

のり面工調査における3次元レーザースキャナーの活用事例

株式会社ルーラルエンジニア 大島 武洋

1. はじめに

のり面工は、気象条件・土質条件・のり面構造条件等により、経年変化によるのり面本体の傾動、崩壊や法面保護工の劣化、損傷、集中豪雨による崩落等さまざまな事例が報告されており、今後も、老朽化に伴う維持補修整備を目的としたのり面工調査が見込まれる。しかし、道路に隣接する施設であることから、車輛の往来や急斜面への立入りなど作業時の危険性が高く、道路利用者や測量作業員への安全対策が必要となる。

本報では、傾斜部に立入らずに、平坦地に設定した観測機械点からの操作だけで、対象地表物の三次元データを取得可能とする『3次元レーザースキャナー（以降「3次元測量」）』を用いた測量とその精度の検証結果の事例を紹介する。

2. 調査箇所について

2-1. 地区の概要

調査は、渡島総合振興局管内七飯町の道路において実施した。該当路線は、国営事業により昭和59年～平成10年にかけて整備が行われ、道路本線は最大13m程の切盛り造成が施された長大なのり面施設が点在する路線である。

整備完了から20年ほど経過し、のり面部の崩壊や崩落、既設擁壁工の劣化等が進行しており、施設利用者の安全性を確保した施設整備を必要とする状況となっている。

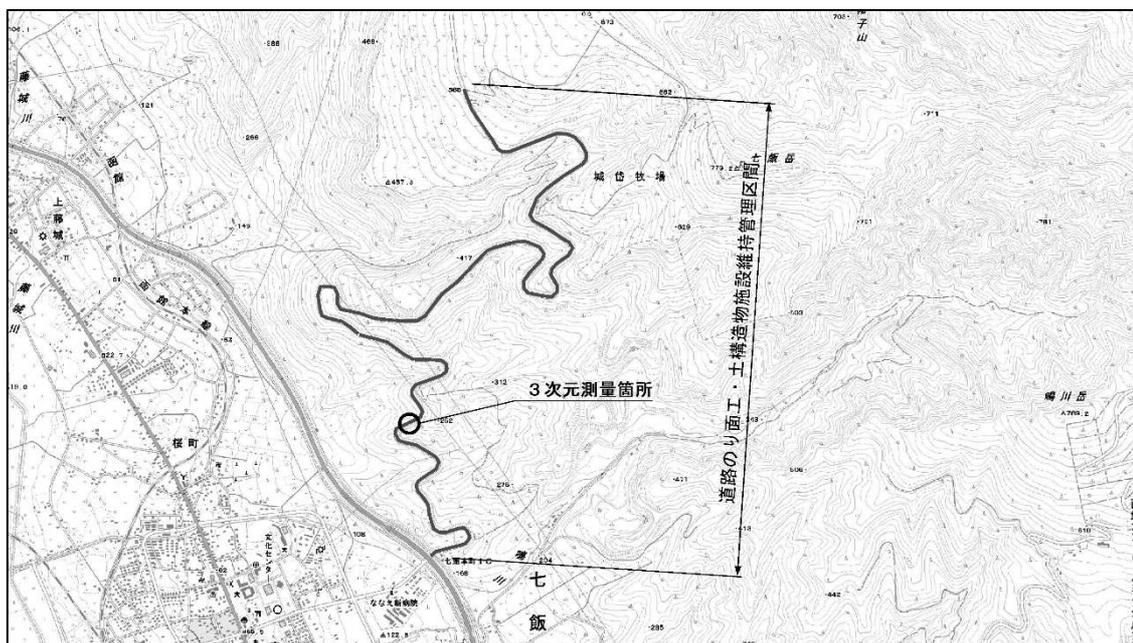


図-1 事業区間位置図

2-2. 3次元測量調査箇所の概要

対象区間内で特にのり高が高く、S字曲線区間内に位置し、且つ道路縦断勾配も急勾配で平面線形と共に視距が短い等、調査時における危険性が高い箇所を調査箇所として選定した。調査箇所の現場条件を表-1に示す。

