

泥炭土壌地域における反転均平工法の適用性調査について

空知総合振興局産業振興部南部耕地出張所

○中津敬太

(一財)北海道農業近代化技術研究センター

南部雄二・高木優次・赤塚脩介

I. はじめに

区画整理工法の1つである反転均平工法が道営農地整備事業等で実施されるようになってから十数年が経過したが、近年、その施工実績が大きく減少している。

本工法は、従来の標準切盛工法に比べ、①低コストである、②施工時間が短縮できる、③施工機械による過転圧やこね返しのリスクが少なく圃場にやさしいといったメリットがある。

しかし、施工にプラウを使用するため、反転作業に伴い施工後の表土内には10~30%程度の心土が混入する特性(欠点)がある。泥炭土などの不良土壌地域においては、心土の混入による作物(収量・品質)への影響に加え、施工後の圃場の不陸や地耐力の低下等の懸念があり、工法の普及、適応地域の拡大に支障を来す要因であったと考えられる。

本報告では、反転均平工法が圃場に与える影響を定量的に調査し、標準工法との比較により、泥炭土壌地域における本工法の適用性を検証した結果について紹介する。

II. 調査概要

1. 反転均平工法の概要

反転均平工法には、I工法とII工法がある。

従来の突き均し工法と同様に、表土扱いが不要な場合には、I工法を用いる。標準切盛工法の表土扱いと同様に、表土扱いが必要な場合には、II工法を用いる。

さらに、II工法では、反転耕起深により、1段耕プラウと2段耕プラウを選定する。

反転均平工法(II工法)と標準切盛工法(表土扱いあり)の工程を図-1に示す。

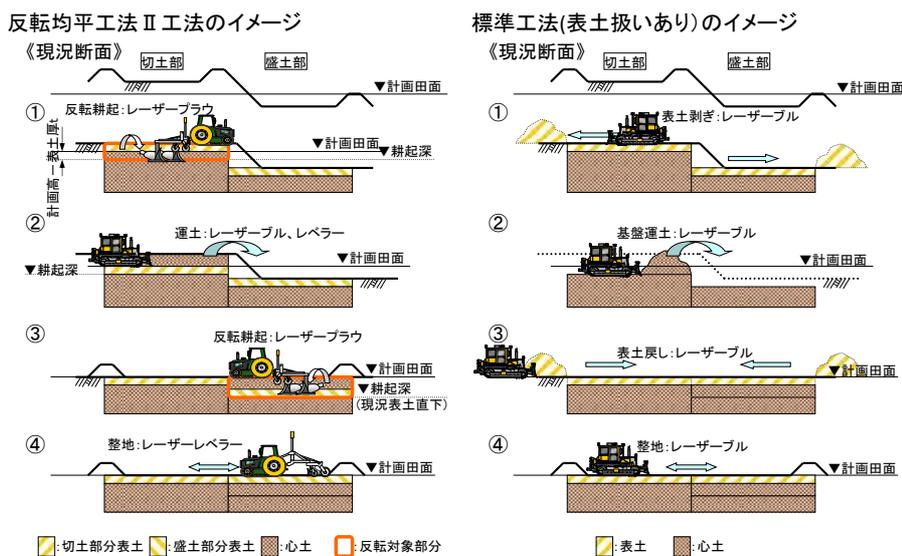


図-1 反転均平工法と標準工法の工程

2. 地域の土壌条件と調査圃場の位置

調査対象地域である南幌町の土壌は、北海道土壌区一覧（中央農試）から、泥炭土が約 60%、心土の排水性が悪いグライ低地土が約 40%である。

調査圃場を設定した西幌地区内には、夕張太統（表土層直下（深度 25cm 程度）から泥炭層が出現）、三重統（深度 50cm 程度から泥炭層が出現）、西幌統・瑞穂統（下層グライ低地土）などが分布している。

