

農業水利システムの機能保全における 水理・水利用機能診断の適用の留意点

農研機構 中矢 哲郎

1. はじめに

農業水利システムとは、貯留、取水、送配水、排水等のために国営・県営灌漑排水事業等で整備された個々の農業水利施設で構成され全体として機能を発揮する一連の施設体系のことである。

そして、この農業水利システムは全国各地に構築されている。しかし、これら農業水利システムを構成する個々の農業水利施設のうち相当数が戦後から高度成長期にかけて造成・整備されたもので、標準耐用年数を超え老朽化や機能の低下が進行したため、個々の施設の機能を安定的に発揮できるよう、各施設の機能保全の対策実施が必要となってきた。このため、2007(平成19)年に「農業水利施設の機能保全の手引き」が策定され、施設の機能保全の対策実施に大きく貢献している。さらに、2015(平成27)年には同手引について、リスク管理や施設監視の取り組みを強化する観点から全面改訂が行われた。このような経過の中で、実際に各国営造成施設に対しては機能診断と機能保全計画の策定がすでに複数回実施され、現場のデータの蓄積がなされてきたことを踏まえ、現在、機能保全の技術体系をよりわかりやすく、また実務的なものとするよう見直すことが求められている。さらに今後、農業者の高齢化や農業水利施設の老朽化が進むなかでも施設の機能を十分に発揮させるとともに、地域の農業の現状及び今後の展開方向等も十分勘案した農業水利システム、

およびそれを構成する農業水利施設の機能の保全が望まれている。これらの状況を踏まえて、2023(令和5)年において手引きが全面的に改訂された¹⁾。改定された主要な部分は以下のとおりである。

- ①農業水利システムの観点から「機能保全」を実践
- ②水利用機能の診断をストックマネジメントのサイクルに位置づけ
- ③農業水利システムの停止を招かないリスク管理
- ④標準的な劣化曲線(統計処理した施設健全度の経年変化)の適切な活用
- ⑤状態監視保全の適用を広げる新技術の導入
- ⑥情報の保存・蓄積・活用と幅広い関係者への公開

ここで①、②については、農業水利システムの更新に際し、地域の現状や展開方向を考慮した農業水利システムの集約、再編、統廃合による農業水利ストックの適正な管理や、省エネ化を含む維持管理費節減や更新費低減のための施設整備には必須の検討事項である。

本報告では、農業水利システムの観点からの機能保全、および水理・水利用機能診断の方法や機能保全における位置付けについて、手引きがより実践的なものとして活用されることを目指して、具体的な事例を踏まえながら、それらの留意点について記したい。

2. 農業水利システムの水理・水理機能診断の状況

(1) 農業水利システム全体の観点からの機能保全

今回の手引きの改訂においては、機能保全における農業水利システム全体の観点が強調されている。農業水利システムの目的は、『農業用水として必要な用水を適時、圃場へ送水し、その後、圃場や地域内の余剰水等を排水すること』であり、それを構成する多種多様な農業水利施設が相互に関連し適切に運用されることによって、水のネットワークとしての農業水利システムを機能させている。これまでの機能診断では個々の農業水利施設の構造機能診断を中心に技術やノウハウが蓄積されてきている。しかし、今後の施設更新の際には、施設構成や灌漑型式の変更も含むことが予想されるため、農業水利システムの観点から施設全体の機能を診断することが重要になる。農業水利システムの機能保全を行うには、対象とするシステムの基本構造を分析し、システムを中心をなす水路システムの幹線から支線、末端水路までの階層的に構造化された主要な地点の機能・性能を具体的に診断することが必要である。これにより現況の問題解決、将来の保全管理計画及び機能向上の立案につなげることが可能になる。このように、農業水利システム全体を俯瞰する視点をもつことが個別の施設の機能診断、保全計画策定を実施する上でも重要になってくる。また、水資源の有効利用や流域管理の方向性に備え、農業水利システムを構成する水路システム、水源システム、排水システムを一体的に考えておくことも重要である。

この農業水利システム全体の観点での取り組みは、個別施設の機能診断・機能保全計画の取り組みとは別に、施設造作者等が行う広域農業基盤整備管理調査等により実施される。したがって、農業水利システム全体の視点の情報を、個別の農業水利施設で取り込まれてきた機能診断や機能保全計画と共有することが重要に

