

18. 取水施設

(基準 3.4.2関連)

取水施設は、利水のための取水機能を有する施設であり、頭首工、揚水機場、地下水工等の施設が該当する。取水施設の種類、形式等は、受益地区との位置関係、水源の種類等により影響されるので、地域の実情を踏まえた合理的な施設計画となるよう検討するとともに、用水利用における弾力的な運用が可能となるよう配慮した計画とすることが望ましい。

本章においては、取水施設計画の基本的考え方について解説する。

なお、具体的な設計手法等については、土地改良事業計画設計基準 設計「頭首工」、「ポンプ場」等を参考にする。

18.1 基本事項

取水施設は、必要な取水量の確保及び安全かつ合理的な管理が可能となる機能が備わり、施設及びその周辺の構造物が安全であることを確認の上、可能な範囲で経済的となるよう計画するものとする。その際には、自然環境や社会環境等への影響を十分配慮する。

ここでいう機能は、施設の耐用期間において計画用水量を取水し得る施設容量、水頭等を確保し、また、必要な水量を容易な操作で安全かつ確実に取水できる施設の設置により充足されるものである。

安全性については、施設自体が工学的に安定しており、想定する洪水時等に上下流に悪影響を発生させないこと等を考慮するものとし、また、経済性については、施設の施工及び維持管理に要する費用が最小限になるよう、また、周辺環境との調和への配慮等も含めて、地域にとって最適な計画となるように検討する必要がある。

施設容量については、最大用水需要量が通過できる容量に余裕や安全を見込んだ容量で計画することを原則とするものの、短期間に大きなピーク用水量が出現する場合の取水施設の容量については、事業全体の経済性を重視して、末端需要の変動を緩和する調整施設の設置、用水利用におけるローテーション制の導入、作付作物・体系の多様化等、地域農業の展開方向に合致させつつピーク用水量を低減させるよう検討することも有効である。

なお、設計に当たっては、河川法等の関係する各種の法令を遵守するとともに、関連する他の計画と整合を図らなければならない。

18.2 頭首工

(1) 調査項目

頭首工の計画設計に必要となる調査工期には次のものがある。また、これらについては次節「揚水機場」に関しても参考となる。

ア. 河川状況の調査

河川の流況、河床の状況及び感潮河川における塩分侵入の状況について把握する。

イ. 治水、利水に関する調査

当該河川において河川管理者が治水上定める計画、構造物の設置状況、計画地点上下流区画の排水の流入状況及び河川水の利用状況について把握する。

ウ. 地形調査

計画地点付近の地形条件について地形図、航空写真、測量図等を把握し、計画設計に必要な図面を作成する。

エ. 地質調査

計画地点付近における地盤の構成と性質、支持力、河床堆積物の状況及び地下水の水位と流動状況について把握する。

オ. 環境調査

頭首工造成に伴う周辺住民の生活環境及び自然環境の保全対策の検討に必要な環境調査（振動、騒音、生物、生態系、水質、景観調査等）を行うとともに、地域住民等の意向を把握する。

カ. 工事施工条件に関する調査

頭首工の建設工事が合理的に行える設計内容となるよう当該地点の気象、河川流況、地下水の状況、河床の状況、工事用資機材の入手条件や搬出入条件、工事用動力源、工事に必要な用地の確保条件、工事に伴う補償物件の有無や条件、工事に伴う騒音振動や交通阻害等が周辺住民の生活環境、生態系等の自然環境に及ぼす影響について把握する。

キ. 管理に関する調査

建設後の頭首工の管理が適正に行われるよう管理体制、管理方法、取水後の水利形態、水利慣行の状況等について把握する。

(2) 位置の選定

頭首工の位置は次の各項に示す諸条件を総合的に検討し最も有利な地点を選定する。

- ① みお筋が取り入れようとする川岸に近く安定している地点であること
- ② 渇水時でも確実な取水ができる地点であること
- ③ 取水とともに著しい土砂の流入が生じない地点であること
- ④ 堰上げによる上下流への影響が少ない地点であること
- ⑤ 基礎地盤が良好で構造上の安定が得られ、かつ工事費が安くなる地点であること
- ⑥ 維持管理を行う上で便利な地点であること

(3) 施設設計

頭首工の概略設計においては、河川の勾配、規模等に応じて適切な取水方式、構造、施工方式等を選定する。特に、構造については、堰頂標高及び可動部ゲートの敷高（可動部のある場合）を基本に、土砂吐を含む可動部の径間長、ゲート形式、魚道、等を計画するとともに、必要に応じ閘（こう）門等の附帯施設や管理施設を計画する。

頭首工は、基礎の状態により、岩盤に設置される固定型と砂礫等浸透地盤に築造されるフローティング型に区分される。フローティング型では、一般に地盤の支持力を改善するために基礎処理を要する。

取水口の構造は、流速と土砂の流入を考慮して、取水の確保と取水に伴う土砂の流入防止とを満足するよう適正な取水口の敷高及び幅員を有し、用水量の調節ができる水門を設

置する。敷高を十分に高くする等の土砂流入防止装置を設置したにも関わらず、水路内に土砂の流入が想定される場合には、沈砂池を設置する。

また、頭首工の設置による他の河川利用への影響を考慮するとともに、河川の治水機能を阻害せず、かつ、その設置が災害の阻害にならないよう、頭首工自体の安定も含め、河床の変動、堰上げによる流入河川、水路への影響、下流構造物の根固め、根入れへの影響等についても検討する。なお、頭首工を設置する河川に工事实施基本計画がある場合は、その内容と計画の実施時期について調査し、必要な調整を行った上で計画を作成する。

特に、頭首工の設置に際しては、河川区域内での工事が多く、河川の仮締切等の仮設、非洪水期間内の制約を受けた施工計画は事業費に影響するので、概略設計の際に十分検討を行う。

18.3 揚水機場

(1) 必要性の検討

揚水機は、原則として以下のような場合に採否を検討する。

- ア. 自然流下方式では導水路延長が長大となり、その建設と維持管理面で経済的とならず、かつ、技術的な困難が大きい場合。
- イ. 受益地区が台地上にあること等から、高位部において水源が求められない場合で、経済性の観点から以下の計画の可能性を検討する。
 - ① かんがい対象区域を標高別に区分し、高位部、低位部等の用水ブロックを分割し、ブロックごとに自然流下、又は、揚水の方式を検討する。
 - ② 高位部のみ多段揚水、又は、自然流下用水路からの揚水とする。

(2) 調査項目

前節「頭首工」を参照。

(3) 施設計画

施設計画において、吸込水位、吐出し水位及び実揚程は、所要の用水量を確保するよう用水計画及びポンプ運転計画を十分検討して適切に決定する。また、揚水機の計画揚水量は、地区のかんがい方式、かんがい期間等を考慮して計画基準年時と平年時について、それぞれ期別用水量をもとに計画最大揚水量と常時揚水量を決定する。

ポンプの計画設計に当たっては、次の事項を検討し、合理的かつ経済的なものとする。

ア. 台数割

普通期の常時運転用のポンプ吐出し量をもとにして、代かき期等の計画最大揚水量まで対応できるようポンプ吐出し量と台数を決定するが、危険分散を考慮して極めて小規模の場合を除き複数台とすることが望ましい。

イ. 全揚程

全揚程は、実揚程に諸損失水頭を加えて決定する。諸損失水頭の算定に当たっては、主ポンプの形式と吐出し量、吸込・吐出し管及び弁の配置等を十分検討し決定する。

ウ. ポンプ形式

ポンプ形式は、設計点における吐出し量及び全揚程から軸形式、機種形式及び据付形式を検討して決定する。また、ポンプの設置条件及び管理の容易性、騒音、振動による影響等も併せて検討する。

エ. ポンプの据付高さと同転速度

ポンプの据付高さと同転速度は、同転範囲を勘案して有害なキャビテーションを起こさないように決定する。

オ. ポンプの材料

ポンプに使用する材料は、ポンプの性能を十分発揮できるものとし、設置条件、使用条件も踏まえ、安全で耐久性に優れたものを選定する。

18.4 貯水施設における取水設備

貯水施設と取水施設の組合せ形態は様々である。

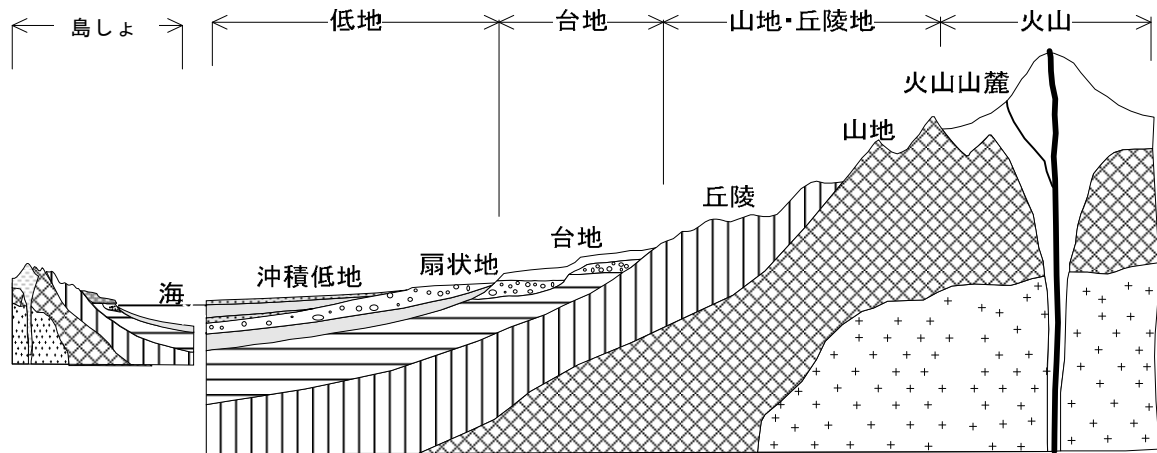
取水設備を貯水施設内に建設する場合は、利用水深に応じた取水が確保されるよう取水口を設置することが重要である。

特に、自然取り入れ方式では、取入口の前面を現況の岸壁面に一致するようにし、波浪の影響が最小限となるよう検討する。

18.5 地下水工

地下水工の多くは管井であるが、山間部では湧水箇所に集水暗渠を設置して地下水を集める場合も見受けられる。また、特殊な例として、直径数 m の縦坑内から放射状の水平ボーリングを設置して、縦坑内に集水する方法がある。さらに石灰岩質の島しょ等では、地下ダムを集水施設とする農業用水確保が行われている。いずれも経済的かつ安定的に取水することが肝要であり、地盤沈下等周辺地域への悪影響が発生しないよう計画する。

地形・地質の類型により、地下水の賦存形態等には多くの共通性が見られ、調査の留意点やポイントにも多くの共通性が見られる。中でも、地形に着目することにより、その地質や地下水状況をある程度想定できる場合が多い。地形は、一般に、低地、台地、山地・丘陵地、火山及び島しょに大別される（図-18.1）。地形区分ごとの特徴、構成地質、主な土地利用、地下水の状況等の概要は、表-18.1 のとおりである。

図-18.1 地形の模式図¹⁾表-18.1 地形ごとに区分した地質と地下水等の特徴¹⁾

名 称	島しょ	低 地	台 地	山地・丘陵地	火山
地形の特徴	四方が海域に囲まれている地域。	河川とほぼ同じ高さで、下流ほど勾配の小さな平坦地。	平坦な頂上を持つ高台又は階段状の平坦地。数段に分かれ、谷で分離したものもある。	標高約500m以上で尾根と谷との比高300m以上を山地、標高500m以下を丘陵地と称する。	火山活動により地表付近に生じた地形。山頂を中心に対照的な形。
地表付近の地盤の形成時代と特徴	火山島の場合は、火山と同じ。 島の形成過程により異なる。	第四紀完新世 未固結な粘土、シルト、砂、砂礫。	第四紀更新世～完新世 未固結なローム、砂、砂礫、粘土、火山灰等。	＜丘陵地＞ 第三紀の堆積岩、火山岩、風化花崗岩等の軟岩。 ＜山地＞ 第三紀以前の堆積岩、変成岩、火成岩の硬岩。	第四紀更新世～完新世 溶岩、岩塊、火砕流堆積物、火山灰等。
地下水開発における特徴	一般的に地下水は乏しいので、水収支での検討が必要。 過剰な揚水は塩水化を招く。	不圧地下水・被圧地下水が混在する。比較的地下水位は浅く、豊富な地下水がある。 地盤沈下や塩水浸入等の地下水障害に注意する必要がある。	不圧地下水・被圧地下水が混在する。 地下水位は低地より深い、水量は豊富。	＜丘陵地＞ 主に被圧地下水、水量は少ない。 ＜山地＞ 層状水は期待できない。断層沿いや、割れ目が多い箇所でのれっか水に期待する。	地盤の透水性は地質により大きく異なる。 透水性の高い地層の分布形状を把握することが重要。

地下水を水源として利用する際は、かんがい対象地域に近接して取水施設を設置できる利点があるが、地下水位の低下に伴う地盤沈下や、塩水浸入等の地下水障害、既存の地下水利用に対する影響等を生じないよう取水量、取水方法等を検討する必要がある。特に、地盤沈下地域では、地盤沈下防止等対策要綱等による制限があるほか、条例等によって揚水量、口径、採取深度等が規制されている場合があるので注意を要する。

このようなことから、地下水利用を計画する場合には、以下のような調査・検討を行う必要がある。

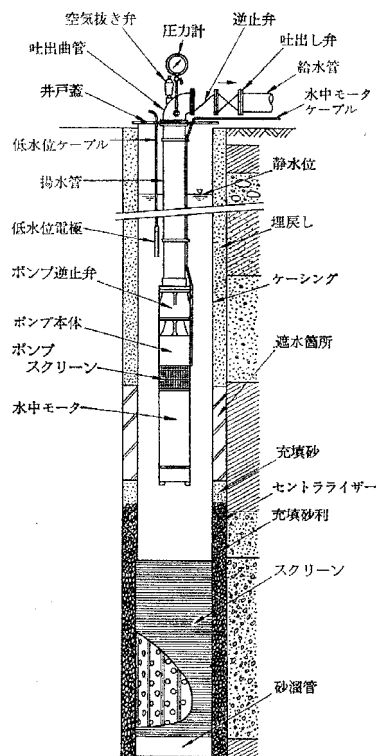
- ① 調査対象地域について、地下水開発の可能性を検討するために必要な既存資料を収集・分析するとともに、現地調査によりこれを確認し、また不足している情報収集に努める。
- ② ①（既存資料の収集・分析及び現地調査）の結果に基づき、対象地域での地下水開発の可能性を検討する。
- ③ 水文地質構造調査（地質踏査、物理探査、ボーリング調査等）を実施し、対象地域の水文地質構造を明らかにする。
- ④ ③（水文地質構造調査）までの調査結果を踏まえて、対象地域について、帯水層の有無、その広がり等を検討し、開発帯水層の選定を行う。
- ⑤ 試掘井を掘削し、揚水試験を実施することにより、地下水開発の対象と想定した帯水層の水理定数を求めるとともに、井戸による揚水可能量等を把握する。また、揚水試験に合わせて、水質試験を実施して必要な水質が確保されるか確認する。
- ⑥ 揚水試験結果等のデータに基づき、対象地域における全体の開発可能量を試算する。また、周辺環境への環境影響評価や揚水試験時の水質分析結果の検討を行い、計画揚水量を検討する。
- ⑦ 全体の事業計画を勘案しつつ、地下水取水施設の種類、配置、設置深度（帯水層）、各施設の取水量等を検討し、地下水開発計画を立案する。
- ⑧ 立案した地下水開発計画について、地下水利用の継続性、周囲への環境影響等の観点から、妥当性を検討する。
- ⑨ 地下水取水施設の維持管理方法や周辺環境の保全についてのモニタリング計画を併せて作成し、地下水開発計画を決定する。

