

報 文 集

令和 8 年度



第38号

一般社団法人 北海道土地改良設計技術協会

報 文 集 第38号 目 次

網走川豊住地区 排水路合流工における水理解析の事例	1
松 坂 佳 祐	
3次元設計の導入効果と課題	
ー旭東地区ICT導入実証事業における試行ー	9
奥 村 琴 音	
デジタル技術の活用による現場作業の省力化・効率化事例	18
金 安 潤	
宮 崎 寛 隆	
「美河地区」三石ダムにおける水管理施設の設計事例	28
菊 地 康 宏	
急傾斜地における区画整理設計の事例紹介	37
柴 崎 光 啓	
機能保全対策を行う排水機場の設計事例	
ー南21号排水機場の改修設計ー	46
若 林 洋	
農業水利施設のストックマネジメントにおけるコンクリート劣化の定量的評価手法の検討	56
名久井 純 一	
UAV写真測量を用いたロックフィルダム管理の効率化	
ー国営土地改良施設「緑ダム」における検証事例ー	64
大 泉 秀 勝	
長大な開水路を有する用水施設を対象とする水管理施設設計	72
伊 東 啓 人	
日吉山 駆	

網走川豊住地区 排水路合流工における水理解析の事例

松坂 佳祐

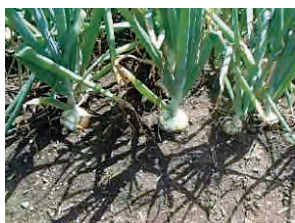
1. はじめに

本稿では、国営かんがい排水事業「網走川豊住地区」における豊住排水路（本川）と本郷排水路（支川）の合流部の設計計画の検討に際して、河川解析ソフトウェア「iRIC」を用いた合流工の水理解析の事例について報告するものである。

2. 地区の概要

(1) 網走川豊住地区

本地区は、北海道網走郡大空町に位置する農業地帯である。この地域では、水稻、小麦、てんさい、小豆、ばれいしょ、たまねぎ、ブロッコリー等を組み合わせた農業経営が展開されており、高収益作物の作付拡大による産地収益力の強化を図っている（図－1、写真－1）。



図－1 網走川豊住地区 位置図 写真－1 地域で生産されるたまねぎ

地区内の排水施設は、国営網走川下流土地改良事業（平成3年度～平成14年度）により整備されたものの、近年の降雨量の増加や降雨形態の変化に伴う流出量の増加により、既設の排水機場及び排水路の流下能力が不足している。このため、農地において湛水被害が発生（写真－2）し、営農上の対応に多大な費用と労力を要しているほか、作業効率の低下や作付けへの影響等、農業生産性の低下を招いている。さらに、湛水被害への応急対応や施設の経年的な老朽化に伴い、維持管理にも多大な労力と費用を要している。

このため、排水機場及び排水路を整備し、農地の湛水被害の解消及び維持管理の軽減を図り、農業生産性の向上および農業経営の安定に資する国営かん

がい排水事業「網走川豊住地区」が令和5年度に着手された。



【湛水被害状況（小豆）】
平成28年8月



【湛水被害状況（たまねぎ）】
平成28年8月

写真－2 網走川豊住地区における湛水被害

(2) 豊住排水路（本川）

豊住排水路は地区の幹線排水路であり、流末では網走湖に隣接した豊住排水機場より機械排水にて排水を行っている（写真－3）。



写真－3 豊住排水機場

最下流に位置する当該工区における豊住排水路の現流路は、敷幅11m～12mの軽量鋼矢板護岸の複断面形状を成しており、水路勾配も比較的緩やかである。このため、平常時において顕著な水面変動はほとんど見られず、穏やかな流況を呈している（写真－4）。



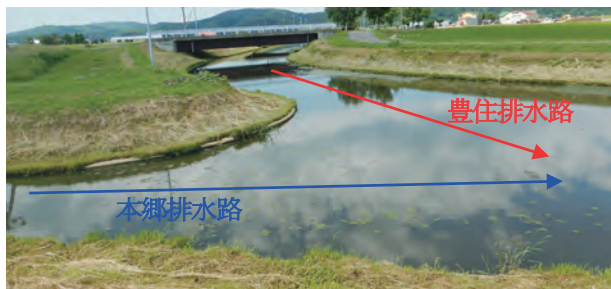
写真－4 豊住排水路（当該工区）

このことから、豊住排水路は単なる農業用排水路としての役割にとどまらず、地域の農村景観の形成

や水生動植物の生息・繁殖といった生態系の維持、保全にも寄与する農業施設となっている。

(3) 本郷排水路（支川）

本郷排水路は、豊住排水路の支流であり、豊住排水機場より上流 550m 程度で豊住排水路と合流する（写真－５）。



写真－５ 豊住一本郷合流部

本郷排水路の護岸についても豊住排水路と同様に現況では軽量鋼矢板護岸となっており、流れは穏やかである。

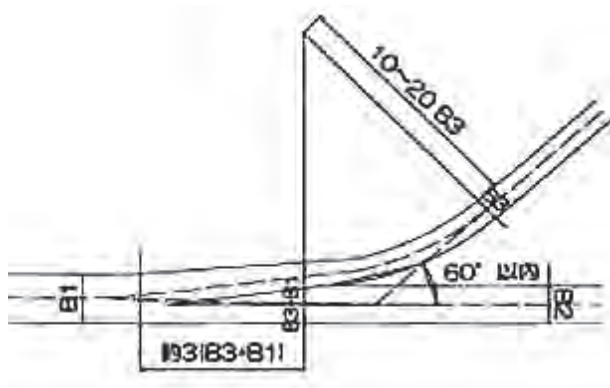
当該事業においては、この本郷排水路も改修、拡幅計画の対象となっている。

3. 豊住一本郷合流工設計における課題

(1) 営農面での課題

排水路計画における合流工の設計については、主に「排水路計画設計技術指針」¹⁾に示される合流部の考えに則って設計を行う。

この場合、本川と支川との合流部においては、互いの流心をすり付けるために水路幅を広く確保する必要があるため、合流直後の敷幅は拡幅され、流れが落ち着くに従い、計画断面内に収束するよう漸縮していく水路形状とすることが望ましいとされている（図－２）。



図－２ 合流基本線形

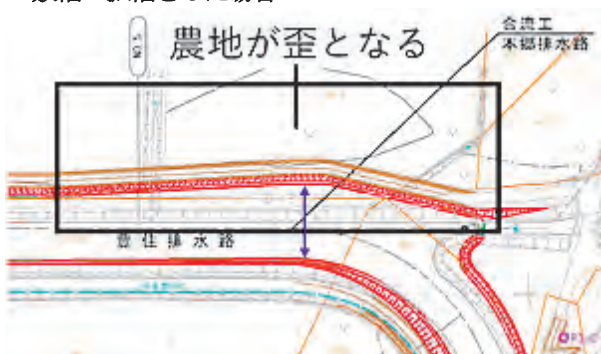
当該工区の豊住排水路（本川）と本郷排水路（支川）の合流部（以下、豊住一本郷合流工とする。）において、前記の形状で設計計画を行った場合、隣接する畑地が不整形になってしまうことが想定された。合流部に隣接する現況の畑地は、直線的に営農されており（写真－６）、改修により合流敷幅を拡幅した場合、営農活動において不整形となった農地は作業動線の悪化や農機旋回が多くなるなどの支障が想定される。



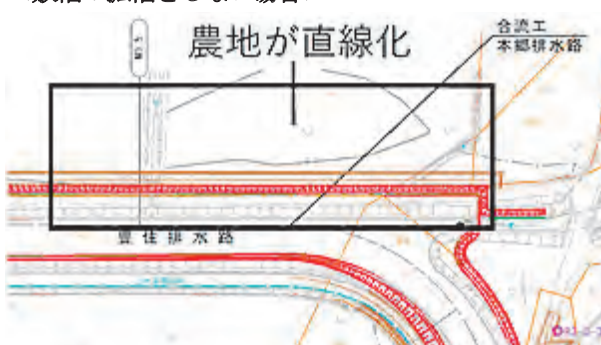
写真－６ 直線的に営農される畑地

また、敷幅の拡幅は事業上、用地買収面積の増大にもつながる。このため、合流部での水路敷幅を拡幅しないことを第一の目的として、この場合の水理的影響を適切に評価する必要がある（図－３）。

<敷幅の拡幅をした場合>



<敷幅の拡幅をしない場合>



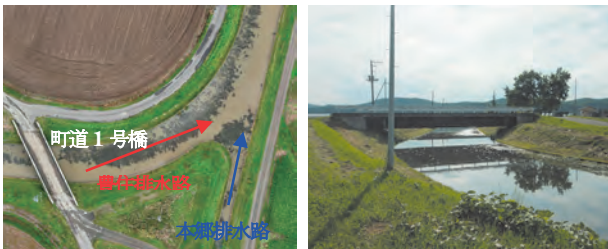
図－３ 概略計画検討案（豊住一本郷合流部）

(2) 水理的影響

合流工の形状を拡幅せず直線化した場合、合流部の水流の乱れにより水位上昇することが想定される。また、豊住一本郷合流工より 60m 上流地点において、排水路拡幅に伴う町道 1 号橋（写真－7）の架替えが計画されていた。このため、合流部での直線化において、以下の影響が懸念される。

- ・排水路敷幅を拡幅する場合と比較して、豊住一本郷合流工地点での水位の上昇が想定されるが、上昇する水位にあっても、計画河岸高までの必要な余裕高が確保できるか確認する必要がある。
- ・水位の上昇に伴い桁高を高くする必要がある場合、町道とのすり付け区間における縦断勾配が急になり一般車両の通行に影響が及ぶことが考えられる。

以上に挙げる理由から、合流部での流路形状によってもたらされる水理的影響を適切に評価する必要がある。



写真－7 町道 1 号橋

4. 河川解析ソフトウェア iRIC の導入

(1) 排水路合流部での水理評価手法

排水路の水理検討を行う際は、通常、計画水深は不等流計算または等流計算によって求めることが一般的である。しかし、本事例のように合流地点における水理エネルギーを適切に評価する必要がある場合には、不等流計算の前提となる既知水深や上下流の位置水頭差（水路勾配）や区間延長、粗度係数等を設定したとしても、不等流計算そのものは合流に伴うエネルギー変化を十分に表現できる手法ではないため、評価手法として適切とは言い難い。また、不等流で排水路の延長が水深に影響を及ぼさない（ $dh/dx = 0$ ）とした場合が等流計算に相当するという性質上、等流計算を用いても同様に適切な評価手法とはならない。

このため、合流部の水理的評価（合流部での計画水深の算定）を行う必要がある場合には、「河道計画

検討の手引き」²⁾に示される合流後の水位算定を可能とする手法がある。本川・支川それぞれの流量や敷幅、合流角度等（図－4）を変数として三次式に帰着させた水理式を求解するだけで、合流後の水位を比較的簡便に求めることが可能である。

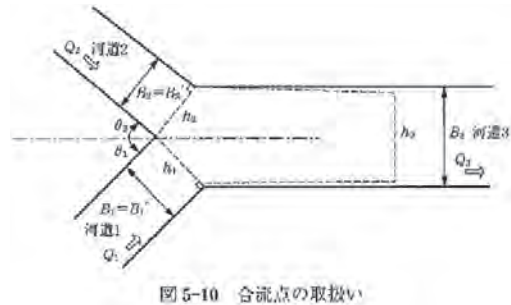


図 5-10 合流点の取扱い

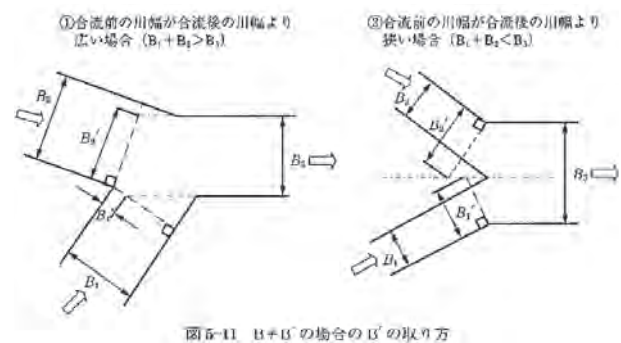


図 5-11 $B \neq B'$ の場合の B' の取り方

図－4 河道計画検討の手引きによる計算で使う変数

しかしながら、当該工区のように合流工直上流に橋梁が存在し、橋梁への影響評価や合流後のバックウォーター現象の検討等、より複合的な検討が必要な場合には、この手法だと、求めた合流部での水理結果をもとに、合流部から橋梁部までの区間延長に対して不等流計算を行うなどの作業が発生することとなる。

そのため、それらの二次的作業を要さず、かつ結果を視覚的にも把握しやすい形で整理できる手法として、本検討では河川解析ソフトウェア iRIC を用いて計画検討を行うこととした。

(2) iRIC の特徴

iRIC は、iRIC PROJECT が提供する、汎用性の高い河川解析を可能とするフリーソフトウェアである。現在では、全国各地で iRIC に関する研修会が多数開催されており、北海道においても、北海道開発局や北海道庁の河川技術職員を対象とした研修が実施されている。また、多くの大学や河川技術関連企業が団体会員として参画（図－5）しており、北海道大







一部財団法人 北海道
河川財団
 北海道大学
 USGS ~ U.S.
Geological Survey
 九州大学
 環境土木研究所

iRIC では、ホームページ上で多種多様なソルバーが公開されており、目的とする水理解析に応じたソルバーが平易に検索できる（図－6）。

5. 計画水理諸元

当該工区における計画流出量は、事業計画において計画基準雨量（2日間雨量 137 mm）での時間毎の流出量が算出されていたため、それをもとに iRIC での流出量設定を行った（図－7）。



表一 1 流量設定 (15hr ~ 30hr 抜粋)

時間(hr)	全流量Q	Qt(豊住:17.4km ²)	Qh(本郷:3.8km ²)
15	0.182	0.149	0.033
16	0.204	0.167	0.033
17	0.177	0.145	0.032
18	0.225	0.185	0.040
19	0.243	0.199	0.044
20	0.337	0.277	0.060
21	0.556	0.456	0.100
22	1.027	0.843	0.184
23	2.551	2.094	0.457
24	5.701	4.679	1.022
25	15.600	12.804	2.796
26	21.926	17.996	3.930
27	22.696	18.628	4.068
28	21.707	17.816	3.891
29	20.145	16.534	3.611
30	17.612	14.455	3.157

流量以外のその他計画水理諸元については、現地測量結果および上下流との一体的な整合性を精査し、事業計画の諸元を用いることとした（図－８）。

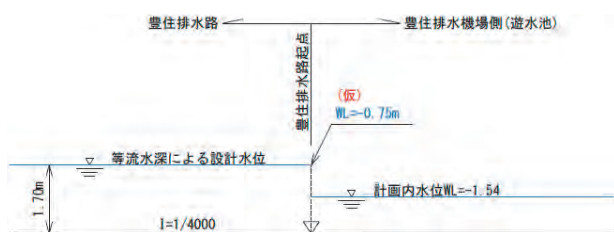
＜水理諸元＞

排水路線	區 間	區 長 Q (m)	計畫排水 量 Q (m ³ /s)	調整配分 Q (m ³ /s)	計畫總排 量 Q (m ³ /s)	計畫排水 量 Q (m ³ /s)
聖佐保排水路	No. 1 ~ 41.57 ~ No. 5 ~ 30.00	468.13	22.71	1/4.00	19.00	1.71
	No. 6 ~ 30.00 ~ No. 9 ~ 65.00	335.05	18.61	1/4.00	18.00	1.61
	No. 9 ~ 65.00 ~ No. 17 ~ 70.00	658.08	18.15	1/4.00	18.00	1.75
	No. 17 ~ 70.00 ~ No. 21 ~ 89.43 (調整=4.21m)	1,403.64	18.42	1/2.00	16.00	1.64
	No. 21 ~ 89.43 ~ No. 41.57 ~ 70.00	870.77	18.88	1/3.00	14.00	1.88

— 4 —

(3) 計画水深

洪水時における豊住排水路の起点部の計画水位は、豊住排水機場による強制排水を行う計画として、外水位より高くなり、背水の影響は受けない。よって、計画水深は等流水深計算にて評価を行うこととし、 $H=1.70\text{m}$ として設定した（図－9）。



図－9 豊住排水路起点部の水位関係

(4) 水路余裕高

計画排水路における水路余裕高については、土地改良事業計画設計基準及び運用・解説設計「水路工」³⁾に示される水路余裕高の算定方法のフローチャートに則った上で算出を行い、 $Fb=30\text{cm}$ の水路余裕高を見込むこととした。

6. iRIC での計画断面データの作成手法

(1) 排水路断面データの作成

iRIC ソフトウェアは河川解析を目的としたツールであり、一般的には河川断面データを取込み、各種解析や評価を行う用途で利用される。北海道内の主要な現況河川については、北海道開発局が河川定期縦横断測量データ（csv 形式）を公開しているため、これを活用することで、断面データ作成のために新たに測量を実施する必要がなく、効率的にデータを準備できる（図－10）。

水系名	河川名	距離標		縦断測量		横断測量		ダウンロードファイル	
		距離標成果	測量年度	測量成果整理表	測量成果（数値データ）	測量年度	測量成果整理表	測量成果（数値データ）	測量年度
石狩川（上流）	石狩川（KP175.2～177.4）	XLS	H30	XLS	CSV	H30	XLS	CSV	H30
	石狩川（KP177.6～181.0）	XLS	H30	XLS	CSV	H30	XLS	CSV	H30
	石狩川（KP181.2～185.0）	XLS	H30	XLS	CSV	H30	XLS	CSV	H30
	石狩川（KP185.2～191.8）	XLS	R1	XLS	CSV	H30	XLS	CSV	H30
	石狩川（KP192.0～195.6）	XLS	R2	XLS	CSV	R1	XLS	CSV	R1

図－10 河川定期縦横断測量データ（北海道開発局 HP）

また、iRIC では csv 形式に加え、点群データ（txt 形式）の読み込みにも対応している。そのため、本事例のように現況断面ではなく計画断面として断面デー

タを登録したい場合には、txt 形式で断面データを作成することで対応可能である。さらに iRIC では登録した断面データ区間に対して按分計算が行われる仕様となっている。このため、上下流で一定の河床勾配を有する河川であれば、左右岸における河床データ 4 点を設定するだけで、その区間の河床形状を再現することができる。

一方で、本事例のように合流部が R 形合流となっている場合（図－11）や、流量の違いから本郷排水路（支川）から豊住排水路（本川）にかけて敷幅を拡幅させる必要がある場合には、多数の座標点を設定しなければならない。

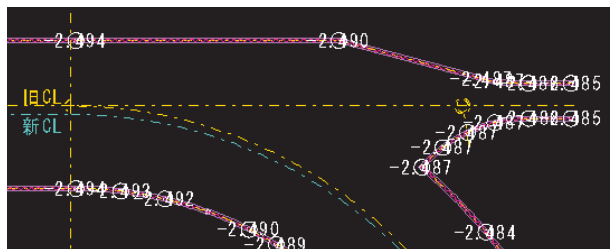


図－11 当該工区の合流工形状

図－11 に示すような曲線と直線を組み合わせて排水路形状を作成していくという条件下では、各座標を一点ずつ手入力する作業は非常に煩雑であり、入力ミスが発生しやすいという問題も伴う。

(2) ezdxf を用いた排水路断面データの作成

前記から断面データの作成にあたっては、Python による ezdxf ライブラリを採用した。ezdxf は、CAD 図面形式である DXF ファイルの読み込み・書き込み・編集を Python 上で行うことができるオープンソースライブラリである。本検討では、計画断面データの作成にあたり、この手法を活用した。具体的には、CAD 上の計画平面図において、点群データを追加したい位置を中心とした円を作図し、その内部に標高値（計画河床高）をテキスト情報として入力した。（図－12）。



図－12 CAD から三次座標点データの作成

さらに、これらの円データおよびテキストデータに対し、プログラムが認識可能となるレイヤー設定を行い、プログラムを実行することで、円中心の座標値(x, y 座標)とテキストで入力した標高値(z 座標)を統合し、1つの三次元座標データとして処理することができる。これにより、CAD内に設定された全ての座標点情報を点群データとして出力可能な仕様となっている(図-13)。

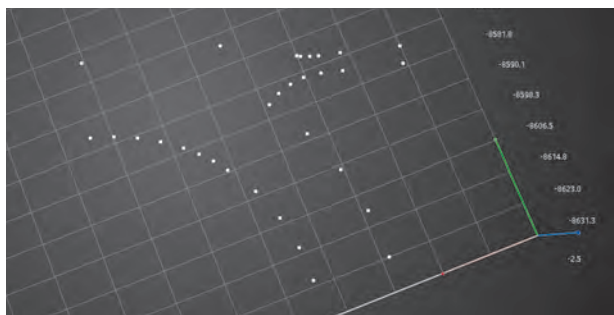


図-13 生成された sim データ

本件では、sim データとしての出力を目的としてプログラムを用いたが、RGB 情報を組み入れた txt 形式でもプログラムの仕様を変更すれば出力が可能となっている。

このように、CAD 図面を活用したプログラムは、iRIC ソフトウェアの利用有無にかかわらず、CAD 使用者のニーズに応じてプログラムの仕様を適宜変更することで、多種多様な設計業務に活用できるように利便性が高く、作業時間の短縮や人手による入力ミスの防止等の業務効率化について有効性の高い手法といえる。

7. iRIC ソフトウェア設定

(1) 格子の作成・障害物セルの設定

計画断面データの作成・登録が終了すると、次の工程として、iRIC ソフトウェア上での格子生成作業へと移行する。流路形状が単純な直線形であれば比較的容易に設定できるが、合流工のように複数流路の設定を伴う場合には、流路構造を踏まえた格子設定をあらかじめ見通しておく必要があり、一定の習熟を要する作業となる。

また、格子生成作業の要点については、ソフトウェア内部で行われる水理計算の破綻や計算エラーの発生を防止するため、流路断面を構成する格子の行列数および格子サイズを適切に設定することが重要で

ある。

なお、格子生成時の留意事項については、「iRIC を操作する上での注意点について」(北海道河道技術研究会資料)⁴⁾に特に留意すべき点が詳細にまとめられているため活用できる(図-14)。

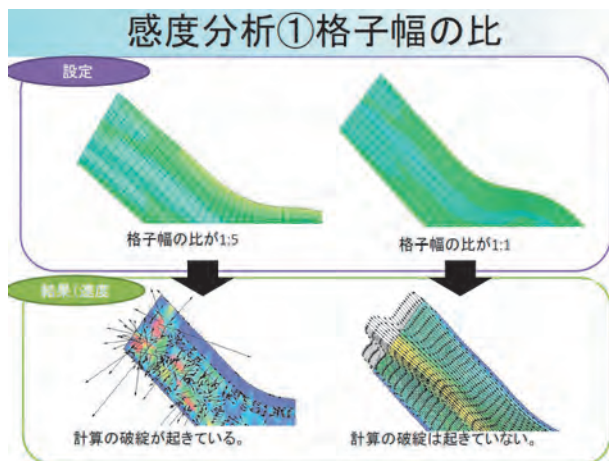


図-14 北海道河道技術研究会資料(感度分析①格子幅の比)

次工程として障害物セルの設定が必要となる。通水させない格子を障害物セルとして設定することで、合流部の形状を設定することが可能となる(図-15, 16)。

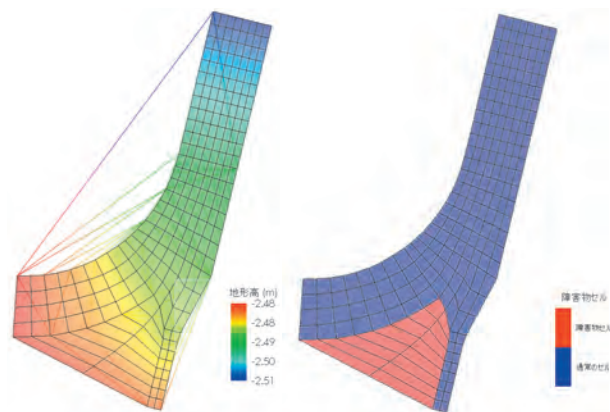


図-15 iRIC での格子生成 図-16 iRIC での障害物セル設定

(2) 計算条件の設定

合流工を iRIC で検討する場合、「計算条件」からソルバー・タイプの選択で「スタンダード」から「アドバンスド」へ変更を行う。変更後、合流点の情報が入力可能となるので、合流工の格子情報を生成した格子に合わせて入力すれば、合流の検討が可能となる(図-17)。

ソルバータイプの選択 *アドバンスト

河床変動計算 無効

移流項の差分方法 CIP法

本川横断方向開始格子番号(j_m1) 1

本川横断方向終了格子番号(j_m2) 2

支川横断方向開始格子番号(j_t1) 5

支川横断方向終了格子番号(j_t2) 8

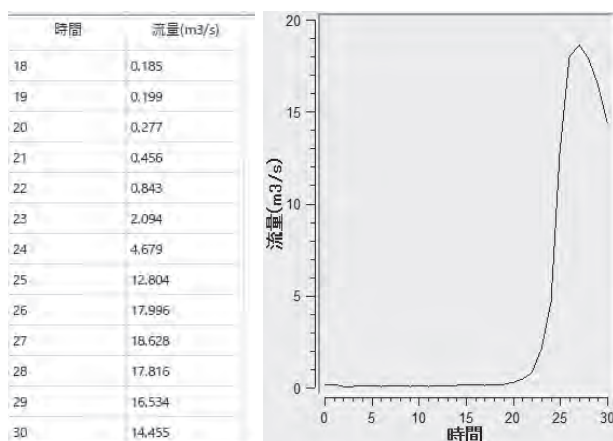
本川縦断方向支川開始格子番号(i_t1) 9

本川縦断方向支川終了格子番号(i_t2) 12

図－17 合流工の設定 (iRIC)

(3) 境界条件の設定

境界条件では、主に本川と支川の時間毎流量を設定する。流量は、5. (1)「流量設定」で示した内容で設定した。また、流量変化の時間単位は「秒」または「時間」から任意に設定できる仕様となっている（図－18）。



図－18 豊住排水路 (Qt) での流量設定 (iRIC)

(4) 計算実行

前記の各設定が終了したら、計算実行コマンドを押す。計算エラーがなければ、設定した時間間隔で計算が出力され、計算結果が確認可能となる。エラーが発生した場合は、計算が回らない、または、“Calculation is failure!” のコメントが表示されるため、エラー原因（各種設定や流量条件での誤り）を特定したうえでエラー処理を施し、再度計算コマンドを実行する（図－19）。

```

0.000 0.0340 0.1570 -2.4140 0 out
900.000 0.0340 0.1570 -2.4140 2 out
1800.000 0.0340 0.1570 -2.4140 1 out

Calculation is failure!

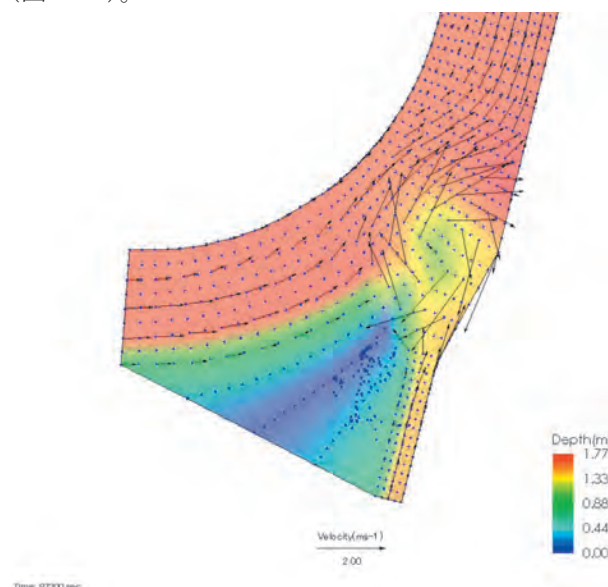
```

図－19 計算実行の成功例（上）と失敗例（下）(iRIC)

8. 豊住一本郷合流工の水理的評価

(1) iRICによる水理解析結果

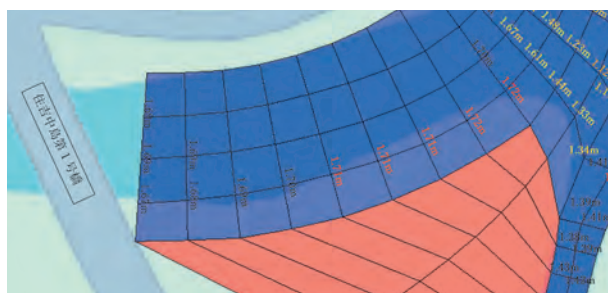
合流敷幅を拡幅しない場合において、豊住一本郷合流部では右回りの渦流の発生が確認された。計画最大水深は $H=1.77\text{m}$ であり、最大洪水流量での等流水深 $H=1.70\text{m}$ と比較して、 0.07m の差が生じた（図－20）。



図－20 iRIC での計画水深図

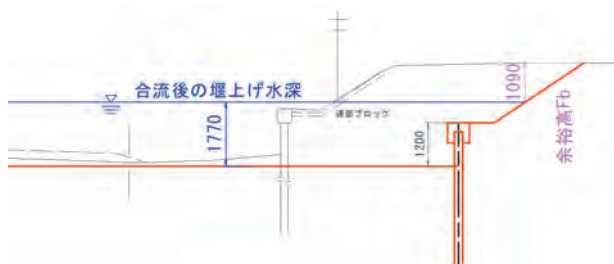
また、橋梁工への水位影響については、合流前での豊住排水路の計画等流水深は $H=1.60\text{m}$ であるが、詳細設計後の解析では、橋梁工近傍において $H=1.69\text{m}$ となることが確認された（図－21）。これについては、右回りの渦流が本川側へ強く張り出していることが iRIC 上で確認されることから、本川通水部の狭小化に伴い排水の滞留時間が増大したことによって、橋梁工付近の水位上昇につながったものと考えられる。

ただし、橋梁工の設計では、合流後水深 $H=1.70\text{m}$ を基準水深としてさらに余裕高を見込んでいるため、今回算出された $H=1.69\text{m}$ は、設計上許容範囲内であり、桁高を高くする必要はないことを確認した。



図－21 橋梁1号橋への影響評価

前記の水理解析結果と併せて、合流工の近傍地点における排水路余裕高は十分確保できることを確認した上で、豊住一本郷合流工の成果として取りまとめた（図－22, 23）。



図－22 排水路余裕高の検証



図－23 豊住一本郷合流部 計画 3D イメージ

今回、iRIC による水理的評価に基づき、発注者に確認を得た上で、合流工を直線化できたが、これについては、

- ①現況が直線形状であるため、合流部を直線化することが水理的に支障を生じさせるとは考えにくかった点。
- ②計画勾配が $I=1/4,000$ と緩勾配であり流速が小さいため、水流の乱れによる水位上昇量も小さい点。などが主な事由として挙げられる。

以上から、3 章に示す課題を解決でき、隣接する農地での農作業効率の確保に寄与できたと考えている。

9. おわりに

当該工区の水理的検討では iRIC を用いたが、対象箇所を視覚的に確認できるほか、流水方向や流速、横断面などを即座に把握することができた。そのため、発注者との打合せの際には PC 一台を持参し、画面上の映像確認による円滑な協議の実施に寄与する点が大きな利点である。

謝辞：本業務を遂行するにあたり、北海道開発局網走開発建設部網走農業事務所をはじめ、地元関係機関の皆様には、地元調整の準備や多くの助言を賜り、円滑に作業を進めることができましたことに感謝致します。

（株式会社ドボク管理 設計部 課長（技術士））

引用文献

- 1）北海道開発局農業水産部：排水路計画設計技術指針 平成 25 年 3 月
- 2）国土技術研究センター：河道計画検討の手引き 平成 14 年 2 月
- 3）農林水産省農村振興局：土地改良事業計画設計基準及び運用・解説設計「水路工」平成 26 年 3 月
- 4）北海道開発局建設部河川計画課：北海道河道技術研究会資料 平成 24 年 12 月

3次元設計の導入効果と課題

－旭東地区ICT導入実証事業における試行－

奥村 琴音

1. はじめに

近年、建設業界では人手不足の進行により、生産性向上が大きな課題となっている。農業農村整備分野においても、限られた人員で効率的かつ高品質な事業の実施が求められており、3次元データの活用をはじめとするICTの導入による生産性向上の取組が進められている。

このような背景のもと、農林水産省は令和5年度に「先端技術導入実証事業」¹⁾を創設し、その一環として、国営緊急農地再編整備事業等の実施地区を対象としたICT導入実証事業を展開している。本実証事業では、①測量・設計段階における3次元データの作成、②作成した3次元データを活用したICT施工の導入による生産性の向上、③測量・設計・施工を一体とした整備の標準化に向けた情報の整理などに取り組んでいる。

そこで本稿では、令和7年度に受注したICT導入実証事業の対象業務である「旭東地区53農区区画整理設計等業務」（以下、「本業務」という）において、3次元設計の試行により明らかになった導入効果および運用上の課題について報告する。

2. 業務概要

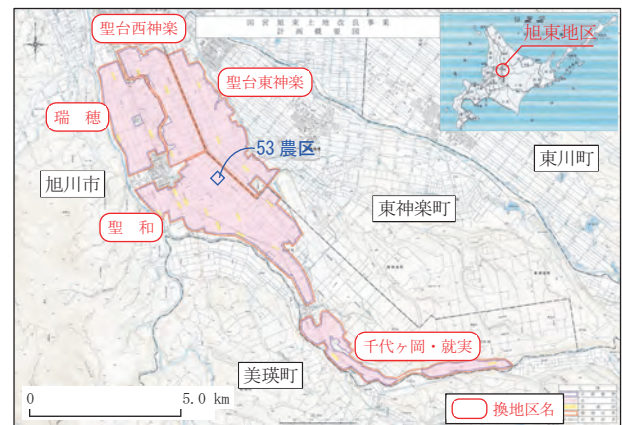
(1) 旭東地区の概要

国営緊急農地再編整備事業「旭東地区」の受益地は、旭川市街地の南部に位置し（図－1）、旭川市と東神楽町にまたがる水田地帯である。本地区は、小区画ほ場の割合が高いことに加え、排水不良を抱えるほ場も多く、これらが効率的な農作業の妨げとなっている。さらに、農業従事者の高齢化や後継者不足により、経営耕地の分散化と耕作放棄地の増加が深刻な課題となっている。

このため、本事業では区画整理により、耕作放棄地を含めた農地の土地利用を計画的に再編する。これにより、担い手への農地の利用集積を進め、生産性と収益性の向上を図る。あわせて、耕作放棄地の解

消および発生防止による優良農地の確保を目指し、農業の振興と地域の活性化に資することを目的としている。

また、本地区はICT導入実証事業の対象となっており、令和6年度から令和9年度にかけて、情報化施工や3次元データ等のICTを活用した事業実施の効率化と、営農・維持管理の省力化および高度化に向けた取り組みも並行して進められている。



図－1 「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) 本業務における3次元設計の概要

本業務における3次元設計の試行は、旭東地区53農区を対象に、実施設計段階で3次元設計データを作成し、従来の測量設計の作業のうち、3次元測量設計の作業に置き換えることで省力化や精度向上等が得られるものを洗い出すとともに、3次元設計データを後工程へ引き継ぐ際の課題を抽出することを目的とした。

実施内容は以下のとおりであり、詳細については後述する。

- ・地形サーフェスモデル作成
- ・3次元ソフトウェアを用いた土量計算
- ・3次元設計データ作成
- ・設計内容の確認
- ・地元説明用モデルの作成

- ・ 統合モデルの作成
- ・ 3次元測量設計による省力化・精度向上効果の検証

3. 設計条件

3次元設計の実施にあたっては、農林水産省による「国営土地改良事業等における BIM/CIM 活用ガイドライン（案）」^{3) 4)}（以下、「ガイドライン案」という）に準拠して3次元データを作成した。

(1) 3次元設計作業

実施した3次元設計の作業項目と内容等を、表－1に示す。地形サーフェスモデル、各施設の3次元設計データ、設計内容確認用モデル、地元説明用モデル、統合モデルの作成を行った。

表－1 3次元設計の作業項目と内容等

作 業 項 目	作 成 内 容 等
1. 地形サーフェスモデル	0.5m × 0.5m グリッドデータから作成
2. 3次元設計データ	
2－1. ほ場	計画ほ場のサーフェスモデル
2－2. 農道・畦畔	支線農道及び畦畔のサーフェスモデル 取付道路のサーフェスモデル
2－3. 用水路（管水路）	管水路本体のソリッドモデル
2－4. 排水路（管水路）	管水路本体及び柵のソリッドモデル
2－5. 進入路	進入路のサーフェスモデル
3. 設計内容確認用モデル	現況地物のサーフェスモデル （家屋、ビニールハウス等）
4. 地元説明用モデル	現況地形サーフェスモデル及び 3次元設計データ
5. 統合モデル	LandXML や IFC 等で出力

