

報文集

令和3年度



報文集 第33号 目次

パイプラインの環境配慮設計事例 —国営環境保全型かんがい排水事業 根室地区の事例—	1
	野 倉 士 敬
国営かんがい排水事業 芽室川西地区の水管理制御設備設計	10
	金 津 麻 里 子
地域環境に配慮した暗渠排水工設計事例	19
	辻 輝 樹
国営環境保全型かんがい排水事業の肥培かんがい施設整備に伴う臭気軽減効果	27
	廣 永 行 亮
国営緊急農地再編整備事業「ニセコ地区」の事業効果発現状況	38
	岡 本 久 志
雄武丘陵地区における現地発生材による暗渠排水疎水材活用の提案	44
	大 野 充 雅
頭首工ゲートにおける塗装工法の評価 —耐久性塗装の特徴—	54
	金 安 潤
圃場への夜間入水を反映した水利計画の検討事例	65
	渡 部 正 幸
パイプライン設計事例の報告	74
	真 田 栄 一

パイプラインの環境配慮設計事例

— 国営環境保全型かんがい排水事業 根室地区の事例 —

野倉 士敬

1. はじめに

(1) 地区事業概要

国営環境保全型かんがい排水事業根室地区は、北海道最東端の根室市に位置し、野付風蓮道立自然公園内の風蓮湖に注ぐ風蓮川や別当賀川の流域に広がる5,896haの酪農地帯を受益としている。

地区内の用水施設は、根室区域農用地開発公団事業（昭和49年度～昭和58年度）により整備されたが、造成後約30年以上が経過し、劣化に伴う用水施設の漏水事故等が発生している。また、経営規模拡大による用水需要の変化により通水能力不足が生じ、適正な肥培かんがい（スラリー処理）が出来ず、地域の用水需要に支障をきたしている状況にある。

このため、本事業により農業用排水施設の整備を行い、通水能力不足を解消して農業生産性の向上を図るとともに、併せて環境への負荷の軽減に配慮した環境保全型農業の推進に資するものである。

本報告は、本事業で建設する根室6号幹線配水管路の設計のうち、道道根室浜中釧路線沿いの民有林が連続し、野生動物の生息空間、移動経路が含まれる設計区間2.1km（図-1）の環境配慮設計事例で、希少猛禽類の重要な生息域となっている既存林帯の保全に配慮して伐採を極力抑えるための管路の路線位置、施工方法を検討した経緯等について報告するものである。

(2) 設計概要

設計対象の用水路は、根室地区東部の根室市街地より南西約10.0kmに位置する根室6号幹線配水管路で、設計区間は、昆布盛工区L=2.1km（No.133+00.00～No.154+00.00）である。

事業計画では、経年劣化および通水断面不足による改修が全線計画されており、現況ACP（石

綿管）φ250をVWP（水道用硬質塩化ビニール管）φ300で整備する計画である。

設計区間は、温根沼と長節湖の中間部、道道根室浜中釧路線沿いに位置しており、路線の両側には民有林が連続し、野生生物の生息空間、移動経路となっている。

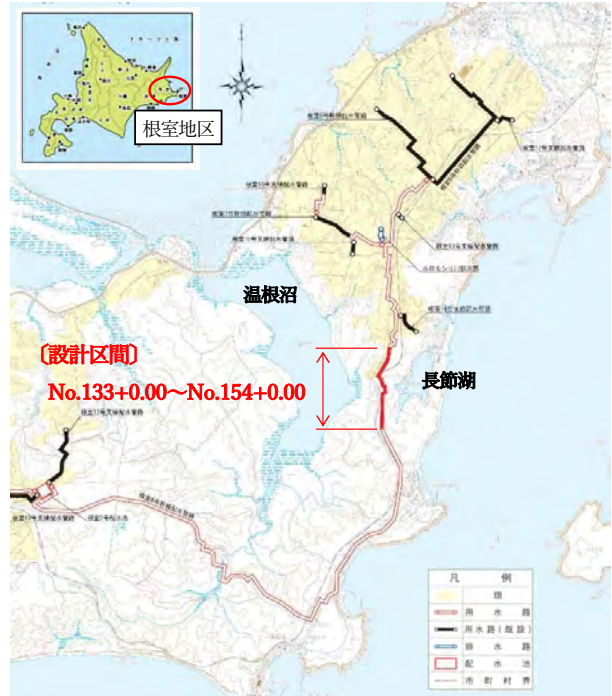


図-1 業務位置図
(根室地区計画一般平面図より抜粋加筆)

【設計条件】

路線名：根室6号幹線配水管路

設計区間：No.133+00.00～No.154+00.00

(L=2100.00m)

設計流量：Q=0.02404m³/s

設計水圧：0.786～1.005MPa

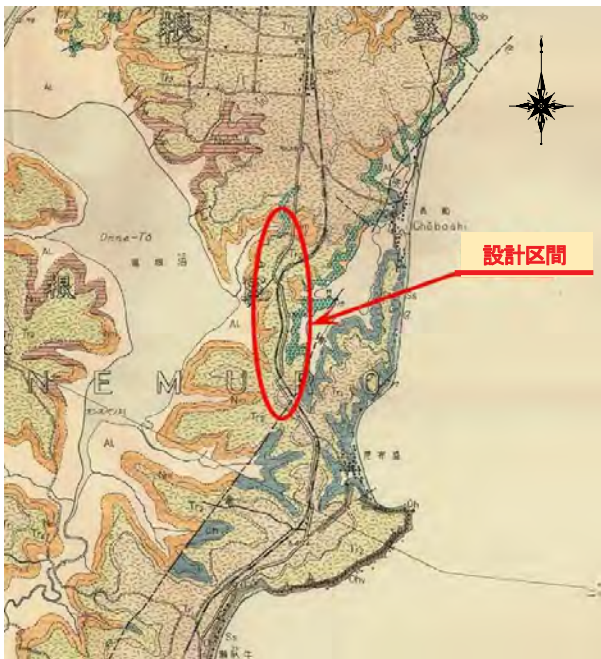
また、設計区間は希少猛禽類等の重要な生息地になっており、鳥獣保護区に隣接している区域であることから、森林の伐採については極力最小限に止めるべきと専門の有識者から助言を得ている。

このため、管路工事においては、既存林帯の保全に配慮して伐採を極力抑えるとともに、希少猛禽類等の生態に影響を及ぼさないよう工事を実施することを念頭に置いて、設計を行った。

2. 現地の状況

(1) 地形・地質概況

当地域周辺は、オホーツク海に面した根室湾と太平洋に面した根室半島の基部にあたり、温根沼および長節湖によって陸地がさらに狭くなっている。地形は標高40m以下の平坦な段丘性台地であり、高低2段の段丘面が見られる。高位面は標高40m前後で、南西から北東の方向に稜線を作って発達し、低位面は標高30m以下の面であり、高位面にそってその北側及び南側に発達している。この低位面台地の上は、湿地帯となっていることが多い。



第四紀 Quaternary	Aluvium 沖積層	砂 浜 Sand-shore	Ss	砂 sand
		砂 丘 Sand-dune	Sd	砂 sand
		氾濫原堆積物および湿地堆積物 Flood-plain deposits and	Al	砂、礫、粘土、泥炭 sand, gravel, clay, peat
		火山灰層 Volcanic ash deposits	As	火山灰、火山灰質粘土 volcanic ash, volcanic ash clay
旧第三紀 Diluvium		20~30m 段丘堆積物 20~30 m. Terrace deposits	Tr ₂	砂、礫 sand, gravel
		40m+ 段丘堆積物 40m.+ Terrace deposits	Tr ₁	砂、礫 sand, gravel

図-2 路線位置付近の地質図

地質図幅「根室南部」より抜粋 北海道立地下資源調査所(S33)

設計路線位置では、火山灰及び火山灰質粘性土を主体とした段丘堆積物が広く分布しており、上部に盛土や表土が覆っている(図-2)。

(2) 現地の施設配置状況

設計路線の現況施設の位置は図-3に示すとおりである。前歴事業で整備された既設用水路は、道道根室浜中釧路線沿い、JR根室本線の東側、民有林内に敷設されている(既設用水路の管種・管径はACPφ250mm)。



図-3 現地の施設配置状況

3. 地域環境への配慮の必要性

(1) 田園環境整備マスタープラン

1) 自然環境の概況

本地域には、野付風蓮道立自然公園に位置する風蓮湖などの湖沼や、地区内を流れる別当賀川などの河川周辺に、希少な高層湿原、河畔林等の多様な自然環境が存在しており、鳥類や昆虫類等の生息に必要な環境要素となり、これらの連続性が確保されていることから、動物の移動経路（回廊）としても機能している。

また、水域については、海域から上流域まで連続した水辺環境ネットワークが形成されていることから、サクラマス等の回遊魚も確認されている。

2) 環境との調和への配慮の理念

本地域では水辺環境ネットワークに加え、河川や湖沼周辺の河畔林も流域内に広がる農地と調和した緑のネットワークを形成し、多様な動植物の生息・生育環境として機能しているほか、緑豊かな農村景観が形成されている。

根室市田園環境整備マスタープランにおいては、これらの環境を後世に残すことを目指して各種事業を実施するとともに、家畜排せつ物の適正処理なども含め、農業農村整備事業全般に亘り自然環境への配慮を行っていくこととしている。

以上を踏まえて、地域に現存する希少な動植物の生息・生育環境を保全・配慮した用排水整備を行う必要がある。

【本地区の環境との調和への方針】

- ・水質浄化機能を有する排水施設の整備
- ・資源循環の効率性を高める肥培かんがい施設の整備
- ・排水施設における生態系への配慮
- ・用排水路ルート選定における動植物及び景観への配慮

設計区間は図-4に示すとおり、温根沼と長節湖の水辺環境ネットワークに加えて、鳥獣保護区に隣接する動物の重要な移動経路となっており、これらの環境との調和への配慮が必要な区域となっている。

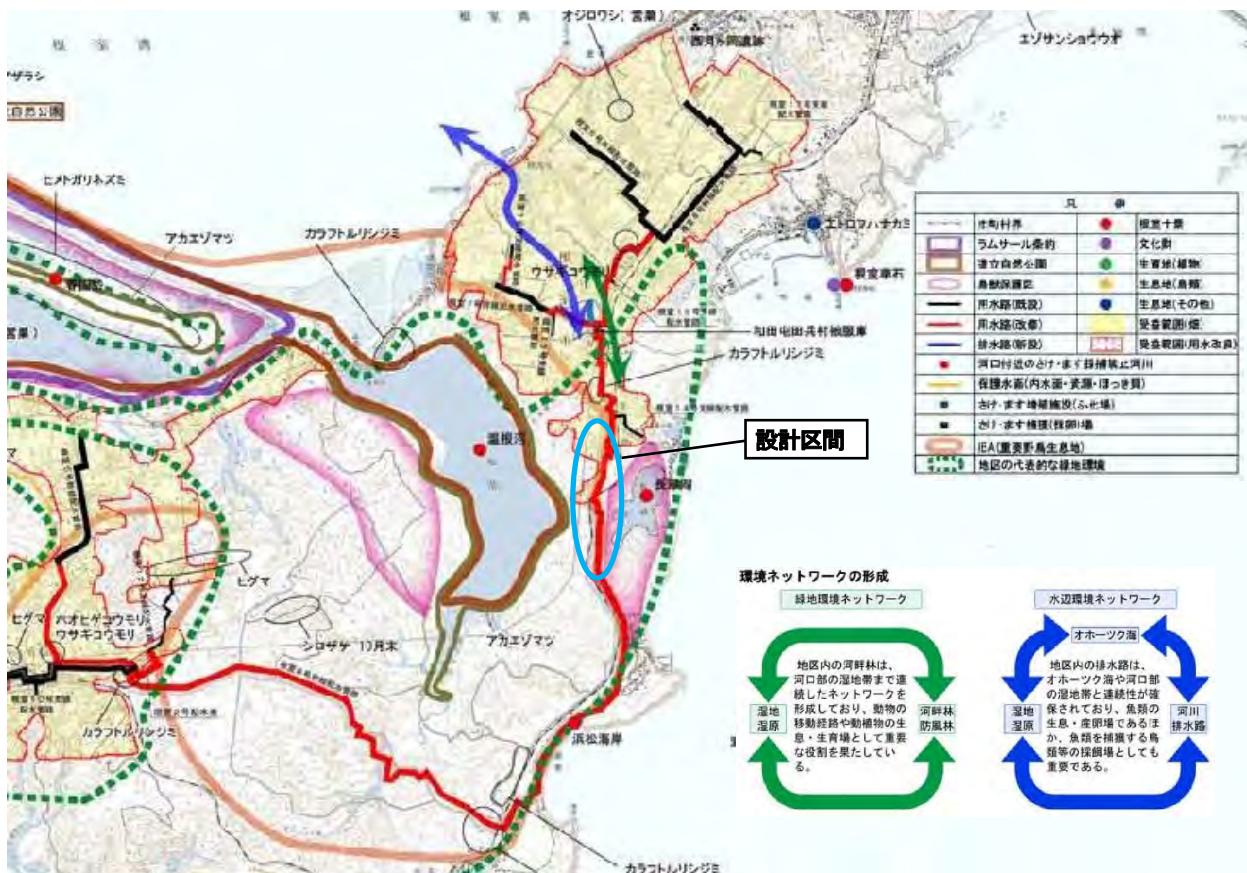


図-4 本業務の対象区域周辺で環境との調和への配慮を要する事項
(根室地区事業計画書 環境ネットワーク図より抜粋)

(2) 設計区間における環境配慮事項

本地区の環境との調和への方針である「用排水ルート選定における動植物及び景観への配慮」から、設計区間の管路工事においては、既存林帯の保全に配慮して伐採を極力抑えることが重要である。

さらに、希少生物等の生息について専門有識者に照会した結果、当該区域は希少猛禽類の重要な生息地であり、森林の伐採については最小限に留めるべきと指導助言を得ている。

加えて、地元の林業者からの情報によると、当該区域の道道沿いは湿地帯で地下水位が高く湧水量も多いため、冬場の凍結期以外は重機が沈み進入することが困難な状況であることと、表層の下に固い粘土層があり、木の根が深く入り込んでいかず横に網状に繋がっているため、切り倒すと隣接する立木も連鎖して倒れる可能性が非常に高い状況であることが判っている。

これらの状況を踏まえ、林帯の伐採を極力回避することにより、当該区域の自然環境変化を最小限に留めることを最優先事項とし、設計を行った。

4. 実施設計における検討事項

(1) 林帯の伐採を回避した路線計画

道道根室浜中釧路線沿いの両側に林帯が連続している区間は、林帯伐採回避及び施工性を考慮すると、図-6に示すとおり、林帯の狭間を通過している道路敷地内（縦断占用）に用水路を設置することが望ましいため、関係自治体と打合せの上、釧路建設管理部根室出張所と協議し、同意を得た。なお、掘削は極力路盤に掛けないことに配慮し、土留め開削工法を選定し、管路の埋設位置は道路の中心より4mの位置とした（図-5）。

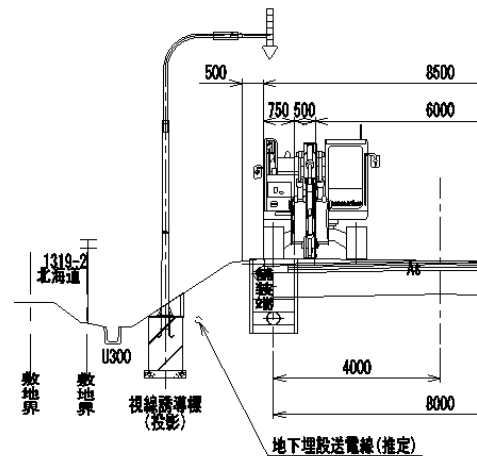


図-5 管路の埋設位置

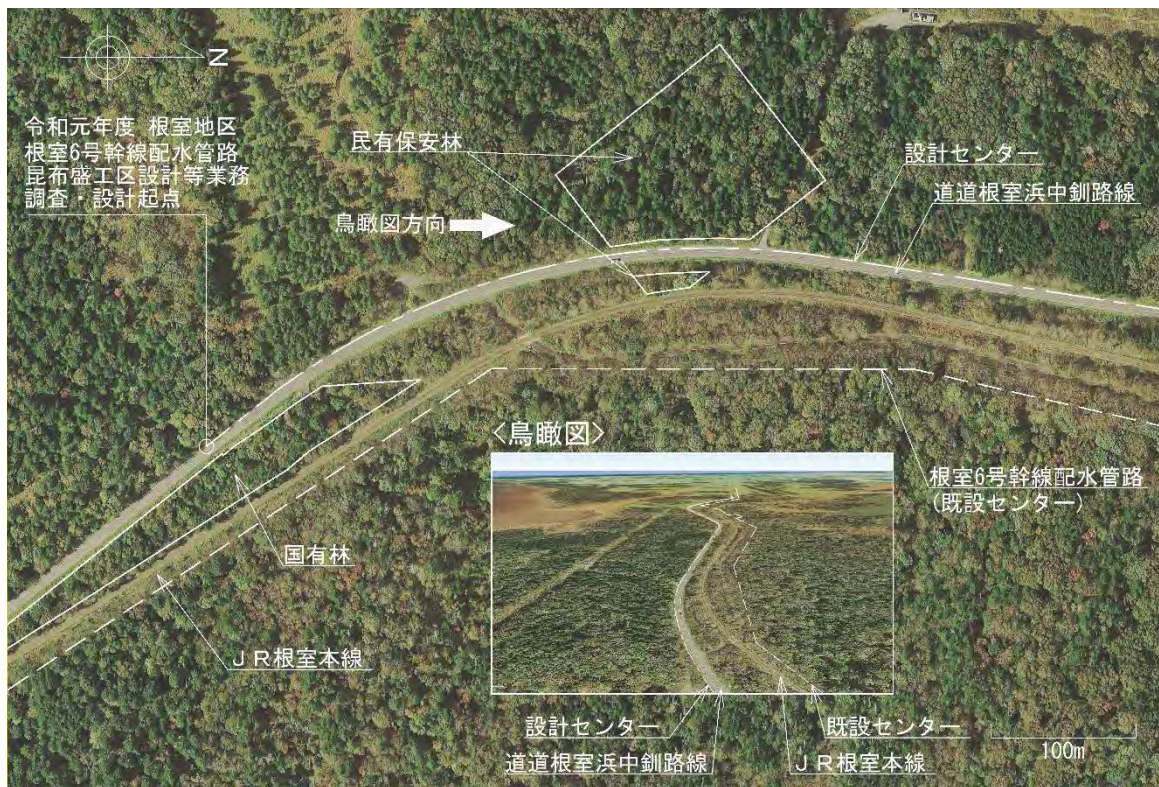


図-6 路線位置と周辺の状況（起点付近）

(2) 施工計画の検討

管路は、道道根室浜中釧路線の路肩部分を縦断的に占有して埋設することとし、道路路肩部については掘削開口部とU型側溝、縁石、集水柵、視線誘導標、ガードレール、ガードケーブルが接近しているため、必要に応じて施工計画を区分した。

道路上の日々の施工は昼間施工とし、道路規制については、工事区間の走行車線が片側1車線であるため、片側交互通行として計画した。掘削については、舗装（道路構造）への影響を最小限にとどめるため、簡易土留を用いた掘削とした（図-9）。

日々の施工では、管路布設後に路盤材・仮舗装の敷設後交通開放する計画とした。

残土、材料、機械の運搬については工事区間内に仮置き場を借地し、仮置き場から現場までの小運搬を実施することにより運搬費のコスト削減に努めた。

民地（旧耕作地）の施工については、管路予定地に近接して工事用道路と残土の仮置きスペースを設け作業の効率化を図った。

1) 道路縦断占有区間の仮設

道道の路肩部に管路を埋設する施工に際しては、平均の掘削深さが1mを超えることから、オープン掘削では法勾配が1:0.4~0.6（「土地改良工事数量算出要領（案）」第2章II2-5より）となる。

道路を片側交互通行による交通規制とし、オープン掘削では作業幅が狭くなり、施工が困難となることから、簡易土留による直掘りの施工とした（図-7、図-8）。

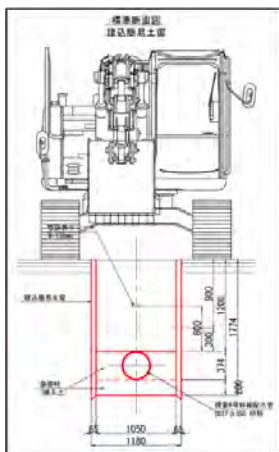


図-7 掘削断面図（建込簡易土留）

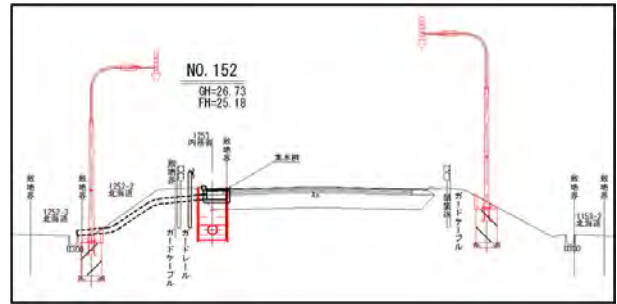


図-8 縦断占有区間標準断面図

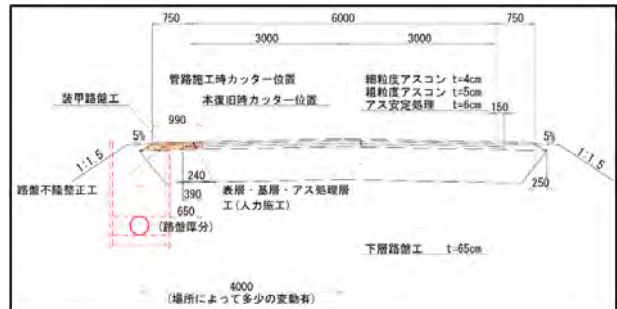


図-9 舗装復旧標準断面図

2) 道路縦断占有区間の交通規制

道路上の施工に関しては、道路上の交通を一部規制して施工を行う必要がある。

一般車の対面通行を維持しようとする、施工幅が十分取れなくなり、機械施工が不能となるため、片側交互通行の交通規制を行う計画とした（図-10）。

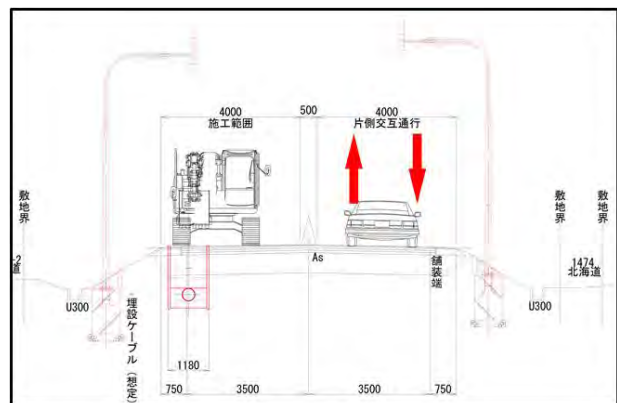


図-10 片側交互通行案

1日毎の施工量の関係から、1日当たり2パーティの作業が必要になる。交通規制の延長を最小限にする観点から、通気施設を挟んで起点側と終点側で道路の進行方向に向かって施工していくものとした。

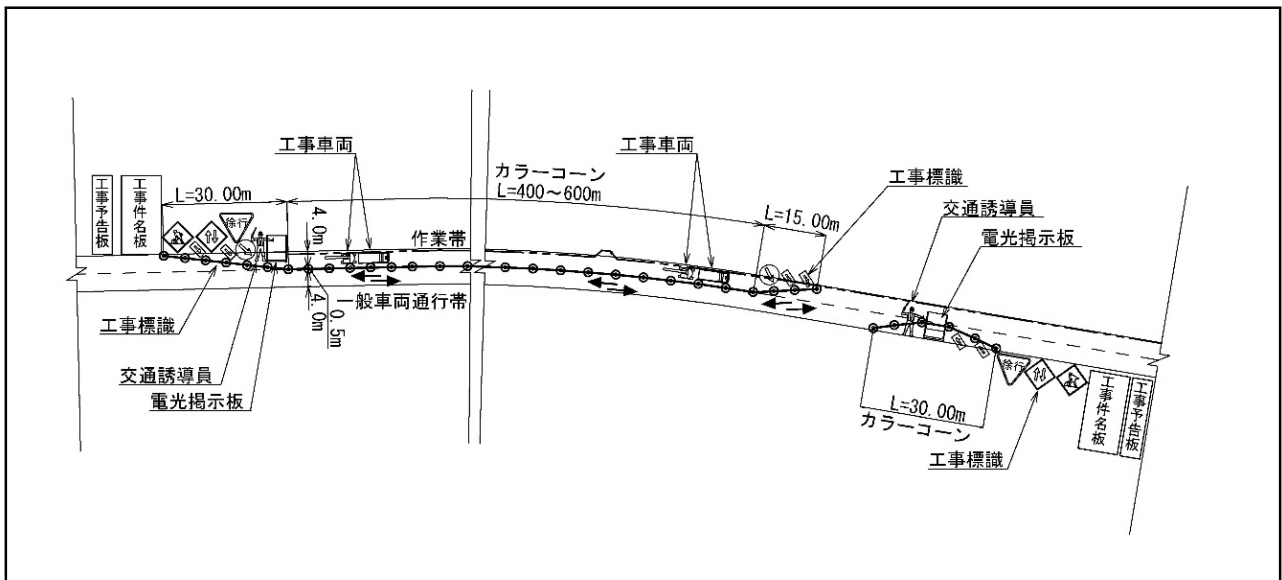


図-11 片側交互通行案（平面）

以上の理由から、道路の交通規制延長は400～600mの長さが必要である（図-11）。

3) 仮置場の配置計画

掘削土の仮置場は、運搬費のコスト削減のため工事区間内に借地するものとした。

対象区間周囲の森林、湖沼については希少猛禽類の営巣が確認されているほか、その他の希少な鳥類等の飛来も確認されている。

このため、仮置場の確保においても、樹木の伐採は行わない方針とした。なお、「北海道自然環境等保全条例」においては、「1ヘクタール以上の規模の土地の形質の変更を伴うスキー場の建設、資材置場又は工場用地の造成、土石の採取などの特定の開発行為を行う場合は、知事の許可を受けなければしてはならない。」とされている。

工事で発生する残土については、現在の推定でおよそ2,000m³を長期間、仮置きする予定である。

仮置場の規模としては40m×40mを確保し、そのうち残土は33m×35mの範囲に高さh=2.0mで仮置き、残りのスペースに資材及び機械等を配置する計画として条例に抵触しない1ヘクタール未満となる規模の仮置場を配置する計画として検討を進めた（図-12）。

工事区間の周囲が森林である中で、資機材、残土仮置場としての規模を満足する平場は、No.146～No.151区間の道路左側の旧耕作地に限られているが、この中で上記の条件を満足する配置とすることが出来た。

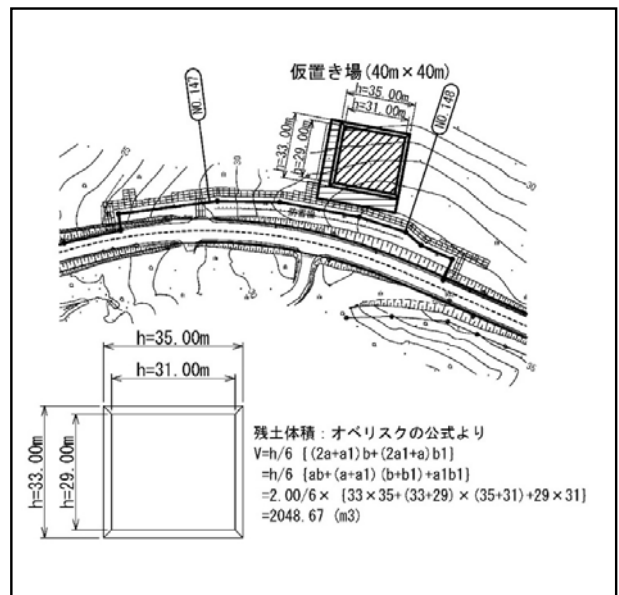


図-12 仮置場の配置計画（伐採を回避）

4) 工事工程計画における配慮

本区間周辺エリアについては、環境省のレッドリスト（絶滅のおそれのある野生生物の種のリスト）に収録されている希少猛禽類及びその他の希少鳥類の営巣が認められている。

猛禽類の専門有識者からの「工事の施工時期は営巣期間以外の8月～12月にすべき」との助言を考慮し工事工程の検討を行った。

工事工程は、主要な工種である仮設の敷鉄板設置・撤去とダクタイトルの管路布設がクリティカルパスとなる。

考え方を以下に記す。

a) 管路の施工歩掛（掘削・管布設・埋戻し）は、「世話役1人＋作業員3人＋クレーン付きバックホウ1台」のセットで12m/日であるため、工事延長2kmを1セットで行うと、2,000m/12m・日＝167日となる。稼働率を見込んだ管路工の拘束日数は1セットで行うと、167/0.60＝276日になる。

（稼働率：1/1.66＝0.60）

施工の時期については、希少猛禽類への影響（繁殖）を最小限とする8月～12月とすることから、準備工を除く工期は150日間となる。

b) 敷鉄板は、起点側の民地部で960㎡、終点側の民地部で910㎡、合計で1,870㎡必要である。1

セット当りの敷鉄板の設置は0.152日/100㎡、撤去は0.143日/100㎡である。日当たり施工量はそれぞれ658㎡/日、699㎡/日である（計10日）。
 設置：1,870/658＝2.84≒3日（実働）3/0.6＝5日
 撤去：1,870/699＝2.55≒3日（実働）3/0.6＝5日

c) 道路付属物の復旧については、実際に撤去する数量が現場の施工状況によって変わる可能性があるため、以下のとおりとした（計34日）。

緑石 : 150m 10日（実働）10/0.6＝17日
 集水柵 : 4基 4日（実働）4/0.6＝7日
 U型側溝 : 60m 5日（実働）5/0.6＝8日
 視線誘導標 : 5基 1日（実働）1/0.6＝2日

d) 道路部L＝1,600mでは舗装本復旧について、道路の交通規制の関係で、舗装の途中で規制を解放できないことから、舗装版撤去から掘削、アスファルト安定処理、基層工、路盤工、表層工までを1日で行うとすると1日の施工延長は100m程度と想定される。これより、日数は実働で1,600/100＝16日、所要日数16/0.6＝27日となる。

以上より、主要工程を2セットとすることで、表－1の通り、8月～12月での施工が可能となった。

表－1 工事工程表

工種・種別・細別	数量	所要日数	6月		7月		8月		9月		10月		11月		12月		摘要
			10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20			
準備工	1式	40日	■		■												
仮設工 敷鉄板設置	1870m ²	5日			■												
管路工 (道路部)	1600m	67日					■		■								2パーティ
管路工 (民地部)	400m	28日							■		■						2パーティ
道路付属物	1式	17日									■		■				2パーティ
舗装復旧	1式	14日											■		■		2パーティ
仮設工 敷鉄板撤去	1式	5日													■		
片づけ	1式														■		

(3) 配管設計

設計区間の道道根室浜中釧路線の平面線形は、直線、円曲線、緩和曲線によって構成され、縦断線形は直線によって構成されている。

道路敷地（縦断占用）へ用水路を設置することについては、極力路体に入れないことが条件となり、道道の平面線形が円曲線・緩和曲線によって構成されている区間では、角度の小さな屈曲点を可とう性継手により調整する曲げ配管工法を適用し、曲線布設による中心線形とした。

なお、道道根室浜中釧路線の道路敷地へ用水路を入れた区間（縦断占用）においては、管路は活荷重の影響を受けるため、管種はダクティル鉄管とし、接合形式は耐震性能を有する伸縮離脱防止継手のGX形とした。

配管計画においては、設計許容曲げ角度を最大曲げ角度（4°）の1/2以内（2°）とし、スラスト力による滑動に対する安全性および管の移動量の検討を行った。

検討の結果、本設計の曲線布設による中心線形区間において、全ての曲線において、管長6mの定尺管で曲線布設が可能となり、コスト縮減につながった。

図-14はGX形による曲線布設を適用した区間において、曲線内に複数の曲管を配置した場合（従来型の配管）を参考として示したものである。

【ダクティル鉄管管路の曲線布設について】

平成21年3月に改定された土地改良事業計画設計基準「パイプライン」により、可とう性継手を用いた管路の曲線布設は、継手部の安全性が実証確認された管種について適用が可能となった。ダクティル鉄管は高内圧（2MPa）を负荷した埋設管路実験による検証を行い、適用性が確認されており、図-13に示す手順により検討を行った。

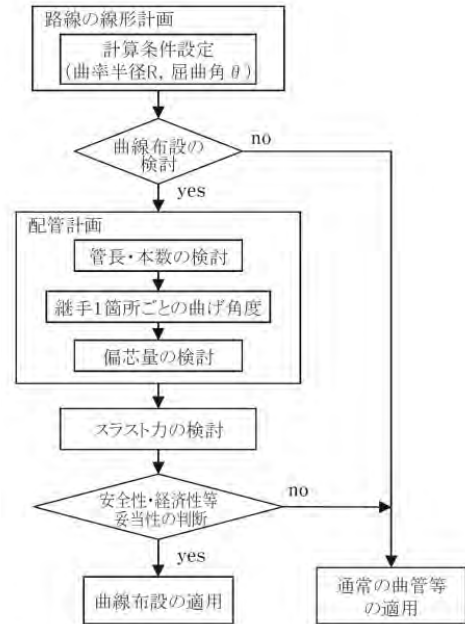


図-13 ダクティル鉄管管路の曲線布設検討フロー（日本ダクティル鉄管協会技術資料より）

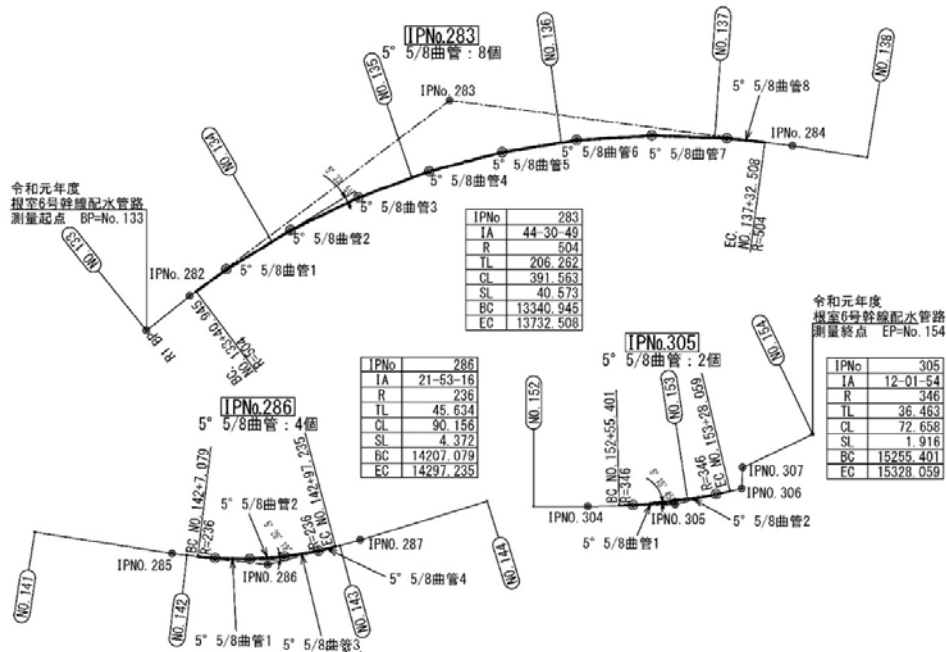


図-14 曲線内に複数の曲管を配置した場合（参考）

本設計で採用した曲線布設により、図-14に示したとおり、合計14箇所、5° 5/8曲管を節減することになり、表-2のとおり約316万円のコスト縮減が図られた。

表-2 定尺管を用いた曲線布設により節減できた曲管数

IPNo	交角 IA	曲率半径 R	5°5/8 曲管	設置費 (円)
283	44°30'49"	504m	8 個	1,807,200
286	21°53'16"	236m	4 個	903,600
305	12°01'54"	346m	2 個	451,800
合計				3,162,600

GX 形 5°5/8 曲管：81,900 円/個、布設費：144,000 円/個

(4) 附帯施設

設計区間の道道根室浜中釧路線の道路縦断占用区間における附帯施設の配置は、道路管理者と協議の結果、図-15に示すように附帯施設の弁管は路面外の平坦な箇所に配置を行うこととし、取付道路の保護路肩部に設置する計画とした（取付道路部は法切開削施工）。

5. おわりに

今回の設計区間は希少生物が多数生息する鳥獣保

護区に隣接しており、林帯を通過している既設用水路の改修に際し、希少猛禽類へ配慮した。

樹木の伐採回避、繁殖期を避けた工事工程の立案等、非常に制約条件の多い困難な設計条件であったが、農業用パイプラインとしては事例の少ない道路敷地内への路線配置（縦断占用）により、課題を解決することが出来た。

また、道路線形に合わせた布設となるため、パイプラインの曲線布設の特性を十分に活用することが出来た。

今後の同種条件の設計及び工事において、本報告による環境配慮設計事例が参考になれば幸いである。

最後に、実施設計に際し、ご指導協力を賜った釧路開発建設部根室農業事務所、根室市役所、釧路建設管理部根室出張所、希少猛禽類の専門有識者の関係各位に心より御礼を申し上げる。

(株)農土コンサル 地域環境整備部 次長)

[参考文献]

- 1) 日本ダクタイル鉄管協会：技術資料
農業用水用ダクタイル鉄管管路 設計と施工
JDPA T 32

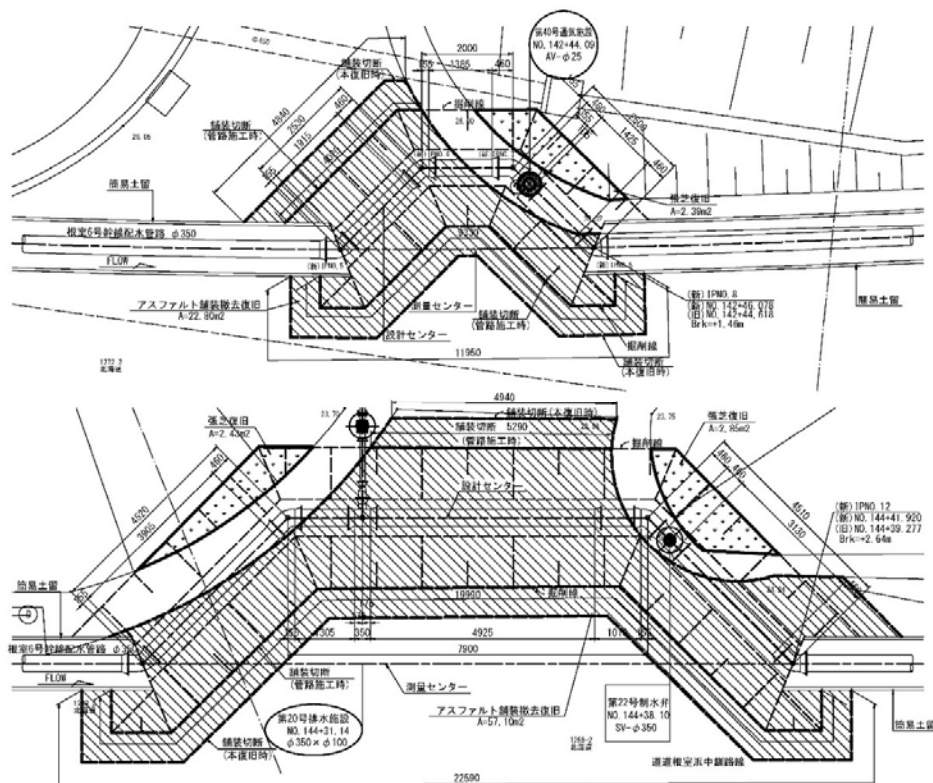


図-15 道路敷地内（縦断占用区間）における附帯施設の配置

国営かんがい排水事業芽室川西地区の水管理制御設備設計

金津麻里子

1. はじめに

国営かんがい排水事業芽室川西地区は、帯広市および河西郡芽室町の約20,000haを受益とする畑作地帯である。2017年度（平成29年度）に着工し、現在、ダムおよび用水路の改修、新設が進められている。

