

ICT 土工全面活用による高効率で確実な造成工事に関する報告 (ひょうご小野産業団地造成工事)

Report on highly efficient and reliable land preparation work
by fully utilizing ICT earthwork
(Land preparation work for Hyogo Ono Industrial Complex)

高橋 貢 治^{*1}
Kouji Takahashi

足立 定 志^{*1}
Sadashi Adachi

繁 森 秀 樹^{*1}
Hideki Shigemori

伊 東 和 久^{*1}
Kazuhisa Itou

松 元 和 伸^{*2}
Kazunobu Matsumoto

勝 部 峻 太 郎^{*2}
Shuntarou Katsube

鈴 木 亮 汰^{*2}
Ryouta Suzuki

中 山 佳 久^{*3}
Yoshihisa Nakayama

中 村 貴 大^{*4}
Takahiro Nakamura

田 中 雅 也^{*5}
Masaya Tanaka

池 本 裕 史^{*6}
Hiroshi Ikemoto

【要旨】

本報告は、ひょうご小野産業団地の造成工事において、国土交通省の ICT 土工活用工事に求められている 5 項目^り(3 次元起工測量, 3 次元設計データ作成, ICT 建設機械による施工, 3 次元出来形管理等の施工管理, 3 次元データの納品) へ対応した事例を紹介するものである。

本工事は、開発区域内で切盛土量を均衡させて場外搬出を行わない計画であった。そのため、工事着手時に正確な土量を把握して完成形を設定し、施工進捗毎の出来高(切土量, 盛土量)が計画通りであることを確認しつつ、変化が生じた場合には完成形状の変更協議を速やかに行う必要があった。

そこで、ドローンによる土量管理を日々実施し、施工済み範囲の切土量と盛土量から土量変化率を求め、未施工範囲の施工量を正確に把握することで、完成形状を常に確認できる体制とした。さらに、施工段階毎の出来形検査に迅速に対応するために、狭小領域対応可能な UAV 出来形計測を検証・適用した結果について報告する。

【キーワード】 i-construction ICT 土工 ドローン 3次元出来形管理 小型ドローンによる出来形管理

1. はじめに

国土交通省では、建設現場の生産性向上を実現する i-Construction のトップランナー施策として、ICT 技術の活用による ICT 土工が推進されている。しかしながら、測量から設計、施工、維持管理での活用に至るまで、全面的に ICT 技術を活用するには、解決しなければならない課題が散見される。本報告では、大規模土工における ICT 土工を施工者希望で実施し、ICT 土工で求められる 5 項目を達成した事例を紹介する。併せて UAV による狭小領域の出来形計測の精度向上について報告する。



2. 工事概要

本工事は、兵庫県小野市に企業立地の促進や雇用の創出など地域創生を推進する観点から、県内の産業団地の状況も踏まえ兵庫県企業庁と小野市の共同で新たな産業団地を整備する工事(図-1)である。

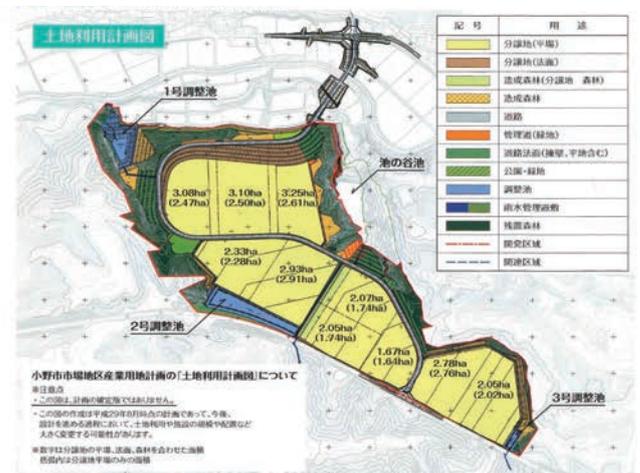


図-1 ひょうご小野産業団地の造成計画

1. 大阪支店 ひょうご小野造成作業所 2. 技術研究所 研究開発 G 第一研究室 3. 土木事業本部 土木 DX 推進部 ICTG
4. 福井建設株式会社 5. 株式会社吉田組 6. 関西建設工業株式会社

工事諸元は、切土：1,191,000m³、盛土：1,076,000m³、開発面積：約40ha、調整池3箇所、大型ブロック積擁壁工492m²、多数アンカー式補強土壁：331m²、工期：2018年10月19日から2021年3月25日、発注者は兵庫県企業庁北播磨・臨海建設事務所、請負者は飛島・吉田・関西・福井特別共同企業体である。

