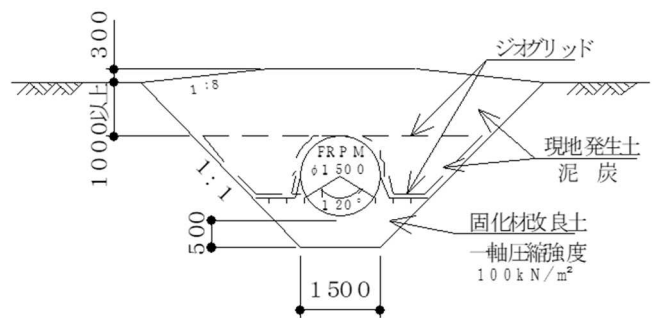


図-20 固化材基礎+浮上防止シート工法

また、道央用水(三期)地区(平成16年~)では、浮上対策として、管中心から管頂部までの埋戻土を浮上防止シート(ジオテキスタイル)で包み込むことで管と一体化させ、浮上に対する抵抗力を増加させる浅埋設工法を採用している(図-21)。これにより、従来に比べて管水路の埋設深を浅くすることが可能となり、掘削量の軽減等による建設費の抑制、用地の縮小、工期の短縮及び残土処理の軽減が図られた。

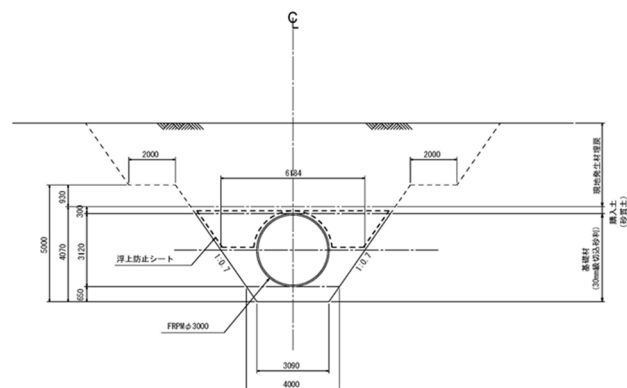


図-21 浅埋設工法

エ 水路トンネルなどの施工技術の変遷

(ア) 天塩川上流地区和寒逆サイホン工 ～長大サイフォン開削工法～

本工事は、天塩川上流地区総合かんがい排水事業の用水改良を目的とし、在来の土水路をブロック水路に改修する。この幹線水路建設工事延長100kmのうち、新設となる剣和幹線水路が50kmとその主要部分を占めている。和寒サイフォン(昭和49年~昭和51年)は、取水口である剣和頭首工を起点とし、地区東側丘陵地帯を南下してきた剣和幹線が、東南端から西側山裾へ渡るため和寒町中和の低平野部を横断する、全長2,684m・管径2,700mm逆サイフォン式管水路である。

従来、大口径のサイフォンでは、現場打ちのRC構造が一般的であったが、均一な品質と水密性の確保や施工性などから、この事業で初めて大口径既製管を採用することとなった。和寒サイフォンで使用した既製管は、2,700mmの工場製ケミカルプレストレス鉄筋コンクリート管で、要求される高耐力を膨張材によるケミカルプレストレス(化学的処理により事前に応力を与えておくこと)で確保した管である。これにより、従来の遠心力鉄筋コンクリート管に対してヒビ割れ強度を向上させることができたことから、大型のサイフォン工も既成管の時代に入る。

このサイフォンは、起点標高 160m の位置から約 300m で標高 137m～140m の低平地へ下がりその後ゆるやかにのぼりながら終点標高 157m にでる。

このため、呑口部からサイフォン低地部に至る傾斜角 12～30 度の急傾斜部及び泥炭層で形成する低地部の軟弱地盤地帯の施工方法を如何にするかが最も重要な課題となった。

このことから傾斜部では、パイプ布設時の危険をさけるため台車による方法（写真-20）を、軟弱地帯では、現在水田として利用されていることから、作業幅を小さく掘削土量も少なくし、更に機械施工の安全性を考慮して切梁式鋼矢板土留工法と門型クレーンによる管布設方式を採用することとした（写真-21）。

また、工事の特色としては、農家が多年に亘り客土等により改良してきた表土を守るため、はがした表土を同じ場所に戻す「はぎ戻し工法」や、水田内に砂利の混入をさけるアスファルト安定処理による重機足場が採用された。

