

小型 ICT 建設機械の刃先位置計測機能を用いた 効率的な出来形管理手法の構築について

近畿地方整備局 近畿技術事務所 技術活用・人材育成課 伊藤 亘佑

1. はじめに

国土交通省では、生産性向上に向けたプロジェクトの一つとして、「ICT 技術の全面的な活用」等の施策を建設現場に導入することによって、建設生産システム全体の生産性向上を図り、魅力ある建設現場を目指す「i-Construction (アイ・コンストラクション)」を平成 28 年度から推進し、更に令和 6 年には i-Construction2.0 を発表し、建設施工の DX (デジタルトランスフォーメーション) を加速する取り組みを実施している。DX 推進プロジェクトの一つである、ICT 施工については、R5 年度時点において、直轄工事で対象になり得る工事のうち約 8 割で実施され、その効果については、延べ作業時間が約 3 割縮減するなどの効果が現れている。

しかし、国内全体の対象工事件数(民間工事を除く)では、直轄工事の占める割合は 2 割程度で、地方自治体の発注工事が 8 割であり、地方自治体発注工事での実施率は約 3 割弱にとどまっていることから、中小企業への ICT 施工の普及拡大が建設業全体における生産性向上の課題となっている。

そこで、中小の建設業者が施工する比較的小規模な現場でも利用しやすい技術や管理手法の導入を積極的に推進していく必要がある。

本稿では、国土交通省が小規模施工での ICT 施工拡大の環境整備として令和 4 年度に策定した「ICT 土工 (小規模施工 1,000m³ 未満)・床掘工・小規模土工・法面整形工」¹⁾を対象として、都市部や市街地などの狭小現場での活用が期待されている小型のマシンガイダンス (MG) 技術搭載バックホウを ICT 施工だけでなく出来形計測システムとしても利用することで、計測作業の省力化と ICT 施工の機材費低減が期待できる手法を構築し、その効果検証および精度確認を実施した結果について報告する (図-1 参照)。

また、本検証結果を踏まえ、小規模工事における小型 ICT 建設機械の刃先位置計測機能を用いた効率的な出来形管理手法を ICT 活用工事における出来形管理手法の一つとして整備した内容についても併せて報告を行う。



図-1 マシンガイダンスの刃先計測機能を用いた出来形管理手法 (イメージ)

2. 刃先計測機能を用いた出来形管理手法の構築

2.1 小規模施工における既存の管理手法（施工履歴を用いた出来形管理）の適用課題

ICT 活用工事の出来形管理手法は「3次元計測技術を用いた出来形管理要領（案）（以下、既要領（案））」に規定されており、土工および河川浚渫工事で、ICT 建設機械（掘削はバックホウ、盛土はブルドーザおよびローラ）を用いた施工履歴データによる出来形計測による面的管理が認められている。

小規模施工の土工部においても、本手法を利用することは可能であるが、施工規模が小さい、施工期間が短い小規模施工への適用に関しては以下の課題があげられる。

- 土工部の施工履歴データを用いた出来形管理手法（面管理）では、通常の MG や MC の機能に加えて、ICT 建設機械の稼働中の刃先データを連続的に計測し取得するシステム、計測後の点群処理用の専用アプリケーションが必要となるため、日当たり施工量が少ない施工の繰り返しかつ施工期間の短い小規模施工では、データ処理作業の増加と機材の導入準備などの懸念がある。
- 点群での面管理に加えて 1 日の施工範囲に対して 3 箇所以上で TS 等光波方式を用いた検測の両方を実施することになっており、小規模な施工では検測と現場の出来形計測が同程度の頻度となり、施工履歴データによる計測が現場作業の効率化につながらない。
- 小規模施工に多く見られる床掘りなどの構造物設置に伴う土工では、バックホウが掘削、仮置き、積込み、埋戻し、吊り作業などの複合的な作業に利用されるため、出来形に係わる作業が離散的に実施される。このため、施工履歴などの連続的なデータ計測では、作業実施時以外のデータ計測が発生することや土工部のデータ抽出が必要となり、適用が困難なことが多い。
- 既要領（案）が主に対象としている土工では、0.45m³ 級や 0.8m³ 級バックホウにシステムを搭載して利用されることが多いと想定されるが、小規模施工で利用される小型バックホウは、作業中の揺れや振動などの影響を受け易いことから、安定した計測精度を確保できるか懸念される。

