

令和元年度 i-Construction 大賞
工事・業務部門 国土交通大臣賞 受賞

ツインヘッドを用いた施工性および 出来形精度向上の取り組み

とよくらぐみ
株式会社豊蔵組

H29・30 能越道長沢道路その7工事 監理技術者

よしだ てるき
吉田 照紀

1. はじめに

株式会社豊蔵組は、石川県金沢市にある昭和27年創業の総合建設業の会社で、社員数は90名です。完成工事費の比率は、建築工事が7割、土木工事が3割です。土木工事としては官公庁発注工事が9割を占めており、半分が国土交通省発注工事です。

弊社のICT技術等に関する取り組みは、トータルステーション(TS)の出来形管理から始まり、本格的には国土交通省により2016年度から始まった“i-Construction”の導入と同時に、社内にICT専門チームを発足させスタートしました。

ICT専門チームは若手社員が中心となり、社内ですべてのICT施工を行う内製化を基本として、ICT技術の習得や研究開発を進めてきました。この取り組みにより、令和元年度i-Construction大賞【国土交通大臣賞】を受賞することができました。

今回、対象現場となった「H29・30 能越道長沢道路その7工事」での取り組みを紹介いたします。

2. 工事の概要

(1) 工事内容

能越自動車道「輪島道路」は、のと里山空港ICから輪島IC（仮称）を結ぶ延長11.5kmの自動車専用道路で、本工事は、輪島道路の三井町長沢地区で施工延長420mの工事であった（図－1）。

- ・土砂掘削：23,600 m³
- ・軟岩掘削：19,450 m³
- ・路体盛土：22,600 m³
- ・法面整形：4,630 m³
- ・自走式土質改良工：22,300 m³
- ・植生工（植生マット）：2,420 m²
- ・アンカー工（L=8.58～12.08 m）：28本
- ・排水構造物：679 m

(2) ICT 活用の経緯

国土交通省は、今後加速する労働人口減少に対応するため“i-Construction”の下、ICT技術を全面的に活用し、建設現場の生産性向上を進めている。このICT技術のうち、ICT建設機械のマシンコントロール技術は飛躍的に向上しており、この技術を応用して新しい施工方法を造り出す時代となってきている。



図－1 現場位置図

マシンコントロール技術は、重機の掘削バケット等の形状を設定し、GNSS等で得られた重機本体の位置情報を基にバケット先端等の位置を制御する技術で、3次元設計データと組み合わせることにより、設計面に合わせてセミオートでバケットが動かせ、作業ができる。

このマシンコントロール技術により、これまで熟練オペレータにしかできなかった出来形精度を確保する作業が、未熟練者でも比較的容易にできるようになった。また、バケットの形状を自由に設定できることから、アタッチメントの工夫で応用範囲が広がり、今後、土工事の効率化、省力化・省人力化が期待できる。

本工事では、更なるICT施工の活用事例として、マシンコントロールバックホウ（以下、「MCバックホウ」という）にトンネル工事で多く利用されているツインヘッドを搭載し、軟岩・中硬岩の法面整形および水路掘削の検証を実施した。

(3) 現状と課題

① 法面整形

通常、軟岩・中硬岩の法面整形は、大型ブレーカで荒掘削した後、MCバックホウの岩掘削バケットにより整形を行っている。岩掘削用バケット

での整形は、バケットについた爪で法面をひっかけ、削り落としながら行う。このため、施工性が非常に悪いことや、法面に爪痕が残る、特に縦方向の凹凸が大きくなる。本工事の法面保護には植生マットによる保護を計画しており、この施工では凹凸が大きいと地山と密着させるために、多くのアンカーピンを打ち込む必要が生じることから、施工性が悪い。

② 水路掘削

通常、水路掘削は、大型ブレーカで岩盤をほぐしながらバケットにより掘削している。この作業は、ブレーカのほぐし残しが多くなりやすく、何度も同じ作業を繰り返す必要があることから作業効率が悪い。また、大型ブレーカは、矢がストロークする際の打撃による掘削であることから、衝撃が大きいことや深掘りになりやすいことから、岩盤に亀裂が入り将来水路からの漏水が発生した場合、法肩が崩落する懸念があった。

