安全保障技術研究推進制度　令和６年度終了課題　終了評価結果

1.　評価対象研究課題

（１）研究課題名：光ファイバDASと微動探査による地盤モニタリング手法の開発

（２）研究代表者：防災科学技術研究所　藤原　広行

（３）研究期間　：令和４年度～令和６年度

2.　終了評価の実施概要

日時　　：令和７年１２月１日

場所　　：ＴＫＰ新橋カンファレンスセンター

評価委員：未来工学研究所　理事長、上席研究員

東京大学　名誉教授

平澤　泠（委員長）

筑波大学　数理物質系　物理工学域　教授

岩室　憲幸

東京農工大学　名誉教授

宇野　亨

情報通信研究機構　主席研究員

門脇　直人

産業技術総合研究所　サイバーフィジカルセキュリティ研究部門

副研究部門長

川村　信一

慶應義塾大学　名誉教授

笹瀬　巌

東京工業大学（現　東京科学大学）名誉教授

蜂屋　弘之

元　東海大学　教授

森本　雅之

大阪大学　名誉教授、招へい教授

渡邊　尚

（委員長以外は五十音順・敬称略）

3. 研究と成果の概要

研究の概要

大都市が立地する堆積平野の地盤リスク評価手法の高度化を目的として、光ファイバをセンサーとして用いた光ファイバ DAS と微動探査の融合により、従来よりも高密度・高精度で地盤の振動特性を把握するモニタリングのための基礎的な基盤技術の開発を行った。

成果の概要

本研究における成果として光ファイバ DAS と微動探査を融合することにより、従来よりも高密度・高精度で地盤の振動特性を把握し、様々な目的にも応用可能な地盤モニタリング手法の確立という研究目標が達成された。具体的な成果について以下にまとめる。

（1） 光ファイバ DAS による地盤振動の高密度計測調査

①試験場において複数の光ファイバケーブルを埋設して、並行に設置した複数台の微動計との比較観測を行った。計測の空間分解能を表すゲージ長は 5 m 以下に設定して測定を行った。結果、地盤とのカップリングが良好な状態であれば、約 1 Hz 以上の周波数帯域におけるスペクトル振幅は同様であり、いずれも地盤振動計測に利用可能であることが明らかになった。また、光パルス計測装置であるインテロゲータ[*1] については異なる 3 つの製品を利用した比較観測を行った結果、インテロゲータの種類によらず、約 1 Hz 以上の周波数帯域における地盤振動計測に利用可能であることが明らかになった。

②茨城県の国道 6 号（測線長約 57 km）、国道 50 号（同約 63 km）それぞれに沿って埋設されている既存の光ファイバケーブルを使用し、それぞれ 10 日間以上にわたる DAS 測定を実施した。計測の分解能を表すゲージ長は 9.57 m に設定した。微動計を用いたラインアレイ観測から推定された位相速度は、上記の光ファイバ DAS の結果と整合的であった。また、各 50 km 以上の区間において S 波速度構造断面図を作成することができ、空間分解能 25 m 間隔の地盤増幅率を推定することができた。さらに一部の地域（恋瀬橋、長岡橋）では高精度なインテロゲータを使用した観測記録を用いることにより、空間分解能 10 m 間隔の S 波速度構造を推定した。以上から、従来の 250m メッシュ地盤モデルに比べて、光ファイバ DAS を用いることで飛躍的に空間分解能が高い地盤モデルの作成が可能であることが明らかになった。

（2） 光ファイバ DAS による長期間連続モニタリング技術の確立

①光ファイバ DAS による観測データを長期間にわたってモニタリングするリアルタイムシステムの基礎的な開発を行った。計測サイトで動作するエッジ処理機

能として、波形入力処理、ノイズリダクション処理、ダウンサンプリング処理、データ出力処理を開発し、インテロゲータからリアルタイムで出力される波形データファイルの処理が可能であることを確認した。データセンタで稼働するストレージ処理機能として、データ登録・蓄積機能、データ検索機能を開発し、エッジ処理で処理されたデータを受信し、それらをファイルとして蓄積およびデータベースに登録することで、利用者が必要なデータを取得することが可能であることを確認した。