次に、「ICT 土工（小規模施工 1,000m³ 未満）・床掘り・小規模土工・法面整形工」では、面的な出来形管理手法ではなく、管理断面による出来形管理手法が標準的な出来形管理方法として適用されている。本手法は、ICT 施工（MC や MG を用いた施工）の実施に係わらず、TS 等を用いた出来形計測による出来形管理が必要となっている。小規模施

工での出来形管理をより効率化するためには以下の課題がある。

- 小規模施工では、掘削後に埋戻される作業が多いため、出来形計測を埋戻し前に頻繁に実施する場合もある。このため、TS 等を用いた出来形管理を実施した場合でも、出来形計測の機材や人員が必要となり、省力化につながり難い。
- 小規模施工で ICT 施工を行った場合、ICT 施工の位置計測技術と出来形管理用の位置計測技術の 2 種類の機材手配が必要となってしまう、ICT 活用工事に要する機材費の負担が大きくなる。

2.2 刃先計測機能を用いた出来形管理手法案

(1) 本手法の概要

小規模施工においても丁張り作業などの削減が期待できる ICT 施工は、省力化技術として普及が期待されている。そこで、上記課題を踏まえ、小規模施工での施工及び出来形管理を同時に効率化する手法として、ICT 施工を有効活用できる出来形管理手法を構築する。以下に、ICT 建機の刃先計測機能を用いた出来形管理手法のコンセプトを示す。

- ICT 建機に一般的に搭載されている刃先計測機能（連続計測ではない）を用いる。
- 作業と同時に、刃先を土工面に設置させマシンガイダンスシステムで出来形計測を行う。
- 計測は、従来の断面管理における計測と同様に、幅、長さ、高さの計測箇所とし、刃先を静止させた状態で出来形計測（単点計測）を行う。長さや幅は 2 点座標間距離から計測後に計算で求める。

(2) 本手法のメリット

本手法の利用による効果は以下が期待できる。

- ICT 建機に一般的に搭載されている刃先計測機能を用いることで、ICT 施工以外の機材（施工履歴や点群処理に必要な機材や専用アプリケーション）が不要である。
- 作業と同時に ICT 建機で出来形計測が可能となり、別途、出来形計測を行う人員、機材は不要で、出来形計測作業の省力化が可能である。
- 出来形の算出は、高さ、2 点間距離であり、一般的な表計算ソフト程度での演算が可能で専用のソフトウェアを必要としない。

2.3 刃先計測機能を用いた出来形管理手法の検証

本コンセプトの実現に向けて、以下の事項について検証の必要がある。

- 小型バックホウのマシンガイダンスシステムの静止状態による計測精度の確認：小規模施工においては、±50mm の点群を用いた断面管理手法が適用されている。そこで、本手法における刃先の要求精度を±50mm とした。

- 施工中の静止状態による刃先計測（単点計測）が小規模施工の作業を阻害していないかどうかの検証：施工と出来形計測を対象に、従来手法（施工後に TS 出来形管理を行う手法）と同等以下の作業時間で実施できるか検証する。