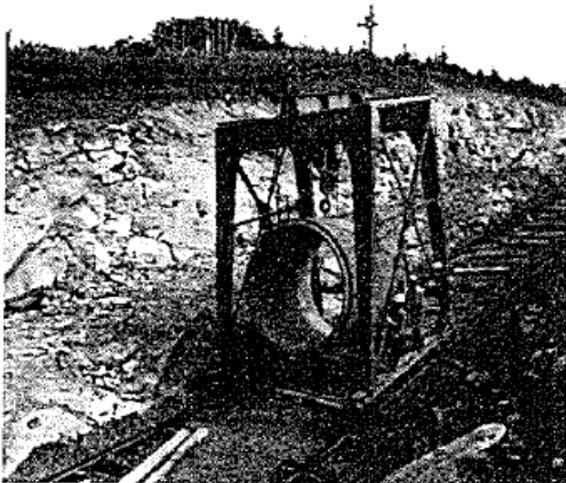


写真-20 台車クレーンによる管の伏設作業

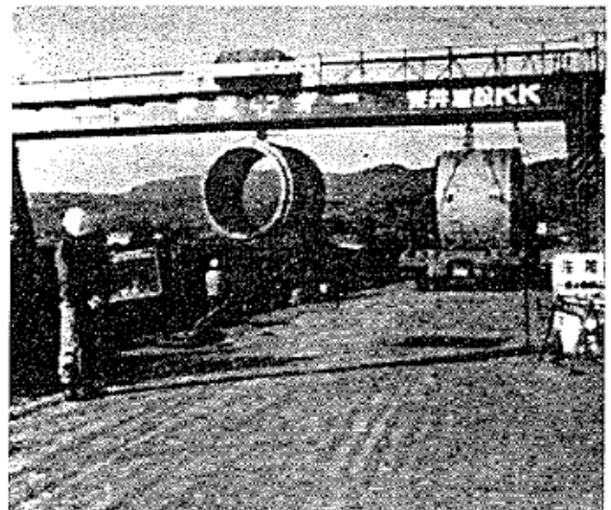


写真-21 門型クレーンによる管の移送作業

(イ) 美唄地区新夕張川逆サイホン工 ～シールド工法の導入～

本工事は、空知の水田地帯の用水補給を行う延長 80km にも及ぶ長大水路の北海幹線が、新夕張川と交差するために設けられた施設である。この逆サイフォン工事（昭和 44 年～昭和 45 年）を進めるにあたって工法の検討を行った結果、次の条件からシールド工法を採用した。

- ①高水敷の土かぶりが 15m、低水敷の土かぶり 5m と敷設の計画ラインが深い。
- ②この工事カ所の土質は、大部分がシルト質粘土で一部に砂質粘土がみられる。シルト質粘土は N 値が平均 5 以下であり、土質条件が本工法に適している。
- ③工期が年間を通じて確保でき、豪雨・洪水などの気象条件にも左右されない。また、河川管理にも支障を与えない。
- ④オープンカット工法など他の工法に比較して経済的である。

施工は、逆サイフォン呑・吐口に掘進・材料搬入・土捨用としてウエル（7.6m角で深さ15mのものを井筒工法で作りを）を沈設し、シールドを発進させ、スチールセグメントを組み立て、裏込注入を行い、吐口ウエルに達するとシールド機材を引揚げ、2次覆工を施して管体が完成する。

シールド機械（外径2.96m機長4.2m）は手掘式で、推進速度88mm/minのものに、フェースジャッキ（20t 2本）、ハーフムーンジャッキ（20t 1本）、エレクター（回転速度1.5rpm・引込力1.7t 押出力2.4t）、パワーユニット（15kw 油圧ポンプ）をそなえている。

掘削は切羽の上部から下部に向かい奥行き80cmほどの1リング分を行い、ズリは、ベルトコンベアによりトロに移されバッテリーカーで呑口立坑に運び、ズリトロナベを三脚デリックで吊り上げ地上に搬出した。掘進中の地下水に対しては薬液注入と圧気工法を用いて処理した。

セグメントは、外径2.85m・幅80cm・重量670kg・1リング6組のスチールセグメントフラットタイプで、シールド工法における中心的存在であり工事費に占める割合は約1/3である。この組み立ては、エレクターを使ってシールド機の後部で組み立てられ、ボルトで締めつけられる。

シールドとセグメントの間には空隙ができる。このままにしておくと空気漏洩と地盤沈下及びセグメントに偏圧が作用する原因となるので、セグメントの2インチ注入孔からエアーマルタルを注入して塞いでいる。

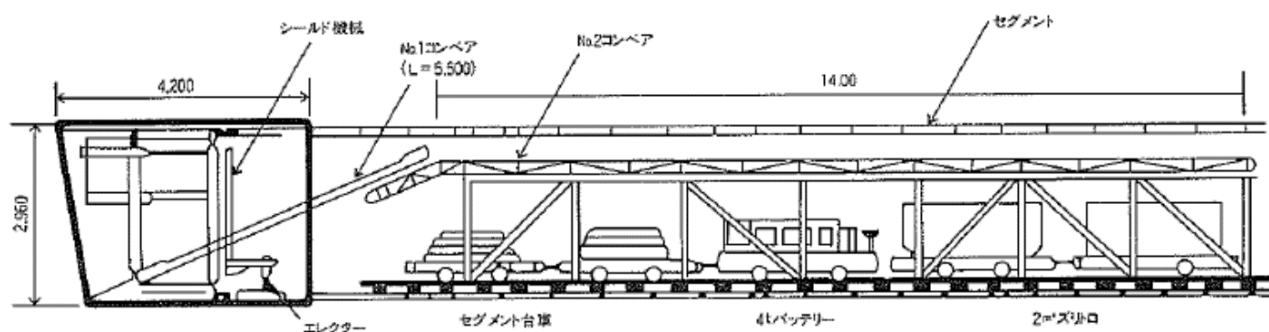


図-22 シールド工法 機械配置図

(ウ) 双葉地区ペーパーナイ導水路 ～湧水処理のパイオニア～

本工事は、ペーパーナイ頭首工と倶知安・共和地域の水田に用水を補給する幹線水路をつなぐペーパーナイ導水路で、第1トンネル740m、第2トンネル470mの2つのトンネルがある。工事は短い第2トンネルから昭和47年に開始した。