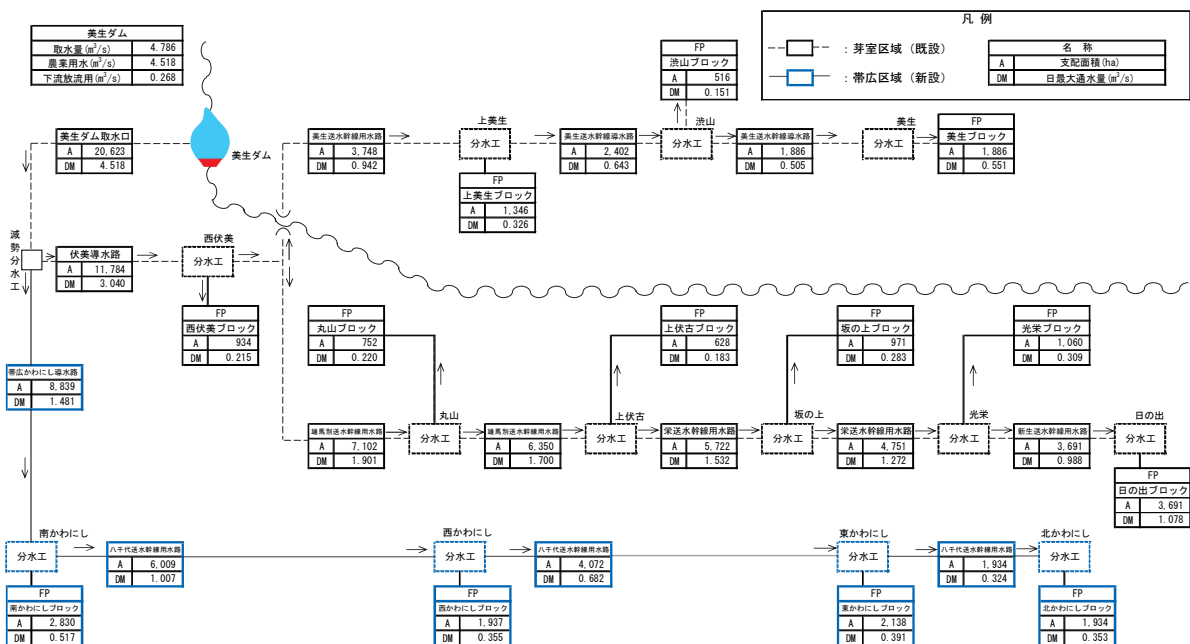
芽室町の区域（以下「芽室区域」という）は、国営芽室土地改良事業（昭和56年～平成19年）により造成された美生ダムとそれより取水する用水路施設（パイプライン）で構成されるかんがいシステムが運用されているが、近年の営農状況の変化に伴い水需要が変化しているとともに、用水路施設の経年的な劣化が見られている。一方、帯広市の区域（以下「帯広区域」という）は、用水路施設が未整備であった。本事業では、農業用水の安定供給による農業生産性の向上と農業経営の安定を目的として、水需要の変化に対応した用水再編と、これに対応したかんがいシステムの改修、新設が行われる。

このかんがいシステムを対象とした水管理制御設備は、新たな区域を加えた円滑な水利用に資するため、地域的水需要変動への安全で確実な対応や、用水管理の合理化と省力化の実現に資するものとして、その更新・新設整備が計画されている。

本報は、2019年度（令和元年度）に帯広開発建設部より受注した設計業務の成果から、本地区のかんがいシステムを対象とする水管理制御設備の特徴および設計の留意点等について紹介する。

2. かんがいシステムの概要

芽室川西地区のかんがいシステムは、既設の美生ダムを芽室区域と帯広区域の共有の水源施設とし、ダム直下の減勢分水工（改修）から分水・接続する幹線用水路により各区域に送配水するものである（図－1）。減勢分水工から接続する送水系幹線用水路は、既設の芽室区域ではオープンタイプパイプ



図－1 芽室川西地区 かんがいシステム系統図

インが採用され、新設の帯広区域は地形条件や経済性などの条件にもとづく検討からセミクローズドタイプパイプラインが計画されている。

芽室区域の送水系幹線用水路には分水工9箇所が設置されファームポンド（以下「F P」という）に分水する。同様に、帯広区域では4箇所のF Pに分水する。F Pから接続する配水系幹線用水路は、いずれの区域もクローズドタイプパイプラインである。

両区域の水利用期間は、4月から9月までの湿潤かんがい用水（散水方式）とそれ以外の期間のハウス・施肥用水を併せて通年である。また、日々の送配水管理は、送水系幹線用水路が24時間通水、配水系幹線用水路が22時間通水の計画である。

芽室区域（既設）と帯広区域（新設）を併せたパイプラインは、最大口径1,650mm、総延長300km以上に及び、送水系および配水系のいずれも1MPaを超える高圧パイプラインを含む大規模な水路システムとなっている。その立地は、美生ダムおよび送水系幹線用水路の上流部は起伏が比較的大きく、見通しの利かない山間域である。一方、送水系幹線用水路の下流部やF Pを起点とする配水系幹線用水路は、なだらかな丘陵部あるいは平坦部に敷設され、民家や幹線道路あるいは市街地に隣接する場合がある。以上の特徴から、当該施設は、その運用にあたり、利水面の管理に加えて安全面（防災・減災）への配慮が重要な施設である。

3. 用水管理の概要

これまで芽室区域単独で行われてきた水管理に、新たに帯広区域が加わる場合の用水管理の要点を以下に記す。

(1) 美生ダム（減勢分水工、小水力発電施設含む）の管理

- 1) 美生ダムでは、受益区域の水利用に応じて水利使用規則の範囲内で取水し、減勢分水工で帯広区域と芽室区域のかんがい用水の分水調整を行う。
- 2) 減勢分水工には小水力発電施設が併設される。

かんがい施設の操作は、当該施設との連携により行う。

- 3) ダム管理者は帯広市及び芽室町の共同が予定される。

(2) 用水路の管理

- 1) 減勢分水工から分水後の用水管理は、帯広区域は帯広市が、芽室区域は芽室町がそれぞれ行う。
- 2) 送水系幹線用水路では、期別および降雨によって変化する所要水量やF Pの水位変動に応じて、各分水工からF Pへの分水量の調整を行う。
- 3) 上記の操作では、水利使用規則に規定される「年間総取水量」の遵守および無効放流の抑制に留意して、ダム取水と各区域（各分水工）への分水量のバランスを調整する。
- 4) F Pの水位変動を確認し、必要により利害関係者と調整を行う。

(3) 情報管理

- 1) 上記の用水管理のため、美生ダムおよび用水路施設の分水工・F Pで水位、流量の水利情報およびゲート開度・状態などの施設情報を監視し、必要に応じて適宜に操作を行う。
- 2) この際、共有の水源施設である美生ダムの情報は、帯広市と芽室町で共有する。

4. 水管理制御設備設計

(1) 基本事項

水管理制御設備の検討・設計にあたり、その一般的な概念や基本事項は「水管理制御方式技術指針（計画設計編 平成25年3月）」¹⁾に準拠した。水管理制御設備の導入目的および具備すべき条件を以下に、また、当該設備設計の作業手順を図-2に示す。

[導入目的]

- ①水の有効利用：無効放流の低減等
- ②水の合理的配分：地域的需要量の変動への対応等
- ③施設の保全と災害防止：施設・機器等の異常の

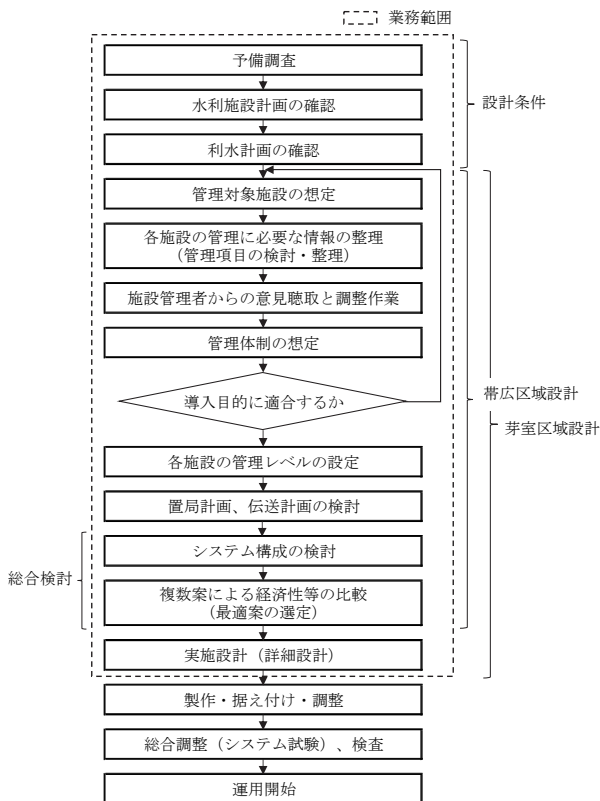
早期発見等

- ④維持・管理費の低減：管理労務費の節減等
- ⑤情報提供：情報の配信・共有による運用の円滑化
- ⑥連絡・通報の即応性等

[具備すべき条件]

- ①動作の信頼性が高いこと
- ②操作が容易で誤操作の恐れがないこと
- ③一部の故障がシステム全体の機能に著しい影響を与えないこと
- ④設置される環境に耐えうること（耐久性）
- ⑤維持管理性および経済性（維持管理コスト低減）
- ⑥機能の拡張性

本業務では、既設の美生ダムおよび芽室区域の用水路施設を対象とした水管理制御設備は「更新」のための実施設計を、新設の帯広区域の用水路施設を対象とした水管理制御設備は「新設」のための基本設計を行った（図－2）。



図－2 水管理制御設備の計画・設計の作業手順

本設計にあたっては、上記の指針に準拠しつつ、対象地域に適合した水管理制御設備の計画・設計を念頭に、芽室区域の水管理実績（管理課題）および現況設備の状況、関係組織体制、利用可能な通信インフラなどの地域特性（設計条件）の把握に留意した。

本業務の特徴として、①用水の公平かつ合理的配分、②帯広市と芽室町による情報管理（情報の共有とセキュリティ）、③設備の運用に係る管理の省力化、維持管理費の低減、④防災・減災と水管理作業の安全性向上に留意した検討・設計が挙げられる。

(2) 設計条件

- 1) 水管理実績にもとづく意見・要望（管理課題）
 - a) 通信コストの削減
 - b) 美生ダムにおける緊急時などに対応する通信の強化

2) 既設の水管理制御設備の内容と現況

【設備の内容】

- a) 既設の水管理制御設備は、美生ダムおよび用水路施設の分土工・F P 9 箇所を管理対象施設（子局）とし、芽室町市街地に所在する美生ダム中央管理センターを親局（中央管理所）とするシステム構成である。
- b) 管理レベルは、中央管理所による子局の遠方監視（テレメータ）と集中管理（情報収集、処理、記録）である。
- c) 子局と親局とのデータ伝送方式は、美生ダムと親局が N T T 専用回線、そのほかの子局と親局は N T T 一般加入回線である。
- d) 管理項目は、美生ダムが貯水位、放流量等の水利情報および機械設備等の状態情報である。分土工・F P は、水位、配水幹線流量および緊急遮断弁の開閉状態の情報である。分水ゲート等の開度情報は含まれない。

【設備の現況】

- a) 本設計時点で設備機器の導入から15年以上を経過し、計測装置や情報通信機器は耐用年数を超過している。
- b) 子局では、近年、機器の故障による通信不良が増加傾向にある。
- c) 既設のシステム機器のオペレーションシステム（OS）は、現在流通する機器のOSと互換性がない。

3) 水と設備の利用状況

- a) 既設かんがいシステムがある芽室区域では、水および水管理制御設備は通年利用されている。
- b) このため、水管理制御設備は、更新整備の際も稼働させた状態とする必要がある。

4) 管理組織体制

国営芽室土地改良事業で造成された美生ダムを水源施設とする既設のかんがいシステムは、当該事業完了後に芽室町によって管理が行われてきた。芽室町市街地に所在する美生ダム中央管理センターを親局（中央管理所）として芽室町職員が常駐し、美生ダムおよび用水路施設の分水工・FPを子局として管理情報の遠方監視（テレメータ）を行う体制である。

一方、新設する帯広区域の用水路施設の管理は、帯広市による管理が予定されている。また、用水再編により水源の美生ダムを芽室区域と帯広区域で共有することになるため、ダムの管理者として帯広市が加わることとなる。

すなわち、芽室川西地区の事業完了後のかんがいシステムの管理は、帯広市と芽室町が共同する管理体制が想定される。

5) 情報通信基盤の性能確認

本業務時点において、対象地域で利用可能な情報通信基盤は、既設の水管理制御設備で採用されているNTT回線のほかに、地上波携帯電話回線

（パケット通信：4G/LTE）、デジタル簡易無線回線、衛星波回線があった。なお、光回線は対象施設周辺の多くで未整備であった。

かんがいシステムの構成や管理実績から水管理の要所に位置づけられる美生ダムおよび用水路施設の分水工・FPにおいて、上記の新たな情報通信基盤の性能調査を行った。

情報伝送方式は、管理対象施設ごとの伝送情報の特徴と本調査結果にもとづき、ダムは衛星波回線、分水工・FPは地上波携帯電話回線を選定した。

a) 地上波携帯電話回線の性能調査

対象の分水工地点でモバイルルーターを用いて地上波携帯電話回線の性能試験を行い、いずれの位置でも水管理情報の伝送に十分な通信性能を有することを確認した（写真－1）。一方、美生ダムは、当該回線では通信の安定性や速度などの性能面から、水管理情報の伝送が難しいと判断された。



写真－1 地上波携帯電話回線性能調査状況

b) デジタル簡易無線回線の性能調査

本調査は、地上波携帯電話回線では所要の通信性能が得られなかった美生ダムを対象に行った。デジタル簡易無線は、数百MHz程度の周波数帯を使用するため、数GHz帯の周波数を使用する無線LAN通信などに比して指向性が低く、電波の回り込みが効くため、見通しの利か

ない場合でも数キロメートルの距離間で通信が可能である。

美生ダムは、地上波携帯電話回線が使用可能な区域と数キロメートルの距離にあり、さらに、当該区域と見通しが利かない。当該条件を踏まえ、美生ダムからの直線距離が、デジタル簡易無線の通信圏内である3キロメートル程度に位置する分水工とダムとの間で通信性能調査を行い、通信が可能であることを確認した(写真-2)。ただし、管理方法の検討の結果、美生ダムは伝送情報が多くなり、デジタル簡易無線では通信速度が不足するため、これに対応可能な衛星波回線を用いることとした。



写真-2 デジタル簡易無線回線性能調査状況

(3) 水管理制御設備設計

1) 管理対象施設と管理項目(監視・制御方式検討)

管理対象施設は、芽室区域の管理実績や本地区のかんがいシステムの特徴を踏まえ、用水の公平で合理的な配分に係る水管理の要所として、美生ダムと水路に付帯する分水工・FPを想定した(表-1)。

管理項目は、芽室区域については、従来の分水工1次水槽水位、FP水位・流量および緊急遮断弁信号に、新たに「分水工ゲート開度」を加えるとともに、現場での分水量の「演算処理(越流公式)」の表示機能を追加する計画とした。帯広区域は、水利情報として、FPへの分水管理に係る分水工1次水槽水位とFP水位および分水ゲート開度の監視に加えて、セミクローズドタイプパイ

表-1 管理対象施設と管理項目一覧表

区分	施設名	管理項目		
		ダム諸量	減勢分水工水位	ゲート開度
美生ダム	美生ダム	小水力発電諸量	画像	
		分水工水位(1次)	分水ゲート開度	分水量
芽室区域	西伏美分水工・FP	FP水位	配水量	緊急遮断弁信号
		分水工水位(1次)	分水ゲート開度	分水量
	上美生分水工・FP	FP水位	配水量	緊急遮断弁信号
		分水工水位(1次)		
	渡山分水工・FP	FP水位	配水量	緊急遮断弁信号
		分水工水位(1次)		
	美生分水工・FP	FP水位	配水量	緊急遮断弁信号
		分水工水位(1次)		
	丸山分水工・FP	FP水位	配水量	緊急遮断弁信号
		分水工水位(1次)		
	上伏古分水工・FP	FP水位	配水量	緊急遮断弁信号
		分水工水位(1次)		
坂の上分水工・FP	FP水位	配水量	緊急遮断弁信号	
	分水工水位(1次)			
光栄分水工・FP	FP水位	配水量	緊急遮断弁信号	
	分水工水位(1次)			
日の出分水工・FP	FP水位	配水量	緊急遮断弁信号	
	分水工水位(1次)			
帯広区域	南かわにし分水工・FP	分水工水位(1次)	分水工水位(2次)	分水ゲート開度
		FP水位	配水量	緊急遮断弁信号
	西かわにし分水工・FP	分水工水位(1次)	分水工水位(2次)	分水ゲート開度
		FP水位	配水量	緊急遮断弁信号
東かわにし分水工・FP	分水工水位(1次)	分水工水位(2次)	分水ゲート開度	
	FP水位	配水量	緊急遮断弁信号	
北かわにし分水工・FP	分水工水位(1次)		分水ゲート開度	
	FP水位	配水量	緊急遮断弁信号	

プラインの特性を踏まえ、管路の機能維持と安全性に係る管路の満流確認を目的として、分水工の「2次水槽水位」を管理項目に加えた。

2) 管理体制と管理レベル

本地区のかんがいシステムの管理は、帯広区域は帯広市、芽室区域は芽室町、美生ダムは帯広市と芽室町の共同での管理が想定されている。

水管理は、芽室区域および帯広区域のいずれも期別単位が基本であり、降雨の状況によって日単位の対応を行う「定常的」な管理方式が想定されている。

水管理制御設備の管理レベルは、当該管理方式や芽室区域における管理実績を踏まえて、現場側(子局)の管理レベルは遠方監視(テレメータ)を基本とし、中央管理所(親局)は収集した情報の表示、演算処理、記録、出力および配信の機能を計画した。

3) 置局計画と情報伝送計画

本地区のかんがいシステムを対象とした水管理制御設備の中央管理所(親局)や子局等の配置は、①帯広市と芽室町による共同管理、②管理対象施

設と施設管理者事務所の立地、③既設の美生ダム中央管理センターの活用を念頭に、全体の情報を統括管理する中央管理所（親局）として美生ダム中央管理センターを位置づけ、施設管理者事務所を支局、管理対象施設を子局とする置局計画とした。

各局間の情報伝送方式は、通信インフラの現地試験結果と遠方監視する情報の特性（情報量、監視の頻度など）を踏まえ、通信性能や維持管理費用などの側面からの比較検討を加えて、中央管理所と支局間は光回線、中央管理所と子局間は4G/LTE回線による地上波携帯電話回線を選定した。一方、これらの回線が利用できない美生ダムは、当初デジタル簡易無線を検討したが、画像伝送を含む伝送容量の特性から衛星波回線を選定した。なお、これらの通信はインターネットを介するため、セキュリティに配慮してVPN方式とした。

①中央管理所（親局）と支局は市街地に所在しており、相互の通信は、通信性能や経済性で有利な光回線の利用を計画した。

②美生ダムは、その立地から3G、4GおよびLTE回線のいずれでも地上波携帯電話回線の圏外である。近傍の分水工との間でデジタル簡易無線（150MHz帯）の通信が可能であるが、伝送項目が比較的多く、将来的に画像情報を加える可能性もあり、これに対応可能な衛星波回線を計画した。

③水路システムに付帯する分水工やFPは、いずれも4GあるいはLTE回線による地上波携帯電話回線の利用が可能であり、当該方式の利用を計画した。

4) 維持管理のコスト低減

水管理制御設備の運用に係る維持管理費は、通信費のウェイトが大きく、これを低減することが施設管理者の負担軽減と管理精度の維持の両立に重要となる。

NTT一般加入回線や同専用回線を利用する現況の通信方式を、対象地域で利用可能な地上波携

帯電話回線等に変更した場合は、管理項目や情報伝送頻度などの管理レベルを同等とすれば、1,000千円/年程度の通信費用の低減が見込まれる（表-2）。

表-2 通信費用の対比表（芽室区域+美生ダムの比較）

施設名	現在		将来(更新後)	
	契約種類	通信費	契約種類	通信費
美生ダム中央管理センター	NTT一般加入回線	602,700	光回線	165,600
美生ダム	NTT専用回線	735,144	衛星波回線	276,000
芽室区域 分水工・FP	NTT一般加入回線	221,316	地上波携帯電話回線	98,400
合計		1,559,160		540,000

5) 防災・減災と作業安全への配慮

a) 情報通信方式の二重化

水源施設の美生ダムは、用水管理上の重要度から常時はもとより、防災・減災の側面から災害発生時など、非常時の情報通信設備の信頼性（冗長性）確保が重要である。その手段の一つとして、情報通信方式の二重化が挙げられる。このため、美生ダムでは、防災情報ネットワーク事業による通信回線が確保される計画であることから、当該計画と調整を図り、これとは別に通信回線（衛星波回線）を整備することで二重化し、非常時の通信の信頼性確保と管理費用の抑制の両立を図ることとした。

b) 収納盤類の耐震化

本地区は、有感地震あるいは強震動の比較的多い北海道東部に位置しており、かんがいシステムの安全管理に係る水管理制御設備には、防災・減災の側面から所要の耐震性能を具備することが重要である。

水管理制御設備では、情報処理に係る多種の電子機器が用いられ、これらは機能ごとに適宜にまとめて収納盤などに設置される。地震によってこの収納盤が転倒などすると、断線や機器の損傷により、その機能が失われる可能性がある。収納盤の耐震化（転倒・落下防止）として、盤を床や壁に設置する際のアンカーボルトは、関係する指針²⁾に準拠した構造計算を行い、所要の強度を確認のうえで選定した。

c) 非常用電源の確保

電子機器の故障防止のために安定した電力を供給するため、および商用電力設備の不具合や災害等によりその供給が停止した場合でも一定期間は中央管理所のシステム機器の正常な稼働を担保するため、予備電源装置の設置を検討した。

通常時の一時的な停電に備えては、UPS（無停電電源装置）機能を備えたCVCF（定電圧定周波数装置）を計画した。また、停電の期間が比較的長期に及ぶ可能性のある災害時に備えては、非常用電源装置（発動発電機）の設置を検討した。本装置は、設置スペースの制約、取り扱いの容易性、設置費用と維持管理費用の経済性などを指標として、可搬型の機器を選定した。

d) 管理作業の効率化と安全性向上

現況の水管理制御設備には、水位や流量を確認する機能が具備されていない。分水量等を現地で確認する場合は、水槽内を直接目視する必要があり、管理作業の効率面と安全面から改善が望まれた。

改善対策として、現地（子局）に設置するデータ伝送盤に「分土工水槽水位（水深）」「分水ゲート開度」およびこれらにもとづき演算処理した「分水量」を表示し、この表示を目安としながら分水量の調整（分水ゲート操作）を可能とする機能を計画した（図-3）。

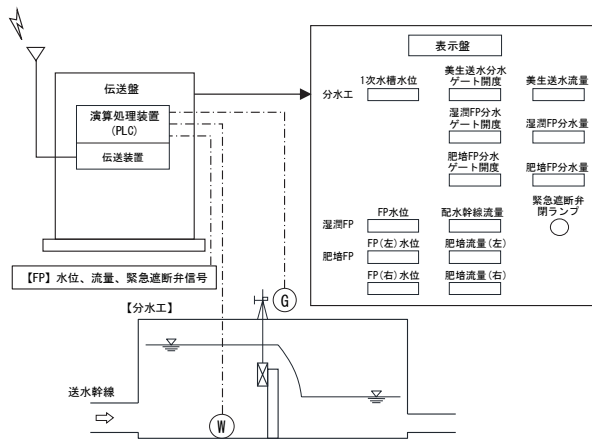


図-3 分土工（子局）の情報管理機能イメージ

6) 総合検討

a) 水管理制御設備の全体システム構成

信頼性、情報セキュリティおよび予定管理者の意見などを勘案し、親局機能はクラウドサービスを利用せず、自前で構築するシステム構成を基本とした。

本地区のかんがいシステム構成と管理組織体制を踏まえ、水管理制御設備の全体システム構成は、下記の2案を作成した。

[第1案]

用水路施設を区域別に個別管理することを基本とし、親局機能は美生ダム中央管理センターに整備する。親局の機器（ハード）は共有し、処理機能（ソフト）はそれぞれ独立した構成とする（図-5 a）。

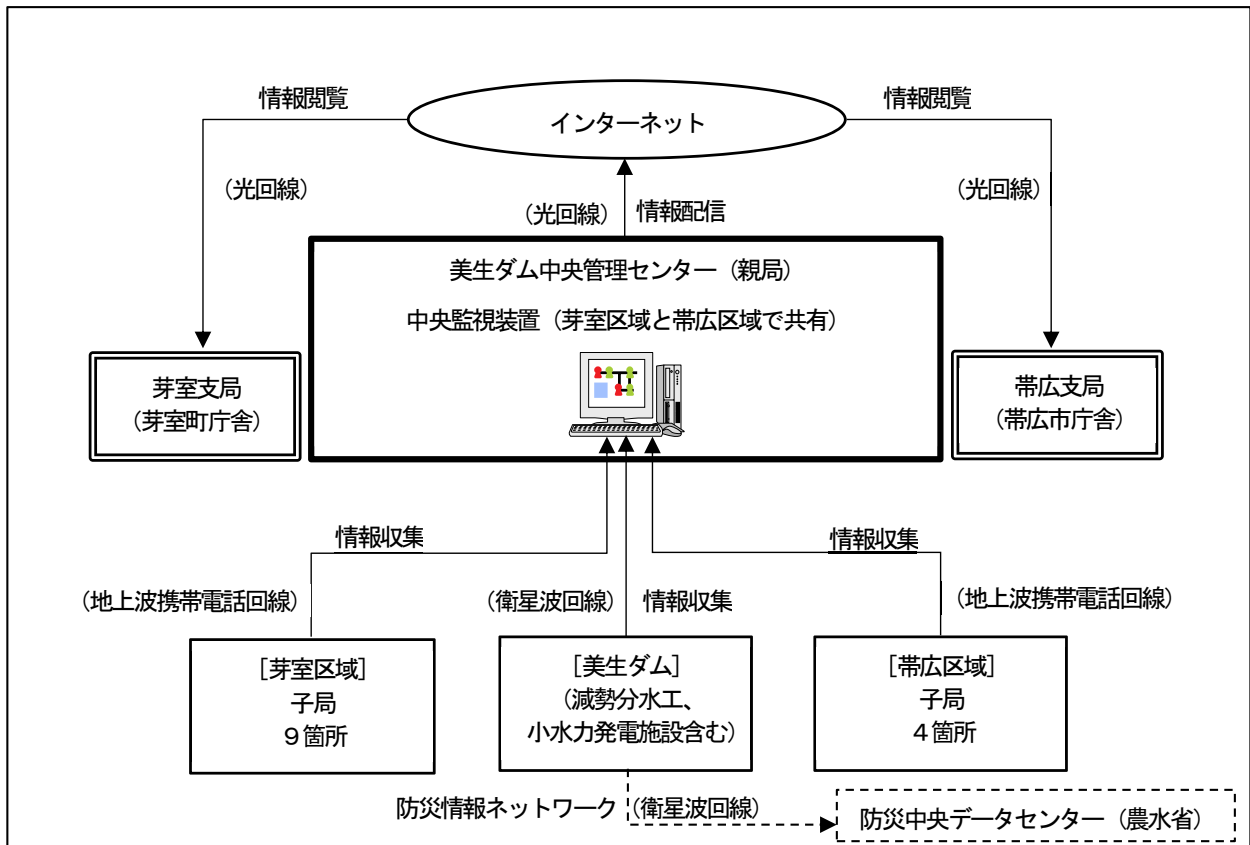
[第2案]

用水路施設を区域別に個別管理することを基本として、芽室町と帯広市のそれぞれに親局機能を整備する。機器（ハード）および処理機能（ソフト）のいずれも独立した構成である。ただし、各親局装置の設置場所は、いずれも美生ダム中央管理センターとする（図-5 b）。

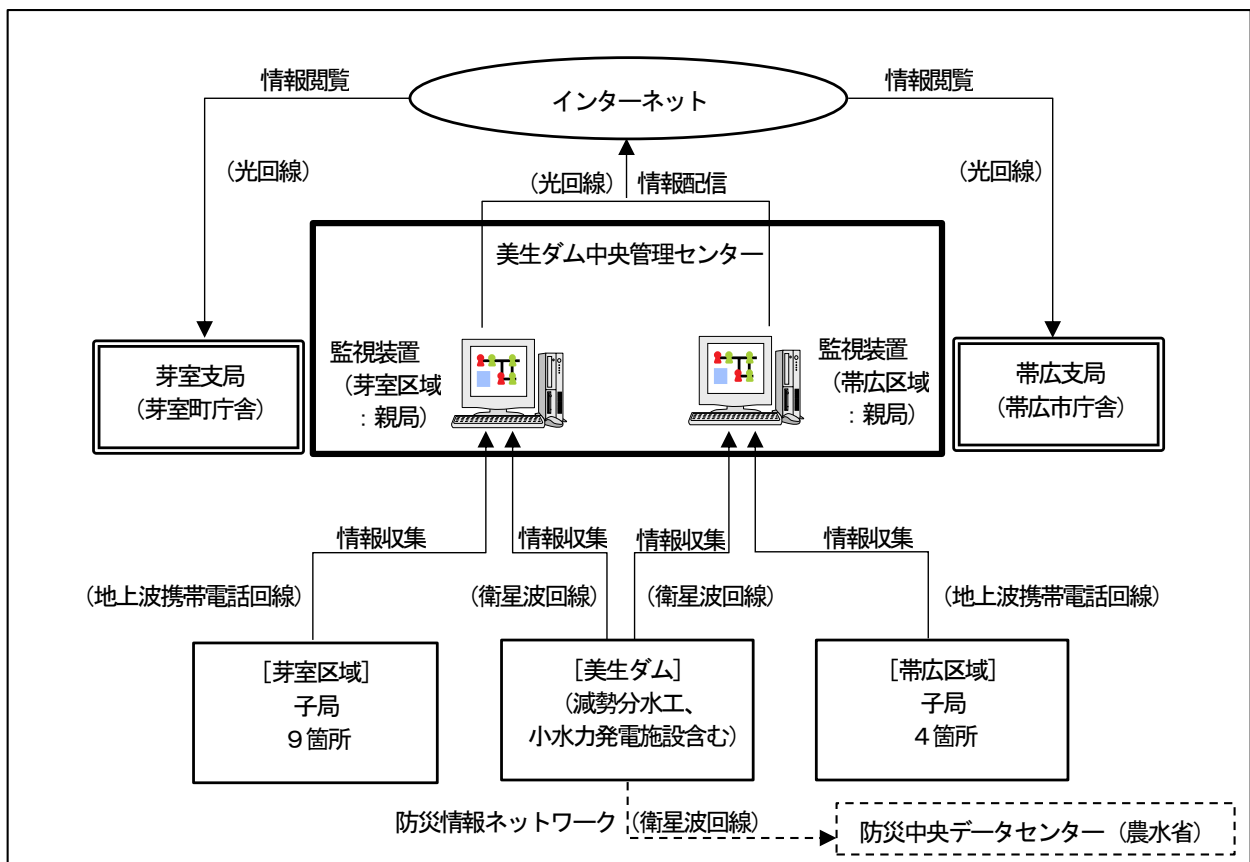
本設計では、上記2案のうち、構成機器を極力少なくして経済性に配慮した「第1案」を本地区の水管理制御システム構成として選定した。

b) 通年利用に配慮した更新整備計画

現況設備の更新を計画する芽室区域では、通年で水利用が行われている。水利用にあたっては、水管理制御設備による管理支援が必須であることから、更新の際もシステムを停止することはできない。このため、設備の更新は、現況システムを稼働させた状態で行うことを想定し、現況システムと更新システムは一定期間並設して、更新システムの機能を確認したのちに現況



a. 第1案



b. 第2案

図-5 水管理制御設備の全体システム構成

システムの撤去を行う計画とした。

本設計時点で、既設の芽室区域の用水管理担当者（数名）は、芽室町市街地に所在する美生ダム中央管理センターに常駐しているが、令和2年12月からは芽室町役場新築庁舎に移る予定であった。これにより、令和3年以降は、現況システム機器を存置しつつ、当センターの執務室内に、更新整備するシステム機器の設置スペースの確保が可能である。

5. まとめ

本業務は、対象地域の特性や関連技術動向、施設管理者への丁寧な説明と合意形成に留意して進めた。その要点は以下のとおりである。

- (1) 情報伝送方式は、現地試験を行ったうえで、現況のNTT回線に比して通信性能や通信費の面で優れた地上波携帯電話回線および衛星波回線を選定し、通信性能の強化と通信費の低減を図るとともに、インターネット利用はVPN方式として情報セキュリティを確保した。
- (2) 利水面と安全面からとくに重要度の高い美生ダムは、防災・減災機能強化の側面から情報伝送機能の二重化に留意して情報伝送方式（衛星波回線）を設計した。
- (3) 防災・減災機能強化として、中央管理所（美生ダム中央管理センター）に非常用電源装置の設置を検討した。
- (4) 芽室区域の管理実績を踏まえ、管理操作の効率化と安全確保として、分水工の管理項目は、既設の水位にゲート開度を加えるとともに、現地で分水量の演算処理を行い、計測データとともに現場表示する機能を追加した。
- (5) 水管理制御設備のシステム構成と情報処理方式は、施設の管理区分（共有、区域別）、美生ダム中央管理センターの活用などに留意して決定した。
- (6) 既設システムの通年利用を踏まえ、一定期間の新旧システムの併存を可能とする機器設置方法および施工手順を検討した。

- (7) 本設計では、施設管理者への複数回の説明・調整を経て、当該設備や維持管理の内容について合意を得た。

6. おわりに

令和元年度の業務として、芽室川西地区のかんがいシステムを対象とした水管理制御設備の設計を行った。本地区では、①帯広区域が基本設計段階であることに加えて、②美生ダムの減勢分水工などの付帯施設や管理設備の整備が進められていること、また、③対象地域では、補助事業を利用した光ファイバケーブルの整備構想があるなど、今後、水管理制御設備の整備に係る条件の変化が予想される。

今後、水管理制御設備の整備に向けては、対象地域の用水施設管理に適合した有用な設備となるよう、これらの整備状況などに留意して、本業務成果をベースとして適宜に機能の追加・調整を行っていく必要がある。

本稿の作成にあたり、多くのご指導・ご教示を賜りました帯広開発建設部の関係各位には、ここに記して御礼申し上げます。

最後に、本稿発表の機会を下さいました北海道土地改良設計技術協会各位に感謝申し上げます。

（株）アルファ技研 水利システムグループ 課長

【参考資料】

- 1) 一般社団法人農業土木機械化協会：水管理制御方式技術指針（計画設計編）、平成25年3月、P. 3～5
- 2) 一般社団法人 農業土木機械化協会：電気設備計画設計技術指針（高低圧編）農林水産省農村振興局整備部編、平成19年3月、P. 4-143～4-144

地域環境に配慮した暗渠排水工設計事例

辻 輝樹

1. はじめに

幌延町は、牛乳生産を主体とする酪農地帯である。町の北側は利尻礼文サロベツ国立公園であり、ラムサール条約湿地に登録されているサロベツ原野が広がっている。農地造成、道路整備、河川改修等の開発によりこの原野（湿原）の地下水位が低下し乾燥化が進んだ。このため、昭和62年よりサロベツ湿原の乾燥化に関する調査と対策試験が実施され、平成18年には上サロベツ自然再生全体構想¹⁾がとりまとめられるなど、今も継続して農業と湿原の共生に向けた自然再生の動きが活発となっている。

国営総合農地防災事業「幌延地区」（以下「幌延地区」）の受益地では、国営音類土地改良事業（昭和23年度～昭和43年度）、国営幌延土地改良事業（昭和48年度～昭和56年度）等において農用地等が整備されたが、泥炭土に起因した地盤沈下により、農用地においては過湿被害、不陸障害及び埋木障害が発生しているとともに、農業用排水路においては排水能力が不足し、降雨時には牧草の湛水被害が発生して、牧草の生産量及び農作業の能率が低下している。

このような背景から、農用地及び農業用排水路の機能を回復し、農業生産の維持及び農業経営の安定を図り、もって国土の保全に資するため「幌延地区」が実施されている²⁾。

本報告では、令和元年度幌延地区農地保全工設計等業務での検討内容を題材として、地域環境に配慮して暗渠排水工の疎水材に石灰石を採用した事例と希少猛禽類の繁殖に配慮した高速自動埋設機の採用事例について述べる。

2. 地域環境の問題点

(1) 天塩ヤマトシジミ漁業

1) 天塩シジミ漁業の課題

現在、天塩地域のシジミ漁業では、資源枯渇と貝殻への赤サビの付着という2つの課題がある。本報文で述べる暗渠排水工の設計事例は、後者への対応を含んでおり、前者への配慮は含まないが、読者の参考のために、ここでは、資源枯渇の概要と対応策の検討状況も含めて紹介する。

2) 資源枯渇

シジミ漁獲量がピークであった昭和60年をすぎると、パンケ沼において、新規稚貝の枯渇が指摘されようになった。このことに対応し、平成13年に関係機関が協議する場として「天塩しじみ資源環境対策委員会」（以下「委員会」という。）が設置された。これ以前は、新規稚貝が見られないことの原因として、シジミの生息域が低塩分になることで産卵が行われないことが疑われていた。しかし、委員会の活動により、塩分が低くても水温が高いと産卵は行われること（塩分5psu程度で水温22℃のときに最も多く産卵する）や、稚貝が大きく減耗する主な要因には底質の細粒化（浮泥化）が関係していることが明らかになった。さらに、委員会の活動として平成19年にパンケ沼内において砂を入れたコンテナを用いて簡易試験を実施したところ、対照区の20～47倍という着底稚貝が確認された。シジミで全国的に有名な穴道湖において、覆砂による底質改善がシジミ資源量の増大に役立ったという報告もあることから、環境省の許可申請が必要なパンケ沼でも実証実験という条件で試験が行われ、覆砂はヤマトシジミの再生

に寄与すると報告された³⁾。

3) 貝殻への赤サビの付着

「幌延地区」は、天塩川下流域に位置しており、土壌は泥炭土が主体である。本流域に広く分布する泥炭由来とみられる酸化鉄（赤サビ）がシジミ貝殻に付着して商品価値が下がる問題が発生している。

赤サビの原因の詳細はわかっていないが、留萌支庁（当時）水産課が「しじみ貝資源保護対策事業（平成14年～平成16年）」を立ち上げ、漁場周辺の環境調査および水質浄化試験など実施した。平成14年に林産試験場もオブザーバーとして試験に参加し、赤サビ発生原因の鉄分を除去する試みとして木炭を使った鉄分除去実験を天塩川支流トウツナイ川で実施した。試験では木炭390kgを約4か月間設置して河川水の鉄分含有量をはじめとする水質を調べた。その結果、木炭設置の上下流で鉄分濃度に違いはなかったとされる（総鉄濃度は平均9.3mg/l⁴⁾。

こうした状況を踏まえ、幌延地区の事業実施に当たっては、赤サビの付着軽減に配慮した暗渠排水工の整備を行う必要があった。本報で紹介する設計では、近傍の既往の地区(サロベツ地区、産土地区)での施工実績を踏まえた検討を行った。

なお、貝殻に付着した赤サビの除去には、オムニキサー(攪拌羽根のない、拡散混練方式のミキサー)が有効であり、すでに、北るもい漁業協同組合天塩支所で実用化されている。

(2) 希少猛禽類

これまでの鳥類調査では、地区内に希少種である猛禽類（チュウヒ、オジロワシ等）の生息が確認されている。

中でもチュウヒは、営巣環境がヨシ群落など湿原縁辺であり、越冬期には下層植生が繁茂したヨシがまばらに生えた場所で集団ねぐらをとることが多いとされている。北海道では夏鳥で4月上旬～4月下旬に渡来し、11月下旬～12月上旬まで留ま

るものもある。

環境省「チュウヒの保護の進め方」⁵⁾によれば、チュウヒの生息に影響を及ぼす行為は次のとおりである。

チュウヒの生息に影響を及ぼす行為として、おもに太陽光発電事業、住宅地造成、工業団地造成等の面的な開発事業が繁殖地や越冬地の適地やその周辺で行われることや、道路建設事業、水位・水量に増減を及ぼす行為、風力発電施設設置事業等があるとされる。また、チュウヒは、通常、普通の農業活動や散歩などの人間活動が近くで行われたとしても忌避行動を示さないことが多いが、写真撮影や観察調査（特に双眼鏡や望遠鏡を用い、観察者の体を隠さず調査すること）等の、営巣地を一日中観察する行為には、忌避行動を示す。普段通過する巣への飛翔経路に調査員が立つことによって、経路、飛翔高度等が変わる行動が確認された。このことから、営巣地に不用意に接近すること等により繁殖活動が阻害され、営巣放棄する可能性が高い。

なお、チュウヒの採食地はヨシ原、農耕地、牧草地等であることから、本事業の農地保全工対象区域がこれにあたる。

3. 問題の解決策

(1) 赤さび対策としての暗渠疎水材の選定

1) 溶解性二価鉄の流出と赤サビ付着の関係

ヤマトシジミに酸化鉄（赤サビ）が付着し、商品価値が下がるなどの問題は、泥炭地の地下水に含まれる溶解性二価鉄 Fe^{2+} が影響しているとされている⁶⁾。また、泥炭地の地下水中の溶解性二価鉄濃度は、分解が進行して繊維含量が低い泥炭で高い傾向があることや、下サロベツ（天塩郡幌延町）では霧多布（厚岸郡浜中町）、別寒辺牛（厚岸郡厚岸町）、十勝太平洋沿岸（広尾郡大樹町、中川郡豊頃町）に比べて高いことが、既往の研究で明らかにされている⁷⁾。

