

ドミニカ共和国
環境・自然資源省
スール・フツオー財団

ドミニカ共和国
サバナ・イエグア・ダム上流域の
持続的流域管理計画

簡易灌漑農業
技術マニュアル

平成22年3月
(2010年)

独立行政法人
国際協力機構 (JICA)

社団法人 日本森林技術協会

ドミニカ共和国
環境・自然資源省
スール・フツー口財団

ドミニカ共和国
サバナ・イエグア・ダム上流域の
持続的流域管理計画

簡易灌漑農業
技術マニュアル

平成22年3月
(2010年)

独立行政法人
国際協力機構 (JICA)

社団法人 日本森林技術協会

目 次

はじめに	0-1
1. 灌漑農業に関する導入手順	1-1
1-1 導入の基本方針	1-1
1-2 導入手順	1-4
1-2-1 全体的な導入手順	1-4
1-2-2 設計に関わる手順	1-6
2. 水源調査	2-1
2-1 水源調査の概要	2-1
2-2 水源の流量測定	2-2
2-2-1 フロートによる測定	2-2
2-2-2 体積を利用した測定方法	2-5
2-3 ルートの選定	2-6
3. 灌漑農地の選定	3-1
3-1 灌漑農地の選択基準	3-1
3-2 土壌の観察	3-4
4. 灌漑水量の計算及び灌漑設備の種類	4-1
4-1 灌漑水量の定義と計算手順	4-1
4-2 灌漑水量の計算手順	4-2
4-3 日消費水量の計算	4-2
4-3-1 パン蒸発計 (Evaporation Pan Class A) の概要	4-3
4-3-2 パン蒸発計を用いた日消費水量の計算方法	4-3
4-4 灌漑方法の選択	4-4
4-4-1 灌漑機材の種類	4-5
4-4-2 灌漑機材の選択	4-5
5. 水理施設の設計	5-1
5-1 パイプラインの設計	5-1
5-1-1 水理計算の概要	5-1
5-1-2 パイプラインの水理計算	5-2
5-2 設備の配置	5-8
参考資料 1 外部条件が日消費水量に与える影響	A-1

はじめに

本プロジェクトに先行して実施された開発調査においては、サバナ・イエグア・ダム上流域を対象地域として、住民参加型の流域管理マスタープランが策定された。同調査終了後、ドミニカ共和国政府は本流域管理の重要性を認識し、同マスタープラン実施のための予算を確保し、NGOであるスール・フツーロ財団を実施機関としてマスタープランの一部の実施を試みている。本プロジェクト「ドミニカ共和国サバナ・イエグア・ダム上流域の持続的流域管理計画」は、流域管理に関する技術力と事業を運営するための能力向上を図ることを目標に実施された。

開発調査で策定されたマスタープランでは、簡易灌漑施設は、住民ニーズの高い社会インフラ整備として提案されているが、本プロジェクトの実施にあたっては、森林の減少・荒廃の大きな原因である焼畑移動耕作を放棄し、持続的な農業に転換するための方策としてアグロフォレストリーとともに導入した。同時に、簡易灌漑農業導入の裨益者は、植林および森林火災防止活動に参加することに合意しており、そのためのインセンティブとしても位置づけられる。

本プロジェクトにおいては、4年間の実施期間の中で、灌漑導入ポテンシャルの高い4村を対象に、住民参加型アプローチにより簡易灌漑施設を設置した。本灌漑農業マニュアルは、その活動を通じて集積された経験と情報を整理したもので、今後スール・フツーロ財団あるいは他のNGO、行政機関、ドナーなどの支援組織が参加型アプローチで簡易灌漑農業を導入する際に利用することを目的に作成したものである。

本マニュアルは、

- (1) 灌漑農業に関する導入手順
- (2) 水源調査
- (3) 灌漑農地の選定
- (4) 灌漑水量の計算及び灌漑施設の種類
- (5) 水理施設の設計

で構成される。(1)では、導入の基本コンセプトと導入手順について述べ、その後、(2)～(5)で簡易灌漑農業導入に必要な基本的技術を概説する。本マニュアルの作成にあたっては、事業の実施において使いやすいよう、要点を簡潔かつ具体的に述べるよう努めた。

1. 灌漑農業に関する導入手順

1-1 導入の基本方針

本プロジェクトにおける簡易灌漑農業の導入は、以下の方針によって実施された。

項目	内容
(1)プロジェクトにおける簡易灌漑農業の目的	<p>簡易灌漑農業は、対象住民へのインセンティブ事業として以下の目的の達成のために実施される。</p> <ul style="list-style-type: none"> a. 住民の生計向上：通年営農、生産性向上、生産物の多様化を通じ、自給のみならず販売を目的とした生産の実現。 b. 森林資源の回復：灌漑の導入の代価としての焼畑放棄、森林伐採の停止、植林の実施による森林資源の回復。 c. 適切な流域保全：灌漑導入の代価による植林の実施、焼畑の放棄による森林面積の増大による水土保全機能の向上、森林火災の防止活動の実施。 d. 住民組織の強化：灌漑を導入する農家は組織化し、灌漑農業組合を設立。その組織の下に営農、水管理、設備の維持管理や継続的な森林資源の回復、流域保全活動を実施。
(2)参加者（住民）の義務・責任	<ul style="list-style-type: none"> a. リボルビングファンドとして資材費に相当する額を 5 年間で返済（総額を農地面積比で配分）。 b. 土地（タンクやパイプの用地）の無償提供。 c. 一定面積の植林－保全地域、土壌保全が必要な場所（水源地）を主体とし、灌漑面積の 3 倍の面積を植林。 d. 焼畑農業の放棄。 e. 活動グループ（灌漑農業組合）の結成と運営。 f. 簡易灌漑農業に係る役務労働の無償提供。 g. 森林消防団への加入、訓練への参加、山火事監視。
(3)社会的コンセンサス	<ul style="list-style-type: none"> a. 水源の水利権にかかる手続き（水源を管理する水利庁に書類を提出）。 b. 配管通過用地の許可の取得（土地所有者の無償での許可）を得る。
(4)簡易灌漑農業の基本事項	<ul style="list-style-type: none"> a. 適用技術 <ul style="list-style-type: none"> ・水源：溪流河川（Arroyo、Río） ・水源近くに調整用のタンク（コンクリート）を設置。必要に応じ、簡易的な堰（フトン籠、コンクリート等の利用）も設置。 ・送水路：パイプライン（原則として土中埋設） 主に PVC（塩ビ管）、場所によってはポリエチレン管を採用。溪流を横断させる場合は、コンクリート支柱を用い空中を渡す。 ・貯水タンク：対象農地近くで農地より標高の高い位置に設置 基本はコンクリート製。適地が確保できれば、地面を掘削し、ポリエチレンシートを敷設した規模の大きい貯水池の設置も検討。 ・農地内灌漑設備：栽培作物、使用方法の条件によりマイクロ・ミニスプリンクラー、点滴灌漑設備、多孔ホース灌漑等から適切なものを選択。原則として参加者の使用する農地毎に水管理ができるように設計。 ・営農形態：野菜栽培、果樹栽培が基本。土地条件により、野菜栽培または果樹栽培を選択する。石礫地では、果樹を中心にする。 栽培作物は、販売を目的とし収益の得られるものを農業技術者が推薦するが、最終的に参加者自身が決定する。

項目	内容
	<p>b. 灌漑設備を導入する農地</p> <ul style="list-style-type: none"> ・原則として上限1地区300タレア、一人当たり10タレアとする（本プロジェクトの場合）。 ・専門家が栽培に適している農地を現地にて提示・推奨する。農地の調整は参加者自身で行う。貸し借りは自由。上限農地面積内であれば参加人数は制限しない。参加世帯の労働人数によって農地面積を減ずる事も考える。 ・効率的に農地に配水するために、農地を団地化することを推奨。
(5)簡易灌漑農業組合の結成	<p>簡易灌漑農業の参加者は、新規に設立する簡易灌漑農業組合のメンバーにならなければならない。規約の詳細は組合メンバー間の話し合いによって制定。規約項目は以下の通り。</p> <ol style="list-style-type: none"> a. 組合の目的・役割 b. 役員会の役割と役員の選出方法 c. 総会の開催 d. メンバーの資格と役割 e. 組織の運営方法 規約の整備、ミーティング頻度、組織改変
(6)リボルビングファンドの考え方	<p>2年間の猶予期間を置き、5年間で負担金を支払う。支払額は資材費のみとし、年7%の利子を加算。</p>
(7)導入の手順と実施体制 (詳細は1-2 導入手順参照)	<ol style="list-style-type: none"> a. 簡易灌漑モデルの策定：スール・フツール財団、JICA チーム b. 現地調査、導入地区の選定：スール・フツール財団、JICA チーム <ul style="list-style-type: none"> ・地形的条件－水源の位置、乾期の水量の確認、ルート、灌漑農業が導入可能な農地面積とその位置 ・社会的条件－住民のプロジェクト理解度（植林の実施、焼畑の放棄、山火事防止への参加）、リーダーの有無、住民の灌漑農業に対する意欲、野菜・果樹栽培の経験 ・対象村落をC/Pと協議の上、順位付け、上位より合意形成を開始 c. 営農調査：スール・フツール財団、JICA チーム <ul style="list-style-type: none"> ・プロジェクト対象地域における営農に関する以下の項目の調査 農産物の販売先、作物毎の販売価格等 農産物の運搬手段とコスト 集落内での栽培作物の現状 d. 基本設計：スール・フツール財団、JICA チーム <ul style="list-style-type: none"> ・水源の位置、水源から農地までの距離の確認 ・導入候補農地の概定 ・導入する農地での灌漑システムの概定 ・概算工事費の算定 e. 合意形成（1）：スール・フツール財団、JICA チーム <ol style="list-style-type: none"> i. プロジェクトの目的と概要の説明 <ul style="list-style-type: none"> ・目的：植林、焼畑放棄、森林保全への積極的参加 ・灌漑農業組合の設立と参加の義務 ・リボルビングファンド返済の義務 ・灌漑農業の概要説明 ii. 先進地視察 iii. 参加への同意確認 f. 合意形成（2）：スール・フツール財団、JICA チーム <ol style="list-style-type: none"> i. 灌漑農業の具体的な説明 <ul style="list-style-type: none"> ・営農に関する説明－推奨される栽培作物、営農作業と販売方法

