

畑地帯における地下探査技術を活用した区画整理の設計 ～草地整備の障害物除去・畑地帯の区画整理への応用～

北海道十勝総合振興局産業振興部北部耕地出張所 ○山村航也
北海道上川総合振興局産業振興部南部耕地出張所 長瀬大児
(一財)北海道農業近代化技術研究センター 南部雄二・赤塚脩介
応用地質株式会社 増田博昭・中島 睦

1. はじめに

①新田地区

士幌町の西部地域の東ヌプカウシヌプリ山から続く丘陵エリアの草地には、火山角礫層が分布している。

草地整備の対象となる「新田地区」(新田牧場)は、昭和29年に公共牧場として開設され、国営草地開発事業等の草地造成工事により障害礫を排礫し、その後は直播蹄耕法による放牧地整備が行われてきた。

しかし、放牧および採草として利用している草地の大部分において火山角礫(巨礫)が圃場表面に露頭・点在しており(写真-1)、採草作業の障害となっている。

そのため、効率的な採草作業等の実現を目的とする草地整備改良事業の実施段階では、広範囲にわたる礫の分布状況を的確に把握したうえで、障害物除去工法を検討する必要があった。

そこで、地下探査技術の活用により、広範囲な礫分布状況を効率的に把握して、含礫状態に応じた効果的・経済的な障害物除去工法を検討した。

②士幌北部地区

畑地整備の対象となる「士幌北部地区」をはじめ十勝川支流の音更川の沖積地に分布する畑地では石礫区域が多く点在し、また不規則な起伏による窪地が存在しており、農作業および作物生育の障害となっている。

これまでに石礫除去(除礫)を実施しているが、除礫区域(施工区域)は受益農家への聞き取りと圃場内の代表地点での含礫調査等に決定されてきた。

しかし、実際の礫の分布範囲は不均一であるため、従来の含礫調査よりも効率的に石礫分布状況を把握し、除礫区域を特定することで、効率的・経済的に除礫工事を実施するこ

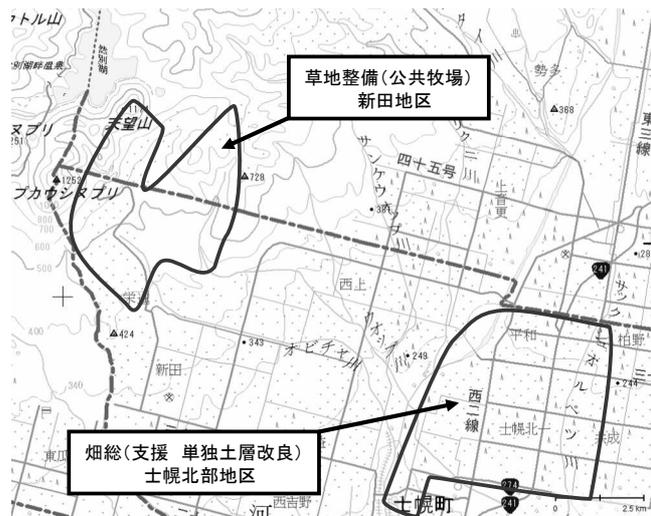


図-1 調査実施地区の位置



写真-1 草地内に点在する巨礫

とが可能となる。

さらに、除礫後の排出礫（排礫）の運搬処理は、工事費の増加につながるため、農地の起伏修正（窪地解消）への活用など、圃場内での排礫処理が工事コスト縮減に有効である。

そのため、高精度 GNSS（GPS）と地下探査技術の活用により、圃場の地形計測と圃場内の礫分布状況を効率的に把握して、石礫分布地帯の農地整備の低コスト化を検討した。

2. 調査に用いた手法

(1) 地中レーダー探査

レーダー探査（写真-2）は、電磁波の反射等により、路盤内・河川堤防の空洞、地中埋設物等の探査に用いられている。地中内の空洞・埋設物等の深度、大きさを把握することができるので、巨礫の埋没状況を把握するうえで有効な手法である。探査精度は高いが、探査ライン直下の判定となるため、圃場内を面的に評価するためには、測線数を多く設置する必要がある。



