

造成工事における ICT 土工・ICT 舗装の取組み

Efforts of the Information Communication Technology for the earthworks and pavementworks on the construction of Land reclamation

番 貴博*	森 信一*
Takahiro Ban	Shinichi Mori
田添 慎吾**	高橋 一太**
Shingo Tazoe	Ichita Takahashi
佐藤 靖彦***	湊 康裕***
Yasuhiko Sato	Yasuhiro Minato

要 約

国交省の i-Construction の施策などにより、建設工事における生産性向上の取組みが進められている。当社においても ICT を活用した施工および品質管理や出来形管理などを行い、作業や管理の効率化に取り組んでいるところである。本工事は、工事面積 13.1 ha に対して造成工事、公共工事および道路工事を行うものであり、起工測量から土工、舗装工および出来形管理、電子納品に至るまで一連の作業・管理について、ICT を採用して効率化を図る取り組みを行った。その結果、UAV による起工測量や敷均しや掘削作業におけるマシンコントロール、マシンガイダンスによる ICT 施工により、所要の精度を確保しつつ管理の省力化が図られることを検証、確認した。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 工事概要
- § 3. ICT 施工の目的と概要
- § 4. ICT 施工の効果の検証
- § 5. クラウドによる進捗管理
- § 6. 土量管理
- § 7. おわりに

§ 1. はじめに

近年、国交省の建設業の生産性向上の取り組みの一つとして i-Construction の施策などにより、土工をはじめとした工種において様々な ICT を用いた施工（品質管理・出来形管理等）による作業や管理の効率化の取組みがされている。

本工事は久留米・うきは工業用地造成工事では起工測量から土工、舗装工および出来形管理、電子納品に至るまでの一連の作業・管理について ICT を採用し効率化

を図る取り組みを行った。本稿ではこれらの技術に関する取組の内容と効果について報告する。

§ 2. 工事概要

本工事は、久留米・うきは工業用地造成工事の 1 期工事であり、造成工事、公共工事および道路工事を行うものである。工事面積 13.1 ha に対し盛土約 21 万 m³、道路延長 640 m を施工した。

工 事 名：久留米・うきは工業用地造成工事（1 工区）

発 注 者：福岡県企業局

工事場所：福岡県久留米市田主丸町鷹取

～福岡県うきは市吉井町鷹取

工 期：平成 29 年 5 月 16 日～平成 31 年 1 月 31 日

工事内容：工事面積 A = 13.1 ha

撤去工 一式

土工 21.2 万 m³

調整池工 一式

水路工 980 m

道路工 640 m

図-1 に全体平面図を、図-2 に標準断面図を示す。盛土材は購入土（まさ土）である。

* 九州（支）久留米うきは（出）

** 九州（支）土木部

*** 技術研究所

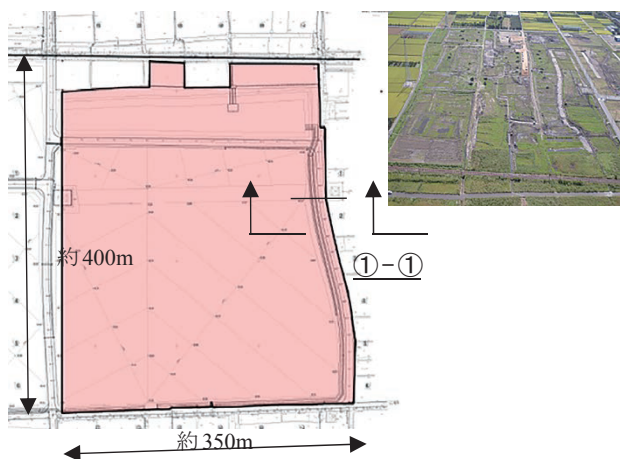


図-1 全体平面図

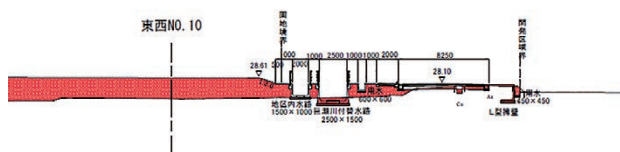


図-2 標準断面図(土工) ①-①

§3. ICT 施工の目的と概要

国交省の「i-Construction」の施策により、直轄工事等では ICT 土工や ICT 舗装などの ICT 活用工事が進められている。しかし、ICT を活用した工事の効率化の効果確認についてはまだ実績が少ない。そこで当該工事においても ICT を積極的に導入活用した施工を行うことにより、ICT 施工の運用方法と効率化の効果を確認することを目的として実施した。

