

山岳トンネル（NATM 工法）における ICT 施工の事例について

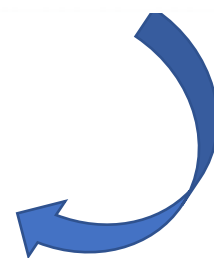
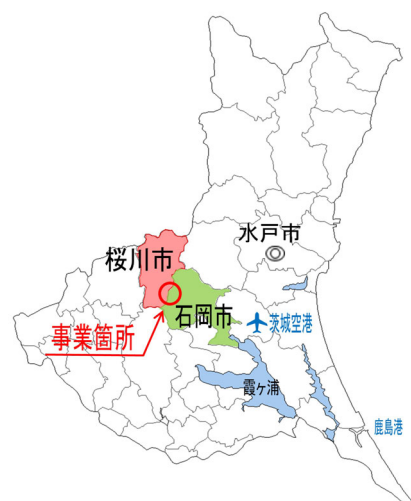
茨城県筑西土木事務所

1. はじめに

ICT 技術の発展により建設機械の自動化が進んでいる中、現場の生産性向上に向けた取り組みが注目されています。このような中、茨城県内の山岳トンネル工事において、発破掘削における爆薬装薬孔の削孔作業を自動化したフルオートコンピュータドリルジャンボの導入と、発破後の掘削断面の 3 次元測量の導入を行った ICT 施工の事例について紹介します。

2. 事業箇所について

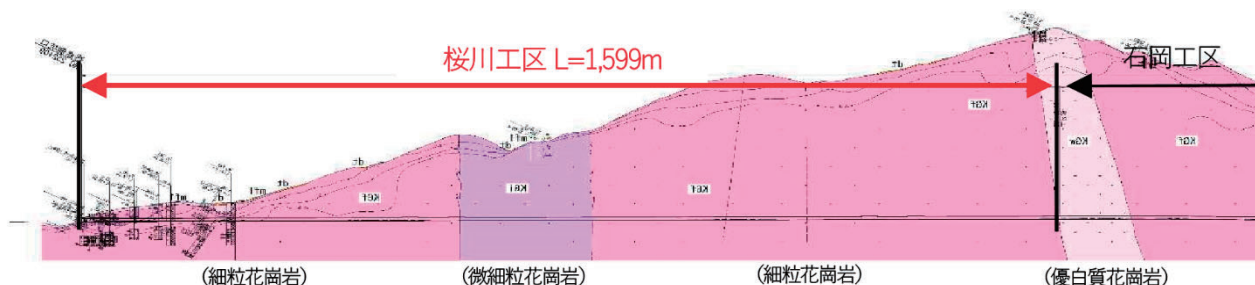
本現場は、茨城県石岡市と桜川市を結ぶ上曽峠の下（最大土被り 400m）を延長 3,538m で貫く道路トンネルで、完成すると県内最長の道路トンネルとなり、令和 7 年度の供用開始を目指して整備を進めております。本トンネルの開通により、県西地域から茨城空港までを最短で結ぶ東西の基軸が形成されることから、県南・県西地域間の連携強化、交流促進に寄与することが期待されております。このうち、今回ご紹介するのは、桜川市側の延長 1,599m 区間の施工事例になります。



写真－1 上曽トンネル（桜川市側坑口）の状況

3. 本現場の地質状況

本トンネルを貫く区間の地質状況は図－１のとおりであり、大部分が細粒花崗岩から成り、風化の無い極めて堅硬な地山が続いているため、爆薬を使用して岩盤を破碎しながら掘り進める、発破掘削方式により施工を行いました。



