

# 大区画圃場整備時における降雨後の 施工開始の判断基準

## —軽埴土の調査事例について—

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  
国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所 寒地農業基盤研究グループ 横濱 充宏

圃場の大区画整備において、施工時に表土の物理性悪化を抑制する指標を明らかにするため、表土の施工時の土壌水分と施工前後の物理性を調査した。調査圃場の表土の土性は、軽埴土であった。結果、表土がpF2.0以上まで乾燥した状態で施工すれば、施工後の固相率および飽和透水係数の悪化は抑制されることが明らかとなった。調査圃場の表土のpF2.0に対応する地耐力は0.6MPaであった。表土のpFと地耐力には相関関係があることから、地耐力が降雨後の施工開始の判断基準の1つになる。

キーワード：大区画圃場、土壌物理性、土壌水分、地耐力

### 1. はじめに

北海道の水田地帯では、農家戸数の減少に伴い、1戸当たりの経営面積が拡大している<sup>1)</sup>。農作業の効率化、省力化のため、大型の農業機械の利点を活かせるような農業基盤の整備が必要となっており、圃場を大区画にする事業が進められている。整備前の各圃場の基盤標高は異なっていることが多いため、各圃場を合わせて1区画にするには、表土をはぎ、異なる標高の下層土の上面を切盛りにより均平にし、表土を戻すという一連の作業を行う必要がある。

北海道の水田で下層が泥炭土である割合は19%程度である<sup>2)</sup>。こうした施工現場では、下層土の上面が降雨により湿潤になることで、施工工程に制約が生じたり、施工機械による攪拌、練り返しが起きて土壌の物理性が悪化したりする恐れがある。このため、天候によって、はいだ表土やむき出しになった下層土の上面が降雨にさらされないよう、表土をはぎから表土戻しまでを1~2日で終えられる大きさに区域を分割して施工する対策や、超湿地ブルドーザを使用し接地圧を小さくして土壌の練り返しを抑制する対策が行われている。

転作田では、良好な土壌の排水性が作物の生育に必要な条件であり、これを悪化させない施工技術は、今後さらに重要になるものと考えられる。施工現場においても降雨後の土壌の状態をみて施工を開始しているが、必ずしも適切な土壌の水分状態となっていない。このため、施工開始を判断する定量的な基準が必要と考えられるが、こうした報告事例(北川ら<sup>3)</sup>)は少ない。

本研究の目的は、営農上で求められる表土の物理性(以下、物理性)の悪化を抑制できる施工開始の判断基準値を明らかにすることである。本研究では、下層が泥炭土である9筆の大区画圃場において、施工前後の物理性について調査を行った。

### 2. 方法

#### (1) 調査圃場の概要

調査は、表-1に示す9筆の大区画圃場で行った。各圃場ともに施工前は数筆の小区画であったが、施工後は1.2ha程度の1筆の大区画になっている。

いずれの圃場も、表土は約25~30cm厚さの鈹質土である。土壌断面調査を行った結果、施工前の表土(0~15cm)は作土層であり、表土(15~30cm)はやや締め固まった耕盤層であった。下層は、ヨシを主体とした低位

表-1 調査圃場の概要

| 圃場名 | 土性または土壌分類 |     | 施工年月    |
|-----|-----------|-----|---------|
|     | 表土        | 基盤  |         |
| A   | シルト質埴土    | 泥炭土 | 2016年6月 |
| B   | 軽埴土       | 泥炭土 | 2017年6月 |
| C   | 軽埴土       | 泥炭土 | 2017年7月 |
| D   | 軽埴土       | 泥炭土 | 2018年7月 |
| E   | 軽埴土       | 泥炭土 | 2018年8月 |
| F   | 軽埴土       | 泥炭土 | 2019年6月 |
| G   | 軽埴土       | 泥炭土 | 2019年7月 |
| H   | 軽埴土       | 泥炭土 | 2020年7月 |
| I   | 軽埴土       | 泥炭土 | 2021年8月 |

