

(9) 山岳トンネルを対象とした遠隔臨場システムの高度化

上野 裕太¹・石田 仁²・藤田 真司³・前田 智之⁴

¹非会員 五洋建設株式会社 船舶機械部 (〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町1534-1)
E-mail: yuuta.ueno@mail.penta-ocean.co.jp

²正会員 五洋建設株式会社 ICT推進室 (〒112-8576 東京都文京区後楽2-2-8)
E-mail: Hitoshi.Ishida@mail.penta-ocean.co.jp

³正会員 五洋建設株式会社 ICT推進室 (〒112-8576 東京都文京区後楽2-2-8)

⁴正会員 五洋建設株式会社 東北支店 (〒980-8605 仙台市青葉区二日町16-20)

山岳トンネルにおける切羽確認は臨場で切羽を確認する際に、現場までの移動が必須である。また、緊急時に本社の専門家が臨場で現地を確認することは困難であった。山岳トンネルは施工場所が遠隔地であることが多く、発注者や専門家にとっては移動時間が負担となっていた。そこで本研究では、生産性向上に資するICT技術として、遠隔臨場システムにMR(Mixed Reality)技術を応用した独自の遠隔MR臨場システムを開発し、山岳トンネル工事に適用して、受発注者双方における管理業務の効率化を試み、その有効性を検証すると共に、検査の省力化と信頼性の向上の双方を実証した。

Key Words : BIM/CIM, tunnel, VR, MR, inspection

1. はじめに

山岳トンネルの施工においては、切羽確認を臨場で行い、受発注者双方の見解を合わせて判断し、支保パターンを決めるのが一般的である。その中で、発注者はトンネルの切羽まで移動する必要があるが、発注者事務所から現場間の移動に時間を要している。このように関係者が相互に意思疎通し、現場の状況を的確に把握するためには、頻りに現地を確認したり関係者同士が直接会う必要があり、このための移動時間は、施工管理業務の負担となっていることが多い。

また、地質状況が急変した場合などに発注者や本社の専門家などからの判断や意見を求める事が多々あるが、そのような場合では至急の判断が望ましいため、必ずしも現地確認を行うことはできない。

本研究では、受発注者双方で施工管理業務の負担となっている移動時間を短縮し業務の効率化を図ると共に、緊急性の伴う判断を遠隔地からも的確に行うことを目的として、独自の遠隔MR(Mixed Reality: 複合現実感)臨場システムを開発した。加えて実際の山岳トンネル工事において、本システムを適用した場合の業務効率の改善効果や、遠隔地からでも施工現場が把握できる有効性を検証した。

2. 適用工事

本研究を実施した本工事は、一般国道106号宮古盛岡

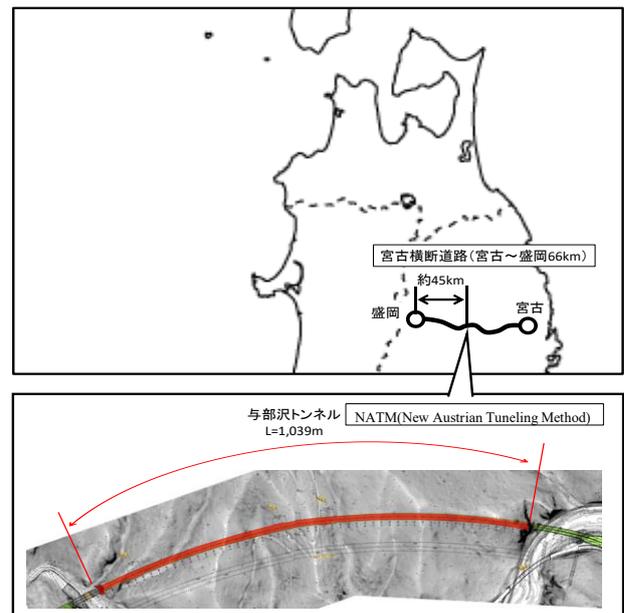


図-1 施工場所

横断道路の改築事業の一環として北上山地のほぼ中央に位置するため、盛岡にある発注者事務所から施工場所まで片道約45km程度の距離があり、移動には往復で2.5時間程度を要する。また弊社技術研究所(那須塩原市)ならびに本社(東京川)から専門家が現地へ移動するためには、往復で8時間程度を要する。「国道106号与部沢トンネル工事」の施工場所を図-1に示す。与部沢トンネルの工法はNATMであり、延長は1,039mである。

