

# 九頭竜川下流地区パイプライン ―行政から見た期待と課題― Social Expectations & Challenges of Kuzuryu-gawa Pipeline Irrigation Project

小澤 興宏  
OZAWA Yoshihiro

1. はじめに：九頭竜川下流域は、奈良平安の時代から我国の食料供給を担う先進的農業地帯であり、千年の歴史を持つ十郷用水路をはじめ、多くの用水路が建設されてきた。平成の時代に入って用水路の更新整備にあたりパイプライン化することとして、幹線用水路を整備する国営九頭竜川下流農業水利事業と支線末端の用水路を整備する各種県営事業により、受益面積 11600ha の自然圧パイプラインシステムが構築された。これにより、水資源の有効利用、大規模農業経営体の育成、用水管理組織の強化が図られている。本報では、これらの社会的側面からのパイプライン整備の意義について紹介する。

## 2. 水資源の有効利用と洪水対策への貢献

事業実施前は用水不足が発生していた；事業実施前は鳴鹿頭首工を水源とする開水路により 9700ha の農地が灌漑されていたが、開水路のコンクリート壁破損部の漏水や土水路からの地下浸透により大量の水が漏れ出していた。また、水路の分水地点や水田への取り入れ地点での水深確保のために田面必要量以上の水を水路に流しており、取水されなかった大量の水は無効放流となっていた。このため、鳴鹿頭首工では規定量を取水しても、水路の下流域では番水をせざるを得ない状況が恒常的に発生していた。

事業実施前は水質問題が発生していた；坂井市の市街地を主流域とする兵庫川の左岸に隣接する水田地帯では、廃水が混入した水を使っていた。また、頭首工が市街地の洪水流下を阻害していた。九頭竜川左岸地区では、

九頭竜川河口から約 10 km に位置する揚水機場で取水していたが、洪水対策の河床掘削により機場地点まで塩水が遡上していた。日本海に面した三里浜砂丘地では塩分の混じった地下水を灌漑用水源としていた。

パイプライン化により、用水不足、水質問題等を解決した；自然圧パイプラインの整備により、水路の漏水や無効放流の解消と加圧機場の廃止を実現して番水していた地域では終日自由に水が使えるようになった。また、加圧機場の廃止及び九頭竜川左岸揚水機の運転の削減により、機械揚水経費が大幅に削減された。さらに、兵庫川では頭首工の廃止により洪水対策工事が促進され、九頭竜川では洪水対策の河床掘削で発生した塩水問題が解決された。併せて、水質問題を抱える兵庫川左岸地区及び塩水問題を抱える九頭竜側左岸地区と三里浜砂丘地の計 1900ha の農地へ、良質な水が供給されることとなった。

## 3. 収益性の高い農業の実現

大規模経営体が育成されている；自然圧パイプラインの整備により、機場運転時間や番水ローテーションという用水管理の制約がなくなった。また、圃場給水量どうしの上下流干渉がなくなり、上下流調整が必要なくなった。さらに給水バルブにより簡単かつ正確な水量制御が可能となった。このため、水管理作業は省力化され、大規模経営の実現に貢献した。今後、自動給水栓の普及によるさらなる省力化と経営規模拡大が期待される。

大規模経営体は高い収益性を確保している；大型農業機械導入や営農体系の工夫によ

\* 積水化学工業（株）SEKUSUI CHEMICAL CO.,LTD.

キーワード：水田灌漑、水質、水利利用計画・水利権

る作業平準化により機械台数は減少し、乾燥調製の内部作業化により委託経費が減少している。また、大型トラクターと自前のサブソイラーとによる毎年の弾丸暗渠施工で良好な圃場排水を実現し、大豆等の転作作物の品質収量の向上をはかって高い転作収益を確保している。

**水稻作業の省力化で生み出された労働力を活用した水田園芸が推進されている**；行政機関やJA等による営農推進体制が構築されており、実証圃場では、ネギ、キャベツ、ブロッコリー、アスパラ等が栽培され、JAでは水田で生産された野菜を確実に引き取る制度を作っており、農家が安心して水田園芸に取り組む環境も整備されている。また、パイプラインの水は市街地を通過するが地域排水が混入しないため、施設園芸にも十分に使える水質であることも実証試験により確認されている。

