

報 文 集

令和 7 年度



第37号

一般社団法人 北海道土地改良設計技術協会

報 文 集 第37号 目 次

区画整理設計におけるVR技術の活用	1
三木田 優 太・澤 代 直 哉	
パイプラインの通水試験実施における取り組み	11
曾我部 浩 二	
国営かんがい排水事業「漁川右岸地区」における事業計画検討事例	18
渡 部 浩 二	
先端技術導入実証事業における3次元測量・設計について —国営緊急農地再編整備事業 旭東地区—	28
村 上 正 宜	
雄武丘陵地区における可視化ツールを用いた受益者との合意形成について	37
鈴 木 聡 明	
暗渠排水疎水材における砕石から代替疎水材への検討	42
前 田 輝	
風連多寄地区における排水路分流施設の設計事例 —真狩川分流施設の事例（分流工、国道・JR横断工の設計）—	50
西 野 宏 謙	
排水機場への供給水の水源検討事例	57
林 保 慎 也	
かんがい用取水井戸設備における井戸内カメラ調査と井戸内洗浄の事例	63
佐々木 大	
水中ドローンを用いた真駒内ダム取水塔における不可視部分の調査事例	69
小 林 大 介・中 川 慎 司	
UAV空撮画像を活用した用水路側壁の傾倒監視手法について	77
佐々木 尊・須 藤 勇 二	
GISデータ整理における生成AIを活用した効率化事例	82
半 澤 菜 穂	

区画整理設計におけるVR技術の活用

三木田 優太・澤代 直哉

1. はじめに

近年、農業農村整備事業の実施において、調査、設計、施工をはじめ、維持管理、さらには営農の各段階における BIM/CIM の活用が進んでいる。事業全体にわたる関係者間の情報共有と、食料生産システムの効率化に寄与することが期待される。今後、農林水産省では、CIM によって作成された農地の地形データのスマート農業への活用を推進している。

本報文では、国営緊急農地再編整備事業伊達地区で整備する区画整理設計を行うにあたり、三次元データの取得により、VR 技術を活用することで受益農家との円滑な合意形成と設計の妥当性検証における効果が得られたので、その内容について報告するものである。

2. 伊達地区の概要

事業地域は伊達市に位置し、北西に有珠山や昭和新山、南は噴火湾（内浦湾）に面して立地している（図－1）。地形は、北側の山地から南側の噴火湾に向かってなだらかな斜面が続き、農地は噴火湾に注ぐ二級河川長流川流域に広がっている¹⁾。

伊達地区では、キャベツ、スイートコーン等の野菜を中心に、てんさい、小麦のほか、水稻等を組み

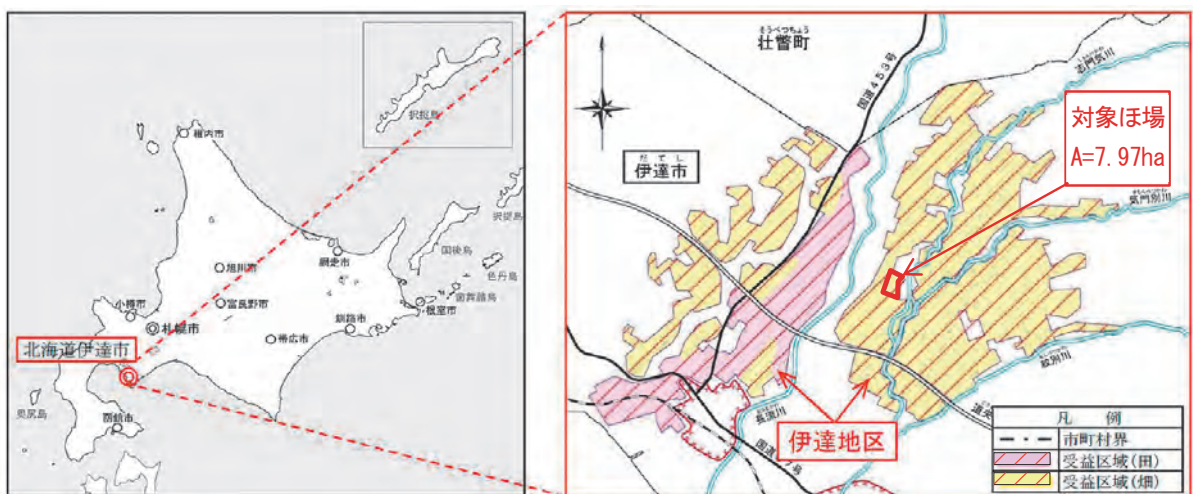
合わせた農業経営が行われ、特に、野菜類に関しては、「伊達野菜」としてブランドを確立している。一方、地区内の農地は、1ha 未満の畑が約 7 割、30a 未満の水田が 9 割以上を占めるなど小区画で不整形なほ場が大部分である。加えて、地区内の約 5 割の区域で、土壌条件に起因する排水不良を生じ、約 3 割の農地において石礫が多く出現し、効率的な農作業を行う上での妨げとなっている。このため、本事業では、水田 225ha、畑 1,056ha を対象として区画整理を行い、耕作放棄地を含めた農地の土地利用を計画的に再編し、さらに、担い手への農地の利用集積と優良農地の確保を図り、農業の振興と地域の活性化を図ることとしている²⁾。

3. 区画整理の設計

(1) 設計概要

本報告は畑地の区画整理に係る調査、設計に関するものである。本設計では、区画整理 7.97ha を対象とし、地上測量に加え、UAV による点群データを取得した。土質条件は火山灰粘性土、地形は丘陵地、標準区画は普通畑で 5.1ha（225m × 225m）である。

対象ほ場は周辺より高台に位置し、西側と南側は伊達市道が隣接、北側と東側は沢地で樹木が繁茂し



図－1 伊達地区位置図

ている。現況ほ場は3耕区あり、勾配が10%以上の急峻な地形となっている。

(2) 区画整理の課題

現況ほ場は、これまで大規模な整備がされておらず、区画は1.7ha～3.4haと比較的大きいものの、急峻な地形と排水不良などに起因して、営農作業効率の低下を招いていた。これは地区全体に共通する課題である。現地調査及び第1回受益農家打合せで聞取りしたほ場の特徴や営農阻害要因等をもとに、現況ほ場の整備を進める上で課題を整理すると以下のとおりである。

課題①：ほ場の大区画化

現況のほ場は3つの耕区に分かれ、No.1耕区は約3.4ha、No.2とNo.3耕区は約1.7haと、地区内では中規模面積となっている(図-3)。No.1とNo.2は同一の耕作者であるが、区画形状の違いと耕作道路によりほ場が分断している状況である(写真-1)。今後、大型機械の導入による営農効率の向上を図るためには、ほ場の大区画化が課題である。

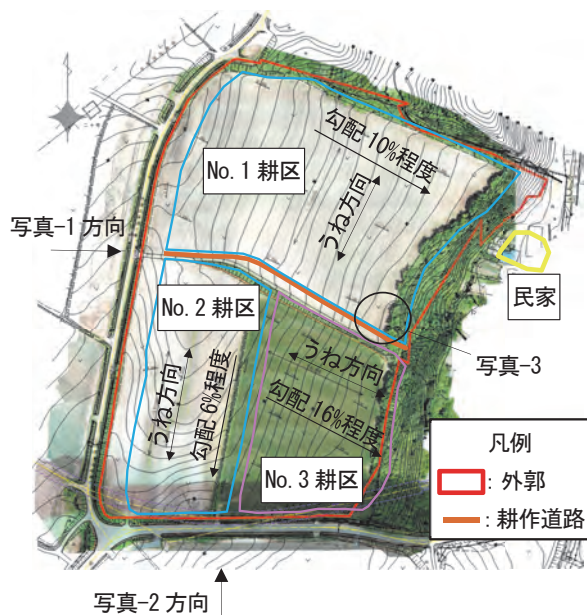


図-3 現況ほ場



写真-1 No.1耕区とNo.2耕区との隣接状況

課題②：ほ場勾配の緩勾配化

ほ場勾配はNo.1耕区は西から東に向け10%程度の下り勾配で、その東端は急な下り斜面となり、その下に民家が建っている状況である(図-4)。このため、うね方向を勾配方向と合わせると雨水が斜面に流れ、斜面崩壊の恐れがあった。また、No.3耕区も西から東に向け16%程度の下り勾配となっており、No.1とNo.3は共に営農作業機械の横転リスクが高く、機械の運転に苦慮している(写真-2)。営農作業の安全性の確保のためには、ほ場勾配の緩勾配化が課題である。

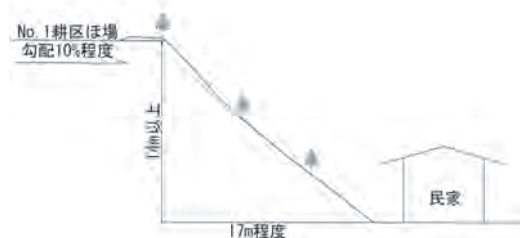


図-4 No.1耕区ほ場と民家との概略断面図



写真-2 現況ほ場の全景

課題③：排水対策

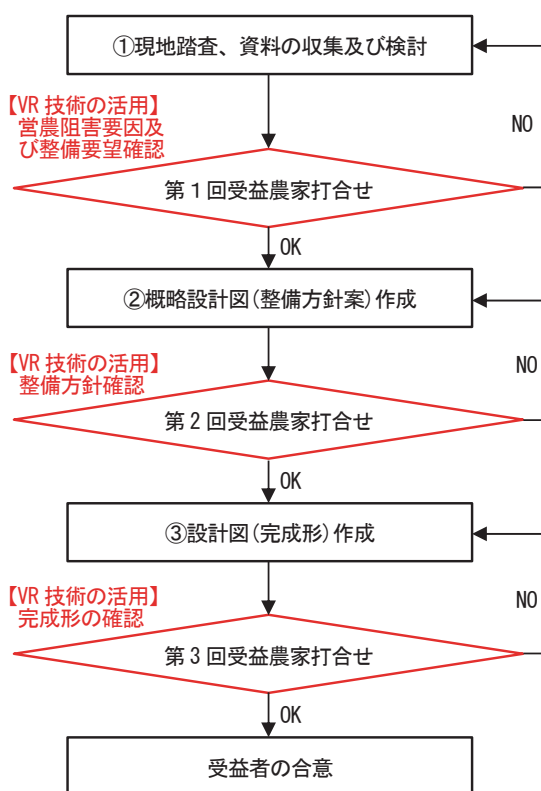
現況の各ほ場には排水施設が無く、暗渠排水も整備されていない。ほ場は急傾斜であるため、降雨時に雨水と共に表土が低地に集まり、表土溜まりと排水不良を生じて生育不良の箇所が発生している(写真-3)。また、対象ほ場の東端に雨水が集中する地形であり、排水施設が無いために斜面崩壊の危険性が高い。このため、作物の生産性向上とともに、安全性の向上を図る排水対策が課題である。



写真-3 排水不良箇所

課題④：受益農家との合意形成と設計の妥当性検証

受益農家打合せでは受益農家との合意形成が重要である。合意形成を図るため業務を進めるに当たっては、①現地踏査、資料の収集及び検討後、②概略設計図作成後、③設計図作成後の各段階で、受益農家打合せを開催した（図－2）。受益農家打合せでは従前は、平面図、横断図、附帯施設詳細図（2D）を提示し、現況と整備案の区画形状、ほ場勾配及びほ場の傾斜方向の違い、切土・盛土高、取付道路の形状・勾配、排水施設、土砂溜の規模等を口頭で説明を行っていた。この際、2Dの図面や口頭説明でイメージできない場合、「打合せ時間の長期化」「打合せの追加」の他、「受益農家への個別訪問」や「現地立会い確認」の必要を生じ得る。このような受益農家との合意形成の遅延は、工程の遅延を招くおそれがある。工程の遅延を解消するための受益農家との円滑な合意形成は、設計の妥当性を検証するための重要な要素でもある。受益農家の合意形成と設計の妥当性検証を同時に実施するための解決手法の開発が課題である。



図－2 業務フロー図

4. 課題解決に向けた VR 技術の導入と設計開発

(1) VR 技術の概要

VR 技術（仮想現実）とは、コンピューターを使っ

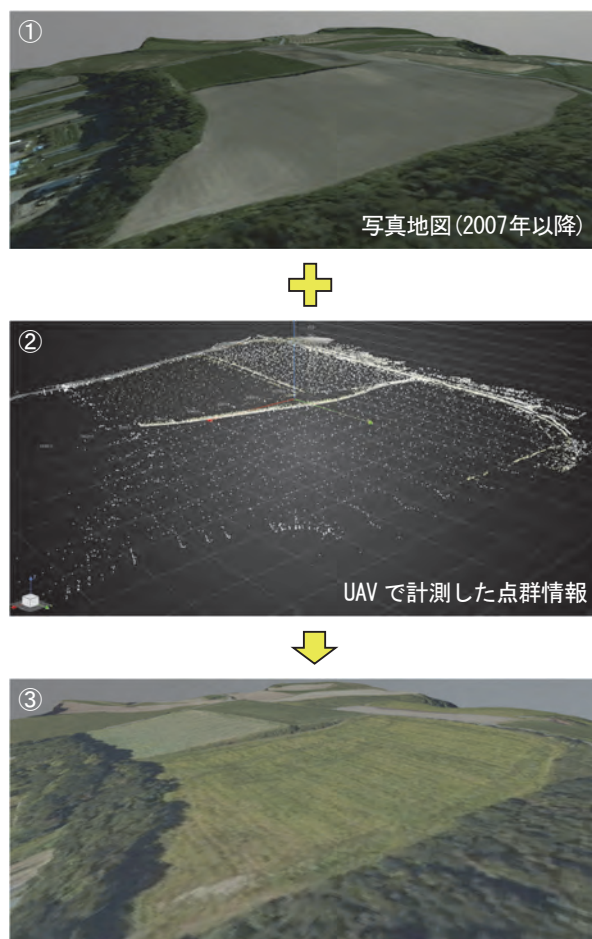
て作り出された仮想的な空間や状況を、現実のように体験できる技術のことである。一方で AR 技術（拡張現実）は、現実世界にデジタル情報やオブジェクトを重ね合わせる技術で、現実とデジタルが融合した体験ができる技術のことである。

前述の課題に対応して、いくつかの設計パターンを検討し、その上で発注者及び受益農家への説明を行うが、有効な手段としては上記のうち、参加者全員と視覚的に共有ができる VR 技術を活用することとした。VR の活用にあたっては運転シミュレーションによる、実際には場をトラクタで走行している感覚を再現可能とした。

(2) 本業務で採用した VR の作成

1) 現況地形空間モデル

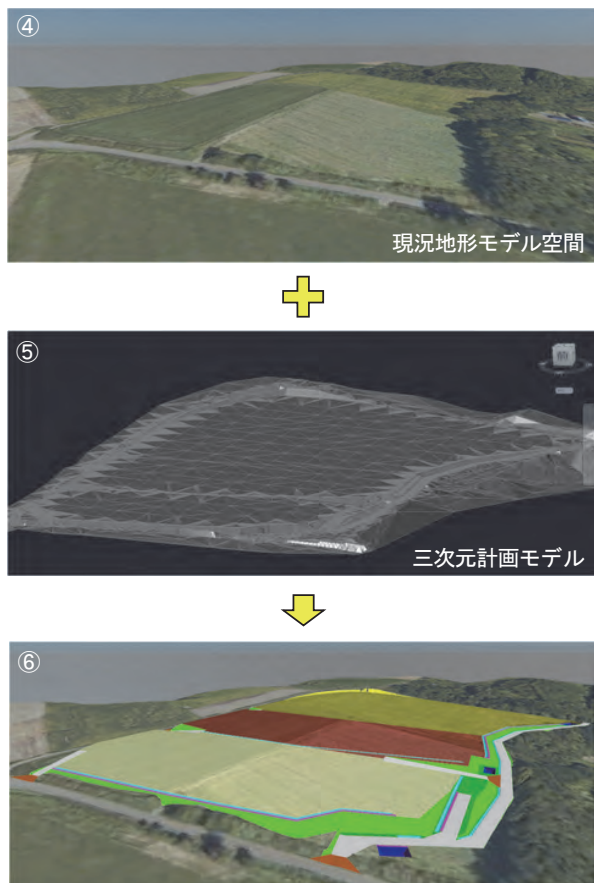
計画ほ場空間モデルと比較するため、現況地形空間モデルを作成した。現況地形空間モデルは、UC-win/Road（株式会社フォーラムエイト）を用いて、国土地理院の写真地図（2007 年以降）に UAV で計測した現況地形の点群情報を合成して作成した（図－5）。



図－5 現況地形空間モデル

2) 計画空間モデル

計画空間モデルは、説明資料として、区画形状の他、附帯施設（耕作道路及び取付部、排水路及び承水路、土砂防止施設等）等の完成形を表現した。計画空間モデルの作成は、現況地形空間モデルを基に、3DCADによる三次元計画モデルを合成した後、ほ場（受益農家毎）、切土（黄色）・盛土（緑色）、道路（灰色）及び取付部（茶色）、排水路（承水路）（水色）、車両止畦畔（紫色）、土砂防止施設（藍色）に色分けし、一目でイメージがわかるように作成した（図－6）。



図－6 計画空間モデル

3) トラクタ CG モデルの作成

受益農家打合せでの運転シミュレーションでは、よりイメージを現実に近づけ、リアルな体験ができるよう、トラクタモデルを作成した。

a) トラクタ機種の選定

ひと口にトラクタと言っても、メーカーは多数あり、型式も大型から小型まで多種多様である。そこで機種の選定に際しては、スマート農業に対応が可能で、汎用性が高く、伊達地区の受益農家が使用し

ている標準的な機種とした。選定したトラクタは最高出力 150PS で、その他の主要諸元は表－1 に示す。

表－1 トラクタの主要諸元⁴⁾

型式		M7-152
駆動方式		4WD
機 体 寸 法	全長 (mm)	4760
	全幅 (mm)	2485
	全高 (mm)	3010
	軸距 (mm)	2720
輪距 (mm)	前輪	1910
	後輪	1810

b) トラクタ CG モデル

実物のトラクタに乗った感覚を運転シミュレーションで再現するため、実際のトラクタの外見と内装を実物で確認（写真－4）した。また、Lidar 搭載の iPadPro を使用して点群計測を行い（図－7）、トラクタの CG モデルを作成した（図－8）。トラクタの三次元モデルの作成にあたっては、苫小牧市にある株式会社北海道クボタ「北海道クボタビジターセンター」の協力を得た。



写真－4 トラクタ（M7－152）



図－7 トラクタの点群計測データ



図－８ トラクタ CG モデル

(3) 区画整理の検討

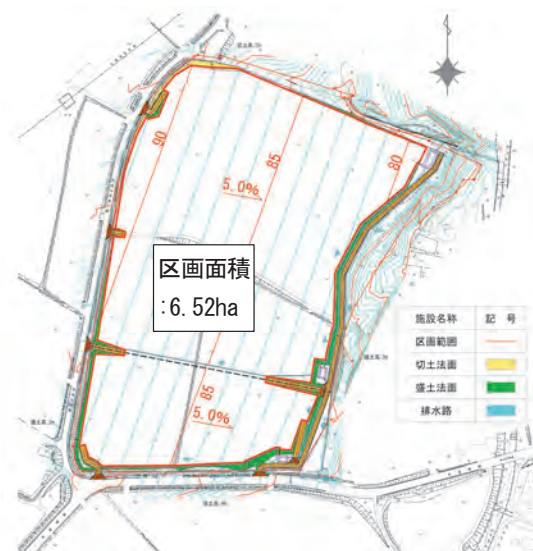
1) ほ場の区画検討（大区画化・緩勾配化）

ほ場の区画検討は、区画整理の課題①大区画化と、課題②緩勾配化に対して以下に示す観点を踏まえ、整備方針を3案検討した。第2回受益農家打合せでVRを活用して整備方針を確認した結果、後述する整備方針第1案で合意、決定した。

- a. 将来の農地の集積・集約化
- b. 標準区画の配置
- c. 受益農家要望①：No. 1 及び No. 2 耕区の集約（図－3 参照）
- d. 受益農家要望②：農業機械の安全性の確保
- e. 切盛土量のバランス（残土が切土量の3%以内）

a) 整備方針第1案

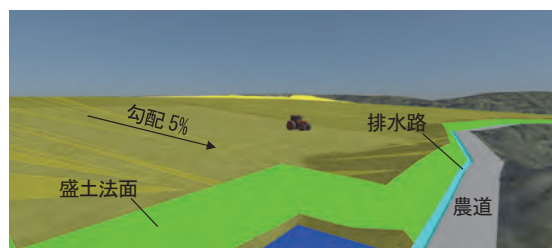
将来の農地の集積・集約化を見越してほ場を1枚の大区画とし、ほ場面勾配を最大勾配5%（2.86°）とした案である（図－9～図－11）。区画面積は、6.52haとなり、伊達地区の標準区画5.1haの1.5倍程度の面積となるが、短辺方向（ほ場勾配と並行）は約240mで、地区の播種・収穫作業の連続走行可能距離が最も短いたまねぎ収穫機械でも、往復することが可能な片道距離は、302mであることから、農作業機械の作業効率に支障は無い。ほ場勾配は5%（2.86°）であり、表－2によれば平地用機械作業ができ、営農作業の安全性を確保できる。但し、整地工の運土量は53,500m³と他案に比べ最も多いため、受益農家の負担額が最も高いというデメリットがある。



図－9 整備方針第1案 計画平面図



図－10 整備方針第1案 計画モデル



図－11 整備方針第1案 計画モデル拡大図

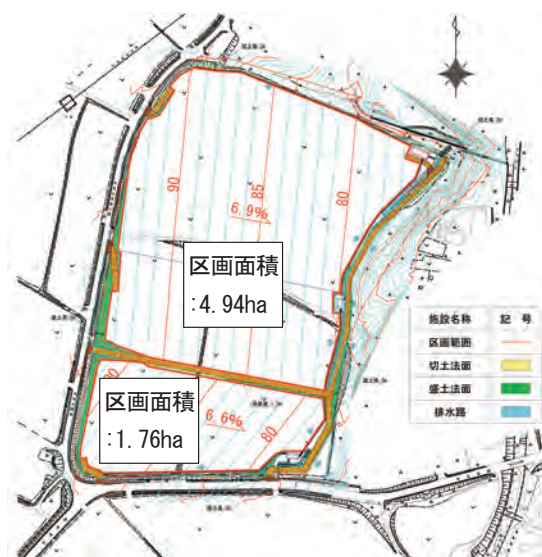
表－2 草地のほ場面勾配と機械作業³⁾

ほ場面勾配	作業機械の作業性
5° 以下	平地用機械作業。
5～8°	能率、精度は落ちるが、平地とほぼ同様の作業ができる。しかし、耕起・収穫作業では影響が出る。
8～12°	能率、精度が低下し、熟練しないと作業が進まない。原動機の馬力向上と4輪駆動が必要。

b) 整備方針第2案

受益農家毎に区画を2分割し（標準区画相当4.94ha、中区画1.76ha）、ほ場面勾配を最大勾配7%（4.00°）とした案である（図－12～図－14）。切盛土量のバランスを考慮すると第1案よりほ場面勾配

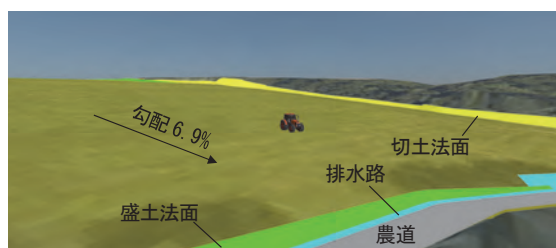
は急となるが6.9% (3.95°) であり、平地用機械作業ができ、営農作業の安全性を確保できる（表－2）。整地工の運土量は43,100 m³と第1案よりは少なく、耕作道路を隔てて区画が分かれているため、耕作界が明確である。一方、耕作道路の南側に0m～1.5m程度の盛土が必要となるので、耕作道路の利便性は、現状と変わらないというデメリットがある。



図－12 整備方針第2案 計画平面図



図－13 整備方針第2案 計画モデル

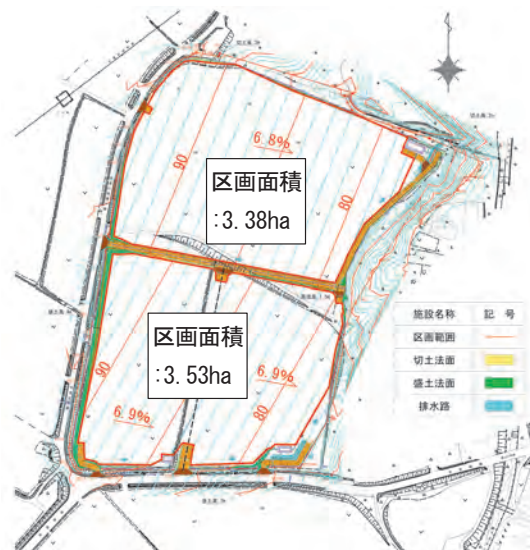


図－14 整備方針第2案 計画モデル拡大図

c) 整備方針第3案

耕作道路を境に区画を南北に2分割し（北側3.38ha、南側3.53ha）、ほ場面勾配を最大勾配6.8% (3.89°) とした案である（図－15～図－17）。切盛土量のバランスから第2案同様の勾配である。整地工の運土量は32,800 m³と最も少なく経済的である。

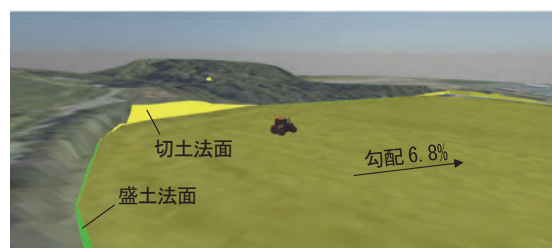
一方、第2案同様に耕作道路の南側に0m～1.5m程度の盛土が必要となる。また、受益農家要望①の農地の集約ができていないというデメリットがある。



図－15 整備方針第3案 計画平面図



図－16 整備方針第3案 計画モデル



図－17 整備方針第3案 計画モデル拡大図

d) VR 技術活用による確認

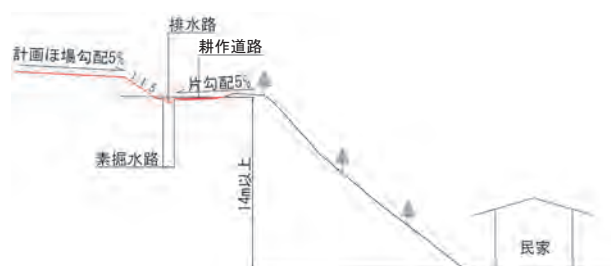
計画モデル空間を作成した際に、下記に示す点を確認し、受益農家打合せ前に修正することで設計精度が向上した。

- ①切土・盛土法面が公道や周辺施設に干渉していないか。
- ②取付道路隅切部や土砂流出防止工などの附帯施設が切土・盛土法面に干渉していないか。
- ③ほ場をトラクタが走行する際に支障はないか。
- ④その他附帯施設（承水路や車両止盛土等）相互が干渉していないか。

⑤取付道路のスロープを設置した際に、ほ場にデットスペースは発生していないか、または、必要最小限となっているか。

2) 排水対策の検討

決定した整備方針のほ場勾配は、切盛土量のバランスが取れ、かつ運土量を少なくするためにほ場東側に向かい下り勾配とした。このため、ほ場東側に雨水が集中するので、計画ほ場の盛土法尻に排水路を配置するとともに、ほ場に暗渠排水を設けることで、排水不良を解消した。なお、雨水と共に流出する表土は、計画ほ場の最低地に配置した土砂溜に堆砂する。また、排水路や土砂溜の維持管理のために耕作道路を排水路の東側に配置した。この耕作道路は、排水路側に下り片勾配（-5%）を持たせることで、対象ほ場に隣接している斜面への雨水の流下を軽減し、斜面崩壊の危険性を軽減した（図－18）。



図－18 排水対策図（排水路と耕作道路）

3) 取付道路の検討

取付道路の規格は、国営緊急農地再編整備事業「伊達地区」基本事項で、地区の統一した設計方針が示さ

れており、取付道路の道路幅員は3.00m～4.00m、隅切りは、5.00m×5.00mを標準としている（表－3）。受益農家は将来、大型の営農機械を導入する予定であることから、標準的な取付道路の車道幅員は4.0mで決定した（図－19）。しかし、受益農家の異なるほ場が隣接している場合、取付道路の幅員については、営農機械がすれ違える車道幅員を要望していた。このため、取付道路の車道幅員4.0m（図－20）と6.0m（3.0m×2車線）（図－21）について、運転シミュレーションによりすれ違い状況を受益農家と共に確認し、すれ違いが可能となる車道幅員を6.0mとした。なお、隅切り部はアスファルト舗装とし、勾配を2.0%とした。すりつけ部は碎石舗装とし、受益農家要望により勾配を10%とすることで、すりつけ区間長を最小限とした。



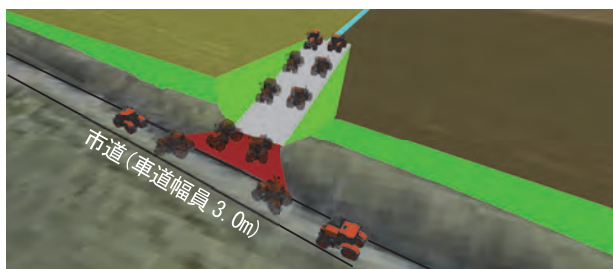
図－19 取付道路（車道幅員 4.0m）



図－20 取付道路（車道幅員 4.0m）すれ違い状況

表－3 伊達地区 取付道路諸元⁷⁾

項目	細目	諸元	備考
幅員	車道幅員	3.00～4.00mを標準 なお、共同利用する場合の幅員は、関係する全ての利用者の意向を確認のうえ決定する。	本線道路の車道幅員が3m以下の場合は別途検討
	路肩幅員	0.50m	
隅切り		5.00m×5.00m	
舗装・路盤	隅切り部 (本線がアスファルト舗装)	細粒度アスコン : t=3cm 下層路盤工(40mm級切込碎石) : t=20cm	
	隅切り部 (本線が砂利舗装)	路盤工(40mm級切込碎石) : t=20cm	
	すりつけ部	路盤工(40mm級切込碎石) : t=20cm	
勾配	隅切り部 (アスファルト舗装)	2.0%(標準)	
	隅切り部 (碎石舗装)	5.0%(標準)	
	すりつけ部	標準: 6% 最大: 12%(特例:14%) (10%以下が望ましい)	必要に応じて縦断曲線を設定する。



図－21 取付道路（車道幅員 6.0m）すれ違い状況

(4) 受益農家との合意形成

受益農家打合せでは、計画平面図等の図面の他、計画モデルをディスプレイに示し、現況地形モデルや比較検討案等との比較を行い、運転シミュレーションを活用しながら説明を行った（写真－5）。



写真－5 受益農家自身による運転操作状況

1) 第1回受益農家打合せ

第1回受益農家打合せの目的は、現状の営農阻害要因と整備要望の確認である。現況地形モデルを活用し、現況ほ場の勾配や高低差、トラクタの走行性向上に向けた課題について確認を行った。現況地形モデル上でトラクタを走らせることで、現地の問題点を受益農家は客観的に確認することができ、さらに設計者は視覚的な情報から、より具体的かつ精度よく、現地の問題点の把握ができた。これにより、受益農家と設計者の情報共有が円滑となった。

2) 第2回受益農家打合せ

第1回受益農家打合せの課題、問題点を反映させたVRでは、計画モデルの視点を変更しながらの確認と、運転シミュレーションで、ほ場勾配や取付道路の確認を行うことができた。このため、受益農家は完成形をイメージすることができ、比較的短時間の

説明時間で設計方針の合意形成が実現できた。

3) 第3回受益農家打合せ

第3回受益農家打合せの目的は、完成形を確認し受益農家の合意を得ることである。取付道路等の受益農家要望の変更はあるものの、設計に大きな変更は無く、合意を得た。このため、設計作業の手戻りも少なく、打合せ時間が短縮された。

5. VR技術活用の効果と課題

(1) 効果

区画整理の設計においてVR技術を活用することで、以下の効果を確認した。

- ①整備方針案作成時の作業の時間の短縮化
- ②完成後の切盛土法面等施設高さイメージの明確化
- ③完成後の取付道路等施設と周辺との取り合いの明確化
- ④受益農家との円滑な合意形成
- ⑤営農作業機械での走行の再現による、設計手戻り防止
- ⑥設計の妥当性検証

(2) 課題

1) 運転シミュレーション

本業務で運転シミュレーションを活用したことで、実際のトラクタの走行軌跡や車窓から周辺状況を確認できるなど、イメージの明確化や設計手戻り防止に活用できることが分かった。但し、走行のリアル感の点で改善すべき事項があると感じたことを次に示す。

- ①ハンドルミスで誤って排水路や切盛土法面など、実際に走行できない箇所を走行した場合も、転倒しないで走り続けてしまうこと。
- ②トラクタが斜面に対し直角に走行した場合、車窓の風景がトラクタを基準に風景を描写しているため、車体が傾いていても、車窓からは車体の傾きを体感できないこと（図－22、図－23）。
- ③トラクタがほ場を180°旋回する際、速度が急激に落ちてスムーズに曲がれないこと。

運転シミュレーションについて、走行のリアル感の向上など改善すべき点がわかった。今は試行段階であるが、本格的に活用する際に改善することで、受益農家との合意形成をさらに円滑に行えると思われる。



図ー 22 傾斜ほ場の走行状況



図ー 23 傾斜ほ場の走行時の車窓風景

2) スマート農業への対応

農林水産省では、超省力・高品質生産を実現する新たな農業を実現するため、スマート農業技術の活用の一つとしてロボットトラクタ、農業用 UAV 等の自動運転利用を推進している。運転シミュレーションは、設計段階において計画モデル上での自動走行農機の地形条件、隣接・対面するほ場に対する進入路の位置関係に至るまで注意が必要となる箇所の検討を行うことが可能で、ロボットトラクタ等の安全性確保の上でも有効と考えられる。

しかし、整備後のほ場が走行の安全性を確保でき

ているかをシミュレーションによって確認するためには課題が残されている。走行の安全性の確保の検討に際して電柱や鉄塔、ガードレール等の静的地物をモデル空間に表現する必要がある。「自動運転利用に資する農地基盤整備データ作成ガイドライン(案)」⁶⁾では、自動走行農機の走行の安全性の確保に必要な静的地物は、BIM/CIM モデル詳細度 400 とすることが望ましいとされている(表ー 4)。BIM/CIM モデル詳細度 400 で作成する場合、データ量が膨大になり、モデル作成時間が増加するため、自動走行時の安全性に支障となり得る地物を選定する必要がある。

6. おわりに

本報告では、国営緊急農地再編整備事業伊達地区の区画整理設計において、VR(仮想現実)技術を活用し、「設計作業の効率化」「受益農家との合意形成の円滑化」「設計の妥当性検証」の効果を果たした事例を紹介した。計画から設計段階における三次元モデルはこれまでも活用されてきたが、VR 技術における運転シミュレーションを受益農家打合せで活用したことは新しい取り組みであると思われる、受益農家及び発注者の関心も高く、一定の評価を得られたと考える。また、このことにより、切盛土法面や附帯施設の出来形確認が行えること、運転シミュレーションにより、トラクタの車両の軌跡を確認することができるので、三次元モデルと VR 技術の活用は、設計手戻り防止に対しても有効な技術であったものとする。

表ー 4 BIM/CIM モデル詳細度 400 の内容⁵⁾

詳細度	共通定義	工種別の定義	
		ほ場整備工のモデル化	サンプル
400	詳細度 300 に加えて、附帯工、接続構造などの細部構造及び配筋も含めて、正確にモデル化する。	詳細度 300 に加えて小構造物も含む全てをモデル化 【ほ場整備工】 ・ 施工レベルを想定 ・ 交差構造物による影響を考慮し、用排水路(埋設管路工)を正確にモデル化 ・ 埋設管路土工を正確にモデル化 ・ 暗渠排水工の配置、形状を正確にモデル化 ・ 現場打ち構造物の配筋、プレキャスト製品の配置(スパン割)、管割を正確にモデル化 ・ その他の付帯施設(擁壁、防護柵、電柱等)の形状、配置を正確にモデル化 ・ 地区内の水利施設(揚水機場、分土工等)の形状、配置を正確にモデル化	

謝辞

本報は、室蘭開発建設部よりご発注いただきました業務の成果の一部を報告したものです。

本業務のご発注により貴重な経験の場をご提供下さいました胆振農業事務所、ならびに区画整理設計の実施にあたり多大なご協力とご助言を賜りました伊達市経済環境部農地整備課の関係各位及び受益農家の皆様には、ここに記して御礼申し上げます。

最後に、本稿提出の機会を与えて下さいました(一社)北海道土地改良設計技術協会各位に謝意を表します。

(株式会社アルファ技研 事業部 主任技師 (技術士補))

(株式会社アルファ技研 事業部 部長代理 (技術士))

引用文献

- 1) 北海道伊達市：伊達市の概況（令和6年度版）
- 2) 北海道開発局：国営伊達土地改良事業計画書
- 3) 土地改良事業計画指針 農地開発（改良山成畑工）P52
- 4) 株式会社クボタ：クボトラクタ M7 カタログ
- 5) 農林水産省：国営土地改良事業等における BIM/CIM 活用ガイドライン（案）
- 6) 農林水産省：自動運転利用に資する農地基盤整備データ作成ガイドライン（案）
- 7) 国営緊急農地再編整備事業「伊達地区」基本事項

パイプラインの通水試験実施における取り組み

曾我部 浩二

1. はじめに

本報では、国営かんがい排水事業によって造成されたパイプラインについて、供用前に施設の水密性、安全性、機能性を確認する目的で実施した通水試験の際に取り組んだ「創意工夫」、「環境配慮」について報告するものである。

2. 事業概要

国営かんがい排水事業「芽室川西地区」（図－１）は、北海道東部の十勝平野に位置する帯広市及び河西郡芽室町の 20,623ha の農業地帯に位置している。本地区では、我が国トップクラスの生産量を誇る小麦、ばれいしょ、てんさい、豆類等の畑作物を中心に、スイートコーン、ながいも、玉ねぎ、にんじん等の野菜を組み合わせた農業経営が展開されている（写真－１、写真－２）。ながいもは、地域ブランド「十勝川西長いも」として海外への輸出も行われており、食料生産において重要な地域である。

地区内の農業用水は、芽室町区域では国営芽室土地改良事業（昭和 56 年度～平成 19 年度）により造成された農業水利施設により配水されているが、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、ダムの管理施設は経年的な劣化により農業

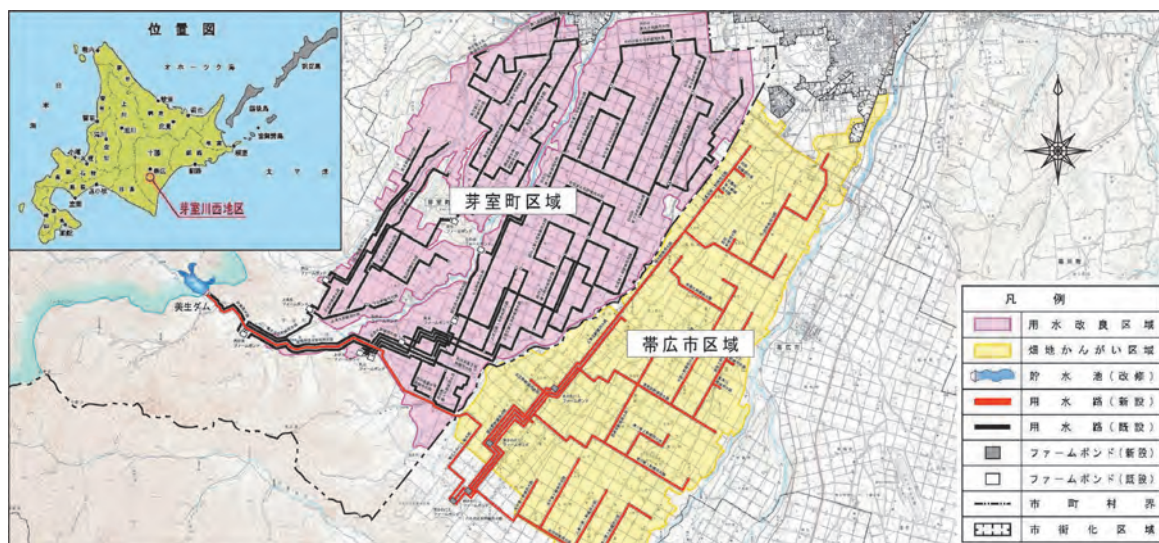
用水の安定供給に支障をきたしている。一方、帯広市区域では、農業水利施設が未整備であるため、農業用水は主に降雨に依存しており、農業生産性が低く、営農上の支障となっている。



写真－１ 地区内のばれいしょ畑



写真－２ 地区内の小麦収穫状況



図－１ 芽室川西地区概要図

このため、本事業で用水施設の改修、新設と水需要の変化に対応した用水再編を一体的に行い、併せて関連事業において末端用水路を新設することにより、農業用水の安定供給を図り、農業生産性の向上及び農業経営の安定を目指している（写真－３）。