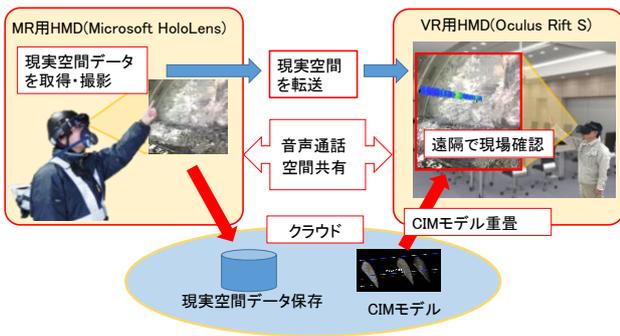


図-2 遠隔MR臨場の概要図



写真-1 切羽付近の空間データ取得状況

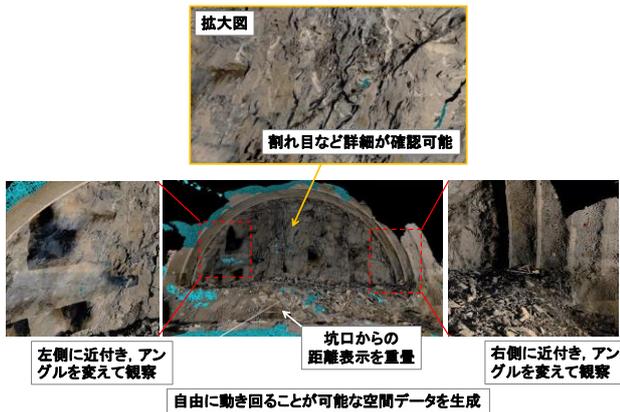


図-3 切羽付近の現実空間データ取得状況



写真-2 切羽確認状況

3. 既往の研究等

近年、省力化の観点から建設現場においても、ウェアラブルカメラ等を用いた遠隔臨場の仕組みが普及しつつある。森屋ら¹⁾は、ウェアラブルカメラを搭載したスマートグラスを山岳トンネル工事における多様な検査に適用し、その適用性や有効性を示している。しかしながら、スマートグラスに搭載されたウェアラブルカメラの視野は狭く、遠隔から現場の全体像が把握しにくいことが課題である。また、詳細を確認するためには、スマートグラスの装着者に逐一細かい指示を行って該当箇所を見てもらう必要があるなど、円滑な状況把握を実現するには、まだ改良の余地があると考えられた。

一方、VR/AR/MR等の3D可視化技術が建設現場に導入されつつあり、建設現場を対象にVRによる遠隔検査や、AR/MRによる検査書類の表示など、新しい検査手法も試されつつある。矢吹ら²⁾は、VRに用いる空間モデルの作成に労力や時間がかかることから、現場の確認には現実空間を直接用いるARやMRが向いている面があることを指摘しているものの、ARやMRでは、利用者が直接現地に行く必要があるのが課題となる。そこで、本研究ではAR/MRとVRの技術の利点を組み合わせ、現実空間をリアルタイムにVR空間に反映、さらに遠隔地へリアルタイム転送し、空間を共有して対話を行うことが可能な遠隔MR臨場システムを開発した。

