

平成28年度

秋田県 I C T活用土工実証検討

【第1弾 遊佐象潟道路】

報告書（案）

平成29年3月

秋田県 I C T活用土工実証検討会

『ICT土工実証ケース毎評価』

実証ステップ	実証内容		実証結果	
	実証項目	実証ケース	精度差	判定
①UAVによる3次元測量	A. 植生の影響	<ul style="list-style-type: none"> ・case1: 除草前 ・case2: 除草後 	+10cm (植生の影響による精度低下)	×
	B. UAV作業規定緩和の可能性把握			◎
	①撮影高度	<ul style="list-style-type: none"> ・caseB-①-1: 高度 50m、地上解像度 1cm(出来形管理) ・caseB-①-2: 高度 100m、地上解像度 2cm(起工測量) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 地上解像度2cmの撮影高度で、起工測量の要求精度を十分に確保している。 ○ 但し、植生や起伏のある地形は補正が必要。 	◎
②撮影ラップ率	<ul style="list-style-type: none"> ・caseB-②-1: ラップ率 縦90%-横60% ・caseB-②-2: ラップ率 縦70%-横40% 	データの抜けが大きい	◎	
③外部標定点の設置位置	<ul style="list-style-type: none"> ・caseB-③-1: 対象地外周を包含する外部標定点設置 ・caseB-③-2: 対象地外周に外部標定点設置 		◎	
②3次元設計・施工計画	<ul style="list-style-type: none"> ・UAV3次元測量に基づく3次元測量の実施 ・ソフトウェア別の試行 ・施工サイドとのデータの共有 (ICT建設機械など) 		<ul style="list-style-type: none"> ・可視化による情報の共有化。 →3次元設計データを3次元ビューアで表示して、任意の視点(360°)からデザインビューが可能。 ・設計品質の向上 →施工量(切土、盛土)の正確な算出が可能。 ・対象範囲が広範囲で点群データが大きくなるため、処理能力の優れるPC環境の整備が必要。 (今回使用したPC: CPU3.4GHz、64ビット、メモリ32.0GB) 	◎
③ICT建設機械による施工	<ul style="list-style-type: none"> ・ICT建設機械による施工(油圧ジャベル、ブルドーザ) ・一般土質以外での作業効率の把握 		<ul style="list-style-type: none"> ・アシスト機能で施工精度、施工速度の向上につながった。(熟練のオペは更に速度向上) ・軟弱地盤でバックホウを使用した施工を行うには、建機を水平に保つため熟練の技術を要する。 	◎
④検査	<ul style="list-style-type: none"> 3次元出来形管理 ・出来形合判定 ・出来形数量の算出 	<ul style="list-style-type: none"> ①レーザースキャナによる出来形管理 ②空中写真測量(UAV)による出来形管理 高度50m、地上解像度 1cm(出来形管理) 	<ul style="list-style-type: none"> ○ LS・UAVによる出来形測量から、本工事の出来形は管理規定を満たす結果であった。 ○ 但し、UAV計測はLS計測に比べ植生や日陰、斜面、構造物の箇所で+10~20cmの差異が生じ、精度が劣る傾向となった。 ○ LS計測により本工事における盛土量は1,400m³(1,387m³)、切土量は3,200m³(3,202m³)となった。 	◎

—目次—

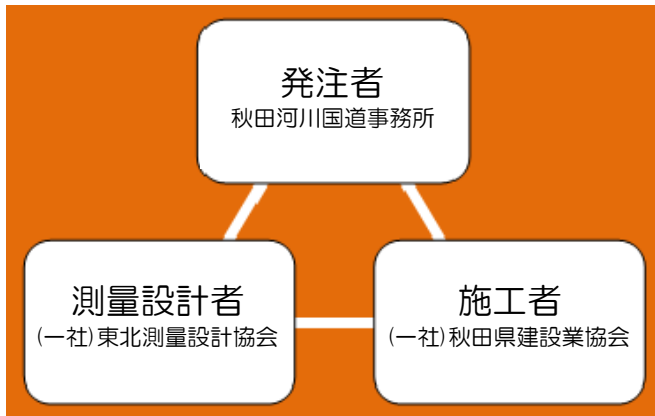
1. 秋田県 I C T活用土工実証検討会 概要	1
1.1. 目的	1
1.2. 組織体制	1
1.3. 実証内容	2
.3.1. 遊佐象潟道路	2
2. 取組報告	4
2.1. 3次元測量	4
.1.1. 実証内容	4
.1.2. 実証結果	5
2.2. 3次元設計・施工計画	11
.2.1. 実証内容	11
.2.2. 実証結果	12
2.3. I C T建設機械による施工	14
.3.1. 実証内容	14
.3.2. 実証結果	15
2.4. 3次元出来形管理	18
.4.1. 実証内容	18
.4.2. 実証結果	20
3. I C T活用土工の推進に向けて	34

1. 秋田県 ICT 活用土工実証検討会 概要

1.1. 目的

- 秋田県内における i-Construction 推進に向け、UAV を用いた測量技術・ICT 建機活用による土工実証を「発注者・測量設計者・施工者」が連携・協力して試行的取り組みを実施します。
- 得られた成果とノウハウを共有して組織の PR を図り、県内 i-Construction のプラットフォームとしての役割を果たすものです。

1.2. 組織体制



- 秋田河川国道事務所 工務第二課
〒010-0951 秋田市山王一丁目 10-29
Tel. 018-864-2287 (直通)
- (一社)東北測量設計協会
〒980-0014 宮城県仙台市青葉区本町
3丁目 6-17 (勾当台さのやビル 6F)
Tel. 022-263-0922
- (一社)秋田県建設業協会
〒010-0951 秋田県秋田市山王 4-3-10
Tel. 018-823-5495

第1弾 遊佐象潟道路

■期間

平成 28 年 8 月～10 月
(現場公開：10 月 6 日)

■場所

秋田県にかほ市
市の沢川橋下部工事現場

■内容

道路土工 (ヤード造成)

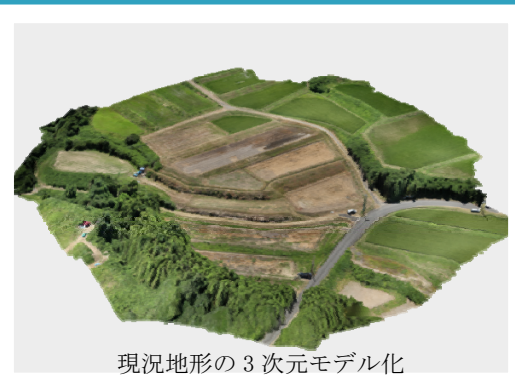
- ①UAV による 3 次元測量
- ②3 次元設計・施工計画
- ③ICT 建設機械による施工
- ④検査の省力化

■参加企業

(株)三浦組、(株)眞宮技術、東邦技術(株)
創和技術(株)、(株)ウヌマ地域総研
(株)シビル設計

■協力団体

(一社)由利建設業協会、秋田県、にかほ市



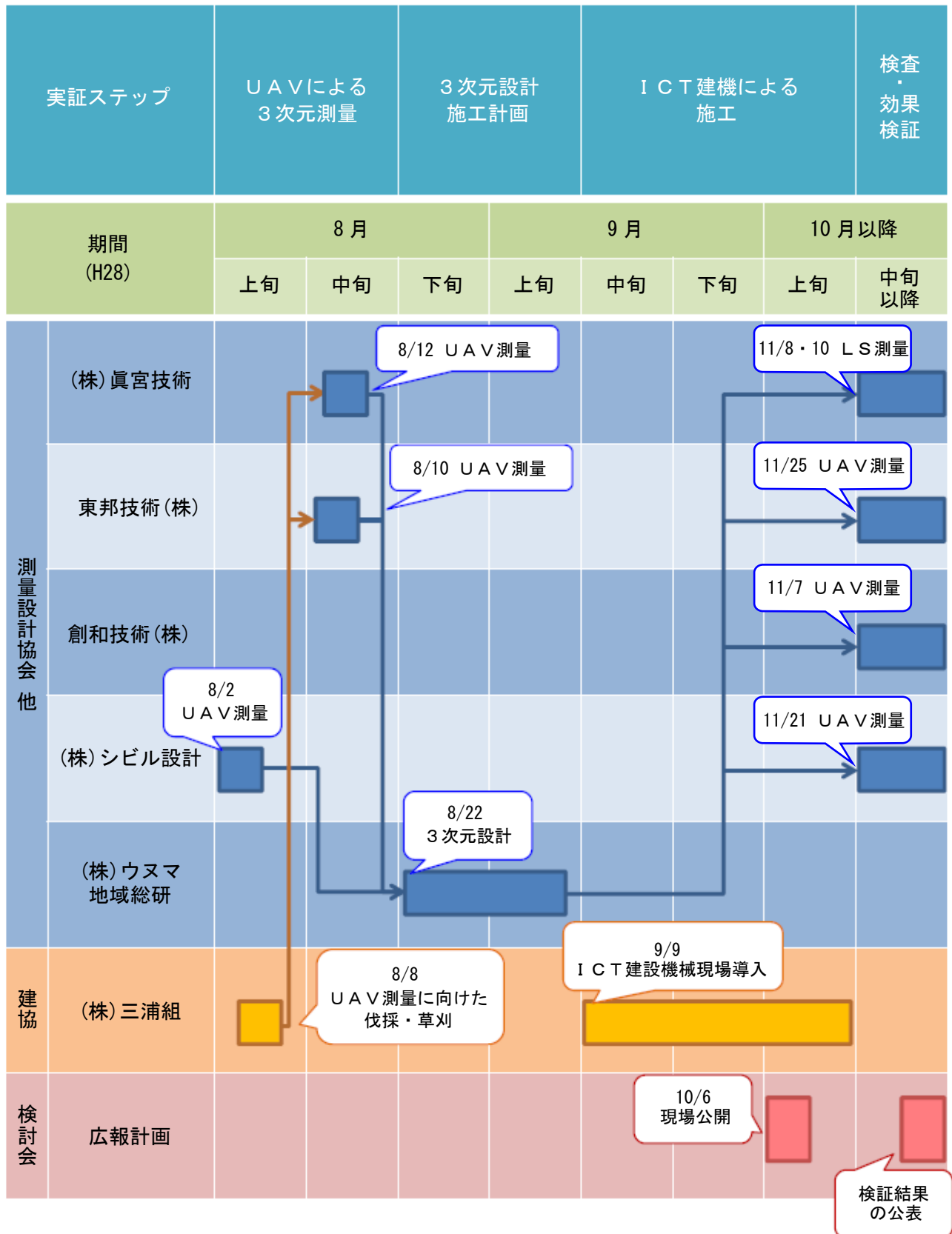
1.3. 実証内容

1.3.1. 遊佐象潟道路

1) 実証ケース

実証ステップ	実証内容	
	実証項目	実証ケース
① UAVによる 3次元測量	A. 植生の影響	・ case1 : 除草前
		・ case2 : 除草後
	B. UAV作業規定緩和の可能性把握	
	①撮影高度	・ caseB-①-1 : 高度 50m、地上解像度 1cm (出来形管理)
		・ caseB-①-2 : 高度 100m、地上解像度 2cm (起工測量)
	②撮影ラップ率	・ caseB-②-1 : ラップ率 縦 90%-横 60%
		・ caseB-②-2 : ラップ率 縦 70%-横 40%
	③外部標定点の設置位置	・ caseB-③-1 : 対象地外周を包含する 外部標定点設置
・ caseB-③-2 : 対象地外周に外部標定点設置		
② 3次元設計・ 施工計画	<ul style="list-style-type: none"> ・ UAV 3次元測量に基づく 3次元測量の実施 ・ ソフトウェア別の試行 ・ 施工サイドとのデータの共有 (ICT 建設機械など) 	
③ ICT建設機械 による施工	<ul style="list-style-type: none"> ・ ICT 建設機械による施工 (油圧シャベル、ブルドーザ) ・ 一般土質以外での作業効率の把握 	
④検査	3次元出来形管理 <ul style="list-style-type: none"> ・ 出来形合否判定 ・ 出来形数量の算出 	①レーザースキャナー (LS) による出来形管理
		②空中写真測量 (UAV) による出来形管理 高度 50m、地上解像度 1cm (出来形管理)

2) 実証スケジュール

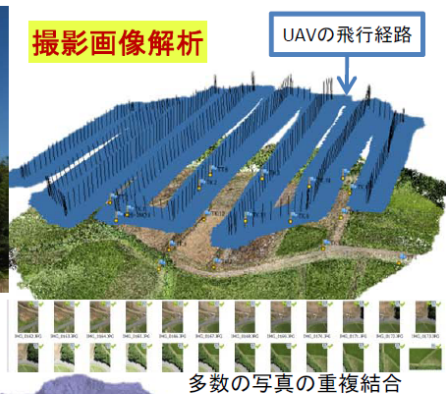
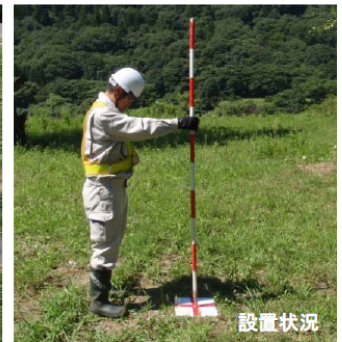
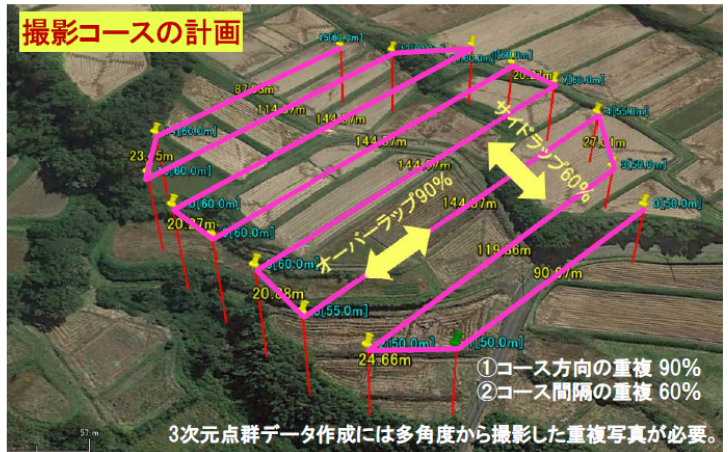
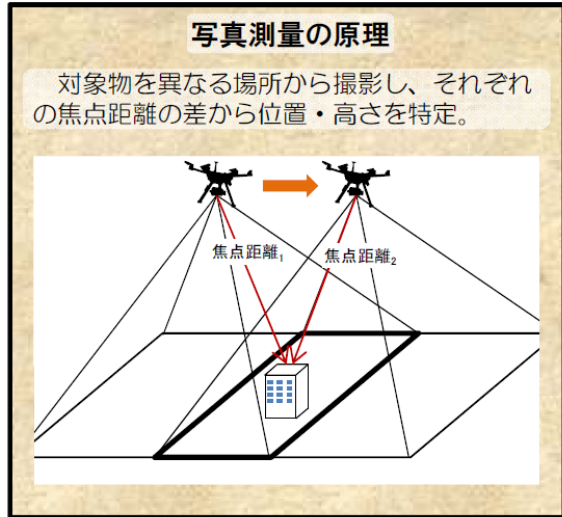


