

付 録

技 術 書

目次 (技 術 書)

1. 畑地域の農業用水	(基準1.2関連)	141
2. 農業用水の区分とその特徴	(基準1.2関連)	149
3. 土壌調査における土壌区分	(基準2.3関連)	152
4. インテークレートの調査	(基準2.3関連)	155
5. 土壌水分関係調査	(基準2.3関連)	160
6. 他事業関連調査	(基準2.3関連)	169
7. かんがい方式の特徴と選定条件	(基準3.3.3関連)	171
8. 計画日消費水量等の決定	(基準3.3.4.3関連)	176
9. 計画間断日数と1回の計画かんがい水量	(基準3.3.4.3関連)	197
10. マイクロかんがいにおける計画日消費水量等の決定	(基準3.3.4.3関連)	198
11. 施設畑（ハウス）の計画日消費水量等	(基準3.3.4.3関連)	205
12. 栽培管理用水量の決定	(基準3.3.4.3関連)	213
13. 計画用水量の決定	(基準3.3.4.6関連)	223
14. 機能保全対策と更新等	(基準1.2、1.3、2.1、2.2、2.3、 3.2、3.3、3.4、3.5関連)	224
15. 機能診断調査と機能診断評価	(基準1.2、1.3、2.1、2.2、2.3、 3.2、3.3、3.4、3.5関連)	228
16. 環境との調和への配慮（生態系）	(基準1.2、1.3、2.1、2.2、2.3、3.1、3.2、 3.3、3.3.6、3.4、3.5、3.6関連) ..	234
17. 環境との調和への配慮（景観）	(基準1.2、1.3、2.1、2.2、2.3、3.1、3.2、 3.3、3.3.6、3.4、3.5、3.6関連) ..	247
18. 環境との調和への配慮（水質）	(基準1.2、1.3、2.1、2.2、2.3、3.1、3.2、 3.3、3.3.6、3.4、3.5、3.6関連) ..	263
19. スプリンクラ等の分類と選定	(基準3.4.2関連)	276
20. スプリンクラの散布特性	(基準3.4.2関連)	280
21. スプリンクラかんがいにおける配管方式の決定	(基準3.4.2関連)	284
22. スプリンクラ及び管路の設計と管材	(基準3.4.2関連)	288
23. マイクロかんがい	(基準3.4.2関連)	296
24. 地表かんがい	(基準3.4.2関連)	301
25. 肥培かんがい	(基準3.4.2関連)	312
26. 末端かんがい施設における調節装置の分類と選定	(基準3.4.2関連)	320
27. 配水槽	(基準3.4.3関連)	324
28. 配水施設の規模と配置	(基準3.4.4関連)	327
29. 配水施設の施設容量と自由度	(基準3.4.4関連)	330
30. ファームポンド	(基準3.4.4関連)	334
31. 配管計画における管径の決定	(基準3.4.4関連)	341
32. 薬液及び肥料混入処理	(基準3.4.4関連)	345
33. 送水方式の種類と選定	(基準3.4.4関連)	348
34. 調整池	(基準3.4.4関連)	352
35. 総合水理解析の検討	(基準3.4.4関連)	354
36. 用水路の形式と構造	(基準3.4.4関連)	357
37. 附帯施設の形式と構造	(基準3.4.4関連)	359
38. 地下水工	(基準3.4.5関連)	362
39. 貯水施設	(基準3.4.6関連)	364
40. 管理制御施設	(基準3.4.7関連)	368
41. 小水力発電施設及び太陽光発電施設	(基準3.4関連)	382
42. 管理運営計画	(基準3.5関連)	391
43. システムの計画と総合評価	(基準3.6関連)	396

1. 畑地域の農業用水

(基準 1.2 関連)

畑地域における農業用水は、主として第二次世界大戦後の食料増産期以降に、我が国の温暖湿潤な気象条件等に合わせ開発・整備されてきた。こうした農業用水は、農作物の生育に必要な水分補給のみならず、栽培管理の合理化等にも用いられ、畑地域における営農発展の基礎となっている。

本章においては、このような畑地域における農業用水の意義や変遷及び近年の施設整備の状況等を紹介する。

1.1 畑地における農業用水の意義

我が国は、アジア大陸の東端の太平洋側に位置し、周囲を海に囲まれた、北東から南西に細長い列島であり、その中央部を走る脊梁山脈には、標高 3,000 m に達する山もある。また、アジアモンスーン地帯の北端部に位置し、年間平均降水量が 1,600～1,800 mm という世界でも有数の多雨地帯である。

しかし、島国であるために河川の流域が狭く、さらに、山地の多い急峻な地形であるために河川の勾配が大きいことから、上流部に降った雨の大半は、河川に流出し、数日中に海へ流下してしまう。このため、降雨がかんがい用水として有効に利用される水量は極めて僅かなものとなる。

このような自然条件の下で、我が国では、長い年月をかけて膨大な費用と労力を投入し、水田農業を発展させてきた一方で、畑地は一部の地帯を除き、水田農業の副次的な地位を占め、一般的に丘陵地、台地、砂丘地等、水利の不備な地帯に立地した。畑地は、傾斜地が多く土壤侵食を受けやすいこと、肥沃度が低いため作物収量が低いことなどの状況にある上、生産基盤としての整備が遅れ、不安定かつ低生産性を余儀なくされてきた。

これに加え、我が国のような湿潤地帯では、作物の根は表層に分布しやすいため、干天が続けば比較的早い時期に被害を受ける。一般に梅雨の多湿な時期を経過した後、7 月下旬～8 月の夏期に高温となって蒸発散量が大きくなるため、降雨の分布が不順な場合には干ばつとなりやすい。したがって、この時期に適切な補給かんがいを行うことができれば有効である。

このような考えの下、我が国の畑地かんがいは、当初、水利条件が不利な地域に干害防止を目的とした、外国の乾燥地帯の技術が導入された。しかし、湿潤地帯である我が国では、用水を多目的に利用する技術の開発を進めることで、その位置付けを変化させてきた。すなわち、作物への水分補給のほか、栽培環境の改善、気象災害の防止、管理作業の省力化等、営農上多目的に用いられるところにその特徴がある。例えば樹園地では、散水かんがい施設における輸送力と散布力を利用し、病虫害防除、液肥散布、潮風害防止や凍霜害防止などが実用的技術として取り入れられている。

一方、普通畑や施設畑では、その営農の複雑さを反映し、かんがい用水の用途が更に広範囲にわたる場合があり、播種・定植前の散水や液肥用水、太陽熱を利用した土壤の消毒、家畜の飲用水、農機具・農用トラック等の洗浄水などに使用されている事例がある。なお、牧草地でも、ふん尿やでんぷん廃液を散布する肥培かんがいの効果が認められている。また、東日本では、7、8 月のみならず 4、5 月頃にも晴天の連続がみられ、この時期が播種・定植に当たることもあって、かんがいの効果が高く、また同時期の風食防止にも役立つ。

以上に示した営農上使用される水は農家の経営に密着したものであり、その効果は大きい。このような水利用ができるように、畑地かんがい施設の設計や管理運営の際には、配慮が必要となる。

1.2 畑地かんがいの変遷

畑地かんがいは、畑地農業の担い手である農家の要請とかんがい技術や研究の進歩を踏まえて、時代のニーズに応えながら発展してきた。

歴史的には、明治以前に大阪・名古屋の近郊で綿井戸と呼ばれる素掘りの井戸を利用した綿栽培が畑地かんがいの先駆けといえる。また、大正と昭和の初めには都市近郊の保水力の乏しい砂土地帯の野菜作など限られた地域に畑地かんがいが見られた。

畑地かんがいが広く検討され始めたのは第二次世界大戦後である。極端な食料や物資の不足を反映し、陸稲や普通畑作物などの食糧の増産に結び付けるための手段として昭和 20 年（1945 年）の緊急開拓事業計画により畑地かんがいが検討された。昭和 27 年（1952 年）に都道府県営畑地かんがい事業が国の補助対象となり、さらに昭和 28 年（1953 年）から小規模な団体営事業も国の補助対象となった。この頃に、畑地かんがいは農業基盤整備事業としての位置づけがなされ、神奈川県相模原地区（昭和 23 年（1948 年）着工）、愛知県豊川用水地区（昭和 24 年（1949 年）着工）、また砂丘かんがいの先駆けとして鳥取県北条砂丘地区（昭和 27 年（1952 年）着工）が、初期の大規模な事業として開始された。

その後は、露地野菜を主たる対象に畑地かんがいを利用した経営研究の段階を迎え、干害防止の有効な手段として広く取り上げられるようになった。ここで主体となって進められたのは土水路などを利用したうね間かんがいであったが、かんがい効率及び施設の利用率が低かった。

一方、農業基本法の制定（昭和 36 年（1961 年））以降は、農業生産性の向上と農業所得の増大のため、積極的に増収や品質向上を図るようになり、作物の選択的拡大が行われるようになった。その方向に沿った露地野菜・果樹・施設園芸の増加に伴い、愛知用水公団が設立され愛知用水（昭和 30 年（1955 年）着工）が多目的用水事業として着工された。その後、綾川（昭和 33 年（1958 年）着工）、笠野原（昭和 33 年（1958 年）着工）、群馬用水（昭和 38 年（1963 年）着工）などの畑地用水を確保する大規模な事業が開始された。これに続く、総合農政の展開と米の生産調整の状況の下では、畑地の生産力を高度に利用することと畑作営農の再編整備を行うことに力点が置かれ、東郷（昭和 47 年（1972 年）着工）、一ツ瀬川（昭和 49 年（1974 年）着工）、牧之原（昭和 49 年（1974 年）着工）、南予用水（昭和 49 年（1974 年）着工）、南薩（昭和 45 年（1970 年）着工）などの地区において、畑作物の主産地形成を目指した畑地かんがい事業が開始された（図-1.1）。

この時期には、畑地かんがいに関する技術面の試験・研究が飛躍的に進展した。昭和 21 年（1946 年）に開拓研究所が設立されると、畑地かんがいの研究が重要な課題として取り上げられ、各地でかんがい試験が始まり、昭和 28 年（1953 年）に鳥取大学の砂丘試験地でスプリンクラが導入された。昭和 32 年（1957 年）には広島県団体営小団地開発整備事業追崎地区でスプリンクラによる散水かんがい方式の第 1 号が導入された。また、かんがい方法も移動式スプリンクラによる散水かんがいが行われるようになった。昭和 40 年（1965 年）頃からは、畑地かんがい試験とともに、その基礎となる水分生理や、土壌水分動態に関する研究が行われるようになり、畑地かんがいの目的も必要な時期に必要な水を供給し、計画生産、計画出荷を図ることに変化した。かんがいの方法も樹園地等では固定配管が行われ、レインガンも利用されるようになり畑地かんがいにおける自動化施

設が急激に普及した。昭和 45 年（1970 年）以降は、畑地かんがい施設を効率的に利用して、農薬及び液肥の散布を行うほか、表土の風食防止、凍霜害防止、肥培かんがい等の多目的かんがいが行われるようになった。

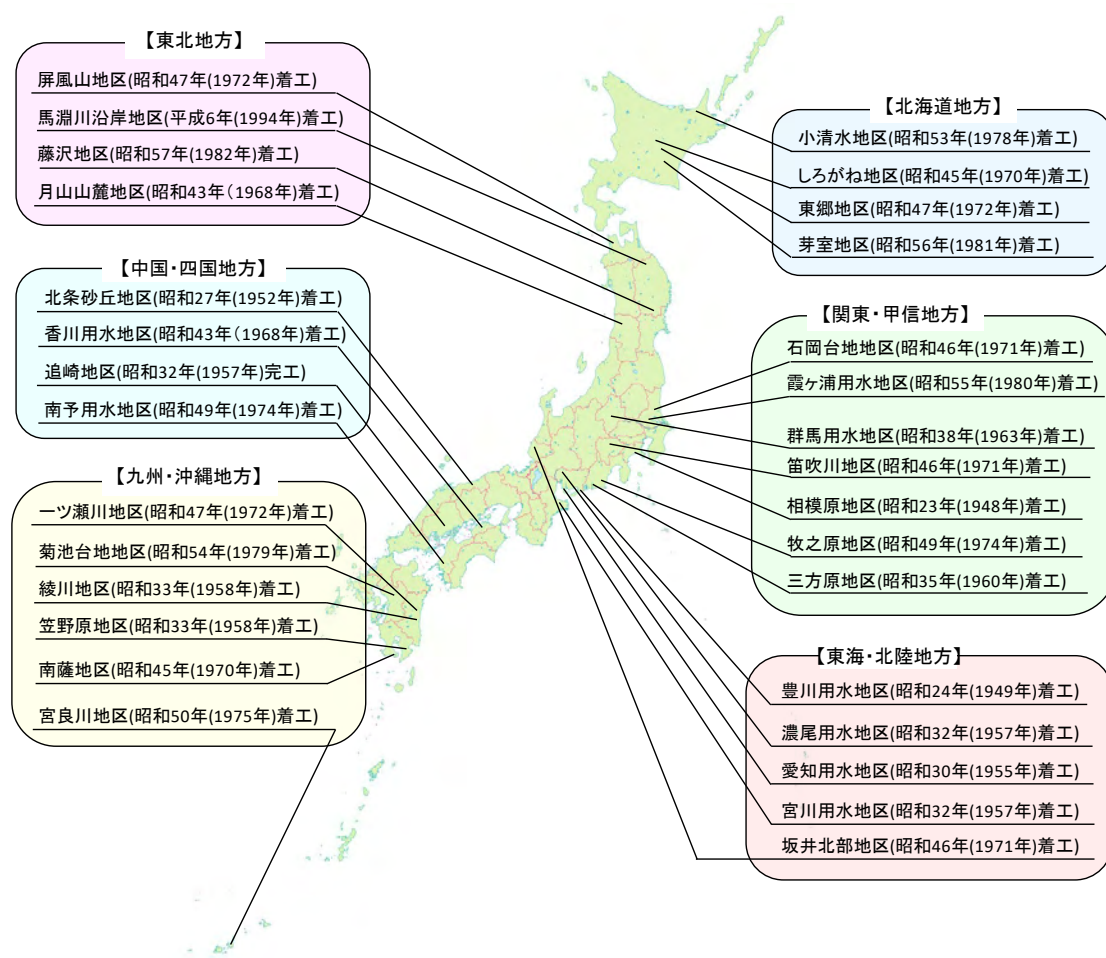


図-1.1 主な畑地かんがい事業地区

しかし、農業を取り巻く情勢は、その後急速に変化し、畑地かんがい施設の整備の進め方に影響を与えた。農産物の需給緩和や農産物輸入の自由化などにより、作物の品質改善・作期調整・選択自由度の増加など営農・経営面の強化が求められ、畑地かんがいは、これらを実現する手段として位置付けられた。すなわち、畑地かんがいを契機に、地域農業の再編を促し、農業生産の拡大を可能とし、その成果として地域振興を図った。これは、用水利用を通じた農村地域全体の活性化を期待する方向に沿っており、畑地域における用水確保のあり方に質の変化をもたらしている。

このような地域振興に果たす畑地かんがいの役割の増大と農村における用水の位置付けの変化に伴い、畑地用水を確保する事業においても、洗浄用水や飲雑用水などの用水の多目的利用の検討が更に促進されている状況にある。また、畑地かんがいの研究もこの方面で充実されている。

1.3 世界の畑地かんがい

我が国のような湿潤地帯では、水田かんがいと比較すると畑地かんがいの割合は小さいが、世界的に見れば、畑地かんがいはかんがいの主流を占める。特に乾燥地域（作物栽培期間中の降水量が蒸発散量より少ないところ）ではかんがいなくして、正常な作物栽培は期待し得ない。

そのため、世界の乾燥地域では、古くから農業生産や生活のための水を確保する知恵が受け継がれてきている。これらの伝統的なかんがいは、規模は比較的小さいが持続的であるという特徴を有している。

一方、イスラエル、米国中西部、オーストラリア等の乾燥地域では近代的な大規模かんがいシステムが開発され、温暖で日照量が多いという気候条件と広大な土地条件を生かした大規模かつ低コストの農業経営が発展している。

しかし、その副作用として、表層近くの土壌への塩類の集積、地下水や湖沼等の水資源の減少、生態系への影響等が懸念されている。有名な例としては、中央アジアのアラル海周辺のように、人々の生活そのものまでが脅かされる事態に至っている場合もある。これらの副作用の発生は、降水量の少ない乾燥地域の特性が顕著に現れた例であるともいえる。

(1) 降水量が少ないため、古くから地下水を使用¹⁾

乾燥地域における伝統的なかんがいの一つとして、地下水を利用した「カナート」がある。これは、紀元前から乾燥地域に伝わる地下水の取水方法で、国により呼び方が異なるが、堅坑を設け、地中に、横に数百 m から数十 km のトンネルを掘って地下水を集めるものである（図-1.2）。

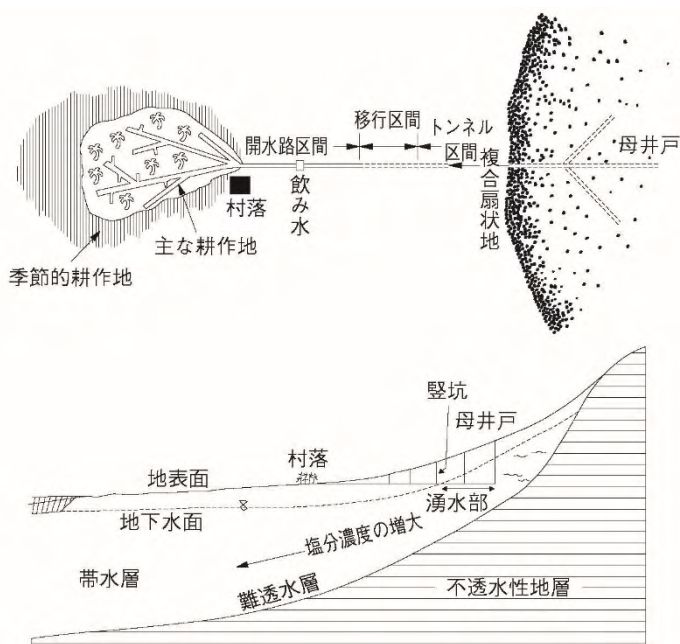


図-1.2 カナートの平面図及び断面図（アラビア半島の事例）

(2) 雨季などの貴重な水の有効活用¹⁾

乾燥地域では、通常時は水が流れない涸れ川に堰を設け、洪水期に取水するかんがい方法も見られる。

また、降水を集めるため、一定の広さの土地を確保し、その土地の窪みや低部で耕作を行う「ウ

「ウォーター・ハーベスティング」という手法も見られる。これは天水農業の一種とされているが、自己完結型で持続性を持つ小規模なかんがいの性格を有しているともいえる（図-1.3、1.4）。

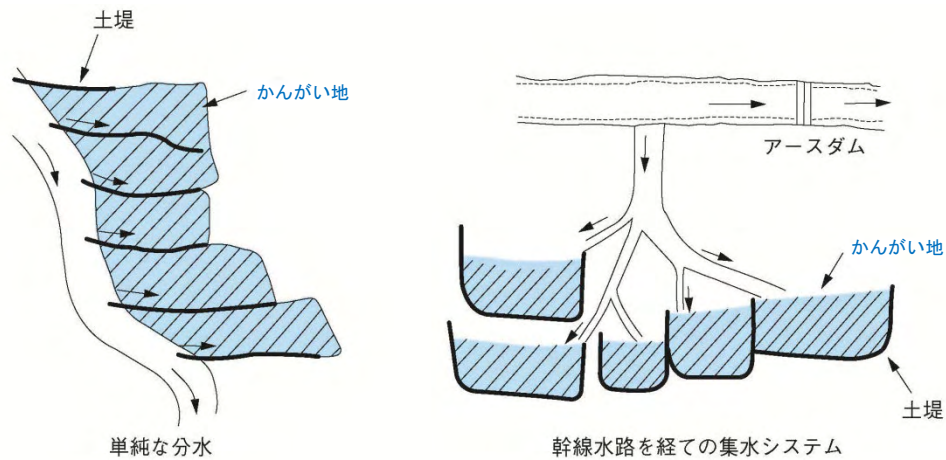


図-1.3 洪水を利用したかんがいの概念図（パキスタンの事例）

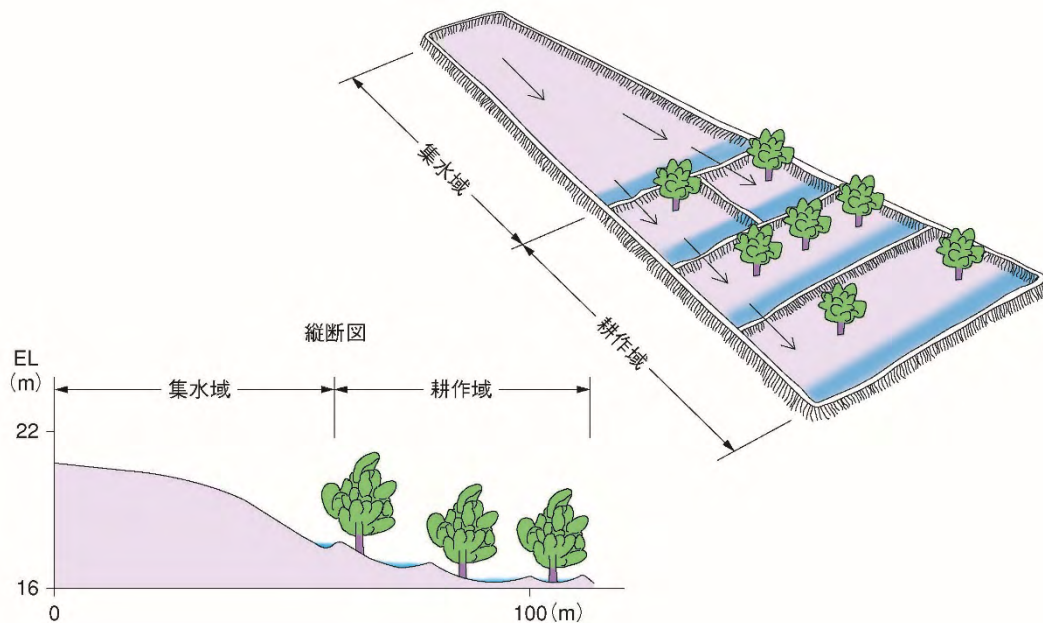


図-1.4 ウォーター・ハーベスティングの概念図（チュニジアの事例）

(3) 200km 離れた高原の水を砂漠で使用¹⁾

イスラエルでは、冬季に比較的まとまった降水がある北部のガリレー湖から、国を縦断する約 200 km の水路を通して、年間 3 億 m^3 以上の水を、中部のテルアビブや降水がほとんどない南部のネゲブ砂漠に導水している。しかし、それでも水の需要に見合う供給量が確保できないため、下水処理水の再利用等の取組が行われている。

(4) かんがいによって生まれ変わった荒野¹⁾

米国カリフォルニア州の年平均降水量は 580 mm であるが、北部のシエラネバダ山脈周辺では

2,000 mm を超えるのに対し、中・南部は 250 mm 以下しかなく、多くの部分が乾燥地域となっている。このため、北部の降水を巨大なダム群によって貯水し、全長 710 km のカリフォルニア水路（通水量 $370 \text{ m}^3/\text{s}$ ）等で導水し、300 万 ha を超える耕地をかんがいしている（図-1.5）。この豊富な水と温暖な気候を最大限利用し、カリフォルニア州の農産物生産額は全米 1 位となったが、かんがい水中に低濃度で含まれる塩類が、徐々にかんがい耕地に蓄積してきたこと等により、既に約 90 万 ha のかんがい耕地が塩類集積の影響を受けているといわれている。



図-1.5 カリフォルニア州の主要水利施設

(5) 地下水の汲み上げによる穀倉地帯の形成¹⁾

米国中部では、テキサス州北部からオクラホマ州、カンザス州、コロラド州、ネブラスカ州に至るオガララ帯水層と呼ばれる広大な地下帯水層の地下水を利用した「センターピボット方式」による大規模農業が展開されている。

この帯水層の地下水を利用するかんがい耕地は、米国全土のかんがい耕地の約 5 分の 1 にも及んでいる。しかしながら、降水によってかん養される水量（年間 60～80 億 m^3 ）の約 3 倍にも上る年間 222 億 m^3 の地下水を汲み上げているため、地下水位の低下が問題となっている。そして、これに伴う揚水コストの上昇等により、同帯水層に依存する多くの農民が、かんがい農業を放棄

しているといわれている。

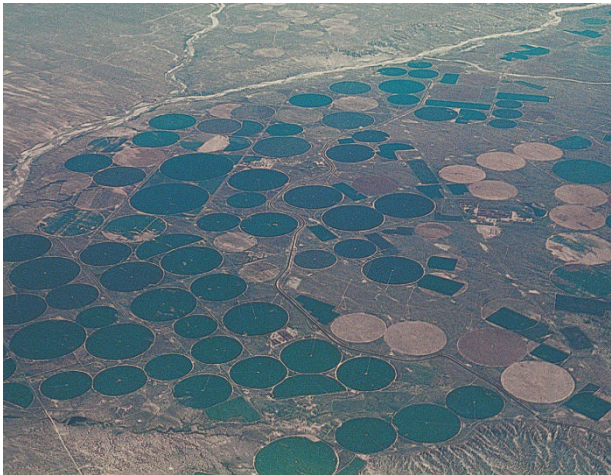


写真-1.1 センターピボット方式によるかんがい風景

1.4 我が国の畑地かんがい施設整備の状況

畑地かんがい施設の整備を行う事業は、土地改良法に基づいて実施される土地改良事業に多くの事業制度が用意されており、平成 25 年（2013 年）時点において、畑地かんがい施設整備済み面積は全国で 46 万 ha となっており、畑全体の 22%が整備されている（表-1.1、図-1.6）。

表-1.1 全国の畑地かんがい施設整備状況(平成 25 年(2013)年時点)²⁾

項 目		面積 (万 ha)	整備率 (%)
畑	耕地面積	207.2	—
	畑地かんがい施設整備済	45.7	22.1

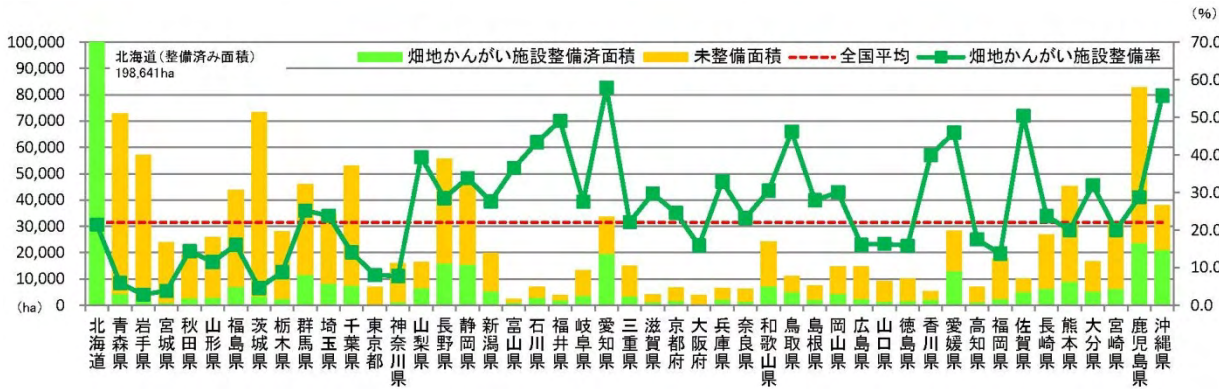


図-1.6 都道府県別及び全国平均の畑地かんがい施設整備状況（平成 25 年(2013 年)時点）²⁾

引用文献

- 1) 農林水産省食料・農業・農村政策審議会 農村振興分科会 農業農村整備部会 企画小委員会報告：世界のかんがいの多様性 持続的な水使用と健全な水循環の形成に向けて（2002）
- 2) 農林水産省統計部「耕地及び作付面積統計」（平成 25 年 7 月 15 日時点）、農林水産省農村振興局「農業基盤情報基礎調査」（平成 25 年 3 月 31 日時点）

参考文献

- 畑地灌漑の新展開－明日の畑かんを目ざして、（社）畑地農業振興会（1992）
- 農業水利研究会：日本の農業用水、pp42～54（1980）
- 畑地灌漑研究集会四十年の流れ、（社）畑地農業振興会（2002）
- 日本の畑地基盤－その現状と動向－、（社）畑地農業振興会（1988）
- 畑地かんがい検討会：畑地かんがいの手引き－畑作用水営農の技術と実践－、（社）畑地農業振興会（1985）
- 畑地と水－畑地灌漑技術の進歩－、（社）農地農業振興会（1984）
- 農林省農地局：日本農業と水利用（1960）
- 丸山利輔・中村良太・水谷正一・渡邊紹裕・黒田正治・豊田 勝・荻野芳彦・中曽根英雄・三野 徹：水利環境工学、朝倉書店（1988）

2. 農業用水の区分とその特徴

(基準 1.2 関連)

2.1 農業用水の区分

農業用水は、農業・農村の維持・発展に係る利水の総体であり、主としてかんがい用水と地域用水（営農用水を含む。）で区分される。その区分について、機能を考慮して整理すると表-2.1 のとおりとなる。

表-2.1 農業用水の区分

区分		機能	代表的な例
かんがい用水		作物の生育促進 栽培管理 施設の管理 水質の改善	苗代、代かき、深水、高温障害対策の掛け流し、準備用水（地下水位上昇、水田の融雪） 栽培環境の改善、気象災害の防止、管理作業の省力化 配水管理、水路維持、水位維持 農作物への被害防止
地域用水	かんがい用水以外の営農用水	洗浄 農業用施設の管理 家畜飲雑用	収穫物・農機具の洗浄 施設の保温・冷房 家畜飲用、畜舎の洗浄・冷房、牛乳の冷却
	狭義の地域用水	飲雑用 防火・消流雪 環境の維持等	農業集落等の飲用・生活用 防火用、農業集落一般の消流雪用 景観維持修景用（親水）、環境維持用（浄化）

畑地かんがい用水以外の農業用水を確保しようとする場合においては、農業用水の機能等を十分に検討した上で、必要な用水量を畑地かんがい用水量とは区分して取り扱う必要がある。

以下に、地域用水について解説する。

(1) かんがい用水以外の営農用水

かんがい用水以外に、農業を営むために利用される用水であり、収穫物・農機具の洗浄や施設の保温・冷房、家畜の飲用、畜舎の洗浄等のための用水が含まれる。

(2) 狭義の地域用水

営農用水以外の地域の生活に密接な関連を有する用水であり、農業集落等の飲用・生活用、防火用、農業集落一般の消流雪用、景観維持修景用、環境維持用等の用水が含まれる。

農業水利施設を活用して、新たに消流雪用水、環境用水を流す場合には、一般に市町村が水利権を取得し施設の他目的使用をしている。

なお、消流雪用水及び環境用水の取得については、国土交通省から許可基準等※¹⁾²⁾が発出されている。

ア. 飲雑用水

飲雑用水については、上水道の普及等により、需要は減少している。

イ. 防火用水

防火用水の使用は、流水の排他的かつ継続的使用に当たらないことから、水利使用の目的にはなり得ないという解釈がある。それゆえ、現在、水利使用目的に記載されている場合につい

ても、水量は「かんがい用水」の内数であることが多い。

ウ. 消流雪用水

豪雪地帯では、克雪対策の一環として、消流雪施設の整備が進められている。

エ. 環境用水

環境用水は、親水空間、修景等生活環境又は自然環境の維持、改善等を図ることを目的とした用水である。

2.2 農業集落排水処理施設処理水の再利用

夏場などの降雨の少ない期間においても農業用水を確保し、営農の安定を図るため、農業集落排水施設で処理された生活雑排水（処理水）を再利用している事例があり、概要を表-2.2に示す。

表-2.2 処理水をかんがい用水へ再利用した事例

区分	再利用の内容
事例その1	農業集落排水施設の処理水をため池にポンプで送水し、農業用水として再利用。ため池に直接流入していた生活雑排水が農業集落排水施設により適正に処理され、ため池の水質も改善。
事例その2	農業集落排水施設の敷地内への給水スタンドの設置及び農業集落排水施設に隣接するほ場への点滴かんがい用ホースの設置（個人設置）など、処理水をかんがい用水として再利用するシステムを構築。

2.3 農業用水の特徴

(1) 広域的な水循環

農業用水の大きな特徴は、自然界の水循環と融合した形で利用されていることにある。上水、工業用水等がその使用量の大部分を消費するのに対し、上流で取水され農地に導かれた農業用水は、使用後河川や地下水に還元され、下流で再び農業用水や都市用水などに利用される性格を持っており、顕著な特色を有している。また、水路を通る過程で、ろ過され酸素を取り込むことで、水質を浄化する機能が発揮される場合もある。

(2) 必要水量の変動

農業用水の必要量は、作物の生育の過程により変化するほか、気象条件、土壌条件等の自然的諸条件の変化等によっても影響を受けるという特性を持っている。

例えば、降雨量の変動は、かんがいの必要量を変動させるほか、その長期的な変動傾向は水源水量の安全度にも影響を与える。さらに、低温による生育の遅延等によってかんがい期間を延長することなど、気象条件によってかんがいの時期、期間、水量が変化することがある。

ほ場への取水が管水路から行われる場合には、給水栓の開操作の時間的集中に起因して、給水栓ごとの吐出量に大きな差が生じるなど、送配水管理上の障害が発生することがある。また、開水路形式の幹線用水路から管水路形式の配水施設に分水される場合には、分水量の短期変動が幹線用水路の水位・流量に影響して送水管理を不安定にすることもある。これらの障害を回避するためには、管水路形式の配水施設における用水利用の特徴を理解しておく必要がある。

許可基準等

-
- ※1) 消流雪用水の取扱いについて：平成 4 年 8 月 31 日付け建設省河調発第 9 号、建設省河調発第 12 号及び平成 12 年 12 月 12 日付け建設省河調発第 8 号、建設省河調発第 12 号
- ※2) 環境用水に係る水利使用許可の取扱いについて：平成 18 年 3 月 20 日付け国土交通省河調発第 12 号、国土交通省河流第 7 号

参考文献

-
- 山下 正：沖縄における下水処理水の農業利用の研究、農村工学研究所報告 50、pp103～134（2011）

3. 土壌調査における土壌区分

(基準 2.3 関連)

3.1 土壌区分

土壌調査では、用水量、暗渠排水や客土の必要性等の検討のため、土壌の形態とその成因、形成過程、分布の状況等を把握し、土壌区分について整理を行う。

土壌区分は、施肥改善事業、地力保全基本調査及び農耕地土壌分類によって分類されている。このうち、最も新しい分類は農耕地土壌分類 第3次改訂版（平成7年3月）であるが、本分類に基づく土壌区分別の土壌改良対策が明確にされていないことや、土地改良事業における既存の土壌調査結果との対応が困難である等の課題がある。

そのため、本基準では、畑土壌の区分に当たり地力保全基本調査の取りまとめ成果である「農耕地土壌分類 第2次案改訂版」に準拠して、「土壌統」を基本的な単位として採用し取りまとめる。

なお、未調査地域及び既往調査以降から条件変化があった地域については、現地調査を実施して土壌区分を行う。

表-3.1 土壌群、土壌統群の一覧（農耕地土壌の分類 第2次案改訂版 昭和58年3月）

土壌群	土壌統群
01 岩屑土	(土壌統群なし)
02 砂丘未熟土	(土壌統群なし)
03 黒ボク土	厚層多腐植質黒ボク土、厚層腐植質黒ボク土、表層多腐植質黒ボク土、表層腐植質黒ボク土、淡色黒ボク土
04 多湿黒ボク土	厚層多腐植質多湿黒ボク土、厚層腐植質多湿黒ボク土、表層多腐植質多湿黒ボク土、表層腐植質多湿黒ボク土、淡色多湿黒ボク土
05 黒ボクグライ土	多腐植質黒ボクグライ土、腐植質黒ボクグライ土、淡色黒ボクグライ土
06 褐色森林土	細粒褐色森林土、中粗粒褐色森林土、礫質褐色森林土
07 灰色台地土	細粒灰色台地土、中粗粒灰色台地土、礫質灰色台地土、灰色台地土、石灰質
08 グライ台地土	細粒グライ台地土、中粗粒グライ台地土、礫質グライ台地土
09 赤色土	細粒赤色土、中粗粒赤色土、礫質赤色土
10 黄色土	細粒黄色土、中粗粒黄色土、礫質黄色土、細粒黄色土、斑紋あり、中粗粒黄色土、斑紋あり、礫質黄色土、斑紋あり
11 暗赤色土	細粒暗赤色土、礫質暗赤色土
12 褐色低地土	細粒褐色低地土、斑紋なし、中粗粒褐色低地土、斑紋なし、礫質褐色低地土、斑紋なし、細粒褐色低地土、斑紋あり、中粗粒褐色低地土、斑紋あり、礫質褐色低地土、斑紋あり
13 灰色低地土	細粒灰色低地土、灰色系、中粗粒灰色低地土、灰色系、礫質灰色低地土、灰色系、細粒灰色低地土、灰褐色系、中粗粒灰色低地土、灰褐色系、礫質灰色低地土、灰褐色系、灰色低地土、下層黒ボク、灰色低地土、下層有機質、灰色低地土、斑紋なし
14 グライ土	細粒強グライ土、中粗粒強グライ土、礫質強グライ土、細粒グライ土、中粗粒グライ土、グライ土、下層黒ボク、グライ土、下層有機質
15 黒泥土	(土壌統群なし)
16 泥炭土	(土壌統群なし)

3.2 土性の区分

土は、固相、液相、気相の三相から構成される。固相は、岩石の風化物である無機物と、植物を主とする生物の分解物である有機物からなり、特に、風化過程で岩石から二次的に生成された、粒径の小さい粘土鉱物を含む場合が多い。土の特徴を決める主要な指標の一つに、土の固相部分の粒径組成がある。国際土壌学会による区分では粒径によって、粘土（ $<0.002\text{ mm}$ ）、シルト（ $0.002\sim0.02\text{ mm}$ ）、砂（ $0.02\sim2\text{ mm}$ ）、礫（ $\geq 2\text{ mm}$ ）の四つに分け、礫を除いた三つの質量比によって組成を表し、これを土性という。

土性を決める方法を大まかに述べると以下のとおりである。まず、土から礫や木の根、有機物等を取り除き、その後に 2 mm より大きい粒子についてはふるい分け法を、それ以下については沈降法（ピペット法、比重計法、沈降質量法等）を用いて分ける。その結果から図-3.1 で示すような、横軸に粒径、縦軸に横軸に示す粒径以下の粒子の質量百分率をとった粒径加積曲線を描画する。粒径加積曲線をもとに、粒径の境界ごとの質量比から粘土、シルト、砂の質量割合を求め、図-3.2 に示すような土性三角図を用いることにより、12 区分(国際土壌学会)に分類した土性区分名(表-3.2)を決めることができる。

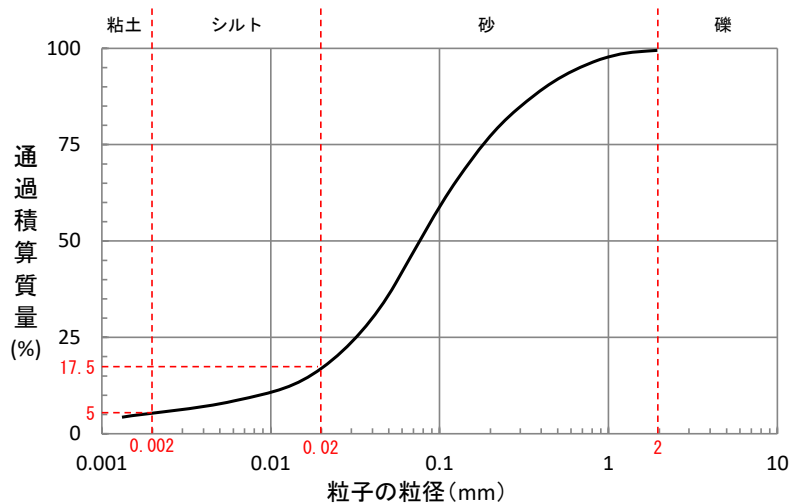


図-3.1 粒径加積曲線の例

【例】

図-3.1 の場合、土性は SL (砂壤土) となる。

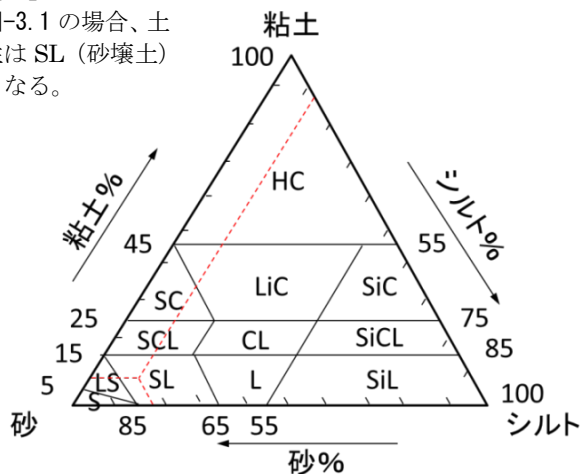


図-3.2 土性三角図の例（国際土壌学会）

表-3.2 国際土壌学会による土性区分名

区分名	英名	記号
重埴土	Heavy Clay	HC
シルト質埴土	Silty Clay	SiC
軽埴土	Light Clay	LiC
砂質埴土	Sandy Clay	SC
シルト質埴壤土	Silty Clay Loam	SiCL
埴壤土	Clay Loam	CL
砂質埴壤土	Sandy Clay Loam	SCL
シルト質壤土	Silty Loam	SiL
壤土	Loam	L
砂壤土	Sandy Loam	SL
壤質砂土	Loamy Sand	LS
砂土	Sand	S

参考文献

- 宮崎 毅・長谷川周一・粕渕辰昭：土壤物理学、朝倉書店、pp3～4（2005）
- 農林水産省構造改善局事業計画課：国営土地改良事業調査計画マニュアル（1993）
- 農業技術研究所化学部土壤第3科：農耕地土壌の分類－土壌統の設定基準および土壌統一覧表－第2次案改訂版（1983）

4. インテークレートの調査

(基準 2.3 関連)

4.1 測定方法の区分

測定方法としては、シリンダーを使用するものやうね間湛水又はうね間の流入・流去量から減水深を測定するもの等がある。

(1) シリンダーインテークレート（スプリンクラかんがいのかんがい強度の決定に利用）

① 円筒法……地表流下を阻止した状態で単位時間当たりの供給水量を測定する方法

(2) ファローインテークレート（うね間かんがいに適用）

① うね間湛水法……単位時間当たりのほ場給水量（地下浸透量と横浸透量）を測定する方法

② 流入流去法……単位時間当たりの供給水量と地表流下量の差を測定する方法

4.2 測定地点の選定及び測定の時期

測定地点は、土壤調査結果から地区を代表するほ場を選定する。

測定に当たっては、土壤の含水比、地表面状態等の条件によってその値に差を生ずるので、そのほ場がかんがいを必要とする状態になるべく近い時期に行うものとする。

4.3 測定器具及び器具の配置

(1) 円筒法

一般的な測定器具は、鉄製円筒、打込鉄板、打込槌、フックゲージ、ストップウォッチ、水運搬用具等である。

鉄製円筒の長さ（高さ）は 30～35cm とし、内径は 28、29、30cm の 3 個をもって 1 組とするといふ。

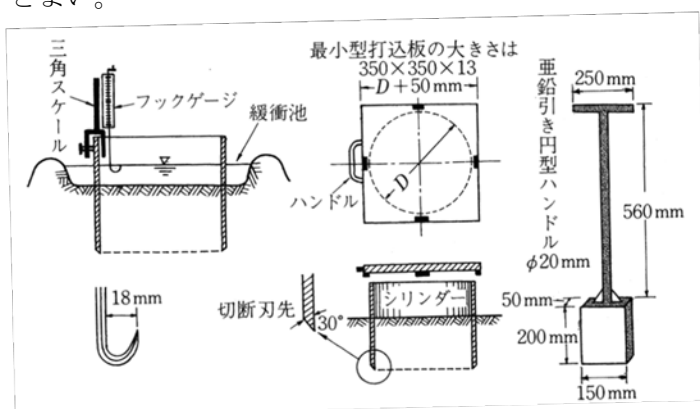


図-4.1 円筒法（左：測定器具及び器具の配置図、右：器具設置状況）

(2) うね間湛水法

一般的な測定器具は、給水タンク、止水鉄板、フックゲージ、ストップウォッチ、ショベル、水運搬用具である。

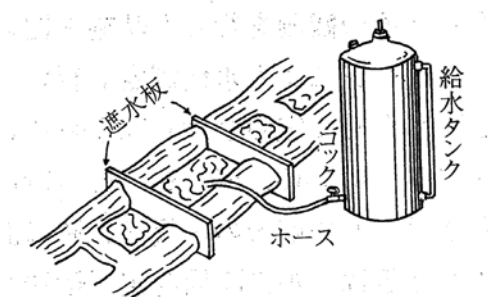


図-4.2 うね間湛水法

(3) 流入流去法

一般的な測定器具は、量水計、フックゲージ、ストップウォッチ、ショベル、巻尺、レベル、箱尺、テープ、杭、給水施設である。

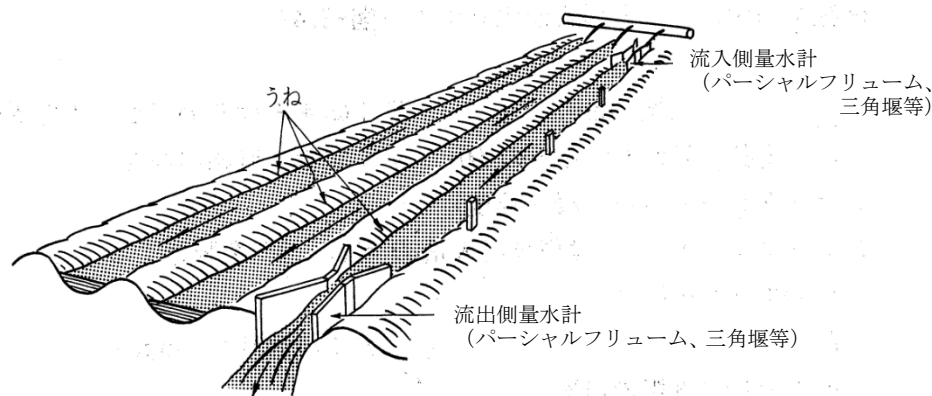


図-4.3 流入流去法

4.4 測定方法

(1) 円筒法

ア. 円筒の設置

この設置は、測定結果の精度を左右するものであるから特に入念に次の順序で行う。

- ① 円筒を調査地点に設置し、しっかり土壤に押しつける。
- ② 打込鉄板を円筒の中央に渡し、打込槌の柄を垂直に上下させて円筒の頂部を水平に保ちながら徐々に打込むこと。
- ③ 打込深さは約 20cm とする。ただし、比較的浅い位置に耕盤が存在する場合は、耕盤まで打込むこと。
- ④ 円筒の外側約 10cm のところに土手を設け緩衝池とする。この場合、緩衝池の内部の土壤を乱してはならない。水の便の悪いところや透水性の大きいところでは土手の代わりに金属製の円筒を使用すると、緩衝池を作るのに便利である。

イ. 測定作業（測定作業は次の順序による）

- ① 円筒内の泥ねい化を防ぐため、麻布又はビニル布を土壤面におく。
- ② 円筒内に水を満たし、その水深を 10～15cm とする。
- ③ 麻布又はビニル布を速やかに取り去る。
- ④ 同時にフックゲージにより水面高を測定する。このときに誤差を生じやすいため測定はで

きるだけ速やかに行うこと。

- ⑤ フックゲージの読取りとその観測を行った時刻を記録する。
- ⑥ 一定期間ごとにフックゲージによる水面測定を行い、その数値を記録する。測定の頻度は、水の浸入速度と照らし合わせて定めなければならないが、普通の土壌では、測定開始後 1、5、10、15、20、25、30、40、50、60 分後に行う。
- ⑦ 途中で水を加えるときは、その前後の水位を正確に記録しなければならない。
- ⑧ 測定値に異常を認めたときは、相当時間測定を継続した後円筒を抜き出して土壌の状態を観察、記録しておく。
- ⑨ 抜き出した円筒はよく清掃し、打込の際の土壌を乱さないようにする。

ウ. 測定結果の整理

(ア) 積算浸入量 (D)

3 個の円筒の中央値のものについて浸入曲線を作成しその定数を決定する。測定結果を両対数紙の横軸に経過時間 (T) をとり、横軸に積算浸入量 (D) をとると、ほぼ直線を示すので次の式 (4.1) が成立する (図-4.4)。

$$D = C \cdot T^n \quad \dots \dots \dots (4.1)$$

ここで、

- D : 積算浸入量 (mm)
- T : 給水をはじめてからの経過時間 (min)
- C : 定数 ($T=1$ のときの D)
- n : 定数 (直線の勾配)

(イ) インテークレート (I) (浸入速度)

インテークレート (I) は積算浸入量 $D = C \cdot T^n$ を微分することによって得られる。

$$I = 60 \cdot C \cdot n \cdot T^{n-1} \quad \dots \dots \dots (4.2)$$

ここで、

- I : インテークレート (mm/hr)
- T : 経過時間 (min)
- n : 定数 (直線の勾配)

(ロ) バイシクインテークレート (I_b)

インテークレートは、かんがいをはじめてから時間が経過するに伴い次第に減少し、ついには一定の値に落ち着く。この状態におけるインテークをバイシクインテークレートといい、不飽和土壌における透水性を表す。

バイシクインテークレートは、浸入率曲線の時間による変化率が 10% に低下したときの値として定め、バイシクインテークレートに達するまでの時間 (T) は、 $T = 600 \cdot (1-n)$ で表される。

バイシクインテークレート (I_b) は C 、 n の値から次の式 (4.3) によって求めることができる。

$$I_b = 60 \cdot C \cdot n \cdot \{600 \cdot (1-n)\}^{n-1} \quad (\text{mm/hr}) \quad \dots \dots \dots (4.3)$$

なお、測定された浸入曲線から (I_b) を求めるためには、(T) に対応する浸入速度を求めればよい。すなわち、その値が (I_b) である。(スプリンクラかんがいの許容かんがい強

度は技術書「20. スプリンクラの散布特性」を参照すること。）

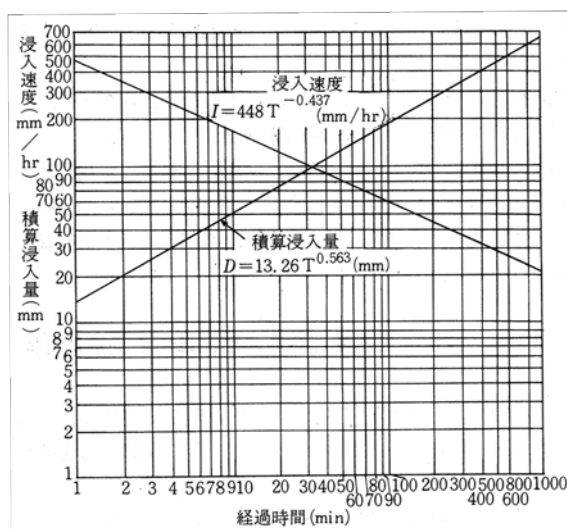


図-4.4 浸入曲線の例

(2) うね間湛水法

ア. 測定方法

図-4.2のように50～100cmの間隔ごとにうね間に鉄板、その他のものを用いて堰を作り、うね間に湛水させる。測定は、円筒法と同様の要領で行う。この場合の給水は、浸入量が多いので給水タンクを用いると便利である。この方法は、測定が簡単なため現場測定には適しているが、土性によっては実際のかんがいの場合と異なる値を示すこともある。

イ. 測定結果の整理

測定した D と T との関係は、測定時の水面幅についてのものであり、この値からほ場全体についての D と T の関係を求める。ほ場当たりの D と T の関係を求めるには測定時の水面積とうね幅の比を乗じて補正する。

$$D_f = \frac{b}{B} \cdot C \cdot T^n \quad \dots \dots \dots (4.4)$$

ここで、

D_f : ほ場当たりの積算浸入量 (mm)

B : うね幅 (cm)

b : 通水幅 (cm)

T : 経過時間 (min)

C, n : 定数

(3) 流入流去法 (うね間インテークレート)

この方法は、うね間に適当な流量を流し、流入量と流出量を測定し、その差から平均うね間浸入量を求めるものであり、実際のかんがいと同一条件で測定を行うため、最も適当な値が得られるが、測定作業が煩雑であり、相当な面積と大量の用水を必要とする。

うね間インテークレートは、単位時間にうね間の単位面積に水が浸入する量であり、横方向にも浸入する点がシリンダーインテークレートと異なっている。

ア. 測定方法

- ① 水足の速さ（技術書「24. 地表かんがい」を参照すること。）の測定結果から、適当と考えられる水量（かんがい労力の時間配分に都合良く、かつ浸食に対して安全な流量）を試験流量として採用する。
- ② うね間の断面形は慣行のものとし、試験うね長は、勾配が大きいときは 50m、勾配、水足の速さともに小さいときは 25m 又はそれ以下とする。
- ③ うねの始端と末端にパーシャルフリューム等を設置し、水足が末端に達したときから一定時間ごとに流入流出量の測定を行う。この場合、積算浸入量は直接測定できないので、経過時間と瞬間浸入速度（ i ）（L /min）（単位時間内のうね始端流入量と末端流出量の差）を実測することになる。
- ④ 測定結果の整理

土壌への水の浸入量、浸入速度と時間の間には円筒浸透量と同様 $i = K' \cdot T^n$ の関係が成立する。

うね間かんがいでは、うね間インテークレートを測定するが、この場合はうね間インテークレートからほ場当たりのインテークレートに換算する必要があり、この関係は次の式 (4.5) のとおりである。

一般には、インテークレートは mm/hr で表示されることから

$$I = \frac{60 \cdot i}{L \cdot B} = \frac{60 \cdot K'}{L \cdot B} \cdot T^n \quad (\text{mm/hr}) \quad \dots \dots \dots (4.5)$$

ここで、

L : うねの流入端から流出端までの距離

B : うね幅

として、ほ場当たりのインテークレートに換算する。

ここで、 $K = \frac{60}{L \cdot B} \cdot K'$ とおくと、mm/hr で表したほ場当たりのうね間インテークレートは

次の式 (4.6) のようになる。

$$I = K \cdot T^n \quad (\text{mm/hr}) \quad \dots \dots \dots (4.6)$$

ここで、

K, n : うね間のインテーク定数

5. 土壌水分関係調査

(基準 2.3 関連)

5.1 調査地点の選定

土壌水分を調査するための地点は、原則として土壌調査に基づく主要な土壌区分ごとに選定する。土壌の物理的性質は、土壌を生成する環境条件である気候、母材、地形などと密接な関係を持ち、さらに、将来の土づくりによっても変化すると考えられる。したがって、これらについては土壌調査結果を十分検討の上、調査地点を選定しなければならない。

また、平均的かつ適正に管理されているほ場における対象作物を選定し、大きな防風林や広い道路に近接している箇所では、これらの影響を避けるため 15 m 以上離れた地点を選定する必要がある。

5.2 土壌水分の測定と表示

土壌水分の測定と表示には多くの方法があるので、測定の目的及びそれぞれの方法の特徴を考慮して決定する。

(1) 土壌水分の測定

現在よく使われている測定方法には次のようなものがある。

ア. 採土法

ほ場の土壌を直接採取（採土）して、水分変化のないように実験室に持ち帰り、100～110℃で一定質量になるまで乾燥させ、その減量をもって土壌水分量とする。採土に当たっては定容積採土器（100 cm³）を用いると便利である。なお、採土すべき試料体積があまり少ないと測定値のばらつきが大きくなるおそれがあるので注意しなければならない。また、試料に礫が含まれる場合は、その大きさが増すほど試料体積を大きくとる必要がある。この方法は、土壌水分の絶対量を直接知り得るもので、土壌水分減少法で正確な消費水量を求めるときに基本となる測定法である。測定結果は、テンシオメータ法、誘電率水分計法及び電気抵抗法等による土壌水分の検証に用いられるので、極めて重要である。

イ. テンシオメータ法（写真-5.1）

土壌中の毛管張力を、多孔物質体を介して圧力計に導いて測定する方法で、一般には多孔物質体にポーラスカップ、圧力計に水銀マンオメータやブルドン管真空計、その他圧力センサ等が用いられ、土壌水分量はあらかじめ用意された pF^{*1} ～体積含水率曲線（土壌水分特性曲線）によって求められる。

テンシオメータは、その機構上測定の範囲は最高 1 気圧（ $pF3.0$ ）までであるが、実際上は比較的湿潤状態（ $pF0\sim2.7$ ）の土壌水分測定に適している。ただし、急激な温度変化は、チューブの容量変化などのため、装置内の圧力変化をもたらす。そのため、ポーラスカップ内と土壌間に水の出入りが生じ誤差の原因となるので、地表部分を発泡スチロールやアルミホイルな

※1 pF ：土壌から水を吸引するのに必要な力を水柱の高さ（cm）で表し、それを常用対数値にしたもの。大きい数値ほど土壌に保持されている力が強い。

SI 単位では cm や MPa 等で表されるが、本基準では従来どおり常用対数値とする。

どで覆い、急激な温度変化を避けるようにすることが望ましい。

ウ. 誘電率水分計法（写真-5.2）

土壌を構成する物質の比誘電率は、空気では 1、土粒子で 3～5 であるのに対し、水は 80 と非常に高い。そのため、これらの混合物である土壌の比誘電率は水の量に大きく依存する。この土壌の誘電特性に基づき、土中に金属棒（プローブ）の付いたセンサを設置し、土壌水分量を測定する方法が誘電率水分計法である。土壌の誘電特性の測定原理の違いによる各種誘電率水分計が開発されている。誘電率水分計を用いると、比較的乾燥状態（ $pF3.0$ 以上）でも作物による吸水を含めた土壌水分量の変動の測定やプローブ長全体の平均体積含水率の算定が可能である。

また、誘電率水分計は肥料分や塩分による電気伝導度や温度等の影響を受ける場合があることや、正確な土壌水分量の測定にはキャリブレーションが必要であることに留意する必要がある。特に、キャリブレーションは湿潤側と乾燥側で可能な限り広い範囲で実施し、均質と見なせる土層ごとに土壌水分～電気出力値曲線（キャリブレーション曲線）を描くことが望ましい。

なお、設置に当たっては、プローブを未攪乱土に挿入し土と密着させる必要があるため、礫の多い土壌ではプローブの挿入が困難な場合がある。さらに、設置後の土の埋戻しは、測定に影響が生じないように掘削前と同等な状態の回復に努めるものとする。

代表的な誘電率水分計法を表-5.1 に示す。

表-5.1 代表的な誘電率水分計法

名称	測定手法の概要	特徴
TDR (Time Domain Reflectometry) 法	電磁波がプローブを往復する時間から誘電率を測定	・信号解析によって電磁波の往復時間が求められる
ADR (Amplitude Domain Reflectometry) 法	電磁波がプローブを往復するときに発生する伝送線のインピーダンスから誘電率を測定	・電圧値として出力され、信号解析が不要である
キャパシタンス法（静電容量法）	静電容量の変化から誘電率を測定	・電圧値として出力され、信号解析が不要である ・TDR 法や ADR 法と比べて地温や電気伝導度の影響を受けやすい

近年では、同一地点で多深度の土壌水分を測定でき、土の攪乱が少ない状態で設置可能なプロファイルプローブを用いる場合があるが、土壌と設置機器に隙間が生じるような状況では正確に測定できない点に留意するとともに、正確な測定のためには現場でのキャリブレーションが必要となる。

エ. 電気抵抗法

電極を内蔵した吸湿体を土中に埋設し、オームメータにより電気抵抗値の変化を測定し、あらかじめ用意した土壌水分～電気出力値曲線（キャリブレーション曲線）により土壌水分を測る方法である。吸湿体には石こうブロックあるいはガラスフィルタブロックを用いた方がよい。特にガラスフィルタブロックは測定範囲が広く（ $pF1.4 \sim 4.6$ ）、石こうブロックは土壌塩類の

影響を受けることが少ない（ $pF2.0\sim4.6$ ）。

オ. その他の方法

このほか、中性子水分計、熱伝導水分計等を用いた多くの方法があるが、現地の実状に適応したものを試験研究機関等の協力を得て選定する。

なお、誘電率水分計法及び電気抵抗法等で使用する土壌水分～電気出力値曲線（キャリブレーション曲線）は、現地で土壌をサンプリングし、その時の乾燥密度を室内において再現した土壌試料を作成した後、水分量を変化させつつ機器を挿入した際の電気出力値を読み取る作業を行うことで求めることができる。



写真-5.1 テンシオメータ設置状況

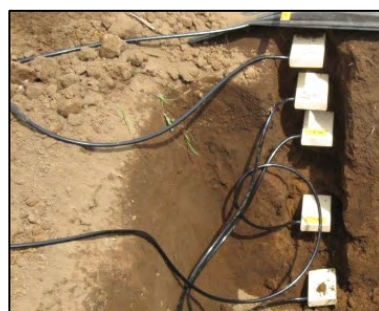


写真-5.2 誘電率水分計（TDR法）設置状況

(2) 土壌の水分状態の表示

土壌の水分状態の表示法にはいろいろあるが、畑地かんがい計画において水分量を表示する場合には、土壌の全体積中に占める水体積の百分率、すなわち、体積含水率を用いると水分の水深換算が容易にできる。

また、測定された土壌水分をエネルギー状態（ pF 値）として表示しておく、土性、土壌構造等が違っていても、土壌の水分状態を統一的に理解でき便利である。さらに、土層中における水分の移動状況を解析するのにも役立つ。テンシオメータ法では、測定された負圧そのものを pF 値で表示することができるが、他の方法による場合は、土層の pF ～体積含水率曲線（土壌水分特性曲線）をあらかじめ作っておき、これを用いて換算を行う。

なお、土壌の pF ～体積含水率曲線（土壌水分特性曲線）は吸引法、遠心法、蒸気圧法などによって求める。図-5.1 に pF ～体積含水率曲線（土壌水分特性曲線）とその測定法及び土壌水分測定法の適用範囲を示す。

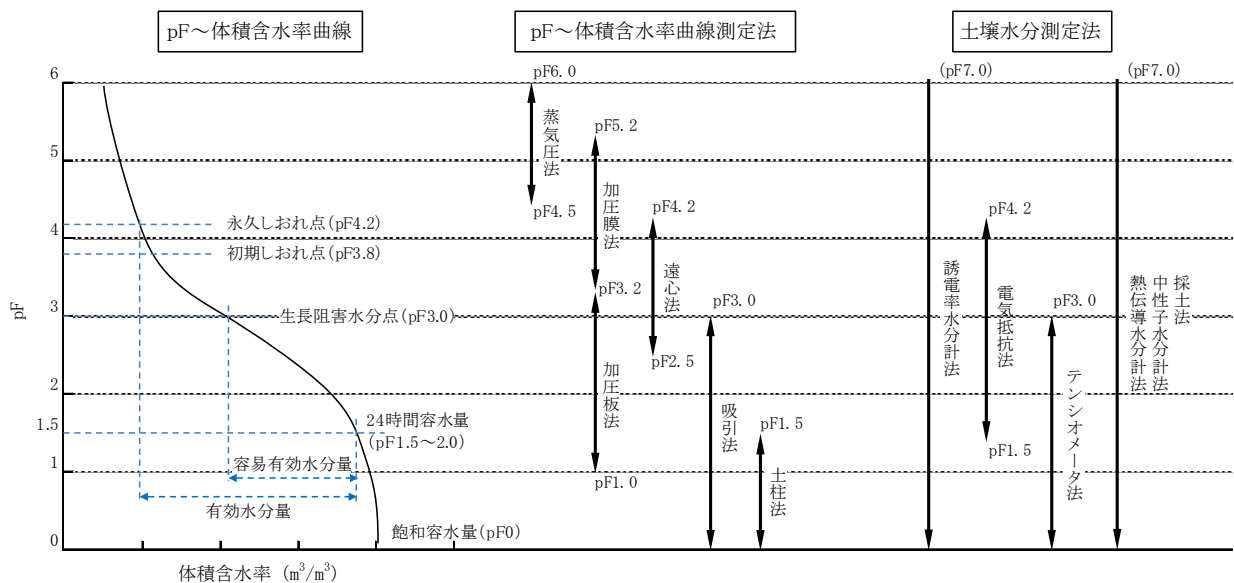


図-5.1 pF～体積含水率曲線（土壌水分特性曲線）とその測定法及び土壌水分測定法の適用範囲

5.3 水分定数等の決定

(1) 土壌水分特性調査

土壌水分特性として、畑地かんがい計画に重要なものは、24 時間含水量と生長障害水分点の土壌水分である。これらはいずれも調査地点より採取した生土について直接測定により求める。

なお、将来土づくりを行う場合は、土づくり後の土壌を想定して測定することが望ましい。

ア. 24 時間含水量

諸外国の乾燥地の例では有効水分の上限界を示すものとして、ほ場含水量の概念が通常採用されている。すなわち、ベーマイヤーとヘンドリクソンの定義によれば、多量の降雨のあった後、水の下降運動の割合が非常に小さくなったときの土壌水分量として定義される。また、モーアとリチャーズらによれば、土壌中の不飽和透水係数がゼロとなったときの水分量として提唱されている。ロージェの定義に従えば、土壌が保持し得る懸垂水の最大量ということになる。

しかし、我が国における岩田や竹中らの測定例をみれば、重力水の下降終了を基準とする意味でのほ場含水量は、大量の降雨後、数日を経た時点の場合が多いことが示されており、土性や土壌構造によって変化するため、ほ場含水量の時点をもって水消費の出発点とすることには問題が残されている。

したがって、現在では、有効水分の上限は、ほ場含水量の概念にとらわれず、時間規制で定義することが一般的であり、十分な降雨又はかんがいの後、ほぼ 24 時間を経過したのち、土壌中に保留される水分を 24 時間含水量として採用している。すなわち、24 時間を経過すれば標準条件下の土壌では大部分の重力水は排除され、残る重力水も、根毛の活発な吸水により大部分が有効利用されるとの考え方に基いている。

24 時間含水量の pF 値は、有効土層の深さによって異なるが、既往の検討成果によると多くの場合 pF1.5～2.0 に相当する。

測定に当たっては、選定した調査箇所 100 mm 以上を給水し、ビニルなどで覆う。その 24 時間後、各層の試料を採取するが、土層が緻密で排水不良を生じやすいようなときには、かんがい水量をあまり多くせず、現実のかんがい水量程度にとどめる必要がある。

イ. 生長阻害水分点

有効水分の下限界についての研究経緯を見ると、ブリッグスとシャンツの永久しおれ点が最初のものであろう。その後、多くの研究者によって、永久しおれ点がほぼ $pF4.2$ 付近の値を示すことが確かめられている。ベーマイヤーとヘンドリクソンは、永久しおれ点までは作物の正常生育が阻害されないと主張したが、その後の研究はこのような見解に対して否定的な結果を示している。

特に、我が国のような湿潤地帯では、作物がこのような極限状態にまでさらされる危険は比較的少なく、畑地かんがいは単なる作物体の維持よりも、より積極的な作物の品質向上と増収にその意義があるとの見解が一般的である。

このような立場から我が国においては、有効水分の下限界は永久しおれ点ではなく、生育に支障が多少でも現れるならば、その時点の水分を下限とすべきであるとの見解が定着してきた。このように生長阻害が起こり正常な生育を行い得なくなるときの水分量を生長阻害水分点と呼んでいる。

このときの水分は pF 値で 3.0 前後である場合が多い。もちろん、土壌の違いによって多少変動することがある。砂土では $pF3.0$ を下回る場合があり、ロームなどでは逆にこれを上回る場合もみられるので、厳密には土壌水分減少法により水分減少を実測し、水分消費量が著しく減退するときの土壌水分を調べる必要がある。しかし、計画値としては、遠心法又は加圧板法によって $pF3.0$ の水分量を生土について実測すれば十分である。

なお、作物の種類によっては、かんがい時の水分状態が品質に大きい影響を与えることがあるので、計画に当たっては慎重な配慮が必要である。

また、温州みかんを中心としたカンキツのマルドリ方式（地表を防水・透湿性マルチシートで覆って、さらに、その下にドリップチューブを設置してかん水・施肥を行うことにより、水分・栄養状況を天候に関わらず人為的に制御する栽培方式）では、ある時期に適度な水分ストレスを与えるために、生長阻害水分点よりも乾燥状態で水管理を行うことがある。

ウ. 容易有効水分量（RAM）※²

作物の生育に有効な水分は、いくつかに分類されている。24 時間容水量から永久しおれ点（ $pF4.2$ ）までの水分が有効水分量であるが、畑地かんがいを積極的に活用し、作物の増収と品質の向上を図るため、一般的に作物を極限の水分状態に置くことは回避されている。容易有効水分量（RAM）は、24 時間容水量と生長阻害水分点の間に分布し、正常生育に有効な範囲の土壌水分を指し、実用的には有効水分量として扱われている。

我が国の火山灰土は比較的保水性がよく、容易有効水分量（RAM）は 20%（体積比）付近の値を示す場合が多い。砂丘土などではこの値は低く、数%にすぎない。一般の鉾質土はこの中間の値を示す場合が多い。

(2) 畑地水分消費調査

調査地点において、土壌水分の変動を実測し、有効土層、制限土層、土壌水分消費型（SMEP）等を定める。

ア. 有効土層と制限土層

畑地かんがい計画でいう有効土層とは、根群の有無にかかわらず、24 時間容水量に到達したあと、一定期間に土壌面蒸発や作物根の水分吸収や毛管補給などにより水分消費が行われる土層を指す。なお、乾燥期間が長くなるほど、作物による水分消費が行われる土層は深くなるた

め、統一規定としておよそ間断日数程度の乾燥期間をとることとしている。

制限土層とは、有効土層内において、水分消費に最も支配的な役割を果たし、この層の水分状態が、作物の生育、収量、品質に直接影響を与える土層を指している。したがって、土層断面の観察や根群の分布状況などから判断して、ある程度土層の位置を推察することができるが、計算上は、容易有効水分量（RAM）と土壌水分消費型（SMEP）とから計算される層別の容易有効水分量（RAM）が最小となる土層として定められている。また、ほ場における経時的な土壌水分減少が実測できるときには、間断日数に近い連続干天期間後、ある土層の水分減少量が他の土層に比べて著しく小さくなったとき、この土層を制限土層と決定することができる。すなわち、この土層内では、土壌水分は生長阻害水分点にまで低下しており、このためにこの土層（主として表層から 20 cm ぐらいまでの場合が多い。）の水分減少が停滞し、より下層での水分消費が進むことを示している。

イ. 土壌水分消費型（SMEP）※3

有効土層における水分減少量は一律ではない場合が多く、普通は表層から下層になるにしたがって減少する。有効土層全体の水分減少量に対する層別の水分減少量の割合を示したものが土壌水分消費型（SMEP）であり、かんがい水量決定の要素として重要な意味を持っている。

土壌水分消費型（SMEP）は、作物、土壌、生育時期等が異なれば当然異なるものであり、本来実測を必要とする。

一方、これまで我が国で行われた測定結果を整理すれば表-5.2 のようになる。

このように、多くの測定結果の集積が進んだことなどから、計画日消費水量を推定法で算定する場合は、有効土層が単一土壌であれば、根群域の土壌水分消費型（SMEP）はほぼ一定とし、根群域を四等分した土層の上部から、測定結果の平均的値である 40、30、20、10% を算定に利用してもよい（根群域については技術書「8. 計画日消費水量等の決定」を参照すること。）。

なお、特別な水分管理を行う場合は、土壌水分消費型（SMEP）も通常の間断かんがいとは異なり、表層消費型、全層消費型、下層消費型などがあるため、現地における測定が望ましい。

※2 RAM : Readily Available Moisture の略

※3 SMEP : Soil Moisture Extraction Pattern の略

表-5.2 土壌水分消費型（SMEP）の例

作物 分類	作物名	根群域の下限 (m)	土壌水分の消費割合（％）				備考
			1 層	2 層	3 層	4 層	
普通 作物	ばれいしょ	0.4～0.6	40	30	20	10	
	らっかせい	0.5～1.0	50	25	15	10	
	菜豆	0.5～0.7	40	30	20	10	
	大豆	0.6～1.3	36	30	22	12	
	てんさい	0.7～1.2	33	30	22	15	
	小麦	1.0～1.5	40	30	20	10	
	たばこ	0.5～1.0	40	30	20	10	
	さとうきび	1.2～2.0	30	30	25	15	
	かんしょ	1.0～1.5	30	30	25	15	
	スイートコーン	0.9～1.5	36	30	22	12	
	クローバー	0.6～0.9	57	21	13	9	
	牧草	0.5～1.0	40	30	20	10	
	青刈りとうもろこし	1.0～1.7	40	30	20	10	
	アルファルファ	1.0～2.0	36	30	22	12	
	ソルガム	1.0～2.0	36	30	22	12	
	普通作平均	—	39	29	21	11	
野菜 (果菜)	きゅうり	0.7～1.2	40	30	20	10	かなり深い根系 短根種 深根性
	きゅうり	0.3～0.6	50	25	15	10	
	ピーマン	0.5～1.0	50	25	15	10	
	なす	0.3～0.6	50	25	15	10	
	なす	0.7～1.2	40	30	20	10	
	すいか	1.0～1.5	40	30	20	10	
	メロン	0.3～0.6	57	21	13	9	
	かぼちゃ	1.0～1.5	40	30	20	10	
	トマト	0.7～1.5	50	25	15	10	
	トマト	0.7～1.5	33	30	22	15	
	(根菜) にんじん	0.5～1.0	57	21	13	9	
	にんじん	0.5～1.0	40	30	20	10	
	だいこん	0.5～1.0	40	30	20	10	
	(葉菜) さといも	0.5～1.0	40	30	20	10	
	キャベツ	0.4～0.5	45	27	18	10	
	はくさい	0.4～0.5	45	27	18	10	
	アスパラガス	0.5～0.9	44	30	19	7	
	野菜平均	—	45	27	18	10	
永年性 作物	茶	0.7～1.5	40	30	20	10	成木 深い根系
	茶	0.5～1.0	33	30	22	15	
	みかん	1.0～1.5	40	30	20	10	
	ぶどう	1.0～2.0	57	21	13	9	
	ぶどう	1.0～2.0	33	30	22	15	
	かき	1.0～2.0	40	30	20	10	
	もも	0.5～1.0	40	30	20	10	
	永年性作物平均	—	40	29	20	11	
花き	ゆり（球根）	0.1～0.2	33	30	21	16	
全体平均		—	39	29	20	12	

出典：平成 2 年度畑地用水量調査（計画基準改定）報告書。ただし、アスパラガス、ゆり（球根）の出典は、平成 26 年度計画基礎諸元調査報告書。

ウ. 全容易有効水分量（TRAM）※⁴の決定

有効土層内の容易有効水分量（RAM）の合計が全有効水分量（TAM）※⁵である。これに対して制限土層内の平均土壌水分が、24 時間容水量から生長阻害水分点まで低下した時点の、有

効土層内で消費された全水分量を全容易有効水分量（TRAM）といい、全有効水分量（TAM）と区別する。言い換えると、全容易有効水分量（TRAM）は有効土層より下層への損失水を発生させない最大限のかんがい水量であり、1回の計画かんがい水量の上限値となる。

また、作物の水分吸収等により、制限土層の有効水分が消費された時点では他の土層には有効水分が残っている。しかし、ここでかんがいすれば、有効土層全体の土壌水分を常に生長阻害水分点以内に保つことができ、作物の正常な生育を期待することができる。

全容易有効水分量（TRAM）は、計算上からは次の式（5.1）に示したように制限土層の容易有効水分量（RAM）を制限土層の土壌水分の消費割合（SMEP）で除して求める。しかし、制限土層が明確でない場合には、各土層の容易有効水分量（RAM）をその土層の土壌水分の消費割合（SMEP）で除し、それらの値のうち最小値を全容易有効水分量（TRAM）とする。

$$\text{全容易有効水分量 TRAM} = (f_c - M_L) \cdot D \cdot \frac{1}{C_p} \quad (\text{mm}) \quad \dots \dots \dots (5.1)$$

