

7) 国際地震工学センター

7) - 9 ローコスト常時微動測定システムの開発と性能検証に関する研究【安全・安心】

Study on the development and performance verification of a low-cost microtremor measurement system

(研究開発期間 令和6年度)

国際地震工学センター
International Institute of Seismology and Earthquake Engineering

林田 拓己
HAYASHIDA Takumi

In this study, a low-cost microtremor measurement system consisting of geophone sensors (200–300USD each sensor) and a single-board computer (–100USD) is constructed. We confirmed that certain available low-cost geophones show comparable results to existing sensors under the specified conditions in the target frequency band. We used this sensor for small-radius array surveys and confirmed that the results were generally comparable to those obtained using existing equipment (≥ 10 Hz).

【研究開発の背景と目的】

近年、MEMS 加速度センサーを搭載した低価格の強震計が世界的に普及している。また、ジオフォンをセンサーとして用いることで、微小地震や遠地震の観測を目的とした低コスト地震計の開発も進められている。

このような低コスト測定システムの微動探査分野への導入については、一部で検討が進められているものの、性能面での安定性や信頼性については十分な検証が行われていない。近年の研究では、対象とする地盤の深さや解析対象とする振動成分・周波数帯域を限定する（研究としての自由度を抑える）のであれば、安価な微動測定システムを研究者自身で構築することが可能であることが示唆されている。2022年には微動探査技術がISO規格を取得し、探査に必要な機材の最低限の仕様が明確に定められたことから、研究者による独自の測定システム構築が過度に独善的になるリスクも以前に比べて低下している。

本課題では、低コストかつ必要最小限の構成で常時微動探査を行うためのシステムを開発する。本システムは高額な探査機器の導入が困難である開発途上国において高い需要が見込まれることから、その成果は国際地震工学研修の講義資料や国際技術協力の場合での活用を視野に入れている。

【研究開発の内容】

本研究においては、ローコスト微動測定システムの構築に向けて以下を実施する。

- (1) ローコスト微動測定システムの検討：市販の低周波数ジオフォンを用いて機器のノイズレベルおよび複数台利用時の微動波形のコヒーレンスを検証し、測定可能な振幅レベルおよび周波数範囲、微動探査目的での利用可否を確認する。現有機材（広帯域地震計、サーボ加速度計等）との性能を比較し、取りまとめる。
- (2) 微動データ処理システム（ハード・ソフト）の開発：(1)の結果を基に、市販のAD変換器とジオフォンで構成される微動測定機器を製作する。並行して、測定した微動データ（波形・スペクトル）をPCで可視化し、簡易的なデータ分析を実施するためのプログラムを作成する。
- (3) 実探査での性能検証および取りまとめ：地盤構造が予め判明している地点等で微動アレイ探査を実施することで、測定システムの有効性を確認する。

【研究開発の結果】

- (1) ローコスト微動測定システムの検討

微動探査用機材としての実績を有する可搬型広帯域地震計、サーボ型加速度計、高感度ジオフォンに加え、近年普及している低コスト地震計（Raspberry Shake 3D/4D）および市販の高感度ジオフォン（E社、S社、R社）等を用いた微動測定試験を実施した（図1）。試験場所は周囲に一定の交通量がある建研構内（平日昼間）、周囲の交通量が殆ど無い筑波山梅林周辺（秋季の平日夕方）とした。その結果、E社の高感度ジオフォン（感度

200V/m/s : 200USD-/台) を用いた際には、他のジオフォンと比べて既往の微動計と遜色無いパフォーマンスを示すことが分かった (図2)。微動レベルが極端に低い場所においても E 社のジオフォンは良好な性能を示すことを確認した。本成果について、国内学会で発表を行った。