表-1 調査箇所の現場条件

調査条件	位置・施設情報
調査箇所	町道上藤城8号 SP=11,180~11,280 (L側)
区間延長	L=100m
道路縦断勾配	I=7%
調査範囲	平面測量 A=3400 m ²
のり面・土構造物工種	整形切土斜面、法面保護工(播種工(ラス網))
施設規模	法高 H=15m、法勾配 Z=1:1.2、法面3断面
劣化状況	植生表土が流出し露岩、ラス網の腐食損傷



写真-1 路上より (5月撮影)



写真-2 法上より (5月撮影)

写真-1、2に示した通り、対象のり面施設は、植生工によるのり面保護工で整備されており、施設機能が維持されている箇所は地表部が植生で覆われ、のり面頂上部は樹木が繁茂している。

2-3. 調査方法と検証着目点

3次元測量を行うことで、

- ・ノンプリズムで観測可能なため、法面部に作業員が立入る必要が無く、作業員の安全性が確保できる。
- ・3次元測量観測値(点群データ)により、従来からの平面、中心線、横断測量作業が網羅できる。
- ・外業時間の短縮化が期待できる。

などの優位性が期待され、のり面工の設計に必要な横断図などの作成を目的に3次元レーザー scannerによる測量調査を実施した。

3次元測量は、国土交通省国土地理院にて公共測量マニュアル(案)が整備されてきて

おり、精度管理は表-2 に準拠する。

表-2 3次元レーザースキャナー測定の精度条件

項目	精度管理値	備考
地図情報レベル	500	地形図縮尺 1/500 相当
水平方向	0.25m以内	観測地形の水平距離観測精度
標高点	0.25m以内	観測地形の地盤高観測精度
観測点間隔 (地形)	放射方向の観測点間隔; 330 mm	観測地点の観測条件
標定点	水平位置; 0.1m以内	標定点設置時の観測精度
	標高; 0.1m以内	
標定点残差	50 mm以内	測地座標系への変換による残差

(精度管理値は、「地上レーザースキャナーを用いた公共測量マニュアル(案)平成 30 年 3 月 国土地理院」より)

観測機器設置位置となる標定点は、G N S S より調査対象法面に対して反対車線側の道路路肩部に 5 点 (約 20~30m間隔) を木杭で設置し、各標定点で測定した。

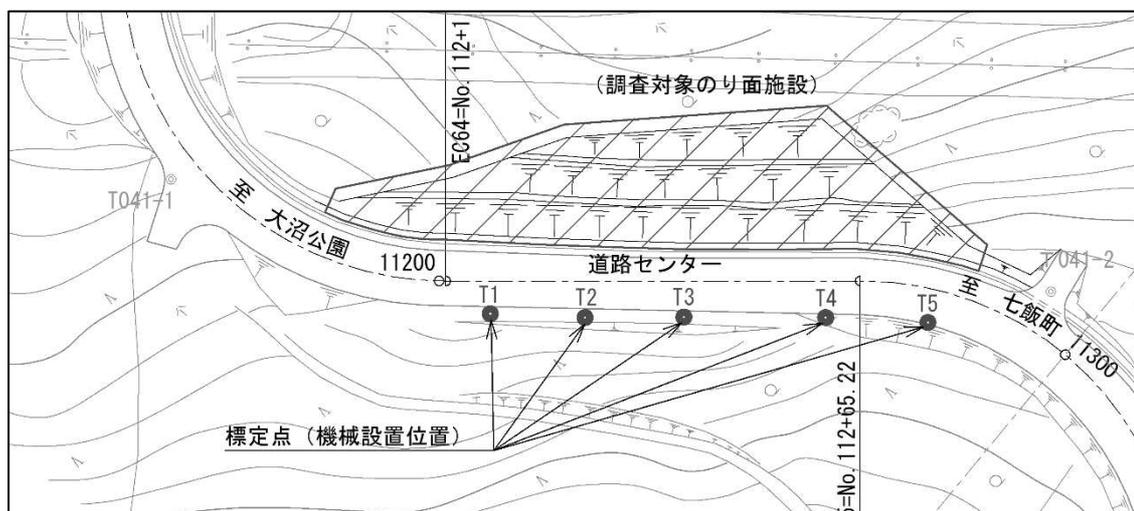


図-2 標定点は位置図

3次元測量とは、照射したレーザー光の反射を計測する仕組みで、ある程度の草木や茂みがある地形でも草や葉の隅間を通り地表面に到達することが可能とされている。

しかし、地表部が露呈している方が観測条件は優位であり、草木の分布状況や生育状況が観測に影響を与えることが考えられる。また、のり面施設を下から見上げる形で観測することから、樹木が生茂るのり面頂上部や観測時に影となる箇所の観測精度についても疑問が生じる。

