

3次元点群データは建設の万能薬か？

－ 3次元点群データの高度化 －

昭和設計株式会社 藤田 嘉久
西谷 誠人
名倉 頌馬

1. はじめに (なぜ建設業界で3次元点群データの活用が求められているのか?)

国土交通省では、令和5年度からすべての公共工事で BIM/CIM の原則適用が掲げられており、建設コンサルタントにおいては3次元測量や詳細設計をはじめ、CIM によるマネジメントサイクルへの対応が待ったなしの状況にある (図-1)。

さらに、少子高齢化の影響等から建設業界 (民間、行政共に) では技術の担い手不足が深刻化する一方で、技術者は各種専門技術の高度化への対応と公共施設の資産管理に必要な総合性との両立が求められ、BIM/CIM や AI、ICT などの新技術を積極的に導入することでDX (デジタルトランスフォーメーション) による技術継承や建設業界の魅力向上を推進していく必要に迫られている。

3次元点群データは、BIM/CIMによるマネジメントサイクルを回す始めのツールであり、このデータを日常業務に普及、利活用することでDXが加速し、建設業界の生産性向上等の課題解決につながるものとする。

本稿では、3次元点群データを道路災害復旧業務への活用した事例について報告する。

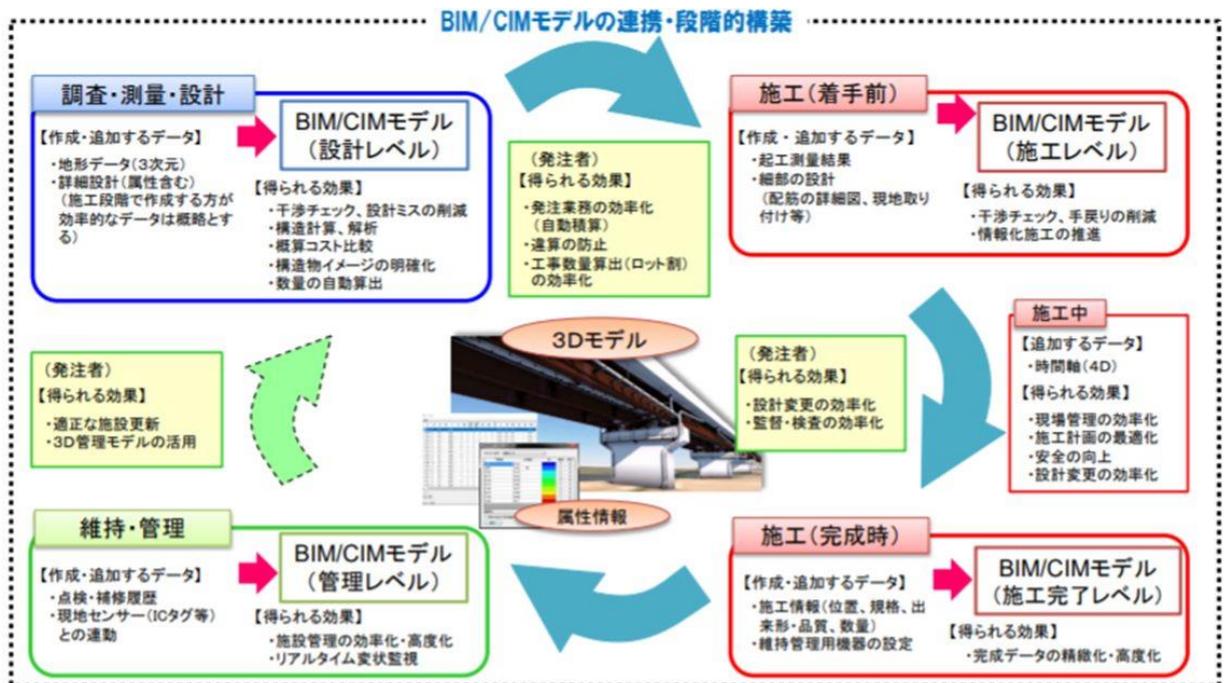


図-1 BIM/CIM の概念

出展：国土交通省 HP 国土交通省 BIM/CIM 活用ガイドライン (案) R4.3

2. 計画地と設計概要

計画地は、JR静岡駅から北に約42km進んだ一般県道三ツ峰落合線の山側斜面(図-2)で、令和3年7月の集中豪雨により法面が崩落したことから、この復旧工事に向けて調査・測量と詳細設計を実施するものである。

