

38. 地下水工

(基準 3.4.5 関連)

38.1 地下水工

地下水の賦存状況と採水方式との関係は、表-38.1 のとおりである。

表-38.1 地下水の賦存状況と採水方式との関係

大地形	小地形	標識的地質	賦存形式	水位と水量	採水方式			
					浅井戸	深井戸	横井戸	集水渠
低地	扇状地、三角州、谷底平野、砂丘	沖積層 ^{※1} 粘土・シルト・砂・礫	主に水層(自由・被圧)一部水脈、伏流水	浅くて豊富	砂礫質の地域ではたいがい可湧泉・湿地等には集水池	自由地下水に乏しく、被圧水が見込める場合		伏流河床、旧河道での大量取水の場合
台地・段丘	隆起海岸平野、隆起扇状地、河岸段丘	洪積層 ^{※2} 粘土・シルト・砂・礫	主に水層(自由・被圧)一部水脈	深いが相当の量	水位が浅い場合、少量の取水	水層の場合最適	水脈・水層からやや多量の水を取る場合	
丘陵地	大起伏丘陵、小起伏丘陵	第三紀層 泥岩・砂岩・礫岩・凝灰岩	水層(自由・被圧)又は水脈	深浅様でなく、あまり多くない		水層に対して用いられるが水量が少ないとコスト高	水脈に対して有利	
火山地	火山山麓、溶岩台地	溶岩・集塊岩・凝灰岩・火山泥流	割れ目水脈又は水層	深く、あまり多くない		水層の場合、掘削の難しい場合あり	割れ目水脈に適	
山地	山腹緩斜面、準平原	中・古生層 深成岩・変成岩・石灰岩	割れ目水脈又は溶食洞	特定の地域を除いて泉以外は水量が極めて少ない		顕著な割れ目水脈の場合	最適 洞穴では斜井戸にすることもあり	

※1 沖積層：新生代第四紀の更新世末期及び完新世の地層に相当する。

※2 洪積層：新生代第四紀の更新世の地層に相当する。

38.2 さく井

井戸はその深さにより浅井戸と深井戸とに区分されており（行政統計では井深 30m 未満と以上で区分されている。）、浅井戸では主として不圧地下水、深井戸では主として被圧地下水を取水することになる。

浅井戸は、その形式・構造から普通掘井戸、大口径浅井戸（筒井戸）及び集水池に区分される。

普通掘井戸は、井径（井戸の口径）1m 程度、井深（井戸の深さ）10m 程度で井側（井戸の側壁）が石積み又は有孔コンクリート管からなり、側壁及び井戸底から流入する地下水を採取する井戸をいい、3~10m³/day 程度の取水に適している。大量取水を期待するときは、大規模扇状地の扇端部、谷底平野の旧河道など井戸掘削地点の選定に留意する必要がある。

大口径浅井戸（筒井戸）は、井径 2m 程度、井深 10 数 m 程度で井側が有孔のライナープレート若しくは鉄筋コンクリート管からなり、側壁及び井戸底から流入する地下水を採取する井戸をいう。河川の氾濫原、旧河道、埋積谷等で砂礫層の発達したところで大量取水を期待する場合に適している。扇状地などの水田浸透水の強制反復利用を計画する場合にもこの形式の井戸が掘られることが多い。

集水池は、井深より井径又は井口の一辺の長さの大きい井戸である。火山山麓の末端や段丘崖下で地表又はこれに近接している地下水のある場合に適している。しかし、集水池は一般に井深が浅いため、連続干天等による地下水位の低下によって井底まで干上がる恐れがあるので、このような事態に対処するため井底から管井を施工し、複合井に仕上げることも検討して、水源としての安定性に留意する。

深井戸は、地表から鉛直に口径 150～500mm の孔を掘り、これに側管を挿入して仕上げた管井が一般的である。掘削口径は、側管の外径より 100mm 前後大きくし、その間隙は洗い砂利で充填するのが一般的である。地下水を採取する対象となる地層の区間には、側管に集水用の孔（スリット）を開ける場合と専用の集水管（スクリーン又はストレーナ）を挿入する場合がある。揚水には、水中モータポンプが最も一般的に使用されている。

38.3 集水渠

地下水の大規模取水に適する方式である。形式は集水明渠及び集水暗渠があり、配置は一般に単線とし、地下水の流動方向に平行に設置するものと直角に設置するものがある。

集水渠を設置する位置は、次の地点等がよいとされる。

- ① 山間の狭さく部などで地下水が集中している地点
- ② 渇水時でも地下水位が高く、透水係数の大きい砂礫中を大量の地下水が流動している地点
- ③ 沖積扇状地など粒子が粗く、目詰まりを起こしにくい地点
- ④ 工事が容易で、地形上、地区への導水に有利である地点
- ⑤ 周辺の地下水に悪影響を及ぼさない地点

構造については、通常有孔管が利用される。附帯構造物としては、制水門などの施設を設け、必要に応じて機能の確保のため監視孔、接合井などの設置を計画する。集水量は、粒子の移動や集水の速度から、一般に集水渠 1m につき 1L/s 程度以下で計画すれば問題はないとされる。

39. 貯水施設

(基準 3.4.6 関連)

39.1 ダム形式の選定上の留意点

ダム形式は、地区条件を踏まえた上で、それらの特徴による得失を総合的に勘案して選定することとなるが、その際に参考となる一般的なダム形式の種類ごとの特徴を表-39.1に示す。

なお、フィルダムは、堤体材料の配置により均一型、ゾーン型、コア型及び舗装型に細分されるが、ダムの高さが低い場合は、いずれのタイプを選定しても構造上問題はない。このため、一般に施工が簡易で、容易に堤体の止水性が確保されることから断面の単純な均一型が適している。

ダムの高さが 30m を超えるような場合には、材料のせん断強度や間隙圧の発生の問題等があり、一般に均一型以外のタイプを選定することが望ましい。このため、せん断強度の大きい材料を使用できること及び不透水性ゾーンが薄く間隙圧の消散が早いことから、土石質材料によるゾーン型のフィルダムが多い。

寒冷地及び多雨地帯においては、土質材料の含水比が高くなりやすく施工性等に鋭敏に影響するので、土質材料を利用する場合には、施工可能日数に制限が生ずることが多い。このため、土質材料の少ない形式が適しており、均一型は特に不利である。

また、表面遮水型など不透水部の薄い形式では、堤体の沈下・変形の可能性が重要な検討項目となる。

表-39.1 各ダム形式の特徴

項 目	フィルダム	コンクリートダム		
		重力ダム	中空重力ダム	アーチダム
1. 構造の特色	天然材料を用いて築造される。均一型、ゾーン型、コア型、舗装型に分類される。材料面よりアースダムとロックフィルダムに分けられる。堤頂部の越流に対しては無力である。堤体完成後、相当長期にわたって圧密などによる堤体の変形が継続し、築堤土の性質・強さなどが変化する。	上流面にかかる荷重を自重により、下の岩盤に伝える構造物である。荷重に抵抗する要素は、堤体及び岩盤のせん断強度である。横断形状は満水面付近に頂点を持ち上流面はほぼ鉛直に近い三角形である。揚圧力はダムの安定上重要な要因となる。	力学的には、重力ダムと同じである。重力ダムのブロックの上流面幅員を拡大して止水壁を造り、また内部に中空部を設けてコンクリート量の節約を図ったもので、横断形状は、満水面付近を頂点とする二等辺三角形に近い形となる。堤体に働く揚圧力はごくわずかとなる。	水平なアーチ作用と鉛直な片持ちばり作用により、上流面にかかる荷重を側方の岩盤と下方の岩盤に伝える構造物である。定半径型、定角型、変形型がある。またアーチリングの形式によって、等厚円形、フレット、不等厚円形、三心アーチなどに分類される。堅岩地形に合わせてアーチを設計する。
2. 地 形	谷の形に対する制約はない。大型施工機械が効率よく稼働できる広さが望まれる。洪水吐を堤外に設けられるような地形が必要である。	谷の形に対する制約はない。	U字型谷の場合は川幅が広いほど有利である。形状係数 $L/H > 4$ の場合重力ダムより有利である。高さ 40m 以上のとき経済的となる。	谷幅が狭く両岸が急傾斜な地形ほど有利である。形状係数 $L/H < 3$ で地質的に恵まれている場合は決定的に有利である。アーチアバットメントの下流側には十分な厚みの岩盤が必要である。

表-39.1 各ダム形式の特徴（つづき）

項 目	フィルダム	コンクリートダム		
		重力ダム	中空重力ダム	アーチダム
3. 地 質 基礎地盤	基礎地盤に対する制約は他の形式のダムより少ない。適切な設計施工を行えば全ての基礎に築造可能である。他の形式に比べて漏水量が大きい。	原則として堅硬な岩盤基礎であること。ダムの高さが高くなるほどより大きい河床部岩盤のせん断強度が要求される。両岸上部の岩盤はそれほどの強度は必要ではない。	重力ダムとほぼ同じ。基礎地盤の改良を堤体コンクリートの打設と並行して中空部内より施工できる。	基礎岩盤は、支持力、せん断強度、水密性、耐久性に優れていること。河床部の岩盤のせん断強度に対する要求は重力ダムより緩いが、上部まで岩盤は堅硬で、せん断強度も大なるものでなければならない。アーチ推力方向に沿う断層があるときは不向きである。
4. 築堤材料	現場付近のあらゆる種類の土石材料が利用可能であるが、構造の安全を得るためには、材料強度の的確な把握と、適切な設計、施工管理が必要である。	多量のダムコンクリートを必要とする。細骨材、粗骨材の現場採取、又は製造が必要となる。	重力ダムに比べて、10～30%体積を節約できる。	ダム体積は他の形式のダムに比し、最小である。 L/H が1.5程度になると、体積は重力ダムの30%程度となる。
5. 施 工	施工中、降水量の影響を受けやすい。コア型では不透水性部と透水性部の施工を並行しなければならない。この境界面が構造上の弱点とならないよう入念な施工が必要である。舗装型は遮水壁が露出しているため、検査は容易である。	多量の骨材の採取、選別又は製造、セメントなど工事用資材の運搬・保管などに費用を要するが、コンクリート打設時には標準型枠が使用でき、施工管理にも比較的容易である。ひび割れ防止のため温度規制を行わなければならない。	ダムコンクリートの露出面積が大きく部材厚も薄いのでコンクリートの水和熱の放散に有利である。寒冷地では凍結、融解の被害を受けやすい。施工中に内部より堤体の破損・漏水などが発見できる。型枠面積が大きくなり施工が比較的面倒である。施工期間中の洪水処理が難しい。	コンクリート量が他のダムに比べ少ないので、セメント・骨材等の材料は少なく済み施工期間も短縮できるが、曲面施工であるため経費がかかる。ダム厚が薄いので、水和熱の消散が容易である。重力ダムに比べてやや良質のコンクリートが要求される。
6. 洪水吐	堤体とは別に独立して洪水吐を設けなければならない。設計洪水量はコンクリートダムの1.2倍を採らなければならない。	堤頂ダム下流面を利用した堤体越流型の洪水吐が可能でそれだけ工事費が節約できる。	重力ダムと同じである。	堤頂に越流型の洪水吐を設けることができるが、重力ダムのようにダム下流面を利用することはできない。滝落し形式となり、ダム下流側の滝つぼ現象に対する対策が必要になる。

39.2 湖沼・淡水湖の利用による湖面変動に伴う影響と留意点

湖沼などの湖面の変動により水位・水質の変化と地下水水位の変化が考えられる。

① 水位・水質の変化……湖沼の利用（港湾、舟溜り、漁業、観光）、流入河川への影響（河床変動など）、環境への影響

② 地下水水位の変化……周辺の井戸、用水施設、農業用水

これらに対応するために、湖面の水位上昇対策となる湖岸堤防、内水排除施設、補償施設又は状況の悪化がある場合の補償などの整備を行い、貯留量の確保を行う。

(1) 水位調整施設

利用水位の範囲等から規定される制御水位を基に、計画高水流量と取水方式を勘案して、水位調整施設の諸元を定める。

水位調整施設は、利水容量の調整を主目的として設けるが、洪水時には洪水調節をも兼ねることになるので、径間長は流木その他の障害とならないようにする必要がある。

利水調節水門の敷高は、利用下限水位を基準として決められるが、河川改修計画で定めた計画河床高がある場合には、両者の関係を十分検討して定める。治水調節水門の敷高は、所要通水断面積を水門の幅員で除して得られた水深が、計画高水位を超えることとならないように定める。

また、必要により閘門、魚道などを設ける。

(2) 湖岸堤防

計画洪水位より地盤高が低い後背地をひかえる場合は、地形、地質を考慮して堤防線を決める。また、市街地などで堤防用地の確保が困難な場合を除き、原則として盛土による堤防を計画する。

波浪の影響が大きい場合は護岸、消波工を検討する。また、越波が生じるおそれのある場合は、コンクリート等による被覆工、裏法尻沿いの排水路の設置などを検討する。

(3) 内水排除施設

湖岸堤防の建設により、内水排除機能が悪化する場合は排水門を設置し、また、内水位が許容できない湛水となる場合は機械排水を計画する。施設の設置には、地区の低位部で、基礎地盤の支持力が安定して得られ、かつ、浸透による揚圧力の問題が生じない位置を選定し、堤防との取付けが構造上問題とならない地点とする。また、地区条件及び経済性から複数の地点の設置も検討する。