隣接の先行地区（国営農地防災事業富士見地区、

同サロベツ地区、同産土地区)では、暗渠排水の疎水材に石灰石を用いることで溶解性二価鉄の流出抑制を図っている事例がある。これらの地区のうち、富士見地区では最も早く試験施工等が実施され、その検証結果から疎水材として石灰石が選定された。これを受けて、天塩川下流域に影響を与えるサロベツ地区や産土地区においても石灰石が鉄分流出抑制対策として使用され、効果があることが確認された。

幌延地区においても溶解性二価鉄の流出を軽減できる疎水材の選定が重要である。疎水材は、鉄分の流出抑制効果はもとより、施工性、資材調達容易性、機能の持続性(耐久性)、維持管理性、経済性等の総合的判断から選定する必要がある。

2) 石灰石の有効性の既往知見

① 水質改善効果

石灰石が鉄分を除去するメカニズムは、次のとおりであると推察される(図-1)。溶解性鉄(Fe^{2+})は、地下水が通過する疎水材

が、砂利等で中性であれば変化なく流出するが、疎水材にアルカリ性である石灰石を使用することで、水酸化物イオン(OH^-)と反応し、難溶性の水酸化第一鉄($Fe(OH)_2$)が生成し、溶解性鉄(Fe^{2+})が減少する。

図-2に示す結果でも、石灰石を用いた疎水材を通過した流出水は溶解性鉄(Fe^{2+})の濃度が比較的lowく、pHは7に近い。なお、石灰石による鉄分流出抑制は、ヤマトシジミへの影響を軽減する水質改善のみならず、暗渠排水工の機能維持(閉塞抑制)にも有効であることが、土地改良事業計画設計基準及び運用・解説計画「暗渠排水」⁸⁾にも示されていることから、維持管理面においても有効である。

石灰石の除鉄効果は、富士見地区の調査結果による実績や、サロベツ地区における平成19年度の圃場試験の結果で確認されている。また、産土地区では施工前と施工後の水質調査により有効性が確認されている。これらの調査での石灰石の厚さは、地区によって異なる

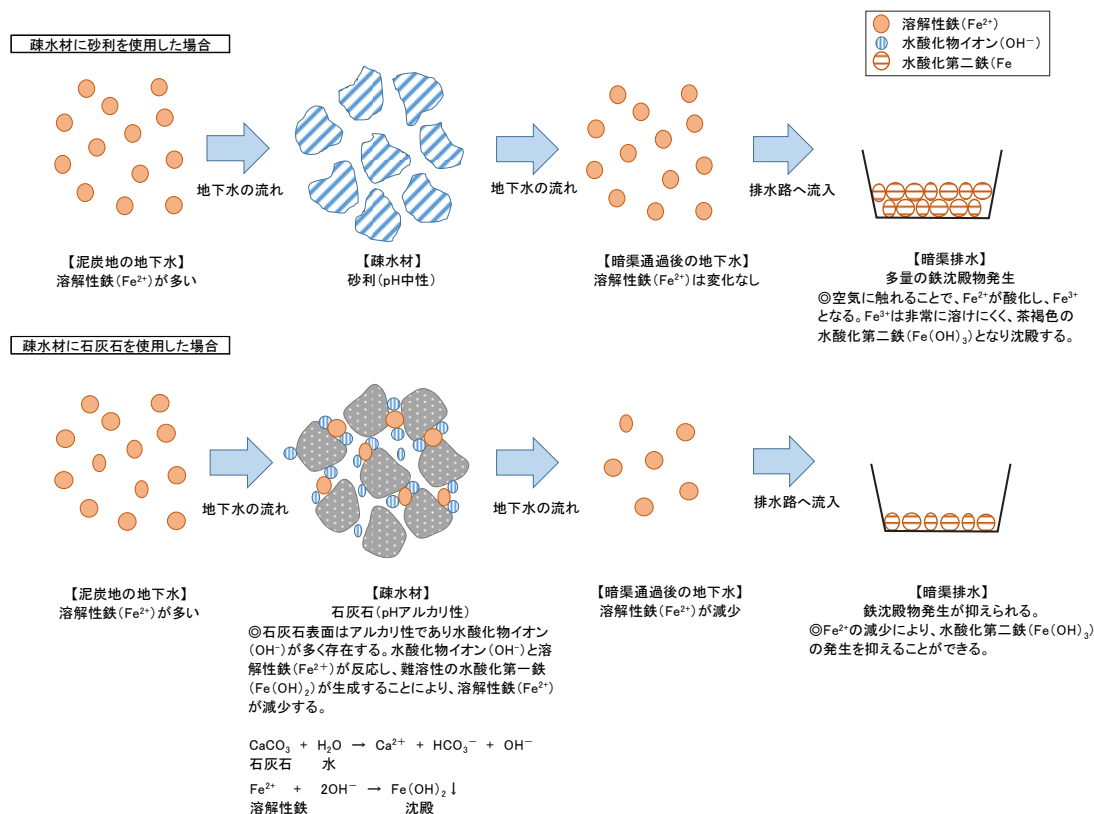


図-1 鉄分除去推定メカニズム

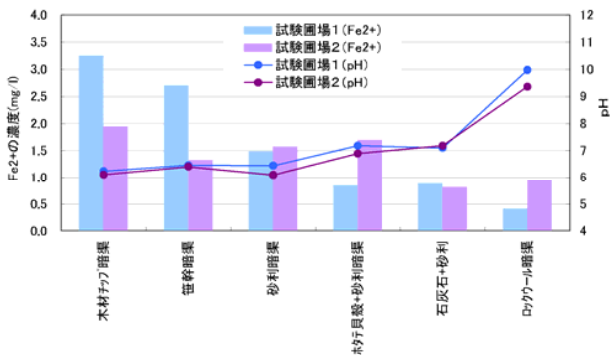


図-2 疎水材別Fe²⁺濃度とpH⁹⁾

る。富士見地区では管上10cmまで、サロベツ地区では施工管理を簡素化するため掘削底面より20cmまで、産土地区では掘削底面より10cmまでとして施工された。これら3地区の施工実績を踏まえると、石灰石の厚さ10~20cmの施工を行うことで水質改善効果が期待できると考えられる。

② 耐久性

独立行政法人土木研究所寒地土木研究所寒地農業基盤研究グループ資源保全チーム¹⁰⁾は、疎水材に石灰石を使用した施工後3年目の暗渠排水の機能検証を行っている。降雨後2~3日の地下水位は、「計画基準暗渠」に示された40~50cmを満足しており、暗渠の排水機能が維持されている結果となっている。

また、田中ら⁹⁾は、管頂から15cmまで石灰石が用いられた圃場の暗渠から流出するカルシウム濃度の分析によって、石灰石が無くなるまでの年数を試算している。検証の結果は、カルシウムが完全に溶出するまでには平均で80年となり、耐用年数40年に対しても約2倍

の安全率を有する結果となっている。

このことから、疎水材への石灰石の使用は、十分な耐久性を有していると考えられる。

3) 疎水材の選定と厚さ

これらのように、疎水材の石灰石使用は、近隣事業実施地区である産土地区においては検証が継続中であるものの、幌延地区の事業計画で選定されている切込砂利との比較でも鉄分流出に関して効果が確認されている実績がある。このことから、疎水材は石灰石をする計画とした。なお、疎水材の厚さは、近隣他地区の実績の多い管底から20cmとして、今後検証を行って、管底から10cmにすることも考慮する。

(2) チュウヒ保護対策としての施工期間制限（高速自動埋設機の導入）

1) 高速自動埋設機導入検討の必要性

農地保全工では暗渠排水工や不陸整正工および障害物除去工においてバックホウやブルドーザによる土作業が多い。また置土工では置土材運搬のためダンプトラックの走行が頻繁になる。これらの作業がチュウヒの生息環境に影響を与えないような工事計画とする必要がある。

チュウヒの巣立ちや独り立ち時期は明確ではないが、チュウヒの繁殖期は4月上旬~8月中旬であり、工事区域周辺で営巣等が確認された場合には、この期間の施工は控える等の措置が必要である。

施工可能期間を表-1に示す。各圃場で一番草の刈取りが終わるまでは工事はできない。一番草刈取りは6月中旬~7月上旬に行われる。チュウヒ

表-1 施工可能期間

	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月
チュウヒの繁殖	造巣期	排卵期	巣内育雛期 巣外育雛期	雛の独り立ち			
牧草			一番牧草収穫時期				
工事可能期間 (チュウヒ考慮要)						施工可能時期	
工事可能期間 (チュウヒ考慮無)			(刈取完了圃場より 順次着手)		施工可能時期		

ウヒの営巣がない場合には施工可能期間は最も長くなり6月下旬～10月下旬である。チュウヒの営巣が確認された場合で、繁殖期が8月中旬まで続くと、工事可能期間は8月中旬～10月下旬の約2か月半程度であり、これが最短となる。チュウヒの生息環境への配慮が必要な状況になることに備えて、施工期間の短縮方法を考えておく必要があるため、暗渠排水工の高速自動埋設機の導入について検討した。

2) 高速自動埋設機の特徴

従来、近傍の農地防災事業実施地区では、バックホウ掘削（台形型）によって暗渠排水工が施工されてきた。バックホウ掘削が選定された理由は、土質が泥炭土のために、断面側方のはらみにより掘削後の断面保持が困難であることの対策として1:0.1程度の掘削法勾配で掘削が必要であることや埋木発生時には処理も可能であることである。

これに対して、産土地区では高速自動埋設機による施工が行われている。その背景には近年、漁業者との協議により水中工事自粛期間（サケ・マスの遡上期間8/20～10/31）が設定され、工程上の制約を受けていることがある。産土地区では、平成29年度に高速自動埋設機による試験施工を行い、施工精度および施工速度等を確認した上で、平成30年度より全圃場において高速自動埋設機による施工が行われている。

高速自動埋設機は、掘削・管布設・疎水材投入を同時に施工することから（図-3、写真-1、写真-2）、一般に施工の効率性と確実性がメリットとされている。また、泥炭地における牧草地の農地保全工事に特有の掘削面の閉塞や崩落、変形を起こすことなく疎水材投入までの工程が完了することから、疎水材断面が確実に施工できるとともに、疎水材の品質面でも土砂の混入を防ぐことができるというメリットもある。

また、高速自動埋設機は、暗渠排水工の施工で重要な、吸水渠の勾配の一定保持でもメリットが



図-3 高速自動埋設機のレーザー制御システムの概要¹⁾



写真-1 高速自動埋設機外観¹⁾



写真-2 疎水材2種類投入状況¹⁾

ある。高速自動埋設機は、泥炭主体の圃場においても、レーザー制御により吸水渠ごとの渠線勾配を非常に高い精度で一定に確保することが可能である。これは、オートチルト機能により常に高速自動埋設機本体が垂直に保たれることとフルオートレーザーレベル(トランスミッター)を有すること、さらに自在に布設勾配を設定できることによって、圃場面に勾配や起伏（不陸）があっても高い

精度で吸水渠の勾配を一定に保つことができるからである¹²⁾。

3) 施工日数の検討

産土地区では、従来工法のバックホウと高速自動埋設機の施工日数の比較が行われた。その結果、1日当たりの施工延長が1.5～1.7倍程度になり、施工日数が1ヶ月～2ヶ月程度短縮できるとされている（表-2）。

表-2 施工日数比較（産土地区）

	平均施工延長	平均施工日数
バックホウ施工	700～804m/日	111～143日/100ha
高速自動埋設機	1199～1269m/日	59～71日/100ha
比較結果	1.5～1.7倍	40～59日短縮

文献11), 12) をもとに作成

表-2の施工日数比較を基に幌延地区における施工日数を算出し、バックホウ施工に対する高速自動埋設機施工の有効性を下記のように検証した。

① 暗渠排水工の施工期間を令和4年度から事業工期である令和13年までの10年間として考えると、年間259ha施工する必要がある。

$$\begin{aligned} & \text{事業計画暗渠施工面積} 2,593.43 \text{ ha}/10\text{年} \\ & = 259\text{ha}/\text{年} \end{aligned}$$

② チュウヒ考慮有の場合とチュウヒ考慮無の場合の施工可能日数は、下記よりそれぞれ45日と78日である。

- ・チュウヒ考慮有施工可能期間75日（約2か月半）→18/30を乗じ45日
- ・チュウヒ考慮無施工可能期間130日（約4か月半）→18/30を乗じ78日

③ バックホウ施工と高速自動埋設機施工の平均施工日数からの工事発注件数を算出する。

- a. バックホウ施工111～143日/100ha
 - ⇒1.11～1.43日/ha
 - ⇒259ha/年÷1.11～1.43日/ha=181～233日/年
 - ・チュウヒ考慮有181～233日/年÷45日=4～5工事
 - ・チュウヒ考慮無181～233日/年÷78日=3工事
- b. 高速自動埋設機施工59～71日/100ha

$$\Rightarrow 0.59 \sim 0.71 \text{ 日/ha}$$

$$\Rightarrow 259\text{ha}/\text{年} \div 0.59 \sim 0.71 \text{ 日/ha} = 152 \sim 183 \text{ 日/年}$$

- ・チュウヒ考慮有152～183日/年÷45日=3～4工事
- ・チュウヒ考慮無152～183日/年÷78日=2～3工事

工事発注本数は、高速自動埋設機による施工とした場合、バックホウ施工に比べて1～2工工程度少なくできる試算結果になる。このため、コストが縮減できるとともに、チュウヒに配慮した施工期間でも余裕をもって完了させることができると考えられる。

また、チュウヒは高い位置で動くものに対し威嚇行動を起こすため、アームを高く上げるバックホウ掘削より高速自動埋設機の方が環境配慮の面で有利と考える。

4) コスト比較

コスト縮減への効果は、暗渠施工時の掘削幅の減少に伴う疎水材投入量の減少によるものが大きい（図-4）。この効果は表-3に示すように約19,800円/100mである。地区全体として期待されるコスト縮減の効果は、下記のように36,290万円になる。

地区全体での暗渠排水管総延長は、事業計画にある暗渠排水管711.38m/ha、暗渠排水工面積2,593.43haから次のように算出できる。暗渠排水管総延長711.38×2,593.43=1,844,914m

これと表-3の19,800円/100mの積を求める。

$$\begin{aligned} & 19,800/100\text{m} \times 1,844,914 \\ & = 365,292,972\text{円} \approx 36,290\text{万円} \end{aligned}$$

上記のコスト縮減は、石灰石を掘削底面から20cmまでとした場合を想定したものである。石灰石の使用厚さを減ずることもコスト縮減につながる。産土地区では、石灰石を掘削底面から10cmまでとした場合の検証を行い、ある程度の鉄分流出抑制効果が確認されている¹³⁾。今後検証の蓄積が必要と思われるが、高速自動埋設機で石灰石の厚さを10cmとした場合には、材料費の縮減が100m当り

32,490円（表-4）となるため、事業計画をもとにすれば地区全体として約59,940万円のコスト縮減が可能となる。

$$32,490/100\text{m} \times 1,844,914 = 59,941,258\text{円} \approx 59,940\text{万円}$$

5) 高速自動埋設機の導入にあたっての課題

施工者への聞き取りによると、高速自動埋設機の導入にあたっては歩掛と施工実態の乖離など次のような点に留意する必要がある。

① 疎水材に石灰石と切込碎石の2種類を使用す

るため、疎水材投入口を2つ装着する必要があることから、標準歩掛と合わない面がある。

② 疎水材投入においては、標準歩掛では2台の不整地運搬車を使用することになっている。施工を止めないためには3台～4台必要になることもある。標準歩掛と合わなくなる。

③ 施工性の面では、掘削開始（附带明渠落口）での機械セットと無孔管区間の施工に時間を要するため、圃場形状の縦横比が小さいほど、また面積が大きいほど、吸水渠延長が長いほど高速自動埋設機のメリットが発揮される一方で、

表-3 疎水材施工方法の違いによる疎水材材料費比較一覧表

	石灰石			切込碎石			合計 (円/100m)
	投入量	単価	金額	投入量	単価	金額	
	(m ³ /100m)	(円/m ³)	(円)	(m ³ /100m)	(円/m ³)	(円)	
バックホウ掘削	3.0	12,700	38,100	9.2	4,600	42,320	80,420
自動埋設機	2.6		33,020	6.0		27,600	60,620
						差額	19,800

表-4 石灰石の施工厚さを10cmにすることによる疎水材材料費比較一覧表

	石灰石			切込碎石			合計 (円/100m)
	投入量	単価	金額	投入量	単価	金額	
	(m ³ /100m)	(円/m ³)	(円)	(m ³ /100m)	(円/m ³)	(円)	
事業計画(砂利のみ)	-	12,700	-	17.6	4,600	80,960	80,960
切込砂利+石灰石(厚さ10cm)	1.1		13,970	7.5		34,500	48,470
						差額	32,490

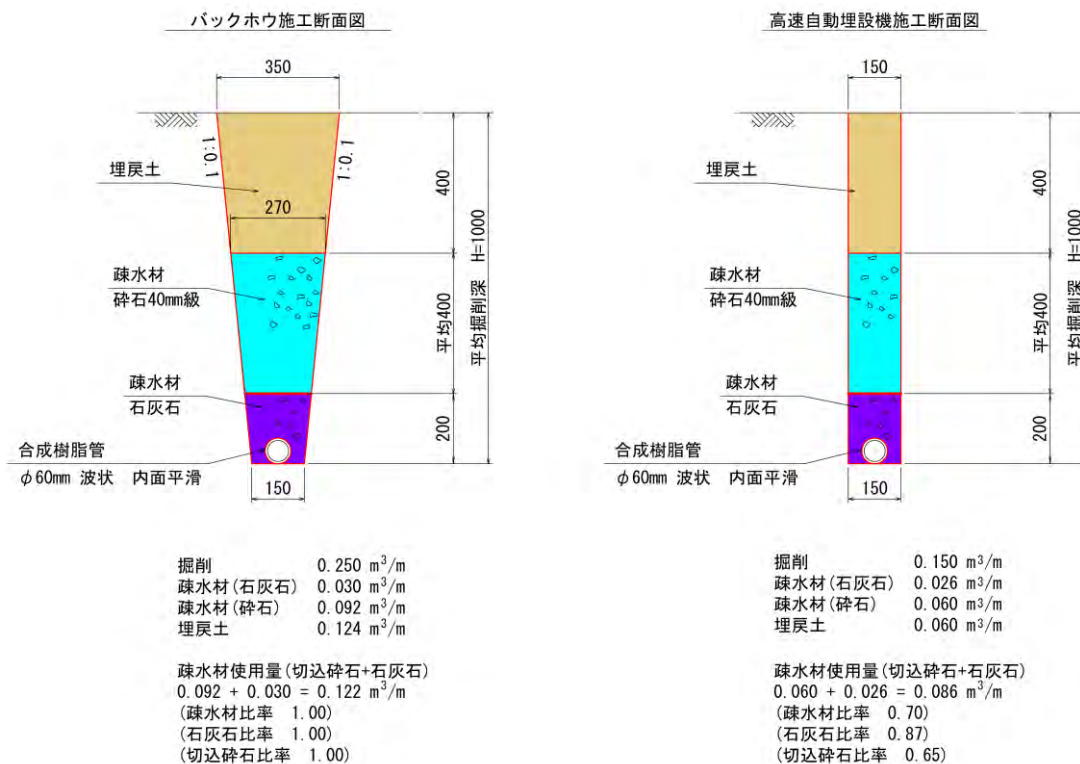


図-4 施工機械ごとの暗渠排水工の施工断面比較

圃場形状の縦横比が大きく扁平で、また面積が小さいほど、吸水渠延長も短いほどバックホウ掘削が有利になることも考えられる。

- ④ 端部の施工はバックホウ掘削が必要であることや土中の障害物（埋木）等もあるため、部分的にバックホウ掘削も組み合わせるなどの工夫で施工効率を高めていくことが課題である。

4. おわりに

本報では、国営総合農地防災事業幌延地区の暗渠排水工施工において地域環境に配慮した事例を紹介した。ヤマトシジミの赤サビ対策として、疎水材に石灰石を採用した。また、希少猛禽類の繁殖期を避けた工事を行うために高速自動埋設機の導入を検討した。石灰石投入量（厚さ）や高速自動埋設機の標準歩掛と実際の施工との乖離などの課題が残されており、今後、課題の検証を行い、改善を図っていく必要があると考える。

最後に、本稿作成にあたり御指導、御協力頂きました北海道開発局稚内開発建設部稚内農業事務所、また発表の機会を与您して頂きました北海道土地改良設計技術協会に対し、深く感謝の意を表します。

（㈱イーエス総合研究所 設計部 部長）

参考文献

- 1) 上サロベツ自然再生協議会：上サロベツ自然再生全体構想（2006）
- 2) 北海道開発局：国営幌延土地改良事業計画書
- 3) 中里享史：栽培公社発アクアカルチャーロード「天塩パンケ沼における“しじみ”資源対策の現在までと今後について」、育てる漁業No.448、P. 3－5（2011）
- 4) 竹花邦夫：天塩シジミ資源環境対策の取り組み、林産試だより2003年11月号、P. 8－9（2003）
- 5) 環境省自然改善局野生生物課：チュウヒ保護の進め方、P. 8, P. 15（2016）
- 6) 成田正直：赤サビシジミの話、北水試だより第66号、P. 19－21（2004）

- 7) 谷昌幸、近藤錬三、筒木潔：泥炭地中の溶存有機物と溶存鉄との相互作用、日本土壌肥科学雑誌72（3）、P. 348－356（2001）
- 8) 農林水産省：土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 計画「暗渠排水」、P. 202（2017）
- 9) 田中稔、辻内剛、梶雅之：水質保全に配慮した暗渠排水整備の効果検証について－疎水材に石灰石を用いた暗渠排水の効果－、国土交通省北海道開発局第56回（平成24年度）北海道開発局技術研究発表会（2013）
- 10) 横濱充宏、大深正徳、中山博敬、大岸譲、岡村裕紀：特殊土壌における暗渠排水の長期機能診断と維持に関する研究、土木研究所資料、P. 22（2012）
- 11) 伊藤暢男、佐藤清美：泥炭地域の農地防災事業における暗渠排水施工の効率化について－産土地区の暗渠高速自動埋設機導入にあたって－、国土交通省北海道開発局第61回（平成29年度）北海道開発技術研究発表会（2018）
- 12) 坂本淳：牧草畑における高速自動埋設機による暗渠排水の施工について、一般社団法人北海道土地改良建設協会令和元年度技術研修会講演要旨集（2020）
- 13) 久保歩、蒔田浩二、佐藤清美：泥炭地域における環境に配慮した暗渠排水工－産土地区の暗渠疎水材に用いる石灰石の除鉄効果検証調査（第1報）－、国土交通省北海道開発局第62回（平成30年度）北海道開発技術研究発表会（2019）

国営環境保全型かんがい排水事業の肥培かんがい施設整備に伴う臭気軽減効果

廣永 行亮

1. はじめに

別海町および根室市は、我が国を代表する大規模酪農地帯である。しかし近年、乳用牛の多頭化飼養に対応した粗飼料の生産が確保されておらず、また、増大する家畜ふん尿はその処理に多大な労力を要している。そのため、国営環境保全型かんがい排水事業では、家畜ふん尿の有効かつ適正利用、地域への環境負荷軽減を図る目的で肥培かんがい施設の整備を行っている。

これまで施設整備の効果として、家畜ふん尿をかんがい用水で希釈した液状のふん尿（以降、「スラリー」という）を腐熟させ、この散布による牧草増収、化学肥料節減、労働力削減や雑草種子の発芽抑制など様々な効果が検証されてきた。さらに、受益農家に対する肥培かんがい施設の有効活用を啓発するため、スラリー腐熟の目安や適正な運転方法、経済的な効果等を記載した啓発普及資料が作成されている。しかし、地域環境負荷軽減のうち臭気の軽減については調査手法が明確でないため、受益者への聞き取り調査によってその効果を整理している程度で、客観的（定量的）な評価が行われてなかった。

ここでは、臭気についての定量的な調査手法の検討と、その手法を用いて得られた臭気軽減効果について報告する。

2. 肥培かんがい施設の概要

この地域では、これまで別海地区、別海南部地区および別海西部地区の事業が完了し、現在、別海北部地区および根室地区で事業が実施されている。図-1に、現在整備されている肥培かんがい施設の一般的な概要を示す。牛舎から排出されたふん尿は、流入口で3倍程度に希釈（ふん尿：水＝1：2）され、

調整槽へ圧送ポンプにより搬送される。搬送されたスラリーは、ブローポンプによって曝気・攪拌し、均質に調整された後、堅型スラリーポンプで配水調整槽へ移送し貯留される。配水調整槽に貯留されたスラリーは、スラリートンカーでは場に散布される。

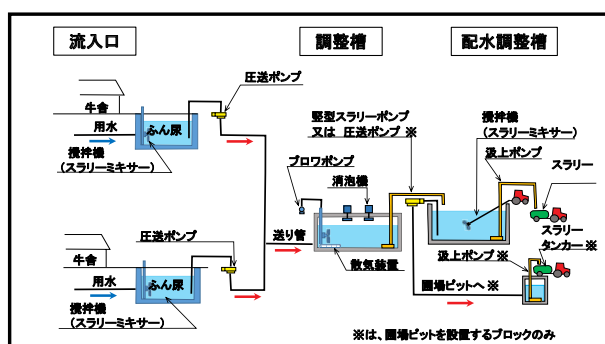


図-1 肥培かんがい施設概要

3. 聞き取り調査による臭気軽減効果の確認

施設整備前の受益者18戸を対象に、現状で、ふん尿処理時に発生する臭気について聞き取り調査を行った（表-1）。その結果、「臭いと感じる」と回答した受益者が半数おり、臭気については施設整備前の課題の一つであることが分かる。

表-1 施設整備前の臭気に対する聞き取り調査結果

項目	戸数	割合 (%)
気にならない	9	50
臭いと感じる	9	50

次に、施設整備後の受益者6戸を対象に、整備後のふん尿処理時に発生する臭気について、聞き取り調査を行った（表-2）。なお、これらは上記の施設整備前18戸とは別の施設整備後の受益者である。

その結果、整備前に臭いと感じていた受益者の全てが、施設整備後に臭気が「改善された」と回答したことから、施設整備による臭気軽減効果があることが明らかであった。

表－2 施設整備前後の臭気に対する聞き取り調査結果

整備前	→	整備後
臭にならない(2戸)	→	臭にならない(2戸)
臭いと感じる(4戸)	→	改善された(4戸)

4. 臭気軽減効果の検証

(1) 臭気センサーを用いたスラリー散布時の臭気調査

前述の臭気軽減効果について、定量的な調査手法を用い、評価できないか検討を行った。

まず、客観的に臭気を評価する場合、我が国においては悪臭防止法および臭気規制ガイドライン¹⁾が定められており、臭気強度または臭気指数によって評価を行っている。家畜ふん尿やスラリーの臭気は、アンモニアや硫化水素などの様々な臭気成分が含まれるため、複合臭と呼ばれる。複合臭については、嗅覚測定法による臭気指数による評価方法が多く採用されている。

また、山本ら²⁾は、畜産業から発生する臭気を市販の「臭気センサー」を用いて測定し、臭気指数に推定できることを報告した。

嗅覚測定法による臭気指数の算出は、専門の分析機関と有資格者(臭気判定士)に加え、分析日数、費用を要する。一方、臭気センサーは、携帯型であり、その場で誰でも計測が可能であるため、簡易かつ安価な測定方法として、期待されている。

これらのことから、肥培かんがい施設整備前後の施設を対象に、ふん尿処理時に発生する臭気を臭気センサーで測定するとともに、その臭気指数を算出し比較することで、施設整備による臭気軽減効果を数値として示すこととした。さらに、これらの相関関係を分析することで、簡易的な臭気調査手法としての臭気センサーの有効性を検証した。

1) 調査対象牧場

調査は施設整備前が2牧場、施設整備後が2牧場の計4牧場で実施した。整備前の2牧場については、前歴事業によるスラリー処理(希釈のみ・未曝気)をしており、整備後の2牧場は肥培かんがい施設が整備され、希釈、曝気・攪拌調整がさ

れている。それぞれの牧場の概要は、表－3に示す通りである。

表－3 調査対象牧場の概要(散布時の調査)

項目	牧場	地区	ふん尿処理方式
施設整備前	A	別海北部	スラリー化 (希釈のみ・未曝気)
	B	根室	
施設整備後	C	別海北部	肥培かんがい施設での 希釈、曝気・攪拌調整
	D	根室	

2) 調査対象とするふん尿処理

ふん尿処理時に発生する臭気については、堆肥等の切返し、移送、散布時が挙げられる。この中で、施設整備前後でも共通する作業のうち、最も臭気が発生し広範囲に拡がるのは、散布時であると考えられる。このため、臭気調査の対象は、スラリー散布時のほ場とし、測定点は散布直線の直上とした。

3) 調査項目および方法

調査項目は、臭気センサーによる現地測定と、嗅覚測定法による臭気指数の算定とした。これらの調査の方法について、以下に示す。

a) 臭気センサーによる現地測定

測定点において携帯型ポンプ等(写真－1)を用いて試料袋(テドラーバック)に採取した。この際、採取するポンプの高さは、人間の鼻の位置と同程度である1.2~1.7mとした(写真－2)。



写真－1 携帯型ポンプ

採取したガスについては、その場で臭気センサーを用い、その臭いの強さをセンサー値によって確認した（写真－3）。なお、用いた臭気センサーは、ポータブル型臭気センサー（新コスモス電機株式会社：XP-329ⅢR、写真－4）である。



写真－2 臭気捕集状況



写真－3 臭気センサーでの計測状況



写真－4 臭気センサー

b) 嗅覚測定法による臭気指数の算定

臭気センサーで計測した後、余ったガスを試料袋ごと試験室に持ち帰り、悪臭防止法の臭気指数算定方法（三点比較式臭袋法）に準拠して試験を実施した。具体的な方法は以下の通りである。

臭気判定士のもと6名以上のパネラーに、対象試料を適切な濃度に希釈した調整試料を整備した1ℓ臭い袋1個と、無臭空気を整備した1ℓ袋2個の計3個から、臭いを感じた臭い袋を選定してもらう（写真－5）。



写真－5 臭気判定士とパネラーによる官能試験実施状況

この試験の正解、不正解結果の状況から次の式（1a）および（1b）を用いて臭気濃度、臭気指数を算出する。

$$Y = t \times 10 (M - 0.58) / (M - N) \quad (1a)$$

Y：臭気濃度

t：最初にテストを行った希釈倍率

M：最初に行った希釈倍数での平均正解率

N：2度目に行った希釈倍数での平均正解率

$$Z = 10 \log Y \quad (1b)$$

Z：臭気指数

4) 調査回数および数量

現地調査は各牧場のほ場において、スラリー散布時に行い、散布直後の臭気を採取、計測し、施設整備前後の比較を行った。

また、センサー値と臭気指数との関係性を把握することを目的に、複数の異なるセンサー値の臭気を収集するため、散布後から臭気が軽減した状況においても、調査を実施した。すなわち調査は、散布直後の臭気が最も強く感じられた際（Ⅰ）に加え、散布後の臭気が感じられた際（Ⅱ）、臭気が弱く感じられた際（Ⅲ）、臭気があまり感じられない際（Ⅳ）の4回とした。

5) 評価方法

我が国では、悪臭について悪臭防止法により規制しており、規制の対象となる規制区域の指定は、各都道府県知事が行い、その土地の利用実態により、A、B、C区域に分類される。なお、各規制区域に対応する臭気強度と、臭気強度に対応する臭気指数については臭気指数ガイドラインによると、表-4のように整理できる。

表-4 悪臭規制に対応する臭気強度および臭気指数

規制区域	内容	臭気強度	臭気指数*
A区域	最も厳しい基準	2.5	12
B区域	中間の基準	3.0	15
C区域	最もゆるい基準	3.5	18

*: 臭気指数規制ガイドライン(2001)で示される参考値の平均値

本調査の地域は別海町および根室市に位置しており、北海道の悪臭規制地域マップを見ると、両市町とも市街地のみがA区域と指定されており、市街地以外は規制が設けられていない。調査対象である受益者のほ場は、市街地から遠く離れた場所にあり、基準が設けられていない。そのため今回は、規制区域の中で最もゆるい基準であるC区域の規制を基準値（臭気指数18）として、評価する。

6) 調査結果

a) 臭気センサーによる現地測定結果

臭気センサーによる現地測定の結果を図-2、表-5に示す。

散布直後（Ⅰ）における臭気センサーの指示値（センサー値）は、施設整備前のA牧場が238、B牧場が210であった。一方、施設整備後は、

C牧場が15、D牧場が61であり、整備前に比べかなり小さい。このことから、臭気センサーを用いた計測では、施設整備後のスラリー散布時の臭気は、整備前より弱くなっていることが明らかとなった。

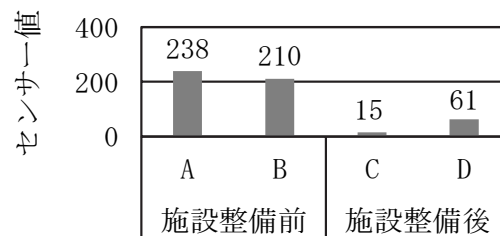


図-2 臭気センサーによる現地測定結果（Ⅰ：散布直後）

散布直後から臭気が減少する過程で採取した臭気のセンサー値は、Ⅰ、Ⅱ、ⅢおよびⅣでそれぞれ、施設整備前のA牧場が238、150、119および37、B牧場が210、135、47および13、整備後のC牧場が15、8、7および1、D牧場が61、28、21および8であった。センサー値が最大となったⅠから段階的に減少し、1～238までの異なるセンサー値の臭気を収集することができた。

表-5 臭気センサーによる現地測定結果

項目	牧場	調査日	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
施設整備前	A	10/18	238	150	119	37
	B	10/13	210	135	47	13
施設整備後	C	10/11	15	8	7	1
	D	10/6	61	28	21	8

b) 嗅覚測定法による臭気指数の算定結果

嗅覚測定法による臭気指数の算定結果を図-3、表-6に示す。

散布直後（Ⅰ）の臭気指数は、施設整備前のA牧場、B牧場ともに39であった。一方、施設整備後は、C牧場が検出限界である10を下回り、D牧場が14であった。このことから、臭気指数においても、整備後のスラリー散布時の臭気は、整備前より低いことが明らかとなり、施設整備による臭気改善効果が確認された。

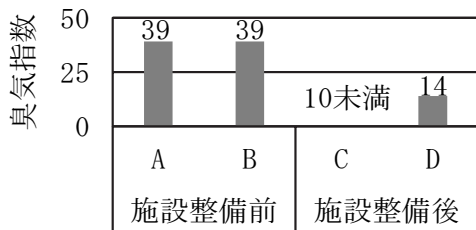


図-3 嗅覚測定法による臭気指数結果 (I: 散布直後)

散布直後から臭気が減少する過程で採取した臭気の臭気指数は、I、II、IIIおよびIVでそれぞれ、施設整備前のA牧場が39、30、24および24、B牧場が39、34、26および10未満、整備後のC牧場が全て10未満、D牧場が14、11、11および10未満であった。この調査において、スラリー散布時の臭気指数については、検出限界を除くと11~39の範囲にあった。

表-6 嗅覚測定法による臭気指数結果

項目	牧場	I	II	III	IV
施設整備前	A	39	30	24	24
	B	39	34	26	10未満
施設整備後	C	10未満	10未満	10未満	10未満
	D	14	11	11	10未満

なお、C区域規制と同等として設定した基準値(臭気指数18)に対し、施設整備前は両牧場とも、散布直後(I)が39と大きく上回った。それに対し、施設整備後は、散布直後(I)で10未満および14と、基準値を下回っており、整備前と比べ、大幅に低下していることが明らかとなった。

施設整備後のスラリー散布時の臭気は、C区域規制、さらにはB区域規制(臭気指数15)にも適応可能であることが示唆された。

7) 臭気センサーを用いた臭気調査手法の有効性

臭気センサーの指示値は、相対的な臭いの強弱を示しているだけにすぎず、臭気指数といった絶対値に変換し、評価を行う必要がある。このため、今回の調査で得られたセンサー値と臭気指数の値を回帰分析によって照合することで、その相関関係を検証した。この、臭気センサーの臭気調査手

法としての有効性を検討し、肥培かんがい施設整備による臭気軽減効果を検討した。

a) 使用データ

分析に使用するデータは、全データのうち臭気指数が検出限界である10未満を除いた10個である。

b) 分析結果

臭気センサーの値と臭気指数の回帰分析結果を図-4に示す。

その結果、本調査で得られたセンサー値と臭気指数は決定係数(R²)が0.861と相関が高いことが示された。

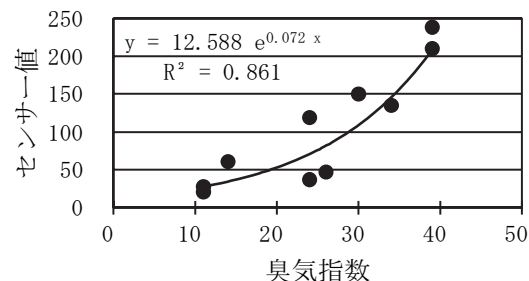


図-4 センサー値と臭気指数との回帰分析結果

以上のように、臭気センサーによる肥培かんがい施設整備前後のスラリー散布時の臭気軽減効果は明らかで、その結果は臭気指数へ推定可能なことが判った。

(2) 臭気センサーと臭気物質との関係性

ここでは、臭気センサーがどの臭気物質に強く依存しているかを検証することで、スラリーにおける臭気主成分の特定を試みた。

1) 調査方法

a) 調査対象

調査は、施設整備前後を対象に別海北部地区および根室地区の各1牧場、計4牧場を選定した(表-7)。なお、C牧場は表-3に示したスラリー散布時調査のCと同一牧場であるが、調査実施年が異なる。

表一七 調査対象牧場の概要（処理過程における変動調査）

項目	牧場	地区	ふん尿処理方式
施設整備前	E	別海北部	スラリー化 (希積のみ・未曝気)
	F	根室	
施設整備後	C*	別海北部	肥培かんがい施設での 希積、曝気・攪拌調整
	G	根室	

*C：散布時調査のCと同一牧場、調査年が異なる

b) 試料採取箇所

肥培かんがい施設整備前のE牧場及びF牧場では、牛舎と貯留槽の2箇所から試料を採取した。肥培かんがい施設が整備されているC牧場及びG牧場では、牛舎、流入口、調整槽、配水調整槽の4箇所から試料を採取し、基本的な性状及び臭気に関する分析を行った。

c) 施設から発生すると想定される特定悪臭物質

我が国では、臭気（悪臭）を悪臭防止法により規制しており、表一八に示すように、現在22種の物質を特定悪臭物質として定めている。

表一八 特定悪臭物質と主な発生源

特定悪臭物質	主な発生源*
アンモニア	畜産事業場、し尿処理場など
メチルメルカプタン	パルプ製造工場、し尿処理場など
硫化水素	畜産事業場、し尿処理場など
硫化メチル	パルプ製造工場、し尿処理場など
二酸化メチル	パルプ製造工場、し尿処理場など
トリメチルアミン	畜産事業場、化製場など
アセトアルデヒド	化学工場、魚腸骨処理場など
プロピオンアルデヒド	焼付け塗装工程を有する事業場など
ノルマルブチルアルデヒド	焼付け塗装工程を有する事業場など
イソブチルアルデヒド	焼付け塗装工程を有する事業場など
ノルマルバレールアルデヒド	焼付け塗装工程を有する事業場など
イソバレールアルデヒド	焼付け塗装工程を有する事業場など
イソブタノール	塗装工程を有する事業場など
酢酸エチル	塗装、印刷工程を有する事業場など
メチルイソブチルケトン	塗装、印刷工程を有する事業場など
トルエン	塗装、印刷工程を有する事業場など
スチレン	化学工場、FRP製品製造工場など
キシレン	塗装、印刷工程を有する事業場など
プロピオン酸	脂肪酸製造工場、畜産事業場など
ノルマル酪酸	畜産事業場、でんぶん工場など
ノルマル吉草酸	畜産事業場、でんぶん工場など
イソ吉草酸	畜産事業場、でんぶん工場など

*：悪臭防止法で掲げる各悪臭物質の主要発生源事業場より抜粋
■：本施設で処理する乳牛ふん尿から発生する可能性がある物質
太字：検知管で測定できる物質

この特定悪臭物質のうち、本施設で処理する乳牛ふん尿から発生する可能性がある物質としては、アンモニア、メチルメルカプタン、硫化水素、硫化メチル、二酸化メチル、トリメチルアミン、プロピオン酸、ノルマル酢酸、ノルマル吉草酸およびイソ吉草酸が挙げられる（表中の主な発生源が畜産事業場やし尿処理場の物質）。

d) 測定項目

この調査でも、前述のスラリー散布試験で用いたのと同様の臭気センサーで、臭気を測定した。また、今回計測に用いた臭気センサー値と前述の特定悪臭物質の関係性を把握するため、悪臭防止法において畜産に関係した特定悪臭物質に含まれ、検知管による簡易計測が可能なアンモニア、メチルメルカプタン、硫化水素、アミン類（トリメチルアミン）、カルボン酸類（プロピオン酸及びイソ吉草酸）の5項目について測定した。測定機器には検知管（株式会社ガステック）及び検知管式気体測定器（株式会社ガステック：GV-100型）を使用した。

