

# VR空間で遠隔地から「岩判定」トンネル工事現場の施工状況を複数人がリアルタイムで遠隔地から確認できるシステムを構築

千葉 力・森 桂一・高橋直也

建設業では人手不足が深刻な問題となっている。人手不足は実際に現場で働く作業員だけでなく、発注者や施工管理に携わる受注者にも顕在化している。人手不足の原因は、少子高齢化による人口の減少、給与水準の低さや休暇が取れないなどの待遇面、更には「きつい」・「きたない」・「危険」という3Kに代表される建設業の「かっこ悪い」イメージもある。そうした社会的背景の中、建設現場では生産性向上（労働環境含む）を実現するため、ICTを活用した様々な取組が盛んに行われている。本技術は、従来トンネル掘削の最先端で行われていた岩判定をVR空間（仮想空間）上で行うものであり、複数人がリアルタイムに遠隔地から現場の状況を確認できる技術である。本技術を現場に導入することで受発注者の生産性向上につながり、前述の建設業が抱える問題を解決する一技術であることが示唆されたので本稿で紹介する。

キーワード：山岳トンネル、岩判定、VR、ローカル5G、CIM

## 1. はじめに

建設業の就業者数は年々減少<sup>1)</sup>しており、人手不足が深刻な問題となっている。そのような状況下で、2024年4月からは時間外労働の上限規制が建設業でも適用され、これまで以上に建設現場での生産性向上が求められるようになってきている。人手不足の原因は、少子高齢化による人口減少だけではなく、建設業に対する悪いイメージが入職者を減らし、離職者を増やす<sup>1)</sup>一因となっている。建設業各社が会員で構成される（一社）日本建設連合会では、この悪いイメージを払拭するため、新3K（給与が良い、休暇がとれる、希望がもてる）に「かっこいい」を加えた新4Kを掲げ、魅力溢れる業界の実現に向けた取組みを行っている。本技術は、上記の問題を解決する一つの方法であると考えられる。

山岳トンネルは線状構造物であるため、施工延長が長く、山岳部での施工となるため、事前の調査・設計段階で地山の状況を詳細に把握し、地山を支えるための支保工（アーチ状のH型鋼、ロックボルト、吹付けコンクリートで主に構成）を精度よく選定することが極めて困難である。このため施工段階において、実際に掘削した地山状況を受発注者間で確認し、支保工の仕様を決定する「岩判定」が行われている。この岩判定は、トンネル工事において最適な支保工を選定する上で極めて重要なものであるため、トンネル掘削先

端部である「切羽（きりは）」付近に受発注者が一同に会し、図1に示すような切羽観察表を使用して地山の状態（切羽の状態、素掘面の状態、圧縮強度、風化変質、割れ目の頻度、割れ目の状態、割れ目の形態、湧水、水による劣化など）を目視で観察し点数付けを行い、支保工の仕様を決定している。

