

研究成果報告書

研究開発課題名	低圃場負荷地下かんがい・排水システムの開発
研究総括者	柳 武実
研究開発組合	西日本圃場改良株式会社，日本シートパイプ普及協会
試験研究機関	九州大学大学院

1 事業の実施内容

1. 1 事業の背景及び目的

農水省は、持続可能な力強い農業の実現や6次産業化・成長産業化のための施策として、農業の高付加価値化のために、水田の汎用化および畑地かんがいなどの整備を推進することを進めており、強い農業を作り上げるための施策を中心的に確立している。

そのためにフォアス（FOEAS）をはじめとする様々な地下かんがい排水システムの開発および導入が進められ、節水、省力化、水田汎用化に向けた様々な支援が続いている。フォアスシステムは、現在もっとも適応性が高く、全国で広く導入が進んでいる。

フォアスを補完し、更に圃場に低負荷で、無電源で制御する地下かんがい・排水システムの開発は、多品種で高品質、高付加価値農作物の栽培基盤を確立することに通じ、農業の6次産業化や国際化の進展に耐えうる農政の発展のためにも必要であり、そのための関連する産官学で協調し、新たな技術開発に取り組んでいかなければならない。特に民間技術の活用は当該分野では必須な要件となる。

そこで、従来暗渠と排水メカニズムは異なるが従来暗渠と同等以上の排水機能を有し、施工性にすぐれたシートパイプ暗渠を利用し、灌漑機能を追加して地下かんがい・排水システムを開発することとした。

また地下かんがいの施工、設置の条件は、敷設を予定する農地の土性、気候、主対象とする裏作物によっても異なるはずである。また、施工後の維持管理についても、各種の条件によって異なり、そのマニュアル化が必要である。

このように設計・施工だけでなく、利用および維持管理のためのマニュアル化も進め、利用を促進する必要がある。さらに、地中通気など付加的な効果の科学的な解明を行うなど、施工後の維持管理に対しても知見の整理が必要である。

そこで当該事業は、更に持続的な農業生産性の向上のために、安価で効率的に地下かんがいおよび排水を行うためのシステムを産官学協調で開発するものである。

具体的には次のようなところへの適用を想定している。

①シートパイプ暗渠がすでに施工されていて、更にかんがい機能を付加したい圃場、②重粘土地帯のように、特に低圃場負荷が要求される圃場、③用水路の形態をそのまま、かんがい・排水施設を導入したい圃場、④除塩を行いたい圃場、⑤根圏の環境改善を行いたい圃場、などである。

1. 2 事業の内容及び実施方法

(1) 種々の水源に対応した自動給水装置の開発

シートパイプ暗渠に追加する形で自動給水と自動水位制御が可能な地下灌漑・排水システムを開発する。その場合、用水源が種々存在するので、①地下水

や排水路から揚水している場合，②用水路が管水路で高圧水路の場合，③用水路が開水路など低圧水路の場合の 3 通りに対応したシステムを開発する。

(2) 現状に最適な設置間隔，埋設深の経験値および科学的検討

土性および環境に適した設置間隔，埋設深などの経験値を参考にし，科学的な裏付けを行う。

(3) 土壌通気効果の科学的解明

シートパイプ暗渠では排水後に管内に通気が行われる。通気による酸素の供給が土壌や作物根に及ぼす影響を解明する必要がある。ここでは，ポット試験によって通気が土壌環境に及ぼす影響の解明を行う。

(4) 普及マニュアルの作成

シートパイプ暗渠およびかんがい排水システム(SPIDI システム)それぞれの計画，設計，積算，施工，維持管理マニュアルを作成する。

なお，SPIDI システムは Sheet Pipe Drainage and Irrigation System の頭文字をとって命名したものである。

1. 3 事業着手時に想定した技術的問題点への対応

技術的問題点	対応
無電原化	技術的な対応はできている。作動性の確認や，安定性信頼性の確認を継続して行った。
マニュアル化	シートパイプ暗渠に一般によく知られていないので，シートパイプ暗渠およびかんがい排水システム(SPIDI システム)それぞれの計画，設計，積算，施工，維持管理マニュアルを作成する。
通気性の科学的な解明	通気性の効果は定性的には知られている。情報が不十分であり，実験によって土壌や収量の変化などについて科学的に解明する。

1. 4 事業の実施体制

(1) 研究開発組合内の役割分担

- ・種々の水源に対応した自動給水装置の開発；九州大学大学院&西日本圃場改良(株)
- ・設置間隔・埋設深の経験値および科学的検討と普及マニュアル作成；九州大学大学院&日本シートパイプ普及協会
- ・土壌通気効果の科学的解明；九州大学大学院

(2) 試験研究機関と研究開発組合の役割分担

- ・収量調査；大分県農林水産研究指導センター
- ・実証試験；九州大学大学院&大分県農林水産研究指導センター

1.5 事業の年度計画と実績

項 目	平成 25 年度		平成 26 年度		平成 27 年度	
	上期	下期	上期	下期	上期	下期
種々の水源に対応した自動給水装置の開発						
設置間隔や埋設深の検討とマニュアル作成						
土壌通気効果の科学的解明						
実証試験						
機能監視						

注) : 計画, : 実績。

1.6 研究開発の概要、結果、課題等

(1) 種々の水源に対応した自動給水装置の開発

水源の位置や用水路の形態，圧力などを考慮し，大きく 3 つのタイプを開発した。

(a) 電子制御方式

図 1-1 は電子制御装置を示す。水源が河川や排水路または地下水でポンプによる用水供給の場合に本方式を適用する。上部のコードは上限水位と下限水位を検知するフロートスイッチからの信号線である。



装置の下部にポンプの電源用のコンセントを有しており，フロートからの信号によって ON-OFF が切り替わる。

(b)定水位弁を利用した無電源制御方式

図 1-2 は定水位弁を利用した無電源制御装置の例である。用水路が管水路で高圧の場合に本方式を適用する。給水柵内のフロートの自重および浮力によって定水位弁のパーロットバルブを開閉させることによって給水弁（定水位弁）を開閉させる。図 1-2 の左側はフロート室と制御部一体型であり、右側はフロート室と制御部を分離させたタイプである。

**(c)独自開発の弁を利用した無電源制御方式**

図 1-3 は低圧で作動するように設計された独自開発の弁を利用した開水路用の無電源制御装置である。用水路が開水路など低圧の場合に適用できる。中央の装置が弁でワイヤーによって開閉される。右の給水柵の中にフロートがあり、フロートの自重と浮力をワイヤーを介して弁に伝え給水を制御する。



図 1-3 独自開発弁を利用した無電源制御装置

(2) 現状に最適な設置間隔，埋設深の経験値および科学的検討**(a) 吸水渠の設置間隔**

シーパイプ暗渠では過去において 8 年にわたり，吸水渠間隔 10 m～3 m の範囲で，排水効果の検討を繰り返した結果，4 m 間隔が最も効果的，かつ経済的であると判断された。したがって，吸水渠の設置間隔は現時点で 4 m（固定）を最適とする。

新技術マニュアルに吸水渠間隔を計算する式として，デラクレの定常式を紹介してあるが，シートパイプ暗渠には適用できない。なぜなら，シートパイプ暗渠では耕盤層に発達した亀裂により地下水水面はほぼ水平に維持されるからである。また，土地改良設計基準 技

