

i-Construction の施工評価

Evaluation about the construction by “i-Construction”

(株)砂子組	○正員	野崎 了 (Ryo Nozaki)
(株)砂子組	正員	廣上 伸二 (Shinji Hirogami)
(株)砂子組	正員	田中 孝宏 (Takahiro Tanaka)
(株)砂子組	正員	近藤 里史 (Satoshi Kondo)
(株)砂子組	正員	佐藤 昌志 (Masashi Satou)

1. はじめに

i-Construction とは国土交通省が 2016 年 4 月より本格導入した新基準であり、建設現場における「調査・測量」、「設計」、「施工」、「検査」、「維持管理・更新」の各プロセスに ICT 技術（情報通信技術）を取り入れることで生産性向上を目的として推進されている取り組みである。

i-Construction の主たる取り組みとしては、

- 1)ICT の全面的な活用(ICT 土工)
- 2)全体最適の導入(コンクリート工規格の標準化等)
- 3)施工時期の平準化

の 3 項が掲げられている。この内、ICT の全面的な活用を実施した道央圏連絡道路 千歳市 泉郷改良工事において ICT 土工に関わる施工効率評価を行ったことからその結果を報告する。

2. 現場での活用

当該工事は路体盛土を主とし。現道を挟む形で 2 箇所へ盛土を行う工事である。施工延長は起点側が 195m、起点側が 90m、盛土高は最大で 9m あり、総盛土量が 87,000 m³あった。この施工条件から使用する建機は 0.8 m³級バックホウ 2 台、7t 級ブルドーザ 1 台、3t 振動ローラー 1 台の構成とした。この内、ICT 建機(マシンコントロール機)はバックホウ 1 台とブルドーザを使用した。

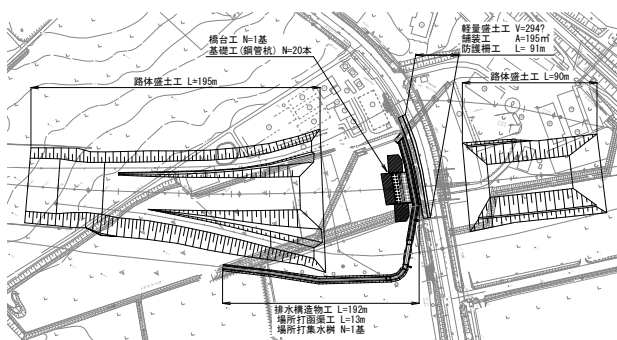


図-1 泉郷改良工事平面図

ICT 土工を実施するに当たり、現況地形データの取得および設計形状データの作成を行った。

現況地形の測量には UAV を使用し、施工範囲全体を網羅する形で撮影を行い、現況地形 TIN を作成した。設計形状データの作成は測量ソフトを使用して平面線

形・縦断線形・横断形状から 3 次元モデルを作成。現況地形 TIN データと測量ソフトで作成した 3 次元モデルを 3DCAD ソフトにて結合し、設計となるモデルの外形を構築した。

実際の盛土工を施工する際には層状で捲き出しを行うため、外形のみでは ICT 建機の自動制御機能を活用できないことから 3DCAD にて捲き出し各層ごとの 3 次元形状を作成した。又、当該盛土箇所は曲線区間であったため横断面図として作成されている測点(@20m 毎)では曲線形を正確に構築することが出来ないことから横断面を 2.5m 毎に区切り、曲線を滑らかにした。