写真-2 地中レーダー探査

測線間隔 5m で探査を実施した場合の巨礫平面分布図の例を図-2 に示す。レーダーの反応箇所が段階別着色することで、巨礫の大きさと位置を把握することができた。

なお、新田地区では事業計画時に、草地内の礫の出現深度・礫の大きさの判定に用いて、ストーンクラッシャー実施対象圃場 168ha を決定した。

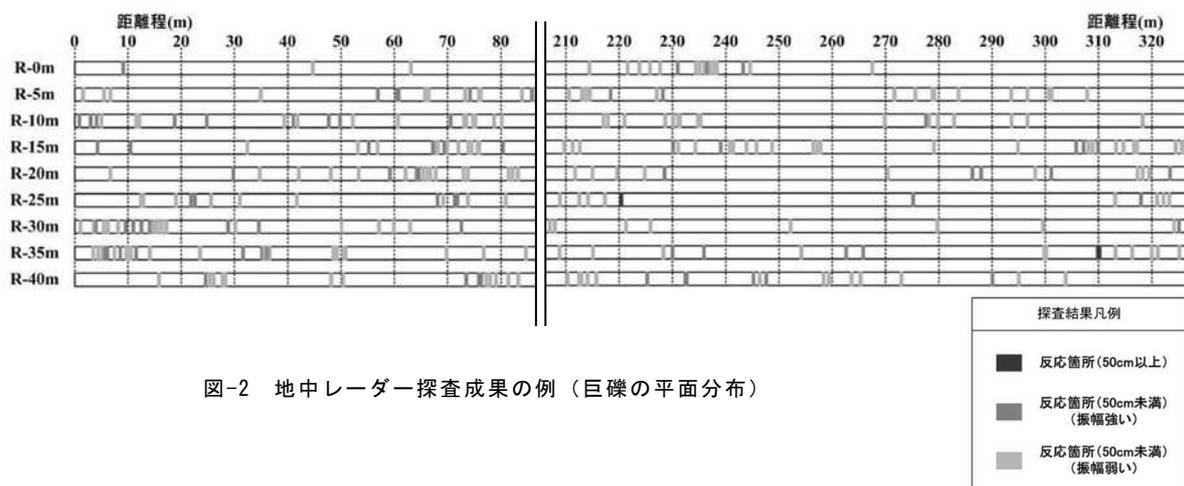


図-2 地中レーダー探査成果の例（巨礫の平面分布）

(2) けん引式電気探査

けん引式電気探査（写真-3）とは、電極棒の打設が不要で、連続的な計測が可能な比抵抗探査システムであり、従来の電気探査に比べ迅速な測定が可能である。比抵抗探査の実施結果から、マッピング処理が容易であり、空洞探査、地下水探査、遺跡探査等に利用されている。

測定データは、GNSS（GPS）との連動により座標（緯度・経度）付のデータとなるため、5m～20m 程度で調査圃場内に設定した測線ごとの測定データから、GIS 等で比抵抗のマッピングが可能である。

探査の一連の流れを図-3 に、機器配置の概要を図-4 に示す。

けん引式電気探査の測定データを、電極を差し込む移動式電気探査（アースグラフ・写真-4）でキャリブレーションすることで、深度約 40cm 内の比抵抗に補正することができる。これまでに、深度約 40cm 内の比抵抗と含礫率の相関性が確認されていた¹⁾ことから、草地および畑地の含礫マップを作成するために、電気探査手法を用いた。

けん引式電気探査では、高精度 GNSS（VRS 方式 RTK-GPS）と連動させ、探査位置を取得した。この手法は、国土地理院の電子基準点をもとにした仮想基準点の補正信号をパケット通信によりリアルタイムで取得するものであり、GPS 受信機 1 台で高精度の測位が可能である。

畑地の探査では、地形計測も探査と同時に実施して（写真-5）、地形マップ、横断図を作成した。

また、移動式電気探査（アースグラフ）地点で含礫（試掘）調査を実施した。これは、比抵抗と含礫率の相関性から、含礫率マップを作成するためである。



写真-3 けん引式電気探査
(オームマップパー)



写真-4 移動式電気探査
(アースグラフ)



写真-5 位置情報の取得
(VRS 方式 RTK-GPS)

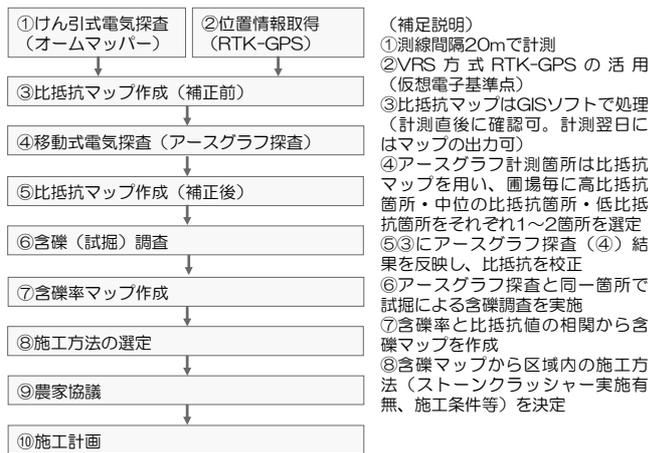


図-3 けん引式電気探査の調査手順 (新田地区)

