

17. ICT バックホウの施工履歴データによる出来形管理の実用有効性の 検証

株式会社トプコン ○ 高本 悠介
株式会社トプコン 中村 圭佑
福井コンピュータ株式会社 平 浩之

1 はじめに

従来の河川浚渫における出来形管理では、船上からのレッド測深やトータルステーションによって計測するものが主であるが、水の流れや視認の困難さにより計測に多くの時間と人を要してきた。また、従来方法は計測点数も少なく正確性にも欠ける。国土交通省により平成 30 年度より河川浚渫における新たな出来形管理要領が制定され、出来形管理の生産性向上への取り組みがはじまった。その中の 1 つである『施工履歴データを用いた出来形管理要領（河川浚渫工事編）（案）』¹⁾では ICT バックホウのバケット刃先の軌跡データから出来形を作成することが認められた。

施工履歴データを用いて出来形管理を行う方法では、視認が困難な水中や、計測するには危険な場所の出来形を作成することができる。計測点数が増えることにより面管理ができるメリットもある。また、施工後に別途出来形を測定する方法に比べて大幅な工数の削減も可能である。しかしながら、施工履歴データによって得られた出来形の精度については不確かな部分が多い。本研究では、要領に則った方法で、実現場を模した実験による検証を行った。

2 フィールド実験概要

2.1 実験内容

掘削作業による施工履歴データの精度検証を目的として、2019 年 4 月 3 日と 4 月 4 日に株式会社トプコン関東トレーニングセンタ(茨城県行方市)内で実験を行った。

5m×5m の正方形の地形において、『ICT 建設機械 精度確認要領（案）』²⁾と『施工履歴データを用いた出来形管理要領（河川浚渫工事編）（案）』に基づき精度確認試験作業及び浚渫を模した深さ約 0.55m の掘削実験を行い、地上型レーザースキャナー(以下 TLS)で計測した真値に近いと想定される出来形データと ICT 建機の施工履歴データから出

力された出来形データの形状比較、及びそれぞれのデータを用いて計算される土量数量の比較を行った。検証用に TLS を用いる必要があったため、水の無い通常の地面で実験を行った。

2.2 実験機器

ICT バックホウ

GNSS を用いたマシンガイダンスシステム
トータルステーション(以下 TS)

TLS

クラウド型施工管理システム(トプコン Sitelink3D)

点群処理ソフトウェア(トプコン MAGNET Collage)

点群処理・出来形帳票作成ソフトウェア(福井コンピュータ TREND-POINT)

2.3 クラウド型施工管理システムについて

クラウド型施工管理システムは ICT 建機の状態を携帯電話回線を用いて収集し、リアルタイムでのモニタリングや作業の管理に用いる。マシンガイダンスシステムでバックホウに装着するセンサーは図 1 のような構成であり、通信のため図 2 のようなネットワーク接続モデムを追加で装着する。本実験では ICT バックホウのバケット刃先の軌跡データを収集し、クラウド内で不要点削除、グリッドデータ化を行い TIN 法を使って出来形データとして出力する機能を用いた。本実験では 0.1m、0.2m、0.4m の格子点間隔で出来形を作成した。

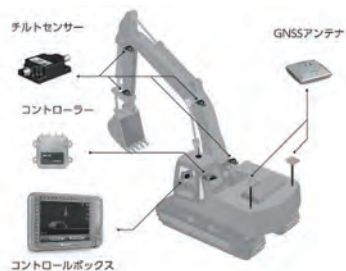


図 1 マシンガイダンスシステムの構成



図2 ネットワーク接続用モデム

3 ICT 建機の精度確認

3.1 静止状態での精度確認

平成31年新設の『ICT建設機械 精度確認要領(案)』に則り、ICTバックホウのマシンガイダンス技術から提供されるバケット刃先座標と、TSにより計測した座標との較差を算出して比較し、精度確認を行った。精度確認は7ケースの姿勢で行い、それぞれの姿勢で1回ずつ計測を行った。表1の通り、全てのケースで標高較差が基準値±50mmの範囲内に収まった。