用いた臭気センサー及び検知管の測定範囲、検知限度に関しては表一九のとおりである。検知限度を下回る濃度であった場合は未検出とした。

表一九 用いた検知管、臭気センサーの測定範囲、検知限度

測定対象気体名	検知管名	測定範囲	検知限度
アンモニア	3L	0.5ppm～78ppm	0.2ppm
メチルメルカプタン	71	0.25ppm～140ppm	0.1ppm
硫化水素	4LT	0.05ppm～4.0ppm	0.01ppm
	4L	1ppm～240ppm	0.2ppm
	4H	10ppm～4000ppm	2ppm
アミン類	180L	0.25ppm～5ppm	0.1ppm
	180	3.5ppm～70ppm	0.5ppm
カルボン酸類	81	3ppm～75ppm	0.2ppm
臭気センサー	—	0～2,000	—

e) 測定方法

前述のスラリー散布時の臭気を試料袋に捕集し、検知管で測定したが濃度が薄く、いずれの項目も未検出となった。そこで、スラリーを培養し発生したガスを用い、測定することを試みた。

臭気センサーによる臭気計測は、次の手順で行った。

- ① 1ℓ程度採取した試料のうち、20mlをその場（現地）で1,000mlポリビンに封入する。
- ② ポリビンを30秒間振とうする。
- ③ 振とう直後にヘッドスペース中に発生した臭気を臭気センサーで速やかに測定する。
アンモニア、メチルメルカプタン、硫化水素、アミン類、カルボン酸類の5項目の計測は次の手順で行なった。

- ④①において採取した試料から再度、20mlを1,000mlポリビンに封入する。
- ⑤ポリビンを30秒間振とうする。
- ⑥振とう直後にヘッドスペース中に発生した臭気を検知管式気体測定器及び検知管で速やかに測定する。

2) 調査結果

臭気の測定結果を表-10に示す。

いずれの試料からもアンモニア、硫化水素が検出され、その濃度はそれぞれ1~14ppm、20~400ppmであった。またアミン類は12試料中11試料から検出され、その濃度は1.5~60ppm、メチルメルカプタンは半数以上の9試料で未検出、酢酸等は全て未検出であった。未検出の数が多いメチルメルカプタンおよびカルボン酸類(酢酸等)に関しては、臭気に対する影響が少ないとみなし、以降の考察から除外することとした。

一方、臭気センサーは630~1,950を示し、施設整備前では貯留槽スラリーで最も高い値を示し、

表-10 臭気測定結果

状況	牧場	試料	アンモニア ppm	メチルメルカプタン ppm	硫化水素 ppm	アミン類 ppm	酢酸等 ppm	センサー値
整備前	E	牛舎生ふん尿	3	0.5	40	24	未検出	780
		貯留槽スラリー	9	未検出	400	40	未検出	1,700
	F	牛舎生ふん尿	2	未検出	20	1.5	未検出	630
		貯留槽スラリー	4	未検出	80	10	未検出	1,180
整備後	C	牛舎生ふん尿	3	4.0	250	5	未検出	1,660
		流入口スラリー	1	未検出	160	未検出	未検出	1,650
		調整槽スラリー	10	未検出	80	55	未検出	1,050
		配水調整槽スラリー	6	未検出	70	40	未検出	930
	G	牛舎生ふん尿	2	未検出	130	8	未検出	1,150
		流入口スラリー	4	2.0	400	18	未検出	1,950
		調整槽スラリー	12	未検出	60	60	未検出	1,000
		配水調整槽スラリー	14	未検出	20	40	未検出	670

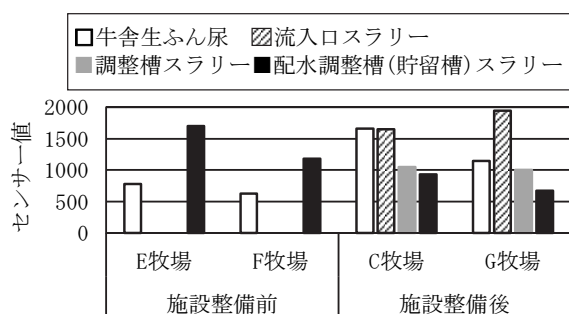


図-5 スラリー調整過程における臭気の変動

施設整備後では流入口スラリーで最も高い値を示した(図-5)。

3) 考察

図-6は臭気センサー値と各検知管測定値の関係を示したものである。本図を見ると、センサー値とアンモニアおよびアミン類は関係性が低いことが分かる。

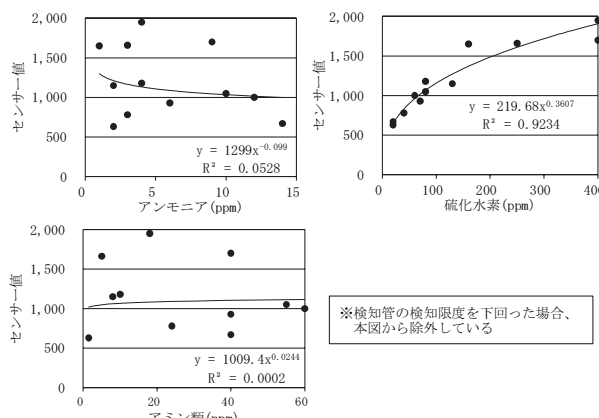


図-6 臭気センサー値と各検知管測定値の関係

一方、センサー値と硫化水素は強い正の関係性が見られることから、今回測定したふん尿、スラリーの場合、センサー値は硫化水素に依存していると考えられる。このことから本スラリーの臭気の主要因が硫化水素であると推測された。

なお、人間の嗅覚は様々なにおいを感知することができる。そのため、スラリー散布時には硫化水素のにおいを強く感じるものの、微量のアンモニアやメチルメルカプタンの臭いも同時に感知しているものとする。また、今回実施した検知管による方法は、臭気を即時に簡易的に把握できるが、ガスクロマト分析などと比較して精度は低い。例えば、低濃度におけるアンモニアやアミン類や、今回未検出が多くみられたメチルメルカプタンなどと臭気センサーの関係については詳細に検討する必要がある。

(3) 臭気変化の要因検討

肥培かんがい施設の処理過程における臭気の変動を定量的に評価することは、前述のスラリー散

布時調査と同様にほとんど行われていない。適切な施設の運用と活用を推進していく上で、臭気が軽減していく過程を定量的に把握することは重要である。そこで、肥培かんがい施設のふん尿処理過程における臭気の変動について検討した。

検討するにあたり、過去3年間（H30～R2年）の培養試験による「臭気測定」の結果を併せて評価した。

表-11～12に臭気変化の要因検討に用いたデータを示す。なお、H30、H31年度に実施した調査では、調整槽のみ液温の測定を行っている。

表-11 臭気変化の要因検討に用いたデータ（施設整備前）

状況	年度	地区	牧場	試料	液温 ℃	TS濃度 %	臭気セン サー値
整備前	H30	別海北部	L	牛舎生ふん尿	-	12.5	373
				貯留槽スラリー	-	6.2	758
			M	牛舎生ふん尿	-	14.0	617
				貯留槽スラリー	-	7.0	1,765
	H31	別海北部	N	牛舎生ふん尿	-	12.7	621
				貯留槽スラリー	-	11.4	1,052
			根室	牛舎生ふん尿	-	13.8	390
				貯留槽スラリー	-	9.2	1,491
	R2	別海北部	P	牛舎生ふん尿	23.3	14.4	780
				貯留槽スラリー	23.1	9.1	1,700
			根室	牛舎生ふん尿	16.5	13.1	630
				貯留槽スラリー	19.1	8.7	1,180

*：R2年度調査のみ液温の測定を行っている。

表-12 臭気変化の要因検討に用いたデータ（施設整備後）

状況	年度	地区	牧場	試料	液温 ℃	TS濃度 %	臭気セン サー値	
整備後	H30	別海北部	H	牛舎生ふん尿	-	12.0	1,058	
				流入口スラリー	-	7.3	1,219	
				調整槽スラリー	34.8	3.8	396	
				配水調整槽スラリー	-	2.5	260	
			C	牛舎生ふん尿	-	11.6	800	
				流入口スラリー	-	3.9	459	
				調整槽スラリー	36.5	4.0	393	
				配水調整槽スラリー	-	1.9	368	
			I	牛舎生ふん尿	-	13.4	878	
				流入口スラリー	-	7.0	1,137	
				調整槽スラリー	27.0	5.7	976	
				配水調整槽スラリー	-	3.3	343	
		J	牛舎生ふん尿	-	12.6	790		
			流入口スラリー	-	5.4	1,650		
			調整槽スラリー	17.1	4.6	1,267		
			配水調整槽スラリー	-	1.2	407		
		H31	別海北部	C	牛舎生ふん尿	-	11.0	961
					流入口スラリー	-	7.0	1,282
					調整槽スラリー	30.7	3.8	325
					配水調整槽スラリー	-	4.0	358
			根室	K	牛舎生ふん尿	-	11.0	1,461
					流入口スラリー	-	8.0	1,789
					調整槽スラリー	30.4	4.6	504
					配水調整槽スラリー	-	5.1	466
	R2	別海北部	C	牛舎生ふん尿	24.1	9.5	1,660	
				流入口スラリー	23.1	5.4	1,650	
				調整槽スラリー	38.6	5.9	1,050	
				配水調整槽スラリー	22.5	2.4	930	
		根室	G	牛舎生ふん尿	19.7	10.2	1,150	
				流入口スラリー	21.9	6.1	1,950	
				調整槽スラリー	32.5	5.1	1,000	
				配水調整槽スラリー	22.8	1.2	670	

*：H30、H31年度調査は調整槽のみ液温の測定を行っている。

■：スラリー液温が30℃以上（腐熟指標）であることを示す。

1) 希釈による臭気軽減効果の検証

a) 流入口

流入口は、本施設の中で加水調整が行われる箇所である。ここでは流入口スラリーと生ふん尿を比較することで、希釈による臭気軽減効果の検証を行った。

表-13は、施設整備後の生ふん尿と流入口スラリーのTS濃度と臭気測定結果を示している。なお、TS濃度はふん尿やスラリー等に含まれる固形物の割合を表し、数値が高いほど固形物が多く含まれていることを示す。流入口スラリーのTS濃度は3.9～8.0%であり、生ふん尿の9.5～13.4%に比べ低いことから希釈が行われているのが明確である。なお、生ふん尿に対する希釈倍率は、1.4～3.0であった。

表-13 整備後の生ふん尿と流入口スラリーのTSと臭気相対値

年度	牧場	TS濃度 %		希釈倍率 ^{*1}		臭気センサー値		臭気相対値 ^{*2}
		牛舎生 ふん尿	流入口 スラリー	流入口 スラリー	牛舎生 ふん尿	流入口 スラリー	流入口 スラリー	
H30	H牧場	12.0	7.3	1.6	1,058	1,219	115	
	C牧場	11.6	3.9	3.0	800	459	57	
	I牧場	13.4	7.0	1.9	878	1,137	129	
	J牧場	12.6	5.4	2.3	790	1,650	209	
H31	C牧場	11.0	7.0	1.6	961	1,282	133	
	K牧場	11.0	8.0	1.4	1,461	1,789	122	
R2	C牧場	9.5	5.4	1.8	1,660	1,650	99	
	G牧場	10.2	6.1	1.7	1,150	1,950	170	

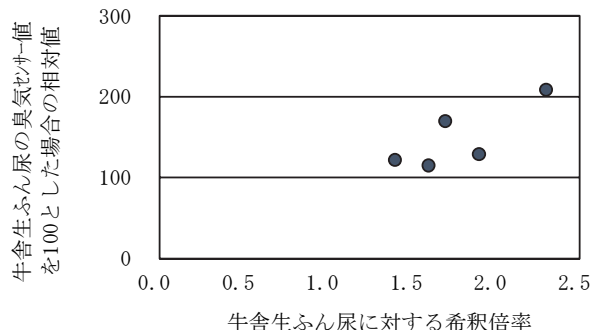
*1：牛舎生ふん尿に対する希釈倍率を示す。

*2：牛舎生ふん尿の臭気センサー値を100とした場合の相対値を示す。

一方、臭気相対値（生ふん尿のセンサー値を100とした場合のそれぞれの相対値）を見ると、流入口スラリーは57～209であり、臭気が増加している牧場が多いことが分かる。なおC牧場は、流入口と調整槽が一体となっており、調整槽スラリーが逆流し流入口へ入っている様子が見られたことから、臭気が低減した調整槽スラリーの影響で、流入口スラリーの臭気が低下したものと推測される。そこで、C牧場を除いた5牧場の生ふん尿に対する流入口スラリーの希釈倍率とセンサー値の相対値を見ると（図-7）、希釈倍率が上がるほど臭気が増加する傾向にあることが分かる。

以上より、流入口において希釈による臭気

軽減効果は、ないものと判断した。なお、流入口で臭気が増加する要因として、希釈によりスラリーの流動性が高まることで、臭気の主要因である硫化水素が放出しやすくなっていることが考えられる。



図一七 流入口スラリーの希釈倍率と臭気相対値

b) 配水調整槽

配水調整槽も、貯留されたスラリーが雨水等で希釈されていると考えられる。このことから、調整槽スラリーと配水調整槽スラリーのTS濃度と臭気相対値を比較した（表一14）。

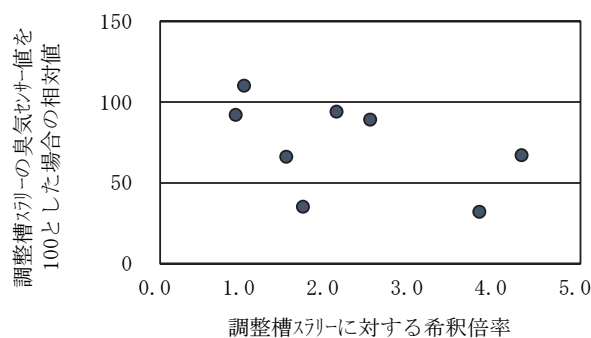
表一14 整備後の調整槽、配水調整槽スラリーのTSと臭気

年度	牧場	TS濃度 %			臭気センサー値		臭気相対値*
		調整槽スラリー	配水調整槽スラリー	配水調整槽スラリー	調整槽スラリー	配水調整槽スラリー	
H30	H牧場	3.8	2.5	1.5	396	260	66
	C牧場	4.0	1.9	2.1	393	368	94
	I牧場	5.7	3.3	1.7	976	343	35
	J牧場	4.6	1.2	3.8	1,267	407	32
H31	C牧場	3.8	4.0	1.0	325	358	110
	K牧場	4.6	5.1	0.9	504	466	92
R2	C牧場	5.9	2.4	2.5	1,050	930	89
	G牧場	5.1	1.2	4.3	1,000	670	67

*1: 調整槽スラリーに対する希釈倍率を示す。

*2: 調整槽スラリーの臭気センサー値を100とした場合の相対値を示す。

配水調整槽スラリーのTS濃度は、1.2~5.1%であり、調整槽スラリーの3.8~5.9%と比べ低く、希釈倍率は0.9~4.3であった。一方、臭気相対値（「調整槽スラリー」のセンサー値を100とした場合の相対値）は、32~110であり、臭気が減少傾向にあるように見える。しかし、調整槽スラリーに対する配水調整槽スラリーの希釈倍率と臭気相対値を散布図に示すと（図一8）、関係性は不明瞭であった。



図一八 配水調整槽スラリーの希釈倍率と臭気相対値

以上より、配水調整槽での希釈については臭気低減効果があるかは不明瞭であり、配水調整槽で臭気が低減した場合、原因は別にあると推測される。例えば、調整槽スラリーの臭気に季節変動があり、調査以前の調整槽スラリーの臭気が低かったことで、配水調整槽のスラリーの臭気が低減していたことなどが考えられる。

2) 曝気攪拌（調整槽）による臭気軽減効果の検証

調整槽は、曝気攪拌処理を行うことで調整し、腐熟化させる箇所であり、スラリーの腐熟に伴い液温が上昇する。本地域ではこれまでの調査結果から、液温30℃以上を腐熟指標として示している。また、一般的に腐熟したスラリーの臭気は減少すると言われている。そこで、調整槽スラリーの液温と臭気測定結果より、臭気の軽減効果を検証した（表一15）。

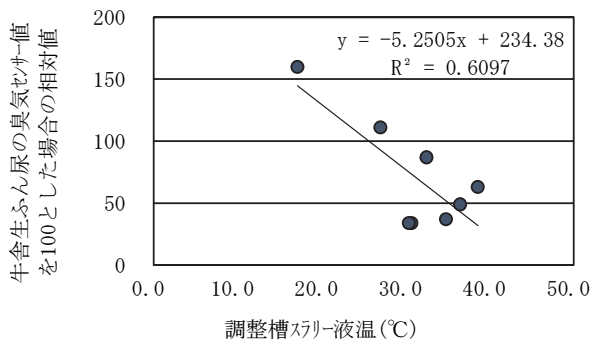
施設整備後の調整槽スラリーは、17.1~38.6℃であり、腐熟指標（液温30℃以上）を満たしていたのが6検体、満たしていないのが2検体であった。一方、臭気相対値（生ふん尿のセンサー値を100とした場合の相対値）は、34~160であり、臭気が大きく減少した牧場と、増加した牧場に分かれた。この内、臭気が減少した牧場は、腐熟指標を満たしていることから、スラリー腐熟化における臭気の軽減効果と判断できる。

次に、調整槽スラリーの液温と臭気相対値を散布図に示すと（図一9）、液温と臭気相対値には負の相関関係があり、液温が上昇するほど、臭気が軽減することが明らかとなった。

表一15 整備後の生ふん尿と調整槽スラリーの液温と臭気

年度	牧場	スラリー液温 ℃	臭気センサー値		臭気相対値 ^{*1}
		調整槽スラリー	牛舎生ふん尿	調整槽スラリー	
H30	H牧場	34.8	1,058	396	37
	C牧場	36.5	800	393	49
	I牧場	27.0	878	976	111
	J牧場	17.1	790	1,267	160
H31	C牧場	30.7	961	325	34
	K牧場	30.4	1,461	504	34
R2	C牧場	38.6	1,660	1,050	63
	G牧場	32.5	1,150	1,000	87

*1: 牛舎生ふん尿の臭気センサー値を100とした場合の相対値を示す。
 ■: スラリー液温が30℃以上（腐熟指標）であることを示す。



図一9 調整槽スラリー液温と臭気相対値

以上のことから、「適切な曝気（スラリー腐熟）」による臭気軽減効果があると言えた。

前述した通り、乳牛ふん尿、スラリーから発生する臭気は主に硫化水素であることが分かった。つまり調整槽で臭気が軽減する要因として、硫化水素が減少していることが挙げられる。一般的に硫化水素は、硫酸塩還元菌によってふん尿や汚泥に含まれる硫酸塩（ SO_4^{2-} ）からの硫化物（ H_2S 、 HS^- 、 S^{2-} ）の生成によるものである。この液中にある硫化物が調整槽での曝気・攪拌によって気中に放散されることで、液中の硫化水素が減少するものと推測される。そのため、曝気・攪拌時には施設内という発生源の局所的に高濃度の硫化水素が発生するものの、スラリー散布という広範囲に及ぶ作業時にはスラリーの臭気が軽減されているものと考えられる。このことから、地域環境の面で、施設整備による臭気軽減効果は高いと言える。

3) 施設整備前後の臭気軽減効果の検証

ここでは、施設整備前後の臭気軽減効果の検証を行った。なお、検証に当たり、施設整備後では、適切な曝気によって試料採取時に調整槽スラリーが腐熟していたH30年度調査のH牧場とC牧場、H31年度調査のC牧場とK牧場、R2年度調査のC牧場とG牧場の結果を用い、施設整備前の6牧場と比較した（表一16）。

その結果、施設整備前では、生ふん尿から貯留槽までの貯留過程で、臭気相対値（生ふん尿のセンサー値を100とした場合の相対値）が100から241となり、約2.5倍に増加することが分かった。

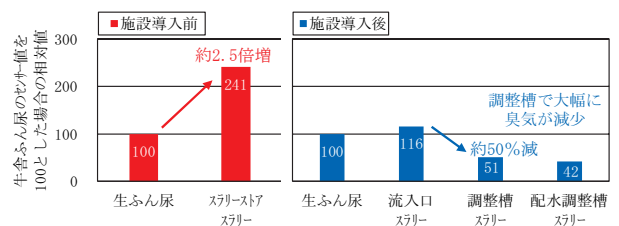
一方、適切な管理が行われていた施設整備後の施設では、生ふん尿から流入口の過程で、臭気相対値が100から116へと増加するが、調整槽で51と減少し、配水調整槽では42となり、生ふん尿と比べ調整槽スラリーでは50%、配水調整槽スラリーでは約60%の臭気が軽減されたと評価できる。

以上の検証より、施設整備による臭気軽減効果が確認された。本結果については、図一10のように、整理した。

表一16 施設整備前後の臭気相対値^{*1}

状況	年度	牧場	臭気センサー値				臭気相対値 ^{*1}			
			牛舎生ふん尿	流入口スラリー	調整槽スラリー	配水調整槽スラリー	牛舎生ふん尿	流入口スラリー	調整槽スラリー	配水調整槽スラリー
施設整備前	H30	L牧場	373	—	—	758	100	—	—	203
		M牧場	617	—	—	1,765	100	—	—	286
	H31	N牧場	621	—	—	1,052	100	—	—	169
		O牧場	390	—	—	1,491	100	—	—	382
	R2	P牧場	780	—	—	1,700	100	—	—	218
		Q牧場	630	—	—	1,180	100	—	—	187
		平均	569	—	—	1,324	100	—	241	
施設整備後	H30	H牧場	1,058	1,219	396	260	100	115	37	25
		C牧場	800	459	393	368	100	57	49	46
	H31	C牧場	961	1,282	325	358	100	133	34	37
		K牧場	1,461	1,789	504	466	100	122	34	32
	R2	C牧場	1,660	1,650	1,050	930	100	99	63	56
		G牧場	1,150	1,950	1,000	670	100	170	87	58
		平均	1,182	1,392	611	509	100	116	51	42

*1: 牛舎生ふん尿の臭気センサー値を100とした場合の、相対値を示す。



図一10 施設整備による臭気軽減効果

5. まとめと今後の課題

肥培かんがい施設整備による臭気軽減効果について、臭気センサーを用いることで簡易的に臭気を測定し、臭気指数へ変換が可能で、この臭気指数を用いることで定量的に評価することができた。

また、今回の調査では肥培かんがい施設のスラリーにおいて、硫化水素が主な臭気の要因と推定され、この物質を減らすことが臭気の軽減に繋がることが分かった。ただし、この結果は検知管での測定によるものであり、より詳細な検討ではガスクロマト分析などによる結果を加えることが望ましい。さらに本施設の調整槽で適切に曝気・攪拌を行うことで、臭気が減少することが示された。調整槽という局所では硫化水素が放散されるものの、スラリー散布という広範囲に及ぶ作業時においては臭気が軽減されている。このことから、地域環境の面での施設導入による臭気軽減効果は高いと言える。

今後も臭気軽減のみならず、肥培かんがい施設の様々な効果検証を継続し、受益者に対して施設の有効性と、適切な運転管理の啓発を図りたい。

最後に、本報をまとめるにあたり、多大なご協力を頂いた北海道開発局 釧路開発建設部 根室農業事務所並びに関係各位に厚くお礼申し上げます。

(株)ズコーシャ 技術部 次長)

参考文献

- 1) 環境省環境管理局：臭気指数規制ガイドライン (2001)
- 2) 山本朱美ほか：日本畜産学会報 79(2)P. 235-238 (2008)

国営緊急農地再編整備事業「ニセコ地区」の 事業効果発現状況

岡本 久志

1. はじめに

国営緊急農地再編整備事業「ニセコ地区」（平成26年度着手～令和5年度完了）は、北海道後志総合振興局管内虻田郡ニセコ町に位置（図－1）する水稲畑作・畑野菜・酪農地帯で、区画整理により生産性の高い基盤形成を通じて、地域農業振興と耕作放棄地の解消・発生防止を図る目的で実施されている。

本稿では、本事業による区画整理の整備前後における営農作業時間及び収量等の比較、作付作物の作付動向等の地域農業の変化、事業効果の発現状況について把握・整理した。



図－1 ニセコ地区位置図

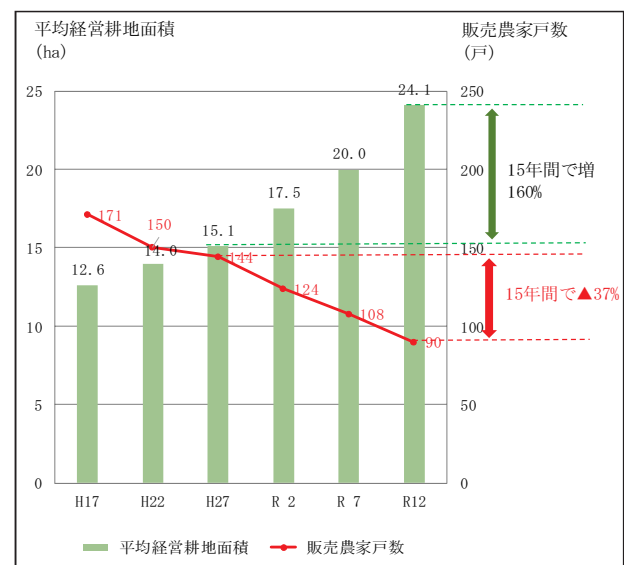
2. ニセコ町の営農状況の動向

ニセコ町では、過去10年間（H17～H27）に販売農家戸数が16%減少しているものの、担い手農家の規模拡大によって地域の農地保全と農業生産の維持が図られている。販売農家1戸当たりの平均経営耕地面積はこの10年間（H17～H27）に12.6haから15.1haへ約1.2倍に拡大（図－2）した。

しかし、地域農業の将来動向を予測した結果では、H27を基準とした15年後（R12）の販売農家戸数は、農業従事者の高齢化等により144戸から37%減の90

戸に減少する一方、平均経営耕地面積は15.1haから24.1haに拡大すると予測されている¹⁾。

このため、経営規模の拡大に伴う労働力不足の対策として農地の利用集積と生産基盤の整備による営農の効率化が推進されている。



図－2 ニセコ町の販売農家戸数及び平均経営耕地面積の予測（北海道立総合研究機構農業研究本部）

3. ニセコ地区の概要

(1) ニセコ地区の概要

ニセコ地区は、小区画で不整形ほ場が多く、土壌の排水性が悪いことや石礫の混入などにより、生産性・収益性が低い状況にあり、将来において耕作放棄地が増加する恐れがある。

このため、緊急的に耕作放棄地を含めた農地の土地利用再編を図り、さらに、担い手への農地の利用集積を進めることにより、生産性の向上と耕作放棄地の解消・発生防止による優良農地の保全を図ることを目的としている。

(2) 整備前後における水田の平均ほ場区画

農地の利用集積に対応するためには、整備前の小区画ほ場での生産体系から、暗渠排水、客土、除礫、整地工等とあわせた大区画化ほ場の整備による生産体系の改善が不可欠である。

このため、地区ではほ場区画の拡大を進めており（写真－1）、主な団地の平均区画面積は整備前が0.07ha～0.22haと狭小で、整備後は0.56ha～1.15haに拡大（表－1）している。

表－1 主な団地の整備前後の平均ほ場区画

団地名	ほ場数（枚）		平均区画面積（ha）	
	整備前	整備後	整備前	整備後
139-81	21	4	0.22	1.15
149-81	33	5	0.14	0.94
176-72	20	5	0.14	0.56
169-72	14	1	0.07	0.97

(176-72団地)
(従前のほ場区画)



(整備後のほ場区画)



(169-72団地)
(従前のほ場区画)



(整備後のほ場区画)



(139-81団地)
(従前のほ場区画)



(整備後のほ場区画)



写真－1 主な団地のほ場再編整備事例

(149-81団地)
(従前のほ場区画)



(整備後のほ場区画)



(3) 整備前後における水稲の作業時間節減状況

事業実施による水稲のほ場内作業効率化については、営農者の営農方針や販売戦略、ほ場条件、機械装備等の相違により、調査ほ場毎にほ場内作業速度等に遅早が生じ、作業時間に差異が見られた。

このため、整備前後における農作業時間の計測は、同一営農者2戸（写真－1、139-81団地、169-72団地）の調査結果を採用した。調査にあたっては営農作業時に立会し、調査ほ場の作業開始から、作業終了までの時間をGPSロガーで記録するとともにビデオカメラ等を使用して、作業時間の計測や作業内容を確認した。なお、各営農者の作業機械は整備前後も同一であった。

計測したGPSデータは、全体作業時間を「作業準備・中断、ほ場間移動、ほ場内作業時間」に大別し、さらにはほ場内作業時間を「①移動・旋回、②長

辺方向・短辺方向・角地作業、③補給・排出作業」に区分して、作業回数、作業距離、作業時間、作業速度等を確認した後、ha当たり作業時間に換算した。

水稲のは場内作業は、ア) 砕土整地、イ) 代掻均平、ウ) 移植、エ) 収穫の4作業について、整備前ほ場、整備後ほ場の調査結果をha当りに換算して対比した。

この結果、ア) 砕土整地の節減時間は1.21hr/haで節減率は32%、イ) 代掻均平は4.87hr/haで58%、ウ) 移植は1.40hr/haで28%、エ) 収穫は2.64hr/haで39% (表-2、図-3~6) と大区画化による事業効果の発現があった。

表-2 整備前後における水稲作業時間の節減状況

作物名	営農作業	作業機	ha当たり作業時間 (hr/ha)		節減時間 (hr)	節減率 (%)
			整備前	整備後		
水 稲	砕土整地	ロータリー	3.74	2.53	1.21	32.4
	代掻均平	代掻均平機	8.44	3.57	4.87	57.7
	移 植	田植機	4.95	3.55	1.40	28.3
	取 穫	収穫機	6.86	4.22	2.64	38.5

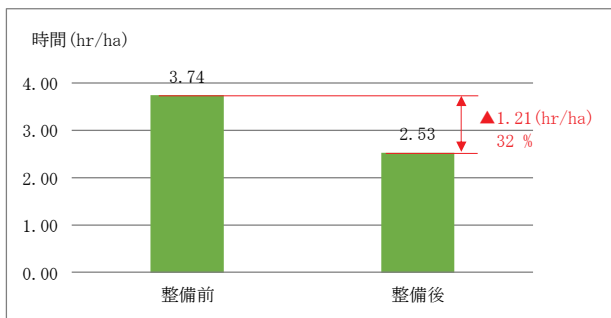


図-3 砕土整地における作業時間の節減

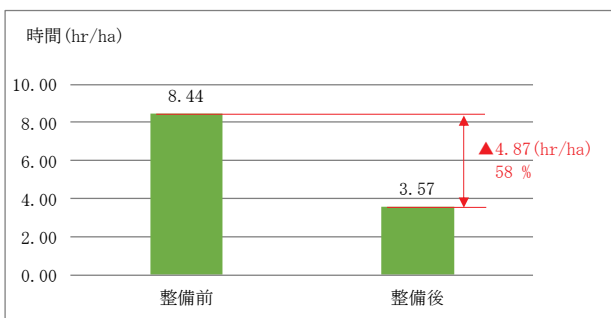


図-4 代掻均平における作業時間の節減

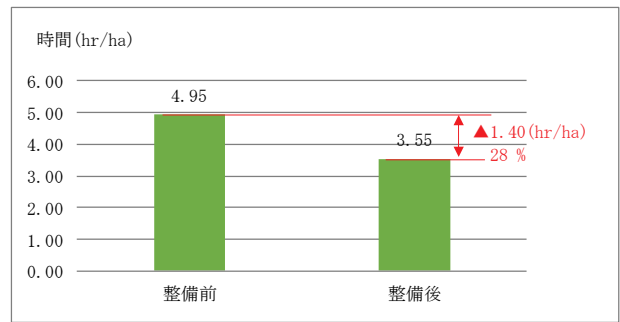


図-5 移植における作業時間の節減

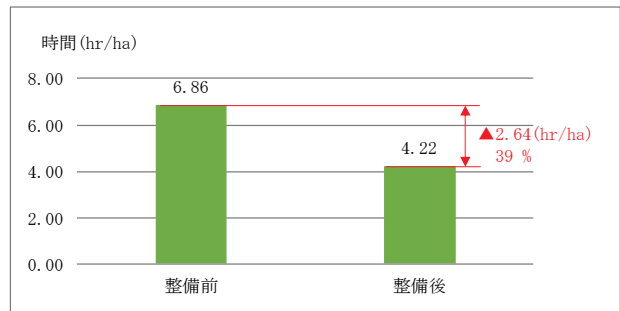


図-6 収穫における作業時間の節減

(4) 整備前後における水稲単収の変化

水稲単収は、営農者の営農方針やほ場条件、年々の気象条件 (気温、降水量、日照時間) 等により、差異が見られる。このため、調査にあたっては整備前後の同一営農者 (2戸) のほ場において収量調査を行い、水稲単収を対比した。

この結果、整備後4資料 (令和元年~令和2年) の平均単収は705kg/10aと整備前5資料 (平成28年~令和元年) の平均単収548kg/10aに比べ157kg/10a増収し、増収率は29%であった (表-3)。

表-3 整備前後における水稲単収の変化

作物名	10a当たり単収 (kg/10a)		増収量 (kg/10a)	増収率 (%)
	整備前	整備後		
水 稲	548	705	157	28.6

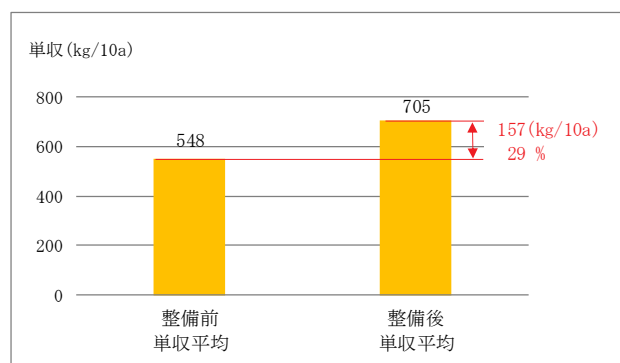


図-7 整備前後における水稲単収の変化

4. 受益者の作付作物の動向

ニセコ地区受益者の作付作物について、現在（令和2年）と事業着手時点（平成26年）を対比すると、生産基盤の整備、農地の流動化（農地集積）、高性能機械の導入等により、高収益作物の作付面積は951haから、1,012haに増加し、増加率は106%であった²⁾。（表-4、図-8）

また、受益者の延べ作付面積も1,242haから1,322haと80ha増加しており、これに本事業の工事期間中に休耕面積があることを加味すると、地区外の農地利用を含めて、経営規模を拡大していると推測される。

特に、作付面積の増加が著しいのは、果菜類のブロッコリー(382%)、根菜類のにんじん(43%)、豆類の黒大豆(16%)であり（図-9～11）、にんじん、黒大豆は作業の機械化が図られている。

表-4 受益者の作付動向（ニセコ町調べ）

区分	平成26年 受益地内 作付面積 ① (ha)	令和2年 受益地内 作付面積 ② (ha)	増減率 令和2年/ 平成26年 ②/①	
田				
水稲	339	349	+ 3%	
高収益作物	小豆	98	65	- 34%
	ばれいしょ	262	209	- 20%
	にんじん	21	30	+ 43%
	スイートコーン	63	46	- 27%
	かぼちゃ	31	33	+ 6%
	メロン	13	9	- 31%
	ブロッコリー	17	82	+382%
	アスパラガス	10	10	-
	(ミニ)トマト	4	3	- 25%
	キャベツ	1	1	-
	だいこん	7	3	- 57%
	たまねぎ	1	1	-
	いんげん・枝豆	3	3	-
	その他作物	83	98	+ 18%
①	花卉類	7	7	-
	牧草	176	225	+ 28%
	青刈りとうもろこし	58	76	+ 31%
	黒大豆	96	111	+ 16%
計	951	1,012	+ 6%	
割合	76.6	76.6	-	
交付金作物	小麦	109	109	-
	そば	17	1	- 94%
	大豆	149	182	+ 22%
	てんさい	16	18	+ 13%
	計	291	310	+ 7%
②	23.4	23.4	-	
畑作物計①+②	1,242	1,322	-	

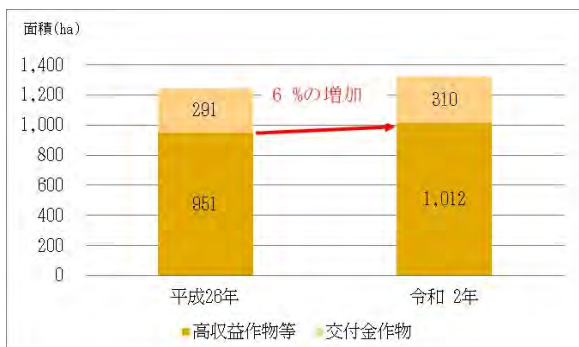


図-8 高収益作物の作付動向

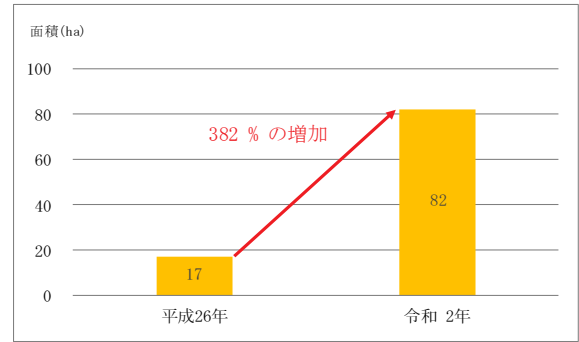


図-9 ブロッコリーの作付動向

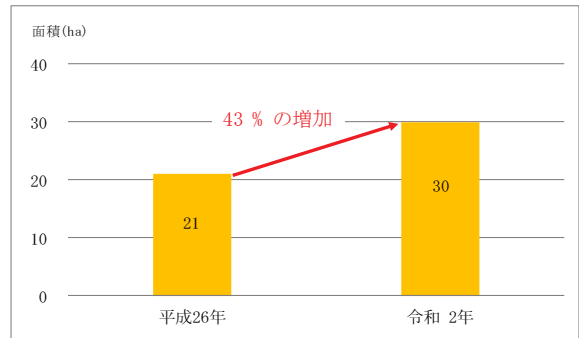


図-10 にんじんの作付動向

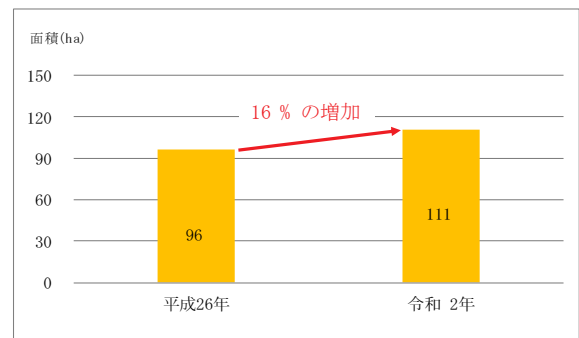


図-11 黒大豆の作付動向

5. 大型農業機械による生産体系への転換

担い手農家を中心として、農地の流動化・利用集積が更に増加し、整備前の中小型農業機械の生産体系から、経営規模拡大（大規模化）に対応した大型農業機械の導入による生産体系への転換（写真-2）が進んでいる。

水稲の収穫作業では、整備前の自脱型コンバイン（刈幅1.65m）に対し、整備後は汎用型コンバイン（刈幅2.6m）の導入によって、作業時間は19%節減された。

ばれいしょの収穫作業では、整備前のポテトディガーとポテトピッカーを利用した収穫に対し、整備

後はポテトハーベスター（オフセット型）が導入され、作業時間は40%節減された(表-5)。

今後も省力化を推進するため、大型農業機械の導入は更に進むものと考えられる。

表-5 農業機械の規格による作業時間節減率
(北海道農政部³⁾・I社カタログ値⁴⁾)

作物名	作業名	区分	機 械 名	規 格	ほ場作業能率 hr/ha	作業時間 節 減 率 1-(②/①)(%)
水 稻	収 穫	①	自脱型コンバイン	5条刈(刈幅1.65m)	3.62	19
		②	汎用型コンバイン	刈幅2.6m	2.92	
小 麦	収 穫	①	自脱型コンバイン	4条刈(刈幅1.32m)	4.50	53
		②	汎用型コンバイン	刈幅3.6m	2.11	
ばれい しよ	収 穫	①	ポテトディガー	2条	2.10	40
			ポテトピッカー	2条	14.17	
		②	ポテトハーベスター	オフセット型	9.80	



(水稻収穫作業機-整備前・自脱型コンバイン→整備後・汎用型コンバイン)



(小麦収穫作業機-整備前・自脱型コンバイン→整備後・汎用型コンバイン)



