

大区画圃場の土壌物理性を 良好に保つ施工技術の開発 —雄武町近郊圃場での調査結果—

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 ○高須賀 俊之
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 横地 穰

農地再編整備事業では整備後圃場の排水性・保水性が悪化することがあり、課題となっている。本報では研究の前提となる土壌物理性悪化のメカニズムについて紹介するとともに、「国営緊急農地再編整備事業 雄武丘陵地区」の圃場において、施工前、施工中、施工後の表土の物理性変化を調査し、土壌水分およびブルドーザの走行頻度の影響について検討した結果を報告する。

キーワード：生産基盤の整備・確保、土壌物理性、ICT

1. はじめに

北海道では、水稻農家の減少に伴い経営体当たりの作付面積が拡大しており、労働生産性を高めるべく農作業の効率化や省力化を可能にする圃場の大区画化が行われている。また、食料・農業・農村基本法(令和6年5月改正)では、食料安全保障の強化が基本理念に掲げられ、輸入依存度の高い麦・大豆等の増産が政策課題となっている¹⁾。このため既存の水田の畑地化・汎用化の推進が重要視されている。

一方で大区画化の施工現場では、土壌が過湿な条件下での施工機械による圧縮、練り返しにより、表土の排水性、保水性など土壌物理性が悪化する懸念がある。整備後の圃場における過湿被害、作物の品質低下などを未然に防ぐため、大区画化工事の過程において適切な土壌物理性を保持することは重要である。

前歴の研究²⁾では、施工時に表土が乾燥しているほど施工後の土壌物理性が維持されている傾向を見出すことができた。しかしながら、令和4年から6年度までの調査では、施工時の土壌水分と施工後の土壌物理性に明確な傾向を確認できなかった。これは前歴研究で調査対象とした圃場では、表土扱い時にブルドーザが往復を繰り返す工法であったため、表土に作用する力が比較的均一であったが、令和4年から令和6年度までに調査対象とした圃場では、基盤整地を終えた圃場の数ヶ所にまとめて仮置きした表土を一度に押し広げていく工法であったため、ブルドーザの走行頻度に偏りがあり、これを考慮しなかったためと考えられる。

そこで、土壌物理性に影響を与える要素として「施工

時の土壌水分」だけでなく「ブルドーザの走行頻度」について注目し、その影響を評価する方針とした。

本報では、研究の前提となる土壌物理性悪化のメカニズムについて紹介するとともに、令和6年度から調査対象とした1圃場の調査分析結果について紹介する。

なお、本報告は、筆者らが執筆した技術資料「圃場の大区画化工事における重機の運用と表土の物理性変化に関する調査状況」(寒地土木研究所月報2026年1月号)に、新たに分析した土壌物理性の結果を加筆したものである。

2. 土壌物理性

(1) 土壌構造

土壌は固体、水、空気で構成され、それぞれを固相、液相、気相という。固相には土粒子の他、有機物等が含まれる。液相は土粒子の隙間に存在する水、気相は土粒

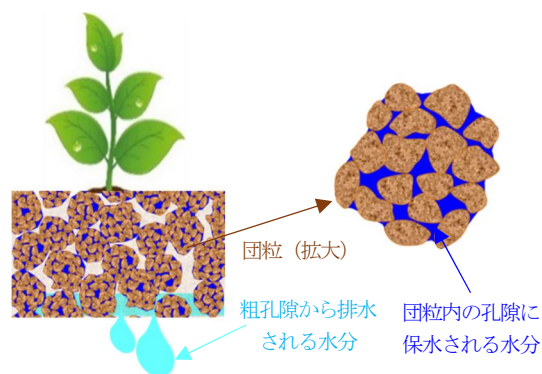


図-1 団粒構造のイメージ

農地の土壌において、孔隙の量および大きさは排水性、保水性、通気性に関係し、植物の生育に影響する。土粒子間に水が満たされていない部分を指す。このうち液相と気相にあたる空間を孔隙という³⁾。土粒子が集合した団粒は内部に微細な孔隙を有することで保水性を高め、団粒間に形成される比較的大きな孔隙は排水性に影響する。作物に適した土とは、大きな孔隙と微細な孔隙が併存するような土壌構造であり団粒構造（図-1）といわれる³⁾。

表土の土壌物理性を良好に保つとは、団粒構造を維持することといえる。

(2) 土壌物理性悪化のメカニズム

適切な水分状態では土粒子間に水の表面張力による負圧が作用し、土壌の団粒構造を維持する。この孔隙内の液相と気相の境界面に発生する表面張力は毛管力といわれ、大きな隙間で弱く、小さな隙間で強く働く。

