

DAS を用いたシールドマシンの振動可視化技術の開発

鹿島建設(株) 正会員 ○永谷英基 吉村雄一 今井道男 藤原航太郎
佐藤一成 串田慎二 坂根英之 川野健一

1. はじめに

シールド工法は、地盤に応じて「適切な形式で適切な施工」を行えば安全に工事を遂行できる工法である。しかしながら、図-1のような施工振動の影響は無視できず、シールドトンネル施工技術検討会では、シールドトンネル工事の安全・安心な施工に関するガイドライン¹⁾を策定し、住宅地等の市街化された地域においては、施工に起因する騒音・振動の低減に努めることを求めている。

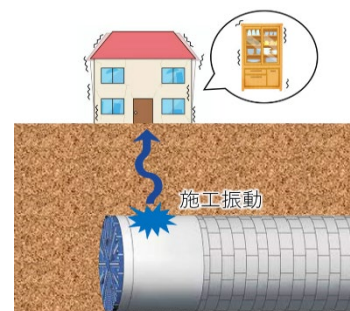


図-1 シールド掘進時の振動影響

大断面シールドマシン特有の課題として、巨大なマシン内で過大な振動の発生個所や振動特性を特定するのが困難である。筆者らは、分布型光ファイバセンシング技術を用いて、シールド面板に光ファイバセンサを内蔵することで、面板全体のひずみや温度の変化を分布計測することに成功している²⁾。本稿では、光ファイバによる振動分布計測を行うことで、詳細かつリアルタイムに振動を可視化する技術を開発したので報告する。

2. DAS (分布型音響センシング技術)

DAS (Distributed Acoustic Sensing) とは、図-2に示すように計測器から光ファイバにパルス光を一定周期で繰返し入力し、光ファイバに加わる振動に応じて変化する後方散乱光の位相検出により振動を計測する技術である。伝搬距離によって異なる光の往復時間を測定して位置情報を取得し、各位置の計測信号に対して1~2.5kHzの周波数範囲でサンプリングを行うことで光ファイバに沿った振動分布を計測することができる。今回の計測条件は、サンプリング周波数500Hz、計測ピッチ0.2m(空間分解能2.8m)で行った。

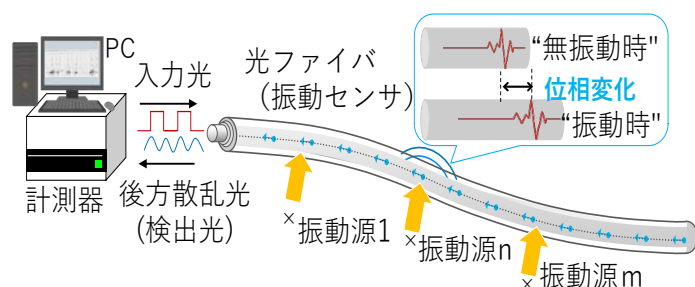


図-2 DAS 計測の原理

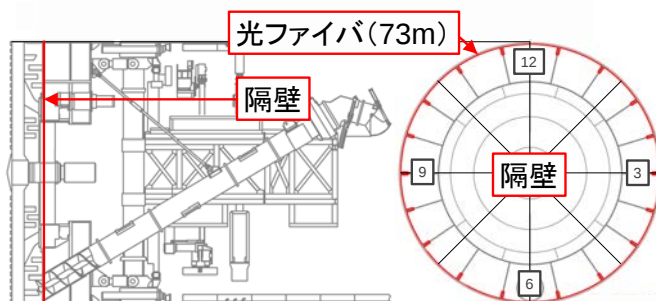


図-3 光ファイバセンサ敷設位置

3. シールドマシンへの光ファイバセンサの実装

マシン外径15.28mの泥土圧シールドマシン(以降マシン)に対し、図-3の隔壁(バルクヘッド)部において、マシン内面の最外周に沿って、光ファイバを360度全周に敷設した。マシン完成後に敷設したことから、図-4のように構造部材を乗り越えながら配線を行った結果、マシン周長約50mに対し、計測延長約73mとなった。なお、敷設後、光ファイバセンサの位置情報から、正確な計測箇所の特定が可能である。



図-4 隔壁の配線箇所

4. DAS 計測結果

今回計測を行った際の施工状況は、泥岩層(土丹)を気泡シールドで直線掘進しており、土被り11.5m、5.65%から5.1%の下り勾配変化点であり、1リングを掘進する約2.5時間についてDAS計測を行っている。

キーワード 分布型光ファイバセンシング, DAS, 振動計測, シールドマシン, 可視化

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL 042-489-1111

1) **振動分布**：振動計測結果を時系列コンターで図-5 に示す。振動をサブナノ単位の動ひずみで計測しており、全長 73mの経時変化を示している。振動の分布傾向としては、マシン底部の6 時付近が最も大きく振動しており、掘進中は継続している。

次に、図-6 に断面の部位別に 8 点を抽出して振動強度 L_v に換算して示す(式 1)。全体的に最大 40dB 程度で推移しているが、底部(6 時)のみ 60dB 程度を示しており、その差は明確である。縦断勾配の変化点だったため、上向きに制御しながら掘進していることから、マシン底部スキンプレートに反力が作用し、振動分布にも影響が及んでいると推察される。