(2) 使用測量データ

令和6年度58農区西工区区画整理設計等業務（以下、「過年度業務」という）において、53農区を対象に3次元点群測量（UAV写真点群測量）が実施され、現況点群データが取得されている。本業務では、その点群データを活用した。

(3) 詳細度

詳細度は、ガイドライン案⁴⁾に示されるほ場整備工のモデル詳細度（案）を参考として設定した。本

業務では、詳細度200から詳細度300程度を基本として3次元設計データを作成した。詳細度の設定にあたっては、設計段階で必要な精度を確保するとともに、過剰な詳細化による作業工数の増大を回避し、施工段階への円滑なデータ引き継ぎを実現するため、実用上必要かつ十分な情報量とすることを基本方針とした。

(4) 属性情報の付与

作成した用排水路の管体および柵の3次元モデルに対し、規格・材質等の属性情報を付与した。

(5) 使用ソフトとデータ形式

本業務で使用したソフトウェアおよびデータ形式を表－2に示す。

3次元設計に用いたソフトウェアは「V－nasClair（川田テクノシステム）」である。国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構（以下、「農研機構」という）が開発中のほ場の3次元モデル自動生成ソフトウェア「FarmBlue」については、3次元設計で求められる成果への対応に制限があったため、業務着手当初の概略検討段階での活用に留めた。

表－2 使用ソフトとデータ形式

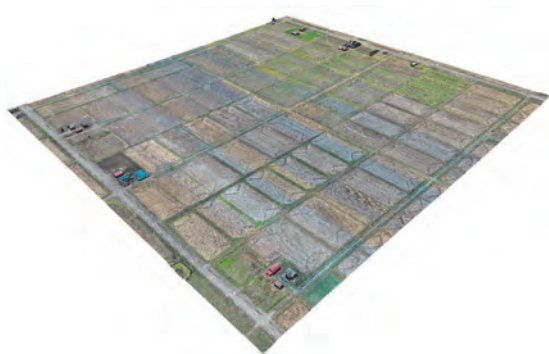
作業項目	使用ソフトウェア	オリジナルデータ拡張子	納品時拡張子	作業対象
地形サーフェスモデル	3D－BASE PRO （未来システム工房）	.mbpf	.xml	点群処理、サーフェスモデル作成
3次元設計	V－nasClair （川田テクノシステム）	.bfox	.xml .ifc	全般
	FarmBlue （農研機構）	.blue	.xml	概略検討
3次元土量計算	AGRI Field Planner （未来システム工房）	.mldp	.csv	計画高算出

4. 3次元設計の実施内容

実施した3次元設計の各作業手順と内容について詳述する。

(1) 地形サーフェスモデル作成

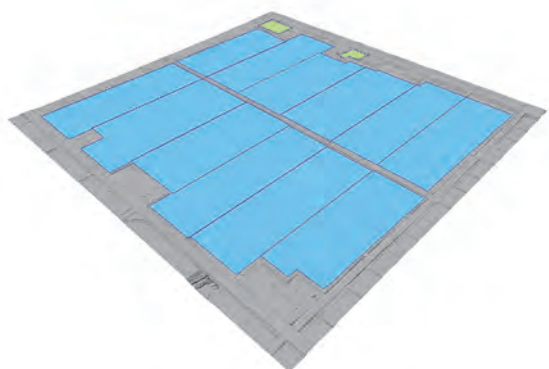
過年度業務で取得した点群データ（グラウンドデータ）から、0.5m × 0.5m グリッドデータを生成し、図－2に示す現況地形サーフェスモデルを作成した。



図ー２ 現況地形サーフェスモデル

(2) 3次元ソフトウェアを用いた土量計算

地形サーフェスモデルと同じ点群データをもとに、区画ごとの均平ほ場標高を算定した（図ー３，表ー３）。区画は、換地計画案をもとに、現況地形や標準区画を考慮して検討し、発注者・地元関係機関・受益者との協議結果等を反映したものを用いた。算定にあたっては、支線農道や畦畔などの築造に使用する土量を控除して計画高を決定した。



図ー３ 区画設定画面 (AGRI Field Planner)

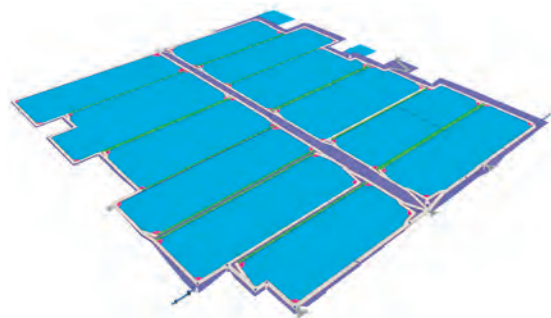
表ー３ 53農区土量計算結果

耕区 番号	田畑 区分	区画面積 (m^2)	修正標高 (m)	切土土量 (m^3)	盛土土量 (m^3)	残 土 (m^3)
1	田	24966.484	183.545	4833	4154	679
2	田	31032.929	184.135	4632	4437	195
3	田	24132.441	184.874	5002	4979	23
4	田	20297.279	186.295	12404	11959	445
5	田	23217.16	187.655	20531	20382	149
6	田	23844.36	187.785	18332	18138	194
7	田	21655.25	184.475	9789	9279	510
8	田	22504.669	183.424	14427	14424	3
9	田	18835.601	185.125	4093	4068	25
10	田	26317.785	188.895	23256	22986	270
11, 13	田	22632.735	189.844	23188	23032	156
12	田	22041.74	190.494	19900	19546	354
22	畑	2788.92	190.144	323	320	3
23	畑	1324.324	192.475	225	205	20
計		285591.677		160935	157909	3026

(3) 3次元設計データ作成

区画形状・畦畔・用排水路・農道・進入路等の3次元設計データを作成した（図ー４）。農道については舗装構成を含めてモデル化するとともに、法面サーフェスモデルも含めて作成した。用排水路については管体および排水柵をソリッドモデルとして作成した。

設計の各段階（第１回地元説明会・第２回地元説明会・最終設計）における発注者・地元関係機関・受益者との協議結果は、説明会のあとでモデルに反映した。

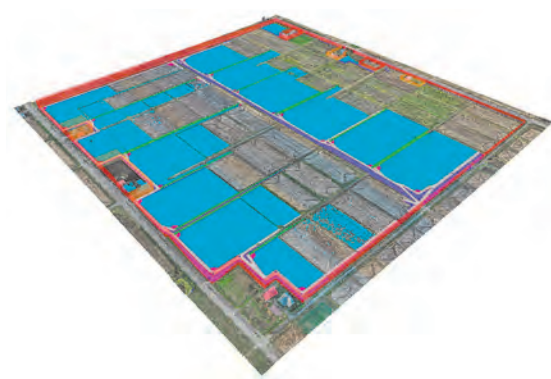


図ー４ 最終3次元設計データ

(4) 設計内容の確認

地形サーフェスモデルと3次元設計データを重ね合わせた設計内容確認用モデル（図ー５）を作成し、次の事項について確認した。

- ・農区外周および不施工地周辺における法面の影響範囲
- ・埋設管等の交差部における干渉の有無と必要離隔の確保状況



図ー５ 設計内容確認用モデル

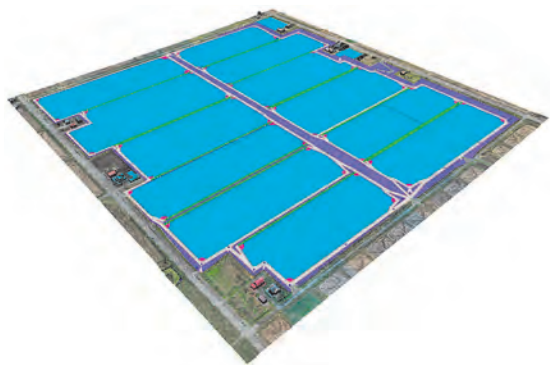
(5) 地元説明用モデルの作成

第１回・第２回地元説明会に向けて説明用3次元モデルを作成した。また、設計の完成形状を表現し

た簡易的な BIM/CIM モデルを作成した。

(6) 統合モデルの作成

地形サーフェスモデルと最終計画の 3 次元設計データを統合して、農区全体の統合モデル（図－6）を作成した。要素ごとに LandXML 形式や IFC 形式等でデータ出力を行い、施工段階への引き継ぎデータとして整理した。



図－6 統合モデル

5. 3次元測量設計による省力化・精度向上効果の検証

測量・設計の各工程について、従来手法から 3 次元測量設計に置き換えることで省力化や精度向上等が得られるものを洗い出すとともに、その効果を定量的に示した。本業務では比較のため、従来手法と 3 次元測量設計を並行して実施した。作業日数および作業時間の比較には、本業務における実績の日数または時間を用いた。

(1) 横断測量

1) 従来手法

本業務における横断測量は、測量間隔 50m であり、現況地形や想定される区画割等を考慮した横断測量位置の選定に時間を要した。また、地形変化が多い場合、詳細な地形を捉えきれないことがあるため、測点間は単点等により補完した。

2) 3次元測量設計

3 次元測量データを用いたことで次のような利点があった。

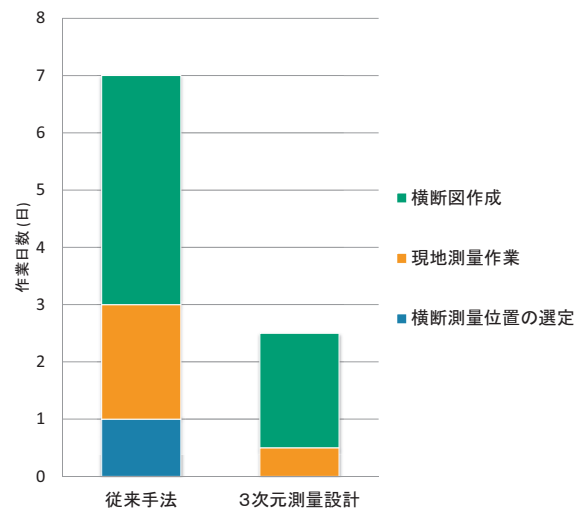
- ・地形データを面的かつ連続的に一括で取得できる。現地での横断測量作業がほとんど不要となるため、作業量を削減できる。ただし、UAV写真点群測量では捉えきれないトラフ等

の既設作工物および植生が繁茂する箇所については補測が必要となる。

- ・過年度業務で取得した点群データを活用することで、横断面図や補足測量図等の作成を待つことなく、業務着手後の早い段階から計画検討を開始できる。
- ・3次元現況モデルから任意の位置で横断面図を作成できるため、計画変更等により横断面位置が変更となった場合でも、追加測量を行う必要がない。

3次元測量により、詳細な地形形状の取得と任意位置での横断面図データ作成が可能となる。図－7に示すとおり、従来の横断測量よりも作業日数を大幅に削減できることから、測量の効率化、設計の早期着手が見込まれる。

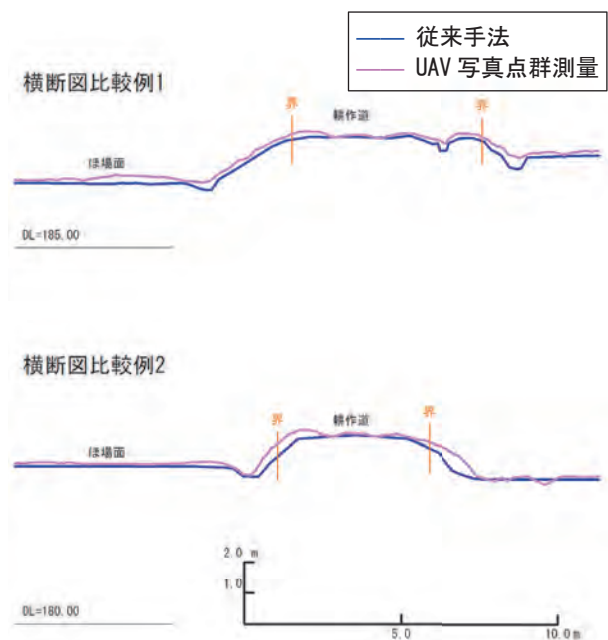
また、取得した点群データは横断面図作成以外の工程においても広く活用可能であり、設計プロセス全体の効率化に寄与する。さらに、施工段階での起工測量が不要となるなど、複合的な効果を有することから、事業全体を通じたコストの削減につながるものとする。



図－7 横断測量における作業日数比較

なお、正確な地形モデルを作成するためには、3次元測量の実施時期に留意する必要がある。本業務では、降雪前の植生が枯死して倒伏した時期（令和 6 年度 10 月 31 日）に UAV 写真点群測量により取得された点群データを活用した。従来手法による横断面図と同位置で地形を比較しても両者の差は、図－8

に示すとおり小さいことから、設計を行う上で支障はなかった。このため、3次元測量の実施時期は、地盤高を精度よく取得できる融雪後で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と考える。



図－8 従来手法と UAV 写真点群測量の横断面図比較

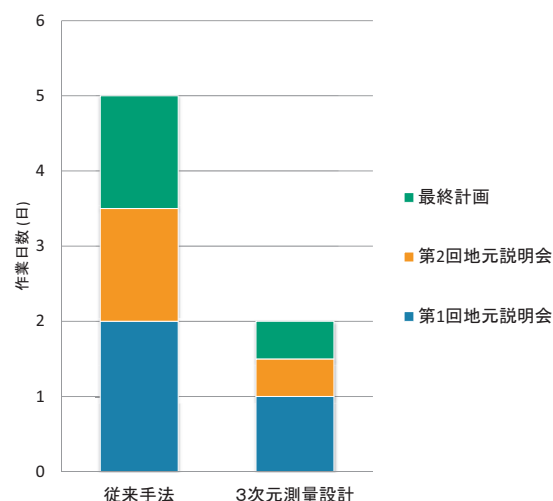
(2) 計画高の算定

1) 従来手法

従来の加重平均法では、計画区画内に含まれる複数の現況ほ場の平均標高および面積を用いて計画ほ場高を決定するため、区画ごとに面積の計測および計算作業を行った。また、計画変更時には面積の計測からやり直す必要があるため、作業に時間を要した。さらに、本手法は平均標高を用いるため、水路等の溝地部および農道等の高位部の扱いや、地形起伏の状況によっては、施工後の実際のほ場高との間に誤差が生じる場合があった。

2) 3次元測量設計

3次元土量計算では、計画区画の入力により地形サーフェスモデルから各区画の計画高を算出でき、区画変更時も自動的に再計算されるため、作業時間が大幅に短縮された(図－9)。また、現況地形の凹凸を反映した3次元モデルを用いることで、施工時との誤差が小さくなると考えられる。



図－9 計画高の算定における作業日数比較

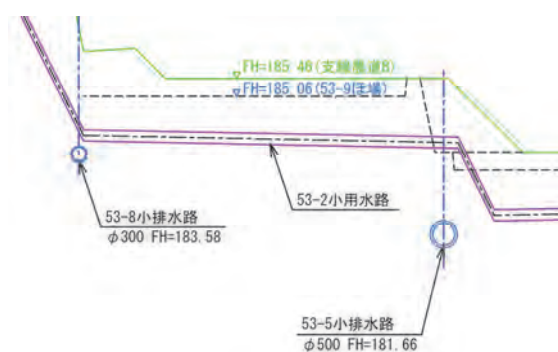
(3) 法面の影響範囲や構造物間の交差・干渉の確認

1) 従来手法

農区外周および不施工地周辺では、計画法面が農区外区域や不施工地へ干渉しないこと、ならびに意図しない余り地が生じないことを確認する必要がある。このため、法面の影響範囲を横断面図や補完した測量点により個別に確認した。

また、構造物や埋設管等が交差する箇所は、縦断面図等に交差管を描き起こし、干渉の有無や必要離隔の確保状況を確認した(図－10)。

これらの確認作業では、図化に多大な時間を要するほか、見落としのリスクを伴うため、確認精度にも課題があった。

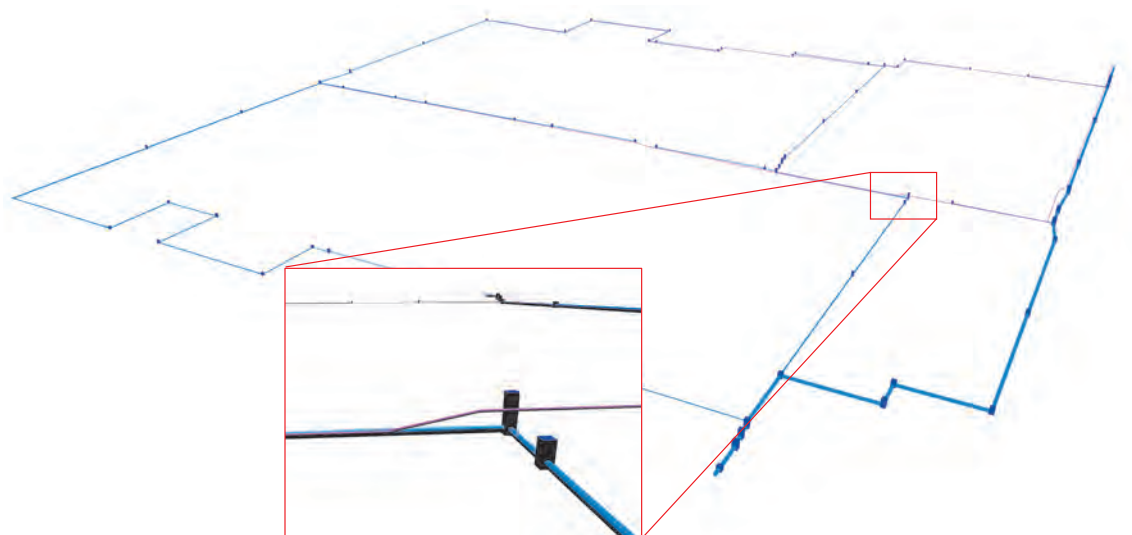


図－10 縦断面図による交差管の確認箇所の例

2) 3次元測量設計

現況地形と計画形状の擦り付け状況が地区全体で3次的に可視化されるため、法面の影響範囲を俯瞰的に確認することができた。

また、埋設管等を3次元モデルで再現することで、



図－11 3次元モデルによる埋設管交差箇所の確認状況
(左下の拡大図により用水路（ピンク）と排水路（青）の交差状況を確認できる）

交差部における干渉の有無や必要離隔の確保状況を容易かつ正確に確認できた（図－11）。これにより、図化作業が削減されるとともに、設計精度の向上および設計手戻りの抑制が期待される。

なお、この（3）節の作業だけに費やした時間の特定ができなかったもので、グラフによる作業時間比較は行わなかった。

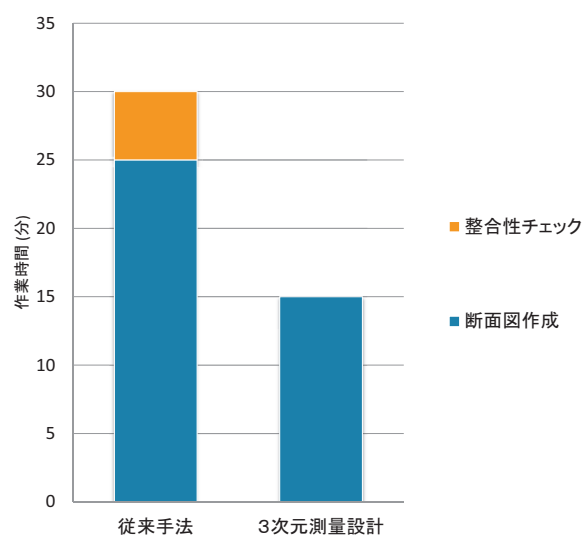
（4）2次元図面の作成

1）従来手法

計画平面図、縦断面図、横断面図等の複数図面を相互に照合し、整合性を確認しながら図化した。このため、図面作成およびチェック作業に多大な時間を要し、計画変更が生じた場合も、全図面にわたる修正作業を行った。

2）3次元測量設計

計画3次元モデルを作成することで、縦断面図および横断面図を任意位置で切り出し図化することが可能となり、複数図面間における照合作業が不要となった。これにより、図面作成およびチェック作業の時間を削減できた。横断面図5断面の作成にかかる時間を比較した結果を図－12に示す。また、計画変更時も3次元モデルの修正を起点として各図面へ反映できるため、変更作業量の削減と図面間の整合性の向上が見込まれる。



図－12 2次元図面の作成における作業時間比較
(横断面図5断面あたり作業時間での比較)

（5）関係者との合意形成

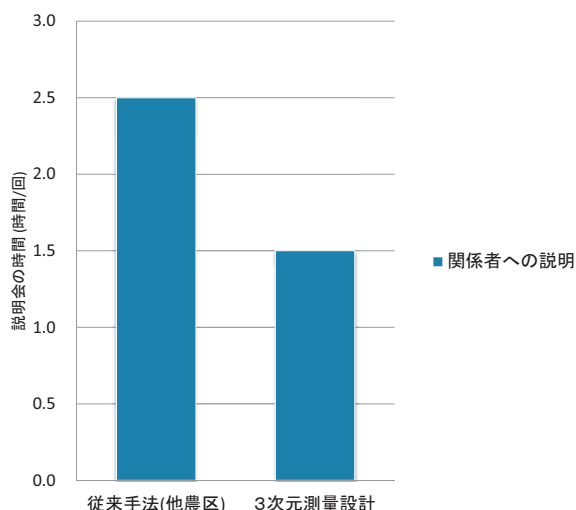
1）従来手法

本業務では、従来手法の2次元図面のみを用いた説明を行っていない。過去の類似業務における2次元図面のみによる説明では、図面に不慣れな受益者にとって計画形状を立体的に把握することが難しく、計画内容の説明に多くの時間を要していた。また、設計段階で十分な理解が得られないことにより、施工段階で計画変更の要望が生じる場合もあった。

2) 3次元測量設計

本業務では、3次元モデルを活用することで、現況地形と計画を立体的に可視化し、施工後の完成イメージを具体的に共有できた。その結果、受益者を含む関係者の理解促進と円滑な合意形成が図られるとともに、説明会に要する時間を短縮することができた（図－13）。なお、比較には、説明内容の分量が同程度とみなせる他の農区において、従来手法での説明に要した時間を用いた。

また、計画の初期段階から受益者の要望を引き出すことにもつながり、後工程での手戻り削減にも寄与する。本業務では、第1回地元説明会において、取付道路の設置位置を3次元モデルにより確認した結果、営農時の走行性や安全性を考慮し、高低差の小さい位置へ変更する方針をその場で決定することができた（図－14, 15）。



図－13 受益者説明会の時間比較

6. 運用上の課題

3次元設計の試行を通じて、省力化効果および精度向上効果があることを確認した。一方、後工程への引き継ぎやさらなるBIM/CIM活用に向けては、次のような課題があると感じた。

(1) ソフトウェア間のデータ互換性

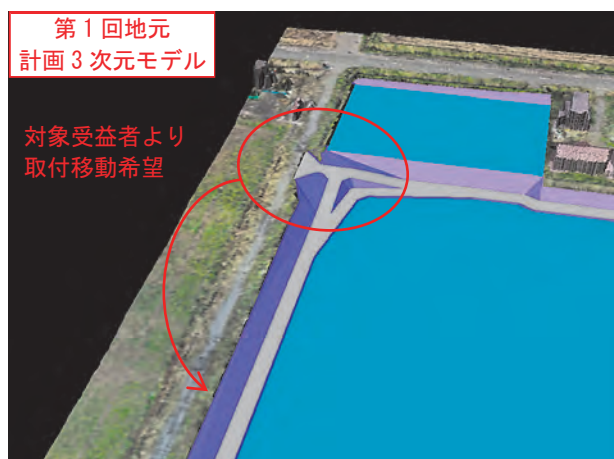
設計段階から施工段階への3次元設計データの引き継ぎにおいて、データファイルの互換性に起因する課題がある。BIM/CIMを実現するためには、設計・施工・維持管理の各段階において情報の参照および編集が可能な3次元モデルを設計段階で作成し、後工程へ引き継ぐことが求められる。

3次元設計データの形式には、異なる設計ソフトウェア間でのデータ共有のために定められたデータ形式が数種類ある（LandXMLやIFC等）。しかし、同一のデータ形式を指定したとしても、各ソフトウェアが出力するデータ形式は仕様が完全には統一されておらず、異なるソフトウェア間でのデータ受け渡しに際して変換作業や情報の欠落が生じる場合がある。

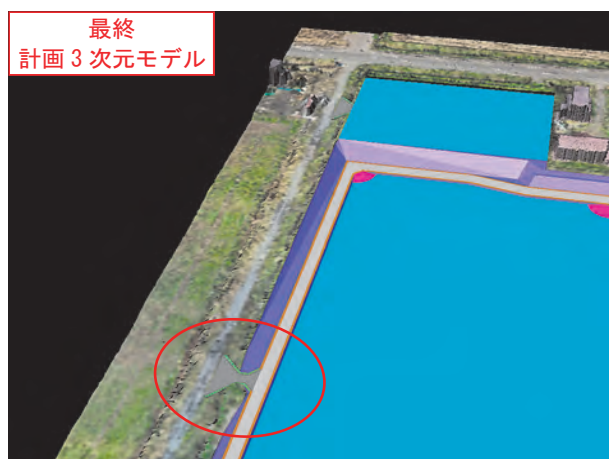
本業務では、ソフトウェアの互換性を考慮して工種別のデータを個別に作成するなどの工夫により施工時の活用性向上を図ったが、根本的な解決策としては標準フォーマットの整備と各ソフトウェアの対応強化が必要である。

(2) 設計・施工間で求められるデータの相違

設計段階で作成した3次元データは、施工用3次元データとは詳細度やデータ構造が異なるた



図－14 第1回地元説明時の取付道路移動希望



図－15 受益者要望による取付道路設置位置の変更

め、施工段階で再作成が行われているのが実態である。

その要因の一つは、設計者が施工で求められるデータ要件を十分に把握できていない点にある。対策としては、施工者が実際に使用した3次元データを設計者へ還元する仕組みを設けることが有効と考える。ただし、施工用データの仕様は施工業者や使用機械によって異なるため、受け取った施工データを設計段階で完全に再現することを目指すのではなく、施工で必要となるデータがどのようなものか、理解を深める参考情報として蓄積・共有することが現時点の実態に即した対応と考える。

もう一つの要因として、施工者に設計データの精度・品質が伝わっていない点が挙げられる。設計モデルの品質情報が明示されないまま引き渡される場合、施工者はデータの信頼性を自ら検証しなければならず、その手間を回避するために再作成している場合もあると考えられる。特に、設計段階で作成した現況地形サーフェスモデルについても、施工段階で利用可能な精度を有しているか否かの判別ができないために、再作成が行われる場合がある。データ検査の実施状況といったメタデータの記載様式を標準化するなど、引き渡しの段階で精度を担保することが求められる。

設計から施工への円滑なデータ引き継ぎを実現するためには、各段階で求められるデータ仕様を明確化し、設計段階から施工での利用を見据えたデータ作成方針を定めることが重要である。

(3) 属性情報付与に関する基準の未整備

属性情報付与については、ガイドライン案⁴⁾に属性項目の例(表-4)などが示されているが、農業農村整備分野では具体的な付与基準が未整備である。また、使用するソフトウェアによって、属性付与方法の仕様が異なる。このため、各業務において発注者との協議により個別の判断で属性情報を設定することとなり、データの引き継ぎに支障が生じる。工種・要素ごとに付与すべき情報の基準整備と標準化が望まれる。

表-4 属性項目の例⁴⁾

●用排水路工、暗渠排水工

工程	属性種別	属性名称
設計時、施工時	部材情報	ID
		構造物名称
		部材名称 1
		部材名称 2
		部材名称 3
		部材番号
	その他付属物情報	種別
		製造業者
		製品名
		種類
		材質
	ファイル貼付 (カタログ等)	長さ
		幅(径)
		ファイルリンク 1
		ファイルリンク 2
		ファイルリンク 3

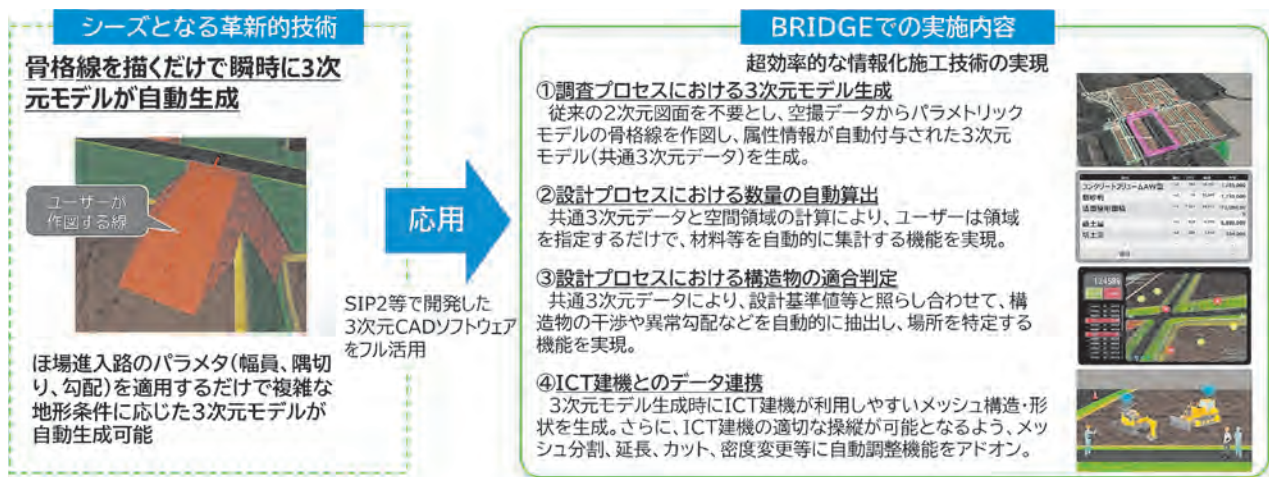
(4) 参考となる標準モデルデータの不足

設計段階で求められる3次元設計データおよび施工引き継ぎデータについて、参考となる標準モデルデータが整備されていないことも課題である。農業農村整備分野でのBIM/CIM活用は発展途上にあり、業務を受注した設計者が3次元設計データの作成水準・内容・形式を判断するための指針が乏しい状況にある。作成すべき3次元設計データの標準モデルデータが整備され、設計者が参照できる環境の構築が望まれる。

7. おわりに

本報文では、先端技術導入実証事業¹⁾の対象として選定された旭東地区53農区を対象に実施した3次元設計の試行について、その実施内容および従来手法との比較検討の結果を報告した。本事例を通じて、農業農村整備分野における3次元設計の有効性と課題の一端を確認することができた。

農業農村整備分野においては、調査・設計・施工・維持管理に至る一貫したデータ活用体制の構築が進めば、BIM/CIMの普及が大きく進むと期待される。令和8年度に内閣府の「研究開発とSociety5.0との橋渡しプログラムBRIDGE施策」に採択された「パラメトリック3次元CADを用いた情報化施工技術の開発による大区画ほ場整備の加速化」計画⁵⁾においては、超効率的な情報化施工技術の開発が進められている。この計画では、本業務においても概略検討に活用した「FarmBLUE(農研機構)」を応用することにより、調査・設計・施工の各プロセスで共用可能なパラ



図ー16 「パラメトリック3次元CADを用いた情報化施工技術の開発による大区画ほ場整備の加速化」 概要図⁵⁾

メトリック3次元データを生成し、各プロセスにおける作業時間の大幅な短縮を目指している(図ー16)。

こうした先進的な動向を注視し、建設コンサルタントとして協力できる機会があれば、積極的に取り組んでいきたい。また、本業務で得られた知見および技術的課題を踏まえ、さらなる実践を積み重ねることで、農業農村整備事業における業務の効率化・高度化に貢献したい。

当該業務及び本報文の作成にあたり、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の各位、およ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 主任
(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) 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)
- 4) 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)
- 5) 内閣府:令和8年度採択 BRIDGE 施策一覧, パラメトリック3次元CADを用いた情報化施工技術の開発による大区画ほ場整備の加速化, https://www8.cao.go.jp/cstp/bridge/saitaku_r8.html (令和8年7月1日参照)

デジタル技術の活用による現場作業の 省力化・効率化事例

金安 潤・宮崎 寛隆

1. はじめに

我が国の社会基盤は高度経済成長期に集中的に整備されており、老朽化への対応が喫緊の課題となっている。従来の機能診断調査は足場や高所作業車を用いた近接目視が中心であり、安全性やコスト、作業効率の面で課題を抱えてきた。

近年、UAV や水中ドローン、赤外線画像診断、AI による画像解析、360° カメラ、タブレット端末など、各種デジタル技術を活用した調査手法が実用化されつつあり、調査の高度化と省力化が期待されている。

本報文ではデジタル技術の概要と活用事例として、(1)UAV による調査①（トンネル内の安全確認）、(2)UAV による調査②（水管橋の下面調査）、(3) 3次元モデルによる機器搬出経路チェック（ポンプ場内）、(4) 水中ドローンによる不可視部の調査（ダム取水設備）、(5) 赤外線画像によるコンクリートの浮き・剥離調査（水路橋側壁天端）、(6)AI を用いた画像解析によるひび割れ自動検出、(7)360° カメラの活用による現地作業の効率化、(8) タブレット端末による現地作業の効率化について報告し、今後の展望と課題について考察する。

2. デジタル技術の概要及び活用事例

(1) UAV による調査①（トンネル内の安全確認）

1) 背景

a) 課題

山間部に位置する水路トンネルの現地踏査においては、クラウンや側壁の劣化・亀裂に起因した崩落等の潜在的な危険に加え、トンネル内に熊等の野生生物が生息している場合には、迅速な避難が困難であり、作業者の安全が一層脅かされる恐れがあった。

b) 適用技術

作業員の入坑前に UAV による事前確認を行うことで作業員の安全を確保する。UAV は、非 GPS 環境下および閉所においても安定飛行が可能な姿勢安定システムを有し、かつ照明を搭載した機体を使用することで、水路トンネルにおける非 GPS 環境、閉所、目視外飛行及び暗所といった条件下での調査を可能とした。

2) 使用機器

水路トンネル内の調査に対応するため、表－1 に示す仕様を有する機器を使用した。

表－1 UAV の仕様（トンネル調査）

機器名		JP Drone社製 JP-1
機器イメージ		
機体	寸法(L×W)	302mm×302mm
	重量	700g(機体のみ)
	前方衝突防止	0cm～400cmの範囲で設定
	LEDの照度	最大2640lmの調光システム
	最大飛行時間	16分
	ホバリング	非GPS環境下での自律ホバリング

3) 試行概要

調査対象の水路トンネルは2R馬蹄形 R=1.80m、L=1,132.45mである。作業員の入坑前に UAV を先行飛行させ、カメラ映像により内部の状況を遠隔確認した。具体的には、入口側から低速で UAV を進入させ、曲線部において定点ホバリングを行い、トンネル内の崩落・落下物・滞水等の危険要因及び熊等の野生動物の生息有無について確認した。安全対策として、操縦者に加えて周辺状況を監視する監視員を配置するとともに、プロペラガードを装着したセーフティ・オペレーションを徹底した（写真－1, 2）。



写真－1 UAV 操作状況



写真－２ トンネル内部状況

4) 活用結果

UAV の先行確認により、落下物・滞水等の人の立入りに支障となる状況やトンネル内部の野生動物の生息は確認されなかった。落下物・滞水等の状況および野生動物との遭遇リスクを踏査前に把握し、入坑の可否を判断することが可能となったため、現地滞在時間の短縮が実現され、現地踏査の効率化と安全性の向上が図られた。

(2) UAV による調査②（水管橋の下面調査）

1) 背景

a) 課題

水管橋や管理橋等の高所構造物は、施設管理者による日常点検では劣化状況の確認が困難であり、従来の調査手法では高所作業車や仮設足場等の大規模な仮設設備が必要となるため、作業者の転落リスクおよびコスト高が課題となっていた。

b) 適用技術

従来の一般的な UAV による空撮では、機体下方向の撮影に限定されていた。本調査では機体上方向を含む全方位の撮影が可能な UAV を使用することで、作業の効率化及び作業者の安全確保を図った。

2) 使用機器

調査対象は道路橋に付帯した水管橋であることから、使用する UAV は上向き方向への撮影機能が求められる。

機体上方向を含む全方位の撮影が可能な UAV として、表－２に示す仕様を有する機器を使用した。

表－２ UAV の仕様（橋梁点検）

機器名	DJI社製 Mavic4 Pro	
機器イメージ		
機体	寸法(L×W×H)	328.7mm×390.5mm×135.2mm(展開時)
	最大飛行速度	36km/h
	最大航続距離	41km
	最大飛行時間	51分
	ジンバル	3軸
カメラ	障害物検知	全方位
	有効画素数	1億画素
	センサー	4/3型 CMOSセンサー
	画角	最大70° の上向き撮影に対応

