

〔農工研技報 218〕
〔115 ~ 123, 2016〕

地下水位制御システムの機能発揮状況からみた導入条件

若杉晃介* 原口暢朗* 瑞慶村知佳*

*農地盤工学研究領域水田高度利用担当

要 旨

地下水位制御システムFOEASは水田の高度利用を実現する新技術として、全国的に普及している。そこで、地下水位制御システムFOEASが導入された全国13地区を対象に、ほ場の土壌タイプ、地下水位、用排水量、作物収量などを測定し、これらの指標が本工法の有する地下水位制御や地下かんがい機能に及ぼす影響を評価し、導入条件を検討した。その結果、土地改良事業計画設計基準 計画「暗きょ排水」の中で規定されている土壌調査（土壌タイプの特定）に加え、現地の地下水位条件を踏まえた暗渠埋設土層の透水性調査が不可欠であることを示し、その閾値は 1×10^{-5} cm/s オーダー程度であることを明らかにした。

キーワード：地下水位制御，地下かんがい，FOEAS，透水係数，インタークレート

I 緒 言

1.1 背景と目的

近年開発された地下水位制御システムFOEAS（以下、FOEAS）は、暗渠排水機能と地下かんがい機能を併せ持ち、湿害と干ばつ害を回避するとともに、転作作物に最適な地下水位を維持でき、高品位安定多収を可能とする技術である（若杉ら，2009）。現在（平成26年12月）、全国194地区、9,767 haに普及しており、食料・農業・農村基本計画（農林水産省，2015）においても力強い農業を支える農業生産基盤整備技術として位置づけられており、今後もさらなる普及が見込まれている。

FOEASはほ場整備事業などの公共事業で導入されることが多く、その工種は暗渠排水として施工される。土地改良事業計画設計基準 計画「暗きょ排水」（農林水産省，2000）では、暗渠排水の施工にあたり地形、土壌、地下水位、気象などに関する項目について事前調査することが要件とされており、特に土壌断面調査と耕盤下（地下30 cm程度）の透水係数を計測することが重要とされている。一方で、FOEASでは地下かんがい時に暗渠から上方に向かって用水が供給されるため、通常の暗渠排水とは異なる施工基準が求められている。そこで、本研究ではFOEASが施工された複数の地区において、現地の土壌タイプや水利慣行を踏まえ、用排水量や作物収量などの調査結果からFOEASを導入する際に考慮すべき適用条件の整理を目的とする。

1.2 既往の研究

地下水位制御システムを導入する条件は一般的な暗渠

排水の施工条件に加えて、地下からのかんがいによる地下水位制御が可能となることが重要である。土地改良事業計画設計基準 計画「ほ場整備（水田）」（農林水産省，2013）では、地下かんがいにおいては暗渠管から上方の作土層に水を供給するため、管より下方の土層は上方の土層に比べて透水係数が小さくなくてはならないとしている。また、藤森・小野寺（2012）によると、地下かんがいを可能とする条件として、水田の下層土が砂や礫などの透水性土壌で降下浸透が大きい水田では地下水位制御が困難であるとしている。これらの既往成果では下層土の透水性についての注意を促すのみで具体的な数値については記述されていない。一方、土地改良事業計画設計基準 計画「暗きょ排水」（農林水産省，2000）では、暗渠管の下層土壌の透水係数は 1×10^{-6} cm/s以下が望ましいと記載されているがその根拠は示されていない。

II 調査方法

導入条件を検討するため、様々な立地条件や土壌タイプ、及び栽培状況下における全国13のFOEAS導入地区を対象に調査を行った。調査項目は地形・土壌調査、透水試験、地下水位や用排水量、収量調査である。

2.1 地形・土壌調査・地区内地下水位

各地区の地形は国土調査による地形分類図（1/200,000）（国土交通省HP）、土壌タイプは土壌図（1/200,000）と現地での土壌断面調査により調べた。また、地区の地下水位は調査ほ場周辺の排水路の深さ及び非かんがい期の土壌断面調査時に測定した地下水位を記

録した。

2.2 透水試験

透水試験は室内透水試験と現場透水試験（インテークレート試験）を行った。作土の現場透水係数は営農作業による間隙や亀裂によって、室内透水試験による透水係数よりも大きな値になる傾向にあるため、補正係数を求める必要がある（荻野ら, 1991）。しかし、本研究では暗渠排水施工の調査項目である下層土層（心土）の透水係数を調べるのが重要であり、心土は作土と異なり営農作業の影響がほとんどないことから補正係数は用いずに試験を行った。また、現場透水係数は室内透水試験よりも広い範囲の透水性が観測できるため、よりバラツキが小さくなることから現場透水試験が可能な場合は優先的に行った。なお、調査は暗渠管が埋設されていない地点において、作物が作付けされていない非かんがい期に実施した。

