

報 文 集

平成30年度



報 文 集 第30号 目 次

融雪期に試験湛水を実施する供用中ダムの浸透量予測とその検証結果.....	1
--------------------------------------	---

多 田 飛 鳥

肥培かんがい施設の機能診断事例について.....	13
--------------------------	----

村 山 和 佳

農業水利施設（用水路）の機能診断調査についての事例紹介.....	23
----------------------------------	----

井 上 誠 司

寒冷地における開水路の目地補修工法及び診断手法の適用性検討.....	35
------------------------------------	----

松 本 康 宏・藤 田 修

用水再編・畑地かんがい事業地区における営農計画策定の事例紹介.....	45
～国営かんがい排水事業 芽室川西地区の事例～	

君 沢 竜 也

無人航空機（UAV:Unmanned Aerial Vehicle）の活用と事例について.....	55
---	----

鈴 木 聡 明・加 藤 裕

現地状況を効率的に把握するためのUAVと3Dレーザースキャナーの利用.....	61
---	----

佐々木 尊

融雪期に試験湛水を実施する供用中ダムの 浸透量予測とその検証結果

多田 飛鳥

1. はじめに

北海道旭川市の北東約20km地点に築造された当麻ダムは、昭和35年より供用中の農業用ダムである。

積雪寒冷地に築造されたかんがい用のダムでは、貯水を4～5月の融雪水に委ねていることが多い。

新設のダムでは、試験湛水が完了した後にかんがい用水の取水を開始するが、本ダムのような供用中のダムでは、これらを同時期(同年度)に実施することが要求される。

このため、試験湛水は、融雪水の流入が見込まれる4～5月に実施することとなるが、この場合、安全かつ確実に試験湛水を行うためには、当該期間の諸条件(降水量・融雪量)を把握する必要がある。

さらに、近年では温暖化や気候変動による融雪時期の早期化や、急激な気温上昇による突発的な融雪量の増加などが懸念されるため、精度の高い積雪融雪モデルによる融雪量を考慮した浸透量の予測が必要となる。

これら背景を踏まえて、本稿では「供用中のダムにおいて、融雪期に試験湛水を実施する場合の浸透量の予測方法」を紹介するとともに、予測値と実測値との比較による検証結果を報告する。



図－1 当麻ダム位置図

2. ダムの概要

2.1 ダムの諸元

当麻ダムの諸元を表－1に示す。

表－1 当麻ダム諸元

	既設堤体部	新設堤体部
貯水容量	3,039,000m ³	
基盤面標高	EL. 193.50m	EL. 207.00m
天端標高	EL. 214.80m	EL. 214.80m
堤高	21.30m	7.80m
堤頂長	221.00m	21.40m
堤体積	197,000m ³	3,000m ³

2.2 新設堤体の盛立概要

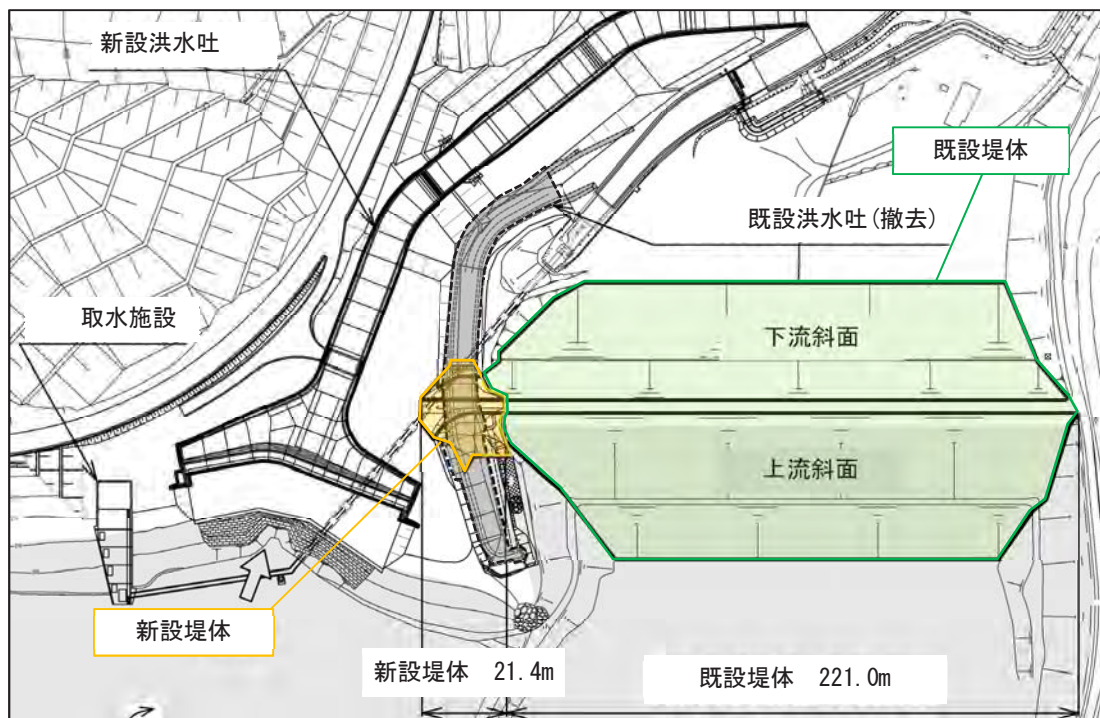
当麻ダムでは、流域の開発等により洪水流出形態が変化したため、洪水吐の改修により洪水流下能力を増強させ、併せて既設洪水吐撤去後の跡地に新設堤体を造成する工事が平成19年度より行われた(図－2参照)。

当麻ダムの新設堤体盛立は、平成28年7月1日より開始し、同8月25日までの約2ヶ月間で完了した。新設堤体の堤体積3,000m³であり、既設堤体(197,000m³)と比較して約1/67と非常に小さい規模である。

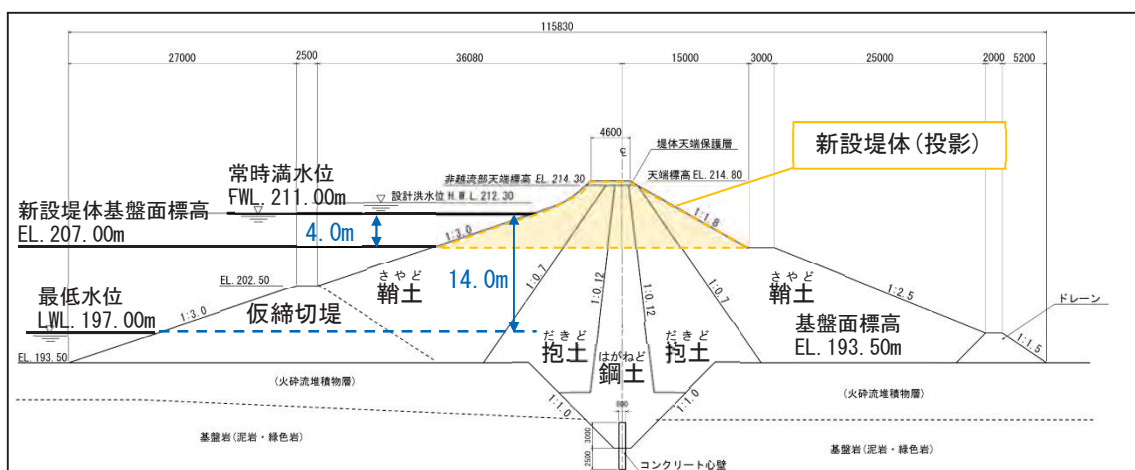
当該ダムの既設堤体及び新設堤体の標準断面をそれぞれ図－3、図－4に示す。

2.3 新設堤体の盛立結果

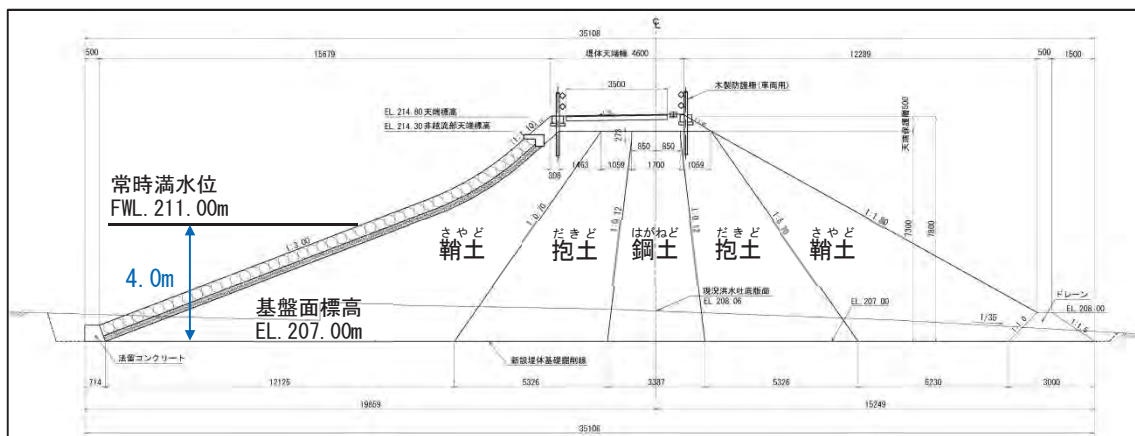
新設堤体は、既設堤体と同様に「鋼土」^{はかねど}、「抱土」^{だきど}、「韃土」^{さやど}の3種類のゾーンで構成されている。



図－２ 対象施設平面図



図－３ 既設堤体 標準断面図



図－４ 新設堤体 標準断面図

しかし、新設堤体は、施工規模が小さく狭い範囲で施工を行い、既設堤体の「鋼土」と「鞘土」はほぼ同様な材料特性を示すことから、これらを同一の材料及び盛立仕様により施工を行っている。

新設堤体の転圧仕様は、平成25年度及び平成26年度に実施した盛立試験結果から、下表に示すとおり設定されている。盛立施工仕様を表－2、盛立管理基準値を表－3に示す。

表－2 盛立施工仕様

		盛立施工仕様	
		鋼土材	鞘土材
撤出し	機械	3ton級ブルドーザ	3ton級ブルドーザ
	厚さ	20cm以下/層	40cm以下/層
転圧	機械	11ton級振動タンピングローバット型(SV512T)	11ton級振動タンピングローバット型(SV512T)
	回数	8回転圧以上/層	8回転圧以上/層

表－3 盛立材料品質管理基準

		盛立管理基準	
		鋼土	鞘土
現場透水係数	$k \leq 1.0 \times 10^{-5} \text{ cm/sec}$	－	－
施工含水比	$\omega f = 15.0\% \sim 17.9\%$	$\omega f = 9.4\% \sim 12.0\%$	
管理密度(乾燥密度)	D値 $\geq 95\%$	D値 $\geq 95\%$	
最大粒径	75mm	75mm	

新設堤体は、既設洪水吐の跡地に造成するために縦断方向の延長が極端に短い(約11m)ことから、盛立標高が低い段階で上下流方向への転圧、盛立標高が高い段階でダム軸方向への転圧を行っている。その切り替えは、「ダム軸方向の走行距離>上下流方向の走行距離」となるEL.211.00mで行っている。

また、転圧作業は、G N S S (全球測位衛星システム)により締固め機械の位置を取得し、走行軌跡や締固め回数をリアルタイムで運転席モニタに写すマシンガイダンス(MG)を採用し、施工精度を向

上させている。

次に、上下流方向転圧の状況を写真－1、ダム軸方向転圧の状況を写真－2に示す。

表－3に示す盛立材料品質管理基準に従って実施した各ゾーンの品質管理試験結果を表－4に示す。

表－4によれば、全ての結果において管理基準値を満足する数値が得られており、締固め度は、D値=95.6～99.0%が得られ、透水係数は、鋼土で平均 $K = 2.63 \times 10^{-6}$ (cm/sec)、鞘土で平均 $K = 2.01 \times 10^{-4}$ (cm/sec) が得られた。



写真－1 上下流方向転圧



写真－2 ダム軸方向転圧

表－4 品質管理試験結果一覧表

ゾーン区分	乾燥密度 $\rho_t(\text{g/cm}^3)$			透水係数 $k(\text{cm/sec})$				含水比 $\omega(\%)$				締固め度 D値(%)			
	最大値	最小値	平均値	管理基準値	最大値	最小値	平均値	管理基準値	最大値	最小値	平均値	管理基準値	最大値	最小値	平均値
鋼土	1.863	1.793	1.827	$\leq 1.00 \times 10^{-5}$	6.36×10^{-6}	6.04×10^{-7}	2.63×10^{-6}	15.0～17.9	16.73	15.07	15.82	95.0以上	99.0	95.6	97.6
鞘土	2.050	2.027	2.038	－	2.70×10^{-4}	1.21×10^{-4}	2.01×10^{-4}	9.4～12.0	11.00	10.43	10.67	95.0以上	97.1	96.6	96.9

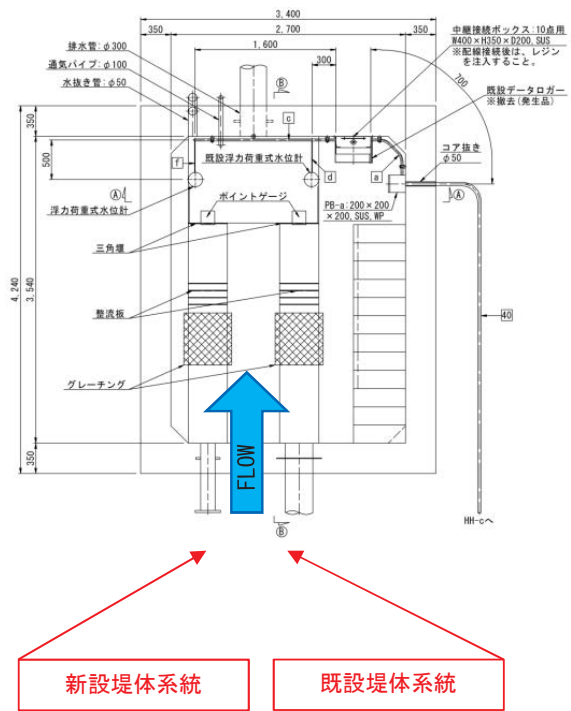
3. 浸透量観測施設の構造

新設堤体からの浸透量は法先ドレーンで集水され、ドレーン排水管により浸透量観測施設に導水している。

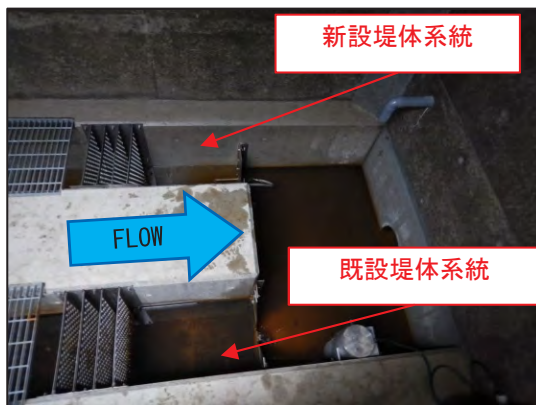
既設堤体の浸透量は、堤体下流基盤上に設置された導水管により集水され、新設堤体と別系統により、観測施設に導水している。

浸透量観測施設では、三角堰と水位計により浸透流量を計測している（図－5、写真－3参照）。

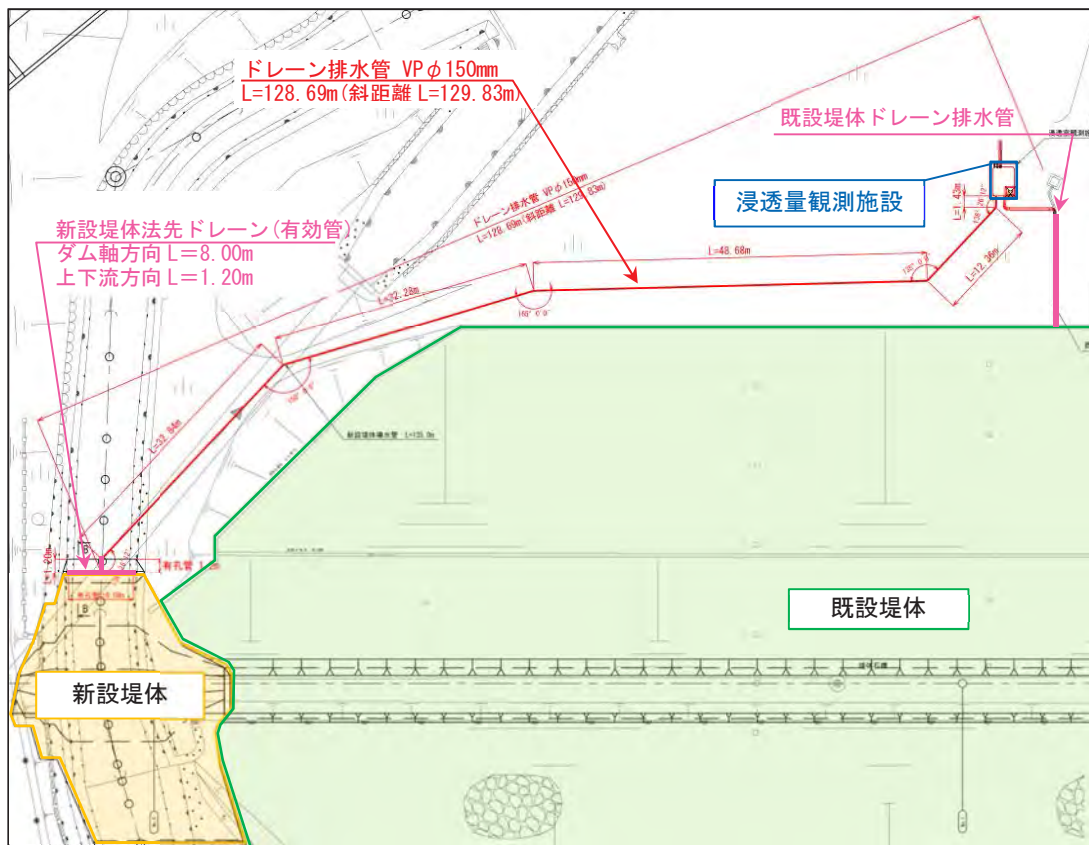
堤体ドレーン及び浸透量観測施設の配置を図－6に示す。



図－5 浸透量観測施設 平面図



写真－3 新旧堤体 浸透量観測施設



図－6 新旧堤体ドレーン及び浸透量観測施設配置平面図

4. 浸透量予測

4.1 浸透量の予測方法

試験湛水期間中は、貯水による堤内浸透量（真の浸透量）を把握する必要があるが、三角堰で計測する実測浸透量は、降雨や融雪の影響を受けた「みかけの浸透量」である。

このため、堤体の浸透量予測は、「農業用ダム機能診断マニュアル 計測データ分析用¹⁾」に示される「重回帰分析による浸透量再現モデル（(1)式）」により行った。

当モデルは、当時間における i 時間前の降水量 (R_i)、当時間の貯水位 WL を変数として与え、回帰係数 (a_i)、貯水位の影響 (c) 及び基底流量 (d) によって浸透量 (Q) を再現するものである。

【基本式】 ((1)式)

$$Q = \sum \frac{(a_i \times R_i)}{\text{降水量}} + \frac{c \times WL}{\text{貯水項}} + \frac{d}{\text{基底流量項}}$$

Q : 当時間における浸透量 (L/min)

a_i : i 時間前の降水に対する回帰係数

R_i : 当時間における i 時間前の降水量 (mm/hr)

c : 貯水位による浸透の係数

WL : 当時間の貯水位 (WL. m)

d : 基底流量 (L/min)

ただし、当該地区のような積雪寒冷地では、(1)式の基本式で与えられるパラメータの他に「融雪による浸透」を把握することが重要となる。

ここでの「融雪による浸透」は、堤体下流法面上の積雪が融け、降雨による浸透と同様に下流軸土内を浸透し、法先ドレーンに集水されることである。

そこで、融雪量算定項として当時間における j 時間前の融雪量 (M_{rj})、 j 時間前の融雪に対する回帰係数 (b_j) を(1)式に与えることにより、降水量・融雪量・貯水位・基底流量の変化を反映した浸透量再現モデル ((2)式) を与えた。

【融雪浸透量再現モデル】 ((2)式)

$$Q = \sum (a_i \times R_i) + \sum \frac{(b_j \times M_{rj})}{\text{融雪項}} + c \times WL + d$$

b_j : j 時間前の融雪に対する回帰係数、

M_{rj} : 当時間における j 時間前の融雪量 (mm/hr)

4.2 パラメータの設定

パラメータ ((2)式の a_i 、 b_j 、 c 、 d) の同定に使用する観測データは、浸透量・降水量・融雪量・貯水位・気温の5項目である。

ここで、同定に使用可能な新設堤体に関する観測データは、平成28年8月26日（盛立完了）から同12月18日までの約4ヶ月間と短い期間に限られ、さらには融雪期間（3～5月頃）の観測データが得られていない。

このため、パラメータの同定は、長期観測データが得られている既設堤体で行うこととし、ここで得られたパラメータを新設堤体の「初期パラメータ」として与えた。

初期パラメータは、影響を及ぼす時間 i 、 j 及び回帰係数 a_i 、 b_j を重回帰分析、貯水位の影響 c を A. Casagrande の方法により設定した。基底流量 d は、降雨及び融雪の影響がない時間の最低実測値とした。

既設堤体の同定期間は、平成26年4月1日～平成28年12月26日とし、新設堤体は、平成28年8月26日～同12月18日とした。

浸透量、降水量、貯水位、気温データは当該ダム地点で観測された実測データを使用し、欠測データ（落水後の10～3月など）についてはダム近傍に位置する比布観測所の観測データを使用した。

融雪量については観測データが得られていないため、推定式により算出することとした。

融雪量の算定は、一般的に下記の方法によって推定される^{2)、3)}。

- ①雪面低下法 ②熱収支法、
③積算温度法 ④タンクモデル法

①雪面低下法は、観測された積雪深の変化量から融雪量を推定する方法である。

ただし、融雪量の算定には、当該地点の正確な積雪深及び積雪の密度データなどを収集する必要がある。

②熱収支法は、大気及び地盤から積雪に向かうエネルギー及び積雪層から大気に向かうエネルギーの収支を評価し、大気と積雪層の熱交換をモデ

ル化した手法である。

この手法は高い信頼性を期待できる物理モデルであるが、放射収支量・気温・水蒸気圧・風向風速・雪面積雪温度・積雪密度等の多様な実測データを要求される。

- ③積算温度法は、融雪量が対象地域の気温と線形関係にあると仮定し、気温に融雪係数を乗算することで融雪量を求める手法である。

ただし、この手法は熱収支法で考慮されている放射収支量・風速などの物理性を表現できず、適用性に限界がある。

- ④タンクモデル法は、積雪層を1段のタンクと仮定し、積雪浸透による遅れを考慮した融雪量の算出が可能な高い再現性を期待できる方法である。

一方、この手法は一般的な流出解析に用いられるタンクモデル法と同様に概念モデルであり、パラメータの同定に長期観測データが必要である。

また、野村ら⁴⁾の研究によれば、積雪の層構造により浸透形態が異なるため、モデルパラメータは同年の積雪に対しても通年で同定が困難であったと報告されている。

ここで、③積算温度法に含まれるDegree-hour法⁵⁾は、キャリブレーションパラメータが1つでインプットデータが気温のみと簡便な手法であるが、地域によっては適用性の低い場合がある。

しかし、宮田ら⁶⁾の研究によると、北海道のような積雪量が多い地域、特に当該ダム地点を含む北海道北西部では、積算温度法による融雪量の推定に高い精度があったと報告されている。

以上のことから、本報での融雪量の推定は、当該ダム地点での観測データで対応できる積算温度法によって求めることとした。

積算温度法【Degree-hour法】((3)式)

$$M_{wj} = K_w \times T_j$$

M_{wj} : 融雪量 (mm/hr)、

K_w : 融雪係数 (mm/hr・℃)、

T_j : 気温 (℃) [$T > 0$ ℃]

融雪係数は、既設堤体の実測値を用いた重回帰分析により設定した結果、 $K_w = 0.06 \text{ mm/hr} \cdot ^\circ\text{C}$ が得られた。

この値は、日本で一般的とされている $0.03 \sim 0.33 \text{ mm/hr} \cdot ^\circ\text{C}$ ($= 0.7 \sim 8.0 \text{ mm/day} \cdot ^\circ\text{C}$)⁷⁾ の範囲に収まっていることから、妥当であると判断した。

ここで、(3)式は当該気温に対応した融雪量が算出されるが、残存する積雪量がそれ未満だった場合には水収支に不整合が生じる。

このため、前時間までの積雪量 (S_{j-1}) を考慮した (3') 式及び(4)式を与えた。

次に、前時間までの積雪量 (S_{j-1}) は、当時間までの積雪量 (S_j) として、(5)式が与えられる。

(5)式は、当時間の気温 (T_j) が 0°C 以下の場合にはそのまま積雪にカウントし、 0°C を超過する場合には融雪が発生することを意味する。

$$M_{wj} = K_w \times T_{jj} \quad [S_{j-1} > M_{wj}] \quad \dots (3')$$

$$M_{wj} = S_{j-1} \quad [S_{j-1} > M_{wj}] \quad \dots (4)$$

$$\left. \begin{aligned} S_j &= S_{j-1} + R_{jj} \quad [T_j \leq 0^\circ\text{C}] \quad \dots \\ S_j &= S_{j-1} - M_{wj} \quad [T_j > 0^\circ\text{C}] \quad \dots \end{aligned} \right\} (5)$$

S_j : 当時間までの積雪量 (mm/hr)、

S_{j-1} : 前時間までの積雪量 (mm/hr)、

R_j : 当時間の降水量 (mm/hr)

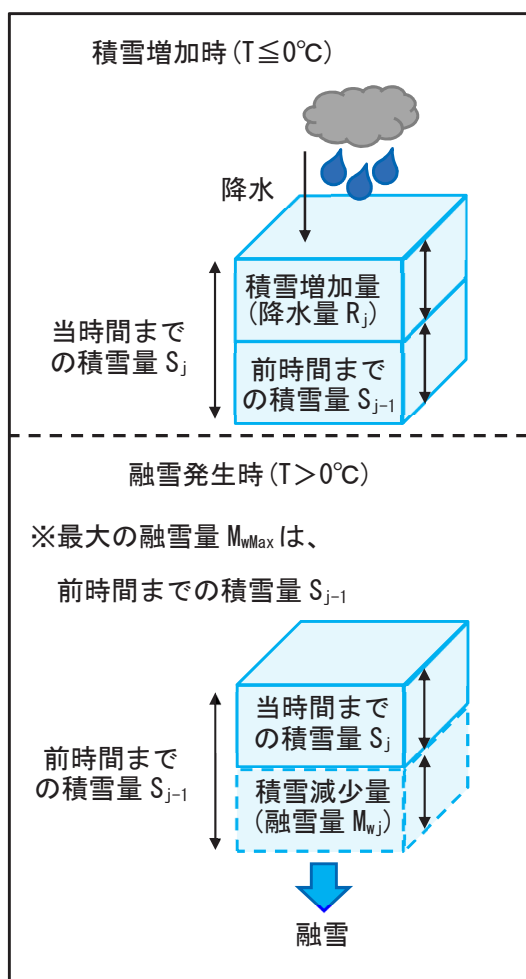
(3') 式～(5) 式で求められる積雪・融雪モデルの概念を図－7 に示す。

これら式で算定した融雪量 (M_{wj}) は、(2)式の融雪項に適用させた。

5. モデルの妥当性確認

構築したモデル ((2)式) の妥当性は、既設堤体で平成26年4月1日～平成28年12月26日、新設堤体で平成28年8月26日～12月18日の期間を対象として行った。その結果を図－8、図－9 に示す。

モデルパラメータは、既設堤体では相関係数が最大となるように設定し、新設堤体では試験湛水時の管理を想定し、ピーク流出量が合うように設定した。



図ー７ 積雪・融雪モデル概念図

その結果、既設堤体では通年で相関係数 $R=0.66$ と比較的高い相関性が認められたため、降雨・融雪・貯水による浸透を概ね再現することができた。

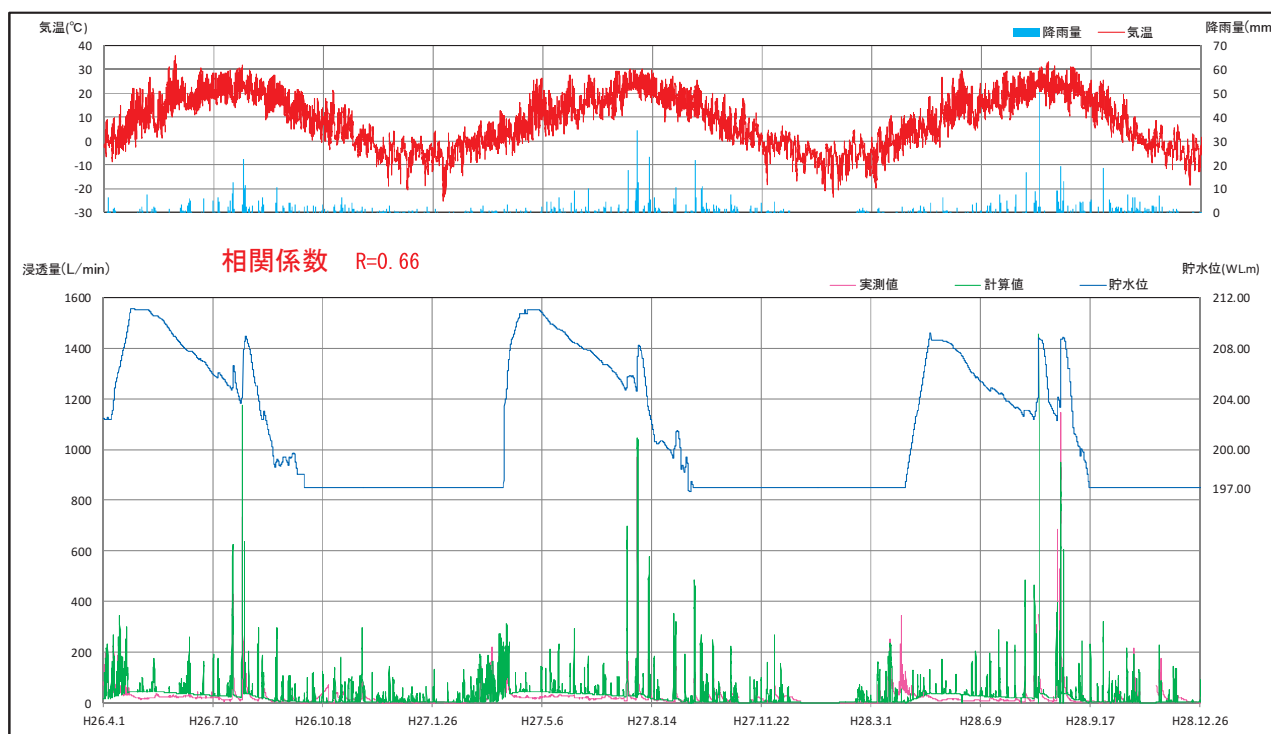
一方、新設堤体ではピーク流出量によるフィッティングで相関係数 $R=0.53$ が得られた。