本工事の ICT 施工の特徴として、盛土造成工事と舗装工事の両者を含む工事であり、工事着手時の測量から土工、舗装工(路盤)、出来形管理までの一連の作業・施工において、各段階で活用されている ICT を導入し、ICT による効率化の効果の確認・情報管理の手法の検討を行ったことである。なお、本工事での ICT 施工の取組みは、当社と西尾レントオール(株)とが共同、協力して実施した。

図-3 に示すように起工測量から土工、舗装工までの各施工段階において ICT を用いた。適用した技術は以下の通りである。またクラウドを介して施工状況等の管理を行うシステム「ビジョンリンク」を導入し、情報の共有化を図った。

- ① UAV 空中写真測量
- ② 3D レーザースキャナ (TLS) 測量
- ③ 3次元設計データ作成
- ④ブルドーザー敷均し MC (マシンコントロール)
- ⑤ GNSS 振動ローラ転圧管理システム
- ⑥バックホウ MG (マシンガイダンス)
- ⑦モーターグレーダ MC (マシンコントロール)
- ⑧クラウドによる情報共有システム「ビジョンリンク」

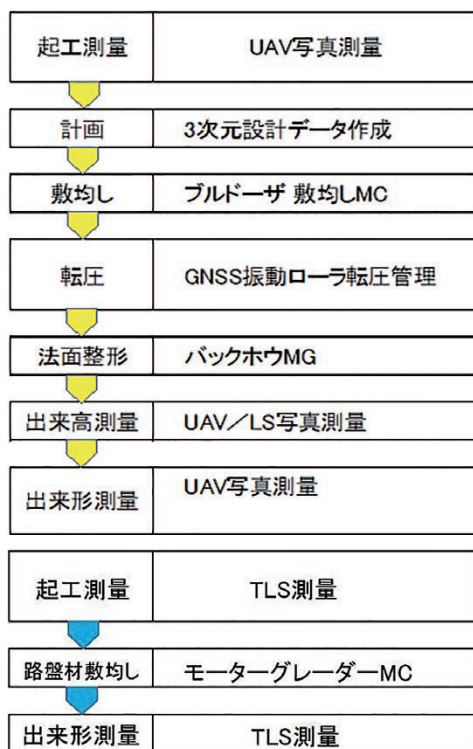


図-3 ICT 土工・舗装における適用技術

§4. ICT 施工の効果の検証

4-1 UAV と TLS による起工測量

(1) UAV 空中写真測量

UAV (無人航空機; 通称ドローン) に搭載したカメラによる空中写真測量を用いて起工測量, 中間出来形測量を行った。UAV は写真-1, 写真-2 に示す 2 機種 (インスパイア 1, 4 axisLY750 (呼称 a7R)) を用いた。なお, UAV 測量の適用範囲は鉄道および鉄塔・高圧線の近接範囲を除く 7 ha の範囲を対象とし, 残りの半分はレーザースキャナにより測量した。表-1 に UAV の飛行条件, 撮影条件を示す。標定点は 20 箇所, 検証点は 6 箇所設けた。

(2) 地上型レーザー スキャナ TLS 測量

鉄塔等の近接物範囲における起工測量は地上型レーザー スキャナを用いて行った。レーザー スキャナ測量には FARO 社製スキャナを使用した (写真-3)。

(3) UAV 測量と TSL 測量の比較

UAV 空中写真測量の撮影写真は, 3D 画像処理ソフト Photoscan を用いて写真合成しオルソ画像と点群データ



写真-1 UAV (インスパイア 1)



写真-2 UAV (a7R)

表一 使用 UAV の飛行・撮影条件

UAV 機種	インスパイア 1	4 axisLY750
カメラ	X5	SONY a7R
対地高度	40 m	50 m
ラップ率	進行 90%	進行 90%
焦点距離	3.61 mm	35 mm
写真枚数	748 枚	603 枚
地上解像度	1.83 cm / 1 画素	0.71 cm / 1 画素



