

トンネル切羽モニタリングに向けたミリ波高速イメージングレーダーの 面的振動計測性能の確認

清水建設（株） 正会員 ○岩城 英朗，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肌落ち・落石による死傷災害の防止対策として、切羽に対する非接触かつ面的なモニタリングを可能とする電波を用いた空間連続計測の開発に取り組んでいる。既報¹⁾²⁾では、実際のトンネル施工現場においてマイクロ波（周波数 17GHz）高速イメージングレーダーを用いた計測を行い、同手法の有用性を示した。本報では、より高い周波数のミリ波（周波数 79GHz）を用いることでアンテナを小型化し高性能を実現したミリ波高速イメージングレーダーを、トンネル切羽モニタリングに適用するために、既報³⁾で実施し確認した基本計測性能を踏まえて、トンネル切羽のように面的に拡がりを持った対象に対する振動分布計測試験を行った結果を示す。

2. ミリ波高速イメージングレーダーの概要

トンネル切羽など面的に拡がりを持った対象において、センサやターゲットなどの機器や部材の設置を行うことなく非接触で、かつ変位や振動の発生位置および量を把握する計測、すなわち空間連続計測を行うためには、電磁波（電波および光波）を用いた計測法が有用である¹⁾。そのため著者らは、電波を対象物に向け照射し、その反射波（散乱波）を、複数のアンテナ（アンテナアレイ）で同時に捉え、それらの受信信号を合成処理することで、対象物の変化を面的にかつ高速で捉えることができる高速イメージングレーダーを用いた変位・振動の計測に取り組んできた²⁾。同レーダーは図-1 および表-1 に外観および諸元を示すアルウェットテクノロジー社が試作した、周波数 79GHz 帯のミリ波を用いるミリ波高速イメージングレーダー（以下、ミリ波レーダーと記す）であり、従来のマイクロ波高速イメージングレーダーと比較し、トンネル切羽近傍への設置および計測が容易に行えるよう、小型化（全幅 300mm）を実現している。

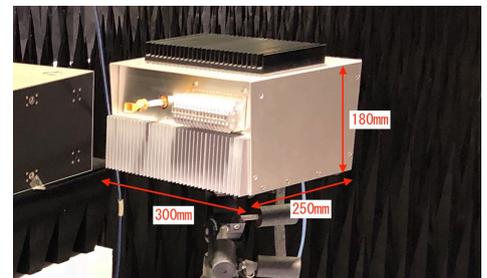


図-1 ミリ波レーダー外観

表-1 ミリ波レーダー主要諸元

周波数帯	79GHz 帯
観測範囲	3.5m
受信アンテナ全幅	0.11m (16 素子)
距離分解能	0.038m
方位分解能	1.94°
計測間隔	0.0005 秒

3. 面的振動計測性能の確認

図-1 のミリ波レーダーを用いて、面的な振動分布計測性能を確認するために、図-2 に示すようにトンネルを模擬した施設内に、トンネル切羽を想定したコンクリート吹きつけパネルを 48 枚配置した壁面試験体を設置し、パネルの背面や枠部に対して変位や振動を加え、それらによって生じる試験体の変化を、約 15m 離れた位置に設置したミリ波レーダーで計測を行った。また、パネル試験体の特定部位に対して、レーザードップラー速度計（LDV：ポリテック社 RSV-150）を用いた計測を同時に行い、ミリ波レーダーの計測値の精度検証を行う参考値として用いた。

4. 計測結果

図-2 に示す壁面試験体に対して、パネル間の枠（位置 A、位置 B）に対して背面からハンマー打撃を与えた際のパネル 17（左側面）、パネル 20（中央部）、パネル 24（右側面）に相当する点における送信波と受信波の位相差（レーダー波長を乗ずると変位と換算できる）の時刻歴変化を図-3 に示す。

