

28 その他

実現場における ICT バックホウの 施工効率調査とオペレータ訓練システムの開発

(一社) 北海道土木施工管理技士会

株式会社砂子組

設計技術課主任

瀧瀬 かおり[○]

設計技術課主査

佐藤 欣治

専務執行役員

近藤 里史

1. はじめに

昨今、働き方改革により建設業の働き方の抜本的な改善に向けた取り組み及び建設現場の生産性向上、現場の技術力の発展を目的に自動制御が可能なICT建機の導入がされている。

また、建設業界において建設機械を扱うオペレータの高齢化が進むとともに重機作業者が熟練工化している傾向にある、将来を担う若年者オペレータの人数は不十分であるため、重機操作をより習熟させることが急務である。その中で、ICT技術が進歩している重機に関しては、経験の浅いオペレータでも正確で安全性の高い施工が可能になりつつあり、労働者の減少を生産性の向上により補うことが可能と考えられている。

以上の背景より、バックホウにおける土工作業の内、経験条件の異なるオペレータによる作業別の施工効率の実証実験を行った。

また、重機オペレータを扱う若年者の早期習熟のサポートすることを目的に、バックホウシミュレーターの開発を行った。

工事概要

- (1) 工事名：石狩川改修工事の内
幌向川右岸法尻保護工事
- (2) 発注者：北海道開発局 札幌開発建設部
- (3) 工事場所：江別市豊幌
- (4) 工期：2019/7/24～2020/1/6

2. 現場における課題点・問題点

当該工事は、国土強靱化による築堤護岸のために工事延長3,700mを掘削後、裏込め砂利を敷き均し、転圧後に大型連節ブロックを設置するもので、建設機械による施工において、現場条件やオペレータの習熟度が作業効率に影響を及ぼしていると考えられるため、バックホウによる掘削工事が主となる当現場では、日々の掘削延長の進捗を管理することが重要な課題であった。

また、熟練工によらない若年層の早期習熟を補助するシステム開発が必要であると考えた。

3. 工夫・改善点と適用結果

当該現場における作業効率を管理するため、経験条件の異なるオペレータによる作業条件別の施工効率の実証実験を行った。

3-1. 実験条件及び計測方法

図-1に示す通り、バックホウの土工作業経験者オペレータ（以下経験者と記載）、土工作業未経験者（以下未経験者と記載）によるA～Eの5ケースで実証を行う。

掘削断面は図-2に示す通り、深さ0.3m、掘削長4.6mの断面を一連作業で掘削を行うもので、使用するバックホウはPC200iとした。なお、実験時は通常の掘削作業を行ってもらう旨をオペレータへ説明を行った。

また、作業条件別オペレータのバックホウ操作状況を把握するため、アームシリンダー部に設置したワイヤー式変位計（ストロークセンサー）によりシリンダーの伸縮長を計測し、AD変換器を通してパソコンで記録・表示を行った。計測方法はビデオ計測とし、図-3に示す通り、作業回数のカウント方法は現場での作業状況より、掘削回数・整形回数とそれぞれの旋回回数とし、計測時間は2～3時間程度とした。