泥炭土であった。調査を行った美唄市は、農耕地の土壌が泥炭土である圃場の内、低位泥炭土に分類される圃場は47%を占め、面積にすると3,000ha程度になる<sup>4)</sup>。A～I圃場の下層土もこの地域に広くみられる低位泥炭土であった。施工は、6月～8月の夏期に行われた。

## (2) 調査内容

調査内容は、施工前後の土壌調査、施工時の土壌水分調査および降雨後の土壌水分調査である。施工前後の土壌調査および施工時の土壌水分調査は、A～Gの各圃場6～8地点で行った。降雨後の土壌水分調査はC、HおよびIの各圃場6～15地点で行った。

施工前後の土壌調査は、土壌試料採取、土壌分析、土壌硬度および地耐力の測定であり、施工前（表土はぎ前）、施工後（表土戻し後）に行った。土壌分析（表-2）に供する試料について、圃場面下75cmまでをおよそ15cm刻みで5層に分けて、各層から攪乱試料を1試料採取し、非破壊試料を100cc採土管で3試料採取した。地耐力の測定は、土壌試料の採取地点近傍で深さ1mまでをコーンペネトロメータにより3反復で行った。

施工時の土壌水分調査は、以下の通り行った。施工前日に圃場面下45cmまでを15cm刻みで3層に分けて、表土および下層土を採取した。採取した土壌試料の含水比を分析し、施工前の調査時に作成した水分特性曲線から施工時のpFを算出した。なお、施工前日に試料採取ができなかった圃場では、施工後の調査を表土戻し直後にいき、採取した表土および下層土の含水比を測定し、得られた含水比と施工前の調査時に作成した水分特性曲線から施工時のpFを算出した。

降雨後の土壌水分調査は、施工前に降雨後1日から降雨後2～6日までの間、土壌試料を表土（0～15cm）から

表-2 土壌分析項目

| 分析項目   | 分析手法      |
|--------|-----------|
| 含水比    | 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      |
| pF試験   | 砂柱法および遠心法 |
| 土の粒度試験 | 沈降法       |

表-3 施工前の表土（0～30cm）の粒度分布

| 圃場名 | 粘土(%) | シルト(%) | 砂(%) |
|-----|-------|--------|------|
| A   | 31.7  | 45.7   | 22.6 |
| B   | 33.7  | 44.4   | 21.8 |
| C   | 32.6  | 42.9   | 24.2 |
| D   | 33.4  | 42.9   | 23.6 |
| E   | 34.1  | 43.4   | 22.3 |
| F   | 34.2  | 43.2   | 22.6 |
| G   | 34.1  | 44.7   | 21.2 |
| 平均  | 33.9  | 43.1   | 23.0 |

採取し、含水比を計測した。降雨後の表土のpFは、各圃場の調査箇所の含水比の平均値と事前の調査で作成した水分特性曲線から算出した。日降雨量のデータは、気象庁<sup>5)</sup>の美唄観測所におけるアメダスデータから得た。

各圃場の施工前における表土（0～30cm）の粒度分布を表-3に示す。なお、表-3には施工前後の土壌調査を行ったA～G圃場の結果を示した。表土の土性は、A圃場のみシルト質埴土であり、他の圃場では軽埴土に該当した。これは、A圃場ではシルトの重量割合が45%を超えたためであるが、表-3に示すように他の圃場と比較して粒度分布に大きな違いはなく、調査圃場の表土（0～30cm）は類似した土粒子径の分布状態である。このため、後述する表土の物理性については、A～G圃場の各調査地点の結果を同一の図に示し、考察した。なお、作土層に対しては営農上の土壌診断基準値<sup>6)</sup>があるため、作土層に対応する表土（0～15cm）については、土壌診断基準値を用いて施工前後の物理性を評価した。