この表面張力は液相と気相の境界面に発生するが、孔隙に水分が満たされた状態、つまり過湿状態では、毛管力が失われ、団粒状に結びついていた土粒子が離れやすくなる。このことが施工の過程で団粒構造を損ない、孔隙が埋まり、ひいては土壌の保水性、排水性を悪化させるメカニズム（図-2）と考えられる。

(3) 土壌物理性の評価（指標）

土の性状を表す様々な指標のうち、団粒構造に関係し、農地の表土の状態を評価する指標として、固相率および飽和透水係数に注目した。固相率は土壌中の固相が占める体積の割合を示す指標、飽和透水係数は土壌が飽和状態で水を透過させる能力を示す指標である。

これらの指標については、北海道立中央農業試験場により「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」⁴⁾として研究されており、その結果は「北海道施肥ガイド2020」として公開されている。これによると牧草地の（造成・更新時）の診断基準は、固相率：25～35vol. %、有効根域の飽和透水係数： 10^{-5} ～ 10^{-6} m/sとなっている⁵⁾。

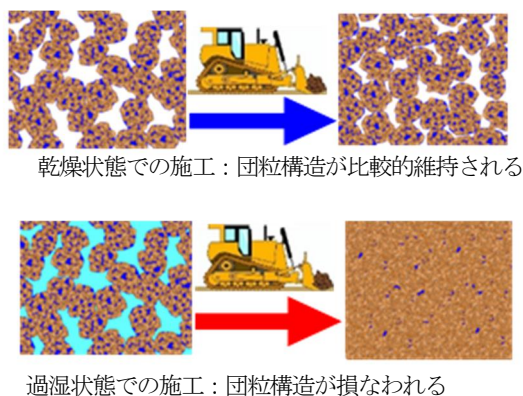


図-2 施工に伴う土壌物理性変化のイメージ

3. 方法

(1) 調査対象

本技術資料の調査対象は灰色台地土の土壌が分布する「国営緊急農地再編整備事業 雄武丘陵地区」（図-3）の圃場とした。本圃場では牧草地約3haの範囲で急斜面や窪地を整地する工事が実施され、令和6年8月に施工開始、令和7年6月に完了した。

対象圃場の整地工は「表土はぎ」、「基盤切盛」、「表土戻し」の工程で行われ、整備後の表土厚は15cmに施工された。工程毎の土壌物理性の変化を調査するため、「表土はぎ」前に施工前試料、「表土戻し」前に仮置き表土の試料、「表土戻し」完了後に施工後試料として、表土の不攪乱試料を採取し、各種土質試験を行った。また、「表土戻し」施工中の重機走行頻度調査を行った。

(2) 重機走行頻度調査

調査対象圃場の「表土戻し」に使用された重機は主としてブルドーザ（コマツ D61PXi）（写真-1）で、1箇所

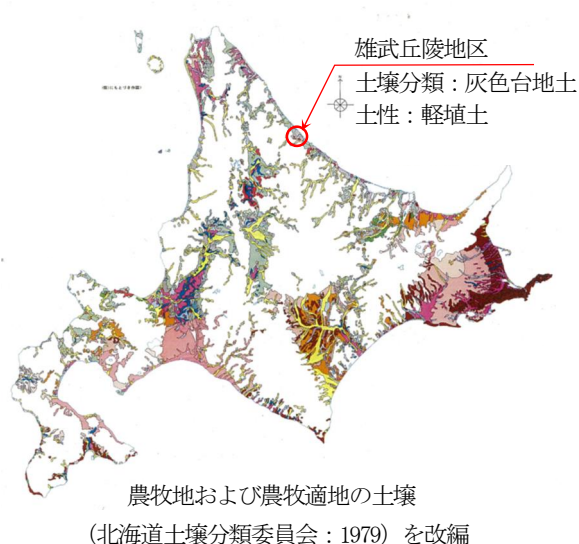


図-3 調査対象圃場位置図



写真-1 表土戻し施工重機：コマツD61PXi

に仮置きされた表土がこのブルドーザ1台により圃場全体に押し広げられ、整地完了まで表土の均平作業が行われた。なお、部分的に表土の蒔きだし作業がバックホウとキャリアダンプにより行われたが、表土を踏み固める形での運用はないため、これらについての走行頻度調査は行わなかった。

