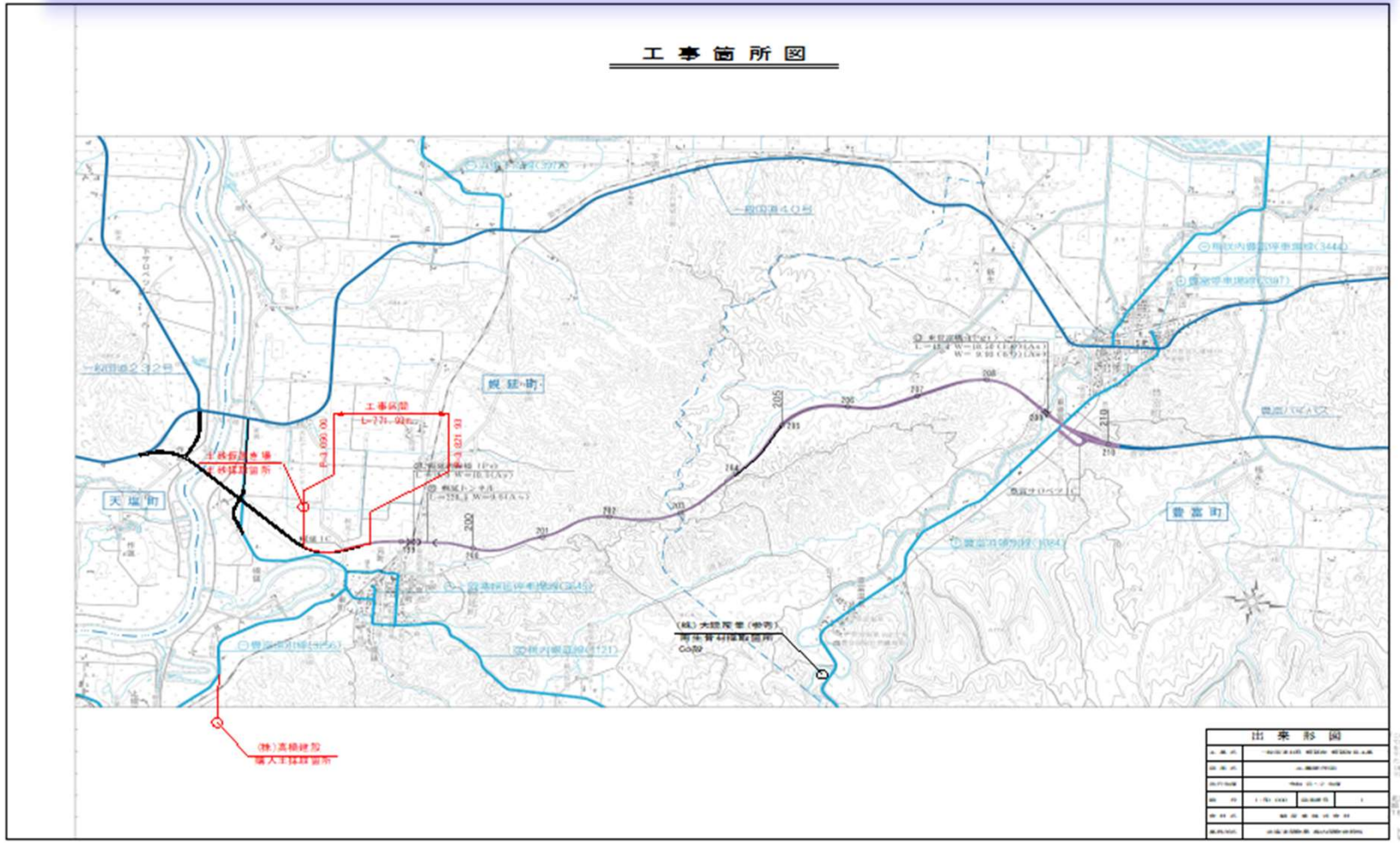
工事名

一般国道40号　幌延町　幌延改良工事

ICT技術を活用した施工事例

NISHIKI SANGYOU INC.

工 事 区 間



四〇号 幌富バイパス

工 事 概 要

工事名

一般国道40号　幌延町　幌延改良工事

工期

令和　2年　3月　25日　～　令和　3年　2月　2日

発注者

北海道開発局　稚内開発建設部

工事場所

天塩郡　幌延町

請負者

錦　産　業　株　式　会　社

現場代理人　・　主任技術者

田　渕　優　一

請負金額

￥189，530，000-（内消費税額￥17，230，000-）

担当技術員

ダオ　・　チョン　・　ギア
下　山　玄　馬

工 事 概 要

道路土工

掘削工	23,600m3
掘削工（ICT）	4,900m3
路体盛土工	31,130m3
路床盛土工	1,300m3
路体外盛土工	4,710m3
法面整形工（切土）	5,620m2
法面整形工（切土）（ICT）	2,450m2
法面整形工（盛土）	1,760m2
路盤工内法面整形	600m2
路盤工内法面整形（ICT）	590m2

