日作紀（Jpn. J. Crop Sci.）94（1）：71―81（2025）

中山間地域水田転換畑における圃場造成履歴に基づく盛土箇所への排水口設置と補助暗渠施工の有効性

川崎洋平[1,2]・清水裕太[1]・望月秀俊[1]・山崎諒[1,3]・安本知子[1,4]・猿田正恭[1]

（[1]農研機構西日本農業研究センター，[2]農研機構本部企画戦略本部，
[3]農研機構作物研究部門，[4]農研機構中日本農業研究センター）

要旨：中山間地域の水田転換畑における多収栽培技術の確立は国内の農地の生産性向上において重要である．一方で，ダイズやムギ類では排水不良による湿害が問題となっている．これまでに中山間地域において，圃場造成時の切土箇所と盛土箇所で土壌水分量の傾向が異なっていることが示唆されており，平坦地よりも切土盛土による元地形からの変化量が相対的に大きい中山間地域においては，圃場造成履歴に着目することで多収に有効な排水対策を講じられる可能性がある．本研究は中山間地域における本暗渠未施工の水田転換畑を対象に，圃場内の排水不良を補助暗渠の利用により改善する技術の開発を目的として行った．試験は2020年から2022年に広島県東広島市の中山間地域において水田輪作を実施している農家圃場において行った．過去の航空写真を用いて当該圃場の切土盛土の分布地図を作成し，もみ殻暗渠施工機と弾丸暗渠施工機を使用して切土箇所と盛土箇所間の水の流れを改善する目的で，切土箇所と盛土箇所を接続する方向に補助暗渠の施工を行った．施工時に測量したところ，盛土箇所において地表面の沈降が見られ，盛土箇所に水が集まりやすいことが示唆された．2022年に，盛土箇所に深さ35 cmの排水口を設けた上で，補助暗渠を排水口から放射状に施工したところ，ダイズのm^2当たり株数が向上し，全刈収量において有意な増収効果がみられた．これらの結果は，中山間地域においては，圃場の造成履歴に基づき排水口を検証し，盛土への集水を利用することで，排水対策の効果が高まることを示唆している．

キーワード：ダイズ，オオムギ，収量，水田転換畑，中山間地域，圃場整備，排水口，暗渠．

日本の耕地面積の約4割は中山間地域に位置しており（農林水産省2023），中山間地域における多収栽培技術は国内の農地の生産性向上において極めて重要である．温暖地西部の中国中山間地域の生産者にとってダイズやムギ類などの土地利用型の畑作物は重要な作目であり（坂本・千田2015），多収化が求められている．しかしながら，その多くは水田転換畑で栽培されており，排水不良による湿害が問題となっている．

平坦地の水田では本暗渠や地下水位制御システム（若杉・藤森2009，Shimadaら2012）といった，水田輪作に向けて畑作時の排水を向上する設備が導入された圃場が増えつつあるが，中山間地域の圃場ではいまだ本暗渠さえも未整備の圃場があり，水田輪作の畑作において排水不良となりやすい圃場が多数残っている．また，中山間地域においては排水不良の程度にも圃場間で差があることが示されており（棚田2002，井上ら2003），湿田など相対的に不利な条件の圃場では効果的な対策が求められている．

中山間地域向けの排水対策の方法として，片山ら（2018）は本暗渠未施工の圃場においてスタブルカルチを20 cm程度の深さに施工したところ，作土層の排水性が向上しダイズの苗立ち率と収量が向上することを示した．一方で，清水・望月（2020）は，地下水位が高い箇所においてはチゼルプラウ耕による排水対策効果はみとめられなかったことを報告している．また，中山間地域においてしばしばみられる湿田では，スタブルカルチの耕起深度を通常のロータリ耕で耕起できないような深さに設定した場合，けん引時の抵抗が大きい上に表層がぬかるんでいることからトラクタのホイルやクローラが空転し前進できず，十分に耕起出来なくなる可能性も考えられる．清水・望月（2020）は地下水位が高い箇所を含む圃場においては水稲の単作を提案しているが，近年，ダイズ等の国産の土地利用型の畑作物の需要が高まっており（農林水産省2024），中山間地域の農地を有効活用するためには，排水不良の圃場に対応した新たな排水対策技術の開発が必要である．

清水ら（2020）は広島県東広島市の水田転換畑圃場を対象として，中山間地域の水田の造成履歴に着目し，盛土箇所と切土箇所で土壌水分量の傾向が異なることを報告している．畑作物の栽培において土壌水分量は苗立ちや収量を左右する極めて重要な要因であり，播種前に適切に対策することが求められている．しかしながら，清水ら（2020）で

2024年8月9日受理．連絡責任者：川崎洋平　〒721-8514 広島県福山市西深津町6-12-1　農研機構西日本農業研究センター
TEL 084-923-5351，kawasakiy566@affrc.go.jp
（現所属　〒305-8517 茨城県つくば市観音台3-1-1 農研機構本部企画戦略本部，kawasakiy566@affrc.go.jp）

本研究は生研支援センター・戦略的スマート農業技術等の開発・改良（JPJ011397）「収量低下が著しい大豆等の増収に向けた土壌水分予測・制御システムの開発」の支援を受けた．

第1表 排水対策および耕種概要.

もみ殻暗渠・弾丸暗渠施工日	作物（品種名）	播種日		各区の圃場面積の合計（a）	全補助暗渠施工密度（m 10a^{-1}）	もみ殻暗渠施工密度（m 10a^{-1}）	全補助暗渠に対するもみ殻暗渠の割合（%）	弾丸殻暗渠施工密度（m 10a^{-1}）	全補助暗渠に対する弾丸暗渠の割合（%）
2020年5月18～20日	ダイズ（あきまろ）	8月5～7日	施工区	16.7	575	295	51.3	280	48.7
			対照区	17.8					
2020年10月20～22日	オオムギ（キラリモチ）	11月13～15日	施工区	34.3	468	234	50.0	234	50.0
			対照区	34.8					
2021年6月1～3日	ダイズ（サチユタカ）	6月25日	施工区	22.1	317	190	60.0	127	40.0
			対照区	22.7					
2022年5月16～18日	ダイズ（サチユタカ）	6月4日	施工区	10.7	229	193	84.2	36	15.8
			対照区	14.8					
2022年5月16～18日	ダイズ（黒招福）	7月1日	施工区	17.9	292	244	83.6	48	16.4
			対照区	13.8					

は水田の造成履歴の分布と排水不良箇所の関連を指摘しているが，中山間地域の排水不良箇所において，畑作物を栽培するための具体的な排水対策を提示するには至っていない．筆者らは，水平方向に水を移動可能な補助暗渠の施工により，圃場内の土壌水分の均一化が可能ではないかと考えた．ダイズ作前に排水対策として行う補助暗渠の施工は本暗渠の上を交差するように施工するような指針が示されている（広島県 2024）．また，本暗渠が未施工の圃場では，ムギ，ダイズ作前の排水対策として弾丸暗渠を本暗渠の代わりに深度を変えて施工するといった方法も提案されている（兵庫県 2022）．一方で，本暗渠未施工の圃場において，圃場の造成履歴に起因すると考えられる土壌水分ムラを解消するために，補助暗渠の施工方法が検討された例は見当たらない．平坦地よりも切土盛土による元地形からの変化量が相対的に大きい中山間地域においては，補助暗渠施工時に圃場造成履歴を考慮することで圃場内の土壌水分をより均一化できる可能性がある．そこで本研究では，中山間地域における本暗渠未施工の水田転換畑を対象に圃場造成履歴を活用して，圃場内の排水不良を補助暗渠の利用により改善し畑作物の収量を向上する技術を開発することを目的とした．