「表土戻し」に使用されたブルドーザの走行頻度を調査するため当該ブルドーザにGNSS機器を取り付け、1秒ごとに座標データを取得した。

取得した座標データは、異常値の排除、左右の履帯位置への座標変換等を行った上で、25cm四方のグリッドごとにブルドーザの履帯が何回通過したかを集計し、ヒートマップとして可視化した。グリッドサイズの設定(25cm)は、「TS・GNSSを用いた盛土の締固め管理要領」⁶⁾に記載のブルドーザの管理ブロックサイズの設定に準じた。

(3) 土質試験

土壌物理性を評価する試料は、施工前の表土4箇所(2層から(深さ:上層5~10cm、下層10~15cm)採取し、仮置き表土の試料は2箇所(2層(深さ:上部5~10cm、内部30~35cm)、施工後試料は10箇所(2層(深さ:上層5~10cm、下層10~15cm))で採取した。

採取した表土の不攪乱試料の土質試験は、湿潤重量測定(体積含水率)、実容積測定(固相率)、変水位透水試験(飽和透水係数)、遠心法によるのpF~体積含水率の計測(粗孔隙率・易有効水分孔隙率)、乾燥重量の測定(体積含水率・固相率)を同一の試料に対し順に実施した。ここで、粗孔隙はpF0.0~1.8、易有効水分孔隙はpF1.8~3.0の範囲で水分が残る孔隙量である。

4. 結果

(1) 施工段階毎の土壌水分

施工前、仮置き状態、施工後の表土の体積含水率を図-4に示す。いずれの段階も下層(内部)より上層(上部)で体積含水率が小さかった。これは降雨後を避け圃場が乾燥した条件で土壌採取を行ったことから、地表がより乾燥し、下層で水分が保持されているためである。

また施工前と比較し、仮置き表土において体積含水率が大きくなっているのは、この間に積雪期、融雪期を挟んだため、その水分が仮置き状態の表土に浸透したことによる。

およそ2~3mの盛土状に仮置きされた表土の内部は、比較的均一で、かつ土壌水分の変化が小さいと推定され、その体積は仮置き表土の大部分を占める。これらのことから「表土戻し」施工時の土壌水分は体積含水率47.1%であったと考えられ、これは仮置き表土内部の土壌でpF2.6に相当する水分量である。

