

積雪寒冷地における大区画圃場の 整備技術に関する研究 —大区画整備圃場における施工方法と土壌性状の変化—

国立研究開発法人 土木研究所寒地土木研究所 資源保全チーム ○桑原 淳
大友 秀文
横川 仁伸

大区画化整備が行われた泥炭土の水田圃場において、切盛土の施工方法が異なる圃場の施工段階ごとの土壌調査を行った。結果、湿地ブルドーザーによる押土作業が行われた圃場の盛土側では、泥炭土である表層土の地耐力が0.2Mpa以下まで低下し、飽和透水係数は 10^{-4} m/sのオーダーまで大きくなっていた。これは湿地ブルドーザーによる押土作業により泥炭土の土壌構造がある程度破壊されたためと考えられた。

キーワード：大区画整備圃場、土壌物理性、排水性

1. はじめに

北海道では、農業機械による農作業を効率化し労働時間を短縮することで、収益性の向上を図る農地の大区画化整備が行われている¹⁾。しかし、農地基盤が泥炭土や粘性土といった排水不良の土壌である場所も多く、施工機械の繰り返しにより、施工後の土壌物理性が悪化する事例も報告されている^{2,3,4)}。

施工現場では基盤面の過湿や施工機械の繰り返しを回避する対策が行われている。しかし、大区画圃場の施工段階ごとの土壌性状の変化を報告した事例は少なく、現場での取り組みが十分な効果を発揮しているか、定量的に評価できていない。筆者らは2017年度に基盤整備の切盛土作業で湿地ブルドーザーによる押土作業が行われた圃場（以下：C圃場）とキャリアダンプにより運土作業が行われた圃場（以下：D圃場）で調査を行った。このような施工方法の違いが、施工中および施工後の土壌物理性に及ぼす影響を検証した。

切土し、4cm程度盛土した。D圃場の調査地点の盛土に使用された泥炭土は、切土で発生した泥炭土ではなく、圃場東側の排水路の掘削残土であった。この残土は、D圃場の施工が行われた1ヶ月程前に排水路で掘削された泥炭土であり、排水路沿いに仮置きされていた。この泥炭土をD圃場の施工日にキャリアダンプで盛土側に運搬し、湿地ブルドーザーで盛土として敷均した。圃場内の切土で発生した泥炭土は、圃場の南西側に盛土した。

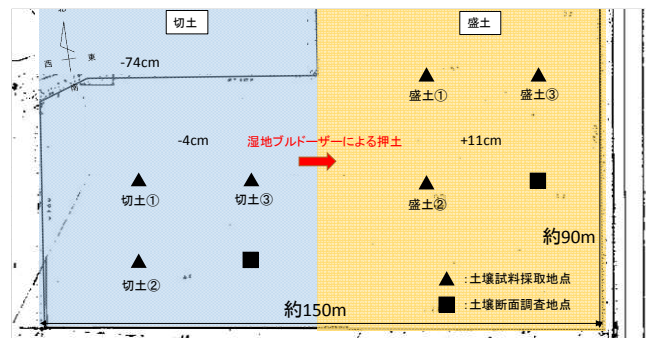


図-1 C圃場の平面図

2. 方法

(1) 調査地の概要

C、D圃場は、大区画に整備された水田圃場であり、表土下の基盤層には泥炭土が分布している。両圃場の平面図を図-1、2に示した。両圃場ともに表土はおよそ30cmであり、区画整備後に圃場の均平化を図るために切土（図の青色の範囲）と盛土（図の黄色の範囲）が存在する。土壌調査は、それぞれ切土3箇所、盛土3箇所の計6箇所で行った。C圃場の調査地点では、基盤層の泥炭土を4cm程度切土し、湿地ブルドーザーにより押土した後に、11cm程度盛土した。D圃場の調査地点では、9cm程度

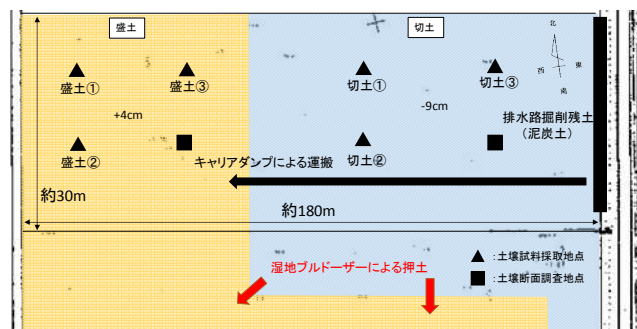


図-2 D圃場の平面図

(2) 調査時期と調査内容

土壌調査は、施工の各段階が終了するごとに実施した。表-1にその調査時期を示す。この施工段階ごとの土壌調査は、図-1および図-2に示した各6箇所で行い、深さ50cm程度までの土壌試料を採取した。ただし、D圃場の切土②地点では、施工中（表土剥ぎ後、切盛土後、表土戻し後）の調査が行えず、施工前と客土後のみ調査を行った。この土壌採取と同時に同一地点において、地耐力調査も行った。地耐力調査では、深さ1m程度のコーン指数を貫入式土壌硬度計により測定した。

