

ミリ波振動可視化レーダーによるトンネル切羽モニタリング (その2) 現場適用試験

清水建設（株） 正会員 ○西 琢郎，正会員 岩城 英朗，正会員 多田 浩幸
アルウェットテクノロジー（株） 正会員 能美 仁

1. はじめに

著者らは、山岳トンネル工事における切羽の肌落ち・崩落による死傷災害の防止対策として、非接触かつ面的な計測ができる電波を用いたモニタリングシステムの開発に取り組んでいる。本報では、前報¹⁾に続き、新たに開発したミリ波振動可視化レーダーを用いるトンネル切羽モニタリングシステムを、実際の山岳トンネル施工現場に適用して、切羽穿孔作業などの間に切羽に対する計測を行った結果を示す。

2. 現場適用の概要

前報で示した振動可視化レーダーを用いたトンネル切羽モニタリングシステムを、実際の山岳トンネル工事（Mトンネル施工現場）における切羽作業のうち主に発破装薬前の切羽穿孔時を中心に適用した。

図-1と図-2に切羽とシステムの設置状況を示す。計測対象の切羽の全幅は約11[m]であり、切羽全体を計測範囲に収めるために必要なレーダーとの離間は約19[m]である。

レーダーを含めたシステムは、車輛等を用いて機器を坑内に運搬した後に、切羽近傍の路盤に三脚を用いて設置した。設置後は切羽とレーダーの相対位置を3D-LiDARを用いて3D点群として取得し、その3D点群から計測範囲を設定して計測を開始する。システムの操作はレーダーに対して無線接続したタブレット端末で行うことができ、システムを設置してから計測を開始するまでに要する時間は概ね5分程度である。

3. 現場適用試験における課題

前報¹⁾までの計測と異なり、実際に施工中のトンネル切羽近傍での使用では、レーダーと切羽の間にドリルジャンボなどの建機が存在する状況下での計測となることが多い。その場合、建機の稼働や作業員の動きなどによって、レーダーが切羽から受信する散乱波強度が低下し、計測値の誤差が増大する懸念がある。特に、散乱波の位相から算出する切羽の変位計測値にその影響は大きいと考えられる。

さらに、レーダーと切羽間の建機などの位置によっては計測範囲内で不可視となる部分すなわち死角が大きく、切羽の肌落ち・崩落が検知できない範囲が増大する懸念もある。

4. 現場適用試験の結果

前項で示した課題を踏まえて、まず切羽で作業を行ってない静穏時にシステムを設置し、切羽からの散乱波を受信した。切羽上の計測点数は5,566であり、これら全ての計測点の散乱波強度の平均値と、散乱波の位相