(1) 現場透水試験

地下水位が暗渠深よりも下位で比較的安定しているほ場では現場透水試験を行った。試験は調査ほ場の表土及び暗渠管が埋設される地下60 cmの層において、シリンダーインテークレート試験（土壤環境分析法編集委員会編, 1997）を行い、ベーシックインテークレートの値から透水係数を算出した（Fig. 1）。なお、シリンダーは内径158 mm（SCB社製, SIS-A）を用い、各層において150 mm打ち込んで調査を行った。

(2) 室内透水試験

降雨後などにおいて地下水位が短時間で表層部付近まで上昇し、土壤の飽和状態が比較的長く続くようなほ場では、現場透水試験が困難なため、土壤タイプを特定するため土壌断面調査を行うとともに、表土層と心土層からサンプリングを行い、室内飽和試験を行った。サンプリングは100 ccの円筒コアサンプラーを用いて、作土や心土、及び暗渠管を埋設した各層において5個のサンプリングを行った。試験は室内飽和透水試験（土壤環境分析法編集委員会編, 1997）による変水位法を用いて飽和透水係数を算出した。

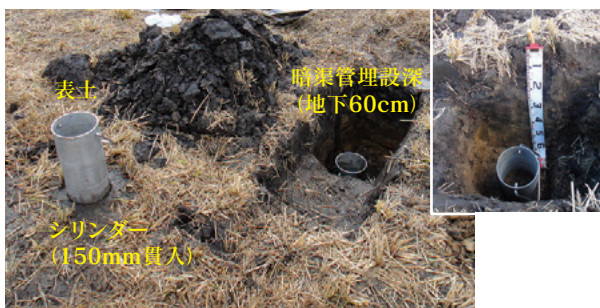


Fig.1 インテークレート試験状況

An intake rate experiment for determining soil hydraulic conductivity at depth around 60 cm

2.3 ほ場内地下水位及び用水量、収量調査

FOEASの地下かんがい機能が十分発揮されたか否かを判定するため、地下水位、用排水量、作物収量を調査した。

(1) ほ場内地下水位

ほ場内に地下水位計（株）ウイジン社製, UIZ-100W）を設置して地下かんがい時や降雨時の水位変動を測定し、FOEASによって設定した地下水位の保持状態や排水後の設定水位への回復状況を測定した。

(2) 用水量

FOEASにおいて、地下かんがい時の用水量を把握するため、電磁流量計（愛知時計電気（株）社製, SA50）を調査ほ場の給水口に設置して用水量を調べた。なお、水稻作時において、若杉ら（2009）は給排水時にFOEASの水位管理者と水位制御器を適切に用いることで節水機能があるとしており、同地区で同じ栽培体系の対照ほ場が確保できた場合はFOEASほ場と同様に調査した。

(3) 収量調査

FOEASによる地下かんがい及び暗渠排水機能は転作作物栽培時の増収効果に貢献する報告が多くされていることから、坪刈調査により作物収量を調べた（例えば、島田ら, 2011）。なお、水稻作時は収量に与える影響が小さいことから対照ほ場に比べて同等の以上の収量が得られているか調べた。

2.4 ヒアリング調査及び文献調査

現地調査による実測ができない場合、調査ほ場を耕作する農家へのヒアリング及び文献調査によって上記の調査項目を調べた。

Ⅲ 調査地の概要と調査内容

FOEASを導入した研究所内の試験ほ場や現地実証ほ場など13地区を調査地とした。各調査地区の概要と調査内容は下記のとおりである（Table 1）。

① K県K地区(1) 及び② K県K地区(2)

K県K地区(1)は河岸段丘に位置し、土壤は灰色台地土で栽培作物は代かき移植栽培による水稻と転作大豆を作付けした。なお、K地区は1 ha程度の団地単位で希望者のみにFOEASを施工しており、団地間の距離が1.5 kmある2団地（K地区(1)とK地区(2)）で調査を行った。地下水位は河川付近のほ場では高いが、調査を行ったほ場では1 m以下と低い。

③ I県T地区

I県T地区は台地に位置する研究所内のほ場で、栽培作物は転作大豆である。土壤は火山性土で、一部客土を行っているため地下水位は低い。そのため、畦畔直下に幅90 cmの畦シート（ポリ塩化ビニル製）を田面より+20 cm～地下-70 cmの位置に埋設して漏水対策を

行った（藤森ら，2008）。また，本調査ほ場では，同じ土壌条件下において，水利条件（地下水位の状況）が変わった場合の影響をみるため，降雨後（総雨量257 mm，平成27年9月6～10日）の地下水位が上昇した際に，実験的に地下かんがいを実施した。