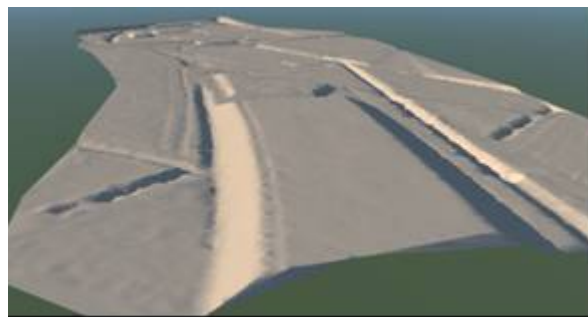


図-2 現況地形 TIN データ

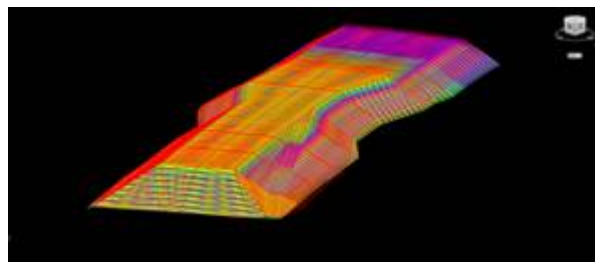


図-3 3次元設計形状

3. ICT 建機の効率化の評価

3.1 調査概要

ICT 建機(マシンコントロール機)は登録された設計データに対して建機の挙動を制御するものであり、建機メーカー各社がそれぞれ開発・独自のシステムを持っている。一様に謳われているのが初心者オペレーターでも熟練者同様の作業が出来るとされている。

建機の効率化を評価するため、バックホウの稼働状況を調査することとした。

調査方法は、土取場での掘削・積込み状況をビデオカメラでの撮影記録と、バックホウアーム等に設置した加速度計を運転席内のコンパクトレコーダにより作業時間内連続して動的測定を行う。測定したデータはロガーにセットした CF カードに記録され、作業終了時にデータを回収・整理する。得られたデータから建機の稼働状況を算定する。

表-1 測定項目一覧

測定項目	測定方法	設置場所	備考
作業状況	webカメラによる撮影	施工ヤード全体を撮影	ダンプ等を含め撮影
バックホウの移動・旋回状況	3軸加速度計	運転席後方	運転席コンパクトレコーダによりデータ収録
バックホウアーム等の動作状況	加速度計	バックホウアーム基部	

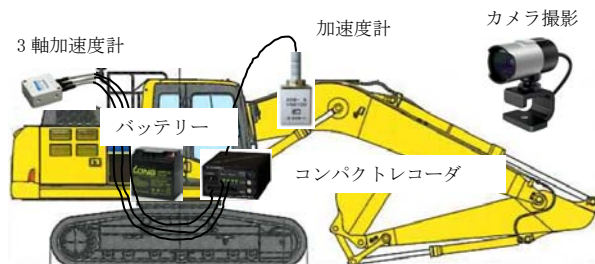


図-4 計測器配置図

3.2 調査結果

(1) 調査時施工状況の概要

調査月日 : 平成 28 年 9 月 1 日

作業内容 : 土砂掘削・積込み、運搬

掘削積込機械 : 0.8m3 級バックホウ(ICT 建機) 1 台

: 0.8m3 級バックホウ(ICT 建機) 1 台

運搬機械 : 10t ダンプトラック 5 台

(2) データ整理方法

運転席内から取得した加速度波形は、エンジン振動の影響等により解りにくい波形となっている。これに対してアームの加速度波形は建機の動きをよく反映しており判断しやすい波形であった。そこで、アームの加速度波形とビデオ画像を対比した結果、図-6 に示すようにバケットからの放出(積込み)の時刻は明瞭に判定できることから、加速度測定結果とビデオ映像から図-6 および表-2 に示すようにタイムテーブルとして整理した。