材料と方法

1．切土盛土の分布地図の作成

広島県東広島市の中山間地域で水稲－ムギ類－ダイズの2年3作を実施している農事組合法人（北緯34°50′，東経132°86′，標高300 m程度）にて，清水・松森（2020）に従い，本暗渠未施工の圃場を対象に過去の航空写真を用いて，現在の地形と圃場造成前の地形の差分を示した切土盛土の分布地図を作成した．具体的には，国土地理院によって1976年に撮影された圃場造成前の5枚の航空写真を用いて過去の標高データを作成し，2010年代の標高データとの差分を計算した．

過去の標高データについては1976年と2010年に撮影された航空写真に共通して写っているコンクリート構造物やアスファルト舗装された道路交差点等の頑強な構造物の中心点の座標とその標高は変化しないと仮定し，RTK（Real Time Kinematic）測量機材（DG-PRORWS，ビズステーション株式会社）を用いて上記構造物の座標（緯度，経度，標高）を，後述する写真測量解析時の位置補正データ（地上基準点）として取得した．多視点ステレオ写真測量ソフトウェア（Photoscan version 1.4.3 build6529，Agisoft社）を用いて，5枚の写真と測量した地上基準点を基に過去の標高について三次元点群データを作成した．

現在の標高データについては，2016年と2017年に取得された広島県土木建築局「広島県インフラマネジメント基盤」の航空レーザー測量のグリッドデータ（三次元点群データ）を使用した．地理空間解析ソフトウェア（ArcGIS 10.5，ESRI社）を用いて，得られた三次元点群データからデジタル標高モデルを作成し，過去と現在の標高の差分を示した切土盛土の分布地図を作成した．切土盛土の境界は圃場造成時の標高差が0.0 mとなる場所を境界として，標高が高くなった地点を盛土，低くなった地点を切土に分類した．

2．圃場造成履歴を基に切土と盛土を接続する排水対策（2020-2021年）

各作期の排水対策の施工日や播種日等の概要について第1表に示した．清水ら（2020）によると，盛土箇所の方が切土箇所と比較して湿潤であったことから，圃場全体の土壌水分量の均一化を目的とし，降雨による水を盛土箇所から切土箇所の地下に移動させ，切土箇所の地下に逃がすことを意図した．そのために，2020年5月18日から20日にかけて盛土箇所と切土箇所を結ぶ方向にもみ殻暗渠と弾丸暗渠を，ダイズ品種「あきまろ」作付け予定圃場に施工した．対象とした農事組合法人は夏季の農繁期の労働力が限られておりムギ類の収穫調整作業とダイズの播種作業を同時に実施することが困難であることから，水稲－ムギ類－ダイズの2年3作だけでなくダイズ単作を実施する圃場を設定している．2020年度のダイズ作の試験は清水ら（2020）

において盛土部分での排水不良が報告された3圃場を選定したが，当該圃場は2020年度についてはダイズ単作圃場であった．圃場の表層（0～20 cm）は日本農学会法による分類では砂壌土であった．前年度に水稲のコンバイン収穫を実施しており，コンバイン収穫が不可能なほどの湿田ではなかった．3圃場は隣接しており，盛土と切土箇所が長辺方向で分かれていたことから，対照区と施工区で切土と盛土の分布が偏らないように長辺方向にそれぞれ2分割して対照区，施工区とした．なお，清水ら（2020）によると，切土・盛土の分布が同様な隣接圃場においては，地下水位も同様の傾向が観察された旨を報告している．対照区と施工区ともに額縁明渠の掘削は法人が慣行に従い，深さ20 cmから25 cmの深さで施工した．これに加えて施工区では，もみ殻暗渠はもみ殻暗渠施工機（M45AB，スガノ農機株式会社）をフルクローラ型トラクタ（CT340，ヤンマーホールディングス株式会社）を用いてけん引し，施工した．もみ殻暗渠を約3～4 m間隔の密度で深さ25～30 cmに，盛土箇所と切土箇所を結ぶ方向（本圃場では長辺方向）に施工した後，もみ殻暗渠ともみ殻暗渠の間に弾丸暗渠施工機（S28-1s，松山株式会社）を用いてもみ殻暗渠と同じ方向に弾丸暗渠を施工した．盛土箇所に一部湧水がみられたこと，湧水を排出するための排水路の位置が圃場よりも高かったことから，ソーラーポンプ（C4SP2，有限会社プティオ）を額縁明渠施工後に盛土箇所に設置し，湧水の汲み出しを生育期間中継続的に実施した．当初7月に播種を予定していたが，降雨により法人のダイズ播種が遅れ，播種は8月5日～7日となった．播種作業は，トラクタを用いた耕うん同時畝立て播種を法人が実施した．畝は逆転ロータリを用いて，高さ約15 cm程度の平高畝を成形し，播種機は逆転ロータリの後方に設置し，成形した平高畝上に播種を行った．播種の条間は30 cmとし，平高畦上に播種条を5条設ける狭畦栽培（1工程5条）とした．播種量は9 kg 10a^{-1}であった．成熟期に株数調査および汎用コンバインを用いた全刈収量調査を実施した．株数調査と坪刈調査は11月10日に実施し，対照区と施工区から各9か所を調査した．各か所につき1畝5条のうち中央3条の2.4 m，2.16 m^{2}を調査した．全刈収量は11月27日に調査した．法人が汎用コンバイン（GS380，ヤンマーホールディングス株式会社）を用いて収穫作業を実施した後に，収穫物について車両重量計（HS1003-N1A，株式会社共和電業）を用いて現地で収穫物の重量を計測した．穀類水分計（PM-830-2，株式会社ケツト科学研究所）を用いて，同時に収穫物の子実水分も計測した．全刈収量を算出するに当たって面積は，UAVによる空撮写真を用いてオルソモザイク処理を行い，播種が確認できた箇所をArcGISを用いて播種面積とした．3筆の播種面積はそれぞれ11.2 a，10.8 a，12.6 aであった．子実水分15%に補正して坪刈収量と全刈収量を算出した．