④ I 県 T K 地区

I 県 T K 地区は台地に位置する試験場内のほ場で，火山性土地帯において水稻を栽培するため，他の水田土壌を客土した経緯がある。そのため，地下水位は1 m以下と低いが，灰色低地土のほ場である。なお，調査ほ場では水稻の乾田直播栽培を行った。

⑤ I 県 T F 地区

I 県 T F 地区は低平地に位置しており，FOEAS の実証試験圃として約1 ha程度整備された地区である。土壌は多湿黒ボク土で，水稻の乾田直播栽培と転作大豆栽培

を行った。

⑥ I 県 T Y 地区

I 県 T Y 地区は低平地に位置する試験場内のほ場で，灰色低地土のほ場である。なお，調査ほ場では水稻の移植栽培と転作大豆栽培を行った。

⑦ T 県 U 地区

T 県 U 地区は台地に位置する T 県の試験場内のほ場である。土壌は多湿黒ボク土で，代かきと無代かきによる水稻移植栽培及び転作ビール麦を栽培した。

⑧ T 県 O 地区

T 県 O 地区は低平地水田地帯に位置し，FOEAS の実証試験ほ場として約50 a程度整備された地区である。地下水位は-60 cm程度と比較的高く土壌は灰色低地土で，転作田においてビール麦栽培を実施した。

⑨ C 県 Y 地区

Table 1 調査地区の概要と調査内容
Outline of experimental sites, survey and measurements

番号	地区	地区内 地下水位※	土 壌	栽培作物	調査内容
①	K 県 K 地区 (1)	-1 m 以下	灰色台地土	移植水稻 転作大豆	土壌調査 用水量調査 収量調査
②	K 県 K 地区 (2)	-1 m 以下	灰色台地土	移植水稻	土壌調査 用水量調査
③	I 県 T 地区	-1 m 以下	火山性土	転作大豆	土壌調査 用水量調査
④	I 県 T K 地区	-1 m 以下	灰色低地土	乾田直播水稻	土壌調査 用水量調査 収量調査
⑤	I 県 T F 地区	-60 cm	多湿黒ボク土	乾田直播水稻 転作大豆	土壌調査 用水量調査 収量調査
⑥	I 県 T Y 地区	-60 cm	灰色低地土	移植水稻 転作大豆	土壌調査 用水量調査 収量調査
⑦	T 県 U 地区	-1 m 以下	多湿黒ボク土	移植水稻（代掻きあり・無代掻き） 転作麦	土壌調査 収量調査
⑧	T 県 O 地区	-60 cm	灰色低地土	転作麦	土壌調査 収量調査
⑨	C 県 Y 地区	-80 cm	灰色低地土	転作大豆	土壌調査 収量調査
⑩	A 県 D 地区	-1 m 以下	灰色低地土	移植水稻 乾田直播水稻	土壌調査 収量調査
⑪	F 県 F 地区	-60 cm	灰色低地土	転作大豆	土壌調査 収量調査
⑫	M 県 W 地区	-60 cm	灰色低地土	転作大豆	土壌調査 収量調査
⑬	M 県 S 地区	-60 cm	灰色低地土	移植水稻	土壌調査 ヒアリング調査

※非灌漑期における地区の地下水位

C 県 Y 地区は低地に位置し、地区全域に渡って FOEAS を整備している。地下水位は -80 cm 程度と比較的に高く、土壌は強グライの灰色低地土である。FOEAS 導入前は排水不良により水稲単作地帯であったが、導入後は大豆や麦、ネギなどを栽培しており、調査は大豆栽培をしているほ場で実施した。

⑩ A 県 D 地区

A 県 D 地区は低平地水田地帯に位置する研究所内のほ場で、土壌は灰色低地土で、乾田直播による水稲栽培を実施した。

⑪ F 県 F 地区

F 県 F 地区は低平地水田地帯に位置し、FOEAS の実証試験ほ場として約 50 a 程度整備された地区である。土壌は灰色低地土で、転作田において大豆栽培を実施した。

⑫ M 県 W 地区

M 県 W 地区は低平地水田地帯に位置し、FOEAS の実証試験圃として約 50 a 程度整備された地区である。土壌は灰色低地土で転作田において大豆栽培を実施した。

⑬ M 県 S 地区

M 県 S 地区は低平地水田地帯に位置し、FOEAS の実証試験圃として約 50 a 程度整備された地区である。土壌は灰色低地土である。なお、本地区では土壌調査とヒアリング調査を行った。

IV 現地調査結果

① K 県 K 地区 (1)

土壌調査による室内飽和透水係数 (以下、 K_s) は表土では $4.6 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ 、地下 60 cm の心土では $1.3 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ であった。また、FOEAS を導入したほ場と未施工の対照ほ場において、水稲作時の用水量調査と収量調査を行った。FOEAS ほ場では中干し後の再かんがいに 35 mm/d 程度の用水を使用した。その他の時期は水位管理者を用いた水管理が行われ、5 mm/d 以下の用水量であった (Fig. 2)。また、FOEAS ほ場の総用水量