調査圃場は、南幌町中心部から南西約 7km に位置し（図-2）、下層には泥炭土が分布している。

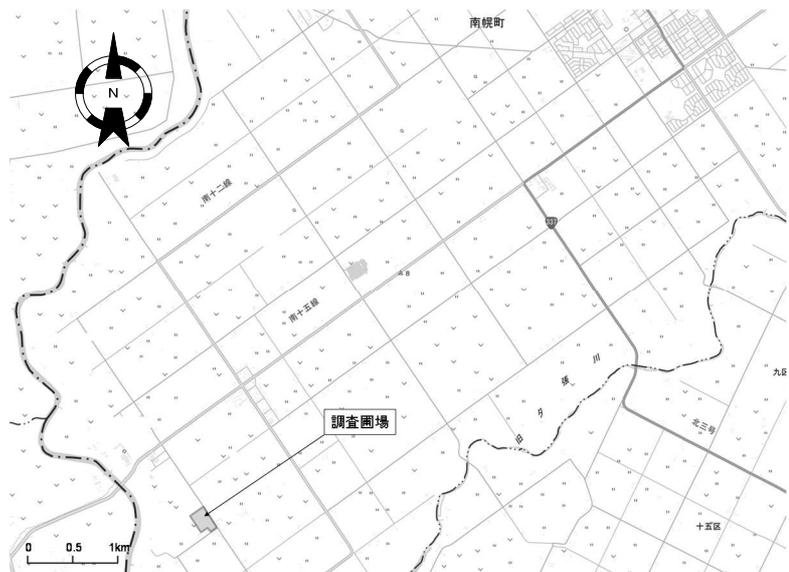


図-2 調査圃場位置

「電子国土基本図」（国土地理院）を背景図に使用

3. 試験区の設定

調査圃場では、反転均平工法で施工する区画を試験区（以下「反転均平工法区」）、標準切盛工法で施工する区画を対照区（以下「標準工法区」）とした（図-3）。各区画の面積は 71～92a で、それぞれ切土部、盛土部の区域内で施工前後に各種調査を実施した。

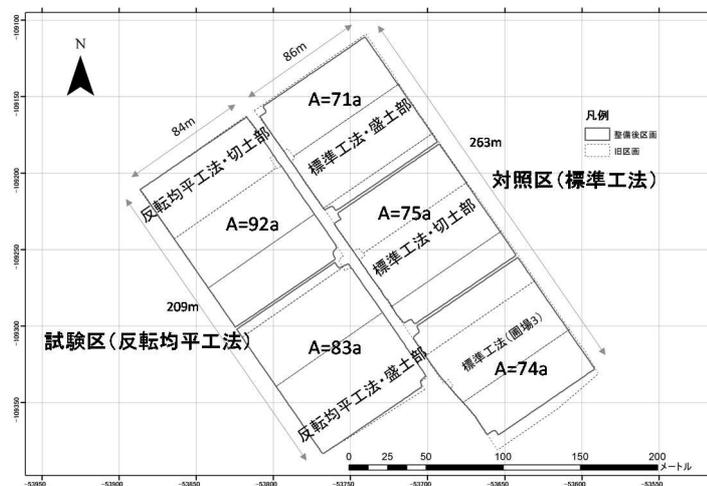


図-3 試験区・対照区の設定

4. 調査内容

(1) 施工前後の土壌条件

① 土層構成 施工前後に、切土

部・盛土部の同一箇所でも土層構成の変化を確認し、表土層（作土層）、心土層の状態を把握した。

② 土壌物理性 施工前後に、切土部・盛土部の同一箇所でも採土し、標準切盛工法と反転均平工法を比較して、土壌の保水性、透排水性の変化の状態を把握した。試験項目は、粒径組成（土性判定）、間隙組成（粗間隙・細間隙）、飽和透水試験（飽和透水係数）である。

③ 土壌化学性 施工前後に、切土部・盛土部の同一箇所でも土壌を採取し、施肥管理に関する化学性（水稻及び畑作の土壌診断項目）を分析し、標準切盛工法と反転均平工法を比

較して、工事前後の変化を把握した。

(2) 基盤の安定性

① 均平度 仕上がり状況の差を確認するため、調査圃場の施工後に高精度 GPS (VRS 方式 RTK-GNSS) を利用して地形測量 (測点間隔≒1m、測線間隔≒10m) を実施し、標準切盛工法と反転均平工法の均平度を比較した。