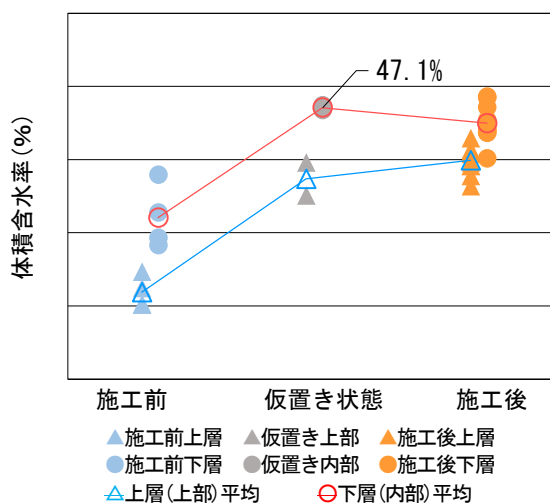


図-4 施工段階毎の体積含水率

(2) 施工段階毎の土壌物理性

施工段階毎の固相率を図-5、飽和透水係数を図-6に示す。

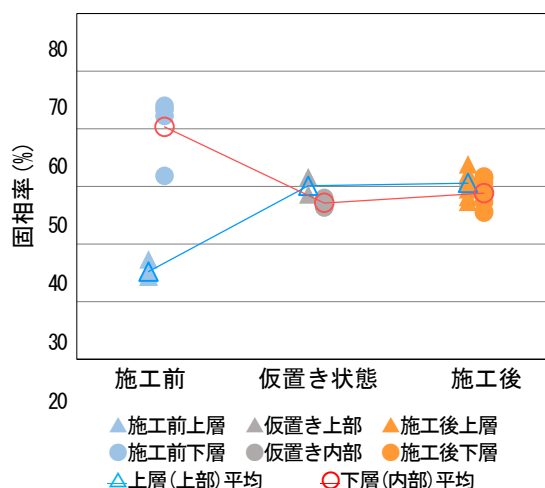


図-5 施工段階毎の固相率

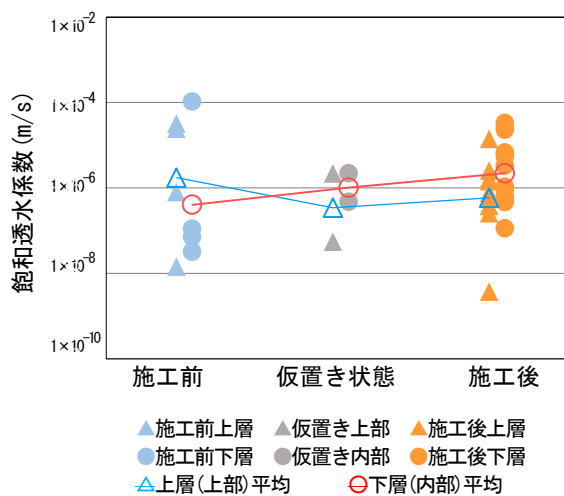


図-6 施工段階毎の飽和透水係数

施工前の表土において、固相率は比較的大きなばらつきがあり、その中でも下層が50%以上、上層が40%以下と明確な差が確認された。表土はぎ後に仮置きされた表土、施工後の表土では、固相率50%前後となった。施工前と仮置き段階において固相率の変化が大きく、施工前で上層に多く下層に少なかった孔隙が、「表土はぎ」施工によって表土が攪拌され、均一化されたことがわかる。特に施工前の表土上層で平均35.2%であった固相率が仮置き段階で約50%に増大しており、施工による孔隙の減少が顕著であった。仮置き段階と施工後の比較では固相率に大きな変化はなかった。飽和透水係数については、施工段階毎の平均値に大きな変化を確認できなかった。

「施工時の土壌水分」が土壌物理性に与える影響については、体積含水率 47.1%という条件での 1 事例であり、今後、異なる条件下でのデータを集め解析を進めていきたい。

(3) 重機走行頻度と土壌物理性

施工後の試料採取位置は、表土の仮置き範囲と表土戻しの施工にかかるブルドーザ走行履歴を考慮して選定した。採取地点10箇所と、表土仮置き範囲、ブルドーザ履帯通過回数のヒートマップを重ねると、図-7となる。施工後表土の採取位置におけるブルドーザの履帯通過回数は、最小4回、最大34回である。この回数と固相率の関係を図-8、飽和透水係数との関係を図-9に示す。

今回の調査結果からは、ブルドーザの履帯通過回数と固相率および飽和透水係数に相関関係を見いだすことができなかった。

施工後表土の団粒構造について推定するため、同じ施工後表土の孔隙率と履帯通過回数の関係を示したものが図-10、図-11となる。前述のとおり、粗孔隙は団粒の周囲に形成される大きな孔隙であり、易有効水分孔隙は団粒内部の比較的細かい孔隙のうち湿潤状態で植物が吸収できる水分が存在する孔隙である。