写真－３ 地区内の散水状況（リールマシン）

【事業概要】

- ・事業名：国営かんがい排水事業「芽室川西地区」
- ・受益面積：20,623ha
- ・主要工事：美生ダム（改修）1箇所
パイプライン（新設）27条 L=140.5km

3. 本事業地区の通水試験実施における取り組み

本地区では、通水試験として水張り試験による漏水試験を行った。水張り試験は、パイプラインの布設が完了した後、当該区間に水を充水し、漏水箇所の発見と減水量が許容限界値内にあるかどうかを確認するための試験である。

通水試験は令和４年から行われており、本報では令和５年～令和６年に弊社が受注した業務での取り組みについて報告するものである（表－１）。

表－１ 通水試験実施路線

試験実施路線	試験延長等	
	R 5	R 6
八千代送水幹線用水路	3.7km	1.7km
岩内幹線用水路	4.3km	
南広野幹線用水路	1.1km	
太平第１幹線用水路		2.2km
太平第２幹線用水路	3.7km	
清川第１幹線用水路	5.3km	
上清川第１幹線用水路		2.8km
上帯広幹線用水路	1.1km	5.5km
北広野幹線用水路	0.8km	
合計（管路延長）	20.0km	12.2km
西かわにしファームpond	1施設	1施設

(1) 創意工夫

通水試験を円滑に進めるために、関係者との情報共有、水張り前の準備、通水試験期間の安全強化、漏水対応、UAV 活用等を行った。

1) 関係者との情報共有

通水試験実施に先立ち、施設管理者と打合せを実施し、作業内容及び取水施設利用に係る注意事項等の確認を行った。さらに、円滑な試験を実施するために「通水試験実施の案内」を作成し、地元農家に配布した。

試験期間中は、発注者に試験スケジュールを提出し、作業の安全管理、工程管理を行った。試験スケジュールに変更が生じた場合には、速やかに修正し再提出した。

また、日々の現地作業が終了した段階で現場から電話連絡（作業終了報告）、帰社後にはメール連絡（当日の作業内容や試験結果、翌日の作業予定等の報告）といった、発注者との密な連絡体制構築及びその実践により、作業の行き違いや手戻りの防止を図った。

2) 水張り前の準備

過年度の試験実施の際に、芽室町区域のパイプライン（給水栓）の用水に濁りが生じた。通常の運用では、需要に応じた流量が断続的にパイプライン中を流れるが、今回の通水試験では下流側パイプラインに充水するために連続的な流下を必要とした。このような通常とは異なる管内の水移動が、伏越し区間等に徐々に堆積した土砂を巻き上げたことが濁水発生の原因であると考えられた。

濁水が確認された給水栓では、事前に管内洗浄（排水作業を約１時間実施）を行い、通水試験実施中の濁水発生防止に努めた（写真－４～写真－６）。



写真－４ 芽室町区域の管内洗浄（多目的給水栓）



写真-5 排水作業前（濁り） 写真-6 排水作業後（濁りが解消）

3) 通水試験期間の安全強化（測定データの遠隔監視・情報共有等）

ファームポンド及び各路線での充水作業から漏水観測が完了するまでの期間は、夜間・休日の安全確保のために、測定データの遠隔監視が行える4G通信機能搭載の水位計・水圧計を設置し、測定値を監視することで、漏水発生被害の軽減に努めた。

通常時は10分間隔の測定データを1時間毎にE-mail通知し、閾値（いきち）を超える場合は緊急E-mail通知（アラーム通知）できる設定とした（写真-7～写真-9）。



写真-7 遠隔監視装置（本体）



写真-8 遠隔監視装置（水圧計）

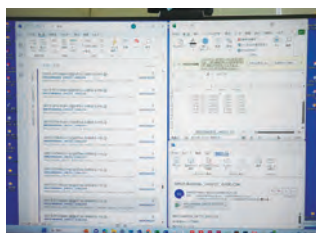


写真-9 遠隔監視装置からの測定値を受信（左：スマートフォン、右：パソコン）

また、現地作業の際には、現場本部（試験統括）、充水作業班、施設監視班、巡回監視班、漏水監視班等が現地状況を迅速かつ一斉に伝達できるようにデジタル無線機を使用した（写真-10）。



写真-10 現地作業に使用したデジタル無線機

4) 漏水対応（資機材の準備）

試験対象施設から漏水が発生した場合を想定し、対応方法（連絡体制、通水停止等の現地対応）を作業計画書に整理した。また、資機材（漏水探知機：フジテコム HG-10A II、相関式漏水探知機：フジテコム LC-2500、排水ポンプ、発電機等）を常時配備して対応した（写真-11、写真-12）。



写真-11 漏水探知機



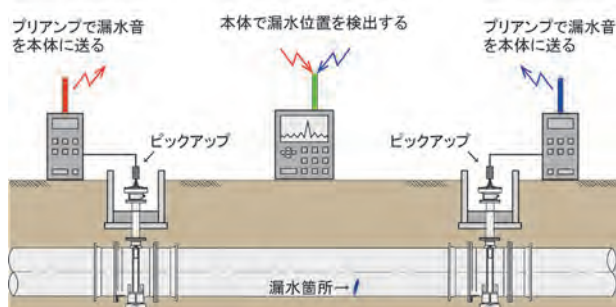
写真-12 相関式漏水探知機

相関式漏水探知機とは、管体を伝播する振動波の相互関係から漏水位置を特定する調査手法である。

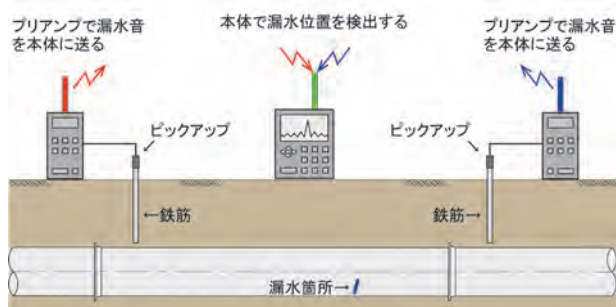
管路を伝播してくる振動波（漏水音）を、漏水箇所を挟むピックアップ（センサー）で捉え、漏水箇所から各センサーまでに伝播する振動波の時間差から漏水地点を特定するものである。

条件としては、①2つのセンサーで漏水点を挟んでおり、漏水点からの音が各センサーに伝播していること、②探査する管種、口径が分かっていること、③ピックアップ間の延長が分かっていることが必要である。

通常は、管体や附帯施設（制水弁、排泥弁、空気弁等）にピックアップを付着させるが、漏水箇所を絞り込む場合や周辺に附帯施設が無い場合は、地上部から管路上に鉄筋を打ち込み、振動波を捉えることとした（図－2、図－3）。その際は、縦断面から管路埋設深を概定し、鉄筋打ち込みによる管路への損傷を与えない配慮が必要である。



図－2 相関式漏水探知機（附帯施設有りの場合）の設置例



図－3 相関式漏水探知機（附帯施設無しの場合）の設置例

5) 漏水発生時の対応

通水試験の結果、漏水発生が疑われる状態（水圧低下）が確認されたことから、原因特定のために漏水調査を行った。調査は、a) 漏水調査（漏水箇所の概定）、b) 詳細調査（漏水箇所の絞り込み）の順で行った。調査には前述した漏水探知機、相関式漏水探知機を使用した。

a) 漏水調査

漏水箇所を概定するために、附帯施設（制水弁、

排泥弁、空気弁等）において、漏水探知機で漏水音の有無を確認するとともに、附帯施設間では相関式漏水探知機を使用して漏水箇所の概定を行った。また、管路地上部や附帯施設等の踏査、止水壁のドレンパイプからの漏水痕跡の有無等を確認した。

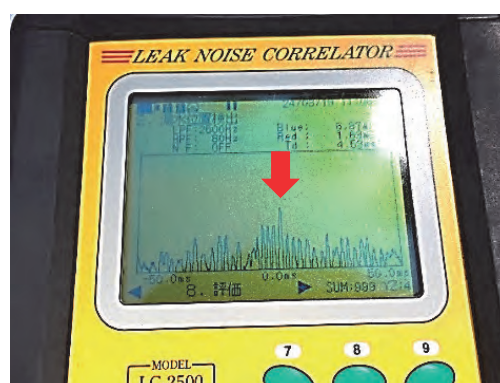
漏水調査の結果、空気弁周辺から漏水音が確認され、漏水の可能性が高いと推定された。

b) 詳細調査

漏水の可能性が高いと推定された空気弁周辺の管直上に鉄筋を打ち込み、相関式漏水探知機を使用して漏水箇所の推定を行った。

詳細調査の結果、空気弁下流 1.8m の位置で漏水反応が確認され、試掘による調査の結果、本調査と漏水箇所が整合し、妥当性が確認された（写真－13）。

相関式漏水探知機を使用することで、全線を掘り返すことがなく、人手、時間、費用を削減できたと考える。



写真－13 相関式漏水探知機 探知結果
（波形の大きい凸部分が漏水反応地点）

6) 熱中症対策

近年は地球温暖化による気温上昇が顕著である。熱中症対策は、温度や湿度を踏まえた「暑さ指数」（WBGT:Wet Bulb Globe Temperature: 人体の熱収支に影響を与える①湿度、②日射・輻射、③気温の3つの要素を取り入れている）に基づき実施することが必要である。

本調査では、熱中症対策として空調服（ファン付作業着）を着用し、日除けタープを設置することで作業中の暑さや直射日光に当る時間の軽減を図った。

現地作業を実施した5月～9月には、最高気温が25℃超の夏日が多くあったが、これらの対策を実施した結果、熱中症の発生を防ぐことができた（写真－14、写真－15）。



写真－14 空調服（ファン付作業着）の着用



写真－15 日除けタープの設置

7) 酸欠対策

ファームpondや分排水等の地下施設の内部は、酸素欠乏（酸素濃度 18%未満）の可能性がある。このため、現地作業を実施するには、ガスモニター（理研計器 GX-2009）で安全確認を行った（写真－16、写真－17）。

業務対象施設では、酸素欠乏状態は確認されなかったが、維持管理や点検作業の際には、十分な注意が必要である。



写真－16 ガスモニターの使用



写真－17 ガスモニター

8) UAV 活用

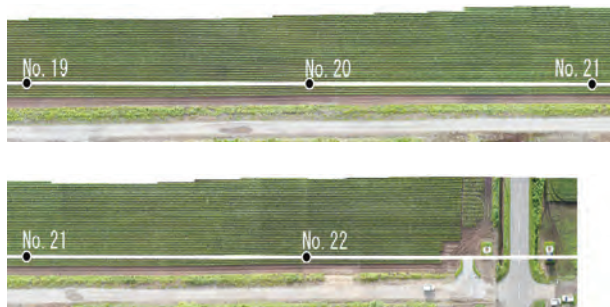
充水後の路線確認の際は、通常であれば管路地上部を徒歩巡回するが、UAV を併用して管路地上部の状況等を把握することが可能であるか検討を行った。

UAV の飛行は、航空法における非特定飛行（カテゴリーI）のレベル1（目視内での操縦飛行）に該当し、主要な幹線道路（国道、道道）横断部や高压電線周辺での飛行は行っていない。なお、事前に土地所有者に調査内容を説明し、UAV 飛行の了解を得て実施した。

UAV の飛行高度は約 30m とし、管路延長 $L=1.1$ km にわたって管路地上部の動画撮影を行い、その動画から映像を切り出して、踏査図を作成した。

9) UAV 活用の事例と効果

営農期は、作付けの都合上（ばれいしょのシストセンチュウ予防等）、管路地上部を踏査することが困難な場合があるが、UAV を使用することにより、地上部全線の状況を確認することが可能であった（写真－18）。



写真－18 UAV による充水後の路線確認

充水後の路線確認に係る所要時間は、従来の徒歩巡回と比較して、UAV は半分の時間であり、作業効率の向上が可能である（表－2）。

一方で、作物の生長が旺盛な時期になると、作物の茎葉で地表面が覆われ、UAV での確認が困難な場

合が想定される。また、気象条件（雨天や強風時には UAV 撮影不可）に制限される場合がある。

表－２ 充水後の路線確認に係る作業所要時間

作業区分		作業所要時間	
UAV	飛行時間	$1.1\text{km} \div 10\text{km/hr} = 0.11\text{hr}$	$0.36\text{hr} \div 22\text{min}$
	準備時間	1フライト 0.25hr	
従来の徒歩巡回		$1.1\text{km} \div 1.5\text{km/hr} = 0.73\text{hr}$	$0.73\text{hr} \div 44\text{min}$

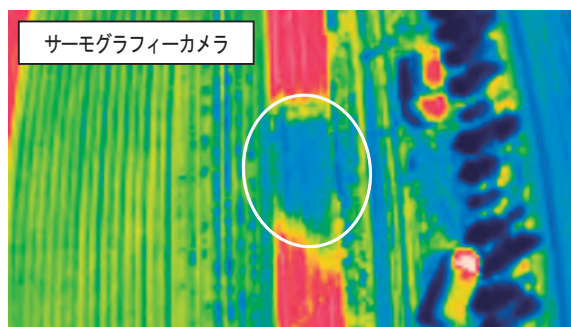
※踏査延長L=1.1kmに係る作業所要時間

UAV 活用事例として、充水作業中に漏水が発生した事例を紹介する。

UAV 搭載カメラの赤外線機能（サーモグラフィーカメラの等温線設定）を使用することで、地表面から放射される赤外線を分析し、熱分布を映像化して、地表面の湿り箇所を鮮明に把握することができた（写真－19、写真－20）。また、UAV で漏水箇所周辺の撮影を行うことで、漏水範囲、附帯施設的位置、周辺地形等を把握することができ、漏水調査を行う際の基礎データを得ることができた。



写真－19 事例) 管路地上部に湿り箇所を確認



写真－20 事例) 管路地上部に湿り箇所を確認

(2) 環境配慮

地区内には、帯広川、売買川、基線川、タロウエモン川等の中小河川が流れ、耕地防風林や保安林等の緑地がつながり、自然豊かな水と緑のネットワーク

クが形成されている。弊社では「平成 25 年度 帯広かわにし地区 環境調査業務」を担当していたこともあり、貴重な動植物への配慮を検討し実施した。

1) 河川水質（濁水）への配慮

地区内には、清澄な河川（濁りの少ない流れ）を生息域としているニホンザリガニ、ハナカジカ、ヤマメ等の貴重種（環境省及び北海道レッドデータブック指定種）が生息している（写真－21、写真－22）。これらの生息環境に配慮し、洗管排水作業等を行う場合には、排泥弁からの濁水（落口からの排水による河床土砂の巻き上げ）が発生しないように注意した（写真－23）。

具体的な対策としては、作業員の目視により排水先の状況を確認し、河床土砂の巻き上げによる濁水が発生した場合には、排泥弁の開度を下げ（排水量を少なくし）、濁水の発生を抑えることとした。



写真－21 ニホンザリガニ



写真－22 ハナカジカ



写真－23 排水施設（排水先）で濁り具合を確認

2) 貴重植物への配慮

地区内の農耕地周辺には、事業計画上の保全対象生物に選定されているクロミサンザシをはじめ、ネムロブシダマ、フクジュソウ、トカチスグリ等の貴重植物（環境省及び北海道レッドデータブック指定種）が生育している（写真－24、写真－25）。このため、作業時の踏みつけや伐採による損傷を防止するために、事前調査を行った。事前調査は、すべて

の通水試験実施路線を対象とし、管路及び附帯施設（制水弁・空気弁・排泥弁・分水栓等）周辺に生育している植物を目視確認した（写真－26）。

調査結果から、本業務の通水試験実施範囲には、貴重植物の生育は無いことを確認した。



写真－24 クロミサンザシ



写真－25 ネムロブシダマ



写真－26 路線周辺の貴重植物を目視確認

4. おわりに

本業務は、試験期間に制約があり、効率的かつ迅速な作業が求められる一方、調査対象となるパイプラインは交通量が多い幹線道路と並行する区間が多く、漏水事故等による二次被害を避けるために慎重な試験対策が必要であるなど、困難な条件下での業務遂行が求められた。

このため、漏水等の突発事故の防止や迅速な対応に向け、リアルタイムでの測定データの監視システムを構築し、さらに、異常時の連絡体制、資機材を確保した。

また、動植物に対する環境配慮、施設管理者や農業者との良好な関係形成により業務推進を図ることができた。

近年はさまざまな分野で技術革新が進んでいるが、本報で紹介した測定データの遠隔監視システム、UAV等の“新技術”が多様な社会インフラの試験・調査等に普及することにより、たとえば人手不足の解消や作業時の安全性確保に寄与するなど、多様化する現代社会において大いに役立つものであると考える。

謝 辞

本業務は、帯広開発建設部より発注いただいた業務成果を報告したものです。本稿を取りまとめるにあたり、ご協力をいただいた帯広開発建設部帯広農業事務所等の関係各位に御礼申し上げます。

また、本稿提出の機会を与えてくださいました（一社）北海道土地改良設計技術協会各位に感謝申し上げます。

（北王コンサルタント株式会社 技術部長(技術士)）

国営かんがい排水事業「漁川右岸地区」 における事業計画検討事例

渡部 浩二

1. はじめに

国営かんがい排水事業「漁川右岸地区」（以下、本地区）は、令和7年度に着手した地区である。当社は、本地区の地域整備方向検討調査（令和2年度～令和3年度）及び国営地区調査（令和4年度～令和6年度）の事業計画策定にあたり、現況調査、排水計画、排水施設計画及び環境配慮計画に携わった。本稿では、この事業計画検討事例を紹介する。

2. 地区の概要

(1) 事業地区の概要

本地区は、北海道千歳市及び恵庭市に位置する受益面積2,039ha（集水面積27.6km²）の農業地帯であり、水稲、小麦、大豆、ばれいしょ、ブロッコリー等を組み合わせた農業経営のほか、飼料作物を栽培し乳用牛を飼養する酪農経営が展開されている¹⁾（図-1、図-2）。

近年、土地利用の変化に起因した流出量の増加等により排水機及び排水路の能力が不足し、農地の湛水被害が発生し、農業生産性が低下しているとともに、施設の老朽化により維持管理に多大な費用と労力を要している。

このため、本事業では、排水機及び排水路の整備を行い、併せて関連事業において排水路等を整備することにより、農地の湛水被害の解消及び施設の維持管理の軽減を図り、農業生産性の向上及び農業経営の安定に資するものである。



図-1 漁川右岸地区 位置図

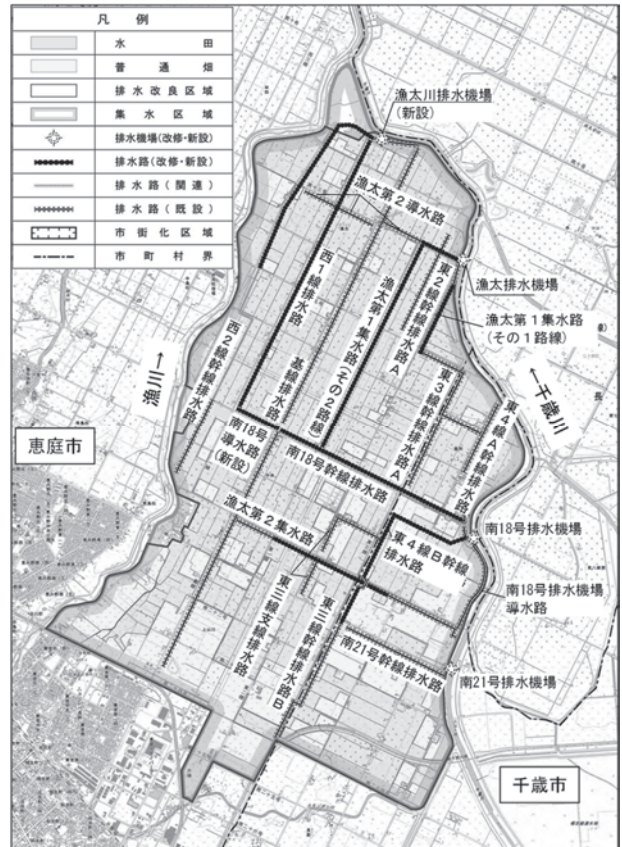


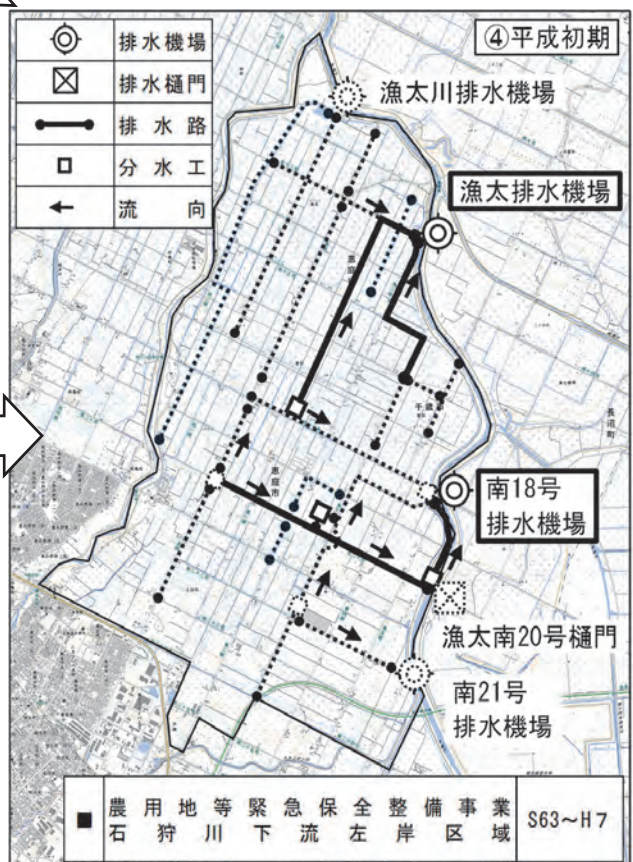
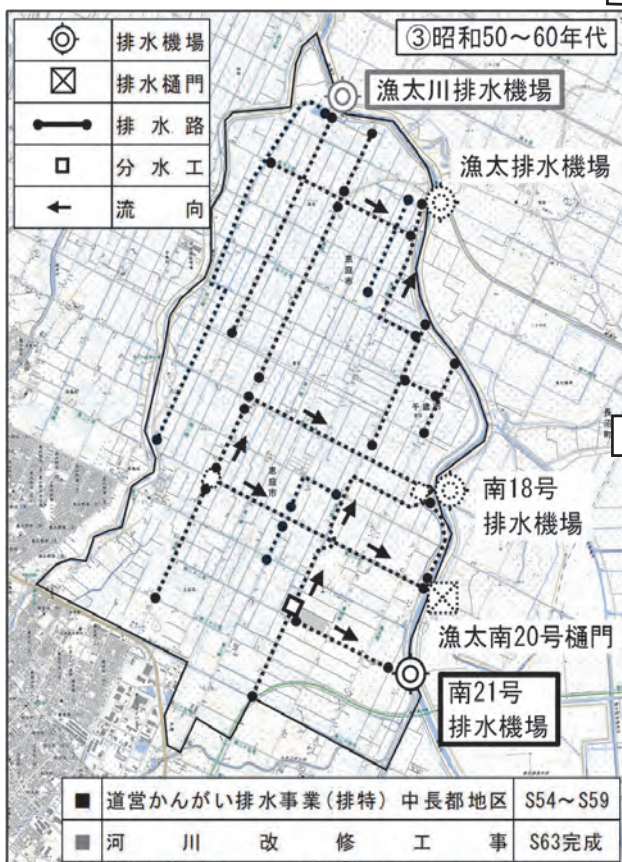
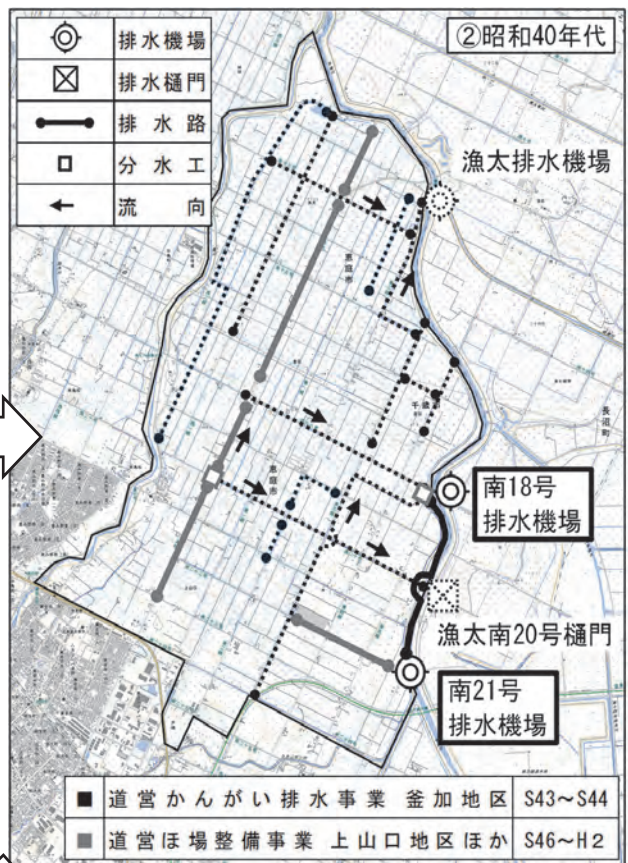
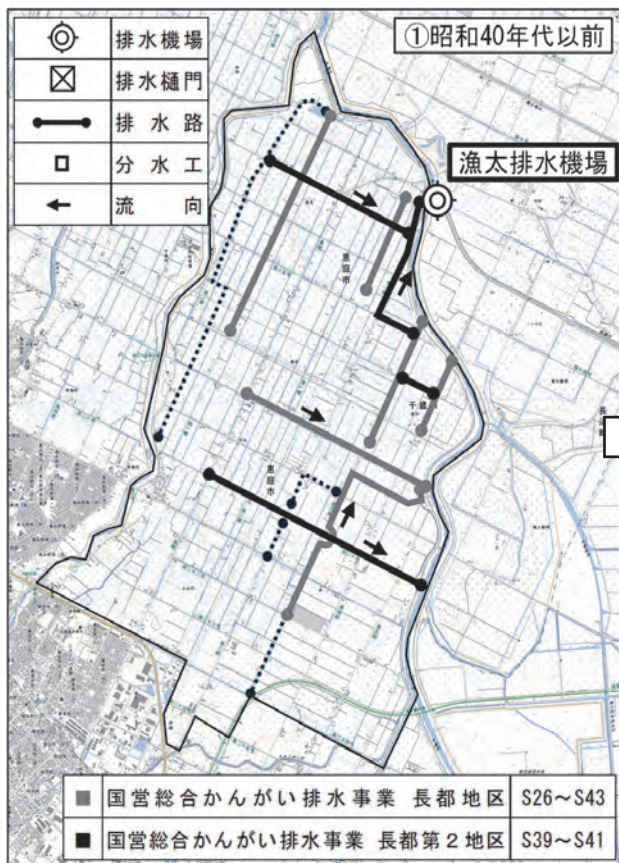
図-2 漁川右岸地区 計画一般平面図

(2) 前歴事業及び現況排水系統

本地区は、千歳川と漁川の堤防に囲まれた低平地に位置し、洪水時には内水位（地盤高）よりも外水位（河川水位）が高くなるため、機械排水が不可欠な地形条件にある。

このため、前歴事業である国営総合かんがい排水事業 長都地区、道営かんがい排水事業 釜加地区、道営かんがい排水事業（排水対策特別事業）中長都地区、農用地等緊急保全整備事業 石狩川下流左岸区域（第2次内水排除事業）等により、排水施設が順次整備された²⁾（図-3）。

洪水時には、排水路に設置された分水工（ゲート）6箇所により排水量を配分し、排水機場4箇所と排水樋門1箇所が連携し排水する排水系統となっている。



図－3 主な土地改良事業等の変遷

3. 現状と事業の必要性

(1) 湛水被害

1) 湛水被害状況

地域では、近年 10 か年のうち 4 回の頻度で排水路からの溢水とそれによる湛水被害の発生が確認されており、特に平成 30 年は 110ha と広範囲な農地への湛水が生じている。

湛水被害リスクのある周辺農地では、被害を回避するため、ブロッコリー、ばれいしょ等の園芸作物の作付けが敬遠され、大雨が発生しやすい時期よりも前に収穫できる小麦等の作付が多くなっている。このように、収益性の高い作物の作付けが敬遠され、農業経営及び地域農業の振興にとって大きな支障となっている（表－1、写真－1、写真－2）。

表－1 近年の湛水被害状況

発生年月日		連続降雨量 (mm)	湛水面積 (ha)
平成26年	9月10日～9月12日	85.0	109
平成28年	8月16日～8月17日	99.5	100
平成30年	7月4日～7月5日	92.5	110
令和4年	8月15日～8月16日	86.5	87
10か年 (H26～R5)	合計		406
	平均		41



写真－1 排水路水位の上昇（平成 30 年 7 月）



写真－2 キャベツの湛水被害（平成 30 年 7 月）

2) 湛水被害要因

前歴事業計画時点（石狩川下流左岸区域）と本地区計画における排水条件（土地利用、降雨量、降雨波形、外水位、最低耕地面高）を把握し、排水条件の組合せを変化させて流出量算定及び排水解析を行った（詳細は後述）。この結果、湛水被害の要因は、土地利用の変化（畑地利用の増加）と耕地面沈下であることを確認した（表－2、表－3、図－4）。

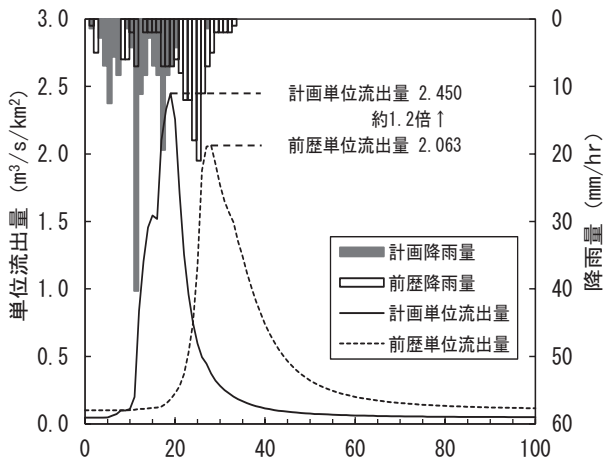
表－2 計画排水諸元の比較

		前歴計画	本地区計画
		石狩川下流左岸区域	漁川右岸地区
排水諸元	① 土地利用（畑地利用）（%）	42	82
	② 計画基準降雨量（mm/2日）	165	161
	③ 計画降雨波形（気象観測所）（－）	後方山形（岩見沢S50.8）	中央山形（恵庭島松H17.8）
	④ 計画外水位（地点）（m）	8.49（漁太川排水機）	8.18（漁太川排水機）
	⑤ 計画最低耕地面高（地点）（m）	5.35（漁太排水機）	4.90（漁太排水機）
単位流出量（m ³ /s/km ² ）		2.06	2.45

表－3 湛水被害要因の検証

		排水条件					単位流出量 (m ³ /s/km ²)	比率	排水解析結果
		①	②	③	④	⑤			
排水諸元	前歴計画	○	○	○	○	○	2.06	1.00	－
	① 土地利用	●	○	○	○	○	3.00	1.46	湛水発生
	② 計画基準降雨量	○	●	○	○	○	1.96	0.95	－
	③ 計画降雨波形	○	○	●	○	○	1.98	0.96	－
	④ 計画外水位	○	○	○	●	○	2.06	1.00	－
	⑤ 計画最低耕地面高	○	○	○	○	●	2.06	1.00	湛水発生
本地区計画		●	●	●	●	●	2.45	1.19	湛水発生

○：前歴計画の条件、●本地区計画の条件



図－4 単位流出ハイドログラフ

(2) 施設の経年劣化

1) 排水機場

排水機場は、供用開始から 30 ～ 40 年程度が経過している。主ポンプの簡易内部診断等の機能診断調査をもとに施設状況を把握した結果、主ポンプ内部の発錆、主原動機の始動不良が発生しているほか、電気設備、水管理制御設備の多くは耐用年数の超過及び代替部品の入手が困難な状況となっており、対策が必要と判断した（写真－3～写真－5）。



写真－3 主ポンプ内部の発錆・簡易内部診断状況



写真－4 主原動機の漏油・始動不良



写真－5 電気設備の腐食

2) 排水路

排水路は、供用開始から 30 年以上が経過している。地区内の排水路全線を調査した結果、コンクリート柵板の経年劣化、鋼矢板の腐食開孔等が発生しており、構造的安定性に影響が生じている区間について、対策が必要と判断した（写真－6～写真－8）。



写真－6 コンクリート柵板の経年劣化



写真－7 鋼矢板の腐食開孔



写真－8 鋼矢板の板厚計測状況

4. 排水計画

(1) 計画降雨

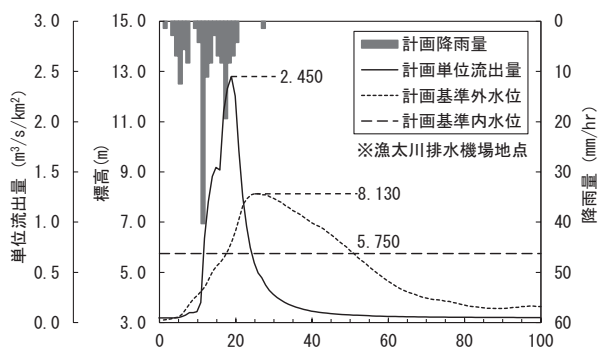
本地区の計画降雨は、地区の代表である恵庭島松気象観測所を含めた観測所12地点における降雨観測記録（昭和50年災、昭和56年災を含む直近50か年）をもとに、岩井法確率計算によって1/10確率年最大2日雨量分布図（等雨量線図）を作成し、計画基準雨量を「161mm/2日」と決定した。また、恵庭島松気象観測所の降雨観測記録（直近30か年）から、降雨量、降雨強度、降雨時間、降雨波形を指標として実績降雨波形を評価し、「平成17年8月21～22日降雨」を基降雨に決定した。さらに、計画基準雨量を基降雨の時間雨量によって時間配分し、計画基準降雨を決定した。

(2) 単位流出量

流出解析モデルは、前歴事業完了後から土地利用形態の変化（畑地利用の増加）が生じており、事業計画の検討にあたって土地利用変化による流出形態及び流出量の変化を把握する必要があることから、土地利用毎にモデル定数の設定可能な「雨水流法・斜面流モデル」を採用した。地区内の東三線幹線排水路Bにおいて流量観測を行い、流出諸元（有効雨量式、基底流出量、斜面長、斜面勾配、等価粗度）を設定した。また、実測降雨による再現計算により精度を検証したうえで、計画基準降雨の流出解析を行い、単位流出量を $2.450 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ に決定した。

(3) 計画排水方式

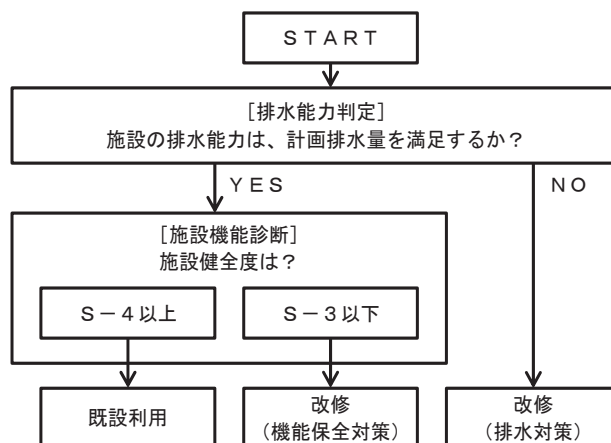
排水本川である千歳川の水位・流量観測記録をもとに、排水機場及び樋門地点の計画基準外水位を算定した。また、各排水機場地点の最低耕地面標高に将来の予測沈下量を考慮して、無湛水を基準とする計画基準内水位を設定した。これらの計画基準内水位と計画基準外水位を比較し、計画排水方式を「機械排水」とした（図－5）。



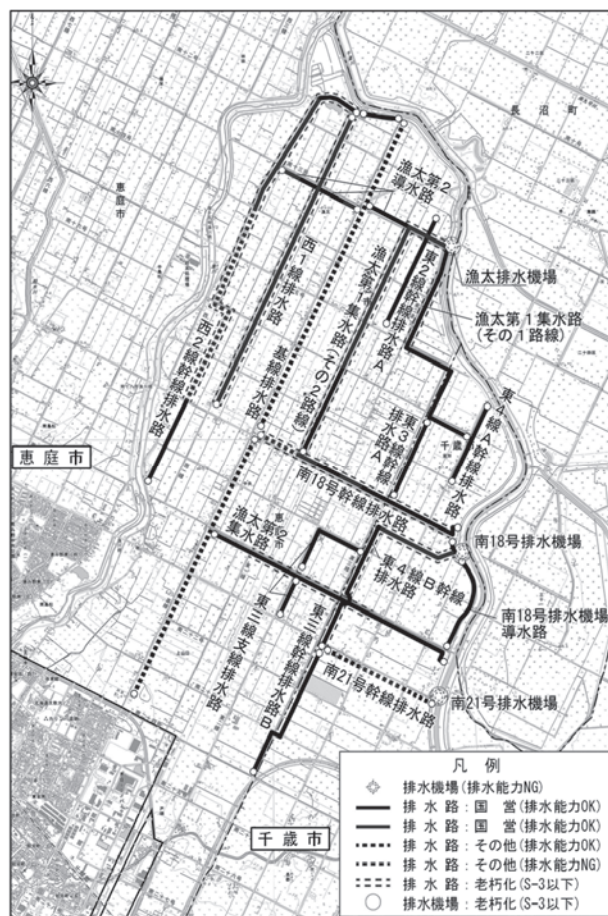
図－5 降雨・流出・外水位の時間変化

(4) 改修を要する施設の選定

前歴事業完了後の排水条件の変化（降雨条件の変化や土地利用変化による流出量増加、耕地面沈下の進行及び外水位の変化）を踏まえた排水能力評価を行った。また、施設機能診断調査を実施し、双方の結果をもとに改修を要する施設を選定した（図－6、図－7）。



図－6 対策手法の選定フロー



図－7 改修を要する施設

(5) 排水解析

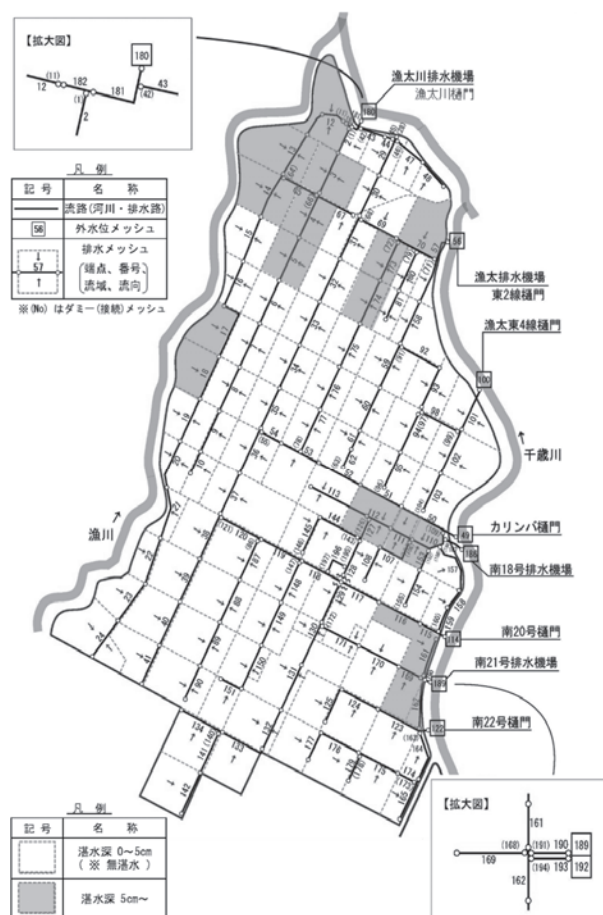
排水解析モデルは、本地区の湛水氾濫が排水機場付近のほか上流域の排水路においても発生しているため、これらの氾濫状況を解析可能であり、かつ前歴事業からの変化要因などを容易に比較・対比できる利点から、前歴事業計画と同じ解析モデルである「雨水流法・不定流モデル」を採用した。

1) 現況排水解析

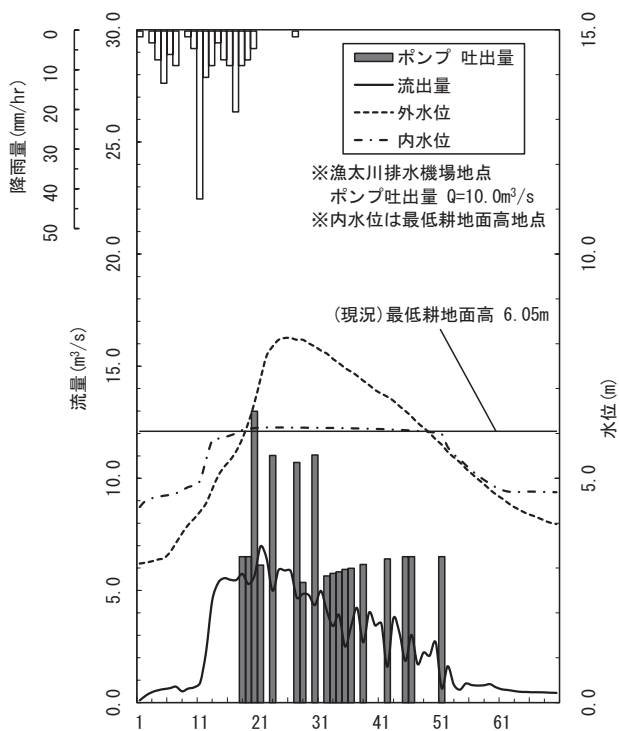
排水系統調査及び排水路横断測量をもとに、現況排水施設（排水機場、排水樋門、排水路及び分水工）からなる現況排水系統を反映した現況排水解析モデル（排水メッシュモデル）を構築し、排水計画諸元による排水解析（シミュレーション）を行った。この結果、現況排水施設において内水位は耕地面高を超過し、湛水被害が発生するため、排水対策が必要であることを明らかにした（図－8、図－9）。

