

12 - 1 第 236 回地震予知連絡会重点検討課題「光ファイバーセンシング技術の地震・測地学への応用」の概要

Application of optical fiber sensing technology to seismology and geodesy

篠原 雅尚 (東京大学地震研究所)

Masanao Shinohara (Earthquake Research Institute, the University of Tokyo)

1. はじめに

光ファイバーセンシング技術は、光ファイバー自身をセンサとして用いて、歪や振動を検知する。このうち、短周期の歪振動を検知できる分散型音響センシング (Distributed Acoustic Sensing, 以下 DAS) 計測は、セキュリティー監視やパイプラインのモニタリングを目的に使われ始め、その後資源探査の分野で Vertical Seismic Profiling などの地震探査に使われた。さらに、海域や陸上における自然地震観測にも適用されている。DAS 計測は空間的に高密度なデータを長距離に渡って取得できることが特長である。また、測地帯域においては、光ファイバーによる歪計測技術開発が進められている。

国内における DAS 計測による地震探査や地震観測の事例はまだ少ない。通常地震計が地動の加速度、速度、変位を計測することに比べて、DAS 計測はファイバー方向の歪を計測しており、計測されたデータについての評価、データ処理手法についての検討が必要である。また、DAS 計測データの S/N 改善や光ファイバーセンシング技術の測地帯域への応用のためにはさらなる技術開発が必要である。そこで、現在地震学・測地学に利用されている光ファイバーセンシング技術について現状を把握するとともに、今後の光ファイバーセンシング技術の応用について議論することとした。論点は下記の通りである。

- ・ 測地・地震帯域における検出限界を低下し、さらに高感度化することができるか？
- ・ 光ファイバーセンシング技術は、各分野において、どのような観測に有効か？
- ・ 従来の測地・地震学の手法・解釈をどこまで光計測技術に応用可能か？光計測データに厳密に適用できる手法や解釈がどの程度必要とされるか？
- ・ 観測時に生成される大量のデータをどのように処理するか？
- ・ 測地・地震観測に利用可能な光ファイバーをどのように確保するか？

以上を踏まえて、第 236 回地震予知連絡会では、これまで国内で実施されている光ファイバーセンシング技術を用いた地震・測地観測について紹介頂くと共に、光ファイバーセンシング技術の地震・測地学への応用について議論を行った。

2. 研究紹介と議論の概要

2 - 1. 光ファイバーケーブルと DAS による火山観測

東北大学西村太志教授から、東北大学が取り組んでいる陸域の火山観測への DAS 計測の応用について、紹介された。火山観測に DAS 計測が適用された国際的な例が提示された後、東北大学が行っている吾妻山と蔵王山での DAS 観測が紹介された。国土交通省が道路沿いに敷設している長さ 14 km 光ファイバーケーブルを利用した吾妻山の DAS 観測研究では、測定間隔は 10.2m、サンプリング周波数 1000 Hz にて、2019 年 7 月に 3 週間ほどの観測が実施された。その結果、従来、震源決定が難しかった P 波や S 波の不明瞭な火山性地震や連続的に震動が継続する火山性微動に

についても、DAS 観測により誤差 1 km 以内で決めることができることが示された。今後の課題としては、観測例を増やすと共に、DAS データの伝送方法や即時解析の技術向上が揚げられた。

2-2. 陸域での光ファイバーを用いた Slow & Fast 地震の検出

東京大学加藤愛太郎教授から、東京大学地震研究所が行っている陸域における地震及び低周波微動の DAS 観測について、報告があった。徳島県を中心に、国道に沿って敷設されている 2 本の光ファイバーケーブルを使用して、ゲージ長 9.57 m、約 5 m の計測間隔、サンプリング周波数 500Hz の DAS 観測を 3 ヶ月ほど実施した。光ファイバーの位置は、約 20 地点におけるタップテストにより、推定した。観測期間中に、日向灘沖で発生したスラブ内地震 (Mw 6.6) や測線近傍で発生した地殻内の微小地震 (M<1) が記録され、DAS 記録から伝播する地震波の波面把握が可能であることが示された。また、深さ約 30 km で発生している深部低周波地震も記録することができた。課題として、複数の光ファイバーを使い、二次元的な観測を行う必要性があげられた。

2-3. DAS を利用した断裂系探査システムの開発と今後の展望

株式会社地球科学総合研究所青木直史研究開発部長から、物理探査分野での光ファイバーセンシング技術の応用と今後の応用について、紹介された。実際に DAS 計測を資源探査に利用している例として、(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構 (JOGMEC) の地熱探査の技術開発において、坑井近傍の断裂系を探索するシステムの試験が示された。坑井内に光ファイバーを設置し、DAS 計測により、開口断裂などで弾性波の通過に伴い発生する回折波を観測し、その発生源のイメージングを通して周辺域の断裂の発達状況を捕捉する。光ファイバーを利用することで、高温の地熱井内でも計測ができることが利点である。今後として、地熱開発に役立つ断裂系の 3 次元モデルの精緻化への貢献や、定常震源と組み合わせた貯留層変動モニタリングシステムへの応用があげられた。

2-4. 海域での光ファイバーを用いた広帯域地震・地殻変動観測の現在と展望

海洋研究開発機構荒木英一郎グループリーダー・主任研究員から、海洋研究開発機構が実施している海域における地震・測地観測における光ファイバーセンシングの応用について、報告があった。南海トラフを中心として地震発生帯の現状把握を目的として、海域での光ファイバー伸縮を計測して、測地観測を行うための研究開発を行っている。具体的には、海底に 200m 程度展張した光ファイバーの光路長を計測する光ファイバー歪計、長い海底ケーブルの長さ変化を計測する長基線光ファイバー計測、レイリー散乱波の位相評価による海底計測が展開されている。光ファイバー歪計による計測では、通常地震やスロー地震、海洋潮汐などが観測されていることが報告された。課題としては、海底計測における海底と光ケーブルのカップリングの問題や計測距離の拡大などについて、議論がなされた。

3. 議論とまとめ

光ファイバーセンシング技術の地震・測地学への応用は、すでにさまざま分野で始まっていることが紹介され、空間的に超稠密な計測が実施可能であることなどから、今後の展開が期待される旨の発言があった。また、計測に関わるコストについても、議論があった。今後の課題として、DAS 計測については、既存の解析手法の適用がなされていくと思われるが、ひずみを計測していることから、解析方法に注意を払う必要があることが指摘された。また、記録の S/N 比を向上さ

せた DAS 計測器への期待が示された。さらに、基礎的データとして、計測しているケーブルの正確な位置を把握するための手法開発の必要があるとの意見が出された。DAS 計測器自身が振動してしまうと、記録にその振動が重なる事があるため、S/N 比をあげるためには計測器を設置する環境が重要であるという意見も出された。また、観測帯域を長周期側に延伸して、測地学的観測を行うための機器開発を継続していく必要があることも議論された。

今後は、地震観測を対象としたときには、震源位置、マグニチュードや発震機構解の決定が定常的にできるように測器の技術開発と解析方法の開発を行うことが重要である。また、測地学の帯域における観測についても、光ファイバーセンシング技術が有用であると考えられるため、技術開発が進行中である。さらに、今後、光ファイバーセンシング技術を用いた地震・測地学的な観測を行うにあたって、既設の通信用光ファイバーの利用がその展開を加速すると考えられ、そのための体制整備が重要である。