② 地耐力 (コーン指数) 施工前後で、切土部・盛土部の同一箇所です貫入式土壌硬度計により、コーン指数を測定し、工法による地耐力の違いを確認した。

(3) 農家聞き取り

調査圃場の施工後に実施した農作業に対し、標準切盛工法と反転均平工法の圃場を比較して、作業性や水はけ状況の違い等を確認した。

5. 調査・解析結果

(1) 施工前後の土壌条件

① 施工条件と表土厚 調査圃場の土壌は下層土が泥炭土であり、検土杖調査による反転均平工法区の平均表土厚は切土部・盛土部それぞれ 20cm であった。そのため、反転均平工法区では、II 工法 (1 段耕プラウ) で表土扱いは 20cm として施工し、施工後の表土厚 20cm は概ね確保された。

一方、標準工法区の表土扱いは、通常の汎用田の値である 25cm として、施工を実施した。

② 土壌物理性

・ 土性 (粒径組成)

施工前後の土壌断面調査地点の土性 (粒径組成) を比較した。反転均平工法区では、施工前後で、切土部・盛土部の作土層の土性は HC (重埴土) に分類された。標準工法区では、切土部・盛土部の作土層の土性は、施工前が LiC (軽埴土)、施工後が HC (重埴土) に分類された。土性の区分は異なるが、粒径組成そのものは近似し、土性区分の境界付近であった。心土層は泥炭土であるため、作土層に混入した場合でも、粒径組成の変化に影響を与えることはなかった。

・ 間隙組成 (粗間隙)、飽和透水係数 (表-1)

反転均平工法区の作土層 (13~18cm) の粗間隙 ($pF1.8 \geq$) は、施工前の切土部で 5.6%、盛土部で 12.3%、施工後の切土部で 6.8%、盛土部で 14.1% となり、やや増加傾向を示した。施工後の 2 層目は、切土部 (18~23cm) で 9.1%、盛土部 (15~20cm) で 16.3% となり、良好な値であった。

また、飽和透水係数は、施工前の切土部で 10^{-7} cm/s オーダ、盛土部で 10^{-4} cm/s オーダ、施工後の切土部で 10^{-5} cm/s オーダ、盛土部で 10^{-4} cm/s オーダとなり、切土部で増加し、盛土部は同等のオーダとなった。施工後の 2 層目は、切土部 (18~23cm) で 10^{-4} cm/s オーダ、盛土部 (15~20cm) で 10^{-4} cm/s オーダとなり、良好な値であった。

次に、標準工法区の作土層（13～18cm）の粗間隙（ $pF1.8 \geq$ ）は、施工前の切土部で 7.3%、盛土部で 12.0%、施工後の切土部で 3.5%、盛土部で 7.4%となり、減少傾向を示した。

また、飽和透水係数は、施工前の切土部で 10^{-5}cm/s オーダ、盛土部で 10^{-4}cm/s オーダ、施工後の切土部で 10^{-7}cm/s オーダ、盛土部で 10^{-7}cm/s オーダとなり、減少傾向を示した。

以上の結果から、反転均平工法区の土壤物理性（透・排水性）は、施工前後で大きな変化はなく、反転均平工法が圃場にやさしい工法であることが確認された。

一方、標準工法区では施工後の粗間隙、飽和透水係数に減少傾向がみられ、反転均平工法区とは異なる状況にあった。その要因は、工法の違い（表土戻し、仕上げ時のブルドーザ走行）、施工時の土壤水分状態の違い等によることが想定されるが、施工直後の状態であり、営農により改善が期待できる。