**パイプライン化により低コストで良質なコメを生産できる条件が整った**；24時間使える冷涼な水を活用した夜間灌漑によるコメの高温障害対策が可能となっている。用水への雑草の種の混入がなくなり水田の雑草が減ったため、除草剤散布量の大幅削減が可能となっている。九頭竜側下流域は低平地の大規模農業生産地帯であるが、中山間地並の良質な水が確保されることとなったため、酒米生産の取り組みも始まっている。将来は、中山間地並の良好な水質と低平地大規模水田地帯での大規模経営による効率的な作業体系により、需要を捉えて高い価格で売れる付加価値の高いコメを低コストで生産する収益性の高い稲作農業の展開が期待される。

**畑作農業が大きく発展している**；三里浜砂丘地では十分な量の真水を確保できたため、従来から栽培されていたラッキョやスイカに加えて、ニンジン等が新規に導入されている。施設園芸ハウスの整備も急速に進んでおり、メロン、コカブ、ハウレンソウ等の生産が増

加しており、県の園芸カレッジを卒業した若い新規就農者も増えている。

#### 4. 管理体制の強化

**水利組織の整理統合が図られている**；複数の既存の改良区が水圧を共有する水理システムの形成を契機に既存改良区の合併が進んでいる。また、鳴鹿頭首工送水区域のほぼ全域を受益地とする九頭竜川鳴鹿土地改良区の新規設立を契機に、合併による既存改良区機能の新設土地改良区への移管が進んでいる。古来からの水利組織の複雑さに起因する数百年来の地域課題が解決されようとしている。

**小水力発電により十分な管理費用が確保される**；4か所の調圧水槽に付属して設置された4基の発電機により、水量は少なくとも高落差で効率がよく、水理的に安全で安定した発電が可能となっている。また、発電専用の水利権を設定することにより、稼働率の高い発電が通年で可能である。これにより、年間1億円以上の売電収益を施設維持管理更新費に充当することとなっている。

**管理職員の責任と作業負担は軽減されている**；住宅密集地を通過する水路のパイプライン化により、頻発していた水難事故は解消し、ゴミ処理量は年間千トン以上減少した。

#### 4. 今後の課題と期待

大型バルブや除塵機に加えて、調圧水槽制御システム、大規模水管理システム、発電所機器、超大型緊急遮断弁機等の多数の高度な設備機器があり、また、一部市街地を通過する大規模パイプラインでもある。高度な維持管理と緊急事態に対応できる体制の確立に向けた事業関係者の取組みに期待したい。

九頭竜川下流域では、国営県営を含めて多額の事業費を投入して我が国最高水準の農生産基盤が整備されており、今後とも日本の食料供給の一翼を担う先進的農業生産地帯として発展することが求められている。地域の農業関係者が一体となった継続的な農業振興の取組みに期待したい。

# 九頭竜川下流地区のパイプラインシステム設計 Engineering Design on Pipelines of Kuzuryu-gawa Irrigation Project

中 達雄  
Tatsuo NAKA

**1. はじめに** 本地区（約 12,000ha）は、扇端部の河川から自然取水でき、かつ水田受益地に重力灌漑が可能な扇状地の条件を活かして、前歴事業で整備された開水路形式の幹線水路を全線パイプライン化するⅡ期事業である。

事業の主目的は、地区の下流部（約 2,000ha）の用水確保のための水源を送水効率の向上により確保するものである。平成 11 年当時の当初計画では、上流開水路（導水路）～クローズドパイプライン（国営幹線・県営支線）～主要分水口・末端ファームタンクを基本としていた。その後、平成 16 年頃に技術的検討を加えた結果、パイプラインの安全性や末端圃場整備の進展を背景に幹線・支線水路系の水路形式を自然流下のセミクローズド形式に変更した（Fig.1）。

本報では、本地区の右岸側（ $Q=32.789\text{m}^3/\text{s}$ ）の幹線水路について事業着工後に実施されたパイプライン形式の変更の技術的経緯を紹介する。