4. 遠隔MR臨場システム

(1) システムの概要

遠隔MR臨場の概要図を図-2に示す。図に示すように、本システムは遠隔地から現場の状況をリアルタイムに3次元的に把握することができる技術であり、現場支援や検査に幅広く活用可能で、CIMモデルとの重畳も可能である。MR用HMD(Microsoft HoloLens)を装着し周囲を見回すことで、周囲の地形や物体形状を取得し、現実空間データを生成する。取得した空間データにMR用HMDで写真を撮影をして、これをリアルタイム転送する。切羽付近の空間データ取得状況を写真-1に示す。転送した空間データ内では自由に動き回ることが可能であり、任意の視点から状況を確認できる。実際の切羽付近の現実空間データ取得状況を図-3に示す。遠隔地で現場支援を行う担当者や、発注者はVR用HMD(Oculus Rift S)を装着し、MR用HMDを装着した現場担当者とリアルタイムに音声通話をしながら現場の状況を確認することができる。発注者事務所における切羽確認状況を写真-2に示す。なお現実空間データに任意のCIMモデルを重ねることが可能である。ここで、前方探査によって確認した岩種色分図と坑口からの距離を示し、水色の箇所は空間メッシュを表示している(図-4参照)。

(2) 座標

座標合わせにはマーカーを用いる。現実空間を取得す

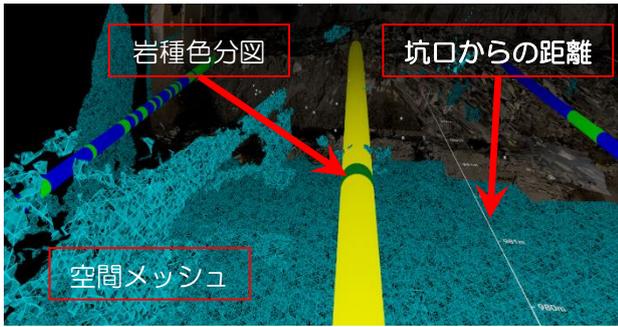


図-4 CIM 重畳状況



写真-4 本システム利用状況



図-5 目通しによる座標合わせ

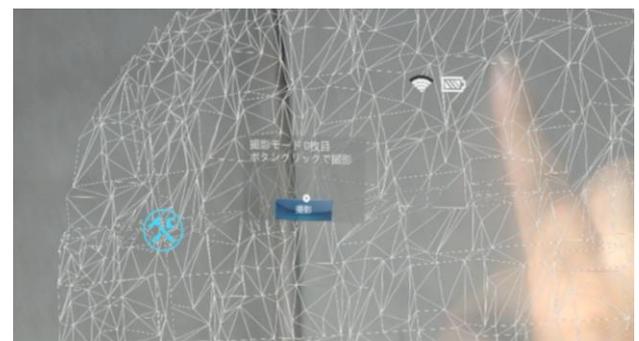


写真-5 空間データ生成状況



写真-3 アーカイブの一覧画面

る際には既知の座標にマーカーを設置し、それを起点に現実空間データを取得する。マーカーから離れると座標の誤差が大きくなるため、一般的には30m程度の間隔でマーカーが必要となる。今回はトンネル内が薄暗いこともあり、通常よりも設置間隔を短く20m間隔で設置した。また山岳トンネル工事では運用中にマーカーを設置できない状況が多くあり、MR表示して目測で合わせる方法についても試した。その手法を検証したところマーカー無しであっても十分に位置合わせができ、活用することができた。マーカー無しで位置合わせをした結果を図-5に示す。

(3) 過去の現実空間データの利用

本システムでは取得した現実データをアーカイブとして保存することが可能である。写真-3にアーカイブの選択画面を示す。この一覧から現地においても過去の現実空間データを自由に読み出して閲覧する事が可能である。

5. 適用結果

本システムの利用状況を写真-4に示す。MR用HDMを装着した現場職員と遠隔地でVR用HDMを装着した本社職員が同じ現場の状況を共有しながらリアルタイムで通話をしている。現場職員が施工現場に行き、動き回ったり周辺を見回すことで写真-5に示すように、現実空間データが生成され、写真-6の本社職員に転送されている。写真-7に視線共有状況を示す。この機能によってお互いが何を見ながら話しているかを明確に判別することが可能である。写真の左上に表示されている赤色のゴーグルがMR用HDMを装着している現場職員の頭の位置であり、赤色の線が視線を表す。青色の線はVR用HDMを操作している本社職員の視線を示す。この様にお互いの見ている箇所が明確に判別できるため、具体的に指示を出し合うことが可能である。