表-1 調査圃場の土壤物理性（間隙組成・飽和透水係数）

[三相分布の単位: %]											
ほ場名	採土時期	地点	層位	採取深度	仮比重	固相	液相① (微細間隙) [$pF \geq 3.0$]	液相② (細間隙) [$3.0 \geq pF \geq 1.8$]	気相 (粗間隙①) [$1.8 \geq pF \geq 1.5$]	気相 (粗間隙②) [$1.5 \geq pF$]	飽和透水係数 (cm/s)
反転均平	施工前	切土	A2層	13～18cm	1.19	45.6	44.9	3.9	1.3	4.3	5.0×10^{-7}
			C層	35～40cm	0.23	10.8	71.0	9.2	3.1	5.9	1.5×10^{-4}
		盛土	A2層	13～18cm	0.96	35.1	46.7	5.9	2.0	10.3	1.1×10^{-4}
			C層	35～40cm	0.19	6.6	70.2	6.8	3.4	13.0	1.5×10^{-4}
	施工後	切土	A層	13～18cm	1.17	46.1	42.7	4.4	0.8	6.0	2.1×10^{-5}
			A層	18～23cm	0.36	16.2	68.2	6.5	2.4	6.7	1.6×10^{-4}
			C層	25～30cm	0.23	10.6	74.4	3.5	4.7	6.8	1.2×10^{-3}
			A層	8～13cm	0.92	36.8	40.4	8.7	3.3	10.8	4.9×10^{-4}
		盛土	A層	15～20cm	0.94	36.5	42.0	5.2	2.6	13.7	5.3×10^{-4}
			A層	20～25cm	0.66	26.7	61.6	4.5	1.2	6.0	3.5×10^{-5}
			C層	30～35cm	0.23	10.4	72.5	6.7	2.9	7.5	1.1×10^{-4}
[三相分布の単位: %]											
ほ場名	採土時期	地点	層位	採取深度	仮比重	固相	液相① (微細間隙) [$pF \geq 3.0$]	液相② (細間隙) [$3.0 \geq pF \geq 1.8$]	気相 (粗間隙①) [$1.8 \geq pF \geq 1.5$]	気相 (粗間隙②) [$1.5 \geq pF$]	飽和透水係数 (cm/s)
標準切盛	施工前	切土	A2層	13～18cm	1.28	49.6	39.4	3.7	1.4	5.9	1.8×10^{-5}
			C層	35～40cm	0.29	12.0	71.6	4.0	3.4	9.0	1.6×10^{-4}
		盛土	A2層	13～18cm	1.08	39.5	44.8	3.7	1.4	10.6	4.2×10^{-4}
			C層	35～40cm	0.30	10.6	67.7	7.3	3.1	11.3	1.8×10^{-4}
	施工後	切土	A2層	13～18cm	0.97	41.0	53.3	2.2	0.6	2.9	2.1×10^{-7}
			C層	30～35cm	0.19	12.0	69.5	7.0	3.8	7.7	1.6×10^{-4}
		盛土	A層	13～18cm	1.01	39.4	49.0	4.2	1.3	6.1	6.4×10^{-7}
			AC層	25～30cm	0.61	25.7	60.8	4.5	1.7	7.3	1.1×10^{-6}
			C層	28～33cm	0.19	9.6	70.7	6.9	4.6	8.2	4.8×10^{-5}

③ 土壤化学性 土壤化学性の分析結果を表-2 に示す。反転均平工法区の作土層（施工前第1層、施工後表土）の可給態窒素は、施工前の切土部が $7 \text{mg}/100 \text{g}$ 、盛土部が $19 \text{mg}/100 \text{g}$ 、施工後の切土部が $17 \text{mg}/100 \text{g}$ 、盛土部が $34 \text{mg}/100 \text{g}$ となり、増加傾向を示した。また、施工後の表土混合試料についても、反転均平工法区の腐植（6.9～7.9%）、可給態窒素（24～27 $\text{mg}/100 \text{g}$ ）の値が標準工法区の腐植（5.7～6.0%）、可給態窒素（17～20 $\text{mg}/100 \text{g}$ ）の値に比べやや大きくなっていることから、下層土（泥炭）の混入の影響が想定される。

可給態リン酸（ブレイ 1 : 10）は、反転均平工法盛土部が、施工前の値が大きく、施工後も同様の傾向を示した。反転均平工法では、表土はプラウによる反転のため、表土剥ぎのような移動を伴わないため、施工前の傾向を継承したものと考えられる。

次に、施工後の土壤養分むらを確認するために、反転均平工法区、標準工法区の切土部、盛土部の各3箇所表土を採取し、可給態リン酸、可給態窒素を分析した（表-3）。その結果、可給態リン酸は反転均平工法区の盛土部表土（試料 NO.14、15）を除き 30～40 $\text{mg}/100 \text{g}$