2. 取組報告

2.1. 3次元測量

2.1.1. 実証内容

UAV…Unmanned Aerial Vehicle (無人航空機)



2.1.2. 実証結果

1) 実証別評価

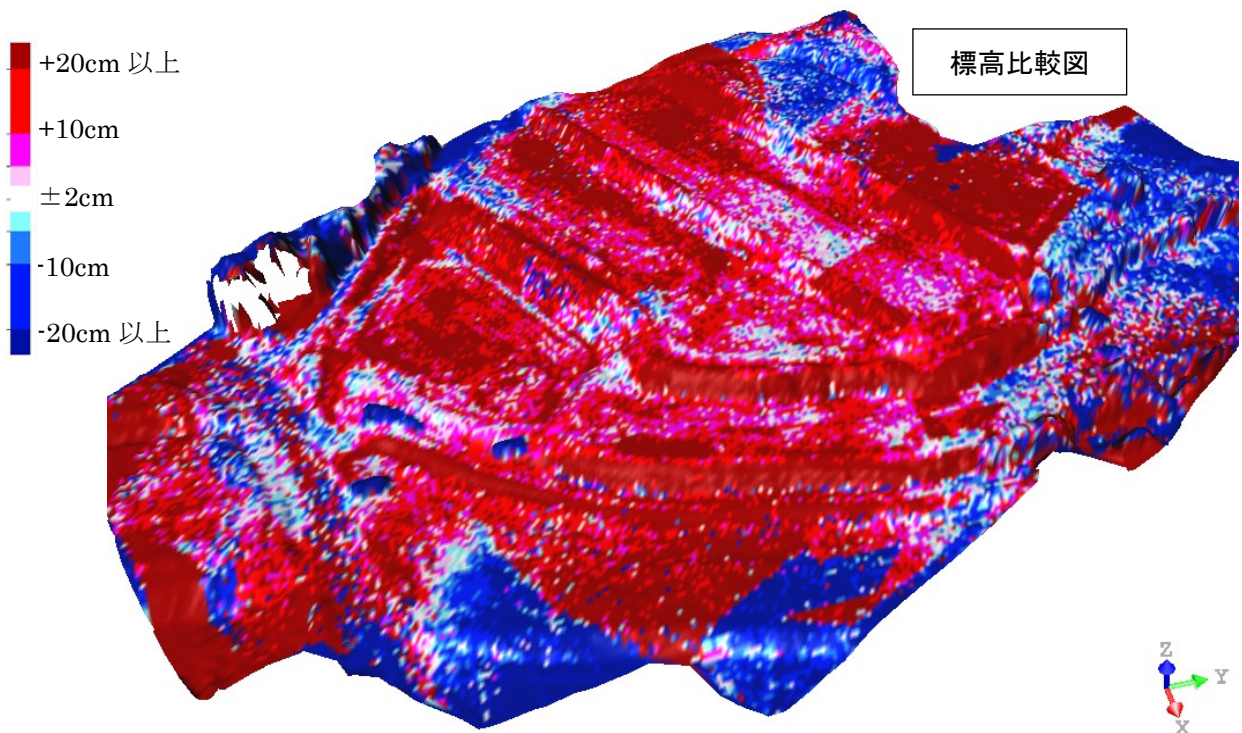
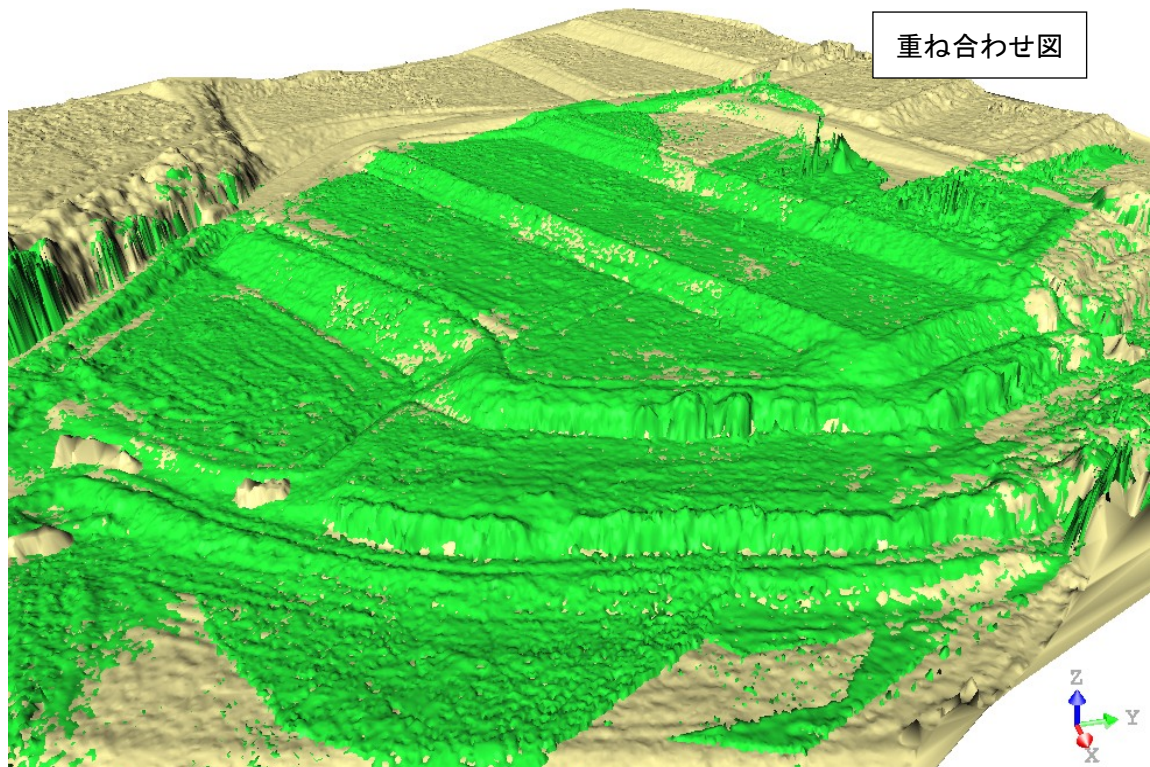
(1) 実証ケース

実証ステップ	実証内容
①UAVによる 3次元測量	<p>A. 植生の影響</p> <p>除草前と除草後の比較により植生状況の影響について確認する。</p> <ul style="list-style-type: none">• caseA-1：除草前• caseA-2：除草後 <p>B. UAV作業規定による3次元測量の実践と作業規定の緩和の可能性把握</p> <p>①作業規定の緩和：撮影高度(要求精度：0.10m)</p> <ul style="list-style-type: none">• caseB-①-1：地上解像度 0.01m → 高度 50m• caseB-①-2：地上解像度 0.02m → 高度 100m <p>②作業規定の緩和：撮影ラップ率(要求精度：0.10m)</p> <ul style="list-style-type: none">• caseB-②-1：ラップ率縦 90%×横 60%• caseB-②-2：ラップ率縦 70%×横 40% <p>③作業規定の緩和：外部標定点の設置位置(要求精度：0.10m)</p> <ul style="list-style-type: none">• caseB-③-1：対象地外周に外部標定点設置• caseB-③-2：対象地外周を包含する外部標定点設置 <p>※Bにおける「-1」は作業規定に準拠、「-2」は作業規定の緩和。</p>

(2) 実証結果

A. 植生の影響

caseA-1：除草前（黄緑色）、caseA-2：除草後（黄土色）



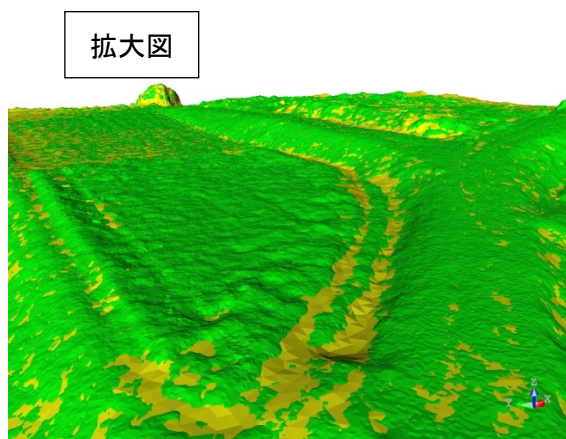
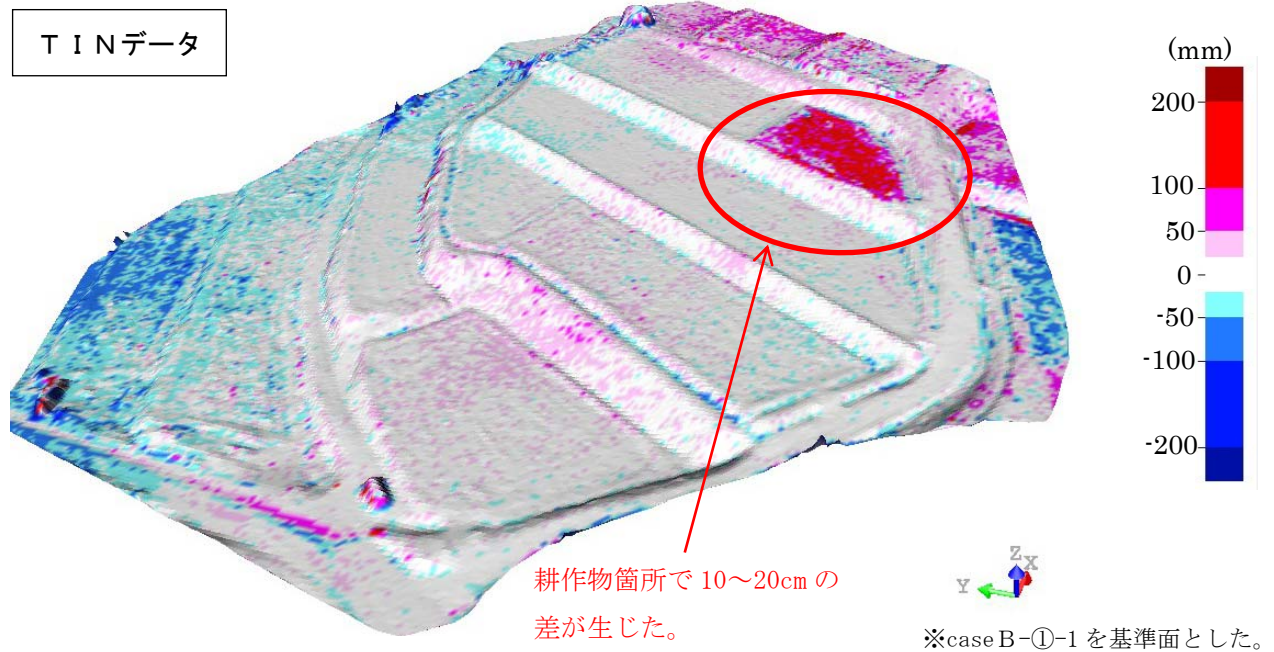
- caseA-1（除草前）のデータは caseA-2（除草後）と比較して凹凸が多く、標高的にも caseA-1（除草前）が全体的に 10cm 以上高い結果となった。