項目	内容
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 灌漑設備の使用法—設備の取り扱い方法、ローテーション灌漑（時間、水量等） ・ 灌漑農業の導入が推奨される農地—土質の説明、農地の集団化を推奨 ii. 営農に関する農民意向確認 <ul style="list-style-type: none"> ・ 世帯内での農作業人員（家族、親戚、雇用等） ・ 希望する栽培作物 iii. 農地の確保と分配 <ul style="list-style-type: none"> ・ 現地にて C/P と専門家が推奨する農地を提示。必要に応じ、現場にマークする。 ・ 参加者内で農地利用・分配の話し合い g. 土壌調査：スール・フツーロ財団、JICA チーム <ul style="list-style-type: none"> ・ 土壌断面調査 ・ 土壌養分調査（一地区で数箇所）、土壌水分調査（一地区で数箇所） h. 測量：専門家に委託 <ul style="list-style-type: none"> ・ 縦断測量：水源からタンク設置位置までの送水路線の測量 ・ 平面測量：参加者と共に対象農地を確認、それを基に位置・面積を測量 ・ 測量図は原則として CAD 化 ・ 農地の平面図を基に、再度参加者に農地の所有、分配を確認。農地分配の契約書を作成、合意を得る。 i. 詳細設計：スール・フツーロ財団、専門家、JICA チーム <ul style="list-style-type: none"> ・ 以下の詳細設計作業を実施 <ul style="list-style-type: none"> 送水路、農地での灌漑設備の設計（測量図を基にする） 工事数量の算出、工事費の積算 施工計画の策定 ・ 設計は本マニュアルに沿って実施 ・ 灌漑設備の設計終了後、再度、参加者に説明、確認 ・ 工事計画の説明を参加者に実施 j. 資材調達：スール・フツーロ財団、JICA チーム <ul style="list-style-type: none"> ・ パイプ資材—工場より直接購入（入札） ・ 農地の灌漑設備—灌漑専門業者より購入（入札） k. 施工：スール・フツーロ財団、施工管理者、専門工、JICA チーム <ul style="list-style-type: none"> ・ 労働力は参加者によって供与 ・ タンク、支柱の設置等のコンクリート工は専門工に委託 ・ 必要に応じて、運搬作業員も雇用 ・ 施工管理はスール・フツーロ財団のエンジニアと必要に応じ施工管理者を別途雇用 ・ 農地の灌漑設備は、専門業者によって施工
(8)維持管理、営農指導等のフォローアップ	<p>実施者：スール・フツーロ財団＋営農専門家</p> <ul style="list-style-type: none"> a. 灌漑農業組合を通じた水利費の徴収 b. 送水管、農地内配水管の点検（1ヶ月に1回） c. 農地内設備の維持管理法の講習 d. 営農指導 e. マーケティングの助言
(9)プロジェクト支援体制とその範囲	<ul style="list-style-type: none"> a. 技術支援とその範囲・方法（グループ指導、個人指導、農民普及員の育成、先進地農家視察・交流など） b. 資機材の支援とその範囲（住民が準備できるものは住民が準備することが原則）
(10)モニタリングの実施	<ul style="list-style-type: none"> a. 責任と実施者：スール・フツーロ財団、参加者、JICA チーム b. モニタリング項目

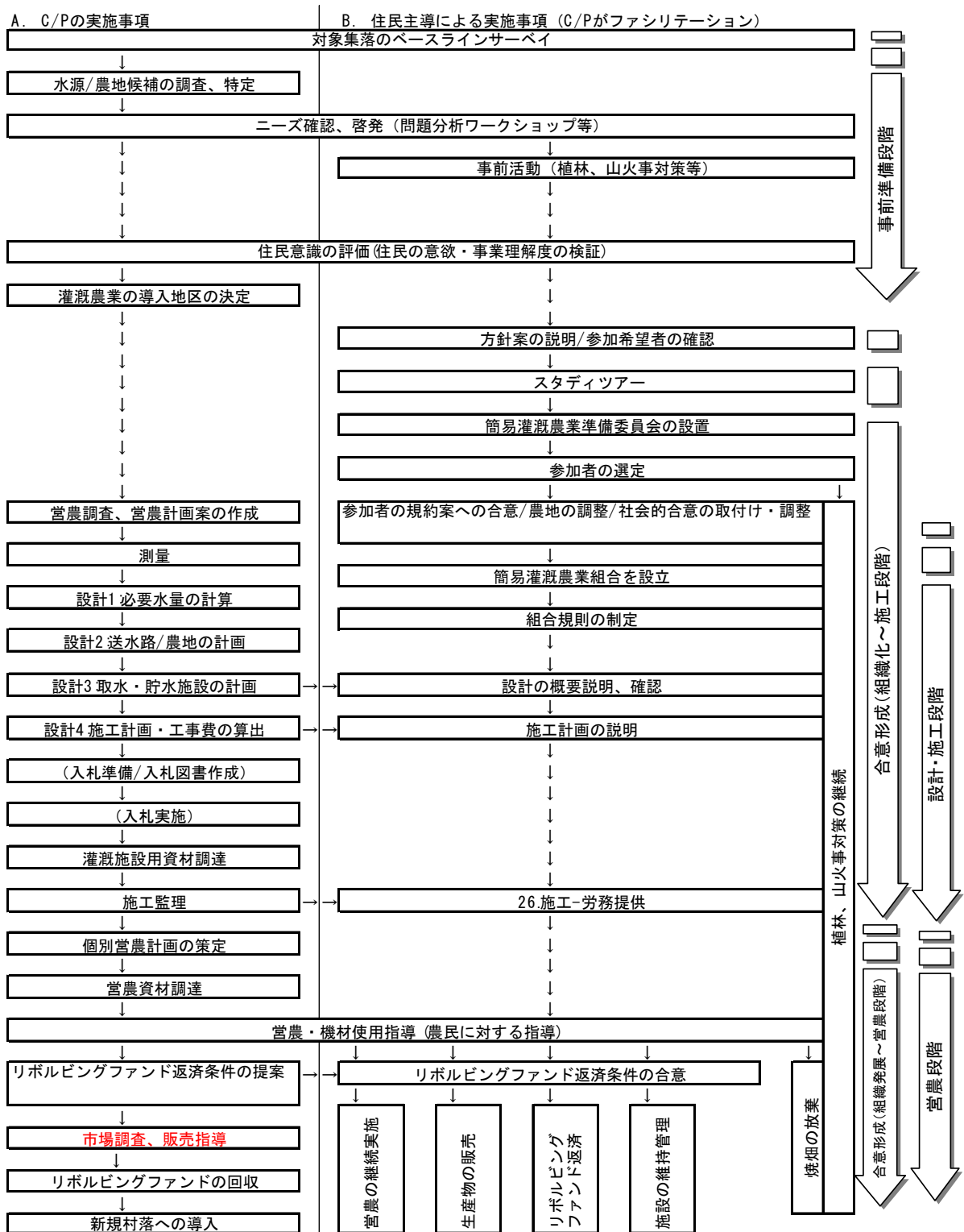
項目	内容
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 営農栽培、配水設備の使用技術に関する修練度 ・ 作物栽培の多様化度とその収穫量 ・ 農業収入の向上 ・ 植林の実施 ・ 維持管理作業の実施 ・ 組合集会の開催 ・ 参加費の徴収 <p>c.モニタリングの回数：年1回程度 d.モニタリングフォームの作成：スール・フツール財団、JICA チーム e.報告書の取り纏め：スール・フツール財団</p>

1-2 導入手順

1-2-1 全体的な導入手順

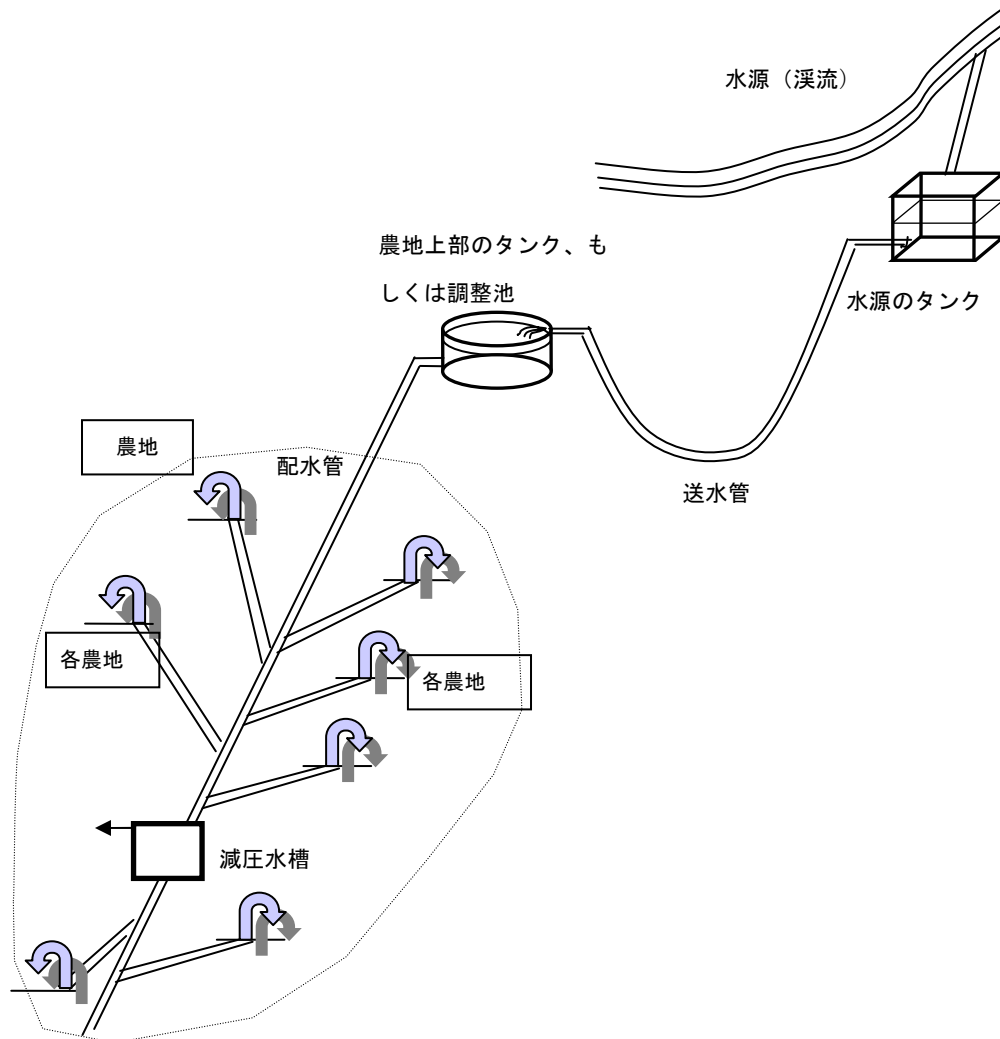
導入に関しては、流域管理を実施するためのインセンティブであるということを、第一に念頭に置き、住民への啓発活動に時間を掛けることが望ましい。“住民の義務・責任”に関する合意が得られた上で、実際の導入作業を開始する。以下に、導入のフロー図を添付する。

簡易灌漑農業導入のフロー（モデル）



1-2-2 設計に関わる手順

一般的な水源から農地までの水の流れは以下の通りである。



(1) 対象地区の状況の確認

灌漑システムの設計のためには、灌漑地の資源や状態を正確に評価し、その状態を調べる事が重要である。最低限以下の項目の調査は実施する。

1) 地形図の準備

- ・調査を実施するために集落周辺の地形図を準備する。

(スール・フツロー財団には、5万分の1の地図のデジタルデータが存在するため活用する。)

2) 水源の確認

- ・住民に水源の状況を聞き取る。地図上から集落周辺の水源を概定する。
- ・現場踏査にて、場所、水量等を確認する。
- ・乾期の水源の使用可能な総水量を調べる。

- ・水の供給が不規則になる場合、不足する場合、水量の安定、補足のために調整地の設置を検討する。
- ・水質調査を実施する。

3) 現況の農地の状況

- ・実際の土地利用、各農家の面積、輪作などの現在の農耕状態を把握する。
→地域の営農の特徴を知り、灌漑導入農地を概定する。

4) 農地候補の土壌調査

- ・農地候補における実際の土壌状態を確認する。
- ・土壌の保水能力を調べ、灌漑頻度を定める。
→灌漑においては土壌に浸透する水の量を考えることが重要である。つまり灌漑水量は土壌の浸透能力より小さくし、表面流出によって失う水量を最小にするようにする。

5) 気候

- ・月平均最低、最高気温、日雨量、風速、相対湿度（%）、蒸発散量のデータを入手する。
データは、できる限り10年以上収集する。
- ・蒸発散量のデータは蒸発計（Class A-pan）による計測値が理想である。
→灌漑水量の算定に最も重要な気候要素は蒸発散量である。データがない場合は、気温、風速、湿度のデータから計算する。

