

# 報文集

平成19年度

第19号

社団法人 北海道土地改良設計技術協会

# 報文集 第19号 目次

H幹線用水路の新たな水管理の展開 .....	1
	金 津 麻里子 植 屋 賢 祐 西 恭 二
システムとしての農業水利施設における性能規定化と安全性の照査 .....	13
～ アセットマネジメント技術の確立に向けて～	
	阿 部 幸 継
頭首工のコンクリート診断調査について .....	25
～ 今後の頭首工の設計・施工における留意点～	
	野 村 憲 裕
各種前処理が乳牛ふん尿スラリーに及ぼす物理性変化とエネルギー評価の比較 .....	37
	寺 山 貢 平
独立電源無線観測装置を用いたタンチョウのねぐら調査 .....	41
	田 中 真 也
特定外来魚を捕まえ、野菜とリンゴを育てた話 .....	47
	浅 見 和 弘

# H幹線用水路の新たな水管理の展開

金津麻里子 植屋 賢祐 西 恭二

## 1. はじめに

H幹線用水路(以下、幹線用水路と云う。)は、昭和4年に完成した土水路のかんがい溝であったが、かんがい水量の変更(25m<sup>3</sup>/s⇒42m<sup>3</sup>/s)により、昭和33年～54年にかけて、国営事業によりコンクリートライニング水路に全面改修がなされている。水路延長は、空知川と石狩川の合流部から夕張川に至る南北約79km、受益地は8市町村に跨る長大用水路である。農業専用としては日本で最も長い用水路であり、平成17年には疎水百選にも選定され、地域基幹産業である農業の生産性向上と農業経営の安定化は勿論、持続性ある地域社会と農村空間の形成、さらには地域文化形成にも寄与してきた。

一方、経年による施設の老朽化と近代化用水の確保という新たな水需要等に対応し、昭和54年には通水機能の拡大、防災・安全機能の向上等、機能拡充を図るとともに、管理施設を近代化して水利利用の安定化と高度化を図るため、国営かんがい排水事業が着手された。水路改修は、全面改修を基本としつつも施設機能評価に基づく投資対効果から一部は既設利用され、事業は平成19年度の事業完了を目前にし、新たな水利秩序の形成に向けた準備が始まっている。

本報では、従前の水管理上の課題を踏まえて、本国営事業により新たに導入された水管理システムの概要と本用水路が有する固有の課題に対応した管理支援システムを紹介するとともに、高度水管理システム構築(効率的で合理的水管理の実現)に向けた取組み事例を紹介する。

## 2. 従前の水管理の課題

従来の幹線用水路の管理は、土地改良区を本部とし、その出先機関となる5つの事業所のほか、頭首工、揚水機場、放余水工操作室(管理人詰所)に要員が配置された人的管理を基本に行われてきた。

約80kmもの長大な用水路の水番や施設操作は、現場での常駐と絶え間ない巡回による確認と操作を余儀なくされたが、永年蓄積された、優れた管理経験と技術が円滑な水管理を実現していた。

具体的には、最も重要となる水位、水温等の情報収集は、6:00～18:00間において3時間毎に定期的に、水管理のポイントとなる放水工9箇所のほか利水ブロック引継ぎ地点、分水点、補給地点等の多地点現場を巡回し、組織的連絡系統(操作室→事業所→本部)と定型化された記録方式(地点別水深、水温表)により円滑な水管理を可能とした。一方、これらは極度に「人」に依存した管理であるため、多地点の巡回、電話連絡、手書きによる記録には多大な労力が必要であった。加えて、流量変更時には長大開水路であることから用水到達時間が長く、水量到達の水先確認を定期巡回とは別に補足的に行う必要があり、管理の合理化を阻む大きな課題であった。

また、本用水路は水田かんがいに必要な水頭を確保するため、等高線に沿って合理的に配置されたコンターキャナル方式であるが、一方で、この方式の開水路として避けられない山地および高位部からの流入水による周辺への溢水被害の危険性があり、洪水時等においては昼夜問わずの放水工管理にも多大な労力を要していた。

### 3. 水管理システム概要

幹線用水路の通水機能の拡大、送配水機能の改良と、防災・安全機能の向上がなされ、管理する施設が拡充、高度化されたなかで、水管理の効率化や管理業務の合理化を実現するためには、従来にもまして監視すべき項目は多岐にわたる。平成17年度に水管理機器の設置工事を行い（一部未施工）、同年、集中水管理センターも完成し、平成18年度から集中管理室での運用が試行された（写真－1）。



写真－1 集中水管理センター集中管理室

水管理システムの導入により構築された機能は以下のとおりである。

#### （1）遠方監視と現地操作の組み合わせ

導入した水管理システムは、8市町村に跨る広大な受益を管理している土地改良区が、国営造成用水施設による水管理を円滑かつ合理的に実施できるよう、用水路水深・流量・水温・雨量・除塵画像監視設備を31施設に配置し、集中水管理センターにて情報を一元管理することが可能である。

集中管理室では、パソコン2台により監視施設の遠方監視を行っている。1台は監視施設より伝送されたデータの演算処理および表示等を行い、もう1台は気象観測装置の監視およびカメラ設置地点の画像監視を行っている。監視項目は、観測データや演算処理された加工データ、状態監視な

ど250を超える。ただし、集中水管理センターからの遠方操作（テレコン）は導入していない。

水管理システムを駆使した監視に加え、事業所の土地改良区職員および操作室の管理人等による定期的な巡回・点検・除塵作業、ならびに監視施設で異常・故障が発生した場合や洪水時等の緊急的な現地での操作を組み合わせることが、幹線水路全体の安全で的確な水管理にとって合理的かつ現実的な方式と判断された。

#### （2）情報のネットワーク化

集中水管理センターでは、最新のデータや蓄積された過去のデータを、各事業所および土地改良区職員が活用できるよう、Webページを作成してインターネット上に配信している。各事業所および土地改良区のパソコンでは、集中水管理センターのWebページにアクセスして最新データや過去のデータの閲覧およびダウンロードができる。

また、水深の上昇や低下および機器の故障や異常については、集中水管理室および事業所に設置されたパトライトの点滅および警報音で知らせると共に、指定されたパソコンや携帯電話に警報メールが送信される。この警報機能により、巡回による確認の回数の削減や故障・異常の早期発見など管理労力が軽減され、安全機能が向上することがねらいの一つである。

さらに、放余水工管理を支援する洪水シミュレーションシステム（後述）や水田栽培管理（後述）を支援する多地点水温情報の共有など、ソフトウェア開発による水象・気象情報の共有化により管理業務の効率化を図ることとした。

### 4. 水管理の合理化実現に向けた調査分析

本地区の水管理システムは、事業実施中の比較的早い時期から計画・設計に着手し整備が進められてきた。これは、大規模・広域の用水施設群を対象とする高度化されたシステムにおいて、適正運用による水管理の合理化実現を図るためには、

事業期間中に試験的な運用期間を設け、実際の流況下で計測や演算処理の精度検証等を行い、必要により対策を講じることが重要との判断に基づく。以下に、水理検証（流量観測、状況分析）による対策実施の事例を紹介する。

### （１）流量観測

導入した水管理システムは、将来の特定多目的ダムからの補給に係る取水管理の円滑適正化を図るため、従前の水深管理に加え、流量管理を併用することとし、**図－１**に示す幹・支線用水路の主要46地点を監視ポイントとして、流量計測32地点（超音波式）、水位計測14地点（流量演算）で遠方監視することとした。



図－１ システム監視画面イメージ図

流量観測は、幹線用水路および分岐、合流など関連する他の用水路のうち、水路改修等による流況変化が予想された全25地点を対象とした。このうち20地点は、システム機器が整備済みであり、残り5地点は、平成19年度に設置が予定される地点である。なお、対象水路はいずれも開水路である。

観測は、調査期間が7月下旬から8月となったため、頭首工における例年の幹線用水路取水量実績を参考に、比較的流量の多い普通期の7月に2回、落水前で取水量が少なくなる8月中旬に1回の計3回実施した。なお、区間流入の影響を極力



写真－２ 既設橋梁を利用した流量観測事例



写真－３ ボートによる流量観測事例

小さくするため、降雨中とその直後を避けて調査日を決定した。

観測方法は、観測地点の状況により、既設橋梁の利用、仮設橋の利用およびボートによる計測の3方式である（**写真－２**、**写真－３**）。

### （２）水路改修の影響検証と対策

従来、頭首工取水後の管理ポイントとして水深監視が行われていた Su 地点から、この下流12km地点の市町界に位置し、引継ぎ水位の確認が重要な管理指標とされていた Ni 地点までの水路区間は、機能評価に基づく改修工事により、既設利用と改修が混在している（**写真－４**）。

当初の水管理システムによる当該2地点の流量把握は、両地点共に水深を計測してマンシングの平均流速公式を適用し、粗度係数  $n$  は、改修以前の



写真-4 Ni地点下流付近の水路状況

平成10年に行われた流量観測値に基づいて  $n = 0.015$  を想定していた。

今回の流量観測値は、この値（以下、試用値と云う）に比べ、Sn 地点で132~144%大きく、普通期で $7.0\text{m}^3/\text{s}$ 程度、落水期で $8.0\text{m}^3/\text{s}$ 程度上回っていた。一方、Ni 地点では115~117%大きく、普通期で $4.0\text{m}^3/\text{s}$ 程度、落水期で $3.0\text{m}^3/\text{s}$ 程度上回っていた。流量観測値が試用値に比べて大きくなった要因は、とくに、下流水路の改修による粗度の改善が各地点にも影響し水深低下（粗度低下）が生じたためと判断された。

流量観測値から粗度係数を求めると、Sn 地点が  $n = 0.012$ 、Ni 地点が  $n = 0.013$  となり、システ

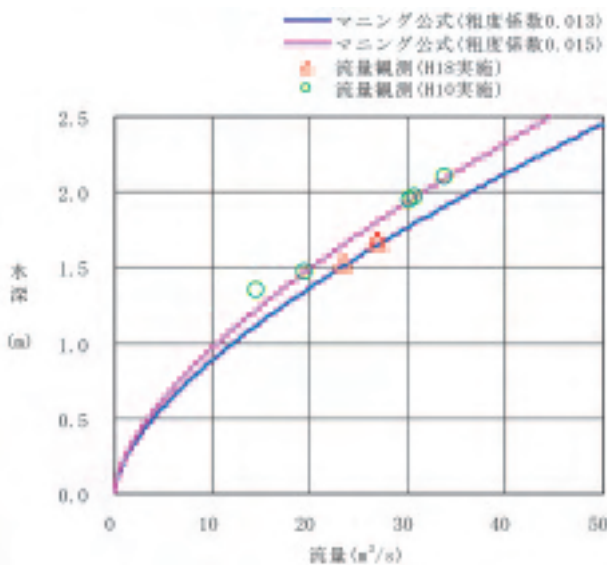


図-2 Ni地点の水深流量関係図

ムで当初想定していた  $n = 0.015$  に比べ小さくなっていた。改善対策として、システムの演算に用いる粗度係数を今回の流量観測から逆算した値に変更した。

### (3) 計測位置の制約による影響検証と対策

Bb 地点は、図-3に示すとおり、幹線用水路が河川を逆サイホンにより横断する地点で上流側には放水工が設置されており、放水工操作による利水と安全の両面から、上下流地点共に水位・流量の監視ポイントとされた。

水管理システムでは、流量把握に対する放水工操作の影響や下流側の水路形状等を考慮し、上下流地点共に、それぞれ開渠用流量計（水深と流速の計測による流量変換）を設置していた。とくに、下流地点は分水や流入の影響に配慮し、上下流を曲線区間に挟まれた約100mの直線区間に計測機器を設置していた。

流量観測から、上流側は、観測値と試用値の適合は良好であり、試用値は妥当であると判断できた。一方、下流側は、観測値に対して試用値が数%程度大きくなる傾向が見られた。

システムによる下流側の計測は、右岸側にある既設の測水柵を利用して水位計を設置し、併せて同地点の左右岸に1測線式の流速センサーを設置して行っていた。

流量観測より得られた水路横断方向の流速分布

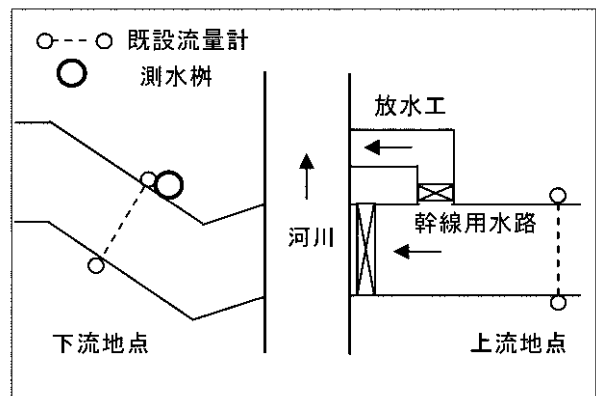


図-3 Bb地点概要図

を整理すると表-1のとおりである。当該地点の流速分布の特徴として、最大流速は中央より左岸寄りに偏り、水路縁部の流速は左岸側に比べて右岸側が小さくなっていることが確認された。流量観測値と試用値の誤差は、このような流速分布の偏りを、1測線方式の既設流量計（流速計）では精度良く捉えきれないことが要因と判断された。

表-1 流量観測調査による流速分布

1 回目	区分	左岸 ⇄ 右岸						
		器深	2割	1.15	1.10	0.98	0.90	0.69
2 回目	器深	8割	0.77	0.91	0.95	0.85	0.72	0.59
	区分		左岸 ⇄ 右岸					
3 回目	器深	2割	0.86	1.15	1.12	1.00	0.91	0.68
	器深	8割	0.79	0.97	0.96	0.88	0.71	0.58
3 回目	区分		左岸 ⇄ 右岸					
	器深	2割	0.73	1.03	0.98	0.91	0.82	0.58
3 回目	器深	8割	0.75	0.91	0.83	0.84	0.69	0.58

改善対策として、流速計を2測線方式とする計測精度の向上および流速分布に偏りのない位置への計測機器の移設の2案を比較検討し、計測精度の確保や経済性などから総合的に判断して、既設位置での2測線方式を採用した。

#### （4）管理方式の変更に伴う管理支援対策

幹線水路の約49km地点に補給線が合流する。補給線は、特定多目的ダムからの放流の一部を幹線水路に補給する役割を担っている。

当該地点付近の施設配置は図-4に示すとおり

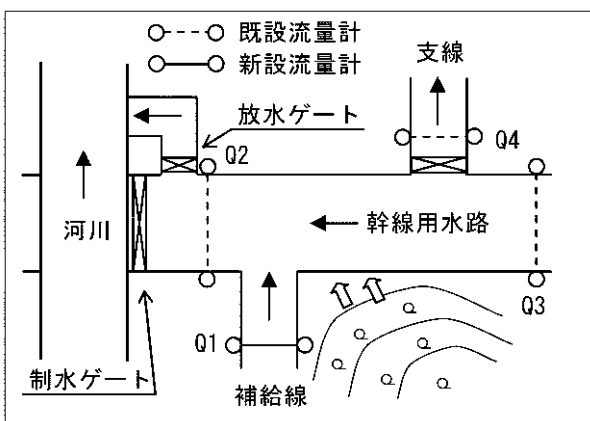


図-4 補給線合流付近の施設配置概要図

である。補給線合流地点の約1 km 上流には幹線水路から分水する支線があり、下流約1 km 地点には放余水工が設置され、これに付帯して幹線水路に制水ゲートが設置されている。また、支線上流地点、放余水工直上流地点および支線直下地点には、平成17年度の水管理システム整備により、それぞれ流量計が設置されていた。

図に示す施設と計測設備の配置から、当初、補給線からの補給量  $Q_1$  は、上記3地点の流量計測値に基づき、 $Q_1 = Q_2 - Q_3 + Q_4$  で算定する方式を想定していた。

一方、平成14～17年度にかけて実施された当該施設付近における幹線水路の全面改修後、幹線水路に所定の流量があるにも係らず、支線地点で従来よりも水路水深が低下し、分水位が不足する状況が生じた（粗度改善の影響と考えられる）。放余水工の対応として、放水ゲート操作による降雨時の管理操作に加え、幹線水路の制水ゲートを支線分水位確保のためのチェックとして水位調整操作が必要となった。幹線水路制水ゲートの適正な操作のため、当該地点付近の水路流入（補給）および流出（分水）状況をより精度良く把握する必要性が生じた。

改善対策として、図-4に示した既設流量計に加えて、当該地点付近の水深変動への影響が大きい補給線補給量についても、計測機器設置による流量実測を行うこととした。

計測機器は、合流部の施設構造による幹線水路から補給線への背水の影響や補給線に設置された落差工の影響を勘案し、水深計測に加えて流量計（流速計）を設置する計画とした。このとき、上記理由により機器設置予定地点付近における流況の乱れが予想されたことから、数地点で流量観測を実施して、渦流や流速分布の偏りなどの不安定流況の有無を検証し、計測機器の最適配置を決定した。

## 5. 雨量局の配置と洪水管理の支援機能

### (1) 安全性に配慮した管理の要請

施設の拡充、高度化により、その管理操作が周辺の安全に及ぼす影響も極めて大きく、農地、農業用施設災害のほか、周辺の市街化が著しい現在、水路からの溢水が一般公共災の原因の一要因となる確率が増している。前述のように、幹線用水路は山地および高位部からの流入水による周辺への溢水の危険性があり、水路周辺の整備、横断排水工の強化、余水工の新設など、ハード面から防災機能を向上させている。

水管理システムの導入にあたり、前述した遠方監視とネットワーク機能による放余水工管理労力の軽減に加え、ソフト面からも防災機能の向上を検討した。

### (2) 雨量局の配置計画

降雨は、それをもたらす低気圧などの通過と、その地域の地形（気流の上昇・下降）等により変化する。幹線用水路が貫流する地域の地形は南北に長く、上流から下流に至るまで複数の山地、山脈および平野の影響を受ける。このため、上流側で雨が降っているにもかかわらず、下流側では降っていない（また、その逆）など、頭首工および幹線途中に設置されている放水工の管理には、電話連絡による多地点の雨量、幹線水深の情報収集などに管理労力を要していた。

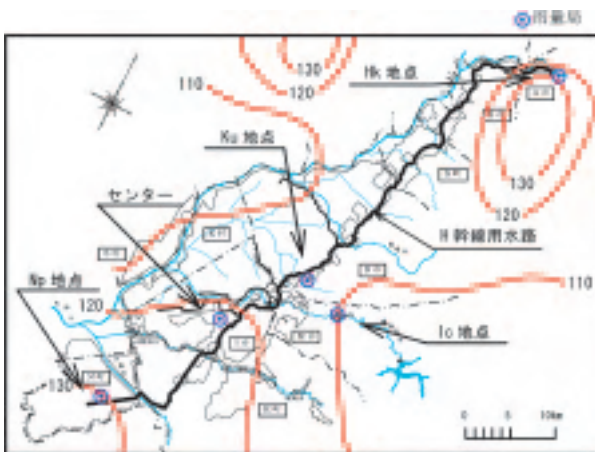


図-5 幹線用水路と等雨量曲線の重畳図

図-5は、幹線用水路の配置と北海道における等雨量曲線（平成10年時点の10年確率年最大1日連続雨量）の重畳図である。

その降雨特性は、上・下流部に降雨の多い地域が顕在し、中流部で少なくなる傾向が認められる。水管理システムにおいては、この分布を考慮し、集中水管理センターを含め同図中に示した5箇所に雨量局を配置した。