植生工

泥炭張付（t=0.30m）	9,830m2

舗装工

凍上抑制層（t=0.20m）	4,700m2
下層路盤（t=0.65m）	5,130m2

排水構造物工

横断管渠工（鉄筋ｺﾝｸﾘｰﾄ高圧管）	20m
雨水桝（A型・B型）	10基
縦排水（Φ300）	65m
路床排水工（Φ100）	867m

電気通信設備工

配管工（FEP-30・50）	2,015m
ﾊﾝﾄﾞﾎｰﾙ工（CE型・EF型・EG型・KS型）	14基

技術管理

沈下板測定	35箇所

着　工　前

完　成

着　工　前

完　成

工事実施上の課題と対応

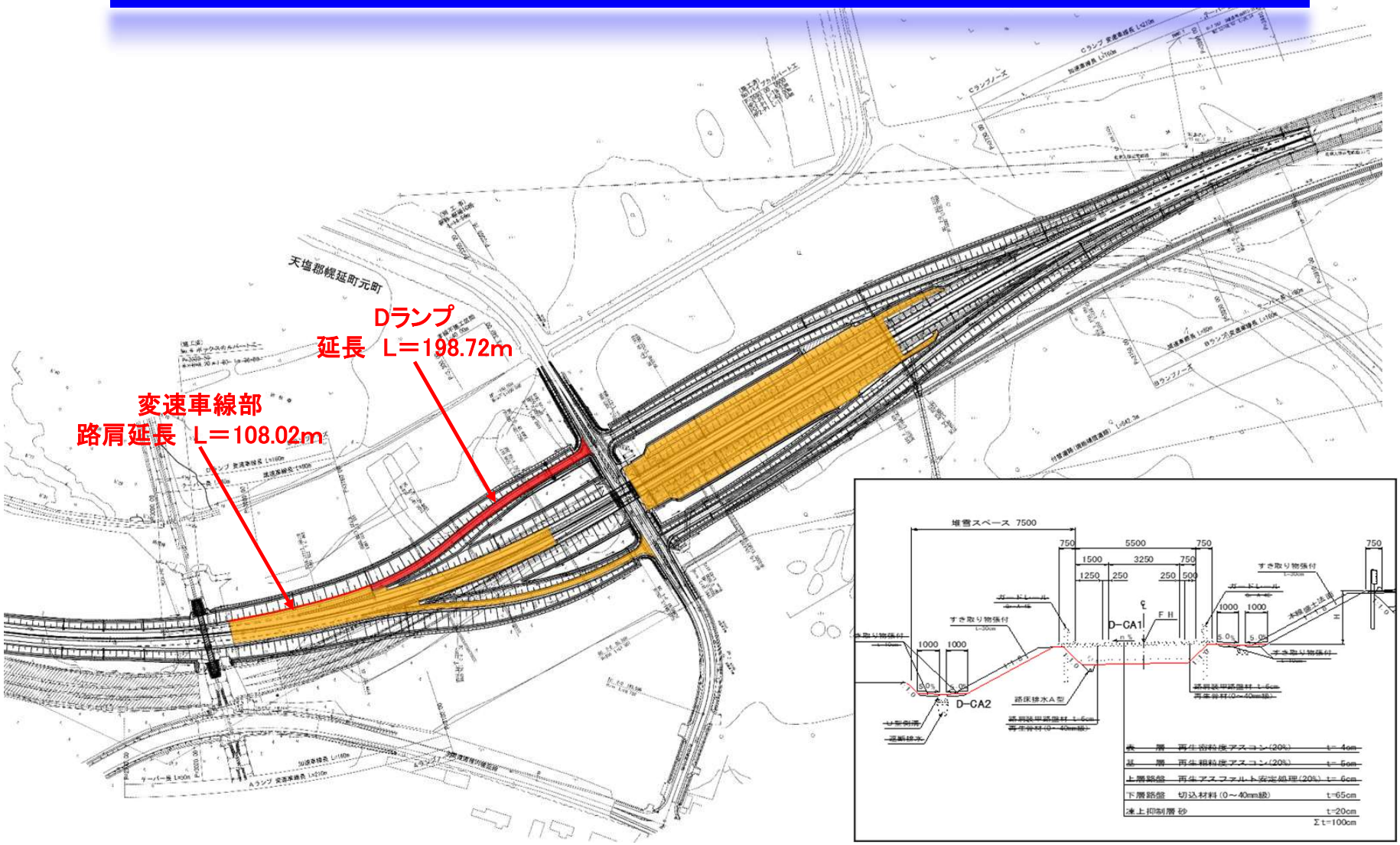
（課題）

工事施工区間 762.93mの中でAランプ・Dランプ・本線の3路線に分かれており、載荷盛土部の工程は変えず他工種との重複作業となった場合に、人員不足により1工種毎の施工であれば工程に大きな影響を及ぼすため、重機械・人員の確保を検討する必要があった。

（対応）　・・・UAV測量・ICT土工

人員の軽減・工程の短縮を考え、起工測量をUAVによる3次元点群測量を採用し、又、Dランプの土工作業をICTを活用した施工区間に設定し、起工測量に係る日数の軽減、丁張の設置や重機の補助作業員が必要なく、課題であった重機械及び人員の確保を不要とした。

ICT施工箇所位置図


天塩郡幌延町元町
Dランプ
延長　L＝198.72m
変速車線部
路肩延長　L＝108.02m
堆雪スペース 7500
750
5500
750
1500
3250
750
1250
250
250
500
750
1000
1000
D-CA1
D-CA2
F.H
すき取り物張付
路床排水A型
表　層　再生密粒度アスコン(20%)　t= 4cm
基　層　再生粗粒度アスコン(20%)　t= 5cm
上層路盤　再生アスファルト安定処理(20%)　t= 6cm
下層路盤　切込材料(0～40mm級)　t=65cm
凍上抑制層 砂　t=20cm
Σt=100cm