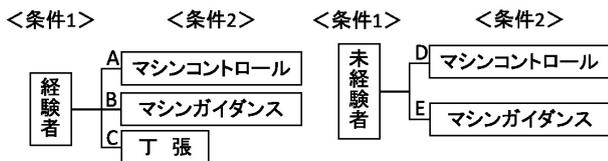


図-1 実験条件

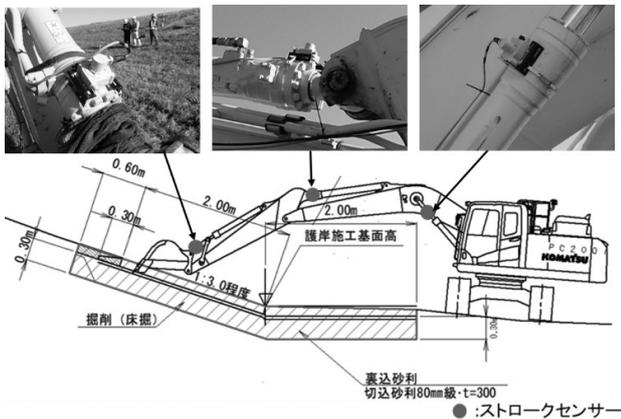


図-2 掘削断面

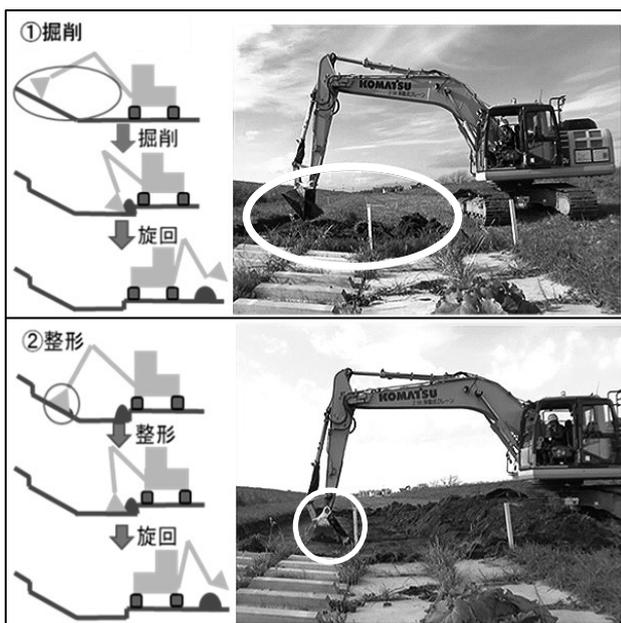


図-3 作業回数のカウント方法

3-2. 実験結果及び考察

条件Aは他ケースと異なり整形時にまとめて旋回していたため、掘削時の旋回が0回であった。また、掘削整形の回数が少ない、作業時間が最も短く進捗が最も伸びていたことから、MCを十分に活用できていたと考えられる（図-5）。

条件Bが最も整形回数が多かったのは、仕上げをMCと同様にするため整形回数がAに比べ増加し、あわせて作業時間も増加したと考えられる。

条件Cは手元指示による作業のため、進捗に関して手元の作業時間が加わったことから最も伸びなかったと考えられる（図-5）。

条件Dが2番目に総回数が少なく、2番目に進捗が伸びなかったのは、MCの機械制御に順応できず、アームの上下動作・操作回数が増加したためと考えられる（図-4、5）。

条件Eが2番目に総回数が多いが、2番目に進捗が伸びたのは、機械制御がないため整形回数は多いが、1つ1つの動作の時間が作業量のわりに短く、仕上げが荒堀に近かったためと考えられる（図-5）。

進捗が伸びていたのはケースAだが、整形に要した時間がやや長かったと考えられることから、出来形条件が荒堀に近いケースEと同様であれば、整形にかかる時間が長い部分に関しては改善の余地があり、また、ケースDの未経験者がMCに順応することでケースAの経験者と同程度の進捗になると考えられる。したがって、現場の管理者・オペレータの出来形に対する認識を一致させて作業項目ごとの必要最低限の出来形条件を統一化させること、機械操作を早期に順応させることで作業効率の改善が図ることが可能と考えられる。

アーム挙動に関して、経験者は軌跡が一定でアームの可動範囲が狭い傾向にあったのに対し、未経験者は軌跡が一定でなく、アームの可動範囲が広い傾向にあった。しかし、軌跡が一定であっても回数・時間が少ないとは限らないが、回数に着目するとMGよりMCの方が少ない回数で掘削できたと考えられる（図-4）。

表-1 10m当たりの進捗

名称	A	E	B	D	C
進捗[m/h]	18.74	15.45	14.15	13.41	13.29
作業日数[日/km]	6.7	8.1	8.8	9.3	9.4