当該箇所は、元は人工林として道路脇を急勾配のコンクリート吹付工で斜面安定が施されていたが、平成23年の台風15号により直高40m程度の深層崩壊が発生(写真-1)し、1:1.2~1.8勾配の法面工(植生マット+小段排水工)による復旧設計を実施、平成24年の法面工事中に台風4号に見舞われて表層崩壊が発生したことを受け、追加対策として地下水対策(横ボーリング工+かごマット工)等が行われている。

その後、9年間は大きな被害は起きずに安定していたが、過去の被災と同様に地下水が起因となり全体的に法面表層が崩壊した(写真-2)。このため、崩土を除去して地山の安定勾配による法面整形が難しい区間については、抑止工(吹付砕工+鉄筋挿入工)、安定勾配が確保できる区間は簡易吹付工を基本とし、追加の地下水対策として横ボーリング工や水平排水工を適所に施す計画とした(図-3)。



図-2 調査位置図

出展:地理院地図 国土交通省国土地理院HP

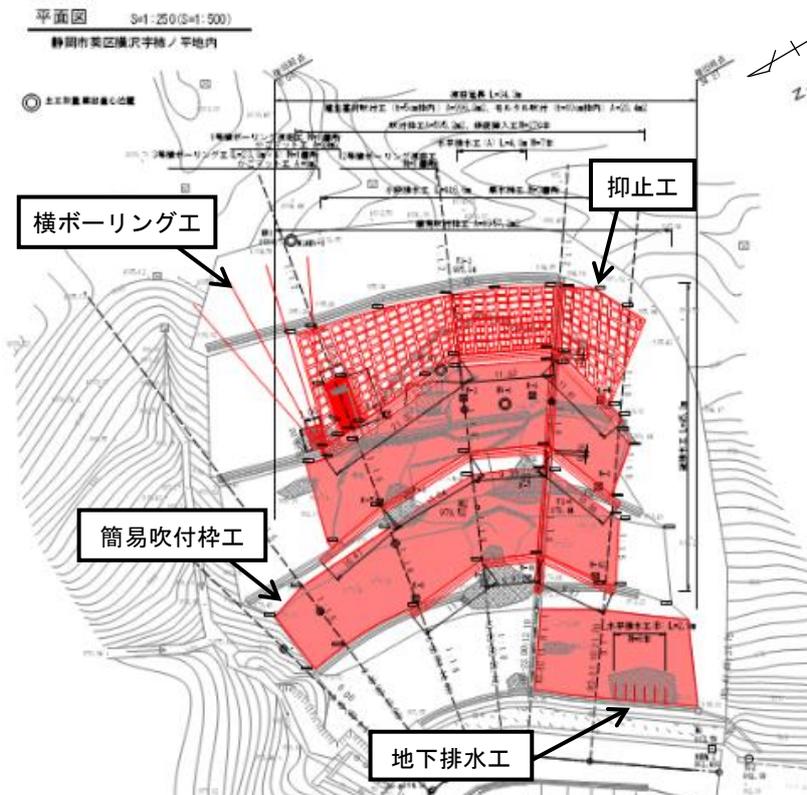


図-3 令和3年度 計画平面図



写真-1 平成23年度 被災状況



写真-2 令和3年度 被災状況

3. 本業務における課題

本災害復旧業務を遂行するにあたり、以下の課題が生じた。

(1) 現場作業と工程計画

被災直後の現場で、晴天時においても被災法面の複数地点で湧水が認められ、調査・測量時にも表層崩壊の繰り返し発生が懸念される状況から、作業員の安全確保や二次被害の抑制が求められた。

また、災害査定に合わせて設計図書を作成する期間が1ヵ月程度と限られており、被災状況を正確に把握するための測量作業を短期間で仕上げる必要から、安全な作業計画と品質を確保した工程計画が課題となった。

(2) 被災原因の把握

過去2回の被災も湧水が要因となって発生しているが、地形からは大きな集水面積を抱えているとは判断し難く、湧水対策工法の選定や位置、実施規模をどのように計画するか課題となった。