3次元測量使用機器

4.　使用機器

当該工事において利用する機器及びソフトウェアについては、
「空中写真測量(無人航空機)を用いた出来形管理要領(土工編)」
に定められた性能及び機能を有するものを使用する。
メーカーカタログ等は巻末に別途添付する。

4-1　使用機器概要

使用機器概要は下表のとおり。

番号	種別	機器及びソフト名称	機器固有番号	添付資料
1	トータルステーション	トプコン PS-105A	AG0465	検定証明書
2	GNSS	トプコン HIPER V GGDM	1119-10093 1119-10111	検定証明書
3	UAV	DJI MATRICE 600	M80DFE 21030030	仕様書
4	デジタルカメラ	SONY ILCE-7RM4	3028870	仕様書
5	三次元設計データ作成ソフトウェア	建設システム SiTEC3D		カタログ
6	写真測量ソフトウェア	Agisoft Metashape Pro		マニュアル
7	点群処理ソフトウェア	ISP Land Forms		カタログ
8	出来形帳票ソフトウェア	建設システム SiTEC3D		カタログ

4-2　計測計画・精度管理

本工事で使用するUAV・デジタルカメラの
計測計画・精度管理は下表のとおり

表4-2-1　UAV・デジタルカメラ計測計画・精度管理

項目	観測計画あるいは確認方法	要領の記載内容
計測性能	地上画素寸法2cm/画素以内　高度 120m 地上画素寸法1cm/画素以内　高度 60m ※地上画素寸法算出の根拠より	起工　2cm/画素以内 出来形　1cm/画素以内
測定精度	要領参考資料-3に示される「キャリブレーション及び精度確認試験報告書」に基づいて、起工測量時及び出来形計測前に実施する	測定精度：±5cm以内 （XYZ成分）
保守点検	巻末に別途添付する	UAV保守点検を実施したことを示す点検記録。製造元による保守点検を1年に1回以上実施

UAV測量使用機器

4-3　使用機器詳細（UAV及びデジタルカメラ）

本工事で使用するUAV・デジタルカメラの詳細な仕様は以下のとおり

UAV機体（Mavic2 Pro）

デジタルカメラ(SONY ILCE-7RM4)

UAV機体(MATRICE600)仕様（カタログより）

機体直径	354mm(対角寸法)
機体高	84mm
機体重量	907 g(バッテリー含む)
最大離陸重量	----(カメラ一体型　他機器搭載不可)
滞空(ホバリング)時間	31　分
最高速度	72km/h
最大到達高度	6000m

デジタルカメラ(SONY ILCE-7RM4)仕様（カタログより）

型式	レンズ交換式デジタルカメラ
撮像素子	35mmフルサイズ（35.7×23.8mm）
	Exmor R CMOSセンサー
カメラ有効画素数	約6100万画素
総画素数	約6250万画素
アスペクト比	3：2
画像ファイル形式	JPG,RAW
記録画素数	Lサイズ 約6000万（9504×6336）画素
使用レンズ	デジタル一眼カメラα[Eマウント]用レンズ
	SEL24F14GM　単焦点　焦点距離 24mm

5.　起工測量

当該工事における起工測量は、UAVによる三次元点群測量の実施を計画している。起工測量概要は以下のとおり

5-1　法的規制（航空法）等

UAVの飛行に関しては、平成27年9月の航空法の一部の改正により、平成27年12月10日より無人航空機の飛行ルールが導入されている。当該工事現場内は、全域が、1.空港周辺、一部地域が、3.人口集中地区となっているため、各申請が必要である。

無人航空機の飛行の許可が必要となる空域 （以下の3項目のいずれかに該当する場合は申請が必要）		
1	空港などの周辺(進入表面等)の上空領域	該当なし
2	150m以上の高さの空域	飛行予定なし
3	人口集中地区(DID地区)の上空	該当なし

図 現場周辺　空港周辺飛行制限区域・DID地区等の分布図

http://maps.gsi.go.jp/#15/45.011707/141.841264/&base=std&ls=std%7Cdid2015%7Ckokuarea&blend=0&disp=111&lcd=kokuarea&vs=c1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f0&d=m

無人航空機の飛行の方法 （以下の6項目のいずれかに該当する場合は申請が必要）		
1	夜間飛行	該当なし
2	目視外飛行	飛行予定なし
3	物件から30m未満での飛行	飛行予定なし
1	イベント上空の飛行	該当なし
2	危険物輸送	該当なし
3	物件投下	該当なし