図－１ 地質縦断面図

4. フルオートコンピュータドリルジャンボの導入

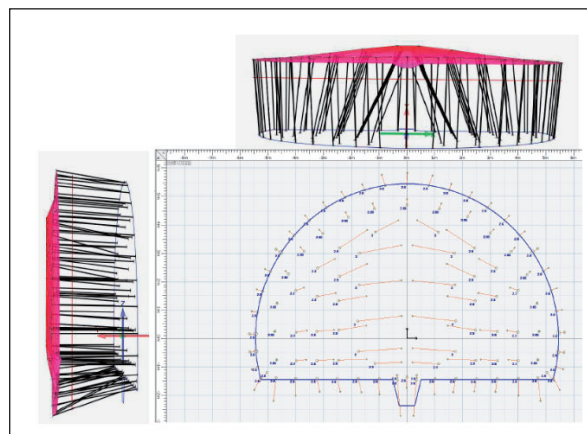
発破掘削では、爆薬装薬孔の岩盤削孔にドリルジャンボという建設機械を使用します。

本現場では、県内で初めてフルオートコンピュータドリルジャンボを導入しました（写真－２）。

通常、削孔作業には３本のブームを複数の作業員が操作して行いますが、この最新の建設機械は予めCADデータ上で作成されたドリルプラン（図－２、削孔位置、削孔長、削孔角度、ブーム経路等を入力）を読み込むことで切羽面の正確な位置に削孔できるようマシンコントロールされており、削孔作業における省人力化、作業員による施工誤差の回避、作業時間の短縮等に大きく貢献しました。



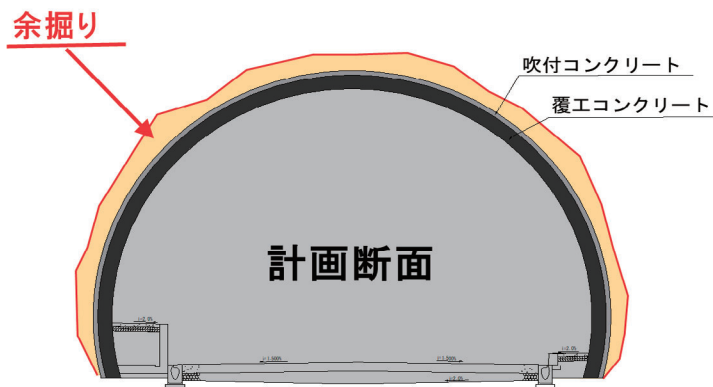
写真－２ フルオートコンピュータドリルジャンボ



図－２ CADで作成されたドリルプラン

5. 掘削断面の評価と余掘り量低減

発破掘削は、爆破により岩盤を破碎するため、掘削断面の払い（外周部分）は凸凹ができるため、設計段階では予め余掘り（図－３）を見込み、断面不足が生じないように計画断面より大きく掘り上がるように施工します。しかし、余掘り量が多いほど、発破後に生じる岩塊の搬出量の増加や、その後に施工する覆工コンクリート使用量の増加に繋がるため、余掘り量を極力抑えた掘削をすることが、建設発生土の抑制、建設資材の低減など、経済的な施工に繋がります。