術書[27.現場透水係数の補正と吸水渠間隔の計算]に掲載の暗渠間隔 S の算定式 $S = 2H\sqrt{k/D \times 86.4}$ も適用できない。ここで、 S : 吸水渠の間隔(m), H : 作土層の厚さ(cm), k : 作土層の透水係数(cm/s), D : 計画暗渠排水量(mm/d)である。本式は水が作土層を吸水渠の方向に流れ、疎水材のある吸水渠に吸い込まれる前提である。シートパイプ暗渠では施工後の経年変化により亀裂等の吸い込み口が吸水渠の直上だけでなく、離れた地点まで広く分布すると考えられるからである。

(b) 吸水渠の埋設深

シーパイプ暗渠は過去において 8 年にわたり、深さ 70 cm~40 cm の範囲で排水効果の検討を繰り返し、40 cm の深さが最も効果的と判断された。それ以来、埋設深 40 cm を標準として施工されている。

シートパイプ暗渠の開発当初の頃（昭和 50 年代）は埋設深 40 cm とはシートパイプの管底までを指していたが、平成以降はシートパイプ上端までの深さとしている。

したがって、地下水位はシートパイプの底、すなわち地表面下 45 cm 以下に維持される。

一般に地下水は排水路に向かって流れるので、地下水位に勾配が生じ、排水路から水路側に向かって水位が高くなる傾向にある。シートパイプ暗渠の場合、耕盤層に亀裂が発達し、かつ貫通している。亀裂の中を水は自由に移動するので、土壌中に多数の U 字管（開水路）が形成された状態となる。したがって、亀裂内の水位はどの地点でも、たとえ圃場の中心においても同じである。地下水が排水路とつながっていれば、排水路水位と同じになる。ただし、水の移動には時間を要するので場所によって時間遅れによる水位のずれは生じる。実際の地下水位と亀裂内の水位とは必ずしも一致していない。実際の地下水位は土壌の透水性に応じて、亀裂内水位に遅れて追従変化する。

地下水位は農業機械の走行に必要な地耐力と転換畑作物に湿害を与えないという 2 つの条件から検討し、決定すべきである。

農林水産省土地改良事業計画設計基準「暗渠排水」〔地耐力と地下水位 p37, p114〕によれば、「農業機械の円滑な農作業のためにはコーン指数 0.39 N/mm² (4 kgf/cm²) 以上が必要である。また、この支持力を得るためにはこの支持力を得ようとする位置より最低 15 cm 以上地下水位を低下させなければならない。」とある。

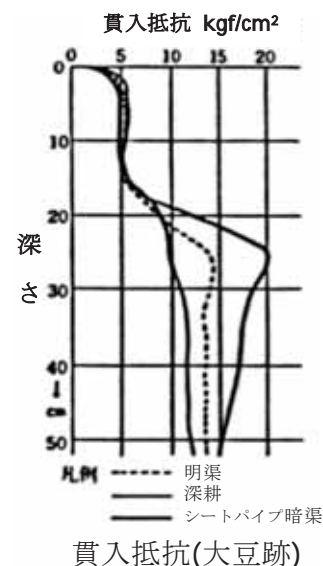
耕盤でこの支持力を得るためには、作土層の厚さを 15 cm とすれば、地下水位は田面下 30 cm 以上であればよいので、シートパイプ暗渠は地耐力の条件を満たしている。

右の図は鳥取県農業試験場において平成 2 年に行った地耐力（貫入抵抗）調査結果である。15~25 cm の耕盤層の貫入抵抗が増加しているのがわかる。

コーン指数と貫入抵抗は同じ意味で 0.39 N/mm² = 4 kgf/cm² である。

また、前述の設計基準〔転換畑作物の地下水位管理基準 p168〕によれば、地下水位は 50~60 cm に下げれば、ほとんどの畑作物は栽培可能になるが、作物ごとに適する地下水位は異なっている。

転換畑でよく栽培される大豆は地下水位約 30 cm 以下、小麦は 25 cm 以下で正常に生育



する。地下水位 40 cm 以下であれば、はくさい、レタス、ピーマン、ブロッコリー、なす、トマト、たまねぎ、キャベツなど多くの野菜の栽培が可能となる。

結果的に埋設深 40 cm は地耐力の観点からも転換畑作物栽培の観点からも支障のない深さであるといえる。

(3) 土壌通気効果の科学的解明

当研究はシートパイプの導入による土壌および作物への通気の影響を定量的に評価することを目的とし、通気条件や通気量の多寡の条件を設定し、それらを観察した。

(a) 研究手法

(i) 栽培実験

当該研究では、シートパイプを導入した転換畑における畑作物栽培を想定し、九州大学附属農場の水田土壌を入れた栽培ポットを用意し、ハウレンソウの栽培実験を行った。

1/5000 a (φ16cm) のワグネルポットを用い、有底のポット、底面に通気口を施し自然通気させるポット、底面に通気口を施し通気ファンを用いて底面から強制的に通気を行うポットの 3 種類のポットを各 3 個ずつ、合計 9 個用意した。各々シートパイプを導入しない通常の圃場、シートパイプ暗渠を導入して土中通気を行う圃場、さらにシートパイプを導入した圃場により多くの土中通気を可能となった圃場の 3 つの条件を再現し、通気の有無やその程度による作物収量ならびに土壌構造などの変化を検討した。なお、自然通気ならびに強制通気を行うポットは、ポット底面の一部をくり抜き、さらにポット底面からの土壌流亡を防ぐために 2 mm の網目ネットを 2 枚重ねた。通気ファンの風速は $3.7 \pm 0.1 \text{ m/s}$ であった (図 1-4 と図 1-5 参照)。



図 1-4 栽培用ポット (有底; 左, 通気あり; 中央) と送風ファン

ポットには作土層と耕盤層を想定して 2 層の異なる条件で同じ土壌を充てんした。耕盤層を想定した下層部分にはあらかじめ飽和させておいた水田土壌を厚さ 12cm になるように詰め、作土層を想定した上層部分には、下層部分とは異なる飽和透水係数で風乾した水田土壌を厚さ 6cm になるように詰めた。

栽培ポットのうち、各条件の 3 つのポットには、ポット底から 6cm 上方の耕盤層内に酸素濃度測定センサー (日本環境計測株式会社 MIJ-03) を埋設し、栽培期間中の耕盤層内への酸素濃度をデータロガー (GRAPHTEC 製 midi LOGGER GL220) で 30 分間隔で記録した。また、異なる条件の 3 つのポットには、土壌表面から 5cm 下方の作土層内に土壌水分測定センサー (DECAGON 社製) を埋設し、1 時間間隔で測定した。