(4) 補償施設

水位の変動が、既存施設の機能を損なう時には補償を検討する必要がある。このような補償の一環として整備すべき施設（補償施設）には以下のようなものがある。

- ① 水利施設……用排水樋門・樋管、揚水機・導水路及び吸水槽の改築並びにポンプ原動機の取替え
- ② 港湾、浅橋、舟溜り……浚渫、改築、防波堤の補強等

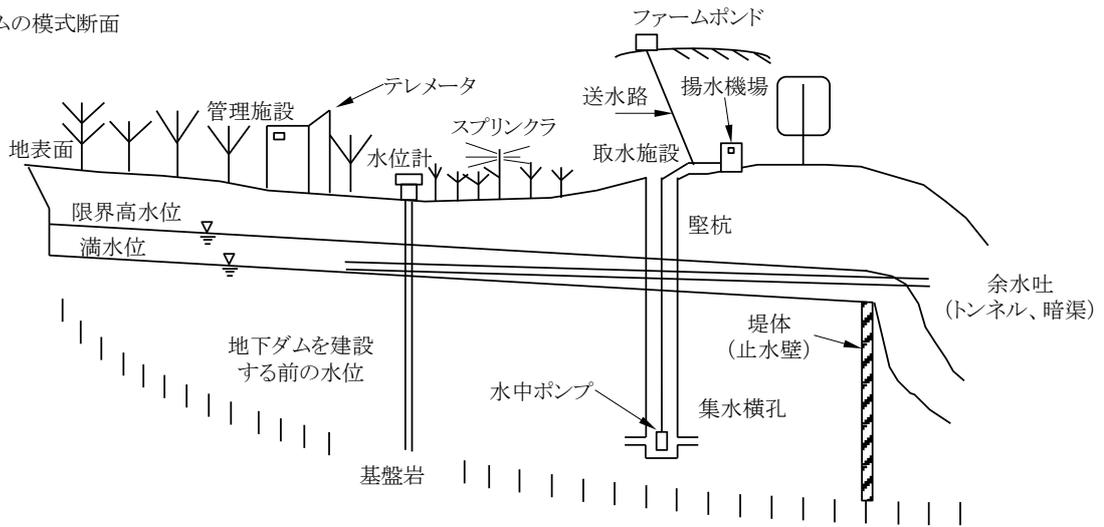
39.3 地下ダム

地下ダムは、地表ダムと比べて次のような特徴をもっている。

- ① 貯水池敷の地表部を水没させないので、一般に従前どおりの土地利用が可能である。
- ② 水が地下に貯えられているため、水に直射日光が当たることによって発生する富栄養化等の水質悪化や水面からの蒸発損失が起りにくい。
- ③ 止水壁の全てが地下にあるため、万一止水壁にトラブルが発生してもダム決壊につながることはなく、田畑・家屋その他が洪水に見舞われることはない。

地下ダムは、その築造目的の違いから、のように地下水位堰上げ型と塩水浸入阻止型とに大別される。

(a) 地下ダム の 模式断面



(b) 地下ダム の 目的による区分

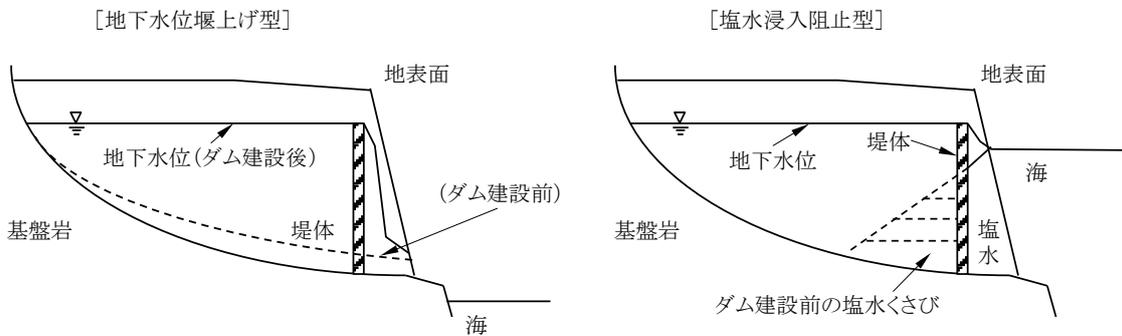


図-39.1 地下ダム の 模式断面及び目的による区分

なお、ダム等の詳細については、土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「ダム」等を参照すること。

40. 管理制御施設

(基準3.4.7関連)

40.1 管理制御施設の基本的条件

工業生産分野の最新技術が導入されて、管理制御施設も次第に高度化の傾向にあるが、用水施設への適用を考える場合その特殊条件として、一般に、

- ① 野外での過酷な使用環境
- ② 使用時期の偏在・不規則性
- ③ 使用度数（動作回数）が低く、長寿命（耐用年数）が必要
- ④ 制御内容が単純で対象が分散
- ⑤ 操作・保守管理の技術レベルの制約

等不都合な要因が多く、施設の高度化が必ずしも実用面での便益に結びつかないという問題を抱えている。したがって、管理制御施設は、精度を多少犠牲にしても耐久性や信頼度の高いもの、保守管理の容易なものを目標とすべきであり、不要不急の機能を省き、できるだけ簡潔な構造（安全性・確実性）とする配慮が大切である。

40.2 管理事項と配置

以下に施設ごとに対応する管理制御施設及び検討事項について示す。

(1) 貯水施設

貯水施設には、ダム等の操作を適正に実施するための水位、流量及び降水量を観測するための観測施設、観測結果や施設の操作状況を速やかに的確に通報するための通報施設、流水の放流を周知させる場合の警報施設等の管理制御施設があり、操作及び運用が安全かつ適正に行われるよう維持管理施設等への対応が必要である。

(2) 取水、送配水、調整施設

末端ほ場まで用水を効率的に安全・確実に送配水するための管理制御施設は、以下の事項を配慮し計画する。

- ① 水配分の合理化: 計画分水割合の維持、時期別・地域別需要変動に対する送配水機能の改善、水路系の応答特性への対応等
- ② 水の有効利用: 過大取水の規制、無効放流・管理損失水量の軽減、降雨の有効利用、複数水源の使用調整等
- ③ 施設機能の保全: 施設の適正操作、水路系及び装置・機器等の異常の早期発見と処置（施設の損害及び二次災害の軽減・防止）
- ④ 管理経費の節減: 水利施設運転動力費及び管理労務費の節減（監視操作労務、各種データ作成労務等の省力化）
- ⑤ その他: 施設・機器の保護、連絡・通報・対応処置の即時性、心理的不安・不満の解消（計画性、公平中立性の確保）

用水施設における水管理の基本は、送配水施設の末端、すなわち、ほ場への給水口を起点とする水需要に追従した送配水制御の実現にある。一方、水源容量の制約や水路断面の経済性等から、供給側でも一定の規制を課す必要がある。この両者のいずれ

に重点を置くかによって、いわゆる需要主導型と供給主導型の二つの運用方式に分類される。実用上は経済性及び運用操作技術等の条件から、両者を適宜折衷した計画とするのが普通である。

水路形式からみた場合、自由水面を持った開水路では、水面勾配によって流れが形成される関係上、上流側のゲート操作で水路の流量、つまり下流側への供給量を任意に調節することができる。下流側では供給量の範囲内での取水しかできないため、余裕をもって供給しても、使用水量が供給量に満たなかった場合の残水量は全て無効放流となる。また、流量の調節に伴う流況の伝播速度が比較的遅く、需要側の要求に対する即応性に欠ける。これらのことは、開水路が本質的に供給主導型の性格を持つことを意味し、上流優先・下流不遇の不満の原因となって古くから水利紛争が多く発生した。

このため、開水路系における水管理機能に対しては、無効放流の軽減と末端需要変動への即応という、一見矛盾する問題点の解決が中心課題となっている。

これに対して、パイプライン、特にクローズドタイプ又はセミクローズドタイプのパイプラインでは、末端バルブを開けない限り水は流れないので、原則として無効放流はない。また、管内に多量の空気が入り込むことは致命的なトラブルの原因となるので、常に満流状態を保つ必要があり、上流側のバルブ操作による供給規制はできない。このことは、パイプライン形式が需要主導型の水管理になじむ特性を持つことを意味し、末端バルブの無秩序な操作による流量変動に対しても、完全に追従した供給を保証しなければならない。

このような理由から、パイプライン形式での水管理機能改善の主要課題は、末端バルブ操作の規制による供給側の計画性の回復、急激な流量変動に対する安全性の確保等となる。

用水の需要と供給との関係には、本質的に相容れない問題が多い。ほ場レベルの水使用は、時期的・時間的な自由度を求める傾向が強く、流量の大幅な変動は避けられない。たとえ、流量変動幅が計画流量の範囲であっても、これに追従させる流量・圧力の制御には、極めて高度の装置化が必要であり、保守管理上も高度の技術が求められ、受入れ組織の実態に合わないおそれがある。このような場合、調整池（ファームポンド）は、送配水操作における流況変動の緩衝施設として制御の負担を軽減し、調整池容量の範囲内で上下流の独立性を保証する役割を果たす。すなわち、調整池の貯留効果によって流れの連続性が断たれ、供給側の計画送水が実現する一方、調整池の下流側では需要変動に応じた水使用の自由度が得られる。

(3) 末端管理制御施設

用水施設を、水利用目的・使用条件に応じて適切に運用するためには、ほ場・作物に密着したきめ細かな人為的調整・監視が必要であり、これによって、末端水管理の支配面積が制約を受ける。したがって、末端管理制御施設は、水利用の末端作業体系の単位であるかんがいブロックをその対象範囲とし、かつ、その範囲内において自己完結の制御系として機能するように計画することが実態に合致している。

かんがいブロックごとのファームポンドの設置を前提とすれば、その水位情報によって幹線水路等の送配水の連携動作は可能であり、実際にもファームポンド流入口の

フロートバルブによる給水制御方式が最も多く用いられている。また、末端における散布ブロックの位置、散布の目的・状況等、水利用の個別情報の全てを中央管理所まで伝達する必要はなく、むしろ分散する各施設の動きの概要を把握し、調整できる範囲の組織的なつながりを保つことが大切である。

こうして、かんがいブロック内での水利用の作業性に重点を置き、末端管理施設に独自性を持たせることにより、現地の条件に臨機に対応できる管理制御システムを構成することができる。ファームポンドを介することによって上位水系との直接的なつながりを断ち、末端での水利用の自由度を得ようとする施設本来の計画目標とも合致し、また、これによって情報網を大幅に簡素化できる。

管理制御施設における管理制御項目を表-40.1に示す。

表-40.1 管理制御施設における管理制御項目

管 理 事 項				関 連 施 設
対 象 施 設 名 称	監 視		制 御	
	項 目	セ ン サ ー		
(1)ダ ム	降 水 量 流 入 量 貯 水 位 取 水 量 放 流 量 機 器 動 作	雨 量 計 水 位 計 流 量 計 開 度 計	ゲートの開閉 バルブの開閉	観 測 設 備 (ダ ム 本 体) 放 流 警 報 設 備 気 象 観 測 設 備 除 塵 施 設
(2)頭 首 工	上 流 水 位 下 流 水 位 取 水 量 機 器 動 作	水 位 計 流 量 計 開 度 計	ゲートの開閉 バルブの開閉	除 塵 施 設
(3)取 水 口	取 水 位 取 水 量 機 器 動 作	水 位 計 流 量 計 開 度 計	ゲートの開閉 バルブの開閉	除 塵 施 設
(4)開水路及びトンネル	水 位 流 量 機 器 動 作	水 位 計 流 量 計 開 度 計	ゲートの開閉	排 泥 施 設 除 塵 施 設 沈 砂 施 設
(5)管 水 路	流 量 圧 力 機 器 動 作	流 量 計 圧 力 計 開 度 計	バルブの開閉	通 気 施 設 減 圧 施 設 排 泥 施 設
(6)分 水 工	水 位 流 量 圧 力 機 器 動 作	水 位 計 流 量 計 圧 力 計 開 度 計	ゲートの開閉 バルブの開閉	通 気 施 設 減 圧 施 設
(7)調 整 池 (ファームポンド)	流 入 流 量 流 出 流 量 流 出 水 位 機 器 動 作	水 位 計 流 量 計 開 度 計	ゲートの開閉 バルブの開閉	排 泥 施 設 除 塵 施 設 放 余 水 施 設 フ ロ ー ト バ ル ブ
(8)ポ ン プ 場 (加 圧 機 場)	吸 込 水 位 吐 出 水 位 流 量 圧 力 機 器 動 作	水 位 計 流 量 計 圧 力 計 開 度 計	ゲートの開閉 バルブの開閉 ポンプの運転	除 塵 施 設 制 水 弁 逆 止 弁 (チ ョ ッ キ 弁) 圧 力 タ ン ク 水 撃 緩 衝 機
(9)配 水 管 路	流 量 圧 力 機 器 動 作	流 量 計 圧 力 計 開 度 計	バルブの開閉	通 気 施 設 減 圧 施 設 水 撃 緩 衝 機
(10)末 端 分 水 工	圧 力 機 器 動 作	圧 力 計	バルブの開閉	末 端 弁 類
(11)散 水 器	機 器 動 作			

