

水田圃場枕地の排水不良に対する改善手法の検討（第1報）

北海道農政部農村計画課 大方緒憲

北海道空知総合振興局 渡辺正幸・佐々木亮祐

（一財）北海道農業近代化技術研究センター ○小林英徳

1. はじめに

空知総合振興局管内の水田地帯には、排水不良な粘質土壌が広く分布しており、これまでに排水不良対策として、農業農村整備事業により暗渠排水を整備してきた。

1980年代では、排水性向上、持続性向上のための疎水材投入、その後地域発生資材の活用等疎水材の多様化、2000年に入ると長寿命化のための集中管理孔方式の導入（暗渠管内洗浄）など、整備内容、整備水準が進化してきた。

しかし、近年は水稻収穫期の多雨傾向により、大型農業機械が転回する枕地部分では、こね返しによる表層の泥濘化、深い轍の形成により圃場内の排水性悪化の要因となっている。その結果、降雨後に停滞水（湛水）が生じ、暗渠排水の整備によって圃場全体の排水性が確保されても枕地部分が支障となり適期収穫が困難となるため、枕地部分の排水性改善が求められている。特に、用水路側の枕地は、排水路までの距離が長くなるため、排水不良の傾向が顕著であり、一筆の圃場内であっても排水路側の枕地と比べ排水性の良否に偏りがみられる。しかし、現時点では、圃場枕地部分の排水性改善手法は明確ではなく、排水対策の指標、施工基準等も示されていない。

このような背景から、2014年秋期に滝川市および深川市に試験圃場を設定し、2015年に実施した各試験圃場における調査データから、対策工の効果、有意性、課題点等の検討結果について報告する。

2. 調査方法

(1) 試験圃場の設定

調査の対象地域は、空知管内の水田地帯の代表的な土壌（粘性の強い細粒グライ土・細粒グライ低地土・細粒灰色台地土など）が分布する滝川市（台地土）と深川市（低地土）の2地域とした。

試験区は全て2012年に区画整理工事を行い、その工事において暗渠排水工（くし型、間隔10m、疎水材：ピリ砂利）も実施済である。

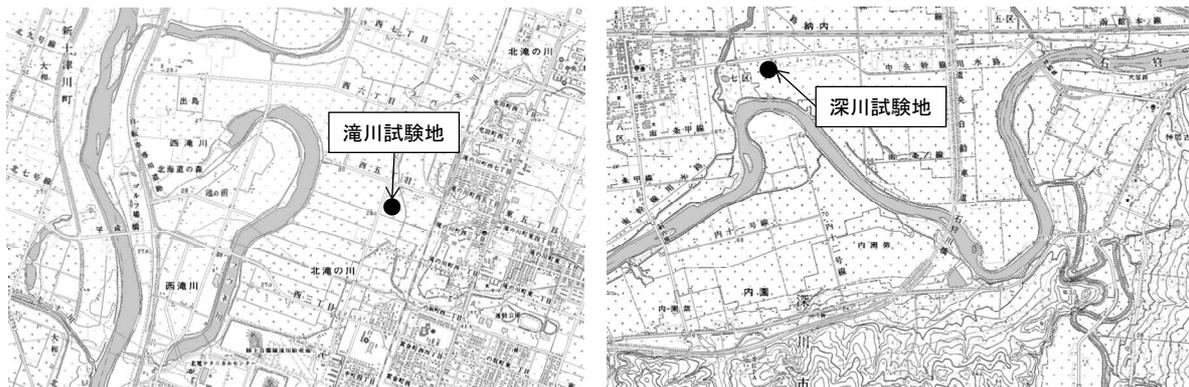


図-1 調査圃場位置図

試験圃場では、枕地部分の排水改良対策を実施した試験区を3区、未実施の対照区を1区設定した。

排水改良対策は、暗渠排水に余剰水（重力水）を速やかに導くために、作土層の直下に疎水材を敷設（置換または充填）することとし、疎水材には本暗渠の疎水材と同じ「ビリ砂利」を使用した。

試験区1～3の改良内容は、次のとおりである。

【試験区の改良内容】

試験区1：全面疎水材設置（作土直下を疎水材と置換）

試験区2・試験区3：溝型疎水材設置（補助暗渠溝に疎水材を充填）

試験圃場の各種条件は表-1、調査地点の位置関係を表-2、疎水材敷設状況は写真-1に示す。なお、試験区の排水改良範囲（疎水材の敷設範囲）は、「吸水渠の1本目と2本目の間から圃場の端部までを改良区間とする」こととして設定したため、滝川試験地は10m、深川試験地は8.5～9.0mとなり、試験圃場により改良範囲が異なる。