この結果、ピーク流出量は概ね再現され、低流量部でも大きな乖離は認められないものの、10月3日以降の少雨時及び低流量部で、実測値を計算値が超過する傾向となり、再現性の低下が見られた。

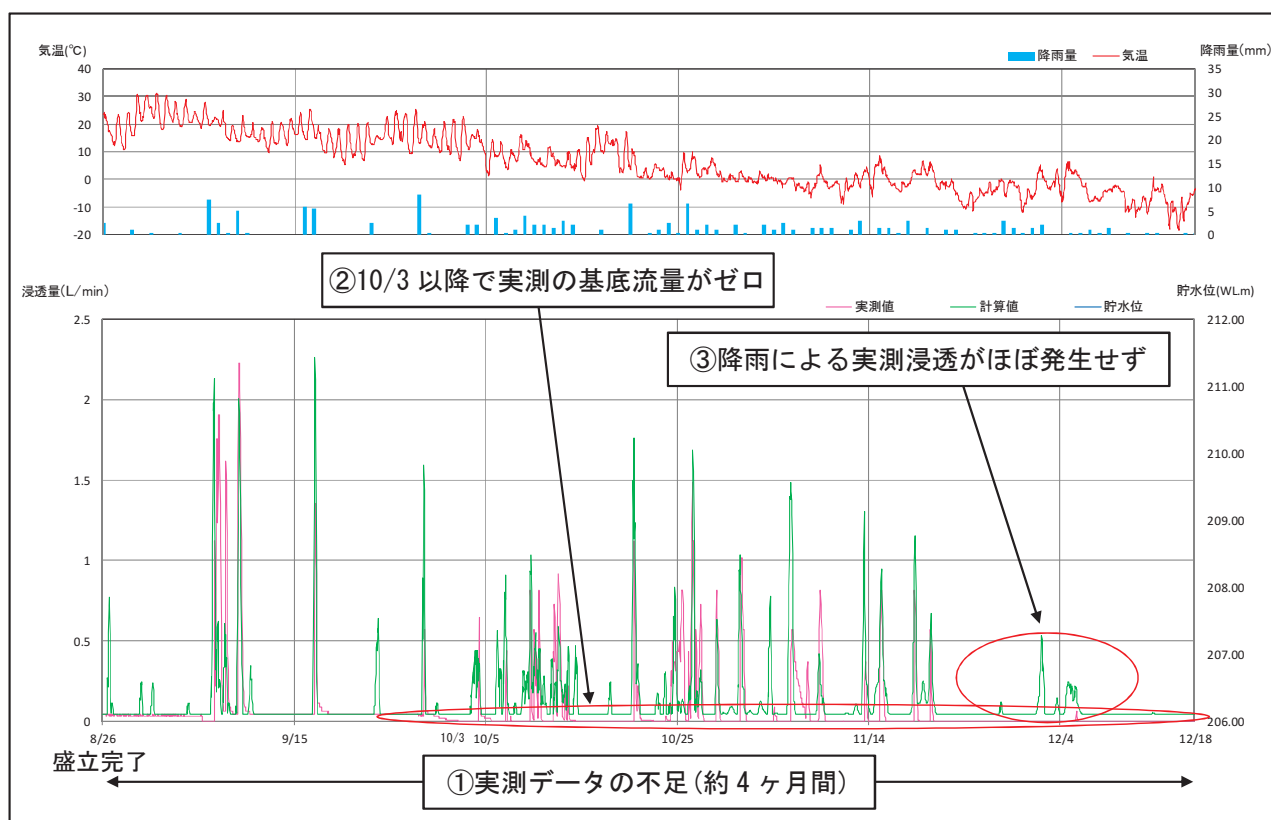
再現性低下の要因は、以下の3つと推測される。

- ①新設堤体が盛立完了後間もないため、観測データの収集期間が短く、なおかつ融雪期や貯水期間のデータが得られていないこと。
- ②平成28年10月3日以降で実測の基底流量が観測されなくなったこと。
- ③降雨による実測浸透が発生しにくくなったこと。

以上より、既設堤体では貯水・降雨・融雪の影響、新設堤体では降雨の影響による浸透量の再現を行った結果、概ね再現することができ、モデルの妥当性が確認された。



図ー８ 既設堤体 浸透量解析結果（平成26年4月1日～平成28年12月26日）



図－9 新設堤体 浸透量解析結果（平成28年8月26日～12月18日）

6. 試験湛水期間での検証結果

前項より本モデルの妥当性が確認されたため、試験湛水期間（平成29年4月10日～5月22日）を対象として浸透量を予測した結果、既設堤体で図－10、新設堤体で図－11に示すとおりとなった。

6.1 既設堤体

既設堤体では、相関係数 $R=0.72$ が得られ高い相関となった（図－10参照）。

融雪期のピーク時波形は良好に再現できたものの、解析初期（4月10日～4月12日）で計算値が小さくなる傾向を示したことや、貯留時（4月13日～4月22日）で計算値の急激な減少による乖離が見られた。加えて、常時満水位時（4月29日～5月7日）に実測値が減少傾向を示したことから再現性が低くなった。

再現性低下の要因は、以下の4つと推測される。

- ① 4月10日～12日で計算値が実測値と比較して降雨及び融雪に対する反応が悪いのは、キャリブレーション期間を設けていないため、浸透量

予測を開始した4月10日以前の融雪・降雨・貯水位の影響を考慮できていないこと。

- ②貯留時の再現性低下要因は、降雨・融雪後における実測流出量の減少が緩やかなのに対し、計算値におけるピーク後の低下が顕著であるため、堤体内で流出遅れが生じ、当初に想定した降雨及び融雪の影響時間が長いこと。

- ③当該モデルでは流出遅れの再現として影響を及ぼす時間までの降雨・融雪に係数として与えているため、前タイムステップの浸透量を考慮しておらず、貯留による遅れが再現できていない可能性が高いこと。

- ④水位上昇時及び常時満水位保持期間の実測浸透量が、貯水位の上昇などの挙動に対応せず、減少傾向を示したため、当該ダムの浸透量は貯水による浸透の影響が小さく、降雨や融雪の寄与が大きいこと。

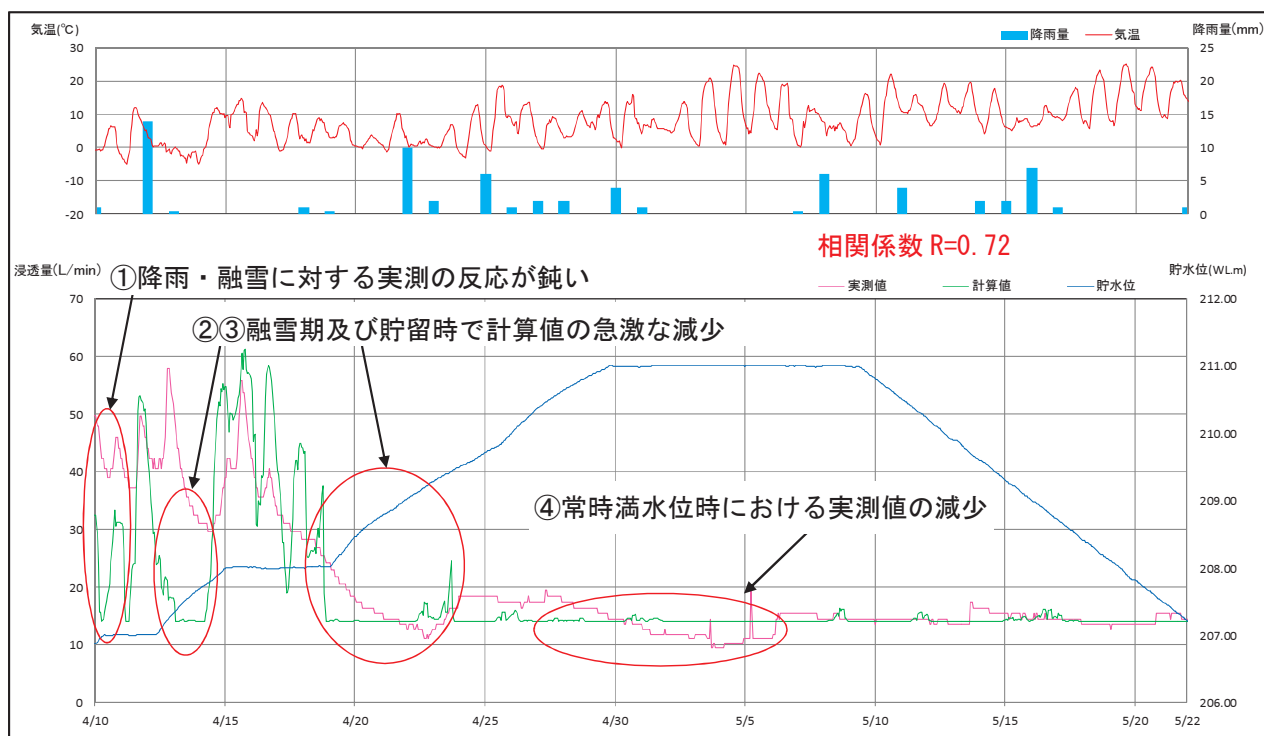


図-10 既設堤体 浸透量解析結果（平成29年4月10日～5月22日）

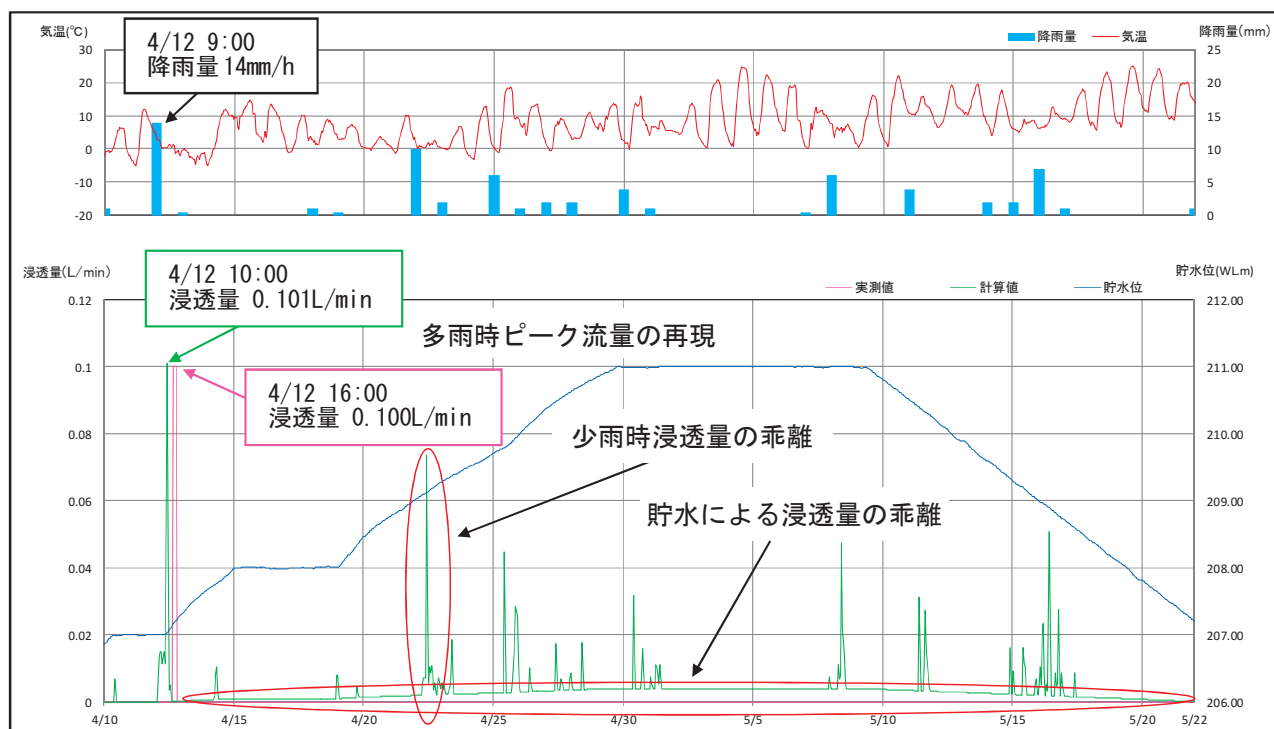


図-11 新設堤体 浸透量解析結果（平成29年4月10日～5月22日）

6.2 新設堤体

新設堤体は、4月12日に観測されたピーク流量及び流出遅れは良好に再現できたものの、その他期間での再現性が低くなった（図-11参照）。

これは、実測浸透量が全期間を通じてほぼ0.00

(L/min) であったことに起因しており、堤内浸透水が法先ドレーンに到達しなかったか、あるいは堤外への漏水が発生している可能性が示唆される。

実測浸透量が観測されなかった要因は、以下の3つが挙げられる。

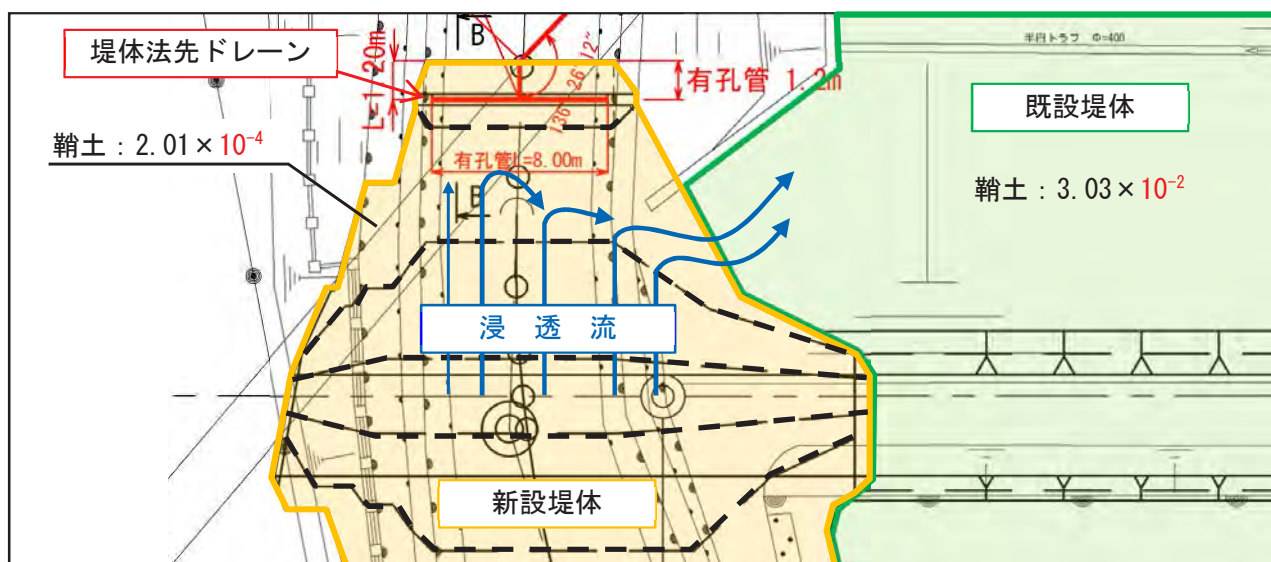


図-12 堤体内浸透流予測図

- ①新設堤体は盛立直後であるため、堤体内で間隙水圧の消散が完了しておらず、定常状態の浸潤線が形成されていないこと。
- ②「2.2 新設ダム の盛立施工結果」の表-4で示したように、新設堤体軸土ゾーンの平均透水係数が $K=2.01 \times 10^{-4}$ (cm/sec) であるのに対し、既設堤体のそれは、 $K=3.03 \times 10^{-2}$ (cm/sec) と約100倍大きいため、図-12に示すように新設堤体の鋼土・抱土を流下した浸透水が既設堤体の軸土に漏水している可能性があること。
- ③当該ダム周辺の地質は、剪断による破碎化や噴出相などの複雑な地質構造を示す当麻層が分布するため、ダムサイト内の基盤ではダムの安全性に問題がない小規模な亀裂や断層が確認されている。このため、適切な処理が施されているが、支障のない範囲で局所的に透水性の高い基盤や周辺地山へ部分的に浸透している可能性があること。

7. おわりに

構築したモデルによる新設堤体の浸透量予測では、堤体内で間隙水圧の消散が不十分であったことや既設堤体と新設堤体の下流軸土の透水性の違いなどにより実測浸透量が計測されず、検証期間中の大部分で再現が困難であったが、融雪期に観測されたピー

ク流量に対して再現性が得られた。

一方、既設堤体では、流出遅れ及び貯水位の影響に対する再現性が低い傾向にあったものの、実測値との高い相関が得られ融雪期のピーク時波形に対する再現性を確認できた。

以上の結果より、定常状態となった新設堤体の実測浸透量の計測、既設堤体で流出遅れ及び貯水位影響の再現精度をより向上することが可能になれば、当該ダム浸透量の予測が期待できる。

一方で、長期的なデータ収集を行うことが今後における最大の課題である。

これは、今回の浸透量予測で盛立完了直後の堤体を対象にしたため、「積雪寒冷地において重要な融雪期」、「近年多発している突発的な豪雨や台風の影響による多雨時の降雨量」、「堤体内で間隙水圧の消散が完了した定常状態時の浸透量」、「期別変化による基底流量」などの各種実測データが絶対的に不足していたことである。

当該ダムの新設堤体は、堤高に対する鋼土・抱土の幅が広い上に、貯水深が堤高の半分程度と低いことから、浸透量の増減は、貯水の影響より降雨及び融雪の影響が支配的と考えられる。

このため、本ダムのように法先ドレーンに集水するまでの影響時間が想定より長期化する可能性がある場合は、貯留関数法の導入や降雨及び融雪が影響

を及ぼす時間や日数の再評価などを行い、より精度の高い流出遅れを再現することが望ましい。

(NTCコンサルティング(株)北海道支社)

【引用文献】

- 1) 農林水産省農村復興局農業用ダム機能診断マニュアル計測データ分析用 平成23年4月、P17-19
- 2) 中津川誠・臼谷友秀・星清：積雪貯留を考慮した実用的な融雪流出モデル
- 3) ㈱興和製作HP 融雪量推定手法
http://www.jasdim.or.jp/gijutsu/jisuberi_joho/kaiseki/yuseturyo/model.html
- 4) 野村睦・石井良之・兒玉裕二・小林大二：融雪流出の遅れ過程Ⅰ：融雪水の積雪内伝播低温科学物理篇 1991
- 5) 多目的ダムの建設 第2巻 環境調査編Ⅰ P140-142
- 6) 宮田俊介・朝岡良浩・風間聡 全国のAMeDAS観測点におけるDegree-Day法及び融雪係数の検証 土木学会論文集B 1 (水工学) Vol. 68、No. 4 I_343-I_348、2012
- 7) 板倉忠興：水理公式集 社団法人土木学会 P27、1949

肥培かんがい施設の機能診断事例について

村山 和佳

本稿は、国営環境保全型かんがい排水事業「別海地区」で整備された肥培かんがい施設の機能診断を実施するにあたって、提案した調査および機能診断手法について報告する。

1. はじめに

国営環境保全型かんがい排水事業「別海地区」は、根室振興局管内の南部に位置する野付郡別海町に拓けた受益面積7,800haの酪農地帯である。平成11年から平成19年に実施された本事業では、配水路12路線に対して肥培かんがい施設49施設が整備された。

適時適切な補修・補強を行うことにより施設の長寿命化を図る目的から、施設の機能診断を実施した。

平成29年度業務における調査対象は、配水路9路

線に含まれる肥培かんがい施設11施設であり、施設一覧は表－1に、位置図は図－1に示す。

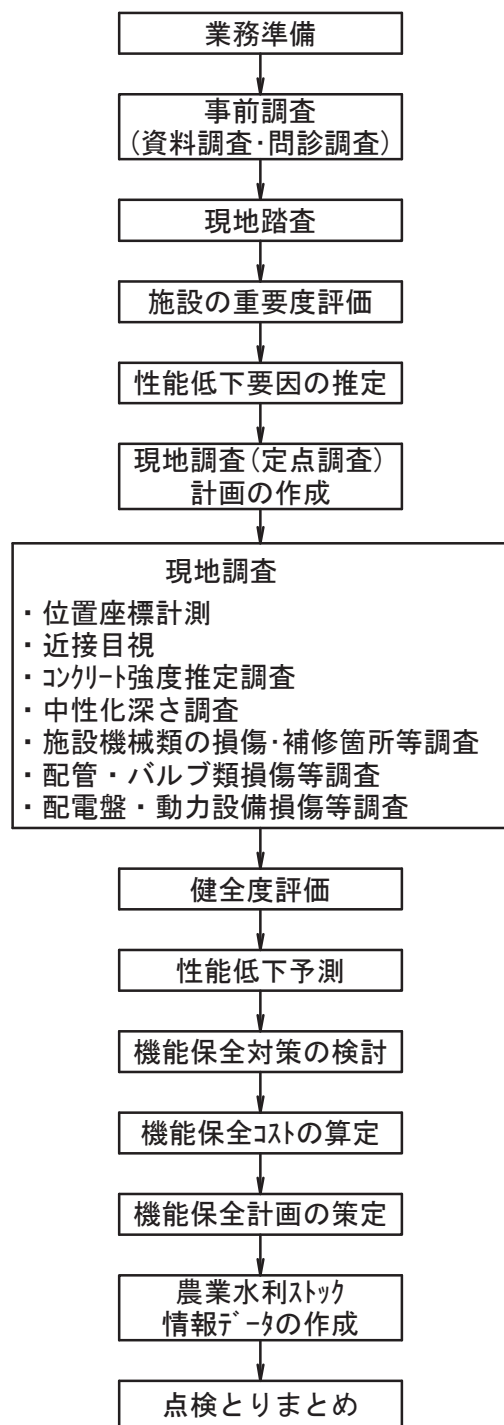
表－1 調査対象路線

配水路 路線名称	施設 (受益番号)
別海 23 号幹線配水路肥培施設	3
	30
	41
別海 25 号幹線配水路肥培施設	42
別海 84 号支線配水路肥培施設	27
別海 93 号支線配水路肥培施設	14
風蓮 5 号幹線配水路肥培施設	54
風蓮 6 号幹線配水路肥培施設	75
風蓮 24 号支線配水路肥培施設	92
風蓮 29 号支線配水路肥培施設	95
風蓮 30 号支線配水路肥培施設	86
合計 9 路線、11 施設	



図－1 位置図

機能診断調査および機能保全計画は、図－2に示す策定フローに基づき行い、調査結果は農業水利ストック情報データとしてとりまとめた。



図－2 策定フロー

2. 肥培かんがい施設の特徴

肥培かんがい施設の施設を写真－1～4に示す。

配水路1路線に対して、複数の肥培かんがい施設が含まれる（図－3）。



写真－1 流入槽、調整槽



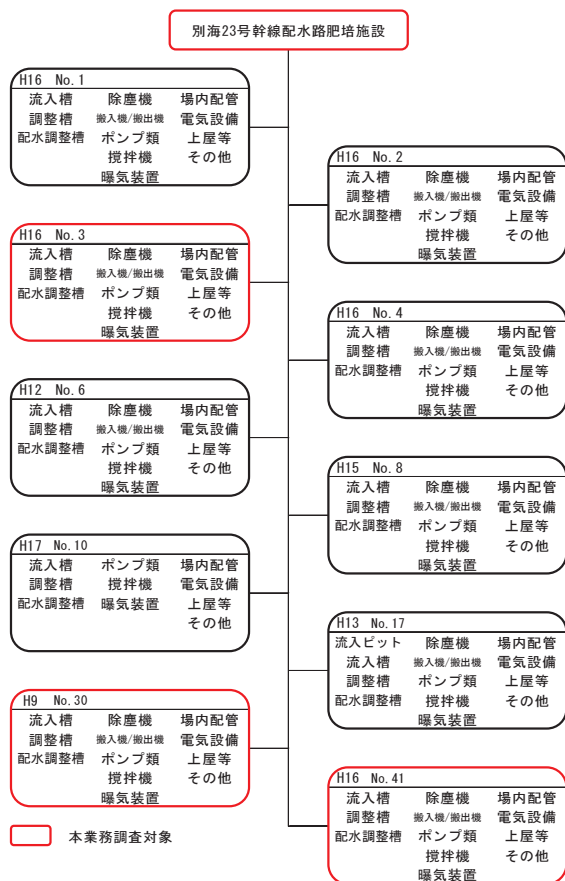
写真－2 配水調整槽



写真－3 曝気装置（ブローポンプ）



写真－4 動力設備（動力制御盤）



図－3 肥培かんがい施設の構成

表－2 肥培かんがい施設の細分化

施設分類	構造物/機器類	構造形式/機器名
土木構造物	流入槽	RC構造
	調整槽	RC構造
	配水調整槽	RC構造 鋼製
施設機器類	除塵機	スクリーンレス ローターレス
	移送・汲上げポンプ	電動式 PTO式
	攪拌機	電動式 PTO式
	曝気装置	ブローポンプ
	その他	消泡機 ファン
配管・バルブ類	給水管	地中配管 給水栓
	移送管	地中配管
		地表配管
		ポンプ切替バルブ 仕切弁
	ブロー配管	地表配管
		バルブ類
	電気配管	地中配管 地表配管
配電盤・動力設備	配電設備	引込開閉器盤
	動力設備	動力制御盤
	運転操作設備	機側操作盤
建築施設	上屋	除塵機室
		ブローポンプ室
		ポンプ室

1つの肥培かんがい施設は、土木構造物、施設機器類、配電盤動力設備、建築施設に分類され、各施設分類はさらに表－2のように細分化される。

肥培かんがい施設のシステムが成立するには、土木構造物、設備機器類および配電盤・動力設備などがそれぞれ必要な機能を発揮する必要がある。

また、肥培かんがい施設は、家畜ふん尿を扱うことから一般的な農業水利施設と異なる。さらに、機能診断における独自の手引き（指針）も少ないため、これらを考慮した調査検討が必要となる。

3. 現地調査計画の作成

3.1 現地調査対象の選定

現地調査に先立ち実施した事前調査、問診調査および現地踏査結果から、施設の重要度評価および性能低下要因の推定を行い、現地調査対象を選定した。

現地調査対象選定にあたっては、過年度（H24）の調査実績の有無についても考慮し、過年度調査地点は原則として調査対象とした（表－3）。

また、現地調査対象外とした部位については、除外理由について整理した（表－4）。

3.2 現地調査計画図の作成

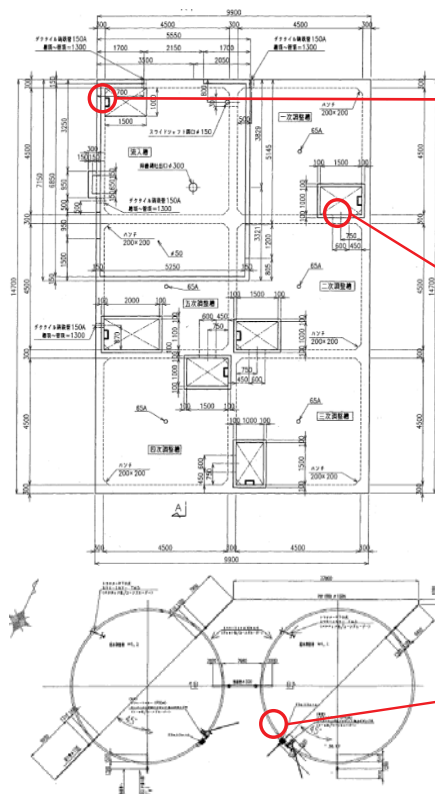
選定した現地調査対象毎に調査番号、調査項目などを整理し、調査対象が明確に判別できるよう調査計画図を作成した（図－4）。

4. 現地調査

4.1 現地調査時の注意点

肥培かんがい施設に関わる現場作業時には、硫化水素等の有毒ガスが発生する可能性があるため、酸素欠乏・硫化水素危険作業主任者の資格を有する技術者を配置し、作業前にはガス検知器による有毒ガス等の濃度測定を行い安全性を確認した上で作業を進めた。（写真－5～6）。牛舎等に立ち入る場合には家畜伝染病予防のため車両や長靴の洗浄など消毒作業を確実に実施した（写真－7）。

施設名(施設番号)	別海23号幹線配水路肥培施設(0114100150006)	受益番号	3	-	現地調査計画図No.	3-001
-----------	-------------------------------	------	---	---	------------	-------



番号	0001		
箇所	流入槽 開口部		
調査項目(該当に○)			
位置座標		施設機器	
近接目視	○	配管ハ' A2'	
コンクリート強度	○	配電盤	
中性化	○		

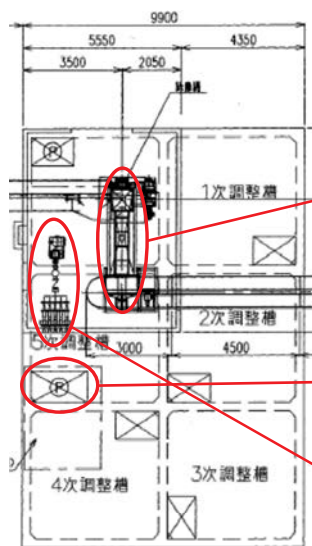


番号	0002		
箇所	調整槽 開口部		
調査項目(該当に○)			
位置座標	○	施設機器	
近接目視	○	配管φ1.5"	
コンクリート強度	○	配電盤	
中性化	○		



番号	0003		
箇所	配水調整槽 側壁		
調査項目(該当に○)			
位置座標		施設機器	
近接目視	○	配管φ17"	
コンクリート強度		配電盤	
中性化			

施設名(施設番号)	別海23号幹線配水路肥培施設(0114100150006)	受益番号	3	-	現地調査計画図No.	3-002
-----------	-------------------------------	------	---	---	------------	-------



番号	0114100150006-00001		
箇所	流入槽 スクリュースプレス		
調査項目（該当に○）			
位置座標	施設機器	○	
近接目視	配管φ17"		
コンクリート強度	配電盤		
中性化			



番号	0114100150006-00002		
箇所	調整槽 圧送スラリーポンプ		
調査項目（該当に○）			
位置座標	施設機器	○	
近接目視	配管φ150		
コンクリート強度	配電盤		
中性化			



番号	0114100150006-00003		
箇所	調整槽 フロアポンプ		
調査項目（該当に○）			
位置座標	施設機器	○	
近接目視	配管ハ' 87"		
コンクリート強度	配電盤		
中性化			

図-4 現地調査計画図

表－３ 現地調査対象施設の選定

施設分類	構造物/機器類	構造形式/機器名	H24調査	H29調査
土木構造物	流入槽	RC構造	○	◎
	調整槽	RC構造	○	◎
	配水調整槽	RC構造	○	◎
施設機器類	除塵機	スクリーンレス	×	◎
	移送・汲上ポンプ	電動式	×	◎
	曝気装置	ブローポンプ	×	◎
配管・ハルフ類	移送管	地表配管	×	◎
		仕切弁	×	◎
	ブロー配管	地表配管	×	◎
配電盤・動力設備		ハルフ類	×	◎
	配電設備	引込開閉器盤	×	◎
	動力設備	動力制御盤	○	◎
	運転操作設備	機側操作盤	○	◎



