2025年度 第375回鉄道総研月例発表会

光センシング技術(DAS)を活用した 鉄道地震観測網の提案

鉄道地震工学研究センター 地震解析研究室 副主任研究員 片上 智史

研究の背景と目的

「分散型音響センシング(Distributed Acoustic Sensing: DAS)」

- 光ケーブル内の散乱体(ガラス)で散乱する散乱光の位相差を測定し<u>ひずみ</u>を計測
- 数十キロメートル以上にわたる光ファイバーで、<mark>数m毎</mark>にデータを収録可能
- 鉄道沿線の多くには既に通信用ケーブルが敷設されており親和性も高い
- ⇒<u>多点稠密な観測点(DAS)を用いて即時に沿線の高密度な地震動分布が取得可能</u>



早期地震警報の即時性と精度のトレードオフ

Railway Technical Research Institute

 ・数十km毎に線路沿線に設置された
 ・地震計で1点のデータから警報発令を
 判断する(C-∆法)。

●一方、非常に少ないデータから地震 諸元(震源位置やマグニチュード)を推 定するため、誤差が非常に大きい。

●現行の地震計の設置点数を増やすことは、コスト等の面から非現実的。

	地震諸元推定アルゴリズム	誤差
P波検知	STA/LTA法+レベルトリガ法	
震央距離	<mark>C-Δ法</mark> (0.5秒)	倍半分
震央方位	<mark>主成分分析法</mark> 可変ウィンドウ(1.0秒以内,平均0.58秒)	±30°
マグニチュード	変位+加速度の <mark>距離減衰式</mark> を利用	±0.63
警報時間	最短 <mark>1.0</mark> 秒	



研究の背景と目的

地震後の点検範囲の適正化

- 数十㎞毎に線路沿線に設置された地震計の値によって、点検範囲を決めており、 <u>揺れの小さい区間が含まれる</u>場合がある。
- DASを用いれば、線状に密な地震観測網として利用できる可能性があり、 <u>点検区間の適正化</u>につながる。





- 1.鉄道沿線の既設光ケーブルで実施したDAS地震観測事例
- 2. 大型振動台試験装置を活用したDAS強震動応答性の把握
 ・所内振動台
 - ・E-ディフェンス
- 3. 早期震源決定手法の開発
- 4.まとめ



鉄道沿線の地震動に伴う最大ひずみ分宇(cycle skippingの発生→補正)

echnical Research Institu



● あるチャンネルで強い振幅が観測された場合、 サンプリング間隔内に差分が±πを超えると記録できない ● Cycle skippingを補正せず算出した最大ひずみ分布(灰色) ● Cycle skippingを補正した後算出した最大ひずみ分布(赤) →何gal程度でcycle skippingが生じるのか?



大型振動台を活用した強震動応答性把握





 ・振動テーブル上に1心の 光ケーブルを養生テープで固定
 ・0.2, 0.4, 0.8, 1.0, 2.0, 4.0,
 8.0Hzの正弦波をX軸方向に入力
 ・K-NETで観測した強震動波形を 水平2成分に入力(熊本地震など)₇



大型振震動台(国立研究所)を活用した強震動応答性把握



入力加速度に対するひずみ速度の周波数依存性





兵庫耐震工学研究センター(E-ディフェンス)を活用した震動台試験

Railway Technical Research Institute

カップリングを5種作成
(1)完全固定 (コンクリートボント、)
(2)未固定
(3)部分固定 (600mm毎)
(4)砂埋め
(5)壁面に固定





- ・光ケーブルは2種使用
 (a) 200芯の光ケーブル(新幹線沿線通信用)
 500kg/1000m
 (b) ひずひを周囲火ケーブル(左右ケーブル)
- (b) ひずみ計測用光ケーブル(充填ケーブル) 5kg/1000m
- ・0.2, 0.4, 0.8, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0Hzの 正弦波をY軸方向ないしZ軸方向に入力



最大加速度と位相差の比較(200芯)



ケーブル種の寄与 ~ひずみ速度波形の比較(Hytrelと200芯)~



結論:重量や剛性率の違いによるもの

(1)重量 200芯:内部の光線すべてが一様に動かず、部分的なスリップが発生し応答が低下

Hytrel:軽量で柔軟のため、振動台の揺れに追従しやすい(新設も容易)

(2) 剛性率 弾性体は剛性が低いほど外力に対して大きな変形が発生(フックの法則) $\sigma = E\varepsilon$

DASを活用した早期震源決定手法の開発



震源決定結果(2023.02.06に<u>熊本県内</u>で生じたM2.0の地震)



震源決定結果(2022.01.22に日向灘で生じたM4.0の地震)



解析対象地震(日向灘以外)の震源決定結果





- 九州新幹線の既設通信用光ケーブルに
 DASを適用し地震観測を実施
- ひずみ速度から加速度の変換には、
 ひずみ速度の周波数依存性を補正する必要がある
- ・光ケーブルを固定しない場合は約400gal、
 固定した場合は1000gal程度まで記録可能である
- ・使用する光ケーブルの重量や剛性率によって、
 記録値の感度、カップリングの影響度が大きく異なる
- 一般的な手法(複数点を用いた震源決定手法)を用い
 即時に高精度に震源決定が可能(誤差数km未満)





Railway Technical Research Institute

・本研究の一部は、国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施しました。

•S. Katakami, M. Korenaga, N. Iwata, E. Araki, N. Takahashi, S. Noda. (2025). Immediate and High-Precision Hypocentral Determination for Earthquake Early Warning Applications Using Distributed Acoustic Sensing. Bulletin of the Seismological Society of America. 115. 10.1785/0120240184.

•S. Katakami, S. Noda, M. Korenaga, E. Araki, N. Takahashi, N. Iwata, (2024). Potential of Earthquake Strong Motion Observation Utilizing a Linear Estimation Method for Phase Cycle Skipping in Distributed Acoustic Sensing. Volume129, Issue1. https://doi.org/10.1029/2023JB027327