これとは別に両圃場ともに切土、盛土側で1箇所ずつ土壌断面調査を行った（図-1、2）。土壌断面調査は施工前と施工後のみ行い、土層ごとに土壌硬度などを測定後、土壌試料を採取した。

各圃場6箇所で採取した土壌試料や土壌断面調査で採取した土壌試料は、表-2に示した分析項目に供試した。

表-1 各圃場の調査時期

施工項目	C圃場	D圃場
施工前	5月30日	6月27日
表土剥ぎ後	6月6日	7月7日
切盛土後	6月6日	7月7-9日
表土戻し後	7月5日	7月27日
客土後	8月8日	9月1日

調査年は2017年

表-2 土壌分析項目

分析項目	分析手法
含水率	通風乾燥法
容積重	通風乾燥法
三相比	実容積測定装置法
飽和透水係数	変水位法
孔隙分布	砂柱法および遠心法

調査圃場近傍の日降水量とC、D圃場の施工日を図-3に示した。特に6月は降雨の観測される日が続いたが、両圃場とも降雨の途絶えた日に施工が行われた。C圃場では、施工日の4日前に当たる6月3日に4.5mmの日雨量が観測され、D圃場では施工日の3日前に当たる7月4日に3.5mmの日雨量が観測された。

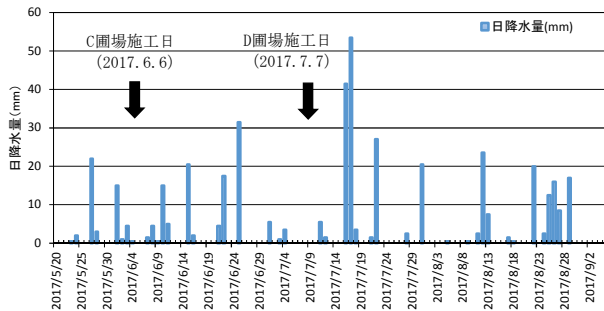


図-3 圃場近傍の日降水量 (気象庁アメダス観測所)

3. 結果と考察

(1) 土壌断面調査

CおよびD圃場の施工前の土壌断面図を図-4および図-5に示した。両圃場ともに、表土厚は30cm程度確保されており、土性区分は軽埴土であった。表土の直下は、低位泥炭が堆積した泥炭土層であった。

施工前の表土の土壌硬度（緻密土）は、C圃場で17~18mm、D圃場で15~16mmであった。両圃場ともに、表土内には、耕盤層と判定される土壌硬度（緻密土）が20mm以上の層はなかった。表土下には、表土と泥炭が混じった層が確認され、耕起などの耕作による影響が40cm近くまで及んでいた。