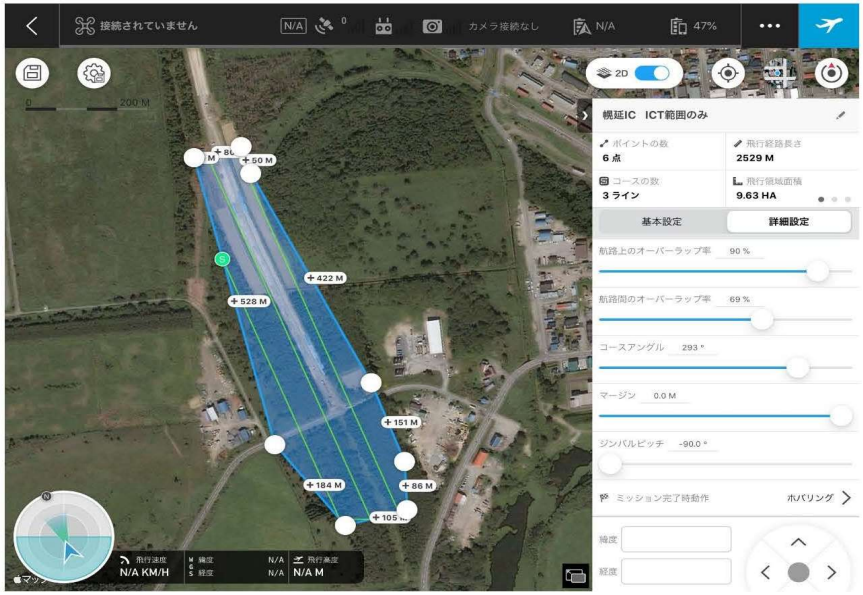
UAVによる3次元点群測量（1）

5-4　【UAV点群】観測計画

撮影は垂直撮影を基本とし、離発着以外は自立飛行とする
現地撮影作業日数は1～2日程度を予定している
適用区域を網羅するよう、延長方向で+20m程度、
横方向は+5m程度延伸し観測する

計測諸元	
対地高度	100m（地上分解能2cm以内）
オーバーラップ率（計測方向）	90%
サイドラップ率(隣接方向)	60%
コース間隔	59.5m

■計画飛行ルート図

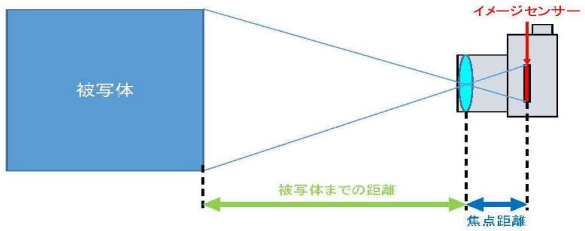


5-5　【UAV点群】地上画素寸法の算出

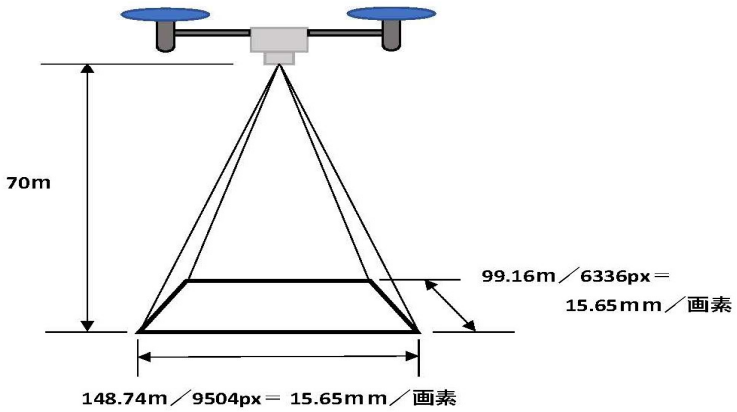
計測性能として、撮影計画上の地上画素寸法が2cm/画素以内と定められている。地上画素寸法は、使用するデジタルカメラの解像度と飛行高度により算定し、以下のとおり、地上解像度を確認した

被写体までの距離(m)	100.00	m
焦点距離(mm)　※35mm換算	24.00	mm
水平(長辺)撮影範囲(m)	148.74	m
垂直(短辺)撮影範囲(m)	99.16	m
水平(長辺)画素寸法(mm/画素)	15.65	mm/画素
垂直(短辺)画素寸法(mm/画素)	15.65	mm/画素

・諸元の解説図



・１画素あたりの寸法算出根拠



UAVによる3次元点群測量（2）

5-6　【UAV点群】撮影枚数

撮影枚数等は下表のとおり

全飛行航続長	2529m	コース数	3本
オーバーラップ率	90%	サイドラップ率	60%
撮影枚数(1コース)	---	撮影枚数	200枚

5-7　計測点密度とデータ処理

（1）　計測点密度

ICTを用いた計測では、下表の必要な計測点が取得できるように、データ処理段階で、所定の計測密度を設定し、作成する。

	要領の記載内容	本工事(実施計画)
起工測量	0.25m2あたり1点以上	0.25m2あたり1点以上
出来形計測	0.01m2あたり1点以上	0.01m2あたり1点以上

（2）　データ処理

データ処理は以下の手順のとおり実施し、計算方法や数量算出方法は、要領に従った以下の方法で実施する。

■データ処理手順

点群作成に必要な処理	資料作成ソフトウェア
1. 計測（計測点群データの取得）	ISP　Land Forms
2. 不要点除去	ISP　Land Forms
3. 点群密度の変更(データの間引き)	ISP　Land Forms
4. グリッドデータ作成	ISP　Land Forms
5. 数量算出	ISP　Land Forms

■データ処理及び計算方法

処理	実施方法	要領に示される計算方法
3. 点群密度の変更（データの間引き）	最下点	・最下点
		・中央値
4. グリッドデータ作成	最近隣法	・個々の実在点
		・最近隣法
		・平均法
		・TIN法
		・逆距離加重法
5. 数量算出	点高法	・点高法
		・TIN分割法
		・プリズモイダル法