表-1 試験区設置条件一覧

試験地域	試験区No.	枕地部分(10m区域)疎水材設置状況	枕地部分疎水材	溝型間隔	面積(ha)
滝川	1	全面疎水材設置	ビリ砂利(5~25mm)	-	0.79
	2	溝型疎水材設置	ビリ砂利(5~25mm)	@2.5m	0.79
	3	溝型疎水材設置	ビリ砂利(5~25mm)	@5.0m	0.79
	対照区	疎水材なし	なし	なし	0.86
深川	1	全面疎水材設置	ビリ砂利(5~25mm)	-	0.65
	2	溝型疎水材設置	ビリ砂利(5~25mm)	@5.0m	0.63
	3	溝型疎水材設置	ビリ砂利(5~25mm)	@10.0m	0.63
	対照区	疎水材なし	なし	なし	0.30

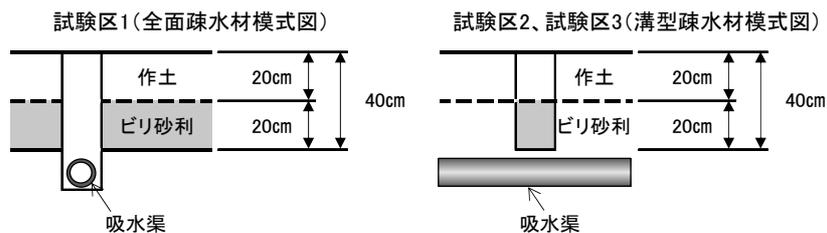


図-2 疎水材設置状況

表-2 各試験区における調査地点一覧

試験地域	試験区No.	距離 (m)								
		a	b	c	d	e	f	g	h	i
滝川	1	5.0	10.0	10.0	5.0	7.5	3.8	7.5	/	/
	2	5.0	10.0	10.0	5.0	7.5	/	7.5	2.5	1.3
	3	5.0	10.0	10.0	5.0	7.5	/	7.5	5.0	2.5
	対照区	5.0	10.0	10.0	5.0	7.5	/	7.5	/	/
深川	1	5.0	10.0	8.0	3.5	7.5	2.6	6.8	/	/
	2	5.0	10.0	8.0	4.0	7.5	/	7.0	5.0	2.5
	3	5.0	10.0	8.0	3.5	7.5	/	6.8	10.0	5.0
	対照区	5.0	10.0	8.0	4.0	7.5	/	7.0	/	/

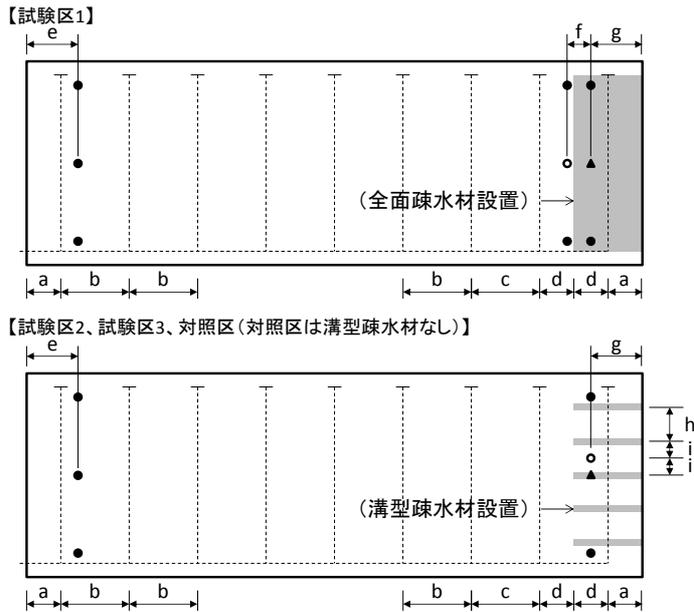


写真-1 疎水材 (粒径 5~25mm)

凡 例	
○	土壌水分(疎水材渠間部)および地耐力、含水比調査地点
▲	土壌水分(疎水材直上部)および地耐力、含水比調査地点
●	地耐力、含水比調査地点

図-3 試験区内調査地点模式図

(2) 調査項目

① 降水量

降水量の経時変化を把握するために、滝川試験地、深川試験地の代表地点各 1ヶ所 (計 2ヶ所) に気象観測機器 (ロガー式) を設置し、1 時間毎の降水量データを取得した。

② 土壌水分ポテンシャル (pF 値の変化、水分量の変化)

土壌水分ポテンシャル、水分量の変化を把握するために、各試験地の試験区 (8 圃場) に土壌水分計 (ロガー式) を設置した (図-4: 標準的な設置模式図)。

測定期間は、水田の落水後から収穫前までの水稻栽培期間と収穫後の秋期とした。

各試験区の測定深度は、15cm (作土層) ・ 25cm (耕盤層) ・ 35cm (心土層) の 3 深度とした。対照区を除く各試験区は、作土直下に疎水材を充填した地点 (疎水材充填区) と疎水材のない地点 (疎水材渠間区) の双方において測定を実施した。

