

SPIDI システムの給水時の水移動の分析

九州大学大学院農学研究院 ○(正)福田哲郎 (正)凌 祥之
西日本圃場改良株式会社 (正)柳 一実 (非)柳 武実

1. はじめに

近年の畑作ではさらなる増収と高品質化のために、地下灌漑設備の要望が高くなってきた。そこで、従来、暗渠機能のみのシートパイプ暗渠に地下灌漑機能を付加することとなった。

さらに地下水位を制御できるように改良を加えることで、既にシートパイプが敷設されている圃場でも FOEAS と同等の機能が付加できるようなシステムの開発に取り組んだ。

シートパイプを利用した排水・灌漑システムという意味で SPIDI システムと呼ぶこととする。

シートパイプ暗渠は従来の暗渠工法とは排水時の水の流れが全く異なる。従来工法は疏水材に向かって流路を形成し、排水管に導くのに対して、シートパイプ暗渠では疏水材を使用せず、亀裂（マクロポア）を発達させ、マクロポア流れによって排水管に水を集める方式である。

しかし、シートパイプ暗渠における排水の流れの詳細は明らかにされていない。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。今回は、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。併せて、施工後の弾丸暗渠の縮小程度およびマクロポアの占める割合を推定した。

2. 試験圃場の概要

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。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。SPIDI システムのレイアウトを図 1 に示す。