40.3 管理制御施設の制御レベル

管理制御施設の機能水準を決定する監視、記録及び制御の各段階における各要素の組合せの内容は、それぞれの水準に応じて、表-40.2、図-40.1及び図-40.2に示すように区分される。

表-40.2 管理制御施設の制御レベル

制 御 レ ベ ル		方 式 の 説 明	
現 場	機 側	機側手動操作	機側盤で手動操作によりゲート、バルブの開閉、ポンプ運転停止時の制御を行う。最も基本的な操作で他の全ての操作に優先し、かつ他の制御形態のバックアップとしても使用される。
	遠 隔	遠隔手動操作	機側盤と1:1に対応して制御ケーブルで結ばれた操作室、又は現場管理所の操作盤で機側と同様の操作を行う。
		遠 隔 手 動 設 定 値 制 御	現場管理所に設置する単機能の制御装置で、開度、流量、水位、圧力等の設定値(制御目標値)を保つよう、ゲート等の制御を行う。
		遠隔自動制御	現場管理所に設置された情報処理装置により、各種データから制御目標値に対する操作量を自動的に設定し、ゲート等を制御する。
遠 方	遠方手動操作	中央管理所にて現場管理所からテレメータ装置で送られてくる開度、流量、水位、圧力、機器状態等を監視し、テレコントロール装置によりゲートの開閉や開度調整等を行う。	
	遠 方 手 動 設 定 値 制 御	中央管理所からテレコントロール装置を介して手動で設定値制御装置に設定を行う。	
	遠 方 自 動 設 定 値 制 御	中央管理所の情報処理装置が各種データを処理し、設定値を定め、設定値制御装置に自動的に設定を行う。	

運転体制	監視レベル	記録レベル	レベル高低
(1)パトロール (2)現地常駐 (3)遠隔監視	目視確認	記録なし	低 ↑ 高
	計測指示監視	手書記録	
(4)中央管理	中央集中監視	記録計によるアナログ記録	低 ↑ 高
		↓	
		日報記録 操作記録	
		↓	
		日報(演算データ) 月報(演算データ) 警報記録 操作記録	
		↓	高
		予測結果の記録	

図-40.1 監視及び記録レベル

運転体制	制御レベル	レベル高低
(1)パトロール (2)現地常駐 (3)遠隔監視	機側手動操作	低 ↑ 高
	↓	
	遠隔手動操作	
	↓	
(4)中央管理	遠隔手動設定値制御	低 ↑ 高
	↓	
	自動制御*	
	↓	
	遠方手動制御	
	↓	
	遠方手動設定値制御	
	↓	
	遠方自動設定値制御	
	↓	
シミュレーション		
	→	運用計画
	→	予測制御
	→	オンライン修正
	→	運用シミュレーション

*制御の優先順位と制御レベルは必ずしも一致しない。

図-40.2 制御レベル

40.4 管理制御システムの自動化

(1) 自動化の定義

用水施設の自動化には、手動を含めた簡単なものから高度な制御施設を伴うものまで多種の方式がある。このため、計画地区の自然及び営農の条件に照らして、それにかかる経費と効果を十分に検討し、過大な施設投資とならないよう心がけなければならない。

自動化の利点としては、次のような項目を挙げることができる。

- ① 栽培管理の合理化を行うと使用頻度が格段に高まる。さらに、病虫害防除、施肥等の管理作業をスプリンクラで行う場合には、散布量が少量であるため短時間に散布ラインの送水を切り替える必要があるが、この操作に係る労力の節減と作業精度の向上を図ることができる。

- ② 農業労働の苛酷で非健康的な部分を緩和できる。
（例えば、病虫害防除作業の場合、人体に対する汚染から免れたり、休日が確保できる等）
- ③ 1日のかんがい時間を長くすることが可能になり、施設容量を小さくすることができる。
- ④ 安全確保に役立ち、故障を早期に発見できる。

しかし、自動化の経費は高価であるため集約的で収益性の高い作物の地区への適用を考え、その程度も簡易なものから高度な制御までの選択、組合せに配慮が必要である。例えば、地形をうまく利用することによって、手動を含めた管理でも十分に効果的な場合もあることを考慮すべきである。

(2) 自動化の範囲と程度

畑地かんがい計画では、システムを構成する水利施設、各種装置、機器の選定と配置の適否により、施設の初期コスト、運用コスト、施設の利用効果及び保守管理の難易が左右される。

最近では、省力化の要請が強く、特に栽培管理の合理化では作業内容が複雑多様化するため、かなり重装備の自動化システムが導入される傾向にある。このため、自動化の計画目標を明確に整理しておかないと、施設の機能が現地の水利用計画に生かされない不満を残す。対象となる畑地栽培においては、自然環境やこれに伴う作物の生理反応が極めて微妙であり、経験に基づく人間の判断と処置を必要とする場面が多い。したがって、自動化施設の計画には、人の存在を前提に、その人の果たす役割を十分に意識した上で具備すべき機能の範囲を設定することが必要である。すなわち、手動でも十分に合うもの、技術的に自動化が困難なもの、自動化により著しくコスト高となるものについては人為操作を前提として計画し、以下のような作業等を重点的に自動化すべきである。

- ① 単純な繰り返し操作、定時操作を要する作業
- ② 複雑な連続操作を要する作業
- ③ 高度な判断・操作を要する作業
- ④ 突発的で迅速な処置を要する作業
- ⑤ 不確実な処理・操作忘れの許されない作業
- ⑥ 著しい危険・苦痛を伴う作業

表-40.3は水利用目的別に自動化の必要項目・可能項目をまとめたものであるが、末端作業の重要部分は人力に頼るほかになく、フィードバック機能を持った本来の意味での完全自動化は今後の課題である。また、これらの項目ごとの重要度は現地の条件によって異なる。例えば、道路網の完備した平坦地と、交通手段を欠く急傾斜地とでは自動化の位置付けに差のあることは当然である。また、多種作物が混在し、あるいは個別利用を前提とするような場合は、自動化が水利用の自由度を阻害する結果になるので注意を要する。

なお、水路における異常等に対する安全監視機能と、システムトラブルのチェック機能は、自動化計画上の必須項目と考えるべきである。

表-40.3 自動化の必要性と可能性

作業項目	水 利 用 目 的									
	水分補給	微気象調節	風食防止	凍霜害防止	潮風害防止	病害虫防除	液肥施用	摘果剤散布	除草剤散布	土壌改良材散布
散布量の設定	△	△	×	×	×	×	×	×	×	×
散布量（時間）の測定	○	○	×	×	×	○	○	○	○	○
弁の開放（散布開始）指令	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
同・フィードバック指令	△	○	△	○	○	×	×	×	×	×
弁の閉鎖（散布停止）指令	○	○	△	△	△	○	○	○	○	○
同・フィードバック指令	△	△	△	△	△	×	×	×	×	×
散布ブロックの選択制御	△	△	×	△	△	×	×	×	×	×
同・設定プログラムによる制御	○	○	△	○	○	○	○	○	○	○
散布異常の監視	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
管路異常の検出と対策	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
薬液等の種類及び濃度選定	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
同・1次希釈	×	×	×	×	×	△	△	△	△	△
同・2次希釈（注入）	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○
散布効果の判定	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
フィードバック機能（流量）	△	△	△	△	△	○	○	○	○	○
〃（圧力）	△	△	△	△	△	○	○	○	○	○
〃（風）	×	×	△	○	×	△	△	△	△	△
〃（雨）	△	×	×	×	×	△	△	△	△	△
〃（気温）	×	○	×	○	×	×	×	×	×	×
〃（湿度）	×	△	×	○	×	×	×	×	×	×
〃（土壌水分）	△	×	△	×	×	×	×	×	×	×
〃（塩分）	×	×	×	×	○	×	×	×	×	×
〃（薬液濃度）	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○
装置の外乱対策	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
操作経過の記録	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△

※ ○：自動化が必要 △：あまり必要でない ×：自動化不要（又は不可能）

(3) 自動化の形式

ア. 用水施設の自動化

用水施設の自動化計画においては、

- ① ポンプ運転を含む送・配水の自動化
- ② ローテーションブロックへの分水の制御
- ③ 末端散布の自動化
- ④ 農薬・液肥等の混入及び残液の回収操作
- ⑤ 水路における異常の監視及び対策

等が検討の中心となるが、それぞれマイナーループの制御機能を与えて、これを組織化する方法が一般的となっている。すなわち、例えばポンプについては、始動、停止に必要な一連の動作は機側制御として独立のループに組み、制御装置からはON-OFFの指令を与えるだけで個々の動作には関与しない。薬液等の混入・回収についても同様であり、また、末端管路の圧力調整、分水量制御は定圧弁・定流量弁等

の自力制御機器による場合が多い。制御対象が点在し、運用上は輪番制を前提とする用水施設の操作条件に合致した方法といえる。

イ. ポンプの運転制御

ポンプの運転制御には、対象となる制御目的により次の3種類があり、各制御目的を実現するための制御方式が適用される。

(ア) 圧力制御

- ① 弁制御による方式
- ② 圧力水槽による方式
- ③ 台数制御による方式
- ④ 台数制御と弁制御による方式
- ⑤ 台数制御と回転数制御の組合せによる方式

(イ) 流量制御

- ① 弁制御による方式
- ② 台数制御による方式
- ③ 台数制御と弁制御による方式
- ④ 台数制御と回転数制御の組合せによる方式

(ウ) 水位制御

- ① 弁制御による方式
- ② 台数制御による方式
- ③ 台数制御と弁制御による方式
- ④ 回転数制御による方式
- ⑤ 台数制御と回転数制御の組合せによる方式

ウ. 末端散布の自動化

末端散布の自動化、すなわち散布ブロックの順次切替え、薬液等の混入・停止等の弁操作を中心とする末端自動化方式は、次のように分類できる。

- ① 遠隔（集中）操作方式 電磁弁、電動弁、流体圧弁等
- ② 自動弁方式 定流量自動弁
自力機械弁（自動転換弁、順次作動弁、自動切換給水弁）
- ③ 前2者の組合せ方式

遠隔（集中）操作方式は、制御室のコントローラによって末端弁の開閉指令を始めとする各種の制御指令、情報の収集・演算・調整等を行うもので、制御対象が分散し、かつ、少人数で処理しようとする場合に適し、制御内容・範囲の選択の自由度も大きい。末端弁には電磁弁が広く用いられている。電源の ON-OFF による電磁コイルの働きでバイパス流路を開閉し、弁体内部の流体圧のバランスにより主弁を開閉するもので、僅かな電力で比較的大容量の流れを処理できる特徴がある。

自動弁方式は、管内の流体の動きを制御に利用するもので、量水計（回転計）の原理を応用した定流量自動弁とその圧力変化で作動する自動切換弁を組み合わせた方式や送水管内の水压変化に対応して作動する自力機械弁（自動転換弁、順次作動弁、自動切換給水弁等）方式等がある。管内を流動する流体自身を制御の媒体とし、電源及び制御用配線を必要としない点で経済的といえるが、個別自力制御のため散布順位の任意選択性に欠け、かつ、

作動状況の監視機能を装備できないなど、制御システムとしては制約が大きい。また、一部の自動弁では機能上の不備もあって広く普及するには至っていない。しかし、配水組織の計画、施設運用計画との一貫した方針の下にシステム構成を考えるならば、自動弁方式は安価で保守管理が容易なだけに農業用水施設の自動化方式としては利点も多く、機器の再開発を含めて今後の検討課題といえる。

(4) 自動制御装置

ア. 自動制御装置の役割

ここに規定する自動制御装置は、ほ場における作物栽培管理の一環としての用水施設の円滑な運用管理を目的とするものであって、用水組織（取水・送水・配水・散布施設）の設備内容、機能と調和したものでなければならない。

イ. 装置の信頼性と安全対策

用水施設の自動制御装置は、他分野におけるこの種の装置に比べて、使用される条件・環境が著しく異なる面が多い。したがって、装置の設計・製作に当たっては、施設の利用目的・使用方法に適合するよう、使用資材・商品の品質とその構成を吟味し、装置の信頼性を確保することが必要である。

また、装置の構成に際しては、部品や回路・電源等に異常が発生したり外乱（通信系などに外から加わる不要な信号）による異常が発生した場合に、最も安全と考えられる動作・状態を確保するよう、安全対策に十分配慮しなければならない。

ウ. 設計の基本事項

(ア) 適用法規及び規格

本基準に関連する基本的な法規及び規格は次のとおりであり、原則としてこれらの規定に準拠しなければならない。

- ① 電気事業法及び関係法規
- ② 電気通信事業法及び関係法規
- ③ 電気設備に関する技術基準を定める省令
- ④ 電波法及び関係法規
- ⑤ 有線電気通信法及び関係法規
- ⑥ 日本工業規格（JIS）
- ⑦ 電気学会電気規格調査会標準規格（JEC）
- ⑧ 日本電機工業会規格（JEM）
- ⑨ その他関係法規、工業会規格等

