

新地殻変動観測手法の研究

—スロースリップ検知を目指したレーザー式変位計の開発—

○勝間田明男、山本剛靖、吉川澄夫(地震火山研究部)、濱田信生(元・地震火山研究部)

1. はじめに

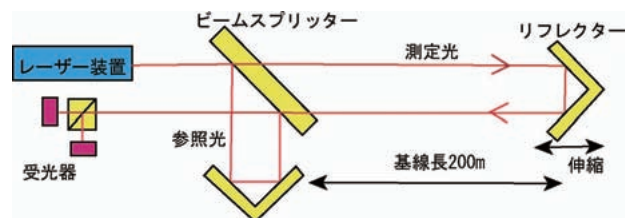
発生が懸念されている東海地震の想定震源域周辺では、近年様々な現象が発見されている。沈みこむフィリピン海プレートが深さ30km付近に達した場所における深部低周波微動・短期的スロースリップ、浜名湖付近を中心として2001年から2005年まで継続した長期的スロースリップなど、観測網の整備によりこれまで観測されていなかった現象が検知できるようになってきた。それらの現象のうち長期的スロースリップについてはGPSの解析により、現象が始まっていたことが分かったが、それに伴う歪の変化率が小さいために、気象庁が東海地震監視に用いている地殻岩石歪計によっては検知できなかった。そこで、より小さな変化率の歪でも検知可能で、かつ地殻岩石歪計と同等の分解能をもった観測機器として、レーザー式変位計の開発を行うこととした。

2. レーザー式変位計

光の波長の精度で長基線の長さ変化を計測すれば、小さな変化率の歪でも検知可能な長期安定性をもった高分解能(10^{-9} 以上)の地殻変動観測機器になると考えられる。日本国内ではTakemoto *et al.*(2004)が基線長100mのレーザー伸縮計を開発し、神岡鉱山内に設置している。ここでは長さにおいてそれを上回る基線長数100mの装置を計画し、現在基線長200mでのデータが得られている。

2. 1. 計測原理

レーザー式変位計の原理図を第1図に示す。マイケルソン干渉計を用いて地殻の伸び縮みを計測するものである。



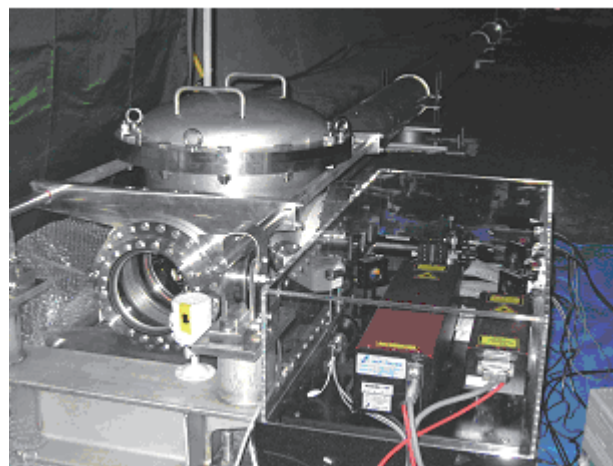
第1図:レーザー式変位計原理図。

レーザー装置から出たレーザー光は半透明鏡(ビームスプリッター)において参照光と測定光に分割される。参照光はビームスプリッターのすぐとなりにおかれた反射鏡(リフレクタ

ー)により折り返し、測定光は遠方に置かれたリフレクターで反射されてビームスプリッターまで戻ってくる。参照光と測定光は、ビームスプリッターのところで、再び重なり干渉光を形成する。参照光と測定光の位相が重なりあうと干渉光は強くなり、打ち消しあうと弱くなる。もし、測定光のリフレクターが動くとその移動量に応じて測定光の位相が変化して、干渉光の強弱として検出される。

2. 2. レーザー装置

レーザー式変位計はレーザー光を用いて、地殻の伸び縮みを計測するものである。もし、レーザー光の波長が変化すると計測される距離も変化してしまう。信頼のおける計測値を得るためには、レーザーの発振波長が安定している必要がある。通常の場合には 10^{-7} 程度の波長のゆらぎがあり、目指す 10^{-9} 以上の精度の長期信頼性は得られない。ここでは 2.5×10^{-11} 以上の波長安定性があるとされるヨウ素安定化レーザー装置を用いた。これは長さ基準、言わば現代におけるメートル原器として開発されたものであり、レーザー式変位計はメートル原器を直接用いて地殻の伸び縮みを計測するものである。



第2図:レーザー式変位計のレーザー装置等。

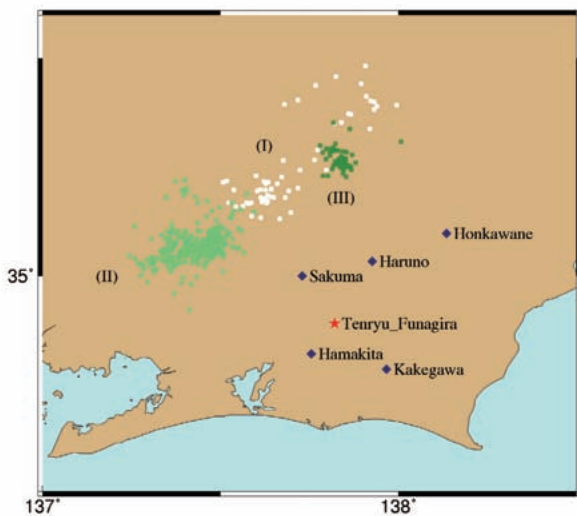
2. 3. 真空光路

空気の中で光を干渉させると、空気の屈折率の影響を受ける。光路中の気圧変動は、直接長さ変化として記録される。3hPaの気圧変化があると 10^{-6} の光路長変化を生ずる。光路