(3) 大規模な土工工事

長大法面の崩壊対策工事として、土工事が工事費の大半を占めているが、道路中心線の曲線半径が $R=15m$ と小さく横断距離も70m程度と離れている状況から、**図-4** に示すとおり土工図心で土量を算出した際に施工時の変更増減が事業計画に大きく影響することが懸念された。

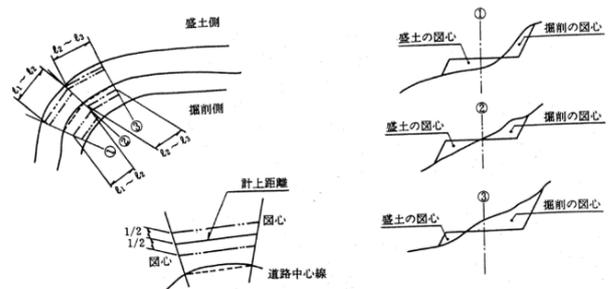


図-4 図心による土工数量距離の取り方

出典：国土交通省 土木工事数量算出要領(案) R4.4

4. 課題に対する取り組み

(1) UAV（無人航空機）によるレーザ計測の採用

限られた期間のなかで現場作業を安全に実施するためには、従来手法による現況測量ではなく、UAVによるレーザ計測（**写真-3**）により大量のデータを短期間に取得する方法が有効と考えられたが、現地は直高40m程度の高低差がある山地のため、所定の点群密度による品質と計測精度の確保や管理方法が求められた。

品質管理は、周辺の雑木等が地表面計測の支障となることから**表-1**に示す地図情報レベル1000（100点/m²以上）を確保する飛行計画とした。計画は、十分な点密度を確保するため**表-2**に示す計測諸元表のとおり対地高度50mと飛行速度3.0m/sによる点密度192点/m²を選定し、**図-5**に示すクロス飛行を行うことで標高が低い地点でも点密度が保てるよう200点/m²を計測目標値とした。



写真-3 UAV（無人航空機）

表-1 レーザの点群密度

地図情報レベル	点群密度
500	400点/m ² 以上
1000	100点/m ² 以上

出展：国土交通省国土地理院 HP
UAV 搭載型レーザスキャナを用いた
公共測量マニュアル(案)

なお、高い精度が求められる現況地物に関してはTS（トータルステーション）により補測した。

表-2 計測諸元表

項目	記入									
	100	100m	70m	50m						
対地高度(m)	100	100m	70m	50m						
計測速度(m/sec)	4.0m/sec	3.5m/sec	3.5m/sec	3.5m/sec	3.0m/sec	2.5m/sec	2.0m/sec	1.5m/sec	1.0m/sec	
レーザ照射角(°)	±45°	±45°	±45°	±45°	±45°	±45°	±45°	±45°	±45°	±45°
コース間重複率										
パルスレート(kHz)	200kHz	200kHz	200kHz	200kHz	200kHz	200kHz	200kHz	200kHz	200kHz	200kHz
スキャン回数		32Hz	38Hz	45Hz	41Hz	38Hz	34Hz	30Hz	24Hz	
計測点間距離(cm)	0.118	0.110m	0.092m	0.078m	0.072m	0.066m	0.059m	0.051m	0.042m	
コース延伸距離(m)										
点密度:点/m ²	71点/m ²	82点/m ²	118点/m ²	165点/m ²	192点/m ²	231点/m ²	289点/m ²	385点/m ²	578点/m ²	

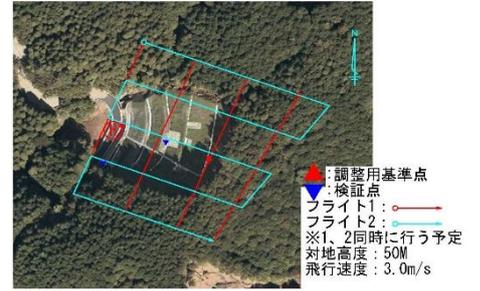


図-5 飛行計画図

精度管理は、3次元点群データの位置及び標高の精度を検証及び調整するための調整点（基準点）を設置するのに加え、計測した点群データを設置した検証点（基準点）と座標値を比較する点検方法で行った（図-6）。

この結果、点群密度は達成率99.9%（図-7）で計測目標値をほぼ満足することができ、要求精度である標高較差10cmに対して最大0.4cm、標準偏差0.1cmと高い計測精度が確保され、図化した横断面図では法面の凹凸が鮮明に確認することができた（図-8）。

