

シラス地山における大規模土工の施工と土量管理 Large-scale earthwork construction and earth volume management in Shirasu ground

福本 大地* 柏木 和也**
Daichi Fukumoto Kazuya Kashiwagi
前田 薫***
Kaoru Maeda

要 約

さつま太陽光発電所建設工事に関する施工報告である。当該施工区域は、シラスと呼ばれる特殊な地質条件の丘陵地であり、造成工（パネル設置用地 51 ha、切盛土工 263 万 m³）および防災工（調整池 2 箇所）を施工した。膨大な施工範囲と限られた施工期間、特殊な地質条件に対して多くの課題があった。その対策として、UAV 空中写真測量を定期的実施して、現場状況を迅速に把握し出来高管理を行うとともに、シラス固有の土量変化率を確認して、切盛バランスの施工計画を的確に行った。また工事中に豪雨により被害を受けたが防災対策を工事と並行して進めた結果、被害を最小限に抑えることができ、工期内に竣工できた。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 現場における課題と対応
- § 3. まとめ

§ 1. はじめに

本工事は鹿児島県薩摩郡さつま町において約 9,600 世帯の年間使用電気量に相当する 54 MW の太陽光発電所建設工事である。施工区域は、南九州特有のシラスで構成された丘陵地となっており、太陽光パネル（13.5 万枚）を設置するための造成工（パネル設置用地 51 ha、切盛土工 263 万 m³）および、防災工（調整池 2 箇所）を施工するものである。膨大な施工範囲、限られた施工期間、特殊な地質条件に対して多くの課題があった（図-1、2）。

【工事概要】

工 事 名：JRE さつま太陽光発電所建設工事
 （土木工事）
発 注 者：戸田建設株式会社
施 工 者：西松建設株式会社（単独）

* 九州（支）さつま太陽光（出）
 （現：玖珠川取水堰（出））
** 九州（支）さつま太陽光（出）
 （現：鹿児島兼業（作））
*** 九州（支）さつま太陽光（出）
 （現：関東土木（支）羽田地下通路（出））

工事場所：鹿児島県薩摩郡さつま町広瀬地先
工 期：（全体工事）令和元（2019）年 8 月 19 日～
 令和 4（2022）年 12 月 31 日
工事内容：開発面積 172 ha、造成面積 67 ha、伐採工事
 土工事、法面工事、調整池工事
 排水構造物工事、管理用道路工事
 防災工事、仮設防災工事

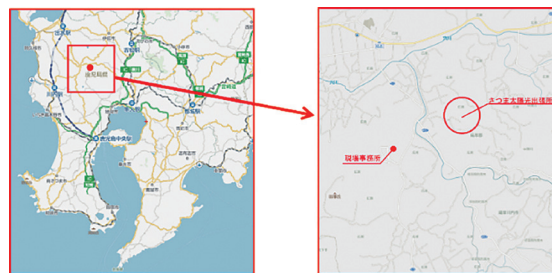


図-1 現場位置図

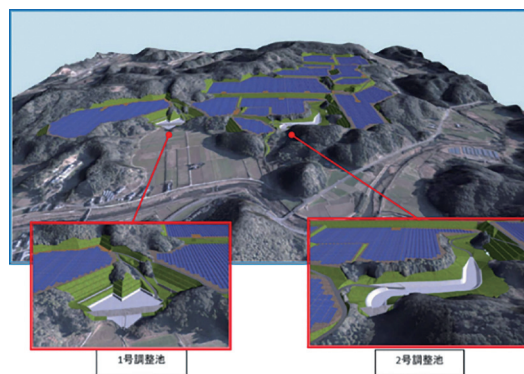


図-2 完成予想図

§2. 現場における課題と対応

本工事は、膨大な範囲を短い期間で施工するという条件があるため、日々の施工状況を把握することが重要な課題である。また、シラスという特殊な地質条件であるため、その土質材料自体に破碎性があり的確な土量変化率を把握して場内で土量バランスをとる必要があるという課題や、降雨に対して脆弱であるため、降雨災害対策をしなければならないという課題があった。以下にそれぞれの課題に対する対応と結果を示す。

2-1. 土量把握

(1) 課題

本工事は、発電所の運開の期日が決まっているため造成工事に関しては263万m³の土工事を場内で土量バランスをとり14ヵ月という工期内に終わらせる必要がある。そのため、重機の稼働率を考慮して平均10,000m³/日近く土砂を動かさなければならず、日々の運土計画の更新が重要であり、タイムリーに土量推移を把握する必要がある。