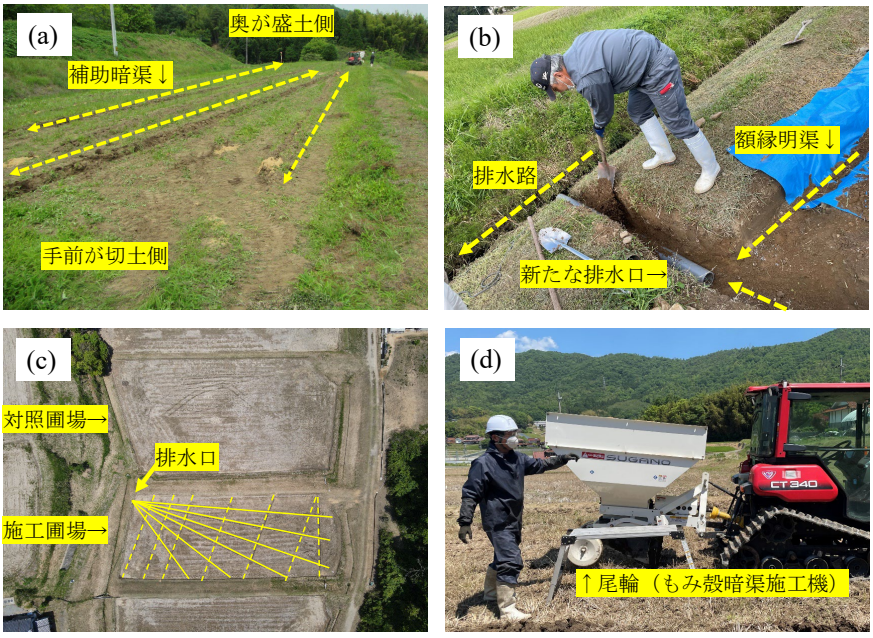
続いて，2020年の秋にオオムギ品種「キラリモチ」作付け予定圃場に，盛土箇所と切土箇所を結ぶ方向に，もみ殻暗渠と弾丸暗渠を10月20日から22日にかけて施工した．対照区は，前作が同じ作目でかつ切土盛土の分布や割合が施工区と近い傾向を示す隣接圃場とし，法人内の3か所において対照区と施工区をそれぞれ設定した．試験圃場の土性はそれぞれ砂壌土であった．局所的に水はけが悪い箇所がみとめられたが，トラクタによる耕起・播種作業が可能な程度の水はけであった．生育期間中の栽培管理は法人に委託し，播種は11月13～15日に法人が実施した．圃場の面積は額縁明渠で囲まれた部分を圃場面積とし，ArcGISを用いて算出した．施工区と対照区の面積は3か所でそれぞれ，13.8 aと12.5 a，11.7 aと13.8 a，8.8 aと8.5 aであった．播種量は8 kg 10 a^{-1}であった．成熟期に全刈収量を調査した．2021年6月1日に収量計測機能付き自脱型コンバイン（ER470，クボタ社）を用いて実施し，コンバイン内に表示される子実重量と水分含量を記録した．子実水分は13%に補正して，全刈収量を算出した．

2021年のダイズ品種「サチユタカ」作付け予定圃場においても盛土箇所と切土箇所を結ぶ方向に，6月1日～3日にかけてもみ殻暗渠と弾丸暗渠による排水対策を実施した（第1図（a））．「キラリモチ」作同様に，対照区は切土盛土の分布や割合が施工区と同様の傾向を示す隣接圃場とし，2か所においてそれぞれ対照区と施工区を設定した．施工区と対照区の面積は2か所でそれぞれ10.9 aと12.7 a，11.2 aと10.0 aであった．試験圃場の土性は砂壌土であった．トラクタによる耕起・播種作業が可能な程度の水はけであった．6月25日に播種し，播種量は9 kg 10 a^{-1}であった．10月21日に株数調査と坪刈調査を，10月28日に前年の方法に従って全刈収量調査を実施した．株数調査と坪刈調査は施工区と対照区からそれぞれ12か所から調査した．中央3条から1.5 m，1か所当たり1.35 m^{2}を調査した．全刈収量調査は2020年ダイズ作同様に，汎用コンバインによる収穫後に車両重量計と穀類水分計を用いて計測した．

3．水田転換畑圃場の測量および土壌水分量の調査（2020-2021年）

2020年ダイズ作時に，湧水以外にも降雨後に雨水が盛土箇所に集まっているように見えたことから，圃場内の勾配について改めて検討を行った．2020年秋に実施したオオムギ品種「キラリモチ」の排水対策施工時に，トラクタ（CT340）のキャビン上にRTK測量機材（DG-PRORWS，ビズステーション株式会社）を設置し，圃場の勾配を測定した．本調査では，トラクタが圃場内部を移動していることが確実な際のデータを抽出するために，額縁明渠からトラクタの車幅分以上内側での測位データを使用した．2020年秋の施工時に，トラクタによる補助暗渠施工中に2秒おきに座標データを取得した．

土壌水分量については土壌体積含水率を土壌水分センサー（EC-5，METER社）とデータロガー（Em50，METER社）を用いて計測した．土壌水分センサーは施工区・



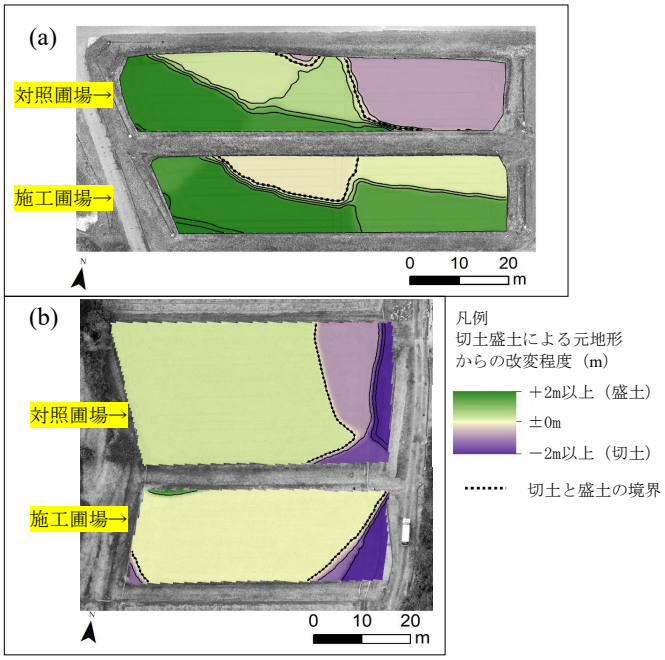
第 1 図　排水対策実施時の様子.
（a）補助暗渠を用いて盛土箇所（奥）と切土箇所（手前）を接続した排水対策（2021 年ダイズ作）.（b）新たな排水口の設置の様子（写真は予備試験時のもの）.（c）切土盛土の分布図を基に補助暗渠を放射状に施工した排水対策（2022 年ダイズ作）. 実線は集水用補助暗渠，破線は短辺方向の補助暗渠を示す.（d）もみ殻暗渠施工機およびもみ殻暗渠施工機の尾輪.

対照区ともにそれぞれの圃場の中心付近（最も内側の工程の畝の圃場中央付近）に，深さ 10 cm に設置し，計測した. なお，データロガー設置地点の圃場造成履歴の情報については，作成した切土盛土の分布地図を用いて，設置後に評価を行った. 1 圃場につき, 土壌水分センサーは 2 本設置し, 2 本のセンサーの平均値を用いた. なお，EC-5 センサーの校正は Mochizuki and Sakaguchi（2020）の方法に従って実施した. また雨量計（ECRN-50，METER 社）を用いて，降雨量も計測した.