(1) 管井

管井は、帯水層から取水する井戸のことで、ケーシング、スクリーン及びケーシング内に釣り下げた揚水管とポンプからなり、帯水層に挿入したスクリーンを通じて直接ポンプで揚水し、農業用では深さ 200m 以浅のことが多い。

ケーシングの口径はおおむね揚水量によって決定されるが、地盤の掘削の難易も考慮する必要がある。井戸として最も重要なのはスクリーンの位置であり、帯水層の厚さに見合った十分な長さが必要である（図-18.2）。

安定した揚水量を確保するためには、十分な調査を行って良好な帯水層を見だし、その帯水層に適したスクリーンの設置や揚水量に見合った能力のポンプ選定などが必要である。

図-18.2 管井の基本構造図²⁾

(2) 集水渠

集水渠は、鉄筋コンクリート構造等の管渠あるいは開水路で、伏流する地下水を取水する施設である。

砂礫等の透水性の良好な帯水層を選んで設けることが多く、流況が良ければ安定した取水が可能である。

地上構造物が築造できない場所にも設置可能な取水施設としての利点がある。

河川近傍での取水の場合、河川の流量への影響が顕著である場合に対しては河川法第23条（流水の占用）の規定が適用されることがある。河川区域や河川保全区域における伏流水の取水は、設置による影響を考慮した上で、河川管理者と十分協議を行う必要がある。

集水渠の構造は、鉄筋コンクリートの有孔管渠造りとすることが多い。その断面形状は、円形、馬蹄形が一般的である。また、洗掘のおそれがある堤外地に設けるときは、鉄筋コンクリート枠等で防護するとともに河床にも床固め等を行う必要がある。

(3) 放射状集水井

放射状集水井は、直径数 m の縦坑と、縦坑内から帯水層の深度で放射状に配置した水平ボーリング孔の複合構造からなる井戸であり、水平ボーリング孔を通じて帯水層から縦坑内に集水する仕組みを持つ。

縦坑の断面は水平ボーリング孔の掘削及び各孔への多孔集水管挿入のための機械が容易に設置・操作できる大きさとする。また、縦坑は土圧、揚圧力等に十分耐えられる構造とする。

放射状集水井は、縦坑の側壁から帯水層中へ多孔集水管を突き出した分だけ井戸の径が

大きくなるため大量取水に有利であるが、近傍の井戸への影響について配慮する必要がある。また、縦坑の井底を難透水層（泥岩等）まで到達させることが望ましい。

(4) 井筒井戸

井筒井戸は、不圧地下水又は伏流水を取水する比較的浅い井戸で、一般に鉄筋コンクリート製の井筒を地下に設置し、その底面（井底）から筒内へ集水し、その水をポンプ等で揚水する施設である。なお、井筒のほか、放射状集水井同様、側面に集水孔を刻んだ鋼管（スクリーン）等で集水することもある。

深さ 8～10m の比較的浅い井戸は、掘削しながら井筒を設置していく工法を採るが、崩れやすい砂礫層が多いので、それ以上深い井戸は鋼管等を打ち込むケーシングによる工法が一般的である。

引用文献

- 1) 農林水産省農村振興局農村政策部農村環境課：農業用地下水開発の手引き、p. I-19（2009）
- 2) 日本水道協会：水道施設設計指針（2000）

19. 送配水施設

(基準 3.4.3関連)

送配水施設は、利水のため用水を送配水する水路組織を構成する施設であり、用水路（サイホン、水路橋、暗渠、水路トンネル等含む）、分水工、余水吐、放水工、落差工、急流工等の施設が該当する。送配水施設は、取水地点から末端ほ場に至るまで、地域内をくまなく網羅する施設であり、施設全体がシステムとして機能する必要があることから、地域の自然、社会的条件、受益地区の特性、施設の施工条件や運用管理面を総合的に勘案し、合理的な施設配置（路線選定）、形式等を検討するとともに、用水利用における弾力的な運用が可能となるよう配慮した計画とすることが望ましい。

本章においては、送配水施設計画の基本的考え方について解説する。

なお、具体的な設計手法等については、土地改良事業計画設計基準 設計「水路工」、「パイプライン」、「水路トンネル」等を参考にする。

19.1 基本事項

送配水施設は、計画用水量の確保及び安全かつ合理的な管理が可能となる機能が備わり、施設及びその周辺の構造物が安全であることを確認の上、可能な範囲で経済的となるよう計画するものとする。その際には、自然環境や社会環境等への影響を十分配慮する。ここでいう機能は、施設の耐用期間において必要な水量を送水・配水し得る施設容量等を確保し、また、必要な水量を容易な操作で安全かつ確実に送配水できる施設の設置により充足されるものである。

安全性については、施設自体が工学的に安定しており、施設及び周辺地域の安全性を確保するための放水工や余水吐等の適切な設置等を考慮するものとし、経済性については、施設の施工及び維持管理に要する費用が最小限となるよう、また、周辺環境との調和への配慮等も含めて、地域にとって最適な計画となるように検討する必要がある。

施設容量については、最大用水需要量が通過できる容量に余裕や安全を見込んだ容量で計画することを原則とするものの、短期間に大きなピーク用水量が出現する場合の送配水施設の容量については、事業全体の経済性を重視して、末端需要の変動を緩和する調整施設の設置、用水利用におけるローテーション制の導入、作付け作物・体系の多様化等、地域農業の展開方向に合致させつつピーク用水量を低減させるよう検討することも有効である。

19.2 送配水施設の路線選定

路線の選定に当たっては、受益地への配水に必要な水頭を確保できるよう計画するだけでなく、送配水施設の構造並びに水路組織内の各施設の配置及び形態を考慮するとともに、用地取得の可否、水利慣行の有無等の社会的要因も勘案して検討を行う。

水路は路線の選定に応じて経済性が変化するため、以下のような点に留意して路線案の比較検討を行う。

- ① 管水路形式の水路では、地形上の制約が比較的少ないことから、路線はなるべく直線と

し、短い距離を通すことが望ましい（一般に道路下埋設）。また、開水路形式の水路は、短い距離とするとともに、大量の切盛土を避けることが望ましい。ただし、いずれの形式においても水路の許容流速を満足できるように路線を選定する必要がある。

② 施設の安定のため、土質が悪い地点を避けるとともに、人家や交通に障害を及ぼさないよう配慮する。

③ 施設の保安、保全等の面からも、盛土上部への水路を設置することはなるべく避けるようにする。

また、調整池を始め、分土工、放土工、余水吐等は、その機能確保の要請から、その位置が制約される場合があるため、それらの適切な位置を選定した後に、可能な路線案について経済性を比較検討する方法もある。

さらに、高位部の占める割合が全体の受益面積に比して少ない場合には、その部分のみを機械揚水とすることも検討する等、いくつかの案につき工事費及び維持管理費の総費用等を比較検討し最適な路線を決定する。

19.3 用水路の形式と構造

開水路は、一般に水理的に有利で切盛土量が平衡している場合、経済的であることが多い。また、管水路は、潰れ地が少ない、地形への対応性がよい、用水制御・安全管理が容易になる等の利点があるが、目視による保守・点検が困難なことも、水撃圧等の特徴的な水理特性への対応を要すること等も考慮する必要がある。

このような形式の検討では、一連の区間について規模、目的、立地等の条件及び維持管理の面から、可能な形式をいくつか選定し、それらについて工事費、用地費、付帯工事費等の経済性を比較する。

なお、用水路の構造は、素掘り水路、ライニング水路、フルーム、サイホン、水路橋、暗渠（ボックスカルバート）、トンネル及び管路に区分される。

近年は、市街地の通過に際し、開水路等では、人の転落やごみの投棄防止のための暗渠化、フェンス設置が行われている一方、親水機能の付与、周辺環境や生態系への配慮、農村景観の保全・形成等を考慮する場合も多くみられる。

(1) 素掘り水路

漏水防止対策を検討する必要がなく、流速及び構造物による流れの乱れ、浸食の懸念が低い場合に採用する。

(2) ライニング水路

法面が自立安定する場合で、漏水防止、水路表面の平滑化、法面保護等を目的として薄く被覆された構造である。ライニングの材料の種類にはコンクリート、アスファルト、土（アースライニング）等がある。

大量の土工又は排水処理工若しくは基礎処理工を伴わなければ、経済的である場合が多い。

(3) フリューム

側壁と底版が一体となって土圧と水圧を支持する構造の水路をいい、安定性及び安全性では信頼度が高く、また、組立て式のものもあり、通常広く利用される構造である。一般に、他の構造に比べて部材断面を小さくできるため、用地面積と土工量を節減できる。

(4) サイホンと水路橋

河川、鉄道、道路、溪谷などを横断する場合に検討される構造である。サイホンは管体を地上布設あるいは地中埋設する形態であるため、基岩が堅く深い溪谷を横断する場合等では、水路橋で越える方法が有利となる。また、上下流の取付け部の構造は安全性と水理特性に留意する。

(5) 暗渠（ボックスカルバート）

開水路では切土面が長大となり、地下水位が高くなる等により構造的に不安定又は不経済となる場合、鉄道、道路等を横断する場合等において採用される。特に近年、都市化の進んだ地域等では、転落防止のための対策として、また、生活雑排水等の流入を防止するため採用される場合もある。

(6) トンネル

山岳、台地等において送水を行う場合は、トンネルとすることが有利な場合がある。岩質・風化の程度、層理節理の発達、断層の有無等の地質条件や施工条件等を勘案して、経済的となる路線を定める。

トンネル周辺は地下水に影響を与えることも多いため、路線の選定に当たって留意する。

(7) 管水路

設計流量が満流状態で流れる構造であり、地形の変化に追従して設置できることから、路線の選定の幅が広い。

管体に作用する内・外圧の大きさは敷設箇所により異なるので、路線の決定に当たっては管種等の相違による経済比較が必要となる。

なお、他の構造の水路同様に道路下又は耕地の境界に敷設することが施工・管理の面から望ましい。

また、流水の制御機構の違いからは、管水路の要所要所が開放されたオープンタイプと、末端まで連続して閉鎖されるクロズドタイプに大別される。オープンタイプは、分水位を確保するために分水スタンド等の水位調節施設を設置する必要がある。クロズドタイプは、水頭を保持して送水する場合に有利であり、地形勾配が路線選定に当たっての制約になりにくいという特徴を有する。

19.4 その他の送配水施設

(1) 分土工

分土工は、複数の用水路に所定の必要用水量を適正に配分するために設けられる。かんがい期間を通じて配分すべき用水量は一定ではないため、その変動に対応し得る分水機能

が確保され、また、操作管理が容易に行える等の適切な構造とする必要がある。

分土工の位置の選定については、以下のような点を満たすよう考慮する。

- ① 用水系統ブロックへの安定配水が経済的に可能なこと。
- ② 高盛土や長大切土等、災害発生の危険度が大きい場所に設置しないこと。
- ③ 維持管理が容易であること。

なお、分土工には、施設の操作・管理を計画的に行うため、分水量を把握する量水施設を併設することがある場合が多い。その場合は、量水施設の必要な計測要素（流量、流速、水位）について、十分な精度が得られるよう量水施設の構造や位置等を検討する。

分土工の形式は、その機能及び操作形態により、操作式分土工、定量式分土工及び定比式分土工に分類される。

ア. 操作式分土工

ゲート・バルブ等の流量調節施設を持つもので機構が単純であり、配水操作に弾力性がある反面、分水量は不安定で、配水管理が不備な場合には、無駄の多い配水となることがある。

代表的なものとして、ゲート式分土工、ダブルオリフィスゲート分土工等があり、テレメータ等を用いた遠方からの集中管理方式の分土工もこの分水方式に入る。

イ. 定量式分土工

幹線水路の流量が変化してもその分土工に設定された分水量をほぼ一定に保持する自動分水量調節装置を持つもので、水管理は容易でしかも効率的な配水ができる反面、施工費が他に比較して高くなる。

代表的なものとしては、上下流水位調節ゲートとディストリビューターとの組合せで分水量を調整するもの、ディスクバルブ又はフロートバルブにより分水後の水位を調整して一定分水量を保持するもの等がある。

ウ. 定比式分土工

幹線水路の流量・水位が変化しても分水比率を一定に保持するもので、水田を対象として発達したものであり、流量調節装置を持たないため、畑地かんがいや他の利水との共用水路等における水需要の顕著な変動に対応しにくい。なお、分水比を規定する壁等が可動の構造となっているものもある。

代表的なものとしては、以下のものがある。

① 背割分土工

水路を背割壁によって所定の分水比に分配するもので、構造が簡単かつ施工が容易で安価だが、下流水路の水理条件の影響を受けることにより分水比が変化しやすい。

② 射流分土工

水路の一部に射流区間を設けて下流水路からの影響を断ち、隔壁により所定の分水比に配分する分土工である。射流の利用により分水精度が高くなり流量の把握が容易になる反面、背割分土工に比べて施設用地が多く必要となる。

③ 円筒分土工

流水を逆サイホン管等を用いて円筒形越流部に導き、所定の分水比となるよう円周上に設けた堰を越流させて分水するものである。多くの水路に分水することが可能な反面、水理設計が複雑で一般に施工費も高額となる。

(2) 余水吐

余水吐は、周辺からの雨水の流入や分水停止に伴い発生する余剰水等を処理する施設である。

余水吐では、分土工等の水路組織の構成、路線の立地条件、周辺からの流入水の流入位置及び流入量、余水吐からの放流を受ける河川の状況等を勘案し、余水吐下流の水路断面は一般に縮小できること等も考慮の上、設置位置に関する以下の基本的考え方に沿って、水路組織の安全が確保でき経済的となる配置及び構造を計画する。

- ① 分水操作や雨水流入等により、箇所流量が5～10%以上増加する場合に、流量変化点の直下
- ② 水路が通過する高盛土部の上流側
- ③ 長大なサイホン、トンネルなどの呑み口手前
- ④ ①～③のほか、水理条件が急激に変化する地点の手前
- ⑤ 流下能力のある河川等放流先として適切なものに近接した位置

(3) 放土工

放土工は、水路管理の都合により、又は、補修時や緊急時に水路内を空虚にする目的で、水路の全通水量を放流できる容量を持つ施設である。放土工の設置については、余水吐における基本的考え方が準用でき、原則として余水吐と併設することが適当である。

(4) 落差工及び急流工

水路組織が安全かつ経済的となり、施設の機能性が向上するよう地形的に段差のある箇所に設置する構造物で、フルーム構造にする等安定性に十分留意する。

人家等に近接して設置する場合は、騒音、飛沫、振動等による影響を考慮して、支障のない位置、構造を検討する。

〔参 考〕複合水路系の送配水に生じやすい課題と対策

配水施設がクローズドタイプの管水路である場合には、その配水施設への分水流量は大きな日内変動を示すことがある。図-19.1のような複合水路系で調整施設がない場合には、その日内変動に起因して、幹線用水路の流量及び水位も変動する。このような傾向が著しい場合には、次のような問題が生じるおそれがある。