(2) 測量

1) 縦断測量（送水管）

- ・送水管の設計をするために、水源から集落のタンクまでのルート縦断測量を実施する。各地点の標高、水源からの距離、障害物の有無を確認する。

2) 平面および縦断測量（配水管：農地内）

- ・灌漑を導入しようとする農地の面積、地形、傾斜、位置、標高を調べるために、平面および縦断測量を行う。農地間をつなぐパイプのルート、距離も図面上に記載する。

3) 現地へのルートの杭打ち

- ・送水管の縦断ルートを確認しつつ、杭を打つ。出来る限り直線になるように考慮する。
- ・農地内の配水管ルートを確認しつつ、杭を打つ。出来る限り直線になるようにする。
- ・各農地の境界線を農民とともに確認しつつ杭を打つ。

(3) 設計・積算

1) 灌漑水量の計算

- ・作物が必要とする日消費水量を算出する。
- ・配水に使用する散水器（スプリンクラー、点滴、マイクロスプリンクラー等）を決め、配置間隔を概定する。
- ・各農地での農地内灌漑水量を計算する。
- ・間断日数、ローテーションブロックを概定し、集落単位での日必要水量、総灌漑水量（水源

での取水水量)を計算する。

2) 送水路/農地の計画・設計

- ・総灌漑水量と縦断測量結果から水理計算を行い、送水管の規格を決定する。必要な施設（空気弁、排泥弁、分岐等）の配置をする。
- ・散水器の規格を決め、農地内灌漑水量を再度確認する。
- ・ローテーションブロックから、農地内の配水路の水理計算を実施し、管路の規格、配置を行う。
- ・農地内の管路の規格を平面図上に記載する。
- ・必要であれば、減圧水槽の設計をする。

3) 取水施設、貯水施設の設計

- ・水源での取水施設、タンクの設計をする。
- ・農地に設置する調整用のタンクの設計を行う。農地での貯水が必要であれば、プラスチックシート等を用いた大規模の貯水池を設計する。

4) 施工計画の策定、工事費の算出

- ・設計から資材の必要数量を算出する。
- ・業者より見積りを取得し、概算工事費を計算する。
- ・施工の計画を立てる。おおまかな施工日数、必要人員、専門工（配管工、コンクリート工）を算定する。

5) 灌漑委託業者の決定

- ・複数の見積り結果より灌漑委託業者を決定する。

2. 水源調査

2-1 水源調査の概要

灌漑を行う上で最も重要なのは水源であり、適切な水源がなければ、灌漑を導入することはできない。したがって灌漑の導入を考える場合、水源を探すところから始まる。

以下に、水源に関わる調査項目を示す。

(1) 水源候補を探す

- ・ 地形図を見る、住民に聞く等し、大体の位置を確かめる。
- ・ 住民と一緒に水源の位置を実際に確認する。その際、農地候補との標高差をチェックする（下表参照）。
- ・ 取水施設を容易に設置するために、溪流が良い。

(2) 水源候補の水量を測る

- ・ 乾季の水量が重要であり、できれば乾季に水量を計測する。
水量の目安は、300 タレア¹で 160gpm²(10ℓ/s)程度である。

(3) 水源候補から農地までのルートを確認する。

－水源候補地から農地までどのルートを取るか、障害がないか確認する。

－確認事項；

- ・ ルートの標高：水の損失水頭³（パイプの径、流量と距離から計算－下表、第5章参照）を考慮しつつ、ルートの標高を確認。
- ・ 障害：谷やパイプが埋設できない岩の箇所があるか。
- ・ 設置の容易さ：管が容易に運べるか、崖は無いかな。

表 2-1 水源との必要標高差

パイプ径	設計水量	水源からの距離による必要標高差					
		500m	1000m	2000m	3000m	4000m	5000m
PVC 4"	80gpm (5ℓ/s)	2.1m	4.1m	8.3m	12.4m	16.5m	20.6m
PVC 4"	160gpm(10ℓ /s)	7.4m	14.9m	29.7m	44.6m	59.5m	74.0m
PVC 6"	160gpm(10 ℓ/s)	1.0m	2.1m	4.1m	6.2m	8.3m	10.3m
PVC 6"	320gpm(20 ℓ/s)	3.7m	7.4m	14.9m	22.3m	29.8m	37.2m

(4) 水質調査

¹ 1 タレア = 629 m²

² gpm: gallon per minute

³ 水頭は、水の持つエネルギーを水柱の高さに置き換えたもの。損失水頭は、管の摩擦、曲がり、出入口などで失われるエネルギー。

- a. 水源の水が灌漑に適しているか、水質調査を行う。水質調査項目は次のとおり。
- ・ pH：酸性やアルカリ性が強いと栽培に適さない 最適範囲：6.5–7.5
 - ・ 電気伝導度（EC）：値が高いと塩類集積の原因となる。3.0 ms/cm⁴以下が望ましい。

2-2 水源の流量測定

水源の流量測定は、灌漑の規模を決定する上で重要である。簡易な流量測定の方法は、次のとおりである。

2-2-1 フロートによる測定

おおよその流量しか測定できないが、一番簡単で実際的な方法である。流速と水路面積のデータが必要となるため、現場で計測する。

- ・ 観測地点：できるだけ水路の方向がまっすぐで、両方の側面が平行になっている箇所を選ぶ。水路の曲がっている部分や方向が変わる部分からはできるだけ遠い位置を選び、石や木の幹や枝葉、雑草などがいない場所が適切である。
- ・ 必要な道具：メジャー、簡易フロート（浮玉、ホースの一部、空でふたをしたビン、無ければ現場で枝等）、秒針のついた時計、縄あるいは針金、木の杭4本。

測定方法は次の通り。

a. 流速測定法

図 2-1 の手順で2～5 m の距離をフロートが移動するのにかかる時間を計測する。杭、針金は入手や設置が難しければ、現地にある枝等で目印を付ける。

⁴ ミリジーメンズ毎メートル [dS/m]、1 [S/m] = 10 [dS/m] = 10 [mS/cm]

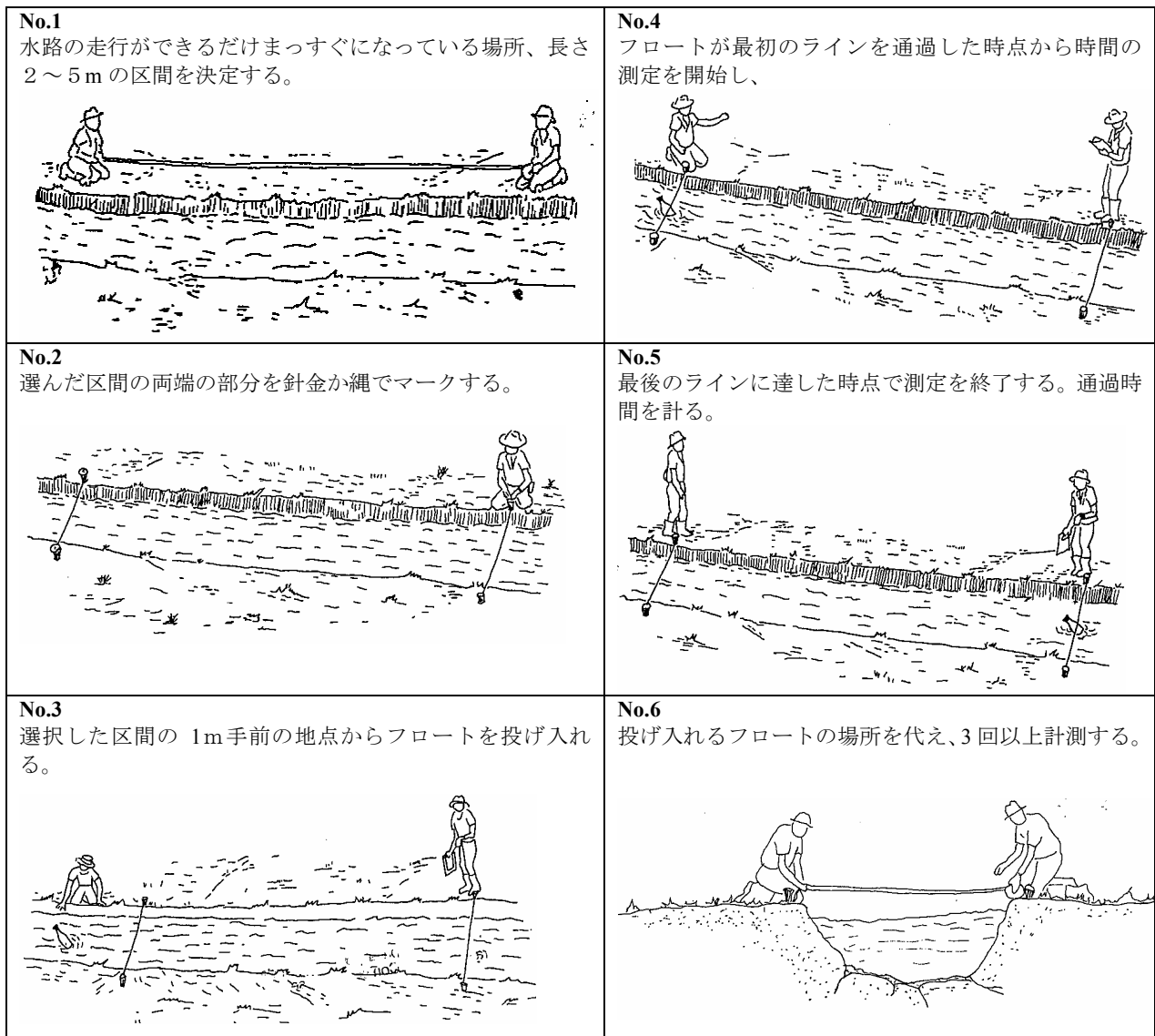


図 2-1 フロートによる測定手順

計測した値は平均し、以下の式により流速を計算する。

$$V=L/S$$

V：流速 (m/s)

L：測定距離 (m)

S：通過時間 (s)

b. 水路面積の測定

水路の幅を20～40cm間隔に分割して、それぞれの区間の水深を測定する。この場合は30cm間隔とした。(図2-2)。

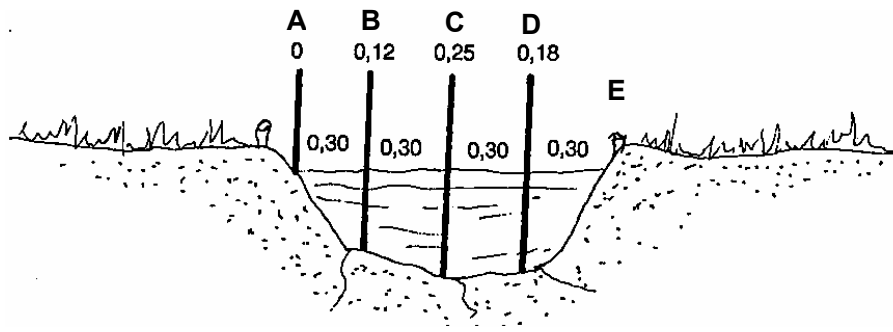


図 2-2 水路断面積の測定方法

水路の幅を分割したそれぞれの区画で水深 (m) を測定する。最後の測定点はかならず水路の横幅の端なので測定値は 0.0m となる。下記の表 2 の列 1 と 2 にデータを記入し、列 3、4 については表内の指示に従い計算する。

列 3 の数値は列 2 の順番になっている 2 つの数値(水深)の和を 2 で割ったものである。たとえば、0.215 は 0.25m と 0.18m を足した和 (0.43) を 2 で割った結果である。

列 4 の数値は平均水位(列 3 の数値)に測定地点の間隔(m)をかけた結果である。たとえば、0.0645 は $0.215 \times 0.3m$ で求められる。

総断面積は列 4 の数値の和である。たとえば今回の例では $0.165m^2$ である。

表 2-2 水路の平均面積計算方法.