4. 圃場造成履歴を基に盛土への集水を利用した排水対策（2022 年）

2022 年のダイズ作では，地形の勾配を考慮し，排水口から適切に降雨後の水を排出できるよう，排水対策実施前に切土盛土の分布地図を用いて事前に排水口の位置の検証した. すなわち，排水口の位置が盛土箇所に位置しているか，排水口が補助暗渠の深さに対応した 35 cm 程度の深さを有しているか，の 2 点について調査した. これら 2 点を満たしていない場合には，近傍の排水路に排出できるように盛土箇所の畔を掘削して，呼び径 100 mm（外径 114 mm）のキャップ付き塩ビ管を用いて深さ 35 cm に新たに排水口を設置した（第 1 図（b））. その後，2022 年ダイズ品種「サチユタカ」および「黒招福」作付け予定圃場に 5 月 16 日～18 日にもみ殻暗渠と弾丸暗渠を施工した. 2022 年の施工では，切土盛土の分布に対応した地形の勾配を活用できるように，上記の盛土箇所の排水口を起点として深さ 35 cm にもみ殻暗渠を盛土箇所と切土箇所を結ぶ方向への施工を含むように放射状に施工した（第 1 図（c））. また，圃場全体の排水性を高めるために，放射状の方向とは別に短辺方向に弾丸暗渠ともみ殻暗渠を交互に施工した. 短辺方向の補助暗渠の排水が放射状に施工した補助暗渠を通じて圃場外に円滑に排出されるように，短辺方向の補助暗渠は放射状の補助暗渠よりも 5 cm 浅く施工し，短辺方向の補助暗渠は額縁明渠と接続した. 対照区は切土盛土の分布が同じ傾向を示す隣接圃場とした. 2020 年の「キラリモチ」の排水対策施工時と同様に，2022 年のダイズ品種「サチユタカ」作付け予定圃場の施工時に，トラクタに RTK 測量機材を設置し，圃場の勾配を計測した. なお 2022 年のダイズ作前の施工時は 1 秒おきに座標データを取得した. 第 1 表に示したように，播種は「サチユタカ」は 6 月 4 日に，「黒招福」は 7 月 1 日に法人が実施した.「サチユタカ」の施工区と対照区は 10.7 a と 14.8 a で,「黒招福」の施工区と対照区は 17.9 a と 13.8 a であった.「サチユタカ」,「黒招福」栽培圃場ともに，土性は壌土であった. いずれの圃場もトラクタによる耕起・播種が可能な程度の水はけであった. 播種量は「サチユタカ」,「黒招福」ともに 6.5 kg 10 a^{-1} であった.「サチユタカ」の株数調査と坪刈調査は 10 月 25 日に, 全刈収量調査は 11 月 4 日に実施した.「黒招福」の株数調査と坪刈調査は 11 月 8 日に，全刈収量調査は 11 月 18 日に実施した. 株数調査と坪刈調査は施工区，対照区の各 5 か所で，1 か所につき中央の 3 条の 2 m，1.8 m^2 を調査した. 全刈収量調査は，2020 年，2021 年と同様に車両重量計と穀類水分計を使用して実施した. 子実水分は 15%に補正して坪刈収量と全刈収量を算出した.

また，2021 年「サチユタカ」作同様に，データロガーと土壌水分センサーを用いて圃場中央にて継続的に土壌体積含水率と降雨量の推移を取得した. さらに排水対策による圃場内の土壌水分ムラの軽減効果を検証するために，携帯型土壌水分計（TDR350，Spectrum 社）を用いて格子状に土壌体積含水率を測定した. TDR350 には長さ 12 cm のロッドを装着し，土壌タイプは Standard（一般土壌）を選択し，測定した. 格子は圃場の大きさに合わせて設定し,「サチユ



第2図　切土盛土の分布図．（a）2021年ダイズ品種「サチユタカ」作予定圃場の切土盛土の分布図．（b）2022年ダイズ品種「サチユタカ」作予定圃場の切土盛土の分布図．図中の点線は切土と盛土の境界を示し，実線は元地形からの改変程度の等高線を示す．等高線は1m間隔とした．

タカ」の対照区では，7点（4.5m間隔）×8点（3.6m間隔），計56点を，施工区では7点（4.5m間隔）×6点（3.6m間隔），計42点を測定した．また，「黒招福」の対照区では，11点（5m間隔）×5点（3.6m間隔），計55点を，施工区では11点（5m間隔）×6点（3.6m間隔），計66点を測定した．測定は2022年の9月8日と14日に実施した．2日間の測定結果を平均し，圃場ごとに各点の平均値と標準偏差を算出した．さらに圃場を切土側と盛土側に2分割し，切土側および盛土側の平均値と標準偏差をそれぞれ算出した．格子が奇数であったため，算出時には格子の中央の値を切土側，盛土側それぞれに含めて算出した．

5．統計解析

m^2当たり株数，全刈収量については，それぞれの年次ごとに施工区と対照区についてt検定を行った．携帯型土壌水分計による圃場内の分布やm^2当たり株数，坪刈収量については，それぞれ平均値と標準偏差を算出した．それぞれの解析はエクセル統計ver.3.23（株式会社社会情報サービス）を用いて行った．栽培期間の月別の気象データについては，気象庁のアメダス東広島観測地点の平均気温，日照時間，降水量および平年値を用いた．

結　　果

1．切土盛土の分布図の作成および圃場の測量結果（2020-2022年）

1976年撮影の5枚の航空写真から，対象とした圃場を含む394haの標高データが生成された．この中に設定された地上基準点は48点であり，設置密度は8.2haあたり1点，三次元座標としての平均誤差は0.017mであった．作成した切土盛土の分布図の例として2021年と2022年の「サチユタカ」作の圃場の地図を第2図に示した．またセンサーの設置箇所を切土盛土の分布図で確認したところ，2021年の対照区・施工区においては，それぞれ+0.6m（盛土），−0.1m（切土），2022年の対照区・施工区においてはそれぞれ+0.3m（盛土），+0.1m（盛土）であった．

トラクタに設置したRTK測量機材による現在の圃場表面の起伏の測量結果は，切土箇所の標高の平均値に対する盛土標高の平均値が2020年秋の施工区で−3.5cm，2022年ダイズ作前の施工区で−2.6cmと盛土箇所で低かった．また，切土箇所の標高の平均値に対する盛土標高の差分の最大値は2020年秋の施工区で−12.7cm，2022年ダイズ作前の施工区で−7.7cmであった．本RTK測量に用いた機材は測量誤差の理論値として水平方向に1cm+1ppm×（測定距離），垂直方向に1.5cm+1ppm×（測定距離）の精度を有していることから，それぞれ盛土箇所において，切土箇所と比較して測量誤差ではない有意な圃場表面の沈降が確認された．

2．気象概況

第2表に2020年から2022年のダイズ作の気象概況を記載した．また，第3表に2020-2021年のオオムギ作の気象概況を記載した．2020年は6~7月は降雨が続き，日平均気温および日照時間は平年に比べて低く推移したが，ダイズの播種が行われた8月は降水量が少なく，9月以降は日平均気温および日照時間は平年並みに推移した．2020-2021年のムギ作では，2~3月の日平均気温および11月から2月にかけての日照時間は平年値よりも高かったが，降水量は平年並みであった．2021年の日平均気温は平年並みに推移したが，7~8月の日照時間は平年値よりも少なく，7~8月の降水量は平年値よりも著しく多かった．2022年の日平均気温は全体的にやや高く推移した．7~9月の日照時間は平年値よりも少なかったが，10~11月は増え，全体としては平年並みであった．降水量は全体としては少雨年であったが，生育前半にあたる7~8月は平年並みの降水量であった．

3．排水対策の結果（2020-2022年）

m^2当たり成熟期株数，坪刈収量および全刈収量の結果を第4表に記載した．成熟期株数は，2020年のダイズ作において，施工区で高く，標準偏差も施工区で縮小する傾向を示したが，統計的には有意ではなかった．2021年のダイズ作では，対照区の方が成熟期株数が多い傾向を示したが，統計的には有意ではなかった．また，対照区にて標準偏差が大きかった．2022年のダイズ作では，「サチユタカ」作圃場で，成熟期株数が有意に増加した．「黒招福」作圃場

第2表 月別気象概況（ダイズ作）.