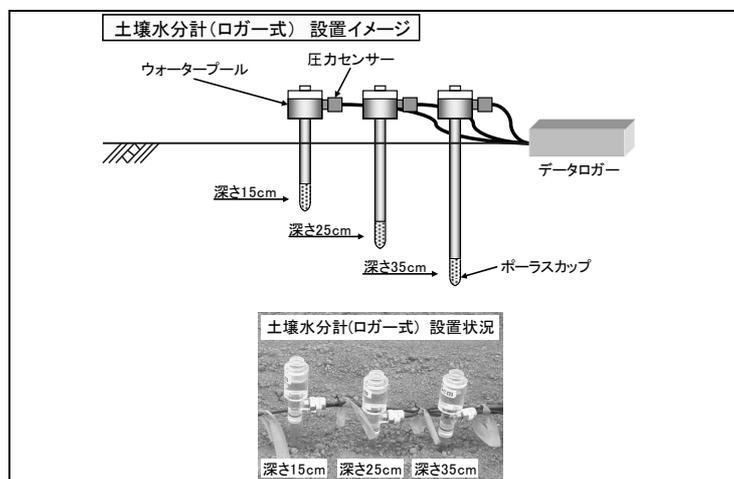


図-4 土壌水分計 (ロガー式) 標準的な設置模式図

③地耐力（コーン指数）・含水比

「暗きよ排水設計指針」では、「計画地下水位および低下日数」の指標として、機械の走行に必要な地耐力を確保するための条件として、①降雨後 2～3 日の地下水位、②常時地下水位（降雨後 7 日以降）の 2 つを標準としている。

このことから、各試験区における降雨後の地耐力の差異を確認するために、降雨後 2～3 日および 1 週間後程度のコーン指数を貫入式土壌硬度計により測定した。

また、各試験区における表層の水分状態の差異を確認するために、地耐力調査と同一日・同一地点において、表層の含水比を測定した。

④農家聞き取り

試験圃場を設定した各試験地の農家に対し、各試験区における営農作業状況等について聞き取り調査を行った。

3. 調査結果

(1) 降水量

2015 年の旬別降水分布を図-5 に示す。

平年値（アメダス滝川および深川地点 1981～2010 年の 30 年平均値）を上回る多雨期間は、滝川試験地では 8 月中旬（平年比 198%）、10 月上旬（平年比 119%）となっており、水稻の収穫が実施された 9 月中旬の旬別降水量は平年値をやや下回った（92%）。

また、深川試験地では 8 月中旬（平年比 145%）、9 月上旬～9 月下旬（平年比 103～139%）、10 月下旬（平年比 141%）に平年値を上回る多雨となったが、水稻の収穫が実施された 10 月上旬の旬別降水量はほぼ平年並みであった（103%）。

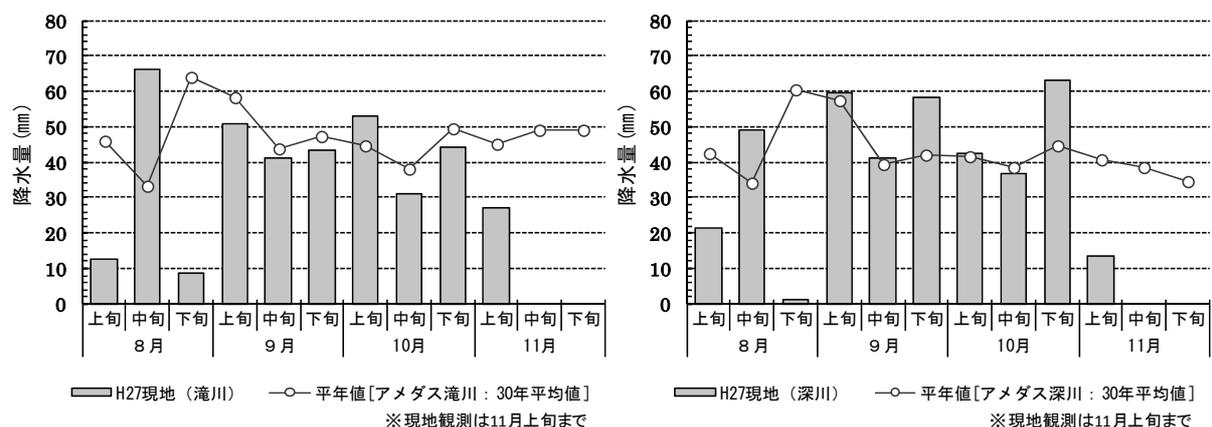


図-5 各試験地における旬別降水量の比較（2015年）

(2) 土壌水分ポテンシャル

収穫時の農作業機械の走行性（地耐力）の評価では、深度 15cm までの測定データで評価するのが一般的である。

よって、土壌の乾燥傾向の評価では、各試験区の疎水材設置区域（用水路側）の渠間中央部（疎水材渠間区）と対照区の深度 15cm の土壌水分ポテンシャル（pF 値）の変動を比較した（図-6,7 参照）。