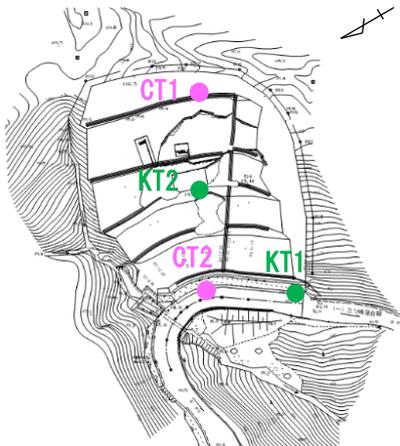


図-6 調整点・検証点



密度条件	
1.00 m平面格子あたり	200 点以上
実行	
<input checked="" type="checkbox"/> 密度を満たす格子部	
<input checked="" type="checkbox"/> 密度を満たさない格子部	
密度結果	
点群数	15,241,261
格子数	7,104
密度を満たさない格子数	1
達成率	99.9%
面積	7,313.686 m ²

図-7 点群密度確認

※TOREND-POINT
福井コンピュータ株式会社

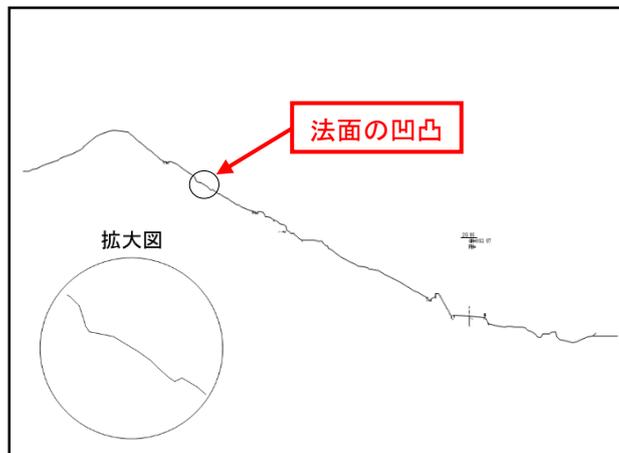


図-8 横断面図

また、現地作業時間は表-3に示すとおり測量範囲 7,300 m²に対して、内業を含めて3日間（従来測量から4割短縮）で点群データによる現況地形（3次元地形データ）と2次元測量図面（平面図、縦横断面図）を作成し、トラブルなく後続作業の設計へ引き継いだ。

表-3 測量作業日数比較表

項目	従来測量	UAV（無人航空機）
現況測量	現地測量 縦横断測量	UAV レーザ計測・補測 縦横断測量補測
人工	外業：15 人工 内業：3 人工	外業：6.5 人工 内業：4 人工
作業日数	5 日 (1.0)	3 日 (0.6)

(2) 赤外線オルソ画像による湧水状況把握

過年度に地質調査と合わせて地下水帯の分布状況が調査済みで、斜面中腹における破碎帯の存在と、尾根筋を伝わって地下水を集水している地質特性を有していることを把握している（写真-4、図-9）。

本災害復旧においても、対策工法検討の基礎資料として地質調査と合わせて地下水検層（食塩希釈法）の実施を計画したが、一部で新鮮岩の露呈が認められたり崩土が堆積している状況から、地下水の帯水状況や被災要因について地表面温度を計測することで補足できないかと考えた。

そこで、先の UAV に赤外線カメラを搭載して温度変化が顕著になる晴天時の昼間に撮影を実施した。撮影は、地下水による温度変化の違いを把握する必要性から高い解像度が求められるため、樹木等による日陰の影響を避けて被災箇所全体が一律の明るさとなる13時として撮影計画を立案した。

