

貝塚市版UAVレーザ測量運用手順要領検討 のための数値地図の比較検証について

一般社団法人 大阪府測量設計業協会

一般社団法人 GIS支援センター

一氏昭吉

なぜ運用手順要領作成か・・・。

「国土地理院・UAV搭載型レーザスキャナーを用いた公共測量マニュアル」より

測量計画機関（測量作業の発注者であり、成果品の利用者となる者。以下「**計画機関**」という。）の観点からいえば、UAVレーザ測量の**成果品に求める仕様は、利用目的に応じて多岐に渡っており、例えば「要求点密度」や「要求精度」も利用目的毎に異なる。**本マニュアルにおいて**画一的に成果品の仕様を定めた場合、目的によっては利用できないマニュアルとなる恐れがある。**このため、**計画機関が、成果品に対する要求仕様を必要な形で自由に、かつ、明確に示すことができるようにして、測量作業機関**（測量作業を行う者で、基本的には測量業者。以下「**作業機関**」という。）が、それに適切に対応した成果品を作成できることが望ましい。**作業機関の観点からいえば、UAVレーザ測量を行う上では多様な機材構成、計測・処理手法等があるため、作業機関がある程度自由に作業手法等を選択できることが望ましい。**こうした点を満足できるよう、本マニュアルでは規定を設けている。

成果品要求仕様を自由に・・・、作業手法を自由に選択・・・、それはいいが・・・。

- ◆ 地方公共団体などの公共機関＝技術者の不足、事例の公開少ない、新技術の情報の入手や活用が困難
- ◆ マニュアルにある使用機種**の精度検定＝確立された手法や実施場所がない。**
- ◆ UAVレーザ測量の活用は、特定の技術力ある機関や事業者に限られている

地方公共団体が、災害や日常の業務でUAVレーザ測量を活用するための具体的手順

- ・ UAVレーザ測量によって信頼できる成果・データを得るための作業手順を知りたい。
- ・ 「要求仕様書」「作業仕様書」を作成するための参考となる指標が欲しい。

成果品要求仕様書

成果品作業仕様書

1. 作成する成果品の品目及び使用目的など

目的と用途	記入例	森林部の地形の把握によって、路線の計画をしたい。 そのために地形判読図や標高分布図が欲しいのでグリッドデータが必要。 樹高や立木の本数も把握するため、細かな三次元点群データが必要。
	記入	

業務件名	〇〇〇〇UAVレーザ計測業務	作成日	2020年2月18日
測量作業機関	〇〇〇〇		

2. データ作成範囲の情報

項目	記入内容	記入	備考	
計測地の状況	場所	概ねの位置(住所等)	茨城県つくば市北郷	
	面積	概略の作業面積(m ²)	90000m ²	
		形状(〇m×〇m)	300m×300m	
	地形ほか	裸地、山地など	平坦地	
	植生状況	森林、草地など	草地	
	UAV飛行に関わる情報	環境面	航空法上の許可要否	該当なし
			隣接した第三者敷地	なし
		運用面	電波伝搬路	なし
			離発着場の確保	可
	計測地内への第三者立入り	人、車両など	なし	
その他考えられる危険	気象条件、鳥獣有無、機体コンパスエラー	なし		

3. 最終成果品の詳細

品目	成果品	作成	要求精度ほか		備考
			設定項目	要求仕様	
標準成果品	オリジナルデータ	○	要求精度	水平 0.1m 標高 0.1m	
			評価基準	標準偏差	
			要求点密度	100点/m ²	
			要求点密度	(点/m ²)	
その他の成果品	グラウンドデータ	◎	フィルタリング項目		
	グリッドデータ	○	格子間隔	0.50m	
			(m)		
	等高線データ	◎	等高線間隔	1.0m	
			(m)		
	数値図化データ	◎	地図情報レベル	1000	
簡易写真地図データ	◎	地上画素寸法	4.0cm		
		(cm)			
その他		×			

注1. 作成する成果は○、最終成果は◎、作成しないものは×を記載。いずれの場合もオリジナルデータの作成は必須。

注2. 精度は調整点との較差を計算して求める。

5. 欠測率

15%以下

6. その他

--

1. UAVレーザ測量に用いるUAVレーザ機材

	機器	機器名	細目	仕様
UAVレーザ機材	GNSSアンテナ受信機	〇〇〇〇	観測間隔	1秒以下
			受信周波	2周波
	IMU	〇〇〇〇	測位精度(m)	0.05以内
			速度精度(m/sec)	0.015以内
姿勢精度(deg)			0.025以内	
方位精度(deg)			0.080以内	
レーザ測距装置	〇〇〇〇	出力レート	100Hz以上	
		計測精度	±3.0cm以内	
		最大計測距離	50m以上	
		パルスレート	40kHz以上	
		レーザ照射角	90度以上	
		レーザ拡散角	3.0m rad以内	
		マルチパス	あり	
		飛行可能時間	10分以上	
UAV機体	〇〇〇〇	自動飛行機能	あり	
		最大飛行対地高度	500m	
		運行可能最大風速	10m	
最適軌跡解析ソフトウェア	〇〇〇〇			〇〇〇〇社製
統合解析ソフトウェア	〇〇〇〇			〇〇〇〇社製

2. UAVレーザ計測に当たっての標準的な計測諸元

項目	記入	備考
対地高度(m)	100m	
レーザ照射角(°)	±40°	
コース間重複率	40%	
パルスレート(kHz)	500kHz	
計測点間距離(cm)	10cm	
計測速度(m/sec)	4m/sec	
コース延伸距離(m)	15m	

3. 調整点等の設置場所、点数及び観測と点検測量の方法

精度検証作業	項目	記入	調整点の構造	設置点数	観測方法
	調整点を用いた検証	水平位置と標高	立方体X型機標	5点	ネットワーク型RTK法
	点検測量実施方法	検証点の設置による点検			

※計測計画図を添付する。

※計測計画図には計測範囲、計測コース、基準点配点位置を明示する。

※点検測量実施方法には以下を記載または実施計画図等を添付する。

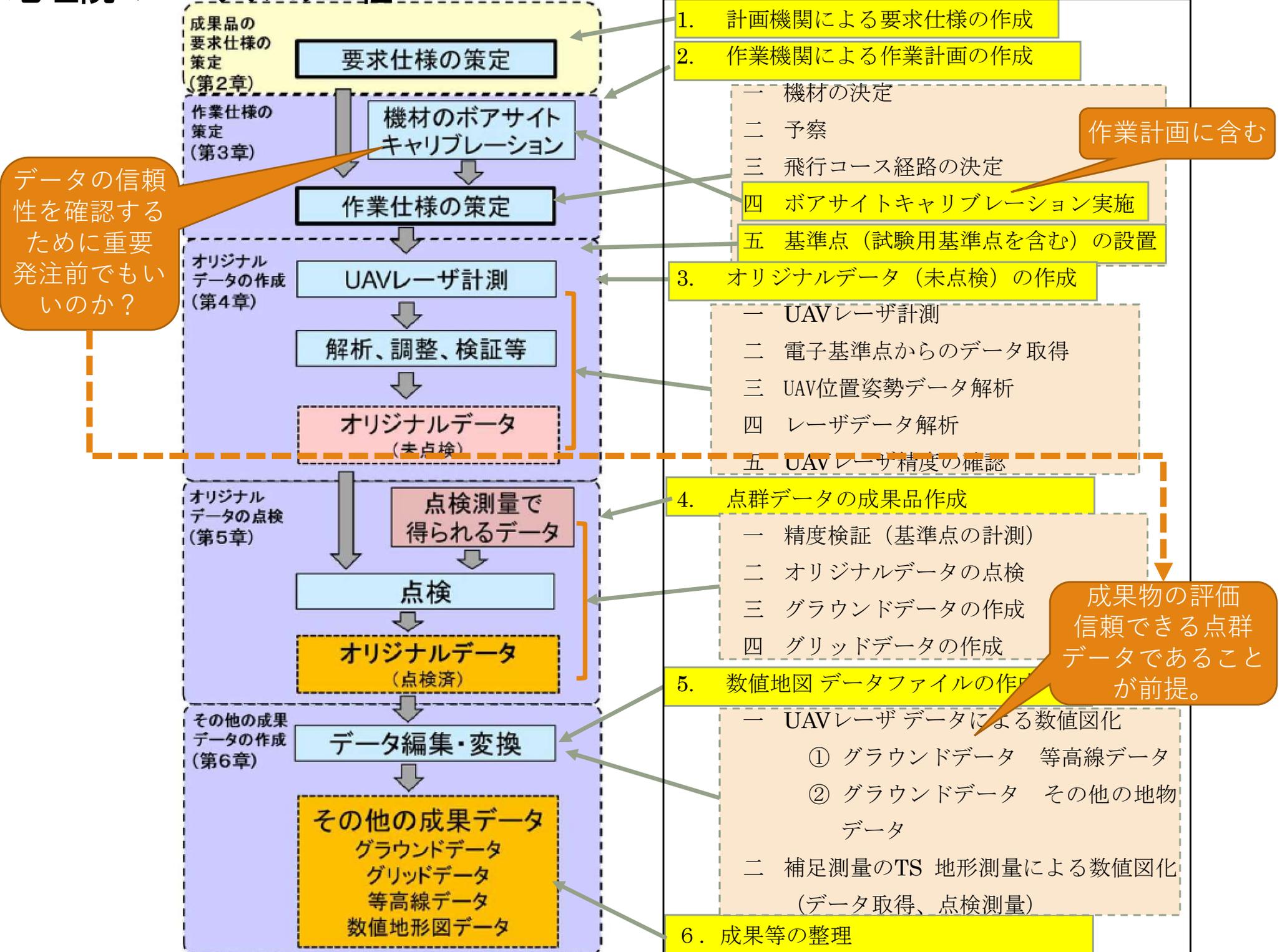
方法	記載する内容
UAVレーザ測量による点検	点検する飛行コースと点検範囲
検証点の設置による点検	検証点の構造・設置点数・設置箇所・観測方法
横断測量による点検	横断測量の実施箇所
他の測量による三次元点群データによる点検	三次元データの測量方法・点検方法

「要求仕様書」「作業仕様書」を作成し協議するための指標が欲しい

運用手順の検討

地理院マニュアルの工程

貝塚市版・運用手順要領の工程



運用手順要領の対象地域と 成果物の利用目的

貝塚市版運用手順要領が対象とした地域とデータ利用目的

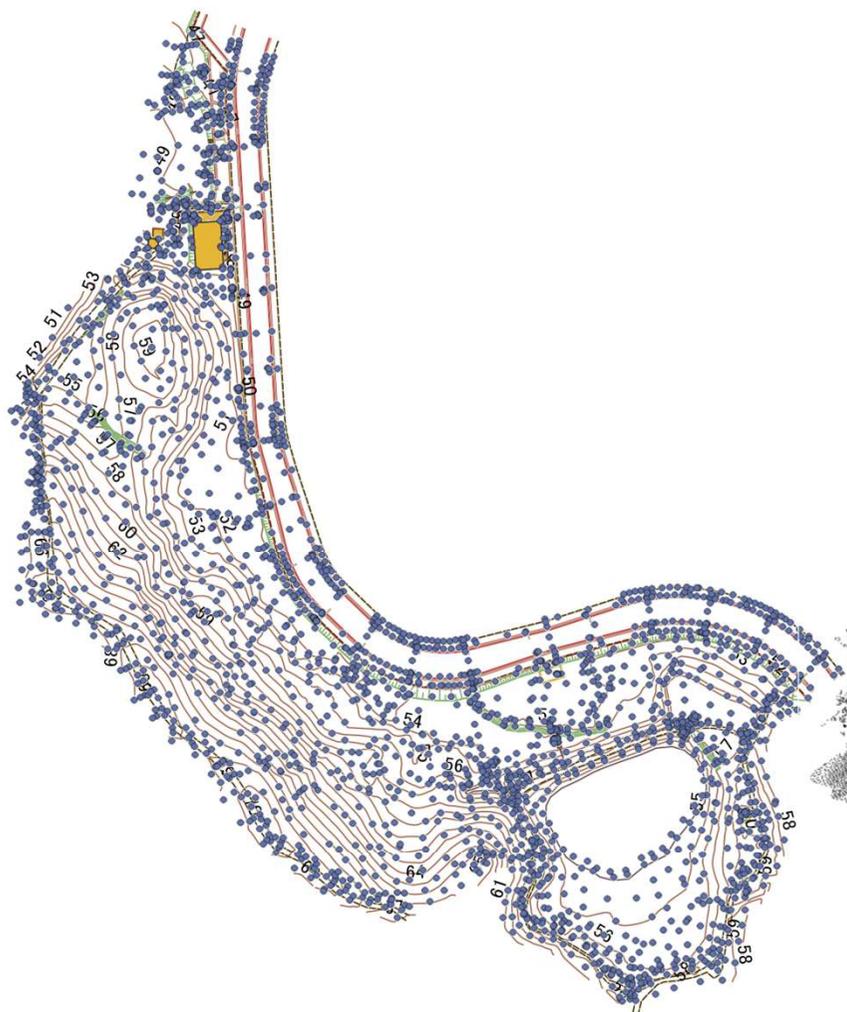


目的と用途	記入例	<p>市街地近郊の低山間部（里山保全地区）の整備計画のための、地形判読に使用するためのグラウンドデータ及びグリッドデータを作成し、等高線、法面、及び隣接する道路及び建物の数値地図データ 500 レベルを作成する。UAV レーザ測量で取得できない地物は別途 T S 地形測量を併用する。</p> <p>今後、植生分析にも活用するためオリジナルデータ、画層ラスターデータも必要。</p>
-------	-----	---

