

振動可視化レーダ「VirA」の計測精度検証

アルウェットテクノロジー（株） 正会員 ○能美 仁
非会員 能美 陽
非会員 白井郁夫

1. はじめに

橋梁や大型建造物の微小変位や振動を面的に計測する振動可視化レーダ（VirA:Vibration Imaging Radar）を開発し、土木分野での利用を進めてきた。平成28年にマイクロ波を使用して20ミクロン精度で面的に計測が可能な17GHz VirAを開発した¹⁾。その後さらに高精度化するためより高い周波数のミリ波帯を使用したミリ波 VirAを開発し、いろいろな環境で試験評価を行っている。²⁾

本稿ではミリ波振動可視化レーダ（ミリ波 VirA）で観測した変位データの計測精度について報告する。

2. VirAの概要

VirAは、計測対象に遠隔からレーダ信号を照射し、二次元のレーダ画像を表示すると同時に反射信号の位相から計測対象の微小変位や振動を面的に計測する。計測対象に反射板やセンサを取り付ける必要がなく、足場建設や配線作業が不要なため、現場到着後約15～30分で計測を開始することができる。

図2-1に計測原理を示す。送信波と観測対象で反射された信号の位相差を計測する。観測対象の変位 d は、波長を λ とすると、位相変化 Φ から図2-1のように表され、位相変化感度が一定とすると波長が短いミリ波は、距離精度の向上が期待できる。

図2-2に17GHz VirA及び今回開発し評価したミリ波 VirAを示す。一般的なレーダは機械的または電子的にアンテナビームを走査して、距離と方位で表される2次元画像を取得する。一方 VirAはアンテナビームの走査が不要なデジタルビームフォーミング（DBF）方式により1回の送信で1フレームの2次元レーダ画像を得ることができる。送信繰返し周波数が1kHzの場合、毎秒1000フレームのレーダ画像が得られ、画像上各点の位相情報から距離変化（微小変位）および、500Hz以下の振動を面的に計測することができる。

3. 計測例

ミリ波 VirAを用いて、渡り通路の振動、微小変位を計測した結果を図3-1に示す。中央がレーダ画像、右が赤枠内の反射の強い3点のそれぞれの変位を縦50ミクロン/div、横が1秒/divで表している。人の往来により渡り通路が上下に±50ミクロン動揺し、約4Hzの固有振動で動揺していることがリアルタイムに確認できる。なお、図3-1右図に示す変位は、VirAの視線方向の距離変化を表している。

4. 計測精度

ミリ波 VirAの変位計測精度について検証を行った。ミリ波 VirAで計測した場合の信号対雑音(SN)比とその雑音による変位揺らぎ量のシミュレーションを行なった。その結果を図4-1に示す。シミュレーション結果によるとSN約9dB以下では揺らぎ量は大きく発散するが9dB以上ではほぼ直線的に計測精度が良くなっており、SN40dBでは5ミクロン程度が期待できることが判る。実際にミリ波 VirAで振動等無い静止状態の岩盤

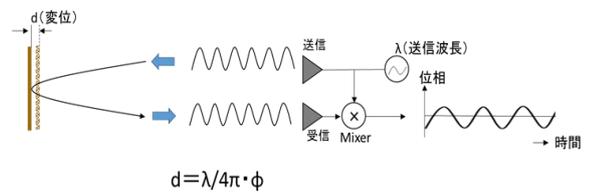


図 2-1 計測原理

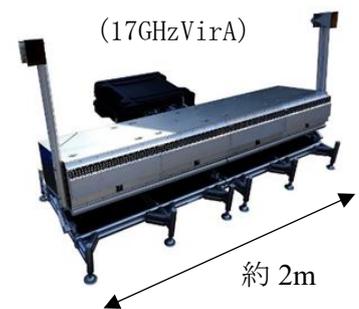


図 2-2 振動可視化レーダ (VirA)

