

レーザ干渉計による伸縮計・ひずみ地震計の Calibration について (2)

竹 本 修 三

CALIBRATION OF EXTENSOMETERS AND STRAIN SEISMOMETERS WITH A LASER INTERFEROMETER (2)

By *Shuzo* TAKEMOTO

Synopsis

Using a laser interferometer, we have calibrated the roller type extensometer(E-1) installed at the Amagase Crustal Movement Observatory.

As a result of this, the sensitivity of this extensometer which has been calculated with a roller semi-diameter and an optical length is about one half of the true value.

1. 前報での問題点と今回の改良点

10^{-7} ~ 10^{-8} オーダーの地殻ひずみを 10 m 前後の伸縮計で観測し、得られた変動量の定量的な議論をするためには、固定端と自由端の相対変位が $1\ \mu\text{m}$ 以下という微小な変位に対する計器感度を厳密におさえる必要がある。このために He-Ne ガスレーザを用いた干渉計を使って計器感度の検定を行なうことは、変位の絶対値をレーザ光の半波長 ($0.3164\ \mu\text{m}$) を単位として求めることができるので、極めて有効な方法である。しかし、実際の測定にあたって、 $1\ \mu\text{m}$ 以下の微小な変位の絶対値を求めるという作業は、測定方法、記録の取扱いに慎重な配慮が払われていなければ何をやっているのかわからなくなる。

ところで前報¹⁾で He-Ne ガスレーザを用いた Michelson 型干渉計を使って天ヶ瀬地殻変動観測室、屯鶴峯地殻変動観測所に設置されている Roller 型 Super-invar 棒伸縮計、石英管容量変化型ひずみ地震計の Calibration を行なった結果を述べたが、この時には、干渉ジマが常に約 10cps の細かい振動をしており、完全に静止の状態にならなかったこと、及びこの干渉ジマを記録する方法が既製のカメラによる 10 秒毎に 1 枚の不連続な写真記録であったために Calibration の信号を与えた時の干渉ジマの移動を完全に追うことができなかったことから、具体的な数値として結論を出せる段階ではなかった。しかも前報 (p. 13 2 行目) で Roller 型伸縮計の光学拡大率を求める際に係数 2 が落ちていた。従って前報の中で天ヶ瀬観測室、屯鶴峯観測所の Roller 型伸縮計について、Roller の真の拡大率は計算値の 93%, 75~85% と述べた点は全面的に取り消す。

今回まず、干渉ジマの振動をなくすこと、干渉ジマの連続記録をとれるようにすることを主眼して、次のような装置の改良を行なった。干渉ジマの振動については基本的には基準尺に立てている全反射ミラーの支持棒を短くすることによってなくなった ($20\ \text{cm} \rightarrow 5\ \text{cm}$)。

ところでこの基準尺に立てる支持棒を短くしたためにこれまでのように基準尺をまたいでその上に干渉計装置を置くという方法は不可能になったので基準尺に平行にレーザを置き、光軸を変えるための全反射ミラーを 1 枚増やし、計 3 枚の全反射ミラーと 1 枚のハーフミラーで干渉計を構成するようにした。また干渉ジマの連続した記録を得るために毎秒 3 mm でフィルムを送る自動カメラを造った (Photo. 1)。これは約

