

基盤整備工事における3次元土量算出に基づく施工プロセスの考察

Consideration of Construction Process Based on 3D Soil Volume Calculation in Agricultural Infrastructure Construction

株式会社
株式会社
株式会社
株式会社
株式会社

○正員 八戸 政人 (Masato Hachinohe)
正員 山本 公志 (Takayuki Yamamoto)
非会員 岡内 俊憲 (Toshinori Okauchi)
非会員 工藤 仁 (Hitoshi Kudo)
非会員 高島 優花 (Yuka Takabatake)

1. 背景と研究目的

現在、北海道では大規模で専門的な土地利用型農業を主とした農業生産が行われているが、2021年度調査時点で販売農家1戸当たりの平均経営耕地面積は30.8haと全国平均の約14倍であり、2030年には約35haほどになることが予測される。一方で農業経営体数は年々減少しており、今後10年間にかけて約1万戸の減少が予測されるが、人口減少に伴う労働力不足や新たな担い手の確保が難しいことなどから、今後はスマート農業への移行など新技術導入による高度化を前提としたこれまでに以上に大規模で効率的な経営が望まれている(図1)。

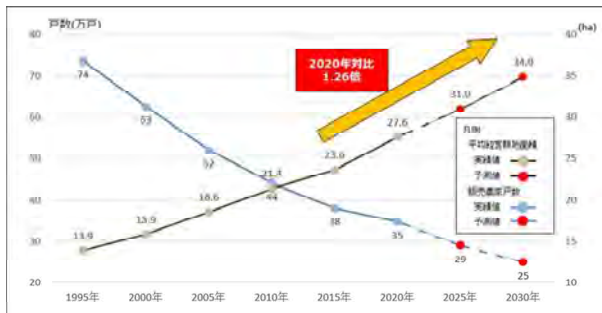


図1 販売農家戸数と平均経営耕地面積の推移

スマート農業への対応を前提とした農業経営を実現するためには、大区画化・集約等を目的として行われる基盤整備工事が必須であり、かねてより全道各地で実施されているが、基盤整備工事を担う建設業界においても農業同様に労働人口の減少や高齢化・担い手不足が深刻化している。

本稿では、筆者が過去取り組んできた基盤整備工事におけるこれまでにやってきた各種ICTの活用による省力化と、それら知見に基いた整地工における新たな施工プロセスの提案・試行、その有効性について述べるものである。

2. 北海道空知地方における農業農村整備事業

北海道空知地方は、豊かな水源と広大な作付面積を有し、北海道全体の水稻作付面積の約45%を占める大穀倉地帯であり、水田の大規模化・集約化を進めるための基盤整備工事が非常に重要な意味を持つ。

以上の背景からも類推されるように、同地域は農業土木工事発注の過密地帯でもあるが、その大半が泥炭性軟

弱地盤となっており(図2)、地耐力が不足しがちな為、整地時に超湿地タイプのブルドーザーが必須な点や施工中・施工後の沈下対策等、施工の難易度は決して低くない。



図2 北海道の泥炭性軟弱地盤分布図(『泥炭性軟弱地盤対策工マニュアル』より)

水田基盤整備工事における整地工は、一般的に「標準切盛工法」と呼ばれる手法が主となる。複数の小規模なほ場に分かれ、それぞれ高さの異なる耕作地が現況として存在する状態から、全表土を剥ぎ取り隣接地に一時堆積した状態で基盤部分を切盛整地し、均平処理で平坦にした後に再び表土を戻すという手順が通常であり、この流れを計画区域ごとに行う(図3)。