- ① 幹線用水路の末端付近で、支線用水路への分水が不安定となる。
- ② 図-19.2のように、支線管水路への分水量が小さい時間帯に、幹線用水路の流量が計画流量を上回り、放余土工への負担が大きくなる。
- ③ 幹線用水路に手動操作式チェック工がある場合には、ゲート操作の頻度の増大や併設するバイパス・余水吐の容量不足が生じる。

複合水路形式の用水施設において、これらの問題を防止し、安定した送配水を行うためには、システム内の管水路部分で生じる分水量の変動を考慮した図上シミュレーションや数値シミュレーションを実施し、調整施設の要否やその容量を適切に検討することが望ましい。

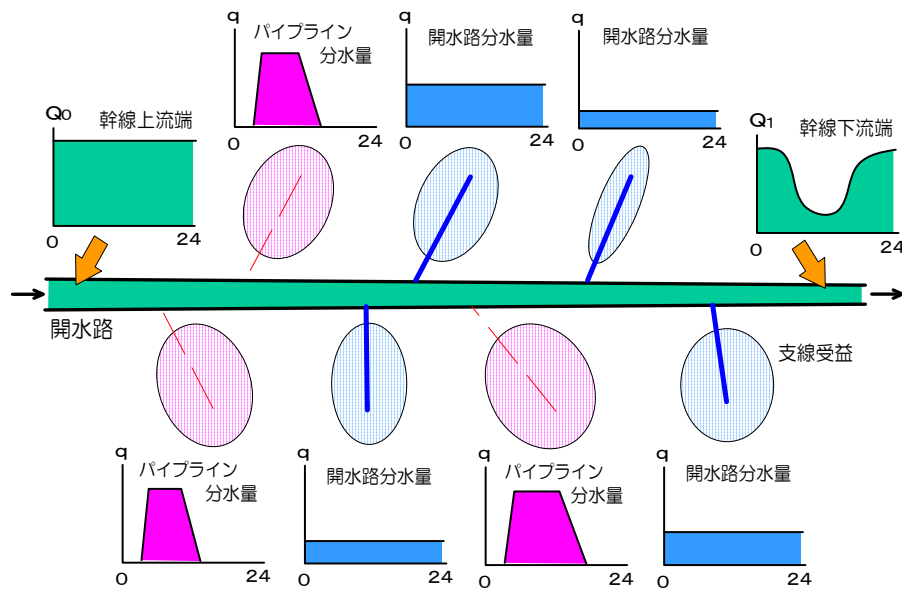


図-19.1 複合水路形式の用水施設での流量変動

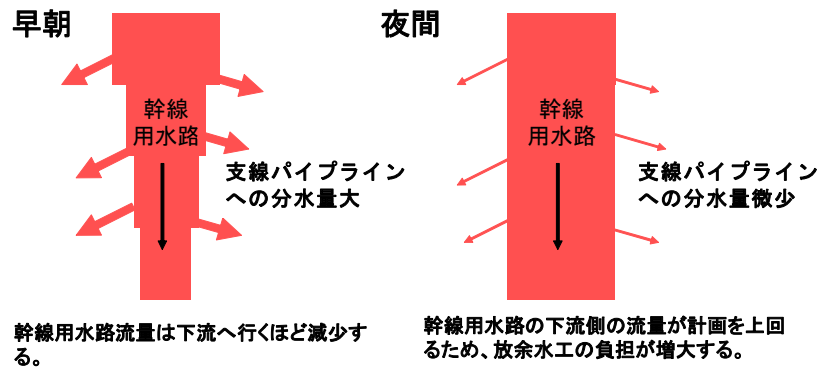


図-19.2 支線管水路への分水量の変動に起因する放余水工の負担増大

参考文献

- 中村和正・長谷川和彦：水田パイプラインにおける配水管理の課題と対策、
農土誌70(4)、p. 301 (2002)
- 中村和正・山田修久・磯部 武・土橋博幸・手嶋真澄：支線開水路に対する分水量の日変動の許容範囲、
農業農村工学会大会講演会講演要旨集、pp. 290-291 (2007)

20. 調整施設

(基準 3.4.4関連)

調整施設は、用水系統における水量の変動を調節する機能を有する施設であり、調整池（1日～数日の需要調整を図るもの）、ファームpond（主として1日以内の需要調整を図るもの）等の施設が該当する。調整施設は、一時的に発生する用水需要量の変動、施設の制御操作の遅滞等、その対応すべき課題に適応した合理的な施設の配置、容量等を検討するとともに、用水利用における弾力的な運用が可能となるよう配慮した計画とすることが望ましい。

本章においては、調整施設計画の基本的考え方について解説する。

なお、具体的な設計手法等については、土地改良事業計画設計基準 設計「ダム」、設計指針「ファームpond」等を参考にする。

20.1 基本事項

調整施設は、必要な調整容量の確保、安全かつ合理的な管理が可能となる機能が備わっていることを確認の上、できる限り経済的となるよう計画する。その際には、自然環境や社会環境等への影響に十分配慮する。

ここでいう機能は、施設の耐用期間を通じて必要な調整容量を充足し得る規模を有し、また、容易な操作で安全かつ確実に水量調整できることにより充足されるものである。

安全性については、施設自体の工学的安定性と、事故の発生や施設の誤操作等に対応し得る一定の緩衝機能等を考慮するものとし、経済性については、施設の施工及び維持管理に要する費用が最小限になるよう、また、周辺環境との調和への配慮等も含めて、地域にとって最適な計画となるように検討する必要がある。

なお、調整施設の種類としては、調整池、ファームpondに加え、数十分程度のポンプ運転、施設の連携動作の整合及び過渡現象を緩和して施設の保護を図るための配水槽、水位調整施設がある。

20.2 調整池

用水需要の発生時期と取水・送水時期とのタイムラグへの対応が、調整池の主な機能であり、これに要する容量は、その果たすべき機能に応じて算定される。例えば、通常見込まれるのは1～2日程度の調整であるが、事故による通水障害に備えるためには、数日間の容量が必要となる。

調整池の設置位置は、水位差の確保という点では水路組織の上流側が、用水量の調整という点では下流側が適当となるが、双方の機能を勘案し、経済性にも配慮して選定する。また、複数の調整池を設置することが効果的な場合もある。

20.2.1 参考事例

(1) 調整池容量の拡大事例

この地区は、水田への用水補給を目的とした地区で、営農管理形態の変化等（日中に水利用が集中することによって上流域の受益地で用水が先使いされる）に伴い、中下流域の受益地で用水不足が生じていたため、長大水路における到達時間の遅れ対策として設置された調整池を含む開水路の更新整備に当たり、調整池容量を再検討したものである。

調整池拡大前後の調整池水位の変化につき、調整水量が最も大きくなる5月下旬の状況を図-20.1に示す。

拡大前は激しい水位変化が見られる、水位低下は連日昼頃に頭打ちとなり低水位の状態が続いている。これは、用水需要に対する調整池の貯水量が底をつき、それ以上調整できなくなった状況を示しており、容量不足を表している。

一方、拡大後は、水位変化の幅は小さく、水位低下の頭打ちも見られない。これは、調整池が需要と供給のアンバランスを余裕を持って吸収する役目を果たしていることを示している。しかも最低水位は高く維持されており、取水の安全性も増大している。

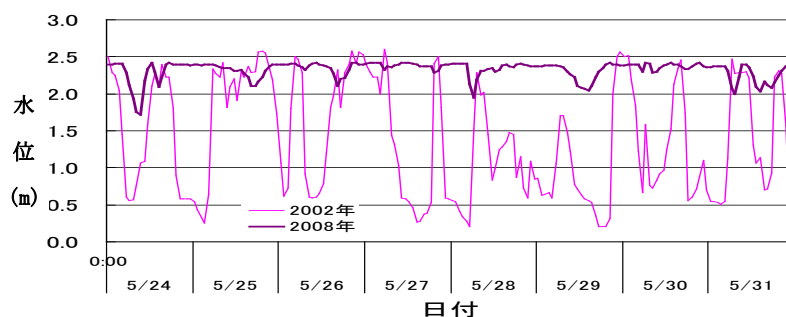


図-20.1 調整池拡大前（2002年）と拡大後（2008年）5月下旬における調整池水位の変化

ある一定期間における調整量は、いったん調整池内に貯留された後、下流に供給された量の総量、すなわち、

$$\text{調整量 (V)} = \Sigma \text{調整池水位低下量 (m)} \times \text{調整池面積 (m}^2\text{)}$$

また、調整率は、当該期間供給量に占める調整量の割合とすると、

$$\text{調整率 (F)} = \text{調整量 (V)} / \text{供給量 (V}_{\text{out}}\text{)}$$

と表せる。

調整池拡大前（2001～2004 年の平均）拡大後（2007～2008 年の平均）の調整量及び調整率をそれぞれ図-20.2 及び図-20.3 に示す。

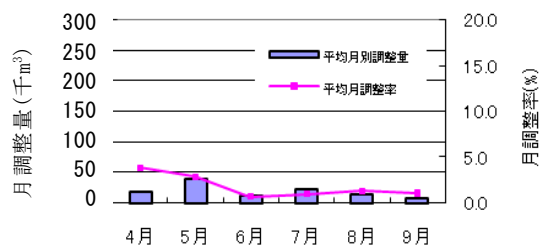


図-20.2 調整池拡大前の月調整量と調整率

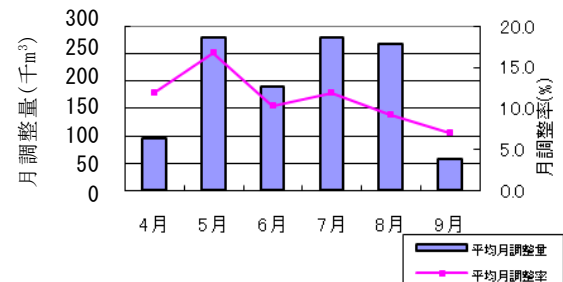


図-20.3 調整池拡大後の月調整量と調整率

拡大前は、かんがい期間（4月～9月）を通した調整量は8千～40千m³/月、平均で20千m³/月。また、調整率は0.7～3.9%、平均で1.8%。

拡大後は、かんがい期間（4月～9月）を通した調整量は7千～279千m³/月、平均で194千m³/月。また、調整率は7.1～16.8%、平均で11.2%。

このように拡大前と拡大後を比べると、調整量は全体平均で約 10 倍に、調整率は約 6 倍に増大した。調整量に対し調整率の倍率が低くとどまったのは、拡大前は下流への供給量が拡大後と比較して、大幅に少なかったことによる。

図-20.4 は、拡大前と拡大後の供給量を比較したものであるが、かんがい期間を通じた拡大前の供給量約 817 万 m³ は拡大後の供給量約 1,360 万 m³ と比べ、3 分の 2 の規模でとどまっている。

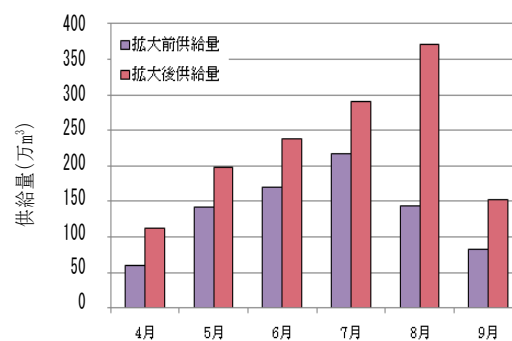


図-20.4 調整池拡大前と拡大後の供給量

(2) 調整池の利用実態

また、扇状地の地形勾配を利用した水田かんがい地区についての水収支調査からは、①調整池は7月後半から8月にかけて多く利用される、②調整池に依存する度合いは受益面積が小さいものほど大きい、③調整池からの最大取水量が普通期最大用水量を上回ることも多く、かんがいの自由度が高まることなどが報告されている¹⁾²⁾。

表-20.1 に調整池容量の計算を含めた調整池の計画諸元を示す。

表-20.1 調整池の計画諸元

頭首工からの距離(km)	1.7	7.5	5.7	9.5
受益面積 A (ha)	86.7	83.6	123.3	63.1
水路損失(%)	10	15	15	10
代かき減水深(mm)	170~180	140~185	140~185	140~150
代かき用水量 Q (m ³ /s)	0.532	0.525	0.820	0.324
普通期最大減水深(平均)(mm/d)	32	25~41(31)	25~41(33)	24~28(25)
普通期最大用水量 q (m ³ /s)	0.357	0.353	0.554	0.203
調整池容量の計算(m ³)	$q \times 6 \times 3,600$ = 7,711	$q \times 6 \times 3,600$ = 7,625	$q \times 6 \times 3,600$ = 11,966	$q \times 6 \times 3,600$ = 4,385
設計調整池容量 V (m ³)	7,730	7,680	12,140	4,540

* 調整容量を普通期最大用水量6時間分として計画

表-20.2に調査結果の一部を示す。この中で、受益面積 A と調整池依存率 Q_{po}/Q_{fi} の関係から上記②が解る。

表-20.2 調整池のかんがい期間水収支(5月~8月、4か月間の合計、雨量観測所は異なる)

受益面積	年	調整池への流入量	かんがい地への取水量	調整池の有効利用量	降雨量	作付率	調整池余裕率	調整池依存率
A (ha)		Q_{in} (mm)	Q_{fi} (mm)	Q_{po} (mm)	R (mm)	S (%)	Q_{in}/Q_{fi} (%)	Q_{po}/Q_{fi} (%)
83.6	1983	2,691	2,100	86	872.0	86.1	128.1	4.1
	1984	2,807	1,703	93	514.5	88.2	164.8	5.5
	1985	3,207	1,707	86	889.5	86.5	187.9	5.0
	1986	3,306	1,664	90	436.0	83.1	198.7	5.4
	1987	3,663	2,471	59	460.5	77.8	148.2	2.4
	平均	3,135	1,929	83	634.5	84.3	165.5	4.5
123.3	1987	4,477	3,474	73	460.5	85.4	128.9	2.1
	1988	2,767	2,113	92	658.5	82.3	131.0	4.3
	1989	4,624	3,788	88	554.0	87.9	122.1	2.3
	1990	3,982	3,333	151	503.0	85.8	119.5	4.5
	平均	3,963	3,177	101	544.0	85.4	125.4	3.3
63.1	1986	1,456	751	132	599.5	99.3	193.9	17.5
	1987	1,707	1,209	151	556.5	94.3	141.2	12.5
	平均	1,582	980	142	578.0	96.8	167.6	15.0

20.3 ファームポンド

ファームポンドの主たる機能は、用水の供給量と需要量との1日以内の時間的な差を調整することである。これにより、末端の用水利用の短期変動による用水需要の最大量の平滑化を図ることが可能となる場合もある。

ファームポンドは、幹線水路系の末端に設置されることが一般的である。その調整容量は、おおむね1日において時間とともに変動する送水量と配水量の差とすることで十分な場合が多い。