写真一 3D レーザースキャナ測量状況

を生成し、点群データ処理には TrendPoint (福井コンピュータ) を用いた。図一に UAV インスパイア 1 による点群画像を示す。表二に 2 機種 UAV の検証点の精度測定結果を示す。どちらの機種とも X, Y 座標よりも Z 座標がやや大きいものの、インスパイア 1 でも 6 cm 程度の誤差に収まっており、国交省の起工測量基準 10 cm 以内の精度となった。解像度の高い a7R 機種の場合は Z 座標誤差が 3 cm とより精度のよい結果が得られた。

TLS (地上型レーザースキャナ) 測量による点群画像を図一五に示す。TLS 測量の時期が草刈り後から多少時間が経過したため、取得画像は緑がかっており再び草が伸びた影響が認められる。TLS 測量の検証点の精度は XYZ 座標で概ね 5 cm 以内であった。

図一六に UAV 測量および TLS 測量の作業時間 (人工) 等について従来測量と比較した。従来測量は 20 m メッシュでの TS による横断測量である。従来の測量では延



図一四 UAV 測量による点群データ

表二 UAV 測量の検証精度結果

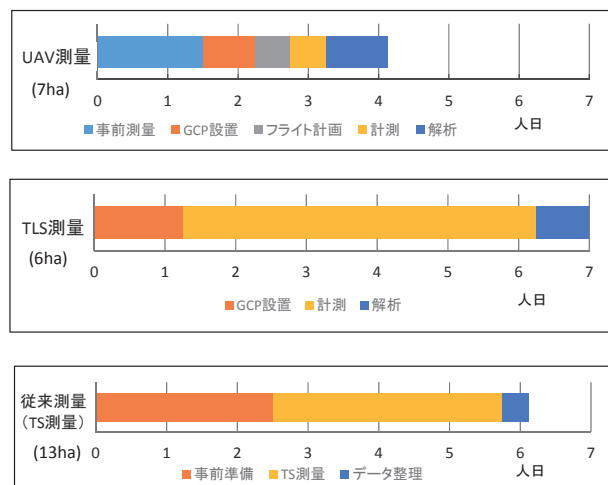
UAV 機種		インスパイア 1	a7R
平均誤差 (cm)	X 誤差	2.03	0.46
	Y 誤差	3.11	0.45
	Z 誤差	5.36	3.04



図一五 TLS 測量による点群データ

表三 TLS 測量の検証精度結果

測量方法	TLS	
平均誤差 (cm)	X 誤差	4.19
	Y 誤差	2.63
	Z 誤差	2.95



図一六 UAV 測量, TLS 測量, 従来測量の作業人工の比較

べ 6 人の人員が必要なところを、UAV 測量は 3 人で済み、測量結果が出るまでの作業時間も対象範囲に違いがあるものの従来測量が 6.1 人日に対して UAV 測量は 4.1 人日であり、30%以上の削減となった。特に現場測量作業が 2 人 2 時間作業と短くて済むことが特徴である。一方、TLS 測量の場合は、計測に時間を要しているが、計測場所の盛替え、移動に時間を要するものの、計測中の労力は少ないこと、点群データを直接取得できるという特徴がある。人工を含む測量費用については、従来測量と比較して UAV 測量は約 70%、TLS 測量は約 120%であり、UAV 測量はコストダウンの観点でも効果がある。なお、中間出来形測量を UAV 測量により全面積 (13.1 ha) に対して実施した結果、作業工数は 4.25 人日と起工測量時とほぼ同じであった。

4-2 3次元設計データ作成

2D-CAD 設計図をもとに当該工事の 3 次元設計データを、CAD ソフト武蔵 (福井コンピュータ社) を用いて作成した。この 3 次元設計データは、ブルドーザー MC (マシンコントロール) や出来形管理、盛土・切土の土量計算などに利用した。

4-3 ブルドーザー敷均し MC

ブルドーザー D6 に移動局 GPS2 台 (Trimble 社) を搭載し (写真-4)、基準局 GPS1 台は現場事務所の屋根に設置して、RTK (リアルタイムキネマティック) 方式による重機の測位を行う。MC は排土板高さ位置をリアルタイムで把握するとともに設計高さに自動制御して施工する (写真-5)。丁張り作業や手元作業員が不要または最小限となる。敷均し作業の粗作業は手動で、仕上げ敷均しで MC を ON にして自動にて行った。