3) 試行概要

撮影は、橋梁の下面に沿った低速巡回飛行と、支承・伸縮装置・落橋防止装置等の重要部材における定点ホバリングを組み合わせ実施した。撮影データは静止画を基本とし、必要に応じて動画による巡回記録を補完的に取得した。作業体制は、橋面上又は地上からの監視・指示のもと、操縦者1名及び周囲状況確認補助者1名の2名体制とし、高所作業車や仮設足場を使用せずに調査を完了した。

4) 活用結果

撮影画像から水管橋に発生している発錆、腐食、漏水等の変状を確認することで、構造物の健全性を確認した。また、静止画（写真－３）による写真帳を整理することで、次回以降の調査において同一地点・同方向から撮影を行い、劣化進行状況の経年比較が容易に実施できる。

UAV による非接触手法により、高所作業車や仮設足場を使用せず水管橋下面調査を完了し、コスト縮減と安全確保を両立した。



写真－３ 水管橋下面の撮影

(3) 3次元モデルによる機器搬出経路チェック (ポンプ場内)

1) 背景

a) 課題

ポンプ場内における老朽化した大型重量機器の更新において、既存建屋の通路・扉配置条件下での機器搬出可否の事前判定が求められている。従来の調査では、巻尺やレーザー距離計による現地実測、既設図面との照合作業、試験搬出等を実施する必要があった。この手法では、計測対象箇所の見落としにより施工当日における想定外の干渉発生リスクが顕在化しやすく、人手を要する現地立会作業を複数回実施する必要があった。

b) 適用技術

機器搬出計画精度の向上と現地作業の省力化を図るため、本調査では3次元モデルの移動シミュレーションによる現況施設との干渉チェックを行い、撤去機器の搬出可否を判断した。現地で一度計測を行い現況の3次元モデル化をすることで、計測対象箇所の見落としを防止するとともに、複数回必要であった現地立会作業を1回に集約することが可能となった。

2) 使用機器

機房屋内における3次元点群データの取得においては、計測範囲が広範囲におよび効率的なデータ取得手法が必要となることから、最大350mのスキャン範囲を有し、効率的な3次元点群データの取得が可能となる地上型レーザースキャナー Focus Premium と点群データ処理ソフトとして Galaxy-Eye Modeler (株式会社富士テクニカルリサーチ) を使用した。

3) 試行概要

自家発電装置が電気室の扉から安全かつ確実に搬出可能であるかを、デジタル空間上での干渉シミュレーションにより事前判定した。3次元レーザースキャナーにより電気室内の3次元点群データを取得し、現況を再現した3次元モデルを作成した。これを用いて、搬出ルートは、直進搬出、斜め方向搬出、途中での転回を伴う搬出など組み合わせて設定し、干渉の有無およびクリアランスを確認した。

4) 活用結果

3次元点群データから作成した3次元モデルによ

り撤去予定機器の搬出可否判定を実施することで、搬出計画精度の向上、現地作業の省力化を図るとともに、搬出過程を視覚的に理解しやすい形で整理することが可能となった(図-1)。

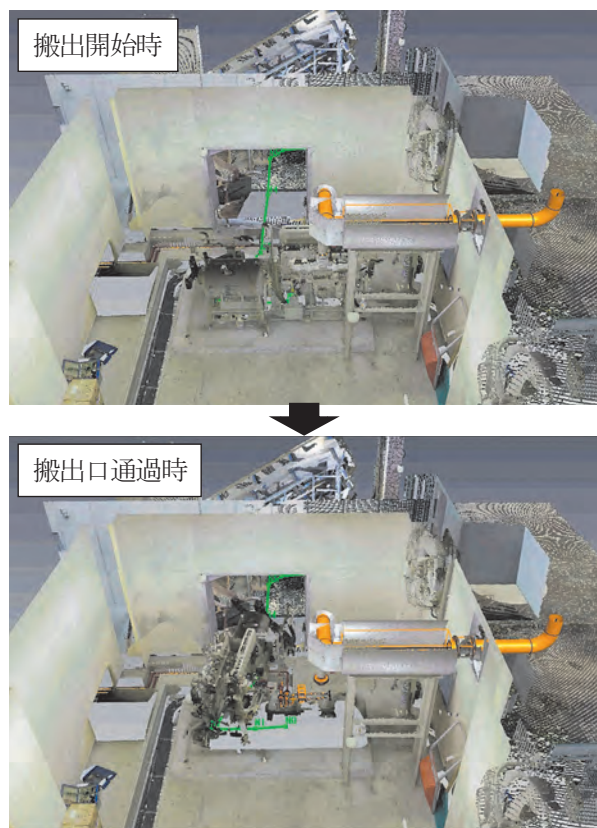


図-1 撤去機器の搬出経路チェック状況

(4) 水中ドローンによる不可視部の調査(ダム取水設備)

1) 背景

a) 課題

従来、農業用ダムにおいて、水中で目視が困難な不可視部分の調査は、これまで低水ゲート開放等による完全落水時調査及び、潜士による潜水調査が主たる手法として実施されてきた。しかし、完全落水調査は取水位の保持という運用上の制約が大きく、また潜水調査についても潜士資格を有する専門技術者の確保が必要になるなど、いずれの手法にも調査実施上の課題があった。

b) 適用技術

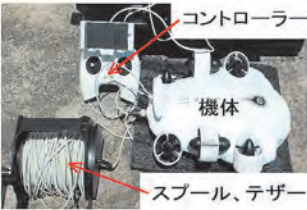
従来調査に代えてカメラを搭載した水中ドローンによる調査を導入した。水中ドローンにより取得した水中映像および写真を活用することで、貯水した状態のまま対象構造物の状況を可視化できる。また、落水作業を低減して施設運用への影響を緩和すると

ともに、潜士による作業を不要とすることによる作業者の安全性の向上、少人数かつ短時間での調査を可能としたことで、点検作業の効率化および省力化を図った。

2) 使用機器

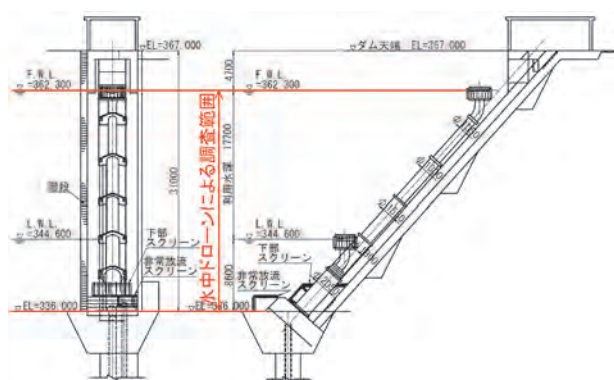
有線タイプ的水中ドローンとして、表－3に示す仕様を有する機器を使用した。

表－3 水中ドローンの仕様

機器名		QYSEA社製 FIFISH V-EVO
機器イメージ		
機体	寸法(L×B×H)	383mm×331mm×143mm
	重量	3.9kg
	最大深度	100m
	最大速度	約1.5m/s
	稼働時間	最大4時間
	スラスタ	6軸
	解像度	4K
カメラ	有効画素数	1200万画素
	視野角	166°
	最短撮影距離	0.3m

3) 試行概要

常時水面下にあるダム取水設備の傾斜式シンダーゲートに対し、水中ドローンを用いた目視調査によりゲート本体および周辺構造物の状態確認を実施するとともに写真撮影を行った（図－2）。



図－2 水中ドローン撮影範囲

4) 活用結果

水中ドローン調査は、連続撮影により対象範囲全

体を俯瞰できるため、調査漏れが少ない利点がある。また、取得した画像からは目立った変状の有無も確認できることから、写真－4～6に示すように、現地踏査レベルの目視調査としては十分な成果が得られており、本調査手法は有効であると判断される。



写真－4 管理階段手摺の変形



写真－5 点検架台梯子



写真－6 下端スクリーン

なお、水中ドローン調査における留意事項としては、以下のことが挙げられる。

- ・調査場所の原水水質が良好であること。底に土砂が堆積しているとスラスター（プロペラ）により土砂が攪拌されカメラ視界・視程が悪化する恐れがある。
- ・コンクリートのひび割れ幅や長さ・浮きについては、正確な計測が困難である。鋼材の軽微な発錆も確認が困難である。また、対象物の表面に泥や藻等が付着している場合には、劣化・変状の状況把握が一層困難となる。
- ・モニターに映る画像が機体前方のみで、機体を直接視認できないため、機体の向きや周囲の支障物との距離や接近状況を把握しにくい。
- ・有線タイプの水中ドローンの場合、機体とコントローラーを接続するケーブルが設備や構造物、流木等に絡まり機体の回収が困難になる事態も想定される。

（5） 赤外線画像によるコンクリートの浮き・剥離調査（水路橋側壁天端）

1) 背景

a) 課題

コンクリートの浮きや剥離の調査では、高所部を点検する際に仮設足場等の設置が必要となるため、調査や維持管理における点検を容易に実施することが難しい。また、調査範囲が広い場合には、作業に長時間を要するといった課題がある。

b) 適用技術

コンクリートの健全部に対して浮きや剥離、内部の空洞化が発生している箇所は、外部からの熱エネルギーを受けた際の熱伝導性が異なるため、表面に温度差が生じる。赤外線サーモグラフィ法¹⁾は、この温度差をサーモグラフィカメラで捉え、コンクリート表面から放射される赤外線量を熱画像として可視化し、その温度分布の違いからコンクリート内部や表面に生じている浮きや剥離等の内部劣化を非破壊で検出する手法である。

2) 使用機器

スマートフォンへの装着が可能なサーモグラフィカメラ（表－4）を使用した。

表－4 サーモグラフィカメラの仕様

機器名	Teledyne FLIR社製 FLIR ONE PRO
機器イメージ	
寸法(W×H×D)	63mm×34mm×14mm
重量(バッテリー含む)	36.5g
稼働時間	約1時間
赤外線ピクセルサイズ	12 μm
熱画像解像度	19,200ピクセル(160×20)
温度分解能	70mk
計測温度範囲	-20～120℃

3) 試行概要

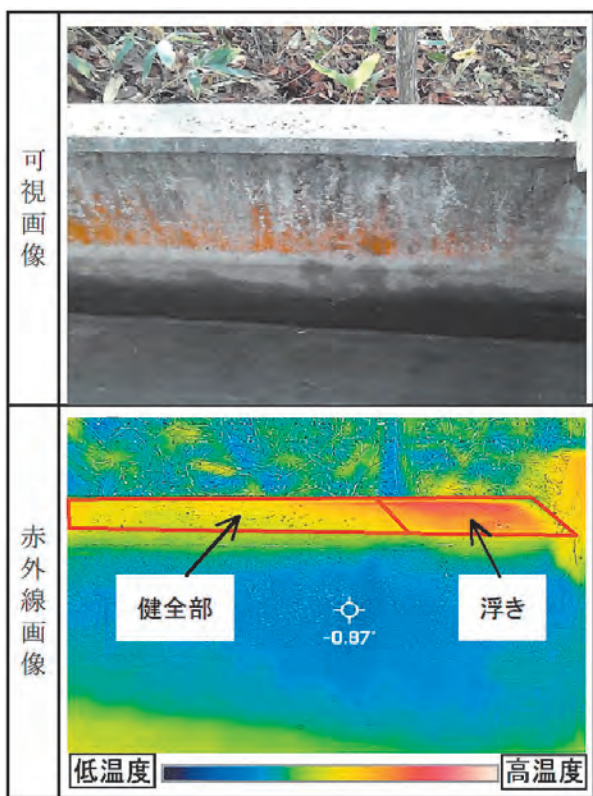
凍害対策後 11 年が経過した水路橋側壁天端（写真－7）において、補修材の浮きが懸念されたため、赤外線サーモグラフィカメラを用いて補修部の温度分布を撮影し、補修材の浮き及び剥離の有無・範囲を検出した。



写真－7 赤外線調査場所

4) 活用結果

可視画像では、側壁天端に目立った変状は確認されなかったが、赤外線画像では同部に特異な温度変化が確認され、補修材の浮きが疑われた。さらに、打音調査及び機械インピーダンス測定を実施した結果、当該部位における浮きの発生が確認された（写真－8）。



写真－8 可視画像と赤外線画像

赤外線による画像診断調査は、非破壊かつ非接触でコンクリート内部の劣化の大きさや形状を効率的に推定できることから、高所部や広範囲の劣化診断を短時間で実施できる非常に有効な調査法である。また、本調査は打音調査やコンクリートテストによる機械インピーダンス測定と組み合わせて実施することで、診断結果の精度を一層高めることができる。

なお、赤外線サーモグラフィ法の留意事項・課題としては以下のようなことが挙げられる。

- ・劣化・変状による温度変化のみならず、草木等による日陰や水掛りによる温度変化も検出するため注意する必要がある。
- ・調査対象物表面に存在する汚れや色ムラ（特に黒色）部分は、周囲より高温として検出されやすい。このため、熱画像上で確認される温度上昇が可視画像における汚れや色ムラの分布と一致している場合には、実際の変状ではなく誤検出である可能性が高いことに留意する必要がある。
- ・部材厚の厚い部分と薄い部分では温度差が発生するため留意する必要がある¹⁾。
- ・劣化範囲が小さい場合、見逃す可能性がある¹⁾。

(6) AI を用いた画像解析によるひび割れ自動検出（水路橋橋脚）

1) 背景

a) 課題

従来、コンクリート構造物のひび割れ幅や長さ、劣化面積等は、現場でクラックスケールやコンベックスを用いて計測し、その結果を図面にトレースする方法が一般的であった。しかしこの方法では、足場や高所作業車を要するような高所部の調査が困難であり、トレース作業にも多くの時間と労力を要していた。

b) 適用技術

本技術は、カメラで撮影したコンクリート表面の画像を自動合成し、得られた合成画像に対して画像解析ソフトを用いることで、ひび割れの自動検出及び自動計測することを可能とするものである。なお、ひび割れの長さおよび幅は、いずれも 0.1mm 以上の計測が可能である。また、剥離や遊離石灰などの損傷についても面積を自動的に算出し、損傷図としてスケッチ図を作成する。

解析結果の出力は、全体像を確認するための合成画像（JPEG）、スケッチ図（CAD:DXF）、ひび割れの幅・長さ・損傷面積の整理表（XLS）である。

2) 使用機器

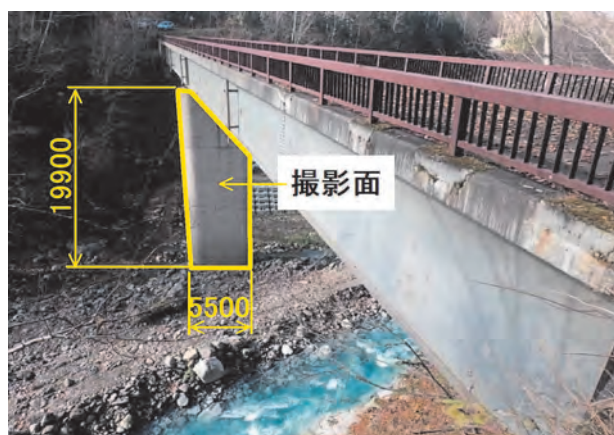
対象構造の撮影は、表－5 に示す仕様を有した UAV により行い、ひび割れの自動検出は、『画像解析ソフト、社会インフラ画像診断サービス「ひびみつけ」（NETIS 登録番号：KT-190025-VE）』を使用した。

表－5 UAV の仕様（ひび割れ画像の取得）

機器名		DJI社製 Mavic2 Pro
機器イメージ		
機体	寸法(L×W×H)	322×242×84
	最大飛行速度	72km/h
	最大航続距離	18km
	最大飛行時間	31分
	ジンバル	3軸
カメラ	有効画素数	2000万画素
	センサー	1インチ CMOSセンサー
	静止画サイズ	5472×3648(最大)

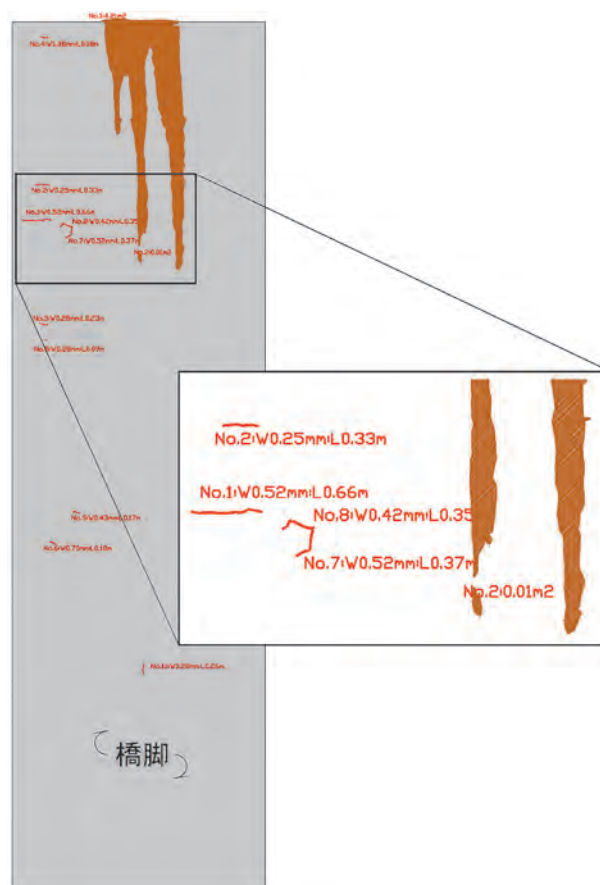
3) 試行概要

水管橋の橋脚 (B=5.50m、H=19.90m) (写真－9) を対象として、撮影画像に対しAIを用いた画像解析を行い、ひび割れの幅・長さ等の自動検出・計測を行った。



写真－9 対象施設（水管橋橋脚）

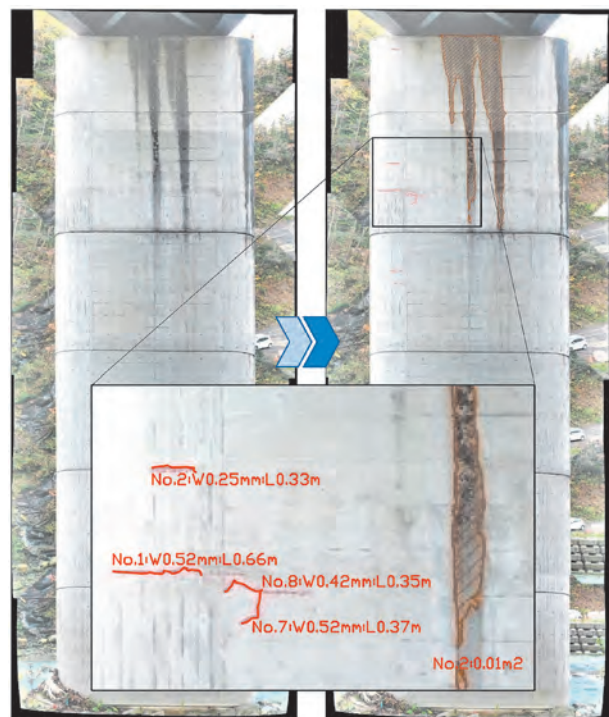
作業の流れは、写真撮影（写真－10の左）→ソフト取り込み→損傷の自動検出（ひび割れ幅・長さ等を検出、自動計測）（写真－10の右）→スケッチ図作成（図－3）→剥離や遊離石灰、汚れ等の分けとなる。



図－3 画像解析結果のCAD化

4) 活用結果

ひび割れ自動検出結果を写真－10、図－3に示す。



写真－10 撮影画像（左）とひび割れ検出画像（右）

AIによる画像解析でひび割れを自動検出することで人的要因による誤差を低減できる。また、ひび割れ幅や長さの検出からスケッチ図作成までを一連のプロセスとして自動化できるため、従来方法と比較し約1/3の作業時間で同等の成果を得られた（図－4）。

従来	チョーキング、 変状の計測		写真 撮影	写真貼合わせ＋変状のトレース(CAD化)	CAD図に変 状を記載
AI	写真 撮影	写真の自動 合成、変 状の検出、 結果の確 認・修正	自動で CAD図 作成	省力化・効率化	

図－4 AI導入後の作業の省力化・効率化

当調査は、近接目視が困難な高所部、広範囲のひび割れ調査に有効である。一方で、以下のような問題や課題もある。

- ・低コントラストな汚れ、目地や打継ぎ、陰影等をひび割れと誤認識する場合がある。
- ・剥離や遊離石灰、汚れ等の表面変状もソフトが自動的に抽出するが、最終的には人による判定が必要である。

- ・高所および狭隘部における UAV 撮影では、周囲環境により機体姿勢が制約されるため、対象物に対する撮影角度および撮影距離の適切な確保が困難となる。その結果、撮影画像においてひび割れが十分に抽出されず、欠陥を見落とすおそれがある。特に高所では、墜落リスク低減の観点から構造物への過度な接近が回避される傾向にあり、また上空では風の影響により機体姿勢が不安定化しやすい。これらの安全確保上の観点から、UAV の接近距離は保守的に設定されることが多く、その結果、ひび割れ検出に必要な解像度および視認性が十分に確保できない場合がある。
- ・AI の画像解析による継続調査を行う場合には、解析結果の一貫性を確保するため、カメラの解像度、撮影距離・角度、照明条件等の撮影環境をあらかじめマニュアル化しておく必要がある。

(7) 360° カメラの活用による現地作業の効率化

1) 背景

a) 課題

現地踏査においては、施設の現況を記録するとともに、将来の定期点検時における経年劣化状況の比較評価を可能とするため、写真記録の取得が不可欠である。しかし、従来のデジタルカメラ撮影では、限定的な視野と撮影者の構図判断に依存するため、撮影漏れが発生しやすい状況にあった。

b) 適用技術

360° カメラは全周囲の視野を単一時刻で取得し、球面画像として記録・閲覧する撮影システムである。現場状況を網羅的かつ連続的に可視化できることから、従来のデジタルカメラによる断続的な撮影手法と比較して、周辺状況の詳細確認やポンプ施設等の機器配置状況の把握が容易となり、現場全体のイメージ把握の向上といった利点を有する。また、専用アプリと連携することで撮影済みの 360° 画像を任意の視点方向に回転させて閲覧できるほか、必要な範囲を切り出し、平面画像として出力・活用することが可能である。さらに、専用の伸縮式ポールを活用することで、高所作業を伴わずに高所設置機器の状態や銘板を安全に撮影できる利点も有する。

2) 使用機器

マンホール内等の狭隘空間における撮影にあたっては、作業者が立ち入ることなく内部状況を記録する必要があるため、スマートフォンと専用アプリ

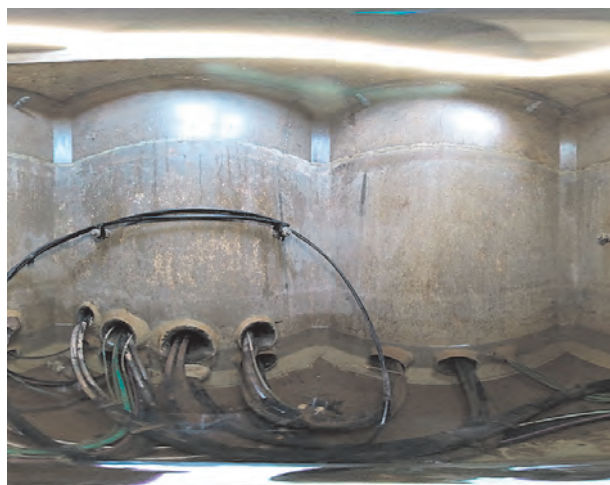
ケーションによる遠隔操作が可能な、表－6 に示す仕様を有する機器を使用した。

表－6 360° カメラの仕様

機器名	Insta360 X3
機器イメージ	
寸法(B×H×t)	46.0mm×114.0mm×33.1mm
重量	180g
連続録画時間	81分
動作温度	-20℃～ 40℃
画面サイズ	2.29インチ
写真解像度	7200万画素
ファイル形式	insp (専用アプリでjpegに書き出し可能)
関連アプリ、付属品	Insta360、自撮り棒

3) 試行概要

立ち入りが困難な揚水機場内の電力・計装ケーブル用マンホールおよび配管小構造物を対象に、専用の伸縮式ポールを取り付けた 360° カメラを内部に挿入し、スマートフォンと接続して内部映像を確認しながら遠隔撮影を実施した（写真－11）。



写真－11 360° カメラ撮影による電気設備配線の確認

4) 活用結果

マンホール内等の狭隘空間に作業者が立ち入ることなく内部の配管・配線状況を把握することが可能となり、昇降・入坑作業に伴う転落・酸欠・感電等のリスク低減と現地滞在時間の短縮を両立し、再撮影の削減や撮影品質の平準化が図られた。

(8) タブレット端末による現地作業の効率化

1) 背景

a) 課題

従来、機能診断における現地調査では紙ベースの資料を現場に持ち込んでいた。その結果、持参する資料が膨大となり荷物が多くなるだけでなく、必要な情報の検索にも時間を要し、現場での作業効率が低下していた。

b) 適用技術

現場での作業時間の短縮と持参資料の削減に加え、資料検索の効率化を目的としてタブレット端末を活用した。

2) 使用機器

現地調査時の資料閲覧および情報検索調査結果の記録には、表－7に示すタブレット端末を使用した。

表－7 タブレット端末の仕様

機器名	Apple社製 iPad Pro 12.9インチ 第5世代、Apple Pencil
機器イメージ	
寸法(H×B×t)	280.6mm×214.9mm×6.4mm
重量	682g
画面サイズ	12.9インチ
チップ	Apple M1
通信	Wi-Fi + Cellular(5G対応)
主なソフト	図面ビューア、写真管理用アプリ、メモアプリ

3) 試行概要

事前に図面や過年度資料、各種帳票を電子化してタブレットに搭載し、現場では当該端末の各種ソフト

トを用いて図面の閲覧、調査結果の入力を行った(写真－12, 13)。



写真－12 タブレット端末への書き込み例 (1)



写真－13 タブレット端末への書き込み例 (2)

4) 活用結果

- ・図面や過年度資料を外部から容易に閲覧できるようになったことで、紙ベースの資料を持ち歩く必要がなくなり、作業効率が向上した。
- ・ノートアプリを活用することで、資料や現地で撮影した写真に対して直接書き込みを行いながら整理することができる。また、外部からメールで受信した資料であっても、その場で速やかに閲覧し、同様に書き込みや整理を行うことができる。
- ・資料ファイルを各作業班で共有することで、複数の担当者が同一ファイルに対してリアルタイムに記入及び修正を行うことが可能となり、作業班間における情報共有の即時性が向上する。また、調査結果の整理の効率化も図れる。

3. 今後の展望と課題

各種デジタル技術は、いずれも個別の作業工程に

おける省力化・効率化に寄与するだけでなく、相互連携によって調査計画の立案からデータの取得、解析、結果の共有・蓄積に至る一連のプロセスを統合的に高度化し得るポテンシャルを有している。今後、UAV や水中ドローン、赤外線画像、AI による損傷自動検出結果を統合し、タブレット端末を介して現場で直接的に扱えるプラットフォームが構築されれば、より高度な診断調査への発展が期待できる。

一方、センサ特性や環境条件に起因する計測データのバラつき、画像ノイズ等により、AI による判定結果には依然として不確実性が残されている。また、機器やシステム間でデータ形式や属性情報が統一されていないことから、互換性の確保が難しく、長期的なデータの蓄積や分野横断的な利活用を阻害しているのが現状である。加えて、機器の導入・保守に要するコスト、飛行・航行に関する規制や安全管理の在り方、従来の目視調査との役割分担といった運用面の課題も顕著化している。

今後は、これらの課題に対し標準化やガイドラインの整備を通じた対応を進めるとともに、現場での実証を重ねることにより、デジタル技術の活用を前提とした新たな調査手法やデータ整理のプロセスを構築していくことが求められる。

4. おわりに

本報文では、UAV や水中ドローンを用いた調査、赤外線画像調査や AI を用いた画像解析によるひび割れ自動検出、ならびにタブレット端末による現地作業の効率化について取り上げ、これらの技術が現場作業の省力化及び効率化に及ぼす効果を紹介した。各技術はいずれも作業時間の短縮と安全性の向上に有効であり、相互に組み合わせて活用することで、従来の近接目視調査を補完しつつ、点検プロセス全体の最適化を図り得る可能性が示唆された。

さらに、これらのデジタル技術を活用することにより、従来の近接目視調査と比較し、立ち入り困難箇所における調査時の安全性向上、変状の定量的な把握および、調査から資料作成に至る一連の作業の効率化・省力化が可能であることを確認した。

本報で得られた知見を踏まえ、診断データの蓄積と AI 解析の一層の高度化を進めるとともに、他施設への適用範囲を拡大していくことが求められる。その際には、従来の調査手法とデジタル技術を適切に組み合わせることで、効率性と信頼性の両立を図り、インフラ施設の持続的な機能保全とストックマネジメント技術の一層の高度化に資することが重要である。

(NTC コンサルタンツ㈱北海道支社 技術部第2課 主幹
(農業土木技術管理士))
(NTC コンサルタンツ㈱北海道支社 技術部第2課 技師)

【引用文献】

- 1) (一社) 赤外線画像診断研究協会：高性能赤外線カメラによる剥落調査マニュアルー資料編ー P.74 2018 年 6 月

「美河地区」三石ダムにおける水管理施設の設計事例

菊地 康宏

1. はじめに

我が国の農業農村整備事業において、国営かんがい排水事業により整備された基幹的な農業水利施設の老朽化対策は、優良農地の維持と食料安全保障の基盤強化に向けた最重要課題の一つである。

国営三石土地改良事業において建設された三石ダムは、地域農業の水利用を支える中核施設であり、その水管理施設および通信・電気系統の安定性は、広域的な水利秩序の維持のみならず、地域防災の観点からも極めて高い重要性を持つ。

近年の集中豪雨の頻発やそれに伴う災害リスクの増大を勘案すると、水管理施設における各種データの確実な伝送と、非常時電源の冗長化を含む技術的基盤の確立は、施設管理上の急務である。

本稿は、国営かんがい排水事業「美河地区」（図—1）で令和7年度に実施した「三石ダム水管理施設補足設計業務」の成果に基づき、水管理施設の維持管理に関する事例を報告するものである。

2. 地区概要

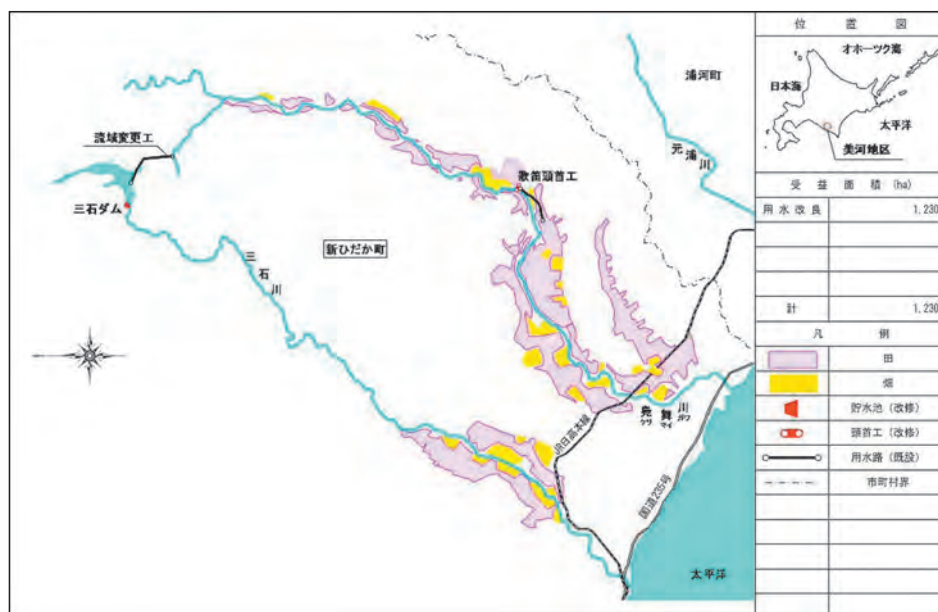
本地区は、北海道日高郡新ひだか町に位置する1,230haの農業地帯であり、水稻、花き及びアスパ

ラガス等を組み合わせた農業経営のほか、飼料作物を栽培し肉用牛を飼養する畜産を組み合わせた農業経営が行われている。

地区周辺は、多雪区域以外の一般地域に分類され、比較的温暖な気候特性を持つものの、近年の気候変動に起因する局地的な気象の激甚化が顕著に見られる地域でもある。地区内の農業用水は、国営三石土地改良事業（昭和46年度～平成4年度）等で造成された用水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、河川流況に応じた取水管理のため、用水管理に多大な費用と労力を要している。

また、三石ダム、頭首工などの各施設における維持管理についても、経年劣化などにより多大な費用と労力を要しているとともに、施設の損壊等により地域に甚大な被害を及ぼすおそれがある。

このため、当事業において水需要の変化に伴う用水管理の合理化等を踏まえた三石ダム、頭首工の改修と耐震化の一体的な整備を行うことにより、農業用水の安定供給と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 国営かんがい排水事業「美河地区」概要図

3. 三石ダムについて

当地区の施設において核心をなす三石ダム（写真－1, 2）は、中心コア式ロックフィルダム構造として、平成4年に完成し、有効貯水量7,720千 m^3 を有している。

なお、三石ダムは、「河川法第44条第1項のダムのうち洪水吐ゲートを有しないダム」であり、原則として「洪水時」における操作はない。

洪水吐は、越流式側水路型で代表的な諸元¹⁾は以下のとおりである。

設計洪水流量 390 m^3/s (200年確率洪水量の1.2倍)

設計洪水位 HWL=182.50m

常時満水位 FWL=180.10m

減勢工型式 静水池方式

三石ダムは、かんがい用水の安定供給を担う重要な基幹施設であり、水管理設備として土木施設や施設機械の他、管理施設内における各種データ演算処理装置や各施設の電気通信設備、各種計測機器、高・低圧受配電設備、および配電線路等が整備されている。

また、前歴事業から三石ダムを含む各施設については、造成後約34～55年を経過しており、土木施設、施設機械や電気設備等が耐用年数を大幅に超過している状況にある。

施設機械や電気設備に関しては構成部品の製造中止に加え、予備品のストック減少等の進行、経年的老朽化の進行や故障の発生等から、不測の事態が発生した場合には、施設全体の機能が停止するリスクも考えられる。



写真－1 三石ダム全景（過年度資料抜粋）



写真－2 三石ダム上流側より撮影

4. 設計概要

当業務では、過年度設計成果（平成30年度ダム管理設備設置工事、令和1年度BCP策定業務、令和4年度電気設備外詳細設計業務、令和6年度通信施設補足設計業務等）を精緻に踏まえ、現地調査および設計における課題を整理した上で、各電気通信設備の更新・改修設計等を実施することにより、三石ダムを含む当地区の水管理施設の長寿命化および維持管理の向上を図ることとする。

本業務における主な設計項目について以下に示す。

- ①現地調査
- ②電源ケーブルの更新設計（配線経路・仕様の検討）
- ③受変電設備の設計（配電盤再検討を含む）
- ④データ欠測の原因究明と改修設計（管理棟）
- ⑤設計図、数量書作成
- ⑥施工計画の策定
- ⑦特記仕様書の作成

なお、本業務の実施においては、「電気通信施設設計要領（通信編・電気編・情報通信システム編）」²⁾、「光ファイバーケーブル施工要領・同解説」³⁾、「電気設備に関する技術基準を定める省令」⁴⁾などの電気通信分野における最新の技術基準に準拠し業務を遂行した。

5. 電気通信設備等の現況把握

各施設の電気通信設備や管理棟の観測諸量データの現況把握を目的として、調査を実施した。

当ダムの電気通信設備については、各設備や機器が他設備と複合的に連動するシステム構成となっている。

そのため、電気通信設備における過年度成果（表－１）の設計範囲や改修機器等を把握した上で、現地調査による状況把握を実施した。

表－１ 過年度設計成果の整理

実施年度	工事名/業務名	概要	対象
H30年度	三石ダム管理設備 設置工事	三石ダムのデータ演算(処理)装置等の更新を行う工事。	ダム管理設備
H31年度	三石地区業務継続 計画(BCP)策定業務	三石地区の BCP を策定するとともに、事前対策計画に基づき、三石ダムの管理設備の設計を行う業務。	水管理設備 通信設備 発電設備 非常用電源設備 防災警報設備
H41年度	三石ダム電気設備 外観補修計画策定	三石ダムの高圧受電設備、配電幹路設計及び放電管等機への光ケーブル敷設並びに新ひだか町三石庁舎へ三石ダム流量データの転送を検討する業務。	高圧受変電施設 配電幹路経路 光ケーブル経路 ダム流量データ転送施設
H5年度	美河地区三石ダム 通信施設補足設計 業務	国営かんがい事業美河地区で建設する三石ダムの通信施設等に関する補足設計を行う業務。	通信ケーブル 水管理設備 防災警報設備