大気中の酸素濃度は、土壌濃度センサーを大気中で下向きにして数日間放置した時の記録の平均値である。

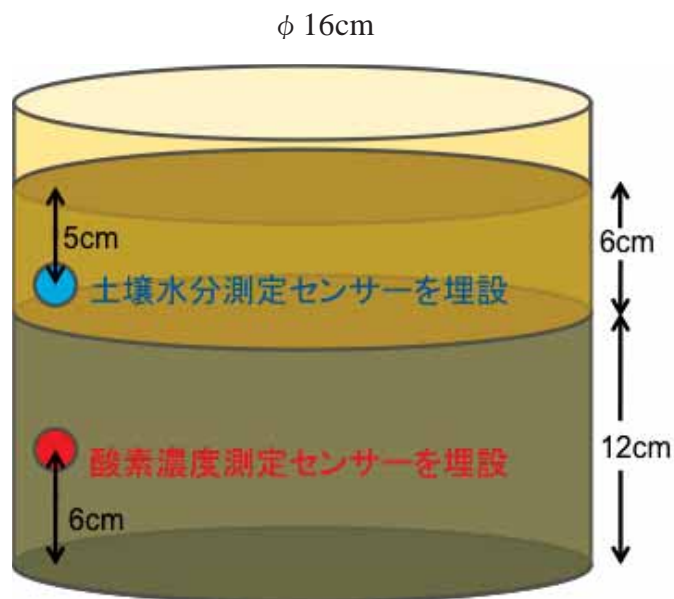


図 1-6 のように、コンクリートブロックとアルミラックを用いて栽培用スペースを作り、強制通気を行うポットに関してはポットの真下に送風ファンを設置した。



図 1-6 栽培実験スペース

ガラスハウス内は通常の屋外の圃場よりも日中の気温が高くなることから、播種後の暑さに耐性のある「次郎丸ほうれん草」を選定した。

またハウレンソウは、酸化した土壌だと生育に適さないことから、栽培実験を始める前の 2015 年 9 月 10 日、各ポットに 30g の苦土石灰を施用した。1 週間後、土壌を少量採取し、蒸留水を加えて振とう機で 1 時間振とうさせた後、pH メータ (HORIBA 製作所製 コンパクト pH メータ LAQUA Twin B-712) で土壌の pH を測定した。その土壌 pH の平均値は 7.0 (±0.1) であった。

10 月 7 日、栽培実験に先立って一度全てのポットに同一量灌水した。灌水から 24 時間

後（10月8日），化成肥料（N:P:K=8:8:8 株式会社サンアンドホープ）を各ポットに 4g ずつ施肥後，種子を各 20 粒ずつ播種した。

栽培期間中の給水は，土壤表面の乾燥の具合を見ながら適宜ジョウロで行った。ホウレンソウの栽培期間は 2015 年 10 月 8 日～12 月 10 日（61 日間）である。

ホウレンソウは，生育期間中各種の生育パラメータと収穫後は収量因子（バイオマス量等）を測定した。

湿潤重量は収穫直後の重量を，乾燥重量は湿潤重量の測定後に炉乾燥機で 70℃で 72 時間放置した後の重量，葉面積は収穫した葉をカーボンコピーし，黒色の面積から推察した。

(ii) 栽培に用いた土壤の性質

作土と耕盤の各土層について，変水位透水試験（JIS-A-1218）によって土壤の飽和透水係数を，また吸引法と遠心法によって水分特性曲線を作成した（JGS-0151）。水分特性曲線については，高水分領域（pF 0.0～2.5）は吸引法で，比較的低水分領域（pF 2.5～4.2）は遠心法によって求めた。

(b) 結果と考察

(i) 栽培に供した土壤の理工学性

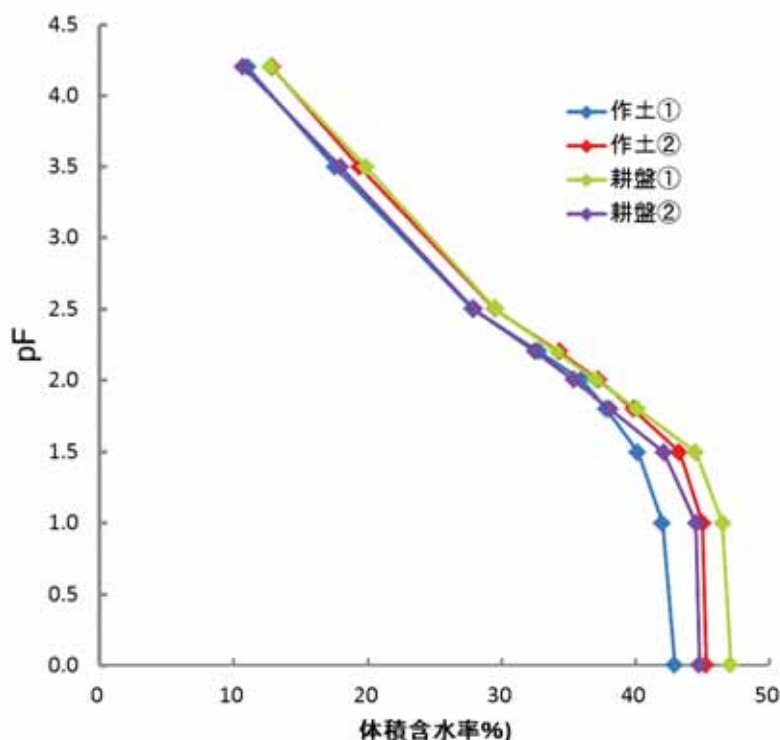


図 1-7 水分特性曲線

図 1-7 に供試した土壤の水分特性曲線を示した（作土，耕盤，各 2 個）。耕盤土壤の飽和水分量が幾分大きかった。有効水分量（pF1.8～3.0 の水分量）は，作土層で 15.2%，耕盤層 15.5%で，大きな差異は無かった。

表 1-1 飽和透水係数

土層	透水係数(cm/s)	透水係数(cm/s) 平均
作土①	1.0×10^{-4}	
作土②	7.7×10^{-5}	9.1×10^{-5}
作土③	9.6×10^{-5}	
耕盤①	5.2×10^{-5}	
耕盤②	5.2×10^{-5}	5.1×10^{-5}
耕盤③	4.9×10^{-5}	

表 1-1 に供試した土壌の飽和透水係数を示した（作土，耕盤，各 3 個）。耕盤土壌の飽和透水係数が 1/2 程度小さかった。

(ii) 土壌水分の変化

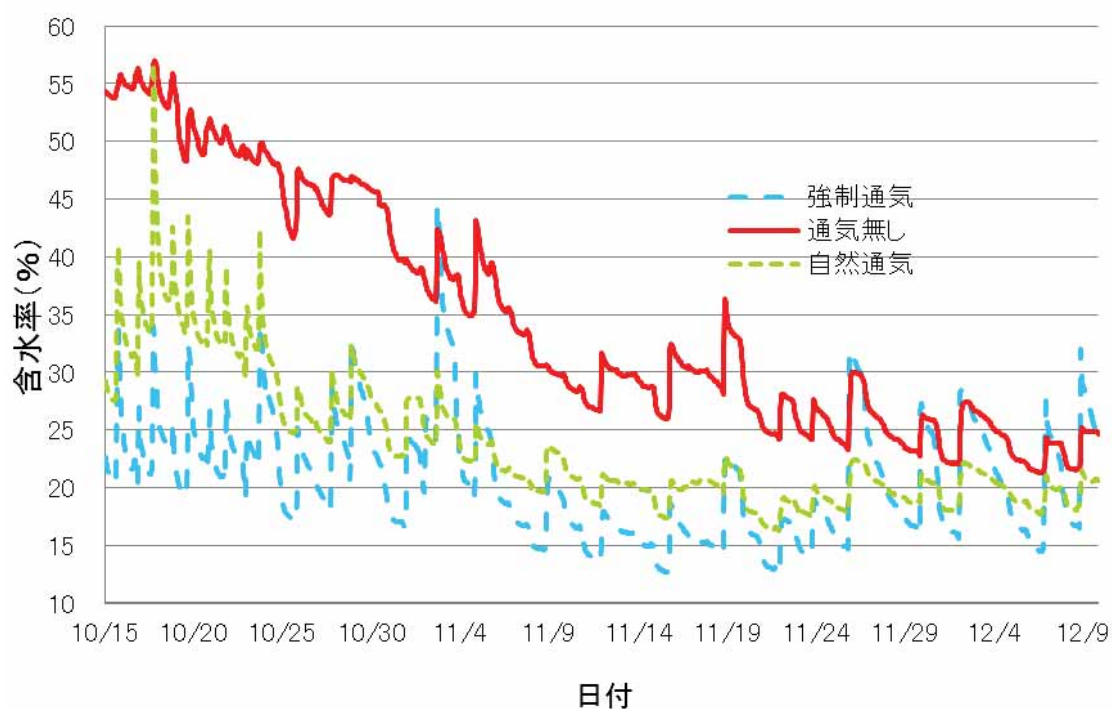


図 1-8 含水率の変動

図 1-8 にポット作土層における土壌水分量（含水率 (%)）の推移を示した。通気を行うことで、ポット内の平均水分量は減少し、通気無に比べて平均 14.1%と低い値であった。

