

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 — 大区画整備圃場の施工前後の土壌物理性について —

寒地土木研究所 寒地農業基盤研究グループ ○横濱 充宏
寒地土木研究所 資源保全チーム 桑原 淳
寒地土木研究所 資源保全チーム 横川 仁伸

圃場の大区画化整備では、施工時の表土の水分状態によっては、表土はぎや表土戻し時に、湿地ブルドーザの押土作業により土壌が練返し等を受ける。このため、土壌構造の破壊等による作物生育の悪化や営農機械の作業性の低下が起こる可能性がある。基盤が粘性土である圃場で、表土の施工前後の土壌性状を調査し、表土の施工時の水分状態が施工後の土壌物理性に及ぼす影響を検証した。

表土は、施工時に湿潤であるほど、施工により堅密化しやすい傾向があった。表土がpF2.0にまで湿潤化するようなまとまった降雨があった場合、表土がpF2.0以上まで乾燥するのを待って施工を再開する必要があると考えられた。施工時の表土の水分状態と施工後の表土の透水性との関係は判然としなかった。

キーワード：大区画整備圃場、土壌物理性、土壌の堅密化、透水性

1. はじめに

北海道の水田地帯では、担い手の不足等により農家戸数が減少している。これに伴い農家一戸当たりの経営規模が拡大している。経営規模の拡大に対応するため、農作業の効率化が求められる。これに対処するため、圃場を大区画化する事業が進められている。

圃場を大区画化する工事では、表土はぎ、表土はぎ後の基盤土の切土と盛土、表土戻しにより、大規模な運土および敷均しが生じる。こうした工事では、施工直前の降雨などで土壌が湿潤な時期に工事を行った場合、施工機械による攪拌および踏圧によって土壌が堅密となり、土壌の排水性や保水性に関する孔隙が失われる恐れがある。この対策として、過湿状態で運土および敷均しを行わないよう、大区画圃場をいくつかの区域に分け、各区域の表土はぎから表土戻しまでの作業を晴天時に1日で終える工夫がなされている。しかし、このような圃場の大区画化の施工前後での土壌物理性の変化を報告した事例は少ない。

寒地土木研究所資源保全チームでは、大区画化工事に伴う土壌性状の変化を把握してこの知見を生かすことにより、大区画圃場の整備技術を体系化する研究を行っている。本報では、粘土質土壌の水田で、施工前後での土壌物理性の変化を調査した結果について述べる。

2. 大区画化施工の概要

図-1に大区画化施工の各段階における土壌の移動の概要を示す。

圃場の大区画化施工は、圃場をいくつかの区域に分けて表土はぎ、切土と盛土、表土戻しの順に施工し、最後に大区画化した圃場全体の圃場面の整地作業を行っている。このため、表土は、表土はぎおよび表土戻しの際の運土および敷均しにより攪拌および踏圧を受ける。

一方、下層土は、切土部と盛土部の場合で異なる。切土部、盛土部ともに、表土はぎ時、切土時および盛土時、

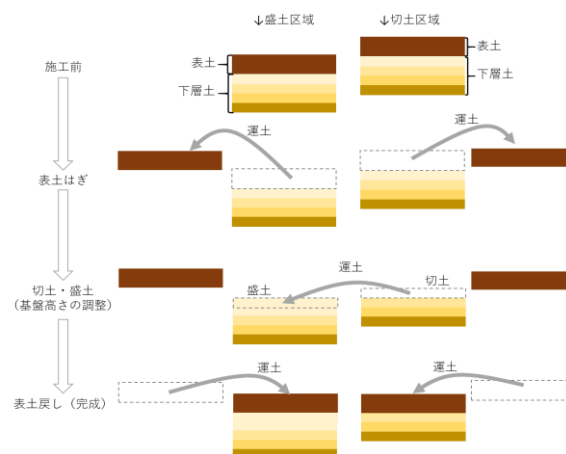


図-1 大区画化施工の各段階での土壌の移動

基盤面の整地時および表土戻し時の4回、作業機械の走行による踏圧を受ける。更に盛土部の場合、盛土が切土部から運ばれ、敷均しされる際に攪拌も受ける。

3. 方法

(1) 調査地の概要

調査圃場は、美唄市内（図－2）にある、大区画汎用水田圃場として整備されるA、BおよびC圃場である。各圃場ともに、土壌は地力保全基本調査報告書（空知中部地域、石狩川下流地域、空知南部地域）¹⁾の中で、日東統に区分されている。A圃場は、圃場面標高の異なる7筆、B圃場は3筆、C圃場は4筆が1筆の大区画圃場として造成された。図－3にA圃場、図－4にB圃場、図－5にC圃場の概要図を示す。AおよびC圃場内には切土部（図の黄色の範囲）と盛土部（図の青色の範囲）が存在する。一方、B圃場は切土部のみが存在する。