UAVレーザ測量とTS測量 による数値地図の比較

T S観測点と平面図

- ・比較の基準となる地形図



UAVレーザ点群データと平面図

- ・運用手順書によるUAVレーザ測量の点群データ
- ・点群データから作成した数値地図



計測データの諸元

図化対象エリア		共通エリア 全体	山間部	道路部
比較範囲（面積）		24,869 m ²	21,454 m ²	3,415 m ²
TS測量	TS観測点	2,066	1793	270
	観測点/1 m ² あたり	0.083/m ²	0.084/m ²	0.079/m ²
UAVレーザ 点群データ	オリジナルデータ数	34,921,228	31,935,407	2,985,821
	1 m ² あたり点数	1,404/m ²	1,489/m ²	874/m ²
	グラウンドデータ	1,877,871	1,633,292	244,579
	1 m ² あたり点数	76/m ²	76/m ²	72/m ²
	グリッドデータ数	100,291	86,534	13,757
	1 m ² あたり点数	4/m ²	4/m ²	4/m ²

TS地形モデル3・UAVレーザ点群データモデル1・モデル2 取得地物の一覧 比較

今回のTS地形測量及び点群データからの取得地物は、地形の現況を把握するために必要な地物に限定して図化したものであり、点群データの取得項目の、“－”は、地形図として図化しなかつただけで、取得できないという意味ではない。

取得項目一覧				
地物大分類	地物項目	TS地形モデル3	UAVモデル1	UAVモデル2
00_基準点	3級基準点	○	－	－
	4級基準点	○	－	－
01_道路線	真幅道路=2101	○	○	○
	徒歩道=2103	○	○	○
	庭園路=2106	○	－	－
02_道路構成線	歩車道境界線=2213	○	○	○
	*階段=2214	○	－	－
	*路側線=*2223	○	○	－
	側溝=2231	○	☆	☆
	側溝蓋あり=2232	○	○	○
	L型側溝	－	－	○
	雨水柵=2235	○	○	○
	防護柵=6132	○	○	○
	道路縁石=*2111	○	－	－
	歩道縁石=*2241	○	－	－
02_道路構成線詳細	*側溝構造物=*2231	○	－	－
	*側溝構造物=*2232	○	－	－
	*側溝排水管=*2234	○	－	－

取得項目一覧				
地物大分類	地物項目	TS地形モデル3	UAVモデル1	UAVモデル2
03_建築物	普通建物=3001	○	○	○
	普通無壁舎=3003	○	○	○
	たたき=3403	○	－	－
	*階段=*3400	○	－	－
04_小物体	下水マンホール(雨水)=4251	○	○	○
	*下水マンホール(汚水)=4251	○	－	*○
	マンホール(未分類)=4101	○	－	－
	電柱=4142	○	○	○
	照明灯=4234	○	☆○	☆○
	井戸=4224	○	－	－
	*路傍祠=4204	○	－	－
	水涯線=5101	○	－	－
	湖池=5105	○	☆	☆
	水方向=5241	○	－	－
05_水部及び水部構造物	*集水柵=5200	○	－	－
	水路地下部=5107	○	☆	☆
	法面=6101	○	○	○
	コンクリート被覆=6111	○	○	○
06_地形法面	植生=6300	*○	*○	*○
	急斜面=7203	○	－	－

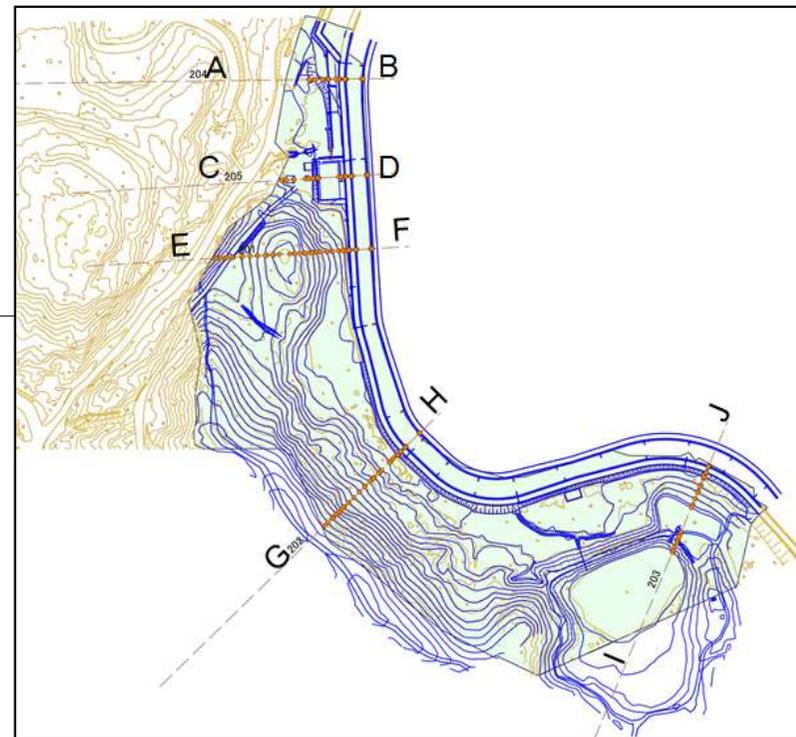
取得項目一覧				
地物大分類	地物項目	TS地形モデル3	UAVモデル1	UAVモデル2
07_等高線	等高線(計曲線)=7101	○	○	○
	等高線(主曲線)=7102	○	○	○
	(特殊補助線)=7104	○	－	－
08_その他の構造物	*側溝小=*2231	○	－	－
	*水路地下部=5107	○	－	－
	*構造物=6100	○	－	－
09_その他の構造物詳細	*路傍祠=2294	○	－	－
	支線=4123	○	*○	*○
	支線=4237	○	*○	*○
	*側溝=2231	○	○	○
	*排水管=2234	○	－	－
	*路傍祠=2294	○	－	－
	*構造物=6100	○	－	－
	道路区域=2101	○	－	－
	徒歩道=2103	○	－	－
	敷地内通路=2106	○	－	－
10_現況平面図ポリゴン	歩道部=2213	○	－	－
	雨水柵	－	○	○
	車道部=2100	○	－	－
	普通建物=3001	○	○	○
	たたき=3403	○	－	－
	水域=5101	○	－	－
	*側溝流水面=2230	○	－	－
11_注記	自由記述	○	*△	*△

取得が困難であった地物

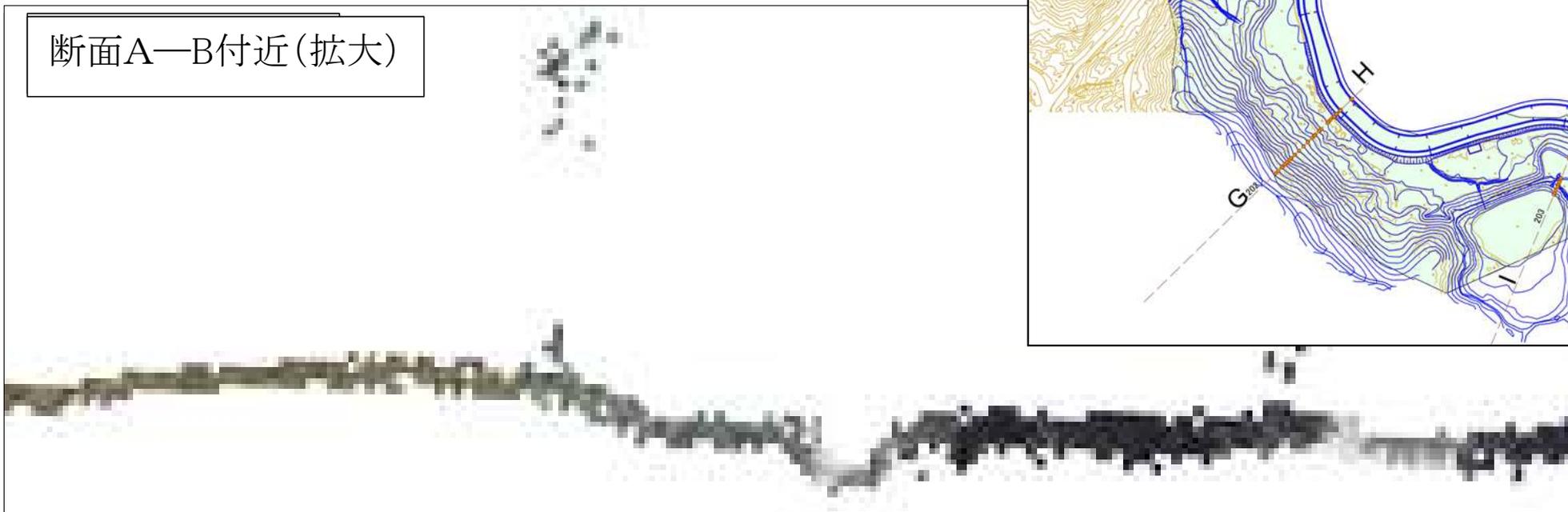
必要な場合は、事前に補備測量等の指示しておく必要がある



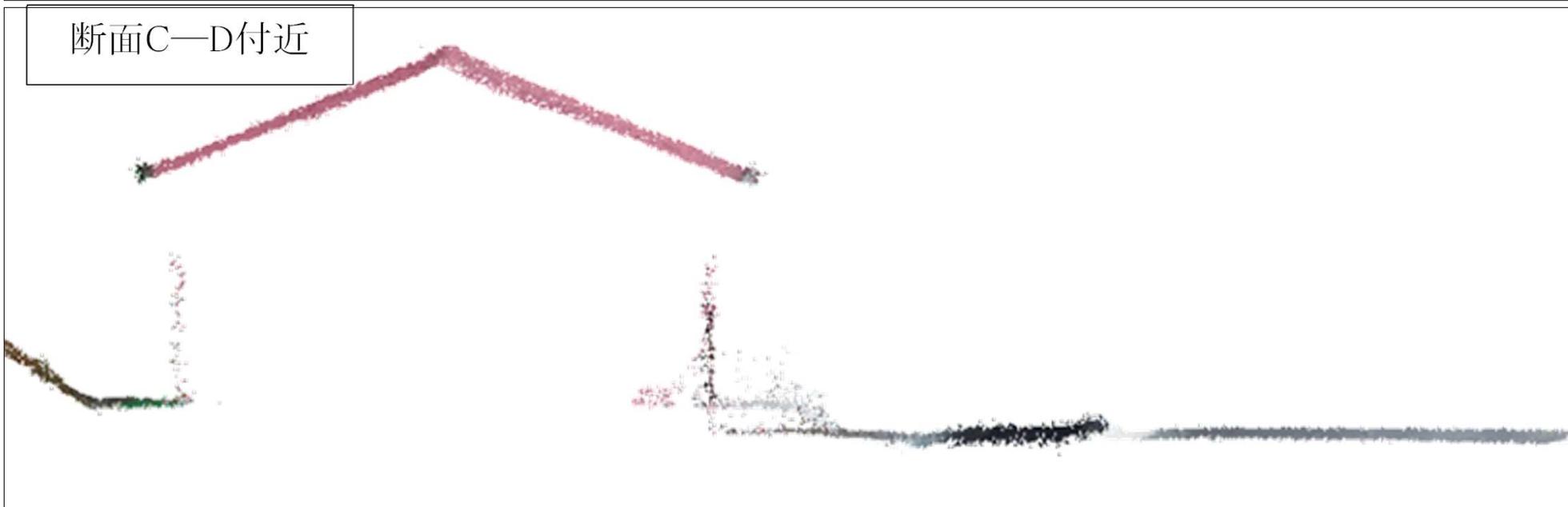
道路データの作成



断面A—B付近(拡大)