測定点	水位 (m)	平均水位 (m)	平均断面積 (m ²)
A	0	0.06	0.018
B	0.12		
C	0.25	0.185	0.0555
D	0.18	0.215	0.027
E	0	0.09	
水路断面積			0.165

c. 流量計算

以下の式を用いる。

$$Q = A \times V \times 1000$$

それぞれの記号の説明：

Q：流量（単位：ℓ/s）

A：流下断面積（m²）

V：流速（m/s） V=L/S

（例）

区間を 5m と区切り、横断方向に 5 つの測定地点を設け、フロートのそれぞれの区間の通過時間を計測した。流下断面積は表 2-2 の通り、通過時間は以下の通りとなった。

1 回目測定地点: 69 秒

2 回目測定地点: 63 秒

3 回目測定地点: 66 秒

4 回目測定地点: 68 秒

5 回目測定地点: 65 秒

合計: 330 秒

平均 330 / 5 = 66 秒

この場合の流速を求めると、

$$V = L/S = 5/66 = 0.076 \text{ m/s}$$

流量は、

$$Q = A \times V \times 1000 = 0.165 \times 0.076 \times 1000 = 12.5 \text{ ℓ/s}$$

2-2-2 体積を利用した測定方法

あらかじめ体積がわかっている容器に水を貯めるのに要する時間を測定し、流量を計測する。容器の体積(ℓ)を時間(s)で割ると、流量（ℓ/s）が得られる。計算式は下記の通りである。

$$\text{流量 (ℓ/s)} = \text{容器の体積(ℓ)} / \text{容器を満たすのに要する時間(s)}$$

この方法では、全体の水が容器に流入する必要があるため、あまり流量の多くない場所や蛇口等から流出する水の流量計測に適している。

本プロジェクトでは、Las Lagunas の生活用水用のタンクからの出口部分の流量測定に適用した。

表 2-3 は容器を水で満たすのに要する時間及び容器の体積に基づいた流量を示している。

表 2-3 容器を満たすのに要する時間による流量

時間 (秒)	容器の体積			時間 (秒)	容器の体積		
	5 ℓ	10 ℓ	20 ℓ		5 ℓ	10 ℓ	20 ℓ
1	5.00	10.00	20.00	14	0.36	0.71	1.43
2	2.50	5.00	10.00	15	0.33	0.66	1.33
3	1.63	3.33	6.66	16	0.32	0.63	1.25
4	1.25	2.50	5.00	17	0.29	0.59	1.18
5	1.00	2.00	4.00	18	0.28	0.56	1.11
6	0.83	1.67	3.33	19	0.26	0.53	1.05
7	0.71	1.42	2.86	20	0.25	0.50	1.00
8	0.63	1.25	2.50	21	0.24	0.48	0.95
9	0.55	1.11	2.22	22	0.23	0.45	0.90
10	0.50	1.00	2.00	23	0.22	0.43	0.87
11	0.45	0.90	1.81	24	0.21	0.42	0.83
12	0.42	0.83	1.67	25	0.20	0.40	0.80
13	0.38	0.77	1.54				

2-3 ルートの選定

選定するルートにより設計、施工費が大きく変わるため、ルート選定は十分な現地調査と細心の注意を持って行う必要がある。具体的には、以下の点に注目して踏査を行い、その結果に基づいてルートを概定し、測量を実施する。

- 1) 高低差、水平距離、斜距離
- 2) 管路の縦横方向の屈曲部の角度、半径、外周からの距離（管路周囲にある程度の距離を確保することが必要な場合）
- 3) 管路の交差点
- 4) バルブの設置位置
- 5) 隣接する、あるいは妨害する地形的特長（谷等）や構造物
- 6) 農地の所有者のパイプ設置許可、道路横断箇所的位置と横断に関する許可
- 7) 水利権の確認

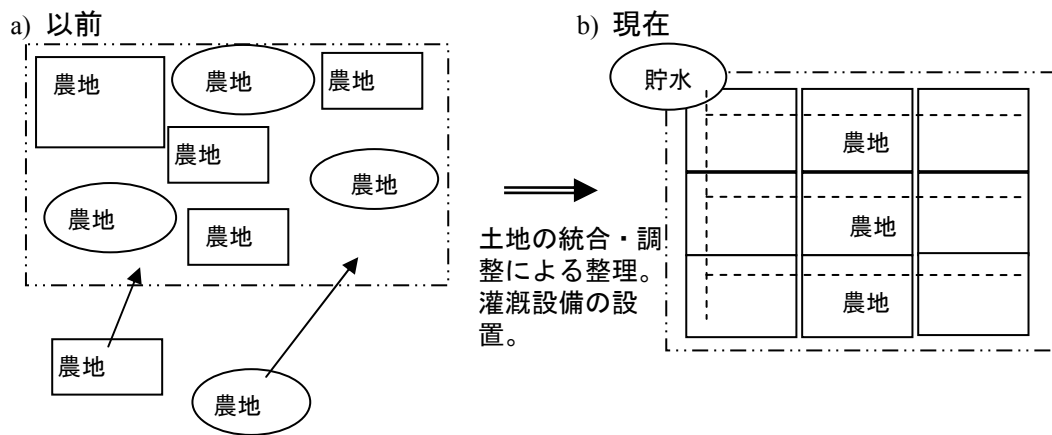
3. 灌漑農地の選定

3-1 灌漑農地の選択基準

(1) 農地の基本概念（農家に対する説明）

灌漑農地を選定する際には、以下の点に留意する。

- i. 対象農地が分散しないようできるだけ集約を図る。



農地集約は、主に次の利点がある。

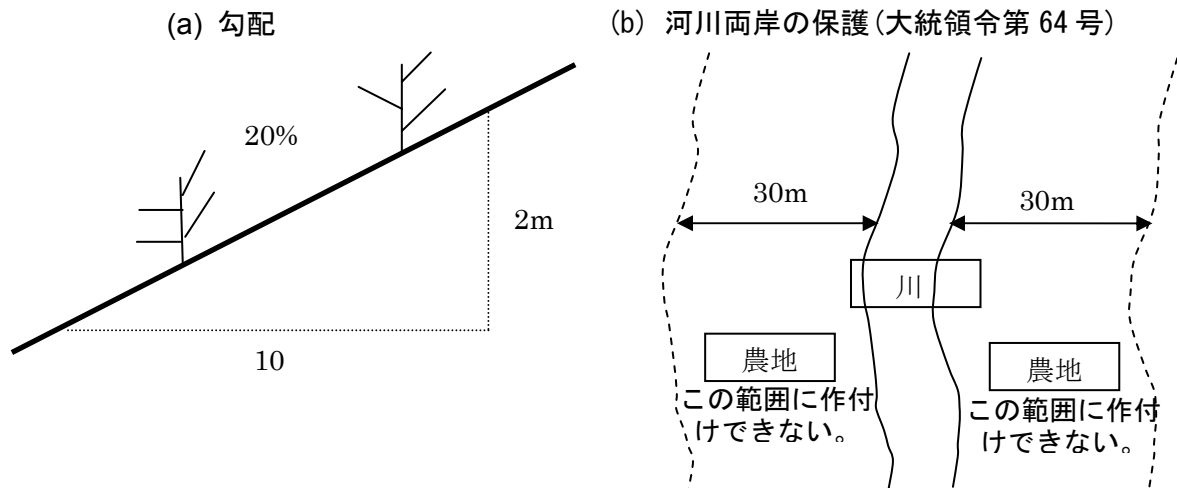
- (a) 農地の効率的利用
 - (b) 資材費の軽減
 - (c) 効率的な水管理と灌漑設備の維持が可能
- ii. 平坦で広い土地（少なくとも 20%以下の緩傾斜地）
 - iii. 10 タレア以下の農地を対象にしてもよいが、推奨面積は 5 タレア以上
 - iv. 10 タレア以上の農地を所有する農家は、土地を持っていない農家に提供できる（当事者間の合意が必要）

候補地は技術者が確認し、農民間で合意した後で、測量を行う。

(2) 灌漑システムの設置に適する農地の立地条件

- i. アクセス：集落に近く、農産物の運搬が容易
- ii. 面積：本プロジェクトの場合、原則として最高 10 タレア

- iii. 傾斜度：20%未満（傾斜地では灌漑システムを併用したアグロフォレストリーシステムも可能）
- iv. 河川からの距離：大統領政令第 64 号に基づき、河川、溪流などの兩岸 30m以内では灌漑農業は禁止されている



(3) 灌漑システムの設置に適する農地の栽培条件

- i. 日当たり
森林の中など日当たりが悪い場所は避ける。
- ii. 過去の作付け状況
過去に病気の発生など、連作障害のリスクがある農地は避ける。
→ 農家に以下の事項について質問する。
 - * これまで作付けした作物の種類と収量
 - * 作付け方法が原因で何か問題が発生したことがあるか。
 - * 輪作体系
- iii. 排水条件
雨が降ると水溜りができるような場所は避ける。
→ 地形や土壌の物理性を観察、また農家に質問する。降雨後の農地の状況を現地で観察することが望ましい。
- iv. エロージョン
エロージョンが見られる農地は避ける。
- v. 岩の多い土地
大きな石礫が多い農地は避ける。
- vi. 土壌の硬度
土壌が硬く生産性が低い農地は避ける。
→ 現地で土の固さを観察する。

表 3-1 農地チェックリスト (例)

1. 村落名		
2. 農家の名前		
3. 農地の状況		
項目	内容	状況
農地へのアクセスの容易さ	道路からの距離	
位置・場所	農地の場所	
土地利用方法	農業生産	
勾配	農地の傾斜度	
日当たりのよさ	農地の周辺のチェック	
これまでの農地の利用方法	これまで作付けされた作物の種類とそれぞれの収量。作付け方法などが原因で発生した問題。	
排水状態	農地の水はけの状態	
エロージョンの程度	土壌のエロージョンの状態	
岩礫の程度	農地の表面の状態を観察する。	
土壌の固さ	手で触って固さを確認する。	
土壌の性状を観察	土壌の性状 (砂質、壤土質、粘土質等)	

3-2 土壌の観察

(1) 土性の推定

土性は土壌の保水性や透水性を左右する要因であるので、灌漑農業において重要な要素である。土壌の保水性や水の需要量にもとづいて、灌漑の頻度、灌漑時間などが決定される。そのため、以下に簡単な土性の検定方法を紹介する。

なお、土性は同じ性質や特徴を持つ土壌層で判断し、たとえば農地全体あるいはその一部の区画からのサンプリングを行う。1区画内の1ヘクタールごとにサンプル（試料）5個程度（目安）を採取する。木陰になっている部分や対象となる農地の代表的な土壌ではないサンプルは採取しない。

土壌サンプリングの方法は次のとおりである。

- i. 試料を採取する各地点でスコップを差込み、スコップの幅で深さ40～50cmの穴を掘る。
- ii. 掘った穴の土壌をよくかき混ぜ、0.5kgのサンプルを採取し容器に入れる。同じ区画において複数の採取点からサンプルを採取した場合は、それらをよく混ぜ合わせる。
- iii. 容器の土をひとつかみし、図3-1に説明されているとおり土性を検定する。