(2) 調査内容

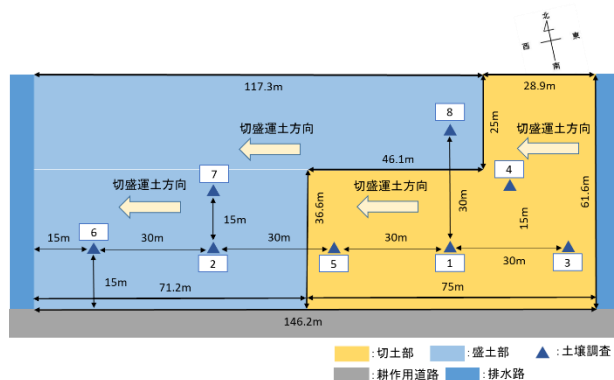
各種土壌調査は、各圃場ともに地点1～8の8か所（図－3～5）で行った。A圃場の場合、切土深は6～56 cm程度、盛土厚は17～56 cm程度であった。B圃場の場合、切土深は56～76 cm程度であった。C圃場の場合、切土深は29～100 cm程度、盛土厚は59～94 cm程度であった。調査時期および施工時期は表－1の通りである。

土壌断面調査は、調査地点1、2において、施工前および施工後に行った。

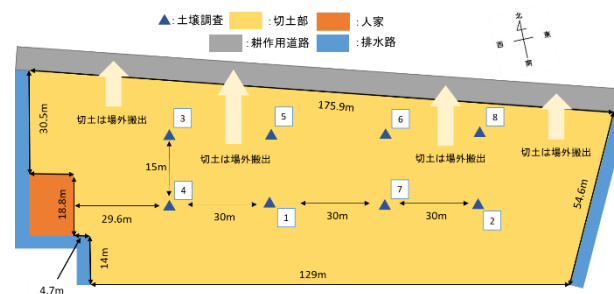
コーンペネトロメーターによる地耐力の測定は施工前に各調査地点で行った。測定の深さは表土の10 cmおよび20 cmとした。

採取した土壌試料について表－2に示す土壌分析を行った。土壌水分は施工時の土壌水分が施工による土壌物理性の変化に及ぼす影響を解析するために測定した。粒径組成はA、BおよびC圃場が、比較解析が可能な類似した土壌であることを確認するために行った。大型機械による大規模な運土を伴う改良山成工で造成された圃場に

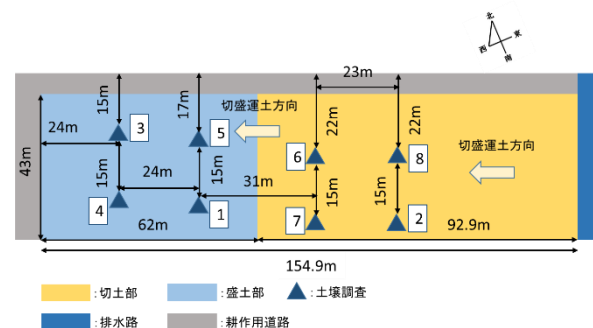
おいて、運土による土壌圧縮により、土壌の堅密度の指標である固相率の増大が確認されている²⁾。よって、固相率が大区画施工での施工機械による運土の影響を把握する指標として適当と判断し、分析項目として採用した。



図－3 A圃場の概要と調査位置



図－4 B圃場の概要と調査位置



図－5 C圃場の概要と調査位置

表－1 調査時期および施工時期

	A圃場	B圃場	C圃場
施工前調査	2016/6/30	2017/7/3	2019/5/28,29
施工時土壌水分調査	2016/7/8	2017/7/19	2019/7/25
大区画化工事	2016/7/7,8	2017/7/19	2019/7/25
施工後調査	2016/7/8	2017/8/21	2019/8/1

表－2 土壌分析の内容

分析項目	分析方法
土壌水分	炉乾燥法
粒径組成	比重計法
容積重	炉乾燥法
三相比(固相、液相、気相、全孔隙)	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、遠心法