なる。これにより、個別施設の機能保全においても、農業水利システム全体の視点で、関連施設の施設構成、配置見直しも考慮した対策を講じることが可能となる。

(2) スtockマネジメントのサイクルへの水利機能診断の位置付け

Stockマネジメントの取り組みは、「①性能の監視→②性能の診断・評価→③性能低下の将来予測と対策から維持管理・運用までの計画・設計→④補修・補強等の性能のあるべき水準への実現→①」という持続的な技術サイクルである。このサイクルは、これまで個別の施設の機能診断に適用されてきた。

今回の改訂においては、このサイクルに別途、社会情勢や営農状況の変化に伴う水利用実態の把握を含む農業水利システム全体の水利用機能診断を位置づけている。日常管理として行われる従来のStockマネジメントのサイクルとは別になるが、システム全体の視点からの情報を個別施設の機能保全計画の策定の取り組みと共有することで、(1)で示したように、農業水利システムとしての施設構成、配置見直しも考慮した対策を講じることが可能となる。

また、農業水利システム全体の視点をStockマネジメントに位置づけることは、個々の施設に要求される機能・性能が時代とともに変化・向上することを意味し、従来の施設の機能・性能を向上させる社会的必要性（社会的劣化への対応）も機能保全の範囲であることも意味する。

(3) 農業水利システム全体の観点と個別の機能診断の関係

農業水利システム全体の観点と個別の機能診断の関係を説明するための、農業水利システムの一例を図-1に示す。

この例では、施設の更新のための検討として、電気代の高騰や今後の維持管理労力を考慮して、C幹線上流部における排水河川からの大型の揚水機場A機場を廃止し、それに伴い時間

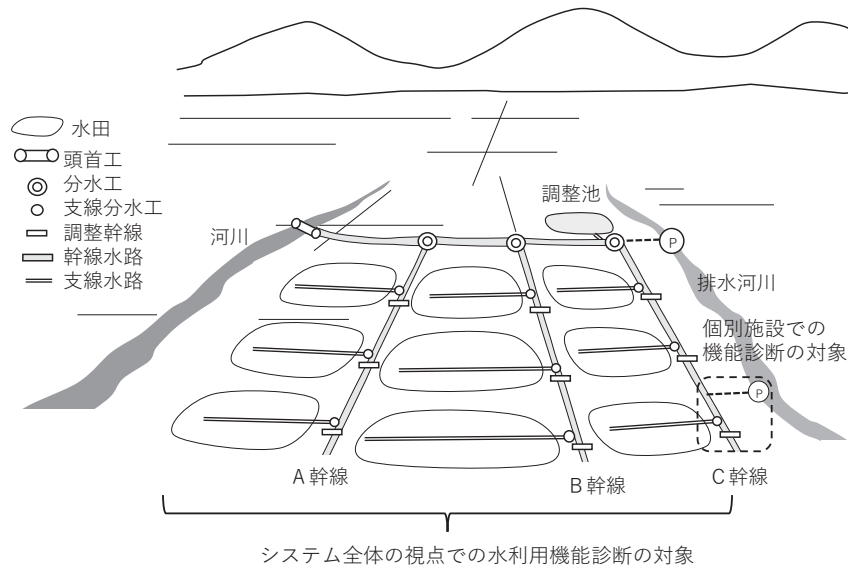


図-1 診断を行う農業水利システムの例

的に不足する用水を補うための調整池の容量の増加、あわせて経年劣化した水路の更新を含めた検討を想定する。これは将来的な更新、集約、再編、統廃合のための事業を想定している。ここでは現況の水利システムの水利計画の前提条件であるかつての水利用実態と現在の用水の利用実態の変化を考慮する必要がある。この水需要の変化は、①水田汎用化による畑作物の利用などによる水利用量の変化、②用水需要の時期的・時間的集中、などであり、水利用機能に影響する。これらの変化は揚水機場の要不要、調整池の容量の判断のみでなく、C幹線上流の頭首工の取水量、送水施設である分土工の規模、用水路の規模、調整施設の要不要、などの検討にも影響するため、個別施設の機能診断や機能保全計画と情報を共有する必要がある。例えばC幹線下流部の経年劣化したB機場のポンプ、ゲート等の個別施設の機能診断・機能保全計画策定を行う場合、農業水利システム全体の観点からはポンプの補修または更新ではなく、それらの廃止や規模縮小が可能と判断され、事業費やその後の管理労力の削減が可能になることが考えられる。また一方で、末端に位置する個別施設の水路の構造機能の状態やそれに伴う水理機能の状態などの診断結果は、農業水利システム全体の改修計画策定にとって重要な情報とも