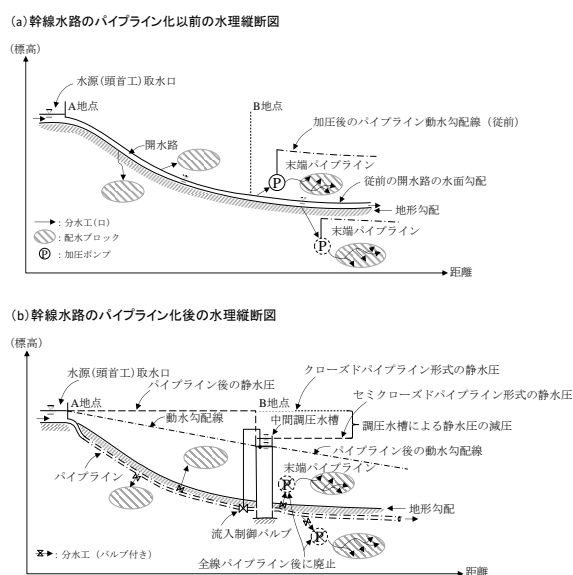


Fig.1 計画変更前後の水路形式の比較縦断面図

Vertical Sections of Canals and Pipelines

## 2. 要求性能とシステム設計の基本

**2.1 要求される機能** 本事業目的の達成のための手段は、既存水路のパイプライン化であるが、その必要性は、下記の要求性能による。

- ①パイプライン化により用水計画上の送配水損失の節減による用水不足地域への用水転用
- ②パイプライン化による水質障害対策
- ③開水路に対する人的安全性の確保（暗渠化）
- ④末端パイプラインの揚水機場の廃止のための水源地点の圧力の下流への伝達（維持管理）
- ⑤水路敷の有効利用

また、システム設計上、①不均等配水の防止、②調整機能の確保、③空気混入や水撃圧発生に対する安全性の確保、④供給者の操作性の確保、⑤パイプラインの安全性・信頼性の確保などの問題を解決する必要がある。

**2.2 水管理方式** 既存の上流制御の開水路形式における水管理方式は、定比流量制御(Fig.2)による供給主導型水管理方式であると想定された。また、末端配水系では、①土日の用水需要の集中があり、②パイプライン地区（ポンプ揚水）は、日 10 時間給水（7-17 時）である。整備後の用水計画では、水利権（期別・総量規制）や用水合理化の目的から、主要分水を供給側が一元管理する供給主導的水管理（実際には、上限量を供給者が管理）原則とした。



Fig.2 従前の開水路形式の幹・支線水路の状況

Condition in Former Canals

\*)農業農村工学会事務局 The Japanese Society of Irrigation, Drainage and Rural Engineering  
キーワード 大口径パイプライン、セミクローズド、水理機能、水利用機能、水管理、バルブ

**2.3 パイプライン形式の変更** 当初計画では、パイプライン末端の流量管理を供給側が行う前提で、末端圧を保持可能で建設コストが安価なクローズ形式を構想していた。その後、末端圃場の整備の進展により、パイプライン地区へ直結するエリアが増加し幹線パイプラインの安全性は確保可能であるが、県営事業ですでに整備された末端パイプライン（既設管材）への水撃圧対策等を勘案して、導水勾配は同一として静水時に自由水面を有する中間調圧水槽で下流部を減圧可能なセミクローズ形成に変更された。本形式は、畑地灌漑では多くの事例があるが、大容量の水田パイプラインに下流制御の調圧水槽を設けた事例がないことから、数年をかけて、バルブ選定など慎重な検討が行われた。

### 3. 調圧水槽の設計と水利用機能の向上

**3.1 調圧水槽の水理構造** 水理構造は、自由水面を持つ水槽とバルブ開閉や開度調整による減圧を可能にする構造とした（Fig.3）。本形式では、下流制御方式となり下流の用水需要の発生と停止により水の送配水が行われる。なお、管理用水を放流しながらの管理により制御系の動作の軽減を図ることも検討されたが、放流先の確保が困難なことから実現には至らなかった。十郷調圧水槽の高さは、バルブ等の故障時のリスクを想定して、余水発生を貯留可能な壁高さ、各水槽間の管理弁操作によるサージング高さと余裕高さから決定された。したがって、緊急時の余水は、水槽内で貯留する計画である。ただし、県営パイプラインの安全性確保から、水槽からの流出管理弁に緊急遮断機能（WL>29m）を付加している。