## 3. 結果と考察

### (1) 施工前後の物理性

図-1に表土（0～15cm）の施工前後の固相率と施工時のpFとの関係を、図-2に表土（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。両図ともに施工前後で物理性に変化がなければ、y=x線上にプロットされる。なお、pFの値が小さいほど施工時の調査地点

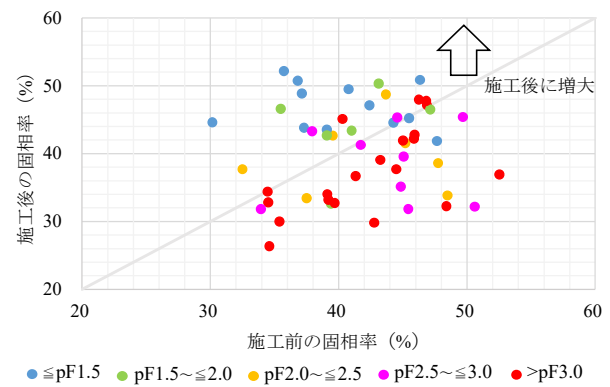


図-1 表土（0～15cm）の施工前後の固相率

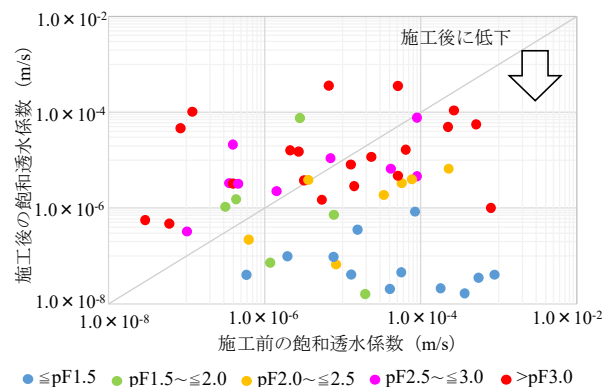


図-2 表土（0～15cm）の施工前後の飽和透水係数

の表土 (0~15cm) が湿潤状態にあることを表す。営農上の土壌診断基準値は、固相率が30~40%であり、飽和透水係数が $1.0 \times 10^{-6} \sim 1.0 \times 10^{-4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ である<sup>6)</sup>。

施工前後を比較すると、全調査地点の内、41%の地点で固相率が増大し、57%の地点で飽和透水係数が低下した。その結果、施工後は全調査地点の内、固相率で57%、飽和透水係数で41%が土壌診断基準値を満たさなかった。施工時の表土 (0~15cm) のpFが重力水に相当する1.5以下の地点に限ると、土壌診断基準値を満たしていない地点は、施工前には固相率で56%、飽和透水係数で38%であったのに対し、施工後には固相率で100%、飽和透水係数で88%に増加した。このように、表土 (0~15cm) がpF1.5以下の湿潤な状態の時に施工すると施工後の物理性が悪化する傾向が顕著であった。一方、施工時の表土 (0~15cm) がpF1.5を上回る地点では、施工前に土壌診断基準値を満たしていなかった地点は、固相率で63%、飽和透水係数で42%であったのに対し、施工後は固相率で39%、飽和透水係数で21%に減少した。

## (2) 表土 (0~15cm) の施工時のpFと施工後の物理性

表土 (0~15cm) がどの程度まで乾燥した時に施工すれば、施工後の物理性悪化を抑制できるかを明らかにするために、施工時の pF と施工後の物理性との関係を検証した。図-3、4 に調査地点における表土 (0~15cm) の施工時の pF と施工後の固相率および飽和透水係数との関係を示す。図の網掛け部分は、営農上の土壌診断基