ここで、

f_c : 24 時間容水量（体積含水率、%）

M_L : 生長阻害水分点（体積含水率、%）

D : 制限土層の厚さ（mm）

C_p : 制限土層における土壌水分の消費割合（SMEP）（%）

一方、これまで我が国で行われた測定結果を整理すれば、有効土層内の全有効水分量（TAM）に対する全容易有効水分量（TRAM）の割合は、表-5.3 のようになる。

このように、多くの測定結果の集積が進んだこと等から、計画日消費水量を推定法で算定する場合は、全体の平均値である 70% を根群域における全有効水分量（TAM）に対する全容易有効水分量（TRAM）の割合として算定に利用してもよい。

表-5.3 有効土層内の全有効水分量に対する全容易有効水分量の割合（TRAM/TAM 比）

土性	平均値	標準偏差	データ数
HC	0.77	0.11	16
SiC	0.72	0.15	6
LiC	0.72	0.15	51
CL	0.63	0.11	59
SCL	0.78	0.08	12
SiL	0.63	0.16	3
L	0.63	0.12	34
SL	0.70	0.14	37
LS	0.71	0.16	5
S	0.67	0.13	5

※4 TRAM : Total Readily Available Moisture の略。「総迅速有効水量」という場合もある。

※5 TAM : Total Available Moisture の略

参考文献

-
- 長谷川周一：水分の計測とその応用、農業機械学会誌 59(5)、pp113～116（1997）
 - 登尾浩助：実践 TDR 法活用－土壤中の水分・塩分量の同時測定－、土壤の物理性 93、pp57～65（2003）
 - 中島 誠・井上光弘・澤田和男・クリス ニコル：ADR 法による土壤水分量の測定とキャリブレーション、地下水学会誌 40(4)、pp509～519（1998）
 - 宮本輝仁・塩野隆弘・亀山幸司・井口三郎・盛永一美・田中和博・長谷川昌美：畑地灌漑計画基礎諸元の算定へのキャパシタンスセンサーの適用性について、農業農村工学会論文集 81(6)、pp99～106（2013）
 - 齊藤忠臣・藤巻晴行・安田 裕：誘電率水分計の温度依存性の校正、土壤の物理性 109、pp15～26（2008）
 - 宮本英輝・長 裕幸・伊藤祐二・筑紫二郎・江口壽彦：種々の電気伝導度条件に対する静電容量式土壤水分センサーの校正モデル、植物環境工学 21(2)、pp86～91（2009）
 - 井上光弘：塩水を含んだ砂に対する誘電率水分計の測定精度の評価、水文・水資源学会誌 11(6)、pp555～564（1998）
 - 山中 勤・開発一郎・ウインバートル・ダムバウグアイ：TDR による土壤水分量測定値の温度依存性とその原位置測定データに基づく補正、水文・水資源学会誌 16(3)、pp246～254（2003）
 - 小林政広・酒井正治：2 種類の土壤水分計のキャリブレーション、九州森林研究 55、pp86～90（2002）
 - 廣野祐平・野中邦彦：TDR を用いた茶園土壤中の養水分動態のモニタリング、農業農村工学会誌 76(9)、pp805～808（2008）
 - 井本博美・鴨下顕彦・加藤洋一郎・常田岳志・宮崎 毅：Profile Probe による黒ボク土と立川ロームの土壤水分測定－室内キャリブレーションと現場測定－、土壤の物理性 104、pp51～60（2006）
 - 森永邦久・島崎昌彦・草場新之助・星典宏：カンキツ生産の新しい技術・マルドリ方式－その技術と利用－、（独）農業・生物系特定産業技術研究機構 近畿中国四国農業研究センター（2005）

6. 他事業関連調査

(基準 2.3 関連)

主要な関連事業及び調査内容は、次のとおりである。

6.1 土地改良事業

計画、設計及び施工計画の策定に資するため、地区及びその周辺地域において、農業用排水施設の改良、農道整備、客土及び暗渠排水等の土地改良事業が計画中若しくは実施中であるか、又は実施されたことがあるかどうかについて農業農村整備事業管理計画等を活用して確認する。これらの事業がある場合には、これらの事業において定められた計画設計の諸元、路線配置、構造、施工年度、施工時の状況、地元負担金の年償還状況並びにこれらの事業に対する土地改良区、市町村、農協及び農業関係者の評価等を計画書、設計書の資料及び聞き取りにより調査する。

6.2 その他事業

(1) 河川改修事業

地区及びその周辺地域における河川について改修計画がある場合は、改修後の路線位置、河川幅、断面、勾配、洪水位、平水位、敷高、施工時期、単位排水量、地区の湛水状況、用地の生み出し方法等を調査する。

(2) 国、県、市町村道の改修、新設事業

地区及びその周辺地域において国、県、市町村道の改修及び新設の事業計画がある場合は、その路線位置、敷地幅、構造、幅員、施工時期、用地の生み出し方法等を調査する。

(3) 利水事業等

地区及びその周辺地域において発電、洪水調節等各種ダム事業及び上水道、工業用水事業等の事業計画がある場合は、その水利用等の計画内容を調査する。

6.3 地域指定等

(1) 農業振興地域整備計画

計画は、農業振興地域整備計画において定められる農用地利用計画及び農業生産基盤の整備開発計画と調整のとれたものでなくてはならないので、農業振興地域整備計画の内容を十分把握しておく必要がある。

(2) 市街化区域等に関する地域指定

都市計画法により市街化区域、用途地域等として指定された区域を明確にし、市街化区域内における用水、排水及び道路と事業の関係について、次のとおり調査し、農業関係投資の是非を判定する。

用水については、当該区域内における現況所要水量、不足水量、水利用状況、水利慣行、地区内の用水施設に対する管理費負担の状況等を調査する。

排水については、当該区域内から流出する排水量、地区内の排水施設に対する管理費負担の状況、排水慣行等を調査する。

道路については、地区に接する道路の位置、幅員、構造、改修計画等を調査する。

(3) 営農機械の導入及び施設設置事業並びにその他農業施策に関する事業

地区及びこれと関連する地域においてトラクタ、各種ハーベスタ等の営農機械の導入事業、調整及び貯蔵のための施設、野菜、果樹の集出荷施設等の施設設置事業、山村振興計画、野菜生産出荷近代化計画、果樹振興計画等がある場合は、これらの事業内容及び計画内容を調査する。

(4) 国立公園等

地区及びその周辺地域において、国立、国定、県立等各種公園、自然環境保全地域、鉦区区域等の土地利用規制区域の有無を調査し、規制区域がある場合は指定区域、規制内容等を十分把握しておく必要がある。

7. かんがい方式の特徴と選定条件

(基準 3.3.3 関連)

7.1 かんがい方式の特徴

かんがい方式には種々の方式があるが、それぞれのかんがい方式の特徴は次のように要約できる。

(1) スプリンクラかんがい方式

スプリンクラかんがい方式は、水に高圧をかけ降雨状にして散布を行うかんがい方式である。スプリンクラには種々の型式とサイズがあり、散布円の直径、散水分布型、適用圧力がそれぞれ異なる。一般的には、地表定置管又は埋設定置管をほ場に設置し、その上に一定間隔ごとにスプリンクラを取り付けて散布し、散布円を重ね合わせることによって、できるだけ均等に散布されるようにする。インテークレートとの関連で、適当な散水強度を選択することによって、地表かんがい方式では避けることのできない用水の地表流送中の深層浸透損失、地表の不均平（不陸）による浸透損失などを少なくできる。一方、風による散水分布の偏りが生じやすい。地表かんがい方式と比較すれば、少量頻繁なかんがいに適し、より集約的な利用ができる。かんがい管理労力も少なくすむ。果樹園、茶園等では、薬剤散布、凍霜害防止等栽培管理の合理化に利用できる。

また、平坦な大規模ほ場のほか一般の畑地で、省力的な自走式スプリンクラの適用事例も増えている。

(2) マイクロかんがい方式

マイクロかんがい方式とは、ほ場配管に取り付けたエミッター等を通して用水を作物の根群域に少量頻繁に供給するかんがい方式であり、マイクロエミッターかんがい方式、点滴かんがい（ドリップかんがい）方式、多孔管かんがい方式の総称である。

マイクロかんがい方式では、作物の根群域に低圧かつ少量の用水を頻繁に供給することが可能であり、これによって、根群域の土壌水分をきめ細かくコントロールすることができる。マイクロかんがい方式のこのような特徴は、特に作物の集約栽培に適している。また、根群域に限定された部分かんがいが可能なこと及び空き TRAM の活用による降雨の有効化が容易なことによって、水源事情が逼迫した地域の露地栽培においては、節水かんがいが可能となる。

ア. マイクロエミッターかんがい方式

マイクロエミッターかんがい方式は、ノズルとスプレッダから構成されるエミッターによってかんがいする方式で、エミッターの構造から次の三つに分類される。

① マイクロスプリンクラ

スプレッダが回転しノズルからの水を放射状に散布する。水分補給以外に、凍霜害防止、病虫害防除等、栽培管理の合理化にも利用される。

② マイクロジェット

エミッターは非回転スプレッダとノズルから構成される。種々のスプレッダにより、いろいろな散水パターンの設定ができる。育苗、軟弱野菜の水分補給、病虫害防除等に用いられる。

③ マイクロスプレーヤ

平たいスプレッダと口径の小さなノズルから構成され、霧状微細水滴をつくる。ハウス栽

培の微気象調節、病虫害防除、水分補給に用いられる。

イ. 点滴かんがい（ドリップかんがい）方式

点滴かんがい方式とは、地表に設置されたドリップエミッター又はドリップチューブから、減圧された小さな流量で、連続的に根群域の土壤に用水を滴下供給するかんがい方式である。

① ドリップエミッター

エミッターをほ場配管に取り付けて用水を減圧滴下する。減圧方式にはオリフィスの急拡損失を利用するものと螺旋状の小断面流路の摩擦損失を利用するものの二つのタイプがある。

② ドリップチューブ

チューブの軸方向に隔壁による二重流路をもち、用水が1次側流路の小孔（分配孔）から2次側流路に流入する際に減圧し、滴下孔からはほ場に滴下するときにさらに減圧し、点滴状に用水をほ場に供給する。

また、近年、温州みかんを中心としたカンキツの新しい栽培技術として、ドリップチューブを設置し、その上に防水・透湿性マルチシートで覆った液肥・かん水制御装置により、水分・栄養状況を天候に関わらず人為的に制御する栽培方式が導入されている。この栽培方式は「マルチ」と「ドリップかんがい」の名称の一部をとって「マルドリ方式」と呼ばれ、適度な水分ストレス管理による果実の品質向上やかん水・施肥労力の低減、マルチによる抑草効果で除草作業の省力化に効果を発揮している。

ウ. 多孔管かんがい方式

多孔管かんがい方式には、硬質多孔管によるものと多孔ホースによるものがある。また、散水型の多孔管を用いた降雨状散水方式が、スプリンクラかんがい方式よりも設置が低コストで、維持管理が容易であることから近年普及している。この方式はスプリンクラかんがい方式の特徴も有するが、多孔管かんがい方式として分類する。詳細については、同技術書「23. マイクロかんがい」を参照すること。

① 硬質多孔管

塩化ビニル、ポリエチレン、アルミニウム等の硬質管の表面に設けた多数の細孔から散布する方式であり、散水強度は孔の数で調整可能である。

② 多孔ホース

高分子材料の軟質ホースに多数の細孔を設け、これによって散布する。可とう性に富み、軽量で扱いやすい。ビニルマルチの下等でよく用いられる。

(3) 地表かんがい方式

ア. うね間かんがい方式

うね間に流された水がうねの側面から浸潤して作物の根群域を潤す方式である。給水路を一定の間隔に配置し、うね間を緩勾配に整地し、給水路より各うね間に一定の流量を流し込み流下させる。うねの下流端において根群域に必要十分な水を供給するための水深を確保するために必要な浸入時間だけ湛水するが、上流端より下流端までの到達時間中、上流側では余分な時間だけ湛水するために根群域下方への深層浸透損失を避けることはできない。この方式では、地形、土壤のインテークレート、うね長、流し込み流量等によってかんがい適用効率に差が生ずる。また、均一な勾配に仕上げるために土工機械を必要とする。

イ. ボーダーかんがい方式

耕地を低い畦畔で細長く帯状に区切り、一定の緩勾配を付けて、水を薄層流として全面流下

させ、土壤中に浸潤させる方式である。深層浸透損失及びかんがい適用効率についての考え方は、うね間かんがい方式と同様である。うね間かんがい方式と比較してかんがい労力は少なくすむが、反面、大きな流下流量を要し、勾配による制約を受けるのでより広範囲にわたる均平が必要となる。牧草類のかんがいに多く用いられる。

ウ. コンターディッチかんがい方式

かんがい水を導く溝を等高線に沿ってほぼ 1,000 分の 1 の勾配で設け、この溝にある給水口から斜面を流下させてかんがいする方式である。比較的地形の複雑な傾斜地でも適用できるが、かんがい適用効率は低い。

エ. 水盤かんがい方式

地表を平坦にし、区画を畦畔でとり囲み水路又はパイプで水を導き入れて間断的に湛水させる方式である。平坦な地形で、浸透性の小さい土壌のところで採用される。

(4) 地下かんがい方式

地中に人為的に作られた水源から土壌の毛管上昇作用によって根群に水分補給するかんがい方式である。給水源の状態や施設の形態などから、地下水面を設定する時を地下かん水法、設定しない時を地中かん水法と呼んで区別している。

地下かん水法はある深さに地下水位を設定し、地下水面からの毛管上昇によって水分補給するかんがい法で施設の形態から開渠式と暗渠式の 2 つに分けられる。

地中かん水法は圧力水を注入した暗渠や多孔管などをある深さに埋設し、これら線状及び点状の給水源から水分補給する方式で、圧力の大きさによって正圧かんがい、低正圧かんがい、負圧かんがいの 3 つに分けられる。

7.2 かんがい方式の選定に当たっての基本的な考え方

主なかんがい方式の選定に当たっての基本的な考え方は以下のとおりである。

(1) スプリンクラかんがい方式

スプリンクラかんがい方式は、急速に発達し、畑地かんがいのほとんどがこの方式で、栽培管理の合理化に適した方式といえる。その理由は、次のとおりである。

- ① 主要畑地帯は主に火山灰土壌でインテークレートが大きく、地表かんがい方式では深層浸透損失が大きいためスプリンクラかんがい方式が適用しやすい。
- ② 1 回のかんがい水量が少なく、かつ、頻繁なかんがいが可能であるから、降雨の分布に対応して行う補給かんがいに適している。
- ③ 傾斜や起伏の多い地形に適用しやすい。
- ④ 管路であるために起伏地に配水しやすく、つぶれ地が少ない。
- ⑤ さまざまな区画に対応しやすい。
- ⑥ 根群域の浅い場合においても比較的均等にかんがいができる。
- ⑦ 小規模で集約的な営農においてかんがい労力が少なく使用が容易である。
- ⑧ 営農の技術水準が高く、スプリンクラかんがい方式の利用が可能である。
- ⑨ 工業技術力が優れ、資材、器材が改良開発され、入手が容易である。

これらは、スプリンクラかんがい方式の特徴でもあるが、反面、スプリンクラかんがい方式の欠点は、次のとおりである。

- ① 風によって散水分布が影響を受ける。

- ② 一般には 0.29MPa 内外の水圧を必要とするため動力費が高む。
- ③ 散水分布を重ね合わせることによって初めて均等な分布を得られるので、ほ場の整備ができていないところでは使用しにくい。

(2) マイクロかんがい方式

マイクロかんがい方式は、スプリンクラかんがい方式では小回りがきかないような小区画のほ場や集約的管理を要する作物に適している。散布距離は比較的短いものが多く、限定されたほ場面に的確にかんがいすることができる。かんがい強度は目的に応じて、大きいものから小さいものまで広範囲に選ぶことができる。また、小区画のほ場で用いられることが多いので、散布のオン・オフ操作が容易であり、少量頻繁なかんがいが容易に可能となる。このことは、土壌の水分管理を容易にし、集約栽培を可能にするとともに、用水の深層損失率を小さくすることになる。このように限定されたほ場面に散布ができることと、少量頻繁なかんがいが容易なことから、水源事情が厳しい場合にも、この方式が有効である。マイクロかんがいの中でも、特に点滴かんがいや多孔管かんがいは、施設（ハウス）園芸、トンネル栽培において設置が容易であり、除草などの作業手間を大幅に軽減できる。

(3) 地表かんがい方式

地表かんがい方式（うね間かんがい方式及びボーダーかんがい方式）は、比較的平坦で粘質土壌のようなインテークレートの小さい土壌地帯では有利である。ほ場を均一な緩勾配に整地するために精度のよい土工機械を使用するが、整地の土量が大きくなるような起伏地や傾斜地では適用できない。この方式は圧力水を必要としないので動力費は必要ないが、かんがい時間中の給水路からの取水及び給水路の水位管理等に労力がかかる。設計されたうね長又はボーダー長ごとに給水路が配置されるので一方向への緩傾斜地では計画が立てやすいが、起伏地では水路配置が難しい。

(4) 地下かんがい方式

地下かんがい方式を選定するためには、表土の土性が上方及び側方に比較的速やかに水分を毛管移動させられるようなものであること及び土壌の透水性が良好である上、比較的浅い位置に不透水層が存在し深層への浸透による水分の損失が防止できること等の条件が必要である。

近年では、傾斜地でも適用可能な地下かんがい技術が開発されている。

以上述べたような各方式の特徴と欠点を理解することがかんがい方式の選定のために必要である。方式選定に当たっては気象調査、土壌調査、地形調査、営農調査及び農家の意向調査を基礎に、施設コスト、維持管理費等の経済性、水源事情等を考慮して総合的に判定する。

参考文献

- 菅野正道：中野芳輔の畑かんセミナーNo. 37 産・官・学・民の連携による畑地かんがい自走式散水機器の開発、畑地農業第 667 号、pp10～16 (2014)
- 島崎昌彦・星 典宏・森永邦久・草場新之助：カンキツ生産の新しい技術 マルドリーその技術と利用一、畑地農業第 585 号、pp2～35 (2007)
- 島崎昌彦・草場新之助・根角博久・森永邦久：気象の極端化のウンシュウミカンへの影響を軽減する「マルドリ方式」、農業農村工学会誌 81(4)、pp285～288 (2013)
- 近畿中国四国農業研究センター：周年マルチ点滴灌水同時施肥法（マルドリ方式）技術マニュアル (2003)
- 小野寺恒雄・藤森新作：畑地用節水型地下灌漑システムの構造と機能、畑地農業 670 号、pp13～20 (2014)

8. 計画日消費水量等の決定

(基準 3.3.4.3 関連)

計画日消費水量の決定手法には、土壌水分減少法、ライシメータ法、チェンバー法等の実測法とペンマン法等の気象データからの推定法がある。

ここでは、計画日消費水量の決定方法として、土壌水分減少法を用いた実測法と、ペンマン法により計算する蒸発位を用いた推定法を紹介する。

8.1 土壌水分減少法を用いた決定手法

土壌水分減少法は 24 時間容水量からの土壌水分の減少量を測定する方法であり、有効土層内の消費水量を求めるための適切な方法の一つと考えられる。なお、これらの実測はかんがい期間を通じて実施することが望ましいが、多大の労力と時間を要することになるので消費水量が最大となる期間に重点的に行い、その他の期間については信頼できる近傍の実測資料や推定法を用いてもよいものとする。

また、消費水量は、測定期間中の気象条件に左右されるので、測定中は降雨量や蒸発散に関連する気象因子（蒸発計蒸発量、日射量、日照時間、温度（最高・最低・平均）、湿度、風速等）を併せて観測することが望ましい。

土壌水分減少法を用いた計画日消費水量等の決定手順は、図-8.1 のとおりである。

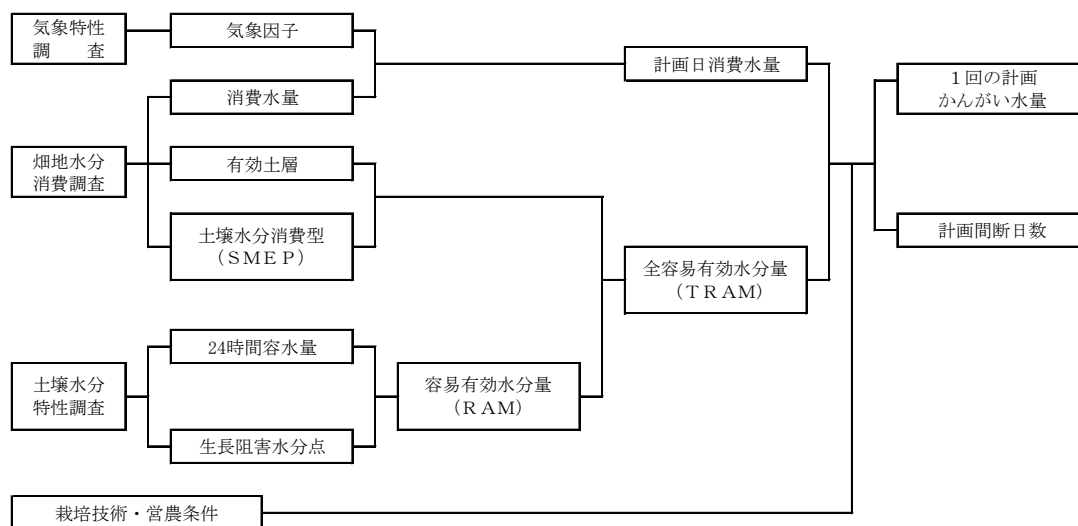


図-8.1 土壌水分減少法を用いて計画日消費水量等を決定する手順

(1) 土壌水分の測定

十分な降雨又はかん水の後、24 時間経過してから測定を開始する。かん水する場合はほ場全域で均等に行う。土壌水分は、1 日の間で変動するため測定時刻は一定とし、比較的気象条件が安定している時間帯（例えば午前 5 時から 9 時の間）に測定することが望ましい。測定の位置は吸水根が平均的に分布している場所を選ぶものとし、次のような位置とする。

ア. うね立てをしている場合（図-8.2 (a)）

株の両側約 10 cm の位置

イ. うね立てをしていない場合

- ① 条播：作物の株間中央部よりやや株寄り（麦類の場合は、株の両側約 10cm の位置）
- ② 散播：株より約 10 cm のところ（麦類の場合は、株から任意の位置）

ウ. 果樹（図-8.2 (b)）

樹冠の外縁部よりやや幹寄りの位置とし、平面的にみた実測の位置は東西、南北など条件の異なる場所で 2 か所以上を選ぶ。

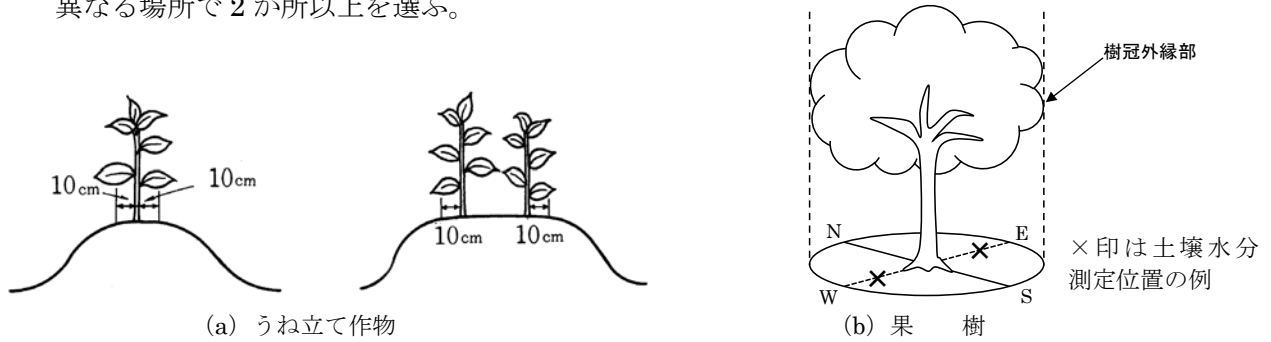


図-8.2 土壤水分測定位置

土壤水分の測定深は原則として畑面より 5、15、25、35、50、70 cm の位置とする。図-8.3 に示す①～⑥の位置の土壤水分はそれぞれ土層 $D_1 \sim D_6$ の部分の平均値を示す。なお、土層断面の観察等により有効土層が浅いと考えられる場合には深部の測定は省略してもよい。

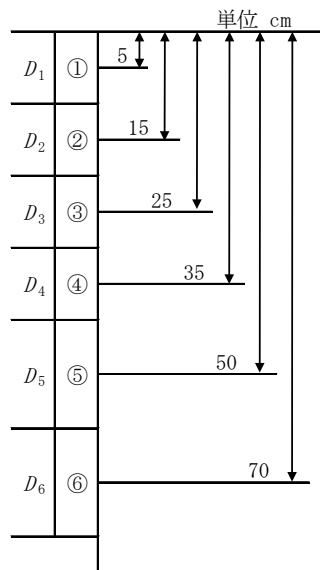


図-8.3 土壤水分測定深

(2) 計画日消費水量の算出

日消費水量（1 日当たりの消費水量）は、日々の気象因子により変動するので計画値の決定に際しては次のような検討を加え調整する必要がある。

- ① 計画に用いる日消費水量を極めて短期間の実測値だけで決定することには問題があるので、実測及び推定法によりある栽培管理上のステージで同一とみなしうる期間の日消費水量の平均値として求める。

計画上の日消費水量をある期間の平均値として考えるならば、その間の曇天や小雨（計画上、無効降雨となるような雨）の日は日消費水量が確実に減少しているため、このような値も結果的に考慮されることとなって実情に近い値を決定することができる。

- ② 土壌水分減少法により日消費水量の実測値が得られても、①において求めた値をそのまま計画値として採用できるとは限らない。一般には実測が行われた期間の気象因子と計画基準年のそれとを比較し、修正を施す。

上記①及び②の検討に当たっては蒸発計蒸発量を用いるのがよい。蒸発計蒸発量は、蒸発位に関与する多くの気象的要因を総合的に表現するもので、実測値が得られるならば測定値の修正は簡単に行うことができる。もし蒸発計蒸発量の累年の測定値が得られなければ、あらかじめ日射量、日照時間、温度、湿度、風速等との相関関係を統計的に解析しておく必要がある。

これらの検討の結果、最終的に計画値として決定された日消費水量を計画日消費水量といい、期別の最も大きな値を計画最大日消費水量という。

日消費水量 Σe_n は、有効土層（深さ ΣD_n ）の毎日の土壌水分の実測結果から次の式（8.1）により求める。

$$\Sigma e_n = e_1 + e_2 + \cdots \cdots \cdots + e_n \quad \cdots \cdots \cdots (8.1)$$

$$e_1 = \frac{1}{10} \cdot (M_1 - M'_1) \cdot D_1 \quad , \quad e_2 = \frac{1}{10} \cdot (M_2 - M'_2) \cdot D_2 \quad , \quad \cdots \cdots \cdots ,$$

$$e_n = \frac{1}{10} \cdot (M_n - M'_n) \cdot D_n$$

ここで、

D_1 、 D_2 、 $\cdots \cdots \cdots D_n$: 図-8.3 に示した各層の厚み (cm)

M_1 、 M_2 、 $\cdots \cdots \cdots M_n$: 各層のその日の土壌水分測定値 (体積%)

M'_1 、 M'_2 、 $\cdots \cdots \cdots M'_n$: 各層の翌日の土壌水分測定値 (体積%)

e_1 、 e_2 、 $\cdots \cdots \cdots e_n$: 各層の土壌水分消費量 (mm)

ただし、降雨日及び降雨停止後 24 時間以内の実測値は除外する。また、1 日で土壌水分差が明確でない場合は 2～3 日単位で計算する。旬別日消費水量は原則としてその旬に実測された平均日消費水量とする。

8.2 ペンマン法を用いた決定手法

ペンマン法とは、熱収支法と空気力学的方法を組合せたもので、気象観測所の気象データからペンマン式により蒸発位を計算できる。この蒸発位に主として作物の種類と生育ステージによって決まる作物係数を乗じて蒸発散量を推定できる。なお、本章では蒸発位の基準表面を自由水面として算定することとしている。

ペンマン法により計算された蒸発位に作物係数を乗じて推定した蒸発散量から有効土層への下層からの上向き補給水量を差し引くことで計画日消費水量が算定できる。

ペンマン法を用いた決定手法では、全国一律の基準で観測されている気象観測所の気象データから蒸発位を計算して蒸発散量を推定し、これを用いて計画日消費水量が算定できるため、現場での

土壌水分減少法による消費水量の測定を省略できるという特徴がある。

ペンマン法を用いた決定手法の手順は、図-8.4 に示すとおりである。

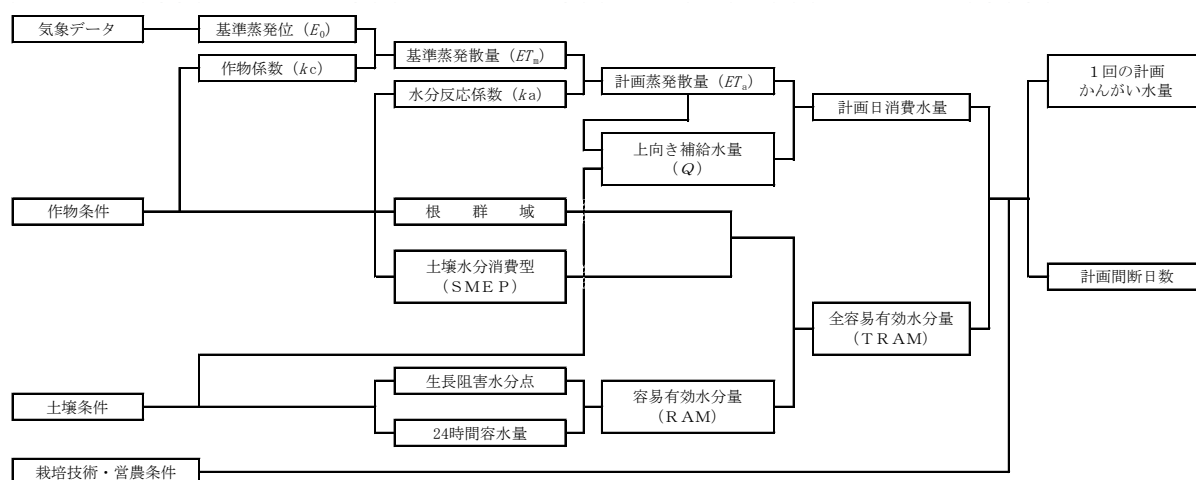


図-8.4 蒸発散量を推定して計画日消費水量等を決定する手順

ここでは、露地畑、樹園地及び牧草地において栽培される作物の水分補給用水量を、ペンマン法を用いて決定する場合について紹介する。なお、施設畑については技術書「11. 施設畑（ハウス）の計画日消費水量等」を参照されたい。

(1) 基準蒸発位 E_0

基準蒸発位 E_0 は、用水計画のための蒸発ポテンシャルを水深 (mm/day) で表したものであり、気象データを用いてペンマン式により算定される水面蒸発量（蒸発位 E_p ）を基に定める。

ア. 気象観測所の選定

ペンマン法の適用に必要な気象データは、表-8.1 に示すとおり日平均気温、1日当たりの日照時間、日平均風速、日平均相対湿度である。算出される蒸発位は、気温が高く、風速が強く、日照時間が長く、湿度が低いほど大きくなる。

これらの気象観測値は、気象観測所の立地環境や属する気候区によって大きく異なる。このため、事業計画地区の近傍の気象官署（地方气象台、測候所等）あるいは地域気象観測所（以下「アメダス4要素観測所」という。なお、「4要素」とは降水量、気温、風速、日照時間である。）における気象観測値の整備状況を調査し、気象データを収集、解析して、事業計画地区の気象条件を代表し蒸発位の計算に必要な気象データが十分に整備蓄積されている気象観測所を選定することが重要である。

気象官署は事業計画地区の近傍に位置することが少なく、事業計画地区とは立地条件、気象条件が異なる場合もあることから、アメダス4要素観測所の気象データを活用した方が、事業計画地区の気象特性をより正確に反映できる場合もある。アメダス4要素観測所では、湿度のデータを測定していないが、湿度は蒸発位の計算値に及ぼす影響が小さいことから、近傍の気象官署のデータ又は地区内を代表する実測値を代用してもよい。また、観測地点の中間に地区が位置する場合等では複数地点でのデータの比較検討を行うものとする。

気象データについては可能な限り長期間のデータを用いるものとし、気象官署については 30 年間以上、アメダス 4 要素観測所では観測開始以降全期間（約 30 年間）とし、また、観測所の移転によるデータの不連続や欠測値がある場合は、近傍のデータから推測する等の対策を講じる。

蒸発位を計算する際、気象官署のデータを用いる場合とアメダス 4 要素観測所のデータを用いる場合の特徴を整理すると表-8.2 のとおりとなる。

表-8.1 ペンマン式の計算に必要な気象データ

気象データ	注 意 事 項
日平均気温 (°C)	
1 日当たりの日照時間 (h)	日照計の機種が、観測所と測定年月日により異なっており、機種の違いによる測定値の差を修正する必要がある。
日平均風速 (m/s)	風速の測定地上高度も把握する必要がある。
日平均相対湿度 (%)	気象官署のみで測定されている。

表-8.2 気象観測所のデータの特徴

	気象官署（地方気象台、測候所等）	アメダス 4 要素観測所
長所	ペンマン式に必要な気温、湿度、風速、日照時間の全てが測定され、長期間のデータ蓄積がある。	観測地点が多い（全国約 840 か所 21km 四方に 1 か所）。かんがい計画地域と比較的よく似た環境下にあることが多い。
短所	観測地点が少なく、その分布も都市部、海岸部に集まっている（全国約 160 か所）。	湿度のデータが測定されていない。データの蓄積が少ない（全国的整備は 1981 年に完了）。

イ. ペンマン式の概要と蒸発位（ E_p ）の計算

ペンマン式にはいくつかの種類があるが、ここではペンマンが 1948 年に最初に発表した次の式 (8.2) を用いるものとする。計算に必要な気象データは、気温、日照時間、相対湿度、風速の 4 要素で、その日平均値、日総量を用いる。

$$E_p = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \cdot \frac{S}{l} + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \cdot f(u_2) \cdot (e_{sa} - e_a) \quad \dots \dots \dots (8.2)$$

ここで、

- E_p : ペンマンの蒸発位 (mm/day)
- S : 純放射量 (日照時間、気温、湿度から計算) (MJ/m²/day)
- Δ : 温度飽和蒸気圧曲線の勾配 (気温から) (hPa/°C)
- l : 水の蒸発潜熱 (気温から) (MJ/kg)
- γ : 乾湿計定数 (定数: 0.66) (hPa/°C)
- $f(u_2)$: 風速関数 (高度 2m での風速 u_2 (m/s) から)
- e_{sa} : 気温での飽和蒸気圧 (気温から) (hPa)
- e_a : 空気の蒸気圧 (湿度と湿度観測地点の気温から) (hPa)

ペンマン式の計算途中で純放射量を推定するが、その際、蒸発位を求めたい蒸発面のアルベド (日射の反射率) を入力する必要がある。ここではアルベドに水面での値 0.06 を用いること

とする。水面では蒸散はないので、このときの蒸発位を特に蒸発位 E_p と呼ぶ。なお、この蒸発位は日本で一般に使用されてきた小型蒸発計蒸発量とよく一致する。

次に、ペンマン式の計算手順を図-8.5に、ペンマン式の計算プログラムの一例を表-8.3に、また、そのプログラム用のデータと計算結果を表-8.4、表-8.5に、表計算により求める場合の様式例を表-8.6に示す。

気象関係のデータ以外に、日射量を計算するため計算時点の経度と計算月日の赤緯が必要である。赤緯は理科年表等に記載されているが、日付（1月1日からの通算日数（以下「通日」という。））からも計算できるのでその方法を採用した。

また、地球太陽間の距離を考慮している。地球公転軌道は楕円で、楕円の焦点の一つに太陽がある。そのため季節により太陽との距離が若干異なり、1月上旬に最も接近し、7月上旬に最も離れる。地球太陽間の距離も通日から計算でき、プログラムでは1行追加するだけなのでここでは考慮している。

ペンマン式の計算に必要な気象データは、日照時間、気温、風速、相対湿度の4要素である。

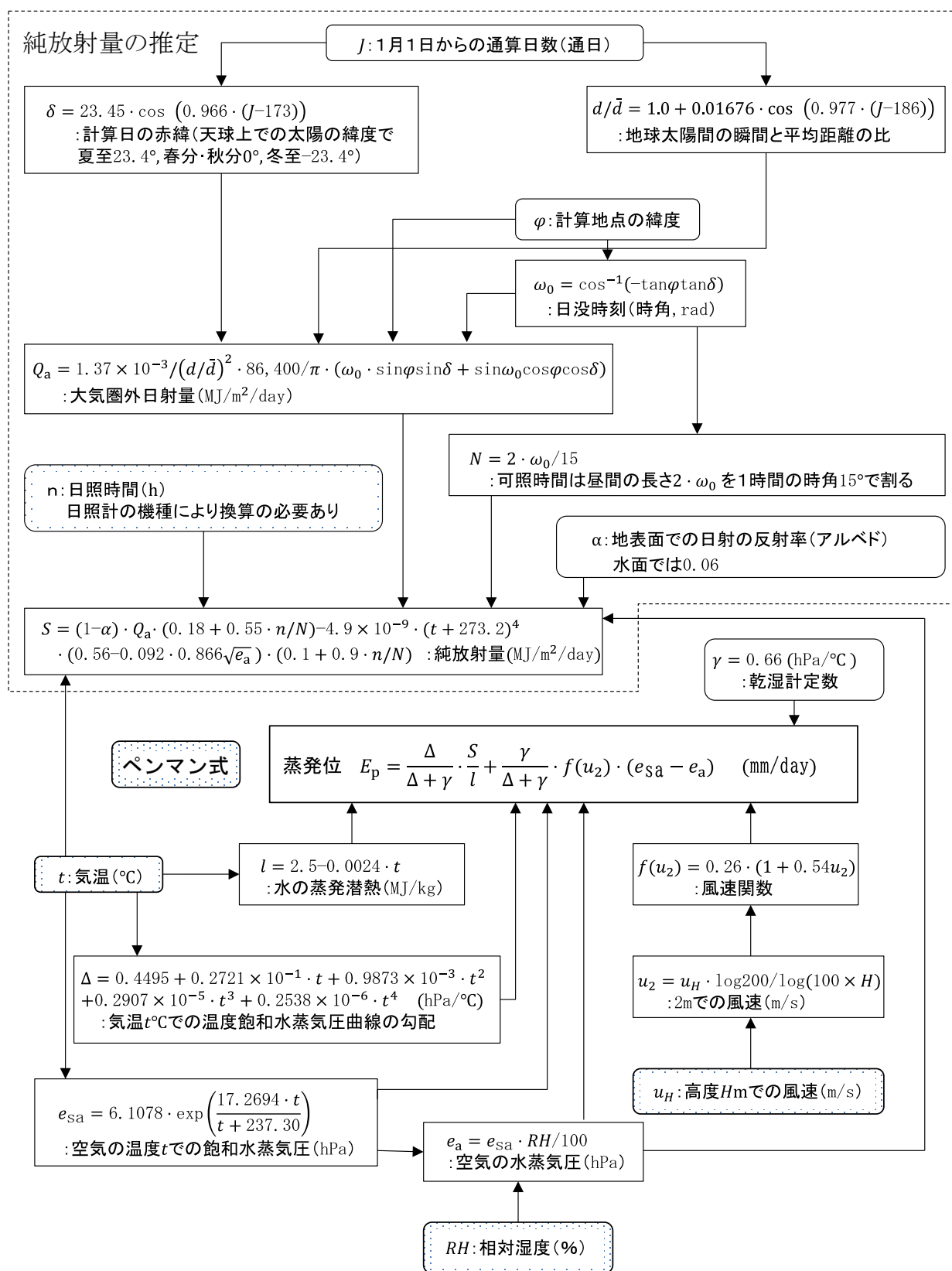


図-8.5 ペンマン式の計算手順

表-8.3 ペンマン式計算プログラム例

```

100 ' *****
110 ' *      ペンマン式による蒸発散位計算プログラム ( BY T.MIURA )      *
120 ' *      日データで計算し結果をファイルに月報として保存          *
125 ' *      ①~⑭は本文中の同数字の計算処理に対応 ( MS-DOS N88BASIC ) *
130 ' *****
140 ' save "PENMAN-F.BAS", A
150 DIM SEKII(365),SEKIIR(365),T(31),RH(31),WIND(31),N(31),RAIN(31),W(31),
WDO(31),NN(31),QA(31),ESA(31),EA(31),S(31),DELTA(31),L(31),U2(31),FU2(31),
P1(31),P2(31),ETP(31),MDAYS(12),KYORI(365)
160 FOR I=0 TO 11 :READ MDAYS(I) :NEXT I : ' 各月の日数を600行より読む
170 OPEN "OKA85-7.DAT" AS #1 : ' 入力ファイルオープン
180 OPEN "OKA85-7.ANS" AS #2 : ' 出力ファイルオープン
190 INPUT #1,TITEN$ : ' 地点名
200 INPUT #1,IDODEG,HWIND,ALBEDO : ' 緯度(DEG), 風速測定高度(m), アルベド
210 INPUT #1,YEAR,MONTH,DAYS : ' 年, 月, 日数
220 IDO=IDODEG*3.1416/180 : ' 緯度(RAD)
230 FOR I=1 TO DAYS : ' 470行(NEXT I)の間を日数(31日)分回す
240 INPUT #1,HIZUKE,T(I),RH(I),WIND(I),N(I),RAIN(I) : ' データ入力
250 TUSAN=MDAYS(MONTH-1)+HIZUKE : ' 1月1日からの通算日数 ①
260 KYORI(I)=.01676*COS((TUSAN-186)*.977*3.1416/180)+1 : ' 太陽との距離②
270 SEKII(I)=23.45*COS((TUSAN-173)*.966*3.1416/180) : ' 赤緯(DEG) ③
280 SEKIIR(I)=SEKII(I)*3.1416/180 : ' 赤緯(RAD)
290 JJ=-TAN(IDO)*TAN(SEKIIR(I)) : ' BASICではCOS-1なし,TAN-1より変換
300 W(I)=-ATN(JJ/SQR(-JJ*JJ+1))+1.5708 : ' 日没の時角(RAD) ④
310 WDO(I)=W(I)*180/3.1416 : ' 日没の時角(DEG)
320 NN(I)=2*WDO(I)/15 : ' 日照時間(h) ⑤
330 QA(I)=.00137/KYORI(I)2*86400!/3.1416*(W(I)*SIN(IDO)*SIN(SEKIIR(I))+
SIN(W(I))*COS(IDO)*COS(SEKIIR(I))) : ' 大気圏外日射量(MJ/m2/d) ⑥
340 ESA(I)=6.1078*EXP((17.2694*T(I))/(T(I)+237.3)) : ' 飽和水蒸気圧(mbar)⑦
350 EA(I)=ESA(I)*RH(I)/100 : ' 実際の水蒸気圧(mbar) ⑧
360 S(I)=(1-ALBEDO)*QA(I)*(.18+.55*N(I)/NN(I))-4.9E-09*(T(I)+273.2)4*(.
56-.092*.866*SQR(EA(I)))*(.1+.9*N(I)/NN(I)) : ' 純放射量の推定(MJ/m2/d) ⑨
370 DELTA(I)=.4495+.02721*T(I)+.0009873*T(I)2+2.907E-06*T(I)3+2.538E-0
7*T(I)4 : ' 飽和水蒸気圧曲線の勾配 ⑩
380 L(I)=2.5-.0024*T(I) : ' 水の蒸発潜熱(MJ/kg) ⑪
390 U2(I)=LOG(200)/LOG(100*HWIND)*WIND(I) : ' 2mでの風速(m/s) ⑫
400 FU2(I)=.26*(1+.54*U2(I)) : ' 風速関数 ⑬
410 P1(I)=DELTA(I)/(DELTA(I)+.66)*S(I)/L(I) : ' 第1項(放射項)
420 P2(I)=.66/(DELTA(I)+.66)*FU2(I)*(ESA(I)-EA(I)) : ' 第2項(空力項)
430 ETP(I)=P1(I)+P2(I) : ' ペンマンの蒸発散位(mm/d)⑭
440 ST=ST+T(I) : SRH=SRH+RH(I) : SW=SW+WIND(I) : SN=SN+N(I) : ' 440-460 積算
450 SRAIN=SRAIN+RAIN(I) : SQA=SQA+QA(I) : SS=SS+S(I) : SSEKI=SSEKI+SEKIIR(I)
460 SP1=SP1+P1(I) : SP2=SP2+P2(I) : SETP=SETP+ETP(I)
470 NEXT I
480 Z=DAYS : HT=ST/Z : HRH=SRH/Z : HW=SW/Z : HN=SN/Z : HP2=SP2/Z
490 HRAIN=SRAIN/Z : HQA=SQA/Z : HS=SS/Z : HP1=SP1/Z : HETP=SETP/Z : HSEKI=SSE
KI/Z : ' 480-490 平均
500 ' ***** 計算結果の出力 *****
510 ' ファイル:PRINT #2,(OPEN文に対応),ディスプレイ:PRINT,プリンタ:LPRINT
520 PRINT #2,USING "& & #### 年 ## 月の蒸発散位 緯度=##.## 風速
計=##.## ALBEDO=##.##";TITEN$,YEAR,MONTH,IDODEG,HWIND,ALBEDO
530 PRINT #2,"月日 赤緯 気温 湿度 風速 日照 降水・外日射 純放射 第
1項 第2項 PENMAN"
540 FOR I=1 TO DAYS
550 PRINT #2,USING "##.## ##.## ##.## ##.## ##.## ##.## ##.## ##.##
##.## ##.## ##.##";MONTH,I,SEKII(I),T(I),RH(I),WIND(I),N(I),RAIN(I),
QA(I),S(I),P1(I),P2(I),ETP(I)
560 NEXT I
570 PRINT #2,USING "合計 ##.## ##.## ##.## ##.## ##.## ##.## ##.## ##.##
##.## ##.## ##.## ##.##";SN,SRAIN,SP1,SP2,SETP
580 PRINT #2,USING "平均 ##.## ##.## ##.## ##.## ##.## ##.## ##.## ##.##
##.## ##.## ##.## ##.##";HSEKI,HT,HRH,HW,HN,HRAIN,HQA,HS,HP1,HP2,HETP
590 CLOSE #1,#2 : END : ' 入出力ファイルのクローズ
600 DATA 0,31,59,90,120,151,181,212,243,273,304,334 : ' 各月の日数データ

```

表-8.4 ペンマン式計算データの事例

“岡山” 1)	34.66 ²⁾	43 ³⁾	0.06 ⁴⁾		
1985 ⁵⁾	7 ⁶⁾	31 ⁷⁾			
1 ⁸⁾	25.4 ⁹⁾	62 ¹⁰⁾	3.5 ¹¹⁾	11.0 ¹²⁾	0.0 ¹³⁾
2	22.5	87	1.8	0.0	3.0
3	23.0	94	1.5	0.0	22.5
4	24.6	92	1.9	0.1	5.5
5	26.4	82	1.2	5.2	0.5
6	23.2	89	1.5	1.0	53.0
7	26.8	77	2.6	4.9	0.0
8	28.2	69	4.3	10.1	0.0
9	28.2	70	3.5	7.6	0.0
10	28.5	73	2.9	4.5	0.0
11	27.6	76	4.4	3.0	2.0
12	26.2	91	1.9	1.8	26.0
13	29.0	73	3.3	5.9	0.0
14	27.4	69	2.6	6.5	0.0
15	25.8	63	1.6	11.9	0.0
16	26.3	65	1.8	10.6	0.0
17	27.2	70	1.9	8.2	0.0
18	27.0	74	1.4	5.8	0.0
19	27.1	77	1.6	5.7	0.5
20	28.3	75	1.6	8.4	0.0
21	26.7	77	1.8	5.1	1.0
22	27.2	74	1.4	6.6	0.0
23	28.3	72	1.6	7.7	0.0
24	29.1	67	1.6	11.4	0.0
25	29.2	69	1.6	10.7	0.0
26	29.5	63	1.6	11.5	0.0
27	30.1	61	2.1	13.0	0.0
28	30.0	61	1.9	12.6	0.0
29	30.9	60	1.7	12.7	0.0
30	31.0	63	1.8	10.9	0.0
31	29.6	69	1.6	7.6	0.0

1) 地点名 2) 緯度(°) 3) 風速計地上高度(m) 4) アルベド 5) 年 6) 月 7) その月の日数
8) 日付 9) 気温(°C) 10) 湿度(%) 11) 風速(m/s) 12) 日照時間(h) 13) 降雨量(mm)

表-8.5 ペンマン式計算結果例

岡山		1985年7月の蒸発散位				緯度=34.66		風速計=43.0m		ALBEDO=0.06		
月	日	赤緯	気温	湿度	風速	日照	降水	外日射	純放射	第1項	第2項	PENMAN
7	1	23.18	25.4	62.0	3.5	11.0	0.0	41.6	17.3	5.29	1.79	7.09
7	2	23.12	22.5	87.0	1.8	0.0	3.0	41.6	6.4	1.87	0.42	2.29
7	3	23.05	23.0	94.0	1.5	0.0	22.5	41.5	6.5	1.90	0.19	2.09
7	4	22.97	24.6	92.0	1.9	0.1	5.5	41.5	6.6	2.00	0.28	2.28
7	5	22.89	26.4	82.0	1.2	5.2	0.5	41.5	12.5	3.88	0.56	4.44
7	6	22.80	23.2	89.0	1.5	1.0	53.0	41.4	7.5	2.23	0.34	2.57
7	7	22.70	26.8	77.0	2.6	4.9	0.0	41.4	12.0	3.74	0.96	4.70
7	8	22.60	28.2	69.0	4.3	10.1	0.0	41.3	17.7	5.60	1.74	7.34
7	9	22.49	28.2	70.0	3.5	7.6	0.0	41.3	14.9	4.73	1.50	6.23
7	10	22.38	28.5	73.0	2.9	4.5	0.0	41.3	11.6	3.70	1.23	4.93
7	11	22.26	27.6	76.0	4.4	3.0	2.0	41.2	9.9	3.11	1.35	4.46
7	12	22.13	26.2	91.0	1.9	1.8	26.0	41.1	8.7	2.68	0.32	3.01
7	13	22.00	29.0	73.0	3.3	5.9	0.0	41.1	13.3	4.26	1.33	5.58
7	14	21.86	27.4	69.0	2.6	6.5	0.0	41.0	13.4	4.21	1.31	5.52
7	15	21.71	25.8	63.0	1.8	11.9	0.0	41.0	18.2	5.59	1.24	6.83
7	16	21.56	26.3	65.0	1.6	10.6	0.0	40.9	17.2	5.31	1.24	6.55
7	17	21.40	27.2	70.0	1.9	8.2	0.0	40.8	15.2	4.77	1.10	5.87
7	18	21.23	27.0	74.0	1.4	5.8	0.0	40.8	12.8	3.99	0.85	4.84
7	19	21.06	27.1	77.0	1.6	5.7	0.5	40.7	12.8	4.00	0.79	4.80
7	20	20.89	28.3	75.0	1.6	8.4	0.0	40.6	16.0	5.09	0.88	5.97
7	21	20.70	26.7	77.0	1.8	5.1	1.0	40.6	12.0	3.74	0.82	4.56
7	22	20.51	27.2	74.0	1.4	6.6	0.0	40.5	13.6	4.26	0.86	5.12
7	23	20.32	28.3	72.0	1.6	7.7	0.0	40.4	14.9	4.75	0.99	5.73
7	24	20.12	29.1	67.0	1.6	11.4	0.0	40.3	18.9	6.05	1.18	7.23
7	25	19.91	29.2	69.0	1.6	10.7	0.0	40.2	18.3	5.87	1.11	6.98
7	26	19.70	29.5	63.0	1.6	11.5	0.0	40.2	18.6	6.00	1.33	7.33
7	27	19.48	30.1	61.0	2.1	13.0	0.0	40.1	20.2	6.54	1.58	8.12
7	28	19.26	30.0	61.0	1.9	12.6	0.0	40.0	19.7	6.37	1.51	7.89
7	29	19.03	30.9	60.0	1.7	12.7	0.0	39.9	19.9	6.53	1.51	8.04
7	30	18.80	31.0	63.0	1.8	10.9	0.0	39.8	18.3	6.01	1.43	7.44
7	31	18.56	29.6	69.0	1.6	7.6	0.0	39.7	14.7	4.75	1.12	5.87
合計						222.0	114.0			138.83	32.86	171.69
平均		21.31	27.4	73.0	2.1	7.2	3.7	40.8	14.2	4.48	1.06	5.54
単位		°	°C	%	m/s	h	mm	MJ/m ² /day	MJ/m ² /day	mm/day	mm/day	mm/day

表-8.6 表計算により求める場合の様式例

地点名 ①	緯度 ϕ (DEG) ②	緯度 ϕ (RAD) ③	風速計地上高度 H (m) ④	地表面での日射反射率 (アルベド) α ⑤
作物係数 k_c ⑥	外気温 t_0 ($^{\circ}\text{C}$) ⑦	乾湿計定数 γ (hPa/ $^{\circ}\text{C}$) ⑧	年 ⑨	月 ⑩
日 ⑪	気温 t ($^{\circ}\text{C}$) ⑫	湿度 RH (%) ⑬	風速 UH (m/s) ⑭	日照時間 n (h) ⑮
降雨量 R (mm) ⑯	通日 J ⑰	太陽距離の比 d/d ⑱	計算日の赤緯 δ (DEG) ⑲	計算日の赤緯 δ (RAD) ⑳
日没時刻 ω_0 (時角, RAD) ㉑	日没時刻 ω_0 (時角, DEG) ㉒	可照時間 N (時間) ㉓	大気圏外日射量 Q_a (MJ/m ² /day) ㉔	飽和水蒸気量 e_{sa} (hPa) ㉕
実際の水蒸気量 e_a (hPa) ㉖	純放射の推定 S (MJ/m ² /day) ㉗	飽和水蒸気圧曲線の 勾配 Δ ㉘	水の蒸発潜熱 I (MJ/kg) ㉙	2mでの風速 u_2 (m/s) ㉚
風速係数 $f(u_2)$ ㉛	第1項 (放射項) ㉜	第2項 (空力項) ㉝	蒸発位 E_0 (mm/day) ㉞	

入力事項・計算式等

①：気象調査地点名

②：緯度 (DEG)

③：緯度 (RAD) = ②・ $\pi/180$

④：風速計設置地上高度 (m)

⑤：地表面での日射反射率 (アルベド) = 0.06 (水面での値)

⑥：作物係数

⑦：外気温 ($^{\circ}\text{C}$)⑧：乾湿計定数 γ (hPa/ $^{\circ}\text{C}$) = 0.66

⑨～⑩：気象調査年月日

⑫：気温 ($^{\circ}\text{C}$) = ⑦ ※露地の場合。施設の場合は、11.施設畑 (ハウス) の計画日消費水量等を参照。

⑬：湿度 (%)

⑭：風速 (m/s)

⑮：日照時間 (h)

⑯：降雨量 (mm)

⑰：通日 (1月1日からの通算日数)

⑱：太陽距離の比 (地球太陽間の瞬間と平均距離の比) = $1.0 + 0.01676 \cdot \cos(0.977 \cdot ((\text{⑰} - 186)))$ ⑲：計算日の赤緯 (天球上の太陽の緯度 : DEG) = $23.45 \cdot \cos(0.966 \cdot ((\text{⑰} - 173)))$ ⑳：計算日の赤緯 (天球上の太陽の緯度 : RAD) = ⑲・ $\pi/180$ ㉑：日没時刻 (時角, RAD) = $\cos^{-1}(-\tan \text{③} \tan \text{⑲})$ ㉒：日没時刻 (時角, DEG) = ㉑・ $180/\pi$ ㉓：可照時間 (昼間の長さ 1 時間の時角 15° で割る : h) = $2 \cdot \text{⑲} / 15$ ㉔：大気圏外日射量 (MJ/m²/day) = $1.37 \cdot 10^{-3} / \text{⑱}^2 \cdot 86,400 / \pi \cdot (\text{⑲} \cdot \sin \text{③} \sin \text{⑲} + \sin \text{⑲} \cos \text{③} \cos \text{⑲})$ ㉕：飽和水蒸気量 (空気の温度 t での飽和水蒸気圧 : hPa) = $6.1078 \cdot \exp((17.2694 \cdot \text{⑫}) / (\text{⑫} + 237.30))$

㉖：実際の水蒸気量 (hPa) = ㉕・⑬/100

㉗：純放射量 (MJ/m²/day)= $(1 - \text{⑤}) \cdot \text{㉔} \cdot (0.18 + 0.55 \cdot \text{⑬} / \text{⑲}) - 4.9 \times 10^{-9} \cdot (\text{⑫} + 273.2)^4 \cdot (0.56 - 0.092 \cdot 0.866 \cdot \sqrt{\text{㉖}}) \cdot (0.1 + 0.9 \cdot \text{⑬} / \text{⑲})$ ㉘：気温 t ($^{\circ}\text{C}$) での温度飽和水蒸気圧曲線の勾配 (hPa/ $^{\circ}\text{C}$)= $0.4495 + 0.2721 \times 10^{-1} \cdot t + 0.9873 \times 10^{-3} \cdot t^2 + 0.2907 \times 10^{-5} \cdot t^3 + 0.2538 \times 10^{-6} \cdot t^4$ ㉙：水の蒸発潜熱 (MJ/kg) = $2.5 - 0.0024 \cdot \text{⑫}$ ㉚：2mでの風速 (m/s) = $\text{⑭} \cdot \log 200 / \log(100) \cdot \text{④}$ ㉛：風速係数 = $0.26 \cdot (1 + 0.54 \cdot \text{㉚})$ ㉜：ペンマン式右辺の第1項 = $(\text{㉘} / (\text{㉘} + \text{㉙})) \cdot (\text{㉗} / \text{㉙})$ ㉝：ペンマン式右辺の第2項 = $(\text{㉘} / (\text{㉘} + \text{㉙})) \cdot \text{㉛} \cdot (\text{㉕} - \text{㉖})$

㉞：蒸発位 (mm/day) = ㉜ + ㉝

ウ. 日照時間の測定計器間差の修正

ペンマン式では純放射量が必要であるが、純放射量の主要な因子である日射量は一部の気象官署でしか測定されていないので、全ての気象観測所で測定されている日照時間から推定する。

しかし、日照計の機種が気象官署とアメダス4要素観測所及び観測期間によって異なっており（表-8.7）、日照計によっては日照時間を修正する必要がある。ジョルダン式日照計と回転式日照計はほぼ同等な値を示すので換算は行わなくてよい。しかし、旧型太陽電池式日照計は回転式に比べて日照時間が長く、新型は短く計測されるので、それぞれ回転式での値へ換算する必要がある。

表-8.7 日照計の概要

測定場所	観測期間	日照計の種類
気 象 官 署	昭和 60 年～昭和 63 年頃以前	ジョルダン式日照計
	昭和 60 年～昭和 63 年頃以降	回転式日照計
アメダス4要素観測所	昭和 60 年～昭和 63 年頃以前	旧型太陽電池式日照計
	昭和 60 年～昭和 63 年頃以降	新型太陽電池式日照計

エ. 基準蒸発位（ E_0 ）の決定

ペンマン式により算出された蒸発位（ E_p ）は、梅雨、連続干天、天候不順といった気象現象に左右されており、毎日の値はもちろん月別の平均値であっても、年次によっては大きく変動するため、特定年の蒸発位（ E_p ）をそのまま使用することは好ましくない。このため気象台のデータを基に計算した過去 20～30 年間の各年の月別蒸発位を求め、かんがい期間の蒸発位の合計値を統計処理して、10 年に 1 回程度の割合で発生する蒸発位を決定し、これを基準蒸発位（ E_0 ）とする。この際に、基準蒸発位（ E_0 ）の決定に当たっては、かんがい期総有効雨量、かんがい期総雨量、かんがい期連続干天日数、かんがい期総干天日数等により異常年でないかを確認する必要がある。

入手できるデータの制約がある地区については、統計処理・解析手法による再現値等を使用してもよい。

なお、基準蒸発位（ E_0 ）は小数点以下第 2 位を四捨五入して 1/10mm 単位で表示するものとする。

(2) 基準蒸発散量（ ET_m ）の算出

基準蒸発散量（ ET_m ）は、作物に利用可能な土壌水が十分供給され、作物が正常に生育できる生育環境の下での栽培ほ場からの蒸発散量を水深で表したものであり、地域の気象特性を基に決められた基準蒸発位（ E_0 ）と、導入作物の種類とその生育ステージによって決まる作物係数（ k_c ）を基に、次の式（8.3）により決定する。

$$ET_m = k_c \cdot E_0 \text{ (mm/day)} \quad \dots \dots \dots (8.3)$$

作物係数（ k_c ）は、ペンマン式により計算される蒸発位（ E_p ）と実際の作物の蒸発散量の比に基づいて、作物の種類とステージ別に定められている。

ア. 作物係数（ k_c ）

用水計画に用いることのできる作物係数（ k_c ）は表-8.8 のとおりである。生育ステージ欄は、播種・定植期（播種・定植用水を使用した以降で初期生育が開始するまでの期間）、生育期、完熟期又は収穫期（完熟日又は収穫日）のそれぞれの生育段階の数値を示す。作物係数（ k_c ）に

については、作物の蒸発散特性からグループ分類された標準値を表示しており、そのグループに属する作物については、原則として、この標準値を作物係数 (k_c) として用いる。

常緑果樹、永年牧草など年間を通して被覆程度が大きいものは、基本的には常に生育期として扱い、季節的変動が知られている場合は、季節変動を考慮する。落葉果樹やアスパラガス等の永年性作物の表示は、葉の群落形成過程を1年生作物に模して適用する。

表-8.8 作物係数表（ k_c ）

作物	生育ステージ			作物	生育ステージ					
	播 種 定植期	生育期	完熟期 収穫期		播 種 定植期	生育期	完熟期 収穫期			
なす	0.7	1.0	1.0	ねぎ	0.7	1.0	0.8			
トマト				たまねぎ						
ピーマン				にんじん						
きゅうり	0.7	1.0	1.0	だいこん						
メロン	0.7	1.0	0.7	てんさい						
すいか				ごぼう						
かぼちゃ				ながいも						
その他うり類				ホップ						
レタス	0.7	1.0	0.9	その他冬型野菜類等（飼料ビー ト、にんにく、らっきょう、にら、 なたね等）						
キャベツ				さといも				0.7	1.1	0.9
はくさい				やまといも						
ブロッコリー				かんしょ	0.7	1.0	0.8			
カリフラワー				ばれいしょ	0.7	1.1	0.7			
芽キャベツ				しょうが	0.7	1.0	0.8			
アスパラガス				こんにゃく						
その他大型葉菜類 （タカナ・みずな等）										
ほうれんそう	0.7	1.0	0.9	陸稲	0.7	1.1	1.0			
セルリー				小麦	0.7	1.1	0.3			
いちご				大麦						
その他軟弱野菜類（しゅんぎく、 ちんげんさい等）				えん麦						
未成熟とうもろこし	0.7	1.1	1.0	その他食用禾本科類 ごま						
とうもろこし	0.7	1.1	0.6	イタリアンライグラス	1.2	1.2	1.2			
ソルガム				オーチャード						
さとうきび				チモシー						
ネピアグラス				その他寒地型禾本科類						
その他大型禾本科類 （らい麦等）				牧草（ペレニアルライグラス等）						
大豆	0.7	1.1	0.5	芝	1.0	1.0	1.0			
らっかせい				ローズグラス						
小豆				バヒアグラス						
菜豆				その他小型禾本科牧草						
その他食用豆類等（オクラ等）				（ダリスグラス等）						
そらまめ	0.7	1.1	1.0	クローバ	1.1	1.1	1.1			
えんどう				アルファルファ	0.7	1.0	0.8			
その他食用冬作類等				その他飼料用豆科類						
あわ	0.7	1.0	0.3	たばこ						
きび				クワ	0.7	1.1	0.8			
雑穀				かき						
その他食用夏作禾本科類等 （ひえ、そば等）				なし						
				りんご						
				ぶどう						
ひまわり	その他落葉果樹（もも、おうとう、 くり等）									
				みかん	0.7	0.9	0.7			
				茶・常緑果樹（びわ等）	1.0	1.0	1.0			

出典：平成5年度計画基準改定調査（畑地用水量調査）報告書（H4 全国農業試験場アンケート結果）

ステージ別の作物係数（ k_c ）の決定方法の例を図-8.6に示す。

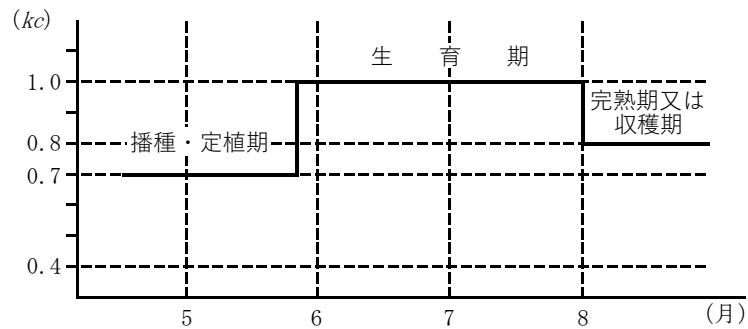


図-8.6 ステージ別の k_c 値の決定方法

イ. 作物の生育ステージ

生育ステージの区分を表-8.9に示す。

表-8.9 作物の生育ステージ

①播種・定植期	土壌表面に作物被覆のない発芽の段階又は生育が始まる段階 (被度 10%以下)
②生育期	播種・定植期の後期から土壌が完全に効果的に被覆されるまでの段階 (被度 70~80%) 土壌表面が効果的に完全被覆され葉の変色又は落葉により成熟が始まるまでの段階。茎葉野菜類はこの段階で収穫するものが多い。 生育旺盛期の終わりに完熟期又は収穫期までの段階
生育前期	
生育旺盛期	
生育後期	
③完熟期又は収穫期	穀実が完熟し、地上部が枯死するまでの状態 (完熟日又は収穫日)

(3) 計画蒸発散量 (ET_a)

計画蒸発散量 (ET_a) は、作物の生育の一定期間において水供給が不足しても収量・品質に影響を受けない場合の蒸発散量をいい、基準蒸発散量 (ET_m) を修正した次の式 (8.4) により求める。水分反応係数 (k_a) は、一時的な低水分状態での土壌水分管理に対する作物固有の水分反応特性を考慮し、用水計画上にあって基準蒸発散量 (ET_m) より少ない蒸発散量に修正する係数である。

$$ET_a = k_a \cdot ET_m \quad (\text{mm/day}) \cdots \cdots (8.4)$$

ここで、

k_a : 水分反応係数 ($k_a \leq 1.0$)

上記の適用は、①作物の耐干性が強い、②収量に関して致命的な生育ステージではない、③十分な保水力を持った土壌などの条件が満たされる場合のみに限定する。

作物によっては、比較的高水分の条件下では蒸発散量の変化は少ないが、低水分の条件下では蒸発散量は減少する。また、短期間の干ばつを深根性のために回避する生態的耐干性を示すものや茎葉そのものが強い耐干性を示すため、生育ステージによっては、一時的なかんがい水量の減少の影響を受けにくく基準蒸発散量 (ET_m) より少ない蒸発散量によっても同程度の収量を期待できるものがある。したがって、これらの作物については、水分反応係数 (k_a) を考慮することで利用形態に即したより適正な用水計画が可能となる。

用水計画に用いることのできる水分反応係数（ k_a ）を表-8.10に示した。表に該当しない作物については1.0として取り扱うこととする。蒸発散量が長期にわたって基準蒸発散量（ ET_m ）以下となる土壌水分条件下では、作物中の体内水分が不足し、生育障害を来し、収量、品質に悪影響を与える。影響の程度は、作物の種類、品種、水不足の程度やそれが起こる時期によって異なる。また、かんがい条件、施肥、栽植密度、病虫害防除などの栽培条件や土壌条件、地下水位などの立地条件と独立して考えることはできない。

したがって、作物により土壌面が十分に被覆され、蒸散量が蒸発散量の大部分を占め作物固有の特徴が明確に現れる生育期のみに適用する係数である。

表-8.10 水分反応係数（ k_a ）

水分反応係数	作物	
0.8	野菜	たまねぎ、だいこん「秋冬」、かぼちゃ、にんじん「秋冬」、はくさい、すいか、トマト、メロン、キャベツ、かぶ、つけ菜類、ごぼう
	普通作物	えん麦、小麦、大麦、大豆、小豆、スイートコーン、さとうきび、ばれいしょ、てんさい、芝、たばこ、さつまいも、らっかせい
	飼料作物	飼料かぶ、オーチャード、ローズグラス、チモシー、ネピアグラス、スーダングラス、アルファルファ、イタリアンライグラス、クローバ、ギニアグラス、ソルガム
	永年性作物	みかん、りんご、鑑賞木

(4) 計画日消費水量

ペンマン法を用いた決定手法では、根群域内の水分減少量で、計画蒸発散量（ ET_a ）と根群域より下層からの上向き補給水量（ Q ）を考慮して計画日消費水量を決定する。

根群域は、土壌面蒸発及び作物根による吸水・蒸散によって水分消費を生ずる土層であり、この土層には作物根の大部分（80～90%）が存在している。我が国のような湿潤地帯では、降雨の一部が根群域より下層に浸透し貯留される。その後、蒸発散による根群域の水分減少が下層との水分傾度を高める結果、毛管現象によって、土壌水分が下層から根群域へ再移動し、かんがい水と同様に機能して作物に消費される。これを上向き補給水量（ Q ）といい、ペンマン法による畑地かんがい用水計画では、この上向き補給水量（ Q ）を考慮して計画日消費水量を算出する。なお、計画日消費水量の単位は、一般には小数点以下第1位を四捨五入して表示する。

かんがい計画上の計画日消費水量は、計画蒸発散量（ ET_a ）より上向き補給水量（ Q ）を減じて算定する。ただし、根群域以下の下層土層が礫質、岩盤地帯などでは毛管連絡が遮断されるため上向き補給水量（ Q ）は見込めない場合があるので、土壌調査結果等から検討する必要がある。

$$\text{計画日消費水量} = \text{計画蒸発散量} (ET_a) - \text{上向き補給水量} (Q) \quad (\text{mm/day})$$

ア. 土層の特性

土層の定義と水の動きの模式図を図-8.7に示し、各土層についての説明を以下に述べる。

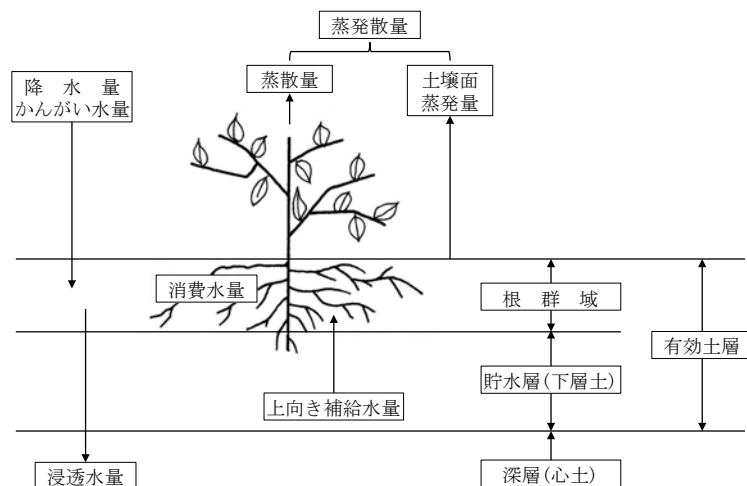


図-8.7 土層の定義と水の動き

(7) 主要根群域と根群域

根系の発達、一次的には作物の種類によって定まるが、二次的には、地温、肥料、土壌水分、土壌構造等の環境が大きく作用する。土壌の物理性からみれば、根群域の深さは、地下水、岩盤、礫層、緻密な土層、あるいは耕盤などの障害によって制限される。

地力増進法に基づく指針「地力増進基本指針」では、普通畑、樹園地の土壌の基本的な改善目標が示されており、その概要は表-8.11のとおりである。

表-8.11 地力増進基本指針に示された普通畑、樹園地の土壌の改善目標

地 目	改 善 目 標
普通畑	・作土の厚さ：25cm 以上 ・主要根群域¹⁾：地表下 40cm までの土層
樹園地	・主要根群域の厚さ：40cm 以上 ・根群域²⁾の厚さ：60cm 以上

1)主要根群域とは、細根の70～80%以上が分布する範囲であり、主として土壌の化学的性質に関する項目（pH、陽イオン交換容量、塩基状態、有効態リン酸含有量及び土壌有機物含有量）を改善する対象。

2)根群域とは、根の90%以上が分布する範囲であり、主として土壌の物理的性質に関する項目（最大緻密度、粗孔隙量及び全容易有効水分保持能）を改善する対象。地力増進基本指針では「根域」という。

普通畑については、運用上、根群域＝主要根群域とみなせることから、これらの深さを畑地かんがい計画上の深さの目安とすることができる。

(イ) 貯水層（下層土）

根群域のすぐ下に位置する土層であり、根群域の貯水能力を上回る降水による浸透水が貯留される層である。根群域の水分減少に伴い、この貯水層から上向きの補給水（ Q ）が根群域に供給される。

(ロ) 深層

貯水層のすぐ下に位置する土層であり、浸透流の向きは一般にかんがい期間を通じて常に

下向きである。

(エ) 地下水位

地下水位が貯水層の直下、つまり地表面下 1.0～1.5m 程度のところに存在する場合がある。このような場合には、暗渠を設けたり、高うねにするなどして、地下水と貯水層との水理的な連続性を絶っておくことが望ましい。そうしなければ過湿畑となり、このような傾向は、冬期などの蒸発散量が小さい時期に顕著に現れる。

イ. 上向き補給水量（ Q ）の決定

上向き補給水量（ Q ）は、根群域より下の貯水層（下層土）からの水分補給量であり、土性区分、根群域の深さ（ D ）、蒸発散量（ ET ）、蒸散量（ T ）等によって異なる。

具体的には、まず地区内の土壌分布割合等から、地区を代表する土性区分を、表-8.12 を参照して①、②、③及び④から選ぶ。土性区分が①か②である場合は、作物ごとの計画蒸発散量（ ET_a ）とこれまでの研究成果の集積によって作成された図-8.8 を参照して、月ごとに上向き補給水量（ Q ）を決定する。

このとき、作物の生育ステージの変化に伴う上向き補給水量（ Q ）の変化を考慮することとし、図-8.8 の適用に当たっては、表-8.13 に示した T/ET の値を使用する。（表-8.12、表-8.13、図-8.8 は河野らの研究成果¹⁾に基づいている。）

また、土性区分が③か④である場合は、これらの上向き補給水量（ Q ）が同程度かつ少ないため、計画上はグラフから読取る手法を用いず、普通畑、樹園地のそれぞれに対して平均的な値である 0.2mm/day、0.1mm/day を上向き補給水量（ Q ）の値とする。