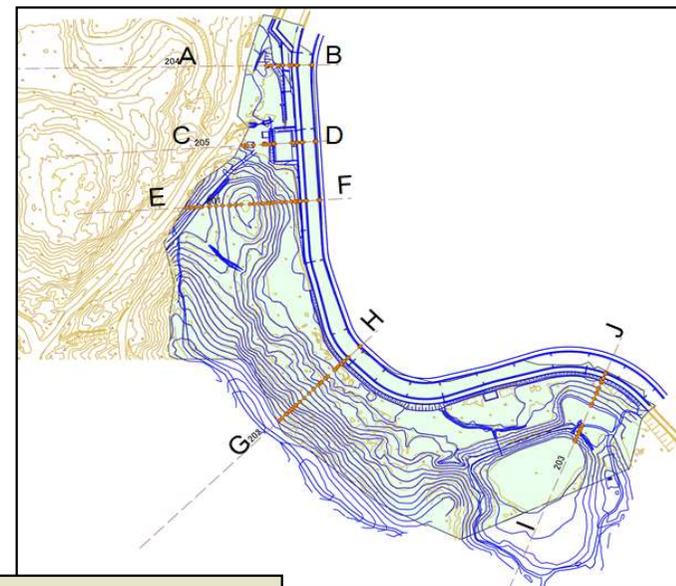


断面C—D付近

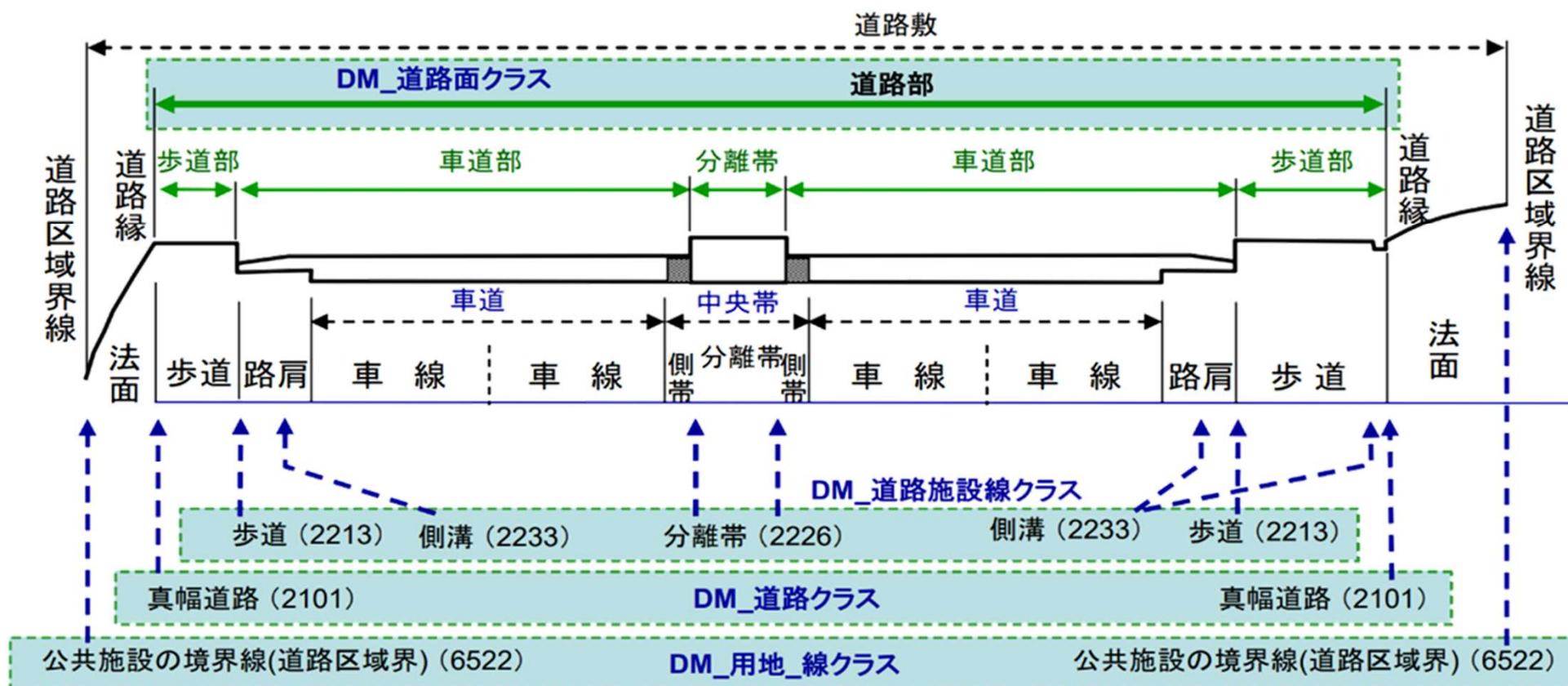


道路データの定義

- UAVレーザ測量による点群データは、航測によるデータより密になる。(航測レーザ⇒UAVレーザ⇒地上レーザ)
- 3D点群データから2Dの平面図を作成する場合は、道路台帳、下水道台帳等で使用を考慮したより詳細な地物取得方法の仕様を示す必要がある。



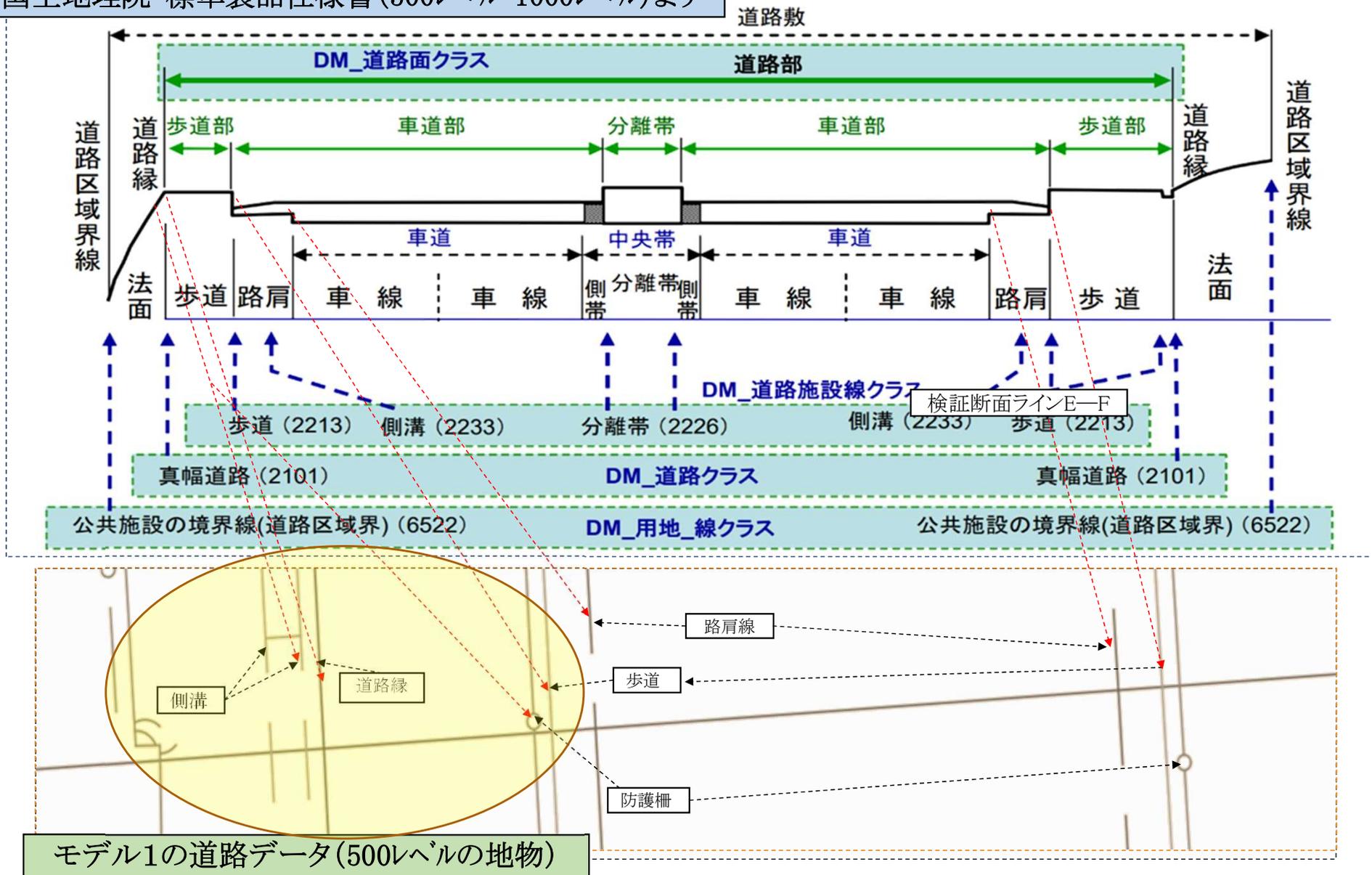
国土地理院・大縮尺数値地図製品仕様書(500レベル・1000レベル)より



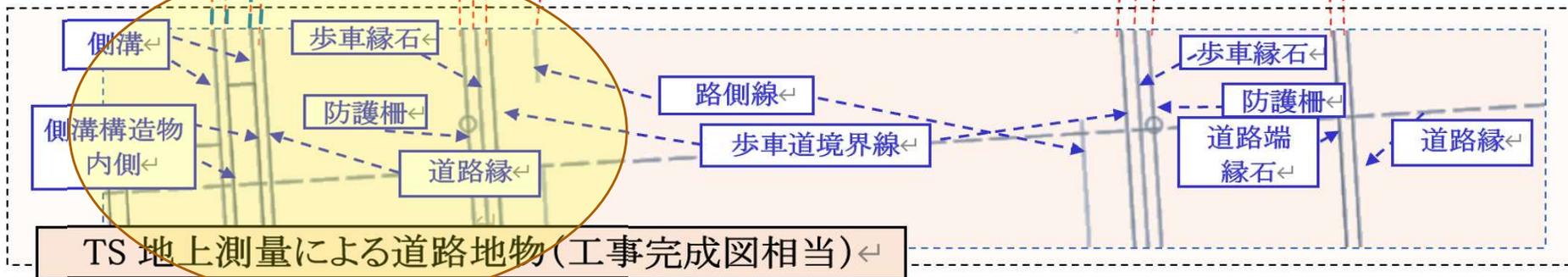
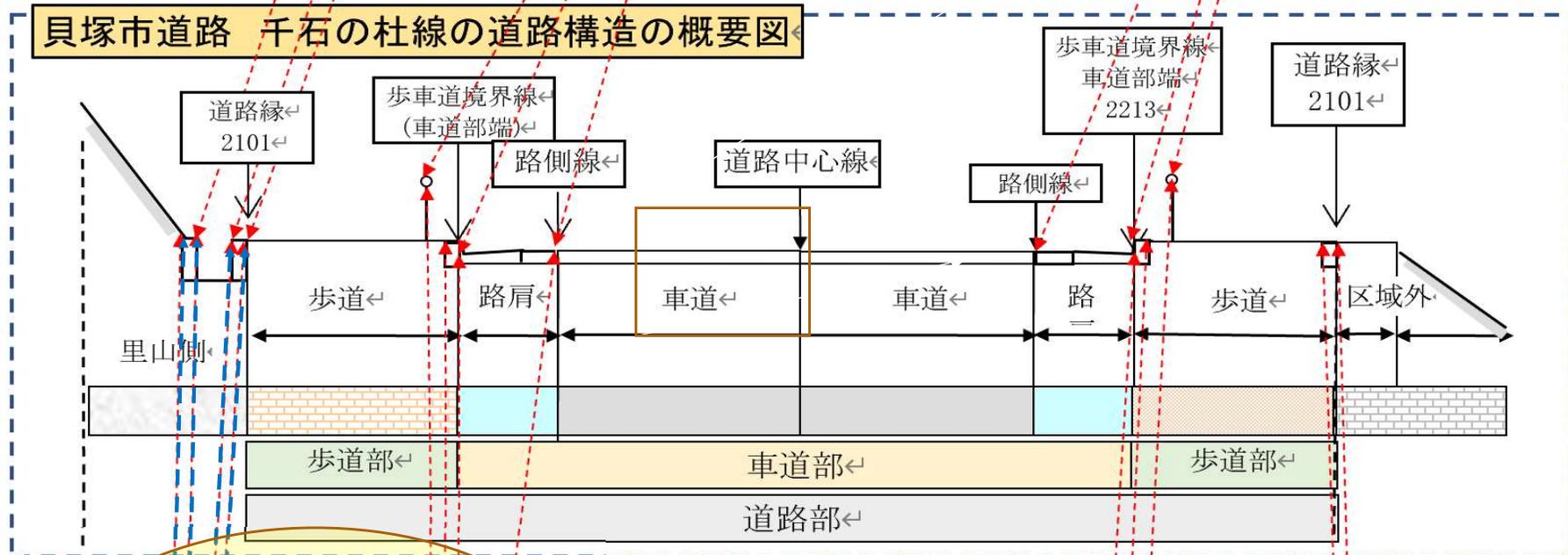
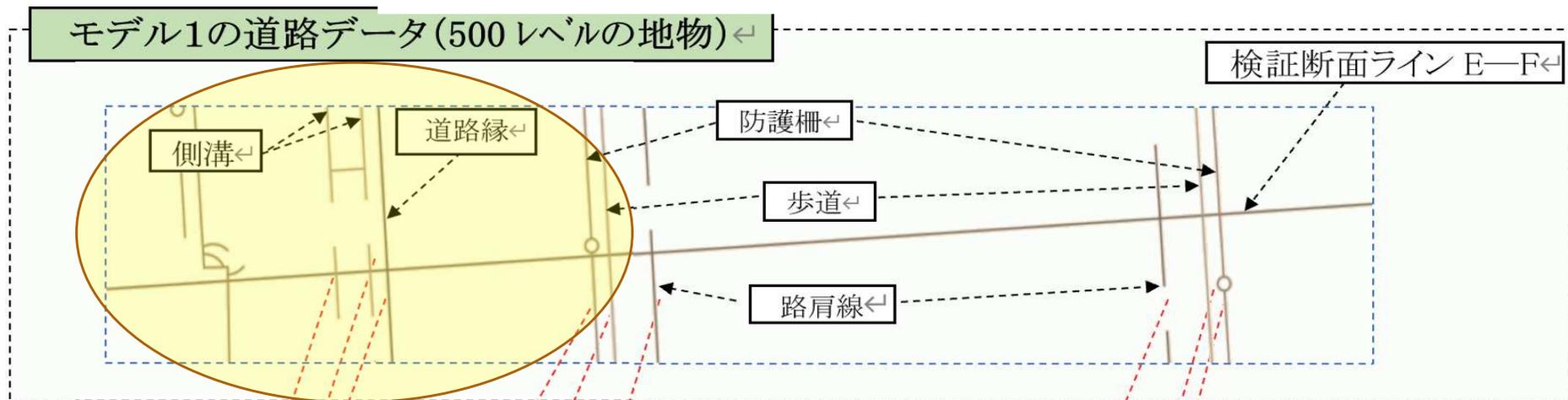
点群データで作成した道路データの取得箇所

