

分布型音響センシング（DAS）の道路盛土への適用性と計測条件による影響の確認

中日本高速道路株式会社 正会員 ○中島康介 藤岡一頼  
中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋株式会社 フェロー会員 八嶋厚 正会員 山崎充  
岐阜大学 正会員 沢田和秀 村田芳信  
応用地質株式会社 正会員 小西千里 林宏一  
株式会社レーザック 正会員 町島祐一

1. はじめに

筆者らは盛土などの道路土工構造物の経時的な健全度を評価するために、アクティブ加振もしくは通行車両振動を用いた2次元表面波探査を実施してきた。その結果、計測で得られるS波速度構造を用いて盛土の安定度を評価する手法を提案した<sup>1)2)</sup>。しかしながら、これらの探査には交通規制が必要であり、安全かつ規制時間等の制約がない計測を行うためには、新たな振動計測ツールが必要である。近年、光ファイバによる計測技術の一つである分布型音響センシング（Distributed Acoustic Sensing : DAS）が注目されている<sup>3)</sup>。本研究においては高速道路盛土区間において、通行車両振動を用いたリニア微動アレイ計測と交通規制を伴わないDAS計測を行い、結果を比較した。

2. 計測方法

分布型音響センシング(Distributed Acoustic Sensing; DAS)は、光ファイバケーブルに入射した光パルスの後方散乱光の一種であるレイリー散乱光を用いて、光ファイバのひずみ（伸縮）を計測するもので、これにより近年、光ファイバをセンサとして振動を検知する技術として実用化されている。

DASによる計測はこれまで道路盛土への適用がなされていないため、適用性を検証するにあたり、得られた結果の妥当性を確認する必要がある。そのため、S波速度分布を把握する既存の手法として、リニア微動アレイ計測をDAS計測と同時期、同じ個所で実施することとした（ケースa）。また、どのような計測条件が最適であるかを確認するために、計測時間や対象からの離隔を変化させた計測を行い、結果に及ぼす影響を調べた。表1に計測条件を示す。ケースb,c,dのDAS計測は計測時間、距離を変化させたケースで、ケースb,cは約2.4km、ケースdでは約0.35km計測対象から離れている。計測にとって信号、ノイズとなる振動の比率を考慮し、ケースb,cは計測時間の違いを比較した。なお紙面の都合上、本稿では計測条件は昼の時間帯、ゲージ長5mでの計測条件として、その他の条件の違いによる比較結果を記載する。

3. 計測結果と比較検証

図1(a)～(d)に計測の結果を示す。卓越する位相速度帯（図中の青色の領域）がS波速度、すなわち地盤の剛性に相当するものであり、グラフの縦軸（周波数）が地盤の深度分布に相当する。

3.1 計測時間の比較

図1(b)と(c)の比較から、DAS計測の測定時間の長さによる影響を確認したところ、全ての周波数領域において、おおむね同様の位相速度が得られた。両者の違いとしては(b)のケースは(c)のケースに比べてイメージが安定化したようにも見えるが、計測時間が60分となることで、微動探査にとってノイズとなる振動を加算してデータの品質が悪くなっている可能性もある。このことから、本計測の条件では30分の計測時間で十分であると考えた。

3.2 離隔距離の比較

図1(c)と(d)の比較から、対象盛土と測定位置との離隔の違いによる影響を確認したところ、すべての周波数領域においておおむね同様の位相速度が得られた。

図1(b)～(d)3パターンのDAS計測では、すべてのパターンでリニア微動アレイ計測の結果（図2(a)）との整合が見られ、10Hz以上の高周波数領域では、ほぼ同じ位相速度を示している。

表1 計測条件

|      | a        | b     | c     | d      |
|------|----------|-------|-------|--------|
| 手法   | リニア微動アレイ | DAS   | DAS   | DAS    |
| 時間帯  | 昼        | 昼     | 昼     | 昼      |
| ゲージ長 | —        | 5m    | 5m    | 5m     |
| 時間   | 6分       | 60分   | 30分   | 30分    |
| 離隔   | 0        | 2.4km | 2.4km | 0.35km |

キーワード 高速道路、盛土、表面波探査、分布型音響センシング、リニア微動アレイ

連絡先 〒460-0003 名古屋市中区錦2丁目18番19号三井住友銀行ビル9階 環境・技術企画部 TEL052-222-3623

図2にケースa,dの計測結果から距離程ごとのS波速度分布図で表現した結果を示す。横軸の距離程は測定した位置からの距離(道路延長)を表しており、黒い実線は、路面(上)と、建設時の図面から読み取った現地盤の高さ(下)を示している。深度20m以浅におけるS波速度の値は200m/sの前後であり、両手法に共通している。厳密には全体的にDAS計測結果のS波速度の方が若干低くなる傾向が見られた。また、距離程2400付近に局所的な低速度領域(赤系色)が見られる特徴も共通している。以上の結果から、リニア微動アレイ計測の結果と、DAS計測(ケースd)との結果は高い相関が見られることが分かる。但しDAS計測の結果は、低周波の位相速度が不明瞭であり約20m以深の感度が悪い(図中の黒い破線以深の領域)。