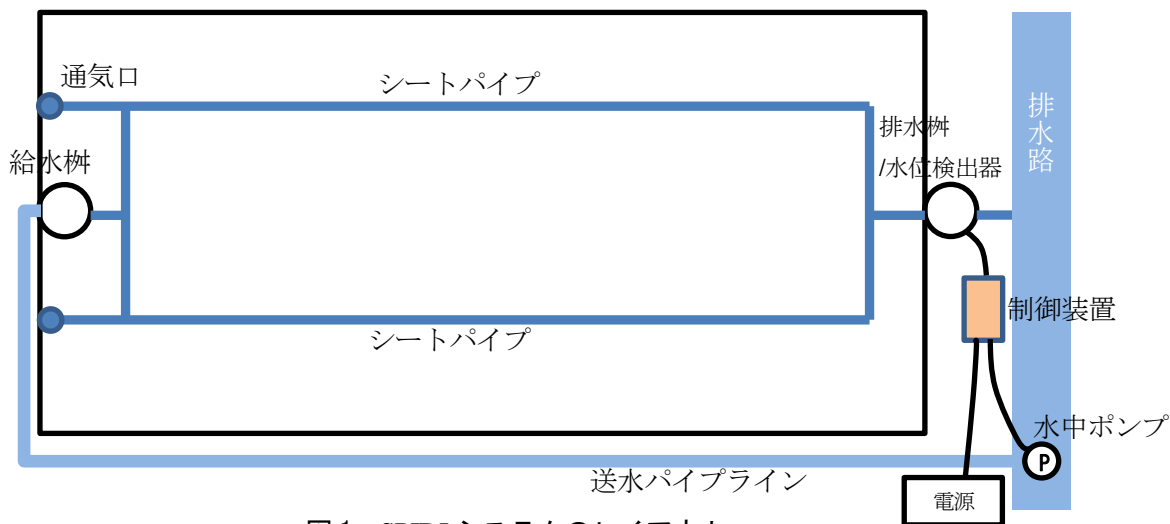


図 1 SPIDI システムのレイアウト

3. 給水試験

3.1 給水初期の水位変化と水移動

図 2 は 2012 年 8 月 7 日（水稲栽培の中干し後の復水）の給水時の給水桝および通気口の水位変化を示したものである。

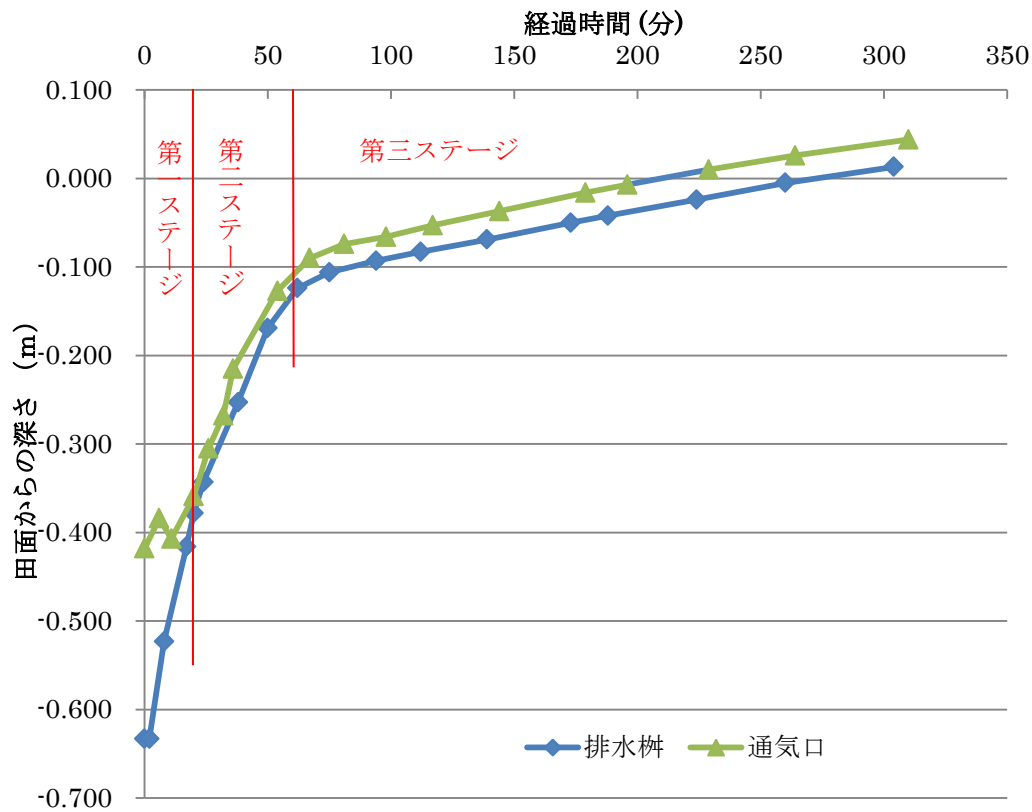


図2 給水初期の水位変化

図2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 1.8×10^{-4} 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3ステージは作土層への浸潤段階である。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。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。

3.2 心土層の浸潤

図3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。初期水位は地面下-50 cmにあった。7月12日に設定水位-40 cmに上昇させた。グラフではそのように見える。