また、その構造にはコンクリートタンク、ゴムシート張り等があり、設置位置の地形条件等を勘案の上、経済性を考慮して選定する。

なお、位置や規模等を定めるに当たっては、配水対象地の営農状況はもとより、用水管理組織の状況等について十分踏まえる必要がある（図-20.5）。

(1) ファームポンド規模の決定

ファームポンドの規模は、所要の調整容量から定まるが、大規模となり現場条件等から設置が困難な場合は、下流の複数の分水工位置に分割して設置する等の検討が必要となる。また、気象条件等により用水管理上必要となる容量を加える場合もある。

(2) ファームポンド位置の選定

ファームポンドの位置は、経済性の観点からできる限り末端側の用水路分岐点等で、自然圧による配水ができ、既存の水利施設を活用し易いところとするが、維持管理面や地盤条件、放水路の確保手法等も十分に検討し選定する必要がある。

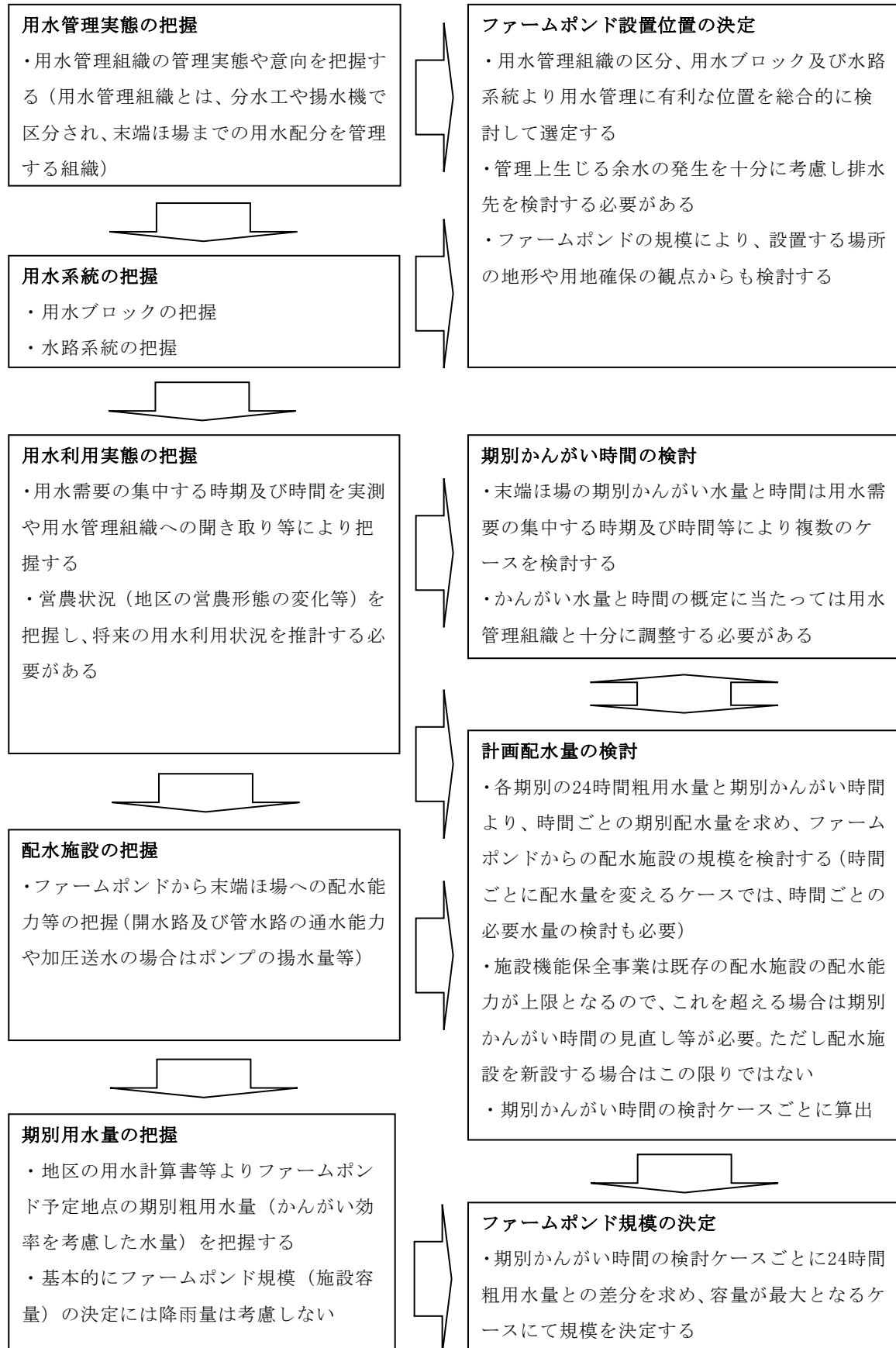


図-20.5 ファームpondの計画手順模式図

(3) ファームポンドの計画に係る留意事項

更新事業においては既存の水利施設の有効活用を図りつつ、求められる機能・性能を満足する事業計画を策定することが求められる。

更新事業を計画する場合等、前歴事業完了時から地域の営農形態が変化する等により、末端においての用水需要の短期的な変動が生じ、一時的に用水不足となる状況が発生してきていることがある。例えば水田では作付け時期が変化したり、また畑では施設作物の増加等である。

特にファームポンドの配水域内に水田と畑が混在する場合には、地域の営農形態の変化により、かん水する時間や期間が違いため水使用量のピークが変化する。このため水田用水の需要が多い時期や連続干天時等は、ファームポンドからの配水量や末端は場における給水栓での給水量を調整すること、またローテーションかんがいを実施する等、水管理操作についてシミュレーションを行うことが有効である。また、用水量としては水田用水の占める割合が大きい場合が多いため、水田用水の時間・期間的な変動を十分に検討する必要がある。

20.3.1 参考事例

以下に、いくつかのファームポンドに関する計画の実施事例を紹介する。

(1) かんがい時間の設定事例

この事例は、パイプライン方式による 24 時間かんがいを行っている地区の施設更新に当たり、近年、経営規模の拡大や良質米生産に向けた用水の適時管理が必要となってきたこと等から、朝夕等に水利用が集中し時間的な水不足が生じている状況を解消するため、既設の加圧機場にファームポンドを設けるかんがいシステムを導入したものである。

具体的には、①時間的な水不足解消、②かんがいの自由度向上、③コスト低減といった課題に対処するため、ファームポンドかんがい方式を採用し、かんがい時間は、①現在の営農形態に合わせ加圧ポンプの夜間運転は行わないこと、②効率的な管理運営が可能であることを考慮し 16 時間と決定した（図-20.6、20.7）。

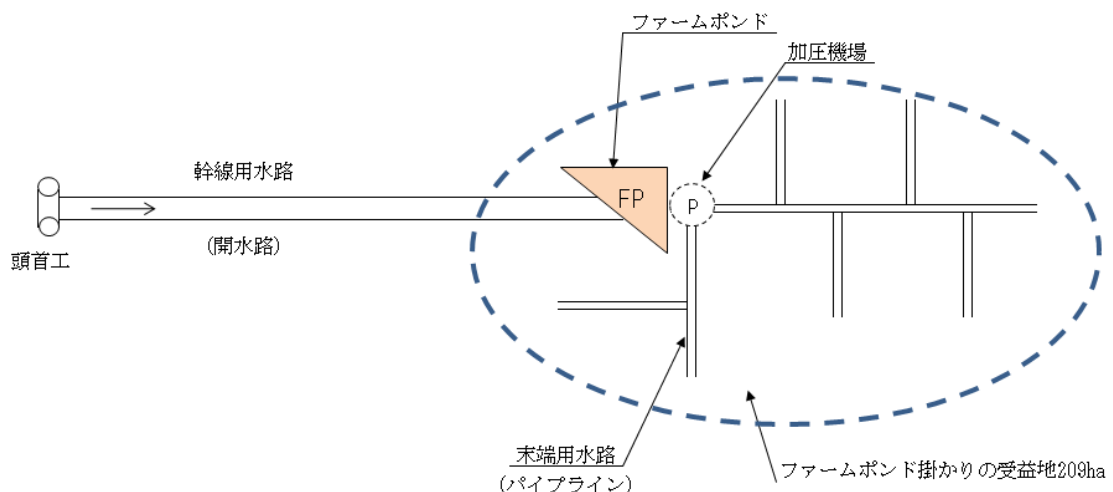


図-20.6 事例地区模式図

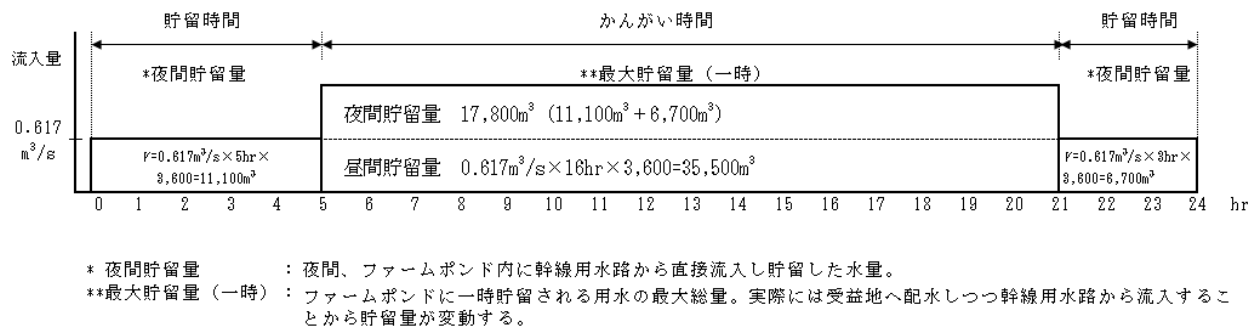


図-20.7 ファームポンド貯留量、かんがい時間の検討図

(2) フィードバック機能付き取水ゲートによるファームポンドへの送水量制御事例

広大な水田地帯では、取水口からファームポンドまでの水路延長が長大となるため、上流部の過大な取水により、下流部では用水不足が生じ排水を反復利用することがある。そのため水質が悪化したり余分な施設が必要となったりし、維持管理費が嵩む要因となっている。

本事例では、幹線用水路から支線用水路への取水口にフィードバック機能付きの取水ゲートを設置して、支線用水路の末端にあるファームポンドに隣接したポンプの運転台数及びファームポンドの水位によりゲート開度を自動的に制御させている（図-20.8、20.9）。

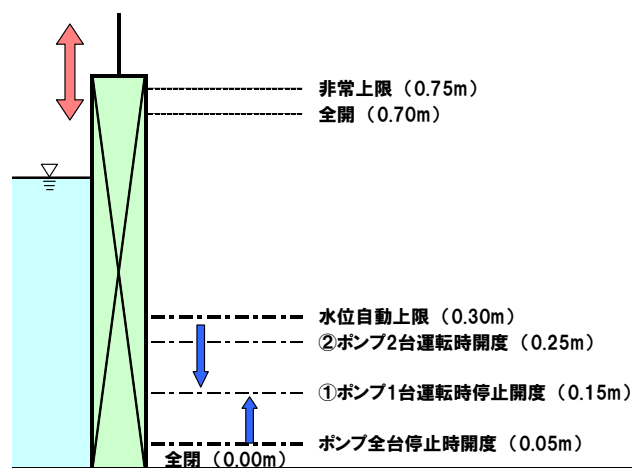


図-20.8 取水ゲートの設定開度

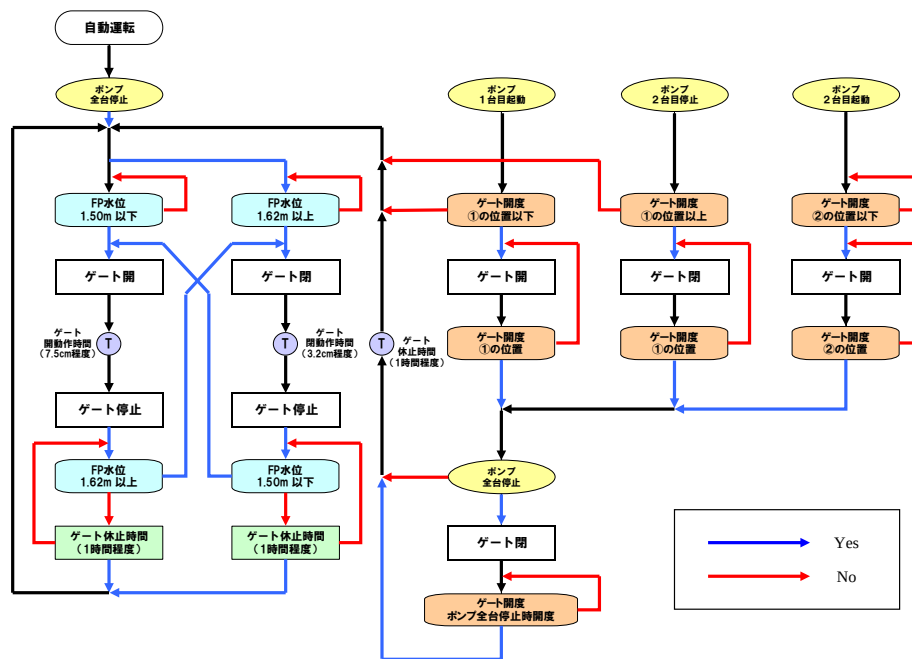


図-20.9 取水ゲートの操作ロジック

フィードバック機能付き取水ゲートを設置することにより日平均取水量は半分以下となり、フィードバック機能付き取水ゲートは、需要に応じた断続的な取水管理による節水効果が大きいと確認された。

(3) 反復利用の設定事例

① 地区概要

本地区は、かつて末端まで開水路により送水を行っていたが、代かき期等には用水需要が集中することにより、しばしば用水不足が発生し、また、普通期にも用水の安定した配分が困難であった。このような状況を解消するため、ほ場整備事業を実施し、揚水機場及び調整池を設置してパイプライン方式で圧送することにより、用水利用の効率化を図ることとした。また、水田から還元する自己排水を用水路に合流させて反復利用しており、第1揚水機場の調整池への流入量は、地区のほぼ全体からの排水と幹線用水路からの補給水からなっている。なお、本地区では地区内を経由して、下流の地区へも送水するため、その分を多く取水している。

本地区のかんがい期間は4月下旬～8月末日である。そのうち、4月下旬～5月上旬の代かき期及び出穂期には、揚水機場は24時間運転が行われているが、それ以外の時期は、降雨時を除き6時～18時の12時間運転が手動により行われている（図-20.10）。