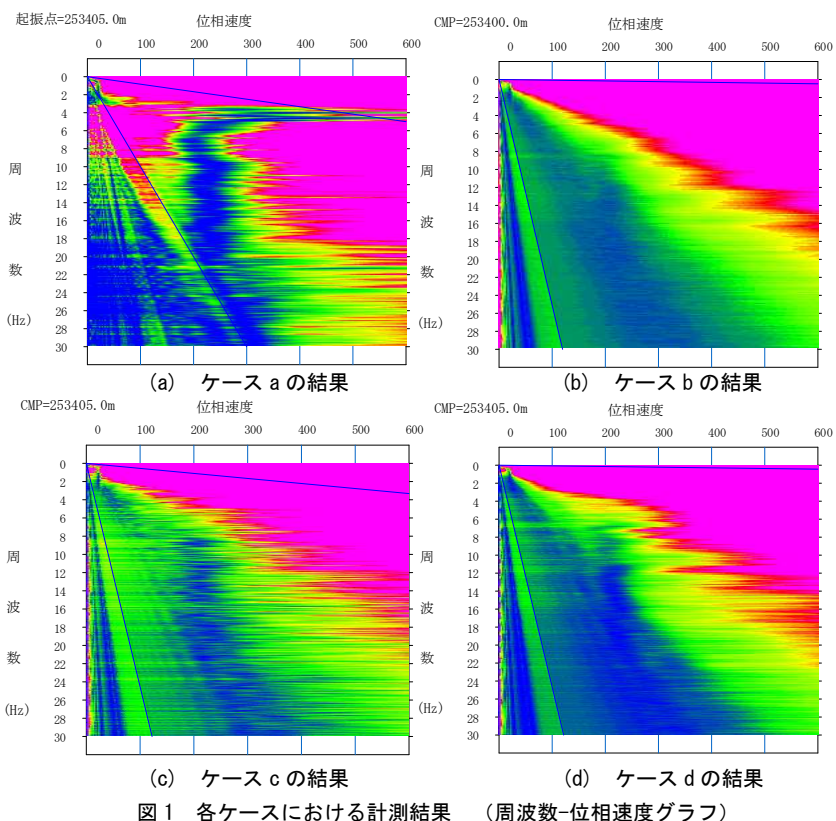


図1 各ケースにおける計測結果 (周波数-位相速度グラフ)

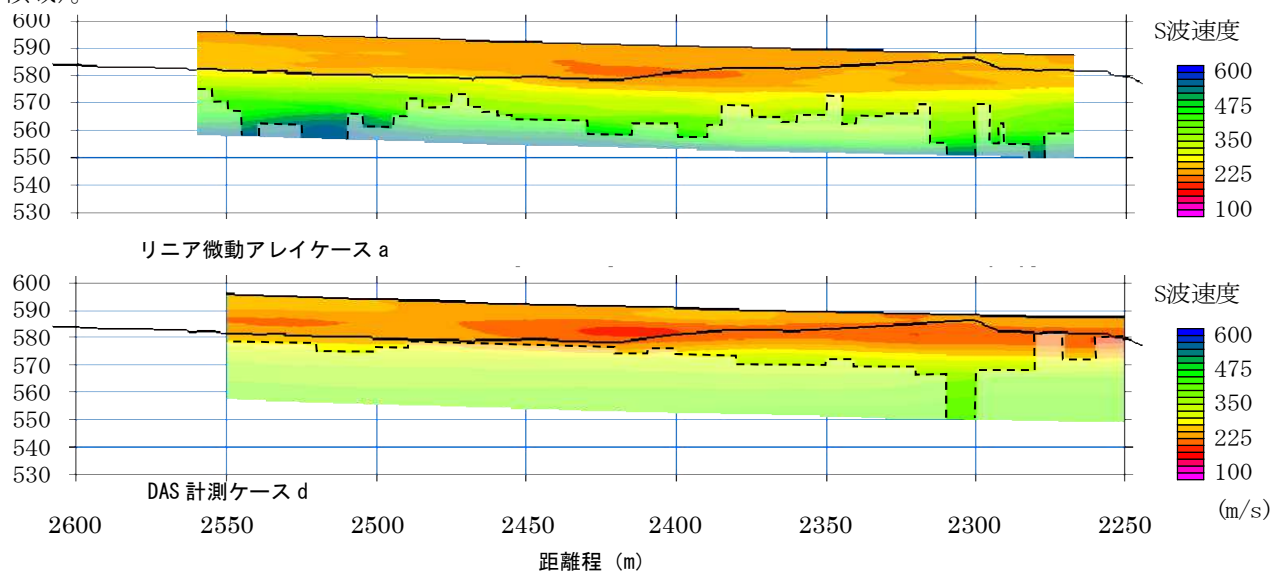


図2 S波速度分布図(上:リニア微動アレイケースa、下:DAS計測ケースd)

#### 4. まとめ

DAS計測により得られたS波速度の分布はリニア微動アレイ計測結果と同じ特徴が見られ、交通規制を伴わない遠隔地(少なくとも2~3km)からの測定であっても、S波速度構造の概略的な把握が可能であることが分かった。また、DAS計測の所用時間は30分で十分であった。但しDAS計測により得られた結果は低周波の位相速度が不明瞭であり、路面から約20m以深の感度が悪いことも分かった。今後は様々な条件での計測を行うことで、DAS計測で可能な計測位置から対象箇所までの距離や適用性を確認してゆく。

#### 参考文献

- 1) 中島康介ら：物理探査を用いた高速道路盛土の初期の工学的指標の把握，地盤工学ジャーナル，Vol. 17，No. 2，pp. 205-216，2022。
- 2) 中島康介ら：高速道路土工区間におけるS波速度分布の経年変化，第77回土木学会年次学術講演会，2022。
- 3) 篠原雅尚：光ファイバー地震計が拓く海域観測の新展開，<https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/wp-content/uploads/2022/11/%E5%9C%B0%E9%9C%87%E7%A0%94NLP39web-A4-Link-2.pdf>