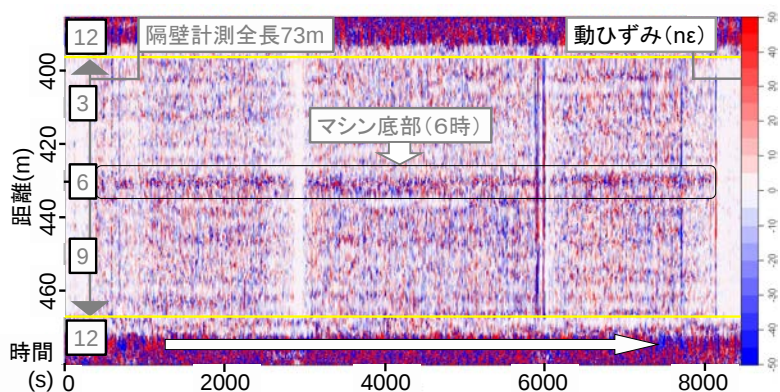


図-5 振動時系列コンター

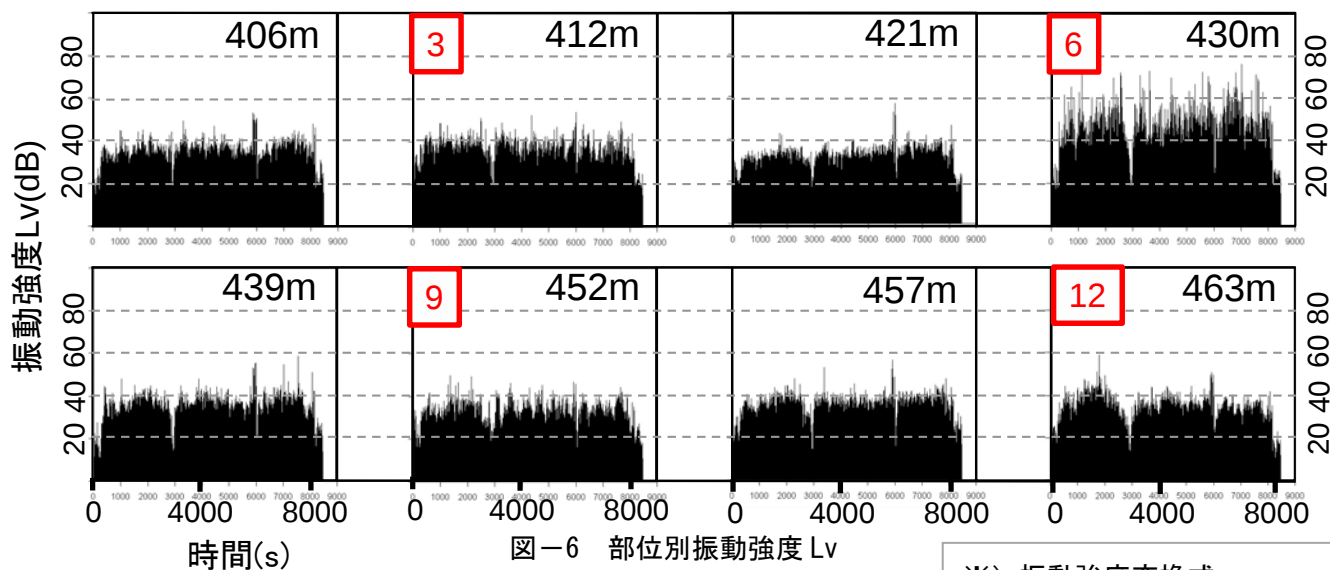


図-6 部位別振動強度 L_v

2) **振動特性**：特に振動が大きい底部(6 時)の計測結果に対して、周波数分析を行った結果を図-7 に示す。50Hz, 120Hz, 170Hz の3つの帯域が卓越しており、特に 170Hz が大きい。建設振動影響としては、100Hz 以下の低周波領域で問題になるケースが多いことから、振動強度で最大 60dB 程度であることも勘案すると、地上に影響を及ぼすような振動は発生していないが、振動要因の特定は今後の課題である。

5. まとめ

シールドマシンに光ファイバセンサを実装し、DAS 計測を行うことで、大断面マシンの振動分布や特性を可視化することができた。シールドマシンのスキンプレートに光ファイバセンサ網を実装すれば、マシンの振動源を精緻に検知し、掘進時に周辺地盤に与える振動影響に対して迅速な対処が可能になる。引き続き、計測精度の検証を進めると共に、光ファイバの最適な配置や振動可視化ソフトウェアの整備を進めて行く所存である。

参考文献

- 1) シールドトンネル施工技術検討会：シールドトンネル工事の安全・安心な施工に関するガイドライン，2021
- 2) 露木，今井，坂根，佐川，川野，永谷，吉村，青鹿，川端，小柳津，庄野：シールドマシン面板計測への光ファイバセンサ適用検討，第 76 回土木学会年次学術講演会概要集，2021

※) 振動強度変換式

$$L_v = 10 \log_{10} (n \varepsilon)^2 \quad [\text{dB}]$$

..... 式 (1)

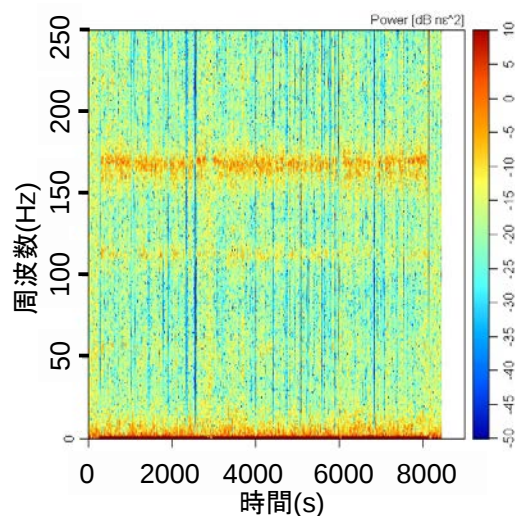


図-7 周波数分析結果(底部：6 時)