

長大開水路における合理的な水管理に向けての検討事例

株式会社 アルファ技研 金津 麻里子、植屋 賢祐、西 恭二

1. はじめに

対象施設は、空知川と石狩川の合流部から夕張川に至る南北約 79 km、8 市町村の受益に跨る長大開水路（以下、幹線用水路と云う）である。幹線用水路は、昭和 4 年に完成した土水路のかんがい溝であったが、昭和 33 年～54 年にかけてコンクリートライニング水路に全面改修がなされた。

その後、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 年に国営かんがい排水事業に着手した。水路施設は、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、平成 20 年度の事業完了を目前にして、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、長大開水路の特性や内包する課題に対応した利水管理手法および洪水管理援用手法の開発について紹介し、合理的な水管理の実現に向けての取組み事例を報告する。

2. 従前の水管理上の課題

対象施設では、管理の合理化を阻む主な課題として下記が挙げられた。

幹線用水路の管理は、土地改良区職員と臨時職員による人的な定期巡回管理を基本としており、広域をカバーするために多くの人員確保が必要とされていた。

長大開水路のため用水到達時間が長く、流量変更時には、定期巡回とは別に水量到達の水先確認を行う必要があった。

水路は、水田かんがいに必要な水頭を確保したコンターチャンネル方式で、高位部からの流入水による周辺への溢水被害防止のため、洪水時等は昼夜問わない放水工管理に多大な労力を要していた。

3. 水管理の合理化実現に向けた取組み

(1) 水管理施設の概要

本水管理施設は、幹線用水路の通水機能の拡大、送配水機能の改良および防災・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実現を目的として整備された。平成 18 年度より運用が開始されたこれらの水管理施設は、用水路水深、流量、雨量、水温、画像の監視設備を要所に配置し、情報を中央管理所にて一元管理（遠方監視）を実現しようとするものである。また、中央管理所では、最新のデータや蓄積された過去のデータを要所に配置された各事業所などでも活用できるよう、Web ページを作成してインターネット上に配信している。観測値や機器の異常については、中央管理所および各事業所に警報で知らせると共に、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仕組みである。

ゲート等の操作制御は、幹線用水路全体の安全で確実な水管理を図るには、水利情報の遠方監視と現地操作の組み合わせが合理的かつ現実的な管理方式との判断および将来の更新経費も考慮し、現場機側操作制御を原則とした。

(2) 水管理の合理化実現に向けた調査分析

本地区の水管理施設は、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水利システムにおいて、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、必要に応じて対策を講じることが重要との判断に基づいている。

水管理施設は、幹線水路の改修等による水深の変化や新たな水利秩序の形成に対応した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て流量管理を併用していることが特徴の一つである。

流量管理を水管理に適用するにあたっては、精度管理が重要との判断から、幹線水路および分岐、合流などで関連する支線水路のうち、水路改修等による流況変化が予想された地点を対象に流量観測を行い、計測・演算精度の検証を行った。

1) 水路改修の影響検証と対策

頭首工取水後の管理ポイントである A 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 B 地点までの区間は、機能評価に基づく改修により、既設利用と改修が混在する。

当初、運用において流量は（以下、試用値と云う）両地点共に水深計測から水理公式（ Manning 平均流速公式）により算定し、粗度係数 n は、改修以前に行われた流量観測値に基づいて $n=0.015$ を設定していた。

今回の観測値は、試用値に比べて A 地点で 35%、B 地点（図 - 1 参照）で 20% 程度上回っていた。観測値から粗度係数を求めると、A 地点が $n=0.012$ 、B 地点が $n=0.013$ となり、システムで当初設定していた値に比べ小さくなっていった（下流部の改修による粗度の改善）。当面の実運用にあたっては、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。

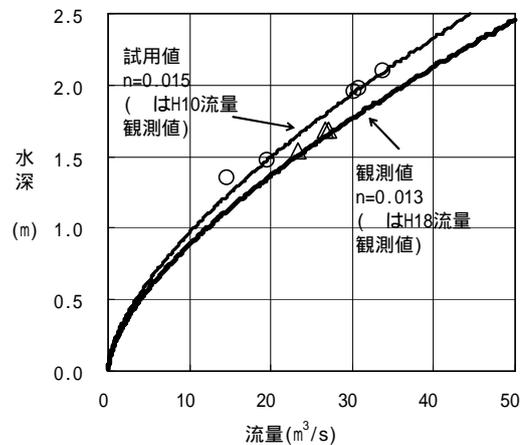


図 - 1 B 地点水深流量関係図

2) 計測位置の制約による影響検証と対策

C 地点は、図 - 2 に示すとおり、幹線水路の河川横断部で上流側に放水工が設置され、放水工操作に関連して、利水と安全の両面から上下流共に水位・流量の監視ポイントとされた。