(イ) 使用状態

次の各項の状態を平常使用状態とする。各項のいずれかを満足しない場合には特殊使用状態とみなし、別途特殊仕様の指定を行う必要がある。

- ① 標高：1,000m 以下の場所で使用する。
- ② 温度・湿度：表-40.4 の範囲とする。

表-40.4 温度・湿度の範囲

使用状態の区分	周囲温度	相対湿度
屋内設備の場合	5 ~ +40℃	30 ~ 80%
屋外地上設備の場合	-10 ~ +40℃	30 ~ 95%
屋外の弁室等に設置の場合	0 ~ +40℃	30 ~ 80%

③ 環境

過度のじんあい、振動、衝撃や水害、薬害、直射日光等の影響を受けないよう、施設の全体計画の中で配慮された環境で使用することを原則とする。

(ウ) 装置の電源

表-40.5 のとおりである。

表-40.5 電源条件

交流電源方式 (AC)	直流電源方式 (DC)
(1) 相数・電圧：単相 2 線、100V±10V	(1) 電圧：DC24V、12V
(2) 相数・電圧：三相 3 線、200V±20V	(2) リップル：1%以下
(3) 周波数：50/60Hz±3Hz	(3) 雑音電圧：5mV以下

40.5 管理制御システムを構成する機器

管理制御システムを構成する機器は、現場側と中央側の別に表-40.6 及び表-40.7 の例のような管理水準の程度による組合せがあり、計画地区の施設ごとに最適な組合せが選定されるよう検討する。

この際、互換性部品又は予備機器による互換の範囲を拡大することは、総体として管理制御システムが低価格となる場合があること、また、同一の装置又はユニット（例えば、電磁弁、電源ユニットなど）の台数を多くすることが経済的に有利となる場合があるので、個々の装置・機器と全体構成の関連を十分に検討する。

表-40.6 管理レベルと機能（現場側）

機能 管理 レベル	監視				記録			操作・制御				情報処理			備考
	機 側 指 示	表 示 盤	ミ ニ グ ラ パ ネ 等	端 末 装 置 等	日 誌	記 録 計	プ リ ン タ 等	機 側 手 動 操 作	遠 隔 手 動 操 作	遠 隔 設 定 値 制 御	遠 隔 自 動 設 定 値 制 御	監 視 ・ 警 報 処 理	演 算 処 理	予 測 処 理	
A	A-1	○			○			○							
	A-2	○	○			○		○	○						
	A-3	○	○			○		○	○	○					
B	B-1	○		○			○	○	○	○		○			日報・操作記録
	B-1A	○		○			○	○	○	○		○	○		日報・操作記録
	B-2A	○		○	○		○	○	○	○		○	○		日・月報・操作記録
	B-3A	○		○	○		○	○	○	○	○	○	○		日・月報・操作記録
C	C-1	○		○	○		○	○	○	○	○	○	○	○	日・月報・操作記録

※管理レベルの詳細については、水管理制御方式技術指針（計画設計編）を参照すること。

表-40.7 管理レベルと機能（中央側）

機能 管理 レベル	監視			記録		操作・制御			情報処理			備考
	表 示 盤	ミ ニ グ ラ パ ネ 等	端 末 装 置 等	記 録 計	プ リ ン タ 等	遠 方 手 動 操 作	遠 方 設 定 値 制 御	遠 方 自 動 設 定 値 制 御	監 視 ・ 警 報 処 理	演 算 処 理	予 測 処 理	
X	X-1	○			○							
	X-2		○		○		○					
	X-3		○		○		○	○				
Y	Y-1		○			○			○			日報・操作記録
	Y-1A		○			○			○	○		日報・操作記録
	Y-2		○			○	○	○	○	○		日報・操作記録
	Y-2A		○	○		○	○	○	○	○		日・月報・操作記録
	Y-3A		○	○		○	○	○	○	○		日・月報・操作記録
Z	Z-1		○	○		○	○	○	○	○	○	日・月報・操作記録

※管理レベルの詳細については、水管理制御方式技術指針（計画設計編）を参照すること。

40.6 管理制御施設計画の手順

管理制御施設の計画・設計に当たっては、まず、対象地区の自然条件・社会条件や、水利施設計画、利水又は排水計画を確認するなど、地区の水利用などの全体像を把握することが重要である。

次に、地区の水利施設を含めた維持管理体制を検討し、これに基づき管理制御システムによる管理対象施設を選定の上、各種の検討に入る。

図-40.3 に管理制御施設の計画・設計から運用開始に至るまでの作業手順を示すが、大きな意味での水管理計画を水利施設計画の基本としながら、各施設と協調した管理制御施設を計画・設計する必要がある。したがって、事業計画段階から水管理の方法について十分検討し、また、事業実施中においても適切な時期にこれを見直し、検討を行うなど、水管理制御施設を設計する上では、段階に応じて検討を行うことが必要である。

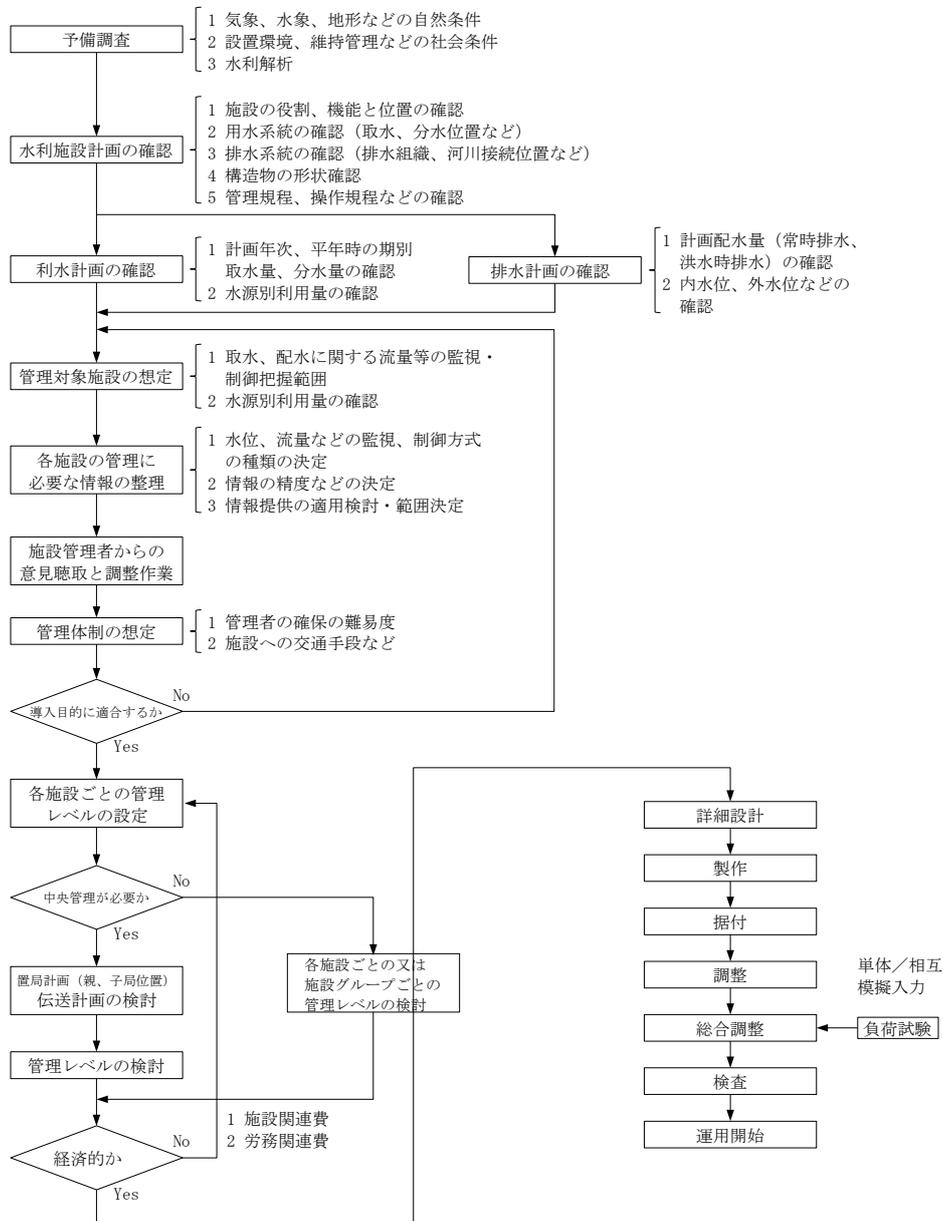


図-40.3 計画・設計から運用開始に至る作業手順

40.7 需要主導型の送配水システムの構築

基幹的な水利施設は、我が国の食料生産に不可欠な基本インフラであり、我が国の農業生産力を支える重要な役割を担うものである。

一方、農業の競争力を強化し成長産業として発展させていくためには、生産コストの低減、農地の有効活用、生産の多様化等を図り、消費者ニーズに的確に対応できる優れた経営感覚を備えた担い手の経営規模拡大を図ることが重要となっている。

しかし、既存の送配水システムには、作業集中による水管理作業の負担増大、営農形態の変化による水管理作業の複雑化等、経営規模拡大の制約要因となっているものがある。

それらに対応するため、水管理の ICT*化等を実施することで、担い手の水管理の省力化を進めるとともに、経営の自由度を確保できる需要主導型（担い手主導型）の送配水システムを構築することが有効である。

図-40.4 に需要主導型の送配水システムのイメージを示す。



図-40.4 需要主導型の送配水システムのイメージ

※ICT: Information and Communication Technology の略。情報処理及び情報通信。コンピュータやネットワークに関連する諸分野における技術・産業・設備・サービスなどの総称。

参考文献

- 農林水産省農村振興局整備部設計課：水管理制御方式技術指針（計画設計編）（2013）
- 森 充広・中矢哲郎・浅野 勇・渡嘉敷 勝・西原正彦：貯水槽の水位制御および開水路の水位モニタリングへの特定小電力無線の適用、農村計画学会誌 31、pp357～362（2012）

41. 小水力発電施設及び太陽光発電施設

(基準 3.4 関連)

本章においては、農業水利施設の整備に併せて、再生可能エネルギーの有効利用等の観点から、小水力発電施設及び太陽光発電施設を計画する際の留意事項及び参考となる事例を紹介する。

41.1 農業水利施設を活用した小水力発電

地球温暖化に対応した、温室効果ガス排出抑制に資するクリーンエネルギーの利用はもとより、近年ではエネルギー効率が高く、災害にも強い自立・分散型エネルギーシステム整備の社会的要請も高まっている。小水力発電は発電過程において CO₂ を排出しないクリーンエネルギーであるとともに、供給安定性に優れ、施設の維持管理費の軽減にもつながる等、様々なメリットを持った発電方法である。

農業水利施設には未利用の落差が多数存在し、農業用水の包蔵する電力は 18.4 万 kW といわれている。そのうち約 6 割の 11.9 万 kW は未開発であり、開発ポテンシャルの余地は大きい。このことから、今後、農業水利施設の維持管理費の軽減を図るためには、農業用水による小水力発電の導入検討が有効である。

小水力発電とは、数十～数千 kW 程度の比較的小規模な発電の総称である。農業農村整備事業においては、100～3,000kW 程度の実績がみられ、これまでに全国 45 地区で整備済みで、最大出力の合計は 2.6 万 kW である（平成 27 年 5 月時点）。

農業水利施設を活用した小水力発電の形式は、施設の利用形態から落差利用型と流水利用型に大きく分けることができる（図-41.1）。落差利用型は、ダム・頭首工、落差工・急流工・分水工等に存在する落差及びパイプラインの水頭差を利用するものである。流水利用型は、落差のない開水路において水の流れを利用するものである。

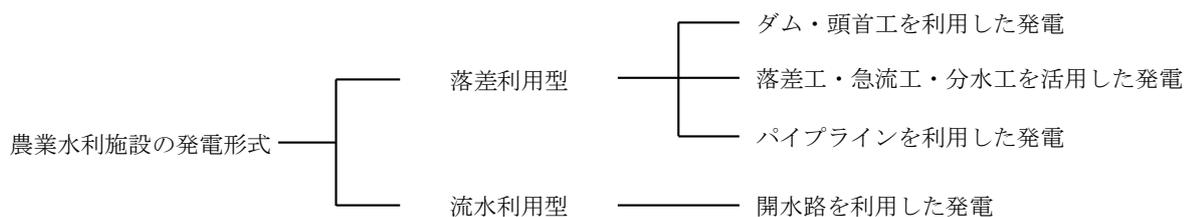


図-41.1 農業水利施設の発電形式

このような小水力発電の導入に際しては、発電による収入（購入電力料軽減額、売電額等）と発電施設の維持管理費等の支出を算定し、発電事業の経済性を確認することや管理方法を定めることが重要である。また、土地改良法、河川法、電気事業法等に関する協議、電気事業者等の関係機関との協議、電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法（平成 23 年 8 月 30 日法律第 108 号）の設備認定等が必要なことにも留意する。

41.2 小水力発電施設を計画する際に留意すべき事項

(1) 開発の可能性の検討

小水力発電施設の計画を検討する場合には、まず、小水力発電の発電能力、すなわち発電ポテンシャルを把握する必要がある。小水力発電の発電ポテンシャルは、基本的に流量と有効落差によりその大きさが決まる。流量については、流量が記載された用水系統図等から、有効落差については、流速や水路の図面等から把握し、発電ポテンシャルを算出する。