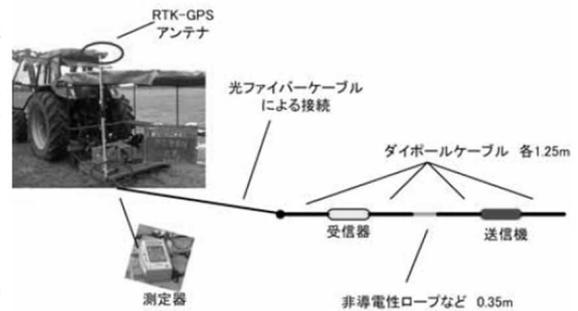


図-4 けん引式電気探査の機器配置図

3. 草地整備障害物除去工での地下探査の活用

(1) 新田地区の概要

新田牧場は JA 土幌町が管理運営する公共牧場であり、多くの圃場で巨礫が点在し、一部圃場では湧水のため採草作業が困難になるなど、安定的な経営への支障となっている。

そこで、草地整備により障害要因を除去するとともに、畜産農家からの預託への要望に応えるため育成施設等を一体的に整備する計画である。

関係市町村	河東郡土幌町（一部上土幌町）	
事業期間	平成 24 年～29 年	
総事業費	990,000 千円	
事業内容	草地整備改良 648ha（排水改良、障害物除去等） 草地造成改良 22ha（排根線除去、草地造成等） その他施設 1 式（家畜保護施設、飼料調整貯蔵施設等）	
効果	飼養頭数（夏季）	現況 1,530 頭→計画 2,028 頭
	飼養頭数（冬季）	現況 893 頭→計画 1,250 頭
	飼料自給率（牧場内）	現況 46.5%→54.5%

新田地区の圃場は、1 区画の面積が広大（約 8ha）である。また、牧場開設から一度も草地更新を実施していない圃場が大半を占め、牧場関係者も巨礫の位置を把握していない。そのため、放牧地を採草地化する圃場（135ha）では、通常実施される 3 点/ha の試掘調査（含礫調査）では、含礫の平面的な分布状態を把握することは困難であると判断した。

そこで、「含礫分布の平面的把握」を重点とし、地下探査手法の活用により判定することとした。

(2) 電気探査の活用

新田地区において、事業計画時点でストーンクラッシャー施工を予定していた 168ha のうち、平成 24 年施工圃場以外の 16 圃場（138ha）について実施した。調査時期は平成 24 年 9 月上旬から 10 月下旬までであり、降雨や休日等を除く実探査日数は 27 日間であった。

けん引式電気探査（オームマップ）の実施では、トラクタと専

地点名	比抵抗 ($\Omega \cdot m$)		
	①オームマップ	②40cm	③80cm
N-H(H)地点	2469	1205	1304
N-H(L)地点	1871	1206	1113
N-M地点	825	325	377
N-L地点	212	177	156
S-H地点	2088	1046	1299
S-M地点	1382	577	774
S-L地点	807	264	254

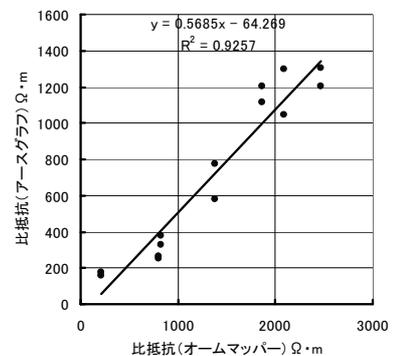


図-5 けん引式電気探査（比抵抗）の校正

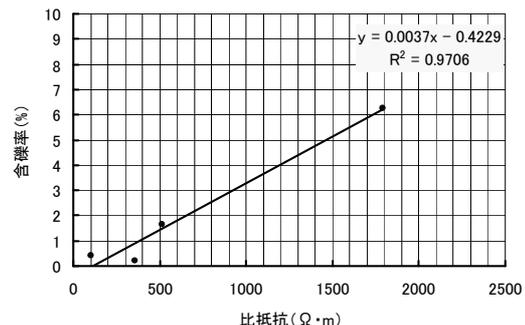
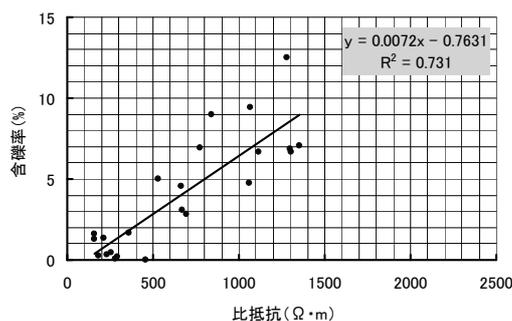