の範囲であり、大きな差はみられなかった。また、反転均平工法区の盛土部表土は、施工前の値が64mg/100gであり、施工前の状態を継承したものと考えられる。

可給態窒素は、反転均平工法区で18~27mg/100g、標準工法区で16~18mg/100gの範囲で、反転均平工法区がやや高い値を示した。

『北海道施肥ガイド』による施肥設計上の窒素肥沃度水準は、『16.0mg/100g~』は同等の施肥窒素減量（-1.0kg/10a）となるため、窒素施肥管理上は同等の扱いとなる。

以上の結果から、施工直後の状態では、反転均平工法区の土壤化学性は、腐植、可給態窒素で下層土の混入による影響が想定されたが、施肥設計上の窒素肥沃度は同等であり、標準工法と比較し、大きく変化するような傾向はみられなかった。

④ 反転後の土壤断面と混入率の推定

反転均平工法区切土部の反転後の土壤断面は、写真-1に示す。反転状況は良好であるが、表土層に心土、心土層に表土がそれぞれ部分的に混入している状況が確認できる（写真左）。また、反転した表土に泥炭土が混入している状況が確認された（写真右）。

土壤調査地点における土壤分析データを用いて、反転均平工法施工後の心土混入率（泥炭層混入率）を試算すると、推定混入率は10%以下となった。

- ・ 仮比重（乾燥密度）の変化から試算 ⇒ 推定混入率 = 5~10%
- ・ 盛土部腐植含有率の変化（0.3%増加）から試算 ⇒ 推定混入率 = 7%

『反転均平工法の手引き』に示されている1段耕の混入率≒20~30%に比べ、推定混入率は低かった。耕起深設定が、24~27cmと浅かったため、反転状況が良好であったと考えられる。

表-2 土壤化学性施工前後の比較

項目	単位	診断基準	反転均平工法				標準工法			
			切土部		盛土部		切土部		盛土部	
			水田土壤	施工前	施工後	施工前	施工後	施工前	施工後	施工前
腐植	%		5.4	5.2	8.4	8.7	3.3	6.2	5.8	5.2
pH(H ₂ O)		5.5~6.0	5.6	5.8	5.3	5.3	5.6	5.5	5.4	5.4
リン酸吸収係数			910	1,040	1,160	1,090	850	970	950	970
可給態リン酸 (P ₂ O ₅) (トルオーグ)	mg/100g		21.3	20	23.0	18	15.6	15	18.0	16
可給態リン酸 (P ₂ O ₅) (ブレイ1:10)	mg/100g	10~20	43.2	36	63.7	45	28.7	31	39.8	32
交換性石灰 (CaO)	mg/100g		428	435	371	441	338	409	337	399
交換性苦土 (MgO)	mg/100g	25以上	49	49	32	55	62	59	45	50
交換性カリ (K ₂ O)	mg/100g	15~30	32	39	34	50	19	27	28	23
塩基交換容量 (CEC)	meq/100g		24	31	26	31	17	30	22	26
可給態窒素	mg/100g		7	17	19	34	12	19	17	18
熱水抽出性窒素	mg/100g		12	12	16	18	7	13	13	12
石灰飽和度	%		65	50	50	51	70	49	54	55
塩基飽和度	%		78	60	59	63	90	61	67	66
石灰・苦土比			6.3	6.4	8.4	5.8	3.9	5.0	5.3	5.7
苦土・カリ比		2以上	3.6	3.0	2.2	2.6	7.6	5.1	3.8	5.2

表-3 土壤化学性施工後地点間の比較

項目	単位	診断基準	施工後 ~ 2015.8.13採土					
			反転均平工法					
			切土部			盛土部		
水田土壤	表土	表土	表土	表土	表土	表土		
試料NO.			10	11	12	13	14	15
可給態リン酸 (P ₂ O ₅) (ブレイ1:10)	mg/100g	10~20	35	36	44	34	66	70
可給態窒素	mg/100g	泥炭土 ~13.5: 中位 ~16: やや高い 16~: 高い	21	27	19	22	20	18

項目	単位	診断基準	施工後 ~ 2015.8.13採土					
			標準工法					
			切土部			盛土部		
水田土壤	表土	表土	表土	表土	表土	表土		
試料NO.			4	5	6	1	2	3
可給態リン酸 (P ₂ O ₅) (ブレイ1:10)	mg/100g	10~20	32	31	33	33	33	34
可給態窒素	mg/100g	泥炭土 ~13.5: 中位 ~16: やや高い 16~: 高い	17	18	18	16	16	18