**3.2 減圧方法（バルブ等）の検討** 減圧機能については、水槽水位の上昇を抑え余水の発生を可能な限り抑制する制御特性が求められる。検討ではフロート弁も対象となったが、維持管理や信頼性の問題からバルブによる制御が採用された。減圧・流量制御バルブは、水槽流入部に設置され、十郷調圧水槽では異口径 5 台並列（800～2,200mm）を選定した。また、機種としては、低キャビテーション用バタフライ弁を選定している（Fig.3）。

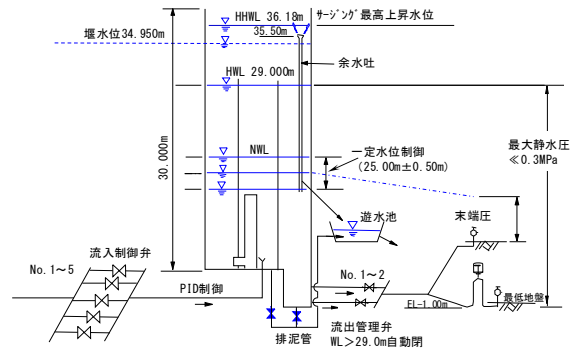


Fig.3 調圧水槽の構造（十郷調圧水槽）

Pressure Regulating Facility

### 3.3 水利用機能の向上

上流制御の開水路形式から本パイプライン形式に整備されたことから、末端の配水ブロックでは、需要が発生すれば、常時取水堰から用水の供給を即座に自然流下で受けることが可能となった。その水利用機能の向上効果を列挙すれば以下である。

- ・送水効率の向上による用水確保（水源計画、節水効果）
- ・上限付きの需要主導型水管理方式
- ・自然流下方式（加圧機場の廃止により電力料金を皆無にした）
- ・パイプライン地区普通期 24 時間常時給水
- ・開水路形式での水難事故の防止
- ・下流パイプラインの水理学的安全性の向上（水撃圧対策、静水圧の軽減、水理学的不連続点）

### 4. おわりに

本地区での戦後の前歴事業から始められた水路形式の発展段階は、①頭首工の合口による幹線水路（導水路としての開水路）の整備、②下流域を中心にしての圃場整備による配水系のポンプ直送型パイプラインの導入、そして、整備された③幹線水路のパイプライン化（セミクローズド系）へと進展した。水路形式としては、開水路系→複合水路系→下流流量制御のセミクローズド系と変化し、その形式が農業の水利用の要求に対応してきたことがわかる。

### 参考文献

- 1) (社) 農業農村工学会：平成 19 年度九頭竜川下流(二期) 農業水利事業施設整備方策検討業務報告書，2007。



# 九頭竜川下流地区の十郷調圧水槽における異口径5台バルブによる水位制御方式

## Water Level Control System with Five Valves Varying in the Diameter in Jyugou Pressure Regulating Tank of Kuzuryu-gawa Irrigation Project

○寺川 吉博<sup>\*</sup>  
TRAKAWA Yoshihiro<sup>\*</sup>

### 1. はじめに

十郷調圧水槽は直径 36m、高さ 30m の PC タンクであり、下流パイプラインの耐圧標高を確保する目的から 25m に水位を維持するための減圧水槽である。(Fig.1) 流入制御弁は、計画流量が約  $11\text{m}^3/\text{s}$  と大きいことや 20%ごとの段階的流量管理を目的として 5 台異口径が選定され、これにより水位一定制御を行っている。複数台による制御は台数切り換えが難しいことから、当流入制御弁では 5 台のバルブを一台と見なした「仮想バルブ」による制御方式を採用している。このような制御方式は他に例を見ないものと考えられることから、供用後の管理データによる再現計算と制御性の再評価を踏まえ、制御方式の概要を紹介する。

### 2. 調圧水槽の設計概要

始点水位 34.950m の圧力を最大約 10m 減圧し、下流パイプラインの必要水位を確保し、かつ、管路の耐圧を守ることが目的として十郷調圧水槽が設置された。最大流量は約  $11\text{m}^3/\text{s}$ 、管路口径は  $\phi 3500$  と大規模な減圧施設となることから、主として管理性（20%の段階的流量管理）確保の観点から、流入制御弁は 5 台異口径が採用された。