キーワード トンネル切羽，モニタリング，非接触計測，ミリ波，振動可視化レーダー

連絡先 〒135-8530 東京都江東区越中島3-4-17 清水建設（株）技術研究所 TEL 03-3820-5504



図-1 システム設置状況

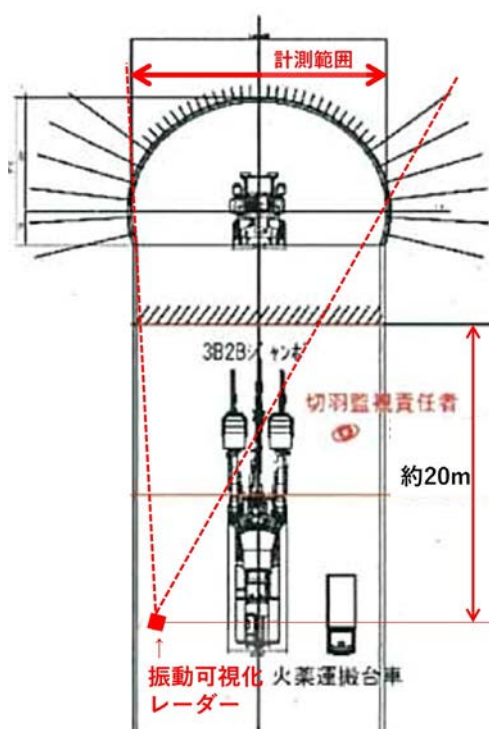


図-2 切羽近傍におけるシステムの配置

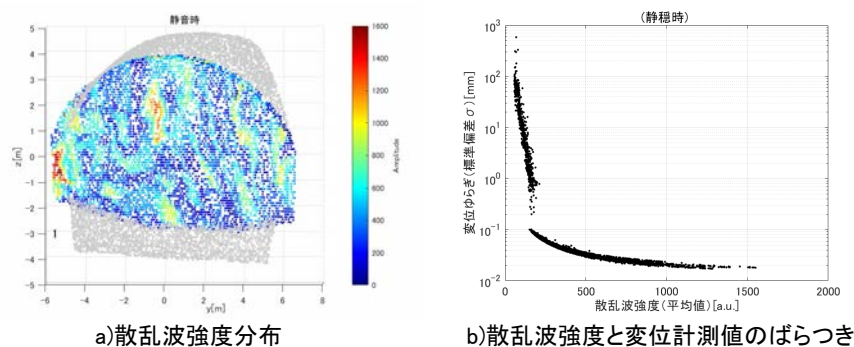


図-3 静置時の計測結果



図-4 小規模な剥落

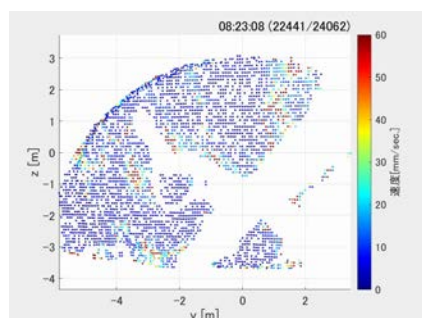


図-5 計測結果（速度分布）

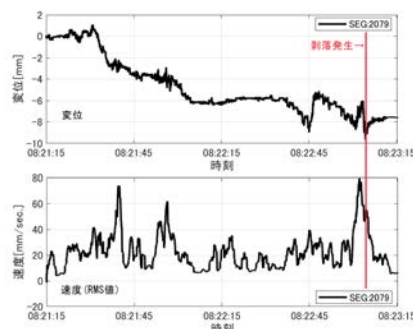
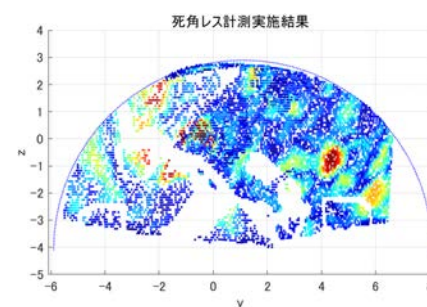


図-6 計測結果（変位，速度）

図-7 2 台同時設置時の計測結果
(散乱波強度)

差から算出した変位計測値のばらつき（標準偏差 σ ）を図-3 に示す。この結果から、切羽からの散乱波の強度が 160 から 1,600 [a. u.] であれば、変位計測の精度は 0.1 [mm] 以下であることを把握した。この値を外れた散乱波を受信した場合、当該の計測点が建機の影響などで死角となっているか、あるいは建機からの散乱波を受信していると考え、変位算出の際のアンラップ処理にフィルタをかけることとした。

本試験を通じて、穿孔作業中のドリル口元近傍においてごく小規模な剥落が数ケース見られた（例えば、図-4）。いずれも施工に不具合がもたらされるようなケースではないが、目視の状態では実際に剥落が発生するまでは切羽の変化を認識することは困難であった。一方、図-5 は同例における切羽の速度分布図であるが、剥落発生箇所の周囲の速度（1 秒間 RMS 値）が、他の箇所に比べ増大していることがわかる。この速度が増大した箇所の周囲の変位および速度（1 秒間 RMS 値）の変化を図-6 に示す。同図より、小規模な剥落が発生する以前から、変位の増大と共に比較的大きい速度変化が認められ、剥落発生直前においてその傾向は顕著であった。これらの結果から、実際の掘削作業中の切羽においても、前報¹⁾で確認された計測結果と同様、急激な速度変化が見られる箇所で剥落などを事前に検知できる可能性があると考えられる。

また、建機の設置などにより生じるシステムの計測範囲の死角を減少させるために、図-1、図-2 のレーダー設置位置と反対の側壁部に、さらに 1 台レーダーを増設し、両側壁から 2 台同時に切羽に対して電波を照射する計測を行った。結果は図-7 に示す通り、2 台のレーダーを同時に稼働しても相互の干渉は見られず、特に天端付近の死角はほぼ無いたことが確認できた。

5. まとめ

本報では、振動可視化レーダーを用いたトンネル切羽モニタリングシステムを実際の山岳トンネル工事に適用し、目視での把握が困難な切羽穿孔中の小規模な剥落を、切羽の速度変化から事前に検知できる可能性を示した。今後は、現場における連続計測などによりデータを蓄積し、切羽の異常を早期に検出する因子の抽出、ひいては切羽周辺における災害防止に寄与する警報発報システムの開発に向け引き続き取り組む所存である。

参考文献

- 1) 岩城英朗ほか：ミリ波振動可視化レーダーによるトンネル切羽モニタリング（その 1）計測システムの概要と現場における試験計測結果，土木学会第 78 回年次学術講演会，2023. 09（投稿中）