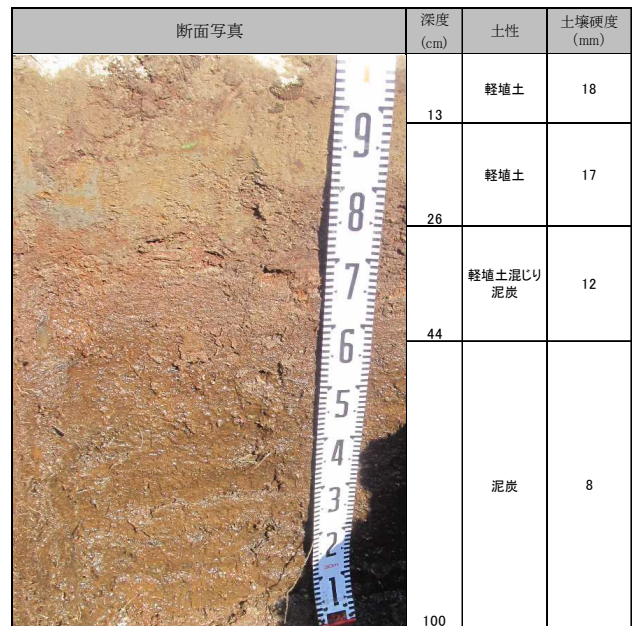


図-4 C圃場施工前の土壌断面図

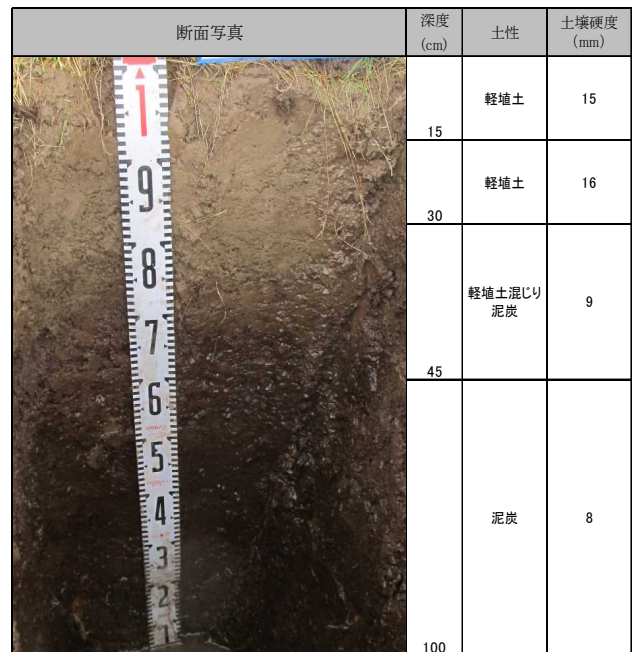


図-5 D圃場施工前の土壌断面図

(2) 土壌含水率

表-3にCおよびD圃場の土壌採取時期別の含水率の値を示した。C圃場の施工前調査では、調査の3日前に22mm/日の降雨量があり、2日前に3mm/日の降雨量があった。D圃場の施工前調査では、調査の2日前に31.5mm/日の降雨量があった。このため、両圃場ともに施工前調査の土壌水分は、調査前の降雨の影響をある程度残していると考えられる。この時の表土（0-15cm）の土壌含水率は、C圃場で27～31%、D圃場で24～29%であった。切土側、盛土側による土壌含水率に差はなかった。基盤層である泥炭土（30-45cm）の土壌含水率は、C圃場で63～82%、D圃場で68～83%であった。

施工開始時の表土（0-15cm）の土壌含水率は、C圃場で29%、D圃場で26%であった。この値は、施工前調査の表土（0-15cm）の土壌含水率と同程度であることから、施工開始時の表土にも降雨の影響はあると考えられる。施工は、降雨の合間を見計らって開始されるが、C圃場の施工が行われた6月のように降雨量が多いと限界はある。ただし、D圃場の施工が開始された7月上旬は、降雨量が少なかった。このため、施工時のD圃場の表土（0-15cm）の土壌含水率は、C圃場と比較すると低く、ある程度乾燥した状態での施工であったと推察される。

施工中の泥炭土の含水率で特徴が見られたのは、切盛土後の盛土側であった。C圃場では、切土側で発生した泥炭土を湿地ブルドーザによって押し盛土したため、切土と盛土の含水率に大きな違いはなかった。一方、D圃場では、排水路沿いに1ヶ月程度仮置きした泥炭土をキャリアダンプで運搬し盛土した。仮置きした泥炭土の表層はある程度乾燥しているため、切盛土後の盛土側で含水率の低い泥炭土が確認された。両圃場の施工方法の違いが影響していると考えられる。

表-3 CおよびD圃場の採取時期別、採取地点別、土壌深度別の含水率 単位：%

	C圃場			D圃場		
	表土(シルト) 0~15cm	泥炭土 15~30cm	泥炭土 30~45cm	表土(シルト) 0~15cm	泥炭土 15~30cm	泥炭土 30~45cm
施工前						
切土①	29	29	74	27	30	73
切土②	30	31	77	28	31	70
切土③	27	29	82	24	25	83
盛土①	31	33	63	29	30	81
盛土②	31	32	81	28	28	68
盛土③	30	31	78	29	33	82
施工開始時	29	-	-	26	-	-
表土剥ぎ後						
切土①	-	-	82	-	-	82
切土②	-	-	76	-	-	※
切土③	-	-	78	-	-	81
盛土①	-	-	81	-	-	81
盛土②	-	-	79	-	-	73
盛土③	-	-	73	-	-	74
切盛土後						
切土①	-	-	83	-	-	77
切土②	-	-	79	-	-	※
切土③	-	-	81	-	-	75
盛土①	-	-	79	-	-	69
盛土②	-	-	82	-	-	73
盛土③	-	-	76	-	-	62
表土戻し後						
切土①	34	40	82	31	39	75
切土②	33	44	78	28	39	72
切土③	43	54	81	30	54	81
盛土①	32	49	80	29	42	73
盛土②	40	51	82	28	39	72
盛土③	30	35	61	30	54	65
客土後						
切土①	35	34	81	31	33	75
切土②	36	39	81	30	31	82
切土③	21	32	77	29	34	78
盛土①	25	34	68	31	44	85
盛土②	31	46	68	29	34	81
盛土③	27	36	68	36	39	73