B. UAV作業規定による3次元測量の実践と作業規定の緩和の可能性

①作業規定の緩和：撮影高度（要求精度：0.10m）

caseB-①-1：高度 50m 地上解像度 9.0mm/pix ラップ率 90%・60%

caseB-①-2：高度 100m 地上解像度 21.0mm/pix ラップ率 90%・60%での比較



黄色：caseB-①-1

緑色：caseB-①-2



【考察】

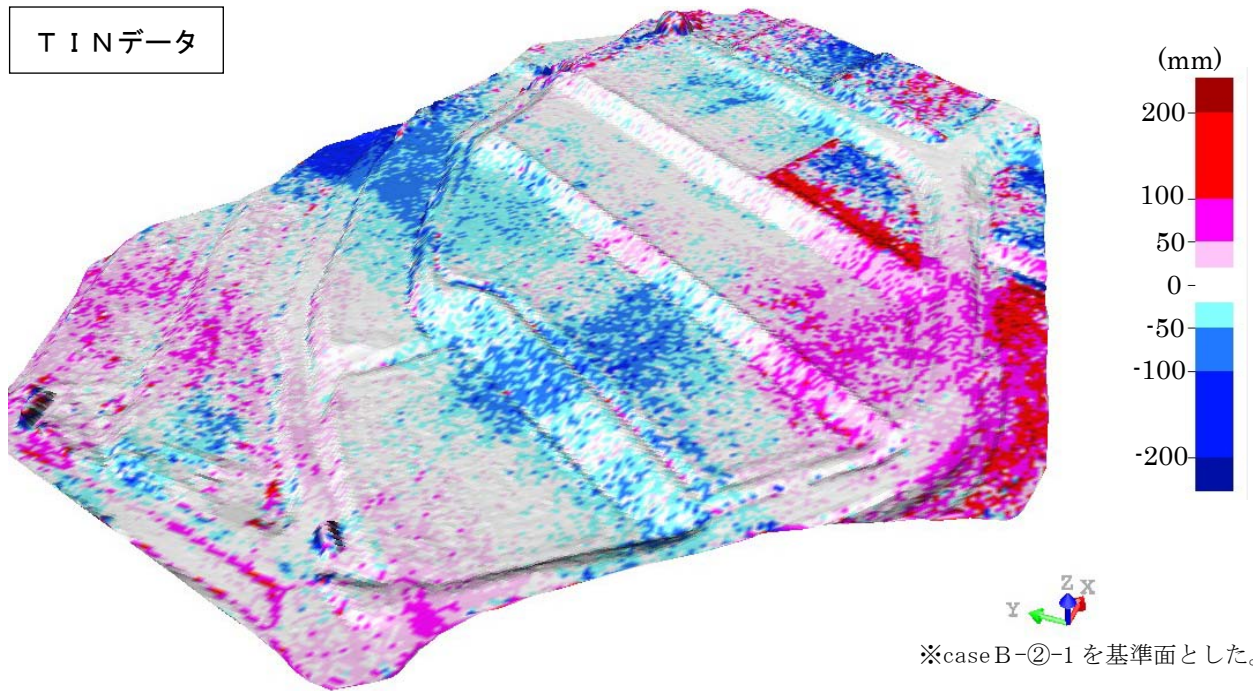
- 起工測量の場合、地上解像度 2cm の撮影高度で十分な精度が確保されている。
- 起工時、耕作地がある場合は補正が必要である。

②作業規定の緩和：撮影ラップ率(要求精度：0.10m)

caseB-②-1：高度 50m 地上解像度 9.0mm/pix ラップ率 90%・60%

caseB-②-2：高度 50m 地上解像度 9.0mm/pix ラップ率 70%・40%での比較

T I Nデータ



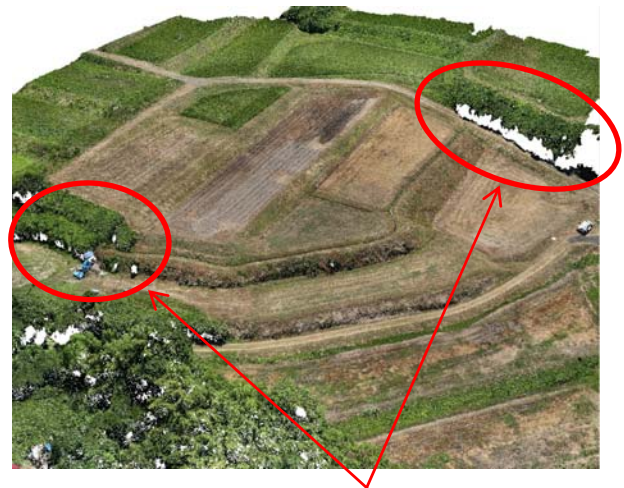
- ・一定の箇所で差が大きくなっているとみられるが、概ね-10~10cm 以内であった。

点群データ

caseB-②-1 (ラップ率 90%・60%)



caseB-②-1 (ラップ率 70%・40%)



データの抜けが大きい。

【考察】

- ラップ率が低いと、特に起伏の大きいところでデータの抜けが生じる可能性があると考えられる。

③標定点移転の検証(要求精度: 0.10m)

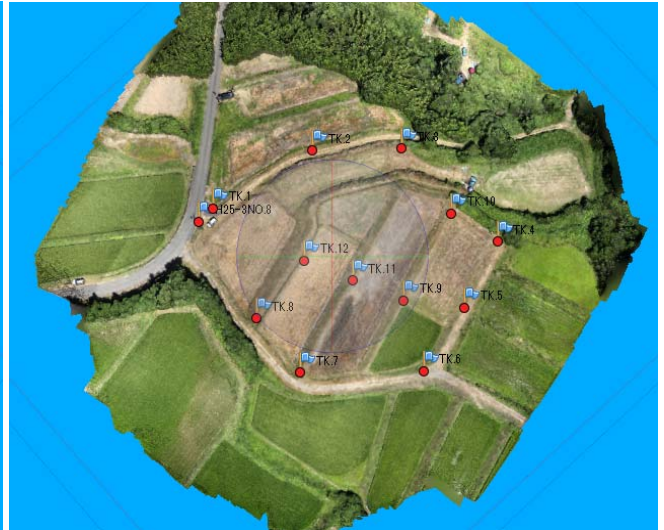
caseB-③-1: 外周を包含する外部標定点の追加

caseB-③-2: 対象地外周に外部標定点設置

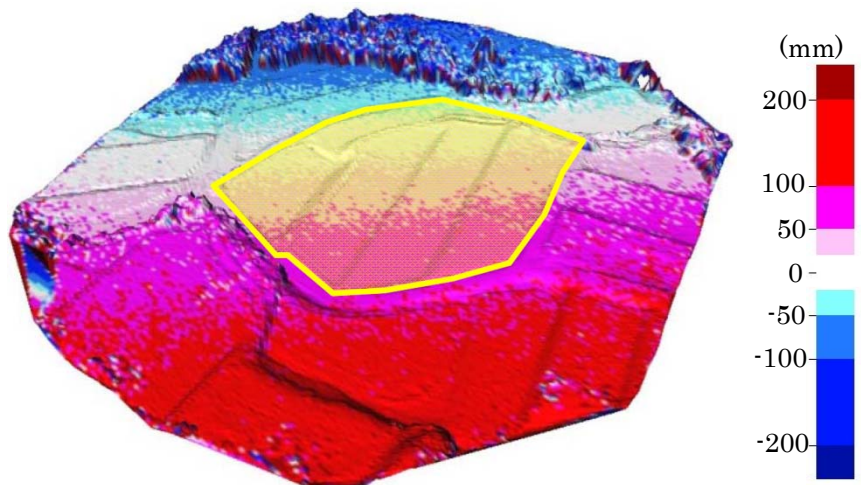
caseB-③-1



caseB-③-2



比較



※caseB-③-1を基準面とした。

【考察】

- データの解析・比較を行った結果、外周を包含するために追加した外部標定点(TT3、TT4)に影響され、外縁部で測定値に開きがあったが、対象地では差が最大+100mmであった。
- 両方のケースで起工測量の要求精度を確保している。

2) メリット

- ・カラーで広範囲な地形形状を取得でき、従来の測量に比べ全体像の把握がしやすい。
- ・標定点及び検証点の設置・計測も含め現地での作業を短期で終了できる。
- ・急傾斜・崖等、危険箇所の計測を安全に行うことができる。
- ・大規模な現場に関しては、作業効率が大幅に向上すると思われる。

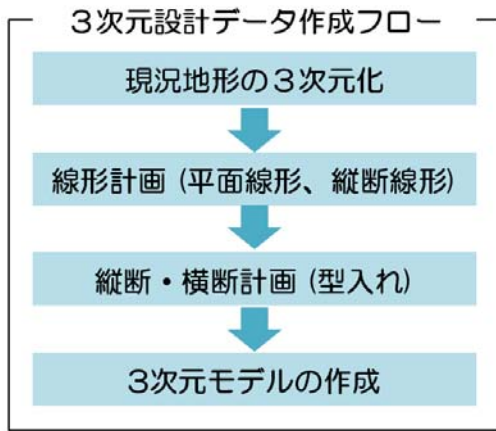
3) 課題

- ・撮影開始前に撮影エリアに存在する建機・資材などの移動及び除草・抜根などを行い、地表面をあらわにしておく必要がある。
- ・雨天・強風など天候に左右されるため撮影日程が前後する場合がある。
(冬期間は大雪・強風、測量時の除雪作業、低温下でのバッテリー性能の低下などが危惧されるため作業自体が困難と予想される)。
- ・機械が繊細すぎて壊れやすい。(墜落、雨水、ホコリ)
- ・解析に時間がかかるため小規模な現場では従来の測量と作業効率があまり変わらないと思われる。

2.2. 3次元設計・施工計画

2.2.1. 実証内容

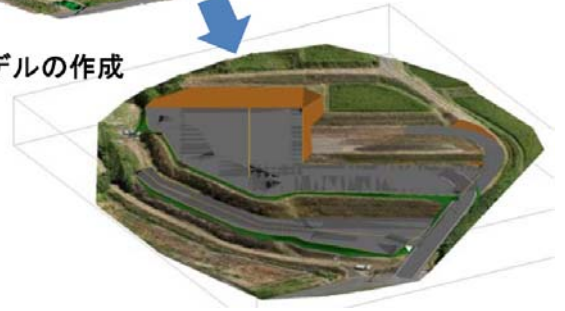
ステップ① 3次元設計データ作成



3次元現況地形



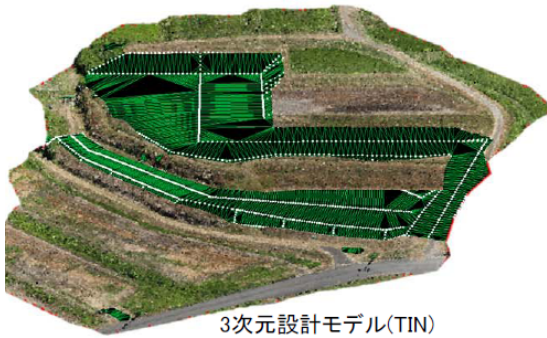
3次元設計モデルの作成



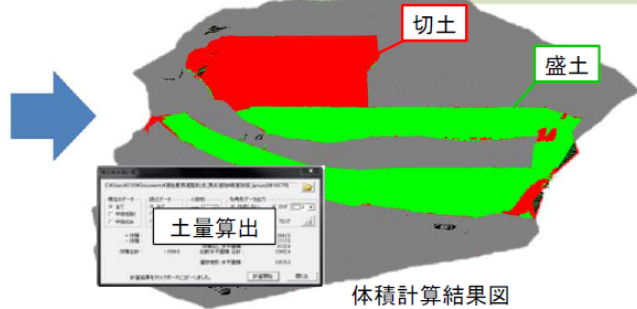
ステップ② 施工量の自動算出

- 現況と計画のTINモデル※の差分から施工量を自動算出
- TINモデルをベースとした三角網モデルでの精密網体積計算

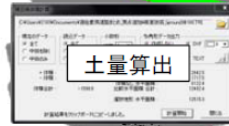
※3次元点群データの点を結び、交差しない三角形の面で構成したモデル。
TINモデルイメージ



3次元設計モデル(TIN)



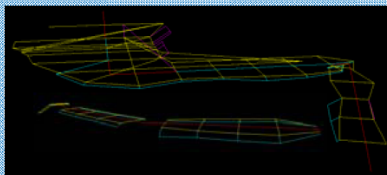
体積計算結果図



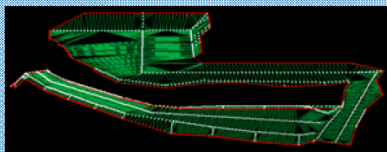
ステップ③ 施工量の自動算出

- 3次元設計データから共通のファイル形式(LandXML)にデータを変換

3次元設計データ

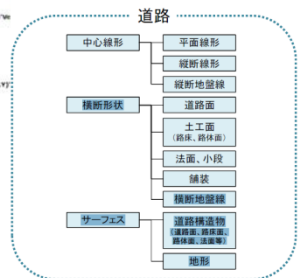


☒ スケルトンモデル



☒ サーフェスモデル

LandXML(Ver.1.2)データ



2.2.2. 実証結果

1) メリット

- ・可視化による情報の共有化。
 - 3次元設計データを3次元ビューアで表示して、任意の視点（360°）からデザインレビューが可能。
 - 3次元データであるため、実際の形状を回転しながら確認できるため素人に対しても分かりやすい。
- ・設計品質の向上。
 - 3次元CAD上で施工量（切土、盛土）の正確な算出が可能。
（TINモデルによる精密網体積計算法、メッシュ法…等）
- ・一連作業（測量～設計～施工）のトータルコストの縮減。
 - 現時点で設計プロセスはコスト増であるが、事業一連でデータ（LandXML）を共有できるためトータルコストの縮減が可能。

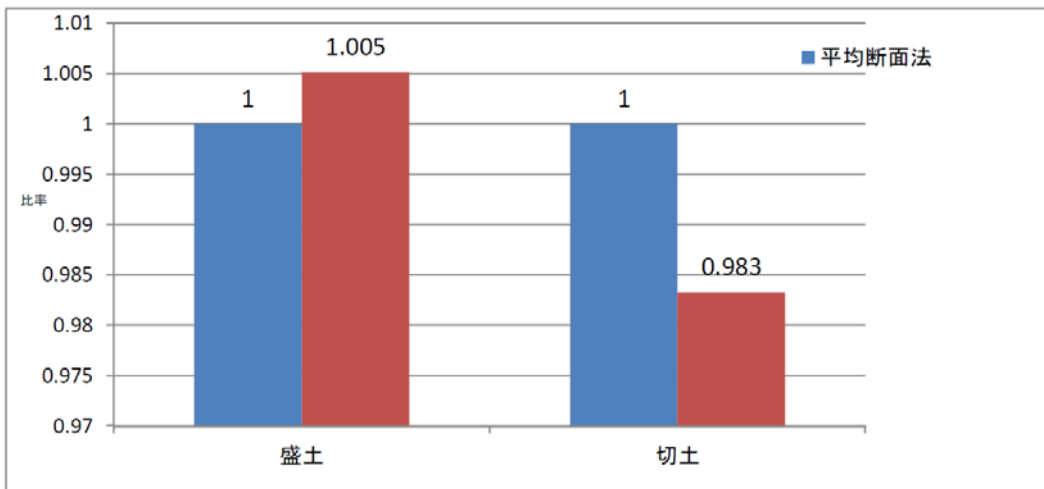
2) 課題

- ・現時点では、3次元地形に直接計画を型入れする手法をとっていないため、2次元設計よりも労力やコストが掛かり増しする。（従来通りの2次元設計を実施して、ベース図面を作成してから3次元CADで計画型入れを実施）
- ・3次元地形データは等間隔の均一的なデータであるため、設計時のコントロールポイントとなる舗装端部や構造物端部などを特定していない場合があることに留意が必要である。
- ・あらゆる法面に対する直角方向の線形データが必要となり、多数の設計中心線の設定が必要となる。
- ・対象範囲が広範囲で点群データが莫大になるとデータ量が大きくなるため、処理能力の優れたPC環境整備が必要。（今回使用したPC：CPU3.4GHz、64ビット、メモリ32.0GB）
- ・現在、道路設計用のソフトが主流であるため、今後は他分野に対応した3次元設計ソフトの開発が必要。（道路や河川堤防など、計画断面が定型の線ものであれば応用可能）
- ・3次元設計のノウハウの教育・習得（若手の育成）や、ソフトウェアに長けた人材の育成が必要。

