

半導体レーザー干渉計を用いた高精度広帯域地震計の性能評価

Performance of an interferometric seismometer with a laser diode

新谷 昌人[1], Erhard Wielandt[2], Walter Zuern[3]

Akito Araya[1], Erhard Wielandt[2], Walter Zuern[3]

[1] 東大・地震研, [2] Stuttgart 大・地球物理研究所, [3] Karlsruhe 大・Black Forest 観測所

[1] ERI, Tokyo Univ., [2] Geophys. Inst., Univ. of Stuttgart, [3] Black Forest Obs., Univ. of Karlsruhe

araya@eri.u-tokyo.ac.jp

レーザー干渉計は変位分解能が高くドリフトも小さいので、基準振り子の位置センサーに用いると地震計を高精度化できる。またレーザー波長を基準に出力の自己較正ができることもメリットである。本研究では、これまでに開発した水平動地震計(Araya et al., 1993)をもとに、新たに垂直動地震計を開発した。光源には半導体レーザーを用いて小型化・省電力化をおこなった。2台の同一な地震計およびSTS地震計を用いて出力振幅やノイズレベルを相互に比較し、その結果、1%以内の自己較正精度、0.1~100Hz で Low Noise Model 以下の自己ノイズが得られた。0.1Hz 以下の雑音源もほぼ特定されバネ材の交換や封圧することで低減できる見通しが得られた。

はじめに

レーザー干渉計は変位分解能が高くドリフトも小さいので、基準振り子の位置センサーとして利用すると地震計を高精度化できる。またレーザー波長を基準に出力の自己較正ができることもメリットである。本研究では、これまでに開発した水平動地震計(Araya et al., 1993)をもとに、新たに垂直動地震計を開発した。光源には半導体レーザーを用いて小型化・省電力化をおこなった。2台の同一な地震計および STS2 地震計を用いて出力振幅やノイズレベルを相互に比較、その結果、振幅精度 1%、0.1~100Hz で Low Noise Model 以下の自己雑音レベルを達成した。

地震計の構成

地震計の心臓部である基準振り子としては片持ち式の垂直おもりをコイルばねで支える方式を用いた。通常この方法では数 cm の振り子に対し数 Hz の固有周波数をもつので、地震計の低周波感度を稼ぐのは難しい。そこで、支持用ばねとは別のコイルばねで負のポテンシャルを加えることにより約 0.2Hz に長周期化した。

おもりの位置検出にはマイケルソン型レーザー干渉計を用い、光源の半導体レーザーは特にスペクトル幅の狭い DBR(Distributed Bragg Reflector)タイプを採用し周波数雑音の寄与を低減した。

地震計出力は、干渉信号をおもりに負帰還したときの制御信号から得られる。つまりおもりは地面と同じ動きになるように制御され、そのときの帰還力が地面加速度に対応する。この地震計では帰還利得を大きくして(4*10³ at 10Hz, 40 at 100Hz)制御帯域を約 1kHz まで取っているため、低周波側の帰還回路の雑音や応答特性が改善され、100Hz 以下はほぼ平坦な応答で位相遅れも 0.5 度以下である。

振幅精度

レーザー波長は既知でありまた温度依存性や経年変化も非常に小さいので、レーザー波長を基準に出力の較正ができる。具体的には干渉計の固定された鏡をピエゾ素子で微小振動させ擬似加速度を与える。レーザー波長で較正された微小振動振幅から擬似加速度が計算できるのでこれを出力振幅と比較すればよい。出力を二台の地震計および STS2 地震計(公称精度 1%)と比較した結果いずれも 1%以内で一致した。また地震計を傾けて等価的な重力加速度変動を加え較正結果と比較したが、やはり 1%以内で一致した。

自己雑音の評価

2台の同一な地震計を同一観測台上に設置し、両者の出力差から各地震計の自己ノイズレベルを評価した。0.1Hz から 100Hz までは Low Noise Model (Peterson, 1993)を下回る雑音レベルが得られた。この自己雑音は主に地震計の出力アンプの雑音で決められている。クリップレベルを最適化すればさらに低ノイズにすることができる。

0.1Hz 以下では気圧に対する応答が大きい雑音源になっていた。これは大気の浮力の効果ではなく、気圧変動にともなう断熱的温度変化が地震計のバネ定数を変化される効果が支配的であることがわかった。現在使用されている地震計のばねは通常のステンレスばねであり、エリンパなど恒弾性材料のものに交換すれば大幅な雑音低減ができると予想される。また地震計全体を耐圧容器中に封入することも有効と思われる。実際に Black Forest Observatory (Schiltach, Germany)の封圧室での観測では 0.1Hz 以下のノイズの大幅な低減がみとめられた。

まとめ

半導体レーザーを光源とした干渉計を垂直動地震計に応用し、1%以内の自己較正精度、0.1~100Hz で LNM 以下の自己ノイズが得られた。0.1Hz 以下の雑音源もほぼ特定されバネ材の交換や封圧することで低減できる見通しが得られた。

本研究で開発された地震計はさらなる小型化が可能であり、たとえばボアホール型に応用できる。その場合、レーザー光源を外部から光ファイバーで導入できるので孔内部から電気的な要素をほとんど排除できる。設置後に高精度な自己較正ができることもボアホール観測での大きなメリットとなる。

また数十 Hz 帯での高感度・平坦応答・微小位相遅延の特性は ACROSS やアレイ観測など振幅・位相精度が必要な短周期波の観測に有利である。