※石狩および空知南部

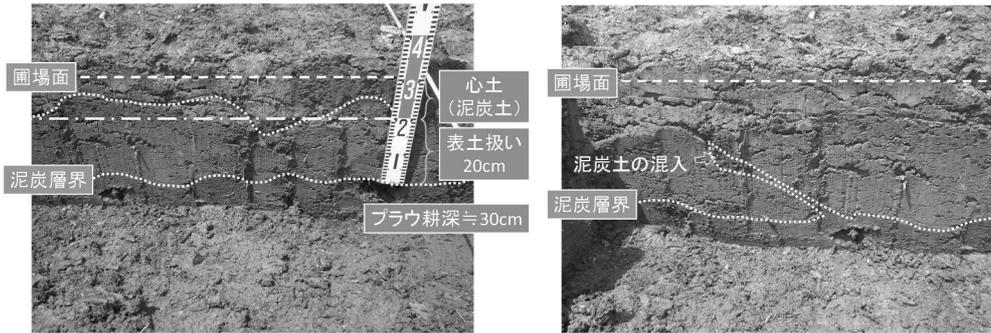


写真-1 反転均平工法切土部の反転後の土壌断面

(2) 基盤の安定性

① 均平度 施工後の圃場で地形測量を実施した結果から、均平精度等を求めた(表-4)。

標準工法区の均平精度は 23~25 mm、反転均平工法区の均平精度は 17~19mm で、反転均平工法区の均平精度が良好であった。

反転均平工法では、仕上げ整地の工程に、レーザーレベラーを使用することがその要因として考えられる。

また、反転均平工法区(盛土部)で懸念される転圧不足による不陸の発生は、施工直後であったため、その傾向はみられなかったが、均平度の変化の有無を継続的に確認する必要がある。

② 地耐力 施工前後で地耐力を比較すると、施工後に標準工法区の表層のコーン指数が上昇する傾向がみられた(代表地点の測定結果:図-4)。一方、反転均平工法区では、施工前に比べコーン指数がやや低下する地点もあったが、地耐力不足となる顕著な低下傾向はみられなかった(代表地点の測定結果:図-5)。

以上の結果から、表層は工法によるコーン指数の違いが確認されたが、耕作(耕起・砕土)により変化するため、経年的な変化を把握する必要がある。また、反転均平工法区(盛土部)で懸念される地耐力不足の傾向はみられなかったが、畦畔沿いの地耐力も含め継続的に確認する必要がある。

表-4 圃場均平計測結果

		2015/7/30		2015/8/5	
項目	単位	反転均平工法		標準工法	
		切土部	盛土部	切土部	盛土部
平均標高	m	5.48	5.46	5.43	5.41
標準偏差	m	0.0172	0.0189	0.0254	0.0233
分散		0.0003	0.0004	0.0006	0.0005
最小	m	-0.063	-0.059	-0.100	-0.085
最大	m	0.049	0.062	0.086	0.065
測点数	点	787	711	632	588
C2		1.000	1.000	1.000	1.000
均平精度(σ)	m	0.017	0.019	0.025	0.023