### (3) 多地点降雨量の常時監視の効果

図-6は、集中管理室が運用を開始した平成18年度の雨量局（5箇所のうち1箇所は未施工）における降雨量時系列の比較である。

降雨分布の相異は、7月17～18日にかけて顕著である。頭首工（Hk地点）では1日で98mmの豪雨（時間最大28mm）を観測したのに対し、中・下流側のいずれの雨量局とも、同時間内の総降雨量は20mm以下となっている。このような降雨分

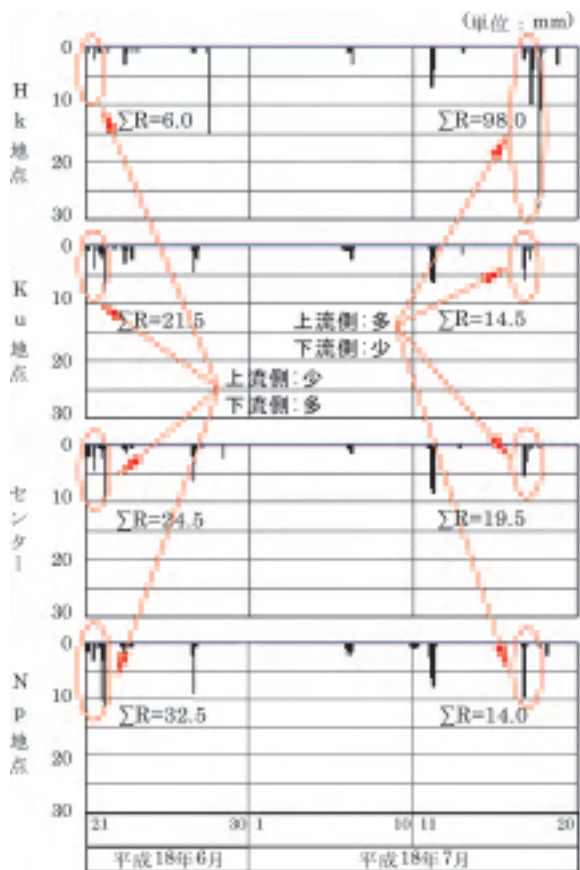


図-6 雨量局降雨量経時変化図



布では、頭首工地点で豪雨があったからといって、頭首工での取水を制限してしまつては、下流側での利水に支障をきたすことになる。逆の傾向は、6月21～22日にかけてみられ、この場合は頭首工での取水を制限しなければ、下流で溢水被害の危険性が生じる。

#### (4) 洪水管理支援システムの開発

このように、多地点の降雨量を常時監視できることによって、頭首工および放水工の管理操作を考える上で有効な情報となる。また、管理操作後に従来現地で確認していた水先到達を遠方監視データによって確認できるようになったことも管理労力の負担軽減は大きい。

##### 1) システム開発の必要性

洪水時の管理は、これまでの管理の経験と実績に基づき放水工の操作が行われてきたが、前述のように横断排水工の強化や余水工の新設、また将来的に続く通水機能の拡大と送配水機能の改良に伴い水深変化が生じることから、今後、放余水工の管理操作の適否をだれでもが評価できることが必要である。洪水管理支援システムは、降雨データを入力することにより、幹線への流入量の予測シミュレーションを行い、放余水工の管理操作を支援するものである。

##### 2) 流出モデルの作成

降雨時の幹線への流入量は、調査流入工を選定して流量観測を行い「降雨～流入量」の関係を出流解析によってモデル化した。モデルは、幹線周辺の地形、土地利用状況に応じて10地点作成し、幹線用水路全流域に適用するため拡張を行い、各放余水工地点の流入量を予測可能とした。

流出解析の手法には、水田を含む流域の貯留を考慮するため、タンクモデル系と貯留関数系の大別される貯留法を用いることとし、雨水保留曲線により土地利用に応じた流域の特性が容易に確認できる点と、短期流出により多く用いられている点から貯留関数法を採用した。作成した流出モデル

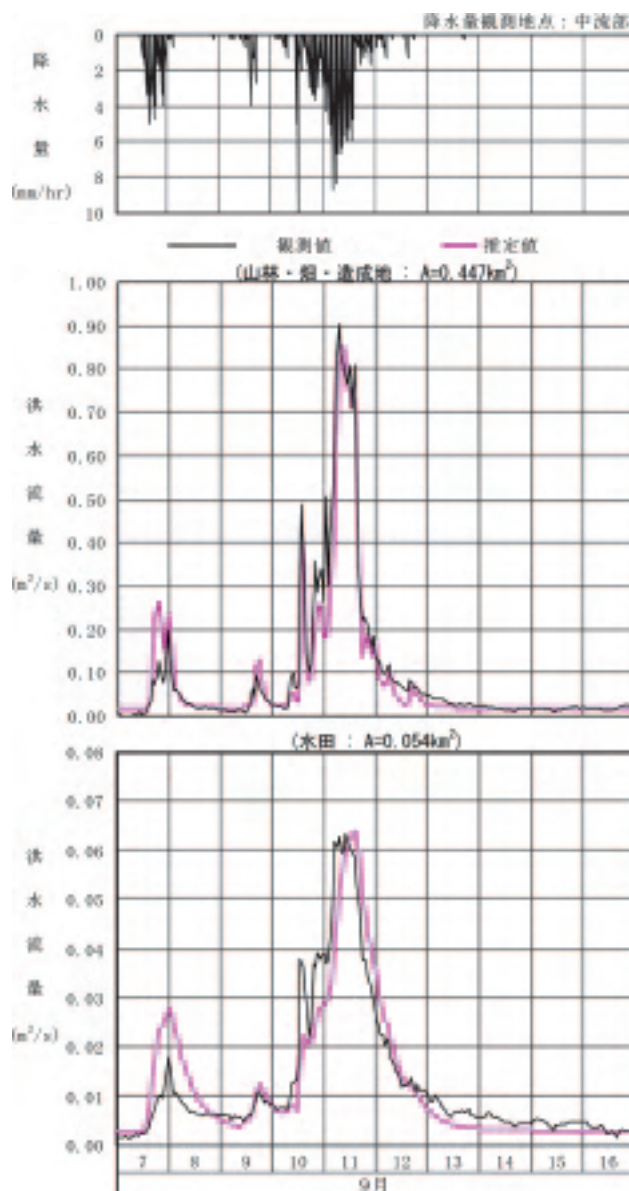


図-7 幹線用水路流入量推定計算図

ルにより、流入量を再現した結果は図-7のとおりであり、観測値と推定値は良く符合するとともに、山林・畑・造成地の尖鋭な流出に対し、水田ではその貯留効果から緩慢な流出となっており、流域の土地利用による流出特性の相違も現れている。

##### 3) 支援システムの構築

適正な流出モデルが作成されると、後はパソコンで5箇所に配置した雨量局の観測値(ソフト内でティーセン分割による流域の面積雨量を算定)や天気予報による予想降雨を入力することによ

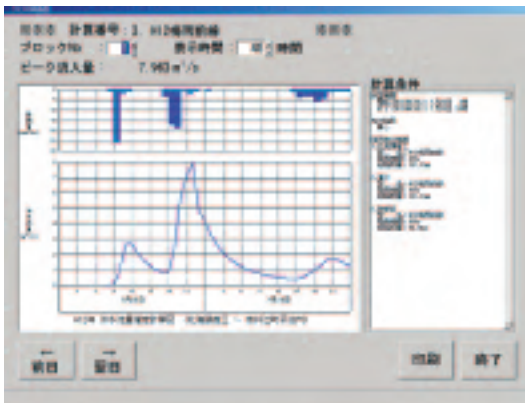
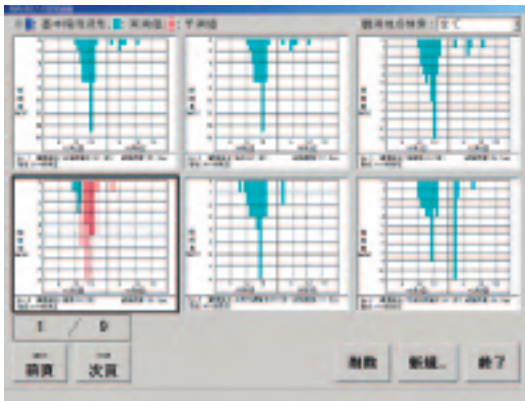


図-8 幹線用水路洪水シミュレーション画面

て、幹線への流入量を予測する支援システムを構築することは容易である（図-8参照）。

本システムは、平成14年時点の施工状況でのモデル化であり、その後の改修や将来的には全廃更新が予定されていることから、最終的にモデルの更新を行うことによって、ソフト面からも防災機能の向上が図られると考えている。

## 6. 水温局の配置と水田栽培管理の支援機能

### (1) 融雪水貯留ダムに対する栽培管理支援

「米政策改革大綱」を契機に売れる米づくりが推進され、道産米は食味の決め手となるたんぱく値ばらつき改善のため、農業改良普及センター指導による良食味米生産技術対策としての早期移植、深水増強、登熟期浅水などの栽培管理が励行されている。幹線用水路には融雪水貯留ダムからの低水温補給があり、以下に水温局の配置と多地点水温のトレントグラフ表示による7月出穂期における冷害危険回避のための水田栽培管理の支援を検討した。

### (2) 水温局の配置計画

図-9は、土地改良区が記録していた幹線用水路水温表（平成10年7月）に基づく、水温時系列の比較である。幹線用水路は、勾配1/4,000～1/6,000と極めて緩勾配の開水路であるため、頭首工から取水した後の水温は、その流下とともに上昇すると思われていた。しかし、分析により、幹線用水路の水温分布には、以下の特徴を有することが判明した。この結果を基に、幹線用水路に7箇所および幹線用水路に補給を行っている補給線に1箇所の水温局を配置した。

- 1) 頭首工（Hk地点）から37km下流のBb地点では、取水温に対し最大約2度の水温低下が認められた。頭首工堰上げによる貯留水から取水した用水は、沢水流入や市街部でのボックスによる運搬等の影響により、水温低下が生じるものと推察された。
- 2) 幹線用水路（Ik地点）の水温に対し、幹線用水路に補給を行う補給線（Ic地点）の水温は、約3℃～7℃低い。主に補給線の水源である融雪水貯留ダムからの低温な補給水の影響によるものと推察された。
- 3) 以下、下流においては大きな水温変化は認められず、補給線補給後から幹線用水路終点までで約2℃水温が上昇している。

### (3) 多地点水温の常時監視の効果

図-10は、集中管理室が運用を開始した平成18年7月の水温局（8箇所のうち1箇所は未施工）の水温およびセンター気温における時系列の比較である。

当該期間の前半では、夜間から早朝の幹線水温

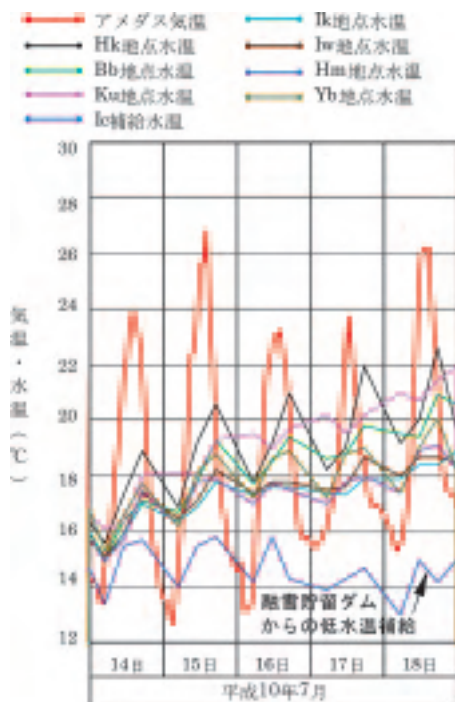


図-9 幹線用水路・補給線水温経時変化図

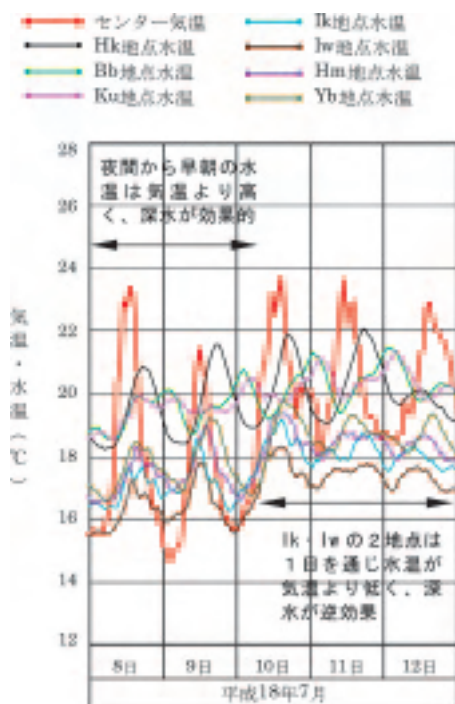


図-10 幹線用水路水温経時変化図

は気温よりも高く、深水（夜間・早朝取水）が極めて有効な効果をもたらすことがわかる。しかし、後半になると融雪水貯留ダムの低温な補給水温の影響を受けるIk・Iwの両地点では、1日を通じて幹線水温は気温よりも低く深水が逆効果となる。これら水温・気温の情報を土地改良区のみならず、下部組織である支線組合（あるいは末端農家まで）と共有することによって、水田栽培管理の支援が可能になると考えている。

### 7. 画像監視による多面的機能の向上

草木の枝葉などに対応して、水路を安全に稼働させるため、開水路には除塵施設の配置が必要であるが、幹線用水路はコンターキャナル方式の極めて緩勾配な既設開水路を改修利用することとしたため、余剰水頭が少なく、損失水頭の関係から除塵施設は最下流部のサイホン地点に限定されている。システム導入以前は、この地点を管理する事業所が毎朝の巡回により流芥の有無と種類を確認し対策を行ってきた。また、水路の流芥は、草木の枝葉の自然由来の流芥の他に、生活廃棄物やときに不法投棄に類するものまで多種多様化する状況を踏まえ対策の必要性が検討された。

平成17年度の機器設置工事において、除塵機上流（水深の上昇）および下流（流芥の有無と種類）を監視するため2台のカメラを設置した。集中水管理センターおよび事業所からの遠方監視により、従来現地で行っていた状況確認と処理対策の検討が、事業所内で行えるようになったことから、除塵対策にかかる管理労力の大幅な軽減が図られている。

さらに、山裾を流下する幹線用水路では、エサを求めて山を降りてくる動物（主に鹿）の転落事故も発生している。近年、自然保護団体の強い要請もあり、道内各地でこの対策への取り組みがみられるが、除塵対策として設置した監視カメラは、今後、転落事故の早期発見など、動物保護設備としての副次的な効果も期待される。

## 8. 適正なシステム運用に向けた留意事項

### (1) 水位管理から流量管理へ

前述のとおり、国営事業で整備された水管理システムは、将来特定多目的ダムの補給に係る幹線水路取水管理の円滑適正化等を目的として、それまでの水位管理から流量管理の併用を図ることとされた。これにより、水管理上、以下の点に留意が必要となる。

- ① 区間流入がないと仮定しても、水路水深は、上流に比べて下流が常に低くなるとは限らない。上流から下流への流量変化に加えて、水路の断面形状や勾配の変化によっても変化する。このため、水位による管理は、地点毎に独立した指標として用いられることが多い。
- ② これに対して流量は、水路断面等の変化に関係なく、水路系全体に共通する相対的な指標として用いることができ、監視情報から水路内の水収支を検証できるなど、より高いレベルの水管理を可能にする。ただし、これは同時に水路系全体で計測値の整合が求められることを意味し、水深指標に比べて、高い精度の計測や演算処理が求められる。

### (2) 継続的な水理の検証

これら必要な精度を確保することは、昨今の計測・演算機器の進歩からハード技術的にはなんら問題はないが、本報告のとおり、大幅な構造変更を伴わない改修や経年等による流況の比較的軽微な変化でも、流量を指標とした水管理の場合にはソフト面から管理精度に影響が現れる。このため、必要な計測精度の維持には、定期的・継続的な流量観測等による水理検証が必要になる。

### (3) その他水管理支援ソフトの性能維持

本地区水管理システムは、農業水利施設の規模が大きく高度化されており、それらが配置される地形・地理的条件や地域環境等から、その運用にあたり、農業面の利水に加えて、安全管理に係わ

る性能維持が重要である。本システムの特徴で述べた洪水管理支援システムはこの安全管理に援用可能な手法として開発した事例であるが、一方で、今後、長年月の運用の中では、流域の降雨形態の変化や開発等に伴う土地利用状況の変化などにより、その根幹である流出モデルの適合性低下も予想される。

長年月に亘り、導入した水管理システムにおける所期の性能維持を図るためには、これら支援ソフトの適宜検証が重要である。

### (4) 高度水管理システム実現の課題

大規模で高度な水管理システム構築にあたっては、水理諸量の測定精度の維持向上が不可欠である。一方、水管理システムの整備は、事業の完了間際に施行されることが多く、事業期間内にシステム運用時の性能検証やこれに基づくシステムの改善が難しい場合が多いのが現状である。しかし、システムの設計あるいは整備段階でも、対象施設が利用されている場合においては、施設全体あるいは部分的にでも、事前の水理的な検証が可能な場合がある。これにより、一層効率的で的確な水管理システムの構築が可能になるとと思われる。

## 9. おわりに

本報は、長大水路システムを有するS地区における水管理システムの概要と特徴を紹介したが、これらのシステムが、系統的組織のもとで有効に活用され、地域における高度で効率的な水管理の実現に貢献することが期待されている。

本地区システムは最新の計測機器や情報通信システムによる高度水管理システムが構築されたが、今後これらのシステムを有効に活用し維持するためには、供用後において管理精度を適正に維持し、そのための計測機器等のハード面の点検・整備・更新に加え、水理諸量の検証などソフト面のサポートを確実にしていくことが望まれる。

このとき、弊社技術スタッフ一同は、管理者の経済的負担を軽減するための各種事業の活用や、システム性能の検証および管理実績・現地実測データの解析など、システムの維持・改善に係わる技術的側面からの的確なコンサルティングを目指し、日々研鑽に努めて参りたいと考えています。

最後に、本文の執筆にあたり、発表の機会を与えていただき、かつ多大なるご協力を頂きました北海道開発局札幌開発建設部岩見沢農業事務所ならびに北海土地改良区の各位には、ここに記して厚くお礼申し上げます。

(株)アルファ技研



# システムとしての農業水利施設における 性能規定化と安全性の照査

## —アセットマネジメント技術の確立に向けて—

阿部 幸継

### 1. はじめに

近年国・自治体の財政難、環境配慮などの観点より公共施設に対して予防保全を含めた長寿命化と施設の有効活用を柱とした整備方針（Asset Management 農水省では Stock Management）への転換期が訪れている。

それに伴い、農業水利施設についても現在主に国営造成施設に対する機能診断が行われてきているが、その技術は構造的な劣化診断分野（ハード分野）に比べそれ以外のソフト分野（水利用分野など）については確立（明確化）されていない。