トンネルの地質は、いずれの地層も未固結・低固結火山堆積物である。また、地下水が水平に近く分布しているため、大量の浸透水による大規模な出水、切羽崩壊による土砂流出事故等の原因となる恐れがあることから、切羽の開放は極力避ける工法として比較検討の結果、最終的に地下水対策を重視して、第1トンネルでは泥水加圧シールド工法、第2トンネルでは土砂トンネル地盤強化対策としてグラウトを、根本的な湧水対策として圧気掘削工法を採用した。

a 圧気掘削工法

この工法は、空気圧と地下水圧の均衡を保つことで地下水の浸出を抑えるもので、技術的には

使用圧気の最適圧をいかに保持するかがポイントになる。

調査の結果、地下水面からトンネル中心までの深さ 15m に対して、1.1~0.8kg/cm の圧力とし推進に応じて調整していくこととした。

所要空気量は、切羽から地山漏気、巻立部からの漏気、ロック開閉時及び圧気排水による消費の合計であり、本地区では 23.04m³/min とした。さらに、この工法特有の設備として作業員の高圧病防止用ホスピタルロックを坑外に設けた。入念な切羽管理と綿密で機動的な空気圧の調整により、難工事を克服して 50 年に完成した。

b 泥水加圧シールド工法

第 1 トンネルは、第 2 トンネルの経験と実績を活かし綿密な地質調査と地下水調査を行って工事を進めた。

この工法の特徴は、地層が複雑に変化するので層境部での切羽土圧及び水圧に対する即応性があること、本トンネル周辺農家が地下水を生活用水に使用しているため、地下水の変動を極力抑える必要があり、これに適していること、掘削土砂の搬送が流体輸送のため小断面トンネルの作業が行いやすく施行性にも優れていることである。

この工法は、切羽面とシールド作業室との間に隔壁を設け、この部分にベントナイトを主成分とする泥水圧を作用させ、カッターフェイスと共に切羽土留めを行う。また、切り崩されたズリは、アジテーターにより攪拌され管により搬出する。泥水圧、濃度、流速、掘削土量を管理することにより自動化もでき能率が高められる。



写真-22 双葉地区導水路工事のシールド掘削機

(エ) 駒ヶ岳地区駒ヶ岳導水トンネル ～狭小断面での長大トンネル～

本工事は道南の駒ヶ岳山麓に広がる畑作地帯の、常習的干ばつを防ぐ畑地用水を供給するために、水源であるダムと下流の水路とを結ぶ延長 4,990m のトンネルである。

狭小断面水路トンネルの施行例としては、笠岡湾干拓事業に次いで 2 番目である。

トンネルのタイプは、駒ヶ岳火山噴出物凝灰岩の中硬岩地質が大部分なので B タイプを中心に施工し、また、延長が長いので上流側と下流側の両方から掘削し中央で合流させた。

掘削は全断面方式で工程を短縮するため、積込は 0.25m³ 級ロッカーショベル・ズリ出しは 15m³ 級シャトルカーの組合せで (写真-23)、1 発破分を 1 列車 1 回で処理し作業能率をアップした。

支保工は、一般的に曲げ加工半径から鋼管を使用するが、この工事では、小断面での補修・防護作業等を避けるため曲げ加工を工夫して H 形鋼を初めて採用した。

孔内で発生する粉塵・ガス等の排出する換気は、上流側が下向き掘削で、上向きズリ出し及び

ポンプ排水による配管等施設が多くなるのを避けて密閉空間を作り、触媒フィルターを使った「無風管によるトンネル換気装置」と圧縮空気の併用、下流側が下向き掘削、上向きズリ出しと白熱排水なので風管を使って行った。

切羽からの出水については、懸濁型水ガラス系（注入剤特1号珪酸ソーダー）薬液注入工法で処理した。コンクリートの巻立は、掘削完了後、奥から3m³級スクリークリートを償い2列車で打設し、型枠はスチールフォーム（L=12m）で1バレル3日サイクルとした。こうした最近の技術と適切な対応で、この小断面のトンネルが完成（昭和52年～昭和56年）した。