図1 測定試験時の様子

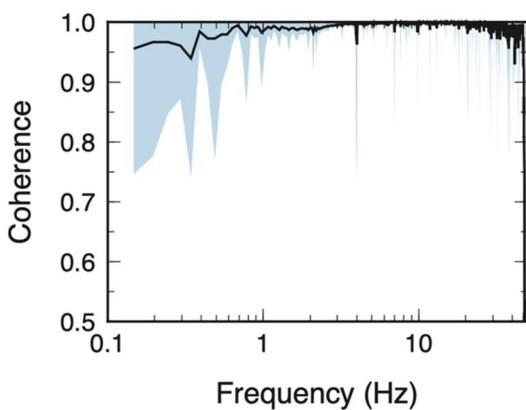


図2 E社のジオフォン (感度 200V/m/s) を用いた際のハドル試験結果

(2) 微動データ処理システム (ハード・ソフト) の開発
(1)で良好な性能を示した低周波高感度ジオフォンをセンサーとし、市販の低価格シングルボードコンピュータ (Raspberry Pi) と廉価な AD 変換器 (24bit 分解能、4ch) とを組み合わせた簡易的な微動観測システムを試作した (図3)。本システムの操作はシングルボードコンピュータ上で Python 言語によって制御され、通電時に作動入力 4 成分での微動計測を開始し、測定された記録をテキストデータとして 20.48 秒毎に出力するものである。但し、現在の試作品ではサンプリングの僅かな遅延や温度によるノイズ混入、実際の現場で測定状況を確認することが出来ない等の課題が残されており、今後はこれらの対策が必要となる。また、現場で使用する際には、断熱・防水加工に加え、センサーと収録器を繋ぐケーブルの長さ

を延長する等の技術的改良も必要になる。

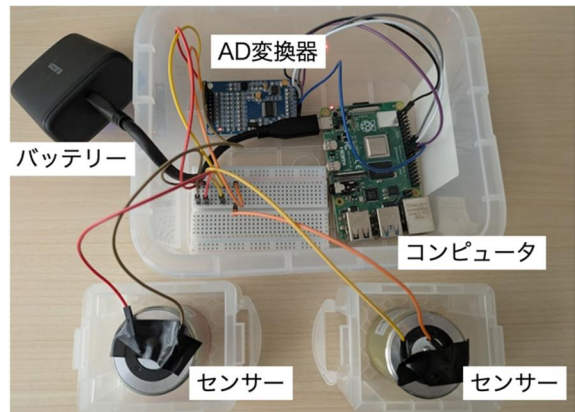


図3 作成した微動測定システム (試作版)

(3) 実探査での性能検証および取りまとめ

(2)では課題が残されているため、(1)で良好な性能を示した低周波高感度ジオフォンを汎用的なデータロガーに接続し、センサー性能検証のための極小微動アレイ探査を実施した。得られた結果は既往の微動計によるものと比べて 10Hz 以上で同等となることを確認した。10Hz 以下での結果が異なる原因については検証が必要であるが、少なくとも特定の周波数の情報に依存する Vs30 の推定目的において、本機材は既往機材と遜色ない結果を示すことを確認した (図4)。

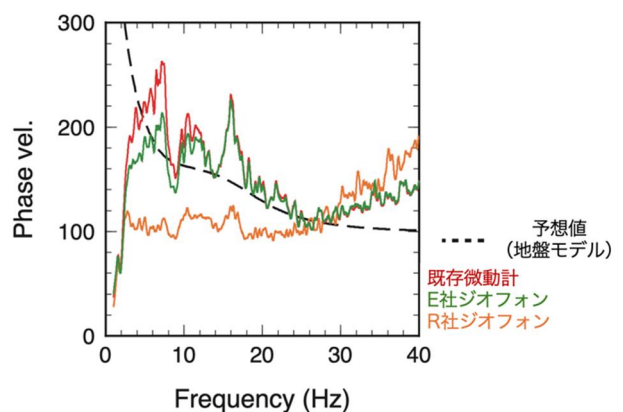


図4 E社、R社のジオフォンを用いて CCA 法による微動アレイ探査 (r=1m) を行った際の Rayleigh 波位相速度。点線は建築研究所構内の地盤情報による推定値

【参考文献】

- 1) 林田・井上：ローコスト地震計を用いた常時微動探査，日本地震学会 2024 年度秋季大会，S16P-05