そこで今回は、“株式会社ハイデックス・和島 様” の協力のもと、代表断面 1 断面 (No. 2=20) で T S による横断測量を実施し、3次元測量の観測精度を検証した。また、のり尻部から見上げる形による観測となることから、のり面頂上部の地表面観測について十分な観測値が得られないことが考えられ、上空から U A V による写真測量を行うことで 3次元測量の補足が可能か、合わせて検証を行った。

～ 検証着目点 ～

- ① 地表面が被覆（植生工）されている環境下における3次元測定の精度
- ② UAV写真測量を補足することによる効果
- ③ 植生状況による観測精度の影響（1回目を植生が繁茂する時期（8月上旬）、2回目を植生が枯死する時期（11月上旬で草刈り実施））

2-4. 使用した測量機器

● 3次元レーザースキャナー測量機器；TOPCON GLS-2000



表-3 使用機器の特徴

公共測量マニュアル基準・現場条件	性能・特徴
位置情報基準；10mm以内	1～150mで3.5mm
放射方向の観測点間隔基準；330mm以内	35mで5.6mm、観測限界350mで58mm
のり面の観測	障害物に対し、ファーストパルス（草木）とラストパルス（地表）の2種類のレーザー測定が選択可能

● UAV写真測量機器；PHANTOM 4 pro プラス



表-4 使用機器の特徴

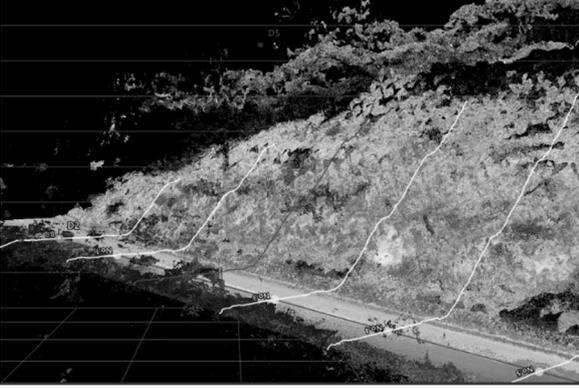
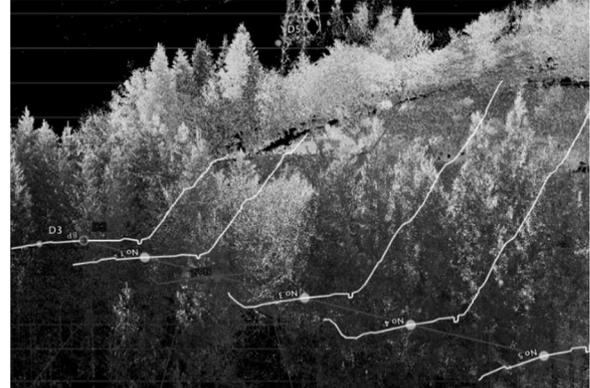
項目		性能・特徴
機体	重量	1,388g（バッテリー含む）
	対角サイズ	350mm（プロペラ除く）
	運用限界高度	6,000m
	最大風圧抵抗	10m/s
	最大飛行時間	約30分
カメラ	センサー	有効ピクセル数2,000万画素
	レンズ	視野角84°、オートフォーカス

● 各使用ソフト

- ・ 3次元測量点群処理；TREND-POINT（福井コンピュータ株）
- ・ UAV写真測量点群処理；Photo Scan（株オーク）
- ・ 3次元測量+UAV写真測量合成；MAGNET COLLAGE（株トプコン）
- ・ 図 化 作 業；BLUETREND（福井コンピュータ株）