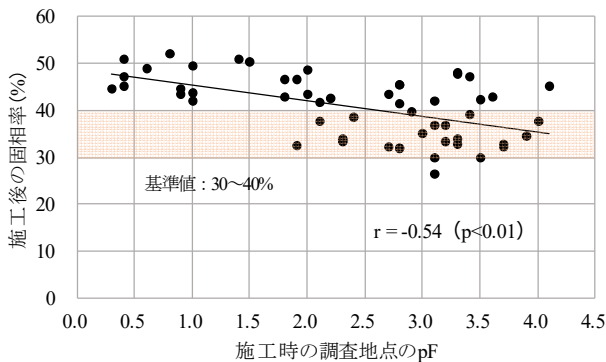


図-3 表土 (0~15cm) の施工後の固相率と施工時の pF

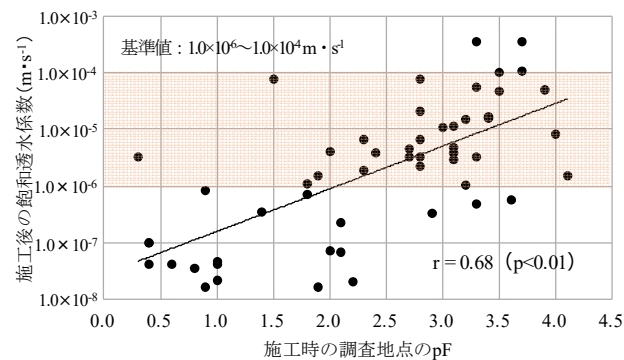


図-4 表土 (0~15cm) の施工後の飽和透水係数と施工時の pF

準値<sup>6)</sup>である。

施工後の表土 (0~15cm) は、固相率が土壌診断基準値を上回っている地点、飽和透水係数が土壌診断基準値を下回っている地点が多数みられた。特に、施工時の pF が小さい地点ほど、その傾向は顕著であった。これは、施工時の表土 (0~15cm) が湿潤な状態であったことから、施工機械での練返しの影響を受け、物理性が悪化したためと考えられる。

施工時の表土 (0~15cm) が pF2.0 以上まで乾燥すると、施工後の表土 (0~15cm) の固相率および飽和透水係数は、土壌診断基準値近辺となった (図-3、4)。表土 (0~15cm) の施工後の固相率は、pF2.0 では基準値を5%上回るが (図-3)、飽和透水係数は土壌表面に供給された水が浸入する速度に関係し<sup>7)</sup>、土壌の排水性の直接的な指標となる。このことから、ここでは表土 (0~15cm) の飽和透水係数が基準値内に収まる pF の値を施工開始の土壌水分状態とした。

調査圃場では、表土 (0~15cm) の物理性悪化を抑制するためには、pF2.0 以上まで乾燥した時に施工する必要がある。

## (3) 表土 (15~30cm) の施工時の pF と施工後の物理性

調査圃場の表土厚さは約 30cm であることから、表土 (15~30cm) の施工時の pF と施工後の物理性との関係を検証した。図-5 に施工に伴う表土 (15~30cm) の固相率の変化率を示す。固相率の変化率とは、調査地点で