主な現地調査の内容について以下に示す。

- ①既設機器の配置確認（既設図面との参照）
- ②既設ケーブルの敷設状況の確認
- ③更新ケーブルの敷設ルートの確認
- ④既設機器の電源取得状況の確認
- ⑤既設機器の電源容量・停電補償の確認
- ⑥受変電・発電設備新設位置の確認
- ⑦機器搬入出ルートの確認

(1) 調査結果に基づく設計展開

1) 給電方法

第2ゲート室（写真－3、4）への給電方法を検討するにあたり、受変電・発電設備の設置位置候補を現地にて確認した。現地調査状況に基づき電源ケーブル設計にて経済性・施工性等の総合的観点から比較検討を実施した。

上記、ゲート室への給電方法の検討にあたり、発電機の新設検討が必要であると判断された。そのため、機器の負荷を確認するとともに、関係者に停電時の運転が必要な機器の聞き取りを行った。それらの結果を基に電源ケーブルの規格、発電機出力を検討した。

2) データ欠測

管理棟（写真－5）におけるデータ欠測（水温計やゲート室内の除湿機、流量観測状況等）について、

現地にて欠測状況を確認した結果を基にメーカーや管理者（新ひだか町役場）から聞き取りを実施した。



写真－3 第2ゲート室（外観）



写真－4 第2ゲート室（室内）



写真－5 管理棟（管理室内）

(2) ヒアリングによる地元要望の反映

本業務の遂行にあたり、施設管理者である新ひだか町役場にヒアリング（写真－6）を実施した。

当ヒアリングについては、現地調査時の他、設計作業時において確認し、聞き取り結果を当設計に反映した。

聞き取り内容については、第2ゲート室用発電機の新設設計における停電時に運転が必要な機器、及び第1、第2ゲート室の除湿器の更新についてなどの確認を実施することで設計成果の精度向上を図った。



写真-6 ヒアリング状況（調査時 管理者立会い）

6. 電源ケーブルの更新設計

(1) 電源ケーブル更新におけるケーブル仕様及び配線経路の検討

第2ゲート室～第2取水塔間における電源ケーブルの更新にあたり、ケーブル仕様（表-2）及び配線経路について経済性、施工性、維持管理性等の総合的な観点から検討を実施し、以下の4案（図-2）について比較検討を行った。

- ・案1 湖底ケーブル案（現況）
- ・案2 低圧ケーブルによる林道沿い送電案
- ・案3 林道分岐点から低圧～高圧送電への変更案-1
- ・案4 林道分岐点から低圧～高圧送電への変更案-2

※案3は分岐点に受変電設備を設置、案4は受変電設備を第2ゲート室近傍に設置する案である。

(2) 検討結果

上記検討の結果、案1は湖底ケーブルのため、維持管理が困難なことや施工性における現実性が劣ること、案2は電源線のサイズが現行の技術基準（図-2※1）を逸脱することが確認された。

案3については、施工性が良く技術基準に準拠した電源線のサイズとなるが、低圧送電から高圧送電に変換するための受変電設備を林道分岐点に設置した場合、第2ゲート室から離れているため操作性が劣る。

案4は、施工性が良く、電源線のサイズが技術基準に準拠している。また、受変電設備の設置位置が第2ゲート室近傍であることから操作性が良い。

以上より、経済性、施工性、保守性、操作性等を総合的に考慮した比較検討の結果、林道分岐点から低圧送電から高圧送電に変換し、受変電設備を第2ゲート室近傍に設ける案4を採用した。

表-2 ケーブル仕様

分類	名称	記号	用途	規格
高圧	6600V屋外用架橋ポリエチレン絶縁電線	OC	屋外、架空電線用	電力用規格C-107
	6600V屋外用ポリエチレン絶縁電線	OE		電力用規格C-108
	6600V難着雪形屋外用架橋ポリエチレン絶縁電線	SN-OC		
	トリプレックス形架橋ポリエチレン絶縁ビニルシースケーブル	6kV CVT	地中電線、架空電線用	JIS C 3608
	高圧架橋ポリエチレンケーブル	6kV CV		
低圧	600Vビニル絶縁電線	IV	屋内電線用、電線管配線用	JIS C 3307
	屋外用ビニル絶縁電線	OW	屋外架空電線用	JIS C 3340 電力用規格C-102
	引込用ビニル絶縁電線	DV		JIS C 3341 電力用規格C-103
	難着雪形屋外用ビニル絶縁電線	SN-OW	屋外架空引込用	
	600Vポリエチレンケーブル	CV, CVT	架空、地中電線用	JIS C 3605
	600Vビニル絶縁ビニルシースケーブル	VVR(VV) VVF	屋内、屋外、地中線用、引込用、屋内電線用	JIS C 3342
	耐熱電線	HP	屋内電線用	消防庁告示 ^(a)
	耐火電線	FP, FP-C	屋内電線用、電線管配線用	消防庁告示 ^(b)
	600Vゴムキャブタイヤケーブル	CT	露出配線用	JIS C 3327
	600Vビニル絶縁ビニルキャブタイヤケーブル	VCT		JIS C 8312
制御	制御用ケーブル	CVV	制御用、露出配線用	JIS C 3401
	制御用ケーブル（遮へい付）	CVV-S	制御用、露出配線用	JCS 4258
計装	弱電計装用ポリエチレン絶縁ビニルシースケーブル	—	計装用、露出配線用	JCS 4364
	弱電計装用ポリエチレン絶縁ビニルシースケーブル（遮へい付）	—	計装用、露出配線用	JCS 4364

概略図	案1		案2		
	1. 経済性 (円)	22, 200, 000+ (仮設費) (税抜)	○	58, 700, 000 (税抜)	△
	2. 施工性	電源線のサイズが技術基準 (※1) 内に収まるが、仮設を考慮すると、施工に現実性がない。	×	電源線のサイズが技術基準 (※1) を大きく逸脱し、施工に現実性がない。	×
	3. 保守性	電源線の目視点検が出来ず保守性が悪い。障害が発生しても落水しないと対策できない。	×	電源線の目視点検が可能であり、保守性が良い。	○
	4. 操作性	新設機器が無く、従来通りの運用となる。	○	新設機器が無く、従来通りの運用となる。	○
	5. 安全性 (漏油リスク)	発電設備の新設が無いので、漏油リスクがない。	○	発電設備の新設が無いので、漏油リスクがない。	○
	6. メリット	線路ルートが短く、新設機器も無い。		機器の新設が不要である。	
	7. デメリット	日常の点検保守が出来ず、障害が発生しても落水しないと対策できない。		電源線が長いので経済性に劣る。電源線のサイズが技術基準を逸脱し、施工に現実性がない。	
8. 総合評価	経済性には優れるものの、点検保守や障害対応が出来ず、施工に現実性がない為、推奨しない。	×	機器の新設は不要であるものの、施工に現実性がない為、推奨しない。	×	

概略図	案3		案4		
	1. 経済性 (円)	81, 000, 000 (税抜)	△	83, 000, 000 (税抜)	△
	2. 施工性	電源線のサイズが技術基準 (※1) 内に収まり、施工性が良い。	○	電源線のサイズが技術基準 (※1) 内に収まり、施工性が良い。	○
	3. 保守性	電源線の目視点検が可能であり、保守性が良い。	○	電源線の目視点検が可能であり、保守性が良い。	○
	4. 操作性	第2ゲート室から離れて受変電・発電設備を配置するので該設備の操作性が悪い。	△	第2ゲート室の近傍に受変電・発電設備を配置するので該設備の操作性が良い。	◎
	5. 安全性 (漏油リスク)	発電設備が湛水面から離れており、漏油した場合の湖水に油が流入するリスクが低い。	○	発電設備が湛水面に近く、漏油した場合湖水に油が流入するリスクがあり対策検討が必要。	△
	6. メリット	電源線のサイズを技術基準内に収めることができる。湛水面から離れており、漏油時のリスクが低い。	電源線のサイズを技術基準内に収めることができる。受変電・発電設備の操作をしやすい。		
	7. デメリット	受変電・発電設備が新設となり経済性に劣る。受変電・発電設備の操作をしにくい。	受変電・発電設備が新設となり経済性に劣る。発電設備が湛水面に近く、漏油時のリスクがある。		
8. 総合評価	電源線のサイズは技術基準内となるものの、受変電・発電設備の操作性が良くない為、推奨しない。	△	電源線のサイズは技術基準内となり、受変電・発電設備の操作性も良い為、推奨する。	○	

図ー2 電源ケーブル更新比較検討

7. 受変電設備の設計

(1) 高圧受電設備の変圧器仕様の検討

高圧受変電設備の設計にあたり、変圧器の検討を実施した。変圧器の仕様については、安全性、省エネルギーおよび環境負荷低減の観点から適切な変圧器仕様を選定した。

1) 絶縁による種別の選定

変圧器は、冷却方式により、モールド形、油入形がある（表－3）。本設計では、省スペース、火災等に対する安全性に優れるモールド変圧器を選定した。

表－3 変圧器の比較

項目		モールド変圧器	油入変圧器
安全性	信頼性	大気中で出火の恐れがなく。万が一電気で火災が発生しても変圧器が原因で火災が拡大することはない。	油入変圧器に用いる絶縁油の引火点は130度以上であり、火災に対しては弱点を有している。
	燃焼性	発生しにくい	発生しやすい
信頼性	耐湿性	空気に湿気が侵入することはない。	呼吸式は吸湿する。密閉式は吸湿しない。
	絶縁性能	絶縁劣化はほとんど起こらない。	絶縁劣化はほとんど起こらない。但し、吸湿時は悪化する。
	耐震性	非常に強い	強い
	短絡強度	非常に強い	強い
保守点検	点検方法	外観目視点検 冷却ファン吸気口の点検（風冷の場合）	ブリーザ、吸気扇点検 油面計、油漏れ点検 温度計の監視 ・絶縁油の特性チェック ・絶縁油の交換
	保守	外観点検のみ	
騒音		63dB(300kVA以下) JIS C 4306	56dB(300kVA以下) JEM1118
占有面積		小型 設置スペースを小さくできる。	大きい 設置スペースがやや大きくなる。

2) 効率による種別の選定

変圧器については、「電気通信施設設計要領・同解説（電気編）」⁵⁾に準拠し、環境保全および省エネルギーに配慮したトップランナー変圧器を選定した。

3) 選定結果

変圧器は、1次電圧が「第三次判断基準（2026トップランナー変圧器）」⁶⁾に準拠し、適用範囲内（600v～7,000v）に収まることから、モールド形トップランナー変圧器（標準仕様）を採用する。変圧器の仕様を表－4に示す。

表－4 変圧器の仕様

[項目]	[仕様]
盤名	低圧分岐盤
種別	モールド形
相	3φ
容量kVA	20
1次電圧	6600V
2次電圧	200V
トップランナー適用	標準仕様 対応

8. データ欠測の原因究明と改修設計（管理棟）

(1) データ欠測の原因究明

第2取水塔、及び第2ゲート室のデータ欠測（流量、水温、湿度）において、原因の追求及び改修の検討を行った（写真－7、8）。

既設機器メーカーと現地調査に同行し、データ欠測の原因を調査した結果、第2取水塔と第2ゲート室のデータ欠測は、光伝送装置の経年劣化により伝送不良が発生しているものであることが確認された。



写真－7 管理棟 遠隔操作装置



写真－8 データ処理装置

(2) 改修検討結果

調査結果から、光伝送装置と光ケーブルは令和6年度更新設計で更新対象となっており、更新工事を実施すれば伝送不良が解消しデータ欠測が復旧すると思われる。

なお、現状にて管理者の聞き取りより、更新コスト及び重要度等を考慮し、水温計、湿度計の更新は行わないこととした。

9. 非常用発電装置の検討

電源ケーブルの比較検討結果より、第2ゲート室付近に受変電設備を設置する案を採用とした。その際、受変電設備の安定的な電源確保を目的として非常用発電装置の設置を検討する必要があることから、当装置の検討を実施した。

非常用発電機容量の算定については、「電気設備計画設計技術指針（高低圧編）」⁷⁾に準拠して規格の検討を実施した。

(1) 発電機及び原動機出力の算定

① 発電機出力の算定

発電機出力は以下の算定式により算出する。

$$G = RG \times K$$

ここに、 G : 発電機出力 (kVA)
 RG : 発電機出力係数
(1)「発電機出力係数」による
 K : 負荷出力合計 (kW)

② 原動機出力の算定

原動機（ディーゼル機関、ガスタービン）は、以下の使用条件とする。

原動機出力は以下の算定式により算出する。

$$E = RE \times K \times Cp$$

E : 原動機出力 (kW)
 RE : 原動機出力係数
 K : 負荷出力合計 (kW)
 Cp : 原動機出力補正係数 0.895

上記、算定式により発電機出力、及び原動機出力については、以下とした。

- ・ 発電機出力 G 【53.6kVA】

$$G = RG \times K = 3.805 \times 14.08 = 53.58 \text{ KVA}$$

- ・ 原動機出力 PE 【52.1 kW】

$$E = RE \times K \times Cp = 3.269 \times 14.08 \times 0.895 = 51.42 \text{ KW}$$

51.42KW ≒ 標準値 51.5KW

上記、標準値出力に周囲温度条件（表－5）を考慮し、所要出力を算出した。

周囲温度：31.9度（過去10年間の平均最高気温）
過給期間：過給

$$PE = Po / (1 - \Delta K) = 51.5 / 1 - 0.0104$$

PE ：周囲温度条件による所要出力

Po ：標準状態時の所要出力（51.5kW）

ΔK ：原動力出力減少割合

$$\Delta K = (31.9 - 30) / 5.5 \times 3.0\% = 0.0104$$

$$PE = 52.04 \text{ KW} \approx 52.1 \text{ KW}$$

表－5 周囲条件による原動機出力の減少割合⁸⁾

周 围 条 件	減少割合		
	無過給	過給	過給冷却
周囲温度 30℃ を超え 5.5℃ ごとに	2.0%	3.0%	—
標高 150m を超え 300m ごとに (2,500m まで)	3.5%	2.5%	2.5%
冷却水温度 24℃ を超え 5.5℃ ごとに	—	—	3.0%

(2) 原動機の内燃機関の検討

一般的には、非常用発電機の原動機には内燃機関が用いられ、ディーゼル機関またはガスタービン機関が標準となる（表－6）。

ガスタービン式については、低騒音、低振動であるため、データセンターなど都市部や高い電力品質を求められる機器の電源バックアップとして用いる場合も考えられるが、一方で高コスト、燃料消費量が大きいたことが欠点として挙げられる。

そのため、一般的にはディーゼル機関の発電機が用いられることが多いことから、本ダムの原動機の内燃機関にはディーゼル機関を採用する。

表－6 内燃機関の比較検討⁹⁾

比較項目		ディーゼル機関	ガスタービン
作 動 原 理		断続燃焼、爆発する燃焼ガスの熱エネルギーを一旦ピストンの往復運動に変換し、それをクランク軸で回転運動に変換	連続燃焼している燃焼ガスの熱エネルギーを直接タービンにて回転運動に変換（回転運動）
出 力		吸込空気温度による出力制限は少ない。	吸込空気温度が高いときは、圧縮機で圧縮される空気量が減るために、出力が制限される。
性 能・特 性	燃 料 消 費 率	230～310 g / kWh	520～680 g / kWh
	使 用 燃 料	軽油、A重油	灯油、軽油、A重油
	空 気 過 剰 率	2.0～3.0	3.5～4.0
	瞬時周波数変動	±10%以下	一軸式の場合 ±5%以下 二軸式の場合 ±10%以下
	周波数ドローフ	5%以下	5%以下
	瞬時負荷投入率	無過給の場合：100%投入可能 過給機の場合：70%投入可能 高過給機の場合：50%投入可能	一軸式の場合：100%投入可能 二軸式の場合：70%投入可能
	始 動 時 間	5～40 秒	20～40 秒
軽 負 荷 運 転		燃料の完全燃焼が得られにくい。 潤滑油アップ量が増し燃焼室内あるいは排気タービン（過給機）にカーボン付着が多い。	特に問題ない。
冷 却 水		必要ラジエータの場合、常時補給の必要なし。	不要（空気冷却方式のため）
環境性	N O x 量 等	300～1000ppm(O ₂ 濃度 13%)	20～150ppm(O ₂ 濃度 10%)
	振 動	往復運動機関のため振動があるが、防振装置により減少可能。	回転機関のため少ない。防振装置不要。
施工性	体 積・質 量	部品点数が多く、質量が重い。	構成部品点数が少ない、寸法及び質量共に小さい。
	据 付	据付け面積が大きい。 基礎が必要。 吸気・排気の処理が小さい。	据付け面積が小さい。 基礎が小さくよい。 吸気・排気の処理が大きくなる。

(3) 冷却方式の検討

ディーゼル機関は、機関運転中、冷却が必要となる。冷却方式は、「ラジエータ方式」と「水冷循環式」の2方式がある(表-7)。ラジエータ冷却方式は水冷循環式に比べ簡易的であり、水の確保が困難な場所に適している。

一方、水冷循環式は、冷却水槽や排水設備等の補機設備が必要となり、設備費用や維持管理費用が高価となる。

当ダムは直近の市街地である新ひだか町まで50km以上離れており、水の確保が困難であることから経済性を考慮しラジエータ冷却方式を採用した。

表-7 ラジエータ冷却方式と水循環式の比較

機関項目	ラジエータ冷却方式	水冷循環式
補給水	水を補給することなく安定して運転することが出来る。	稼働中は水を確実に補給する必要がある。
補給水対策	特に無い	寒冷地では凍結対策が必要
減圧水槽	不要 (冷却水の現地配管は不要)	必要 (冷却水の現地配管が必要)
冷却風	室内取込処理を十分検討する必要がある。	室内取込処理が不要である。
排風	処理必要 (ダクトによる直出しが好ましい)	不要
設置場所	十分に給換気が行えるところであれば可。地下室等には不向きである。	運転に必要な容量の圧力清水が必要。水量が得られ、排水設備が設置可能な場所が必要である。
損失	ファン駆動馬力が損失になる。	ファン駆動馬力等の損失がなく、最大出力を取り得る。
現地対策	周囲温度による出力補正が必要である。また、十分な給換気が可能なガラー等が必要である。	冷却水槽を設置する必要がある。冷却水設備の建設コストが増大する。

(4) 燃料種別の検討

燃料種別は、「電気通信施設設計要領・同解説」より、取扱の容易性、補給の容易性(流通、入手性)を考慮して「軽油」が標準とされている。その際、地域性にも配慮して選定を実施することが必要であるため、「A重油」と比較検討を実施した(表-8)。

表-8 燃料種別の比較

	軽油	A重油
規格	JIS K 2204(2007)	JIS K 2205(2006)
発熱熱量[kcal/kg]	10,300~10,500	10,000~10,200
理論空気量[m ³ /kg]	14.22	13.86
比重	0.83	0.85
硫黄分	0.5[%wt]以下	2[%wt]以下
流動点	-30~+5[°C]以下	5[°C]以下
価格[円/l]	116(小型ローリー 2月号)	91(小型ローリー 2月号)
消防法による指定数量	1,000 リットル	2,000 リットル

比較検討の結果、地域性は寒冷地であり冷間時の流動性および流通性に優れていることから「軽油」を選定した。

(5) 運転稼働時間の検討

運転稼働時間については、以下の項目を考慮して検討を実施した。

①管理者のダム到着までに必要な時間

→12時間を想定(大規模災害時に管理者が被災した場合を想定)

②給油輸送時間

→『石油の備蓄の確保等に関する法律』⁸⁾に基づく中核SS、住民拠点SS(三石町及び静内町にあるSS)より1時間を想定

③給油所の休業時間

→11時間(21:00~8:00)と想定

上記より、運転稼働時間は24時間に設定した。

(6) 非常用発電装置の検討結果

非常用発電装置検討結果を表-9に示す。

表-9 非常用発電装置 検討結果

項目	新設仕様	備考
設備構成	低圧発電設備	
発電設備型式	屋外キュービクル型発電機	
発電機容量	53.6[kVA]以上	出力計算結果より
原動機容量	52.1[kW]以上	出力計算結果より
台数	1台	
内燃機関	ディーゼル機関	
冷却方式	ラジエータ冷却方式	
燃料種別	軽油	
必要運転時間	24時間	既設管理棟発電機同様
燃料消費量	20.1[l/h]	設計基準の計算式より
運転可能時間	24.3[h]	
屋外油庫容量	490[l]	A重油の指定数量 : 2,000[l] 軽油の指定数量 : 1,000[l]
地下/屋外タンク容量	該当なし	
必要換気量	該当なし	
外形概略寸法(W×D×H)	3050×920×1480	

10. 今後の維持管理における引継事項の整理

三石ダムの電気通信設備における将来的な維持管理を考慮し、申し送り事項として以下について整理を実施した。

①管理棟発電機給電線について

将来的な更新の際は発電機とケーブルを同時更新するのが望ましい。

②受変電設備制御用ケーブル

第2受変電設備から第1・第3受変電設備へ至る制御ケーブルについても、上記同様に各受変電設備更新時に合わせ更新するのが望ましい。

③データ欠測について

新設設計を行った高圧受変電設備及び非常用発電装置の異常信号について、コスト面を考慮し、ダムコン入出力変更・改修時に合わせ、除湿機の接点入力（運転・故障）を廃止・流用し、ダムコンへの表示が望ましい。

④第3受変電設備の将来的な更新

第2ゲート室への配線経路の検討結果から、第3受変電設備は第2ゲート室への接続が不要となる。そのため、将来的に第3受変電設備や電源ケーブルの更新設計を行う際は、機械設備更新の可能性を考慮し、第2ゲート室負荷を除いた設計条件とする必要がある。

⑤非常用発電装置の設置に係る各機関の届出

非常用発電装置を設置する際は、関係機関（経済産業局、消防署）への申請手続きが必要となることから、申請について整理し引継ぎ事項としてとりまとめた（図—3）。

● 電気設備設置(変更)届出
(発電容量に関係なく工事開始3日前までに届出)

1 電気設備設置(変更)届出書
2 仕様書または説明書
3 添付図面類
①案内図(設置付近図)
②設置場所の平面図、立面図
③機器の配置図(平面図、立面図)
④運転制御図(シーケンス図)
⑤負荷設備系統図(単、3結線図)
⑥創成計算書
⑦自家発電設備の出力算定書

● 少量危険物貯蔵取扱届出
(電油400~2000ℓ、軽油200~1000ℓを貯蔵取扱いする場合、工事着工前に届出)

1 少量危険物貯蔵取扱届出書
2 添付書類…各市区町村条例の規定に準拠

図—3 電気設備設置（変更）届出に必要な書類¹⁰⁾

謝 辞

本稿については、室蘭開発建設部より発注頂いた業務成果を報告させて頂いたものです。本稿を取りまとめるにあたり、ご協力をいただいた室蘭開発建設部施設整備課、胆振農業事務所、新ひだか町役場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札幌支社次長(技術士)）

引用文献

- 1) 室蘭開発建設部胆振農業事務所：H25 三石地区事業計画策定等業務
- 2) 国土交通省：電気通信施設設計要領（通信編・電気編・情報通信システム編）2021年3月
- 3) 国土交通省：光ファイバーケーブル施工要領・同解説 2023年
- 4) 経済産業省：電気設備に関する技術基準を定める省令 2023年3月
- 5) 国土交通省：電気通信施設設計要領・同解説（電気編）2021年3月 pp.2～59
- 6) 一般社団法人 日本電機工業会：第三次判断基準（2026 トップランナー変圧器）2025年7月
- 7) 農林水産省：電気設備計画設計技術指針（高低圧編）2019年9月
- 8) 国土交通省大臣官房技術調査電気通信室：電気通信施設設計要領・同解説（電気編）2017年
- 9) 国土交通省：ダム・堰施設技術基準（案）基準解説編・マニュアル編 2016年3月
- 10) 経済産業省：石油の備蓄の確保等に関する法律 1976年4月

急傾斜地における区画整理設計の事例紹介

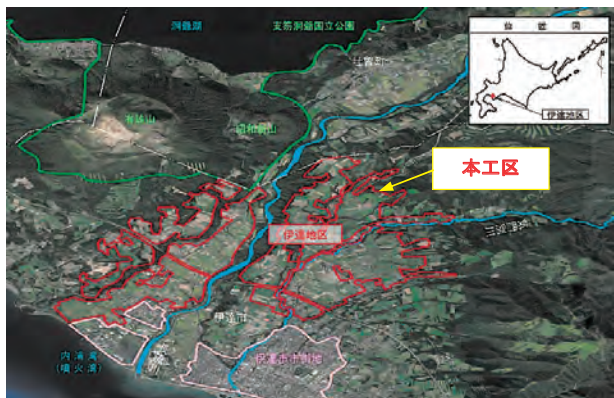
柴崎 光啓

1. はじめに

国営緊急農地再編整備事業（以下「本事業」）は、水田・畑地ともに農地の区画形質を変更し、その他のほ場条件を総合的に再編整備することによって、農業生産性の向上を図り、併せて農業構造の改善を行うことを目的として実施されている。

事業面積の8割近くを畑地が占める伊達地区以下「本地区」：図－1）では、温暖な気候を生かし「伊達ブランド」の野菜等を生産しており、生産性・収益性の向上に向けた区画整理（大区画化、傾斜改良、排水改良、石礫除去等）を実施している。また、併せて効率的な土地利用に資することを目的とし、分散した耕作地の利用集積（換地）を実施している¹⁾。

本稿では、本事業・本地区において、地形勾配が14%を超える急傾斜地工区（以下「本工区」：図－2）で実施した区画整理設計における「整地工」「農道工」「暗渠排水工」工種の各設計について事例紹介する。



図－1 本地区および本急傾斜地工区位置図

2. 整地工の設計

本地区は、基幹的施設（道道・市道）の配置や丘陵地形が複雑に入り組む条件となっている。このため、標準区画（畑）は、現況の地形条件に基づき最大限の区画拡大が望める制限長さを考慮し、 $A=5.1\text{ha}$ ($225\text{m} \times 225\text{m}$) に定めている。しかし、本工区のような急傾斜地の整地工設計では、標準区画（畑）見合いの区画割りを行うと、長大な法面が発生すると

ともに、取付道路のスロープ延長や排水施設用地が大きくなり、整備後のほ場面積が著しく減少する。したがって、整地工の土工費を抑えつつも営農性やほ場面積に配慮した設計を樹立することが要諦となる。

本章では、急傾斜地の「整地工」設計をどのような手法で策定したのか、その事例を紹介する。

(1) 設計条件

本工区の現況は、急傾斜地に造成された「段々畑」で、最高標高 $\text{GH}=190.0\text{m}$ 、最低標高 $\text{GH}=118.0\text{m}$ 、ほ場の最大標高差は約 53m である（図－2）。設計に必要な条件を、以下に整理する。

【現況状況】

- ・工区：面積 $A=10.56\text{ha}$ 、地形勾配 $i=14\%$ (8°)
工区内には地区外流域を含む沢地、山林原野、鉄塔・送電線があり、また、隣接する工区外に水路兼用農道がある。
- ・ほ場： $N=7$ ほ場、 $A=5.28\text{ha}$ 、（平均 0.75ha ）、 $i=6\sim 11\%$ ($4\sim 6^\circ$)

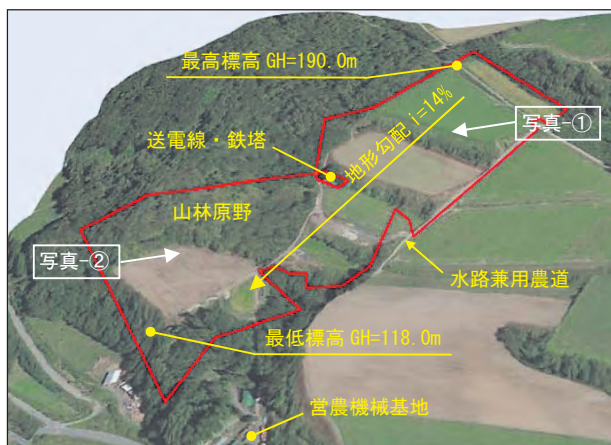
【営農条件（受益農家の要望）】

- ・作付方向を栽培作物毎に変更出来るよう、ほ場の長辺・短辺方向の傾斜勾配を共に緩くしてほしい。
- ・ほ場を分断する農道を農区端部に寄せてほしい。
- ・各ほ場を連絡する農道を再整備してほしい。

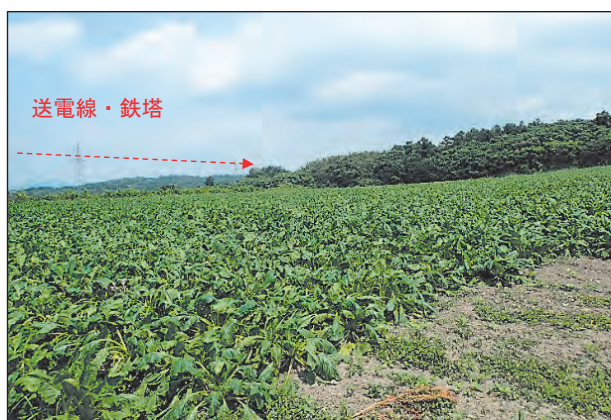
【整地工設計条件】²⁾

- ・整地工法：標準切盛工法（表土扱い工法）
- ・造成勾配： $i=5^\circ$ 以下 (8.7% 以下) … 地区の目安
- ・法面勾配：切土 $1:1.0$ 、盛土 $1:1.5$
- ・運土計画：ブルドーザ (60m 迄)
バックホウ+不整地運搬車 (60m 以上)

※なお、スクレープドーザは、目下稼働台数の減少で使用が難しい状況にある。このため、本地区では、選定機種から除外している。



図－2 本工区の概況



写真－1 工区内の状況（撮影位置①）



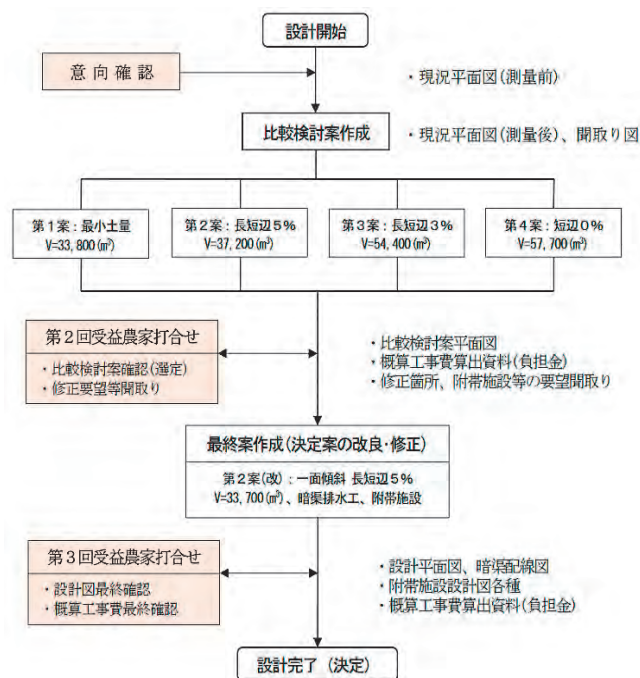
写真－2 工区内の状況（撮影位置②）

(2) 設計

1) 実施フロー

整地工の設計は、実施フロー（図－3）の通り行った。まず、現地調査及び受益農家の意向内容を踏まえた比較検討4案で第2回受益農家打合せを行い、

農家意見を反映した改良・修正案を基に、暗渠排水工と附帯施設設計を含めた詳細について、第3回受益農家打合せを行い、設計完了とした。



図－3 実施フロー

2) 比較検討4案の作成・提案

比較検討案は、営農性と経済性に着目し、造成範囲およびほ場面の傾斜方向や勾配を変化させた4案を作成し、各案の特徴を比較検討案概要表（表－1）に整理した。これにより、受益農家が重視している点や度合いとのすり合わせが容易となり、スムーズな合意形成を図ることが出来た。なお、ほ場面の傾斜勾配は、作業機械の走行性能や作業性のほか、地形・営農条件や排水計画等を考慮し、安全かつ効率的な営農を行えるよう、以下の着眼点を目安に設定した。

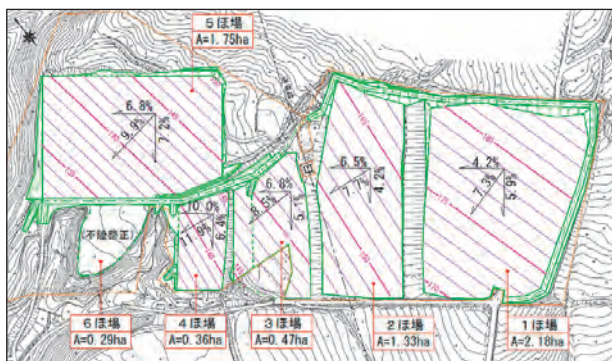
【ほ場面の傾斜勾配設定の着眼点と目安】

- ・長辺方向の勾配： $i \leq 8\%$ (5°) … 平地で使用する一般的な営農機械の走行性能や作業性に留意³⁾。
- ・短辺方向の勾配： $i \leq 5\%$ (3°) … —
- ・ほ場面の良好な排水勾配： $i \geq 5\%$ (3°)
- ・表土流出防止勾配： $i \leq 2\%$ (1°)

検討案	概 要		特徴
第1案 (最小土量案)	作付面積	A=6.38 (ha)	↑ 経済性
	ほ場面の勾配	i=7~11°(4.9~6.3°)	
	長辺・短辺の勾配	i=5~10°(2.9~5.7°)	
	運土量	V=33,800 (m³)	
	表面排水性	良好(※表土流出に留意を要する)	
	営農性	作業能率・精度低下に留意を要する	
	概算工事費	172,600 (千円)	
第2案 (長辺・短辺の 勾配5%)	作付面積	A=6.24 (ha)	
	ほ場面の勾配	i=7°(4.0°)	
	長辺・短辺の勾配	i=5°(2.9°)以下	
	運土量	V=37,200 (m³)	
	表面排水性	良好	
	営農性	良好(平地作業と同じ)	
	概算工事費	181,500 (千円)	
第3案 (長辺・短辺の 勾配3%)	作付面積	A=5.94 (ha)	
	ほ場面の勾配	i=4°(2.3°)	
	長辺・短辺の勾配	i=3°(1.7°)	
	運土量	V=54,400 (m³)	
	表面排水性	普通(残留水に留意を要する)	
	営農性	良好(※法面長に留意を要する)	
	概算工事費	222,700 (千円)	
第4案 (短辺の 勾配0%)	作付面積	A=5.86 (ha)	↓ 営農性
	ほ場面の勾配	i=4~7°(2.3~4.0°)	
	長辺・短辺の勾配	長辺 i=4~7°, 短辺 i=0°	
	運土量	V=57,700 (m³)	
	表面排水性	良好(※表土流出に留意を要する)	
	営農性	良好(※法面長に留意を要する)	
	概算工事費	224,500 (千円)	

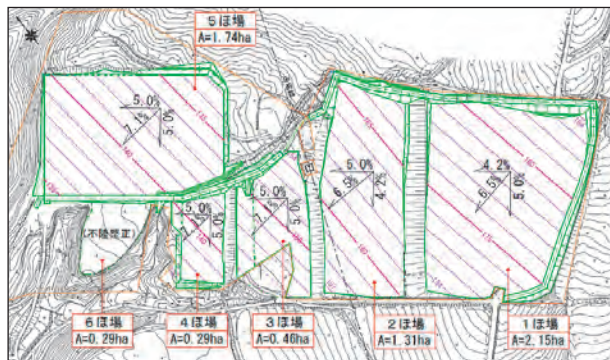
【第1案：最小十量案】（図-4）

- ・作付面積：A=6.38 (ha)
- ・ほ場面の勾配：i=7～11% (長辺・短辺方向は5～10%)
- ・運土量：V=33,800 (m³)
- ・概算工事費：172,600 (千円)