		6月	7月	8月	9月	10月	11月	試験期間全体（6-11月）
日平均気温（℃）	2020年	21.9	23.3	27.2	22.2	15.4	11.0	20.2
	2021年	21.4	25.1	25.1	22.3	16.6	9.4	20.0
	2022年	22.0	25.8	26.6	23.1	15.4	11.2	20.7
	平年値	21.2	25.0	25.8	21.8	15.6	9.5	19.8
日照時間（h）	2020年	171	73	249	146	188	179	1006
	2021年	151	179	131	92	219	174	944
	2022年	174	138	171	117	189	186	976
	平年値	142	164	194	150	167	143	960
降水量（mm）	2020年	288	525	18	143	86	32	1092
	2021年	143	351	576	195	12	83	1359
	2022年	93	239	141	223	34	43	772
	平年値	207	253	131	158	106	67	923

東広島の値は気象庁の東広島市観測地点のデータによる．試験期間全体の値については，日平均気温は平均値を，日照時間・降水量については合計値を記載した．平年値は1991～2020年の期間の値を記載した．

第3表 月別気象概況（オオムギ作）.

		2020年	2021年						試験期間全体（11-5月）
		11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	
日平均気温（℃）	2020-2021年作	11.0	3.8	2.3	5.4	9.2	12.3	17.4	8.8
	平年値	9.5	4.4	2.3	3.2	6.6	12.1	17.3	7.9
日照時間（h）	2020-2021年作	179	150	166	200	184	211	149	1239
	平年値	143	134	135	170	188	205	142	1117
降水量（mm）	2020-2021年作	32	38	60	46	92	127	216	611
	平年値	67	54	47	60	105	121	148	602

東広島の値は気象庁の東広島市観測地点のデータによる．試験期間全体の値については，日平均気温は平均値を，日照時間・降水量については合計値を記載した．平年値は1991～2020年の期間の値を記載した．

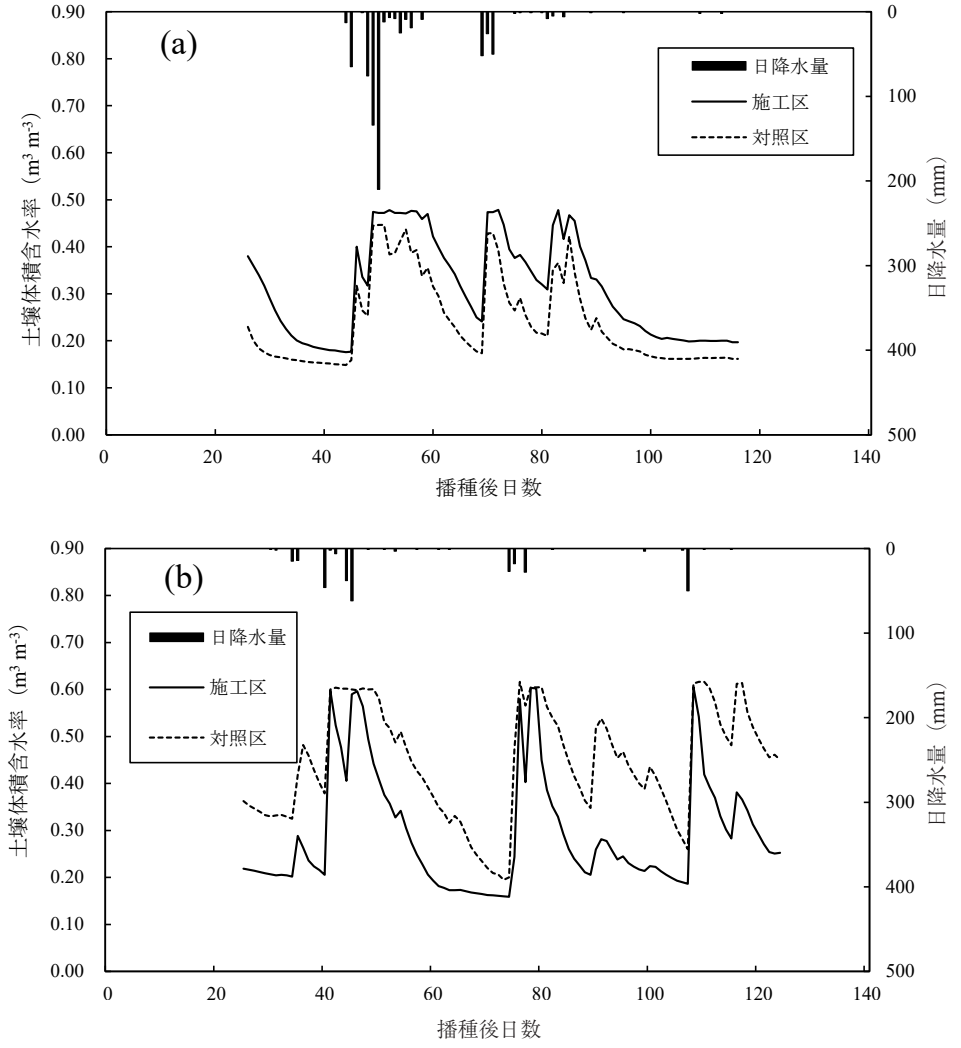
第4表 圃場基盤情報を基に切土・盛土を接続する排水対策が坪刈収量および全刈収量に及ぼす影響.

排水対策	播種年度	作物（品種名）	試験区	株数調査・坪刈調査の測定点数（点）	成熟期株数（株 m^{-2}）	株数の標準偏差[1)]（株 m^{-2}）	各試験における株数への排水対策効果（p値）	坪刈収量（g m^{-2}）	坪刈収量の標準偏差[1)]（g m^{-2}）	全刈収量測定圃場数（筆）	全刈収量（kg $10a^{-1}$）	各播種年度における全刈収量への排水対策効果（p値）
切土箇所と盛土箇所を接続												
	2020年	ダイズ（あきまろ）	施工区[2)]	9	28.2	3.49	0.742	333	22.1	3	289	0.381
			対照区[3)]	9	27.7	3.72		332	22.0	3	268	
	2020年	オオムギ（キラリモチ）	施工区	–	–	–	–	–	–	3	401	0.460
			対照区	–	–	–		–	–	3	390	
	2021年	ダイズ（サチユタカ）	施工区	12	25.5	3.85	0.269	307	38.0	2	177	0.965
			対照区	12	28.2	7.29		304	42.0	2	177	
盛土箇所に集水し排出												
	2022年	ダイズ（サチユタカ）	施工区	5	15.5	1.66	0.002	484	11.2	1	264	0.021
			対照区	5	9.8	2.17		440	54.3	1	233	
	2022年	ダイズ（黒招福）	施工区	5	16.2	1.86	0.153	397	74.6	1	301	
			対照区	5	13.9	2.64		318	84.3	1	272	

[1)] 標準偏差は標本標準偏差を記載した．

[2)] 2020年ダイズ作の施工区は盛土箇所からソーラーポンプで圃場外に排水した．

[3)] 対照区は全ての年度・作期において，法人の慣行に従い補助暗渠は施工せずに額縁明渠のみを施工した．



第3図　生育期間中土壌の体積含水率および日降水量の推移.
（a）2021年ダイズ作付圃場における推移.（b）2022年ダイズ作付圃場における推移. 品種はいずれも「サチユタカ」. 土壌体積含水率はその日の24時の値を，日降水量は雨量計（ECRN-50, METER社）を用いて取得した1日の積算値を記載した.

においても，有意ではなかったが増加傾向がみられた. 株数の標準偏差は施工区において縮小する傾向がみられた.