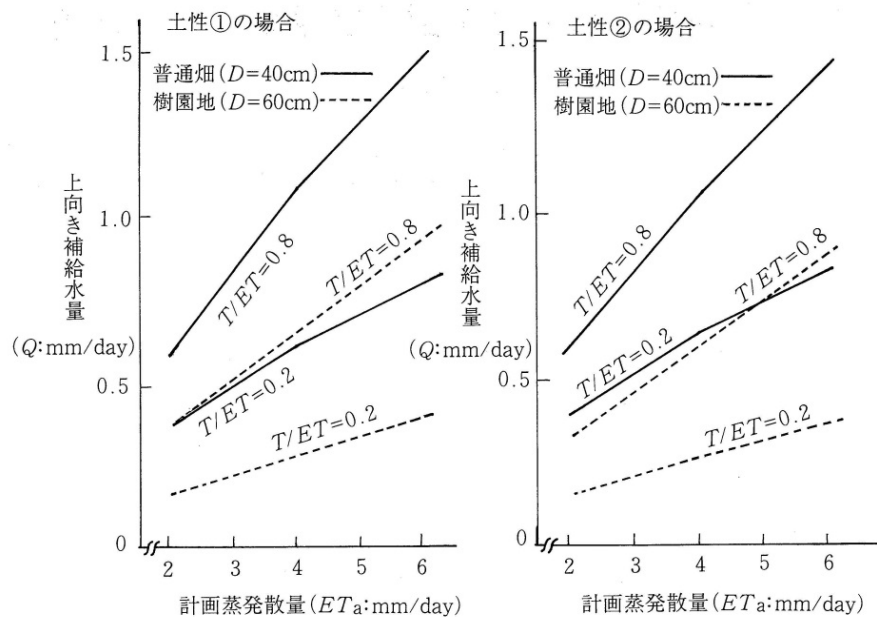
表-8.12 土性区分の区分

土性区分	主な土性（国際法による粒径区分）
①	SL、L、S ₁ L
②	SCL、CL、S ₁ CL
③	SC、L ₁ C、S ₁ C、HC
④	S、LS

普通畑については 40cm 程度、樹園地については 60cm 程度の土性によって判断する。

表-8.13 T/ET の区分

土地利用の形態	播種・定植期	生育期	完熟期又は収穫期
普通畑	0.2	0.8	0.2
樹園地	0.2	0.8	0.8



D : 根群域の深さ

普通畑の場合は 40cm、樹園地の場合は 60cm のグラフを採用する。

図-8.8 土性区分及び根群域別の上向き補給水量

8.3 その他の日消費水量の算定方法（参考）

日消費水量の算定方法として、実測法としては土壤水分減少法以外にライシメータ法、チェンバー法等がある。また、気象データから日消費水量を求める推定法としてはペンマン法以外に、ブラネイ・クリドル法、蒸発散比法等がある。参考にこれらの概要を以下に示す。

(1) ライシメータ法

一般にライシメータには排水収支型、フローティング（浮遊式）型、ウェイイング（秤量式）型等がある。

排水収支型では土壤層と浸出水受水槽を持つライシメータにより、降雨量（ R ）とかんがい水量（ I ）を収入、浸出水量（ S ）を支出とし、土壤水分変化量（ M ）を考慮して、収支計算を行うことにより消費水量（ e ）を求める方法である。ただし、 M の符号は土壤水分減少量に+（プラス）を土壤水分増加量に-（マイナス）をとる。

$$e = R + I - S \pm M \cdots \cdots (8.5)$$

(2) チェンバー法

この方法は、あらかじめほ場の土壤水分を 24 時間容水量にしたのち、供試作物を蒸散室で被覆してこれに空気を送り込み、その出入口の湿度差を高い精度で求め、これと送り込んだ空気量から蒸発散量を測定する方法である。この方法による場合、実際の栽培管理状況に近い姿で測定でき、また、月別の変化を知ることができるという利点はあるが、一般に土壤水分減少法より大きな値となることから、特に土壤中での水分消費を求める場合には、補正が必要である。

(3) ブラネイ・クリドル法

この方法は、気温と可照時間と作物係数から消費水量を求めようとするものである。

$$e_m = 0.25k_c \cdot P \cdot t \quad \dots \dots \dots (8.6)$$

$$e_d = e_m/m \quad \dots \dots \dots (8.7)$$

ここで、

t : 月平均気温 (°F)

P : 全年可照時間の割合 (%)

k_c : 作物係数で表-8.8による

e_m : 月消費水量 (mm)

e_d : 平均日消費水量 (mm/day)

m : 月の日数 (day)

すなわち、実測によって e_m の値を求め、作物ごとに k_c の値を定めておけば、気象資料から任意の地域での消費水量が求まる。

(4) 蒸発散比法

この方法は、蒸発計蒸発量の値から消費水量を求める方法である。すなわち蒸発計蒸発量と消費水量の間に作物とその生長段階に応じて、一定の相関があるとする考え方により求めるものである。

$$e = \alpha \cdot E \quad \dots \dots \dots (8.8)$$

ここで、

e : 消費水量 (mm/day)

E : 蒸発計蒸発量 (mm/day)

α : 蒸発散比

8.4 日消費水量の算定事例

参考事例として、各種文献において算定されている日消費水量を以下の表-8.14に示す。

表-8.14 日消費水量の算定事例

地区	作物	土性区分	日消費水量 (mm/day)	引用 文献
茨城県	なす	埴壤土	1.9～5.4	2)
千葉県	ごぼう、さつまいも等 飼料作物	砂壤土・壤土	1.5～6.0	3)
		砂壤土・壤土	1.5～8.0	
愛知県	冬にんじん	砂壤土・砂質埴 壤土	3.2～8.4	8)
近畿地方 日本海側	もも	砂土・砂壤土	1.3～4.2	4)
	なし	埴壤土	0.4～4.1	
	長だいこん	壤土・砂壤土	3.6～4.4	5)
	ひのな（日野菜）	砂壤土・砂土	0.7～5.2	
	かぼちゃ	砂土	0.7～3.0	
	とうもろこし	砂壤土・砂土	1.5～4.1	
	メロン	砂壤土・砂土	1.2～2.1	6)
	すいか	砂壤土・砂土	3.1～5.3	
	かんしょ	砂壤土	0.7～4.0	
	大かぶ 丸だいこん すいか ブロッコリー	砂壤土・砂土 砂土 砂壤土・砂土 砂壤土・砂土	3.8～4.0 5.4～6.5 5.9～6.7 4.6～6.2	7)
和歌山県	スターチス（ハウス栽培）		0.7～2.0	8)
	メロン（ハウス栽培）	砂壤土・壤土	0.8～2.0	
	すいか（ハウス栽培）		1.7～2.9	
	スターチス（ハウス栽培）		1.2～2.4	8)
	ダリア（ハウス栽培）	壤土・埴壤土	1.1～3.3	
	すいか（ハウス栽培）		1.2～3.3	
熊本県	きゅうり（ハウス栽培）	埴壤土	0.6～5.1	8)
宮崎県	いちご（ハウス栽培）	埴壤土・壤土	0.5～3.7	8)

引用文献

- 1) 河野 広・白谷栄作・グイエン クァン キム：畑地用水計画における根群域への上向き補給水量について、農業土木学会論文集 63(1)、pp9～15 (1995)
- 2) 宮本輝仁・塩野隆弘・亀山幸司・井口三郎・盛永一美・田中和博・長谷川昌美：畑地灌漑計画基礎諸元の算定へのキャパシタンスセンサーの適用性について、農業農村工学会論文集 81(6)、pp99～106 (2013)
- 3) 猪口琢真・河野英一・笹田勝寛・石川重雄：露地普通畑灌漑地区における水利用の実態と用水計画の適応性、農業土木学会論文集 75(2)、pp61～69 (2007)
- 4) 谷川寅彦・矢部勝彦：造成樹園地における水分消費と下層補給について、農業土木学会論文集 74(3)、pp113～120 (2006)
- 5) 谷川寅彦・金木亮一・矢部勝彦：傾斜畑における土壌水の動態と水分消費特性、農業土木学会論文集 70(5)、pp81～88 (2002)
- 6) 谷川寅彦・木原康孝・福桜盛一・矢部勝彦：フィルム被覆栽培下における造成畑の水分動態と水分消費特性、農業土木学会論文集 68(6)、pp103～109 (2000)
- 7) 谷川寅彦・木原康孝・福桜盛一・矢部勝彦：造成後の露地畑における水分動態と下層補給の事例、農業土木学会論文集 68(1)、pp119～129 (2000)
- 8) 農林水産省農村振興局整備部設計課：令和4年度計画基礎諸元調査報告書

参考文献

- 成岡道男・宮本輝仁・岩田幸良・亀山幸司・中村俊治：HYDRUS-1D を使ったユリ畑の上向き補給水量の算定、農業農村工学会誌 83(7)、pp31～36 (2015)
- (社)畑地農業振興会：畑地灌漑の新展開－明日の畑かんを目ざして－、pp137～181 (1992)

9. 計画間断日数と1回の計画かんがい水量

(基準 3.3.4.3 関連)

9.1 計画間断日数と1回の計画かんがい水量

計画間断日数は、全容易有効水分量 (TRAM) を計画最大日消費水量 ($CU_{\max}$) で除して、小数点以下を切捨てた値で求める。なお、計画日消費水量がピーク期以外の場合も、間断日数は変更せずにかんがい時間で調整する。

土壌の水分保持特性を最大限有効に利用する間断かんがいでは、かんがい回数を減らすことができるため、かんがい作業の軽減や無効かんがいの抑制に対して効果が高い。

用水計画においては、かんがい回数の減少だけにとらわれることなく、降雨の有効利用や営農の自由度なども考慮すべきである。

1 回の計画かんがい水量は、全容易有効水分量 (TRAM) を上限値として、営農、栽培条件等の検討を行い、計画間断日数に期別ごとの計画日消費水量を乗じて求める。また、計画最大日消費水量 ($CU_{\max}$) を乗じたものを 1 回の計画最大かんがい水量という。

間断かんがいによる土壌水分の管理は、一般に制限土層の有効水分が消費され、土壌水分張力が $pF3.0$ に達した時、それまでに有効土層で消費された全水量 (全容易有効水分量 (TRAM)) を一度にかんがいて、土壌水分を 24 時間容水量に戻すという考え方に立っている。ローテーションブロックへ供給される水量の上限は、面積と作物の日消費水量から決まる。この供給水量を超過することなく、個々のほ場のかんがい回数を減らす合理的な方法が間断かんがいである。計画間断日数の最大値は、全容易有効水分量 (TRAM) を計画最大日消費水量 ($CU_{\max}$) で除した計画間断日数である。理論的には、計画間断日数は 1 日 (毎日かんがい) から計画間断日数の最大値までの任意の日数に設定したとしても、ローテーションブロックへ供給される水量を超えることはない。

9.2 参考

計画地域の降雨特性からみて、かんがいのピーク時においてもかなりの降雨が期待でき、しかも、土壌及び作物の特性から全容易有効水分量 (TRAM) がある程度の大きさを持っているならば、1 回のかんがい水量を若干低めに設定することにより、かんがい期間中の有効雨量の割合を増やすことが可能となり、結果として用水量の減少につながる場合もある。このとき、間断日数を若干小さめに調整した場合も想定し、日降雨量と気象因子により補正した日消費水量に基づき、かんがいの計画基準年及び干ばつ年を中心とした 20 か年程度を対象としてシミュレーションを行い、土壌水分が生長障害水分点を下回らない状態で確保されているかどうかをチェックする。

この結果、ある程度調整を加えた 1 回のかんがい水量と間断日数でも、土壌水分状態が正常生育を保証する状態に保たれているならば、計画値を若干修正して用いることも可能と考えられる。

以上のような検討を行うことにより、用水量を減少できる場合があるが、反面、かんがい頻度の増加を招く等の問題も生ずるので、水源施設の構造、管理組織の内容及び事業の経済性等も考慮しつつ総合的立場からの検討が必要である。また、このような方法を用いる場合は、従来の地区と比較してその必要性、妥当性が整理されていることが必要である。

10. マイクロかんがいにおける計画日消費水量等の決定

(基準 3.3.4.3 関連)

10.1 用水計画の基本的考え方

用水計画に当たっては、マイクロかんがいの特徴と対象地区の気象・土壌・作物の特性を十分把握するとともに、営農及び用水利用の展開方向にも配慮して施設計画と整合したものとなるよう作成する。

マイクロかんがいは、主に作物の根群域に用水を少量頻繁に供給するかんがい方式であり、作物の収量のみならず、土壌水分の管理から品質の向上にも対応することが可能である。このため、用水計画は、作物の水分生理上の特性を理解した上で、かんがい開始時期や土壌水分状態等について、作物別、生育段階別に作成することが望ましい。

マイクロかんがいにおける水分補給のための用水計画では、作物がうね状あるいは離散的に植栽されているほ場の場合、根群域付近を給水範囲としたかんがい（以下「部分かんがい法」という。）が計画され、一方、比較的密植されたほ場の場合、従来のスプリンクラかんがい方式と同様にほ場全面（以下「全面かんがい法」という。）に給水されるよう計画される。なお、全面かんがいの場合の消費水量は露地畑では技術書「8. 計画日消費水量等の決定」の項に準拠し、施設畑（ハウス）では技術書「11. 施設畑（ハウス）の計画日消費水量等」の項に準拠する。

部分かんがい法では、エミッターを中心とした給水範囲において土壌が湿潤状態（以下「湿潤域」という。）に保たれ、この範囲以外は降雨がない限り非湿潤状態（以下「非湿潤域」という。）にある。したがって、用水量の算定は、従来のほ場全面に給水を行い、深さ方向（一次元）についての給水と根群分布を対象とする用水量の考え方とは異なった考え方を必要とする。

したがって、部分かんがい法の用水計画は、このような考え方を基本に、次のような特徴を考慮して作成する。

(1) 湿潤域

マイクロかんがいによって形成される湿潤範囲を湿潤域といい、かんがいの範囲によって帯状分布、独立円分布、全面分布になる。分布する範囲は、エミッターの流量、配置間隔、土壌の種類、構造、土壌水分、気象条件等によって異なる。また、土壌面に形成される湿潤面の広がりには深さ方向の湿潤範囲の広がりとして検討される必要がある。

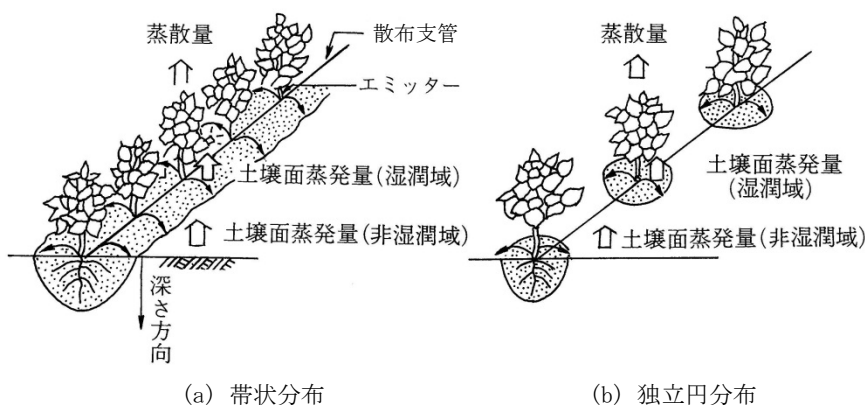


図-10.1 ドリップチューブによる湿潤パターン

(2) 水分消費域

水分消費域とは、作物の根群域が分布している領域で、従来の全面かんがい法では、対象ほ場の大きさに相当する。部分かんがい法では、露地栽培と施設栽培において根群分布が異なるので、それぞれの水分消費域の大きさを変えて取り扱う。水分消費域は、施設栽培では湿潤域の大きさと同じであるが、露地栽培では、たびたびの降雨で降雨後一定期間ほ場が全面に湿潤状態になるので、根群はほ場全面に分布しているとみなし、湿潤域だけでなく非湿潤域を包含し、全面かんがい法と同じほ場全面を対象とする。

(3) 少量頻繁かんがい

マイクロかんがいでは、湿潤域に少量で頻繁にかんがいを行うことができる。このため、表面付近の根がストレスを受けないようにかん水することで、作物の生理的需要にきめ細かく対応することができ、集約的な栽培が可能となる。このようなマイクロかんがいの特徴は、一般に間断日数を短くして1回のかん水時間を長くするほど発揮できる。また、砂地のような保水力が小さい土壌でも少量頻繁かんがいによって適正な水分量を保つことができる。

対象作物によっては、湿潤域内の制限土層を対象に 24 時間容水量 (f_c) と生長阻害水分点 (pF3.0) との間に適正なかん水開始点水分量 (θ_1) を設定して f_c と θ_1 の間で水分管理を行うとよい。かん水開始点水分量の指標として、ここでは次の式 (10.1) に示す好水分作物係数 (C_r) を導入する。

$$C_r = \frac{(\text{かん水開始点水分量}(\theta_1) - \text{pF3.0水分量})}{(24\text{時間容水量}(f_c) - \text{pF3.0水分量})} \quad \dots \dots \dots (10.1)$$

C_r は 1.0 より小さい値を示し、耐干性作物では、かん水開始点水分量を pF3.0 程度にとることができるので C_r の値がかなり小さくなる。また、好水分作物では C_r の値が、1.0 に近づく。したがって、かん水開始点水分量を高く (f_c の近くに) 設定する場合には、一般には 1 回のかんがい水量が小さくなり間断日数も短くなる。このため、施設栽培のように好水分作物を導入して高品質と高収量を目指す営農体系下では、このようなマイクロかんがいの特徴を取り入れることが望ましい。

(4) マイクロかんがいにおける容易有効水分量 (RAM) と全容易有効水分量 (TRAM)

容易有効水分量 (RAM) は、24 時間容水量 (f_c) と生長阻害水分点の水分量 (pF3.0) との差として与えられる。全容易有効水分量 (TRAM) は、容易有効水分量 (RAM) と土壤水分消費型 (SMEP) から得られる。土壤水分消費型 (SMEP) は、高水分による管理と低水分による管理では、同じ土壌・作物でも異なり、高水分管理では土壤水分消費は表層に分布し、低水分管理では深層へも分布する。

また、マイクロかんがいでは、作物の水分生理を考慮した土壤水分の管理に即して、かん水点水分量 (θ_1) を設定するので、容易有効水分量 (RAM) の範囲 ($f_c - \theta_1$) が従来の考え方と異なる。

したがって、「作物の水分生理を考慮した土壤水分の管理を行うマイクロかんがいにおける TRAM」を、ここでは、マイクロ全容易有効水分量 (MTRAM) と定義する。MTRAM は計算上、TRAM に $(1 - C_r)$ を乗ずることによって得られる (10.4 参照)。

なお、部分かんがい法では部分湿潤域を形成するので、MTRAM に、さらに湿潤面積率 ($P = \text{全湿潤域面積} / \text{ほ場面積}$) を乗ずることによって 1 回のかんがい水量が求まる。このようにして

得られた値は、湿潤域での特性値であるが、計算上は図-10.2 に示すように、ほ場全面に均したものと取り扱う。これを全面換算仮想 TRAM ($MTRAM \times P = CTRAM$) と定義する。なお、図-10.2 は、水分容量を模式的に表したものである。

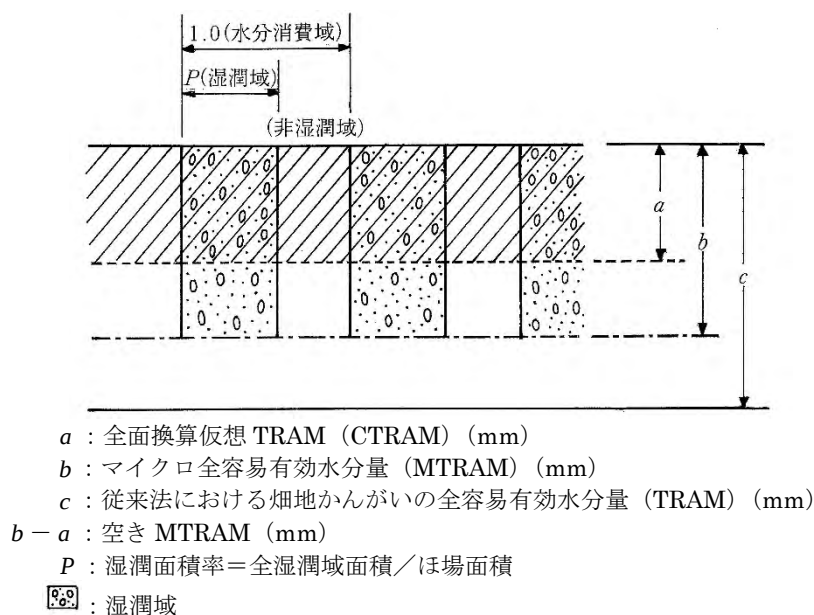


図-10.2 露地栽培における MTRAM 等の容量模式図

(5) 用水量算定の手順

部分かんがい法での消費水量は、原理的には1株または1樹当たり何リットルと表示するのが望ましい。しかし、ほ場を対象とした用水計画の策定に際しては、他のかんがい方式の場合に準拠して、給水量をほ場全面の水量に均した全面かん水深で表示する。なお、マイクロかんがいにおける用水量算定の手順は図-10.3 のとおりである。

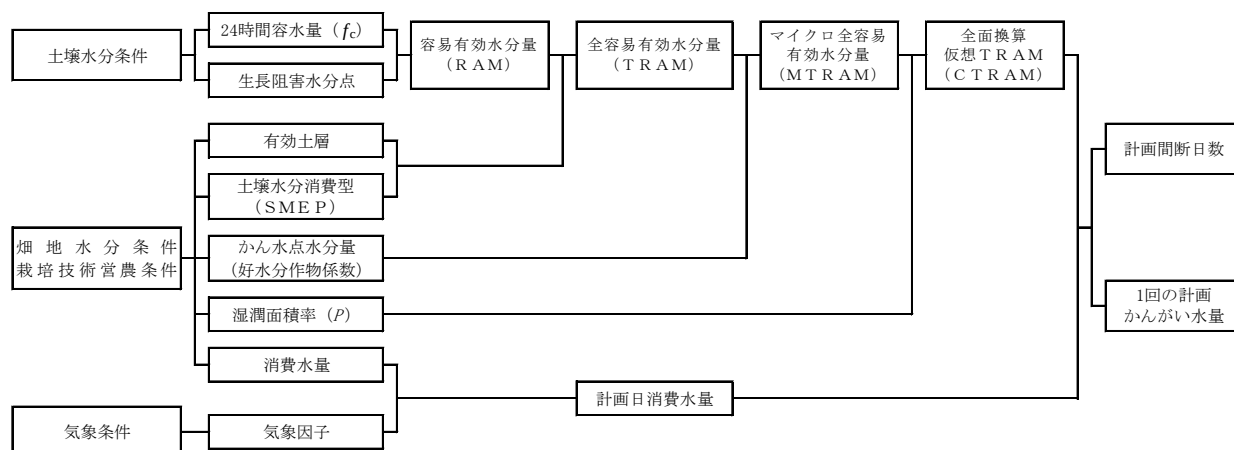


図-10.3 マイクロかんがいの用水量算定の手順

10.2 消費水量と計画日消費水量

消費水量は、作物が正常に生育し、高品質と多収量を実現し得る状況下で消費される有効土層内の土壌水分の減少量である。また、計画日消費水量は、消費水量に気象条件等を考慮して適切に求める。

(1) マイクロかんがいにおける消費水量の考え方

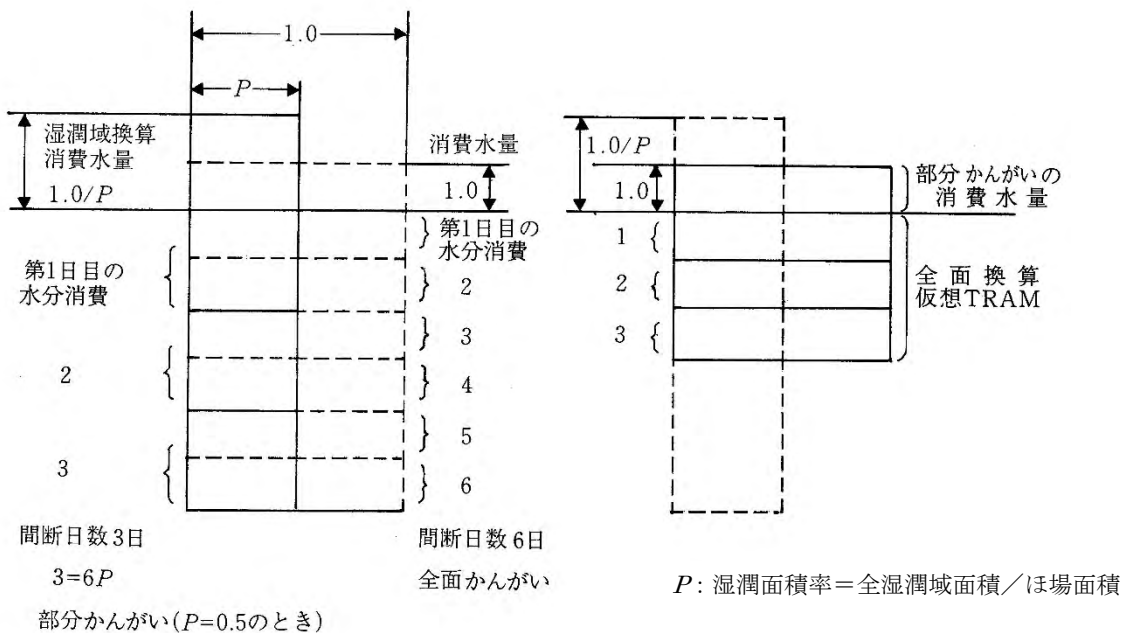
給水による土壌水分量は、無降雨条件下では一様に分布するのではなく、かん水点付近で大きく、かん水点から離れるに従って小さくなる。しかし、降雨の影響を受ける露地栽培では、降雨後の一定期間、ほ場は全面的に湿潤状態となり、土壌水分量はほ場全面に一様に分布する。

無降雨条件下において部分湿潤域を形成する場合の消費水量は、降雨によってほ場が全面的に湿潤状態になる場合に比べてやや小さくなる傾向にある。

しかし、降雨頻度が大きく、降雨影響期間の長い我が国の露地栽培にあつては、二つの消費水量を区分して取り扱うことは、計画上煩雑であるとともに、それほど実質的な差異はない。

降雨の影響を受けない部分かんがいの水分消費は、湿潤域からのみ生じる。一方、降雨の影響を受ける全面かんがいでは、ほ場全面から水分消費が生じる。両者の消費水量（容量表示）をほぼ同じとみなせば、両者の関係は図-10.4 に模式的に示される。湿潤域内で換算される消費水量（水深表示）は、部分かんがいで $1.0/P$ 、従来の全面かんがいでは、1.0 であるが、同図 (a) 奥行単位長 (1.0) のものとして容量に換算すれば、部分かんがいは、 $(1.0/P) \times P = 1.0$ 、従来の全面かんがいは、 $1.0 \times 1.0 = 1.0$ となり、同じ値を示す。

また、湿潤域での特性値であるマイクロ全容易有効水分量 (MTRAM) は全面に均し、全面換算仮想 TRAM (CTRAM) として計画上取り扱う。したがって、部分かんがいの消費水量についても同様に、ほ場全面に均して取り扱う。この関係は、同図 (b) に示される。以下、ここでは消費水量についても全面に均したものとして取り扱うので、計画上容量に換算する場合は、この点について注意する必要がある。



(a) 湿潤域での水分消費の考え方

(b) 全面に均した部分かんがいの水分消費の考え方

図-10.4 部分かんがいによる消費水量 (模式図)

なお、露地栽培における部分かんがいの干天時の水分消費は、主に湿潤域において行われるが、降雨影響下の水分消費はほ場全面となり、湿潤域だけでなくその外側の非湿潤域においても行われる。その結果、図-10.2 に示す「空き MTRAM」($=\text{MTRAM}-\text{CTRAM}$) に貯留される降

雨も有効雨量となる。したがって、従来法による全面かんがいと比べ有効雨量の割合が増加する。

(2) 消費水量の測定方法

消費水量の測定方法には、種々の実測法や推定法があるが、部分かんがい法では土壌水分減少法が適切な方法の一つとして考えられる。また、マイクロかんがいは、土壌水分の管理をきめ細かく行う場合があることから、作物の一作期間をいくつかの生育段階に区切り、生育段階ごとに平均日消費水量を求めることが望ましい。

露地栽培における部分かんがいで消費水量は、全土層が一様に 24 時間容水量（ f_c ）となった状態を初期値として土壌水分の減少量を測定する。なお、このような測定によって得られた消費水量は、部分湿潤域での特性値ではなく、既にほ場全面に均した消費水量であることに注意する。

施設栽培における消費水量は、降雨の影響がない状況で給水し、部分湿潤状態を形成させ、土壌水分減少法による測定を行う。この場合、吸水根が平均的に分布している場所を把握した上で測定を行う必要がある。このようにして得られた値は、湿潤域での特性値であるので、これをほ場全面に均し、計画上の消費水量とすることが必要である。

10.3 土壌の湿潤パターン

土壌の湿潤パターンは、1 個のエミッター等から形成される各々の湿潤域の重複割合から決定される。

1 個のエミッターによって形成される湿潤域の大きさは、気象・土壌・作物及びかん水因子により異なる。これらの因子を整理すれば以下のとおりである。

- ① 気象因子（降雨、気温、日射等）
- ② 土壌因子（土性、初期水分量、土壌構造、蒸発量等）
- ③ 作物因子（根群分布、蒸発量、品質、生育ステージ等）
- ④ かん水因子（かんがい強度、かん水時間、エミッターの配置間隔等）

影響する因子のうち①～③が同一であれば、湿潤域の形成パターンは、主にエミッターの配置間隔によって決定され、配置間隔が密な場合は全面分布、帯状分布となり、粗な場合は独立円分布となる。用水計画上は、帯状分布として取り扱うか、独立円分布として取り扱うかは 1 個のエミッターによって形成される湿潤域相互の重複割合によって決定され、重複割合（ C/D ）が 20% 以上の場合は帯状分布、20%未満の場合は独立円分布として取り扱う。

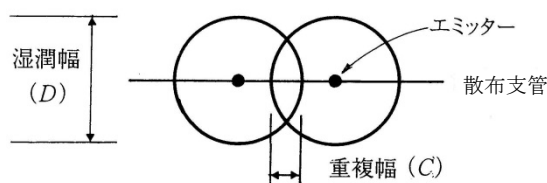


図-10.5 湿潤円相互の重複関係

対象ほ場の全面積に対する湿潤域の面積割合、すなわち、湿潤面積率 P は以下のとおり算定する。

- ① 帯状分布（エミッター配置間隔が密な場合）

$$P=(D \times L \times \text{散水支管本数})/\text{ほ場面積}$$

② 独立円分布（エミッター配置間隔が粗な場合）

$$P=(\pi/4 \times D^2 \times \text{エミッター数})/\text{ほ場面積}$$

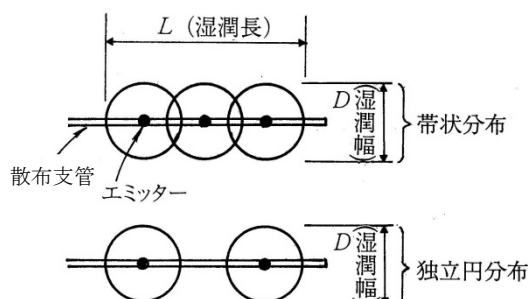


図-10.6 湿潤域面積の算定諸元

10.4 1 回のかんがい水量と間断日数

1 回のかんがい水量と間断日数は、マイクロかんがいの特徴を考慮し、対象地区の作物、営農に応じて適切に定める。

(1) マイクロ全容易有効水分量（MTRAM）

全容易有効水分量（TRAM）の算定式とマイクロかんがいによる全容易有効水分量（MTRAM）の算定式を比較すると次の式（10.2）、（10.3）のようになる。

$$\text{全容易有効水分量 TRAM} = (f_c - M_L) \cdot D \cdot \frac{1}{C_p} \quad (\text{mm}) \quad \dots \dots \dots (10.2)$$

$$\begin{aligned} \text{マイクロ全容易有効水分量 MTRAM} &= (f_c - \theta_I) \cdot D \cdot \frac{1}{C_p} \\ &= \frac{f_c - \theta_I}{f_c - M_L} \cdot (f_c - M_L) \cdot D \cdot \frac{1}{C_p} \\ &= \frac{f_c - \theta_I}{f_c - M_L} \cdot \text{TRAM} \\ &= (1 - C_r) \cdot \text{TRAM} \quad (\text{mm}) \quad \dots \dots \dots (10.3) \end{aligned}$$

ここで、

f_c : 24 時間容水量（体積含水率％）

D : 制限土層の厚さ（mm）

M_L : 生長阻害水分点（体積含水率％）

C_p : 制限土層における土壌水分の消費割合（％）

θ_I : マイクロかんがい法におけるかん水点水分量（体積含水率％）

C_r : 好水分作物係数

マイクロ全容易有効水分量（MTRAM）は、従来の全面かんがいによる全容易有効水分量（TRAM）算定式において生長阻害水分点を任意のかん水開始点水分量に置き換えたものである。計算上は従来の全容易有効水分量（TRAM）の測定手法により求め、これに（1- C_r ）を乗じて求める。

(2) 計画間断日数

マイクロ全容易有効水分量 (MTRAM) から全面換算仮想 TRAM (CTRAM) を次の式 (10.4) により求める。

$$\text{全面換算仮想 TRAM CTRAM} = \text{MTRAM} \times P \quad (\text{mm}) \quad \dots \dots \dots (10.4)$$

ここで、

P : 湿潤面積率 = 全湿潤域面積 / ほ場面積

次に、計画間断日数は次の式 (10.5) から求める。

$$\text{計画間断日数} = \frac{\text{全面換算仮想TRAM}}{\text{計画最大日消費水量}} \quad \dots \dots \dots (10.5)$$

なお、計画間断日数は、1 以上の場合、小数点以下を切り捨てて求め、1 未満の場合は連日かんがいとする。

(3) 1 回の計画かんがい水量

1 回の計画かんがい水量は、計画間断日数に各作物生育段階の計画日消費水量を乗じて求める。

なお、計画最大日消費水量を乗じたものを 1 回の計画最大かんがい水量という。

(4) 計画用水量

計画用水量の算定は技術書「13. 計画用水量の決定」による。この場合、マイクロかんがいの適用効率 は 95% 以上を目安とする。

11. 施設畑（ハウス）の計画日消費水量等

（基準 3.3.4.3 関連）

11.1 施設畑でのかんがいの特徴と計画上の留意点

(1) 施設畑でのかんがいの特徴

施設畑とは一般に園芸用ガラス室、ハウス（塩化ビニルフィルム、ポリエチレンフィルム、硬質プラスチックフィルム、硬質プラスチック板等のガラス以外のもので被覆された施設）等の施設で、降雨を完全に遮断し、土壌水分等の環境を人為的に制御し、閉鎖された立地空間としての畑を指す。ただし、降雨がうね間から横方向に浸潤することのできるトンネル・マルチのタイプは含まれない。

我が国における園芸用ガラス室、ハウス等は表-11.1 のとおり、昭和 40 年から平成元年頃にかけて急速に増加してきている。

施設畑でのかんがいの特徴を挙げると、① 施設畑では降雨を遮断して作物栽培を行うため、降雨を有効に利用することが難しく、このため水分補給としての用水が露地畑と比較して多量に必要であること、② ハウス内は特殊な気象環境下にあるため、作物の正常な生育を保証し、高品質・高収量を得るためのきめ細かな水分管理が必要であること、③ 施設畑では土壌の塩類集積や連作による生育障害の発生防止に多量の栽培管理のための用水が必要であること、などが露地畑と異なる点である。

表-11.1 園芸用ガラス室・ハウス等の設置実面積の推移

（単位：ha）

施設別	昭和 40 年	昭和 44 年	昭和 48 年	昭和 52 年	昭和 56 年	昭和 60 年	平成元年	平成 5 年	平成 9 年
ガラス室	520	724	1,035	1,285	1,698	1,891	2,074	2,178	2,264
ハウス	4,472	10,613	20,096	24,963	32,590	37,196	42,807	47,503	50,307
小計	4,992	11,337	21,131	26,248	34,288	39,087	44,881	49,681	52,571
雨よけ施設						7,419	10,156	11,887	12,948
合計	4,992	11,337	21,131	26,248	34,288	46,506	55,037	61,568	65,519

施設別	平成 13 年	平成 17 年	平成 21 年	平成 24 年	平成 26 年	平成 28 年	平成 30 年	令和 2 年
ガラス室	2,255	2,262	2,039	1,889	1,658	1,663	1,595	1,870
ハウス	50,913	49,947	47,010	44,560	41,574	41,558	40,569	38,745
小計	53,168	52,209	49,049	46,449	43,232	43,220	42,164	40,615
雨よけ施設	14,256	14,194	13,538	10,927	10,587	11,214	10,383	9,610
合計	67,424	66,403	62,587	57,376	53,819	54,435	52,547	50,225

【出典】農林水産省農産局園芸作物課花き産業・施設園芸振興室：園芸用施設の設置実面積及び栽培延べ面積の推移（令和 2 年）より抜粋

(2) 計画上の留意点

施設栽培では一般的に根群域が浅く、また根の吸水部位は比較的浅い部分となるため、土壌水分が不足すれば作物は生育障害を受けやすい。したがって露地畑と比較して、よりきめ細かなかんがいが必要になる。一般に露地畑では、有効土層の水分保持機能が高く全容易有効水分量

（TRAM）が大きければ降雨の有効化の可能性が大きくなる。また、間断日数の長短によっても降雨の有効化率が異なり計画用水量にも波及し、水源水量の増減にもつながる。しかし、降雨を遮断した施設畑では全容易有効水分量（TRAM）が大きくてもそのような効果はなく、間断日数の長短は計画用水量の多少には波及しない。

11.2 計画日消費水量

(1) 計画日消費水量の算定方法

露地畑、施設畑にかかわらず、作物の正常な生育を保証するためには、作物がその蒸散速度に見合った水分量を速やかに吸収できるように用水計画を立てなければならない。そのため、施設畑における用水計画の考え方も基本的には露地畑と同じであり、計画日消費水量の決定方法は露地畑に準ずればよい。このとき、実測法を用いる場合は露地畑と同じであるが、ペンマン法を用いる場合には、ペンマン式による蒸発位（ E_p ）の計算方法等に露地畑との違いがあり注意が必要である。

図-11.1 に、施設畑におけるペンマン法を用いた算定手法の手順を示す。

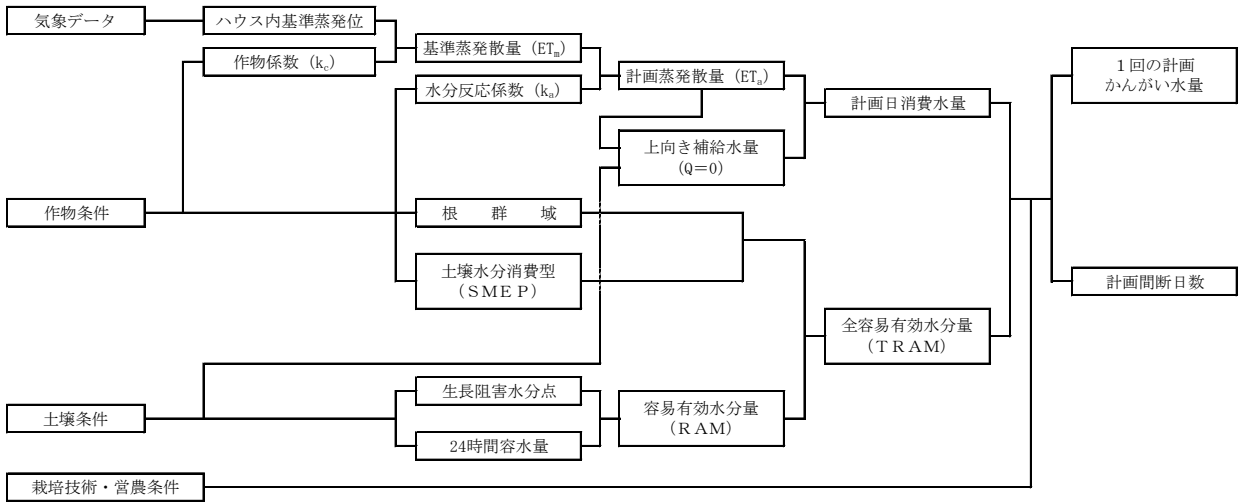


図-11.1 施設畑における蒸発散量をペンマン法により求める場合の計画日消費水量等の算定手順

(2) ペンマン式による蒸発位の計算

ペンマン式によるハウス内の蒸発位の計算は、ハウス内の気象が露地とは異なるため、ペンマン式に代入する気象要素はハウス内の値を用いなければならない。そこで、外部の気象データを補正して、ハウス内の気象条件を推定し、以下に述べる方法で計算するものとする。

ア. ハウス内気象の蒸発位に及ぼす影響

ハウス内気象が蒸発位に及ぼす影響をまとめると表-11.2 のようになる。

表-11.2 ハウス内気象が蒸発位に及ぼす影響

ハウス内の気象環境を戸外と比較すると	蒸発位への影響
純放射：減少（日射が 2～5 割減）	減 少
気 温：日中高温（＋冬季の暖房）	増 加
風 速：微弱	減 少
湿 度：高湿	減 少

イ. ハウス内気象データの推測方法

ハウス内の放射環境は施設の形態と被覆資材の透光率、気温は換気率と暖房設定温度、風速と湿度は主として換気率により影響を受けている。詳しく見ると放射環境についてはハウスの形態や被覆資材の種類、被覆が一重か二重か、二重被覆の昼間の一重化、被覆の汚れによる透過率の低下、日射の入射角度（季節）の違いによる透過率の変化等の影響を受けている。ハウス内気温については、作物による設定温度の違いと換気の程度により、湿度や風速についても被覆の開閉度や換気の程度により大きく影響を受ける。さらに、被覆の開閉や換気率等は一日の中でも変化する。

ハウス内気象環境を正確に推定するには、これらを考慮する必要があるが、得られる値のペンマン蒸発位の中での重みを考えればハウス内の気象データの推定は表-11.3 のような方法で推定すればよい。

表-11.3 ハウス内の気象データの推定

純放射：	吸収短波放射（日射の透過率、70%）					
気温：	1、2月	3、12月	4、11月	5、10月	6、9月	7、8月
	外気温+15℃	外気温+12℃	外気温+ 8℃	外気温+ 5℃	外気温+ 3℃	外気温+ 1℃
風速：	露地の 15%					
湿度：	飽差が露地に等しい※（飽差：飽和水蒸気圧と実際の水蒸気圧の差）					

※加温すると等しくならない場合があるため留意する必要がある。

なお、表-11.3 は全国一律かつ加温の有無を区別しない推定方法であり、実際の気象条件とは若干異なる。このため、ハウス内の気象データを実測可能な場合は、実測の気象データを用いることが望ましい。参考として、実測した気象データの例を表-11.4 及び表-11.5 に示す。

表-11.4 ハウス内の実測気象データの例（加温なし・和歌山県）

	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月
日射の透過率	—	—	—	—	—	59%	57%	57%	56%	57%	60%	—
気温	外気温 +1.8℃	外気温 +1.6℃	外気温 +2.1℃	外気温 +2.8℃	外気温 +2.9℃	外気温 +2.9℃	外気温 +3.4℃	外気温 +3.3℃	外気温 +6.4℃	外気温 +2.8℃	外気温 +3.1℃	—
湿度 (飽差)	-1.2hPa	-1.6hPa	0	-0.5hPa	0.1hPa	-0.8hPa	-0.5hPa	-0.6hPa	1.5hPa	-1.4hPa	0.1hPa	—
※1												

※1 ハウス内実測飽差—気象台データの飽差

出典）農林水産省農村振興局整備部設計課：令和4年度計画基礎諸元調査報告書

表-11.5 ハウス内の実測気象データの例（加温あり・熊本県）

※1	9月	10月 (加温)	11月 (加温)	12月 (加温)	1月 (加温)	2月	3月 (加温)	4月	5月	6月	7、8月
日射の 透過率	61%	68%	65%	61%	67%	—	64%	66%	72%	74%	—
気温	外気温 +1.8℃	外気温 +1.1℃	外気温 +3.2℃	外気温 +8.4℃	外気温 +10.1℃	—	外気温 +5.9℃	外気温 +4.3℃	外気温 +1.9℃	外気温 +0.8℃	—
風速※2	0.14m/s (露地の11%)	0.14m/s (露地の11%)	0.19m/s (露地の19%)	0.19m/s (露地の18%)	0.20m/s (露地の18%)	—	0.18m/s (露地の14%)	0.18m/s (露地の11%)	0.18m/s (露地の12%)	0.19m/s (露地の14%)	—
湿度 (飽差)	2.8hPa	-1.5hPa	-2.8hPa	-1.3hPa	-0.4hPa	—	5.6hPa	0.3hPa	-1.2hPa	-1.2hPa	—
※3											

※1 9、4、5、6月は非加温

※2 加温した月はハウス内のファン及び換気時のハウス内の月平均風速、非加温の月は換気時のハウス内の月平均風速を示している。また、ハウス内の風速（2mでの風速）と近隣の気象台データ（2mでの風速）との比率を%で示している。

※3 ハウス内実測飽差－気象台データの飽差

出典）農林水産省農村振興局整備部設計課：令和4年度計画基礎諸元調査報告書

ウ. ハウス内蒸発位に適用する時のペンマン式の計算プログラムの修正

ペンマン式の計算プログラム例（表-8.3）では、気象データをファイルから読み出した後、以下の行を挿入又は該当行を次のように修正すればよい。

純放射：

$$S(I) = (1 - \text{ALBEDO}) \cdot \text{QA}(I) \cdot (0.18 + 0.55 \cdot N(I) / \text{NN}(I)) \cdot 0.7$$

気温：

```

IF MONTH=1 OR MONTH=2 THEN T(I)=T(I)+15
IF MONTH=3 OR MONTH=12 THEN T(I)=T(I)+12
IF MONTH=4 OR MONTH=11 THEN T(I)=T(I)+8
IF MONTH=5 OR MONTH=10 THEN T(I)=T(I)+5
IF MONTH=6 OR MONTH=9 THEN T(I)=T(I)+3
IF MONTH=7 OR MONTH=8 THEN T(I)=T(I)+1

```

風速：

$$U2(I) = U2(I) \cdot 0.15$$

湿度：

340行の気温T(I)を外気温とする。

エ. ハウス内外気象データで計算した蒸発位の比較

岡山地方気象台の1985年の月平均データを用いて、ハウス内の気象を気象台の値から、前述の方法で推定し計算した値と元データで求めた値を比較し、図-11.2に示す。

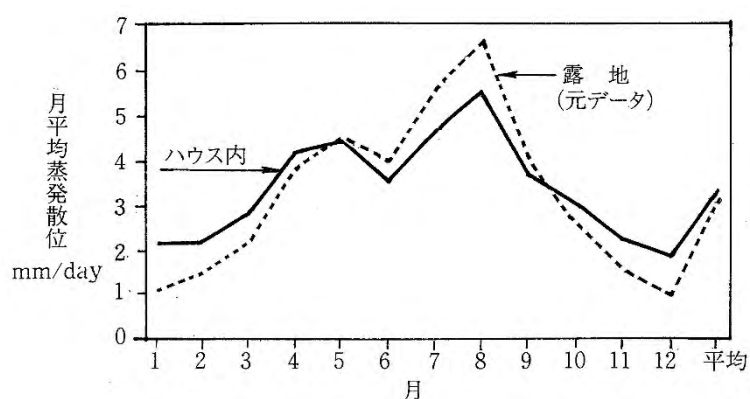


図-11.2 月平均ペンマン蒸発位のハウス内外比較（1985年岡山）

[設定条件]

気 温：1、2月 3、12月 4、11月 5、10月 6、9月 7、8月
 外気温+15℃ 外気温+12℃ 外気温+8℃ 外気温+5℃ 外気温+3℃ 外気温+1℃

湿 度：ESA (I) を計算する際の T (I) を外気温とする。

風 速：戸外の 15%

純放射 = $(1 - \text{ALBEDO}) \times \text{日射} \times \text{透過率}$ (=吸収短波放射)、(透過率=70%)

ALBEDO=0.06

ハウス内の試算と元データによる計算結果(ハウス外)の比較をまとめると次のようになる。

蒸発位は	夏	ハウス内 < ハウス外
	春・秋	ハウス内 = ハウス外
	冬	ハウス内 > ハウス外

すなわち上記のような設定条件では、ハウス内蒸発位は、夏期にはハウス外の内数で、冬期には若干ハウス外より大きくなる。

(3) 基準蒸発散量 (ET_m) の算定

(露地畑に準じる)

(4) 計画蒸発散量 (ET_a) の算定

(露地畑に準じる)

(5) 計画日消費水量の算定

ア. 上向き補給水量 (Q)

上向き補給水量 (Q) の水源は根群域下層に浸透した降雨か地下水である。露地畑では多量の降雨が下層に供給されるが、施設畑では降雨が完全に遮断されるので根群域下層の有効土層の水分は枯渇する。このため、上向き補給水 (Q) はほとんど期待できない。地下水位も 2m より深くなれば毛管上昇量は極端に小さくなる。少量頻繁かんがい、間断かんがいを行った場合、かんがい水はいったん根群域外に流出することもあるが、図-11.3 に示すようにその大部分は根群域が乾燥するにつれ再び表層に移動し有効化する。施設畑の土壌中ではこうした規則的な水分移動が繰り返されている。

また、降雨時にハウス外壁面を伝って流下する水や、密閉したハウスの内壁面に凝結し流下

する還流水は、側方からの補給水として一部有効化するが量的には僅かである。よって、施設畑の用水計画では上向き補給水量（ Q ）は期待しないものとする。

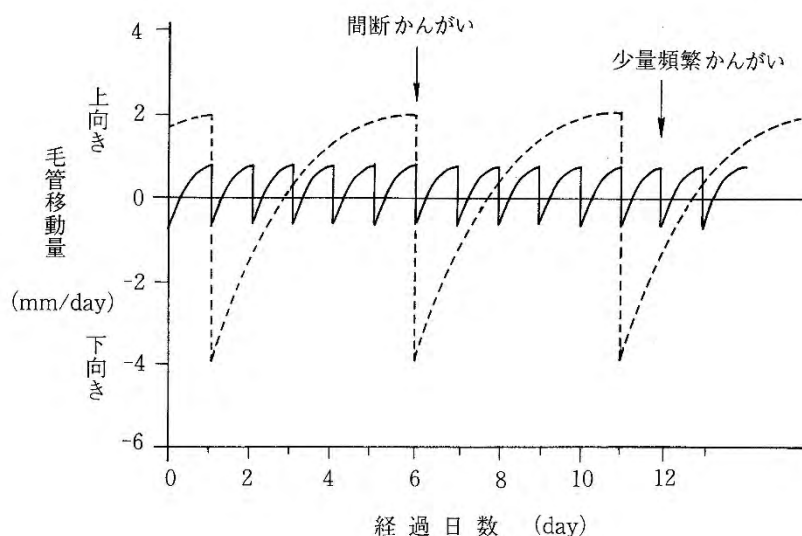


図-11.3 施設畑における一般的なかんがいと根群域下端の毛管移動

イ. 計画日消費水量

計画日消費水量は次の式で算定する。

$$\text{計画日消費水量} = \text{計画蒸発散量} (ET_a) - \text{上向き補給水量} (Q) \quad (\text{mm/day})$$

ただし、上向き補給水量はゼロとする。

11.3 間断日数と1回のかんがい水量

(1) 全容易有効水分量（TRAM）

ア. 容易有効水分量（RAM）

24 時間容水量と生長阻害水分点の水分量の差が容易有効水分量（RAM）である。露地畑では、生長阻害水分点として $pF3.0$ が定着しているが、施設畑の用水利用実態では、土壌水分張力が $pF2.0 \sim 2.5$ に達した時にかんがいが行われている例が多い。

その理由としては、① 施設内の気象環境が好ましい条件下に制御されるため、作物の伸長速度が速いこと、② 集約多肥栽培を実施していることから、土壌の塩類濃度が高くなり、高品質を要求される作物では生育が阻害されること、③ 栽培密度が高いため土壌水分の消費が激しく、また、根群域が狭く浅いため土壌の乾燥が速いこと、などが挙げられる。

したがって、施設畑の用水計画では、 $pF2.0 \sim 2.5$ の範囲を生長阻害水分点としてよいが、具体的な値は現地の実情に適応したものを試験研究機関等の協力を得て選定する。なお、この場合、技術書「10. マイクロかんがいにおける計画日消費水量等の決定」の項で述べた好水分作物係数（ C_r ）の導入等も考慮することができる。

土壌の容易有効水分量（RAM）は、その値が大きいほど土壌水分保持機能が高いことを示す。したがって、露地畑では降雨の有効化の可能性が高まり、その有効化率は計画用水量に關与する。しかし、降雨を遮断した施設畑では容易有効水分量（RAM）の多少は間断日数の長短には關係するが計画用水量には關与しない。

イ. 全容易有効水分量（TRAM）

全容易有効水分量（TRAM）の算出に当たっては、制限土層の厚さ、容易有効水分量（RAM）及び制限土層における土壌水分の消費割合（SMEP）を明らかにする必要がある。制限土層は施設畑の地床栽培では根の吸水部位が比較的浅い部分に集中する傾向があるため、表層 10～15cm の土層としてよいが、具体的な値は現地の実状に適応したものを試験研究機関等の協力を得て選定する。なお、揚げ床栽培ではその厚さを根群域とするとともに制限土層とする。制限土層における土壌水分の消費割合（SMEP）は 100% としてよい。

全容易有効水分量（TRAM）は露地畑と同様に次の式（11.1）により算出する。

$$\text{全容易有効水分量 TRAM} = (f_c - M_L) \cdot D \cdot \frac{1}{C_p} \quad (\text{mm}) \quad \dots \dots \dots (11.1)$$

ここで、

- f_c : 制限土層の 24 時間容水量（体積含水率、%）
- M_L : 制限土層の生長阻害水分点（体積含水率、%）
- D : 制限土層の厚さ（mm）
- C_p : 制限土層における土壌水分の消費割合（%）

ペンマン式を用いた推定法で計画日消費水量を算定する場合は、根群域における全有効水分量（TAM）に対する全容易有効水分量（TRAM）の割合（TRAM/TAM）として、測定データの平均値である 70% を用いてもよい。

施設畑では、根の吸水部位が比較的浅い部分に集中するため土壌水分の消費は、表層消費型となる場合が多く、制限土層の消費割合が大きい。また施設畑では、生長阻害水分点を pF3.0 より小さな値とするため、制限土層の容易有効水分量（RAM）が少なくなり、さらに根群域は浅いため結果として、露地畑と比較して、施設畑の全容易有効水分量（TRAM）は小さな値となる。

この場合、技術書「10. マイクロかんがいにおける計画日消費水量等の決定」の 10.4(1) のマイクロ全容易有効水分量（MTRAM）の式を利用して全容易有効水分量（TRAM）を計算することができる。なお、部分かんがいの場合には、全面換算仮想 TRAM（CTRAM）まで計算を進める。

(2) 間断日数と 1 回のかんがい水量

ア. 計画間断日数と 1 回の計画かんがい水量

露地畑と比較して、施設畑においては、全容易有効水分量（TRAM）は小さな値となるため、その値を作物の計画日消費水量で除した計画間断日数も短くなる。計画間断日数に計画日消費水量を乗じたものを 1 回の計画かんがい水量とする。この値が 1 回のかんがい水量の理論的な最大値である。

イ. 間断日数の長短による 1 回のかんがい水量の修正

計画間断日数とその理論的な最大値であり、理論的には間断日数を計画間断日数以内の任意の日数に設定したとしても施設容量を超過することはない。

施設畑の用水利用実態では、作物によっては毎日かんがいされる例も多く、間断日数は計画間断日数より極端に短い。このような実態を考慮して、施設畑での間断日数は 1 日から計画間

断日数までの任意の日数とし、計画間断日数より短縮した間断日数に計画日消費水量を乗じて、1回のかんがい水量とする。

施設畑での用水利用実態では、間断日数は6日以内であり1回のかんがい水量は12mm以下の場合が最も多い。間断日数及び1回のかんがい水量の最大値としてこれらの値を参考にすることができる。

11.4 栽培管理のための用水

施設畑での栽培管理に必要となる用水には、播種・定植・連作障害防止（陽熱処理・除塩）等のための用水がある。

播種・定植のための用水は露地畑のように降雨が期待できないので、必ず確保しなければならない用水である。その水量は土壌、栽培作物によって多少異なるが、50～80mm程度の値で栽培期間中の総使用水量の15～35%の範囲を占めている。

このほか、施設畑では特に連作障害防止（陽熱処理・除塩）等のための用水が必要とされ、その水量は、ほぼ250～400mm／年に相当している。このように、栽培管理に使用される用水は、施設畑においては相当量を見込む必要がある。

11.5 施設容量の検討

施設畑では降雨日でもかんがいが行われ、間断日数が極端に短く、かんがい時間は午前あるいは午後の短時間に集中する。これらは、ファームポンド等の施設容量に大きく関係してくる。一つのファームポンド掛かりに施設畑がかなりの面積割合で存在する地区及び施設畑の増加が見込まれる地区では、施設容量の検討が必要になる。

参考文献

■ 農林水産省構造改善局資源課：平成5～7年度 計画基準改定調査（施設畑用水計画調査）報告書

12. 栽培管理用水量の決定

(基準 3.3.4.3 関連)

栽培管理用水量の決定に当たっては、受益地区における利用目的ごとに必要水量及び必要時期を明らかにしなければならない。

利用目的によっては、水分補給のための用水量を大きく上回ることがあるので、用水量の決定に際しては施設規模及び効果も含めて検討する必要がある。

また、作物の栽培期間と利用時期が重複する栽培管理用水については、用水計画において補給かんがいのための用水との重複に留意する必要がある。

畑地帯において、作物が生理的に必要とする水分の補給以外に水を利用する目的とそれに必要な用水量について示すと次のとおりである。

これは、現場における調査の手法や、事例調査により求められた使用水量を参考に示したものであり、実際の計画に当たっての調査、検討の考え方を示したものである。

12.1 栽培環境の改善のための用水

栽培環境の改善のための用水には播種、定植期の用水、耕起のための用水があるが、単位用水量は水分補給を上回することは少ない。

(1) 播種、定植期の用水量

野菜の種子は、一部を除き小さいので、播種後の強いかん水は避けるべきである。このため、播種前に 20～30mm の十分な散布をし、発芽時の散布は避ける。定植の場合も作業前にかん水を行い、適湿状態で作業するのが望ましい。苗に十分な根鉢が付いている場合は、定植後のかん水の必要性は少ない。しかし、葉が弱く大きいはくさい等では活着促進のかん水が必要である。この場合、かんがいの対象土層は 10cm 程度でよく、1 回のかんがい水量は 10～15mm 程度である。以降、土壌面蒸発量程度の補給でよい。したがって、単位用水量としては 3～5mm/day の場合が多い。

干天が続くような条件下であれば、かんがい効果は顕著である。一例として、はくさいを対象として行ったかんがい効果を表-12.1 に示す。

表-12.1 播種期のかんがい効果

項目 処理	発芽始め	発芽そろい	欠株率 (%)
散 布	7 月 31 日	8 月 3 日	3
無散布	8 月 3 日	8 月 8 日	22

注) 昭和 48 年 7 月 25 日播種、散布量 10mm、北海道農業試験場における測定例

このように干天時におけるかんがい効果は極めて大きい。秋野菜の播種期は、乾燥しやすい 7、8 月のものが多く、播種時期が天候によらず安定して選べることは、収穫期とその品質、収量が保証できるのみならず、導入する作付体系の選択の幅や計画性が高まる。例えば、夏期に播種するにんじん等は干天続きでは発芽し難いため、用水施設のない畑地では播種が遅れることがある

が、これは収穫期を大幅に遅らすことになる。用水施設の導入によって計画どおりの作付が可能となり、また、定植後の活着率の向上は、品質、収量の安定という点で重要であるばかりでなく、作付後の栽培管理を均一に行い得る面からみても、大きい意義を持つこととなり、営農の抜本的な改善に役立つ。

(2) 耕起のための用水量

粘質土であれば乾燥に伴って土壌が固化し、耕うん、碎土等が行われにくくなる。このようなとき、適度に土壌水分を与えることにより、易耕性が確保されることとなる。目標とする土壌水分の値はこれまでの営農機械の運行試験の結果から pF 値でほぼ 3 付近にあることが知られている。

耕起する土壌の深さとして約 20cm であり、20cm までかんがい水を浸透させるには、表面では水分過剰となるが、1 回のかんがい水量としては約 20mm 程度が必要である。ただし、かん水直後の土壌表面は水分過剰であるので、適水分になるまで待つ必要がある。特にロータリ耕のときは土壌構造に悪影響を与えるので、適湿条件を守る必要がある。

また、砂丘地等では乾燥しすぎるとトラクタの駆動輪がスリップして作業が困難となるため、かんがいが必要となる場合がある。この場合、砂丘土を毛管水が連続する状態まで湿潤化する必要があり、 pF ～体積含水率曲線（土壌水分特性曲線）の特性から、1 回のかんがいで、補給する水量は 20mm 弱（対象土層 20cm として）でよいと考えられる。

このほか、根菜類の収穫を容易にする目的でかんがいが行われる場合もある。

12.2 気象災害の防止のための用水

気象災害の防止のための用水には、風食防止のための用水、凍霜害防止のための用水、潮風害防止のための用水等がある。

気象災害は、急激かつ広域にわたって大きな被害をもたらすので、気象災害の防止のための用水の効果は大いに期待できる。反面、多量の水を必要とし単位用水量も水分補給を上回る場合が多いので、用水量の決定に際しては、施設費及び気象災害の防止の効果についての十分な検討が必要である。

(1) 風食防止のための用水量

ア. 用水の目的

冬から春先の強風時には、畑地生産力を左右する貴重な耕土が吹き飛ばされるだけでなく、直接、種子や苗が飛散、消滅する形となって、収量を激減させる風食が発生する場合があり、その防止は重要な意味を持つ。風食防止用水は、強風が予想される際に散水を行い、土壌を湿潤状態にすることにより、土粒子等の飛散を防止することを目的とした用水である。

土粒子が最も移動しやすい条件は、粒径が 0.1～0.2mm で、乾燥していることである。

1 回のかんがい水量は 10mm 程度でよいと考えられるが、全面積を 1～2 日で終了しなければならないので、単位用水量として 5～10mm/day となり、補給かんがいの施設容量をオーバーする場合が予想される。土粒子の飛散防止効果を高めるために、用水の事前散布や重点散布を行う必要があるが、風洞実験によれば、粒径 0.1mm の石英砂は、体積含水率が 0% の場合は 4m/s で移動開始するが、10% では 16m/s であることなどを考慮して散布する。

イ. 風食防止のための用水量の事例

表-12.2 及び 12.3 に既往調査等による風食防止のための用水量の事例を示す。

表-12.2 風洞実験による検討事例

地域	対象作物	対象土質	かんがい水量	条件等	引用文献
福井県	らっきょう	砂土	2.5mm/回	土壌の体積含水率が 0%から 5%に上昇するまで散水	1)
岩手県	レタス	砂質埴土 壤土	32mm/回	土壌の含水比を 15%以上で 8 日間保持するよう散水	2)

表-12.3 土壌水分変動予測モデルを用いたシミュレーションによる検討事例

地域	対象作物	対象土質	かんがい水量	条件等	引用文献
岩手県	レタス キャベツ	埴壤土 軽埴土 壤土	10.3mm/回	土壌の体積含水率が 22%から 43%に上昇するまで散水	3)

(2) 凍霜害防止のための用水量

ア. 用水の目的

散水氷結法は水が凍結する時に放出する潜熱を利用して作物を凍霜害から保護するものであり、その原理からも相当の強霜に対しても防止効果があり、用水施設が完備されていれば、所要労力も少なく実施できる。ただし、多量の水が必要であるので、水の効率的利用を実現するための散布技術の向上が必要である。

凍霜害は、冷たい移動性高気圧の圏内に入り、夜間よく晴れて無風状態で強い放射冷却によって発生する。夜間どの程度まで作物体温が低下すれば被害が発生するかは、作物の生育時期、種類によって差はあるが、一応の目安として晩霜期には -2°C の低温が 2 時間続けば危険であると考えられる。しかし、現実には作物体温の長期間の直接測定は難しく測定部分による測定値のばらつきもあるので、実用的には気温が 0°C （放射除けなどしない裸の温度計では -1°C くらい）で散布するとよい。

一般に凍霜害が発生する気象条件である、風速 1m/s 以下、相対湿度 70%以上、気温 -3°C 付近の損失熱量は、 $293\sim 586\text{kJ/m}^2/\text{hr}$ 程度である。したがって、作物体温を 0°C に保つための必要な散水量は $1\sim 2\text{mm/hr}$ と考えられる。実際の散布に当たってはスプリンクラによる散布効率や葉面捕捉率等を総合的に判断する必要があるので、かんがい強度は $3\sim 4\text{mm/hr}$ としなければならない。したがって、通常の補給かんがいのかんがい強度をはるかに下回るので、スプリンクラのノズルの片方を閉塞して片ノズル運転したり、あるいはスプリンクラの間断運転をしたりする必要がある。茶では 3 分間断、野菜では 2 分間断が一応の目安となるが、当夜の冷え方や作物の被害発生の危険温度に左右される。

散水時間としては、作物体温が危険温度（表-12.4）まで降下したら散布を開始し、少なくとも日の出又は、作物体付近の気温が 0°C 以上に上昇するまでは続けなければならず 4～8 時間を要する。単位用水量としては $12\sim 32\text{mm/day}$ を必要とし、栽培管理用水量の中では最も大きい部類に属する。

したがって、全面積に凍霜害防止を実施しようとするれば水源水量の増大、送水能力の増大、ファームポンドの増設等が必要となることから、防止効果との兼ね合いで施設投資の内容を決定する。

表-12.4 各作物の凍霜害危険温度

作 物	生育時期	危険温度 (°C)
クワ	発 芽 期	－2
りんご、おうとう	つ ぼ み 期	－4
あんず、すもも、もも	{ 開 花 期	－2
	{ 結 実 期	－1
茶	{ 発 芽 期	－3
	{ 開 花 期	－2
い ち ご 類	開花・結実期	－2
ぶ ど う	{ 発 芽 期	－1
	{ 開 花 期	0
と う も ろ こ し	{ 発 芽 期	－3
	{ 開 花 期	－2
小 麦	開 花 期	－1～－2

イ. 凍霜害防止のための用水量の事例

表-12.5 に既往調査等による散水氷結法を用いた凍霜害防止のための用水量の事例を示す。

表-12.5 スプリンクラかんがい方式による散水氷結法を用いた事例

地域	対象作物	散水時期	かんがい強度	散水開始温度	引用文献
山形県	おうとう（桜桃）	4 月下旬	2.0mm/hr	0°C	1)
岩手県	りんご	4 月下旬	3.8mm/hr	2°C	1)
静岡県	茶	4 月上～下旬	3.3mm/hr	0°C	4)
鳥取県	梨	3 月中～4 月中旬	3.8mm/hr	0°C	2)
鹿児島県	茶	3 月上～4 月下旬	3～3.9mm/hr	0°C	2)

(3) 潮風害防止のための用水量

ア. 用水の目的

潮風害は、台風や季節的な強風等により海水を含んだ潮風が陸地に吹き込み、風の中の塩分が作物に付着し、作物体表面や茎葉の細かい傷などを通して作物体内に入り、生理的脱水現象を起こして発生させるものである。被害の発生要因は複雑であるが、みかん、茶では 10a 当たり作物体の着塩量が 3kg 程度で生理的落葉を伴う被害を受けるとされている。

潮風害防止用水とは、強風により作物体に付着した塩分を散水により除去するために用いられるものである。これまで、潮風害防止用水が用いられた対象作物としては、みかん、茶、さとうきび等があげられる。

被害発生面積と位置は、必ずしも全地区均等というわけではない。したがって、風向、地形、作物生育状況等を総合的に判断して、重点的な防止面積を決めていくことも必要である。

被害を受ける量の塩分が付着してから、どの程度の時間内に洗浄を行えばよいかは、その時の風の吹き方、着塩状況、日照の有無、作物体の条件等によって差異はあるが、みかん、茶についての実測例を見ると、4 時間以内の洗浄で顕著な効果を認めている場合が多く、8 時間以内でも若干の効果がある。しかし、それ以上の時間を経過すれば、付着した塩分のかなりの部分は体内に移行してしまい、直接の洗浄効果はあまり期待できないと考えられる。

どの程度の水量を散水するかについては、みかん、茶の調査事例を参照すると、おおよそ

4mm/回程度と考えられる。あまり少量では作物体表面に付着している塩分を洗い流す効果は乏しく、むしろ結晶化している塩分を再溶解させ、再び体内に吸収させることとなって被害を助長する場合もあるので、注意しなければならない。

イ. 潮風害防止のための用水量の事例

表-12.6 に既往調査等による潮風害防止のための用水量の事例を示す。

表-12.6 潮風害防止のための用水量の事例

地域	対象作物	散水方法	散水量	散水時期	引用文献
和歌山県	みかん	スプリンクラ	4mm/回	塩分付着後 4 時間以内に散水	1),5),6)
鹿児島県	茶	スプリンクラ	4mm/回	塩分付着後 4 時間以内に散水	7)

12.3 管理作業の省力化のための用水

管理作業の省力化のための用水は、液肥の用水量、病害虫防除の用水量、肥培かんがいの用水量等があるが、単位用水量が水分補給を上回することは少ない。

(1) 液肥の用水量

液体肥料の散布は、適期散布による肥効の増大等のメリットが評価されている。また、液肥のみでなく、水溶性の肥料であれば、適当な混入方法さえあれば、かんがい組織を通じて散布することが可能である。液肥効果の例を表-12.7 に示す。

一般に施肥かんがいにおいては、肥料成分の吸収率がよいため、年間の施用量は 10～30%程度減らしてもよく、施肥回数は慣行施肥より多くするのがよい。

必要水量は一般に通常の補給かんがい内で収まるが、液体肥料散布後、用水施設の水洗も兼ねて作物体の洗浄を行えばよい。その場合でも洗浄の必要水量は 2～4mm/回程度である。

また、固形の肥料を土壤に施した後にかんがいすると、肥効の促進にとって有効である場合が多い。すなわち、pF2.7 以上に乾燥した土壤水分状態では、毛管水の移動が円滑を欠くため肥効の発現が遅れることから、吸収根が密に分布している土層を 24 時間容水量付近まで潤うようかんがいすればよい。よって、対象土層 20cm とすると、1 回のかんがい水量は 20mm 程度でよく、全面積を 5 日間程度で終了するとすれば、単位用水量は 4mm/day 程度である。

表-12.7 液肥の施用効果

液肥の散布	追肥	収量割合 (%)	
		大根	はくさい
なし	標準施肥	100	100
	30%増	113	136
	50%増	114	159
あり	標準施肥	127	146
	30%増	130	157
	50%増	127	185

注) 基肥

N : 12kg/10a

P₂O₅ : 20kg/10a

Mg : 0.6kg/10a

追肥は、複合液肥で窒素量にして 30% 及び 50%増

(2) 病虫害防除のための用水量

ア. 用水の目的

病虫害が発生した場合、従来の防除法である動力噴霧機やスピードスプレーヤに代わって、スプリンクラを利用して薬液を散布するのは、有効な方法の一つとなっていて省力化と保健衛生の観点からみて極めて優れた効果をもたらす。ただし、従来の薬液散布よりはるかに低圧であるため、実際の作物体への付着は、液滴の二次飛散が重要な意味を持つこととなる。このためには、スプリンクラの器種、配置条件の適切な選択、地形やほ場整備の内容、営農条件の配慮が大切である。

農薬の散布量は、作物体の大きさ等により異なるが、一般には従来の方法より多量の散布が必要である。おおよその散布量は、作物体の限界付着量や作物の密閉度、防除効果からみた付着量により異なるが、普通畑では 400～600L/10a 程度、樹園地で 400～800L/10a 程度であることから、防除作業を 1 日間で終了するとしても単位用水量としては 1mm/day 程度でよい。

なお、散布計画の作成に当たっては、農薬の取締りに係る法令等を順守し、人体毒性、魚毒性、作物及び土壌中への残留性等について十分注意する必要がある。

イ. 病虫害防除のための用水量の事例

表-12.8 及び 12.9 に既往調査等による病虫害防除のための用水量の事例を示す。

表-12.8 病虫害防除のための用水量の事例その 1

地域	作物	防除面積 (ha)	防除 回数	1 回当たり 使用水量 (m ³ /ha)	1 回当たり 防除日数 (day)	日当たり 必要水量 (m ³ /day)	引用 文献
岡山県	果樹	196.6	14	5.4	3	497	2)
	野菜	195.8	8	5.4	3	495	

果樹：もも、ぶどう、かき、なし 野菜：アスパラガス、白ねぎ等
日当たり必要水量には、損失率 0.715（薬液混合損失 0.75×送水損失 0.95）を見込んでいる。

表-12.9 病虫害防除のための用水量の事例その 2

地域	作物	防除面積 (ha)	日当たり散水時間 (hr)	散水日数 (day)	日当たり散水量 (mm/day)	引用 文献
宮崎県	茶	380	12	15	15	8)

(3) 肥培かんがいのための用水量

一般に畜舎内を洗浄した水は、ふん尿とともにふん尿槽に貯留される。これにさらに水を加えて散布するが、散布に先だって、熟成槽でよく熟成すると固形成分が消失して悪臭も少なくなり好都合である。

牛ふん尿は 1 日、一頭当たり 60kg、希釈水量 160L/ha/day といわれている。また、ふん尿の年間施用量の限界は 5,000kg/10a といわれているから、1 頭当たりの牧草地面積は約 44a となる。1 回のスラリー（泥状のふん尿）散布量を 10mm（年 3 回）、対象面積を 5～10 日で終わるとすれば、単位用水量は 1～2mm/day である。

ふん尿を利用する肥培かんがいのための用水量は、水分補給のための用水量と比べても少ないが、資源循環や省力等の観点からみた効果は大きい。ふん尿を利用する肥培かんがいのみで計画するならば、その必要用水量はかなり小さいものとなる。

また、でんぷん廃液を利用する肥培かんがいは、でんぷん工場から排出されたでんぷん廃液の含有成分（各含有成分の肥料換算係数：全窒素 $T-N=0.4$ 、カリ $K_2O=1.0$ ）の利用と希釈水による補給かんがいをしようとするものである。

その営農効果は、ふん尿を利用する肥培かんがいのねらいと同様、有機質肥料の補給、土壌水分の補給及び公害防止と廃液処理の省力化である。用水量は原則として水分補給のための値を基準とする。

(4) 連作障害防止（陽熱処理・除塩）のための用水量

センチュウや青枯病など病害虫の防除について、薬剤散布に代わって、環境に優しい技術としてかん水と太陽熱を利用した方法が普及しており、栽培管理用水として利用されている。

一方、施設園芸地帯においては連作年限の増加に伴って各種養分の集積や養分間の不均衡が生じ、連作障害の一因ともなっている。そのため、湛水やかん水による集積塩類洗浄除去技術（以下「除塩」という。）の研究や取組が行われている。

ア. 陽熱処理のための用水量

(ア) 用水の目的

有機栽培・減農薬栽培の広がりに伴い、化学農薬を使用せず、土壌病害・虫害・雑草害を減らすことを目的として、用水と太陽熱による土壌消毒が各地で行われるようになってきている。その原理は、夏期に作物の作付けがないほ場（基本的にはハウス栽培）について、湛水状態になるまでかん水し、ビニルによる被覆を行って1か月程度放置することにより、太陽熱で地温を上昇させ、病原菌等を死滅させるというものである。

また、近年、太陽熱を利用した土壌消毒よりも、気温や季節に影響されにくい土壌還元消毒の導入も広がりつつある。その原理は、土壌中に糖質を持った有機物を施用し、土壌中の微生物を利用して酸欠状態にすることにより、病害虫を死滅させたり増殖を抑えたりするものであり、強い還元状態を作り出すことで、通常の太陽熱消毒に比べて短時間で実施できるというメリットがある。

(イ) 陽熱処理のための用水量の事例

表-12.10 に既往調査等による陽熱処理のための用水量の事例を示す。

表-12.10 陽熱処理のための用水量の事例

地域	対象作物	土質	消毒方法	総用水量	引用文献
岐阜県	トマト	壤土	太陽熱消毒	156～240mm	1)
岐阜県	トマト	砂壤土	太陽熱消毒	180～495mm	1)
岐阜県	トマト	埴壤土	土壌還元消毒	195mm	1)
岐阜県	トマト	壤土	土壌還元消毒	218～247mm	1)
和歌山県	ウスイエンドウ	軽埴土	太陽熱消毒	59、118mm	9)
和歌山県	ミニトマト	軽埴土 重埴土	太陽熱消毒	142～153mm	10)
和歌山県	小玉スイカ	軽埴土 重埴土	太陽熱消毒	72mm	10)
宮崎県	たばこ	—	太陽熱消毒	180mm + 日減水深 42mm	2)
鹿児島県	たばこ	—	太陽熱消毒	189mm + 日減水深 42mm	2)