2) 計画排水解析

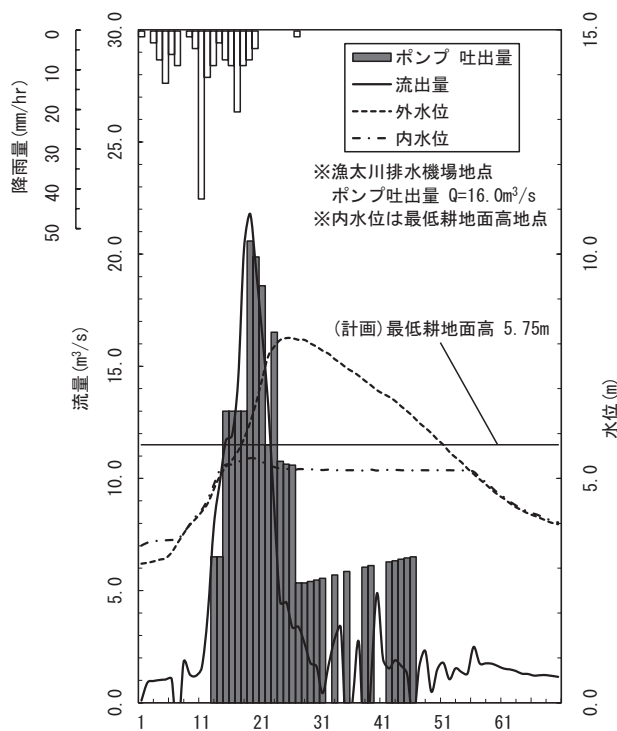
本地区の排水施設計画（漁太川排水機場新設：後述）を反映した計画排水解析モデルを構築し、排水計画諸元による排水解析を行い、計画の妥当性を検証した。この結果、内水位は耕地面高以下となり、地区内に湛水は発生しないことから排水施設計画は妥当と判断した（図－10）。



図－9 現況排水解析結果（湛水区域図）



図－8 現況排水解析結果（ハイドログラフ）



図－10 計画排水解析結果（ハイドログラフ）

5. 排水施設計画

(1) 排水整備計画

地区内では、これまでの湛水被害を踏まえ、既存の排水施設を最大限活用しながら、排水能力の不足分を補うように効率的な排水施設整備が行われてきた。この結果、各排水機場の集水区域を重複させ、分土工（ゲート）により排水量を配分する現況排水系統が構築されている。

本事業における排水整備計画の検討にあたっては、排水機場を新設する、あるいは排水能力不足の施設を増強改修する必要があるため、現況排水系統を

踏襲する案（①案）と、導水路と分土工を新設（または改修）して排水系統を再編する案（②・③案）の比較検討を行った。

ここで、地区内の最下流に位置する漁太川排水機場（河川管理施設）が、千歳川河川整備計画（河川事業）に基づく堤防拡幅整備に伴い改修を計画していることに着目し、河川事業との連携により漁太川排水機場を新設することで経済的に最も有利となる「②案：漁太川排水機場新設」を採用した（表－４）。

表－４ 排水整備計画の比較

		①案		②案		③案	
		現況排水系統		排水系統再編 漁太川排水機場新設		排水系統再編 漁太排水機場増強	
概 要	凡 例 排水機場（新設・改修） 排水機場（機能保全） 排水路（新設・改修） 排水路（機能保全） 排水量の増加箇所 排水機場（３機場）をそれぞれ新設・増強改修し、排水量増加に対応する。漁太南20号樋門は、既設能力分を活用する。		漁太川排水機場を新設し（河川事業と連携）、分土工を新設する。排水系統を再編することで、その他の排水機場を既設能力のまま活用する（機能保全）。漁太南20号樋門は、既設能力分を活用する。		漁太排水機場を増強改修し、分土工を新設する（または改修する）。排水系統を再編することで、その他の排水機場を既設能力のまま活用する（機能保全）。漁太南20号樋門は、既設能力分を活用する。		
	対策		排水量（m ³ /s）	対策	排水量（m ³ /s）	対策	排水量（m ³ /s）
	漁太川排水機	新 設	16.0	新 設	19.7	既 設 利 用	13.0
	漁 太 排 水 機	増 強 改 修	18.3	機 能 保 全	15.9	増 強 改 修	22.6
	南18号排水機	機 能 保 全	10.1	機 能 保 全	10.4	機 能 保 全	10.4
	漁太南20号樋門	既 設 利 用	7.8	既 設 利 用	7.8	既 設 利 用	7.8
	南21号排水機	増 強 改 修	8.4	機 能 保 全	6.8	機 能 保 全	6.8
	排 水 路	施設数（条）	延長（km）	施設数（条）	延長（km）	施設数（条）	延長（km）
		7	16.3	8	17.3	8	17.1
	概 算 工 事 費 計		23,670 百万円		19,047 百万円		22,249 百万円
採 用				○			

※漁太川排水機場の概算工事費は農業負担分。排水量は全流出量から流域内貯留分を差し引いた量

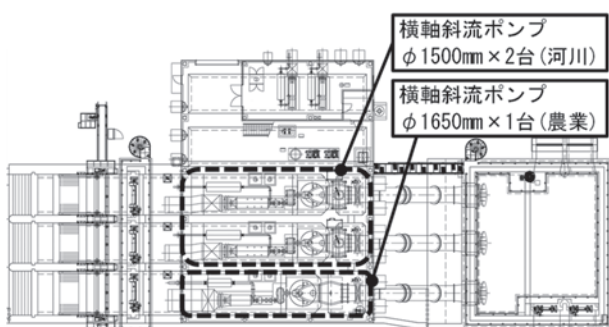
(2) 排水施設計画

排水整備計画の検討に基づき、排水施設（排水機場・排水路・分土工）の計画策定を行った。

1) 排水機場（新設）

漁太川排水機場は、千歳川河川整備計画（堤防拡幅）に伴い改修される漁太川樋門に接続するよう配置を計画した。施設規模は、吐出し量を段階的に変化させて計画排水解析（シミュレーション）を行い、無湛水となる最小吐出し量を求め、計画吐出し量（ $Q=16.0 \text{ m}^3/\text{s}$ ）とした。このうち現況規模分 $10.0 \text{ m}^3/\text{s}$ （ $= 5.0 \text{ m}^3/\text{s} \times 2$ 台）は河川事業により改修されることから、増強規模分（ $6.0 \text{ m}^3/\text{s}$ ）を本事業（農業事業）により新設する計画とした。

決定した排水量、揚程（吸込水位、吐出し水位）に基づき施設諸元（ポンプ形式、口径、台数等）を検討するとともに、河川事業者との事前協議を踏まえて吸込水槽、吐出し水槽等を共同施設、機械設備を各々の専用施設とする施設計画を行った（図－11）。



図－11 漁太川排水機場 平面図

2) 排水機場（機能保全）

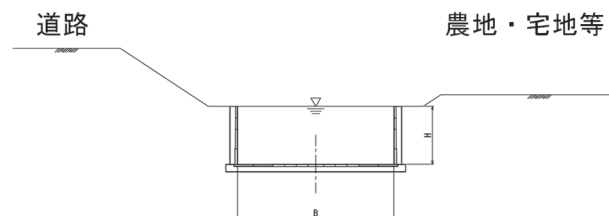
機能保全対策を要する漁太、南18号、南21号排水機場は、設備・装置区分毎の劣化状況（機能診断結果）や劣化特性を踏まえて、以下の対策工法を決定した（表－5）。

表－5 排水機場の主な機能保全対策

区分	対策工法
土木構造物・建屋	既設利用
ポンプ設備	分解整備または更新
ゲート設備	更新（駆動装置等）
除塵設備	更新（駆動装置等）
電気設備	更新
水管理制御設備	更新

3) 排水路（新設・改修）

排水路の既設路線は、主に道路に沿って整備されているため、新設・改修路線も同様に道路沿いの線形とし、農地側に横断面を拡幅する計画とした。また、排水路拡幅に伴う支障物件への影響を最小化するため、道路と農地や宅地に挟まれる区間は、「複断面形状（法留形式）」とした（図－12）。



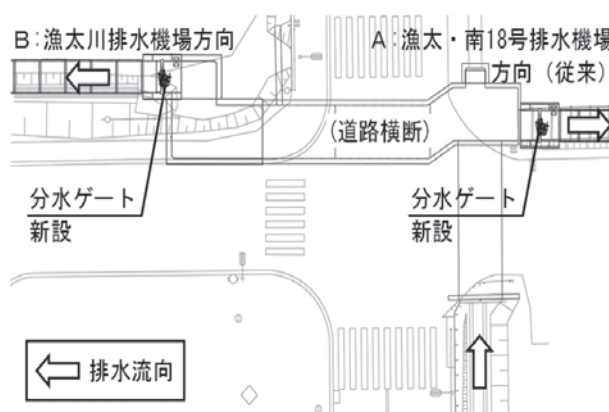
図－12 複断面形状（コンクリート柵渠）

4) 排水路（機能保全）

機能保全対策を要する排水路のうちコンクリート柵渠水路は、全体的に柵板劣化が見られるため、柵板を新材に交換し再敷設する。また、鋼矢板水路は、鋼矢板板厚及び変位量（傾斜量）を計測し、腐食により残存板厚が許容値を下回る水路を更新、それ以外の水路を「パネル被覆工法」により防食し長寿命化対策を施すものとした。

5) 分土工

排水系統再編のため新設する分土工（図－13）は、平常時は従来の漁太・南18号排水機場方向（A）に排水し、1/10確率洪水時には漁太川排水機場方向（B）に定量分水する。さらに、1/10確率超過時には排水量の増加分を従来方向（A）に排水し、漁太川排水機場方向（B）への分水量を一定に制御する。このように、排水状況に応じて流向・流量を制御する必要があることから「ゲート型式」を採用した。



図－13 分土工構造図（基線南18号地点）

6. 環境配慮計画

事業計画検討に際して、排水施設の整備内容、地域の環境特性及び田園環境整備マスタープラン等を踏まえて、本地区に必要な環境配慮計画の検討を行った。

(1) 環境調査

環境調査は、地域における既往調査結果を整理したうえで、未調査もしくは調査が不足している項目・時期を対象とし、環境改変による影響が想定される整備対象施設の代表地点において実施した。調査項目、方法、時期及び調査位置を示す（表－6、図－14）。

表－6 環境調査一覧

項目	調査方法	地点数	回数	調査時期
生態系調査	鳥類 ポイントセンサス調査	4地点	3回	6月、10月、12月
	魚類 採捕調査	2地点	3回	6月、8月、10月
	植物 植物相調査	5地点	3回	5月、7月、9月
水質調査	SS、濁度	2地点	平水時2回 増水時2回	6～7月、9～10月



図－14 環境調査位置

生態系調査の結果、鳥類は27科50種（うち希少種3科6種）、魚類は6科10種（同5科5種）、植物は90科324種（同5科8種）を確認した。また、水質調査の結果、平水時はSSが最大12（mg/L）、濁度が5.7度、増水時はSSが最大23（mg/L）、濁度が15度であった。

以上の現地調査より、整備対象施設の周辺環境に希少種を含む多様な動植物が生息・生育していることを把握した。

(2) 環境配慮計画

地域では、農業用排水路などの整備等における動植物の生息・生育空間の保全・創出、農村景観の維持・形成を目指していることから、環境配慮対策を以下のとおり決定した。

1) 魚類の生息環境への配慮

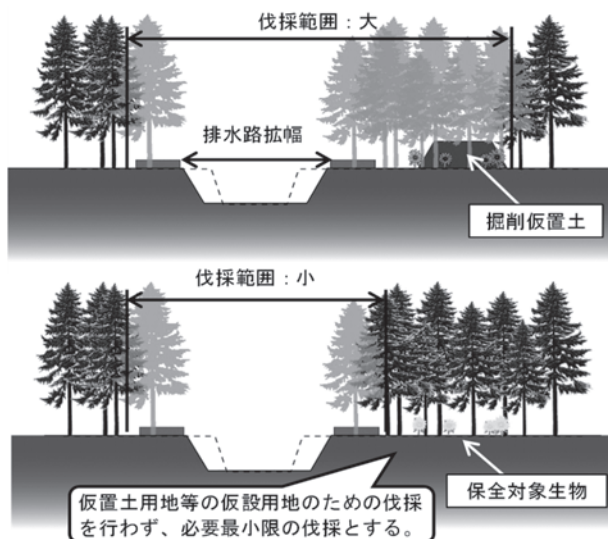
魚類の生息環境に配慮するため、工事実施にあたっては、沈殿・ろ過等の濁水処理施設を設置し、濁水流出を防止する。

2) 植物の生育環境への配慮

改修する排水路には、植樹帯を横断・隣接する区間があることから、伐採範囲を最小化し、環境改変の影響を回避・低減するとともに、伐採範囲内の希少植物は必要に応じて工事区域外の生育に適した場所へ移植等を行う（図－15）。

3) 周辺景観との調和

排水機場の整備にあたっては、建屋について周辺景観との調和に配慮した色彩を採用する。



図－15 環境配慮計画（植物）

7. 事業費及び効用

(1) 事業費

前項までに決定した排水施設計画を踏まえて事業量及び事業費を整理した。なお、漁太川排水機場(河川管理施設)を河川事業と連携して改修(増強)することから、千歳川河川整備計画を関連事業に位置づける計画とした。

1) 本事業

- ・排水機場(新設) 1箇所
- ・排水機場(改修) 3箇所
計4箇所
- ・排水路(新設) 1条 L= 0.6km
- ・排水路(改修) 7条 L=16.7km
計8条 L=17.3km
- ・事業費 25,000百万円
- ・事業工期 令和7年度～令和23年度

2) 関連事業

(水利施設等保全高度化事業：恵庭市)

- ・排水路(改修) 1条 L= 1.9km
- ・事業費 1,300百万円

(千歳川河川整備計画：国土交通省)

- ・堤防整備
- ・排水機場(土木施設等) 1箇所
- ・樋門 1箇所

(2) 総費用総便益比

本地区の総費用総便益は、関連業務(令和6年度夕張地域 営農計画経済効果検討等業務)により算定している。

本事業及び関連事業の実施により、排水施設の機能が維持・向上することにより、年間1,382百万円相当の事業効果が見込まれ、農業経営の安定が図られる(表-7、表-8)。

表-7 総費用総便益比

区分	算定式	数値	備考
総費用(現在価値化)	①=②+③	26,394百万円	
当該事業による費用	②	16,659百万円	当該事業費25,000百万円
その他費用	③	9,735百万円	
評価期間(当該事業の工事期間+40年)	④	57年	工事期間 令和7～23年度
総便益額(現在価値化)	⑤	30,300百万円	
総費用総便益比	⑥=⑤÷①	1.14	

表-8 年効果額(便益額)

効果項目	年効果額(百万円)
作物生産効果	517
営農経費節減効果	211
維持管理費節減効果	▲ 24
災害防止効果(農業関係資産・一般資産・公共資産)	551
その他の効果(国産農産物安定供給効果)	127
計	1,382

8. おわりに

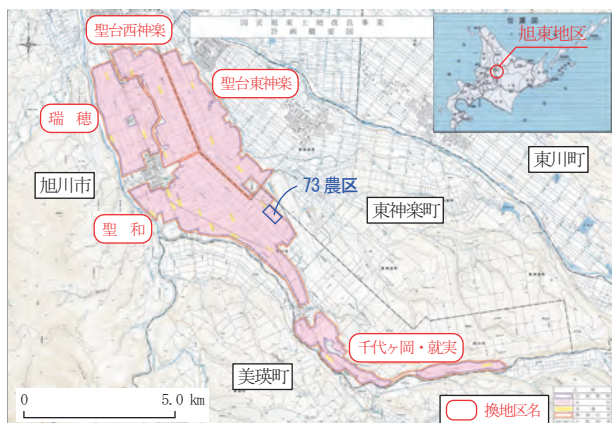
国営かんがい排水事業「漁川右岸地区」は、令和7年度より着手し、排水施設整備に向けた設計が進められる予定である。本事業が竣工した暁には、農業生産性の向上と農業経営の安定に貢献できるものと考えている。

最後に、事業計画検討に携わる機会と、ご指導を賜った札幌開発建設部農業計画課及び関係各位に厚くお礼を申し上げます。

(株式会社ドーコン 農業部 グループ長(技術士))

引用文献：

- 1) 国営漁川右岸土地改良事業計画書(案)、北海道開発局
- 2) 石狩川水系内水排除事業誌、北海道開発局札幌開発建設部、平成12年3月



図－２ 「旭東地区」計画区域図

(国営旭東土地改良事業計画書²⁾ 計画概要図を再編)

(2) 当該業務における３次元測量・設計の概要

本地区の ICT 導入実証事業実施の目的の一つに、「３次元設計データ作成と ICT 施工の標準化」がある。その中の取り組みに、次の２点が含まれている。①設計から施工への３次元データの引継ぎにおける課題の抽出、②施工の省力化に向けた課題の抽出である。

当該業務では、上記の①の第１段階として設計段階の３次元設計データの作成を行い、②の第１段階として施工の着手時に使用される地元説明用３次元モデルの作成を行った。

実施内容は、73 農区ほ場を対象にして、図－３に示す３次元測量による現況点群データの取得、及び２次元設計データを基にした３次元設計データの作成である。なお、73 農区は令和 7 年度施工予定であり、２次元設計データには過年度の設計成果を用いた。

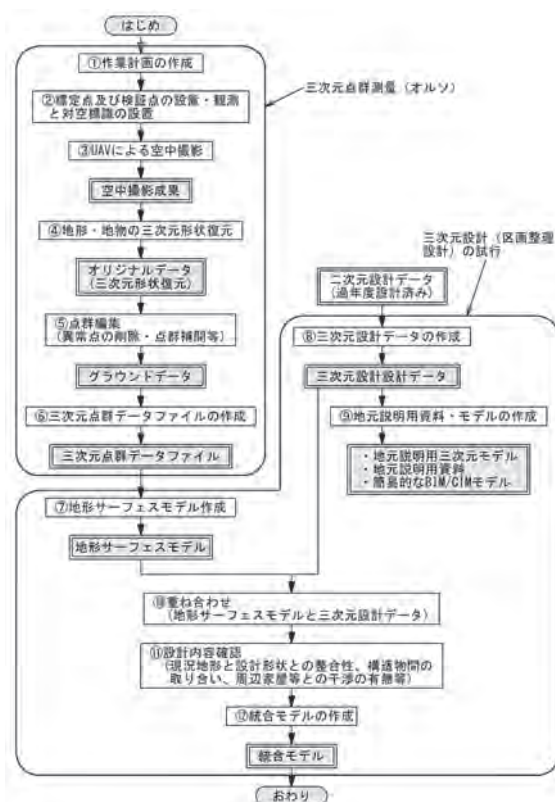
図－３に示す作業のうち、①～⑥は UAV を用いた３次元点群測量であり、⑦～⑫は３次元設計（区画整理設計）の試行である。これらの作業において特記すべき内容のあったものについて、３．と４．で説明する。また、①～⑫を通じての評価や留意点などを５．で述べる。

３．３次元測量（UAV 写真点群測量）

(1) 作業時期

３次元測量による現況点群データの取得は、UAV 写真点群測量により実施した。

撮影は、地盤面を正確に捉えるため、降雪前の植生が枯死して倒伏した時期（令和 6 年 11 月上旬）に行った。



図－３ 当該業務における３次元測量・設計の作業フロー

(2) 使用機材

３次元測量で用いた主な機器及びソフトウェアは表－１に示すとおりである。写真－１は、空中撮影で用いた UAV（DJI Phantom4 RTK）である。

表－１ 使用機器及びソフトウェア

作業内容	使用機器・ソフトウェア
標定点および検証点の設置・観測	GNSS RTK ローバー：LEICA GS18T ソフトウェア：LEICA Geo Office 8.4 ソフトウェア：LEICA ELLIPSE_Neo
空中撮影	UAV：DJI Phantom4 RTK
三次元形状復元	ソフトウェア：Pix4Dmapper
点群編集	ソフトウェア：TREND-POINT
測量計算	ソフトウェア：Wingneo INFINITY



写真－１ DJI Phantom4 RTK

(3) 作業計画

UAV 写真点群測量による測量作業を実施する際は、他の測量作業と同じように、「UAV 使用に関する作業計画書」を作成し、発注者の承認を得る必要がある。作業計画書には、業務の概要及び目的、対象範囲、測量作業の方法、使用する機器、人員、工程などを記載し、さらに使用する UAV 及びデジタルカメラの種類、対空標識、観測方法、位置精度に対して準拠すべき地上画素寸法なども記載した。なお、国土交通省公共測量作業規程³⁾に準じて作業計画を作成した。

位置精度は、取得した点群データを ICT 施工に引継ぐ場合のことを想定し、出来形管理に利用可能な 0.05m 以内とした。

撮影する数値写真の地上画素寸法は、作成するオリジナルデータの位置精度 0.05m 以内に対応させて、0.01m 以内とした（表－2）。

表－2 位置精度と地上画素寸法

位置精度	地上画素寸法
0.05m 以内	0.01m 以内
0.10m 以内	0.02m 以内
0.20m 以内	0.03m 以内

UAV を飛行させる対地高度（地表面からの高度）は、表－3 に示すデジタルカメラの仕様により次式を用いて算出する。算出結果は 36.5m であるため、対地高度を 35m とした。

$$\text{対地高度} = [\text{地上画素寸法 (m)}] \div [\text{使用するデジタルカメラの 1 画素のサイズ (mm)}] \times [\text{焦点距離 (mm)}]$$

（公共測量作業規程 第 421 条 3 より）

表－3 DJI Phantom4 RTK カメラ仕様

センサーサイズ	13.2mm × 8.8mm
ピクセルサイズ	2.41 μm
ピクセル数 (3:2)	5472 × 3648
焦点距離	8.8mm

写真重複度は、同一コース内の隣接数値写真では 90% 以上、隣接コースの数値写真では 70% 以上として撮影する計画とした。

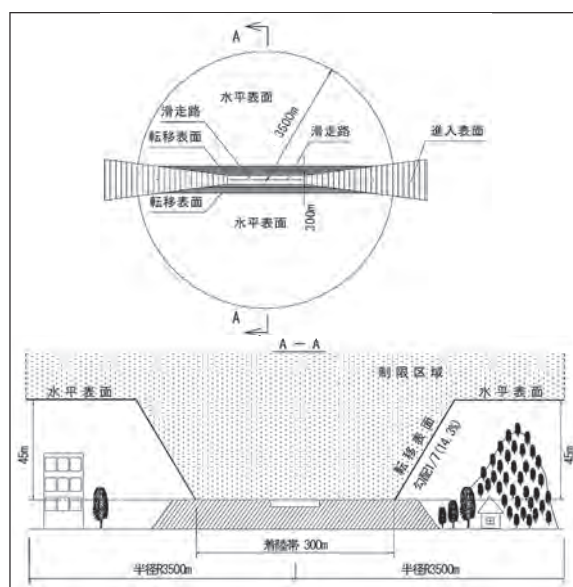
また、対象区域は旭川空港に近接しており、図－4 に示すように、制限表面区域⁴⁾（水平表面：航空法第 2 条第 9 項、転移表面：航空法第 2 条第 10 項）に位置している。制限表面区域とは、空港周辺等で航

空機の安全な離着陸を確保するための立体的な制限空域であり、無人航空機（ドローン）の飛行が制限される区域は、図－5 に示す水平表面及び転移表面よりも上空の範囲である。

このため、事前に関係機関に飛行確認を行い、対象区域での一部飛行が転移表面高に抵触するため、旭川空港運用時間外（21 時～8 時）での飛行とすることが求められ、6 時～8 時に行うことで許可を得た。



図－4 旭川空港の制限表面区域と 73 農区の位置



図－5 旭川空港の制限表面区域概要図⁴⁾

(4) UAVによる空中撮影

UAVによる空中撮影に先立ち、標定点及び検証点をほ場の形状や撮影コースの設定、地表面の状態等を考慮して設置した。標定点は、表－4に示す配点間隔に従って設置した。また、検証点は、標定点からできるだけ離れた平坦地又は傾斜が一様な場所を選定し、区域内に均等なるように設置した。

実際の撮影は作業計画に従って、日の出（6時頃）～旭川空港運用開始前（8時前）の間で自動運行により実施した。撮影後には、現地にて精度管理表を作成し、再撮影の必要がないことを確認した。

表－4 標定点の配置間隔

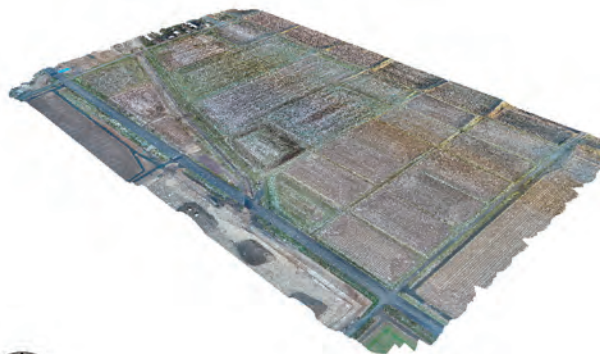
位置精度	隣接する外側標定点間の距離	任意の内側標定点とその点を囲む各標定点との距離
0.05m 以内	100m 以内	200m 以内
0.10m 以内	100m 以内	400m 以内
0.20m 以内	200m 以内	600m 以内



写真－2 ドローン飛行状況（写真奥が旭川空港）

(5) データの処理

点群データ（オリジナルデータ）及びオルソ画像の作成は、画像ファイル、標定点・検証点位置情報などにより三次元形状復元ソフト（Pix4Dmapper）を用いて行った。また、このソフトにより生成されたオリジナルデータから、点群編集ソフト（TREND-POINT）により、地形以外の現況地物やノイズなどを除去し、グラウンドデータを作成した（図－6）。



図－6 グラウンドデータ

4. 3次元設計

(1) 3次元モデル作成の詳細度

3次元設計は、国営土地改良事業等におけるBIM/CIM活用ガイドライン^{5) 6)}に基づいて実施した。当該業務における3次元モデルの作成の目的は、工事着手前の地元説明に活用できる3次元モデルを設計段階で作成し、施工着手までの期間短縮を図ることであるため、ほ場形状や畦畔、支線農道、進入路、取付道路などの擦り付け形状が確認できるよう、詳細度200～300程度を目安とした（表－5）。

表－5 BIM/CIMモデルの詳細度（案）⁶⁾

詳細度	共通定義	工種別の定義	サンプル
		ほ場整備工のモデル化	
100	対象を記号や線、単純な形状でその位置を示したモデル。	【ほ場整備工】 ・設計条件を定める概略設計レベルを想定 ・概略の中心線および区画線で、ほ場整備工を法線形で示す。また、道路幅員は含まない。	
200	対象の構造形式が分かる程度のモデル。 標準横断で切土・盛土を表現。又は各構造物一般図に示される標準横断面を対象範囲でスライスさせて作成する程度の表現。	【ほ場整備工】 ・基本諸元を定める基本設計レベルを想定 ・ほ場の規模や高さ、法面の規模等が概ね確認できるモデル ・関係者間協議における説明資料として活用すること、土工量の概定に用いること等を目的とする。 ・幹線農道、用排水路（開水路のうち規模の大きいもの）、畦畔法面（規模の大きいもの）のモデル化 ・地区内の主要な水源施設（調整池、ファームpond等）の配置をモデル化	
300	附帯工等の細部構造、接続構造を除き、対象の外形形状を正確に表現したモデル。	一般部の土工部の影響範囲が確認できる程度のモデル 【ほ場整備工】 ・主要仕様を定める実施設計・発注図書レベルを想定 ・進入路等の変化部を含む土工断面を設定し、地形情報に応じて盛土・切土をモデル化 ・用排水路（開水路、埋設管路工）、畦畔、支線農道、耕作道、進入路のモデル化 ・用排水路の付帯施設（柵、給水栓、落水口等）の配置をモデル化 ・農道の舗装構造をモデル化	
400	詳細度300に加えて、附帯工、接続構造などの細部構造及び配筋も含めて、正確にモデル化する。	【ほ場整備工】 ・施工レベルを想定 ・交差構造物による影響を考慮し、用排水路（埋設管路工）を正確にモデル化 ・埋設管路土工を正確にモデル化 ・暗渠排水工の配置、形状を正確にモデル化 ・現場打ち構造物の配筋、プレキャスト製品の配置（スパン割）、管割を正確にモデル化 ・その他の付帯施設（擁壁、防護柵、電柱等）の形状、配置を正確にモデル化 ・地区内の水利施設（揚水機場、分水工等）の形状、配置を正確にモデル化	
500	対象の現実の形状を表現したモデル。	施工段階で活用したモデルに完成形状を反映したモデル	—

注）モデル化の対象は、ほ場整備実施地区内のものに限る。

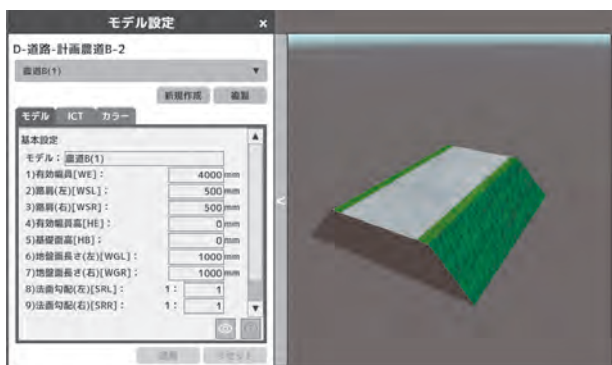
※スライス・・・平面に描かれた図形をある基準線に沿って延長させて3次元化する技法のこと。

(2) 使用ソフト

前述のとおり 3 次元設計に用いたソフトは、農研機構が開発中の“FarmBlue”である。このソフトは開発中である現在も、プログラム利用契約により使用可能である。なお、農研機構では令和 8 年度中に、数量自動計算、情報化施工への機能対応などの実装を行い、製品化することを目指している。

本ソフトは、従来の汎用 2DCAD ソフトを用いて作図した、標高値（文字情報）を含む構造物の骨格線を工種や構造物毎にレイヤ分けしたうえで、定められたレイヤ名を入力した 2 次元図面データ（. dxf 形式）として読込ませることで、ほ場や用排水路、農道、畦畔等を自動的に 3 次元モデルに変換することができる。ほ場と道路などの構造物との間に存在する法面や地盤面は、構造物同士的位置関係の情報をもとに自動的に生成される。また、各種構造物はパラメトリックモデリング手法によって生成されている。パラメトリックモデリング手法とは、形状や構造をパラメタ（寸法、角度、材質など）によって定義・制御する設計手法である。そのため、各構造物の幅、高さ、法面勾配、隅切りなどの編集は、図－7 に示す形状パラメタを変更することで行える。

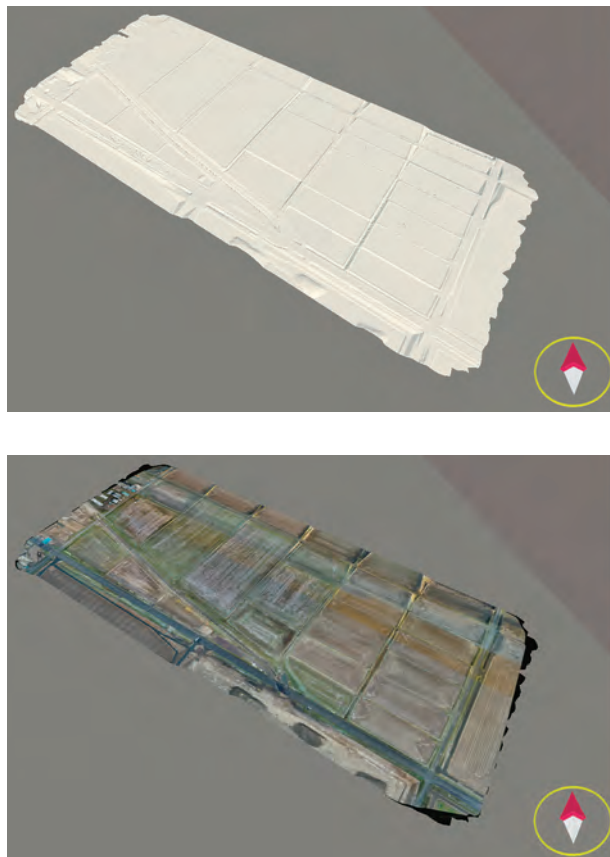
一方で、“FarmBlue”は開発中のソフトであるため、対象の 2 次元設計を 3 次元モデル化するとき、本地区で採用している円形進入路や幅広畦畔の傾斜部（農道との接続）は、機能上作成できなかった。このため、汎用 3DCAD ソフトウェア“V-nasClair”（川田テクノシステム）を用いて、円形進入路等のサーフェスを追加した。同様に、現況と計画のサーフェスの統合についても“V-nasClair”を用いた。



図－7 形状パラメタ編集画面（道路）

(3) 地形サーフェスモデル作成

3 次元測量により取得した点群データ（グラウンドデータ）に対して、点群処理ソフトによりフィルタ処理等の作業を行って、地形サーフェスモデルを作成した。図－8 に現況地形サーフェスモデルを示す。



図－8 現況地形サーフェスモデル

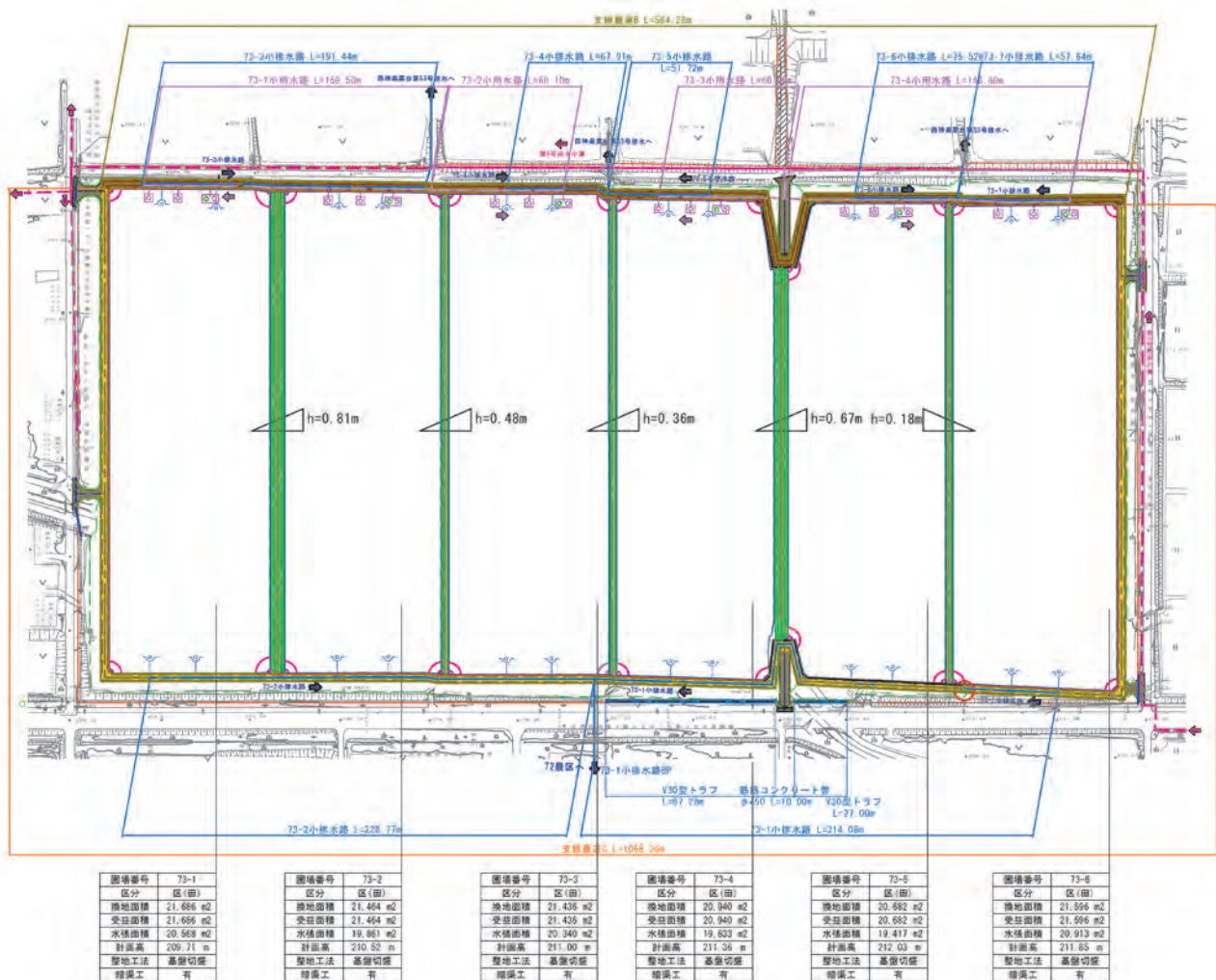
（上：オルソ画像合成なし、下：オルソ画像合成あり）

(4) 地元説明用 3 次元モデルの作成

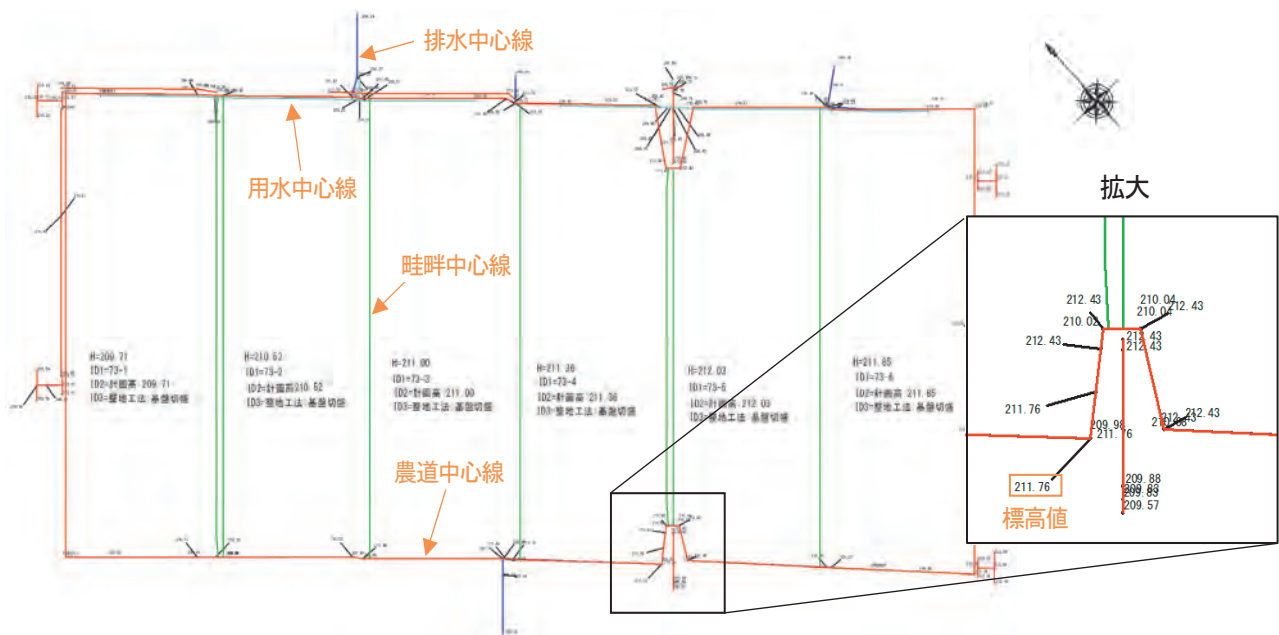
過年度設計済みの 2 次元設計データを基に、3 次元設計データを作成し、これを用いて地元説明用 3 次元モデルを整理した。作成した 3 次元モデルにより、現況地形と設計形状との整合性がとれているか、地区界との離隔 0.50m 以上が確保されているかなどを確認した。