落差と流量から得られる発電出力の目安を表-41.1 に示す。ただし、この算定表は発電ポテンシャルを大まかに把握するための概略の目安であり、具体化の段階で別途詳細な検討が必要である。なお、具体的な発電出力の計算に用いる有効落差の算定では、水路工作物等による損失落差を差し引いた有効落差が必要であり、また、水車、発電機の形式により水車効率や発電機効率が異なる。

表-41.1 有効落差と流量から得られる発電出力の目安

単位：kW（出力）

流 量	有 効 落 差								
	1m	2m	3m	4m	5m	10m	15m	20m	
流 量	0.1 m ³ /s	0.7	1.4	2.1	2.7	3.4	6.9	10.3	13.7
	0.2 m ³ /s	1.4	2.7	4.1	5.5	6.9	13.7	20.6	27.4
	0.3 m ³ /s	2.1	4.1	6.2	8.2	10.3	20.6	30.9	41.2
	0.4 m ³ /s	2.7	5.5	8.2	11.0	13.7	27.4	41.2	54.9
	0.5 m ³ /s	3.4	6.9	10.3	13.7	17.2	34.3	51.5	68.6
	1.0 m ³ /s	6.9	13.7	20.6	27.4	34.3	68.6	103	137
	2.0 m ³ /s	13.7	27.4	41.2	54.9	68.6	137	206	274
	3.0 m ³ /s	20.6	41.2	61.7	82.3	103	206	309	412
	4.0 m ³ /s	27.4	54.9	82.3	110	137	274	412	549
	5.0 m ³ /s	34.3	68.6	103	137	172	343	515	686
10.0 m ³ /s	68.6	137	206	274	343	686	1,029	1,372	

発電出力[kW]=9.8×有効落差[m]×流量[m³/s]×水車効率 η_t ×発電機効率 η_g により試算
 (ここでは、概算値として、 $\eta_t \times \eta_g = 0.7$ と仮定)

次に、地域又は施設ごとの電力の需要量、需要の変動状況等を調査する。新規の需要施設を対象とする場合には、電力使用パターンを想定し、需要量の予測を行う。なお、かんがい排水事業等により小水力発電施設を整備する場合は、一連の管理体系下にある土地改良施設に必要な電力を供給することを目的としている等、小水力発電施設を整備を行った事業に応じて、需要施設の対象が異なることに注意が必要である。

小水力発電施設の設置の可能性については、需要と供給（発電ポテンシャル）の量的バランスや位置関係を考慮した地点で検討する。発電ポテンシャルが大きく需要量も大きい場合は、需給の位置が離れていても、系統連系（電力会社の電力系統と接続すること）を前提に比較的大規模な施設を設置する場合も考えられる。

農業水利施設を活用した小水力発電施設の設置地点を検討する際に留意すべき事項を以下の表-41.2 に示す。

表-41.2 設置地点を検討する際に留意すべき事項

① 発電ポテンシャル	有効落差、流量（流水利用型の場合は流速）
② 関 連 法	河川法、電気事業法、自然公園法、自然環境保全法、国有林野の管理運営に関する法律、砂防法等
③ 関 連 計 画	農業農村整備事業等地域の農業水利施設の整備計画、農業振興地域整備計画、都市計画、その他の開発計画等
④ 立 地 環 境	施設設置スペース、工事中スペース、周辺環境（住宅地や畜舎等への騒音の影響、生態系、景観）等
⑤ 接 道 状 況	維持管理や工事のためのアクセス道路の有無、幅員等
⑥ 既 存 電 力 系 統	既存電力系統までの距離とその配電電圧等
⑦ そ の 他	ごみの流下状況

また、設置地点の検討に必要な基本的な資料としては、以下の表-41.3 に示すものがある。これらの資料を基に検討を行い、必要に応じて現地での状況確認を行った上で、候補地点の検討を行う。

表-41.3 設置地点を検討する際に必要な基本的資料

① 地 形 図	国土地理院発行 1/25,000 図
② 用 水 系 統 資 料	地区の用水系統図、水利権資料
③ 水 路 等 施 設 図	施設図（平面図・横断図・縦断図）
④ 流 量 デ ー タ	流量測定データ（ない場合は、流量観測を行う）
⑤ 関 連 計 画 資 料	農業水利施設の更新・改修計画、その他の開発計画
⑥ 関 連 法 資 料	地域指定を示した図、当該地の指定状況
⑦ 日 本 水 土 図 鑑 GIS	水路位置、管理者、小水力適地情報

(2) 導入に当たっての留意点

農業水利施設を活用した小水力発電の導入に当たっての主な留意点を以下に示す。

① 季節による発電量の変化

畑地かんがいをする農業用水は、一般に栽培作物によって利用する水量が大きく異なるため、季節により発電量が変化する。

② 各種協議・手続

土地改良法、電気事業法、河川法等に関する協議・手続が必要で、系統連系（電力会社の電力系統と接続すること）する場合は電気事業者との協議も必要となる。

特に、河川協議の際は1年以上の流量観測データの提出を求められることから、早い段階から流量観測を開始することが望ましい。

なお、従属発電（既に許可を得ている流水を利用した水力発電）の場合は、河川に新たな減水区間を生じさせないことから、平成25年12月より河川法の手続が許可制から登録制に簡素化・円滑化されている。

③ 助成制度

農林水産省等では小水力発電施設の整備に際して各種助成制度を設けているが、助成制度ごとに補助率、条件等が異なるため、発電計画に応じた助成制度の活用を検討する。

④ 事故発生時の対応

かんがい期の用水供給の停止は、営農に与える影響が大きいため、事故発生時の対応について検討しておく必要がある。また、事故を未然に防ぐための施設として、バイパス水路や緊急放流施設等の整備についても必要に応じて検討する。

⑤ ごみ等の対策

ごみ、落葉、礫・砂等の流入を防ぐ堆砂施設や除塵設備等が必要となる。また、収集したごみ等を処分するための方法を検討する必要がある。

41.3 小水力発電施設の計画事例¹⁾

造成後 30 年以上経過して老朽化による機能低下が進んだ農業水利施設について、ストックマネジメントの考え方を導入した整備を行うとともに、土地改良施設の維持管理費の軽減を図ることを目的として小水力発電所を建設した事例を以下に示す。

本施設は、調整池と調圧水槽地点の水位差を活用して、発電最大使用水量 0.9m³/s を調圧水槽地点の減圧弁直上流から発電用水車に導いて横軸三相誘導発電機 1 台を運転し、最大出力 199kW の発電能力を有するものである。発電した後の流水は、調圧水槽を経て全量を下流管水路に流下する仕組みとしている（表-41.4~41.5、写真-41.1、図-41.2 参照）。

表-41.4 施設の概要

一般諸元	発電方式	水路式（流れ込み式）
	調整池取水位	104.50 m
	調圧水槽放水位	69.00 m
	総落差	35.50 m
	最大使用水量	0.9 m ³ /s
	周波数	50 Hz
	発電出力	199 kW
	年間可能発生電力量	600,000 kWh [*]
発電施設	形式	横軸フランシス水車
	効率	87%（水車最大出力時）
	回転速度	1,000 min ⁻¹
	発電機	横軸三相誘導発電機
	電圧	400 V

※年間可能発生電力量 600 千 kWh の算定には、稼働率を考慮している。

表-41.5 発電水利権流量等

かんがい期		非かんがい期
5月1日から 5月25日まで	5月26日から 10月5日まで	10月6日から 翌年の4月30日まで
0.529 m ³ /s	0.900 m ³ /s	0.242 m ³ /s



写真-41.1 水車及び発電機

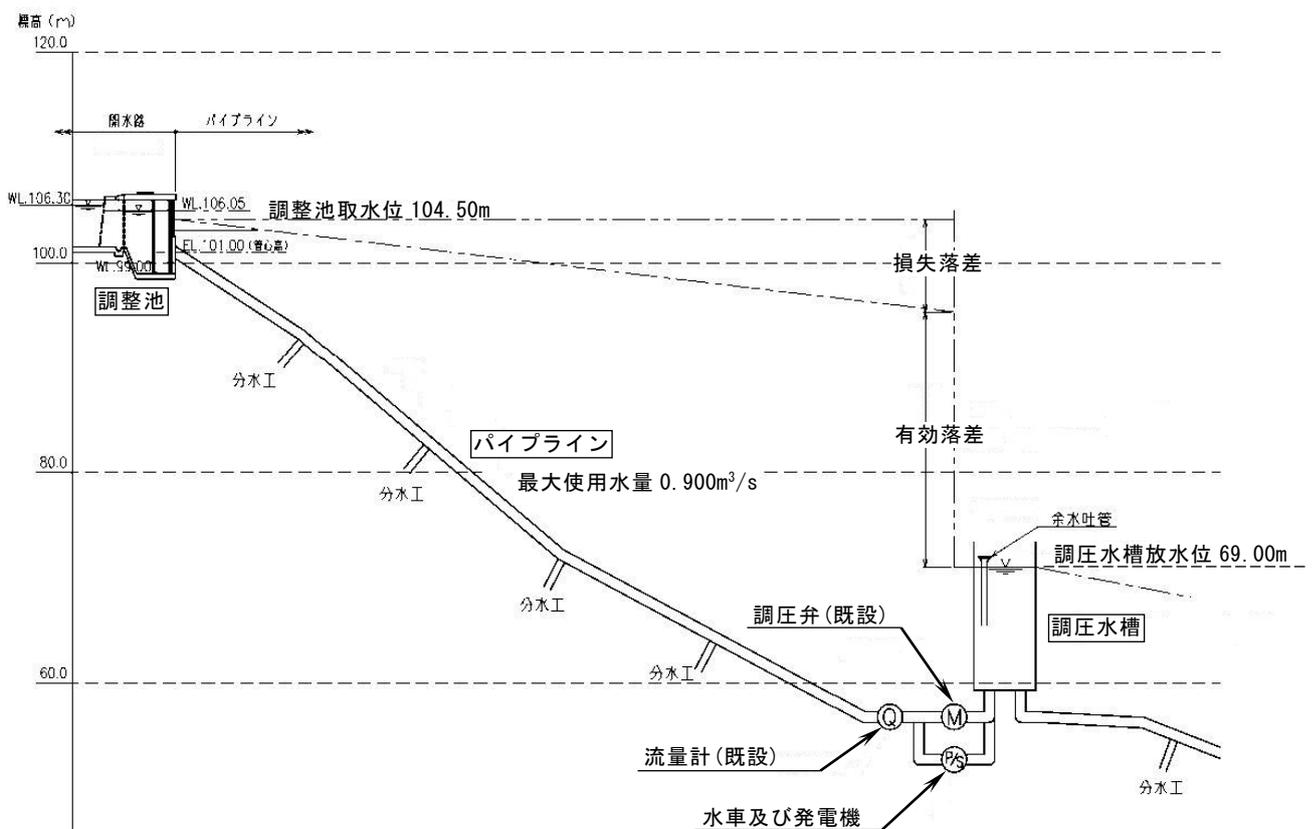


図-41.2 水路縦断図

41.4 農村地域における太陽光発電

太陽光発電は、「太陽電池」と呼ばれる装置を用いて、太陽の光エネルギーを直接電気に変換する発電方式で、エネルギー源が無尽蔵で、発電過程においてCO₂を排出しないクリーンエネルギーである。導入するシステムの規模に関係なく発電効率がほぼ一定で、設置する場所の広さに合わせて自由に規模を決定することが可能である。農村地域における設置場所としては、水路の南向きの法面、ため池、用排水機場等の屋根等が該当する。また、構造的に可動部分が少なく、一度設置すると発電は自動的に行われ、他の発電システムに比べ維持管理が容易である。ただし、故障の防止・早期対応のためには日常点検及び定期点検の実施が必要である。

土地改良施設の操作に必要な電力供給などを目的として、農業農村整備事業等により全国 83

地区で整備済みで、最大出力の合計は 7.3 千 kW である（平成 27 年 5 月時点）。

41.5 太陽光発電施設を計画する際に留意すべき事項

(1) 農村地域に適した太陽電池

太陽光発電に使用する太陽電池は、結晶系と非結晶系の 2 種類に大きく分けられる。

導入事例が多い結晶系の太陽電池は、非結晶系のものに比較して質量が大きいため、設置の際にかかる荷重への対応が必要である。主な太陽電池の種類と特徴を表-41.6 に示す。

表-41.6 太陽電池の種類と特徴

種類	価格	重量	主な設置形態			
			屋根	地上	建物 一体	
結晶系	単結晶シリコン	安い	重い	○	○	○
	多結晶シリコン	安い	重い	○	○	○
非結晶系	薄膜シリコン	高い	軽い		○	
	CIS 系	高い	軽い	○	○	○
	CdTe 系	高い	軽い	○	○	○