また、鹿児島県の条例により調整池の完成検査後でなければ造成工事に着手できないため、余裕を持って造成工事に着手できるように調整池工事をできるだけ早急に完成させるようにした。

(2) 対策と工夫

現場状況を迅速に把握し、出来高管理をするためにUAVの空中写真測量を実施した。機材はコマツカスタマーサポート(株)のEveryday Drone(図-3)を導入した。Everyday Droneの構成としては高精度ドローンEXPLORE1とRTKベースの小型ステーション「EDGE1」(以下、Edgebox)で構成されている。写真データはドローンで、座標はEdgeboxで取得する。Everyday Droneの構成を図-3に示す。測量手順はあらかじめSmart Construction Dashboardアプリを用いて飛行ルートを作成する。その後、測定したいエリアでドローンを自動飛行させると、ドローンがEdgeboxと常時交信し位置を確認しながら飛行するため、ドローンの飛行経路の3次元位置を特定することができる。測量終了後、取得した写真データからEdgeboxの機能により自動で点群データを生成し、専用アプリSmart Construction Dashboardにアップロードする。

アプリでは測定してきたデータをもとに、予め入れておいた完成図面と比較して残切盛土量の算出ができ、現段階での工事の進捗を把握することが可能になる。土量算出にかかる時間も従来の空中写真測量では1週間程度を要するところ、今回の方法では写真測量を含め1日に短縮されている。

Everyday Droneの特徴を表-1に示す。少人数・短時間で広範囲の計測ができる他に、データ処理で生成されるオルソ画像を使用することで現場全景の合成写真の作

成も可能である。しかし、デメリットもいくつかある。Everyday Drone自体に障害物回避機能がないため、現場の地形をよく確認して飛行ルートを作成する必要がある。あらかじめ樹木や仮設物等の現場の障害物の高さを確認しておかないと、そのまま障害物に突っ込み墜落してしまう恐れがある。実際に当現場でも2回墜落させているので注意が必要である。その他に、森林等の陰で土量を算出できない箇所が発生すること、仮置きしている伐採材・チップ材も土量として算出されるため正確な土量の算出が難しい場所もあることがデメリットとして挙げられる。そのため使用箇所によっては十分に注意が必要である。

当現場では短時間でタイムリーに土量把握が行える手段としてEveryday Droneを導入した。

(3) 成果

Everyday Droneの導入により、土量の算出にかかる時間と手間が大幅に削減され、日々の運土計画の更新に非常に役に立った。Everyday Droneで測定した結果は図-4に示すようにSmart Construction Dashboardに表示される。計測画面で計測したい範囲を指定し、その範囲内



図-3 Everyday Drone 構成図

表-1 Everyday Drone の特徴

メリット
・ 標定点が設置不要であり自動で離着陸できるため、少人数・短時間で計測が可能。
・ 1日に20haの点群データを取得できる。
・ 点群データ、3次元データをすぐに利用できる。施工計画に役立てることが可能。
・ データ処理で生成されるオルソ画像を使い、現場全景の合成写真を作成することができる。
デメリット
・ 障害物回避機能がないため、現場の地形をよく確認して飛行ルートを作成する必要がある。
・ EdgeboxがGNSS衛星を捉えるため、上空の開けた場所に設置する必要がある。
・ 森林等が陰になり土量を算出できない箇所が発生する恐れがある。
・ 伐採材やチップ材等、切盛範囲外のものも土量として算出される。

で設計に対しての残切土量と残盛土量を表示させる機能があり、当現場では主にこの機能を使い日々の土量を把握し管理を行った。また、設計に対する切盛ラインをグラデーションで表示して運搬距離の算出等に役立てることができる機能も有している。

その他にも進捗率の算出や標高・勾配の計算など Everyday Drone を用いることで簡単に求めることができ、土工の最終段階において排水溝掘削残土の運搬先の選定にも有効であった。土工の仕上げとして、排水残土を堅樋周りに予め作っておいたポケットに収めて宅盤を完成させる計画で施工してきた。その際に、Everyday Drone のデータをもとに工区毎にこれから発生する排水残土の量とポケットの容量を検討して、残土の運搬先を日々決定することができた。すぐ結果が出る Everyday Drone は毎日発生する排水残土の運搬先を決める際に非常に有効であった。

