

3次元モデルを利用した土石流対策施設の施工監理

ーブータン・PNH1・Khelekha サイトにおける土石流対策カルバートの施工事例ー

国際航業株式会社 ○松本昭大 西村智博 木村凜太郎

1. はじめに

ブータン王国の国土を東西に結ぶ唯一の国道である”PNH1”は、ほとんどの区間が山岳地帯を通過している。PNH1沿いの斜面は、ヒマラヤ造山運動による著しい変位を受け、極めて脆弱である。このため、5～9月のモンスーン期には、土石流による路盤の流失や路面への土砂流入などの被害が頻発している。

JICAは、ブータン政府の陸上交通局を対象とした「道路斜面災害対策工能力強化プロジェクト」の一環として、土石流対策について検討を行った。ブータンにおける標準設計では、道路が谷を横断する部分にヒューム管やカルバートの整備が求められているが、土石流を考慮した設計となっていない。そこで本プロジェクトでは、日本における土石流対策の手法を参考に、土石流を安全に流下させる規模のカルバートを検討・設計・施工する技術移転を実施した。

短期の渡航・指導を繰り返す技術移転プロジェクトでは、専門家が全施工期間にわたってサイトに駐在して施工監理することが難しく、日々大きく変化するサイトの状況を正しく把握しづらいという課題があった。また、現地の測量作業レベルが低く、高頻度に計測を行うことも難しい状況であった。そこで現場の状況を正しく把握することを目的として、3次元モデルを活用した施工監理の導入を試みた。

2. 計測方法

土石流対策工としてカルバートの改良を実施したKhelekhaサイトでは、なるべく特殊な技術や機材を必要としない方法で繰り返し計測を実施した。現地におけるデータ取得にはPix4D社の「PIX4D catch」アプリを導入したスマートフォンを使用した。このサービスでは、対象物を様々な角度から高オーバー



図1 施工前のカルバート整備箇所の概観

ラップ率で撮影し、画像をクラウドサーバにアップロードすることにより、自動的にSfM処理が行われ、3次元モデルを生成することができる。クラウド上のデータは、ブータンのサイトだけでなく、遠隔地の日本からも閲覧・ダウンロード可能である。なお、現地におけるデータ取得に要する時間は1計測あたり10分程度である。

計測は、カルバート施工前の2022年9月に1回、カルバート施工期間中の2023年1月から3月にかけては概ね数日間隔で行った。生成されたデータを検証し、正しく3次元モデルが作成された18時期を対象に後続の処理を行った。3次元モデルが正しく生成されなかった事例として、植生や水面の影響により著しく点群が少ないもの、方向や遠近感が極端に異なる写真が含まれることによりモデルが折れ曲がるもの、同一面を複数回撮影したことによりモデルが層状に分離するクレープ現象などが見られた。

18時期の3次元モデルは、それぞれ撮影時のGPS記録を基にした位置情報が付与されているが、スマートフォンのGPS機能には一定の誤差が含まれるため、生成後に位置補正を行った。その後、各時期の3次元モデルを並べたコマ撮り動画・断面図・傾斜量図の作成、差分解析等の処理を行い、施工の進捗管理や出来高の記録、工事進捗の記録資料として活用した。

3. 結果と考察

3.1 3次元モデルの補正

生成した3次元モデルは、事前に現地に設置した参照点を基準として位置補正を行った。3点以上の参照点を定めることにより、3次元モデルの空間上



図2 施工前(左側)と施工中(右側)の重ね合わせー施工前後の盛土やカルバートの位置が対比可能ー

の位置を特定することが可能となるが、工事の進行に伴い、参照点が失われたり、位置にズレが生じたりすることがあった。この場合は、補正済みの3次元モデルから特徴的なポイントの座標を取得し、参照点の代用とした。また、明らかに計測エラーである点群は、除去処理を行った。補正した3次元モデルは、変化箇所を把握するために複数時期のモデルの重ね合わせを行い、コマ撮り動画を作成した。

従来の施工監理では、現場状況の全般的な把握は、写真や動画に頼らざるを得なかったが、これらでは、視点が限定されるため、全体的な施工状況の確認には複数の写真を見比べる必要があった。これに対し、3次元モデルでは、視点や時期を自在に変更することができるため、俯瞰的な状況把握が容易になった。また、3次元モデルの重ね合わせやコマ撮り動画により、施工による変化箇所の確認が容易になった。