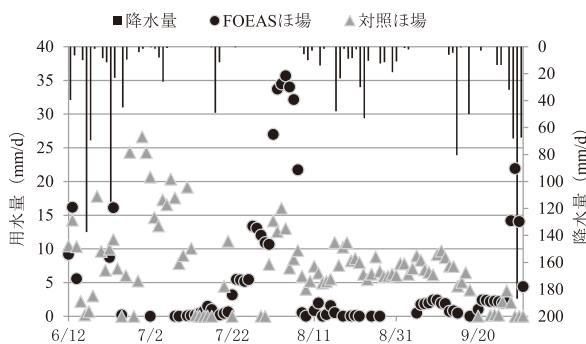


Fig.2 K 県 K 地区 (1) の FOEAS 及び対照ほ場の用水量
Water requirement for rice measured in the plot equipped with FOEAS system and in the reference plot in the site No.1

は 460 mm (うち地下かんがい量 418 mm) で、対照ほ場の総用水量は 766 mm であり、約 40% (306 mm) の節水となった。水稲の収量は FOEAS ほ場で 581 kg/10 a、対照ほ場で 546 kg/10 a となり、統計的な有意差はなかったがやや収量が増加した。なお、別の調査年において、FOEAS による地下水位制御を行って転作大豆を栽培したところ、収量は 320 kg/10 a となり、対照ほ場の 185 kg/10 a に比べて大幅な増収を確認している (若杉ら, 2013)。

② K 県 K 地区 (2)

K 県 K 地区 (1) の近隣にある K 地区 (2) のほ場において、代かき時に 100 mm/d 程度の地下かんがいを実施したが、地下水位の上昇は確認できなかったため、かんがい期に土壌調査を行った (Fig. 3)。表土 (地表 ~ -15 cm) の K_s は $2.6 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ で、K 地区 (1) と同等であった。また心土 (-15 ~ -32 cm) の K_s は $1.3 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ で K 地区 (1) と同一であったが、河川により近い場所に位置するほ場のため、心土の -32 cm 以下から礫質土が存在しており、 K_s は $6.9 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ と高い値であった。

③ I 県 T 地区

大豆栽培時に地下かんがいを数回実施したが、総用水量は約 1,000 mm であった。さらに、暗渠管から距離別に 3 地点で地下水位を測定したが、ほ場内において地下水位のバラツキも確認された。なお、調査ほ場の心土の K_s は $3.5 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ であった。また、降雨後の 9 月 10 日 22 時から地下水位が高い状態から約 70 mm/d の地下かんがいを実施して地下水位の変化を調べた (Fig. 4)。地下かんがいの実施により水口側の地下水位は -20 cm 程度まで上昇したが、用水の供給が漏水に間に合わないため徐々に低下し、-38 cm 程度まで低下し、さらに用水の供給を止めると水口側で -70 cm、水尻側で -90 cm 程度まで低下した。ほ場全体に用水を行き渡らせるには弾

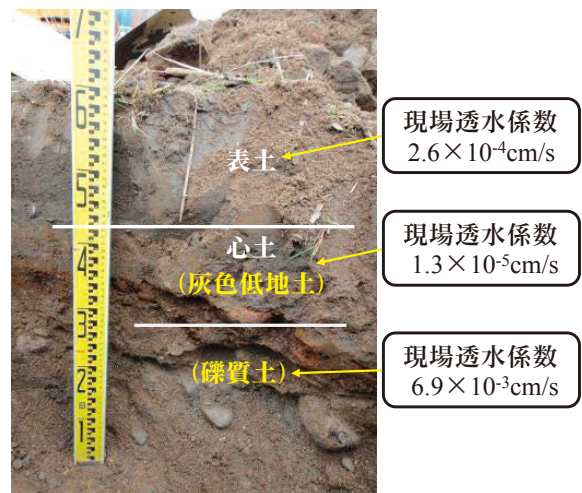


Fig.3 K 県 K 地区 (2) の土壌断面
Soil profile in the site No.2

丸暗渠層（-40cm）の地下水位を維持する必要があるが、横浸透の漏水対策を施し、地下水位が高い状態からかんがいしても用水供給を止めると地下水位が急落しており、調査ほ場の土壌の透水性及び一筆ほ場のみの対策ではFOEASの機能を発揮することは困難であった。

④ I 県 T K 地区

FOEASほ場の表土の現場透水係数（以下、Ib）は $3.8 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ で、地下 60 cm の心土の Ib は $1.5 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ であった。また、水稻作時の FOEASほ場の総用水量は 627 mm（うち地下かんがい用水量 302 mm）であった（Fig. 5）。一方、FOEAS未整備の対照ほ場の総用水量は 860 mm であり、FOEASに備わる器機による水管理を行うことで約 30%（233 mm）の節水となった。なお、収量は FOEASほ場で 465 kg/10 a、対照ほ場で 500 kg/10 a となり、FOEASほ場でやや減収となったが、統計的有意差はなかった。