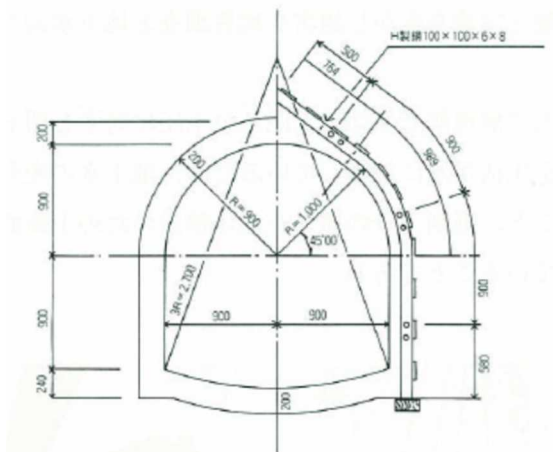


図-23 水路トンネル断面図



写真-23 トンネル内とシャトルカー

(オ) 樺戸（二期）地区壮志トンネル ～TBM工法の導入による長大トンネル～

本工事は、空知の4町（月形町、浦臼町、新十津川町、雨竜町）にまたがる水田地帯の用水補給を行う事業の一環であり、地区内の徳富ダム注水工3箇所のトンネル工事で最も延長がある長大トンネルである。トンネル延長4.2kmのうち、下流側3.0kmはTBM（トンネル・ボーリング・マシン）工法、上流側1.2kmは在来工法等で掘削し、TBM（トンネル掘削内径2.8m、覆工内径2.3m）での掘削期間は18ヶ月（在来工法等は14ヶ月）を要した。

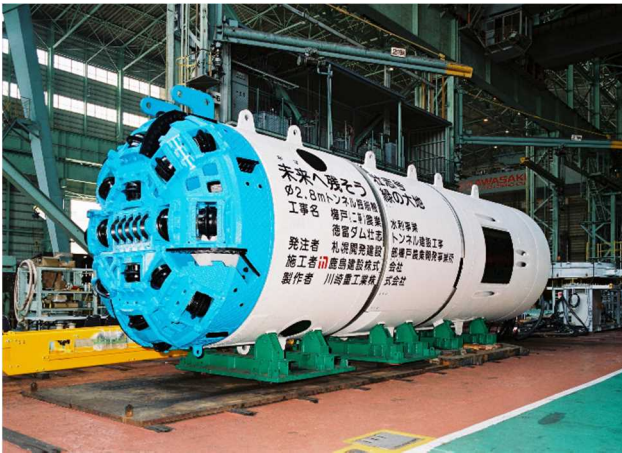
トンネル区間の地質は、上流側に礫岩を主体とした泥岩、砂岩を挟む軟岩が分布し、下流側は一部砂岩を含むものの全体的には均一で硬質な粘板岩が分布していた。トンネル工法の選定にあたって、下流側の地質変化が少ないことや掘削延長が3.0kmと長大となることから、在来工法やNATM工法に比べ掘進速度が速いTBM工法が現地条件に適しており、経済的に有利となったことからTBM工法を採用した。

TBM工法は、機械先端に取付けたカッターヘッドを回転させて岩盤を掘削し、掘削後のコンクリート打設まで機械が自動的に行うもので、従来のダイナマイトによる掘削工法と比較して3～4倍の速度でトンネルを掘り進むことができる。

TBM本体の後方には、本体を作動させるための油圧装置、トンネル崩落を防ぐ吹付設備をはじめ電気設備、排土装置、給水設備、運転装置、計測装置、前方探査装置、換気設備等の17台の台車を軌道上に乗せて一体的に掘進するものであり、車両総延長は約120mとなっている（写真-24、

表－５）。

この技術の導入により、4.2kmの長大トンネルを僅か3年（平成19年～平成22年）という短い工期で完成させることができ、更に大幅なコスト削減を図られた。



写真－24 TBM本体

項目	主要諸元	
形式	全断面トンネル掘削機 (ダブルシールド型)	
掘削径	φ2,800mm	
本体機長	9.45m	
全機長	120m	
カッターヘッド	回転数	0.9～9.0rpm
	トルク	270～540kN・m
スラスト装置	駆動電動機	132kw×2台（水冷式）
	ストローク	1,530mm