また、地元説明用 3 次元モデルを基に、設計の完成形状で簡易的な BIM/CIM モデルを作成した。

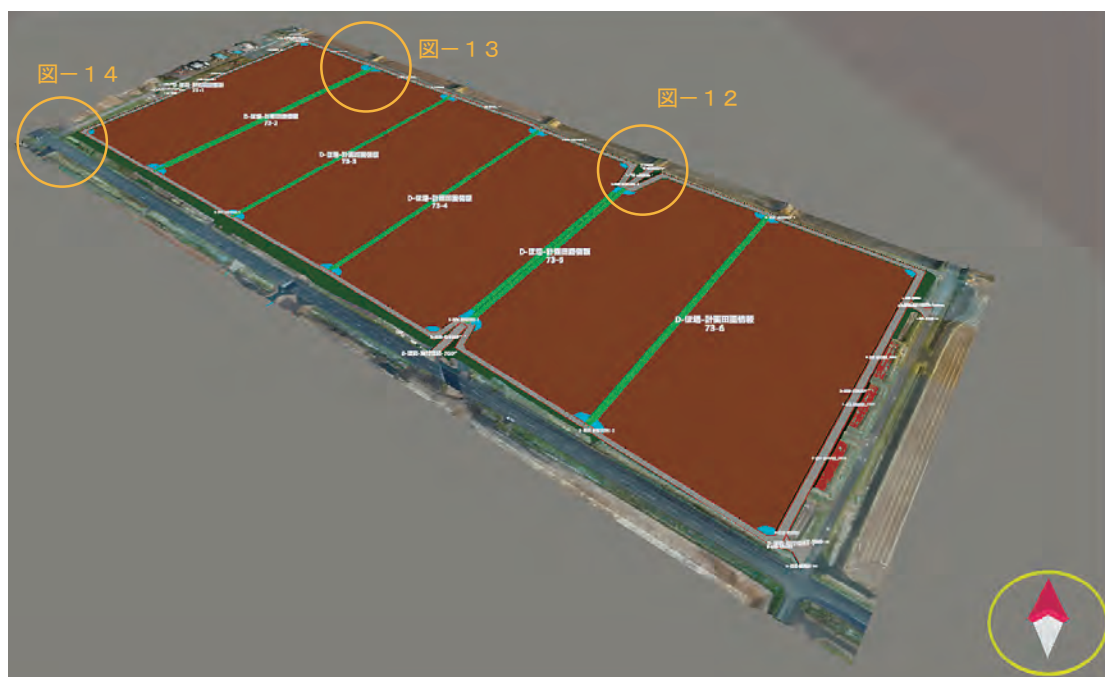
図－9 に 2 次元設計の計画平面図、図－10 に汎用 2DCAD ソフトで作成した“FarmBlue”への入力図面、図－11 に地元説明用 3 次元モデルを示す。また、図－11 に円で囲んだ位置の拡大図を図－12 ～ 14 に示す。



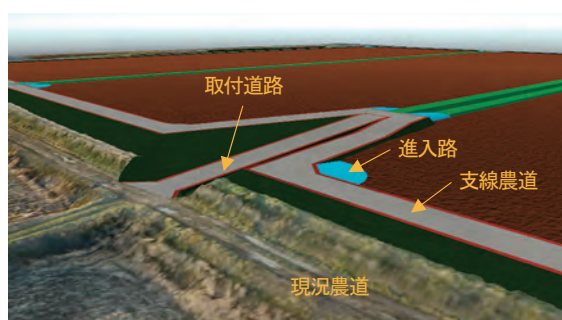
図－9 2次元設計の計画平面図



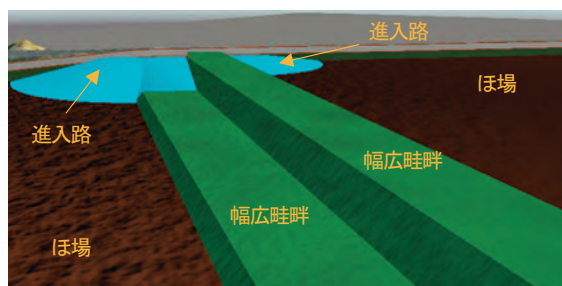
図－10 “FarmBlue” への入力した2次元図面（骨格線図面）



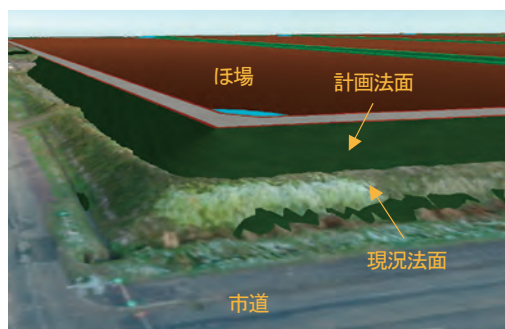
図－11 地元説明用3次元モデル



図－12 地元説明用3次元モデル拡大（取付道路）



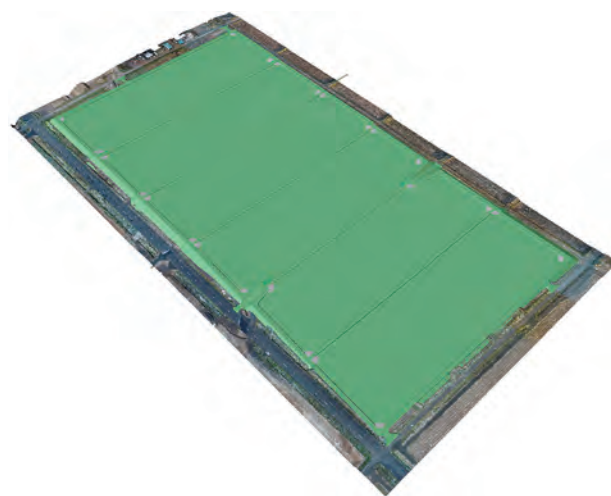
図－13 地元説明用3次元モデル拡大（ほ場間）



図－14 地元説明用3次元モデル拡大（外周法面）

(5) 統合モデルの作成

施工段階への引継ぎとして、地形サーフェスモデルと3次元設計データ（サーフェスモデル）を統合して、統合モデルを作成した（図－15）。



図－15 統合モデル（サーフェスモデル）

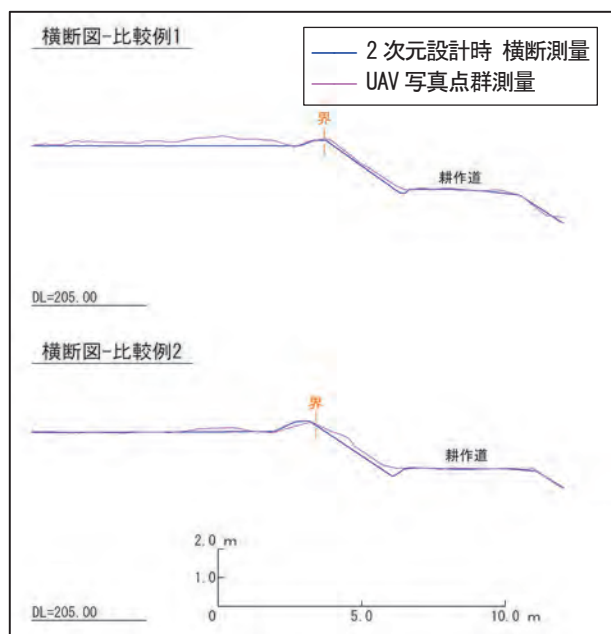
5. 評価

(1) UAV 写真点群測量の実施時期

UAV 写真点群測量は、降雪前の植生が枯死し、倒伏した時期に撮影を行ったため、植生による影響はほとんどなく、過年度実施設計時の横断測量の地形とほぼ同様の結果となった（図－16）。

3次元測量を UAV 写真点群測量の手法で行う場合は、実施時期を融雪後の植生が成長を始める前の時期、または降雪前の植生が枯死し、倒伏した時期と

することが望ましい。ただし、今回のように空港近傍などでは日中（空港運用時間）の UAV のフライトができず、日の出～空港運用時間の間でのフライトとなる場合がある。このため、日の出時間が早い春に行うことでフライト時間をより長く確保することができる考える。



図－16 横断測量と UAV 写真点群測量の結果比較図

(2) 3次元測量の手法の選定

3次元測量については、実施可能な時期や地形状況、現況地物の状況により、作業効率やコスト等を考慮し適切な手法を選定する必要があるため、対象区域の状況を予め十分に把握する必要がある。

また、状況により複数の手法を組み合わせ補完するといったことも必要になると考える。例として UAV 写真点群測量または UAV レーザ測量と、地上レーザ測量、TS 測量、LidarSLAM 技術を用いた測量のいずれかなどとの組み合わせが挙げられる。

(3) 3次元モデルの利点

3次元モデルを作成することで、高低差だけでなく、計画法面や計画構造物などが、地区外区域や現況作工物とどのような位置関係にあるかがわかりやすくなる。埋設構造物の交差箇所において、構造物間の必要離隔が確保されているかも確認が容易になる。このため、従来、施工前に気づき難かった課題について、事前に解決を図ることが可能である。また、2次元設計で行う図面間のトレース作業も不要となるため、時間短縮やトレースによるミス

もなくなることなどの有効性を再認識することができた。

(4) “FarmBlue” の利点

今回の試行を通じて、“FarmBlue” の次のような利点を感じた。

- ①当該業務の3次元設計においては、2次元設計を基に3次元モデルを作成した。使用したソフト“FarmBlue”は、作図規則に従って作成した2次元の骨格線図面を読み込むことで3次元モデルを作成できることから、効率的に作成できた。
- ②“FarmBlue”は前述のとおり形状パラメタを変更することで、3次元モデルを直接編集可能である。つまり、標高や幅等の変更に追従して法面などの形状も変更されるため、煩雑なモデル修正を行う必要がない。今回は設計済みの2次元設計図を基に3次元モデルを作成しているため、受益者等からの要望聞取りによる計画の調整はなかったが、今後は3次元モデルを表示しながら受益者等からの要望を聞き取り、その場で計画を調整するという場面が増えると想定される。そのような場面で、この機能は利便性が高いと評価できる。
- ③あくまでも筆者の限られた経験からの感想であるが、これまで使用したことのある汎用3DCADソフトウェアに比べて、複雑な操作がなく、容易に扱うことができた。

上記①～③に述べたことから、2次元設計済みや施工済みのは場において、3次元モデルを作成した場合などにも有用であると考えられる。

(5) “FarmBlue” への期待

今回使用した“FarmBlue”は、現在も開発中（令和8年度完成予定）であることから未対応の機能があり、一部計画（法面の一部や取付道路形状など）を完全に再現できなかった。ただし、開発者の農研機構へは、今回の3次元設計での課題などに対し、機能の拡充などの要望を伝えて、機能追加の検討や対応をいただいている。今後、土量計算や数量自動計算、情報化施工の機能対応が進むことで、さらに利便性が向上し、生産性向上に寄与することを期待している。

(6) 設計から施工への3次元データの引継ぎ

前述のとおり対象の73農区は令和7年度に施工を行う。そのため、本稿の執筆時点では、設計段階で作成した3次元設計データの施工への引継ぎにおける課題や、施工の省力化に向けた課題の抽出は未実施である。このため、今後施工での3次元設計データ活用状況を確認し、その結果を踏まえた課題解決を図って行きたい。

6. おわりに

本稿は、ICT導入実証事業の対象となった旭東地区における三次元測量・設計の試行について紹介したものである。

3次元データやBIM/CIM活用が進むことで、農業農村整備プロセス全体（調査設計、施工、維持管理、営農等）の効率化が図られるとともに、円滑な事業推進に寄与することが期待される。農業農村整備事業に携わる者として、調査設計段階での3次元データやBIM/CIM活用を進めるべく、今後も精進していきたい。

当該業務及び本稿作成にあたり、ご指導、ご協力をいただきました北海道開発局旭川開発建設部旭川農業事務所、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学部門 農地基盤情報研究領域空間情報グループの各位、及び報告の機会をいただきました（一社）北海道土地改良設計技術協会に対し、感謝申し上げます。

(株)イーエス総合研究所 設計部 技術課
課長代理（農業土木技術管理士）

引用文献

- 1) 農林水産省：先端技術導入実証事業実施要領（令和5年4月1日付け4農振第3593号制定）
- 2) 北海道開発局：国営旭東土地改良事業計画書
- 3) 国土交通省：公共測量作業規程（平成28年3月31日国国地第190号）
- 4) 旭川市：旭川空港周辺の建造物等設置制限について（空港制限表面）
- 5) 農林水産省：国営土地改良事業等におけるBIM／CIM活用ガイドライン（案）_第1編_共通編（令和5年3月）
- 6) 農林水産省：国営土地改良事業等におけるBIM／CIM活用ガイドライン（案）_第3編_ほ場整備工編（令和5年3月）

雄武丘陵地区における可視化ツールを用いた 受益者との合意形成について

鈴木 聡明

1. はじめに

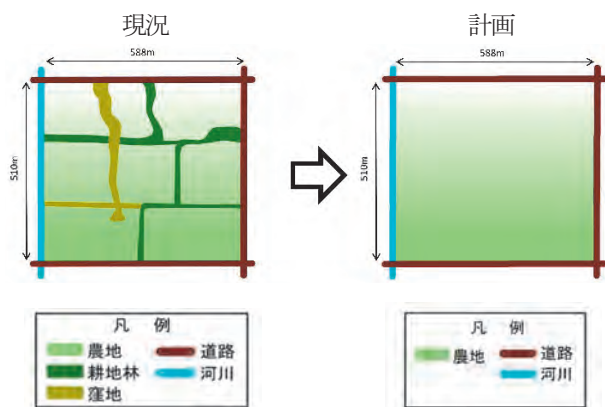
(1) 地区の概要と整備目的

国営緊急農地再編整備事業「雄武丘陵地区」は、北海道紋別郡雄武町に位置し、オホーツク海沿岸に広がる酪農地帯である（図－１）。



図－１ 雄武丘陵地区 位置図

地区内の農地は、ほ場を分断する耕地林や窪地が存在し、大型機械で作業を行うには区画が小さく、排水不良が生じ、非効率な土地利用による耕作放棄地の増加が懸念されている。そのため、土地利用を計画的に再編する区画の拡大及び排水不良の解消を行う基盤整備を実施し、担い手への農地の利用集積を進め、耕作放棄地の解消・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する（図－２）。



図－２ 基盤整備のイメージ図（事業計画書より抜粋）

(2) 本稿の主題

農地の利用拡大を目的とした既耕地の再編成を行うため、そのほ場の区画整形や起伏修正を行う「整地工」及び地中へ排水管を埋設する「暗渠排水工」が主要工種である。業務の履行にあたり、整備内容（工種）と範囲の設定は、受益者への聞き取りと合意形成により決定しなければならない。しかし、従来の２次元図面を用いた手法では、立体的な形状や施設の配置をイメージするには、複数の投影図を参照する必要があったため、図面読解に精通していない受益者へはイメージしにくく、図面情報の解釈に時間を要し、業務工程上のボトルネックになっていた。

これらを背景に、現在では可視化資料の代表的なツールとなっている空中写真と３次元モデルを用いて実施した受益者説明の事例について本稿で紹介する。

2. 可視化ツール導入の取組み

(1) UAV 測量の導入経緯¹⁾

耕地面積が広く、起伏が大きいほ場では、土量バランスの調整を繰り返すため、計画（測量）範囲を一度に決めることが難しい。そのため、本地区では早い段階からメッシュ測量に代わる新たな測量手法として UAV 写真点群測量を積極的に採用している。従来は、調査範囲の決定に多くの時間と労力を費やし、後続作業の設計作業へ大きな負担となっていたが、この取組みにより作業の効率化が図られている。また、UAV 測量により地形データを広範囲に取得し、対象範囲全体を俯瞰的に視認することで、ほ場間の横断的な整備や土の流用等、整備の構想が計画しやすくなる（図－３）。

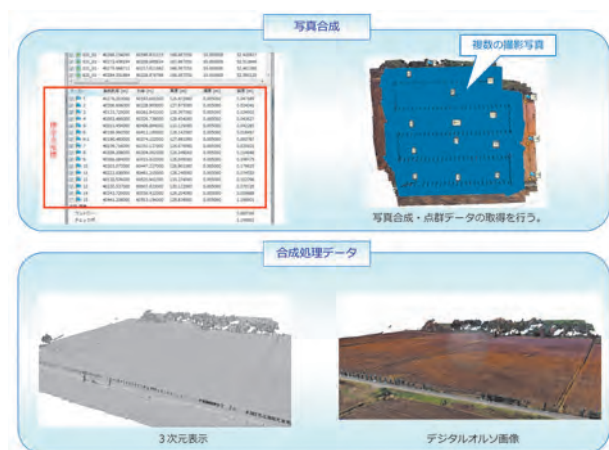


図－３ 広範囲の地形データ取得による設計計画

このように、空中写真は受益者へ提示する資料として有効なツールとなる。また、後続作業となる測量範囲の設定、造成面の概略設計や問題点の把握、3次元モデルの作成等、取得したデータは広範囲に利用が可能となる。

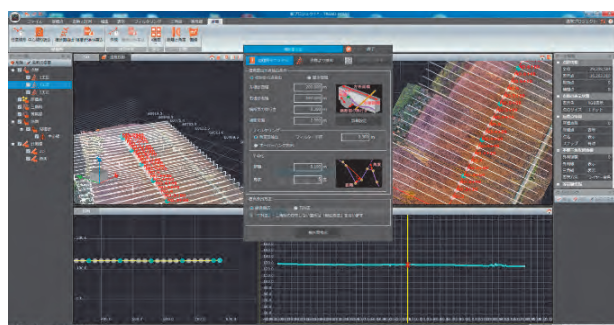
(2) データ処理の流れ

UAV 測量後、写真合成ソフトウェアにて標定点の座標値を用いて、撮影写真の合成及び3次元点群データの取得を行う（図－4）。



図－4 処理イメージ

取得した3次元点群データは点群処理ソフトウェアにより、任意地点での縦断面・横断面図の作成や整地工の計画等が可能となる（図－5）。



図－5 任意地点から断面の取得例

履行期間中の概略設計では、3次元点群データを用いた計画案を関係者に提示することで、可視化により課題が明確となり、作業の効率化及び省力化が図られる。

(3) BIM/CIM の導入

1) 機能と枠組み

現在、BIM/CIM の導入が原則化され、利用目的に応じた3次元モデルの作成・活用が義務付けられて

いる。また、近年の国営土地改良事業等では、三次元設計の試行業務も発注され、建設事業をデジタル化することにより、関係者（発注者、受注者等）のデータ活用・共有を容易にし、事業全体における一連の建設生産・管理システム全体の効率化を図ることとしている。

可視化の効果については、目的に応じて作成するモデルの範囲や精度が異なることから、活用内容に応じたモデルを作成することが重要となる。

2) BIM/CIM モデルの詳細度

詳細度については、「国営土地改良事業等におけるBIM/CIM 活用ガイドライン（案）第1編 共通編」で定義されたBIM/CIM 詳細度 100 ～ 500 の5段階の定義に基づき、2次元図面の理解度補助の位置付けから、詳細度は 200 ～ 300 程度を目標とした（表－1）。

表－1 BIM/CIM モデル詳細度（工種共通の定義）

詳細度	共通定義	【参考】工種別の定義例	サンプル
100	対象を記号や線、単純な形状でその位置を示したモデル。	対象位置や範囲を表現するモデル 【は場整備】 ・概略の中心線及び区画線で、目標整備工を法線形で示す。また、道路幅員は含まない。	
200	対象の構造形式が分かる程度のモデル。 標準断面で切土・盛土を表現。又は各構造物一般図に示される標準断面を対象範囲でスワイプさせて作成する程度の表現。	対象による概略の影響範囲が確認できる程度のモデル 【は場整備】 ・主要な施設を標準的な形状でモデル化。 ・農道・水路は標準断面でモデル化。 ・地形情報に応じて盛土・切土もモデル化。	
300	附属工等の細部構造、接続部構造を除き、対象の外形形状を正確に表現したモデル。	一般部の土工の影響範囲が確認できる程度のモデル 【は場整備】 ・詳細度 200 に加えてスロープ部といった変化部を含む土工断面を設定し、地形情報に応じた盛土・切土をモデル化する。 ・取付道路と進入路のモデル化。 ・川排水路（埋設管路工）のモデル化。	
400	詳細度 300 に加えて、附属工、接続構造などの細部構造及び配管も含めて、正確にモデル化する。	詳細度 300 に加えて小構造物も含む全てをモデル化 【は場整備】 ・交差構造物による影響を考慮した排水路（埋設管路工）を正確にモデル化。 ・用排水路の付帯施設（例、雨水井、落口など）や管渠の形状、配置を正確にモデル化。 ・砂利舗装工を正確にモデル化。 ・埋設管路工を正確にモデル化。	
500	対象の現実の形状を表現したモデル。	設計・施工段階で活用したモデルに完成形状を反映したモデル	

出典：BIM/CIM 活用ガイドライン（案）第3編 是場整備工種 第1章
※共通定義にあるスワイプとは、平面に描かれた図形を基準線に沿って延長させて3次元化する技法のこと。

3) BIM/CIM の活用

農業農村整備におけるBIM/CIM の活用は、情報化施工で得られたほ場や周辺構造物の詳細な座標データを基に高精度な自動運転地図を作成し、衛星測位による位置情報と組み合わせて、自動走行農機の走行経路設定に利用する等、スマート農業実践の環境整備を可能にする。また、設計上での活用としては、3次元モデル上での自動走行農機の走行シミュレーションを行うことで、地形条件、隣接・対面するほ場に対する進入路の位置関係に至るまでの走行安全性の検証が可能となる。

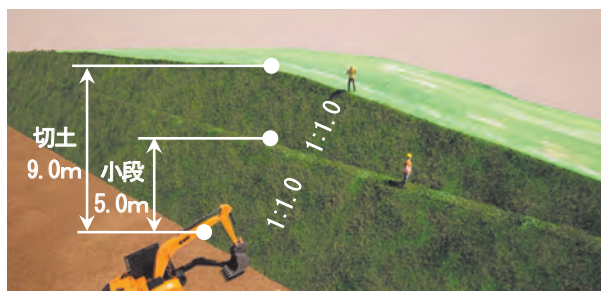
その他の農業農村整備における BIM/CIM の特徴として、農業水利施設の BIM/CIM モデルを構築し、点検・保全記録を属性情報（材質、施工履歴、施設変状等）として更新し、維持管理や更新事業計画に活用することや、工事完成時の 3 次元座標データを被災時の 3 次元写真測量と合わせることで正確な土量や詳細状況が把握でき災害復旧に関する業務を効率化・迅速化すること等が挙げられ、一部これらの活用についての検討が始められている状況である。

3. 3 次元モデルを用いた受益者等との合意形成

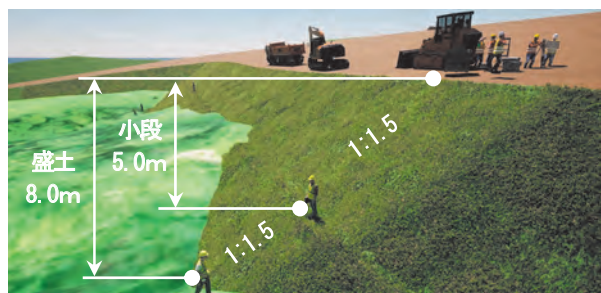
(1) 事例 1 ～長大法面が発生するほ場の整備

急傾斜地の区画拡大にあたっては、地形的特徴から農地の区画拡大に伴い長大な法面（切土・盛土）が発生し、耕作面積は減少する。受益者にとって、急傾斜地での施工後の地形変化や、施工範囲の大きさがイメージしにくく、漠然とした不安から設計協議を円滑に進められないことがあった。

この課題に対し、施工後の切盛り形状を詳細に再現した 3 次元モデルを作成し（図－6、図－7）、法面上に実寸大の建設機械や作業員を配置することで、作業スケールや施工影響範囲を視覚的に表現した。この結果、受益者は施工内容を具体的に理解し、工事が自身の農地に与える影響を客観的に把握することが可能となる。



図－6 切土部



図－7 盛土部

図－6、図－7 では、法面の勾配、切盛土高の位置関係が示されており、従来の図面では説明に時間を

要した内容を一目で理解できるようになっている。それに伴い、受益者からの質問や不安が大幅に減少し、初回の説明で迅速な合意を得ることができた。

(2) 事例 2 ～沢地を横断する連絡道の設置

既存の沢地を挟むほ場間の移動は、公道を利用したルートを通るものであったため、多くの時間を費やし非効率であった。そのため、受益者からは、ほ場間を直結する連絡道の整備が要望されていた（図－8）。

ただし、整備を進めるにあたっては、沢地を横断する際の地形条件や、横断管渠の構造・形状によって道路の勾配や線形が変化し、農業機械の走行性や安全性に支障が出るおそれがあった。

そこで、以下の対処で課題の解決を図った。

1) 3 次元モデルによる複数案の比較検討

現地の地形を詳細に測量し、3 次元モデルを用いて複数の道路形状案を作成する。次に擦り付け勾配や長さ、傾斜などを考慮しながら、視覚的な比較検討により最適な線形・勾配案を選定した。

具体的には、農業用トラクターなどの走行性を考慮し、さらには地区取決め基準を鑑みて最大擦り付け勾配を 10% とした。

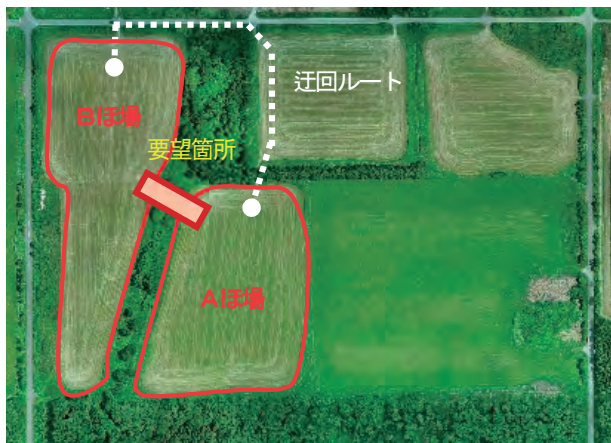
2) 3 次元モデルによる視覚的な合意形成

この検討過程では、3 次元モデルの成果をもとに、関係者との合意形成も視覚的に進めた（図－9、図－10）。

図－9 では、道路全体を横断方向から俯瞰的に可視化することで、ほ場との接続関係や地形との整合性を把握できる構成とした。これにより、連絡道の全体像や、周辺地形とのなじみ具合を視認的に確認できた。

図－10 では、縦断方向の視点から前方の見通しや高低差による視界の変化を確認することができ、実際に農業機械が走行する際の体感的な安全性や勾配の印象を直感的に把握する助けとなった。

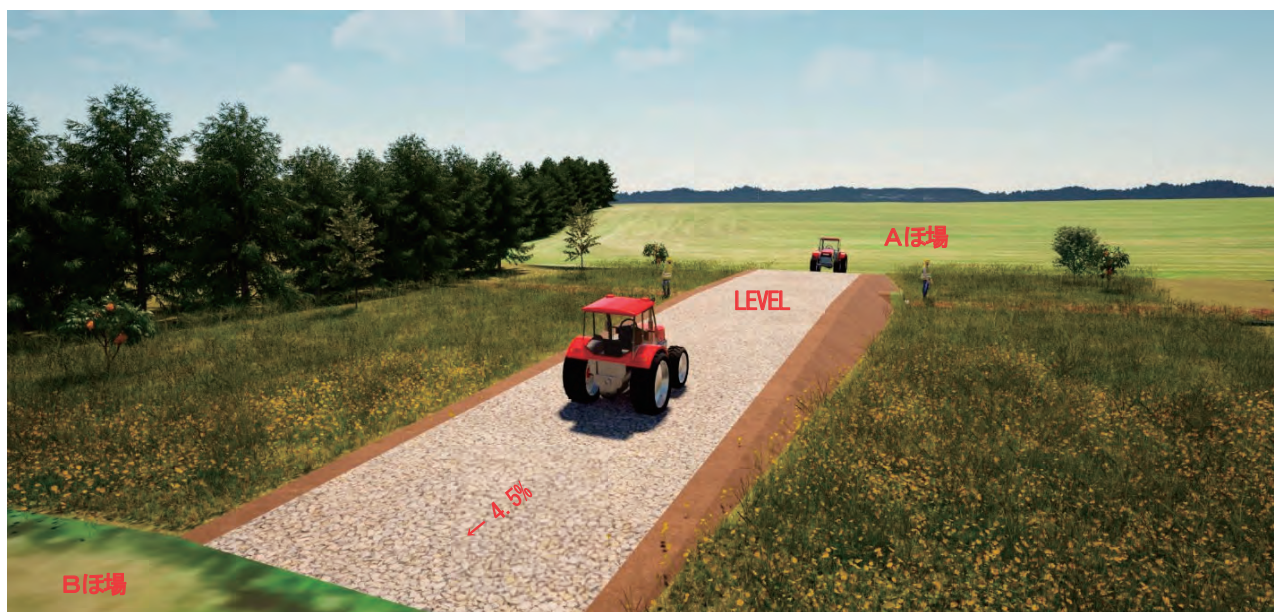
ここで、留意すべきことは図－9、図－10 は、単なる 2 次元の設計図ではなく、3 次元モデルによる全方位的な視覚判断を通じて関係者間の合意形成を支援するツールとして大きな役割を果たしたことである。



図－8 連絡道 要望位置図



図－9 連絡道 側面方向



図－10 連絡道 縦断方向

(3) 事例3～走行シミュレーション

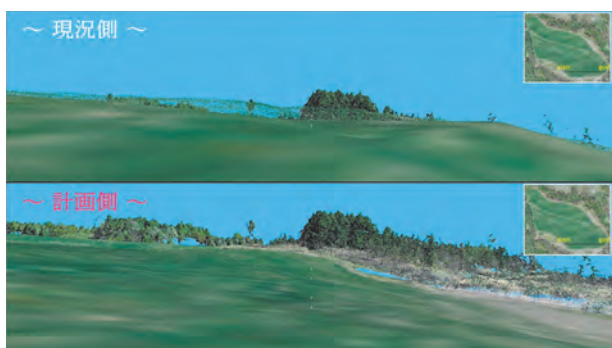
起伏の激しいほ場では、大型農業機械（ハーベスタ等）による効率的な作業を維持しにくい状況下にある。特に、運転者の視点では傾斜の方向や作業空間の広がり把握しにくく、運転時の不安要因となっていた。

課題は、受益者に対して「施工によってどのように勾配が修正され、走行性が向上するか」を視覚的かつ直感的に伝えて、施工後の地形や空間に対する不安を除去することであった。

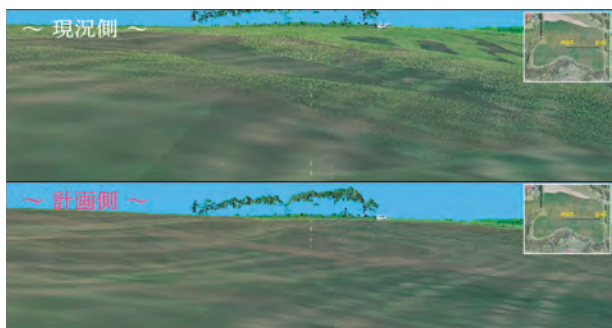
この課題に対し、まず UAV 測量によって現況地形を取得して、整地後の状態を想定した 3 次元地形モデルを作成する。そこに大型農業機械を配置し、運転席からの視認範囲や勾配変化の様子を走行シミュレーションによって再現した（図－11、図－12）。

とくに、計画された畑面勾配（最大 8.7%）がどのように操作性へ影響するか、視点の変化を通じて実感として把握できるよう工夫した。

運転席目線の CG ビューを作成し、ほ場の傾斜が安全基準内に収まっていること、走行時の視野が十分確保されることを受益者自身に確認してもらえるようにモニターに映し出した（写真－1）。



図－11 走行シミュレーション①



図－12 走行シミュレーション②

4. おわりに

本稿では、地区のメッシュ測量に代わる新たな測



写真－1 受益者提示前の社内確認風景

量手法として UAV 写真点群測量の採用を機に 3 次元モデルを用いた関係者間協議を積極的に行ってきた事例の一部を紹介した。

広範囲の地形データの取得、3 次元モデルの作成は、効果的に意思疎通が図られる有効なツールであるため、円滑な情報共有が可能となる。

また、農業農村整備における BIM/CIM の特徴として、2 次元図面から 3 次元モデルへの移行による業務変革や、より効果的なフロントローディング及びコンカレントエンジニアリングの取組みにより合意形成の迅速化、業務効率化、品質の向上、生産性向上等の効果が期待されている。現在、農林水産省では BIM/CIM 活用ガイドライン（案）を始め、情報化施工技術の活用ガイドライン等の基準が整備され、3 次元データの活用が推奨されている。

当社においても、3 次元データの活用に加え DX を積極的に導入し、業務の効率化、品質向上を進め、近い将来に課題になるであろう人員不足の解消、働き方改革も含め、組織的に取り組む必要があると考えている。

今後も、継続的に DX に対応できる人材育成を強化し、持続的なデジタル社会への実現に向け、計画的に推進していく所存である。

謝辞：投稿に際し、網走開発建設部北見農業事務所雄武分庁舎の職員の皆様には作成にあたり、助言、ご指導を賜りましたことをこの場を借りて感謝申し上げます。

（株式会社ドボク管理 設計部 部長（技術士））

引用文献

- 1) (一社) 北海道土地改良設計技術協会: 第 35 号報文集（令和 5 年度）「雄武丘陵地区 デジタル技術を活用した業務取り組み事例」

暗渠排水疎水材における砕石から代替疎水材への検討

前田 輝

1. はじめに

A地区の農地は、土壌調査、地下水位調査及び透水試験の結果から、排水不良により作物の生育に障害が発生する恐れのある土壌のため、国営事業において、作物の生産性向上及び作業効率の改善が図れる暗渠排水工を実施している。

暗渠排水工において重要なフィルター材である疎水材は、「経済性、透水性、耐久性、資材確保の容易性」等の観点から砕石を採用しているが、近年A地区及び周辺地域では、鉄道や道路工事等の大規模な公共工事が集中している影響で、砕石工場がフル稼働してもなお砕石の供給が逼迫している状況が続いている。このため、安定的な資材確保は喫緊の課題である。

特に春先は、残雪の影響により砕石の生産が停止しているため、疎水材（砕石）の入手が困難な状況が生じている。なお、A地区から約60km離れた砕石工場では、前年に生産した砕石のストックを春先に入手できるが、管内の砕石5,200円/㎡と比較して1.6倍の8,300円/㎡である。

このような背景から、本報では、春先における経済的な疎水材の安定供給を目的とし、「砕石の代替疎水材」の検討を行う。また、これまで未利用である地区内で発生した石礫の「除礫物」を有効活用することを念頭に、暗渠排水工の疎水材としての利用可否を技術的及び経済的観点から検討する。

2. 砕石の代替疎水材の検討

代替疎水材は「北海道における暗渠排水の実態と機能向上対策」¹⁾(表-1)から暗渠排水の標準耐用年数30年を考慮し、地域で入手可能な「木材チップ」、「ホタテ貝殻」、「ストーカ粗粒物」、「ロックウール」を選定した。なお、モミガラは耐久年数が10～15年と短いため、対象から除外した。

選定した各資材は、疎水材としての利用可否に加えて入手先と価格を調査する。

表-1 北海道で利用可能な疎水材

資材名	耐久性 強度耐用年数	価格 (円/㎡参考値)	粒径 サイズ	品質 注記点	地域
モミガラ	10～15	40～600	2mm	投入時の転圧を充分に行い補充を行うこと	水田地帯
針葉樹チップ	15～	3,800～5,800	10～40mm	水田利用時はモミガラ併用	全道
樹皮付きチップ	15～	3,600～	10～40mm	水田利用時はモミガラ併用	特定工場
伐根チップ	10～	未定	75～125mm	土砂4%以下・水田利用時はモミガラ併用	全道
火山礫(恵庭)	半永久	500～1,000	2～27mm	7/4分けしない礫でも使用	石狩・空知
火山礫(支笏)	半永久	1,000	5～38mm	7/4分けした礫を使用	石狩
火山礫(樽前)	半永久	1,900	10～53mm	7/4分けしない礫でも使用	網走・根室・釧路
火山礫(幕別)	半永久	1,600	20～75mm	7/4分けした礫を使用	網走
火山礫(釧路)	半永久	2,900	2～75mm	7/4分けした礫を使用	道庁
火山礫(釧路)	半永久	900～2,500	20～80mm	7/4分けした礫を使用	網走・根室・釧路
火山灰(釧路)	半永久	350	細砂～粗砂	粗砂が多い粗粒質火山灰を使用	十勝
火山灰(釧路)	半永久	—	7/4～粗砂・粗砂	粗砂が多い粗粒質火山灰を使用	各地の火山灰堆積物
火山灰(その他)	半永久	—	7/4～粗砂・粗砂	粗砂が多い粗粒質火山灰を使用	全道
砂利	半永久	2,400	0～25mm	30mm未満の砂利を使用	沿岸
ホタテ貝殻	30年以上	2,400	20～50mm	施工時に破砕するよう分け	全道
ストーカ粗粒物	半永久	—	2～10mm	ふるい分けした資材を使用	全道
ロックウール	半永久	—	繊維状	—	全道

注1) 価格については現場渡し・土壌適性の区別を行ってないため参考値である。
注2) 粒径は土取り場や製造機械により多少異なるため参考値である。

「北海道における暗渠排水の実態と機能向上対策」平成12年1月
中央農試 農業土木部 生産基盤科

また、除礫物については、賦存量調査、岩質調査を実施し、疎水材としての適性を評価する。また、それぞれの選択肢について経済比較を行い、疎水材利用方策を検討する。

3. 検討作業の全体像

検討にあたって、検討作業の全体像を図-1に示す。

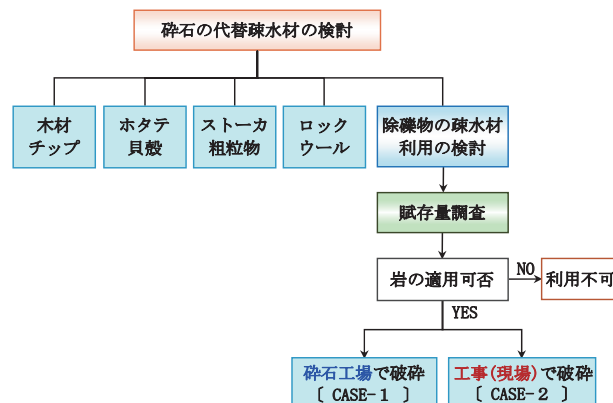


図-1 検討作業の全体像

4. 入手先と利用可否の検討

(1) 木材チップ

木材チップ(写真-1)は、国営事業の帯広管内(生花地区、下浦幌地区)や道営事業で使用実績が多数ある。

A地区は、数年前まで近隣の森林組合から、からまつチップを入手できたが、現在は入手不可能である。また、北海道森林組合連合会によると、近郊では約100km離れた場所にある「針葉樹チップ」が入手可能である。



写真-1 木材チップ（イメージ）

(2) ホタテ貝殻

ホタテ貝殻（写真-2）は、国営事業の稚内管内（サロベツ地区、稚内中部地区、東宗谷地区、ポロ沼地区、勇知地区）で使用実績が多数ある。しかし近年のホタテ貝殻は、チョークやニワトリの飼料等としての需要が高まっており、近隣からの入手は困難である。

現在のところ、ホタテ貝殻の入手先は常呂町漁業協同組合に限られており、A地区とは距離が約410km 離れているが、入手可能である。



写真-2 ホタテ貝殻（イメージ）

(3) ストーカ粗粒物

ストーカ粗粒物は、国営事業における道内での暗渠疎水材としての使用実績はない。

ストーカ粗粒物とは、ストーカ焼却炉から発生する「発生粗粒物」と火力発電所や製紙工場から排出された石炭灰造粒物や石炭灰に少量のセメント（固化剤含む）を混合して製造した「石炭灰混合物」等である。

1) 発生粗粒物

発生粗粒物は、ボイラで石炭を燃焼させた際にボイラ底部に落下するクリンカアッシュ（写真-3）と、燃焼するガスとともに浮遊するフライアッシュ（写真-4）である。

クリンカアッシュは、孔隙構造になっており排水性、通気性が良好である。重金属等の溶出について

土壌環境基準を満足しており、主に凍上抑制層として利用されている。

フライアッシュは、微細粒子で球形をしており、主にコンクリートの混和材や路盤材など多岐にわたり利用されている。

北海道電力（株）の石炭火力発電所から入手したクリンカアッシュとフライアッシュのサンプルを視認した結果、どちらも細粒分が多く有孔管の目詰まりが懸念され、火力発電所から供給量の確約が得られないため、A地区での暗渠排水の疎水材としての利用は不可である。



写真-3 クリンカアッシュ



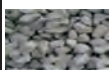
写真-4 フライアッシュ

2) 石炭灰混合物

石炭灰混合物（製品）を表-2に示す。

製品は全て道外メーカーであり、発送可能なHIビーズは、暗渠排水の疎水材としての実績はなく（メーカー聞き取り）、安全性の試験等も実施されていないため、疎水材としての利用は不可である。また、その他製品については、道外工場（秋田県、福島県、京都府）に直接取りに行くダンプ運搬のみの対応であり、ダンプ運搬コストを考慮すると現実的ではないため、A地区での暗渠排水の疎水材としての利用は不可である。

表－２ 石炭灰混合物一覧表

製品名		用途	出荷拠点	発送
FCR碎石		路盤材、護岸材	秋田県能代市	ダンプ運搬のみ
ORクリート		路盤材	福島県南相馬市	ダンプ運搬のみ
ライトアース		路盤材	京都府福知山市	ダンプ運搬のみ
HIビーズ		地盤改良材	島根県浜田市	発送可能