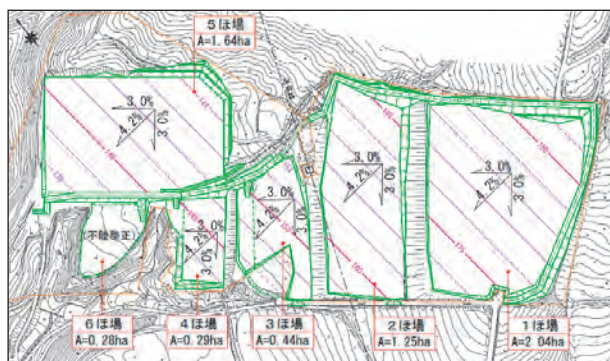
【第2案：長辺・短辺の勾配 $i = 5\%$ 】（図-5）

- ・作付面積：A=6.24 (ha) … 第1案の97%
- ・ほ場面の勾配：i=7% (長辺・短辺方向は5%以下)
- ・運土量：V=37,200 (m³) … 第1案の110%
- ・概算工事費：181,500 (千円) … 第1案の105%



【第3案：長辺・短辺の勾配 $i=3\%$ 】（図-6）

- ・作付面積：A=5.94 (ha) … 第1案の93%
- ・ほ場面の勾配：i=4% (長辺・短辺方向は3%)
- ・運土量：V=54,400 (m³) … 第1案の161%
- ・概算工事費：222,700 (千円) … 第1案の129%

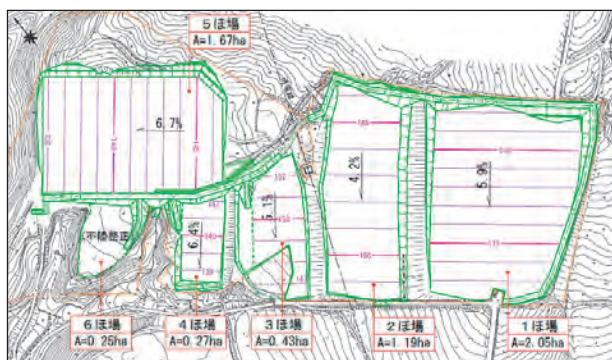


【第4案：短辺の勾配 $i=0\%$ 】（図-7）

— 39 —

ことから、車両横断方向が水平となるので、作業能率・精度は最も高いが、第3案同様、長大となる法面の安全性および維持管理に留意を要する。また、長辺方向の勾配が5% (3°) を超える1・3・4・5ほ場では、表土流出にも留意する必要がある。

- ・作付面積：A=5.86 (ha) … 第1案の92%
- ・ほ場面の勾配：i=4～7% (短辺方向0%)
- ・運土量：V=57,700 (m³) … 第1案の171%
- ・概算工事費：224,500 (千円) … 第1案の130%



図－7 整地工【第4案】

4) 比較検討案の改良・修正および決定設計

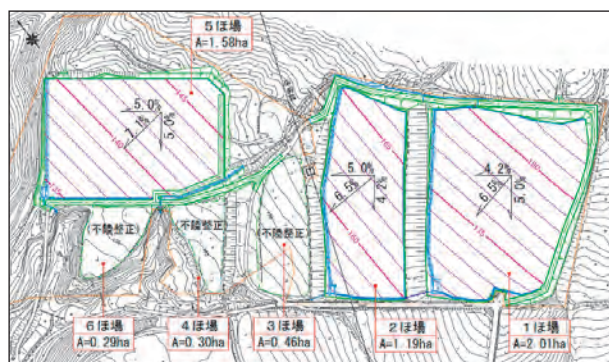
受益農家打合せの結果、以下の経緯で【第2案】を改良・修正した【第2案(改)】を採用設計とした。

- ・土工バランスや経済性が適当である。
- ・現況地形勾配なりの傾斜改良であるため、現況地形と整地地形を繋ぐ取付道路からの摺付けも良い。
- ・長辺・短辺勾配を5% (3°) 以下としたので、作業能率・精度が高く、表面排水性も良好である。

但し、現況ほ場面積0.5ha以下の3・4・6ほ場では、「沢埋めや段差解消など、整地工に要する運土量が面積に比して大きくなる割に、生産性及び営農性の向上が薄いのではなかろうか」との懸念が、受益農家から示されたため、それら3ほ場は不陸整正とする【第2案(改)】を作成し、【第2案】との経済比較も整理したうえで、第3回受益農家打合せを行った。その結果、【第2案(改)】で設計を取り纏める旨の合意形成となり、これを決定設計とした。

【第2案(改)】(図－8)

- ・作付面積：A=5.83ha … 第2案の93%
- ・ほ場面の勾配：i=6.5%～7.1% (長辺・短辺5.0%以下)
- ・運土量：V=33,700 (m³) … 第2案の91%
- ・概算工事費：162,100 (千円) … 第2案の89%



図－8 整地工【第2案(改)】

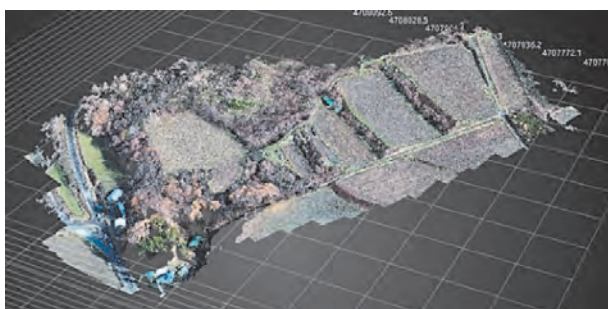
(3) 合意形成における3次元モデルの活用

本工区は、本章の冒頭で述べたとおり、山林原野や沢地を含む、起伏に富んだ急傾斜地である。

受益農家打合せでは、説明資料として計画平面図や構造図といった2次元モデルを使用することが従前において一般的であったが、受益農家へ正確に伝わりにくい場合があった。この課題を解消して、より精度の高い合意形成を行うため、3次元モデルを用いて説明を行った。

1) 現況3次元モデルの活用

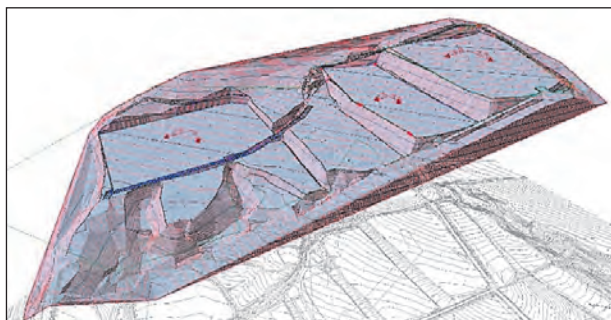
まず、意向確認では、現況地形の聞き取り用に、現況3次元モデル(図－9)を活用した。これにより、現況状況や要望内容、位置等について、正確に相互把握が出来た。



図－9 現況3次元モデル

2) 設計3次元モデルの活用

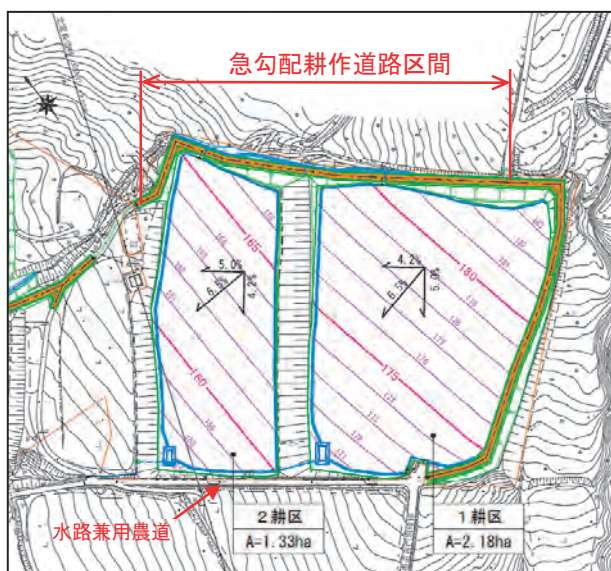
第2・3回受益農家打合せでは、意向聞き取り用に、設計3次元モデル(図－10)を活用した。設計3次元モデルは、受益農家が造成後のほ場形状や周囲に発生する法面および農道などを立体的に把握出来るので、互いに齟齬のない合意形成に寄与したと考えている。



図－10 設計3次元モデル（造成後の出来形図）

3. 農道工の設計

本章では、本工区で新たに整備する「農道工」設計のうち、縦断勾配が14%（8°）となる「急勾配耕作道路（図－11）」の設計をどのように行ったか、その実例を紹介する。



図－11 急勾配耕作道路設計位置図

(1) 概要

1) 本工区内外の耕作道路と水路兼用農道の現況状況

まず、本工区内における現況の耕作道路は、その縦断勾配が設計基準⁴⁾に規定される「縦断勾配の上限値8%、特例値12%（但しL=100m迄）」を概ね上回っている。また、その勾配分布が不均一（ $i=10 \sim 15\%$ ）であるほか、平面線形において湾曲・蛇行している（写真－3）。加えて、降雨流水による路盤の洗掘などが生じており、総じて営農車両の安全な通行に支障をきたしている状況にある。

また、本工区の外周部には、排水路機能を併せ持つ水路兼用農道が配置されており（写真－4）、市道

や工区内耕作道路・ほ場及び営農機械基地を結んでいるものの、工区内の耕作道路と同様、その縦断勾配が設計基準の上限値を上回っている（ $i=14\%$ ）。加えて、幅員が $W=3.0\text{m}$ と狭いため、営農作業用アタッチメントの収納ないし取外しを行ってから走行する必要が生じ、営農効率の低下要因となっている。



写真－3 工区内における現況の耕作道路状況



写真－4 現況の水路兼用農道の状況

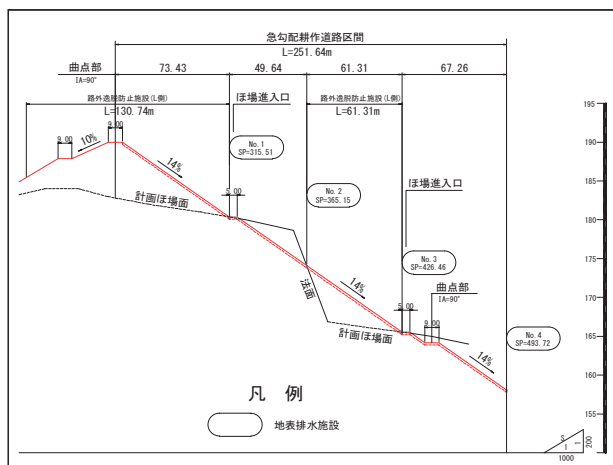
2) 急勾配耕作道路の設計概要

しかし、この水路兼用農道は、工区外周の「外側」にあるため、本事業で改修することが出来ない。従って、水路兼用農道に平行させる形で本工区内に急勾配耕作道路を設計し、営農効率の改善に資するものとした。

(2) 急勾配耕作道路の設計

1) 縦断線形

本工区内に建設する急勾配耕作道路の縦断線形は、現況・計画ほ場の標高と配置、営農機械の登坂能力等を踏まえ、林道規程⁵⁾の例外値「14%」を採用した。但し、進入口や曲点部等車両が旋回する範囲は、安全性を考慮し LEVEL とした（図－12）。



図－12 急勾配耕作道路縦断面図

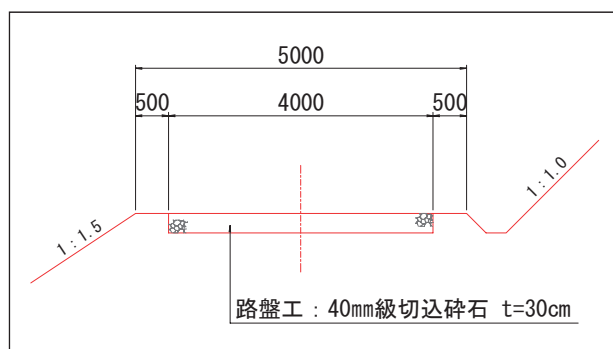
2) 断面（規格構造）

急勾配耕作道路の規格構造を表－2と図－13に示す。その幅員は、受益農家の使用する営農機械が大型化している現状を踏まえ、耕作道路（B）見合いとした。

また、路盤構成については、登降坂時のすべり止め対策に詳述するとおり、40mm級切込碎石を $t=30\text{cm}$ 敷均すものとした。

表－2 急勾配耕作道路の規格構造

規 格	全幅員 (m)	車道幅員 (m)	路肩幅 (m)	路盤構成
急勾配 耕作道路	5.00	4.00	0.50	40mm級切込 碎石 $t=30\text{cm}$



図－13 急勾配耕作道路標準断面図

3) 登降坂時のすべり止め対策

登降坂時のすべり止め対策に配慮した路盤工としては、走行面の摩擦力及び強度を上げる工法として「砂利」「すべり止め用の砂」「アスファルト・コンクリート舗装（すべり止め溝）」が挙げられる。

本工区では、受益農家による維持管理が容易で経済的なクラッシャー等の良質な材料として、本地区の非急傾斜地工区でも採用している「40mm級切込碎石」を用いるものとした。但し、路盤の厚さについては、登降坂時の掻き出しや降雨による洗堀を考慮して、林道事業設計指針を参考に、 $t=20\text{cm}$ 増しの「 $t=30\text{cm}$ （埋込みタイプ）」⁶⁾とした。

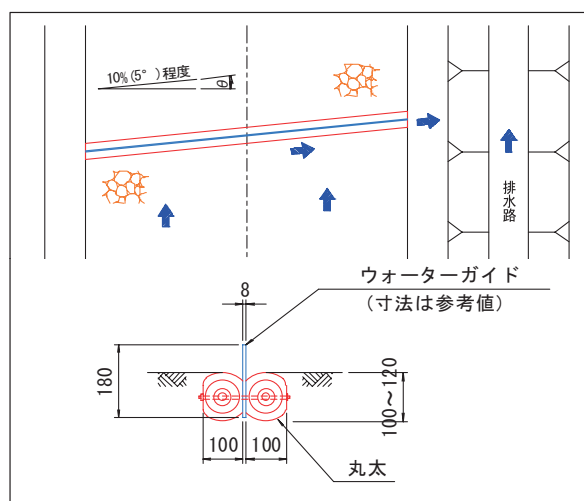
(3) 地表排水施設

急勾配耕作道路では、適切な表面水の処理をしないと路面洗堀を起こす恐れが高い。このため、「地表排水施設」を設計した。

一般道路（公道）の地表排水施設は、グレーチング付きコンクリート側溝と踏掛版を組み合わせた構造の「横断溝」を配置し、路面の流水をキャッチして路外へ誘導している。しかし、急勾配耕作道路を砂利路盤とするため、管理者である受益農家が、路盤より溝工内に零れ落ちた砂利を、定期的に除去する作業を担う必要が生じ、維持管理に対する負担感も強い。加えて、破損時の復旧費用も課題となる。このため、安全性・経済性かつ維持管理性にも優れた「木製路面排水工」を設置する設計とした。

木製路面排水工は、柔軟性のあるゴム板を木材で挟み固定したもので、路盤に埋設し路面の止水及び排水を行う構造である（図－14）。

設置位置は、林道事業設計指針⁷⁾で定める「100m程度に1箇所」の横断溝設置間隔を参考に、ほ場進入口直前と盛土法面直前、路線終点等の縦断・横断線形変化点に配置し（図－12）、効果的に道路の表面水を路外へ排水することとした。



図－14 木製路面排水工構造一般図

4. 暗渠排水工の設計

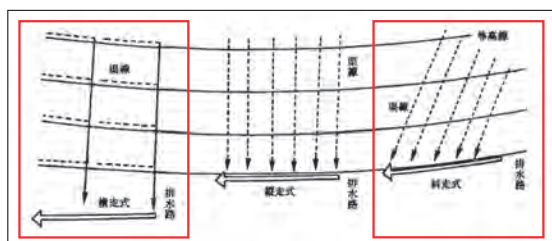
傾斜ほ場における暗渠排水工の配線方法は、設計ほ場の形状や傾斜、流末となる排水施設等の諸条件により様々である。

本章では、急傾斜地工区における「暗渠排水工」の設計をどのように行ったか、その実例を紹介する。

(1) 傾斜ほ場の暗渠配線方法

1) 吸水渠の配線方法

傾斜ほ場の暗渠配線方法は、吸水渠の配置方向によりほ場面の等高線に対して平行に配線する「横走式」、直角に配線する「縦走式」、斜めに配線する「斜走式」に分類される（図－15）。本地区における一般的な傾斜ほ場の造成勾配は、 $i=1^\circ$ ($1/59$) ～ 5° ($1/11$) であることから、主傾斜方向（等高線に直角）に配線する「縦走式」とした場合、管内の流速制限 ($V < 0.6\text{m/s}$) から導いた限界配線勾配 ($\phi 60\text{mm}$ で $1/100$ 迄) を超えてしまうので、選択出来ない。よって図－15において赤線で囲った「横走式」ないし「斜走式」の選定となる。



図－15 吸水渠配置方向の分類^{*)}

2) 暗渠配線方法の検討

本地区では、整備水準の統一化・平等化を図る目的で、傾斜ほ場の暗渠排水工について、「排水方式」「断面」「使用材料」「吸水渠間隔」などについて、基本事項を定め、地区標準図で標準区画のモデル配線図を整理している。しかし、実際の設計では、ほ場の形状や傾斜状況（一面傾斜や曲面傾斜など）に応じた配線を行う必要がある。

本地区では、これまで上述の地区標準図を踏まえ、一律「横走式」で計画していたが、本工区では、現地条件に適した暗渠配線方法を整理・検討した。

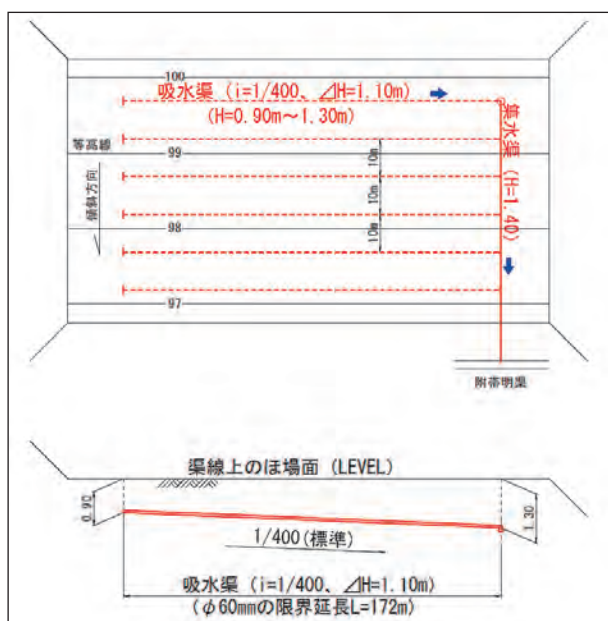
具体的には、図－16,17に示すとおり、実施ほ場に対して【第1案：横走式】と【第2案：斜走式】で暗渠配線を行い、最適な配線方法を選定することとした。各配線方法における吸水渠の特徴について以下に説明する。

【第1案：横走式】の特徴

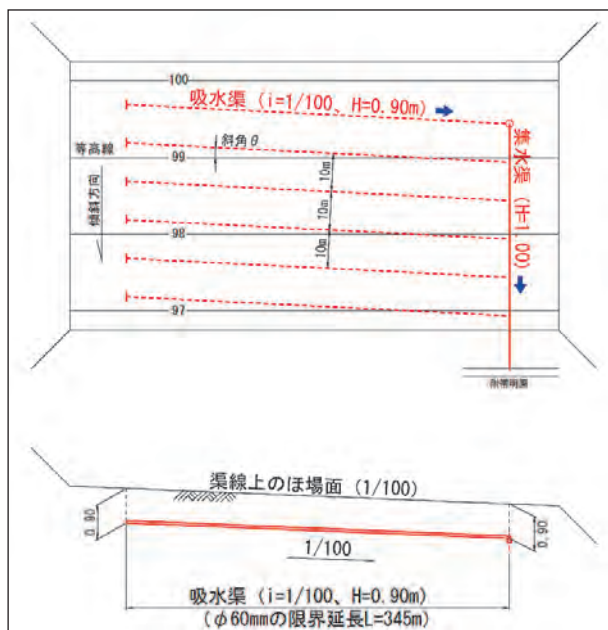
横走式は、吸水渠をほ場面の等高線に対して平行に配置したものである。渠線上のほ場面は、LEVELとなることから、吸水渠に人工勾配を付す必要が生じ、平均掘削深は「1.10m」となる（図－16）。

【第2案：斜走式】の特徴

斜走式は、吸水渠をほ場面の等高線に対して斜角を付け、配線勾配と渠線上のほ場面が同勾配見合いとなるように配置したものである。吸水渠の平均掘削深は、一律で最小切深の「0.90m」となる（図－17）。



図－16 吸水渠の配置モデル【第1案：横走式】



図－17 吸水渠の配置モデル【第2案：斜走式】

3) 暗渠配線方法の決定

本設計では、実施ほ場を対象に【第1案:横走式】(図-18)、【第2案:斜走式】(図-19)で暗渠配線図を作成し、比較検討を行った結果、経済性と施工性において【第2案:斜走式】に優位性があることを検証した。

具体的には、平均切深や疎水材量を最小に出来るほか、配線勾配を流速制限勾配(1/100)とすることで、吸水渠1本当たりが受け持つ支配面積(延長)を最大に出来る。

この結果を踏まえ、設計では、【第2案:斜走式】暗渠配線図を第3回受益農家打合せで受益農家に提示し、承諾を得たことから【第2案斜走式】に決定した。

(2) コスト縮減の効果

本工区の実施ほ場を対象に設計した暗渠配線図両案について、概算工事費を算定し経済性の検証を行うと共に、事業全体のコスト縮減の効果を検証した。

1) 概算工事費の算定

【第1案：横走式】(図-18)

- ・吸水渠φ60mm(H=1.10)
 $L=1,482(\text{m}) \times 1,910(\text{円}/\text{m}) = 2,830,620(\text{円})$
 - ・集水渠φ80mm(H=1.20)
 $L=298(\text{m}) \times 2,530(\text{円}/\text{m}) = 753,940(\text{円})$
 - ・集水渠φ90mm(H=1.20)
 $L=58(\text{m}) \times 2,540(\text{円}/\text{m}) = 147,320(\text{円})$
- 概算工事費(直接工事費) 計 3,731,880(円)

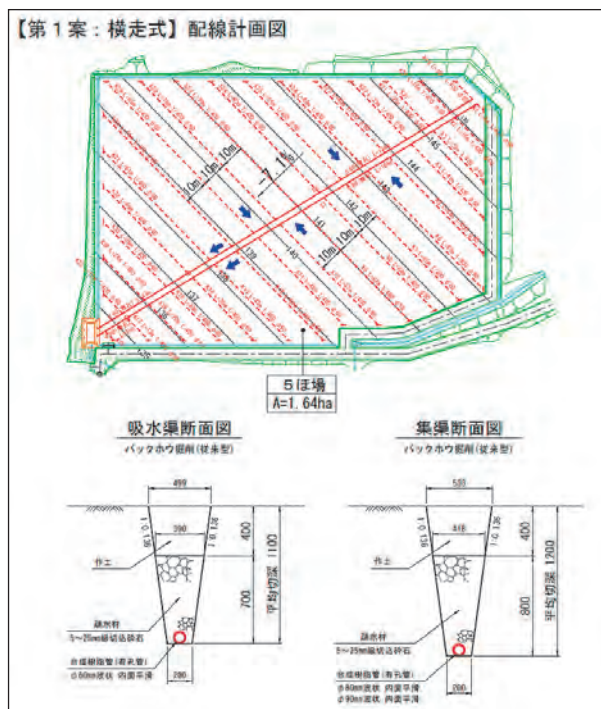


図-18 【第1案：横走式】暗渠配線図

【第2案：斜走式】(図-19)

- ・吸水渠φ60mm(H=0.90)
 $L=1,487(\text{m}) \times 1,520(\text{円}/\text{m}) = 2,260,240(\text{円})$
 - ・集水渠φ80mm(H=1.00)
 $L=302(\text{m}) \times 2,070(\text{円}/\text{m}) = 625,140(\text{円})$
 - ・集水渠φ90mm(H=1.00)
 $L=54(\text{m}) \times 2,080(\text{円}/\text{m}) = 112,320(\text{円})$
- 概算工事費(直接工事費) 計 2,997,700(円)



図-19 【第2案：斜走式】暗渠配線図

両案の差額は

$$\begin{aligned}
 &= \text{【第1案：横走式】} - \text{【第2案：斜走式】} \\
 &= 3,731,880 - 2,997,700 \\
 &= 734,180(\text{円}/\text{ほ場})
 \end{aligned}$$

実施ほ場の暗渠排水工面積A=1.64(ha)で割ると

$$= 734,180 \div 1.64 = 447,670(\text{円}/\text{ha})$$

となり、実施ほ場において【第2案：斜走式】に経済性があることを検証した。

2) コスト縮減額と効果の検証

コスト縮減額は、1ほ場当たり734(千円)、1ha当たり448(千円)と小さい。しかし、後述で算出した本地区未設計工区の暗渠排水工面積A=190haでは、85,120(千円)となり、大きなコスト縮減となる。本地区における暗渠排水工の実施面積は、地下水位や湧水の現場条件で、さらに拡大することが見

込まれており、コスト縮減効果が更に膨らむ見通しである。

1ha 当りのコスト縮減額： 448 (千円 /ha)
地区全体のコスト縮減額：85,120 (千円 /190ha)

【本地区未設計工区の暗渠排水工面積】

$$\begin{aligned}\Sigma A &= a \times b \times c \\ &= 452\text{ha} \times 60\% \times 70\% \\ &= 189.8 \div 190 \text{ (ha)}\end{aligned}$$

ここに、

- a：畑地の暗渠排水工事業計画面積¹⁾ … 452ha
b：胆振農業事務所に確認した令和7年度時点の畑地の未設計工区の割合 … 60%
c：地形勾配 $i=3^\circ$ 以上の畑地の割合¹⁾ … $c = 717\text{ha} \div 1,028\text{ha} = 0.697 \div 70\%$

5. おわりに

国営緊急農地再編整備事業においては、「暗渠排水工」をはじめとする「整地工」「農道工」「排水路工」などの主工種に対し、4章(1)節2)項でも触れたとおり、整備水準の統一化・平等化を図る目的で地区基本事項や地区標準図を整理・作成している。

しかし、本工区のような起伏に富み複雑な地形に点在する急傾斜地の設計では、それに拠り難い条件が多く、創意工夫やコスト縮減の余地が大いにあるため、技術者としての知見を存分に発揮出来る。

本稿の紹介事例は、本工区で整理・検討した一例に過ぎないが、今後実施される同種設計業務での参考になれば幸いである。

また、本事業の設計業務では、受益農家との打合せが複数回あり、打合せを重ねていくと、担い手不足や高齢化に関する将来の不安について発言され、その解消策として、本事業に期待を寄せている。

本地区では、本事業を契機とし農作業の共同化やGPSを搭載したトラクターの活用などスマート農業の導入を図っていくことが期待されている。そして、営農作業の省力化と効率化を実現し、所得の増大を目指すものとしている。

その礎となる本事業の実施設計では、地域の目指す将来像を見据えた設計を行う必要があり、私自身も一技術者として、その旨を肝に銘じ、今後も取り組みたい。

最後に、本稿を作成するにあたり、ご指導・ご協力いただいた室蘭開発建設部胆振農業事務所関係各位、本稿の発表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、この場を借りて御礼、感謝を申し上げます。

(株式会社 三幸ランドプランニング 技術部 主任技師(技術士補))

引用文献

- 1) 北海道開発局：国営伊達土地改良事業計画書及び添付書 令和3年1月
- 2) 北海道開発局室蘭開発建設部胆振農業事務所：国営緊急農地再編整備事業 伊達地区 基本事項及び標準図集 令和6年2月版
- 3) 農林水産省構造改善局：土地改良事業計画指針 農地開発（改良山成工）平成4年5月
- 4) 農林水産省農村振興局：土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 計画「ほ場整備（畑）」平成19年4月 P.81
- 5) 林野庁：林道規程及び林道規程の運用細則 令和3年6月改定 P.13
- 6) 北海道水産林務部林務局森林整備課：林道事業設計指針 令和6年4月 P.-設 路-4
- 7) 北海道水産林務部林務局森林整備課：林道事業設計指針 令和6年4月 P.-設 排-48
- 8) 北海道開発局農業水産部：暗渠排水計画設計技術指針（案）平成12年1月 P.29

4. 現地踏査

実施設計に必要な現地調査の実施にあつては、以下の項目について抜けや漏れがないように実施した。

- ①出来形図面との照合
- ②直近点検結果との照合および相違の有無
- ③設備設計に必要な寸法の計測
- ④施工計画検討に必要な現地条件の把握
- ⑤現況写真撮影

上記項目のうち、「⑤現況写真撮影」に関しては、地上踏査により目視確認が行えない箇所、施設周辺の状況を把握するため、UAVを使用した空撮調査を行った（写真－1，2）。



写真－1 機場全景（南面）



写真－2 機場全景（西面）

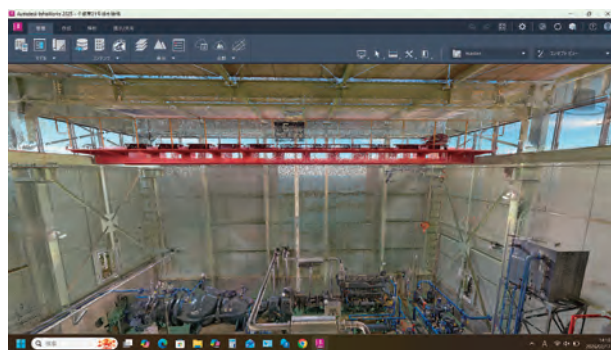
また、既設利用する機场上屋に対し、ポンプ設備および除塵設備設計における機器レイアウト検討のため、機场上屋の内外面および配置されている機器について地上型レーザースキャナにより三次元測量を

行い、既設構造を三次元モデル化した（図－3～5）。

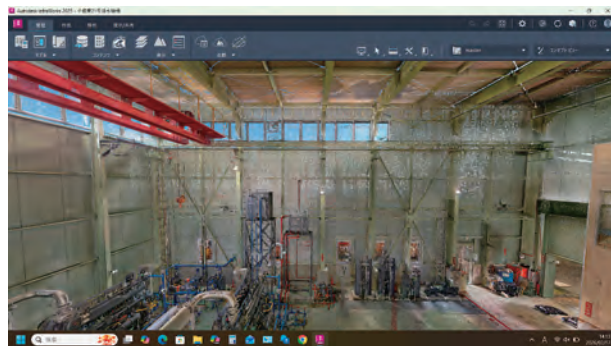
なお、三次元モデルは、写真ではなく、X-Y-Z 及び色のデータを持つ点の集まりである。

三次元モデルの利用目的は以下の通りであり、既設利用する上屋に対して新たに機器を配置するためには、重要なデータである。

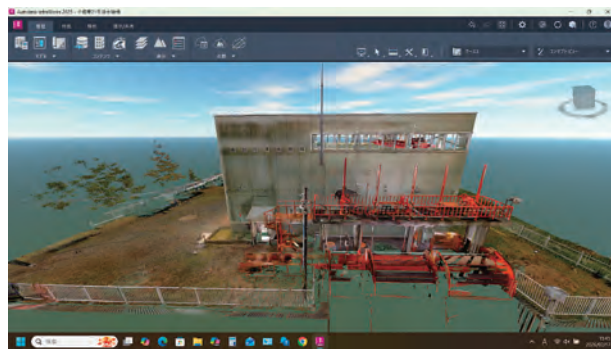
- ①機场上屋の構造部材（梁・ブレス等）位置の確認（給排気扇、排気ダクトを新設する位置の計測）
- ②配線配管、アンテナ等の壁面取付位置の確認
- ③更新機器の配置レイアウト（納まり）検討、仕上がりイメージの確認
- ④関係機関等に提示する説明資料への利用



図－3 機場内壁 東面



図－4 機場内壁 南面



図－5 機場外壁 南面
（「空」と「雲」は写真を合成）

5. 問診調査

本機場の実施設計、施工計画の検討のため、施設管理者から日常利用、操作等の不具合、事故履歴・補修履歴等について聞き取り調査を行い、設備の状況を把握した。

表－１は問診調査の一部で、「改修計画（事業計画）」に関する確認と意見等の記録である。

表－１ 問診調査の一部

質問・確認事項（設計者）
②改修計画（事業計画） - 主ポンプ系全３台の整備、更新 無水化のため、ポンプ主軸を無給水軸封装置に改造整備、エンジン更新（ラジエータ）、減速機更新（耐用年数超過） - 電動バタフライ弁、フラップ弁整備 - 補機一式更新 真空ポンプ、補水槽、燃料貯油槽、燃料小出槽、燃料移送ポンプ、空気圧縮機、空気槽、各機側操作盤 - 無水化により不要となる補機の撤去 - ポンプ室給排気ファンの増設 既設通気口のフード含む - 電気設備一式更新（自家発電装置含む） - 水管理制御設備一式更新 - ゲート機側操作盤更新 - 除塵機コンベア更新（水平・傾斜）、機側操作盤更新 - 場内フェンス、吐出し水槽タラップ更新 以上の内容となっていますが、過不足はありませんか
回答・意見（管理者）、処理方針等
上記改修計画について不足はないが、以下について追加検討が必要。 ①除塵機コンベア - コンベア基礎が沈下している、基礎杭等対策が必要 - 塵芥処理は人力で対応している状況、塵芥置場の位置およびトラックに直接積載出来るよう検討が必要 ②換気ファン - 降雨時に屋内に雨水が浸入することがあり、機側操作盤等、電気設備への悪影響が懸念されるため、外部フードが必要 ③場内舗装 - 維持管理労力の省力化と維持作業時騒音（主に草刈り）の低減のため、場内舗装の検討が必要

6. 診断調査

本機場の整備は機能保全を目的としており、現状と同等の機能で改修することが事業の目的である。

直近の機能診断調査として、令和元年度に概略診断（外観目視）が実施された。また、機能保全対策の詳細検討に必要な主ポンプ設備の簡易内部診断を含む概略診断調査が、令和５年度に実施されている。これらの診断結果は、事業計画検討のための基礎資料として活用されている。

本業務では、ポンプ設備、電気・水管理制御設備、ゲート設備、除塵設備、吐出し水槽の設備状態を確認するため概略診断調査を行った（写真－３～９）。概略診断結果を、過年度調査結果及び事業計画における整備対象と対比し、変更すべき箇所がないか、新たに不具合が確認されないか総合的に検討し、健全度評価を行った。



写真－３ 主ポンプ軸受部 振動計測



写真－４ 主原動機動弁装置 点検



写真-5 電気・水管理制御設備 絶縁抵抗測定



写真-9 吐出し水槽フラップ弁 状況



写真-6 ゲート（扉体、スピンドル）点検



写真-7 除塵機（水平ベルコン）点検



写真-8 吐出し水槽タラップ 破損状況

本業務における概略診断調査の結果、表-2に示す箇所においては、過年度調査結果を踏まえた事業計画における対策範囲に加えて対策すべき範囲を決定し、設備設計を行った。

表-2 概略診断の結果追加した対策箇所

機 器	対 策	事業計画	本 業 務
ゲート開閉器	芯ずれによる負荷が原因なので分解整備で調整する	既設利用	分解整備 既設利用
水平ベルコン基礎	杭基礎を設置するなどの対策が必要	—	対策を検討し設計
吐出し水槽タラップ	吐水管の水流が原因 位置を変更し設置	—	位置を変更し設置
吐出し水槽フラップ弁	耐用年数超過、製造者不明で軸受の整備不可	既設利用	更新

7. ポンプ設備の設計

(1) 主ポンプ台数

本機場の現況ポンプ設備はφ600mm (0.75 m³/s) 1台 (前々歴事業の移設再利用)、φ1100mm (2.50 m³/s) 2台で構成されている。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⁾ (以下では設計基準とする。) における主ポンプの選定表 (図-6) では、計画流量 2.50 m³/s (150 m³/min) は、φ1000mm と φ1200mm の境界線上にあり、φ1000mm を選定することが出来ると注釈がされている。φ1100mm のポンプおよびバルブは、設計基準においては記載がなく新規設計であれば選定されないところであるが、φ1100mm のバルブは市場に存在し、製作品のため製造可能である。

本機場建設当時の設計報告書が残っていないため

推測ではあるが、前々歴の機場からφ600mmのポンプを移設再利用していることから、この移設再利用のポンプに何らかの不具合があった場合でも、ほかの2台で排水できるよう配慮してφ1000mmではなく、φ1100mmを選定し余裕を持たせた設計であったと考えられる。