イ. 除塩のための用水量

表-12.11 に既往文献によるハウス土壌の除塩のための用水量の事例を示す。

なお、湛水やかん水による除塩は、方法が比較的簡単で排土や深耕（天地返し）等の方法より効果が大きい。一方では、土壌からの排水による河川水や地下水の環境に影響を及ぼす可能性が指摘されている。そのため、湛水やかん水による除塩を継続的に行う場合には留意する必要がある。

表-12.11 ハウス土壌の除塩のための用水量

地域	対象作物	総用水量	引用文献
北海道	たまねぎ	183mm	11)
愛知県	なす、ピーマン等	125～540mm	12)
宮崎県	(施設野菜)	300～600mm (EC 値 1.0mS/cm 以上の場合)	13)
		150～300mm (EC 値 1.0mS/cm 以下の場合)	

12.4 その他の用水量

(1) 微気象調節のための用水量

ここでいう微気象調節とは、水が蒸発するときの気化熱を利用することによって、作物が生育する農地環境を改善、制御し、作物の生産力を増大させようとするものである。例えば 7～8 月の晴天時、1 日 2 回、午前、午後散布（1 回 2～3mm）程度で相当の葉温低下効果をもたらすことができ、単位用水量としては 4～6mm/day 程度のものとなるが、緊急時の効果は大きい。

一方、永年生の常緑樹に対する冬期かんがいも、広義の微気象調節に相当する。すなわち、冬期は夏期と比べて連続干天が続く、相対的に湿度が低く、乾燥条件として見るならば厳しいものがある。しかも地温の低下に伴って、根毛の吸水作用も低下しており、常緑樹では生理的にみて干ばつ被害を受けている場合が多いといわれている。すなわち、みかん等での検討例を見ると、冬期干天時には土壌水分は十分に存在しているにもかかわらず、葉はしおれ現象を呈することがわかっている。このようなとき少量で比較的頻繁なかんがいをを行うと、水は葉面吸収されて体内に入り、生理的に好影響をもたらす落葉を防ぐ。

茶樹についても冬期のかんがい効果が同様に確認されている。また、1～3 月の降水量や降水頻度と茶の収量、品質の間に高い相関が存在することからみても、冬期かんがいの技術は重要であろう。

冬期のかんがいの場合は 3～5 日ごとにかんがいすればよく、単位用水量としては 1mm/day 程度でよいと考えられる。

フェーン現象時における異常乾燥防止のための微気象調節は特殊な例であり、広い面積にわたって一時的に多量の水を必要とする点において、水源の面からも、散布技術上からもそのための対応が必要である。単位用水量としては 10mm/day を超えると考えられる。

(2) 地温調節のための用水量

地温調節のねらいは、一つには、冬期の地温を上昇させることであり、もう一つは、夏期の地温の高い時に低下させることである。こうした地温調節の実施方法としては、冬期の地温上昇を意図する場合、その原理は、日中の高温時に散布して地中に浸透させて、土壌の比熱を大きくして夜間の低下を防ごうとする方法である。この方法によると無散布に比べて 1～2℃地温が高くな

ることが認められており、この方法は凍霜害防止の措置としても用いられている方法である。しかし、土壌表層を多水分にすることは霜柱による浮き上がりを激しくしたり、土壌病害の増加を招くおそれがあるので、これらの損失を十分検討して散布する。

また、地温上昇の方法として水封マルチも利用されている。これは、水の比熱が土壌より大きいことを利用し、うね間や株元に水を入れたビニルチューブを設置し日中に熱を吸収させ、夜間に熱を放出させて夜間の土壌温度の低下を防ぐものである。

一方、夏期に地温を低下させたい場合、日中の高温時に散布して低下させる方法で、前述の微気象調節の一環としても行われている方法である。

こうした地温調節のための散布では、作物の湿害防止のために散布量（単位用水量）は、1日の蒸発散量を上限とする。

(3) その他の用水量

除草剤、土壌改良剤、摘果剤の散布、融雪促進等に用水施設を利用する場合がある。これらの用水計画に当たっては、地区の実態を十分検討することが必要であるが、用水量は原則として水分補給のための値を基準とする。

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：平成 24 年度計画基準基礎諸元調査報告書
- 2) 農林水産省農村振興局整備部水資源課：平成 26 年度河川協議促進対策調査検討業務報告書
- 3) 有森正浩・遠藤 泰・小林孝至：シミュレーションによる風食防止のための最適な灌漑手法の検討、農業農村工学会論文集 77(5)、pp7～13 (2009)
- 4) 齋藤康二・伊藤康喜・高津雅敏・三浦康星：牧之原地区のお茶に対する灌漑による凍霜害防止の現状と課題、農業土木学会誌 64(9)、pp885～889 (1996)
- 5) 堀野治彦・中桐貴生・櫻井伸治・石川大貴：高品質ミカンの安定生産に寄与する灌漑システム・管理－水分補給管理と潮風害防止のための栽培管理用水－、畑地農業 659、pp17～21 (2009)
- 6) 櫻井伸治・石川大貴・堀野治彦・中桐貴生：ミカン樹園地における潮風害防止栽培管理用水の適用量および果樹へ及ぼす影響に関する実験的研究、畑地農業 663、pp17～24 (2014)
- 7) 岡本 毅・折田高晃・上園 浩・坂名城晋・平松紀士：鹿児島県と沖縄県の茶園における 2004 年の台風被害と被害低減要因、茶研報 104、pp51～65 (2007)
- 8) 九州農政局：河川協議書（国営笠野原土地改良事業）平成 22 年 1 月 6 日
- 9) 中村公人・渡部慧子・尾崎広海・池浦康広・小谷あゆみ：太陽熱土壌消毒における土壌中の温度・水分環境と栽培管理用水量、畑地農業 631、pp2～10 (2011)
- 10) 坂田 賢・中村公人・三野 徹・川島茂人：ハウス圃場における栽培管理用水利用、農業農村工学会論文集 259、pp87～92 (2009)
- 11) 中村和正：大規模畑作地帯におけるハウスでの栽培管理用水に関する検討、平成 22 年度土木研究所成果報告書 (2010)
- 12) 千家正照・西出 勤・足立忠司：施設園芸における水利用の特徴と問題点、岐阜大農研報 50、pp353～363 (1985)
- 13) 横山明敏・甲斐典男：施設野菜圃場における除塩、農業土木学会誌 64(9)、pp891～895 (1996)

参考文献

- 谷口邦仁・中村俊治・山本忠史・宮本輝仁・弓削こずえ：風洞実験による三里浜砂丘地土壌の風食発生条件の解明、畑地農業 664、pp19～25 (2014)
- 佐藤邦彦：高湿度と湛水条件がクワシロカイガラムシ卵のふ化に与える影響と茶園でのスプリンクラー散水による防除、茶業研究報告第 104 号別冊 (2007)
- 池田彰弘・塩田悠賀里・武井昭夫：施設土壌のかん水・太陽熱処理による塩類の挙動と除塩効果著、愛知県農業総合試験場研究報告第 22 号、pp295～302 (1990)
- 土岐和男・下野勝昭・西田忠志・川原祥司：ハウス土壌における塩集積の進行とその回避策、塩類集積土壌と農業、日本土壌肥料学会編、pp96～122 (1994)
- 小野信一：施設栽培土壌における塩類集積と過剰障害の現状および対策、日本作物学会記事(68)、pp315～320 (1999)

13. 計画用水量の決定

(基準 3.3.4.6 関連)

計画用水量は、用水計画諸元に水源からほ場への用水の搬送、ほ場での散布等に伴う各種の損失水量を適正に見込んで決定する。

地区全体に必要な計画用水量は次のように求める。

- ① ほ場単位用水量＝（計画日消費水量）＋（栽培管理用水量）
- ② 純用水量＝（ほ場単位用水量）×（かんがい面積）
- ③ 粗用水量＝（純用水量）／（かんがい効率）
- ④ 畑地かんがい用水量＝（粗用水量）－（地区内利用可能量）

水源として貯水池を計画する場合、あるいは、期別変化を知りたい場合は、有効雨量や地区内利用可能量を考慮して日計算を行う。この場合、次のかん水予定日までに有効雨量があってもその日は変更せず、間断日数は一定にしてかんがい水量を修正する。

なお、かんがい水量には、純かんがい水量及び損失を考慮した粗かんがい水量等があり、これらは、次のように求める。

- ① 純かんがい水量＝（ほ場単位用水量の最大値）×（間断日数）
- ② ほ場かんがい水量＝（純かんがい水量）／（適用効率）
- ③ 粗かんがい水量＝（純かんがい水量）／（かんがい効率）

ほ場かんがい水量は、スプリンクラ等より散布される水量で、末端散布施設の計画に用いられる。

粗かんがい水量は、ほ場かんがい水量に搬送中の損失水量を見込んだもので、水路の容量決定等に用いられる。

14. 機能保全対策と更新等

(基準 1.2、1.3、2.1、2.2、2.3、3.2、3.3、3.4、3.5 関連)

農業水利施設については、これまでに、基幹的なダム、頭首工、用排水機場等の施設が全国で約 7 千箇所、基幹的な農業用排水路は約 5 万 km が整備され、これらの資産価値は、再建設費ベースで 18 兆円（基幹的な施設以外の施設も含めると 32 兆円）に達する（平成 21 年 3 月時点）。これらの施設の多くは、戦後の食糧増産の時代や高度経済成長期に整備されており、標準耐用年数を迎える施設が急速に増加してきていることから、財政的な制約も考慮しつつ、これまで以上に効率的な整備を進めることが課題である。

本章においては、事業計画の作成に当たり、農業水利施設の機能保全対策を、よりの確かつ効率的に実施するための基本となる考え方について解説する。

14.1 基本的考え方

農業水利施設の機能保全は、従来、劣化の進行に伴う施設性能の著しい低下や営農形態の変化等に伴う施設改良の必要が生じた時点で、全面的な更新整備により行うことが一般的であった。

しかし、近年、老朽化が進む施設ストックの増加に対応し、一定期間に発生する対策工事にかかる費用、維持管理費用等のコストの総額（以下「機能保全コスト」という。）の一層の節減が求められていることから、予防保全の手法を取り入れた長寿命化等の取組が広がってきた。

そこで、農業水利施設の機能保全対策を、よりの確かつ効率的に実施するため、以下の取組を一層拡大・深化させていくこととしている。

- ① 施設管理者による日常管理における点検、補修
- ② 施設造成者等による定期的な機能診断
- ③ 診断結果に基づく劣化予測、効率的な対策工法の比較検討、機能保全計画の策定
- ④ 施設監視計画に基づく施設監視
- ⑤ 機能保全計画及び施設監視結果を踏まえた関係機関等における情報共有と役割分担による対策工事の実施
- ⑥ 調査・検討の結果や対策工事に係るデータの蓄積等を段階的・継続的に実施する「ストックマネジメント」の取組

14.2 スtockマネジメントの基本事項

(1) スtockマネジメントの基本概念

農業水利施設を構成する施設ごとに見ると、構造物に発生する変状は一樣ではなく、同じ構造の施設系の中でも、更新する以外に対策がないほどの変状が生じている部分、補修や補強により対処（長寿命化）できる部分、当面経過を観察しても性能に支障がないと判断される部分が混在し、個々の施設の状態に応じた適時・適切な対策をとることが効率的である場合が多い。

このため、定期的な機能診断と継続的な施設の監視を行い、その結果に基づき、施設の要求性能を満たすために必要な対策を検討した上で、経済的かつ効果的な対策工法とその対策時期を選択して実施することが重要である。

この定期的な機能診断及び継続的な施設監視に基づく適時・適切な機能保全対策を通じて、リスク管理を行いつつ、施設の長寿命化とライフサイクルコスト（以下「LCC」という。）の低減を図る技術体系及び管理手法を総称してストックマネジメントという。

なお、この取組の充実により、補修・補強・更新等に係る経費について、長期的な視点で平準化を図ることも可能となる。

(2) スtockマネジメントの視点

農業生産を支えるインフラである農業水利施設は、耐用年数を迎えば廃棄するという施設とは異なり、永続的な利用を前提としている。そのため、供用期間が終了すれば廃棄する前提で計算されるライフサイクルという概念に馴染みにくい面があり、厳密な意味でのLCCは適用しがたい。

そこで、農業水利施設のストックマネジメントにおける経済性の比較検討においては、LCCの代わりに、一定期間に発生する対策工事に係る費用、維持管理費用等のコストの総額（以下「機能保全コスト」という。）を用いることとしている。

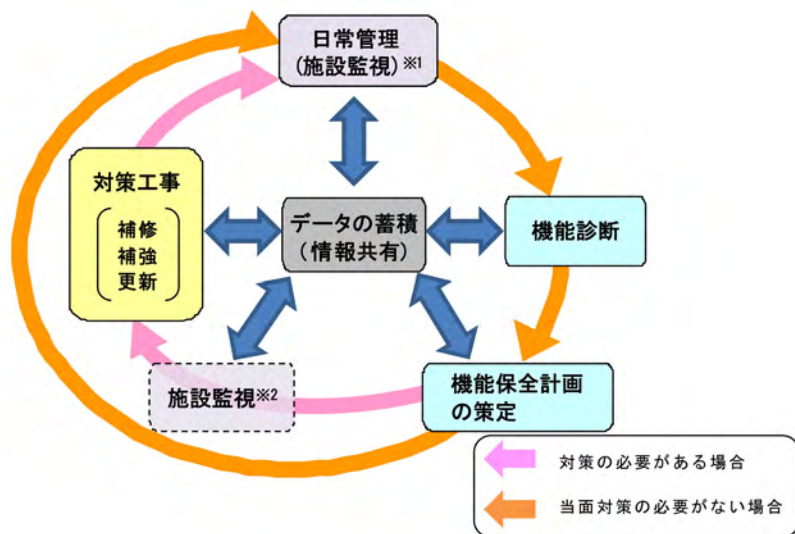
機能保全コストに基づく経済比較においては、施設の重要度、リスク評価等も勘案して対策の検討を行うものとする。施設の重要度に応じて許容できるリスクは異なることに十分留意しつつ、施設管理者等の意向も考慮して対策を経済的に実施することが求められる。

(3) スtockマネジメントの実施項目と流れ

ストックマネジメントのサイクルは、次のプロセスで構成されている。

- ① 施設管理者等による日常管理（継続的な施設監視を含む）
- ② 施設の状態を継続的に把握するために施設造成者等が定期的に行う機能診断
- ③ 診断結果に基づく劣化予測、効率的な対策工法の比較検討、これらを取りまとめた機能保全計画の策定
- ④ 施設監視計画等に基づく施設監視
- ⑤ 機能保全計画及び施設監視結果を踏まえた適時・適切な対策工事の実施
- ⑥ 上記の取組について、関係者間の連携・情報共有

このプロセスの中で、例えば、施設の重要度評価を踏まえた機能保全計画の策定と対策の実施など、リスク管理の視点を取り入れていくことが求められる。この際、電子化されたデータベースに機能診断調査結果や対策工事の実施内容などのデータを蓄積し、機能診断精度向上の集計・分析への反映や、ストックマネジメントの各段階での取組で活用を図る。このストックマネジメントのサイクルとプロセスを図-14.1及び図-14.2に示す。



※1：日常管理の一環として継続的に行う施設監視（結果は機能診断・機能保全計画策定等に活用）

※2：機能保全計画の精度を高め、適期に対策工事を実施するために継続的に行う施設監視

図-14.1 スtockマネジメントのサイクル

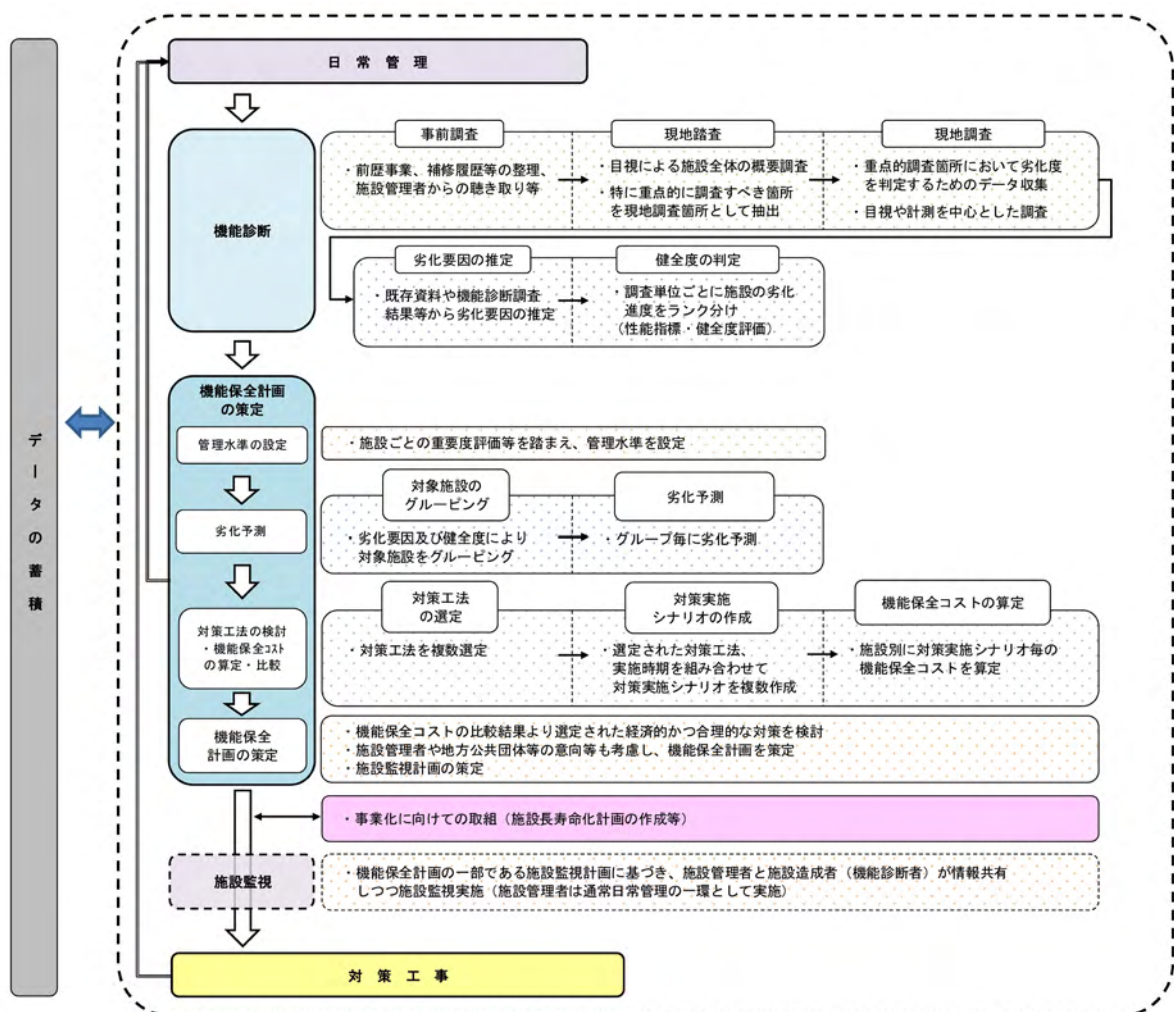


図-14.2 スtockマネジメントのプロセス

参考文献

-
- 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）

15. 機能診断調査と機能診断評価

(基準 1.2、1.3、2.1、2.2、2.3、3.2、3.3、3.4、3.5 関連)

農業水利施設の機能保全対策を、よりの確かつ効率的に実施するためには、施設の機能診断に基づく健全度や劣化の要因等の評価を踏まえ、LCCを低減する観点から、複数の対策工法の組合せについて比較検討することにより、最適な対策手法を選択して実施する必要がある。

本章においては、事業計画を作成する際の機能診断調査と機能診断評価について解説するとともに事例を紹介する。

15.1 基本的考え方

(1) 農業水利施設の機能と性能

農業水利施設の機能とは、施設が本来果たすべき役割であり、水利用機能、水理機能、構造機能等に分類される。農業水利施設の目的は、水利用機能の発揮であり、水理機能及び構造機能は、水利用機能の発揮を支える関係にある。また、これらの機能のほかに自然災害や事故等におけるリスクなどに対する安全性・信頼性や経済性、環境性といった社会的機能がある。これらの機能を発揮する能力が性能であり、指標として具体的な数値等で表すことができる。農業水利施設（土木施設）の機能と性能の例を図-15.1に示す。

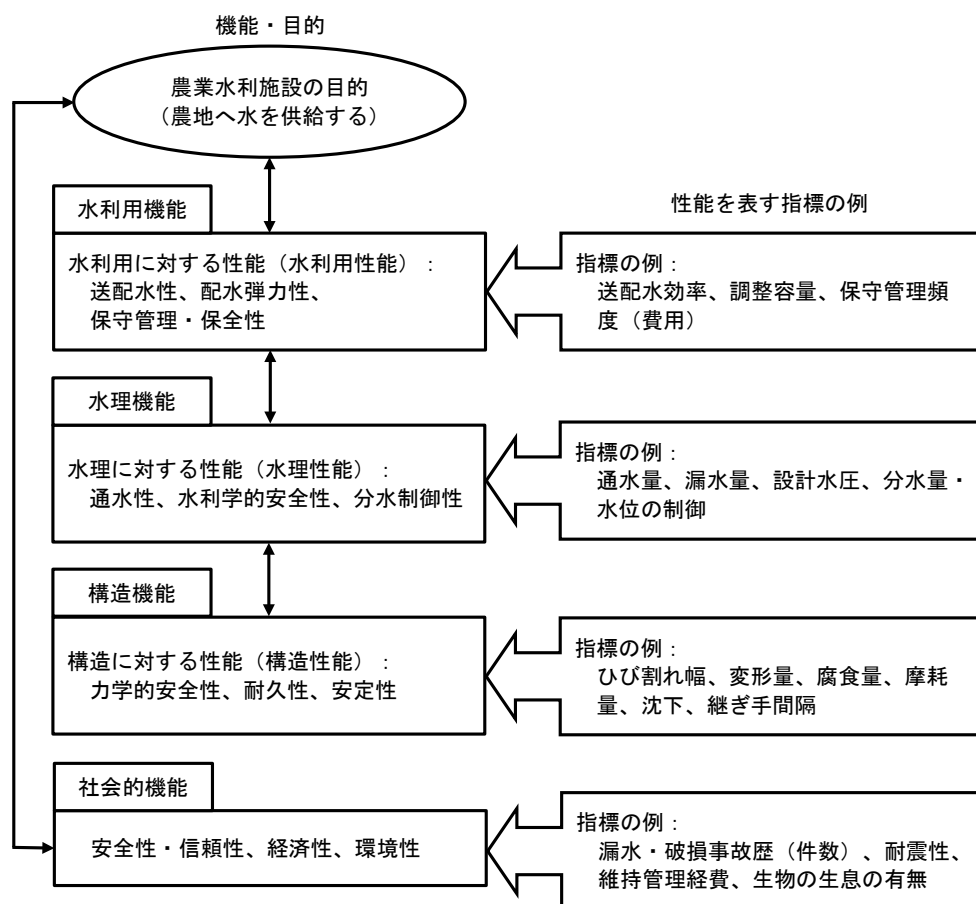


図-15.1 農業水利施設（土木施設）の機能と性能の例

(2) 機能診断調査と機能診断評価

更新整備の場合は、水利システムが現存し、実際に運用が行われていることから、事業計画を作成する際には、現況の水利システムの機能・性能を適切に評価した上で、要求される機能・性能を特定していくという視点が重要となる。そのため、構造面のみならず、過去の事業実施時と現況の営農形態や土地利用形態等の変化に伴う用水需要や水管理方法の変化も想定し、地域営農の展開方向も踏まえた上で機能診断調査と機能診断評価を行うことが必要である。

15.2 機能診断調査

機能診断調査は、対象となる農業水利施設の機能全般について把握するとともに、施設の劣化予測や劣化要因の特定及び対策工法の検討に必要な事項について調査を行うものである。埋設されたパイプライン等の目視が困難な施設を除き、原則として専門的な知見を有する技術者が、調査を行う定点を設定するなどしつつ、現地における目視や計測により実施することを基本とする。計測による調査は、施設管理者が行う日常管理の情報や過去の補修履歴などの基礎資料による情報など事前調査等の結果を踏まえ、効率的に実施する。

効率的に進める観点から、次の3段階で実施することを基本とし、必要に応じて詳細調査を実施する。

① 事前調査

設計図書、管理・事故・補修記録等の文献調査やデータベースの参照、施設管理者からの聞き取り調査等により、施設の重要度評価やリスクの把握に必要な情報を含む機能診断調査に関する基本的情報を効率的に収集し、現地踏査や現地調査をどのように実施するか等を検討する。

② 現地踏査

専門的な知見を有する技術者が巡回目視により対象施設を調査することにより、変状が生じている位置や程度等を大まかに把握するとともに、劣化要因の推定を行う。これらを踏まえ、現地調査の単位、定量的な調査項目等を決定しつつ、安全対策の必要性の有無など、現地調査の具体的な実施方法を検討する。

③ 現地調査

専門的な知見を有する技術者による近接目視による調査のほか、施設の劣化予測や対策工法検討のために必要な指標について、定量的な調査を実施する。

現地調査による調査結果だけでは判定できない特殊な状況にあるなど、特に必要がある場合には、専門家や試験研究機関などによる詳細調査を実施する。

事前調査による、水利用機能・水理機能の低下が明らかとなった場合には、必要に応じて、その要因等を明らかにするため詳細調査を実施する。その際、水利システム全体として機能が適切に発揮されているかどうかに着目して調査することが重要である。なお、性能低下の原因究明の調査を行う場合は、その事象が発生している時点等、適切なタイミングで調査することに留意する。

埋設されたパイプライン等の農業水利施設の調査については、漏水試験、水圧調査、流量調査等を地上から間接的に実施する定量調査（間接的定量調査）のほか、近接目視、計測、試験等を管内等から直接的に実施する定量調査（直接的定量調査）を必要に応じ

て組み合わせて行う。

標準的な調査事項の例を表-15.1 に示す。

調査項目は、事前調査や現地踏査の結果を踏まえ、必要に応じて劣化の状況や主要な劣化要因等を特定するために必要な項目を追加する。また、当該施設における調査項目の有効性や施設の置かれた状況等を勘案して、調査項目を絞り込むこともできる。

表-15.1 鉄筋コンクリート構造物に関する標準的な調査事項の例

区分	調査項目	調査手法	記録手法
ひび割れ	ひび割れ最大幅	定量計測 (クラックスケール)	定量記録、写真記録、図化
	ひび割れ延長	定量計測 (スケール)	〃
	ひび割れタイプ	タイプ判別	〃
材料劣化	浮き	目視による有無、打音調査	写真記録、図化
	剥離・剥落・スケーリング	目視による有無、簡易計測(デプスゲージ)	定量記録、写真記録、図化
	ポップアウト	目視による有無	写真記録、図化
	(析出物) エフロレッセンス	〃	〃
	(析出物) ゲルの滲出	〃	〃
	錆汁	〃	〃
	変色	〃	〃
	摩耗・風化	目視による有無、簡易計測(デプスゲージ)	定量記録、写真記録、図化
	漏水(痕跡)	目視による有無	写真記録、図化
	鉄筋露出	〃	〃
変形・歪み		目視による有無、簡易計測(下げ振り、ボール、傾斜計)	定量記録、写真記録、図化
圧縮強度		簡易計測(リバウンドハンマー法、機械インピーダンス法等)	定量記録、写真記録
中性化	中性化深さ／中性化残り	ドリル法	〃
	鉄筋被り	設計図書の確認、定量計測(鉄筋探査)	定量記録、写真記録、図化
目地の劣化	目地の開き	目視による有無、簡易計測(スケール)	〃
	段差	〃	〃
	止水板の破断	目視による有無	写真記録、図化
	漏水痕跡	〃	〃
	周縁コンクリートの欠損等	目視による有無、簡易計測(スケール)	定量記録、写真記録、図化
地盤変形	背面土の空洞化	目視による有無、打音調査	写真記録、図化
	不同沈下	目視による有無、簡易計測(スケール)	定量記録、写真記録、図化

※1：調査手法が「目視による有無」の場合で、変状が「有」の場合は、定量的な調査を行う。

※2：ひび割れの記録を行う場合、クラックスケールを当てて近接撮影を行う。

15.3 機能診断評価

劣化予測や対策工法の検討を行うため、機能診断調査の結果明らかとなった「施設状態」に基づき、対象施設の「健全度評価」を行う。健全度評価は、主に構造性能に係る指標に基づいて、対象施設の変状がどの程度のレベルにあるかを総合的に評価することを基本とするが、状況に応じて水利用性能、水理性能に係る指標も合わせて考慮する。

具体的には、コンクリートのひび割れ幅や管路の漏水量、構造物の欠損・損傷の有無、管路のたわみ量等、様々な事象を捉えた指標から、健全度を評価する。

施設の健全度評価は、変状の程度に応じて、当面、表-15.2 に示すような健全度指標を定義し、機能診断調査結果から対象施設の状態がどの健全度に該当するかを判定することにより行う。

表-15.2 健全度指標（土木施設・施設機械設備）の例

健全度 (ランク)	施設の状態		対応する 対策の目安
	土木施設	施設機械設備 (設備・装置・部位等)	
S-5	変状がほとんど認められない状態	異常が認められない状態	対策不要 (対策不要)
S-4	軽微な変状が認められる状態	軽微な変状が認められるが、機能上の支障はない状態	要観察 (継続監視)
S-3	変状が顕著に認められる状態	放置しておくとならば機能に支障が出る状態、対策が必要な状態	補修・補強 (劣化対策)
S-2	施設の構造的安定性に影響を及ぼす変状が認められる状態	機能に支障がある状態。著しい性能低下により、至急対策が必要な状態	補強・補修 (至急劣化対策)
S-1	施設の構造的安定性に重大な影響を及ぼす変状が複数認められる状態。近い将来に施設機能が失われる、または著しく低下するリスクが高い状態。補強では経済的な対応が困難で、施設の更新が必要な状態	設備等の信頼性が著しく低下しており、補修では経済的な対応が困難な状態。近い将来に設備の機能が失われるリスクが高い状態。本来の機能及び社会的機能における性能が総合的に著しく低下している状態	更新 (更新)

※1：対応する対策の目安：上段は土木施設の対策、（下段）は施設機械の対策例を示す。

※2：農業水利施設の機能保全の手引き（工種別編）の「水管理制御設備」では、対応する対策の目安として、S-2 で更新（全体・部分）、S-1 で至急更新（全体・部分）となっている。

※3：対策の必要性の有無は、水理性能に与える影響、重要度、リスク、劣化要因、劣化の進行状況などに応じて検討する。

15.4 調査計画参考事例

(1) 地区の概要

K地区は、受益面積約 2,000ha の水田及び樹園地帯である。受益面積の約 60%を占める樹園地では、主にもも、ぶどうが作付けされている。

国営土地改良事業で造成された基幹水利施設は、事業完了から約 40 年が経過し、経年に伴う性能低下の進行により、各施設に故障や変状が生じているほか、維持管理に多大な費用と労力を要しているとともに、円滑な維持管理と適切な用水の配水管理に支障が生じている。

このため、将来必要となる整備費用の縮減を図るとともに、農業用水の安定供給の確保を図り、農業生産の維持及び農業経営の安定に資することを目的として、基幹水利施設の長寿命化に関する取組を行った。

以下に、長寿命化に関する取組が行われた基幹水利施設のうち、畑地かんがい用水路（管水路）の機能診断及び施設の長寿命化に関する計画の事例を示す。

(2) 機能診断の概要

全体的に管水路継手部からの漏水が発生している。特に、石綿管区間では、近年継手からの漏水事故の発生が増加傾向にある。要因としては、継手部材（ゴム輪）の劣化が見受けられる。機能診断の概要を表-15.3に示す。

表-15.3 機能診断の概要 (管水路)

施設	グループ 名称	形式	規格・規模	延長 (m)	造成又は 補修等からの 経過年数	施設現状 及び課題 (事前調査結果)	支配的な劣化等 要因・機構	機能診断 実施年度	健全度別延長				
									S-5	S-4	S-3	S-2	S-1
畑地かんがい用水路 (管水路)	調整池	RC	B58m×L83m	一式	39年	ひび割れ、目地周縁コンクリートの欠損	乾燥収縮、風化	2011			一式		
	主幹線	RC管・PC管	φ1100・1200	1,523	43～45年	ひび割れ、継手ゴム劣化、漏水	構造外力 (過負荷)、風化、浸食	2011			692	831	
	1号幹線	RC管・PC管・AC管	φ400～700	3,034	41年	継手ゴム劣化、漏水、破損	浸食	2011			26	3,008	
	2号幹線	PC管・AC管	φ450～900	4,779	42～43年	継手ゴム劣化、漏水、破損	浸食	2011				4,779	
	3号幹線	PC管・AC管	φ350～700	4,885	40～41年	継手ゴム劣化、漏水、破損	浸食	2011				4,885	
	1-1号支線	AC管	φ300・450	1,159	41年	継手ゴム劣化、漏水、破損	浸食	2011				1,159	
	2-1号支線	PC管・AC管	φ300・500	1,033	43年	継手ゴム劣化、漏水、破損	浸食	2011				1,033	
	2-2号支線	AC管	φ300	658	42年	継手ゴム劣化、漏水、破損	浸食	2011				658	
	3-1号支線	AC管	φ250・350	1,161	41年	継手ゴム劣化、漏水、破損	浸食	2011				1,161	
	減圧水槽	RC	6m×6m×6.4m ほか	4箇所	41～43年	ひび割れ、中性化	乾燥収縮、中性化	2011			4箇所		

(3) 施設の長寿命化の概要

ア. 基本方針

畑地かんがい用水路は、社会的機能の観点からリスク管理の視点を取り入れ、漏水・破損事故のリスクに関する指標を考慮する。さらに、機能保全の基本的取組においては、現状の技術レベルを踏まえ、施設の重要度評価に応じた効率的な機能診断や機能保全対策を実施することとする。

イ. 機能保全対策の概要

コンクリート管 (RC・PC) 区間については、継手部が劣化しており、漏水事故も発生していることから、継手部の漏水対策として止水工法 (φ900 以上)、内面補強工法 (φ700 以下) 等による補修を行う。石綿管区間については、継手からの漏水が近年増加しており、石綿含有製品であるため、管体が破損した場合に撤去・復旧に莫大な費用を要する。このため、予防保全として更正工法等により改修する。

また、減圧水槽については、ひび割れが発生している。中性化が進行している減圧水槽については、ひび割れ補修のほかに中性化対策として表面被覆工により補修する。

ウ. 機能保全コストの算定期間

事業実施期間 10 年を加えた 50 年間とする。

エ. 性能低下予測と性能管理

表-15.4 のとおりとする。

表-15.4 性能低下予測と性能管理

施設	性能低下予測	性能管理
畑地かんがい用水路 (管水路)	単一劣化曲線モデル	外形的な構造機能だけではなく、漏水量などの水利用機能、水圧や流量などの水理機能にも着目するとともに、漏水・破損事故といった安全性・信頼性、経済性などの社会的機能の観点から、リスク管理の視点を取り入れ、漏水・破損事故のリスクを考慮した性能管理を実施

(4) 対策工法の検討・機能保全コストの算定・比較

機能診断及び性能低下予測（劣化予測）に基づいた複数の対策実施シナリオを作成し、機能保全コストが最も経済的となるシナリオを採用した。表-15.5 及び図-15.2 にシナリオ選定表及びシナリオ参考図を示す。

表-15.5 シナリオ選定表

シナリオ	シナリオの特徴	機能保全コスト	順位	採用 シナリオ
シナリオ 1	S-3 段階で補修を実施。耐用年数ごとに対策を繰り返す。石綿管区間では補強を実施。施設機械設備は参考耐用年数経過時に更新。	約 1,600,000 千円	1	○
シナリオ 2	S-2 段階で補強を実施。耐用年数ごとに対策を繰り返す。施設機械設備は参考耐用年数経過時に更新。	約 2,800,000 千円	2	
シナリオ 3	S-1 段階で補強を実施。耐用年数ごとに対策を繰り返す。施設機械設備は参考耐用年数経過時に更新。	約 3,600,000 千円	3	

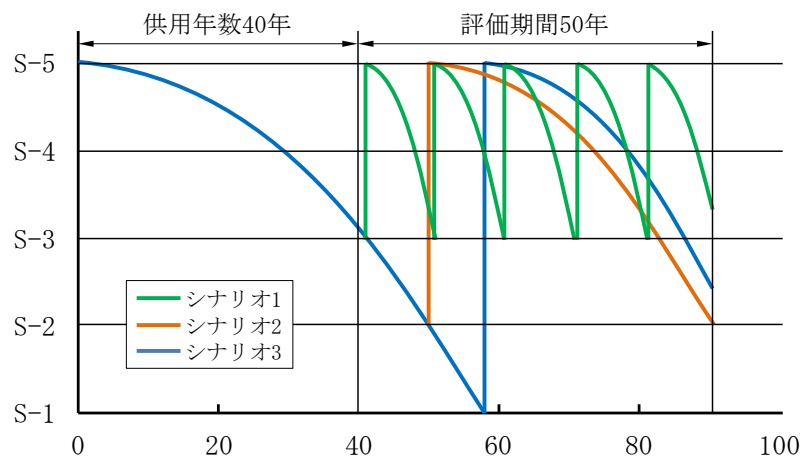


図-15.2 シナリオ参考図

参考文献

- 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）

16. 環境との調和への配慮（生態系）

（基準1.2、1.3、2.1、2.2、2.3、3.1、3.2、3.3、3.3.6、3.4、3.5、3.6関連）

農業農村整備事業における環境配慮については、地域の自然的、社会経済的及び文化的な実情や地域住民の意向等を十分に調査した上で、計画を作成することが必要である。生態系や地区事情等には固有性があるため、画一的でない地道な調査や調整が不可欠であることや、前例の安易な適用は地域の生態系にマイナスとなる場合もあることに留意すべきである。また、生態系の応答を十分な精度で予測することは非常に困難であるため、後述する「順応的管理」の手法により、保全対策の効果を段階的に向上させる取組が重要とされている。生態系に配慮した計画作成に当たり、今日までの状況推移を調査把握した上で、将来を見通した実効ある順応的管理を考慮しておくことも課題となる。

本章においては、畑地かんがいを中心とする農業用水確保のための用水施設整備の実施に併せて、環境との調和への配慮（以下「環境配慮」という。）の観点から行う生態系配慮対策を計画する場合に参考となる考え方を解説するとともに、事例を紹介する。

16.1 農業農村整備事業における環境との調和への配慮の取組

食料・農業・農村基本法（平成 11 年法律第 106 号）において、今後の食料・農業・農村施策の目指す基本理念の一つとして、「農業の有する多面的機能（国土の保全、水源かん養、自然環境の保全等）の発揮」が掲げられ、また、同法第 24 条では「国は、（中略）農業の生産性の向上を促進するため、地域の特性に応じて、環境との調和に配慮しつつ、（中略）農業生産の基盤の整備に必要な施策を講ずるものとする。」とされた。その後、平成 13 年の土地改良法改正において、「土地改良事業を実施するに当たっては環境との調和に配慮すること」が事業実施の原則に位置づけられた。

これらの法の理念に基づき、農業農村整備事業における環境配慮に係る基本的な考え方を示した「農業農村整備事業における環境との調和への配慮の基本方針について（平成 14 年 3 月 1 日付け農村振興局長通知）」をはじめとして、①環境配慮の基本的考え方や水路整備についての「環境との調和に配慮した事業実施のための調査計画・設計の手引き第 1 編（平成 14 年 3 月 19 日付け農村振興局計画部長、整備部長通知）」、②ため池、農道及び移入種についての「同第 2 編（平成 15 年 4 月 1 日付け農村振興局計画部長、整備部長通知）」、③ほ場整備（水田、畑）についての「同第 3 編（平成 16 年 5 月 31 日付け農村振興局計画部長、整備部長通知）」が策定された。

また、その後の環境配慮に対する取組の進展に伴い、生物のネットワークの確保のための配慮や、工種横断的に環境配慮手法等をより具体化した「環境との調和に配慮した事業実施のための調査計画・設計の技術指針」（平成 18 年 3 月 30 日付け農村振興局企画部長、整備部長通知）が策定され、平成 27 年 5 月 7 日の改定では環境配慮対策に関する記載を充実するとともに、農業農村整備事業における環境保全を契機とした地域づくりの基本的考え方や事例が追加された。

16.2 「環境との調和に配慮した事業実施のための調査計画・設計の手引き」及び「環境との調和に配慮した事業実施のための調査計画・設計の技術指針」との関連について

「環境との調和に配慮した事業実施のための調査計画・設計の手引き（第1編）（平成14年2月）（農林水産省農村振興局）」は、国や地方公共団体等で実際に農業農村整備事業に携わる者を対象に、環境に係る調査、計画策定と設計に当たり、その内容が環境との調和に適切に配慮されるよう、基本的な考え方や仕組み、留意事項等をまとめたものである。加えて、「環境との調和に配慮した事業実施のための調査計画・設計の技術指針（27農振第166号農村振興局整備部長通知）」（以下「技術指針」という。）は、生物の「生息・生育環境及び移動経路」（以下「ネットワーク」という。）の保全・形成に視点を置き、農地・農業水利施設等調査から維持管理に至る各段階における環境配慮の手法を具体化し、現場への適用性を向上させることを目的としている。

農業生産性の向上と農村環境の保全・形成を両立させるために作成する「環境との調和への配慮に関する計画」（以下「環境配慮計画」という。）の検討に当たっては、この技術指針で環境配慮に関する基礎的知識等を習得した上で、本章の内容を参考とすることとし、双方の適切な運用を図るものとする。

16.3 農村生態系の特徴とその保全

我が国の農村生態系の大きな特徴は、二次的自然により時間的、空間的に生態系の多様性が高い状態が保たれていることである。二次的自然とは、過去、現在の人間活動によって形成・保全される自然のことであり、その多くが「遷移」の途中相で、様々な遷移段階の緑地等がモザイク状に配置されている。

また、農村生態系には、様々な土地利用が混在している。この土地利用は、農地（水田、畑、樹園地）、農用林野（採草地、放牧地、農用林（薪炭林等））、農業施設（水路、ため池、農道等）、居住域（農家、屋敷林）等に区分される。これらの土地利用もモザイク的に分布し、歳月を経て周囲の環境と調和した良好な景観が形成されてきた。

農村生態系に生息する生物には、このモザイク状の環境をうまく利用している種も珍しくなく、その中には陸域・水域双方を利用している種が多いことが特筆される。例えば、シュレーゲルアオガエルは、水田で産卵、幼生期を過ごし、上陸後は近隣の緑地で生活するため、本種の保全には生息・生育に適した水域と陸域、そして両者間の移動経路が確保されている必要がある。

畑は、耕起、播種、移植、除草等の作業が頻繁に行われ、その生態系は攪乱されることが多い。毎年耕起される畑に発生する雑草は、乾燥に強い1年草のメヒシバ、スベリヒユなどが多い。冬に耕起されない畑では、前年の秋にロゼット型の植物（短い茎から葉が地表に密着して出ている植物）が根をつけ冬を越し、春に花を咲かせることが多い（ナズナ、グンバイナズナ等）。

また、畑には、大規模に畑作を行い周囲に水田が存在しない地域（大規模な畑作地帯）と周囲に水田が存在し畑作と稲作が共に行われている地域がある。周囲に水田が存在しない地域では、水生動物の生息環境が十分ではないため、モンシロチョウやヒバリ等の陸生動物が中心となる。一方、畑作と稲作が共に行われている地域では、水田に生息しているシオカラトンボやアマガエル等の水生動物が畑においても見られる。

近年の農村生態系の変質は、(1)営農方法の変化、(2)都市化、開発行為、(3)過疎化・高齢化等に伴う人間活動の縮小、(4)農業農村整備事業等による複合的な影響の結果だと考えられる。このうち(4)に関しては、①区画の拡大、②湿田の乾田化、③経済性や維持管理の効率性を重視した用排水路の構造等による生物のネットワークの喪失・分断等の環境負荷を生む側面がある。

一方、(3)により水路などの維持管理等が滞り、生態系の遷移が不可逆的に進めば、その多様性は失われることになる。農業農村整備事業における環境配慮は、単に施設だけの問題ではなく、地域社会が抱える問題にも目を向けなければならないところに難しさがある。

農業農村整備事業を計画する上では、農業生産性向上や農村地域に在住する人たちの生活を重視することはもちろんであるが、同時に、我が国における農村生態系の特徴に留意しながら、環境配慮に努めることが責務である。すなわち、効率的な農業を実現しつつ、環境への負荷や影響の回避・低減により生物多様性や農村景観に配慮し、持続可能な社会の実現に寄与することが必要である。

16.4 生態系配慮に関する基本的な考え方

農業農村整備事業における環境配慮の調査・計画に当たり、生態系の保護・保全を図る上で一般的な考え方を理解しておくことが必要である。本節では、いくつかの重要な概念を以下に整理する。

ただし、生物生息空間の形態・配置の6原則、順応的管理等の概念を農業農村整備事業における環境配慮にそのまま導入するのではなく、前述の16.4 農村生態系の特徴とその保全に留意しながら、それらの基本的な考え方を環境配慮に反映させることが重要である。

(1) 生物多様性

生物多様性条約によれば、「『生物の多様性』とは、全ての生物（陸上生態系、海洋その他の水界生態系、これらが複合した生態系その他生息又は生育の場のいかんを問わない。）の間の変異性をいうものとし、種内の多様性、種間の多様性及び生態系の多様性を含む」とされている。つまり、多くの種が生息しているだけでなく、生態系が多様であること、種内（遺伝子）の多様性が保たれていることが含まれている。種内の多様性は馴染みが薄いですが、隣の河川間で、あるいは同じ流域の中でも農業水路ごとに、同じ魚種であってもそれぞれ固有の遺伝子の多様性を持つことが、近年になって明らかにされてきた¹⁾²⁾。農村生態系において遺伝子の多様性をどのように保全するかについては、今後の課題である。

2012年に閣議決定された「生物多様性国家戦略2012-2020」によれば、我が国の生物多様性には、①開発など人間活動による危機、②自然に対する働きかけの縮小による危機、③人間により持ち込まれたものによる危機、④地球環境の変化による危機が忍び寄っているとされる。このうち①と②の点で、農業農村整備事業は生物多様性に対して、直接的・間接的に影響を与えていることに留意すべきである。

これまでの取組では、生物種の保全を重視した配慮対策が主流であったが、ネットワークの分断や、地域の遺伝子への配慮を伴わない善意の移植・放流によって、遺伝子の多様性の劣化が懸念されている³⁾。そのため、生態系・生物種・遺伝子の多様性を総体的にとらえた環境配慮が求められる。

(2) ミティゲーション5原則

ミティゲーション5原則は、「米国国家環境政策法（NEPA）」^{*1}で用いられている考え方で、開発行為の影響を緩和する措置の一般を示すものであり、技術指針においても農業農村整備事業に際し、環境配慮するに当たっての具体的な手順を検討するための有効な手段としている（図-16.1）。

ミティゲーション5原則の適用に当たっては、事業の実施による環境への影響を考慮し、まず「回避」の検討を行い、それが困難な場合は低減（「最小化」、「修正」、「影響の軽減/除去」）の検討を行う。低減についても困難であり、事業の実施が環境に大きく影響を与えざるを得ない場合は「代償」の検討を行う。

また、これらの優先順位を踏まえた対策を適切に組み合わせ、保全対象生物が生活史を全うできるように生息・生育環境の量的・質的な低下を防ぐことが重要である。

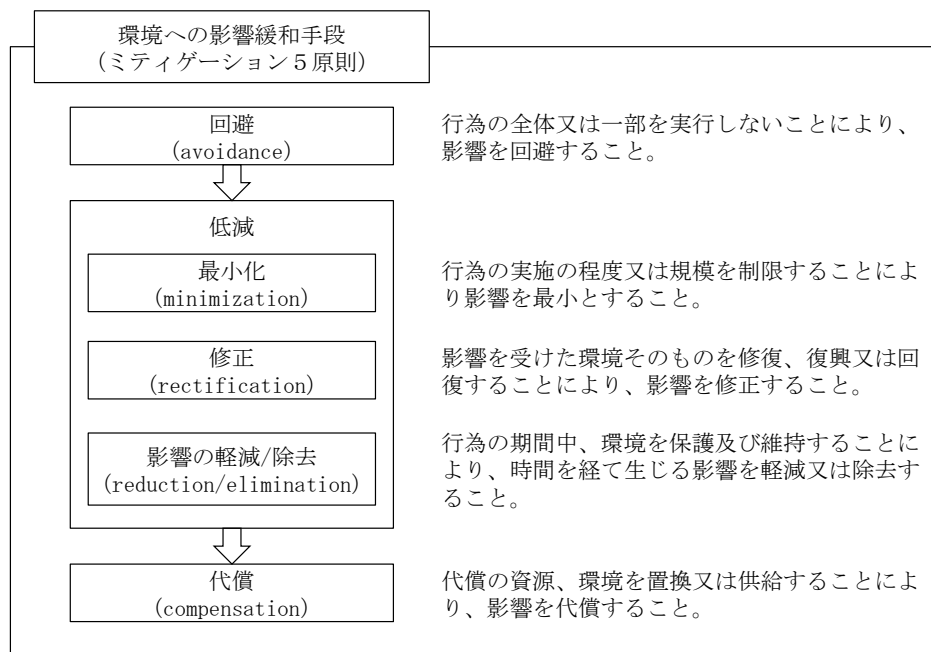


図-16.1 ミティゲーション5原則

*1：米国国家環境政策法（NEPA：National Environmental Policy Act）

世界に先駆けて成立した米国の環境アセスメント制度。1969年連邦議会を通過。NEPAは、連邦政府の関わるあらゆるレベルの行為（政策、計画、事業等）に対して、必要な場合、環境アセスメントを行うことを義務付け、連邦政府の環境保全の役割、責任を法的に明らかにしている（農林水産省農村振興局農村政策部農村環境課調べ（2011））。

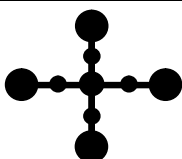
(3) 生物生息空間の形態・配置の6原則

生物生息空間の形態・配置等に関して、国際自然保護連合（IUCN）*2では図-16.2のように提唱している。これは、ダイヤモンド（Diamond, J.M.1975）等による実証的研究によって明らかにされたものである。

農業農村整備事業における環境配慮に当たっては、これらの原則を参考に個々の生息・生育地を合理的に配置しながら保全するとともに、生物学的回廊（エコロジカルコリドー）の保全に留意することが肝要である。

原則	優 (better)	劣 (worse)	生物生息空間の形態・配置の原則
拡大化			【生物生息空間はなるべく広い方がよい】 タカ、フクロウやキツネ等の高次消費者が生活できる広さが一つの目安。生物の多様性に富み、安定性が増し、種の絶滅率が低くなる。
団地化			【同面積ならば分割された状態よりも一つの方がよい】 一塊の広い地域であって初めて高い生存率を維持できる多くの生物種は、生息空間がいくつかの小面積に分割されると生存率が低くなる。
集合化			【分割する場合には、分散させない方がよい】 生物空間が接近することで、一つの生物空間で種が絶滅しても、近くの生物空間からの種の供給が容易になる。
等間隔化			【線状に集合させるより、等間隔に集合させた方がよい】 等間隔に配置されることで、どの生物空間も、他の生物空間との間での種の良い交流が確保される。線状の配置は、両端に位置する生物空間の距離が長く、種の交流を難しくしてしまう。
連続化			【不連続な生物空間は生態学的回廊（エコロジカルコリドー）でつなげた方がよい】 エコロジカルコリドーの存在により、生物の移動が飛躍的に容易になる。
円形化			【生物空間の形態はできる限り丸い方がよい】 生物空間内における分散距離が小さくなる。また、外周の長さも小さくなり、外部からの干渉が少なくて済む。

6原則を一言に
集約すると



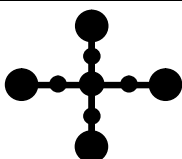
	高次消費者が生息可能な良質な生物空間をより広い面積で、より円形に近い形で塊として確保し、それらを生態的回廊で相互につなぐことが、最も効果的なビオトープの形態及び配置の仕方である。
---	--

図-16.2 生物生息空間の形態・配置の6原則

*2：国際自然保護連合

(IUCN: International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources)

自然環境の保全、自然資源の持続的な利用の実現のため、政策提言、啓発活動、自然保護団体への支援を行うことを目的に設立（1948）された国際的な自然保護の連合団体。国家、政府機関・非政府機関（NGO）などを会員とし、日本では環境省をはじめとして各種団体が会員として加入。日本政府は1995年に国家会員として加入（農林水産省農村振興局農村政策部農村環境課調べ（2011））。

（4）環境に配慮した農業農村整備事業

農業農村整備事業における環境配慮では、農業生産性向上等の本来の目的を踏まえた上で、事業による環境への影響を極力小さくする、あるいは損なわれた環境を回復するために、適切な環境配慮対策を検討することが重要である。未整備地区については、地域の生態系の中で注目すべき生息・生育地や保全すべき景観等の良好な環境が存在していることが多いことから、必要に応じて現況を保全する回避エリアを設定することを検討する。整備を行う区域でも良好な環境が存在する箇所の保全を図るとともに、周辺にある環境要素との連続性を踏まえ、ネットワーク等を確保出来るよう、エリアの設定と、エリアにおける配慮対策を検討することが重要である。

整備済地区では、ネットワーク等の連続性が分断されていることが多い。連続性の回復は、再整備時における最重要事項である。なお、前歴事業で環境配慮が行われていなかった地区においても、近隣の良好な生息・生育地からの生物の供給が期待できる場合には、再整備時に生息・生育地やネットワークを良好に整備することで、地域の生態系を回復できる可能性がある⁴⁾。また、ネットワークの整備に当たっては、在来種の生息・生育を脅かすおそれのある外来種や農業水利施設の機能を低下させるおそれのある外来種の生息・生育範囲を拡大させることがないよう留意する必要がある。

（5）農家の理解と農家を含む地域住民等の参加及び合意形成

環境配慮の取組は、事業実施だけでなく、維持管理においても労力的、経費的に負担が増えることが多いため、環境配慮の取組の各段階において、地域環境に関する情報の提供、啓発活動、農家意向の把握に努める等、関係農家の十分な理解と合意を得ることが不可欠である。ダム、頭首工、幹線水路等の大規模な水利施設と比べて、地域にとって身近な場所で実施されるほ場整備によって農地や水路、農道等を整備する場合や、農家を含む地域住民等（以下「地域住民等」という。）が自身で管理を行う施設の場合はなおさらである。

また、地域の自然環境は、地域住民等が恩恵を享受できる共有の財産であること、非農家の維持管理への参画が期待できることから、できるだけ早い段階から地域住民等の多様な主体の参画が得られる体制を整備し、環境情報の共有化や配慮対策検討の際の意見反映等を図ることが重要である。

なお、事業以外でも、簡易な整備や参加型の直営施工等により、補完的に環境の向上を図る事例が増えている。こうした取組は生態系保全の直接的な効果だけでなく、地域住民等が自らの生態系を考える契機となるため、地元調整の段階において各地の取組事例を紹介する等、事業制度の枠組みにとらわれない対応が有効である。

（6）順応的管理

環境配慮に関する知見の蓄積は現段階では十分でないこと、生態系は複雑で常に変化しており、配慮対策に対する生態系の応答を精緻に予測することはできないことから、環境配慮対策を講じても必ずしも十分な効果が得られない場合がある。したがって、環境配慮対策が想定どおりの効果を発揮しているかを継続的にモニタリングし、その結果を踏まえて必要に応じて施設の補修や修正を行うこと（順応的管理：アダプティブマネジメント）が重要である。

事業においても効果が想定以下であった場合には、地域の事情に応じた工夫のもとで当該施設の修正を検討する。また、このような対応を可能にするため、施工中・施工後とモニタ

リング結果を比較できるように、調査・計画時から、モニタリングの手法（時期、頻度、方法）を検討するとともに、データの蓄積に努めることが重要である。

(7) 環境配慮に関する技術的知見の蓄積と普及

生態系や地区事情等には固有性があり、画一的な調査・計画、設計手法は存在しないが、生態系や景観等に関する基礎的情報や環境との調和に配慮した工法の知見の蓄積は、他の事業地区において環境配慮対策の充実を図る上で大いに参考になる。そのため、調査・計画、設計、施工、モニタリング等の知見を蓄積するとともに、研修会や技術発表会等の機会を設け、各地域で取り組まれている環境配慮対策事例等の情報の共有と技術的知見の蓄積と普及を図ることが重要である。その際には、データの解釈に偏りや誤りが生じることがないように、行政担当者だけでなく専門家の知見を活用することが望ましい。そして、整備後に地域住民等の意見を聞くことも含め情報を集約して系統的に蓄積し、普及を図ることが有効である。

16.5 調査計画の進め方

環境配慮対策の検討を的確に行うため、地域における生態系や景観等の特徴、事業の実施が及ぼす影響の範囲・内容・程度、田園環境整備マスタープラン^{*3}等（以下「マスタープラン等」）における地域環境のビジョン等の環境配慮対策の検討に必要な情報を調査する必要がある。特に地域の生態系における生物の生息・生育状況や環境基盤の情報等を収集し、注目すべき生物（保全対象生物の候補）とその保全を図る上で注目すべき生息・生育地、ネットワークの構造を明確にするとともに、事業による生態系への影響を予測する。

調査では対象地域において「概査」と「精査」を効率的かつ効果的に実施し、計画策定に必要な情報を把握する。なお、環境との調和に配慮した整備や将来の維持管理（作業内容、費用負担等）に関する合意形成をより円滑に行うためには、事業構想策定時のなるべく早い段階から、行政、土地改良区、有識者、地域住民等の関係者が一体となって意見交換や合意形成を図るための体制を整備する必要がある。

具体的な調査実施の手順については以下に示すとおりであり、参考までにフローを図-16.3に示す。

*3：田園環境整備マスタープラン

事業採択に先だって関係市町村が作成するものであり、地域の環境概況、現状と課題、将来的な地域環境のあり方、事業による整備に当たっての環境配慮のあり方等の基本事項を取りまとめるとともに、環境創造区域（自然と共生する環境を創造する区域）及び環境配慮区域（環境への影響緩和等について配慮した工事を実施する区域）を設定するものである（農業農村整備事業研究会：農業農村整備事業計画作成便覧、p.60（2003））。

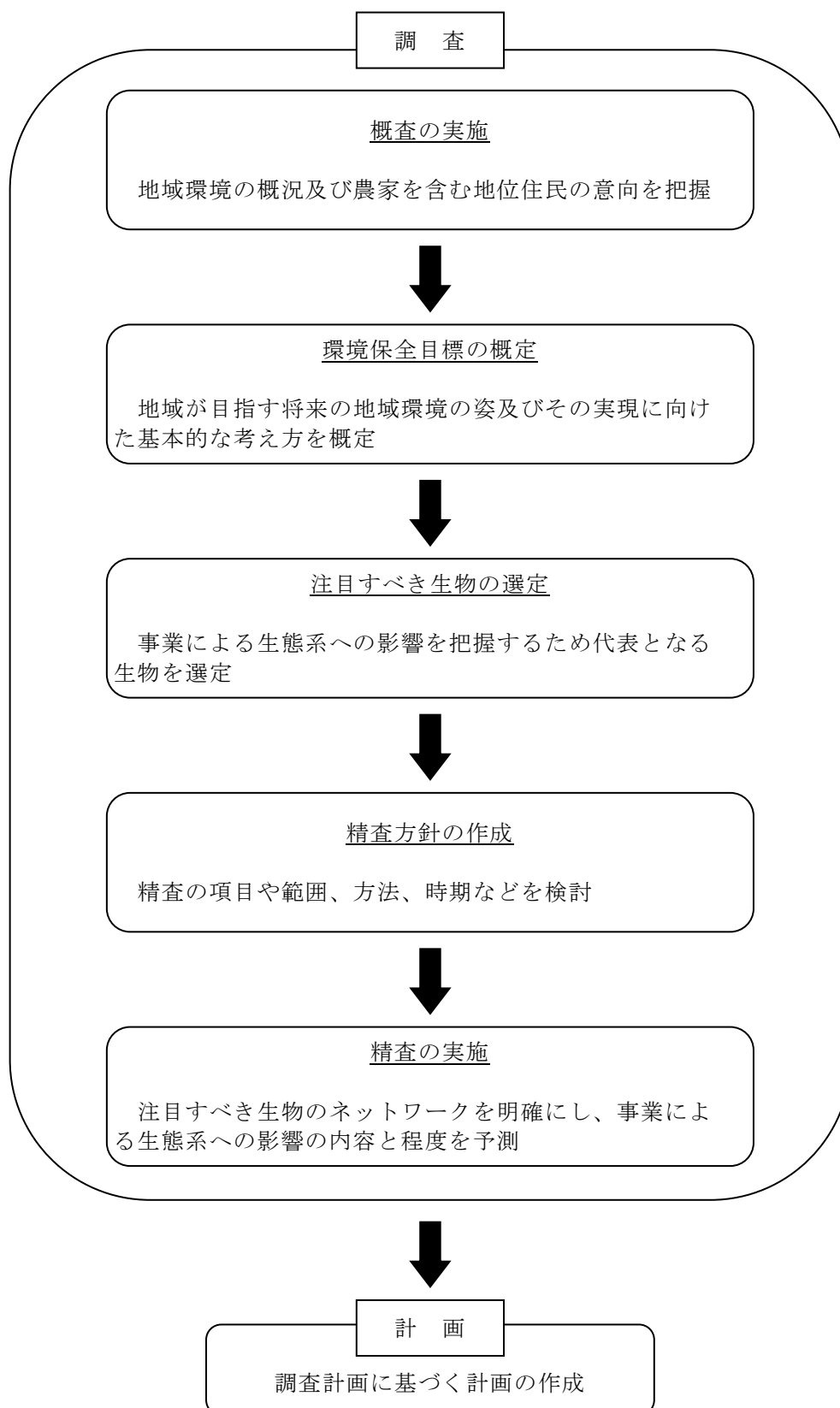


図-16.3 環境調査実施のフロー図

(1) 概査の実施

マスタープラン等で整理されている地域環境の現況や環境配慮の基本方針を把握するとともに、地域の環境、生息する生物、事業により想定される影響、地域住民等の意向を把握する上で有効となる情報について、文献調査、アンケート調査、聞き取り調査及び現地調査により収集・整理する。概査に当たっては、地域の環境特性等を踏まえ、あらかじめ環境配慮の見通しを想定しつつ有効な情報の効率的な把握に努める。この段階で、地域の生態系の成り立ち等を考慮して、広域的に調査を行い、事業実施が及ぼす影響の範囲を概定しておくことが重要である。

(2) 環境保全目標の概定

概査の結果を踏まえ、地域が目指す将来の地域環境の姿及びその実現に向けた基本的な考え方を環境保全目標として概定する。

(3) 調査方針の作成

環境配慮対策の検討に当たり、より詳細な情報の把握や重点的な調査が必要な項目等を概査結果より抽出し、それらに係る調査方針（調査対象、調査内容、調査範囲等）を作成する。調査方針は、事業における環境配慮対策及び事業実施中・完了後のモニタリング等を想定しつつ、検討に必要な調査項目、調査方法（調査範囲、調査手法、調査時期、頻度等）について、基本的な考え方を位置付けるものである。また、マスタープラン等で目指している地域環境の姿や環境配慮の方針、概査で把握した地域環境に係る情報を基本として、必要に応じて地方農政局等に組織されている環境に係る情報協議会における意見交換を反映させて決定する必要がある。

注目すべき生物の選定には、生態系の指標性（上位性、典型性、特殊性、希少性）、地域住民等との関わりなどを踏まえる（表-16.1）。注目すべき生物とその保全を図る上で注目すべき生息・生育地、ネットワークの構造を明確にし、事業による生態系への影響を予測するために、精査を行う項目や範囲を検討し、精査方針を作成する。

(4) 精査の実施

精査では、調査方針に基づき、地域環境に配慮する上で注目すべき生物とその保全を図る上で注目すべき生息・生育地、ネットワーク等の詳細な調査を実施し、事業による生態系への影響について、その内容や程度を予測・分析・評価する。なお、生物の生息量は季節的に大きく変動するため⁵⁾、注目すべき生物等に応じて適切な時期に調査を行う必要がある。

精査の結果が、計画及び設計に大きく影響することもあるため、有識者の指導・助言を踏まえた調査を実施する必要がある。

(5) 調査結果の取りまとめと活用

注目すべき生物とその保全を図る上で注目すべき生息・生育地、ネットワークの構造、事業による生態系への具体的な影響の程度等、環境配慮対策の検討に必要な事項について、有識者の指導・助言を得つつ調査成果を的確に取りまとめる。なお、生物の生息・生育に影響する要因には、事業によらないものも含めて様々なものがあるため（「16.4 農村生態系の特徴とその保全」参照）、整備によって直接的・間接的に生じる影響を多角的に予測し、対応策を検討する必要がある。調査成果は、配慮対策の検討へ反映させるとともに、地域住民等に対して環境配慮に関する意識向上を促す手段として活用する。

- ダム貯水池を象徴する鳥類として朝しまれおり、貯水池の浅瀬や法面の利用頻度の高いカモ類(オンドリ含む)、ヤマセミ、カワセミを選定
 ○ クマタカは、広い生息域を必要とし、生態ピラミッドの頂点に位置するアンブレラ種として選定
 ○ 数種の貴重植物が確認されたが、確認箇所が施工箇所から離れており影響が小さいことから非選定

種名	確認箇所	事業による影響の程度	生態系の指標性					地域との関わり	選定・非選定	備考
			上位性	典型性	特殊性	希少性	鹿児島県			
鳥類	カモ類(オンドリ含む)	施工ヤードとしての浅瀬利用による生息環境への影響が大きい	－	○	－	情報不足(オンドリ)	－	○	○	象徴種
	クマタカ	ダム貯水池右岸から南西側林地をコアエリアとしており、影響は小さい	○	－	－	絶滅危惧ⅠB	絶滅危惧Ⅰ	－	○	アンブレラ種※
	ヤマセミ	ダム前法面における繁殖行動が確認されており影響が大きい	－	○	○	－	－	○	○	象徴種
	カワセミ	ダム前法面における繁殖行動が確認されており影響が大きい	－	○	○	－	－	○	○	象徴種
	ミサゴ	ダム周辺での営巣・繁殖は確認されていない	○	－	－	準絶滅危惧	準絶滅危惧	－	－	
	オオタカ	出現頻度が少なく、営巣・繁殖行動も見られない	○	－	－	準絶滅危惧	準絶滅危惧Ⅱ	－	－	
	ハイタカ	冬鳥として飛来したと推測される	○	－	－	準絶滅危惧	準絶滅危惧	－	－	
	サンバ	出現頻度が少なく、営巣・繁殖行動も見られない	○	－	－	絶滅危惧Ⅱ	－	－	－	
	ハヤブサ	出現頻度が少なく、営巣・繁殖行動も見られない	○	－	－	絶滅危惧Ⅱ	絶滅危惧Ⅱ	－	－	
	クロツラヘラサギ	移動時の休息場所として、一時的な利用と推測される	○	－	－	絶滅危惧ⅠA	絶滅危惧Ⅰ	－	－	
植物	ヒメイチヂンダ	当地区では比較的多く見られるうえ、施工箇所から離れており影響は小さい	－	－	－	－	準絶滅危惧	－	－	
	ヒメワラビ	当地区では比較的多く見られるうえ、施工箇所から離れており影響は小さい	－	－	－	－	準絶滅危惧	－	－	
	ニッケイ	移入種と推測される	－	－	－	準絶滅危惧	絶滅危惧Ⅰ	－	－	
	イワガネ	当地区では比較的多く見られるうえ、施工箇所から離れており影響は小さい	－	－	－	－	準絶滅危惧	－	－	
	ミズヒキ	当地区では比較的多く見られるうえ、施工箇所から離れており影響は小さい	－	－	－	－	準絶滅危惧	－	－	
	テイカカズラ	当地区では比較的多く見られるうえ、施工箇所から離れており影響は小さい	－	－	－	－	準絶滅危惧	－	－	
	ダルマエビネ	移入種と推測される	－	－	－	絶滅危惧Ⅱ	絶滅危惧Ⅰ	－	－	

※アンブレラ種： 広い面積の生息域を必要とし、生態ピラミッドの頂点に位置するため、その種の生息環境を保全することで多数の種が保全されたと考えられる種。
 大型肉食哺乳類や猛禽類等が該当する。

表-16.1 注目すべき生物の選定例

16.6 計画策定の進め方

農業生産性の向上と農村環境の保全・形成を両立させるため、環境保全目標や環境配慮対策、維持管理計画等を取りまとめ、事業地区における環境配慮計画を作成する。

(1) 環境保全目標の設定

調査段階で概定した環境保全目標を、精査の結果を踏まえて点検する。また、必要に応じて見直し、地域が目指す将来の地域環境の姿及びその実現に向けた基本的な考え方を環境保全目標として設定する。概査の段階で複数の環境保全目標を概定していた場合は、計画段階で候補の絞り込みを行う。

目標の設定に当たり、地域住民等に積極的に情報を提供し、地域住民等への啓発を図りながら、アンケート調査や聞き取り調査、ワークショップ等の実施により、地域住民等が持つ環境に関する情報や意向を収集し把握する。目標は、精査の結果や、マスタープラン等の各種計画、地域住民等のニーズ・意向、生態系や景観等に関する有識者の指導・助言を踏まえ、地域住民等の合意を得て決定する。

(2) 保全対象生物の設定

計画、設計を行うに当たり、環境配慮の検討のポイントを明確にするために、生態系の代表となる生物を保全対象生物として設定する。

調査段階で概定した注目すべき生物について、精査の結果や環境保全目標に基づき選定理由等の点検を行う。また、新たに発見された希少生物等があれば、注目すべき生物として追加するか否かを検討する。そして、これらの生物から保全対象生物を設定する。この際、専門家の意見や地域住民の意向を踏まえ、生物の生態や種間関係、事業実施による影響、営農との関わり、モニタリングの実現性等から総合的に検討する。なお、保全対象生物が保全されれば地域の生態系が守られたと単純に評価できるわけではない。保全対象生物の生息状況は、当該種が代表する生態系がある程度守られた結果を表しているのであり、その保全だけが目標ではないことに留意して、保全対象生物の生息地の保全、ネットワーク化等、地区内の生態系の健全性確保を念頭に計画を樹立することが重要である。

(3) 環境配慮対策の検討

計画的かつ効果的に生息・生育環境とネットワークを保全・形成するために、環境配慮対策の検討を行う範囲（以下「エリア」という。）を設定し、ミティゲーション5原則を踏まえて、エリアごとに具体的な環境配慮対策を検討する。なお、生物によってはエリア間あるいは事業地区内外を移動し得ること³⁾、事業地区が未整備地区か整備済地区かによって環境配慮の方針が大きく異なることに留意し、事業地区内のみならずその周辺の生態系の状況やネットワークも踏まえて、エリアの規模・配置を設定する。

ミティゲーション5原則のいう「回避」のエリアは一般的には地区除外となるが、施設計画の樹立に当たっては、現状の環境が維持できるように、回避エリアに配慮する。

環境配慮対策は、保全対象生物の生息・生育環境や注目すべき生息地、ネットワークの構造、他の生物種との関係、営農・維持管理等の人為的攪乱との関係、事業による影響予測結果に基づいて検討する。

検討結果は区画計画、用水計画、排水計画、農道計画に反映させる。エリアごとの優先順位を踏まえた対策を適切に組み合わせ、保全対象生物が生活史を全うし、その個体群を存続

できるように生息・生育地、ネットワークの量的・質的な低下を防ぐことが重要である。

(4) 環境配慮に係る維持管理計画の検討

生態系の保全には、事業における環境配慮対策の実施だけではなく、適切な維持管理が継続的に行われることが不可欠である。このため、環境に配慮して計画された施設について将来的にどのような体制、手法（方法や頻度）、費用負担等により維持管理を行うかを検討する。そのため、事業構想策定段階から、管理主体である土地改良区等を中心に、行政や農家等の地元関係者との間で十分な合意形成を図るとともに、生態系保全等のための活動や、農家以外の地域住民等の参加の促進等についても検討を行う必要がある。

(5) 環境配慮計画の作成

環境保全目標や環境配慮対策等を取りまとめ、事業地区における設計や施工、維持管理に取り組むための環境配慮計画を作成する。取りまとめに当たっては、環境配慮対策の実施により保全・形成を図る生息地やネットワーク、環境配慮対策等が示された図面等を作成し、設計、施工における環境配慮の検討の資料として活用できるようにする。

この環境配慮計画は、事業主体のほか、市町村や地域住民等が地域の環境に関する意識を高めることや、環境保全に対して意思の統一を図るための資料としても活用できるようにわかりやすいものとする。また、設計、施工の検討等を踏まえた内容の充実や見直しが重要である。

16.7 参考事例

調査計画の進め方の参考とするため、畑地かんがい地区における用水施設の整備に当たって実施した具体的な環境配慮対策の事例等について紹介する。

(1) 地区の概要

受益面積が約4,000haの畑地域で、安定的な水源の確保を目的としてダムや用水路等を新設している。

工事の実施に当たり、環境省及び県のレッドデータブックの掲載種などを重要な種として生息・生育調査を実施し、現地調査で確認された約180種の重要な種のうち、ダム湖周辺に分布している67種を保全対象種として設定した。

(2) 生態系配慮の内容

新たに建設するダム周辺には、クマタカをはじめ希少な動植物が多数生息・生育していることから、以下のような生態系配慮の対策を実施している。

- ① 濁水やアルカリ水の河川流出防止のための濁水処理施設の設置
- ② 昆虫や小動物に配慮した構造物の設計・施工
- ③ 重要な植物の移植、採取、育苗及び小動物の生息環境の創出
- ④ 工事用車両の作業地域内での速度規制、騒音・振動の抑制

なお、これらの効果を把握するため、学識経験者の指導・助言を受けながら、河川水質調査やダム堤体工事の騒音調査、クマタカの繁殖状況調査、ダム下流河川における水生植物生育状況調査等のモニタリング調査を実施している。

上記②の事例として、写真-16.1に道路側溝や集水桝の中に落下した小動物等が這い出せるような形状の水路を示す。



写真-16.1 環境配慮型側溝の事例

引用文献

- 1) 小出水規行・竹村武士・奥島修二・森 淳・蛭原 周：DNA標識を利用した農業水路系における魚類個体群の交流実態の検討―千葉県谷津田域のドジョウ個体群を事例として―、河川技術論文集 12、pp365～370（2005）
- 2) 小出水規行・渡部恵司・高振麗・水谷正一・森 淳・竹村武士：マイクロサテライトDNAを用いた栃木県小貝川上流域のホトケドジョウ集団の予備遺伝解析、農業農村工学会論文集 256、pp55～61（2008）
- 3) 水谷正一・森 淳（編）：春の小川の淡水魚―その生息場と保全―、学報社（2009）
- 4) 竹村武士・渡部恵司・水谷正一・小出水規行・森 淳・朴 明洙：水域のネットワーク化による魚類個体群の再生を予測するモデルの開発に向けた自然増加率パラメータの設定、農業農村工学会論文集 271、pp9～16（2011）
- 5) 小出水規行・竹村武士・奥島修二・山本勝利・相賀啓尚：谷津田域における農業排水路環境と生息魚類の現地調査―千葉県下田川流域を事例として―、農工研技報 203、pp39～46（2005）
- 6) 九州農政局西諸農業水利事業所：西諸農業水利事業 浜ノ瀬ダム建設と自然環境保全の取り組み

参考文献

- 農林水産省農村振興局整備部設計課：環境との調和に配慮した事業実施のための調査計画・設計の技術指針（2015）
- 食料・農業・農村政策審議会農村振興分科会農業農村整備部会技術小委員会：環境との調和に配慮した事業実施のための調査計画・設計の手引き 第1編「基本的な考え方・水路整備」（2002）
- 食料・農業・農村政策審議会農村振興分科会農業農村整備部会技術小委員会：環境との調和に配慮した事業実施のための調査計画・設計の手引き 第3編「ほ場整備（水田・畑）」（2004）
- 農林水産省農村振興局計画部資源課：環境保全計画基準化調査委託事業報告書（2003）