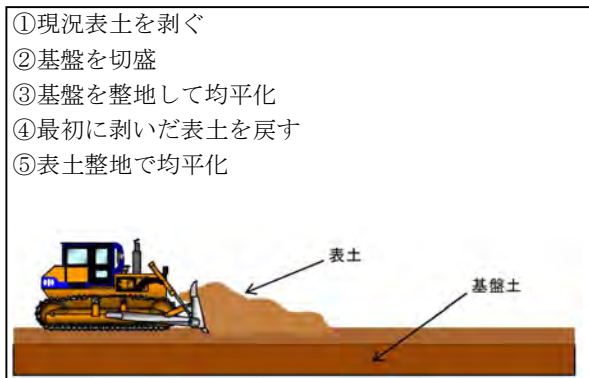


図3 標準切盛工法

一般的な標準切盛工法では、一度の施工を数日間かけてある程度大きな区画(計画区域)ごとに行わなくては

ならない。一度に大規模の土を動かさなくてはならない理由は、従来の設計計画に基づく資料のみでは、ほ場全体の精密な土量の算出および管理が困難であり、多少の誤差を想定した上での施工を行わなければならないためである。現況の高低差が著しいロケーションの場合では設計計画段階において基盤運土工法が採用される場合もあるが、経済比較の観点から、運土距離が 200m 以上もしくは、田差 1m 以上かつ運土距離 100m 以上でなければ優位性は無いと考えられてきた。また、空知地方のような工事過密地域にあっては、基盤整備工事が同時期に大量発注されるため、整地工適期に必要な数の重機を一度に手配するのに同地域の施工業者と協定を結び、事前にある程度順番を決定しなくてはならないという背景もある。

しかし近年では、計画ほ場の更なる大区画化と、気候変動に伴う断続的な短期間豪雨の影響から、基盤整地時の降雨回避のために降雨前であっても作業を見合わせるなど、大規模な切盛を伴う適期施工の実施・工程管理が難しくなっている（図 4）。

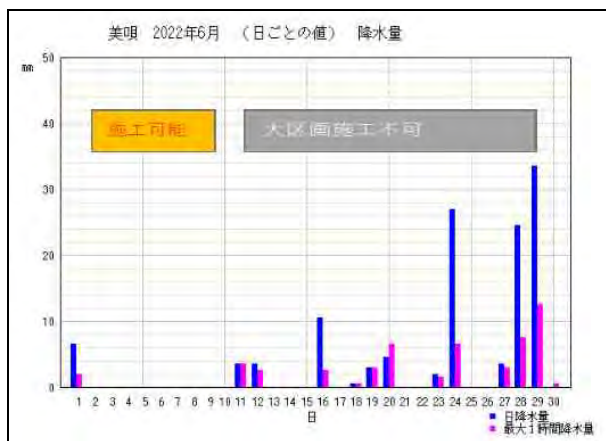


図 4 2022年6月の降水量と施工可能期間

4. RTK-UAV による効率的 3 次元計測とその応用範囲

広大なほ場内全域を、迅速かつ精密に計測する有効な手段の一つとして、UAV を用いた写真測量が挙げられる。近年では、半自動で高密度な 3 次元点群データを取得する SfM による解析処理が主流となっているが、一般に平坦かつテクスチャパターンが一様であるほ場の計測においては、通常よりも多数の地上基準点を設置・計測する必要があり、必ずしも迅速な計測が可能とは限らない。しかし、機体位置を高精度に推定しながら飛行する RTK 搭載型 UAV (図 5) を用いる場合、画像解析処理の際に、外部標定要素の一つであるカメラ位置を事前に固定することで、GCP に依存せずに安定した精度が得られることがこれまでに分かっている (2019 八戸ほか)。これにより、天候条件さえ整っていれば、いつどのようなタイミングであっても、素早く現地の詳細な地形データが取得できることとなる。

また、取得した点群データは、起工時の現況計測だけでなく、整地後の均平度評価や、任意のメッシュ間隔

で精密な土量計算を行うことも容易に可能であり、ほ場整備工における UAV 写真測量の有用性にはもはや疑う余地がない。



図 5 RTK-UAV (左) と解析点群データ (右)

5. 整地工における小エリアセグメンテーションによる適期 (Just Time) 施工

以上のことから、筆者はこれまでに UAV 写真測量による精密な現況地形データに基づいた起工測量を実施することで、速やかに準備・計画から施工フェーズへ移行する取組を行ってきた。