図-7 履帯通過回数と施工後試料採取位置

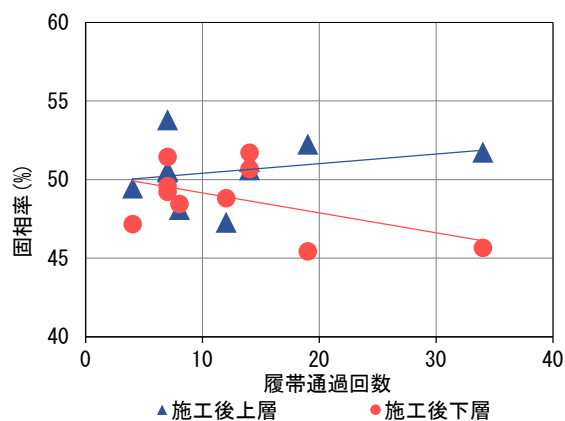


図-8 履帯通過回数と固相率

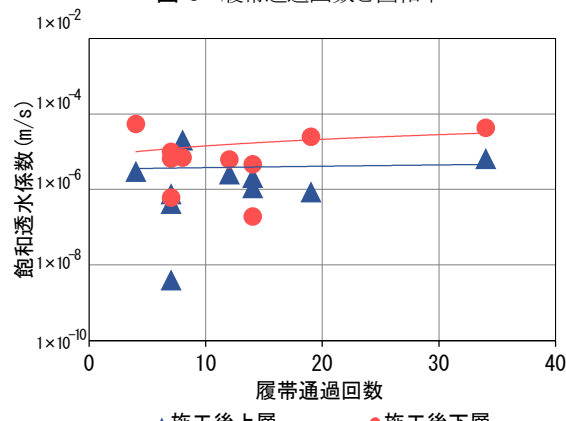


図-9 履帯通過回数と飽和透水係数

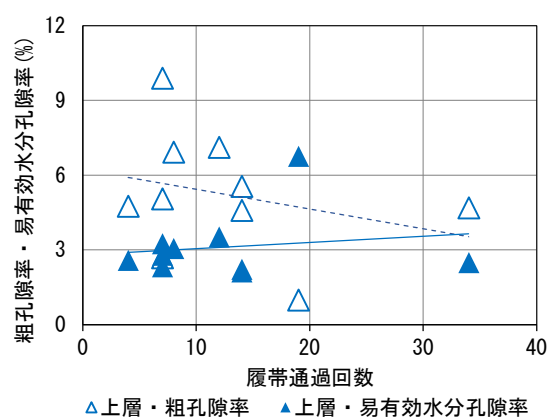


図-10 履帯通過回数と孔隙率(上層)

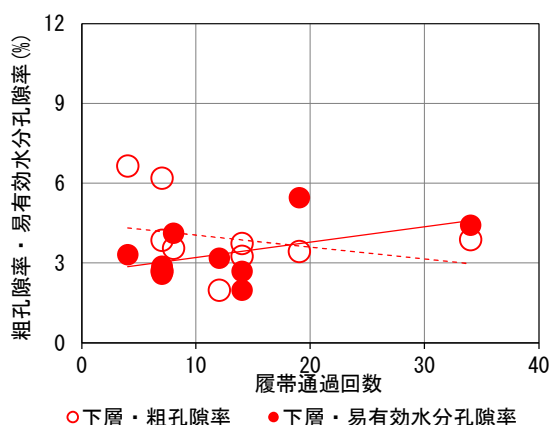


図-11 履帯通過回数と孔隙率(下層)

図-8の固相率、図-9の飽和透水係数と同様に、全体として履帯通過回数との相関を見いだすことはできないが、表土の上層(図-10)に注目すると、履帯通過回数4～14回の表土では易有効水分孔隙より粗孔隙の割合が大きいことがわかる。一方で表土の下層にはその傾向は認められない。

圃場整備工事における表土扱いでは、多くの場合ブルドーザ前面の排土板で運土するため、一般的な締固め管理とは異なり、ある位置の表土がその場で履帯走行回数に比例した踏圧を受け続けることはない。

つまり1箇所にとめられた仮置き表土を圃場全体に押し広げる作業の段階では、走行回数が締固め力として作用する踏圧回数と関連付けることができない可能性がある。

このことから、「表土戻し」の工程を「押し広げ作業」と「均平作業」に大別し、排土板による運土量が大きい「押し広げ作業」と比較的表土の移動量が少ないと考えられる「均平作業」の影響を分けて捉えて分析することで、より詳細に重機の運用が表土の物理性に与える影響を評価できると考えられる。

「押し広げ作業」と「均平作業」は「表土戻し」施工時のブルドーザの走行履歴から、施工の前半で表土仮置き範囲を起点とする走行であれば「押し広げ作業」、施工の後半で表土仮置き範囲に戻らない走行であれば「均平作業」と見なすことができる。

孔隙率の分析において、履帯通過回数が4～14回と少ない地点で施工後表土の上層の粗孔隙率が比較的大きかったことから、ほ場辺縁部の重機の運用の差異が施工後表土の土壌物理性の差に影響する可能性が示された。

今後、施工後試料採取地点で「押し広げ作業」「均平作業」それぞれの履帯通過回数を判定し、排土板による運土と履帯による踏圧の影響度を分析考察していきたい。

5. おわりに

土壌区分が灰色台地土である雄武丘陵地区の1圃場について、施工過程での土壌物理性の変化について調査し、「ブルドーザの走行頻度」が与える影響について評価を試みた。今後はより施工の実態に即した分析を行うとともに、別圃場で実施中の調査を継続し、「施工時の土壌水分」の影響について事例を積み重ねて、併せて評価する予定である。

参考文献

- 1) 食料安定供給・農林水産業基盤強化本部：第8回 資料1 食料・農業・農村基本法改正等を受けた新たな政策の展開方向、2024.
- 2) 桑原淳、横濱充宏：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—、第 65 回北海道開発技術研究発表会、915-919、2021.
- 3) 山根一郎：土壌学の基礎と応用、1960
- 4) 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、83巻、5号、3-6、2015.
- 5) 北海道農政部：北海道施肥ガイド2020、181、2020.
- 6) 国土交通省：TS・GNSSを用いた盛土の締固め管理要領、p. 21、2020.