表－5 TBM 主要諸元表

オ 農業水利施設に対する機能診断・予防保全技術

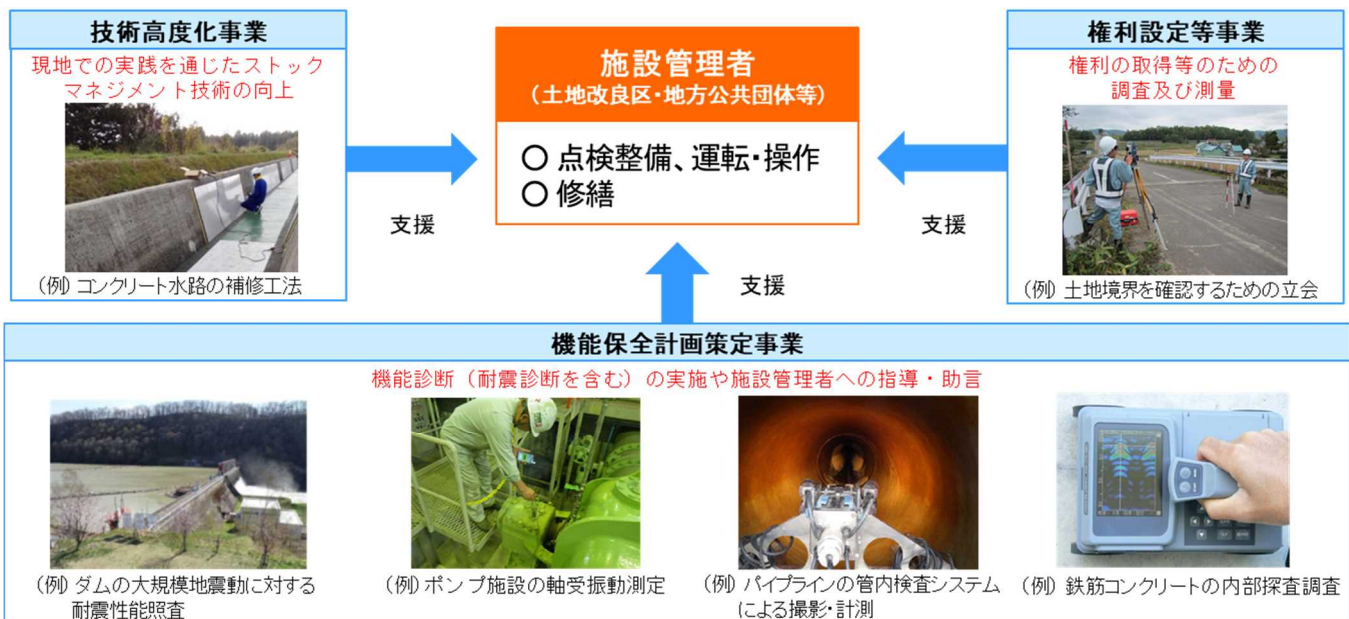
(ア) 農業水利施設のストックマネジメント

北海道において、土地改良事業等で造成された基幹的な農業水利施設（受益面積100ha以上の施設）は、現在、ダム・頭首工・用排水機場等の点的施設が約600施設、農業用排水路の線的施設が約1万2,000kmにもものぼる。

これら施設は、食料の安定供給に欠かせない社会資本ストックであるが、多くが第二次世界大戦後の食料増産対策から高度経済成長時代にかけて整備されたものであり、老朽化の進行により順次更新時期を迎えている。国と地方の厳しい財政の制約を踏まえると、施設の機能診断等を通じた適切なリスク管理下において計画的かつ効率的な補修・更新等を行い、長寿命化とライフサイクルコストの低減を図る戦略的な保全管理が不可欠となっている。

このため、平成15年度から国営造成水利施設ストックマネジメント推進事業（機能保全計画策定事業）を実施し、施設管理者と調整を図りつつ施設の機能診断及び予防保全の計画（機能保全計画）を策定するとともに、施設管理者が行う効果的な予防保全対策や適期の整備更新の実施に関する指導・助言を行っている。

平成25年度には政府全体の取組として、インフラの維持管理、更新等を着実に推進する中期的な取組の方向性を明らかにするため、インフラ長寿命化計画（行動計画）が策定され、この取組の一環である個別施設計画として機能保全計画の一層の策定推進を図ってきた。北海道開発局では、令和2年度までに国営地区のすべての基幹的農業水利施設において機能診断を実施するとともに、この1,710施設（ダム等53、頭首工63、機場100、水路1,487、その他7）の機能保全計画を策定した。



図ー24 北海道開発局における国営造成水利施設ストックマネジメント推進事業の実施

更新事業を円滑に推進するため、平成 23 年度に国営施設機能保全事業、平成 24 年には国営施設応急対策事業がそれぞれ創設され、ストックマネジメントに関する制度体系が整備された。一方、ストックマネジメントは、効率的・経済的な施設の機能維持対策のみを追求するのではなく、更新事業の際には、農業水利施設を利用してより良い地域づくりに活かすことや、新たなプラスの価値を生み出すことが重要である。

現在、国営かんがい排水事業により地区内の施設を一体で整備更新する場合においても、多様な履歴や複雑な構成を有する各施設に蓄積された機能診断に基づいて、対策の範囲や工法等を判断している。

なお、平成 30 年度には農業水利施設の突発事故被害の迅速かつ機動的な復旧ができるよう土地改良法が改正され、災害復旧事業と同様の仕組みを導入した突発事故復旧事業が創設された。これにより、経年的な劣化等を原因とする突発事故等不測の事態への対処が強化された。

(イ) 機能診断及び保全対策工法の技術

前述のとおり、老朽化が進行する農業水利施設の機能を将来にわたって安定的に発揮させるため、施設の長寿命化とライフサイクルコストの縮減を図る戦略的な保全管理を推進する必要がある。

このため、施設の診断、劣化予測、評価手法の確立及び対策工法の有効性や耐久性の検証など、機能保全計画を作成するに当たって必要となるストックマネジメント技術を現地での実践を通して向上を図る国営造成水利施設ストックマネジメント推進事業（技術高度化事業）が平成 20 年度からスタートした。

本事業では、国営土地改良事業により造成された農業水利施設を対象に、施設管理者と調整を図りつつ、高度な機能保全計画の作成に必要な立地条件や施設の特性に応じた技術の確立を