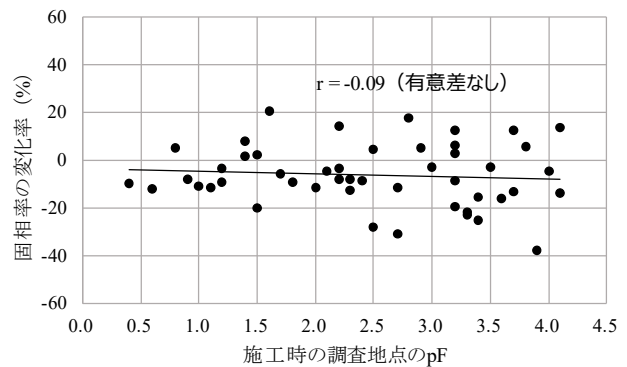


図-5 表土 (15~30cm) の固相率の変化率と施工時の pF

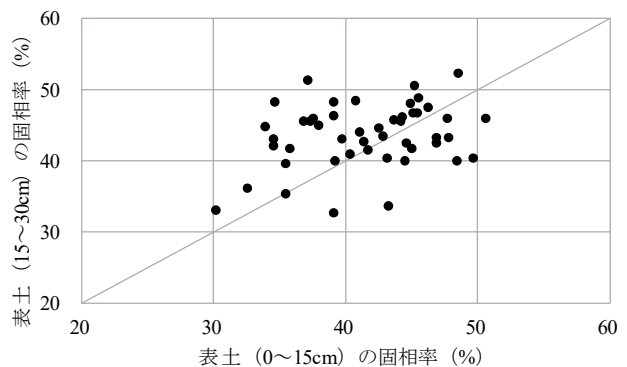


図-6 施工前の表土 (0~15cm) と表土 (15~30cm) の固相率

の施工後の固相率から施工前の固相率を引いた値を施工前の固相率で除し、百分率で示した値である。

表土 (15~30cm) の固相率の変化率は、施工時の表土 (15~30cm) が pF2.0 未満の湿潤な状態で施工した地点でも増加しておらず、逆に減少している調査地点もみられた。これは、表土 (15~30cm) が湿潤な状態で施工しても、施工後の固相率は施工前と比較して改善していることを示している。このような結果となった要因として、施工前の表土 (15~30cm) が、前述した通り耕盤層といった締め固まった不透水性の土層が形成されており、施工前の時点で固相率が高い状態にあったためと考えられる (図-6)。図-6 から全調査地点の内、73%の地点で表土 (15~30cm) の固相率が表土 (0~15cm) と比較して大きかった。施工前の時点で表土 (15~30cm) の固相率は高く、施工後には表土はぎの過程で耕盤層は破壊されるため、施工時の表土 (15~30cm) が pF2.0 未満の地点であっても、固相率の変化率は増加しなかったと考えられる。

このように、表土 (15~30cm) の固相率の変化率と pF との間に明確な関係はないことから、表土 (0~15cm) の物理性を優先すべきであるといえる。以上のことから、本調査圃場では、表土 (0~15cm) が pF2.0 以上まで乾燥した状態であれば、施工に伴う物理性の悪化を抑制できることが分かった。

#### (4) 施工開始の判断基準

施工現場では、表土の pF を容易に測定することはできない。このため、この pF を現場で容易に測定できる地耐力の値に置き換えることで、降雨後の施工開始を簡易に判定する手法を提案する。

図-7に施工前の表土 (0~15cm) の地耐力 (地表面から10cmの値) と pF との関係を示す。表土の pF と地耐力には相関関係があることから、地耐力が降雨後の施工開始の判断基準の1つになる。図-7から、pF2.0に対応する表土の地耐力は0.6MPaであった。降雨後に表土の (0~15cm) 地耐力が0.6MPa以上に回復してから施工すれば、物理性の悪化は抑制される。

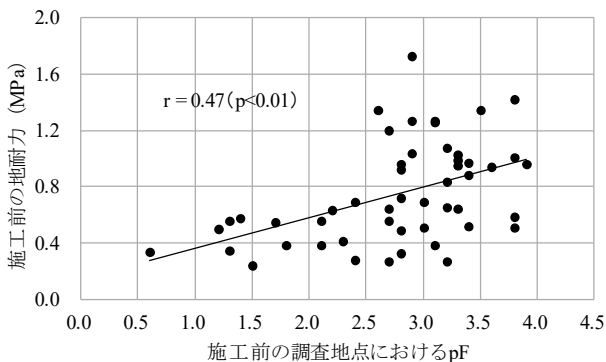


図-7 施工前の表土 (0~15cm) の地耐力と pF

#### (5) 施工1年後の物理性

施工後の営農作業が、表土 (0~15cm) の固相率および飽和透水係数に与える影響を検証するために、施工1年後の物理性を調査した。古木らは、圃場整備後の透水性の経年変化について、水稻1作目に回復した場合と水稻3作目でも回復しない場合など、土性の違いで差がみられたと報告している<sup>8)</sup>。調査圃場において、営農作業による物理性への影響を検証した。