また、Everyday Drone にかかるリース料（機械、アプリ使用料、保険込み）は約 25 万円/月となっている。ドローン測量を業者に依頼した場合は約 10 万円/回で測量に 3 日、結果が出るのに 1 週間程度かかる。Everyday Drone の操作に特別な技術は必要なく職員一人で毎日飛行させることができ、日々の土量推移をタイムリーに把握できる点で Everyday Drone は十分にコストに見合うものであると考える。

2-2. 運土計画（土量変化率）

(1) 課題

現場内での切盛土量をバランスさせる計画であるため、それぞれの土砂材料について正確な土量変化率を把握する必要がある。

現場の主な地質はシラスである。一般的にシラスとは、細粒の軽石や火山灰の厚い地層のことを指し、特に噴火で降り積もったものや火砕流で流れて集まったもので、固結度が弱いものである。締固めた際の土量変化率の設定が実態と大きく乖離していると、場内バランスのみで施工するにあたり最終的に土量の過不足になる恐れがあるため、適切な土量変化率を早期に把握する必要がある。

(2) 対策と工夫

前述した通り当現場では 263 万 m³ の切盛土工を場内バランスのみで施工する。場内の土質はほとんどがシラスであり、図-5 に示す平面図からも分かるように現場の中央には約 100 万 m³ のシラス山が存在する。このシラス山の本掘削に着手した令和 3（2021）年 9 月頃から切土量と盛土量の実績数量に差が見えてきた。図-6 および表-2 に Everyday Drone による実績土量推移を示す。9 月以前は「盛土量>切土量」であったのに対し、9 月以降は「盛土量<切土量」に変化し、それ以降は月日が経つにつれて差が広がる一方になった。このままでは最終的に盛土量が不足することが予想されたので、大きく 3 エリアの仕上げ高さを調整することで土量の調整を

行った。

(3) 成果

Everyday Drone は造形状の見直しにも有効であった。1 日に約 10,000 m³ の土砂を動かしているのに翌日には現場の様子は大きく変わっている。そのため、切盛土量の差が出始めた段階で早急に対策を講じる必要があった。当現場では当初土量変化率の値を 0.95% で設計していた。図-6 の結果をもとに推測したところ、最終的に表-3 のような結果になった。実際の土砂の変化率は 0.83% であり、26 万 m³ 土量が不足する計算になった。さらに、圧縮沈下量（踏み込み沈下量）を加味した合計で約 28 万 m³ の土量不足が発生すると推測された。この結果を受けて宅盤の高さを変更することで土量の調整を行うことにした。宅盤高さを変更するにあたり、仕上げていた宅盤を盤下げしなくてはならない箇所が一部あった