(ばれいしよ収穫作業機-整備前・ポテトディガー+ポテトピッカー→整備後・ポテトハーベスター)

写真-2 大型農業機械による生産体系への転換

6. まとめ

(1) 営農作業時間の節減

ほ場条件の改善（大区画化、整形化、暗渠排水、除礫、客土、整地工等）による、作業機械の作業速度の向上や旋回回数の減少等により、水稻の主要4作業ア）碎土整地、イ）代掻均平、ウ）移植、エ）収穫）において、ha当たり作業時間が28%～58%の節減を達成した。

(2) 水稻単収の増収

平均単収は、整備後705kg/10a、整備前548kg/10aと157kg/10aの増収で、増収率29%であった。なお、整備の短期的な調査結果であることや天候の影響によって豊凶差があるため、引き続き検証が必要である。

(3) 大型農業機械による省力化

担い手農家を中心として、経営面積の拡大に伴って、大型農業機械への更新や新規導入による生産体系へ変化し農作業の省力化が進んでいる。

水稻では、汎用型コンバイン（刈幅2.6m）の利用によって、整備前より19%の作業時間の節減、ばれいしょではポテトハーベスターの利用によって、整備前の収穫体系と比較して40%の作業時間の節減が達成された。

7. おわりに

本稿における事業効果の検証結果は、事業実施前と事業実施中である現時点の営農作業時間及び収量等の検証を行ったものであり、事業効果として営農作業時間の節減及び作物生産量の増加などの事業効果発現が確認された。また、担い手農家においては経営面積の大規模化に対応した大型農業機械への転換・導入が進んでいることが確認された。

現在までに事業実施に伴って余剰労働時間を活用した高収益作物の作付拡大や経営規模の拡大は、今後も更に進行するものと推測される。

このため、事業実施による余剰労働力の活用によ

る高収益性作物の拡大や農業生産性向上等に伴って発現する波及的な効果については、今後とも効果検証が必要である。

8. 謝辞

本調査を行うにあたって、資料等の提供をいただいたニセコ町役場、ようてい農業協同組合ニセコ支所の関係者及び現地調査に協力いただいた調査農家の皆様に対して、紙面を借りて深く感謝申し上げます。

（㈱地域計画センター 常務取締役）

参考文献

- 1) 農林業センサスを用いた北海道農業・農村の動向予測（平成30年、北海道立総合研究機構農業研究本部）
- 2) ニセコ町調べ
- 3) 北海道農業生産技術体系第5版（平成31年、北海道農政部編集）
- 4) ポテトピッカーの作業能率はI社カタログより

雄武丘陵地区における現地発生材による 暗渠排水疎水材活用の提案

大野 充雅

1. はじめに

国営緊急農地再編整備事業雄武丘陵地区では、地区内における農地の30%が泥炭土及びグライ台地土・灰色台地土等の排水不良土壌であることから暗渠排水の整備が必要とされている。

これまで本地区では、暗渠排水の疎水材としてホタテ貝殻が採用されてきた。しかし近年では、町内でのホタテ水揚げ量が減少していることから、今後ホタテ貝殻のストック量が不足することが懸念されていた。

本稿では、ホタテ貝殻の賦存量調査を行うとともに、ホタテ貝殻以外の現地発生材による疎水材活用について提案を行った事例について紹介する。

2. 地区の概要

本地区は、北海道北東部に位置するオホーツク沿岸の農業地帯である（図-1）。本地区では、これまで離農農家の農地を継承しつつ規模拡大を進めてきたが農家戸数の減少とともに労働力不足が進行している。このため、雄武町では農作業請負組織（コントラクター）による農作業の外部委託化、機械の大型化を図ることで効率的な営農体制を確立する取り組みが進められている。

本地区の農地は、近年の大型機械化作業に対応するには区画が小さく、土壌条件により排水不良が生じており、効率的な農作業ができない状況にある。また、一部農地では耕作放棄地が発生しており、今後も増加するおそれがある。

このため、本地区では、耕作放棄地を含めた農地の土地利用を計画的に再編し、担い手への農地利用集積を進めることで「生産性の向上」と耕作放棄地の解消及び発生防止による「優良農地の確保」を図り、農業の振興と地域の活性化に資することを目的として事業を行うものである。

[農用地整備計画概要]

- ・区画整理（整地工） A=3,663ha
標準区画 30ha（588m×510m）
- ・表土扱い A=2,247ha
- ・暗渠排水 A=1,081ha
- ・除礫工 A=140ha



図-1 事業地区位置図

3. 調査概要

(1) 調査の目的

本調査は、雄武町内の雄武水産加工業協同組合が所管するホタテ貝殻（有価物）堆積場（幌内堆積場、沢木堆積場）において、過年度のホタテ貝殻の搬入量の把握及び現段階でのホタテ貝殻の賦存量調査を行い、今後、事業により施工を行う暗渠排水の疎水材使用量を把握することを目的とする。

(2) 調査位置

本調査の対象である幌内堆積場は、幌内漁港に近接しており、雄武市街地から10km北上した国道238号線より海岸側に位置している。沢木堆積場は沢木漁港に近接しており、雄武町市街地から11km南下した国道238号線より山側に位置している（図-2）。

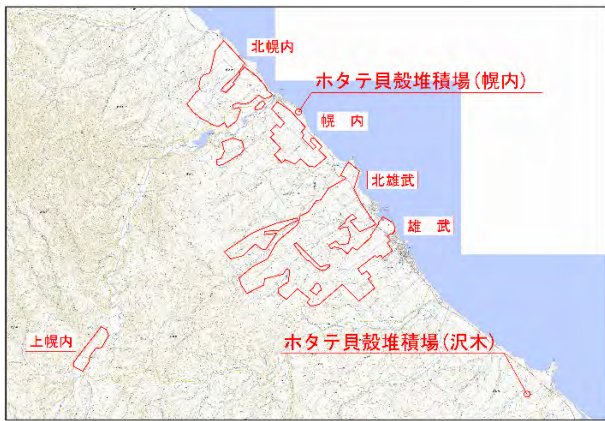


図-2 調査位置図

(3) 堆積場の概要

幌内堆積場は、北側と南側にそれぞれ分けられており、堆積上限高は10m、堆積量上限値は北側45,000 m³、南側16,000 m³、合計61,000m³となっている。

沢木堆積場の堆積上限高は5m、堆積上限量は10,000m³となっている。

幌内堆積場の堆積状況は、海岸線に沿って段丘状となっている地形に沿って堆積されている。沢木堆積場の堆積状況は、地形が平坦であるため点在して堆積している(写真-1、2、3、4)。



写真-1 幌内堆積場 (GoogleEarthより)



写真-2 幌内堆積場 (南側堆積場)



写真-3 幌内堆積場 (北側堆積場)



写真-4 沢木堆積場 (GoogleEarthより)

4. 作業実施手順

本調査では、作業を行うに当たり図-3の作業手順により作業の実施を行った。

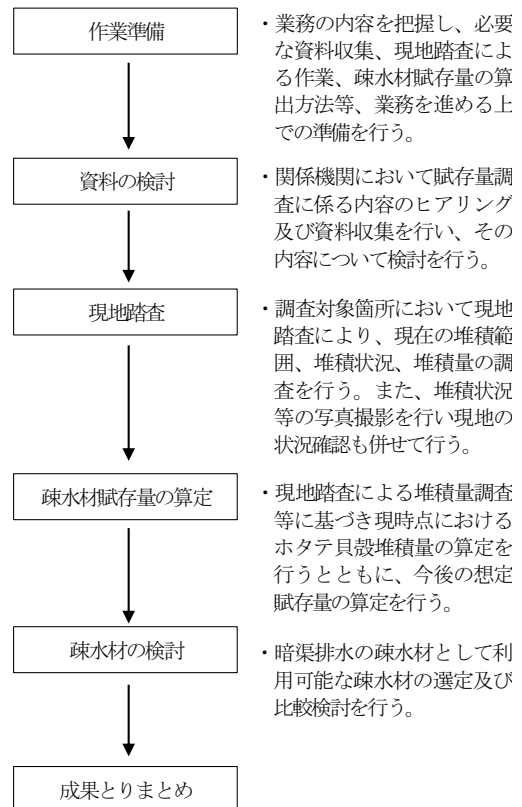


図-3 作業実施フロー

5. 作業準備（実施計画）

作業準備では、賦存量調査を行う上で必要な項目として、(1)過去の貝殻搬入量の資料収集、(2)現段階における堆積量調査、(3)堆積内部の使用可能量調査について実施計画の策定を行った。

(1) 過去の貝殻搬入量等の資料収集・検討

ホタテ貝殻は有価物であり、毎年ホタテ貝殻を組合員より雄武水産加工業協同組合が購入し堆積場に搬入している。過去の貝殻搬入量の資料収集については、雄武水産加工業協同組合に堆積場への搬入時期、貝殻搬入量の資料等についてヒアリングを行う。

また、資料の検討として前述の資料の整理を行うのと併せて、毎年の貝殻搬入量の変動がある場合は、その要因について確認し整理を行う。

(2) 現段階における堆積量調査

幌内及び沢木堆積場では、UAV（動画）により現在の地形の確認を行い、測量器具（巻尺、箱尺等）により堆積物の計測を行う。（貝殻堆積場は白色が主でありテクスチャ（外観）に乏しいことから、堆積量の計測はUAVによる3次元計測を行わず現地計測を行うこととした。）

(3) 堆積内部の使用可能量調査（堆積下層状況調査）

幌内及び沢木堆積場では、供用開始年度が不明であることから、国土地理院「地図・空中写真閲覧サービス」により現況地形の確認を行い、GoogleEarthの過去のイメージを用いて長期にわたり堆積されている箇所を選定を行い、堆積内部の状況確認を行う。

以下に堆積内部の状況確認を行う位置の選定方法について示す。

1) 幌内堆積場の堆積前状況

幌内堆積場では、1978年（昭和53年）の航空写真をみると貝殻堆積前であり、周辺の施設整備もまだ行われていない状況である。

また、海岸段丘が連なっており段丘崖が連続して形成されている。段丘面から海岸線に下る道路も現在の位置とは異なっている（写真－5）。

写真－5に現在の堆積位置（丸印）のプロットを行った。



写真－5 幌内堆積場
(1978/11/3撮影（国土地理院HPより）)

2) 幌内堆積場の堆積状況

幌内堆積場は、2014年から2018年にかけて堆積量の変動がある。（写真－6、7）

写真－8に2014年の堆積物（点線）と2018年の画像を重ね合わせた画像を示す。

南側・北側堆積場の堆積量は、2014年の画像と比較して2018年にかけて南側の堆積量は増加しているが北側は一部増加箇所はあるものの概ね減少している。



写真－6 幌内堆積場
(2014/07/30の画像（GoogleEarthより）)



写真－7 幌内堆積場
(2018/09/12の画像（GoogleEarthより）)



写真-8 幌内堆積場(2014/07/30の集積堆積物(点線)と2018/09/12画像の重ね合わせ(GoogleEarthより))

幌内堆積場の賦存量は、海岸段丘崖を目安として地形測量によりある程度の判断は可能であると考えられる。

試掘予定箇所については、堆積量が減少している北側堆積場の中で堆積物が集積されており、かつ堆積量の変化が少ない位置にて実施を行う(写真-9)。



写真-9 幌内堆積場(2019/07/18の画像(北側堆積場))

3) 沢木堆積場の堆積前状況

沢木堆積場では、1978年(昭和53年)の航空写真をみると貝殻堆積前であり、現堆積場の土地造成もまだ行われていない状況である。航空写真に現在の堆積位置(丸印)のプロットを行った(写真-10)。

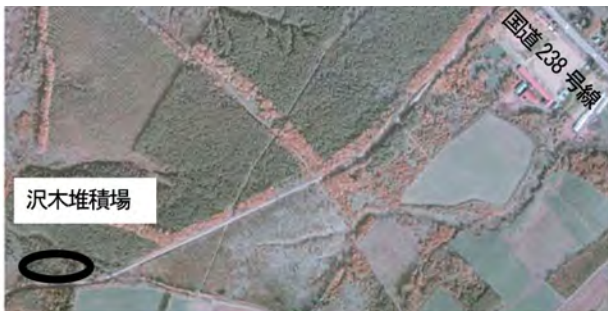


写真-10 沢木堆積場(1978/11/3撮影(国土地理院HPより))

4) 沢木堆積場の堆積状況

沢木堆積場では、2014年から2018年にかけて堆積している貝殻が徐々に減少傾向にあると考えられる(写真-11、12)。



写真-11 沢木堆積場(2014/07/30の画像(GoogleEarthより))



写真-12 沢木堆積場(2018/09/12の画像(GoogleEarthより))

沢木堆積場の賦存量は、周辺の地形から考えても平坦な地形であることから地形測量によりある程度の判断は可能であると考えられる(写真-13)。

現在堆積している箇所は2014年時点での堆積状況が不明確であることから試掘は行わないこととした。

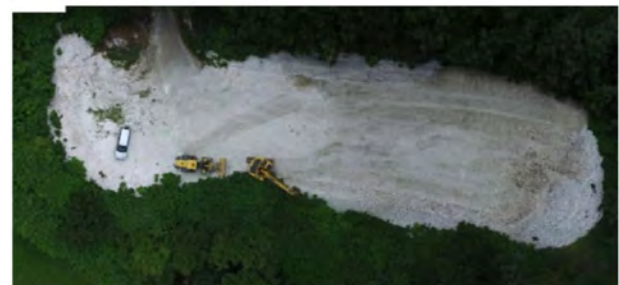


写真-13 沢木堆積場(2019/07/18の画像)

6. 資料の検討

(1) 過去の貝殻搬入量等の資料収集

本地区では、暗渠排水の疎水材に雄武水産加工業協同組合により販売しているホタテ貝殻を採用している。このため、本調査では、雄武水産加工業協同組合に堆積場への搬入時期、過去の年間搬入量（組合員からのホタテ貝殻（原貝）の購入量）についてヒアリングを行った。ヒアリングの結果、堆積場への搬入時期については主に5月から10月末くらいまでの間に搬入を行っているとのことであった。また、年間搬入量については平成24年度から平成30年度までの各年・各月ごとの原貝搬入量に基づき整理を行った（表－1）。

表－1 ホタテ貝殻（原貝）搬入量（平成24～30年度）

年度	管内・管外	地区	原貝量(t)												小計	合計
			4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	2月	3月			
H24	管内	幌内	829	311	2068	2178	2049	1470	1063	1149	436	0	483	12036	13358	
		沢木	25	9	279	290	320	131	108	91	52	0	18	1322		
	管外	130	260	767	770	901	391	0	0	0	0	0	0	3220		
H25	管内	幌内	570	360	2328	2787	2059	2186	1775	1564	162	0	1010	14802	16700	
		沢木	34	18	361	441	324	252	130	239	0	0	100	1899		
	管外	100	303	781	1106	683	482	349	294	0	0	50	4148			
H26	管内	幌内	1023	951	3003	3361	2320	2366	1990	1504	613	0	598	17730	19260	
		沢木	85	50	385	387	244	108	110	133	0	0	28	1530		
	管外	14	0	295	358	203	318	128	76	0	0	3	1395			
H27	管内	幌内	607	483	1310	2823	1723	1332	1244	544	0	21	528	10616	11553	
		沢木	29	10	92	332	199	106	106	63	0	0	1	937		
	管外	0	0	42	173	94	36	15	0	0	0	0	0	360		
H28	管内	幌内	355	479	1611	2310	1466	1370	913	605	117	0	393	9619	10268	
		沢木	1	1	122	208	110	85	77	45	0	0	0	649		
	管外	0	0	59	108	59	57	0	0	0	0	0	0	283		
H29	管内	幌内	302	257	1942	2348	1774	1094	989	596	0	0	300	9602	10989	
		沢木	2	43	291	351	289	166	111	93	0	0	23	1368		
	管外	465	364	735	987	827	687	371	196	0	0	161	4792			
H30	管内	幌内	376	462	1620	2189	2153	1139	1524	731	0	0	351	10546	13393	
		沢木	36	81	498	772	523	416	331	142	0	0	49	2848		
	管外	299	540	969	1547	736	1027	771	314	0	0	101	6303			

※表中の管外は町外、酪農家への販売

資料中のホタテ貝の原貝は、重量ベースであり、貝殻・貝柱等複数の部位で構成されている重量である。

これに対して雄武水産加工業協同組合では、原貝重量から貝殻体積への換算率（体積率）を48%として搬入量を算出している（表－2）。

表－2 ホタテ貝殻搬入量（平成24～30年度）

年度	地区	貝殻量(m3)												小計	合計
		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	2月	3月			
H24	幌内	398	149	993	1046	984	706	510	551	209	0	232	5778	6412	
	沢木	12	4	134	139	153	63	52	43	25	0	9	634		
H25	幌内	274	173	1117	1338	988	1049	852	751	78	0	485	7105	8017	
	沢木	16	9	173	212	156	121	62	115	0	0	48	912		
H26	幌内	491	457	1442	1613	1113	1136	955	722	294	0	287	8510	9245	
	沢木	41	24	185	186	117	52	53	64	0	0	13	735		
H27	幌内	291	232	629	1355	827	640	597	261	0	10	253	5095	5544	
	沢木	14	5	44	159	95	51	51	30	0	0	0	449		
H28	幌内	170	230	773	1109	704	657	438	290	56	0	189	4616	4928	
	沢木	1	0	59	100	53	41	37	21	0	0	0	312		
H29	幌内	145	123	932	1127	851	525	475	286	0	0	144	4608	5265	
	沢木	1	21	140	168	139	80	53	44	0	0	11	657		
H30	幌内	181	222	778	1051	1033	547	731	351	0	0	168	5062	6429	
	沢木	17	39	239	371	251	200	159	68	0	0	23	1367		

本調査では、体積率48%についてこの値が妥当であるか検証を行った。

ホタテ貝を部位別に分割すると貝殻52%、貝柱13%、生殖巣10%、外套膜10%、中腸腺（ウロ）5%、その他10%とされている。

また、「北海道 ホタテ貝殻による漁場造成ガイドライン」では、ホタテ貝殻の単位体積重量を破碎後粒径30～40mm程度の場合0.9t/m³とされている。

このため、原貝重量からホタテ貝殻の体積への換算率は以下のとおりとなる。

$$\text{体積換算率 } V = 52\% / 0.9\text{t/m}^3 = 58\%$$

上記換算率で試算した場合、雄武水産加工業協同組合で算出した値より2割程度増加することとなった（表－3）。

表－3 ホタテ貝殻搬入量の文献値による試算（平成24～30年度）

年度	地区	貝殻量(m3)												小計	合計
		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	2月	3月			
H24	幌内	479	180	1195	1259	1184	849	614	664	252	0	279	6955	7718	
	沢木	14	5	161	168	185	76	62	52	30	0	10	763		
H25	幌内	329	208	1345	1610	1190	1263	1025	904	94	0	584	8552	9648	
	沢木	20	10	208	255	187	145	75	138	0	0	58	1096		
H26	幌内	591	550	1735	1942	1340	1367	1150	869	354	0	346	10244	11130	
	沢木	49	29	223	224	141	63	64	77	0	0	16	886		
H27	幌内	351	279	757	1631	996	770	719	314	0	12	305	6134	6676	
	沢木	17	6	53	192	115	61	61	36	0	0	1	542		
H28	幌内	205	277	931	1335	847	791	527	350	68	0	227	5558	5934	
	沢木	1	1	71	120	64	49	44	26	0	0	0	376		
H29	幌内	174	148	1122	1357	1025	632	572	344	0	0	174	5548	6338	
	沢木	1	25	168	203	167	96	64	53	0	0	13	790		
H30	幌内	217	267	936	1265	1244	658	880	422	0	0	203	6092	7738	
	沢木	21	47	288	446	302	241	191	82	0	0	28	1646		

本調査では、これまでの実績を踏まえて雄武水産加工業協同組合による体積率48%を採用する。

各堆積場別の各月の搬入量及び各年度の搬入量について整理を図－4に行った。

(2) 雄武町における貝毒発生の確認

雄武水産加工業協同組合によるホタテ貝殻搬入量について平成26年度では9,245m³であるのに対して平成28年度では4,928m³と年度によってバラツキが生じている。

バラツキの原因が水揚げ量によるものか突発的な要因かを確認するため、突発的な要因として考えられる雄武町内の貝毒発生の有無について確認を行った。

なお、貝毒発生の有無は北海道水産林務部において整理されている北海道貝毒規制情報により確認を行った。

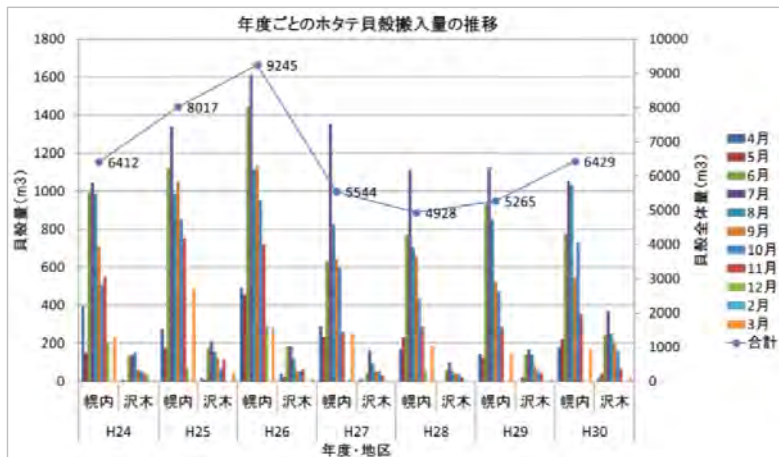


図-4 ホタテ貝殻搬入量の推移

確認の結果、雄武町の海域は図-5の生産海域区分図より網走北部となるが、自主規制履歴では平成24年から平成30年までの期間内に貝毒の発生は確認されていない。

このため、年度によるバラツキは水揚げ量の変化によるものと考えられる。

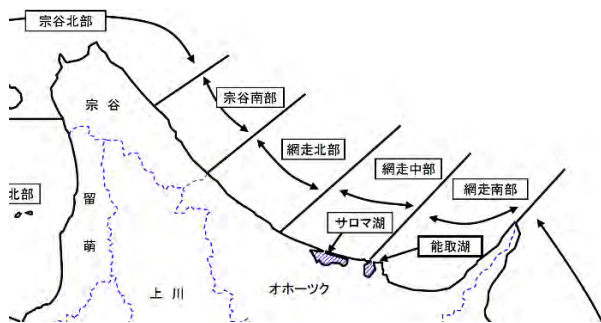


図-5 二枚貝等の生産海域区分図



写真-14 幌内堆積場 (北側)



写真-15 幌内堆積場 (南側)



写真-16 沢木堆積場

7. 現地踏査

本調査では、現地踏査により幌内及び沢木堆積場において現段階の堆積量の概測及び選定箇所での試掘調査を行った。

(1) ホタテ貝殻堆積場での堆積量概測

幌内及び沢木堆積場の現段階での堆積量を把握するため、現地においてUAVにより上空から地形および堆積状況の把握を行った後、巻尺及び箱尺等により堆積場の概測を行い概測図の作成を行った(写真-14、15、16、図-6、7、8)。

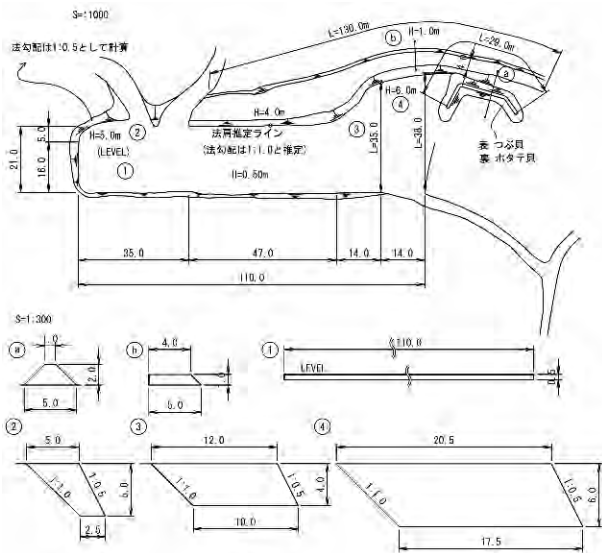


図-6 幌内堆積場（北側）概測図

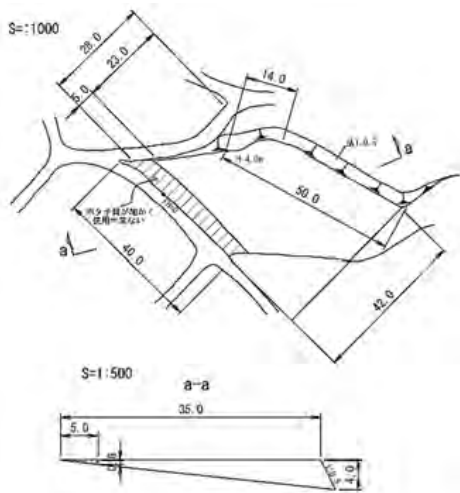


図-7 幌内堆積場（南側）概測図

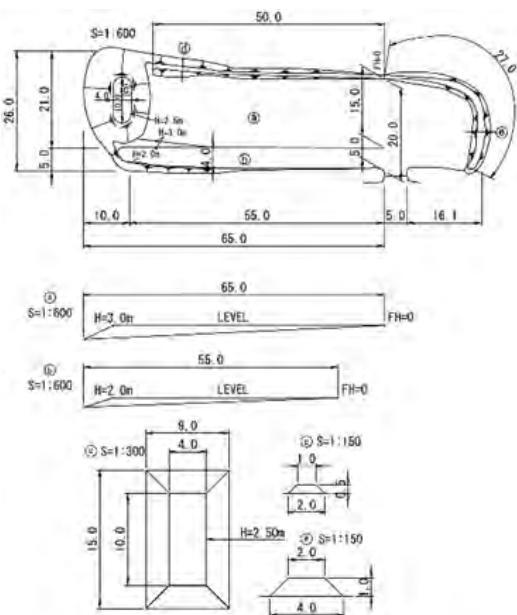


図-8 沢木堆積場概測図

(2) ホタテ貝殻堆積場での試掘調査

試掘調査は、ホタテ貝殻堆積場の搬入開始年度が不明であり、堆積区域下層部の貝殻の状態が疎水材として利用可能であるか確認を行うため実施した。

試掘の結果、試掘した下層の貝殻の状態は露出されている貝殻と比較して大きな変化は見られなかった。

形状寸法については、小さい貝殻でも30~40mm程度であった（写真-17、18、19）。

このため、堆積区域下層部においても疎水材として利用可能であると判断できる。



写真-17 試掘内部状況

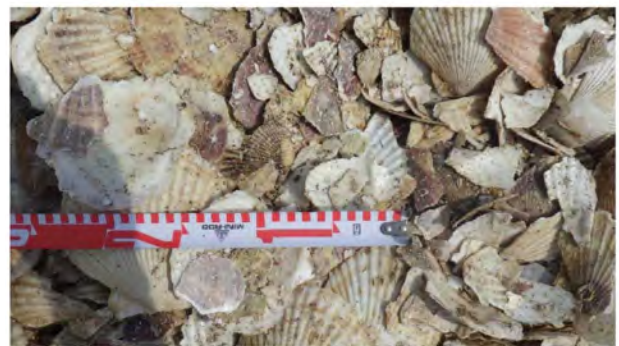


写真-18 試掘下層堆積物拡大



写真-19 露出堆積物拡大

8. 疎水材賦存量の算定

現地踏査による幌内及び沢木堆積場の堆積量については、概測図から堆積量を算定した結果、幌内堆積場では $V=6,260\text{m}^3$ （北側： $V=3,170\text{m}^3$ （組合使用分 $V=2,198\text{m}^3$ を除く）、南側： $V=3,090\text{m}^3$ ）、沢木堆積場では $V=2,360\text{m}^3$ 、合計 $V=8,620\text{m}^3$ であった。

概測調査が7月であったことから、8月から3月までの貝殻堆積量を平成24年度から平成30年度の各月ごとに平均を行い加算することとした。その結果、令和元年度末までの堆積量は $12,120\text{m}^3$ となる（表-4）。

平成24年度から平成30年度までのホタテ貝殻搬入量を平均した場合、年間平均 $V=6,549\text{m}^3$ の搬入量となる（表-5、図-9）。

表-4 令和元年度のホタテ貝殻堆積量（推定）

年度	地区	貝殻量(m3)												小計	合計
		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月		
R1	幌内				6260	929	751	651	459	91	2	251	9394		12120
	沢木				2360	138	87	67	55	4	0	15	2726		

表-5 平成24年度から平成30度のホタテ貝殻平均搬入量

年度	貝殻量(m3)												合計
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
H24	410	153	1127	1185	1137	769	562	594	234	0	0	241	6412
H25	290	182	1290	1550	1144	1170	914	866	78	0	0	533	8017
H26	532	481	1627	1799	1230	1188	1008	786	294	0	0	300	9245
H27	305	237	673	1514	922	691	648	291	0	0	10	253	5544
H28	171	230	832	1209	757	698	475	311	56	0	0	189	4928
H29	146	144	1072	1295	990	605	528	330	0	0	0	155	5265
H30	198	261	1017	1422	1284	747	890	419	0	0	0	191	6429
H24-H30平均												6549	

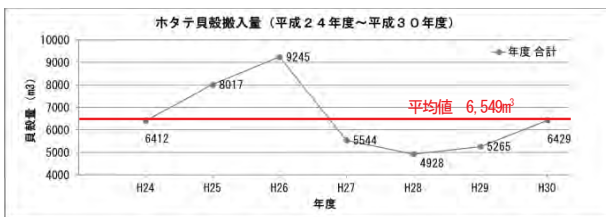


図-9 平成24年度から平成30度のホタテ貝殻平均搬入量

9. 年間の疎水材必要量の算定

事業計画による暗渠排水の整備面積は $1,081\text{ha}$ である。

雄武丘陵地区の事業上における工程計画では、実工事年数は10年としている。

以下に暗渠排水の年間の整備面積から年間の暗渠排水疎水材必要量を算出する。

①ha当たりの吸水渠延長（図-10）

$$100\text{m} \text{ 当たり本数 } n = 100/12 - 1 = 7.33 \div 8 \text{ 本}$$

$$1 \text{ ha 当たり延長 } (100 - 1) \times 8 = 792\text{m}$$

②暗渠排水ha当たりの疎水材使用量

$$\text{暗渠排水1m 当たり疎水材量 (図-10)}$$

$$(0.27 + 0.15) / 2 \times 0.60 = 0.126\text{m}^3/\text{m}$$

$$\text{暗渠排水1 ha 当たり疎水材量}$$

$$792\text{m} \times 0.126\text{m}^3/\text{m} = 99.792\text{m}^3 \div 100\text{m}^3/\text{ha}$$

③年間の暗渠排水整備面積

$$1,081\text{ha} \div 10\text{年} = 108.1\text{ha}/\text{年}$$

④年間の暗渠排水疎水材必要量

$$1,08.1\text{ha} \times 100\text{m}^3/\text{ha} = 10,810\text{m}^3$$

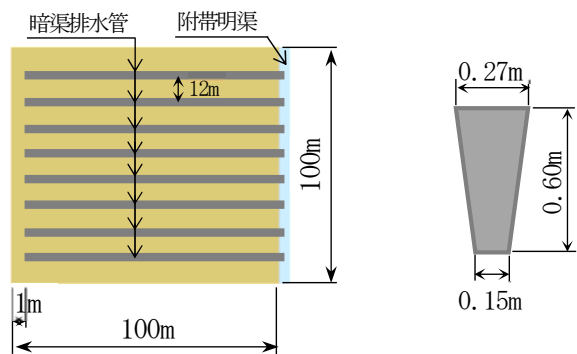


図-10 ha当たり暗渠排水（吸水渠）延長（左図）と暗渠排水疎水材断面図（右図）

10. ホタテ貝殻以外の疎水材の検討

上記の年間疎水材必要量 $V=10,810\text{m}^3$ とした場合、ホタテ貝殻平均搬入量が $V=6,549\text{m}^3$ であることから年間 $4,261\text{m}^3$ の疎水材の不足が生じることとなる。

なお、ホタテ貝殻の搬入量が最多の場合（平成26年度）では $V=9,245\text{m}^3$ であり、不足量が $V=1,565\text{m}^3$ となるが、搬入量が最小の場合（平成28年度）では $V=5,882\text{m}^3$ と半数以上の不足量が生じる。

このため、本調査ではホタテ貝殻以外の暗渠排水の疎水材についても検討を行った。

他の暗渠排水の疎水材の主な材料としては、有機質材料としてチップ類、無機質材料としては火山礫、砂利類があげられる。

砂利類（5-40mm級切込砂利）については、採取場所も雄武町内及び近隣市町村にあり、単価についても網走開発建設部の部局単価により定められてい

る。(4,200円/m³、現着単価：0-40mm級切込砂利の単価を引用)

チップ材については、雄武町周辺の単価が定められていないため、雄武町近郊の林業事業者に対してチップ材の取り扱いの有無及び販売金額について聞き取りを行った。なお、聞き取りを行うに当たっては雄武町森林組合、雄武町森林組合対象地域(雄武町、興部町、紋別市)に属する3事業所から聞き取りを行うこととした。

聞き取りの結果は、以下の内容であった。

- ・雄武町森林組合では、チップの取扱いは行っていない。
- ・横内林業(株)では、4,000円/m³(事業所渡し)
- ・佐藤木材工業(株)では、チップの取扱いはしているが金額については不明。
- ・王子フォレストリー(株)では、グループ内のみ販売している。金額については不明。

(1) 現地発生材による疎水材活用の検討

ホタテ貝殻の管内単価は200円/m³である。運搬費(L=10km)1,700円/m³を加算しても1m³当たり1,900円である。砂利類及びチップ材(購入材)と比較すると1/2以下の金額となる。

このため、ホタテ貝殻と同程度の安価な疎水材として抜根・伐木等の現地発生材による疎水材の活用について検討を行った。現地発生材からチップ材を製造する機械としては、自走式木材破砕機(写真-20、図-11)を用いる。



写真-20 自走式木材破砕機【タブ式】BR200T (メーカーカタログより)

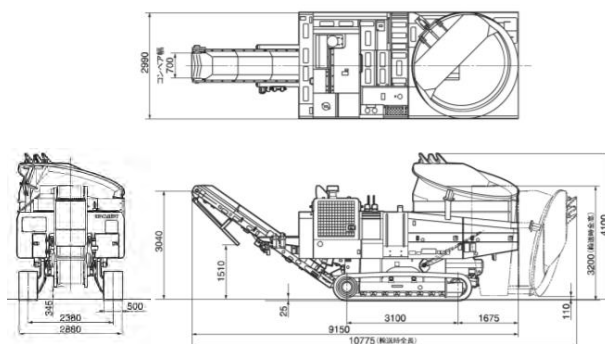


図-11 自走式木材破砕機【タブ式】BR200T (メーカーカタログより)

自走式木材破砕機は、投入物の形状、処理能力によって機種が選定される。現在、リース可能な機種としては2種類の機種がある。

下表に機種別の賃貸金額及び1ヵ月当たりの処理量について記載する(表-6)。

表-6 自走式木材破砕機の賃貸金額及び処理量

項目	自走式木材破砕機		備考
	BR120T 処理能力 平均35m ³ /h (千円)	BR200T 処理能力 平均110m ³ /h (千円)	
リース代	3,150	4,150	1ヵ月あたり金額
損料	2,044	4,131	
運搬費	300	300	片道150千円(道の駅迄)
合計	5,494	8,581	
(参考) 1ヵ月あたり処理量	7,560 m ³	23,760 m ³	1ヵ月あたり稼働時間 27日×8h/日=216h/日

また、雄武丘陵地区近傍で入手可能な疎水材の評価を行った(表-7)。

(2) 現地発生材の使用可能量算定手法(案)の提案

抜根・伐木等の現地発生材を疎水材として利用するためには、概略使用可能量を把握する必要があると考える。以下に、その算定手法(案)について記載する。

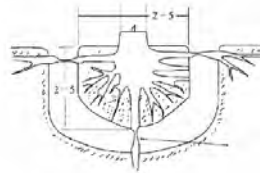
- ①事業地区内においてモデルほ場の選定を行い、そのほ場に対して植生調査(標準地法)により10a当たりの立木本数及び平均樹径の算出を行う。
- ②空中写真画像データ等により事業地区内において抜根物及び伐木対象範囲の選定を行い、伐木の利用可能本数、抜根物利用可能数の算出を行う。
- ③根株の体積量については、表-8より根元直径から根株の体積量の算出を行う。

表-7 雄武丘陵地区近傍で入手可能な疎水材の評価

	素材	経済性 (現着単価)	透水性	耐久性	運搬の 容易性	確保の 容易性	近傍実績	評価	備考
有機質	チップ材(購入材)	×	◎	○	○	○	○	×	チップ材 4,000円/m ³ (紋別業者間取り) 運搬費(L=49km) 3,300円/m ³
		7,300円/m ³	問題なし	問題なし	容易	問題なし	道内実績有		
	チップ材(現地発生材)	◎	◎	○	○	△	○	○	チップ材 現地発生材(抜根物等を使用した場合) 木材破砕機(リース代・損料・運搬費) 木材積込み費 2,120円/m ³
		2,850円/m ³ ~2,490円/m ³	同上	同上	同上	確保が課題	同上		
ホタテ殻	◎	◎	○	○	△	○	○	ホタテ貝殻 200円/m ³ (管内単価) 運搬費(L=10km) 1,700円/m ³	
	1,900円/m ³	問題なし	問題なし	容易	確保が課題	道内実績有			
無機質	砂利類(5-40切込砂利)	△	○	◎	○	○	○	△	管内単価(現着単価) ※0-40切込砂利の単価
		4,200円/m ³	問題なし	問題なし	容易	プラント有	道内実績有		

表-8 除根物の根元直径による体積算出について
(工事数量算出要領 北海道農政部 平成31年3月版 P.410)

根の体積=根の高さ×(根の直径²×π) / 4
 根の質量=根の体積×比重
 根の高さ: 幹の根元直径×a (a=4)
 根の直径: 幹の根元直径×b (b=3)
 比重: C=0.4



除根物の根元直径による体積算出早見表

幹の根元 直径 (cm)	根の高さ (cm)	根の直径 (cm)	根の体積 (m ³)	根の質量 (t)
5	20	15	0.004	0.002
6	24	18	0.006	0.002
7	28	21	0.010	0.004
8	32	24	0.014	0.006
9	36	27	0.021	0.008
10	40	30	0.028	0.011
11	44	33	0.038	0.015
12	48	36	0.049	0.020
13	52	39	0.062	0.025
14	56	42	0.078	0.031
15	60	45	0.095	0.038

11. 今後の課題

現地発生材による疎水材の活用については、1ヵ月間常時稼働とした場合、表-7の金額となる。これを行うためには、①現地発生材(抜根物及び伐木)の確保が可能であること、②現地発生材の堆積場が確保可能であること等の課題を解決する必要がある。

現地発生材である抜根物及び伐木を疎水材(チップ材)として利用可能となれば、事業費のコスト縮減とあわせて支障となる抜根の除去も可能となり営農作業の効率化及び農村環境の改善に寄与するものとする。

(北王コンサルタント(株) 環境設計部 技師長)

参考文献

- 1) 北海道開発局：国営雄武丘陵土地計画事業計画書
- 2) 北海道開発土木研究所水産土木研究室 佐藤朱美、伊藤敏朗、森信幸：ケーソン中詰材としてのホタテ貝殻の有効性について 平成14年技術研究発表会
- 3) 水産庁漁港漁場整備部 財団法人漁港漁場漁村技術研究所：北海道ホタテ貝殻による漁場造成ガイドライン 平成19年3月
- 4) 北海道農政部：工事数量算出要領 平成31年3月版

頭首工ゲートにおける塗装工法の評価

－耐久性塗装の特徴－

金安 潤

1. はじめに

塗装によって防食対策を講じている鋼製ゲートにおいては、塗装が劣化する度に再塗装が必要であり、塗装費用のみならず大がかりな仮設備が必要となることで維持管理費の増嵩要因となっている。これを解消するには、耐久性の高い塗装により、塗装回数、頻度を低減することが必要である。

本報文では、ストックマネジメント高度化事業において実施した、耐久性塗装の試験施工（平成29年）及び施工後1、2、3年目（平成30年、令和元年、令和2年）のモニタリング調査及び、調査結果に基づく耐久性塗装の評価について報告するものである。

2. 対象施設の概要

(1) 地区の概要

直轄かんがい排水事業 北檜山右岸地区（以下、「本事業」という）は、北海道檜山振興局管内に位置している（図－1）。本事業は、昭和43年から昭和60年にかけて実施され、既水田と開田地への用水補給と無水地帯への畑地かんがい用水の確保を目的とし、ダム1箇所、頭首工2箇所、揚水機場1箇所、排水機場1箇所、用水路5条、排水路2条を造成している。