ポンプを2台とする場合は、計画吐出量からφ1200mm ($2.88 \text{ m}^3/\text{s} \approx 173 \text{ m}^3/\text{min}$) 2台の構成となるところであるが、事業計画では無水化を図るため主ポンプ軸封装置、主原動機および減速機を更新する計画であることから、本業務では既設φ1100mmの主軸分解整備、更新主原動機の出力と既設ポンプの回転数調整によりφ1100mmポンプ2台で計画量が排水可能であることを確認し、発注者、施設管理者と協議を行い、ポンプ台数をφ1100mm 2台に削減、φ600mmポンプを廃止し整備コストおよび維持管理費を削減した。

(2) 主ポンプ軸封装置

主ポンプの軸封装置の選定に当たっては、主ポンプの用途や運転状況、経済性等を考慮して選定する必要がある。軸封装置は、主にポンプケーシングの主軸貫通部の漏れを抑えるものであり、従前はランドパッキンが一般的であったが、水中軸受けと同様に水系統機器を省略して信頼性等の向上を図るため、無給水軸封装置として「メカニカルシール」等が多く用いられてきている。

本機場においては、維持管理性の向上および冬期間の凍結リスク排除を図るため、封水が不要な「メカニカルシール」を採用した。採用にあたっては、40年が経過した既設主軸の摩耗および軸振れ（偏芯）の影響を評価し、シールの許容値内に収めるため軸スリーブの更新を前提とした設計とした。これによ

り、従来の封水ポンプや補給水槽等の水系統補機が一式不要となり、システムの簡素化を実現した。

(3) 主原動機の形式

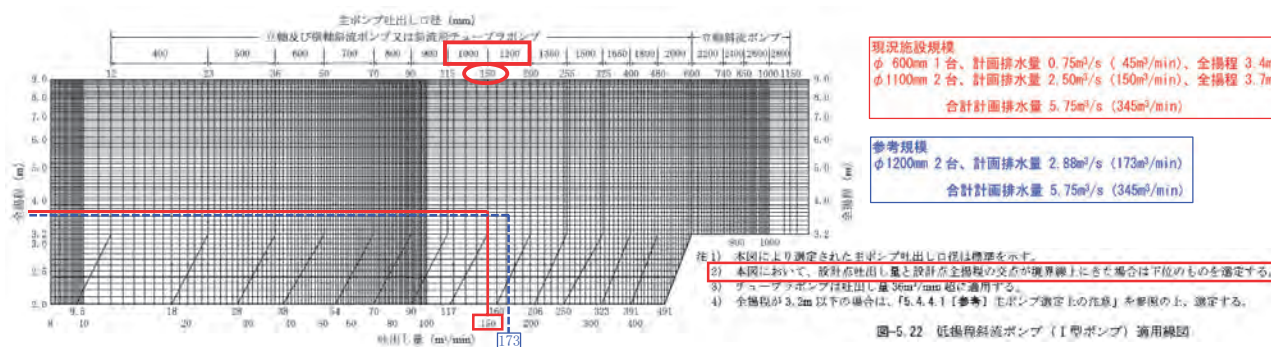
主ポンプを駆動させるための主原動機には、電動機と内燃機関（ディーゼル機関、ガスタービン）がある。本機場は排水機場であり、洪水時の停電等による外的要因に係わらずポンプの運転が必要である。そのため、洪水時用ポンプには外部からの電源供給に頼ることなく運転が可能な内燃機関を採用した。

内燃機関は、ディーゼル機関とガスタービンに大別されるが、本機場の出力（170kw）とメンテナンスの容易さ、現況機場での実績を踏まえて機付ラジエータ方式ディーゼル機関を採用した。ディーゼル機関の冷却方式については、維持管理のしやすさ、経済性、本機場の出力および冬期間における冷却水系統の凍結による破損（故障）リスクを排除するため、施設管理者の意向とも整合を図り、冷却方式には水系統補機を必要としない「機付ラジエータ方式」を採用した。本方式の採用に伴い、原動機からの放熱量が大幅に増加するため、機場内の必要換気量を定量的に算定した。これに基づき、新設する給排気ファンおよびダクトの最適容量・配置を設計に反映させた。

(4) 燃料貯油槽

燃料貯油槽は屋内燃料貯油槽、屋外燃料貯油槽、地下燃料貯油槽等に分類され、危険物関係法令（消防法、政令、都道府県市町村条例等）に基づいて設置される。

地上タンクは、施工性に優れ維持管理が容易であることから、多くの排水機場で採用の実績があるが、建物からの保安距離、防油堤を設けるなどの制約が



図－6 主ポンプの選定図

ある。地下タンクは、周辺設備との離隔距離の制約がないため敷地に制約のある場合に採用される。

本機場においては、敷地に十分な余裕があることから地上タンク貯蔵を採用した。また、大容量であることから現機場と同様に屋外設置とした。

屋外地上タンクには、従来鋼製タンク（写真－10）が採用されてきたが、近年では「コンボルト型地上タンク」（写真－11）が採用されてきている。コンボルト型タンクは、鋼製タンクをコンクリートで被覆していることから堅牢であり、防油堤を設置する必要がない。また、基本的にはメンテナンスフリーであり、鋼製タンクのように定期的な塗装は不要である。

このようなことから、経済的で維持管理に優れた「コンボルト型地上タンク」を採用した。



写真－10 鋼製地上タンク（現況機場）



写真－11 コンボルトタンク（施工事例）

8. 電気・水管理制御設備の設計

電気・水管理制御設備は、主として電源切替盤、動力盤、操作盤、機側操作盤等（総称して配電盤）があるが、屋内（操作室、ポンプ室）に設置されて

いるものは、外観目視上の劣化部位は特に無く、機能上の支障はない状態だが、盤内使用機器の大半が機器の耐用年数を超過しているため、交換部品の調達が困難で、故障時には配電盤ごと更新する事態になりかねなく、その期間は運転不可能となる。いつ機能喪失を伴う故障が発生するかわからないため更新が必要である。一方、屋外に設置されているものは、全体的に劣化が目立ち盤体に錆や塗装の剥離もあり、劣化対策が必要であり、耐用年数を超過しているため、屋内に設置されているものと同様の理由で更新が必要である。

このことから、電気・水管理制御設備は全て更新する。

更新する配電盤類は、設計基準に示される外形寸法、壁や天井との離隔距離を考慮して設計するものであるが、配電盤の標準的な高さはH=2,350mm（台枠含む）であり、設置したときは天井梁下から500mm以上の余裕をとることが標準となっている。また、重量物の配電盤を斜めにして搬入することは安全管理上好ましくない。しかしながら、天井高はH=2,580mm（写真－12）であり、現況機場の扉の有効寸法はH=2,100mm（写真－13）であるため、いずれも必要な寸法を満たしていない。



写真－12 操作室天井高と配電盤寸法

このことから、これら天井高等の制約がある狭隘部への配電盤搬入・動線検討にあたっては、事前に構築した三次元点群データを活用し、ミリ単位での干渉チェックおよび施工ステップのシミュレーションを行ったうえで、配電盤高さを現況より500mm低いH=1,850mm（図－7）とし、安全かつ余裕を持った設置が出来るよう設備設計を行った。なお、高さ

を抑えた分、幅が大きくなり設置面積が広がるが、 $\phi 600\text{mm}$ 主ポンプを廃止したことから既存の操作室に収めることが出来た。



写真-13 操作室の扉

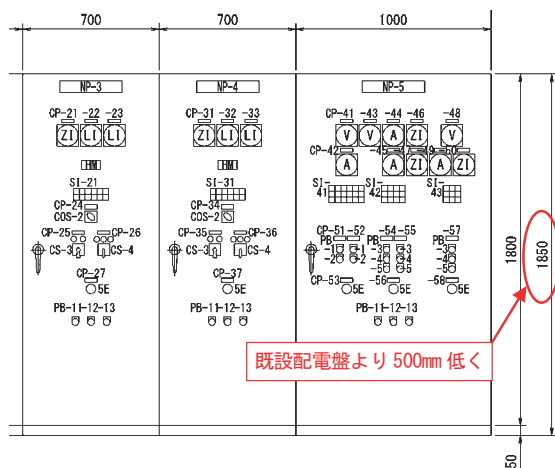


図-7 更新する配電盤の寸法（一部抜粋）

9. 除塵設備の設計

現況除塵設備のうち搬送装置であるチェーンコンベアは、塵芥を河川堤防側の塵芥置き場（図-8）に排出し、単純に野積み（写真-14）する役割の「水平コンベア」であり、集積された塵芥は簡易な装備（リヤカーなど）で移動し搬出することから、維持管理に苦慮している。（機場入口側にも搬出可能であるが堆積スペース不足）

このことから、正面左側（機場入口側）へ塵芥搬出方向を変更し、コンベアの落とし口からトラックに直接積載が可能な、「傾斜形コンベア」に変更する検討を行った。検討にあたっては、隣接する螺旋階段、流入ゲート操作台等が車両と干渉するので、車両との位置関係を正確に把握するため、三次元モデルを用いて確認・検討し、チェーンコンベアの構造

寸法等の検討を行った。

コンベアの搬出高さは、トラック（2tないし4t）に直接積載し搬出することから、トラック荷台の「あおり」以上の高さが必要であるため、地上から約2.1m程度とし、傾斜角度はスペース節約のため最大の $\theta = 30^\circ$ とした。

基礎の沈下対策については、1号機を削減して出来たスペースを有効利用して、水平コンベア全体を取付水路上に設置することで解決した（図-9）。

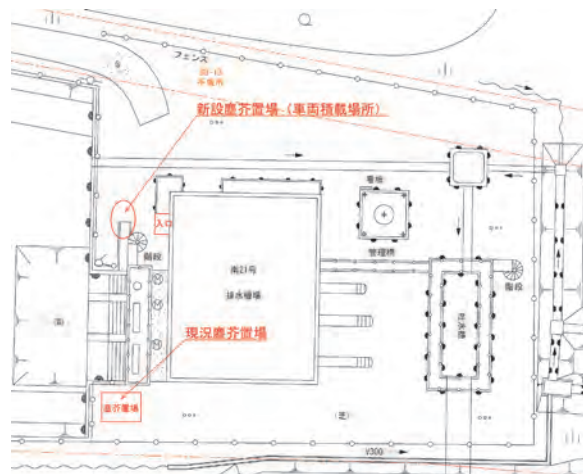


図-8 現況塵芥置場



写真-14 塵芥堆積状況

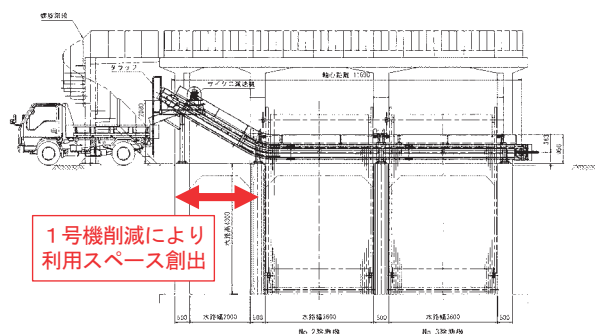
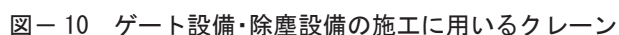


図-9 コンベアの更新計画

供用中の機場設備を改修・更新するためには、工事可能な時期（非出水期）を考慮し、施工順序の検討、燃料貯油槽（コンボルトタンク）などの重量物、除塵機コンベア等長尺物の搬出入に利用する周辺道路の状況把握、施工機械（クレーンや杭打機）の転回・移動等の制約条件などを把握したうえで施工機械を選定し施工計画を立案することが重要である。

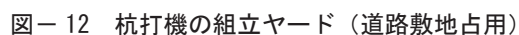
ゲート設備及び除塵設備の撤去、据付における吊込荷重、作業半径から敷地内で作業可能なクレーンを選定した（表－3、図－10）。

車台品目	時数クレーン	アウトラガ・確	作業高さ	フーム	定格吊量	最大吊量	備 考	使用クレーン
吊钩起重機	501376-フロン	最大吊出し 4m	16.0	34.9	5.7t	5.21 t (7.7 t) 重量 301	陸奥	501376-フロン
吊钩起重機	5511376-フロン	最大吊出し 6m	23.0	35.3	1.8t	1.32 t (7.7 t) 重量 211	陸奥 左側	
通信ユニット	2511376-フロン	最大吊出し 6m	24.0	30.5	1.4t	1.01 t (7.7 t) 重量 0.221		
吊钩起重機	4 911376-フロン	最大吊出し 5m	15.0	71.6	0.7t	0.201 t (7.7 t) 重量 0.071		101376-フロン
吊钩起重機	4 911376-フロン	最大吊出し 5m	15.0	71.6	1.75t	0.41 t (7.7 t) 重量 0.071	陸奥	
吊钩起重機	101376-フロン	最大吊出し 5m	9.0	14.0	1.75t	1.0 t (7.7 t) 重量 0.081		
吊钩起重機	4 911376-フロン	最大吊出し 5m	10.0	14.0	1.53t	1.0 t (7.7 t) 重量 0.071	陸奥	
吊钩起重機	4 911376-フロン	最大吊出し 5m	12.0	14.0	1.15t	0.15 t (7.7 t) 重量 0.071	陸奥	4 911376-フロン
吊钩起重機	2511376-フロン	最大吊出し 6m	24.0	30.5	1.4t	1.15 t (7.7 t) 重量 0.211	陸奥	351376-フロン
吊钩起重機	2511376-フロン	最大吊出し 7m	24.0	35.3	1.8t	1.1 t (7.7 t) 重量 211	陸奥 左側	
吊钩起重機	4 911376-フロン	最大吊出し 5m	15.0	18.2	0.7t	0.55 t (7.7 t) 重量 0.071	陸奥	4 911376-フロン
吊钩起重機	4 911376-フロン	最大吊出し 5m	14.0	18.2	0.90t	0.21 t (7.7 t) 重量 0.071	陸奥	
吊钩起重機	4 911376-フロン	最大吊出し 5m	12.0	14.0	1.15t	0.15 t (7.7 t) 重量 0.071	陸奥	4 911376-フロン



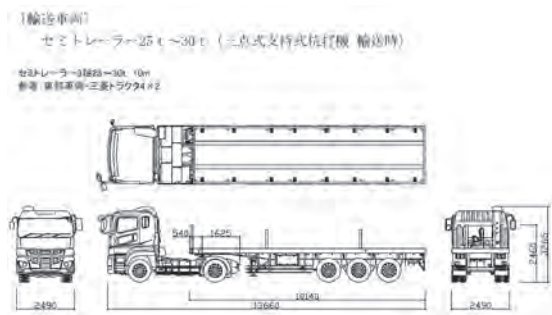
燃料貯油槽の移設改修（屋外地上鋼製タンクからコンボルト型地上タンク）においては基礎工（PHC

なお、基礎杭の打設に使用する三点支持式杭打機の組立スペースについては、機場敷地内に確保することができないため、機場に隣接する千歳市道南 21 号の道路敷地を一時占用して組立作業を行うことが出来ないか、千歳市（建設部道路管理課）に協力要請の事前協議を行い、占用可能との回答を得たことから、機場敷地外で組立てる計画とした（図－12、写真－15）。

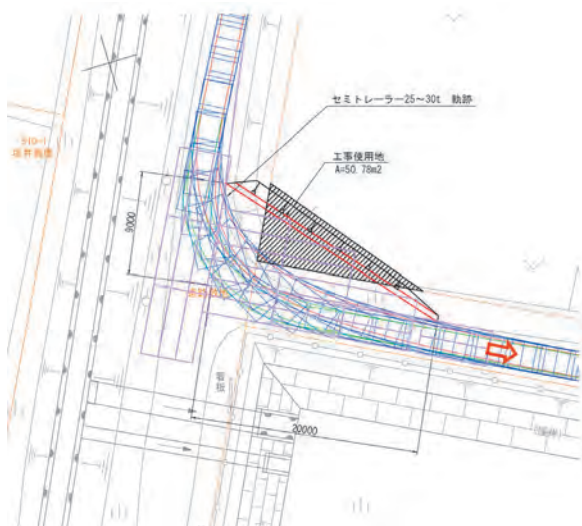


(3) 取付道路の拡幅

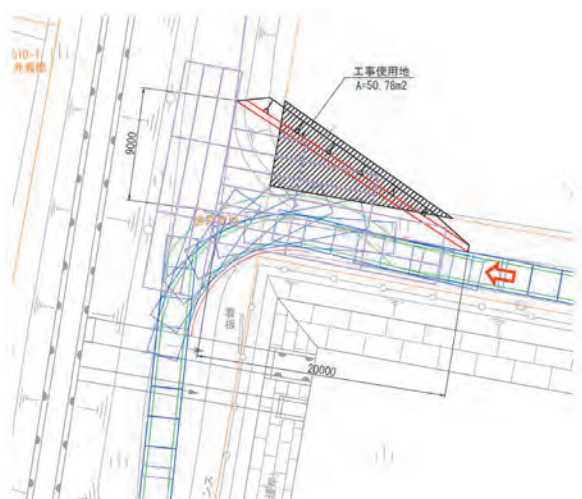
本機場の改修工事に使用する資材及び施工機械の搬入・搬出する際、現在の道路条件において輸送車両の走行が可能であるか走行軌跡検討により確認を行った結果、道路取付部の幅が狭く、通行できないことから道路の拡幅を行う計画とした。(図－13～15, 写真－15)



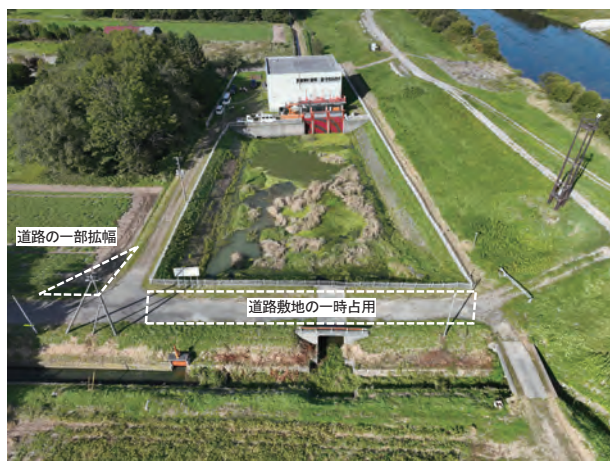
図－13 輸送車両（三点支持式杭打機輸送時が最大）



図－14 輸送車両の走行検討（進入時）



図－15 輸送車両の走行検討（退出時）



写真－15 道路敷地一時占用と取付道路拡幅

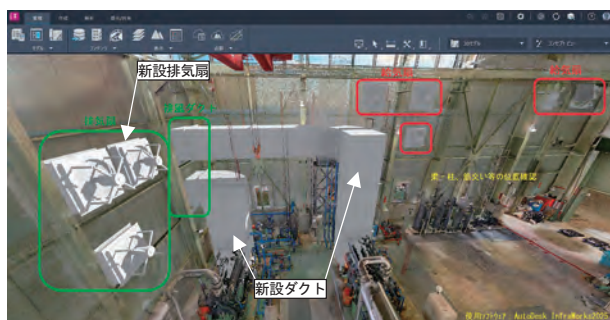
11. 業務上の創意工夫（三次元モデルによる設計）

本業務では、既設機場の建物をそのまま利用した設備更新が設計方針であることから、新たに設置する必要がある設備の位置や構造寸法を検討するため、機場内部、外部の両方について地上レーザースキャナーを用いた三次元測量により現況点群データを取得し、既設構造物の計測を行った。

作成した仮想空間（現況モデル）に改修する設備の三次元モデルを投影して、既設上屋の障害物や管理用車両との取り合いを確認しながら、設計位置および設備構造寸法等の検討を行った。

(1) ポンプ設備設計における検討内容

無水化に伴い新設する排風ダクトや給排気用換気扇等、上屋の壁面を貫通して設置しなければならない機器が多数あるため、撤去できない柱や筋交い等の位置を三次元モデル（図－16）で正確に再現し、障害物のない壁面位置を検討して設置位置（図－17）を決定した。



図－16 三次元モデル投影による障害物の確認

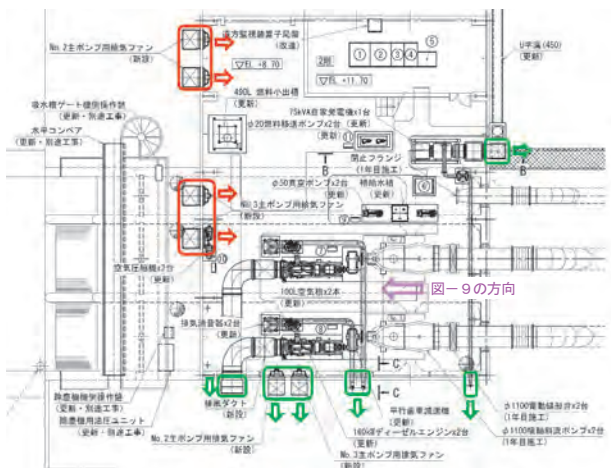


図-17 新設位置を据付平面図に反映

(2) 除塵設備設計における検討

コンベアの塵芥排出方向を排水機場入口側に変更し、傾斜コンベア形式にするためには、隣接する螺旋階段、流入ゲート操作台（写真-16）、更新するコンベア点検架台と搬出用トラックの走行経路を正確に把握し、干渉しないよう構造寸法を検討しなければならないことから、三次元モデルを利用して構造寸法を決定し施設管理者への説明にも活用した（図-18～20）。



写真-16 既設工作物の状況

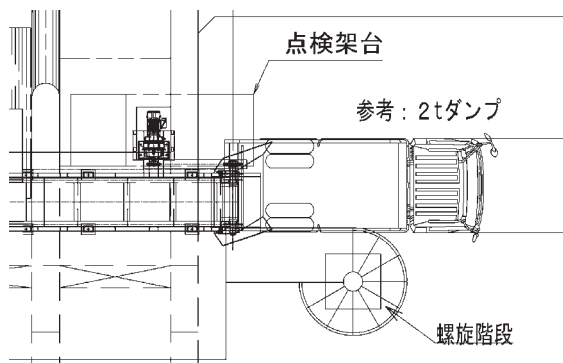


図-18 施設管理者への説明図



図-19 三次元モデル投影によるコンベヤ構造の検討

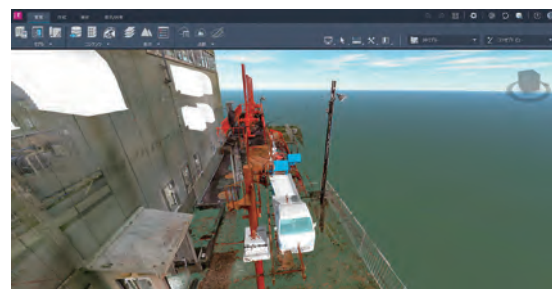


図-20 新設コンベアの落とし口と車両荷台の位置関係確認

12. おわりに

ポンプ設備類の更新工事では、円滑な撤去・据付作業の観点から、既設利用する上屋および機械設備の状態、構造・形式、規格、材質、設置形状等の現況を的確に把握し施工計画を立案することが重要である。本機場では主原動機を機付ラジエータ仕様のエンジンに更新（無水化）するものであり、新設する排風ダクトや給排気用換気扇が既存建物の柱や筋交い等障害物に干渉しないよう計画する必要があることから、機場内部の点群データをレーザースキャンで取得し仮想空間を作成、機械設備の三次元モデルを仮想空間に投影し、各施工段階での干渉および作業動線をチェックし、撤去・据付方法、更新設備（補器含む）の形状を決定する作業を行った。

今後、同種の設計業務において、本稿による設計事例が参考になれば幸いである。

最後に、実施設計に際し、ご指導ご協力を賜った札幌開発建設部札幌南農業事務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 地域環境整備部 上席部長（技術士補）

引用文献

- 1) 農林水産省農村振興局：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 P.159

農業水利施設のストックマネジメントにおける コンクリート劣化の定量的評価手法の検討

名久井 純一

1. はじめに

我が国の農業水利施設は、高度経済成長期に集中的に整備されたものが多く、老朽化が進行している。限られた財源・人材で機能を維持するため、事後保全から予防保全へと転換するストックマネジメントの推進が求められている。施設の機能（水利用・水理・構造）を長寿命化し、ライフサイクルコスト（LCC）を最小化するには、コンクリートの変状を早期に正確に把握し、適切な補修を行う必要がある。

従来の劣化診断は検査員の主観による定性的な評価（目視による概測や聴覚に頼る打音調査など）が主体であり、評価のばらつきや客観的データの蓄積が困難であるという課題があった。

そこで本報では、健全度評価を客観化し、関係者への説明性を向上させることを目的とし、定量的アプローチの実地検証を行った。具体的には、コンクリート開水路の「摩耗」に対するデジタル画像処理（粗骨材の露出割合の算定）、「網目状のひび割れ」に対する打音の周波数解析について報告する。

調査区間は、昭和60年～62年に施工され、現在まで40年以上経過している現場打鉄筋コンクリート開水路である。流量は約 $5.5 \text{ m}^3/\text{s}$ で水路勾配 $I=1/6000$ 、流速 $V=0.8 \text{ m/s}$ 程度の比較的緩やかな流れとなる用水路である。路線はコンターキャナル方式を採用しており、曲線区間を多く含む平面線形となる。写真－1に用水路内側の全景を示す。



写真－1 用水路内側の全景

2. デジタル画像処理を用いた摩耗状況の定量的評価

(1) 摩耗のメカニズムと評価の必要性

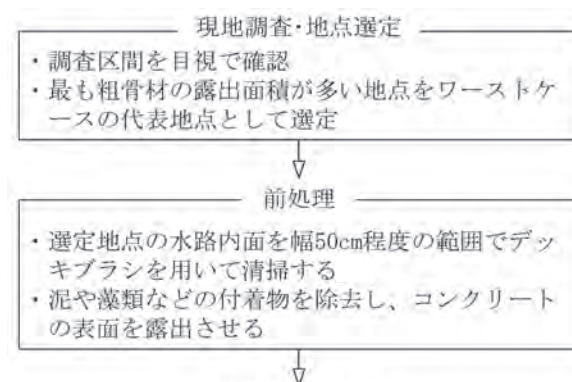
鉄筋コンクリート開水路においては、常時流水やそれに混入する土砂等の物理的な作用により摩耗が進行しやすい。これは、コンクリート表面の比較的脆弱なモルタル部が先行して削り取られる「選択的摩耗」という現象として知られている。

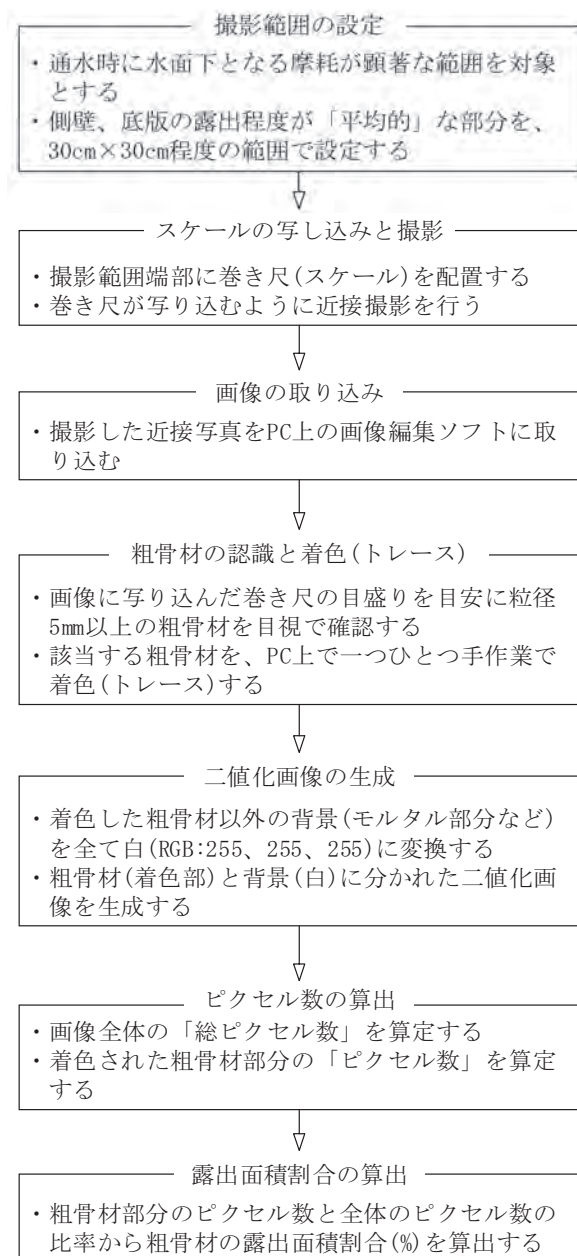
摩耗が進行して粗骨材が露出すると、通水面の物理的な凹凸が増大し、水理性能（通水能力）の低下を引き起こす。さらに摩耗が深部に至れば、鉄筋のかぶり厚さが減少し、構造的耐力の低下にも繋がる深刻な事象となる。「農業水利施設ストックマネジメントマニュアル（共通編）」¹⁾においては、コンクリート開水路の摩耗（粗骨材の露出）は以下のように明確に区分されている。

- ・ S－3（補修または補強が必要）：摩耗により骨材の脱落が生じている、または粗骨材の露出が「全体的（概ね全体の50%以上）」である状態。
- ・ S－4（要観察）：コンクリートに軽微な摩耗が生じており、粗骨材の露出が「部分的（概ね全体の50%未満）」にとどまる状態。

(2) 画像処理を用いた算定手法

従来の目視主体の調査で課題となっていた調査員の主観や経験による評価のばらつきを排除するため、近接写真と画像処理を用いた定量的な算定を実施した。作業フローを図－1に示す。

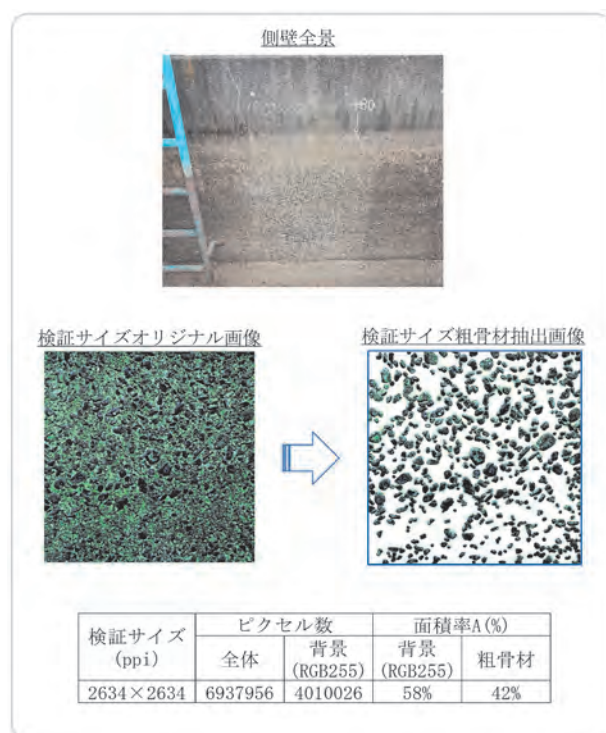




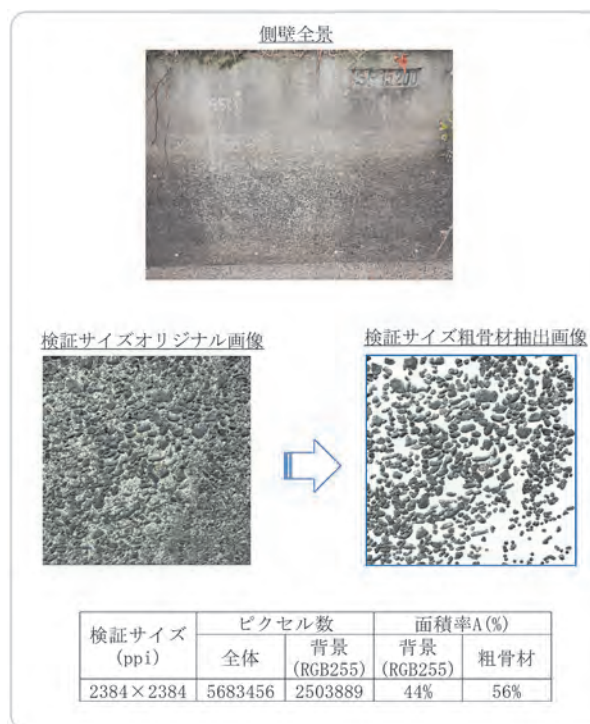
図－1 作業フロー

(3) 調査結果と健全度評価

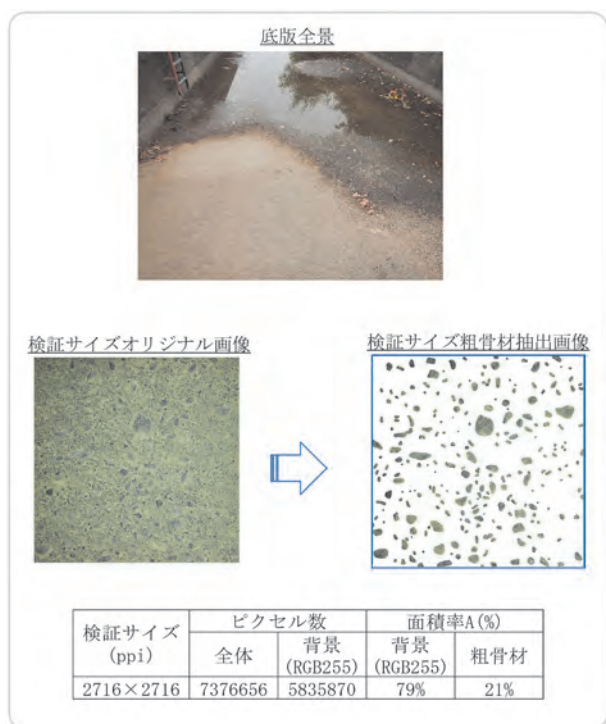
調査結果を以下に示す。図－2～4には左岸側側壁下部、右岸側側壁下部、底版の粗骨材抽出画像と露出面積割合を示す。図－5には図－2～4の露出割合を用水路断面図の該当箇所に表記したものを示す。表－1には各部材および水路断面全体の粗骨材露出割合を算定した値を示す。



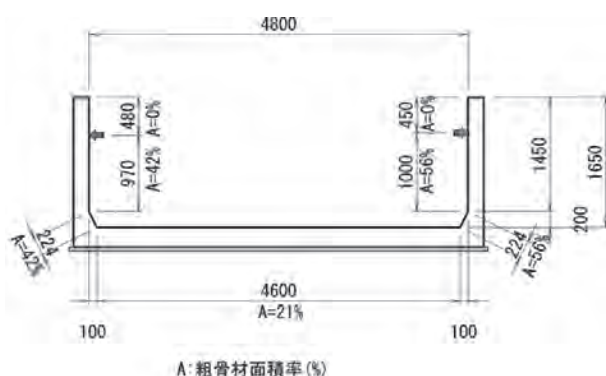
図－2 左岸側側壁下部



図－3 右岸側側壁下部



図－4 底版



図－5 用水路断面図

表－1 粗骨材露出割合

部材	区分	展開長 (m)	粗骨材 面積率	各部材の面積率
左岸側壁	上部	0.48	0%	29.9%
	下部	1.19	42%	
右岸側壁	上部	0.45	0%	40.9%
	下部	1.22	56%	
底版		4.60	21%	21.0%
水路全体		7.94		27%

算定された水路全体の粗骨材露出面積割合は27%であり、マニュアルが定める「概ね全体の50%未満(部分的)」という基準を明確に満たしている。左岸

側側壁、右岸側側壁、底版といった部材単位でも粗骨材露出面積割合は50%未満となる。対象区間が急流工や落差工などの摩耗が著しく進行しやすい環境ではないことを考慮すると、現状において水理機能や構造安全性に致命的な支障をきたすレベルには達していないと判断できる。したがって、過度な早期補修を避け、健全度ランクを「S-4(要観察)」とした本評価は、ライフサイクルコスト最適化の観点からも妥当である。