- モデル1の仕様を 製品仕様と比較

国土地理院・標準製品仕様書(500レベル・1000レベル)より



運用手順要領の指標検討資料 TSと点群データの道路データ取得箇所比較



道路データ TS図化⇔点群データ 水平位置 比較

道路縁に対して直交する各検証断面ライン上の各地物との交点を抽出し、TSによる地形図との交点と、該当する点群による地形図との交点間の離隔(距離)を計測し図化の実態を比較。

地物 \ 断面	A-B	C-D	E-F	G-H	I-J	最大	最小	平均差	RMSE
道路縁	0.075	0.040	0.062	0.050	0.032	0.075	0.032	0.052	0.054
左歩車道境界	0.117	0.043	0.032	0.088	0.080	0.117	0.032	0.072	0.078
右歩車道境界	0.095	0.012	0.024	—	—	0.095	0.012	0.044	0.057
左防護柵	0.214	0.143	0.132	0.188	0.180	0.214	0.132	0.171	0.174
右防護柵	0.006	0.120	0.076	—	—	0.076	0.006	0.067	0.082
側溝内側	0.125	0.120	0.142	—	0.200	0.142	0.120	0.196	0.173
側溝外側	0.225	0.100	0.122	0.150	0.268	0.268	0.100	0.173	0.184
左路側線	0.116	0.043	0.032	0.088	0.080	0.116	0.032	0.072	0.078
右路側線	0.095	0.043	0.024	—	—	0.095	0.024	0.054	0.062

道路データ TS図化と点群データ 幅員比較

関連地物間の位置関係(相対的)を確認するため、車道幅員、歩道幅員を計測し比較した。単位m
 例 断面A-B における 車道幅員・歩道幅員

地物 断面	A-B	C-D	E-F	G-H	I-J	平均幅員
車道幅員 TS	7.778	7.015	7.028	—	—	7.274
車道幅員 点群	7.757	6.961	7.028	—	—	7.249
幅員差	-0.021	-0.054	0.000	—	—	-0.025
歩車幅員 TS	2.552	2.517	2.506	2.526	2.552	2.531
歩車幅員 点群	2.593	2.600	2.600	2.600	2.632	2.605
幅員差	0.041	0.083	0.094	0.074	0.08	0.074

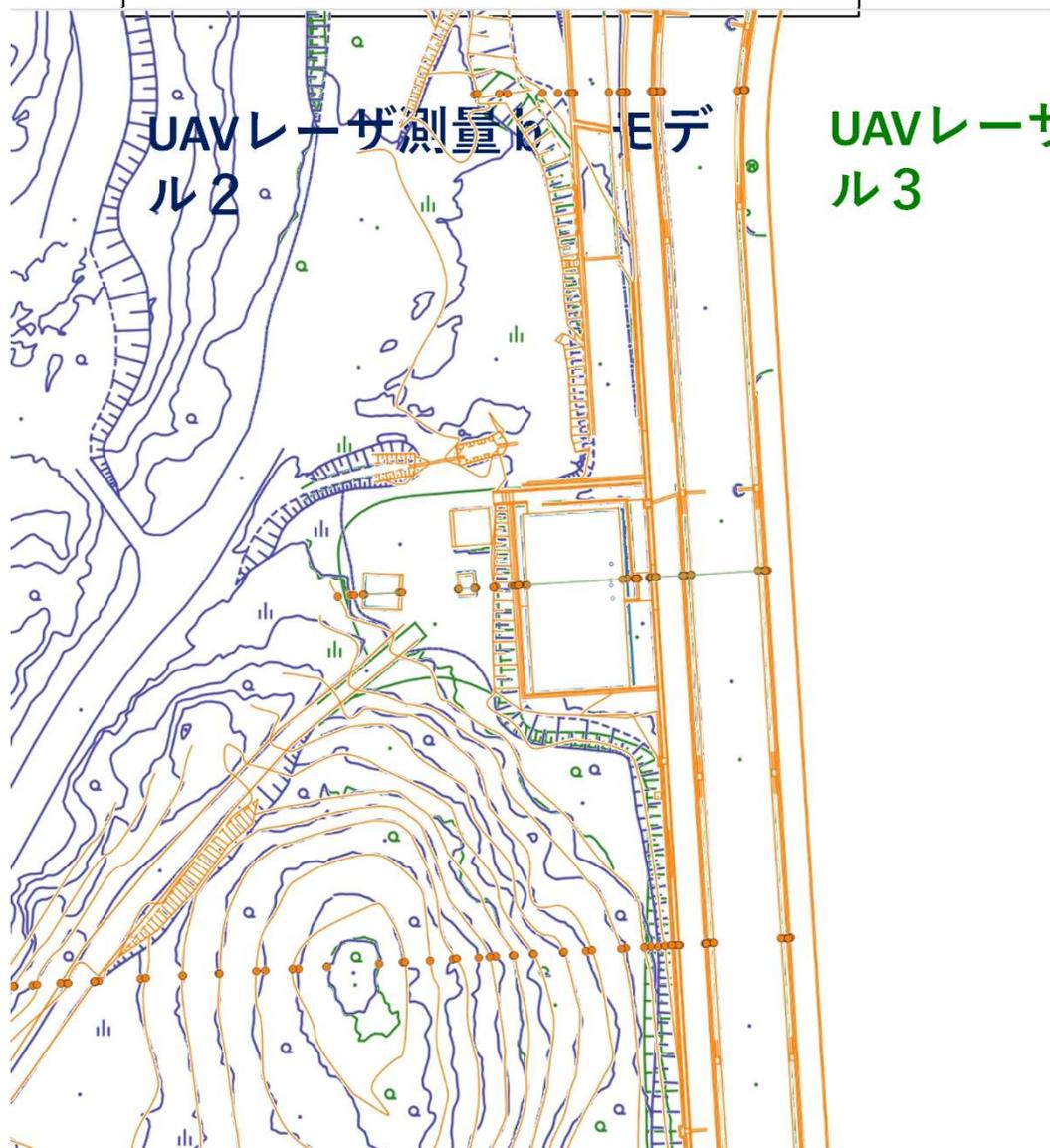


TS測量と点群データ地形図比較

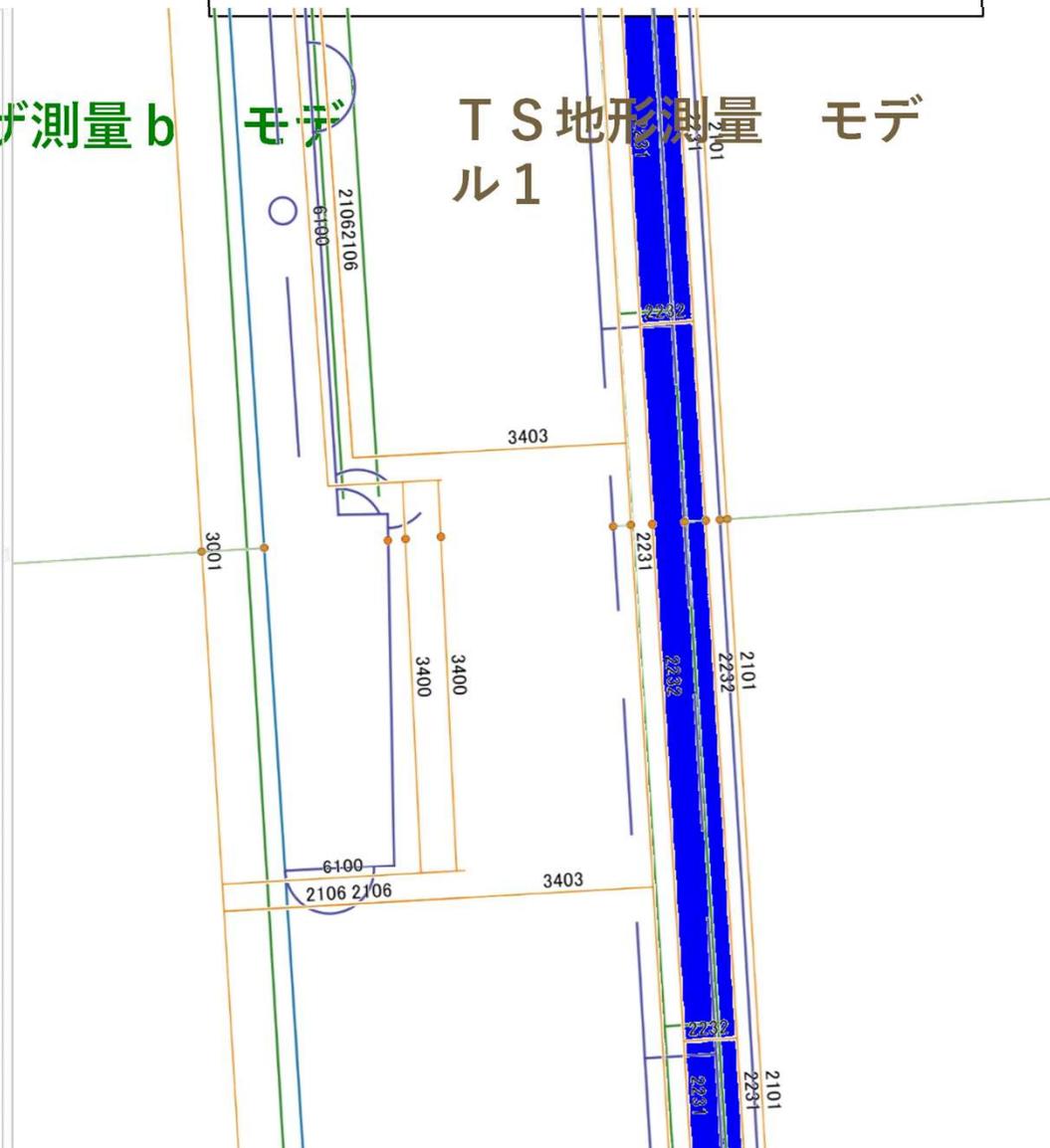
TS測量・UAV点群データの違い以上に、作業機関・図化作業の担当者の経験や技術による差の方が大きい。