3. 測量結果

表-5 観測状況

1 回目観測 (植生繁茂期)	2 回目観測 (植生枯死期)
観測日; 2017年8月2日 午前中観測 天候; 晴れ 気温; 22℃ 風速; 1.3~2.7m/s	観測日; 2017年11月9日 午前中観測 天候; 曇り 気温; 10℃ 風速; 5.1~7.3m/s
のり面状況写真 	のり面状況写真 
点群データ平面図 	点群データ平面図 

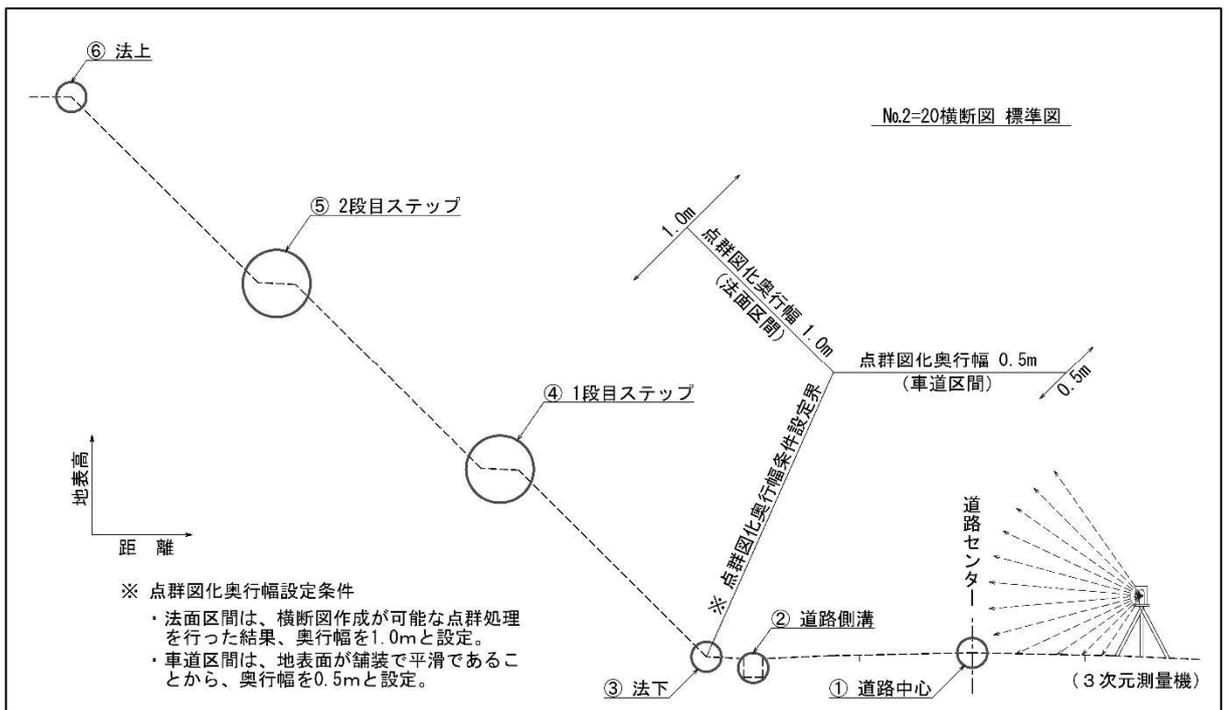


図-3 横断面図精度検証箇所

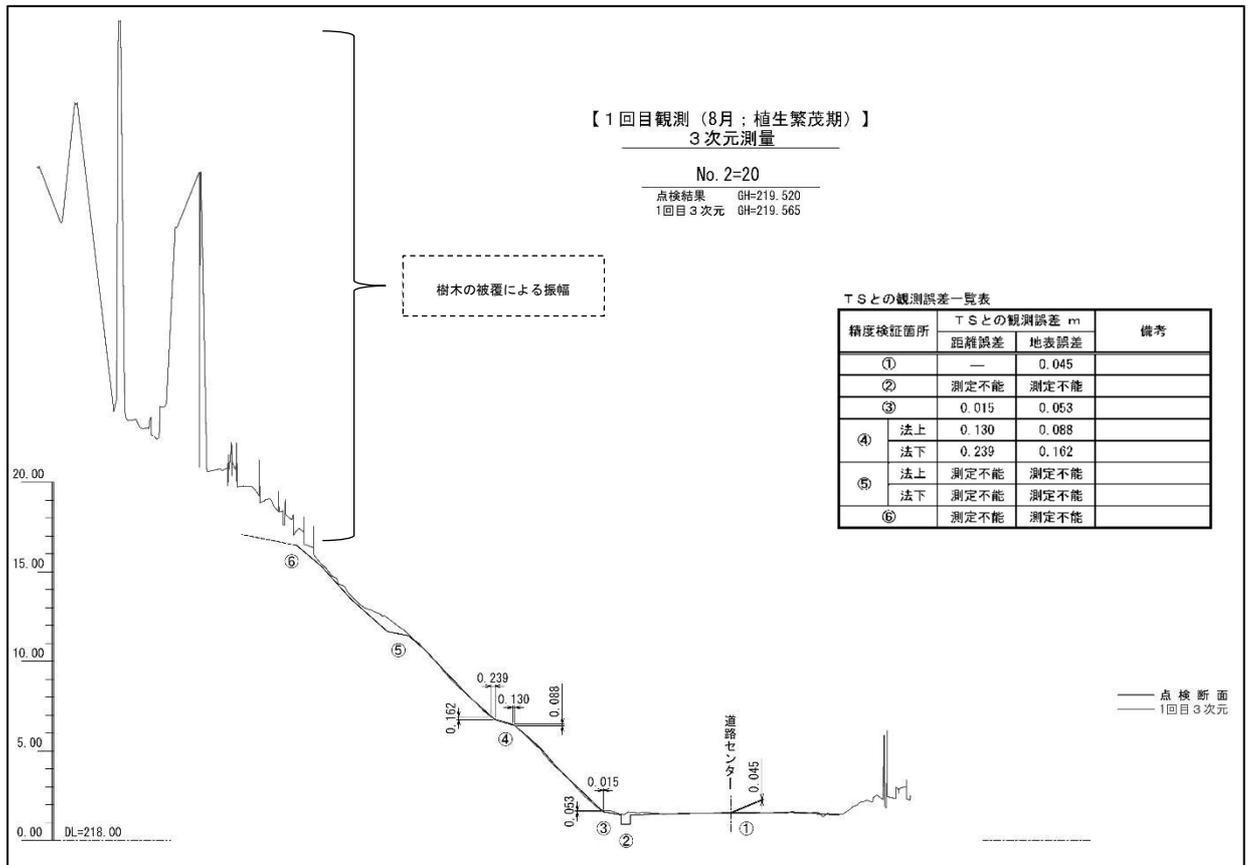


図-4 1回目観測（8月；植生繁茂期）3次元測量横断面

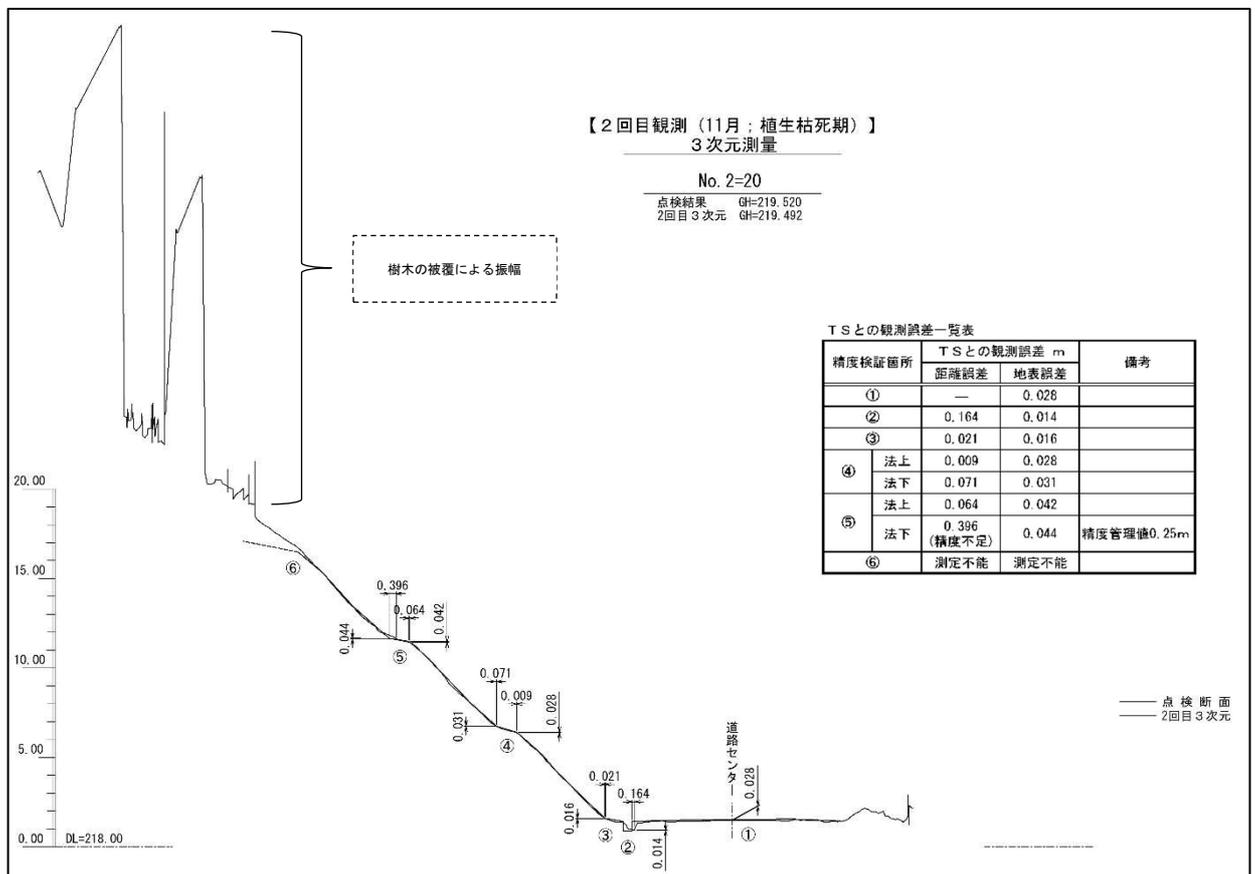