### 3. 流入制御弁の制御方式

5 台異口径の制御弁で水位一定制御を行う場合の台数選択には、それぞれの設定水位の間隔をあけて行う方法、出口流量により行う方法等が考えられる。しかし、前者の場合制御水深が大きくなり耐圧上の課題があること、後者では台数切換時にバルブ動作が安定しないこと等から、採用を見送った。そこで、「1 台のバルブであれば安定した制御が可能」となる点に着目し、5 台のバルブを 1 台と見なした「仮想バルブ」(Fig.2) を考え、シミュレーションによる動作確認を行った上で「仮想バルブ制御」を採用した。

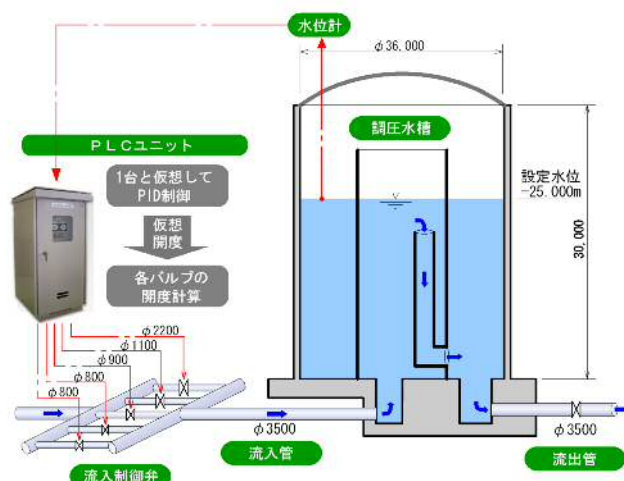


Fig.1 十郷調圧水槽の水位一定制御概要図  
Over-view of constant water level control of Jyugou pressure regulating tank

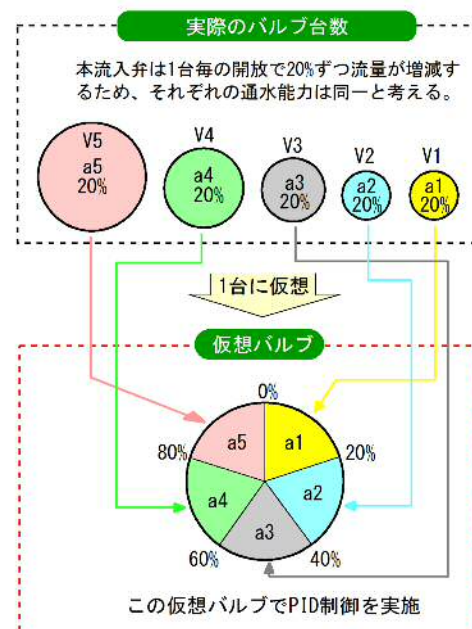


Fig.2 仮想バルブの考え方  
Concept of virtual valve

<sup>\*</sup> NTC コンサルタンツ (株) NTC Consultants Inc.

キーワード 管・開水路流れ、水利システムの計測・管理・制御、数値流体力学

#### 4. 仮想バルブによる制御手順

水位一定制御の考え方は、制御バルブが1台の時と同様、水位偏差  $e$  により開度を出力する。(Fig.3「PID制御回路」) ここで、制御方式は一般的なPID調節計を採用している。

出力された開度は仮想バルブに対する開度であることから、この開度から動作するバルブとその開度を算出する。(Fig.3「開度変換回路」)

これにより、開度調整するバルブは常に1台で、他は全開(上限開度)又は全閉であり動作することはない。

この制御手順でシミュレーションを実施した結果、流量小→大でV1→V5の動作順位が守られ、制御バルブが1台の時と同様の安定性も確保できることが確認された。

#### 5. 再現モデルの検証

十郷調圧水槽は運用が開始されており、水槽水位や流量、及び、各バルブの開度などの計測データが蓄積されている。今回採用した

「仮想バルブ制御」は他に例を見ないことから、「実際の動作が意図したものとなっているか」を確認する目的から、再現モデルによる検証を行った。この結果、水槽水位や流入量、バルブの動作とも良好な再現結果が得られた。(Fig.4)