(4) ロックウール

ロックウールは、国営事業における道内での暗渠疎水材としての使用実績はない。

ロックウールとは、高炉スラグや玄武岩その他天然鉱物等を主原料とした人工鉱物繊維で、原料をキュボラや電気炉で1500～1600℃の高温で融解するか、熔融スラグを炉底から流出させ、遠心力で吹き飛ばして繊維状にする。こうして生成されたロックウールは、主に吹付け材、住宅の断熱材や水稲育苗用マット等に加工されている。ロックウールを粒状化した暗渠疎水材は、過去に「ロックエースⅡ」（写真－５）として製品化されていたが、現在は生産体制がないため、暗渠排水の疎水材としての利用は不可である。



写真－５ ロックウール（ロックエースⅡ）

(5) 利用可否の結果

利用可否の結果を表－３に示す。

A地区において利用可能な疎水材は「木材チップ」と「ホタテ貝殻」である。

表－３ 利用可否一覧

疎水材名		入手先	疎水材の利用可否
(1) 木材チップ		入手可能先 L=100 km	○
(2) ホタテ貝殻		入手可能先 L=410 km	○
(3)-1 ストーカ粗粒物 (発生粗粒物)		入手可能先 L=130 km	×
(3)-2 ストーカ粗粒物 (石炭灰混合物)		入手可能先 道外	×
(4) ロックウール		生産中止	×

(6) 経済性

利用可能な疎水材の経済比較を表－４に示す。

木材チップとホタテ貝殻はどちらも大差はないが、1万円/㎡を超え、管内の碎石（A地区内の碎石工場：5,200円/㎡）の約2倍、60km離れた碎石工場の碎石（8,300円/㎡）の1.3倍の価格となり経済性に劣る。

表－４ 利用可能な疎水材の経済比較

疎水材名	単位	単価	経済性	備考
木材チップ	㎡	10,800	2	入手可能先 L=100 km
ホタテ貝殻	㎡	10,400	1	入手可能先 L=410 km

※ 単価は運搬費を含む。

(7) 検討結果

春先の碎石の代替疎水材として入手可能な「木材チップ」及び「ホタテ貝殻」について検討した結果、管内碎石の約2倍の費用に加え、長距離輸送に伴う環境負荷（CO₂排出量）の悪化を考慮すると、A地区において、碎石の代替疎水材として利用不可とする。

なお、懸念事項である春先に疎水材が確保できない場合は、経済性及び輸送による環境負荷の観点から60km離れた碎石工場（8,300円/㎡）からの搬入が経済的かつ現行の疎水材と同一材料のため、受益者の理解も得やすいと考える。

５．除礫物の疎水材利用の検討

A地区の除礫工で発生した除礫物（石礫）は、現在敷地内に整形し堆積されている。そのため、除礫

物の有効活用による地域内資源の循環と経済的な疎水材の安定供給を目的に、当該除礫物を暗渠排水の疎水材としての利用することの可否について検討する。また、春先における疎水材としての利用可否についても併せて検討する。

(1) 除礫物の調査

1) 賦存量調査

現地に除礫物が実存するか、堆積状況、搬出道路の有無等を把握するため、現地確認調査を行った（表－5、写真－6、写真－7）。

調査は64箇所で行った。その結果、確認できた除礫物の多くは、土砂と混在しており、草が繁茂していた。

除礫物を疎水材として利用できる基本条件は、『土や草の混在がなく（目視において土がなく、大型の草木が繁茂していない状態）、除礫物のみが堆積された状態（良好な状態）』とし、これを満たすものを対象とした。

多少の土の混入は許容されるものの、土や草が混在した状態では破砕作業に支障をきたすため利用不可とした。

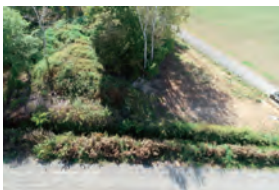
良好な状態で堆積されていた除礫物の排礫量は、表－5に示す9,387 m³であった。

表－5 排礫量一覧表

ブロック番号	施工年度	排礫量 (m ³)	ブロック番号	施工年度	排礫量 (m ³)
2	平成30年	1,529	113	令和2年	756
7	平成30年	1,095	189	令和2年	31
8	令和2年	65	239	令和3年	5,761
31	令和2年	56		令和4年	
47	令和2年	94	合 計		9,387

ブロック番号					
2			7		
排礫量	1,529m ³		排礫量	1,095m ³	
施工年度	平成30年度		施工年度	平成30年度	
堆積状態	◎		堆積状態	○(若干草あり)	
作業性	◎		作業性	○	
搬 出	○耕作道路(砂利敷)→公道		搬 出	△枕地→耕作道路→公道	

写真－6 除礫物現地調査写真

ブロック番号			
8	31		
			
			
排礫量	65m ³	排礫量	56m ³
施工年度	令和2年度	施工年度	令和2年度
堆積状態	○	堆積状態	○
作業性	◎	作業性	○
搬出	○耕作道路(悪路)→公道	搬出	△枕地→公道
47		113	
			
			
排礫量	94m ³	排礫量	756m ³
施工年度	令和2年度	施工年度	令和2年度
堆積状態	○(若干草あり)	堆積状態	◎
作業性	◎	作業性	◎
搬出	○耕作道路(砂利敷)→公道	搬出	○耕作道路(砂利敷)→公道
189		239	
			
			
排礫量	31m ³	排礫量	5,761m ³
施工年度	令和2年度	施工年度	令和3、令和4年度
堆積状態	○(若干草あり)	堆積状態	○(若干草あり)
作業性	◎	作業性	○
搬出	○耕作道路→公道	搬出	○耕作道路→公道

写真－7 除礫物現地調査写真

2) 除礫物の岩質調査

良好な状態で堆積されている除礫物の岩質調査を実施した。調査地点は川沿いに位置する 113 ブロック、山側の 2 ブロックと地区内の除礫物が集積されていると考えられる 8 ブロックとした。

a) A 地区の地質

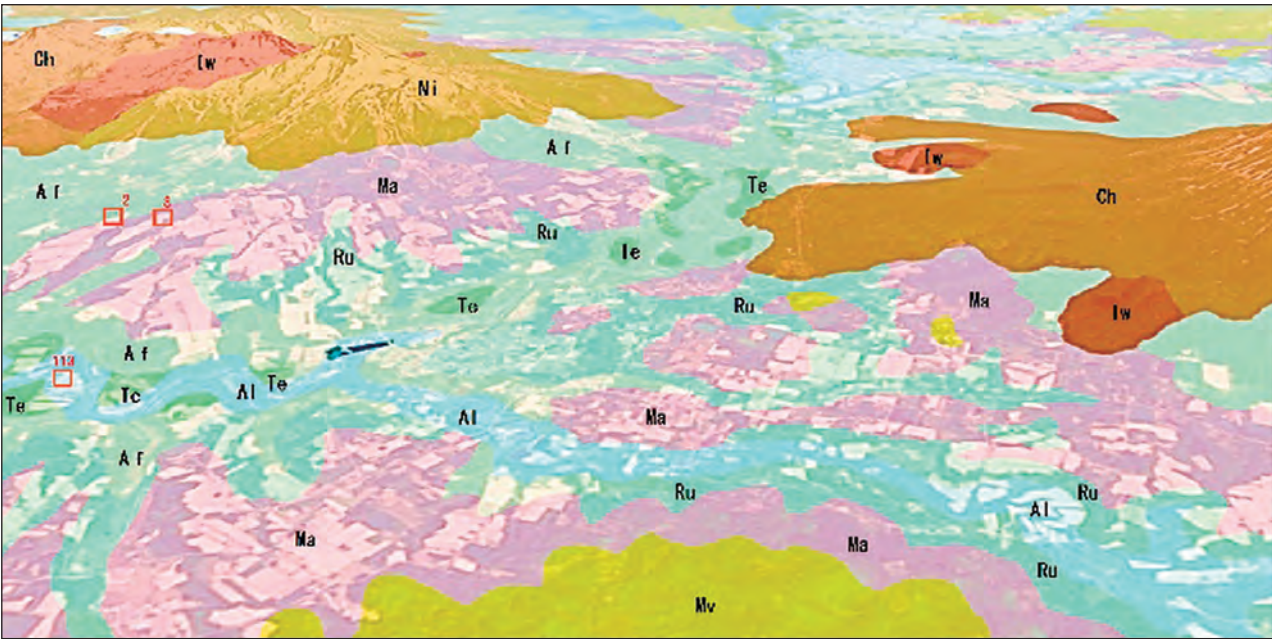
調査地点の地質（図－2）は、山地形では新第三紀中新世～鮮新世の噴出物からなり、地質は「安山岩・玄武岩質安山岩溶岩・火砕岩」で構成される²⁾。

また、山麓台地は火山の火砕流や扇状地性及び崖錐堆積物からなり、火山灰、スコリア、軽石、砂、礫等から構成されるが、いずれも山地火山の活動または、これらの崩壊・再堆積作用に伴う地質により形成されている。

河岸段丘や現河床は河川の削剥・運搬・堆積作用により礫・砂・粘土等から構成されるが、構成物は山地及び山麓台地から供給されたものである。

113 ブロックは河岸段丘面にあり、8 ブロックと 2 ブロックはデイサイト・流紋岩・火砕流の分布域にあることが確認されるが、除礫物は山地火山から供給されたものと推定される。

時 代		記 号	構 成 物
第四紀	完新世	Al	礫・砂・粘土
		Iw	安山岩・玄武岩質安山岩溶岩・火砕岩
	更新世～完新世	Af	火山灰・スコリア・軽石・砂・礫
		Te	砂・礫・粘土
	更新世	Ma	火山灰・スコリア・軽石・砂・礫
		Ru	浮石・礫・砂・粘土
		Yo	
		Ch	安山岩・玄武岩質安山岩溶岩・火砕岩
		Ni	
	中新世～鮮新世	Mv	安山岩・玄武岩質安山岩溶岩・火砕岩



出典：シームレス地質図V2（産総研地質調査総合センター）を使用し、株式会社アルト技研が加筆修正したものである。

図－2 地質図

b) 岩質調査結果

現地での目視による岩質調査結果より、除礫物の岩種（石質）は石礫写真（写真－8）に示すように、山側2ブロック、川沿いの113ブロック、地区内から集積された8ブロックの除礫物には大きな違いはなく、主に白色、茶色、黒色の3色が混在した除礫物ではあるが、いずれも硬質な安山岩を主体とする礫径φ10～50cm（φmax100cm）程度の円～亜円礫であることが確認された。

なお、除礫物の色の違いは、供給源となる溶岩の違いや、噴出した溶岩の状態や冷え固まる時の条件等により複雑に変化するものである。さらに鉱物組成の違い（流紋岩質安山岩、玄武岩質安山岩等）も加わるとより複雑な要因となる。



写真－8 岩質調査（石礫写真）

3) 疎水材としての適性評価

安山岩は一般的に密度が大きく、強度が強いため、A地区にある除礫物は骨材の岩種として適切であり、粗骨材とし破碎することにより暗渠排水の疎水材として流用可能であると判断される。

また、地区内の碎石工場も安山岩で碎石を生産して

いることから、受益者の理解も得やすいと考えられる。

ただし、経年劣化による細粒化を確認するため、「骨材の安定性試験」の実施が必要である。

(2) 除礫物の破碎

安山岩である除礫物は、A地区の暗渠排水の疎水材として利用するには、必要粒径（13～20mm）に破碎する必要がある。

その破碎方法として考えられる次の2つの方法を比較検討した。

- ・CASE-1：近郊の碎石工場に搬入し、破碎する。
- ・CASE-2：レンタル可能な移動式の破碎機を工事現場のヤードに持ち込み、破碎する。

1) 碎石工場で破碎〔CASE-1〕

a) 碎石工場の聞き取り調査

近郊の碎石工場（X社、Z社）に対して、除礫物の破碎及び引き取り（運搬）の可否について聞き取り調査を実施した（表－6）。

X社は、春先から降雪期にかけて既存顧客向けの碎石生産でフル稼働しているため、追加の破碎業務を受け入れる余裕はない。

Z社は、条件付きで可能である。除礫物の引き取り（運搬）はできないが、前年の降雪前までに工場へ搬入された場合に限り、翌春の工場稼働時に破碎し引き渡すことが可能である。

表－6 碎石工場聞き取り結果

碎石会社仮名	除礫物の破碎	除礫物の運搬
X社	× 春先から降雪までフル稼働のため不可能	－
Z社	○ 前年に搬入し、春先に破碎することは条件により可能	× 人員不足により除礫物の運搬はできない

b) 経済性

Z社の碎石工場では、前年の降雪前に除礫物を搬入できた場合に限り、翌春に破碎して通常の碎石として供給が可能である。この場合、碎石価格は管内価格（5,200円/m³）と同じと仮定し、それとは別に除礫物の積込費と運搬費が加算された価格となる。

除礫物箇所から碎石工場までの距離は、約10.0km～19.1kmであり、春先の暗渠疎水材の確保ができ

ない場合においては、最長運搬距離の 8,119 円 / m³ (想定価格) は十分期待できると考えられる。

距離別の積込・運搬費を表－7に示す。

表－7 積込・運搬費（距離別）

運搬距離 (km)	除礫物の1m ³ 当たりの積込・運搬費（円）			
	管内砕石単価	積込費	運搬費	合 計
0 ～ 5.5 迄	5,200 (仮定)	277	1,012	6,489
5.6 ～ 6.5 迄		277	1,181	6,658
6.6 ～ 7.5 迄		277	1,349	6,826
7.6 ～ 9.5 迄		277	1,518	6,995
9.6 ～ 11.5 迄		277	1,743	7,220
11.6 ～ 15.5 迄		277	2,136	7,613
15.6 ～ 22.5 迄		277	2,642	8,119

※最長運搬距離(L=19.1 km)は、運搬距離 15.6～22.5 km迄に該当する。

c) 課題

除礫物を砕石工場で破碎するには、砕石工場と価格及び条件等の協議、搬出前に草の除去、除礫物の所有者に対し搬出の意思確認を行う。さらに、搬出時期及び搬出方法等に関する調整が必要である。

表－8に課題を示す。

表－8 課題

課 題	
①	除礫物の所有者との調整。
②	搬出前に草の除去。
③	砕石工場との協議。

2) 工事（現場）で破碎〔CASE-2〕

a) 移動式破碎機

レンタル可能な移動式破碎機を用いて、除礫物を必要粒径（13～20mm）に破碎可能か検討する。

移動式破碎機を表－9に示す。

表－9 移動式破碎機

名 称	メーカー	破 碎 機	破碎 サイズ (mm)	自然石の破碎	備 考
モバイルジョークラッシャー	KLEMMANN		20 ～ 180	○	220t/h=129m ³ /h ※石の重量 1.7t/m ³
ガラバゴス BR380JG-1	コマツ		50 ～ 150	○	
ニューバケット クラッシャー	ウエダ産業		10 ～ 160	× カタログは○ 担当者聞き取り ×	バケット
バケットサンド クラッシャー	ウエダ産業		40mm アンダー	投入サイズ 40mm以下○	バケット

※ニューバケットクラッシャーはカタログ上、自然石の破碎が可能とされているが、レンタル会社の聞き取り調査から、*強い自然石は機械が故障の原因となるため使用不可(×)とされた。

※バケットサンドクラッシャーは、1次破碎された40mmの自然石を20mm以下に再破碎することができる。

除礫物を1台で必要粒径（13～20mm）に破碎できる機種はない。

モバイルジョークラッシャー（1次破碎：40mm）とバケットサンドクラッシャー（2次破碎：13～20mm）の2段階破碎が必要である。

b) 経済性

移動式破碎機を1ヶ月レンタルし、9,387 m³の除礫物を100%必要粒径に破碎できたと仮定した場合、1 m³当たりのコストは7,250円となる。しかし、実際には100%必要粒径にすることは困難であり、破碎対象物の性状や機械の稼働効率から有効利用率を砕石工場での有効利用率（20～30%）の30%とした場合、コストは19,456円 / m³となり、砕石工場破碎と比較して経済性に劣る。

表－10に内訳を示す。

表－10 内訳

移動式破碎機	単位	レンタル金額	備考
モバイルジョークラッシャー	円/月	¥3,302,500	
バケットサンドクラッシャー	円/月	¥2,868,000	
労務費	円/月	¥1,416,000	世話役 1人×20日 特殊作業員 2人×20日
輸送費	円	¥400,000	大阪～現場
除礫物運搬費	円	¥12,099,843	L=5kmと仮定 1,289円/m ³ ×9,387m ³
除礫物積込費	円	¥2,600,199	277円/m ³ ×9,387m ³
削りカス積込・運搬費	円	¥13,273,218	L=10kmと仮定 2,020円/m ³ ×9,387円/m ³ ×0.7
削りカス処理費	円	¥13,141,800	
合 計	円	¥49,101,560	
1m ³ 当たりの疎水材単価	円	¥17,436	利用率30% 49,101,560÷(9,387×0.30)
1m ³ 当たりの積込・運搬費	円	¥2,020	L=10kmと仮定
合 計	円	¥19,456	

c) 課題

移動式破碎機の導入には、実際の有効利用率及び生産した疎水材の品質と受益者からの理解が得られるか等の課題がある。これらの課題は、実証試験による技術的な検証が必要とされる。

表－11に課題を示す。

表－11 課題

課 題	
①	有効利用率を30%と仮定したが、実際に疎水材として使用できる材料がどの程度生産できるか。
②	生産した疎水材が購入する疎水材と同程度の品質となるか。 また、除礫物から生産した疎水材で、受益者の理解を得ることができるか。

(3) 検討結果

A地区で発生する「除礫物」は、疎水材として利用可能である。

破碎方法は、「工事（現場）で破碎」と「砕石工場で破碎」を比較した場合、「砕石工場で破碎」が経済性で有利である。

一方、「工事（現場）で破碎」については、経済性の他、破碎ヤードの確保と現況復旧する手間が大きな負担となる。

6. 総合評価

検討した各疎水材の総合評価を表－12に示す。

除礫物を利用するには、それぞれ課題及び懸案事項がある。

「砕石工場で破碎」における課題は、地元自治体との綿密な連携により、砕石工場及び所有者との協議を通じて解決されることが期待される。また、現在、除礫物における草の繁茂はごく軽微であり、手作業による除去で対応可能と判断する。

一方、「工事（現場）で破碎」については、実証試験による技術的検証により明確な実態が把握できると期待される。

これらの課題が対処されると仮定し、適合性・入手可能性・経済性の総合評価を行った結果、除礫物の「砕石工場破碎」が最も経済的な選択肢と判断される。ただし、砕石工場の価格は想定価格であり、Z社との協議によっては60km離れた砕石工場の砕石価格8,300円/m³を上回ることも考えられるが、除礫物の有効活用は、地域内資源の循環の観点からも非常に有効である。

表－12 総合評価

疎水材	適合性	入手可能性	経済性	総合評価
木材チップ	○	○	10,800円/m ³	○
ホタテ貝殻	○	○	10,400円/m ³	○
除礫物 (砕石工場破碎)	○	○	8,119円/m ³	◎
除礫物 (工事(現場)破碎)	○	○	19,456円/m ³	○

※砕石工場の価格は、想定価格である。

7. おわりに

除礫物の疎水材利用は、地域内資源の循環システムの構築と春先の疎水材調達の安定化に寄与するものと期待される。

最後に、ご指導、協力を頂いた北海道開発局の関係各位ならびに報告の機会を与えていただいた（一社）北海道土地改良設計技術協会に対し、感謝申し上げます。

（(株)アルト技研 設計部 主任技師）

引用文献

- 1) 北海道における暗渠排水の実態と機能向上対策（平成12年1月 中央農試 農業土木部 生産基盤科）
- 2) シームレス地質図V2（産総研地質調査総合センター）

風連多寄地区における排水路分流施設の設計事例

～真狩川分流施設の事例（分流工、国道・JR横断工の設計）～

西野 宏謙

1. はじめに

国営総合かんがい排水事業天塩川上流地区（昭和42～昭和61年度、以下、前歴事業とよぶ）で整備された真狩川排水路は、流出量の増加により排水路の能力が不足し、農地が湛水被害を受けている。この被害を解消し、維持管理を軽減するため、直轄明渠排水事業「風連多寄地区」において、真狩川バイパス水路の新設と真狩川排水路本線の整備を行う計画である。本稿では、分流工及び国道・JR横断工で構成される真狩川分流施設の設計事例を報告する。

2. 地区の概要

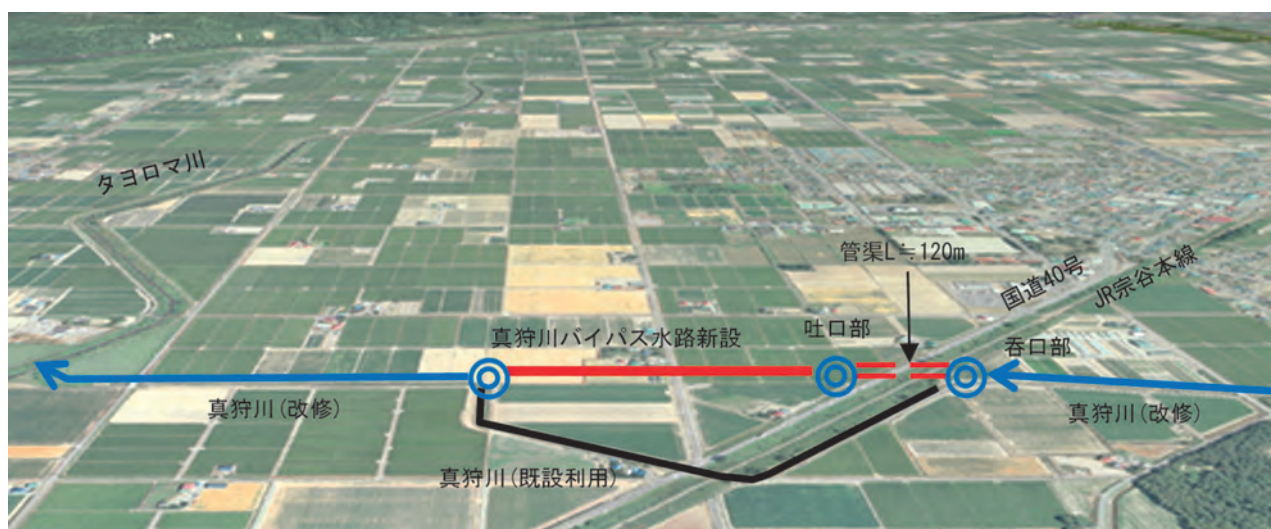
国営直轄明渠排水事業「風連多寄地区」は、北海道士別市及び名寄市に位置する650haの農業地帯であり、水稻、小麦、大豆、てんさい等を組み合わせた水田作経営又は畑作経営のほか、飼料作物を栽培し乳用牛を飼養する酪農経営が展開されている（図－1）。地区内の排水施設は、前歴事業により整備されたが、近年の降雨量の増加や土地利用の変化等により排水能力が不足し、農地の湛水被害が発生して

いる。このため、本事業では、排水路を整備することにより、農地の湛水被害の解消及び維持管理の軽減を図り、農業生産性の向上及び農業経営の安定に資することを目的としている。



出典：Map-It マップイット | 地図素材サイト

図－1 風連多寄地区位置¹⁾



出典：国土交通省 PLATEAU ウェブサイト

写真－1 真狩川分流施設のルート

3. 真狩川分流施設の概要

(1) 概要

真狩川分流施設は、真狩川下流部に位置する既設 JR 横断・国道横断の現況流下能力を十分に活用した上で、超過した計画排水量を既設利用区間の上流部で適切に洪水調節させる機能を有する分流工と真狩川バイパス水路に接続する国道・JR 横断工で構成される。

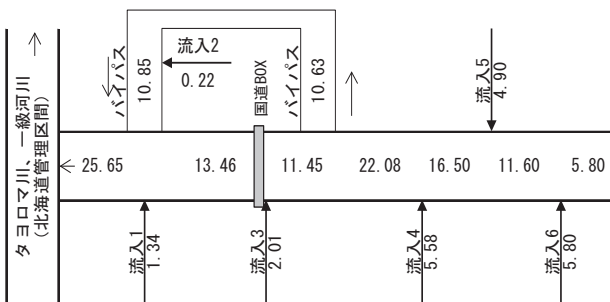
真狩川分流施設のルートは真狩川排水路本線の右岸側を呑口として、約 120m の管渠が国道 40 号線及び JR 宗谷本線の下を通り、真狩川バイパス水路に吐口を接続している（写真－1）。

(2) 単位排水量

本地区の流域状況は、単一流域ではなく、複数の流域に分かれた特性を有しており、これらを勘案し、流出解析のモデル選定は「傾斜地域」の中の雨水流法キネマティックモデルを適用する。流出解析の結果、単位排水量を $2.230 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ と決定した。

(3) 計画排水量

計画排水流量は、図測により流域ブロックごとの流域面積を算出し、それぞれの地点の計画排水量を決定した。真狩川バイパス水路新設地点の計画流量は $22.08 \text{ m}^3/\text{s}$ 、既設利用する国道 BOX 地点の現況流下排水量は $13.46 \text{ m}^3/\text{s}$ であり、これに区間流入 $2.01 \text{ m}^3/\text{s}$ を考慮して、真狩川バイパス水路の排水量は $10.63 \text{ m}^3/\text{s}$ とした（図－2）。

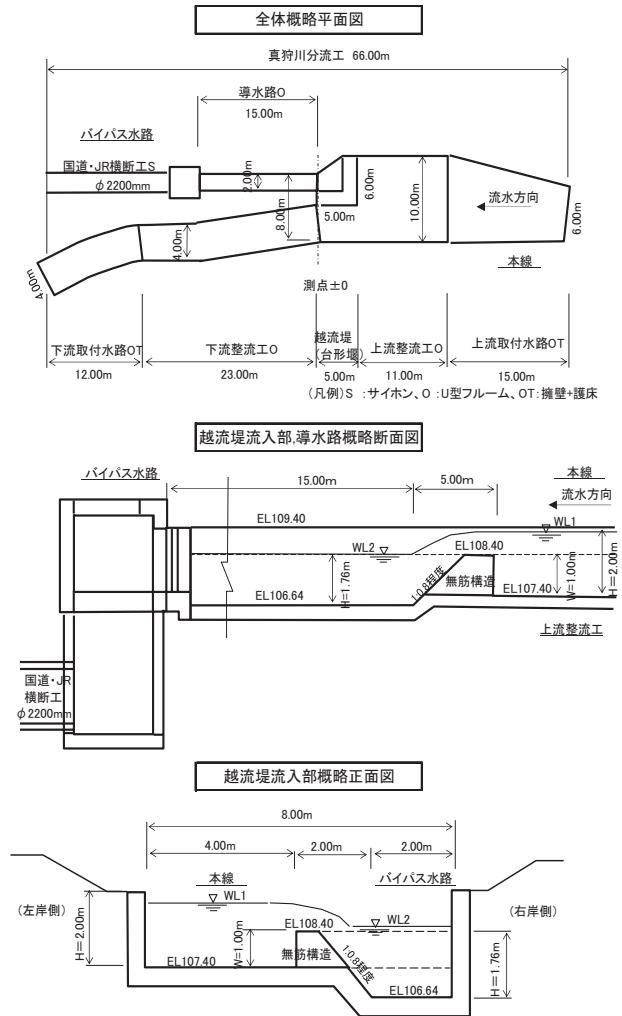


図－2 真狩川流量配分図¹⁾

4. 分流工設計

排水路整備計画において、新設する真狩川バイパス水路は現排水路の負担を軽減させる目的があ

る。そのため、3の(1)で述べたように適切に洪水調節を行うことが可能な分流工の検討を行った（図－3）。



図－3 分流工の検討

(1) 分流工法の検討

1) 検討内容

分流工の構造上の分類としては、可動堰と固定堰等に分けられ、ゲートによって水位の調節ができるものを可動堰といい、調節できないものを固定堰としている。分流工の構造形式を決定するにあたっては、真狩川バイパス水路の運用を考慮した上で、用途に見合った構造とする必要がある。

2) 検討結果

分流工の構造形式は、①定量分水式（固定堰）、②操作分水式（可動堰）、③定比分水式（堰なし）にて比較検討した結果、総合的に優れる定量分水式（固定堰）を採用する（表－1）。

表－１ 分流工の構造形式の比較一覧表

	【第1案】定量分水式（固定堰）	【第2案】操作分水式（可動堰）	【第3案】定比分水式（堰なし）
工法概要	越流堤とバイパス水路のサイホンとの組合せによる分流量制御により、本線下流の流下量を設定し、設定量以上の出水時に自動的に分量を行う方法である。	ゲートやバルブの人為操作もしくは機械自動操作により分水量を制御する方法である。	背割壁分水工などの水路幅比により流量の増減に関わり無く一定比率で分水する方法である。
標準図	越流型の余水工として、設定した本線の流量を超えた流量を新規のバイパス水路に放水させる		自由水面で自然流下させるため水路幅比で両水路に流下する
経済性	構造はシンプルである。 ○	ゲートの構造物に要する工事費、維持管理費が大きい。 ×	構造はシンプルである。 ○
管理性	特段の操作は不要である。また、1/10以上の雨が降った場合、被害箇所を1箇所（新規バイパス水路）に集約できる。 ○	専任の管理人によるゲート操作を行うことから管理上の負担が生じる。また、1/10以上の雨が降った場合、被害が数カ所（既設真狩川、新規バイパス水路）に発生する可能性がある。 ×	特段の操作は不要である。また、1/10以上の雨が降った場合、被害が数カ所（既設真狩川、新規バイパス水路）に発生する可能性がある。 △
メリット	本線である既設真狩川の排水慣行は維持し、現状機能を超えた洪水の発生時に操作なしで排水を管理出来る。 ○	状況に応じた流下量の分流が可能で、被害発生区域の優先順位をある程度コントロールできる。 ○	小流量から大流量まで、操作なしで両排水路に常時流下させることが可能であり、片方が溺水になることが無い。 ○
総合評価	・経済性；定量分水式、定比分水式は構造が単純であるため比較的安価になるが、操作分水式はゲートの構造物に要する工事費、維持管理費が大きいため、比較的高価になる。 ・管理性；定量分水式は特段の操作は不要であり、1/10確率以上の雨が降った場合、被害を1箇所（分流工付近）に集約出来る。一方、定比分水式は特段の操作は不要であるが、1/10確率以上の雨が降った場合、被害が数カ所（既設真狩川、新規バイパス排水路）に発生する可能性がある。操作分水式は選任の管理人によるゲート操作を行うことから管理上の負担が生じる上、定比分水式同様、1/10確率以上の雨が降った場合、被害が数カ所に発生する可能性がある。 ・したがって、分流工の構造形式は <u>第1案 定量分水式</u> に決定する。		

(2) 越流堤の検討

1) 越流堤の必要性

定量分水式（固定堰）では、分流工の下流で既設利用を行う真狩川排水路本線の流下能力を超える流量が流下した場合に、洪水を取り込むための越流堤の設置が必要である。なお、越流堤の正面越流部は洪水時に安定した分水量を確保するためや、越流堤の安全を確保するために河川の流れに対して直角に設置する。

2) 越流堤形状の比較検討

越流堤形状は、「水理公式集」²⁾に記載されている台形せき、刃形せき、長方形せきについて検討する。検討した結果、経済性や現場での流況に対して容易に改造することが可能であることや、工種が少なく施工手間が比較的容易になる台形せきを採用する。

3) 越流堤の流量公式

越流量は、水理公式集の台形せきの越流公式を準用して算出する（図－4）。

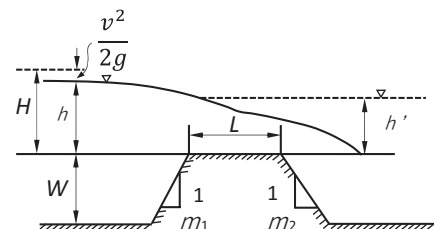
$$Q = C \times B \times h^{3/2}$$

ここに、Q：越流量（m³/s）、h：越流前面水位（m）、

h'：越流背面水位（m）、B：越流堤長（m）、

C：流量係数＝1.24＋1.64（h/W）、

完全越流条件 h' / h < 0.25



図－4 台形せきの諸元

(5) 今後の課題と対応策

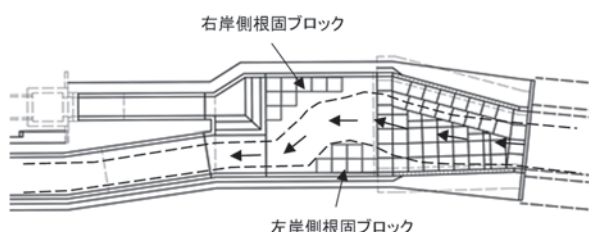
本地区で採用した分流工構造形式での整備事例が少ないことから、机上の計算どおり、機能を発揮できない等の課題が生じた場合の対応と越流堤設置に伴う維持管理方法について整理した。

1) 越流堤構造の工夫

現場での流況に対して容易に改造できるように越流堤を無筋コンクリート構造の台形堰とした。越流堤背面水位が想定より高くなり越流量が設計値に至らない場合は、越流堤高を下げることで分水量を増加させる。

2) 根固ブロック設置

越流堤前面水位が想定より低くなり越流量が設計値に至らない場合は、流速を抑えて越流堤前面水位を上げ、分水量を確保するために上流整流工に根固ブロックを設置する（図－6）。



図－6 根固めブロック配置図

3) 維持管理の方法

越流堤部に異常な土砂堆積が発生した場合でも越流堤部兩岸の管理用道路から 0.8 m³級バックホウにより土砂掘削が可能であることから、維持管理を確実に行える。

5. 国道・JR 横断工設計

(1) 設計条件の整理

国道・JR 横断工の規模は、計画排水量を安全確実

に通水し得る管路口径の 2200mm となる。また、管路敷設工法には開削工法、推進工法等があるが、本案件では軌道下横断管路の設計施工で一般的となっている推進工法になる。これらを踏まえ、推進工法用鉄筋コンクリート管 ϕ 2200（外径=2580mm）を採用した。

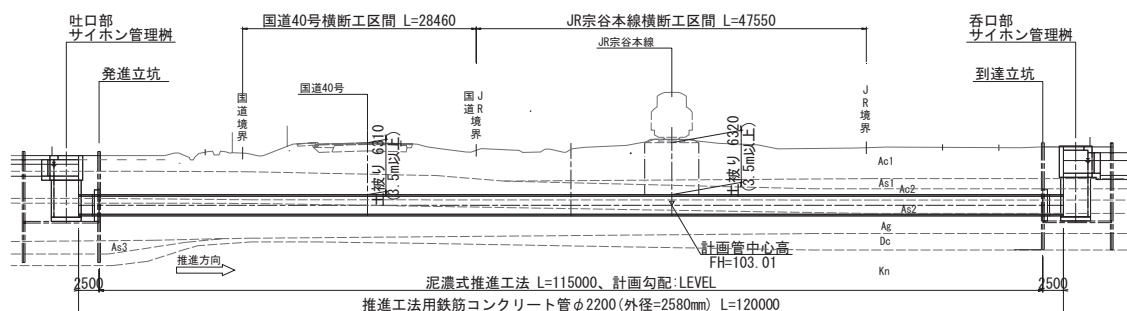
土質条件は、調査区域付近の既往ボーリングデータ及び本調査で実施したボーリング調査結果から検討した結果、高含水軟弱地盤層がほぼ存在しないこと、あっても軟弱層が薄いことから地盤種別は、普通地盤となる。また、推進工設計上の地盤種別は、C-2 礫質土となる。

鉄道条件である鉄道構造物の近接施工に対する影響範囲の判定は、仮土留め工を用いた掘削と推進工補助工法の薬液注入工施工時の 2 工種において検討を行う。また、列車荷重の設定は鉄道管理者との協議により 2.41kN/m²とした。道路条件である自動車荷重は 245kN 荷重とする。計画地点では土かぶり 6.4m 程度であることから管体上面に様に 10kN/m²の荷重を考慮する。

(2) 推進工法の検討

1) 推進工の深さ（土被り）

推進工法における必要な最小土被りは、掘削断面、土質条件、周辺の構造物や埋設物及び施工方法を考慮して、十分なものとしなければならない。本箇所では、鉄道管理者及び道路管理者との予備協議において必要土被りは 3.5m 以上を確保することとされており、これを踏まえて推進工の管中心高は EL=103.01m とした（図－7）。土被りは軌道下、道路下いずれも 6.3m となり、必要土被りを確保できていることから、管理者の認可は得られるものである。



図－7 国道・JR 横断工側面図

2) 立坑及び推進延長

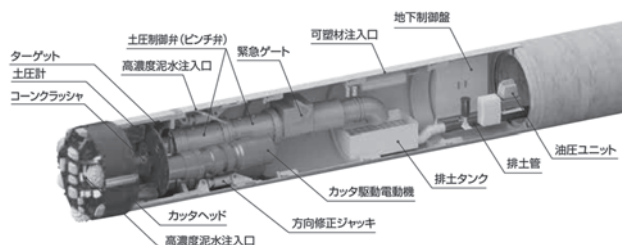
仮設立坑構築にあたり、土留め工として一般的に用いられる工法としては、鋼矢板式、親杭横矢板式、ライナープレート式がある。計画地点は、地下水位が高く、掘削深も 7.0m 前後と深いことから、止水性に優れ、安定性及び安全性が高く経済的に有利な鋼矢板工法を採用した。到達立坑位置は、JR 近接施工の範囲外に設定した。また、発進立坑位置は、国道及び既設水路に影響を与えない位置に設定した。発進・到達立坑位置より、推進延長は 115m とした。

3) 推進工法の選定

国道・JR 横断工の設計では、自動車荷重及び列車荷重による影響や、鉄道近接の施工性、維持管理に配慮した工法の選定が必要になるが、施工中の列車運行の安全確保が最重要課題である。国道・JR 横断工の管径は $\phi 2200\text{mm}$ であることや、土質条件から、推進工法は中大口径管推進工法の泥水式推進工法と泥濃式推進工法が適用対象となる。中大口径軌道横断工の実績等を推進工法ナビシステムで確認したうえで検討した結果、公共交通の安全性、施工性、推進停止のリスク回避の観点から泥濃式推進工法を採用した。

4) 泥濃式推進工法の概要

泥濃式推進工法は、掘削機前面のカッターヘッド後方に隔壁を設け、切羽と隔壁間のチャンバ内に高濃度泥水を充満させることにより、切羽の土圧及び地下水圧に見合う泥土の圧力を保持し、切羽の安定を図りながら掘削、推進する工法である（写真－2）。



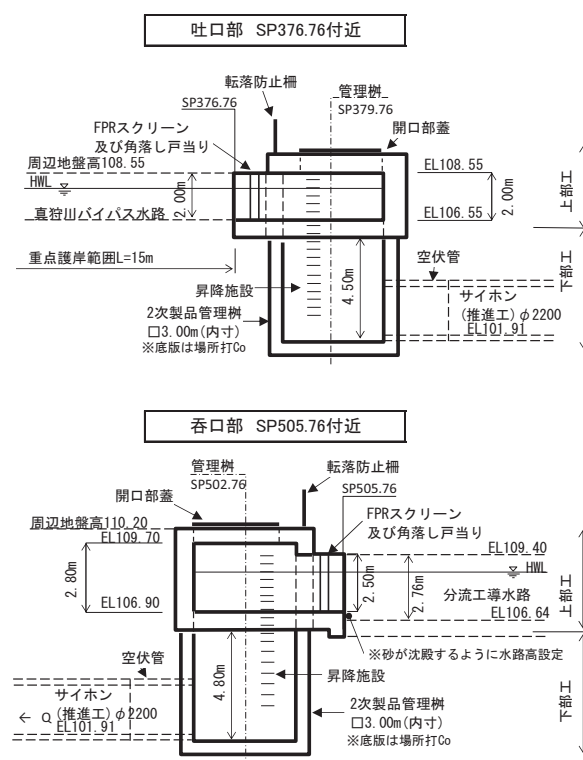
写真－2 泥濃式掘削機³⁾

泥濃式推進工法は、一次・二次破碎機能を備えた掘進機を使用するので掘削機径と同程度の巨礫や一般的な強度の岩盤等の障害物と遭遇しても掘削が可

能であり、推進停止のリスクを軽減できる。また、切羽の安定性が高く、軌道下の施工でも地盤の緩みを最小限に抑えられるので列車運行の安全を確保できる。

(3) サイホン管理樹

横断工の減勢施設として建設されるサイホン管理樹は、現場打ち鉄筋コンクリート構造とすることが一般的であるが、立坑内での作業は地下水の低い非出水期内で完了する必要がある、工期短縮が求められていることから、現場条件に見合った構造形式の検討を行った（図－8）。



図－8 サイホン管理樹の検討

複雑な形状の上部工及び部材重量が大きくなる下部工底版部は、経済性の観点から現場打ちコンクリート構造にせざるを得ない。下部工側壁部におけるプレキャスト構造の検討を行った結果、プレキャスト導入による本体工事費は現場打ちに対して 1.6 倍程度となるが、縮減できる施工日数は約 50 日であり、それに伴い仮設費を縮減できることから、プレキャスト構造を採用した。また、プレキャスト製品はコンクリート構造物の耐久性向上や工事現場で発生する産業廃棄物抑制による環境負荷の低減が期待される⁴⁾。