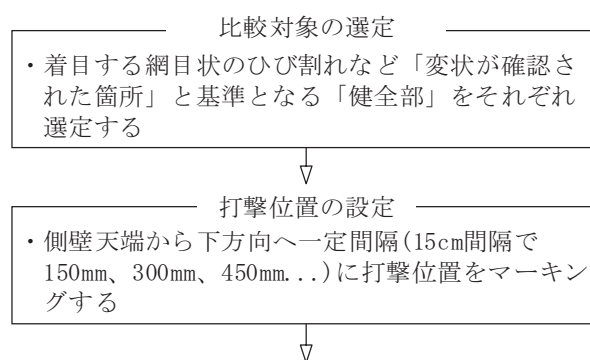
3. 打音の周波数解析を用いたひび割れの定量的評価

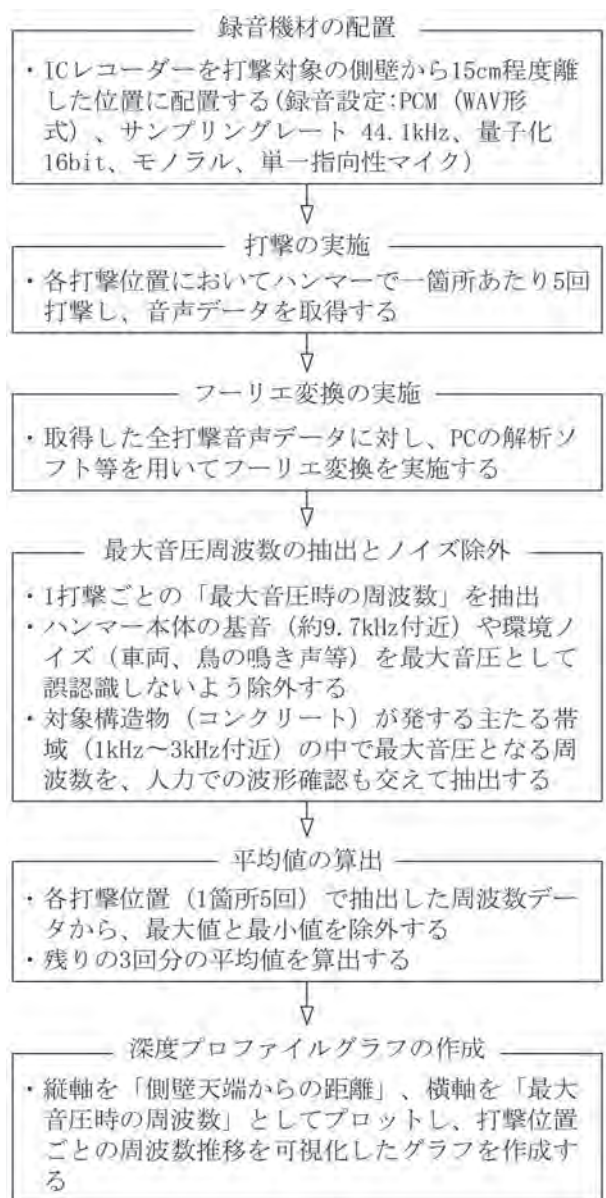
(1) 網目状ひび割れの課題と打音調査の目的

用水路内側の側壁では灌漑期の水面よりも上の位置に、網目状のひび割れが確認された。「農業水利施設ストックマネジメントマニュアル(参考資料編)」²⁾によれば、コンクリート表面に見られる不規則な網目状のひび割れは、養生中の急激な乾燥などに起因する「乾燥収縮ひび割れ」であり、初期欠陥に分類される。部材内部には拘束力が働くため、「ひび割れは表面にとどまっていることが多い」と記載されている。しかし、現場で目視確認できる変状が、本当に表面にとどまる初期欠陥であるか、あるいは内部まで進行した構造的な劣化であるかを目視のみで判断することは困難である。そのため、打音調査による確認が必要となるが、下記に示すのは、人間の聴覚による定性的な判断を客観的なデータとして関係者へ提示する手法の一例である。

(2) 調査・録音条件と解析手法

作業フローを図－6に示す。健全部、凍害による劣化部、および今回着目する網目状ひび割れ部において打音調査を実施し、録音データに基づく周波数解析を行った。





図－6 作業フロー

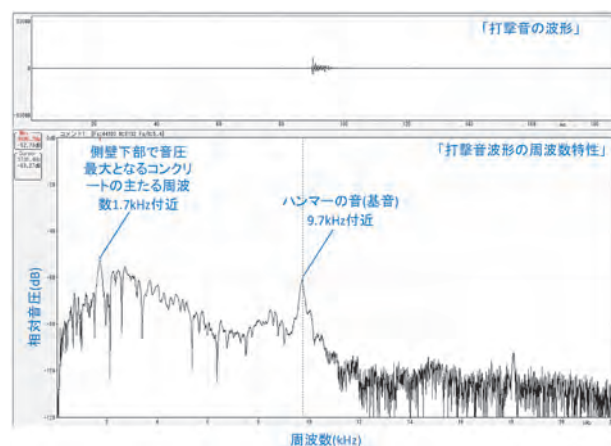
1) 作業フローの「比較対象の選定」について

変状のない箇所を基準とし、変状のある箇所と比較することで健全度を推定した。網目状のひび割れを確認したA幹線用水路に加え同一地区のB幹線用水路で選定した。選定した地点は以下のとおりである。

- ・A幹線用水路 地点1：網目状のヒビ(本調査の着目箇所)
- ・A幹線用水路 地点2：健全
- ・B幹線用水路 地点3：健全
- ・B幹線用水路 地点4：凍害

2) 作業フローの「最大音圧周波数の抽出とノイズ除外」について

全180回の打撃音を解析した結果、全体を通して、打撃時にテストハンマー本体が発する基音と推定される「9.7kHz付近の鋭敏なピーク」と、側壁下部でコンクリートが発する主たる周波数と推定される「1.7kHz付近のピーク」が確認された(図－7)。テストハンマーの基音周波数となる9.7kHzは、調査時に用いた2つの同じ形状のテストハンマー同士をぶつけて発生する打撃音を解析して確認した。打撃音の中には9.7kHz付近で最大音圧となるケースもあるが、その周波数は除外し、さらに低い1kHz～3kHz付近で発生する最大音圧の周波数を採用した。



図－7 ハンマーとコンクリートが発生する周波数

(3) 周波数特性の分析結果とひび割れ状態の推定

各地点の解析結果は以下の通りである。図－8～11 および写真－2～7の説明を表－2に示す。

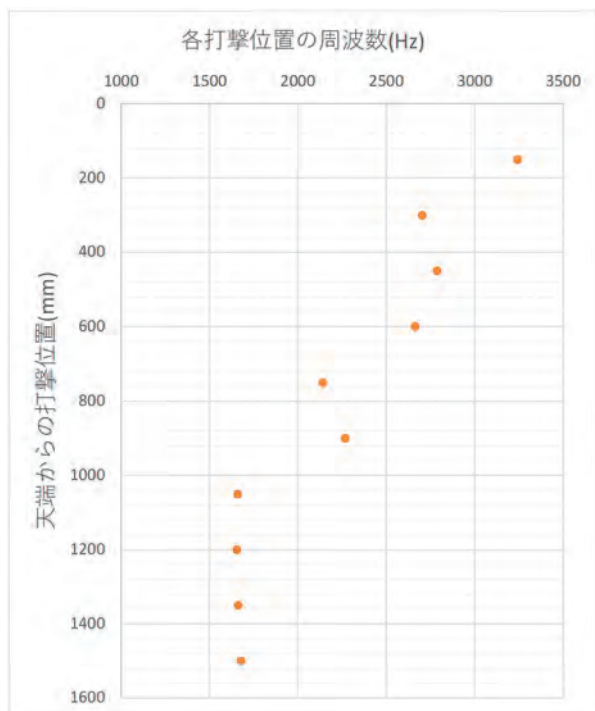
表－2 図及び写真の説明

幹線用水路	地点	各打撃位置の周波数	側壁全景	劣化部近接撮影	備考
A	1	図-8	写真-2	写真-3	網目状のヒビ
A	2	図-9	写真-4	—	健全部
B	3	図-10	写真-5	—	健全部
B	4	図-11	写真-6	写真-7	凍害

1) 網目状ひび割れ部(A幹線 地点1)

側壁上部(天端から約300mmの範囲)で高周波(約2.7kHz～3.2kHz)を示し、下部へ行くに従い1.7kHz付近へ収束していくという、後述する健全部と同様

の傾向となる周波数特性の推移を示した。



図－8 A幹線地点1 各打撃位置の周波数



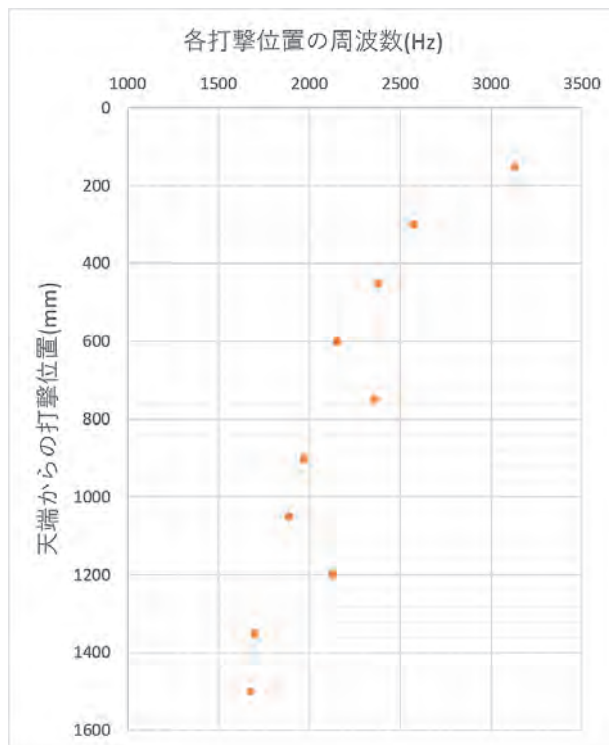
写真－2 A幹線地点1 側壁全景



写真－3 A幹線地点1 網目状ひび割れの近接撮影

2) 健全部（A幹線 地点2、B幹線 地点3）

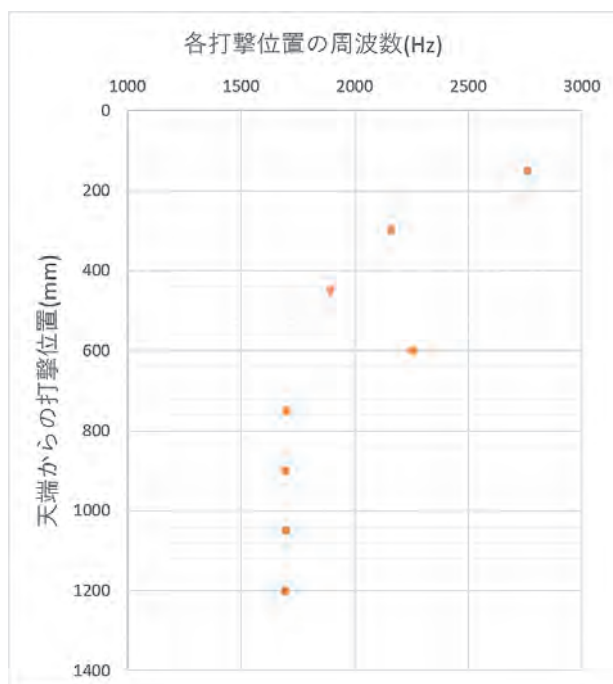
側壁上部（天端から約 300mm の範囲）では 2.2kHz ～ 3.2kHz というやや高い帯域が最大音圧となり、下部に向かうにつれてコンクリート自体の主周波数である 1.7kHz 付近へ収束していくという、共通の特徴が見出された。これは上部が自由端に近く拘束が緩いため高周波となり、下部は底版に拘束されているため安定した周波数になるという構造的な特徴を反映していると考えられた。



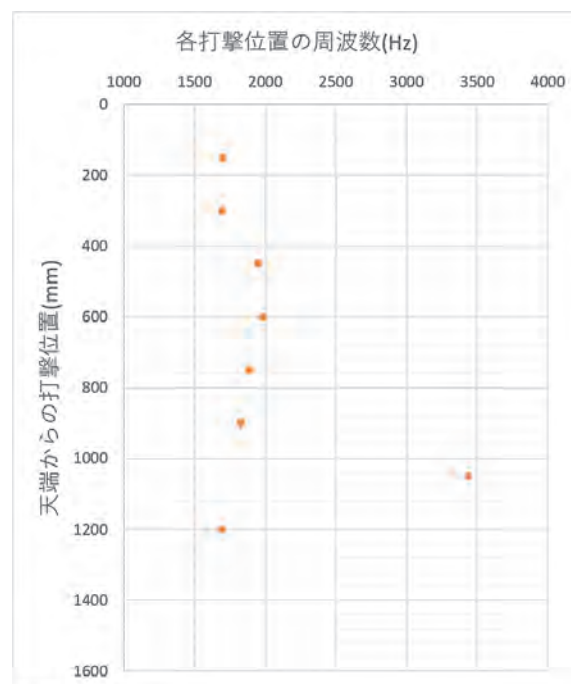
図－9 A幹線地点2 各打撃位置の周波数



写真－4 A幹線地点2 側壁全景



図－10 B幹線地点3 各打撃位置の周波数



図－11 B幹線地点4 各打撃位置の周波数



写真－5 B幹線地点3 側壁全景



写真－6 B幹線地点4 側壁全景

3) 凍害劣化部（B幹線 地点4）

健全部の特徴とは明らかに異なり、側壁天端付近の最大音圧発生周波数が初めから約 1.7kHz という低い値を示し、側壁上部特有の高周波数帯（2.2～3.2kHz）へのシフトが全く起こらなかった。これは、凍害による凍結融解作用によって生じたコンクリート内部の微細なひび割れや組織の緩み（剛性の低下）が音響伝播特性に強い減衰を与え、高周波成分が失われた結果であると推察された。



写真－7 B幹線地点4 凍害劣化部の近接撮影

コンクリート内部で弾性波（振動）を反射・散乱させるのは「コンクリートと空気の境界」である。したがって、深部ひび割れによる隙間も、凍害による組織剥離やひび割れによる隙間も、波動伝播の過程においては等しく「空気層（不連続面）」として振る舞うため、応答特性に与える影響の差はほとんど無視できる。このことから、網目状ひび割れが内部まで及んでいる場合は、深部まで劣化した凍害部分と同傾向の周波数特性を示すと考えられる。以上の結果より、当施設で確認された網目状のひび割れは、表面に目視で確認できる変状があるにもかかわらず内部の力学的挙動や音響伝播特性に影響を与える深さまで到達しておらず、マニュアルの記載通り「ひび割れは表面にとどまっている」初期欠陥であると定量的に推定できた。

4. 考察

(1) 定量的評価手法の利点と第三者への報告における有効性

本研究で検証した「画像処理を用いた摩耗の面積割合算定」および「周波数解析を用いた打撃音の数値化」は、今後のインフラの維持管理において定量的判断を行う場合の1つの手法として、以下の点で一定の有用性を持つと考えられる。

第一に、従来の「面積はこれくらい」「音はポコポコしていた」という検査員の経験と主観からの評価ではなく、「面積率 27%」「卓越周波数 1.7kHz」という誰が見ても同じ解釈となる客観的な数値データを根拠とした健全度診断が可能となる。また、これらのデジタルデータが記録として残ることで、5年後、10年後の再調査時に「面積率が何%増加したか」「周波数プロファイルがどう崩れたか」といった劣化の進行速度を追跡・予測することが可能となる。

第二に、関係者間の合意形成の迅速化である。現場に立ち会っていない発注者や施設管理者に対し、直感的に理解しやすいカラー処理された画像や深度プロファイルグラフを用いて視覚的かつ論理的に状態を示すことができる。これにより、「まだ使える」「いや、今すぐ直すべきだ」といった感覚的な議論を排除し、データに基づいた判断と合意形成が図りやすくなる。

(2) 本手法の技術的課題と適用限界

一方で、これらの手法の現場適用にあたっては技術的な課題や限界も存在する。

1) 画像処理手法の実務的課題と限界

画像処理の精度を確保するためには、事前のデッキブラシ等による物理的な清掃（前処理）が不可欠である。これについては現地で十分な水量が確保できる場合は、高圧洗浄機を用いるのが最良であると考えられる。加えて高圧洗浄機を用いることでコンクリート表面が湿潤状態となりセメントと骨材が見分けやすくなるのではないかと考えられる。そのほか、実務上の課題として、粗骨材抽出における着色（トレース）作業に多大な時間と労力を要する点が挙げられる。現状の手法では、デジタル画像上で定義に合致する粗骨材を人間の目で判別し、マウス等を用いて一つひとつ手作業で着色していく必要があるため、対象箇所や面積が増加するほど解析コストが膨大となる。今回の調査では、粗骨材の着色を行った範囲は 30cm × 30cm を 3 箇所で、要した時間は約 1.5 日間である。この解決に向け、将来的には AI による画像認識を用いた粗骨材の自動抽出技術の導入が不可欠となると考えられる。また、摩耗深さが粗骨材の最大寸法を超えると骨材自体の抜け落ちが生じ、面積率が一定値に収束してしまう特性があるため 3)、本手法は進展期までのスクリーニングに留まる。収束するまでの間は、粗度係数が増加し続け水位の上昇が懸念される。

2) 音響解析手法の課題（環境ノイズと波形評価）

現場での厳密な録音手法の確立に加え、取得した大量の波形データに対するフーリエ変換やノイズ除去といった処理には専門的な知識と時間を要する。特に屋外調査特有の課題として、付近を通行する自動車の騒音やカラス・スズメ等の鳴き声、風切り音といった環境ノイズが解析の精度を低下させる。また、解析基準としての「最大音圧（卓越周波数）」の取り扱いにも注意が必要である。本報のように特定箇所のスクリーニングとして最大音圧の推移を比較することは有効と考えるが、単純な「最大音圧数値の自動抽出」のみで健全度を評価することには限界とリスクが伴う。例えば、打撃の仕方によっては

ハンマー自身の基音（約 9.7kHz）や突発的な環境ノイズを最大音圧として誤認識する危険性がある。さらに、コンクリートの劣化が進行すると、単にピークの周波数が低くなるだけでなく、ピークの形状がなだらかになったり、複数の小さなピークに分散したりする「波形の崩れ」が生じる。最大音圧の数値のみを追うと、この重要な劣化のサインを見落とす可能性がある。したがって、現状では得られた波形全体を技術者が総合的に判断し、「どうなっていれば危険なのか」という専門的な解説を添えることが不可欠である。

フーリエ変換ソフトでは一つの波形から最大音圧となる周波数を抽出する機能はあるが、この周波数が 9.7kHz 付近のテストハンマーの基音であった場合、人力で 1～3kHz あたりの最大音圧となる周波数を探す作業が必要となる。当調査においては打撃音 180 回の 1/3～1/2 打撃音がこれにあたり抽出作業に多くの時間と労力を要した。これらも考慮すると、長期的には、ハンマーに加速度センサーやマイクを内蔵し、打撃時の反発度合と同時に波形全体のパターンを A I が複合的に解析して「健全度」を即座にスコア化するようなデバイスの開発が望まれる。

5. おわりに

本報の画像処理や音響解析の手法には、前処理の手間や解析コストといった実務上の課題が残されている。しかし、これらの課題は、今後急速な発展が見込まれる A I 画像認識技術や I o T デバイス等の「インフラ D X」によって、近い将来に必ず克服される性質のもと考えられる。今後は、可能であれば客観的なモニタリングを継続し、将来的な A I 診断技術への橋渡しを行うとともに、健全度評価 S－3（補修・補強を要する）に達した段階で速やかに補修工事へ移行することが期待される。

最後に、ご指導、ご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。

（株式会社 アルト技研 参事）

引用文献

- 1) 関東農政局利根川水系土地改良調査管理事務所：
農業水利施設ストックマネジメントマニュアル
（共通編）平成 19 年 3 月
- 2) 関東農政局利根川水系土地改良調査管理事務所：
農業水利施設ストックマネジメントマニュアル
（参考資料編）平成 19 年 3 月
- 3) 佐藤周之、緒方英彦、中野資博、服部九二雄：
コンクリート水路における骨材露出の評価に関する基礎的研究 コンクリート工学年次論文集
Vol. 30、No. 1 2008 年

UAV写真測量を用いたロックフィルダム管理の効率化 ～国営土地改良施設「緑ダム」における検証事例～

大泉 秀勝

1. はじめに

北海道斜里郡清里町に所在する緑ダムは、国営畑地帯総合土地改良パイロット事業の一環として整備され、現在は複数の自治体が組織する「斜網地域維持管理協議会」により維持管理が行われている。このダムでは、堤体の安定性を確保するため、堤体表面変位の定期的な監視が行われている。しかし、近年、作業員の高齢化および技術職員の減少や従来の計測手法に起因する課題が顕在化しており、維持管理を継続的に行うための新たな技術の導入が求められている。

本稿では、堤体表面変位測定において、UAV 技術を活用した空中写真測量の適用について検証した成果と課題、今後の展望について報告する。

2. ダム概要

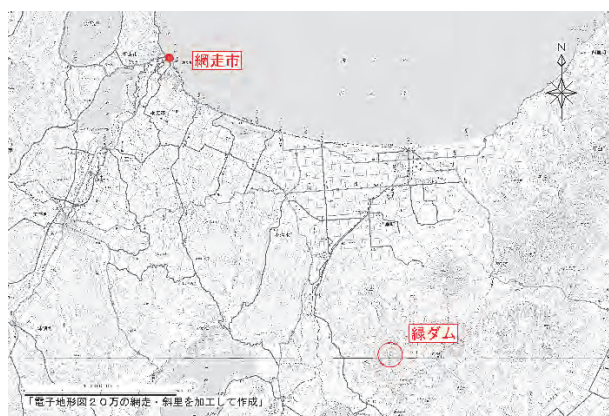
(1) ダムの位置

緑ダムは、網走管内の斜里郡清里町国有林内に位置する（図－1）。

(2) ダムの諸元

緑ダムのダム諸元を表－1 に示す。

緑ダムは畑地かんがいを目的に建設された中心遮水ゾーン型ロックフィルダムで、堤高 73m を誇る。



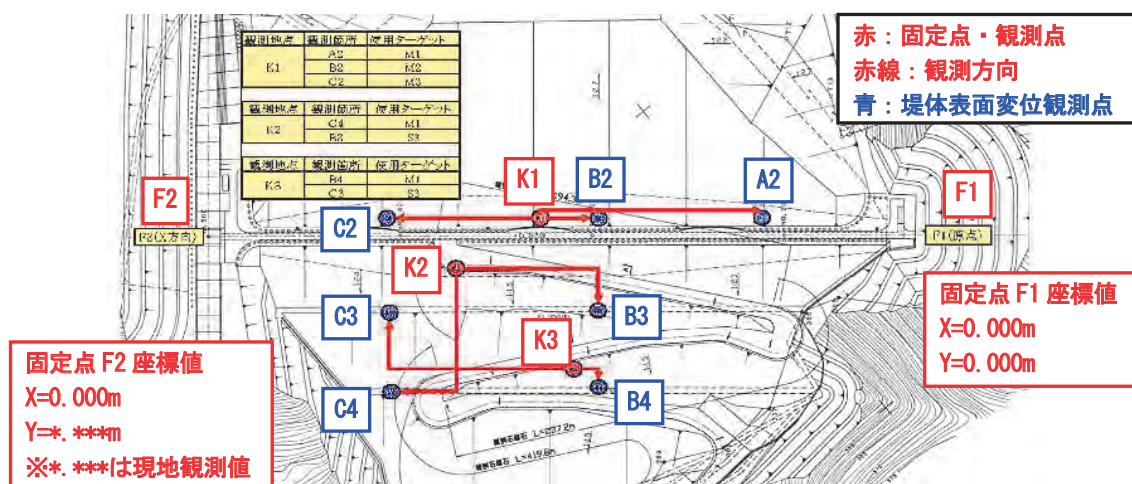
図－1 緑ダム位置図

表－1 緑ダム諸元表

一	位	置	北海道斜里郡清里町地内	形	式	中心不透水ゾーン型
般	河	川	名 斜里川水系7ツチ川	堤	高	73m
	基	礎	岩 盤 安山岩	堤	頂 高	345.0m
	流	域	面 積 21.1km ²	堤	頂 標 高	EL. 367.00
貯	総	貯	水 量 7,100,000m ³	堤	築 堤 量	1,998,000m ³
	有	効	貯 水 量 6,400,000m ³			
水	計	画	堆 砂 量 700,000m ³	洪	設計洪水量	280m ³ /s
	設	計	洪水位 EL. 364.00		設計減勢池	200m ³ /s
池	常	時	満 水 位 EL. 362.30	水	越 流 型 式	側水路形式
	死	水	位 EL. 344.60		越 流 水 深	1.7m
	満	水	面 積 0.534km ²	吐	越 流 セキ長	58.5m
	利	用	水 深 17.7m		減勢池型式	Ⅲ型静水池
仮	設	計	洪水量 105m ³ /s	流	取 水 量	3.282m ³ /s
排	流	下	方 式 管水路トンネル方式	設	最 大 形 式	傾斜式シンターゲート
水	トン	ネル	方 式 標準馬蹄型 2R=3.7m	備	非 常 放 流 口	Φ800JFG
路	トン	ネル	総 長 498m			

3. 堤体表面変位測定（以下、従来計測という。）

緑ダムでは、堤体表面変位計と固定点を用いて、従来計測を年4回実施し、変位量をモニタリングしている。従来計測の概要図を図－2 に示す。



図－2 従来計測概要図

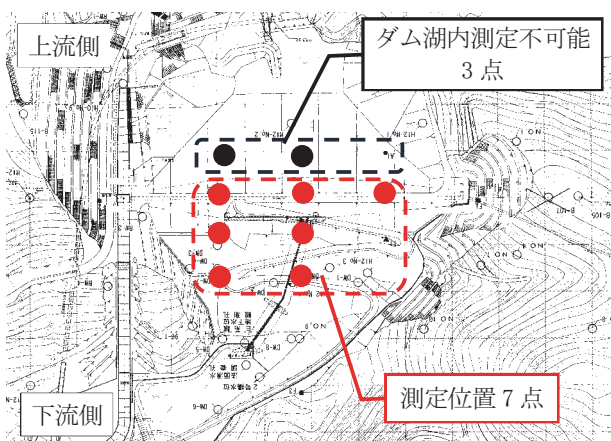
(1) 堤体表面変位計

緑ダムの従来計測に使用している堤体表面変位計を写真－１に示す。

堤体表面変位計は10点設置されているが、そのうち3点はダム湖内にあるため、従来計測に使用しているのは図－３に示す7点である。



写真－１ 堤体表面変位計



図－３ 堤体表面変位計配置図

(2) 固定点

堤体表面変位量をモニタリングするためには、不動点となる固定点を設け、その固定点を基準に変位量を求める必要がある。緑ダムでは固定点（F1とF2）をダム軸の左右岸の切土法面上に設置している（写真－２）。



写真－２ 固定点（左：F1、右：F2）

(3) 従来計測の手順

測定にはトータルステーションを用い、固定点を基準とした仮座標系により、3箇所（K1～K3）から堤体表面変位計7点に設置した観測用ターゲット中心の三次元座標（X、Y、H）を取得している（写真－３）。



写真－３ 器械点K1（左）、観測状況（右）

観測点は固定点（F1とF2）を使用した後方交会法により位置座標を求めている。

得られた測定値は前回測定値および基準値（初期値）と比較し、変動の有無を判定しており、測量に精通した技術者による観測や成果の整理が必要となっている。

また、従来計測の際には、堤体表面変位計に観測用ターゲットを設置する必要があるため、作業員が急傾斜面を昇降することとなり、安全面および作業負担の観点から課題の1つとなっている（写真－４）。



写真－４ 堤体表面変位計（上左：C3、上右：B4、下：C4）

4. UAVを活用した調査概要

緑ダムの堤体表面変位量を効率的かつ高精度に測定する新しい技術を検証し、施設管理者への技術的支援を行うことを目的にUAV写真測量を活用した堤体表面変位計測を行うため、堤体表面変位計の位置をGNSS測量とUAV写真測量で求め比較を通してその有効性を評価した。

(1) 使用機器

UAV 写真測量に使用した機体及び測量機器と使用ソフト（SfM ソフト等）を表－2 に示す。また、使用した機体（DJI Phantom4RTK）を写真－5 に示す。

表－2 使用した機体及び測量機器・ソフト

機体・カメラ性能	
機体名	DJI 社製 Phantom4RTK
動作環境温度	0～40℃
カメラセンサー	1 インチ CMOS
画素数	20MP
焦点距離	8.8mm/24mm(換算値)
視野角	84°
測量機器・ソフト名	
測量機器	TOPCON HiPerHR
測量計算	TREND-ONE
	TOPCON GNSS-ProX
三次元形状復元	Pix4Dmapper



写真－5 使用機体：DJI Phantom4RTK

(2) 撮影諸元

UAV 写真測量の撮影諸元を表－3 に示す。

表－3 撮影諸元

UAV飛行方向	ダム軸 に平行	ダム軸 に直交	ダム軸 に平行	ダム軸 に直交
対地高度	100m		50m	
撮影解像度	2.74cm/pix		1.37cm/pix	
サイドラップ	80%		80%	
オーバーラップ	90%		90%	
飛行速度	3.9m/s		2.0m/s	
カメラアングル	-90°（直下）		-90°（直下）	
飛行時間	13m48s	14m46s	17m50s	18m41s
撮影枚数	346	379	446	478

1) 対地高度

対地高度は、100m および 50m の2つの高度で撮影し、2種類の撮影結果を統合することで精度向上を試みた。

対地高度 100m の撮影では標定点 3 点を含めた下流側堤体全域を撮影し、SfM ソフトによる画像解析精度の向上を目的に、堤体表面変位計が設置されている範囲に絞って撮影を行う計画とした。

対地高度 50m の撮影は、堤体表面変位計にスポッ

トを当て表面変位量を高精度に求める目的で撮影範囲を絞って飛行させる計画とした。

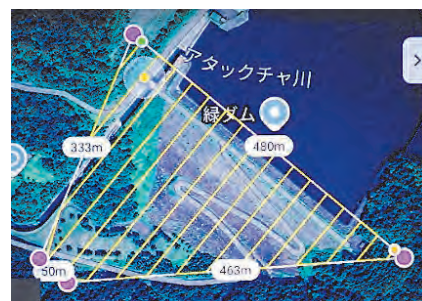
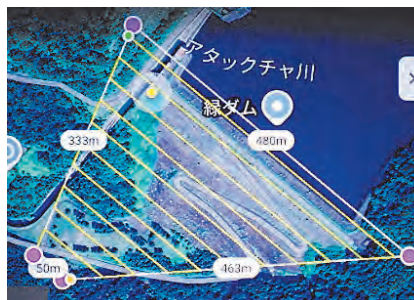
2) 撮影写真の重複度（ラップ率）

本計測では高低差を有するダム斜面上に設置された堤体表面変位計の位置を推定することから、同一コース内の隣接写真の重複度（オーバーラップ:OL）を 90%、隣接コース間の写真の重複度（サイドラップ:SL）を 80% に設定して撮影を実施し、位置推定精度の向上を試みた。

3) 撮影コース（方向）

飛行コースは対地高度ごとに格子状となるよう、ダム軸に平行と直交に設定し、撮影方向の多様化による精度向上を試みた（図－4）。

※ダム軸に平行…【横】、ダム軸に直交…【縦】



図－4 撮影計画（対地高度 100m、上:【横】、下:【縦】）

(3) 標定点測量と対空標識の設置

UAV で撮影した空中写真を SfM ソフト (Pix4D) により解析を行うために、堤体表面変位計を囲う外周で、緑ダムの挙動の影響がない場所を選定し、3 級基準点を 3 点埋設して（図－5、写真－6）、電子基準点のみを既知点とした 3 級基準点測量を実施した。新設した 3 級基準点に対空標識を設置して各諸元（表－3）に基づき、UAV による空中写真撮影を行った。

撮影対象である堤体表面変位計の位置を把握するため、堤体表面変位計の全 7 点と標定点（3 点）に

対空標識を設置した場合（写真－６、写真－７ 上段）と、標定点（３点）のみに対空標識を設置した場合の２種類の撮影を実施して、それぞれの結果を比較した。なお、標定点のみに対空標識を設置する撮影方法は、今後、施設管理者自らが準備、撮影、撤収までの作業を安全かつ効率的に行うための一つの手段として提案したものである。



図－５ 撮影範囲と標定点



写真－７ 堤体表面変位計

（上：対空標識あり（B3）、下：対空標識なし（C3））

標定点のみに対空標識を設置した場合では、堤体表面変位計の土台色と中心部の金属蓋の色が同系色であるため、空中写真上で中心位置の判別が困難となることが予想された。そこで、中心部の視認性向上を目的として、蓋周縁部を黒色に加工（写真－７ 下段）し、判別性を確保する工夫を行って撮影を実施した。空中写真に写った堤体表面変位計を写真－８に示す。



写真－６ 標定点対空標識設置状況（３級基準点）

上：R7-3-02 [屋上埋設]、下：R7-3-03 [地下埋設]



写真－８ 空中写真

（上：堤体表面変位計の蓋周辺部の対策なし、下：同対策あり）

これにより、蓋周縁部を黒色に加工しない場合よりも中心部の輪郭がより鮮明に表れる結果となり、一定の効果があったと考える。

5. 堤体表面変位計初期値測定

UAV 写真測量により取得した堤体表面変位計の位置座標は公共座標である一方、従来計測のモニタリングでは仮座標を用いているため、両者の座標系は一致していない。このことから、UAV 写真測量の結果との比較・検証を行うために、GNSS 測量機を用いた RTK 法により堤体表面変位計の観測を実施し（表－4）、公共座標系とすることで、UAV 写真測量で算出した位置座標との比較と検証を行った。なお、本初期値は今回の比較検証のために測定した座標値であり、緑ダムの管理成果（基準値）ではないことから今後の取り扱いには注意が必要である。

表－4 堤体表面変位計成果（初期値）

点名	堤体表面変位計成果（初期値）		
	X	Y	H
A2	-36608.418	30680.719	367.038
B2	-36551.786	30610.850	367.369
B3	-36585.967	30583.114	350.302
B4	-36619.343	30556.052	330.340
C2	-36495.119	30540.976	367.390
C3	-36529.271	30513.256	349.452
C4	-36562.644	30486.180	329.539

世界測地系（測地成果2024）

6. SfM ソフトによる解析および結果

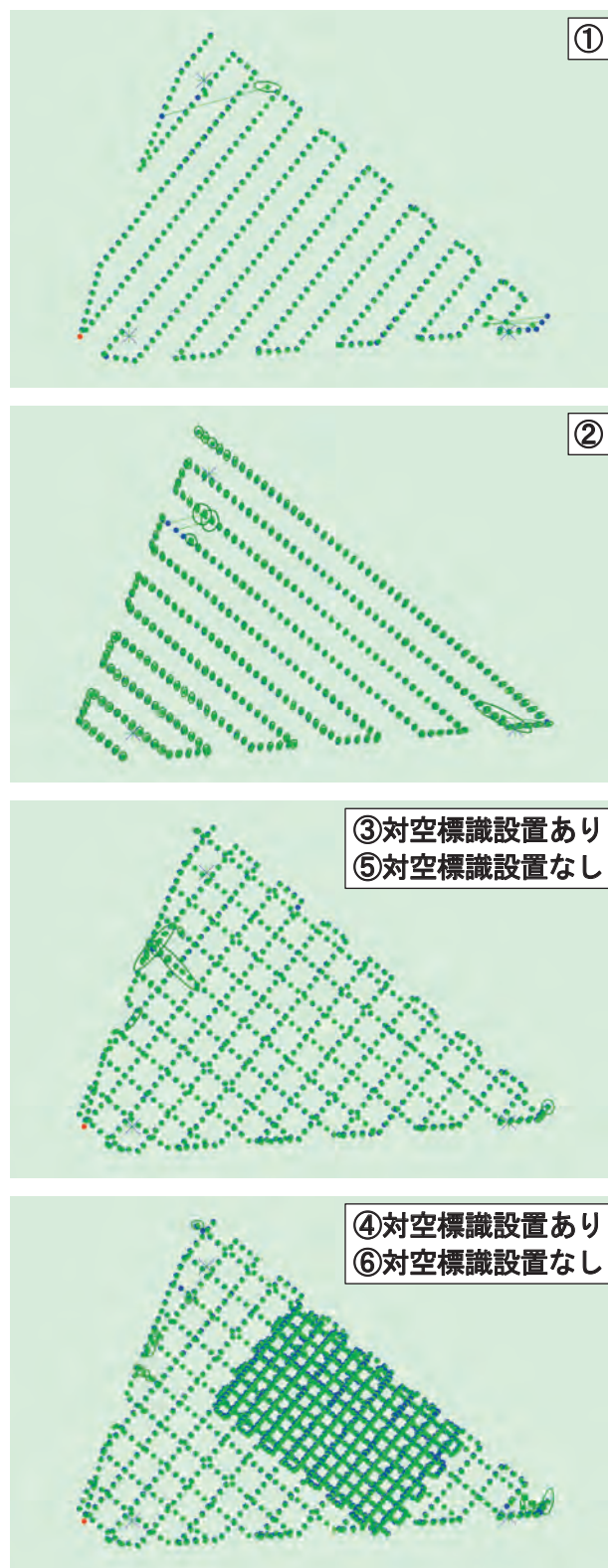
今回、複数のコースと2つの高度で撮影を実施していることから、下記の6種類の撮影条件において、堤体表面変位計の位置座標をSfMソフト(Pix4D)で求めて表－4の初期値と比較を行った。