#### 6. 仮想バルブ制御の評価

上記再現モデルにより、計画流量時においても制御性に問題のないことが確認され、本調圧水槽に導入した「仮想バルブ制御」は複数台でのバルブ制御に適した制御方式であると評価している。

#### 7. おわりに

仮想バルブによる水位制御方式は、制御の安定化に有効な管理方法であり、同様の課題を有する地区への適用も可能であると考えられる。

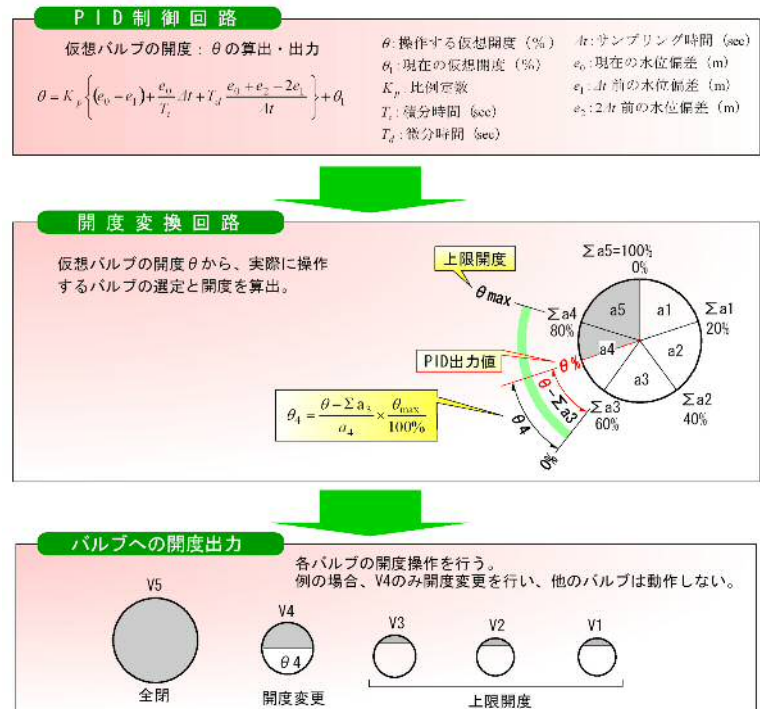


Fig.3 仮想バルブによるPID制御手順  
PID control procedure with virtual valve

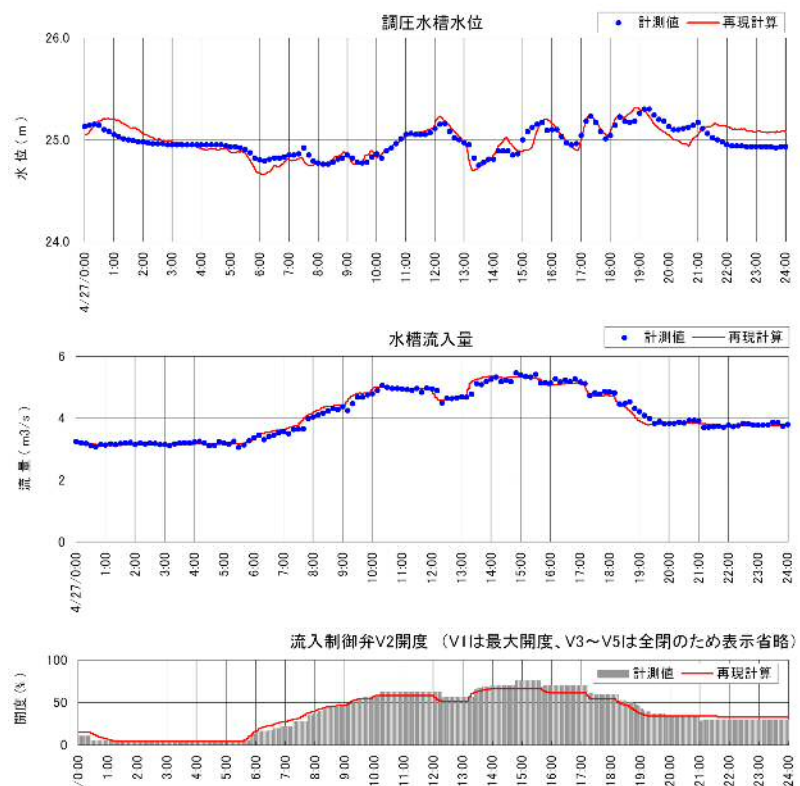


Fig.4 計測値と計算値との比較図  
Comparison of measured value and simulated value

# 筑後川下流パイプラインシステムの水理と施設制御－管理の実態と課題－ Hydro-Control and Operation in Lower Chikugo Pipeline System

吉岡 敏幸

YOSHIOKA Toshiyuki

**1. 概要：**筑後川下流地域は有明海に面した受益面積約 41,000ha の全国有数の農業地帯です。水資源開発公団（当時）が昭和 56 年に農林水産省から承継した筑後川下流用水事業では、筑後川から福岡県、佐賀県の農地（約 34,800ha）へ導水するための大容量ポンプと長大パイプラインを組み合わせた国内屈指の送水システムを築造しました。

昭和 40 年代は大口径既製パイプの調達が困難だったことから、ポンプで高台まで揚水したのち開水路とサイホン・トンネルを組み合わせた水路形式で計画されていました。こうしたオープンタイプの長大水路の新設には多くの課題があり、昭和 50 年代に入ってからは大口径現場打ちサイホンによる施工も検討されました。

