

(ご記入日) 令和 6年 4月 25日

公益信託NEXCO関係会社高速道路防災対策等に関する支援基金
受託者 三菱UFJ信託銀行株式会社 宛

研究概要書

研究課題：DAS計測の振動情報による全線交通量の可視化

研究代表者：神戸大学大学院工学研究科 教授 鎌田 泰子

共同研究者：京都大学防災研究所 教授 後藤 浩之

はじめに

高速道路事業者が地震時に災害対応をするためには、道路上の地震動とそれによる被害状況を迅速に把握する必要がある。高速道路上には既に複数の地震計が設置されているが、数10kmを一つの幹線と見たときにそれぞれの場所で地盤条件は異なり、さらに盛土や高架橋などの道路構造物も異なるため、各地点の地震動を把握するには十分な数ではない。一方で、今後さらに地震計を稠密に設置・観測するのも現実的でない。本研究は、道路上の全線の振動を数10m間隔で一度に観測することの解決策として、高速道路下に既に設置されている光ファイバの空きファイバを利用し、その光ファイバをセンサとする Distributed Acoustic Sensing (DAS:分散型音響計測)の適用を試みた。

1. 研究の目的

光ケーブルは情報伝送だけでなく、温度や振動などを測定するセンサとしても使用することができ、構造物の振動の検出などの様々な分野で実用化されている。光ケーブルを用いて振動測定する技術は分散型音響センシング (DAS) と呼ばれ、光ケーブルに入射したレーザー光が光ケーブル内に存在する不純物などによって後方散乱を起し、戻ってきた波の位相変化によって任意の地点のケーブルの軸ひずみのひずみ速度を測定している。わが国の高速道路上には、全線にわたって光ケーブルが既設済みである。その空きファイバを利用すれば、これまで「点」であった観測を「線」での観測に変化させる画期的なモニタリング技術になる。

しかし、高速道路上には常時から種々の車両による交通振動があり、その上で地震動を観測できるのか、高速道路上での DAS 自体の適用性についても不確かである。本研究では、複数車線のある道路側道に敷設された光ケーブルを利用して一定期間 DAS 計測を行い、その振動特性から交通振動および地震動の観測精度を確認するとともに、交通振動から全線の交通量を可視化する手法を提案することを目的としている。

2. 国道43号線でのDAS計測

本研究では、盛土や高架橋がなく、平野上の複数車線道路として、兵庫県内の国道43号線の約30km(神戸市元町~尼崎市県境)の光ケーブルを利用して、2024年1月10日から同年2月9日までの1ヶ月間、兵庫国道事務所の協力のもとでDAS計測を行った。道路は片側3車線ずつの6車線を基本とし、光ケーブルはいずれかの片側の側道下にあるCCB-Boxに収納されている。観測にはニューブックス社のNBX-S4100シリーズの光ファイバ音波分布計測システムを用いた。また、43号線沿いにある神戸市東灘区深江南町にある神戸大学海事科学部内のキャンパスにも3台の地震計を設置して24時間連続で同時計測した。本研究では、地震動の振幅による位相ずれを起こさないためにもゲージ長を最小限縮め、空間分解能2m、計測周波数1kHz、ゲージ長40cmで観測した。また、交通量計測結果を検証するために、一部期間において動画撮影も実施した。計測期間中には、側線が変化する位置で観測CHの位置確認のためにTAPテストを行った。

3. 片側1車線側道でのDAS振動特性と交通量

本研究に先立ち、著者らは京都府内の国道9号線でのDAS観測を過年度に実施し、そこから交通振動の特性等について検討してきた¹⁾。先行研究における知見として、片側1車線の2車線道路で光ケーブルが側道に埋設されている場合、両車線での車両走行は確認できる。しかし、近傍の車線を車両が通過した場合のみ、通過後の光ケーブルのひずみ速度の振動において、3Hz以下の振動数が卓越することが確認できた。これは、車両通行によるレイリー波の伝播によるものといえる。このため、2Hz以下のひずみ速度を抽出することで近傍車両の通行振動を評価できることを確認した。さらに、フィルタ処理したひずみ速度波形にある閾値以上の振幅と継続時間の二要件で車両通行をカウントすると、交通量調査で評価されている交通量に非常に近い値で推定できることがわかった。これらの研究成果は文献1)を参考にされたい。