3. ICT 土工の5項目

ICT 活用工事 (ICT 土工) とは、全ての施工プロセス (①3次元起工測量、②3次元設計データ作成、③ICT建設機械による施工、④3次元出来形管理等の施工管理、⑤出来形確認及び検査) において ICT を活用する工事とされている。本工事では、受注時の技術提案において①～③に対して ICT 活用を提案しており、④の3次元出来形管理と⑤の出来形確認及び検査対応が図れれば、ICT 活用工事 (ICT 土工) として完遂できる状況であった。

④の3次元出来形管理において問題となったのは、一般的な平場の土工出来形計測とは違う狭小領域の法面出来形計測時の管理精度確保の方法の確立であった。従来の管理断面での出来形管理ではなく、写真測量 (無人航空機 : UAV) による面管理を実現するために実施した、UAV 測量による精度向上の検討結果については5章に詳述する。

4. ICT 土工の効果

4.1 3次元起工測量

起工測量は写真測量 (UAV) にて行った。写真のラップ率は縦方向80%、横方向60%とし、外部標定点59点、検証点25点、内部標定点11点を設定した (40ha当り)。写真測量は伐採の進捗に合わせて3回に分けて行い、作業期間は延べ8日掛かっているが、従来のTS測量 (20mメッシュ) だと測量に20日 (40ha÷2ha/日) 程度、事前準備とデータ整理に3日程度必要 (40ha当り) となるため、作業期間を約60%削減できている。UAVによる起工測量は、作業期間及び測量費用共に削減効果を期待できることが特徴である。写真画像から点群データを生成し、点群データはTrendPoint (福井コンピュータ) にて3次元設計データとの合成 (図-2) やICT建設機械用データ (LandXML) へ変換した。3次元モデルの詳細度の設定は非常に重要であり、必要以上にレベルを上げると非効率となるため、0.1mメッシュで作成した。

4.2 3次元設計データ作成

3次元設計データ (以下LandXML) は、土工形状のみを表現するサーフェスモデルであり、そのため設計・施工段階で作成された報告書、図面、工事記録等や維持管理段階で作成・更新する点検記録等の属性情報について、3次元データに紐付けする機能を有していない。

LandXMLファイルはソフトウェアに依存しないテキストファイルであるため、測量機器やICT建設機械とのデータ連携はこのファイル形式が標準となっている。

現状、3次元設計データの作成は外注し、作業所では発注者との確認作業を行えば運用できる状況となっているが、隅切り部の収まりなどは、現地をよく知る技術者による確認が不可欠である。3次元設計データ、ドローンデータ、機械データの作成に延べ14日程度掛かっている。修正発生時の対応も外注が基本となっており、作業所職員への3次元CADの教育が喫緊の課題である。

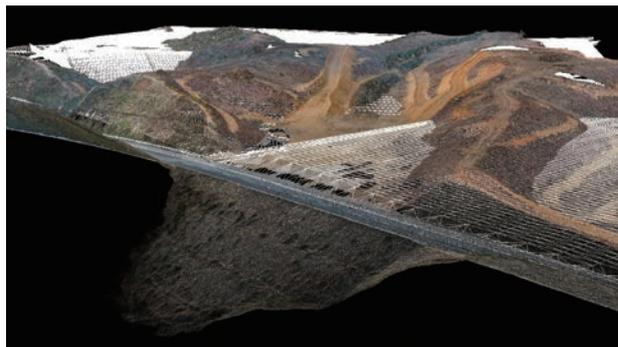


図-2 3次元起工測量 (点群データ) と3次元設計データ

4.3 ICT建設機械による施工

(1) ICTブルドーザ

盛土部の施工には、自動ブレード制御機構を搭載したマシンコントロールブルドーザ (グレードコントロール3Dブルドーザ ; CAT製 写真-1) を採用した。3次元位置の検出方式はVRS方式 (ネットワーク型RTK-GNSS : 国土地理院の電子基準点の測位情報から求められるGNSS補正情報を利用する方式) を検討したが、谷部でのインターネット接続状況が悪く、GNSS方式 (固定基地局を設ける方式) を採用した。敷き均し厚さを管理するトンボ (水平丁張) や写真管理に必要な管理人員を約50%削減 (通常0.4人/日→0.2人/日) でき、熟練工でなくても迅速に敷き均しできるマシンコントロールは、日施工量の増加や盛土品質の向上が図れる技術として期待される。