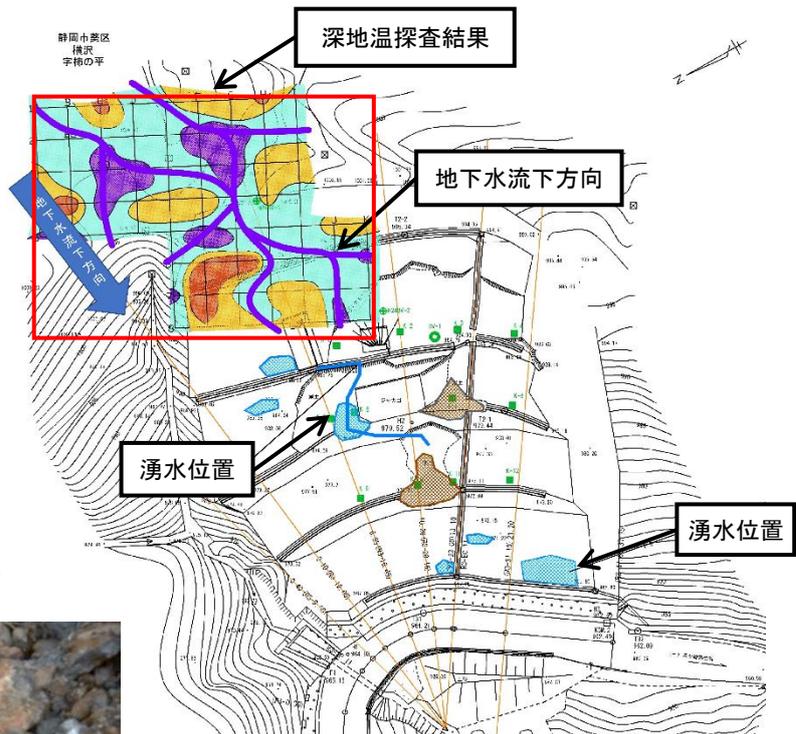


図-9 地下水帯の分布状況

※地質調査や地下水の分布状況調査、地下水検層は日本エルダルト株式会社が別業務として実施



写真-4 湧水状況

この結果、目視では識別が難しい地下水の湧水箇所も含めて被災箇所全体を俯瞰した鮮明な赤外線オルソ画像を記録（図-10、11）するとともに、調査データを基に3次元点群データと結合させ、具体的な標高位置や、湧水量の傾向を推測する基礎資料として活用することができた