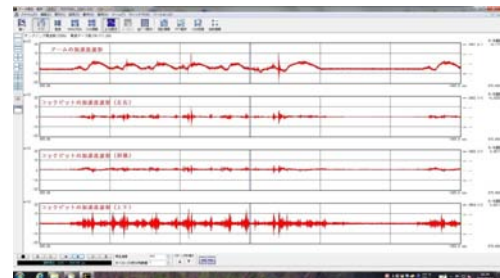


図-5 加速度波形の計測結果例

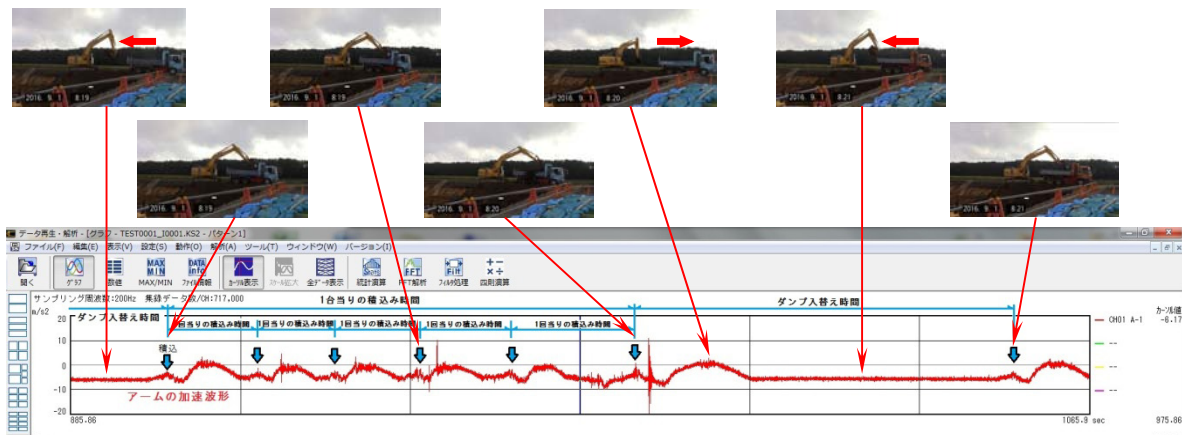


図-6 データ整理概念図

表-2 データ整理後タイムテーブル例

作業実績タイムテーブル

時刻	時間	DT 番号	1 台当り 積込回数	積込 回数	積込時間 1 回当り	積込時間 1 台当り	ダンプトラック 入替時間	ダンプトラック 到着待時間	DT 1-5 サイクルタイム
7:06:04				1					
7:06:20	0:00:16			2	0:00:16				
7:06:39	0:00:19			3	0:00:19				
7:07:03	0:00:24			4	0:00:24	0:01:47			
7:07:24	0:00:21			5	0:00:21				
7:07:51	0:00:27			6	0:00:27		0:01:07		
7:08:58	0:01:07			1					
7:09:12	0:00:14			2	0:00:14				
7:09:32	0:00:20			3	0:00:20	0:01:46			
7:09:57	0:00:25			4	0:00:25				
7:10:17	0:00:20			5	0:00:20				
7:10:44	0:00:27			6	0:00:27		0:00:56		
7:11:40	0:00:56			1					
7:12:01	0:00:21			2	0:00:21				
7:12:20	0:00:19			3	0:00:19	0:02:06			
7:12:40	0:00:20			4	0:00:20				
7:13:00	0:00:20			5	0:00:20				
7:13:20	0:00:20			6	0:00:20				
7:13:46	0:00:26			7	0:00:26				

(3)掘削・積込み作業におけるデータ整理結果

調査で取得したデータを取りまとめると、掘削・積込み作業においては図-7～図-9に示す結果となった。

図-7で示すのは、ICT建機を使用した掘削・積込み回数を取りまとめたものでダンプトラック 80 台分のデータである。積込みにおけるバケット 1 杯分の土砂量は一律とはならないので回数にバラツキが出ているものの、最大積込み回数 7 回、最小積込み回数 5 回、平均積込み回数が 6 回となり、積込み回数 6 回がデータの 80%を占めていることから安定したデータであると判断できる。

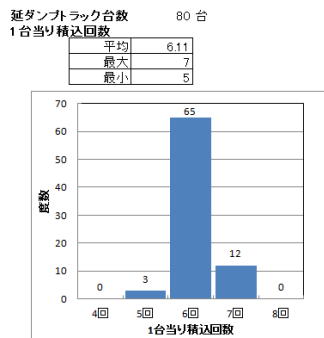


図-7 1台当り積込み回数

図-8に示すのは、ダンプトラックへの1回当りの積込み時間を取りまとめたものでICT建機での平均時間が18秒であったことに対し、従来機では21秒であった。又、初心者オペレーターが操縦するICT建機での積込み平均時間が20秒で熟練オペレーターが操縦するICT建機には及ばないものの、熟練オペレーターが操縦する従来機よりも早く積込みを行っていた。

今回計測したデータは積込み時の旋回角度と掘削箇所

の条件変動により少々のバラツキが出ているが、掘削面の微修正や1回当りの掘削速度の違いによる事からICT建機の方が早く積込むことが出来ている結果となった。

尚、平均値から大きく離れた記録となっている時間は、掘削時にバケットよりこぼれた土砂を集積している事による時間の増加で計測中も数回しか行われていないため記録としてそのまま採用した。