写真-1 ICTブルドーザ

(2) ICTバックホウ

法肩丁張の設置を不要とした法面掘削を実現するために、ICTバックホウのマシンコントロール機 (以下MC機)

1台、マシンガイドダンス機（以下MG機）1台を導入した。法肩の切り始めをMC機にて丁張レスで行い（写真-2）、その後、MG機にて施工した。法面丁張の設置と管理人員（0.5人/日程度）、掘削勾配を常時確認する補助労務（0.2人/日程度）を削減できており、熟練工でなくとも設計通りの仕上がり精度を確保（図-3）できている。



写真-2 マシンコントロール機による丁張レスでの作業



図-3 ICTバックホウの仕上がり精度を確保する機能

(3) ICT振動ローラ

ICT振動ローラ（写真-3）に、振動輪の加速度応答によって地盤の密度や変形係数を推定する α システム（ α システム研究会）を搭載し、i-Rollerシステム（ジオサーフ）にて転圧回数を面的に管理した。従来の管理方法では、RI計器や砂置換法による現場密度試験やパスカウント（締固め回数管理）やタスクメータ（稼働時間管理）による管理帳票の作成に1人日を要していた。通常、ICT振動ローラの採用によって管理人員を0.2人/日程度に削減できるが、本工事ではRI管理を併用したために、時間短縮が図れなかった。



写真-3 ICT振動ローラによる丁張レスでの施工

(4) ICT建設機械全般

ICT建設機械のうちバックホウは上手く活用できているが、ブルドーザと振動ローラの管理に苦労した。施工上配慮する谷埋め部の縦排水への水切り勾配や、盛土の水切り勾配を、現地状況によって当初計画から変更して設ける必要が生じた場合など、臨機応変の対応が難しい場合があった。また、ICT建設機械の故障時に作業を止めないためには予備機の配置が不可欠であり、交換部品の常時確保など、維持コストを圧迫している。建設機械メーカー、リース会社による支援体制の整備が必要である。

(5) 施工期間中の確認事項

ICT建設機械からの情報のうち、最も利用頻度が高く、施工精度の確保の面から重要な情報は、「設計と作業装置の位置との標高差分値」である。そのため、ICT建設機械の性能として、作業装置の位置（高さ）の取得精度が、 $\pm 50\text{mm}$ （「施工管理基準」で規定される規格値）以下であることを、施工日毎に確認した。確認は3次元座標を持つ現地杭に所定の部位を合わせて行った（写真-4）。



写真-4 基準杭による精度確認状況（バックホウ）

4.3 3次元出来形管理資料の作成

(1) 締固め管理

振動ローラに搭載した α システム（図-4）は、地盤変形係数を取得・評価し、締固め不足範囲を識別して表示する。施工では、試験盛土による締固め度合格最低値（2回転圧時の α 値）を下限值として設定し、締固め回数管理のi-Rollerシステム（写真-5）を併用することで、品質規定と施工規定を兼ねた確実な施工管理を施工面全域で実施しつつ、管理人員を抑制しながら高品質な盛土締固め管理ができることを確認した。