3. 刃先計測機能を用いた出来形管理手法の検証

3.1 計測精度の検証

(1) 検証機材

検証作業は、小規模施工での活用を前提として小型バックホウ（0.25m³ 級）を選定し、計測技術として下記の 3 種類のマシンガイダンス技術を対象に実施した。

表-1 刃先計測機能の検証機材

検証機材	計測システム
MG_A	自動追尾式TS
MG_B	RTK-GNSS（基地局設置）
MG_C	RTK-GNSS（VRS方式）

(2) 計測精度の検証条件

計測精度は、実現場での作業を想定し、移動と旋回作業を含む検証点での評価を行うこととした。真値は TS を用いた計測と刃先計測機能での計測結果の比較を行った。

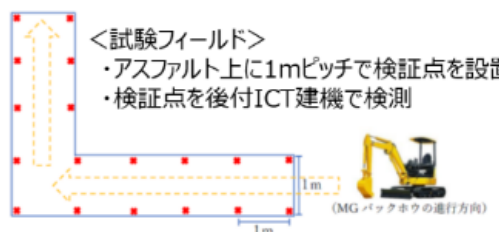


図-2 MGの刃先計測精度の検証

(3) 計測精度の検証結果

3 タイプについて、1 機種につき 18 箇所の検証点の差分の比較を行った。結果を表-2 に示す。

表-2 MGの刃先計測精度の検証

	MG_A			MG_B			MG_C		
	差分 (刃先-TS)			差分 (刃先-TS)			差分 (刃先-TS)		
	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔX	ΔY	ΔZ
①平均値	0.019	0.012	-0.017	0.003	0.006	0.005	0.025	0.008	-0.009
②標準偏差の2倍	0.021	0.020	0.007	0.017	0.015	0.016	0.019	0.024	0.011
①+②	0.040	0.032	0.024	0.020	0.020	0.021	0.044	0.033	0.020

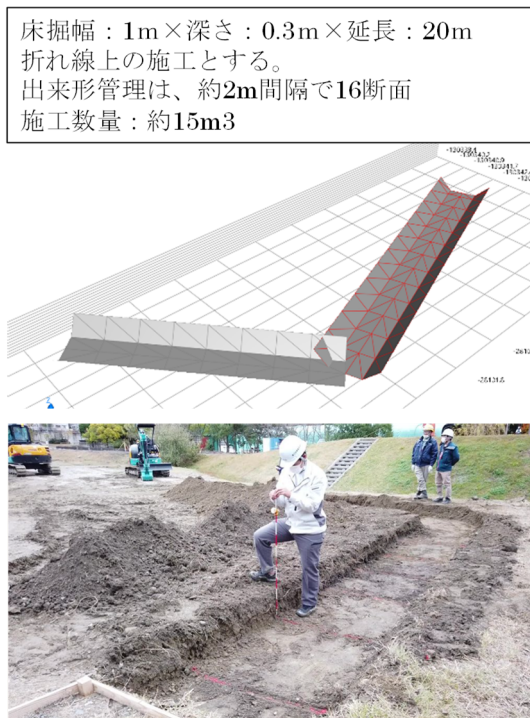
(4) 精度検証のまとめ

精度検証の結果、通信装置の不備や衛星補足状況の極端な悪化などの外的要因が無い場合は、TS 計測に比べて計測差は±50mm 以内を十分に満足できる結果が得られた。ただし、精度確保にはセンサ設置後の適正なキャリブレーションが重要であることが判明した。

3.2 構内実験による作業性の検証

(1) 検証フィールドの概要

刃先計測機能を用いた出来形管理手法の実現に向けて、近畿インフラ DX 推進センター（近畿技術事務所）構内の小規模施工の U 型側溝の敷設に伴う掘削工事を想定した検証フィールドを設け、本手法の作業性について検証を実施した。検証フィールドの概要を図-3 に示す。



床掘りの 3D 設計データ（上）・施工後の写真（下）

図-3 検証フィールドの概要

(2) 作業時間の検証結果

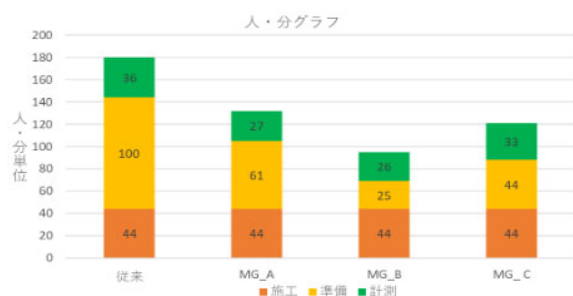
検証フィールドの掘削作業について、従来手法（丁張りをを用いた通常施工と TS 出来形による出来形管理）と、本手法（マシンガイダンスと刃先計