17. 環境との調和への配慮（景観）

（基準 1.2、1.3、2.1、2.2、2.3、3.1、3.2、3.3、3.3.6、3.4、3.5、3.6 関連）

農村では人間と自然が共生する二次的な自然を基礎として、農業生産活動、人々の生活、さらには、地域の歴史・伝統文化等が調和し、独自の景観を形成している。このような農村特有の良好な景観が近年再認識されており、農村の魅力を視覚的に表す景観の保全、形成を推進する必要がある。このため、農業用の用水施設整備に当たっても、これらの背景を十分に踏まえつつ、農村景観の保全、形成に配慮した計画を樹立する必要がある。

本章においては、畑地かんがいを中心とする農業用水確保のための用水施設整備の実施に併せて、環境との調和への配慮の観点から行う景観配慮対策を計画する場合に参考となる考え方を解説するとともに、事例を紹介する。

17.1 景観配慮への取組

平成 16 年度に、地方自治体における景観条例の制定や国民の景観に対する関心の高まりを踏まえ、都市や農山漁村等における良好な景観の形成を図るため、景観計画の策定、景観計画区域の設定等を盛り込んだ景観法（平成 16 年法律第 110 号）が制定された。こうした動きの中で、農業農村整備事業において景観との調和への配慮を推進するため、農村景観の保全、形成の理念や配慮の考え方を体系的に整理した「農業農村整備事業における景観配慮の手引き」（平成 18 年 8 月 18 日付け企画部長、整備部長通知）が、続いて「農村における景観配慮の技術マニュアル（平成 22 年 3 月整備部農地資源課長通知）」が策定された。

さらに、農村環境の広域的な保全とそれを生かした地域の構想づくりに必要なプロセスや手法に係る基本的な事項を取りまとめた「農村環境の広域的な保全に向けた構想づくりガイドブック（平成 22 年 8 月 30 日付け農村政策部長、整備部長通知）」が策定された。

その後、全国で行われた景観配慮の取組事例が増加するなど新たな技術的知見や参考にすべき事例の蓄積が進んだことを踏まえ、「農業農村整備事業における景観配慮の技術指針（平成 30 年 5 月、農林水産省農村振興局）」が策定された。

17.2 「農業農村整備事業における景観配慮の手引き」との関連について

「農業農村整備事業における景観配慮の手引き」（以下「手引き」という。）は、農地、農業水利施設等の整備に当たり、農村景観に配慮した調査、計画、設計、施工及び維持管理を進めるための参考資料である。

また、農業農村整備事業の計画策定に当たり、国営事業実施地区等においては「環境との調和への配慮に関する計画」の策定、市町村においては「田園環境整備マスタープラン」及び「農村環境計画」の策定、見直しなどを行うために活用するものである。

農業水利施設等の整備における具体的な景観配慮の検討に当たっては、この手引きで景観配慮に関する基本的知識等を習得した上で、本章の内容を参考とすることとし、双方の適切な運用を図るものとする。

17.3 農業用の用水施設整備における景観配慮の基本的な留意事項

(1) 用水施設の基本的性格を踏まえた景観配慮

ダム、頭首工等の河川構造物や、揚水機場、ファームポンド、幹線水路等の大規模な施設は、おのずから周辺の景観に大きな影響を及ぼすこととなる。このため、事業計画策定に当たっては、周辺景観との調和への配慮とともに、事業の実施を契機として魅力的な景観の創造についても十分な検討が求められる。

農村における都市化、混住化が進む中、町中を流れる農業用水路とその管理用道路は地域住民に憩いや安らぎを与える空間としての機能も期待されることから、特に、これらを活用した潤いある農村景観の創造

（親水機能や生態系保全機能等も含む）に向けて効果的な施設整備を検討することが望ましい。

なお、畑地帯では新規の施設整備を行う地区も相当数存在するものの、近年、更新事業地区が増えている中、古い農業用水路等の施設は疏水百選や地域の産業遺産等、地域を代表する景観を構成する施設として貴重な存在となっていることがあり、これらの施設の改修整備等に当たっては、新旧施設の調和に十分な配慮が求められる。

(2) 農家及び農家を含む地域住民等の意向を踏まえた景観配慮

ダムや頭首工、幹線水路等の基幹的な施設は、地域内外の来訪者が集う地域の交流拠点ともなり得る施設である。このため、地域の歴史や文化との融合を図ったり、地場の素材を活用するなどの工夫を加えることによって、地域らしさを十分に生かした整備を検討することが望ましく、地域住民や関係機関の意向を踏まえた計画とすることが重要である。

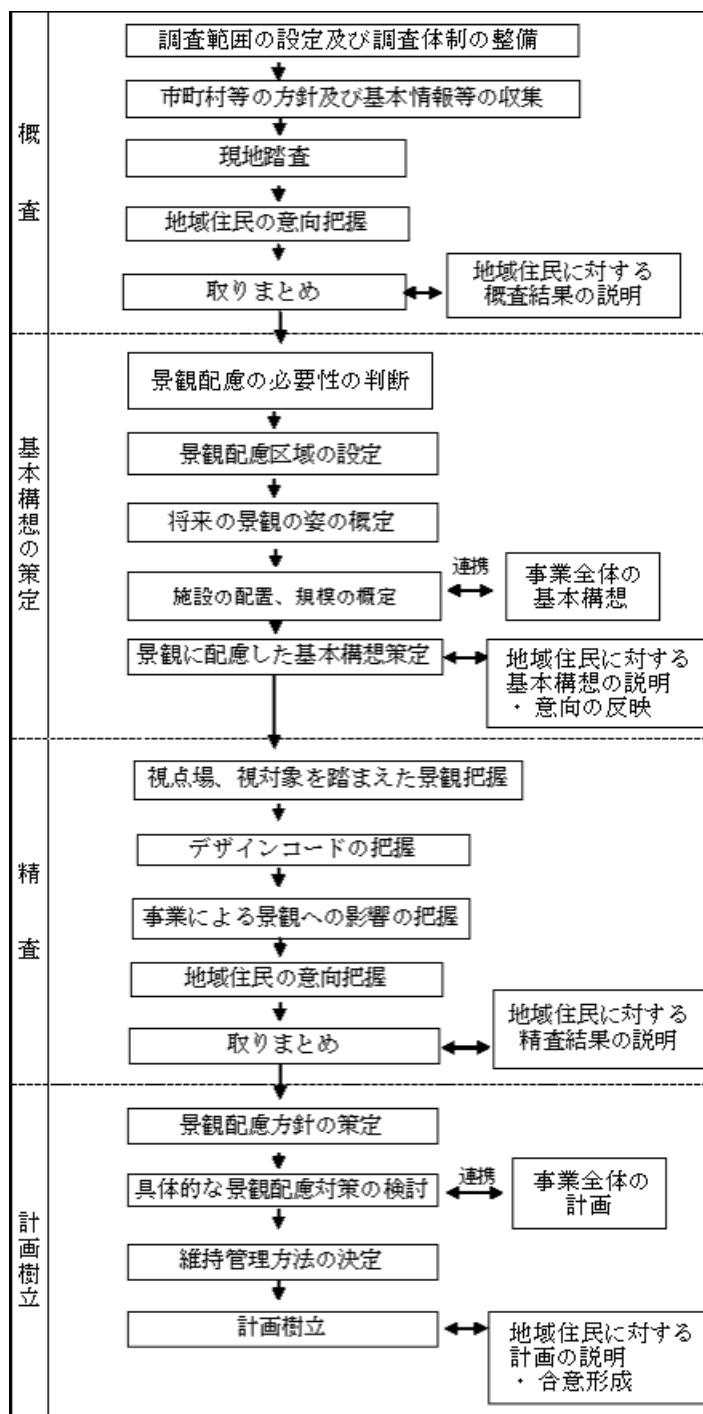


図-17.1 景観に配慮した計画樹立のための一般的な手順

17.4 調査計画における基本事項

景観に配慮した計画樹立のための一般的な手順は図-17.1のとおりである。以下に、概査、基本

構想の策定、精査、計画樹立の各段階の基本的考え方を示す。

なお、調査と計画は常に連携を保ちつつ並行的に進め、計画作成の途上で生じてくる新たな事態に応じて、所定の調査が円滑に実施できるよう心掛ける必要がある。

（1）概査（手引き「5.2 基礎調査」参考）

概査では、文献調査、現地踏査等により地域の景観に関する基本的情報を収集し整理する。

ア．調査範囲の設定

調査範囲は用水施設の整備を実施する区域を基本とするが、地域の歴史や文化、行政区域等の地域のまとまりを踏まえ設定する。

イ．調査体制の整備

景観配慮対策は、用水施設の整備のみならず、周辺地域で実施される他事業等を含めた総合的な対策として実施することが必要であることから、関係機関とは十分連絡調整することが重要である。

また、調査の早い段階に地域の代表者や関係機関によって構成される検討組織を設立することが有効であり、必要に応じて景観に関する専門家の意見を求める。

ウ．関係市町村等の景観配慮に関する方針の把握

田園環境整備マスタープランを始めとする環境に関する各種計画・条例等を収集し、関係市町村等の景観配慮に関する方針を把握する。この中で、田園環境整備マスタープランにおける環境創造区域等のように、特に景観に配慮すべき区域についても把握する。

エ．文献等による景観に関する基本的情報の把握

文献、地形図等により景観に関する基本的情報を把握する。把握する情報としては地域の景観に関する情報（自然・地形、土地利用、施設・植栽、社会環境、住民意向等）である。これらは地域の景観を構成する重要な景観要素で地域のアイデンティティを構成するものである。なお、畑地域の用水施設整備における景観構成要素の主な例は、表-17.1 に示すとおりである。

また、景観構成要素の把握に当たっては、地域の生活様式・文化的背景・歴史的な意味も併せて考慮する必要がある。

表-17.1 畑地域の用水施設整備における景観構成要素の主な例

景観要素	景観構成要素
自然・地形	平地、台地、山、河川、湖沼、森林
土地利用	農地（畑、ハウス、果樹園、茶園）、林地、宅地、工場用地、農業用施設用地
施設・植栽等	[農業用施設等] ダム、頭首工、水路、分土工、調整施設（調整池、調整水槽、ファームポンド、配水槽）、揚水機場、管理用道路、農作業（野菜の定植・収穫、茶摘み） [生活用施設] 公共施設、人の集まる場所、工場・倉庫、住宅地
その他 （歴史・文化・アイデンティティに関する項目）	[農業関係] 水利遺構（疏水）、古い農業施設（頭首工、分土工等） [生活関係その他] 史跡・遺跡、鎮守の森、神社、祠（ほこら）、地域の来歴、故事、シンボルとされている大河や山並み等、地区の花、草、木

オ．現地踏査

現地踏査では、現地で地域景観の特徴を把握するとともに文献調査等で把握した景観構成要

素について現地で確認する。特に、田園環境整備マスタープランにおいて環境創造区域が設定されている場合は詳細に把握する必要がある。

主に遠景、中景の視点から、地形、土地利用、施設等を調査し、地域景観の特徴を把握する。また、これと併せて景観に影響を与える阻害要因（雑草、ごみ、耕作放棄地、廃屋等）についても把握する。

カ. 地域住民の意向把握（手引きの「4.2 住民参加による景観配慮の取組」参考）

概査における地域住民の意向把握では、地域住民の景観についての認識の度合いを主に把握し、併せて文献では把握できないような地域住民になじみ深い景観構成要素やその文化的背景等についても把握する。意向把握の方法としては、農家を含む地域住民の代表者等に対する聞き取り、アンケート調査等により行う。

特に、ダムや頭首工、幹線水路、調整施設等の大規模な施設については、事業費や将来の維持管理費にも大きな影響を及ぼす場合もあることから、可能な限り早い段階から地域住民の意向把握に努めるとともに、概査から計画樹立に至るまで連続した関わりを持つことが有効である。

キ. 取りまとめ

文献調査、現地踏査等により把握した地域景観に関する基本的情報を地形図、整理表等で整理する。

（ア）地域の景観に関する情報の整理

文献調査、意向調査で把握した景観に関する情報を現地踏査等で把握した景観構成要素等とともに地形図で整理する。

（イ）景観を保全する必要性の整理

調査によって把握した景観構成要素について、関連情報等を基に保全する必要性を整理する。その際、石碑や祠（ほくら）等のように特に配慮を要するものについても整理する。

（ウ）景観を創造する必要性の整理

景観構成要素を現状のまま保全できない場合は、用水施設の整備と併せて新たな景観の創造について検討することが望ましい場合がある。例えば、水路を新設する周辺地域が歴史的景観を有し、特に景観に配慮する必要がある場合は、水路を石積み水路として整備し、新たに景観を創造するなどの工夫を取り入れることが望ましい。また、現地踏査において景観に影響を与える阻害要因が確認された場合は、それらを除去・遮蔽（しゃへい）、修景・美化する必要性について整理する。

ク. 地域住民に対する概査結果の説明

景観に配慮した事業の円滑な実施のためには、地域住民の理解が不可欠であることから、概査の段階で取りまとめた結果を説明し、地域住民の景観への関心を高めるとともに、完成後の維持管理の必要性についても理解を得る必要がある。

また、地域住民が意識していない保全すべき景観構成要素が存在する場合もあることから、専門家の助言に基づき、そのような景観構成要素についても、地域住民に提示することが望ましい。

（2）基本構想の策定（手引き「6.2 基本構想」参考）

基本構想の策定では、概査に基づき、地域が目指す将来の景観の姿や景観配慮の方向性を概定し、取りまとめる。

ア. 景観配慮の必要性の判断

概査及び地域住民に対する説明結果を踏まえ、用水施設整備と地域の景観との関わり、地域住民の意向、専門家の意見等を考慮して、景観に配慮した事業実施の必要性及び妥当性を判断する。

イ. 景観配慮区域の設定

田園環境整備マスタープランにおける環境創造区域の設定有無も踏まえつつ、概査で把握した景観に関する情報、景観構成要素の配置等を考慮して、景観特性、地域景観上の重要度から景観配慮区域を設定する。なお、効率的な調査、計画、実施の観点からも、景観配慮区域を特定しておくことは重要である。

また、景観特性を踏まえた区域分けを行った上で、それぞれの区域の特徴に応じた景観配慮を採用することが望ましい場合もある。例えば、路線延長が長い場合は、区間ごとに様々な景観が水路周辺に現れることが想定されることから、周辺の景観の特徴に応じて区間分けを行った上で、それぞれの区間の特徴をいかした景観配慮とすることが望ましい。

ウ. 将来の景観の姿の概定

概査で把握した景観構成要素のうち、地域における景観上の重要度、地域住民の意向等を考慮して、保全すべき景観構成要素を選定するとともに、必要に応じて新たな景観創造についても検討し、地域全体が目指すべき将来の景観の姿について概定する。この場合、整備する部分だけでなくその周辺についても、農家を含む地域住民の意向を踏まえつつ、景観配慮の在り方について検討し、基本的考え方を整理する。

また、除去・遮蔽（しゃへい）等の対策を講じる必要のある景観阻害要因への対応についても概定する。

エ. 施設の配置、規模の概定

施設の配置、規模の概定に当たっては、生産性の向上等の施設本来の目的を十分踏まえつつ、地勢、水系構造、山並みの稜線や家並みの輪郭線（スカイライン）、土地利用等の周辺状況と景観構成要素との関係を総合的に考慮して検討する。

オ. 景観に配慮した基本構想策定と地域住民に対する基本構想の説明

上記「(2) 基本構想の策定」の**ア～エ**を踏まえて、基本構想（案）を作成し、地域住民に説明した上で、地域住民の意向を基本構想に反映させる必要がある。

特に、景観配慮区域内や景観の保全、形成で影響を受ける地域住民に対しては十分説明する必要がある。

(3) 精査（手引き「5.3 詳細調査」参考）

精査では、基本構想に基づいた計画樹立のため、景観配慮区域を中心に景観との調和を図るための詳細な情報を収集する。また、計画樹立の作業とも連携を図りながら進める。

ア. 視点場、視対象を踏まえた景観把握（手引きの「3.2.2 景観の概念を成り立たせる「視点」と「視対象」」参考）

事業による景観への影響を把握するため、視点場、視対象を踏まえた現地踏査を行い、主要な景観を把握する。なお、ダム、頭首工のような大規模施設では、周辺の山等の高台、直下流の河原等、不特定かつ多数の者が観賞できる複数の場所を視点場として選定する。

視点場、視対象を踏まえた景観の検討では、まず施設全体を見渡せる遠景から検討を行い、

次いで中景、近景へと検討を進めることにより全体の景観をイメージする。

(7) 遠景における検討（手引きの「3.2.3 景観をとらえる視点」参考）

水路等、線的要素の整備の際には計画路線と周辺景観との関係を見渡せる場所（展望所、橋の上、山腹の駐車帯等）を視点場として選定し、背景となる家並みや田園景観との調和に配慮して検討する。パイプラインについては、地上に現れる部分の位置、規模に合わせて景観への影響を検討する。

また、ダム、頭首工のような構造物については、周辺景観への影響が大きいことから、見晴らしの良い複数の場所から、位置、形状、色調等について検討が必要である。

(4) 中・近景における検討（手引きの「3.2.3 景観をとらえる視点」参考）

地域に存在する周辺の他の景観構成要素及び遠景時に検討した山々を背景又は添景とするなど農村景観において「主役」と「脇役」、「図」と「地」との関係を意識して景観構成要素間の位置関係を総合的にとらえて検討することが望ましい。

視点場の検討では、主要な幹線道路等地域内の人々のよく集まる場所から選定する。

イ. 景観形成のためのデザインコードの把握（手引き「3.2.4 景観特性のとらえ方」及び「5.3.2 景観特性の把握」参考）

地域ごとに地域独特の景観が存在していることから、用水施設整備においても地域固有のデザインコードを反映させ、地域の個性を生かした景観配慮をすることが重要である。このため、地域景観に共通する固有の景観特性をデザインコードとして把握し、施設のデザインの基礎データとする。

調査に当たっては、まずデザインコードを反映させるべき対象施設を選定し、その施設にふさわしいデザインコードの収集を現地において実施する。

デザインコードの収集に当たっては、以下について留意する。

(7) 景観構成要素からのデザインコードの把握

デザインコードの材料としては、概査において把握した景観構成要素が重要な手掛かりとなる。景観構成要素は、地域景観を構成する重要な要素になるとともに、地域のアイデンティティを形成するものであり、これらといかに調和させることが可能かを十分検討する必要がある。

(4) デザインコードの背景の把握

デザインコードは、地域のデザイン的な特徴を表す個性であるとともに、地域の伝統、風土によって培われてきたものである。したがって、単に視覚的なデザインだけをとらえるのではなく、そのデザインを成り立たせている背景についても把握する必要がある。

ウ. 事業による景観への影響の把握（手引き「6.3.2 景観への影響の検討」参考）

計画樹立に先立ち、基本構想及び精査における視点場、視対象の検討やデザインコードの把握を踏まえ、事業による地域景観への影響を把握する必要がある。また、農村景観は地域の営農・生活活動によって維持されてきたものであることから、用水施設整備後の営農・生活の変化による将来の営農体系も考慮した景観への影響についても併せて検討することが望ましい。

以下に、用水施設整備において、景観への影響を把握するに当たっての主要な検討事項を記載する。

(7) 周辺の景観構成要素との調和

ダム、頭首工等の整備の場合は、地域周辺を囲む山々や森、地域内を流れる河川等、周辺の自然と調和しているか、揚水機場やファームポンド等の整備の場合は、地域内に存在する建物や樹木、祠（ほくら）、神社、史跡等を含めた周辺の畑地景観と調和しているかなど、地域の景観構成要素と空間的に調和しているかについて検討する。

(イ) 地域内の景観構成要素の再配置

施設整備に伴い、地域内に存在する樹木、石碑等の移動可能な景観構成要素を再配置する場合、その配置が景観上適切か検討する。

(ウ) 地域景観に影響を与える阻害要因への対応

景観に影響を与える阻害要因については、施設整備に併せて除去・遮蔽（しゃへい）又は修景・美化する可能性について検討する。

エ. 地域住民の意向の把握

精査における意向把握では、施設ごとの具体的な整備内容とその景観配慮の考え方を明らかにした上で、地域住民の意向、評価等について把握する。その方法としては、農家を含む地域住民に対するワークショップ、聞き取り調査等が有効である。

また、精査の結果、新たに判明した内容についても、地域住民に対して説明し、理解を得ることが必要である。この中で、景観配慮によって事業費が増えたり、新たな維持管理が必要となる場合や、利水条件に影響を与えることとなるような場合は、それらの内容についても十分な説明を行うことが重要である。

オ. 取りまとめと地域住民に対する精査結果の説明

精査により把握した詳細な情報について、概査の取りまとめと同様に、地形図、整理表等で整理する。また、地域住民に対し精査結果を説明し、合意形成に向けて、地域の景観への意識の醸成や高揚に努めることが望ましい。

(4) 計画樹立（手引き「6.3 景観配慮計画」参考）

計画樹立では、基本構想、精査結果を踏まえ、景観に配慮した計画を樹立する。

ア. 景観配慮方針の策定

基本構想において設定した景観配慮区域内において、基本構想、精査結果を踏まえて計画範囲の設定、景観への影響の検討等を行い、景観との調和についての基本的な考え方である景観配慮方針を策定する。

イ. 具体的な景観配慮対策の検討

具体的な景観配慮対策の検討に当たっては、生産性の向上といった事業本来の目的、景観配慮の基本原則（除去・遮蔽（しゃへい）、修景・美化、保全、創造）（手引き「3.3.1 景観配慮の基本原則」参考）、景観上の役割（整備対象の「主役」・「脇役」、景観の基調としての「地」の検討）、調和の方向（「融合調和」、「対比調和」）（手引き「3.3.2 景観調和の方針」参考）、景観設計要素（手引き「3.3.3 景観設計の要素」参考）を踏まえつつ行う。表-17.2に景観配慮対策の検討に当たって参考となる視点を示すが、いずれの場合においても、景観シミュレーション等の手法を用いて関係者間でイメージを共有しながら、比較検討することが重要である（手引き「6.3.2 景観への影響の検討」参考）。なお、全ての対策は当該事業だけで対応できるものではなく、そのようなものについては、関係市町村等と調整を行い、他の事業の活用についての検討も併せて行うことが有効である。

表-17.2 景観配慮対策の検討に当たって参考となる視点

景観配慮の基本原則	景観配慮の対象	景観配慮対策の検討に当たっての視点
「除去・遮蔽（しゃへい）」 景観の質を低下させる要素を取り除いたり隠すこと	地域全体	景観の阻害要因となっている施設等の移転が望ましい。 整備対象の規模・配置を工夫することにより、地域のアイデンティティであり景観を特徴づけている施設等の視認性を確保することが望ましい。
	整備対象施設	景観を阻害する施設は、周辺に植栽したり、埋設化することが望ましい。例えば、施設に送電線が必要となる場合は、地下埋設方式とすることも検討する。
「修景・美化」 景観阻害のインパクトを軽減したり、美化要素を付加して景観レベルを上げること	地域全体	景観に影響を与える阻害要因のうち、撤去が不可能なもの（景観に配慮されていない人工物等）については、周辺に植栽するなどして景観への影響を緩和することが望ましい。
	整備対象施設	整備対象の水路を周辺景観に調和させることが必要な場合は、石積み水路としたり、水路沿線に河畔木、草花等を植栽するなどにより配慮することが望ましい。その際、景観とともに生態系にも配慮することが望ましい。また、新たに建屋等を建設する場合は、地域景観との調和を図るため、地域のデザインコードを踏襲した形状、色彩、素材とすることが望ましい。
「保全」 調和のとれた状態を保全し管理すること	地域全体	地域内に存在する伝統的な施設、神社、鎮守の森、史跡等の景観構成要素については、可能な限り現状のままの状態を保全する方向で検討する。現状のまま保全できない場合は、移設等によって、地域の景観構成要素として残すことが望ましい。この場合、景観構成要素の再配置については、現況の景観特性とともに、新たに整備される施設を十分踏まえて検討する必要がある。
	整備対象施設	石積み水路等、地域の景観や歴史・文化的価値の観点から保全することが好ましい施設については、可能な限り現状のままの状態を保全する方向で検討する。現状のまま保全できない場合は、その素材や様式等を新たな施設に採り入れることが望ましい。
「創造」 新しい要素を付加することで新たな空間調和を創り出すこと	地域全体	地域住民や景観の専門家等から斬新なアイデアを募るなどにより、地域の歴史・文化等に根ざした新たな景観の創造を通じて、地域らしさを創出し、地域内外の交流の場とする等、地域の活性化に結びつけることが望ましい。
	整備対象施設	地域住民の要望等を考慮して、新たに石積み水路、親水空間等を整備することを検討する。その際、素材については地元産のものを使用したり、石積み工法等についても地元の伝統的工法を用いるなど、地域らしさを創出することが望ましい。

ウ. 維持管理方法の決定

景観に配慮した施設を整備することにより、新たに維持管理が生じる場合は、その施設の整備内容、維持管理内容・手法、維持管理体制、費用負担の方法について検討する。

景観に配慮した施設は、一般に農家のみならず地域住民を含めた形で維持管理することが好ましい場合が多いことから、具体的な維持管理協定の制定、維持管理組織の設立等についても検討することが望ましい。このため、調査計画の各段階を通じて、地域住民の理解が醸成されるような取組に努めることが極めて重要である。

特に、対象とする施設の規模が比較的大きなものである場合には、施設そのものの本来の機能の維持と併せて、その周辺の景観の持続的な管理の在り方について、検討組織の場を活用するなど、関係行政機関や予定管理者等とも十分調整を行うことが重要である。

エ. 計画樹立と地域住民に対する計画の説明（手引き「7.3 景観設計案の比較検討と最終案への合意形成」参考）

上記ア～ウを踏まえて、計画（案）を作成し、地域住民に計画内容の詳細を説明し、その意向を十分に把握しながら合意形成を図っていくことが必要である。その際、多数決だけに依存せず、関係者相互で議論し、その優劣評価の考え方について意思統一を図り、合意形成に向けて話し合うことが重要である。

この段階では、具体的な景観配慮の内容や景観配慮によって生じる影響、特に、景観に配慮した施設について新たな事業費負担や維持管理費負担が生じる場合、その施設の内容や管理内容、住民の負担等について十分説明し、理解を得る必要がある。

17.5 景観配慮調査計画事例

調査計画の進め方の参考とするため、用水施設の整備に当たって景観に配慮した地区事例をもとに、調査計画の各段階における取組について一例を紹介する。

(1) 景観配慮の概要

本地区は、町の中央部を川が流れ、その川がつくる溪谷は県の自然公園に指定されている。また、本地区周辺の歴史は古く、古墳等多くの史跡や遺跡が発掘されている。

このため、歴史・文化や自然資源との調和をテーマとして景観配慮を行った。特に、本事例の配水槽の建設予定地については、自然の山並みとそこに広がる樹園地とが調和した良好な景観への配慮が課題となった（写真-17.1）。



写真-17.1 配水槽建設予定地（丘の上）

(2) 調査計画の各段階における取組

ア. 概査

概査では、関係行政機関の景観配慮に関する方針、地域内の主な景観構成要素等について把握した。調査範囲としては受益地域及び整備対象施設がある地先の関係市町村全てとした。市町村作成の国土計画や観光レクリエーション計画、総合計画等の既存文献の調査や、現地踏査により地域の景観要素等を調査し、“地形図”及び“整理表”を用いて整理し、地域景観特性を把握した。なお、これらの歴史的背景、地域住民の生活との関わり等についても把握するよ

う努めた。

イ. 基本構想の策定

基本構想の策定では、概査の結果得られた、歴史的・文化的資源、自然資源が卓越しているという地域特性や、古墳や遺跡等の歴史文化が色濃い農村地帯という景観特性を基に、『市民に親しまれる場の創造～周辺景観との調和と新たな地域資源の提供～』を地域の景観保全目標として設定するとともに、地区を景観特性によりゾーニングした。その結果、対象施設の水槽の整備については、周辺の自然資源や樹園地と調和した施設設計を採用した。

ウ. 精査及び計画樹立

精査では、整備対象周辺の景観特性について把握し、水槽の整備における周辺景観に掛かる影響を検討するとともに、景観配慮計画策定のための基礎資料とした。

計画樹立では、景観配慮の基本原則を用いて水槽の景観配慮に係る基本的な方向性を明らかにし、景観上の役割、調和の方向及び景観設計要素についての検討を行い、具体的な景観配慮対策を決定した。

以下に景観配慮対策を検討するために実施した取組内容について示す。

(7) 視点場、視対象を踏まえた景観把握

水槽と周辺景観との関係を導き出すため、可視領域とまなざし量（視点場から視対象を眺める頻度、時間のこと）を考慮し、①集落内の日常生活の場であること、②集落への進入道で利用が多いこと、③イベント会場で集客率が高いこと等を理由に、近景、中景、遠景における調査のための視点場を5か所設定し、詳細調査の範囲は整備対象を中心として直径2kmとした（図-17.2）。

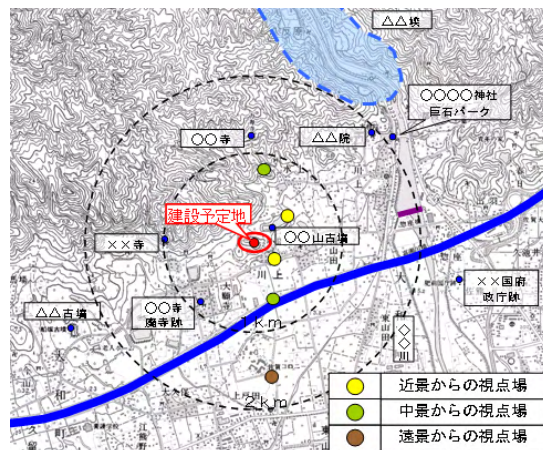


図-17.2 視点場設定図

(イ) 具体的な景観配慮対策の検討

まず、水槽の整備による周辺景観への影響予測を行った(写真-17.2)。この場合、水槽は、丘の上にそびえるランドマーク的な施設となることから、地域の景観の主役として位置づけ、周辺の景観と「対比調和」させることにより、新たな景観の「創造」を行う手法も考えられた。しかしながら、本地区においては、近景、中景、遠景の各視点場からの検討により、山並みと樹園地が広がる良好な景観を主役とした。このため、整備施設がその阻害要因とならないよう、「遮蔽」による景観配慮を基本とし、施設そのものが露出しない合調和」させることとした。



写真-17.2 施設造成後の景観を予測した
シミュレーション写真

次に、景観設計要素の検討を行い、①高さを抑制すること、②植栽による遮蔽を可能とする形とすること、③外壁の色彩は明度を落とすこと、④現況のスカイラインに近づける植栽

とすること等を具体的に決定した。

以上の検討結果から、本地区では、具体的な景観配慮対策として、やや掘り込み式に敷地を造成して木製の防護柵や中低木の植栽を設け、施設の周辺には高木を植栽することで周辺自然資源等との調和を図ることとした（図-17.3）。



図-17.3 景観配慮対策計画の例

17.6 景観配慮対策事例

多様な施設や地域の実態に応じた景観配慮のあり方の参考とするため、特色ある施設整備や地域のデザインコードの導入を検討した事例を基に、それぞれの特徴について紹介する。

(1) ダムや調整池の整備において周辺景観に配慮した事例

ア. 景観配慮の概要

ダム建設予定地において、景観機能を最大限に発揮するための周辺整備を実施するに当たり、堤体部の舗装を行う上で、周辺景観や自然環境と調和した配色を決めるために、色彩シミュレーションを実施した。

色彩検討に当たっては、①イメージパースの作成、②分類型の検討、③基調色の検討、④舗装色のシミュレーション、⑤舗装色の決定の順に行った。

イ. 具体的検討内容

各段階における検討内容の具体は以下のとおりである。

① イメージパース

現況の色彩を把握し、色彩シミュレーションを実施するための基図とするために作成した（写真-17.3）。

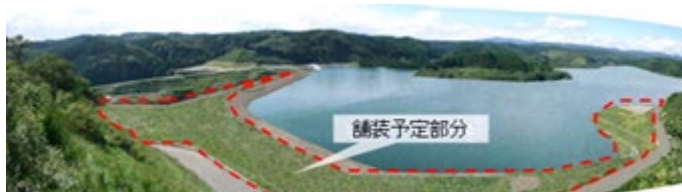


写真-17.3 基図となるイメージパース

② 分類型の検討

方向性は有機化（自然型）なのか無機化（都会型）なのか、配色は同化（類似型）なのか異質化（対比型）なのかを検討し、色彩計画の方針を決定した。

③ 基調色の検討

色彩の調和を図るため、作成したイメージパスから色彩検証を行い、背景の色である基調色を把握した。

④ 舗装色のシミュレーション

色相環を用いて、類似系調和色、

[第1案：管理棟敷地＝グレー系、堤体＝イエロー系]



対比系調和色及びその中間系を選定し、施工後のイメージパスを3案作成して比較検討した（写真-17.4）。色の3属性（色相、明度、彩度）においては、類似的な色彩の組合せによる類似系調和と、対立的な組合せによる対比系調和が代表的である。基調色と同系統の色であれば、周辺景観に溶け込み、逆の色であれば浮かび上がって見えることになる。

[第2案：管理棟敷地＝グレー系、堤体＝オレンジ系]



[第3案：管理棟敷地＝グレー系、堤体＝グレー系]



⑤ 舗装色の決定

当該施設は周囲を低い山々に囲まれ、供用開始後は水面と背後の山、空、雲といった自然界の要素で占められることから、類似系色

では単調となり、対比系色では人工的な景観となることから、第3案の中間系色を採用した。

なお、中間系の場合は、色の経年変化が少なく、材料の入手が容易である等、維持管理の観点からも利点があった。

写真-17.4 色彩シミュレーション例

(2) 調整水槽の整備において周辺景観に配慮した事例

ア. 景観配慮の概要

本事例の調整水槽は、高さ約20m、直径約20mと施設規模が大きくなることから、近隣の景観のシンボリック的存在として違和感を与えないための配慮が必要になった。さらに、建設予定地周辺では市の公園整備も検討されており、公園に隣接する施設として、周辺空間の有効利用等も踏まえた新たな景観の創造のための配慮が必要であった。このため、農家を含む地域住民が参加したワークショップを通じて、その検討を行った。

イ. 具体的検討内容

本地区では、ワークショップ資料を作成する際の基礎資料として、水槽建設予定地周辺の土地利用状況、植生、眺望等を調査、整理するとともに、景観シミュレーションを活用しながら、整備構想を取りまとめた（図-17.4及び写真-17.5）。

ワークショップは2回開催しており、1回目のワークショップにおいては、まずワークショップにおける検討項目の説明と併せて、水槽の周辺整備や水槽の活用法等水槽整備に当たっての基本的な方針について説明を行った。次に、これらの整備方針に対して地域住民の景観配慮に対する意向や課題等を把握し、水槽整備における景観配慮計画（案）として取りまとめた。

さらに、2回目のワークショップでは、植栽における樹木の種類や配置の検討、フェンスの高さや色彩の検討、舗装色における具体的な整備方針の検討を実施した。

ワークショップの結果、景観配慮対策として、水槽本体の色は、曇り空と同化するという理由からコンクリート打ち放しの地肌のままの色を採用した。安全柵は、安全対策を最優先とした形状・素材で、子供が容易に乗り越えられないよう柵高を1.8mのアルミ製とし、ただし、色を周囲と同化した焦げ茶色とした。植栽樹種は、花も葉も楽しめ、落葉が一時期に集中して管理が容易なヤマモミジとし、周辺整備に係る維持管理費負担が最小限となるよう、植栽は四隅のみでそれ以外の敷地は簡易舗装又は芝生を採用した。

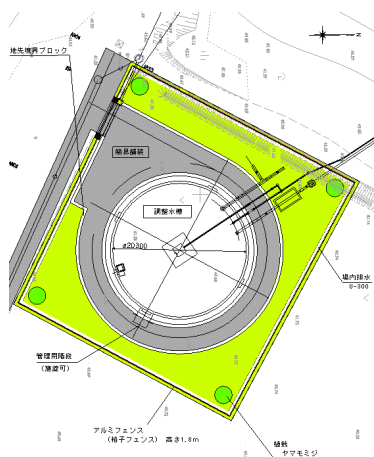


図-17.4 調整水槽の計画平面図



写真-17.5 調整水槽の景観シミュレーション例

(3) ファームポンドの整備において周辺景観に配慮した事例

ア. 景観配慮の概要

本地区は、周囲が畑に囲まれた高台にファームポンドを建設する必要があったため、周囲に広がる雄大な畑地景観を阻害しないよう（写真-17.6）、周辺景観への影響を把握して景観への配慮対策を検討し、結果として地中埋設型の施設整備を採用することとした。

イ. 具体的検討内容

本地区の場合は、ファームポンド建設予定地が、周囲に森林等がない高台で人目に付く位置であった。そこで、フォトモンタージュによる景観シミュレーション（写真-17.7）を用いて、地上式、掘込式等の型式ごとに景観影響予測を実施し、ファームポンドの構造を検討した。

その結果、周辺景観に与える影響が最も少なく、経済的にも有利となる、地中埋設型の施設とすることとし、上部を完全に覆土することにより、コンクリート部分を遮蔽することで、地上の雄大な畑地景観の眺望を阻害しないよう配慮した（写真-17.8 及び図-17.5）。



写真-17.6 ファームポンド建設予定地
（事業実施前）

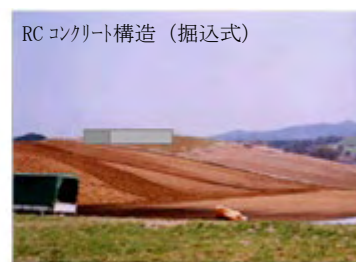
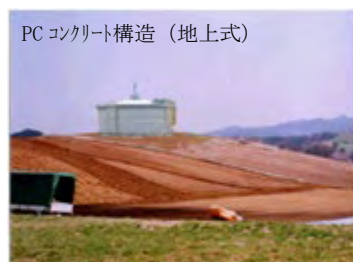


写真-17.7 フォトモンタージュによる景観シミュレーション例

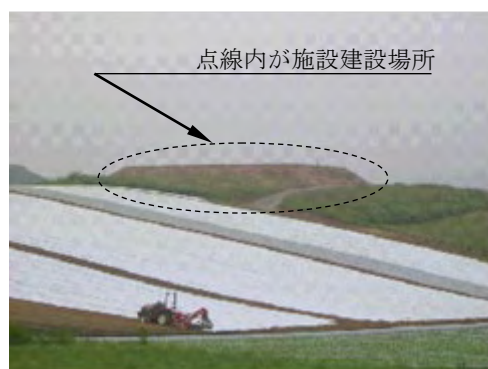


写真-17.8 建設後の景観

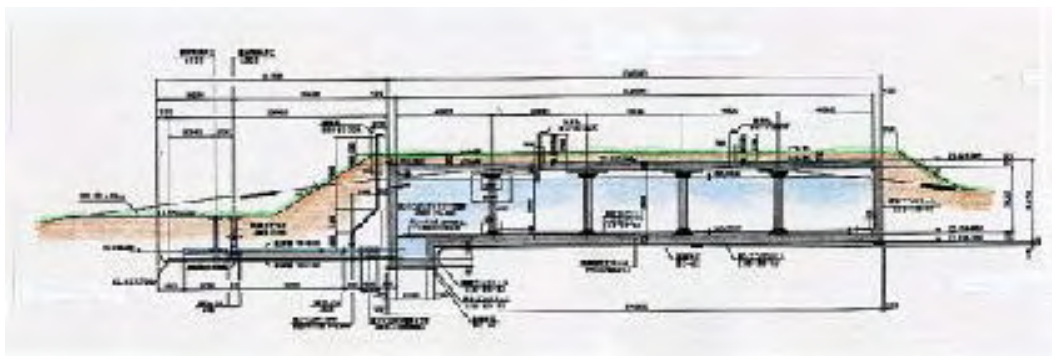


図-17.5 地中埋設型ファームポンドの断面図

なお、畑地景観特有の緩やかな丘陵地の曲線を勘案し、覆土面の施工に当たっても、直線的でなく、緩やかな曲線を描くよう留意するとともに、雨等による覆土の流出を防ぐため法面緑化等の工夫を施した。

(4) デザインコードの検討事例

デザインコード検討の参考とするため、用水路及びその周辺にみられる歴史的デザインコードをいかした整備事例を紹介する。

本地域は、約 400 年前から地域内を流れる 3 つの大きな河川を活用した城下町の形成、新田開発、川舟による水運等により市域が形成され、現在に至るまで地域住民の暮らしは、これらの水辺と深く関わっている。さらに、本地域では、良質な花崗岩が産出され、古くから地域の水路整備や城壁・堀に用いられてきた。

整備事例の用水路は、約 400 年前に農業用水、生活用水に利用するため整備が行われたものであり、疏水百選にも選ばれている。用水路の護岸、洗い場、船着場は、地場産の石材（花崗岩）による石積み（谷積み）により構成されている（写真-17.9 及び 17.10）。



写真-17.9 古くから残る水路護岸の石積み



写真-17.10 古くから残る船着場

このため、近年の改修整備においては、護岸、洗い場等の保全・再生により、親水性の向上を図ることとした。その際、石積みの仕様をデザインコードとして活用することとし、古くから残る護岸や洗い場の再生では、石の積み方を谷積みとしたり（写真-17.11）、護岸周辺の組石やベンチの設置等による親水空間の創造では、地場の石材である花崗岩を使用した（写真-17.12）。



写真-17.11 谷積みを踏襲した護岸、洗い場の再生



写真-17.12 歴史的に水路整備に用いられてきた地場産の石材を活用した親水空間の創造

さらに、護岸周辺の整備に際し、市木、市花や地域に多くみられる樹種を積極的に植栽した。これらの取組により、当該事例は、地域景観との調和だけでなく、地域の景観形成を先導する役割を担っている。

参考文献

- 美の里づくりガイドライン編集委員会：美の里づくりガイドライン，農林水産省農村振興局（2004）
- 食料・農業・農村政策審議会 農村振興分科会 農業農村整備部会 技術小委員会：農業農村整備事業における景観配慮の手引き，農林水産省農村振興局（2006）
- 自然との触れ合い分野の環境影響評価技術検討会：環境アセスメント技術ガイド自然とのふれあい，（財）自然環境研究センター（2002）
- 農林水産省農村振興局：農業農村整備事業における景観配慮の技術指針（2018）
- 食料・農業・農村政策審議会農村振興分科会農業農村整備部会技術小委員会：
農村環境の広域的な保全に向けた構想づくりガイドブック（2010）
- 農林水産省農村振興局整備部農地資源課：農村における景観配慮の技術マニュアル（2010）

18. 環境との調和への配慮（水質）

（基準 1.2、1.3、2.1、2.2、2.3、3.1、3.2、3.3、3.3.6、3.4、3.5、3.6 関連）

本章においては、畑地かんがいを中心とする農業用水確保のための用水施設整備の実施に際し、環境との調和への配慮の観点から行う水質保全対策を計画する場合に参考となる基本的な調査や対策手法及び計画等について解説するとともに、事例を紹介する。

なお、ここでのいう水質保全対策とは、汚濁した農業用水により農作物の生育が著しく阻害されている場合等における水質の保全・改善を目的とするものではなく、①農村景観の一部を形成する、②生態系を維持・保全する、③地域住民の憩いの場となる等、地域の環境に対して農業用水が担う役割を認識し、その保全、活用を図る場合に行われる水質面での対策を指すものである。

18.1 水質調査手法

水質を把握するために実施する調査としては、直接的に水質を把握する調査（水質調査）と底質中に含まれる物質又は水中の生物相や水生植物から間接的に水質の程度を判定する調査（底質調査、水生生物調査、水生植物調査）がある。

農業用の用水施設の配置は広域にわたるので、水質保全対策の対象とする範囲や内容に応じた的確な測点、測定項目等を選定する必要がある。

また、一般に畑地は水田に比べて用水量が少なく、かつ作物の種類や栽培方法によって利水状況が複雑であることから、営農の実態を把握するとともに、それに沿った的確な調査期間を選択して実施する必要がある。

（1）水質調査

用水施設整備の実施に併せて、水質保全に取り組む場合の水質調査は、主に貯水池等（調整池やファーム Pond 等の貯留施設を含む。）や水路の汚濁状況の把握を目的とする。

この場合、上流域や周辺からの汚濁水の流入が水質汚濁の原因になることが多いことから、汚濁水の流入箇所を中心に汚濁の状況を把握することが重要である。

ア．水質調査の目的

水質調査は、貯水池等や水路に流入する汚濁水及び対策の対象とする一定の区域等における水質の把握を通じて、対策の必要性の有無、対策を行う場合の水質改善目標、水質改善手法、水質改善施設の規模及び維持管理方法等を決定するために行う。

したがって、まずは地区外から流入する汚濁水の水質が、貯水池等や水路の水質に及ぼす影響を把握する必要がある。

なお、下流の公共用水域において水質保全計画が策定されている地区など、地区外に排出される排水の水質を対象とした対策を講じる必要がある地区については、下流域の新たな負荷発生源となっていないかを確認するための水質調査が必要となる場合がある。

イ．既存データ等の収集

当該地区内及びその周辺で既に行われている調査結果等を収集し、整理する。用水施設整備の実施に併せて水質保全に取り組む必要がある地区の場合、既に関係行政機関等によって水質調査が経年的に行われ、水質の目標値も設定されている場合が多い。このため、これらの調査結果等を把握、整理することを通じて、当該地区における水質改善目標、測定項目、測定頻度

等の参考にすることが重要である。なお、既存データの整理に当たっては、測定法、器具、分析方法等についても確認しておく必要がある。

ウ. 測定項目、測点、測定時期等

他の行政機関による取組や計画がある場合は、それらの機関とも十分連携・調整を図りつつ、測定項目、測点、測定時期を決定する必要があるが、表-18.1 に一般的な考え方を紹介する。

なお、景観の向上を目的とする地区においては、ある程度の水量感と透明感が求められることがあるので、水位（流量）と併せて透明度も測定することが望ましい。同様に、生態系保全を目的とする地区にあつては、溶存酸素量（DO）、生物化学的酸素要求量（BOD）、水温等を、親水空間の形成を目的とする地区にあつては、大腸菌群数も併せて測定しておく必要がある。また、測定時期と頻度には、必ずしも絶対的な決まりはなく、頻度については、汚濁水の水質・流量、水温、降雨量等によって異なることに留意する必要がある。

さらに、営農（施肥等）や降雨などによる排水量の増加に伴い、短期的に大量の負荷が排出されるような地区については、測定時期と頻度の設定に留意する必要がある。

表-18.1 水質調査の一般的考え方

主な調査対象	測定項目	測 点	測定時期・頻度など
貯水池	水位、水温、生物化学的酸素要求量(BOD)、化学的酸素要求量(COD)、水素イオン濃度(pH)、浮遊物質(SS)、溶存酸素量(DO)、電気伝導度(EC)、透明度、全窒素(T-N)、全リン(T-P)、クロロフィル a 等	河川等から貯水池への流入地点、貯水池内の上層及び下層、貯水池から用水路への流出地点等	月 1 回程度、少なくとも季節別が望ましい。また、各測定は同時刻で、更に午前中であることが望ましい。
水路	流量、水温、生物化学的酸素要求量(BOD)、化学的酸素要求量(COD)、水素イオン濃度(pH)、浮遊物質(SS)、溶存酸素量(DO)、電気伝導度(EC)、全窒素(T-N) 等	取水（分水）地点、支線用水路の最上流地点、汚濁源が用水路へ流入する地点の上・下流地点等	かんがい期 5 回以上、非かんがい期 2 回以上、汚濁している場合は通日測定も行う。

(2) 底質調査

底質中に含まれる物質が、底質直上の水質環境、若しくは、周辺環境に影響を及ぼす可能性が高い場合、又は、堆積した底質が出水時に下流域へ流出し、下流域の水環境に影響を及ぼす可能性が高い場合は、底質調査を実施する。

ア. 採泥の時期

底質中に含まれる物質が、水利用に悪影響を及ぼす時期を含め、底質調査を実施する場合は、水質調査と同時期に実施することが望ましい。

イ. 採泥地点

地形等により堆積泥が多く底質悪化が考えられる地点を選定するが、水質調査の近傍でもよ

い。

ウ. 採泥の方法

採泥試料は、同一場所で少しずつ位置を変えて採取することを原則とする。表泥採取は、エクマンバージ採泥器等によって3回以上底質を採取し、それらを混合して試料とする。貯水池等で必要と認められる地点では、柱状採泥を行う。

エ. 測定項目及び整理すべき事項

底質の状態（堆積厚、堆積物の状態、色相、臭気）、底質からの栄養塩の溶出速度、底質に含まれる物質等を測定し、採泥日時、採泥地点、採泥地点付近の地形、地質、採泥方法と併せて整理を行う。

(3) 水生生物調査

水中には、バクテリア、藻類、底生動物、魚類等の様々な種類の生物が多く生息しており、それぞれの環境によって違った種類の生物が棲み着いていることから、生物相を調べることによって水質汚濁の程度を判定することができる。また、生態系の保全を目的とする地区においては、水生生物調査を行うことにより、生態系に配慮すべき種などの把握も兼用して調査できる。

ア. 貯水池等における調査方法

水生生物調査は、水質調査と併せて貯水池等における富栄養化との関係や生物群集の年間挙動などを明らかにすることが目的であるため、季節変化が十分把握できる頻度で実施する。

調査時期は、流況のできるだけ安定した時期を選び、出水直後は避ける。

また、貯水池等によっては水生生物が生息している場合もあるので、水生生物調査を行うことにより、生態系に配慮すべき種なども把握できる。

イ. 水路における調査方法

水路における浮遊生物（クロロフィル a 等）は上流から流下したものが大部分なので、その場所の水質を示さない場合が多い。したがって、水質判定はその場所に生息している生物で行う必要がある。

水路での底生動物や付着物は流速や水深など環境条件によって変わるので、比較のためには、できるだけ似た環境の場所を選ぶ。また、調査前の数日間に出水または増水のあった場合は試料採取を延期する等の配慮が必要である。

(4) 水生植物調査

水生植物を調査することにより、水質の汚濁状況が概定できる。

なお、水生植物の利用による水質改善や親水空間形成を目的とした植栽等を考えている地区においては、これらに活用する種が在来種なのか外来種なのかの選定の参考にもなるので、必要に応じて水辺の植物調査なども行うとよい。

18.2 水質保全対策

水質保全の対策としては、地区外からの流入汚濁量（負荷）をできるだけ軽減した上で、貯水池等や水路に水質改善施設を設置することを通じて、地区内の水質を改善することが重要である。

(1) 対策検討上の留意点

対策の検討に当たっては、畑地かんがい用の配水施設は管路化されている傾向にあることを踏まえ、貯水池等、あるいは送水施設系の開水路部分における対策が中心となることに留意する。また、用水施設への流入負荷を軽減するために講じられる別途の取組と整合したものとする

もに、地域住民や関係農家等の意向も十分反映させることが重要である。

なお、対策の多くは、その持続的効果発現のために維持管理を適切に継続していく必要があるため、維持管理の容易さ、体制、費用及びそれらを踏まえた持続可能性についても十分考慮する必要がある。

以下に、各施設における水質保全対策を検討する際の留意点を示す。

ア．貯水池等における対策

貯水池等に水を貯留することは、水量を確保する上で必要であるが、貯水池等は水路とは異なり、水の入替えが少なく滞留するため、栄養塩類の量、水温、日照等の諸条件によっては藻類の増殖速度が水の入れ替わる速度よりも大きくなって、藻類の増殖が起こる。

また、貯水池等の水質悪化は、池内における藻類の増殖と汚濁物質の流入によって起こるが、仮に流入汚濁量（負荷）が大きい場合、池内でいくら対策を講じても水質改善は困難であることから、流入汚濁量（負荷）を特定し、軽減することが一層重要となる。

一方で、その面的、量的スケールが大きいことから、対策の選定に当たっては、経済性や維持管理の手間も十分考慮して、現地の状況に応じた手法の選択及び組合せを考える必要がある。

また、特に貯水池等は、美しい景観を形成する親水空間として、地域内外の住民の憩いの場としての機能を発揮させる観点からも良好な水質維持に努めることが望ましい。

イ．水路における対策

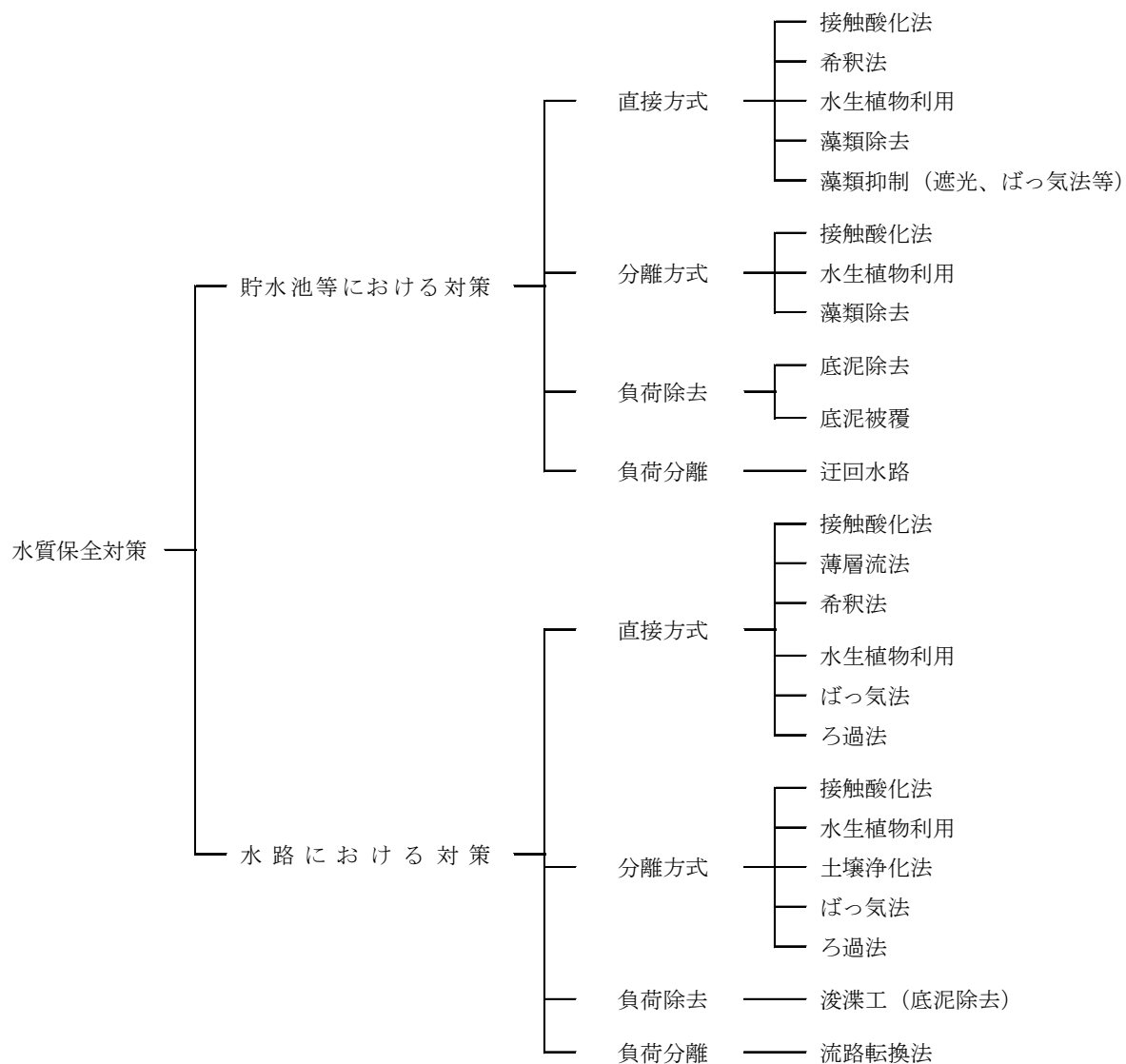
かんがい期の水路は、一般的に水量及び流速が大きいため、水質改善のための対策を講じて効果を上げることは困難である。一方、非かんがい期の水路は、一般的にかんがい期に比べて、①流量が少ない、②流速が小さい、③水深が浅くなるという特徴を有している。このため、特に非かんがい期においては、生活排水等の汚濁物質が流入した場合、水が滞ることから底質がヘドロ化して悪臭を放つ等、水質悪化の問題を引き起こす場合がよくある。また、降雨時は水路の上流に堆積していたヘドロが攪拌流下し、地区内の水質を悪化させる場合もあるので、留意が必要である。

これらを踏まえ、水路においては、通常の施設管理だけでなく水質改善の観点からも、非かんがい期の水路の泥上げや清掃等の維持管理を適切に行うことが効果的であるため、対策の検討に当たっては、維持管理の方法や体制等について十分検討する必要がある。

なお、水路が居住地内を流下し、水路を含めた周辺環境が貴重な親水空間として位置付けられる場合は、生活環境の向上という観点からも地域住民の意向を踏まえた検討が必要である。

(2) 主な水質改善手法

用水施設整備の実施に当たり、貯水池等や水路で活用可能と考えられる水質改善手法を図-18.1に紹介するとともに、主要な手法の特徴及び留意点を以下に示す。



※直接方式：貯水池等や水路内に水質改善施設を設置し、直接的に水に作用させる方式

分離方式：貯水池等や水路の水をポンプ等で本流から分離し、水質改善施設で処理してから戻す方式

図-18.1 主な水質改善手法¹⁾

ア. 底泥除去・被覆

(ア) 特徴

① 貯水池等や水路の底に溜まった泥の除去を行う、あるいは底泥の上に被覆材を被覆し、底泥からの有機物・栄養塩の溶出を防止する方法である。

② 底泥の舞い上がり負荷の削減、底層の溶存酸素の回復、水深の維持・回復等の効果がある。

(イ) 留意点

① 水質改善の根本的解決にはならないため、流入負荷の軽減についても併せて検討が必要である。

② 対象範囲、深度が大きくなるほど困難になる。また、作業の際に生じる汚濁が、下流域や末端施設に与える影響についても検討する必要がある。

③ 泥の処理コストが高くなる場合（耕地に返還できない場合が多く、産業廃棄物になる可能

性がある。）も少なくないので、底泥の受入れ先との協議が必要である。

イ. 曝気法

(ア) 特徴

- ① 過剰な有機物が流入することで嫌気状態となった貯水池等や水路に空気を供給する手法である。
- ② 空気を水中に直接送気する方法、噴水による方法、人工滝又は堰による方法、攪拌による方法がある。

(イ) 留意点

- ① 有光層への栄養塩の供給により、かえって藻類の増殖を促進する可能性がある。
- ② 曝気による攪拌により、上下層の水が混合され、表層水温の低下や平均水温の上昇をもたらす。
- ③ 貯水池等では、水深が浅く水底まで太陽光が到達すると、富栄養化の抑制対策としての効果が現れにくい。

ウ. 水生植物利用

(ア) 特徴

- ① 水生植物の生育による窒素・リンの吸収、吸着等を活用した手法である。
- ② 水中植物の除去により、生体内に吸収された栄養塩類が水中から除去される。
- ③ 自生している植生を利用できる。

(イ) 留意点

- ① 水生植物を回収、除去することが必要である。このため、除去した水生植物の有効利用についても検討することが望ましい。有効利用の例としては、ヨシを肥料として利用する取組などがある。
- ② 植物の育成期間に左右される。
- ③ 植物の密集度の違いにより、育成条件が異なる。
- ④ 広い用地を必要とする。
- ⑤ 導入する植物の選定に当たっては、その特性を考慮する必要がある。

エ. 希釈法

(ア) 特徴

- ① 水質濃度の低い水をたくさん流入させることにより、希釈させる手法である。
- ② 伏流水をポンプ等で汲み上げて希釈水として利用すると同時に水路底から地下への浸透速度を上げることで自然浄化機能の向上を図る伏流浄化法と、浄化用水を導水し水質濃度を低減させる導水法がある。

(イ) 留意点

- ① 清澄な希釈水が近傍に存在する必要がある。
- ② 少量の導水では、藻類の増殖を抑制する効果が期待できない。
- ③ 大量に導水する場合には、排水路の流下能力や下流への影響等を考慮する必要がある。

18.3 調査・計画の基本的な進め方

用水施設の整備に併せて水質保全対策を実施する場合に参考となる基本的事項を概査、基本構想の策定、精査、計画樹立の段階ごとに示す。

一般に、用水施設の整備は広域にわたる場合が多く、近年の都市化、混住化の進展などにより、生活雑排水の流入など多様な水質悪化要因が考えられることから、施設整備上の配慮のみで目標とする水質保全を図ることが困難な場合も多い。このような場合には、必要な負荷軽減に向けた役割分担について、関係農業者のみならず関係機関や地域住民とも十分に調整し、施設が担うべき機能や水質改善目標を基本構想段階で概定することが重要となる。

（1）概査

概査は、水質保全対策を実施する必要性を明らかにするために行うものである。

このため、①水質に関する問題点、②関係農業者を含む地域住民の水質保全に対する意向、③土地改良区等施設予定管理者等の意向、④関係市町村等の方針等を資料の収集及び聞き取り調査等により把握しておく必要がある。

特に、用水施設整備に併せて水質保全対策に取り組む必要のある地区の場合には、関係機関によって水質調査が経年的に実施されている場合が多いので、これらのデータ等を活用し、水質に関する問題の所在等を明確にしておくことは有効である。

また、幹線用水路や貯水池などの基幹的な施設の整備に併せて、新たな親水空間を創出しようとするような場合には、当該施設が水質保全対策上で担うべき役割・機能について、近隣地区の事例なども参照しつつ、関係機関等と十分に調整を図っておく必要がある。

（2）基本構想

基本構想は、概査によって水質保全対策の必要性が明確化された場合に、計画の骨格をなす各要素の相互関連を検討し、大まかな方向付けを行うものである。

このため、概査の結果を踏まえつつ、①水質改善の目的・テーマ、②達成すべき水質改善目標、③目標を達成するための手段、④予定管理者等による適正な管理の可否等について、基本構想で概定しておく必要がある。

基本構想の策定に当たっては、関係農業者のみならず関係機関や地域住民とも十分に調整するとともに、特に、水質改善目標やそのための手段などの検討に際しては、水質の専門家等の助言を得ながら進めることが有効である。

参考として、水質保全対策を策定する際の主な検討項目を表-18.2に示す。

なお、実際の検討に当たっては、本表にある項目の他、必要となる項目を適宜追加するなど、地域の事情に応じて適切な項目について整理することが望ましい。

表-18.2 水質保全対策の主な検討項目の例

検討項目	内容例
①検討対象施設	ダム、調整池、排水路等
②負荷との関係	流入負荷対策、流出負荷対策等
③水質に関する課題	水質改善を検討するに至った背景、課題等
④関係市町村等の方針や水質保全の取組状況	田園環境整備マスタープランにおける位置付け、それに基づく他機関の取組等
⑤対策のテーマ	景観配慮、生態系の保全、親水空間の創設、下流公共用水域の負荷軽減等
⑥対策の目的	調整池の富栄養化改善等
⑦水質改善目標	水質目標値の設定、水生生物の生息数向上等
⑧対策の内容	手法、規模、施設等
⑨水質モデル	類似参考地区、シミュレーション等
⑩対策検討に当たって特に配慮すべき事項	地域住民の施設に対する理解の向上等
⑪維持管理内容	管理者、作業内容、費用等
⑫モニタリング	継続観測調査の内容等
⑬農家の取組	営農面での水質改善に向けた取組等
⑭地域住民の関わり	地域住民の意向、役割分担等

(3) 精査

精査は、概査を補完するとともに、基本構想に基づき、精度を上げて現状を把握することを通じて、①水質改善目標、②対策の規模・手法、③維持管理手法等を具体化するために行うものである。

このため、常に計画策定段階と連携を図りながら進めていくことが重要である。

水質調査に当たっては、水質改善の目的・テーマ（景観形成、生態系の保全、親水空間の創設、下流公共用水域の負荷軽減等）、水質汚濁発生の原因・時期等を踏まえて、調査箇所、測定時期・項目等を決定する必要がある。

(4) 計画

計画策定の段階においては、基本構想及び精査結果を踏まえ、①水質改善の目的・テーマ、②水質改善目標、③対策の規模・手法、④維持管理手法等の詳細を定める。

特に、幹線水路や貯水池などを対象とした大規模、広範囲に及ぶ対策を検討する場合には、初期建設費とともに、維持管理のための体制や費用も十分に勘案しておく必要がある。

さらに、事業完了後のモニタリング調査を継続的に実施することで、対策の有効性等の検証や効果的な維持管理手法の導入にもつながるなど、対策の効果を持続・増大させるためにも有効である。

このため、維持管理体制を検討する際には、モニタリング調査についても併せて検討し、関係者間でその役割分担について合意形成を図っておく必要がある。

18.4 参考事例

(1) 貯水池の水質保全の事例

ア. 地区概要

本地区は、かんがい用の貯水池の築造に当たり、周辺で営まれている畜産業から発生する家畜排せつ物の流入等が要因となり、貯留水が富栄養化することが懸念された。このため、流域における対策と水域内での対策を併せて実施し、貯留水の水質保全に取り組んでいる。

イ. 水質改善目標等

本地区では、関係市町が定める農業振興地域整備計画を踏まえ、貯水池の水質を保全することを目的として、学識経験者で構成する「水質検討委員会」を設立した。この委員会では、水素イオン濃度（pH）、浮遊物質（SS）、溶存酸素量（DO）、化学的酸素要求量（COD）、全窒素（T-N）、全リン（T-P）に加え、糞便性大腸菌及び表層クロロフィルに関する具体的な目標値を定める「水質適正限界」について検討されている。

ウ. 水質調査

本地区は、貯水池の上流域や周辺からの汚濁水の流入が水質汚濁の原因になっているため、汚濁水の流入箇所を中心に汚濁の状況を把握する観点から、調査地点、観測項目、観測頻度等を以下のように設定している（表-18.3）。

（ア）調査地点

水質調査地点は、貯水池内及びその上下流の3地点を選定している。具体的には貯水池への流入河川（図-18.2のNo.1）、貯留水の上層（水深0.5m）、中層（水深の1/2）、下層（池底から1.0m上）（図-18.2のNo.2）、水源の下流部（図-18.2のNo.3）としている。

（イ）観測項目

観測項目としては、本地区の水質目標に定める項目を網羅するとともに、全有機炭素量（TOC）、植物プランクトン等、その他水質改善手法の選定に当たり参考となる項目も調査している。

（ロ）観測頻度

本地区では、既存データがなく、新たに水質の詳細な動向を調査する必要があったため、調査頻度を多めに月1～2回の頻度で観測を実施している。

表-18.3 本地区における水質調査

水質調査地点	観測項目	観測頻度
No.1 No.2 No.3	水素イオン濃度（pH）、浮遊物質（SS）、溶存酸素量（DO）、化学的酸素要求量（COD）、全窒素（T-N）、全リン（T-P）、糞便性大腸菌、表層クロロフィル、全有機炭素量（TOC）、植物プランクトン	月1～2回

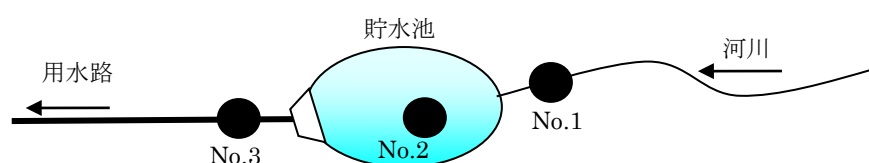


図-18.2 水質調査地点

(エ) 水質予測

本地区では、実測による現状把握に加えて、水質検討委員会において、以下のような水質モデルや解析手法を用いて将来の貯水池における水質を予測した。

- ① Vollenweider モデル並びに OECD モデル及びその改良式により、貯水池の化学的酸素要求量(COD)、栄養塩及びクロロフィル a 濃度 (Chl-a) を予測
- ② 平面 2 次元及び鉛直 1 次元モデルにより、貯水池の流動並びに化学的酸素要求量(COD)、栄養塩及びクロロフィル a 濃度 (Chl-a) を予測
- ③ 流入負荷削減を目的とした沈砂池内での浮遊物質質量 (SS) の挙動を 2 次元平面モデルにより予測

エ. 水質保全対策

本地区では、低コストで実施できる水質保全対策として、図-18.3 に示すように貯水池内では曝気循環装置（曝気法）を、また、貯水池上流部には沈砂池を採用している。曝気循環装置は空気揚水筒方式で、筒の下部へ空気を送り込み、気泡の浮上とともに下層の水塊を持ち上げることで、鉛直方向の水循環と溶存酸素量 (DO) の改善を図るものである（写真-18.1）。また、沈砂池にはユニット式大型ふとん籠を採用し、貯水池上流部の浮遊物質質量 (SS) の低減を図っている（写真-18.2）。

なお、「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律」を契機として、県営事業により堆肥舎等の設置が行われ、関係農家が協力して貯水池の水質に配慮した堆肥の適正な管理に努めている。

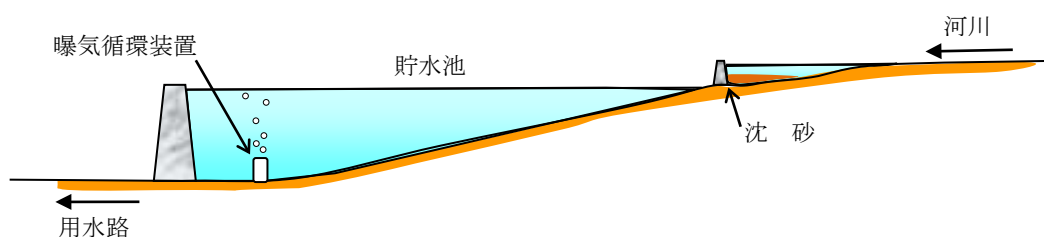


図-18.3 水質保全対策実施地点



写真-18.1 曝気循環装置



写真-18.2 沈砂池設置状況

オ. モニタリング及び維持管理

水質保全対策の有効性の確認のため、本地区ではモニタリング調査を実施している。

観測位置及び観測項目は、水質保全対策実施に当たり観測した地点（図-18.2のNo.1～No.3）及び項目であり、水質適正限界と見比べながらデータの蓄積に努めている。また、定期的に水質検討委員会を開催し、蓄積されたデータや水質予測の結果等を踏まえ、技術的な見地から対策手法の効果を見極めることとしている。

また、維持管理については、土地改良区が曝気循環装置のメンテナンス、沈砂池の目視点検を定期的に行うこととしている。

(2) 貯水池の水質改善の事例

ア. 地区概要

本地区は、水源となる貯水池の富栄養化により植物プランクトン（アオコ）が多量に発生し、水質の悪化が顕著となったため、良質な農業用水の確保と併せて、良好な水辺空間の創出を目的として水質改善に取り組んだ地区である。

イ. 水質改善目標等

本地区では、アオコの抑制が目的であることから、具体的な水質改善目標を富栄養化の現象指標であるクロロフィルa濃度（Chl-a）及び透明度としている。

ウ. 水質調査

本地区では、水質改善の目標及び貯水池の規模（水深25m、総貯水量180万トン）を考慮し、クロロフィルa濃度（Chl-a）、透明度について調査を実施している。

エ. 水質保全対策

本地区においては、アオコの原因である植物プランクトンの増加の原因となる栄養塩類の除去を中心とした以下の対策を講じている。

なお、水質浄化のための施設全体図を図-18.4に示す。

(7) 空気揚水筒

水を循環させ、上下層の水温や溶存酸素を均一化させることでアオコの発生を抑制する。

さらに、低層を好氣的に保つことで底泥からの栄養塩類の溶出を防止する。

(イ) 底泥の浚渫

貯水池底面に固定された栄養塩類を除去する。

(ウ) 低湿地の造成

上流から貯水池への流入口付近で、湿性植物の植生浄化により栄養塩類を低減する。

(エ) 植生浄化施設

浮島の設置により栄養塩類の低減を図る。

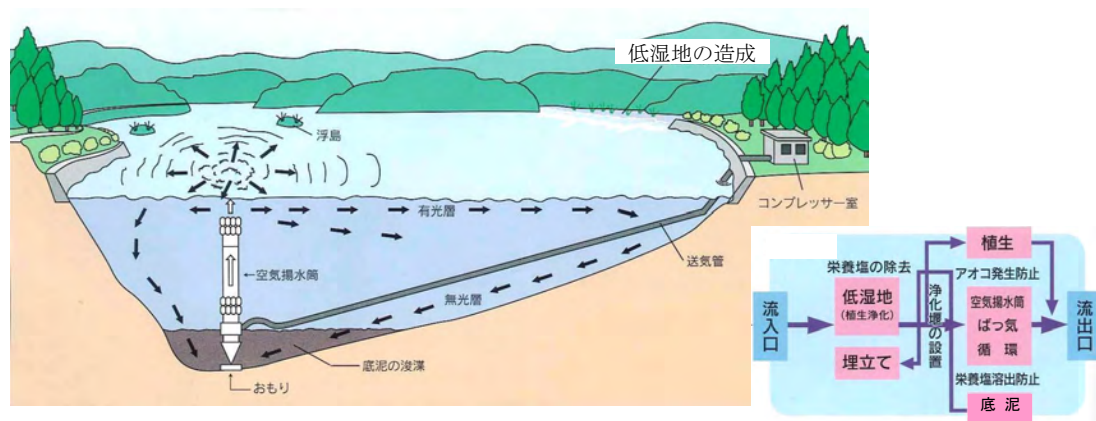


図-18.4 水質浄化施設全体図

オ. モニタリング及び維持管理

モニタリングについては、水管理と併せて、土地改良区が目視により実施しており、適宜、水質の異常の有無を監視している。

また、維持管理については、土地改良区が曝気装置のメンテナンスと浮島の除草を年1回実施している。なお、現在では、貯水池水面及び周辺が、貸しボート、桜並木、散策路など地域住民の憩いの場として位置付けられるようになり、地域住民による自発的な草刈等の美化活動も行われている。

(3) 遮光フロートによる調整池の藻類対策

ここでは、藻類の増殖抑制を目的として、遮光フロート（写真-18.3）を水面に浮かべて藻類の光合成に必要な日光を遮る手法に関する実証試験の結果を参考に紹介する。

写真-18.4 のとおり、遮光フロートは拡散しないようにオイルフェンスで囲んでいる。



写真-18.3 遮光フロート（左はA4版ファイル）

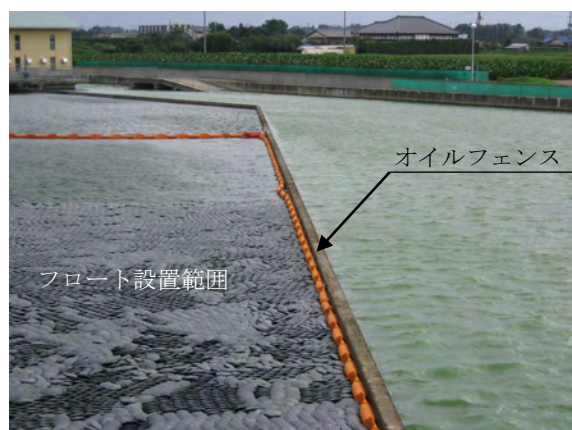


写真-18.4 遮光フロート設置風景（写真左側）

実証試験の結果から、以下の点が判明した。

- ① フロートを設置している箇所の水質は、設置していない箇所の水質に比べ、クロロフィル a 濃度（Chl-a）、有機物濃度とも低い値を示した。
- ② フロートの設置面積は、水面積の 40% で十分な藻類の抑制効果が発揮された。

引用文献

- 1) （社）農村環境整備センター：農村に適した水質改善手法（1995）

参考文献等

- 吉永育生・濱田康治・三浦 麻：遮光フロートによる調整池の藻類対策と水質変化、畑地農業 580 号、pp2～14（2007）

19. スプリンクラ等の分類と選定

(基準 3.4.2 関連)