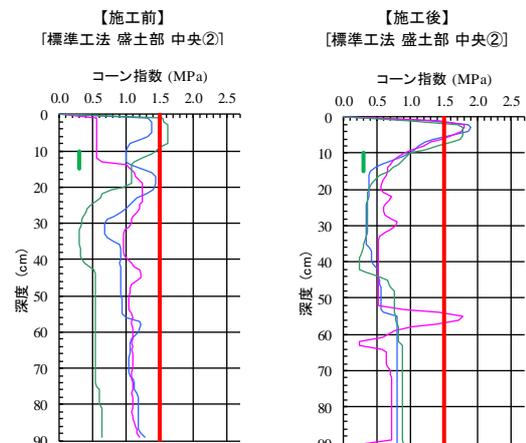


図-4 標準工法区のコーン指数

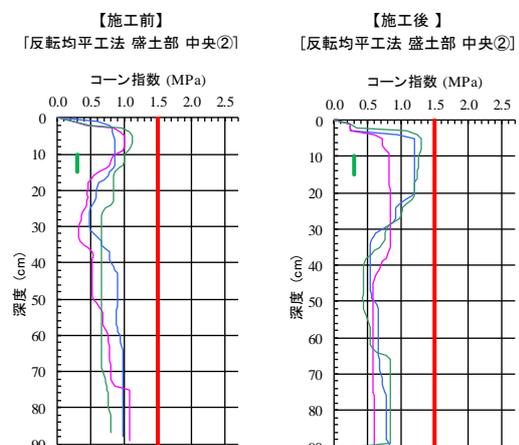


図-5 反転均平工法区のコーン指数

(3) 聞き取り調査

試験圃場では、施工後に緑肥が播種された。標準工法区と比較して、反転均平工法区の圃場の排水性が良く、作業機械の走行性が優れていたと感じられた。

(4) 2015年調査結果のまとめ

反転均平工法区では、心土混入率の試算結果から、泥炭土の混入が5～10%程度見込まれたが、地耐力、土壌の理化学性、均平度の各種データにおいて、標準工法に比べ劣る値はみられなかった。

よって、施工後直後の圃場において、反転均平工法による施工上の問題点は生じていないと判断できる。

2015年の調査は、施工直後の状態であったため、経年的な変化の把握が必要である。また、施肥管理、作物できむら等の把握も、今後必要な調査内容となる。

6. 追跡調査の実施状況

2015年の調査結果を踏まえ、2016年は融雪後から収穫後の期間で追跡調査を実施している。これまでの調査結果の概要は次のとおりである。

①均平度 積雪期間を終えた融雪後（2016年4月15日）の均平測量結果から、均平精度等を求めた（表-5）。均平精度の計算値では、工事直後の値に比べ、各調査区とも均平度のやや低下を示したが、施工管理基準の規格値（35mm未満）内であり、顕著な悪化を示すものではなかった。

この計測後に水稻が栽培（移植栽培）されているので、本年の収穫後に施工1年後の状況として再度計測する予定である。

②土壌化学性 融雪後の土壌採取試料で可給態窒素、熱水抽出性窒素を分析した（表-6）。可給態窒素の分析結果では、2015年施工後データと同等の値を示し、反転均平工法区と標準工法区で施肥量を変化させるほどの差は生じていなかった。

今後、水稻の収量調査にあわせ、土壌を採取し、同様の分析を実施する予定である。

表-5 圃場均平計測結果

【2016年・施工翌年春】

項目	単位	2016/4/15		2016/4/15	
		反転均平工法		標準工法	
		切土部	盛土部	切土部	盛土部
平均標高	m	5.44	5.42	5.37	5.38
標準偏差	m	0.0231	0.0245	0.0277	0.0310
分散		0.0005	0.0006	0.0008	0.0010
最小	m	-0.088	-0.067	-0.123	-0.116
最大	m	0.091	0.093	0.080	0.100
測点数	点	690	623	576	540
C2		1.000	1.000	1.000	1.000
均平精度(σ)	m	0.023	0.025	0.028	0.031
※2015年・施工直後の均平精度					
均平精度(σ)	m	0.017	0.019	0.025	0.023

表-6 土壌化学性施工後地点間の比較

項目	単位	診断基準	融雪後～2016.4.8採土					
			反転均平工法					
			切土部			盛土部		
水田土壌		表土	表土	表土	表土	表土	表土	
試料NO.			10	11	12	13	14	15
可給態窒素	mg/100g	泥炭土 ～13.5: 中位 ～16: やや高い 16～: 高い	20	16	17	23	18	17
熱水抽出性窒素	mg/100g		9	7	8	11	12	10
項目	単位	診断基準	融雪後～2016.4.8採土					
			標準工法					
			切土部			盛土部		
水田土壌		表土	表土	表土	表土	表土	表土	
試料NO.			4	5	6	1	2	3
可給態窒素	mg/100g	泥炭土 ～13.5: 中位 ～16: やや高い 16～: 高い	17	15	18	18	17	15
熱水抽出性窒素	mg/100g		10	8	9	9	9	10