坪刈収量については，2020年は施工区と坪刈区でほぼ同等の収量，標準偏差を示した. 2021年は，施工区において坪刈収量がわずかに高く，標準偏差も小さかった. 2022年は「サチユタカ」,「黒招福」ともに施工区で坪刈収量が増加した. また，標準偏差も施工区において小さかった.

全刈収量については，2020年に実施したダイズ作の試験では，施工区の3筆の平均値は289 kg 10 a^{-1}となり，対照区と比較して7.8%増収したが，統計的には有意ではなかった. 2020-2021年に実施したムギ作の試験では，施工区の全刈収量の平均値は401 kg 10 a^{-1}となり，対照区と比較して2.8%高かったが統計的には有意ではなかった. 続いて，2021年に実施したダイズ作の試験では，施工区と対照区ともに全刈収量は177 kg 10 a^{-1}となり，施工区は対照区と同等の全刈収量であった. 2022年に実施したダイズ品種「サチユタカ」および「黒招福」の試験では，施工区の全刈収量はそれぞれ264 kg 10 a^{-1}および301 kg 10 a^{-1}となり，対照区と比較してそれぞれ13.3%，10.7%増収し，2022年のダイズ作では有意に増収した.

2021年に排水対策試験を実施した「サチユタカ」栽培圃場の施工区および対照区，2022年に排水対策試験を実施したダイズ品種「サチユタカ」の施工区および対照区の生育期間中の土壌体積含水率等の結果を第3図に示した. 2021年「サチユタカ」作の試験では，対照区よりも施工区のほうが，土壌体積含水率は高く推移し，また降雨後の土壌水分量の低下程度も施工区のほうが緩やかに低下する傾向にあった. 一方，2022年「サチユタカ」作の試験では土壌体積含水率は施工区のほうが低く推移し，降雨後も対照区より施工区が短期間で低下していた.

また，携帯型土壌水分計の測定結果を第5表に示した. 9月8日，9月14日の2回の測定結果を平均したところ，

第5表 2022年度における土壌の体積含水率の圃場内変動の調査結果.

	試験区	圃場全体の結果[1]			切土，盛土毎の結果[1]		
		測定点数（点）	土壌体積含水率の平均値（%）	土壌体積含水率の標準偏差[2]（%）	測定点数（点）	土壌体積含水率の切土側平均値（%）	土壌体積含水率の盛土側平均値（%）
ダイズ圃場（サチユタカ）	施工区	42	15.1	2.56	24	15.5	14.5
	対照区	56	17.6	3.14	32	17.9	17.7
ダイズ圃場（黒招福）	施工区	66	17.0	3.08	36	17.8	16.1
	対照区	55	19.4	3.44	30	19.8	19.0

[1] 土壌体積含水率の結果は9月8日と9月14日の2回の測定の平均値を記載した.
[2] 標準偏差は標本標準偏差を記載した.

土壌体積含水率の圃場全体の平均値は「サチユタカ」,「黒招福」の施工区でそれぞれ2.5%，2.4%低下していた.また圃場全体の標準偏差は対照区と比較して「サチユタカ」,「黒招福」の施工区でそれぞれ0.58%，0.36%縮小していた.

考　　察

1. 切土盛土を接続する排水対策についての考察（2020-2021年）

本試験を実施した中山間地域の法人は，1行程5条の平高畝を成形しながらムギ類やダイズの播種を実施している．圃場が平坦であれば地表面の水は行程間の小明渠を通じて額縁明渠に排出され，額縁明渠から排水口を通じて圃場外に排水される．本研究では当初，小明渠による表面排水に加えて，湿潤な盛土箇所と比較的乾燥した切土箇所を接続し，補助暗渠を通じた切土箇所への地下排水を促進することで,圃場全体の土壌水分量の均一化を目指していた.排水対策の結果，2020年の「あきまろ」では平均で全刈収量が7.8%高かった．一方で,2020-2021年の「キラリモチ」では平均で2.8%高く，収量向上効果は小さかった．2020年の「あきまろ」は梅雨明け後に播種を実施しているが播種後の降水量は平年よりもやや低く推移し，2020-2021年の「キラリモチ」の生育期間中の降水量は平年値と同程度であった．一方で，排水対策が特に有効であると考えられる多雨年の2021年の「サチユタカ」作においては，対照区と施工区が同等の全刈収量であったこと（第4表）から，排水対策の明瞭な結果はみとめられなかった.

広島県のダイズ栽培においては播種時期が遅くなった場合には播種量を増やすことを推奨している（広島県2024）.2020年の「あきまろ」においては播種が予定よりも大幅に遅れたため，法人は播種量を多く設定していた．2021年の「サチユタカ」においても,苗立ち数の不足を避けるために,標播においても2020年の「あきまろ」と同じ設定にて法人が播種をしていた．その結果，施工区，対照区ともにm^2当たり20株以上の株数を確保できていた．しかしながら，2021年の「サチユタカ」は試験を実施した3か年の中では最も低い全刈収量を示していた（第5表）．苗立ち数が多い状態にも関わらず達観調査で明瞭な倒伏を確認できなかったことや，2021年が多雨年であり（第2表），ダイズの生育初期～中期に施工区で土壌水分が高い状態が続いており（第3図），施工区，対照区ともに湿害が発生していた可能性が考えられる．苗立ちが十分な状態であっても生育初期に過湿状態にさらされると地上部乾物乾物重が低下し，収量が低下することが報告されている（杉本ら1988，Bajgainら2015）．m^2当たり株数ではなく，株当たりの生育量を確保できなかったことが2021年の「サチユタカ」においては収量が増えなかった要因であると考えられる（第4表）．すなわち2020年から2021年にかけて実施した補助暗渠によって切土盛土を接続するだけの排水対策では，排水不良を必ずしも改善できず，収量を向上するには十分ではないと推察された.

2. 地形の勾配についての考察（2020-2022年）

2020年，2022年の施工時の測量調査により，対象とした中山間地域の水田転換畑では，盛土箇所が沈降し圃場表面に勾配が生じていたことが明らかとなった．法人の当該水田転換畑圃場は過去には移植による水稲作を実施しており，少なくともレーザーレベラなどを用いた人為的な勾配は設けられていない圃場であった．しかしながら本試験においてトラクタにRTK測量機材を設置して測量を実施したところ，平均して2.6～3.5 cm，最大で7.7～12.7 cm程度，切土箇所と比較して盛土箇所が沈降していることが明らかとなった．若杉･藤森（2006）は勾配が0.5‰（パーミル），すなわち水平距離100 mに対して5 cmの高さ方向の変化があれば，表面排水は促進されることを報告している．本試験において測量を実施した圃場は最も長い対角線において51～65 m程度で，最大沈降箇所への勾配は1.51～1.95‰となり，最大沈降箇所に水が集まるには十分な勾配であったと考えられる．すなわち，降雨後の水が額縁明渠を通じて圃場外に排水される前に圃場内の沈降した盛土箇所に集まり，その後作土内に浸透し出芽不良や生育不良の原因となっていた可能性がある．また，もみ殻暗渠や弾丸暗渠などの排水対策施工機は尾輪によって支持され，尾輪の長さを調節することによって施工深度を調節する（第

1図（d））．走行中に尾輪の長さを変えない限り，圃場表面の勾配が補助暗渠の勾配に直接影響することから，地表面同様，盛土側が低くなるように補助暗渠が施工されていたと推察される．すなわち2020年から2021年にかけて実施した切土盛土を接続する排水対策では，切土箇所の地下に水が浸透しなかった可能性に加えて，盛土箇所の水が切土方向に移動していなかった可能性がある．本試験のように単に切土箇所と盛土箇所を接続するだけでは降雨後の水が圃場表面と補助暗渠の両方で切土箇所から盛土箇所に流入し，局所的な湿害発生リスクをかえって高めてしまう恐れがあると考えられる．