(1) 撮影条件（解析方法）

図－6に示す下記の①～⑥の解析を行った。各ケースの名称は解析に用いた画像の撮影高度をUAVの飛行方向と対空標識の有無である。なお、撮影方向の縦横は、図－6に示すとおりである。

- ① 100m 【縦】
- ② 100m 【横】
- ③ 100m 【縦】 + 【横】

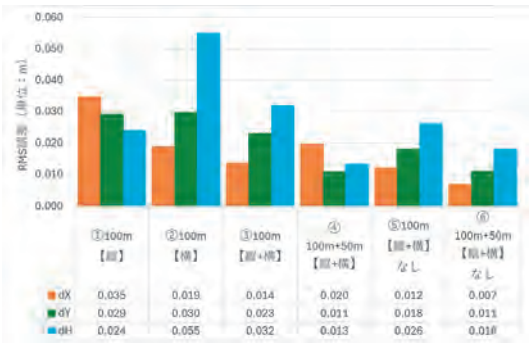
- ④ 100m+50m 【縦】 + 【横】
- ⑤ 100m 【縦】 + 【横】（対空標識なし）
- ⑥ 100m+50m 【縦】 + 【横】（対空標識なし）



図－6 撮影条件（解析方法）

(2) 結果

撮影条件別における堤体表面変位計成果と初期値の比較を行い各成分（dX、dY、dH）のRMS誤差を求めた結果を図－7に示す。



図－7 撮影条件別 RMS 誤差（単位：m）

(3) 評価

主要な撮影条件の評価を以下に示す。

① 100m【縦】 および② 100m【横】

誤差が大きく不安定な結果となった。

100m【横】ではdHのRMS誤差が5.5cmと最大となる。ただし、①と②ではRMS誤差が反比例しており、それぞれ撮影方向が異なることから傾斜面と撮影方向に関係性があると推察する。

③ 100m【縦+横】

格子状に撮影した写真を使用することで、①の撮影条件より精度が安定してきたが、dHはRMS誤差が3cmを超える3.2cmとなった。

④ 100m+50m【縦+横】

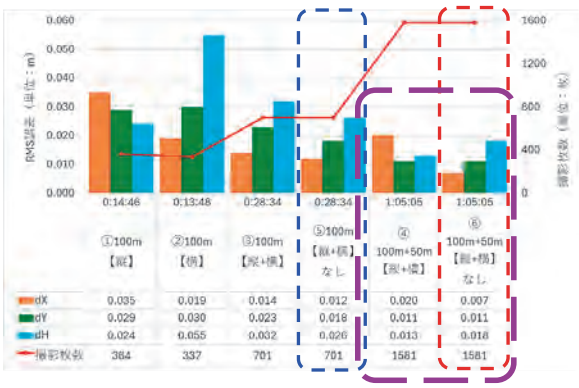
③の撮影条件に低高度（50m）撮影を追加することでRMS誤差が小さくなり（dH:1.3cm、水平のdX:2.0cm、dY:1.1cm）、これまでの撮影条件と比較して安定した結果となった。高高度と低高度の写真を組み合わせることでカメラ姿勢の推定値が安定し、高さ方向の誤差が減少して、鉛直精度の改善につながったものと推察する。

⑥ 100m+50m【縦+横】対空標識なし

堤体表面変位計に対空標識を設置しない状態でも、高高度と低高度を組合せて格子状に撮影することで、RMS誤差が2.0cm以下になる結果が得られた。堤体表面変位計に対空標識を設置しない場合でも低高度および格子状の撮影を組み合わせることで③と同等以上の効果が得られる結果となった。

7. 考察

撮影条件別に算出したRMS誤差に合わせて、撮影枚数や撮影時間を図－7に追加（図－8）して比較検証を行った。



図－8 撮影条件別 RMS 誤差（単位：m）
（撮影枚数、撮影時間を考慮）

(1) RMS 誤差と撮影枚数及び撮影時間の関係

図－8から、撮影条件や写真枚数によってRMS誤差にばらつきがみられるが、撮影枚数が増えることでRMS誤差が向上しているのがわかる。また、2つの対地高度（100mと50m）で撮影した⑥（図－8赤破線）は、1つの対地高度（100m）で撮影した④（図－8青破線）と比べて30～40%程度RMS誤差が改善した。

ただし、撮影枚数が増えることで現場における作業時間が約1時間強増加するとともに、安全面においても集中力の低下や安全確認、天候悪化などのリスクとSfMソフトによる解析時間の増加となることから、今後、撮影方向の検討やラップ率の検証、対地高度の検証を進めて、効率と精度をさらに向上させるための条件設定を引き続き進めていく必要がある。

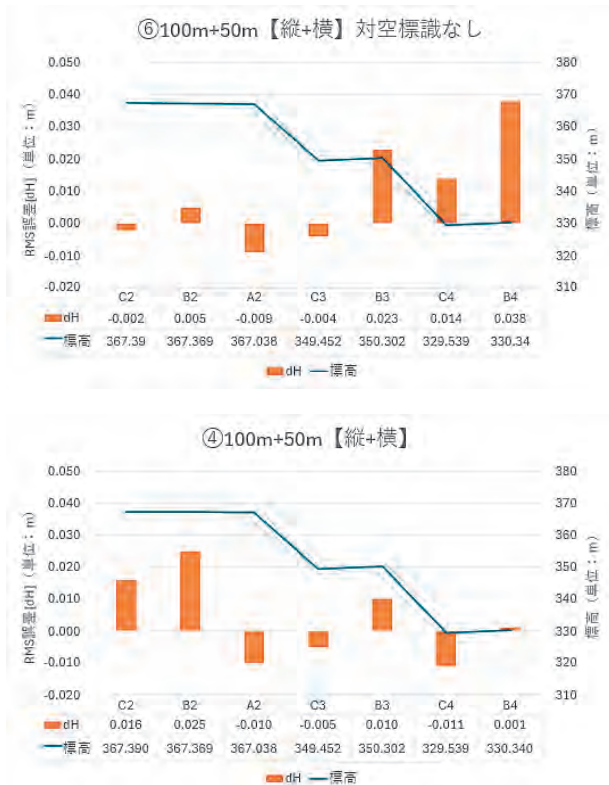
なお、表－5のような性能のPCとSfMソフト（Pix4D mapper）を用いて1581枚の画像の解析を行った場合の作業時間は1日半程度であった。

表－5 SfMソフト運用PCスペック

CPU	Core i9-9900X
メモリ	32GB
ストレージ	SSD NVMe PCIe Gen3 1TB
GPU	NVIDIA Quadro P5000 15GB

(2) 堤体表面変位計標高と RMS 誤差 dH の関係

図－8 の「④ 100m+50m【縦+横】」と「⑥ 100m+50m【縦+横】 対空標識なし」(紫破線)では、水平位置(X、Y)のRMS誤差は2.0cm以下と安定しているが、各堤体表面変位計の標高(dH)のRMS誤差は、図－9に示すように安定していない。



図－9 堤体表面変位計標高と標高 RMS 誤差の関係 (単位:m)

図－9 上段は、堤頂から下方(下流側)に向かうにつれて誤差が大きくなる傾向が確認され、図－9 下段は微量であるが、図－9 上段と反対に堤頂から下方(下流側)に向かうにつれて誤差が低減する傾向が認められた。

また、「⑥ 100m+50m【縦+横】 対空標識なし」において、ダム堤体下流側斜面(傾斜角約 26.57°)に対して斜め写真の効果があるかを期待したが、斜面に対する直下撮影は投影形態として斜め写真に近い見かけを呈し得る一方、SfM による三次元復元に必要な視線方向(カメラ位置、対象物位置、視線方向の関係である観測ジオメトリ)の多様性が十分に確保されない状況が生じたと考えられ、精度向上に寄与しない結果となったと推察する。また、本条件では標定点数が少ない(3点)ことで幾何拘束が弱く、

斜面方向に沿った系統的な標高誤差が発生した可能性が高くなったとも考えられ、図－9 上段に見られる斜面下方ほど誤差が増大する傾向は、これらの条件に起因する系統誤差の顕在化によるものと考えられる。これに対し「④ 100m+50m【縦+横】」の条件では、対空標識が高さ方向の拘束条件として機能したことで、斜面下方における標高誤差が低減したとも考えられる。すなわち、標定に用いる明確な基準情報が追加されたことで斜面方向の系統誤差が抑制され、図－9 下段に示す誤差低減傾向につながったものと推察される。

8. まとめ

今回、撮影した空中写真を用いて①～⑥の各条件で解析を行い、基準値との比較検証を行った。

その結果、「④ 100m+50m【縦+横】(堤体表面変位計に対空標識あり)」と、④と同一の条件で、堤体表面変位計に対空標識を設置しない場合の「⑥ 100m+50m【縦+横】 対空標識なし」の条件において、比較的良好な計測精度が得られた(図－8 紫破線枠)。

このことから、UAV 写真測量における当該撮影ジオメトリ(ダム軸に直交に飛行【縦】+ダム軸に平行に飛行【横】)と、SfM ソフトの特徴(画像間の特徴点対応に基づく三次元復元)を考慮すると、本業務で採用した撮影方法「④ 100m+50m【縦+横】」は、高い精度を得るための撮影条件の一つとして有効であることが確認できた。

9. 今後の課題と展望

(1) 継続的な技術検証の必要性

今後、さらなる精度向上を目的として、UAV 写真測量の撮影条件(季節や気象条件、撮影方向や対地高度並びにラップ率と斜め写真の導入)や SfM ソフト選定と解析手法について、継続的な検証を行っていく必要があると感じた。将来、施設管理者が独自に運用できる体制を構築するためには、撮影条件の確立および精度の向上に向けた技術指導や研修を定期的に行うことで、一定の水準でダムの維持管理(モニタリング)を進めることが可能となると考える。

(2) UAV 技術のさらなる発展

今後、UAV の搭載機器(カメラ)の性能向上(カメ

ラ解像度や機体性能)やSfMソフトの解析能力の進化により、UAV写真測量による堤体表面変位量測定における精度がさらに向上することが期待される。

今回の計測では、面的な変形や変状把握のためには特に問題ない精度(UAV写真測量における精度:2cm~5cm)が得られたものの、変形の兆候把握に必要な精度は数mm~1cmとなるため、UAV技術の発展が必要不可欠であると考える。

(3) 従来計測との整合

「3. 堤体表面変位測定」で記述したとおり、従来計測は堤体表面変位計に設置したポール上に据え付けたターゲット中心の三次元座標を求めてモニタリングしている。一方、UAV写真測量における堤体表面変位計の三次元座標は写真-9に示すとおり堤体表面変位計土台中心の金属蓋の位置となることから、互いの整合を図る手法を構築していくことが課題となる。また、経年変化や凍結などの影響を受け、従来計測に用いている堤体表面変位計に変状や劣化が確認された場合も含め、以下のいずれかの対策が必要になると考える。

- ①堤体表面変位計の傾斜量と傾斜方向を精密に測定し、計測結果に補正してモニタリングする方法
- ②堤体表面変位計の傾斜を修繕し初期値を再設定してモニタリングをする方法

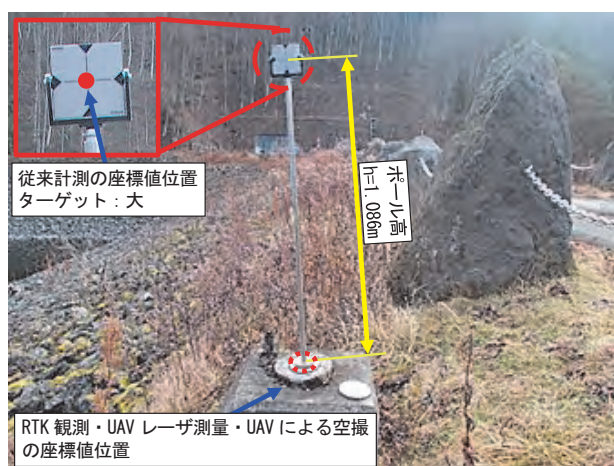


写真-9 各計測の三次元座標測定位置

①の対策では、緑ダム完成時の初期値からの変動を把握することが可能になると考えるが、UAV計測のたびに作業員が堤体表面変位計まで行き傾斜量を測定しなくてはならない課題が残り施設管理者の安全性に欠ける。反対に②の対策では、初期値を再設定することになるため、これまでの計測を一度リセットすることになるが、作業員が堤体表面変位計に行くことがなくなり、施設管理者の安全性が①の対策より優位になると考える。両方の対策には一長一短があり、今後、ダムの維持管理を継続的に行うため施設管理者やダム設置者を含め検討をしていかなければならないと考える。

10. おわりに

UAV技術を活用した写真測量は、ダムの管理において安全性、正確性、効率性の向上をもたらす有力なツールとなる。今回得られた成果は今後のダム維持管理技術の高度化に向けた基礎となることから、引き続き、技術検証と運用体制の整備を進めることで、施設管理者の負担軽減と持続可能なダム管理が可能になるものと期待する。本稿が、(一社)北海道土地改良設計技術協会会員の皆様にとって有益な情報となり、今後の技術革新の一助となることを願っております。

11. 謝辞

本稿をまとめるにあたり、多大なご協力をいただきました北海道開発局 網走開発建設部 農業整備課並びに関係各位に厚く御礼申し上げます。

最後に、本稿の提出機会を与えていただきました(一社)北海道土地改良設計技術協会に感謝申し上げます。
(株式会社ズコーシャ 技術部空間情報課 副技師長)

長大な開水路を有する用水施設を対象とする水管理施設設計

伊東 啓人・日吉山 駆

1. はじめに

国営造成の用水施設の水路組織には、その規模の大きさに加え、様々な目的を持つ施設が機能的に組織されている。近年は気候変動に伴う渇水リスクや大雨による災害への備えも重要性を増している。

用水施設の管理は、主として土地改良区により維持されてきたが、土地改良区職員の高齢化や要員不足から、より効率的で合理的な水管理が求められている。

本報は、前歴事業による整備から20年余りを経過した長大な開水路を有する用水施設を対象とする水管理施設の更新整備を行うにあたり、用水管理の課題を抽出するとともに、水管理データを収集・分析し、水管理課題を解決するための新たな水管理施設の設計について報告する。

2. 地区概要

(1) 施設概要

国営かんがい排水事業「神竜二期地区」は、北海道旭川市、深川市及び雨竜郡秩父別町に位置する受益面積2,934haの水田地帯で、前歴の国営北空知土地改良事業（昭和52年度～平成17年度）で造成された頭首工、揚水機場および用水路5条、延長19.5kmを有する（表－1～3）。

(2) 用水管理の現状

施設の管理は神竜土地改良区により受託管理されており、神竜揚水機場に1名が24時間常駐管理し、その管理者は7丁目揚水機場と神竜頭首工を巡回して管理を行っている。これとは別に用水路巡視員2名を配置している。

表－1 頭首工諸元

施設名称	河川	頭首工形式	堰全長/堰高	最大取水量	土砂吐門	洪水吐門
神竜頭首工	石狩川水系石狩川（一級直轄）	本体：全可動堰 基礎：フィックスド	117.0m/3.5m	19.196m ³ /s	16.5m×1門	30.0m×3門

表－2 揚水機場諸元

施設名称	水源	ポンプ形式	規模×台数	全揚程	実揚程	揚水量
神竜揚水機場	石狩川	横軸渦巻	φ700×2台	23.30m	21.40m	1.894m ³ /s
7丁目揚水機場	石狩川	横軸渦巻	φ800×1台	12.10m	9.70m	1.500m ³ /s

表－3 用水施設諸元

路線名称	延長 (km)	水路形式	構造規模	附帯施設						備考
				分水工	調整施設		沈砂池	流入工	揚水機場	
					水位調整	放水工				
神竜幹線導水路	3.3	トンネル	2R=3.80m	－	－	－	－	－	－	
	0.3	開水路	B:4.50m、H:3.70m	1	－	－	－	－	－	
神竜幹線用水路	4.2	開水路	B:3.50～6.30m、H:1.45～3.70m	20	－	2	1	3	2	
北幹線用水路	8.1	開水路	B:2.80～4.30m、H:1.30～1.65m	38	3	3	－	53	－	
神竜揚水機幹線用水路	1.0	開水路	B:2.10m、H:1.45m	9	－	－	－	－	－	
	1.7	管水路	RC φ1350～1800mm		－	1	－	－	－	
中央幹線用水路	0.4	開水路	B:2.10m、H:1.40m	2	－	1	－	－	－	
	0.5	管水路	FRPM φ1350mm	－	－	－	－	－	－	
合計	19.5	－	－	70	3	7	1	56	2	
内大部幹線用水路	2.7	管水路	STW, PC, DCIP, FRPM φ1650～1100mm	4	－	1	－	－	－	地区外
	1.0	トンネル	2R=1.80m	－	－	－	－	－	－	



図－１ 水管理施設位置図

神竜土地改良区を中央管理所（親局）とし、頭首工、揚水機場を含む子局の状態を水管理施設にて遠方監視している。水管理施設は前歴事業で整備されており、用水路の水位監視を中心とした遠方監視（以下、「TM」という。）が行われ、神竜頭首工（写真－１）、神竜揚水機場および沈砂池には監視カメラ（CCTV）による静止画像監視が併用されている（図－１）。

遠方監視等の通信は携帯電話回線、電源はソーラーパネルによる電力供給となっている。これらの設備は竣工後、経年により耐用年数を超過している。

写真－１ 神竜頭首工



3. 水管理施設設計の目的と課題

地区の水管理施設は、20 年余りを経過し、標準耐

用年数を超過して老朽化が進行している。また、揚水機場等を含む長大な開水路網における監視体制の維持向上と効率的で確実な送配水管理が求められている。このため、老朽化した水管理施設の早急な更新整備が必要である。

水管理施設設計にあたっては、施設管理者の管理実績、意向を反映させるとともに、以下の点について対策を講じることが課題である。

- ・効率的な水管理を行う上での重要な管理ポイントの抽出
- ・施設事故時及び災害時等における頭首工の取水口ゲート即応措置の確立
- ・揚水機緊急停止時の神竜幹線用水路第 1 号放水工ゲート操作の即応性の確立
- ・施設保全と災害防止の観点から、水利情報に加えて施設状態および通報機能を含めた一元的な情報管理
- ・情報共有を可能とする通信方式の更新整備

4. 課題解決に向けた検討

(1) 管理ポイントの抽出

水管理上のポイントは、神竜頭首工および各揚水機場、各用水路では既設の監視ポイントにもなっている主要分水点および放水工を踏襲することとした（図－１）。なお、北幹線用水路は、降雨流入に伴う

水位上昇に対応した放水工ゲートの監視制御機能の向上が必要である。

(2) 施設事故時および災害時等における頭首工の取水口ゲート即応対策

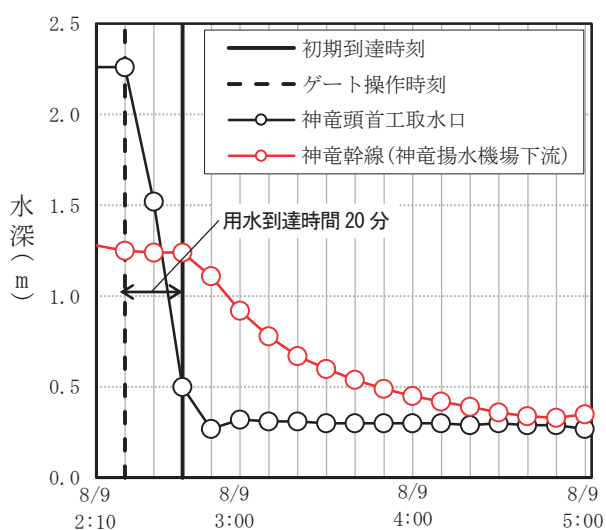
前述のとおり、神竜頭首工と神竜揚水機場の管理は神竜土地改良区が兼務していることから、頭首工の取水口ゲート操作による取水量の調整は約6km離れた2地点を車で往復し、その所要時間は片道20分程度を要している。

【神竜頭首工から神竜揚水機場までの移動時間】

神竜頭首工から神竜揚水機場までの移動には一般道路が利用され約6kmの距離がある。現地での試行から、時間帯により交通状況が変化することや経路途中には信号機が複数箇所設置されているため、移動時間は15分程度を見込む必要があることを確認した。さらに、操作室や入場ゲートの施錠・開錠等の時間を要し、操作に取り掛かるまでに20分程度が必要となる。

$$\begin{aligned}\text{所要時間} &= 6\text{km} / \text{時速 } 30\text{km} + \text{信号待 } 3\text{分} + \text{施錠等 } 5\text{分} \\ &= 12\text{分} + 3\text{分} + 5\text{分} \\ &= 20\text{分}\end{aligned}$$

この時間は神竜頭首工から神竜揚水機場までの用水到達（図－2）とほぼ同じである。



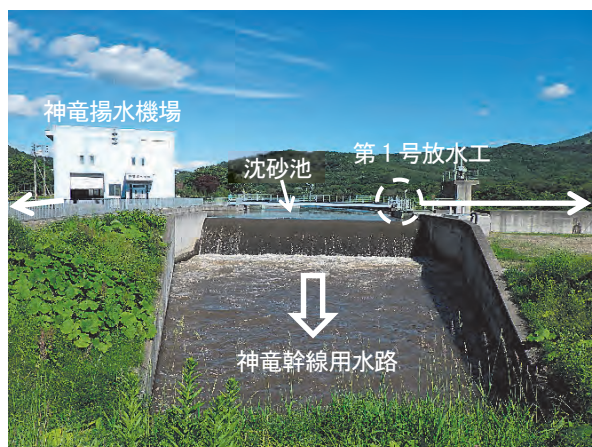
図－2 神竜頭首工で減量した時の頭首工～神竜揚水機場までの用水到達時間（2022年8月9日実績）

このため、つぎのように神竜頭首工取水口ゲートと神竜幹線第1号放水工ゲート（写真－2）では、操作に時間的余裕がない状況にある。

用水施設に事故が発生した場合や大雨などによる災害が発生した場合には、現状では第1号放水ゲートを開操作し、その後、神竜頭首工に移動し、取水口ゲートを閉操作しなければならない。

一方、放水工は神竜揚水機場が停止した際の余水放流を見込んでおり、全量放水が困難であるため神竜幹線用水路の下流には用水が流下し続けることになり、頭首工への移動時間分災害の影響が大きくなる恐れがある。

以上より、頭首工の取水口ゲートは現状は機側操作であるため、これを遠方操作（以下、「TC」という。）とすることで問題を解消できる。



写真－2 神竜揚水機場および第1号放水工

(3) 揚水機緊急停止時の神竜幹線用水路第1号放水工ゲート操作の即応対策

(2)における検証を踏まえ、水管理制御は、第1号放水工ゲートについても同様に現状の機側操作に替えてTCとし、揚水機停止時の放水管理を効率化することとした。当該機能により、用水施設に発生するリスクへの対応を円滑に行うことができる。

(4) 施設の保全と災害防止の観点から、水利情報に加えて施設状態及び通報機能を含めた一元的な情報管理

1) 北幹線用水路 入志別放水工の情報管理

神竜幹線系の北幹線用水路は、路線の一部区間において背後に山地流域がある（図－3点線円内）。当該区間は、降雨時の排水流入による水路の水位上昇

が比較的大きく、管理者にとって、水路からの溢水防止に係る巡回監視や放水操作に多大な労力を要している。

このため、降雨出水時の水路溢水に対する安全性向上と管理労力の軽減が必要であることから、既往の水管理データを用い、北幹線用水路の入志別放水工地点における降雨時の用水路の水位上昇について検証した（図－４）。

当該事例では、降雨が予測されたことから、前日の８月４日１３時から頭首工取水量を減量しており、水路水深は約８時間かけて低下している。その後、８月６日０時からの降雨（５１ｍｍ／１４ｈｒ：アメダス深川）により北幹線用水路の入志別放水工地点の水位

は２７ｃｍ上昇した。このときの降り始め（８月６日０時）から水路水深がピークになる時点（８月６日６時）までの累加雨量は３９．５ｍｍ／６ｈｒであった。

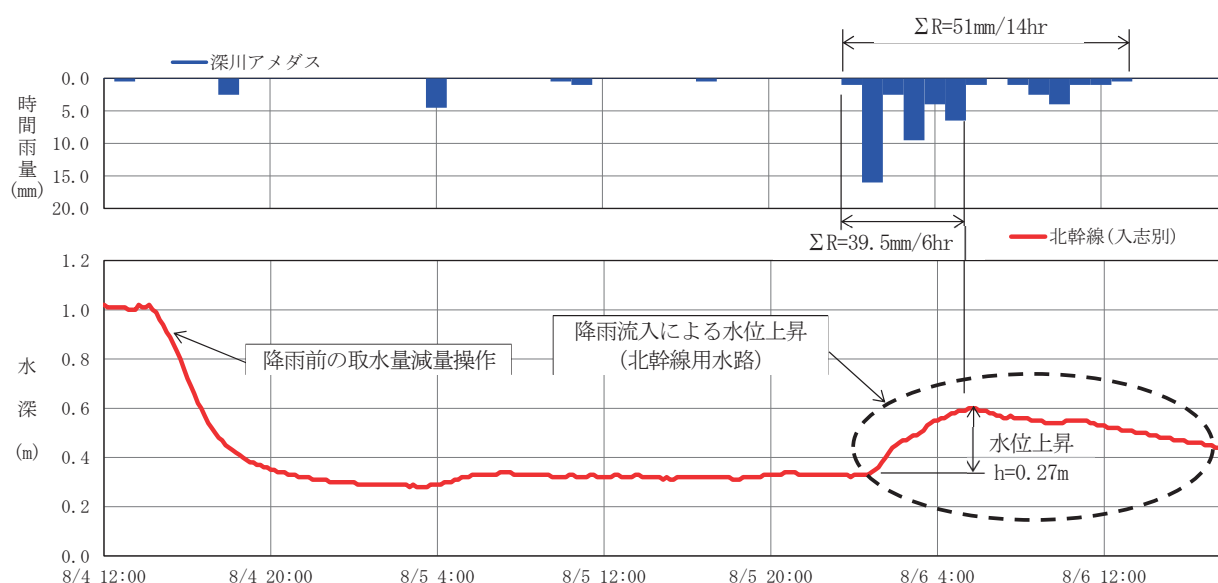
一方、排水流入が少ない神竜幹線や中央幹線の水位上昇は数ｃｍ程度であった（表－４）。

表－４ 降雨時の水位と増加流量（２０２３年８月６日）

観測所	水位 上昇量 (m)	増加流量 (m ³ /s)
神竜幹線(揚水機場下流)	0.00	0.000
神竜幹線(北幹線分岐)	0.03	0.091
中央幹線	0.05	0.195
北幹線(入志別)	0.27	0.896

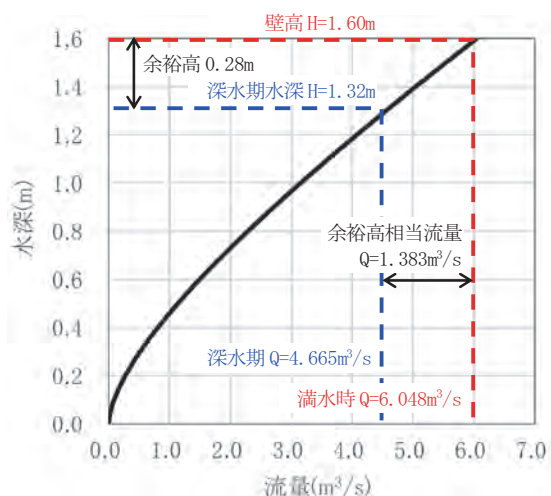


図－３ 北幹線の流域と流入工



図－４ 降雨時の北幹線用水路 入志別放水工地点における水位変化（２０２３年８月５日～８月６日）

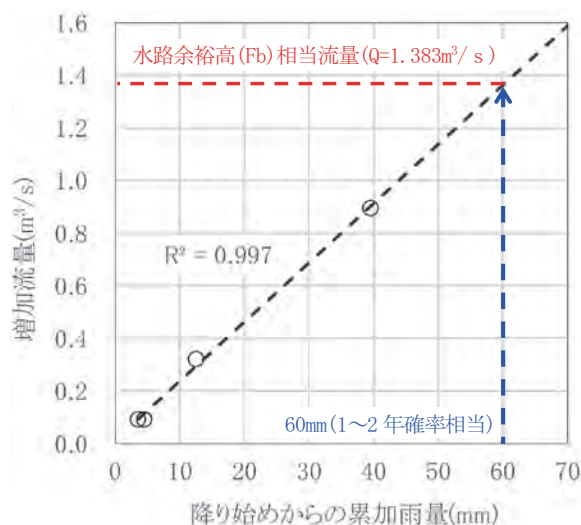
入志別放水路地点の等流計算による水深～流量（ $H \sim Q$ ）の関係を図－５に示す。北幹線用水路の設計余裕高は 0.28m である。



図－５ 北幹線用水路 入志別放水工地点の $H \sim Q$

降雨時に水路水深が上昇した複数の事例に基づく、累加雨量と水路内の増加流量の関係を図－６に示す。増加流量は等流計算により変化前後の水深を用いて計算した。累加雨量の増加に伴い増加流量はほぼ直線的に増加していた。

当該区間の設計余裕高（ F_b ）相当の流量は $Q=1.383 \text{ m}^3/\text{s}$ であり、仮に最大流量流下時に連続雨量約 60mm 以上の降雨があった場合、水路溢水の可能性があることが推察された。連続雨量 60mm は、当該区域における 1～2 年確率雨量に相当することから、水路溢水の危険は 1～2 年に 1 回程度の頻度で生じる可能性があるといえる。



図－６ 雨量と増加流量の関係（北幹線 入志別）

近年の集中豪雨の発生頻度の増加傾向などを勘案すれば、今後、水路溢水の危険度が増すことが考えられる。

以上の確認・検証を踏まえ、北幹線入志別放水工は、現状の水路水深の TM に加えて、水路水深の変化や放流河川の状況の確認を可能とする画像監視機能（CCTV）を追加した。これにより、現地の巡回監視頻度を抑えつつ、放水操作の必要性や放水可否の判断の支援を可能とし、確実な操作と管理労力の軽減を両立できると考えた。

2) 異常時の通報機能の確保

施設災害等の未然防止を図るため、頭首工、揚水機場の機械、電気設備等の異常発生時および用水路の水位異常が発生した場合に管理者（複数）に一斉通報する機能を具備することとした。なお、用水路の水位異常値（上限）の設定は施設管理者が任意に設定可能とした。

(5) 情報共有を可能とする通信方式の更新整備

前項までの検討結果をまとめると本地区の監視制御方式は表－５となる。これらの監視制御を機動的かつ確実な情報共有を可能とする通信回線の選定が重要である。

表－５ 監視制御方式

施設名称	監視制御方式		
	TM	TC	CCTV
神竜頭首工	○	○	○
揚水機場	○	○	○
7丁目揚水機場	○		
用水路	○		
神竜幹線導水路	○		
神竜幹線(第1号放水ゲート)	○	○	○
北幹線(入志別放水工)	○		○
神竜揚水機場幹線	○		
中央幹線	○		
内大部幹線	○		

1) 情報共有

施設管理者による情報共有を図るため、既設水管理施設で活用されているクラウド方式を利用することとし、これによる維持管理費（通信費）のコスト低減を図った。

2) 通信方式の選定

本地区の通信方式概念図を図－７に示す。監視制

御には操作制御機能(TC)と情報監視機能(TMおよびCCTV)があり、とくにTCは通信の遅延、輻輳があってはならないことを考慮し、TC装置を有する区間(図-7 ①、②、③)は光回線(VPN)を採用した。TMのみの用水路については、機動性、経済性を考慮し4G LTE(携帯電話回線)を採用した。

5. おわりに

近年、とくに大規模な農業水利施設における維持管理の現場では、人的管理に十分な管理要員を確保することが難しくなっており、水利用機能の維持や防災面の管理にあたる担当職員の労務負担が大きくなっている。

その解決策として、人的管理を支援する水管理制御施設の導入が進められてきたが、今日、既存の水管理システムは更新の時期を迎えているものが多い。設備の更新にあつては、既往の水管理データをもとに、水管理上の課題を抽出、分析することで課題への対策が可能となる。

本報では、水管理の要所で計測・蓄積された水利データが、水路施設の水管理施設設計に有用な情報を提供できることを示すことができた。

本報が今後の水管理制御施設設計の一助となれば幸いである。

謝 辞

本報は、札幌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札幌開発建設部深川農業事務所、ならびに現地調査や問診調査の実施にあたり多大なご協力とご助言を賜りました神竜土地改良区の関係各位には、ここに記して御礼申し上げます。

最後に、本稿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グループ長(技術士))

(株式会社アルファ技研事業部技師)

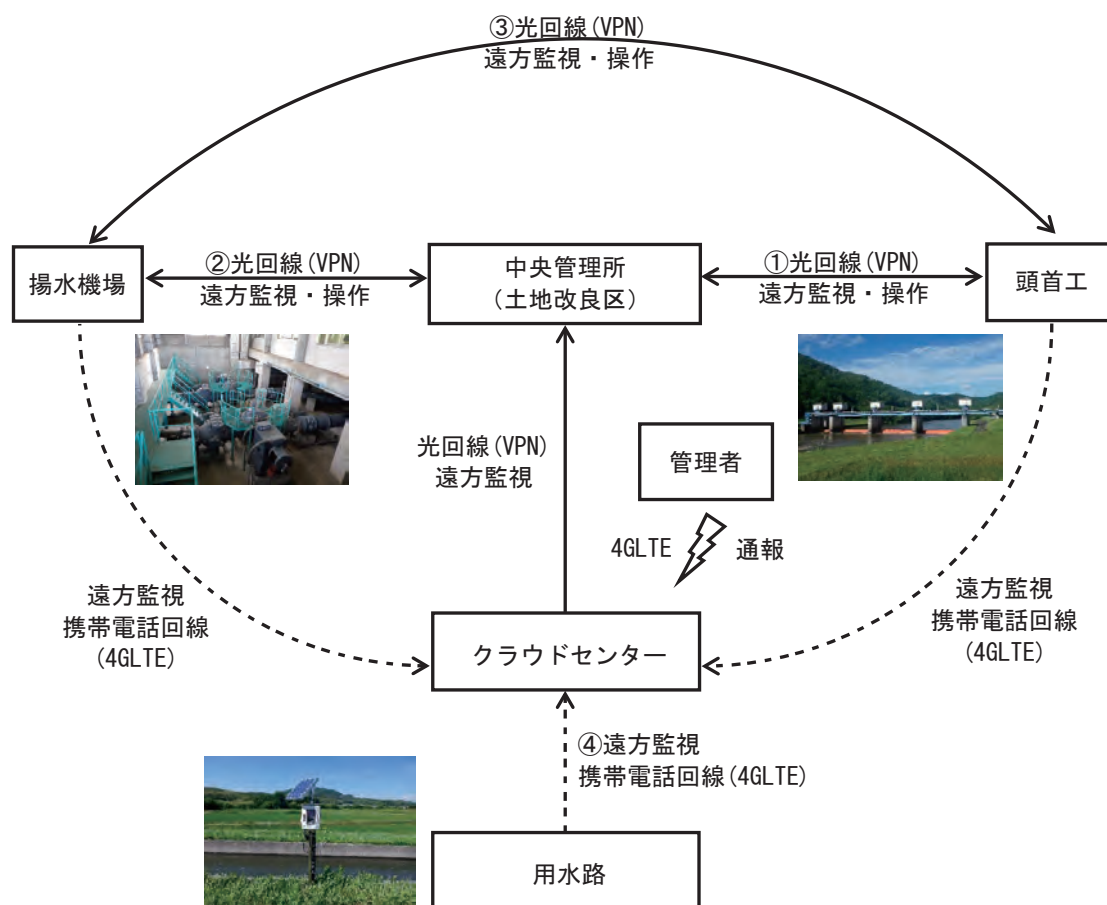


図-7 通信方式概念図

報 文 集 第38号

令和8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・半谷 敬幸・岡本 久志・中村 泰弘
小嶋 守・高野 尚・山本 正人・横川 仁伸
川口 宏・會澤 義徳・園生 光義・岡田 滋弘
五十嵐寿晃・二本松 寿・太田 寛彰・森田 尚洋

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37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

『豊かな大地へ』

ー美瑛町にて撮影ー

佐竹 輝昭 氏 作品

A E C A

HOKKAIDO

Agricultural Engineering Consultants Association