図るため、北海道開発局では以下の取組を実施している。

まず、表－6の診断技術について、パイプラインは、地形条件や被覆材料等により漏水箇所の

特定が難しいことから、多様な管種にも対応可能な漏水調査手法の有効性を多数検証している。また、ポンプ場では、採取した潤滑剤を分析し、得られた情報から機械設備を分解することなく、摩耗状態を把握し評価する潤滑油診断を推し進めており、新たな機能診断手法の確立に寄与するものである。

次に表－7の対策工法について、コンクリート開水路の補修工法には、表面被覆工法等があるが、積雪寒冷地での施工実績とその適用性について検証を重ねるとともに、寒地土木研究所の指導の

工種	検証内容	件数
パイプライン	急傾斜地におけるパイプラインの診断手法(鉄鋼系)	1
	管水路の漏水調査手法(樹脂・鉄鋼・コンクリート系)	11
	小口径管路内部の診断技術(レーザースキャニング法)	2
	既設管の発生変状と耐荷性の関係把握	8
	漏水位置特定診断技術	1
コンクリート構造物(開水路、トンネル、ダム洪水吐等)	コンクリート機能診断技術の着眼点及び留意点の整理	1
	劣化診断手法(表面走査法・機械インピーダンス法)	4
	L型水路における漏水調査手法	1
	水中に埋没した構造物の調査手法	1
	覆工背面の空洞範囲確認と調査手法	2
ポンプ場	コンクリートひび割れ調査手法	1
	ポンプ設備における簡易二次診断手法	5
	UAVによる撮影画像を用いた健全度評価手法	1
ダム、調整池	揚排水機場の潤滑油診断を用いた簡易診断手法	2
	遮水壁表層における改良アスファルトの耐久性診断	1
頭首工	ゴムシート診断技術	1
	ワイヤーロープの健全性診断手法(全磁束法)	1

表－6 診断技術

工種	検証内容	件数
コンクリート構造物(開水路、トンネル、ダム洪水吐等)	側壁傾倒原因の解明と対策工法(基礎杭せん断破壊)	1
	開水路補修工法(表面被覆・目地補修・断面修復)	14
	複合劣化(凍害・塩害)に対する補修補強工法	1
	ボックスカルバートにおける補修工法	1
	洪水吐における補修・補強工法(水路面・目地部)	4
	トンネル目地部の補修工法(止水・導水工法)	1
	水路浮上対策及び止水工法	1
	水路橋の補修補強工法	2
	積ブロック護岸における凍害対策工法	2
	頭首工エプロン部の摩耗対策工法	1
	追加設置型背面水排除工法	1
	覆工背面充填工法	1
	排水路における洗掘対策工法	2
	洪水吐下流護床工における洗掘防止工法	2
	積ブロック水路における衝撃吸収工法	2
排水路における鋼矢板腐食防止対策工法	3	
パイプライン	鋼管腐食対策工法	2
	管路内の沈殿物付着予防対策として表面被覆工法	1
	附帯施設(弁類)における浸水対策補修工法	1
	管路更正工法(製管工法)	5
	立上り管における管路更正工法(反転工法)	1
ポンプ場	空気弁保護工の地下水流入防止対策工法	1
	取水管におけるスクリーン管	1
	排水ポンプの水位低下対策工法	1
ダム、調整池	軟弱性泥炭地盤の沈下対策工法(大変位吸収鋼管)	1
	法面部の高集水性、高耐錆性水抜工保孔管	2
	法面保護工法(アンカー工法)	1
	取水塔スクリーン等の耐久性塗装工法	1
	アスファルト表面遮水壁工法	2
頭首工	ファームボンド護岸遮水部の補修工法(断熱材工法)	1
	高濃度の硫化水素に対する防食塗装工法	1
	ゲート設備の耐久性塗装工法	5
	流入土砂堆積対策工法	3

表－7 対策工法

下、劣化のメカニズム、劣化の診断手法、水路型式ごとの機能診断技術及び劣化度合いに対応する対策技術が確立され、実用化に至っている。パイプラインにおいても、補修工法である管路更

正工法等の施工実績と適用性の検証を重ねてきた。

このように、機能診断及び保全対策工法の技術の確立が進められ、その多くが実用化に至っており、これらの検証等で生じた課題解決とともに、更なる新技術の活用に向けた実証等に取り組んでいる。

農業水利施設情報の GIS 化では、施設の点検・機能診断結果と事業の実施・整備状況等の属性情報を結合した GIS データを作成しており（写真-25）、今後、水土里情報システム（Web 型農地地図情報システム）への反映・搭載が計画されている。将来的には施設の点検作業や突発事故・災害時の迅速な対応、関係者との円滑な合意形成や効率的な計画づくりが期待されている。

また、農業水利施設の AI 活用では、画像診断技術によりドローン等で撮影した写真から AI が機能診断を実施（写真-26）し省力化を図るとともに、劣化予測による維持管理の効率化が期待されている。今後、実証データの蓄積によるモデル地区での精度向上を図り、将来的には各地区への展開が計画されている。