UAVによる3次元点群測量（3）

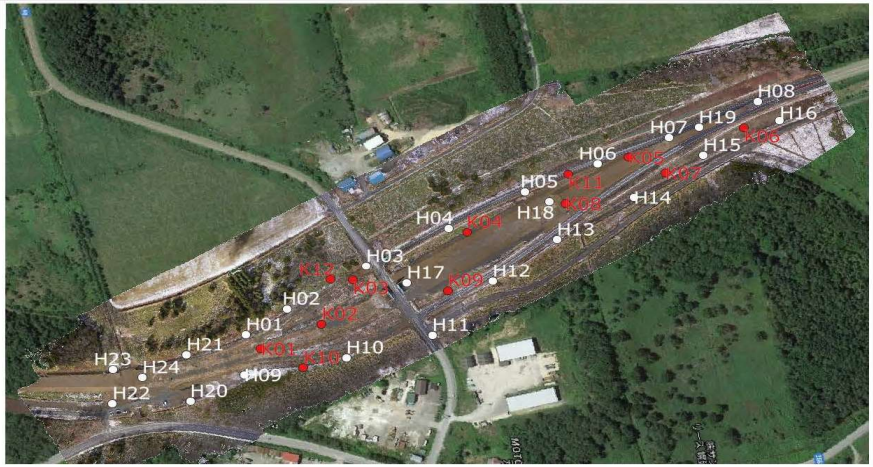
・精度確認試験結果（詳細）

①真値とする検証点の確認

計測方法：　既知点　or　RTKによる座標計測

①真値とする検証点の座標				
	検証点名	X	Y	Z
1点目	K01	112202.515	-32271.525	13.086
2点目	K02	112277.020	-32294.224	13.230
3点目	K03	112321.238	-32347.981	8.863
4点目	K04	112461.866	-32392.766	8.140
5点目	K05	112662.009	-32465.390	12.710
6点目	K06	112800.553	-32485.561	7.751
7点目	K07	112701.510	-32438.624	8.006
8点目	K08	112580.709	-32414.544	14.507
9点目	K09	112428.813	-32318.254	7.795
10点目	K10	112248.099	-32239.670	8.174
11点目	K11	112589.699	-32453.104	9.765
12点目	K12	112295.636	-32352.082	8.002

②空中写真測量(UAV)による計測結果



②空中写真測量(UAV)で測定した検証点の位置				
	検証点名	X'	Y'	Z'
1点目	K01	112202.495	-32271.514	13.054
2点目	K02	112277.044	-32294.240	13.233
3点目	K03	112321.238	-32347.999	8.840
4点目	K04	112461.876	-32392.795	8.143
5点目	K05	112661.988	-32465.388	12.681
6点目	K06	112800.527	-32485.565	7.760
7点目	K07	112701.537	-32438.622	8.009
8点目	K08	112580.679	-32414.562	14.493
9点目	K09	112428.831	-32318.265	7.781
10点目	K10	112248.089	-32239.661	8.176
11点目	K11	112589.686	-32453.076	9.817
12点目	K12	112295.661	-32352.116	7.968

UAVによる3次元点群測量（4）

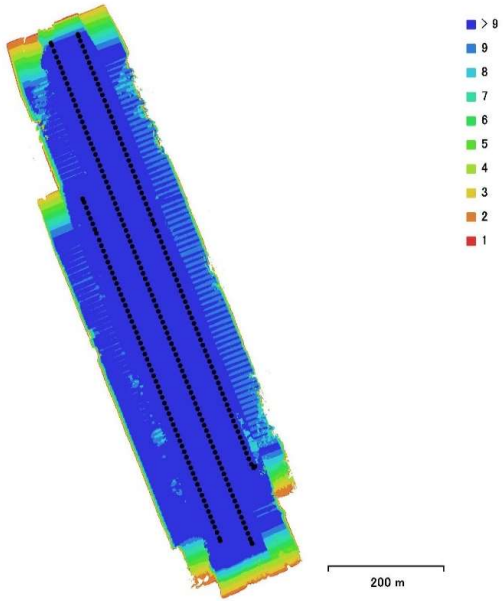
地上基準点

項目.3. GCP位置と誤差の推定値.
Ｚエラーは楕円の色、ＸＹエラーは楕円の形状によって表現されます.
GCPの推定位置はドット或いは十文字でマークされます.

個数	X 誤差 (cm)	Y 誤差 (cm)	Z 誤差 (cm)	XY 誤差 (cm)	合計 (cm)
24	0.767719	0.801179	0.573036	1.10963	1.24886

テーブル 3. 基準点のRMSE.
X − 東経, Y − 北緯, Z − 高度.

調査データ



項目.1. カメラ位置と画像のオーバーラップ.

画像の枚数:	245	カメラステーション:	245
飛行高度:	104 m	タイポイント:	225,862
地上解像度:	1.5 cm/pix	プロジェクション:	904,728
カバー面積:	0.227 km^2	リプロジェクション エラー：	2.39 pix

カメラのモデル名	解像度	焦点距離	ピクセルサイズ	プリキャリブレーション済み
ILCE-7RM4, FE 24mm F1.4 GM (24mm)	9504 x 6336	24 mm	3.79 x 3.79 um	いいえ

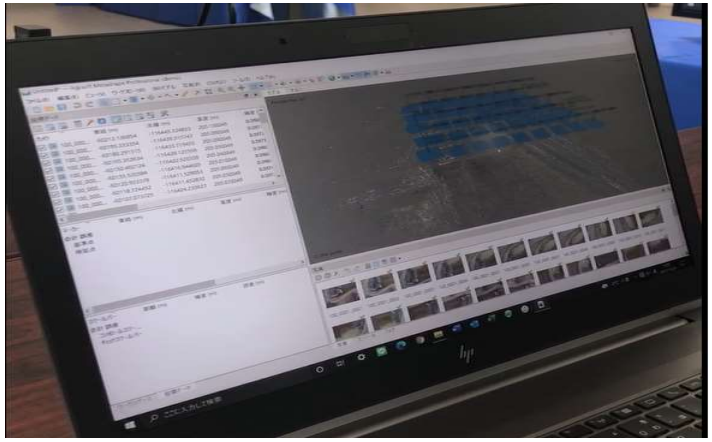
テーブル 1. カメラ.