6. 関係機関協議

真狩川分流施設の設計は、関係者との調整方策が重要である。JR 横断部の施工については、施工者及び施工分担の確認、構造及び施工に関する協議、調整を鉄道管理者と行った。

JR 横断工の第 1 回技術協議で推進工の基本条件の確認を行った結果、管径φ 1000mm を超える推進工は列車の安全運行の観点から鉄道管理者が直接工事を行うことになるとともに、国道部分も施工分界を設けられないため鉄道管理者が工事を行うことになり、委託協定締結に向けて協議を進めているところである。

7. おわりに

真狩川分流施設の実施設計は、関係者と事前協議を行いながら設計を取りまとめたものである。事前協議の結果、委託工事となる推進工の工事実施時期の調整が必要になった。

本案件のような関係機関の許認可が必要な設計では、円滑な業務履行のため、早期の段階から関係機関との打合せ協議、調整を密に行うことが重要と考える。

最後に、実施設計に際し、ご指導ご協力を賜った旭川開発建設部名寄農業開発事業所の関係各位に心より御礼を申し上げます。

(株)農土コンサル 地域環境技術部 次長（技術士補）

引用文献

- 1) 北海道開発局 旭川開発建設部 名寄農業開発事業所：排水路整備における定量分水式分水工法の検討事例（令和 6 年度）
- 2) 土木学会：水理公式集 平成 11 年版
- 3) ラムサス工法協会：泥濃式推進工法カタログ
- 4) 国土交通省，（一社）日本建設業連合会：土木工事におけるプレキャスト工法の活用事例集（第二版） 令和 4 年 3 月

排水機場への供給水の水源検討事例

林保 慎也

1. はじめに

本稿では、新設される排水機場（以下では本排水機場とする）の施設計画のうち、給水設備およびポンプ設備補機への供給を目的として、機場敷地内に設置する井戸取水設備・浄水施設の検討および、その代替案の検討について報告する。

2. 地区の概要

本排水機場のある地域は、畑作地帯であり、小麦、てんさい、ばれいしょ、にんじんおよび小豆等を組み合わせた農業経営が展開されている。地区内の排水施設は、前歴事業等により整備されたが、近年の降雨条件の変化による流出量の増加に伴い、排水機および排水路の排水能力が不足し湛水被害が生じており、農業生産性が低下している。また、経年的な劣化により、排水機の機能低下や排水路護岸の変状が発生し、施設の維持管理に多大な費用を要している。このため、国営事業によって、排水施設を新設および改修し排水再編を行うことにより、農地の湛水被害の解消および維持管理の軽減を図り、農業生産性の向上および農業経営の安定に資するものである。

3. 施設の概要

表－1 に本排水機場の主要施設諸元を示す。

表－1 本排水機場の主要施設諸元

名 称	本排水機場
主ポンプ	形 式
	口 径
	数 量
	計画吐出量
	計画実揚程
	計画全揚程
	回転速度
	軸封装置

主原動機	形 式	
	4 サイクルディーゼル機関×3 台	
減速機	シリンダー数	
	6 気筒	
取水ゲート	形 式	ローラーゲート
	B4.00m × H4.30m × 3 門	
吐水ゲート	形 式	ローラーゲート
	B3.50m × H1.50m × 1 門	
吸水槽	RC 造	
	B4.00m × H6.85m × 3	
吐水槽	RC 造	
	B6.70m × 3.75m × H6.00m	
機場建屋	鉄 骨 造	延床面積 764.28㎡

4. 水質条件

(1) 補機設備に使用する給水の水質

本排水機場の補機設備のうち、給水系統の封水ポンプには、水封式真空ポンプを採用している。この形式の真空ポンプを作動させるには、清水（水道水）や井戸水が使用されるが、井戸水を使用する場合には、水中に含まれているごみや土砂などの混入の度合いによっては処理装置を通す必要があり、好ましい水質の目安は、土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「ポンプ場」¹⁾で表－2 のとおり示されている。

(2) 建屋内で使用する水質

本排水機場の建屋内には、長時間の運転管理や休憩に必要なスペース（操作管理者が最大6名程度）を計画しており、水を使う施設は、給湯室、シャワー室、トイレである。これらの設備のうち、トイレを除いては、飲料水として問題ないレベルが必要である。

(3) 地下水の水質

本排水機場の周辺には、水道施設がないため、井戸を建設して地下水を利用する設計で、井戸の揚水試験と水質試験が行われていた。試験の結果は、56L/min程度の水量が見込め、問題ない結果であったが、水質については、現地測定で比較的高い電気伝導率（144.7～269.0mS/m）であった。

表－3は天然水の水比抵抗（比抵抗率）と電導度（電気伝導率）を示したものである。これによれば、本排水機場地点の電導度は、塩水混入地帯の地下水に相当していた。水質試験の詳細結果を表－4に示す。

表－2 水質の目安

項 目	記 号	単 位	給水の 目安値 注1)	機関冷却水の 目安値 注2)	傾向	
					腐食	スケール
pH (25℃)	—	—	6.5～8.2	6.5～8.5	○	○
電気伝導率 (25℃)	—	mS/m	80 以下	40 以下	○	○
塩化物イオン	CL ⁻	mg/L	200 以下	50 以下	○	—
硫酸イオン	SO ₄ ²⁻	mg/L	200 以下	50 以下	○	—
Mアルカリ度	CaCO ₃	mg/L	100 以下	100 以下	—	○
全 硬 度	CaCO ₃	mg/L	200 以下	100 以下	—	○
シ リ カ	SiO ₂	mg/L	50 以下	50 以下	—	○
全 鉄	Fe	mg/L	1.0 以下	0.3 以下	○	○
アンモニウムイオン	NH ⁴	mg/L	1.0 以下	0.1 以下	○	—
全蒸発残留物	—	mg/L	500 以下 注3)	400 以下	—	○

注1) 給水は日本冷凍空調工業会標準規格 JRA-GL-02-1994 冷凍空調機器用冷却水水質基準（冷却水系循環水）から抜粋した。

注2) ディーゼル機関の冷却水は、LESR 3003-2003（社）陸用内燃機関協会推奨規格による。

注3) 全蒸発残留物の目安値は上水道水質基準である。

表－3 天然水の水比抵抗と電導度

水の形態	水比抵抗 (Ω m)	電導度 (mS/m)	水の形態	水比抵抗 (Ω m)	電導度 (mS/m)
雨 水	2000～200	0.5～5.0	沖積層の 自由水	80～20	13～50
山間の溪流	300～150	3.3～6.7	洪積層の 被圧水	120～30	8.3～33
平野の河川	250～30	4.0～33	塩水混入地帯 の地下水	20～1	50～1000
河川敷の 伏流水	150～80	6.7～13	海 水	0.5～0.2	2000～5000

* 山本莊毅著（1973）、「改訂増補 地下水探査法」，地球社出版，P92～93 を基に作成

表－４ 水質試験結果一覧表

番号	項 目	基 準	分析結果	判定
1	一般細菌	1mlの検水で形成される集落数が100以下	3	○
2	大腸菌	検出されないこと	不検出	○
3	カドミウム及びその化合物	カドミウムの量に関して、0.003mg/L以下	0.0003未満	○
4	水銀及びその化合物	水銀の量に関して、0.0005mg/L以下	0.00005未満	○
5	セレン及びその化合物	セレンの量に関して、0.01mg/L以下	0.001未満	○
6	鉛及びその化合物	鉛の量に関して、0.01mg/L以下	0.002	○
7	ヒ素及びその化合物	ヒ素の量に関して、0.01mg/L以下	0.004	○
8	六価クロム化合物	六価クロムの量に関して、0.05mg/L以下	0.001未満	○
9	亜硝酸態窒素	0.04mg/L以下	0.004未満	○
10	シアン化合物イオン及び塩化シアン	シアンの量に関して、0.01mg/L以下	0.001未満	○
11	硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素	10mg/L以下	2.69	○
12	フッ素及びその化合物	フッ素の量に関して、0.8mg/L以下	0.05未満	○
13	ホウ素及びその化合物	ホウ素の量に関して、1.0mg/L以下	2.1	×
14	四塩化炭素	0.002mg/L以下	0.0001未満	○
15	1,4-ジオキサン	0.05mg/L以下	0.005未満	○
16	シス-1,2-ジクロロエチレン及びトランス-1,2-ジクロロエチレン	0.04mg/L以下	0.0001未満	○
17	ジクロロメタン	0.02mg/L以下	0.0001未満	○
18	テトラクロロエチレン	0.01mg/L以下	0.0001未満	○
19	トリクロロエチレン	0.01mg/L以下	0.0001未満	○
20	ベンゼン	0.01mg/L以下	0.0001未満	○
21	亜鉛及びその化合物	亜鉛の量に関して、1.0mg/L以下	0.001未満	○
22	アルミニウム及びその化合物	アルミニウムの量に関して、0.2mg/L以下	0.04	○
23	鉄及びその化合物	鉄の量に関して、0.3mg/L以下	25.6	×
24	銅及びその化合物	銅の量に関して、1.0mg/L以下	0.001未満	○
25	ナトリウム及びその化合物	ナトリウムの量に関して、200mg/L以下	92.9	○
26	マンガン及びその化合物	マンガンの量に関して、0.05mg/L以下	2.01	×
27	塩化物イオン	200mg/L以下	34.8	○
28	カルシウム、マグネシウム等 （硬度）	300mg/L以下	648	×
29	蒸留残留物	500mg/L以下	1400	×
30	陰イオン界面活性剤	0.2mg/L以下	0.02未満	○
31	ジュオスミン	0.00001mg/L以下	0.000001未満	○
32	2-メチルイソボルネオール	0.00001mg/L以下	0.000001未満	○
33	非イオン界面活性剤	0.02mg/L以下	0.005未満	○
34	フェノール類	フェノールの量に換算して、0.005mg/L以下	0.0005未満	○
35	有機物（全有機炭素（TOC）の量）	3mg/L以下	9.2	×
36	pH値	5.8以上8.6以下	6.4	○
37	味	異常でないこと	測定不可	×
38	臭気	異常でないこと	異状なし	○
39	色度	5度以下	21	×
40	濁度	2度以下	77	×

水質検査は全 40 項目を実施しており、そのなかで基準を超過した項目は、ホウ素およびその他化合物、鉄およびその他化合物、マンガンおよびその他化合物、カルシウム、マグネシウム等（硬度）、蒸留残留物、有機物（全有機炭素（TOC）の量）、味、色度、濁度の 9 項目であった。これらは、一般的な井戸水にはあまりみられない数値を示しており、以下の点について留意が必要である。

- ・鉄、マンガンがかなり高い。
- ・硬度が異常に高い。（道内は 100mg/L 以下）
- ・硬度に比例して蒸留残留物も高い。
- ・有機物指標（TOC）が高い。（蒸発残留物の影響と思われる）
- ・色度が高い。（鉄、マンガンに起因するものと想定される。）
- ・濁度が地下水としてはかなり高い。
- ・脱塩処理が必要となる。（(3) に示した電気伝導度より）

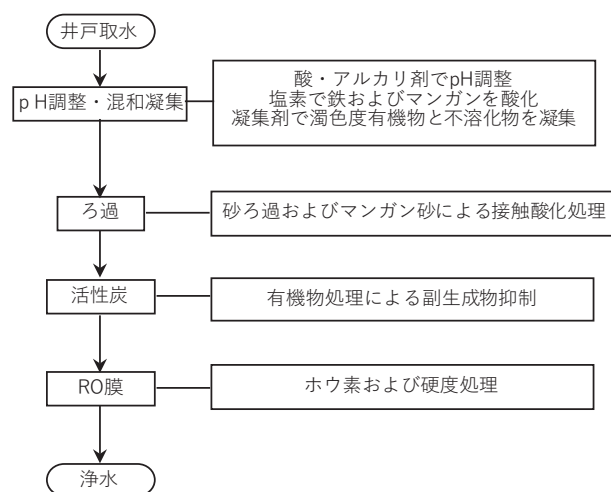
(4) 浄水施設の検討

この地下水を使用するためには、浄水施設が必要である。地下水が飲料水程度の水質基準を満たすために必要な浄水処理フローを図－1 に示す。

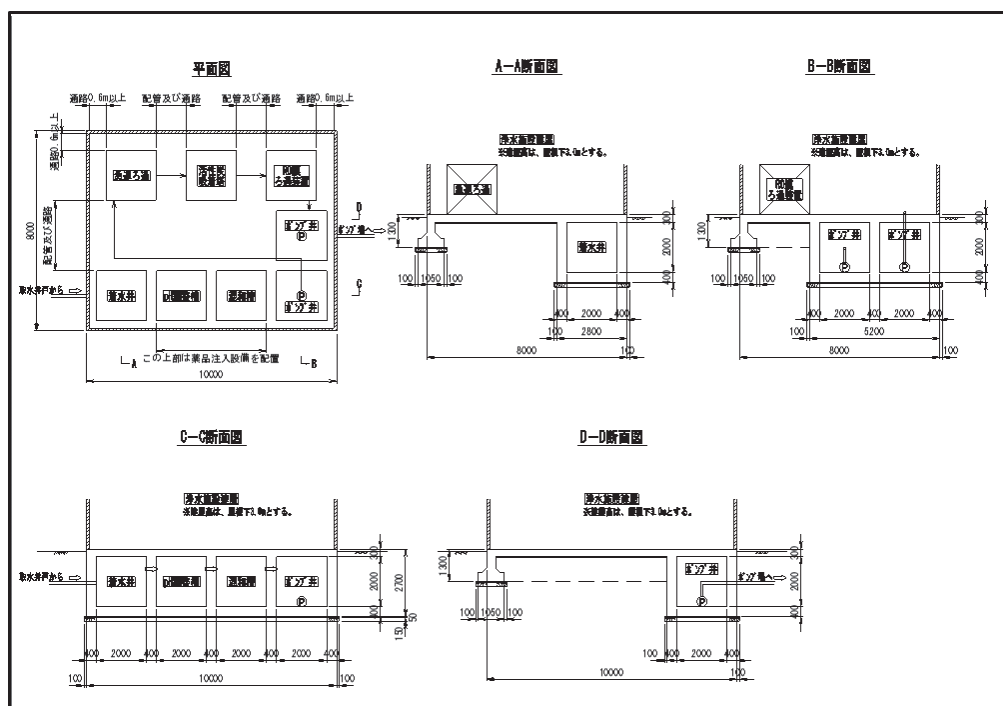
浄水施設は、必要水量を概算して規模を決定した。営農用水量の生活用水として必要な量は、営農飲雑

用水計画必携（平成 19 年 4 月 北海道農政部）より、1 人あたりの日計画平均給水量は $0.20 \text{ m}^3/\text{d}$ となる。常駐人数を最低 2 人と考えた場合、給水量は $0.20 \text{ m}^3/\text{d} \times 2 \text{ 人} = 0.40 \text{ m}^3/\text{d}$ となる。したがって、浄化対象流量（処理水量）は、 $0.40 \text{ m}^3/\text{d}$ として検討を行った。浄水施設の概略図を図－2 に示す。

この浄水施設を建設した場合、建設費用（概算工事費で 1 億 4 千万円）のほかに、運用維持管理費（水質検査、施設の消毒・洗浄等）が必要となる。このことから、本排水機場敷地内での井戸取水は難しいと判断し、その他の供給手段について検討した。



図－1 浄水処理フロー図



図－2 浄水施設概要図

5. 井戸取水設備以外の供給手段の検討

井戸取水設備以外の供給手段として考えられる方法は、以下に示す3ケースを検討した（図－3）。

- ①上水道整備案：上水道を本排水機場まで整備する。
- ②井戸導水案：近隣（清掃センター）の井戸（飲料として利用している）を本排水機場まで導水する。
- ③本排水機場貯水タンク設置案：本排水機場に貯水タンクを設置し、水道水を運搬・貯留する。

(1) 上水道整備案

既存の上水道は、下水道終末処理場までであり、排水機場から約2.6km西側に離れた位置にある。ここから排水路沿いに上水道を埋設し、本排水機場まで整備する案を検討した。

上水道を直接使用するため、水質や流量については問題はないが、町の上水道整備計画との調整が必要である。

町との協議では、本排水機場まで上水道を整備すると、同時に周辺上水道も検討しなければならないため、本排水機場の稼働開始までに調整は難しいとなった。

(2) 清掃センターの井戸導水案

本排水機場から約0.7km西側に離れた位置に清掃センターがあり、同施設では井戸を使用している。この井戸は飲雑用水として使用しており、水質検査も実施されている。この井戸からポンプにより取水し、本排水機場まで導水する案を検討した。

この井戸水は、飲料水としての水質を満たしているため水質に問題がない。しかし、清掃センターに

おける1日あたりの必要量（5t/d）を控除したうえで、排水機場で必要とされる水量を確保できるかを確認する必要がある。必要量が確保できない場合は、近傍への新たな井戸設置を検討する必要がある。

(3) 貯水タンク設置案

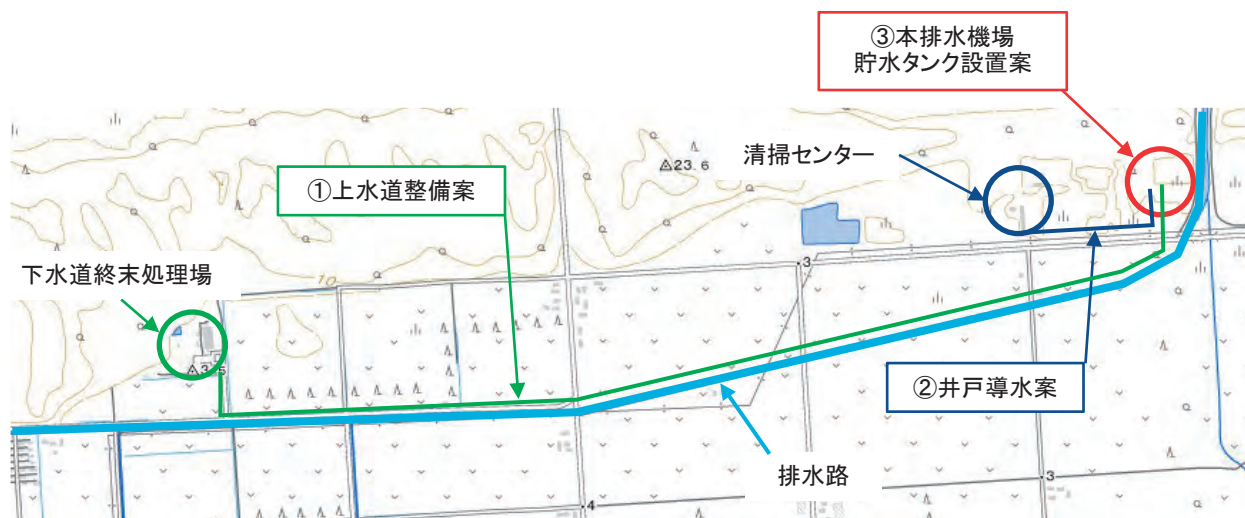
本排水機場の稼働に必要な水量を貯留するための貯水タンクを本排水機場内に設置し、水道水を運搬・貯留する案を検討した。

必要量をあらかじめ貯水するため、供給流量に関しては問題がない。しかし、本排水機場を稼働するたびに水道水を貯水タンクへ運搬し、給水する必要がある。また、そのための運搬車の購入が必要となる。本排水機場の性格上、使用頻度が少ないため、長期間の貯水となり、衛生の面から、給湯室、シャワー室には使用できない。また、貯水タンクは定期的に清掃する必要がある。

(4) 検討結果

3案について検討した結果を表－5に示す。コスト、水質、衛生面などから、清掃センターの井戸を利用する案が最も有利となった。ただし、以下に示す課題が残っているため、今後の検討が必要である。

- ①井戸の揚水量調査
- ②現況施設との接続方法の設計
- ③清掃センターでの必要量5t/dを控除したうえで、本排水機場の稼働に必要な量を確保できるかどうかを確認する必要がある
- ④井戸から本排水機場まで接続する配管設計



図－3 検討案概要図

表－５ 検討結果一覧表

検討案	①上水道整備案	②清掃センターの井戸導水案	③貯水タンク設置案
概 要	下水道終末処理場から排水機場まで排水路沿いに水道管を埋設する。	清掃センターから排水機場まで導水する。	排水機場を稼働させるために必要な量の水を貯水タンクに貯める。
長 所	・上水道のため、水質、流量について問題ない。	・飲料水としての水質を満足しているため、水質に問題ない。	・必要量を貯水するため、流量について問題ない
短 所	・町との協議で、本排水機場まで上水道を整備すると、周辺の上水道も検討しなければならないため、本排水機場の稼働開始までに調整は難しい。	・井戸の揚水量調査を行っていないため、調査が必要である。 ・清掃センターでの必要量は5t/dであるため、検討の結果によっては、新たに井戸を掘る必要性がある。	・本排水機場を使用するたびに給水しなければならない。 ・貯水槽に水道水を運搬する必要がある。 ・運搬車を購入および、維持する必要がある。 ・貯水槽は定期清掃が必要である。
初期コスト	16,000千円	4,300千円	5,600千円（車両込）
評 価	町との調整が難しく、現実的ではない。	水質に問題はない。揚水量についても、清掃センターの井戸が使用できない場合でも、新たな井戸を掘ることで対応可能である。	排水機場が稼働していなくても定期的に水の入替え、定期清掃、水質検査が必要である。長期貯留するため、衛生面から真空ポンプとトイレ洗浄にしか使用できない。運搬車の購入及び維持・管理が必要となる。
	×	○	△

6. おわりに

本稿では、本排水機場における給水施設のうち、井戸取水設備および浄水施設についての検討事例を紹介した。

本排水機場の設置により、農地の湛水被害の解消および維持管理の軽減が図られることを期待する。

最後に、本稿をまとめるにあたり、関係各位の皆様には、多大なご指導・ご協力をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

（株式会社 フロンティア技研 技術部 次長）

引用文献

- 1) 土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「ポンプ場」平成30年5月 P471

かんがい用取水井戸設備における井戸内カメラ調査と 井戸内洗浄の事例

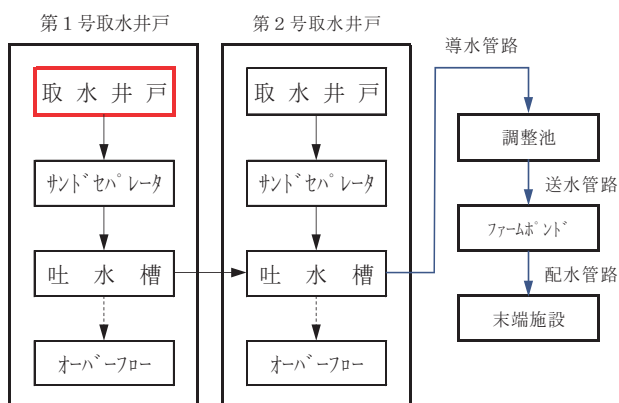
佐々木 大

1. はじめに

北海道東部の大規模酪農地帯で実施された国営環境保全型かんがい排水事業のA地区では、取水井戸を水源とした用水施設の整備が行われている。

当該地域周辺では、広大な地下水盆地により、取水井戸の水源として有力な深層地下水（被圧地下水）の帯水層が形成されているが、施設の供用後に取水量の低下が確認された。これは、井戸周辺の地層が火山灰質の細砂や軽石を多く含むことから、取水時の揚砂による井戸スクリーンの目詰まりが井戸の機能低下の要因となっている。

調査対象施設の取水系統概念図を図－1に示す。

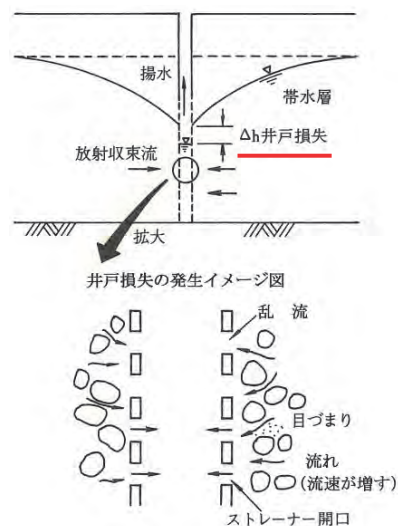


図－1 調査対象施設の取水系統概念図

第1号取水井戸では、これまでに敷地内（約900㎡）に3本の井戸が設置されてきたが、いずれも揚砂等による井戸損失（図－2）が発生し、機能低下が確認された。

このため、揚砂等による機能低下の発生原因の調査及び検討を行い、その結果を踏まえた対策井戸を設置した。また、対策井戸の効果確認を行うため、モニタリング調査を3年間継続した。このうち、井戸内カメラ調査はモニタリング2年目と最終年に実施し、井戸内洗浄はモニタリング最終年に実施した。

本報告では、対策井戸の井戸内カメラ調査と井戸内洗浄の事例について報告する。



井戸損失 Δh は、以下が原因となって、井戸の中の水位と外の地下水位の差として現れる。

- ①ストレーナーの開口部の抵抗
- ②帯水層の流れによる抵抗
- ③ストレーナー周辺が目詰まり
- ④その他、ストレーナーの劣化・腐食

図－2 井戸の機能低下の要因（井戸損失）¹⁾

2. 井戸機能低下の要因調査

要因調査では、当該地の土層構成や水理地質構造を把握するため、ボーリング調査及び電気検層を実施した。

これにより、目詰まりしやすいとされる細砂や軽石等の土層の分布状況や地層の比抵抗値から、帯水層や難透水層の深度、層厚を明らかにした。

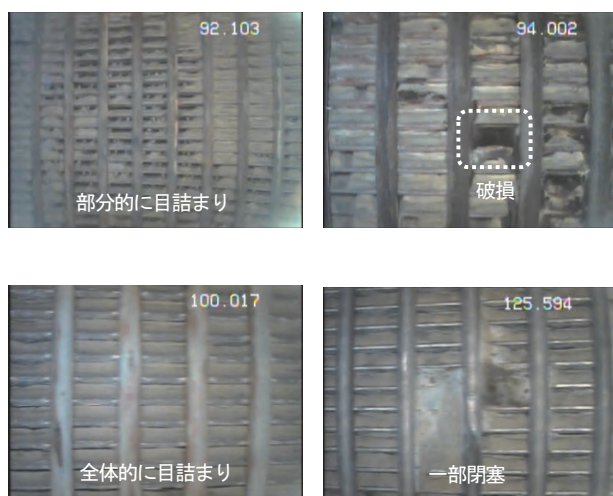
さらに、ボーリング調査で採取した試料を用いて、室内土質試験を実施し、代表土層の物理特性を把握した。

これらの結果を基に、井戸スクリーン周辺の浸透流に対する土粒子の安定性について、限界動水勾配と限界流速の両方で解析し、土粒子の移動が生じない取水量の検討を行った。その結果、細砂、軽石層では、目標取水量以下で土粒子が移動し、パイピング（軟弱な地盤内で地下水の流れによって土粒子が

流出し、管路状の地下浸食が進行すること）が生じることがわかった。なお、中砂では目標取水量でも粒子が移動しない結果となった。

また、目詰まりによる機能低下が確認された既存井戸においては、カメラによる井戸内部の状況確認を行い、井戸スクリーンには細砂や軽石等の付着や目詰まり、スクリーンの破損が確認された（写真－１）。

以上の要因調査から、井戸の機能低下の主要原因は、パイピングにより移動した細砂や軽石等が井戸スクリーンに付着して生じた目詰まりであると評価した。



写真－１ カメラ映像（既存井戸）

3. 対策井戸の概要

要因調査の結果等を踏まえ、機能低下を防ぐ対策井戸の検討を実施した。

対策井戸の諸元を表－１に示す。

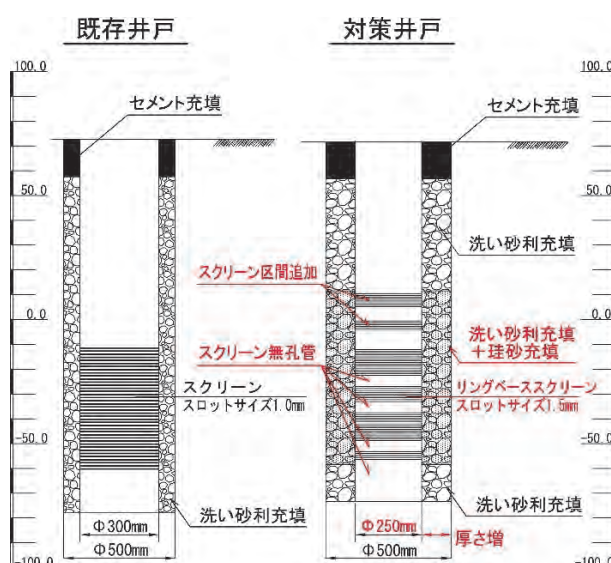
表－１ 対策井戸の諸元

項目	内容
掘削深度	L=145m
掘削孔径	φ=500mm
井戸の仕上げ孔径	φ=250mm（既存井戸はφ=300mm）
砂利充填厚	250mm（既存井戸は200mm）
充填砂利	水洗砂利（φ5～10mm）と珪砂1号の混合
井戸管	- ケーシング（鋼管）φ250mm：L=102.0m - スクリーン（巻線型）φ250mm：L=43.0m - スクリーンの種類：リングベーススクリーン - スロットサイズ（スクリーンの巻線間隔）：1.5mm

対策井戸のスクリーンプログラムは、ボーリング調査や井戸掘削時における土層構成及び電気検層結

果を踏まえた上で判断した。細砂や軽石等を多く含む地層の区間を無孔管にすることでパイピングによる揚砂を抑える対策を講じた。また、この対策により、既存井戸に比べてスクリーン区間の延長が短くなり、目標取水量が確保できないことが懸念されたため、既存井戸よりも上位の取水可能区間にスクリーンを追加し、取水量の確保に努めた（図－３）。

スクリーン管の選定では、開口率、集水面積、出砂、流入速度、井戸ロス、強度、目詰まり等の項目において、従来のスクリーン管よりも優れている「リングベーススクリーン リングベースV型巻線」を採用した（表－２）。



図－３ 井戸構造図

表－２ 各種スクリーンの特徴

スクリーンの名称	リングベーススクリーン リングベースV型巻線	ウェルスクリーン V型巻線	パイプベーススクリーン 丸孔巻線	スリットパイプ 孔明管
スクリーンの形状				
（口径300A）	外径342mm	外径324mm	素管外径318.5mm	素管外径318.5mm
開口率 （スロット2.0mmの時）	40% / 大きい	33% / 大きい	16.1% / 小さい	3.0% / 小さい
集水面積A （スロット2.0mmの時）	4297 cm ² /m	3392 cm ² /m	1608 cm ² /m	300 cm ² /m
仮定条件	（取水量Q=80ton/分 スクリーン有効長L=30.0m 土質の間隙率P=0.3）			
流入速度V V=Q/(P×A×L)	0.78cm/sec 非常に緩やか	0.98cm/sec 緩やか	2.07cm/sec 速い	11.11cm/sec 非常に速い
出砂の問題	ほとんど無し 砂の透過速度は、細砂が1.0cm/sec以下、中砂が1.5cm/sec以下、粗砂が3.7cm/sec以下となり、洗い砂と砂の問題はない。	ほとんど無し	砂の問題有り	砂の問題大しに有り
採水損失	少ない	少ない	大	極大
目詰まり				
仕上げ効果				

4. 井戸内水中カメラ調査

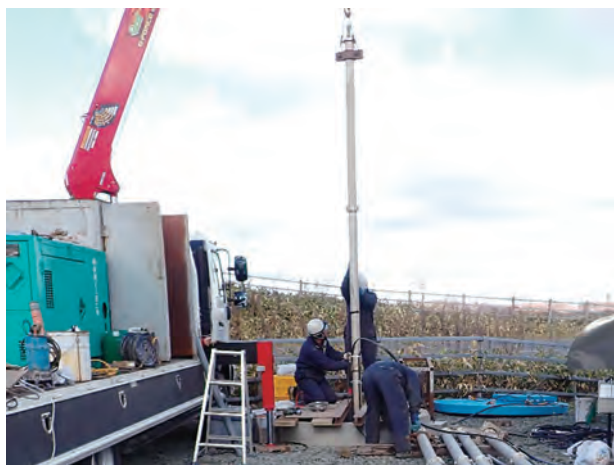
(1) 調査目的

対策井戸設置後、対策井戸においても揚砂がみられており、目詰まりが生じている可能性が考えられた。このため、井戸管内部の付着物、スクリーン管の劣化、目詰まり等の有無を直接把握する目的でモニタリング2年目に井戸内水中カメラ調査を実施した。その結果、井戸管内部の付着物が確認されたことから、モニタリング3年目となる最終年に井戸内洗浄（エアリフト）を行い、洗浄効果を確認するために再度、井戸内水中カメラ調査を実施した。

(2) 調査方法

調査の前段として、4t ユニック車を用いて井戸水中ポンプ及び揚水管等を抜き上げ、電気ケーブル等を取り外した（写真－2）。

その後、井戸管内に水中カメラをプーリーにより吊り下げ（写真－3、図－5）、スクリーンの前方および側方 360° を動画撮影した（写真－4）。なお、管底に土砂等が堆積していたため、動画撮影範囲は、カメラ挿入可能な深度 130m 程度までとした。



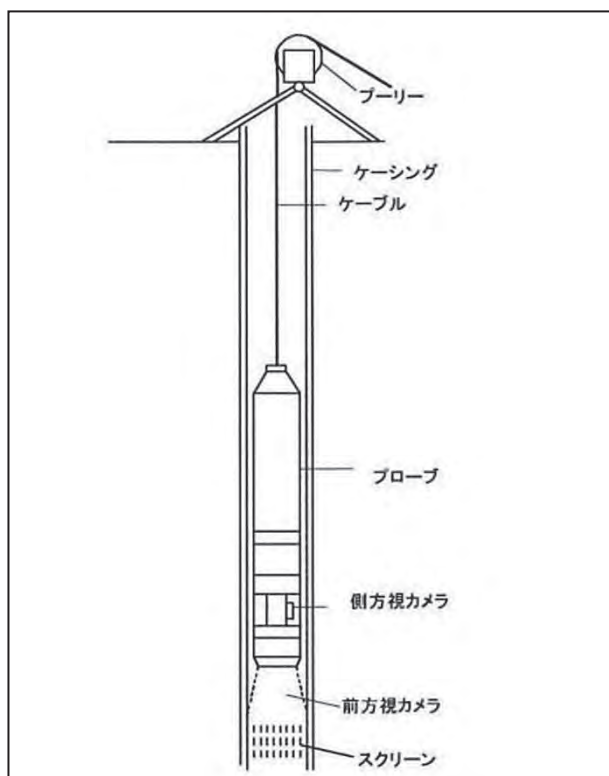
写真－2 揚水管抜き上げ状況



写真－3 カメラ挿入状況



写真－4 動画撮影状況

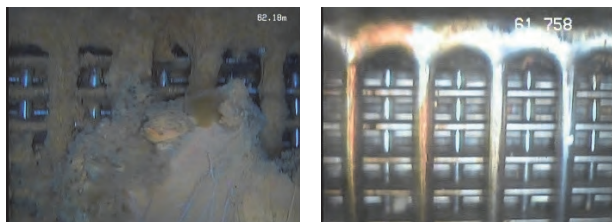


図－5 カメラ調査の概略図

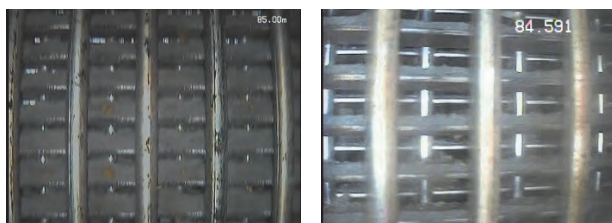
(3) 調査結果

調査結果は撮影された動画を確認し、適宜、静止画に変換させ整理した。なお、モニタリング2年目に撮影したものとモニタリング3年目の井戸内洗浄後に撮影したものを比較できるように同一深度で静止画にした。

調査の結果、深度89m付近までのスクリーンはモニタリング2年目と比較して、部分的に目詰まりが解消されている状況が確認された（写真－5）。



深度62m付近の状況



深度85m付近の状況

(※)写真右上の深度は、初期値が約42cm異なるため、補正して整理した。

写真－5 撮影結果（左：洗浄前、右：洗浄後）

5. 井戸内洗浄

(1) 洗浄目的及びエアリフト洗浄の採用

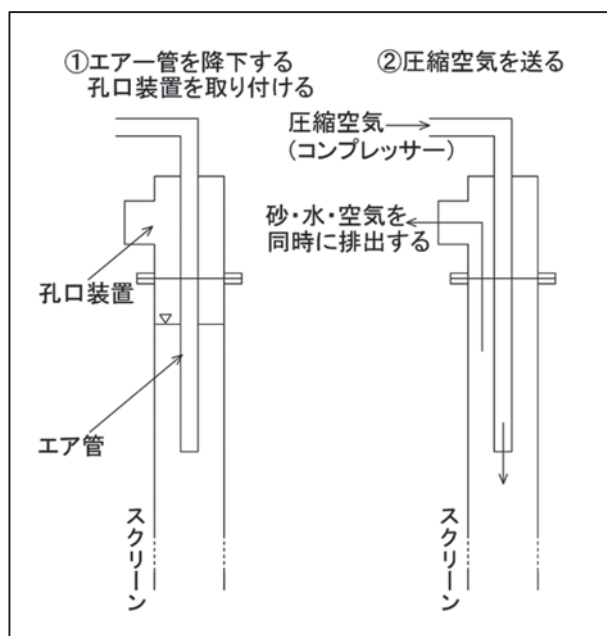
井戸内洗浄は、スクリーン機能を保全する維持管理手法の適用性を評価することを目的に実施した。

井戸内洗浄の種類は複数あるが、今回は管理者より、スクリーン（井戸内部）への直接接触を避ける洗浄方法を用いるように要望があったことも踏まえ、スクリーンへの負荷を抑えて洗浄効果が得られる、エアリフト洗浄（単管法）を採用した。

(2) 洗浄方法

井戸内水中カメラ調査同様に井戸水中ポンプ及び揚水管等を抜き上げ後に井戸内にエア管を挿入し、地上よりコンプレッサーにて圧縮空気を送り、井戸水を地上へ排水することで井戸内部の洗浄を実施した。

井戸内洗浄（エアリフト）の概略図を図－6に示す。



図－6 井戸内洗浄（エアリフト）の概略図

エア管の設置は、帯水層への負荷を軽減するため、深度50m程度（スクリーンの手前）としたが、圧力が低く排水されない状況であったため、深度80m程度（スクリーンとスクリーンの間の広い区間）に設置した。

排水作業は2日かけて断続的に実施し、ある程度汚れがなくなり、水質が安定した状態を2回確認して終了とした。

なお、排水量は管理者との協議により、安定取水量（供用している水量）以上としないようにエア圧を調整し、極力、井戸に負荷をかけないように実施した。これにより、井戸スクリーンの汚れが解消されていない可能性もあったが、これまで安定して揚水できている井戸に対して、負荷をかけるリスクの方が大きいと判断した。

作業状況を写真－6～写真－8に示す。



写真－6 作業全景



写真-7 エアー管設置状況



写真-8 排水状況 (左: 作業開始直後、右: 作業終了前)

(3) 井戸内洗浄（エアリフト）の適用性の評価

井戸内洗浄（エアリフト）の適用性について、井戸内水中カメラ調査の結果や井戸内水位の状況から評価した（表-3）。

表-3 適用性の評価

項目	適用性の評価
スクリーンの状態	・ 帯水層への負荷軽減のため、エアー圧を抑制させた状態（排水量を揚水量と同等）で2日間実施した結果、深度89m付近まではスケール（水に含まれるカルシウムやマグネシウム、シリカなどの無機塩類化合物が析出したもの）が除去され、一部で目詰まりが解消していた。
井戸内水位	・ 井戸内洗浄後では、目詰まりが解消され、井戸内水位が上昇（回復）した。 （洗浄前：水位標高26.0m、洗浄後：最大で水位標高43.8mで17.8m上昇した。常時で洗浄前+7m程度水位上昇。）
総 評	・ 作業前と比較して一定の効果があり、井戸能力が回復したため、井戸内洗浄（エアリフト）は、維持管理として期待できる。 ・ 一方、エアー圧を抑制させた状態であったため、井戸最深部までの洗浄には至らなかった。 ・ 今後は定期的もしくは井戸内水位が低下した場合に井戸内清掃を実施し、安定した井戸能力を保つことが望ましい考える。

(4) エアリフト洗浄（単管法）の留意点

実施したエアリフト洗浄（単管法）は、井戸内洗浄の観点から、通常、エアー圧を全開状態にして行うが、本井戸のように揚水量を増加させると揚砂する場合には、井戸への負荷軽減を考慮し、エアー圧を抑制した状態で排水量や濁水の状況等を見ながら実施することが望ましいと考えられる。

エアー管の設置深度について、スクリーンに悪影響を与えないようにスクリーンの位置を避けて設置することに留意が必要である。ただし、エアー圧が弱く十分に地上への排水が出来ない場合は、状況に応じて、エアー圧やエアー管の設置深度を検討することが望ましいと考えられる。