そこから得られた様々な知見に基づき、こうした精密な計測および土量管理を前提とした小ブロック施工が十分に可能であるという判断に至った。

そこで令和 4 年度施工現場において、UAV 写真測量によって得られる現況ほ場の精密な面的標高分布に基づき、計画ほ場内を小ブロックにセグメンテーションし、それぞれの土量計算結果を反映した小規模施工エリアを設定することで短期間に切盛および均平評価を完了させる「エリアセグメント工法」を提案・試行した。

表 1 令和 4 年度ほ場整備現場諸元

| | |
|------|------------------------------|
| 整備面積 | 約16ha |
| 土質 | 泥炭地盤 |
| 工種 | 整地工・客土工・暗渠排水工・ 用水路工・耕作道路工 |

当該現場は表 1 にある通り、16ha にのぼる範囲において、ほぼ全ての工種が網羅される、いわゆる「フルスペック」ほ場整備である。

設計計画では、2.8~3.2ha のほ場区分で構成されているが、現況ほ場は、高低差分布が不明瞭な箇所が多々存在している上、設計計画における資料図も等高線によって描画されている為 (図 6)、計画時に作成された資料のみを用いて既存の田面高の分布を精査し、土量管理の判断を行うのには困難を伴うことが予想される。

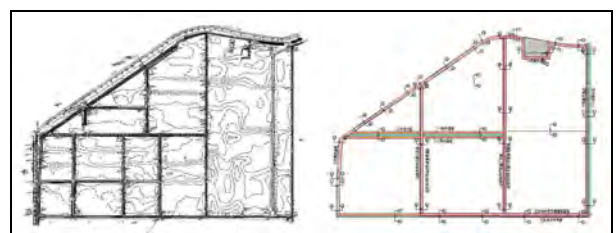


図 6 現況平面図 (左) と計画平面図 (右)

そのため、まず着工前に起工測量として RTK-UAV による画像計測を行い、ほ場全域において平均誤差 1.93 cm と、十分な精度が確保された点群データを取得し、各ほ場面の精密な高さ分布をヒートマップにより可視化した (図 7)。

表 2 UAV 飛行諸元

| | |
|-------|-----------------|
| 機種 | DJI Phantom4RTK |
| 飛行高度 | 80m (地上高) |
| 地上分解能 | 1.93 cm/pix |
| 撮影枚数 | 676枚 |
| 取得点数 | 約8100万点 |
| 精度 | 1.93cm (検証点による) |

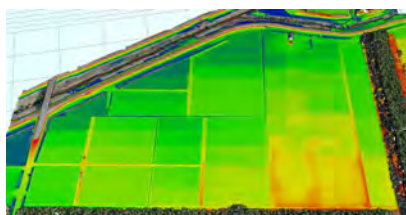


図 7 取得した点群データの標高段彩

計画ほ場毎に高低差の表示閾値を微調整して更に詳細に高低差の分布を確認すると、一見一枚の平坦なほ場に見える個所においても、過去に存在した旧ほ場の区域毎に高さが異なっており、また撤去済みの畦畔跡が微妙に高くなっていることが読み取れる (図 8)。

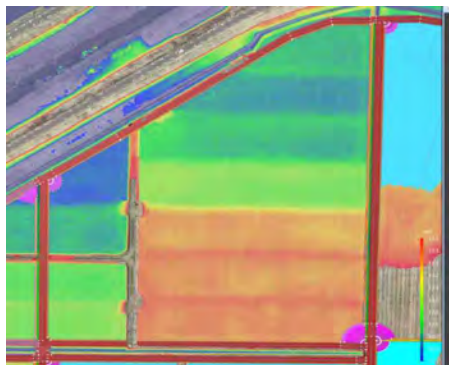


図 8 計画ほ場面における高低差分布

まずこの標高分布に基づき、計画ほ場内において、一定の高さ分布エリアのセグメンテーションを行う。その後、セグメンテーションした各ほ場毎にメッシュ法 (10 cm) で平均標高を算出した (図 9)。