当初の水管理システム計測条件は以下のとおりである。

上下流地点共に開渠用超音波式流量計（水深と流速の計測による流量変換）を設置。

下流地点は分水や流入の影響から、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。

上下流共に 1 測線式の流速センサーを使用。

流量観測から、観測値に対する試用値の誤差は 2~6% と良好であり、試用値は妥当と判断された。

しかし、下流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（表 - 1 参照）。1 測線方式の既設流量計

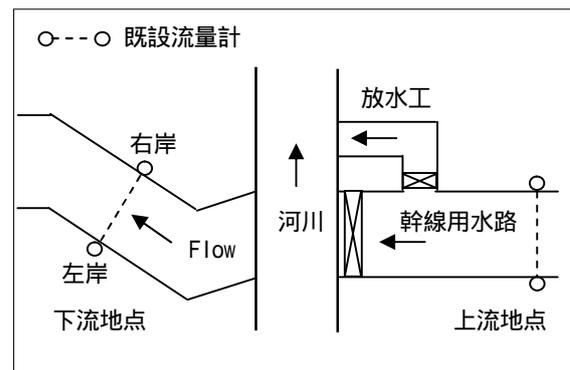


図 - 2 C 地点概要図

(流速計)では精度良く捉えきれないことが判明したことから、計測精度の確保や経済性などから比較検討し、下流の流量計流速センサーを2測線方式とした。

3) 管理方式の変更に伴う管理支援対策

幹線用水路の約2km区間に、支線分水、補給線および放余水工が連続するD区間は、分水や放水工操作による利水と安全の両面から、水位・流量の監視ポイントとされた(図-3参照)

当初の計測条件は以下のとおりである。

支線上流地点(Q2)、放余水工直上流地点(Q3)および支線直下地点(Q4)には、それぞれ流量計を設置。

補給線からの補給量Q1は、当該3地点の流量計測値に基づき、 $Q1 = Q3 - (Q2 - Q4)$ で算定する。

当該施設付近では幹線用水路のフルーム水路への改修が行われた後、支線分水位確保のためチェックとして幹線用水路の制水ゲートによる水位調整を行うが、適正操作においては、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がある。

対策として、当該地点付近の水深変動への影響が大きい補給線の補給量についても、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用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て、水深計測に加え流量計(流速計)を設置した。このとき、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。

(3) 洪水管理支援システム

1) 安全性に配慮した管理の要請

水利施設の拡充、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。水管理施設の導入にあたり、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、ソフト面での防災機能の向上をねらいとして以下の検討を行った。

2) 雨量局の配置計画

洪水管理においては、降雨量の的確な把握が重要であることおよび長大開水路であることから主要地点に雨量ロボットを設置することとした。図-4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。

表-1 下流流量観測調査による流速分布

(単位:m/s)

1 回目	器 深	区分	左岸			右岸		
		2割	0.94	1.15	1.10	0.98	0.90	0.69
2 回目	器 深	2割	0.86	1.15	1.12	1.00	0.91	0.68
		8割	0.79	0.97	0.96	0.88	0.71	0.58
3 回目	器 深	2割	0.73	1.03	0.98	0.91	0.82	0.58
		8割	0.75	0.91	0.83	0.84	0.69	0.58

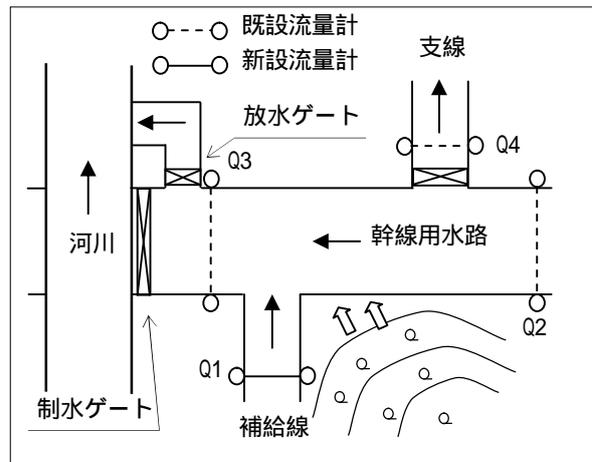


図-3 D区間の施設配置模式図

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。この分布を考慮し、中央管理所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-5は、システムが試行運用を開始した雨量局5箇所のうち、南北2箇所における平成18年度の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、下流側(Np地点)の同時間内の総降雨量は14mmとなっている。このような降雨分布では、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えば、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、下流部の溢水被害防止のための頭首工の取水制限を示唆する。また、このように降雨特性が異なる5箇所の降雨量を観測することによって、以下に示す流出モデルの精度向上を図ることが可能となる。