図-8、9に施工前と施工1年後の表土 (0~15cm) の固相率および飽和透水係数の関係を示す。両図には、施工前と施工1年後のデータが得られたA~E5筆の結果を示した。全調査地点の内、施工1年後の表土 (0~15cm) が土壌診断基準値内に収まった地点は、固相率で26%、飽和透水係数で36%であった。施工前では、土壌診断基準値内に収まっていた地点は、固相率で37%、飽和透水係数で61%であった。表土 (0~15cm) では、土壌診断基準値内に収まっている固相率および飽和透水係数の地点数の割合は、営農作業により改善しなかった。このため、施工時に物理性の悪化を抑制することが重要である。

#### (6) 降雨後の施工開始までの目安の日数

物理性の悪化を抑制するためには、表土 (0~15cm) が pF2.0 以上まで乾燥した状態の時に施工する必要があることを述べた。この結果と降雨後の表土の水分の日変化を調査することで、物理性の悪化を抑制できる水分まで表土が乾燥する日数を検証した。

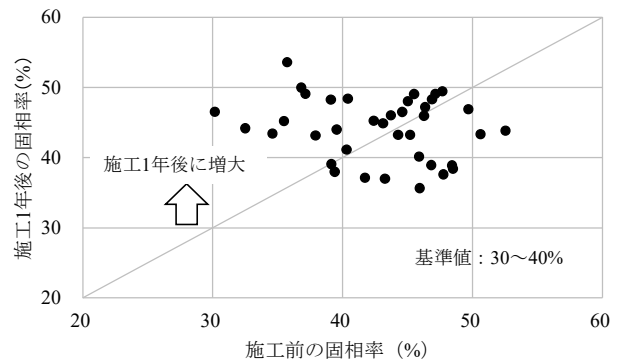


図-8 表土 (0~15cm) の施工前と施工1年後の固相率

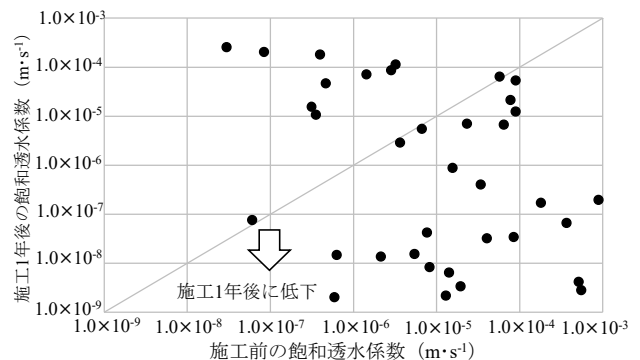


図-9 表土 (0~15cm) の施工前と施工1年後の飽和透水係数

表-4 各圃場の降雨後における表土 (0~15cm) の pF

|         | C 圃場 (n=6) |          | H 圃場 (n=15) | I 圃場 (n=15) |
|---------|------------|----------|-------------|-------------|
|         | 降雨量 7mm    | 降雨量 29mm | 降雨量 33mm    | 降雨量 17mm    |
| 降雨 1 日後 | 1.3        | 0.5 未満   | 0.5 未満      | —           |
| 降雨 2 日後 | 2.1        | 0.8      | 0.6         | —           |
| 降雨 3 日後 | —          | —        | 1.1         | 2.3         |
| 降雨 4 日後 | —          | 2.0      | 1.8         | 2.7         |
| 降雨 5 日後 | —          | —        | —           | 2.9         |
| 降雨 6 日後 | —          | —        | —           | 3.0         |