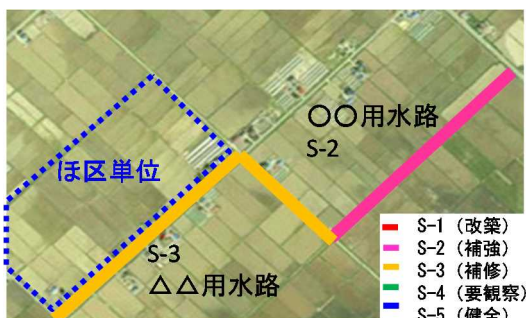


写真-25 GIS を活用した施設情報の可視化イメージ

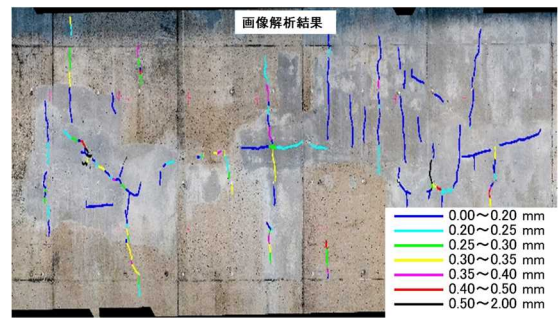


写真-26 ドローンによる画像診断技術の活用

カ 肥培かんがい技術

肥培かんがいは、かんがい施設を利用して、希釈された家畜ふん尿やでんぷん廃液を圃場に還元利用する方法であり、省資源、環境保全などの見地から優れたかんがい技術の1つといえる。

(ア) 肥培かんがいの目的と効果

- ①良質な有機質肥料（スラリー）の農地への散布により、牧草生産量の増加や購入肥料費の節減が図られる。
- ②有機質肥料の長期・継続的散布の効用により草地の寿命の延長が図られ、ひいては草地更新期間の延長が図られる。
- ③圃場給水栓（ピット）や自動散布により圃場内労働力の軽減が図られる。

(イ) 肥培かんがい施設（図-25）

配水調整池は、以下の施設から構成される。

- ①流入口：配水調整池に調整前のふん尿を確実に供給するための施設であり、かんがい用水とふん尿の最初の合流地点（受入口）として整備。
- ②調整槽：かんがい時の搬送の流動性確保、排水管路や散水機での閉塞の原因となるスカム防止

を行うため、付帯施設として攪拌施設等を設置し、加水、攪拌作業を行う施設。

③配水調整槽：受益区域において生産される牧草生産のために必要な肥培かんがい用水を貯留すること及びふん尿を均質に調整する施設。



図-25 肥培かんがい施設

(3) 農地の生産性を高める排水施設

ア 湿地排水路の機械化施工 ～特殊機械の導入と施工～

戦後の食料増産のため世界銀行から融資を受けて、篠津の泥炭地開発が篠津地域泥炭地開発事業として昭和 30 年から行われ、11,398ha の湿地帯に、地区の大動脈としての篠津運河と 169km に及ぶ排水路を整備した。(3 (1). 篠津地域泥炭地開発事業を参照)

イ 内水排除の施設 ～洪水から農地と作物を守る～

石狩・空知平野を流れる石狩川の周辺は地形が平坦なため、石狩川本流及び支流河川からの利水により稲作農業地帯として振興が図られてきた。地域の発展に合わせ石狩川及び支流河川の改修工事が進み、堤防が構築されて洪水の氾濫による農作物・農業施設への被害は減ってきた。



写真-27 洪水による農地への湛水状況 (昭和 56 年)

しかし、昭和 36 年・37 年と連続して襲った豪雨は外水位を異常に高め、その結果小河川及び排水路から溢れ出した水は出口を失い、堤内の農地に長時間湛水して作物に多大な被害を与えた。このことから、湛水した水を効果的に集める集水路と、水を強制的に排除するポンプを、かんがい排水及び内水排除事業により長沼町・江別市・北村地域を中心として 43 ヶ所設置した。

一方、生活基盤や排水路が整備されたことにより、排水量も多く早く流出するようになったこと、泥炭地の特性によるほ場の自然沈下等地域の環境も変化してきたことから、50 年・56 年の災害 (写真-27) を契機として施設規模の見直しが必要となった。また、ほ場では、最近の消費者ニーズに対応して、水稻のほか野菜などの畑作物も多く作られるようになってきたことから、今まで水田の持つ機能から 30cm の湛水が許容されていたが、畑作物に湛水させない施設に変える必要が生じた。



写真-28

北斗排水機場

(型式 横軸斜流 再循環方式)

口径 1,650mm～3 台 450馬力

計画排水量 16.5 m³/s)

こうした状況から、排水機場は、現況の排水系統や排水本川の状況を考慮して設置し、優れた排水性能、施設構造とするため、施設計画は、2 日間連続して降る雨を長期の気象データを用い、複雑な排水系統の流況解析を数理シミュレーションにより行い適格な排水施設規模が決定された。また、ポンプ設備機器も無注水軸受・管内クレーンなど新しい設備を取り入れ、緊急時に適切に操作稼働できるようになっている。

ウ 明渠排水路の環境対策 ～自然環境と親水性の確保～

かつての排水路は、生産的機能と共に親水機能等の多面性を有していた。例えば、水遊びをしたり、ホタル狩や魚釣をしたり、土手には草が茂り農家はそれを家畜のエサとするなど有効に利用していた。