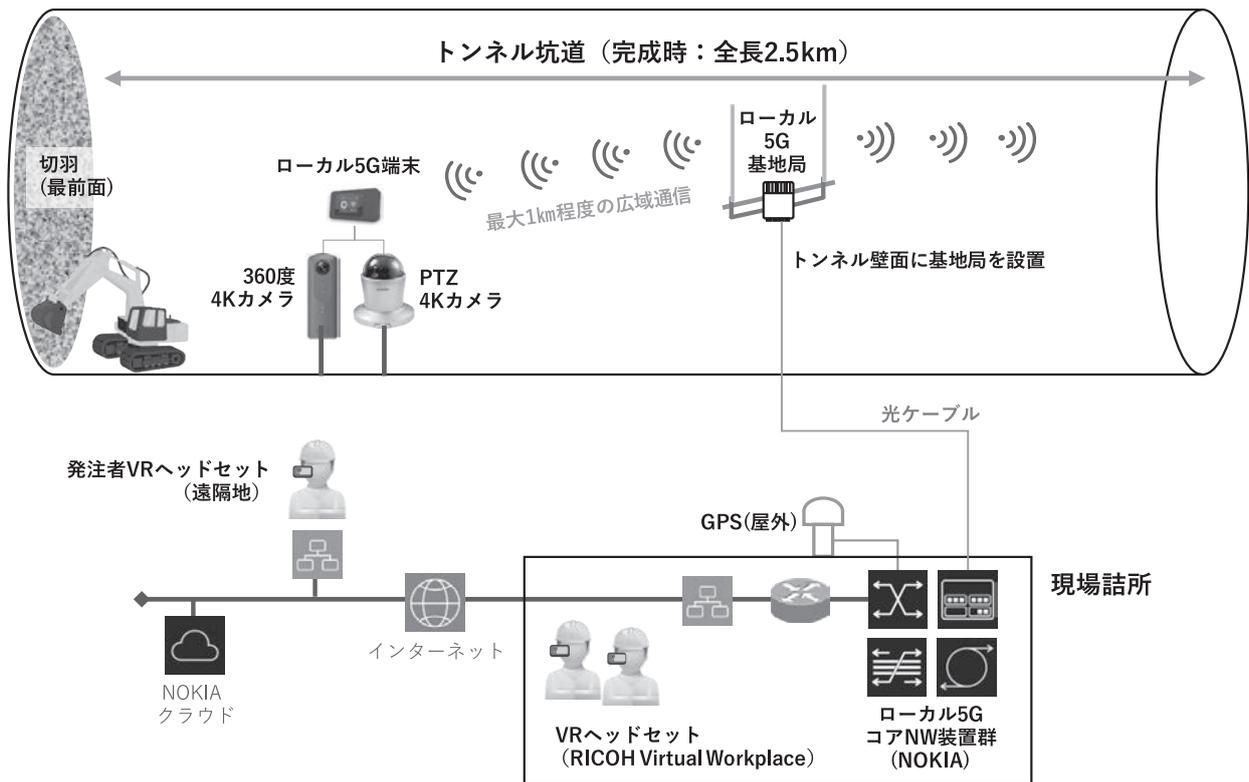
開発したシステムは遠隔地（具体的には現場事務所などの自席PC）からVR空間上に受発注者がアクセスして岩判定を行うシステムである。システムの運用にあたっては岩判定の精度などの諸課題はまだあるが、建設現場の生産性向上や魅力的な「かっこいい」現場施工管理に資する可能性が示唆されたため、システムの概要と現場適用した際の効果を報告する。

## 2. VR遠隔岩判定システム

### (1) システム概要

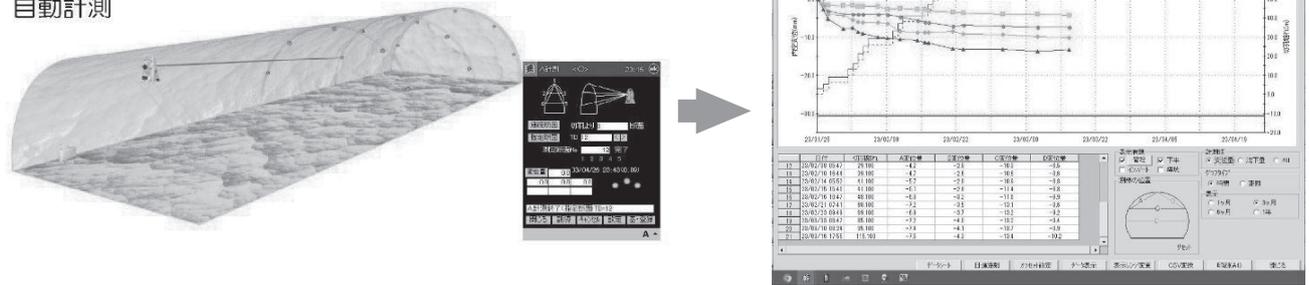
トンネル工事では地山の状況に合わせた適切な支保仕様を決定するため、掘削中のトンネル最先端部である切羽に受発注者が集い、地山の状態を直接確認し支保工の仕様を決定している。山岳トンネルの多くは山岳部に位置しており、関係者が現地集まる現行の岩判定のやり方には多くの移動コストがかかっている。そこで、受発注者が現地集まることなく、適切な支保仕様を決定することのできるVR遠隔岩判定システムを開発した。本技術で実現した内容は下記の3つで