本研究の遠隔臨場システムの実証結果を表-1に示す。表に示す通り、現場支援や確認等に活用した。現地に行かなくても、専門家と発注者がそれぞれの立場で表に示すものを遠隔地にて確認することができた。また従来なら現場に行かない専門家も、現場の状況を確認することができ、柔軟な運用を実現することができた。

6. おわりに

本研究では、MR用HDMとして、当時普及しつつあったMicrosoft HoloLensを利用した。また、通信には4G

表-1 遠隔MR 臨場実証結果

実施日	実施場所	遠隔MR 臨場者		項目	内容
		立場	人数		
2/14	技術研究所 (那須塩原)	社内専門家	2名	切羽形状詳細	割目間隔, 割目状態, 走向傾斜を3Dモデルから確認
2/7	本社 (東京)	社内専門家	1名	防水シート外観	接合部の圧着状況確認 端部処理状況確認
				覆工コンクリート外観	ひび割れ状況確認 汚れ有無確認
				切羽状況	割れ自の方向, 間隔状態, 挟在物の有無と性状, 断層の位置と走向および傾斜, 破碎の程度, 風化や変質の程度, 地質とその分布, 湧水位置と量, 濁りの有無を現実空間データ内で立体的に確認
1/31	岩手河川 国道事務所 (盛岡)	発注者	5名	覆工コンクリート厚さ	設計断面の巻厚確認
				覆工コンクリート外観	
				防水シート外観	
				切羽状況(記録)	
1/14	技術研究所 (那須塩原)	社内専門家	2名	防水シート外観	同上
				覆工コンクリート厚さ	
12/25	技術研究所 (那須塩原)	社内専門家	2名	防水シート外観	同上
				覆工コンクリート厚さ	



写真-6 本社職員通信状況

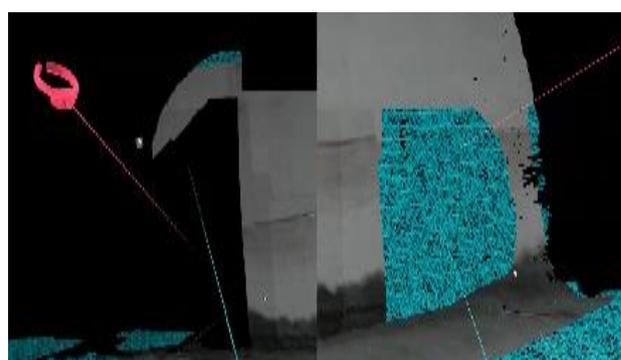


写真-7 視線の共有状況

や WiFi を利用している。本システムの機能は、これらの構成機器によって大きく変わるものであり、今後、より高性能な HoloLens2, より高速な 5G 通信への対応によって、現行の機能の性能向上や、新しい機能の追加が可能と考えている。また、国土交通省では、省力化や感染症対策のため、遠隔臨場の仕組みを広く普及させるべく取り組んでおり、本技術は、建設業でも将来的にさらに広く活用可能と考えられる。

謝辞: 本取り組みは国土交通省「建設現場の生産性を飛躍的に向上するための革新的技術の導入・活用に関するプロジェクト」の助成を受けた。受発注者が課題を共有し、ICTを活用した新しい現場管理手法、検査手法の試行を行うことができた。試行現場の発注者である国土交

通省 東北地方整備局 岩手河川国道事務所には、取組み全般にわたり、多大なご協力を賜ったことを紙面を借りて深く謝意を表す。

参考文献

- 1) 森屋 陽一, 三國 貴一, 石田 仁, 前田 智之: スマートグラスを用いた山岳トンネル工事における遠隔検査, 第74回土木学会年次学術講演会, VI-386, 2019.
- 2) 矢吹 信喜, 種村 貴士, 福田 知弘, 道川 隆志: Diminished Realty を用いた構造物撤去新設時の景観検討 AR 実現に関する研究, 土木学会論文集 F3(土木情報学), Vol.70, No2, I_16-I_25, 2014.
- 3) 矢吹 信喜: 土木建設分野における VR/AR の活用に関する研究と実務への適用, < https://www.jstage.jst.go.jp/article/siccej/55/6/55_483/_pdf, (入手 2020.2.7).