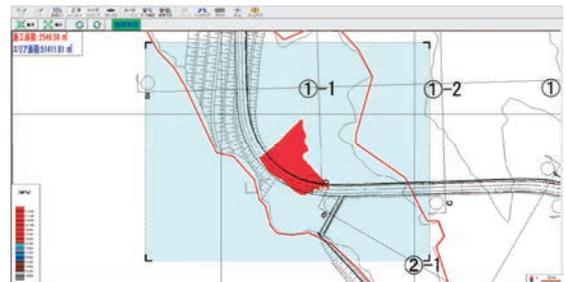


図-4 α システムの管理帳票

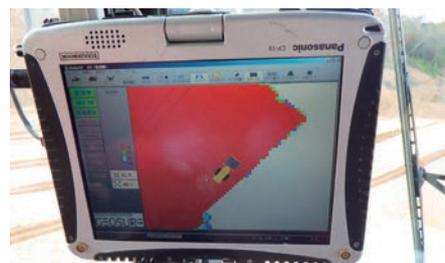


写真-5 i-Rollerシステムの管理画面

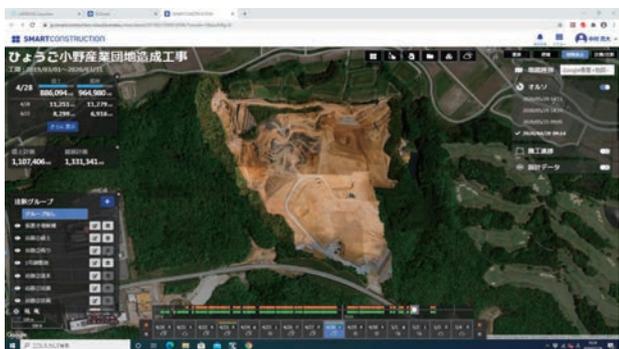
(2) エブリディドローンによる土量管理

土量管理はEverydayDrone（コマツ）にて毎日行い、ドローンでの測量に要する時間は1回60分程度であった。ドローンで撮影した写真データは、MSDカードを介して現場に設置したEdgeBoxに転送（写真－6）し、3D現況測量データが生成される。EdgeBoxを通信環境が整った事務所でインターネット回線に接続すると、3D現況測量データをLANDLOGプラットフォーム上へアップロードし、90分程度で閲覧可能となる（図－5）。前日の測量データと比較することで、施工した切土量・盛土量を確認した。

土量管理を日々実施し、施工済み範囲の切土量と盛土量から土量変化率を想定し、未施工範囲の施工量を正確に把握することで、完成形状を常に確認できる体制とした。これにより、施工期間中の完成形状の変更協議は、施工中間時と竣工時の2回となる。



写真－6 EverydayDrone (EdgeBox) の操作状況



図－5 EverydayDrone の管理画面

4.5 出来形確認及び検査

(1) 出来形確認

宅盤の出来形はICTブルドーザで仕上げ後、UAVによる写真測量（EverydayDrone）にて行い、代表点をTS測量にて確認した。計測差は±100mmであった。なお、EverydayDroneの撮影写真は、法面（特に狭小領域）出来形管理の要求精度を満足できる画素レベルを持っていないため、別途高精度のUAV出来形測量を実施した。

(2) 部分完成検査

書面検査は、①出来形管理に係わる施工計画書の記載内容確認、②設計図書の3次元化に係わる確認、③工事基準点等の測量結果の確認、④3次元設計データチェックシートの確認、⑤TSを用いた出来形管理に係わる精度確認試験結果報告書の確認を行った。

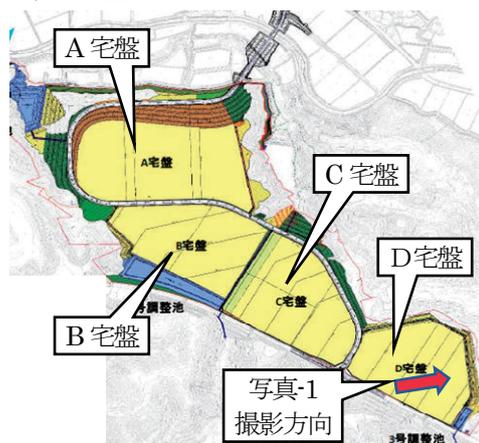
実地検査では任意点での3次元データ検証ができるGPSにて出来形計測を行い、3次元設計データと実測値との標高差が規格値内であることを確認した（写真－7）。検査結果は、管理ソフト（端末）の画面上で確認した。



写真－7 発注者との部分完成検査の実施状況

5. UAV 写真測量による出来形測量

本現場では、図－6に示すC宅盤、D宅盤においてUAV写真測量による出来形測量を実施した。ICT土工については、受注者側で対象領域を提案可能であるため、変形が懸念される盛土主体のA、B宅盤は除外し、切土主体のC、D宅盤を選定した。



図－6 現場造成区分図

5.1 狭小領域でのUAV出来形測量の問題点

D宅盤には、周囲に3～4段の法面・小段があり、各法面・小段の施工後すぐに、緑化（法面保護）のためのシガラ工の施工（写真－8）が必要であった。そのため、細長い狭小領域の法面・小段施工後、すぐにUAV出来形測量を実施し、次段の施工に移る工程であった。そのため、D宅盤の施工完了後、全域のUAV出来形測量を



写真－8 上部法面のシガラ工施工状況

実施するのではなく、施工段階毎に5回の出来形測量を実施する必要性が生じた。UAVによる出来形測量は実施回数が多くなると外注等によるコストが増加し、受注者の負担が大きくなるのが課題となっている。技術面での大きな課題は、測量範囲が狭小で細長いため、国土交通省の出来形管理要領(案)²⁾に具体的な実施方法が示されていないことから、測量精度確保のために独自の方法を検討することとした。