表-4 に降雨後の土壌水分調査を行った 3 圃場の降雨後における表土 (0~15cm) の pF の日変化を示す。C 圃場では、降雨量 7mm を観測した 1 日後に表土 (0~15cm) の pF は 1.3 となり、2 日後には 2.1 まで大きくなった。周辺では、降雨後 1 日で施工を再開した現場も確認されたが、降雨後 1 日では、表土 (0~15cm) は pF2.0 まで大きくなっていないかった。施工に伴う物理性の悪化を抑制するためには、降雨量が 5~10mm の場合、降雨後 1 日程度は施工を中断する必要があった。

降雨量が 17mm を観測した I 圃場では、降雨後 3 日には表土 (0~15cm) は pF2.0 以上まで回復していた。それ以前のデータが欠損しているため、確実なことは分からないが、降雨量が 10~20mm の場合、降雨後 2 日程度は施工を中断する必要があったと推察される。

降雨量 30mm 程度を観測した調査では、C および H 圃場ともに降雨後 1 日には pF0.5 未満まで小さくなっていた。両圃場の表土では、その後の土壌水分の日変化は似た傾向を示した。これは、表土が同じ土性であるためと考えられる。表土 (0~15cm) が pF2.0 以上まで大きくなったのは、C 圃場では降雨後 4 日であった。また、H 圃場では降雨後 5 日程度と推察される。

#### 4. まとめ

大区画圃場において、施工前後の物理性を調査した。結果は以下の通りである。

- 1) 施工前の表土 (0~15cm) は作土層であり、表土 (15~30cm) は耕盤層であった。表土 (15~30cm) の固相率の変化率と施工時の pF との間に相関関係はなかった。表土 (0~15cm) の固相率と施工時の pF には相関関係があったことから、表土 (0~15cm) に着目して施工開始の判断指標が示せることが分かった。
- 2) 表土 (0~15cm) の物理性の悪化を抑制するためには、表土 (0~15cm) が pF2.0 以上まで乾燥した状態で施工する必要があることを明らかにした。
- 3) 表土 (0~15cm) の pF2.0 に対応する地耐力は

0.6MPa であった。このため、降雨後に表土の地耐力が 0.6MPa 以上まで回復したことを確認してから施工を行えば、物理性の悪化は抑制される。

- 4) 施工後 1 年間の営農作業による物理性への影響を検証した結果、表土 (0~15cm) では、土壤診断基準値内に収まっている固相率および飽和透水係数の地点数の割合は、施工前の状態まで戻っていなかった。営農作業による物理性の改善がなかったため、施工時に物理性の悪化を抑制することが重要である。
- 5) 降雨後に表土 (0~15cm) が pF2.0 以上まで乾燥するには、降雨量が 5~10mm の場合は降雨後 1 日程度、降雨量が 10~20mm の場合は降雨後 2 日程度、降雨量 30mm 程度の場合は、降雨後 4 日から 5 日程度施工を中断する必要があると推察される。

#### 参考文献

- 1) 北海道農政部：「令和 2 年度農業・農村の動向等に関する年次報告」の概要、2021.
- 2) 北海道農政部、道総研農業研究本部、ホクレン農業協同組合連合会、社団法人北海道米麦改良協会：北海道の米づくり、pp.52-61、2011.
- 3) 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、農業農村工学会誌、vol.83 (5)、pp.363-366、2015.
- 4) 北海道開発局農業水産部農業計画課：石狩川水系の土壌因農牧地および農牧適地、216-217、1987.
- 5) 国土交通省気象庁：各種データ・資料 <https://www.jma.go.jp/jma/index.html>。(令和 3 年 12 月 14 日確認)
- 6) 北海道農政部：北海道施肥ガイド 2020、p.18、2020.
- 7) Daniel, H.：土壌物理学概論—土と水の科学—、養賢堂、pp.150-151、1993.
- 8) 古木敏也、多田 敦、林 直幹、上村道子：ホ場整備に伴う透水条件の変化について、農業土壌試験場報告、pp.129-160、1970.