

## 振動可視化レーダーによる斜張橋振動計測の試み

埼玉大学 正会員 ○松本 泰尚

アルウェットテクノロジー(株) 能美 仁 白井 郁夫

東京大学 正会員 蘇 迪 長山 智則

早稲田大学 坂井 滋和

## 1. はじめに

点検、モニタリングや性能確認等の目的で実施される橋梁等の大規模な建設構造物の振動計測において、効率性や作業者の安全性の観点から、非接触計測システムのニーズは高い。現在開発中の振動可視化レーダー (VirA) は、(1) 面的に位置 (変位) を精度良く計測できる、(2) 観測対象物にセンサ等を設置する必要が無い、(3) 遠距離からの計測が可能である、ことを特徴とする。これらの特徴を活かし得る計測対象として可能性を持つものには、振動法によるケーブル張力推定への応用や、照明柱や標識柱など多数存在する道路等の付属物の一括振動モニタリング、橋梁振動の面的計測等が考えられる。本稿では、それらを想定したフィールド試験により、現場における振動可視化レーダーの設置条件の下で、計測可能な現象やその計測精度の確認、既存の計測装置との比較を行った結果について述べる。

表1 VirAの開発目標性能

項目	仕様
観測範囲	仰角：30度 方位角：45度
観測距離	100m～10km
方位分解能	0.5度
撮像速度	500枚/秒 max
解析周波数	250Hz 以下
計測振動振幅	0.1 mm 程度
消費電力	300W 以下

## 2. 振動可視化レーダーVirAの特徴

VirA は、マイクロ波レーダー信号を送信して、計測対象から反射した信号を多数のアンテナで受信すると共に、レンジ圧縮処理とデジタルビームフォーミング処理技術を用いて、3次元画像化を行うものである。VirAの開発目標性能を表1に示す。VirAの開発においては、建設構造物の振動計測の他、火山の山体観測、地震等による危険斜面の変位量測定、ダムの堤体観測等への応用も想定している。

## 3. 振動計測概要

フィールド試験は、供用中の2径間連続鋼斜張橋において実施した。計測対象は、ケーブルの振動、照明柱の振動および主桁の振動とした。図1のように、ケーブルおよび照明柱の振動は桁上の歩道上にVirAを設置して計測し、主桁の振動は桁下に設置して計測した。VirAは、図1(b)に示すように、1モジュールに16アンテナを持つ受信モジュールを横に4個組み合わせたものであるが、桁上では設置面積に制約があるため、横方向の1あるいは2モジュールのみでの計測とした(図1(a)は2モジュールでの計測状況)。計測対象とした振動は、いずれも一般車両走行および風等により励起されていた振動とした。本稿では、紙面の関係上、ケーブルおよび桁振動の計測結果について述べる。



(a) 照明柱振動計測



(b) 主桁振動計測

図1 計測中の状況

キーワード 非接触振動計測, レーダー, ケーブル振動, 固有振動数, 面的計測

連絡先 〒338-8570 さいたま市桜区下大久保 255 埼玉大学大学院 TEL:048-858-3557

表2 ケーブル振動の固有振動数 (卓越成分の振動数)

ケーブル番号	1次				2次			
	VirA	IBIS-FS	加速度計 (面内)	加速度計 (面外)	VirA	IBIS-FS	加速度計 (面内)	加速度計 (面外)
1	0.550	0.550	0.554	0.554	1.07, 1.10	1.05	1.06	1.06
2	0.671	---	0.738	---	1.30	---	1.28	1.26
3	0.763	0.748	0.750	0.738, 0.763	1.48	1.48	---	1.46
4	0.855	0.900	0.898	0.886	1.77	1.80	1.78	1.74
5	1.10	1.08	1.08	1.08	2.23	2.26	2.24	2.15
6	1.36	1.34	1.35	1.30	2.73, 2.79	2.60, 2.69	2.68	2.58
7	2.09	2.08	2.09, 2.22	1.99	3.98	3.96	---	3.99