測機能を用いた出来形管理)の比較を行った。比較は、精度検証と同様に3タイプについて実施した。

各手法の作業性比較グラフを図-4に示す。施工管理に要する人工数・作業時間について比較した。

MGを用いた出来形計測では、計測時間が増加するが計測員が削減(オペレータが実施)できることにより、人工としては、従来手法に比べて省力化が期待できる。

また、MGを利用することで、丁張り作業などの施工準備作業の人工がおよそ半分程度になっている。



※従来手法の準備時間：丁張り計算・TS等の設置・丁張り設置

※MGの準備時間：データ作成・基準点への機材設置、始業前点

図-4 検証フィールドでの作業性の検証結果

(3) 作業性の検証結果まとめ

施工中に刃先計測機能を用いる出来形計測を実施することで、作業単体としての時間は増えるものの、施工後に出来形計測を行う従来手法に比べて全体として省力化が可能である。

また、MGを導入することで、丁張り作業などの準備作業の省力化が可能である。

3.3 刃先計測機能を用いた出来形管理手法の検証結果まとめ

刃先計測機能を用いた精度および作業性の検証結果より、本手法が小規模施工の省力化に寄与できることを確認した。また、本手法を現場適用するためには、刃先計測機能の適正な精度確保が重要であることから、事前精度確認方法を定め、試行要領(案)を作成した。

4. 刃先計測機能を用いた出来形管理手法の現場適用性検証

前節までの検証結果を基に策定した試行案に基づいて実現場での試行を実施し、実施工における計測精度の確保と適用効果、試行要領(案)に対する改善要望について調査を実施した。

4.1 検証現場の概要

本手法の適用対象は、小規模施工であることから、0.45m3級以下のバックホウが利用されている

構造物工の床掘り作業や側溝設置のための掘削作業を対象に10現場で試行を実施した。

表-3 試行現場の工種と利用機械

	現場の作業種別	MGのタイプ
1	掘削工	自動追尾TS
		RTK-GNSS(基地局設置)
2	上水道の送配水管埋設工事	自動追尾TS
3	コンクリートブロック積の床掘工(土工)および仮設坂路	自動追尾TS
4	床掘試験施工	RTK-GNSS(VRS)
5	斜面撤去工事	RTK-GNSS(VRS)
6	水路管敷設工事	自動追尾TS
7	床掘試験施工	自動追尾TS
8	床掘試験施工	RTK-GNSS(VRS)
9	床掘工	RTK-GNSS(VRS)
10	床掘試験工	自動追尾TS



図-5 試行現場の状況(抜粋)

4.2 実施工における精度検証結果

10現場での試行において、刃先での出来形計測を行うと同時に同位置へのマーキングを行い、別途TSでの計測を行った結果との比較により刃先計測精度を確認した。各現場での計測結果を図-6に示す。

MGの導入時の適正なキャリブレーションと事前精度確認を実施することですべての現場において要求精度の±50mm以内であることが確認された。

4.3 実施工における作業性の確認結果

各試行現場のうち2現場においては、従来手法(丁張り設置を行い、TS出来形管理)を行う区間と、本手法(MGによるICT施工と刃先計測機能を用

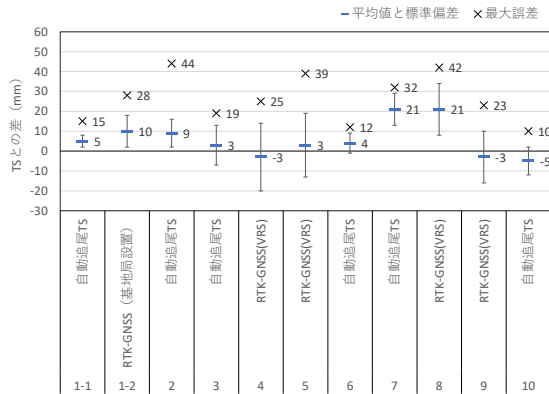


図-6 試行現場での精度確認結果一覧（高さの差）

単位（人・時間）									
現場	種別	種別	丁張り	施工	出来形計測	施工と刃先位置の計測	合計	削減率	（計測断面数）
1	L=10	従来	0:30	1:00	0:10		1:40		3断面
	自動追尾TS	刃先		0:35		0:10	0:45	55%	11断面
	GNSS	刃先		0:35		0:12	0:47	53%	8断面
2	L=6	従来	2:02	0:36			2:38		6断面
	自動追尾TS	刃先	1:23			0:42	2:05	20%	6断面