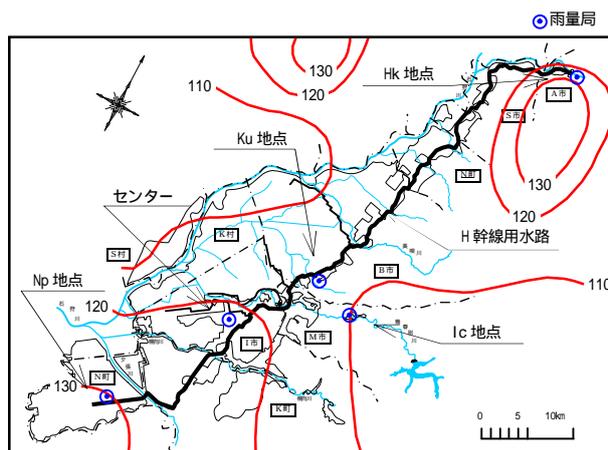


図-4 幹線用水路と等雨量曲線の重畳図

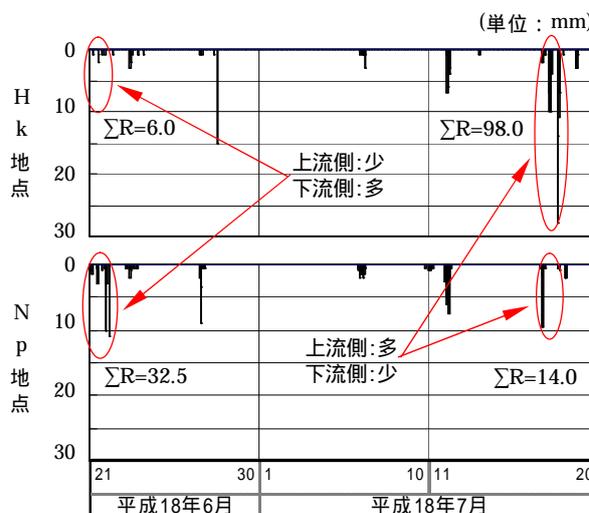


図-5 雨量局降雨量経時変化図

4) 洪水管理支援システムの開発

システム開発の必要性

従前と比べ、横断排水工の強化や余水工の新設、通水機能の拡大と送配水機能の改良に伴い幹線用水路水深変化が生じるものと予想されることから、放余水工管理操作の適期を客観的に評価できる判断指標が必要である。洪水管理支援システムは、降雨データをもとに、幹線への流入量の予測シミュレーションを行い、これを支援しようとするものである。

流出モデルの作成

降雨時の幹線用水路への流入量は、調査流入工を選定して流量観測を行い「降雨~流入量」の関係を流出解析によってモデル化した。モデルは、幹線用水路周辺の地形、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近似予測する。

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に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により流入量を再現した結果は図-6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。

支援システムの構築

支援システムの機能は、流出モデルを活用し、水管理施設の雨量局観測値（ティーセン分割による幹線水路全域の面積雨量）や天気予報による予想降雨の入力によって幹線水路全域への流入量を予測することが可能である。流入量の予測は、長大開水路に設置された 300 箇所を超える流入工毎の洪水ハイドロを予測し、これを基に主要放水工 6 地点における合成ハイドロを算定することによって、主要放水工地点へのピーク到達流量やその時間的変化を把握することが可能となり、この支援情報を基に、放水河川の水位に急激な水位上昇を生じさせないための放水ゲート管理操作、下流の水位急激に上昇するおそれがある場合や夜間の警戒体制などの判断を支援することがねらいである。

(4) その他の管理支援システム

1) 水温局の配置と水田栽培管理の支援機能

本水管理施設では、幹線水路に 7 箇所の水温局を配置した。図 - 7 は、平成 18 年 7 月の水温局の水温およびセンター気温の時系列比較である。

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った。しかし、後半になると多目的ダムの融雪水貯留水の低温な補給水の影響を受ける地点では、1 日を通し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・気温の情報は、土地改良区のみならず、下部組織である支線組合および末端農家が共有することで、より効率的・効果的な水田栽培管理を可能としようとするものである。さらに、水温・気温と支線・圃場レベルでの取水量との関連、水管理との関連を把握するうえでも必要であり、これらの関連を蓄積にすることによって、より合理的な頭首工での取水管理を実現することが期待される。