坂本（2017）の中山間地域の生産者を対象とした聞き取り調査によると，中山間地域の水田転換畑において畑作物の栽培を行う生産者の中にはダイズの収量安定向上に対する問題意識があるものの，営農排水対策の実施の有無と単収の間に統計的に明瞭な関係がみとめられていない．その理由として，排水対策を実施していたにも関わらず，排水対策の効果が十分に得られていないケース，例えば上記のように排水口が盛土箇所になかったことや，排水口が水稲作向けの高い位置にあり適切に排水されなかった圃場もあったことが推察される．

3．盛土への集水を利用する排水対策（2022年）

2022年のダイズ作においては，「サチユタカ」，「黒招福」圃場ともに圃場の排水口の位置の検証を行った．盛土箇所に排水口が無かった場合には盛土箇所に新たに排水口を設置し，補助暗渠により排水口への集水が円滑に行われるように放射状施工を行った（第1図（c））．その結果，単年度で統計的に有意な収量向上効果がみとめられた．土壌水分を格子状に計測したところ，対照区と比較して施工区で土壌水分の平均値が低下し，標準偏差も施工区で縮小し，土壌水分ムラの軽減効果がみとめられた（第5表）．2022年に施工した両圃場においては，清水ら（2020）と異なり，対照区，施工区ともに盛土箇所よりも切土箇所の方が湿潤な傾向を示していた（第5表）．2022年ダイズ作の圃場一帯は，圃場造成時に表層の土壌を削ったことにより，圃場造成後の切土箇所の地表面が地下の伏流水に近づき湿潤となった可能性がある．圃場造成履歴と土壌水分ムラの関係についても，今後さらなる分類が必要であると考えられる．一方で，切土が湿潤となる圃場においても，盛土箇所の沈降が確認された．圃場の中央に設置したデータロガーを用いた継続的な計測においても，降雨後に速やかに土壌水分が低下していく様子がみとめられた（第3図）．以上の結果は，圃場表面の勾配を活用し降雨後の雨水を速やかに圃場外に排出できたことを示している．また，施工区の増収効果は，坪刈収量と株数の傾向が一致していたことから，排水対策により圃場全体のm^2当たり株数が向上し，またm^2当たり株数の圃場内のバラつきが縮小したことによると考えられる（第4表）．中山ら（2004）は冠水ストレスが発芽や発芽後の生育を阻害することを報告している．また，有原（1998）は，出芽時の酸素不足がダイズの苗立ち，生育を低下させることを報告している．本排水対策の実施により，播種の後の降雨後に雨水が速やかに排水され，苗立ちが高位安定したことにより多収化したものと考えられる．なお，坪刈収量と全刈収量の値は，「サチユタカ」と「黒招福」の間で傾向が異なり，「サチユタカ」のほうが高い坪刈収量を示したにも関わらず，「黒招福」の方が高い全刈収量を示した．坪刈収量と全刈収量の違いには「黒招福」の最下着莢位置が高いことなど，機械収穫適性の品種特性の違いが関わっている可能性が考えられる（川崎ら2024，大木ら2019）．しかしながら，本排水対策は苗立ち数の高位安定に貢献しており，坪刈収量と全刈収量はどちらも排水対策により増加する傾向を示していた．

本試験は，2020年を除いて，隣接圃場を対照区として設定している．清水ら（2020）によると地下の地形の傾向が同じ隣接圃場では，地下水位の傾向も同様であったことを報告しており，土壌水分については相対的な比較が可能であると考えられる．また，土壌の肥沃度について隣接圃場で異なる可能性があるが，苗立ちの向上は降雨後の滞水時間といった播種前後の圃場の排水性が特に関係していると考えられることから，肥沃度の違いの影響は小さく，本試験で観察された収量向上は苗立ちの向上と関係しているものと推察される．

また，2022年ほど明瞭ではなかったものの，2020年のダイズ作においても排水対策により収量の平均値が向上していた．2020年のダイズ作の株数は坪刈収量には明瞭な違いはみとめられなかったが，施工区において標準偏差は縮小し，m^2当たり株数は高位安定となっていた（第4表）．圃場の外縁部といった坪刈区以外の箇所において，苗立ちが向上していた可能性が考えられる．その要因の一つとして，当初は湧水の処理のために使用していたソーラーポンプが，結果的に地表面や補助暗渠を通じて盛土箇所に集まった水の排出に貢献していた可能性がある．

4．今後の課題

清水ら（2020）によると，切土盛土によって造成された圃場では下層土の土性が切土箇所と盛土箇所で異なっていることが示されている．本研究では，盛土箇所の沈降の直接の原因を解明するには至らなかったが，圃場造成時の下層土内の空隙が時間の経過とともに圧縮されていることなどが原因として考えられる．盛土箇所の沈降の原因については，さらなる観測の継続や，データの収集によって詳細が明らかになると推察される．

第1表に示したように，2020年の排水対策では575 m 10 a^{-1}の密度で施工したが，2022年では弾丸暗渠の施工密度を減らし，229 m 10 a^{-1}としても収量向上効果が見られた．2022年の試験圃場の土性は壌土であったことから，使用した弾丸暗渠の空隙は砂壌土の圃場よりも持続し易かった可

能性が考えられる．一方で，盛土箇所における圃場表面の沈降に関しては壌土圃場，砂壌土圃場の両方において発生しており，作土層の土性との明瞭な関係はみとめられなかった．すなわち本排水対策技術は，砂壌土においてはもみ殻暗渠を主体的に使用することで同様の効果が得られるものと考えられる．今後，圃場の立地や土性に応じて，最適な施工機や施工頻度，密度について，さらにデータを収集し検討する必要がある．一方で，本排水対策技術は本暗渠の施工など大掛かりな土木工事と異なり補助暗渠を主体としていることから，設計図があれば生産者の手で排水対策を作付けの合間に計画・実施できる利点がある．本排水対策ではダイズを対象に有意な結果が得られたが，降雨後の土壌水分が速やかに低下していたことから，ムギ類の播種前の排水対策にも活用が可能と考えられる．また，補助暗渠に加えて，「カットドレーン」（北川 2013）などの穿孔暗渠施工機において，使用方法として畦畔から直接穿孔暗渠を施工し排水する方法が示されている．切土盛土の分布地図を用いれば，圃場内に立ち入って測量することなく圃場表面の勾配の傾向を推定できることから，新規に設置する排水口の位置の選定に圃場造成履歴を応用できるのではないかと考えられる．

5．まとめ

本研究では3か年5作期にわたって，圃場造成履歴に着目し，中山間地域の本暗渠未施工の水田転換畑に対応した補助暗渠による排水対策技術の検討・開発を行った．その結果，トラクタにRTK測量機材を設置し圃場表面の起伏を計測することにより，盛土箇所で圃場表面が沈降していることを明らかにした．その上で，過去の航空写真との差分により圃場内の水が集まりやすい盛土箇所を明らかにして排水口の位置の検証を行うこと，補助暗渠により盛土箇所に集水し圃場外に排出することを組み合わせた排水対策技術を開発した．本排水対策技術により，雨水が圃場外へ速やかに排出され，ダイズを対象に播種後の苗立ちおよび収量の向上が可能であることを示した．切土盛土による元地形からの変化量が大きい中山間地域においては，圃場造成履歴に基づき排水口の位置を検証し，盛土箇所への集水を利用することで，多収化を目指す余地は大きいと考えられる．

謝辞：本調査の遂行にあたり，農事組合法人の土本伸幸代表理事組合長をはじめとする法人の皆様には現地圃場の栽培管理でお世話になりました．伊達勇太氏，西川允雲氏，溝上季和氏，清水淳弘氏をはじめとする農研機構技術支援部西日本第1業務科の皆様には排水対策の施工に協力いただきました．農研機構西日本農業研究センターの石川直幸氏にはムギ類の生育調査に協力いただきました．高橋英博氏，浅見秀則氏には圃場の選定，法人の作業情報の収集について協力をいただきました．ここに記して謝意を表します．

引用文献

有原丈二 1998. 出芽で決まる大豆の収量. 農業技術体系作物編 6 追録20号: 技 178 の10-178 の 13.