中の空気により 10^{-9} レベルの長さの変化が生じないように、光路全体を0.1Pa以下の高真空に保つ構造とした。このために、ターボ分子ポンプを用いた高真空の排気システムを用いている。

2. 4. 設置地点

レーザー式変位計は静岡県浜松市天竜区船明にある鉄道用として作られたが使われていない船明トンネル内に設置した(第3図)。第3図の点は深部低周波地震の震央を表す。番号(I, II, III)は第4図右上の番号で示した期間に対応している。この地点は長期的・短期的スロースリップを観測する上でも適した場所となっている。



第3図:設置地点(Tenryu_Funagira:天竜船明)。

青い◆は地殻岩石歪計の位置。

3. 観測データ

平成20年5月から10月までのレーザー式変位計の観測記録を第4図の一番上(赤線)に示す。同期間のボーリング孔設置型の地殻岩石歪計による記録も比較のために示す(その他の色)。第4図の下の方の赤い棒グラフは深部低周波地震であり、この期間に短期的スロースリップも進行していた。8月から9月にかけての活動において、レーザー式変位計と地殻岩石歪計によって短期的スロースリップによる歪変化が捉えられている。その前後の変化も含めて、地殻岩石歪計とレーザー式変位計の記録を比較すると、レーザー式変位計の方がノイズ変動の小さな記録となっていることがわかる。

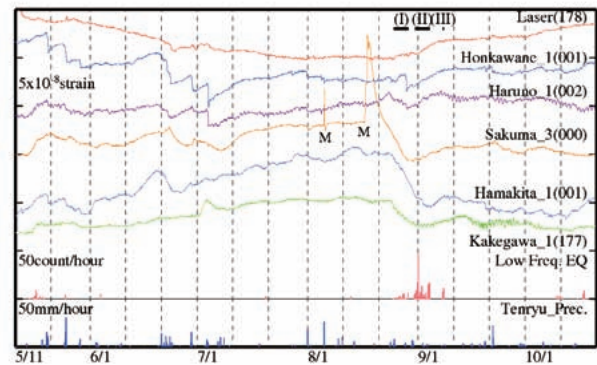
第4図の最下部の青い棒グラフは周辺の降雨量を示す。このような高分解能の地殻変動観測機器は、降雨による影響を記録する。降雨の影響は、地殻変動観測におけるノイズであり、望ましくないものである。天竜船明レーザー式変位計の記録は、設置深度が浅い(約160m)にもかかわらず、より深い設置深度(約500m)の地殻岩石歪計に比べて降雨の影響

が小さく、この面からも安定した記録が得られる機器である。

4. まとめ

GPSの安定性と地殻岩石歪計の分解能をもった地殻変動観測機器として、レーザー式変位計を開発した。計測の基準となるレーザー装置に 10^{-11} 以上の発振波長安定性を持つヨウ素安定化レーザー装置を用いるとともに、高精度計測可能となるよう配慮して装置を製作した。

200mの基線長の試験観測を行い、短期的スロースリップをとらえるなど、地殻岩石歪計を上回る安定した記録が得られることを示した。この長基線のレーザー式変位計は、地殻岩石歪計では検知不可能な長期的スロースリップのような非常にゆっくりとした地殻変動を捉えることが可能である。繰り返しの長期的スロースリップの後にプレスリップ、東海地震発生に至ることが示唆されており(17ページ参照)、今後の東海地震監視業務への寄与が期待される。



第4図:レーザー式変位計による観測記録(最上部赤線)。

謝辞

東京大学地震研究所新谷昌人准教授より、地殻変動用マイケルソン干渉計の構成に協力を頂いた。(独)日本原子力研究開発機構の廣木成治氏より、真空装置の構成に協力を頂いた。

参考文献

- (1) Takemoto, S., A. Araya, J. Akamatsu, W. Morii, H. Momose, M. Ohashi, I. Kwasaki, T. Higashi, Y. Fukuda, S. Miyoki, T. Uchiyama, D. Tatsumi, H. Hamada, I. Naito, S. Telada, N. Ichikawa, K. Onoue, and Y. Wada, A 100 m laser strainmeter system installed in a 1 km deep tunnel at Kamioka, Gifu, Japan, *J. Geodyn.*, 38, 477-488, 2004.

※本研究は、特別研究「東海地震の予知精度向上及び東南海・南海地震の発生準備過程に関する研究(平成16~20年度)」の一部として行われた。主任研究者:吉川澄夫、研究分担者:勝間田明男、小林昭夫、山本剛靖、前田憲二、岩切一宏、青木重樹、濱田信生、伊藤秀美、森滋男、高山博之、長谷川洋平、小山卓三(併)、菅沼一成(併)(地震火山研究部)