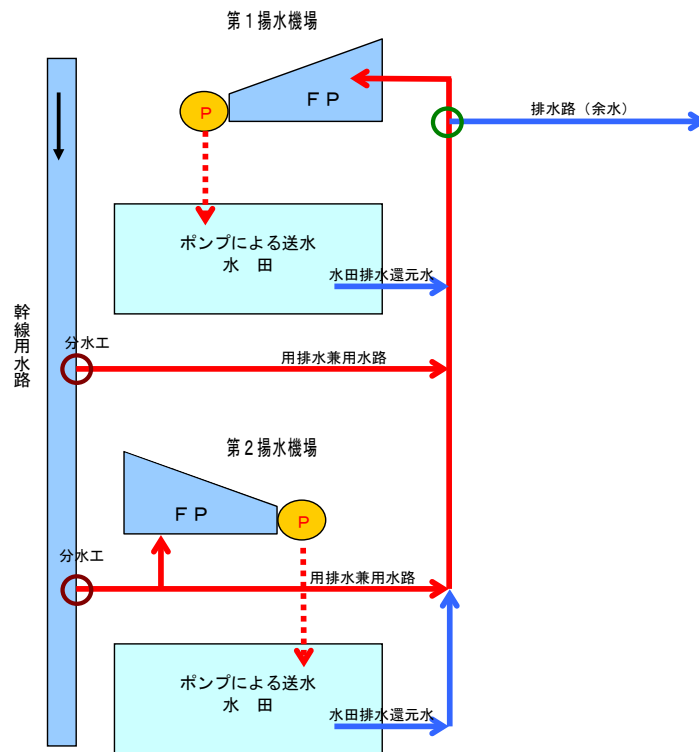


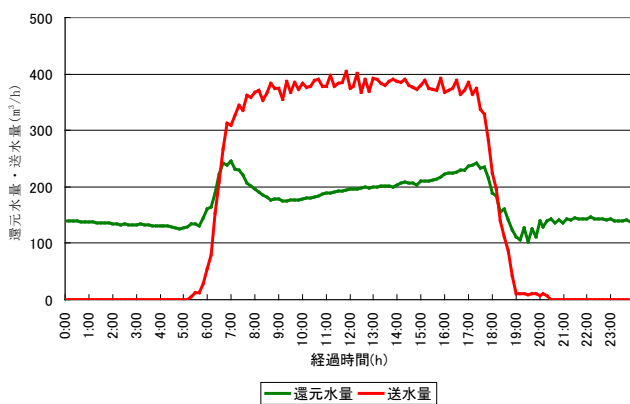
図-20.10 反復利用の事例地区模式図

②水収支

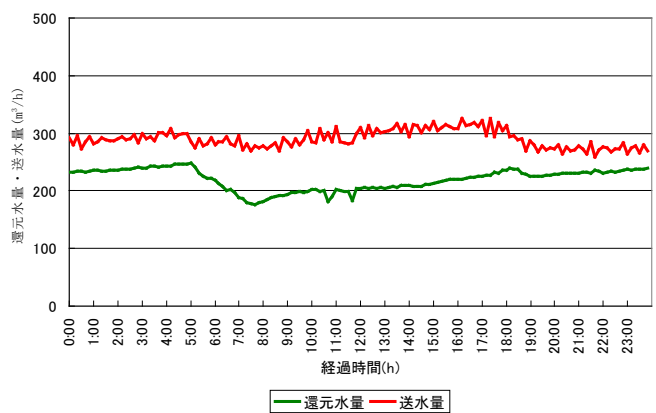
第1揚水機場による還元水量は、ポンプの昼間12時間運転時では、運転開始後に増加した後、いったん減少し、その後運転停止まで徐々に増加する。24時間運転時では5時から7時にかけて還元水量は減少し、その後18時ごろまで徐々に増加する（図-20.11）。

また、かんがい期間中の還元率は、営農期別にはばらつきがみられるものの、平均で70%であった。

このように、大量の還元水を利用できることから、第1揚水機場の調整池は、12時間運転の下でも水位低下は少なく、調整池容量を節減できる可能性を示している。



昼間12時間運転



24時間運転

図-20.11 還元水量と送水量の時間変化

③水質

水田の排水を反復利用する場合は、水質の悪化がみられることがあるため、幹線用水路からの分水直後の地点と反復利用する排水が流入する第1揚水機場調整池の入口において水温・溶存酸素量(pH・DO)・電気伝導度(EC)・浮遊物質(SS)・化学的酸素要求量(COD)・生物化学的酸素要求量(BOD)・全窒素濃度(T-N)・アンモニア性窒素(NH₄-N)・全リン(T-P)の各項目について調査を行った。

両者を比較した結果、いずれの項目もあまり変化がなかったが、一般的には、用排水系統や流入・流出量等の違いにより水質の状況も様々予想されることから、それぞれの地区ごとに十分な検討が必要である。

また、水稻の生育に関する一般的な水質以外にも、環境面での水質が問題視される場合があるため留意する必要がある。

20.4 配水槽

配水槽は主にポンプの運転時間及び停止時間の間の送配水調整を行うことを目的とする施設であり、この調整のための容量は比較的小さくても良いが、容量が大きいくほど調整施設としての他の機能を兼用することが可能となるため、ポンプ設備の維持保全及び用水の円滑な配水管理の面からは有利となる。

一般に、配水槽の必要最小容量は、槽内設定水位によってポンプの自動運転を行う場合には、ポンプのON/OFFの許容頻度を考慮し決定する。また、配水槽の設置位置は、必要水頭の確保の可能性、ポンプ揚水費及び配管費の経済性、用地の確保や管理の容易性等の諸点を考慮の上選定する。

20.5 水位調整施設

水路内に設置する水位調整施設は、水路の水位調整により流量、流速の調整、分土工や放余水工の機能調整等を行うためのゲート（以下「水位調整ゲート」という）である。水位調整ゲートの配置や構造形式の検討に当たっては、管理制御方式や分土工、放余水工の位置、水路の水位変化や流量変動等を考慮する必要がある。

また、水位調整施設の形式には上流水位制御方式、下流水位制御方式、貯留量制御方式があり、水管理方式に応じて適切な形式を選定するとともに、水位調整施設の計画は維持管理（重要施設の集約による管理の重点化、機器点検補修のための道路確保等）や現況水路における既存の調整施設の配置、機能等を考慮して決定する必要がある。

20.5.1 参考事例 1

(1) 地区概要

本地区では、水田への用水補給の安定化を目的として開水路の整備（水位調整ゲート（写真-20.1）含む）を行ったが、営農形態の変化により朝夕にかん水の需要が集中するなど、時間的な用水不足が生じていた。

このため、需要主導型の適切な水管理に適合する貯留量制御方式を導入し、ゲートによる水位管理を通じて、夜間等に水路内に用水を一時的に貯留し、朝方の需要に対応するなど地域における用水需要の集中に対応した。



写真-20.1 水位調整ゲート(1)

(2) 水路内貯留の方法

用水不足が生じる期間において、給水の時間制限を実施し、給水時間外は分土工を閉め水路内貯留を行っている。具体的には、給水を5:00～19:00、給水停止を19:00～5:00とした。水位調整ゲートで区切られた区間の番水期間（4～5月）中の水位変化を図-20.12に示す。朝の給水開始とともに水位は低下し、その後、12時頃まで緩やかに低下し、14時頃から水位は回復する。給水停止後も、0時頃まで水位は徐々に回復する様子がわかる。

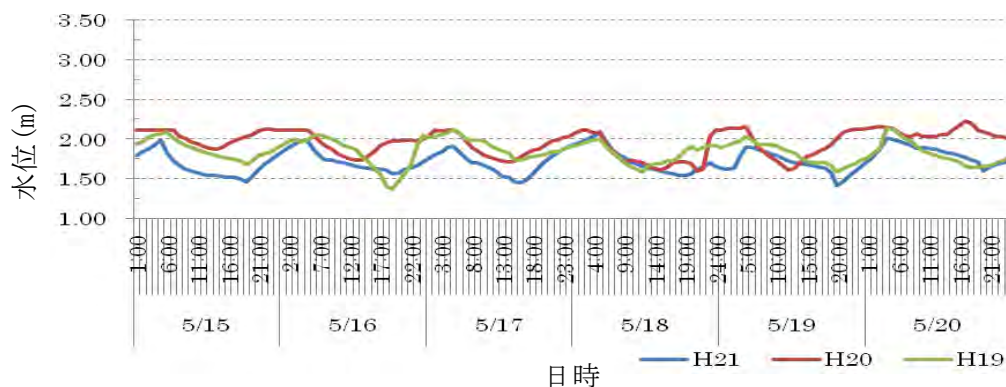


図-20.12 水位調整ゲートでの水位の変化

(3) 水路内貯留機能（効果）

ここで、2007～2009年度の全かんがい期間において、地区内の全用水路に貯留された調整量及び調整率を表-20.3及び図-20.13に示す。

全かんがい期間の月別の調整量を3か年の平均で見ると、4,873千～23,932千 m^3 /月、月調整率は14.5～25.0%となり、水路内貯留について一定の効果が発現されている。

表-20.3 月別の調整量、調整率（2007～2009）

		月調整量千 m^3 、月調整率%					
		4月	5月	6月	7月	8月	9月
2007年	月調整量	4,898	8,840	18,347	22,283	20,092	25,239
	月調整率	20.0	13.1	15.4	19.2	14.6	24.3
2008年	月調整量	4,850	10,143	25,453	17,902	17,188	19,399
	月調整率	21.4	16.4	23.1	12.6	12.5	26.2
2009年	月調整量	4,872	9,582	20,322	25,789	24,938	27,159
	月調整率	19.1	14.0	15.9	19.3	20.0	24.5
平均	月調整量	4,873	9,522	21,374	21,991	20,739	23,932
	月調整率	20.2	14.5	18.1	17.0	15.7	25.0

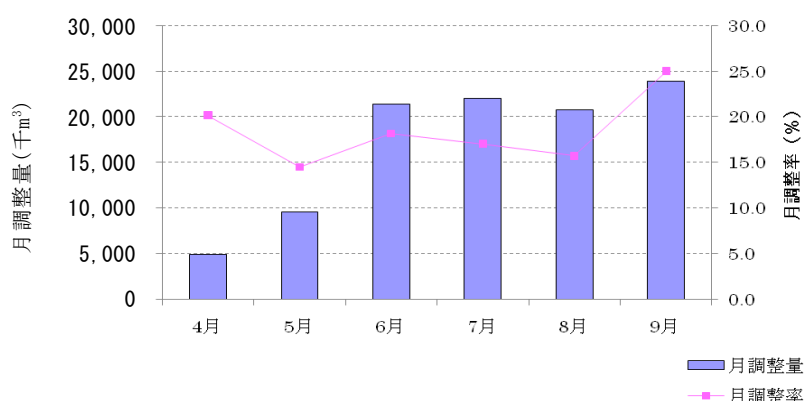


図-20.13 月別の調整量、調整率（2007～2009の平均）

20.5.2 参考事例 2

(1) 地区概要

本地区は、老朽化した頭首工・用水路の改修、水需要の増加に対応した用水路規模の確保、維持管理費の軽減を目的とした地区であり、用水路の改修に当たり、通水最小流量を検証したところ必要分水位が確保されない箇所が確認されたことから水位調整ゲート（写真-20.2）の設置を検討したものである。



写真-20.2 水位調整ゲート(2)

(2) 検討内容

ア. 不等流計算

必要分水位の確認には不等流計算を用いた。一般に、不等流計算の目的は以下に示すとおりであり、本検討においては「③必要水位高の検証」を目的として水面追跡を行った。なお、計算に用いた流量は、分水の誤操作や上流分木工による先取り取水等を考慮した最小流量として、普通期粗用水量の50%流量とした。

① 水路の流下能力の検証（現況や改修後における流下能力の確保）

- ② 水路の安全性の確認（フリーボードの確保や許容流速のチェック等）
- ③ 必要水位高の検証（分土工必要水位やチェック水位の確保）
- ④ 水路貯留変動量の算定（水路のバッファ容量検討）
- ⑤ 計画断面の算定（等流以外で水路断面を計画する場合）
- ⑥ 急激な断面変化による流況（局所流）の検討

イ. 配置の検討

不等流計算の結果から、以下に示す手順に従い水位調整ゲートの配置位置を決定する。

- ① 水理設計終点地点の水位より上流側へ水面追跡を行う。なお、この時点で全ての分
水工地点の水位が必要水位よりも高ければ水位調整施設は不要となる。
- ② 必要な分水位が得られなかった場合には、分土工下流に水位調整ゲートを設置し、
その地点のチェック水位より再度水面追跡を行う。
- ③ 全ての必要分水位が満足できるまで②の作業を繰り返す。

20.6 調整容量検討における解析上の留意点

調整池等調整施設の必要容量の決定においては、調整施設への流入量が安定しているか否かに留意する必要がある。この流入量が安定しているならば、調整施設下流側の取水パターンを考慮して必要容量を検討できるが、流入量が日内変動する場合には、不定流解析が調整容量検討の有効な手段となる。不定流解析を行った事例としては、中ら(2003)³⁾が参考になる。

不定流解析の実施の有無にかかわらず、調整容量決定に当たっては、配水系管路における水需要量の日間変動及び日内変動をどのように想定するかが重要である。図-20.14 及び図-20.15 は、冷涼な気候下にある北海道での実測データをもとにした取水量のモデル化の事例である⁴⁾。

図-20.14 は、水稻作付面積 275ha の支配区域における活着期～出穂期直前の期間で、日内の変動が大きかった取水量を示している。この図をもとにした取水量モデルが図-20.15 であり、台形の斜辺の傾きは、図-20.14 での流量の増加・減少に要した時間に対応している。また、台形の高さは、管水路の通水容量としている。このモデルには、①早朝に給水栓の開操作が集中すること、②管水路の流量は短時間で通水容量に到達すること、③その後数時間を経過した後に水需要量が徐々に減少することが反映されている。台形の面積は、日取水量に相当する。日取水量は図-20.16 のように変動をするため、実測データから境界条件として適当な値を決定し、台形の面積が支配区域全体での日取水量に等しくなるよう、上底と下底の長さを決める。

このように、解析に当たっては、用水計画を検討するそれぞれの地域で、既存の流量データを活用しつつ、給水栓操作の時間帯や兼業化の程度等の農家の水管理特性を反映させて作成したモデルを用いることが望ましい。