また農業水利施設は、例えば用排水系であれば「取水（集水）からかんがい（排水）までのシステム」であると考えれば、現行の機能診断技術は、「木（個別施設）を見て森（系全体）を見ていない」との意見もある。

一方農業水利システムは、家電や機械などの様に使用期間が農業水利システムに比べれば短期でかつシステム系統が機械的に単純化（改良が容易）されているものとは異なり、長期使用かつ多様で変化するユーザーのニーズを包括的に満足し、さらに公的な施設という特殊性を有している。

このような特殊性を有する農業水利システムを、どの様に診断評価するのが最適かを、その使用目的の原点に立ち返り考えてみると、そこに「要求性能」というキーワードに行き着く。

本報文は、農業水利施設をシステムとして考えた場合、その要求性能に着目し、システムの性能について多角的な視点により診断・評価するために、用水システムを例として考察したものである。

### 2. アセットマネジメントと性能規定化の現状

アセットマネジメントの基本理念の一つは、「施設（システム）に対する要求性能の劣化に対して適切な対策を講じ、性能の回復を図る。」ことである。

従って、「施設（システム）に対する要求性能とは何か」を明確化、すなわち要求性能を規定化する事により、はじめてシステム安全性の技術的検証・検討が可能となる。

最新の情報による農業水利システムの性能規定化の骨子は、表 2-1 に示す分類となっている。

表 2-1 農業水利システムの性能規定化の骨子

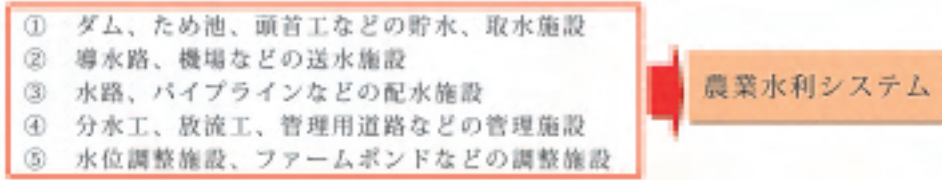
性能分類	要 求 性 能
水 利 用 性 能	水管理方式、配水弾力性能、分水均等性能、操作・運用性能、流量制御方式、分水制御方式、維持管理性能、対人安全性能、水路内貯留性能、環境性能
水 理 性 能	通水性能、水位制御性能、分水制御性能、水路内貯留性能、放余水性能
構 造 性 能	力学的安全性、安定性能、使用性能、耐久性能
社会的安全性能	耐震性能

出展：農業水利施設のコンクリート構造物調査・評価・対策工法選定マニュアル  
平成19年3月 農林水産省 農村振興局 整備部 設計課 施工企画調整室

### 3. システムの性能規定化の基本的な考え方

システムとは、一般的に「個々の要素が有機的に組み合わせられた、まとまりをもつ全体。」(三省堂 大辞林 第二版)と定義される。

上記の定義に準じて農業水利施設(用水系)システムは、大別すれば以下の構成要素により成り立つ。



これまでの施設機能診断は、上記要素を個別にかつ構造性能を主眼として調査・診断し、性能評価が行われてきている。

しかし農業水利施設をシステムとしてとらえた場合は、システムを構成する要素を全ての要求性能に関して一体的に診断調査し、その有機的組み合わせにより発揮される複合的な性能を含めたシステムの安全性を指標とした機能診断が必要となると考えられる。

個々の要素ではなく、水利システムとして施設をとらえた場合、その安全性を定義する場合のロ

ジックを図3-1に示す。

### 4. 要求性能の明確化

#### 4-1 農業水利システムにおける各性能の位置付け

これまでの全体システムではなく各要素に着目した機能診断の場合、各要求性能の位置付けは、図4-1に示すように構造性能が満足していれば概ね水利用、水理性能は満足される(担保される)というコンセプトである。

しかしながら、全体システムとして性能を診断

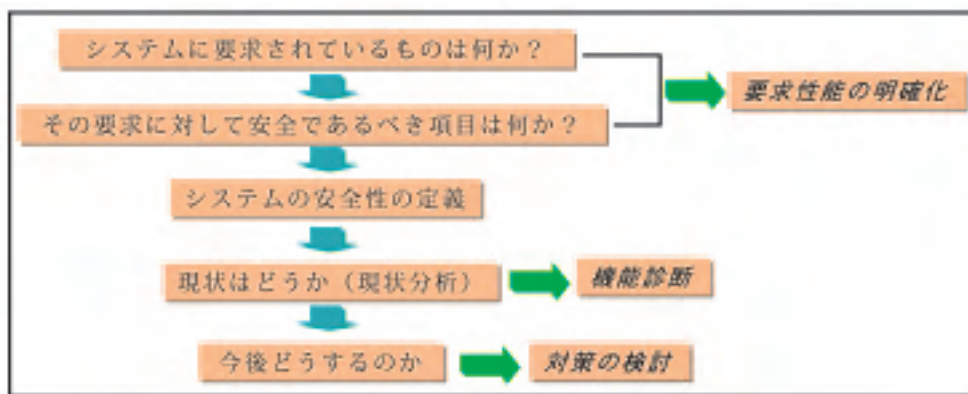


図3-1 水利システムの安全性を定義する場合のロジック

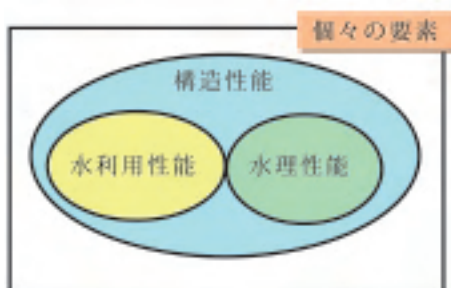


図4-1 水利用性能に対する指標

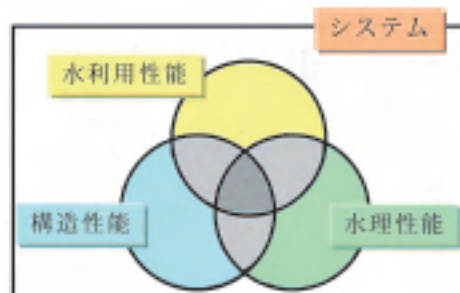


図4-2 水理性能に対する指標

注記：社会的安全性能は構造性能に包括している。



する場合のコンセプトは、図4-2に示す様にそれぞれの要求性能が単独で機能する部分と、それぞれが連携して機能する部分があることの認識が必要である。

#### 4-2 農業水利システムにおける性能上の構成

一般的に、システムには必要最低限の性能（基本要求性能）と、それを具現化するための各要素の性能、付加価値をつけるための性能で構成される。

管路系用水システムを想定し（図4-3）、システムの特徴を踏まえた性能構成例を図4-4に示す。（付加価値をつけるための性能、例えば施設の多面的機能の発揮などについては本稿では割愛

する。）

なお、本システムは、「導水路は開水路」、「送配水路は中～高压の管水路」で、「一部急傾斜の地滑り地帯に布設」され、「上水道との共用施設」と想定している。また、テレコン、テレメーターなどの管理システムは導入されていないとしている。

システム性能構成より、「水利システムの安全性の指標」として「性能の規定」、「安全性の定義」、「照査内容」を明確化したものを表4-1～4-3に示す。ただし本表は、想定したシステムにおいて定義したものであり、実務レベルにおいては実際のシステムに応じ技術者判断により必要に応じ追加、修正、削除する必要がある。

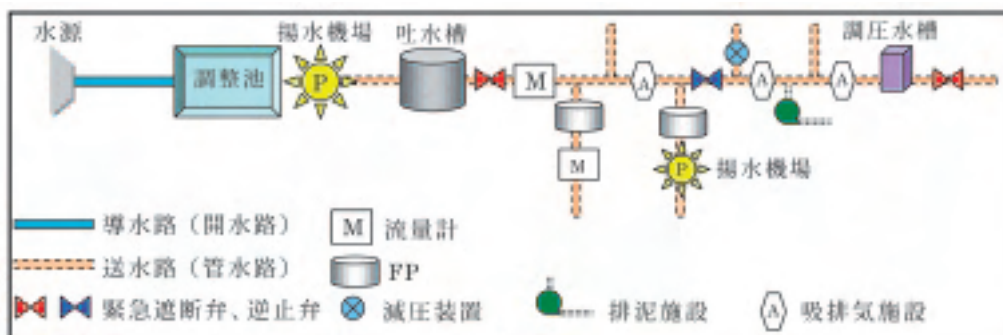


図4-3 用水水利システムの構成要素

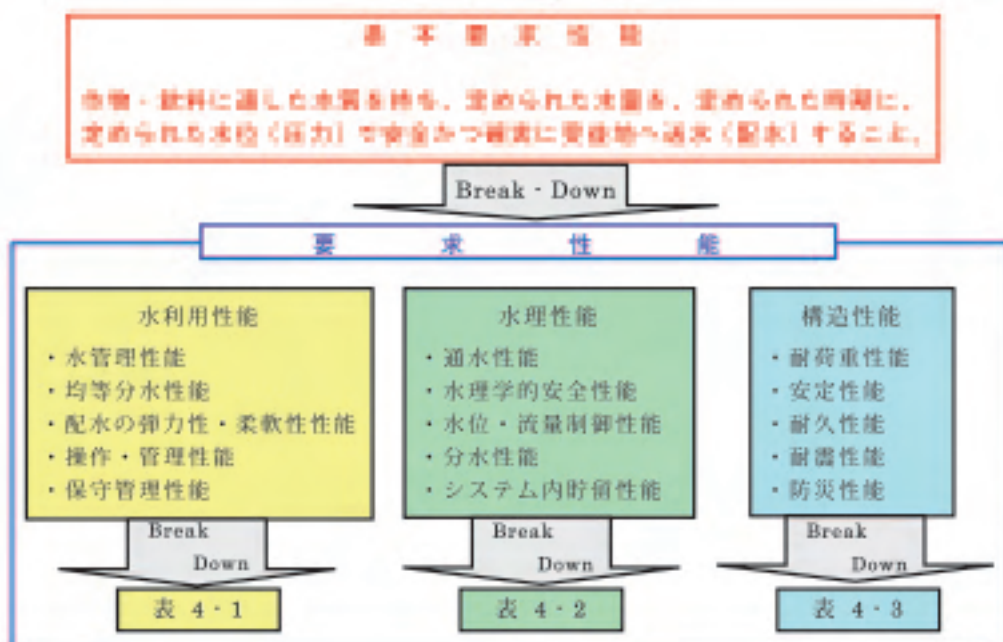


図4-4 水利システムの要求性能構成

表 4-1 水利用性能に対する指標

要求性能	性能規定	安全性の定義	照査内容 (チェック項目)	
水利用性能	水管理方式	水管理 (配・分水) を行う際に必要な情報伝達などに関連する性能	用水の配 (分) 水管理に必要な情報収集、意志決定 (処理) が、管理施設の配置状況を含め適切に対応出来る	・ 通用時における送水情報管理方法 ・ 需要急増時における送水情報管理方法 ・ 管理者要望
	均等分水性能	計画量または末端必要量に応じて安定的には場へ供給するための性能	システム全体において、計画量または需要量に対して適正に配分されている	・ 当初用水計画と現状の差異 ・ 無効放流の有無 ・ 分水不均衡の有無
	配水の弾力性・柔軟性	設計流量内で期別変動等に対して水利システムが持つ配水性能 (許容性能)	期別の用水量変動に対してシステムの十分対応出来る	・ 現状システムでのバッファ容量 ・ 現状の期別水需要量実態 ・ ダムからの用水到達時間の調査 (算定)
	操作・管理性能	水利システムを効率的・効果的に運用・制御・監視するための施設 (バルブ、流量計、水位計など) の操作や管理に関連する性能	システムの操作・管理が効率的かつ管理者の負担限界内努力で可能である	・ 現状の把握 ・ 管理に必要な労力 ・ 管理者要望
	保守管理性能	水利システムを良好な状態で使用するため、各施設を効率的かつ経済的に維持・保全する性能	システムの保守的管理が効率的、効果的、かつ容易に行える	・ 現状の把握 ・ 管理上の問題点の把握 ・ 施設更新における施工上の可否 ・ 管理者要望

表 4-2 水理性能に対する指標

要求性能	性能規定	安全性の定義	照査内容 (チェック項目)	
水理性能	通水性能	用水を目的地へ安全にかつ確実に送水するための性能	目的の場所へ定められた流量を送水出来る	・ 空気混入の可能性の有無 ・ 管内土砂堆積の可能性 ・ 管内面劣化の可能性の有無
	水理学的安全性	管路内に発生する内圧や水撃圧による管路の破損や、制水弁・仕切弁におけるキャピテーション発生による弁体の損耗に対する安全性能	目的の場所へ定められた流量を水理学的に安全に送水出来る	・ 水撃圧・キャピテーション発生位置の特定 ・ 分水弁管理状況 (中間開度管理の有無)
	水位・流量制御方式	適切な水位・流量で用水の送水を行うための性能	要求される水位・流量制御に対して適切な制御性能を持つ施設である	・ 現状の把握 ・ 減圧装置施設位置・規模の妥当性 ・ 流量計精度、読みとり能力
	分水性能	水利システムにおいて、決められた流量を分水するための性能	要求均等分水性能を含め、定められた分水流量を分水する事が、水理学的にも裏付けられる	・ 非管理分木工 (直接分木工) 地点での圧力を境界条件とした分水流量算定
	システム内貯留性能	水利用形態の大幅な変化、災害、システムの故障等の事態に対する安全度	計画 (想定) 外の事態に対して、システムとしてどこまで対応可能化の度合い	・ 現状システムでのバッファ容量 ・ 現状システムでの対応能力 (日数計算)

表 4-3 構造性能に対する指標

要求性能	性能規定	安全性の定義	照査内容 (チェック項目)	
構造性能	耐荷重性能	管路本体に作用する内外圧に対する耐荷重性能	現状または想定される内外圧に対して、構造的に安全である	・ 建設当初との埋設環境の相違 ・ 設計時基準と現行設計基準との相違 ・ 付帯工の耐圧性
	安定性能	管体の浮上、滑動、沈下に対する安定性能	管体の浮上、滑動、沈下、地滑りの危険性に対して安全が確保 (危険回避を含め) されている	・ 建設当初との埋設環境の相違 ・ 設計時基準と現行設計基準との相違 ・ 地滑り危険地帯の特定
	耐久性能	管路の強度 (錆など)、管継手の水密性 (ボルト、パッキン) 及び内面の平滑性 (対磨耗性)、付帯工バルブ類の水密性 (ボルト、パッキン) における耐久性能	現状または将来的に、構造体として十分な耐久性を保持している	・ 現状の劣化状況 ・ 現状における環境特殊性の有無
	耐震性能	管路本体、付帯施設の耐震性に対する性能	想定される地震に対して構造的に安全である	・ 現状の設計思想、耐震対策 ・ 想定される地震規模 ・ 二次的に想定される被害
	防災性能	施設の破壊により二次的に引き起こされるであろう災害に対する安全性能	想定される二次災害に対して、安全性 (危険回避を含め) が確保されている	・ 想定される二次災害の把握 ・ 想定される二次災害の箇所 ・ 想定される災害及び被害規模

注意事項

本表は、あくまで一例であり、システム構成により適宜変更すべきものである。

## 5. 安全性の照査手法例

前項の要求性能より、農業水利システムの安全性をどのように照査するかのご具体例を示す。なお、照査においては数値的な性能基準が可能な項目、例えば流量、必要水頭、構造的な許容値など、と数値的な基準が困難なケース、例えば維持管理の利便性などの様に現状での問題点を照査する項目に分けられることに留意する。

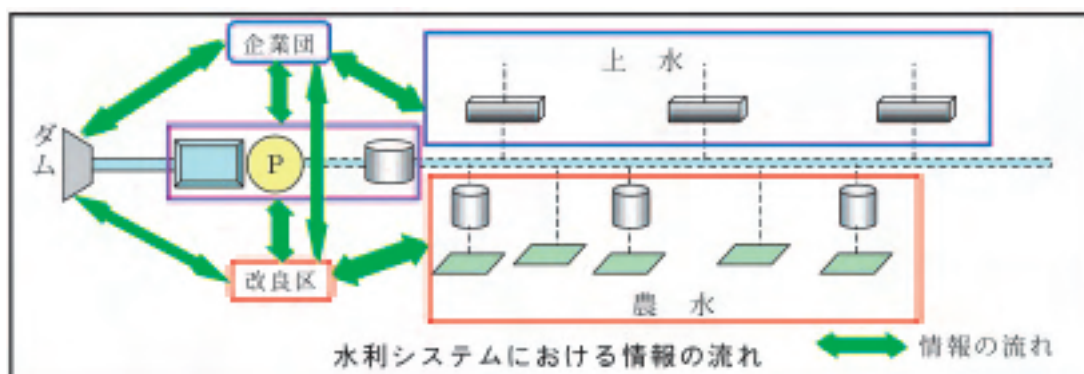
### 5-1 水利用性能

#### (1) 水管理性能

水利システムにおいて、水管理（配水・分水）を行う際に必要な情報伝達などに関連する性能で

ある。（下図参照）

本システムの特徴である、①通年通水である②上水道共用施設である③調整池までは開水路で供給主導の送水である④調整池からポンプ圧送で一端吐水槽へ送水される⑤末端までパイプライン化されており、需要主導型の水利用形態であることを踏まえ、現状における水需要情報の伝達方法、供給主導型の上流と需要主導型の末端との送水時間遅れに対応するための情報管理方式、ポンプ運転のための情報管理方式、水源からの供給量を決定する意志決定方式などについて問題点や要望を整理し、より安定した水管理に資するための改善検討を行う。

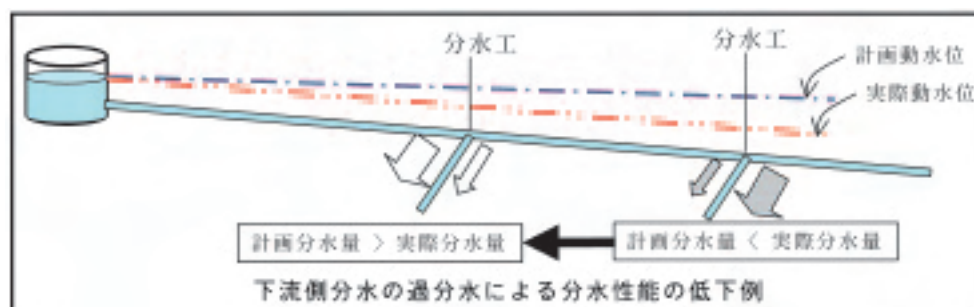


#### (2) 均等分水性能（分水量の適正配分）

用水を計画量または末端必要量に応じて安定的には場へ供給するための性能である。

当初計画の用水計算や現在の受益面積等に基づく用水計算における支線別の用水量と分水実績や申込水量を比較し、公平で安定した分水が行われているか否か、無効放流量の発生状況、農業用水

の需要変動が上水の送水に与える影響などの実態を把握し、問題点を把握することが重要である。特に需要主導型の送配水水路系においては、下流側の過取水による上流側受益での用水（農水、上水をあわせて用水と記す。）不足が懸念される（下図参照）。また、水理的、構造的な性能に関連し、通水能力の低下により受益への必要量の送水が出来