(iii) 作物生育

表 1-2 作物収量への影響

	生重量(g)	乾重量(g)	葉数(枚)	葉面積(cm ² /株)
通気なし	31.1	19.1	27.4	1648.3
	2.8	0.3	1.9	66.0
	50.4	53.4	67.6	64.0
自然通気	47.8	24.1	33.2	4119.7
	5.2	1.0	1.9	108.2
	77.3	67.4	81.9	159.9
強制通気	61.8	35.8	40.6	2576.1
	6.2	1.1	0.8	82.6
	100.0	100.0	100.0	100.0

上段は平均値（3 個体）、中段は標準偏差値、下段は強制通気に対する割合（%）。



図 1-9 ポット試験生育の概要（収穫前の写真、左列 自然通気、中央列通気無、右列 強制通気）

表 1-2 にホウレンソウの収量の差異を示した（3 個体の平均値）（図 1-9 参照）。通気によって、湿潤重量、乾燥重量、葉数、葉面積全て増加し、最大であった。その割合は各々、54~79%と差異があったが、収量では 54~70%程度の差異があった。主に土壌の団粒化や乾燥化および微生物数の影響が有効に作用したと推察される。（微生物数に関しては、2013 年のダイズの生育における結果から推察）。

(c) 結果および今後の課題

通気によって、ホウレンソウの収量や生育は大きく向上した。これは、過年度のダイズの生育と合致し、土壌の団粒化などの土壌構造の改善による効果と推察される。土壌微生物数については、現在解析中であるが、過年度のダイズの結果と同様に、通気によって土壌微生物の数に差異がでたと期待される。

詳細な原因究明は、今後継続する。

今後の課題としては、シートパイプ暗渠導入し土中通気を行った圃場での生育調査を行い、土壌環境の変化および作物の収量や品質の向上について解明する必要がある。

(4) SPIDI システム導入の費用

シートパイプ暗渠の施工費用はおよそ 25 万円/10a (諸経費含む) である。SPIDI システムはシートパイプ暗渠に灌漑機能を追加して構成されるシステムであり、およそ 30a 当りに 1 箇所の給水装置の設置となる。

1 箇所当たり、追加分の費用は給水装置のタイプに関係なく、いずれの場合でもおよそ 30～35 万円 (直接工事費) である。給水装置の設置費用は取水形態や取水位置等によって変動することが予想される。

1. 7 実証試験 (現場適用) の概要, 結果, 課題等

(1) 種々の水源に対応した自動給水装置の開発

(a) 水位制御の実証試験

電子制御方式水位制御の実証試験結果を図 1-10 に示す。本圃場では大豆が栽培されており、地下水位が地表面下 35cm に設定されていた、2013 年 10 月の地下水位変化を示す。

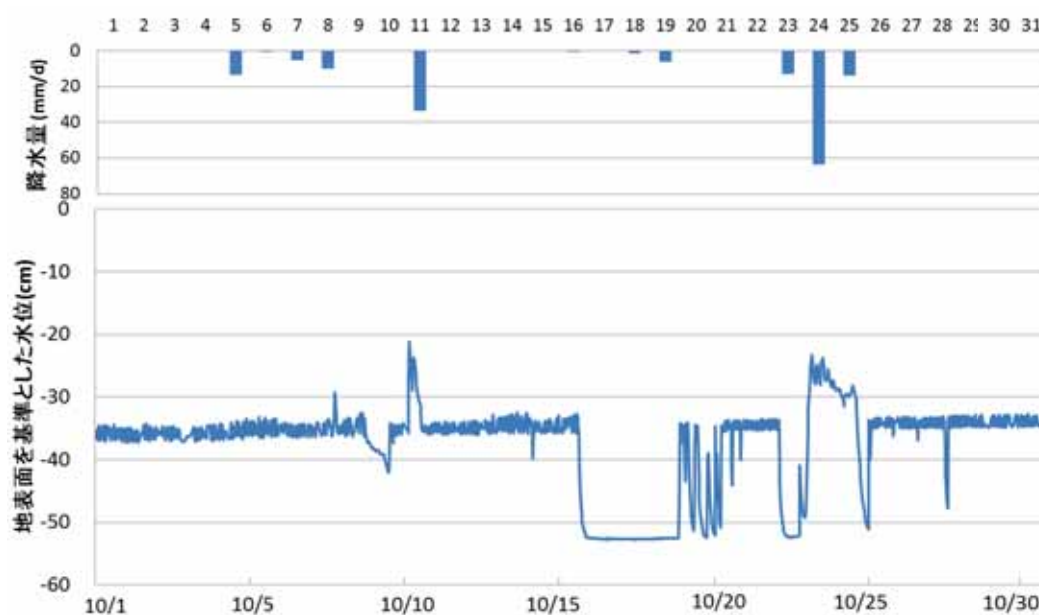


図 1-10 水位制御の実証試験結果 (電子制御方式の例, 2013.10)

図 1-10 によれば、ほぼ設定値付近に水位が維持されているのがわかる。設定値付近の細かい振動はポンプの ON-OFF による振動を示している。フロートの上限, 下限の設定幅は 10 cm に設定しているが、地下水位変動の振幅はそれより小さく、1.5 cm 以下となっている。

また、地表面下約 20 cm に余水吐があるが、地下水位のピークはそれ以下であり、降雨時の排水もうまくいっていることがわかる。

定水位弁を利用した無電源制御装置の圃場でも同様な調査を行なったが、ほぼ同様な結果が得られた。

(b) SPIDI システムの実証試験

(7) 給水時の水移動の分析

シートパイプ暗渠における排水の流れおよび空気の流れを詳細に研究した例はない。SPIDI システムにおける灌漑時の水の流れについても同様である。SPIDI システムにおける給水時の水移動に焦点を当て実験によって分析を行った。