写真－５ ガス測定状況

表－４ 現地調査対象外とした理由

施設分類	構造物/機器類	構造形式/機器名	除外理由
施設機器類	除塵機	ローラーレス	電動機を有していない簡易構造であるため
	移送・汲上ポンプ	PT0式	電動機を有していない簡易構造であるため
	攪拌機	電動式 PT0式	施設の付属物であり、主要機能を有していないため
	その他	消泡機 ファン	施設の付属物であり、主要機能を有していないため
配管・ハルフ類	給水管	地中配管	一般的な水道施設であり補修等が容易であることに加え、問診調査および現地踏査において問題が確認されなかったため
		給水栓	
	移送管	地中配管	管が小口径かつ埋設されていることに加え、問診調査および現地踏査において問題が確認されなかったため
		ポンプ切替ハルフ	機器類の付属物であり、電動機を有していない簡易構造であるため
	電気配管	地中配管	一般的な電気施設であり補修などが容易であることに加え、問診調査および現地踏査において問題が確認されなかったため
		地表配管	
建築施設	上屋	除塵機室	施設本体の付属物であり、主要機能を有していないため
		ブローポンプ室	
		ポンプ室	



写真－６ ガス測定状況



写真－７ 消毒状況

表－５ 調査対象と調査表様式

施設分類	構造物/機器類	構造形式/機器名	調査票様式(SDB最新版)	使用様式
土木構造物	流入槽	RC構造	現地調査票・状態評価表 (鉄筋コンクリート開水路).xls	・定点調査表1～3 ・施設状態評価表
	調整槽	RC構造		
	配水調整槽	RC構造		
施設機器類		鋼製	現地調査票・状態評価表 (その他開水路(矢板型水路)).xls	・定点調査表1～2 ・施設状態評価表
	除塵機	スクリーンレス	除塵設備機能診断調査表.xls	・除塵機(往復式)(概) ・機側操作盤(概) ・設備状態評価表
	移送・汲上ポンプ	圧送スクリューポンプ (ヒストン押出式)	ゲート設備調査評価様式.xls	・油圧シリンダ式開閉装置(概) ・設備状態評価表
		圧送スクリューポンプ (二軸回転式)	ポンプ設備機能診断調査表.xls	・封水ポンプ(概) ・設備状態評価表
配管・ハルフ類	曝気装置	ブローポンプ	ポンプ設備機能診断調査表.xls	・空気系統(概) ・設備状態評価表
	移送管	地表配管	現地調査票・状態評価表 (バイプライン).xls	・現地調査(定点調査)票1～2 ・状態評価表
		ハルフ類	仕切弁	施設状態評価表(附帯施設).xls ・仕切弁
配電盤・動力設備	配電設備	引込開閉器盤	電気設備概略診断調査表.xls	・概略診断調査表
	動力設備	動力制御盤		

4.2 現地調査様式の選定

肥培かんがい施設に適合した調査表様式がないため、農業水利ストック情報データベースで掲示されている所定の様式の中から、設備の実態に即した様式を活用することを提案した（表－5）。

5. 健全度評価

5.1 施設単位の健全度評価手法

肥培かんがい施設は、各施設及び機械類が貯留機能・曝気機能・移送機能を発揮することでシステムとして成立する。

各々の設備及び機械類がシステム全体において有している機能と、破損時における周辺環境への影響を整理し、健全度評価の際の優先度を評価した。

その結果、貯留機能と曝気機能に対して主機能を有していて、移送機能に対しても間接的な機能を有している調整槽が最も優先順位が高く、調整槽の曝気機能が正常に働くための曝気装置および配電設備が2番目に優先度が高い評価となった。（表－6）。

表－6 優先度の評価判定

施設分類	構造物・機器類	機能分類			破損時の影響	優先度	優先順位
		貯留	曝気	移送			
土木構造物	流入槽	○	×	△	△	○	
	調整槽	○	○	△	○	◎	1
	配水調整槽	○	×	△	○	○	
施設機器類	除塵機	×	×	△	×	△	
	移送・汲上げポンプ	×	×	○	△	△	
	曝気装置	×	○	×	△	○	2
配管バルブ類	移送管	×	×	○	△	○	
	仕切弁	×	×	○	△	○	
配電盤動力設備	配電設備	×	○	△	○	○	2
	動力設備	×	○	△	△	△	

機能の評価基準

- ：主機能を有している
- △：間接的機能又は補助的機能を有している
- ×

影響の評価基準

- ：周辺への影響が大きい
- △：部分的影響が生じる
- ×

優先度の評価基準

- ◎（優先度大）：○が3～4個
- （優先度中）：○が1～2個
- △（優先度小）：○が0個

1施設に複数含まれる構造物・機器類の調査地点の健全度評価結果の中から、優先度が高い調整槽、曝気装置および配電設備の健全度評価結果を施設単

位の健全度評価とした。表－7に示す健全度評価例では、調整槽S-3、曝気装置S-3、配電設備S-4評価より、施設単位の健全度評価をS-3評価とした。

表－7 施設単位の健全度評価例

施設評価	土木構造物			施設機器類			配管・バルブ類	配電盤動力設備	
	流入槽	調整槽	配水調整槽	除塵機	移送・汲上げポンプ	曝気装置	移送管仕切弁	配電設備	動力設備
	土1	土2	土3	機1	機2	機3	土4	電1	電2
	14年	14年	14年	14年	14年	11年	14年	14年	14年
	S-3	S-3	S-5	S-4	S-4	S-3	S-4	S-4	S-3

5.2 配水路路線単位の健全度評価

前述のとおり、配水路1路線に対して複数の肥培かんがい施設が含まれるが、本調査では、配水路1路線に含まれる複数施設のうち抽出された1～3施設を調査対象としている。

配水路1路線に対して1施設が調査対象となる場合は、調査対象施設の健全度評価結果を配水路路線の健全度評価とした。

また、配水路1路線に対して複数施設が調査対象となる場合は、各施設の健全度評価結果の中からもっとも低い評価結果を配水路路線の健全度評価とした（表－8）。

表－8 配水路路線単位の健全度評価

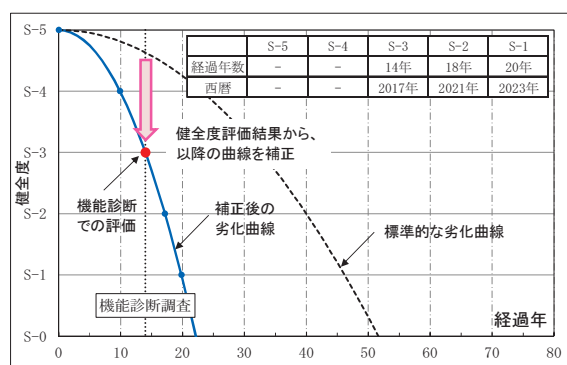
健全度評価結果										
施設名	受益番号	施工年度	施設	No	H29調査					
					地点評価	農家評価	路線評価			
別海23号幹線 肥培施設	3	H16	流入槽	土-1	S-3	S-3	S-3			
			調整槽	土-2	S-3	配水路線の 評価				
			配水調整池	土-3	S-5					
			配管バ ^ル ブ ^類	土-4	S-4					
			除塵機	機-1	S-4					
			ポンプ	機-2	S-4					
	30	H9 (試験)	曝気装置	機-3	S-3		S-3			
			配電設備	電-1	S-4					
			動力設備	電-2	S-3					
	41	H16	流入槽	土-5	S-3	S-3				
			調整槽	土-6	S-3					
			配水調整池	土-7	S-4					
			配管バ ^ル ブ ^類	土-8	S-4					
			曝気装置	機-4	S-3					
			動力設備	電-3	S-3					
				流入槽	土-9	S-3				
				調整槽	土-10	S-3				
				配水調整池	土-11	S-5				
				配管バ ^ル ブ ^類	土-12	S-4				
				除塵機	機-5	S-4				
ポンプ				機-6	S-5					
曝気装置				機-7	S-4					
配電設備				電-4	S-4					
動力設備				電-5	S-3					
1				H16						肥培かんがい 施設毎の評価
2				H16						
4				H16						
6				H12						
8				H15						
10	H17									
17	H13									

6. 性能低下予測

6.1 土木構造物

肥培かんがい施設の場合、劣化要因は経年劣化によるものが大きく占めるが、施設の利用状況や施設位置により必ずしも同一の状況で劣化が発生するわけではない。

そのため、画一的な劣化の進行とならないことから標準的な劣化曲線を機能診断による実績値で補正することとした（図－5）。



図－5 肥培かんがい施設の補正劣化曲線

6.2 施設機器類、配電盤動力設備

施設機器類、配電盤動力設備の性能低下予測は、参考耐用年数を目安とした。

ただし、肥培かんがい施設の機器類は硫化水素等の腐食ガスが発生することから、一般的な用・排水路等の農業水利施設よりも設置環境が厳しい。

そのため、機器類の参考耐用年数は設置環境が類似する下水道施設における標準耐用年数の採用が妥当と考え、污水ポンプの標準耐用年数15年を適用した。

「農業水利施設の機能保全の手引き」より、動力制御盤の参考耐用年数は15年、構成機器の参考耐用年数は20年である。ここでは、配電盤動力設備の参考耐用年数は動力制御盤の参考耐用年数15年を適用した。

参考耐用年数に対する経過年数より余寿命を予測した。ただし、健全度評価がS-3を下回る場合は、経過年数にかかわらず余寿命は0年とした（表－9）。

表－9 余寿命の予測結果

設備名	部位	供用開始年度 (交換年度)	経過年数	参考耐用年数	健全度評価結果	余寿命
流入槽	No3 除塵機	2004	14	15	S-4	1
調整槽	No3 ポンプ	2004	14	15	S-4	1
調整槽	No3 曝気装置	2007	11	15	S-3	0※1
調整槽	No30 曝気装置	1998	20	15	S-3	0
流入槽	No41 除塵機	2008	10	15	S-4	5
調整槽	No41 ポンプ	2016	2	15	S-5	13
調整槽	No41 曝気装置	2004	14	15	S-4	1

※1 健全度評価S-3を下回る場合は、経過年数に関わらず余寿命は0年とする。

7. 機能保全対策の検討

7.1 管理水準の設定

(1) 土木構造物

肥培かんがい施設は施設利用者や設備機器の点検業者等の出入りがあり、頂版や壁の崩落などの事故が発生した際には人的被害につながる。また、施設が倒壊した際には流れ出すスラリーによる環境への影響も想定されることから、土木構造物の管理水準は、農業水利施設の機能保全の手引きで一般的に定められているS-1よりも上げ、S-2と設定した。

(2) 施設機器類

手引きが対象とする揚・排水機場のポンプ設備類と比べると、故障発生時に生じる被害が限定され(公益性が小さい)、洪水処理のように緊急性も高くない。また、機場のような大型の機器ではないため代替品の手配も比較的容易であることから、施設機器類の管理水準は、農業水利施設の機能保全の手引き「ポンプ場(ポンプ設備)」「除塵設備」で定められているS-3～S-5よりも下げ、S-2と設定した。

(3) 電気設備

肥培かんがい施設の電気設備は、手引きが対象

とするダム、頭首工、ポンプ場等と比べると故障発生時に生じる被害が限定され(公益性が小さい)、洪水処理のように緊急性も高くない。機場のような大型の機器ではないため、代替品の手配も比較的容易である。以上のように、故障時における周辺の影響が小さく短時間で復旧可能という観点から、施設機器類およびそれらに付随する機側操作盤の管理水準は、農業水利施設の機能保全の手引き「電気設備」で一般的に定められているS-4よりも2ランク下げ、S-2レベルとした。

7.2 シナリオの設定

(1) 土木構造物

土木構造物の保全対策シナリオは、現在確認されている劣化の兆候がそのまま進展すると仮定し、S-3段階で補修する予防保全的なシナリオ1と、S-2段階で補強する事後保全的なシナリオ2の2つを計画した(図-6)。

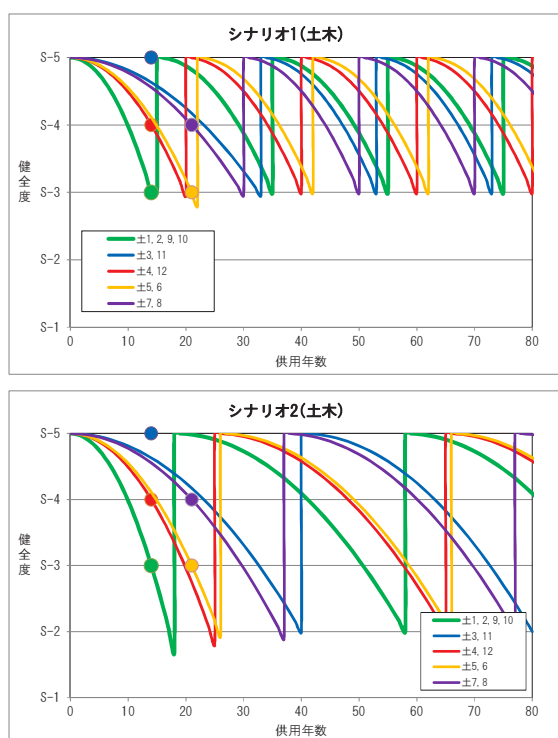


図-6 機能保全対策シナリオ(土木構造物)

(2) 施設機械設備(施設機器類、電気設備)

施設機械設備(施設機器類、配電盤動力設備)の保全対策シナリオは、現在確認されている劣化

の兆候がそのまま進展すると仮定し、S-3段階で補修する予防保全的なシナリオ3と、S-2段階で更新する事後保全的なシナリオ4の2つを計画した。

8. 機能保全コストの算定

8.1 機能保全コストの算定方法

設定したシナリオ毎に算出した直接工事費に工事諸費(直接工事費×60%)を加算して、対策費を算定した。機能保全コスト算定の対象期間は40年とし、算定対象期間に発生するコストの総額から、算定対象期間最終年度時点の残存価値を控除し、現在価値に換算して算定した。現在価値の換算には、社会的割引率(年4%)を適用した。

調査対象外の施設の機能保全コストは、施工年及び構造形式などから類似施設の機能保全コストを適用し、(図-3のNo.2, No.4はNo.3を適用、No.6, No.17はNo.30を適用、No.1, No.8, No.10はNo.41を適用)路線全体としての機能保全コストを算定した。

8.2 シナリオの選定

土木構造物および施設機器類、配電盤動力設備各々の保全対策シナリオについて機能保全コストを算定し、最適シナリオを選定した。

土木構造物については「健全度S-2にて補強を行う」シナリオ2、施設機器類、配電盤動力設備については「健全度S-2にて更新を行う」シナリオ4が最適シナリオとして選定された(図-7)。

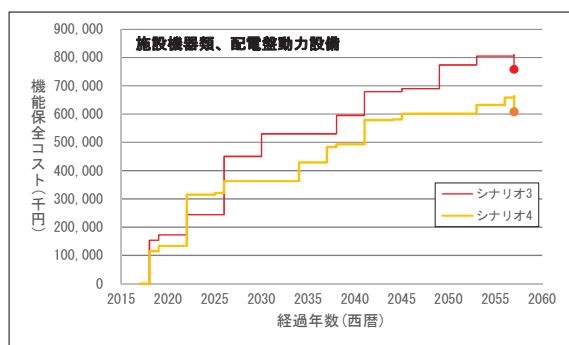
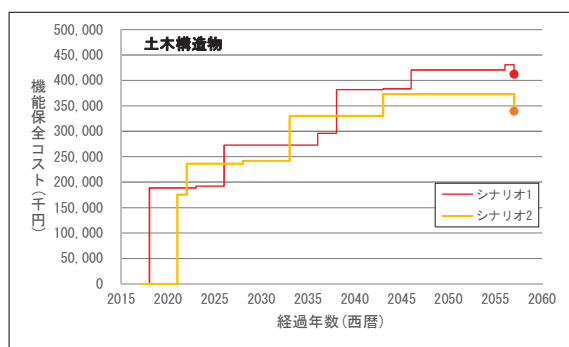
9. 機能保全計画の策定

地区内の調査対象施設は健全度がS-3～S-5との評価結果であることから、次回の機能診断は5年後の2022年とした。

現地調査(定点調査)対象のうち、システムにおける優先度が高い調整槽本体、曝気装置、配電設備について1年に1回以上の目視監視を行う計画とした(表-10)。

10. 機能診断調査結果のまとめ

健全度評価結果は、調査対象とした9路線11施設



図ー7 機能保全コスト比較図
(別海23号幹線配水路肥培施設)

表ー10 機能保全コスト一覧(中土幌導水路)

監視地点	部位	現在 状態	監視 内容	監視 方法	監視 頻度	監視実 施者	異常時 の措置	次回 診断
土木構造物	土1 流入槽 本体	S-3						2022年
	土2 調整槽 本体	S-3	骨材露出 状態	目視	1回/年 以上	別海町	釧路開発建 設部へ連絡	2022年
	土3 配水 調整槽 本体	S-5						2022年
	土4 配管 パルプ類	S-4						2022年
施設機器	機1 除塵機	S-4						2022年
	機2 汲上 ポンプ	S-4						2022年
	機3 曝気装置	S-3	動作状況 等々の状況	目視	1回/年 以上	別海町	釧路開発建 設部へ連絡	2022年
	電1 配電設備	S-4	外観状況	目視	1回/年 以上	別海町	釧路開発建 設部へ連絡	2022年
	電2 動力設備	S-3						2022年

全てにおいてS-3評価となった。

路線毎、施設毎、部位毎に健全度評価結果をまとめ、初回対策時期と初回対策時に必要なコストおよび将来的に必要なコストを整理した。

施設の劣化状況例を、写真ー8～12に示す。



写真ー8 調整槽開口部の骨材露出



写真ー9 配水調整槽の可視部に異常なし



写真ー10 ブロワポンプの全体的な発錆



写真ー11 スラリーミキサー本体に発錆



写真ー12 動力制御盤のキャビネットに発錆

11. おわりに

本報告では、肥培かんがい施設の機能診断事例について紹介した。

肥培かんがい施設は特殊な利用環境にあることと、複数の機能を有する構造物の集合体であることから、標準的な用排水施設とは異なる機能診断手法が必要となる。また、肥培かんがい施設に適合した調査表様式がないため、所定の様式の中から設備の実態に即した様式を活用することを提案した。

今後、施設の維持・管理に重点を置き、農業水利システムの機能を保全していく上で、本報告が参考になれば幸いである。

(株)ズコーシャ

参考引用文献

- ・ 農業水利施設の機能保全の手引き
(平成27年 5 月 農村振興局整備部設計課、水資源課)
- ・ 農業水利施設の機能保全の手引き「開水路」
(平成28年 8 月 農村振興局整備部設計課、水資源課)
- ・ 農業水利施設の機能保全の手引き
「ポンプ場（ポンプ設備）」
(平成25年 4 月 平成27年 2 月正誤表対応 農村振興局整備部設計課、水資源課)
- ・ 農業水利施設の機能保全の手引き「除塵設備」
(平成25年 4 月 農村振興局整備部設計課、水資源課)
- ・ 農業水利施設の機能保全の手引き「電気設備」
(平成25年 5 月 農村振興局整備部設計課、水資源課)

農業水利施設（用水路）の機能診断調査についての事例紹介

井上 誠司

1. はじめに

総合かんがい排水事業「中土幌地区」は、排水系として、9条の排水路の更新改修、用水系として頭首工及び3条の用水路が計画され、昭和34年に着工し昭和43年に事業が完了している。

本報では、国営総合かんがい排水事業「中土幌地区」で造成された基幹水利施設のうち、用水路3条を対象とした機能診断調査の実施事例を紹介する。

2. 対象施設の概要と業務における着目点

(1) 対象施設の概要

調査対象施設は、中土幌導水路、第1幹線用水路、第2幹線用水路の3条で、施設の諸元は表－1のとおりで、頭首工からの現在の取水量は1.707m³/sと事業計画の1/6になっている。

表－1 施設概要

施設名	管理者	経過 年数	施設諸元		
			構造	延長	規格
中土幌導水路 0112100550002	音更町	51	フリューム 擁壁	7,325m	B=4.5～4.0m H=1.5～1.4m
第1幹線用水路 0112100550004	音更町 音更町土地改良区	43	S式ブロック 積ブロック	14,984m	B=3.0～0.85m H=1.5～1.1m
第2幹線用水路 0112100550005	音更町土地改良区	50	〃	6,432m	B=3.0～1.0m H=1.5～1.1m

S式ブロック:佐々木式ブロック



写真－1 導水路フリューム区間（法勾配 1 : 0.3）



写真－2 導水路重力式擁壁区間（法勾配 1 : 0.3）

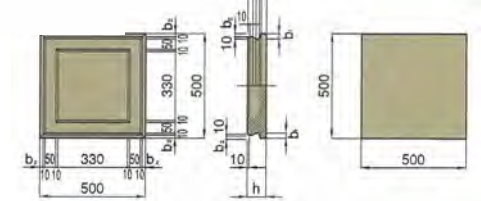


写真－3 第1幹線 S式ブロック区間（法勾配 1 : 0.5）

*S式ブロック（佐々木式ブロック）

積ブロックのような控えはなく、法面に張るイメージで施工される。本地区では目地モルタル内に鉄筋が配置されていた。

A型（水抜き穴をつけることができる）



呼び名	寸法 (mm)														参考質量 (kg)
	a1	a2	a3	a4	b1	b2	d	d'	h	h1	h2	h3	h4	h5	
10cmA	—	—	—	—	25	15	—	—	90	20	15	20	15	20	43
12cmA	—	—	—	—	30	15	—	—	120	30	20	20	20	30	58
15cmA	—	—	—	—	30	15	—	—	150	45	15	30	30	30	73
18cmA	—	—	—	—	30	15	—	—	180	45	15	60	30	30	86

(2) 業務における着目点

業務実施に先立ち、着目すべき点を以下のように整理した。

- ① 構造機能とともに水理機能・水利用機能についても検証が必要であることから、通水時にも現地踏査を行い流況、漏水の有無を確認する。
- ② 水路形式が多岐にわたり劣化の形態も異なることから、水路形式ごとに劣化要因を見極め、適切な補修対策案を選定する。
- ③ 過去に機能診断調査を実施しており、劣化の進展が判断できるような調査計画を作成する。
- ④ 機能保全計画は、関係機関の意見や合意を踏まえた現実的なものとする。

3. 調査内容

業務内容は表－2のとおりで、現地踏査、現地調査（定点調査）及び試験、機能診断を行い、最終成果の機能保全計画を作成した。

表－2 業務内容

区分	作業項目	備 考
現地踏査及び試験	現地踏査	管理用道路あり
	近接目視	遠隔目視により変状の有無や変状箇所の特定を行う
	位置座標計測	簡易GPS等により施設位置座標を計測する
	コンクリート強度推定調査	コンクリートの反発度の測定により強度を推定する
	中性化深さ調査	ドリル削孔粉を用いて中性化深さを測定する
	鉄筋探査	鉄筋探査器により鉄筋位置・かぶり厚さの探査を行う
機能診断	事前調査	資料調査
	問診調査	設計図書及び施設管理記録、地域特性に係る資料等を収集・整理
	施設の重要度評価	不具合・変状箇所・事故履歴・補修履歴等について聞き取る
	性能低下要因の推定	事前調査、現地踏査結果を基に、施設の重要度を評価する
	現地調査（定点調査）計画の作成	事前調査及び現地踏査結果を基に、性能低下の推定を行う
	健全度評価	現地調査（定点調査）の範囲・調査手法等を設定する
	性能低下予測	調査単位毎に施設の健全度の判定を行う
	機能保全対策の検討	現地条件に適合する性能低下予測手法により性能低下予測を行う
	機能保全コストの算定	対策工法・実施時期等を組合わせて対策シナリオを複数作成する
	機能保全計画の策定	対策シナリオ毎に機能保全コストを算定し、比較する
	農業水利ストック情報データの作成	機能保全コストの最小化を基本とし、多様な側面も総合的に検討し、機能保全計画を策定する
	点検とりまとめ	農業水利ストック情報データベースのデータを作成する
		成果物の点検、とりまとめ及び報告書の作成を行う

4. 調査結果

4-1 事前調査

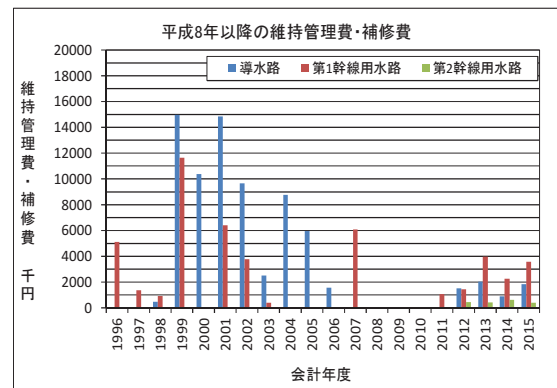
① 資料調査

当初の設計図書、過去の機能診断調査資料、準拠する基準類、施設の供用環境（地質、寒度、積雪深等）等の資料を収集・整理した。

② 問診調査

施設管理者から補修履歴、維持管理の状況等について聞き取りを行い問診票にまとめ、維持管理費の推移は図－1のように整理した。

- ・3路線とも工事完了後約50年が経過しているため、目視で確認できるひび割れや摩耗、目地のずれや段差、背面土の低下等が見られた。
- ・補修工事は、導水路では側壁部の打替え、底盤補修、安全柵設置等、第1幹線用水路では補強部材の増設、ひび割れ補修、断面修復工事等を実施。
- ・漏水や溢水等の水理・水利上の異常はない。



図－1 平成8年以降の維持管理費

4-2 現地踏査結果

現地踏査は、通水前と通水時の2回実施した。

なお、この結果をもって、水理ユニット・水路の構造や劣化程度、更に対策工法も勘案した区間分け（グルーピング）を行った。

<中士幌導水路>

- ・フリューム及び擁壁区間では、側壁の傾倒や縦ひび割れ、目地の欠損、底盤の土砂化等を確認した。
- ・S式ブロック区間では、積ブロック、現場打ち鉄筋コンクリートによる補修区間が点在していた。
- ・S式ブロックや積ブロック区間では、ブロックのひび割れ、ブロック間の目地の欠損等を確認した。

<第1幹線用水路>

- ・S式ブロック区間では、ブロックのひび割れ、目地の欠損・はらみ出しを確認した。
- ・S式ブロック及び積ブロック区間では、造成時の法勾配より急な箇所があったが、この間のS式ブロック背面には畑地からの除礫の堆積や取付けによる盛土が施工されていた。
- ・一部区間で、支保工による補強区間があった。
- ・コンクリート施設として、橋梁工、落差工、急流工、分土工、水路橋があり、水路橋では鉄筋露出を確認した。

＜第2幹線用水路＞

- ・水路の土砂堆積及び草本の繁茂を確認した。
- ・目地欠損、S式ブロック護岸のはらみ出し、背面土の低下を確認した。一部区間で、支保工による補強区間があった。
- ・コンクリート施設として、橋梁工、落差工、階段工、分土工、水路橋があり、落差工では落差壁のひび割れ・欠損を確認した。

◎通水時の確認結果

周辺畑地への漏水の有無を目視確認するとともに、中間に分水施設がない任意の2地点で用水流量を観測した。その結果、導水路で約10%（区間長L=3.9km）、第1幹線用水路で約50%（区間長L=5.4km）の漏水が生じていることを確認した。

なお、全線が掘り込み水路形式で、かつ目地等の止水性も低いためか、観測地点下流の落差工より下流地点では水量が8割程度回復していた。

4-3 重要度評価

施設の重要度は、事故が起こった際の農業及び農業以外に与える影響や復旧の難易度等を踏まえて総合的に評価した。

- ・導水路：重要度A
- ・第1幹線：上流側が重要度A、下流側が重要度B
- ・第2幹線：重要度B

なお、国道及び道道の横断箇所では、水路破損等の事故が発生した際の影響が大きいことから、局所的に重要度をAとした。

4-4 性能低下要因の推定

① 鉄筋コンクリート水路

打設単位の中央付近で鉛直方向に発生するひび割れは、乾燥収縮や温度応力によるものと推定した。側壁及び底盤コンクリートの摩耗は流水や混入する土砂が劣化要因、底盤コンクリートの土砂化はコンクリートの凍害が劣化要因と推定した。

② 無筋コンクリート水路

擁壁型水路は、自重により背面土圧に抵抗する形式で、軟弱地盤や背面土の空洞化、土圧の増大、地下水位の上昇、凍上の影響等による転倒や変形が発生することが多い。

③ 水路の傾倒について

現地踏査の際、重力式擁壁、S式ブロック区間で、護岸が明らかに傾倒している箇所を確認した。擁壁の背面には、厚さ90cm程度の裏込め砂利が設置されていることから、背面土の凍上が原因の可能性は低いと考え、擁壁の安定計算を実施した。

○ 重力式擁壁

擁壁傾倒箇所における安定計算の結果から、供用開始後に農家が行ったと思われる背面盛土による荷重を劣化要因と推定した。

表－3 重力式擁壁水路の検討結果

計算ケース	設 定 条 件	検 討 結 果
ケース1	背面地盤が平坦	OK
ケース2	背面に盛土(H0.8m) (擁壁傾倒箇所を再現)	NG

○ S式ブロック・積ブロック護岸

S式ブロックが、背面土の荷重で安定性を失う盛土の限界高さを求め、これを超える箇所については背面盛土による荷重を劣化要因と推定した。

表－4 水路背面盛土高の検証結果

計算ケース	施工時の 法面勾配	背面盛土の 限界高さ
S式ブロックH=1.5m	1:0.5 (63°)	0.5m
S式ブロックH=1.1m	1:0.5 (63°)	1.0m

更に、護岸工が安定性を失う傾斜角度を求め、現時点で対策工が必要な箇所を抽出した。

表－5 不安定勾配の算出

計算ケース	施工時の 法面勾配	安定性を失う 限界勾配
S式ブロックH=1.5m	1:0.5 (63°)	67°
S式ブロックH=1.1m	1:0.5 (63°)	68°
積ブロックH=1.5m	1:0.5 (63°)	80°
積ブロックH=1.1m	1:0.5 (63°)	82°

その他の一般的事項として、劣化要因推定表から劣化要因を推定した。

4-5 現地調査（定点調査）計画作成

(1) 現地調査の基本的な考え方

現地調査は、事前調査、現地踏査で得られた結果、施設の重要度や経過年数等を踏まえ適切な調査範囲において実施するもので、施設性能の低下状況やその要因について定量的な調査を行う。