これらのことから、軟岩・中硬岩の施工改善することが課題であった。

(4) 技術的解決策

ツインヘッドは円筒形の本体に複数のビットが付いて、その本体が油圧により縦回転し、回転打撃で掘削整形する構造である。

これまでツインヘッドは先端が円筒形であるため、オペレータから見ると施工面（掘削面）とツインヘッド先端（アプローチ面）の距離がわかりにくいことから、仕上げを伴う掘削作業に対し実績が少なかった。

しかし、マシンコントロール技術と組み合わせたツインヘッドは、オペレータによる先端位置の把握が必要なくなり、施工精度や施工性の向上が期待できる。また、複数のビットで回転して掘削整形するため、凹凸や衝撃が小さくなる。

施工能力が大きいブレーカを、マシンコントロール技術で制御し施工性を向上させたいところであったが、先端がストロークして打撃掘削するブレーカの構造は、先端の位置情報を制御するマシ

ンコントロール技術には不向きであった。反して、ツインヘッドは回転掘削であることから、先端位置が制御しやすく、マシンコントロール技術には理想的であった。

3. 精度向上への取り組み

(1) 機械設定

MC バックホウ（コマツ PC200i）にツインヘッド（山積 0.5 m³ 級）を搭載して検証を行った（写真－1）。MC バックホウが山積 0.8 m³ 級に対し、アタッチメントとして取り付けたツインヘッドの規格を山積 0.5 m³ 級とした理由は、MC バックホウはマシンコントロール機能で自動制御していることから、作動油を通常バックホウより多く利用している。このため、ツインヘッドに作動油が多く使われると、MC バックホウのマシンコントロール機能が不安定になことが懸念されたからである（写真－2）。



写真－1 MC バックホウ（コマツ PC200i-10）



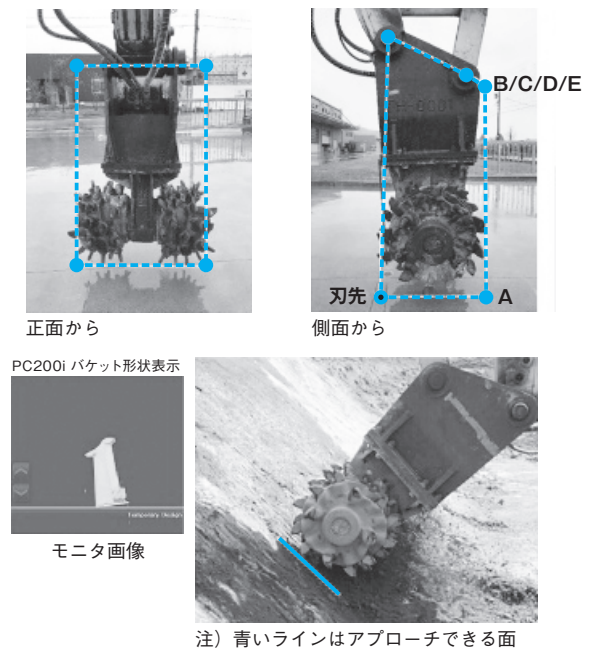
写真－2 ツインヘッド山積 0.5 m³ 級

(2) バケット形状設定

MC バックホウを精度および効率よく稼働させるため、アタッチメントの形状設定は重要である。形状設定により、設計面（掘削面）にアプローチできるアタッチメントの面や向きが決まり、施工精度に影響が出ることや、デイリーキャリブレーション（施工日ごとの直接測量等による位置確認作業）のしやすさにより施工性に影響が出る。

通常のパケットは先端の爪先が基準位置となり把握しやすいが、円筒形のツインヘッドは形状設定が難しく、A～Cの3パターンを設定し試した。その結果、Cパターンが掘削面にアプローチできる面が広いことや、デイリーキャリブレーションが容易であることから一番適しているとの意見が多かった。