3.2 整形テスト作業による精度確認

『施工履歴データを用いた出来形管理要領(河川浚渫工事編)(案)』に則り、5m×5mの区画を含む範囲で、地面を平坦に整形するテスト作業を行い施工履歴データを記録した。深く掘削はせず、地表にバケットを押し付けるように整形を行った。

整形作業後に、施工履歴データから求めた0.1m格子点間隔の出来形上の点をTSで16点検出した。クラウド型施工管理システムから出力した出来形上の点の標高からTSで検出した点の標高を引いた較差を算出した。較差の最大値は+43.4mm、最小値は-39.6mmとなり基準値±100mmの範囲内に収まった。



図3 整形作業前(左)と作業後(右)の現場

4 掘削作業の施工履歴による出来形・土量の精度検証

4.1 浚渫を模した施工作业

施工履歴データによる出来形の精度を検証するため、以下の手順で現況計測と掘削作業を行った。実験区画は、「3.2 整形テスト作業による精度確認」を行った範囲内の5m×5mの区画を用いた。設計データは現地の標高値を参考に、最低でも0.5mの掘削を行うように事前に作成した。掘削作業中には施工履歴データを収集するようにした。

手順

- ① TLSで掘削前の現況計測を実施。
- ② マシンガイダンスを用いて設計データに沿って掘削作業を実施。
- ③ 正確な出来形、土量を求めるためTLSで掘削後の出来形計測を実施。



図4 現場の作業の様子

4.2 施工履歴とTLSによる出来形標高の比較

施工履歴データによる出来形の標高を、真値に近いと考えられるTLSによる測定点と比較した。標高較差 Δh を、同じ平面座標における差

$$\Delta h = \text{施工履歴による出来形標高}$$

－ TLSによる出来形標高

とした。

施工履歴データによる出来形はクラウド型施工管理システムから0.1m格子点間隔で取得した。これに対し、TLSによる出来形の点群密度は不均一であるため、格子内にある点群は標高の平均化処理を行った。TLSの点群が1点も無い格子は計算に用いなかった。較差の計算に用いた施工履歴とTLSの点はそれぞれ2493点となった。

表1 静止状態の精度確認結果

試験ケース	パラメータ(目標値)					標高(m)		標高較差 ① - ② (mm)	較差確認結果 (±50mm以内)
	バケット 標高位置	バケット 角度	バックホウ 姿勢	バケット 距離	上部旋回 体向き	①ICTバツ クホウ	②精度検証 用TS		
ケース1	0m	0度	水平	近距離	正面	2.694	2.663	31	合格
ケース2	0m	60度	水平	近距離	正面	2.645	2.633	12	合格
ケース3	1.5m	0度	水平	近距離	正面	4.084	4.054	30	合格
ケース4	0m	0度	水平	遠距離	正面	2.703	2.666	37	合格
ケース5	0m	0度	7.5度	近距離	正面	2.667	2.658	9	合格
ケース6	0m	0度	水平	近距離	90度	2.627	2.607	20	合格
ケース7	0m	0度	水平	遠距離	90度	2.689	2.665	24	合格

Δh の平均値、最大値、最小値はそれぞれ-26mm、+118mm、-637mm となった。較差 100mm を基準値とすると、 $\Delta h > +100\text{mm}$ となる点は 1 点(0.04%)、 $\Delta h < -100\text{mm}$ となる点は 206 点(8.26%)となり、91.7%は $\pm 100\text{mm}$ 以内になった。較差が-100 mm を越えている点が多く見られたのは、刃先が深く地面に刺さったが土は掘られていない部分または後の操作で自然に埋め戻された部分があり、施工履歴データによる出来形の標高が実際よりも低くなったためである(図 5)。較差が+100 mm を越えているものは少なく、掘削結果が実際よりも悪く評価される可能性は低い。

河川浚渫工事のような負の較差に対する規格値が緩やかな工事では施工履歴データを出来形管理に用いることは精度的にも十分可能である。規格値が厳しい場合には、マシンコントロールによってバケットの刃先が設計面を越えないようにする等の工夫が考えられる。