4. 複数車線側道でのDAS振動特性と交通量

本研究におけるDAS計測において、全線30kmの側線のひずみ速度を可視化させることはできた。しかし、複数車線になると光ケーブルの位置と車線との関係で様々な振動が光ケーブルのひずみ速度(μ/s)には含まれる。そこで、3で紹介したような低周波以下の振動のみを抽出することで、ケーブル近傍を走行する大型車両の振動を評価することができる。図-1は、動画撮影した時刻とその周辺の光ケーブルのひずみ速度である。

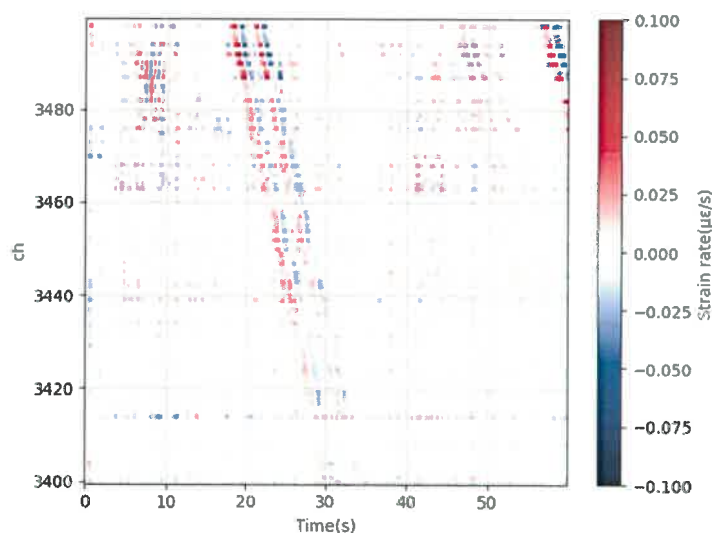


図-1 1Hz以下のひずみ速度 (Ch間隔0.4m, 3400ch-3500chは西から東)



図-2 図-1と同一時刻の車両の様子。(光ケーブルは写真右の防音壁の右側道下)

さらに、1ヶ月の観測期間中には関西圏を震源とする中小地震(1月23日:奈良でM3.8, 2月7日:和歌山でM4.0)が発生した。観測された光ケーブルのひずみ速度分布にはこれらの地震波を含んでいた。これらの地震動の最大速度は0.01~0.03cm/s程度であるにも関わらず、鮮明に地震動が伝播していることを光ケーブル全線で確認することができた。光ケーブルの近くで地震観測も同時に行っており、今後これらの記録と合わせて分析することでDAS計測によるひずみの信頼性や利用方法について検討を進めていく予定である。

5. まとめ、今研究で得られた成果、今後の課題等

複数車線道路における側道下の光ケーブルを用いてDAS計測を実施し、数m間隔の光ケーブルのひずみの特性やその有効性について検討した。2024年度も継続して観測した記録を分析する予定であるが、2023

年度の研究で得られた成果、および今後の課題については、以下の通りである。

- ・ 既存の国道下にある光ケーブルを利用することで 30km の測線上のひずみ速度を 2m の空間解像度で計測できることを確認した。
- ・ 側道下の光ケーブルのひずみ速度には、近傍車線の交通振動だけでなく、対向車線の交通振動も含まれることがわかった。単線車線だけの交通量評価技術はあるものの、複数車線での適用性や交通量評価方法については今後検討する予定である。
- ・ M3 や M4 クラスの近傍地震でも、交通振動よりも大きいひずみ速度のレベルの振動を DAS で計測できることがわかった。DAS によるひずみ速度と地震計による地震動との関係については、今後整理する。

[1]藤原， 鎌田， 後藤， 宮澤：DAS 振動データを用いた交通量計測に関する試み，土木学会第 79 回年次学術講演会，2024（投稿中）