なる。このように農業水利システム全体の観点からの構成施設の操作管理の機能・性能診断の結果と、個別施設の機能診断結果が相互に情報共有されることで、現状の営農形態、圃場の水使用実態、将来的な管理労力や維持管理費を考慮した地域に適する機能保全が可能になる。

3. 水理・水利用機能診断の手法

(1) 要求性能と照査方法

農業水利システムについては、構成する施設の広範かつ多様な機能・性能を概念的にも定量的にも明確にし、これらの機能・性能の目標を、事業主体のみではなく可能な限り管理者や利用者、あるいは地域住民を含めた全体の協議、合意のもとで決定し、これを実体化する設計や機能保全の体系を構築する必要がある。機能は施設の役割、働きであり、性能は性能設計や性能管理等を行いうる数値化あるいは、指標化された能力である。構造物がその目的を達成するために保有すべき性能が要求性能で、これを細分化し性能項目ごとに数値を含んだ具体的な照査指標が設定される²⁾。農業水利システムの水理・水利用機能に対する性能の照査法には、①計算による方法、②水理試験（水圧試験、流速係数測定等）、③モデル試験（水理模型実験等）、④観測的方法（流量観測等）、⑤適合みなし規定、

がある。①は、定常水理解析、非定常水理解析などの数値シミュレーションを含み、農業水利システムの観点から機能保全を行う場合は全体の水の流れを把握でき有効である。

(2) 水理・水利用機能診断の取り組みの概要

施設の更新のための検討にあたって、地域の農業の展開方向を考慮して施設規模や水利用形態の変化も含めた計画を行う場合、農業水利システムとしての水利用性能を確保するために広域的な水の流れを分析できる数値シミュレーションによる水利用機能診断が有効である。そもそも水利用性能、水理性能に関しては、1970年代後半から水理解析を活用した設計がなされており、農業水利システムの水利用機能を定量化しようとする性能設計に近い概念は存在していた。これをストックマネジメントにおける機能診断の中に位置づけることで、地域の将来のあるべき姿を実現できる農業水利システム全体の機能保全が期待できる。

農業水利システムの水理・水利用機能診断においては、診断の基本となる水の流れについて、下記の工学的な事象を認識しておく必要がある。

- ①開水路の流れの用水到達時間、水位制御と流量制御、堰とオリフィス等の基本的な水理学的特性の理解
- ②パイプラインの水配分機能、圧力の伝達特性、水撃圧の発生とその要因、管理の利便性等の基本的理解
- ③システム内の非定常流（実際の流況、管理上の課題）、定常流（等流、不等流：計画設計問題）の理解と現実的な運用・管理に関する理解と現場経験
- ④上流の水路の無効放流が下流地域で有効利用される場合、システム内では用水の損失にならないという農業水利システムの一体性の理解

調査する農業水利システムの範囲は、原則として最上流から最末端までの全階層区間である

が、時間的あるいは人力的に制約がある場合は、予め優先順位を決めて範囲を決定する必要がある。水利用の特性を考慮すると、調査範囲は少なくとも水理ユニットの区間単位を包括して決定することが望ましい。

診断の手順は、構造機能診断と同様に以下の段階で実施することが基本となる。

- ①事前の聞き取り調査、現地踏査による問題点の抽出
- ②現地調査による機能診断（一次診断）
- ③計測、試験、数値解析等による詳細な性能照査

まず、①では、現地踏査、聞き取り調査により水理・水利用機能上の課題、対象施設、管理主体、管理レベル、目的を設定し性能規定を行う。②の現地調査では、①で問題となった点について流量観測、簡単な水理計算等によりさらに原因の把握を行う。③の照査では、②で①の問題が解明されない場合には詳細調査となり、数値シミュレーションも使用する。数値シミュレーションについては、水理機能診断においては主に通水性を把握するために行われる簡易な等流計算、水路形状を考慮した一次元定常水理解析が用いられる。サイホンの流出入口などの形状抵抗が流れに及ぼす診断の場合、損失部に影響を及ぼす非定常な渦流なども解析可能な断面2次元または3次元の非定常解析が用いられる場合もある。水利用機能診断においては広域にわたる幹線水路の分水均等性、調整池の効果を診断する配水弾力性の診断に一次元非定常水理解析が用いられる。これらの数値シミュレーションは、状況に応じて適切な手法を用いることが最も重要となる。