空中写真撮影

飛行ルート・撮影計画

飛行ルート確認

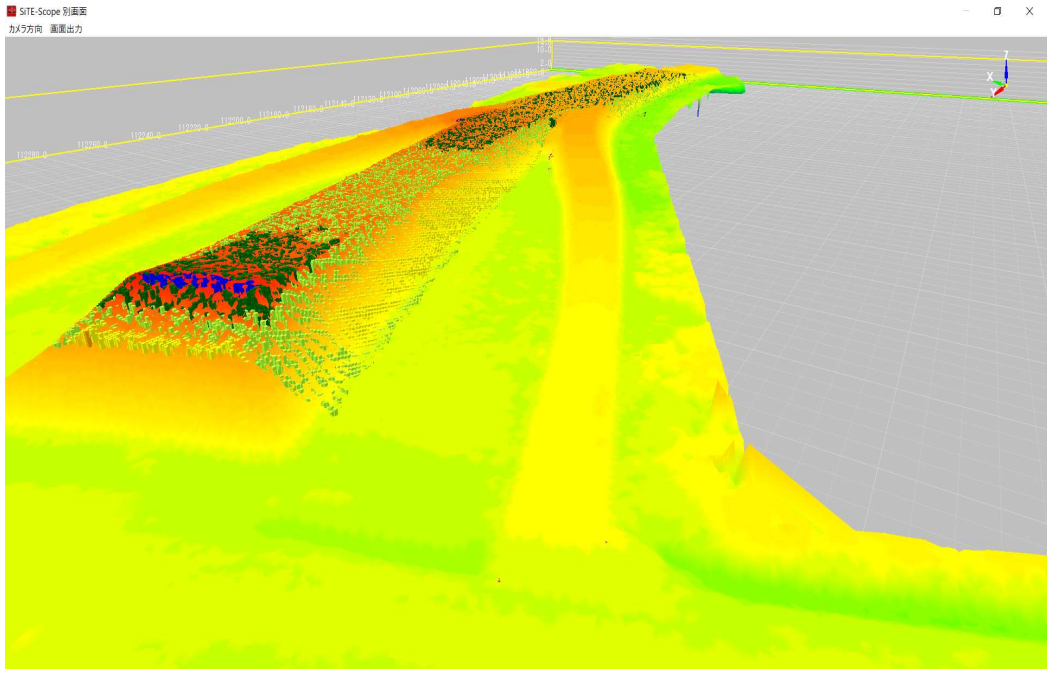
空中写真撮影



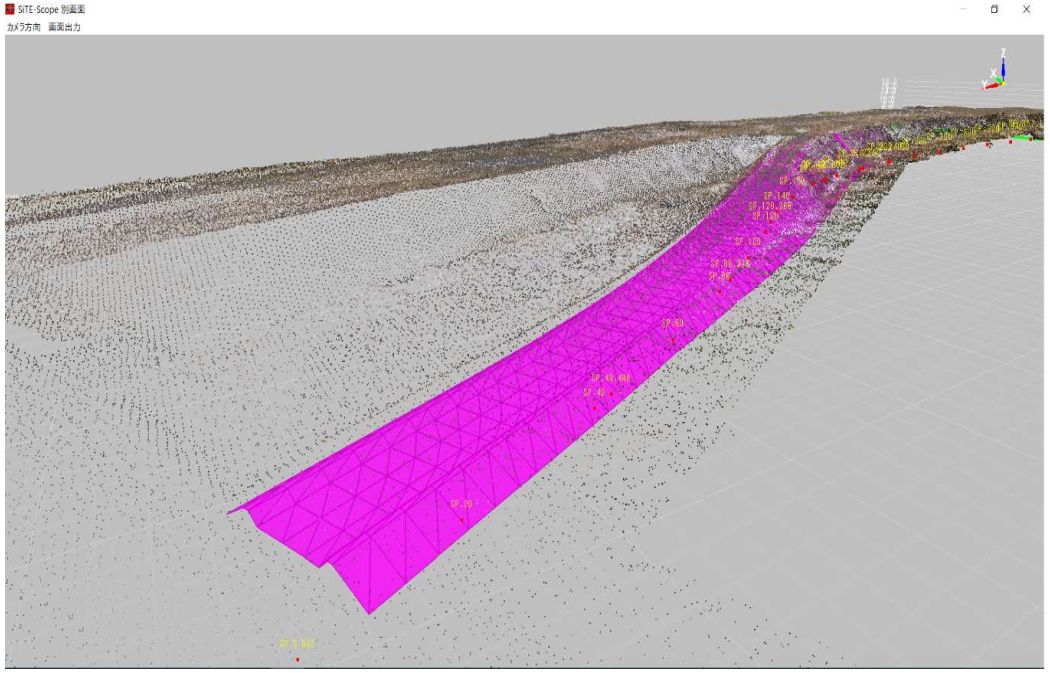
写真データ解析・3Dデータ作成

3次元設計データ作成（1）

ヒートマップによる3次元点群データ

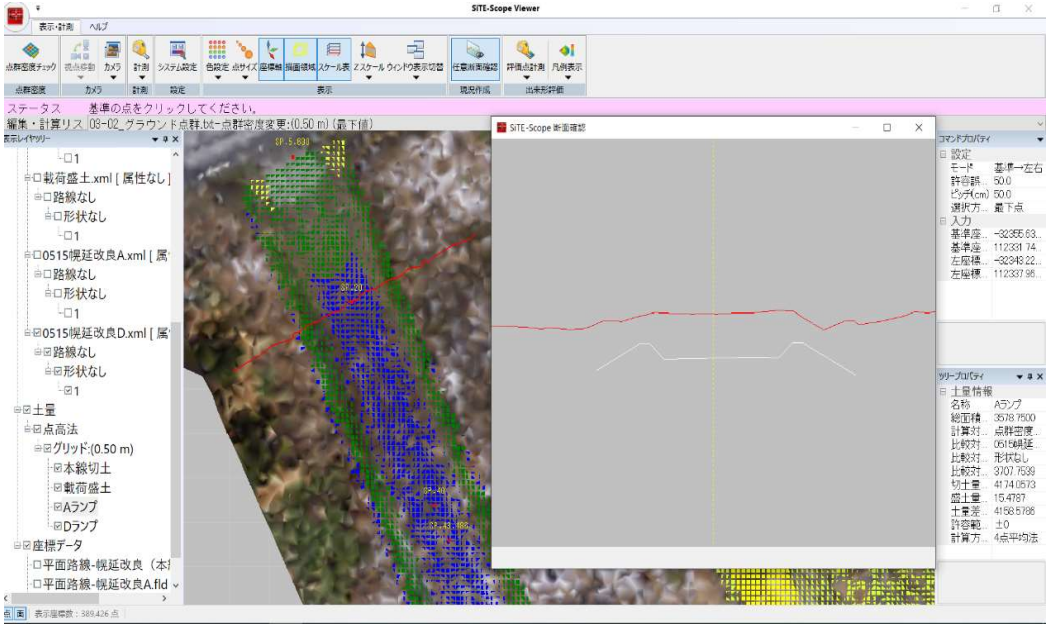


3次元点群データに設計データを合成

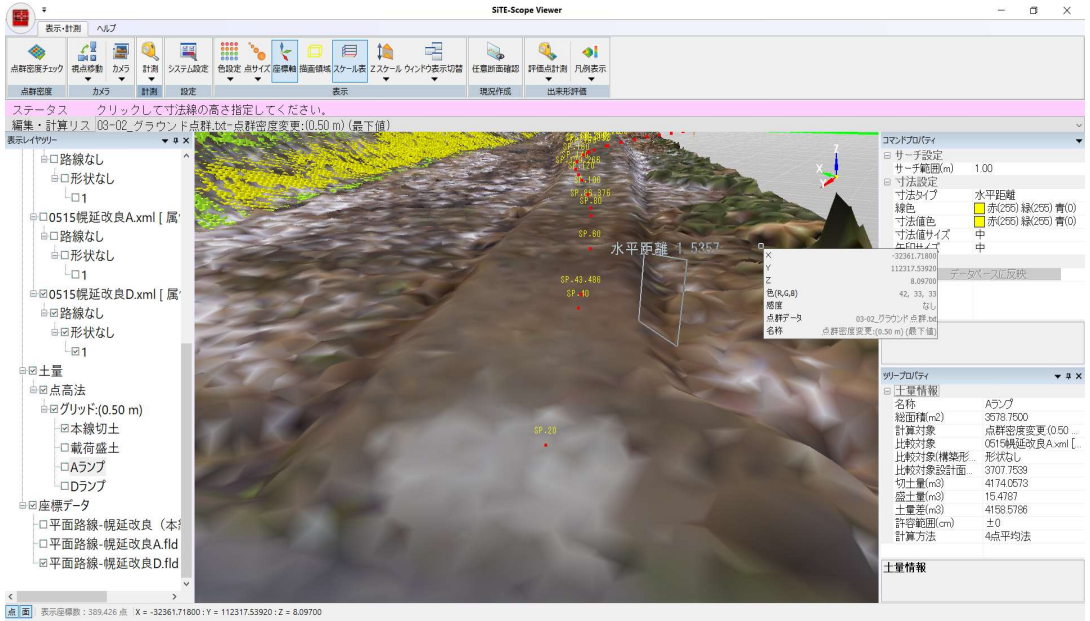


3次元設計データ作成（2）

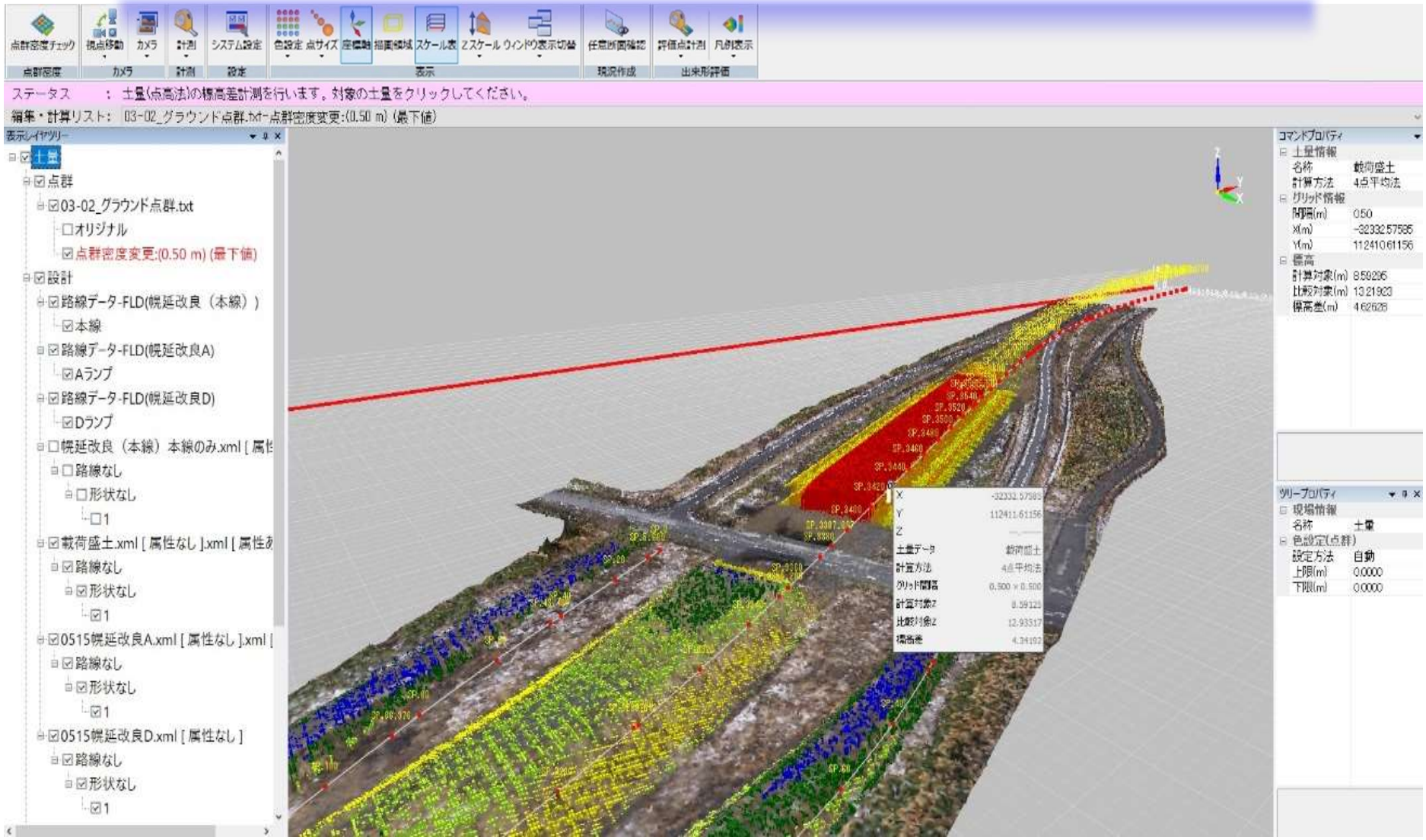
3次元点群データによる断面確認



3次元点群データによる現況確認



3次元設計データ作成（3）



ICT施工使用機械

ICT機械による施工

使用機械	ZX135US　3DMC
測位方式	RTKーGNSS
現場配置員	オペレーター　1名