⑤ I 県 T F 地区

FOEASほ場の表土の Ks は $7.2 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ で、地下 60 cm の心土の Ks は $3.6 \times 10^{-8} \text{cm/s}$ であった。水稻の収

量は FOEASほ場で 416 kg/10 a、対照ほ場で 405 kg/10 a であった。また、大豆の収量は FOEASほ場で 343 kg/10 a、対照ほ場で 105 kg/10 a となった。当地区は非常に排水が不良のため、主に FOEASの排水効果による増収が顕著であったが、8月の干ばつ時期では地下かんがいにによって設定した -35 cm 程度の地下水位を維持していた（Fig. 6）。

⑥ I 県 T Y 地区

FOEASほ場の表土の Ks は $1.8 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ で、地下 60 cm の心土の Ks は $6.4 \times 10^{-8} \text{cm/s}$ であった。FOEASほ場において転作大豆を栽培したところ、夏場と開花期に地下かんがいを約 100 mm 行い、収量は 361 kg/10 a であった。一方、隣接する対照ほ場は 312 kg/10 a であり、FOEASによる増収効果が確認された。

⑦ T 県 U 地区

FOEASほ場において、代かきと無代かきによる水稻栽培を行った。両ほ場とも減水深が 100 mm/d 以上あり、湛水状態を維持するのが難しかった。代かきを行っても減水深が減らなかった原因としては、FOEASの施工によって耕盤層を破壊してしまったためと考えられる。水稻収量は代かき水田で 479 kg/10 a、無代かき水田で 454 kg/10 a、対照ほ場で 527 kg/10 a であったが各ほ場の統計的有意差はみられなかった。なお、無代かき水田の表土の Ks は $4.3 \times 10^{-3} \text{m/s}$ で、地下 60 cm の心土の Ks は $1.1 \times 10^{-3} \text{m/s}$ であった。また、FOEASほ場においてビール麦を栽培したところ、地下水位を -30 cm 以下に設定したほ場は 268 kg/10 a と対照ほ場の 177 kg/10 a に比べて大幅に増収した。FOEASほ場においては地下かんがいを行っていないことから、主に排水による増収効果であると考えられる。

⑧ T 県 O 地区

FOEASほ場の表土の Ib は $4.1 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ で、地下 60 cm の心土では $5.8 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ であった。なお、収量調査を行った T 県農業試験場へのヒアリングの結果、

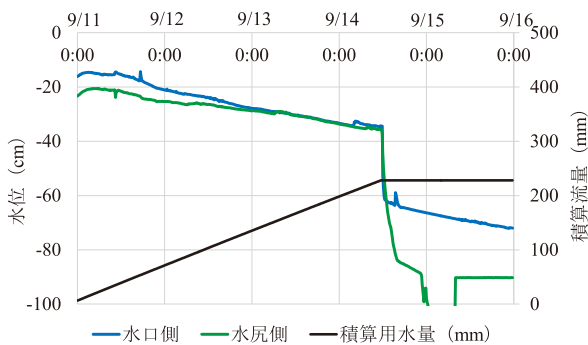


Fig.4 I 県 T 地区の地下かんがいと水位の状況 (高地下水位時)

Cumulative amount of water applied by subsurface irrigation, depth of groundwater table upstream and downstream vs time in a plot in the site No.3

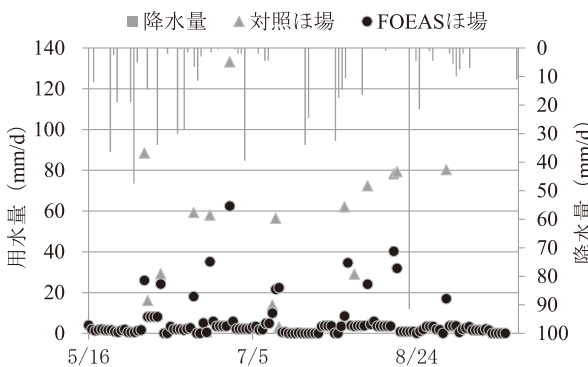


Fig.5 I 県 T K 地区の FOEAS 及び対照ほ場の用水量

Water requirement for rice measured in the plot quipped with FOEAS system and in the reference plot in the site No.4