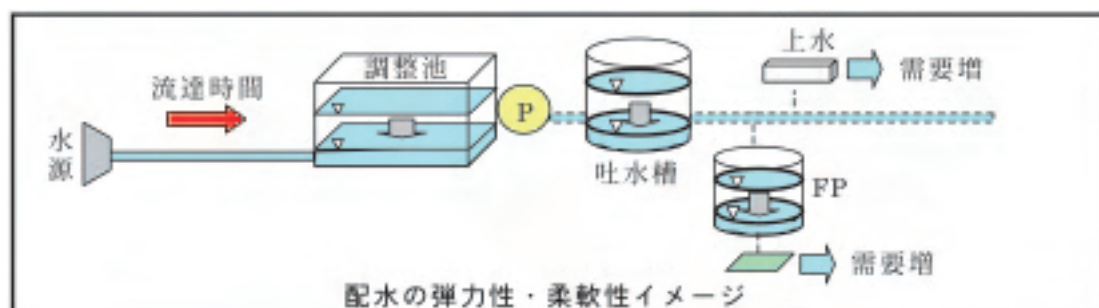


ない場合もある。

これらの懸念事項を踏まえ、分土工構造の形式と位置の検証を含め現状システムが持つ欠点を把握し、システム構造上、運用管理上の改善検討を行うことが必要である。

### (3) 配水の弾力性・柔軟性（需給調整性能）

期別変動などの計画流量内において水利システムが持つ配水性能（許容性能）である。



### (4) 操作・管理性能

水利システムを効率的・効果的に運用・制御・監視するための施設（バルブ、流量計、水位計など）の操作や管理に関連する性能である。

現状の操作・管理方式（ポンプ運転管理、流量・水位計測、バルブの操作、データの収集・集積方式、操作・管理に係わる労力）などを把握し、現状における問題点（要望）を整理し、例えば計測箇所・項目の追加の有無、集中管理の必要性の有無、バルブ類の電動化の必要性の有無などを行い、緊急時や水理性能、構造性能低下時の対応を含めた操作・管理上の改善検討を行うことが必要である。

### (5) 保守管理性能（施設管理性能）

水利システムを良好な状態で使用するため、各施設を効率的かつ経済的に維持・保全する性能である。

通常の保守管理における際の問題点、例えば空気弁や排泥工を操作して管路保守管理を行う場合

本システムにおいて、設計流量範囲内で急な水需要が起きた場合を想定し、現状の各調整池容量（調整池、吐水槽、各FP）で対応出来るかを水源からの用水到達時間を含めてシミュレートし、安全度（自由度）を検証する。なお、事故、異常渇水などの想定外（計画流量範囲外）での安全度（自由度）については「5-2 (5) システム内貯留性能」で検討する。

の問題点や、ボルト、パッキン、本体など劣化交換しなければならなくなった時の対応上の問題点などについて、現地へのアプローチ（管理用道路状況）、作業の容易性を含めた現状を把握し、保守管理性能の向上の検討を行うことが必要である。

また対人安全性を考慮し、管理者が安全に保守管理を行えるための設備、例えば高所や地下部へのステップの安全性能（リアガードの必要性の有無）の検証も必要である。

## 5-2 水理性能

### (1) 通水性能

「定められた水量を定められた水位で安全かつ確実に受益地へ送水する」ために必要な性能で、主に通水断面積、管内面粗度に関する性能である。

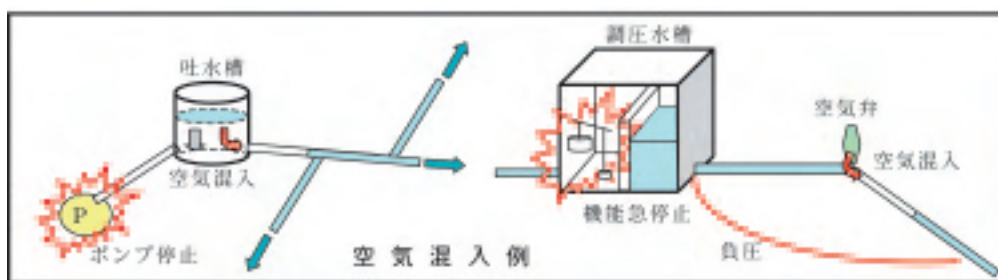
パイプラインにおいて一般的な通水性能の低下要因は、①水密性の低下（漏水）、②錆や摩耗による管内粗度の劣化、③管の変形、管内空気混入、土砂の堆積による通水断面積の縮小である。

空気混入の最も危険性が高いと考えられる地点は、吐水槽、調圧水槽地点と考えられる。(吐水槽の場合は、停電によりポンプ停止、水位検知不能となり送水がストップしたが、末端は通常の水利用を行っており吐水槽が空になった場合を想定。調圧水槽の場合は故障による機能停止時に負圧が生じ、空気弁より空気が混入した場合を想定。)

以上の観点より、両施設直下流の空気弁性能が

特に重要である。

また、現時点で漏水が検知されなくても、今後管路及び付帯施設の老朽化に伴う漏水の発生確率が高くなることも予想されるため、通常の保守点検レベルでの流量把握精度の向上(例えば流量計計測精度の向上や増設、一元監視システムの導入など)、定期的な漏水調査計画の策定が必要である。



(2) 水理学的安全性 (内圧が高圧となる事による安全性は、構造性能に分類する)

管路内に発生する内圧や水撃圧による管路の破損や、制水弁・仕切弁におけるキャビテーション発生による弁体の損耗に対する安全性能である。

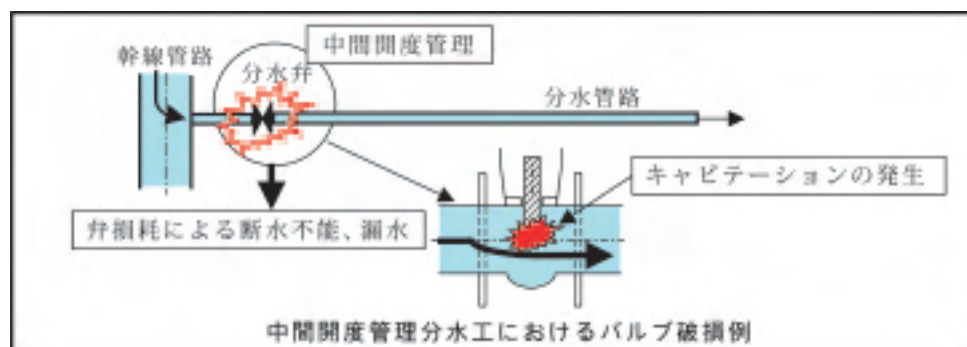
本システムにおいては、流速検知式の緊急遮断弁が2箇所、逆止弁が1箇所設置されている。誤作動を含めた弁の閉塞時に発生する水撃圧を非定常解析にて算出し、管体の安全性を検証する必要がある。なお、システム安全性向上のために緊急遮断弁などを増設する場合は、新たに水撃圧を解析する必要がある。

また機場～吐水槽区間については、念のため設

計報告書を確認し、ポンプ急停止時に発生する水撃圧に対するポンプ及び管路の安全性を再度チェックする必要がある。

幹線におけるバルブ開閉により発生するキャビテーションは、バルブは常時開放されているため(中間開度での長期使用はされていない)特に問題はないと考えられるが、特に、農水直接分土工の分岐直後に設けられている分岐側の制水弁の管理状況(中間開度での管理の有無)によっては大きなキャビテーションが発生している可能性がある。

もし、この制水弁がキャビテーションにより劣化破損し、止水性能が停止した場合、通水性能の重大な低下につながる。



従って、該当する分水工の制水弁の管理状況を確認し、キャピテーション発生の可能性の有無、発生している場合の対策について検討する必要がある。

### (3) 水位・流量制御方式

水位・流量制御方式に関する性能が、水理条件的に適切か（例えば必要な減圧量に対してディスクバルブなどの現状の施設に問題はないか、低流量時の管内流速が現状の流量計計測可能範囲内か）の検証である。

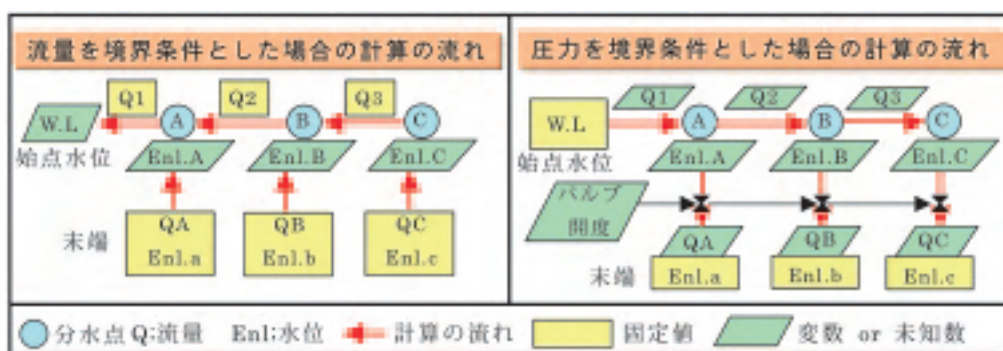
例えば分水側に羽根車式流量計が設置されている場合、低流量時においてメータの読みが可能か、超音波または電磁式流量計に交換の必要がないかの検討が必要である。

### (4) 分水性能

水利用性能の分水の均等性に関連し、水利システムにおいて決められた流量を分水可能かについてシステム全体を対象に水理（水位）的に数値計算で検証する。

一般的にパイプラインシステムの設計は、計画流量を固定（流量を境界条件）とし末端必要水頭より損失水頭を積み上げて幹線必要分水位を定め、各必要分水位を満足する幹線始点水位、幹線管径を設定している。

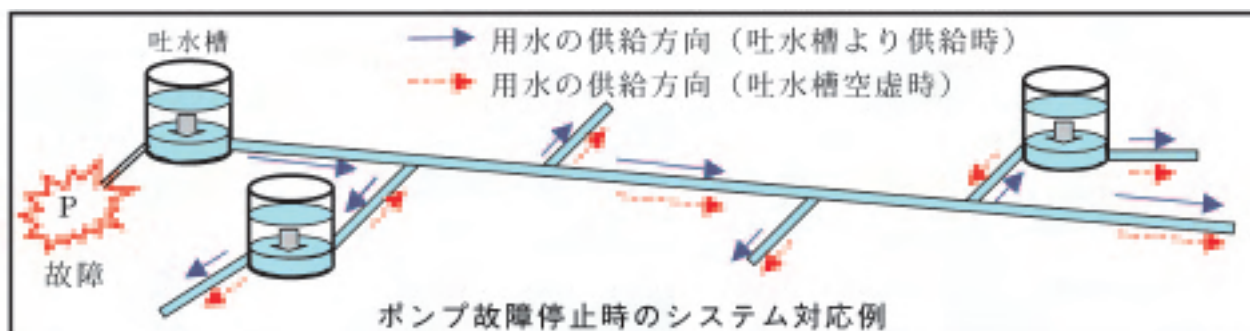
しかしながら実際の水の流れは、特にクローズド系のパイプラインで分水地点のバルブ制御を行わなかった場合、水頭差により支配される流れ、すなわち圧力が境界条件となる。従って、圧力境界を定め、分水量を変数とした水理解析を行う必要がある。



### (5) システム内貯留性能

農地面積の増減、人口の増減、水利用期間や時間の変化、営農形態の多様化などの要因により、当初の水利用計画と現状の水利用実態に大きく差異が生じていることがある。

また、想定外の渇水時や重大な事故発生時、今後の需要変化予測を含め、水利システム（運用管理体制を含め）として、どこまで水利用性能が維持出来るかを検証し、システム構造上、運用管理上の改善検討、システム復旧を何日以内に行うべ



きかの指標の設定を行うことが必要である。

### 5-3 構造性能

#### (1) 耐荷重性能

管路本体に作用する内外圧に対する耐荷重性能で、本システムでは特に高圧となる区間、輪荷重が直接横断載荷する区間、施工当初と荷重条件が異なる区間、機場から吐水槽までと調圧水槽付近の負圧を受ける可能性（機器の故障を想定して）のある区間において、設計報告書より現行設計基準による管体の構造計算の再チェック（適用設計基準の変更点に対するチェックを含め）が必要である。

また付帯工、特に空気弁は、高圧管路であることより構造上の弱点となりかねないため、耐荷重性能の視点で調査を実施する必要がある。

#### (2) 安定性能

管体の浮上、滑動、沈下に対する安定性能で、本システムでは特に急傾斜配管部の滑動、高圧曲管部のスラスト力に対する安定性について設計報告書計算の再チェック（適用設計基準の変更点に対するチェックを含め）が必要である。

また、二次的な安定性能として地滑り地帯が点在する布設環境において、公的機関が定めた地滑り危険地帯の把握、空中写真の立体視により新たな危険地帯の確認と現地踏査による検証を行う必要がある。

その結果を踏まえ、例えば可とう管の増設、耐震継手への変更、回避ルート（バイパス化）の検討を行う。

#### (3) 耐久性能

管路の強度（錆などによる管厚減少）、管継手の水密性（ボルト、パッキンの劣化）及び内面の平滑性（対摩耗性）、付帯工バルブ類の水密性（ボルト、パッキンの劣化）における耐久性能である。

調査項目は、強度に関しては、試掘による管厚

調査、腐食性土壌調査、電食調査を、管内については断水可能な場合は管内目視を行うのが基本であるが、本幹線においては断水が不可能であるため通水中にも撮影可能な内視鏡カメラで確認する。また継手部の確認は、試掘箇所においてボルト、パッキンの劣化状況を確認する。

#### (4) 耐震性能

管路本体、付帯施設（FP含む）の耐震性に対する性能である。

管路及びPCタンクについてレベル2地震に対して構造上の安全性を確認する。

また、地震により発生する地滑りに対して施設の安全性の検討もあわせて検討を行う。（(2)安定性能参照）

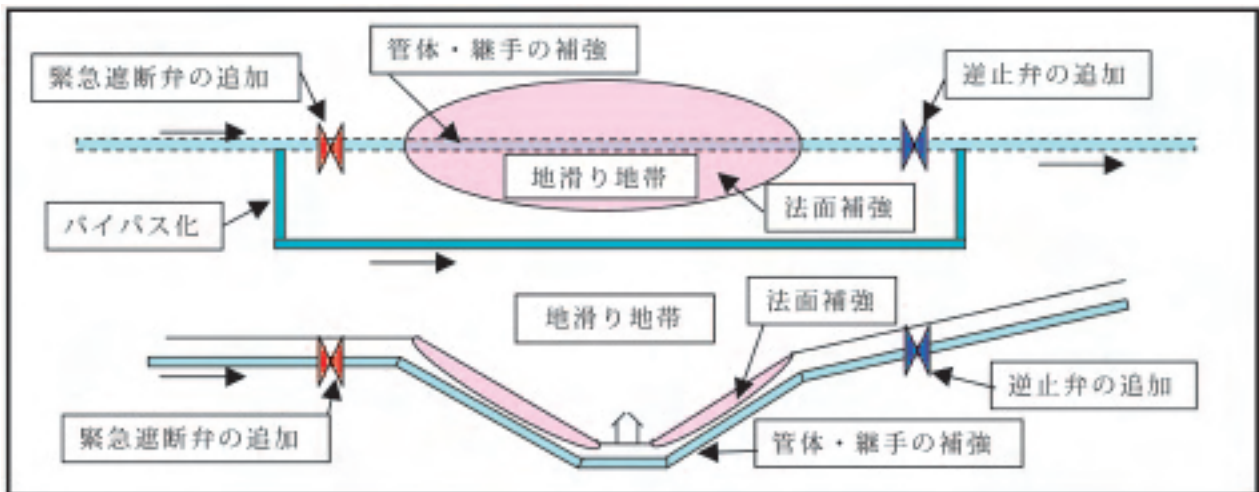
#### (5) 防災性能

大雨や地震以外の原因、すなわちシステムの劣化に起因する施設破壊が起こった場合（例えば管路からの大量の漏水）、二次的な災害（例えば地滑り、道路の冠水、他施設、住居などへの浸水被害）を引き起こす可能性がある。この様に、施設の破壊により二次的に引き起こされるであろう災害に対し、その安全性を評価する。

本システムの場合、最も二次的影響が大きいと考えられるのは、漏水に起因して地滑りが発生し、道路の崩壊、急傾斜ほ場部の崩壊が発生した場合である。

次に影響が大きいと考えられるのは、特に高圧区間（管路低位部）で道路下または道路や家屋近傍に埋設されている管路からの大規模な漏水による、道路の交通障害、家屋への財産被害である。

このような二次的災害の着目点で防災的見地に立ち、構造体の補強、継手構造の変更、回避ルート（バイパス化）の検討を行う。



## 6. おわりに

現在我国は、食糧の半数以上を他国からの輸入により賄っている。一方今後世界人口が増え続け世界的な食糧難の時代が来た場合、我国の食糧事情はどうか、また現状の財政難下において、食糧自給の基盤となる農業水利施設をどのように整備・管理してゆくのか、我々技術者も一国民としてこの問題に真剣に取り組むべき時と考える。

農業水利施設を道路などと同様に国民共通の資産と考え、食料危機に対する「予防保全」の一環として、我々技術者が広い視野に立ち、この資産をどのように運用するのが最適か知恵を絞ることが大切であると考え。

我国の農業水利施設は、他のインフラ施設に比べ維持管理・更新事業費の占める比率が多い。

(H. 17年時点 47.5% 道路 11.9% 治水 12.5%) この比率は今後も増加することより、効果的で有効な施設のマネジメントがより一層要求されるであろう。

さらに、設計手法もこれまでの仕様設計から性能設計へと移行してゆくことより、マネジメントにおいても常に「性能」を意識して実施することになるであろう。

本報文は、農業水利施設をシステムとしてとらえ、その要求性能を規定化し、それを指標とした

アセット（ストック）マネジメントを具現化するためのアウトラインである。従って、今後多くの事例研究などによりアップグレードされるべきものであり、またシステムの基本性能によりフレキシブルに対応するべきものと考えている。

本報文は管水路をサンプルとしているが、開水路の場合には環境性能についても性能の規定化、及びその照査を行う必要がある。

本報文が、これまでとは若干異なる視点で農業水利施設のマネジメントを考える一つの例として、何らかの参考になれば幸いである。

最後に本報文をまとめるに当たり御助言頂いた  
(独) 農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究所

施設資源部 首席研究員 中 達雄氏、  
水路工水理研究室 室長 樽屋 啓之氏、  
同研修員 三春 浩一氏、

並びに関係御各位に対し、ここに深甚なる謝意を表します。

(株)三祐コンサルタンツ



## 参考文献

農業水利施設のコンクリート構造物調査・評価・  
対策工法選定マニュアル

平成19年3月 農林水産省 農村振興局  
整備部 設計課 施工企画調整室

平成18年度計画基準調査委託事業  
性能規定化検討調査 報告書  
(財)日本水土総研

用水路システムの性能項目に関するアンケート調  
査、農土誌73 (12)、pp41～46 (2005)

中 達雄、進藤惣治、有働秀憲、樽屋啓之

農業用パイプラインの性能とリスク管理、農土誌  
72 (5)、pp 3～5 (2004)