（図-12、13）。

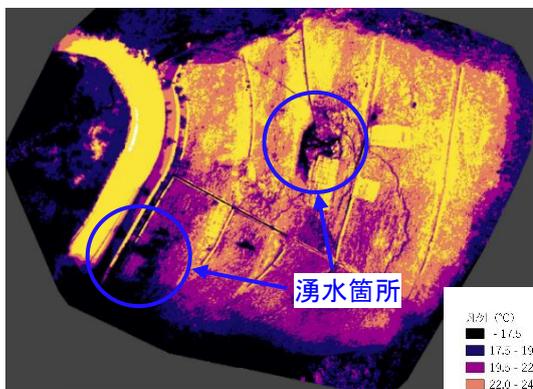


図-10 赤外線カラー画像

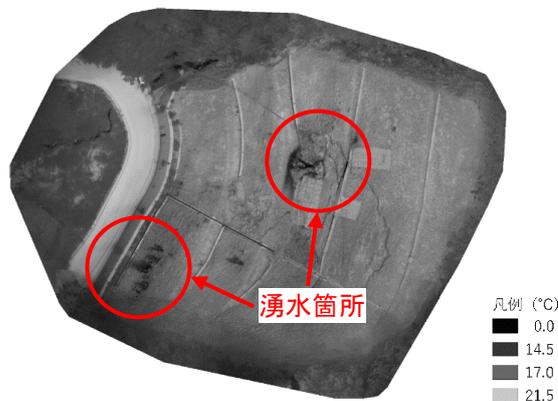


図-11 赤外線モノクロ画像

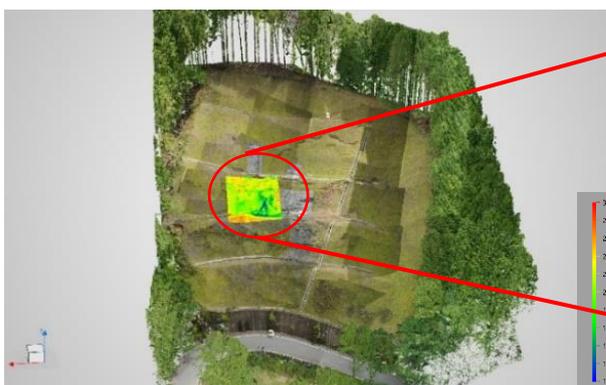


図-12 赤外線3次元点群データ

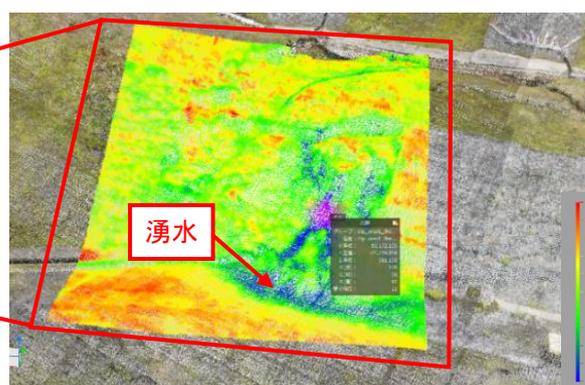


図-13 赤外線3次元点群データ

(3) 土工数量の算出精度向上

施工時の土量増減を抑えるため、3次元点群データの計測密度と標高精度を確認した上で、測量横断面図と整合のとれた3次元設計モデルを作成し、点高法（図-14 のとおり2つの面データを重ね合わせたメッシュ交点の標高差にメッシュ間隔の面積を乗じた合計値を算出）により掘削土量を算出した上で、従来手法である土工図心による平均断面法との比較を行い、土工図心距離の算出精度を確認調整することで土工数量の信頼性が確保できると考えた。

そこで、3次元モデルで求められる土量の算出精度を確保するため、点高法に関する数量算出要領の基準値（50 cm間隔以内）を含めた5ケース（10.0m、1.0m、0.5m、0.2m、0.1m）で試算を行い、土量の差が10 m³以下（求められる数量算出単位100 m³）となる20 cm間隔の結果を最確値とした（図-15、16）。

そして、平均断面法による図心位置と計上距離の算出値を精査し、点高法の最確値とのズレが全体土量の1割以下に収まっていることを確認した上で、平均断面法においても一定の算出精度が保たれていると判断し、設計図書を作成した。

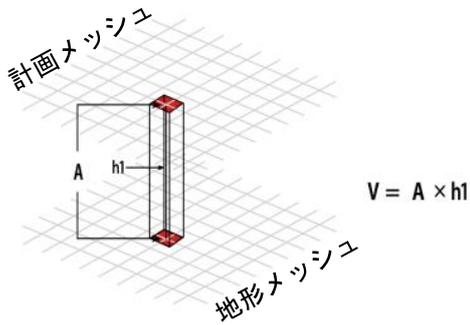


図-14 点高法 イメージ図

※ 出典：国土交通省 土木工事数量算出要領(案) R4.4

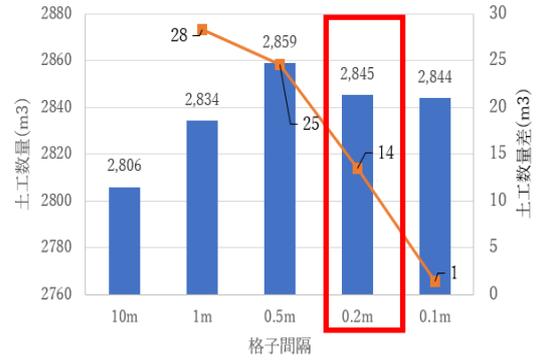
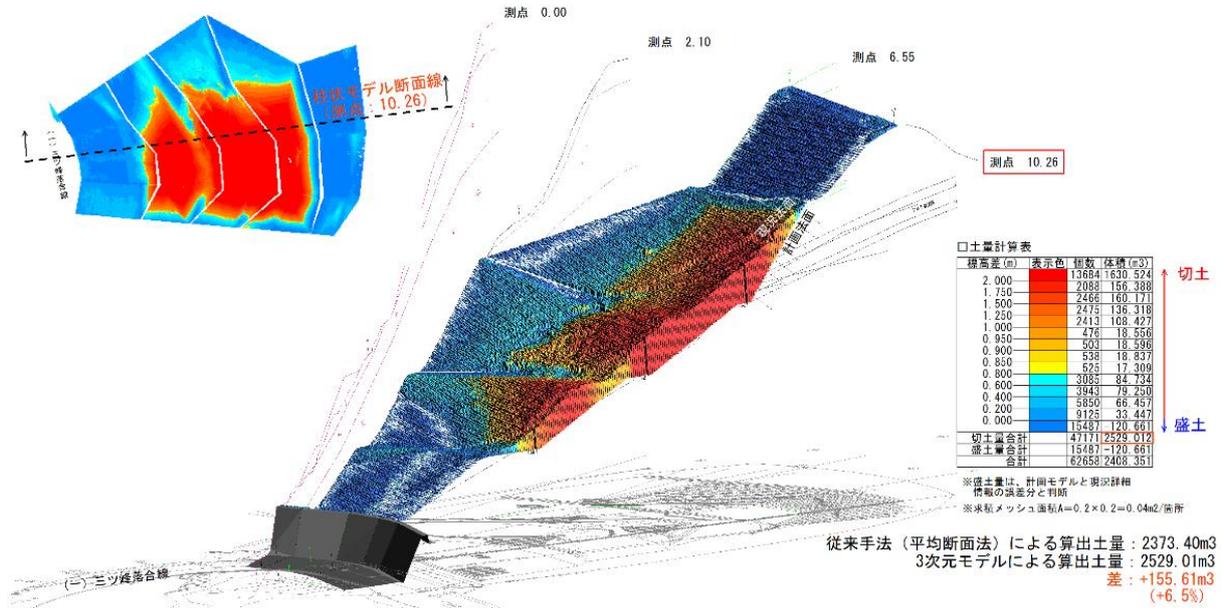