図 5 土は掘られていなくとも刃先が深く刺さったため出来形が低く見積もられる



図 6 施工履歴による出来形(横から) 較差-100 mm を越える点は白色で表示

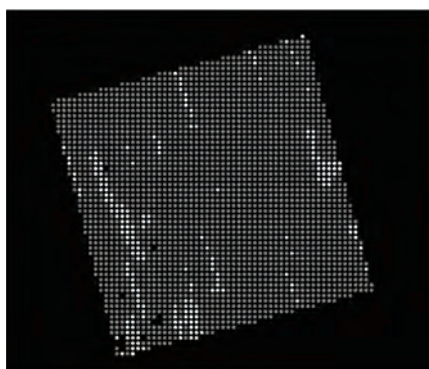


図 7 施工履歴による出来形(上から) 較差-100 mm を越える点は白色で表示

4.3 土量計算

出来高算出への有効性検証のため、点群処理・出来形帳票作成ソフトウェアのメッシュ法(点高法)による土量計算機能を用いて土量の数量算出を行った。基準面は「4.1 浚渫を模した施工作业」の①

で取得した TLS による掘削前の現況を用い、比較面は②で取得した施工履歴を 0.1m の格子間隔で出力した出来形を用いたパターン(土量 A)と、③で取得した TLS による施工後の出来形を用いた真値に近いと想定されるパターン(土量 B)で算出した。

数量算出結果は、土量 A では切土量 13.97 m^3 、土量 B では切土量 13.45 m^3 となった。土量 B に対する土量 A の相対誤差は 3.8%であった。平均掘削深度は 0.55m であった。

「3.1 静止状態での精度確認」と「3.2 整形テスト作業による精度確認」での標高誤差の基準値はそれぞれ $\pm 50\text{mm}$ と $\pm 100\text{mm}$ である。この精度であれば 0.55m 掘削した場合の相対誤差は最大 9.1%と 18.2%となる。これらの値と比較して本実験の相対誤差は小さく、十分利用可能な精度である。

以上の算出結果は約 0.55m の掘削を行った場合での結果である。土量の体積は掘削面積×掘削深度なので、さらに深い掘削を行った場合は土量の相対誤差は小さくなり、土量の数量はより正確な値に近づく。

4.4 施工履歴データから得られた出来形評価

施工履歴データによる出来形評価と、出来形の格子点間隔の違いによる影響を調べた。

出来形は「4.1 浚渫を模した施工作业」の②で取得した施工履歴からクラウド型施工管理システムを用いて 0.1m、0.2m、0.4m 格子間隔で出力した 3 種類の出来形と、③で計測した TLS による出来形の計 4 種類を取得した。出来形評価には出来形帳票作成ソフトウェアを用いて評価区画内の最下点を抽出し、規格値は河川浚渫工に準じて平均値 0 以下、個々の計測値+400mm 以下とした³⁾。評価区画は規定の大きさである 1.0 m^2 ($1.0\text{ m} \times 1.0\text{ m}$) で評価を行った。

出来形の格子間隔は、

- ・ 出来形の格子間隔が大きいとデータ量を減らせる。
- ・ 出来形の格子間隔が小さいと出来形の細かな形状まで表せる。

といった特徴がある。

評価パターンと結果を表 2 に示す。可否結果は、いずれの格子間隔においても規格値を満足しており、TLS 点群の評価と同じ結果となった。本実験環境においては施工履歴データは出来形管理に問題無く利用できることが示された。

パターン A、B、C を比較したとき、格子間隔が小さい場合(パターン A)は「4.2.施工履歴と TLS による出来形標高の比較」で論じたように、刃先が深く刺さったときの影響を受けて区画内の最下点の標高が大幅に低くなっていた。格子間隔が小さいからといって実際の出来形を正しく反映できてい