②構築したリアルタイムモニタリングシステムの実証実験を行った。国道 6 号および国道 50 号では光ファイバ DAS で計測したデータを入力として、エッジ処理、ストレージ処理の検証を行った。結果、複数の光ファイバのデータに対して、60 秒長データに対し最大 16 秒でエッジ処理が完了し、データセンタで稼働するストレージ処理により受信・蓄積されデータベースへ格納され、リアルタイム処理が可能であることを確認した。

③振動源の検知に関しては、国道 50 号沿いの光ファイバ DAS によるひずみ時刻歴データと撮影した車両通行動画を突合し、トラック等の交通移動体検知の可能性を検証した結果、DAS 記録を用いた車両通行による軌跡の検知や、ひずみ速度振幅を元に算出した指標値による車種の識別が可能であることが明らかになった。

（３） 光ファイバ DAS と地震波干渉法[*2] を組み合わせた解析手法の開発

①国道 6 号沿いの恋瀬橋周辺、長岡橋周辺の 2 箇所において、光ファイバ DAS 観測記録と微動アレイ探査を組み合わせた地震波干渉法による解析を行い、微動計による上下動速度記録と DAS 記録の相互相関関数（グリーン関数）を高密度に求めること（高密度グリーン関数）により、表面波の位相速度を推定することが可能であることを明らかにした。また、高精度なインテロゲータ（ONYX peta Mode 9）を使用することにより、空間分解能 10 m の高密度グリーン関数を推定することが可能であることを確認した。また、光ファイバ DAS 観測記録のみを用いた相互相関関数を求め、さらに光ファイバから 100～200 m 程離れた地点に微動計を設置して上下動速度波形を取得し、光ファイバ DAS 記録との相互相関関数を求めることにより、面的グリーン関数（水平、鉛直を含めた 3 次元におけるグリーン関数）を算出可能であることを確認した。

②試験場における継続的観測として、15 日間の DAS 観測時に土壌水分計・温度計の同時測定を実施し、これらの指標の変動はグリーン関数に大きな影響を与えないことを確認した。一方、保護管の有無により位相速度が測定できる高周波数側の範囲が減少することが分かった。また DAS 記録から自動で微動の位相速度および S 波速度構造断面を推定する手法を開発した。

4. 終了評価の評点

A　相応の研究成果をあげた。

5. 総合コメント

光ファイバDASを用いて、従来よりも高密度・高精度で地盤の振動特性を把握し、様々な目的にも応用可能な地盤モニタリング手法の要素技術を開発したことは高く評価できる。

新規の極めて有効な計測方法の糸口を開いたが、まだ有効な情報解析までには至っていないので、情報処理の関係者に参画いただき、研究が進展することを期待する。また、どの程度のカップリングでどの程度の精度が出るのか、長距離低速通信でデータを収集した場合どの程度実現性があるのか、等について議論を深めることを期待する。

6. 主な個別コメント

- 目標は概ね達成しているが、技術的な手法などの説明がまだ不足している。既存の光ファイバで観測データが取れること、衝突などに起因するデータが検出できることで、応用の範囲は広がるものと期待できる。
- 全体としてDAS技術が地震モニタリングに利用し得ることが、いくつかの実験を経て確認された。地震モニタリングに実際に適用するには、測定用の光ファイバ網の調達など種々の課題があると思われる。
- ビッグデータからの有益な情報の解析・分析に関して、ほとんど成果がなかったのは残念である。
- 既存の光ファイバケーブルを用いて振動計測を実施し、地下構造の推定ができることが示されており評価できる。しかし、測定技術については既存の装置を用いたユーザとしての視点なので、物足りなさを感じた。
- 様々な計測を行い、既存の光ファイバでも計測可能であることを明らかにしたことは評価できる。ただし、モニタリング手法、計測結果の解釈などの完成度は低い。また、国道の計測で事故を検出したが、検出にとどまっている。データの精査などにより、本手法をさらに発展させる必要がある。

---

*1　インテロゲータ：　光ファイバケーブルに光を照射し、反射光を計測することにより微小な歪を計測する装置。

*2　地震波干渉法：　任意の2地点における震動を用いて、一方を震源、他方を受信点として相互相関関数を計算することにより地下構造を可視化する探査手法。