4. 水理・水利用機能診断の事例

図-2に示した低平地の水田灌漑システムを対象に、農業水利システム全体の観点および個別施設の水理・水利用機能の診断事例を以下に示す。3. で示された①～③の手順で実施する。

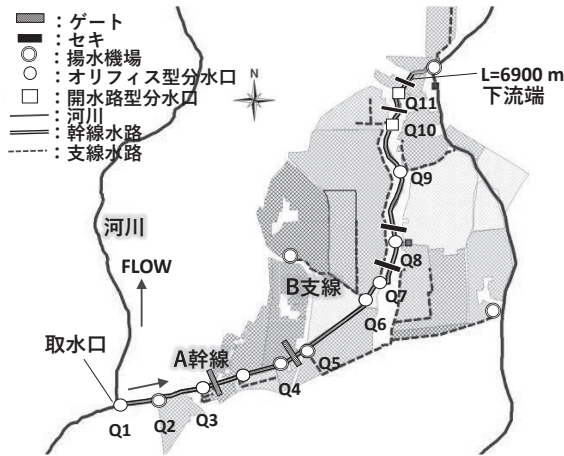


図-2 診断対象とする水路

①事前の聞き取り調査、現地踏査による問題点の抽出

まず、水路カルテの使用や現地踏査、聞き取り調査により水理・水利用機能上の課題、対象施設、管理主体、管理レベル、目的を設定し性能規定を行う。

対象とした河川から取水する A 幹線用水路は、北陸地方の低平地に位置し、水利慣行に基づく上流優先の水管理や、水路内のセキ・ゲートの固定開度の管理を基本とするため、分水後の支線水路での過剰取水、上下流の配水不均等、末端水路における用水不到達といった問題点が生じていた。さらに、この下流での不足分は排水路からの揚水により補うため、ポンプ運転に係る電気代の高騰の問題が生じていた³⁾。

②現地調査による機能診断（一次診断）

問題の原因を把握するために一次診断としての水利用機能診断を行う。まず、水利用にかかる健全度指標として基準流量（計画流量） Q_s に対する実測流量 Q_a の比 Q_a/Q_s を各地点の診断指標とし、水利用の健全度を Q_a/Q_s に基づき 5 段階に分類する（表-1）。この健全度を取水口から末端にいたるまでの詳細な流量観測により診断した結果、幹線末端では管理水準の S-2 を下回る S-1 となっていた（図-3）。この健全度を改善するには、大きく健全度が低下

する幹線中流区間での対策が必要であることが予想された。これらを要求性能の項目、性能の定義とそれを診断するための手法として整理したのが表-2である。これらより幹線水路の調整施設の診断、調整池の診断の大きく二つを照査する必要があることが示された。

表-1 水利機能診断における健全度指標の例

健全度指標	水利用の状態 (Q_a/Q_s)
S-5	0.9 以上
S-4	0.8 以上 0.9 未満
S-3	0.7 以上 0.8 未満
S-2	0.5 以上 0.7 未満
S-1	0.5 未満

※水利用の状態(実測値 Q_a /計画用水量 Q_s)

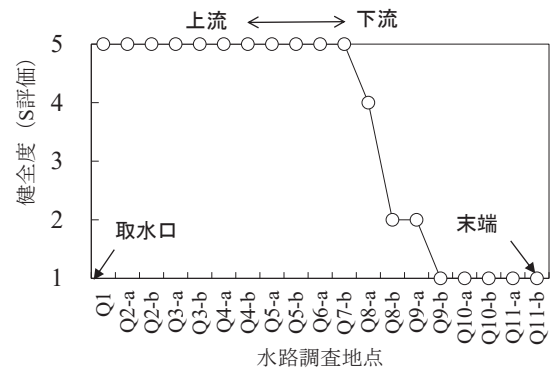


図-3 健全度の評価結果

表-2 対象地区における要求性能の項目と診断手法

	要求性能の項目	性能の定義	照査方法
本来性能	通水性	用水を安全に流送する。	流量観測、一次元定常水理解析
	分水制御性	幹線水路からの用水の分水を制御し、分水量を計測する。	一次元非定常水理解析
	放余水性	分水量を制御し、調整池における溢水防止のために余剰水を削減する	流量観測、一次元非定常水理解析
水利用に対する性能	水管理性	分水工（口）において供給者または需要者が用水配分を意思決定する	現地聞き取り調査
	分水均等性	計画的に用水を分水する。	流量観測、一次元非定常水理解析
	配水弾力性	支線分水ゲート制御による、調整池の機能を活かした配水弾力性の向上（数値解析）	流量観測、一次元非定常水理解析、水収支計算
	水管理制御方式	操作・管理・計測機器を安全かつ効率的に操作・運用する。	聞き取り調査、流量観測