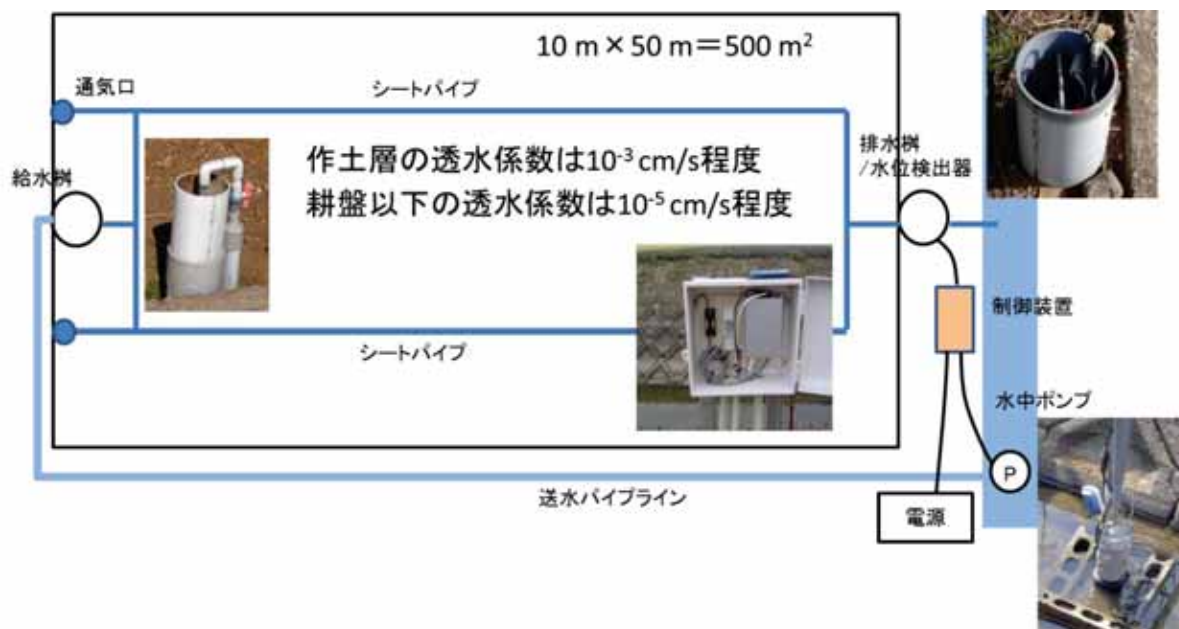


図 1-11 SPIDI システムのレイアウト

試験地は大分県宇佐市農林水産研究指導センター内の水田圃場である。SPIDI システムのレイアウトを図 1-11 に示す。

圃場面積は $10\text{ m} \times 50\text{ m} = 500\text{ m}^2$ で 2012 年 5 月に電子制御式 SPIDI システムを施工した。本圃場は粘質土壌であり、耕盤以下の透水係数は 10^{-5} cm/s 程度、作土層の透水係数は 10^{-3} cm/s 程度である。

図 1-12 は 2012 年 8 月 7 日（水稻栽培の中干しの復水）の給水時の排水柵および通気口の水位変化を示したものである。

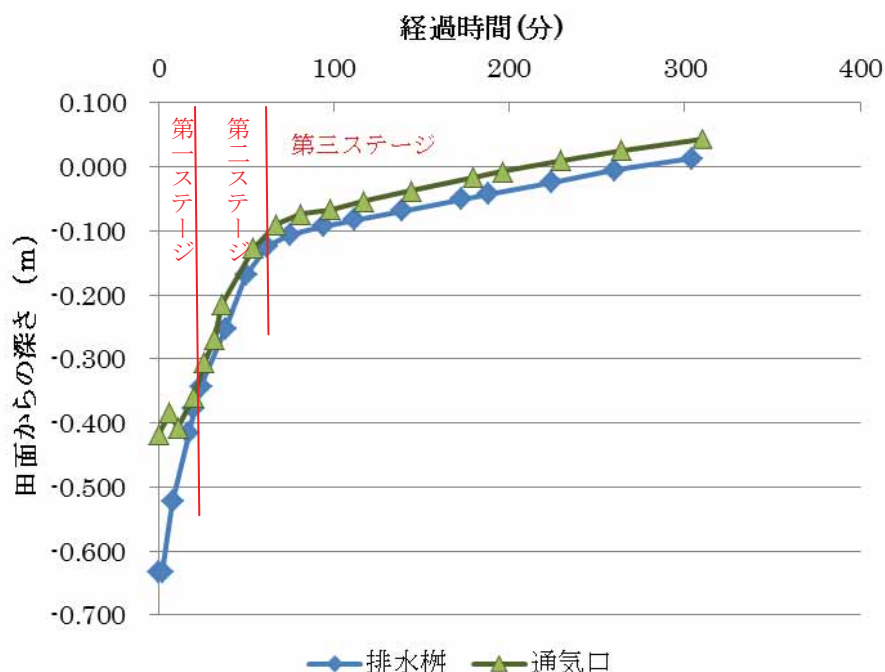


図 1-12 給水初期の水位変化（水稻栽培の中干しの復水）

図 1-12 によれば，水位変化は 3 つのステージから構成される。

第 1 ステージは暗渠内への注水段階であり，暗渠内に水が満たされた後，第 2 ステージに移行する。

第 2 ステージは亀裂等のマクロポア内の水位上昇段階である。給水量は 55 l/min であり，給水速度に換算すると $1.8 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ である。これは心土層の透水係数 10^{-5} cm/s よりも大きいので，水移動の容易なマクロポア内を上昇するのである。圃場内に観測井戸を設置してもその井戸にマクロポアが通じていなければ，このステージで観測井戸に水面は出現しない。第 2 ステージで作土層に水が達すると作土層内への浸潤が進行する。

第 3 ステージは作土層への浸潤段階である。作土層の透水係数は 10^{-3} cm/s 程度であり，給水速度より大きいので，給水された水は作土層では浸潤が開始される。畑作物が対象で地下灌漑の場合，水位上昇は作土層には達しないので，第 3 ステージは心土層の浸潤段階となる。

なお，図 1-12 において，上流側通気口水位と下流側排水柵水位は常にほぼ一定の水位差で推移しており，かつその差は小さい。このことはシートパイプ暗渠内は開水路状態で水が流れていることを示唆している。つまり，亀裂によって，シートパイプが大気に解放されていると想像される。

参考例として，シートパイプ暗渠が既設の圃場に SPIDI システムを追加施工した圃場の給水試験の結果を図 1-13 に示す。当該圃場は排水柵側から給水を行っており，排水柵側が上流になる。図 1-13 によれば，上流側水位が下流側水位よりも大きく，特に初期にかなり大きく，次第に水位差が小さくなっている。このことはシートパイプ内が圧力管として機能していることが予想される。つまり，亀裂の発達が小さいことが示唆される。

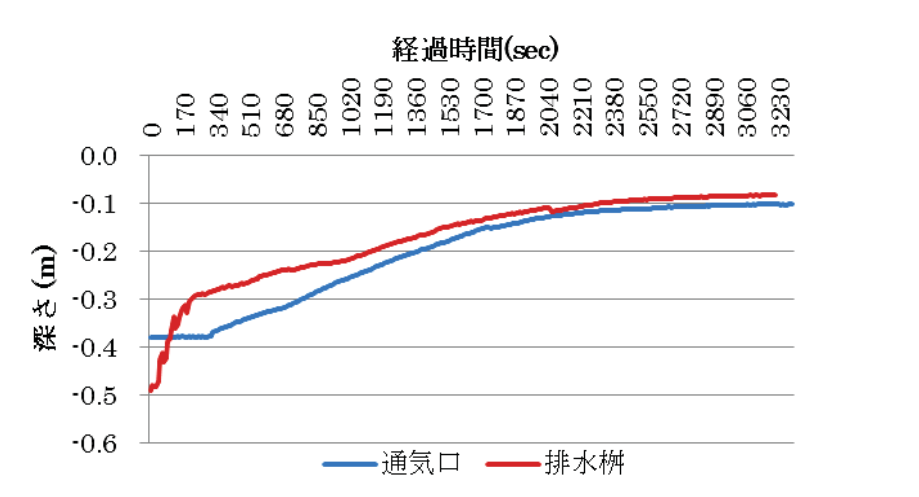


図 1-13 給水初期の水位変化(シートパイプ既設圃場に追加施工した例)