(2) 地点の選定基準

現地調査区間は、水路形式や断面、土地利用状況、地形・地質等が大きく変わる変化点において、単位分割したものを基本区間として選定した。

調査地点および調査のレベルは、性能劣化の程度が代表的な場所を基本としつつ、効率的な調査を実施するため、施設の重要度と以下の視点に留意し選定した。

- ① 地区の特徴（設計諸元、設置後経過年数）
- ② 認識されている変状（管理者からの聞き取り、事故歴等）

③ 環境条件の変化（土地利用の変化等）

また、当該施設では、過去に機能診断調査が実施されていたので、経年変化の分析が行えるように、当該調査地点を利用することを基本とした。

(3) 調査項目及び調査内容

現地調査での調査項目は、事前調査、現地踏査の結果を踏まえて設定した。コンクリート施設では、劣化要因推定表で得られた主要な性能低下要因を踏まえて、ひび割れ、材料劣化、変形・歪み、目地の劣化、地盤変形等についての調査を計画した。

(4) 調査地点の選定及び調査数量

水路形式、劣化状況、補修状況等から調査ユニット分けを行い、その代表地点で調査を行った。



図-2 調査箇所整理図（中土幌導水路）

表－6 調査ユニット

施設名	ユニット No	調査ユニットの特徴
中土幌導水路	ユニット①	フリーム水路の代表的な劣化区間
	ユニット②	重力式擁壁水路の代表的な劣化区間
	ユニット③	重力式擁壁水路の側壁傾倒区間
	ユニット④	重力式擁壁水路の底版コンクリート土砂化区間
	ユニット⑤	佐々木式ブロック水路のブロック傾倒区間
	ユニット⑥	佐々木式ブロック水路の法尻補強区間
	ユニット⑦	落差工の代表的な劣化
	ユニット⑧	佐々木式ブロック水路の代表的な劣化区間
	ユニット⑨	積ブロック水路の代表的な劣化区間
	ユニット⑩	分土工
第1幹線用水路	ユニット①	佐々木式ブロック水路の代表的な劣化区間
	ユニット②	佐々木式ブロック水路の法尻補強区間
	ユニット③	積ブロック水路の代表的な劣化区間
	ユニット④	佐々木式ブロック水路のブロック傾倒区間
	ユニット⑤	落差工の代表的な劣化
	ユニット⑥	水路橋
第2幹線用水路	ユニット①	佐々木式ブロック水路の代表的な劣化区間
	ユニット②	積ブロック水路の代表的な劣化区間
	ユニット③	佐々木式ブロック水路のブロック傾倒区間
	ユニット④	佐々木式ブロック水路のブロック崩落区間

4-6 現地調査（定点調査）結果

(1) 調査結果概要

現地調査（定点調査）の結果は、結果概要、定点調査結果図、定点調査写真票、定点調査票、ゲート概略診断表に整理した。表－7に中土幌導水路の調査結果概要の抜粋を示した。

表－7 現地調査結果の概要（中土幌導水路）－抜粋－

施設	定点番号	河点	護岸形式	調査結果概要
中土幌導水路	定点1	SP171.00 ～ SP181.00 (L=10.0m)	フリーム水路	・フリーム水路の代表的な劣化区間として設定した。 ・周辺土地利用状況は、L側・R側ともに農地となっている。 ・底版（全面）、側壁（水深痕跡部）が摩耗している。 ・現地踏査時は底版（全面）に土砂が堆積していたが、定点調査時は土砂上げ直後であり、堆積はなかった。 ・側壁（L側）に縦ひび割れ、コンクリート欠損部からの浸出水を確認。  
	定点2	SP1990.00 ～ SP2000.00 (L=10.0m)	重力式擁壁水路	・重力式擁壁水路の代表的な劣化区間として設定した。 ・周辺土地利用状況は、L側が樹林、R側が農地となっている。 ・底版（全面）、側壁（水深痕跡部）が摩耗している。また、底版（全面）に土砂が堆積（1-40mm）している。 ・側壁（L側）に縦ひび割れが確認される。  
	定点3	SP3640.00 ～ SP3650.00 (L=10.0m)	重力式擁壁水路	・重力式擁壁水路の側壁傾倒区間として設定した。 ・周辺土地利用状況は、L側・R側ともに農地となっている。 ・底版（全面）、側壁（水深痕跡部）が摩耗している。 ・側壁（L側）に縦ひび割れ、側壁（R側）に側壁傾倒及び青面土低下を確認。  

(2) コンクリート強度推定調査結果

表－8に示したように、2箇所設計基準強度を満たさなかった。なお、強度が極端に小さかった導水路の定点4は、底盤コンクリートが凍害で土砂化していた箇所である。

表－8 コンクリート強度推定調査

施設名	定点番号	護岸形式・施設	設計基準強度 (N/mm2)	強度推定調査結果 (N/mm2)			備考
				側壁L側	側壁R側	その他	
中土幌導水路	1	フリーム水路 (SP171.00～181.00)	21.0	28.7	22.1		
	2	重力式擁壁水路 (SP1990.00～2000.00)	18.0	20.1	18.3		
	3	重力式擁壁水路 (SP3640.00～3650.00)	18.0	15.5	18.6		
	4	重力式擁壁水路 (SP4050.00～4060.00)	18.0	19.2	29.4	11.3	底版コンクリート土砂化区間
	5	佐々木式ブロック水路 (SP4597.50～4611.95)	18.0	31.4	36.1		法尻補強部
	7	第14号落差工 (SP6796.00～6813.00)	21.0	27.5	21.4		
	10	分土工 (SP7510.08)	21.0			24.4	操作台天板
	1	佐々木式ブロック水路 (SP2094.65～2109.10)	18.0	23.4	20.1		法尻補強部
	5	第30号落差工 (SP10119.70～10129.00)	21.0	22.0	23.1		
	6	第1号水路橋 (SP11639.00～11657.00)	21.0	26.6	28.2		
第2幹線用水路	3	第2号落差工 (SP599.70～608.00)	21.0	24.3	27.0		

(3) コンクリートの中性化の深さ調査

鉄筋コンクリート構造であるフリーム水路、落差工、分土工、水路橋において、施設の経年劣化状況を把握するために、中性化深さを調査した。

中性化残り（鉄筋の被り厚さ－中性化深さ）が、10mm以下になると鉄筋の腐食が懸念されるが、全地点で10mm以上を示したため、中性化については問題ないと判断した。

表－9 中性化深さ調査結果

施設名	定点番号	護岸形式・施設	調査部位	中性化深さ (mm)		被り厚さ (mm)	中性化残り (mm)
				測定値	平均値①		
中土幌導水路	1	フリーム水路 (SP171.00～181.00)	側壁R側	9.2 8.0 7.8	8.3	100.0	91.7
	7	第14号落差工 (SP6796.00～6813.00)	側壁L側	11.0 10.8 8.0	9.9	71.3	61.4
	10	分土工 (SP7510.08)	門柱L側 (第2幹線側)	2.0 2.1 1.7	1.9	50.0	48.1
	5	第30号落差工 (SP10119.70～10129.00)	側壁L側	0.3 0.3 0.3	0.3	48.3	48.0
	6	第1号水路橋 (SP11639.00～11657.00)	側壁L側	2.3 2.5 2.2	2.3	78.0	75.7
	3	第2号落差工 (SP599.70～608.00)	側壁L側	11.1 10.5 10.8	10.8	103.5	92.7

4-7 健全度評価

(1) 健全度ランクの設定

施設の健全度評価を行う際に用いた健全度ランク設定を表－10に示した。

表－10 鉄筋コンクリート水路の健全度ランク設定表

健全度 ランク	施設の状態	対応する 対策の目安
S-5	変状がほとんど認められない状態。	対策不要
S-4	軽微な変状が認められる状態。	要観察
S-3	変状が顕著に認められる状態劣化の進行を遅らせる補修工事が適用可能な状態。	補修・補強
S-2	構造的安定性に影響を及ぼす変状が認められる状態。補強を伴う工事により対策が可能な状態。	補修・補強
S-1	構造的安定性に重大な影響を及ぼす変状が複数認められる状態。近い将来に施設機能が失われる、又は著しく低下するリスクが高い状態。	更新

(2) 健全度評価結果

健全度評価結果は、施設状態評価表より判定し、表－11～表－13に示した。

表－11 健全度評価結果（中土幌導水路）

水路 名称	ユニット No 延長(m)	延長・施設	調査対象施設	健全度 評価	グループ No
中 土 幌 導 水 路	ユニット① 815.56m	SP24.44 ～840.00 L= 815.56	定点 1 : SP171.00～SP181.00	S-4	01
	ユニット② 2763.60m	SP840.00～ 3603.60 L=2763.6	定点 2 : SP1990.00～SP2000.00	S-4	01
	ユニット③ 232.06m	SP3603.6038 ～35.66 L= 232.06	定点 3 : SP3640.00～SP3650.00	S-2	03
	ユニット④ 384.34m	SP3835.6642 ～20.00 L= 384.34	定点 4 : SP4050.00～SP4060.00	S-2	03
	ユニット⑤ 1390.435m	SP4220.0043 ～63.05 SP4906.0057 ～45.25 SP6604.7071 ～73.00 L= 143.05 L= 679.08 L= 568.30	定点 8 : SP6887.15～SP6901.60	S-2	03
	ユニット⑥ 542.95m	SP4363.05 ～4906.00 L= 542.95	定点 5 : SP4597.50～SP4611.95	S-3	02
	ユニット⑦ 859.45m	SP5745.25 ～6604.70 L= 859.45	定点 6 : SP6211.95～SP6226.40	S-3	02
	ユニット⑧ 337.08m	SP7173.00 ～7510.08 L= 337.08	定点 9 : SP7470.80～SP7485.25	S-3	02
	-	落差工 (17 施設)	定点 7 : SP6796.00～SP6813.00	S-4	01
	-	分水工 (1 施設)	定点 10 : SP7510.08 分水工本体 ゲート設備	S-3 S-2	02 04
合計	7,325.475m	-	-	-	-

表－12 健全度評価結果（第 1 幹線用水路）

水路 名称	ユニット No 延長(m)	延長・施設	調査対象施設	健全度 評価	グループ No
第 1 幹 線 用 水 路	ユニット① 9733.42m	SP10.30～145.15 L= 134.85 SP3750.80～4161.90 L= 411.10 SP4379.70～5327.00 L= 947.30 SP5959.70～11679.32 L=5719.62 SP12327.60～13076.40 L= 748.80 SP13199.75～14625.50 L=1425.75 SP14641.00～14987.00 L= 346.00	定点 4:SP7490.69 ～SP7500.84	S-3	02
	ユニット② 2078.80m	SP145.15～616.65 L= 471.50 SP1249.00～2584.70 L=1335.70 SP11807.70～11955.95 L= 148.25 SP13076.40～13199.75 L= 123.35	定点 1:SP2094.65 ～SP2109.10	S-3	02
	ユニット③ 664.76m	SP616.65～741.90 L= 125.25 SP1095.20～1249.00 L= 153.80 SP2584.70～2970.41 L= 385.71	定点 2:SP2652.80 ～SP2667.25	S-3	02
	ユニット④ 2507.51m	SP741.90～1095.20 L= 353.30 SP2970.41～3750.80 L= 780.39 SP4161.90～4379.70 L= 217.80 SP5327.00～5959.70 L= 632.70 SP11679.32～11807.70 L= 128.38 SP11955.95～12327.60 L= 379.44 SP14625.50～14641.00 L= 15.50	定点 3:SP3286.01 ～SP3300.46	S-2	03
	-	落差工 (35 施設) 急流工 (3 施設)	定点 5:SP10119.70 ～SP10129.00 ・第 30 号落差工	S-4	01
	-	水路橋 (2 施設)	定点 6:SP11639.00 ～SP11657.00 ・第 1 号水路橋	S-3	02
合計	14984.49m	-	-	-	-

表－13 健全度評価結果（第 2 幹線用水路）

水路 名称	ユニット No 延長(m)	延長・施設	調査対象施設	健全度 評価	グループ No
第 2 幹 線 用 水 路	ユニット① 3384.98m	<第 1 工区> SP0.00～56.36 L= 56.36 SP2545.83～3435.00 L= 889.17 SP3550.60～3640.00 L= 89.40 <第 2 工区> SP-12.25～368.00 L= 380.25 SP398.60～979.80 L= 581.20 SP997.00～1487.50 L= 490.50 SP1553.83～1782.73 L= 228.90 SP2110.80～2780.00 L= 669.20	定点 4:第 2 工区 SP898.20～SP908.40	S-3	02
	ユニット② 158.95m	<第 1 工区> SP56.36～215.31 L= 158.95	定点 1:第 1 工区 SP99.71～SP114.16	S-3	02
	ユニット③ 2840.52m	<第 1 工区> SP215.31～2545.83 L=2330.52 SP2435.00～3550.60 L= 115.60 <第 2 工区> SP1487.50～1553.83 L= 66.33 SP1782.73～2110.80 L= 328.07	定点 5:第 2 工区 SP1497.70～SP1507.90	S-2	03
	ユニット④ 47.80m	<第 2 工区> SP368.00～398.60 L= 30.60 SP979.80～997.00 L= 17.20	定点 2:第 2 工区 SP378.20～SP388.40	S-2	03
	-	落差工 (5 施設)	定点 3:第 2 工区 ・第 2 号落差工	S-4	01
-	-	水路橋 (1 施設)	-	S-3	02
合計	6432.25m	-	-	-	-

また、各水路における健全度の延長割合を算出すると、表－14のとおりとなった。

導水路では半数がS-4となり、第 1 幹線用水路では約 8 割がS-3、第 2 幹線用水路ではS-3とS-2が半々であった。

表－14 健全評価の延長割合

水 路 名	各水路における健全度の割合		
	導水路	第 1 幹線	第 2 幹線
S-2	27%	17%	45%
S-3	24%	83%	55%
S-4	49%	-	-

4-8 性能低下予測

(1) 予測手法

本業務においては、個別施設の対策時期の設定に適用しやすい単一劣化曲線モデルを用いた。

単一劣化曲線モデルでは、対象施設の健全度は新設時点においてS-5であったと仮定し、以下の式で劣化傾向を近似した。

$$y = b x^2 + a$$

ここに、y：施設健全度

x：施設供用年数

a：係数 5 とする

(2) 性能低下予測

1) 中土幌導水路

グループ01 (S-4評価)

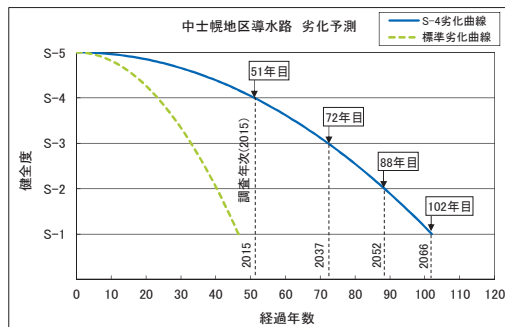


図-3 中土幌導水路劣化曲線 (S-4)

グループ02 (S-3評価)

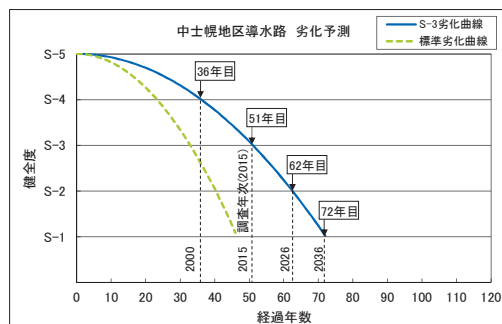


図-4 中土幌導水路劣化曲線 (S-3)

グループ03、グループ04 (S-2評価)

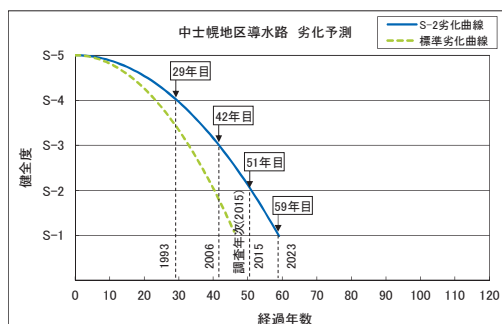


図-5 中土幌導水路劣化曲線 (S-2)

第1幹線用水路及び第2幹線用水路についても同様に性能低下曲線を作成した。ここでは、健全度と経過年数の一覧を表-15に示す。

表-15 健全度と経過年数 (第1用水路・第2用水路)

調査箇所		S-5	S-4	S-3	S-2	S-1
第1用水路	グループ1	-	2015 (43年経過)	2033 (61年経過)	2046 (74年経過)	2058 (86年経過)
	グループ2	-	-	2015 (43年経過)	2025 (53年経過)	2033 (61年経過)
	グループ3	-	-	-	2015 (43年経過)	2022 (50年経過)
第2用水路	グループ1	-	2015 (50年経過)	2036 (71年経過)	2052 (87年経過)	2065 (100年経過)
	グループ2	-	-	2015 (50年経過)	2026 (61年経過)	2036 (71年経過)
	グループ3	-	-	-	2015 (50年経過)	2023 (58年経過)

*機能診断実施2015年

4-9 管理水準の設定

管理水準の設定は、これ以上劣化すると施設の使用に問題が生じるといった許容限界を明らかにし、施設機能をそれ以上の水準で管理する考え方である。

対象施設の通水量や通水時期、施設の重要度等を考慮し、管理水準をS-1に設定した。

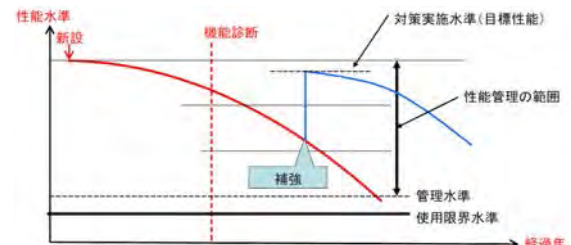


図-6 性能劣化曲線と管理水準

5. 機能保全対策の検討

5-1 保全対策シナリオの検討

問診時の聞取りでは、施設管理者は将来的な水需要の変化を推測しかねており、大々的な改修・更新ではなく、現況施設を補修しながら維持管理していく意向を持っていた。

このため、保全対策シナリオは、補修及び補強のシナリオを基本とし、参考として全更新のシナリオ3を追加検討した。

なお、各シナリオのイメージは表-16のとおりとし、検討対象期間は機能保全の手引き(開水路)に従い40年間とした。

表-16 シナリオイメージ

シナリオ	シナリオイメージ
シナリオ1	S-3 到達時に補修を繰り返す予防保全的なシナリオ
シナリオ2	S-2 到達時に補強する事後保全的なシナリオ
シナリオ3	S-1 到達時に全更新する従来型シナリオ

(1) 中土幌導水路

中土幌導水路におけるシナリオの概要を以下に示し、今後40年間における各シナリオの健全度の経過を図-7～図-9に示す。

・シナリオ1

現状の施設状態がS-4の場合はS-3到達時に補修を行う。また、現状がS-3の場合は早急に補

修し、S-2の場合は早急に補強を行う。

・シナリオ 2

現状の施設状態がS-4の場合はS-2到達時に補強を行う。また、現状がS-3の場合はS-2到達時に補強し、S-2の場合は早急に補強を行う。

・シナリオ 3

S-1に1番早く到達するユニットにあわせて全更新を行う。

なお、各耐用年数は以下のとおりとし、これが経過後に再度補修・補強を繰り返した。

- ・コンクリートの補修・補強後の耐用年数 20年
(農業水利施設保全補修ガイドブックH27年版)
- ・ゲート開閉装置の耐用年数 25年
(農業水利施設の機能保全の手引き「頭首工(ゲート設備)」)

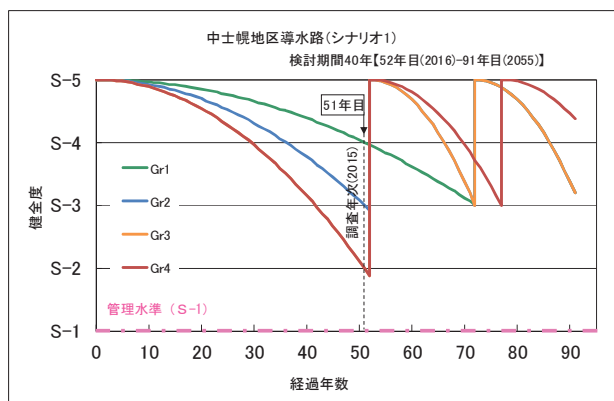


図-7 シナリオ 1 の健全度の経過 (中土幌導水路)

*Gr3とGr4は、ともに健全度 2 のため早急に対策を実施するが、耐用年数の違いから、2 回目の対策時期にずれが生じている。

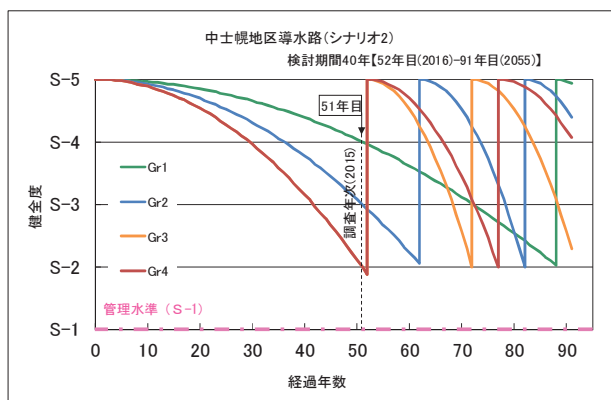


図-8 シナリオ 2 の健全度の経過 (中土幌導水路)

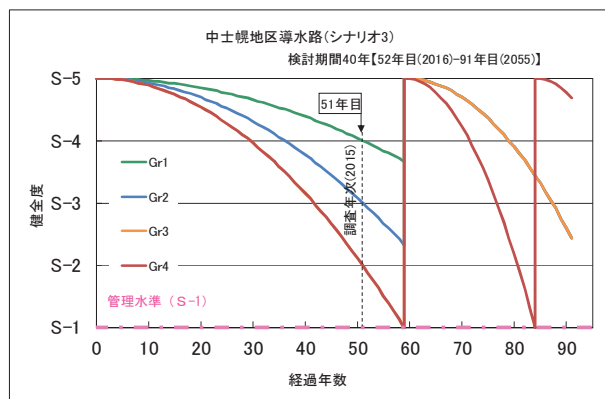


図-9 シナリオ 3 の健全度の経過 (中土幌導水路)

第 1 幹線用水路及び第 2 幹線用水路についても同様に健全度の経過を整理した。

5-2 対策工法の検討

目地補修、表面被覆、断面修復等の補修工法については、農業水利施設保全補修ガイドブック（平成 27 年度版）を基に、耐用年数、施工性、経済性等についての比較表を作成し採用工法を決定した。

S 式ブロック及び積ブロックの補強は、法尻に厚さ 20cm の補強コンクリートの設置を計画した。なお、コンクリートの高さは、水理計算（用水路（開水路）における余裕高）から決定した。

また、シナリオ 3 の全更新では、V 型トラフ（二次製品）とフリーム水路（現場打ち）を比較検討し、経済性から前者を採用した。

6. 機能保全コストの算定

6-1 機能保全コストの算定手順

農業水利施設の機能保全計画では、新設からこれまでの既往コストは考慮せず、今後一定期間に要する費用を機能保全コストとして評価する。

- ・算定期間は 40 年、コストは現価換算対策費
- ・現価換算対策費 = 対策費 × 社会的割引率
- ・社会的割引率：年 4 %
- ・機能保全コスト = 現価換算対策費 - 残存価値
- ・残存価値 = 対策工事費 × (残存耐用年数 / 耐用年数) × 評価期間終了時の現価係数

6-2 機能保全コストの算定結果

機能保全コストは、3路線ともシナリオ1（S-3段階で補修を繰り返す）が最小となった。

なお、第2幹線用水路では、参考として検討したシナリオ3（S-1段階で全面更新）の機能保全コストが最小となった。これは、現況断面と同等規模による更新ではなく、現時点の水利権水量（当初の1/6）見合いの断面による更新計画としたため、コストが大幅に小さくなったためである。

表-17 機能保全コスト一覧

施設名	シナリオ	機能保全コスト(千円)	コスト順位	残存価値(千円)	備考
中土幌導水路	シナリオ1	494,072	1	6,616	S-3 到達時に補修を繰り返す予防保全的なシナリオ
	シナリオ2	750,735	2	411,825	S-2 到達時に補修する事後保全的なシナリオ
	シナリオ3 (参考)	542,389	-	32,959	S-1 到達時に全更新する従来型シナリオ
第1幹線用水路	シナリオ1	691,939	1	9,516	S-3 到達時に補修を繰り返す予防保全的なシナリオ
	シナリオ2	2,326,788	2	282,659	S-2 到達時に補修する事後保全的なシナリオ
	シナリオ3 (参考)	731,761	-	36,869	S-1 到達時に全更新する従来型シナリオ
第2幹線用水路	シナリオ1	366,601	1	2,760	S-3 到達時に補修を繰り返す予防保全的なシナリオ
	シナリオ2	631,735	2	61,362	S-2 到達時に補修する事後保全的なシナリオ
	シナリオ3 (参考)	255,392	-	15,441	S-1 到達時に全更新する従来型シナリオ

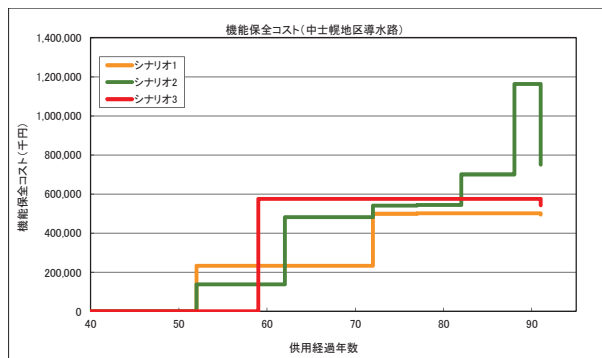


図-10 機能保全コストの算定（中土幌導水路）

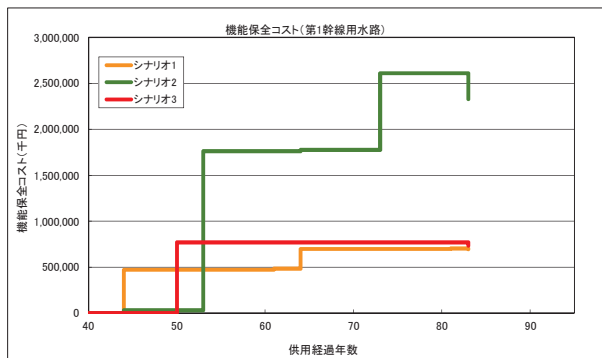


図-11 機能保全コストの算定（第1幹線用水路）

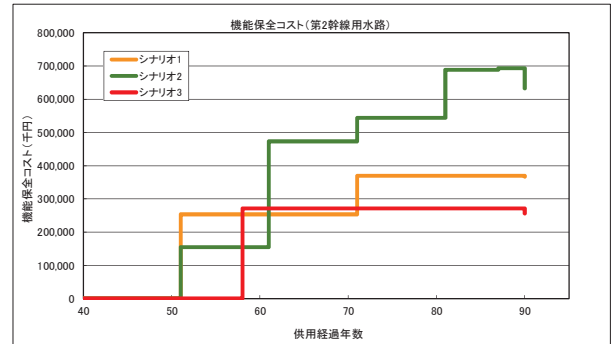


図-12 機能保全コストの算定（第2幹線用水路）

7. 機能保全計画の策定

7-1 最適シナリオの決定

個別施設の機能保全計画は、機能保全コストの最小化とともに、施設機能の維持、リスクの軽減等を総合的に検討し、最適シナリオを決定した。

なお、第2幹線用水路では、シナリオ3の機能保全コストが最小となったが、全更新を望まない施設管理者の意向を踏まえ、シナリオ1と2で機能保全コストが小さく、健全度が高く維持されるシナリオ1を最適と評価した。

表-18 機能保全コスト一覧（中土幌導水路）

保全対策シナリオ	シナリオの特徴	機能保全コスト(千円)	施設の機能維持	リスク軽減への貢献度	環境との調和	総合評価
シナリオ1	・S-3到達時に補修を繰り返す予防保全的なシナリオ。 ・検討期間40年の間に施設補修及び補強を3回行う。	494,072	健全度が 高く維持される	リスクは低く維持される	既存施設を補修・補強し使用するため、環境負荷が小さい	◎
シナリオ2	・S-2到達時に補修する事後保全的なシナリオ。 ・検討期間40年の間に施設補修及び補強を6回行う。	750,735	健全度はシナリオ1より低い	リスクは低く維持される	既存施設を補修・補強し使用するため、環境負荷が小さい	○
シナリオ3 (参考)	・S-1到達時に全更新する従来型シナリオ。 ・検討期間40年の間に全更新を1回、ゲート設備(開閉装置)更新を1回行う。	542,389	健全度はシナリオ1、2より低い	S-1段階での対策のため、リスクは若干高い	他のシナリオと比較して、既存施設の撤去、新設工事に係わる環境負荷が大きい	-

表-19 機能保全コスト一覧（第1幹線用水路）

保全対策シナリオ	シナリオの特徴	機能保全コスト(千円)	施設の機能維持	リスク軽減への貢献度	環境との調和	総合評価
シナリオ1	・S-3到達時に補修を繰り返す予防保全的なシナリオ。 ・検討期間40年の間に施設補修及び補強を4回行う。	691,939	健全度が 高く維持される	リスクは低く維持される	既存施設を補修・補強し使用するため、環境負荷が小さい	◎
シナリオ2	・S-2到達時に補修する事後保全的なシナリオ。 ・検討期間40年の間に施設補修及び補強を5回行う(同期化により補修・補強は4回となる)。	2,326,788	健全度はシナリオ1より低い	リスクは低く維持される	既存施設を補修・補強し使用するため、環境負荷が小さい	○
シナリオ3 (参考)	・S-1到達時に全更新する従来型シナリオ。 ・検討期間40年の間に全更新を1回行う。	731,761	健全度はシナリオ1、2より低い	S-1段階での対策のため、リスクは若干高い	他のシナリオと比較して、既存施設の撤去、新設工事に係わる環境負荷が大きい	-

表-20 機能保全コスト一覧（第2幹線用水路）

保全対策 シナリオ	シナリオの特徴	機能保全 コスト (千円)	施設の 機能維持	リスク軽減 への貢献度	環境との 調和	総合 評価
シナリオ 1	・S-3到達時に補修を繰り返す予防保全的シナリオ。 ・検討期間40年の間に施設補修及び補強を2回行う。	366,601	健全度が 高く維持さ れる	リスクは低く維 持される	既存施設を補 修・補強し使用す るため、環境負荷 が小さい	◎
シナリオ 2	・S-2到達時に補修する事後保全的シナリオ。 ・検討期間40年の間に施設補修及び補強を5回行う。	631,735	健全度は シナリオ1 より低い	リスクは低く維 持される	既存施設を補 修・補強し使用す るため、環境負荷 が小さい	○
シナリオ 3 (参考)	・S-1到達時に全更新する従来型シナリオ。 ・検討期間40年の間に全更新を1回行う。	255,392	健全度は シナリオ 1、2より低 い	S-1段階での 対策のため、 リスクは若干 高い	他のシナリオと比 較して、既存施 設の撤去、新設 工事に係る環境 負荷が大きい	-

7-2 調査頻度

農業水利施設では、施設が今後どのような劣化過程をたどるか観察し予測するため、劣化の程度や事故発生時のリスクの大小に関わらず、定期的な機能診断を実施する必要がある。