図-9に示すのは、ダンプトラック1台当たりの積込みに要した時間を取りまとめたものでICT建機を使用した積込み平均時間が1分31秒であった事に対し、従来機での積込み時間は1分49秒となり前述の1回当りの積込み時間の測定結果と同様にICT建機の方が早く積込むことが出来ている結果となった。

又、初心者オペレーターが操縦するICT建機での1台当たりの積込み平均時間が1分41秒で1回当りの積込み時間と同様に熟練オペレーター操縦のICT建機よりは遅く、熟練オペレーター操縦の従来機より早く積込むことが出来ている。

時間短縮の要因としては前述にもあるとおり、掘削作業中も仕上げを並行して行っているため、従来機では積込み中も随所に時間を要している。一方、ICT建機では登録された設計面に対して自動制御機能が働くため、仕上げに要する時間が従来機に比べ短縮されている。

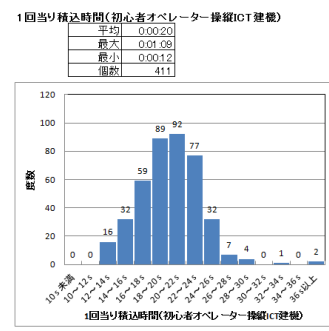
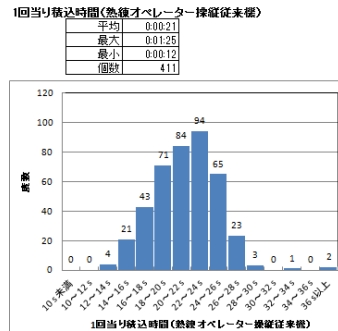
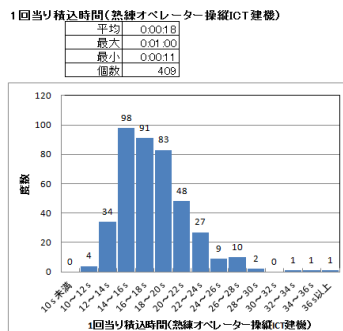


図-8 1回当りの積込み時間

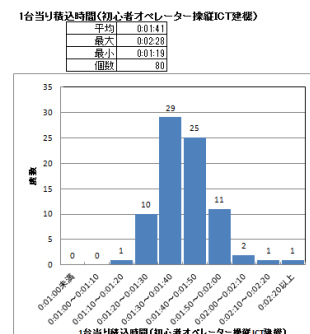
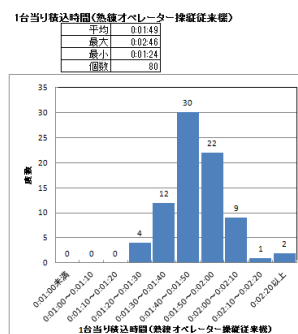
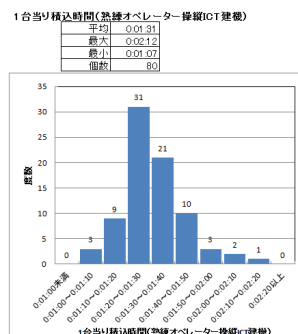


図-9 1台当たりの積込み時間

(4)ダンプトラック運搬における施工サイクル

ICT を活用した土工についてはこれまでの計測により効率化が図られていることが判明したが、盛土工事においては土砂の搬入が進捗に大きく関わる。土砂運搬のサイクルを計測し総合的な稼働状況を把握することで最適なダンプ台数を推察し、建機およびダンプトラックの稼働率を上げることで作業の効率化および生産性の向上が図られる。それらの確認を目的として入替え時間、到着待ち時間、運搬サイクルタイムの計測・取りまとめを行った。

尚、到着待ち時間の測定および運搬サイクルタイムの計測は、計測開始時の1台目のダンプトラックで行った。

計測結果は図-9 および表-3 に示すとおりとなり、掘削・積み込み作業のサイクルタイムは2m30sであったことから、到着待ち時間および運搬サイクルタイムを掘削積み込み作業サイクルタイムで除することにより今回調査時の作業条件における最適な台数は約7台と算定され、この台数で運搬を行うことにより ICT 建機の性能を最大限に活かす事が出来たと推察される。