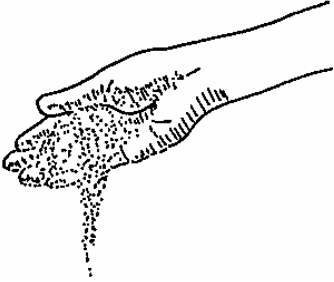
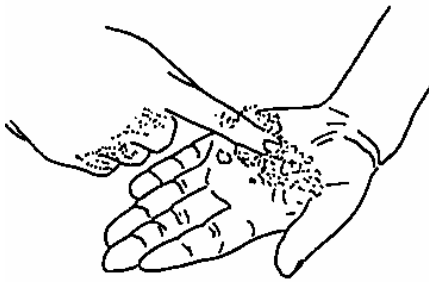
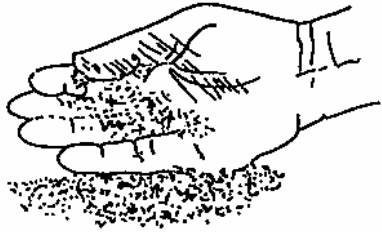
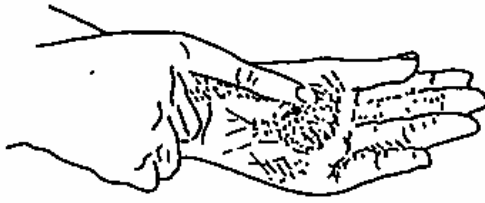
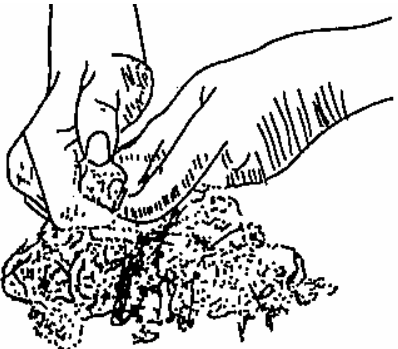
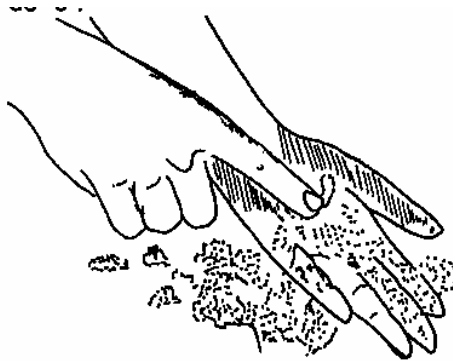
土壌の種類	乾燥した土	湿った土
砂土質	さらさらした触感、手でとって土の粒を感じることができる。 	何か形を作ることができるが、ちょっと触ると崩れてしまう。 
壤土質	圧力を加えると土の塊は壊れるが、小さい塊が手に残る。 	ある程度砂の感じがするが、粘り気もある。手のひらにある土の塊を指でさわると少しつやっぼく見える（壤土）。土の丸い塊が作られるがちょっと力をくわえとこわれる。 
粘土質	固い塊を作ることができ、指の間でくずれたりしない。 	ねばり気が強く、形を作りやすい。簡単に「C」の形にすることができる。 

図 3-1 触感による土性の検定方法

(2) 土壌の水分量の判定

上記の図 3-1 に説明されている方法で簡易検定をすると、土性に基づき灌水が必要か否かを判断ができる。

この判定を行う場合、対象となる農地の代表的な土のサンプルをとる必要がある。また、根が最も多く分布している層から試料を採取する。








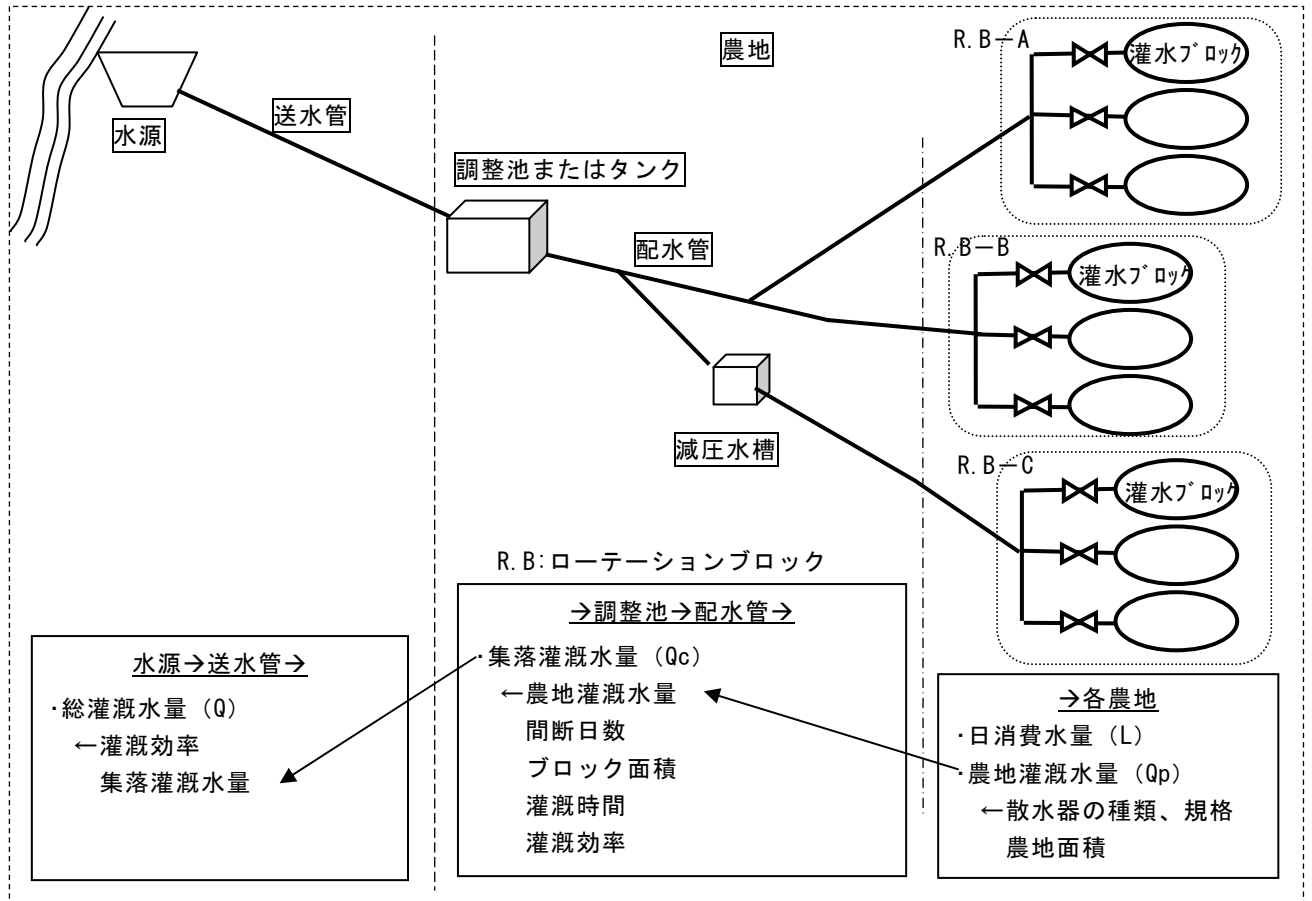
土性	土の水分量の状態		
砂質	十分灌水した後 1 日目	手で握っても水が出てこない。手は湿った感じがしてざらざら感がある。	
	まだ灌水は必要でない。	丸い塊は作れないが、土はすぐにバラバラにはならない。土はまとまって残っている。	
	灌水が必要。	見た感じは乾いているように見える。力を加えて握ると固まりができるが、すぐにくずれる。	
壤土	十分灌水した後 1 日目	指の間に土がひっつく。絹のような触感だが、少量ずつこすると、ざらざら感がある。	
	まだ灌水は必要でない。	丸や円柱の形が作れるが、力を加えるとくずれる。	
	灌水が必要。	乾いているように見える。塊が作れるが少し力を加えるとくずれる。	
粘土質	十分灌水した後 1 日目	手で握ると指の間から土がはみ出す。ねばねばとしている。	
	まだ灌水は必要でない。	かなりねばねばしている。長くのばして「C」の形が作れる。	
	灌水が必要。	乾いているように見える。長くのばすことができるが、曲げようとするとき折れてしまう。	

図 3-2 土壌の水分量の推測

4. 灌漑水量の計算及び灌漑設備の種類

4-1 灌漑水量の定義と計算手順

灌漑水量は、水源での取水量や送水路の規格を決定するのに必要なデータであり、灌漑施設の計画の根幹となる。灌漑水量の概念は以下の図の通りである。



日消費水量：作物が正常に生育する際に消費される水分量で、月別に作物毎の日消費水量を設定する。通常、夏に消費水量は最大を示し、これを計画最大日消費水量といい、この値から灌漑施設の規模の決定をする。

農地灌漑水量：農地単位での灌漑水量で、散水器の効率と面積により算出される。この値から集落内のパイプの容量を決定する。

集落灌漑水量：集落内全体で必要とする水量（タンクに流入する水量）で、この値から送水管の容量を決定する。

総灌漑水量：水源での取水量であり、集落の灌漑水量に送水路の搬送効率を考慮する。

灌漑効率：灌漑水を農地まで搬送するまでに喪失する水量の割合
パイプラインであれば、95%を採用する。

4-2 灌漑水量の計算手順

(1) 日消費水量の計算（次節にて説明）

(2) 農地での必要水量の計算

- i. 灌漑用の散水器の種類を決定する。
- ii. 日消費水量から散水器の規格を概定する。

(3) 集落灌漑水量の計算

- i. 間断日数（Intervalo）、ローテーションブロック数を決定する（各ブロック面積の算出）
- ii. 灌漑時間：1日に灌漑施設を使用する時間を決定する。
- iii. 間断日数、灌漑時間、日消費水量、灌漑面積、灌漑効率から、以下の公式を使用し、集落灌漑水量を算出する。

$$Q_c = \frac{453 \times L(\text{inch}) \times A(\text{acres})}{F \times H} \quad (\text{gpm}) \quad \text{または} \quad \frac{(2.78 \times L(\text{mm}) \times A(\text{ha}))}{F \times H} \quad (\text{l/s})$$

Qc: 集落灌漑水量

F: 間断日数

L: 日消費水量（mm、inch）

A: 総農地面積（ha、acres）300 tareas \doteq 46.5 acres \doteq 18 ha

H: 日灌漑時間（時間/日）

(4) 総灌漑水量の計算

集落灌漑水量と灌漑効率から総灌漑水量を計算する（ $Q_c \div$ 灌漑効率）。

(5) 灌漑水量のチェック

- i. 散水器の規格からローテーションブロック内で必要な水量を算出する。
- ii. 総灌漑水量内で収まるように、ローテーションや散水器の規格等を調整する。調整できない場合、総灌漑水量を増加させる等を検討する。

4-3 日消費水量の計算

作物が生育に必要とする日当り消費水の量は、土壌や気候の諸条件及び作物自身の条件に左右される。この日消費水量は、気象データより計算する。

消費水量は、蒸発散量で表される。これは、土壌表面からの蒸発水量と葉面から蒸発する水量の合計値となる。月別に計算し、各月ごとの必要水量を算出する。必要最大流量を求める場合は、消費水量が最大の月のみを計算する。

計算方法は数種類あるが、主に以下の3つが良く使われる。本プロジェクト地域では、Evaporation Pan Class Aを採用した。

- (1) パン蒸発計 (Evaporation Pan Class A)
- (2) ペンマン法
- (3) ブラネイ・クリドル法

4-3-1 パン蒸発計 (Evaporation Pan Class A) の概要

パン蒸発計 (下図) は、地表からの蒸発を直接測るために、水の表面からの蒸発量を測るものである。この蒸発計を農作物が栽培されているエリアに設置して測定を行い、そのデータに基づき灌漑計画を策定する。特に、水分の調節が行われていない農地で、地表面を覆いながら活発に生育する背丈の低い作物のある環境での使用が適している。

他の気象データを使った経験的な計算方法と異なり、蒸散量に影響を与える諸因子 (相対湿度、風、気温など) を測ることができる。

灌漑蒸発計の水は、タンクの上端から 7.5cm の範囲を維持する。10cm 位に下がると蒸散量に約 15% の誤差が生じる。鳥や動物がタンクの水を飲まないよう上に網を張ることがあるが、網により蒸発量が通常より約 10% 減少する。