中 達雄、田中良和、樽屋啓之



# 頭首工のコンクリート診断調査について

## ～ 今後の頭首工の設計・施工における留意点 ～

野村 憲裕

### 1. はじめに

現在までに整備された農業水利施設はダム、頭首工、用排水機場が約7千箇所、基幹的な農業用排水路は約4万5千kmに及ぶ。これらの多くの施設は高度成長期以降に集中的に整備されたものであり、今後、次々に耐用年数を越え更新時期を迎えることとなる。しかし、限られた予算のなかで従来の改修・改築で対処することは困難であり、施設の長寿命化を図り既存ストックを有効活用する必要がある。そのためにはコンクリート構造物の劣化原因の調査、劣化程度の判定・予測等のコンクリート診断が重要となる。

本報は、頭首工で実施したコンクリート診断調査を基にその調査診断技術の概要、および今後の頭首工の設計・施工における留意点を事例を基に紹介するものである。



写真-1 ひび割れ

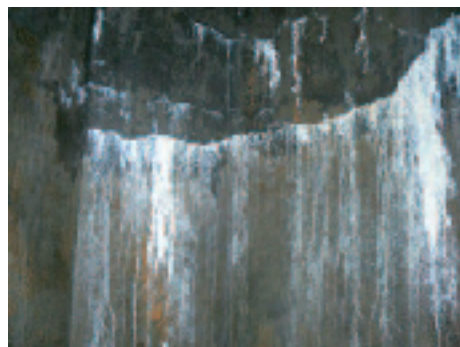


写真-2 エフロレッセンス

### 2. コンクリートの変状の種類

コンクリートの変状は大きく分けると、初期欠陥、経年劣化、構造的変状に分類できる。

#### ①初期欠陥

- ・ジャンカ（豆板）
- ・砂すじ
- ・内部欠陥
- ・表面気泡（あばた）
- ・コールドジョイント

#### ②経年劣化

- ・錆汁
- ・汚れ（変色）
- ・エフロレッセンス
- ・すりへり
- ・ひび割れ、浮き、剥落

#### ③構造的変状

- ・たわみ
- ・振動
- ・変形

### 3. 劣化の種類と特徴

#### 3. 1 中性化

中性化は、大気中の二酸化炭素がコンクリート内に侵入し炭酸化反応を起こすことによって細孔溶液のpHが低下する現象である。炭酸化反応とは、細孔内に侵入した二酸化炭素が細孔溶液に溶解して生成された炭酸イオンと、水酸化カルシウムから供給されるカルシウムイオンが反応し、炭酸カルシウムを生成する現象である。

コンクリートは一般にpHが12以上の高アルカリであり、この環境で鋼材の表面には厚さ3nm（ナノメートル）程度の不動態被膜が形成される。

コンクリートの中性化が進行し鋼材付近まで達すると、鉄筋の不動態被膜が消失し、水分と酸素の供給により鉄筋の腐食が生じ、腐食生成物の体積膨張によりコンクリートのひび割れや剥離を引き起こす。

### 3. 2 塩害

塩害とは、コンクリート中の塩化物イオンにより鋼材の腐食が促進され、腐食生成物の体積膨張によりコンクリートにひび割れや剥離を引き起こす現象である。塩化物イオンがコンクリート中に侵入する原因は、製造時に材料（海砂、塩化物を含む混和材）から供給される場合と、構造物の外部環境（飛来塩化物、凍結防止剤）から供給される場合がある。

塩化物イオン濃度が腐食の発生に必要な濃度に達すると鉄筋の不動態被膜が破壊され、アノード反応（鉄イオンが細孔溶液中に溶け出す）とカソード反応（鉄イオンが鋼材中に残した電子が酸素と水と反応する）が起き、この反応で生成された水酸化イオンと鉄イオンが反応して水酸化第一鉄を生成しアノード反応部で腐食が始まる。

### 3. 3 アルカリシリカ反応（ASR）

アルカリ骨材反応とは、アルカリシリカ反応性鉱物を含む骨材（反応性骨材）が、コンクリート中の高いアルカリ性の細孔溶液と反応して、コンクリートに異常な膨張やひび割れを発生させる現象である。アルカリ骨材反応は次の3つの条件がそろった時に劣化が進行する。

- ・限界値以上のアルカリの存在
- ・限界値以上の反応性シリカ量の存在
- ・十分な水分補給

ASRの特徴的な劣化としては、反応性骨材粒子の周囲に生成したアルカリシリカゲルの吸水膨張により内部応力が発生し、無筋構造物では亀甲状（網目状）のひび割れ、鉄筋構造物では拘束に沿った部材軸方向のひび割れが発生する。

### 3. 4 凍害

凍害とは、コンクリート中の水分が凍結融解を繰り返すことにより、コンクリートが表層に近い部分から徐々に劣化する現象である。凍害による主な劣化の形態は、ポップアウト、微細ひび割れ、スケーリング、崩壊が代表的である。

凍害劣化は、直接雨水にさらされたり水の溜まりやすい位置、昼夜の温度差が大きい日射を受ける南面や西面のコンクリート面、出隅部に発生しやすい。



写真-3 凍害劣化の状況

### 3. 5 化学的腐食

化学的腐食とは、コンクリートが外部からの化学的作用を受け、セメント硬化体を構成する水和生成物に変質あるいは分解して結合能力を失っていく現象である。コンクリートに有害な影響を及ぼす化学物質としては、酸類、アルカリ、塩類、温泉水、油類などがある。

### 3. 6 疲労

材料の静的強度に比較して一般に小さいレベルの荷重作用を繰り返し受けることにより破壊に至る現象を疲労あるいは疲労破壊という。

### 3. 7 風化・老化

風化・老化は、通常の使用条件で経年的にコンクリートが変質・劣化していく現象であり、磨耗、微粒子付着、生物付着、成分溶出などがある。

成分溶出は、コンクリート中のセメント水和物が

周囲の水に溶解して組織が疎となる現象で、接触する水の硬度が低い軟水（雪解け水など）ほど発生しやすい。

### 3. 8 火災

コンクリートは火災時の受熱により力学的特性の変化やひび割れなど劣化が生じる。強度や弾性

係数は500℃ で1 / 2程度まで低下し、冷却後はある程度回復するが完全に回復することはない。

500～580℃ になるとコンクリート中の水酸化カルシウムが熱分解し、pHが低下し鉄筋の防錆能力が低下する。火災初期にはコンクリートが剥離して鉄筋を露出する特異な破壊現象（爆裂）が起こる。

表4. 1 鉄筋コンクリート構造物の調査内容一覧表

調査段階	調査項目
資料調査	<p>設計・施工に関する調査 構造物の名称、所在地、設計者及び施工者 竣工年月日 設計内容（設計図、業務報告書、完成図書、用地図等） 施工内容（コンクリート配合報告書等）</p> <p>事故歴・補修歴の調査 維持管理状況調査 問診調査 内容、頻度等 問診調査表による施設管理者への調査</p>
目視調査	<p>変状状況に関する調査 デジタルカメラによる撮影（施設全体、顕著な変状） 浮き・剥離・剥落、鉄筋露出、錆汁、骨材露出、遊離石灰、変色、漏水、滞水、 補修跡、たわみ、沈下、継目損傷等 各変状の程度の把握</p> <p>ひび割れ調査 パターンによる変状原因の推定</p> <p>周辺状況調査 隣接道路（国道、農道、管理用道路等）及び鉄道の状況、住宅、農地、建築物、 その他構築物・工作物</p>
詳細調査	<p>ひび割れ調査 ひび割れ幅、長さ、深さ等の測定・記録</p> <p>骨材露出調査 骨材露出範囲、深さの測定・記録</p> <p>たわみ・変形量調査 傾斜計等による傾斜、たわみ、変形量の測定・記録</p> <p>沈下量調査 水準器による測定・記録</p> <p>コンクリート強度推定調査 シュミットハンマー等による強度推定</p> <p>その他劣化・変状調査 劣化・変状位置、箇所数の把握・記録 変状周囲の打音による浮き・剥離の把握・記録</p> <p>非破壊調査 電磁波レーダ（かぶり厚さ） 超音波探査（ひび割れ深さ） ドリル法（中性化深さ、塩化物イオン量） フェノールフタレイン法（中性化深さ） 鉄筋腐食程度の確認</p> <p>はつり試験</p> <p>試料採取による各種室内試験 中性化に関する試験 フェノールフタレイン法 塩害に関する試験 塩化物イオン含有量調査 アルカリ骨材反応に関する試験 コアの顕微鏡観察方法（反応鉱物の判定）、コアの化学的試験方法（ゲル成分調査、含有塩分量調査、水溶性アルカリ量調査）、コアの物理的試験方法（吸水率試験、動弾性率の測定、圧縮強度試験）、コアの膨張量測定方法、コアの反応促進試験方法、骨材の分離及び観察方法、骨材の物理試験方法、骨材粉末の調整方法、骨材のアルカリシリカ反応性試験、骨材のX線分析</p> <p>凍害に関する試験 細孔構造の調査（細孔量、細孔径分布）、空隙構造の調査（空気量、気泡間隔係数）、凍結融解試験</p> <p>配合推定 配合推定試験（セメント協会法、ICPを用いる方法他）</p> <p>鉄筋腐食量 鉄筋の腐食面積率、鉄筋の腐食による減少重量の算出</p> <p>低強度下 圧縮強度試験、反発度法・局部破壊試験による強度推定</p> <p>構造物の使用・環境条件調査</p>

#### 4. 調査手法の概要

コンクリート構造物の診断のための調査は大きく基本調査と詳細調査に分けられる。

##### 4. 1 基本調査

基本調査は資料調査と目視調査に分けることができる。

資料調査では、設計時および施工時の記録の調査、維持管理記録の調査、施設管理者への問診調査など行う。これらの調査により、劣化原因をある程度まで推定でき、現地調査の項目を絞り込むことが可能となり、維持管理記録は将来的な劣化予測を行ううえで重要な役割を果たす。

目視調査は、コンクリート表面に顕在化した損傷の状況や構造物全体の変形状況、構造物周辺的环境状況を目視観察や簡単な器具等を用いて把握する調査方法であり、コンクリート構造物を診断するうえで、最も重要な情報が得られる調査の一つである。

##### 4. 2 詳細調査

詳細調査は、基本調査において変状の原因、程度の正確な把握が困難な場合に実施するものであり、基本調査の結果を踏まえて要求される調査レベル、経済性、現場状況等を考慮し、必要な調査

方法を選定し実施する。

主な調査内容は、ひび割れ幅、骨材露出深さ、部材のたわみ量等の調査や、コンクリート強度推定、はつり試験、試料採取による各種室内試験、電磁波や超音波等を利用した非破壊調査などがあり、構造物の性能低下の程度を定量的に把握することを目的とする。

コンクリート構造物の一般的な調査内容の一覧を表4. 1に示す。

#### 5. 頭首工のコンクリート診断調査

これまでコンクリートの変状の種類、劣化機構、調査手法の概要について述べてきたが、ここでは当社で行った頭首工の機能診断調査を基に、コンクリート診断調査の事例について報告する。

##### 5. 1 頭首工の概要

調査対象の頭首工は、河口から180km程上流に位置するフィクスタイプの頭首工で、堰幅は約80m（洪水吐3径間、土砂吐1径間）である。

竣工年は昭和55年で経過年数は28年程であり、頭首工本体に大きな損傷はない。

##### 5. 2 目視調査

目視調査では、ひび割れ、鉄筋露出、錆汁、骨

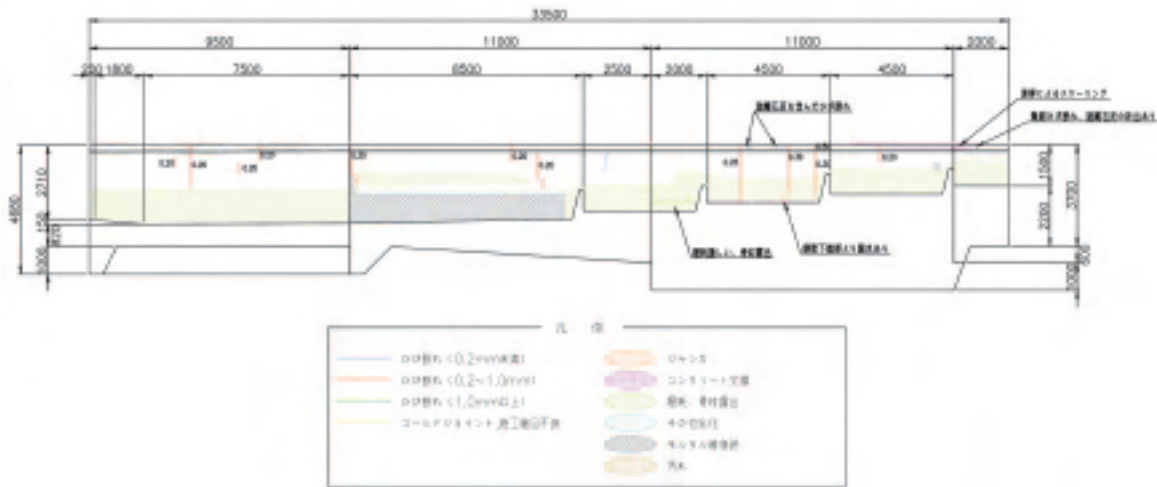


図5.1 劣化状況のスケッチ

材露出、遊離石灰、漏水、補修跡等の発生状況をスケッチし(図5. 1)、デジタルカメラにより撮影を行った。これらの調査結果より、

- ・緊急対策の必要性
- ・損傷原因の推定
- ・損傷原因を確定するための調査の必要性
- ・コンクリート内部の損傷状況を把握するための調査の必要性

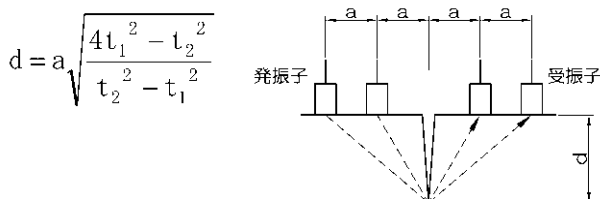
について判断する。

### 5. 3 ひび割れ調査

#### (1) 調査方法

ひび割れの発生方向、幅、本数等は目視調査により図面に記録した。ひび割れ幅はクラックスケール(写真-4)により測定した。また、クラックスケールは主観的な測定誤差があることから、客観的な測定値を得られるひび割れ幅測定器(写真-5)を併用した。ひび割れ幅は、ひび割れ全長の幅の分布に留意し、最大幅または適当な数箇所を測定した。

ひび割れ深さは超音波法(BS法)により測定した。超音波法(写真-6, 7)は、ひび割れ開口部を中心として発振子と受振子の距離をそれぞれa及び2aとした時の各伝播時間(t1, t2)よりひび割れ深さを求める方法である。



#### (2) 調査結果

本頭首工には、堰柱の側面および取水工背面壁に多数のひび割れが見られた。堰柱側面のひび割れは幅0.20~0.35mmの縦方向のひび割れで各面に1~2本発生している。深さは10cm程度の表面ひび割れであり、内部拘束応力による温度ひび

割れと推定される。

取水工背面壁の表と裏からひび割れの状況を確認すると、ひび割れパターンはほぼ一致しており多くのひび割れは貫通していることがわかる。

ひび割れはほぼ直線状であり、中央部では鉛直

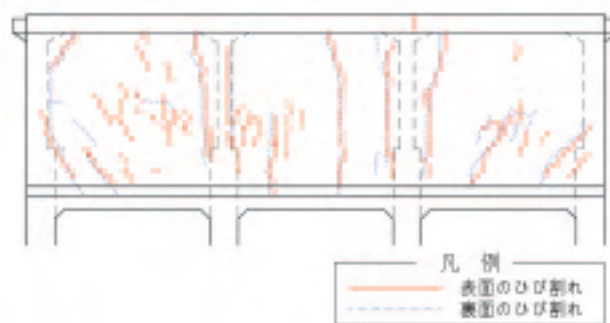


図5. 2 取水工背面壁のひび割れ状況

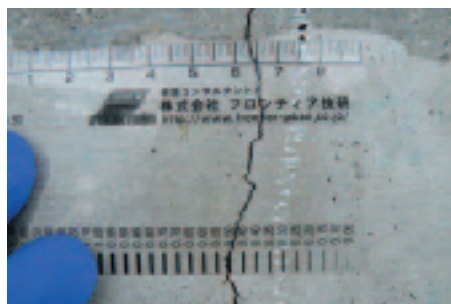


写真-4 クラックスケール



写真-5 ひび割れ幅測定器



写真-6 超音波法によるひび割れ深さの測定



写真－7 発振子と受振子

方向のひび割れ、両端の下部では逆八の字型のひび割れが発生している。ひび割れの原因は背面壁の乾燥収縮が下部のボックス部や両端の門柱に拘束されることにより生じたものと推定される。また、背面壁は東西方向を向いており、午前と午後の日射の影響による外側と内側の温度変化が繰り返されることから、温度伸縮も原因の1つと考えられた。

#### 5. 4 コンクリート強度試験

コンクリートの強度を調べる方法には採取したコアの強度試験から求める方法、反発度から強度を推定する方法などがある。

##### (1) コア採取による圧縮強度試験

コアの採取は、目視調査の結果や目的等から採取箇所を選定し、電磁波レーダーにより鉄筋位置を把握し採取位置を決定した。コアの直径は鉄筋



写真－8 コア採取状況

間隔の制約がないことからφ100mmとした。穿削時の冷却水は河川に流れ出ないようにポリタンクに集水(写真－8)し環境面に配慮した。一軸圧縮強度試験の結果は平均30.4N/mm<sup>2</sup>となり全ての供試体が設計基準強度21.0N/mm<sup>2</sup>を上回っていた。

##### (2) 反発度法による強度推定

反発度法は、コンクリートの表面をテストハンマー(シュミットハンマー)によって打撃し、その反発硬度から圧縮強度を求める方法である。試験方法は日本材料学会による基準が一般的に用いられており、反発度から圧縮強度を求める換算式は次式となる。

$$F_c = -18.0 + 1.27R$$

ここに、 $F_c$ ：コンクリート圧縮強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$R$ ：反発度

ハンマーの角度により打撃エネルギーが異なるので角度補正を行うほか、必要に応じて材齢補正、応力状態による補正、表面の乾湿による補正を行うが、コア採取による実強度と比較した結果、材齢補正なしの強度推定値が実強度にほぼ一致したため、材齢補正は行わなかった。

試験時には、コンクリート表面の凸凹、塗膜、ブリージング、付着物などをワイヤーブラシを用いて除去することに留意した。

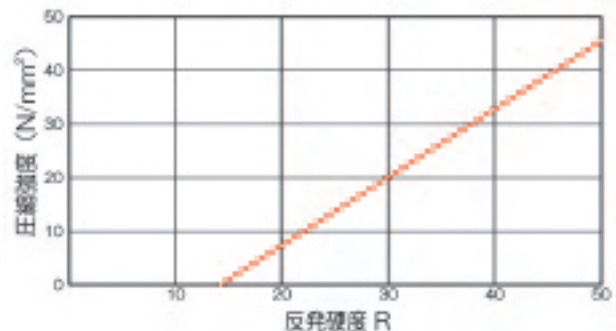


図5. 3 反発硬度と圧縮強度の関係





写真-9 テストハンマー打撃状況

### (3) コンクリートテスターによる強度推定

コンクリートテスターは、ハンマでコンクリートを打撃したときの打撃力の時間波形を測定・解析することにより、コンクリートの圧縮強度推定や、表面近傍（表面から50mm程度）の浮きや剝離の検知、及び劣化度合い（塑性化）を検知するコンクリート専用の非破壊検査装置で、ARICに登録されている。