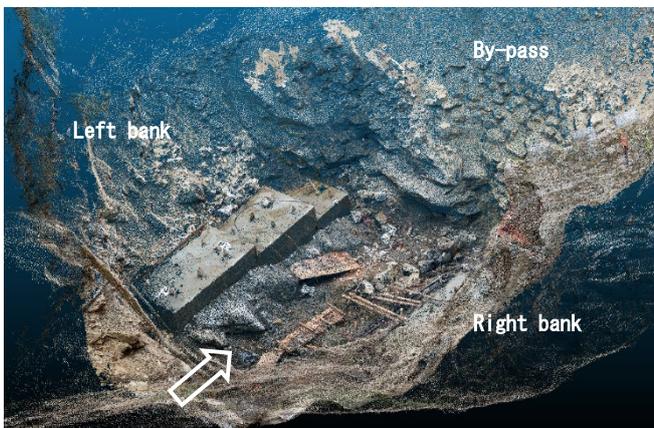


図3 左岸橋台基礎の施工時の状況
—任意の視点からの切出しが可能—

3.2 断面図の作成

作成した3次元モデルの一部を切り出し、断面図を作成した。この際、直線上に位置する点群数には限りがあるため、設定した測線から一定の幅の範囲に含まれる点群から断面図を生成した。

従来の施工監理では、現場における計測のみが正確なデータを得る方法であり、日々変化の激しい現場では、計測漏れや計測箇所の誤りは、データの欠測とせざるを得なかった。3次元モデルの活用により、過去に遡って任意箇所の測定が可能となり、計測漏れや計測箇所の誤りを後日検証・補足できるようになった。また現場では計測しにくい、広範囲に

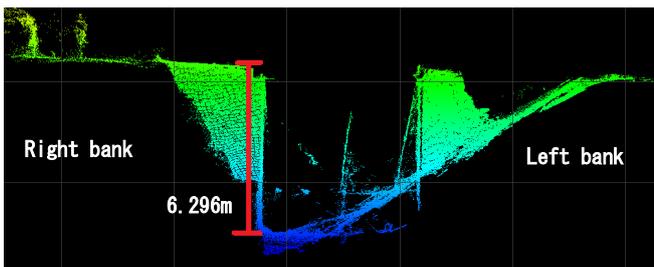


図4 施工中のカルバートの断面図
—右岸橋台の最大高さは約6.3mであると計測可能—

わたる横断面形の把握が容易になった。

3.3 地形変化量の差分解析

取得した3次元モデルを ArcGIS に取り込み、DEM データに変換した。その後、計測時期の異なる DEM データ同士の差分を算出した。この際、点群 (DEM) の著しい外れ値の存在を考慮して、一定範囲内の標高値のデータのみを差分解析に利用した。

掘削量や盛土量は、面的な計測が必要になるため現場で頻繁に実施することは困難である。一方、3次元モデルを使った解析では、空間演算の処理により、比較的容易に実施できる。本施工サイトでも、当初想定していたより基盤岩が深く、計画よりも掘削量が多くなったが、差分解析により正確な掘削量を求めることができた。

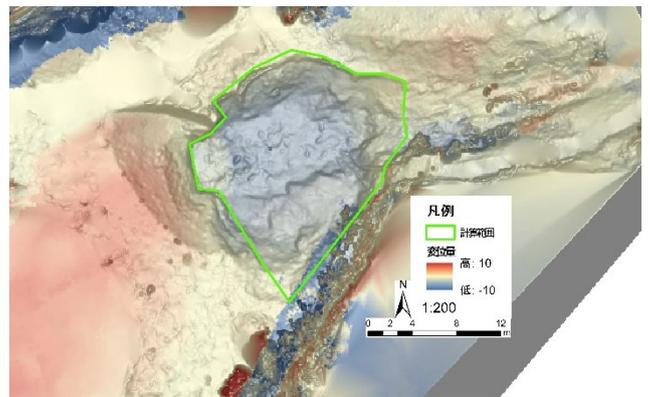


図5 2022/9/17～2023/1/18の差分解析結果
—計測範囲の掘削量は、約988 m³と算出された—

4. おわりに

本稿では、日本から約4,800km離れたブータン・Khelekha サイトにおけるカルバートの施工を事例として、3次元モデルを活用した遠隔地における施工監理について検討を行った。

3次元モデルを高頻度で取得することにより、従来手法の施工監理と比べ、取得可能となるデータの種類や質が向上することが確認された。特に、3次元モデルの重ね合わせにより、施工による変化をより簡便かつ詳細に把握することが可能となった。本稿で検討した手法は、日本国内でも遠隔地の施工監理に活用可能である。また、現場での計測は、アプリをインストールしたスマートフォンのみで短時間に単独で実施できるため、状況の変化が激しく、高頻度に計測を行う必要がある現場での活用にも適用可能なことが示せた。

今後の課題として、複数時期の3次元モデルの位置精度の向上が挙げられる。異なる時期の3次元モデルの位置がずれることにより、後続の検討精度にも影響が及ぶ。これらについては計測機器の性能向上が著しいことから、新たな機器を試用しながら、計測方法や処理手法の改善、精度の向上に関する検討を重ね、砂防DXの推進を図りたい。