4. ケーブル振動計測

表2に、長さの異なる7本のケーブルの振動計測結果を周波数解析して得られた卓越成分の振動数について、VirAと他の計測システムの結果を比較している。表に示すように、振動計測結果から算出した卓越振動数成分の振動数は、既存のレーダー変位計 (IBIS-FS)、加速度計によるものと同等の精度を持つことが確認できた。ただし、空間分解能の制約から、図1(a)のようなペアケーブルを分離することはできなかった。

5. 桁振動計測

図2は、VirAとレーザードップラ振動計による桁振動の計測結果を比較している。変位の大きさ、位相ともにおおむね一致している。図3は、VirAとサーボ型速度計との比較であり、VirAの結果に20Hzのローパスフィルタを適用した後、数値的に微分して速度を求めている。サーボ型速度計の計測結果には、比較的高い振動数の成分が多く含まれているが、卓越振動数成分である0.35Hzの成分は、両者でおおむね一致していることが分かる。1Hz~10Hzでの差異の一因として、VirAで計測記録抽出の対象とした位置が、サーボ型速度計設置位置と一致していない可能性があることが挙げられる。

6. おわりに

フィールド試験により、VirAによる振動計測は、実際の橋梁のケーブルや桁に適用できることが分かった。ただし、空間分解能の向上によるペアケーブルの分離や、計測記録を抽出する対象とする位置の精度良い特定方法など、今後の改良点も明らかとなった。

謝辞

本研究開発は、総合科学技術・イノベーション会議のSIP (戦略的イノベーション創造プログラム)「インフラモニタリングのための振動可視化レーダーの開発」(管理法人: JST)によって実施した。また、橋梁振動計測にあたっては、国土交通省関東地方整備局北首都国道事務所にご協力いただいた。ここに記して感謝の意を表する。

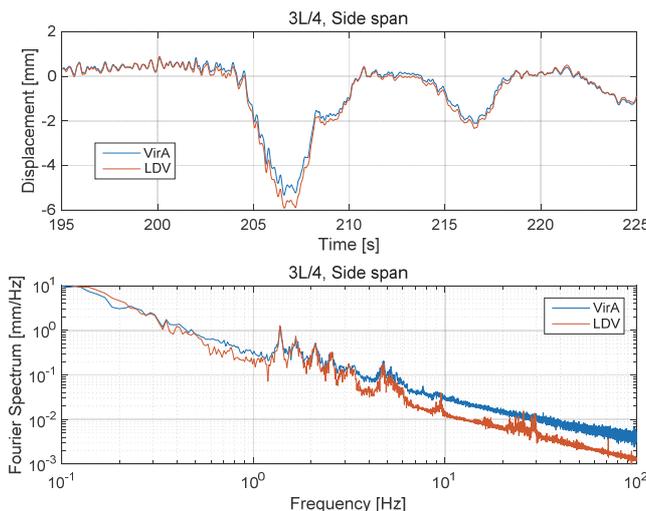


図2 レーザードップラ振動計との比較。変位時刻歴とフーリエスペクトル。

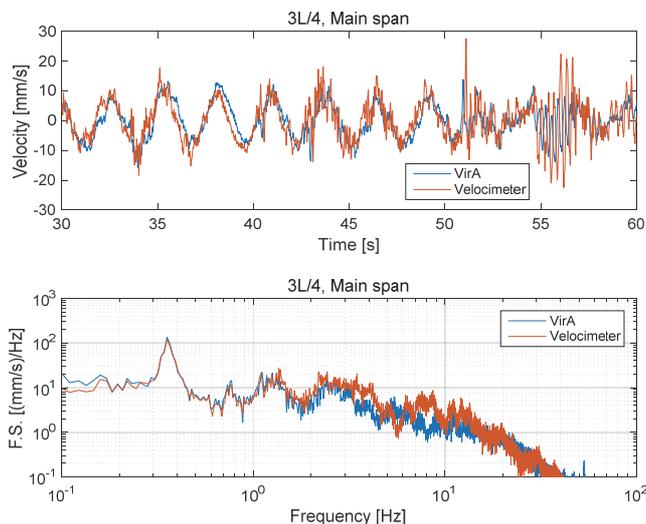


図3 サーボ型速度計との比較。速度時刻歴とフーリエスペクトル。