図一 2 システム通信構成図

自動計測



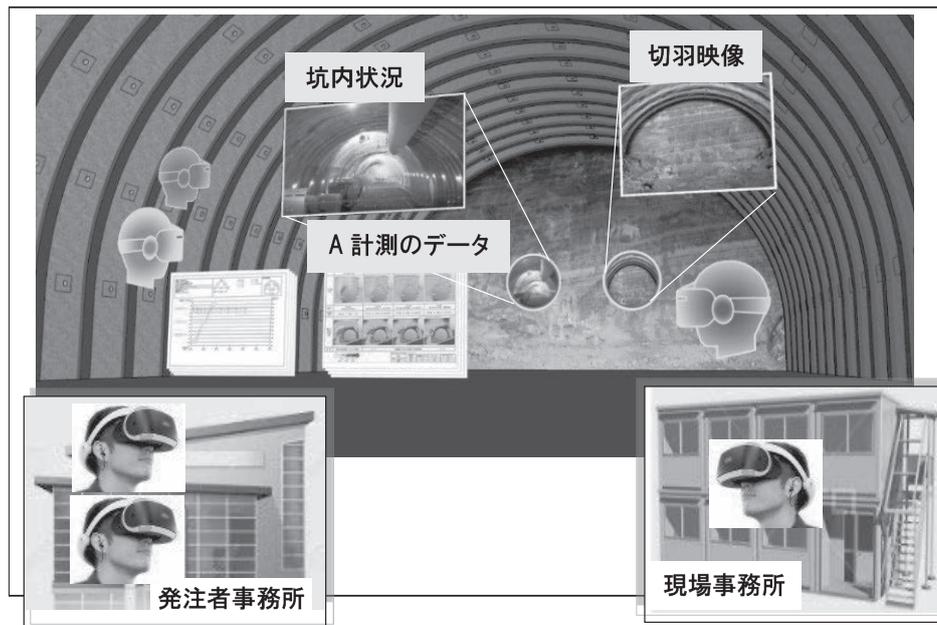
- i) 坑内に設置されているトータルステーションで変位を定期自動計測
- ii) 計測データを帳票へ自動入力，サーバーへ自動アップロード

図一 3 計測工 A の自動計測，帳票出力イメージ

ある。しかし、現場の施工管理者は多くの業務を抱えており、メモやスケッチ、計測したデータをすぐに帳票や書類にまとめる時間が取れず、後回しとなることが往々にしてある。そこで、切羽観察簿の作成を補助する AI システムと計測工 A の計測および帳票作成を自動で行うシステムを組み合わせ、既施工区間の情報を遅滞なくサーバーに共有するシステムを構築した。計測工 A 自動計測～帳票出力のイメージ図を図一 3 に示す。

①②のシステムから共有された映像、情報を誰でも

直観的に操作、閲覧できるようにするため、VR 空間上に現場の CIM データを取り込み、現場のリアルタイム映像や既施工区間の情報を各管理測点に紐付けて保存するシステムを構築した。関係者は遠隔地(自席)から VR ヘッドセットを使用し、VR 空間へとアクセスし、現場の状況や各種帳票の確認をしたり、同時に接続している関係者と映像、音声、資料を共有しながらコミュニケーションをとることができる(図一 4 参照)。



図一4 VR空間上のコミュニケーションイメージ図

### 3. 現場導入

#### (1) 工事概要

今回、システムの導入を行った工事は掘削延長約2.5 km、掘削断面積約70 m<sup>2</sup>の道路トンネルを全線機械掘削によるNATMにて施工する工事である。軟弱な地山での施工となるため、地山状況に応じた適切な支保仕様で施工することが重要となる。調査・設計段階から地質の変化点も多く想定されており、多くの岩判定が予定されていた。軟弱地山での施工は落石や切羽の崩壊といった事象も発生しやすいため、急な土質の変化が生じた場合にもすぐに岩判定を行える体制作りも重要である。本工事は山岳部のトンネル工事であり、発注者の管理事務所と現場の距離が約55 km離れており、事務所と現場の移動に往復で約140分の時間を要するため、岩判定に関する業務の効率化が求められていた。