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，高速イメージングレーダー

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

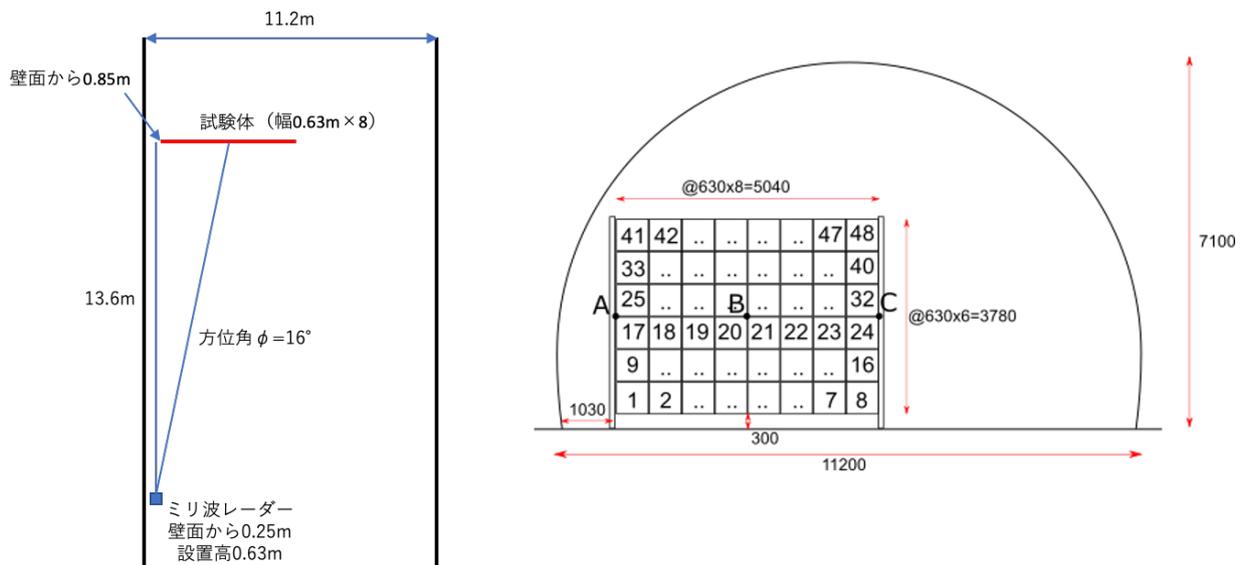


図-2 ミリ波レーダーおよび試験体の配置

位置 A, 位置 B からの打撃のいずれにおいても各パネルで振動が検知できるが, 位置 A の打撃においてはパネル 17 の振幅が最も大きく, 位置 B の打撃においては近接するパネル 20 の振幅が最も大きい. これは, レーダーの計測位置に沿った振動計測ができる結果と考えることができる. また, これらの振幅の差から, 振動発生位置の推定も概ね可能となる. 次に, パネル 20 の背面から段階的に約 40mm 押し出した際の計測結果を図-4 に示す. この場合のレーダー計測値は, パネル 20 に相当する点および周辺の点のいずれの値も LDV 計測値と比較小さい. これは, レーダーが用いるミリ波の波長 (約 3mm) を超過する変位が生じた場合に, その超過分を加算することが出来ない場合がある (アンラップ誤差) ことに因ると考えられる.

5. まとめ

トンネル切羽のような対象において, 本報で用いたミリ波レーダーは, 振動の分布計測, すなわち面的振動計測が可能であることを概ね確認した. また, 波長を超える変位で計測値に誤差が生じる課題に対して

は, 複数の計測点の計測値を重み付けするなどの処理を検討したい. 今後は同機を実際のトンネル切羽へ適用して連続計測を行い, 切羽周辺における災害防止に寄与する計測法の開発に引き続き取り組む所存である.

参考文献

- 1) 岩城英朗ほか: 光波を用いた非接触計測に基づく切羽変位の面的計測に関する検討, 土木学会第 73 回年次学術講演会, 2018. 08
- 2) 多田浩幸ほか: 高速イメージングレーダーによる切羽変位の面的計測に関する検討, 土木学会第 73 回年次学術講演会, 2018. 08
- 3) 岩城英朗ほか: トンネル切羽モニタリングに向けたミリ波高速イメージングレーダーの性能確認, 土木学会第 74 回年次学術講演会, 2019. 09

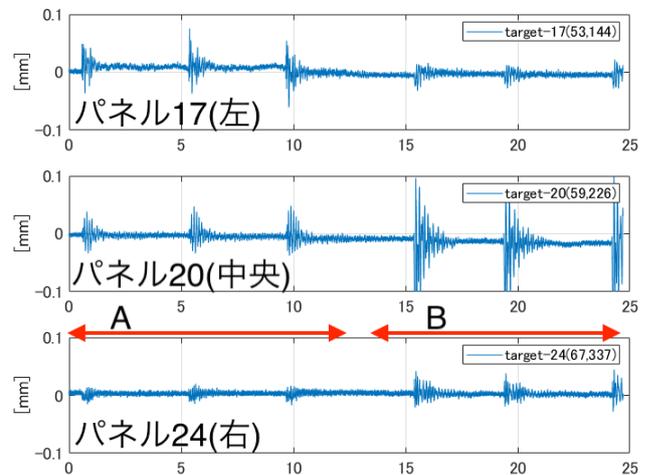


図-3 面的振動計測結果

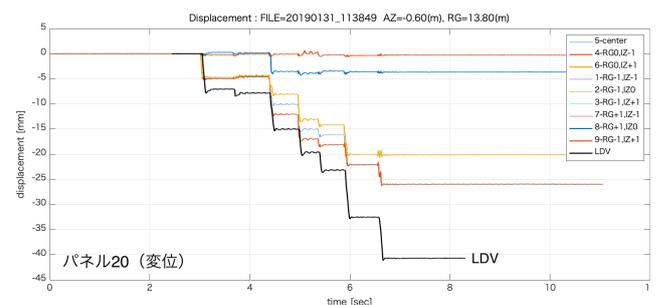


図-4 変位計測結果