敷均し作業について従来施工と MC (マシンコントロール) 施工で行った場合の施工管理時間 (人工) の比較を図-7 に示す。MC 施工の場合、丁張りが不要となることや敷均し厚の写真管理の作業が最小限となり、約 60% の省力化となっている。

また排土板は自動制御されるので、熟練者でなくても均一な敷均し施工が可能となるメリットもある。一方、適用時の留意点として機械故障時には迅速な対応が困難となる場合がある。



写真-4 ブルドーザー MC



写真-5 ブルドーザー MC オペレーター

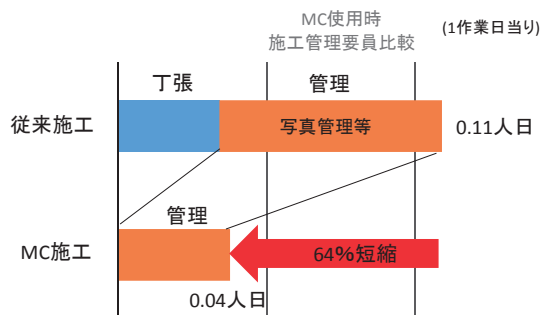


図-7 MC 敷均し作業の効率化

4-4 GNSS 振動ローラ転圧管理

盛土の転圧施工には、GNSS 振動ローラ転圧管理システム (西尾レントオール社, NETIS 登録 KT-010187-VE) を用いた。搭載した移動局 (振動ローラ側) GPS はトプコン社製、基準局は VRS (仮想基準点) 方式とした。本システムにより面的な管理を確実に行うことができる。

写真-6 に GPS 搭載振動ローラの施工状況を、図-8 に転圧回数分布図を示す。

GNSS ローラ転圧管理システムを用いた場合の現場管理の所要時間を従来施工と比較して図-9 に示す。従来施工では、転圧状況をタスクメータで確認するほか、RI や砂置換法により現場密度管理が必須となる。それに対して、GNSS システムによる場合、転圧回数はオペガリアルタイムで管理でき、職員は 1 日の施工結果をデータ、帳票にて確認すればよい。また、施工管理は施工規定方式として転圧回数の確認でよく、現場密度管理は省略できる。その結果、施工管理時間が従来よりも 80% 短縮される。



写真-6 GNSS 振動ローラ転圧管理

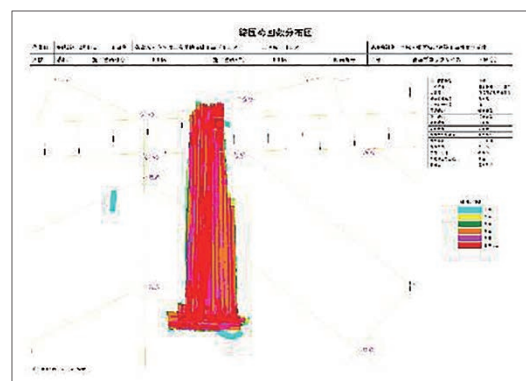


図-8 転圧回数分布図

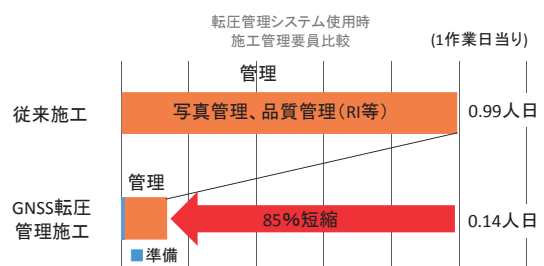


図-9 GNSS ローラ転圧管理の効率化

4-5 バックホウ MG

調整池や道路法面などの法面仕上げに、GNSS バックホウ MG を適用した。バケット刃先位置をオペ運転席のモニターで確認でき、丁張りや手元作業員の省人化を期待できる。

写真一七は調整池の床掘り仕上げをバックホウ MG にて施工している状況である。降雨により水が溜まり易い条件であり、人力での丁張り作業は難儀するが、丁張りなしで施工でき、法面だけでなく床掘り仕上げでも効果があった。