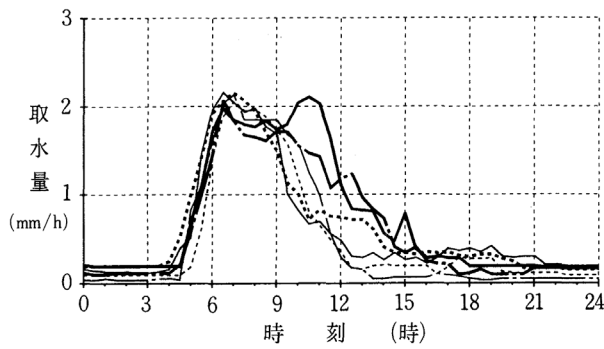


図-20.14 取水量の日内変動

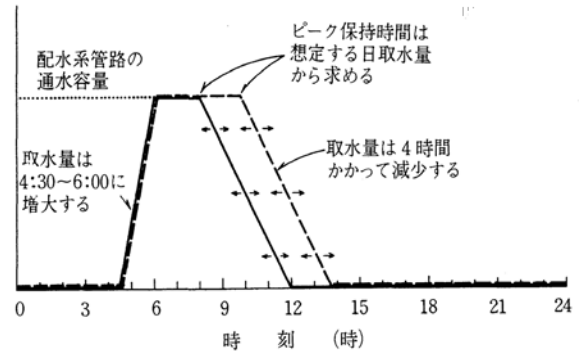


図-20.15 管水路の取水量モデル

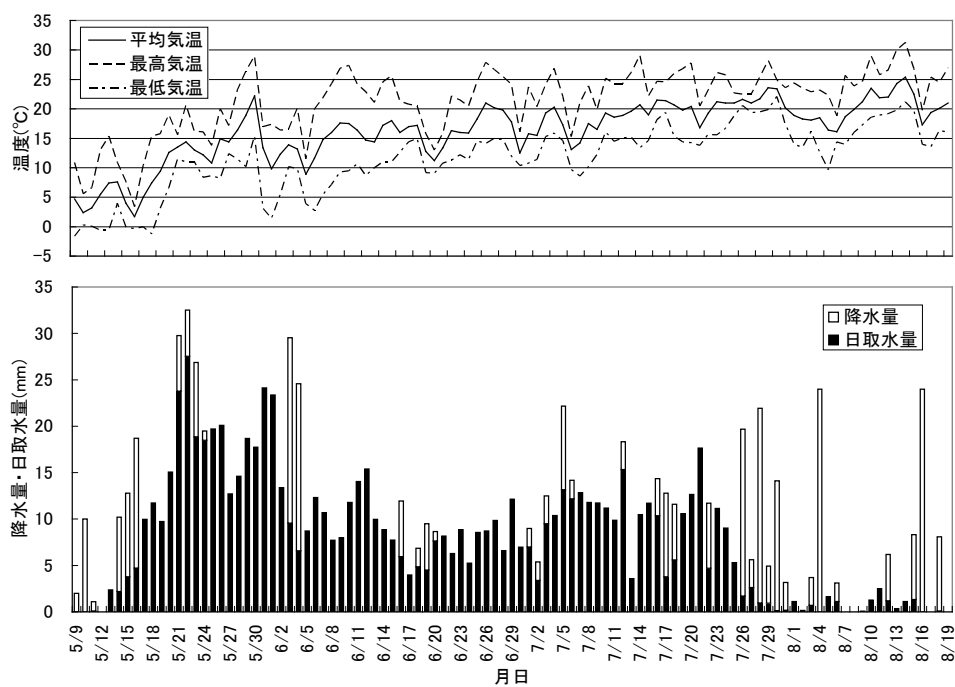


図-20.16 配水系管路における日取水量

引用文献

- 1) 広瀬慎一：調整池の水収支の特性、農業土木学会論文集 No. 175、pp. 29-36 (1995)
- 2) 広瀬慎一：貯留時間による調整池容量の検討、農業土木学会論文集 No. 175、pp. 37-45 (1995)
- 3) 中 達雄・島 武男・田中良和・青木克己・伊藤秀明：長大用水路システムの水利調整機能の分析事例、
水と土、135、pp. 57-67 (2003)
- 4) 中村和正・九本康嗣・沢口芳範・島崎昌彦：水田配水管路の水需要のモデル化、農土誌、65(3)、
pp. 43-48 (1997)

20. 調整施設

(基準 3.4.4関連)

調整施設は、用水系統における水量の変動を調節する機能を有する施設であり、調整池（1日～数日の需要調整を図るもの）、ファームポンド（主として1日以内の需要調整を図るもの）等の施設が該当する。調整施設は、一時的に発生する用水需要量の変動、施設の制御操作の遅滞等、その対応すべき課題に適応した合理的な施設の配置、容量等を検討するとともに、用水利用における弾力的な運用が可能となるよう配慮した計画とすることが望ましい。

本章においては、調整施設計画の基本的考え方について解説する。

なお、具体的な設計手法等については、土地改良事業計画設計基準 設計「ダム」、設計指針「ファームポンド」等を参考にする。

20.1 基本事項

調整施設は、必要な調整容量の確保、安全かつ合理的な管理が可能となる機能が備わっていることを確認の上、できる限り経済的となるよう計画する。その際には、自然環境や社会環境等への影響に十分配慮する。

ここでいう機能は、施設の耐用期間を通じて必要な調整容量を充足し得る規模を有し、また、容易な操作で安全かつ確実に水量調整できることにより充足されるものである。

安全性については、施設自体の工学的安定性と、事故の発生や施設の誤操作等に対応し得る一定の緩衝機能等を考慮するものとし、経済性については、施設の施工及び維持管理に要する費用が最小限になるよう、また、周辺環境との調和への配慮等も含めて、地域にとって最適な計画となるように検討する必要がある。

なお、調整施設の種類としては、調整池、ファームポンドに加え、数十分程度のポンプ運転、施設の連携動作の整合及び過渡現象を緩和して施設の保護を図るための配水槽、水位調整施設がある。

20.2 調整池

用水需要の発生時期と取水・送水時期とのタイムラグへの対応が、調整池の主な機能であり、これに要する容量は、その果たすべき機能に応じて算定される。例えば、通常見込まれるのは1～2日程度の調整であるが、事故による通水障害に備えるためには、数日間の容量が必要となる。

調整池の設置位置は、水位差の確保という点では水路組織の上流側が、用水量の調整という点では下流側が適当となるが、双方の機能を勘案し、経済性にも配慮して選定する。また、複数の調整池を設置することが効果的な場合もある。

20.2.1 参考事例

(1) 調整池容量の拡大事例

この地区は、水田への用水補給を目的とした地区で、営農管理形態の変化等（日中に水利用が集中することによって上流域の受益地で用水が先使いされる）に伴い、中下流域の受益地で用水不足が生じていたため、長大水路における到達時間の遅れ対策として設置された調整池を含む開水路の更新整備に当たり、調整池容量を再検討したものである。

調整池拡大前後の調整池水位の変化につき、調整水量が最も大きくなる5月下旬の状況を図-20.1に示す。

拡大前は激しい水位変化が見られる、水位低下は連日昼頃に頭打ちとなり低水位の状態が続いている。これは、用水需要に対する調整池の貯水量が底をつき、それ以上調整できなくなった状況を示しており、容量不足を表している。

一方、拡大後は、水位変化の幅は小さく、水位低下の頭打ちも見られない。これは、調整池が需要と供給のアンバランスを余裕を持って吸収する役目を果たしていることを示している。しかも最低水位は高く維持されており、取水の安全性も増大している。

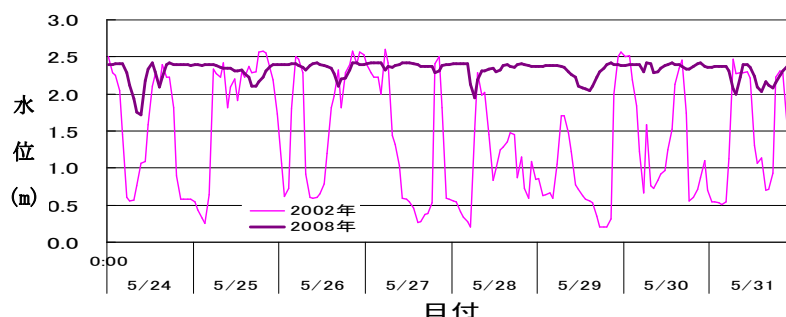


図-20.1 調整池拡大前（2002年）と拡大後（2008年）5月下旬における調整池水位の変化

ある一定期間における調整量は、いったん調整池内に貯留された後、下流に供給された量の総量、すなわち、

$$\text{調整量} (V) = \Sigma \text{調整池水位低下量} (m) \times \text{調整池面積} (m^2)$$

また、調整率は、当該期間供給量に占める調整量の割合とすると、

$$\text{調整率} (F) = \text{調整量} (V) / \text{供給量} (V_{\text{out}})$$

と表せる。

調整池拡大前（2001～2004 年の平均）拡大後（2007～2008 年の平均）の調整量及び調整率をそれぞれ図-20.2 及び図-20.3 に示す。

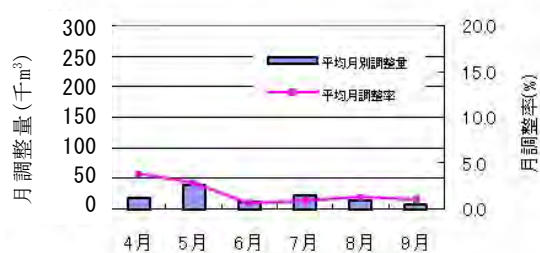


図-20.2 調整池拡大前の月調整量と調整率

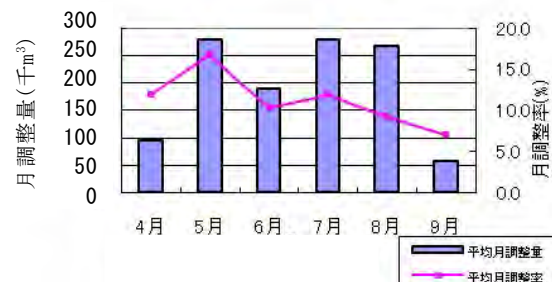


図-20.3 調整池拡大後の月調整量と調整率

拡大前は、かんがい期間（4月～9月）を通した調整量は8千～40千 m^3 /月、平均で20千 m^3 /月。また、調整率は0.7～3.9%、平均で1.8%。

拡大後は、かんがい期間（4月～9月）を通した調整量は7千～279千 m^3 /月、平均で194千 m^3 /月。また、調整率は7.1～16.8%、平均で11.2%。

このように拡大前と拡大後を比べると、調整量は全体平均で約 10 倍に、調整率は約 6 倍に増大した。調整量に対し調整率の倍率が低くとどまったのは、拡大前は下流への供給量が拡大後と比較して、大幅に少なかったことによる。

図-20.4 は、拡大前と拡大後の供給量を比較したものであるが、かんがい期間を通じた拡大前の供給量約 817 万 m^3 は拡大後の供給量約 1,360 万 m^3 と比べ、3 分の 2 の規模でとどまっている。

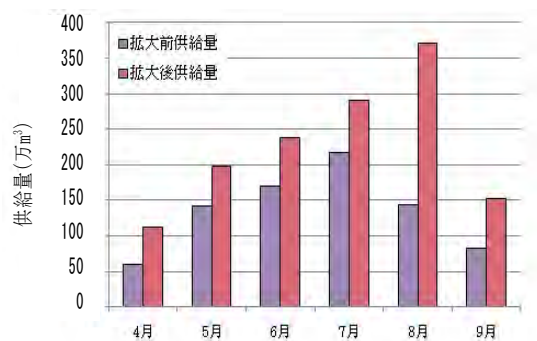


図-20.4 調整池拡大前と拡大後の供給量

(2) 調整池の利用実態

また、扇状地の地形勾配を利用した水田かんがい地区についての水収支調査からは、①調整池は7月後半から8月にかけて多く利用される、②調整池に依存する度合いは受益面積が小さいものほど大きい、③調整池からの最大取水量が普通期最大用水量を上回ることが多く、かんがいの自由度が高まることなどが報告されている¹⁾²⁾。

表-20.1 に調整池容量の計算を含めた調整池の計画諸元を示す。

表-20.1 調整池の計画諸元

頭首工からの距離(km)	1.7	7.5	5.7	9.5
受益面積(ha)	$A = 86.7$	83.6	123.3	63.1
水路損失(%)	10	15	15	10
代かき減水深(mm)	170~180	140~185	140~185	140~150
代かき用水量(m^3/s)	$Q = 0.532$	0.525	0.820	0.324
普通期最大減水深(平均) (mm/d)	32	25~41(31)	25~41(33)	24~28(25)
普通期最大用水量(m^3/s)	$q = 0.357$	0.353	0.554	0.203
調整池容量の計算(m^3)	$q \times 6 \times 3,600$ $= 7,711$	$q \times 6 \times 3,600$ $= 7,625$	$q \times 6 \times 3,600$ $= 11,966$	$q \times 6 \times 3,600$ $= 4,385$
設計調整池容量(m^3)	$V = 7,730$	7,680	12,140	4,540

* 調整容量を普通期最大用水量6時間分として計画

表-20.2に調査結果の一部を示す。この中で、受益面積 A と調整池依存率 Q_{po}/Q_{fi} の関係から上記②が解る。

表-20.2 調整池のかんがい期間水収支(5月~8月、4か月間の合計、雨量観測所は異なる)

受益面積	年	調整池への流入量	かんがい地への取水量	調整池の有効利用量	降雨量	作付率	調整池余裕率	調整池依存率
A (ha)		Q_{in} (mm)	Q_{fi} (mm)	Q_{po} (mm)	R (mm)	S (%)	Q_{in}/Q_{fi} (%)	Q_{po}/Q_{fi} (%)
83.6	1983	2,691	2,100	86	872.0	86.1	128.1	4.1
	1984	2,807	1,703	93	514.5	88.2	164.8	5.5
	1985	3,207	1,707	86	889.5	86.5	187.9	5.0
	1986	3,306	1,664	90	436.0	83.1	198.7	5.4
	1987	3,663	2,471	59	460.5	77.8	148.2	2.4
	平均	3,135	1,929	83	634.5	84.3	165.5	4.5
123.3	1987	4,477	3,474	73	460.5	85.4	128.9	2.1
	1988	2,767	2,113	92	658.5	82.3	131.0	4.3
	1989	4,624	3,788	88	554.0	87.9	122.1	2.3
	1990	3,982	3,333	151	503.0	85.8	119.5	4.5
	平均	3,963	3,177	101	544.0	85.4	125.4	3.3
63.1	1986	1,456	751	132	599.5	99.3	193.9	17.5
	1987	1,707	1,209	151	556.5	94.3	141.2	12.5
	平均	1,582	980	142	578.0	96.8	167.6	15.0

20.3 ファームポンド

ファームポンドの主たる機能は、用水の供給量と需要量との1日以内の時間的な差を調整することである。これにより、末端の用水利用の短期変動による用水需要の最大量の平滑化を図ることが可能となる場合もある。

ファームポンドは、幹線水路系の末端に設置されることが一般的である。その調整容量は、おおむね1日において時間とともに変動する送水量と配水量の差とすることで十分な場合が多い。

また、その構造にはコンクリートタンク、ゴムシート張り等があり、設置位置の地形条件等を勘案の上、経済性を考慮して選定する。

なお、位置や規模等を定めるに当たっては、配水対象地の営農状況はもとより、用水管理組織の状況等について十分踏まえる必要がある（図-20.5）。

(1) ファームポンド規模の決定

ファームポンドの規模は、所要の調整容量から定まるが、大規模となり現場条件等から設置が困難な場合は、下流の複数の分水工位置に分割して設置する等の検討が必要となる。また、気象条件等により用水管理上必要となる容量を加える場合もある。

(2) ファームポンド位置の選定

ファームポンドの位置は、経済性の観点からできる限り末端側の用水路分岐点等で、自然圧による配水ができ、既存の水利施設を活用し易いところとするが、維持管理面や地盤条件、放水路の確保手法等も十分に検討し選定する必要がある。