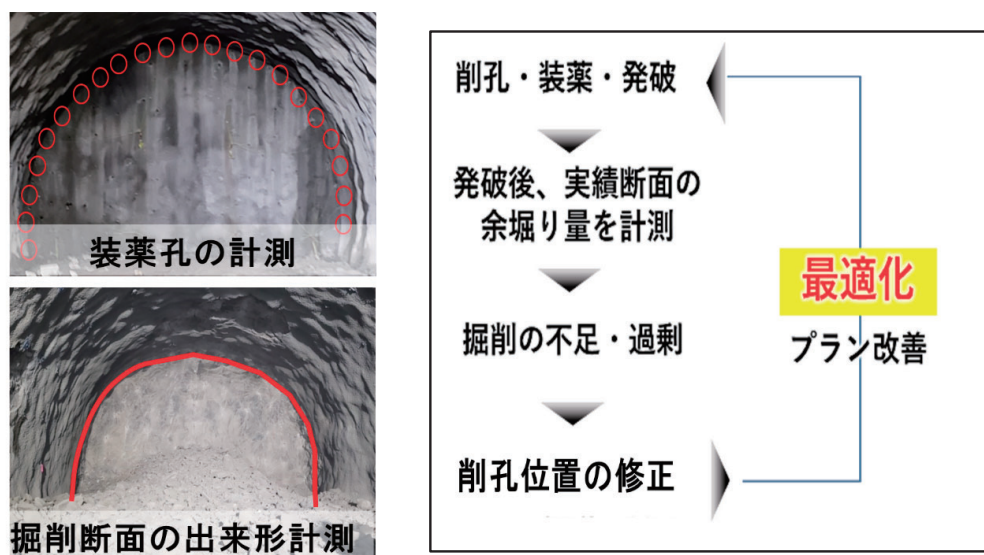


図－３ 余掘りの概略図



写真－３ 発破直後の掘削断面

本現場では地質条件（岩区分）が一定しており、同じ支保パターンでの施工が続くことが想定されていたため、「発破前の削孔位置の計測」と、「発破後の掘削断面の出来形の計測」を行い、その関係性を評価し、削孔位置の修正を行っていくことで、区間全体を通して余掘り量を低減できる発破掘削の最適化を検討しました。（図－４）



図－４ 発破掘削の最適化フロー図

6. 装薬孔の削孔位置の計測

発破掘削の最適化に向けて、まずは発破前の削孔位置の計測が必要となります。本現場で導入したフルオートコンピュータドリルジャンボは、正確に現場で施工され、削孔位置はCADデータとして記録保存されていることから、払い部分の測量作業が不要となります（図－５）。

・計画通りの削孔が可能



図－５ ドリルプラン（CAD）と現場での削孔位置

7. 3次元測量を取り入れた掘削断面の評価（見える化）について

次に、発破後の掘削断面の出来形計測には、3次元測量を取り入れました。3次元測量を導入するにあたり、掘削工程を遅延させないための迅速な測量作業が必要となりますが、トンネル内は地下空間であるため、GNSSからの測位信号を受信できないことから、座標計測はトラバース測量を前提として検討しました。

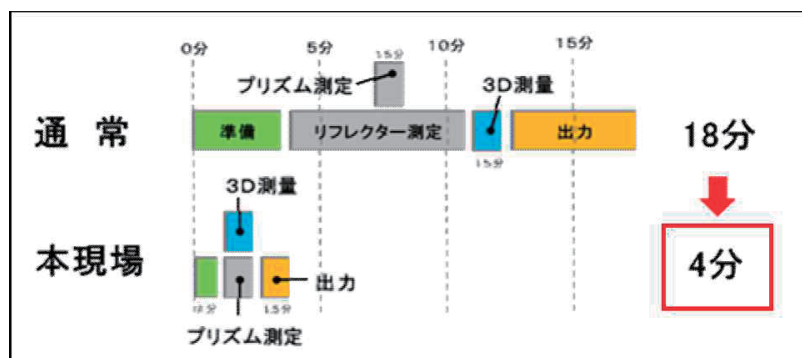
トラバース測量を前提とした場合、測量時間の短縮のためには、測量機器を常時固定しておける場所が必要となりますが、今回の場合、測量対象物である切羽面は日々進行するうえ、切羽付近は発破による衝撃が大きく、測量機器を安定して固定できる場所が無く、発破の度に機器の設置・計測・撤去をスムーズに短時間で行わなくてはなりません。

そこで、掘削断面を3Dスキャンするための測量機器は最速でスキャンできる最新機器（レーザートラッカー）を導入し、測量機器を三脚に据えるという概念を切り捨て「車両搭載型」としました。さらに、搭載車両上部にプリズムを設置し、レーザートラッカーとプリズムとの絶対位置を固定することにより、測量機器の設置時間を短縮し、掘削断面の3Dスキャンとトータルステーションによる座標計測の同時進行を実現しました（図－6）。