※：データ欠損

(3) 地耐力

図-6、7にCおよびD圃場の切盛土後の地耐力（貫入抵抗）を示した。図には切土側、盛土側3箇所の調査地点の内、代表として切土①および盛土①地点の結果を示した。切盛土直後の結果であるため、両圃場ともに表層には泥炭土が露出している。

表層0-10cmの地耐力に着目すると、C圃場では、表層5cmの地耐力は、切土①で0.27Mpa、盛土①で0.17Mpa、表層10cmの地耐力は、切土①で0.51Mpa、盛土①で0.26Mpaであり盛土側で低い（図-6）。これは他の調査地点も同様の傾向であり、これらの地点の結果も含めると表層5cmは、切土側で0.21～0.44Mpa、盛土側で0.13～0.18Mpa、表層10cmは、切土側で0.33～0.51Mpa、盛土側で0.16～0.27Mpaであった。また、施工の影響をあまり受けていないと考えられる30cm以上の深度の泥炭土の地耐力は、0.35Mpa以上であり、特に盛土側の地耐力は、未攪乱の

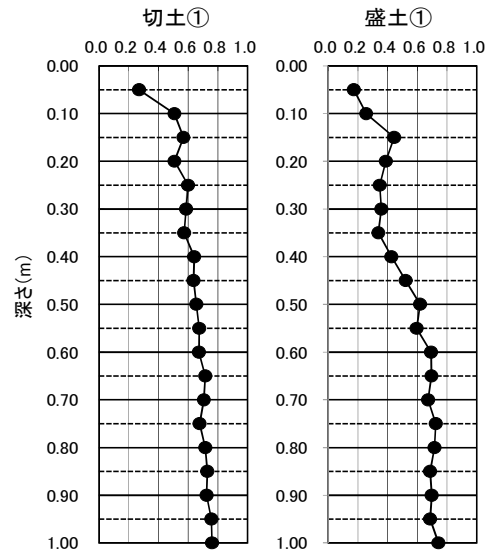


図-6 C圃場の切盛土後の地耐力 単位：Mpa

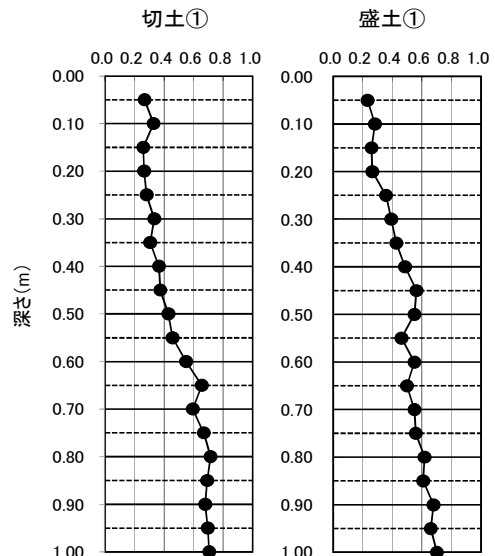


図-7 D圃場の切盛土後の地耐力 単位：Mpa

泥炭土の地耐力と比較しても低い。これは、C圃場では切土で発生した新鮮な泥炭土を湿地ブルドーザーによって押土する過程で、土壤構造の破壊された泥炭土が盛土側に敷均されたためと考えられる。

建設機械の走行に必要なコーン指数は、超湿地ブルドーザーで0.2Mpa以上、湿地ブルドーザーで0.3Mpa以上とされている⁶⁾。切盛土直後のC圃場の盛土側の地耐力は、盛土厚の10cm程度は0.2Mpa以下となっている地点が多いため、最終的な盛土の整地作業には少なくとも超湿地ブルドーザーか更に接地圧の小さい超々湿地ブルドーザーの使用が望ましいと考えられる。