	監視員　1名
作業日数	30日
施工内容	掘削工　4900m3
	法面整形工 (切土)　2450m2
	路盤工内法面整形　590m2

ICT建機施工（土工）

基準局設置

重機内タッチパネルディスプレイ

切土法面整形

法面整形完了

TSを用いた出来形管理

期待する効果

■UAV測量により広範囲を短時間で測量出来る為、測量時間や人件費の削減になり自社で行える場合はｺｽﾄｶｯﾄが期待できる。

■3次元測量ﾃﾞｰﾀを用いることで、完成後のｲﾒｰｼﾞ図として使用し発注者との共有がしやすくなる。

■測量・施工・出来形計測の作業時間の短縮。

■出来形管理の書類作成時間の削減。書類記載ミスの軽減。

■若年層のｵﾍﾟﾚｰﾀや技術者が経験が少なくても効率よく精度の高い作業が出来る。

■盛土施工にMCﾌﾞﾙﾄﾞｰｻﾞの使用や転圧管理ｼｽﾃﾑを採用し、品質向上を図る。

■ICT施工に取り組むことで技術者のﾁｬﾚﾝｼﾞ精神を向上させ、知識を得て成長し個々が成長することで会社が成長する。

■ｽﾑｰｽﾞに現場に取り組めることで気持ちに余裕が出来て、良い結果に繋がり現場に対する意欲が増す。

今後の課題・目標

■3次元出来形管理等の施工管理までを確実に実施する。

UAVによる起工測量や3次元設計ﾃﾞｰﾀ作成等の作業は私達の知識不足や現場の体制が出来ていなかった為、外注として協力会社さんに協力していただくという形になるのですが、現場の都合(天候不良が続き路床掘削1ｽﾊﾟﾝを短く設定し直した為、分割で出来形測定を行わなければならない)と協力会社さんとの都合が合わない。

当社はICT建機を所有しており、今後の全ての土工作業についてはICT建機による施工を実施することを目標としています。ICT施工についてはまだまだ当社は経験不足ですが、細かく我々にもわかりやすく指導していただける協力会社さんの存在もあり、現在はUAV測量から点群処理、出来形測定まで全て自社で行えるようドローンや関連するソフトを準備し取組んでいます。

END

NISHIKI

NISHIKI SANGYOU INC.