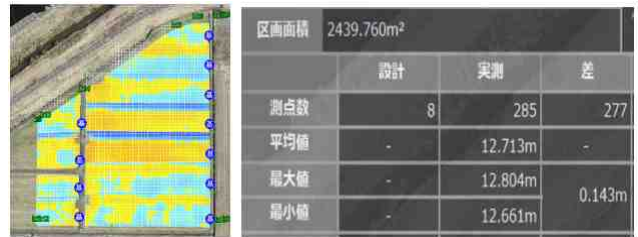


図 9 各セグメント毎の平均標高算出

更に、計画ほ場全体の整備後の平均標高も算出し、(計画ほ場平均高 e_1 とセグメント毎平均高 e_2 の差分) \times セグメント面積 $s =$ セグメント毎の切盛土量 S_v という計算に基づき、1 つの計画ほ場を 11 個に分割した各セグメントの正確な切盛土量を導くことが出来る (図 10)。

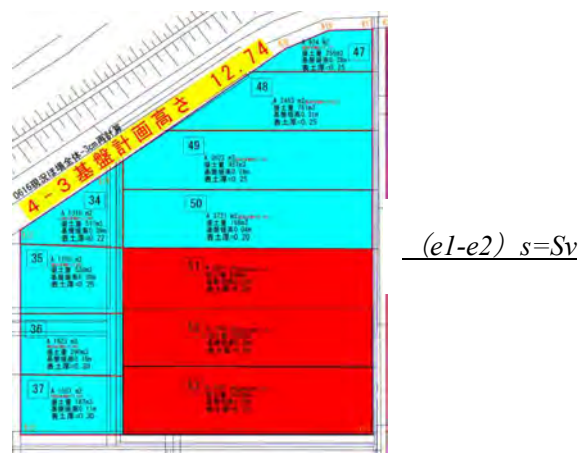


図 10 セグメント毎の切盛土量算出結果

各セグメントの表土については、事前に試掘調査を行い、各表土厚をそれぞれ加味した上で計算処理を行って基盤の計画標高を決定した。以上の詳細な検討結果に基づき、各セグメント同士の土量バランスを考慮して3つの小エリア施工範囲を設定し、整地作業をエリアごとにローテーションした。施工の際には点群データから抽出した小エリアの境界点座標を測量機器および ICT 建機に入力し、コンソール上でエリア境界を明示する等、取得データはあらゆる場面で活用した。

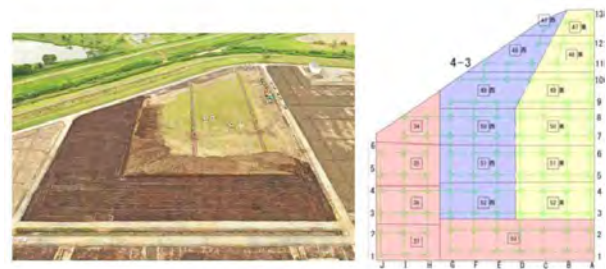


図 11 エリアセグメントに基づく分離施工

こうして決定された小施工エリア毎に整地及び均平評価を行うことにより、一度の施工日数が従来よりも短く

済むため、降雨の隙間をピンポイントで狙った、いわば「攻め」の工程管理が実現し、全体の工程が飛躍的に短縮される（図12）。

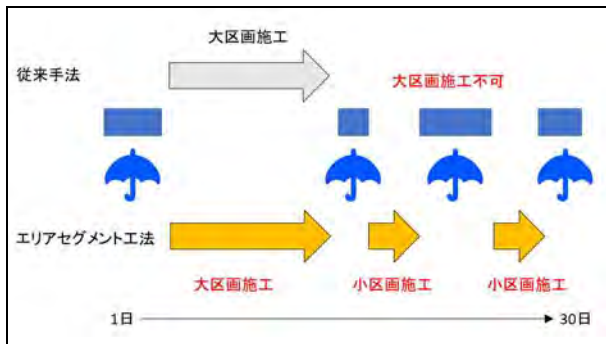


図12 月当たりの従来手法とエリアセグメント工法の稼働可能日数比較イメージ

こうして1つの計画ほ場を分割施工することで、全体工期の短縮および効率化が図れることが明らかとなったが、施工品質においても、各施工エリアの仕上がり標高は、全て1~2cm以内に揃い、均平精度も規格値35mmに対して各エリア平均15mm以内と、極めて高い精度が確保できた。基盤標高値の施工精度については土量算定の正確さに依るものであるが、均平度については、ほ場全体で整地作業を行うよりブルドーザーの可動範囲及び押土距離が短くなるため泥炭の性状に与える影響が少なかったものと推察される。