D圃場の表層5cmの地耐力は、切土①で0.27Mpa、盛土①①で0.23Mpa、表層10cmの地耐力は、切土①で0.33Mpa、盛土①で0.28Mpaであり、盛土側でやや低いが、0.2Mpa以下までは小さくなっていなかった(図-7)。他の調査地点も含めると表層5cmは、切土側で0.21~0.27Mpa、盛土側で0.21~0.33Mpa、表層10cmは、切土側で0.25~0.33Mpa、盛土側で0.22~0.28Mpaであり、切土側、盛土側で大きな差はない。これは、D圃場の盛土厚が4cm程度とC圃場と比較して小さかったことが影響していると考えられる。さらに、D圃場では盛土される泥炭土をキャリアダンプで運搬したために、土壤構造の破壊が少なかったこと、仮置き時に土壤水分量が少なくなり、地耐力が確保されやすかったことなどが影響したと推察される。

(4) 飽和透水係数

a) 泥炭土の飽和透水係数

表-4、5にCおよびD圃場の泥炭土の飽和透水係数の推移を施工段階ごとに示した。表に示した飽和透水係数の値は、調査時点で最も上層に位置していた泥炭土の分析結果であり、施工前調査での地表から30-45cmの層にあたる。泥炭土は、表土戻し後には基盤層になる。水田土壤の診断基準では、基盤層の飽和透水係数は 10^{-7} m/s以上が望ましいとされている⁵⁾。

表-4 C圃場の泥炭土(30-45cm)の飽和透水係数

単位: m/s

	施工前	表土はぎ後	切盛土後	表土戻し後
切土①	4.7E-06	1.1E-05	3.1E-05	2.3E-05
切土②	2.5E-05	1.1E-06	2.1E-06	4.7E-06
切土③	1.8E-05	4.1E-05	4.1E-05	3.0E-05
盛土①	2.0E-05	6.0E-06	1.6E-04	4.5E-06
盛土②	2.3E-06	2.0E-06	3.2E-06	2.9E-06
盛土③	3.2E-05	2.8E-05	3.8E-04	1.1E-06

表-5 D圃場の泥炭土(30-45cm)の飽和透水係数

単位: m/s

	施工前	表土はぎ後	切盛土後	表土戻し後
切土①	6.9E-06	2.1E-05	9.7E-05	2.2E-06
切土②	1.3E-05	※	※	※
切土③	2.1E-04	6.1E-06	2.3E-05	3.1E-08
盛土①	1.9E-07	4.8E-07	8.6E-07	9.2E-07
盛土②	5.3E-07	5.3E-07	7.4E-07	1.8E-07
盛土③	9.3E-06	3.3E-05	1.9E-05	1.8E-08

※: データ欠損

C圃場の泥炭土の飽和透水係数で変化が見られたのは、地耐力と同様に切盛土後の盛土側であった。盛土①および盛土③において飽和透水係数は、表土はぎ後と比較すると 10^{-4} m/sのオーダーまで大きくなった(表-4)。切盛土後の切土側の飽和透水係数である 10^{-5} ~ 10^{-6} m/sと比較しても、この値はやや大きい。前述のように切盛土後の盛土側表層では、地耐力は0.2Mpa以下となっており、飽和透水係数においても切盛土直後の盛土側表層で、施工による影響が現れている地点があった。しかし、これら地点の飽和透水係数は、表土戻し後には 10^{-6} m/sのオーダーまで小さくなっていった。表土戻しの作業によって湿地ブルドーザーによる走行や表土の重さによって締め固められたことが影響していると推察された。

D圃場では、切盛土後の盛土側で飽和透水係数の値が変化することはなかった(表-5)。これは、地耐力での結果と同様に盛土厚や施工方法の違いが影響していると考えられる。一方で、表土戻し後において、飽和透水係数が 10^{-8} m/sのオーダーまで透水性が悪化している地点があった。

b) 表土の飽和透水係数

表-6、7に施工前後のCおよびD圃場の表土の飽和透水係数を示す。水田土壤の診断基準では、表土の飽和透水係数の基準値は 10^{-5} ~ 10^{-6} m/sである⁵⁾。

施工前のC圃場の飽和透水係数は、盛土側より切土側でやや値の小さい地点があった。調査地点によって飽和透水係数の値には違いがあり、基準値と比較すると排水性の不良な地点が多かった。表土戻し後の飽和透水係数は、施工前と比較して同程度かやや改善しており、施工によって表土の排水性が悪化するという事はなかった。