3D設計によるメリット例

・設計品質の向上。

→3次元CAD上で施工量(切土、盛土)の正確な算出が可能。



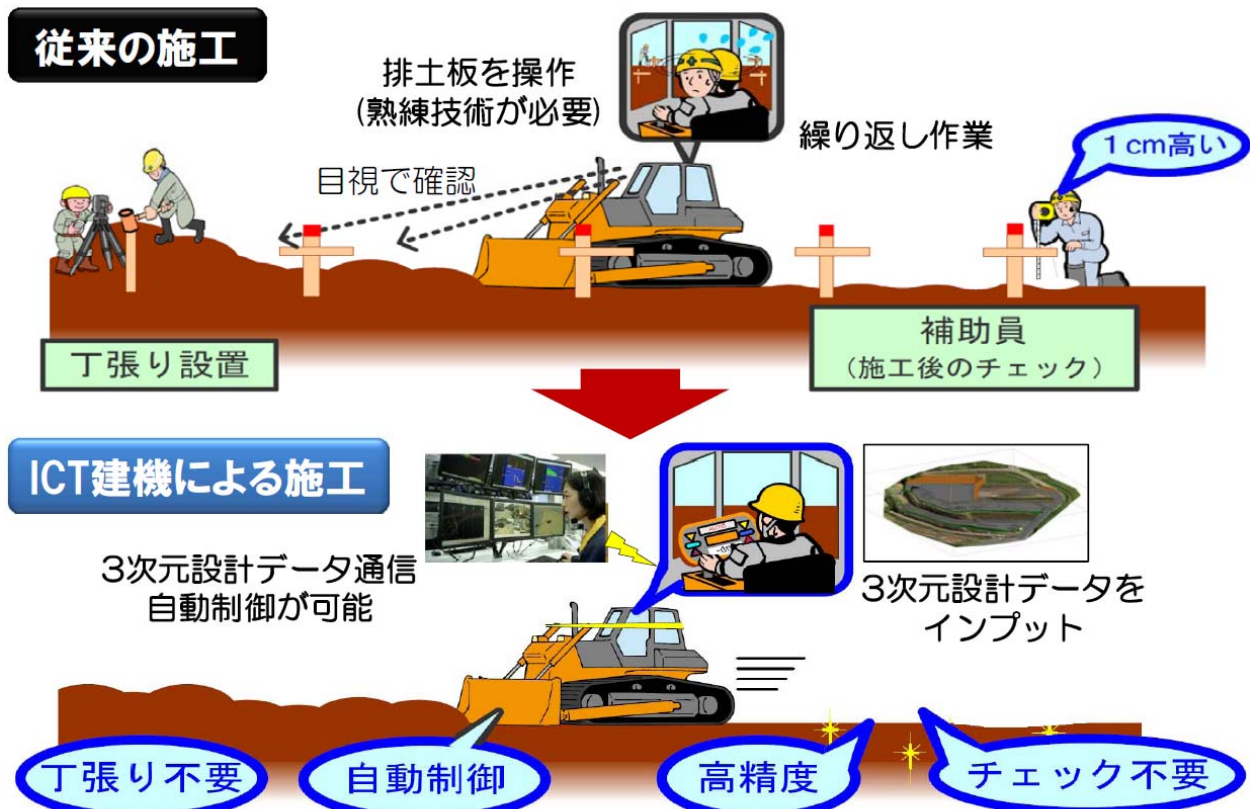
土工計算の精度向上

	盛土量		切土量		適用
	土量(m ³)	比率	土量(m ³)	比率	
平均断面法	1593.5	1	3246.8	1	従来の土工計算方法
TIN分割等を用いて求積する方法	1601.7	1.005	3192.6	0.983	三次元データによる計算方法
差分	8.2	0.005	-54.2	-0.017	

※差分が多いほど現況地形の起伏を反映した土工計算となることがいえる。

2.3. ICT建設機械による施工

2.3.1. 実証内容



出典:国土交通省 i-Construction委員会資料

ICT建機による施工のメリット

■施工効率向上■

3次元データをもとに施工するため、丁張りや敷き均し回数、検測回数が減り、工期短縮が可能です。

■安全性向上■

建設機械の周辺での測量や作業指示、作業補助が削減され、安全に作業を行えます。

■施工精度向上■

3次元データをもとに建機を制御するため、オペレーターの技術に左右されずに施工できます。

2.3.2. 実証結果

1) ICT 建機で施工した運転手の感想



乗る前は・・・

技術員をしているため、ほとんど重機に乗る機会がありません。
ブルドーザに初めて乗る事になりました。

乗ってみて・・・

前進、後進の操作だけで、ブルドーザのブレードが自動で動き簡単に整地できました。丁張り掛けしなくても現場ができあがった。

職種：技術員 21歳



乗る前は・・・

普段は作業員として、仕事を行っています。たまにバックホウを動かす程度なので、整形など出来ないのが不安・・・

乗ってみて・・・

運転アシスト機能で経験の浅い私でも、熟練運転手同等の精度で整地、整形をすることができた。運転に自信が持てた。(でもICT建機だからなあ・・・)

職種：作業員 35歳



乗ってみて・・・

最初は設定や、モニター操作も面倒で“こんなもの”と思っていたが、慣れると“これは良い”に考えが変わりました。アシスト機能で掘り過ぎを気にせず、思いっきり作業ができた。すごい時代が来た！！

職種：熟練運転手 63歳

2) メリット

- ・丁張り掛け等の手間が少なくなるので、工事全体の管理に尽力できる。
- ・アシスト機能で施工精度、施工速度の向上につながった。(熟練オペは更に速度向上)
- ・ある程度の操作が出来る運転手は、熟練運転手同等の仕上がりが期待できる。
(バックホウ、ブルドーザ)
- ・従来の丁張り掛けのミス(ヒューマンエラー)や、施工中に丁張りが動いてやり直しなどの心配がなく、安心して施工ができる。
- ・重機周りの補助作業員を削減できるので、安全性向上、労務費低減が可能。
- ・設計面より過掘をしないうえ、安心して作業できる。
- ・アシスト機能ON、OFFがボタン一つで切り換えできるので用途に合わせた使用が可能。
- ・インターネット上で施工の進捗率や、重機がどこで作業しているかを確認できるため、管理上便利。
- ・ブルドーザの操作はオートモードにセットすると、排土板が自動で動くため、土を運ぶことだけ考えればいいので、周りを見る余裕もでき、補助作業員もいらないうえ、安全かつ、誰でも簡単に整地できる。
- ・無駄な動きを抑制できるので、CO₂の削減が期待できる。(地球温暖化対策)

3) 課題

- ・ICT建設機械の設定や操作に慣れるまで時間がかかる。
- ・現時点で建機を確保できない。(在庫が薄い)
- ・起動操作を含め、従来の建設機械よりも起動に時間がかかる。
- ・建機のリース価格が高い。
- ・擦り付け部分などアシスト操作では整形できない部分が生じるため熟練の技術が必要となる。
- ・アシスト機能で施工行う場合、熟練の技術が身につかない。
- ・軟弱地盤でバックホウを使用した施工を行うには、建機を水平に保つため熟練の技術を要する。
- ・キャリブレーション(起動操作)を確実に行わないと誤差が生じる。
- ・機械任せのため、何かのエラーや入力ミスがあった場合間違っただまま作り上げてしまう。
- ・バケットの破損(凹み等)したまま施工すると誤差を持ったまま施工することになる。
- ・ICT建機が故障したときの代替え、修理の対応は従来建機のようにはいかない。
- ・現時点では建機メーカーに頼らないと、データ取り込みや施工ができない。

参考：ICT建機の経費（1ヶ月あたりのリース料他）

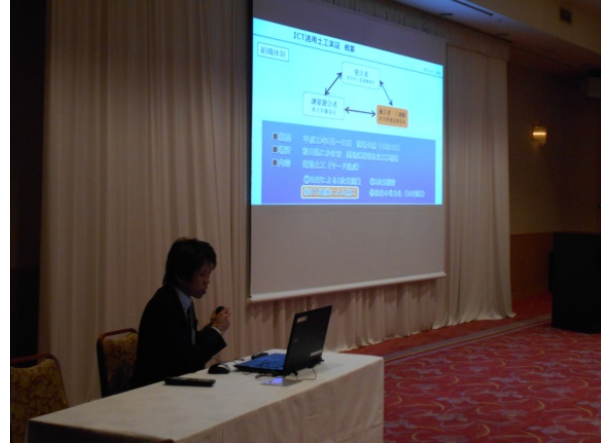
建機種類/工種	規格	費用 (運搬、サービス・サポート料含む)	通常建機 との比較
BH（掘削・法面整形）	0.4m ³ 油圧ショベル (PC128USi)	1,600 千円/月	10 倍程度
BD（盛土）	D37クラスブルドーザ (D37PXi)	1,900 千円/月	8 倍程度
初期費用	現場確認、操作教育	200 千円/月	—

※上記経費は初月での費用であることに留意すること。

4) 広報活動の展開



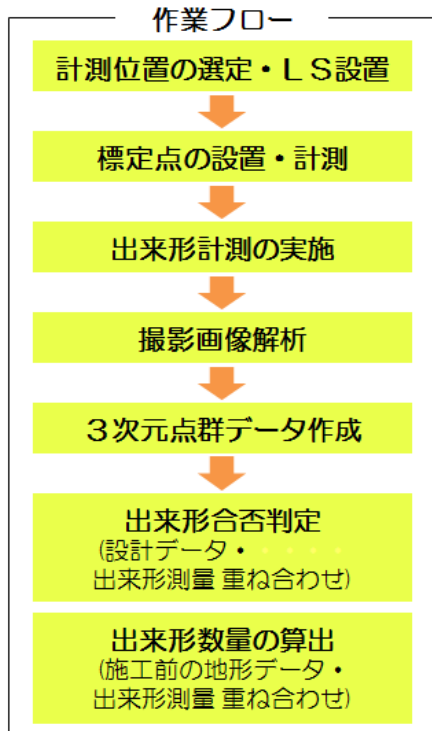
現場入口にPR看板設置



現場代理人と監督職員の勉強会（主催：秋田県由利地域振興局、講師（株）三浦組）

2.4. 3次元出来形管理

2.4.1. 実証内容



出来形計測における要求精度

	計測の精度	計測密度
UAVによる出来形計測	誤差±5cm以内	10cmメッシュに1点以上
LSによる出来形計測	誤差±2cm以内 ※	10cmメッシュに1点以上

※LSは事前に精度確認試験を実施し、精度が±2cm以内であることが確認された機器を使用すること。

計測位置の選定・LS設置



LSの設置状況

標定点の設置・計測



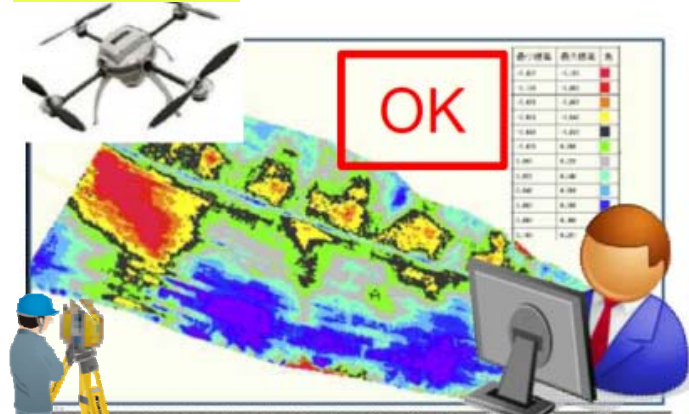
標定点設置状況

出来形測量の実施



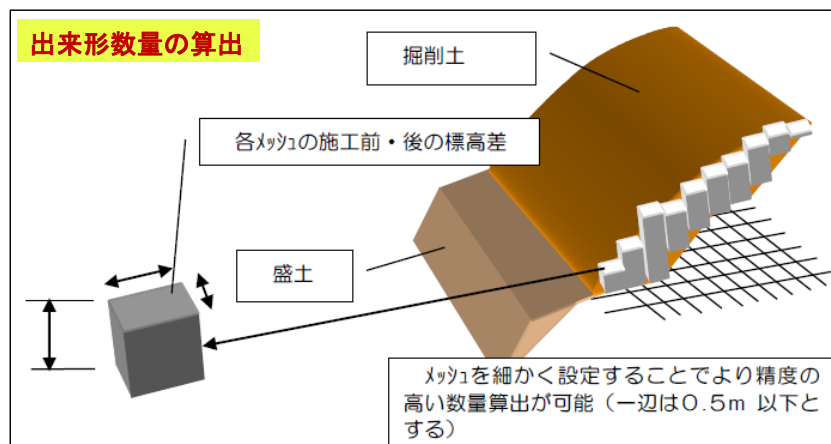
LSによる出来形測量

出来形合否判定 (出来形管理図の作成)