- ・導水路は、S-4の占める割合が多いが、S-2及びS-3が約1/4ずつある。路線の重要度（A判定）を加味し、調査頻度はS-3レベルの5年程度が妥当と考える。
- ・第1幹線用水路は、S-3が全体の8割強を占めていることから、調査頻度は5年程度が妥当と考える。
- ・第2幹線用水路は、S-3とS-2が半々程度であるが、路線の重要度がやや低い（道路交差部以外はB）ことを加味し、調査頻度はS-3レベルの5年程度が妥当と考える。

7-3 施設監視計画

施設監視は、施設の劣化の進行状況を見極め、最適な時点で適切な対策工事が実施できることを目的とし、施設管理者が日常管理の一環として監視計画に基づき実施するものである。

当該用水路における施設監視箇所は、劣化の進行状況を確実に追跡・対比できるよう、今回実施した定点調査箇所から選定した。この際、水路形式や構造物等を勘案するが、事故や損傷等によるリスクの早期発見という観点から、劣化が進行した箇所を選定した。

中士幌導水路における施設監視計画を示す。

表-21 施設監視計画（中士幌導水路）

測点、部位等	監視内容・項目	監視 頻度	監視の留意事項	実施者	異常時 の措置	次回機能 診断時期
水路 本体	定点3 SF3640 ～SF3650 右岸側壁の傾倒 (重力式擁壁)	年1回	側壁1スパンの上・中・下流部で傾斜角度を測定	音更町	帯広開発建設部へ連絡	2020年
	定点8 SF6887.15 ～SF6901.6 側壁の傾倒 (佐々木式 ブロック)	〃	側壁1スパンの上・中・下流部で傾斜角度を測定、側壁のはらみ出しの有無を目視確認	〃	〃	〃
付帯 設備	定点7 落差工 SF6796 ～SF6813 落差壁のひび割れ	〃	落差壁のひび割れの字型ひび割れの拡大、落差壁の傾斜の有無を目視確認	〃	〃	〃
	定点10 分木工 SF7510.08 土木構造物 操作台の凍害	〃	コンクリートの剥離・剥落を目視確認	〃	〃	〃
	ゲート設備 金物類のさび	〃	腐食の進展(孔食)の有無を目視確認、巻上げ機の動作確認	〃	〃	〃

第1幹線用水路及び第2幹線用水路についても同様に施設監視計画を整理した。

7-4 機能保全計画の策定

これまでの結果を路線毎に所定の様式に整理し、機能保全計画を策定した。

8. おわりに

中士幌導水路には分木工ゲート設備があるため、シナリオ1、2では塗装塗り替え、シナリオ3では全更新を計画した。しかし、本施設は供用後50年以上が経過しているため、塗料に有害物質（鉛、クロム、PCB）が含まれている可能性がある。

そのため、詳細設計あるいは工事の際には、塗膜の有害物質の含有量試験を実施するなど、適切な処置が求められる。

最後になりましたが、本報告にあたり、発表の場を与えていただいたとともに、多大なるご協力をいただいた関係各位に深くお礼を申し上げます。

（北王コンサルタント 榎）

参考文献

- 1) 農業水利施設の機能保全の手引き
(H19. 4 (社)農業土木事業協会)
- 2) 農業水利施設の機能保全の手引き「開水路」
(H22. 6 農水省 食料・農業・農村政策審議会)
- 3) 農業水利施設保全補修ガイドブック
(H27. 6 (社)農業土木事業協会)
- 4) 農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル開水路補修編（案）
(H27. 6 (社)農業土木事業協会)
- 5) コンクリート標準示方書（維持管理編）
(H25.10 (社)土木学会)
- 6) 土地改良事業計画設計基準及び運用・解説設計
「水路工」技術書
(H26. 3 (社)農業農村工学会)

寒冷地における開水路の目地補修工法及び 診断手法の適用性検討

松本 康宏・藤田 修

1. はじめに

国営かんがい排水事業「天塩川地区」は、北海道上川総合振興局管内の北部に位置する天塩川上流部と剣淵川沿いの水田を受益としている。

地区の基幹水利施設である剣和幹線用水路は、昭和43年から昭和61年にかけて築造され、昭和62年の供用開始以降、用水が不足かつ不安定だった和寒・剣淵区域に効率的かつ安定的に水田用水を送水し、現在まで利用されてきた。

しかし、供用開始以降30年以上を経過する中でコンクリートの凍害や摩耗による表面劣化が著しく、特に伸縮目地でのひび割れが進行していた。

このため、平成25年1月にストックマネジメント技術高度化事業により、剣和幹線用水路の現場打ち擁壁型フルーム水路区間で施設状況を詳細に調査し、

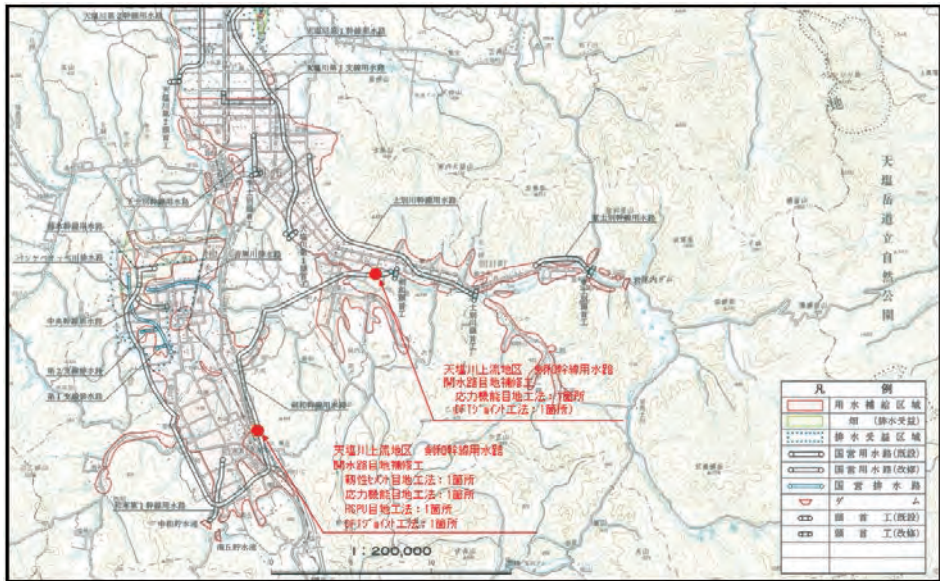
水路の長寿命化に向けた対策として目地補修の工法である①無機系のモルタル充填を行う充填工法、②有機系のゴムの挿入によるゴム挿入工法、③有機系の樹脂塗布による被覆工法の試験施工が実施された。

ストックマネジメント技術高度化事業は、施設の長寿命化を図るための施設の診断、劣化予測、評価手法の確立や、対策工法の有効性及び耐久性の検証等を行うことを目的としていることから、試験施工後の平成25年から平成27年において、目地補修個所のモニタリング調査を実施してきた。

本報告は、この剣和幹線用水路で実施したモニタリング調査に基づき、積雪寒冷地の開水路目地補修工法とその診断手法の適用性評価について報告するものである（表－1、図－1 参照）。

表－1 剣和幹線用水路の施設諸元

前歴事業	国営天塩川上流地区 かんがい排水事業
名 称	剣和幹線用水路
構造・形式	現場打ち擁壁型フルーム
規 模	B=2.80m～6.50m×H=1.75m～2.60m 部材厚 t=0.20m～0.25m
築造年	昭和 61 年
供用年	昭和 62 年
経 過	27 年(2015 年時点)
施工区間	SP1,050.00～1,060.00 L=10.0m (士別工区) SP15,630.50～15,709.00 L=78.5m (和寒工区)



図－1 剣和幹線用水路目地補修実施位置図

2. 剣和幹線用水路の対策前の劣化状況

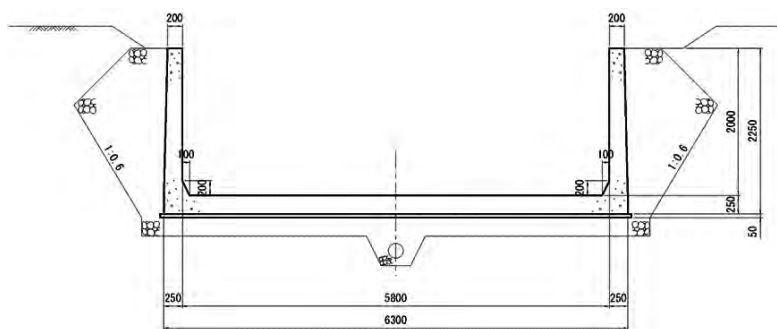
剣和幹線用水路が位置する和寒町は、最近10カ年での気温の最低値は -28°C 以下、積雪深が100cmを超えるなど北海道内でも有数の積雪寒冷地である。南向き面の側壁天端では顕著な凍害によるスケーリングや微細なひび割れが確認され、スケーリング部位はコンクリートが浮いてエフロレッセンスが析出している等の劣化が進行していた。

また、モニタリング調査を行った目地52カ所の内

9カ所でひび割れが確認され、いずれも用水路天端は凍害に起因して水の浸入しやすい状態であった。特にひび割れ幅が大きい箇所では防水性が損なわれ、ひび割れの進行が懸念された。水路躯体のコンクリートの圧縮強度についても $15.9\sim 31.4\text{N}/\text{mm}^2$ と、設計基準強度（ $\sigma_{ck}=21\text{N}/\text{mm}^2$ ）を下回る値を示した地点が3カ所あり、凍害によるひび割れの影響が懸念されるなど、目地の補修対策が急務な状態であった（表－2、図－2参照）。

表－2 剣和幹線用水路の対策前の劣化状況

項 目	施設概況	状況写真
1. 目地の欠落 (落水後)	・ 伸縮目地にひび割れが発生し、目地材が一部欠落している。	
2. 目地部のひび割れ (落水後)	・ 欠落した目地部に水が浸入し、凍結融解による凍害でひび割れが発生している。 ・ 凍害により目地部に沿って躯体の部分的な欠落が発生している。	
3. 凍害によるひび割れ (落水後)	・ 南向き面の側壁天端で顕著な凍害によるスケーリングや微細なひび割れが確認され、スケーリング部位はコンクリートが浮いており、エフロレッセンスが析出している。	



図－2 剣和幹線用水路断面図

3. 対策工法（目地補修工法）の概要

積雪寒冷地での目地の補修にあたっては、水路目地部の伸縮や変位に目地材が追従し、水の浸入を許すことなく、剥離・欠落やひび割れなどを発生させることのない性能が要求される。剣和幹線用水路における補修工事に際しては、水路軸方向のコンクリート伸縮に対応できる工法の中から、無機系のモルタル充填を行う充填工法、有機系のゴムの挿入によるゴム挿入工法（2工法）、有機系の樹脂塗布による被覆工法の全4工法を選定した。その特徴は、以下のとおりである。

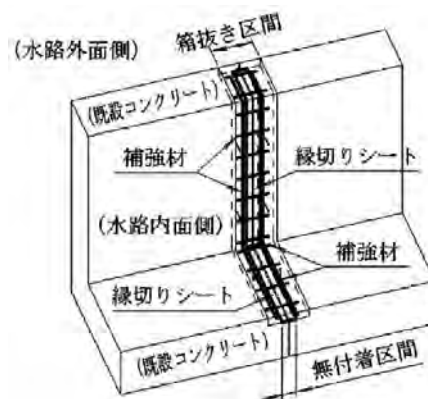
(1) 充填工法（韌性セメント目地工法）

韌性セメント工法は、主として既設水路のひび割れや水路全体の一体的な補修に採用されてきた鋼材に匹敵する引張、曲げ変形性能を有する「高韌性セメント複合材料」により目地部を補修する工法である。高韌性セメント複合材料はセメントと高強度の有機系繊維で構成され、引張力に対して微細なひび割れを発生しながら変形し、温度変化による目地部の伸縮に対して追従する。

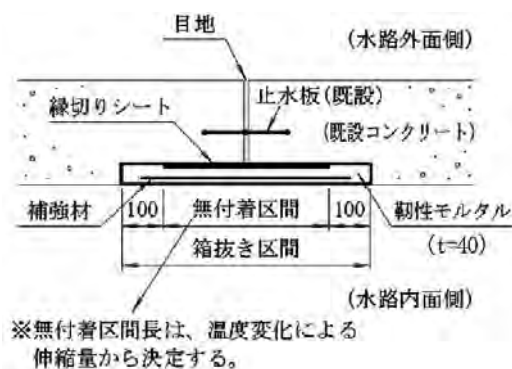
本工法は、高強度なために目地補修後の維持管理の軽減が見込まれ、補修工法として採用した（図－3参照）。

(2) ゴム挿入工法（応力機能目地工法・DFTジョイント工法）

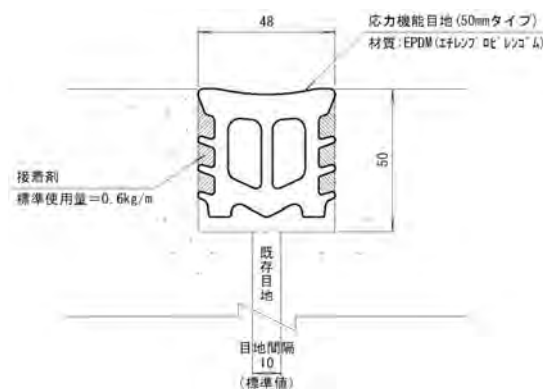
ゴム挿入工法は、目地部を箱抜きして変形特性の優れたゴム材を使用した応力機能目地を差し込む工法と、目地部にDFTジョイントのくさび部をハンマーで打ち込み劣化している目地を置き換える工法があり、水路躯体の伸縮による変形にも目地材の変形特性によって追従し、高耐久性、高止水性を発揮させるものである（図－4、図－5参照）。



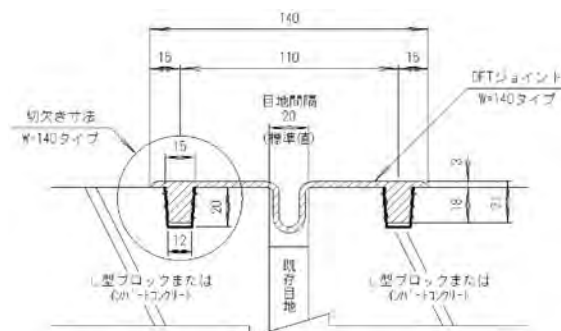
図－3－1 韌性セメント工法、概略図



図－3－2 韌性セメント工法、断面図



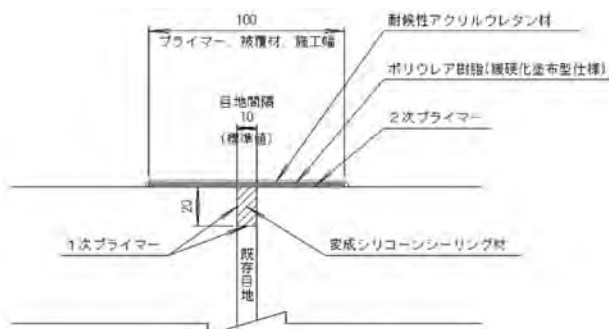
図－4 ゴム挿入工法（応力機能目地工法）概要図



図－5 ゴム挿入工法（DFTジョイント工法）概要図

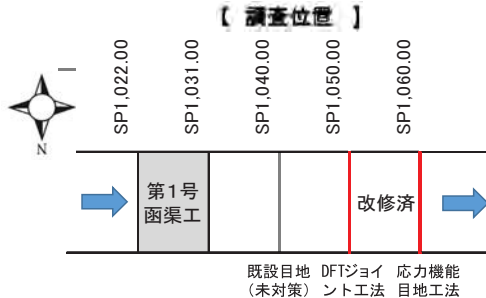
(3) 被覆工法 (HSPU工法)

被覆工法は、収縮目地の上から塗布型の樹脂（ポリウレタ樹脂）を塗布して水路躯体との一体化を図り、長期にわたってコンクリートの伸縮に追従する。施工が容易なことから、剣和幹線用水路を管理する「てしおがわ土地改良区の区域内」においても実績が多い工法である（図－6 参照）。

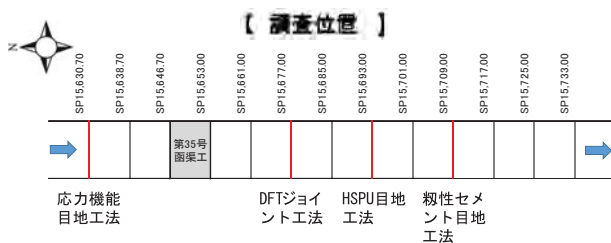


図－6 被覆工法（HSPU工法）概要図

各目地補修工法を施工した目地の位置関係は図－7、図－8のとおりで、それぞれ調査地点となる。



図－7 剣和幹線（土別地点）目地補修位置概要図



図－8 剣和幹線（和寒地点）目地補修位置概要図

積雪寒冷地での目地補修工法の選定にあたっては、施工費、施工性、維持管理費、実耐用年数等

を実際に現地にて施工した上で確認・整理し、工事費だけではなく、比較的長いタイムスパンでの機能保全コストを勘案して検討する必要がある。このため、比較的長期にわたるモニタリング調査が重要となる。

4. 目地補修工法のモニタリング調査項目及び調査結果の概要

積雪寒冷地での施工実績が少ない耐性セメントによる充填工法やゴム挿入工法は、被覆工法と同一条件下での劣化状況と耐用年数の検証が必要である。特に耐性セメントによる充填工法は既設コンクリートと耐性セメントとの境界面の密着性が重要となるが、伸縮を繰り返す目地部において、箱抜き部のみへの充填で機能維持が可能か否かを比較的長期にわたって確認する必要がある。このため、各工法の耐用年数、変状の有無、機能維持の状態を経年的に確認するためのモニタリング計画とした。

モニタリング調査は、平成25年に目地補修工事実施前のコンクリートの状態把握調査と工事実施直後の初期値確認調査を実施し、平成26年、平成27年と3ヵ年にわたって以下の項目について調査を行った。

(1) 近接目視調査

近接目視調査は、①ひび割れ（長さ・深さ）、②浮き等の劣化、③変形、④歪み、⑤欠損、⑥目地の変状等について、クラックスケールやコンベックス等の簡易な器具で定量測定するとともに、目視・触診、打診等による確認を行い、変状を把握してスケッチ図を作成した。

耐性セメント目地工法（図－9 参照）では、平成27年度の調査で、流水による摩耗の影響と思われる表面の繊維分の露出による毛羽立ちが目立ち、特に水中部において顕著となっていることが確認された。

応力機能目地工法（図－10 参照）では、経年的に見ても特に目立った変状は発生していない。



図－9 韌性セメント目地工法の状況（平成27年）



図－10 応力機能目地工法の状況（平成27年）

DFTジョイント工法（図－11参照）では、施工直後からゴムジョイントに空気溜まりによる浮きが発生しているが、目地の両側面部での離れは発生していない。

HSPU工法（図－12参照）では、平成26年度と平成27年度の調査において進行性のひび割れの発生が確認されており、両端部の剥離も発生している。



図－11 DFTジョイント工法の状況（平成27年）



図－12 HSPU工法の状況（平成27年）

(2) 現地測量

現地測量は、剣和幹線用水路の変位の有無を確認するため、左右天端2測線、底版中央部1測線の3測線について、目地補修部の6断面で縦断測量を行った。

現地測量の結果は、平成25年から平成27年にかけて、大きな計測値の変化や経年的な計測値の変化（沈下・傾倒等）は確認されていない。

(3) コンクリート強度（コンクリート強度推定試験）

コンクリート強度推定試験は、コンクリート材を使用した目地工法である韌性セメント工法に対し、リバウンドハンマーにより目地部表面の圧縮強度を推定する。調査は韌性セメント目地工法の、左右側壁のそれぞれ水中部と気中部、底版部の計5測線について実施した（図-13参照）。

コンクリート強度推定試験結果は、平成25年から平成27年の各調査において、5測線（側壁左右の気中部及び水中部、底版）ともに設計基準強度21N/mm²を超えており、強度不足は確認されていない。



図-13 リバウンドハンマーと調査状況

(4) 付着強度（建研式引張試験機による付着強度試験）

付着強度試験は、構造物のカッティング及び研磨の後に建研式引張試験機による引張り試験を行い、表面被覆工及び下地付近の付着特性（強度）を測定した。調査はコンクリート材を使用した目地工法である韌性セメント目地工法について、左右側壁のそれぞれ水中部と気中部、底版部の計5測線について実施した（図-14参照）。

付着強度試験は、平成25年から平成27年にかけて、5測線（側壁左右の気中部及び水中部）、底版ともに、基準値（1.0N/mm²）を施工直後に若干下回ったものの、それ以降は下回っておらず問題はない。



図-14 建研式引張試験機と調査状況

(5) 剥離調査（赤外線法）

剥離調査（赤外線法）は、赤外線カメラで撮影した水路橋躯体の画像を赤外線サーモグラフィーで解析し、表面温度分布の差異（浮き部の表面温度は、日中は熱伝導が阻害されて高温となり、夜間は熱伝導が日中と逆となって低温となる）により表面剥離箇所の推定を行った。調査は表面部の調査が可能な韌性セメント目地工法について、代表

地点1 測線で実施した（図-15参照）。



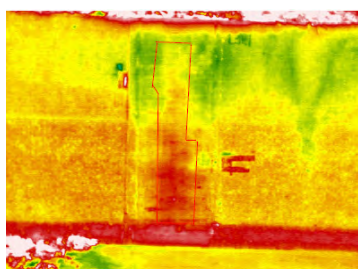
図-15 赤外線サーモグラフィーと調査位置

韌性セメント目地工法について、打診によって浮き部を事前に確認したうえで調査を行ったが、赤外線画像中において浮き部と健全部の温度差による認識が可能であり、高温部と打診調査による浮き部とはほぼ合致した。

ただし、韌性セメント目地工法では箱抜き部に韌性セメントと既設コンクリートの縁切りに使用しているシート（韌性セメントとは付着していない）があり、これを打診と赤外線法による画像分析において「浮き」と判断したものであり、実際には浮きは発生していない（図-16参照）。



打診による「浮き」部



赤外線画像

図-16 韌性セメント目地工法での赤外線画像（平成26年）

(6) ひび割れ・剥離・空洞化調査 （機械インピーダンス法）

衝撃加速度計が内蔵されているコンクリートテスターにより韌性セメント目地部を打撃して圧縮強度を測定し、圧縮強度の指標値（STR値）の分布を色の濃淡で面的に図示して構造物の物性値や形状、欠陥の有無などの確認を行った。調査は表面部の調査が可能な韌性セメント目地工法について、代表地点1 側線で実施した（図-17参照）。



図-17 衝撃加速度計内蔵コンクリートテスターと調査状況

分析は、圧縮強度を示すSTR値、表面劣化度合いを示すIndex値、剥離浮きを示すSTAT値に区分して行う。平成27年度調査結果からも、強度指標及び劣化指標に若干の劣化傾向（明るい色調の部分）が見受けられるものの、圧縮強度試験結果及び付着強度試験結果等から総合的に判断して、強度低下や剥離の発生に問題はない。

なお、韌性セメント目地部の打音調査では、箱抜き部に韌性セメントと既設コンクリートの縁切りに使用しているシートの部分を浮きと判断していたが、機械インピーダンス法では剥離指標には表れなかった。これは、韌性セメント目地の特性から破壊ノイズが発生しにくいこと、目地部の厚さが5 cm程度とインピーダンスによる計測深さと、ほぼ同一であるために一体構造と認識していることから、計測できなかったものと考えられる。

また、赤外線法による剥離調査結果でも箱抜き部の韌性セメントと既設コンクリートの縁切りに使用しているシートの部分は浮きと判断されていたため、この結果とも合致していない（図-18参照）。

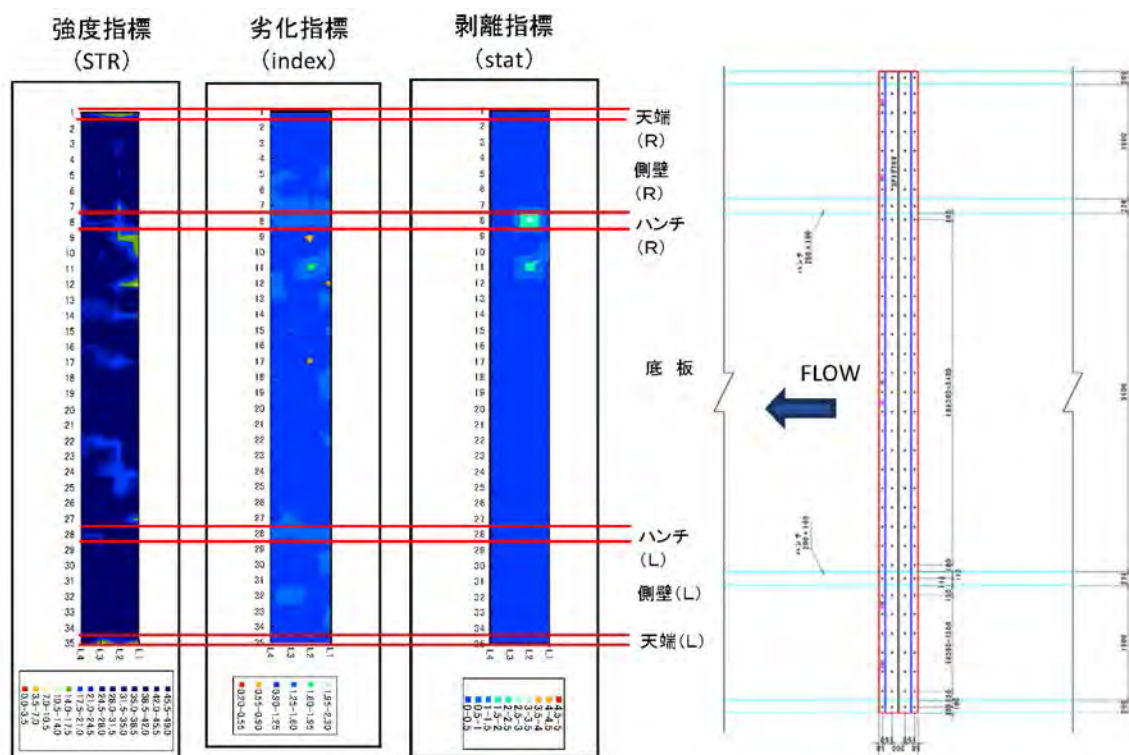


図-18 韌性セメント目地での指標値解析事例（平成27年）

(7) ゴムの硬度試験

ゴム製の目地材を使用する、ゴム挿入工法（応力機能目地工法・DFTジョイント工法）について、ゴムの劣化状況を確認するためにデュロメーターによりゴム強度調査を実施した。

応力機能目地工法、DFTジョイント工法ともにEPDMゴム（エチレンプロピレンジエンゴム）が使用されており、耐候性、耐寒性、耐老化性に優れている。製品性能表から、応力機能目地のゴム硬度は65A～75A、DFTジョイントのゴム硬度は55

A～65Aとなっている。また、ゲート設備等に使用されている水密ゴムはゴム硬度が25%増加（増加率125%）した場合に伸びが50%低下するとされており、増加率125%をEPDMゴムの劣化指標と設定する。

測定結果は表-3のとおりであり、平成27年度調査結果からのゴム硬度の増加率は125%を超える地点はなく、ゴムの劣化による水密性の低下については問題はない。

表-3 ゴム硬度試験結果（平成27年）

調査地点	区分		ゴム強度(応力機能目地)			ゴム強度(DFTジョイント)			備 考
			性能範囲	測定値	増加率	性能範囲	測定値	増加率	
剣和幹線 (土別地点)	左岸	気中部	65A ～ 75A	75A	100	55A ～ 65A	55A	85	※増加率は、性能 範囲の上限値から の増加率で表示
		水中部		75A	100		55A	85	
	右岸	気中部		61A	81		45A	69	
		水中部		70A	93		50A	77	
剣和幹線 (和寒地点)	左岸	気中部		70A	93		45A	69	
		水中部		68A	91		40A	62	
	右岸	気中部		73A	97		55A	85	
		水中部		74A	99		50A	77	

5. 目地補修工法とその診断手法の適用性

(1) 目地補修工法の適用性

剣和幹線用水路で実施した目地補修工法のモニタリング結果から、当該工法の選定目的を踏まえてその適用性について評価する。

実施された各対策工法は、3年を経過する中で大きな変状や強度低下も発生せず要求性能を満たしていることから、現時点ではその適用性については問題がない。しかし、HSPU工法で一部浮きや亀裂の発生等も確認されていることから、今後の劣化傾向の確認が必要である。

a) 靱性セメント目地工法（充填工法）

目地の伸縮に対する追従性確保と、高強度であることから施工後の目地補修等の維持管理作業の軽減対策として選定。現時点では変形はなく、各種強度も基準値以上で問題はなく、要求性能は満たされており現時点での適用性は高い。ただし、水中部を中心に摩耗による表面の繊維質の毛羽立ちが目立ってきており、表面部の劣化の進行が懸念される。

b) 応力機能目地工法（ゴム挿入工法）

耐候性・耐寒性があり、変形特性に優れたゴム材の目地に対する追従性と、高止水性確保の対策として選定。3年経過した中で特に目立った変状の発生はなく、エチレンプロピレンジエンゴム材の劣化もない。このため、要求性能は満たされており現時点での適用性は高い。

c) DFTジョイント工法（ゴム挿入工法）

耐候性・耐寒性があり、変形特性に優れたゴム材の目地に対する追従性と、高止水性確保の対策として選定。3年経過した中で浮きの発生が確認されているものの、大きな剥落等の変状には至っておらず、エチレンプロピレンジエンゴム材の劣化もない。このため、要求性能は満たされており現時点での適用性は高い。

発生している浮きについても構造上ゴムジョ

イントの再装填も容易であることから、ゴムの劣化が見られない限り特に問題となることはないと判断される。

d) HSPU工法（被覆工法）

収縮目地上にポリウレア樹脂を塗布して、水路躯体との一体化による伸縮追従性確保の対策として選定。施工翌年以降ひび割れや両端部の剥離が発生しており、年々進行している。現時点では大きな変状には至っておらず、要求性能は満たされており現時点での適用性を否定できない。

ただし、ひび割れ・端部の剥離については今後の進行によっては目地機能の喪失につながる懸念もあり、継続監視が必要である。

(2) 診断手法の適用性

剣和幹線用水路で実施されたストックマネジメント技術高度化事業による（目地補修の試験施工）のモニタリング結果から、モニタリング調査に用いた調査方法の有効性について評価する。