*均質な成果を得るためには発注機関による詳細な製品仕様書による指示が必要。

500レベル地形図 1/500で表示

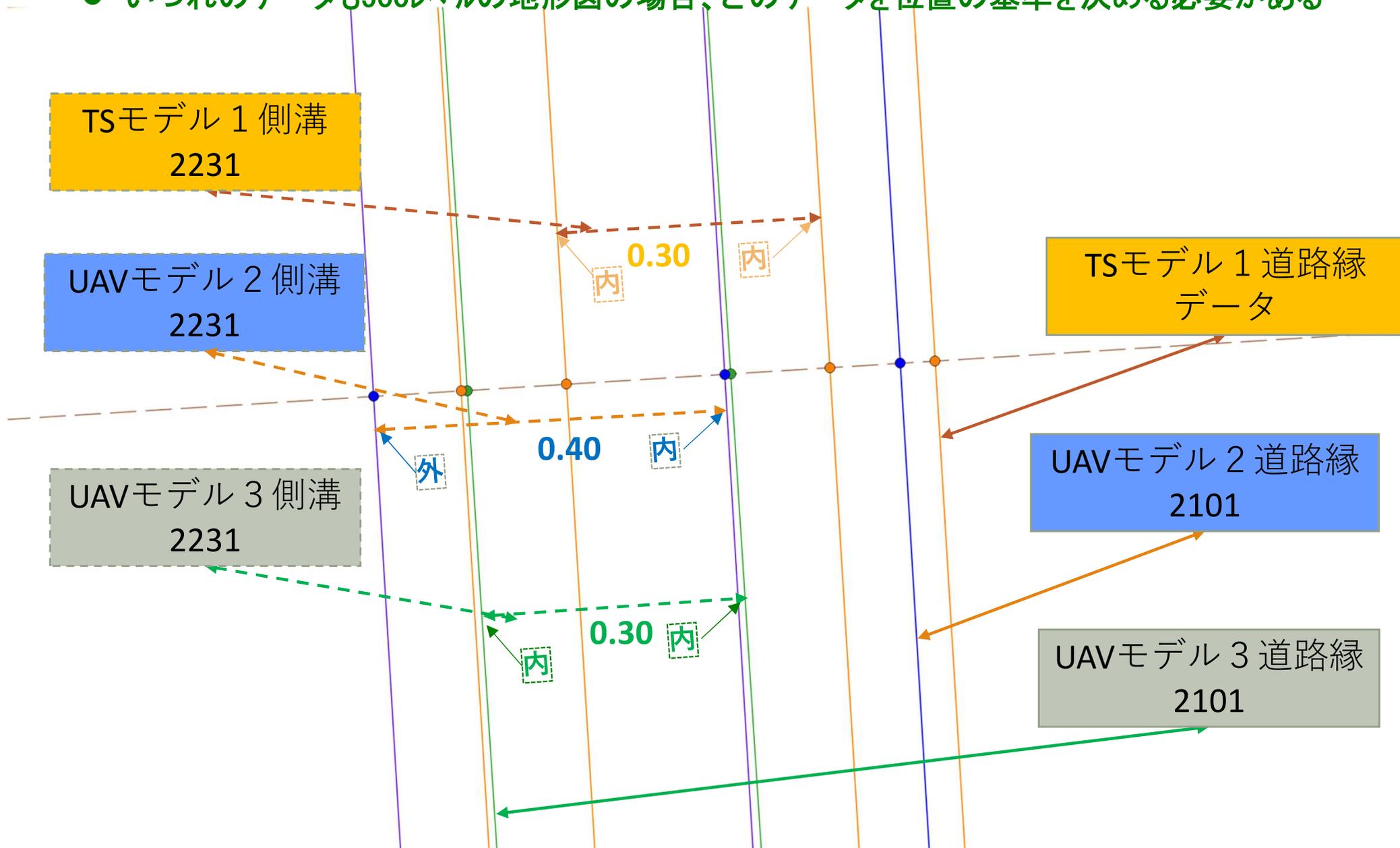


500レベル地形図 1/30での表示



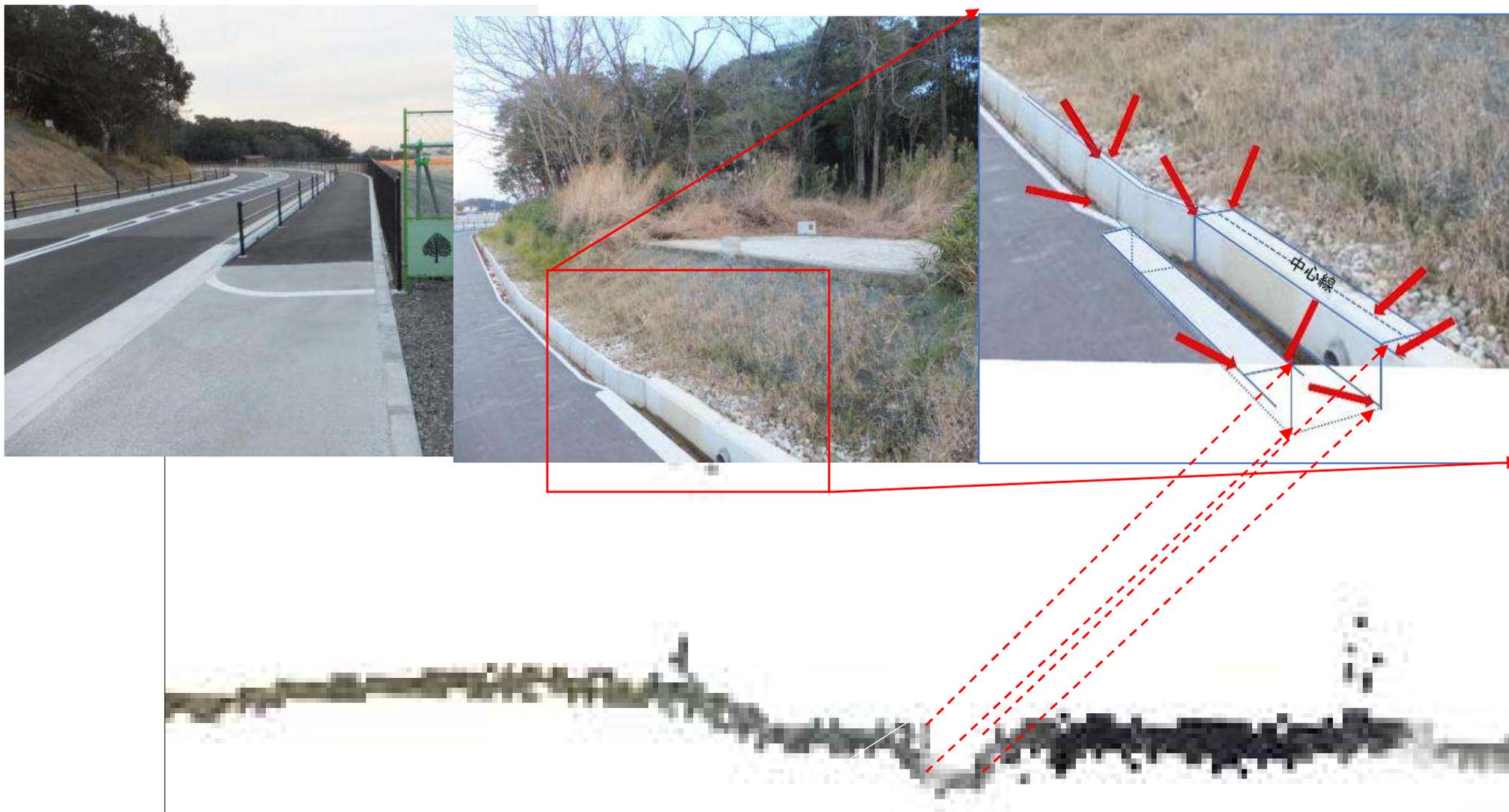
道路データ TS測量と点群データ 地物取得箇所比較

- 同一レベルの測量成果でも、作業が異なれば公差内でも一致することはない。
- いずれのデータも500レベルの地形図の場合、どのデータを位置の基準を決める必要がある



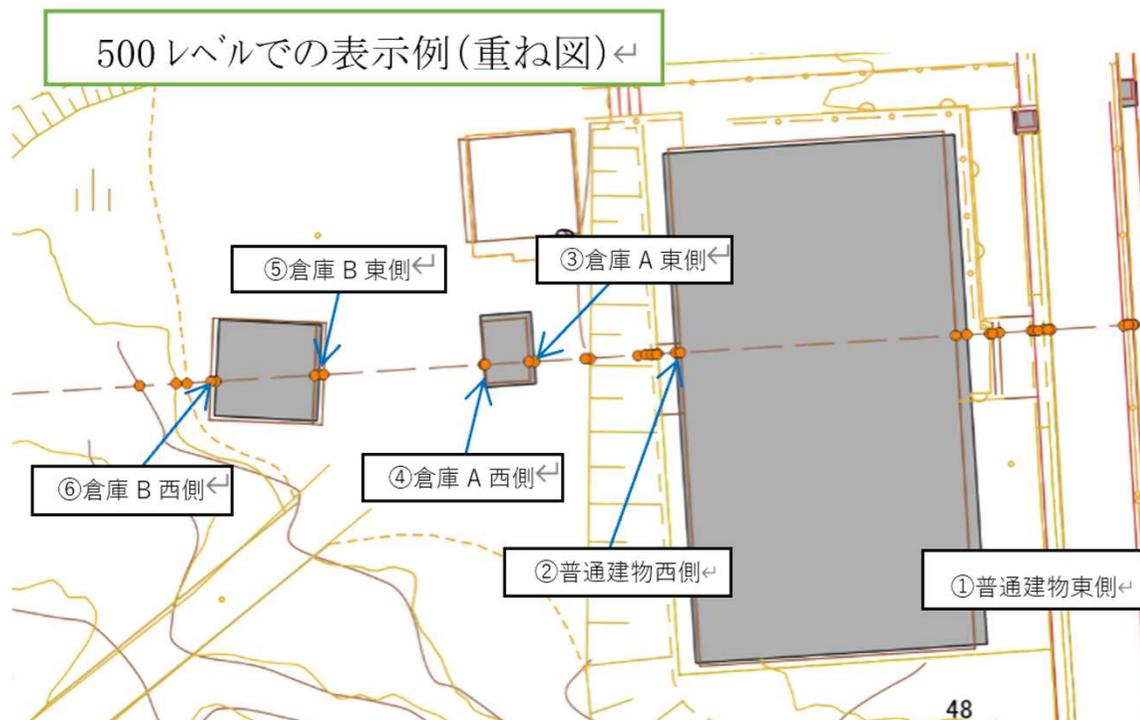
道路データの計測箇所はより詳細に定義することが必要となる = 課題・製品仕様書の検討

- ・点群データからの図化は、地物の測定箇所(例、構造物の上角、中央、下境界、等3D対応)を指定することで、この差はさらに縮小される可能性がある。
- ・データ解析とオペレーターの技術力の向上が求められる。



建築物・建物データの 外周線水平位置比較

◆2-3-1 建物の外形線取得の位置関係 モデル1⇐



建物 \ 断面⇐	C-D(m)⇐
①普通建物東側⇐	0.350⇐
②普通建物西側⇐	0.149⇐
③倉庫 A 東側⇐	0.163⇐
④倉庫 A 西側⇐	0.032⇐
⑤倉庫 B 東側⇐	0.143⇐
⑥倉庫 B 西側⇐	0.164⇐
平均⇐	0.167⇐