2) 放水工の画像監視とその多面的機能

除塵機管理のうち、現地状況確認と処理対策の労務軽減を目的に、水深の上昇や流芥の有無・種類等を監視するカメラを設置した。これにより、管理労力の大幅な軽減が図られるとともに、野生動物の水路転落事故の早期発見による救済等を可能とすることから、動物保護設備としての効果も期待される。

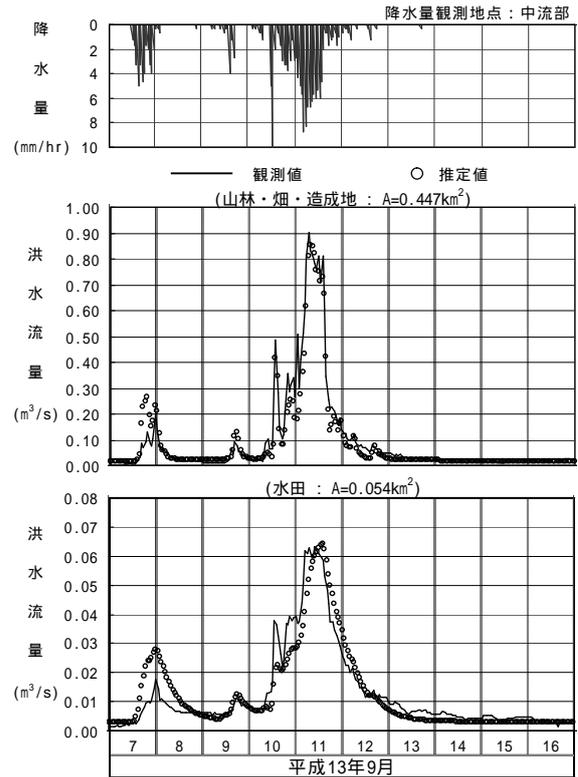


図 - 6 幹線水路流入量推定計算図

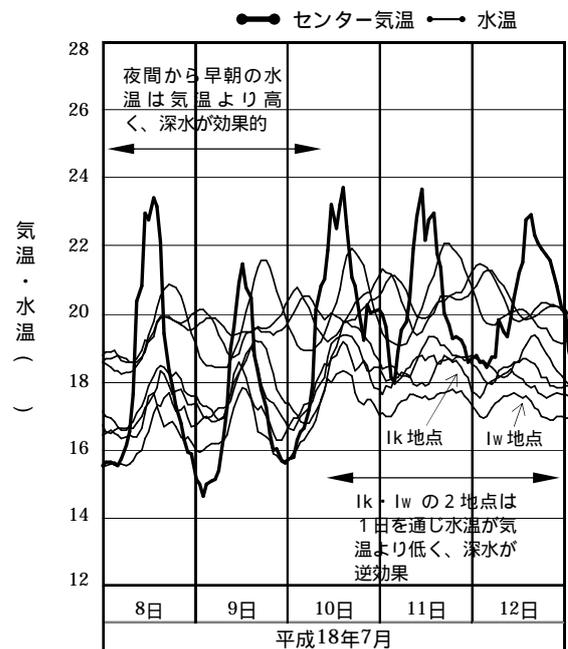


図 - 7 幹線水路水温経時変化図

4．長大開水路における合理的水管理の継続要件

(1) 流量管理導入時の留意点

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

昨今の計測・演算機器の進歩から、必要な精度を確保することは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、演算処理などの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

大規模・高度化された農業水利システムにあつては、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、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、導入した水管理施設が所期の性能を維持し続けるためには、これら支援ソフトについても適宜検証していくことが重要である。

(4) 高度水管理施設実現の課題

大規模で高度な水利システムの水管理にあつては、水理諸量の測定精度の維持向上が不可欠である。一方、水管理施設の整備は、事業の完了間際に施行されることが多く、事業期間内に運用時の性能検証やこれに基づく改善が難しい場合が多いのが現状である。しかし、水管理施設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施設の構築が可能になると思われる。

5．おわりに

近年、融雪出水の早まりや、水源ダム、河川水が枯渇化する一方、集中豪雨が頻発するなど地球温暖化による気象変動が取り沙汰され、たとえ大きな気象変動がなくとも、水管理操作が不適切であると実質的に利用可能な水量の減少や災害発生の確率が增大することが懸念される。また、農家数の減少、農業者の高齢化や市街地の拡大など水管理をとりまく環境の変化により、土地改良区の管理負担（管理労力および管理コスト）が増大していることから、今後は大規模水利施設の合理的かつ効率的な運用が最も重要になってくるものと思われる。

本報告は、水管理の合理化において流量を指標とする管理手法の検討事例を述べたが、今後、施設の運用を通して高度な水管理が実現され、用水の安定的かつ安全な供給に寄与されることを期待します。