Bajgain, R., Kawasaki, Y., Akamatsu, Y., Tanaka, Y., Kawamura, H., Katsura, K., and Shiraiwa, T. 2015. Biomass production and yield of soybean grown under converted paddy fields with excess water during the early growth stage. Field Crops Research. 180: 221-227.

広島県 2024. Ⅲ 大豆栽培基準.https://www.pref.hiroshima.lg.jp/uploaded/attachment/568114.pdf（2024 年 6 月 17 日閲覧）.

兵庫県 2022. 稲・麦・大豆作等指導指針（第 2 章麦作）. https://web.pref.hyogo.lg.jp/nk12/documents/2syou.pdf（2024 年 6 月 17 日閲覧）.

井上久義・細川雅敏・内田晴夫 2003. 中山間傾斜地域の整備圃場における排水不良とその対策. 農業および園芸 78: 45-55.

片山勝之・川崎洋平・山崎諒・亀井雅浩 2018. 山間地域水田転換畑のチゼルプラウ耕は排水性改善によりダイズの生育・収量を向上させた. 日本作物学会紀事 87: 312-318.

川崎洋平・浅見秀則・藤本寛 2024. 温暖地西部における黒大豆新品種「黒招福」の狭畦密植栽培の検討. 日本作物学会紀事 93: 132-139.

北川巌 2013. 農家が使える無資材･迅速な穿孔暗渠器「カットドレーン」. 農村工学研究所普及成果情報. https://www.naro.go.jp/project/results/laboratory/nkk/2013/13_001.html（2024 年 6 月 17 日閲覧）.

Mochizuki, H. and Sakaguchi, I. 2020. Linear function for calibrating capacitance and frequency domain reflectometry（EC-5）for soil water monitoring by introducing slope-intercept relationship. Soil Science and Plant Nutrition. 66: 531-540.

中山則和・橋本俊司・島田信二・高橋幹・金榮厚・大矢徹治・有原丈二 2004. 冠水ストレスが発芽時のダイズに及ぼす影響と種子含水率調節による冠水障害の軽減効果. 日本作物学会紀事 73 ： 323-329.

農林水産省 2023. 中山間地域等について. https://www.maff.go.jp/j/nousin/tyusan/siharai_seido/s_about/cyusan/（2024 年 6 月 17 日閲覧）.

農林水産省 2024. 大豆をめぐる事情. https://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/daizu/attach/pdf/index-24.pdf（2024 年 6 月 17 日閲覧）.

大木信彦・髙橋将一・小松邦彦・高橋幹・中澤芳則・河野雄飛・松永亮一 2019. 機械収穫適性に優れる暖地・温暖地向け黒大豆品種「黒招福」. 九州沖縄農業研究センター研究成果情報. https://www.naro.go.jp/project/results/4th_laboratory/karc/2019/karc19_s04.html（2024 年 6 月 17 日閲覧）.

坂本英美・千田雅之 2015. 中国中山間地域における集落営農法人の現状と課題－広島県内集落営農法人アンケートに基づく―. 中央農業総合研究センター研究資料 10: 58-77.

坂本英美・駄田井久・横溝功 2017. 中山間地域における転作大豆の単収に及ぼす要因と課題－広島県における集落営農法人を事例として－. 農林業問題研究 53: 31-36.

Shimada, S., Hamaguchi, H., Kim, Y., Matsuura, K., Kato, M., Kokuryu, T., Tazawa, J., and Fujimori, S.2012. Effects of water table control by Farm-Oriented Enhancing Aquatic System on photosynthesis, nodule nitrogen fixation, and yield of soybeans. Plant Production Science. 15: 132-143.

清水裕太・松森堅治 2020. SfM 多視点ステレオ写真測量による過去の空中写真からの三次元地形モデルの構築. 新近畿中国四国農業研究. 3: 1-7.

清水裕太・望月秀俊 2020. 中山間地水田の排水性に与える耕起法および地下水の影響. 日本水文科学会誌 50: 13-17.
清水裕太・望月秀俊・松森堅治 2020. 中山間地における圃場整備によって造成された棚田の地下水流動特性. 日本水文科学会誌 50: 71-83.
杉本秀樹・雨宮昭・佐藤亨・竹之内篤 1988. 水田転換畑におけるダイズの過湿障害 第 1 報 土壌の過湿処理が乾物生産と子実収量に及ぼす影響. 日本作物学会紀事 57: 71-76.
棚田光雄 2002. 中山間地域における大規模水田作経営の展開と圃場条件. 農業経営研究 40: 126-129.
若杉晃介・藤森新作 2006. 転換畑の圃場面傾斜化による排水・灌漑促進効果. 農業工学研究所技報 204: 185-193.
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. 農業農村工学会誌 77: 705-708.

Development of Drainage Method Based on the Information of Artificial Landform Transformation in Upland Field Converted from Paddy Fields in Hilly and Semi-mountainous Areas

Yohei Kawasaki[1, 2], Yuta Shimizu[1], Hidetoshi Mochizuki[1], Ryo Yamazaki[1, 3], Satoko Yasumoto[1, 4] and Masayasu Saruta[1] ([1] *Western Region Agricultural Research Center, NARO, Fukuyama, 721-8514, Japan;* [2] *Strategic Planning Headquarters, NARO;* [3] *Institute of Crop Science, NARO;* [4] *Central Region Agricultural Research Center, NARO*)

Abstract: While productivity in converted paddy fields in hilly and semi-mountainous areas is important, excess moisture damage due to poor drainage is a serious problem in Japan. The objective of this study was to develop an effective drainage method for farmers, by focusing on the artificial landform transformation history of the fields.The experiment was conducted from 2020 to 2022 at fields in a hilly and semi-mountainous area in Higashi-Hiroshima, Hiroshima Prefecture, using a rice husk underdrain construction machine and a bullet underdrain construction machine for upland farming in a paddy field rotation. A construction map was created using past aerial photographs, and the underdrain was settled in the direction connecting the leveled and reclaimed areas. Subsidence of the ground surface was observed at the reclaimed area, and water was found to be collected in the reclaimed area. In 2022, the soybean seedlings and yields were improved by installing a drainage outlet in the reclaimed areas and by connecting the leveled and reclaimed areas through underdrains. Taking into consideration the location of the drainage outlet, a significant increase in the seed yield was observed. These results suggest that in hilly and semi-mountainous areas, the effect of drainage methods can be enhanced by focusing on the artificial developmental history of the fields.

Key words: Soybean, Barley, Seed yield, Upland field converted from paddy field, Hilly and semi-mountainous area, Artificial landform transformation, Drainage outlet, Underdrain.