図-5 2回目観測（11月；植生枯死期）3次元測量横断面

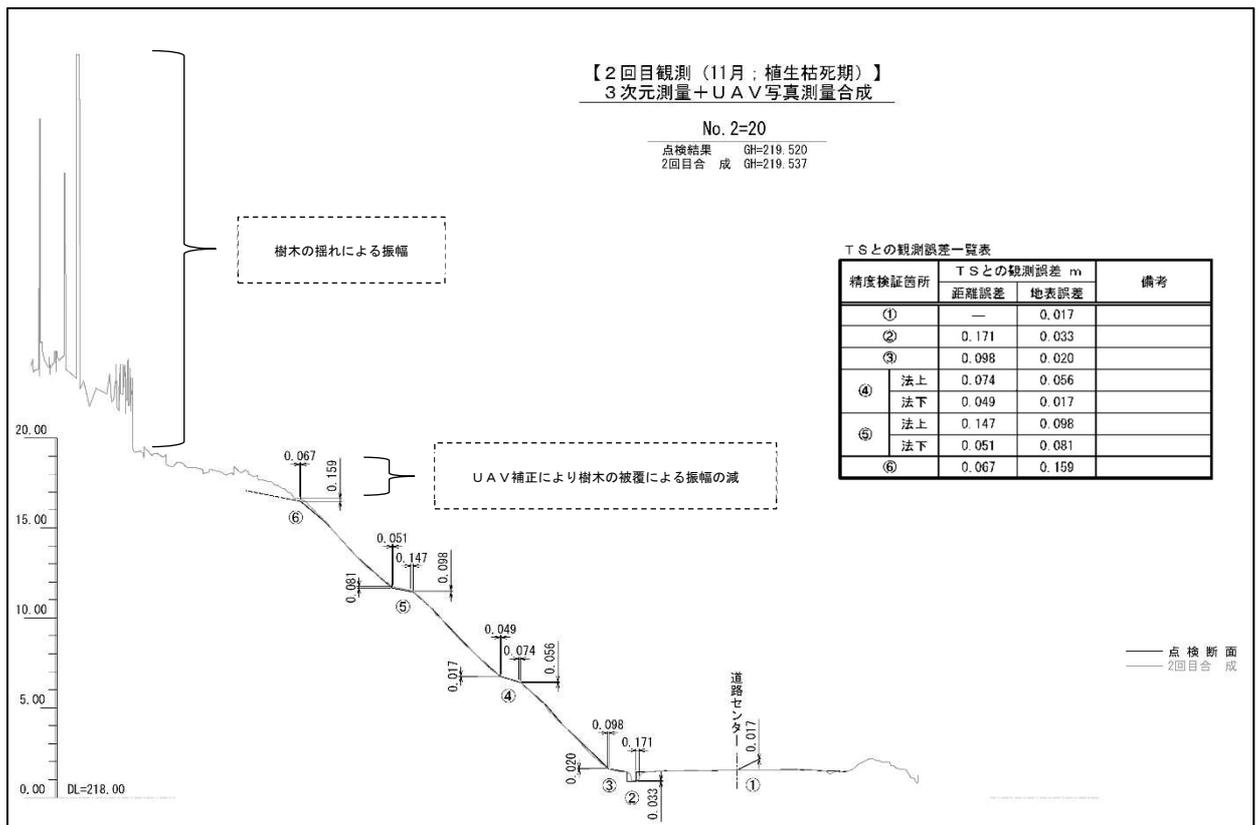


図-6 2回目観測(11月；植生枯死期) 3次元測量+UAV写真測量合成横断面

4. 観測誤差結果と課題

4-1. 観測誤差結果

① 3次元測量の精度

図-5より、2回目観測時のTSとの観測誤差は0.014~0.064m（精度点検箇所⑤の法上まで）となり、設計時において土工数量算出等の影響を与えない十分使用可能な成果が得られた。しかし、2段目ステップ法下（精度点検箇所⑤の法下）から頂上部に関しては、点群解析だけでは明確な地形が確認されず、現地が高低差のある地形であることや観測機器設置位置が原因と推測する。

図-4の1回目観測時のTSとの観測誤差は、観測できた精度検証箇所が8箇所中4箇所と約半分程度しか確認されず、観測時期による影響が確認された。