19.1 スプリンクラの分類

スプリンクラは、大別して回転式と非回転式とがあり、回転式スプリンクラは、一般に散布距離が大きく、かつ散布の均等性が優れている。一方、非回転式スプリンクラは、一般に小型であり、低水圧で利用されるため散布距離は小さい。ノズルの構造によって散布形状は円形、方形、蝶形等がある。水圧によって水滴径を変えることもでき、ミストによって空気湿度の調節に用いられることもある。主として施設園芸用ハウス、幼木樹園地等に採用されており、回転式に比べると一般にかんがい強度は大きく、散布の均等性は劣る。

さらに、回転式スプリンクラは、回転機構及び散布範囲（回転角度の範囲）により次のとおり分類できる。

(1) 回転機構による分類

ア. インパクト方式

ノズルからの流水の噴射が反動かんを動かし、スプリング又はカウンターウェイトによる反動の衝撃力によって回転させるものであり、この方式が最も広く採用されている。

イ. 水車方式

スプリンクラ内部の流水中で水車を回転させ、その回転をギヤでスプリンクラの軸に伝え、回転させるものである。

ウ. 羽根車方式

ノズルからの流水の噴射によって羽根車を回転させ、羽根車の軸に取り付けられた歯車とヘッド取付け台の歯車のかみ合わせによって回転させるものである。

エ. ジェット反射方式

ノズルからの噴射水の反動によってスプリンクラを直接回転させるものである。高速回転のため上記三種に比べると散布距離は小さく、樹下散布、小規模散布等にまれに採用されている。

(2) 散布範囲による分類

ア. 全円式

全円式は、一定方向に定速回転して円形状に散布するものである。

イ. 分円式

分円式は回転角度が自由に調節でき、扇状に散布するものであり、散布するほ場外への水の飛散を防止するのに好都合であるため、道路沿いのほ場や隣接ほ場が水管理、肥培管理を異にする場合、あるいは階段畑等でも有効に用いられる。

一般に分円式スプリンクラはかんがい強度が大きいので、ほ場形状が狭小かつ複雑な場合には土壌侵食の点で注意が必要である。

19.2 スプリンクラの設計諸元

現在広く使われている回転式スプリンクラについて、設計上重要な諸元は次のとおりである。

(1) スプリンクラのノズル仰角

水利用の目的、作物の種類、地形条件等によって、おおよその角度を設定する。作物の種類が

同じでも、その高さ等が変化していく過程では、ノズル仰角を変更するよりも、むしろライザーの高さを変えることにより対応する方がよく、散水分布の調節も正確に行うことが可能である。

角度可変型ノズルは、射出口付近で不連続な径の変化があり、渦流が生じやすい。このため、一般的に角度固定型に比べると、散水分布にムラが生ずる場合があります注意を要する。

ただし、角度可変型も大幅に作目を変更する輪作体系をとるほ場や栽培期間中に樹上かんがい、樹下かんがい等かんがい方法の変更を伴う作物の栽培に係るほ場では、有効な場合もある。

水分補給かんがいでは、1 個のスプリンクラで可能な限り広い面積に散布するため、ノズル仰角は高いことが望ましいが、樹下かんがいでは低角度とする。栽培管理の合理化では目的によって適正なノズル仰角は異なるが、一般的には比較的低角度である。すなわち、病虫害防除を目的とする場合は水滴を作物葉にできるだけ多く当てる必要があるため 20° 以下がよく、風食防止、潮風害防止、ふん尿、でんぷん廃液等の散布を目的とする場合では風の影響を少なくするため、中間角度の器種が多く用いられる。

ただし、栽培管理の合理化において、あまり極端な低角度のスプリンクラを採用するとスプリンクラの配置密度を高めることになり、施設費の面から不利となるので、現場の諸条件から慎重な配慮が必要である。

上記を角度ごとに区分すると、表-19.1 のとおり 4 つに区分できる。

表-19.1 ノズル仰角と水利利用目的

角 度 の 区 分		適 用 例
低角度	10°以下	樹下かんがい
中間角度	(I) 11～16°	茶、ぶどう等の病虫害防除
	(II) 17～22°	みかん、もも等の病虫害防除、風食防止、ふん尿散布
普通角度	23°以上	樹上かんがい、水分補給かんがい

注) 仰角はいずれも主ノズルについて示した。

(2) スプリンクラのノズル口径

ノズル口径に対応して、適正な水圧の範囲があり、それによって吐出水量、散布直径、かんがい強度等が定まるため、ノズル口径を使用目的に対応して区分しておく为好都合である。表-19.2 は、このような観点からスプリンクラ本体の大きさを、S、M、L の 3 段階に考え、M をさらに 2 つに区分して主な使用目的との対応を例示したものである。

(3) スプリンクラの回転時間

一般の補給かんがいにおいては、散布する水量も多いので、回転時間の差によって散布ムラが問題になることはなく、回転時間について基準値を決める必要性は少ない。補給かんがいに用いられるスプリンクラの回転時間はおおむね 1～5 分間の範囲にあり、大型ほど回転時間は長い。

しかし、栽培管理の合理化、特に病虫害防除では、散布時間が極めて短いので、回転時間差により散布ムラが生ずるおそれがあり、20～60 秒の比較的短い時間の範囲が適当である。

表-19.2 使用目的より見た主ノズル口径の区分

区分	主ノズル口径 (mm)	圧力 (MPa)	ノズル流量 (L/min)	散布直径 (m)	主な使用目的の例
S	~2.9 3.0~3.9	0.10~0.20 0.10~0.25	1.5~7.0 6.5~18.0	~26.0 26.0~32.0	防霜専用又は軟弱な作物に対する 補給かんがい
M	MI 4.0~4.9 5.0~5.9	0.20~0.28 0.29~0.34	18.0~35.0 40.0~63.0	32.0~34.0 34.0~35.0	補給かんがいと多目的一般
	MII 6.0~7.4 7.5~9.9	0.29~0.39 0.38~0.49	70.0~100.0 90.0~190.0	35.0~38.0	同上 (特には場整備が行われ、地形、 気象、団地化の条件がよいとき)
L	10.0~19.9 20.0~	0.39~0.59 0.49~0.98	120~650 780~2,500	40.0~	粗放作物に対する補給かんがいや ふん尿かんがい等

注) 散布直径は無風で平坦地における概略値 (水圧 0.29MPa、ノズル仰角 30°)

19.3 【参考】水利用目的の種類とスプリンクラの選定

(1) 水分補給

通常の畑地かんがいでは、散布距離が大きく、かつ散布の均等性のよいものが要求される。この点からは、回転式スプリンクラが主体となる場合が多く、なかでもインパクト方式が多い。また、比較的平坦な地形で粗放的な条件で栽培される畑作物に対し、より散布距離を伸ばしたいときには、大型の水車方式、羽根車方式等が使われる。

一方、温室、ハウス等では、比較的狭い場所で低圧で散布されるため、非回転式スプリンクラ方式が使われる場合が多い。

(2) 栽培環境の改善

播種や定植期のかんがいや耕起、整地作業を円滑にするためのかんがい等では補給かんがいに準じてスプリンクラを選定すればよい。

(3) 気象災害の防止

ア. 風食の防止

強風下で散布を実施しなければならないので、回転式スプリンクラでも大型のものは、風の影響を受ける欠点がある。したがって、中型のものを使用し、ノズル仰角は普通角度のものよりも低めで中間角度、低角度のものを選定すれば良好な結果が得られる。しかし、角度を極端に低くすれば、単位面積当たりの設置箇所の増大を招くので、風食に対する使用頻度も考慮して適正な器種を選定すべきである。

イ. 凍霜害防止

凍霜害の防止には、水滴をできるだけ細かくして連続的に均一に散布する必要がある。このとき、かんがい強度は補給かんがいの場合を相当下回ってよく、また、無風に近い条件下であるので、風に対する配慮は必要ない。

したがって、補給かんがい施設を活用するならば、まず、かんがい強度の低減ができるよう散布器具の機能を調整する必要がある。回転式スプリンクラで、ノズルが複口の場合は片方のノズルを閉じるのが有効な手段である。また、水滴を細かくするため、散布の均一性を乱さない範囲で、水圧を高めるのも一つの方法である。

凍霜害防止が主要な目的となるときには、小型の回転式スプリンクラ (多くの場合単孔である。) を採用し、微細な水滴を散布する方法をとる。また、非回転式スプリンクラによりミストを発生させて凍霜害防止を行う方法もある。

ウ. 潮風害の防止

強風下で、しかも、作物が危険量に達する塩分を受けてから限られた時間内に散布を行わなければならない。この点から風食防止の散布と条件が類似するので、散布器具の選定もこれにならって行う。

(4) 管理作業の省力化

ア. 液肥の散布

散布器具の選定には、特に制限要素はない。補給かんがいが円滑に実施できる散布特性が保証されていれば十分である。

イ. 病虫害防除、摘果剤の散布

回転式スプリンクラのうち、インパクト方式が主体となる。病虫害防除では散布の均一性が良好であると同時に、直接薬液が作物体に十分に付着する必要がある。したがって、ノズル仰角を、作物の種類によって選定する必要が生ずる。病虫害防除においては、中間角度のうちでもやや低角度のものを使用し、樹高が大きくなり、薬液を付着させ葉層部がある幅を持つ場合には、ややノズル仰角を高めると良好な結果が得られる場合が多い。

このほか、ノズルの仰角の選定において、考慮すべきものに風の影響がある。病虫害防除において、風により散布が乱される強風地帯では、角度も低目のものを採用する方が適切な場合がある。

また、ノズル口径は現在、表-19.2のような8区分が考えられるが病虫害防除を主体とする栽培管理の合理化に使用されるスプリンクラは、主としてMタイプのものである。ここで、ノズル口径は、地形、気象、ほ場整備と作目の集団化条件等を考慮して、適正なものを選定しなければならない。一般に地形が比較的平坦で、風が少なく集団化が行き届いているような条件下ではMIIタイプの採用が可能であるが、急傾斜の強風地帯で、作目が分散し、ほ場の整備が行われていないような条件下ではMIタイプが主体となる。

MIについて見ると、最もよく使われる標準タイプのノズル口径は4.0～4.9mmの範囲にある。なかでも病虫害防除が主体のときには、かんがい強度をできるだけ小さくすることが好ましく、4.0～4.4mmの範囲が選ばれる場合が多い。なお、このような主ノズルに対する副ノズルの適切な組合せは2.4～3.2mmの範囲のものから選定する。

MIIについて見ると、よく使われる標準タイプのノズルの口径は6.0～7.4mmの範囲にある。このうち、6.0mm付近のノズルでは、散布距離の伸びが不良であるので、6.4mm付近のものからノズル口径を選定するとよい。なお、この場合の副ノズルの組合せは、4.4～4.8mmの範囲のものから選定するとよい。

ウ. ふん尿、でんぷん廃液処理

比較的粗放に栽培される作目（牧草等）が対象作物になることが多いので、回転式スプリンクラの中でも大型のものが使われる場合が多い。

また、ふん尿散布の場合、異物でノズルが詰まるのを防止するため、ノズルが金属でなく特殊加工されたゴムを使用する場合もある。

20. スプリンクラの散布特性

(基準 3.4.2 関連)

20.1 スプリンクラの散布図型

(1) 散布特性の調査

スプリンクラは様々な器種が開発、使用されているが、それらの特性を明確にし、目的に応じて適正に選択するため、流量、散水分布等の散布特性を調査することが望ましい。

(2) スプリンクラの散布図型

散布図型の作成は、次の手順で行う。

- ① 1個のスプリンクラを中心にして、2～4m 間隔の方眼状に量水缶を配置
- ② 散布されて量水缶の中に入った水の深さを計測
- ③ ②の水の深さをその地点の散布深とし、等水深曲線を作成

1個のスプリンクラによる散布図型を、図上で縦、横の配置間隔を様々に組合せると図-20.1 のとおりスプリンクラ及び散布管路の間隔による散布効率が得られる。

散布図型は圧力により大きく変わるため、スプリンクラの配置においては適正使用圧力を明らかにすることが重要である。一定形式のスプリンクラには、そのノズルの大きさに応じた適正範囲の圧力がある。この範囲内では、図-20.1 に例示したようにスプリンクラから遠ざかるにしたがって散布量が減少していくような標準散布図型を示すが、この範囲を超えた圧力では、満足な散水分布が得られないのが普通である。すなわち、圧力が過小になると水滴は大きくなり、スプリンクラから少し離れた位置に輪状に落下する傾向を持つ。過大圧力では、微細な水滴がスプリンクラ周辺に集まり、また、風にかく乱されやすくなる。

散布図型が風に大きく影響されることは当然であるが、広範囲の散布に対しては、風の影響を少なくするため、支管の方向を風向と直角になるように計画するとよい。

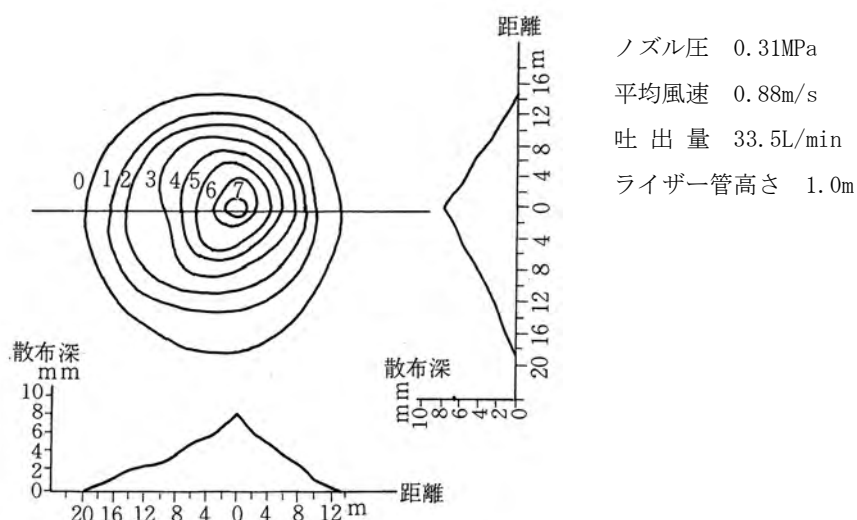


図-20.1 散布図型例

20.2 スプリンクラかんがいの効率

スプリンクラかんがいの損失は、散布水滴の飛散、蒸発、葉面付着によるものと、散水分布の不均一性によるものに分けられる。散水分布の不均一性による損失は散布効率で表され、ほ場内の全部の損失を見込んだものを適用効率という。

(1) 散布効率

スプリンクラと散布ラインの配置が理想的なものであっても、完全に均等な散水分布をさせることは不可能に近く、散水分布にはムラができる。したがって、散布量の少ないところに所要のかんがいをを行ったとき、多い所では過剰かんがいとなり、有効土層外への無効浸透損失となる。すなわち、散水分布の不均一性によって損失水量が生ずることになり、これらの関係は次の式(20.1)のように散布効率(E_p)で示される。

$$E_p = \frac{h_m}{h_a} \times 100 \quad (\%) \quad \dots \dots \dots (20.1)$$

ここで、

h_a : 平均散布深 (地表面に到達した水量の平均値)

h_m : 最小散布深 (全測定個数の 25% に相当する個数を測定値の小さい方から集計して求めた平均値)

散布効率は適用効率決定の基礎となるほか、使用器種の選定、配置等の決定根拠ともなる。散布効率は、実際には風速、風向、スプリンクラの配置、傾斜地におけるライザー管の立て方及び地形等によって異なるものであるが、使用器種、配置等の計画については 60% 以上の効率になるようにしなければならない。

しかし、一般には、下層土は比較的湿潤であるので、散布された水は地中浸入後に土壌水分の平衡化作用によって平均化される。また、散布量の不均一性がある程度残っても作物生育には大きな影響はなく、これらの不均一性もおおよそ全容易有効水分量 (TRAM) 以上の降雨によってなくなってしまうこと等が明らかにされている。したがって、適用効率決定の際の散布効率としては、85% 程度としてよい。

なお、おおよその目安としては、散布直径から推察することも可能である。すなわち、補給かんがいのような場合のスプリンクラ及び支管の間隔は散布直径の 0.55~0.60 倍とし、病虫害防除等の場合はこの値が 0.50 程度となる。ただし、かんがい期間中の一定方向の季節風及び傾斜等については十分考慮する。また、病虫害防除のような場合には、薬液の作物体に対する直接の付着状況を調べ、これを参考にするとよい。

散水分布の均等性を評価する方法としては、他にもいろいろ提案されている。式 (20.2) に示す均等係数 (C_u) は広く用いられており、式 (20.3) のように散布効率との換算式も見出されている。

$$C_u = \left(1 - \frac{\sum |h_a - h_d|}{h_a \cdot n} \right) \times 100 \quad \dots \dots \dots (20.2)$$

$$E_p = 1.59 C_u - 59 \quad \dots \dots \dots (20.3)$$

ここで、

h_d : 散布深の各測定値

n : 測定個数

また、表-20.1 に配置間隔に及ぼす風の影響を参考に示す。

表-20.1 配置間隔に及ぼす風の影響

平均風速 (m/s)	配置間隔（散布直径比） (%)
0	65
～2.5	60
2.5～5.0	50
5.0～	30

(2) 適用効率

ノズルから噴射された水滴は、地表面に到達するまでに蒸発飛散、葉面遮断等によって若干の水量が失われるから、これらを損失水量として余分に見込まなければならない。散布効率にこのような損失水量を見込んだものを適用効率（ E_a ）といい、次の式（20.4）、（20.5）のように表す。

$$E_a = E_p - E_r \quad \dots \dots \dots (20.4)$$

$$E_r = \frac{h_r}{h_n} \times 100 \quad \dots \dots \dots (20.5)$$

ここで、

h_r : 葉面遮断、蒸発飛散等による損失水量

h_n : スプリンクラノズルからの吐出水量

E_r : 葉面遮断、蒸発飛散等による損失率

E_r の値は、普通 5% とするから、散布効率を 85% で計画すると、適用効率は 80% となる。なお、平坦地で比較的無風日の多い場所では、さらに、10% 程度高い数値を採用することが望ましい。

20.3 スプリンクラのかんがい強度

(1) かんがい強度

使用するスプリンクラのノズル口径、圧力及び配置間隔が一応決まったら、次の式（20.6）によりかんがい強度を計算する。

$$h = \frac{60 \cdot Q}{D_n \cdot D_l} \quad \dots \dots \dots (20.6)$$

ここで、

h : かんがい強度 (mm/hr)

Q : スプリンクラ吐出量 (L / min)

D_n : スプリンクラの間隔 (m)

D_l : 散布支管の間隔 (m)

(2) 許容かんがい強度

補給かんがいにおけるスプリンクラの配置間隔は、かんがい強度が許容限界値を超えないように定めなければならない。

許容かんがい強度は、傾斜地では測定されたベーシックインテークレートの 1/5、平坦地では 1/3 程度を目安とする。

普通の土壌では、ほぼ表-20.2 に示す値を目安とする。

なお、かんがい強度の決定には、傾斜地における土壌侵食や流去による散水分布の不均一化等を防止するため、土壌型、勾配、植生状態等の土地条件を考慮することが大切である。このほかに営農計画上、最も効率的なかんがい作業計画を勘案して、所定の散布が最も都合のよい時間で終わるようなかんがい強度となるように計画する。

表-20.2 許容かんがい強度

土 壌	許容かんがい強度 (mm/hr)	
	平 坦 地	傾 斜 地
砂 質 土	30	20
壤 土	15	10
粘 質 土	10	7

(3) 栽培管理用水としてのかんがい強度

栽培管理の合理化においては、それぞれの水利用の目的に応じて、次のようなかんがい強度が実現されることが望ましい。

- ① 病虫害防除：かんがい強度があまり大きすぎると、短時間で散布が終わることとなり、散布ムラの原因ともなるので 10mm/hr を超えない方がよい。
- ② 凍霜害防止：かんがい強度は小さい方がよい。3mm/hr 前後が一応の目安となるので、補給かんがい用器種では片ノズル運転か、間断散布を試みる必要がある。
- ③ 風食防止、潮風害防止：かんがい強度はむしろ大きめのほうがよい。
- ④ 液肥施用：かんがい強度は特に問題とならない。

(4) ライザー管の立て方

茶の凍霜害防止では、ライザー管の高さは若干高くする程度でよい。一方、みかん等の病虫害防除ではライザー管の高さをあまり高くすると、風の影響も受けやすく、葉裏への薬液の付着も不良となる。そこで、みかん等の病虫害防除では、ライザー角度を考慮してスプリンクラヘッドを樹高より若干低くすることが望ましい。

また、幼植物の段階で生長が続いている場合は、その生長に応じてライザー管の高さを調節する工夫が望ましい。なお、極端に樹高が大きくなるりんご等の病虫害防除の場合にも検討が必要である。

なお、10° 以上の傾斜地ではライザー管の立て角度を調整する必要がある。このときの調節角度は、ライザー管を鉛直方向に対し傾斜度の 1/2 を目安にして谷側に傾けるとよい。

21. スプリンクラかんがいにおける配管方式の決定

(基準 3.4.2 関連)

21.1 配管方式の決定

(1) ほ場内管路の設置方式

管路の移動性によって次のように区分することができる。

ア. 人力移動方式

結合の自由な継目を有するパイプ上にスプリンクラを設置し、散布が終わったらパイプを取り外して、ローテーション計画に従って次の散布ラインまで人力で移動させる。大型スプリンクラの場合には台車にスプリンクラを設置し、給水栓からホース等で導水する。散布が終わったら、台車及びホースを人力で次の散布地点まで移動させる。

イ. 埋設定置方式

埋設管路を全て地中に埋設固定する。

ウ. 地表定置方式

ある作物のかんがい期間の初めに耐圧性ホース、ポリエチレン管、塩化ビニル管等を使用した散布セットを地表に定置し、かんがい期間が終わったら撤去する。

エ. 自走式

スプリンクラを動力で自走又は牽引させて次の散布地点まで移動する。

スプリンクラかんがいの末端組織は、スプリンクラの種類と移動方式の組合せによって定まるが、かんがい作業の省力化、ほ場の区画との関連を考慮するとともに、栽培作物、営農条件等に適応したものを選択することが大切で、そのおおよその目安は表-21.1 のとおりである。

従来のスプリンクラかんがい方式は、移動式スプリンクラセットにより一定面積を順次かんがいていく方法で、最も経済的なシステムであるが移動に労力がかかる。省力化の点では散布管路を固定すればよいが、これには相当の費用を要するので、収益性の高い作物ほ場又は傾斜地の樹園地を除いては経済的に問題となる。また、ほ場内の定置施設は機械作業の障害となることが多い。

高圧のスプリンクラを使用すると、同じ面積のかんがいでは移動回数及びスプリンクラ個数を少なくできるので、かんがい労力を軽減できる。しかし、効率的使用にはある程度の作物団地が形成されることが条件で、使用に当たっては特に集団栽培計画との関連を重視しなければならない。

一般に栽培管理の合理化のための末端施設は、補給かんがいのみを目的とした施設に比べて利用頻度も高い。また、凍霜害等の気象災害の防止を目的とする場合には、一斉散布を行う必要が生じ、特に、病虫害防除は一作業単位の散布が数分間で終了するので、可搬式では作業効率の観点から対応できない。このような理由から栽培管理の合理化の場合、通常、末端管路は定置方式が採用される。

表-21.1 ほ場内管路設置方式

管路設置方式	低圧スプリンクラ	中間圧スプリンクラ	高圧スプリンクラ	特徴
人力移動	一部の野菜類（多孔管）	- 普通畑、野菜畑 - 最低 10～20a 程度の作物団地の形成が必要	- 普通畑、牧草畑、樹園地 - 最低 50a 以上の作物団地の形成が必要 - ふん尿かんがい用	10a 当たり器具費は安い移動に労力を要する。
埋設置	高級野菜などの集約ほ場	- 樹園地 - 病虫害防除、施肥	施肥	- 最も省力的である。 - 施設費は高価となるが、ほ場内での営農作業の障害とならない。凍結による管破裂等のトラブルを避けることができる。
地表設置	- 輪作体系をとる高級野菜等 - 急傾斜樹園地（多孔管）	- 輪作体系中にかんがい頻度の高い作物が 10～20a 程度の作物団地を形成している。 - 大型機械が導入されるほ場 - 病虫害防除、施肥等に利用する場合	1ha 以上の団地にかんがい頻度の高い作物が栽培されている場合 - 施肥	- 施設費の割に省力化の程度は大きい。 - 凍結による破損を生じやすい。 - 機械作業の障害となることもある。
自走式		- 比較的平坦地ではほ場整備が行われている場合 - 牧草畑	- 牧草畑 - 高度の集団栽培ほ場でほ場整備が行われている場合	省力的でしかも経済的である。

21.2 配管型式

配管型式の基本型としては、くし歯型、魚骨型及びフォーク型の 3 型式がある。

いずれの型式を採用するかについては、末端散布ブロックの規模、形状を考慮して定めなければならない。

それぞれの配管型式を図-21.1 に示す。

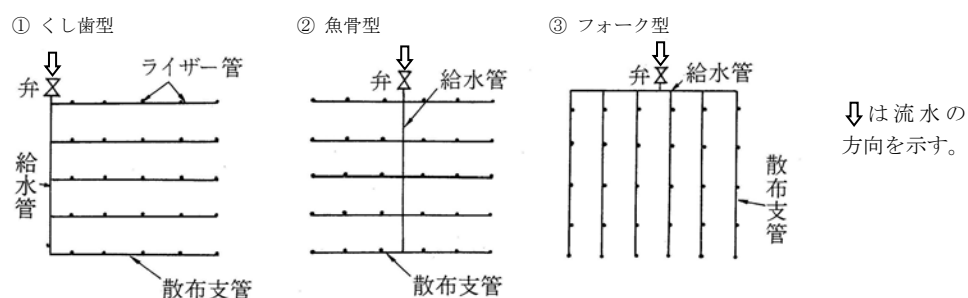


図-21.1 配管型式

魚骨型及びフォーク型の配管型式においては、末端散布ブロックの規模は 70a 程度まで拡大することができる。また、正方形又は長方形のほ場に適用することができる。長方形のブロックにこれらの配管型式を用いる場合には、散布支管の位置及び方向を適切に定めることによって、散布支管に小口径管の使用を可能とし、10a 当たりの工事費を安くすることができる。

また、同時に、管内流速を大きく維持できることになり、各スプリンクラからの吐出時間差を小さくすることができる。このことは、病虫害防除に際して、薬液損失を低減するのに都合がよい。

これに対し、くし歯型での末端散布ブロックの規模は、30a が限界であり、その形状がおよそ、正方形に近いほ場にのみ適している。

同一規模の散布ブロックに対し、上記 3 種類の配管型式の工事費を比較した場合、

魚骨型 ≒ フォーク型 < くし歯型

の関係がある。

このような理由によって、ほ場条件、営農条件から給水管の設置個所に制約がない限り、くし歯型を避け、魚骨型又はフォーク型を用いるべきである。

21.3 自走式スプリンクラの特徴と適用性

諸外国では、平坦な大規模ほ場を対象として省力的な自走式スプリンクラの適用事例が増えている。技術開発の歴史が比較的新しいので今後さらに改善されていくものと思われるが、現時点での代表的なものとして、次の二つのタイプがある。

(1) リールスプリンクラシステム（写真-21.1）

ア. 構造

- ① 本 体: ホース巻取り用の大型リールが、走行用二輪車の台座に取付けられており、ホースを全部巻き取り、スプリンクラを台車ごとにつり上げると二輪車はトラクタで牽引することができる。ホース巻取りの動力には流水エネルギーの一部又はエンジンが用いられ、巻取り速度の調整ができる。
- ② スプリンクラ: スプリンクラが台車に取り付けられホースに接続されている。
- ③ ホース: 一般には直径 25～110mm、長さ 100～300m のフレキシブルホースが用いられる。

イ. 操作

システム本体をトラクタで牽引してほ場の一端に設置し、トラクタによりほ場の他端にスプリンクラを牽引してホースを引き出す。給水栓又はポンプとシステム本体をホースで接続して散布を開始する。

一回当たりかんがい水量とかんがい強度の設定は、スプリンクラノズルの大きさと巻取り速度で調節する。巻取りが終了すると、散布は自動的に停止する。

ウ. 特徴

リールスプリンクラの搬送及びかんがい操作は 1 人で可能であり、かんがい作業が極めて省力的である。ほ場に対して所定の散布量を与え、運転経費を少なくするためには、ノズル流量、ホースサイズ、揚水施設規模相互のバランスをとる必要がある。スプリンクラの走行はほ場形状によりある程度曲線を描いてもよい。走行方向の散水分布の均等性は良好である。直角方向の均等性は若干劣るが、回転式スプリンクラに比べて均等性はかなり高いので、走行間隔は散布幅よりやや小さくする程度でよい。若干の設備を付加することにより、家畜ふん尿散布に用いることもできる。

なお、北海道などの大規模畑作地帯では、ブームタイプのスプリンクラを設置したシステムの導入事例がある。これには、水滴による土跳ねが少なく、作物の損傷が少ないことや培土が破壊されにくいことなどの特徴がある。

エ. 適用性

給水栓密度が極めて小さく、ほ場内に施設を持ち込むことがない。起伏が少なく、30～50a

以上のほ場への適用性が優れている。



写真-21.1 リールスプリンクラシステムの例

(2) センターピボットスプリンクラシステム

ア. 構造

複数個のインパクト型スプリンクラがパイプに取り付けられ、そのパイプは車輪付き移動タワーによって空中に支えられている。タワーは中央の旋回軸（センターピボット）を中心にして電力、ディーゼル又は流水エネルギーを利用してゆっくり回転する。水源は河川やほ場中央部に深井戸を設けることがある。

- | | |
|------------|-----------------|
| ① 支配面積 | 5～100 ha |
| ② 流量 | 200～5,000 L/min |
| ③ 回転速度 | 2～250 hr/回 |
| ④ スプリンクラ水圧 | 0.25～0.64 MPa |

イ. 操作及び特徴

パイプを支えている複数の移動タワーは常に一直線を保ちながら回転するよう自動制御されており、散布量の調節、散布停止等の操作もほとんど自動化されている。このため、人手は故障の修理及び監視に要するのみである。

回転速度を変えることにより散布量の調節ができるほか、肥料や農薬を精度よく散布することもできる。散布範囲は円形となるため、ほ場の四隅の土地には農場施設、貯蔵所等が設けられることがある。なお、四隅の散布も可能にするため、コーナーピボットを取り付けたものもあり、現在のシステムは土地の起伏に対しても支障が少なくなっている。

ウ. 適用性

アメリカでは約 50 年前に開発されており、当時は立地条件が厳しいため、かんがい効率や労力の点で地表かんがいや可搬式スプリンクラを適用することが困難な地域で用いられてきた。その後、改善が続けられ、ヨーロッパ、中東等にも導入が拡大している。我が国でも前項で示したリールスプリンクラシステムより更に大規模かつ省力的なシステムとして牧草畑等への適用が考えられる。

22. スプリンクラ及び管路の設計と管材

(基準 3.4.2 関連)

22.1 スプリンクラの設計

スプリンクラの設計は、営農条件、対象作物、地形、土壌等の諸条件を考慮して次の順序で行う。

- ① 対象作物、使用目的、地形等を考慮して、使用するスプリンクラのタイプを決定する。
- ② 散布効率が 60%以上となるような散布支管の間隔、スプリンクラの間隔を決定する。
- ③ 1 回のほ場かんがい水量 = (1 回の純かんがい水量 / 適用効率) を求める。
- ④ 決定したスプリンクラと散布支管の配置からかんがい強度を求める。かんがい強度が許容限界値以上の場合にはスプリンクラの配置とともに使用器種の再検討を行う。
- ⑤ 1 回の実かんがい時間 (T_0) を定める。

$$T_0 = \text{ほ場かんがい水量} / \text{かんがい強度}$$

- ⑥ 1 回のかんがい作業時間は、1 回の実かんがい時間 (T_0) に移動又は切換え時間を見込んだものであるが、移動時間はかんがい方式によって相当異なるので、現地の実情に即して定めるようにする。散布セットの 1 日当たりの移動回数は、

$$1 \text{ 日の作業時間} / (1 \text{ 回の実かんがい時間} + 1 \text{ 回の移動時間})$$

で求められる。1 日の作業時間は、普通はピークで概ね 16~20 時間とする（したがって、ピーク時以外ではこれを下回る。また、現地の実状によって異なる場合がある。）。自動化された固定式の場合は、24 時間かんがいを計画してもよい。

- ⑦ スプリンクラの容量の決定

スプリンクラの容量は次の式 (22.1) で算出する。

$$q = \frac{E_1 \cdot D_n \cdot D_l}{60 \cdot T_0} \quad \dots \dots \dots (22.1)$$

ここで、

q : スプリンクラの容量 (L / min)

E_1 : ほ場かんがい水量 (mm)

D_n : スプリンクラの間隔 (m)

D_l : 散布支管の間隔 (m)

T_0 : 1 回の実かんがい時間 (hr)

- ⑧ かんがい組織全体の散布量の決定

組織全体の必要散布量は組織容量とよばれ、次の式 (22.2) で算出する。

$$Q = 166.7 \frac{A \cdot E_1}{F \cdot T} \quad \dots \dots \dots (22.2)$$

ここで、

Q : 組織容量 (L / min)

A : かんがい面積 (ha)

E_1 : ほ場かんがい水量 (mm)

F : 間断日数 (day)

T : 1 日の実かんがい時間 (hr)

⑨ 同時に運転すべきスプリンクラの数（ N ）の決定

同時に運転すべきスプリンクラの数は、次の式（22.3）で算出する。

$$N = \frac{Q}{q} \dots\dots\dots (22.3)$$

ここで、

q : スプリンクラの容量 (L/min)

N : 同時に運転すべきスプリンクラの数

畑地かんがいではかんがい面積をブロック割してかんがいを行うが、その各ブロックの面積が均等であり、また、1日のかんがい回数が等しい場合には前記の計算でよい。しかし、実際には、各種の条件により、ブロックの面積を均等に分割できない場合が多いので、スプリンクラの個数は、ブロックごとに積上げ計算する必要がある。

⑩ 同時に運転するスプリンクラの総数が決定されたほ場区画に合わせて標準的な散布セットの管の長さで管上のスプリンクラの数を決定する。

22.2 散布管路の設計

スプリンクラかんがいにおける散布管路の設計では、管路上の最大圧力点におけるスプリンクラの散布量と最小圧力点における散布量の比は、1.1以下とする。

- ① 管路中の水の流れには、常に摩擦による水頭の損失が伴う。摩擦損失は主として管の内面の粗度、管径及び流速によって定まるものである。散布管路の水圧は、噴射孔が等間隔に取り付けられた多くの流出孔を有する管内の水の流れとして、それぞれの区分ごとに分けて逐次計算していく方法で求められる。散布管路における摩擦損失は管中の水の流れによって変わるが、水の流れはスプリンクラの散布量に比例し、スプリンクラの散布量は水圧の平方根に比例する。すなわち、次の式（22.4）で表せる。

$$q_a = K\sqrt{P} \dots\dots\dots (22.4)$$

ここで、

q_a : スプリンクラの散布量 (L/min)

P : スプリンクラにおける水圧 (MPa)

K : スプリンクラの噴射孔の形状に関する定数

- ② 散布管路における水圧は摩擦損失のために変化するので、各スプリンクラの散布量は同一ではなく、皆異なった値を示す。しかしながら、全てのスプリンクラの散布量は、管路中のその位置における水圧の平方根に比例する。すなわち、次の式（22.5）で表せる。

$$\frac{q_x}{q_0} = \sqrt{\frac{p_x}{p_0}} \dots\dots\dots (22.5)$$

ここで、

q_x : 水圧 p_x である任意のスプリンクラの散布量 (L/min)

q_0 : 水圧 p_0 である管路末端のスプリンクラの散布量 (L/min)

- ③ 水圧の差が小さい場合には近似的に次の式（22.6）が成り立つ。

$$\frac{q_x - q_0}{q_0} \doteq \frac{1}{2} \left[\frac{p_x - p_0}{p_0} \right] \dots\dots\dots (22.6)$$

また、各スプリンクラからの吐出流量の変動幅は 10%、圧力変動幅は 20%までが許されるので、かなり小口径の管の使用が可能である。

管径の選択と組合せを行う際には、給水管としては内径 50～200mm の管、散布管では内径 25～50mm の管を市販管から選び、適当に組み合わせて用いることを一応の目安とする。

22.5 配管勾配

散布管の配管を上り勾配とするか、水平方向とするか、下り勾配とするかにより、選択される管径に大きな差異を生ずる。上り勾配として配管すれば、位置のエネルギーに逆らって水を押し上げるため、管径は水平又は下り勾配の場合に比べてかなり大きくなる。一方、下り勾配の場合は、水の輸送に位置のエネルギーを活用できるので、管径を相当に絞ることが可能である。散布管（管径 50mm 以下）の末端が開放されている場合は、管内流速は 10.0m/s までを許容することができるものとして、管径を選択する（実際の条件下での流速は 5.0m/s 以内で収まる場合が多い）。したがって、病虫害防除の計画においては、急勾配では上り勾配の配管で管内残液を再利用する方式よりも（急傾斜の上り勾配ではボタ落ち現象により完全回収できないときがある）、下り勾配の配管として、管内残液をできるだけ少なくしておき、病虫害防除実施後のほ場内に散布して処置した方が建設費、維持費よりみて安価な場合がある。

ある地区の設計例によると、水平勾配の配管の場合に比べて、上り勾配（1/16）のときは、塩化ビニル管重量で約 30%増、管内残液量で約 40%増であった。反対に下り勾配の配管（5/16）のときには、管重量で約 22%減、管内残液量で約 40%減となった。また、上り勾配の配管の方が、下り勾配の配管に比べて、調圧弁の使用個数が多い傾向となった。

このように、散布管の勾配は、管径すなわち配管の材料費や管内残液量を左右する大きな因子であるため、地形やほ場の状況、病虫害防除作業との関連を慎重に配慮して決定すべきである。

なお、管内の許容平均流速については、土地改良事業計画設計基準 設計「パイプライン」では、水撃圧（ウォーターハンマ）等に対して安全性を確保するため、水理ユニット内の流速の平均値の限界は原則として 2.0m/s 以内と規定しているが、スプリンクラかんがいにおける散布管路においては、上述のとおり末端が開放されている場合は、水撃圧の発生の危険がないことから 10.0m/s までを許容できるものとしている。

22.6 栽培管理の合理化（病虫害防除）のための利用と管路設計

スプリンクラ利用による病虫害防除のための管路設計においては、管路内の農薬を有効に使うため、次のような工夫が必要である。

(1) 時間差と散布剤の損失

スプリンクラノズルからの薬剤散布の時間差は、散布ムラの原因になるとともに、薬液損失を引き起こすため、過大とならないように設計すべきである。

薬剤散布の時間差は、末端ブロックのレイアウト及び配管設計によって、微妙に変化する。したがって、末端配管の設計においては、特にきめ細かい配慮を必要とする。

- ① 一般のスプリンクラによる病虫害防除では、5 分間程度散布されるのが普通であるから、2 割を散布損失の限界とすると、1 分の時間差が設計の限界となる。
- ② 急傾斜地では、低位部でのスプリンクラから散布が始まり、終了も低位部スプリンクラが最も遅くなるため、特にその周辺に過大な薬液量が投下されるおそれがある。

- ③ 散布時間差 T (min) は、管総容積を V (L)、薬液置換時の配水システムからの薬液供給量を Q^* (L) とすると、次の式 (22.10) によっておおよその値を算出することができる。

$$T = f \cdot (V/Q^*) \quad (\text{min}) \quad \dots \dots \dots (22.10)$$

ここで、 f は、薬液置換時にスプリンクラから無効に散布される薬液の比率を表す係数である。

管内が最初空であるときには、

$$f \div 1.25$$

水で充満されているときには、

$$f \div 1.50$$

とおくことができる。

(2) 管路内薬液損失

末端管路の設計に当たっては、管路内に残留する薬液量はできる限り小さくするように、常に留意しなければならない。

残留薬液は、可能な限り回収して再利用することが望ましいが、回収施設の導入に当たっては施設費用、耐用年数、ランニングコスト、さらに、回収薬液の実際の散布作業の難易、その施設により期待できる効用等についても十分検討する必要がある。

地形勾配があるときには、散布管を上り勾配とするよりも、下り勾配とすると、管路内に残留する薬液量を相当に減少させることができる。

- ① 従来のスプリンクラ散布では、全散布量の 2 割程度が末端管路内での損失として見積もられるのが普通であるが、配管設計を適切に行うと、例えば 50a の散布ブロックでは約 80L/10a 程度にすることが可能である。かんがいを目的として設計された組織では、かなり大きいのが普通である。
- ② 末端配管総体積で残液損失量を見積もることができるが、おおよその総容量 V (L) は次の式 (22.11) によって算出することができる。

$$V = \frac{5,000 \cdot A_u^2}{D_n \cdot F} \quad (\text{L}) \quad \dots \dots \dots (22.11)$$

ここで、

D_n : スプリンクラ間隔 (m)

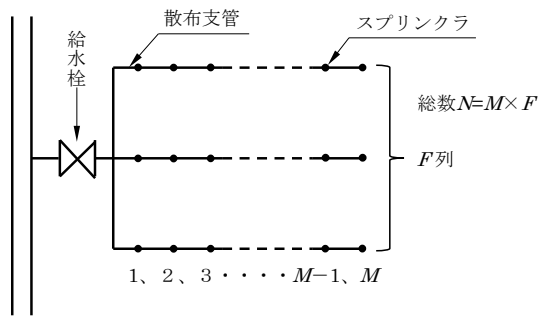
A_u : 散布ブロック面積 (ha)

F : 管路分岐係数

管路分岐係数 F は、散布ブロック内のスプリンクラ総数 N を、給水栓から順に数えて最も遠いスプリンクラの番号 M で除した値として、次の式 (22.12) のように定義される。

$$F = \frac{N}{M} \quad \dots \dots \dots (22.12)$$

この F は、フォーク型の配管形式 (図-22.1) では、 F 列の散布支管からなることを意味し、 F と M とで散布ブロックの形状を表す。



※ここで、各列のスプリンクラが異なるときの M は、一番多い列の最後の番号をとる。

図-22.1 管路分岐係数の説明図（フォーク型の等価配管の例）

- ③ 残液の回収あるいはその有効化については種々の方式が考案されている。いずれもかなりの追加的投資を要する上に、散布作業の複雑化をもたらし、あるいは保守管理に多大な労力と費用を要することが多い。したがって、その導入及び方式の選定に当たっては、全体からみたバランスに配慮を要する。
- ④ 散布剤の損失と残液損失の合計損失は、次の式（22.13）で算出できる。

$$(f-1) \cdot Q^* \cdot T + V = \{f \cdot (f-1) + 1\} \cdot V \quad \dots \dots \dots (22.13)$$

空気置換では管総体積（ V ）の1.3倍、水置換では1.8倍程度が目安となる。

- ⑤ 以上のことから分かるように、管総体積を小さくすれば、散布損失及び残液損失を小さくすることができるため、与えられた条件の中でできる限り管の体積、すなわち管径を小さくするよう心掛けるべきである。

なお、管総体積はブロック面積、ヘッドの型、スプリンクラ間隔、かんがい強度、ブロックの形状等、末端システムのレイアウトに際して決定すべき事項と深い関係を持っている。

22.7 参考

図-22.2 に示すような、500m×400m（20ha）のほ場を例にして補給かんがい計画の策定手法を述べる。

- ① 1回のかんがい水量を30mm、間断日数（ F ）を6日とする。
- ② 適用効率を85%とするとほ場のかんがい水量（ E_1 ）は $30/0.85=35\text{mm}$ となる。
- ③ 実かんがい時間（ T ）を18時間とし、管の移動5回とすると、1回の実かんがい時間（ T_0 ）は3.6時間となる。
- ④ スプリンクラの間隔（ D_n ）及び支管間隔（ D_1 ）をそれぞれ14mとして、式（22.1）よりスプリンクラの容量（ q ）を求める。

$$q = \frac{E_1 \cdot D_n \cdot D_1}{60 \cdot T_0} = \frac{35 \times 14 \times 14}{60 \times 3.6} \approx 31.8 \quad (\text{L/min})$$

スプリンクラのうち、このような散布量を持ち、圧力の適当なものをカタログから探すと、ノズル口径 4.8×3.2mm、使用圧 0.25MPa、散布量 32.0L/min、かんがい強度 9.8mm/hr が見い出せる。

- ⑤ ローテーションブロックの決め方は、いろいろな考え方があ。ここでは、現在最も多く行われている、支線単位を1ローテーションブロックとする方法を採用する。すなわち、図-22.2のように幹線を中心に6つのブロックに分けることにする。

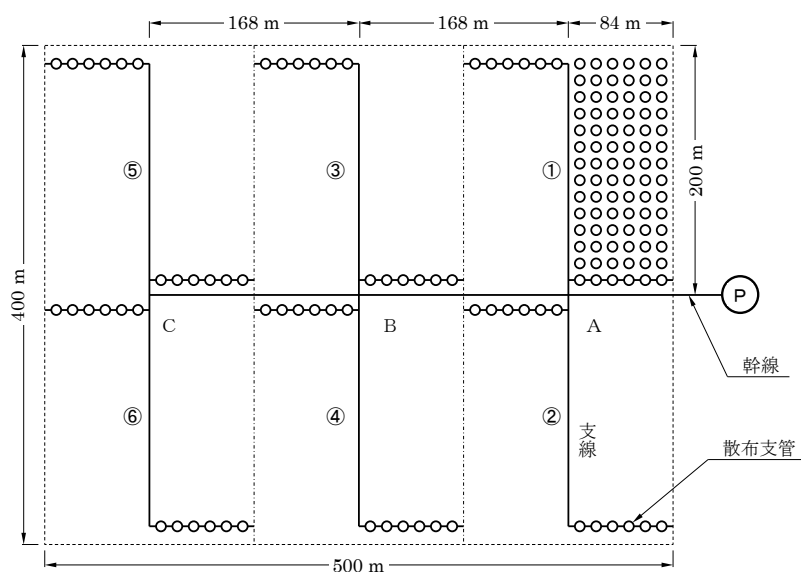


図-22.2 配管設計例

⑥ 幹・支線の配置は、地形及び営農条件を考慮して定められるが、まず幹線の位置は、比較的高い部分で、対象地区をなるべく平均的に支配するような所に求める。支線は同じく、1ローテーションブロックを平均に支配する位置に定める。この例の場合には、図-22.1 に示す位置に幹線と支線①～⑥号を配置するものとする。

⑦ 図-22.1 から明らかなように各ブロックとも6本立ての散布支管にすると、全地区をほぼ平均に支配できることになる。

各ブロックとも散布支管の総数は28個であるから、1日5回移動、6日間断とすると、各ブロックでは、6本立1セットの散布支管があればよいことになる。したがって、1回のかんがいを使用するスプリンクラの数は6ブロック×6個/ブロック=36個である。

⑧ かんがい組織容量（ Q ）は、式（22.2）より次のとおり算出される。

$$Q = 166.7 \frac{A \cdot E_1}{F \cdot T} = 166.7 \frac{20 \times 35}{6 \times 18} \div 1,081 \quad (\text{L/min})$$

ここで、

A ：かんがい面積（ha）

これは、どのような計画の下でも、地区全体として必要な散布量であるが、実際には、1回のかんがいを使用するスプリンクラ数により、 $32.0\text{L/min/個} \times 36\text{個} = 1,152\text{L/min}$ の散布が行われる計画である。ただし、この両者の計算値の差が非常に大きいときには、過大計画であるので計画をやり直す必要がある。この場合には、散布器種、作業時間、散布支管の配置の3つが主な修正対象となる。

⑨ ①～⑥号までの支線パイプの管径を定めるため、各々長さ189mで最大流量 202L/min （ $32\text{L/min/個} \times 6\text{個} / (1 - 0.05)$ ）としてあらかじめ摩擦損失を計算しておく必要がある（ただし、0.05は搬送損失率。）。

ここでは次の3種類について行った。

管径 65mm の場合 0.04MPa

管径 75mm の場合 0.02MPa

管径 100mm の場合 0.004MPa

- ⑩ 散布支管を 50mm パイプとすると、摩擦損失は 0.03MPa となる。
- ⑪ ポンプに一番近いスプリンクラと一番遠いスプリンクラにかかる圧力の差異を 2 割以内に抑えるためには、この間の損失水頭は 0.05MPa (使用圧 0.25MPa×0.2) 以内でなければならない。

したがって、支線パイプに 65mm 管は使用できない。また、75mm 管を使用する場合には幹線 A～C 間の損失を 0.01MPa、同じく 100mm 管を使用する場合には 0.02MPa 以内にしなければならない。

ポンプ～A 点 流量 1,152L/min 距離 83m

A～B 点 流量 768L/min 距離 168m

B～C 点 流量 384L/min 距離 168m

上記のような条件で各種管径別パイプの損失水頭計算を行うと、表-22.1 のとおりとなる。

表-22.1 損失水頭 (MPa)

管径 (mm)	100	125	150	200	250
A～B 点	0.005	0.016	0.007	0.002	0.0005
B～C 点	0.013	0.005	0.002	0.0004	

以上の計算から、支線パイプに 75mm 管を使用する場合には、幹線パイプは 200mm (AB 間) と 125mm (BC 間)、同じく 100mm 管を使用する場合には、150mm (AB 間) と 100mm (BC 間) でよいことになる。これらのいずれを採用するかは、工事費の安い方とする。

- ⑫ A 点からポンプまでの距離とパイプの管径を定めれば、ポンプ位置までの全損失水頭が分かるため、所要流量、全揚程を考え合わせて揚水機の設計を行う。

参考文献

- 農林水産省農村振興局整備部設計課：土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「パイプライン」(2009)

23. マイクロかんがい

(基準 3.4.2 関連)

23.1 散布支管の配置方式

(1) マイクロエミッターかんがいに対する配置方式

マイクロエミッターを用いる場合の散布支管の基本的な配置方式には、図-23.1 に示すものがある。エミッターの配置間隔は、一般には野菜類のような条植栽培作物には湿潤域が帯状分布となるよう、果樹やスイカのような栽培間隔の広い作物には湿潤域が独立円分布となるよう計画する。この際には、できるだけ全ての作物が湿潤域内に栽植されていることが望ましい。

配置方式には、①地表配置方式、②樹上（頭上）配置方式、③地上棚配置方式（棚配置方式）、④地中配置方式等種々の方式がある。これらの方式には、利点、欠点を含めて、それぞれ特徴があり、いずれの方式を採用するかは、作物の種類、植栽方法、営農条件、薬剤散布等栽培管理の合理化への利用の有無、露地あるいはハウス（施設）の別等を勘案して決定する。

(2) 点滴かんがい及び多孔管かんがいに対する配置方式

エミッターは、散布支管の管壁に直接差し込まれる。散布支管の配置方式は、地表配置方式が一般的である。また、わい化栽培のリンゴに対しては、樹列に沿って散布支管がある高さに配置される地上配置方式も用いられ、多孔管も同様である。

なお、ドリップチューブは、地中配置方式が採用されることもある。

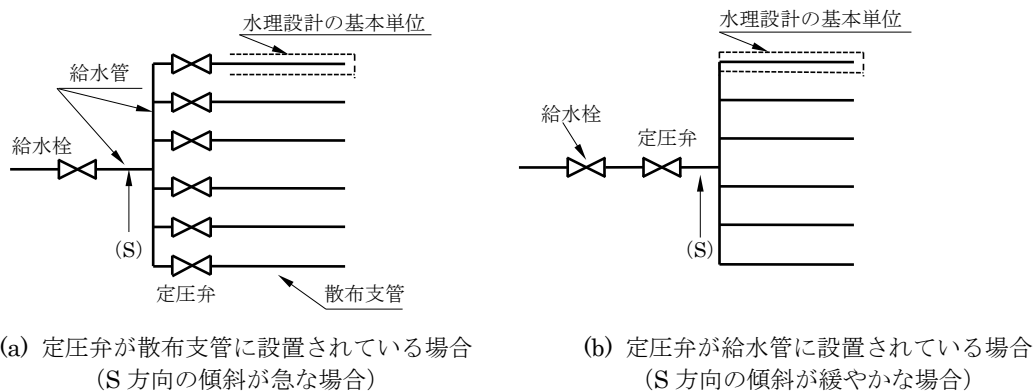


図-23.1 水理設計の基本単位

23.2 エミッターの選定

エミッターは、散布支管又はライザー管の噴出口に取り付けて、吐出し流量を調整する装置で、非常に多くの種類が開発されている。それらの特性を十分に把握して、利用目的に合ったものを選定する。

(1) マイクロエミッターの選定

ア. マイクロエミッターの特徴

マイクロエミッターは、本来、果樹に対する湿潤範囲を限定した部分かんがいのために開発されたものであり、原則として散水域を全く重複させないとされている。したがって、果樹1本に対してそれぞれ1個のエミッターでかんがいすることとなる。

もちろん、従来のスプリンクラと同様に、4 個のマイクロエミッターで散水域を重複させたり、あるいは散布支管の延長方向だけで散水域を重複させて使用することもできる。また、我が国では露地栽培あるいは施設栽培の軟弱野菜等にも利用されている。

マイクロエミッターは、果樹の場合、樹冠の濡れを防ぐために、ノズル仰角は低角度であり、設置位置も低いのが一般的である。また、各種の条件に合わせて、飛散距離、散水強度、水滴径などを変えることができる。そのような条件においても、散水分布の均等性が確保できるように配慮されている。

なお、マイクロエミッターには非常に多くの種類があり、水分補給以外に、施肥、病虫害防除、凍霜害防止などの栽培管理の合理化にも利用されている。

イ. マイクロエミッターの種類

マイクロエミッターは、一般には合成樹脂製であり、少水量、節水型として特徴付けられている。散水直径 0.5~10.0m、圧力 0.10~0.25MPa、吐出し流量は 30~180L/hr 程度で、形状あるいは散水方式により次の三つに分類される。

(ア) マイクロスプレーヤ（非回転式）

直径 50~100 μ m の細かな霧状で、水平、扇状あるいは円錐状に散水する。飛散距離は短く、水滴は非常に小さい。ノズル口径 0.8~1.0mm、圧力 0.20~0.25MPa、飛散距離 0.5~1.5m、吐出し流量 30~60L/hr である。

マイクロスプレーヤは、主として施設（ハウス）で使用され、微気象調節、病虫害防除、定植時かんがい用等に利用される。

(イ) マイクロジェット（非回転式）

マイクロスプレーヤよりやや大きい噴霧状で散水する。圧力 0.10~0.20MPa、散水直径 1.0~4.0m、吐出し流量 50~150 L/hr で、目的とする方向と広がりには散水させるための非回転式の部品（スプレッダ）によって、飛散距離、水滴径、散水分布、散水仰角などを変化させることができる。また、帯状、扇型などの円形以外の不定形の散水パターンを作ることができる。さらに、逆吊りの使用も可能である。

したがって、育苗、温度調節、病虫害防除、栽植密度の高い果樹、散水域を限定する場合の施設（ハウス）での使用が適している。

(ウ) マイクロスプリンクラ（回転式）

マイクロスプリンクラは、回転しながら噴霧状から比較的大きな粒子までの水を放射状に散水する。マイクロスプレーヤ及びマイクロジェットとは異なり、マイクロスプリンクラは小さなスプリンクラと位置付けられる。なお、飛散距離が長く、散水強度が低く、水滴が大きく、より均一な散水分布が得られる。圧力 0.10~0.25MPa、散水直径 4.0~10.0m、吐出し流量 90~180 L/hr である。

放射状に散水させるための回転式の部品（スイベル）を取り替えれば、回転速度、散水仰角、散水パターンを変化させることができる。

ウ. 適性水圧と吐出し流量

マイクロエミッター及びマイクロスプリンクラには、様々な型式とサイズのものがある。吐出し流量は適用水圧によって変動する。一般に水圧の増加とともに流量と飛距離は増加する。しかし、ある水圧の限界を超えると小さな水滴が増加し、飛距離は増加せず、飛散損失が増大する。散布システムの計画・設計に際しては、カタログ及び仕様書を十分に吟味の上、型式と

サイズの選定とこれに対応する適正水压の設定を行わねばならない。

エ. かんがい強度

マイクロジェットとマイクロスプリンクラの基本的な相違点は、かんがい強度と飛散距離の関係にある。マイクロスプリンクラでは小スイベルから大スイベルに取り替えることにより、散水直径を大きくして、かんがい強度を低下させることができる。また、マイクロジェットでは、水平スプレッダから凸型スプレッダに取り替えることにより逆に散水直径を小さくして、高いかんがい強度とすることも可能である。

かんがい強度による分類は、次のようになる。

- ① 低かんがい強度（1.0～5.0mm/hr）：大部分のマイクロエミッターがこのグループに入る。
- ② 中かんがい強度（5～15mm/hr）：水平スプレッダのマイクロジェットがこのグループに入る。
- ③ 高かんがい強度（15～50mm/hr）：凸スプレッダのマイクロジェットとパートサークルマイクロスプリンクラがこのグループに入る。

オ. 散水域を重複させる場合の配置間隔の決め方

マイクロスプリンクラを凍霜害防止や薬液散布等の栽培管理の合理化に用いるためには、従来のスプリンクラと同様に散水域を重複させる必要がある。すなわち、4 個のマイクロスプリンクラで囲まれた内部の散水深の分布が、均等係数 75%以上となるように配置間隔を決めなければならない。

(2) ドリップエミッター及びドリップチューブの選定

ア. ドリップエミッター及びドリップチューブの特徴

散布支管に沿って配置されたエミッターから少量の用水を頻繁に土壤に供給し、根群域の土壤水分を一定の状態に保つことができる。すなわち、ほ場のある限られた位置に、大気圧に近い状態で少量ずつ水を供給するものである。その供給速度は、1 時間当たり数リットルあるいは 1 秒当たり数 cm³ 程度であり、この程度の供給速度では表面流去を起こすことなく、用水は土壤中の限られた範囲を垂直方向と水平方向に移動する。

イ. ドリップエミッター及びドリップチューブの種類

ドリップエミッター等は、一般には合成樹脂製であり、かんがいの適正水压はもともと低いが、さらに水压を減少させ、用水を小流量で流出させる機器である。多種多様のエミッターの中から目的に合ったものを選定することになる。

(ア) ドリップエミッター

散布支管の管壁に差し込むドリップエミッターには、次のようなものがある。

- ① オリフィス型：オリフィス（流出孔）からジェット流となりエミッター内部に入った用水を各所に衝突させ減圧・流出させる。
- ② オリフィス・過流型：オリフィスからエミッター内部に入った用水に過流を起こさせ減圧・流出させる。
- ③ 長流路型：ドリップチューブのような小口径で長いエミッターの流路に用水を通し、摩擦損失で減圧・流出させる。

(イ) ドリップチューブ

エミッターと散水支管が一体化したドリップチューブには、次のようなものがある。

- ① バイウォール（二重）チューブ：延長方向に二重の流路があり、用水が1次側流路管壁の小孔から2次側流路に入ることにより減圧し、2次側流路管壁の細孔から流出させる。トライウォール（三重）チューブもある。

- ② 湿潤域：多孔質でできた管壁から用水を浸潤させる。

ウ. 適正水圧

水圧による分類では、低圧（0.05MPa 以下）、中間圧（0.05～0.10MPa）、高圧（0.10MPa 以上）に区分される。

エ. 吐き出し流量

流量による分類では、小流量（4L/hr 以下）、中流量（4～10L/hr）、大流量（10L/hr 以上）に区分される。

オ. 口径

口径による分類では、小口径（0.8mm 以下）、中～大口径（1.5mm 以上）に区分される。

(3) 多孔管の選定

ア. 多孔管の特徴

多孔管は、一般にアルミニウム、塩化ビニル、ポリエチレン等の硬質管や高分子材料の軟質ホースに細孔を設けたもので、地表に定置される場合が多い。口径は13～50mm程度で、硬質多孔管では、軸方向には曲がらないため長い距離のかん水が必要な場合は、管を接ぐ必要がある。多孔ホースは、未使用時にはコイル状に巻いてあり、継手なしでは場に配管することができる。

多孔管の特徴は、以下のとおりである。

- ① 葉面や土壌面に対する水滴の衝撃が小さく、発芽前後のかんがいにも支障が少ない。
- ② 散水における水滴の飛散時の高さは比較的低く、かつ、水滴粒子が大きいので風による飛散損失が小さい。
- ③ 低水圧でよいが、かんがい強度は他のかんがい方式と比較して大きく、傾斜地などでの土壌侵食・表面流去の点について計画する際に留意する必要がある。

イ. 多孔管の散布特性

多孔管かんがい方式は、通常、少量頻繁に用水を供給可能なマイクロかんがい方式に分類される。ただし、多孔管かんがい方式のうち、水滴が小さく散布距離が大きい散水型の多孔管を用いた降雨状散水方式は、スプリンクラかんがい方式に近い特徴を持つ。そのため、散水型の多孔管を設置する場合は、スプリンクラかんがい方式の考え方を参考として散布特性等を検討する必要がある。

散水型の多孔管による降雨状散水を行った事例では、スプリンクラと散水型の多孔管を比較して以下の特徴が見られた。

- ① 必要な水圧が高いスプリンクラと異なり、散水型の多孔管は低圧でも機能する。
- ② 散水型の多孔管はスプリンクラと比較して散布時の水勢が弱く、散布効率は風速変化の影響を受けやすい傾向がある。また、散布効率を上げるためには個々の機材の特性に応じて重複範囲を決定する必要がある。露地ほ場（愛知県）の事例では、平均風速が0～1.5m/s と2.5m/s の場合で散布効率を比較したところ、風速増によって散布効率は割合にして約12%減少した。
- ③ スプリンクラに比べて、散水型の多孔管は移動・再配置し易く、風向・風速に応じて重複

範囲を変えることが可能である。

これらの特徴から、散水型の多孔管による降雨状散水を行う場合は、風速に影響を受けやすい一方で、それに対応した配置の変更等が比較的容易であることから、ほ場の状況に応じて柔軟に運用することが望ましい。

23.3 水理設計の基本

マイクロかんがいに係る施設の計画に当たっては、散布支管を基本単位として水理設計を行う。散布支管に取り付けられる各エミッターの流量の均等性は、変動係数を指標として評価する。

散布支管より上流側に配置される管の一般的な水理については、ヘーゼン・ウィリアムズ式を用いて通常の管水路として設計する。

(1) 水理設計の基本単位

水理設計の基本単位は、図-23.1 に示すように給水管に接続される個々の散布支管とする。なお、給水管の上流端に定圧弁が配置され、給水管に接続される全ての散布支管が同時に作動される場合には、水理設計の基本単位は散水ブロックとすることが望ましい。しかし、給水管の口径を散布支管に比べて十分大きくしておけば、給水管の損失水頭を極めて小さく抑えることができるため、給水管に沿った水圧のばらつきを考慮する必要がなくなる。したがって、定圧弁が給水管の上流端に配置される場合でも、水理設計の対象は散布支管だけとする。

(2) エミッターの流量の変動係数

作物の品質を一定に保つためには、散布支管に取り付けられる各々のエミッターの流量が同一であることが望ましい。しかし、一般には、種々の要因により同一とはならない。散布支管に沿ったエミッターの流量のばらつき（変動量）を変動係数（ q_{cv} ：変動係数＝標準偏差／平均値）で表し、均等性の評価及び水理設計の指標とする。エミッターの流量の変動係数は、0.10 以内（ $q_{cv} \leq 0.10$ ）が望ましい。

24. 地表かんがい

(基準 3.4.2 関連)

24.1 うね間かんがい

(1) かんがい計画

ア. 適正ほ場流入量の決定

うねの長さ方向のかんがい水深差を少なくするためには、ほ場の上下流端でのかんがい時間差を少なくすればよい。すなわち、うね間への適正ほ場流入量とは、土壌侵食を起こさない範囲内での最も大きな流入量をいう。最大流入量は、ほ場の下流端まで水足を到達させると、それ以後はインテークレートの低下に応じて流入量を切下げ、ほ場下流端からの越流損失を防ぐ必要がある。ただし、インテークレートが長時間にわたって漸減し続けるのに対して、流入量を連続的に切下げることは実際上不可能であり、一般には流量切下げを 1～2 回行うことが多い。

うね間の流速を支配するのは主として、うねの勾配と 1 うね当たりの流量であり、計画に当たっては、与えられた勾配のうね間に実際に通水して、上流部で浸食の模様を調べた上で、最大流量を決定する。表-24.1 に最大うね間流量の一例を参考に示す。

表-24.1 うね間勾配 1% に対する最大うね間流量

土 質	うね間流量
火山灰土	0.8 L /sec
砂 質 土	0.9 "
壤 土	0.8 "
埴 質 土	0.6 "

(旧愛知用水公団の資料による。)

うね間勾配が異なる場合は、1%のときの数値に次の表-24.2 に示す修正係数を乗じて求める。

表-24.2 勾配別流量修正係数

うね間勾配 (%)	0.25	0.50	0.75	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00
流量修正係数	1.4	1.2	1.1	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8

(旧愛知用水公団の資料による。)

イ. うね間の水足の速さとうね間インテークレートの決定

うね間かんがい設計の基礎データとして、実測により、うね間の水足の速さとうね間インテークレートを決めなければならない。測定は、ほ場の土壌水分が要かんがい期に近い状態のときに行うものとする。

(ア) うね間の水足の速さ

うね間を水が流れていくとき、その先端の速さを水足の速さとよぶ。これはうね間の勾配、形状、給水量及びうね間インテークレートの影響を受ける。また、うねの管理状態によって

も異なってくる。

a. 水足の測定

- ① 試験うねとして、その地区の平均的勾配のうねを選び、うねの中の土くれなど流量の障害になるものを除いて、5m おきに標識を立てる。うねの始端には小型パーシャルフリューム又は三角堰を設けて流入量を計れるようにする。
- ② 最大うね間流量以下の4種類位の流量を決め、流量ごとにそれぞれ数本のうねに対して給水し、水足の速さを測定する。
- ③ うね長及びうね間勾配を任意に定められる場合には、試験うね長は25～50m、勾配は原則として0.5、1.0、2.0%の3階級とし、それぞれについて試験を行う。

b. 測定結果の整理

水足の到達距離 (L) と時間 (t) とを両対数方眼紙にプロットするとほぼ直線となる。そこで、次の式 (24.1) により α 及び β を決定する。

$$t = \alpha \cdot L^{\beta} \quad \dots \dots \dots (24.1)$$

ここで、

α 、 β : 水足定数

(イ) うね間インテークレートの決定

技術書「4. インテークレートの調査」による。

ウ. かんがい時間の決定

かんがい所要時間は、うね長、かんがい水量、インテークレート、うね間の水足の速さ等の実測データを用いて次の手順で決めることができる。

長さ L (m) のうね間に D (mm) のかん水深でうね間かんがいをする際の T_f は、次の式 (24.2) で示される。

$$T_f = T + t = \left[\frac{60 \cdot D \cdot (n+1)}{K} \right]^{\frac{1}{n+1}} + \alpha \cdot L^{\beta} \quad \dots \dots \dots (24.2)$$

ここで、

T_f : 長さ L (m) のうね間に深層損失を考慮したかんがい水量を与えるための時間

T : うね間のある一点で、所要のかん水深 (D) (mm) を与えるための時間

t : うね間のある一点に水足が到達するまでの時間

距離 L の点 (末端) までの間での積算浸入量 (D) と、浸入に要する時間 (T) との関係は、前述のうね間インテークレート $I = K \cdot T^n$ を積分することによって得られる。

すなわち、

$$D = \frac{1}{60} \int I \cdot dT = \frac{K}{60 \cdot (n+1)} \cdot T^{n+1} \quad (\text{mm}) \quad \dots \dots \dots (24.3)$$

したがって、所要のかん水量 D (mm) を浸入させるための必要時間は、

$$T = \left[\frac{60 \cdot D \cdot (n+1)}{K} \right]^{\frac{1}{n+1}} \quad (\text{min}) \quad \dots \dots \dots (24.4)$$

この浸入時間は、水足が末端に到達してからのものであるから、これに水足到達時間

$t = \alpha \cdot L^\beta$ を加えた T_f が全所要時間となる。

エ. うね長及びうね幅の決定

(ア) うね長の決定

うね間かんがいでは、うね長はかんがいの適用効率、耕土の保全等により制約を受ける。

最大許容うね長は、土壌侵食や大きな深層損失等を伴わずに水足が到達し得る長さであって、うね間流量が大きいほど、また、インテークレートが小さいほど長くなる。

1 回の水配分の労働効率を向上させるためには、うね長は長いほどよいが、かんがいの適用効率との関係で限度がある。図-24.1 は、ある土性と勾配をもったうね間に、種々の流量で水を流したときの、経過時間と水足の到達距離との関係を示した図である。仮に b (L/min) を超える流量では侵食を生じるものとする。次項で述べる適用効率の関係から $m=4$ (すなわち $t=T/4$) をとるとすれば、許容最大うね長 $L_{\max}$ は図のように表わされる。

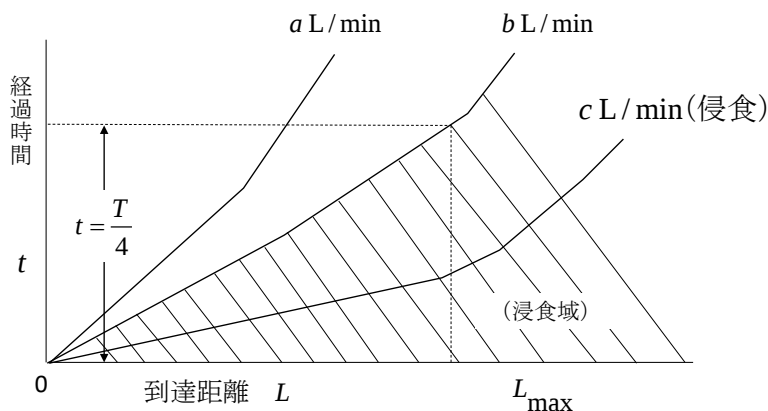


図-24.1 許容最大うね長

表-24.3 は土壌別の許容最大うね長の一例である。保水力が小さく、インテークレートが大きい砂土の最大うね長は 10m 以下であるため、かんがい労力の点からみてうね間かんがいの適用は困難である。

表-24.3 土壌別許容最大うね長の例

土 壌	根群域深	1 回のかんがい水量	最大うね長
砂 土	40 cm	16 mm	4 m
火山灰土	40 cm	44 mm	29 m
砂 壤 土	40 cm	34 mm	36 m
壤 土	40 cm	38 mm	99 m
埴 土	40 cm	44 mm	121 m

注) うね間勾配はいずれも 10%

(イ) うね幅の決定

うね間かんがいでは、かんがい後に浸入水がうねの横断方向にどう分布するかを考慮しなければならない。すなわち、かんがい水が側方にも浸入して、根群域がこの浸潤域に十分含

まれるような間隔のうね幅とする必要がある。

均一の土壌からなるうね間に水を与えたときのおおよその形は図-24.2 のようになり、埴壌土では横方向への浸入もかなりあるが、砂質土の場合には下方への浸入が主となる。したがって、砂質土では、うね間かんがいの場合、うね幅をあまり広くできない一方、深層への損失を防ぐためには、断面に一度に与えられる水量にも制限を生じることから、うね間かんがいは好ましいものとはいえない。いずれにせよ、設計に当たっては、うねの一部（約 50cm）を仕切って所要水量だけ湛水し、水の横断方向の浸入の模様を調べ、深層損失を少なく抑えるように、1 回に与える水量を決める。作物が成長したときの根群域が浸潤域に含まれないような広いうね幅の場合は、通水位置を作条に近づける必要がある。

実験的に得た最大のうね幅の一例を図-24.3 に示す。

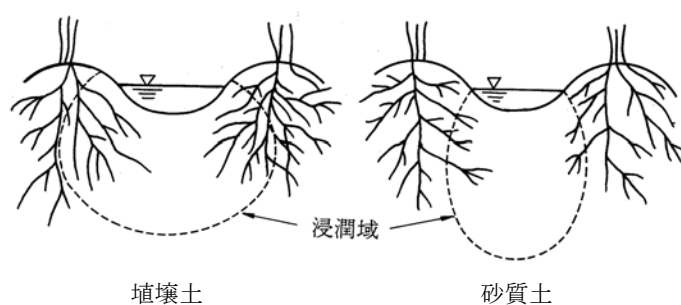


図-24.2 うね間の横方向浸潤

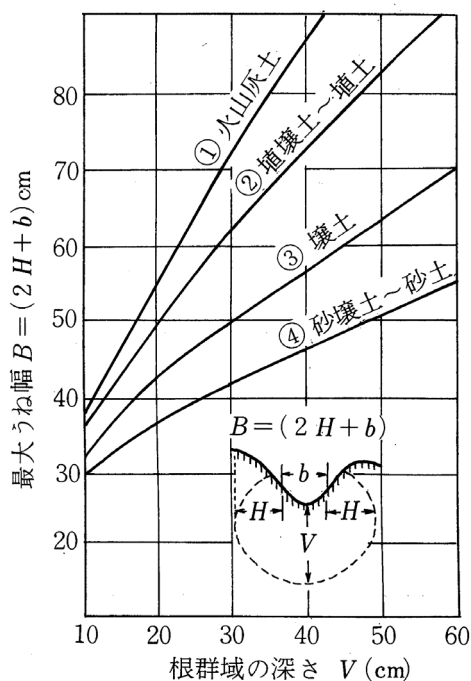


図-24.3 根群域の深さと最大うね幅の関係

（旧愛知用水公団の資料による。）

オ. かんがい効率

ほ場内におけるかんがい効率の概念としては、かんがいされた水のうちのどの程度が根群域内に貯留されて作物に用いられたかという割合を示す適用効率がある。計画に当たっては、うね間かんがいの場合、適用効率が70%以上となるように定めるものとする。

かんがい水をうね間に流入させ、 t 分後に末端まで到達したとする。末端でかんがい水が土中への浸入を開始したときには、既に始端では t 分間にわたって浸入が続いていたわけである。

図-24.4において、末端で D (mm) の浸入水深を得るのに T 分を要するならば、始端での浸入時間 $(T+t)$ 分であるから、そこでの浸入量 D' は、次の式(24.5)のように示される。

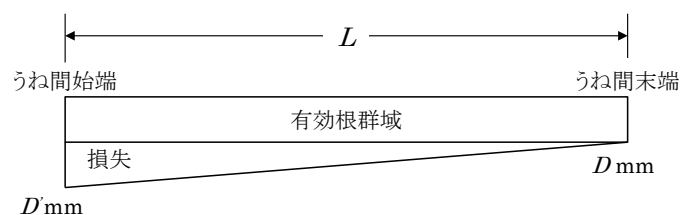


図-24.4 うね間かんがいの損失水量

$$D' = \frac{K}{60 \cdot (n+1)} \cdot (T+t)^{(n+1)} \quad (\text{mm}) \quad \dots \dots \dots (24.5)$$

したがって、転換畑のようにほ場が水平で、ほ場の下流端を締め切るにより、越流損失を防ぐことが可能な場合の適用効率 E_a は次の式(24.6)で示される。

$$E_a = \frac{D}{\frac{1}{2} \cdot (D' + D)} \times 100 = \frac{200 \cdot D}{\frac{K}{60 \cdot (n+1)} \cdot (T + \alpha \cdot L^\beta)^{n+1} + D} \quad (\%) \quad \dots \dots \dots (24.6)$$

有効根群域から下方へ浸透した水の割合を、うね間かんがいでは、深層損失(W_L)とよび、次の式(24.7)で示される。

$$W_L = (1 - E_a) / 100 \quad \dots \dots \dots (24.7)$$

実際のうね間かんがい作業を考慮して、一般には、 T/m 時間にかんがい水がうねの末端に達するような方法を用いる。すなわち、このときは $t = T/m$ で、 m の値は土壌のインテーク定数 K 、 n によって定められる。

いま、

$$D = \frac{K}{60 \cdot (n+1)} \cdot T^{n+1} \quad \text{において} \quad \frac{K}{60 \cdot (n+1)} = C \quad \text{とおくと}$$

浸入水深(D)は、次の式(24.8)のとおりとなる。

$$D = C \cdot T^{n+1} \quad \dots \dots \dots (24.8)$$

図-24.5において、 t 分後の浸入水深はA点で D_1 、B点でゼロであり、 $2t$ 分後にはA点で D_2 、B点で D_1 となる。したがって、 mt 分後の浸入水の分布はA点で D_m 、B点で D_{m-1} 、 $(m+1)t$ 分後にはA点で D_{m+1} 、B点で D_m の水深となる。