図-6 比抵抗と含礫率の相関性

任オペレータを地元で確保（JA 士幌町の斡旋）できたことで効率的な探査が可能となり、1 日当たりの探査面積は約 6ha であった。ただし、湧水の多いエリアはトラクタが進入することができなかつたため、けん引式に換わり移動式電気探査により補足調査を実施した。

移動式電気探査および含礫調査は、71 点で実施した。調査期間は、9 月下旬の 1 週間、10 月下旬の 1 週間で実施し、実所要期間は 13 日間であった。

調査実施後、けん引式電気探査と移動式電気探査の相関（図-5）による比抵抗の校正、含礫率と比抵抗の相関（図-6）による含礫率マップの作成（図-7）、圃場群分類（表-1）・工法検討（表-2）、施工エリアの検討等、解析・検討を行った（解析・検討期間は約 2 ヶ月）。

なお、圃場群は、電気探査と含礫調査の結果から、比抵抗のレンジを考慮して分類した。

表-1 探査結果による圃場群の分類

圃場群	対象圃場名	圃場群の特徴	備考
I 群	国-G4・国-G5 国-H1・国-H3 国-D3-2	比抵抗の値が低くても含礫率が5%を超えてしまう圃場群	圃場の全体が施工対象となる
II 群	ｽﾌﾞｶB-ｽﾌﾞｶ8 ｽﾌﾞｶB-ｽﾌﾞｶ9 国-F1・国-F3 新-7B・新-7C 新-12A	比抵抗の値が低ければ含礫率が5%以下であるが、高ければ5%を超える圃場群	圃場が部分的に施工対象となる
III 群	国-C2	II 群と同様の傾向を示すが、比抵抗がかなり高い値を示す場合に限り、含礫率が5%を超える圃場群	圃場のごく限られた一部分が施工対象となる可能性あり
IV 群	ｽﾌﾞｶB-ｽﾌﾞｶ7 国-B1、新-8	比抵抗の値が高くても含礫率が5%を超えることのない圃場群	圃場は施工の対象とならない

表-2 含礫レベル別の工法検討結果

レベル区分	判定指標	排礫使用機械		ストーンクラッシャー条件		排礫積込	
		ブラッシュブレーカー	レーキドーザ	障害なし	障害あり	BH&人力積込	BH積込
0	含礫率2%未満	○				○	
1	含礫率2~4%		○			○	
2	含礫率4~7%		○	○			○
3	含礫率7~10%		○		○		○
4	含礫率10%以上		○		○		○
備考		通常の耕起機種	レーキ排根歩掛を使用	農業公社歩掛条件		残礫把握のため人力積込実施	