(イ)大豆栽培時の地下水位の変化

図 1-14 は 2013 年の大豆の地下灌漑時の地下水位変化の一部を示したものである。

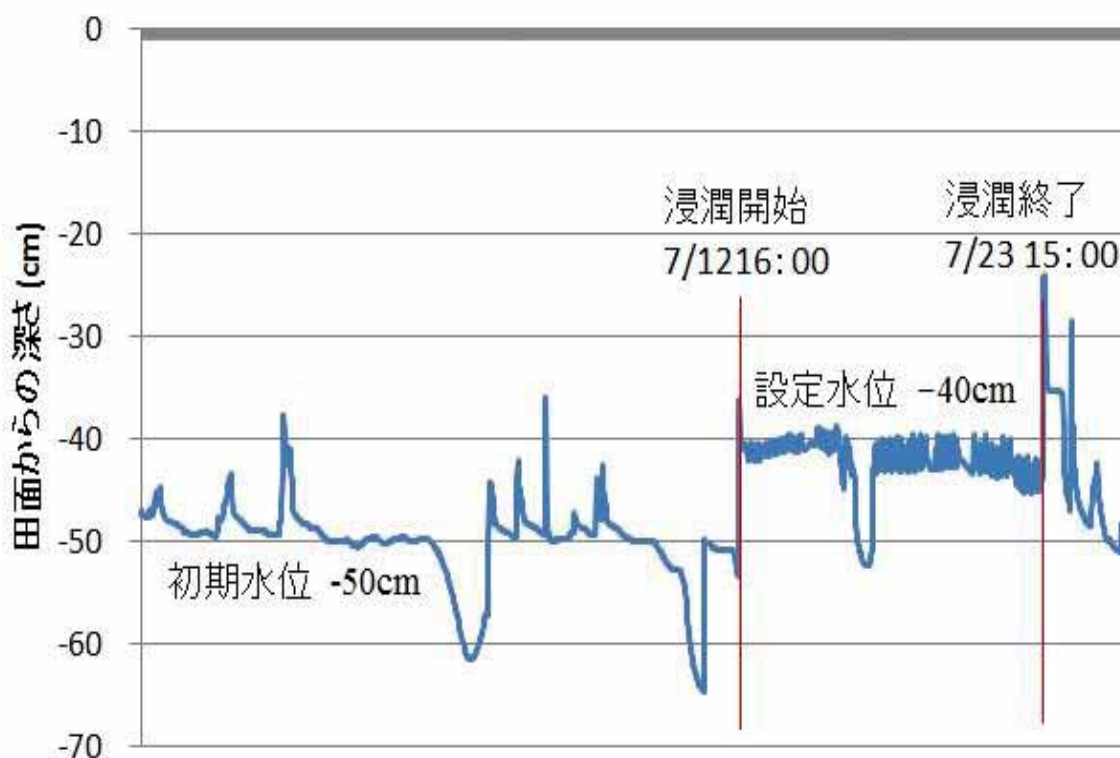


図 1-14 大豆の地下灌漑時の地下水位変化

初期水位は地表面下-50 cm にあった。7 月 12 日に設定水位-40 cm に上昇させた。図 1-14 においても水位が-40 cm に上昇している。しかし、設定水位を挙げても土はすぐには飽和しないので、実際にはマクロポア内を-40 cm まで上昇したにすぎない。この井戸はマクロポアと通じた特殊な井戸で、マクロポア内の水位を示しているのである。

7 月 12 日～7 月 23 日の間は水位が小刻みに変動している。この間は心土層内で下から上に向かって浸潤している期間である。浸潤量に相当する量を供給するために給水が

ON-OFF を繰り返すことによって生じる波形である。

水位上昇が約 10 cm, 経過時間が 10 日 23 時間 (263 時間) であるので, 浸潤速度は $10/263 = 0.038 \text{ cm/hr} = 1.1 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ と推定され, 心土層の透水係数とほぼ一致する。

浸潤が終了すると消費水量は蒸発散量のみになるので小刻みの振動が消える。実際にはさらに小さな振動が発生しているのであるが, 30 分間隔の記録では拾いきれない。

図 1-15 に圃場のほぼ中央部で観測された体積含水率の変化を示す。深さ 5 cm, 15 cm, 35 cm での観測値である。



図 1-15 土壌水分 (体積含水率) の変化

図 1-14 によれば井戸水位は 7 月 12 日に設定水位 -40 cm を示しているが, 図 1-15 の土壌水分変化を見ると -35 cm において 7 月 12 日に若干急な上昇が見られるものの, -15 cm および -5 cm においては 7 月 23 日まで水分変化はほとんど見られない。すなわち, この期間, 心土層内はまだ浸潤が進んでないことがわかる。7 月 23 日になってやっと所定の深さまで飽和が及んだことになる。

このように地下水位の設定において, マクロポア内は速やかに設定値に達するが, 土壌内は (水位変化量 / 土壌内水移動速度) の時間経過後にやっと設定水位に達することが土壌水分変化によって確認がとれた。なお, 水位上昇時においては土壌内水移動速度は飽和透水係数相当であることも明らかとなった。

1.8 機能監視の概要、結果、課題等

(1) 種々の水源に対応した自動給水装置の開発

(a) 給水弁の水理特性

SPIDI システムの給水制御に使用する弁の水理特性を調査した。結果を図 1-16 に示す。比較の対象として FOEAS の弁の特性も示す。

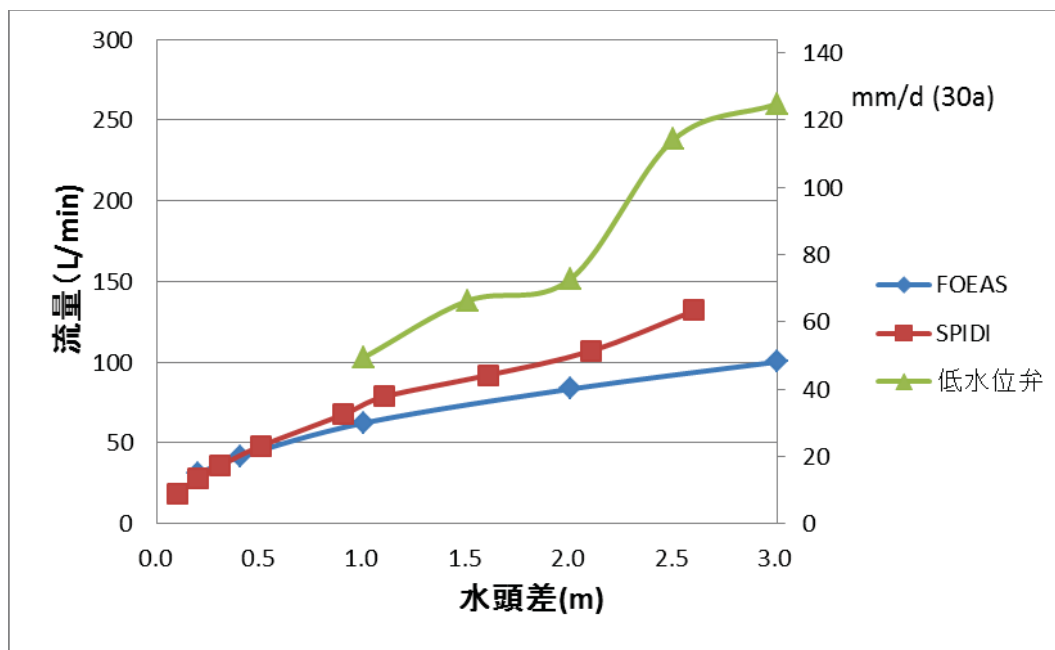


図 1-16 給水弁の水理特性

図 1-10 によれば、水頭差 50 cm 以下では SPIDI システムの低圧用給水弁は FOEAS の弁と同程度の性能を示している。すなわち、水頭差 30 cm の場合、30 アールの圃場では減水深 15 mm/d まで対応可能である（図 1-10 の右側軸参照）。15 mm/d より減水深が大きな圃場では給水弁を 2 個以上設置する必要がある。