表-3 調査結果一覧

項目	平均値	最大値	最小値	平均値
1台当たり積み回数	6.1回	7回	5回	80
1回当たり積み時間	0:00:18	0:01:00	0:00:11	409
1台当たり積み時間	0:01:31	0:02:12	0:01:07	80
ダンプ入替え時間	0:00:58	0:01:41	0:00:40	64
ダンプ到着待ち時間	0:07:07	0:09:15	0:04:13	15
運搬サイクルタイム	0:17:04	0:19:10	0:15:29	15
掘削積み込み作業サイクルタイム	0:00:18×(6.1-1)回+0:00:58 = 0:02:30			
ダンプ台数増加量	0:07:07÷0:02:30 = 427s÷150s = 2.85台			
最適ダンプ台数	0:17:04÷0:02:30 = 1024s÷150s = 6.8台			

積み込みに使用した建機はICT建機(熟練OP操縦)

積み込み回数の内1回は入替え時間に含まれるため掘削積み込み作業サイクルには含まない。

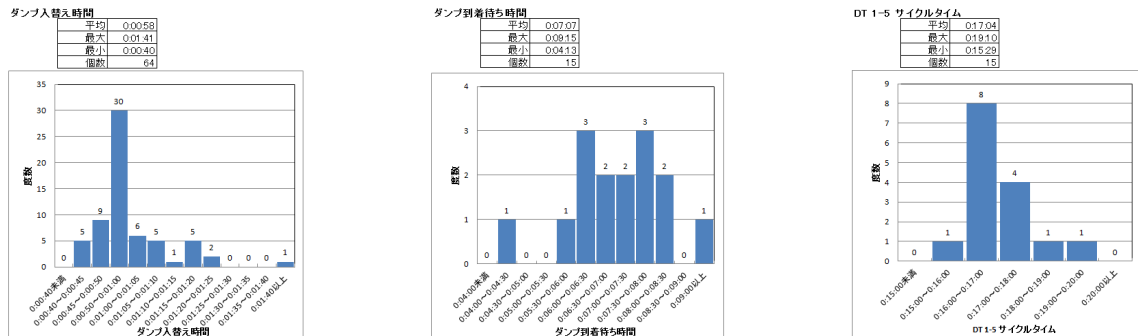


図-10 ダンプトラック施工サイクル計測結果

4. まとめ

本論文では、ICT 土工における実際の効果として建機の稼働率に着目し施工効率の評価を行った。その結果、ICT 建機と従来機においては約 13%の稼働率向上が判明した。この稼働率向上の要因としては以下のことが考えられる。

(1) 建機の自動制御機能により過掘りすることなく掘削時の微調整が容易に行える。

(2) 掘削作業における丁張り確認の為の作業一旦停止が無く継続して作業する事が出来る。

(3) 掘削箇所確認の為の補助作業者配置が不要となることから建機が稼働し易い状況となる。

(4) 法面部の掘削においても設計面に沿って自動制御が働くため、掘削に要する時間が短縮されている。

上記4項による稼働率の向上のみならず ICT 土工の活用は安全面にも効果が出ており、丁張りの設置が不要になったことから日々の工事測量に従事する職員が建機周辺で作業することが無くなった事と、前述にあるとおり補助作業者の配置が不要になったことから建機と人との近接作業が減り接触災害の発生確率が大幅に減少していることが挙げられる。

又、熟練オペレーターと初心者オペレーターの比較では、熟練オペレーターが操縦する ICT 建機が最も効率よく作

業を行えていることは当然の事として結果が出ているが、初心者オペレーターが操縦する ICT 建機と比較すると約 10%程度の減少でしかなかった。更に、熟練オペレーターが操縦する従来機との比較では約 6%という値で熟練オペレーターを上回る結果となった。この結果から、初心者オペレーターが熟練オペレーターと同等の作業が出来るようになるまで長大な時間を費やさずに済むという期待が持てる。

今後の課題として考えられるものは以下のとおり、

(1) 3次元データの取り扱い・作成に長けた技術者が少なく、設計・施工両方の面において対応に時間を要してしまうことから、技術者の育成が必要である。

(2) 3次元データの作成および取り扱いには多岐にわたるソフトウェアを使用する事となるが、そのどれもが高性能なパソコンを要求していることから、費用面を含め実践に至りにくい現状となっている。

以上2項を代表として挙げるが、今後も新たな課題および効果を見出せるよう実践していくことが最も重要であると考えている。