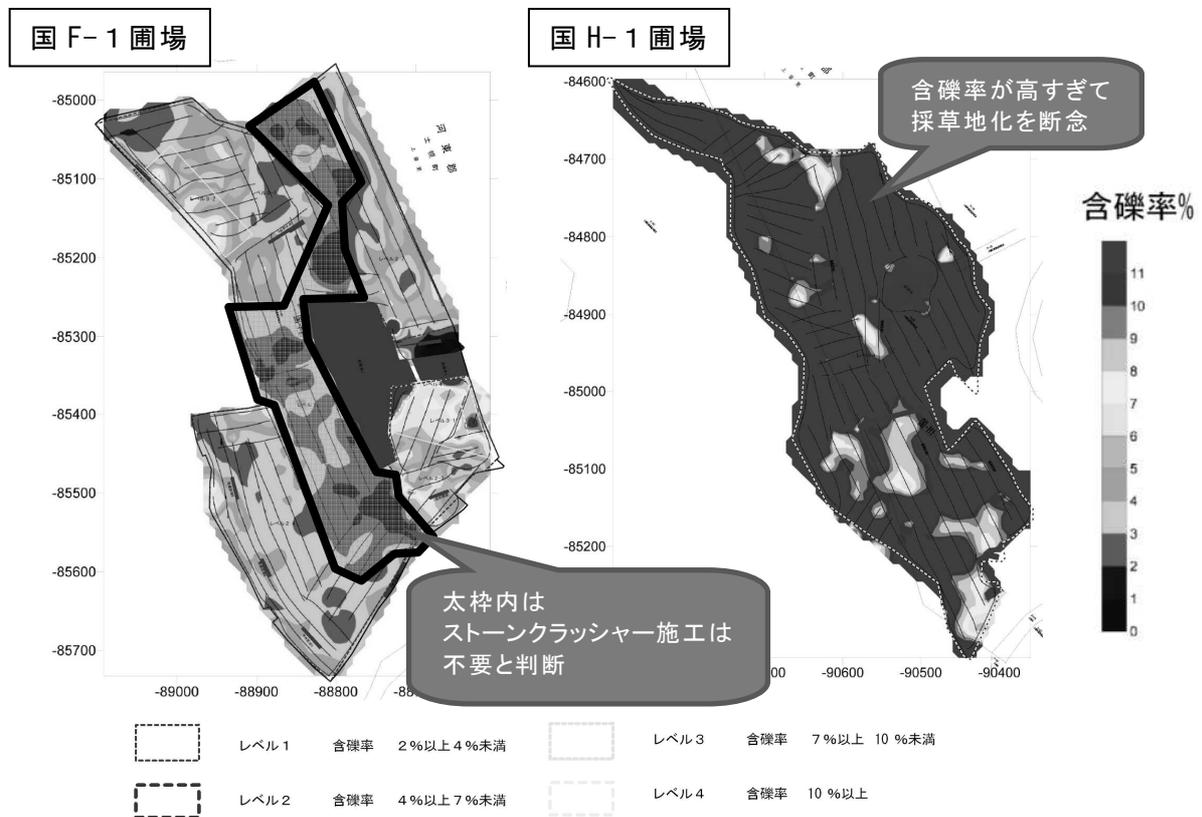


図-7 探査結果による含礫率マップと整備レベルの区分

による施工エリアを判定することが地下探査の目的である。

地下探査による礫分布状況の把握により、ストーンクラッシャーの施工対象面積を事業計画時点の 168ha から 94ha に減らすことができた。また、含礫率が 2%以下と極めて低いと判定した一部の圃場では、レーキドーザによる排礫が不要と判断できるケースもあり、工法の決定に有効であった。

このような検討により、工事コストを約 70,000 千円縮減することができた。

②課題（電気探査の適応性）

平成 25 年度は、6 圃場（52ha）でストーンクラッシャーによる施工を実施したが、探査結果との大きな相違はなかった。

一方、新-7B 圃場（12.6ha）は全エリア排水改良（暗渠排水）を実施する圃場であり、このうち 5.9ha をストーンクラッシャー不施工と判定していた。しかし、暗渠施工の掘削時に石礫が多いことを確認したため、ストーンクラッシャーによる施工面積を追加（設計変更）した。

このように、湧水により多水分状態となっている圃場では、比抵抗の測定値が安定せず、含礫の判定には適さないことが示唆された。



4. 畑地帯の区画整理工（除礫工）での地下探査の活用

(1) 地区概要と調査目的

土幌町市街地の北、音更川の東に位置する「土幌北部地区」は、礫が分布する圃場が多く、営農の支障となっており（写真-8 参照）、除礫による整備要望が多い地域である。

地区内では、これまでに除礫を実施した圃場も多く、圃場内で除礫エリアが点在している。

また、圃場内の起伏による窪地では、降雨後や融雪期には停滞水が生じ、作物の湿害、農作業遅延の要因となっている。

事業では、石礫除去工を主体に、暗渠排水工、客土工を実施する計画であり、圃場内の窪地改善のために、「客土工」を実施する事業計画であった。



写真-8 馬鈴薯収穫で混入した石礫

事業名	：畑地帯総合整備事業（担い手支援型 単独土層改良）
関係市町村	：河東郡土幌町
事業期間	：平成 23 年～26 年
総事業費	：417,000 千円
事業内容	：石礫除去工 89ha 暗渠排水工 22ha 客土工 37ha

地区内の調査対象圃場において、工事コストの削減を目的に除礫後の排礫処理と窪地改善を一体的に実施することを検討した。具体的には、次のとおりである。

- ・地区内から排礫場までの運搬距離が約 9km で、除礫工の工事費の 1/4 以上を占めているという実態から、窪地修正に排礫を活用（図-8）することで、排礫処理費用の削減を図る。

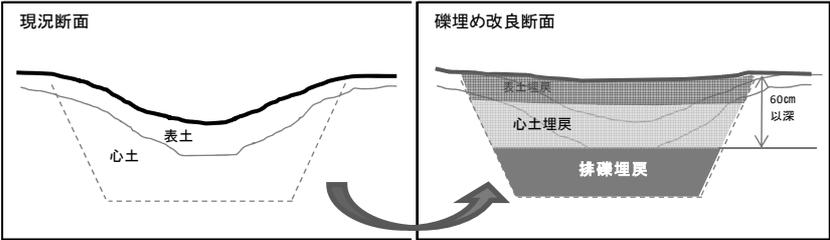


図-8 排礫活用（礫埋め）による起伏修正（窪地解消）のイメージ

- ・礫分布範囲と圃場内の起伏を同時に把握するために、けん引式電気探査と高精度 GNSS（VRS 方式 RTK-GPS）を活用し、現地調査、除礫区域特定の精度向上、排礫処理計画、窪地修正計画の効率化を図る。