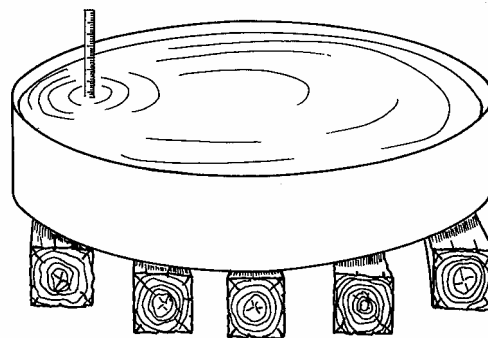


図 4-1 Evaporation Pan Class A

蒸発計はいくつかの制約はあるが、日照、風、気温、空気の湿度などに対して植物と同じような反応をする。ただし、水の表面は作物の表面より入射エネルギーを吸収する。また、昼間に蒸発計に蓄積される温度エネルギーは夜間放出されるためかなりの蒸発量になる。一方、植物は日中のみ蒸散を行う。また、蒸発計の色や水の量も蒸発量に影響する。そのため、全ての気象や環境条件を考慮し、適切な場所に設置する必要がある。

4-3-2 パン蒸発計を用いた日消費水量の計算方法

日消費水量は、以下の手順で計算する。

- i. 近隣の気象観測所より、月別のパン蒸発計蒸発散量のデータを入手する。できれば、10年以上のデータを取得する。
- ii. 過去のデータを月別に平均し、表にまとめる。

iii. 平均した蒸発計のデータを用い、下記の式により日消費水量を求める。

$$ETp = Kb * E$$

ETp = 調査区の日消費水量 (mm/日)

Kb = 蒸発計係数。蒸発計の設置場所や気象条件に左右される (表 4-1)。

E = 24時間の蒸発計からの蒸散量 (mm/日)

表 4-1 異なる条件下 (被覆植物、平均相対湿度、風速) での 24 時間の Kb 係数

風速 (km/時)	パン蒸発計 の設置環境	背の低い植物で覆われた土壤に設置			被覆植物のない土壤に設置				
		植物か らの距 離 (m)	平均相対湿度 (%)			被覆植物 のない土 壤からの 距離 (m)	平均相対湿度 (%)		
			低 <40	中 40-70	高 >70		低 <40	中 40-70	高 >70
弱い <175	0	0.55	0.65	0.75	0	0.70	0.80	0.85	
	10	0.65	0.75	0.85	10	0.60	0.70	0.80	
	100	0.70	0.80	0.85	100	0.55	0.65	0.75	
	1000	0.75	0.85	0.85	1000	0.50	0.60	0.70	
中間 175-425	0	0.50	0.60	0.65	0	0.65	0.75	0.80	
	10	0.60	0.70	0.75	10	0.55	0.65	0.70	
	100	0.65	0.75	0.80	100	0.50	0.60	0.65	
	1000	0.70	0.8	0.80	1000	0.45	0.55	0.60	
強い 425-700	0	0.45	0.5	0.60	0	0.60	0.65	0.70	
	10	0.55	0.6	0.65	10	0.50	0.55	0.65	
	100	0.60	0.65	0.70	100	0.45	0.50	0.60	
	1000	0.70	0.75	0.65	1000	0.40	0.45	0.55	
非常に強い >700	0	0.40	0.45	0.50	0	0.50	0.60	0.65	
	10	0.45	0.55	0.60	10	0.45	0.50	0.55	
	100	0.50	0.60	0.65	100	0.40	0.45	0.50	
	1000	0.60	0.65	0.55	1000	0.35	0.40	0.45	

灌水される農地に適切な条件でパン蒸発計(Evaporation Pan Class A)を設置した場合、強い風が吹いたり、気温が下がったりしなければ、Kb 係数は 0.75 ~ 0.85 に保たれる。

4-4 灌漑方法の選択

灌漑方法の選択にはそれぞれの方法の長所、短所を理解し、現場の状況に最も合った方法を選ばなくてはならない。

一番簡易な灌漑方法としては、井戸や湧き水、水槽など水源からバケツや容器に水をいれて作物に灌水するものがある。かなり労力を必要とする作業であるが、水源に非常に近い野菜農園の場合など、最も手っ取り早い方法である。

灌漑面積が広く商業的に農業を行う場合、技術レベルの高い灌漑方法が用いられる。特によく使われるのが地表灌漑、散水灌漑、点滴灌漑である。散水灌漑・点滴灌漑は、傾斜のある

農地、透水性が非常に高い、あるいは水不足が顕著な農地に適しているが、これらの設備を導入する場合、確実な維持管理を要する。本プロジェクト地域では、散水灌漑、点滴灌漑が選択される。

4-4-1 灌漑機材の種類

以下に本プロジェクト地域で推奨される各機材とその特徴をあげる。

表 4-2 灌漑の機材とその特徴

灌漑機材の特徴	点滴灌漑	ミニスプリンクラー	マイクロスプリンクラー
散水範囲	直径 0.3 - 0.8m	直径 10 -20 m	直径 3 - 10 m
散水量	6 gph - 30 gph	6 gpm - 700 gpm	6 gph - 200 gph
適応圧力	0.2bar - 20bar ⁵	1.5bar - 4.0bar	0.8bar-4.0bar
その他	散水範囲は土質によって変わる。粘性：約 0.5 - 0.8m、砂質：約 0.3m	支えが 1m 程度必要であり、その分、水頭も必要となる。	支えを伸ばすことで、散水範囲を広げることができる。

(上記の値はメーカーの参考値)

これらの灌漑方法を選択するための主な要因は下記の通りである。

- 自然条件
- 作物の種類
- コスト-利益分析

4-4-2 灌漑機材の選択

(1) 自然条件

土壌：砂質土の場合は保水性が低く、透水性が非常に高いので、一回の灌漑量は少なく、灌漑頻度を多くする。土壌が浅い場合は特に頻繁な灌漑が必要である。散水灌漑や点滴灌漑は壤土や粘土質の土壌で、透水速度が遅い土壌に適している。異なる種類の土壌が混じっている場合は散水灌漑か点滴灌漑が適切である。

勾配：勾配の大きい農地では、散水あるいは点滴灌漑が適当である。

気象条件：強風下では散水灌漑に支障を来たすので、地表灌漑か点滴灌漑が望ましい。

補完的な灌漑をする地区では灌漑の需要に柔軟に対応できるよう散水灌漑か点滴灌漑が適している。

(2) 灌漑効率

⁵ 1 bar ≈ 0.987 atm ≈ 14.504 psi

点滴灌漑、散水灌漑、地表灌漑の順にて灌漑効率が高く、短時間の灌漑に適している。

(3) 作物の種類

野菜や果樹など商品価値が高い作物生産において散水灌漑や点滴灌漑を行う。点滴灌漑は小規模な作物栽培、樹木や野菜の畦間栽培などに向いている灌漑方法である。飼料作物やとうもろこしなどの作物には向いていない。

(4) コスト・利益分析

灌漑方法を決定する前にそれぞれの方法を導入した場合のコスト-利益分析をする必要がある。コストの項目には工事・設置費だけでなく、設備の運転・維持管理費（単位面積毎）も含むこと。コストと予想される利益の関係について分析する。

表 4-3 各灌漑機材の比較表

灌漑の方法 分析項目	点滴灌漑	ミニ/マイクロスプリンクラー	地表灌漑（参考）
土壌の種類	粘性系に適する。 砂質の場合は灌漑頻度を多くする。	粘性系に適する。 砂質の場合は灌漑頻度を多くする。	砂質の場合、水量に配慮する。
地形勾配	斜面でも配置可能	散水半径が小さければ、斜面でも可能	不適
気象条件	風が強い箇所でも可。 蒸発量は最も少ない。	散水半径が小さければ、風の影響は少ない。 蒸発量は少ない。	風の影響は受けない。 蒸発量が多い。
灌漑効率	最も良い	良い	効率は他と比較して悪い
作物の種類	適：果樹、野菜類 不適：飼料作物、とうもろこし等	適：果樹、野菜類。 不適：マイクロスプリンクラーは、背の高い野菜、飼料作物等に不適	適：ほとんどの作物 不適：広い面積で栽培する飼料作物等
コスト・利益	農地における設置コスト、維持管理設備費高 商品価値の高い作物を栽培する必要がある	農地における設置コスト、維持管理設備費高 商品価値の高い作物を栽培する必要がある	農地における設置コストは低い。水量がいるため、送水管のコストは高くなる。

注) 地表灌漑：畦間灌漑、等高線灌漑など。

5. 水理施設の設計

5-1 パイプラインの設計

パイプラインとは、ある場所からある場所へ水を運ぶ管のことで、本プロジェクト地域では、水源から農地の調整池または調整タンク、調整池または調整タンクから各農地に使用されている。

水理計算は、システム内の圧力・水量に留意しながら、容易に計算できるプログラム (Excel 等) を利用することができる。

5-1-1 水理計算の概要

パイプラインには、動水圧と静水圧の2種類の圧力がかかる。単位は、m、bar、PSI を用いる。

表 5-1 パイプラインにかかる圧力の種類

圧力の種類	状態	水理計算での因子	算出方法
静水圧	管内に水がとどまっているが流れていない状態 (途中のバルブを閉めた等)	パイプの規格の決定	(水源の水位標高) - (パイプの標高)
動水圧	管内に水が流れている状態 (タンクに流出している)	所定の水量がタンクに到達するかどうか確認	(水源の水位標高) - (総摩擦損失水頭)

これらの計算は、縦断図より求められた標高、水源からの距離、パイプの径やその他緒元により計算される。以下に、重力式パイプラインの水理模式図を示す。

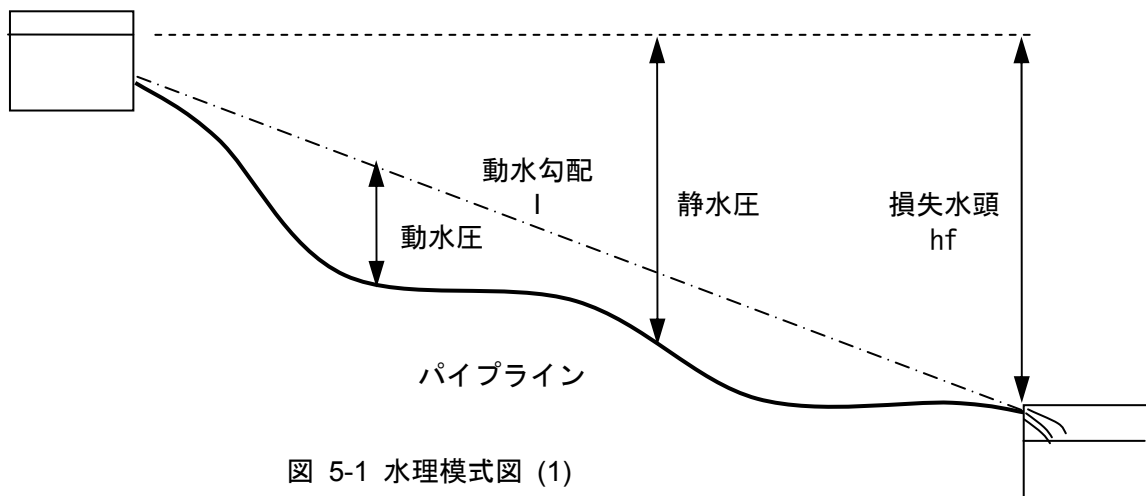


図 5-1 水理模式図 (1)

動水圧は水が流れるために必要なエネルギーであり、摩擦により徐々に減じ、タンクに流出する時点で0になる。もし、動水勾配線がパイプラインの標高以下になった場合、所定の水量は流れない (下図)。このエネルギーは、管内の摩擦損失等により失われるもので、パイプの径を大き