① A パターン：単純な形状で設定（図－2）



図－2 検証 A パターン

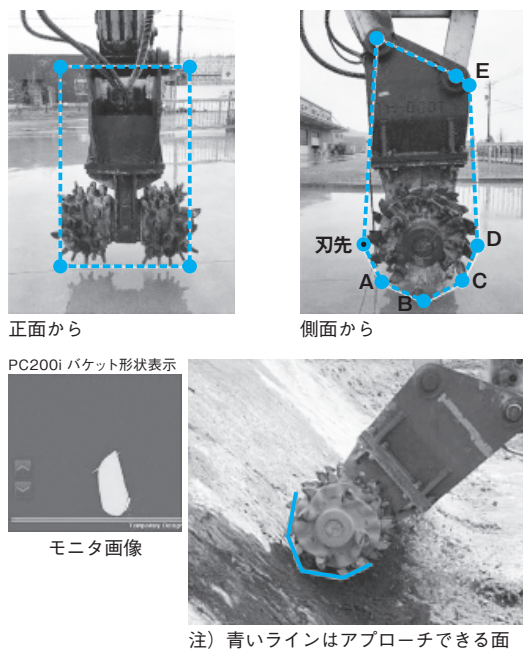
〈留意点〉

- ・専用治具によるキャリブレーションとなる。
- ・施工面にアプローチできる面が制限され、高所や低所の施工が困難。

② Bパターン：仮想点で設定（図－3）

〈留意点〉

- ・仮想点であることから、キャリブレーションが煩雑となる。
- ・仮想点であることから、形状設定時の誤差が大きい。
- ・掘削面にアプローチできる範囲が広い。

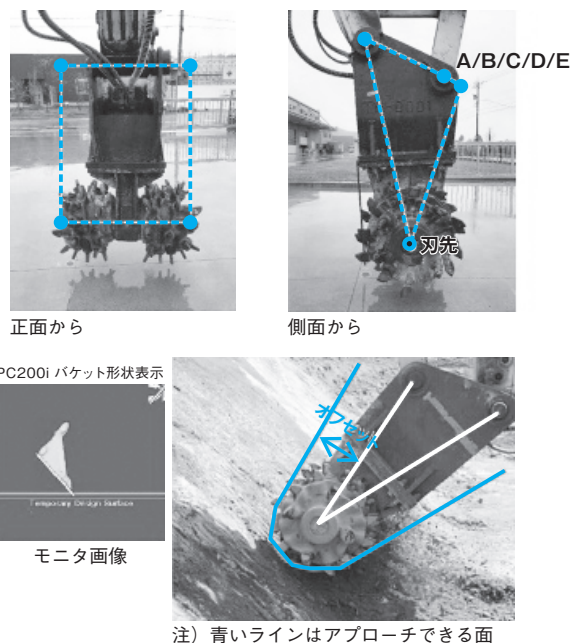


図－3 検証 B パターン

③ Cパターン：回転軸の中心を基準に設定（図－4）

〈留意点〉

- ・回転軸の中心でキャリブレーションができ、作業が容易。
- ・掘削面にアプローチできる範囲が広い。
- ・施工にはオフセット機能を使用する必要がある。
- ・モニタ表示とアプローチ形状が異なることから、違和感を感じる。



図－4 検証 C パターン

(3) 検証内容

検証は、出来形精度、施工性および環境評価の3項目について行った。

岩掘削バケット（従来技術）とツインヘッダ（検証技術）のベースマシンとなる MC バックホウは「コマツ PC200i」で統一し、アタッチメントの違いによる比較検証を行った。

法面整形は施工条件を統一させるため、事前に法面仕上り面より 20 cm 手前まで暫定掘削を行い、残りの 20 cm で従来技術と検証技術と比較した。また、水路掘削は、掘削深さ 30 cm、掘削幅 60 cm に対して行った（写真－3～6）。



写真－3 法面掘削状況



写真-4 法面掘削状況



写真-5 水路掘削状況



写真-6 法面整形完了

表-1 検証結果一覧					
項目	細目		従来技術	検証技術	大型プレーカ
法面整形	出来形精度	平均値	-51 mm	-42 mm	—
		最大値	82 mm	21 mm	—
		最小値	-125 mm	-110 mm	—
	法面の不陸	平均値	40 mm	10 mm	—
水路掘削	施工性	平均値	7 m ² /h	21 m ² /h	—
		平均値	10 m/h	30 m/h	—
環境影響	騒音	平均値	91.0 dB	81.6 dB	104.4 dB