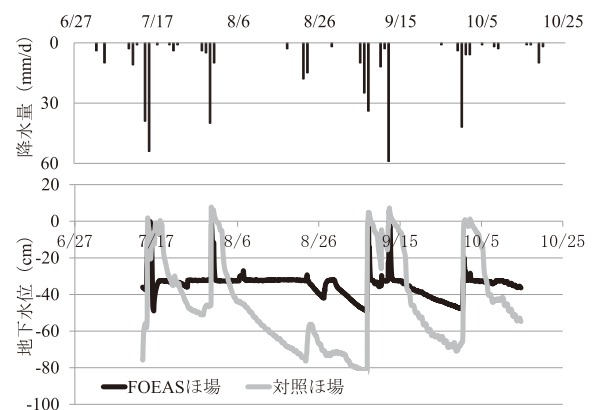


Fig.6 I 県 T F 地区の FOEAS 及び対照ほ場の地下水位

Depth of groundwater table in the plot quipped with FOEAS system and in the reference plot in the site No.5

ビール麦の収量は湿害回避と穂ばらみ期の地下かんがいにより、無対策のほ場に比べて57%の増収が確認された。

⑨C県Y地区

FOEASほ場の表土のKsは 5.9×10^{-8} cm/sで、地下60cmの心土のKsは 4.2×10^{-7} cm/sであった。H地区は地区全体にFOEASを整備しているため、調査はFOEASほ場のみであるが、転作大豆栽培時に153mmの地下かんがいをを行い、収量は226kg/10aと県内平均収量153kg/10aよりも増収していた。

⑩A県D地区

地表かんがいをを行ったほ場では問題なく水管理できたが、水稻の乾田直播栽培において地下かんがいによる水位制御を行ったほ場では200~300mm/d程度の多量の用水を用いても、一定の水位管理が困難となり、雑草が増加し、水稻収量が11%減収となった。FOEASほ場の表土は灰色低地土でIbは 3.0×10^{-5} cm/sとなり、比較的の低い透水性であったが、地下40cmの土層から細粒黄色土に代わり、地下60cmのIbは $5.0 \times 10^{-4} \sim 1.5 \times 10^{-3}$ cm/sであった。

⑪F県F地区

FOEASほ場の表土のKsは 7.8×10^{-3} cm/sで、地下60cmの心土のKsは 3.3×10^{-7} cm/sであった。FOEASほ場において転作大豆を栽培したところ、収量は280kg/10aとなり、県内の平均収量である169kg/10aよ

りも大幅に増収していた。また、耕作した農家へのヒアリング調査においても、地下かんがいや暗渠排水は機能していた。

⑫M県W地区

FOEASほ場の地下60cmの心土のIbは 1.2×10^{-5} cm/sであった。FOEASほ場において転作大豆を栽培したところ、収量は248kg/10aとなり、近接する対照ほ場の184kg/10aに比べて大幅に増収した。また、FOEASほ場では現地において地下かんがいを実施し、地下水位の上昇を確認した。

⑬M県S地区

FOEASほ場の地下60cmの心土のIbは 3.7×10^{-5} cm/sであった。なお、本調査地はその後の現地調査が出来なかったが、耕作した農家へのヒアリング調査の結果、水稻栽培時による地下かんがいを実施し、問題なく地下水位が上昇した。

V 考察

5.1 土壌条件

各調査地区の暗渠管理設深(地下60cm)における土壌の透水係数(KsまたはIb)と地下水位制御システム機能発揮状況の判断材料となる地下水位制御や地下かんがい、作物増収の有無及びその判断指標をまとめた(Table 2)。なお、地下水位制御は水稻作時の地下かん

Table 2 調査地区の透水係数と地下水位制御システムの機能発揮状況

Saturated soil hydraulic conductivities at depth around 60cm measured in the experimental sites and the performance evaluation for subsurface irrigation by FOEAS system

番号	地区	地区内 地下水位	現場透水係数 (Ib) (cm/s)	室内透水係数 (Ks) (cm/s)	地下水位制御システム機能発揮状況				評価指標
					地下水位 制御	地下 かんがい	作物 増収	可否	
①	K県K地区(1)	-1m以下	-	1.3×10^{-5}	○	○	○	○	地下灌漑による用水削減、 転作時の大豆増収
②	K県K地区(2)	-1m以下	-	6.9×10^{-3}	×	×	-	×	地下灌漑時に水位上昇が 見られない
③	I県T地区	-1m以下	-	3.5×10^{-4}	×	×	-	×	大豆栽培時用水量 1,000 mm
④	I県TK地区	-1m以下	1.5×10^{-6}	-	○	○	○	○	地下灌漑による用水削減
⑤	I県TF地区	-60cm	-	3.6×10^{-8}	○	○	○	○	転作時の増収排水促進
⑥	I県TY地区	-60cm	-	6.4×10^{-8}	-	○	○	○	転作時の増収
⑦	T県U地区 (無代掻き圃場)	-1m以下	-	1.1×10^{-3}	×	×	○	×	地下かんがい時に水位上 昇が見られない
⑧	T県O地区	-60cm	5.8×10^{-7}	-	-	○	○	○	転作時の増収排水促進
⑨	C県Y地区	-80cm	-	4.2×10^{-7}	-	○	○	○	転作時の増収
⑩	A県D地区	-1m以下	$5 \times 10^{-4} \sim$ 1.5×10^{-3}	-	×	×	×	×	用水量の増大
⑪	F県F地区	-60cm	-	3.3×10^{-7}	-	○	○	○	転作時の増収
⑫	M県W地区	-60cm	1.2×10^{-5}	-	-	○	○	○	転作時の増収
⑬	M県S地区	-60cm	3.7×10^{-5}	-	-	○	○	○	地下灌漑による水位制御 が可能