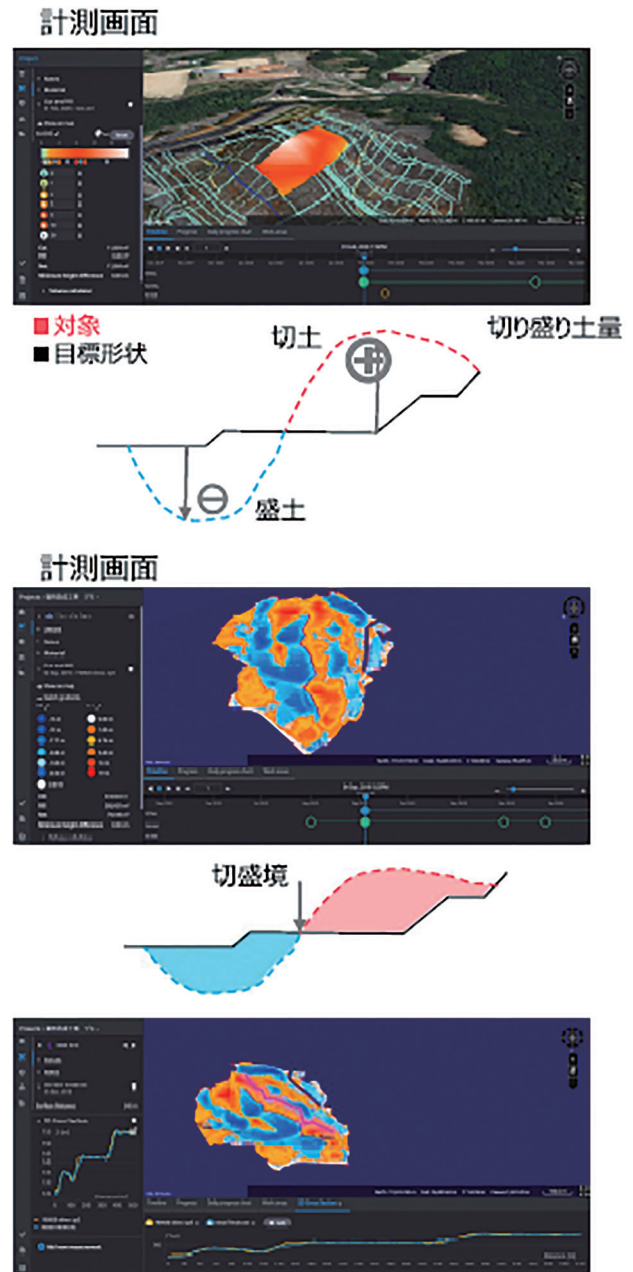
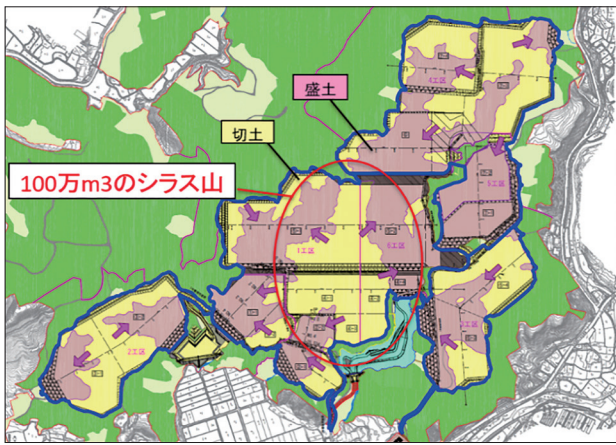
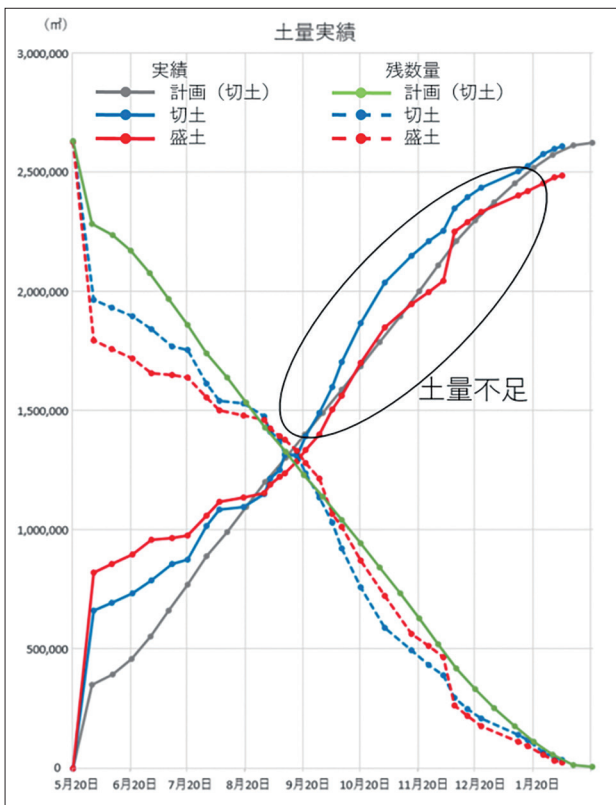


図-4 ドローン測定結果



図一五 運土計画平面図



図一六 実績土量推移データ

表一二 実績土量推移データ

	計画(切土)	切土	盛土	過不足
8月20日	1,096,000	1,097,405	1,137,565	40,160
8月30日	1,200,000	1,149,738	1,155,797	6,059
9月10日	1,303,000	1,315,365	1,236,152	-79,213
9月20日	1,399,000	1,391,572	1,335,237	-56,335
9月30日	1,488,000	1,492,454	1,401,907	-90,547
10月10日	1,589,000	1,705,445	1,563,930	-141,515
10月20日	1,685,000	1,868,745	1,701,973	-166,772
10月30日	1,787,000	2,036,984	1,850,921	-186,063
11月10日	1,895,000	2,147,979	1,946,300	-201,679
11月20日	2,001,000	2,211,004	1,997,784	-213,220
11月30日	2,107,000	2,254,496	2,044,454	-210,042

表一三 運土計画 (土量変化率更新後)

	数量 (m³)	変化率 (%)	土量 (m³)
盛土 (全体)			258万
中硬岩	27.2万	1.10	30万
軟岩	32.4万	1.05	34万
土砂 (シラス)	202万	0.83	168万
不足			26万