倉庫 B



倉庫 A

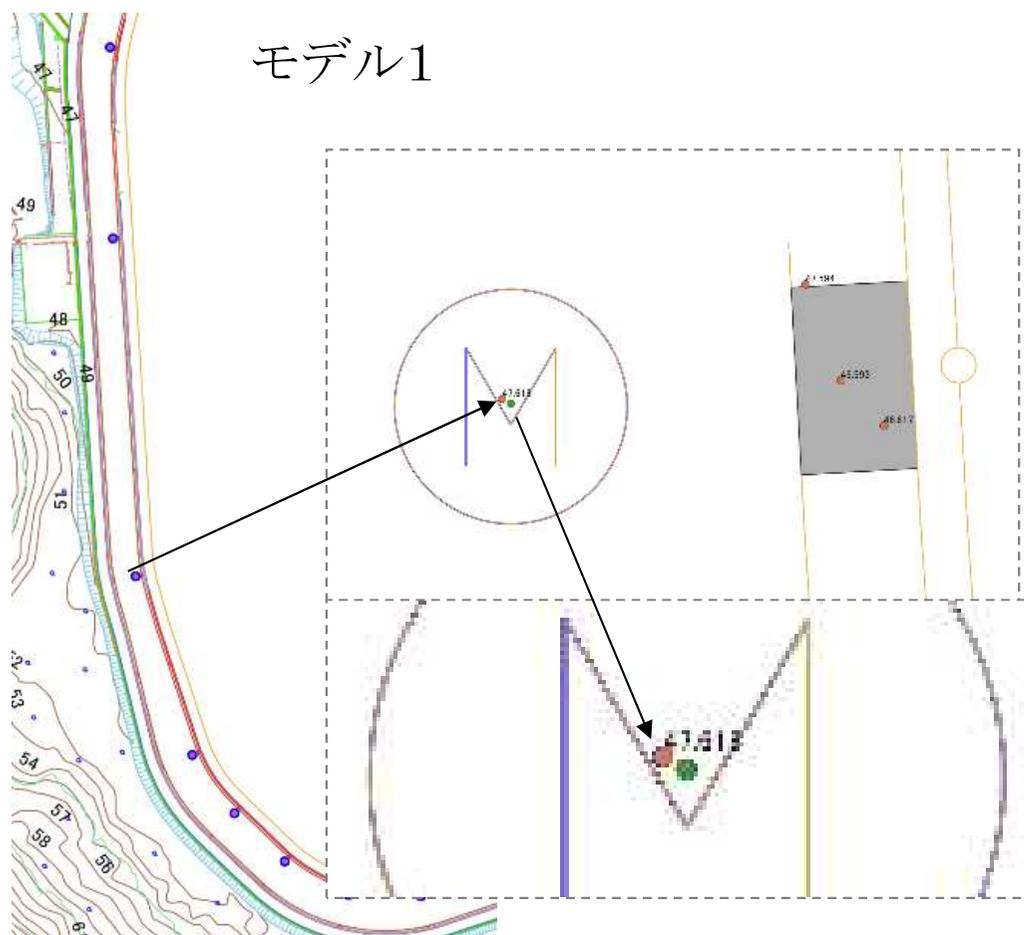


普通建物(里山交流センター)⇐



マンホール 中心点 位置比較

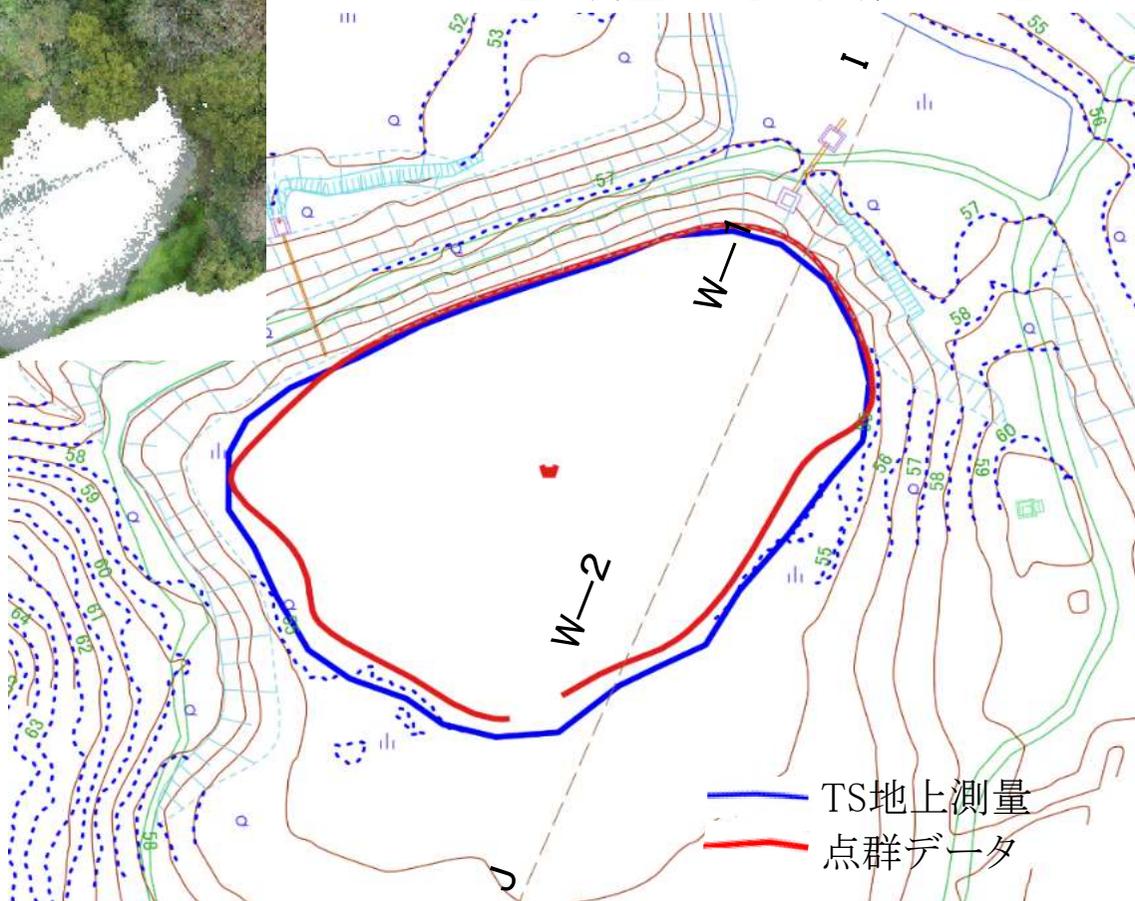
・点群による図化は、反射強度及びRGB合成によりマンホールの形状を特定し円ラインで描画されているため、一旦地形図からマンホールの中心点●を求め、TSの観測点●との位置関係を確認。



マンホール\ 差	点間 (m)
マンホール①	0.042
マンホール②	0.019
マンホール③	0.020
マンホール④	0.091
マンホール⑤	0.047
マンホール⑥	0.087
マンホール⑦	0.120
マンホール⑧	0.051
平均	0.060

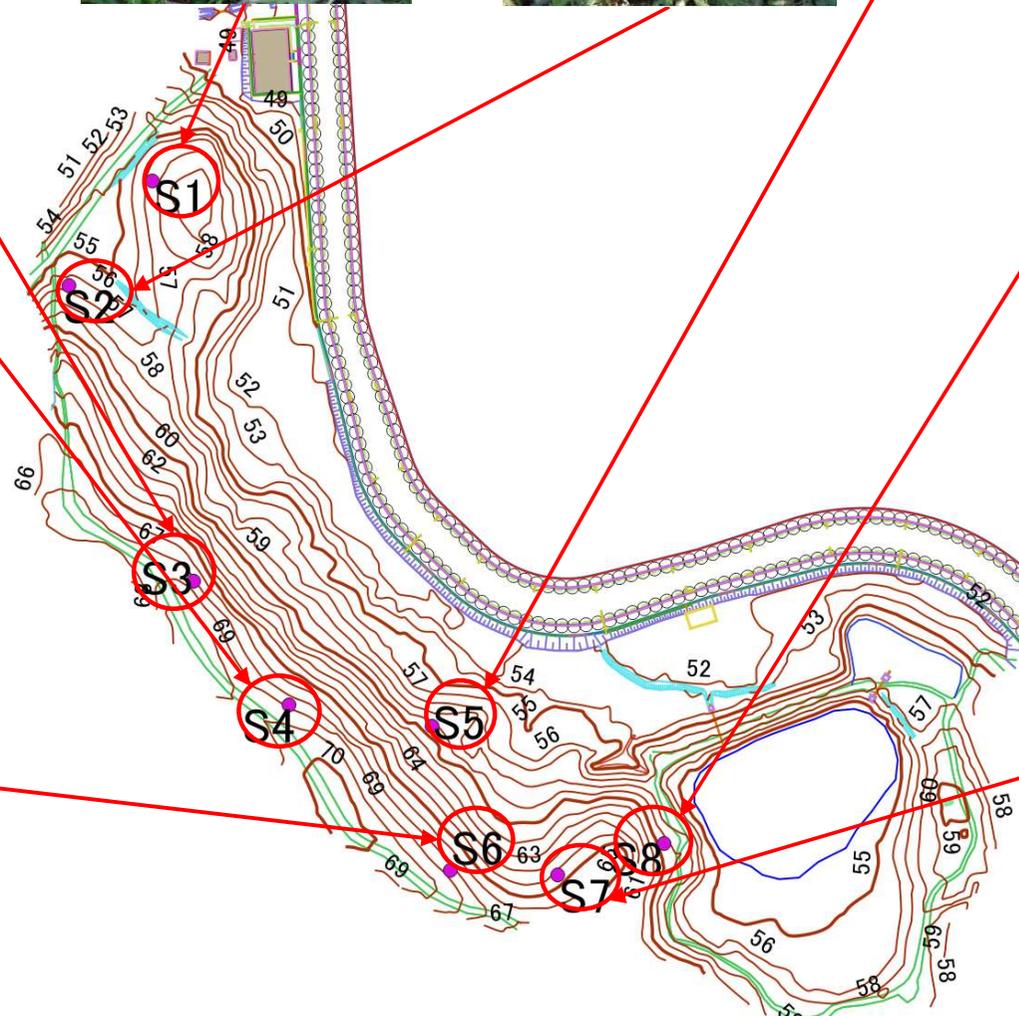
水域 水涯線 水平位置 面積比較

湖池線・水涯線から水域面データを作成し水域の面積を比較。モデル1
TS地上測量による水涯線・牛神池



水域のTS—点群	I—J断面交点差	I-J断面
W-1		1.251m
W-2		2.493m

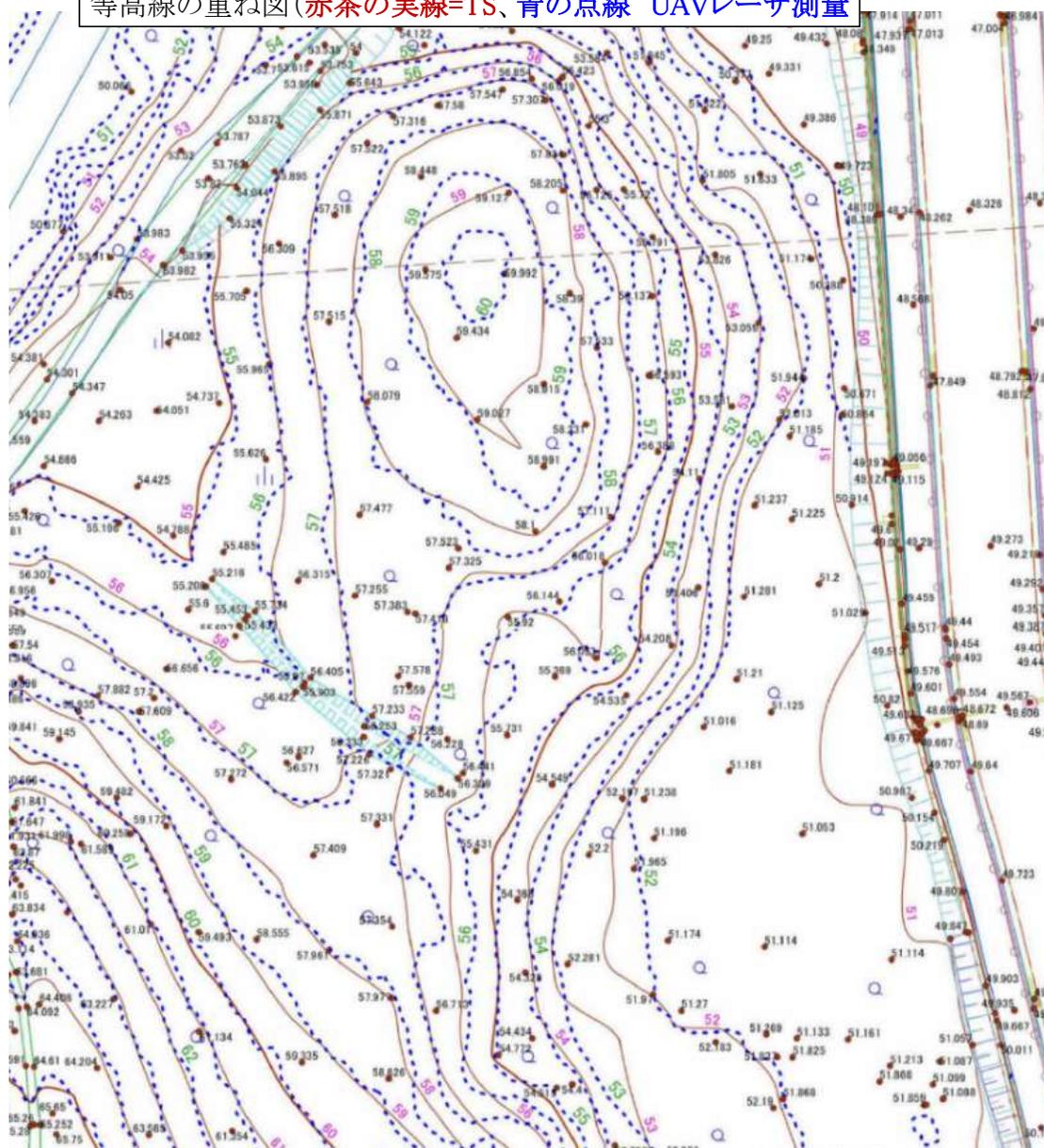
TS地上測量の水域面積	1425.710m ²	100%
点群データによる水域面積	1306.670m ²	91%
水域面積差	119.040 m ²	9%



等高線 T S 図化 ⇔ 点群データ 水平位置比較①

* ここでの水平距離の差は、描画方法の違いを確認するもので、水平位置の正確度を示すものではない。MAEでデータ間のバラつき程度を示す。* 断面における、TS等高線とUAV等高線の比較

等高線の重ね図 (赤茶の実線=TS、青の点線 UAVレーザ測量)



標高	断面	E-F	G-H	I-J
等高線50m		0.616		
等高線51m		0.406		
等高線52m		-0.509	1.438	
等高線53m		-0.094	0.134	0.877
等高線54m		-0.032	0.485	0.871
等高線55m		-0.143	0.358	0.122
等高線56m		0.549	1.520	0.272
等高線57m		1.952	0.412	-0.112
等高線58m		1.968	0.164	
等高線59m		-0.214	-0.071	
等高線60m			0.388	
等高線61m			0.443	
等高線62m			-0.214	
等高線63m			-0.076	
等高線64m			0.393	
等高線65m			1.023	
等高線59m		0.544		
等高線58m		0.780		
等高線57m		-0.100		
等高線56m		0.017		
等高線55m		-0.455		
等高線54m		0.526		
平均水平差m		0.363	0.457	0.406
MAE		0.557	0.509	0.451
MSE				