ちょうどその頃から 3000mm を超す既製管の調達が可能となり、施工性・水密性に加え経済的にも既製管を利用したパイプラインが有利となり、筑後川左岸側の上流部は水理的に有利な FRPM 管を採用するとともに、三潴揚水機場から下流は条件に応じて PC 管などを、また地質条件の悪い右岸側佐賀東部導水路は鋼管を採用することとなりました。

また、左岸側最大 13.54m<sup>3</sup>/s、右岸側最大 18.6m<sup>3</sup>/s のポンプと延長 20km を超す大口径パイプラインを組み合わせた送水システムとなることから、その水管理制御の考え方については①適正な水配分、②施設の安全性、③筑後川下流地区の特殊性を踏まえて、供給主導型水管理を行うこととしました。具体的には揚水機場や幹線流量制御弁、各分木工を遠

方監視制御するとともに、調整水槽の動きとポンプやバルブの運転操作方法を有機的に結びつけるための非常水理解析を繰り返しながら諸元を決定しました。

さらに、本地域の独特な水利施設であるクリーク水路に調整機能をもたせることにより、幹線導水路は供給主導、末端配水系では需要主導という非常に効率的な水利用が可能となっています。

なお、このクリーク水路の再編整備に合わせクリークの水位を田面下 1 m に下げる用水管理を導入し、農業生産性の劇的な改善と治水・排水機能の強化が図られています。

筑後導水路や佐賀東部導水路は平成 10 年度より管理運用を開始し約 20 年が経過していますが、これまで水管理上の大きな不具合は発生していません。

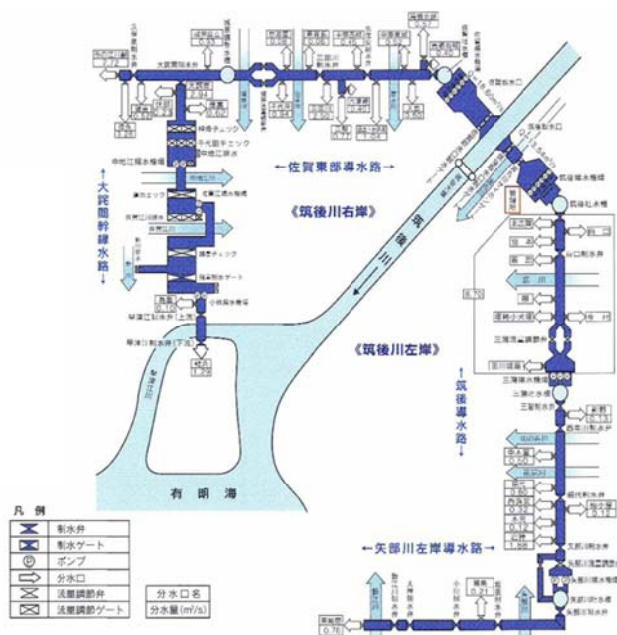


図-1 筑後川下流用水施設模式図

（独）水資源機構筑後川局 Japan Water Agency Chikugo Regional Bureau  
キーワード：パイプラインシステム、水理ユニット、供給主導型水管理、監視制御