※「-」は未調査

がいによる節水効果の有無や転作時の地下水位状況から判断した。地下かんがいは現地調査による地下水位の上昇の有無や農家からのヒアリングによって判断した。作物増収は現地調査の坪刈調査から判断し、水稻は対照ほ場と同等以上を増収とみなした。次に、これらから判断された地下水制御システム導入可否と土壌の透水係数をまとめた (Fig. 7)。その結果、透水係数が $1 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ よりも高い地区では地下かんがい機能が発揮されず、 $1 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ オーダーよりも低い地区では、地下かんがいによる効果が確認された。

土壌タイプでは灰色低地土の場合、A県D地区を除き透水係数は $1 \times 10^{-8} \sim 10^{-5} \text{cm/s}$ 程度あり、転作時の増収効果などが確認された。本来、灰色低地土は排水不良になることが多いため、FOEASの排水機能による増収の側面もあるが、I県TY地区、T県O地区、C県Y地区では必要時に応じて地下かんがいを実施していた。また、T県U地区のような粘土含有量が少ない黒ボク土は、FOEAS施工による耕盤層の破壊によって代かきを行っても減水深が大幅に増加してしまう懸念がある。

5.2 水利条件

FOEASを整備すると排水路は暗渠埋設深 -60cm よりも深くなるため、排水路底は必然的に田面下 $-80 \sim 100 \text{cm}$ 以下となる。そのため、地区の地下水位もそれに応じて整備前よりも下がるため、地区内の地下水位が -1m 以上または -1m 以下で水利条件を区分した (Fig. 7)。地下水位が低い場合は、透水係数が $1 \times 10^{-4} \sim 10^{-3} \text{cm/s}$ では地下かんがいによる地下水位維持には多くの用水量が必要となり、システムの効果も発揮しにくいことが分かった。またI県T地区では、実験的に地下かんがいをを行うための漏水対策を行っても、地下水位を維持するのに多量の用水を要していた。そのため、降雨後の短期間に地下水位が比較的に高い状態にあっても、地下水位が低い場合と同様に透水係数が $1 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ 以上ではFOEASの機能を発揮することが困難であると思われる。なお、地区全体にFOEASが整備された場合では、農区ごとにブロックローテーションを行い、排水路の堰上げによって地下水位を上昇させる対策も考えられ

るが、湿害のリスクも向上することから、運用には注意が必要である。なお、FOEASを施工しても地下水位が -60cm よりも高い位置にある地区は、データ不足のため対象外とした。

5.3 導入判断の調査要件

暗渠排水を施工する際の調査項目として、土壌調査や地下水位調査、地表残留水調査、地耐力調査などが挙げられており、中でも土壌調査における透水試験は下層土 (耕盤下 30cm 程度) の透水係数を測定することとしている。K県K地区 (2) やA県D地区のように、心土の下層から異なる土壌が存在する場合もあるため、FOEAS導入の際は、一般的な暗渠排水整備の調査項目に加え、暗渠管理設層 (地下 60cm) において、現場透水試験 (シリンダー法) または室内透水試験 (変水位法) による透水性を測定することが不可欠である。

VI まとめ

全国13地区の現地ほ場を用いて、FOEASの機能発揮状況を調べたところ、地下水位の高低に関わらず、土壌の透水係数が $1 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ オーダーよりも低いことがFOEASの機能を発揮する上で重要なことを明らかにした。また、FOEASの導入の際は暗渠管理設層の透水性調査が不可欠であることを提示した。

なお、透水係数は数地点の調査結果からほ場を代表する値を導くことは困難であり、今回提示した閾値は一つの目安である。また、十分な用水量が確保できる地区では、導入条件の閾値が変わる可能性がある。そのため、今後もさらなる知見の集積を図り、FOEASの導入条件について精査していく必要がある。

謝辞：本研究は農林水産省農村振興局水資源課による「平成20年度農業用水再編対策推進調査委託事業」、及び「平成21年度地下かんがい用水技術検討委託事業」、並びに農林水産省農村振興局農村環境課による「計画基礎諸元調査 (平成22～26年)」、農林水産省農林水産技術会議事務局による受託研究「水田の潜在能力発揮等による農地周年有効活用技術の開発 (平成