① 土壌の乾燥傾向の評価

【滝川試験地】（図-6 参照）

各試験区の収穫前（9/4～9/12）の疎水材渠間区（深度 15cm）の pF 値の変動は、いずれも対照区を上回る乾燥状態で推移した。最も pF 値が上昇したのは、試験区 3（溝型疎水材 @5m）で、次いで試験区 2（溝型疎水材 @2.5m）、試験区 1（全面疎水材）の順となった。

【深川試験地】（図-7 参照）

各試験区の収穫前（9/29～10/7）の疎水材渠間区（深度 15cm）の pF 値の変動は、降雨の影響により圃場容水量（pF1.5～1.8 程度）を下回る湿潤期間が多くなっている。そのなかで、最も pF 値が上昇したのは、試験区 3（溝型疎水材 @10m）で、次いで試験区 1（全面疎水材）の順となった。一方、試験区 2（溝型疎水材 @5m）は、他の試験区に比べてやや湿潤に推移する期間がみられたが、降雨の少ない 10/4 以降は他の試験区と同等に推移した。

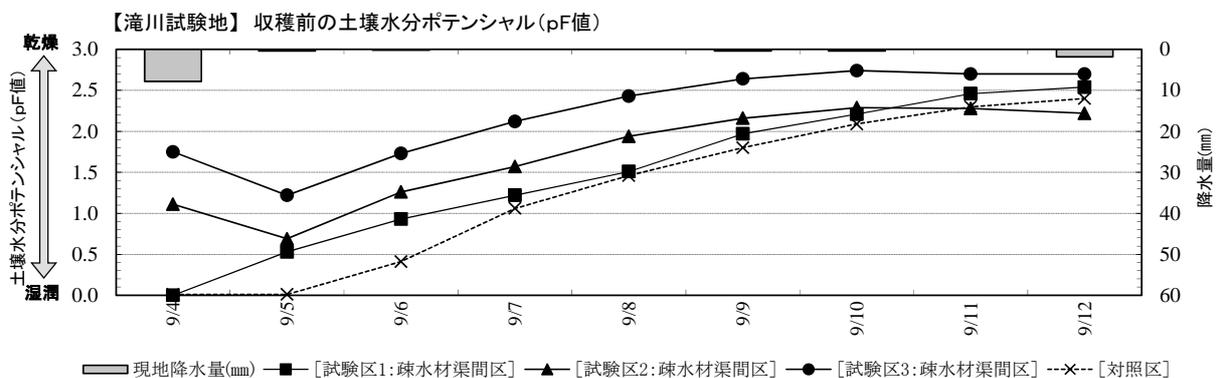


図-6 滝川試験地における収穫前の土壌水分ポテンシャル (pF 値)

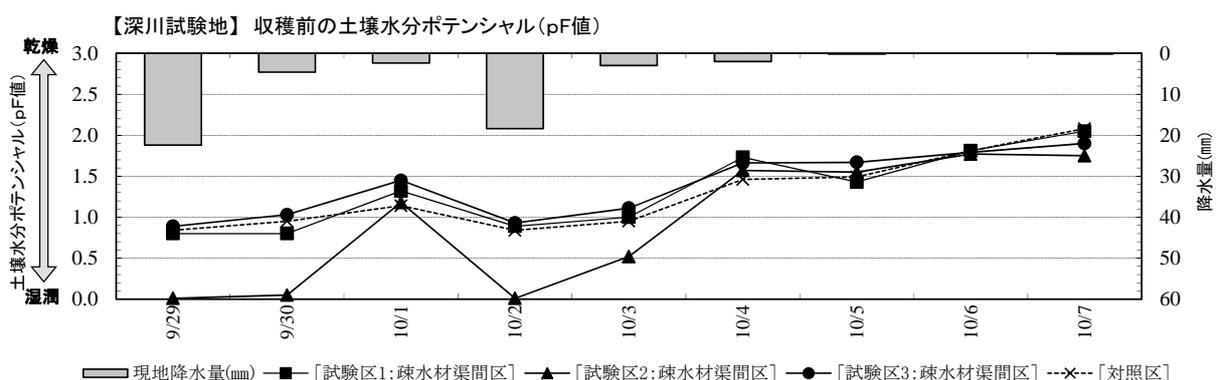


図-7 深川試験地における収穫前の土壌水分ポテンシャル (pF 値)

② 土壌の乾燥過程における水分減少量の算定

各試験地における試験区ごとの枕地排水改良効果を判定するために、収穫期の降雨後に pF 値が低下（湿潤）した日から土壌が乾燥するまでの期間の深度 15cm（作土層）、25cm（耕盤層）、35cm（心土層）における体積含水率の変化から水分減少量を算定した。