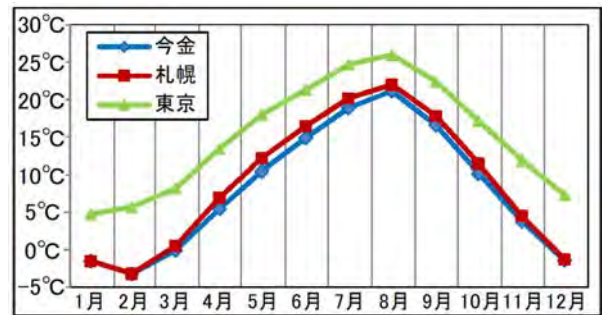


図－1 北檜山右岸地区位置図

(2) 気象条件

地区の年平均気温は7.9℃であり、かんがい期では年平均値16.6℃また、非かんがい期では年平均値1.8℃、日最低気温は昭和53年2月に－21.9℃を

記録している。積雪深は過去30年で平均104cmであり、積雪は概ね11月下旬から始まり4月上旬まで残る。



図－2 地区の平均気温（平年値）

(3) 施設の概要

試験施工対象施設である丹羽頭首工は、一級河川後志利別川水系の利別目名川に昭和47年から昭和48年に造成され、昭和49年から供用を開始しており46年が経過している。なお、当ゲート設備は平成18年に塩化ゴム系塗料（塗膜厚98μm）で再塗装を行っている。

試験施工、モニタリング調査の対象は、当頭首工の土砂吐ゲートである（図－3、表－1）。



図－3 丹羽頭首工全景（上流から下流方向）

表－1 ゲート仕様・規模

名称	ゲート形式	扉体材質	ゲート規模	門数
土砂吐ゲート	鋼製ローラーゲート	SS41	純径間 15.0m 扉体高 2.0m	1

3. 事前調査

試験施工に先立ち平成28年にゲートの①外観の目視調査（塗装の変状及び錆の有無）、②塗膜厚測定、③板厚測定、④有害物質含有調査を行った（表-2）。

結果、目視調査では表・裏面とも錆こぶの発生、裏面には塗装の剥がれを確認した。

塗膜厚は、上流部で平均426 μ m(334~563 μ m)、下流部で平均575 μ m(441~767 μ m)、頂部で平均137 μ m(105~204 μ m)であり、頂部の塗膜摩耗が著しい。

平成18年の塗り替え工事では出来高塗膜厚が3層合計で98 μ mとなっている。一方、建設当時の塗装仕様は、完成図書にフェノール系C法と記載されおり、当時の塗装仕様から、塗料は素地調整でジンクリッチプライマー、下塗り、中塗り、上塗り共にフェノールで膜厚は計140 μ mと推定出来る。

このことから、平成18年は少なくとも上流部で平均330 μ m、下流部で480 μ m、頂部で平均40 μ m程度の建設当時の塗料が残っている状態で重ね塗りをしていることが推定される。なお、頂部以外は建設当時の塗装仕様上の膜厚と現地実測値からの推定膜厚に乖離が見られるが、建設当時の膜厚出来高値がないため、現地実測値からの推定膜厚は余裕を含む出来高値と判断した。

板厚は、上流部で平均9.99mm(9.83~10.39mm)、下流部で平均10.09mm(8.87~10.53mm)、頂部で平均9.62mm(9.42~9.98mm)となった。

設計図面からスキンプレートの使用板厚は9mmとなっていることから、板厚の劣化はほとんどないと考えられる。

表-2 H28事前調査結果

位置	調査項目	調査結果
扉体表面	目視	前面には、部分的に錆こぶが発生。前面の下部は、他の部位に比べ錆こぶが多い。越流部は、部分的に錆こぶが発生。
	塗膜厚	前面：平均426 μ m(334~563 μ m) 越流部：平均137 μ m(105~204 μ m)
	板厚	・前面：平均9.99mm(9.83~10.39mm) ・越流部：平均9.62mm(9.42~9.98mm)
	有害物質	鉛化合物：0.017mg/㎡ クロム化合物：0.014mg/㎡ BCP：未検出
扉体裏面	目視	部分的に錆こぶ、塗装の剥がれが発生。
	塗膜厚	平均575 μ m(441~767 μ m)
	板厚	平均10.09mm(8.87~10.53mm)
	有害物質	未調査

4. 耐久性塗装工法の選定

(1) 条件の設定

耐久性塗装工法の選定に当たっては、塗装性能及び施工性能等について条件を設定した（表-3）。

表-3 塗装仕様の選定条件

項目		塗装仕様の選定条件
塗装性能	耐性	耐久性、耐衝撃性、耐摩耗性を有していること。
施工性能	施工方法及び温度	現場塗装が可能であること。また、乾湿条件下で適用できる工法であること。
	塗装の作業性	塗料は取り扱いやすく、塗布作業が容易であること。
素地調整		鉛、クロム対策が不要な2種ケレン以上の工法。

(2) 塗装工法の抽出と特徴

1) 素地調整

平成18年の再塗装時の塗料は塩化ゴム系塗料であり、その特性から3種ケレン後の重ね塗りが出来る塗料が制限される。また、有害物質含有調査の結果、既設塗料には、鉛とクロムが検出されたため、施工の際、塗膜の剥離等作業の仮設は、「鉛中毒予防規則」に適用した有害物質飛散防止対策が求められる。

鉛中毒予防規則に適合する鉛対策費用は、直接工事費で2,080千円、これに2重シート防護を施した吊り足場工の直接工事費が660千円となり、合計2,740千円となる。

今回の塗装試験工法を選定するに当たり、この鉛対策費用はどの素地調整を選定するかにより、表-4のようになる。

表-4 素地調整別の鉛対策費用

素地調整	素地状態	今回の試験施工	次回の塗装塗り替え作業
1種ケレン	プラスト処理により塗膜、さび、その他付着物を除去し、清浄な金属面とする。	鉛対策必要有り (2,740千円) + α	鉛対策必要なし (660千円)
2種ケレン	プラスト処理または動力工具を使用して、さび、塗膜、その他付着物を全て除去する。	鉛対策必要有り (2,740千円)	鉛対策必要なし (660千円)
3種ケレン	動力工具を用いて活膜部以外の塗膜不良部（ふくれ、はがれ、われなど）、さび、その他付着物を全て除去する。	鉛対策必要有り (2,740千円)	鉛対策必要有り (2,740千円)

3種ケレンとした場合、鉛、クロムの有害物質を存置することになるため、試験施工後の再塗装（塗膜の剥離作業）時も再び鉛対策が必要となる。従って、経済性に加え、人的健康障害防止や、周辺環境への影響防止を考慮し、本試験施工の素地調整は、既設塗装を全量除去した上で各種工法を実施する2種ケレンを前提条件とする。

2) 塗装工法の抽出

塗装仕様の抽出に当たっては、以下のような工法に着目した。

- ・乾湿条件下（水中・気中下）で適用できる工法。
- ・素地調整が2種ケレン以上の工法。
- ・耐摩耗性を有する工法。
- ・塗装作業の際、大型機械を使用しない工法。
- ・ストックマネジメント技術高度化事業の他地区での試験施工実績があり、評価の高い工法。
- ・今後の再塗装など維持管理費軽減を図るために、塗装周期の長い耐久性塗を有する工法（ライフサイクルコストが安価となる）。

3) 塗装工法の選定

ゲート塗装試験工法は、表-5で抽出した9工法の中から、「耐久性」、「経済性」に優れ、他地区の同工種との比較、標準塗装との比較を考慮して、次のA, B, Cの3工法を選定した（表-6）。

表-6 塗装仕様比較一覧

工法	塗装系	耐衝撃性	耐候性	付着性	施工費 (円/㎡)	耐用年数
A工法	無溶剤型エポキシ炭化水素樹脂塗装	○	◎	△	12,700	25年 (20~30年)
B工法	炭素繊維強化無機系防錆剤	◎	◎	○	9,400	30年
C工法	錆転換型エポキシ樹脂塗装	○	○	◎	9,000	30年

※施工費には、2種ケレン費用 (3,000円/㎡) 含む

表-5 塗装工法比較一覧

塗装系	工法名	実績	本現場への適用	耐衝撃性	耐候性	付着性	塗装比較 (円/㎡)			耐用年数	総合評価	判定	
							素地調整	塗装費	合計				
無溶剤型エポキシ炭化水素樹脂塗料	A工法	他試験施工で採用済み	試験施工で実績もあり、問題無い	○	◎	△	2種ケレン	3,000	9,700	12,700	25年 (20~30年)	耐候性に優れた厚塗り塗料であるが、無溶剤型で吸湿放水性の特性を持つため一回で厚塗りが可能で施工日数が短い。耐用年数が最大30年と長く、また他地区の施工実績から評価も良好であるため、採用とする。	○
炭素繊維強化無機系防錆材	B工法	海洋関連、他試験施工でも採用	問題無い。	◎	◎	○	2種ケレン	3,000	6,400	9,400	30年	耐摩耗性、耐衝撃性、耐候性に優れた無機系塗料である。厚塗り塗料であるため施工日数が他と比べて多いが、耐用年数が30年と長く、これを考慮した経済性が最も優れている。また、他地区の同じ土砂吐ゲートで3種ケレンで採用された塗料であるため、素地調整の違いによる比較も出来るため、採用とする。	○
錆転換型エポキシ樹脂塗料	C工法	橋梁、水門、水路等採用実績あり	下塗りが溶剤系で現塗装（塩化ゴム）に上塗り不可。現塗装全剥き取りが必要	○	○	◎	2種ケレン	3,000	6,000	9,000	30年	中塗り、上塗りは標準仕様であるエポキシ樹脂塗料を使用しているが、下塗りに錆転換剤を使用することで耐久性の向上を図っており、耐用年数が30年と長く、経済性も有利である。標準塗装仕様の下塗り改良タイプと位置づけられるため、採用とする。	○
エポキシ樹脂系	D工法	一般品の為多数実績あり	紫外線劣化が懸念	○	△	◎	2種ケレン	3,000	4,000	7,000	10年	標準仕様塗装であり、耐用年数が10年と短く、これを考慮した経済性が劣るため、採用不可とする。	×
ビニルエステル樹脂系（ガラスフレーク）	E工法	他試験施工で採用済み	他地区での実績で「効果出していない」の評価	◎	○	○	1種ケレン	3,500	7,700	11,200	20年	耐摩耗性や耐衝撃性に優れているが、他地区の実績からゲート設備塗料としての効果が期待されたほど出していない。また、1種ケレンが前提であり、耐用年数を考慮した経済性でも中位であるため、採用不可とする。	×
タールエポキシ樹脂塗料（環境対応型）	F工法	他試験施工で採用済み その他多数実績あり	通常のエポキシに比べて耐久性はあるが、紫外線劣化が懸念	◎	○	○	1種ケレン	3,500	5,200	8,700	10年	標準仕様のエポキシ樹脂系の環境配慮塗料であり、他地区の実績から高評価を得ているが、1種ケレンが前提であり、一般品と同様に耐用年数が10年と短く、これを考慮した経済性が劣るため、採用不可とする。	×
特殊エポキシ樹脂塗料	G工法	海洋分野に実績、水路試験施工で採用済み	問題無い	○	◎	◎	2種ケレン	3,000	4,500	7,500	10年	標準仕様のエポキシ樹脂系の耐候性、付着性を高めた塗料であるが、一般品と同様に耐用年数が10年と短く、これを考慮した経済性が劣るため、採用不可とする。	×
SQSシステム	H工法	ブル施設、屋外施設屋根根部等実績あり	超速硬化型のため、複雑な形状の部分についての施工に疑問	◎	○	○	1種ケレン	3,500	12,000	15,500	8年程度	耐摩耗性や耐衝撃性に優れているが、超速硬化型のため、ゲート裏面の複雑な形状部の施工性に懸念がある。また、1種ケレンが前提であり、耐用年数を考慮した経済性が劣るため、採用不可とする。	×
無溶剤・無機質SWCシロキサン結合塗料	I工法	他試験施工で採用済み	他地区での実績で「効果出していない」の評価	○	◎	○	2種ケレン	3,000	18,000	21,000	30~40年	耐候性に優れた無機系塗料であるが、他地区の実績からゲート設備塗料としての効果が期待されたほど出していない。また、耐用年数が最大40年と長い、施工単価が最も高価となることから経済性でも中位であるため、採用不可とする。	×

選定した各塗装の特徴は、次とおりである。

① A工法

従来の塗料は有機溶剤に溶かして塗布するが、本製品は有機溶剤を必要としないことから、溶剤が蒸発する際に発生する細孔の無い緻密な塗膜を形成でき、耐久性の向上が期待できる。また、無溶剤性なので、有機溶剤中毒の対策が不要でより安全性が高い。表面に結露が発生する環境でも施工が可能であり、1回の塗膜厚が厚く、工程を短縮できる。

② B工法

無機系防錆材料で、塗布直後はもとより長期間にわたりアルカリ性を維持することで、鋼構造物塗布面を腐食から守る働きがある。強アルカリ性により表面の赤錆等も黒錆に転換する。鋼構造の防錆塗装材料としては耐候性に優れている。

③ C工法

高浸透性の下地処理剤と錆転換型特殊エポキシ樹脂系下塗り塗料との相乗効果により、鉄素地まで強力に浸透し錆を固着化させ、赤錆を緻密で安定した黒錆に転換するため、簡単な素地調整でも優れた防食性を発揮する。再塗装において、素地調整の種別にかかわらず施工することができ、費用の削減が可能であり中・上塗り一般的な塗料でよいため維持管理費を低減できる。

5. 試験施工

試験施工は、平成29年10月上旬～中旬に行った。試験施工はゲートを上昇させた状態で行うことから、仮設工として吊足場を設置し、塗装材の飛散防止対策としてパネルの内側にはブルーシートによる養生対策を講じた。

塗装工法は、左岸側からA工法、B工法、C工法としており表-7に各工法の塗装仕様、図-4に割

表-7 工法別塗装仕様

A工法	B工法	C工法
上塗 (塗装膜厚80μm)	上塗 (塗装膜厚30μm)	上塗 (塗装膜厚40μm)
中塗 (塗装膜厚250μm)	中塗 (塗装膜厚30μm)	中塗 (塗装膜厚40μm)
下塗 (塗装膜厚250μm)	下塗 (塗装膜厚250μm)	下塗 (塗装膜厚70μm)
X	下塗 (塗装膜厚250μm)	下地処理
	下塗 (塗装膜厚250μm)	脱脂・洗浄
合計塗装膜厚580μm	合計塗装膜厚810μm	合計塗装膜厚150μm
素地調整1回、2種ケレン		

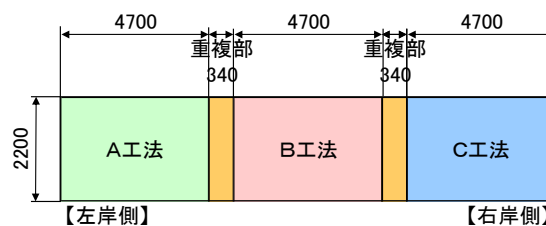


図-4 塗装割付

付(塗装範囲)を示す。

試験施工後の調査結果は、以下のとおりである。

① A工法

暴露試験用のプレートとゲート塗装は塗装仕様が同じであるが、新品のプレートの塗装表面は円滑であるのに対し、ケレン処理後の塗装には凹凸が生じていた。塗膜付着力は「若干弱いが無問題なし」で塗膜厚と塗膜劣化は無問題なしであった。

② B工法

暴露試験用のプレートでは円滑となるが、ケレン処理後の塗装にはクレーター上の穴が開き、深いものは中塗り材の表面まで達していた。塗膜厚と塗膜劣化は無問題なしであったが塗膜付着力は「弱い」であった。

塗膜付着力が弱い要因としては、試験施工から調査までの期間で養生温度5℃が必要期間を満足していないこと、塗膜厚さが厚いことが考えられる。

③ C工法

表面状況、塗膜厚、塗膜付着力は無問題なしであったが、塗膜劣化は「塗膜が完全に付着し、上塗り塗膜のみの劣化」が確認された。

6. モニタリング調査結果と劣化要因の推定

(1) 調査内容

モニタリング調査は、耐久性塗装の有効性や耐久性を検証するため、施工後3年目まで実施した。調査内容は、各塗装仕様について表-8に示す①塗膜外観調査(割れ、膨れ、剥がれ、変退色等)、②塗膜厚測定、③塗膜引張付着(アドヒージョン)試験、④塗膜劣化(インピーダンス)測定を実施し評価を行った。

表-8 モニタリング調査計画

調査年度	調査・試験項目	調査地点・箇所数
平成29年度 (0年目、施工後) 平成30年度(1年目) 令和1年度(2年目) 令和2年度(3年目)	塗膜外観調査	ゲート扉体全体(前裏面)
	塗膜厚測定	各塗装工の扉体表面: 6測点、裏面: 6測点
	塗膜アドヒージョン試験	各塗装工の扉体表面: 3測点、裏面: 3測点
	塗膜インピーダンス測定	各塗装工の扉体表面: 3測点、裏面: 3測点

(2) 劣化度判定指標

塗膜の劣化判定は、下記に示す「機械工事塗装要領(案)・同解説¹⁾」に準拠し判定し、塗装膜厚については、試験施工時の塗膜厚からの減少厚で判断した。

表5.3-1 さび評価点


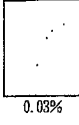

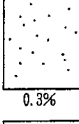
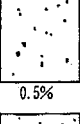


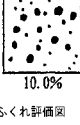
評価点 (RN)	発生状況		外観状況	
	発生面積 (%)			
3	$X < 0.03$	異常なし。誰が見ても外視的にはさびが認められないか、さびらしきものがあるても無視し得る程度のもの。		
2	$0.03 \leq X < 0.03$	僅かにさびが見られる。さびが観察される部分以外の塗膜の防食性能はほぼ維持されていると思われる状態。		
1	$0.3 \leq X < 5.0$	明らかにさびが見られる。誰が見ても発錆部分が多く何らかの処置をほどこさなければならぬ状態。		
0	$5.0 \leq X$	見かけ上ほぼ全面にわたってさびが見られる。早急に塗料を塗り直さなければならぬ状態。		

図5.3-1 さび、ふくれ評価点

表5.3-2 ふくれ評価点

評価点 (RN)	発生状態	
3	発生している面積 (%)	$X < 0.03$
2	同上	$0.03 \leq X < 0.3$
1	同上	$0.3 \leq X < 5.0$
0	同上	$5.0 \leq X$

表5.3-3 われ評価点

評価点 (RN)	われ発生面積 (%)
3	われない状態
2	評価点の2点の状態
1	評価点の1点の状態
0	評価点の0点の状態

図5.3-2 われ評価点

表5.3-4 はがれ評価点

評価点 (RN)	われ発生面積 (%)
3	0
2	$0 < X \leq 0.5$
1	$0.5 \leq X < 2.0$
0	$2.0 \leq X$

図5.3-3 はがれ評価点

表5.3-5 変退色評価点

評価点 (RN)	変退色の程度	グレースケール
3	初期と比べてほとんど変化なし	$4 \leq X$
2	初期と比べて変化している	$3 \leq X < 4$
1	初期と比べて著しく変化している	$2 \leq X < 3$
0	初期の色をほとんどとどめていない	$X < 2$

$$\text{劣化度指数} = \left(1 - \frac{\text{調査項目別評価合計点}}{\text{調査項目数} \times 3} \right) \times 100$$

塗膜表面状況劣化度は、上記をもとに表-9により評価する。また、引張付着力(アドヒージョンテスト)、塗膜劣化(インピーダンス測定)の評価点を表-10、11に示す。

表-9 塗膜表面状況劣化度判定基準

劣化度	劣化度指数	判定内容
A	100 ~60以上	全体的にサビ、膨れ、剥がれ等の発錆が見られ、著しく劣化が進んでいる状況。
B	60未満 ~40以上	全体的に小さなサビ、膨れ、剥がれ等の発錆が見られ、部分的には比較的大きな発生が見られる状況で、かなり劣化が進んでいる状況。
C	40未満 ~20以上	極めて小さな劣化は見られるが、劣化部分以外は健全な状況。
D	20未満	異常なし、または極めて小さな劣化が見られる状況。

表-10 引張付着力(アドヒージョンテスト)の評価点

評価点 (RN)	引張付着力 (Mpa)	塗膜の状態
3	$2.0 \leq X$	問題なし
2	$1.0 \leq X < 2.0$	付着力が若干弱い問題は無い
1	$0 < X < 1.0$	付着力が弱い
0	$X = 0$	付着していない

表-11 塗膜劣化(インピーダンス測定^{※末尾参照})の評価点

インピーダンス評価点		塗膜の状態
抵抗値	容量値	
0	0	塗膜の劣化が著しい
1	1	塗膜に発錆、膨れ等が生じている
1	2	塗膜が完全に固く付着し、上塗塗膜のみ劣化している
3,2	3	異常なし

(3) 0年目(施工後)調査結果

① 塗膜表面状況

A工法：暴露試験用のプレートでは円滑な面となるが、ケレン処理後の塗装には凹凸が生じていた。

B工法：暴露試験用のプレートでは円滑な面となるが、ケレン処理後の塗装にはクレーター上の穴が開き、深さの大きいものは中塗り材の表面まで達していた。これは、中塗り材を塗装している時に生じる気泡の残りであり、工事では、その気泡をつぶして除去してから20時間後に上塗を開始したが、気泡が上塗材に移りクレーター状の穴が生じた。

C工法：暴露試験用のプレートとケレン処理後の塗装に大差はなかった。

② 塗膜厚さ

3工法ともに必要な塗膜厚さは確保されている。

③ 塗膜引張付着

A工法：0.8~1.7MPaで評価点は1~2点。B工法：0.2~0.7MPaで評価点は1点、C工法：1.3~2.7MPaで評価点は2~3点である。

B工法の評価点が低い要因としては、試験施工から調査までの期間で養生温度5℃が必要期間を満足していないこと、塗膜厚が厚いことが考えられる。C工法は他工法より塗装膜厚が薄いため、評価点が高くなった可能性がある

④ 塗膜劣化

A工法、B工法：表裏の抵抗値、容量値は全て評価点3点で「異常なし」との結果であった。C工法：表裏の抵抗値、容量値に評価点2と「上塗り塗膜のみの劣化」が確認された。これは、C工法が有機系の塗膜被覆材であるため、無機系の材料に比べ微量ながら電流が流れることに起因していからと考えられる。

(4) 1年目調査結果

① 塗膜表面状況

A工法：越流部の一部上塗り及び中塗に、割れと剥がれが生じていた。

B工法：越流部全体の上塗り及び中塗に割れが生じていた。また、裏面は塗装の剥がれが生じていた。

C工法：越流部の一部上塗り及び中塗に、割れと剥がれが生じていた。また、裏面の一部には剥がれが生じていた。

3工法とも点的な剥がれは、転石等の衝突によるものと推測される。

② 塗膜厚さ

測定誤差による増減はあるが、A、B、C工法共に必要な塗膜厚さは確保されており、摩耗はないものと推測される。

③ 塗膜引張付着

A工法：4.2～5.6MPaで評価点は3点で「問題なし」である。

B工法：0.9MPaが1箇所あるが、総じて1.0～1.2MPaで評価点は2点と施工0年目よりは良好な値であったが、付着力は「若干弱い」結果であった。

C工法：1箇所1.7MPaがあるがその他は総じて2.0MPa以上で評価点は3点で「問題なし」である。

④ 塗膜劣化

A工法：表裏の抵抗値、容量値は全て評価点3点で「異常なし」との結果である。

B工法：表裏ともに抵抗値に評価点2点があるが、容量値は全て評価点3点であるため「異常なし」との結果である。

C工法：表裏ともに容量値の評価点2が多く

「上塗り塗膜のみの劣化」との結果である。

(5) 2年目調査結果

① 塗膜表面状況

A工法：1年目からの進行や拡大はなかった。

B工法：全体的に割れが生じていた越流部の一部が剥がれに進行していた（図-5）。

C工法：越流部の剥がれの範囲が拡大していた。剥がれの箇所数も表裏で5箇所増加していたが、点的な剥がれであることから、転石等の衝突によるものと推測される。

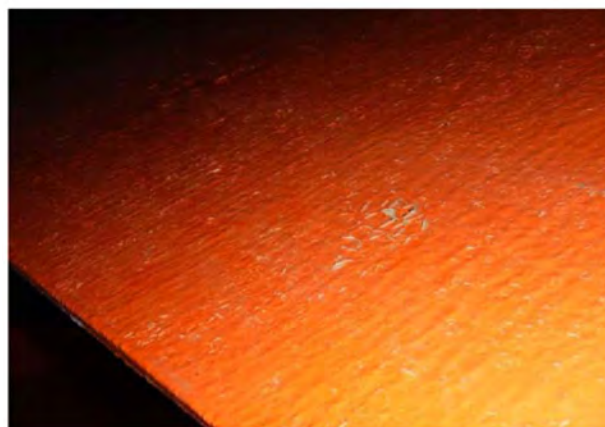


図-5 越流部表面の塗装の割れ、剥がれ

② 塗膜厚さ

1年目の調査結果と同様、3工法とも必要な塗膜厚さは確保されており、摩耗はないものと推測される。

③ 塗膜引張付着

A工法：1.9～6.4MPaで評価点は点と1年目の調査値と同じ「問題なし」である。

B工法：0.9～1.8MPaで評価点は1～2点と1年目調査値と同等の値で、付着力は「若干弱い」結果であった。

C工法：3.0～9.0MPaで評価点は3点と「問題なし」である。

④ 塗膜劣化

A工法：表裏の抵抗値、容量値ともに全て評価点3点で「異常なし」である。

B工法：表裏ともに容量値は3点であったのに対し抵抗値に2点を確認されたが評価としては、「異常なし」である。

C工法：前年と同様に表裏の抵抗値、容量値に評価点2が多くあり「上塗り塗膜のみの劣化」が確認された。

(6) 3年目調査結果

① 塗膜表面状況

表側は、C工法のみ点的な剥がれが表側の半分
で極端に増加（点在）していた（図-6）が、A、
B工法については大きな増加はなかった。C工法
の点的な剥がれの増加は、ミオ筋がC工法（右岸）
側に寄っていることに起因するものと考えられる。
越流部は各工法とも剥がれの進行、範囲の拡大が

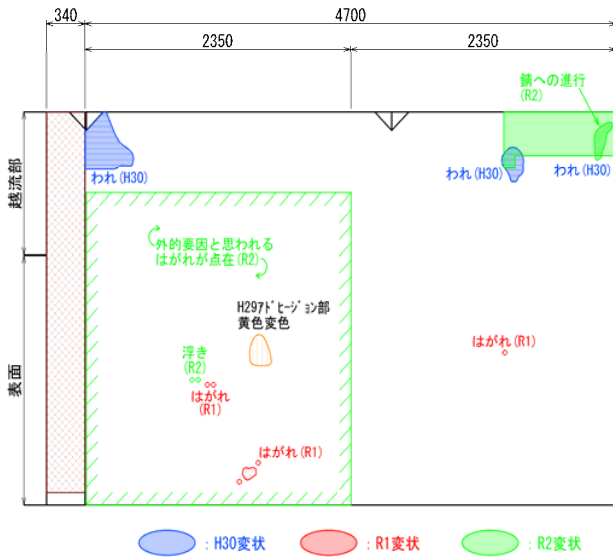


図-6 A工法表面の剥がれ進行状況

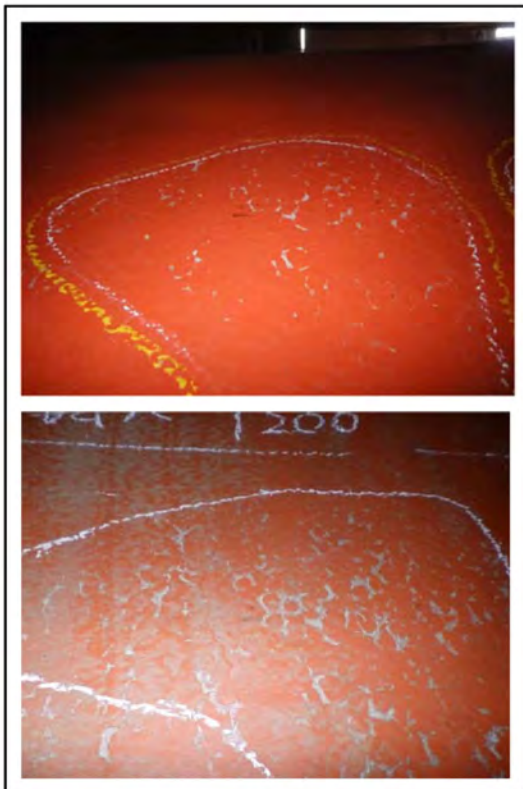


図-7 A工法越流部の剥がれ進行状況
(上2年目、下3年目)

顕著であり（図-7～9）、特にC工法は、2年
目の割れが、3年目には剥がれに進行していた。



図-8 B工法越流部の剥がれ進行状況
(上2年目、下3年目)



図-9 C工法越流部の剥がれ進行状況
(上2年目、下3年目)

② 塗膜厚さ

A工法，B工法，C工法ともに測定位置の僅かなズレ、凹凸による増減はあるものの、塗膜厚の目立った減少は認められなかった。

③ 塗膜付着力

A工法：評価点3点と1年目から良好な値であり「問題なし」である。

B工法：評価点1点ないし2点と1年目から低い値であり、付着力は「若干弱い」との結果である。

C工法：評価点3点と1年目から良好な値であり「問題なし」である。

A，C工法は、経過年数に比例し固くなっていく傾向が見られるが、B工法は施工当初から塗膜自体が柔らかく少しの引っ張り力で引きちぎられる状態（評価は「付着力が弱い」）である。1年目以降状態は改善されたが依然「付着力は若干弱い」との評価であり、固く（付着力が強くなる）傾向は見られない。

④ 塗膜劣化

A工法：裏側の抵抗値、容量値はともに1年目から3年目まで全て評価点3点で「異常なし」であったが、3年目は表側に容量値の評価点2点があり「上塗り塗膜のみの劣化」が確認された。

B工法：1年目から表裏側ともに抵抗値は2点以上、容量値は3点であり評価としては「異常なし」である。

C工法：1年目から表裏ともに容量値に評価点2が多く「上塗り塗膜のみの劣化、塗膜は固く完全に付着している」が確認された。

(7) 3年間の調査結果まとめ

① 塗装表面状況

表側（上流面）は、B工法が気泡の潰れ、C工法は遺物等の衝突痕と思われる点的な剥がれが増

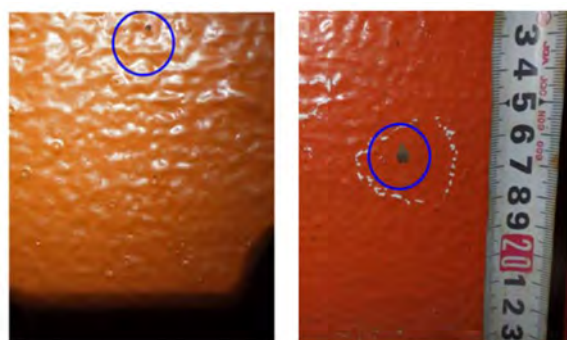


図-10 気泡の潰れ（左）と遺物等の衝突痕（右）

加しており（図-10）、2年目から3年目に掛けて特に顕著である。

また、各工法とも越流部の剥がれの進行、範囲の拡大が顕著であり、2年目から3年目に掛けて著しい（図-11）。



図-11 越流部の表面劣化進行状況

② 塗膜厚さ

A工法（必要塗膜厚 $580\mu\text{m}$ ）、B工法（必要塗膜厚 $810\mu\text{m}$ ）、C工法（必要塗膜厚 $150\mu\text{m}$ ）ともに測定位置の僅かなズレ、凹凸による増減はあるものの、塗膜厚の目立った減少は認められなかった。

③ 塗膜付着力

A工法は、評価点3点と1年目から良好な値であり「問題なし」である。B工法は、評価点1点ないし2点と1年目から低い値であり、付着力は「若干弱い」との結果である。C工法は、評価点3点と1年目から良好な値であり「問題なし」である。

A工法とC工法は、経過年数に比例し固くなっていく傾向が見られるが、B工法は施工当初から塗膜自体が柔らかく少しの引っ張り力で引きちぎられる状態（評価は「付着力が弱い」）である。1年目以降状態は改善されたが依然「付着力は若干弱い」との評価であり、固く（付着力が強くなる）傾向は見られない。

④ 塗膜劣化

A工法は、裏側の抵抗値、容量値はともに1年目から3年目まで全て評価点3点で「異常なし」であったが、3年目は表側に容量値の評価点2点があり「上塗り塗膜のみの劣化」が確認された。

B工法は、1年目から表裏側ともに抵抗値は2

点以上、容量値は3点であり評価としては、「異常なし」である。

C工法は、1年目から表裏ともに容量値に評価点2が多く「上塗り塗膜のみの劣化、塗膜は固く完全に付着している」である。

表-12に調査結果一覧表を示す。

(8) 劣化要因の推定

本試験施工で採用したA, B, C工法の耐久性塗装の主な劣化は、越流部のひび割れである。ひび割れの発生要因としては、一般的な塗装と同様、次の①~③のようなことが考えられる。

- ① 下塗り硬化乾燥の遅延：部分的に下塗りの硬化乾燥の遅延または、未乾燥な状態で上塗りを塗装した可能性が考えられる。下塗りの乾燥が不十分な状態で塗り重ねを行うと、下塗り塗膜の硬化収縮に塗り重ねた塗膜に割れが生じる。また、部分的に結露による水分影響を受け、上塗りに不具合が生じたことも推測される。
- ② 素地の一部未調整：素地調整は2種ケレンで行っているが、鋼材の錆の進行によって部分的に凹凸が残っていた場合、膜厚勾配によって硬

化収縮のバランスが崩れ、経年で割れが生じる可能性がある。

- ③ 流砂の影響：かんがい期間におけるゲートの越流水深は最大9cmであることから、ゲート上(越流部)で流砂がゲートの上を擦るように流れることが剥がれを増長させているとも考えられる。

B工法は、セメントと炭素繊維を混合するため、一般的な塗料とは異なり樹脂モルタルの性質を有していることからアルカリ性が高く、エフロ(アルカリ)が発生し上塗りの付着強度を低下させたと考えられる。また、表側の点的な剥がれはC工法(右岸側)が最も多く、要因としてはミオ筋が関係していると考えられる。ミオ筋は河道の右岸(C工法)側に寄っていることから、A, B工法より遺物等が扉体に強く、多く当たることに起因していると推測される。

7. 評価

(1) 評価・判定

3年間モニタリング調査結果より、耐久性塗装については以下のことが言える。

表-12 年度別調査結果一覧表

塗装仕様	塗装表面状況調査						測定番号	塗膜厚測定(4点平均値 μm)				塗膜付着力測定(3点平均 MPa)				塗膜劣化調査(インピーダンス測定)												
	測定箇所	1年目(H30)	劣化度	2年目(R1)	劣化度	3年目(R2)		最低限必要な塗膜厚	初期値(0年目)(H29)	1年目(H30)	2年目(R1)	3年目(R2)	初期値(0年目)(H29)	1年目(H30)	2年目(R1)	3年目(R2)	初期値(0年目)(H29)		1年目(H30)		2年目(R1)		3年目(R2)					
																	評価点	容量値	評価点	容量値	評価点	容量値	評価点	容量値				
																	抵抗値	容量値	抵抗値	容量値	抵抗値	容量値	抵抗値	容量値				
A工法	表面	塗装の割れ1箇所 ※剥がれは、越流部に集中	C	1年目からの進行や拡大なし	C	1年目で確認された越流部剥れの拡大	580 μm	1	638	991	970	976	0.8	4.3	5.2	4.9	3	3	3	3	3	3	2	2				
								2	909	919	878	864	1.4	4.3	5.7	4.9	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2		
								3	869	938	863	847	1.1	3.3	1.8	4.9	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
								4	730	729	761	719																
								5	747	868	838	825																
								6	773	782	804	778																
	裏面	剥れ2箇所	C	1年目からの進行や拡大なし	C	1年目で確認された越流部剥れの拡大	810 μm	1	898	969	934	913	1.7	5.2	5.1	7.8	3	3	3	3	3	3	3	3	3			
								2	813	906	898	880	1.5	5.6	6.4	6.5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
								3	1133	901	856	859	1.3	4.2	4.1	3.8	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
								4	848	934	921	888																
								5	925	1211	1184	1154																
								6	841	791	772	784																
B工法	表面	越流部全面に塗装の割れ	A	越流部全面の塗装の割れの一部が剥れに進行	A	越流部の一部の剥れが全面的に進行	810 μm	1	1551	1377	1369	1344	0.7	1.1	0.9	1.0	3	3	2	3	2	3	2	3				
								2	1155	1299	1354	1306	0.4	1.4	1.3	1.4	3	3	2	3	3	3	3	2	3			
								3	1013	1268	1260	1181	0.2	1.2	1.8	1.6	3	3	2	3	2	3	2	3				
								4	1510	1416	1354	1333																
								5	1310	1136	1142	1142																
								6	1062	1144	1029	1120																
	裏面	剥れ2箇所	A	1年目からの進行や拡大なし	A	1年目で確認された剥れの拡大	810 μm	1	1124	1037	1043	1023	0.4	1.0	1.0	0.7	3	3	3	3	3	3	3	3				
								2	1199	1294	1218	1205	0.5	1.1	1.1	1.0	3	3	2	3	3	3	3	3				
								3	968	1173	1254	1184	0.3	0.9	1.2	1.1	3	3	2	3	2	3	2	3				
								4	1199	1209	1198	1169																
								5	1110	1110	1040	1103																
								6	1144	1158	1229	1219																
C工法	表面	塗装の割れ3箇所 剥れ2箇所	C	塗装の割れ3箇所 一箇所は範囲の拡大 剥れ3箇所	C	越流部の塗装の割れの拡大と錆への進行 点的な剥れが増加3箇所	150 μm	1	230	221	218	218	1.5	6.0	8.7	2.2	2	3	2	2	3	2	3	3				
								2	253	197	196	205	2.3	2.3	3.0	2.5	3	3	2	2	3	2	3	2	3	3		
								3	238	224	223	214	2.0	1.7	4.0	2.5	3	3	2	2	3	3	3	3	3			
								4	235	201	189	189																
								5	215	227	229	222																
								6	227	257	229	213																
	裏面	剥れ2箇所	C	剥れ6箇所	C	剥れ範囲の拡大	150 μm	1	338	321	336	327	1.3	6.3	9.0	7.0	2	3	2	3	3	3	3	3				
								2	213	362	342	343	2.3	6.2	7.8	7.3	2	3	2	3	3	3	3	3				
								3	199	213	221	211	2.7	4.9	8.7	9.0	2	2	2	2	3	2	2	2	2			
								4	350	175	167	164																
								5	175	186	192	188																
								6	152	147	136	136																

※表中の太字ゴシックは、劣化と判定されたもの。

① A工法

- 初期欠陥と考えられる越流部の塗装の割れ、剥がれは進行傾向である。
- 塗装膜厚の減少は見られない。
- 塗膜付着力は、施工1年目以降は4倍程度の強さとなっており、強い値が推移している。
- 塗膜劣化は、3年目に表側3測定点のうち2測定点で容量値評価点2を計測したが、「上塗り塗装の劣化、塗膜は固く完全に付着している」との評価であり問題ない。

【評価】

初期欠陥と考えられる塗装の割れ、剥がれ以外は総じて良好な状態であり、耐久性を有していると評価できる。

② B工法

- 初期欠陥と考えられる越流部の塗装の割れ、剥がれは進行傾向である。
- 塗装膜厚の減少は見られない。

- 塗膜付着力は、1年目から「若干弱いが問題なし」との結果が推移しており、他の2工法に比べ劣る。
- 塗膜劣化は、施工0年目から「異常なし」良好な値が推移している。

【評価】

塗装の割れや剥がれ、塗膜付着力が弱いのはともに初期欠陥と考えられる。

塗膜劣化が良好であることを踏まえると、他の工法に比べ耐久性が劣るとの判断は難しく、耐久性を有していると評価できる。

但し、当工法は、塗装配合が難しくメーカー指定の配合ではかなり緩い状態のものになるとの報告もあり、現場でのローラーや刷毛による塗布には向いていない工法であることが推測される。