出典：国土交通省 i-Construction 委員会 報告書

出来形数量の算出



出典：国土交通省 出来形管理要領(土工編)(案)

出来形管理基準及び規格値

出来形管理基準及び規格値は下表のとおりとし、測定値はすべて規格値を満足しなくてはならない。

表 出来形管理基準及び規格値

工種	測定箇所	測定項目	規格値(mm)		測定基準	測定箇所
			平均値	個々の計測値		
掘削工	平場	標高較差	±50	±150	注1、注2、注3、 注4	
	法面(小段含む)	水平または 標高較差	±70	±160		
路体盛土工	天端	標高較差	±50	±150	注1、注2、注3、 注4	
路床盛土工	法面(小段含む)	標高較差	±80	±190		

注1：個々の計測値の規格値には計測精度として±50mmが含まれている。

注2：計測は天端面（掘削の場合は平場面）と法面（小段を含む）の全面とし、全ての点で設計面との標高較差または、水平較差を算出する。計測密度は1点/m²（平面投影面積当たり）以上とする。

注3：法肩、法尻から水平方向に±5cm以内に存在する計測点は、標高較差の評価から除く。同様に、標高方向に±5cm以内にある計測点は水平較差の評価から除く。

注4：評価する範囲は、連続する一つの面とすることを基本とする。規格値が変わる場合は、評価区間を分割するか、あるいは規格値の条件の最も厳しい値を採用する。

出典：出来形管理要領(土工編)(案)

2.4.2. 実証結果

1) 実証別評価

(1) 実証ケース

実証ステップ	実証内容	
④検査	3次元出来形管理 ・出来形合否判定 ・出来形数量の算出	①レーザースキャナー(LS)による出来形管理
		②空中写真測量(UAV)による出来形管理 高度 50m、地上解像度 1cm(出来形管理)

(2) 実証結果

3次元出来形管理 総括表

出来形合否判定

様式-31-2 (出来形管理要領(土工編))

工種：道路土工

比較対象		平場	法面
LS (真宮技術)	掘削工	○	○
	盛土工	○	○
UAV① (東邦技術)	掘削工	○	○
	盛土工	○	○
UAV② (創和技術)	掘削工	○	○
	盛土工	○	○

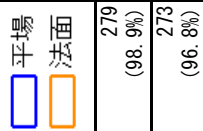
出来形数量の算出

比較対象	盛土量	切土量	備考
LS	1,386.892m ³	3,202.121m ³	採用値
UAV①	1,426.005m ³	3,171.404m ³	
UAV②	1,488.600m ³	3,269.072m ³	

出来形合否判定総括表

工種	道路土工	測点
種別	掘削工	合否判定結果 異常値無

測定項目		規格値	判定
平場 標高較差	平均値	-7.0mm	
	最大値(差)	140mm	
	最小値(差)	-144mm	
	データ数	1,292	
	評価面積	1,240m ²	
	棄却点数	3	
	規格値	±50mm	
法面 標高較差	平均値	-1.4mm	
	最大値(差)	146mm	
	最小値(差)	-153mm	
	データ数	282	
	評価面積	232m ²	
	棄却点数	0	
	規格値	±150mm	
規格値	1点/m ² 以上 (1,241点以上)		
規格値	0.3%未満 (3点以下)		
規格値	±70mm		
規格値	±160mm		
規格値	±160mm		
規格値	1点/m ² 以上 (233点以上)		
規格値	0.3%未満 (0点以下)		

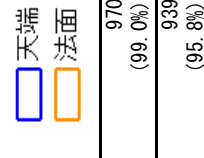


平場の ばらつき	1,290 (99.8%)	規格値の±80% 以内のデータ数	279 (98.9%)
法面の ばらつき	1,281 (99.1%)	規格値の±50% 以内のデータ数	273 (96.8%)

出来形合否判定総括表

工種	道路土工	測点
種別	路体盛土工	合否判定結果
		異常値無

測定項目		規格値	判定
天端 標高較差	平均値	-4.9mm	
	最大値(差)	139mm	
	最小値(差)	-145mm	
	データ数	1,232	
	評価面積	1,187m ²	
	棄却点数	3	
	規格値	±50mm	
法面 標高較差	平均値	-28.4mm	
	最大値(差)	116mm	
	最小値(差)	-175mm	
	データ数	980	
	評価面積	911m ²	
	棄却点数	2	
	規格値	±80mm	

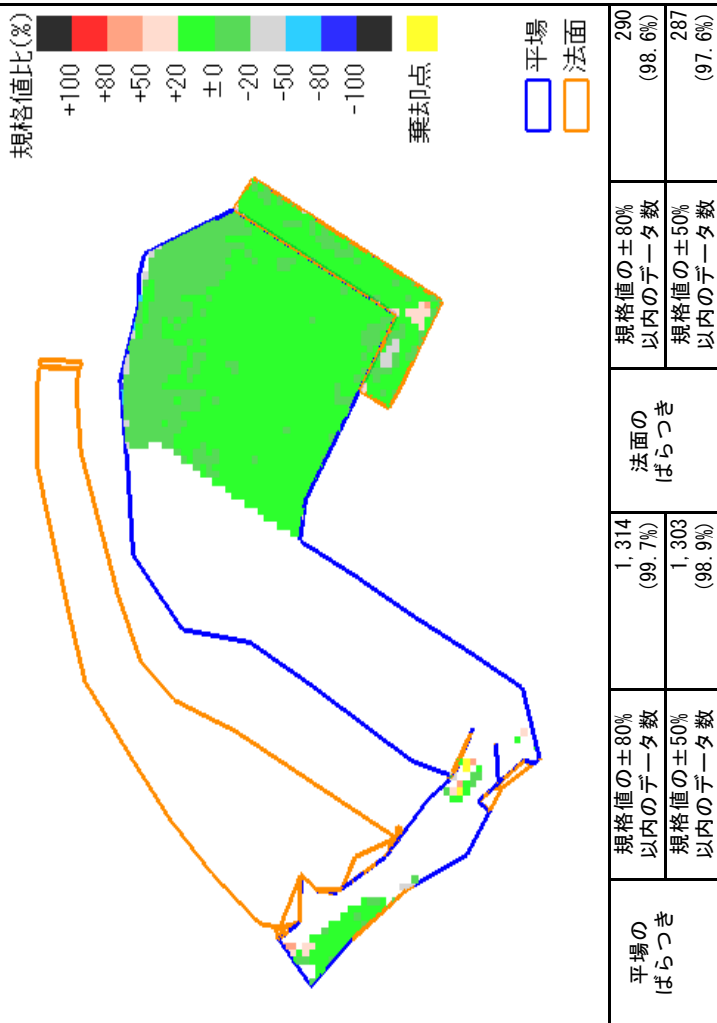


天端の ばらつき	1,219 (98.9%)	規格値の±80% 以内のデータ数	970 (99.0%)
法面の ばらつき	1,197 (97.2%)	規格値の±50% 以内のデータ数	939 (95.8%)

出来形合否判定総括表

工種	道路土工	測点
種別	掘削工	合否判定結果 異常値無

測定項目		規格値	判定
平場 標高較差	平均値	-1.7mm	
	最大値(差)	144mm	
	最小値(差)	-150mm	
	データ数	1,318	
	評価面積	1,251m ²	
	棄却点数	3	
法面 標高較差	平均値	1.0mm	
	最大値(差)	135mm	
	最小値(差)	-159mm	
	データ数	294	
	評価面積	235m ²	
	棄却点数	0	



平場の ばらつき	1,314 (99.7%)	規格値の±80% 以内のデータ数	290 (98.6%)
法面の ばらつき	1,303 (98.9%)	規格値の±50% 以内のデータ数	287 (97.6%)

出来形合否判定総括表

工種	道路土工	測点
種別	路体盛土工	合否判定結果 異常値無

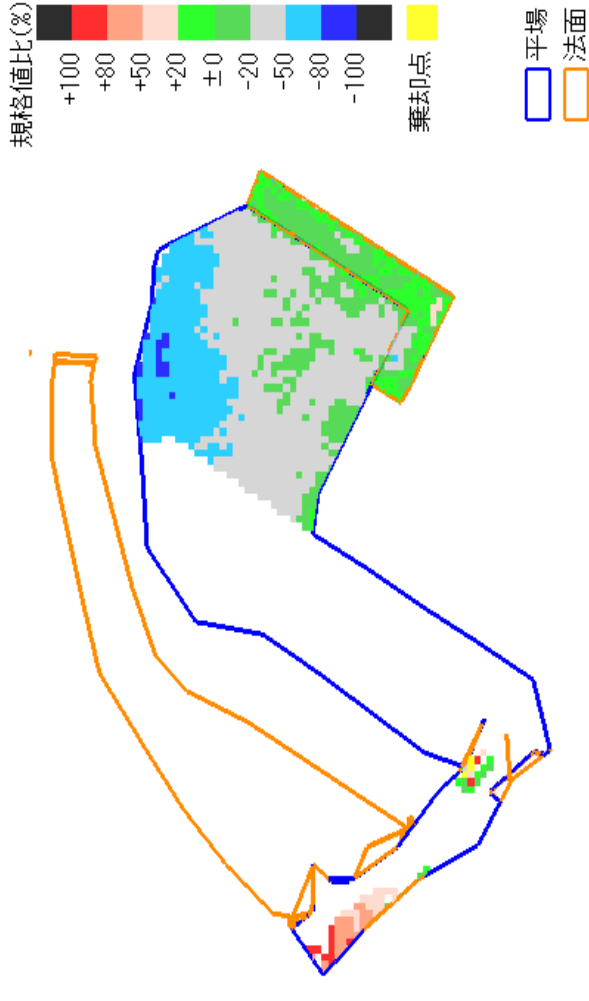
測定項目		規格値	判定
天端 標高較差	平均値	-4.1mm	
	最大値(差)	140mm	
	最小値(差)	-149mm	
	データ数	1,282	
	評価面積	1,225m ²	
	棄却点数	3	
法面 標高較差	平均値	-29.5mm	
	最大値(差)	148mm	
	最小値(差)	-190mm	
	データ数	1,009	
	評価面積	913m ²	
	棄却点数	3	



出来形合否判定総括表

工種	道路土工	測点
種別	掘削工	合否判定結果 異常値無

測定項目		規格値	判定
平場 標高較差	平均値	-47.8mm	
	最大値(差)	150mm	±50mm
	最小値(差)	-145mm	±150mm
	データ数	1,287	±150mm
	評価面積	1,235m ²	1点/m ² 以上 (1,236点以上)
	棄却点数	3	0.3%未満 (3点以下)
	平均値	-8.0mm	±70mm
	最大値(差)	131mm	±160mm
	最小値(差)	-153mm	±160mm
	データ数	304	1点/m ² 以上 (239点以上)
法面 標高較差	評価面積	238m ²	
	棄却点数	0	0.3%未満 (0点以下)
	平場の ばらつき	1,254 (97.4%)	規格値の±80% 以内のデータ数
	法面の ばらつき	928 (72.1%)	規格値の±50% 以内のデータ数
		300 (98.7%)	規格値の±80% 以内のデータ数
		292 (96.1%)	規格値の±50% 以内のデータ数



出来形合否判定総括表

工種	道路土工	測点
種別	路体盛土工	合否判定結果
		異常値無

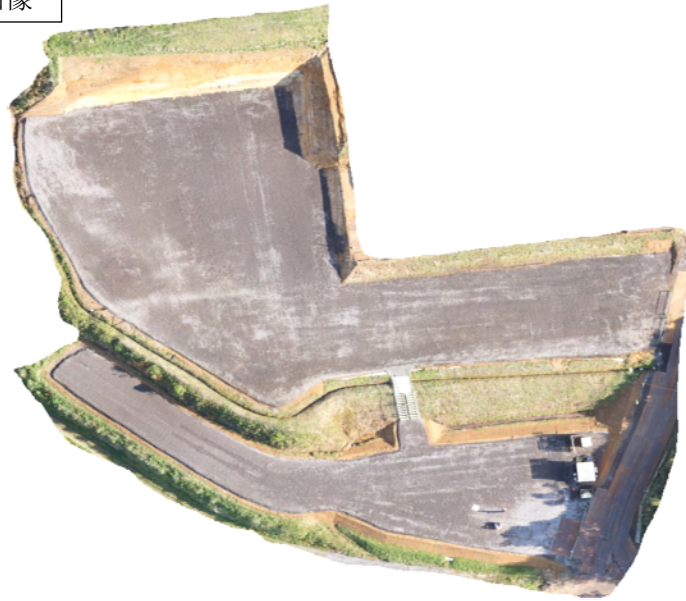
測定項目		規格値	判定
天端 標高較差	平均値	-37.9mm	
	最大値(差)	145mm	
	最小値(差)	-150mm	
	データ数	1,272	
	評価面積	1,214m ²	
	棄却点数	3	
法面 標高較差	平均値	-38.1mm	
	最大値(差)	190mm	
	最小値(差)	-190mm	
	データ数	1,017	
	評価面積	924m ²	
	棄却点数	3	

天端の ばらつき	規格値の±80% 以内のデータ数	1,243 (97.7%)	法面の ばらつき	規格値の±80% 以内のデータ数	953 (93.7%)
	規格値の±50% 以内のデータ数	994 (78.1%)		規格値の±50% 以内のデータ数	809 (79.5%)