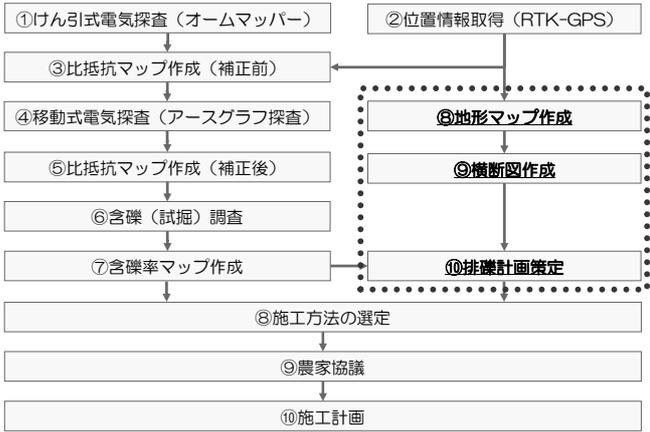


図-9 土幌北部地区の調査・検討フロー

調査圃場は、除礫と起伏修正を要望している 2 圃場（約 10ha）を選定し、そのうち 1 圃場（約 5.0ha）を対象に、調査結果をもとに除礫と窪地修正の工事を実施した。

(2) 電気探査・地形測量

電気探査の手法・調査の流れは、前述の新田地区と同様である。さらに、土幌北部地区では、けん引式電気探査によるライン探査と地形測量を同時に実施し、地形マップを作成して、排礫計画を検討した（図-9）。

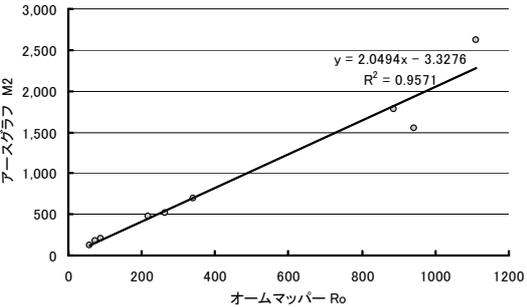


図-10 けん引式電気探査（比抵抗）の校正

ライン探査で必要となる位置情報（x,y 座標データ）の取得には、高精度 GNSS（VRS 方式 RTK-GPS）を用いることで、同時に標高データ（z データ）を取得することができる。なお、圃場内の計測精度を向上させるために、測線間隔は約 5m、標高データの測点間隔は約 1m とし

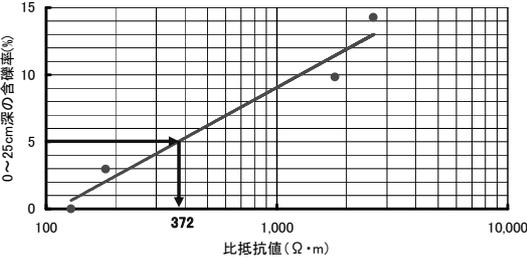


図-11 比抵抗と含礫率の相関性

た。

また、比抵抗と含礫率の相関性を検討するために、含礫調査は圃場内（作付区画内）で6～9地点で実施した。

探査から含礫調査までの一連の調査にかかる所要日数は、約5haの圃場で2日間であり、小麦作付期間中に実施することができた。

調査実施後、けん引式電気探査と移動式電気探査の相関（図-10）による比抵抗の校正、含礫率と比抵抗の相関（図-11）による含礫率マップの作成（図-12）、地形マップ（図-13）・横断面図を作成し、施工エリア・工法の検討等、解析・検討を行った。

(3) 成果と課題

①調査結果・解析

11-5 圃場の含礫率マップ（図-12）から、圃場内の含礫率の高低を確認でき、含礫率の低い部分は、圃場地形マップ（図-13）の窪地を主体に一部分であることがわかる。

含礫率マップをもとに、GISで含礫率の階級値ごとのメッシュ数を求め（図-14）、構成比を算定した。含礫率2.5%区切りのマップデータから、含礫率5%以上の区域は71%となった。

また、比抵抗マップから、GISで比抵抗の階級値ごとのメッシュ数を求めた。各階級の中央値から相関式により含礫率を算定し、メッシュ数に乗じて、それらの合計値を全体のメッシュ数で除して平均含礫率を試算した。