コンクリートテスターにより測定した強度指標値STRと圧縮強度Fcの関係は以下の式で表される。

$$\begin{aligned} \text{STRが16.5未満} & \quad Fc = [\text{STR}]^2 / 10 \\ \text{STRが16.5以上} & \quad Fc = 6.97 \times [\text{STR}] - 87.7 \end{aligned}$$

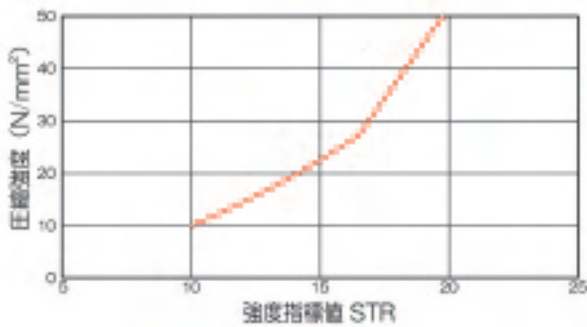


図5.4 強度指標値STRと圧縮強度の関係

### (4) 圧縮強度の比較

コア採取による圧縮強度試験およびテストハンマー、コンクリートテスターによる強度推定を行った結果、コア採取とテストハンマーによる推定値はほぼ同程度の値を得ることができた。コンクリートテスターは他の方法に比べると小さめの値

となっており、特に磨耗により骨材が露出し表面が凸凹している箇所での傾向が強い。

## 5. 5 中性化試験

中性化は、炭酸化反応によりコンクリートのpHが低下する現象で、これにより鉄筋表面の不動態皮膜が消失し、水分と酸素の供給により鉄筋の腐食が進行する。よって中性化による劣化度を評価するためには、中性化深さとともに鉄筋かぶり深さが重要となる。

### (1) 鉄筋かぶり深さ調査

鉄筋かぶり深さは電磁波レーダー（写真-10）により測定した。電磁波レーダーは、放射された電磁波がコンクリートと電気的性質の異なる物体との境界面で反射し、その往復の伝搬時間から反射物体までの距離を求めている。

コンクリート中の電磁波の伝搬速度は比誘電率により決まり、コンクリートの比誘電率は乾湿等によりその値が4～20と変動するため、かぶりの測定値をコンクリートの状態により補正する必要



写真-10 電磁波レーダー

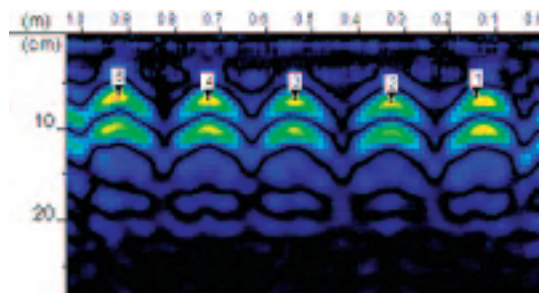


図5.5 鉄筋の反射映像

がある。比誘電率の推定方法にはいくつかの方法があるが、本調査では独立行政法人 土木研究所によって提案されている「鉄筋径を用いる方法」により補正を行った。

## (2) 中性化試験

中性化試験は、圧縮強度試験と併用して行うコア採取による方法（写真-11）を基本とするが、コア採取による方法だけでは多くのデータを得ることができない。中性化深さはコンクリートの品質、環境条件によって大きく値が異なるため、できるだけ多くの箇所で測定する必要がある。本頭首工では非破壊試験に分類され構造物への負担が少ないドリル法（写真-12）によりデータの補完を行うこととした。

コアによる中性化深さとドリル法による中性化深さを比較すると、若干ドリル法によって得られた中性化深さは大きめの値となっているが、高い相関関係が認められ、簡易法であるドリル法により得られた中性化深さも十分な信頼性を有しているといえる。（図5. 6）

中性化試験の結果、中性化の最大値は約30mm

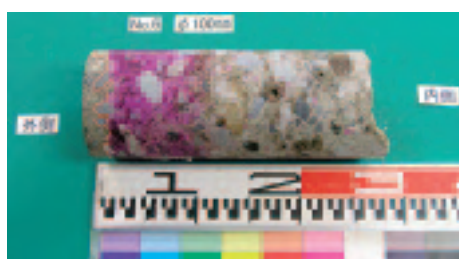


写真-11 コアによる中性化試験



写真-12 ドリル法による中性化試験

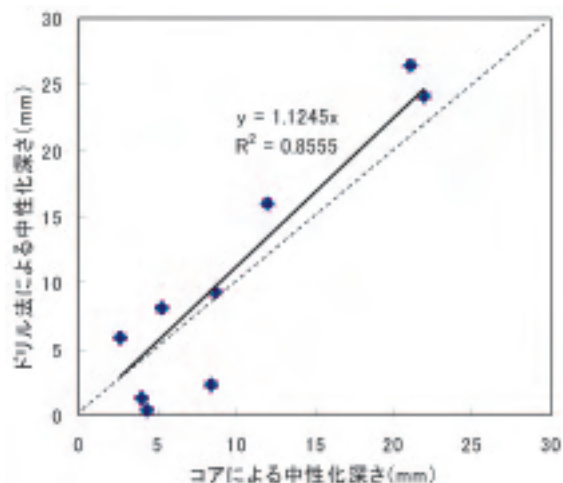


図5. 6 コア採取とドリル法による中性化深さ

で、竣工後28年の構造物としては中性化の進行速度が早いといえる。中性化進行速度の速い部位は、堰柱の門柱部や取水工、樋門工、橋脚など気中部にあるコンクリートであり、水面以下にあることが多い部材では中性化深さは数 mm 程度となった。

中性化速度は部材の乾湿に大きな影響を受けることから、中性化試験の位置選定には日射の状況、雨水のかかり方等を十分考慮する必要がある。

## 5. 6 はつり試験

取水工背面壁は中性化の進行が早く、ひび割れも多数確認されている。中性化は幅の広いひび割れに沿って進行することが多く、かぶり部分のコンクリート全てが中性化していなくても、ひび割



写真-13 鉄筋腐食状況の確認

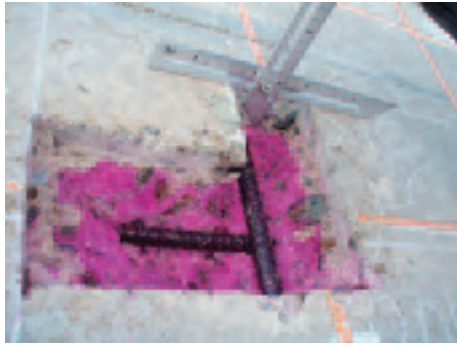


写真-14 中性化試験

れ部の鉄筋腐食が進行する可能性があることから、はつり試験を行いひび割れ部の中性化の進行状況、鉄筋の腐食状況の確認を行った。(写真-13, 14)

はつり試験の結果、ひび割れ部の中性化の進行および鉄筋腐食は確認されなかった。

### 5. 7 たわみ・変形量調査

護岸擁壁の傾倒調査および土砂吐エプロン・洪水吐エプロンの不同沈下の有無およびエプロンの磨耗状況の調査を行った。(写真-15, 16)

護岸擁壁については、傾倒は無く継目部の目違



写真-15 擁壁の傾倒調査



写真-16 エプロンの磨耗・不同沈下調査

い等も発生していなかった。エプロンは不同沈下はしていないが、全体的に流水の影響により磨耗しており最大2.4cmの磨耗が確認された。

### 5. 8 サーモグラフィー法

サーモグラフィーとは、コンクリート表面から放射される赤外線を、検出素子を用いて二次元的に走査し、検出された赤外線量を映像として表示する方法である。赤外線映像装置(写真-17)を用いて物体の表面温度分布を測定し、熱画像上に現れる表面温度異常部から、内部欠陥の存在を推定する。



写真-17 赤外線映像装置

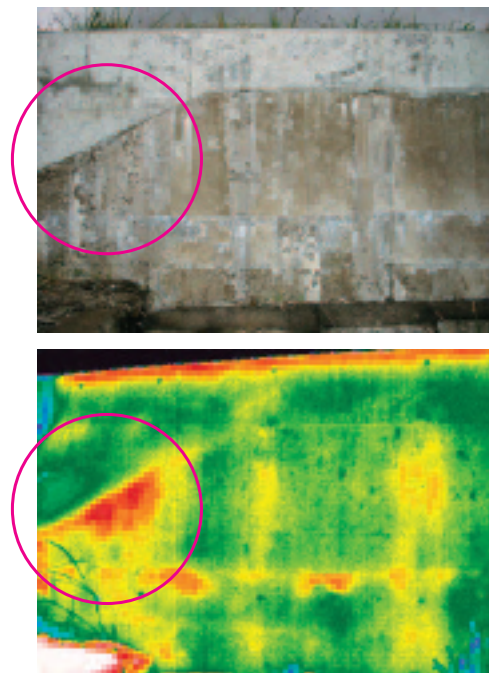


写真-18 コンクリートの表面温度分布  
上：デジタルカメラによる画像  
下：サーモグラフィー（○印部に表面温度の異常部が見られる）

測定精度が気象条件や時間帯に左右される、欠陥の検出深度は5 cm程度である、等の制約条件があるが、離れた所から大面積の測定が可能であり、頭首工のコンクリート診断調査においては、護岸擁壁の内部欠陥の検出や、堰柱等の高所部の調査に有効に活用した。

## 6. 設計・施工における留意点

コンクリート診断調査を行う中で、劣化の発生している場所や劣化の要因を調べると、設計・施工段階で防げるものも少なくない。今後のコンクリート構造物の設計・施工における留意点を、事例を基に以下にまとめる。

写真-19は擁壁天端の凍害劣化の状況である。凍害の発生には水の供給が大きな要因となっており、この凍害劣化部は堰柱頂版に設置された排水管が水の供給源となっている。設計段階において操作室の排水管の位置や管理橋の排水管の配置に留意する(コンクリート構造物からなるべく離す、



写真-19 擁壁天端に発生した凍害劣化

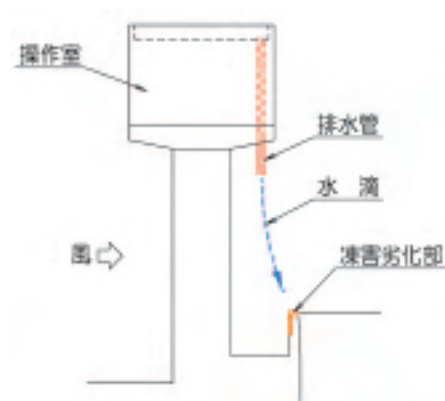


図6. 1 凍害劣化部への水の供給



写真-20 堰柱頂版の排水管

配管により地面に排水する等)ことが重要である。

本頭首工には頂版下面に水切りが設置されている。水切りにより雨水の流下が抑制されるため頂版下面には凍害や汚れ(黒色付着物、エフロレンス等)は見られない(写真-21)。水切りがない場合は、頂版下面全体に凍害や汚れが発生する(写真-22)ため耐久性上および美観上問題があり、水切りは有効であるといえる。

写真-24は堰柱側面の状況であり、管理橋の下側に水の流下による汚れが見られる。また管理橋の橋座部は凍害による劣化が進んでいる(写真-25)。これらの原因となっているのが管理橋継目からの水の供給である。継目には目地材が設置さ



写真-21 水切りの効果



写真-22 水切りがない場合の例



写真-23 管理橋継目



写真-26 鋼材による隅角部の保護



写真-24 堰柱側面の状況

れていたが現在は全て欠落している。(写真-23)

目地部の耐久性や継目に水が集まらない構造となるように設計で考慮するほか、定期的な維持管理で頭首工本体に劣化として現れる前に劣化の要因を排除することが重要である。

水の供給が無い場合でも隅角部などは激しい気象作用により凍害の発生する可能性がある。このような部位は、隅角部を鋼材によって保護することも設計段階で検討する必要がある。(写真-26)



写真-25 管理橋 橋座部の状況

## 7. おわりに

本報ではコンクリート診断の調査手法を中心に述べたが、コンクリート診断で重要なのは、これらの調査手法で得られた結果を基に劣化機構、劣化要因を明らかにし、将来の各種性能の劣化予測から補修・補強の要否判定を行うことである。

農業水利施設の劣化の評価・判定にはまだ不確定な要素があり、補修技術も日々進化している。今後は診断技術の動向や新しい補修技術に常に目を向けていくことが重要である。

(株)フロンティア技研

## 参考文献

- 1) コンクリート診断技術'07 [基礎編]: (社)日本コンクリート工学協会, 平成19年1月
- 2) 農業用水利施設のコンクリート構造物調査・評価・対策工法選定マニュアル: 農林水産省農村振興局整備部設計課施工企画調整室, 平成19年4月



# 各種前処理が乳牛ふん尿スラリーに及ぼす 物理性変化とエネルギー評価の比較

寺山 貢平

## 1. はじめに

北海道では近年、酪農家1戸当りの乳牛飼育頭数が急増しており、牛舎内での飼養形態はスタンション飼養（つなぎ飼い）からフリーストール飼養（放し飼い）へと変化してきている。それに伴い、ふん尿の処理方法は堆肥処理からスラリー処理への移行がすすんでいる。スラリー処理は、堆肥処理に比べて水分調整資材などの副資材の使用量が少ないことや、一度に多量のふん尿を処理できることなど、作業的に有利であることが考えられる。しかし、乳牛ふん尿スラリーは敷料や残餌といった粗大有機物やタンパク質や糖類といった粘着性物質を多く含有しているために、流動性が低いなど物理的条件が悪いことが知られている。そのため、発酵槽や貯留槽におけるスカムの発生や、敷設配管の閉塞、搬送効率の低下などの問題が報告されている。したがって、スラリー処理を効率的に進めるためには、高有機物負荷・高粘性といった理化学性を改善して、管路搬送に適した性状にまで前処理することが重要である。

スラリーの前処理には、加水処理や固液分離処理、破碎処理の3種類が主に採用されているが、前処理の違いによるスラリーの物理性比較については検討されていないのが現状であった。

そこで、本報告では3種類の前処理方法を施したスラリーに加え、未処理スラリーの物理性を比較することを試みた。また、これらの結果から、各種前処理において発生するエネルギーについても評価・比較を行った。

## 2. 乳牛ふん尿スラリーの前処理方法

一般に、スラリーの前処理には、前述したとおり①加水処理、②固液分離処理、③破碎処理の3種類が主なものである（図1）。①加水処理は、パーラー排水や希釈水を加えてスラリーの含水率を高める方法である。本処理は最も簡易な方法ではあるが、希釈後のスラリー量が増大するという点で他処理とは異なる。②固液分離処理は、スラリーに含まれる敷料や残餌などの粗大物質を固液分離機（図2）により取り除く処理であり、処理後のスラリー量および固形物濃度（TS）が低下するという特徴を持っている。また、③破碎処理は、スラリーに含まれる粗大物質を、図3に示す破碎処理機により細かく碎きながら攪拌する処理であり、処理前後のスラリー量およびTSは変化しない。

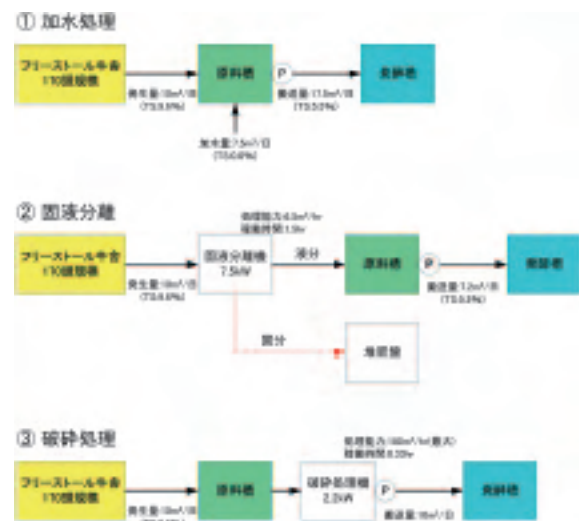


図1 スラリーの前処理方法

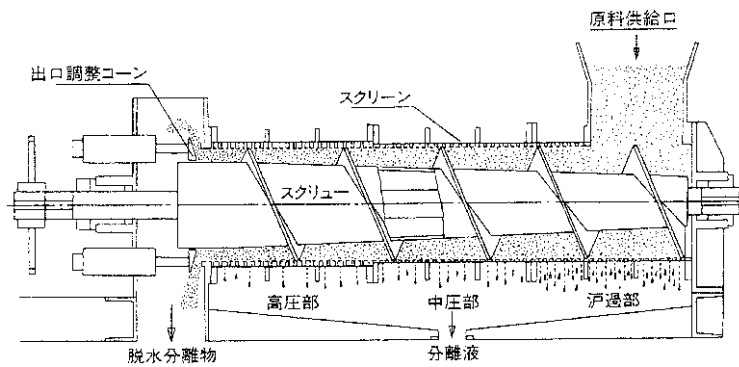


図2 スクリュープレス式固液分離機の構造図



図3 破碎処理機の概要

### 3. スラリー固形分の粒径組成

スラリーに含まれる固形物の粒径組成を図4に示す。未処理液は、粒径 $500\mu\text{m}$ 以上のF1～F3画分の割合が51%、 $53\sim 500\mu\text{m}$ のF4～F6画分が11%、 $53\mu\text{m}$ 未満のF7～F9画分が39%で、粗粒有機物の含有割合が高くなった。加水処理液では、F1～F3画分の割合は33%、F4～F6画分は12%、F7～F9画分は55%で、微細有機物の割合が高くなる結果を得た。この傾向は、固液分離液でも同様であった。固液分離液においてF7～F9画分の割合が高くなるのは、敷料などの粗大有機物が除去されたためであると考えられる。また、加水処理液においてF1～F3画分割合が低く、F7～F9画分割合が高いのは、処

理により、凝集していた微細粒子が粗粒有機物から分離したためであると推察される。

一方、破碎処理液では、F1～F3画分の割合が43%、F4～F6画分が15%、F7～F9画分が42%となり、未処理液に比べると粗粒有機物の割合が減少し、逆に細粒～微細有機物が増加した。破碎処理液の粗粒有機物の内でもっとも減少割合が大きかった画分は粒径 $2,000\mu\text{m}$ 以上のF1画分であったことから考えると、破碎処理は主に $2,000\mu\text{m}$ 以上の粗粒有機物を粉碎して細粒化を行う方法であることが示されたといえる。