計測方法比較

L S 出来形計測と U A V 出来形計測 (U A V ①-case1) での比較

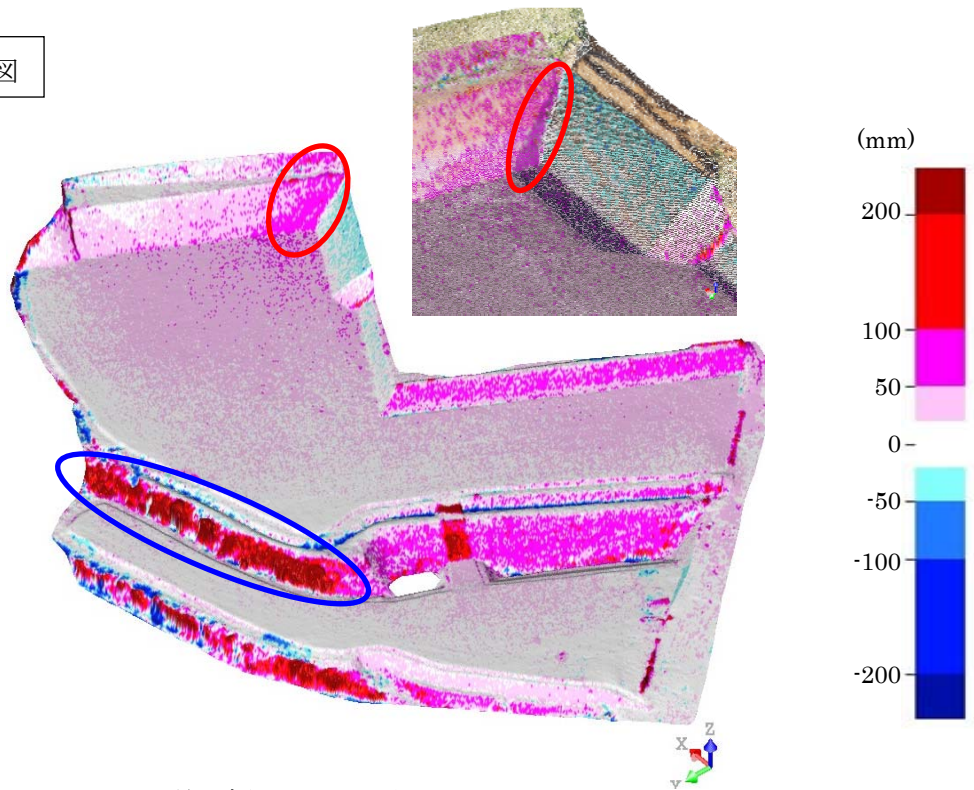
オルソ画像



拡大図

撮影写真の日陰が影響か？

比較図



【考察】

- 整地・法面整形部においては、差が概ね±5cmに収まっていた。
- 赤丸部は+10cmの差があり、撮影写真の日陰が原因か。
- 青丸部は+20cmの差があり、植生が原因と考えられる。
- 日陰や傾斜、構造物がある箇所では誤差が確認できた。

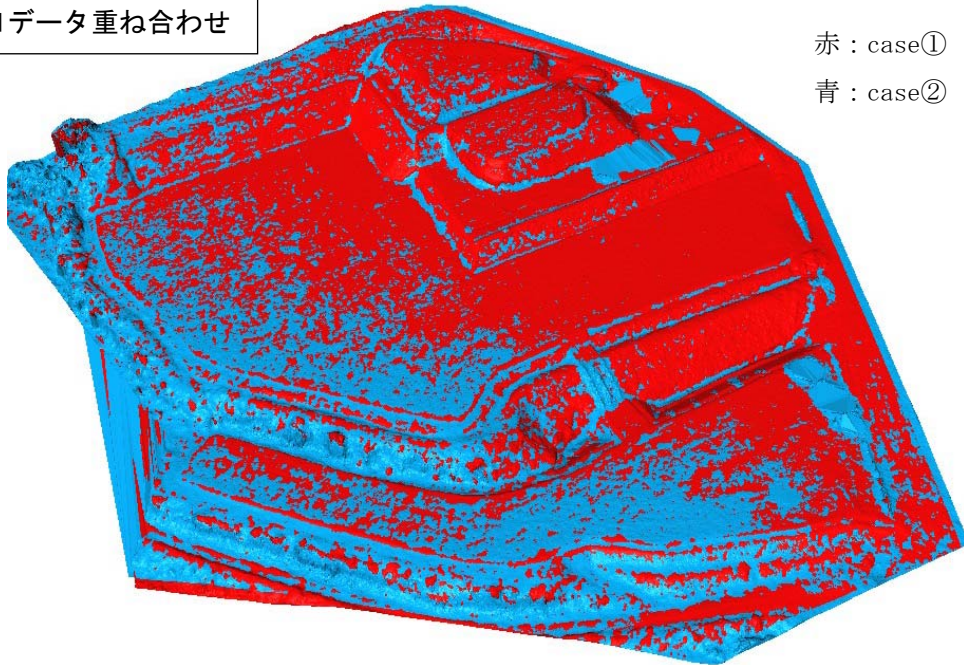
UAV作業規定による3次元出来形測量の実践と作業規定の緩和の可能性把握

① 作業規定の緩和：撮影高度（要求精度：0.05m）

case①：高度 40m 地上解像度 0.01m以下 ラップ率 90%・60%

case②：高度 80m 地上解像度 0.02m以下 ラップ率 90%・60%での比較

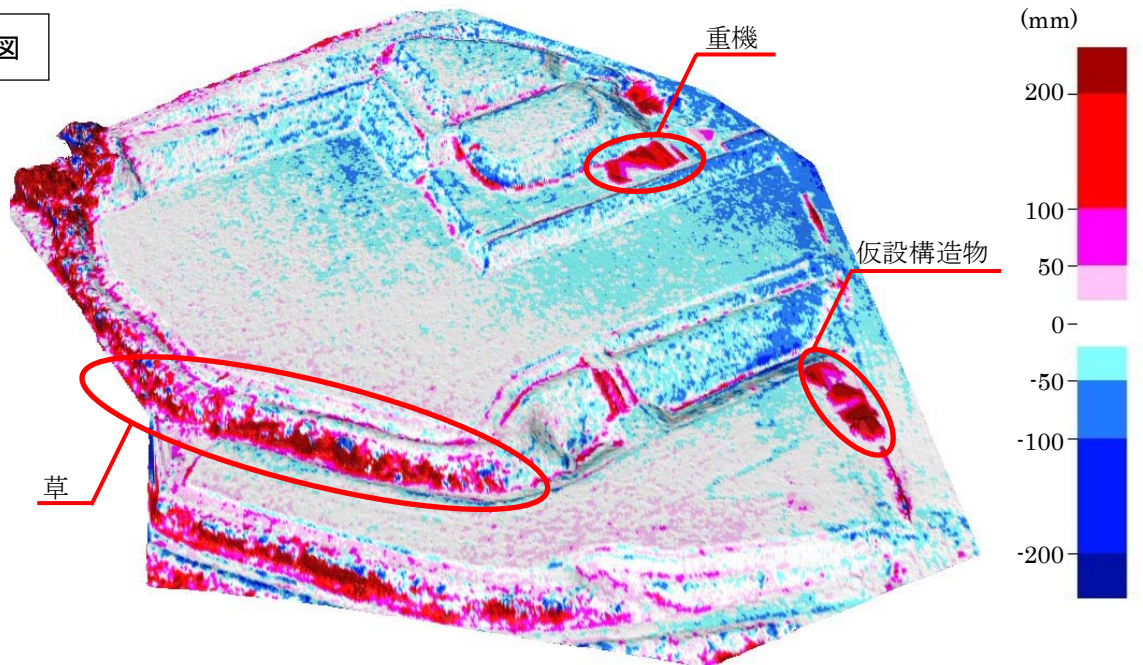
TINデータ重ね合わせ



赤：case①

青：case②

比較図



【考察】

○概ね 5~10cm の誤差となった。

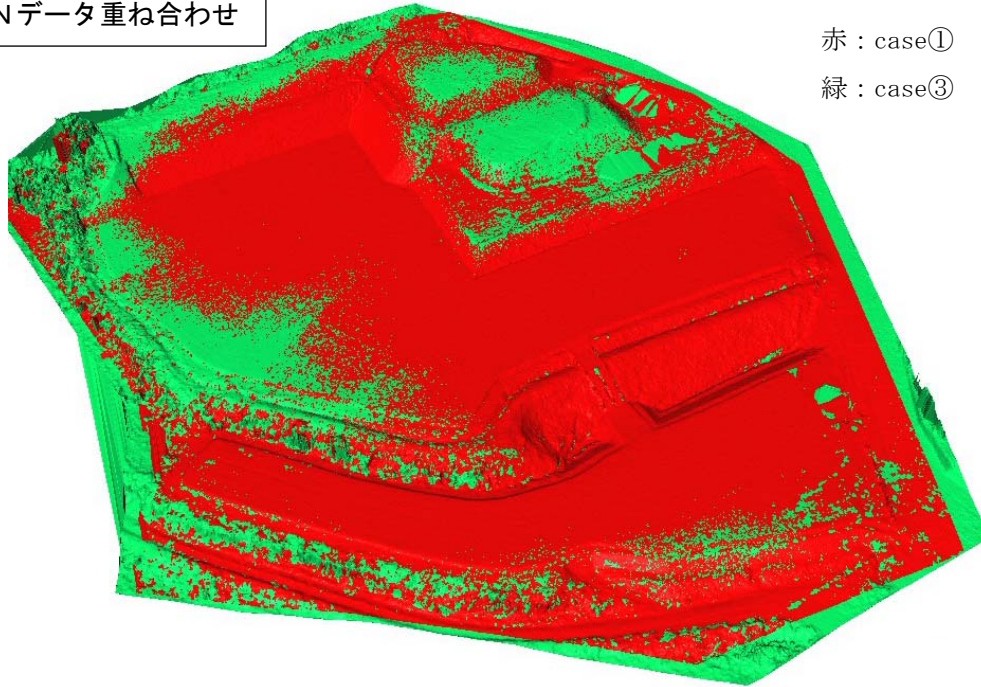
○一部で+10~20cm の誤差が見られ、植生や仮設構造物、重機などによる影響と考えられる。

②作業規定の緩和：撮影ラップ率(要求精度)