等高線 T S 観測点 ⇔ 点群データ 標高比較①

TS地形測量によると観測点

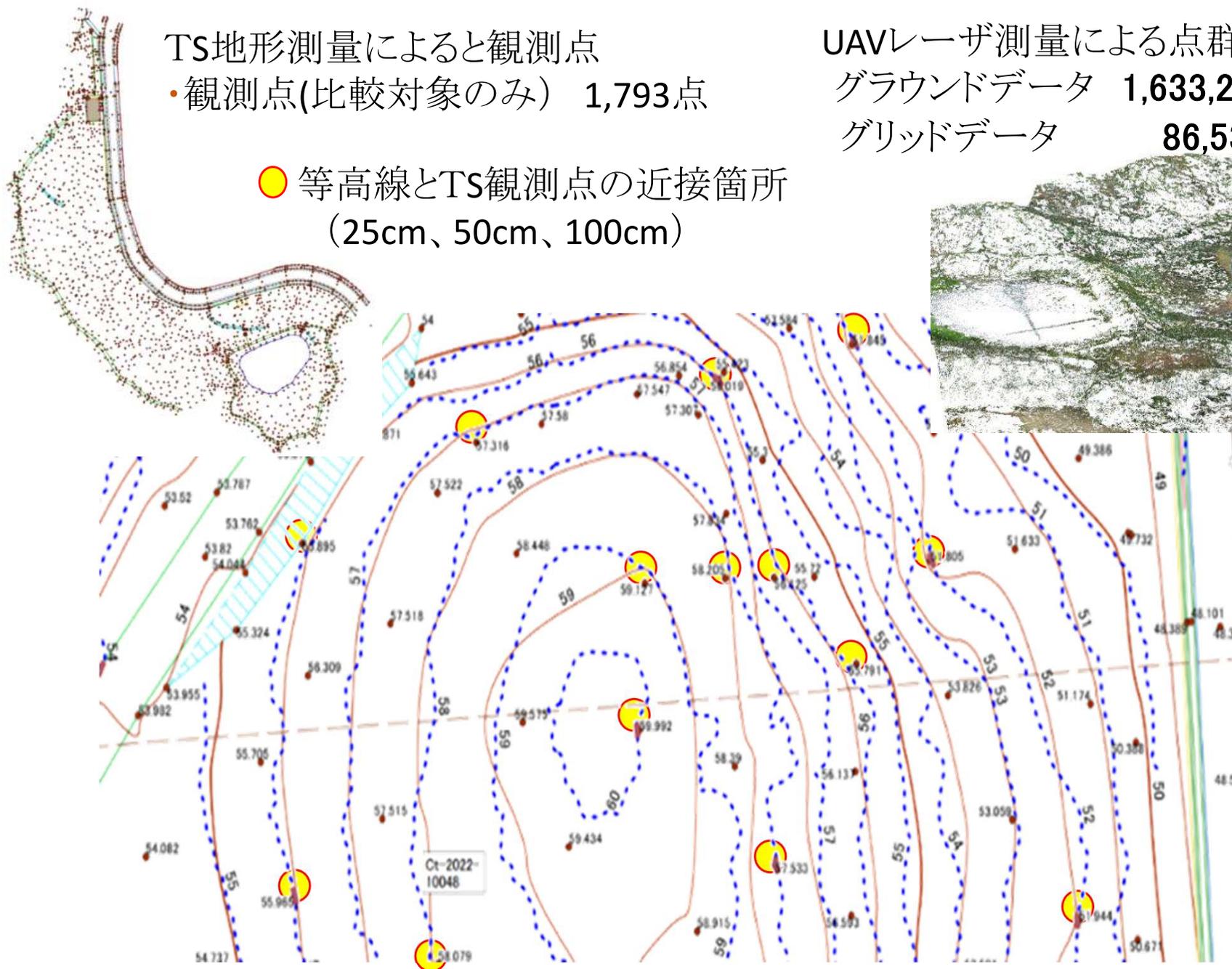
・観測点(比較対象のみ) 1,793点

● 等高線とTS観測点の近接箇所
(25cm、50cm、100cm)

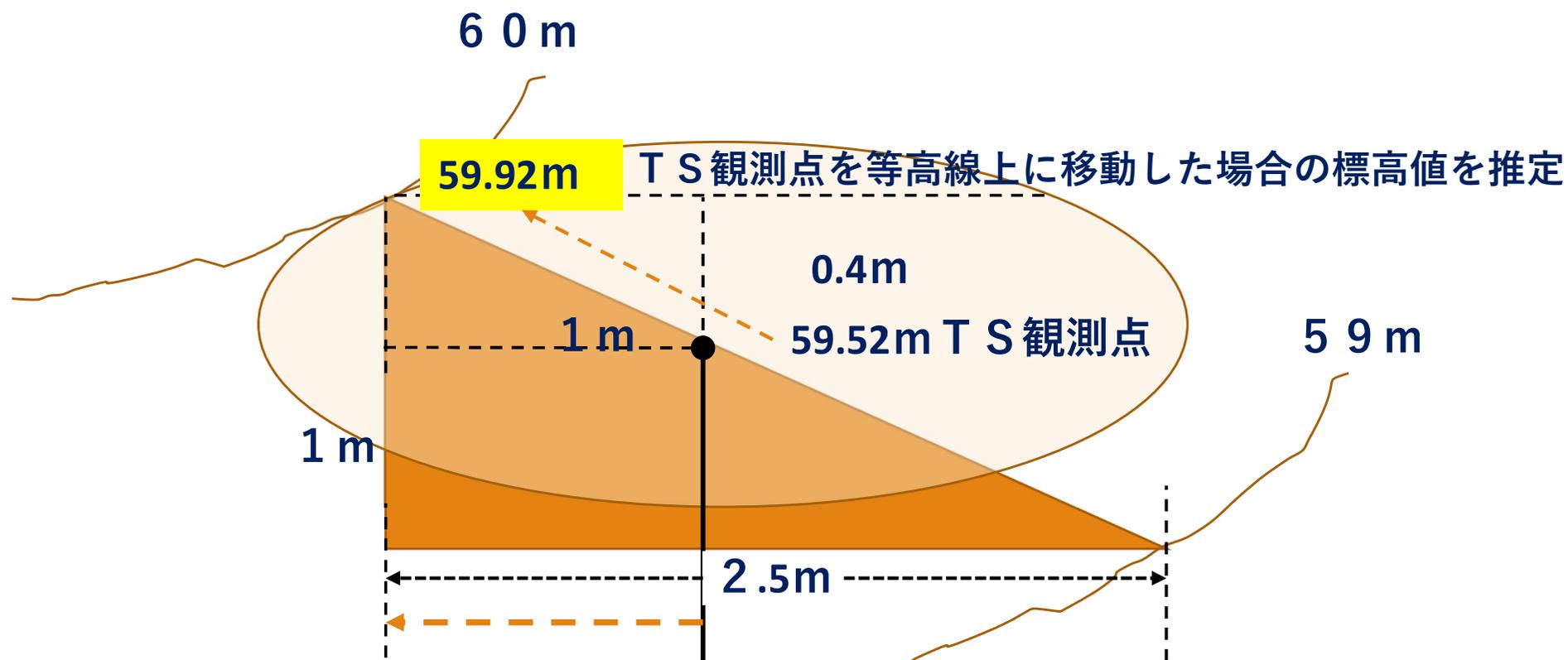
UAVレーザ測量による点群データ

グラウンドデータ 1,633,292点

グリッドデータ 86,534点



等高線に対する観測点の傾斜補正のイメージ



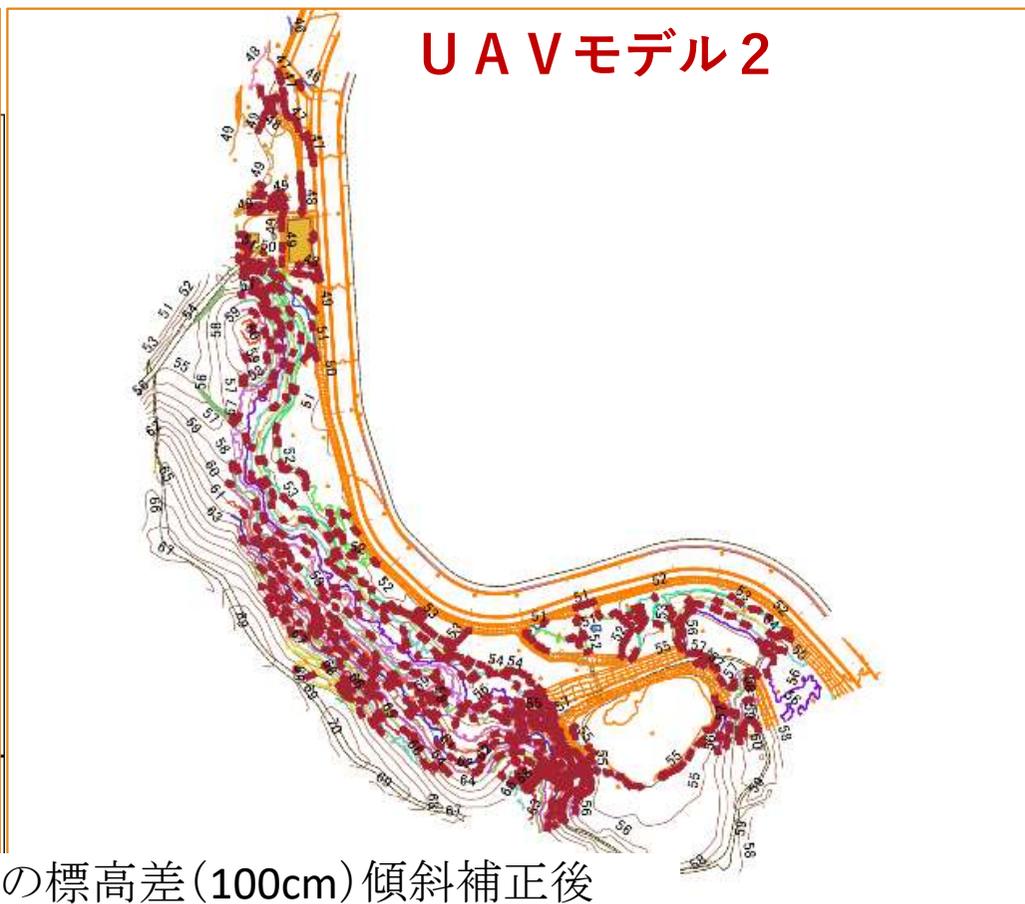
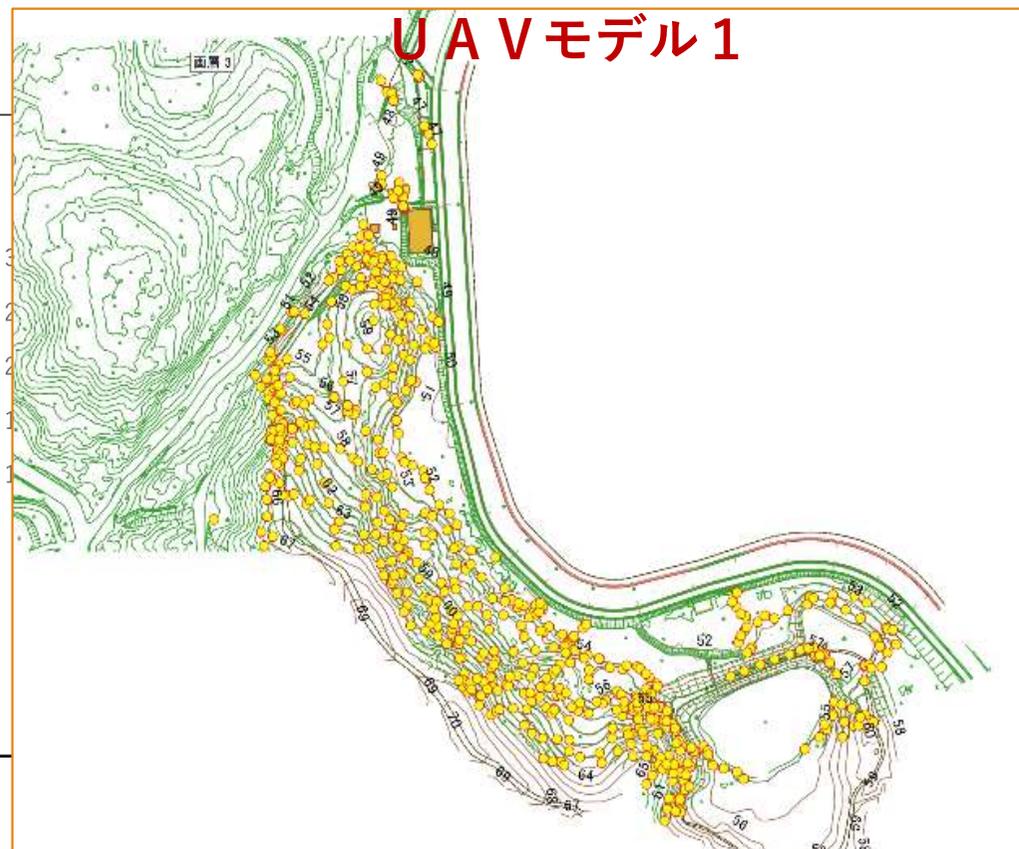
$1\text{m} / 2.5\text{m} = 0.4$...傾斜補正值 * E-F断面の等高線傾斜を標準とした