以上のことから、今回提案したエリアセグメント工法による施工管理手法は、工程の短縮に繋がると同時に、施工品質もこれまでと同等以上に担保されるということが言える。

6. 試行結果と今後の課題

今回、新たな管理手法である「エリアセグメント工法」を採用することで、従来の管理手法と比較して全体工期を44日間短縮することに成功した（図13）。

工程の短縮は、効率・経済性の観点のみならず、休日の確保にも寄与し、働き方改革という視点においても本手法の有効性に疑いの余地は無い。

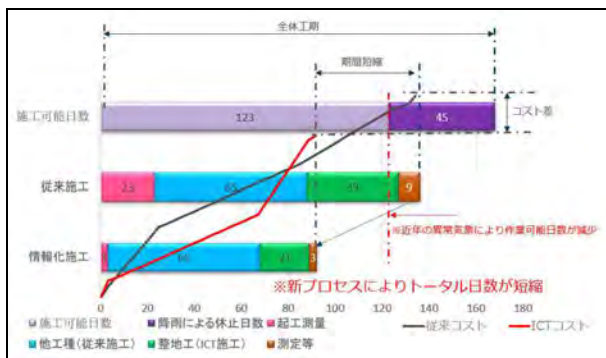


図13 エリアセグメント工法採用による全体工期短縮
また、近年の研究では、ほ場整備工事の切盛分布と翌

年以降の営農における水稻タンパク含有量に有意な関係性があるという報告も出ており（2022 金子ほか）、こうした詳細な土配履歴の記録は、施工完了後の作物の生育予測にも有効に活用できる可能性がある。将来的には詳細に数値化された土の切盛情報に基づく新たな生育予測や可変施肥等を活用した精密農業へつなぐための試みも別途進めている。

ただし、本手法は、精密な地形測量を前提とした詳細な土量計算結果に基くものである。UAV 写真測量は、基本的に誰でも容易に行うことが出来るものだが、平坦なほ場面を高精度に測量するためには、カメラレンズの詳細なパラメータや位置情報をメタデータとして各画像に書き込み、解析時にそれらを参照する等、ある程度の知識・経験が必要となる場合もある。

i-Construction をはじめとする、各種情報化施工の取組は、ICT 建機や UAV 等のツールを用いて各々の作業効率の向上を目指すものであるが、今回試行したのは、施工プロセスおよび管理手法を変革することによる全体最適化の試みである。近年、DX(digital transformation)というワードが注目されているが、建設におけるDXではAIやICT、IoTをはじめとする各種デジタル技術を用いて計画や設計、施工、管理業務などの各段階の業務プロセスを変容させ、建設業務の省人化や高速化、高度化を目指すものである。

今回の提案及び試行結果が、建設DXの本来在るべき姿の一助となることを願う。

参考文献

- 1) 八戸政人（2021）：ほ場整備事業におけるICT施工と営農への情報伝達、JCMREPORT2021.9 Vol30 No5
- 2) 八戸政人・丹野宏柄・山本公志（2019）：RTK搭載ドローンを用いたGCP点数削減に関する実験的研究、令和元年度土木学会全国大会
- 3) 市原慧・角井秀光・八戸政人（2022）：基盤整備工事における情報化施工の取組と営農への展開、第38回農業土木新技術検討報告会
- 4) 金子大輝・柿本健吾・柏木淳一・谷宏・山本忠男（2022）：圃場整備による水稻のタンパク含有率への影響、農業農村工学会論文集/90巻1号 p. I_149-I_15