診断に用いた各調査手法は、強度把握、劣化変状の発生の確認が十分可能であり、その適用性に問題はない。ただし、3年間の調査結果から近接目視調査及び現地測量を主とするとして発生変状に合わせた調査手法の取捨選択も必要となると考えられ、今後の劣化傾向、変状発生に応じた調査計画の中で検討していく必要がある。

a) 近接目視調査

外観的変状（浮き、ひび割れ、欠損、変形、歪み、漏水、変色等）の調査は、基本となる調査であり他のコンクリート強度調査やひび割れ・剥離・空洞化調査（機械インピーダンス法）等と併用することで内部劣化等も把握が可能となり、劣化進行状態の確認と要因の推定がしやすくなる等、不可欠な調査である。

b) 現地測量

剣和幹線用水路の対策工法は基本的に目地補修工法であるが、目地の変状発生と合わせて水路躯体の変位等の発生の有無を確認することで、水路全体の総合的な変状対策が可能となることから、有効な調査である。

c) コンクリート強度（リバウンドハンマー）

リバウンドハンマーによる圧縮強度測定は、韌性セメント目地工法に対して実施したが、補修材表面強度の測定による確認のみであり、内部劣化等を総合的に把握するためには、付着強度試験、ひび割れ・剥離・空洞化調査等の他診断手法との併用が必要となる。

ただし、韌性セメント目地は表面の繊維分の露出による毛羽立ちの発生によって表面劣化の進行が懸念されているところであり、表面強度の継続把握は有効な調査であると考えられる。

d) 付着強度（建研式引張試験機による付着強度試験）

付着強度調査は、韌性セメント目地工法を実施し、目地表面の強度を確認することで、浮きや剥離等の表面劣化の進行の状況把握が可能となる。しかし、目地部のカッティングや研磨を行う破壊試験のため、継続的な試験の実施は弱点部となり得るため、調査範囲を広く確保するなど留意が必要である。

e) 剥離調査（赤外線法）

剥離調査は、韌性セメント目地工法で実施したが、打診によって浮きと判断した目地箱抜き部の縁切りシートを、赤外線画像においても確認した。このことから、発生した浮きの確認には目地部の構造上の未付着部を事前確認しておくことで、有効性が高くなる。

f) ひび割れ・剥離・空洞化調査（機械インピーダンス法）

韌性セメント目地工法に対しては、圧縮強度

を示すSTR値、表面劣化度合いを示すIndex値、剥離浮きを示すSTAT値に区分し、圧縮強度の低下と、表面被覆材の材質の劣化もしくは浮きの発生の状況を確認することが可能である。

ただし、韌性セメント目地は破壊ノイズが発生しにくい材質であり、このような材質で目地部の厚さがインピーダンスによる計測深さとほぼ同一となる場合には、剥離や空洞化を認識しにくいいため、材質や調査対象部位の厚さ等によって調査の適否を検討する必要がある。

g) ゴム強度試験

エチレンプロピレンジエンゴムを使用する、応力機能目地工法、DFTジョイント工法に対して実施したが、目地の追従性及び水密性を確保するゴム材の劣化状況を簡易に判定できる調査として適用性は高いと判断される。

6. まとめ

施工後3年のモニタリング調査の継続により、一部浮きやひび割れ等の変状の発生がみられるが、現時点では各対策工法とも大きな変状や劣化の発生はなく、目地の機能は維持されている。診断手法についても、その適用性が良好であることを確認したうえで、調査を継続実施することができた。

今後の課題としては、積雪寒冷地での目地補修工法は様々な材質の工法がある中で、その耐用年数が不明確なものも多いことから、経年的な劣化程度の把握と目地機能の発揮の検証が必要である。

したがって、ある程度長期にわたる変状及び劣化の確認のためには、以下の目的による継続調査が望ましいと考えられる。

- ・調査結果の経年変化、材質毎の劣化の進行に応じた診断手法の適用性の再確認。
 - ・効率的なモニタリング調査を目指して、表面劣化等の簡易な判定を可能とする等の、新たな診断手法の導入。
 - ・現時点で発生している変状の、進行の経過確認。
- (株)農土コンサル

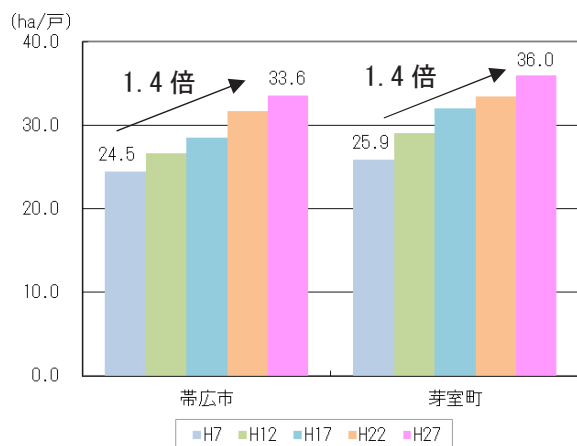


図-3 戸当り経営耕地面積の推移
(資料: 北海道農林水産統計年報、農(林)業センサス)

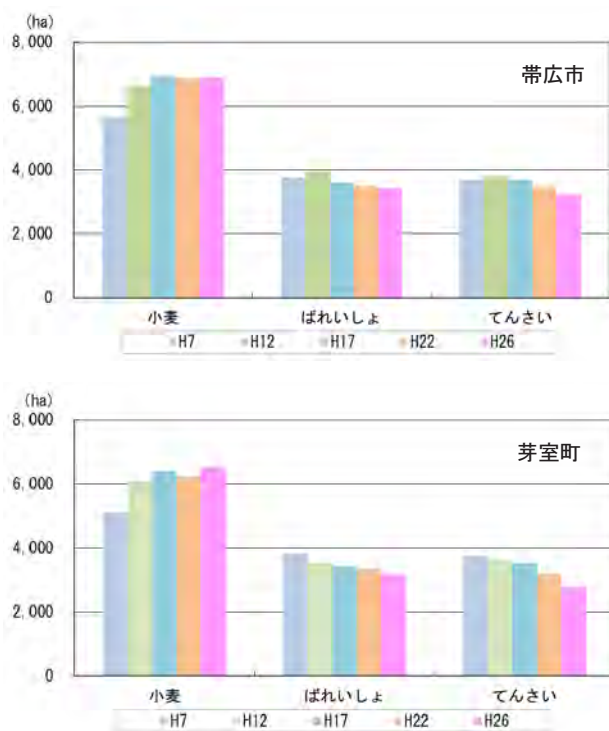


図-4 主要作物の作付面積の推移
(資料: 北海道農林水産統計年報)

2-2 地区の概要とかんがい期間の設定

(1) 美生ダムを活用した用水再編

本地区の受益区域は、戸蔭別川、札内川、帯広川に囲まれ、南北方向25km、東西方向10kmに広がる対象面積8,839haの帯広かわにし区域と、美生川流域に広がる11,784haの芽室区域とで合わせて20,623haで構成される。

芽室区域の用水施設は、前歴芽室地区により整備済みであるが、変更事業計画策定(平成11年度)

以降、戸当たり耕地面積の拡大に伴い、省力的な小麦(無かん水作物)の作付面積が増加し、地域の水需要が低下した。

近年の作付動向を踏まえた芽室区域の作付計画、かんがい期間の見直し(後述「(3)かんがい期間の設定」参照)に基づき、芽室区域の必要水量の算定を行った結果、余剰水が生じることとなり、帯広かわにし区域を含めた本地区の必要水量は美生ダム(美生川)で確保出来ることから、本事業計画は美生ダムを活用した用水再編を行う計画とした。

以下に地区の概要及びかんがい期間の設定について示す。

(2) 地区の概要

□関係市町: 北海道帯広市、河西郡芽室町

□受益面積: 20,623ha

うち、帯広かわにし区域: 8,839ha

(畑地かんがい)

芽室区域: 11,784ha(用水改良)

□事業工期: 平成29年度～平成40年度

一期事業: 平成29年度～平成34年度

二期事業: 平成32年度～平成40年度

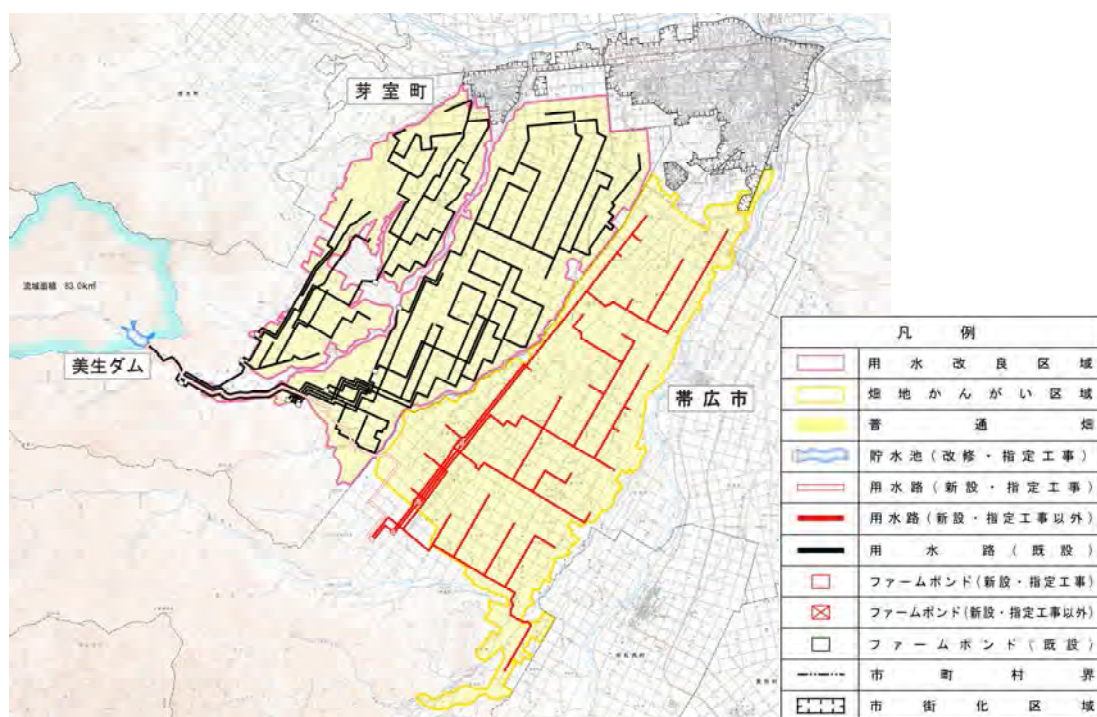
□総事業費: 42,000百万円

一期事業: 11,000百万円

二期事業: 31,000百万円

□主要工事計画

施設		数量	区分
貯水池	美生ダム天端道路	一式	改修
	美生ダム管理施設(電気設備、管理設備、取水放流設備)	一式	改修
用水路	帯広かわにし導水路	1条 L=19.4km	新設
	八千代送水幹線用水路	1条 L=7.4km	新設
	南かわにしブロック配水管路	7条 L=30.0km	新設
	西かわにしブロック配水管路	5条 L=26.3km	新設
	東かわにしブロック配水管路	7条 L=28.5km	新設
	北かわにしブロック配水管路	6条 L=28.9km	新設
水管理施設	美生ダム中央管理センター	一式	更新
	帯広区域管理センター	一式	新設
小水力発電施設		一式	新設



図－５ 芽室川西地区概要図

(3) かんがい期間の設定

本地区のかんがい期間は、前歴芽室地区事業計画で設定したかんがい期間（現行のかんがい期間）を基本とするが、小麦、ばれいしょ及び新たに導入する作物については、営農指導機関の助言のもと、現況の営農実態に合わせて設定した。

設定したかんがい期間については、事業主体、受益農家代表及び農業関係機関により構成される芽室川西地区営農検討会（第2回：平成27年10月）にて本地区のかんがい期間として妥当であることが確認された。

【芽室区域】

- ・ 湿潤かんがい用水（露地）：4月11日～8月31日
- ・ 育苗用水（ハウス）：3月21日～4月30日
- ・ 栽培管理用水（施肥用水）：4月8日～4月13日
5月3日～5月8日
5月25日～6月4日
- ・ 肥培用水（施肥用水）：1月1日～12月31日

【帯広かわにし区域】

- ・ 湿潤かんがい用水（露地）：4月11日～9月20日
- ・ 湿潤かんがい用水（ハウス）：9月1日～11月30日
- ・ 育苗用水（ハウス）：3月11日～6月10日
- ・ 栽培管理用水（施肥用水）：4月8日～4月13日
5月3日～5月8日
5月25日～6月4日

《小麦へのかん水(栽培管理用水)》

天候に左右されず適期に追肥の効果発現を促すため、施肥後にかん水を行うことで収量や品質の安定を図る栽培管理用水を導入することとした。なお、畑地かんがい事業地区における小麦の栽培管理用水（施肥用水）の導入は、本地区が全道において先駆けとなった。

表－１ 小麦のかん水期間

生育期	平年値	追肥期間	備考
起生期	4月8日	4月8日～4月13日	平年値の後5日間
幼穂形成期	5月3日	5月3日～5月8日	平年値の後5日間
止葉期	5月30日	5月25日～6月4日	平年値の前後5日間

* 平年値はJAめむろの2015年の値

* 追肥期間設定は、十勝農業改良普及センター聞き取り

《ばれいしょのかんがい期間見直し》

5月1日～8月31日 ⇒ 5月1日～7月10日

2-3 地区営農課題の把握

本事業の必要性を整理する上で、地域農業の課題把握を行った。把握にあたっては、受益農家へのアンケート及び地元関係機関への聞き取りをもとに行った。その結果を以下に示す。

■課題１：周辺地域と同等の生産基盤整備水準の確保（地域ブランド維持）

本地区の周辺地域においては、畑地かんがいを目的とした事業（国営かんがい排水事業：芽室地区、札内川第一地区・札内川第二地区、幕別地区）が実施されており、かんがい用水による高品質な農産物の安定供給体制が整っている（図－６）。

一方、本地区の帯広かわにし区域においては、農産品の「地域ブランド」は確立されているものの、かんがい用水の手当てがなされておらず、降雨に依存した不安定な状態にある。

ながいもをはじめとする「地域ブランド」農産品

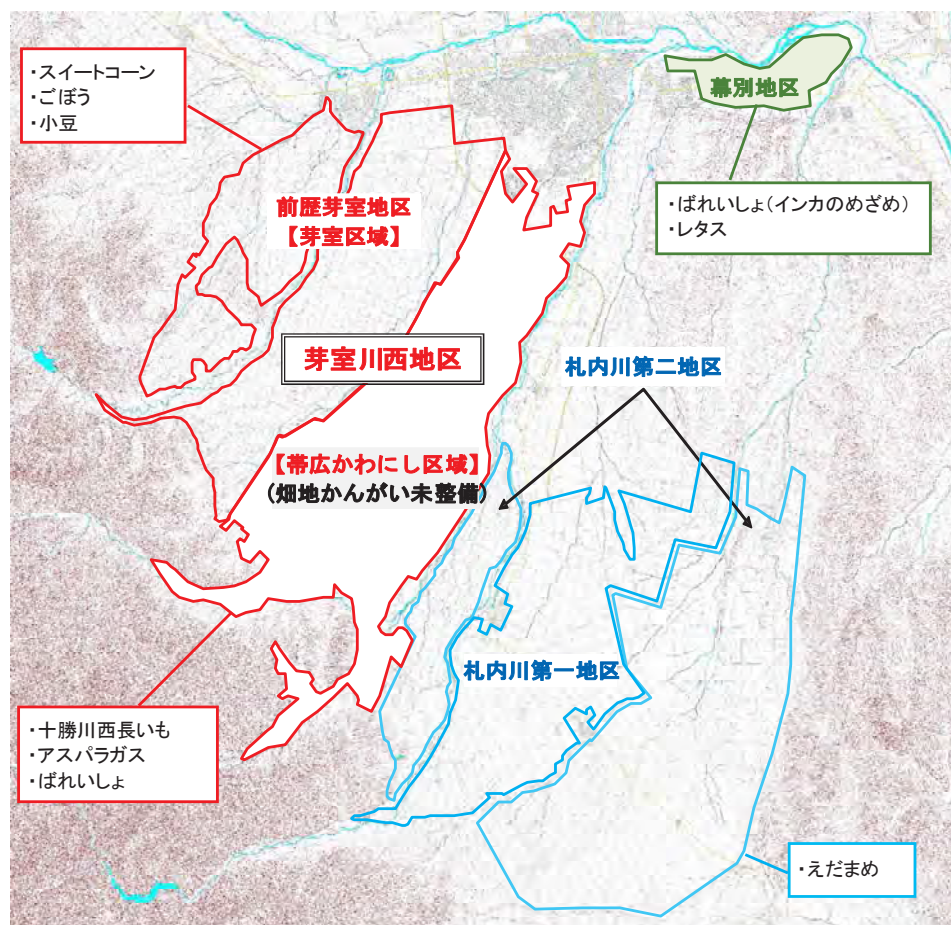
の推進は、我が国における『攻めの農業』や、『新たな土地改良長期計画』に示されている政策目標『産地収益力の向上』に対応した重要な取組みでもあり、より安定的かつ持続的な生産が求められることから、早急に対応すべき事項であった。

■課題２：風害の発生

帯広かわにし区域においては、てんさいの定植時（４～５月）の土壤乾燥と強風により、定植のやり直し等の被害が発生している（写真－１）。

また、てんさいの栽培はペーパーポットを用いた移植栽培が中心であるが、地域では移植作業の省力化を図るために直播栽培の導入を推進している。しかし、直播栽培は移植栽培と比較して風害のリスクが高いことが普及上の課題の一つとなっている。

畑地かんがい用水手当てにより土壤乾燥の防止を図ることで、これらの風害の軽減、直播栽培の普及が期待される。



図－６ 本地区及び周辺地域における特産物・ブランドの状況



写真-1 てんさい圃場における風害（埋没）の様子



写真-2 故障機器（堤体挙動自動観測装置）

《受益対象農家アンケート調査結果》

～帯広かわにし区域～

帯広かわにし区域受益対象農家（有効回答：345戸）に対して行った畑地かんがい要望アンケート調査（平成22年6月～8月実施）の結果でも、全体の65%に当たる225戸が、過去5ヵ年以内（平成17年～平成21年）に干ばつ又は風害があったと回答している（図-7）。

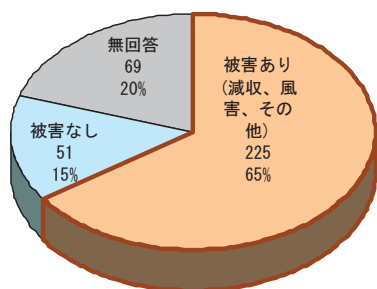


図-7 過去5ヵ年における干ばつ被害の発生状況

■課題3：防除用水確保

帯広かわにし区域においては、かんがい施設が未整備であることから、防除等の営農用水の確保にあたっては、自宅から水道水を給水しスプレーヤーによりほ場まで運搬しており、多大な労力を要している状況であった。

■課題4：施設経年変化による水管理労力の増大

芽室区域においては、前歴芽室地区により美生ダム等のかんがい施設が整備されたが、美生ダムの水管理機器は経年的な劣化が生じており、その維持管

理に多大な労力を要している（写真-2）。

3. 営農計画策定

営農計画の策定にあたっては、地域の営農実態、将来の目指すべき姿（農業振興方向）を踏まえ水需要を把握し、これを反映した計画とする。

また、本地区の一定地域は、行政区、管轄JA、用水施設の整備状況とが異なる帯広かわにし区域（新設整備区域）と芽室区域（更新整備区域）の2つの区域からなることから、それぞれの営農現況、将来目指すべき振興方向を踏まえた検討を行った。

3-1 地域の農業振興方向の把握

帯広市及び芽室町では地域農業の振興計画としてそれぞれ以下が策定されており、これらを基に地域の農業振興方向について把握を行い、本地区の営農計画策定の基礎とした。

【帯広かわにし区域】

- a) 「第6期帯広市総合計画（平成22年3月：帯広市）」
- b) 「農業経営の基盤強化の促進に関する基本的な構想（平成24年5月：帯広市）」
- c) 「帯広市地域農業再生協議会水田フル活用ビジョン（平成27年：帯広市）」
- d) 「JA帯広かわにし農業・農協長期計画（平成23～27年度：JA帯広かわにし）」

【芽室区域】

- a) 「第4期芽室町総合計画（平成20年4月：芽室町）」
- b) 「農業経営基盤強化の促進に関する基本的な構想（平成26年9月：芽室町）」
- c) 「芽室町地域農業再生協議会水田フル活用ビジョン（平成27年：芽室町）」
- d) 「第7次芽室町農業振興5か年計画（平成25～29年：JAめむろ）」

3-2 営農計画の策定

前述のとおり、本地区の営農計画の策定に当たっては、帯広かわにし区域と芽室区域について、それぞれ導入作物の選定、作付計画の策定、経営計画の策定（代表営農類型の設定、輪作体系の設定、類型別作付面積の設定、代表農家の経営前後比較の算定）を行った。

(1) 導入作物選定

導入作物の選定に当たっては、上記農業振興計画において振興作物として位置づけられており、かつ地区内に作付実績（地元聞き取りにより把握）があり、輪作体系上必要な作物を条件とした。

【帯広かわにし区域】

15作物：小麦・てんさい・ばれいしょ・大豆・小豆・いんげん・スイートコーン・ながいも・にんじん・たまねぎ・ごぼう・ながねぎ・アスパラガス・かぼちゃ・緑肥

【芽室区域】

13作物：小麦・てんさい・ばれいしょ・大豆・小豆・いんげん・スイートコーン・ながいも・ごぼう・だいこん・青刈りとうもろこし・緑肥・牧草

表－2 導入作物の選定（帯広かわにし区域）

作物名	b) 基本構想	c) 水田フル活用ビジョン	d) JA振興計画	作付実績 直近5か年 平均 (H22～H26)	導入 作物
小麦	○	○	○	3,374	○
てんさい	○	○	○	1,460	○
ばれいしょ	○	○	○	1,471	○
大豆	○	○	○	373	○
小豆	○	△	○	824	○
いんげん	○	△	○	281	○
スイートコーン	○	△	○	384	○
ながいも	○	△	○	298	○
にんじん	○	△	○	100	○
たまねぎ	—	△	○	16	○
ごぼう	○	△	○	73	○
ながねぎ	○	△	○	24	○
アスパラガス	○	△	○	12	○
かぼちゃ	○	△	○	32	○
雑穀	—	—	○	—	×
だいこん	○	○	—	—	×
ほうれんそう	○	△	—	—	×
こまつな	○	△	—	—	×
薬草	—	—	○	—	×
緑肥	○	○	○	117	○
計				8,839	
	○：品目別に生産振興が位置づけられている作物 一：品目別に生産振興の位置づけがない作物	○：品目別に生産目標が位置づけられている作物 △：その他地域振興作物として生産目標が位置づけられている作物 一：生産目標が位置づけられていない作物	○：品目別に生産振興が位置づけられている作物 一：品目別に生産振興の位置づけがない作物		

表－3 導入作物の選定（芽室区域）

作物名	b) 基本構想	c) 水田フル活用ビジョン	d) JA振興計画	作付実績 直近5か年 平均 (H22～H26)	導入 作物
小麦	○	○	○	3,849	○
てんさい	○	○	○	2,010	○
ばれいしょ	○	○	○	2,362	○
大豆	○	○	○	363	○
小豆	○	○	○	1,226	○
いんげん	○	○	○	91	○
スイートコーン	○	△	○	505	○
ながいも	○	○	○	167	○
ごぼう	○	○	○	136	○
だいこん	○	○	○	57	○
かぼちゃ	—	△	○	118	×
にんじん	—	△	○	106	×
キャベツ	—	△	○	35	×
アスパラガス	—	△	○	—	×
たまねぎ	○	△	○	—	×
ブロッコリー	○	△	○	—	×
雑穀	—	—	○	—	×
青刈りとうもろこし	○	△	○	250	○
緑肥	○	○	○	80	○
牧草	○	△	○	429	○
計				11,784	
	○：品目別に生産振興が位置づけられている作物 一：品目別に生産振興の位置づけがない作物	○：品目別に生産目標が位置づけられている作物 △：その他地域振興作物として生産目標が位置づけられている作物 一：生産目標が位置づけられていない作物	○：品目別に生産振興が位置づけられている作物 一：品目別に生産振興の位置づけがない作物		

(2) 作付計画の策定（現況及び計画作付面積）

作付計画の策定に当たっては、帯広かわにし区域、芽室区域のそれぞれの作付実績、農業振興方向を踏まえ、以下のように設定した。

□現況作付面積：受益農家の作付実績（直近5か年）を基に設定。

□計画作付面積：現況作付面積を基に、各JA振興計画の作付目標面積、各市町の営農振興方策（栽培体系の変化等）、代表営農類型毎の輪作体系を踏まえて設定。

【帯広かわにし区域】

表－４ 作付計画（帯広かわにし区域）

地 目		畑			
時 点		現 況		計 画	
本 地 面 積		8,839 ha		8,839 ha	
表 裏	作 物 名	作付面積 ha	作付率 %	作付面積 ha	作付率 %
表	小麦	3,374	38.2	3,280	37.1
〃	てんさい	1,460	16.5	1,455	16.4
	（うち移植）	1,330	15.0	1,241	14.0
	（うち直播）	130	1.5	214	2.4
〃	ばれいしょ	1,471	16.6	1,471	16.6
〃	大豆	373	4.2	373	4.2
〃	小豆	824	9.3	824	9.3
〃	いんげん	281	3.2	281	3.2
〃	スイートコーン	384	4.4	384	4.4
〃	ながいも	298	3.4	298	3.4
〃	にんじん	100	1.1	100	1.1
〃	たまねぎ	16	0.2	110	1.3
〃	ごぼう	73	0.8	73	0.8
〃	ながねぎ（露地）	24	0.3	24	0.3
裏	ながねぎ（ハウス）	-	-	5	0.1
表	アスパラガス	12	0.1	12	0.1
〃	かぼちゃ	32	0.4	32	0.4
〃	緑肥	117	1.3	117	1.3
計		8,839	100.0	8,839	100.0
かん水面積				5,442	61.6
栽培管理用水				3,280	37.1
無かん水面積				117	1.3

《計画作付面積の考え方》

JA帯広かわにし区域における各作物の生産動向（最近５ヵ年）はほぼ横ばいで推移しており、JA帯広かわにしの振興計画における目標面積（平成27年度）は現況と同程度の作付を維持する計画となっている。また、JAの振興計画においても、「畑地かんがい事業など適切な事業を採択しながら取り進め」、「安定した生産を確保するために小麦・豆類・ばれいしょ・てん菜の主要畑作４品による輪作を基本」とした輪作体系の維持を掲げている。

よって、帯広かわにし区域においては、後述するてんさい直播栽培の導入、たまねぎ、ながねぎ（ハウス）以外の作物は、現況を維持する計画とした（表－４）。

《てんさい直播栽培の導入について》

地域では戸当たり経営規模の拡大が見られる一方で、労働力不足や担い手の高齢化が進んでいる。このような中、労働負担軽減の観点からてんさいの直播栽培技術の導入によるコスト低減が一層求められるようになり、市・JAも推進に向けて取り組んでいる。

JA帯広かわにし管内では、平成24年度から国営かんがい排水事業地区調査開始を契機に、畑地かんがい導入に向けた期待とともに事業化への機運が高まっており、直播率も増加傾向にある。

よって、帯広かわにし区域の営農計画の現況、計画の導入面積は以下のように設定した。

□てんさい直播率・面積

・現況：8.9%（最近５ヵ年実績：H22～H25）

⇒ 130ha（＝1,460ha×8.9%）

・計画：14.7%（直近H26年度の実績）

⇒ 214ha（＝1,455ha×14.7%）

《たまねぎの作付増について》

近年、地域ではながいもの栽培に適した圃場面積の確保（好条件の土壌）が限界に達しており、作付面積は横ばいの状況である。このような中、JA帯広かわにしでは、ながいもととも輪作体系に組み込む新たな野菜の本格導入を検討している。

また、国営かんがい排水事業地区調査開始により、これまでの畑地かんがい先進地事例、流通経路、販売価格等を踏まえて、JA帯広かわにしにおいては「加工用たまねぎ」の本格導入が決定された。

このような背景から、JA帯広かわにし管内のたまねぎの作付は、平成22年～平成26年の５ヵ年間で20ha程度であったが、平成27年度には一気に約90haへと増加した。

また、平成26年12月12日には「たまねぎ生産組合」（組合員39名：全て受益者）が設立され、さらにたまねぎ選別貯蔵施設の建設が平成27年夏以降に着工し、平成28年２月完成した。将来的にも作付が継続されることが想定されることから、営農類型別の輪作体系にも組み入れ、帯広かわにし区域の計画作付面積を110haとした。

《てんさい育苗ハウスの有効利用について》

帯広市では、畑作農家の新たな収入確保策のためてんさい育苗ハウスの有効利用策として、施設栽培によるベビーリーフ（レタス、水菜などの若葉の

総称)栽培実験を行っている。

このため、本地区の事業計画においても、畑地かんがい用水が確保されることを契機として、9月以降もハウス栽培に必要な畑地かんがい用水を確保し、「てんさいの育苗ハウスを活用した施設野菜」を新規導入作物として位置づけることとした。なお、帯広市での栽培実験はベビーリーフであるが、現時点では栽培体系、流通経路等が確立されていない。よって地区内で作付実績があり、既に栽培体系や流通経路が確立され、かつ冬期間の施設栽培も可能である「ながねぎ」とした。

□作付面積の設定：5 ha

(てんさい移植栽培面積(計画作付面積)から必要とされる育苗ハウス面積)。

□導入作物の選定：ながねぎ

【芽室区域】

表－5 作付計画(芽室区域)

地 目		畑					
時 点		現 況		計 画		増△減	
本 地 面 積		11,784 ha		11,784 ha			
表裏	作 物 名	作付面積 ha	作付率 %	作付面積 ha	作付率 %	作付面積 ha	
表	小麦	3,849	32.6	3,849	32.6	-	
＂	てんさい	2,010	17.1	2,010	17.1	-	
	(うち移植)	1,749	14.8	1,749	14.8	-	
	(うち直播)	261	2.2	261	2.2	-	
＂	ばれいしょ	2,362	20.0	2,362	20.0	-	
＂	大豆	363	3.1	363	3.1	-	
＂	小豆	1,226	10.4	1,226	10.4	-	
＂	いんげん	91	0.8	91	0.8	-	
＂	スイートコーン	658	5.6	658	5.6	-	
＂	ながいも	273	2.3	273	2.3	-	
＂	ごぼう	136	1.2	136	1.2	-	
＂	だいこん	57	0.5	57	0.5	-	
＂	青刈りとうもろこし	250	2.1	250	2.1	-	
＂	牧草	429	3.6	429	3.6	-	
＂	緑肥	80	0.7	80	0.7	-	
計		11,784	100.0	11,784	100.0	-	
かん水面積				7,426	63.1		
栽培管理用水面積				3,849	32.6		
肥培かんがい面積				429	3.6		
無かん水面積				80	0.7		

《計画作付面積の考え方》

芽室町における各作物の生産動向(最近5ヵ年)はほぼ横ばいで推移しており、JAめむろにおける「第7次農業振興5ヵ年計画(平成25年～平成29年)」

の目標面積(平成29年度)は現況と同程度の作付を維持する計画としている。

芽室区域については、前歴芽室地区が平成19年度に完了し、区域としては畑地かんがい導入されている更新整備区域であり、JAめむろの第7次振興計画は畑地かんがい導入されていることを前提とした計画となる。