その結果、11-5 圃場の平均含礫率は6.3%となった。

このような解析から、含礫率が低い部分は窪地に狭く分布しているため、部分施工での効率化は期待できないため、圃場全面で除礫が必要であると判定した。

また、地形マップをもとに圃場横断面図を作成し、排礫処理（窪地修正）計画に用いた。

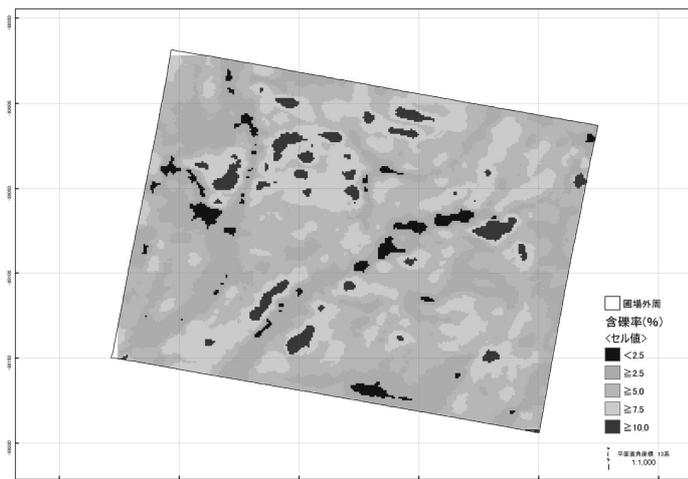


図-12 探査結果による含礫率マップ

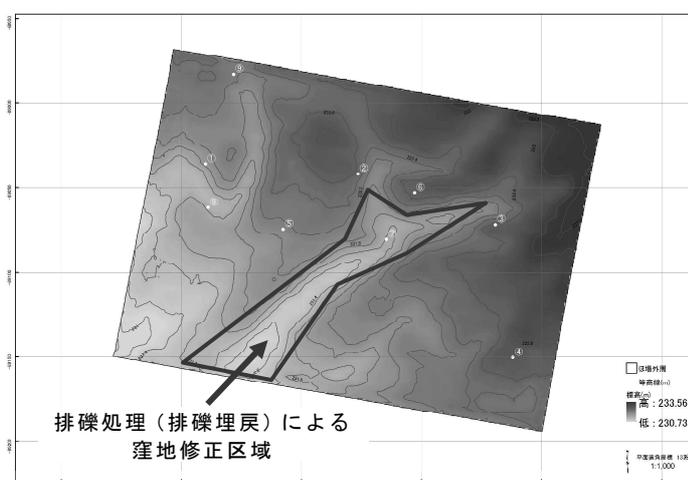


図-13 圃場地形マップ

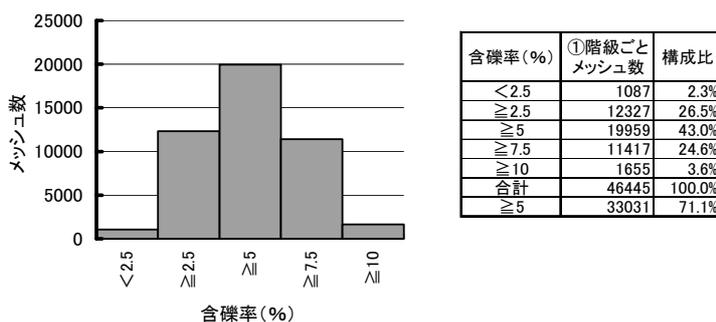


図-14 含礫率の階級とメッシュ数

②施工

11-5 圃場の施工は、土幌北部地区第 71 工区の除礫工として、秋播き小麦収穫後に実施した。秋播き小麦の連作を予定しているため、工事期間は、8月中旬から9月中旬までに限定された。

施工の工程は、次のとおりである。

- ・ ストーンローダーによる採礫と圃場内運搬（写真-9）
- ・ ブルドーザ・バックホウによる礫埋め箇所の表土、心土剥ぎ取り
- ・ ダンプトラックによる圃場内排礫運搬・ブルドーザによる敷き均し（写真-10）
- ・ ブルドーザによる礫埋め箇所心土戻し、表土埋戻し（写真-11、12）

11-5 圃場の排礫処理を従来工法（平均含礫率 6.3%・排礫運搬距離 9km）の場合と、窪地修正の礫埋めとした場合の施工費を試算した結果、従来工法 9,100 千円に対し、窪地への礫埋めの場合は 8,450 千円となり、7%のコスト削減となった。

また、窪地修正の場合は、排礫処理に加え、圃場の窪地が修正され、その結果作業性の向上、生育むらの解消、起伏解消による営農経費の削減、軽労化など、工事費だけでは

表現できない効果も多く、実際には 7%以上の効果は得られることが想定される。

施工後の圃場の状況は（農家聞き取り）、整備前は窪地の滞水が原因で機械の作業性、作物生育ともに悪かったが、整備によりこれらの問題は解消され、小麦の生育も良好であった。