るとは限らないことがわかる。

パターンCのように格子間隔が大きくなると、領域端部付近で評価区画内に評価点が無く評価データ数が少なくなる場合があることや、TLS で正確に測定した標高較差(最大 3 mm パターン D)よりも最大値が大きくなってしま(最大 37mm)ことがある。しかし、データが粗くなったため、刃先が深く刺さった影響は緩和されており、最大値も適切に施工されていればデータの粗さによって規格値を越えるということはない。

以上の結果より、施工履歴データによる出来形を実際の現場に適用して評価する場合には、評価区画にデータ欠損が出ない程度に格子間隔を大きくすることがよい。

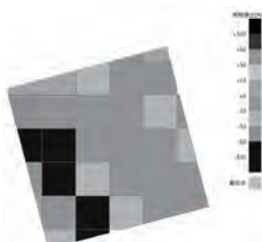


図8 パターンA
施工履歴 0.1m格子

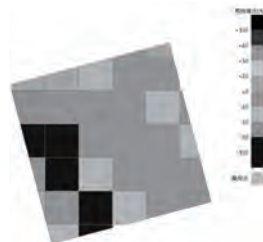


図9 パターンB
施工履歴 0.2m格子

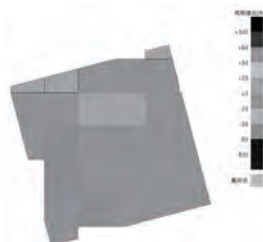


図10 パターンC
施工履歴 0.4m格子

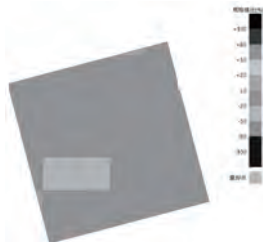


図11 パターンD
TLS 不均一な点群
密度

ては、バケットの刃先が地面に深く刺さった場合に本来より低く見積もられる。河川浚渫工事では本来合格であったはずの出来形が不合格になるということないが、他の工種に適用する場合にはマシンコントロールの活用等が考えられる。

土量は本実験の条件においては、真値との相対誤差は3.8%であった。掘削がより深くなれば誤差の割合が小さくなるため、施工履歴データにより得られた土量はより正確になる。

施工履歴より得られた出来形評価は、出来形の格子点間隔や評価密度を変えても規格値を満たしており、TLS で計測した出来形の帳票とも相違ない結果となった。施工履歴データによる出来形を実際の現場に適用して評価する場合には、評価区画にデータ欠損が出ない程度に格子間隔を大きくすることがよいことがわかった。

参考文献

- 1) 国土交通省：施工履歴データを用いた出来形管理要領（河川浚渫工事編）（案），平成30年3月
- 2) 国土交通省：ICT建設機械 精度確認要領（案），平成31年3月
- 3) 国土交通省：土木工事施工管理基準及び規格値（案），平成30年3月
- 4) 岡島他：i-Constructionで適用する河川浚渫工の出来形の面管理に関わる基準類の策定，平成30年度 建設施工と建設機械シンポジウム論文・梗概集，pp65~68

5 まとめ

本研究では、平成30年に制定された『施工履歴データを用いた出来形管理要領（河川浚渫工事編）（案）』に則った精度確認作業と河川浚渫を模した掘削作業を陸上で行い、TLSによる正確な出来形と施工履歴データによる出来形を比較し、十分実用可能であることを確認した。

施工履歴と TLS による出来形の標高較差に関し

表2 出来形評価結果

パターン	計測機器	格子点間隔	出来形評価密度	合否	設計面との標高較差			評価データ数
					平均値(mm)	最大値(mm)	最小値(mm)	
A	施工履歴	0.1m格子	1.0m ² (1.0m×1.0m)	合格	-166.9	-3	-602	34
B	施工履歴	0.2m格子	1.0m ² (1.0m×1.0m)	合格	-109.4	9	-441	33
C	施工履歴	0.4m格子	1.0m ² (1.0m×1.0m)	合格	-51.3	37	-294	29
D	TLS	不均一	1.0m ² (1.0m×1.0m)	合格	-35.9	3	-139	34