写真一七 バックホウ MG による調整池施工

4-6 モータグレーダ路盤整形 MC

土工を完了後の舗装工のうち路盤工（道路幅 10 m）の施工に、TS 自動追尾モータグレーダ MC を適用した（写真一八）。路盤面の仕上がり面は施工精度と平滑性が求められ、グレーダ MC の導入により品質向上も期待した。MC により所定高さで切削作業ができるため、少ない敷均し（仕上げ）回数で整形でき施工が効率化するとともに、手元作業員も要らないため安全性の向上にもつながった。

なお、従来の道路舗装工の場合、縁石へのマーキングを用いて高さ管理を行っていたので、MC は広幅員の道路やグラウンドなど広い面積での路盤施工に、より効果が発揮されるものと考えられる。



写真一八 モータグレーダ MC による路盤施工

4-7 TLS・UAV による出来形管理

土工および舗装工の施工仕上がり後には ICT による面的な出来形管理を行った。土工は UAV 測量により、舗装工は 3D レーザースキャナー (TLS) による出来形測量を行った。図一十に上層路盤工（粒度調整路盤工）の出来形測量結果（ヒートマップ）を示す。施工厚さの較差の平均値は 1.0 mm、最大・最小値は 29 mm 以下であり



図一十 上層路盤工の出来形測量結果

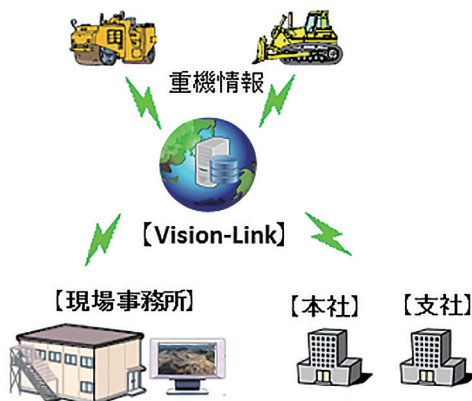
規格値を満足する結果であった。下層路盤工についても同様な結果が得られた。

§ 5. クラウドによる進捗管理

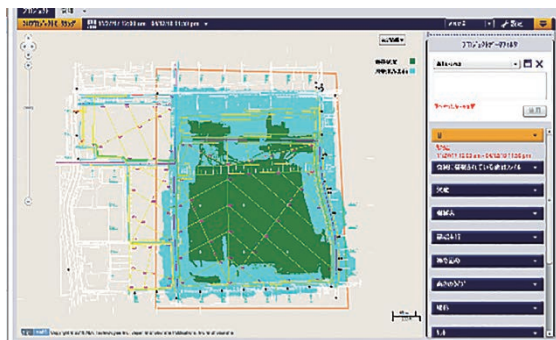
ICT 施工には、幾つものシステムを運用する必要があるが、最近では複数の ICT 重機や車両の稼働や施工状況をクラウドで一元的に管理するシステムがある。ICT 施工の管理面での効率化を目的として、クラウド情報共有システムの一つである「VISION-LINK (ビジョンリンク)」(Trimble 社) システムを本工事の ICT 施工の管理に運用・試行した。図一十一に VISION-LINK のシステム概念図を示す。VISION-LINK には以下の機能、特徴がある。

- 建設機械の稼働状況管理、メンテナンス管理
- 機械の 3D 施工軌跡から進捗状況の管理
- 機械の 3D 施工結果と 3D 設計データを比較し、切盛土量を算出
- 3D の測量結果を反映
- 情報共有（現場事務所、支社、本社の関係者が閲覧できる）

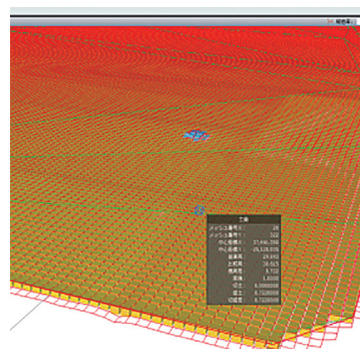
クラウドによる ICT 情報共有システム VISION-LINK は現場、支社、技術研究所および協力業者の関係者を登録して、各自閲覧した。ICT 施工データを取り込みは 1 日 1 回行われ、データが日々更新される。当日および指定期間の ICT 重機の走行軌跡が確認でき、どのエリアを