$1\text{m} / 2.5\text{m} \times 1\text{m} = 0.4$...補正数

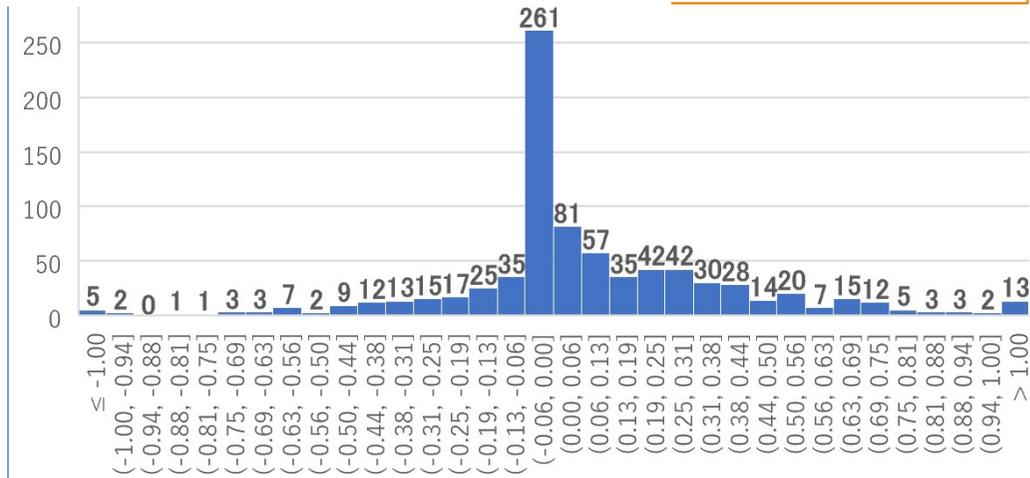
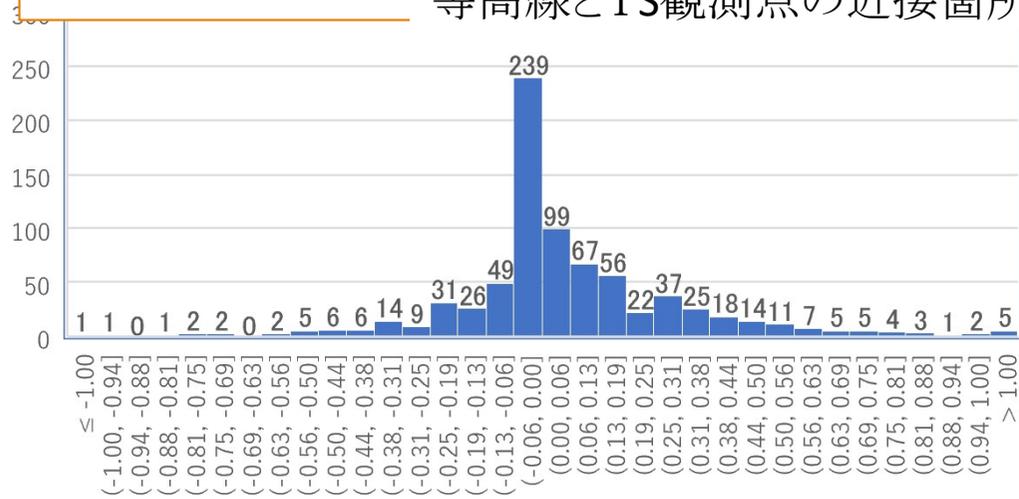
$59.52\text{m} + 0.4 = 59.92\text{m}$...補正結果

等高線60mと観測点補正值との差 $\Rightarrow 60\text{m} - 59.92 = 0.08\text{m}$

等高線 TS観測点 ↔ 点群データ 標高比較②



等高線とTS観測点の近接箇所の標高差(100cm)傾斜補正後



点群データによる等高線の描画 標高比較③

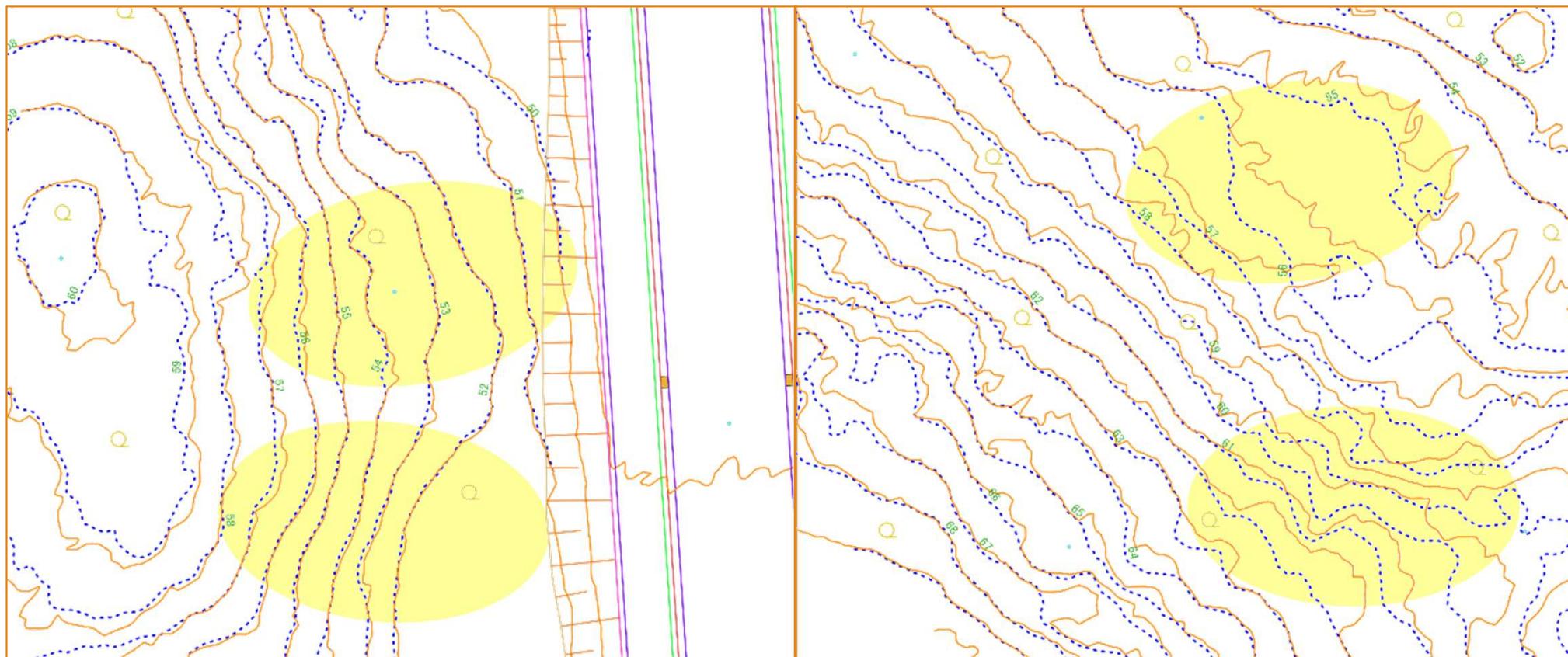
点群データ及び図化手法により、描画は大きく異なる地点がある

- ・ 傾斜角が大きい地点 描画線はほぼ一致する
- ・ 傾斜角が緩慢な地点 描画線が一致しない箇所が多い

どちらが正しいとは言えず、グラウンドデータ作成時のフィルタリング手法、グリッドデータの作成及び等高線の描画で使用するシステムの影響等、描画については今後検証すべき課題。

 モデル1 等高線
 モデル2 等高線

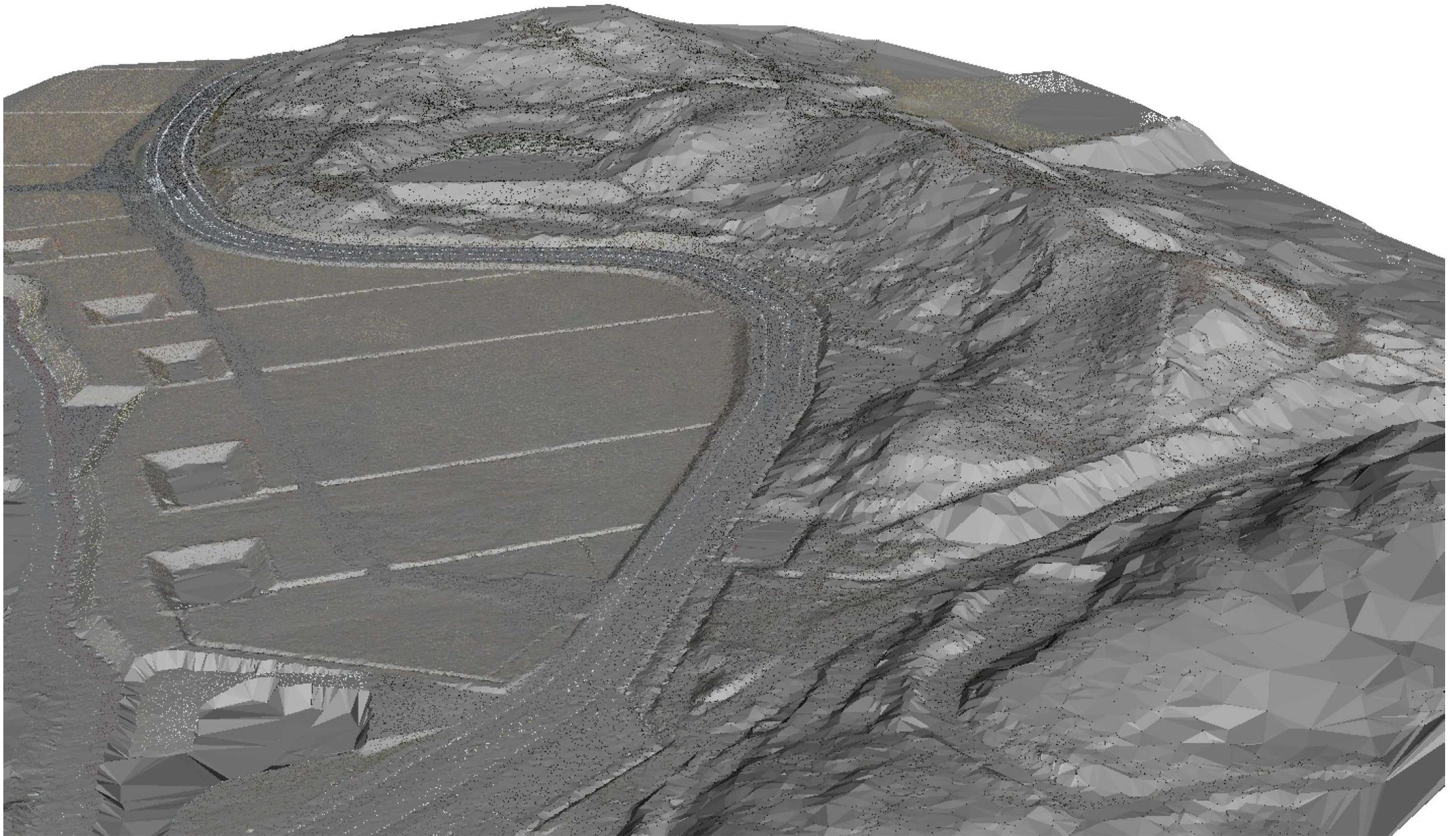
等高線	等高線延長	平均一致率
モデル2 等高線総延長	5521.5m	
近接25cm以内 (バッファの重なり)	2443.0m	44.2%
近接50cm以内 (バッファの重なり)	3442.7m	62.4%



3Dデータの活用

数値地図 3Dから2Dを作成する時代

- * 3Dとして利用へ進化すべきデータと、使い勝手の良い2D地図
- * 3D→リアル→図式にこだわる必要ない。2D地図→図化すべき地物の検討



到達点と課題

【到達】

- 発注機関の**成果品要求仕様**と作業機関側の**作業計画**に必要な、**数値指標や作業手順などの根拠を示す**ことができた。
- TS測量とUAVレーザ測量の比較により、**500レベル数値地形図作成の効率化と有効性**が確認できた。また**250レベルの数値地形図への可能性と課題**が明確になった。

【数値地図作成に関する課題】

- **製品仕様書**→ **地物の計測箇所など詳細(3D的)な定義**が求められる
- **等高線の描画**→ **データ解析や描画手法により大きく異なる**、**作成経緯の管理**は必須
- **地物の判読**→ **位置精度だけでは判読困難**、**リモートセンシングの活用**も必要

【成果物の活用】

- **数値地図の活用と管理**→出典元メタデータ(**基盤地図情報に準じる**)
 - * **オリジナルデータの保存**は必須→描画技術の進化に期待
- **3Dと2Dのデータ活用と管理**→ **3Dプラットフォーム・PLATEAUなどの活用**の検討

ご清聴ありがとうございました

一般社団法人 大阪府測量設計業協会

<https://www.osakass.org/>

一般社団法人 GIS支援センター

<https://home.gis-sc.or.jp/>

一氏昭吉(いちうじ あきよし)