農業の近代化・規模拡大から生産機能を重視したコンクリート張による護岸、護床ブロック等を使用し維持管理に手間がかからない工法を多用してきた。昭和 50 年代になって、このような生産機能のみならず排水路の持つ自然環境と多面性を生かした工法が導入され施工されるようになった。

(ア) 水産資源の共存と景観を考慮した事業（止別川上流地区）

昭和 50 年代に整備した止別川は、オホーツク海に直接流入するサケ・カラフトマスの遡上河川として、保護水面の指定を受けている。周辺農地 1,690ha の生産機能を確保するため排水路として改修するにあたり、生息している魚類等の資源確保を考慮した工法とした。



写真-29 魚の遡上及び生息可能な落差工



写真-30 棲息ブロックの設置状況

①魚の遡上及び生息可能な落差工（写真-29）～河川改修に伴い発生する落差工は、魚類の生息空間を設けるため河川全幅を階段式魚道タイプとし、河川景観を保持するため水をゆっくり流すことを考慮し勾配調節に必要な落差をとるとともに、さらに、淵としての機能を持たせるため各段の隔壁のセンターに切欠きを設け流心をセンターにすることにより、各段のプールに2つの淵が形成されるようにした。また、両サイドには、魚類の隠れ場などのために、魚巣ブロックを設けるなど、魚類の遡上はもとより生息・休息・避難待避などを備えた落差工である。

②棲息ブロックの設置（写真-30）～改修排水路内に人工的に瀬・淵を形成させ自然河川に近づけるため、ブロックを川岸から千鳥に配置し、河川の流水を蛇行させるものである。また、川岸に紫茂する植生が魚類の生息に貢献し餌の供給源ともなることから、植生ブロックを導入した。

(イ) 自然環境に配慮した護岸（南帯広地区）

十勝地域の農業用排水路の多くは、かつて自然に近い状態にあった小河川に対して、断面拡幅、河床掘削、蛇行の直線化をすることで、地域の基幹排水路としての機能を確保し、時間経過とともに地域の自然環境を形成してきた。このため、自然環境との調和に配慮した排水路の整備工法として、河床掘削を最小限に止め、護岸材料には自然河岸に近い植生ロールを法止めとして使用した（写真－31）。



写真－31 植生ロール使用護岸

(ウ) ラビリンス堰による排水路の分流施設

～操作を要しない横越流方式の分流～

直轄明渠排水事業更別地区（平成 16 年度～平成 20 年度）において整備されたラビリンス堰による排水路の分流施設は、分流時に操作を必要としない新たな型式の施設である。

本地区は、十勝支庁管内の河西郡更別村に広がる畑地 2,509ha を受益とした畑作・酪農地帯で、大規模な土地利用型農業が行われている。地区内の排水路は、土地利用の変化等により流出形態が著しく変化したことから通水不足が起り、周辺農地に湛水被害が発生し、効率的な農作業を阻害するようになった。そのため、農作業の効率化や農業経営の安定、地域農業の振興を目的に、本事業において排水路の二次整備を行うこととした。

下流の河川との合流部に北海道自然環境等保全条例の「学術自然保護地区」に位置づけられている『十勝坊主』の群落地がある猿別幹線排水路の整備にあたっては、一定の洪水量以上を隣接の香川排水路に分流し、『十勝坊主』を保全する計画とした。分流計画では、猿別幹線排水路の流量 $2.3\text{m}^3/\text{s}$ まではそのまま流下させ、 $2.3\text{m}^3/\text{s}$ を超えた場合は、香川排水路に分流させる（第 1 分流）。さらに、分流された香川排水路の流量が $11.0\text{m}^3/\text{s}$ を超えた場合は、 $17.0\text{m}^3/\text{s}$ を上限に再度、猿別幹線排水路に分流し戻す計画としている（第 2 分流）。

分流施設の設計条件として、管理者となる更別村との協議により、維持管理を軽減する観点から、分流操作を要せず、かつ通水阻害の回避可能な横越流式自然分流を基本とし、また、村道と排水路等の位置関係から、限られた敷地（堰幅は最大約 $L=46\text{m}$ ）に建設することとなった。

分流施設の設計は、分流能力や分流施設の規模を水理模型実験（縮尺 1/10）で検証しながら行った。堰頂長（堰の形状は直線）を変えながら分流量を測定した結果、 $11.0\text{m}^3/\text{s}$ を分流するために必要な堰頂長は約 150m となり、予定の敷地に収まらないことが分かった（第 1 分流 原案）。そのため、分流量が堰頂長に比例することに着目し、堰の平面形状をラビリンス（ジグザグ）にすることによって、限られた堰幅に対して必要な堰頂長を確保することとした（写真－32, 図－26）。ラビリンスはダムの洪水吐で実績のある形状である。

ラビリンス形状の模型実験の結果、 $11.0\text{m}^3/\text{s}$ の分流に必要な堰幅は 35m となり、原案に比べ約 $1/4$ の施設規模で計画通り分流できることが確認できた。第2分流についても、同形状によって、施設規模を小さくできた。



写真-32 完成したラビリンス堰（第1分流）



図-26 ラビリンス堰の平面形状