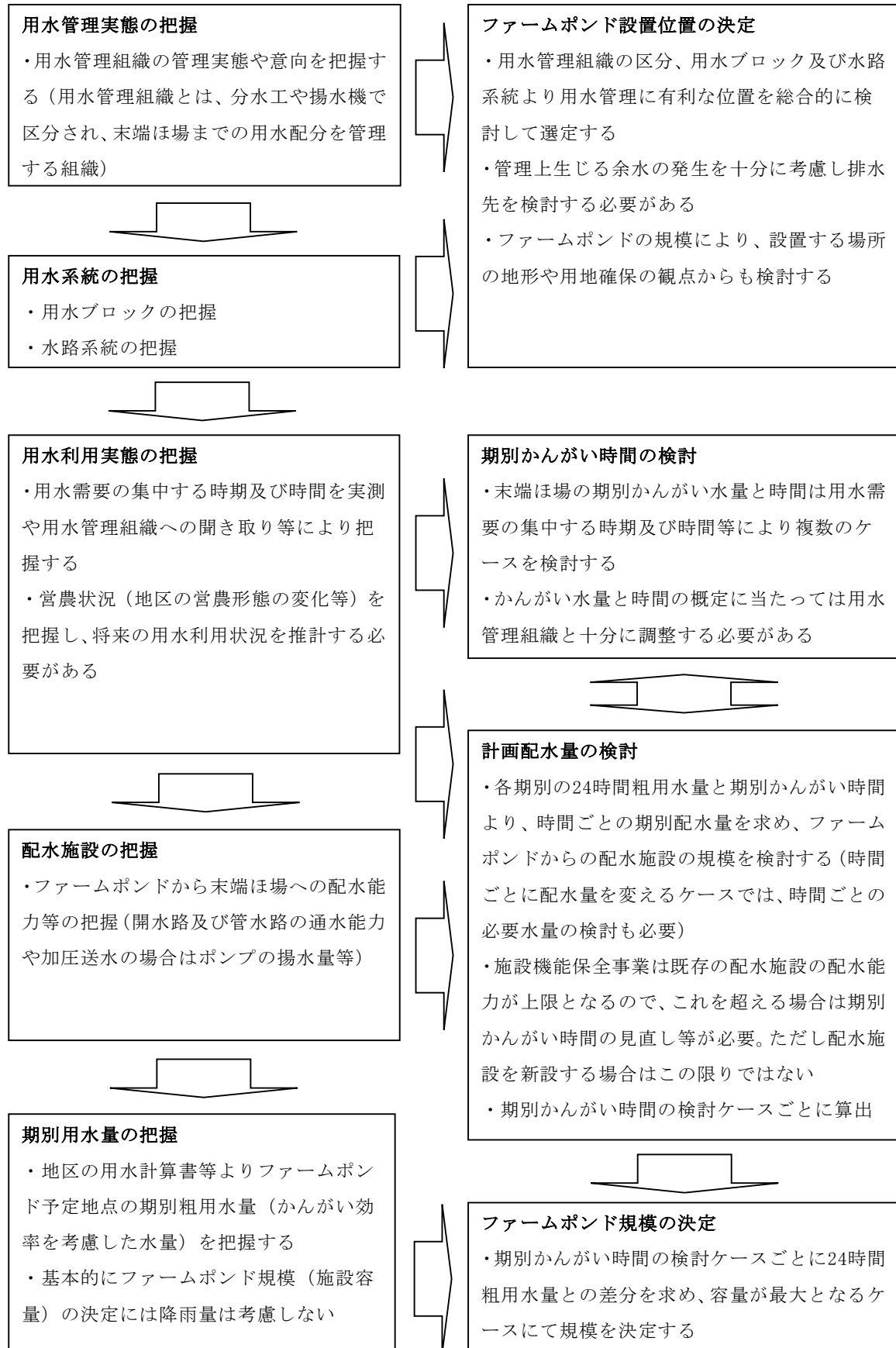


図-20.5 ファームポンドの計画手順模式図

(3) ファームポンドの計画に係る留意事項

更新事業においては既存の水利施設の有効活用を図りつつ、求められる機能・性能を満足する事業計画を策定することが求められる。

更新事業を計画する場合等、前歴事業完了時から地域の営農形態が変化する等により、末端においての用水需要の短期的な変動が生じ、一時的に用水不足となる状況が発生してきていることがある。例えば水田では作付け時期が変化したり、また畑では施設作物の増加等である。

特にファームポンドの配水域内に水田と畑が混在する場合には、地域の営農形態の変化により、かん水する時間や期間が違いため水使用量のピークが変化する。このため水田用水の需要が多い時期や連続干天時等は、ファームポンドからの配水量や末端ほ場における給水栓での給水量を調整すること、またローテーションかんがいを実施する等、水管理操作についてシミュレーションを行うことが有効である。また、用水量としては水田用水の占める割合が大きい場合が多いため、水田用水の時間・期間的な変動を十分に検討する必要がある。

20.3.1 参考事例

以下に、いくつかのファームポンドに関する計画の実施事例を紹介する。

(1) かんがい時間の設定事例

この事例は、パイプライン方式による 24 時間かんがいを行っている地区の施設更新に当たり、近年、経営規模の拡大や良質米生産に向けた用水の適時管理が必要となってきたこと等から、朝夕等に水利用が集中し時間的な水不足が生じている状況を解消するため、既設の加圧機場にファームポンドを設けるかんがいシステムを導入したものである。

具体的には、①時間的な水不足解消、②かんがいの自由度向上、③コスト低減といった課題に対処するため、ファームポンドかんがい方式を採用し、かんがい時間は、①現在の営農形態に合わせ加圧ポンプの夜間運転は行わないこと、②効率的な管理運営が可能であることを考慮し 16 時間と決定した（図-20.6、20.7）。

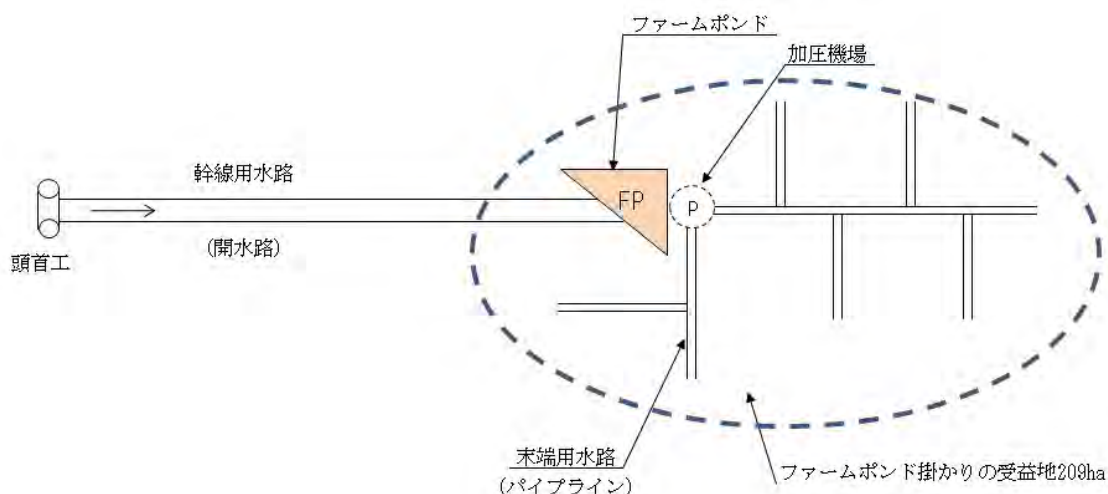


図-20.6 事例地区模式図

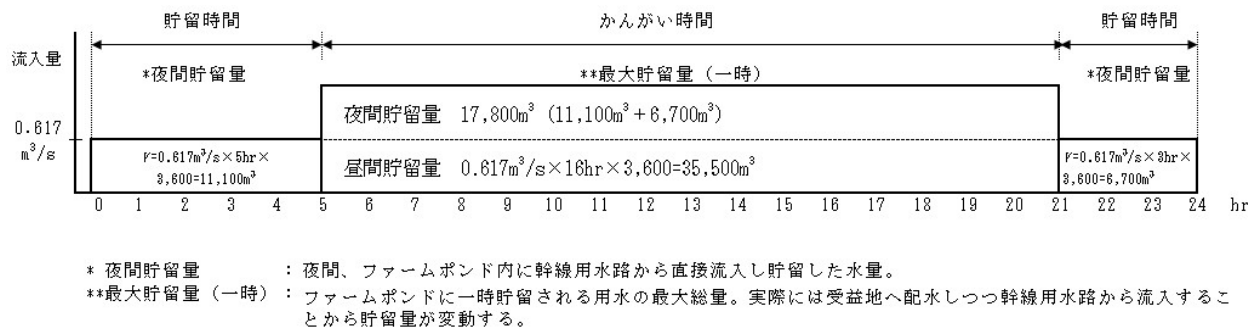


図-20.7 ファームpond貯留量、かんがい時間の検討図

(2) フィードバック機能付き取水ゲートによるファームpondへの送水量制御事例

広大な水田地帯では、取水口からファームpondまでの水路延長が長大となるため、上流部の過大な取水により、下流部では用水不足が生じ排水を反復利用することがある。そのため水質が悪化したり余分な施設が必要となったりし、維持管理費が嵩む要因となっている。

本事例では、幹線用水路から支線用水路への取水口にフィードバック機能付きの取水ゲートを設置して、支線用水路の末端にあるファームpondに隣接したポンプの運転台数及びファームpondの水位によりゲート開度を自動的に制御させている（図-20.8、20.9）。

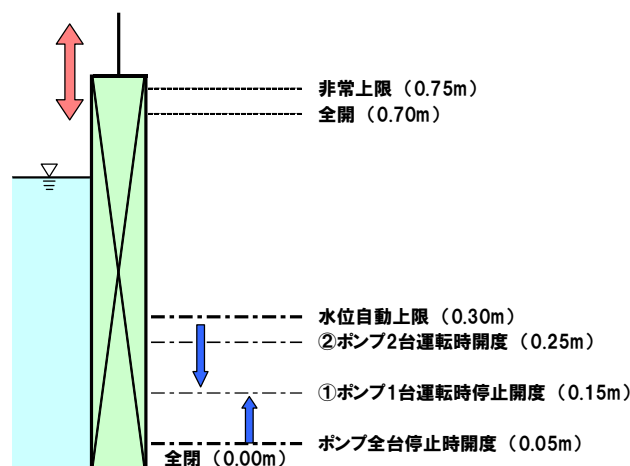


図-20.8 取水ゲートの設定開度

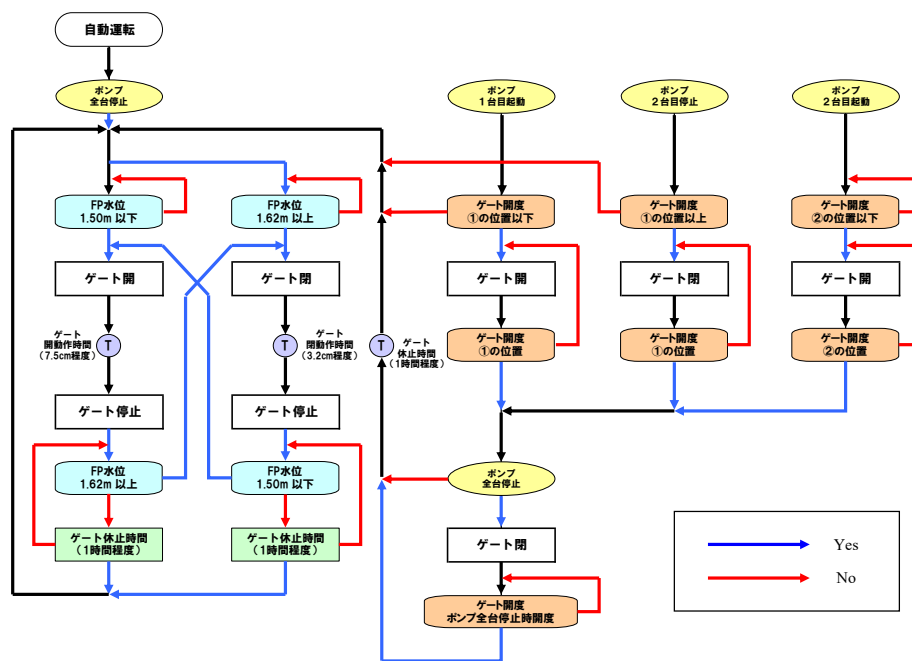


図-20.9 取水ゲートの操作ロジック

フィードバック機能付き取水ゲートを設置することにより日平均取水量は半分以上となり、フィードバック機能付き取水ゲートは、需要に応じた断続的な取水管理による節水効果が大きいと確認された。

(3) 反復利用の設定事例

① 地区概要

本地区は、かつて末端まで開水路により送水を行っていたが、代かき期等には用水需要が集中することにより、しばしば用水不足が発生し、また、普通期にも用水の安定した配分が困難であった。このような状況を解消するため、ほ場整備事業を実施し、揚水機場及び調整池を設置してパイプライン方式で圧送することにより、用水利用の効率化を図ることとした。また、水田から還元する自己排水を用水路に合流させて反復利用しており、第1揚水機場の調整池への流入量は、地区のほぼ全体からの排水と幹線用水路からの補給水からなっている。なお、本地区では地区内を経由して、下流の地区へも送水するため、その分を多く取水している。

本地区のかんがい期間は4月下旬～8月末日である。そのうち、4月下旬～5月上旬の代かき期及び出穂期には、揚水機場は24時間運転が行われているが、それ以外の時期は、降雨時を除き6時～18時の12時間運転が手動により行われている（図-20.10）。

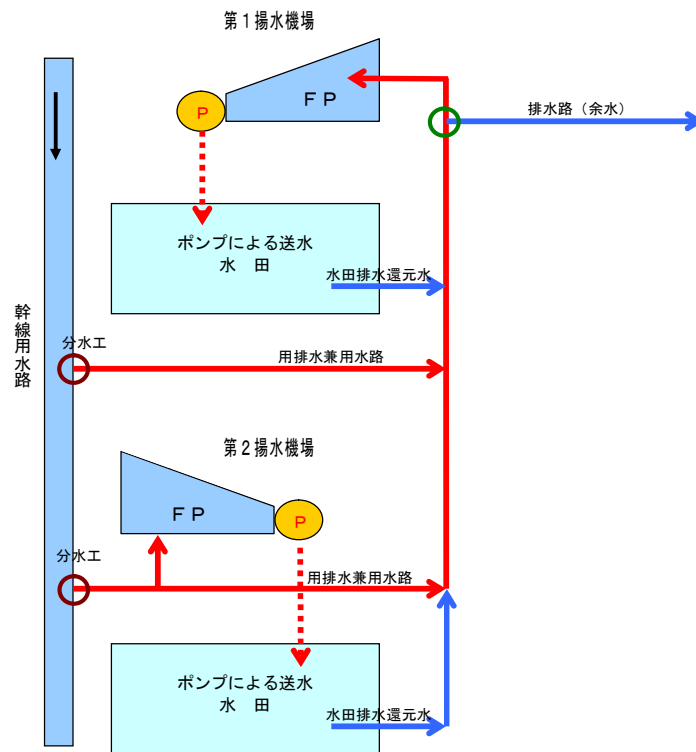


図-20.10 反復利用の事例地区模式図

②水収支

第1揚水機場による還元水量は、ポンプの昼間12時間運転時では、運転開始後に増加した後、いったん減少し、その後運転停止まで徐々に増加する。24時間運転時では5時から7時にかけて還元水量は減少し、その後18時ごろまで徐々に増加する（図-20.11）。