図－2 調査圃場の所在地

また、飽和透水係数は施工に伴う土壌の排水性の変化を解析する有用な指標なので分析項目とした。

土壌試料のうち100ml試料管を用いた非攪乱試料の採取は、各調査地点において、施工前および施工後に行った。A圃場での採取深さは、表土層（深さ0～30cm程度）と下層土の上部（同30～45 cm程度）と下部（同45～60cm程度）とした。BおよびC圃場での採取深さは、表土層の上部（調査地点により異なるが0～15cm程度）と下部（同15～30cm程度）、下層土の上部（同30～45 cm程度）と下部（同45～60cm程度）とした。採取個数は各層で3試料とし、分析値は3試料の平均値として算出した。

土壌試料のうち攪乱試料の採取は、土壌断面調査を行った地点において、非攪乱試料と同じ採取深さで行った。採取試料数は各層で1試料である。採取した試料について粒径組成分析を比重計法により行った。

施工時の土壌水分の分析は、A圃場においては、施工後の土壌調査で採取した非攪乱試料を用いて行った。B圃場においては、調査地点5～7の表土（深さ0～30cm程度）より、施工直前に攪乱試料を採取して行った。C圃場においては、調査地点1および2の表土（深さ0～15cm程度）より、施工直前に攪乱試料を採取するとともに、施工中に表土はぎがなされ、一時的に仮置きされている表土（深さ0～15cm程度）から3つの攪乱試料を採取して行った。

施工前および施工時の土壌のpF値は、施工前に採取した土壌試料の孔隙分布分析によって得られたpF-水分率曲線を用いて求めた。すなわち、施工前の土壌試料の分析で求めた容積重、固相率と施工前および施工時の土壌水分分析によって得られた含水比から液相率を算出し、この液相率に相当するpF値を前述のpF-水分率曲線から読み取った。

各圃場の表土での施工前の土壌水分と地耐力については相関係数を求め、危険率1%でt検定により有意差検定を行った。

土壌分析値における有意差検定は、t検定によって、危険率5%で行った。

4. 結果と考察

(1) 調査地の概要

A、BおよびC圃場の地点1における施工前の土壌断面を図-6～8に示す。各圃場ともに、地点1と2における土壌断面はほぼ同じであった。

各圃場ともに、土壌は表層が細粒質である灰色沖積土に区分された。各圃場ともに、表土は細粒質（LiC/軽埴土）であり、表土直下の下層土からは地下水の影響を受けた灰色層となっている点で共通している。ただし、AおよびC圃場では、下層土も細粒質（LiC/軽埴土）である一方、B圃場では、下層土が中粒質（CL/壤土）で

土壌区分: 灰色沖積土
母材: 沖積段丘堆積物

断面写真	深度(cm)	層位	土性	土色	硬度(mm)
	0～23	Ap	LiC	2.5Y3/3 (暗オリーブ褐色)	23
	23～50	Cg	LiC	7.5Y7/1 (灰白) 10YR5/8 (黄褐) の膜状 斑鉄富む	22

図-6 A圃場の土壌断面

土壌区分: 灰色沖積土
母材: 沖積段丘堆積物

断面写真	深度(cm)	層位	土性	土色	硬度(mm)
	0～13	Ap1	LiC	10YR2/3 (黒褐)	12
	13～24	Ap2	LiC	10YR2/3(黒褐)	22
	24～75	C1g	CL	10Y4/1 (灰)	19
	75～100	C2g	CL	10Y4/1 (灰)	25

図-7 B圃場の土壌断面

土壌区分: 灰色沖積土
母材: 沖積段丘堆積物

断面写真	深度(cm)	層位	土性	土色	硬度(mm)
	0～10	Ap1	LiC	10YR2/2 (黒褐)	18
	10～20	Ap2	LiC	10YR2/3(黒褐)	22
	20～30	C1g	LiC	7.5YR5/8 (明褐)	21
	30～67	C2g	LiC	2.5Y5/4 (黄褐) 7.5YR5/8(明褐)の 膜状斑鉄含む	20
	67～100+	C3g	LiC	2.5Y6/3 (にぶい黄) 7.5YR5/8(明褐) の膜状斑鉄含む	22

図-8 C圃場の土壌断面

ある点が異なっている。また、A圃場では、表土が一層であったのに対し、BおよびC圃場の表土は、耕起されて膨軟（硬度12～18）な作土層と、これより堅密（硬度22）なすき床層の二層に区分された。