計算期間は、降雨翌日から土壤乾燥後の pF 値が重力水として排除され「圃場容水量 (pF1.5~1.8 程度)」まで乾燥する期間とした。

【滝川試験地】 (表-3 参照)

各試験区の収穫前の期間 (9/5~9/7) における疎水材渠間区の深度 0~40cm の水分減少量は、試験区 1 (8.0mm) > 試験区 2 (6.4mm) > 試験区 3 (5.6mm) の順となった。

【深川試験地】 (表-4 参照)

各試験区の収穫前の期間 (9/5~9/7) における疎水材渠間区の深度 0~40cm の水分減少量は、試験区 1 (2.4mm) > 試験区 3 (1.7mm) > 試験区 2 (1.4mm) の順となった。

以上のことから、降雨後の水分減少量の各試験区間の差異はわずかであったが、試験区 1 が試験区 2 および試験区 3 に比べて水分減少量がやや大きくなる傾向がみられた。

表-3 滝川試験地における各試験区 (収穫前) の水分減少量算定結果

滝川試験地 (観測期間: 9/5~9/7)

測定 深さ (cm)	試験区1 (全面疎水材)					試験区2 (溝型疎水材@2.5m)					試験区3 (溝型疎水材@5m)				
	計算開始日		計算終了日		水分 減少量 (mm)	開始日		終了日		水分 減少量 (mm)	開始日		終了日		水分 減少量 (mm)
	pF値	含水率 (vol%)	pF値	含水率 (vol%)		pF値	含水率 (vol%)	pF値	含水率 (vol%)		pF値	含水率 (vol%)	pF値	含水率 (vol%)	
10~20	0.53	55.0	1.22	47.3	7.7	0.69	61.7	1.57	58.9	2.8	1.22	48.5	2.12	46.7	1.8
20~30	1.09	49.3	1.31	49.2	0.1	0.01	63.2	1.43	59.6	3.6	1.29	48.0	1.99	47.5	0.5
30~40	1.00	50.8	1.26	50.6	0.2	0.01	67.4	0.01	67.4	0.0	0.24	58.1	1.68	54.8	3.3
計					8.0					6.4					5.6

表-4 深川試験地における各試験区 (収穫前) の水分減少量算定結果

深川試験地 (観測期間: 9/5~9/7)

測定 深さ (cm)	試験区1 (全面疎水材)					試験区2 (溝型疎水材@5m)					試験区3 (溝型疎水材@10m)				
	計算開始日		計算終了日		水分 減少量 (mm)	開始日		終了日		水分 減少量 (mm)	開始日		終了日		水分 減少量 (mm)
	pF値	含水率 (vol%)	pF値	含水率 (vol%)		pF値	含水率 (vol%)	pF値	含水率 (vol%)		pF値	含水率 (vol%)	pF値	含水率 (vol%)	
10~20	1.20	61.3	2.06	59.5	1.8	1.03	59.9	1.84	58.6	1.3	1.44	59.1	1.84	57.5	1.6
20~30	1.70	54.8	2.14	54.2	0.6	1.92	55.7	1.90	55.7	0.0	1.37	53.1	1.68	53.0	0.1
30~40	1.76	48.3	1.89	48.3	0.0	1.13	45.9	1.65	45.8	0.1	1.21	53.3	1.57	53.3	0.0
計					2.4					1.4					1.7

(3) 地耐力・含水比

①地耐力 (コーン指数)

滝川試験地では、水稻の収穫前・収穫後のほかに、降雨後 2~3 日で 1 回、降雨後 7 日以降で 3 回、それ以外の降雨後 4~6 日で 2 回の計 8 回の調査を実施した。また、深川試験地では、水稻の収穫前・収穫後のほかに、降雨後 2~3 日で 1 回、降雨後 7 日以降で 2 回、それ以外の降雨後 4~6 日で 2 回の計 7 回の調査を実施した。

各試験区の溝型疎水材設置区域 (用水路側) の渠間中央部 (疎水材渠間区) と対照区における地耐力調査結果は、次のとおりである。

【滝川試験地】 (図-8 参照)

収穫前 (9/18) の各試験区の地耐力は、試験区 1 (1.12MPa) および試験区 3 (0.99MPa)

は、対照区の地耐力（0.68MPa）を上回る良好な状態であった。一方、試験区2（0.49MPa）の地耐力は対照区を下回ったが目標値（0.39MPa）は満足した。

次に、全ての調査日の地耐力では、試験区1および試験区3は、対照区の地耐力を上回った。各調査日で地耐力が最大となった回数は、試験区3が5回と最も多く、次いで試験区1（4回）であった。一方、試験区2は、目標値は満足するが、9/8（降雨後4日）を除く全ての調査日において対照区の地耐力を下回った。