5.2 狭小領域に対する精度確保方法の検討

(1) 一般的な標点の配置方法

UAV測量に必要な標点について、国土交通省のICT活用工事【ICT土工】に係るQ&A(以下Q&A)³⁾には、図-7に示すように、a)外部標定点は100mに1箇所、b)内部標定点は外部標定点を構成される三角網の辺長200m以内に1箇所、c)外部検証点は2つの線分に1箇所(ただし、道路土工の場合は不要)、d)内部検証点は0.04km²に1箇所(道路土工の場合天端、平場200m以内に1箇所)と示されている。D宅盤の最上段の法面・小段は、図-8に示すような細長い形状であり、Q&Aに示される標準的なラップ率では写真枚数が少なく、基準点となる標定点も少ないため、精度確保(検証点におけるトータルステーションでの測量結果とUAV測量結果の差が50mm以内)が困難であると判断し、独自の方法を検討することとした。

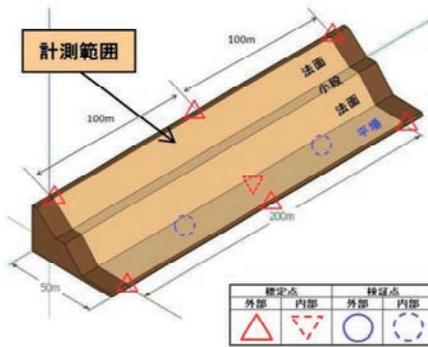


図-7 標定点と検証点の設置例³⁾



図-8 D宅盤の狭小法面

(2) 標定点数と撮影方法の検討

図-9に示すような狭小法面において、a)基準点となる標定点数、b)写真枚数を確保するためのラップ率、c)法面直(斜め)方向写真の条件を変化させ、UAV測量の検証を実施した。検証点における誤差の結果を表-1および表-2に示す。平場の場合は、ラップ率の増加は精

度に大きな影響を与えないが、写真枚数が少なくなる狭小法面においては、ラップ率を上げて写真枚数を増やすほど、標定点数を増やすほど、測定精度は向上することがわかる。さらに、斜め方向の写真を加えることが測量精度の確保に大きな効果を与える(表-2中の赤枠で囲んだ部分)ことを確認した。



(a) 標定点9枚 (X: 標定点 ①, ②: 検証点)



(b) 標定点6枚 (X: 標定点 ①, ②: 検証点)



(c) 標定点4枚 (X: 標定点 ①, ②: 検証点)

図-9 標定点と撮影方法の検証実験

表-1 検証点誤差(斜め写真無し)

標定点 枚数	検証点	ラップ率 縦90%、横60% (写真枚数82枚)			ラップ率 縦80%、横60% (写真枚数49枚)		
		ΔX	ΔY	ΔZ	ΔX	ΔY	ΔZ
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
9枚	①	-41	-56	77	-5	37	119
	②	88	-8	79	82	-5	236
6枚	①	-46	-46	81	-6	62	110
	②	88	-33	77	96	8	209
4枚	①	-65	13	134	40	102	-50
	②	70	6	132	258	-85	-179

表-2 検証点誤差(斜め写真有り)

標定点 枚数	検証点	ラップ率 縦90%、横60% (写真枚数150枚)			ラップ率 縦80%、横60% (写真枚数72枚)		
		ΔX	ΔY	ΔZ	ΔX	ΔY	ΔZ
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
9枚	①	-38	38	26	-35	23	2
	②	15	-17	-24	30	-50	-83
6枚	①	-44	60	30	-39	46	4
	②	19	-3	-31	35	-33	-88
4枚	①	-75	131	47	-56	123	9
	②	4	51	-39	28	35	-96

5.3 UAV測量結果

D宅盤で小段4回、平場1回、C宅盤で平場1回の、計6回のUAV出来形計測出来形測量を実施した。ここでは、D宅盤最上部法面の出来形測量の実施例を示す。図-10には標点(標定点と検証点)の配置図を示す。

各検証点での測量精度は表-3に示すように3点ともに規格値の50mmを下回り、出来形管理に使える測量結果となった。

図-11に測量した点群データと出来形のヒートマップを示す。同図のヒートマップで明らかのように、設計座標データと測定値との差は全領域で規格値内に収まっている。また、表-4に示すように、規格値と測定値との差異は、平均値-28.5mm(規格値±70mm)、最大