#### (2) システム運用体制

現場にシステムを導入するにあたり必要な機器として、トンネル坑内にローカル5G機器、PTZカメラ、360°カメラ、坑内システム制御用PCを設置し、遠隔地（現場事務所、発注者管理事務所）にVR用ゴーグルとVR用ノートPCを利用人数分準備した。また、切羽観察簿の作成をサポートするAIシステムを現場事務所のPCに導入し、坑内の変位計測を行う測量機器及び制御解析用PCを坑内に設置した。

#### (3) 現場でのシステム運用状況

現場でのシステム運用導入状況を以下の写真に示す。写真一1が発注者が事務所で確認している状況、写真二が受注者の監理技術者が現在の切羽状況を説明している状況、写真三がテレワークで岩判定をサポートしている状況である。写真四は切羽を4K PTZカメラと4K360°カメラを介して確認しているときの状況、写真五は切羽の岩片を現場の施工管理者が岩検ハンマーで打撃している様子や音を確認している状況、写真六はVR空間のCIMモデル内で既施工区間の情報（掘削の実績）を受発注者間で共有、説明している状況となる。本システムを介して従来は関係者が現地で行っていた地山状況の確認や既施工区間の情報の閲覧、受発注者間の質疑、意見交換を行うことで遠隔地から岩判定を実施できた。

#### (4) 導入効果

本システムを現場導入し、最も効果が高かったのは移動時間の短縮である。特に発注者側は普段は遠方にある発注者事務所で勤務しており、岩判定の際に現場まで移動していたため、岩判定1回あたり約2.5時間/人の移動時間短縮効果があった。今回の適用現場は施工延長が長いことから、設計段階で約30回の岩判定が予定されており、全ての岩判定を本システムで実施できれば約75時間の移動時間の短縮が実現できることになる。一方、受注者側は1回あたり約12分の移動時間の短縮効果があるという結果となった。また、トンネル切羽の近傍に多くの関係者が立ち入るのは落石等の懸念

## VRを使用した遠隔岩判定の状況



写真一 発注者事務所



写真二 受注者事務所



写真三 遠隔地でのサポート



写真四 切羽確認



写真五 岩片のハンマー打撃音の確認



写真六 VR上での会議

から避けるべきであり、本システムで高精細な切羽画像から地山状況の確認を実施できるようになったことで岩判定時の安全性が向上したことも大きな効果であった。

現場導入で判明した課題としてはVRコントローラに慣れるまでに時間がかかること、発注者側の通信設備の問題（外部システムの導入、アクセス許可）や、岩判定の品質にも課題があった。発注者側からは、「全ての岩判定を今回のシステムで行うことは難しい。VR上で行う岩判定の効果や品質の検討を施工初期段階で十分に行うことが必要である。また、比較的現場近くに滞在している人員は現地、遠方にいる人員はシステムを利用するといった併用がよい。」などの意見があった。受注者側（現場）としては、「地山の急変時に現地確認のために、遠方から発注者に来てもらうのではなく、今回のシステムを採用することで、迅速な対応ができる。」との意見があった。

#### 4. おわりに

今回開発したVR遠隔岩判定システムを現場に導入することでVR空間上でリアルタイムな現場状況確認や既施工区間の情報閲覧、円滑なコミュニケーションを実現し、関係者が現地に集まることなく岩判定を実施することができた。これにより、これまで多くの関係者が時間を費やしていた岩判定業務を効率化することができた。

今回の事例は建設事業の特性であるオンサイトでのものづくりから、新たな建設業の姿への変革の一つの事例であると考えられる。今後も魅力ある建設業、「カッコいい」現場施工管理につながる技術の開発を進めていく所存である。

JICMA

#### 《参考文献》

- 1) (一社)日本建設連合：建設業デジタルハンドブック
- 2) 近畿地方整備局道路部道路工事課：トンネル地山等級判定マニュアル（試行案）

#### 【筆者紹介】



千葉 力 (ちば つとむ)  
 ㈱竹中土木  
 技術・生産本部 技術開発部  
 課長



森 桂一 (もり けいいち)  
 ㈱竹中土木  
 技術・生産本部 技術開発部  
 課長



高橋 直也 (たかはし なおや)  
 ㈱竹中土木  
 東北支店 直轄作業所  
 工事担当 (監理技術者)