【深川試験地】（図-9 参照）

収穫前（10/7）の各試験区の地耐力（試験区1：1.06MPa、試験区2：0.94MPa、試験区3：0.91MPa）は、いずれも対照区の地耐力（0.71MPa）を上回る良好な状態であった。

次に、全ての調査日の地耐力では、試験区1および試験区3は、対照区の地耐力を上回った。各調査日において地耐力が最大となった回数は、試験区1が5回と最も多く、次いで試験区3（2回）であった。一方、試験区2は、収穫後の秋期（10/11）にわずかに対照区を下回る場合もみられたが、それ以外の調査日では対照区の地耐力を上回った。

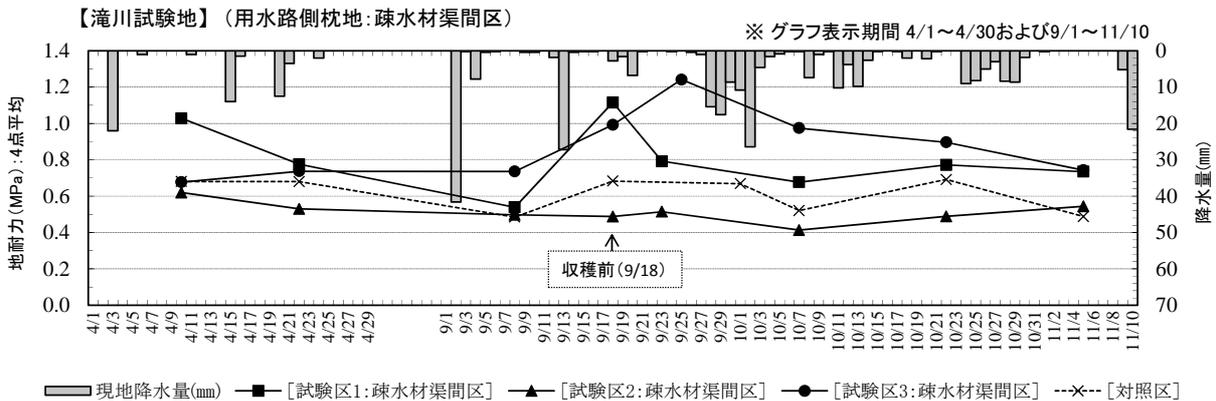


図-8 滝川試験地における各試験区の地耐力調査結果

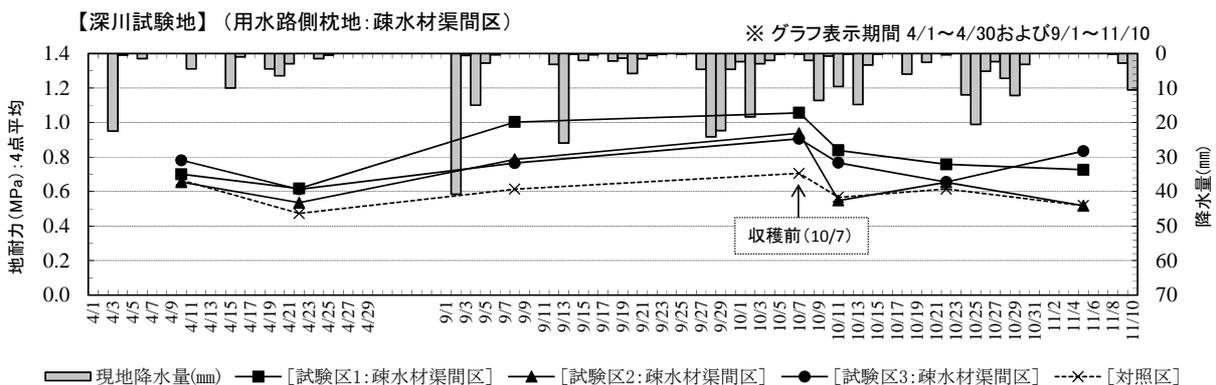


図-9 深川試験地における各試験区の地耐力調査結果

②含水比

各試験区の溝型疎水材設置区域（用水路側）の渠間中央部（疎水材渠間区）と対照区における含水比調査結果は、次のとおりである。

【滝川試験地】（図-10 参照）

収穫前（9/18）の各試験区の含水比は、試験区1（45.0%）および試験区3（40.5%）は、対照区の含水比（68.1%）に比べて小さく、同一時点で表層が乾燥していたことを示している。しかし、試験区2（68.9%）は、対照区と同等の値を示した。

また、全ての調査日の含水比では、試験区1および試験区3は、対照区よりも小さく、乾燥傾向を示しており、含水比が最少となる回数は試験区3が5回と最も多く、次いで試験区1（2回）であった。一方、試験区2は、対照区と同等の値で推移した。

【深川試験地】（図-11 参照）

収穫前（10/7）の各試験区の含水比は、試験区1（56.6%）および試験区3（55.0%）は、対照区の含水比（58.3%）に比べて小さく、同一時点で表層が乾燥していたことを示している。しかし、試験区2（59.5%）は対照区をやや上回る湿潤傾向を示した。