(2) 太陽光発電導入までの手順

太陽光発電導入までの手順及び各段階における検討事項等の概要は以下のとおりである。

① 企画

土地の形状（地質、地盤の調査を含む。）、造成の必要性、周辺環境（山、木々、川の有無など）を確認する。

当該用地近隣に送電線が存在するか、接続が可能か、道路が隣接するかなどを調査し、発電所の設置候補地を選定する。

② 発電計画

太陽電池の設置方法と設置位置について検討する。

導入箇所の広さ、建物の形状、強度、設備容量、デザイン等を踏まえ、設置方法（架台への設置、建築物への設置など）と設置位置（屋根、平置き、法面など）を決定する。設置面積から、想定発電電力量を算定し、経済性を検討する。

③ 設計

現地調査を実施し、発電設備や周辺機器等の詳細な設計と併せて、総費用を算出する。

④ 許認可申請

電気を扱うための手続き（電気事業法）、土地利用に係る手続き（農地法）等を行う。また、系統連係協議及び固定価格買取制度に係る協議を行う。

⑤ 運転管理

日常点検・定期点検を実施する。

(3) 導入に当たっての留意点

太陽光発電の導入に当たっての主な留意点を以下に示す。

① 天候等による発電量の変動

日照条件により、分単位で出力が変動する。また、夜間は発電しない。

② 適正な土地利用調整

太陽光発電施設を農地（再生利用困難な耕作放棄地を含む。）に設置する場合は、農地法の規定による転用許可が必要となる。

③ 発電規模

地方公共団体又は土地改良区等の一連の管理体系下にある土地改良施設への電力供給にあつては、運転・操作等に必要な出力の総和、又は年間需要電力量の総和と概ね同水準、又はそれ以下とする。

地方公共団体等が所有又は管理する生産施設や交流拠点施設など農林漁業の振興に資する公的施設への電力供給にあつては、当該施設の運転・操作等に必要な年間需要電力量の総和と概ね同水準、又はそれ以下とする。

土地改良施設と生産施設や交流拠点施設など農林漁業の振興に資する公的施設を併せて電力供給の対象とする場合にあつては、上記に基づいてそれぞれに算定した発電規模の合算とする。

④ 設置場所

農業水利施設において太陽光発電施設を設置する場所としては、水路の南向きの法面、ため池の水面及び用排水機場等の屋根が想定され、それぞれに設置する場合の留意点は表-41.7のとおりである。また、設置場所によっては、周辺の景観に配慮が必要となる場合があるため、留意する。

表-41.7 太陽光発電施設の設置場所と留意点

設置場所	留意点
水路の南向きの法面	<ul style="list-style-type: none"> ・法面の傾斜に合った架台が必要である。 ・水路の洪水位より高い位置に設置する必要がある。 ・電柱から離れるほど、送電時の損失が大きくなる。
ため池の水面	<ul style="list-style-type: none"> ・太陽光パネルを乗せるフロートを用意する必要がある。 ・フロートから陸地まで、送電するためのケーブルが必要となる。 ・水位変化に対応できるようにしておく必要がある。 ・ため池内の環境（生態系、水質）に配慮する。
用排水機場等の屋根	<ul style="list-style-type: none"> ・太陽光パネル及び架台によって大きな荷重がかかるため、その荷重に耐えられる構造物である必要がある。

41.6 太陽光発電施設の計画事例²⁾

スプリンクラ散水によるかんがい方式を採用した地区において、揚水ポンプの運転等に要する電気料金の軽減を図るため、調整池の上面に太陽光発電施設を設置した事例を以下に示す。

なお、事例に記載している数量、単価、金額等は2012年時点のものである。

(1) 施設の概要

複数ある候補地の中から、より設置条件（日照、交通等）の良い3箇所の調整池を選定した。工事概要を表-41.8に示す。

表-41.8 工事概要

調整池	太陽光パネル 設置面積 (m ²)	太陽光パネル 必要枚数 (枚)	公称最大出力 (kW)	年間総発電量 (kWh)
調整池A	554	419	75.4	77,751
調整池B	300	211	40.1	39,889
調整池C	300	211	40.1	40,575
計	1,154	841	155.6	158,215

(2) 計画時予想発電収入

電気料収入の検討の内容は以下のとおりであり、各調整池の検討結果を表-41.9に示す。

- ① 供給電力量 (kWh) : 年間総発電量
- ② 需要電力量 (kWh) : 検討年の実績
- ③ 余剰電力量 (kWh) : ①供給電力量－②需要電力量
- ④ 節電収入 (円) : 供給電力量×a×b×電力購入単価
- ⑤ a : (供給電力量－余剰電力量) / 供給電力量
- ⑥ b : 50% ((供給電力量－余剰電力量) に対する自家消費率)
- ⑦ 電力購入単価 : 8円/kWh (基本料除外)
- ⑧ 売電収入 (円) : 供給電力量×(1－a×b)×売電単価 (12円/kWh)

なお、④節電収入は、自家消費として計算したものである。

表-41.9 発電収入計算結果

調整池	供給電力量 (kWh)	需要電力量 (kWh)	余剰電力量 (kWh)	節電収入 (円/年)	売電収入 (円/年)	収入合計 (円/年)
調整池A	77,751	3,296	74,455	13,062	913,416	926,478
調整池B	39,889	152,592	0	159,556	239,333	398,889
調整池C	40,575	203,154	0	162,302	243,453	405,755
計	158,215	359,042	74,455	334,920	1,396,202	1,731,122



写真-41.2 調整池上面への太陽光発電施設の設置事例

引用文献

-
- 1) 関東農政局神流川沿岸農業水利事業所：未来を灯す神流の清流 神流川沿岸発電所
 - 2) 長田一明：調整池（ファームポンド）を有効活用した太陽光発電施設の導入について、畑地農業 642 号、pp2～7（2012）

参考文献

-
- （財）日本水土総合研究所：農業用水を利用した小水力発電導入の手引き（2009）
 - クリーンエネルギー普及検討会：小水力発電事業化へのQ&A（改訂版）（2005）
 - 農林水産省構造改善局建設部設計課・水利課：農業用水利施設小水力発電設備計画設計技術マニュアル（2005）
 - NEF水力本部：ハイドロバレー計画ガイドブック（2005・2008）
 - NEDO新エネルギー導入促進部：マイクロ水力発電導入ガイドブック（2003）
 - （財）水道技術研究センター：管路内設置型水車発電設備導入マニュアル（2005）
 - （財）日本農業土木総合研究所：海外技術マニュアル 小水力発電（1987）
 - （財）広域関東圏産業活性化センター：小水力発電導入手引書（2007）
 - 全国小水力利用推進協議会：小水力発電事例集（2007・2008）
 - 石崎 彰・古市正敏：小水力発電読本（1982）
 - 小水力利用推進協議会：小水力エネルギー読本（2006）
 - 農林水産省農村振興局水資源課・農村整備官：農業水利施設を活用した小水力等発電に係るQ&A（2013）
 - 農林水産省農村振興局設計課：鋼構造物計画設計技術指針 小水力発電設備編（2015）
 - 栃木県：農村地域における太陽光発電の手引き（2014）
 - 環境省地球環境局低炭素社会推進室：地域における再生可能エネルギー事業の事業性評価等に関する手引き（事業者向け）～太陽光発電事業編～（2014）
 - 経済産業省資源エネルギー庁：再生可能エネルギー固定価格買取制度ガイドブック 2015（平成27）年度版（2015）

42. 管理運営計画

(基準 3.5 関連)

42.1 管理運営体制

管理運営の体制は、地域の実情を反映した上で、施設の機能が十分に発揮されるよう、以下のよう状況に配慮して定める。

畑地かんがいの特徴は、水田かんがいと異なり、営農計画等によって畑地かんがいを前提とした経営形態を確立し、新たな水需要を考慮することまでを内容とした運営が要求されることがある。さらに、近年は、水資源需給の逼迫や水利用の高度化に伴い、より精緻な用水管理が要請される状況にある。また、農家の兼業化が進行した結果、個々の農家が直接に用水の管理運営には参加せず、管理運営組織に対して費用負担を行う形態も増えつつある。このような新しい状況に対応して、施設の適正な管理を維持するため、管理制御の装置化・システム化が計画される事例も見られるようになっている。

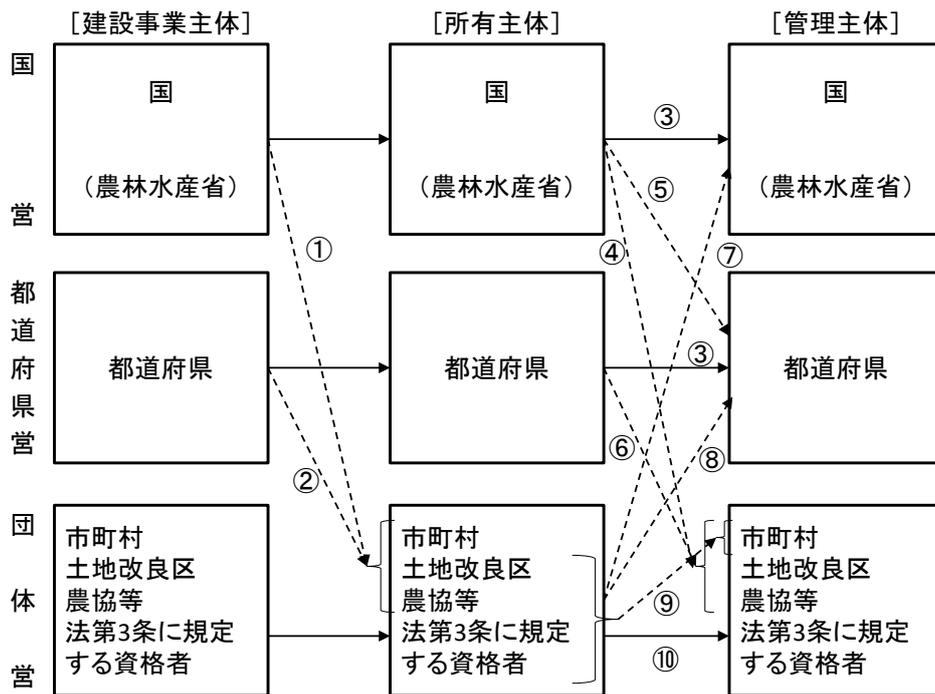
なお、一般的な管理制御システムでは自動化が困難な次の項目については、人間が関与する組織による管理方法を定めて対応する必要がある。

- ① 取水・送配水計画 … 水需要の発生に伴う用水の申込み、取水・送配水の時期、順位の決定等
- ② 異常時の対応 … 緊急対応動作（事故の処理、判断に基づく対策等）
- ③ 施設の点検・整備 … 保守点検及び整備補修作業
- ④ 管理記録の利活用 … 将来の補修・補強、更新等利用目的に応じたデータの整理・解析方法の決定
- ⑤ 渉外関係 … 外部関係機関との対応、関連他事業との調整

42.2 施設の管理主体

施設の管理主体は、土地改良法上、団体営事業については、建設事業主体による管理義務を規定している。一方、国営事業及び都道府県営事業では、これを利用する受益団体である土地改良区等が管理受託、譲与管理を行うこととしているが、公共公益性の高い施設については、例外的に建設事業主体による直轄管理や地方公共団体による公的管理が行われている（図-42.1 参照）。

施設の管理は、建設事業ごとに管理者が異なる場合が多いので、計画作成時には、管理主体を特定しておくことが必要である。



- (注 1) 法：土地改良法
- (注 2) ① 法第 94 条の 3 による譲与（条件付譲与）
- ② 条例による譲与（地方自治法第 238 条の 5）
- ③ 法第 85 条による直轄管理
- ④⑤ 法第 94 条の 6 による管理委託
- ⑥ 法第 94 条の 10 又は条例管理
- ⑦⑧⑨ 法第 93 条又は第 96 条の 4 による申出管理
- ⑩ 法第 57 条による管理（造成主体の管理業務）

図-42.1 土地改良施設の所有主体と管理主体との関係

42.3 スtockマネジメントにおける適切な日常管理¹⁾

ストックマネジメントのサイクルの中で、施設管理者等による施設の日常的な管理は、施設を良好な状態に保つとともに、施設の経年的な施設の劣化や地震等による偶発的な損傷等を把握する機会であり、施設に本来要求されている性能の発揮とその維持のために重要な行為である。このため、日常管理はその結果の整理や記録を含め適切に行うことが求められる。

(1) 日常的な管理

ア. 基本事項

施設管理者は、日常管理を通じて常に施設を良好な状態に保つことを心がけなければならない。その際、運転記録、事故、点検、整備等の履歴を適切に整理し、保存する必要がある。機能診断の結果を踏まえて、専門的な知見を有する技術者から点検（監視）の中で留意すべき事項について助言を受けておくことが望ましい。

(ア) 日常管理の重要性

構造物や周辺状態の巡回目視、設備の運転操作時等における点検及び日常的な範囲で処置できる軽微な補修等が適切に行われることが、施設の信頼性や安全性の確保だけでなく、施設の長寿命化に直接影響を与える。このため、施設管理者は施設の良好な状態を維持できる

よう、施設の重要度や機能診断結果（健全度）を踏まえ日常管理を適切に行う必要がある。

特に、施設機械は、構成部品の一部に異常が発生した段階で設備全体の機能停止に至る場合があるので、施設の種類や特性に応じて、適切に点検し、整備を行う必要がある。なお、部品供給の停止等により、機能保全が困難となる場合があることにも留意する。