表-6 C圃場の表土(0-15cm)の飽和透水係数

単位: m/s

	施工前	表土戻し後	客土後
切土①	8.4E-08	1.7E-08	7.4E-08
切土②	3.0E-08	5.6E-07	4.3E-07
切土③	1.6E-05	7.7E-05	2.7E-08
盛土①	3.6E-07	3.3E-06	5.4E-08
盛土②	4.3E-07	1.5E-06	2.9E-06
盛土③	2.0E-06	3.2E-06	1.1E-05

表-7 D圃場の表土(0-15cm)の飽和透水係数

単位: m/s

	施工前	表土戻し後	客土後
切土①	3.8E-04	4.6E-06	1.0E-07
切土②	2.0E-04	※	3.3E-06
切土③	3.6E-06	4.0E-08	6.2E-07
盛土①	3.1E-07	1.1E-06	7.0E-07
盛土②	2.3E-05	4.1E-08	2.5E-07
盛土③	4.0E-07	9.9E-08	2.7E-06

※: データ欠損

このため、表土戻し後においても盛土側より切土側で飽和透水係数の小さい地点があり、施工前と同様に切土側で排水性がやや悪いという傾向であった。

施工前のD圃場の飽和透水係数は、C圃場と同様に調査地点によって飽和透水係数の値には違いがあった。基準値と比較すると基準値近辺の地点が多く、C圃場と比較すると排水性は良好な圃場であった。しかし、施工前と比較すると表土戻し後の飽和透水係数は、盛土①を除いて悪化しており、前述した基盤層の飽和透水係数と同様（表一5）に施工後に悪化している地点が多かった。D圃場では盛土の範囲が、圃場の西側や南側にかけて広範囲に及んでいた。また、施工後の天気予報の関係から、表土はぎ、戻しも小さな区画に分けて行われたことから、C圃場と比較すると施工方法が複雑で、建設機械の走行も多くなったと考えられる。これらの要因が、表土などの土壌物理性に影響を及ぼした可能性がある。このため、1つの均平区を2～3区画程度に分けて施工することが、表土の土壌物理性には良いと考えられるが、天気の関係からそれが不可能な場合もあり、泥炭土壌での施工の難しさが見られる結果であった。

4. まとめ

大区画の基盤整備が行われた泥炭土の水田圃場において、切盛土の施工方法が異なるCおよびD圃場の施工段階ごとの土壌調査を行った。結果、以下のことが分かった。

- 1) 湿地ブルドーザーによる押土作業を行ったC圃場の盛土側では、表層の泥炭土の地耐力が0.2Mpa以下まで低下していた。また、飽和透水係数は 10^{-4} m/sのオーダーまで大きくなった。
- 2) キャリアダンプによる運搬が行われたD圃場の盛土側では、表層土の地耐力は0.2Mpa以上が確保されていた。
- 3) これは、盛土厚の違いと施工方法の違いによりC圃場の盛土側の泥炭土の土壌構造がある程度破壊

されたためと考えられた。

- 4) C圃場の盛土側の地耐力が0.2Mpa以下まで低下していることから整地作業では、超湿地ブルドーザーか超々湿地ブルドーザーの使用が望ましいと考えられた。
- 5) C圃場の盛土側の飽和透水係数は、表土戻し後には 10^{-6} m/sのオーダーまで小さくなった。表土の重さによって締め固められたことが影響していると推察された。
- 6) 表土の飽和透水係数は、小さな区画で表土はぎ、戻しを繰り返したD圃場において、施工後に悪化している地点があった。施工翌日の天気の関係からこのような施工方法となっており、泥炭土壌での施工の難しさが見られる結果であった。

謝辞：本研究を進めるにあたり、現地調査や資料提供にご協力いただいた農業者および北海道開発局札幌開発建設部の関係各位に、ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 農林水産省：農業生産の基盤の整備に関する資料、2014年
- 2) 北川巖、塚本康貴、竹内晴信：基盤整備圃場の適切な生産性を確保する土壌物理性管理指標、2015年
- 3) 中津敬太、南部雄二、高木優次、赤塚脩介：泥炭土壌地域における反転均平工法の適用性、2016年
- 4) 栗田啓太郎、石田哲也、石渡輝夫、橋本淳一、松原俊二、田宮義直：重粘土水田の圃場整備に伴う土壌物理性の変化、2002年
- 5) 地方独立行政法人北海道立総合研究機構 農業研究本部編：北海道施肥ガイド2015、p. 18、2015年
- 6) 社団法人地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説、p. 391、2009年