また、かんがい期間中の還元率は、営農期別にはばらつきがみられるものの、平均で70%であった。

このように、大量の還元水を利用できることから、第1揚水機場の調整池は、12時間運転の下でも水位低下は少なく、調整池容量を節減できる可能性を示している。

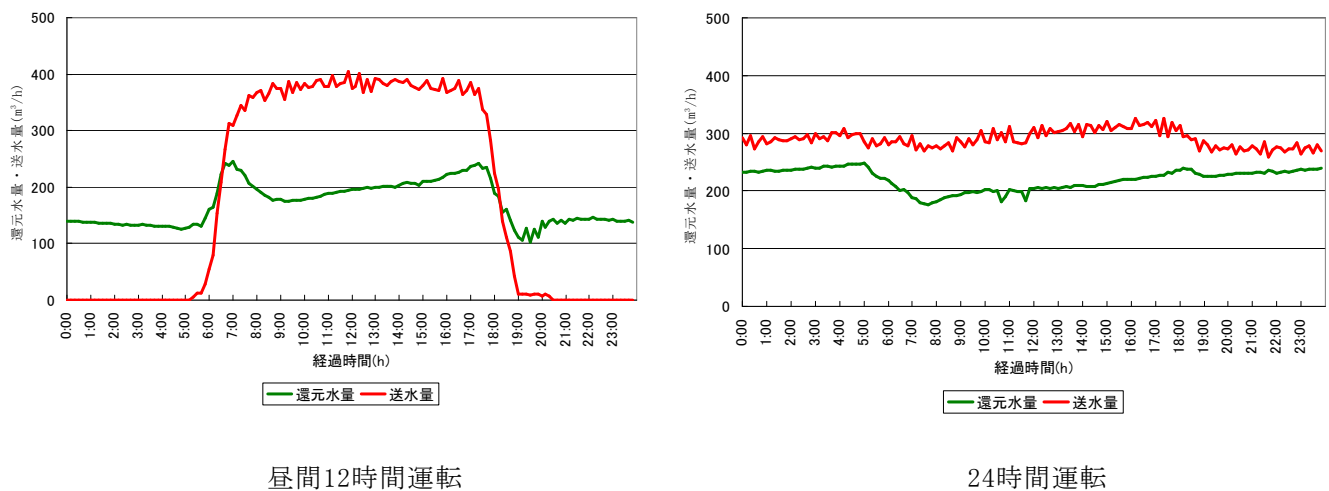


図-20.11 還元水量と送水量の時間変化

③水質

水田の排水を反復利用する場合は、水質の悪化がみられることがあるため、幹線用水路からの分水直後の地点と反復利用する排水が流入する第1揚水機場調整池の入口において水温・溶存酸素量(pH・DO)・電気伝導度(EC)・浮遊物質(SS)・化学的酸素要求量(COD)・生物化学的酸素要求量(BOD)・全窒素濃度(T-N)・アンモニア性窒素(NH₄-N)・全リン(T-P)の各項目について調査を行った。

両者を比較した結果、いずれの項目もあまり変化がなかったが、一般的には、用排水系統や流入・流出量等の違いにより水質の状況も様々予想されることから、それぞれの地区ごとに十分な検討が必要である。

また、水稻の生育に関する一般的な水質以外にも、環境面での水質が問題視される場合があるため留意する必要がある。

20.4 配水槽

配水槽は主にポンプの運転時間及び停止時間の間の送配水調整を行うことを目的とする施設であり、この調整のための容量は比較的小さくても良いが、容量が大きいくほど調整施設としての他の機能を兼用することが可能となるため、ポンプ設備の維持保全及び用水の円滑な配水管理の面からは有利となる。

一般に、配水槽の必要最小容量は、槽内設定水位によってポンプの自動運転を行う場合には、ポンプのON/OFFの許容頻度を考慮し決定する。また、配水槽の設置位置は、必要水頭の確保の可能性、ポンプ揚水費及び配管費の経済性、用地の確保や管理の容易性等の諸点を考慮の上選定する。

20.5 水位調整施設

水路内に設置する水位調整施設は、水路の水位調整により流量、流速の調整、分土工や放余水工の機能調整等を行うためのゲート（以下「水位調整ゲート」という）である。水位調整ゲートの配置や構造形式の検討に当たっては、管理制御方式や分土工、放余水工の位置、水路の水位変化や流量変動等を考慮する必要がある。

また、水位調整施設の形式には上流水位制御方式、下流水位制御方式、貯留量制御方式があり、水管理方式に応じて適切な形式を選定するとともに、水位調整施設の計画は維持管理（重要施設の集約による管理の重点化、機器点検補修のための道路確保等）や現況水路における既存の調整施設の配置、機能等を考慮して決定する必要がある。

20.5.1 参考事例 1

(1) 地区概要

本地区では、水田への用水補給の安定化を目的として開水路の整備（水位調整ゲート（写真-20.1）含む）を行ったが、営農形態の変化により朝夕にかん水の需要が集中するなど、時間的な用水不足が生じていた。

このため、需要主導型の適切な水管理に適合する貯留量制御方式を導入し、ゲートによる水位管理を通じて、夜間等に水路内に用水を一時的に貯留し、朝方の需要に対応するなど地域における用水需要の集中に対応した。



写真-20.1 水位調整ゲート(1)

(2) 水路内貯留の方法

用水不足が生じる期間において、給水の時間制限を実施し、給水時間外は分土工を閉め水路内貯留を行っている。具体的には、給水を5:00～19:00、給水停止を19:00～5:00とした。水位調整ゲートで区切られた区間の番水期間（4～5月）中の水位変化を図-20.12に示す。朝の給水開始とともに水位は低下し、その後、12時頃まで緩やかに低下し、14時頃から水位は回復する。給水停止後も、0時頃まで水位は徐々に回復する様子がわかる。

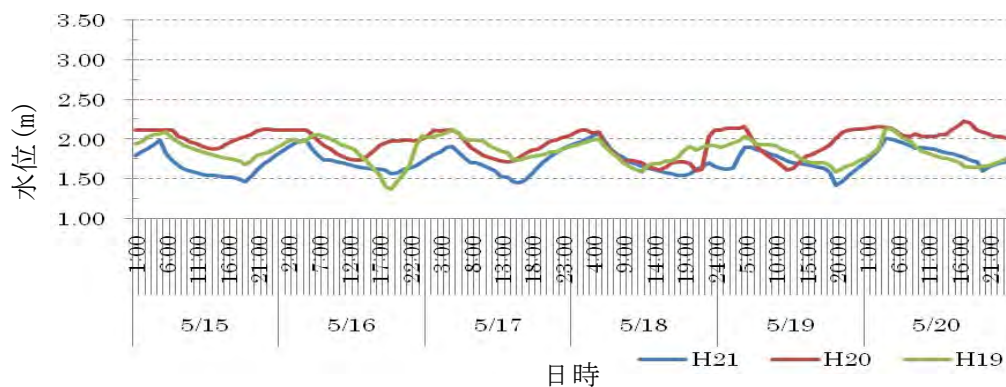


図-20.12 水位調整ゲートでの水位の変化

(3) 水路内貯留機能（効果）

ここで、2007～2009年度の全かんがい期間において、地区内の全用水路に貯留された調整量及び調整率を表-20.3及び図-20.13に示す。

全かんがい期間の月別の調整量を3か年の平均で見ると、4,873千～23,932千 m^3 /月、月調整率は14.5～25.0%となり、水路内貯留について一定の効果が発現されている。

表-20.3 月別の調整量、調整率（2007～2009）

		月調整量千 m^3 、月調整率%					
		4月	5月	6月	7月	8月	9月
2007年	月調整量	4,898	8,840	18,347	22,283	20,092	25,239
	月調整率	20.0	13.1	15.4	19.2	14.6	24.3
2008年	月調整量	4,850	10,143	25,453	17,902	17,188	19,399
	月調整率	21.4	16.4	23.1	12.6	12.5	26.2
2009年	月調整量	4,872	9,582	20,322	25,789	24,938	27,159
	月調整率	19.1	14.0	15.9	19.3	20.0	24.5
平均	月調整量	4,873	9,522	21,374	21,991	20,739	23,932
	月調整率	20.2	14.5	18.1	17.0	15.7	25.0



図-20.13 月別の調整量、調整率（2007～2009の平均）

20.5.2 参考事例 2

(1) 地区概要

本地区は、老朽化した頭首工・用水路の改修、水需要の増加に対応した用水路規模の確保、維持管理費の軽減を目的とした地区であり、用水路の改修に当たり、通水最小流量を検証したところ必要分水位が確保されない箇所が確認されたことから水位調整ゲート（写真-20.2）の設置を検討したものである。



写真-20.2 水位調整ゲート(2)

(2) 検討内容

ア. 不等流計算

必要分水位の確認には不等流計算を用いた。一般に、不等流計算の目的は以下に示すとおりであり、本検討においては「③必要水位高の検証」を目的として水面追跡を行った。なお、計算に用いた流量は、分水の誤操作や上流分木工による先取り取水等を考慮した最小流量として、普通期粗用水量の50%流量とした。

① 水路の流下能力の検証（現況や改修後における流下能力の確保）

- ② 水路の安全性の確認（フリーボードの確保や許容流速のチェック等）
- ③ 必要水位高の検証（分土工必要水位やチェック水位の確保）
- ④ 水路貯留変動量の算定（水路のバッファ容量検討）
- ⑤ 計画断面の算定（等流以外で水路断面を計画する場合）
- ⑥ 急激な断面変化による流況（局所流）の検討

イ. 配置の検討

不等流計算の結果から、以下に示す手順に従い水位調整ゲートの配置位置を決定する。

- ① 水理設計終点地点の水位より上流側へ水面追跡を行う。なお、この時点で全ての分
水工地点の水位が必要水位よりも高ければ水位調整施設は不要となる。
- ② 必要な分水位が得られなかった場合には、分土工下流に水位調整ゲートを設置し、
その地点のチェック水位より再度水面追跡を行う。
- ③ 全ての必要分水位が満足できるまで②の作業を繰り返す。

20.6 調整容量検討における解析上の留意点

調整池等調整施設の必要容量の決定においては、調整施設への流入量が安定しているか否かに留意する必要がある。この流入量が安定しているならば、調整施設下流側の取水パターンを考慮して必要容量を検討できるが、流入量が日内変動する場合には、不定流解析が調整容量検討の有効な手段となる。不定流解析を行った事例としては、中ら(2003)³⁾が参考になる。

不定流解析の実施の有無にかかわらず、調整容量決定に当たっては、配水系管路における水需要量の日間変動及び日内変動をどのように想定するかが重要である。図-20.14 及び図-20.15 は、冷涼な気候下にある北海道での実測データをもとにした取水量のモデル化の事例である⁴⁾。

図-20.14 は、水稻作付面積 275ha の支配区域における活着期～出穂期直前の期間で、日内の変動が大きかった取水量を示している。この図をもとにした取水量モデルが図-20.15 であり、台形の斜辺の傾きは、図-20.14 での流量の増加・減少に要した時間に対応している。また、台形の高さは、管水路の通水容量としている。このモデルには、①早朝に給水栓の開操作が集中すること、②管水路の流量は短時間で通水容量に到達すること、③その後数時間を経過した後に水需要量が徐々に減少することが反映されている。台形の面積は、日取水量に相当する。日取水量は図-20.16 のように変動をするため、実測データから境界条件として適当な値を決定し、台形の面積が支配区域全体での日取水量に等しくなるよう、上底と下底の長さを決める。

このように、解析に当たっては、用水計画を検討するそれぞれの地域で、既存の流量データを活用しつつ、給水栓操作の時間帯や兼業化の程度等の農家の水管理特性を反映させて作成したモデルを用いることが望ましい。

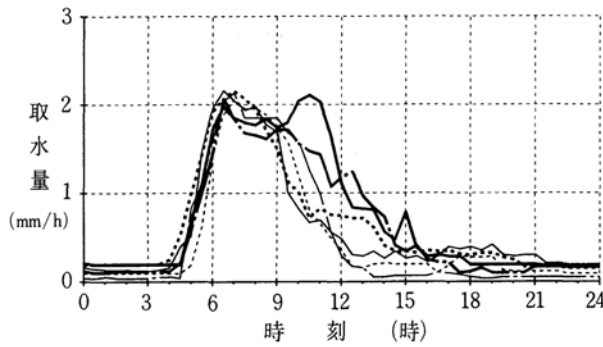


図-20.14 取水量の日内変動

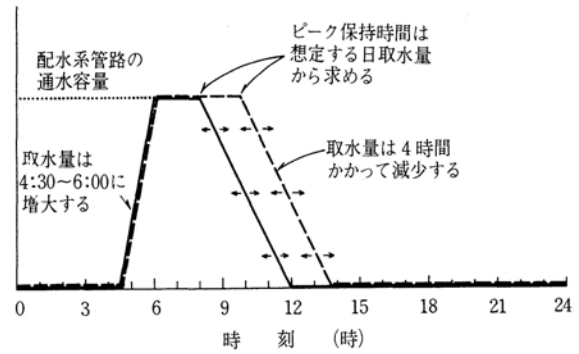


図-20.15 管水路の取水量モデル

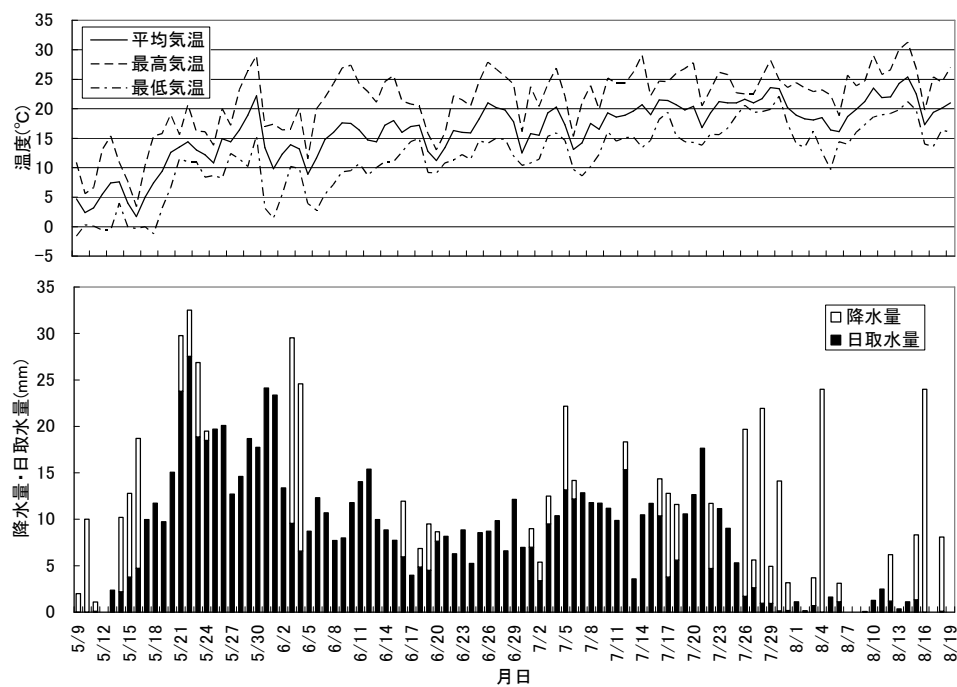


図-20.16 配水系管路における日取水量

引用文献

- 1) 広瀬慎一：調整池の水収支の特性、農業土木学会論文集 No. 175、pp. 29-36 (1995)
- 2) 広瀬慎一：貯留時間による調整池容量の検討、農業土木学会論文集 No. 175、pp. 37-45 (1995)
- 3) 中 達雄・島 武男・田中良和・青木克己・伊藤秀明：長大用水路システムの水利調整機能の分析事例、
水と土、135、pp. 57-67 (2003)
- 4) 中村和正・九本康嗣・沢口芳範・島崎昌彦：水田配水管路の水需要のモデル化、農土誌、65(3)、
pp. 43-48 (1997)