道路中心部となる精度検証箇所①は、舗装面で被覆物の影響は受けない箇所であることから、地表誤差はミリ単位の精度を期待したが、地表高誤差は『1回目観測 0.045m』『2回目観測 0.028m』と、センチ単位の誤差結果となった。この結果については、

- 1) 点群化の奥行幅条件が0.5mに対し、道路勾配が7%であることから

$$\text{点群化奥行幅誤差} ; 0.5\text{m} \times 7\% = 0.035\text{m}$$

と、奥行幅内でセンチ単位の誤差が生じる。

- 2) TS測量による誤差

が原因で生じた誤差と推測される。

② UAV 写真測量を合成した場合の効果

2 回目観測の図-5 と図-6 の横断図を比較すると、法上頂上部で樹木の被覆による振幅は抑えられたが、地表部を明確にするまでには至らなかった。

表-6 2 回目観測の UAV 写真測量合成有無による TS に対する誤差精度比較

精度検証箇所	UAV 写真測量合成前 (図-5)		UAV 写真測量合成後 (図-6)		備考	
	距離精度	地表高精度	距離精度	地表高精度		
①		0.028m		0.017m		
②	0.164m	0.014m	0.171m	0.033m		
③	0.021m	0.016m	0.098m	0.020m		
④	法上	0.009m	0.028m	0.074m	0.056m	
	法下	0.071m	0.031m	0.049m	0.017m	
⑤	法上	0.064m	0.042m	0.147m	0.098m	
	法下	0.396m	0.044m	0.051m	0.081m	
⑥	測定不能	測定不能	0.067m	0.159m		