くすると損失は減る。

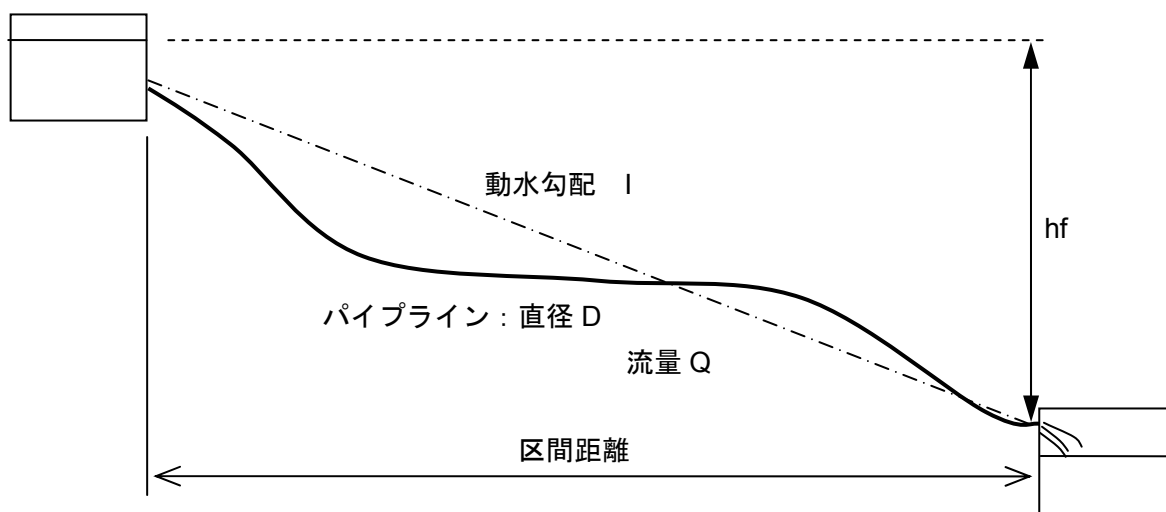


図 5-2 水理模式図 (2)

この場合、下図のようにある区間のパイプの径を大きくすることで、摩擦損失が減り、動水勾配がパイプラインより上になる。

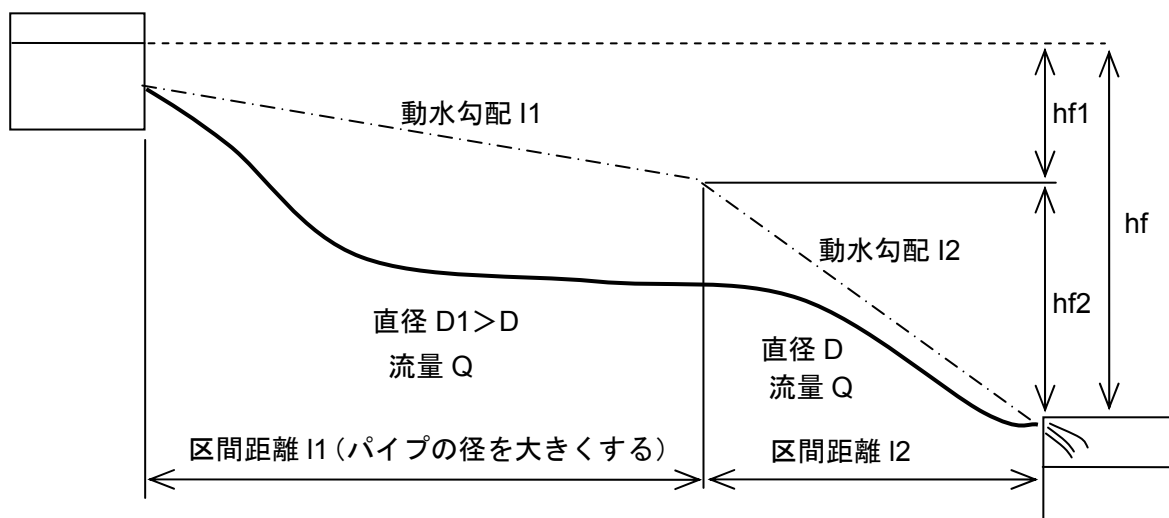


図 5-3 水理模式図 (3)

5-1-2 パイプラインの水理計算

水源からタンクまで用水を送る送水管は、一般的に分岐がなく、農地内で散水されるすべての水量に匹敵する総水量で計算する。管の素材はPVCが普通選択されるが、小口径（90mm以下）で予算があれば、ポリエチレン管も採用される。

所定の水量が流れるかどうかは、動水圧を計算することで確認する。動水圧は水源の水位標高から水頭損失（主に摩擦損失、バルブの損失等）を減じることで算出する。

計算は、パイプラインが常に水でいっぱいの状態、流れに圧力がかかっていると考えて行う。流れの方向は常にエネルギーの最大高さの点（重力式の場合、最高標高）から最小標高の方へ流れる。パイプの各区間での水頭損失は一般的に Hazen-Williams の式によって計算される。

パイプラインの計算に使用する主なパラメーターは次のとおりである。

- ・ 流入口と流出口の標高差
- ・ ルート沿いの標高
- ・ パイプの直径
- ・ パイプラインの長さ
- ・ パイプの種類（粗度係数）
- ・ パイプの摩擦損失
- ・ バルブ類での損失

(1) 摩擦損失水頭の計算

損失水頭は一般的に以下の式で表される。

$$hf = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

ここで

- hf : 損失水頭 (m)
- f : 係数
- L : パイプの長さ(m)
- D : 直径 (m)
- v : 流速 (m³/s)
- g : 重力加速度 (9.8m/s²)

パイプラインでの水頭損失の中で、1番大きい摩擦損失水頭は、次の Hazen-Williams の式を用いて計算される。

$$V = 0.354 * C * D^{0.63} * I^{0.54}$$

$$Q = 0.279 * C * D^{0.63} * I^{0.54}$$

$$I = 10.67 * C^{-1.85} * d^{-4.87} * Q^{1.85}$$

ここで、

V = パイプ内の平均流速 (m/s)

C = パイプの種類ごとの粗度係数 (Hazen-Williams)

D = 直径 (m)

$$I = \text{水頭損失}^6 \text{ (m/m)} = hf/L$$

$$Q = \text{流量 (m}^3/\text{s)}$$

水頭損失 $I = h/L$ であるので、

$$hf/L = 10.67 * C^{-1.85} * d^{-4.87} * Q^{1.85}$$

$$hf = 10.67 * C^{-1.85} * d^{-4.87} * Q^{1.85} * L$$

表 5-2 パイプラインの粗度係数

素材	C : Hazen-Williams
鋳鉄	130 – 140
コンクリート	120 – 140
めっき鉄	120
プラスチック (PVC、ポリエチレン)	140 – 150
鋼鉄	140 – 150
セラミック	110

(2) バルブでの損失水頭の計算

パイプライン上に設置されているバルブの開度に応じて、損失が生じる。損失水頭は、以下の式により計算する。

$$h_v = f_v \cdot \frac{v^2}{2g}$$

ここで

h_v : バルブによる損失水頭

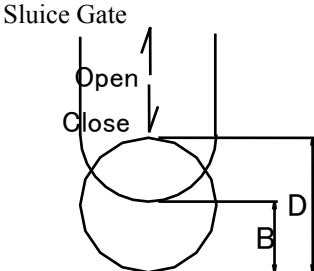
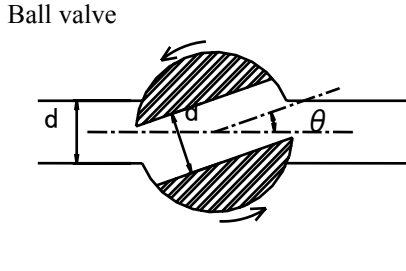
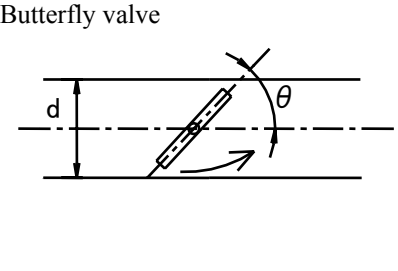
f_v : 係数(下表参照)

v : 流速

g : 重力加速度 (9.8m/s²)

⁶ 水頭は、水の持つエネルギーを水柱の高さに置き換えたもの。損失水頭は、管の摩擦、曲がり、出入口などで失われるエネルギー。

表 5-3 バルブによる損失係数

バルブ	バルブの開度と f_v 値																			
	Sluice Gate (D=600m 以下)	S/D	0.05	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80									
a/A		0.05	0.10	0.23	0.36	0.48	0.50	0.71	0.81	0.89										
f_v		235	100	28	11	5.6	3.2	1.7	0.95	-										
Ball valve (Cock valve)	θ°	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	65 以上					
	d/A	0.93	0.85	0.77	0.69	0.61	0.53	0.48	0.38	0.31	0.25	0.19	0.14	0.09	0.0					
	f_v	0.05	0.29	0.75	1.56	3.10	5.47	9.68	17.3	31.2	52.6	106	206	496	∞					
Butterfly valve	θ°	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80						
	d/A	0.91	0.83	0.74	0.66	0.58	0.50	0.49	0.36	0.29	0.23	0.13	0.06	0.0						
	f_v	0.24	0.52	0.90	1.54	2.51	3.81	5.22	10.8	16.7	32.6	118	751	∞						
Disc Valve	$f_v = (1.645 \times A/a - 1)^2$ A: sectional area of pipe, a: minimum sectional area of the conical part																			
Sluice Gate						Ball valve										Butterfly valve				
																				

(3) 水撃圧の計算

1) 水撃現象

管路を流れる大量の水流が急に阻害されると、内部の圧力が急激に変化する現象を水撃現象と呼ばれるもので、重力灌漑、ポンプ灌漑いずれの場合でも発生する。例えば、図 5-1 に一時的な水撃圧の現象が示されている。

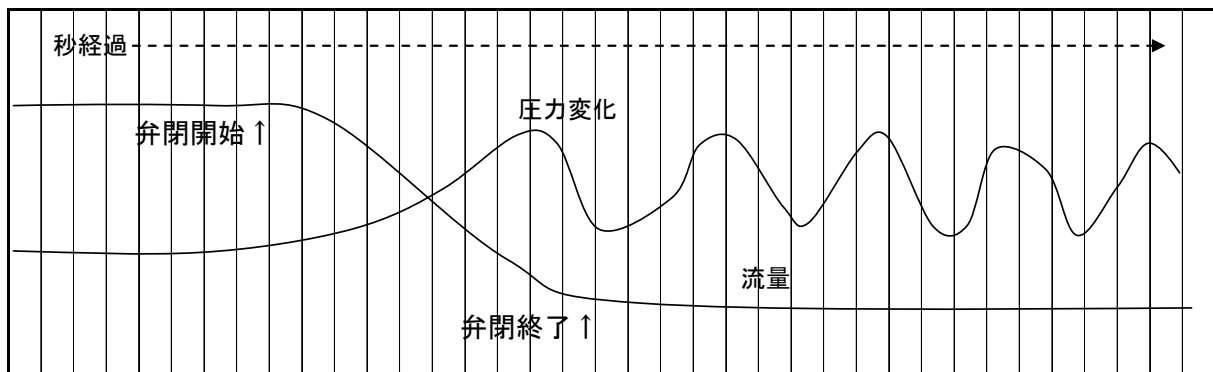


図 5-1 重力灌漑管路のバルブを閉めた後の一時的な水撃現象の例

水圧の上昇（最大圧力）だけでなく、水圧の減少（最小圧力）にも留意しなければならない。パイプラインのいかなる地点でも最小水圧が飽和水蒸気圧を下回った場合、水柱分離が起こる危険が発生する。水柱分離を防ぐために空気弁、調圧水槽、その他の設備を安定的に