今後は、工事による直接的な工事費削減効果ではなく、営農における効果の明確化も必要と考える。

③除礫対象とならない礫への対応

40-1 圃場は、圃場全体の比抵抗は低いが、局所的に比抵抗の高い部分が存在する（写真-13・図-15）。

しかし、含礫調査では、30mm 以上の粒径の含礫率は 5%に達せず、除礫対象区域として判定することはできなかった。

そのため、30mm 以下の礫の粒径分布（礫のふるい分け試験～体積割合）を確認した。

その結果、2mm を超える粒径の礫は 42%、そ



写真-9 採礫および運搬



写真-10 排礫敷き均し



写真-11 剥ぎ取り心土の戻し



写真-12 剥ぎ取り表土の戻し



写真-13 圃場表面の礫の状態

のうち 9.5mm を超える礫の割合は 22% であり、礫の割合が多いことがわかる (図-16)。

一般に、2mm 以下の粒径は土性改良の対象で、30mm 以上の粒径は除礫の対象となる。

今回は、2~30mm の粒径の礫を多く含み、小麦の生育状況から水分不足が生じている状況が確認された。また、耕起、砕土作業では、作業機械への負荷、損傷等も予想される。

このような条件の場合に、客土 (10cm) を実施することで、礫 (粒径 2~30mm) による障害は緩和され、生育むらの軽減、作業機械の負荷軽減等が想定され、客土実施 (施工予定:平成 26 年) の適正さがうかがえる。

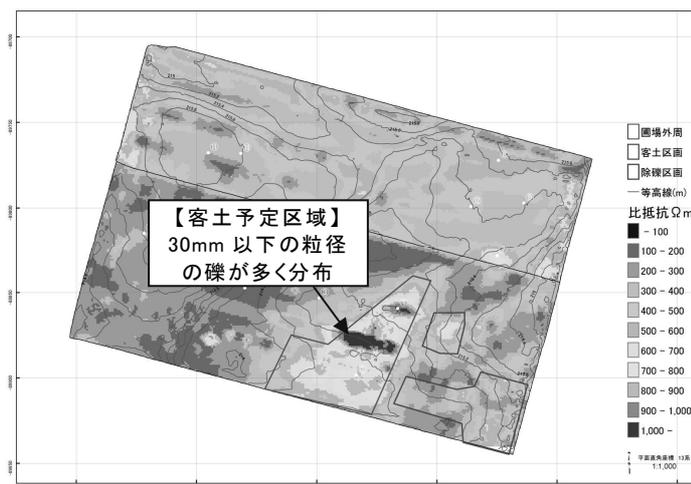


図-15 比抵抗が高く粒径 30mm 以下の礫が多く分布する区域

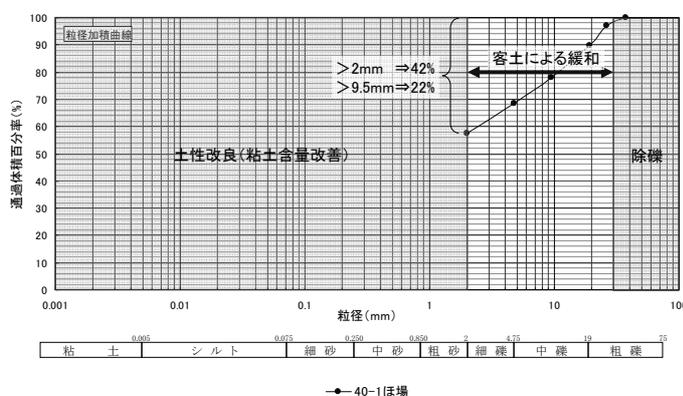


図-16 ふるい分け試験による礫の粒径加積曲線 (体積割合)

5. おわりに

調査圃場内の地下探査 (電気探査) から、圃場内の含礫状況 (含礫率・分布状況) を評価することができた。

また、その結果は石礫除去工の施工区域検討、工法検討等の効率的な実施に反映することができ、施工コストの縮減も図ることができた。

このように、地下探査手法の活用は、石礫除去工の調査・検討において有効な手法であるが、土壌の水分状態、土性等の影響を受けるため、今後、適応範囲の明確化等の検討が必要である。

【引用文献】

- 1) 北海道十勝総合振興局：平成 23 年度 草地整備 (公共牧場) 上士幌西地区 委託 91 業務 業務報告書
- 2) 北海道十勝総合振興局：平成 24 年度 草地整備 (公共牧場) 新田地区 委託 1 業務 業務報告書
- 3) 北海道十勝総合振興局：平成 24 年度 畑地帯 (支援) 士幌北部地区 委託 91 業務 業務報告書