③詳細な性能照査

②の一次診断において、本農業水利システムは、表-2に示すように幹線水路からの分水均等性、分水制御性、調整池の配水弾力性について数値シミュレーションを含む詳細な調査が必要であることがわかった。この二項目について、表-2の要求性能の項目および照査方法にしたがい診断を行う。

1) 幹線水路の送配水機能の数値解析による診断

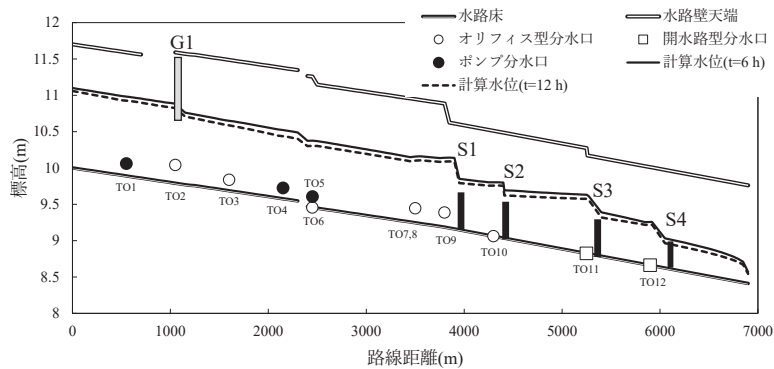
幹線水路全体の水理計算により、一次診断で明らかになった幹線水路中流域の用水到達度の減少要因を照査する。ここでは一次元非定常水理解析により、まず、幹線水路の付帯施設として、ゲートおよび堰と分水工を設定し、送配水状況を再現する。図-4に現況の再現結果を示す。これを基に24時間の最上流の取水口から取水を行い、幹線水路の各分水工からも分水して、幹線水路末端までの用水到達状況を数値シミュレーションにより照査する。ここで以下のようなシナリオに基づき分析を行う。

シナリオ1：現況の水管理を踏まえ、分水工で手動で取水する(現況の再現)

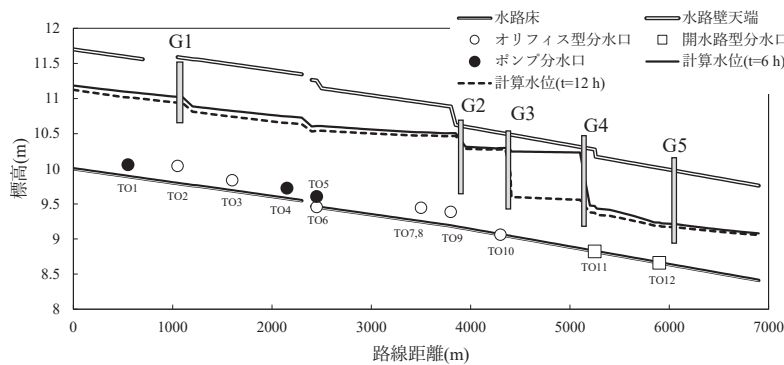
シナリオ2：調整施設であるチェックゲートを自動化させ、上流水位一定制御により分水を行う

シナリオ3：シナリオ1に加え、上流水位一定制御、下流水位一定制御を複合させた、水路貯留効果も利用する

結果として、シナリオ1では、用水不到達が生じた。シナリオ2では、下流への流量は増加するものの、昼間のピーク需要時に用水未到達が生じた。シナリオ3では、水路貯留を利用したゲート制御(図-4)により、ピーク需要時でも末端まで用水が届くことが明らかになった⁴⁾。この結果は農業水利システムの観点での対策実施シナリオ及び施設監視計画の作成において活用する。



現状の状況 (シナリオ1)



水路貯留を活かした制御を導入した結果 (シナリオ3)