また、定水位弁（φ50）を使用すれば、もう少し大きな減水深に対応できる可能性がある。ただし、定水位弁は水頭差 1 m 以上でしか動作しない。

(b) 暗渠径、マクロポアの割合、浸潤速度の推定

給水時の水移動の分析において、給水初期の各ステージの諸言から、弾丸暗渠の径、マクロポアの割合、浸潤速度の推定を試みた。

第 1 ステージにおいて、所要時間と給水速度から暗渠内への給水量が算定でき、さらに弾丸暗渠の径の推定が可能となる。第 2 ステージにおいて、マクロポア内への給水量を計算することによって、マクロポアの容積がわかり、全体に占めるマクロポアの比率が推定できる。第 3 ステージでは、例えば図 1-12 の場合、時間-水位の回帰式を求めることによって浸潤速度を推定できる。

2012～2013 年間で実施した 6 回の給水試験から推定した上記の諸言を表 1-3 に示す。

表 1-3 給水試験結果

試験日	給水速度 (ℓ/min)	暗渠の推定径 (mm)	マクロポア 比率 (%)	マクロポア 水位上昇速度 (cm/min)	作土層 浸潤速度 (cm/s)
2012年6月28日	53.3	—	1.0	1.0	1.1×10^{-03}
2012年8月7日	55.0	84	1.7	0.7	8.70×10^{-04}
2012年12月7日	57.9	—	1.2	1.0	—
2013年5月1日	57.9	—	2.0	0.6	—
2013年7月12日	69.2	—	1.1	1.0	—
2013年12月10日	94.7	81	2.3	1.0	—

表 1-3 によれば、暗渠を満たした水量から、1年半経過した弾丸暗渠の径は 80%程度に縮小していると推定される。

また、マクロポアは給水と排水を繰り返すことによって増減するが約 1~2%程度存在することが明らかとなった。

さらに、給水試験から作土層の浸潤速度は 10^{-3} cm/s、心土層は 10^{-5} cm/s と推定され、これらはそれぞれ実測した透水係数とほぼ一致した。

(2) SPIDI システムの維持管理

SPIDI システムの排水機能に関しては非灌漑期に水閘を開放し、吸水管内の通気に心掛ければ排水機能は半永久的に持続することが期待できる。

SPIDI システムの給水装置に関しては機構が単純であるため、故障は少ないと思われる。

問題となるのはゴミや泥の流入である。取水口にスクリーンを配置するが網目が小さすぎるとすぐに目が詰まり、取水不能となるので、ある程度目の大きいスクリーンを採用する必要がある。それでも草等が集積してくるので見回りは必要である。

また、制御弁の前にもストレーナを配置している。取水口のスクリーンを通過した泥などがストレーナに溜まる。土粒子の浮遊の多い水路ではストレーナの頻繁な清掃が必要となる。特に開水路からの取水の場合は注意が必要である。

管水路の場合でも微小な石がストレーナの網に付着する場合がある。小さな巻貝の流入もある。

電子制御式給水装置の場合、フロートが小さいので外乱に影響されやすい。フロート室の水質が悪化してフロートの軸が汚れてくるとスムーズに上下しなくなり、制御不能となる場合がある。フロート室の水面に浮くようなものが流入した場合もフロートの動きが妨げられる場合がある。時々フロート室の点検が必要である。

2 事業の成果

2.1 成果の内容

(1) 種々の水源に対応した自動給水装置の開発

水源の位置や用水路の形態、圧力などを考慮し、大きく 3 つのタイプを開発した。すなわち、(a)水源が河川や排水路または地下水でポンプによる用水供給の場合の電子制御方式、(b)用水路が管水路で高圧の場合に定水位弁を利用した無電源制御方式、(c)用水路が開水路などの場合に、低圧で作動するように設計された独自開発の弁を利用した無電源制御方式である。したがって、水源の状態に応じて最適な制御装置を選択できる。

大豆作において、地表面下 30 cm を通年維持することは次の点で問題があることが明らかとなった。①作土層が軟弱になり、機械が入れられず、土寄せができない。②根群域が加湿なことで、土寄せしないことが相俟って倒伏しやすい。③根が発達しないため幹が細くなる。以上のことから、大豆作において通常時はシートパイプ暗渠本来の排水状態にした方が良いという結論となった。水が必要なときは耕盤の少し上に水位設定をすれば、亀裂を通してすぐに作土層まで水をあげることが可能なため、この方法によって灌漑を行うこととする。SPIDI システムの機能を最大限に活かした灌漑方法である。

(2) 現状に最適な設置間隔、埋設深の経験値および科学的検討

設置間隔 4 m は過去の実績から決められたものであるが、亀裂の発達や地下水位の状態と照らした科学的な分析からも妥当なものである。埋設深 40 cm も過去の実績から決められたものであるが、地耐力と転換畑作物に好適な地下水位から考慮しても妥当な深さであることが明らかにされた。

(3) 土壌通気効果の科学的解明

土中の通気によって、ハウレンソウの収量や生育は大きく向上した。これは、過年度のダイズの生育と合致し、土壌の団粒化などの土壌構造の改善による効果と推察される。土壌微生物数については、現在解析中であるが、過年度のダイズの結果と同様に、通気によって土壌微生物の数に差異が出たと期待される。

(4) 普及マニュアルの作成

シートパイプ暗渠およびかんがい排水システム(SPIDI システム)それぞれのマニュアルを作成するとともにシートパイプ暗渠に関する Q&A を作成した。

例としてシートパイプ暗渠の目次を示す。SPIDI システムのマニュアルもこれに準拠している。

概要編

1. はじめに
2. シートパイプ暗渠工法
 - 2.1 シートパイプ
 - 2.2 シートパイプの引込み
3. シートパイプ暗渠工法改良の歴史
 - 3.1 パイパー

- 3.2 ブルドーザーの変遷とモールドレーナの改良
- 3.3 施工法の改善
- 4. シートパイプ暗渠排水の原理
- 5. シートパイプ暗渠工法の特徴
- 6. シートパイプ暗渠の増収効果
- 7. シートパイプ暗渠施工実績

設計編

1. 実施設計

1.1 準備

- 1.1.1 適合する土質・土壌条件
- 1.1.2 適合する地耐力

1.2 詳細設計

- 1.2.1 吸水渠の設置間隔
- 1.2.2 吸水渠の埋設深
- 1.2.3 吸水管，集水渠および排水管の口径と排水口設置数
 - (1) シートパイプ暗渠の排水特性
 - (2) 排水キャップ開放時のピーク流量
 - (3) 動水勾配による管路の流れ
 - (4) 排水管による損失水頭
 - (5) 集水渠および排水口出口損失
 - (6) 排水管の本数
 - (7) 排水管の口径と本数
 - (8) 排水口の高さ
 - (9) 排水時間

1.3 現地調査および測量

- 1.3.1 現地調査
 - (1) 耕作農家への聞き取り調査
 - (2) 圃場調査
- 1.3.2 測量

1.4 湧水処理

- 1.4.1 湧水処理の必要性の判断
- 1.4.2 湧水処理方法

1.5 図面の作成

- 1.5.1 区画割り
 - (1) 吸水管（シートパイプ）の配置
 - (2) 補助暗渠（弾丸暗渠）の配置
 - (3) 不整形圃場の区画割り
 - (4) 排水口の配置
 - (5) 立上り管（通気口）の配置