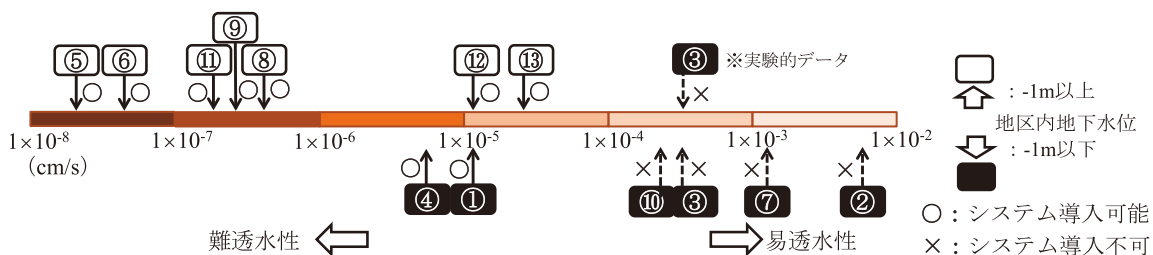


Fig.7 土壌条件と水利条件による地下水制御システムの導入可否
Adoption and rejection for FOEAS system in view of the soil and groundwater condition

22～25年)」の研究成果の一部をまとめたものである。記して謝意を表す。

引用文献

土壤環境分析法編集委員会編 (1997)：土壤環境分析法，博友社，66-69, 76-79
藤森新作，小野寺恒雄 (2012)：地下水位制御システムFOEAS導入と活用のポイント，農文協，45-50
藤森新作ら (2008)：地下水位調節システムと畦畔漏水防止対策による転作作物の安定栽培，平成19年度農村工学研究所研究成果情報，13-14
農林水産省 (2015)：食料・農業・農村基本計画，44
農林水産省 (2000)：土地改良事業計画設計基準 計画「暗きよ排水」，8-21, 126-129
農林水産省 (2013)：土地改良事業計画設計基準 計画「ほ場整備 (水田)」，270-279
農林水産省農村環境課：計画基礎諸元調査報告書 (平成22～26年)

国土交通省国土政策局国土情報課：<http://nrb-www.mlit.go.jp/kokjo/inspect/landclassification/land/20-1/08.html>

荻野芳彦，村島和男 (1991)：汎用化水田の暗渠排水の計画と設計，農業土木学会誌，59(9)，37-42
大山 亮，家中亮子，出口美里 (2013)：ビール麦および水稲の水田輪作体系におけるFOEAS施工効果，栃木県農業試験場研究成果集，32号，31-32
島田信二ら (2011)：異なる土壤種類における地下水位制御が根粒着生・非着生ダイズの葉色と子実重に及ぼす影響，日本作物學會紀事，80，68-69
若杉晃介，藤森新作 (2009)：水田の高度利用を可能とする地下水位制御システムFOEAS，水土の知77(9)，7-10
若杉晃介ら (2013)：食料自給率向上に資する地下水位制御システムおよびGPSレベラーの普及，農業農村工学会誌，81(10)，13-16
(独) 農業・食品産業技術総合研究機構中央農業総合研究センター (2014)：水田輪作における地下水位制御システム活用マニュアル

受理年月日：平成27年11月16日

Quantifying Subsoil Hydraulic Conductivity for Stable Subsurface Irrigation in FOEAS System

WAKASUGI Kousuke*, HARAGUCHI Noburo* and ZUKEMURA Chika*

*Advanced Paddy Field Management, Agricultural Environment Engineering Research Division

Abstract

FOEAS system has functions of subsurface irrigation and subsurface drainage through underdrains set at a depth of 60 cm. It has many advantages of advanced use of paddy fields such as direct seeding of rice, cultivation of soy bean, thus, it spreads in paddies in Japan. Seepage below the underdrains depending on subsoil condition is critical for subsurface irrigation. Thus, the purpose of this study is to evaluate subsoil condition for stable subsurface irrigation in the system. In 13 paddy plots equipped with the system, soil type, subsoil hydraulic conductivity, underground water level, were surveyed to evaluate subsoil conditions. Crop production and water consumption for subsurface irrigation were also surveyed to evaluate whether subsurface irrigation was stable or unstable. The results were comprehensively evaluated and summarized as follows. (i) Saturated soil hydraulic conductivity at depth around 60 cm should be less than an order of 10^{-5} cm/s for stable subsurface irrigation. (ii) Measurement of hydraulic conductivity of subsoil around underdrains is important to judge whether subsurface irrigation is stable or unstable.

Key words: *Controlling the subsurface water level, Subsurface irrigation, FOEAS, Soil hydraulic conductivity, Intake rate*

