



する。切羽面を 0.5m×0.5m のメッシュに分割し、各メッシュ内に分布する点群データの値よりメッシュの変位量を解析し、面的に変位の監視を行った。図-2 に初期値計測後の変位計測結果を、図-3 に押しを模擬したデモ吹付け後の変位計測結果を、図-4 にデモ吹付け後のコンター図を、図-5 にウェアラブル端末に映し出される AR 映像をそれぞれ示す。切羽の変位が管理レベルを超えた場合、該当メッシュを切羽面にグリーンレーザーで照射、明示すると同時に切羽直近の作業員のヘルメットを振動させ危険を瞬時かつ直接的に伝達した。また、切羽撮影用カメラの映像に切羽の変位解析結果（コンター）を重ねて AR 表示することで、現在の切羽変位状況を一目で確認できるようにした。AR 映像はウェアラブル端末や PC、タブレット等によりリアルタイムに確認できる。図-6 に重機運転席モニターの外観とモニター表示画面を示す。作業員は重機運転席で切羽観察簿や坑内計測結果を確認することができ、地山の硬軟情報を共有させた。これらの情報をクラウド上に自動アップロードすることで、発注者、現場事務所、本社、支店など工事関係者間で情報の共有ができるようにした。

4. まとめ

(1) 切羽面を計測した 3D 点群データから切羽面の面的監視を行った。(2) ウェアラブル端末を使用し切羽の変位状況をリアルタイムに確認、グリーンレーザーによる切羽面への変位箇所明示やヘルメットハンマーの振動による作業員への直接伝達することで切羽面の変位量の見える化および警報発信を行った。(3) 重機運転席モニターで切羽の変位状況、前回切羽観察、坑内変位計測値の見える化を行った。(4) PC、タブレット、トンネル重機の端末でクラウド上のデータを工事関係者内でリアルタイム確認し共有化を行った。

従来の目視による監視に加え、本システムを併用することで（事前に）肌落ち等の兆候を把握でき、切羽直近の作業員に退避の指示や注意喚起を促すことで、肌落ち等に対する安全性を向上させることが示唆された。また、本論文で扱った 3D レーザースキャナによる切羽監視システム以外の切羽挙動を捉える技術と併用することが可能で、広く切羽作業の安全性が向上することを期待する。

参考文献

- 1) 厚生労働省：山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止対策に係るガイドライン，2018.1
- 2) 佐藤裕考，市川晃央，林稔，橋村義人，芥川真一：山岳トンネルにおける切羽変状可視化システムの開発，第 27 回トンネル工学研究発表会，2018.11

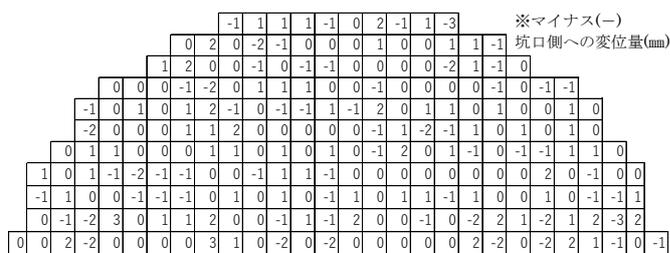


図-2 初期値計測後の変位計測結果

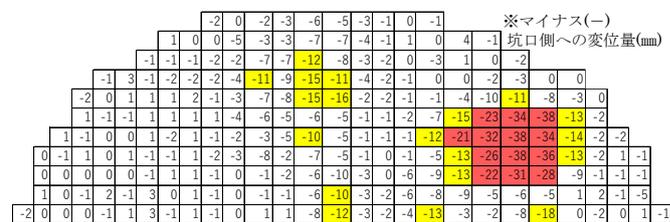


図-3 押しを模擬したデモ吹付け後の変位計測結果

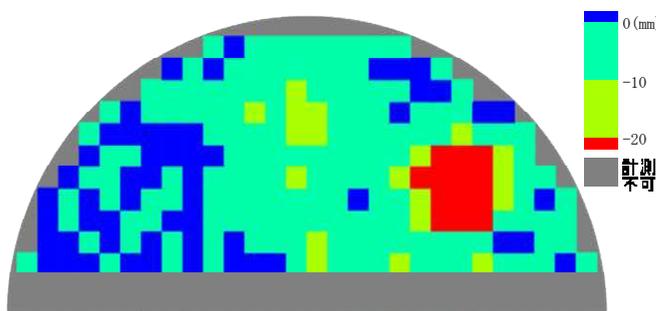


図-4 押しを模擬したデモ吹付け後のコンター図



図-5 デモ吹付け後ウェアラブル端末内の AR 映像



図-6 重機運転席モニターの状況