- (6) 計画平面図の作成
- 1.5.2 ピットの標準図
 - (1) 通気ピット
 - (2) 集水渠接続ピット
 - (3) 中継ピット
 - (4) 排水ピット
- 1.6 数量計算
- 1.7 工事費積算
- 1.8 工事費積算例

積算編

- 1. 歩掛・積算
 - 1.1 準拠する積算基準
 - 1.2 材料単価・機械損料等
- 2. 歩掛
 - 2.1 シートパイプ引込み暗渠工
 - 2.2 弾丸暗渠工
 - 2.3 排水ピット工
 - 2.4 通気ピット工
 - 2.5 集水渠接続ピット工
- 3. 積算
- 4. 積算例
- 参考見積書
- 明細書
- 数量計算書
- 数量集計表
- 数量総括表
- 参考資料

施工編

- 1. シートパイプ暗渠工法標準図
- 2. シートパイプ暗渠の埋設深と弾丸部の構造
- 3. 施工手順
- 4. 施工段階での留意事項
- 5. 施工機械の選定
 - 5.1 ブルドーザの選定
 - 5.2 バックホウの選定
- 6. 施工中の注意事項
 - 6.1 弾丸暗渠工，シートパイプ引き込み工施工に対する対応
 - 6.2 表土と基盤土の区分掘削

- 6.3 排水路法面およびピットの掘削，埋戻し
- 6.4 法面整形
- 7. 施工前の確認
 - 7.1 設計図面と現地の確認
 - 7.2 施工前現地視察・確認・地元協議事項
- 8. 施工手順

施工管理編

- 1. 施工管理
 - 1.1 施工管理基準
 - 1.1.1 直接測定による出来形管理
 - 1.1.2 直接撮影による出来形管理（写真管理）
- 2. 検査
 - 2.1 検査の種類とその内容及び頻度
 - 2.2 検査内容について
 - 2.3 検査終了後
 - 2.4 検査方法
- 3. 出来形管理図及び出来形管理図表

維持管理編

- 1. 維持管理の基本
- 2. 暗渠排水施設の維持管理
 - 2.1 排水口および排水路の維持管理
 - 2.2 暗渠管の維持管理
 - (1) 暗渠管の清掃
 - (2) 暗渠管の管理
 - 2.3 水閘（排水キャップ）の操作および管理
- 3. 圃場の管理
 - 3.1 田面地表水の排除
 - 3.2 中干し
 - 3.3 土壌の透水性の改良と乾田直まき等
 - 3.4 暗渠排水の施工によって造られた透水機構（水みち）の維持
 - (1) 中干し
 - (2) 荒起こし
 - (3) 畑作物の連作
 - (4) 補助暗渠の施工
- 4. 保守管理
 - 4.1 排水口キャップの紛失
 - 4.2 通気キャップの破損
 - 4.3 通気口立上り管または保護管の破損

4.4 シートパイプの破損

引用・参考文献

参考資料

シートパイプ暗渠に関する Q&A

シートパイプ暗渠に関する Q&A（解説付）

2.2 目標の達成度

(1) 成果から得られる効果

シートパイプの実用性に関して、無電源化、マニュアル化、通気性の効果解明など、様々な技術的な目標を解決してきた。今後は残された通気性の課題や、機器操作性や信頼性などの確認のためのデータ集積を行う。マニュアルについては、主に施工に係る Q&A を作成した。最終年度までには維持管理を含めた施工管理のマニュアルを完成させる予定である。

(2) 従来技術との比較

1) 比較する従来技術

FOEAS

2) 従来技術に対する優位性

- ①経済性 同等以上に優れている。
- ②工程 疎水材を使用しない分、行程がかなり短い。
- ③品質 同等程度であり、レーザーを使用して施工するので施工精度が高い。
- ④安全性 重機の使用台数と頻度が少ないので同等以上に安全性が高い。
- ⑤施工性 疎水材を使用しないので同等以上に迅速に施工できる（およそ 60a/日）。
- ⑥周辺環境への影響 重機の使用台数が比較的少なく、疎水材を使用しないため圃場を荒らさない。同等以上に圃場への影響が少ない。

2.3 成果の利用に当たっての適用範囲・留意点

土質によって施工できない圃場はない。石礫を含む土壌でも施工可能である。ただし、直径 20～30cm の石が 4～5 個以下であれば、バックホーで除去しながら施工可能であるが、それ以上になるとコスト高となる。

SPIDI システムは亀裂の発達を利用した灌漑・排水システムであるので、常時湧水のある圃場ではそのままでは乾燥亀裂が期待できないので、別途湧水処理を施す必要がある。

SPIDI システムはシートパイプ暗渠が既設の圃場に後付で灌漑機能を追加可能であるが、その場合、シートパイプ暗渠が正しく機能していること（潰れていないこと）や亀裂が十分発達していることを確認した上で施工することが必要である。

3 普及活動計画

3.1 想定される利用者

一般農家

3.2 利用者への普及啓発等の方法

各種ワークショップや現地施工検討会の開催など
県庁など技術者への情報提供など

3.3 利用者に対するサポート体制、参考資料等

当該技術については日本シートパイプ普及協会（JASPIP）が中心となりサポートする。シートパイプ暗渠に関する Q&A を作成した。また、シートパイプ暗渠および SPIDI システムのマニュアルも作成した。

3.4 特許・実用新案等の申請予定

(1) 特許第 5712410 号

発明の名称：水位調節装置

特許権者；西日本圃場改良株式会社

発明者：柳 武実

登録日：平成 27 年 3 月 20 日

(2) 特許第 5780470 号

発明の名称：圃場用管路体

特許権者；西日本圃場改良株式会社

発明者：柳 武実

登録日：平成 27 年 7 月 24 日

4 研究総括者による自己評価

項 目	自己評価	自己評価の理由
研究計画の効率性・妥当性	A	システムの開発は九州大学と西日本圃場改良株式会社との連携で早期に終了した。実証試験も短期間の内にかなり達成できた。試験圃場の栽培体系の関係で実証できてない部分もあるがこれはやむを得ないものと考ええる。
目標の達成度	A	システムの開発は予定していた開発がすべて達成でき、システムの最終的な構成が確定した。2年間でシステム構成が完成したことは計画以上である。
研究成果の普及可能性	A	当新技術は環境にやさしく、構成がシンプルで操作や維持管理が容易など多くの利点を有しており、かなり普及が進むと期待される。
総合コメント 「システム構成をシンプルに！」をモットーに掲げ開発・研究を継続しており、目標のシステムが2年足らずで達成できた。官民が連携した有効な成果である。今後は実証試験の結果を積み重ねると共に普及、移転に取り組んでいきたい。		

注) 評価結果欄は、A、B、Cのうち「A」を最高点、「C」を最低点として3段階で記入する。

5 今後の課題及び改善方針

無電源給水装置は構造を単純化し、確実に動作するような設計としたので故障は少ないと考えられる。

故障があるとすればゴミや泥の流入の問題である。開水路からの取水も可能にしたもののゴミや泥の流入が多く、スクリーンやストレーナの管理に追われるので省力のためには用水路は管水路とするのがよいであろう。

また無電源自動給水装置は制御部が大きいので、農作業の障害になる場合がある。もう少し小さなフロートで制御可能な弁の開発が望まれる。

電子制御式自動給水装置は野外での長期使用には不向きと感じられる。今後は電子制御に頼らず、電源を制御できる装置の開発が望まれる。

研究期間が短かったことに加え、現地の試験圃場では水稻と大豆が交代で栽培されたため、思うような実証試験ができず、限定的な実証試験となった。

今後も転換畑における地下灌漑および水田灌漑時における実証試験を継続し、データの蓄積を図りたい。