**2. 筑後系（左岸）導水路の特徴：**主に福岡県側へ導水する左岸側施設は、筑後・三潅・矢部川の3箇所の揚水機場を介して矢部川左岸筑まで送水する延長約26kmのパイプラインシステムとなっています。

筑後導水路上流部では三潅上・下流地域の適切な流量配分を行うため、筑後揚水機場ポンプは吐水槽水位を一定とする回転数制御、各分木工では流量一定制御を行うやや高度な水管理システムを導入しています。

また、三潅揚水機場の直上流部でかんがい期の昼夜の流量変動が大きい国営田川城島幹線水路への分水を行うとともに三潅揚水機場から下流地域の用水が三潅揚水機場の吸水層に確実に届くように、三潅流入調整弁および田川城島線各分木工についても流量一定制御を行うと共にバッファ容量を持つ三潅分水槽を設け操作の安定化を図っています。

三潅揚水機場や矢部川揚水機場のポンプ運転は、供給主導の水管理を行うことから基本的に吐水槽ではなく吸水槽水位でのon-off制御を行うと共に、各分木工では分水量に応じたバルブ開度設定を遠方操作する方式となっています。また、矢部川揚水機場には小流量時にポンプを介さず三潅吐水槽水位で末端の黒崎開注水工まで送水できるバイパスを備えています。

なお、この黒崎開注水工のバルブ開閉スピードは極端に遅く設計しています（全開～全閉8分間）が、それでも全閉時の水撃圧が大きく現場では手動で慎重に操作しています。

**3. 佐賀東部（右岸）導水路の特徴：**主に佐賀県側へ導水する右岸側施設は、佐賀揚水機場のみの1段揚水で末端の市の江川副地区まで送水する約21kmのシステムですが、途中の城原川横断地点で調整水槽を設け、上・下流の水理ユニットを分割しています。

佐賀揚水機場は送水する流量等に応じて吐水槽の水位を設定する吐水槽水位一定回転数制御を導入していますが、流量の少ない冬場

などでは吐水槽水位によるon-off制御も行っています。

佐賀東部導水路の分木工のうちいくつかの標高の高い地域に送水する支線パイプライン（山送り支線）については、当初は供給主導水管理を図るため一度越流隔壁で縁切りする計画としていましたが、吐水槽水位を有効に利用するため直結パイプラインとされ実質的には需要主導となっています。しかし、これら山送り支線の流量は比較的小さいので佐賀揚水機場吐水槽水位を一定とするポンプ運転を行うことで対応しています。

一方で、佐賀東部導水路の全送水量のうち大きな割合を占める城原川以西の分木工操作については、城原調整水槽直上流の城原流量調整弁で流量一定制御を行い必要量を確実に城原調整水槽に送ると共に、各分木工では申し込み水量に応じたバルブ開度一定制御を行い分水量を監視することで、システム全体としては供給主導の水管理を行っています。

なお、この城原流量調整弁については佐賀揚水機場吐水槽水位の変動に応じてバルブが頻繁に動き設備劣化の進行が懸念されたことから、平成13年度に制御不感帯の見直しを行い大幅にバルブ作動回数を減らす改良を行っています。

**4. 次世代にむけて：**筑後川下流の2系統の長大パイプラインシステムは、昼夜や降雨時などの流量変更時の水理変動をうまく吸収しながら、適正かつ安定した供給主導の水管理を実現しています。

しかし、流量など設定値の変更や各分木工の開閉操作の順序やタイミングなどの判断は制御システムには組み込まれておらず、人の経験によるところが少なくありません。

古いものは40年近く経った施設もあり新たな更新整備も必要になってきていますが、それに併せて例えば人工知能の導入などによってさらなる管理の効率化・高度化ができるのではないかと考えています。