(5) 今後の本井戸にて洗浄を行う場合の対応

今回実施したエアリフト洗浄（単管法）は、スクリーンを破損させることなく、深度89mまでは効果があり、水位も大幅に上昇して本来の井戸能力の回復を確認できた。

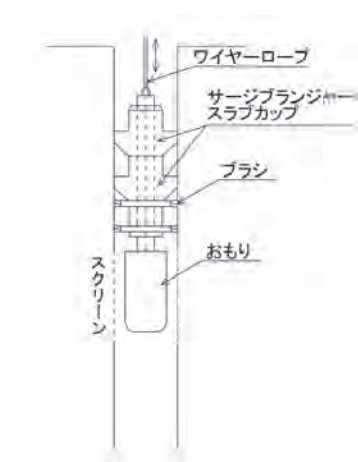
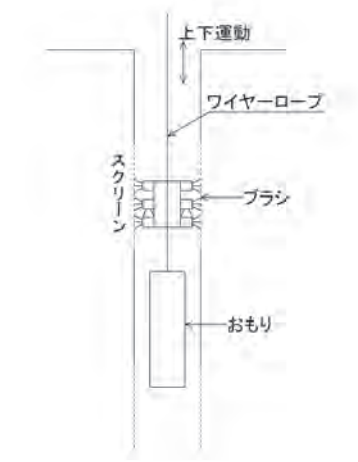
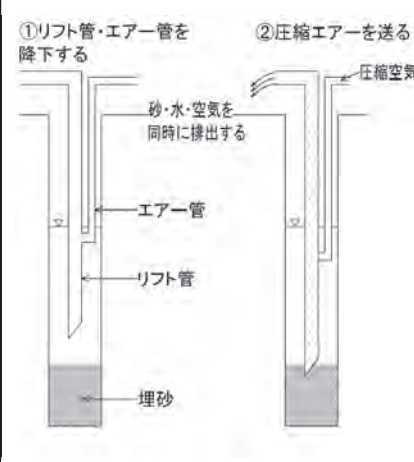
その一方、深度89m以深には、エアーが届かず、効果が及ばないことも判明した。

今回の井戸内洗浄の結果も踏まえ、本井戸にて井戸内全体の洗浄が必要と判断される場合は、併用洗浄の検討が必要となる。

対策案として、①スワビング洗浄、②ブラッシング洗浄、③エアリフト洗浄（二重管法）の併用が考えられる（表-4）。

本井戸にて洗浄効果が確認されなかった深度では、①スワビング洗浄、②ブラッシング洗浄を行い、スクリーンの目詰まりを解消させ、土砂等が堆積している深度では、③エアリフト洗浄（二重管法）を行うことで、井戸全体の洗浄に期待ができる。

表－４ 各洗浄の概要と概略図

洗浄方法	① スワビング洗浄	② ブラッシング洗浄	③ エアリフト洗浄（二重管法）
洗浄概要	ケーシング管内にピストンの役目をするサージブランジャー（スワブ玉：密封性のある器具）を挿入し、上下運動によりピストン動作を与えて、水の動揺を大きくしてスクリーン周辺のスケールや砂粒を除去する工法である。 この工法は、上下運動の際にケーシング内に正圧、負圧が発生することで、湧水促進効果も期待できる。一方、強制的に井戸内へ水を流入させるため、井戸への負担が大きく、スクリーン管が劣化している場合、過度のスワビングはスクリーン管を破損させるリスクを伴うので適さない。 地上装置には、簡易やぐらと動力ウインチまたは、小型さく井機またはウインチを使用する。	ケーシング内径より2～3mm大きい円形のワイヤブラシまたはナイロンブラシを上下させることにより、スクリーン及びケーシング内部の付着物を掻き落し除去する工法である。ブラシによる除去と同時に、上下運動による水の衝撃作用が目詰まり除去に効果を及ぼす。 この方法は、ケーシング管表面の汚れの除去、清掃にも有効であるが、堅いスケール、充填砂利、地層の目詰まりしている場合は適さない。 地上装置には、簡易やぐらと動力ウインチまたは、小型さく井機またはウインチを使用する。	井戸内にエア管を取り付けたリフト管を井戸底まで挿入し、地上よりコンプレッサーにて圧縮空気を送る。圧縮空気を送ることにより、リフト管内の地下水に空気泡が混合して見かけの比重が小さくなるため、地下水が空気と共に地上へ排水される方法である。 この際、井戸内の地下水はリフト管先端からリフト管内に急速に流入し、リフト管先端付近の土砂や砂利を巻き込み、急速度で地上へ排水する。土砂の排出が少なくなった場合にはリフト管を徐々に降下させ予定深度まで土砂を回収する。 この方法は、比較的締まった砂や砂利など、ベアラによる回収が困難な場合に適応される。ケーシング管に穴明き等の破損箇所があり、充填砂利が井戸内に流入している場合等は有効であるが、スクリーンの洗浄効果は期待できない。
概略図			

6. おわりに

本井戸の井戸内洗浄（エアリフト）は、作業前と比較して一定の効果があり、井戸能力が回復したため、維持管理として期待できる。本井戸の今後の留意点として、水量が減少する場合には、井戸内洗浄とは別の対策として、複数井戸の同時運転や井戸ポンプのインバーター制御による運転を行うことにより、帯水層の負荷軽減や水量増の改善が期待される。最後に、本稿をまとめるにあたり御指導、御協力いただきました北海道開発局 釧路開発建設部 農業環境保全対策官ならびに関係各位に厚く御礼申し上げます。

（株）ズコーシャ 技術部 課長（技術士）

引用文献

- 1) 改訂地下水ハンドブック編集委員会 編：地下水ハンドブック（1998）p. 95 に追記

水中ドローンを用いた真駒内ダム取水塔における 不可視部分の調査事例

小林 大介・中川 慎司

1. はじめに

農業水利施設の施設管理者は、豪雨や台風などの大規模な自然災害が頻発・激甚化することにより、従来以上に複雑かつ高度な維持管理が求められている。また、既存施設の老朽化が進行し、突発的な事故も増加しており、それに伴う点検や調査の負担も増大している。さらに、農村人口の減少により、施設の操作や管理に従事する人員の確保も難しくなっており、これらの課題は今後さらに深刻化する可能性がある。

このような状況の中で、令和6年度に国営造成施設ストックマネジメント推進事業の一環として、「施設管理者に対して最新の技術的知見を踏まえた管理の効率化・高度化を支援する技術的支援」を目的とした管理水準向上事業が新たに拡充された。

本報告は、通年貯留ダムにおいて水中の目視確認ができない不可視部分の取水塔低位部を確認する方法として、水中ドローンを使用した調査方法を紹介するとともに、管理の効率化・高度化のため、施設管理者への現地指導を行った技術的支援の内容を報告するものである。

2. 調査対象施設

調査対象施設は真駒内ダムで、北海道久遠郡せたな町に位置し、国営かんがい排水事業北桧山右岸地区で造成され、昭和58年に供用開始した農業用ダムである（図－1、表－1）。通年貯留のダムであるため、取水塔低位部の水中にある基礎コンクリートや鋼材の劣化状況が目視確認できない状況にある（写真－1、図－2）。



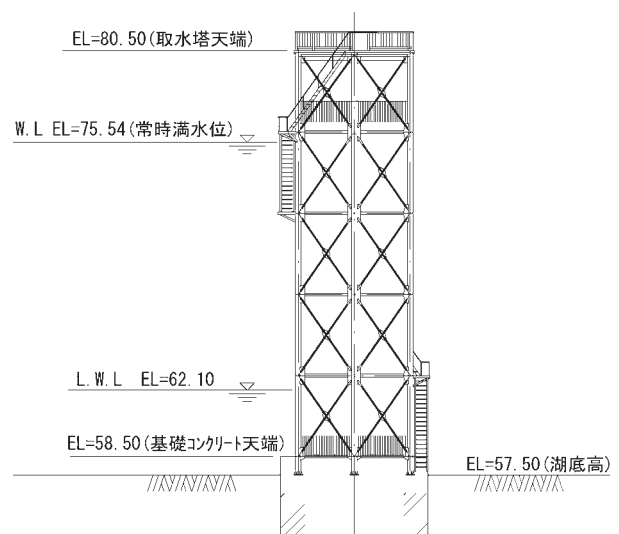
図－1 位置図

表－1 真駒内ダムの施設諸元

地区名	北桧山右岸
場所	久遠郡せたな町
管理受託者	せたな町
施工年度	昭和44年～平成1年
供用開始	昭和58年
型式	ゾーン型フィルダム(中心遮水ゾーン型)
受益面積	2200ha
堤高	34.30m
堤長	234.60m
有効貯水量	5,590千 m^3
取水型式	取水塔(フロート式)
常時満水位	75.54m
計画最低水位	62.10m
湖底高(造成時)	57.50m(取水塔周り)



写真－1 真駒内ダム取水塔



図－2 取水塔概略図

3. 調査方法

調査に使用した水中ドローンは、CHASING 社製の CHASING M2 である（写真－２、表－２）。これは水中撮影、簡易点検を用途としたエントリーモデルで、4K カメラを搭載し、全方位に移動できる。最大潜水深度は 100m、航続時間は最大 4 時間（作業温度などの作業環境により変動）で、機体とコントローラーは有線（ケーブル）で接続されている。水中ドローンの操作は、操作性と安全性を考慮し、取水塔に近く、転落防止柵が設置されている取水塔の管理橋上で行った（写真－３）。なお、取水塔周囲の階段及びステップは、管理橋位置より湖面に近づきやすい位置にあるが、転落防止柵に破損が見られたため、安全上の理由から使用を見送った。（写真－４）。



写真－２ 使用した水中ドローンの機体

表－２ 水中ドローンの仕様

機体	名称	CHASING M2
	サイズ	380×267×165mm
	重量	4.5kg
	最大深度	100m
	最大速度	1.5m/s
	航続時間	2～4時間（作業環境によって異なる）
	作業温度	10～45℃
	LED輝度	2000 lm(ルーメン)×2箇所
カメラ	センサー	CMOS 1/2.3
	絞り	F1.8
	焦点距離	3.2mm
	ISO範囲	100～6400
	視野角	152°
	画素数	1200万画素
	画像形式	JPEG、DNG
	記録媒体	microSDカード



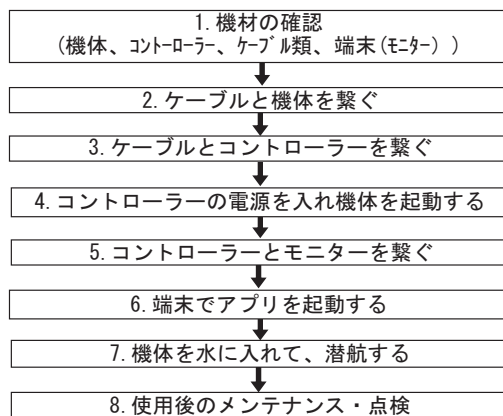
写真－３ 操作場所の管理橋



写真－４ 手摺りの破損

4. 水中ドローンの操作方法

水中ドローンの基本的な使用手順を図－３に示す。水中ドローンの操作は、空中ドローンと同様に専用コントローラーで行う。なお、施設管理者に対して水中ドローンの操作を現地で指導するにあたり、操作説明書を作成した。この操作説明書には、基本的な使用方法に加えて、「6. 調査の留意事項」で述べる真駒内ダム取水塔の調査における留意点も記載している。



図－３ 水中ドローンの使用手順

水中ドローンは精密機械であるため、その操作・取扱いにあたっては、以下に注意する必要がある。

- ①水の侵入を防ぐため、機体と接続するケーブルのコネクタについて、Oリング（ゴムパッキン）が正しく装着されているか、劣化していないか、汚れが付着していないかを確認する（写真－５）。



写真－５ コネクタのOリング

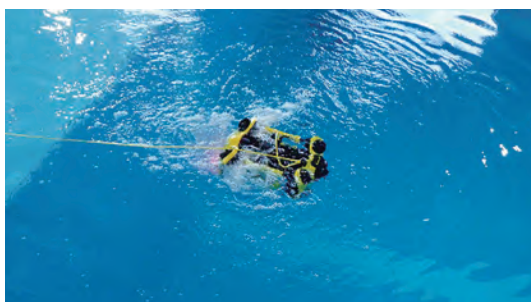
- ②キャリブレーション（機器の調整）を正しく行うため、コントローラーの電源を入れて機体を起動している間は、機体を水平な場所に静かに置いておく。起動とキャリブレーションが完了すると、起動音が鳴る。

- ③機体の破損を防ぐため、入水時は本体と接続されているケーブルを持ち、機体を少しずつ降ろして慎重に着水させる（写真－６）。



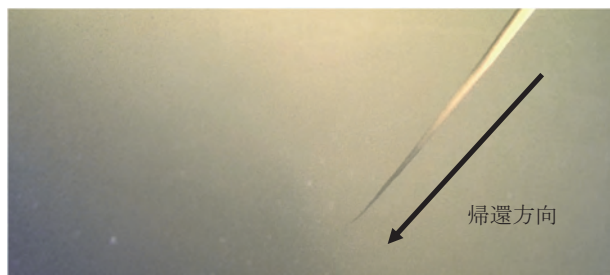
写真－６ 高所からの入水

- ④水深が浅い場所では、機体のスラスター（動力機）が水面上に出て空回りし、正常に動作しなくなるおそれがある。このため、水中での運用は水深 1m 以上で行うことを基本とする（写真－７）。



写真－７ スラスターの空回り状態

- ⑤水中での機体の向きを把握するため、スタート時点の向きの方位を端末（モニター）で確認し、その向きを基準に東西南北の進行方向を判断して操作する。また、帰還時に機体が目視できない場合は、端末（モニター）に映るケーブルの方向をたどって帰還させることで、支障物への接触や絡まりを防ぐことができる（写真－８）。なお、ケーブルには距離を示す目盛が印字されているため、手元の目盛を進行距離の目安として利用できる。



写真－８ ケーブルを映したモニター画面

- ⑥土砂・浮遊物などが機体に付着したまま潜航すると、スラスターなどを損傷するおそれがあるため、使用後は必ず十分に機体の洗浄・乾燥を行うことが重要である。洗浄方法としては、機体が入る大きめのケースに水を張り、5～10分程度スラスターを動かすことで、付着した土砂や浮遊物等を除去する（写真－９）。



写真－９ 機体の洗浄

- ⑦コントローラーは機体と異なり、防水仕様ではないことから、降雨などにより故障となるおそれがあるため、操作は天候の良い時に行うことを原則とする。

5. 調査結果

調査は、事前調査（令和6年9月20日）と本調査（令和6年10月29日）の2回に分けて実施した。

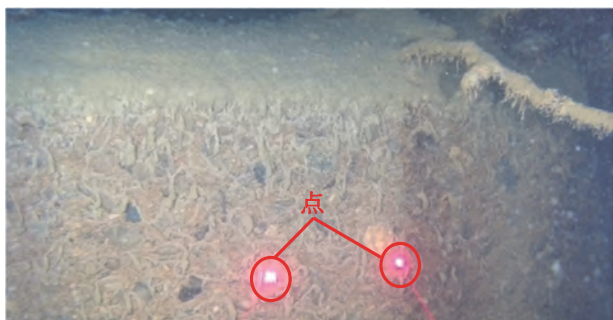
事前調査では、本調査を円滑に進めるための調査の留意点を確認した。

本調査では、施設管理者に対して不可視部分の状況を説明するとともに、操作説明書を用いて水中ドローンの操作を実践してもらい、現地での操作指導を行った。

事前調査及び本調査で確認された不可視部分の変状などについては、次の(1)、(2)に示す。

(1) 取水塔基礎（コンクリート構造物）

コンクリート基礎では、全体的に摩耗によって粗骨材が露出し、水中の浮遊物も付着している様子が確認された（写真－10、11）。一方で、粗骨材の露出以外に、ひび割れや剥離などの損傷や変形は見られなかった。コンクリート基礎上には、流木が堆積しているのも確認された（写真－12）。なお、写真－10、12、14に写された2つの点は、水中ドローンに搭載されたレーザースケイラーによるもので、10cm間隔の照射により、ひび割れの長さなどを簡易的に測定するために用いられている。



写真－10 粗骨材露出、浮遊物付着の状態



写真－11 粗骨材露出、浮遊物付着の状態（近接）



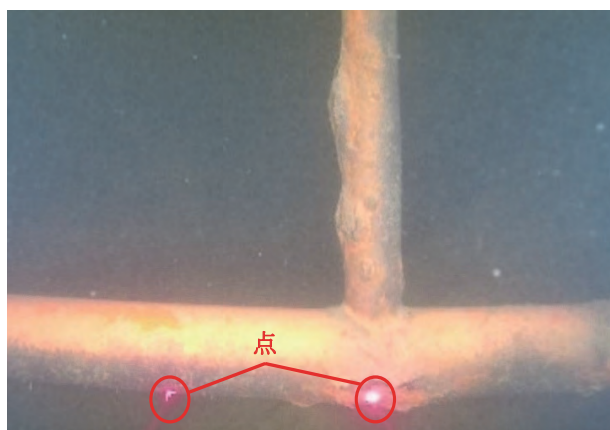
写真－12 基礎に堆積した流木

(2) スクリーン、階段（鋼構造物）

鋼構造物であるスクリーンおよび階段では、水との接触による腐食（発錆）が全体にわたって確認された（写真－13、14）。特に、さびの発生や塗膜のふくれが著しく、一部には漂流物が衝突したと考えられる塗膜の損傷も見られた（写真－15）。また、取水塔基礎と同様に、スクリーンや階段の一部にも水中の浮遊物が付着していた（写真－16）。さらに、水面付近のスクリーン横には流木の存在も確認された（写真－17）。



写真－13 スクリーンの腐食



写真－14 階段（手摺り）の腐食の状態



写真－15 階段（手摺り）の塗膜損傷の状態



写真-16 階段（手摺り）の浮遊物付着



写真-17 スクリーン横の流木

6. 調査の留意事項

今回の調査を通じて実感した調査の留意事項を以下に示す。

(1) 降雨後の濁水

事前調査では、調査日の5日前に5.5mm/日の降雨があったものの、水中部の撮影に支障はなかった（写真-18）。

本調査では、6日前と10日前には、35mm/日の降雨があり、その影響で湖水が濁る可能性があったため、視界不良が懸念された。このため、真駒内ダムに設置されたwebカメラを使って湖水状況を毎日確認し、濁りがある程度収まったタイミングで調査を実施した（写真-19）。結果として、本調査でも問題なく水中部の撮影ができたことから、降雨後の調査ではwebカメラ等で湖水の状況を確認したうえで、実施することが重要である。



写真-18 事前調査時のダム湖水状況



写真-19 本調査前日のダム湖水状況（webカメラ）

(2) 取水による水流

事前調査では、取水ゲートが開いた状態で実施したため、機体が水流に引き寄せられ、操作に支障をきたし、目的地への到達に時間を要したほか、機体を撮影位置まで取水塔から離すときに、水流に逆らって航行するための推進力を多く要し、バッテリーの消耗が早まって潜航時間が短くなった。このため、調査は取水ゲートを閉じるか、開度を最小限に抑えた状態で行う必要がある。

本調査では、取水制限や調査時期について施設管理者と十分に打合せを行い、取水ゲートを閉じた状態で実施したことで、円滑に調査を進めることができた。取水ゲートのフロート部の構造を図-4、写真-20に示す。

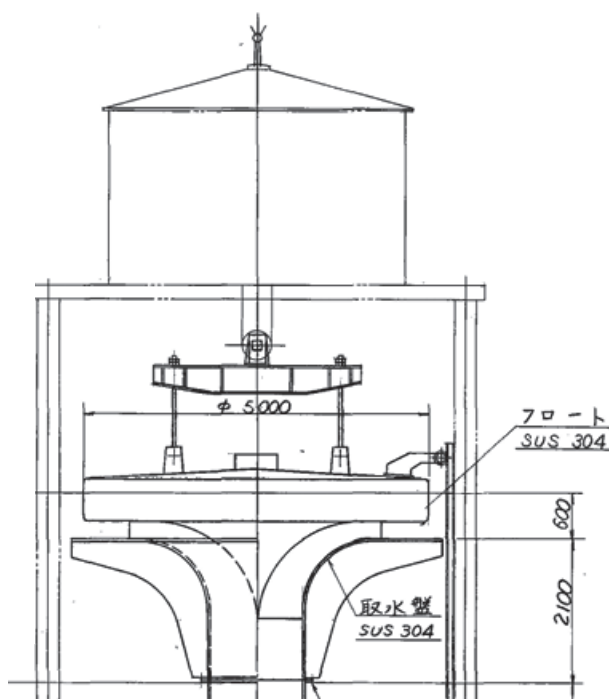


図-4 取水ゲートのフロート部



写真-20 取水ゲートのフロート部

(3) 流木等の支障物

事前調査では、取水塔周辺の流木や階段などの支障物にケーブルが絡まり、機体の脱出に時間を要した（写真-21、22）。この原因は、モニターに映る映像が機体前方のみであり、側面や後方の映像を確認できないため、機体が回転・移動する際に支障物との接触を把握しにくいことにある。このため、モニターに集中している操縦士のほかに、機体と接続されたケーブルを手繰り、振動などで支障物との接触を感知する補助員と水面に浮かぶケーブルの位置（水中ドローンの現在位置）や周囲の状況を監視する補助員を配置し、操縦士と連携して作業を行う必要がある（写真-23）。

本調査では、操縦士1人と補助員2人、あわせて3名の体制とし、支障物への接触に注意を払ったことで、ケーブルが絡まることなく安全に調査を実施できた。



写真-21 取水塔周辺の流木（管理橋より）



写真-22 取水塔周辺の流木（階段より）



写真-23 ケーブルを持つ補助員

(4) ダム湖底の土砂巻上げ

事前調査では、ダム湖底に土砂が堆積していたため、機体が湖底に接触すると土砂が巻き上がり、一時的に視界が悪化して構造物との位置関係が把握しづらくなった（写真-24）。また、砂の巻き上げによって機体内部に土砂が侵入すると、機器の故障につながるおそれがある。このような事態を防ぐには、事前に構造図などで湖底の高さを把握するとともに、カメラを下向きにして調査の初期段階で堆砂状況を確認しておく必要がある。

本調査では、モニターに表示される水深を参考にしつつ、湖底の高さと堆積状況に注意を払ったことで、土砂を巻き上げることなく円滑な調査が行うことができた（写真-25）。なお、調査により、基礎コンクリートの突出部分〔58.50m（基礎コンクリート天端）－57.50m（造成時の湖底高）＝1.00m〕が明確に確認できたことから、取水塔付近の堆砂は、さほど進行していないと推定された。



写真－25 モニター表示画面



写真－24 土砂巻上げ直後の視界不良

7. 施設管理者への現地指導

現地において、操作説明書を使用し調査手法の説明、実演による指導、施設管理者への実技指導を行った。現地指導後、施設管理者からは以下のような意見が寄せられた。

- ①空中ドローンのような感覚で、通常は目視できない水面下の箇所を確認できるため、定期的に観測を行えば管理の質が向上する。
- ②ダムやため池などの水流が緩やかな場所での調査に適している。一方で、頭首工や用水路など水流が速い場所では、機体が流れの影響を受けやすく、操作が難しいと感じた。
- ③水中ドローンは機体を直接目視できず、水流の影響も受けやすいため、空中ドローンに比べて操作の難易度が高く、実際の点検に使用できるようになるには練習が必要である。

現地指導の様子を写真－26、27、28に示す。



写真－26 水中ドローン操作の説明



写真－27 不可視部分の説明



写真－28 施設管理者への操作指導

8. おわりに

水中ドローンは、水中にある取水塔の不可視部分を目視確認する調査手法として有効であり、施設管理者からも「想像以上に鮮明に確認できた」と好評を得た。一方で、現場の条件に応じた留意点もあり、特に支障物に絡まり脱出が困難となる場合には、潜水士などによる支援が必要になることから、安全面への十分な配慮が求められる。また、空中ドローンと異なり、水中では機体を直接目視できず、かつ機体とコントローラーが有線で接続されているため操作の難易度が高い。このため、現場での運用に先立ち、障害物のないプールなどで操作訓練を行うことが望ましいと考えられる。

本稿の作成にあたり、多くのご指導・ご助言を賜りました函館開発建設部農業開発課の関係者の皆様に、ここに深く感謝申し上げます。

最後に、本報告の寄稿の機会を賜りました（一社）北海道土地改良設計技術協会にも、心より御礼申し上げます。

（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 主任技師（技術士））
（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 上級技師（農業土木技術管理士））

UAV空撮画像を活用した 用水路側壁の傾倒監視手法について

佐々木 尊・須藤 勇二

1. はじめに

積雪寒冷地の用水路（開水路）では、多様な変状が発生している。典型的な変状の一つとして、側壁背面土の凍結膨張や外水位の上昇を要因とした水路側壁の傾倒があげられる。今回の調査は、UAV を活用した 3 次元点群データによる傾倒状況の把握と空中写真撮影における適切な撮影高度の選定を目的としている¹⁾。

2. 現地調査

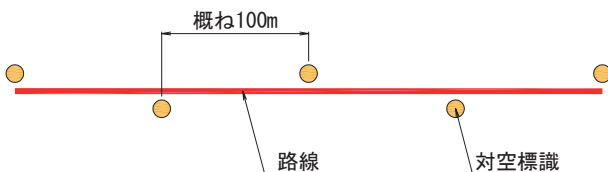
(1) 現地踏査

現地踏査にあたっては、UAV 離着陸場所の確認、操作位置と飛行ルートへの検討、飛行空域及び周辺状況の安全確認、上空の障害物等の確認を行い、空中写真撮影が可能な区間 3 km を選定した。

現地で実測する断面として、10 箇所（矩形断面 4 箇所、片側台形断面 5 箇所、台形断面 1 箇所）を選定した。

(2) 対空標識設置

対空標識は、3 次元点群データに座標を付与するために、設置間隔を概ね 100m に 1 箇所の千鳥配置で設置し、VRS (Virtual Reference Station) を用いてそれぞれの平面直角座標及び標高を観測した（図－1）。



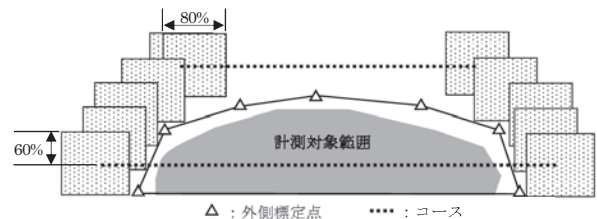
図－1 対空標識配置参考図

(3) 空中写真撮影

開水路 3 km 区間を対象に、3 次元点群データ作成に必要な空中写真を UAV により撮影した。撮影高度は、10 m、20m、30m、40m とした。

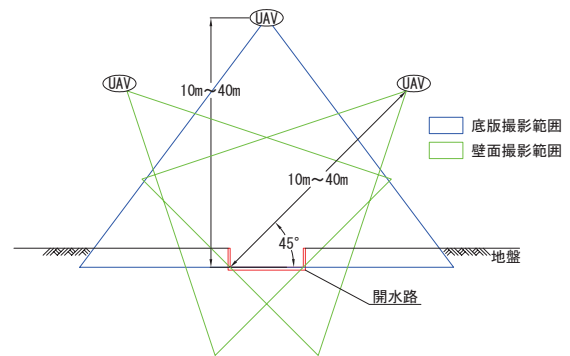
今回の撮影における空中写真の重複度は、「UAV を用いた公共測量マニュアル(平成 29 年 3 月改定版)」²⁾ に沿った図－2 による同一コース内の隣接空中写真

とは 80%以上、隣接コースの空中写真とは 60%以上を基準とした。UAV の飛行速度は、撮影高度 10 m、20m、30m、40m に対して、それぞれ 1.0m/s、2.0m/s、3.0m/s、4.0m/s とし、静止画撮影間隔は、2.0 秒で飛行可能路線上を撮影した。



図－2 撮影する写真のイメージ

また、用水路の側壁を撮影するには、水路側壁にカメラを向けて飛行させる必要があるため、水路直上、水路左右岸直上付近で側壁の撮影を行い、1 高度につき 3 ルートを飛行させた（図－3）。なお、側壁の撮影高度は撮影距離を高度と表現している。



図－3 水路撮影方法参考図

使用した UAV の仕様は、表－1 に示す。機体は、DJI Inspire2 を使用した（写真－1）。

表－1 UAV の仕様

機種名	DJI Inspire2		
有効画素数	2,000万画素		
画素数内訳	5,472×3,648 (19,961,856Pix)		
撮影画角	15m×10m (撮影距離10m)	分解能	2.7mm/pixel (撮影距離10m)
	30m×20m (撮影距離20m)		5.5mm/pixel (撮影距離20m)
	45m×30m (撮影距離30m)		8.2mm/pixel (撮影距離30m)
	60m×40m (撮影距離40m)		11.0mm/pixel (撮影距離40m)



写真1 DJI Inspire2

(4) 断面計測

現地踏査で選定した断面で水路内の断面形状(幅 8.0m～8.8m、高さ: 2.3m)の計測を行った。断面計測は、500m 毎を基本とし、極力曲線区間を避け 10 断面選定した。一般的な横断測量では、VRS を用いる例が多いが、VRS の精度は、cm と精度が低い ため、本調査においては、より高い精度を求めレーザ距離計(精度±1.0mm)、デジタル傾斜計(精度±0.05°)を使用した。測定項目は、両岸の側壁の傾倒角度および水路幅(1 断面あたり 3 側線)とした(図-4)。

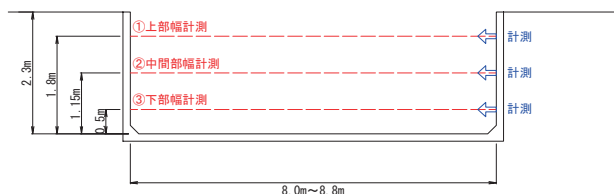


図-4 水路幅計測参考

3. 3次元点群データ作成

撮影高度ごとの写真データを基に SfM (Structure from Motion) ソフトウェアを用いて 3 次元点群データを作成し、x、y、z、R、G、B のテキストファイル(.txt)として出力した。作成した点群データの画像を図-5 に示す。

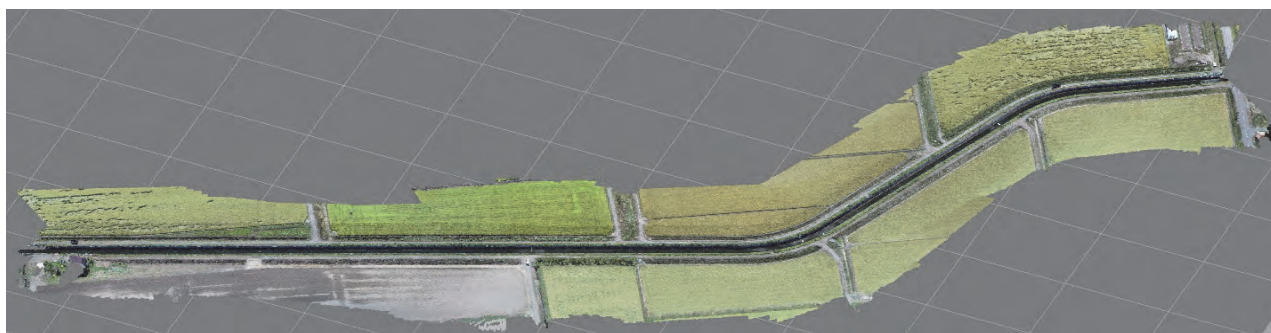


図-5 3次元点群データ例

4. 3次元点群データに基づく横断面図作成

撮影条件毎の点群データから、横断面図を作成した。作成の流れを以下に示した。

- ①断面計測箇所の水路内面部分の点群データを抽出した(図-6)。
- ②側壁の点群データは、ハンチと天端部分を除く直立区間 1.7m (図-6 の四角枠部分) の範囲で抽出した。
- ③抽出した点群にて、直交回帰直線(図-7)を用いて、点群から回帰直線までの平均距離により点群データのバラツキを評価するとともに、傾倒角度を算出した。
- ④算出した傾倒角度を基に横断面図を作成した(図-8)。

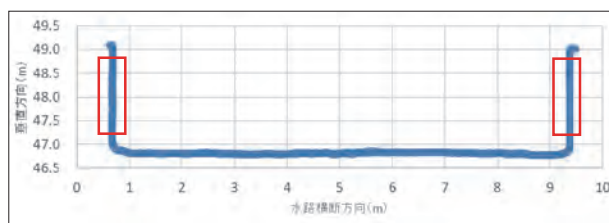


図-6 水路内面部分の点群データ例

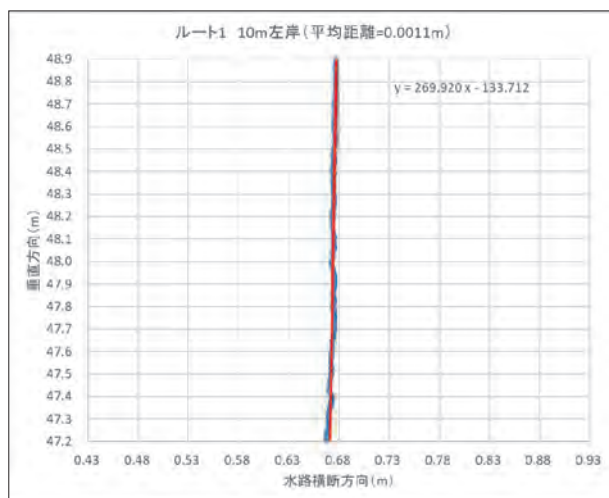


図-7 点群の直交回帰直線の例



図－8 傾倒角度を基に作成した横断面図の例

5. 算定値の評価

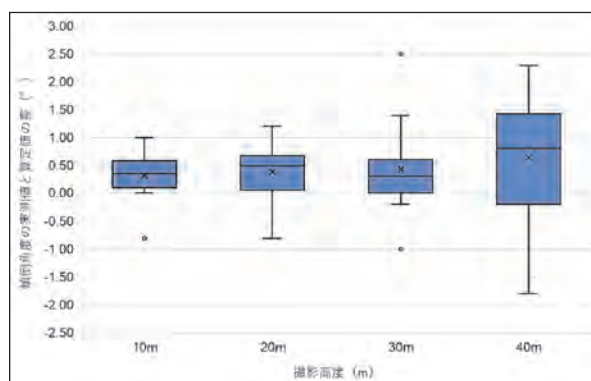
選定断面における側壁角度、点群から回帰直線までの平均距離の算定値を整理した。側壁角度は、実測値との差を計算するため、側壁内側に傾倒している場合をマイナス（－）の値として（図－8 横断面図参照）、90° 基準で側壁内側の角度を算出し、各ルートの実測値との差を求め、誤差の大きさを比較した。

(1) 側壁角度の評価

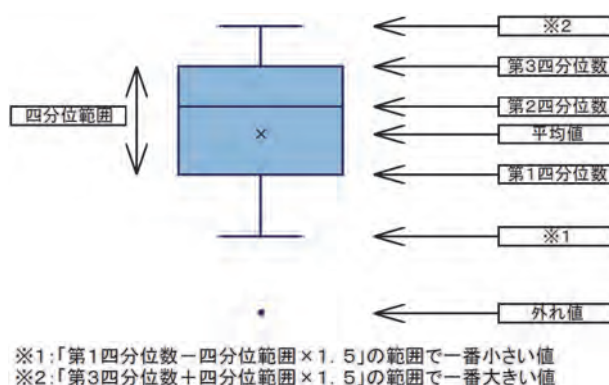
実測値と点群からの算定値、実測値との差、平均値を表－2に示す。また、図－9に分布図、図－10に分布図の凡例を示す。

表－2の平均値から、撮影高度による精度の違いを検証した結果、高度30m以下では、実測値との差に大きな差は生じなかった。しかし、高度40mでは、30m以下に対して平均値で1.5°～2.1°程度の差が生じた。

また、分布図からは、撮影高度が上がるにつれて実測値と算定値の差の分布が広がる傾向がみられた。



図－9 側壁角度の実測値と算定値の差の分布図



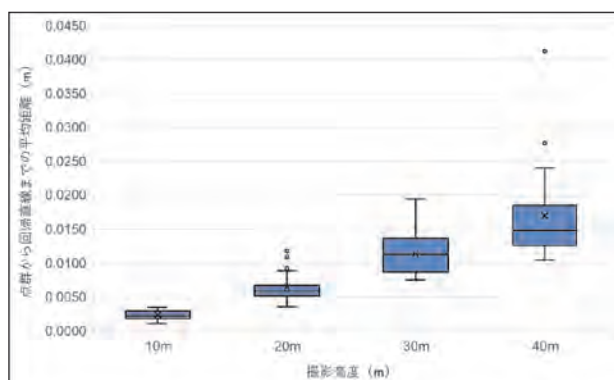
図－10 分布図の凡例

表－2 側壁角度比較表（高度10m、20m、30m、40m）

ルート	右岸 左岸	実測値 (°) ①	点群からの 算定値 高度10m (°) ②	点群からの 算定値 高度20m (°) ③	点群からの 算定値 高度30m (°) ④	点群からの 算定値 高度40m (°) ⑤	実測値と点群 からの算定値 高度10mとの差 (°)	実測値と点群 からの算定値 高度20mとの差 (°)	実測値と点群 からの算定値 高度30mとの差 (°)	実測値と点群 からの算定値 高度40mとの差 (°)
ルート1	左岸	90.3	89.8	89.6	90.0	88.8	0.5	0.7	0.3	1.5
ルート1	右岸	89.9	89.8	90.1	90.0	90.2	0.1	-0.2	-0.1	-0.3
ルート3	左岸	90.4	89.8	89.5	89.0	89.2	0.6	0.9	1.4	1.2
ルート3	右岸	89.5	90.3	90.3	90.5	90.0	-0.8	-0.8	-1.0	-0.5
ルート4	左岸	121.5	121.3	120.3	119.0	119.2	0.2	1.2	2.5	2.3
ルート4	右岸	90.5	89.9	89.9	89.9	92.3	0.6	0.6	0.6	-1.8
ルート6	左岸	121.4	120.7	120.9	120.6	120.6	0.7	0.5	0.8	0.8
ルート6	右岸	121.5	121.2	121.3	121.3	120.7	0.3	0.2	0.2	0.8
ルート7	左岸	122.1	121.5	121.5	122.0	122.4	0.6	0.6	0.1	-0.3
ルート7	右岸	90.2	90.0	89.6	90.2	91.3	0.2	0.6	0.0	-1.1
ルート8	左岸	122.5	121.5	121.7	121.9	122.4	1.0	0.8	0.6	0.1
ルート8	右岸	90.2	90.0	89.8	89.9	89.2	0.2	0.4	0.3	1.0
ルート9	左岸	121.4	121.3	121.4	121.6	120.9	0.1	0.0	-0.2	0.5
ルート9	右岸	90.0	89.9	90.1	90.2	89.4	0.1	-0.1	-0.2	0.6
ルート10	左岸	90.3	89.8	90.0	89.7	88.6	0.5	0.3	0.6	1.7
ルート10	右岸	90.0	90.0	90.3	90.0	89.7	0.0	-0.3	0.0	0.3
ルート12	左岸	89.7	89.6	88.8	88.5	87.7	0.1	0.9	1.2	2.0
ルート12	右岸	121.4	121.0	120.9	120.8	120.5	0.4	0.5	0.6	0.9
ルート13	左岸	85.5	85.1	85.0	85.3	84.3	0.4	0.5	0.2	1.2
ルート13	右岸	88.0	87.6	87.6	87.4	86.1	0.4	0.4	0.6	1.9
平均							0.31	0.39	0.43	0.64

(2) 点群から回帰直線までの平均距離

点群から回帰直線までの平均距離から、点群のバラツキを評価した。表－3に、撮影高度ごとの点群から回帰直線までの平均距離、高度10mと高度20m、30m、40mの差をまとめた。分布図を図－11に示す。



図－11 点群から回帰直線までの平均距離の分布図

点群から回帰直線までの平均距離において、高度10mと高度20m、30m、40mとの値の差が正であれば、高度10mの方が点群のバラツキが小さく、負であれば、20m、30m、40mの方が点群のバラツキが小さいという評価となる。結果として、すべての値が正となり、高度10mの点群のバラツキが小さいことが確認できた。分布図においても、高度が低いほど分布範囲が小さくなる傾向がみられた。

(3) 総評、適切な高度の選定

側壁角度は、高度30m以下では、実測値との差に大きな差は生じなかったが、高度40mでは、30m以下に対して平均値で $1.5^{\circ} \sim 2.1^{\circ}$ 程度の差が生じた。点群から回帰直線までの平均距離は、高度が低いほど点群のバラツキが小さくなる傾向を示した。以上から、高度が低いほど計算結果の精度がよい結果となった。

撮影高度ごとの作業時間と作業員数、データ容量の合計を表－4に示す。精度の確保、作業時間、データ容量から撮影高度30mを選定するのが効率的である。しかし、用水路側壁から水平に約13m（用水路幅8.0mの場合）離れた位置の飛行が必要であり、用水路の敷地外を飛行することになるため、事故等が発生した場合に民地に被害が及ぶ可能性が高く、安全性の確保が懸念される（図－12）。一方、高度10mの場合は、水路沿いの電柱、樹木等の障害物がある箇所での撮影が難しく、かつ作業時間とデータ処理・容量が大きくなるため、作業効率が悪い。