キーワード 振動, レーダ, 計測, DBF, VirA

連絡先 〒181-0013 東京都三鷹市下連雀 3-2-24 アルウェットテクノロジー（株） TEL 0422-43-7535

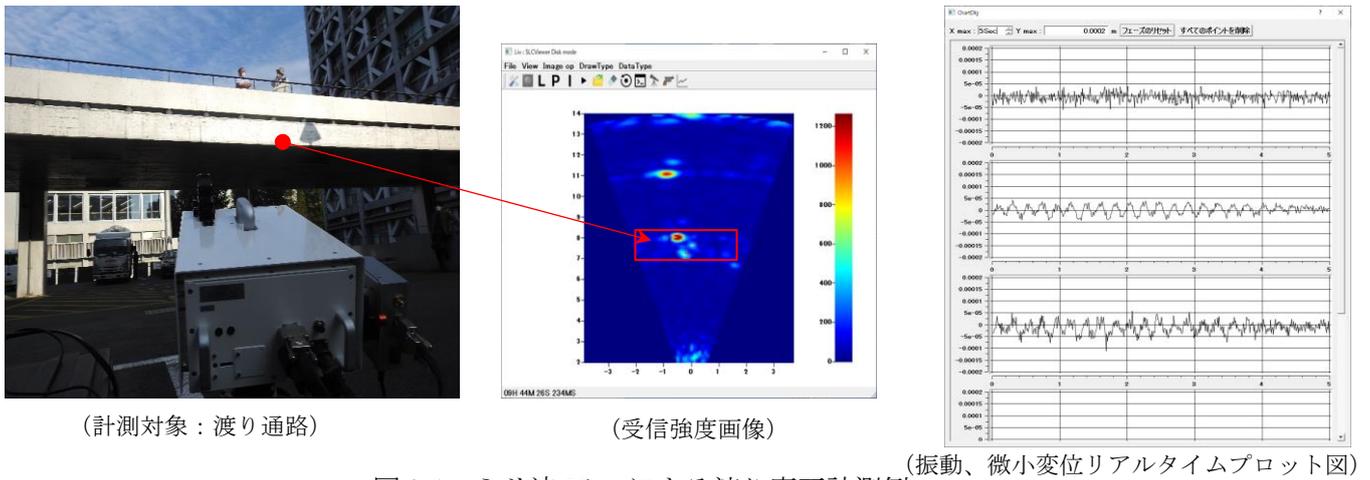


図 3-1 ミリ波 VirA による渡り廊下計測例

を観測し、そのレーダ画像の各ピクセル受信強度と約 10 秒間の変位量の rms (二乗平均平方根) 値を散布図としたものを図 4-2 に示す。送信繰返し周期 1mS で観測したレーダ画像と、10mS 積分、100mS 積分したレーダ画像の揺らぎ量をそれぞれ青、赤、黄の点で示している。

図 4-2 の傾向はシミュレーション結果と非常によく合っている。図 4-2 で揺らぎの傾向から 1 mS データでは受信強度 29dB、10mS 積分データでは受信強度 19dB、100mS 積分データでは受信強度 9dB が SN9dB に相当すると考えられる。SN40dB 以上、すなわち 100mS 積分で信号強度 40dB 以上の時、変位揺らぎ量 5 ミクロンが計測可能なことが示された。ただし、100mS 積分では最大振動計測周波数が 5Hz となっている。図 4-3 は実際の計測データで最も強力な点の変位計測値の 4 秒間の時間変化を示したものである。1mS ごとの計測データに重ねて 10mS 積分、100mS 積分の計測データが重ねて表示されている。

5. おわりに

ミリ波 VirA は、SN 40dB で 5 ミクロンの変位計測が可能なが示された。今回評価に使用したのはミリ波 VirA の初号機であり、今後改良により約 20dB の SN 改善を行う予定である。これにより、1mS 繰返し周期で 5 ミクロン変位計測も可能になる予定である。また、ミリ波 VirA はレーザーレーダとの同時運用、画像重ね合わせ機能を有している。変位計測点をレーザーレーダ画像状に表示し、観測点の同定を容易に行うことができ、土木分野での応用が期待される。

参考文献

- 1) 能美 仁：振動可視化レーダ「VirA」の土木分野への適用，土木学会 第 73 回年次学術講演会，2018. 08
- 2) 岩城 英朗：ミリ波高速イメージングレーダーを用いたトンネル切羽モニタリング，土木学会論文集（土木情報学 F3）

Vol. 77, No. 2, II_16- II_22, 2021.

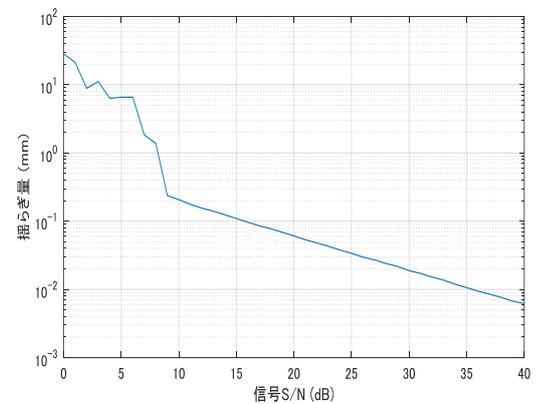


図 4-1 信号 SN と揺らぎ量のシミュレーション

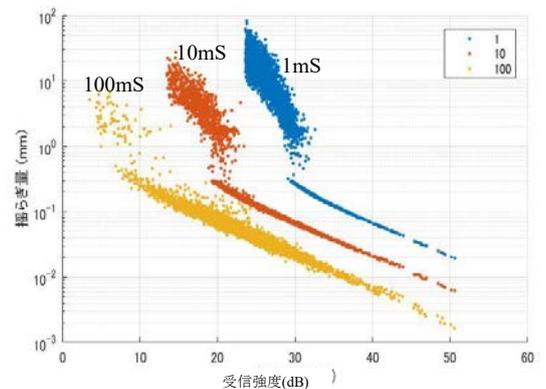


図 4-2 実測データの受信強度と揺らぎ量

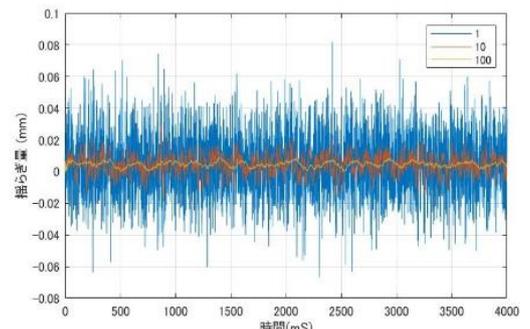


図 4-3 積分による変位時間波形の収束