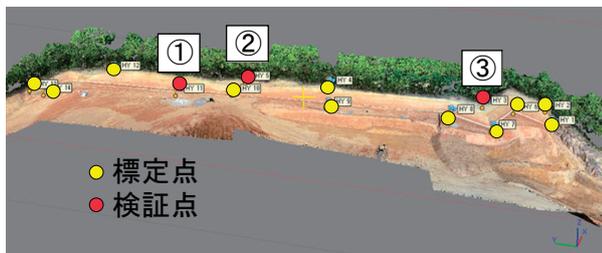


図-10 D宅盤最上部法面の標点(検証点①~③)

表-3 検証点における精度確認結果

検証点	ΔX	ΔY	ΔZ
	(mm)	(mm)	(mm)
①	15	1	36
②	-8	-16	33
③	1	-9	8

表-4 規格値との比較結果

掘削工(法面)	規格値	測定値
平均値	±70mm	-28.5mm
最大値(差)	160mm以内	77mm
最小値(差)	-160mm以内	-159mm
データ数	1点/m ² 以上	1.151点/m ²
棄却点	全データの0.3%以内	全データの0%

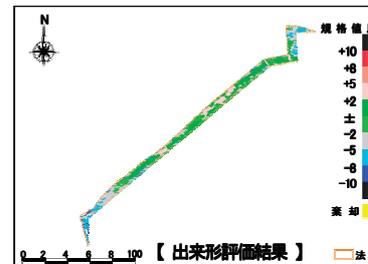
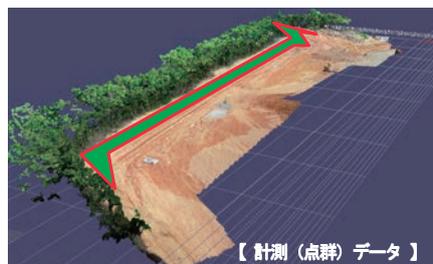


図-11 D宅盤最上部法面での出来形測量実施状況と出来形評価結果

Summary This report introduces the case in response to five items¹ (three-dimensional work start measurement, three-dimensional design data preparation, execution using ICT construction machinery, construction management by three-dimensional finished work control, and delivery of three-dimensional data) required by the ICT earthwork utilization construction of the Ministry of Land, Infrastructure and Transport in land preparation work for the Hyogo Ono Industrial Complex. The plan for this work was not to transport soil to an external site by balancing the volume of cut and filled soil within the area of development. Therefore, it was necessary to establish the completed shape by fully determining the accurate volume of soil at the start of the project, ensure that the completed volume (of cut and filled soil) for the progress of each work section was as planned, and immediately confer with regard to the completion of any modification of the shape if the necessity of a change was found. Thus, we took a system where we could always check the completed shape by implementing daily control of the soil volume using a drone to obtain the rate of change of the soil volume from the cut and filled soil within the range of the finished work to accurately determine the volume of unfinished work. Furthermore, we report the results of the verification and application of UAV finished work measurement capable of dealing with a narrow region in order to quickly respond to finished work inspections for each stage of the project.

Key Words : I-construction, ICT earthwork, drone, three-dimensional finished work control, finished work control using a small drone

値 77mm(規格値 160mm), 最小値-159mm(規格値 -160mm), データ数 1.151点/m²(規格値 1点/m²以上), 棄却点 0点(規格値全データの0.3%以内)で、全て規格値内となり、出来形は合格の判定結果となった。D宅盤の5回, C宅盤の1回を含めて全ての施工段階で出来形は合格判定となっている。

6. おわりに

本稿では、ICT 土工で求められる5項目に対応した現場施工事例を報告した。5項目の実践を通じて、ICT 土工の導入が生産性向上に大きく寄与することを確認した。しかしながらICT 建設機械を活用するためには、ICT 機器の操作に慣れた技術者の協力が不可欠である。本稿が、今後のICT 土工を計画する際の一助となれば幸いである。

謝辞 : ICT 土工の全面活用現場施工に際し、兵庫県企業庁北播磨・臨海建設事務所の皆様や山崎建設株式会社の方々にご協力をいただきました。本紙面を借りて御礼申し上げます。

【参考文献】

- 1) 国土交通省, ICT の全面的な活用の推進に関する実施方針 ICT 活用工事(土工)実施要領 平成30年3月
- 2) 国土交通省, 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)(案)平成30年3月, p33-34
- 3) 国土交通省, ICT 活用工事【ICT 土工】に係る Q&A 平成29年3月, p83-84