したがって、撮影高度20mが安全で作業効率がよく、最も適切であると考えられる。

表－4 作業時間と作業員数とデータ容量のまとめ

撮影高度	作業員数	作業時間(h)	作業日数	データ容量(GB)
高度10m	12	153.8	20.5	28.4
高度20m	12	137.3	18.3	16.1
高度30m	12	105.8	14.1	11.7
高度40m	12	89.3	11.9	8.5

表－3 各断面の点群から回帰直線までの平均距離

ルート	左右岸	点群から回帰直線 までの平均距離 高度10m (m) ①	点群から回帰直線 までの平均距離 高度20m (m) ②	点群から回帰直線 までの平均距離 高度30m (m) ③	点群から回帰直線 までの平均距離 高度40m (m) ④	高度10mと 高度20mの差 (m) ②-①	高度10mと 高度30mの差 (m) ③-①	高度10mと 高度40mの差 (m) ④-①
ルート1	左岸	0.0011	0.0060	0.0113	0.0138	0.0049	0.0102	0.0127
ルート1	右岸	0.0016	0.0055	0.0114	0.0184	0.0039	0.0098	0.0168
ルート3	左岸	0.0026	0.0052	0.0097	0.0115	0.0025	0.0071	0.0089
ルート3	右岸	0.0033	0.0058	0.0081	0.0153	0.0026	0.0049	0.0120
ルート4	左岸	0.0032	0.0088	0.0130	0.0154	0.0056	0.0098	0.0122
ルート4	右岸	0.0034	0.0050	0.0076	0.0126	0.0015	0.0041	0.0092
ルート6	左岸	0.0021	0.0059	0.0088	0.0113	0.0038	0.0068	0.0092
ルート6	右岸	0.0020	0.0044	0.0089	0.0151	0.0024	0.0069	0.0131
ルート7	左岸	0.0014	0.0043	0.0084	0.0139	0.0029	0.0069	0.0125
ルート7	右岸	0.0027	0.0057	0.0135	0.0196	0.0031	0.0108	0.0170
ルート8	左岸	0.0034	0.0064	0.0121	0.0141	0.0030	0.0087	0.0107
ルート8	右岸	0.0020	0.0060	0.0087	0.0127	0.0040	0.0067	0.0107
ルート9	左岸	0.0020	0.0056	0.0076	0.0105	0.0037	0.0056	0.0085
ルート9	右岸	0.0027	0.0056	0.0115	0.0184	0.0029	0.0088	0.0157
ルート10	左岸	0.0029	0.0066	0.0159	0.0146	0.0037	0.0130	0.0117
ルート10	右岸	0.0018	0.0068	0.0194	0.0240	0.0050	0.0176	0.0223
ルート12	左岸	0.0028	0.0092	0.0137	0.0276	0.0064	0.0109	0.0248
ルート12	右岸	0.0018	0.0036	0.0092	0.0121	0.0018	0.0074	0.0104
ルート13	左岸	0.0018	0.0118	0.0138	0.0182	0.0100	0.0120	0.0164
ルート13	右岸	0.0023	0.0110	0.0147	0.0413	0.0086	0.0124	0.0389
平均		0.0023	0.0065	0.0114	0.0170	0.0041	0.0090	0.0147

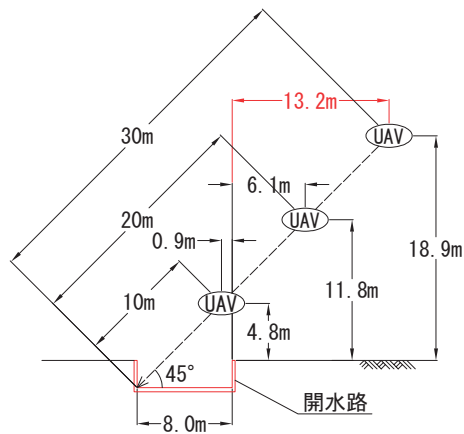


図-12 飛行時の高度、水平離れ（用水路幅 8.0m の場合）

6. 3次元点群データのバラツキ理由考察

3次元点群データのバラツキが最も大きい区間を抽出して、点群データ作成に使用した画像などをもとにバラツキが大きくなった理由を考察した。写真-2に断面計測箇所、点群画像を図-13に示す。



写真-2 右岸 断面計測箇所

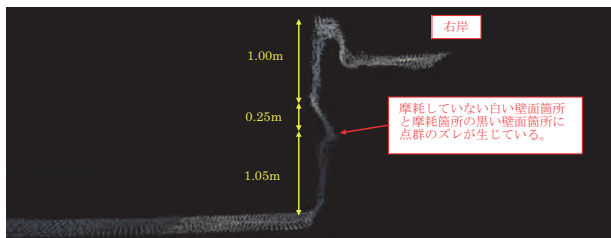


図-13 右岸 点群画像②

図-13をみると、摩耗に起因する画像の色彩の違いによる影響で、摩耗していない白い壁面箇所と摩耗箇所の黒い壁面箇所に点群のズレが生じ、点群のバラツキが大きくなった可能性が考えられる。

この傾向から、空撮画像を活用した傾倒評価には、以下の点に注意することが重要であると考えられる。

- ・画像の色彩を調整し、壁面の色合いをできる限り統一して点群データを作成する。
- ・摩耗の有無で点群の抽出区間を分けて傾倒計算を行い、評価を行う。

7. おわりに

現地断面の実測値とUAVにより撮影した画像から作成した3次元点群データの比較検討を行った結果、実測値に近い計測結果を得ることができた。ただし、用水路の壁面状況や摩耗状況、天候による不鮮明な写真などが影響し、点群データのバラツキが大きくなる可能性があるため、撮影条件の注意が必要である。

今回の撮影では、4パターンの撮影高度で飛行を行ったが、精度の確保、作業時間、データ容量、安全性を考慮すると、撮影高度20mが最も適切であると考えられる。

最後に、本調査を行うにあたり、御指導、御協力を頂きました関係各位に深く感謝申し上げます。

（株式会社フロンティア技研 主任技師）

（元札幌開発建設部土地改良情報対策官付

（現寒地土木研究所水利基盤チーム）

引用文献

- 1) 須藤勇二：UAV 空撮画像から作成する3次元点群データによる開水路の傾倒監視、北海道開発局技術研究発表会、2025. 2.
- 2) UAVを用いた公共測量マニュアル（平成29年3月改定版）

GISデータ整理における生成AIを活用した効率化事例

半澤 菜穂

1. はじめに

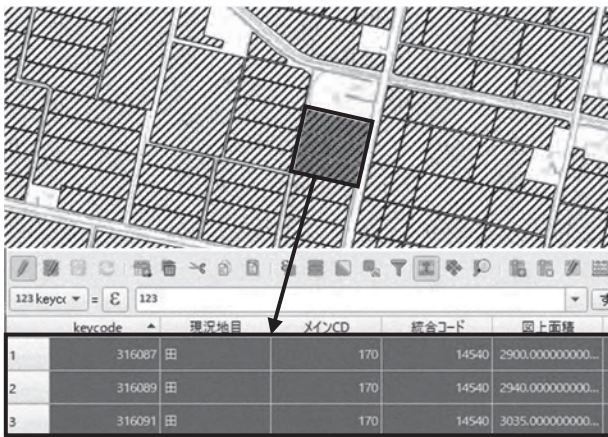
GIS（地理情報システム）は地理的位置を手がかりに、位置に関する情報を持ったデータ（空間データ）を総合的に管理・加工し、視覚的に表示し、高度な分析や迅速な判断を可能にする技術である。農業土木分野では、主に用水計画や施設計画業務でGISが活用されている。

GISでは1つの地物データに複数の属性を付与することができ、属性テーブルで閲覧、管理する（図-1）。

フリーソフトのQGISの例では、ツールを使用して手動でデータを整理する他に、スクリプト（プログラム言語Pythonを使用したQGISを動かすためのプログラムコード）をインポートして操作することも可能である（図-2）。スクリプトを使用することでデータ整理時の見落としなどのミスを防ぐことができるが、プログラミングに精通していなければスクリプト作成・使用は困難である。それに対し、「水稻作付状況解析における生成AI利用の有効性」（藤原ら）¹⁾では、生成AIによりスクリプトを生成し解析する方法がGISを手動操作する場合と比べて、きわめて効率的であるとしている。また、プログラミングに精通せずとも、生成AIを活用してQGISで実行可能なスクリプトの作成と、スクリプトを用いた複雑な処理が可能である。

そこで、同文献を参考資料とし、生成AIにより作成したスクリプトを使用し、属性の一括付与及び地物の補完作業を実施した。

本稿では、上記作業について手作業で行った場合と比較し、生成AIを活用することで効率化（ミス防止・時間短縮）を図った事例について報告する。



	keycode	現況地目	メインCD	総合コード	図上面積
1	316087	田	170	14540	2900.0000000000...
2	316089	田	170	14540	2940.0000000000...
3	316091	田	170	14540	3035.0000000000...

図-1 属性テーブル例

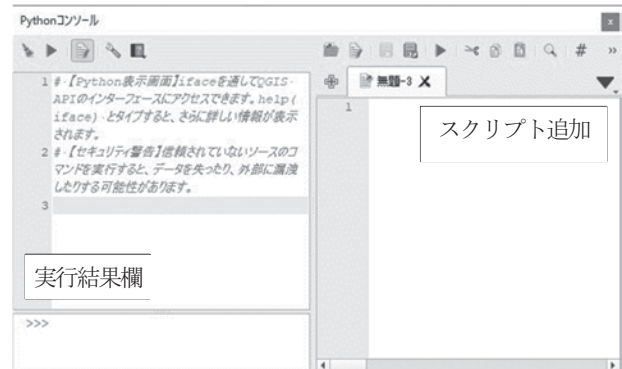


図-2 QGIS Python コンソール表示

2. 生成AIの活用方法

GISはフリーソフトの『QGIS 3.28.6』を使用した。

スクリプトの生成には生成AI（Claude3.5-Sonnet）を使用する。生成AIは過去のチャット履歴を踏まえた回答をすることが可能である。

また、QGISは月に一度のペースで新しいバージョンが更新されており、バージョンの違いにより使用できるプラグインやPythonのコマンドが異なる場合があるが、生成AIではQGISのバージョンを指定することでバージョンに応じたスクリプトを作成することができる。

3. 本稿の紹介事例の概要

本稿では生成AIを活用した事例を2つ報告する。使用する受益地ポリゴンデータは、「農地1.shp」（受益面積5,400ha）及び「農地2.shp」（受益面積5,800ha）の2つを使用した。

事例1は用水路の掛り区域の情報（用水系統）を受益地ポリゴンデータ「農地2.shp」に付与した事例である。用水路の掛り区域範囲を囲うポリゴンデータ「掛り区域.gpkg」をあらかじめ手作業により生成し、地物に用水路の掛り区域の属性を追加した。生成AIにより作成したスクリプトを使用し、「掛り区域.gpkg」を受益地ポリゴンデータ「農地2.shp」に結合し、用水路の掛り区域の属性を転記させた。

事例2では情報に差異がある2つの受益地ポリゴンデータを結合させた事例である。受益地ポリゴンデータ「農地1.shp」及び「農地2.shp」は、2つの受益台帳「農地1」（賦課台帳）及び「農地2」（地積台帳）から作成されたデータである。2つの受益台帳には情

報の差異があるため、受益地ポリゴンデータを結合させ、不足するデータを補完する作業を実施した。

4. スクリプトによる属性の一括付与（事例1）

（1）現状の入力方法と問題点

本事例では、受益地ポリゴンデータの属性値を追加・編集し、各ほ場の用水路の掛り区域（用水系統）について整理する。現状では手作業により該当する地物を複数選択し（図-3）、関数を用いて複数回に分けて属性を編集する方法により整理している（図-4）。

現状の整理方法では、選択したい地物を見落とすなどのミスや、ミスを修正する労力がかかる。加えて図-4に示すフィールド計算機を用いて、複数の地物の属性値を一括追加・編集を行うが、今回対象の受益地ポリゴンデータ「農地2.shp」（地物数約46,000）はデータ量が大きく、一度に多くの地物を選択した場合、処理に時間を要し、さらにはプログラムが強制終了する場合もあり、作業のやり直しが生じていた。

そのため、上記手作業による方法に対し、生成AIにより処理時間の短縮及びプログラムの強制終了防止処理を実行するスクリプトの作成を試みた。

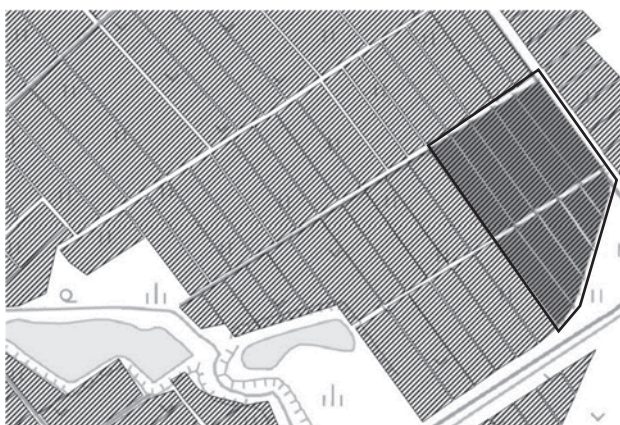
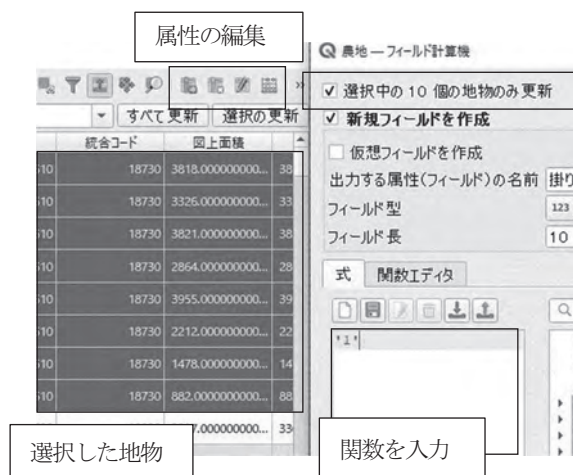


図-3 選択されている地物（枠内）



選択した地物

関数を入力

図-4 属性テーブルによる属性データの整理

（2）スクリプトの生成

1) 作成したポリゴンデータによる属性の追加

使用するデータは図-5に示す、ポリゴンデータ「掛り区域.gpkg」（点線枠）及び受益地ポリゴンデータ「農地2.shp」（グレー塗りつぶし）である。

手順としてはまず、用水路の掛り区域を区分するポリゴンデータ「掛り区域.gpkg」を手作業で作成し、データの属性テーブルの「name」フィールドに用水路の掛り区域の情報を追加した。

受益地ポリゴンデータ「農地2.shp」には新たに属性「掛り」を追加し、「掛り区域.gpkg」の属性「name」より情報を転記させた（図-6）。

上記の処理を行うため、生成AIに対し次の命令文を提示し、スクリプトを作成させた。

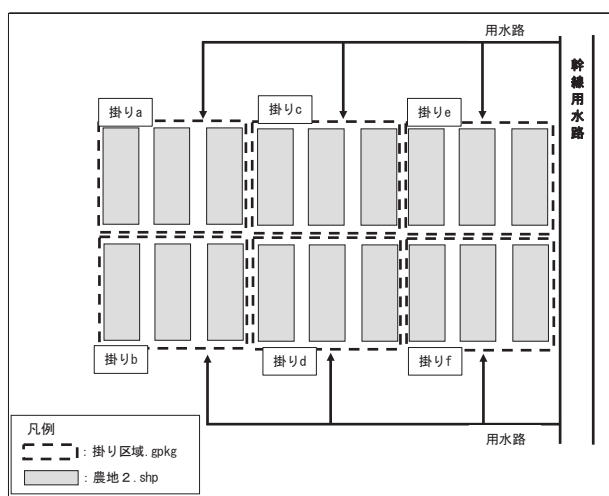


図-5 使用データ関係模式図

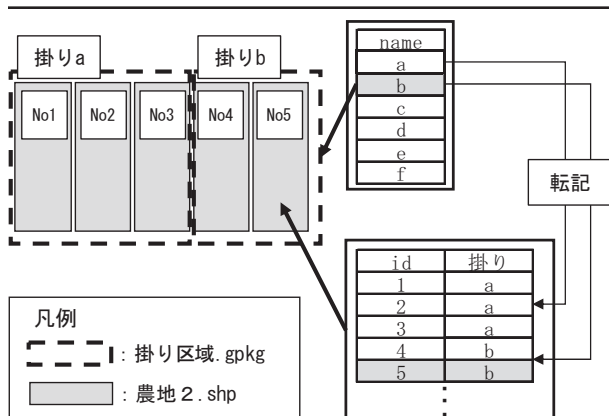


図-6 処理方法の概要図

QGIS のスクリプトを作成してください。条件は以下のとおりです。

- ・「農地 2. shp」に掛り区域の情報を追加します。
- ・掛り区域の情報は「掛り区域. gpkg」の「掛り区域」レイヤーの属性「name」にあります。
- ・「農地 2. shp」に追加する掛り区域の情報は属性「掛り」に上書き保存します。
- ・使用するソフトは QGIS 3.28.6 です。

生成 AI が作成したスクリプト（図－7）により「掛り区域. gpkg」、「農地 2. shp」を空間結合（空間的な位置関係をもとに別のデータに属性を結合させる解析方法）した。この処理により「掛り区域. gpkg」の属性「name」を「農地 2. shp」に結合し、「農地 2. shp」の属性「掛り」に転記させた。

上記の処理後、表－1 に示す複数のエラーが発生した。発生したエラーは QGIS 上で表示されるエラーコードを生成 AI に提示し、エラーコードをもとにした修正を指示した。4. (2). 2) ～ 4. (2). 4) に発生したエラーに対する生成 AI が修正した内容を示す。

```
# 空間結合を実行
result = processing.run('qgis:joinattributesbylocation', params)
joined_layer = result['OUTPUT']

# 既存の「掛り」フィールドを削除（存在する場合）
nouchi.startEditing()
idx = nouchi.fields().indexOf('掛り')
if idx != -1:
    nouchi.deleteAttribute(idx)
nouchi.commitChanges()

# 新しい「掛り」フィールドを追加
field = QgsField('掛り', QVariant.String)
nouchi.dataProvider().addAttributes([field])
nouchi.updateFields()

# 結合結果から「掛り」フィールドにデータを転記
nouchi.startEditing()
kakari_idx = joined_layer.fields().indexOf('name')
new_kakari_idx = nouchi.fields().indexOf('掛り')
```

図－7 既存データの属性を編集するスクリプト

表－1 発生エラー一覧

No.	エラー内容
1	既存「農地 2. shp」の属性を直接編集する作業にエラー
2	一時ファイルの保存先（ファイルパスが不明）のエラー
3	地物の形状異常により解析不可となるエラー →処理が増えたことによりプログラムが強制終了するエラー

2) エラー 1（既存「農地 2. shp」の属性を直接編集する作業にエラー）に対する修正

処理の結果、既存データの「農地 2. shp」に直接属性を転記する際に表－1 のエラー 1 が発生した。生成 AI に対し QGIS で出されたエラーメッセージを提示し（図－8）、「農地 2. shp」に転記する際の処理方法を改善するスクリプトの作成を指示した。

ここでは、エラーが発生した原因がエラーメッセージからは判明しなかった。そのため、処理のどの段階でエラーが発生しているのか、原因を明確化するため、生成 AI の判断によりエラーハンドリング（エラーの検出・処理、エラーの内容を示すメッセージの生成）も併せてスクリプトに追加された（図－9）。例えば、空間結合の処理について、結合レイヤーが正常に作成されなかった場合、「結合レイヤーを作成できません」と返すスクリプトが作成された。

修正後のスクリプトでは、

- ①新規の一時ファイルを作成
 - ②属性を一時ファイルに結合
 - ③一時ファイルから既存ファイルに結合
 - ④処理終了後に使用した一時ファイルを削除
- の手順により問題が解決した。

命令

```
exec(Path('C:/Users/u22009/Downloads/file-kau.py').read_text())
Traceback (most recent call last):
  File "C:\PROGRA~1\QGIS32~1.6\apps\Python39\lib\code.py", line 90, in runcode
    exec(code, self.locals)
  File "<input>", line 1, in <module>
  File "<string>", line 20, in <module>
  File "C:\PROGRA~1\QGIS32~1.6\apps\qgis-
ltr/.python/plugins/processing/tools/general.py", line 108, in run
    return Processing.runAlgorithm(algOrName, parameters, onFinish, feedback,
context)
  File "C:\PROGRA~1\QGIS32~1.6\apps\qgis-
ltr/.python/plugins/processing/core/Processing.py", line 187, in runAlgorithm
    ret, results = execute(alg, parameters, context, feedback,
catch_exceptions=False)
  File "C:\PROGRA~1\QGIS32~1.6\apps\qgis-
ltr/.python/plugins/processing/gui/AlgorithmExecutor.py", line 72, in execute
    results, ok = alg.run(parameters, context, feedback, {}, False)
  File "C:\core.QgsProcessingException: メモリレイヤを作成できませんでした
```

図－8 生成 AI に提示したエラーメッセージ

回答

主な変更点：

1. QGISプロジェクトのパスを使用して一時ファイルを作成
2. エラーハンドリングの追加
3. レイヤーの有効性チェックの追加
4. より詳細なエラーメッセージの出力

図－9 エラーハンドリングの追加

3) エラー 2（一時ファイルの保存先（ファイルパスが不明）のエラー）に対する修正

表－1のエラー2より、一時ファイルの保存先が存在しないフォルダになっており、一時ファイルのパスに問題があるとして、一時ファイルの作成時にエラーが発生した。そのため図－8同様にエラーメッセージをもとに生成AIが修正し、一時ファイルの保存先をQGISのプロジェクトフォルダに変更させた（図－10）。

```
メモリレイヤ作成から一時ファイル作成にスクリプトを修正
```

```
# QGISプロジェクトのパスを取得
project = QgsProject.instance()
project_path = project.homePath()
if not project_path:
    project_path = os.path.dirname(QgsProject.instance().fileName())
    if not project_path:
        project_path = os.path.expanduser('~') # ユーザーのホームディレクトリを使用

# 一時ファイルのパスを設定
temp_output = os.path.join(project_path, 'temp_joined.gpkg')
```

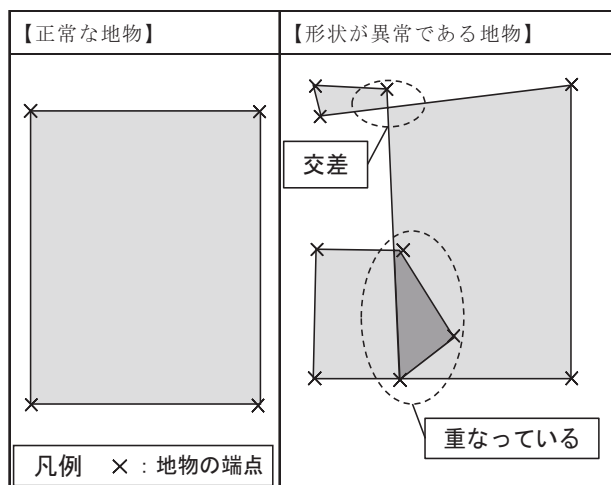
図－10 一時ファイルの保存先を修正したスクリプト

4) エラー 3（地物の形状異常により解析不可となるエラー）に対する修正

受益地ポリゴンデータ「農地2.shp」には処理前から異常な形状の地物が存在していた。正常な地物に対し、異常な形状の地物はポリゴンを形成する端点が交差するなど、複雑な形状になっている（図－11）。「農地2.shp」には異常な形状の地物が存在するため、処理不可となり修正する処理を加える必要があった。

ただし、これにより処理が複雑になったため、ソフトウェアが強制終了してしまう現象が生じた。

そのため、生成AIにより処理を段階的に分けるスクリプトに修正した結果（図－12）、処理が安定しつつ時間も短縮できた。



図－11 正常な地物と形状異常の地物例

```
nouchi = QgsVectorLayer(nouchi_path, '農地', 'ogr')
kakari = QgsVectorLayer(f'{kakari_path}|layername=掛り区域', '掛り区域', 'ogr')

if not nouchi.isValid():
    print(f'農地レイヤーを読み込めません: {nouchi_path}')
    raise Exception('農地レイヤーを読み込めません')

if not kakari.isValid():
    print(f'掛り区域レイヤーを読み込めません: {kakari_path}')
    raise Exception('掛り区域レイヤーを読み込めません')

try:
    # ジオメトリを修正
    print('ジオメトリの修正を開始します...')
    params_fix = {
        'INPUT': nouchi,
        'OUTPUT': temp_fixed_nouchi
    }
    result_fix = processing.run('native:fixgeometries', params_fix)
    fixed_nouchi = QgsVectorLayer(temp_fixed_nouchi, '修正済み農地', 'ogr')

    if not fixed_nouchi.isValid():
        raise Exception('ジオメトリの修正に失敗しました')
```

図－12 異常な形状の地物の修正を追加したスクリプト

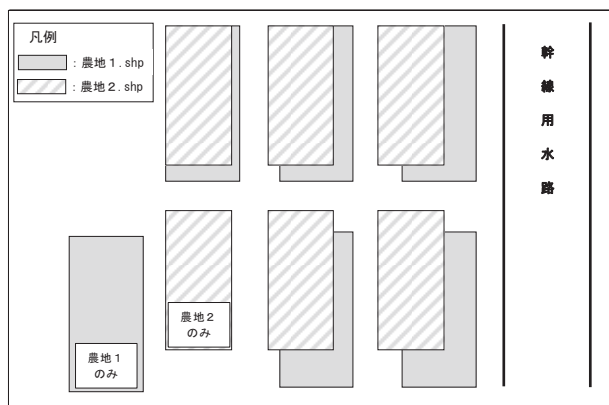
(3) 結果

生成AIを活用することで、用水路の掛り区域（用水系統）についての属性を与えたい地物に一括で付与することができた。また、処理にかかる時間についても、プログラムが強制終了せず、安定した処理を実行させるスクリプトを作成することができたため、作業のやり直しもなく完了することができた。

5. 地物の補完（事例2）

(1) 現状の入力方法と問題点

本事例では、受益地ポリゴンデータ「農地1.shp」（図－13に示す塗りつぶし地物）と、「農地2.shp」（図－13に示すハッチング地物）を使用する。2つの受益地ポリゴンデータは2つの異なる受益台帳より作られており、データに差異があるため、不足するデータを「農地1.shp」から「農地2.shp」に補完した。



図－13 使用データ関係模式図

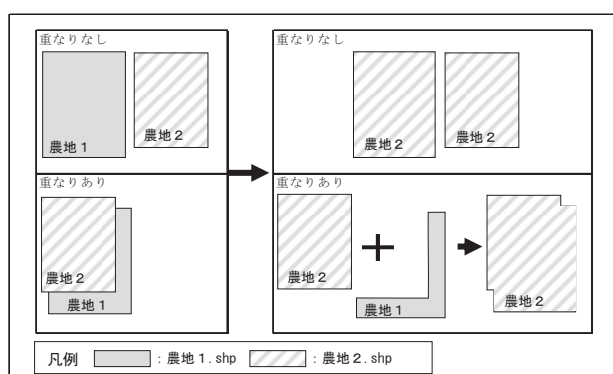
現状の方法は、QGIS 上で目視により「農地 2. shp」には存在しない「農地 1. shp」の地物（図－13に示す枠内の受益ほ場）を手作業で選択し、「農地 2. shp」と結合する処理を行っている。この際、完全に重なりがない地物（受益ほ場の区域線）は、別途差分処理を行い追加する処理が必要である（図－14）。そのため、現状の方法では労力が膨大でデータを見落とす恐れがある。

さらに対象範囲が広くデータ数が多い場合には、データの見落としの発生やミスを修正する労力がかかる。

本事例では、ポリゴンデータの補完及び問題の解決のため、生成 AI によりそれらの処理を一括で行うスクリプトの作成を試みた。

（2） スクリプトの作成

（1）より「農地 2. shp」に対して「農地 1. shp」から空間結合により地物を追加する処理を行う（図－14）。



図－14 処理方法の概要

1) 農地 2. shp に地物を補完

図－14より、2つの受益地ポリゴンデータで重なりがある地物及び重なりがない地物どちらも一括で補完するスクリプトを作成するため、生成 AI に対し以下の命令文により指示した。

2つのポリゴンデータがあります。それぞれの地物の形は違います。

農地 2. shp に農地 1. shp をマージ処理（複数のベクタデータを1つに結合する処理）するスクリプトを生成してください。

使用するソフトは QGIS Ver. 3.28.6 です。

作成したスクリプトにより QGIS で実行した結果、表－2に示す複数のエラーが発生した。5. (2). 2) ～ 5. (2). 3) に発生したエラーに対する生成 AI が修正した内容を示す。

図－14に示す、重なりがある地物及び重なりが

ない地物どちらも追加する処理を生成 AI により作成したスクリプトで実行したが、正常に処理されなかったため、

①重なりがない地物のみ補完

②重なりがある地物の差分処理

③差分処理された地物を結合

の順序でスクリプトに手順を追加した。

表－2 発生エラー一覧

No.	エラー内容
1	補完する地物の細分化によりデータ量が多くなり、処理中にプログラムが強制終了した
2	差分処理後の「農地 1. shp」を「農地 2. shp」に結合する際、すべての地物が1つに結合された

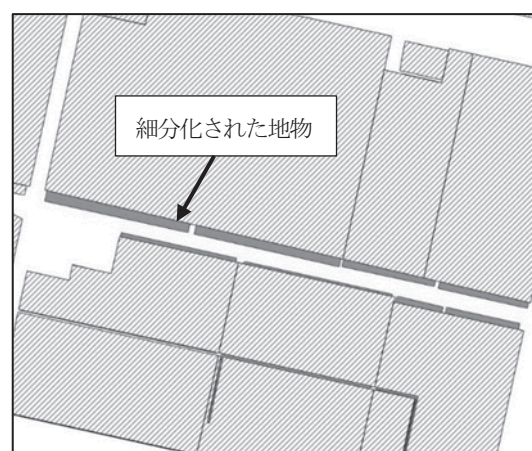
2) エラー 1（補完する地物の細分化）に対する修正

表－2に示すエラー1より、図－14に示す重なりのある地物において、細分化された地物が作成された。（図－15に示す塗りつぶされた地物）また、地物が細分化されたことにより、データ量が増えた。

そのため、まずは重なりがない地物を抽出するための条件を生成 AI に示し、重なりがある地物はさらに詳細な条件を与えることとした。ここで2つのデータの重なり判定については以下の命令文を入れた。

重なり判定については、地物 1 つの単位で（細分化防止）判定し、少しでも「農地 2. shp」と重なっている「農地 1. shp」の地物はマージしない。

作成されたポリゴンデータは図－16のとおり、まったく重なりのない地物のみ補完することができた。



図－15 細分化された地物（塗りつぶし）

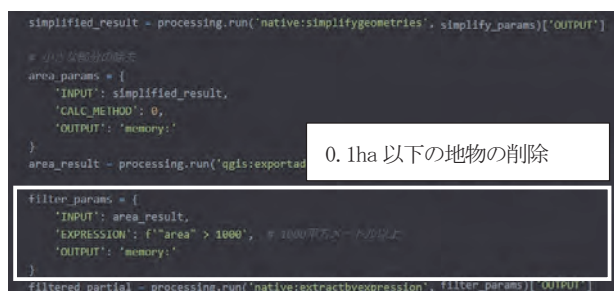


図－16 追加された地物（重なりなしのみ）

次に図－14に示す重なりがある地物を補完するスクリプトを生成AIが作成した(図－17)。ここで、細分化された地物が大量に生成されることでデータ量が増え、処理中にプログラムが強制終了されることを防ぐため、一定の面積を下回る地物は除外するスクリプトを生成AIが作成した。

除外対象面積は、0.1ha（図－17のスクリプト）以上で複数パターン試行し、0.5ha以上で細分化されなかったため、0.5haに決定した。

処理の結果、0.5haを下回る地物は除外された（図－18）。



図－17 0.1ha以下の地物を削除するスクリプト



図－18 差分による地物の補填結果

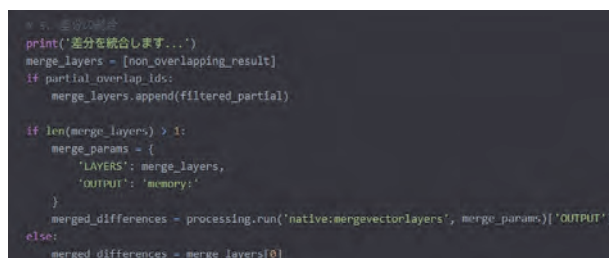
3) エラー2（すべての地物が結合）に対する修正

重なりがある地物について、細分化された地物同士で結合するため以下の命令文を追加し、図－19に示すスクリプトを生成した。

差分を追加する際、細分化されてしまわないようにしてください。

処理の結果、すべての地物が結合された1つの地物になってしまった（図－20）。

そのため、生成AIにより作成された差分同士（細分化された地物同士）での結合の処理を実行するスクリプトに修正した（図－21）。



図－19 細分化防止を追加したスクリプト

属性テーブルより、地物が1つに集約されている					
keycode	字CD	分割	メインC	細区分	旧区CD
0	17630	NULL	680	0	1

図－20 1つの地物に集約されたデータ



図－21 差分のみを結合するスクリプト

(3) 結果

生成AIにより生成したスクリプトを使用することで、重なりがない地物の補完と、重なりがある地物の差分処理を一回の処理で完了した。

6. 考察

事例1及び事例2において、生成AIを活用することで得られた効果と課題について表-3に示す。

共通の効果は、処理にかかる時間の短縮とミス防止である。従来の方法では、地物を手作業で選択、入力するため、データ数が多いほど処理に時間がかかりミスが生じやすい状況であった。

それに対し生成AIを活用した場合、処理にかかる時間やパソコンへの負担を軽減できるスクリプトを生成させることで、処理完了までの待ち時間も短縮できる。具体的な作業時間は、事例1の作業を例とした場合を表-4に示す。

手作業による処理を行った場合、ミスがないか確認する時間も含め約1日である。それに対し生成AIを活用し作成したスクリプトによる処理時間は、半日（ポリゴンデータ作成時間が0.4時間、エラー毎に修正し最終的なスクリプトを作成した時間が約2～3時間、QGISでの処理時間は約0.1時間）であり、半日程度が短縮できた。

表-3 生成AI活用による効果と課題

効果	共通	処理にかかる時間の短縮可能、ミス防止
	事例1	スクリプトに汎用性があるため、他のデータにも使用可能
	事例2	複数の処理を一括で実行、作業の簡素化可能
課題	事例1	属性の転記元のポリゴンデータを手作業で作成しているため、作業時間短縮に限界がある
	事例2	重なりがある地物について、詳細な条件をあたえる必要がある

表-4 生成AIを活用した場合の短縮時間

【手作業で行った場合】

作業内容	時間
地物選択、属性追加	7時間
チェック、修正	2～3時間
合計時間	9～10時間



約半日短縮

【生成AIを活用した場合】

作業内容	時間
ポリゴンデータ作成	0.4時間
スクリプト作成※	2～3時間
QGISでの処理	0.1時間
チェック、修正	2～3時間
合計時間	4.5～6.5時間

※QGISで実行、エラーに対する修正も含む

(1) スクリプトによる属性の一括付与（事例1）

表-3に示すとおり、生成AIを活用する場合、最終的なスクリプトを生成するまではトライアルアンドエラーが必要であるが、一度生成すればスクリプト内で指定するデータを変更するだけで同様の作業を他のファイルでも行うことができる。そのため、スクリプト生成時間が短縮され、表-4より必要となる作業はGISでの処理のみとなり、大幅に処理時間が短縮される。

しかし、属性を与えたい地物の範囲の基準となるポリゴンデータ「掛り区域. gpkg」（図-22に示す点線）の作成に時間を要することが課題として挙げられる。ここで図-22黒枠（実線）内の地物は本来、用水路の掛り区域の情報を与えない地物（図-22に示すハッチング地物）である。

しかし、処理の結果では掛り区域の属性が付与されて（塗りつぶしとなって）いるため、修正が必要である。

表-5には手作業で属性を編集した「基準属性」に対し、「掛り区域. gpkg」の境界線修正前後の地物数を示す。修正前では掛りa～cの地物数が基準属性と異なるが、図-23に示すとおり「掛り区域. gpkg」（点線）修正後にはすべての地物数が一致した。

「掛り区域. gpkg」は自動処理の前提となる重要なポリゴンデータであるが、生成AIによる処理を行う場合、おおまかな区分けでは不十分である。したがってスクリプトによる処理を行う前に、手作業により境界を正確に設定する必要があるため、改善が必要である。

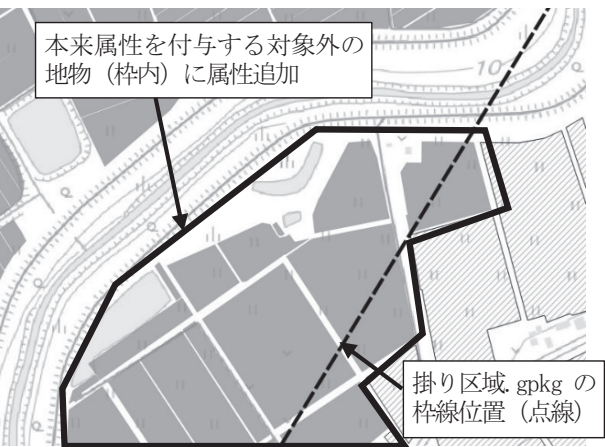
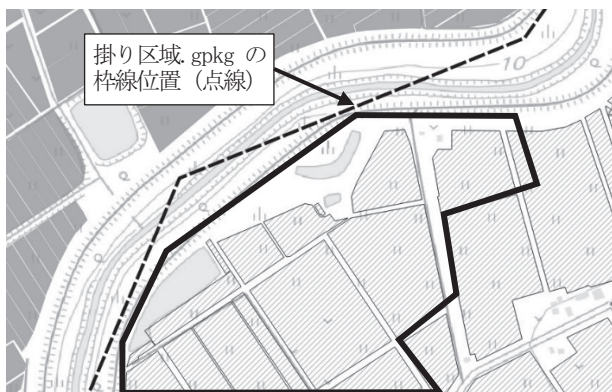


図-22 掛り区域. gpkg（点線）の境界修正前



図－23 掛り区域. gpkg (点線) 境界修正後

表－5 地物数比較検証結果

掛り	地物数		
	手作業による修正	スクリプトによる修正 (生成AI活用)	
	基準属性	新規付与 修正前	新規付与 修正後
a	1670	1673	1670
b	3057	3148	3057
c	6953	6974	6953
d	265	265	265
e	476	476	476
f	396	396	396

(2) 地物の補完 (事例2)

地物の補完処理を手作業で行う場合は複数の手順が必要となるが、生成AIにより生成したスクリプトを使用することで作業の単純化、効率化が見込める。そのため、GISの使用に慣れていなくとも短時間で一連の作業が完了し、作業者の負担軽減になる。

しかし、課題として処理結果と実際に実行したい処理に差異がある場合、より詳細な条件を命令文として生成AIに示す必要がある。

生成AIに指示を行う時にはPDF等の画像を添付することが可能であり、命令する際に添付ファイルを含めた質問に対する回答が返ってくる。そのため、文章のみの命令ではなく、具体的な状況を生成AIに理解させるために重なる判定基準について簡易的な図を示した。しかし、生成されたスクリプトにより処理を行った結果、結合される地物は細分化され、意図していた処理とは異なる結果となった。

したがって事例1と同様に、面積等数値的な条件など詳細な条件を生成AIに与える必要性が判明した。

7. おわりに

GISはさまざまな地理的解析が可能であるが、対象範囲が広い場合は特にデータを整理する作業に時間を要する。また、QGISは複数のプラグインを使用することで解析処理が可能であるが、バージョンにより使用可能か否かが変わる。生成AIを活用することで、バージョンによるコマンドの違いにも対応することができるため、処理方法の検索にかかる時間も含め総合的に作業時間を短縮することが可能である。

区域の基準となるポリゴンデータの作成など、手作業で行っている部分に関してもスクリプトを使用した処理を生成AIに指示することで、さらに作業の効率化も可能となる。

生成AIを使用すると、作成されたデータについて必要な属性を保持した状態で処理が完了しているかの精査が必要となるが、処理にかかる時間が短縮されるため、全体的な作業の効率化が見込める。

生成AIによりさまざまな処理パターンのスクリプトを生成し、更なる効率化を図っていきたい。

(NTC コンサルタンツ株式会社 技術部 技師)

【引用文献】

- 1) 藤原洋一・星川圭介・一恩英二・森丈久・長野峻介, 水稻作付け状況解析における生成AI利用の有効性, 水土の知, 2025, 第93巻第1号, 公益社団法人農業農村工学会, pp. 23 - 26

報 文 集 第37号

令和7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 敏彦・芳賀 義博・高野 尚・横川 仁伸
川口 宏・會澤 義徳・岡本 久志・園生 光義
中村 泰弘・山本 正人・岡田 滋弘・小嶋 守
五十嵐寿晃・二本松 寿

発 刊 (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 Fax(011)717-6111

印刷 (株)三誠社 電話 (011)622-9211



●表紙写真●

第39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

『晩夏の除礫軍団』

ー津別町にて撮影ー

石川 勉 氏 作品

A E C A

HOKKAIDO

Agricultural Engineering Consultants Association