すなわち、次の式 (24.9) のようになる。

$$\begin{aligned} D_{m+1} &= C \cdot \{(m+1) \cdot t\}^{n+1} = C \cdot t^{n+1} \cdot (m+1)^{n+1} \\ D_m &= C \cdot (m \cdot t)^{n+1} = C \cdot t^{n+1} \cdot m^{n+1} \end{aligned} \quad \dots \dots \dots (24.9)$$

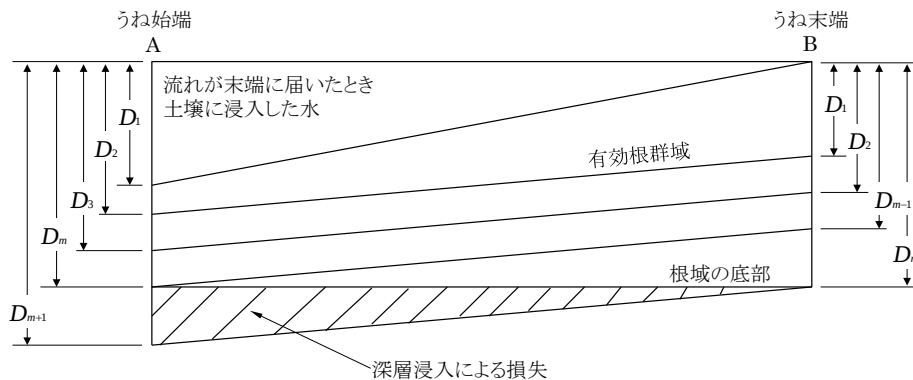


図-24.5 うね間かんがいの適用効率

したがって、適用効率 (E_a) は次の式 (24.10) のようになる。

$$E_a = \frac{D_m}{\frac{1}{2} \cdot (D_{m+1} + D_m)} \times 100 = \frac{2 \cdot m^{n+1}}{(m+1)^{n+1} + m^{n+1}} \times 100 \quad \dots \dots \dots (24.10)$$

この模様を描いたものが図-24.6 である。

m が大きくなるにつれ、流量が大きくなり侵食が起こりやすくなるので、 m はあまり大きくとらない方がよく、経験的には3~4が適当である。

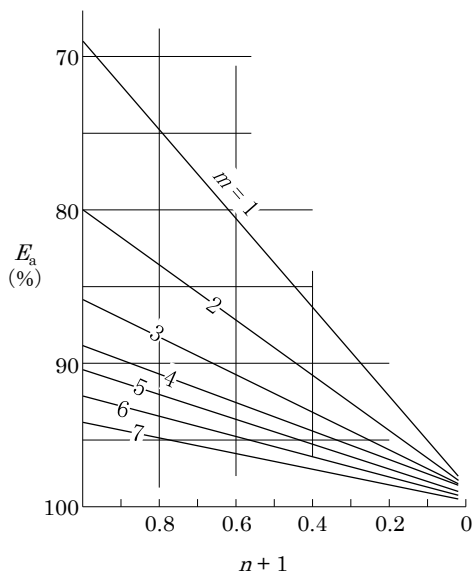


図-24.6 適用効率計算図表

「24.1(1)ア. 適正ほ場流入量の決定」で述べたとおり、インテークレートの低減に応じて流入量の切下げを行うことは実際上困難である。

したがって、土地条件に応じた越流損失を実験的に明らかにしておき、深層損失水量と合わせた水量を適用効率の対象にとらざるを得ない。

(2) 末端水路の計画

ア. 給水組織

うね間かんがいにおける末端水路断面の大きさは、効率的なかんがいを行うのに必要なほ場流量によって決められる。ほ場流量は、所要かんがい水量をある適用効率の範囲で流すのに必要な流量と、同時に省力的にかんがいできるうね間数で求められる。これまでの検討によれば水管理操作上、好都合なほ場流量は最低 5~10 L/s とされており、それにローテーションブロック内での同時取水箇所数を乗じたものが、末端水路の組織容量となる。給水栓の間隔は土地条件によって若干異なるが、通常は、最低 1 畝区に 1 か所は必要である。1 畝区の区画が 30×100m で短辺沿いに水路が通っているとすれば、給水栓間隔は 30m となる。樹園地のように不定形な区画でも、最大 100m 間隔には設置すべきと考えられる。

傾斜地で、等高線うね間かんがいをするときは、水路は傾斜方向に通ることが多いので、管路では下流側が高圧となる。このような場合は、水圧調整構造物を途中に設けて、給水栓に過大な圧力のかかることを防がねばならない。給水栓構造物の例を図-24.7、水圧調整の例を図-24.8 に示す。

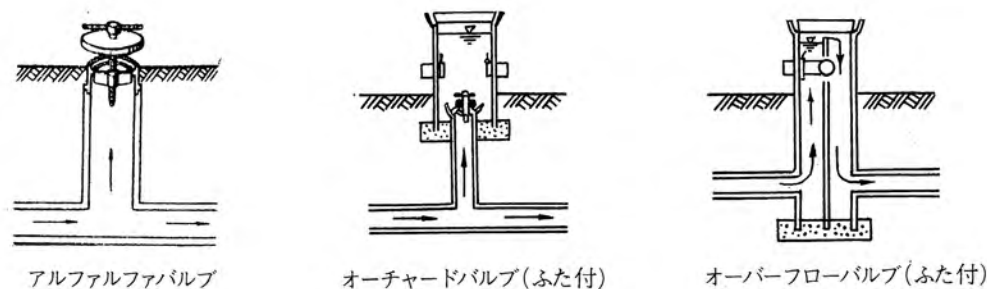


図-24.7 給水栓構造物の例

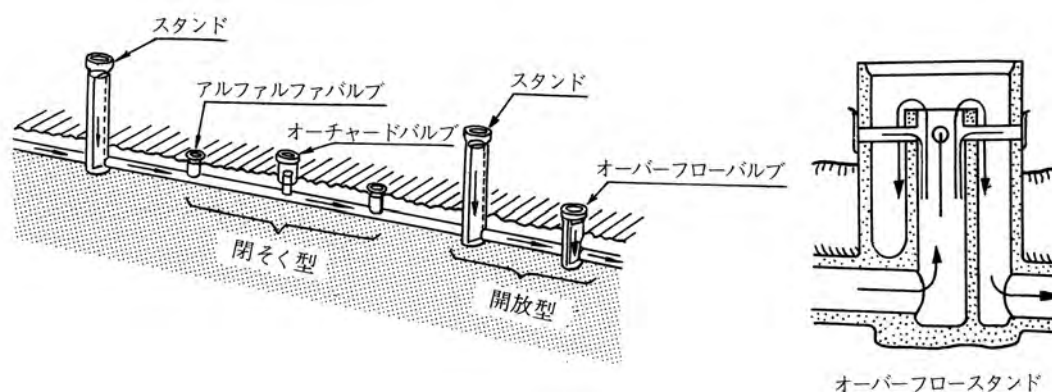


図-24.8 水圧調整の例

イ. うね間かんがい用施設

(ア) 配水施設

ほ場への配水施設は、用水の配分操作が容易で、水路施設によるつぶれ地が少なく、管理作業の障害にならないものがよい。したがって、一般には開水路より埋設管路が優れているが、作物及び土地条件からみて地表かんがいを効率的に行える場合には、開水路の検討も忘

れてはならない。

a. 開水路方式

うね間かんがいの末端給水路として土水路やコンクリート製フリュームを用いる場合には、ほ場面と 15～20cm 以上の落差を付けておけば、スライドゲート、サイホン等でうね間への取水が容易である。ほ場利用計画を事前に十分検討してつぶれ地や作業上の障害物を少なくしておく必要がある。

b. パイプライン方式

開水路に比べて工事費が嵩むが、維持管理が容易で、地形の制約を受けず、配水制御を精度よく省力的に行える。構造上クロズド式とオープン式とがあるが、うね間かんがいには施設費の安い低圧のオープン式水路で十分である。オープン式は、オーバーフロースタンドやフロート弁等の調圧構造物を用いて平坦地では 5m 以内、傾斜地でも 10m 以内に減圧すべきである。

(イ) うね間への取水装置

開水路から取水するサイホンは、塩化ビニルのほか、ゴム等で作られている。口径によって流量調節ができるが、とう性管の流量は理論値とかなり異なる場合がある。箱といやサイホン等で副水路に取り入れたのち、土管や竹筒によって複数のうね間を同時にかんがいする方法もあるが、いずれの場合でも給水路下流側を堰止めることにより越流水位を一定にする必要がある。

パイプラインの場合には、開放式給水栓、オーバーフロー型給水栓、アングル弁等の立上りにスライドゲート付パイプ、有孔ホース、ゲート付フリューム等を接続して各うね間へ取水する。いずれもうね幅に合わせて孔が設けられており、流量調節が可能である。

(ウ) 量水装置

開水路で落差が十分な場合は、流量に応じて各種の堰が用いられ、平坦な開水路ではパーシャルフリューム又はクリティカルフローメータが一般に用いられる。いずれの場合でも設計どおりの接近速度が得られるような維持管理が必要である。パイプラインの場合には回転翼式量水計が広く用いられる。

24.2 ボーダーかんがい

ボーダーかんがいは、耕地を低い畦畔で細長く帯状に区切り、一定の勾配を付けて水を低いうね間又は周縁間のボーダーストリップを薄層流として全面流下させ、土壤中に浸潤させる方式である。うね間かんがいに比べてかんがい労力は少ないが、その反面、大きな流量を要するのが特徴である（図-24.9）。

条播される雑穀類や陸稻の場合は 4%以下の傾斜地に、芝生状の牧草地では 6%以下の傾斜地に適用される。周縁のうねはかんがい水が越流しない程度の高さを必要とするが、あまり高すぎて、農耕用機械の運行に支障を来さないようにする必要がある。ほ場流量が 30～50 L/s の場合には、高さ 15cm、幅 40～60cm くらいが適当である。

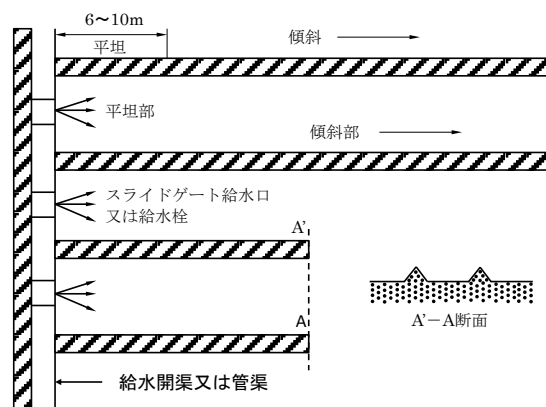


図-24.9 ボーダーかんがいの一例

(1) かんがい計画

ア. ほ場流入量の決定

ボーダーかんがいの設計に当たっては、1区画のほ場への給水量を慎重に定めないと、末端まで均等に水を行き渡らせることができない。ほ場流入流量はインテークレートと掛流し試験を行い、次の式(24.11)から求める。

$$Q = \frac{100 \cdot A \cdot I}{\left(\frac{I - 10 \cdot S \cdot h}{\mu \cdot c} \right)^{1/n}} \quad \dots \dots \dots (24.11)$$

ここで、

Q : ほ場流入流量 (L/min)

A : 区画面積 (a)

I : 1回のかん水深 (mm)

μ : 水足進行の均等指数

砂質土で 0.5～0.6、壤土で 0.6～0.7、粘質土で 0.7～0.8 の値をとる。

h : 水口の湛水深 (cm)

普通 5～10cm をとればよい。

S : 湛水の型によって実験的に定まる係数

勾配 1/1,000、流量 70～90 L/min (幅 1m 当たり) で 0.6、勾配 0、流量 60～120 L/min (幅 1m 当たり) で 0.7～0.8 の値をとる。

ただし、うね間かんがいの場合と同じく、積算浸入特性と水足進行特性の形は、それぞれ次の式(24.12)のように表わされるものとする。

$$\begin{aligned} D &= c \cdot T^n \\ t &= \alpha \cdot L^\beta \end{aligned} \quad \dots \dots \dots (24.12)$$

ここで、

D : 積算浸入量 (mm)

T : 浸入に要する時間 (min)

L : 水足進行距離 (m)

t : 水足先端が先行するのに要する時間 (min)

c, n, α, β : 実験定数

また、 μ の値は水足進行の一般形として、次の式 (24.13) のように表わされる。

$$\mu = 1 - \frac{n}{\beta + 1} \quad \dots \dots \dots (24.13)$$

アメリカでは、土壌構造とベーシックインテークレートから、図-24.10 のようなほ場の単位幅当たり流入量を示している。

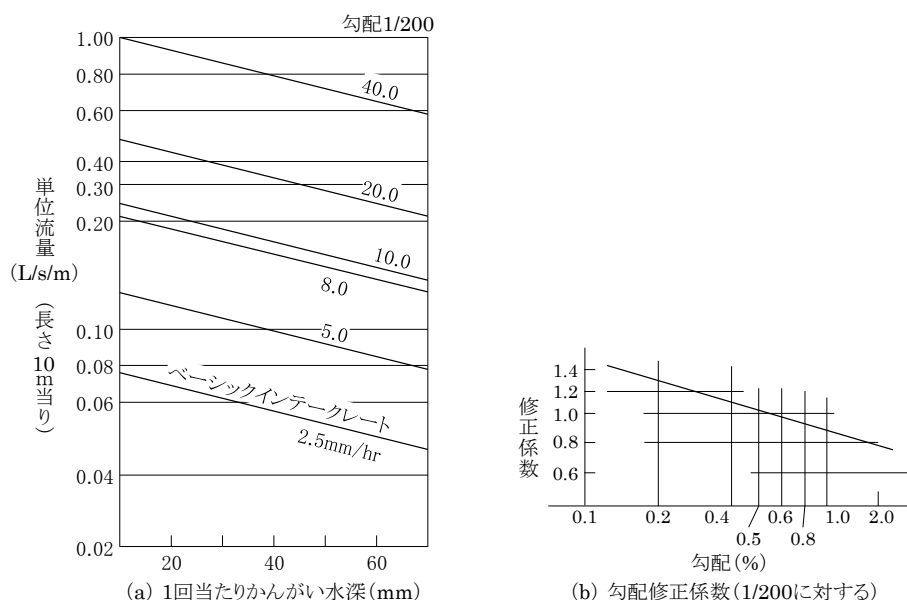


図-24.10 単位流量算定図表

イ. 区画の幅と長さ

区画の幅は利用される流量の大きさ、土地の傾斜、整地の程度、作業機の種類等で決まるが、これを主としてかんがい勾配との関係で示したものが表-24.4 である。

区画の長さは、主にかんがい勾配と流量によって決定される。できるだけストリップの上端から下端までを均一にかんがいすべきであり、インテークレートによってほ場別に決定すべきである。一般には区画内の全ての地点で根群域の 80%以上を湿潤にすべきである。

表-24.4 勾配別限界周縁幅

かんがい勾配 (%)	周縁幅 (m)
0～0.1	36
0.1～0.5	18
0.5～1.0	15
1.0～2.0	12
2.0～4.0	9
4.0～6.0	6

(2) 末端水路の計画

ア. 配水施設

末端給水路の間隔は、一般にはボーダー長さに等しくし、ほ場下流端には排水路を設けてお

くことが望ましい。開水路からの取水においては、水位を一定に保つため水路内にチェックゲートや可搬式止水板を設ける必要がある。

イ. 取水装置

各ボーダーストリップ当たりの流入量が大きいため、給水栓は一般にアルファルファバルブや金属製大口径サイホンが用いられ、コンクリート水路の側面にスライドゲート付き欠口を設けたりすることがある。給水管路からの取水にはアングル弁付の給水栓が用いられるが、圧力水のため、流水による水口の土壌侵食に対する考慮が必要である。

ボーダー幅は、横断方向のほ場勾配によって規制されるため、各ほ場当たり 1～2 か所の割合で給水栓を設けると仮定すれば、前項で述べたように、給水栓の間隔もほ場の横断勾配により異なることとなる。ただし、転換畑等のように水平に近い大区画ほ場でも流水の広がりを均一化し、水口の土壌侵食を防止するため給水栓の配置間隔を 30～40m 以上として流入量を大きくするのは好ましくない。

25. 肥培かんがい

(基準 3.4.2 関連)

25.1 肥培かんがい施設の概要

肥培かんがいには、でんぷん廃液を利用するものもあるが、ここでは、今後の事業の多くを占めると考えられる家畜ふん尿を利用するものについて述べる。

肥培かんがいを行うには、図-25.1 に示したような諸施設が全体施設系としての機能を最も大きく発揮するため、次の諸点に関する検討が重要である。

- ① スラリーの物理性を考慮した搬送・施用施設の設計
- ② 諸施設の規模及びほ場面積当たり排泄量が量的及び収支的にバランスのとれたものであること。
- ③ ふん尿を施用する量及び方法が環境保全的であること。

なお、尿の物理性及び流動性は清水とほとんど同じであるため、施設設計及び資器材の選定は清水の場合に準じてよい。したがって、以下の記述は原則としてスラリー状の場合を対象とする。

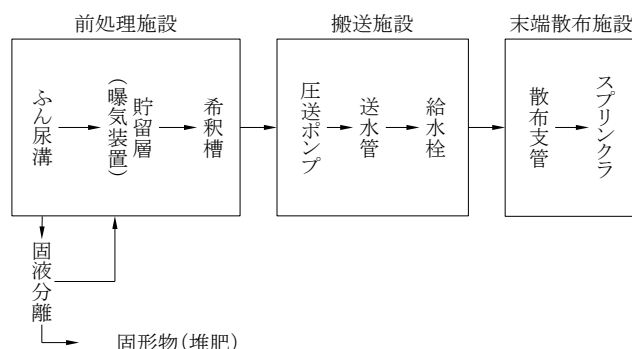


図-25.1 家畜ふん尿かんがいの基本的な施設系

25.2 前処理施設

(1) ふん尿溝

ふん尿溝の構造としては、水洗式、自然流下式、ストッパ式等があるが、計画に当たっては、飼養規模、貯留槽への搬入労力及び施設規模との関係を事前に検討しておく必要がある。

(2) 貯留槽

貯留槽の有効容量（ V_1 ）（ m^3 ）は次の式（25.1）から得られる。

$$V_1 = (a \cdot s + b) \cdot n \cdot d \quad \dots \dots \dots (25.1)$$

ここで、

a : 1日1頭当たりの排泄量（ m^3 ）

s : 舍内排泄率 = $\{24 - (\text{舍外時間})\} / 24$

b : 水洗式の場合の1日1頭当たり洗浄用水量（ m^3 ）

n : 家畜頭数

d : 最大貯留日数（day）

ただし、排泄直後のふん尿の密度は約 1.0（0.97）である。

(3) 希釈槽

管路搬送に当たっては、搬送施設機能及び作物生理に障害を与えない濃度までスラリーを希釈調整する必要がある。

希釈方式には、希釈槽方式及びポンプ混入方式（混入弁）がある。希釈槽方式は、希釈精度及び維持管理の面からは有利であるが、施設費は嵩む。ポンプ混入方式は、ポンプの吸水側あるいは吐出側で水ライン、スラリーラインの流量を弁操作によって調整・混入するもので、施設費は低廉であるが希釈精度は若干劣る。いずれを採用するかは規模、施用体系、対象作物等を勘案し、比較検討の上決定する。

希釈槽の容量は、日最大散布量から定まる。一般には作物の必要度から散布量を期別に変化させるので、有効容量（ V_2 ）（ m^3 ）は次の式（25.2）から求められる。

$$V_2 = \frac{M \cdot d \cdot \alpha \cdot A}{D} \quad \dots \dots \dots (25.2)$$

ここで、

M ：年間 ha 当たりふん尿処理量＝ $365 \cdot a \cdot s \cdot n / A$ （ m^3/ha ）

d ：期別ふん尿処理率＝期別ふん尿処理量/ M

α ：希釈倍率（スラリー濃度が、作物の生長、かくはん、散布及び管路搬送に支障を来さないよう定める。）

A ：かんがい面積（ha）

D ：期別散布可能日数（気象条件、労力配分等を考慮して定める。）（day）

ただし、ここでの期別とは、各期別のふん尿処理量を期別ごとの散布可能日数で除して求めた日散布量の最大となる期別をいう。

なお、施設費の面から日定量散布方式をとる場合は、年間散布可能日数を N として上式の d/D を $1/N$ として求める。

25.3 搬送施設

(1) 管路設計

ア. 水理設計の手順

水理設計は次の手順で行う。

- ① 設計流速を定める。
- ② スラリー濃度を定める。
- ③ 設計流速及び計画流量から最も経済的な管径を定める。
- ④ 計画区間の高低差に対し、設計上の摩擦損失水頭及び各種の損失水頭を計算し、ポンプの必要揚程を定める。

イ. 具体的な手順

以上の手順を具体的に示せば次のとおりである。

- ① スラリー搬送に当たっての設計流速は、水撃圧の軽減、懸濁物質の沈殿、分離を考慮し、通常は $0.5 \sim 1.5 \text{m/s}$ を標準とする。
- ② スラリーの希釈倍率は、肥効及び水分補給の必要性を考慮して決めるが、その範囲は一般には $3 \sim 7$ 倍とする。ただし、 7 倍以上の場合の流動特性は清水の場合と同様に扱って差し支えない。

- ③ スラリー搬送では、損失水頭を小さくするため一般に乱流状態が好ましく、ヘーゼン・ウィリアムス公式における C 値は清水に対して 1.0 倍（密度 1.006、希釈倍率 7 倍程度に相当）～1.5 倍（密度 1.016、希釈倍率 3 倍程度に相当）をとればよい（図-25.2～4 参照）。

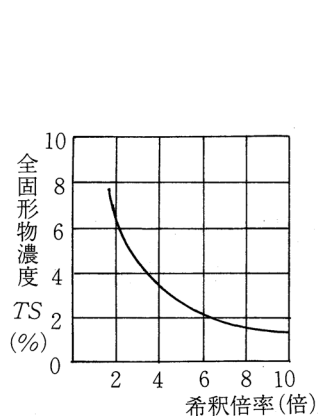


図-25.2 TSと希釈倍率との関係

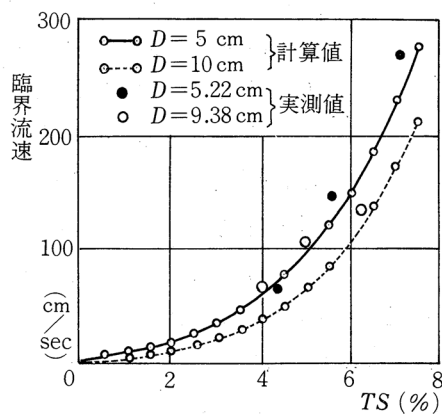
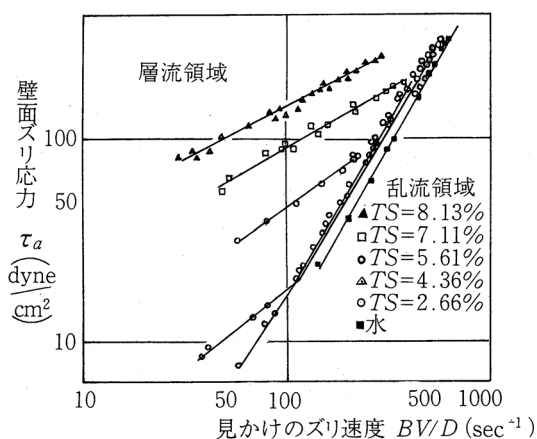


図-25.3 臨界流速とTSとの関係

図-25.4 牛ふんスラリーの流動曲線（ $D=5.22\text{ cm}$ ）

(2) 肥培かんがいにおける組織容量

ア. 末端組織容量

希釈槽（ポンプ混入方式の場合は混入弁）からほ場までの肥培かんがいにおける組織容量は次の式（25.3）で与えられる。

$$Q_1 = \frac{M \cdot d \cdot \alpha \cdot A}{3,600 \cdot T_1 \cdot D} \quad \dots \dots \dots (25.3)$$

ここで、

Q_1 : 末端組織容量 (m³/s)

T_1 : 1日の実散布時間 (hr)（散布以外の作業体系も考慮して決定する。）

なお、日定量散布方式をとる場合は、上式の d/D を $1/N$ として求める。

肥培かんがいは、窒素を中心とした物質循環体系、末端散布作業、スラリー搬送上の

技術等を総合的に検討して計画される。したがって、必要水量もそれら諸条件によってさまざまな拘束を受ける。時期別に必要な水量は、一般に春先の生長促進期又は水分補給の必要性が大きい夏期に最大となる。

イ. 配水組織容量

ファームポンドから下流側の組織容量は次の式 (25.4) で与えられる。

$$Q_2 = \frac{M \cdot d \cdot (\alpha - 1) \cdot A}{3,600 \cdot T_2 \cdot D} \cdot \frac{1}{E_m} \quad \dots \dots \dots (25.4)$$

ここで、

Q_2 : 配水組織容量 (m^3/s)

T_2 : 1 日の通水時間 (hr)

洗浄、希釈等の作業体系から決定

E_m : 搬送効率 (0.90~0.95)

なお、日定量散布方式をとる場合は上式の d/D を $1/N$ として求める。

また、ファームポンドから上流側の組織容量は 24 時間通水を原則とするので、上式において $T_2 = 24$ として求める。

ウ. ファームポンド容量

肥培かんがいにおけるファームポンド容量は次の式 (25.5) で与えられる。

$$V = 3,600 \cdot Q_2 \cdot (24 - T_2) \quad \dots \dots \dots (25.5)$$

ここで、

V : ファームポンドの有効容量 (m^3)

Q_2 : ファームポンド上流側の送水組織容量 (m^3/s)

(3) 配管計画

スラリーは、化学性、物理性、流動特性とも一般農業用水と本質的に異なるので、資器材の選定、工法については特に留意し、搬送機能に障害が生じないように努めなければならない。

- ① ほ場へのスラリー搬送は表-25.1 に示した方式に大別される。計画に当たっては、地形、施設費及び維持管理の面から総合的に比較検討しなければならない。
- ② 管種は、特殊な設計条件でない限り入手が容易で、かつ経済的な市販品を用いる。管種の選定に当たっては特に次の事項について留意する。
 - a. 内面粗度が小さく、スケールの付着がないこと。
 - b. 耐食性に優れていること。

表-25.1 スラリーの搬送方式

区分	条件	利点	設計上の留意事項
ポンプ直送方式	平坦又は緩傾斜地、特殊な条件でない限りこの方式を採用	維持管理、運転操作が容易	水頭及び流量の合理的な配分、流量制御方式、水撃圧等の検討が必要
ポンプ二段加圧方式	急傾斜への圧送、高低差が大きく、揚程が著しく大きくなる地形で採用	直送方式に比べポンプの全体出力が小さくてすみ、かつ、高压管が不要	同上
自然圧方式	基地が高位部にあり、必要水頭が十分確保できる地形で採用	維持管理が容易	末端圧力調整施設、通気施設、水撃圧について検討が必要

(草地開発事業計画設計基準による)

(4) ポンプ設備

ポンプ設備の計画に当たっては、対象流体の特性を十分検討し、効率的なポンプ型式を選定しなければならない。

現在広く普及しているポンプの特性から、ふん尿の性状に対する適応性を整理したものが表-25.2である。ポンプは、それぞれ構造及び機能により対象流体に対する適応性が異なるため、特徴を十分把握しておくことが大切である。

表-25.2 ふん尿用ポンプの種類と適用

種 類		ふん尿適用範囲		特 徴
		含水比 (%)	乾物率 (%)	
汲み上げ移送用	尿ポンプ 〔バキューム式 うず巻式〕	2,500 以上	4 以下	主として尿又はふん尿混合物を 3 倍以上の水で希釈したものを対象とする。
	スラリーポンプ うず巻式 〔ローター式 (ヘリカル ローター、ルーツ)〕 ピストン式	— 2,000 以上 1,000~2,000	— 5 以上 5~10	ふん尿混合物で濃度の比較的高いものを対象とする。
	カッターポンプ うず巻式 〔ナイフ受刃付き ナイフ付き〕	2,000 程度	5 程度	稲わら、乾草くず等の長大きょう雑物を切断し、流動物とともに圧送する目的でポンプに切断装置を取り付けたもの。
かくはん用	かくはんポンプ (うず巻式)	1,000~2,000	5~10	槽内に発生するスカム、沈殿物等をかくはん混合して物理的に均質化して搬送の効率を向上する目的で使用されるもの。

(草地開発事業計画設計基準による)

(5) 給水栓

給水栓にはスラリー用弁を用いる。一般の畑地かんがい施設に用いるアングル弁、スルース弁は機能障害のおそれがあるので注意を要する。また、ライザー管は構造上の強度を確保するため铸铁管、鋼管 (内面ライニング) を用いる。さらに、寒冷地では凍結防止のため、給水栓内のスラリーを除去するドレーン施設を設ける。

25.4 散布方式

末端散布は、原則としてスプリンクラ方式とする。スプリンクラ方式には移動式、定置式、自走式がある（表-25.3）。いずれを採用するかは、地形、労力配分、経済性の面から比較検討して決定する。

25.5 環境保全対策

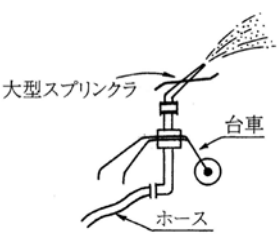
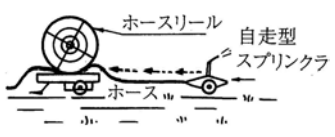
(1) スプリンクラ散布での汚水粒子の飛散

環境保全上合理的な散布方法は、スプリンクラの水圧を低圧とし、かつ、低仰角で散布することである。また、強風が発生する地域では強風下での散布を控えるとともに、遮断のための防風林帯の設置が有効である。防風林帯は、高さ 3～4m 以上、幅 7～10m 以上であることが望ましい。このような配慮をすることにより、集落近傍を除く広域畑地、牧草地等ではふん尿飛散による公害発生の防止が可能と考えられる。

(2) ふん尿の表面流出

化学肥料に比べてふん尿が特に流出しやすいことはない。また、牧草地では保水力及び浸入度が一般に大きく、かつ、養分吸収作用があるので、傾斜地の場合は傾斜下方に幅 10m 程度の無散布の緩衝帯を設けると、ふん尿流出の防止上極めて効果的である。

表-25.3 ふん尿のスプリンクラ散布方式

タイプ	散布方法	適用条件・労力等	施設費	その他
移動式	 給水栓より可搬式パイプあるいは耐圧ホース等により、台車に取り付けられた大型スプリンクラまで導水し、単体で散布を行う。散布後は台車とともに次の散布地点まで人力で移動を行う。ホースの延長距離は、ホースの移動労力面からみて100m程度が限界である。	最も一般的な方式で全ての地形・規模に適用可能。移動に労力を要す。可搬式パイプはホースに比較し移動が容易であり移動に伴う汚物感が少ない。	全体的に施設費は小さい。可搬式パイプの場合はホースに比較して大きい。	ふん尿散布の場合、集落近傍では環境保全対策が必要である（低圧、低角度散布）。
定量式	 大型スプリンクラの配置間隔に合わせたライザー管に、1日の散布作業に見合った数の大型スプリンクラを全て固定する。同日の散布作業は弁の切換えのみで行い、翌日は大型スプリンクラのみを次の散布ブロックのライザー管に移動して同様に散布作業を行う。通常同時に運転する大型スプリンクラの数は1～3個程度である。	比較的規模の大きい牧草・飼料畑のふん尿還元、かん水に適す。最も省力的な方式であり、ふん尿散布の場合移動が伴わないので汚物感がない。 ライザー管は一般に1haに1箇所程度となるので道路沿等に設ければ機械作業には、さほど障害を与えない。	他の方式に比較して大きい。	①同上 ②組織容量がある程度大きくないと省力化の割合が少ない。
自走式（リールタイプ）	 セミフレキシブル導水ホースが流体力（スラリーの場合は補助エンジン）によってリールに巻き取られ、ホースの末端に取り付けられた大型スプリンクラが牽引されつつ散布を行う。 大型スプリンクラの全移動距離（ホースの長さ）は200～300mが一般的である。大型スプリンクラの走行速度（かんがい強度）は無段変速が可能である。	平坦あるいは緩傾斜地で最低2ha以上の牧草・飼料畑の団地に適用可能。 ふん尿還元及び水分補給の目的で使われ省力的なタイプである。	器種・タイプによって異なるが施設設計の方法によっては面積当たりの施設費は相当小さくなる	①1回のセットで大面積のかん水ができるので広域かんがいの場合は極めて省力的。ただし、使用水圧が高いため単位面積当たりの所要動力及び運転経費は若干増大する。 ②ふん尿散布の場合は低角度散布用のふん尿専用ノズルを用いる。

（旧農業土木試験場の資料による）

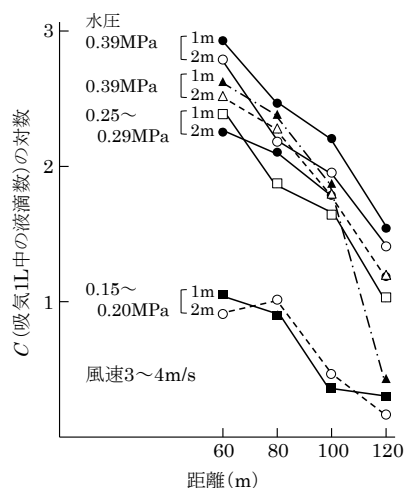


図-25.5 【参考】飛散液滴のてい減（旧農業土木試験場の資料による）

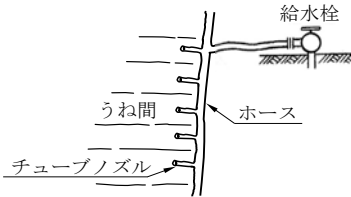
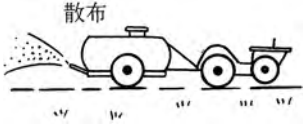
表-25.4 【参考】防風林による液滴の遮断効果

樹種	距離 (m)	受滴高さ (m)	防風林		照度計による 透過率	防風林の状態
			前	後		
ク リ	25	1	C=51.2	C=0	6%	高さ 3.0m
		2	47.0	0.5	67%	幅 6.0m
かん木	45	1	C=108.2	C=0	0%	高さ 3.5m
		2	131.3	0.3	0%	幅 7.5m

注) C : 吸気 1L 中の液滴数

(旧農業土木試験場の資料による)

表-25.5 【参考】ふん尿の搬送方法

タイプ	施用法	運用条件・労力等	施設費	その他
ホースかんがい 	給水栓よりフレキシブルホースにて導水し、うね間かんがい、水盤かんがい等地表かんがい方式によって、液状ふん尿施用を行う。 うね間用には左図に示した資材が開発されている。	地形が単純で起伏の少ない地帯。 末端圧は少なくてよいが比較的大きな流量を必要とする。 施設費は少ないが作業労力は他の方式に比較し大。	最も小	飛沫の発生がないので集落近傍での液状ふん尿等の施用に適する。
ポンプタンカー 	貯留槽又は末端ほ場の給水栓からスラリーをタンカーに充填し、還元地までタンカー搬送を行い、タンカーに装備されたスラリーポンプを駆動し、サイドスプレッド又はリアスプレッドで自走しながらスラリーを散布する。サイドスプレッドの飛散距離は30～50m、タンクの容量は2～4m ³ が一般的である。	平坦地又は緩傾斜地。 スラリーの搬送距離が比較的小さい場合は効率的である(共同利用が可能)。	比較的小	主な使用目的はスラリー散布であるが、その他防除・液肥施用又は水分補給等の末端システムとして多目的に使用される。
スラリーインジェクター 	搬送方式はポンプタンカーと同様。 スラリー施用は、タンカーの後部に装着されたチゼルにより耕土層内に亀裂を作り、走行しながらスラリーを土中に注入するチゼル型、あるいは耕運しながら土中に施用するロータリ型などがある。ロータリ型は主に元肥施用機として用いる。	礫などのない平坦地。 貯留槽から還元地までの搬送距離が近い場合に適す。(共同利用が可能)	同上	スラリー施用専用、土中にスラリーを注入施用するため悪臭・汚物感など生活環境に影響を及ぼさない。

(旧農業土木試験場の資料による)

注) この表は、末端ほ場の給水栓を利用して、スプリンクラ以外の方式により液状、ふん尿の施用を行う場合の例を示す。

26. 末端かんがい施設における調節装置の分類と選定

(基準 3.4.2 関連)

かんがい計画の設定条件に応じて流水量を規制し、適正な配水操作を行うためには、使用条件に適合した調節装置の設置が必要である。

末端かんがい施設における調節装置としては、弁、給水栓、混入器、量水装置等がある。

26.1 弁類

種々の目的に対応する各種の弁類があり、これを利用目的別に大別すると送水系の流量制御を自動的に操作する自動化用操作弁、管路を保全するための装置としての管路保全用弁、肥料、農薬等を散布するときに使用する薬液均等散布用弁等に区分される。

(1) 自動化用操作弁

ア. 電動弁

モータにより開閉する弁であり、比較的大口径の自動弁に採用される。この種の弁は ON-OFF 動作及び比例制御動作をさせることができる。

イ. 電磁弁

末端散布弁として使用され、電磁石にて弁を開閉するものである。

小電力で作動し、農業用のものは流体中の異物及びウォーターハンマを考慮したものが多い。動作は ON-OFF 動作で行う。

ウ. 順次弁

一つの入口と多数（4～10 個）の出口を有する弁である。

動作は、電気信号のパルスにより各出口を順次開閉する手法で行う。

動作は ON-OFF 動作で行う。

エ. 空気操作弁

圧縮空気を動力とし、弁を開閉するものである。

圧縮空気のため、大きな動力が得られ、また構造が簡単になる。

動作は ON-OFF 動作及び比例動作をさせることができる。

オ. 混合電磁弁

施肥、病虫害防除等を目的とした管路において、薬液や液肥を一定の割合で自動的に混合させる電磁弁である。

カ. 残液回収弁

施肥、病虫害防除等の際、管内に残る薬液を回収する施設において、散水電磁弁二次側の残液の圧力を感知し回収管へ回収する弁である。

キ. 凍結防止弁

ライザー管内の凍結を防止するため、ライザー管内の圧力が低下すると、自動的に管内残液を外部へ放出する弁である。

ク. 定流量ストップ弁

量水器とストップ弁が一体となっており、所定流量を流し終わると、自動的に閉となる弁である。なお、所定流量はダイヤルにて任意に設定できる。

ケ. 自動切換弁

各散水ブロックの流入部に取り付ける弁である。量水器とストップ弁が一体となっており、所定流量を通水すると自動的に弁が閉じ、同時に次の散水ブロックへの通水に切り換えることが可能となる。なお、流量はダイヤルで任意に調整できる。

(2) 管路保全用弁

ア. 二次圧力調整弁

いわゆる減圧弁で、使用場所の圧力が高すぎるときや圧力変動が激しいときに減圧して、弁の二次側圧力を一定に自動調整する。

管や機器を高圧から保護するためや、オリフィスとの組合せにより流量を調整するため等に使用される。

ライザー管に使用されるものは定圧弁とよばれることが多い。

イ. 一次圧力調整弁

弁の急閉等により圧力が急上昇する場合や使用量の変動により圧力が安定しない場合に、増圧分に応じた流量を自動排出して一次側の圧力を設定圧力以下に抑える。また、管路中に設置して、一次側圧力が設定圧力以下に下がらないよう、圧力保持の目的にも使用される。

一般に安全弁より連続作動に適している。

ウ. 空気弁

管路中の空気を自動排出し、あるいは管路に自動吸入して空気混入による障害や管路内が負圧になるのを防止する。

エ. 安全弁

安全弁は設定水压では開かないが、異常な高圧がかかると自動的に弁が開き、余剰水を排出して圧力を降下させ、散布支管や機器を高圧から保護する。

(3) 薬液均等散布用弁

ア. 定圧時作動弁

設定圧力を超えると開き、一定圧力まで下がると閉じる構造の弁である。スプリンクラの吐出し始めの時間差や各スプリンクラ間の落差によるボタ落ちによって、散布ムラが生じないように、通水を停止させる目的で各ライザー管に設置して使われる。

同時作動定圧弁、感圧弁、自動ストップ弁等ともよばれる。

イ. 定流量弁

圧力の変動に関係なく常に設定された一定の流量に自動調整する弁である。管路に設けて過大流量の防止、分岐点での適正流量配分のためや、ライザー管に取り付けて、各スプリンクラからの吐出量の均等化を図るため等に使用される。

ウ. 定流量定圧時作動弁

定圧時作動弁と定流量弁の機能を兼ね備えたものである。

エ. 液開気閉弁

散布ブロックの管内の薬液を完全散布して、薬液の管内残留による損失を防止するために設置する。ライザー管に装着し、空気圧を管内に圧入して、管内残液をスプリンクラから散布するときの空気圧の損失を防止する。

(4) その他

ア. 水位調整弁

貯水槽、調圧槽、沈殿槽等の水槽の水位を一定に維持するために自動給水又は自動排水を行う弁である。

水位調整の機能を有する弁には、ボールタップ・ディスク弁の直動式とパイロット式の水位調整弁あるいは定水位弁とよばれるものがある。

イ. 圧力測定弁

スプリンクラの吐出圧力を計測するための弁である。

ウ. 逆止弁

水の流れを一定方向に保ち、逆流を防止する。栽培管理の合理化の場合には、肥料、農薬が混合された用水が水源へ逆流することを防止するために設置する。

エ. 排水弁

散布支管の下流端は、管内の洗浄のために、確実にしかも簡単な止水洗浄弁方法が望ましく、排水弁や洗浄弁が取り付けられることもある。散布支管の膨張・収縮を吸収するため、散布支管の下流端と固定杭はゴムやバネなどで結ぶ必要がある。

病虫害防除に用いられる場合は、散布支管の下流端に自動排水弁が取り付けられる。散布支管内に水が流入し、所定の圧力に達するまでこの弁は開いているが、所定圧に達すれば閉じる。また、散布が終了して、散布支管内が所定圧以下になれば、この弁は開き管内の残液を排除する。したがって、エミッターからの薬液の前だれ及び後だれを防止することができるとともに、管内の残液を流し出すことができる。

26.2 元栓

配水管から給水管への通水を開始したり停止したりする。この元栓のすぐ下流側に蛇口を取り付けておけば、液肥等の希釈やフィルターの洗浄等に便利である。その他、末端制御装置には多くの仕切弁（スルース弁、バタフライ弁）が取り付けられる。

26.3 給水栓

管路の水を耕地面に取り出す装置で、その型式は配水する場所、かんがい方式、管内水压、使用水量等によって異なる。内水压が比較的大きい管路では、主としてアングル弁又はストップ弁が多く利用されている。

26.4 混入器

管路内に薬剤、液肥等を注入して散布施設を栽培管理の合理化に利用し、栽培管理作業の省力化を図る装置である。流量比例方式、差圧利用方式、定流量弁方式があり、対象面積、流量に応じて適用方式を選定することが必要である。

末端かんがい施設では、ベンチュリー管の原理を応用した小型のポータブル混入器が多く用いられている。

散布器具を使って、農薬や肥料を散布するためには、作物に薬害等を及ぼさずに散布の目的が達せられるよう準備と対策が必要になる。薬液は、薄められる倍率が正確で、畑全体に均一にかからないと効果にムラが出るばかりでなく、場合によっては薬害で作物が落葉又は枯死したり、収量又

は品質に悪い影響を与える。混入器の選定に当たっては性能及び部品の材質の検討も必要である。

26.5 量水施設

量水計には差圧式、面積式、電磁式、超音波式、回転翼式等があるが、末端施設に使われるのは精度、価格、維持管理面等からみて回転翼式が多い。回転翼式は流水の力によってプロペラが回転して流量を指示記録するものであり、管径は13～900mm、精度は±4%が一般的である。

26.6 圧力計

著しい圧力低下は、パイプが壊れて水が流出している可能性を示す。フィルターの上下流の圧力は、その差が大きければ、フィルターが目詰まりしていることを示す。また、長時間使用して、圧力差が生じないときはフィルターが粗すぎる可能性を示す。

26.7 除塵装置

除塵装置としては、沈砂池、スクリーン、除塵器、フィルター、ストレーナが挙げられる。これらは水中の浮遊物質の粗なるものから微粒子へと段階的に除くことが必要で、段階的に設置される。一般には、大スクリーンはポンプ場に置き、ファームポンド以降の末端かんがい施設に対しては、除塵器、フィルター、ストレーナが設置される。

マイクロかんがいでは、エミッターの目詰まりによって散水の均一性が著しく低下する。砂等の微粒子は、散布支管の下流端近くの流速が小さい箇所に堆積する。また、有機物など水に浮遊しているものもあり、管壁に付着し、管内に出っ張りを作ったりする。さらに、他の物質がそれに付着し、管路の断面積が小さくなり、流れが悪くなる場合もある。

27. 配 水 槽

(基準 3.4.3 関連)

地域内に所要の静水圧を得るのに十分な標高の高い箇所がある場合には、配水槽を設けることを原則とする。これが得られないような平坦地では、圧力水槽を設ける。

27.1 配水槽

(1) 一般事項

配水槽を用いた送水方式は、ポンプ送水方式としては最も望ましい方式で、スプリンクラかんがいの面からも最良の方式である。

配水槽は、主に①数十分程度のポンプ運転、②施設の連携動作の整合及び③過渡現象を緩和して施設の保護を図ることを目的として設けるため、調整容量は比較的小さくてすむ。しかし、停電が予想される台風時の潮風害防止を目的としている場合では、あらかじめ必要水量の全てを配水槽に貯留しておかなければならないため、かなり大きな容量を持たせている例もある。

(2) 配水槽の容量

一般に配水槽の最小容量は、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、空気混入や溢水の防止を考慮し決定する。

この場合の配水槽の全容量は、次の式 (27.1) で示される。

$$V = V_a + h \quad \dots \dots \dots (27.1)$$

ここで、

V : 配水槽の全容量 (m³)

V_a : 有効容量 (m³)

h : ポンプ運転に必要な容量及び空気混入や溢水の防止のための容量 (m³)

(3) 配水槽の位置

- ① 配水槽支配下のかんがい区域に、かんがい方式から要求される必要水頭の得られる位置(標高)にあること。
- ② ポンプ揚水費及び配管費が最も安価となる位置を選ぶこと。
- ③ 計画規模の敷地が十分得られること。
- ④ 管理に便利な位置であること。

なお、配水槽の設計上の留意点については、土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「パイプライン」を参照すること。

27.2 圧力水槽

(1) 一般事項

- ① この方式は、定置式又は準定置式(いずれもポンプ固定の場合)かんがい施設として用いられるものの一つで、計画地区が平坦で、かつ、付近に配水槽式とするに必要な高さの得られる山等のない場合に適用される。
- ② 圧力水槽を併設し、圧力水槽内の圧力差を利用してポンプを自動運転させる。したがって、

一般に原動機はモータとする。

- ③ 揚水費、ポンプとその制御機器（電気設備）、パイプの維持保全等の点から、一般に 1 機場当たり支配面積は、原則として 30～60ha 以下（この程度の面積であれば、低圧受電によることができる。）の小規模かんがいの場合に適する。
- ④ 圧力水槽内の空気の補給は、空気圧縮機による。
- ⑤ 圧力水槽の構造は、「圧力容器構造規格」及び「ボイラー及び圧力容器安全規則」によるものとする。

(2) 圧力水槽の設置位置

- ① 圧力水槽は、機場に隣接して設置する。
- ② 圧力水槽の位置、すなわち、ポンプ場の位置によって、揚水費はもちろん管路工費に大いに差異を生ずるので、これらの工費が最も安くなる位置に設ける必要がある。したがって、他の条件が許されるならば、地区の中央付近に設けることが経済的である。

(3) 圧力水槽の効果

圧力水槽には、次の 4 つの大きな効果がある。

- ① 揚水ポンプの始動、停止の簡便を図る。
- ② 散布器の噴射圧力をほぼ一定に保つ。
- ③ 管路内の圧力変動（ウォーターハンマ）を吸収する。
- ④ 極めて少量の水利用の際の頻繁な断続運転を緩和する。

(4) 圧力水槽の容量決定算式

圧力水槽の容量は、次の式 (27.2) によって求める。

$$X(\alpha - \beta) = V = Q \cdot T_0 \quad \dots \dots \dots (27.2)$$

$$X = \frac{V}{(\alpha - \beta)} = \frac{Q \cdot T_0}{(\alpha - \beta)}$$

$$\alpha = 1 - \frac{p + 0.1013}{p' + 0.1013} \quad \beta = 1 - \frac{p + 0.1013}{p'' + 0.1013}$$

$$\alpha \leq 70\%$$

ここで、

- V : 有効貯水量 (L)
- X : 圧力水槽内総体積 (L)
- p : 初めの水槽内ゲージ圧力 (MPa)
- p' : 最高給水圧力 (MPa)
- p'' : 最低給水圧力 (MPa)
- α : 最高給水圧力下の水槽内水量 (%)
- β : 最低給水圧力下の水槽内水量 (%)
- T_0 : 断続運転時のポンプ休止時間 (min)
- Q : 断続運転時の給水量 (L/min)

上式によって、圧力水槽の容量を決定できるが、この場合 $\alpha \leq 70\%$ とする必要がある。

仮に、 $\alpha \leq 70\%$ とならない場合は、使用中の圧力水槽から空気が水に混入して逃げていくため、

あらかじめ圧力水槽内の空気に一定の圧力を加えたり、使用中に圧力を補給する必要がある。したがって、空気圧縮機は必ず設置すべきである。

また、空気圧縮機は自動のものとする。

28. 配水施設の規模と配置

(基準 3.4.4 関連)

28.1 配水施設の支配規模

(1) ローテーションブロックの決定上の留意点

- ① 水分補給の目的でかんがいを行う場合には、多量の水を連続して必要とする。この場合に施設計画では、ローテーション制を採ることによって、流量を均一化し、施設の遊び時間をなくして、施設容量の減少を図るのが普通である。したがって、このローテーションによって一つのかんがい作業体系が成立する。
一方、栽培管理の合理化を行う場合には、それぞれの利用目的について、使用条件及び制限条件を満たすようなローテーションブロックを設定する必要がある。
- ② 栽培管理の合理化を行う配水組織の計画では、末端作業性を保証する形での末端からの積上げ方式を採ることを基本とする。
- ③ 病虫害防除を行う場合には、一般に 1 日以内に 1 かんがいブロックの作業を完了することが要求される。したがって、病虫害の発生分布、年間防除計画、作業可能時間、散布資材の混入、残液の処理方法等を十分検討の上、ローテーションブロックを決定する必要がある。
- ④ 自動化の程度、ほ場の整備条件及び病虫害防除作業の組織は散布作業の能率に大きな影響を与える。
- ⑤ 急傾斜地では、使用する管材の耐圧強度、ポンプ設備、配水槽、減圧施設等の配置をあらかじめ考慮に入れ、用水に対する不必要なエネルギーの付与や減勢などを行わないですむように、ローテーションブロックを決定する必要がある。なお、これらはかんがいブロックの決定にもいえることである。
- ⑥ 1 つのファームポンド掛かりで、水田と畑が受益に混在する地域では、水田用水量の方が相対的に大きい場合、ローテーションブロックの設定に当たっては、留意する必要がある。
- ⑦ 急傾斜の畑や樹園地などでは、夜間作業が危険となる場合もあるため、1 日の実かんがい時間やローテーションブロックの設定に当たっては、留意する必要がある。

(2) その他の留意点

- ① スプリンクラによる病虫害防除において、1 チームが 1 日で作業できる散布ブロック数は既設施設での実態調査によれば、40～60 ブロック程度であり、散布ブロックの面積も、0.3～0.7ha 程度が多くみられる。したがって、12～40ha 程度が病虫害防除の作業単位となる場合が多い。
- ② 野菜を中心とする平坦地における配水施設としては、圧力水槽方式あるいはポンプ直送方式が中心となる。そのために、施設の支配規模もこれらの施設建設に係る費用、技術的問題及び維持管理の面から 15～50ha 程度となることが多い。

28.2 配水施設の構成と各種施設の配置

- ① 配水施設の構成のレイアウト及び各種施設の配置は、配水施設の水利的安全性、末端での作業性、施設の建設・維持管理に係る経済性及び施設の信頼性や安全性の観点から十分検討して決定しなければならない。

- ② スプリンクラシステムは、末端においてかなり高い作業圧力を必要とする。作業圧力の確保は自然圧を基本とするが、ポンプによる加圧を必要とする場合は、加圧区間を必要最小限に抑える必要がある。ポンプ場及びファームポンドの位置決定に当たっては、できる限り必要最小のエネルギーで配水ができるように、留意する必要がある。
- ③ ポンプ、ファームポンド及び管路は配水施設を構成する基本要素である。特に施設の建設費及び維持管理費の両面から、互いの調和を図る必要がある。
- ④ 急傾斜地の配水施設では、配水槽方式を採ることを基本とする。配水槽の配置は、ポンプによる配水槽までの揚水と、配水槽からの末端分水弁までの圧力調整、使用管種の耐圧等を考慮して決定しなければならない。特に、配水槽の配置と支配面積は、施設の建設費及び維持管理費に大きな影響を与える。
- ⑤ 平坦地では、ポンプ直送方式あるいは圧力タンク方式が一般的である。圧力タンク方式を採用する場合には、ポンプの制御は圧力スイッチによる ON-OFF 制御として、ポンプ運転制御と末端作業とは切り離すことを原則とする。ON-OFF 制御の時間間隔は、ポンプの仕様を十分に検討の上、適正に決定しなければならない。ポンプ直送方式を採用する場合には、圧力変動及び流量変動に即応できるよう制御機器及びその他の付帯機器について慎重な検討を要する。
- ⑥ 管路の配置は、分・配水操作作業及び残液処理操作と深い関わりを持つ。したがって、自動化の程度、ほ場の整備条件、残液の処理方式等を総合的に検討して配置する必要がある。
- ⑦ 管路の配置は、分水点までの最短距離を結ぶことを原則とするが、作業開始前の水張り操作、管内空気の処理、使用管種、管材から決まる耐圧強度及び維持管理を十分考慮して決定する必要がある。
- ⑧ 散布資材混入施設は、資材の搬入、とりわけ道路との関係を十分考慮して施設の位置を決定する必要がある。
- また、残液を回収する場合には、その処理や再利用との関連を十分検討しておかなければならない。
- ⑨ 栽培管理の合理化を行う場合では、特に厳格な圧力調整を要する場合が多いが、圧力調整に当たっては、単に動水勾配調整だけを目的とするのではなく、ウォーターハンマの吸収・放出、管内封入空気の処理も併せて検討し、水理的安定性と安全性を高める工夫が必要である。特に、過大な減圧はキャビテーションを伴い、水理的不安定性の大きな原因となるため、十分注意する必要がある。

キャビテーションに対する安全な減圧量（ ΔH ）は、次の式（28.1）に示すキャビテーション係数 σ の値によって見当をつけることができる。

$$\sigma = \frac{H_d - H_v}{\Delta H} \quad \dots \dots \dots (28.1)$$

ここで、

H_d ：減圧弁下流部の圧力水頭（m）

H_v ：大気圧に対する水蒸気圧（水頭換算値）（m）

ΔH ：減圧量（m）

減圧弁の構造・開度及び管径にもよるが $\sigma < 1.25 \sim 1.50$ とすることが一応の目安として与

えられる。

- ⑩ かんがい用水には、砂、礫、木片等が混入している場合が多い。したがって、除塵に対して、次のような配慮が不可欠である。
 - a. ファームポンドから配水管路の流入口にスクリーンを配置する。また、砂又は礫を巻き上げないような呑口の形状をとる。
 - b. 管内の主要な調圧弁、流量調整弁の上流にストレーナを配置するなど、除塵対策を講じなければならない。

29. 配水施設の施設容量と自由度

(基準 3.4.4 関連)

29.1 施設容量の決定

(1) 通常のかんがいを行う場合

一般に水分補給を目的とするかんがいで施設容量は、計画上では完全にローテーション制が実施されるものとして、次の式 (29.1) で計算する。

$$Q = 2.78 \frac{A \cdot E_2}{F \cdot T} \quad \dots \dots \dots (29.1)$$

ここで、

Q : 施設容量 (L/s)
 A : かんがいブロック面積 (ha)
 E_2 : 粗かんがい水量 (mm)
 F : 計画間断日数 (day)
 T : 1 日の実かんがい時間 (hr)

一方、病虫害防除のように末端スプリンクラの選択及び配置並びに散布ブロックの面積が制限条件を与える場合については、次の式 (29.2) が適用される。

$$Q = 2.78 \frac{h \cdot A_b \cdot N_a}{1 - E_m} \quad \dots \dots \dots (29.2)$$

ここで、

h : かんがい強度 (mm/hr)
 A_b : 散布ブロックの面積 (ha)
 N_a : 1 かんがいブロック中のローテーションブロック数、あるいは同時散布ブロック数 (整数)
 E_m : 搬送損失率

なお、施設容量に自由度 (f) を付加する場合は、式 (29.1) 又は式 (29.2) の両辺に f を乗じて求める。(自由度 f については「29.2 配水施設の自由度」の項を参照)

(2) 栽培管理の合理化を行う場合

栽培管理の合理化を行う場合は、各目的において必要とする施設容量のうち、最大値を配水施設計画上の施設容量とする。ただし、各目的間の施設容量に著しい差が生じないように、決定に当たってはどの目的が施設容量を規定しているかを明確にし、目的ごとの調和を図る必要がある。

(3) 施設容量決定の事例 (参考)

みかんを対象とした、水分補給、病虫害防除、液肥散布及び潮風害防止を行う配水施設の容量を決定する例を以下に示す。

ア. 配水施設の計画条件

配水施設の計画条件は、次のように与えられるとする。

- ① かんがいブロック面積 A は、管理組織を考慮し 30ha とする。

- ② かんがい強度 (h) は末端施設の計画で、スプリンクラの選択から 10mm/hr、スプリンクラの間隔は 14×14m、一本のスプリンクラの支配面積は 0.0196ha とする。
- ③ かんがい水量は用水計画から、時間拘束は作業体系から、表-29.1 のとおり与えられるとする。
- ④ 潮風害防止面積は 8ha とする。

表-29.1 容量決定条件

利用目的	対象面積 (ha)	計画条件					決定条件	
		ほ場かんがい水量 E_1 (mm)	1 日の実かんがい時間 T (hr)	間断日数 F (day)	全実かんがい時間 T' (hr)	かんがい強度 h (mm/hr)	1 日の散布可能ブロック数	全作業可能ブロック数
水分補給	30	35	18	6	108	10	(5.1)	30
液肥散布	30	20	14	5	70	10	7	35
病虫害防除	30	1	4	1	4	10	40	40
潮風害防止	8	5	5	1	5	10	10	10

注) 30: 制限条件

イ. 施設容量の計算

- ① 補給かんがい及び液肥散布について、1 日当たりの散布可能ブロック数を $T/(E_1/h)$ によって計算し、小数点以下を切り捨てる。
- ② 補給かんがい及び液肥散布について、①で計算した 1 日の散布可能ブロック数に間断日数を乗じて、作業可能ブロック数を決定する。
- 病虫害防除及び潮風害防止については、 $T/(E_1/h)$ によって、作業可能ブロック数を決定する。
- ③ 計算された作業可能ブロック数のうち最小のもの、この例では、水分補給の 30 ブロックを選び、配水施設計画上の基礎とする。
- ④ かんがいブロック面積 A (30ha) と、以上のようにして決定した 30 ブロックから同時散布面積を決定する。

すなわち、

$$N_a \cdot A_u = A/30 = 1.0\text{ha}$$

0.3 < A_u < 0.7ha の条件を考慮して、同時散布ブロック数 N_a 、散布ブロック面積 A_u を次のように調整する。

$$N_a = 2, A_u = 0.5\text{ha}$$

さらに、スプリンクラ 1 本の支配面積 0.0196ha を考慮して調整すると、スプリンクラ数 26 本、決定面積 0.5096ha となる。

- ⑤ 潮風害防止については、計画面積は可能面積 (1.0ha × 10 ブロック = 10ha) 以内であるから計画条件を満たす。したがって、全体の配水施設計画を制限するのは、水分補給である。
- ⑥ 施設容量は、前述の式 (29.2) によって次のとおりとなる。

$$Q = 2.78 \cdot \frac{h \cdot A_u \cdot N_a}{1 - E_m} = 2.78 \cdot \frac{10 \times 0.5096 \times 2}{1 - 0.05} = 29.8 \quad (\text{L/s})$$

29.2 配水施設の自由度

施設園芸や路地野菜の占める面積が大きい地区では、1 日のうちでも特定時刻に水利用が集中することが知られている（図-29.1 参照）。

一方、29.1 施設容量の決定で述べられているように、配水施設の施設容量は、ローテーション制を前提として式（29.1）で定められるか又はかんがいブロック内で同時に散布される散布ブロックの数を限定して式（29.2）で定められる。したがって、このような方法で計画された配水施設容量の下では、水需要の時間的集中に対応する余裕がないことになる。

そのため、水需要の時間的集中にある程度柔軟に対応するため、施設容量に余裕を持たせておくことが必要になる。この余裕の尺度を自由度という。

(1) 自由度の定義

ア. ローテーション制を前提とした場合

ローテーション制を前提とした場合の配水施設の施設容量（ Q ）は、前述の式（29.1）式で与えられる。

$$Q = 2.78 \frac{A \cdot E_2}{F \cdot T} \quad \dots \dots \dots (29.1)$$

これに対し、水需要の時間的集中によって、ローテーション制による流量の f 倍の流量を通水したとき（すなわち、ローテーション制によって限定されている同時散布ブロック数（ N_a ）の f 倍の開栓をしたとき）の施設容量（ Q_f ）は、次の式（29.3）で与えられる。

$$Q_f = 2.78 \cdot f \frac{A \cdot E_2}{F \cdot T} \quad \dots \dots \dots (29.3)$$

イ. 限定された散布ブロック数を前提とした場合

限定された散布ブロック数（ N_a ）個のみを同時に散布可能な配水施設の施設容量（ Q ）は式（29.2）式から、次の式（29.4）で与えられる。

$$Q = 2.78 \frac{h \cdot A_u \cdot N_a}{1 - E_m} \quad \dots \dots \dots (29.4)$$

これに対し、水需要の時間的集中によって、散布ブロック数（ N_a ）個の f 倍の開栓がなされたときの施設容量（ Q_f ）は、次の式（29.5）で与えられる。

$$Q_f = 2.78 \frac{h \cdot A_u \cdot (f \cdot N_a)}{1 - E_m} \quad \dots \dots \dots (29.5)$$

ウ. 自由度

以上より、自由度 f はア及びイのいずれの場合にも、次の式（29.6）で与えられる。

$$f = \frac{Q_f}{Q} \quad \dots \dots \dots (29.6)$$

すなわち、自由度 f は限定された散布ブロック数（ N_a ）の何倍まで水需要の時間的集中が可能かを表す尺度として定義される。

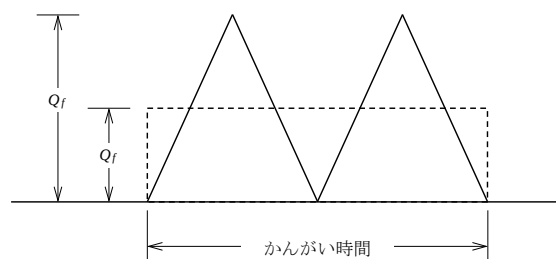


図-29.1 水需要の集中の模式

29.3 自由度の大きさ

一般に施設園芸地帯では、午前と午後の2回にわたり水需要のピークが発生することが多いことと、1日の散布移動回数が4回程度であることから、自由度を必要とする場合の f は2程度を原則とするが、費用対効果を検討の上、その効果が十分に期待できるのであればこれより大きくしてもよい。

なお、自由度 f を保证するための水量は技術書「30. ファームポンド」の項で述べるファームポンドの時間的集中緩和容量（ V_{F2} ）によって賄うものとする。

30. ファームポンド

(基準 3.4.4 関連)

30.1 ファームポンドの機能と役割

一般に、ファームポンドより上位の幹線水路の通水時間と末端でのかんがい時間とは異なる。そこで、末端でのかんがい休止時間中の幹線水路の通水量を一時貯留することによって、幹線水路の施設容量を下げ、管理損失の減少を図るとともに、上位幹線水路の送水管理を容易にすることができる。そのために設ける調整施設がファームポンドである。

さらに、ファームポンドは、末端での水利用の変動を平滑化し、末端における短い時間スケールの水利変動を吸収して、上位幹線水路の送水管理を容易にするとともに、逆に末端での水利用に対する幹線送水管理からの制限を緩和する機能も有する。したがって、ファームポンドは末端での水利用の自由度を大きくする。

また、水利変動の平滑化は、送・配水制御（特にポンプの始動及び停止の制御）を円滑にする上で重要である。

このように、ファームポンドは多くの機能を有しているが、いずれも幹線と末端での配水施設をつなぐ緩衝部としての役割であり、特に栽培管理の合理化又は自動化システムにおいて果たす意義は大きい。したがって、ファームポンドを計画するに当たっては、その形式、容量及び位置はファームポンドのどの機能を強調するか十分検討した上で決定しなければならない。

30.2 ファームポンド容量

(1) 末端かんがい時間と幹線通水時間の時間差調整容量

末端におけるかんがい作業時間は、地域の営農体系や営農作業可能な最大可照時間等を参考に決定し、このうちスプリンクラ等の移動時間を除いたものが実かんがい時間となる。一方、幹線水路の通水時間は水流制御や通水容量の問題等から 24 時間通水となるのが一般的であり、両者の時間差をファームポンドによって調整する。このために必要なファームポンド容量 (V_{F1}) (m^3) は、次の式 (30.1) により求める。

$$V_{F1} = \frac{D}{E_f} \cdot \frac{10}{24} \cdot (24 - T) \cdot A \quad \dots \dots \dots (30.1)$$

ここで、

D : 計画日消費水量 (mm/day)

E_f : かんがい効率

T : 計画日消費水量 D に対する 1 日の実かんがい時間 (hr)

A : ファームポンドの支配面積 (ha)

いま、計画最大日消費水量 (D_m) (mm/day) に対する実かんがい時間を T_m (hr) とすると、同一末端施設を利用する限り、計画日消費水量が D のときの実かんがい時間 T は、次の式 (30.2) のような関係がある。

$$D = \frac{D_m}{T_m} \cdot T \quad \dots \dots \dots (30.2)$$

式 (30.1)、(30.2) より D を消去すると、 V_{F1} は次の式 (30.3) のとおり T についての二次方程式となる。

$$V_{F1} = \frac{D_m}{E_f \cdot T_m} \cdot \frac{10}{24} \cdot (24T - T^2) \cdot A \quad \dots \dots \dots (30.3)$$

式 (30.3) から V_{F1} の最大値は $T = 12\text{hr}$ のときに生じ、次の式 (30.4) のように与えられる。

$$V_{F1} = \frac{60}{E_f} \cdot \frac{D_m}{T_m} \cdot A \quad \dots \dots \dots (30.4)$$

ただし、地区の計画最小日消費水量の時のかんがい時間が 12 時間以下とならない場合は式 (30.1) を使用する。この際の D 、 T は計画最小日消費水量のときの値とする。

また、ポンプでファームポンドへ送水する場合等で、送水流量 (m^3/s) の下限値が制限を受ける場合には、別途検討が必要である。

(2) 用水需要の時間的集中の緩和容量

配水組織に自由度を付加する場合は、それに対応できる容量をファームポンドに持たせる必要がある。

一般に、施設園芸地帯では午前と午後の 2 回にわたり水需要のピークが発生することが知られている。いまこの時間的集中状況を図-30.1 の (b) に示すような二つの三角形 (自由度 $f \geq 2$ を想定) で表わせば時間的集中を緩和するために必要な容量 (V_{F2}) (m^3) は次のようにして算定することができる。

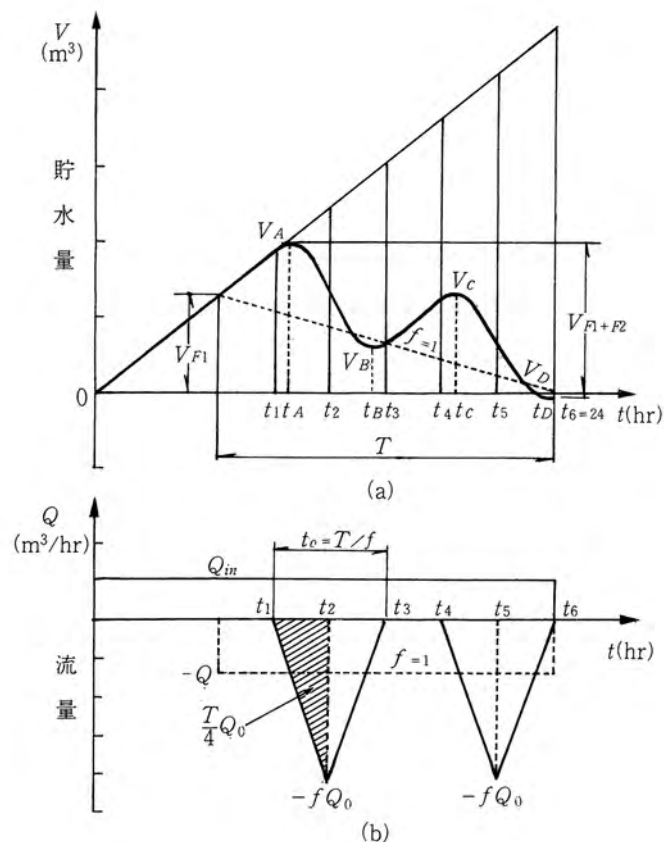


図-30.1 水需要パターンと貯水量変化

ア. 任意時刻における貯水量

水需要パターンに対応するファームポンドの貯水量変化を示すと図-30.1の(a)のようになり、任意時刻 t における貯水量(V) (m^3)は次の式(30.5)～(30.10)で表わされる。

$0 \leq t \leq t_1$ の場合

$$V = Q_{\text{in}} \cdot t \quad \dots \dots \dots (30.5)$$

$t_1 < t \leq t_2$ の場合

$$V = Q_{\text{in}} \cdot t - \int_{t_1}^t \frac{2f^2 \cdot Q_0}{T} \cdot (t - t_1) dt \quad \dots \dots \dots (30.6)$$

$t_2 < t \leq t_3$ の場合

$$V = Q_{\text{in}} \cdot t - \frac{T}{4} \cdot Q_0 + \int_{t_2}^t \frac{2f^2 \cdot Q_0}{T} \cdot (t - t_3) dt \quad \dots \dots \dots (30.7)$$

$t_3 < t \leq t_4$ の場合

$$V = Q_{\text{in}} \cdot T - \frac{T}{2} \cdot Q_0 \quad \dots \dots \dots (30.8)$$

$t_4 < t \leq t_5$ の場合

$$V = Q_{\text{in}} \cdot t - \frac{T}{2} \cdot Q_0 - \int_{t_4}^t \frac{2f^2 \cdot Q_0}{T} \cdot (t - t_4) dt \quad \dots \dots \dots (30.9)$$

$t_5 < t \leq t_6$ の場合

$$V = Q_{\text{in}} \cdot t - \frac{3}{4} \cdot T \cdot Q_0 - \int_{t_5}^t \frac{2f^2 \cdot Q_0}{T} \cdot (t - t_6) dt \quad \dots \dots \dots (30.10)$$

ここで、 Q_0 は自由度 $f=1$ のときの単位当たり時間の消費水量(m^3/hr)であり、次の式(30.11)で与えられる。

$$Q_0 = \frac{10 \cdot D_m \cdot A}{T_m \cdot E_f} \quad \dots \dots \dots (30.11)$$

Q_{in} はファームポンドへの流入流量(m^3/hr)であり、24時間送水とすれば、次の式(30.12)で与えられる。

$$Q_{\text{in}} = \frac{T}{24} \cdot Q_0 \quad \dots \dots \dots (30.12)$$

イ. 自由度を付加した場合のファームポンド容量 (V_{F1+F2})

貯水量変化曲線において、極大、極小を与える点、すなわち、 t_A ・ t_B ・ t_C 及び t_D におけるファームポンド容量は、それぞれ次の式(30.13)～(30.16)のように与えられる。

$$V_A = \frac{T}{48} \cdot (48 - T)Q_0 - \frac{T^2}{24 \cdot f} Q_0 + \frac{T^3}{48^2 \cdot f^2} Q_0 \quad \dots \dots \dots (30.13)$$

$$V_B = \frac{T}{48} (24 - T)Q_0 - \frac{T^3}{48^2 \cdot f^2} Q_0 \quad \dots \dots \dots (30.14)$$

$$V_C = \frac{T}{2} Q_0 - \frac{T^2}{24 \cdot f} Q_0 - \frac{T^3}{48^2 \cdot f^2} Q_0 \quad \dots \dots \dots (30.15)$$

$$V_D = -\frac{T^3}{48^2 \cdot f^2} Q_0 \quad \dots \dots \dots (30.16)$$

これらの式から、 $V_A > V_B > V_C > V_D$ の関係が成り立つので、自由度を付加した場合のファーム

ムポンド容量 (V_{F1+F2}) (m^3) は次の式 (30.17) で与えられる。

$$V_{F1+F2} = V_A - V_D = \frac{T}{48} \cdot (48 - T) Q_0 - \frac{T^2}{24 \cdot f} Q_0 + \frac{2 \cdot T^3}{48^2 \cdot f^2} Q_0 \quad \dots \dots \dots (30.17)$$

ここでファームポンド容量 (V_{F1+F2}) (m^3) は実かんがい時間 (T) (hr) によって変化する。計画におけるファームポンド容量が最大となる (T) (hr) の値は次の式 (30.18) により求められる。

$$T = 8f^2 + 16f - \sqrt{64f^4 + 256f^3 - 128f^2} \quad \dots \dots \dots (30.18)$$

ただし、地区の計画最小日消費水量のときの実かんがい時間が上式で求めた時間 (T) 時間以下とならない場合は、計画上の最小かんがい時間を使用する。また、ポンプでファームポンドへ送水する場合等で、送水流量の下限値が制限を受ける場合には、別途検討が必要である。

ウ. 自由度を付加したことによるファームポンド容量の増加量 (V_{F2})

ファームポンド容量の増加量、すなわち時間的集中を緩和するために必要な容量 (V_{F2}) (m^3) は次の式 (30.19) により求められる。

$$V_{F2} = V_{F1+F2} - V_{F1} \quad \dots \dots \dots (30.19)$$

ここで、 V_{F1} は式 (30.1) 又は式 (30.4) で求めた値、なお、時間的集中による水需要パターンは一般に三角形を示すが、ファームポンドの支配面積が比較的小さい場合や、営農形態、自動化の程度によっては散布時間を集中し、台形又は四角形を示す場合がある。ただし、これらパターンの採用に当たっては、施設規模と効果の関係を十分考慮する必要がある。

(3) 栽培管理の合理化のための容量

凍霜害防止、潮風害防止など特定時間に水利用が集中する場合の必要量 (V_{F3}) (m^3) は、別途計画値に基づいて算定する。

(4) 揚水施設及び分水施設の円滑な運転制御容量

ファームポンドの水位によって幹線水路からのポンプによる取水や分水施設の制御を行う場合には、取水の ON-OFF 制御を円滑にするための容量 (V_{F4}) (m^3) を必要とする。

これは、制御の安定性から、ファームポンドの水位差の下限値から制約を受ける。

$$V_{F4} = Q_p \cdot t_0 \quad \dots \dots \dots (30.20)$$

$$V_{F4} \geq 0.2^* \times A_0 \quad \dots \dots \dots (30.21)$$

V_{F4} は式 (30.20) 及び式 (30.21) の両式を満足していること。

ここで、

Q_p : ポンプ揚水量 (m^3/min)

t_0 : ポンプ休止時間 (min)

電動機の始動時の熱損失による温度上昇、電磁接触器そのほかの電氣的、又は機械的寿命なども考慮して、ポンプ仕様等から決定する。

A_0 : ファームポンド断面積 (m^2)