case①：高度 40m 要求精度 0.05m ラップ率 90%・60%

case③：高度 40m 要求精度 0.05m ラップ率 70%・40%での比較

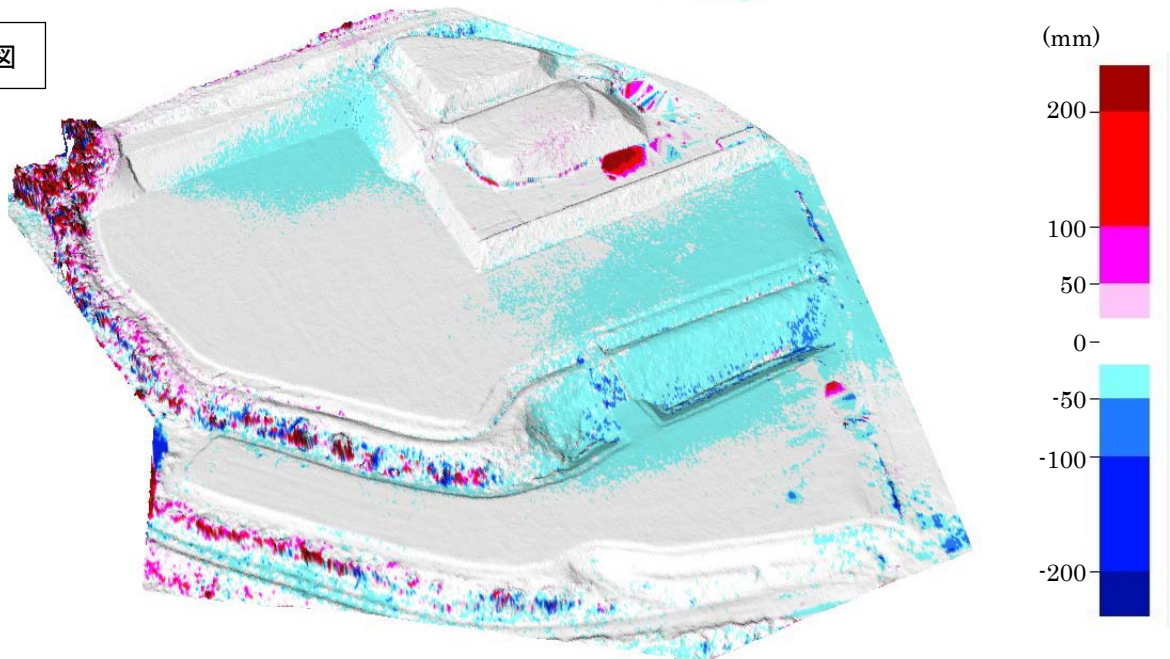
T I Nデータ重ね合わせ



赤：case①

緑：case③

比較図



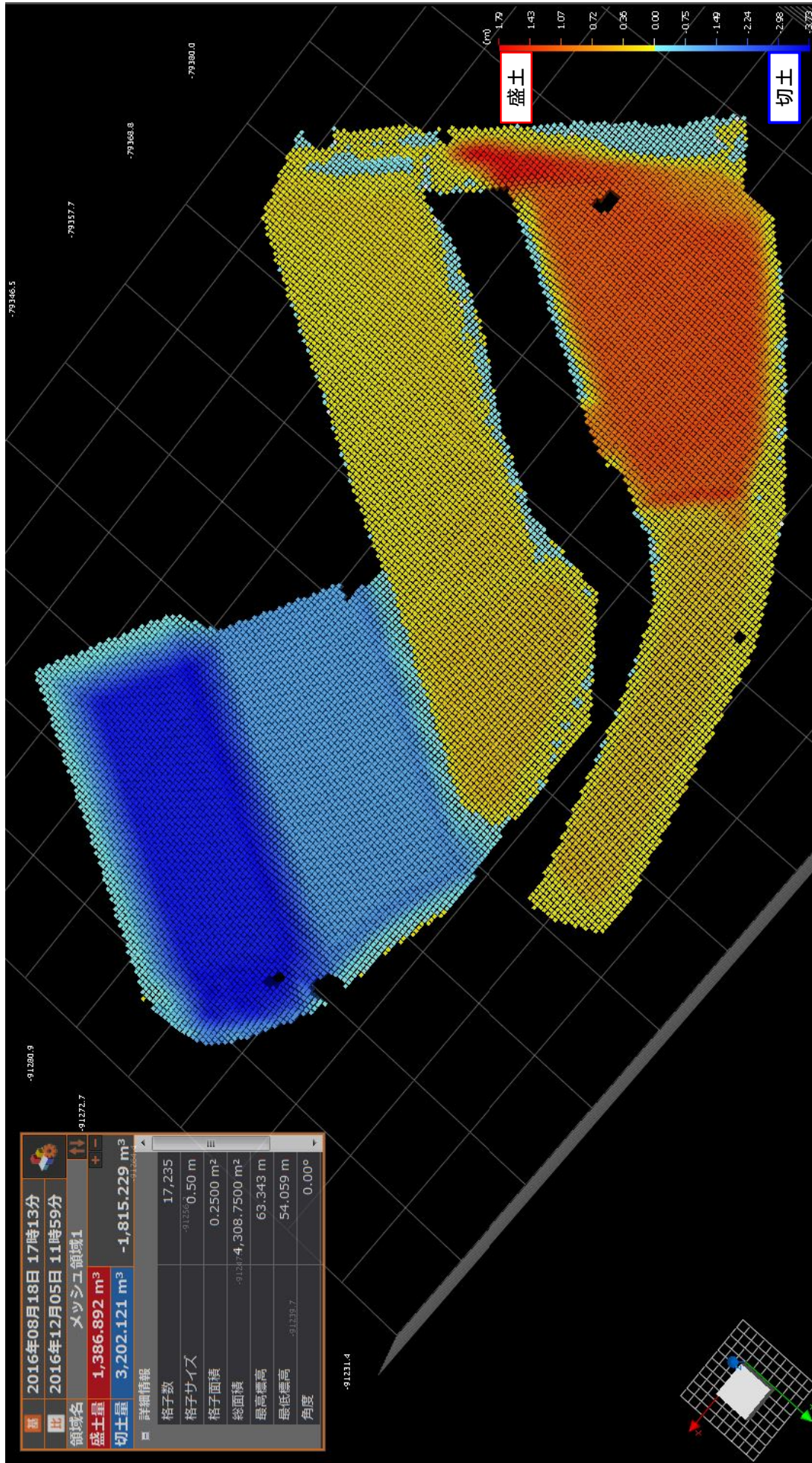
※case B-②-1 を基準面とした。

【考察】

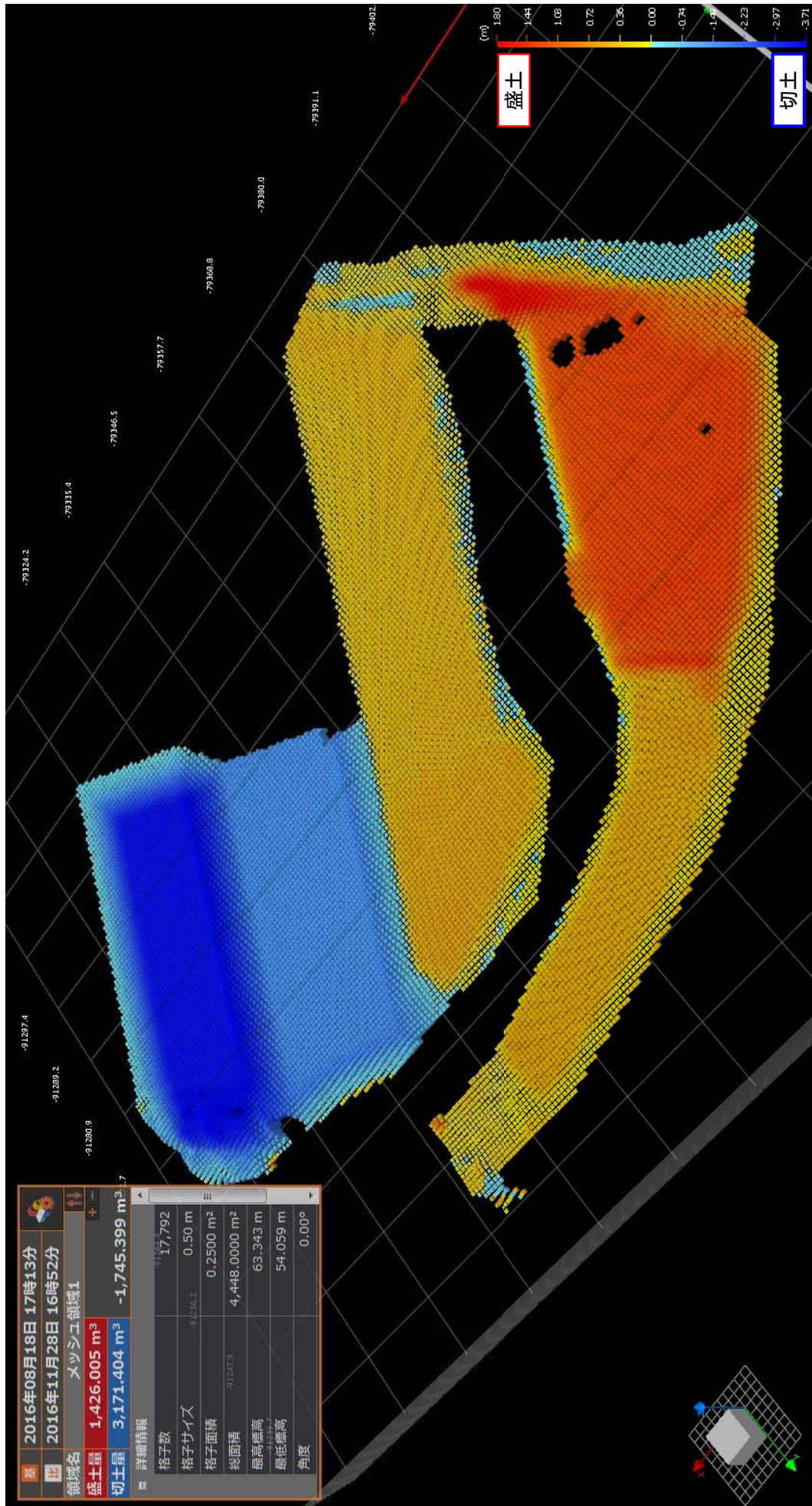
○概ね 0～5cm の誤差となった。

○誤差が偏った箇所にあることから、検証点の配点によるものと考えられる。

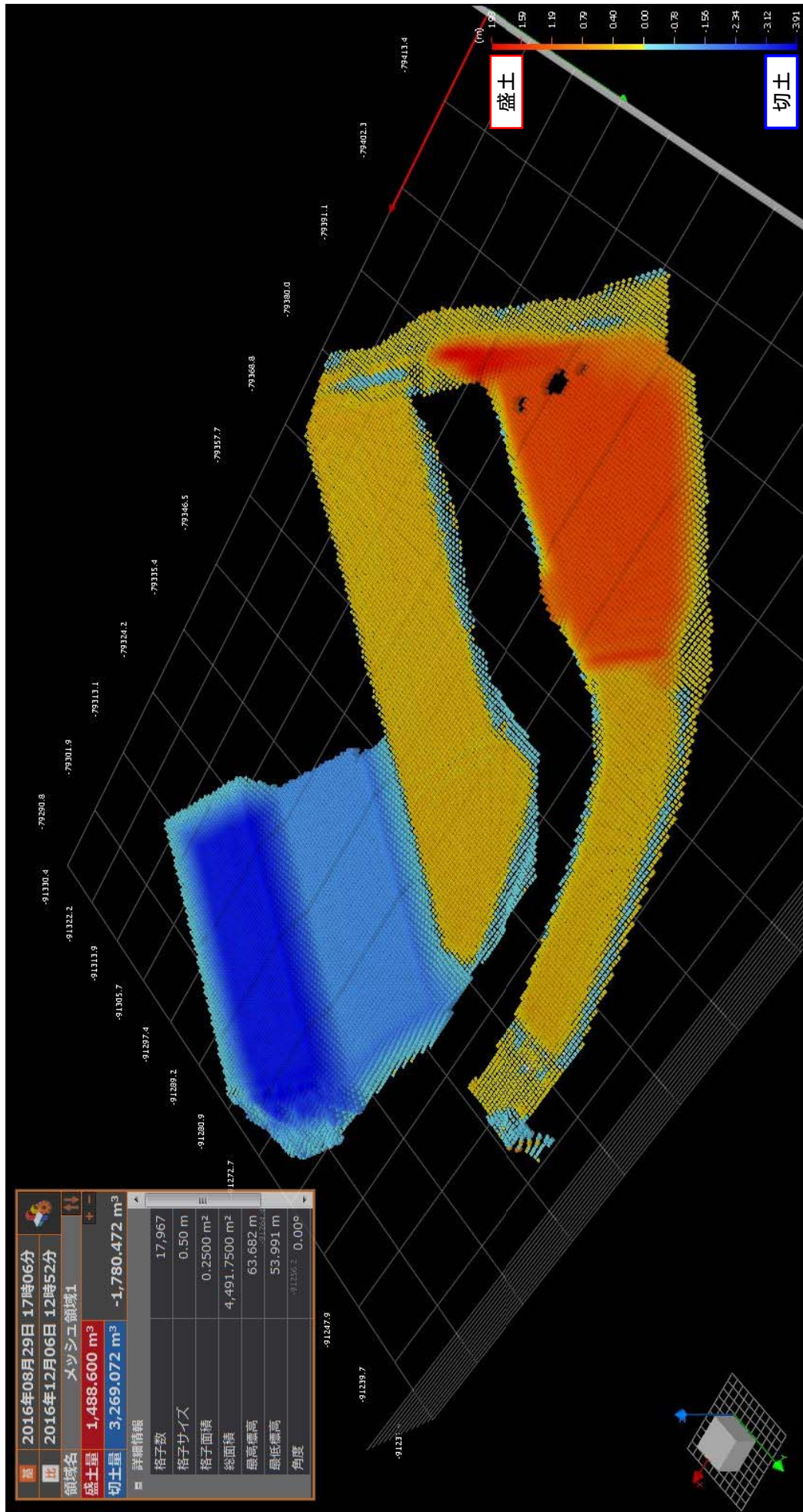
出来形数量の算出 — LS (起工測量と出来形測量より)



出来形数量の算出 — UAV① (起工測量と出来形測量より)



出来形数量の算出 — UAV② (起工測量と出来形測量より)



2) メリット

- ・LS 計測と UAV 計測の実施結果より、出来形合否判定結果が相違することなく、両者とも出来形計測に有効な手法であること、さらに従来の手法に比べ現場作業が省力化されるものである。
- ・出来形合否判定機能を有する解析ソフトによる自動判定の結果、対象範囲全体を工種別に判定結果を出力するため、出来形管理資料の削減や、視覚的判断が容易となる。
- ・解析ソフトによって施工前の 3 次元地形データと 3 次元出来形データを重ね合わせるによる 3 次元土量算出が可能であり、土量計算書等の資料の削減が図られる。
- ・LS 計測は計測実施自体が天候等の左右されやすい UAV に比べ、計画的な現地計測が可能である。
- ・LS 計測は日陰や植生等に影響を受けやすい UAV に比べ、取得精度が高く、信頼性・確実性が高いものである。

3) 課題

- ・施工中の設計変更に伴う 3 次元設計データの修正作業が必要であるものの、現場合せ等での設計変更を必要としない細部修正箇所に対する ICT 活用土工としての適用範囲の判断が求められる。
- ・出来形合否判定が計測・解析後に把握されるものであり、現場で確認できない不安さがある。
- ・出来形管理図（ヒートマップ）に基づく合否判定手法に対する妥当性判断や理解度に課題がある。
- ・出来形の良否判定が可能な出来形分布図を出力する機能を有した解析ソフトが必須である。
- ・LS 計測は、信頼性・確実性が高い反面、設備費が高騰となる。
- ・天候不良及び天候変化が生じやすい冬期での UAV 計測は、現地調査の実効性や、取得画像からの解析に課題を有する。