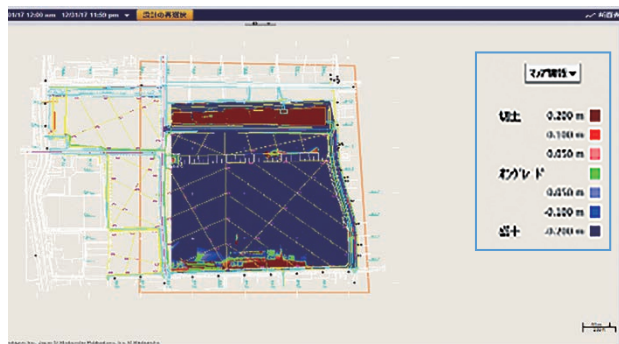
図一十一 VISION-LINK システム概念図



図一12 ICT 施工の進捗画面



図一14 1 mメッシュ分割による土量計算



図一13 VISION-LINK 切土/盛土表示

施工しているかを確認できた (図一12)。

図一13は「切土/盛土」表示の一例であり、現時点高さと設計標高を比較して、盛土が必要なエリア(青)、切土が必要なエリア(赤)およびオングレード(黄緑:設計標高まで施工できた)のエリアが一目で確認できる。また「土量計算」画面では、指定期間における切土、盛土、切盛土量合計が直ちに計算、確認ができる。

§6. 土量管理

起工測量時における UAV 測量および TLS 測量それぞれによる点群データを合成したデータを基に、3次元設計データと比較して3次元データによる土量計算を行った。計算に使用したソフトは、Trend-Point(福井コンピュータ社)である。図一14のように1mメッシュに分割して測量点群データと設計データの標高の差分を計算して土量を算出するもので、点高法と呼ばれる計算手法である。

表一4には中間出来形測量(2018年6月7日実施)でVRS-GNSS測量(30点)を行った座標、標高データから、メッシュ法ならびに3次元モデルを用いてTIN(サーフェス)データを作成して土量計算を行った結果を示す。併せてUAV空中写真測量も行い、比較検討した。

表一4よりメッシュ法による土量と3次元モデルから算出した土量とに、600~1,000 m³程度の差異がある。測量方法および計算方法により土量に違いが生ずることを念頭に管理を行うことが肝要である。

表一4 3次元モデルによる出来高土量の計測計算結果

測量方法	VRS-GNSS測量	VRS-GNSS測量	UAV空中写真測量
算出方法	メッシュ法	3次元モデル	3次元モデル
土量	盛土: 169,712m ³ 切土: 6,844m ³	盛土: 168,620m ³ 切土: 7,344m ³	盛土: 169,047m ³ 切土: 6,785m ³
差分	比較元	盛土: -1,092m ³ 切土: +500m ³	盛土: -665m ³ 切土: -59m ³

§7. おわりに

本工事では、着工時の測量から土工、舗装工、出来高・出来形管理までの一連の作業・施工においてICTを導入し、施工や施工管理の効率化、省力化の効果を確認・検証した。ICT導入効果と課題について以下に示す。

- 起工測量において実施した UAV および TLS による3次元測量は、規定の精度±10 cm内であり、かつ特にUAV測量は作業時間の短縮、省力化の効果を確認した。
- ブルドーザー MC、バックホウ MG やローラ転圧管理システム等の導入により、施工管理業務の削減の効果を確認した。
- クラウドによる情報共有システムの活用は、現場・支社・本社等の複数部署の関係者同士で、同時に情報共有できるメリットがある。ただし、土量計算機能については、使用するGPS機器の統一や運用方法について、検討・改善の余地があると思われた。
- 3次元モデルを用いた土量計算は、迅速な確認や正確性が期待されるが、測量方法や計算方法の違いにより若干差異が生ずることを念頭におく必要がある。

ICT導入の効果については、検証やデータ収集を引き続き行い、今後のICTの活用にあたっての参考となるデータをまとめていきたい。

謝辞. 本工事でのICT施工の取組みは、当社と西尾レントオール(株)とが共同、協力して実施したものである。多くのご対応をいただいた西尾レントオール(株)の野澤所長、中園氏をはじめ、協力・指導していただいた関係各位に感謝いたします。