③ C工法

- 初期欠陥と考えられる越流部の塗装の割れ、

表-13 工法の評価・判定一覧

塗装名		A工法				1~3年目の評価	総合判定
調査年	施工後0年目(129年)	施工後1年目(130年)	施工後2年目(131年)	施工後3年目(132年)			
塗膜表面状況	暴露試験用のプレートでは円滑な面となるが、クレン処理後の塗装には凹凸が生じていた。	越流部の一部上塗り及び中塗に、割れと剥がれが生じていた。	1年目からの進行や拡大はなかった。	越流部の一部上塗り及び中塗の剥がれが若干拡大していた。	良好	3年間の平均点数	3.0
塗膜厚	必要な塗膜厚は確保されている。	必要な塗膜厚は確保されており、摩耗はないものと判断する。	1年目の調査結果と同様、必要な塗膜厚は確保されており、摩耗はないものと判断する。	1,2年目の調査結果と同様、必要な塗膜厚は確保されており、摩耗はないものと判断する。	良好	3年間の平均点数	3.0
塗膜付着力(アドヒージョン)	0.8MPaが1箇所あるが総じて1.1~1.7MPa、評価点は1~2点で「付着が若干弱い」が問題なし。	4.2~5.6MPa、評価点は3点で「問題なし」。	1.8~6.4MPa、評価点は3点で「問題なし」。	4.9~7.8MPa、評価点は3点で「問題なし」。	良好	3年間の平均点数	3.0
塗膜劣化(インピーダンス)	表裏の抵抗値、容量値は全て評価点3点で「異常なし」。	表裏の抵抗値、容量値は全て評価点3点で「異常なし」。	表裏の抵抗値、容量値は全て評価点3点で「異常なし」。	表面の容量値は評価点2点で「上塗り塗膜のみ劣化している」。裏面は、抵抗値、容量値全て評価点3点で「異常なし」。	表面に「上塗り塗膜のみ劣化」が確認されたが塗膜は完全に固く付着しているため良好	合計	11.7
						3年間の平均点数	2.7
塗装名		B工法				1~3年目の評価	総合判定
調査年	施工後0年目(129年)	施工後1年目(130年)	施工後2年目(131年)	施工後3年目(132年)			
塗膜表面状況	暴露試験用のプレートでは円滑な面となるが、クレン処理後の塗装にはクレータ上の穴が開き、深いものは中塗り材の表面まで達していた。	越流部全体の上塗り及び中塗に割れ、裏面は塗装の剥がれが生じていた。	全体的に割れが生じていた越流部の一部が剥がれに進行していた。	割れが著しく、広範囲に拡大している。	1年目から越流部に割れが生じており、割れが剥がれに進行・拡大しているため不良	3年間の平均点数	1.0
塗膜厚	必要な塗膜厚は確保されている。	必要な塗膜厚は確保されており、摩耗はないものと判断する。	1年目の調査結果と同様、必要な塗膜厚は確保されており、摩耗はないものと判断する。	1,2年目の調査結果と同様、必要な塗膜厚は確保されており、摩耗はないものと判断する。	良好	3年間の平均点数	3.0
塗膜付着力(アドヒージョン)	0.2~0.7MPa、評価点は1点で「付着力が弱い」。※評価点が低い要因として、試験施工から調査までの期間で養生温度5℃が必要期間を満足していないこと、塗膜厚が薄いことが考えられる。	0.9MPaが1箇所あるが、総じて1.0~1.2MPa、評価点は2点と施工0年目よりは良好な値であったが、付着力は「若干弱い」が問題なし。	0.9MPaが1箇所あるが、総じて1.0~1.8MPa、評価点は2点で、付着力は「若干弱い」が問題なし。	0.7MPaが1箇所あるが、総じて1.0~1.6MPa、評価点は2点で、付着力は「若干弱い」が問題なし。	付着力は「若干弱い」が問題ないであるが、他の2工法より劣る	合計	9.0
塗膜劣化(インピーダンス)	表裏の抵抗値、容量値は全て評価点3点で「異常なし」。	表裏ともに抵抗値に評価点2点があるが、容量値は全て評価点3点であるため「異常なし」。	表裏ともに容量値3点に対し抵抗値に2点で確認されたが評価としては「異常なし」。	抵抗値、容量値ともに評価点2または3点で「異常なし」。	良好	3年間の平均点数	3.0
						3年間の平均点数	2.0
						合計	9.0
塗装名		C工法				1~3年目の評価	総合判定
調査年	施工後0年目(129年)	施工後1年目(130年)	施工後2年目(131年)	施工後3年目(132年)			
塗膜表面状況	暴露試験用のプレートとクレン処理後の塗装に欠陥はなかった。	越流部の一部上塗り及び中塗に割れと剥がれ、表面の一部に剥がれが生じていた。	越流部の割がれの範囲が拡大していた。割がれの箇所数も表裏で5箇所増加していたが、点的な割がれであることから、転石等の衝突によるものと推測される。	越流部は、割がれが進行している。割がれの箇所数が増加していたが、点的な割がれであることから、転石等の衝突によるものと推測される。	ミオ筋前であることから、他の2工法より塗膜劣化が進行しているの判定は難しい	3年間の平均点数	2.3
塗膜厚	必要な塗膜厚は確保されている。	必要な塗膜厚は確保されており、摩耗はないものと判断する。	1年目の調査結果と同様、必要な塗膜厚は確保されており、摩耗はないものと判断する。	1,2年目の調査結果と同様、必要な塗膜厚は確保されており、摩耗はないものと判断する。	良好	3年間の平均点数	3.0
塗膜付着力(アドヒージョン)	1.3~2.7MPa、評価点は2~3点で「問題なし」。※他工法より塗膜厚が薄いため、評価点が高くなった可能性が考えられる。	1箇所1.7MPaがあるがその他は総じて2.0MPa以上、評価点は3点で「問題なし」。	3.0~9.0MPa、評価点は3点で「問題なし」。	表面の値が2年目より低下しているが2.2MPa以上、評価点は3点で「問題なし」。	良好	3年間の平均点数	3.0
塗膜劣化(インピーダンス)	表裏の抵抗値、容量値に評価点2以上塗り塗膜のみの劣化が確認された。※エポキシ樹脂系は有機系樹脂の塗膜被覆材であるため、無機系の材料に比べ容量値が電流が流れることに起因しているからと考えられる。	表裏ともに容量値の評価点2が多し「上塗り塗膜のみの劣化」が確認された。	前年と同様に表裏の抵抗値、容量値に評価点2があり「上塗り塗膜のみの劣化」が確認された。	表面の容量値に評価点2点があるが、総じて抵抗値、容量値ともに3点であり「異常なし」。※測定場所により、測定値が変わるため過去の実績を考慮し「○」とした。	1年目から「上塗り塗膜のみの劣化、塗膜は完全に固く付着している」であるが、他の2工法より劣る	合計	10.3
						3年間の平均点数	2.0

※「◎」:3点、「○」:2点、「△」:1点、「×」:0点

剥がれは進行傾向である。

- 塗装膜厚の減少は見られない。
- 塗膜付着力は、施工1年目を以降は1～5倍程度の強さとなっており、強い値が推移している。
- 塗膜劣化は、他の2工法と比べ低い結果であるが「上塗り塗装の劣化、塗膜は固く完全に付着している」との評価であり問題ない。

【評価】

塗膜劣化以外は総じて良好な状態である。

塗膜劣化の評価が低い理由としては、塗膜のポリマーは超高分子ではないため、ある程度電流が流れることが予測される。このことから、当工法は耐久性を有していると評価できる。

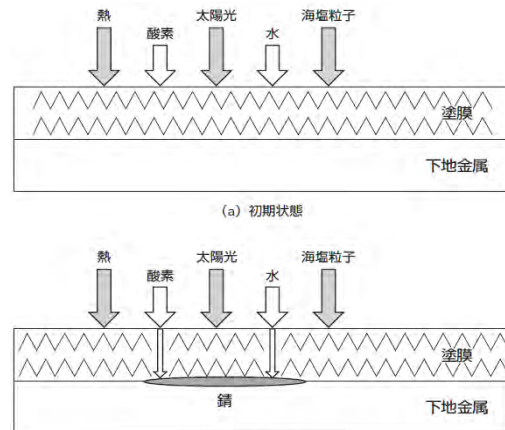
(2) 総 評

表-13では、調査結果を客観的に評価、判定しているが、初期欠陥（硬化乾燥の管理）や外的要因による劣化を除くと試験施工後3年を経過した時点では、3工法とも耐衝撃性、耐候性、付着性を有しているものと考えられる。但し、耐用年数については、メーカーが謳う年数と同等となるか否かの判断は難しい。

(NTCコンサルタンツ(株) 技術部 主幹)

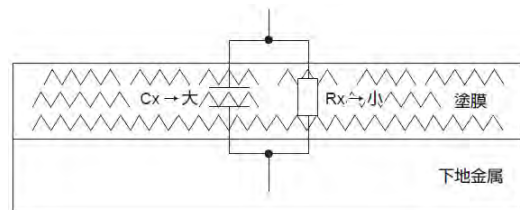
※インピーダンス測定とは

塗膜は高分子の樹脂で形成されており（参-1 (a)）、初期の塗膜では樹脂の分子結合が強く、水分が浸透しない状態である。長期にわたって太陽光や雨、海塩粒子などにさらされると（参-1 (b)）、樹脂の分子結合が切れ、水と酸素が浸透しやすくなり、塗膜と下地金属の界面で錆（さび）が発生する。



参-1 塗膜の状態

塗膜を電気的に見ると、塗膜の表面と下地金属の間が抵抗分 (R_x) とコンデンサ分 (C_x) で並列に接続された回路で表すことができる（参-2）。



参-2 塗膜の等価回路

塗膜の劣化によって水分が浸透しやすくなると、抵抗分が減少し、コンデンサ分が増加して、塗膜インピーダンスが減少する。このことから、下地金属にアースを接続し、塗膜表面に電極を装着して、電極と下地金属に挟まれた塗膜のインピーダンスを測定することにより塗膜の劣化度を推定する。

参考文献

- 1) 機械工事塗装要領（案）・同解説：国土交通省総合政策局 建設施工企画課

圃場への夜間入水を反映した水利計画の検討事例

渡部 正幸

1. はじめに

近年、水田地帯では、転作の進展や農地の減少などにより、用水需要が減少している一方で、地元農家からは、現況の用水量や用水路の規模を維持したいとの意向が多く聞かれる。この理由の一つに、圃場レベルで入水時間を限定していることが挙げられ、今後の水利計画の策定に向けた重要な検討課題であると考えられる。入水時間の限定は、昼間と夜間で入水と止水を繰り返す営農上の水管理手法である。例えば昼間止水し夜間入水する場合には、夜間の12時間で24時間分の水量を圃場に入水するため、夜間の入水量は理論上2倍必要となる。

こうした実態を水利計画に反映できないか検討するため、A開発建設部発注の「B地域 水利計画検討等業務」では、C町、D町に調査区を設定し、①関係機関から水利用実態を聞き取り、②夜間入水と連動した取水・通水・分水操作が可能か検証するための調査方法を検討、③検討結果にもとづく現地調査を実施し、④調査結果のとりまとめを行った。本稿では、田の畑利用等により減少する用水需要量を水利用実態に即して有効活用する方法を検討した一例について報告する。

2. 調査地区の概要

C調査区及びD調査区は、国営かんがい排水事業E地区に包含される。

E地区は、北海道内に位置するC町外市町にまたがる水稲作を中心とした農業地帯にあり、ダム、頭首工、揚水機、幹支線用水路が建設・整備されている。

3. 検討の背景

先述のとおり、将来的に用水需要が減少することで、地域の必要水量の大幅な減少が懸念されている。

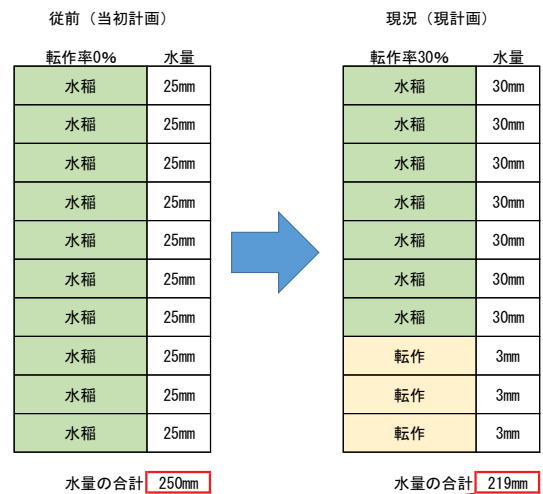
必要水量が減少することは、単に取水施設や用水路の改修を現在の施設規模で行うことが困難になる

ことに留まらず、用水路の部分改修にあつては縦断的に不整合な通水断面となったり、水源施設では確保容量の減にともない、場合によっては、常時満水位が低下することで洪水吐の再設置が必要になったり、その費用負担が受益者に及ぶことになったりするなど、今後の水利計画や施設計画に多大な影響を及ぼすことが懸念される。さらには、取水口からの取水量や用水路の通水量が減少することで地域の水利秩序が崩壊し、新たな水問題が生じる可能性もある。

このような事態を回避するうえで、必要水量の減少幅を極力少なくする対策が求められる。

かつて、初めて水利計画に転作（汎用化）の考え方を導入することになった頃、同様の懸念があった。しかし、転作により土壌に深い亀裂が入ることで耕盤層が破壊されるため、転作後の水田は水稲単作の水田より減水深が大きくなることが判明し、転作による必要水量の減少幅が緩和されてきた。

具体的には、従前における水稲の減水深を25mm/日、現況における転作率を30%、転作物物の日消費水量を3mm/日、還元田減水深の増加率1.2倍としてシミュレーションすると、図-1に示すとおり12%の減量にとどまる。



現況は約12%の減少で済んでいた。

図-1 用水量の減少割合（従前から現況）

一方、近年を含む将来の変更水利計画は、現況が既に転作を見込んだ計画であるため、転作率が増加すると必要水量は減少するのみで、増加する要素がほとんど無い。仮に、近年或いは将来の転作率を70%として、先述と同様のシミュレーションを行うと、将来の必要水量は、図-2のとおり、現況の51%まで減少してしまう。

こうしたことから、現況の必要水量の残量の他に「新たに必要となる水量」は無いのか、減量分の補填方法を検討する必要が生じた（図-3）。

現況（現計画）		将来	
転作率30%	水量	転作率70%	水量
水稲	30mm	水稲	30mm
水稲	30mm	水稲	30mm
水稲	30mm	水稲	30mm
水稲	30mm	転作	3mm
水稲	30mm	転作	3mm
水稲	30mm	転作	3mm
水稲	30mm	転作	3mm
転作	3mm	転作	3mm
転作	3mm	転作	3mm
転作	3mm	転作	3mm
水量の合計	219mm	水量の合計	111mm

将来の水量は、現況の約51%に減少してしまう可能性がある。

図-2 用水量の減少割合（現況から将来）

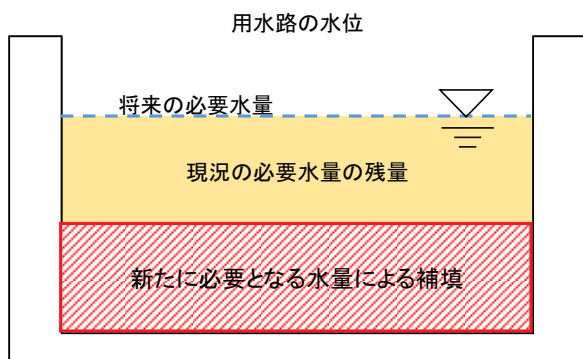


図-3 用水路の水位

なお、「新たに必要となる水量」については、各地区で様々な観点から検討中であり、必要水量の減少により、幹線用水路から支線用水路、或いは支線用水路から末端用水路への分水深が不足することによる分水不能を回避するための水位維持用水、水路内に水生植物の繁茂、土砂やゴミの堆積等で生じる

通水機能の低下を回避するための水路維持用水などが挙げられる。

これらの用水については、別途十分な検討がなされているため、本稿では扱わないことを言い添える。

4. 検討の内容

(1) 関係機関からの聞き取り調査

現況転作率は、全道的に増加する傾向を示しており、今回調査対象としているC町及びD町の現況転作率を関係土地改良区に聞き取ったところ、70%を超えるとのことであった。

E地区の水利計画では、計画転作率を30%に設定していることから、現況転作率は40%以上超過しており、現況の必要水量は、既に期別取水量より少ないものと思われる。

しかし、関係土地改良区は、減量する操作を行うことなく、期別取水量を取水しているとのことであり、主たる理由として受益者の「夜間入水」が挙げられた。

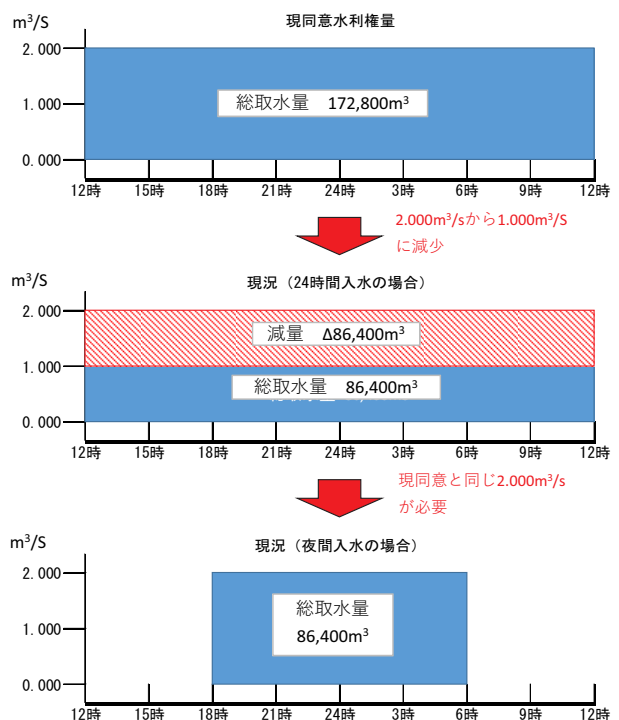


図-4 夜間入水の概念

具体的には、図-4に示すような水利用実態となっている。

したがって、現況の転作率が計画の約2倍に増

加し、必要水量が1/2に減少しても、現同意水利権量と同程度の取水量が必要になっているものと考えられる。

「夜間入水」は、営農指導機関（農業改良普及センター等）による指導事項となっており（表-1）、地域の受益者の大部分が準拠しているとのことであった。

表-1 「夜間入水」の指導内容

指導機関名	指導内容
F 農業改良普及センター G支所 6月の営農技術対策 (R1.6.1)	分けつは、水温が昼30℃以上、夜間15℃で最も発生しやすい。 寒暖差を保つうえでも、夜間入水、日中止水を実施して、日中に水温上昇を図る。
F 農業改良普及センター G支所 7月の営農技術対策 (R1.7.1)	入水は、用水温と水田水温の温度差が少ない、夜間～早朝に行う。 急激な入水は、水田水温が低下し、籾の退化や不稔籾多発の原因となり収量低下を招く。
北海道農政部 営農改善指導基本方針 (H31.2)	移植後の入水は、夜間～早朝に行い、昼間は止め水管理として水温上昇を図る。

普段、業務等で水田を眺めた際には、昼間に入水していることも見受けられるが、この理由も農業改良普及センターより聞き取ったので参考として以下に示す。

- ・ 田植時のヒタヒタ水状態において、風から苗を守るために水位を上げるため
 - ・ 流し込みタイプの除草剤を使用するとき（入水時の勢いを利用して、薬剤を拡散させるため）
 - ・ 作付面積が大きいことによる作業上の都合
- このような、使用時間を限定した取水は、現行の河川法において同意・許可されることは少ないと考えられる（図-5）。

しかし、夜間入水が既存の営農技術として確立しており、水利用実態もある以上、何等かの対策を講じて水利権量を確保する必要がある。

水利権量として確保するための対策を検討するためには、夜間入水といった圃場レベルでの水管理に対応した取水操作を、頭首工などの水利権が付与される施設で行うことが可能なか確認することが最も基本的で重要な課題となる。

以上から、夜間入水の取水操作の実施可否について、実際の操作で判明する事実をもとに、検証することが必要となった。

【問】 ポンプ等による時間運転による取水の取扱いいかん。
【答】 土地改良事業における水利使用にあつては、その営農形態から昼間にポンプ等を時間運転して取水する計画が立てられている場合がある。
ポンプ等による時間取水は、湖、ため池、ダム貯水池などの貯留施設から直接取水する場合を除き、河川から直接取水する場合は、
① 河川の流況に日間の変動を与えることから、河川管理に支障があること
② 水の効率的な利用に逆行すること
③ 過大な取水能力を持つ施設を設置するため、水利権量以上の取水が行われるおそれがあること
④ 河川管理者が水資源開発などを行い、不特定補給を行う場合、水収支計算などでの評価および補給計画の障害となること
等から、原則として、認められない。

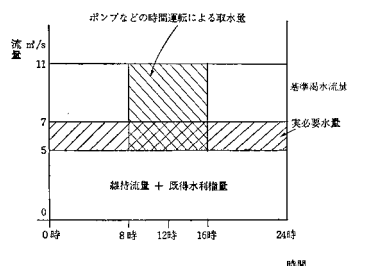


図-5 時間取水の解釈¹⁾

(2) 調査手法の検討

1) 調査の基本方針

夜間入水に対応した取水操作が可能か検証するためには、第1に、取水口を開放してから末端圃場に到達するまでの復水時間と、取水口を閉鎖してから末端圃場の用水が無くなるまでの落水時間をそれぞれ計測する。

第2に、復水と落水に係る操作員の作業の内容と所要時間を把握する。

第3に、それらをタイムライン化し夜間入水に対応した取水操作の可否を検証する。

以上の基本方針とした。

2) 調査区の設定

対象施設は、国営E地区内のH頭首工とI幹線取水口を選定した。

調査区は、関係土地改良区へ調査の概要を説明したうえで調査が実施可能な区域を開取り選定した。

C調査区は、H頭首工を水源として、国営C幹線用水路、道営支線用水路を経て、支線分派線用水路で末端圃場に配水される区域である。

D調査区は、I幹線用水路、道営幹線用水路を経て支線用水路で末端圃場に配水される区域である。

3) 調査の内容

① 前段調査

まず、復水時間及び落水時間を計測する前段の調査として、配水区域内の分水位置と分水構造を確認した。

【C調査区】

幹線用水路（国営C幹線用水路）から支線用水路（道営支線用水路）への分水構造は、スライドゲートによるもので、支線用水路の敷高は幹線用水路の敷高より15cm高い。

また、幹線用水路には水位調整ゲートが設置されており、分水位の調整が行える構造となっている（図－6）。



図－6 幹線と支線の分水構造

支線用水路（道営支線用水路）から末端用水路（支線分派線）への分水構造は、自然滴下で、ゲート等は無い（図－7）。



図－7 支線と末端の分水構造

【D調査区】

幹線用水路（国営D幹線用水路）から支線用水路（道営D幹線用水路）への分水構造は、自然滴下で、ゲート等は無い（図－8）。



図－8 幹線と支線の分水構造

支線用水路（道営D幹線用水路）から末端用水路（D支線用水路）への分水構造は、スライドゲートによるもので、分水工の敷高差は無い「敷分水」となっている。

支線用水路には水位調整ゲートの設置は無く、分水位の調整は、土嚢等で行われている（図－9）。



図－9 支線と末端の分水構造

末端用水路以降は、末端放流口から排水路へ放流している（図－10）。



図-10 末端の分水構造

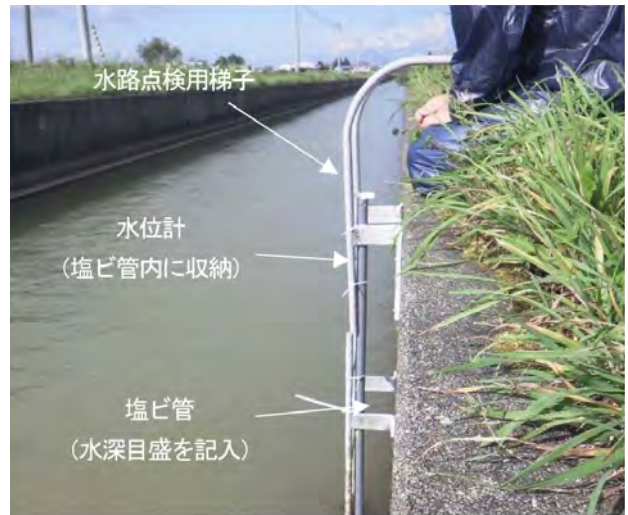


図-12 水位計の設置状況

② 復水・落水時間の計測調査方法

次に、取水口のゲートを開放してから用水が到達する時間と閉鎖してから落水するまでの時間を計測するため、全8ヶ所に水位計を設置し、水深を1分間隔で測定した。

また、同地点に定点カメラを設置し、水深目盛を1分間隔で撮影し撮影時間を記録することで、水位計が欠測した場合の予備とした。調査に使用した水位計と定点カメラは、図-11に示す。

調査は、施設管理者の立会のもと、調査中



図-13 定点カメラの設置状況

定点カメラ	小型絶対圧水位計
	

図-11 使用した計測機器

の巡回監視を徹底し、調査の安全性を確保した。

計測機器は、用水路の点検用梯子や防護柵に直接設置したり、木杭等を用いて固定した(図-12～図-15)。



図-14 水位計の設置状況



図-15 定点カメラの設置状況

5. 調査の結果

調査は、令和元年8月31日と10月9日の2回実施し、1回目の調査は、C調査区とD調査区を対象に落水時間の計測を行い、2回目の調査はD調査区を対象に、復水時間と落水時間の計測を行った（表-2）。

表-2 調査概要

調査回数	対象調査区	調査月日	調査対象
1	C、D	8月31日	落水
2	D	10月9日	覆水、落水

(1) C調査区 落水調査

調査は、8月31日に実施し、比較的自然的な状態での落水時間の計測を目的に、用水路付帯の放流

ゲートを閉鎖して行った。

本調査区における落水に必要な時間は、図-16に示すとおり、末端用水路の水位低下に多くの時間がかかり、合計で14時間2分必要となった。

末端用水路で長時間を要した理由は、調査対象の用水路がある程度の水深まで水位が低下すると滞水する構造（分水地点に段差がある構造）となっていることが挙げられる。

(2) D調査区 落水調査（その1）

調査は、8月31日に実施し、C調査区と同様に、用水路付帯の放流ゲートを閉鎖して行った。本調査区における落水に必要な時間は、図-17に示すとおり、どの水路も順調に水位が低下し、取水口のゲート閉鎖から6時間56分必要となった。

本調査区の分水構造は、敷分水であるため滞水時間が少なく、比較的短時間で落水したものと考えられる。

(3) D調査区 復水調査

復水調査は、10月9日に実施した。（D調査区は通年の取水期間を有している）この結果、復水時間は、図-18に示す6時間13分必要となった。

図-18中の※1及び※3は、幹線用水路の水深を目標水深に安定させるため、放流工のゲート操

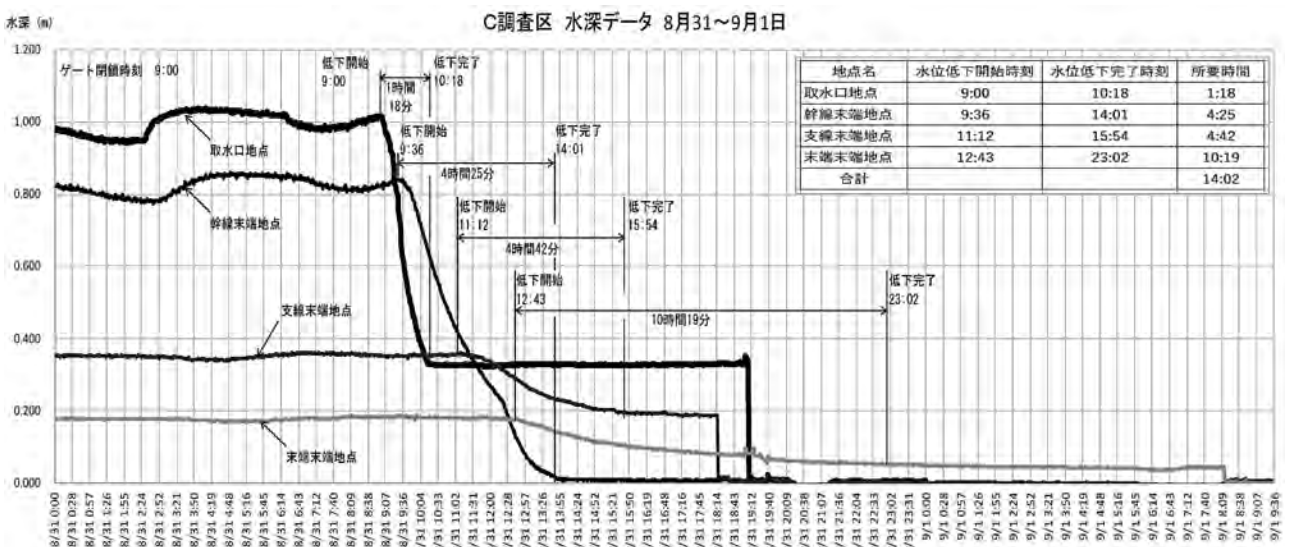


図-16 C調査区 落水調査結果

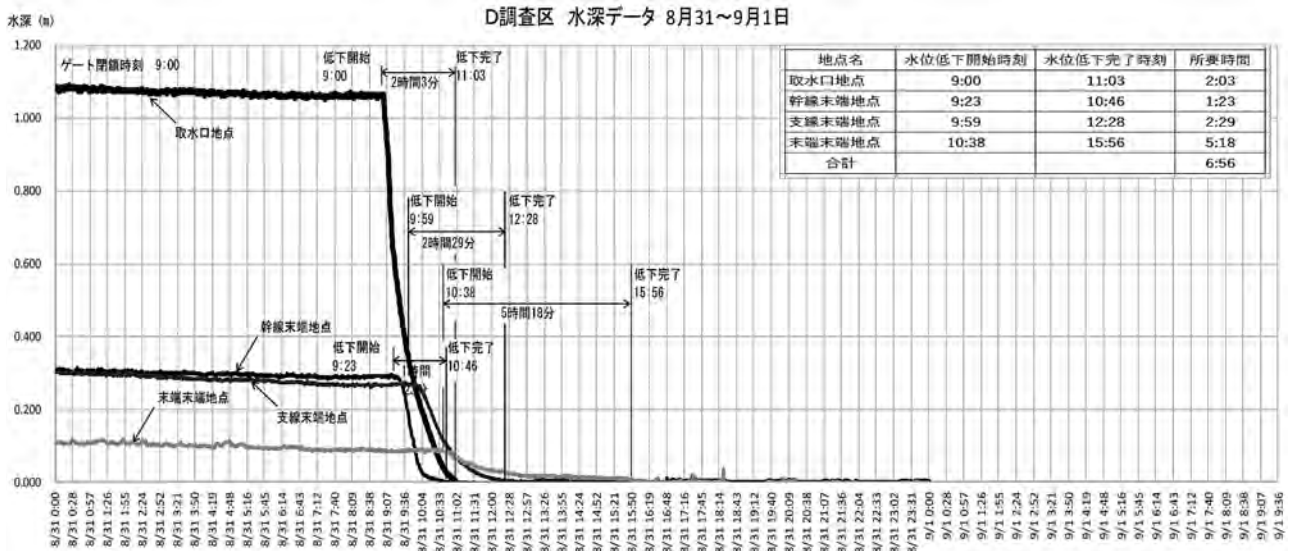


図-17 D調査区 落水調査結果 (その1)

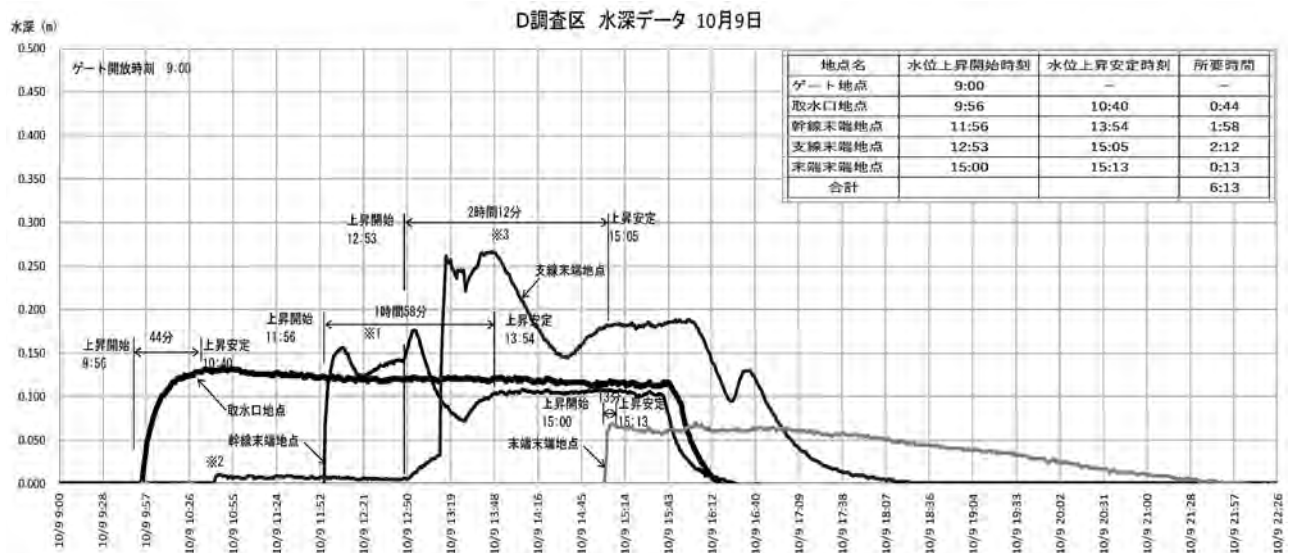


図-18 D調査区 復水調査結果

作を行っている。※2は、水路に溜まったゴミ(落ち葉等)による水路内の貯留水が、ゴミ上げを行ったことにより流下したものである。

このように、復水では、水位・流量の調整作業を伴い、大量の用水を一気に用水路内に通水することは困難である。このことから、取水操作により末端地点までの到達時間を縮減することには限界があることが判明した。

幹線及び支線用水路で水位・流量の調整に費やした時間は、約2時間程度であることを確認した。

なお、本調査は非かんがい期に実施しており、普通期や深水期の水位まで復水させていないこと

から、実際の復水には、更に時間を要することが想定される。

(4) D調査区 落水調査 (その2)

調査は、復水調査で使用した用水を落水する作業として、10月9日に実施した。

この調査では、実際に夜間入水に対応した取水操作を行う状況に近い状態での検証を目的に、用水路付帯の放流ゲートを開放することで、落水時間を最大限短縮した場合の落水時間を計測した。本調査区における落水に必要な時間は、図-19に示すとおり、6時間26分となった。落水調査(そ

の1)では、6時間56分であったことから、全体としては30分程度短縮されている。

地点別にみると幹線末端地点で47分、支線末端地点で1時間41分短縮されているが、図-19中※1の路線内に放流施設が無い末端用水路では、21分の短

縮にとどまっている。

落水時間の短縮は、用水路内に放流施設を整備するなど、立地条件や費用の制約を伴うことから、容易ではないと考えられる。

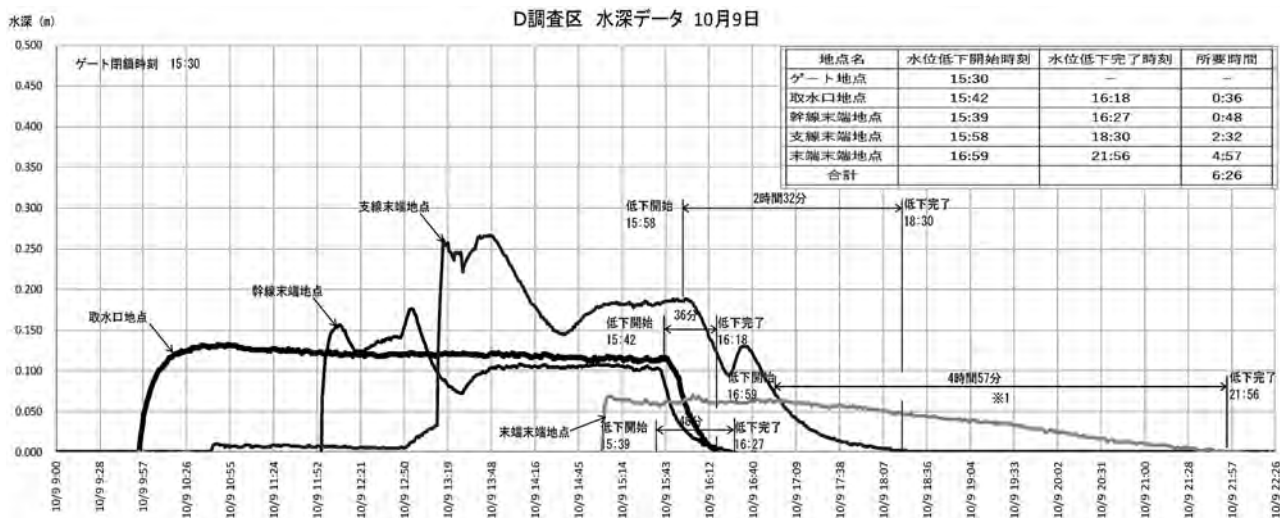


図-19 D調査区 落水調査結果(その2)

(5) 復水と落水の操作に係る所要時間

復水と落水に係る操作員の作業内容と所要時間は、現地調査により把握し、施設管理者からの聞き取りで補足した。

本調査では、9項目の作業内容に対して、18.0時間程度(重複含む)必要であることが判明した(表-3)。

表-3 復水と落水の操作に係る所要時間

番号	作業	所要時間
1	取水ゲート操作準備	0.5
2	取水ゲート閉鎖	0.5
3	水路内放流ゲート操作	3.0
4	落水状況の巡回監視	3.0
5	取水ゲート操作準備	0.5
6	取水ゲート開放	0.5
7	水位・流量調整	4.0
8	分水状況の巡回監視	3.0
9	受益者対応	3.0
	合計	18.0

(6) タイムラインの作成

復水と落水の所要時間を計測できた、D調査区における10月9日の調査結果をもとに、夜間取水

に対応した取水操作を行う場合に想定されるタイムラインを作成すると図-20のとおりである。

6. 取水操作可否の検証

図-20のとおり、圃場への入水が終了する6時から落水を開始し、圃場への入水が開始される18時までに復水を果たすためには、11時47分から復水を開始すると概ね営農指導にもとづく夜間入水が可能となる。

しかし、夜間入水に対応した取水操作を行うために必要な作業時間は、6時~21時過ぎまでの計15時間以上必要となる。

また、図-20は、D調査区のみを対象としたものであり、施設管理者が管理すべき施設は他にも数多く存在しており、作成したタイムラインを実現させることは、現在の施設管理者の管理能力をはるかに上回るものであるため、実現性は低いと判断される。次に、図-21のように、用水路内に一定の水量を流しておくことで、復水及び落水の所要時間を短縮することが可能か検討した。

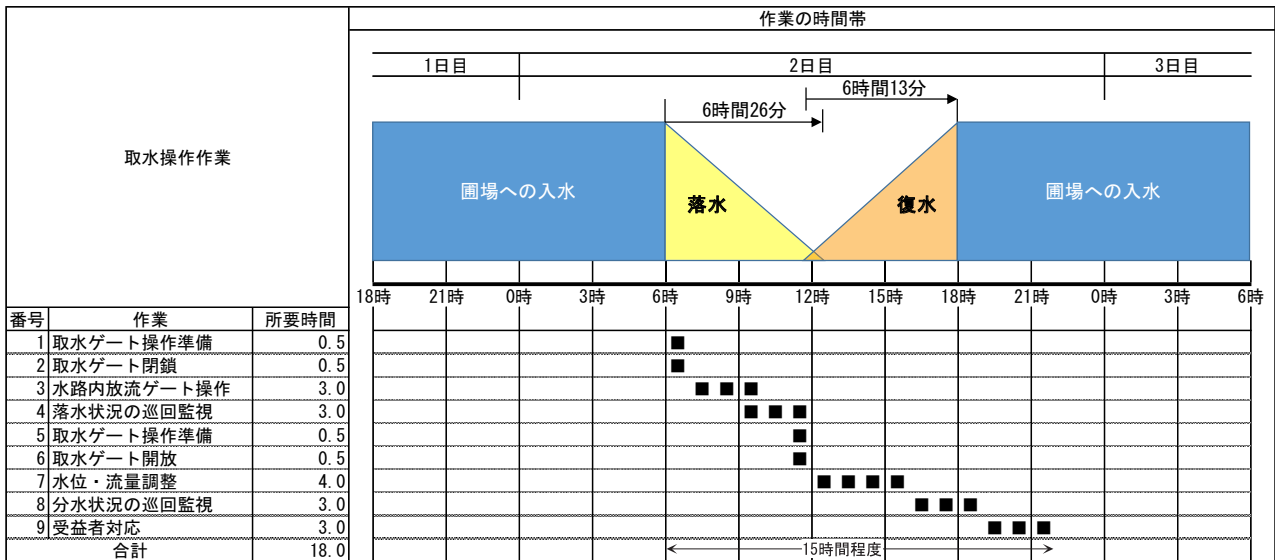


図-20 夜間取水を行う場合の取水操作タイムライン

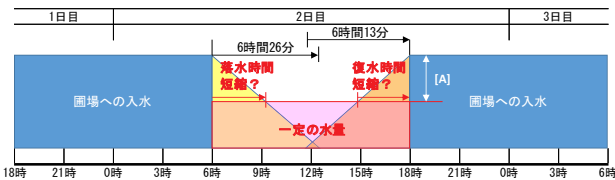


図-21 復水・落水時間の短縮概念

この結果、落水時間の短縮は可能であるが、復水時間は「圃場への入水量」と「一定の水量」の差(図-21の[A])を、取水口から末端まで送水する必要があり、その到達時間は復水調査の結果と大差ないものと考えられる。