図-7 試行現場での作業人工の結果一覧

いた出来形管理)を行う区間を設定し、作業時間・人工を比較した。比較結果を図-7に示す。

検証の結果、全ての現場で従来施工に比べ2～5割の人工（人・分）の省力化が実現されている。刃先計測は、常に1人工で作業ができ、従来施工と比較して、作業人工を削減できたため人工時間の削減に繋がった。また、MGの導入による丁張り削

減効果の影響が大きく、出来形計測員の確保、計測機材の確保が不要であることも確認できた。

4.4 試行要領（案）に対する要望等

本手法の適用性および試行要領（案）に対する改善要望について実施者へのヒアリングを実施した。
(1)実施者の意見

試行現場の実施者へのヒアリングを行った結果を以下にまとめた。

■ 掘削作業から出来形計測まで1人工で作業が行えるため、本来は施工後、現場代理人が現場に行き出来形計測を行っていたのが無くなり、現場代理人の移動時間の削減や出来形計測までの待ち時間がなくなる。その結果、作業効率に期待できるとの意見が挙がった（掘削作業から出来形計測まで1人工で作業が行えるため省人化に繋がるため、本省が掲げるi-Construction2.0の達成に繋がると期待できる）。

■ モニターの操作ミスや計測忘れがないか不安。
■ オペレータが出来形計測も行う手法であるため、ICT建機の機能に加えて施工管理についての知識も必要になる。人材育成が課題となる。

(2)試行要領（案）に対する要望

試行要領（案）に対する要望を以下にまとめた。

■ 計測精度の確保に向けては、事前精度確認だけでなく、日々の精度確認（簡易なもの）が必要である。

総括表

工種	出来形 管理方法	ICT活用工事における適用範囲										3次元計測技術（技術概要集）												精度確認・ 出来形算出 ガイド			
		実施事項（別紙1）										3次元計測技術（別紙2）															
		起工測量		設計データ作成 データ チェック		出来形 計測	計測点群 データ 処理	出来形 管理資料 の作成	部分 払い	距離 計測	数量 算出	出来 ばえ 評価	表面 状態 把握	計測精度 及び 精度管理	UAV	TLS	地上移 動体搭 載型LS	無人航 空機搭 載型LS	音響測 深機器	施工 履歴 データ	地上写 真測量	モバイル 端末	TS（ノ ンプリ		TS等 光波方 式	RTK- GNSS	ICT建 機の刃 先計測 機能
土工	多点計測管理 ¹⁾	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	■
	単点計測管理 ²⁾	○	○	●	○		○		○	○	○		○	○							○		○	○			■
舗装工	多点計測管理 ¹⁾	○	○	●	○	○	○			○			○	○										○	○		■
	単点計測管理 ²⁾	○	○	●	○								○										○				■
路面切削工	多点計測管理 ¹⁾	○	○	●	○	○	○			○			○	○										○	○		■
	単点計測管理 ²⁾	○	○	●	○	○	○				○		○	○							○ ²⁾			○			■
河川浚渫工	多点計測管理 ¹⁾	○	○	●	○	○	○		○	○	○		○	○										○	○		■
	単点計測管理 ²⁾	○											○											○			■
付帯構造物設置工	多点計測管理 ¹⁾		○	●	○		○						○	○	○	○								○	○		■
	単点計測管理 ²⁾		○		○								○											○	○		■
表層安定処理等・ 固結工（中層混合処理）	その他管理 ³⁾		○	●	○		○						○														■
固結工（スラリー攪拌工・ バーチカルドレン工・ サンドコンパクションパイル工）	その他管理 ³⁾		○	●			○		○				○														■
法面工	多点計測管理 ¹⁾	○		●	○		○			○			○	○	○						○			○	○	○	■
	単点計測管理 ²⁾	○		●	○								○											○			■
トンネル工	単点計測管理 ²⁾				○		○						○											○			■
基礎工（矢板工・既設杭工・ 場所打杭工・鋼管矢板基礎工）	多点計測管理 ¹⁾			●	○		○						○		○									○	○		■
	単点計測管理 ²⁾												○											○			■
擁壁工	多点計測管理 ¹⁾	○		●	○		○				○		○	○	○	○											■
	単点計測管理 ²⁾		○	●	○						○		○														■
構造物工（橋脚・橋台）	多点計測管理 ¹⁾	○		●	○		○				○		○	○	○	○											■
	単点計測管理 ²⁾			●	○						○		○														■
土工（1,000～3米間）・ 床掘工・小規模土工・法面整形工	多点計測管理 ¹⁾	○		●	○		○		○	○	○		○	○	○	○	○				○	○	○	○	○	○	■
	単点計測管理 ²⁾	○		●	○						○		○											○	○		■