が他に大きな問題は発生しなかった。当現場では基本的にマシンガイダンス・マシンコントロール機能付きのブルドーザーとバックホウで宅盤を仕上げていた。そのため、変更した図面データを重機に取り込むことで施工は可能となるため工程面でも特に影響はなかった。日々 Everyday Drone にて土量管理を行い、問題に対して早急に対応したことで工期内に完了させることができた。

2-3. 災害対応

(1) 課題

シラスは比重が軽く雨水により流されやすい性質があるため、図一七のように大雨後にはガリー浸食が多発する。さらに、調整池の下流には河川・水田があり濁水には注意して施工しなければならない。土工の工程を短縮するためにも、被害を最小限に抑える防災対策と大雨後の迅速な復旧方法を念頭に置いて施工を進める必要があった。

(2) 対策と工夫

鹿児島県の条例で調整池2箇所を構築後でないで造成工事に着手できなかったため、先に調整池を構築した。これは結果的に造成工事中の被害を最小限に食い止めることができて非常に良かった。その後の造成工事では盛土を施工するにあたって防災対策を最優先に考えていた。まず、盛土着手時は先行盛土で上流側に防災堰堤を作成してから施工した。作成する防災堰堤の幅は10m以上で設置場所は各所に設置している竖樋の下流側に作成し、防災堰堤には必ずφ500mm以上の越流管を設置した。

図一八に示すように、竖樋と越流管で水を貯めるのではなく常に流していく方向で排水を行った。

また、当現場付近は線状降水帯が発生しやすく大雨の被害を受けてきた。造成工事開始後の令和3(2021)年5月15日に累計361mm、7月10日と8月17日には合わせて1,019mmもの大雨に見舞われた。まだ土工の最中であったため現場内では図一七で示したようなガリー浸食が多発し、調整池に多くの土砂が堆積した。それぞれの堆砂量は1号調整池が14,196m³(118%)、2号調整池に13,497m³(157%)であった。なお、括弧内の数値は設計堆砂量に対する割合で、どちらの調整池も設計値以上堆積したため浚渫を実施した。浚渫を開始するにあたって注意すべき点がいくつかあり、一つは調整池下流の河川に対して濁水を流さないことである。河川周辺の水田では、河川の水を利用する稲作農家もあり、濁水



図-7 ガリー浸食の様子



図-8 防災堰堤



図-9 H形鋼+鉄板道路

の排出は苦情の原因になるので注意が必要であった。もう一つは工程である。工程を遅らせることはできないため、いかに本工事を止めることなく浚渫を行うかを考える必要があった。そこで、濁水対策として調整池への水の流入が少なくなる渇水期の10月頃から浚渫を開始した。流入水は下流排水路にポンプで水替えし調整池内をドライな状態にして作業に取り掛かった。さらに、水面



図-10 取付道路

下を重機で走行するとどうしても泥を巻き上げ濁水が発生してしまうため、H形鋼と鉄板で水面より上を走行できるような通路を作成した(図-9)。また、工程に関しては既存の通路だけで運搬を行っているとならば多くの時間を費やすことになるので、浚渫土で運搬専用の通路を作成し運搬距離の短縮を図った(図-10)。

(3) 成果

当現場で行った防災対策は非常に効果があったと思われる。土工着手後すぐは十分な防災対策ができておらず外部に多少の被害を出してしまったことは課題として挙げられるが、その後は特に大きな被害を出すことはなかった。弱いところを補強していく防災対策を本工事と並行して進めてきたおかげで工期内に無事竣工することができた。復旧工事に関しても工期と濁水に注意して工夫を行った結果、本工事の工程への影響、また濁水の発生ともになく完了できた。

§3. まとめ

当現場では工期が一日延びると延滞金が発生するため、工期内に工事を終えることを最優先にして施工した。限られた時間と職員の中でEveryday Droneでの土量管理は非常に有効であった。しかし、前述したデメリットに加えて雨天時や強風の日には飛行できないというデメリットもある。さらに、現場の条件によっては正確な土量が把握できない可能性もあるので、導入に際しては注意が必要である。また、シラスのような特殊な土質の場合は土量変化率が分からないこともあるので、日々の土量管理から推測して対応していくことも重要であると感じた。リアルタイムに土量の収支を把握することができ、都度仕上げ高さの変更を行うことができた。そのことによって無事工期内に竣工できたと考えられる。