図-15 格子間隔と土工数量の関係

□ 3次元モデルによる算出土量検証



考察

- ◎ 工事費増減への影響が大きい掘削土量について3次元モデルを用いて検証した結果、算出値と大差(誤差6.5%)がないことを確認(モデル、現況詳細情報の精度などによって算出土量は変化する)
- ◎ 断面変化が大きい複雑な地形や、施工延長が長い工事においては算出手法の違いが工事変更対応に影響することが推測される
- ◎ 3次元データを用いた出来形管理を行うことで、設計計画との相違や工事清算に関する事務処理の効率化、合意形成の円滑化が期待される

図-16 3次元モデルによる算出土量検証

5. 今後の展開

(1) UAV+レーザ計測の作業効率向上

本測量では、作業の安全性確保や期間的制約のもとで品質管理を重視した作業計画を立案して現場作業を実施したが、今回のように地形や地物の3次元点群データを高密度、高精度で取得することにより、他業務においても後続作業の効率化が図れるものと期待される。

今後は、飛行計画の条件を変えた測量精度の検証に取り組んでいきたい。

(2) UAV+赤外線カメラの活用の可能性

本調査では、地下水の滞水状況を把握する目的でUAV+赤外線カメラを用いたが、当初の想定よりも高感度で温度変化の差を表現できることが判明し、有効性を確認することができた。

今回は、撮影条件に恵まれた地形特性からUAVの飛行する対地高度を一定として撮影したが、日陰や日射の少ない地形をはじめ、起伏に富んだ地形における精度確保の手法、条件に合わせた撮影方法を引き続き探求していきたい。

赤外線カメラの活用の可能性は、コンクリート構造物等の劣化診断(コンクリートのうきや空洞化)をはじめ、岩盤劣化の傾向把握や緑被率分析など多岐にわたるため、今後も実績を積みながら活用の可能性を広げていく所存である。

(3) 3次元モデルの精度向上

本設計では、従来手法による数量算出の精度向上に3次元モデルを活用したが、モデルを作成する際の基準線位置や方向によっても再現精度や作業効率変動するものと考えているため、最適なモデル作成基準について引き続き検証していきたい。

6. おわりに

本災害復旧業務では、従来の測量手法に加えUAVによるレーザ計測を採用することで、所定の品質を確保した上で安全性と効率性を向上させ、赤外線カメラを併用することにより対策工法の選定や被災状況の把握をはじめ、効果的な説明資料の作成が可能となった。

また、3次元モデルを設計検討に取り入れることで、設計計画の検証や数量算出精度の向上が期待でき、業務全体にわたり有効性を確認することができた。

さらに、限られた資源で業務効率を向上させるには、3次元点群データの日常的な利用が有効であり、点群データを高い精度で管理できるデータ処理能力を向上させていく必要があると考える。

静岡県ではバーチャル静岡として県下全域の3次元点群データがG空間情報センターで公開されており、様々な業務で検証や利活用が可能な環境にある。今後の業務でもCIMの進展や可能性の拡大に尽力するとともに、3次元点群データを積極的に活用し「建設の万能薬」となるよう技術の発展に貢献したい。