また、全ての調査日の含水比では、試験区1および試験区3は、耕起前（4/22）を除く全ての調査日において対照区よりも小さく、乾燥傾向を示しており、含水比が最少となる回数は試験区3が4回と最も多く、次いで試験区1（2回）であった。一方、試験区2は対照区の含水比を上回る場合がみられたが、その差は2~7%程度であった。

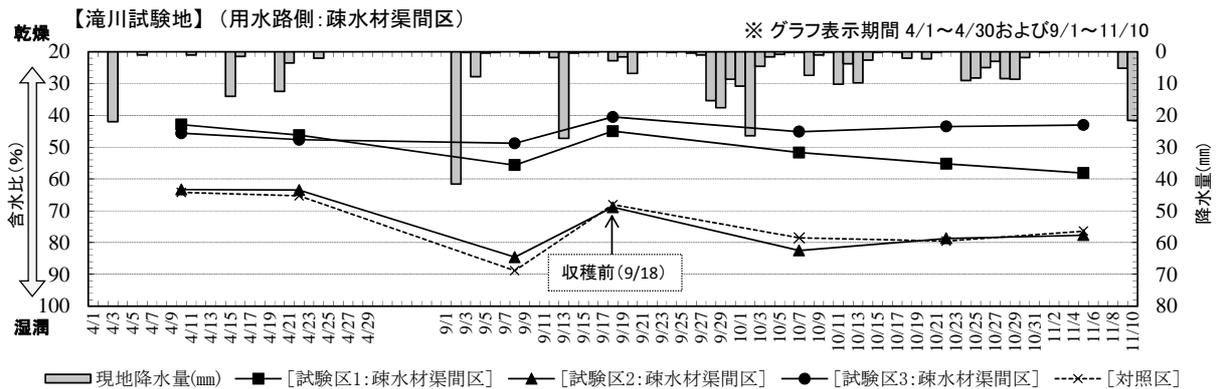


図-10 各試験区における調査地点別含水比の変動（滝川試験地）

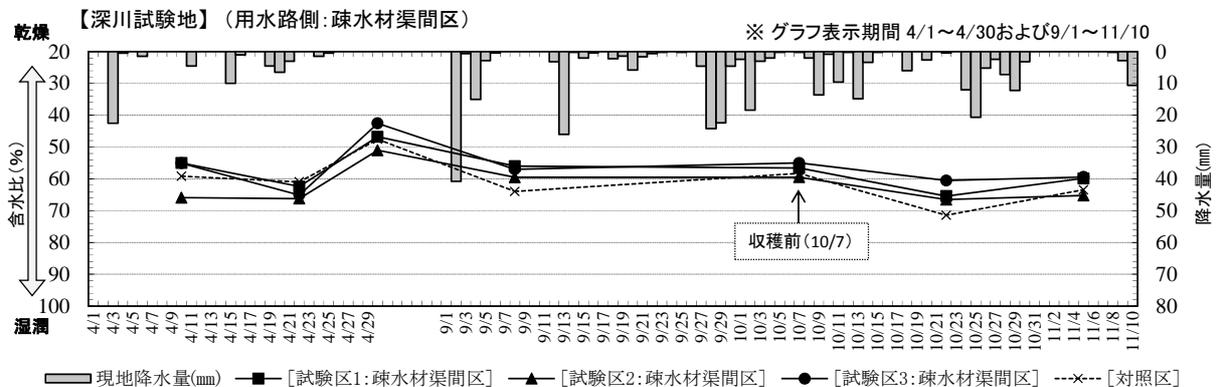


図-11 各試験区における調査地点別含水比の変動（深川試験地）

(4) 農家聞き取り調査結果

【滝川試験地】

融雪期の排水状況は、対策前と特に変わらないが、試験区1と試験区2において、耕起・碎土時の作業機械の走行性が良好であり枕地排水改良効果を感じている。

一方、代かき作業時では、試験区1で作業機械がぬかる危険性を感じており、その後の田植作業時においても作業機械が砂利の上を走行している感覚があったが、収穫作業時には不具合がなかったため、2016年以降は改善が期待されるとした。

防除作業は、全ての圃場でピークルによって適期に実施できたため特に問題はなかった。

収穫作業では、轍にならないよう作業機械の急速な転回を行わないようにしており、作業中にこね返しによる段差が発生した場合はキャタピラで均すなどの営農努力による対応を行っている。

また、各試験区とも枕地排水改良効果により施工前に比べて圃場が安定したと感じている。一方、枕地排水改良の施工にあたり、作業機械の走行性（ぬからない条件）から、最適な疎水材の検討（種類、粒径等）が必要であるとした。