伸びた ← → 伸びなかった

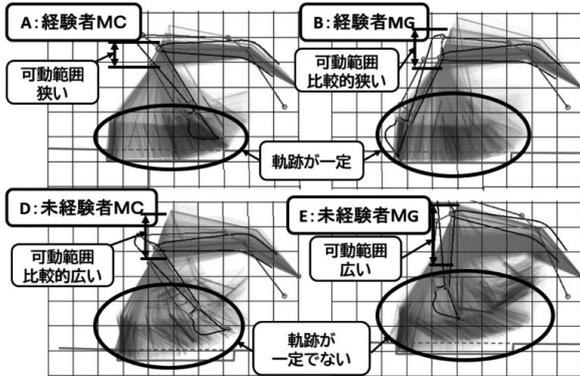


図-4 アーム挙動の比較

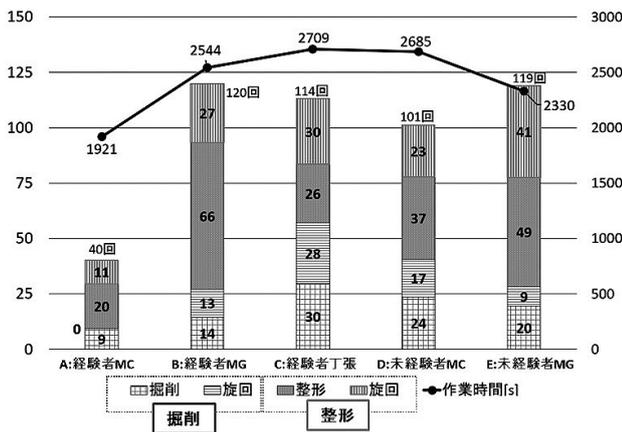


図-5 10m当たりの作業回数・時間

3-4. バックホウシミュレーターの開発

以上の試験結果より、バックホウ操作において、熟練工によらない若年層の早期習熟が需要であると考えられること、また、操作育成教材としてバックホウを操作するシミュレーターは存在するが、作業条件や他機種に対応したシミュレーターは数少ないと考えられることから、誰もが効率的にバックホウを操縦できるよう教育し、効率的なアーム操作をシミュレート可能なバックホウシミュレーターの開発を行った。

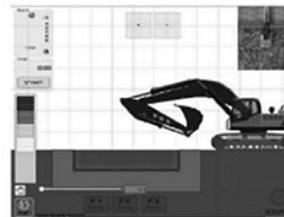
使用機器は図-6に示すインストール環境 Windows10のパソコン（ソフトはインストール済）とジョイスティック2機を使用した。



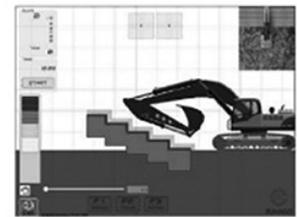
図-6 使用機器

3-5. シミュレーター使用方法

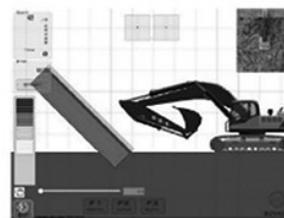
シミュレーターの使用方法として、バックホウの操作モードは各建機メーカーから設定、高さ・奥行き・勾配等の掘削形状を設定、トレーニングをする掘削形状を決定後、トレーニングを開始する。なお、掘削形状は図-7に示す通り、床掘、斜面、段切りモードの3種類があり、さらに200個のボールをすくうボールプールモードが搭載されている。



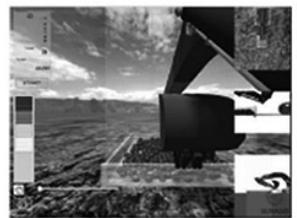
Flat(床掘)



Step(段切り)



Slope(法面)



Ball Pool(ボールすくい)

図-7 掘削形状

3-6. トレーニング

図-8、9に示す通り、掘削形状が床掘、斜面、段切りモードの3種類についてはスタートボタンを押すと緑色の作業目標が表示され、時間計測及びスコア計測が開始し、画面右側に表示されているバックホウ上部・サイド等から映したカメラで操作を確認しながら作業目標をバケットの先端で

触れ、全て消滅させるトレーニングである。

また、**図-10**に示す通り、スタート後はバケットの先端が描いた操作軌跡の表示がされ、視点を切り替えることも可能である。ただし、過掘りした場合、深さの度合いに合わせて減点される。