### 4. スラリーの粘性特性

液温 $20^{\circ}\text{C}$ における各スラリーの流動曲線を図

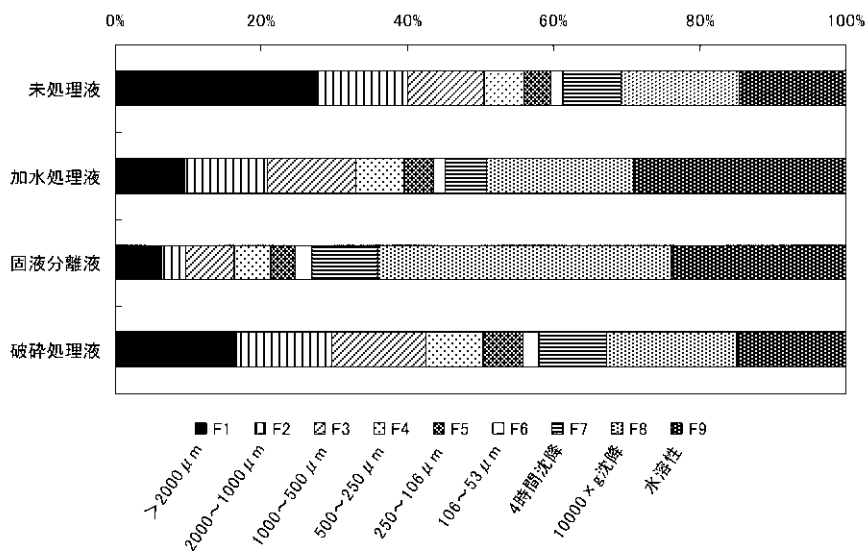


図4 スラリー中固形分の粒径組成



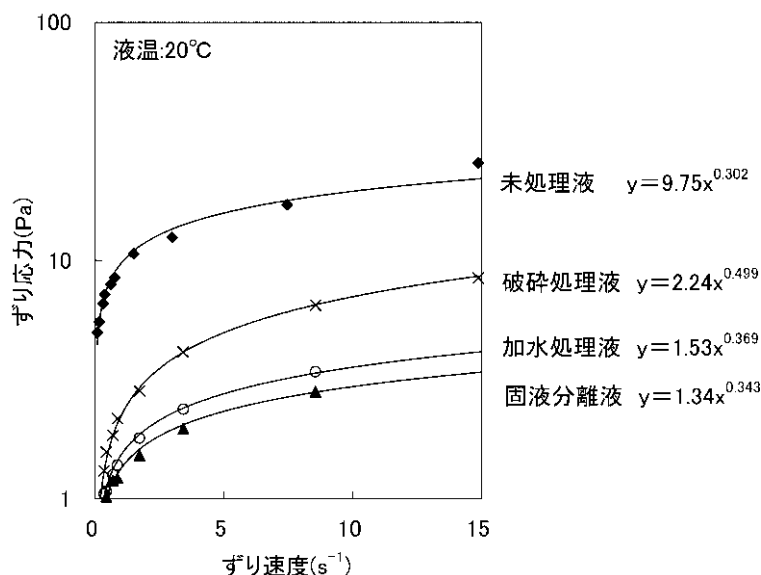


図5 スラリーの流動曲線

5に示す。いずれのスラリーも、ずり速度とずり応力が比例関係になく、低ずり速度ではずり応力が大きく増加し、高ずり速度ではずり応力の変化幅が小さくなった。このように、本報告で用いたスラリーは非ニュートン擬塑性流体の特徴を示していた。一般に、非ニュートン擬塑性流体は  $y = \eta_0 x^n$  で表される。ここで、 $\eta_0$ は流体粘稠度指数、 $n$ は構造粘度指数である。この流体においては、流動性が高いほど  $\eta_0$ が小さく、 $n$ が大きくなるという特徴を持っている。本報告で用いたスラリーの  $\eta_0$ は未処理液 (9.75) > 破碎処理液 (2.24) > 加水処理液 (1.53) ≒ 固液分離液 (1.34) の順に高くなった。また、スラリーの  $n$ は、未処理液 (0.302) < 固液分離液 (0.343) ≒ 加水処理液 (0.369) < 破碎処理液 (0.499) の順に低い結果を

得た。

これらの結果から、破碎処理によってスラリーの流動性が加水処理および固液分離に近い性状まで改善されることが明らかとなった。つまり、破碎処理は、加水処理や固液分離処理とは異なり、スラリーのTSを低下させることなく流動性を改善させる方法であるといえる。

### 5. スラリーの搬送効率

スラリーの搬送効率は、前述の粘性特性結果から推定することが可能である。ここでは、スラリーの流動曲線（液温20°C）から得られた流体粘稠度指数および構造粘度指数を基にし、摩擦損失係数および摩擦損失水頭を求めた。算出された摩擦損失係数・摩擦損失水頭を表1に示す。なお、算

表1 室内粘性試験をもとに算出した摩擦損失係数および摩擦損失水頭

試料名	流体粘稠度指数 $\eta_0$	構造粘度指数 $n$	レイノルズ数 Re	流れの状態*	粘度試験による摩擦喪失係数 $f_L$	摩擦損失水頭** (m)	摩擦損失圧力** (kJ/m³)
未処理液	9.75	0.302	111	層流	0.575	115.0	1128
加水処理液	1.53	0.369	554	層流	0.116	23.1	226
固液分離液	1.34	0.343	692	層流	0.093	18.5	181
破碎処理液	2.24	0.499	235	層流	0.272	54.4	533

\* レイノルズ数 Re が2000未満のときを層流、2000以上のときを乱流と判断した

\*\* 配管径：0.125m、搬送距離：直線1000m、平均速度：0.7m/s、1日の搬送量は未処理液および破碎処理液が10m³、加水処理液17.5m³、固液分離液7.2m³と仮定し算出した。

出条件は表1 欄外のとおりである。

摩擦損失係数は、未処理液 (0.575) > 破碎処理 (0.272) > 加水処理液 (0.116) > 固液分離液 (0.093) の順に高くなった。これに伴い、摩擦損失水頭の算出結果も、未処理液 (115m) > 破碎処理液 (54.4m) > 加水処理液 (23.1m) > 固液分離液 (18.5m) の順であり、各前処理によって搬送効率が大幅に改善されることが明らかとなった。

## 6. スラリーの搬送エネルギー

スラリー処理施設から発生するスラリーを圃場配管で搬送することを想定し、各処理による搬送エネルギーを求めた。ここでの搬送エネルギーは送液エネルギーと機械処理エネルギーの合計で評価した。

表1の摩擦損失係数・摩擦損失水頭から送液エネルギーを算出した結果、未処理液11.3MJ、加水処理液4.0MJ、固液分離液1.3MJ、破碎処理液5.3MJとなった(表2)。

また、機械処理エネルギーは、未処理および加水処理が0 MJであったのに対し、固液分離処理が40.5MJ、破碎処理が2.6MJであり、固液分離機を用いると著しく高くなることが示された。また、これらのエネルギーを加えた合計搬送エネルギーは、固液分離 (41.8MJ) > 未処理 (11.3MJ) > 破碎処理 (7.9MJ) > 加水処理 (4.0MJ) の順に高くなる結果を得た。

上記の結果から、固液分離処理は、固形分が除去されるためスラリー総量および摩擦損失水頭は減少するものの、膨大な機械処理エネルギーを必

要とし、搬送エネルギーの面からは不利な処理方法であることが示された。一方、加水処理では、スラリー総量は増加するが、摩擦損失水頭が著しく減少するために搬送エネルギーの面からは有利な処理方法であると判断できる。破碎処理は、機械処理エネルギーが必要とはなるが、そのエネルギー量は固液分離処理に比べ低いため、合計搬送エネルギーが未処理よりも減少することが明らかとなった。

## 7. おわりに

本報告では、前処理の違いによる物理性と搬送エネルギー比較のみの検討であり、次工程以降の検討は着手していない。そこで今後は、前処理の違いが次工程(発酵槽や貯留槽での処理等)にどのような影響を与えるかを検討し、それを踏まえた上で、再度、エネルギー評価を行う必要があると考えている。

(株)ズコーシャ

## 参考文献

- 1) 中村和正・宮崎健次・門間 修：牛ふん尿スラリーの管路輸送に関する基礎的実験、開発土木研究所月報 No.532、p12~20(1997)
- 2) 小菅定雄・山本義弘：スラリーかんがい(スラリーイグレーション)その理論と実際、p227~235、(社)北海道土地改良設計技術協会、札幌(1997)

表2 スラリーの機械処理エネルギーおよび送液エネルギー

処理方法	機械名	電気動力 (kW)	搬送量 (m <sup>3</sup> /日)	稼働時間 (時間)	機械処理 エネルギー (MJ)	送液 エネルギー (MJ)	合計搬送 エネルギー (MJ)
未処理	—	—	10.0	—	0.0	11.3	11.3
加水処理	—	—	17.5	—	0.0	4.0	4.0
固液分離	固液分離機	7.5	7.2	1.50	40.5	1.3	41.8
破碎処理	破碎処理機	2.2	10.0	0.33	2.6	5.3	7.9

# 独立電源無線観測装置を用いたタンチョウのねぐら調査

田中 真也

## 1. はじめに

### (1) タンチョウ調査の概要

道東の阿寒郡鶴居村は、広大な農地と冷涼な気候を活かした酪農を基幹産業とする純農村地帯であり、南部には広大な釧路湿原が広がっている。

村内には、特別天然記念物のタンチョウが飛来し、釧路川支流の中小河川120本にはサケ、マスの遡上を始め、環境省希少種の「エゾトミヨ」などが生息し優れた河川環境を有している。

鶴居村の南部は釧路湿原と酪農地帯の境界に位置しており、村内の農地に隣接するヨシ原は初春～秋にかけてはタンチョウの繁殖地として、また、村内を流下する雪裡川、幌呂川は冬期間には日本最大のタンチョウのねぐらとして利用されている。

村内の農地にも年間を通じて多くのタンチョウが飛来し、餌場や繁殖地として利用されており、地理的・生態的側面から村内南部はタンチョウを始めとした生態系や湿原環境への配慮が特に必要な区域となっている。

### (2) タンチョウについて

日本のタンチョウは明治には絶滅したと考えられ、再発見された大正13年にも10数羽が確認されるのみであるなど個体数は激減していた。その後、昭和25年の人工給餌開始以来、地域住民を始めとした給餌等の保護活動により実に50年以上をかけて平成18年には1000羽を確認するに至った。

しかし、個体群の遺伝的な多様性は極めて低く、依然として種を維持するのに最小限の個体数であることから、伝染病の罹患等の危険分散と個体数の増加に向けた生息地の保全・確保と分布拡

大が急務となっている。

このため、農地整備の施工においても繁殖活動及び餌場・ねぐら環境等、生息地への配慮が不可欠である。また、村内南部は田園環境整備マスタープランや釧路湿原自然再生全体構想の対象となっており、整備計画に加えてこれらとの整合を図りつつタンチョウへの配慮方法を検討することが求められる。

### (3) ねぐら調査の必要性

タンチョウの生態は神秘のベールに包まれている部分も多く、農地整備実施によるタンチョウへの影響の判断や、配慮事項を検討するための基礎情報を調査する必要がある。

このため、周辺区域を対象とし、タンチョウの生態調査を始めとして、河川地形や植生、餌として想定される魚類・昆虫などについて総合的な環境調査が実施されている。

タンチョウは3月～5月に湿原を中心にそれぞれのつがいごとに営巣・抱卵し、湿原内を中心として一定のホームレンジを維持しながら8～9月頃まで育雛を行う。この時期は広大な釧路湿原全体にばらばらに過ごしているため、地域に生息するタンチョウの全体像を把握することは困難である。

しかし、タンチョウは10月頃にはねぐら周辺へ移動し、大きな群れを形成して越冬するため、地域に生息するタンチョウの全体像を継続的にモニタリングするためにはねぐら利用状況の調査が有効と考えられる。

## 2. ねぐら観測にあたっての課題と対処方針

### (1) 観測地点への立ち入り制限

地域は冬期間全国的にも有名なタンチョウ観測スポットとして知られ、毎年多くのカメラマンが現地を訪れる。近年では、マナーの悪い一部のカメラマンがねぐら周辺にまで立ち入ることも懸念されるようになってきている。雪に足跡を付けることが、カメラマンをねぐら周辺へ誘引する要因ともなりうることから、原則として降雪後（冬期間）は観測地点へ立ち入ることができない。

このため、観測地点にカメラを設置し、カメラの画像のみを通じてねぐらの利用状況を観測する方針とした。

### (2) 設置工事等の制限

ねぐら観測地点は河川敷地及び国立公園に隣接する区域である。このため、河川の流下への影響や環境の改変を避ける必要があった。

観測地点から立ち入り可能地点までの距離は1 km 前後あり、既設の電線から電源を引き込み、観測地点まで電柱を敷設する工事は上記の理由により不可能であった。

このため、電源及び通信ケーブルを簡易的に敷設することも検討したが、長距離であるためエネルギー損失及びデータ損失が生じることが予想された。

したがって、電源は長期間稼働可能な電源の中で最も普及している独立電源方式（ソーラ発電）とする方針とした。

また、データ回収に用いる通信は無線方式とし、インターネット経由でデータ伝送を行い、現地に行かなくてもリアルタイムで観測が可能となるよう携帯電話の通信網を活用する方針とした。

## 3. 独立電源無線観測装置の開発

2. で述べた方針に基づき、独立電源無線観測装置を取り扱う業者数社から見積もりをとったところ、予定していた予算の数倍の額を提示された。

このため、独自に観測装置を開発することとし、以下の点に留意しつつ観測装置の細部を検討した。

### (1) 基本方針

一般的な機器構成のコスト構成を分析すると、ソーラパネル及び特殊バッテリー、充放電制御装置のコストが大きな部分を占めていた。このため、消費電力をシビアにマネジメントすることで電源関係のコストを節減する方針とした。

### (2) 待機電力

観測期間中、観測地点は $-20^{\circ}\text{C}$ を下回る低温となる。一般的に電子機器の動作可能温度は $0^{\circ}\text{C}$ 以上であり、低温下での起動（コールドスタート）は機器の動作が不安定となるため完全に機器を停止することが困難であり、待機電力が発生する。

この電力を節減するため、コールドスタートに耐えうる機器を選定するとともに、消費電力が極めて少ない電源制御装置を開発した。

### (3) ヒーター類電力

観測地点は湿原に隣接し、冬期間の相対湿度は常に100%近い値を示す。このため、機器の結露防止・レンズ曇り対策が必須である。

この対策として結露防止ヒーター、曇り防止ヒーターが機器に組み込まれているが、ヒーター類は非常に多くの電力を消費する。

この電力を節減するため、電力を使わず機器の格納箱に結露を防止する工夫を施すとともに、過酷な環境下でも結露しにくいカメラを選定した。

### (4) 観測時間のコントロール

タンチョウのねぐら観測は日の出・日の入時刻に合わせて日々変動する。このため、観測時間に余裕をもたせて一定時刻の観測とするのが一般的であるが、この方式では本当に必要な観測時間の2倍程度の観測時間となり、電力・通信費の面

で効率が悪い。

この効率を向上させるため、(2)で述べた電源制御装置の基盤に日の出・日の入時刻のテーブルを組み込み、日の出・日の入にあわせて観測時間を変動させた。

#### (5) 稼働試験及びフィードバック

こうした機器を開発・試験運転し、観測開始1ヶ月前に現地での稼働試験を実施した。

稼働試験では様々な不具合が生じたが、各パーツの調整や交換、不具合を解消するための機器の追加などを経て、予定した時期に観測を開始し、春先まで長期間安定的に稼働させることができた。



写真 - データ処理・電送装置内部



写真 - 本体外観



写真 - 観測された画像



写真 - カメラ設置状況



写真 - 観測された画像

#### 4. 観測結果の活用

観測された画像を基に、各観測地点におけるねぐら利用羽数を整理した。

この結果、10月下旬には既に河川をねぐらとして利用している個体もあり、11月～12月にかけて個体がねぐら位置に集まってくる事が確認された。

また、最も大規模なねぐら地点については河川地形図に可能な限り利用状況をプロットし、GISを用いたデータ処理を行った。

この結果、観測地点のタンチョウは水深10cm程度に多くねぐらを取り、水深は徐々に深い場所へ、位置は徐々に下流側へと移動する傾向が確認された。

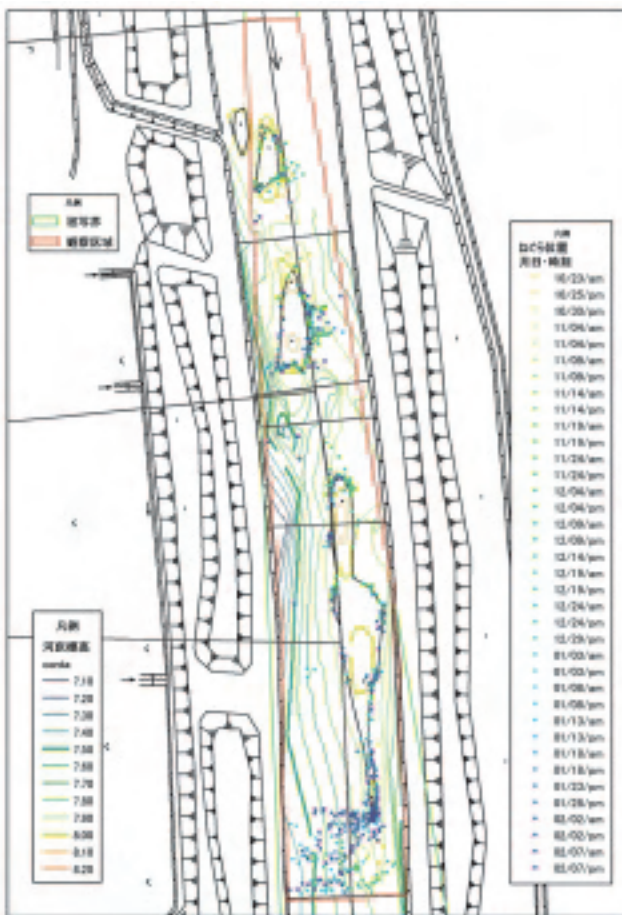


図 - ねぐら位置図

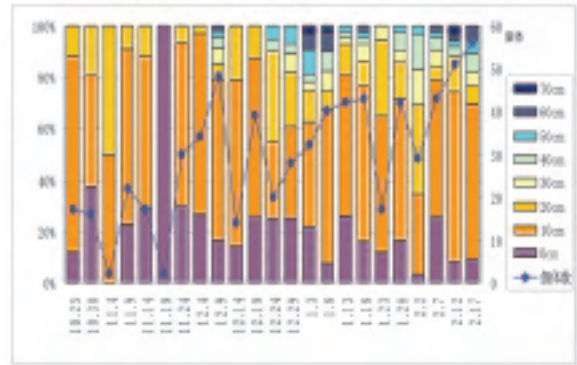


図 - 水深別ねぐら個体数・割合

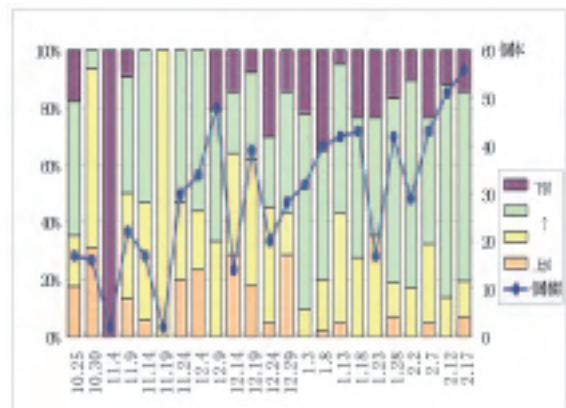


図 - 位置別ねぐら個体数・割合

#### 5. 今後の課題

##### (1) 調査範囲（距離）の拡大

過年度の観測結果により、ねぐらはカメラの設置が可能な箇所から1 km以上離れた場所まで分布していることが判明した。

距離が1 km以上の観測地点を詳細に観測するためには、既存の望遠カメラでは対応が不可能である。このため、フィールドスコープ（屋外用の望遠鏡）とCCDカメラを組み合わせた望遠観測カメラを自作し、試験的に観測を行った。