3. ICT活用土工の推進に向けて

1) 参加企業からの意見

以下の内容について、参加企業からの意見について次頁に整理する。

取組前の感想

取組後の感想

取組による良かったこと

今後の課題・問題点

ICT活用土工の推進に向けて

	測量(起工測量・出来形測量)	設計	施工
取組前の感想	<ul style="list-style-type: none"> ○ICT施工としてUAV測量を行う事への不安があった。 ○UAVによる空中写真測量の実施や飛行させるための要領・基準を熟知不足であった。 ○UAV飛行実績時間が十分でなかったため、精度確保に不安があった。 ○要領に沿った内容(精度・提出物・標定点検証点配点)ができるか不安だった。 ○中程度の性能のUAVを用いて空中測量できるか不安があった。 ○標高差が5m程度ある地形だったため、飛行ルート設定などが不安だった。 	<ul style="list-style-type: none"> ○3次元設計は、初めての試みで、設計データの完成形がイメージできず出来上がるか不安だった。 ○いくつかの3次元設計CADソフトを有していたが、どれが適しているか不安であった。 	<ul style="list-style-type: none"> ○技術員(21歳):技術員をしているため、ほとんど重機に乗る機会がありません。ブルドーザに初めて乗る事になりました。 ○作業員(35歳):普段は作業員として、仕事を行っています。たまにバックホウを動かす程度なので、整形など出来ないのでは不安・・・ ○熟練運転手(63歳):最初は設定や、モニター操作も面倒で“こんなもの”と思っていた。
取組後の感想	<ul style="list-style-type: none"> ○現地作業について、実際UAV測量を実施してみると、スムーズに行えたと思う。(標定点設置等の事前作業は別として) ○天候に左右されやすく、大型機でないと安定した飛行・空撮が難しい。 ○3次元化の処理に時間を要する(当社ではまだ実績が少ないため) ○写真の枚数が多いのではないかと、工夫の必要があると思われる。 ○機械が繊細すぎて、故障しやすい(雨、落下等) ○何度かやって、内容が把握できた。 ○UAVは短時間な飛行撮影で終わるが、標定点検証点の観測に時間を要する。 ○LSの計測結果は正確ではあるがUAVと比較すると計測に時間が掛かる。 ○UAV測量は初めてだったが、安全管理や安全運行のためのチェックリストなど慣れない作業はあったが、UAVの飛行自体は問題なく行えた。 ○標高の低い地点を基準に飛行高を設定したため、標高の高いところではラップ率など下がってしまったところがでしまい、飛行ルート設定の難しさを感じた。 	<ul style="list-style-type: none"> ○3次元設計は通常設計よりも手間がかかることを実感した。 ○3次元設計では3次元地形データから設計コントロールポイントをジャストポイントで特定することが困難であることが把握できた。 ○実動で使用するにより3次元設計CADの特徴把握ができた。 ○3次元地形データがあることにより、地形起伏に応じた設計データが必要となることが把握できた。 ○取付部や端部での設計データ生成に予想以上の設計断面を必要とした。 	<ul style="list-style-type: none"> ○技術員(21歳):前進、後進の操作だけで、ブルドーザのブレードが自動で動き簡単に整地できました。丁張り掛けしなくても現場ができ上がった。 ○作業員(35歳):運転アシスト機能で経験の浅い私でも、熟練運転手同等の精度で整地、整形をすることができた。運転に自信が持てた。(でもICT建機だからなあ・・・) ○熟練運転手(63歳):慣れると“これは良い”に考えが変わりました。アシスト機能で掘り過ぎを気にせず、思いっきり作業ができた。すごい時代が来た！！
取組による良かったこと	<ul style="list-style-type: none"> ○現場作業の時間短縮は、通常の地上作業より格段に短くできる。 ○気象条件等が良ければ、十分日数短縮等効果は期待できる。 ○UAVによる計測は、短時間で3次元データを取得でき効率良かった。 ○3次元データで扱うのでそれからの凶化が省け、効率良い。 ○現場公開などがマスコミにも取り上げられ、高校生や行政などに取り組みを知ってもらうことができた。 ○UAV測量のためのフィールドを提供して頂けた。 ○UAVやレーザースキャナが通常設計業務での適用性や有効性を確認できた。 ○ICT施工の実務としての流れが経験できて良かった。 ○操縦者の習熟度を向上させることで、作業効率が飛躍的に上がる確証を得た。 ○点群データと共にオルソ画像も生成出来るため関係者に見せやすい。 ○複数の会社がUAVやレーザースキャナで同じ場所での計測したため比較が可能であった。 ○初めての試みであり、若手も含め参画したメンバーの良い勉強の機会となった。(旬なiconに触れる機会の提供) 	<ul style="list-style-type: none"> ○3次元設計モデルが完成すればその後の数量計算等の作業が簡略化される。 ○3次元設計により設計内容を視覚的に照査することができる。 ○CIMへの取り組み(本格的な3次元設計)に向け3次元設計に携わることができ有益であった。 	<ul style="list-style-type: none"> ○丁張り掛け等の手間が少なくなるので、工事全体の管理に尽力できる。 ○アシスト機能で施工精度、施工速度の向上につながった。 ○ある程度の操作が出来る運転手は、熟練運転手同等の仕上がりが期待できる。(バックホウ、ブルドーザ) ○丁張り掛けのミスや施工中に丁張りが動いてやり直しなどの心配がなく安心して施工ができる。 ○重機周りの補助作業員を削減できるので、安全性向上、労務費低減が可能。 ○設計面より過掘をしないため、安心して作業できる。 ○アシスト機能ON、OFFがボタン一つで切り換えできるので用途に合わせた使用が可能。 ○インターネット上で施工の進捗率や、重機がどこで作業しているかを確認できるため、管理上便利。 ○ブルドーザの操作はオートモードにセットすると、排土板が自動で動くため、土を運ぶことだけ考えればいいので、周りを見る余裕もでき、補助作業員もいらぬため、安全かつ、誰でも簡単に整地できる。 ○無駄な動きを抑制できるので、CO2の削減が期待できる。
今後の課題や問題点	<ul style="list-style-type: none"> ○天候に大きく左右されるため工程がずれる場合がある。地形による影等によっても不具合が生じ、環境に左右されやすい。 ○UAVは施工範囲境界ギリギリのデータが伐開、除草状況により不鮮明となる。範囲外に設置した標定も写りづらい場合がある。 ○現地作業が短縮した分、内作業が増加した。また、データが大量にあるため処理を行う時間が使用するパソコンの能力に大きく左右される。 ○写真画像の点群処理においては「解析ソフトの解析精度」と「測量で求められる要求精度」の関係がブラックボックスであるため、今後も精度検証をしていく必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ○施工段階における設計変更や現場対応に対する柔軟なデータ作成に課題がある。 ○ICT建機とのデータの互換性など、要領・基準等では網羅されないブラックボックスがあることも把握された。 	<ul style="list-style-type: none"> ○ICT建設機械の設定や操作に慣れるまで時間がかかる。 ○起動操作を含め、従来の建設機械よりも起動に時間がかかる。 ○擦り付け部分などアシスト操作では整形できない部分が生じるため熟練の技術が必要となる。 ○軟弱地盤でバックホウを使用した施工を行うには、機械足場の確保や、建機を水平に保つために、熟練の技術を要する。 ○キャリブレーション(起動操作)を確実に行わないと誤差が生じる。 ○機械任せのため入力ミス等があった場合間違っただま作り上げてしまう。 ○バケットの破損したまま施工すると誤差を持ったまま施工することになる。
ICT推進に向けて	<ul style="list-style-type: none"> ○建機メーカーで一連の流れで作業が行えるのに対し、測量会社として何が出来るか、ICT建機が必須なので、建機メーカーの主導になり不安が残る。 ○標定点・検証点観測、ラップ率の基準・要領の緩和 ○ICT活用の推進のため、もしばらく試験フィールドの提供を望む。(季節ごとの飛行条件等の実績検証による、精度確保、機械性能確認、操縦技術の向上) ○測量に関しては、確実に生産性が向上すると思われ、普及していくことを望む。 ○起工測量や出来形測量が独立して発注されるのであれば、地域の測量会社等の取組みも加速し、参加機会も増加する。 ○経験を重ねることで、地元測量会社でも十分対応可能。 	<ul style="list-style-type: none"> ○現時点で3次元設計に対応しているソフトは道路、堤防の工種に限定される。 ○ICT土工を適用できる現場条件が限定的である。(標準断面発注工事や単純断面、直線線形な条件) ○ICT建機にデータを渡すための確実な共通フォーマットの統一など。 ○3D設計は人的資源の課題や専用ソフトが高価であるなど、現時点で敷居が高い。小規模企業への補助制度の充実も必要ではないか。 	<ul style="list-style-type: none"> ○現時点で建機を確保できない。(在庫が薄い) ○建機のリース価格が高い。 ○アシスト機能で施工行う場合、熟練の技術が身につかない。 ○ICT建機が故障したときの代替え、修理の対応は従来建機のようにはいかない。 ○現時点では建機メーカーに頼らないと、データ取り込みや施工ができない。

ICT技術(UAV・LS)の活用①

「秋田県ICT活用土工実証検討会」

【ICT活用土工における適用(UAV撮影・LS計測)】

※平成28年度取組を踏まえて作成したものである。

項目		UAV撮影	LS計測
技術概要	特徴メリット	安全に広範囲を早く撮影できる。 撮影した画像から点群データを生成する。	精度の高い3次元点群データを計測できる。
	設備費用(参考事例値)	300万円程度～	1,200万円程度
	計測最少人数※安全管理等を除く人数	2名	2名

ICT技術の適用に向けた課題

適用条件	○気象条件 <ul style="list-style-type: none"> ・降雨、降雪時 ・強風、突風時 	作業工程が延滞、機体故障	問題無し ※従来の現場測量の条件下と同様である。
	○飛行許可申請条件 <ul style="list-style-type: none"> ・飛行許可が困難な場合 ・申請手続きに時間を要する場合 	飛行不可、作業工程が延滞	問題無し
	○通信条件 <ul style="list-style-type: none"> ・携帯電話が受信できない場所 ・鉄塔等による妨害電波のある場合 	自動飛行が不可 ※自動飛行プログラミングはネット環境下での対応である。	問題無し ※一部基準点測量時に支障あり。
	○地形等条件 <ul style="list-style-type: none"> ・樹木等による影が生じやすい場所 ・植生が繁茂している場所 ・高低差が著しい傾斜部が多い地形 	データ欠損、対象物の精度低下	問題無し ※計測手法での工夫が必要である。
	○積雪条件 <ul style="list-style-type: none"> ・対象物が積雪によって表面に出していない。 	対象物(土工等)が撮影不可 ※積雪を撮影し、解析困難となる。	対象物(土工等)が測定不可 ※積雪を計測する。
	○要求精度条件	精度確保に信頼性が低い ※誤差要因が不明な部分もあり、事前に誤差を解消できない場合もある。 ※ただし、検証点精度等は問題無し。	問題無し ※対象物を直接計測するため、高精度の点群データを入手できる。

ICT技術(UAV・LS)の活用②

「秋田県ICT活用土工実証検討会」

ICT技術のメリット:安全で迅速に3次元地形データを取得・生成(横断面作成、数量規模算定)
地形が目視できる画像の取得(広報・説明資料、画像データ備蓄)

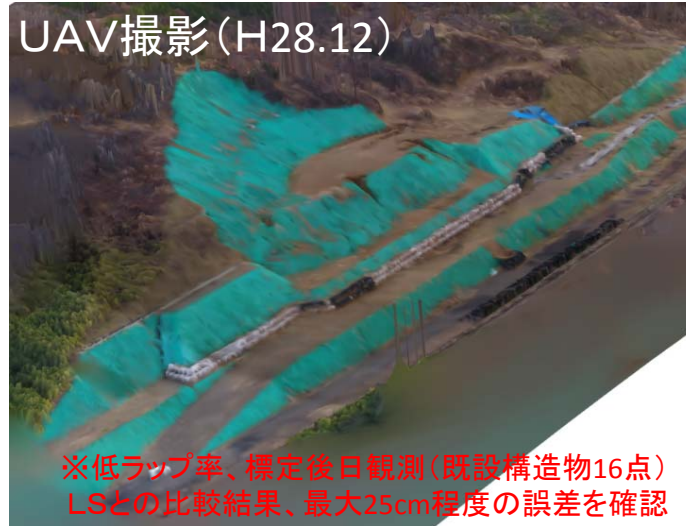
【災害調査における活用】

道路法面の崩壊現場



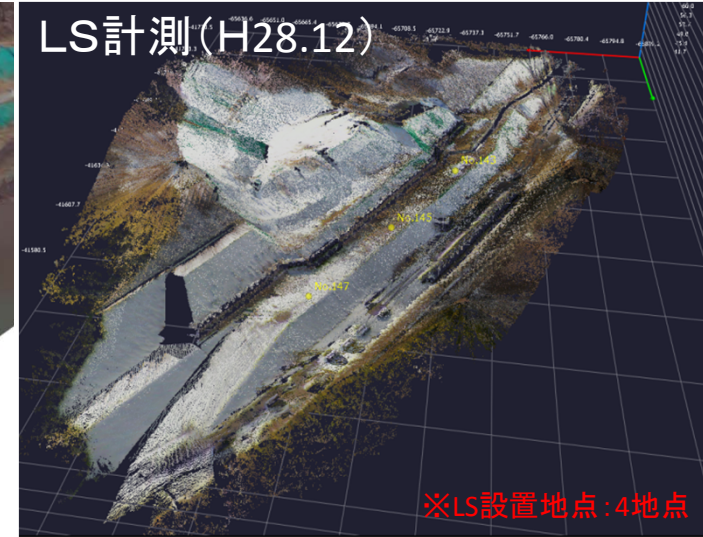
→ ICT技術の活用(UAV撮影、LS計測)

UAV撮影(H28.12)



※低ラップ率、標定後目視測(既設構造物16点)
LSとの比較結果、最大25cm程度の誤差を確認

LS計測(H28.12)



※LS設置地点:4地点

堤防決壊等の緊急復旧が必要な現場ではより効果を発揮

.....面的に3次元データの取得、画像取得



子吉川(石沢川合流部)
H23.6.24発生災害
被災状況確認の様子



子吉川(石沢川合流部)
H23.6.24発生災害
仮復旧作業の様子

雪崩れ災害への適用
LS計測は、積雪時工事現場においてで排雪が必要である。一方で、積雪を計測できることから雪崩れ災害等における雪崩れ規模の算定が可能となる。

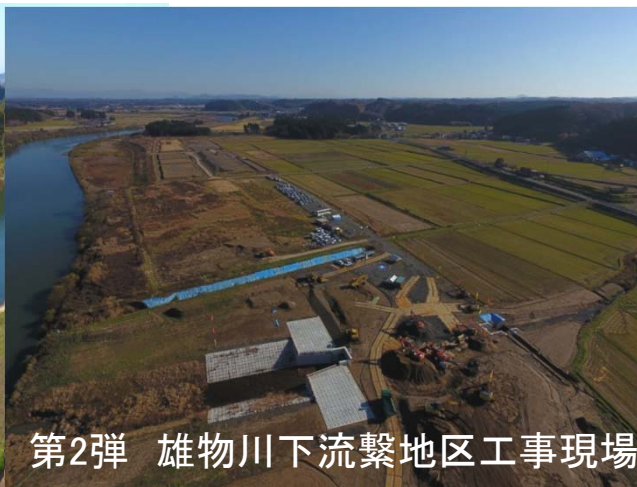
ICT技術(UAV・LS)の活用③

「秋田県ICT活用土工実証検討会」

【工事管理】 工事の進捗を視覚的に管理するため、工事期間中における**定点・定期撮影**



第2弾 雄物川下流繋地区工事現場



第2弾 雄物川下流繋地区工事現場



第1弾 遊佐象湯道路工事現場

【広報活動】

UAVから撮影された画像は、各種広報資料として活用される。
ICT技術の紹介を通じた将来の担い手に対する広報活動



撮影を体験



実機を見ながら説明を聞く

マスコミ



UAVによる記念撮影