(イ) 機能診断と日常管理

施設の機能診断を行った場合、調査に当たった専門的な知見を有する技術者等は、日常管理の中での点検（監視）のポイントなどを、施設管理者に対して示しておく。

日常管理において施設管理者が施設機能の喪失に影響を与えるような変状を発見した場合には、直ちに施設造成者に通報する。また、高度な技術的判断や日常管理を超える規模の対策が必要と考えられる変状を発見した場合には、随時、施設造成者に情報提供する。施設造成者は、必要に応じて緊急の機能診断や対策を検討する。

(ウ) 日常管理に関するデータの蓄積

水路の水位や流量、ポンプの稼働状況などの運転記録、操作記録、日常管理における点検、整備のデータは、変状の発見や次回以降の点検・整備に役立つばかりでなく、主に施設造成者が定期的に行う機能診断時の基礎的な情報として重要であるため、適切に整理、保存する。

大規模な地震の発生など、施設に影響を与える偶発的な事象があった際には、定期的な点検や機能診断とは別に、施設の変状を把握するとともに、その結果を適切に記録する。

イ. 日常管理の留意点

日常管理における点検、整備については、土地改良施設管理基準等に基づき行うものとする。また、機能診断の結果、特に留意すべき点検項目が示された場合は、これを踏まえ適切に対応する。

日常管理においては、通常時の状況と異なる現象が生じていないかを常に意識しつつ、運転操作や点検に臨む必要がある。具体的には、

- ① 施設の構造の変状（変形、沈下、変色、異音、異臭等）
- ② 通水性などの施設機能に異常はないか（水位変動、水撃圧、キャビテーション等）
- ③ 周辺環境に影響は生じていないか
- ④ 利用者や周辺住民等からの苦情等はないか

等に留意する。

施設の点検の項目や頻度、整備等については、「土地改良施設管理基準」（ダム編、頭首工編、用水機場編、排水機場編）を踏まえるとともに、「農業水利施設の機能保全の手引き（工種別編）」等を参考に、地区の状況に応じて適切に対応するものとする。

(2) 情報の保存・蓄積・活用

施設の劣化予測の精度を向上させ、適切な対策工法を検討するためには、造成時の設計・施工情報、過去の機能診断調査や補修の履歴情報等が必要となる。このため、施設ごとに履歴情報を保存・蓄積したデータベースを整備し、機能診断や対策工法の検討等の場面で、その活用を図ることが重要である。

ストックマネジメントの実施に当たっては、点検結果や施設監視結果等に関する随時参照可能な現場データが重要な基礎情報となる。例えば、点検においては、目視や非破壊検査によって構造物の変状や性能の変化をよく観察し、継続的かつ客観的に把握しておくことが必要であり、このことが適切な機能診断の基礎データとなる。しかしながら、これらの基礎情報は十分に整備さ

れていない場合や、データが紙媒体で保存されていることも多く、情報の引出し・加工・分析に時間を要し、情報の紛失や活用が不十分な事例もみられる。

このため、施設基本情報、補修等履歴情報、維持管理費情報、機能診断情報等に関するデータベースを整備するとともに、これらを随時容易に更新、検索、編集できるシステムの構築が重要である。図-42.2 にデータベースのイメージを示す。

これにより、日常管理や機能診断時における情報の利用はもとより、機能診断精度向上のための集計・分析や、適切な対策工法を検討するための事例収集、災害や突発事故発生時における迅速な施設諸元情報の確認など、様々な場面での利活用が可能となる。

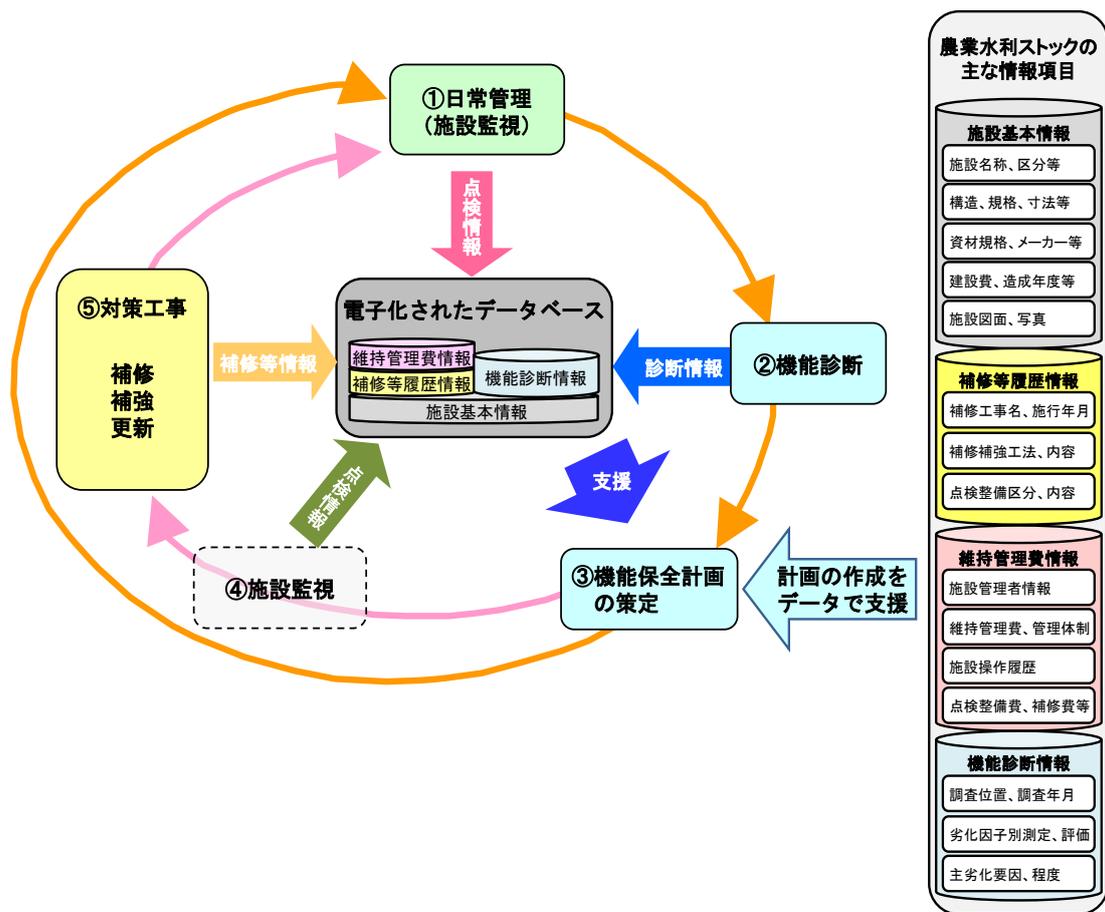


図-42.2 ストックマネジメントのサイクルとデータベース

42.4 施設情報の蓄積・共有・可視化

農業水利施設は、建設事業主体（財産所有者）、更新事業の事業主体、維持管理主体が異なる場合が多く、日常点検、施設監視、機能診断から対策工事に至るストックマネジメントの各プロセスにおいて、マネジメント主体が多面的であるという特色を有する。また、対策工事についても、国、地方公共団体等の事業主体に加えて受益者負担が求められており、費用負担者も重層的である。

そのため、ストックマネジメントの実施に当たり、施設造成者、施設管理者（受益者）等の関係者間で情報を共有し、継続的かつ一元的に管理することが不可欠である。

これらを背景にして、ストックマネジメントの推進に不可欠な施設の諸元情報等を保管・蓄積する農業水利ストック情報データベースシステムが構築され、機能保全対策の効率的な実施に寄与し

ている。

また、農地の整備状況に関する情報は農業基盤情報基礎調査等で管理されており、農業水利ストック情報データベースシステムとともにGISデータとして整備されている。

これらのGISデータを水土里情報システム等の既存のGISに格納（蓄積）することで、関係者間での農業水利施設に関する情報の共有・可視化が可能となり、日常管理や定期的な機能診断及び将来の補修・補強、更新等に向けた検討に活用することができる。情報の蓄積・共有・可視化のイメージを図-42.3に示す。

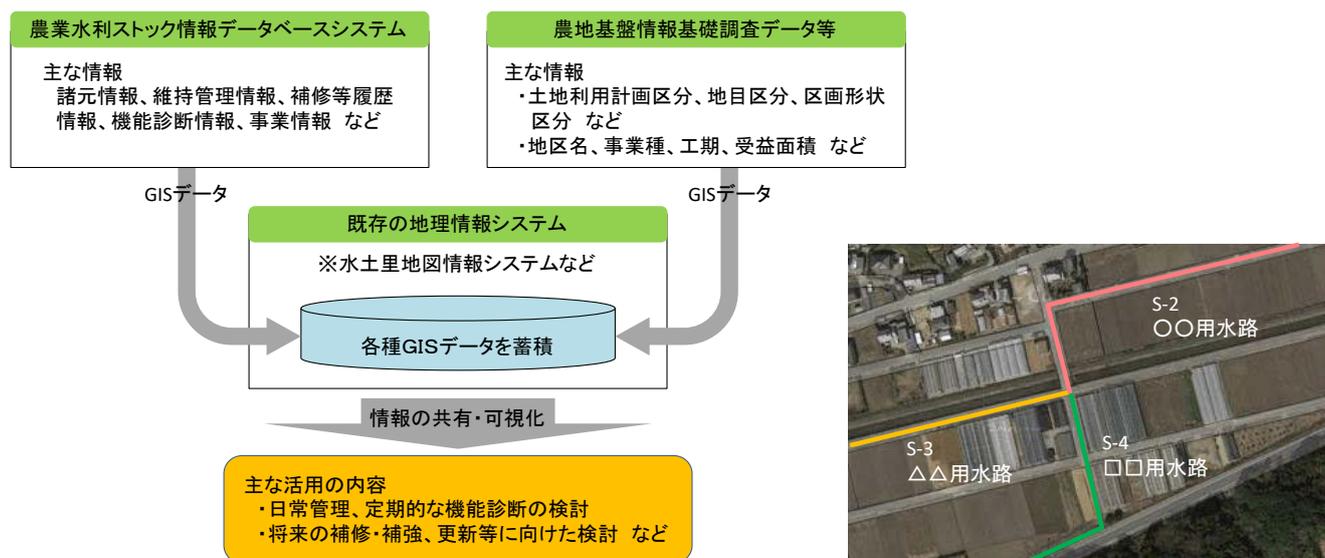


図-42.3 情報の蓄積・共有・可視化のイメージ

引用文献

- 1) 食料・農業・農村政策審議会 農業農村整備部会 技術小委員会：農業水利施設の機能保全の手引き（2015）

参考文献

- 鷹箸俊孝・田中秀明・中谷勝巳・安實 実：農業基盤に関するGISの整備と活用、農業農村工学会誌75(10)、pp889～892（2007）
- 井上敬資・中西憲雄・中里裕臣・小山 潤・中 達雄：農業用パイプラインの保守履歴管理GISの構築、農業農村工学会誌75(11)、pp975～978（2007）
- 武田富美夫・久富木三郎・上野健太・清原英夫：GISを活用した土地改良区施設管理システム、農業土木学会誌70(2)、pp127～130（2002）

43. システムの計画と総合評価

(基準 3.6 関連)

43.1 システムの計画・設計と評価の手順

畑地かんがい施設の計画全体を一つのシステムとして捉え、合理的なシステムとなるよう総合的に検討・評価することが望ましい。

よりよい畑地かんがいシステムを作るためには、計画、設計の過程にフィードバックの概念を取り入れることが有利である。

すなわち、合成されたシステムの特性分析とシステムの評価を計画・設計の過程に取り入れ、その評価の結果をシステム合成の段階にフィードバックし、さらにシステムを合成し直す手順を取ることは、よりよいシステムの開発にとって極めて有利である。つまり、システムの計画・設計とシステムの評価の間には不可分の関係が存在する。

畑地かんがい施設の計画・設計と評価の手順を図-43.1に示す。

ここで、システム合成、システム解析及び評価は、一つのフィードバック・ループをなしている。システムの評価は評価指標すなわち評価関数を最大化（又は最小化）することによってなされる。さらに、機能条件、制約条件の設定及び評価指標の選定とそれらの満足度の比較も一つのフィードバック・ループをなしている。

システムの満足度に余裕がある場合には、さらに新たな機能を付与したり、当初に設定した制約条件を厳しく設定し直せる可能性を有していることになる。

他方、満足度が確保できない場合、例えば、システムが高度の機能と低廉な費用とを同時に確保できないような場合には、システムの機能、制約条件を調整・緩和する必要がある。

43.2 現況把握及び問題設定

システム設計を行うに際し、まず、「システム機能上の計画目標」、「システム運用のパターン」及び「水管理上の重点項目」に関して、当該システムのみならず、既存の類似したシステムについて広範かつ綿密な調査、検討を行うことが必要である。また、システムに予想される環境要素の変化についての予測も併せて試みる必要がある。これらの調査及び予測を行うことによって、システムに課せられる機能及び制約を明確にすることが可能になる。

次いで、機能及び制約条件を満足することを前提として、システムに要請される評価指標を選定しなければならない。ここで、システムの評価指標とは、例えば、機能、制約条件を満足する一方で、費用を最小化することや、水利用効率を最大化すること等である。つまり、システムが到達したい状態として意図される目的である。一般に評価指標は、評価関数を最大化あるいは最小化する