* : ポンプ始動停止用液面リレー、フロート弁等の不感帯などから決まる水位差で 20cm 以上を目安とする。

(5) 円滑な送水管理のための容量

長大な幹線系（開水路）で、取水地点と分水地点との間に生ずる流況操作の応答遅れによって、減量操作の場合には、無効送水が生じ大きな管理損失が発生する。また、増量操作の場合には、この遅れによって水需要に即応できなくなる。

このような管理損失水量を軽減させ、かつ、用水系の水管理操作を容易にするために、次の式(30.22)のような容量（ V_F ）（ m^3 ）をファームポンドにもたせる必要がある。

$$V_F = \Delta Q \cdot \tau \quad \dots \dots \dots (30.22)$$

ここで、

ΔQ : 流量変化（ m^3/s ）

（計画日消費水量の期別変化の差が最大となるときの流量差）

τ : 流況操作の応答遅れ時間（s）

応答遅れ時間（ τ ）の算定については次の方法が適用される。ここでは、長方形断面の開水路の場合について計算法を示す。

ア. 初期定常流況からの情報と到達状況の分類

波速による時間（ T_h ）（s）

$$T_h = l / \left(\bar{v}_b + \sqrt{g \cdot \bar{h}_b} \right) \quad \dots \dots \dots (30.23)$$

水路内の貯留変化による時間（ T_c ）（s）

$$T_c = \Delta V / \Delta Q \quad \dots \dots \dots (30.24)$$

ここで、

l : 水路の長さ（m）

g : 重力の加速度（ $9.80m/s^2$ ）

$\bar{v}_b$: 初期平均流速（ m/s ）

$\bar{h}_b$: 初期平均水深（m）

ΔV : 水路内の貯留変化量（ m^3 ）

イ. $T_h > T_c$ の場合

堰上げの影響が強く、かつ ΔV が小さい場合であり、用水到達状況は T_h でその全量に変化するので $\tau = T_h$ （s）で与えられる。

ウ. $T_h < T_c$ の場合

無次元曲線を模式的に示すと図-30.2を得る。ここで A 点の座標は（ $T_h/T_c, 0$ ）となる。また、B 点の横座標を $t/(\Delta V/\Delta Q) = 1.0$ としたときの B 点の縦座標は、0.667（実験定数）となる。すなわち、B 点の座標は（1.0, 0.667）である。

さらに、図-30.2 の斜線部分が貯留変化を示すことから、C 点の横軸の値 $[t/(\Delta V/\Delta Q)]_c$ は、 ΔABD と ΔBEC の面積すなわち S_1 と S_2 とを等しくするようにすると、

$$[t/(\Delta V/\Delta Q)]_c = 3.0 - 2.0 \frac{T_h}{T_c} = 3.0 - 2.0 \frac{1 / \left(\bar{v}_b + \sqrt{g \cdot \bar{h}_b} \right)}{(\Delta V/\Delta Q)} \quad \dots \dots \dots (30.25)$$

したがって、C 点の座標は、

$$\left(3.0 - 2.0 \cdot \frac{1/\left(\bar{v}_b + \sqrt{g \cdot \bar{h}_b}\right)}{(\Delta V/\Delta Q)}, 1.0 \right) \dots \dots \dots (30.26)$$

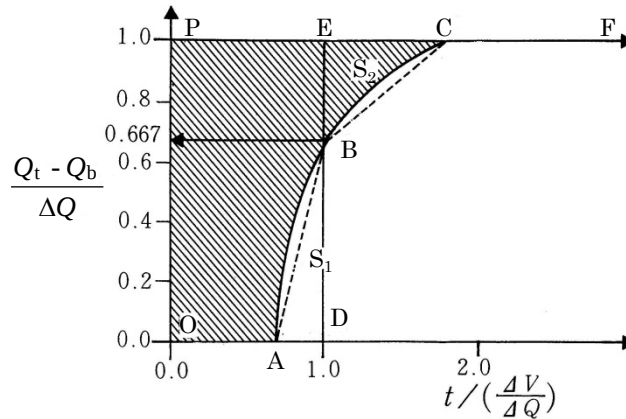


図-30.2 無次元表示曲線

となる。図-30.2 から明らかなように、 V_E の無次元量は図中の斜線部分の面積で与えられることになる。よって、図において $S_1 = S_2$ であるため、 V_E の無次元量は□ODEP の面積と考えてもよい。したがって、 V_E を式 (30.22) のように与えた場合の τ (sec) の値は、

$$\tau = \frac{\Delta V}{\Delta Q} \dots \dots \dots (30.27)$$

で与えられる。

エ. ΔV の求め方

水路勾配 1/3,000 以上の場合には、不等流計算で得られた長方形断面水路の初期定常流況の水面形 $h_b(x)$ と操作後定常流況の水面形 $h_e(x)$ から ΔV は次の式 (30.28) のように求められる。

$$\Delta V = b \int_0^1 [h_e(x) - h_b(x)] dx \dots \dots \dots (30.28)$$

ここで、

x : 水路縦断方向の距離 (m)

b : 水路幅 (m)

この方法は長方形断面の水路に関して述べたものであるが、これと同様の考え方が放物線断面の水路にも適用できる。

図-30.3 のような放物線断面 $z = ay^2$ の水路では、通水面積 $A(h) = 4h^{3/2} / 3\sqrt{a}$ で与えられるので、

$$\Delta V = \frac{4}{3\sqrt{a}} \int_0^1 \{ [h_e(x)]^{3/2} - [h_b(x)]^{3/2} \} dx \dots \dots \dots (30.29)$$

となる。ここで、 $h_e(x)$ 及び $h_b(x)$ はそれぞれ放物線断面水路における初期定常流況及び操作後定常流況の水面形である。

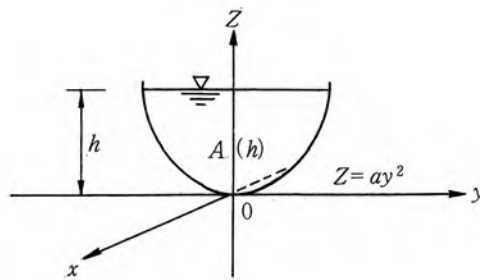


図-30.3 放物線断面水路の通水面積

30.3 ファームポンドの位置及び省略

(1) ファームポンドの位置

ファームポンドの位置は、以下の各項目を検討の上、決定する。

- ① かんがいブロックの近傍で、自然圧により必要圧力が確保できるところ。
- ② 維持管理が容易で経済的な場所。
- ③ 配水槽方式の場合には維持管理と経済性の側面から、支配規模と位置を検討する。高位部に集中して設けることは必ずしも有利になるとは限らない。
- ④ 既設のため池を有効利用する。
- ⑤ 施工条件や地盤条件もあらかじめ検討する。
- ⑥ 余水の放流や緊急放流を考え、放水路が容易に確保できるところを選ぶ。

(2) ファームポンドの省略

地形的及び経済的制約から、ファームポンドの設置ができない場合があり、その機能を幹支線の流量制御の高度化で補おうとする場合もある。一般のかんがい施設では計画時点で想定した水利用状況が必ずしも実現されず、また、それは年とともに変化していく場合が多い。ファームポンドは安全施設としての機能をも有するために、特にやむを得ない場合を除いてファームポンドの省略は避けるべきである。やむを得ず省略する場合には、水利用の安全性について十分配慮しておく必要がある。

30.4 ファームポンドの構造

ファームポンドの構造は、設計条件、現地の地形条件、経済性等を考慮して選定し、土砂、ごみ等の下流側管路への流入並びに風による雑物の飛来を防止する施設を考える必要がある。さらに、アオコ、藻、巻貝等の発生が予想される場合には、維持管理面からの方策も検討しておく必要がある。また、冬期間の通水の有無、除塵方式、凍上凍結対策、降灰等も検討の上、経済性に配慮して選定する。

なお、ファームポンドの計画・詳細については、土地改良事業設計指針「ファームポンド」等を参照すること。

31. 配管計画における管径の決定

(基準 3.4.4 関連)

31.1 ローテーションブロック内の流量

ローテーションブロック内への流量は、次の式 (31.1) による。

$$q = \frac{E_2}{8.64} \cdot \frac{24}{T_0} \cdot A_u$$

$$= N \cdot q_n / (1 - E_m) \quad \dots \dots \dots (31.1)$$

ここで、

- Q : ローテーションブロック内への供給水量 (L/s)
- E_2 : 粗かんがい水量 (mm)
- T_0 : 1 回の実かんがい時間 (hr) (ピーク時の 1 末端施設当たり)
- A_u : ローテーションブロック内の同時散布面積 (ha)
- N : ローテーションブロック内の同時作動スプリンクラ数 (個)
- q_n : スプリンクラ 1 個の平均吐出量 (L/s)
- E_m : 搬送損失率

配管施設の組織容量に自由度 f を見込む場合は次の式 (31.2) による。

$$q_f = \frac{E_2}{8.64} \cdot \frac{24}{T_0} \cdot f \cdot A_u$$

$$= N \cdot q_n \cdot f / (1 - E_m) \quad \dots \dots \dots (31.2)$$

ここで、

- f : 組織容量の自由度
(定義は技術書「29. 配水施設の施設容量と自由度」を参照すること。)

31.2 ローテーションブロックまでの流量

ローテーションブロックまでの流量は、次の式 (31.3) による。

$$Q = \sum_1^n q = q_1 + q_2 + \dots + q_n \quad \dots \dots \dots (31.3)$$

ここで、

- Q : ローテーションブロックまでの供給水量 (L/s)
- $\sum_1^n q$: 通水断面を決定しようとする区間以降にある各ローテーションブロックへの供給水量の和 (L/s)

組織容量に自由度 f を見込む場合は、次の式 (31.4) による。

$$Q = f \sum_1^n q = f(q_1 + q_2 + \dots + q_n) \quad \dots \dots \dots (31.4)$$

31.3 水理公式

管径決定に用いる摩擦損失水頭は、次のヘーゼン・ウィリアムス公式（31.5）によることを原則とする。

$$H = \frac{6.819 \cdot L \cdot V^{1.852}}{C^{1.852} \cdot D^{1.167}} \quad \dots \dots \dots (31.5)$$

ここで、

H ：摩擦損失水頭（m）

D ：管径（m）

L ：管長（m）

V ：管内流速（m/s）

C ：係数

塩化ビニル管 150（ただし、管径 150mm 以下では 140）

強化プラスチック複合管 150

ダクタイル鋳鉄管（モルタルライニング）130

鋼管（エポキシ塗覆装）130

（ただし、鋼管 800mm 未満の溶接部の塗装は原則的に行わないので C 値は別途考慮する。）

31.4 管径の決定

管径の決定に当たっての留意点等は、以下のとおりである。

- ① 動水勾配は、最大距離や最大揚程等のうち最も厳しい制約条件を基準とする。
- ② 配水支管は、各支管の下流から計算を始め、順次、上流に向かって計算を進める。配水支管は、どの分岐点でも与えられた条件における最大損失水頭勾配線で設計する。
- ③ ファームpond又は配水槽以降の管路が自然圧式のときには、動水勾配線の最高位は、ファームpond（又は配水槽）の最低取水水位によって定まる。また、支派線では、分水点の動水勾配線によって定まる。したがって、管路の管径配列は、前記の動水勾配線の最高位を超えないよう決定する。
- ④ 自然圧方式の管路の管径配列の決定に際しては、管路の費用に対する損失水頭の比が一定となるように管径を選択する。すなわち、管路の費用に比例して有効水頭を配分する必要がある。
- ⑤ 動水勾配は、一定の流量に対して管径が小さいほど大きくなる。各分水点で必要とする動水勾配線の高さが定まれば、それに適する管径を求める。
- ⑥ 送水方式として配水槽方式又は圧力槽方式を用いる場合には、管径選択が直ちに揚水機の規模に影響を与えるので、揚水機の費用と管路の費用の組合せについて比較設計を行い、費用の最小化を図らねばならない。この場合、揚水機の費用には経常経費及び補修費等も含めて取り扱う必要がある。
- ⑦ いかなる場合にも、動水勾配線は管路の敷設縦断より上に設定する。
- ⑧ 分水位が定まっている場合の分派線の管径配列は、与えられた分水位の最終地点間の落差を最大限に活用する。この場合の管径配列の決定は、次の式（31.6）による（図-31.1 参照）。

$$x = \frac{H_0 - h_1 \cdot L}{h_2 - h_1} \quad \dots \dots \dots (31.6)$$

ここで、

- x : 小さい方の管径 (D_2) の管路長 (m)
- H_0 : 利用可能な有効水頭差 (m)
- L : 管路全長 (m)
- h_1 : 大きい方の管の単位長さ当たりの摩擦損失 (mm)
- h_2 : 小さい方の管の単位長さ当たりの摩擦損失 (mm)
- $L - x$: 大きい方の管径 (D_1) の管路長 (m)

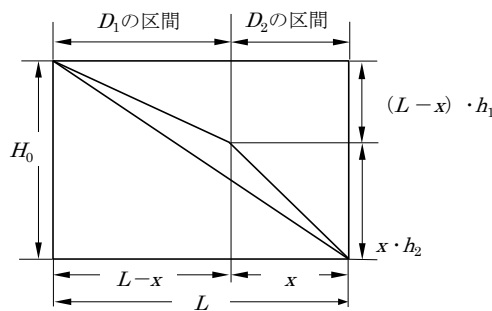


図-31.1 分水位が定まっている場合の分派線の管径配列

- ⑨ 延長が長い管路においては、曲管、分岐管、片落管等の異形管類及び制水弁類の局所損失水頭は、摩擦損失水頭に比べて小さいので無視することができる。また、局所損失を見込む場合の概略値としては、摩擦損失水頭の 1 割程度を加算してよい。

ただし、特殊な弁類、例えば自動化された多目的利用施設で採用される電磁弁、スプリンクラのライザー管に取付けられるストップ弁、ポンプ送水管に設けるチャッキ弁等では、2～5m 程度の局所損失水頭を生ずるので、個々にこれらの損失を見込む必要がある。

- ⑩ 管内流速は、損失水頭との関連で、管路の経済性に影響を与える。路線の条件、使用管種、管径、管路形式等によって一律には決められないが、一般的な流速の範囲を示すと表-31.1 のとおりである。

管内平均流速の許容最大限度は、管の内面の材質によって、表-31.2 に示す値とする。なお、水中の浮遊物の沈積を避けるため、管内流速の最小限度は計画流量時において、0.3m/s 以上とする。

表-31.1 設計流速の標準値

管径 (mm)	設計流速 (m/s)
75～ 150	0.7～1.0
200～ 400	0.9～1.6
450～ 800	1.2～1.8
900～1,500	1.3～2.0
1,600～3,000	1.4～2.5

表-31.2 許容最大平均流速

管内面状態	平均流速の許容最大限度 (m/s)
モルタル又はコンクリート	3.0
鋼又は鋳鉄	5.0
硬質塩化ビニル及び硬質ポリエチレン、強化プラスチック複合管	5.0

- ⑪ 配水組織は、樹枝状配管を基本とするが、管網とする場合には、組織を構成する各管路の流量分布は、一連の組織体としての水理的拘束を受けるので、その設計は管網流量計算によって行わねばならない。

なお、パイプラインの設計の詳細は土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「水路工」、「パイプライン」等を参照すること。

32. 薬液及び肥料混入処理

(基準 3.4.4 関連)

32.1 資材混入方式

病虫害防除及び液肥施用のための資材混入方式には、組織内における施設の配置によって、かんがいブロック混入方式、ローテーションブロック混入方式、散布ブロック混入方式の3方式がある。また、混入装置の機能面からは、全量希釈注入方式、流量比例方式、差圧利用方式等がある。

かんがいブロック混入方式及びローテーションブロック混入方式の混入装置は配水施設に属し、散布ブロック混入方式の装置は散布施設に属する。

(1) 各混入方式の特徴

ア. かんがいブロック混入方式

この方式は、支配面積数十 ha 程度の単一作物の大規模団地で、団地が1か所に集まっており、かつ、地形条件、営農形態及び作業体系が一つに集約される場合に採用すれば、施設の規模効果が期待でき、有利である（図-32.1 参照）。

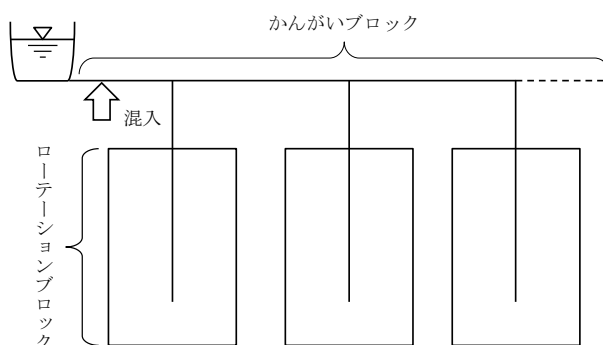


図-32.1 かんがいブロック混入方式

イ. ローテーションブロック混入方式

この方式は、次のような大規模団地に適している（図-32.2 参照）。

- ① ほ場が数 ha 単位に分散している大規模団地
- ② 1か所にまとまった大規模団地であっても、団地の作物構成が多岐にわたっており営農形態及び作業体系が数 ha～10ha ごとに集約される場合

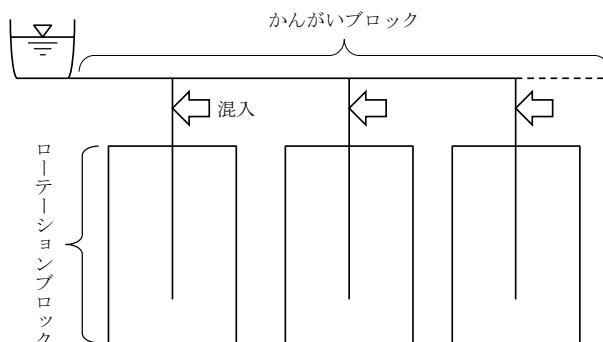


図-32.2 ローテーションブロック混入方式

ウ. 散布ブロック混入方式

この方式は、高級そ菜の集約栽培のように、個別経営を主体とした営農形態及び作業体系を確保するのに適し、その支配面積は、数十 a～数 ha 程度である（図-32.3 参照）。

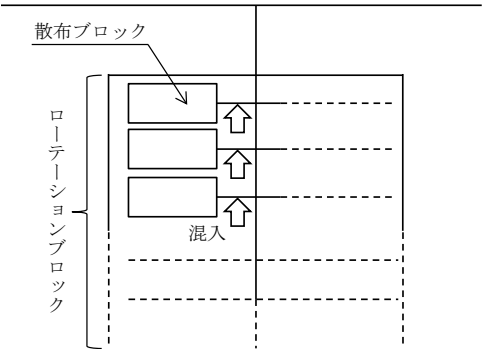


図-32.3 散布ブロック混入方式

各混入方式の適用について、組織規模別に整理すると表-32.1 のとおりとなる。

表-32.1 組織規模別の適用方式

方 式	組 織		
	大	中	小
かんがいブロック混入方式	○	×	×
ローテーションブロック混入方式	○	○	×
散布ブロック混入方式	○	○	○

(2) 薬液等混入の方法

全量希釈注入方式は混入機器を使用せず、調整槽又は貯留槽において所定の希釈濃度の薬液等を配管中に圧入して散布する方式である。

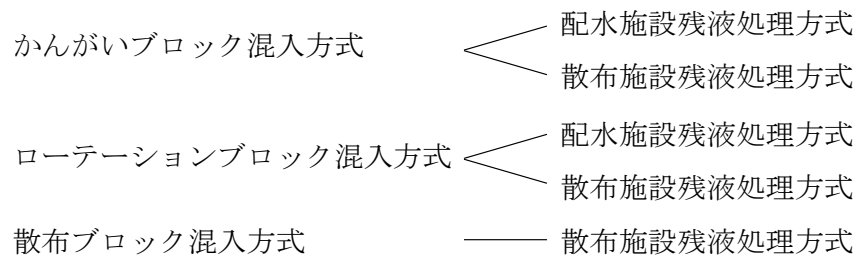
支配面積が大きいと大容量の調整槽又は貯留槽が必要となり、また、薬液等の調整に時間がかかりすぎると薬効上の問題が生ずる点に留意する必要がある。

この他に、流量比例方式、差圧利用方式、流量調整方式、流量利用方式、加圧ポンプによる注入方式など種々の方式が開発利用されている。

32.2 残液処理方式

栽培管理の合理化のための用水施設の配管は、一般に動噴散布の定置配管に比べ、口径の大きなパイプが用いられる。このため、薬液散布作業の後、管内に残留する薬液量が多く、薬液費が嵩む要因となっている。したがって、できる限り、残留薬液の回収、再利用を図らねばならない。残留薬液の回収は、通常、配水施設と散布施設とで別個に行う。

薬液等の混入方式と残液処理方式の組合せは、次のようになる。



(1) 配水施設内の残液処理方式

送・配水ラインの管径は散布ラインに比して、はるかに大きく、かなりの延長に達することから大量の薬液等の損失を生ずるおそれがある。

幹・支線管路内の残液処理方式としては一般に、①水押し方式、②逆流回収方式の2つの方式が採られている。

(2) 散布施設内の残液処理方式

散布施設内の残液処理方式は回収処理とほ場への散布処理に分けることができる。

- ① 回収処理
 - 順次回収方式
 - 同時回収方式
 - ダブル配管方式
- ② 散布処理
 - 水押し方式
 - 空気吸込方式

33. 送水方式の種類と選定

(基準 3.4.4 関連)

水源から計画地区へ用水を導入し、かつ、地区内のほ場での水需要を充足するように配水するための送水施設を、施設の操作、管理の方法も併せて勘案しながら選定することは、施設の優劣を左右する最も重要な課題である。

33.1 送水施設の選定

送水施設は、一般に図-33.1 に示すような複雑な施設となる。送水施設の選定に当たっては、1 地点における水使用が、その周辺の他地点あるいは全体に様々な影響を引起こすため、水理ユニットとよばれる互いに影響を及ぼし合う範囲にある施設群を一体として取り扱い、考えられるいくつかの施設についての比較案を作成し、それらの比較案の中から最良案を選定する必要がある。

比較案の検討に際しての評価基準は次のとおりである。

- ① 水資源の有効利用、特にポンプアップした水あるいはダムに貯留した水は無駄に放流することを極力避けること（無効放流の防止）。
- ② 容易な水管理の下で円滑な水配分が可能なこと（効率的な水配分）。
- ③ 施設費が低廉で、かつ過大でないこと（経済的な初期投資）。
- ④ 操作が単純で、故障が少ないこと（高い信頼度）。
- ⑤ 維持管理費が安いこと（低廉な管理費）。

上記の条件を満足するための送水施設の選定に際しては、ファームpond及び調整池の付加設置も含めて検討する必要がある、全体のつり合いを確保しつつ、細部が全体の均衡を崩さない範囲で、できる限り機能性と安全性を追求する。

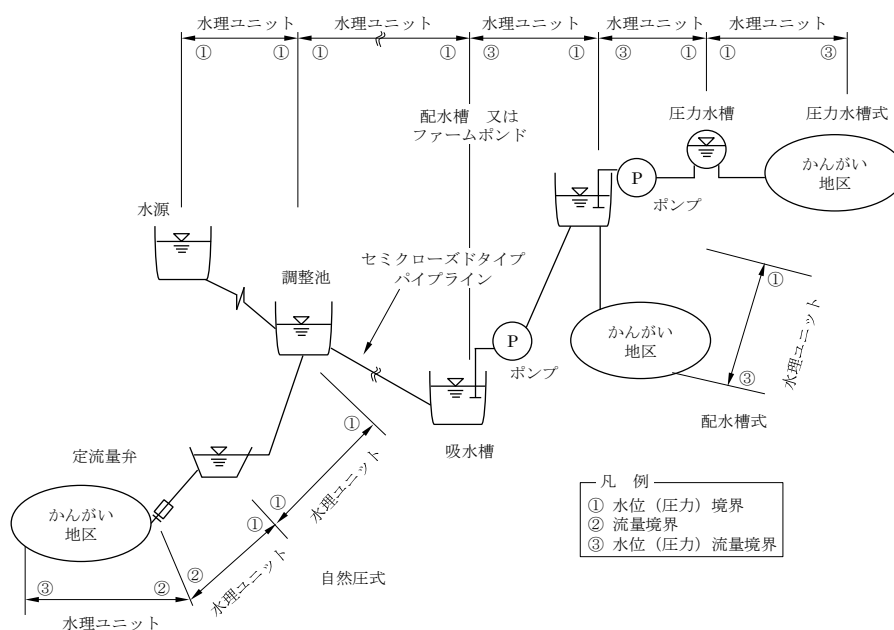
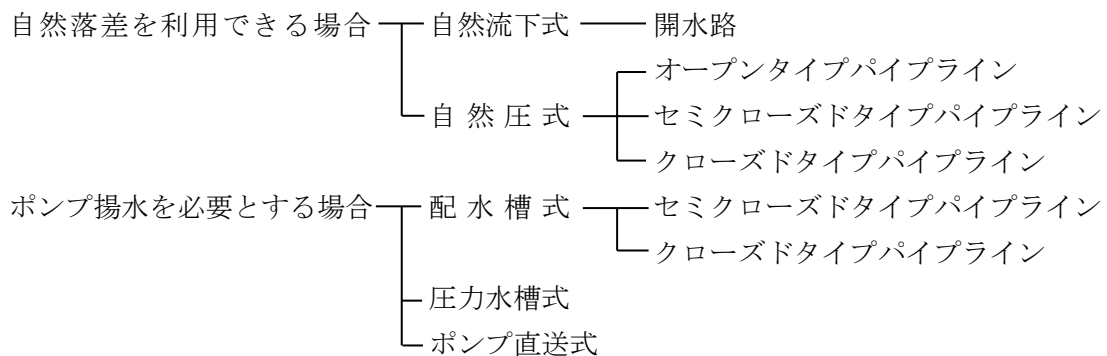


図-33.1 送水方式の組合せからなる送水施設の一例

33.2 送水方式の種類と選定

送水方式は、次の 5 種類に大別される。



上記 5 種類の方式のうち、自然流下式は大規模計画地区において、水源から調整池までの幹線導水路等に、ポンプ直送式は小規模な用水施設で、かつ、ウォーターハンマ対策に万全が期されている場合に採用が可能である。

一般の用水施設における送水方式としては自然圧式、配水槽式及び圧力水槽式が多く用いられる。送水方式の一般的な形を図-33.2 に示す。

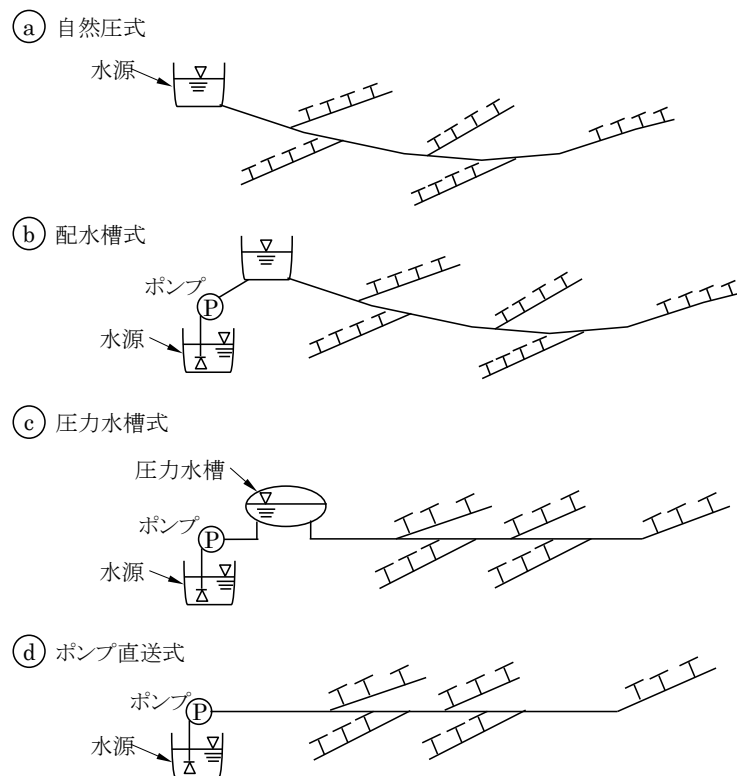


図-33.2 送水方式の種類

第一に検討すべきことは、最良の方式である自然圧式が利用できるかどうかである。したがって、地区の一部だけでも自然落差が利用できれば、その区域については自然圧式を採用すべきである。自然落差の利用できない地区では、配水槽式について検討し、配水槽式の採用ができない場合に限り圧力水槽式とする。ただし、圧力水槽式とする場合の 1 機場当たりの支配面積は、維持管理及び施設費の点からは、低圧受電で済む 30～60ha 以下とするのがよい。

計画地区が広大で、かつ、地区が分散しているような地区では、これらの送水方式のいくつかの組合せが考えられる。したがって、どのような組合せとするか、導水路の水路形式とも併せ考えられるいくつかの比較案を作って十分検討し、最良案を選定する必要がある。

例えば、ポンプ揚水の必要な地区で、水源からかんがい地区までかなり離れているような場合、水源位置でポンプ揚水して、一括送水するか、あるいは地区までの途中や地区内に導水した後ポンプ揚水して送水するか、また、送水方式も配水槽式か圧力水槽式か、導水路は開水路かセミクローズドタイプパイプラインかクローズドタイプパイプラインか、さらに調整池やファームポンドが必要かどうか、必要の場合どの位置に設けるか等、種々の組合せが考えられる。したがって、現地の水源とその位置、地区内の状況等を十分調査し、現地の各種条件に最も適した案を「**33.1 送水施設の選定**」で述べた評価基準により検討し、選び出す必要がある。

特に大規模計画地区では、送水方式の選択が水管理及び施設の維持管理を左右する最も重要な問題である。

急傾斜地等のように標高差が大きく、市販管の耐圧強度以上の高低差のあるところでは、原則として規格管の圧力の許容の範囲内で地区を等高線方向に区分し、2 段や 3 段揚水する方法を採る。

33.3 水路形式とその特徴

水路は、開水路とパイプラインに大別される。パイプラインには 3 種の形式があり、それぞれの特徴は表-33.1 に示すとおりである。

送水方式が定まると、計画に際して与えられる条件との関連で、水路形式はほぼ特定の形式に定まる。

表-33.1 パイプライン各形式の特徴

形式 条件	オープンタイプ	クローズドタイプ	セミクローズドタイプ
分水調節	スタンド位置で分水機能を兼用させられることから、スタンドの構造に工夫を加えれば、分水量の調節も比較的容易に、かつ、正確にできる。	同一配管系統中の一部の給水栓を開放すると直ちに他の給水栓の分水量に影響するという欠点がある。このような場合にも定量分水することができる分水装置も考えられるが工費が高む。	フロートバルブスタンド位置に分水施設を併設すればある程度の分水量の調節ができるので、クローズドタイプより若干有利である。
管 体	スタンド間の高低差を規制することによって低圧管を用いることができる反面、スタンド位置で一旦減圧されるので、管径が大きくなる傾向がある。	水頭を有効に利用できる反面、高圧パイプの使用が必要となる。しかし、標高差を最大限に活用できるのでオープンタイプに比して管径を細くでき、急傾斜地ではオープンタイプより管体費は安くなることもある。	フロートバルブを適当に設けることによって低圧管の使用が可能である。一般にオープンタイプより高圧管が必要となる。
ス タ ン ド	一方向傾斜地に沿った配管では、スタンド間隔を狭くしなければならず、スタンドの数が多くなる。	スタンドがないので、これに要する費用は全く不要である。	管の耐圧強度の範囲内で、フロートバルブを設ければよく、傾斜地でもオープンタイプよりスタンドが少なくて済む。
放 水 施 設	断面変化点（分水点）には必ず放水施設を必要とする。	断面変化点（分水点）に放水施設を必要としない。	フロートバルブ位置に余水吐をできるだけ設けた方がよい。最末端を河川等に接続しておく必要はないので、オープンタイプより放水施設費は少なくて済む。
水 管 理 損 失	水管理損失は開水路と同様大きい。特に24時間かんがいを行わない畑地かんがいの場合、この損失は予想以上に大きい。	水管理損失は少ない。	水管理損失は少ない。

なお、パイプラインの計画・設計の詳細は、土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「水路工」、「パイプライン」等を参照すること。

34. 調 整 池

(基準 3.4.4 関連)

34.1 調整池の規模決定

(1) 配水管理を主目的とする場合

配水管理すなわち用水の円滑な配分を主目的とする場合には、調整池から下流の計画最大流量の半日か1日分程度の貯水能力を持たせることが望ましい。

この場合の調整池貯水量は次の式(34.1)により求める。

$$V = \frac{10 \cdot D_m}{E_f} \cdot \frac{N_t}{24} \cdot A = \frac{D_m \cdot N_t}{2.4 E_f} \cdot A \quad \dots \dots \dots (34.1)$$

ここで、

- V : 調整池貯水量 (m³)
- D_m : 計画最大日消費水量 (mm/day)
- E_f : かんがい効率
- N_t : 貯水時間 (hr) = 貯水日数 × 24
- A : 調整池に係るかんがい面積 (ha)

(2) 水路施設の管理を主目的とする場合

水路施設の管理、すなわち補修・点検等の点から考える場合には、それに要する時間が規模の決定条件となる。

一般に 0.5m³/s 以下のパイプラインでは、破損時の補修は1日以内で終わることができる。しかし、それ以上の規模では、3～7日程度は必要となる。

(3) 補助水源として利用する場合

水配分や施設管理のみならず、補助水源としての役割を果たす場合には、その調整池に貯水すべき必要貯水量と調整池への流入水路の通水能力から規模を決定する。

34.2 調整池の配置

調整池の設置位置は、地区内にできるだけ数多く分散させることが理想であり、かつ、河川(ダムを含む)からの取水地区では、特に高水時の導入貯水も考えた補助水源的役割も果たさせるべきである。

また、調整池設置予定地点の立地条件、経済性、上下流パイプラインの水位計画等、総合的な水頭配分についても十分検討し決定する。

34.3 調整池の構造

調整池の構造は、大規模かんがい計画において貯水容量が大きい場合にダムを築造して調整するものから、小規模なものでは、合成ゴムシートライニング、アスファルトライニング、コンクリートライニングあるいは鉄筋コンクリート造の調整池まである。また、適当な余水放流施設を設け、河川や溪流に放水できるようにしなければならない。さらに、パイプラインへ土砂、ごみ等が流入しないような構造とする。いずれも、技術的な検討とともに経済性を考えてその構造を決定する。

なお、調整池の設計の詳細は、土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「水路工」、「パイプライン」等を参照すること。

35. 総合水理解析の検討

(基準 3.4.4 関連)

35.1 施設総合機能の検討

取水施設、分水施設、送配水施設等を個別に設計し、それらを総合して一つのシステムとして作動させるとき、個々の施設は十分な機能を備えているにもかかわらず、全体として満足のいく作動特性を得られない場合がある。例えば、一つの送水施設に対して数か所からポンプで注入する、いわゆる多点注入システムでは、お互いのポンプが競合して、結果的にシステム全体としての作動特性が計画時点で想定したものと全く異なるものとなることがある。

図-35.1 は、5 か所に分散した水源から、ポンプで送水施設に用水を強制注入する多点注入システムの例である。各水源位置では、計画分担流量が取水可能量との関係で定められている。各ポンプの必要揚程を求めるため、計画分担流量を各注入点に与えて送水組織の水理計算が行われている。その結果を P_1 地点のポンプ分担流量について整理すると、例えば P_2 地点の必要揚程は図-35.2 の破線のようになり、これを基に各位置のポンプ揚程が定められ、ポンプが選定されている。

このようにして計画された送水施設について、今度は各ポンプの $Q \sim H$ 特性を考慮して総合水理解析を行うと、図-35.2 の実線で示すようになり、計画時点で想定したものとは全く異なった作動特性を示すことが分かる。これは、 P_1 の流量が減少するにつれ、他のポンプの分担流量が増加し、ポンプ特性を考慮しない場合には、この分担流量を増加させるために各注入点で注入水頭を増加させなければならない。しかし、ポンプの $Q \sim H$ 特性を考慮するならば、ポンプ分担流量の増加によってポンプ揚程は逆に小さくなる。そのために両者は全く異なってくるのである。

この例で示すように、個別に計画・設計された施設を統合すると、結果として想定した特性と似ても似つかないものとなることがある。したがって、計画・設計が完了した時点で、なるべく現実に近い条件を考慮して総合特性を検討しておくことが重要であると考えられる。

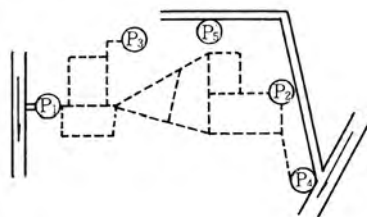


図-35.1 多点注入送水パイプラインの例

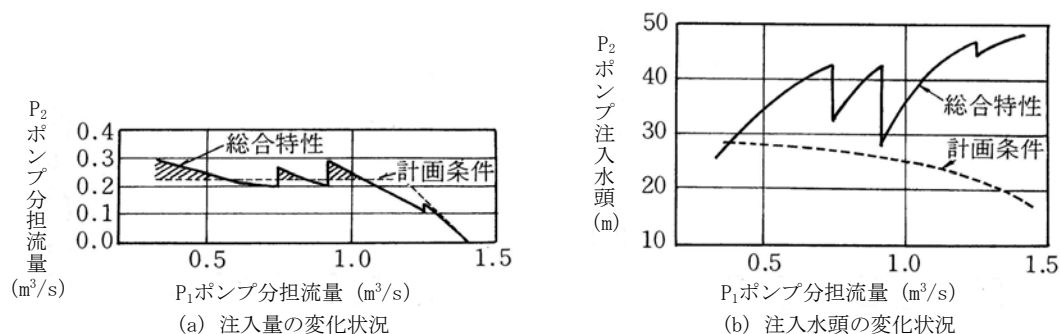


図-35.2 多点注入システムポンプ作動状況の解析例

35.2 水管理操作と施設連携機能の検討

多数のポンプをスムーズに連携運転させるためには、運転操作のための適当な操作容量を調整槽（バッファープOND）に持たせなければならない。ポンプ能力や水路通水能力、さらには貯留容量の間に適当な関係を持たせる必要がある。このような関係をシミュレーションによって検討した例を示す。

図-35.3 は、6 台のポンプが各水槽水位によって ON-OFF される送水施設の例である。各水槽水位をシミュレーションによって追跡した一例が図-35.4 であり、非常に複雑な水位変化をすることが分かる。このようなシミュレーションによって、末端施設の様々な運転状況に対する送水施設の連携機能を検討したところ、1 号水槽の貯留容量不足が原因となって、送水施設全体の連携機能が著しく阻害されることが分かった。

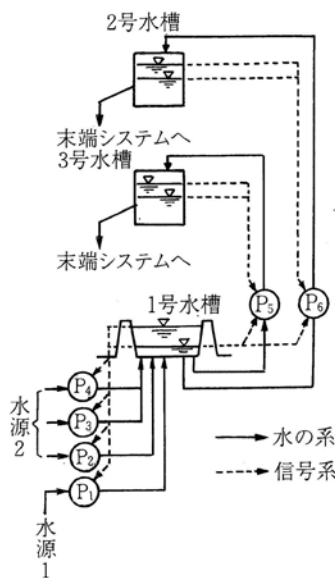


図-35.3 ポンプ連携システムの例

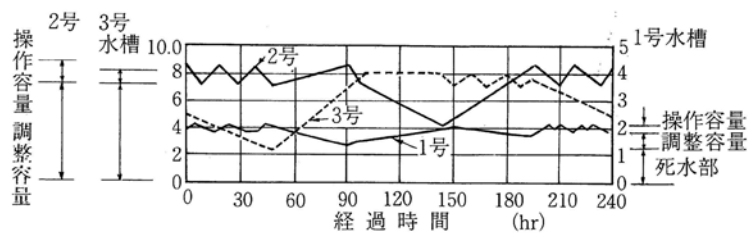


図-35.4 水槽水位追跡の一例

35.3 水管理操作に伴う過渡現象の検討

図-35.5 は、山頂の主水槽から各かんがいブロックの水槽まで、用水を自然圧によって送水する総延長約 6.5km のセミクローズドタイプの送水管路の例である。管材は、管径が 150~300mm のダクタイル鋳鉄管を使用している。この管路の最下流水槽端に取り付けられている定水位弁が閉鎖した直後にしばしば故障が発生した。そこで、この原因を調べるために、弁閉直後の水流の過渡現象のシミュレーションを行ったところ、図-35.6 に示すように 130m にものぼる水撃作用による圧力上昇が生じており、また、弁閉から約 10 秒後には水柱分離の発生していることが予想された。そこで、対策として直径 100mm のパイプを弁の一次側に接続して自由水面を作ることとし、その効果をシミュレーションによって検討したところ、同図に示すように水撃圧は小さくなり、負圧も発生しないことが分かった。現地測定でもこのシミュレーション結果と同じ効果が確認され、対策後に故障は発生しなくなった。

このように、電算機シミュレーションによって机上で過渡現象の状況を再現することができ、また、様々な安全対策法の効果をあらかじめ評価することが可能である。総合水理解析は、このような点でも大きな力を発揮することが分かる。

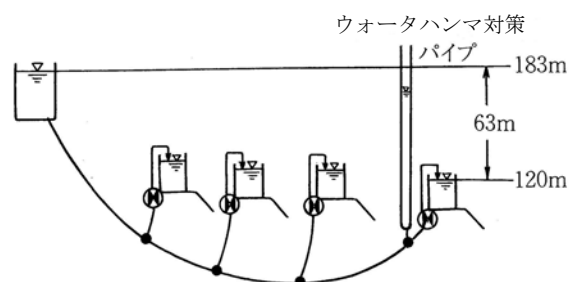


図-35.5 セミクローズドタイプパイプラインの水撃対策の例

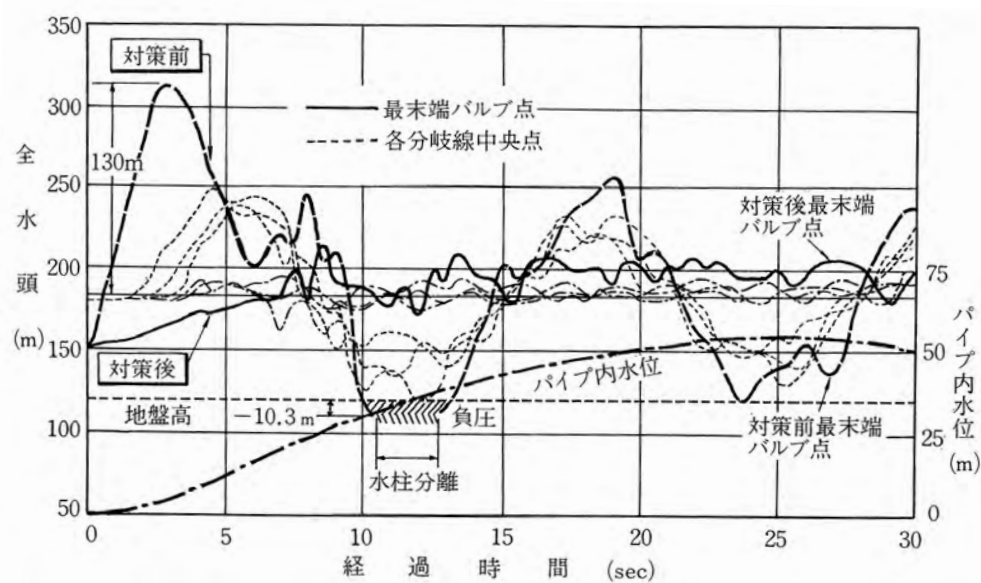


図-35.6 セミクローズドタイプパイプラインの過渡現象の解析例

36. 用水路の形式と構造

(基準 3.4.4 関連)

36.1 用水路の形式と構造の概要

用水路の形式には、開水路及び管水路並びにこれらの組合せがある。水路形式の選定は水路組織全体の機能及び安全性等を左右するため、それぞれの長所が発揮されるよう適切な形式を選定する。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ことなどが開水路と比べて利点となるが、施設の保守・点検・修理上は、不可視による維持管理であるとともに水理学的な用水の挙動も考慮する必要がある。

このような比較には、一連の区間について規模、目的、立地などの条件に維持管理の状況と経済性の面から検討を行い、可能な形式を選定し、これらについて水路工事費、用地費、付帯工事費などの経済性から決定する。

なお、用水路の構造は、素掘り水路、ライニング水路、フリューム、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、人の転落やゴミ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、周辺環境との調和を考慮する場合も多くみられる。

36.2 用水路の各構造の特徴

(1) 素掘り水路

漏水防止対策を考える必要がなく、流速及び構造物による流れの乱れ並びに湾曲部への流れの衝突による浸食の懸念がない場合に採用する。合流部、湾曲部など浸食が予想される部分には、局部的に護岸等を行う場合もある。

(2) ライニング水路

法面勾配が自立安定する場合に、止水、水路表面の平滑化、法面保護などを目的として薄い被覆がされた構造である。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）などがある。

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

水路側壁と底版が一体となって土圧と水圧を支持する構造で形成される水路をいい、安定性及び安全性では信頼度が高い。また、組立て式のものもあり、広く利用される構造の水路である。一般に、通水断面を小さくできるので、用地面積と土工量が節減できる。

(4) サイホンと水路橋

河川、鉄道、道路、渓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ので、基岩が堅く、深い渓谷を横断する場合などでは、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に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る、地下水位が高くなるなど構造的に不安定又は経済的に不利となる場合や鉄道、道路などの横断に土被りが十分確保できない場合などに採用される。特に近年、

都市化の進んだ地域などでは、転落防止のためや生活雑排水などの流入を防止するための対策として採用される場合もある。

(6) トンネル

山岳、台地など地形的に高位部において送水を行う場合は、トンネルが有利となる場合がある。岩質・風化の程度、層理節理の発達、断層の有無などの地質条件を勘案して、坑口の位置を選定し、最短距離を通過するように路線を定める。

トンネルは地下水に影響を与えることも多いので、路線の選定に当たっては周辺の状況に留意する。

(7) 管水路

設計流量が満流状態で流れる水路構造で、用水の動水勾配線以下に布設すれば、地形の変化に追随できる特徴があり、路線の選定の幅が広い。

しかし、管体に作用する内・外圧の大きさは路線により変化するので、これらの条件による管種・路線の選定に当たっての比較検討が、主に経済性の面から必要となる。

なお、管路の路線についても、他の構造の水路同様に道路又は耕地の境界に選定することが施工・管理の面から望ましい。

また、流水の制御機構からは、管水路の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ー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、分水スタンドなどの水位調節施設を設置し水位を確保する必要がある。クローズドタイプは、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。

なお、用水路の各構造の特徴は以上のとおりであるが、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「水路工」、「パイプライン」、「水路トンネル」等を参照すること。

37. 附帯施設の形式と構造

(基準 3.4.4 関連)

37.1 分水施設

分水施設は、複数の用水路に対して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、配分すべき用水の水量は一定ではないので、分水施設を計画するに当たっては地区又は用水系統ブロックにおける用水需要の変動に対応する分水機能が確保され、操作管理が容易に行えるなど適切な構造とする必要がある。

分水施設の位置の選定については、次の基本事項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できること。
- ② 高盛土や長大切土など災害が発生しやすく、危険の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、分水施設には、施設の操作・管理を計画的に行うため、水路への分水量を把握する量水施設が併設される場合が多い。この場合には、量水施設の機能が十分に発揮されるように適切な計測要素（流量、流速、水位）、精度などを検討する必要がある。

分水施設の形式は、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。

(1) 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危惧される。

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形式に入る。

(2) 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をディストリビュータ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。

(3) 定比式分土工

幹線水路の流量や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る。畑地かんがいや他の利水との共用水路では、流量調節装置を持たないため水需要の変動に対応しにくい。なお、分水比を規定する壁などの構造が可動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。

ア. 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、構造が簡単でかつ施工が容易で安価であるが、下流水路の水理条件の影響を受けて分水比が変化しやすい。

イ. 射流分土工

水路の一部に射流区間を設け、下流水路の影響を断ち、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可能になる反面、背割分土工に比べて施設用地が多く必要となる。

ウ. 円筒分土工

水路の流水を、逆サイホン管等を用いて円筒形越流部に導き、所定の分水比によって分割した円周上の堰を越流させて分水するものである。数多く分水することが可能な反面、水理設計が複雑で、施工費も高額となる。

37.2 調圧施設

水位及び水圧の調整機能を兼用させるものと単独のものがあり、設計に当たっては、機構と水管理条件から形式、構造を決定する。

調圧施設の分類を表-37.1に示す。

表-37.1 調圧施設の分類

区分	形 式 の 細 分	概 要
水 位 調 節	ゲ ー ト ス タ ン ド 型	スタンドに設けるゲート（上流水位定置ゲート）により上流側水位を調節する。
	オーバーフロースタンド型	スタンド中央部に越流中壁を設け、その底部にスルースゲートを取り付け、水位、流量の調節は同ゲートの開閉により行う。
	バ ル ブ 調 節 型	送配水管路の途中に弁を設置し、その開度によって上流側水圧を調節する。
減 圧	減 圧 ス タ ン ド 型	パイプラインの途中に設ける減圧スタンドにより減圧するもので、付近に分土工はないが、管水路の耐圧強度上又は水理上減圧の必要がある場合に用いる。
	減 圧 弁 型	二次側の水圧を定置する弁
	フ ロ ー ト 弁 型	二次側の水圧を定置するフロート弁

37.3 通気施設

管水路内に空気が滞留すると、流れを不規則にし、不都合な圧力変動をもたらし、通水能力を低下させるので、これを速やかに排除する必要がある。一方、末端での放流、非常時あるいは補修、点検等で管水路内の水を排除する際に管路の凸部に負圧を生じる場合、又は弁の開閉操作により弁直下流に負圧を生じる恐れのある場合には、空気を管水路内に吸収する必要がある。通気施設は両方の目的のために設置されるが、配置場所についてはどの機能に重点を置くべきかを十分検討して決定する。

通気施設には、①通気孔、②通気スタンド、③空気弁などがある。

37.4 保護施設

保護施設は、非定常的な水理現象によって発生する圧力を緩衝する装置（サージタンク、安全弁等）と管内の水及び泥を排除するための施設（余水吐、排泥施設等）がある。

保護施設の設計に当たっては、操作管理上の配慮を行って十分安全性を確保できる位置、種類及

び構造とする必要がある。

37.5 管理施設

用水の円滑な配分と諸施設の維持管理上必要な施設であり、①除塵施設、②制水弁、③マンホール及び監査柵などがある。

37.6 安全施設

安全施設は、転落防止、危険区域内への立入り防止、転落者の救出等のために設置される施設であり、①ガードレール、②フェンス、③手摺、④救助ロープ、⑤照明・防音・換気施設等がある。

37.7 量水施設

量水施設については、技術書「26. 末端かんがい施設における調節装置の分類と選定」の項目を参照のこと。

なお、以上の附帯施設の詳細については、土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「水路工」、「パイプライン」、「水路トンネル」等を参照すること。

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 てい可 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	深浅一様 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、フィレット、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ので、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

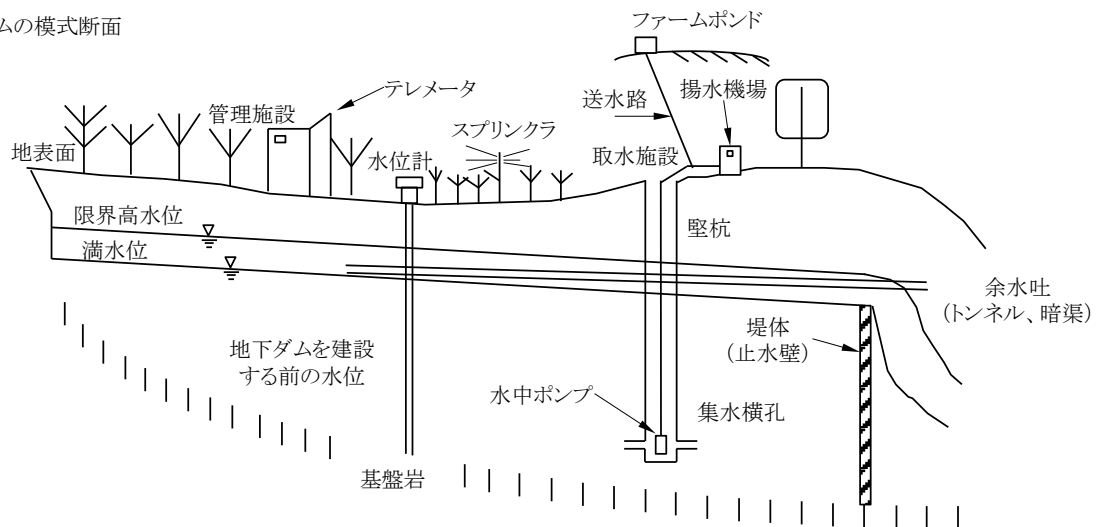
39.3 地下ダム

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こりにくい。
- 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、図-39.1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

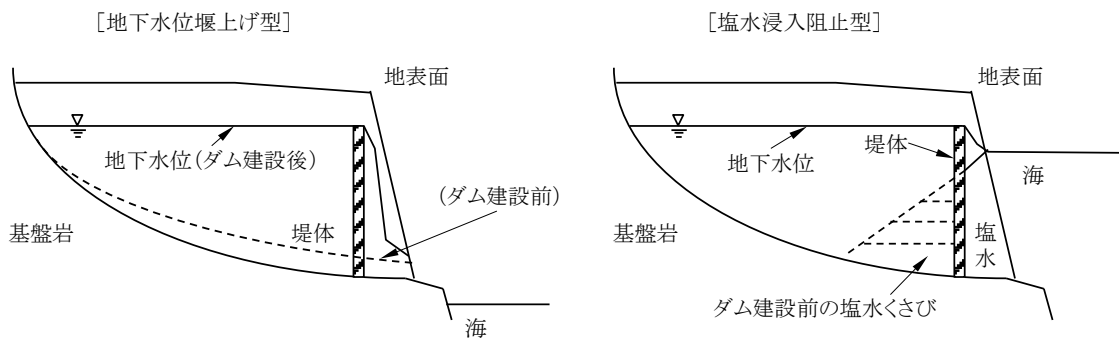


図-39.1 地下ダムの模式断面及び目的による区分

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、特にクロズドタイプ又はセミクロ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(チェック弁) 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	目 視 確 認	記 録 な し	低
(2)現地常駐	計測指示監視	手 書 記 録	高
(3)遠隔監視			
(4)中央管理	中央集中監視	記録計による アナログ記録	低
		↓	
		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	
		↓	
		予測結果の記録	高

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	機 側 手 動 操 作	低
(2)現地常駐	↓	
(3)遠隔監視	遠 隔 手 動 操 作	
	↓	
	遠隔手動設定値制御	
	↓	
	自 動 制 御※	高
(4)中央管理	↓	
	遠方手動制御	低
	↓	
	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	高

※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 以下の場所を使用する。
- 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。

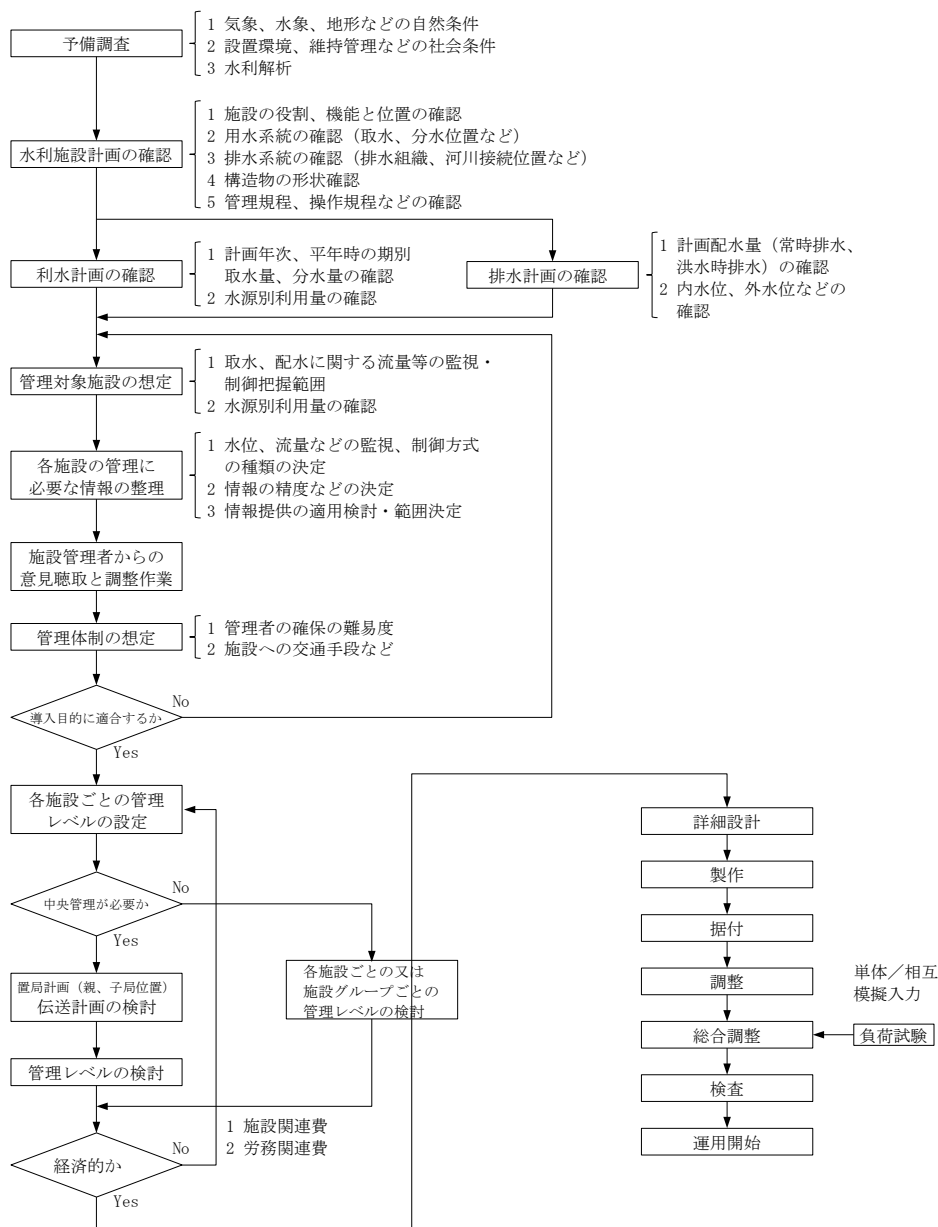


図-40.3 計画・設計から運用開始に至る作業手順

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。

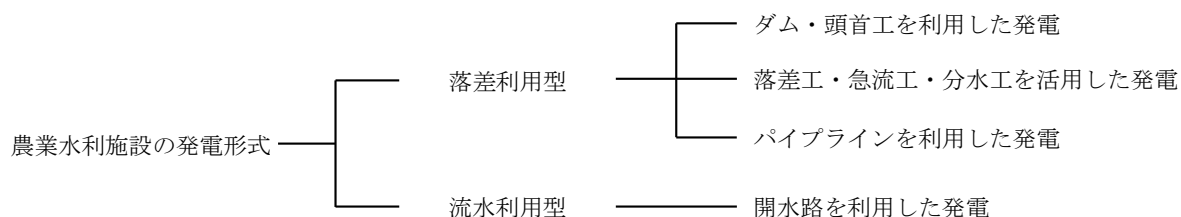


図-41.1 農業水利施設の発電形式

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、小水力発電施設の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、工事用スペース、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となる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主とする農業用水は、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ことから、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 $0.9\text{m}^3/\text{s}$ 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	$0.9\text{ m}^3/\text{s}$
	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	$1,000\text{ min}^{-1}$
	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
$0.529\text{ m}^3/\text{s}$	$0.900\text{ m}^3/\text{s}$	$0.242\text{ m}^3/\text{s}$



写真-41.1 水車及び発電機

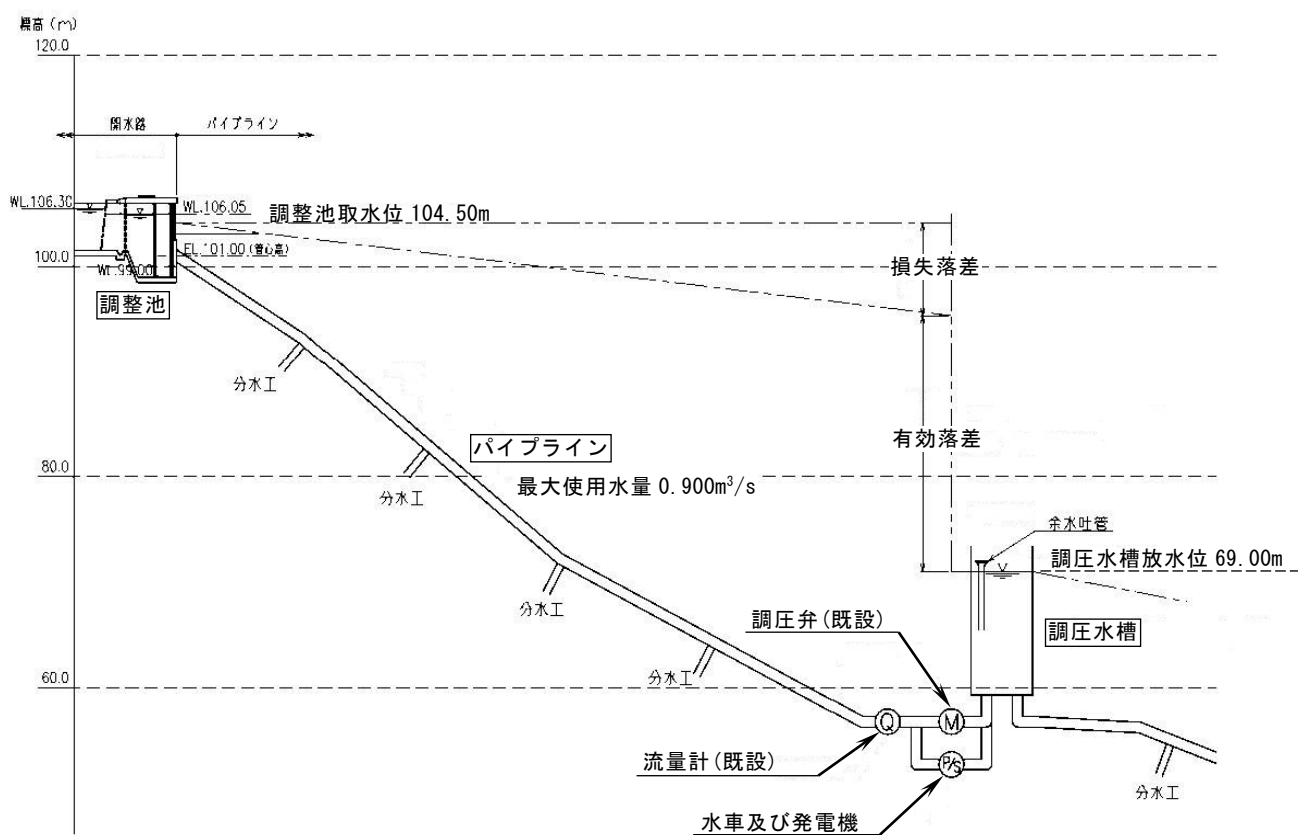


図-41.2 水路縦断図

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 CO_2 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	・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	・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	・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／kW (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／kW)

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）
 - N E F 水力本部：ハイドロバレー計画ガイドブック（2005・2008）
 - N E D O 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。

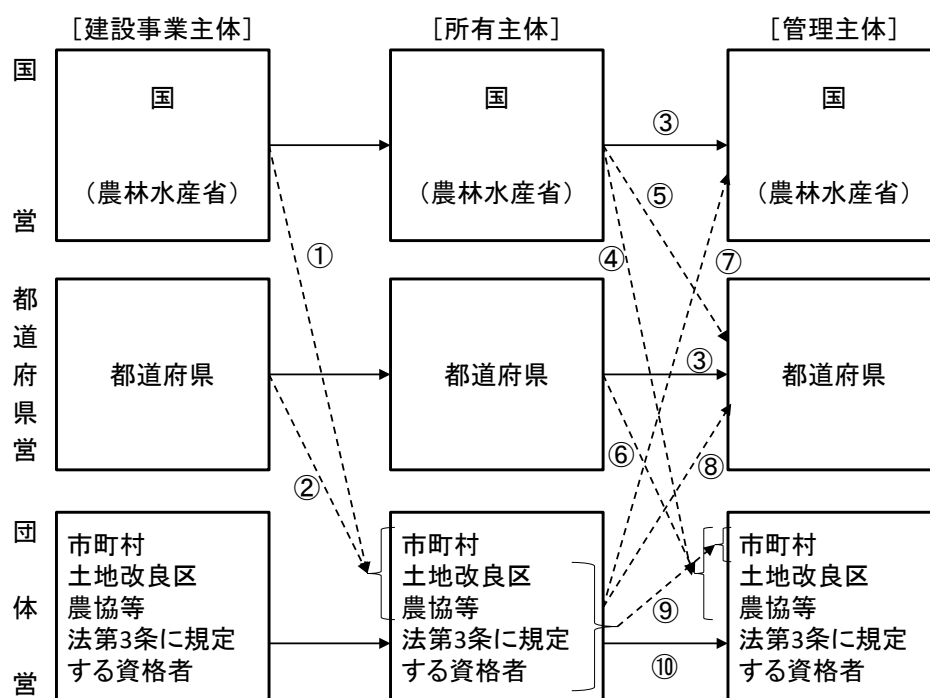
なお、一般的な管理制御システムでは自動化が困難な次の項目については、人間が関与する組織による管理方法を定めて対応する必要がある。

- 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。

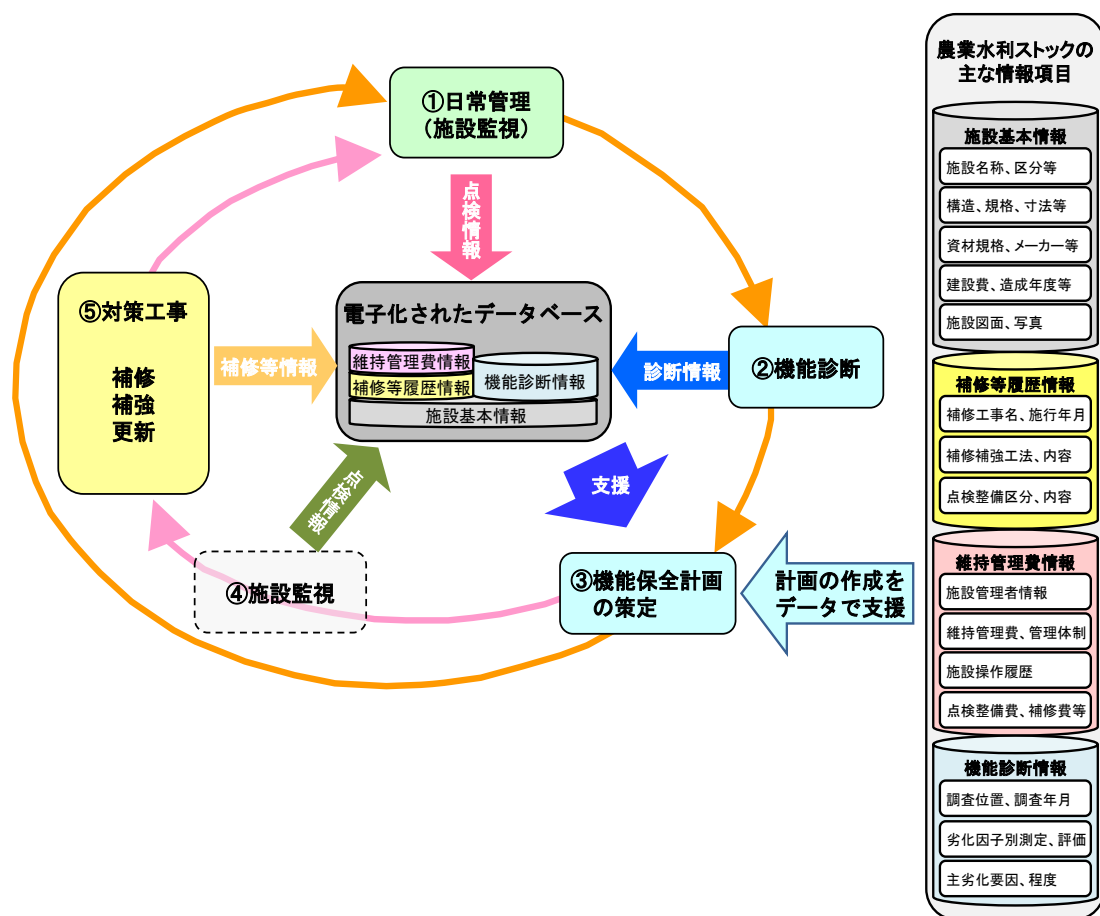


図-42.2 スtockマネジメントのサイクルとデータベース

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。

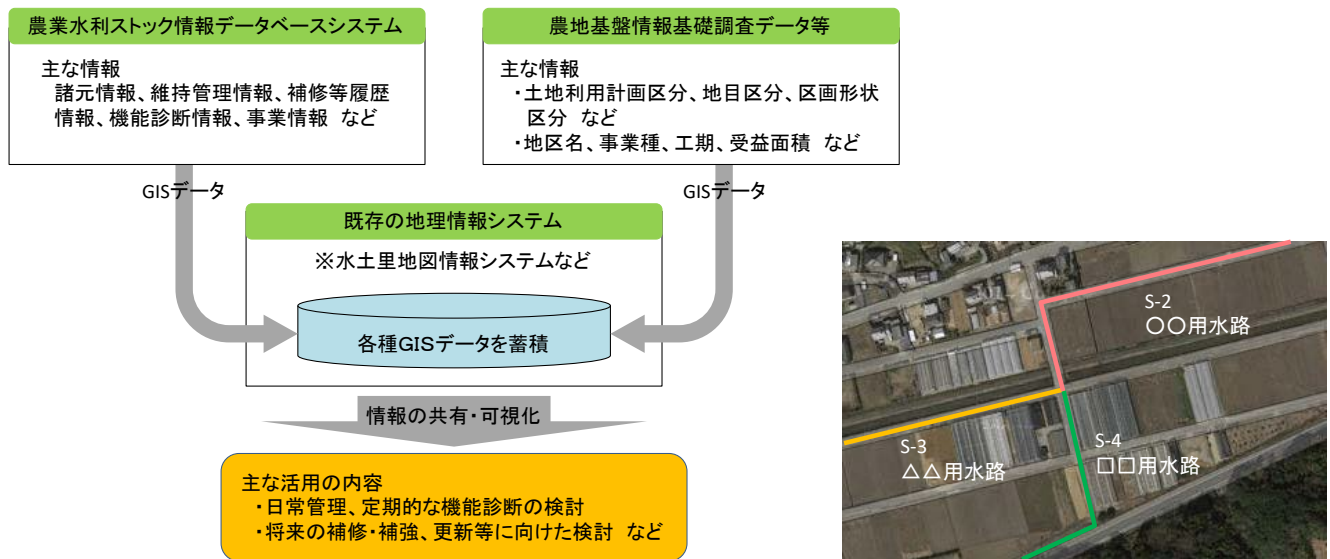


図-42.3 情報の蓄積・共有・可視化のイメージ

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。

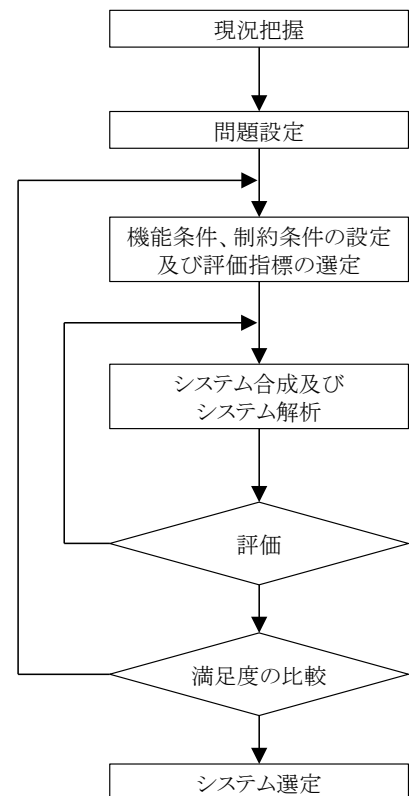


図-43.1 システム選定の流れ図

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

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性を十分に解析、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、システムの特性を測定することや、システムの特性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。

システムの特性が数式あるいはシミュレーションで表示できれば、そのシステムの特性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、すなわち最適解を求められる。

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。

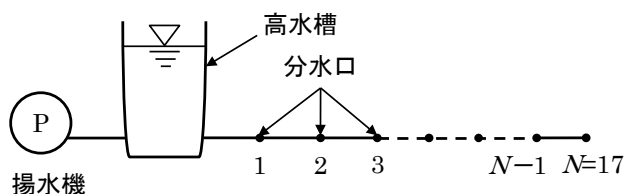
(1) 参考

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 $H \geq H_f + 4.0\text{m}$
 ここで、 H_f 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。

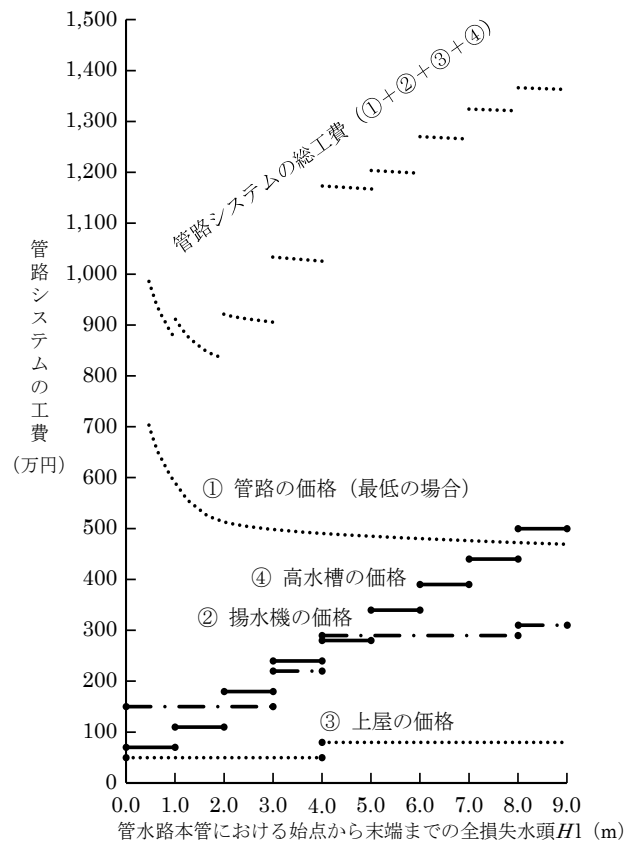


図-43.3 管路システムの工費と管路本管における全損失水頭との関係

43.5 システムの信頼と安全性

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、信頼性及び安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。

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

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。

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

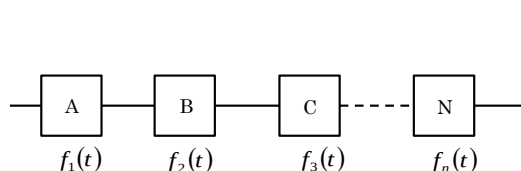


図-43.4 直列システム

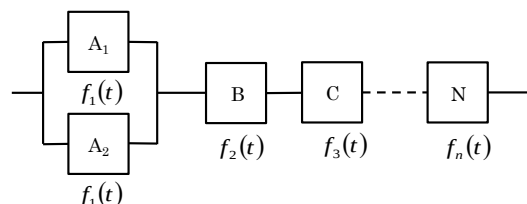


図-43.5 並列冗長方式を含む直列システム

(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。

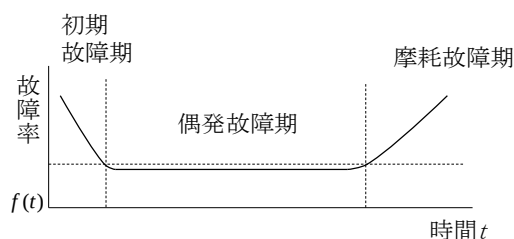


図-43.6 故障率の時間変化

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。