以上の結果から、各圃場の土壌は、施工前に受けた耕起履歴が異なり、下層土の粒径組成が異なるものの、その他は共通しており、互いに類似した土壌であると判断された。

(2) 表土の水分状態と地耐力の関係

図-9に施工前のA、BおよびC圃場の表土の水分状態(pF)と地耐力の関係を示す。表土の値は各調査地点での深さ10cmおよび深さ20cmの値を区分けせずに図示している。pFは、その値が小さいほど土壌が湿潤であることを示す。

表土では、pFと地耐力の間には有意な相関関係が認められ、土壌が乾燥するほど地耐力が増大した。表土がpF2.0以下の湿潤状態の場合、地耐力が湿地ブルドーザの走行可能地耐力(0.3 MPa以上)³⁾を下回ることが多かった。

A、BおよびC圃場における大区画化施工では、掘削、運土作業には湿地ブルドーザが使用されている。一方、超湿地ブルドーザの利用台数はごく少数で、切土後および盛土後の下層土および表土戻し後の圃場表面の仕上げの整地作業に使用されているのみであった。

このような施工機械の利用実態においては、表土がpF2.0以下に湿潤化するようなまとまった降雨があった場合、湿地ブルドーザによる大区画化施工を行うには、表土がpF2.0以上に乾燥するのを待つ必要があると考えられた。

(3) 大区画化施工時の表土の水分状態

図-10にA、BおよびC圃場における大区画化施工時の表土のpFを示す。

A圃場では、2016年7月2日に39mmのまとまった降雨があり、その5、6日後の7月7、8日に大区画化工事が行われた(図-11)。施工時の表土は乾燥しており、pFの平均値は3.1であった。

B圃場では、2017年7月16、17日にそれぞれ41.5、53.5mmのまとまった降雨があり、その2日後の7月19日に大区画化工事が行われた(図-12)。施工時の表土は過湿状態にあり、pFの平均値は1.5であった。

C圃場では、2019年7月19日に9mmの少量の降雨があり、その6日後の7月25日に工事が行われた(図-13)。施工時の表土は乾燥しており、pFの平均値は3.6であった。

このように、B圃場はAおよびC圃場に比べて、表土が

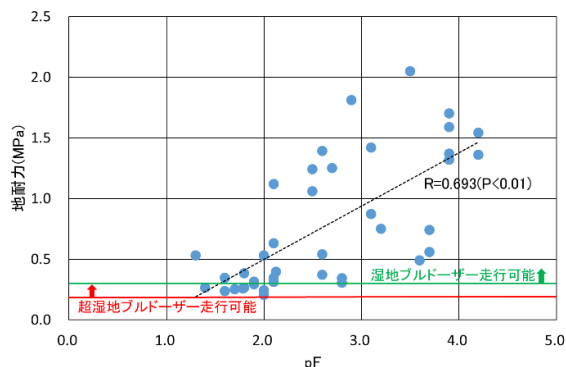


図-9 施工前の表土の水分状態と地耐力の関係

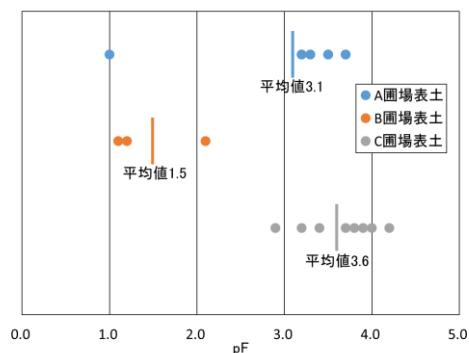


図-10 大区画化施工時の表土の水分状態

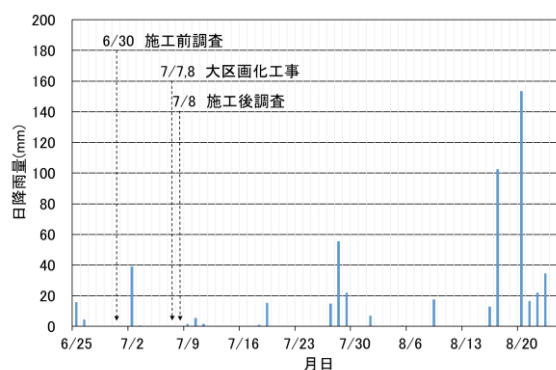


図-11 A圃場での調査前後の日降雨量(2016)