【深川試験地】

融雪期の排水状況は良好で乾燥が進み、各試験区とも耕起および碎土作業時の状態は良好であった。

しかし、代かき作業時では、試験区1の枕地排水改良部分（全面疎水材設置）でホイールトラクタによる作業が困難であったため、フルクローラトラクタに変更したが改善されず、その後の田植作業時にはピリ砂利が流動し、田植機の車輪がはまり込み、作業機械の走行が不安定な状況であった。

一方、収穫作業時は特に問題はなく轍の発生はみられていないとした。

枕地排水改良を実施する場合、表土は20～25cmは必要であるとし、さらに、改良工法としては全面疎水材設置の試験区1はり底盤を壊してしまうため、試験区2および試験区3が適しているとした。

(5) 調査結果のまとめ

本調査は、枕地の排水性を改善し多雨条件下の秋期でも作業性を確保するための対策工法について評価検証することが目的である。余剰水（重力水）を速やかに本暗渠（吸水渠）に誘導し、作土の含水比を低下させることで、作業機械の走行性を確保し、収穫作業時のこね返し、轍の湛水等の発生を抑制することがねらいである。

2015年の降雨後の土壌の乾燥傾向から、両試験地ともに試験区1～3が対照区に比べ良好な状態が確認され、対策工の施工の効果が発現し、「枕地部下層の排水性が確保」されていた。

さらに、コーン指数による地耐力評価では、各試験区とも耕耘・収穫期において農作業機械の走行性の目標値を上回っており、「作土の含水比を低下させ作業機械の走行性を確保」されていたと判断できる。

また、聞き取り調査から、「収穫作業時にこね返しの発生」はみられていない。

このように、疎水材で置換または疎水材を充填する対策工法の効果は確認できた。しか

し、各試験区の効果の程度を比較すると、必ずしも当初想定した順位（試験区1>試験区2>試験区3）と傾向が一致しない場合があった（表-5参照）。

これは、もともとの土壌が、排水性に関与する粗間隙が小さいといった粘質土の特性や、施工前の圃場条件において排水性の悪い順に排水改良効果が高いと想定される対策工法を実施したことで、試験区間の差異が緩和されたことなどが要因であると思われる。

表-5 調査データによる排水性改善効果（対策工）の順位

	滝川試験地				深川試験地			
	試験区1 (全面)	試験区2 (溝型 2.5m)	試験区3 (溝型 5m)	対照区	試験区1 (全面)	試験区2 (溝型 5m)	試験区3 (溝型 10m)	対照区
対策工の実施により期待される排水性改善効果	◎	○	△	—	◎	○	△	—
対策前 施工前における圃場の排水性（農家聞き取り）	△	△	○	◎	△	△	○	◎
対策後	土壌の乾燥傾向	○	○	◎	△	○	△	○
	枕地排水改良部における水分減少量	◎	○	○	—	◎	○	○
	地耐力	○	△	◎	○	◎	○	△
	含水比	○	△	◎	△	○	△	◎
	総合判定	○ (2.3)	△ (1.5)	◎ (2.8)	△ (1.3)	◎ (2.5)	△ (1.5)	○ (2.3)

※総合判定（数値）～◎：優（3点）、○：良（2点）、△：可（1点）とした場合の対策後の平均値

4. おわりに

今回の枕地排水対策では、全面疎水材設置と溝型疎水材設置の試験区を設定した。

対照区に比べ良好な結果は得られたが、試験区ごとに疎水材設置の密度が異なることで、施工直後の短期的な排水機能にはやや差がみられた。その効果の程度は、圃場間の排水性の差異も関与し、当初想定した効果の程度（順位）と実際の傾向とは一致しない場合もみられた。

枕地の排水性にかかわる主な要因として、「①土壌の性質と暗渠排水による下層土層の排水性の確保」と、「②作土の土壌水分低下による土壌の乾燥」があげられる。2015年の調査では、各試験区とも収穫期における地耐力は目標値を満足しており、農作業機械の走行性は良好であったことから、暗渠施工の効果により下層土層の排水性は確保されていると判断される。

このため、2016年は「作土の土壌水分低下による土壌の乾燥」を主体に調査を実施し、各試験区における排水性改善効果の確認を行っている。

秋期や融雪期の作土の水分状態は、適切な営農作業（溝切りや心土破碎等）の実施の有無の影響が大きく、多水分状態が続くと、作業機械の走行に支障が生じ、特に転回による土壌のこね返しの原因となる。また、作土の水分状態と走行の容易さ、轍の形成・こね返しの程度には、土壌のコンシステンシー（液性限界・塑性限界）も関与する。

よって、土壌水分ポテンシャル、地耐力・含水比とあわせて、土壌のコンシステンシーの評価も加味し、各試験区における排水性改善効果の差異を明らかにする。

さらに、施工費との関係をもとに経済性を加味した対策工法の適応性について評価検証を行う予定である。