注) **太字**は UAV 写真測量合成の有無を比較し、精度が高い値

UAV 写真測量合成前後の精度検証箇所における誤差精度を表-6 で整理すると、誤差精度の優劣では UAV 写真測量合成を行ったことで、全精度検証箇所 15 箇所中 6 箇所 で精度向上が確認された。このうち以下の 5 箇所は、3次元測量で影部となり得る精度検証箇所であった。

- ・精度検証箇所 ④法下；距離精度、地表高精度 ～ 2 箇所
 - ・精度検証箇所 ⑤法下；距離精度 ～ 1 箇所
 - ・精度検証箇所 ⑥；距離精度、地表高精度 ～ 2 箇所
- } 計 5 箇所

これより、3次元測量で地表面を捉えた箇所は、UAV による精度向上は認められなかったが、3次元測量で影部となり得る個所での精度向上が確認された。

③ 植生状況による観測結果の影響

1 回目観測 (植生繁茂期) の図-4 と 2 回目観測 (植生枯死期) の図-5 を比較し、前述の①でも述べたが、2 回目観測 (植生枯死期) で多くの精度検証箇所が確認できた。

表-5 3次元測量の観測時期による TS との観測誤差

精度検証箇所	1 回目観測 (図-4)		2 回目観測 (図-5)		備考	
	距離誤差	地表高誤差	距離誤差	地表高誤差		
①		0.045m		0.028m		
②	測定不能	測定不能	0.164m	0.014m		
③	0.015m	0.053m	0.021m	0.016m		
④	法上	0.130m	0.088m	0.009m	0.028m	
	法下	0.239m	0.162m	0.071m	0.031m	
⑤	法上	測定不能	測定不能	0.064m	0.042m	
	法下	測定不能	測定不能	0.396m	0.044m	精度管理値 0.25m
⑥	測定不能	測定不能	測定不能	測定不能		

注) **太字**は 1 回目と 2 回目を比較し、精度が高い値

また表-5で、3次元測量の観測時期によるTSとの観測誤差を比較すると、ほぼ2回目観測（植生枯死期）の観測精度が高いことから、地表部の観測精度は、植生状況による影響が大きいことが確認された。

4-2. 課題

- 3次元測量は、設計に必要とする地形情報の取得が可能であるが、観測にあたり地表被覆物の影響を大きく受け、草木の生育時期により観測精度が異なることが確認され、観測条件の制約にとらわれない今後の技術開発が期待される。
- 道路側溝部や各小段ステップ形状、のり面頂上部の地形など、観測機器から死角となる箇所が生じ、正確な地形情報を取得するためには、補足測量や今回用いたUAV写真測量などの調査を必要とし、道路平坦部からの3次元測量だけでは地形測量は難しいことが確認された。今後は、地形状況に応じた3次元機器配置など安全かつ効率的な観測手法の確立が望まれる。
- 2回目観測時におけるUAV写真測量による補足効果において、3次元測量での死角箇所では有効性が確認されたが、他の精度検証箇所では精度の優位性が確認されなかった。この原因は、観測時の風速が5~7m/sと強く、UAV本体の揺れが大きかったことが3次元測量値より観測精度が下回った原因とも考えられ、今後も検証が必要と思われる。

5. おわりに

技術者不足の解消や安全性及び作業時間短縮を向上させる観点から、新しい測量技術による測量方法として、3次元レーザースキャナーの利用が期待されており、3次元測量の公共測量マニュアルや測量成果検定基準が整備されてきている。

また国土交通省では、ICTや3次元データを活用し、建設生産システム全体の生産性向上を目指す「i-Construction（アイ・コンストラクション）」が進められ、2020年度には調査・設計段階での3次元測量による地形測量の実装化を推進している。

建設現場においては、3次元測量による出来形管理が進められてきているが、計画・設計段階の測量調査においては、地表部形状の精度を確保するための補足調査や図化時における人為的な判断補正などが、現段階では必要な状況である。

しかし今後は、レーザースキャナー観測機器の更なる性能向上や、対象とする地形や環境条件に応じた観測方法を確立させることで、各調査・計画工種における活用が期待され、建設現場の生産性が向上するものとする。

【引用・参考文献】

- 1) 国土交通省国土地理院；

地上レーザースキャナーを用いた公共測量マニュアル(案) 平成30年3月