※石狩および空知南部

③地耐力 2016年4月28日に、各調査区の中央3箇所でコーン指数を測定した（代表地点の測定結果：図6～7）。

2015年施工後の地耐力を比較すると、両工法区とも地耐力の低下はみられなかった。なお、反転均平工法区では畦畔沿いの地耐力不足が懸念されたが、深度10cm程度まではコーン指数がやや小さな値を示したものの、地耐力不足となるような傾向はみられなかった。収穫後に再度計測する予定である。

④日減水深 日減水深は6～8mm/day（表-7）で、各調査区とも小さな値を示し、反転均平工法区の減水深が特に多くなるような傾向はみられなかった。

⑤水稻の生育状況 2016年8月25日に、調査圃場で水稻の生育調査を実施した（表-8）。穂数、穂長とも反転均平工法区がやや上回る傾向がみられ、標準工法区に比べ劣る状況はみられなかった。

また、圃場の観察においても、圃場内のできむらは確認されず、概ね均一な生育状況であった。

III. おわりに

今回の調査圃場は、下層に泥炭土が出現する圃場で、これまで反転均平工法の適用が困難とされた土壤条件であった。調査の結果、泥炭の混入とこれに伴う圃場条件の変化（影響）が定量的に認められたが、現時点で施工後の営農に問題は生じていないことから、反転均平工法は従来の標準切盛工法と同等の整備効果が期待できるものと考えられる。

また、調査圃場は、施工前に現況圃場の表土厚と切土・盛土区域を十分に精査したことで、心土（泥炭）の混入を最小限に抑えることができ、良好な施工状況が確保されたと想定された。そのため、反転均平工法の検討にあたっては、表土厚や下層土の状態、圃場の標高等を十分に把握することが望ましいと考える。

今後、反転均平工法が区画整理工事の主たる工法として定着するためには、各地域で積極的な取組と施工事例の蓄積が不可欠である。そのためには、今回の試験成果を参考に、工法の利点だけでなく、その影響についても農業者に十分な理解を求めると、必要に応じて地域の営農指導部門と連携した対応が重要であると考えられる。

最後に、本報告にあたり、調査圃場を提供いただいた生産者、南幌町農業農村整備事業

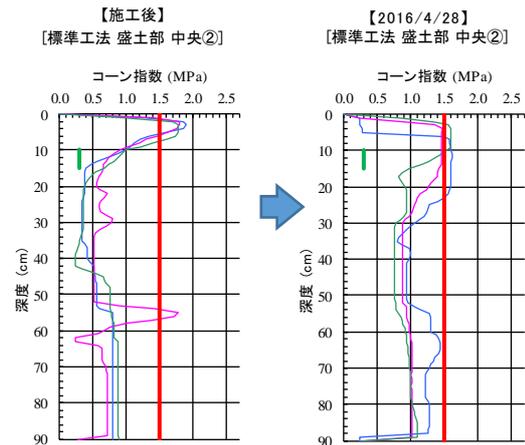


図-6 標準工法区のコーン指数

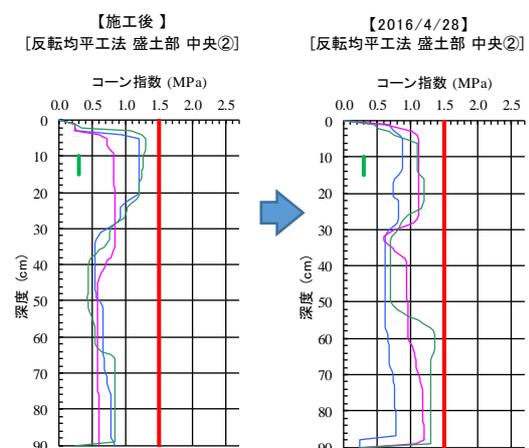


図-7 反転均平工法区のコーン指数

表-7 日減水深の平均値

処理区	単位: mm/day	
	切土部側	盛土部側
反転均平工法区	6.9	7.3
標準工法区	6.1	7.6

表-8 水稻生育調査

処理区	穂数(本)	穂長(mm)
反転均平工法区	41	176
標準工法区	36	165

推進本部、(株)馬淵建設、空知農業改良普及センター空知南西部支所など調査に協力頂いた多くの方々に厚くお礼を申し上げます。

【参考文献】

- 1) 北海道空知総合振興局：平成 27 年度 農業農村調整地区 調査 43 業務 調査報告書（2016）