このため、本地区における芽室区域の作付計画は現況を維持する計画とした(表－5)。

《てんさい直播栽培の導入について》

芽室町におけるてんさい直播導入状況は、平成26年時点で7.1%となっているが、町では、てんさい作付農家を支援する「てん菜作付奨励総合対策事業(平成26年度～平成29年度)芽室町」を実施(てんさいの直播栽培の導入促進に向けた、直播用種子の購入費助成や直播用精密播種機購入費助成)しており、平成29年には直播導入率13%が見込まれていた。

よって、芽室区域の営農計画の現況、計画の導入面積は以下のように設定した。

□てん菜直播率・面積

・現況・計画：13%(平成29年度見込み)

⇒ 261ha(=2,010ha×13%)

(3) 経営計画の策定

a) 代表営農類型の設定

帯広市および芽室町の「農業経営基盤の強化の促進に関する基本的な構想」(以下、基本構想)において示されている営農類型(※)を基本とし、上記作付計画を踏まえ、将来の目指すべき営農モデルを設定した。

(※)基本構想においては、現に展開している優良事例を踏まえつつ、効率的かつ安定的な農業経営指標として、帯広市では計26類型が、芽室町では計14類型が示されている。

【帯広かわにし区域】

受益農家367戸のうち、担い手農家である304戸の経営規模及び作付状況から、以下の4類型を設定した。

・畑作専業Ⅰ類型	: 35.4ha
・畑作野菜複合Ⅰ類型	: 14.3ha
・畑作野菜複合Ⅱ類型	: 29.8ha
・畑作野菜複合(組織)類型	: 47.0ha

【芽室区域】

受益農家 393戸のうち、担い手農家である391戸の経営規模及び作付状況から、以下の3類型を設定した。

・畑作専業Ⅱ類型	: 36.0ha
・畑作野菜複合Ⅲ類型	: 28.0ha
・酪農専業類型	: 25.2ha

b) 輪作体系の設定

本地区の輪作体系は、下記の輪作体系の考え方及び各計画類型に該当する農家の作物作付実績に基づき設定した。

□畑作物・野菜

- ・4年または5年輪作を採用
- ・アスパラガス：永年性作物であり、連作を基本。減価償却資産の耐用年数等に関する省令の別表第四「生物の耐用年数表」に基づき11年更新とした。

□飼料作物

- ・牧草は6年更新。飼養家畜の多頭数化への対応として更新時に高栄養価の青刈りとうもろこしを導入した9年輪作とした。

c) 代表営農類型別の作物作付面積設定

受益農家の作付実績データ（平成22年～平成26年）より、営農類型ごとに作物別作付面積と戸数を集計し、輪作体系を考慮し類型別作物作付面積を設定した（表－6、表－7）。

表－6 代表営農類型別作付計画（帯広かわにし区域）

単位：ha/戸

作物名 \ 類型	畑作専業Ⅰ	畑作野菜複合Ⅰ	畑作野菜複合Ⅱ	畑作野菜複合(組織)
小麦	14.1	2.8	11.8	11.7
てんさい	7.1	－	5.0	4.3
ばれいしょ	6.0	2.0	4.1	11.7
大豆	1.7	0.5	1.1	2.2
小豆	3.5	1.3	2.6	4.1
いんげん	1.3	0.8	0.4	2.6
スイートコーン	1.1	1.3	1.4	2.9
ながいも	－	1.1	2.0	2.8
にんじん	－	0.2	0.9	－
たまねぎ	－	3.2	－	－
ごぼう	－	－	－	3.3
ながねぎ(露地)	－	0.7	－	－
ながねぎ(ハウス)	0.03	－	0.03	－
アスパラガス	－	0.4	－	－
かぼちゃ	－	－	－	1.4
緑肥	0.6	－	0.5	－
計	35.4	14.3	29.8	47.0

表－7 代表営農類型別作付計画（芽室区域）

単位：ha/戸

作物名 \ 類型	畑作専業Ⅱ	畑作野菜複合Ⅲ	酪農専業
小麦	14.4	7.0	－
てんさい	7.2	4.1	－
ばれいしょ	7.2	6.6	－
大豆	1.2	0.9	－
小豆	3.7	3.5	－
いんげん	0.1	0.5	－
スイートコーン	1.8	2.1	－
ながいも	－	1.9	－
ごぼう	－	1.0	－
だいこん	－	0.4	－
緑肥	0.4	－	－
青刈りとうもろこし	－	－	9.3
牧草	－	－	15.9
計	36.0	28.0	25.2

d) 代表農家の経営前後比較

c) を基にJA取扱いの作物単価、資材等単価から各類型の将来の経営計画を策定した（表－8）。

【帯広かわにし区域】

畑地かんがいによる増収効果、作付増減を反映し、農業所得を向上させる計画とした。

【芽室区域】

更新整備であることから、農業所得は現況を維持する計画とした。

(帯広かわにし地区)

表－８ 代表農家の経営前後比較

計画の経営形態				畑作専業Ⅰ類型		畑作野菜複合Ⅰ類型		畑作野菜複合Ⅱ類型		畑作野菜複合(組織)類型	
現況・計画				現況	計画	現況	計画	現況	計画	現況	計画
及 び 営 利 土 用 地 状 況 積	耕 地	畑	田	－	－	－	－	－	－	－	－
			普通畑	35.4	35.4	14.3	14.3	29.8	29.8	47.0	47.0
			飼料畑	－	－	－	－	－	－	－	－
		合計	35.4	35.4	14.3	14.3	29.8	29.8	47.0	47.0	
	①農業粗収益額(千円)				19,375	23,898	17,919	25,160	28,250	35,064	52,940
②経営所得安定対策交付金(千円)				12,723	14,570	3,542	2,180	10,013	11,359	10,244	11,896
③農業経営費(千円)				24,545	29,298	17,155	20,785	25,398	29,984	39,992	47,120
④農家所得(千円)(＝①＋②－③)				7,553	9,170	4,306	6,555	12,865	16,439	23,192	31,545
⑤所得率(＝④÷(①＋②))				23.5%	23.8%	20.1%	24.0%	33.6%	35.4%	36.7%	40.1%
関係戸数(戸)				129		39		114		22	

(芽室地区)

計画の経営形態				畑作専業Ⅱ類型		畑作野菜複合Ⅲ類型		酪農専業類型	
現況・計画				現況	計画	現況	計画	現況	計画
及 び 営 利 土 用 地 状 況 積	耕 地	畑	田	－	－	－	－	－	－
			普通畑	36.0	36.0	28.0	28.0	9.3	9.3
			飼料畑	－	－	－	－	15.9	15.9
		合計		36.0	36.0	28.0	28.0	25.2	25.2
	①農業粗収益額(千円)			20,064	20,064	34,238	34,238	75,318	75,318
②経営所得安定対策交付金(千円)			11,937	11,937	6,256	6,256	－	－	
③農業経営費(千円)			24,067	24,067	33,100	33,100	54,855	54,855	
④農家所得(千円)(＝①＋②－③)			7,934	7,934	7,394	7,394	20,463	20,463	
⑤所得率(＝④÷(①＋②))			24.8%	24.8%	18.3%	18.3%	27.2%	27.2%	
関係戸数(戸)				213		151		27	

注：所得率＝農業所得÷（農業粗収益額＋経営所得安定対策交付金）とする。

4. まとめ

以上、新設整備区域である帯広かわにし区域においては、新たな水手当による高収益作物（たまねぎ、ながねぎ）の作付およびてんさい直播栽培面積を増加する計画、更新整備区域である芽室区域においては前歴事業計画以降の作付動向を踏まえ現況の農業生産を維持する計画とした。

これらの内容（導入作物、作付計画、経営計画等）は、第3回営農検討会（平成28年3月30日）により了承された。

本報は「営農計画の策定」を主題としているが、上記営農計画を踏まえた事業効果の算定について触れる。

評価項目は、事業目的である畑地かんがいによる作物生産効果（単収増加）、品質向上効果、営農経費節減効果（かん水作業の発生）、水利施設の更新による維持管理費節減効果に加え、上記営農計画を反映し、(表－9)中の「評価項目(下線部の項目)」について計上し、年総効果(便益)額は5,745百万円となった。

本地区の評価期間52年間(本地区工事期間12年＋

表－9 事業評価における評価項目及び年効果額

単位：百万円

区 分		年総効果 (便益)額	評 価 項 目
効果項目	食料の安定供給の確保 に関する効果		
	作物生産	2,511	・畑地かんがいによる単収増加 ・ <u>作付増減</u>
	品質向上	585	・畑地かんがいによる品質向上
	営農経費節減	2,355	・ <u>防除用水確保</u> ・ <u>風害に伴う再移植作業</u> ・ <u>にかかる労力の軽減</u> ・ <u>てんさいの直播栽培の導入</u> ・かん水作業の発生(多孔管) ・肥培かんがい(芽室区域のみ)
	維持管理費節減	△40	・水利施設の維持管理作業軽減
	小 計	5,411	
その他効果			
国産農産物安定供給		334	・国産農産物の安定供給
小 計		334	
合 計		5,745	

一定期間40年)を踏まえ、総便益額を算出した結果、104,030百万円となり、総費用94,859百万円に対し、総費用総便益比は1.09を確保した。

最後に本地区の営農計画策定に当たりご協力いただいた帯広市、芽室町、JA帯広かわにし、JAめむろ、十勝農業改良普及センターの担当者の方をはじめ、帯広開発建設部の関係各位に、紙面を借りて心より感謝申し上げます。

(株)ドーコン)

無人航空機（U A V : Unmanned Aerial Vehicle）の活用と事例について

鈴木 聡明・加藤 裕

1. はじめに

空撮映像は、現場区域の全体像を把握するうえで、非常に有用な情報であるが、従来は有人航空機や産業用ラジコン航空機を用いなければ撮影ができない高額なものであった。しかし、安全面等の課題はあるものの、安価な無人航空機（U A V）の出現は空撮を身近な技術へと変え、社会インフラの点検、測量、災害調査、施工管理など多くの分野でU A Vが利用され始めている。本稿では、このU A V活用における安全面の取組みと当社の活用事例を報告する。



写真-1 当社所有のU A V

バッテリーで駆動するマルチコプター：機体重量1,380 g

※「公共測量におけるU A Vの使用に関する安全基準（案）」（以下、安全基準（案）と称す）に該当する機体

2. 安全対策（管理）

U A Vの安全面については、首相官邸へのドローン墜落事件以降、関連法と運用基準の整備が進み、使用者を制限するものではなく、U A Vを活用するうえでの安全性の確保を第一優先とした内容となっている。以下に安全基準(案)の概要を示す。

2-1 運航方法、運航条件

この安全基準(案)は、公共測量での使用を想定し、

航空法に基づく国土交通大臣の許可や承認を得る必要がない空域及び運航方法でのU A Vの使用を原則としている。図-1は、改正航空法におけるU A Vの運航ルール（国土交通省）を示すが、公共測量では、これに加え、離着陸時を除き自動運航を行うことや、運航範囲の直下及び周辺に不特定の第三者が存在しないこと等を原則としている。



図-1 運航ルール（国土交通省資料より）

2-2 機体等の条件

使用するU A Vは、安全確保の観点から性能、外観について、安全基準（案）に示された内容を順守しなければならない。当社所有のU A Vも、安全基準（案）を満足した機体となっており、写真-1に示すように、安全性を高めるためにプロペラガードの装着、視認ができなくなった場合のモニタ監視装置の設置等、必要に応じた安全対策を実施している。また、事故、故障に備え、予備機体、バッテリー、

プロペラ等を複数常備し、現在は定期的な整備と点検を行っている。今後、UAVは、機能および性能の拡充、小型化、軽量化等から実用性とコストパフォーマンスの向上が見込まれており、その市場は拡大すると予測されている。当該機についても、ファームウェア※1更新への対応や消耗品の購入、安全基準の改訂について、随時情報を収集し、機体の更新計画も含めた適切な判断、管理が必要となると考えている。

※1 電子機器に組み込まれたコンピュータシステム（ハードウェア）を制御するためのソフトウェアで、ソフトウェアをROM等の集積回路にあらかじめ書き込まれた状態で、機器に組み込んだもの。

2-3 運航にあたっての体制整備

UAVを利用した“公共測量作業”では、図-2に示すとおり「運航」、「安全」、「整備」の3種類の管理者を配置する必要がある。一方、作業現場の人員体制は、現場班長、操縦者（モニタ監視者）、整備者、機体監視者、保安員による構成が基本である。ただし、作業現場（農地等で人家がなく、周辺に障害物がない場所）の状況によっては、現場班長と操縦者の2名のみで作業を行うことも可能である。

現在、UAVは一定時間以上（3時間以上）の操縦経験と知識があれば、免許、資格を有していなくても操縦が可能である。しかし、当社ではより安全で確実なUAVの運航のために、UAV操縦の社内訓練を定期的実施して担当者の技能向上を図っている。訓練は実際の作業現場を想定して実施し、なかでも離着陸時や緊急時に必要な手動運転時の実技訓練に重点を置いている。

今後はUAVの普及に伴い、その使用が^{ふくそう}輻射電波干渉などのトラブルが増加する可能性が高い。当社ではその備えとして、担当者による電波法の基礎知識（三級陸上特殊無線技士）や民間専門資格（ドローン検定）などの習得を推奨している。UAVの安全運航には技能だけでなく、実用知識も備えた作業者の育成が重要である。



写真-2 飛行訓練風景



写真-3 作業分担体制による操縦訓練



写真-4 手動運転訓練

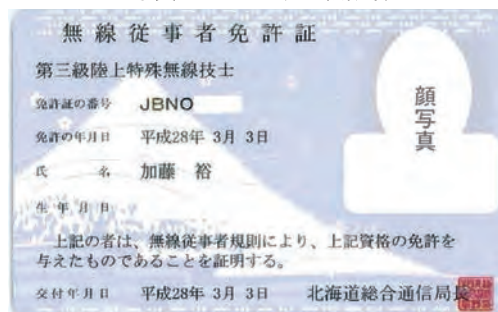


写真-5 取得資格（三級陸上特殊無線技士）



写真-6 取得資格（ドローン検定3級）

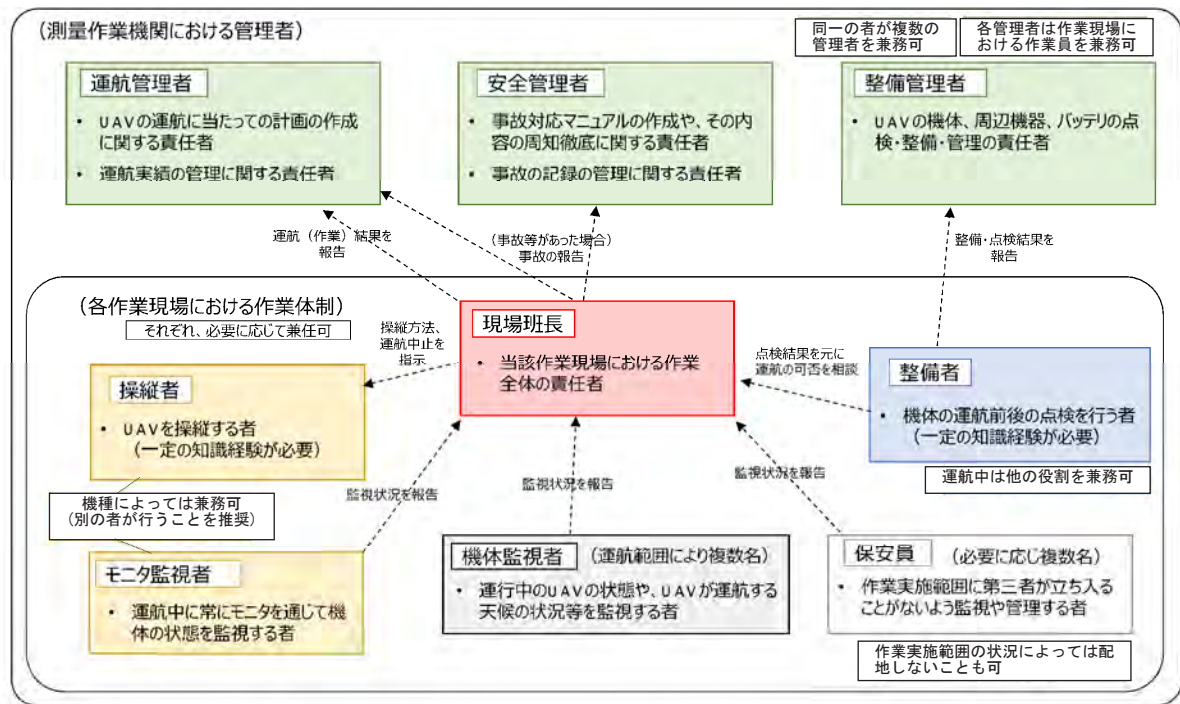


図-2 体制と役割のイメージ（安全基準（案）より）

2-4 その他

(1) 記録、管理

万が一事故等が発生した場合に、その原因等を適切に把握するため、UAVを使用した状況や実績について、適切に記録し、その記録を管理することが必要である。記録する項目としては、運航実績、事故、機体の点検・整備、バッテリー使用状況が該当し、当社においても、点検・整備記録簿（図-3）とデータ取得時にソフトウェアに記録し、管理を行っている（フライト毎に記録を作成）。

(様式1) 無人航空機の点検・整備記録

(点検機体名: フォトリソ)

点検日	点検者	点検項目	点検結果	交換部品等
2016 8.10	加藤	外観	OK	
		異常の有無	OK	
		回転の状態	OK	
		プロペラ	OK	
9	9	外観	OK	
		損傷	OK	
9	9	曲がり	OK	
		外観	OK	
9	9	損傷	OK	
		ネジのゆるみ	OK	
9	9	電気系統	OK	
		コネクタの状態	OK	
9	9	ケーブルの状態	OK	
		送信機	OK	
9	9	外観	OK	
		スティックの状態	OK	

特記事項
 ・2016 232 点検記録
 ・気温 24℃ 天候 曇り
 ・風 2m/s 強い
 ・視界 OK
 ・時間 12分程度
 ・バッテリー OK
 ・他人なし
 ・自衛隊

図-3 記録内容

(2) 気象条件

気象変化による運航の可否は、運航予定地のピンポイント気象予報と、現地での簡単な天候観測から判断している。

当該機の耐風能力は風速10m/sであるが、安定飛行のための上限風速は一般的に5m/s前後といわれている。一方、風速と高度の関係は次式で表わされる。(出典：理科年表)

$$V_z = V_R \left(\frac{Z}{Z_R} \right)^{\frac{1}{n}}$$

V_z : 高さ Z m での風速 (m/s)

V_R : 基準高さ Z_R m での風速 (m/s)

n : = 7 (平野、草原)

UAVの飛行高度80mでの風速を5m/sとしたとき、地上1.5mで観測される風速は2.8m/sとなる。この結果から、当社の運航内規では、地上観測で風速が3m/s未満のときを運航可能日としている。

(3) 野外生物への影響

UAVの飛行中に、カラス等の鳥類が周囲を飛び回る事例が報告されている。これは、縄張り意

識の高い鳥類の興味を惹きやすいためだといわれ、最悪の場合は攻撃を受けて墜落することも懸念される。

また、UAVが発する機械音は野外の音環境に影響を与えるため、場所や時期によってはその影響の低減または回避を求められることがある。

(4) 高圧電線の影響

高圧電線や鉄塔がある場合、電磁波の影響でUAVの操縦機、GNSS、磁気コンパス等に影響する恐れがあるため、近くを飛行する際は十分に注意しなければならない。このように、現在のUAVには電磁波等の目に見えない要因で、墜落する可能性も含んでいるため、いろいろな要因を想定し、計画的な運航を行わなければならない。

3. 活用事例

今回、国営緊急農地再編整備事業「ニセコ地区」でUAVを利用した標高値と実測（TS）、地上（3D）レーザー、DMデータ（数値地形図）のそれぞれから得られた標高値との精度差と有効性について検証したので、その結果を報告する。ニセコ地区での業務の標準的な進め方については、ほ場全体の現地測量後に設計内容、整備範囲の決定を行うのが通常であるが、豪雪地帯であるため調査期間に制限がある。そこで、UAVを活用（空中垂直写真に

よる三次元点群データの取得）することで実測測量前に概略設計を行い、整備範囲の確認後に実測測量を行うこととした。これにより、ほ場の立入りが必要最小限となるなど、作業効率の向上と調査期間の短縮が図れると考えた。なお、三次元点群データの処理及び撮影写真の合成処理方法については、UAVを用いた公共測量マニュアル（案）、デジタルオルソ作成の公共測量作業マニュアルに準拠し作成しているため、本稿では作成の詳細については省略する。

3-1 検証結果

検証を行ったほ場は、農作物の収穫後だったため、植生による影響はなく、UAV標高値と実測（TS）値との誤差は±10cm程度であることを確認した。また、地上（3D）レーザー、DMデータから取得された標高値との差も小さいため、空撮によるデジタルオルソの作成、標高値の取得は有効と考えられ後続作業への影響は少ないと考えられる。

表－1 撮影情報

項 目	情 報	備 考
撮影年月日	平成28年8月10日	
撮影高度	80m	
気温	24℃	
風速	2m/s	



写真－7 デジタルオルソ

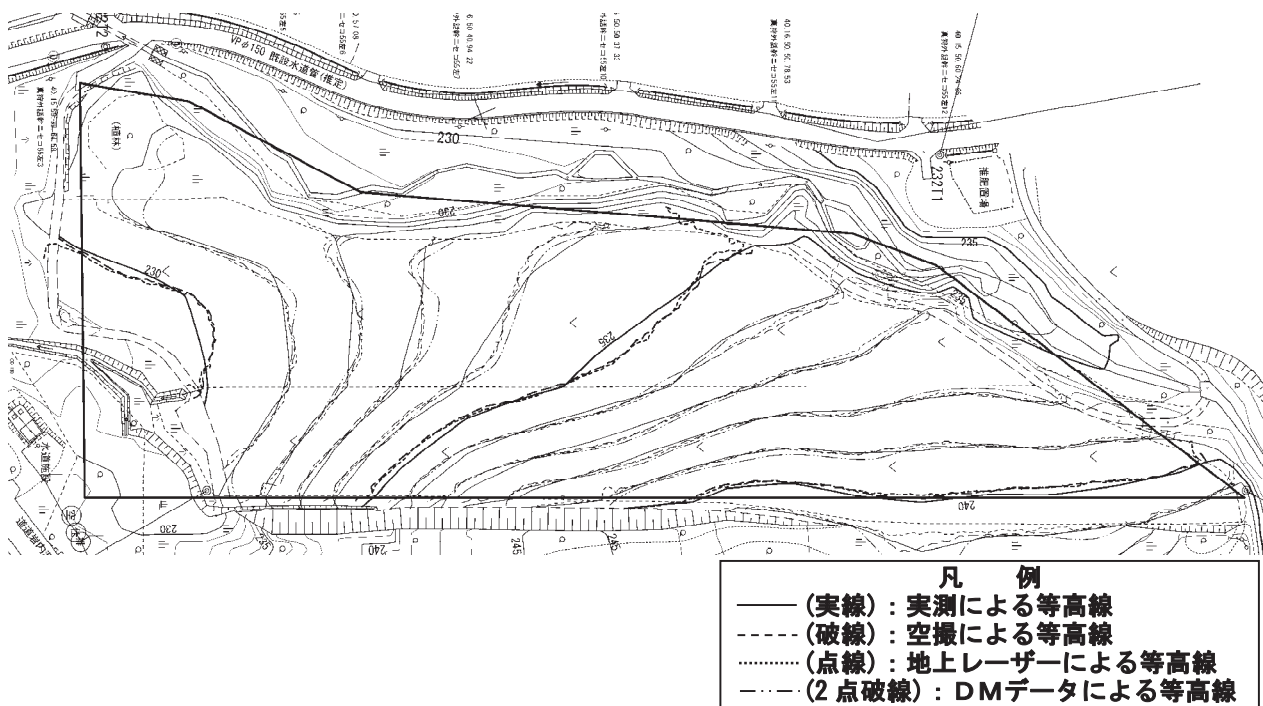


図-4 植生なし：等高線による地形比較

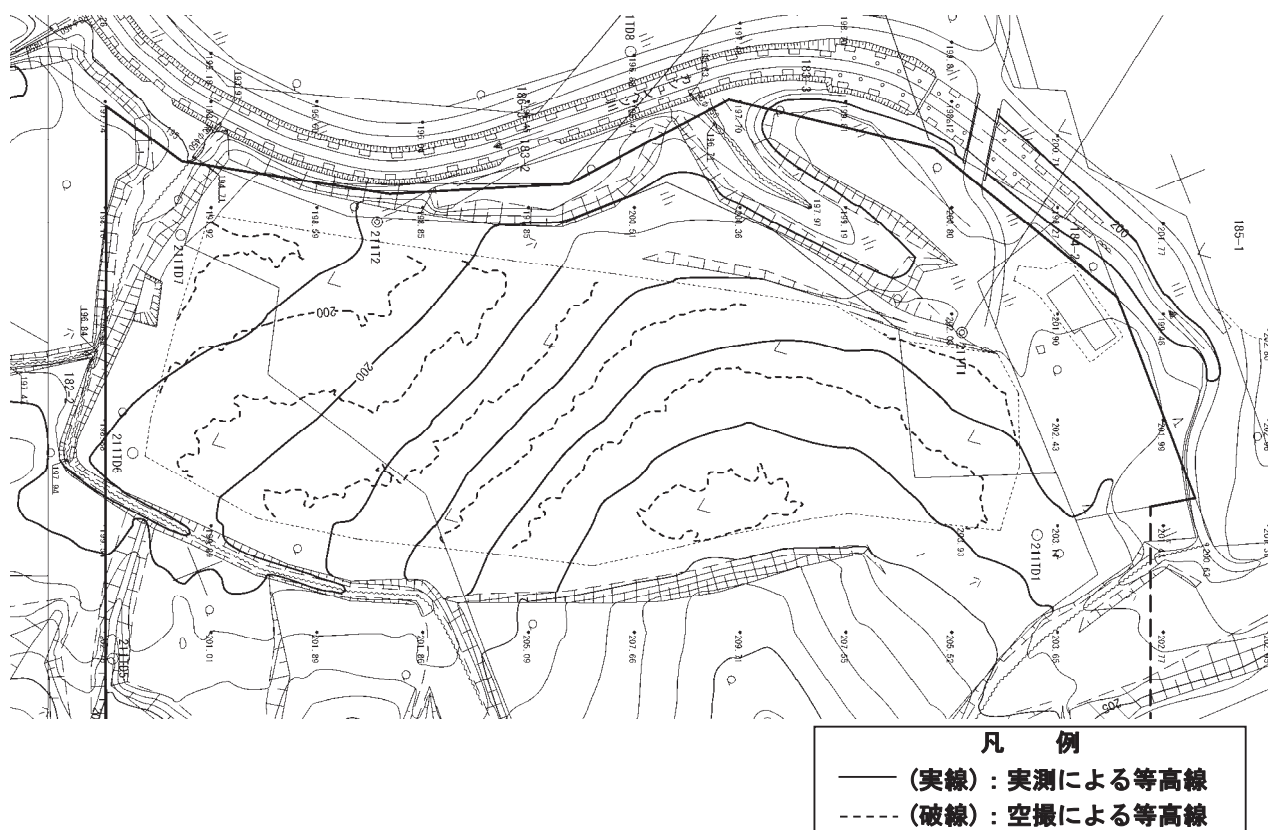


図-5 植生あり：等高線による地形比較

3-2 植生（作物等）による影響

同地区内の別のほ場で、植生がある状態でのUAV標高値と実測（TS）値の標高差については、植生

がない場合が±10cm程度の誤差であるのに対し、今回の調査結果では、最大で+100cm以上の標高差が生じた。これは、植生の葉、枝、耕地面の標高値を

それぞれ取得し、平均化するため誤差が大きく生じ、結果として、現況は一定の傾斜が形成されていても等高線の生成は不陸（凹凸）を示し、誤差が大きい（図－５参照）。このように、概略の設計を行う場合には誤差を意識した設計計画を立てなければ後続作業に影響が出るため、注意が必要である。

４．おわりに

本報では、UAV活用における安全面の取組みと当社における活用事例報告を示した。社会から許容される安全性の確保には、技術的な改善や法律・制度の整備だけでは不足する部分が数多くある。利用者が正しい理解と適正な取り扱いを行い、事故を起こさないよう継続的な教育訓練により安全性を確保することが重要と考える。

また、インフラ管理では目視点検の代替えとして、人が行けない、行きづらい場所等の活用実績、提案事例も多く、作業従事者の安全確保、負荷軽減、点検作業そのものの効率化、省力化や点検結果の品質向上にも期待され、UAVの利用分野の広がりに可能性と期待が高まっている。

三次元点群データの取得による標高誤差については、誤差の要因を理解した調査を実施することで、災害発生時の緊急対応や人の立ち入ることができない場所での利用が期待され、概略設計も可能となるため非常に効果的な調査手法であると考ええる。

本稿の報告が、業務を行ううえで参考の一助となれば幸いである。

最後に、このような投稿の機会を与えて頂いた関係各位の皆様に深く感謝申し上げる次第である。

（株）ドボク管理）

参考文献

- 1) UAVを用いた公共測量マニュアル(案)
(H28. 3)
- 2) デジタルオルソ作成の公共測量作業マニュアル
(H16. 1)

現地状況を効率的に把握するための UAVと3Dレーザースキャナーの利用

佐々木 尊

1. はじめに

本稿は、約20kmに及ぶパイプラインの基本設計のうち、路線配置計画策定に必要な土地利用状況、地形状況、植生状況などの現地情報を効率的かつ安全確実に取得した方法を紹介するものである。

対象の基本設計では、測量調査の予定はなかったが、路線配置上の現地確認において、延長が長大であること、道路沿いの左右を確認しなければならないこと、狭隘な山間区域があること、現況地目を把握しなければならないことなど、多岐に渡る現場作業や記録写真の撮影などが必要であった。しかし、これまで実施してきた静止画（スナップ写真）撮影や踏査による方法では、現地の状況を詳細に把握することが難しい面があり、このためより分かりやすく短期間でデータを収集し、記録として保持できるようにする必要があった。また、設計の課題となっている狭隘な地形条件区間では、切り立った露岩法面と河川が近接した部分があり、路線配置、施工計画、仮設計画などの検討に必要な現地情報を詳細に補足する必要があった。

このため、従来の手法ではこのような区間の作業の安全性や作業性の向上が見込めないと判断し、現地3DレーザースキャナーとUAVの情報を組合せ、点群データ^{※1}を合成して現地情報を把握することが有効と考えた。