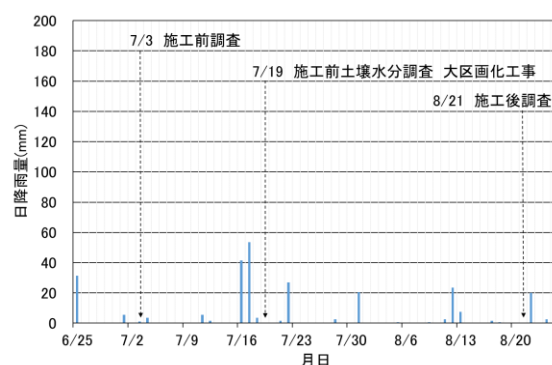


図-12 B圃場での調査前後の日降雨量(2017)

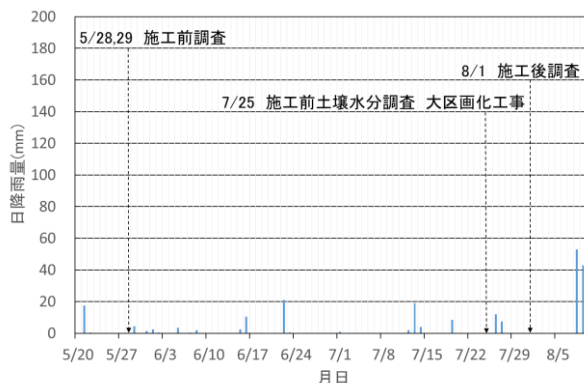


図-13 C圃場での調査前後の日降雨量(2019)

かなり湿潤な状態で大区画化施工が行われた。

(4) 施工前後の表土の物理性

図-14に表土（A圃場では0～30cm、BおよびC圃場では0～15cm）の施工前後の固相率と施工時のpFとの関係を示す。この図では施工前後で固相率に変化がなければ変化率の値は $y=x$ 線上にプロットされる。表土の固相率が営農あるいは作物生育に適切であると判断される診断基準値は30～40%である⁴⁾。

固相率は、土壤調査地点19地点のうち、施工前において膨軟で基準値内に収まっていたのは2地点のみで、それ以外は堅密で基準値から外れていた。

表-3に施工前後における表土の固相率の変化率と施工時のpFとの関係を示す。ここで、変化率は以下の式により算出した。

変化率(%) = (施工後の固相率 - 施工前の固相率) / 施工前の固相率 × 100

変化率が大きな正の値を示すほど、施工前に比べ、施工により土壌が堅密化したことを表す。調査地点19地点のうち、変化率が10%を下回った地点が11地点と全体の58%を占めており、調査圃場においての施工は表土の顕著な堅密化をもたらすことなく実施されていた。一方で、pF1.5以下の湿潤状態で施工された2地点の表土の固相率の変化率はどちらも20%以上となっていた。このことから、湿潤状態で施工された場合、表土が堅密化しやすいと予測された。

そこで、施工時のpFと固相率の変化率との関係について検討した（図-15）。固相率の変化率と施工時のpFとの間には有意な負の相関($R=-0.559$)が認められ、表土は、施工時に湿潤であるほど、施工により堅密化しやすい傾向を示した。

図-16に表土（A圃場では0～30cm、BおよびC圃場では0～15cm）の施工前後の飽和透水係数と施工時のpFとの関係を示す。この図においても、施工前後で飽和透水係数に変化がなければ変化率の値は $y=x$ 線上にプロットされる。表土の飽和透水係数が営農あるいは作物生育に適切であると判断される診断基準値は $1.0E-04 \sim 1.0E-02 \text{ cm/s}$ である⁴⁾。

表-4に表土における施工前後での飽和透水係数が基準値内であったかどうかの区分と施工時のpFとの関係を整理した。飽和透水係数が施工前には基準値内であったが施工により基準値より小さくなった調査地点は全19地点のうち6地点に留まる一方で、施工後においても基準値内であった調査地点は11カ所に上っていた。このように、調査圃場においては施工による透水性の悪化は顕著には現れていなかった。

図-17に表土における施工後の飽和透水係数と施工時のpFとの関係を示す。施工後の飽和透水係数と施工時のpFには全く相関関係がなかった。このように、表土における施工時の土壤水分状態が施工後の透水性におよぼす