その結果、従来手法では18分程度見込まれていた測量作業を4分で可能とし、1サイクルあたり14分の時間短縮を実現しました（図－7）。



図－6 3D スキャンするための ICT 測量機器設置の工夫と現場での測量作業

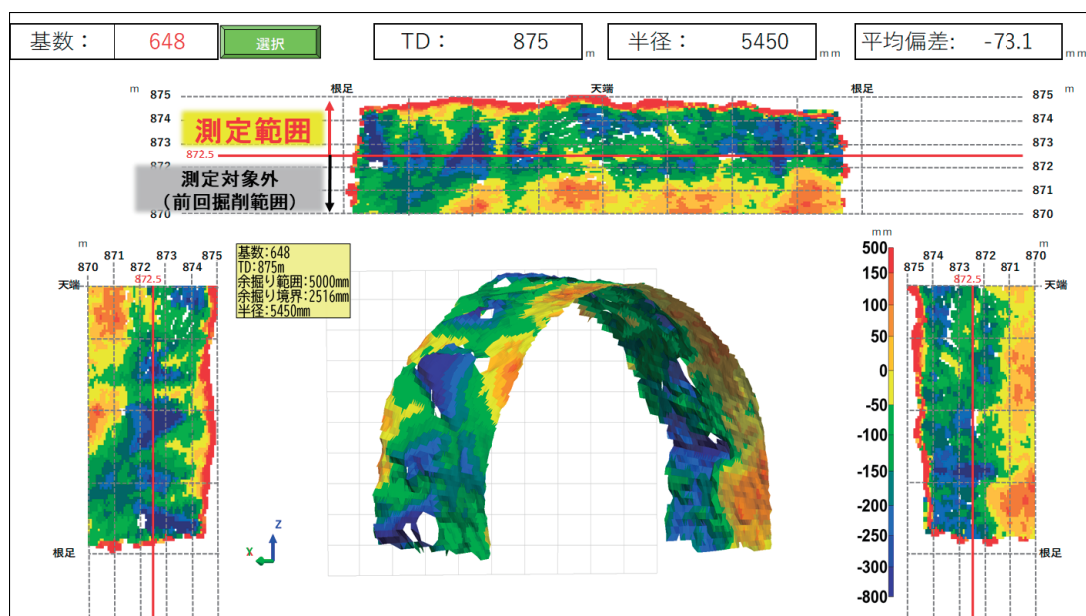


図－7 時間短縮効果（1サイクルあたり）

8. 発破後の掘削断面の3次元データ

測量時間を短縮できたことで、掘削工程に影響なく掘削断面の3次元データを取得することが可能となりました。さらに、このデータをヒートマップ化することで、余掘り量を可視化しました（図－8）。

暖色系が掘削不足で、寒色系が余掘りの部分を示しており、この図－8においては、TD（トンネル延長）875mの地点における掘削で平均余掘り量が73.1mmであることが確認できました。設計上の余掘り量は220mmであることから、余掘りを約7割低減できている事が数値として確認できました。



図－8 掘削断面（実績）の3D画像

9. 山岳トンネル工事のICT活用と今後の展望

フルオートコンピュータドリルジャンボの導入は、建設現場の生産性向上にもつながり、山岳トンネル工事のICT活用の好事例となりました。さらに本機械の利点を最大限に活用して、3次元測量と併行した事による余掘り量の低減は、非常に有効な事例になると考えます。

また掘削データを蓄積して、AIに学習を重ねることにより、将来的には、より効率的な発破掘削を実現することが出来、山岳トンネル工事の建設DX化にも繋がるものと考えます。（図－9）。



図－9 発破掘削システムのAI活用による効率化のイメージ

今後の展望として、トンネル工事の施工段階にCIMモデルを導入していくにあたり、完成後には不可視部分になってしまう掘削断面を可視化する事は、トンネルの維持管理段階におけるCIMモデルを見据えた上でも、非常に有効な事例になると考えます。