ボールプールについて、作業内容は枠内に出現した作業目標であるボールを全てすくい出すトレーニングで、トレーニング条件に関しては床掘、斜面、段切りモードと同様である。



図-8 画面内容

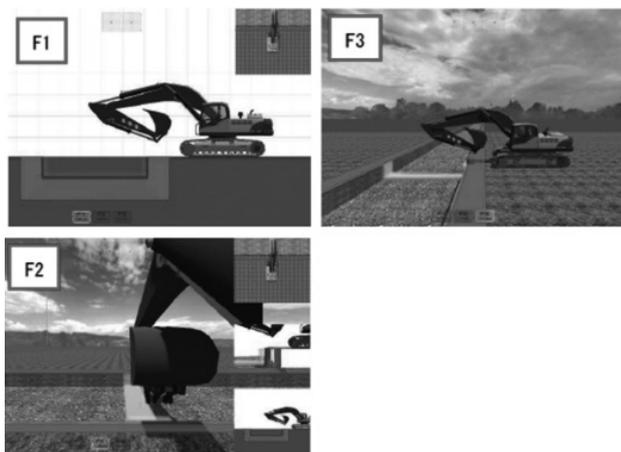


図-9 視点 (サイド・キャビン・立体サイド)

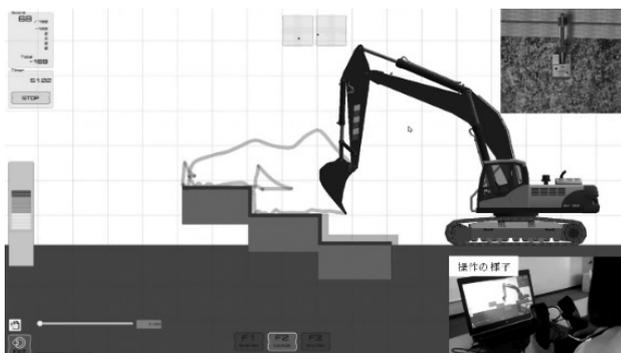


図-10 操作の軌跡

3-7. 検証

授業の一環でバックホウ操作を行う農業高校で、若年者によるバックホウ操作について比較検証を行い、条件はシミュレーターを使用した生徒5人、使用していない生徒5人に従来機・ICTを操作してもらい、重機作業については周辺に障害物のない私有地で行った。**図11**に1サイクル当たりの5人の平均作業時間を示す。

シミュレーターの使用有無で従来機・ICTの作業時間を比較する。シミュレーターを使用した場合、従来機では作業時間が5～9分程度短く、ICTでは作業時間が4～11分程度短いことが見て取れる。したがって、シミュレーターを使用した方が操作への順応が早いと考えられるため、初期操作時間を短縮することができ、施工効率を向上することに効果的だと考えられる。

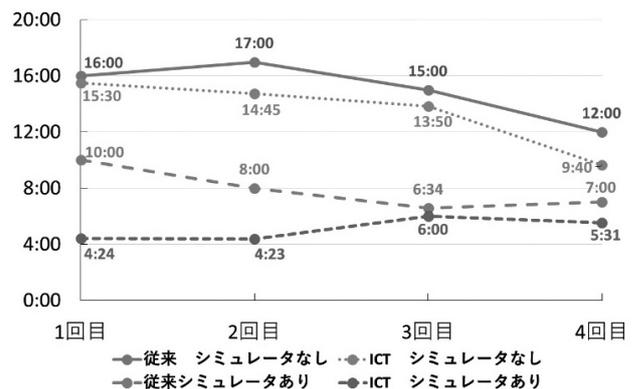


図11 1サイクル当たりの5人の平均作業時間

4. おわりに

シミュレーターで事前にトレーニングすることで実機での作業時間が短縮されることがわかったが、シミュレーターの効果検証をより充実させるため、今後も継続したテスト、実地検証を行っていく必要がある。

また、シミュレーター内容を充実させるため、熟練者の手本軌跡の作成、土工作业形状モードの増加等、今後の課題としていくものである。