出典：国土交通省 HP 3次元計測技術を用いた出来形管理用要領（案） R7.3改訂 総括表

図-8 刃先計測機能を用いた出来形管理の全国運用について

- ICT 建機の刃先精度確認試験の手間が大きいので簡略化して欲しい。
- ICT 建機のトラブルなどに備えて、従来手法での出来形管理も併用可能な記載として欲しい。

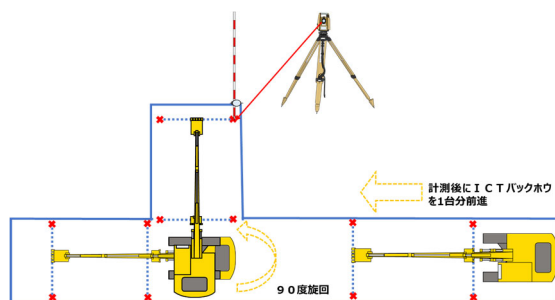
5. 刃先計測機能を用いた出来形管理手法の全国運用に向けた基準類の整備

上記結果を踏まえ、本手法は、ICT 活用工事で利用される 3 次元計測技術を用いた出来形管理要領（案）の「土工（1,000m³ 未満）・床掘工・小規模土工・法面整形工編」にて、出来形計測手法の一つとして位置づけられた。（図-8 参照）

また、同要領（案）において、本手法の適用においては、以下に示す事前の刃先計測精度の確認が必要である。

(1) 計測精度を担保するための精度確認方法

MG ガイダンスバックホウが有する刃先計測機能を用いて出来形計測（断面管理）を行う際、施工前にこの機能が正しく座標値を計測できているか確認する必要がある。事前精度確認試験は 1 工事につき 1 回実施する。また出来形計測を行う場合は日々の精度確認（既知点での確認）も実施する。（図-9 参照）



ブーム・アームを最も縮めた状態で 1 断面（2 点以上）の計 2 断面で計測。その後、建機 1 台分前進させ同姿勢で 2 断面、90 度旋回させた姿勢で 2 断面の計 6 断面（12 点以上）を計測。

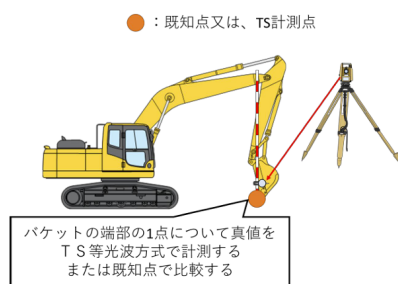


図-9 刃先計測精度の事前確認方法例（上）と日々の精度確認（下）

(2) 出来形管理基準及び規格値案

本手法は、断面管理手法における出来形管理と

なることから出来形管理基準及び規格値に変更はない。

6. おわりに

近畿地方整備局として刃先位置計測機能を用いた出来形管理手法に着目し、検証フィールドにおける現場検証を踏まえ、小型 ICT 建設機械の効率的な出来形管理手法が構築できたことは、ICT 活用が進んでいない地方自治体における中小規模工事での生産性向上に向け、省力化が大きく期待でき、中小規模工事への ICT 施工の導入・活用への更なる期待もできる。

更に、近畿技術事務所では本手法の活用促進に向けて、近畿地方整備局インフラ DX 推進センターでのインフラ DX 研修（ICT 活用研修、BIM/CIM 施工研修等）や講習会を通じて、地方自治体、中小企業を含め小型 ICT 建設機械による刃先計測技術の普及推進を進め、ICT 活用を広く普及していくとともに、地域の建設業に向けて ICT 施工に長けた人材育成にも力を注いでいく。

謝辞：本編を執筆するにあたり、現地適応性検証の現場を提供して頂いた国、府県、自治体の皆様に心より御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省 HP