設置検討する必要がある。

2) 水撃圧の簡易な計算方法

a. 圧力波の伝播速度

圧力波の伝播速度は、以下の計算式から求められる。

$$a = \frac{1}{\sqrt{\frac{w_0}{g} \left(\frac{1}{K} + \frac{D}{E \cdot t} \right)}}$$

ここで、

- a : 圧力波の伝播速度 (m/sec)
- w₀ : 水の単位重量 (= 1.0 tf/m³)
- g : 重力加速度 (= 9.8 m/sec)
- K : 水の圧縮性の弾性係数 (= 2.07 × 10⁵ tonf/m²)
- E : 管材別弾性係数 (PVC の場合 = 3.0 × 10⁶ tonf/m²)
- D : 管の直径 (m)
- t : 管壁の厚さ(m)

下表は、PVC パイプを用いた時の計算結果である。

表 5-3 PVC パイプの水撃圧

パイプ径		PVC 120 psi		PVC 160 psi		PVC 200 psi	
インチ	mm	t	<u>a</u>	t	<u>a</u>	t	<u>a</u>
2	50	2.0	<u>334</u>	2.7	<u>384</u>	—	—
3	75	2.7	<u>318</u>	3.4	<u>354</u>	4.2	<u>391</u>
4	100	3.5	<u>313</u>	4.4	<u>349</u>	5.4	<u>384</u>
6	150	5.2	<u>312</u>	6.5	<u>347</u>	8	<u>382</u>

t: 管壁の厚さ (mm)

また、パイプラインの形状によって若干の違いは出てくるが、上記の計算方法の結果には大差ない。

管の直径や管壁の厚さがパイプライン全体を通して均一でない場合、管の直径や厚さが均一な一定区間において、管の長さ (L₁, L₂, . . . , L_n) に対する圧力波の伝播速度 (a₁, a₂, . . . , a_n) は同じである。そのため、パイプラインの全長の平均値を以下の公式を使って求める。

$$a = \frac{L}{\sum \frac{L_n}{a_n}}$$

b. バルブの急開閉に伴う水撃圧の簡易計算方法 ($t < 2L/a$ の場合)

この場合、ジュコフスキーの式を用いる。

$$H - H_0 = -\frac{a}{g}(V - V_0)$$

ここで、

- a : 圧力波の伝播速度 (m/sec)
- g : 重力加速度 (= 9.8 m/sec)
- H : 定常状態の水流における水の落差 (m)
- V_0 : 定常状態の流速 (m/sec.)
- V : バルブが閉められてから一定時間後の流速 (m/sec.)

バルブが完全に閉じている状態で $V = 0$ の場合は、 $H - H_0 = a \cdot V_0 / g$ の式により、水撃作用によって生じる最大の水の落差が求められる。

c. バルブを徐々に開閉した場合の水撃圧の簡易計算方法 ($T > 2L/a$ の場合).

この場合、アリビエの式に類似する方法を用いる。これは、最初の反射波がバルブへ逆戻りし、バルブが完全に閉じられるまでに水圧の変化がないことや、バルブの開度が直線的に変化されることを前提としている。

この方法では、バルブが閉められる時に正圧が生じ、バルブが開く時に負圧が生じる。

$$\frac{H_{\max}}{H_0} = \frac{n}{2} \pm \sqrt{\frac{n^2}{4} + n}$$

$$n = \frac{L \cdot V'}{g \cdot H_0 \cdot t_v}$$

ここで、

- H_{\max} : バルブの閉塞によって発生する水撃圧水頭 (m)
- H_0 : バルブ位置における静水頭 (m)
- L : パイプラインの長さ(m)
- V' : 管内の初期および終期の定常状態の流速差 (m/sec.)
- t_v : バルブの開閉に要する時間 (sec.)
- g : 重力加速度 (= 9.8 m/sec.)

3) 水撃作用の防止

水撃作用を防ぐ主な方法は転換期における流速の変化をできるだけ少なくすることで、水撃防止器のほとんどがその目的で作られている。水撃防止器は次の3つの種類に分類される。

- (1) 流速の変化を少なくする。
- (2) 水圧の急速な減少を防ぐ。
- (3) 水圧の増加を抑制する。

水撃防止については、簡易な器具が有効な場合もあれば、複雑な器具が必要な場合もある。いずれにしても十分な調査をして、対象となるパイプラインにとって最も適切な水撃防止器を設置する必要がある。最も重要な点について以下の表に説明する。

表 5-4 水撃の防止対策

対 策	目 的	具体的な方法・留意点
(1) 管内流速を遅くする。	流速の変化を最小限に抑える。	管内流速は遅い方がよい（大体 1 m/s 以下）
(2) 排出管路に空気を送る。	水圧の急激な低下による真空状態の防止。	(1) 気室（cámara de aire）の設置。 (2) 空気弁の設置。
(3) 自動緩閉鎖バルブを使う。	水圧の上昇を防ぐ。	自動弁をゆっくりと閉める。ある距離に設置された自動弁は液体（油）を放出し、流速計メーターの操作で弁が自動的に閉鎖する。
(4) 安全バルブを設置する。	水圧の上昇を防ぐ。	水圧がある一定の基準に達した時に放水するためのバルブである。ばね直動式安全弁と重錘式安全弁がある。

5-2 設備の配置

パイプラインには、水をスムーズに流すためやその安全性のために、以下のような施設を設置する。

- 1) 空気弁：パイプライン内に混入する空気を逃す
- 2) 排泥弁：パイプライン内に混入するゴミ等を排出する。バルブを開くことで、本線の水を排出し、下流側に水を流さないようにする。
- 3) 制御弁：パイプライン内の水の流れを止める。

参考資料 外部条件が日消費水量に与える影響

(1) 土壌

土壌の条件がどのように作物が必要とする水の量に影響を与えるかを理解するためには、土壌の構成成分や土性などの特徴を知ることが重要である。

土壌は無機物、有機物、空気、水で成っている。

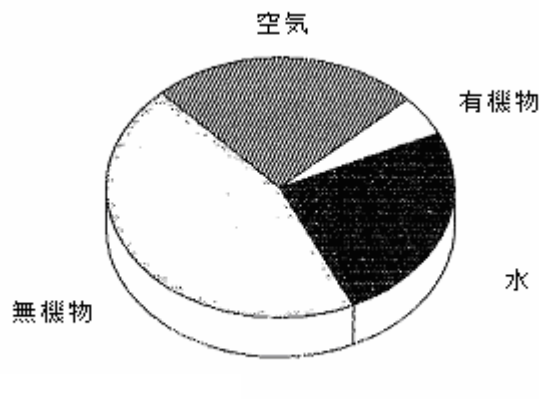


図 A-1 土壌の構成成分

土壌の固形成分：作物が必要とするほとんどの栄養成分を蓄積し、根の部分が錨のように土壌にしっかり固定するのを助ける役割を持っている。固形成分は無機物と有機物で成っている。

空気：大気と作物の部分(根など)間の気体成分の交換を可能とする。

液体成分：液体成分が作物や土壌生物が必要とする水分を供給する。栄養成分の運搬や吸収に役立つ。

土壌の固形成分は砂質、壤土質、粘土質でできている (図 A-2 参照)、それぞれ化学、物理特性が異なる。

これらの3つの成分がどれぐらいの割合で含まれているかによって土の「土性」が異なる。砂が多く、壤土や粘土はほとんど含まれない場合、「砂土」に区分され、粒子が大きく軽い土壌である。また、砂や壤土は多いが粘土はほとんど含まれない場合、「壤土」あるいは「砂壤土」に区分される。壤土や粘土の量が多く、砂はほとんど含まれない場合、「粘土」に区分され、重くて粒子の細かい土壌である。



図 A-2 砂、壤土、粘土成分の割合による土壌の性質

土性により土壌の性質が異なるが、灌漑農業においては保水力に与える影響が重要である。保水力は、粘土質の土壌の方が砂質や壤土質の土壌より高く、有効水分を保留しやすい。つまり、保水力の高い土壌ほど灌漑水の不足に対するリスクが少ない。しかし一方では、粘土質土壌の場合、水分が過剰になり、病害や呼吸障害のリスクが高まる。

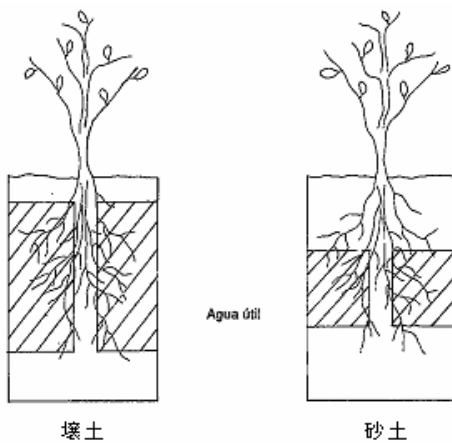


図 A-3 砂土と壤土の保水力のちがい

(2) 気象

作物の水分要求量に影響を与える気象条件は日照、気温、風、降水量である。

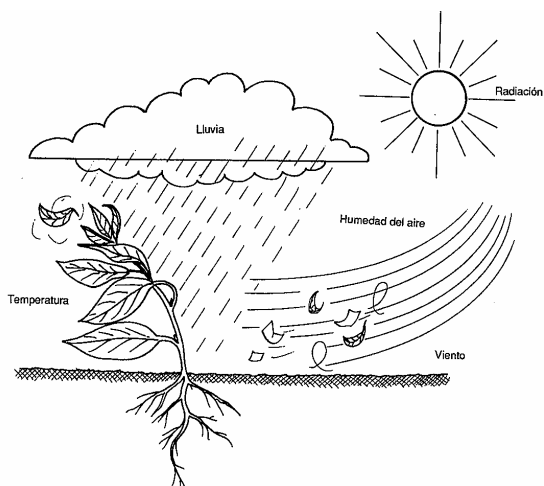


図 A-4 植物の水分要求量に影響する因子（日照、風、気温、雨）

- 日照 : 日照量や強さが大きくなるほど、水分不足の危険が大きくなる。
- 風 : 風速が大きくなればなるほど土壌の乾燥が速くなるとともに、作物からの蒸発散量が増える。そのため、灌水の需要が高まる。
- 気温 : 気温が高い日は土壌の乾燥が速くなるとともに、作物からの蒸発散量が高まり、水分不足の危険が大きくなる。
- 空気の湿度 : 空気が乾燥すればするほど、土壌の乾燥が速くなるとともに、作物が失う水分量が多くなり、水分不足の危険が大きくなる。
- 降水量 : 作物が必要とする水分量に直接影響を与える。作物に有効な降水量は 15mm 以上である。たとえば降水量が 20mm の場合、作物が利用できる降水量は 5mm だけと考える。

(3) 作物側の水分要求量

これまで実施された試験結果によると、一年生作物や果樹の大半が最も水分を必要としている時期に、日消費水量の計算で述べた蒸発計 (Evaporation Pan Class A) からの蒸発量と等しい水分量を必要としていることが明らかになっている。因みに米作の場合は、この装置の水分蒸発量より約 30% 増の水分を必要とする。

次表に一年間に作物が最も水分を消費する時期に、いくつかの作物の灌漑をするために必要な流量を示す。

表 A-1 水需要最大期の灌漑方法ごとの日必要流量 (例)

単位: m³/日/タ⁷

作物名	マイクロスプリンクラー	点滴灌漑
ナス	2.60	1.21
トマト	2.87	1.33
ニンジン	2.60	1.21
キャベツ	2.60	1.21
タマネギ	2.53	1.16
アボカド	2.14	—

*マイクロスプリンクラー規格例: 設置間隔 6m×6m、70ℓ/時間/器

*点滴灌漑規格例: 畝間 0.8m、作物間 0.5m、1.6ℓ/時間/器

⁷ ドミニカ共和国特有の面積の単位。1 タレア = 629m² = 0.0629ha