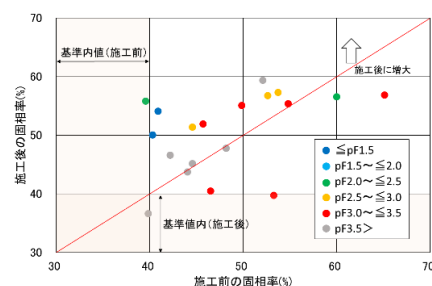


図-14 表土の施工前後の固相率と施工時のpF

表-3 表土の固相率の変化率と施工時pFの関係

変化率(%)=C	pF						合計
	≤1.5	1.5~≤2.0	2.0~≤2.5	2.5~≤3.0	3.0~≤3.5	3.5>	
20≤C	2	-	1	0	0	0	3
10≤C<20	0	-	0	1	2	2	5
0≤C<10	0	-	0	2	1	1	4
C<0	0	-	1	0	3	3	7

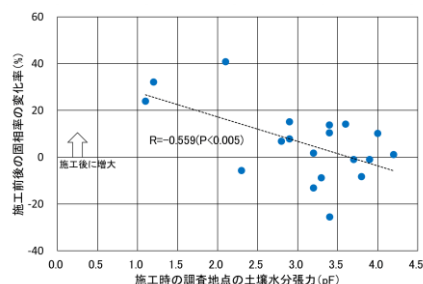


図-15 表土の固相率の変化率と施工時のpF

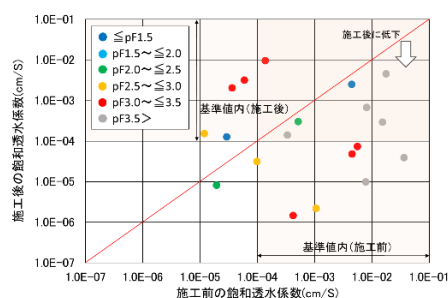


図-16 表土の施工前後の飽和透水係数と施工時のpF

表-4 施工前後の表土の飽和透水係数の区分

基準値 (施工前/後)	pF						合計
	≤1.5	1.5~≤2.0	2.0~≤2.5	2.5~≤3.0	3.0~≤3.5	3.5>	
内/内	1	-	1	0	1	4	7
内/外	0	-	0	1	3	2	6
外/内	1	-	0	1	2	0	4
外/外	0	-	1	1	0	0	2

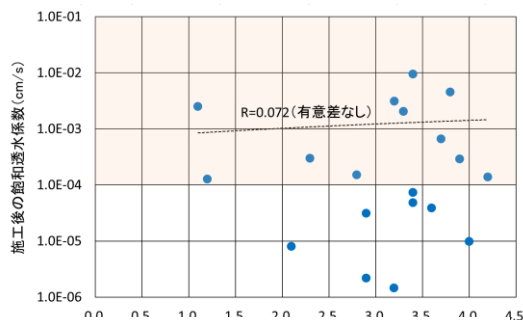


図-17 表土の施工後の飽和透水係数と施工時のpF

影響は判然としなかった。

今後、更に調査を進め施工時の表土の水分と施工による土壌物理性の変化の関係の解析を進める。

5. まとめ

下層土が粘性土である圃場の大区画化工事において、施工前後の表土の土壌物理性の調査を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 調査圃場の施工は、表土の顕著な堅密化や透水性の低下をもたらすことなく実施されていた。
- 2) 表土の水分状態が $pF2.0$ 以下の場合に、地耐力が湿地ブルドーザの走行可能地耐力を下回ることが多かった。
- 3) 表土が $pF2.0$ 以下にまで湿潤化するようなまとまった降雨があった場合、湿地ブルドーザーによる大区画化施工を行うには、表土が $pF2.0$ 以上になるまで乾燥するのを待つ必要があると考えられた。
- 4) 表土の固相率の変化率と施工時の pF の間には有意な負の相関($R=-0.559$)が認められ、表土が施工時に湿潤であるほど、施工により堅密化しやすい傾向を示した。
- 5) 表土の飽和透水係数と施工時の pF の間には有意な相関は認められず、施工による飽和透水係数の低下と施工時の水分状態との関係は判然としなかった。

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) 北海道立中央農業試験場：昭和46年度地力保全基本調査報告書（空知中部地域、石狩川下流地域、空知南部地域）、pp.22-24、1971.
- 2) 宍戸信貞・石渡輝夫・沖田良隆・立花松夫・月居誠・八巻 崇・中駄良男：改良山成工と土壌の物理性、第28回北海道開発局技術研究発表会、pp.1236-1241、1985.
- 3) 社団法人地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説、p.391、2009.
- 4) 北海道農政部：北海道施肥ガイド2015、p.18、2015.