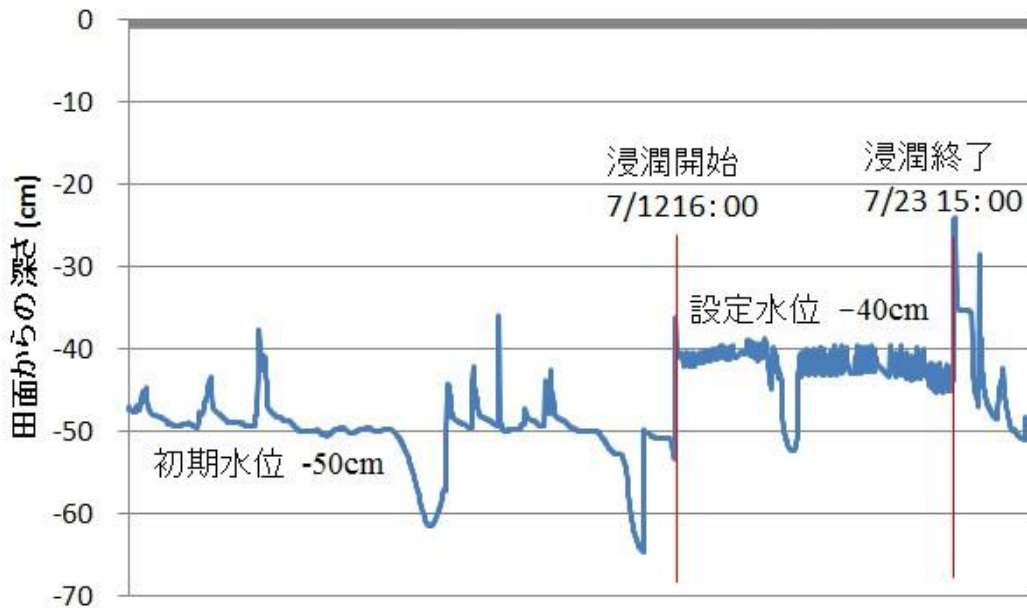


図3 大豆作時の地下水位の変化

しかし、実際はマクロポア内を-40 cm 上昇したにすぎない。7月12日～7月23日の間は水位が小刻みに変動しているのがわかる。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を繰り返しているのである。

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パルス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4は圃場のほぼ中央部で深さ5 cm, 15 cm, 35 cmで観測された体積含水率の変化を示している。

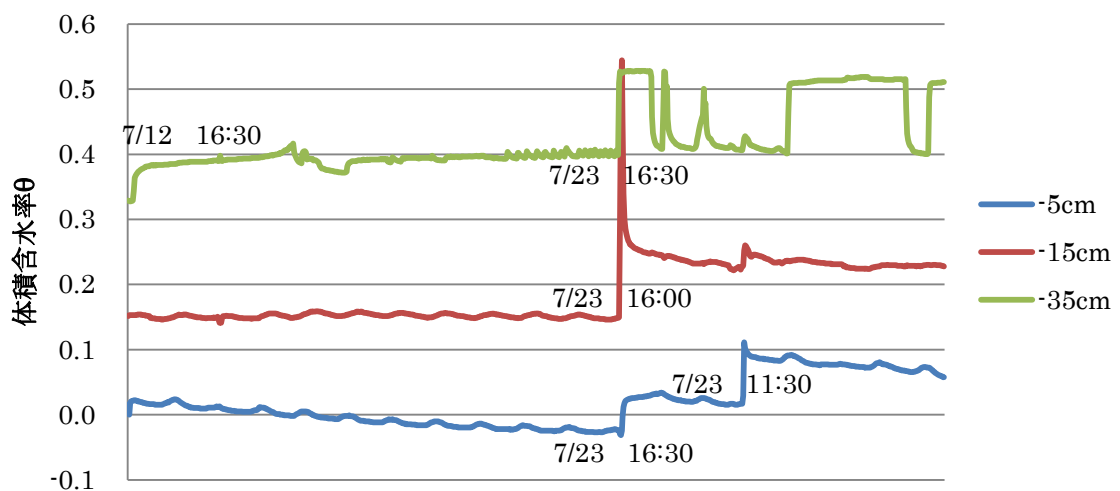


図4 土壌水分(体積含水率)の変化

図3によると井戸水位は7月12日に設定水位-40 cmに達したのであるが、図4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が、-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、この間心土層内はまだ浸潤が及んでないことがわかる。

3.3 暗渠径，マクロポアの割合，浸潤速度の推定

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2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に示す。

表1 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	1.10E-03
2012年8月7日	55.0	84	1.7	0.7	8.70E-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	-

4. まとめ

- ・給水時の水移動はまず，シートパイプ暗渠および弾丸暗渠内を満たし，給水強度がその土の浸潤速度より大きい場合，その後マクロポア内を上昇し，所定の水位に達した後，浸潤を開始することが明らかとなった。
- ・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。
- ・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。

【謝辞】本研究は農林水産省官民連携新技術研究開発事業の補助を受け開発に着手したものです。記して謝意を表します。