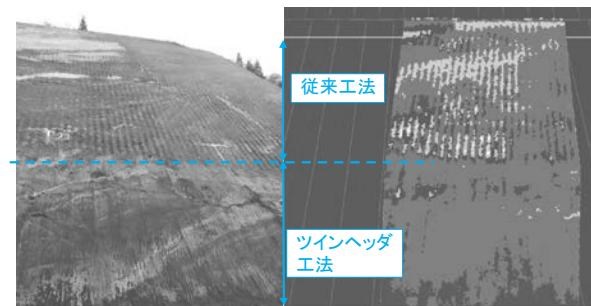


写真-7 TLSによる計測



写真-8 不陸の計測（従来技術）

4. 検証結果（表-1）

(1) 出来形精度

地上型レーザスキャナー（TLS）により高密度計測を実施し、点群データをヒートマップにより評価した。その結果、検証技術は非常に良好な出来形精度であった。最小値が大きくなった理由は、岩盤の肌落ちによりえぐれた局部的な個所を計測値として評価してしまった結果で、全体的には非常に高い精度であった（写真-7）。



写真-9 不陸の計測（検証技術）



写真-10 騒音測定

法面の不陸（波を打った状態）は、直接凹凸をスケールにより計測した。その結果、検証技術の法面の不陸はほとんどなく良好であった（写真-8, 9）。

(2) 施工性

法面整形の従来技術は1時間当たり7m²程度に対し、検証技術は1時間当たり21m²と、3倍の施工速度であった。

水路掘削の従来技術は1時間当たり10mに対し、検証技術は30mと、こちらも3倍の施工速度であった。

オペレータの感想として、通常岩盤の掘削作業は腕や肩に不必要な力が入ってしまい、肩こりなどの疲れやストレスがある。しかし、検証技術では全く疲れが感じられず、むしろ気持ちよく掘削できたと好評であった。

(3) 環境評価

環境評価は、掘削面個所から2m離れたところでの騒音を計測した（写真-10）。従来技術はバケットの衝撃音が不規則に発生することから、騒音値以上に不快な感じがある。しかし、検証技術は騒音値も低いことや騒音が一定であることから、不快な感じは少なかった。振動についても、検証技術の方が小さいと感じた。今思うと、振動について計測しておくべきであったと反省している。

5. おわりに

ツインヘッドでの検証初期は、暫定掘削分の厚さ20cmを一気に削り取ろうとしたため、バツ

クハウが大きく揺れ、不陸が発生した。しかし、MCバックハウのオフセット機能で5～10cmごとに削り取りを行うと、揺れが収まり施工精度が飛躍的に向上した。

ツインヘッドによる軟岩・中硬岩の法面整形は、検証項目すべてにおいて従来技術より優れており有効であると考えられる。しかし、ツインヘッドビットの摩耗が激しく、ビットの費用や機械の賃料が高価であることから、導入するには工期が厳しい現場や大規模な法面整形の現場等、費用対効果を詳細に検討する必要がある。

今後、ツインヘッドによる施工が大型ブレーカの施工のように汎用性が高くなり、市場に機械台数が多くなれば、価格は低下すると考えられる。

従来からあるツインヘッドが、これほど魅力的でワクワクする工法であると感じたのは、マシンコントロール等のICT技術の進歩であると感じた。

今回、当初は法面整形のみの検証を計画していた。しかし、法面整形の検証を進めていく途中に水路掘削でも応用できそうだとの意見があり、急遽、水路掘削の3次元設計データを作成し追加検証を実施した。このような柔軟な対応ができたのも、内製化を軸に進めてきた若手技術者によるICT専門チームの力であると思う。

今後、若手技術者等の担い手確保にはワクワクする魅力ある“i-Construction”が必要である。

“i”はイノベーションであり、多くの可能性を感じている。

今回のi-Construction大賞【国土交通大臣賞】受賞に対し、ご指導・ご協力をいただきました関係各位の皆様に対し、この場をお借りしまして厚く御礼申し上げます。