図-4 数値シミュレーションによるシナリオ分析結果

2) 調整池の有効活用に関する数値解析による診断

B支線分水路以下の調整池において需要を上回る用水供給により無効放流が生じていることが一次診断からわかった。よって、個別施設としての水理・水利用機能診断の実施を行う。対象とする施設構成を図-5に示す。

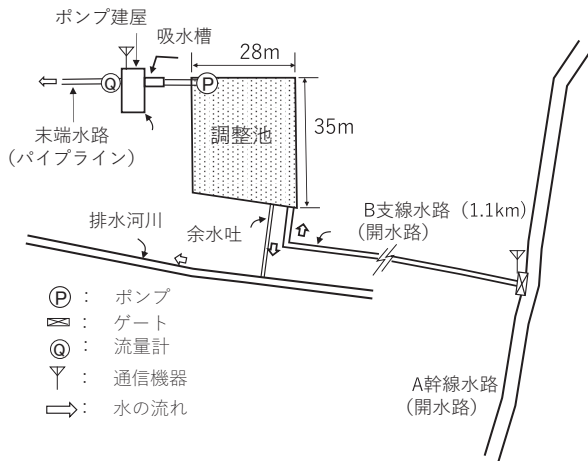


図-5 診断対象とする調整池の概要

支線分水路の分水ゲートが電動であることを活用して調整池の水位・ポンプ流量の監視データから水需要を把握し、支線ゲートから自動で必要水量を配水する手法の妥当性の照査を行った。調整池の水収支の分析、流量観測結果を基に、支線分水路から調整池への配水シミュレーションを行った。計算結果を図-6に示す。現況の実測値では、ピーク時の調整池水位の低下をおさえていた運用を行っていたため、常時調整池の余水吐から余水が流出（すなわち無効放流が発生）していた。これに対し、シミュレーションによる計算値では、調整池の水位を余水吐水位以下になるように運用することで無効放流を削減し、かつ、ピーク流量時の水位低下も抑えられる運用が可能になることがわかった⁵⁾。この結果の反映は、個別施設の機能保全事業で対応することも考えられる。

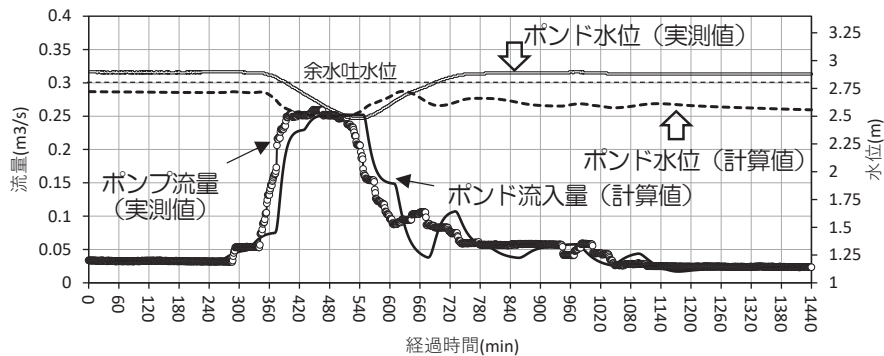


図-6 ポンプ流量と調整池水位の実測値と解析結果

引用文献

- 1) 農業水利施設の機能保全の手引き、農林水産省農村振興局、<https://www.maff.go.jp/j/nousin/mizu/sutomane/attach/pdf/index-8.pdf>、2023.10 閲覧
- 2) 中達雄、樽屋啓之：農業水利のための水路システム工学 -送配水システムの水理と水利用機能-、養賢堂、2015年8月
- 3) 藤山 宗・中矢哲郎・武馬夏希・友正達美 株式会社クボタ 陳 巨壺・末吉康則：上下流の配水不均等の解消に向けた水管理システムの構築とその効果、農業農村工学会誌 第89巻第1号、19-22,2021

- 4) 武馬夏希、中矢哲郎、藤山宗：水路内貯留を用いた水需要時間変動への対応を目的とする開水路の水利施設操作手法、土木学会論文集 B1 (水工学)、Vol.76, No.2, 1_841-1_846,2020
- 5) 中矢哲郎、藤山宗、武馬夏希：水田灌漑地区の用水節減のためのバッファポンドと分水ゲートの運用手法、土木学会論文集 B1 (水工学) Vol.78, No.2, 1_1165-I_1170, 2022

参考文献

- 1) 中達雄、樽屋啓之：農業水利のための水路システム工学 -送配水システムの水理と水利用機能-、養賢堂、2015年8月