この結果、これらの組合せによる観察により1 km以上離れた場所であっても十分に観測が可能であることが確認された。

今後、この技術により、観測装置の設置箇所をより柔軟に拡大するなどの活用が可能であると考えられる。



写真 - 望遠観測カメラ



写真 - 望遠観測カメラによる画像

## (2) 通信の高速化・コストの縮減

調査開始時点では調査地点はFOMAなどの携帯電話の高速データ通信網エリアとなっていなかったが、近年、インフラ整備の進展により高速データ通信網の活用が可能なエリアとなった。

この通信網を活用することで、通信の高速化・安定化による観測品質の向上が期待される。

しかしながら、FOMAは地形等の影響を受けやすいため、今後、観測地点におけるデータ送受信試験等を行い、実際の業務に活用できるレベルに技術開発を進める必要がある。

(株環境保全サイエンス)





# 特定外来魚を捕まえ、野菜とリンゴを育てた話

浅見 和弘

## 1. はじめに

オオクチバスやブルーギルは、全国の河川、湖沼（ダム湖を含む）で増殖し在来魚の生息を圧迫し、日本の水域へ大きな影響を及ぼしていると考えられています。

オオクチバス（図1）は北米原産の淡水魚で、1925年に釣りの対象、または食用として神奈川県芦ノ湖に初めて導入され、1965年頃から徐々に増加、特に1970年代に急激に増加しました<sup>1)</sup>。オオクチバスは典型的な肉食性の魚類であり、魚類やエビ・ザリガニ類を主食とし、その他水生昆虫や水面に落下した鳥の雛まで捕食します<sup>1)</sup>。北海道では、石狩川流域湖沼群、大沼で確認された<sup>2)</sup>との記録があります。

いっぽう、ブルーギル（図2）は北米東部を原産地とし、1960年に国内に入り、1970年代に入って



図1 オオクチバス



図2 ブルーギル

からは、オオクチバスと類似した分布拡大を示しています<sup>1)</sup>。食性は基本的に動物食で、魚卵や稚仔魚を好み、日本では水草や藻類を大量に食べる個体も確認されています<sup>1)</sup>。北海道では、函館五稜郭で確認され駆除も行われています。

わが国では、外来生物が生態系へ及ぼす影響の懸念から、平成17年6月1日から外来生物法（特定外来生物による生態系等に係る被害の防止に関する法律 平成16年6月2日法律第78号：以下、「外来生物法」という。）が施行され、オオクチバス、ブルーギルも特定外来生物に指定されました。この法により、特定外来生物を飼育、栽培、保管及び運搬することが原則禁止され、特定外来生物を野外において捕まえた場合、生きたまま持って帰ることも禁止されました。

今回紹介する内容は、生きたまま魚を大量捕獲し、在来魚は逃がし、特定外来魚だけを選別し、地元農家と連携して、野菜やリンゴを育てた話です。

## 2. オオクチバスとブルーギルが一旦定着するとどうなるか？

—青森県百石町根岸堤の場合—

本州の最北端、青森県での事例を紹介します。青森県上北郡百石町根岸堤（図3）では、オオクチバスやブルーギルの生息が確認されていました。平成15年度からは図4のような看板を設置し、注意を促していました。

平成16年9月21日～10月20日にかけて、目合い1 cmの定置網を用いて、魚類の捕獲調査をしたところ、ブルーギルとオオクチバスの他に、モツゴ、ナマズ、ギンブナ、ウナギ、コイ、ワカサギが捕獲されました。捕獲した魚類のうち、オオク



図3 青森県百石町根岸堤の位置

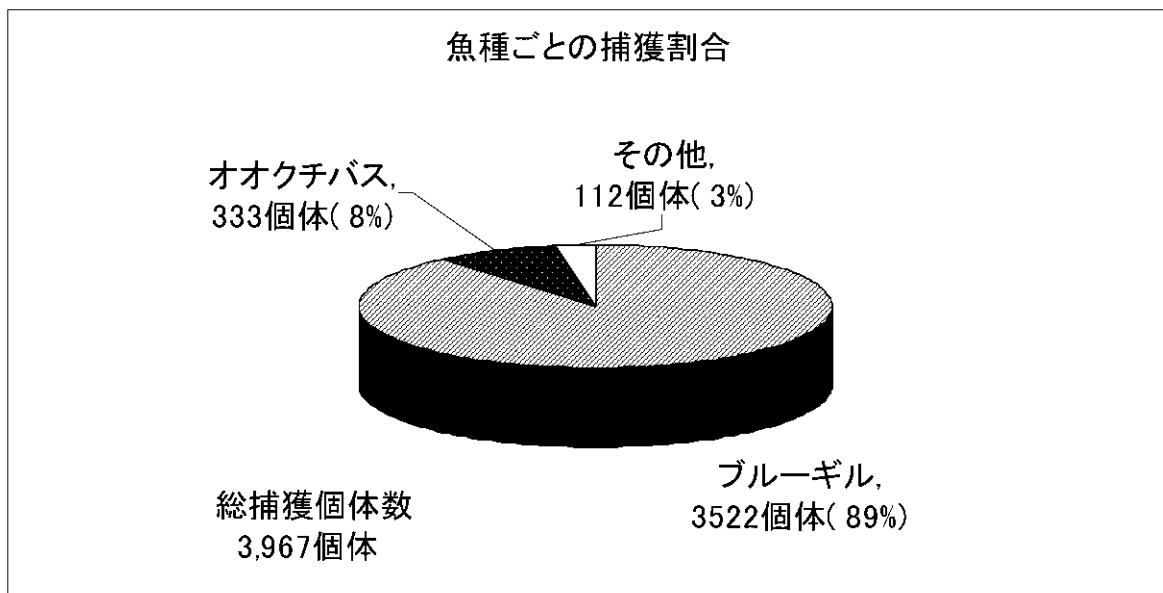


図5 平成16年9～10月に実施した青森県百石町根岸堤での魚類調査結果



図4 青森県百石町根岸堤の看板  
ブラックバス：オオクチバスとコクチバスの総称

チバスとブルーギルは、図5に示すよう併せて約3,800個体であり、特定外来魚が全捕獲魚種の97%を占めました。モツゴなど外来魚は合計で112個体のみであり、わずか3%でした。

### 3. 習性を利用して大量捕獲

オオクチバスの産卵期は水温16～17℃を上回る頃から20℃前後までであり、5～7月に沿岸帯で産卵を行います<sup>2)</sup>。ブルーギルは水温が20℃を超えるようになると繁殖活動を開始し、産卵場所

は浅い場所が多く見られます<sup>2)</sup>。すなわち、2種とも繁殖期になると貯水池内の浅い場所に集まってくる習性があります。そこで、図6のように、繁殖期に、貯水池上流端部に水位低下式定置網（「網大神」：特許第3822878号）を用いて、網の上流側の浅瀬を左右完全に囲い、その後の貯水位低下（ドローダウン）をすれば一網打尽ができる

考え、福島県三春ダムにおいて試験を行いました<sup>3)</sup>。この手法は、水資源機構一庫ダム管理所においても行われています<sup>4)</sup>。

この漁法は調査者の技量による捕獲量の差を少なくするとともに、刺網など捕獲魚類へのダメージが大きかった従来の手法に比べ、魚類へのダメージを少なく、捕獲した魚類を再放流することが

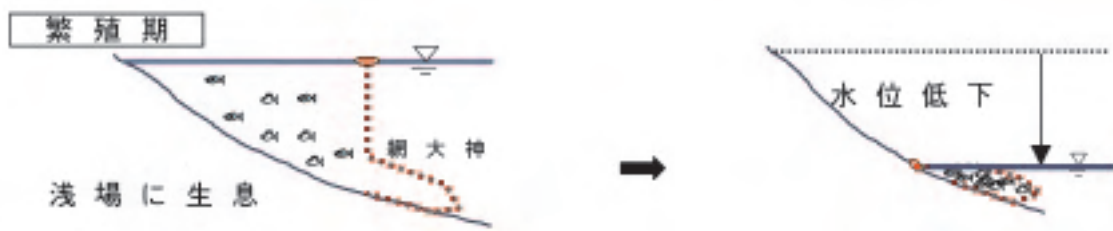


図6 産卵期に浅場に集まる外来魚を「網大神」で囲い、水位低下により捕獲する概念図



図7 「網大神」の設置状況（水位低下前）



図8 捕獲した魚類。生きたまま捕獲できるため、在来魚は計測後、即再放流。



図9 殺処分したブルーギル

可能です。

捕獲した魚類は、魚種、湿重量等を計測後、在来魚は再放流し、オオクチバス、ブルーギルについては殺処分しました。

#### 4. 捕獲後の有効活用

外来生物法では、捕獲した特定外来種は、①殺処分するか、②その場にリリースすることになっています。ここでは、捕獲した外来魚を有効活用するため、肥料化することにしました。

#### (1) 肥料化までの過程

捕獲したブルーギル、オオクチバスは、図10に示す手順で、市販されている生ゴミ処理機を用い魚かす粉末にしました。魚かす粉末は粉碎したままでも利用可能でしたが、今回は、土壌での分解を促進するため、より細かくすることとし、ミキサーにかけ粉状にしました。今後は、作業の効率化のため生ゴミ処理機による粉碎のままでも使用してみます。

魚類を肥料にする場合に「肥料取締法（昭和25

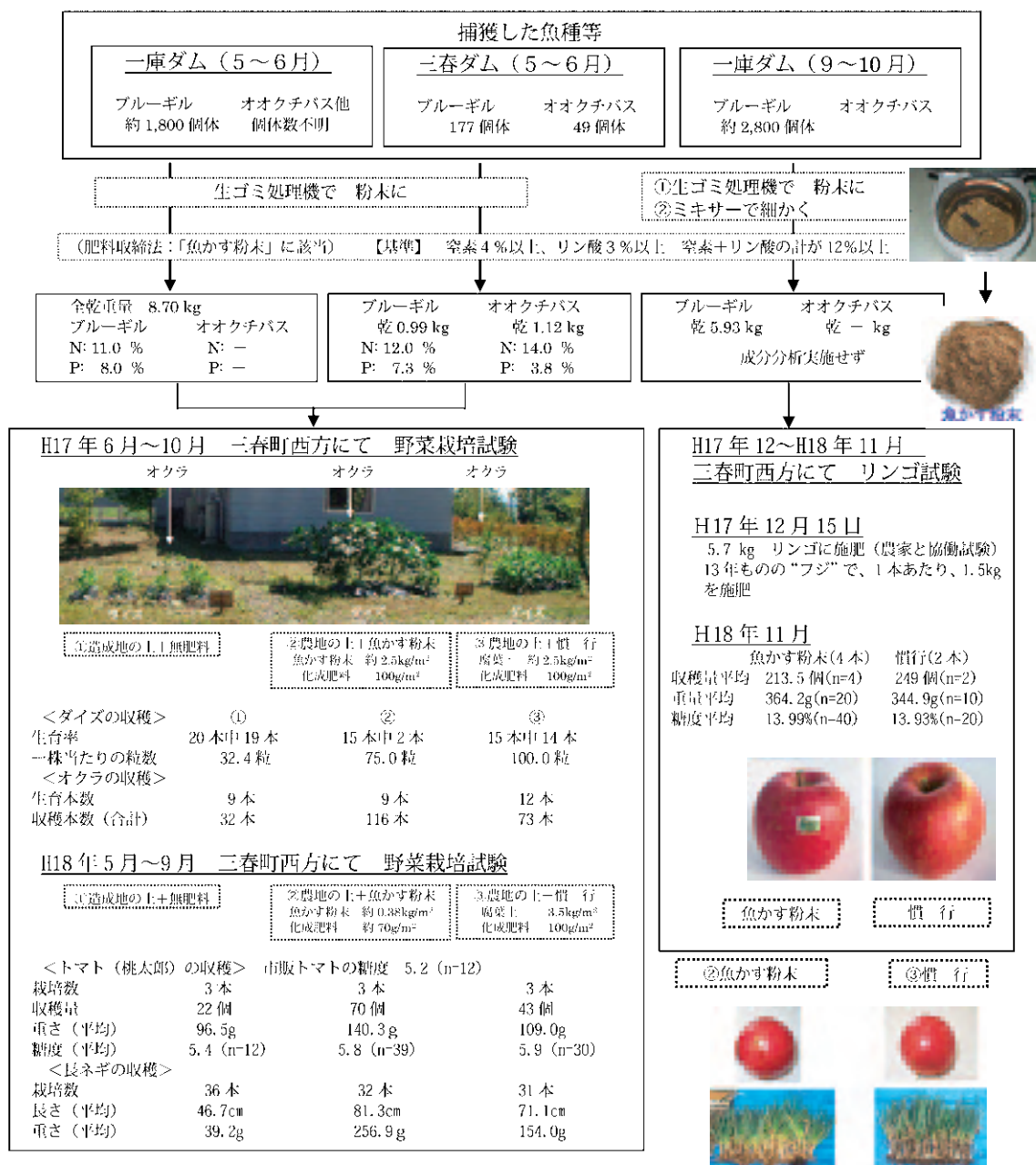


図10 魚粉づくりから、野菜、リンゴ栽培までの流れ

年5月1日法律127号(改正平成16年12月1日法律150号)」を遵守する必要がありますが、今回は、販売を目的としておらず、著者自ら使うため適用外です。

肥料取締法による魚かす粉末の規格は、窒素全量が4%以上、リン酸全量が3%以上、窒素全量+リン酸全量が12%以上ですが、いずれの値も満足していました(図10)。

## (2) 野菜栽培

福島県田村郡三春町大字西方字石畑にある弊社応用生態工学研究所の敷地内(以下、「造成地」という)に3つの区画(1区画1.5m×1.5m程度)の畑地を作り野菜栽培を試みました。一つは造成地のまま無肥料、一つは地元農家より耕作地の土をいただき、「家庭菜園の楽しみ方」<sup>5)</sup>を参考に適量の堆肥を加え通常の栽培(以下、「慣行」という)を、もう一つは地元農家提供の土に、堆肥の代わりに魚かす粉末を加えました。

野菜は、平成17年はダイズ、オクラ、平成18年はトマト、長ネギとしましたが、平成17年は魚かす粉末の区画で、ダイズが15本中2本しか生育せず、多くの種子が発芽せず腐っていました。しかし、区画の端に植えたオクラは高さ、収穫本数ともに慣行、無肥料より良く、平成18年はトマト、長ネギともに良好な生育状況でした。魚かす粉末で栽培した野菜は、ダイズを除き、慣行よりやや良好な結果となりました。

## (3) リンゴ栽培

「うつくしま福島」は果物王国でリンゴや桃が有名です。今回、地元農家の協力を得て、品種「ふじ」の成木を用いて試験を行いました。

花、展葉、着果ともに魚かす粉末、慣行では顕著な差はなく、順調に育ちました。試験に用いた栽培木は前年度とほぼ同様な結実数で、肥料による収穫量の差はありませんでした。次にリンゴの質ですが、外来魚肥料で育てたリンゴは蜜が多く

おいしそうに見えましたが、リンゴ1個の重さ、糖度は慣行のものと大きな差はありませんでした。

三春町では、自然環境やダムに関心のある方々を対象に、さくら湖周辺の自然をより深く理解し、さくら湖を身近なものに感じてもらうために、「さくら湖自然環境フォーラム」(さくら湖自然環境フォーラム実行委員会主催)を毎年開催しています。平成18年も11月15日にフォーラムが開催されました。その会場で、参加者に外来魚で育てたリンゴと慣行のリンゴを、どちらか教えずに食べ比べてもらいました。結果は、残念ながら、リンゴ1個の個性と食べた方の好みもあるので、おいしいとしたリンゴはほぼ半々に分かれてしまいました。しかし、通常栽培するリンゴと遜色なく、外来魚でリンゴが栽培できたと考えています。

## 6. あとがき

全国的に、特定外来魚が増加し、各地で在来魚が少なくなったとの声を数多く聞くようになりました。オオクチバスやブルーギルが、いったん湖沼に入り定着すると、青森県百石町根岸堤のように、97%が外来魚になり、水域の生態系にとっては影響が甚大です。

オオクチバス、ブルーギルは、産卵期に浅場による習性があるため、その時期に貯水池の浅場を「網大神」という定置網で仕切り、水位低下を利用して、魚類の捕獲を試みました。生きたまま捕獲できますので、在来魚はリリースし、オオクチバス、ブルーギルは殺処分しました。殺処分した特定外来魚を肥料にし、野菜栽培とリンゴ栽培に用いたところ、オクラ、トマト、長ネギは良好でした。リンゴ「ふじ」も、収穫量、質ともにまずまずで、地元で開催する「さくら湖自然環境フォーラム」で参加者に試食していただきました。

今年はリンゴの若木から施肥をしており、野菜栽培も続けています。

フィールドをお借りしました青森県百石町役場の皆様、国土交通省三春ダム管理所の皆様、捕獲した外来魚を分けてくださった水資源機構一庫ダム管理所の皆様、耕作地の土を分けてくださいました三春町の大内昭喜様、リンゴ試験に協力してくださいました壁巢幸弥様にこの場を借りて御礼申し上げます。

なお、この報告は、「水位低下式追い込み網による捕獲実験」<sup>6)</sup>、「ダム貯水池内で大量捕獲した特定外来魚の有効活用 ダム技術」<sup>4)</sup>を元に作成、編集したものです。

(応用地質株 応用生態工学研究所)

## 参考文献

- 1) 日本生態学会編 村上興正・鷺谷いづみ監修 (2002)「外来種ハンドブック」、地人書館、東京.
- 2) 環境省編 (2004)「ブラックバス・ブルーギルが在来生物群集及び生態系に与える影響と対策」、財団法人 自然環境研究センター、東京.
- 3) 柳川晃・佐々木正夫・内藤信二 (2006) 一庫ダムにおける環境保全の新たな取り組み ～漁業協働組合や地元住民との協働～、ダム技術 No.241 : 62-68.
- 4) 大杉奉功・山下洋太郎・柳川晃・浅見和弘 (2007) ダム貯水池内で大量捕獲した特定外来魚の有効活用 ダム技術 No.249 : 63-70.
- 5) 山宮君夫 (2005)「家庭菜園の楽しみ方」、成美堂出版、東京.
- 6) 齋藤 大・浅見和弘・入沢賢一 (2005) 百石町根岸台における外来魚駆除 水位低下式追い込み網による捕獲実験 広報ないすいめん NO. 39 : 14-17出版.

## 報 文 集 第19号

---

平成19年 9月27日

編 集 (社)北海道土地改良設計技術協会

広報部会 明田川洪志・浅井 要治・寺地 明夫  
夏伐 一夫・林 嘉章・高尾 英男  
矢野 正廣・宮本 治英

発 行 (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)あいわプリント 電話 (011)251-4191



●表紙写真●

第14回 北海道開発局農業水産部・(社)北海道土地改良設計技術協会共催  
写真展 作品

「ぐるぐる放余水工 '99」

—栗沢町—

中村 晃司 氏 作品

---

**A E C A** HOKKAIDO  
Agricultural Engineering Consultants Association