したがって、図-22のように、落水時間の短縮により、復水の開始を早めることができるので、復水及び落水のトータル所要時間を短縮することはできる。

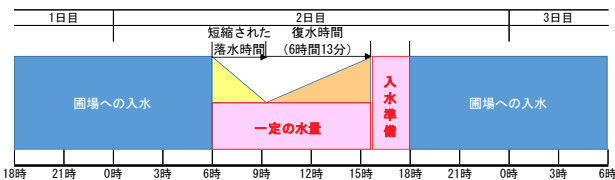


図-22 復水・落水時間の短縮モデル

しかし、このことに伴う取水操作作業の節減は、図-20における「水路内放流ゲート操作」に係る3時間程度であるため、大幅な節減には至らず、実現性は低いと判断される。

さらに、先述のとおり、時間取水の概念は河川協

議上(河道本川及び河川流況への影響を説明する上で)難しいと考えられる。

以上から、現時点における「圃場への夜間入水を反映した水利計画」は、図-23に示す、12時間の必要水量を24時間継続して取水するものとし、圃場で入水する12時間以外の水量を配水管理用水とした。

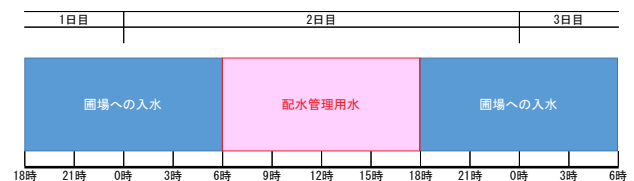


図-23 圃場への夜間入水を反映した水利計画

7. おわりに

本稿で示した検討事例は、数多い水利計画案の一例に過ぎない。また、他地区では、夜間入水とは異なった理由による「新たに必要となる水量」があるかもしれない。したがって、本稿で報告した事例は、地域の自然条件、地形条件、環境条件などによりそのまま活用できるものではないが、対策を検討する上での参考になれば幸いである。

(株)ルーラルエンジニア 計画水利部門 技師長)

参考文献

- 1) 水利権実務ハンドブック (国土交通省河川局水利調整室 S62.8~加除式)

パイプライン設計事例の報告

真田 栄一

1. はじめに

本稿では、国営かんがい排水事業芽室川西地区¹⁾において、用水施設が未整備である帯広区域に新たに整備されるかんがい施設のうち、配水系パイプラインについて、施工性、経済性、維持管理、環境との調和等を主体に設計した事例を報告する。

2. 地区の概要

芽室川西地区は、帯広市の南東部及び芽室町の南部に位置し、日高山脈の山麓から十勝川にかけて広がる20,623haの農業地帯である（図－1）。本地区の農業は、小麦、ばれいしょ、てんさい、豆類の畑作物を主体に、スイートコーン、ながいも等の野菜類を組み合わせた経営が行われている。

地区内の用水施設は、国営芽室土地改良事業（昭和56年度～平成19年度）により整備され、一部区域（芽室区域）に配水されているが、近年の営農状況の変化に伴い水需要が変化しているとともに、用水施設が未整備の区域（帯広区域）ではかんがい期間の降雨量が少ないため、農作物の生産や営農上の支障となっている。

このため、水需要の変化に対応した用水再編を行うとともに、用水路及び美生ダム管理施設の整備を行い、併せて関連事業において支線用水路を整備することにより農業生産性の向上と維持管理の軽減を図り、農業経営の安定を図ることを目的として、平成29年度に事業着手されている。

主要な施設として、美生ダムの改修、小水力発電設備の設置1箇所のほか、導水管路1条（19.4km）、

ファームポンド4箇所、送水管路1条（7.4km）、配水管路25条（113.7km）等の整備が計画されている。

3. 設計対象施設の概要

設計対象となる岩内幹線用水路は、南かわにしファームポンドを起点とし、かんがい面積2,830haに用水を供給する最大通水量0.517m³/s、全長13.3kmの配水系パイプラインである。

本報告は、岩内幹線用水路のうち、起点より1.7km下流地点から延長3.0km区間について実施したパイプラインの設計事例である（図－2）。



図－1 対象地区の位置図



図－2 設計対象施設の位置図

4. パイプラインの形式²⁾

本地区のかんがい方式は、普通畑へのかんがいに適した散水かんがいが採用されている。

散水かんがい方式において、各ローテーションブロックに設置される分水栓の必要圧は、①多孔管末端での必要圧、②多孔管の損失圧、③圃場配管の損失圧、④分水栓の損失圧の合計として、 6.3 kgf/cm^2 ($\approx 0.62 \text{ MPa}$) である (図-3)。

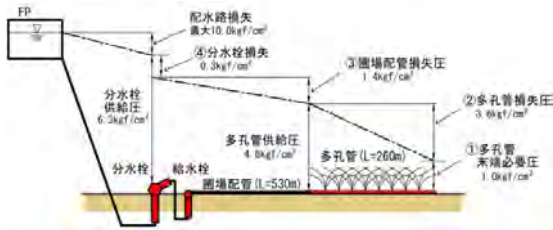


図-3 分水栓での必要圧

末端での圧力が必要なため、配水系パイプラインは、自然圧式（自然流下式）のクローズドタイプが採用されている (図-4)。また、配管方式については、本地区では管網配管よりも経済性に優れた樹枝状配管が採用されている。

パイプライン形式がクローズドタイプであることから、配水系管路の水管理形式は需要主導型であり、

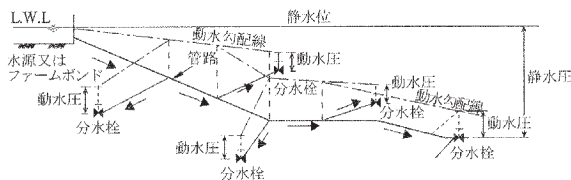


図-4 クローズドタイプの例



図-5 路線位置図

ファームポンドまでは24時間の送水、ファームポンド以降の配水系パイプラインは、22時間の水利用が計画されている。

また、本事業で設置する管路以降は、関連事業で支線水路として整備が計画されている。

5. 現地の状況

地区内の受益地は、南西側の高位部から徐々に標高が低くなるが、大部分が傾斜 3° 未満の平坦な地形である。

地区内は、300間四方の格子状の植民区画に沿って道路や防風林が配置され、大小さまざまな河川や明渠排水路が存在し、その多くが南から北に向かって流下している。

6. 路線の選定

(1) 基本方針

岩内幹線水路の路線選定に際しては、極力最短距離となる路線を基本とし、維持管理や施工上の有利性を考慮した上で、植民区画に配置された道路沿いに路線配置することを基本とした (図-5)。

また、設計区間を数区間に分け、各区间ごとに支障物（建物、電柱、水道等）を避ける路線を選定するとともに、動植物の生息、生育環境及び周辺環境との調和に配慮して、耕地防風林、河畔林の伐採を極力避ける位置に路線を選定するよう配慮した。

(2) 埋蔵文化財

路線沿いに埋蔵文化財がある場合は、その位置を回避することが最良であるが、埋蔵文化財の回避によって、工事費の増加や維持管理に支障をきたすことは好ましくない。

本設計区間においては、起点部付近（道道横断工付近）の牧草地が八千代B遺跡に該当し、縄文（早期）時代の土器が包含されていることが判明した（図-6）。

このため、路線選定に際しては、八千代B遺跡を回避する路線を検討したが、写真-1の道道のコンクリート擁壁が支障となり、迂回延長が大きく増加することにより、必要圧確保のため管径が増大し、工事費の増加につながる懸念された。

一方、計画路線は、受益地への最短ルートとなっており経済的であるため、発注者と帯広市が協議を行い、工事实施前に発掘調査を実施し、八千代B遺跡の発掘調査後に管路の施工を行う条件で計画路線に管路を埋設することの了承が得られる結果となった（写真-2）。このため、路線位置は計画通り号線道路沿いを通るルートとした。



八千代B遺跡	
名称	八千代B遺跡
登録番号	L-01-019
種別	遺物包含地
時代	縄文(早期)
立地	基線川右岸段丘
標高	270 m
出土遺物	土器

図-6 埋蔵文化財（北の遺跡案内ホームページ³⁾より）



写真-1 埋蔵文化財の位置（路線縦断方向）



写真-2 埋蔵文化財の位置（路線横断方向）

(3) 路線選定の結果

本設計業務においては、前述したとおり、号線道路沿いに路線を配置することを基本とし、号線道路の左右どちら側に路線を配置するかは、施工性・維持管理・経済性等を踏まえた比較検討により決定した（写真-3）。

なお、詳細路線位置は、構造物等（現道、排水路、林帯、電柱、水道、建物等）との位置関係にも十分留意した上で選定した。



写真-3 計画路線の一例

7. 埋設深の設定

(1) 基本方針

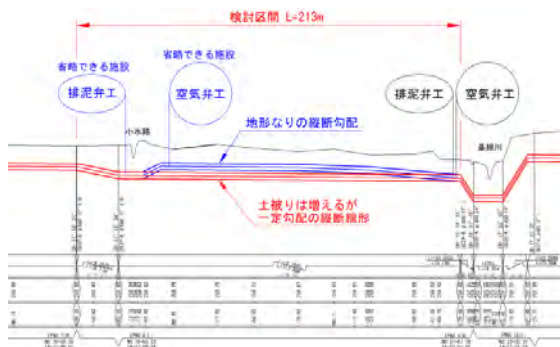
管路の埋設深は、凍上・凍結防止、浮上防止、耕地下、道路下等の各必要埋設深を満たすように設定する必要がある。

本設計区間のほ場内においては、地域の特産物である長いもの作付けを考慮して、耕土深1.2mに管体保護深0.6mを加えて、必要埋設深は1.8mとした。

(2) 縦断線形の見直しによる付帯施設設置費の節減

管路の必要埋設深を確保した上で地形なりに縦断計画を行った場合は、管路の凸部、凹部が多数生じ、それに伴って付帯施設も増加し、不経済となる可能性がある。

このため、本設計区間の縦断線形の検討では、地形なり案と比較の上、むやみに付帯施設を設置するのではなく、パイプラインの機能上必要な位置には付帯施設を設置し、必要性の少ない付帯施設は土被りを深くすることで省略し、コスト縮減を図った(図-7)。



【経済比較表】

	地形なりの縦断計画 (上図の青色の縦断線形)	[採用]縦断線形の見直し (上図の赤色の縦断線形)
付帯施設	排泥弁×2箇所 空気弁×2箇所	排泥弁×1箇所 空気弁×1箇所
平均土被り	2.06m	2.83m
概算工事費	①排泥弁工 1,808,000円×2箇所 =3,616,000円 ②空気弁工 960,000円×2箇所 =1,920,000円 ③管路上工 18,174円/m×213m =3,871,000円 合計 =9,407,000円	①排泥弁工 1,808,000円×1箇所 =1,808,000円 ②空気弁工 960,000円×1箇所 = 960,000円 ③管路上工 21,596円/m×213m =4,600,000円 合計 =7,368,000円
コスト縮減額	9,407 - 7,368 = 2,039 (千円)	

図-7 縦断線形の見直しと経済比較

8. 管種・管径

(1) 管種の選定方針

本設計区間では、末端の必要圧を満たすため、管径はφ800～φ700mmを選定した。設計水圧は0.78～0.99MPaと全線1.0MPa以下であった。

管種は、耐震性、管体及び継手の安全性からとる性管を採用するものとし、口径と使用水圧から使用可能な強化プラスチック複合管、ダクタイル鋳鉄管、鋼管の中から安全性及び経済性を踏まえ管種を選定する方針とした(表-1)。

表-1 各管種の適用口径と適用水圧

管種		口径 (mm)		水圧 (MPa)		管種の 適合
		適用	適合	適用	適合	
硬質ポリ塩化ビニル管	VH	75～150	×	1.25	○	×
	VP	13～300	×	1.00	○	×
	VM	350～500	×	0.80	×	×
	VU	40～700	×	0.60	×	×
ポリエチレン管	PE	50～300	×	0.31	×	×
強化プラスチック複合管 (FRPM)	1種		○	1.30	○	○
	2種		○	1.05	○	○
	3種	200～3000	○	0.70	×	×
	4種		○	0.50	×	×
	5種		○	0.25	×	×
ダクタイル鋳鉄管	DCIP	75～2600	○	1.00	○	○
鋼管	STW	80～3000	○	管径による	○	○

*ダクタイル鋳鉄管の許容水圧は、最も許容水圧の低いALW形2種の場合を示す。

(2) 低圧用ダクタイル鋳鉄管 (ALW形) の使用によるコスト縮減

ダクタイル鋳鉄管 (ALW形) は、広く使用されているダクタイル鋳鉄管 (T形) をベースに、T形継手と同等の伸縮性や可とう性を確保しつつ、適用範囲を設計水圧1.0MPa以下に限定することで価格を抑えた管材である。

また、ALW管の内面には、従来のモルタルライニングに変わり、シリカエポキシ樹脂塗装が採用されており、粗度の改善により、損失水頭が低減され、下流工区の口径をランクダウンできる可能性がある。

本設計区間の設計内圧は、1.0MPa以下であるため、コスト縮減の観点から、ダクタイル鋳鉄管は、ALW管を選定対象とした。



前述の適用口径と適用水圧から採用可能なダクタイル鋳鉄管 (DCIP)、鋼管 (STW)、強化プラスチック複合管 (FRPM) の経済比較を行った結果、最も経済的な管種は、管径800mm、700mmともにダクタイル鋳鉄管のALW形 (DCIP-AL2種) となった(表-2)。

表-2 管材費の比較 (m当り)

順位	管種	管級	管材費(円/m)	
			φ800	φ700
1	ダクタイル鋳鉄管(DCIP)	AL2種	37,000	30,240
3	強化プラスチック複合管(FRPM)	2種	43,000	36,333
2	鋼管(STW)	A種	78,833	67,667

*経済比較は、各管種の標準断面が同一となることから、管材費による比較とした。

表-3 ダクタイトル鑄鉄管のT形(事業計画)とALW形(本設計)の経済比較

管 材	【事業計画】 ダクタイトル鑄鉄管(T形)	【本設計】 [採用]ダクタイトル鑄鉄管(ALW形)
イメージ		
施工延長(m)	φ 800 : 2,317m φ 700 : 683m 合計 ΣL=3,000m	φ 800 : 2,317m φ 700 : 683m 合計 ΣL=3,000m
概算工事費(円)	① φ 800 T形DD種 (1本/6m) =310,030円 ÷ 6m × 2,317m =119,723,000円 ② φ 700 T形DB種 (1本/6m) =265,510円 ÷ 6m × 683m =30,224,000円 小計 149,947,000円 諸経費60% 89,968,000円 合計 239,915,000円	① φ 800 AL2種 (1本/6m) =222,000円 ÷ 6m × 2,317m =85,730,000円 ② φ 700 AL2種 (1本/6m) =181,440円 ÷ 6m × 683m =20,654,000円 小計 106,384,000円 諸経費60% 63,830,000円 合計 170,214,000円
コスト縮減額	239,915 - 170,214 = 69,701 (千円)	

また、事業計画で選定されていたダクタイトル鑄鉄管のT形管と今回採用したALW形管を比べると、事業計画時よりも69,701(千円)のコスト縮減となった(表-3)。

9. 排水対策

(1) 対策の経緯

地区内で先行施工している箇所において、パイプラインの基礎材(砂利)を通じて上流から地下水が流下し、写真-4のように低位部のほ場で湧水する状況(発注者提供)



写真-4 低位部のほ場で湧水する状況(発注者提供)

水する現象が生じていた。

本業務も粘性土地盤で下り勾配の区間があり、同様の現象が起こり得るため、対策が必要となった。基礎材を流下する地下水のイメージを図-8に示す。

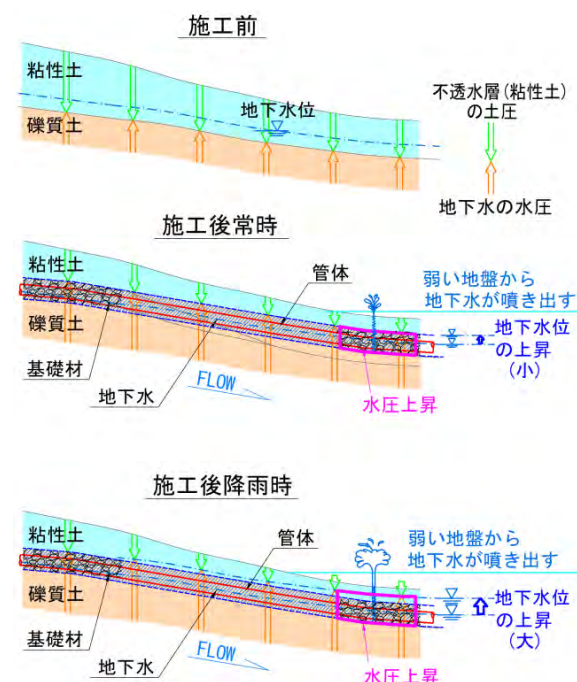


図-8 基礎材を流下する地下水のイメージ

(2) 排水対策

排水対策として、パイプラインの基礎材部分に一定区間ごとに止水壁とドレーンパイプを設け、基礎材内を流下する地下水を排除する設計とした。

排水先は、区域内にある河川及び明渠排水路を対象とし、排水可能な高さを確保できる排水先を基準に排水対策区間を区切って検討した（図-9～12）。

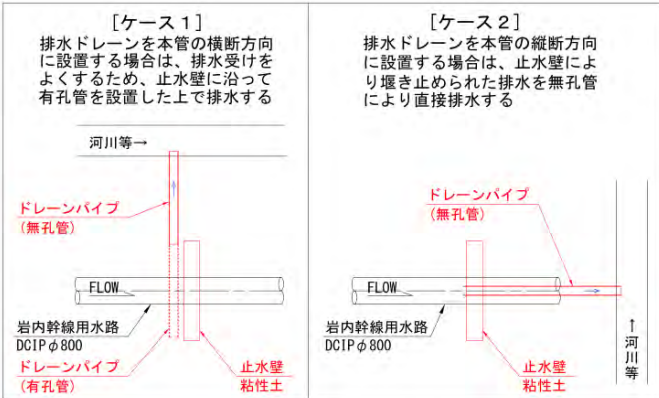


図-9 止水壁とドレーンパイプの配置例（平面図）

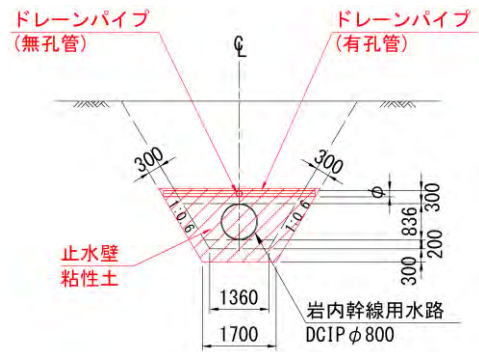


図-10 管路部の断面図

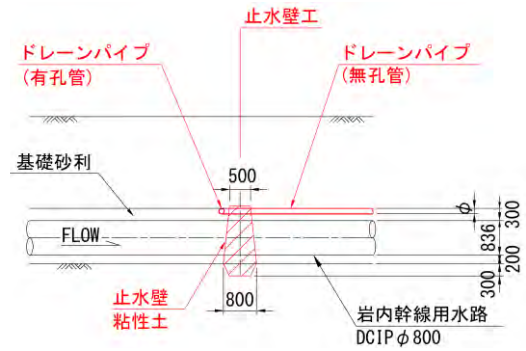


図-11 止水壁とドレーンパイプの側面図

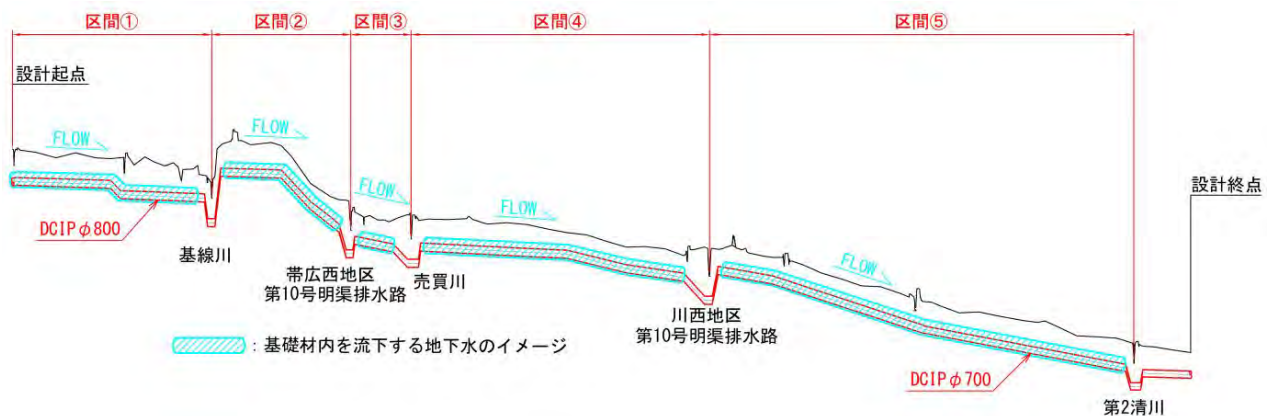


図-12 設計路線と排水先の位置関係（平面、縦断）

(3) 排水量の算定

排水量の算定にあたっては、井戸理論による水替工の排水量算定法を用いて排水ドレーン管の口径を検討した。

1) 影響半径R

影響半径はSeichardt (ジハルト) の式による。

$$R = 3,000s \cdot \sqrt{k}$$

ここに、R : 影響半径 (m)

s : 水位低下量 (m)

k : 透水係数 (m/sec)

2) 排水量算定式

排水量の算定式は、対象施設が管水路であることやボーリング柱状図より、断面二次元浸透・不圧帯水層・完全貫入モデルを採用する (図-13)。
[不圧帯水層 (完全貫入状態)]

$$Q = \frac{k \cdot (H^2 - h_0^2)}{R} \cdot L$$

ここに、

Q : 排水量 (m³/sec) L : 延長 (m)

k : 透水係数 (m/sec) H : 初期地下水位 (m)

h₀ : 内水位 (m) R : 影響半径 (m)

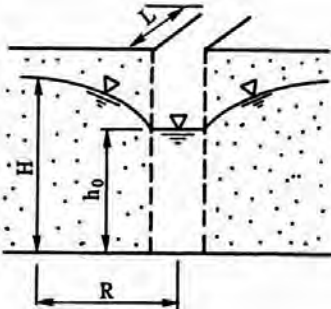


図-13 不圧帯水層 (完全貫入状態) の概念図(1)

また、不透水層が深い場合は、図-14により排水量を算定する。

$$Q = \frac{\pi \cdot k \cdot H_0}{2.3 \log_{10} (2R/r_0)} \cdot L$$

ここに、

Q : 排水量 (m³/sec) L : 延長 (m)

k : 透水係数 (m/sec) r₀ : 溝幅の1/2 (m)

R : 影響半径 (m)

H₀ : 初期地下水位と内水位の差 (m)

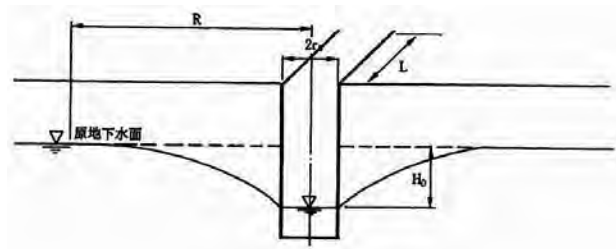


図-14 不圧帯水層 (完全貫入状態) の概念図(2)

本設計においては、不透水層が深い場合の算定式を用い、排水量は表-4に示すとおり、0.002~0.010m³/sとなった。

表-4 排水量の計算結果表

区間	透水係数 k (m/s)	影響半径 R (m)	初期地下水位と 内水位との差 H ₀	延長 L (m)	溝幅の1/2 r ₀ (m)	排水量 Q (m ³ /s)
区間①	0.00000645	28.0	3.66	510	1.48	0.010
区間②	0.00000645	21.0	2.71	350	1.48	0.006
区間③	0.00000645	14.0	1.79	150	1.48	0.002
区間④	0.00000645	24.5	3.20	760	1.48	0.014
区間⑤	0.00000645	16.5	2.15	1080	1.48	0.015

(4) 排水ドレーンの管径

各区間ごとに算定した排水量から、通水能力の検証を行う。算定式は寒地フルーム水路設計施工要領による。

$$Q = A \cdot V$$

$$A = \pi \cdot D^2 / 8$$

$$V = 1/n \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

(マンニング公式による)

ここに、A : 排水管の通水断面積 (m²)

D : // 内径 (m)

R : // 径深 (=D/4)

I : // 内径 (水路と同一)

n : // 粗度係数 (内面平滑コルゲート管に泥が付着した場合0.013)

算定の結果、表-5に示すとおり、排水ドレーンの管径は、150mm~250mmとなった。

表-5 排水ドレーンの管径の計算結果表

区間	排水管口径 (mm)	排水管本数 (本)	通水断面積	勾配 (1/n)	径深 (m)	粗度係数	流速 (m/s)	限界通水能力 (m ³ /s)	判定
区間①	0.20	1	0.016	250	0.050	0.013	0.660	0.011	ok
区間②	0.15	1	0.009	70	0.038	0.013	1.030	0.009	ok
区間③	0.15	1	0.009	1000	0.038	0.013	0.273	0.002	ok
区間④	0.25	1	0.025	460	0.063	0.013	0.565	0.014	ok
区間⑤	0.25	2	0.025	1000	0.063	0.013	0.383	0.019	ok

(5) 具体の排水対策例

図-15に設計事例として、区間②における排水対策の図面を添付する。

区間②は、排水量 $Q=0.006\text{m}^3/\text{s}$ 、排水ドレーンの管径が150mmである。排水先は帯広西地区第10号明渠排水路であり、基礎材内を流下してきた地下水を止水壁によりドレーンパイプに導き、自然排水する計画とした。

なお、ドレーンパイプは、管路基礎の下端部から流下させることが望ましいが、本設計箇所においては、排水先の標高が高いため、管頂30cmの位置にドレーンパイプを設置し、排水する設計とした。

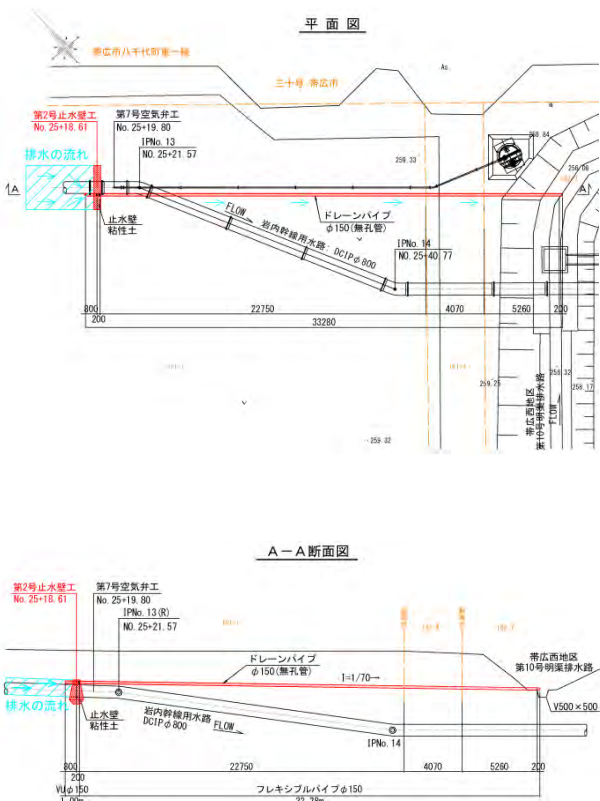


図-15 ドレーン排水の設計例（区間②）

10. 関連事業の施行を踏まえた設計

本地区では、関連事業による分水栓以降の圃場配管の整備が計画されている。

一般的には、国営事業での施行範囲は、分水栓までとなるため、分水栓のエルボ以降の配管は関連事業の施行となるが、このような施工を行うと関連事業の施行時に分水栓の保護管を一度撤去した上で配管を行うという二度手間が生じるため、圃場配管の施工時に国営事業で整備した管路及び分水栓が支障とならないように配慮した（図-16）。

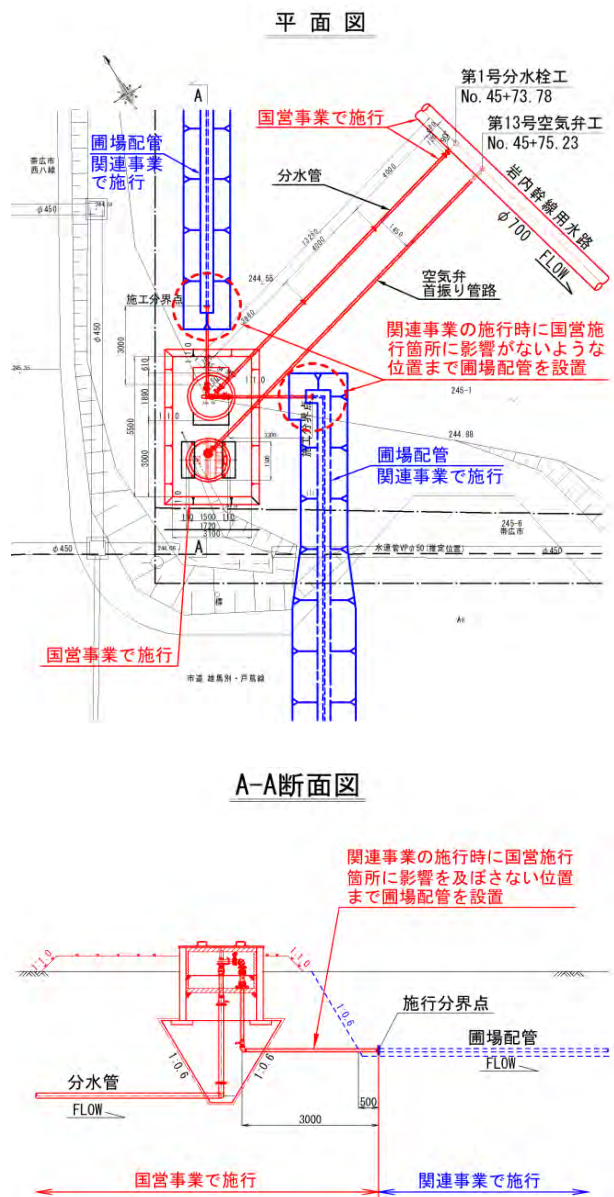


図-16 関連事業の施行を考慮した分水栓の設計

11. 環境との調和への配慮

(1) 地域の状況

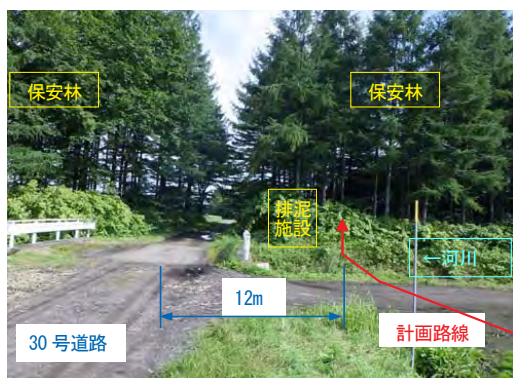
本地域は、一級河川十勝川水系十勝川と札内川に挟まれた農業地帯であり、農地と耕地防風林や河畔林により農村景観が形成されている。また、地区内の小河川、農業用排水路及びその周辺では、希少な哺乳類、魚類、底生動物等の多くの生物の生息、生育が確認されている。

本設計区間内には保安林があるため、林帯の伐採範囲を最小とし、環境との調和に配慮する必要があった。

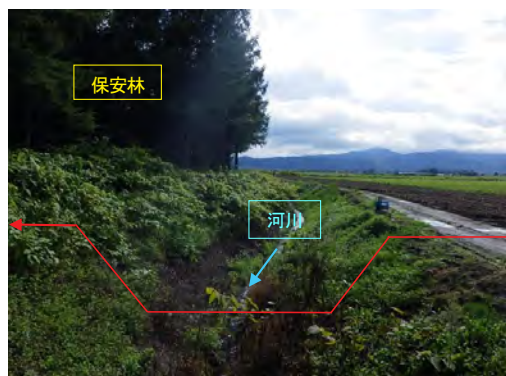
(2) 保安林横断位置の計画

保安林手前にある河川を横断する位置は、道路橋に支障ない位置とするため、現道の中心から12m離れた位置に路線を配置した。また、管理上から、この位置に排泥施設の設置が必要となった。

この条件の中、保安林のどの位置を横断するかによって、林帯の伐採幅も変わるため検討が必要となった（写真－5、6）。



写真－5 保安林手前の河川横断

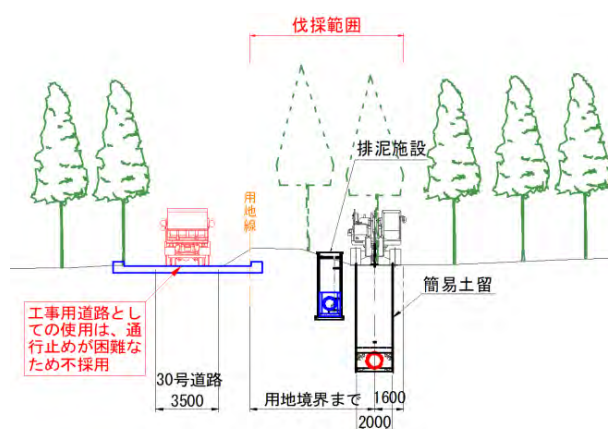


写真－6 保安林手前の河川横断

1) 現道利用の検討

現道を工事用道路として使用することができれば施工幅及び保安林の伐採範囲を最小限にすることが可能である。

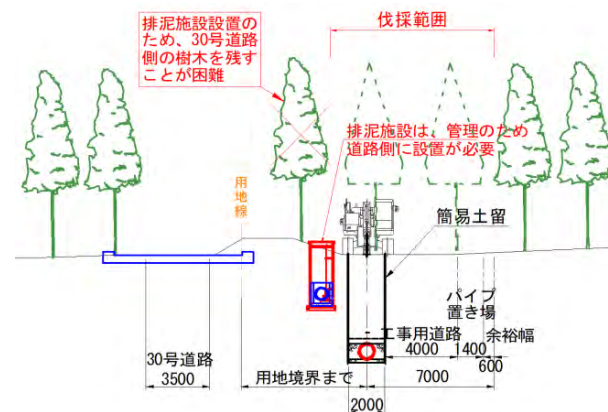
一方、対象箇所の30号道路は、車道幅員が3.5mと狭く、車両のすれ違いができないため、工事用道路として使用する場合には、数日間の通行止めが必要である。近くにある民家の生活道路となっていることや、ほ場への通作といった営農の支障となるため、現道を工事用道路として使用することを断念した（図－17）。



図－17 現道を工事用道路として使用する場合の計画

2) 現道側の樹木を残す場合の検討

次に現道側の樹木を残すことによって、林帯間の距離を短くすることで、生息する動物等への影響を最小にすることを検討した。しかし、管理上配置が必要な排泥施設は、維持管理の面から道路側への設置が要望されたため、現道側の樹木を残すことは難しいと判断した（図－18）。

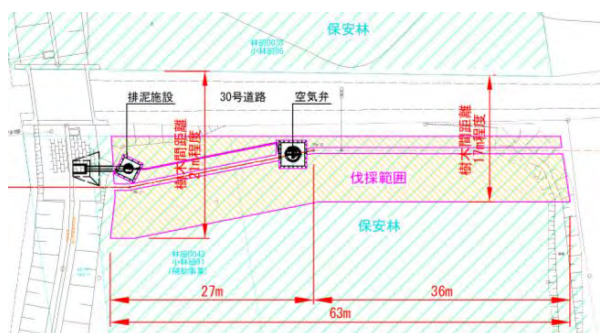


図－18 現道側の樹木を残す場合の計画

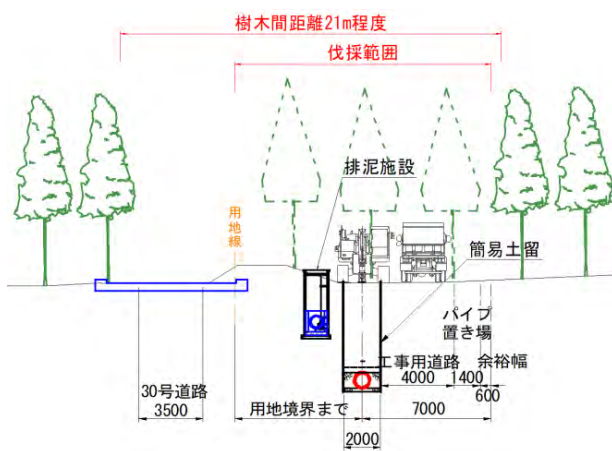
3) 保安林内への管路掘削範囲と工事用道路の配置

次に、保安林内に管路の掘削範囲と工事用道路の配置の設置を行うことを検討した。

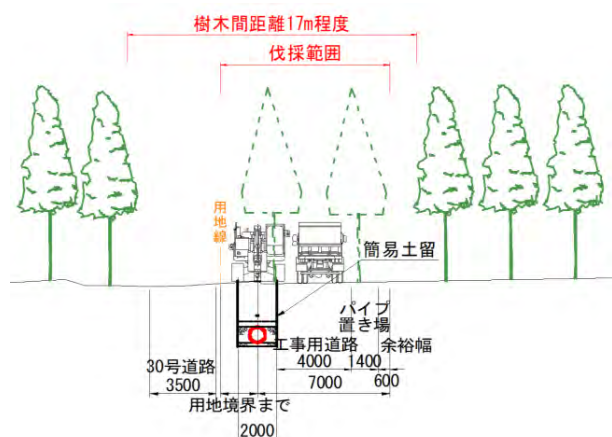
伐採範囲を最小化するため、簡易土留めによる施工とすることで、樹木間距離は、排泥施設設置箇所まで21m程度（保安林内横断区間長の約4割：27mの延長）、排泥工以降の区間で17m程度（保安林内横断区間長の約6割：36mの延長）となり、生息する生物等への影響を最小にすることができると考え、保安林横断工法の採用に至った（図一19～21）。



図一19 保安林横断区間の平面図



図一20 簡易土留で保安林内に配管する計画（排泥施設箇所）



図一21 簡易土留で保安林内に配管する計画（排泥施設以降）

12. おわりに

パイプラインの設計技術者のバイブルである「土地改良事業計画設計基準・設計『パイプライン』」は、昭和48年3月に「水路工（その2）パイプライン」として制定され、その後、4回にわたる一部あるいは全面改定を行いながら、平成13年の土地改良法の改正による「環境との調和への配慮」の原則化、兵庫県南部地震の教訓を踏まえた「土地改良施設耐震設計の手引き」の取りまとめ、農業水利施設の更新に着目した設計への取組の必要性等から、平成21年3月に一部改定が行われた。

その後、東北地方太平洋沖地震等の被災の経験、パイプラインの要求性能（管材の長期特性、流速係数C値）への対応、施設の長寿命化の観点、技術の進展等から、令和3年6月に6回目の改定がなされた。

技術者も、時々の変化と要請に対応して改正されていく設計基準に乗り遅れないために、日頃から情報収集に務め、業務に生かしていくことが重要と考える。

また、本基準は〈基準の運用〉の「3設計の基本」で、「…また、施設の設計に当たっては、パイプラインの建設と管理がともに経済的に行われ、かつ、環境との調和に配慮しつつ、総合的な検討を行わなければならない。」と記している。

本報告においても、冒頭のとおり施工性、経済性、維持管理、環境との調和を主体に記述したつもりである。

本報告が今後の同種業務の参考になれば幸いです。

最後に、本報告を寄稿する機会を与えてくださった（一社）北海道土地改良設計技術協会に感謝申し上げます。

（サンスイコンサルタント(株)北海道支社 技術部 技術第3グループ 上席技師）

<参考文献>

- 1) 国営芽室川西土地改良事業計画書（北海道開発局）
- 2) 土地改良事業計画設計基準及び運用・解説設計「パイプライン」平成21年3月（農林水産省農村振興局整備部設計課監修）
- 3) 北の遺跡案内ホームページ

<https://www.dokyoj.pref.hokkaido.lg.jp/hk/bnh/kitanoisekiannai.html>

報 文 集 第33号

令和3年9月30日

編 集 (一社)北海道土地改良設計技術協会

広報委員会 山岡 俊彦・菊地 誠・福田 正信・下谷 隆一
辻 雅範・福山 正弘・羽原 信也・高野 尚
大友 秀文・横川 仁伸・川口 宏

発 行 (一社)北海道土地改良設計技術協会

〒060-0807 札幌市北区北7条西6丁目NDビル8階
電 話 (011)726-6038 F A X (011)717-6111

印刷 (株)三誠社 電話 (011)622-9211



●表紙写真●

第35回「豊かな農村づくり」写真展
北の農村フォトコンテスト応募作品

『散 水』

—美瑛町にて撮影—

庵原 政章 氏 作品

A E C A

HOKKAIDO

Agricultural Engineering Consultants Association