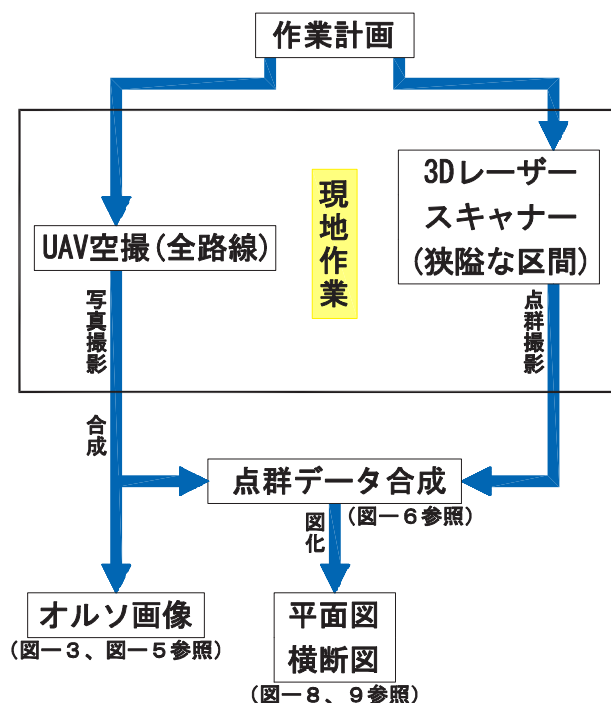
上記のことから、将来の設計手法と成果のビジュアル化に向けた対応として、全路線のUAVによる空撮と狭隘な溪谷部の3Dレーザースキャナーによる撮影を行い、その後、撮影写真の点群処理、点群の合成、オルソ画像^{※2}の構築を行った。これらのデータを用いて、終点付近に造成予定のファームポンド

の配置を検討するための平面図、及び狭隘な区間の路線配置等を検討するため、合成点群データから平面図と横断面図の作成を試行した。

2. 作業フロー

作業のフローを図－1に示す。最初にドローンの飛行計画と標定点の設置方法、飛行時の注意事項の確認などの作業計画を行う。次に現地調査として全路線のUAVによる空撮と狭隘な溪谷部の3Dレーザースキャナーの撮影を行う。

最後に取得したデータの編集作業を行い、路線のオルソ画像の構築、及びファームポンドの配置を検討するための平面図と狭隘な区間の点群データからの平面図、横断面図を作成する。



図－1 作業フロー図

※1 点群データ：コンピュータで扱う点の集合。空間は3次元であり、直交座標（x、y、z）で表現される。

※2 オルソ画像：空撮写真の傾きと中心投影、土地の比高等による画像の歪みを補正し、地図のような正射投影法に変換した写真地図。

3. 作業計画

空撮は、パイプラインの路線配置計画図上の中心から左右30m離れの範囲について、現状の最新土地利用状況や道路及び河川等の配置状況、立木の植生状況の把握を目的に行った。

今回の調査は基本設計で、概括的に現地状況を把握することが主体であったため、「UAVを用いた公共測量マニュアル（案）〔国土交通省国土地理院〕」には準拠せず、撮影写真の合成を目的に、上空から視認が容易な道路を基本に標定点を150～250m間隔で配置した。

4. UAV空撮

UAV飛行時の障害物との接触による墜落事故防止のため、以下の点に注意して飛行した。

- 1) 周辺障害物の高度を飛行前にレーザー距離計にて確認を行い、自動航行する際の高度設定では、障害物以上の高度に設定して飛行をさせる。
- 2) 飛行状況を確実に確認できるよう、撮影範囲内の上下流と中央に監視員を配置し、トランシーバーにて飛行状況の情報交換を行う。

- 3) UAVの離発着は上空が開け、かつ周りに障害物がない個所として、道路沿いの取付道路を基本に飛行させる。

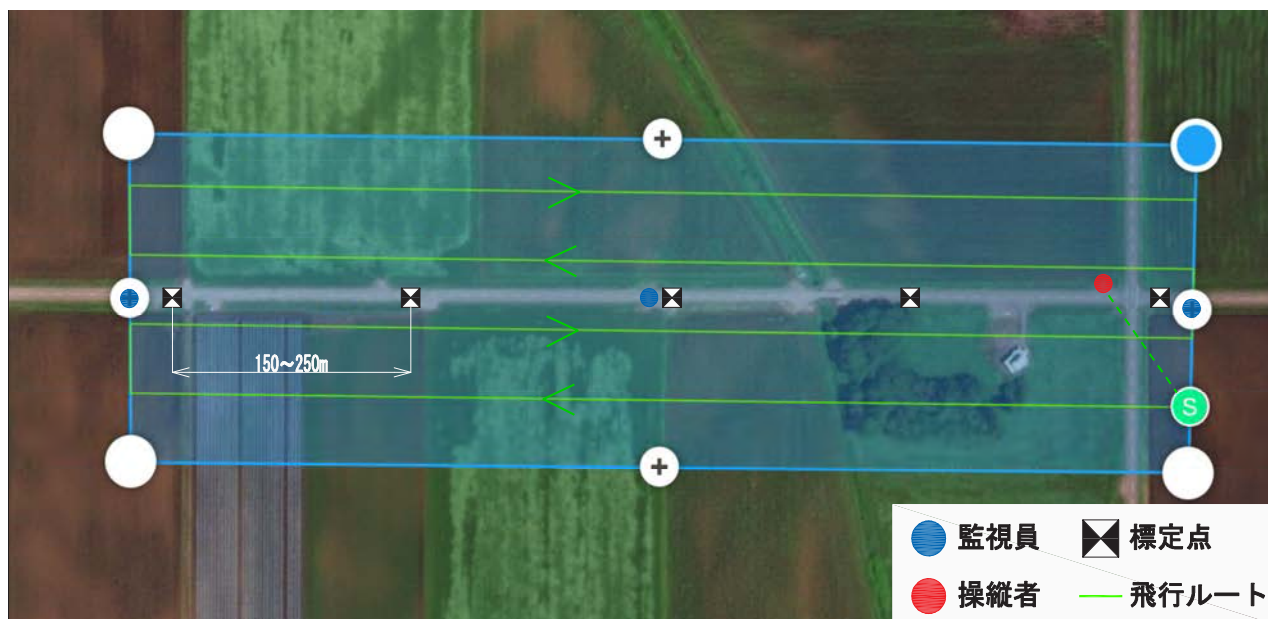
飛行設定はUAV専用のソフトウェアを用いて「撮影高度、写真撮影間隔、写真ラップ率等」を表－1の通りとした。また、飛行ルート、監視員や標定点の配置を図－2に示す。

表－1 飛行設定

飛行高度	80m ※障害物が80m以上の場合は高度の再設定を行う。
空中写真重複度	・飛行経路上のオーバーラップ率 80%以上 ・飛行経路間のオーバーラップ率 60%以上

5. オルソ画像の編集、作成

UAVで撮影した写真は、Sfm^{※3}（Structure from Motion）ソフトウェアを使用し、オルソ画像を作成する。Sfmソフトウェアによる作業を次ページに示す。



※Google map を引用

図－2 飛行ルート

※3 Sfm：ある対象を撮影した複数枚の写真から、対象の形状を復元する技術の総称で、解析処理を行うことで主に被写体の三次元形状、被写体の寸法、オルソ画像、三次元点群などのデータが取得できる。

1) デジタルカメラによる写真撮影

デジタルカメラを用いて対象物の写真を撮影する。地形を対象とする場合はUAVにて平面写真の撮影を行う。

2) 写真撮影位置の推定

複数の画像から写真撮影位置を推定する。

3) 三次元モデルの構築、座標値の入力

複数の写真に写っている対象物の同一点を計算し、対象の三次元モデル（点群データ）を構築する。この地形モデルに対し、標定点の座標を入力し、位置座標を持つ地形モデルを生成する。

4) 空撮写真の貼り付け

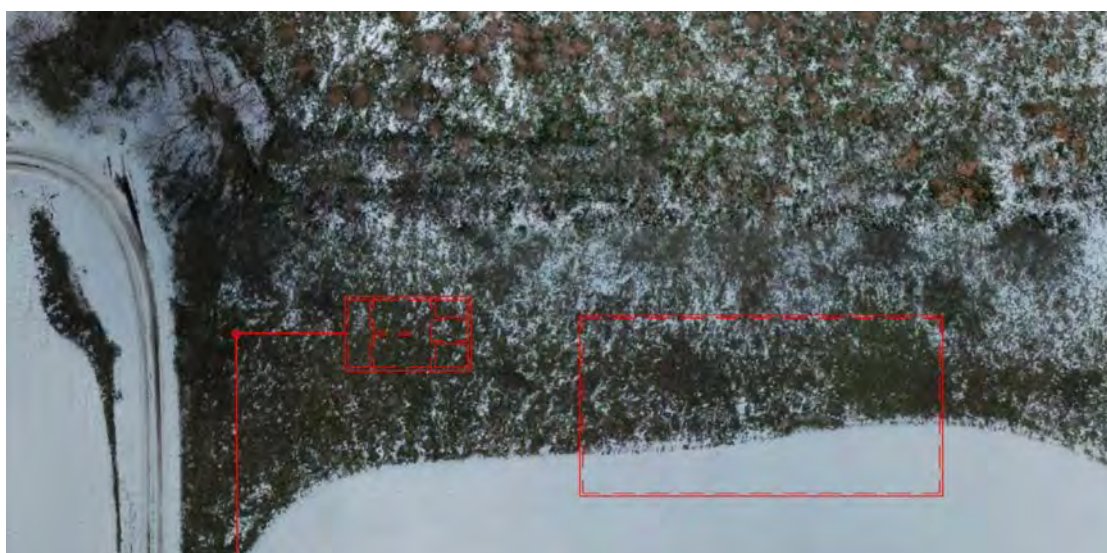
三次元モデルの表面に空撮写真を張り付けて、立体モデルを作成する。

5) オルソ画像の構築

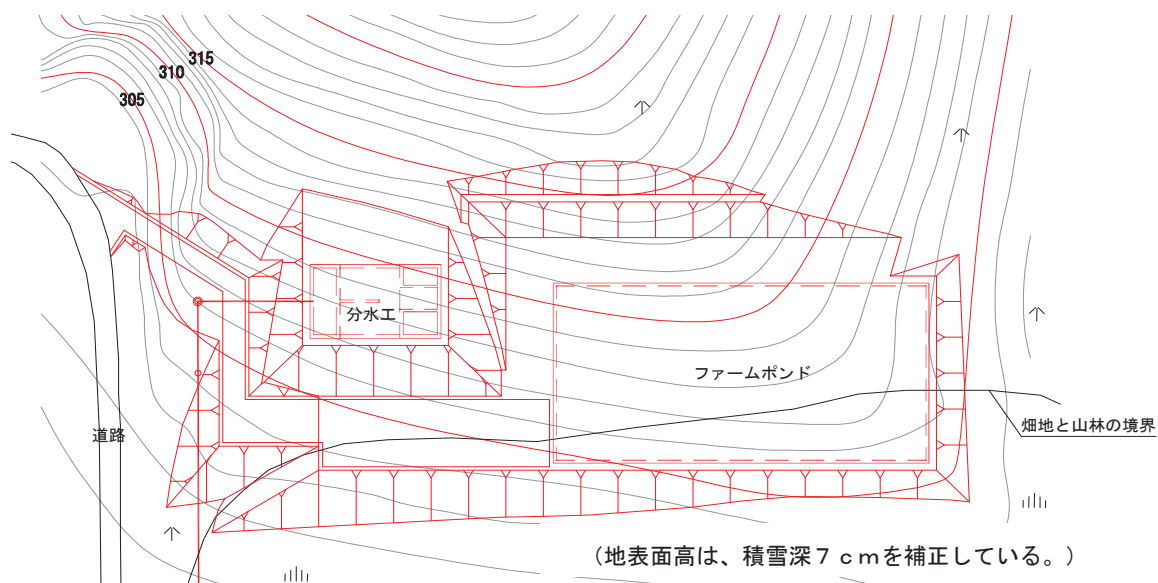
写真画像を合成処理し、地表面のオルソ画像を構築する。

6) 処理結果の出力

上記の作業手順により、路線終点のファームポンド造成予定地のオルソ画像（図－3）と、点群データを基に地形平面図（図－4）を作成した。



図－3 ファームポンド地点付近のオルソ画像



図－4 ファームポンド地点付近の地形平面図

6. 三次元点群データの合成と必要性

UAVによる空撮は、カメラを90度下方向に傾け空撮するため、平面的な情報の収集には有効であるものの、傾斜面などは草や木などの障害物の影響によりデータが欠損しやすく、三次元点群データに編集した際、地形情報に誤差が生じることがある。

今回の路線の一部では、狭隘な区間（写真－1）の法面部分や河畔林と路線との取り合い、路線と周辺構造物の取り合いを撮影する必要があるため、UAVの空撮データに加え、地上からの3Dレーザースキャナーにより取得した三次元点群データを合成することで、欠損部分を補填することとした。



写真－1 狭隘な区間

7. 3Dレーザースキャナー撮影

3Dレーザースキャナーは、計測対象にレーザーを放射状に照射することで、表面形状の三次元座標

を取得することができる計測機器であり、毎秒数万点以上の速度により非接触で計測し、高密度で面的な点群データが得られる。照射するレーザーの点数が多く、透過性が高いため、密度の低い森林では、植生の形状とともに地上面の点群の取得も可能な特性がある。

今回撮影に使用した3Dレーザースキャナーの仕様を表－2に示す。

表－2 3Dレーザースキャナー仕様

寸法	180×308mm
重量	約9.6kg
動作環境温度	－10℃～50℃
測定距離	600m
計測時間・点数	42,000点/秒

8. 平面図、横断面図の作成

空撮写真を合成し、ひずみ補正を行って作成した狭隘な区間のオルソ画像（図－5）、3Dスキャナーより得たデータを合成した三次元点群データ（図－6）と3D画像（図－7）を示す。このデータから上空からの二次元画像では明確ではなかった法面の状態や並行する道路、河川の様子が視覚可能となる。さらに点群データから等高線や地盤高を計算し、作成した平面図（図－8）、横断面図（図－9）を以降に示す。



図－5 オルソ画像

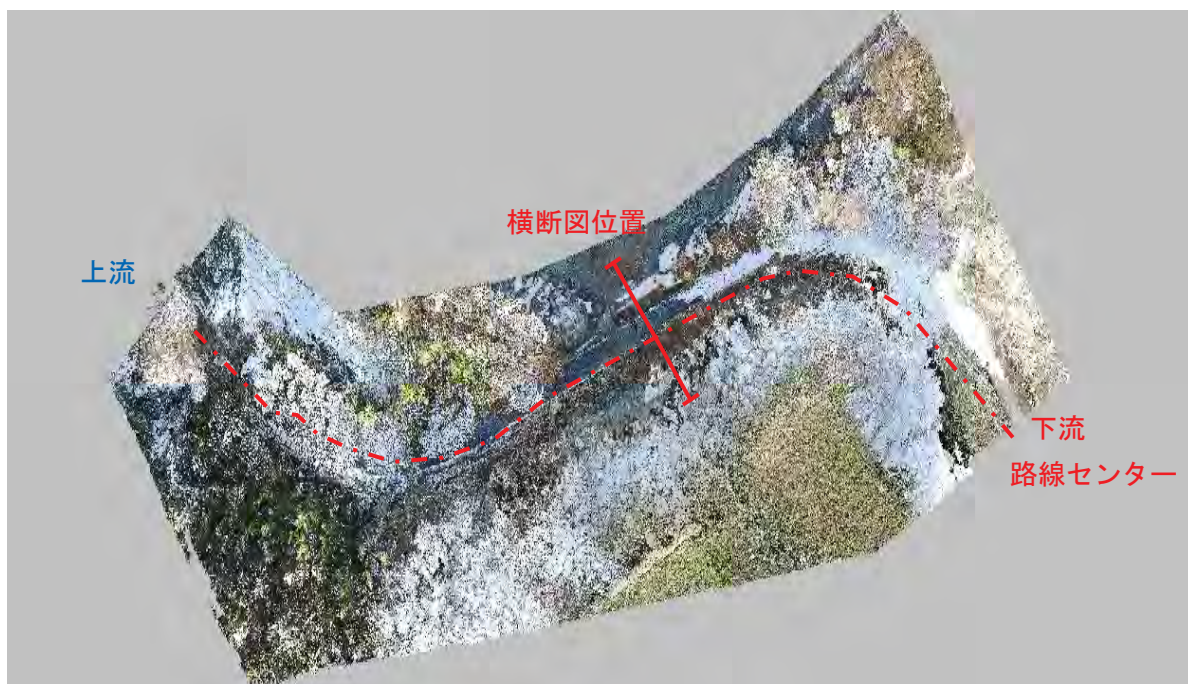


図-6 点群データ

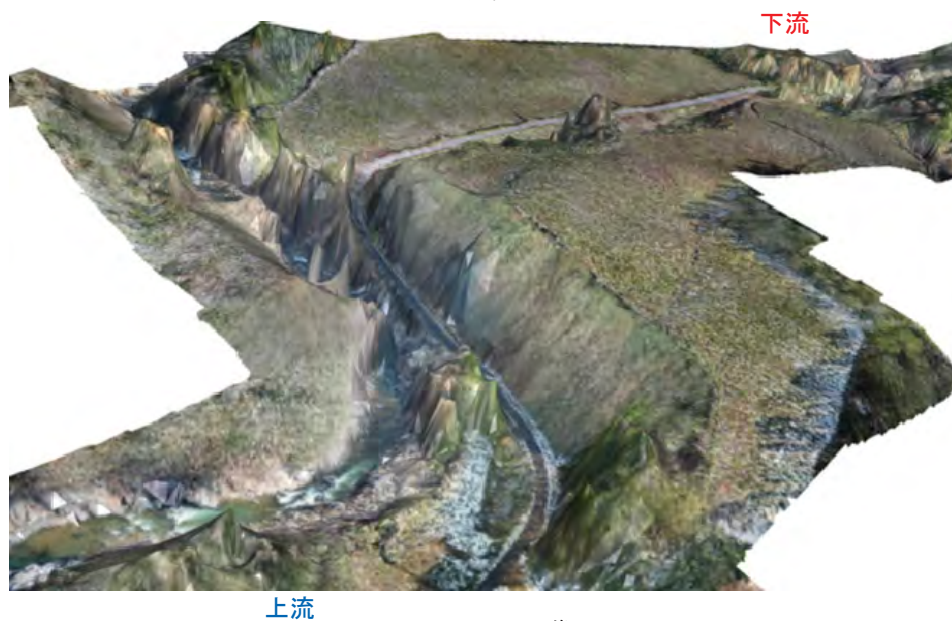


図-7 3D画像

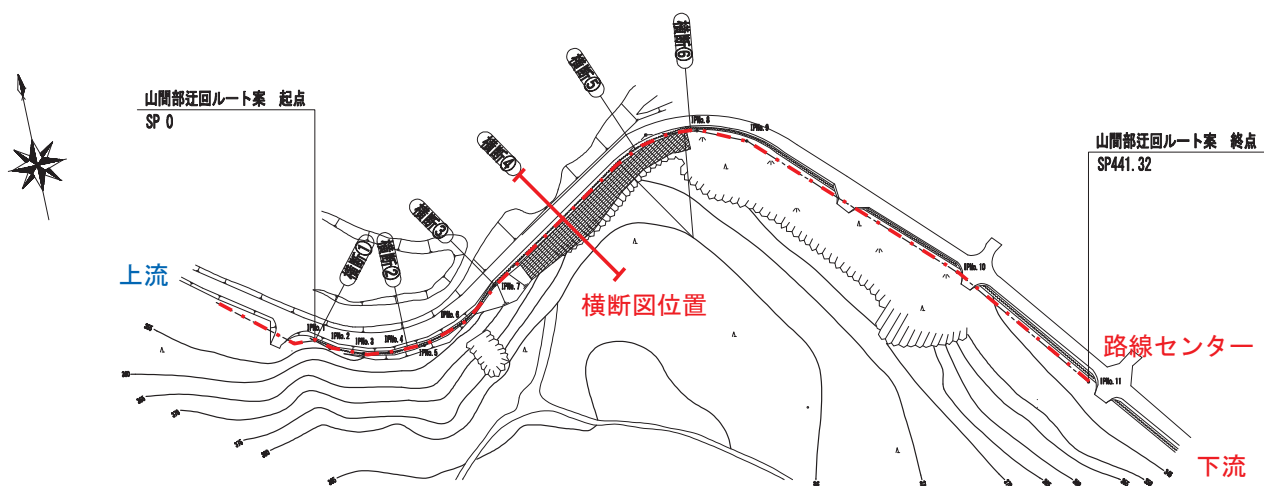
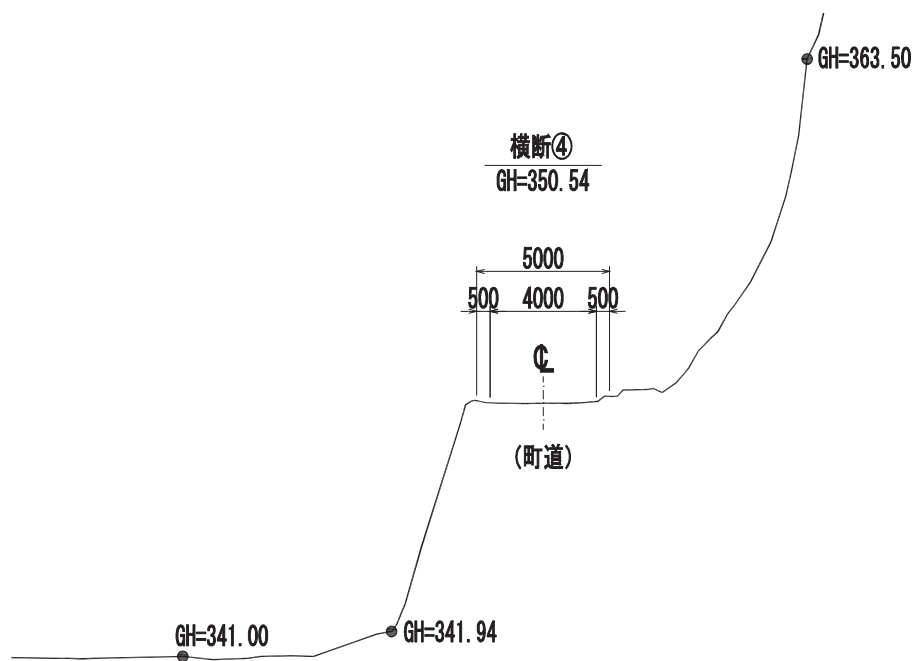


図-8 平面図

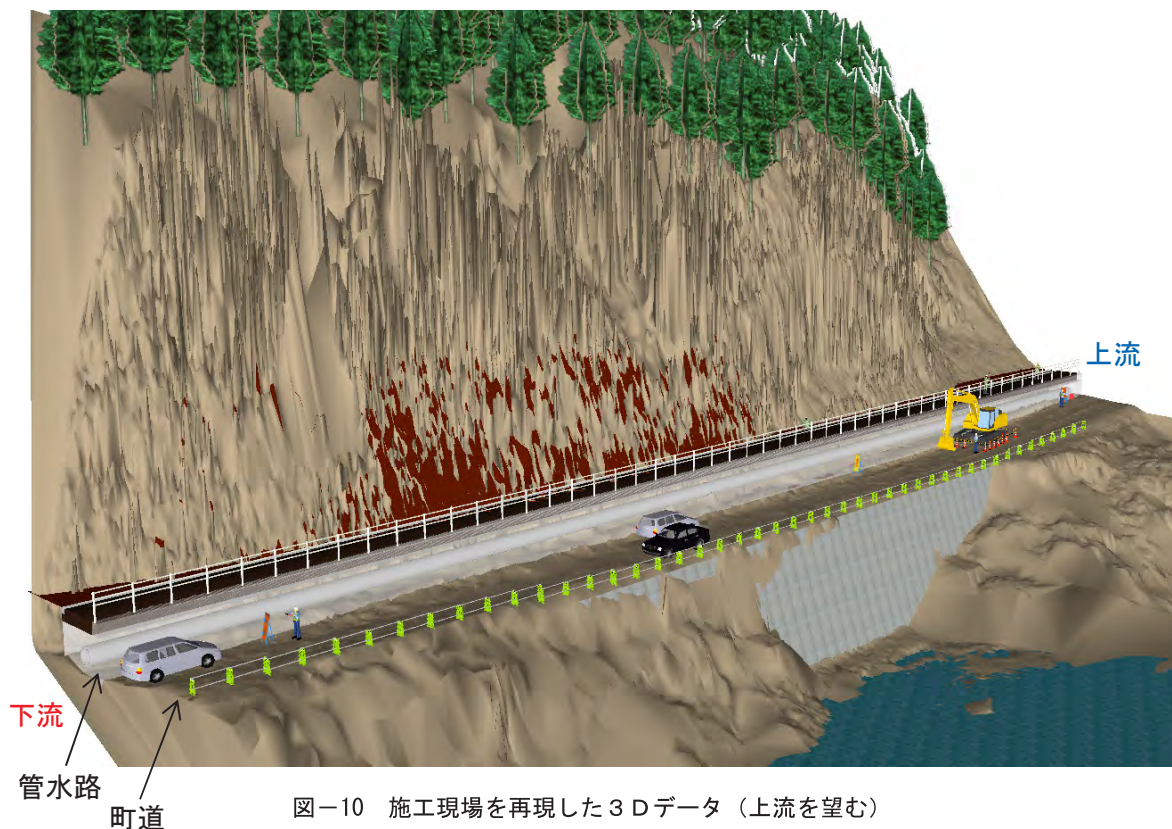


図－9 横断図

9. 施工計画への3Dデータの活用

今回作成した狭隘な区間の3D地形データを基にして、仮設備を含む施工の流れ及び周辺の地形状況と施設をイメージできるよう施工の3Dデータを作成した。この3Dデータは、拡大、縮小、視点を自

由に変わることができ、上流向の視点（図－10）、下流方向の視点（図－11）、施工者の目線（図－12）など、実際の施工現場の状況を再現することが可能で、施工性、安全性に配慮した施工計画の検討など、多様な目的への活用の可能性がある。



図－10 施工現場を再現した3Dデータ（上流を望む）

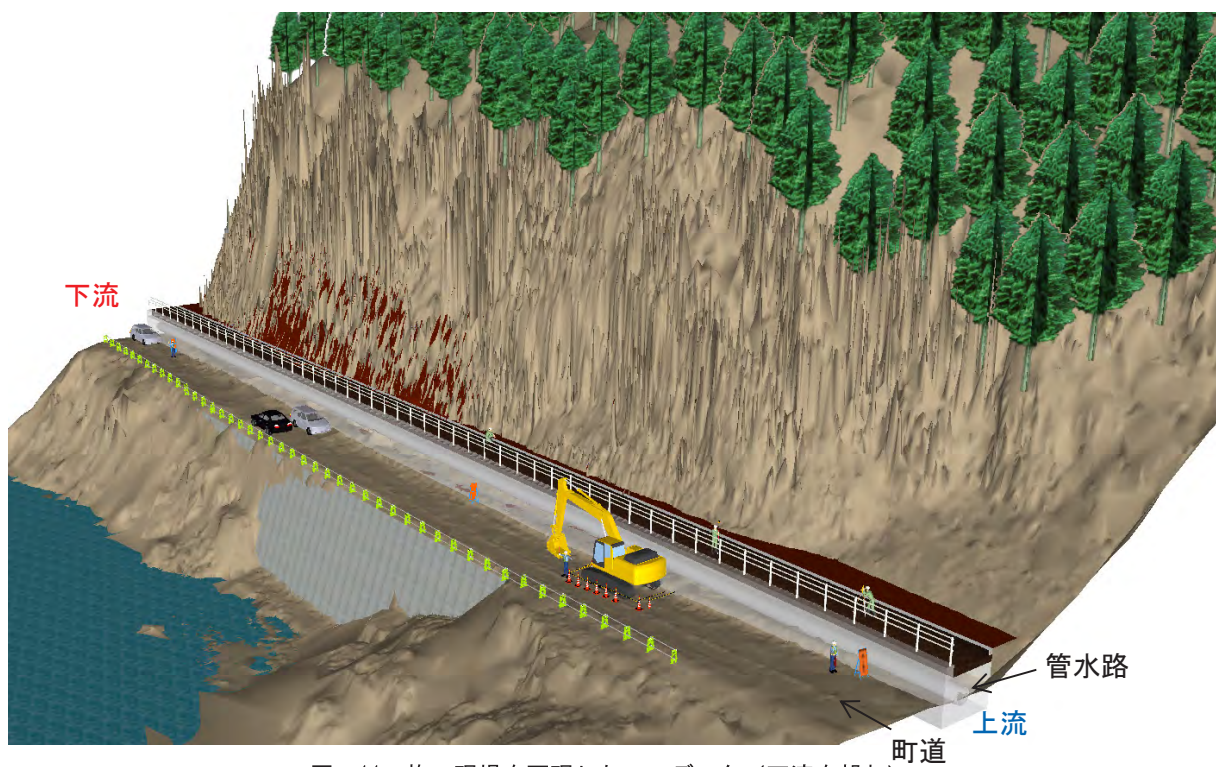


図-11 施工現場を再現した3Dデータ（下流を望む）



図-12 施工現場を再現した3Dデータ（施工者の目線）

10. おわりに

今回の調査では、UAVの空撮により得られた写真からオルソ画像を作成し、約20kmの路線配置計画へのインプット情報となる地形の土地利用状況を把

握することができた。また、UAVと3Dレーザースキャナーの点群データより作成した平面図と横断面図から、狭隘な溪谷部の現地情報を短時間で詳細に補足することができた。

今後の課題としては、以下の点があげられる。

- ・ 3Dデータの編集作業に用いるソフトウェアが多種多様にあるため、活用に向けた一連の統合された簡易なソフトが必要である。
- ・ 今回は基本設計の路線配置計画に対する作業として、土地利用状況等の把握が主体であったため、標定点の配置は簡易としたが、実施設計で活用する際には、「UAVを用いた公共測量マニュアル（案）〔国土交通省国土地理院〕」に準拠することで作業量が増えるほか、ほ場内にも標定点を設けなければならない、土地所有者の同意が必要となる。
- ・ 森林地帯でのUAVの空撮で、地表面高を計測する際に、植生が障害となる場合があるため、撮影時期の選択、3Dレーザースキャナー搭載UAVの使用等の対策が必要である。

上記の課題に向き合い、今後はさらなるUAVと3Dレーザースキャナーを使用した技術の習熟を図っていくこととしたい。

（㈱フロンティア技研）

報 文 集 第30号

平成30年 9 月28日

編 集 (一社)北海道土地改良設計技術協会

広報委員会 荒金 章次・松崎 吉昭・山岸 晴見・源 秀夫
福田 正信・下谷 隆一・小笠原 武・辻 雅範
福山 正弘

発 行 (一社)北海道土地改良設計技術協会

〒060-0807 札幌市北区北 7 条西 6 丁目NDビル 8 階

電 話 (011)726-6038 F A X (011)717-6111

印刷 (株)三誠社 電話 (011)622-9211



●表紙写真●

第32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

「代掻き始動」

ー黒松内町にて撮影ー

吉村登美子 氏 作品

A E C A

HOKKAIDO

Agricultural Engineering Consultants Association