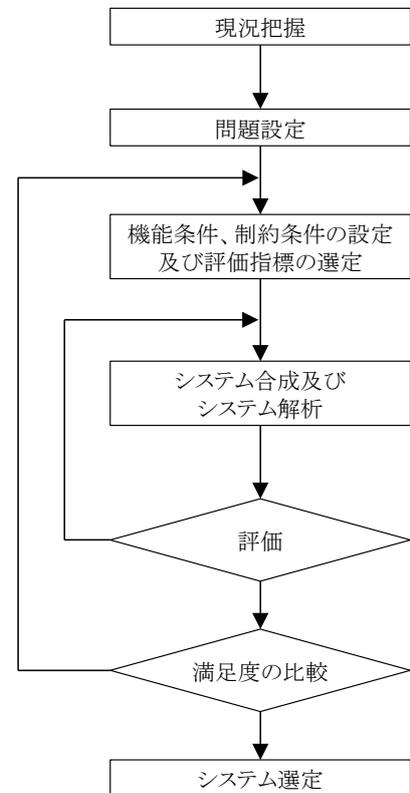


図-43.1 システム選定の流れ図

形で与えられる。

43.3 制約条件の設定及び評価指標の選定

システムに要請される機能は、見方を変えればシステムに課せられる制約とみなすことができる。したがって、本節では、システムが具備すべき機能を制約条件に含めて論ずることとする。

このように考えれば、システムに課せられる制約は、①機能的制約、②経済的制約及び③社会的制約から成り立っている。解析を行うためには、これらの制約条件は数値化又は関数化されている必要がある。

システムの評価指標も、①機能的なもの、②経済的なもの及び③社会的なものから成り立っている。

これらの指標はできる限り数値化又は関数化されていることが必要であり、それによりシステムの評価及び相互に矛盾する目的の調整が可能になる。

システムの制約条件及びシステムの評価指標を具体的に分類、例示すれば次のようになる。

(1) 制約条件

ア. 機能的制約

用水の空間的・時間的な適正配分を保証するための諸機能（所要の流量、圧力の確保等）、システムの作動の安全性、信頼性、保全性等である

既存のかんがい施設に新たなシステムを付与する場合には、既存の施設と新たな施設の整合性の保証等が含まれる。

イ. 経済的制約

主に、投資限界がこれに相当する。

ウ. 社会的制約

水利権及び水利慣行、さらには他種用水（工業用水、生活用水）との間で生ずる制約等である。

(2) システムの評価指標

ア. 機能的な評価指標

施設容量の適正化、精度及び安定性の向上、動特性の改善等がこれに相当する。

イ. 経済的な評価指標

費用対効果の最大化つまり土地生産性及び労働生産性の向上、営農の自由度増加と作付体系の合理化等があげられる。

また、コストの低廉化（イニシャルコスト及びランニングコストを含めたトータルコストに関して）も経済的な指標となる

管理用水、無効放流の最小化等、水利用効率の向上もこれに含まれている。

ウ. 社会的な評価指標

労働条件の緩和、資源、労働配分、水配分操作の簡易化等多岐にわたる。近年では、自然環境の維持、改善等も考慮される場合がある。

しかし、これらの社会的な評価指標は定式化が困難な場合が多いので、むしろ適当な安全係数を乗じて、制約条件として取り扱われる場合が多い。

43.4 システムの合成と解析

システムの合成とは、設定された制約条件を満足することができるシステムを、諸種の方式によって組立て作成することである。

それぞれの方式は、目的に対する評価基準すなわち評価関数を最大化（又は最小化）することによって評価される。これら一連の合成と解析によって、システムの合理的な計画・設計が可能となる。

通常、与えられた制約条件を満足できるシステムは、幾通りも存在するので、これらのシステムの特徴を十分に解析、検討し、合理的なシステムを選定するように努めねばならない。

システムの合成と解析を行うに際しては、まず、システムの諸特性（例えば、機能特性あるいは費用特性等）を取り扱いやすい形に表現して一般化する必要がある。多くの場合、これらは数式で表現しようと試みられる。この数学モデルを作成する段階をモデル化という。モデル化には、システムの特徴を測定することや、システムの特徴を未然に推定することが含まれる。システムが比較的簡単な場合には数学モデルの解が求められるが、システムが複雑であれば、解析的に解を求めることが不可能となる。この場合には、コンピュータによるシミュレーションの方法が用いられる。

システムの特徴が数式あるいはシミュレーションで表示できれば、そのシステムの特徴を最適にするための方策を求めることができる。つまり、与えられた評価関数（又は評価値）を最大（あるいは最小）にする解、すなわち最適解が求められる。

システムが複雑であって、明確な数学モデルで表現できない場合には、解析的な方法は採用できない。したがって、このような場合には、試行錯誤的に最適状態に近づけていく方法を採用する。結果的には準最適解が得られることになる。従来、施設の計画・設計に際して行われている比較設計は、目の粗い方法で最適化を試みていることに他ならない。

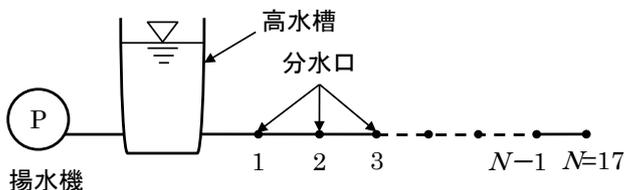
(1) 参考

現在、システム分析とシステムの最適化に際し、よく用いられる手法として、変分法、最大原理・最大傾斜法、D.P法（ダイナミックプログラミング法）、L.P法（リニアプログラミング法）等がある。

ア. システム設計の例

システム設計の例として、**図-43.2**に示すような17個の分水口を有する単線管路に、それぞれ1個の揚水機と高水槽を配した単純なシステムを例にして解説を試みる。

システムに課される制約条件（機能条件）を次のように定める。



管路長 $L=1,000\text{m}$
 管路からの分水口の数 $N=17$ 個
 1分水口からの吐出量 $q \geq 6 \text{ L/sec}$
 揚水機による付加水頭 $H \geq H_1 + 4.0\text{m}$
 ここで、 H_1 は管路損失水頭である。

図-43.2 管路システム

システムの評価関数はコストミニマムとする。

つまり、題意は、上記制約条件（機能条件）を満足し、かつ、最も低廉な施設の設計を行うことにする。

システム分析の結果は、**図-43.3**に示す。

図-43.3から明らかなように、管路の全損失水頭の増加にしたがって、管路価格は漸減する。これは、損失水頭の許容量の増加に伴って、小口径管の組合せ配列が可能となるからである。この場合、管径配列組合せの作成それ自体も、評価関数をコストミニマムとしてD.P法を使用して行っている。

他方、高水槽の価格は、図中に実線で示すようなステップファンクションとなり、損失水頭の増加に伴って、上昇する。また、揚水機の価格は、図中の一点鎖線のような変化を示し、機場上屋の価格は破線のように変動する。

したがって、**図-43.2**のような単純なシステムであっても、施設の総工費は**図-43.3**の点線のように複雑に変動することになる。

この例では、コストに対するシステムの最適値は、所要流量を通水した場合に管路損失水頭 H_1 が2.0mになるようにコストミニマムの管径配列を作成したときに生じ、その値は870万円となっている。

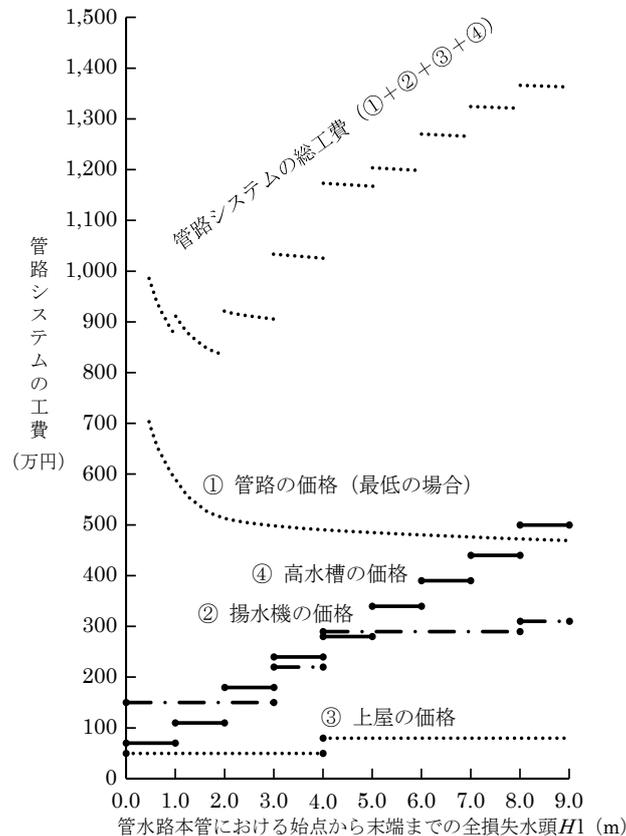


図-43.3 管路システムの工費と管路本管における全損失水頭との関係

43.5 システムの信頼と保全性

畑地かんがい施設は、送水系、情報伝達系及び制御系から成り立つ複雑なシステムであるので、信頼性及び保全性の確保に十分な配慮を要する。

(1) システムの信頼度

信頼度とは、「システムが設定された条件で、設定された期間、設定されたとおりの機能を故障なく発揮する確率」である。

図-43.4 に示すような個々の構成要素が直列に結合されたシステムにおいて、個々の要素の故障率を $f_i(t)$ とした場合、システムの信頼度 R は、次の式 (43.1) で与えられる。

$$R = 1 - \{f_1(t) + f_2(t) + \dots + f_n(t)\} \dots \dots \dots (43.1)$$

システム内のいずれかの構成要素、例えば要素 A の故障率が大きく、これによってシステム全体の信頼度が大幅に低下する場合には、この部分に、図-43.5 に示すような並列冗長方式を採用することによって、システムの信頼度を向上することができる。

この場合、冗長方式を採用した要素 A の故障率は $\{f_1(t) \cdot f_1(t)\}$ で与えられる。 $f_1(t) < 1$ であるから、要素 A の故障率は低下し、その結果としてシステム全体の信頼度 R は、次の式 (43.2) となり、システムの信頼度は向上する。

$$R = 1 - \left[\{f_1(t)\}^2 + f_2(t) + \dots + f_n(t) \right] \dots \dots \dots (43.2)$$

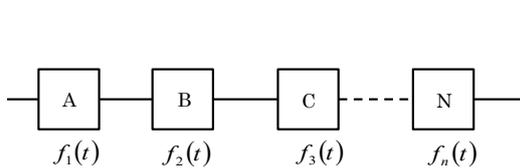


図-43.4 直列システム

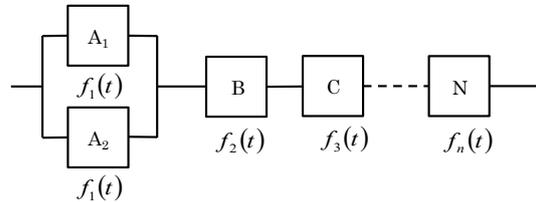


図-43.5 並列冗長方式を含む直列システム

(2) システム故障率

システムの故障率は図-43.6 に示すように時間の経過に伴って変化する。この曲線をバス・タブ・カーブという。

初期故障期には、慣らし運転を行い、各要素のなじみを図らなければならない。

偶発故障期には、故障がランダムに発生する。これは、直ちに事後保全を行うことによって故障期間の短縮化が図られる。

摩耗故障期には、予防保全を行うことによって、故障しそうなユニットの交換を行い、システムの故障率を低下させるように努める。各エレメントの故障の記録、保守管理日報の完備が予防保全の前提となる。

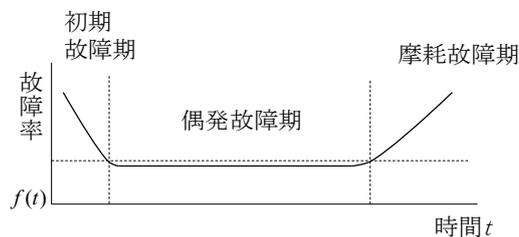


図-43.6 故障率の時間変化

43.6 構成要素選定の基準

システムの信頼性及び保全性を確保するよう、構成要素の選択に際し十分な配慮を要する。

(1) 施設の構成要素の選択

次の諸点に留意して行うことが大切である。

- ① 器材及び部品を用途に応じて適正に選定する。
- ② 許容条件の範囲内で用いる。
- ③ 回路及び構造がなるべく単純かつ標準化されたものを用いる。
- ④ 互換性、交換性があるものを用いる。

(2) 施設の重要部分

次の諸点を考慮しなければならない。

- ① 安全構造方式とする。
- ② 安全構造方式では、高価になりすぎる場合には、冗長方式とする。
- ③ 万一の異常に際して安全側に作動する方式（フェイル・セーフ方式）を採用する。
- ④ 人為的な事故を避けるため、誤操作回避方式（フール・プルーフ）とする。
- ⑤ 万一の事故に備えて手動装置を併設しておく。
- ⑥ できれば故障報知システムを付加することが望ましい。