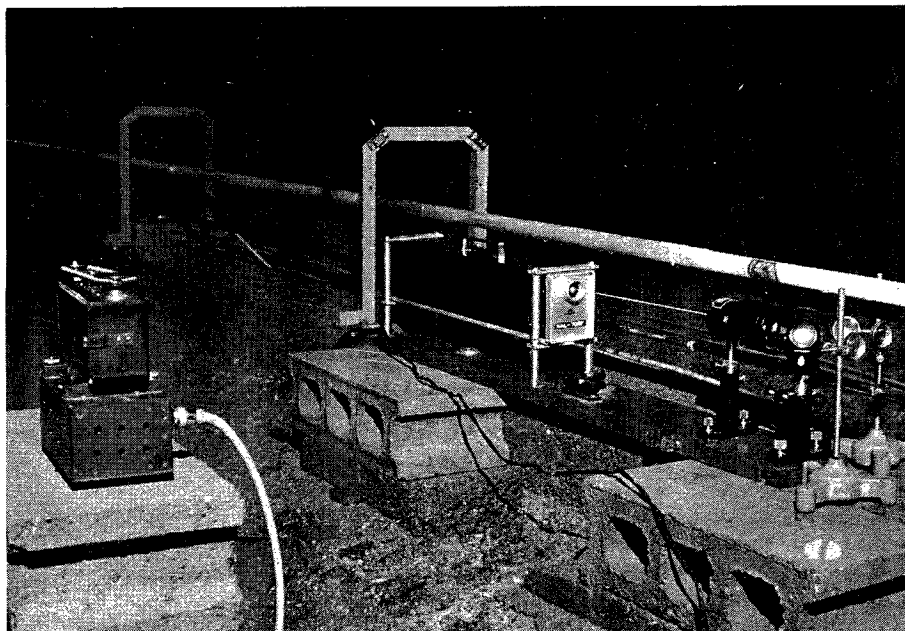


Photo. 1 A Michelson type laser interferometer (right) and a recording camera (left).

0.1mm 巾のスリットを通して干渉ジマが直接フィルム面に記録される装置でスリットの前に光量を減ずるための 2 枚の偏光板をつけてある。Time Mark として 10 秒に 1 回 Shutter がおりる。この Time Mark の巾は 0～2 秒程度まで変えられる。フィルムは、ミニコピーを使用し、フィルム 1 本で約 10 分の連続記録が可能である。

2. 測 定

上に述べた装置を用いて、今回は天ヶ瀬地殻変動観測室の Roller 型 Super-invar 棒伸縮計 E-1 (N73°E) についてのみ Calibration を行った。この伸縮計は基準尺の長さ 40m で途中 1.3m 毎に計 30 ヶの中間 Roller で支持されている。この型の伸縮計の固定端で基準尺に与えた変位が途中で中間支持 Roller の摩擦及び Superinvar 棒自身の弾性変形によってどの程度吸収されるかを調べる目的で E-1 の基準尺に沿って中間 Roller 4 ヶおきに 7 カ所のレーザ干渉計を乗せる台をつくり、自由端(記録端)に近い方からそれぞれ Base 1, 2, ..., 7 とした。測定方法はまず基準尺に与える変位の Source として固定端とそれに一番近い中間支持 Roller の間の基準尺に絶縁体(最初は木製、現在はガラス製)をはさんでニクロム線を巻き、電源 (40V) の ON, OFF を繰り返すことにより基準尺に 1 μ m 程度の変位を与えるようにした。この時 Base 1～7 の場所で順次レーザ干渉計の全反射ミラーの 1 つを基準尺に立てて、その場所での基準尺の変位による干渉ジマの動きを連続カメラで撮る。これと同時に記録端では基準尺の変位による Roller の回転を光テコで拡大し印画紙上に記録する。ただしこの場合、Routine 観測用の Recorder は 2.6 mm/day と送り速度が遅いため、4 mm/min. の早送り Recorder に換えた。この際 Roller の回転による image の移動は垂直方向であるが早送り Recorder は横型 Drum であるので 2 枚のミラーを組合せて光軸を 90° 変えている。これらの光学系の水平性、垂直性は目で確かめているだけであるが光軸と基準尺の向きとの差、光軸と Recorder の向きとの直角からのずれはそれぞれ 10° 以内には十分おさえられているので印画紙記録上で光学系による誤差は 1 割以内と考えられる。

このようにしてフィルム面上の干渉ジマのずれの記録と、印画紙上の Roller 部分の変位の記録を比較す

ることにより中間支持 Roller で吸収される量を検出しようとするものである。Fig. 1 はこのようにして得られた Roller 拡大装置の印画紙記録 (紙送り 4 mm/min.) の上に干渉ジマのフィルム記録 (3 mm/sec.) を重ねて示した。

E-1 Base-1 Cal.

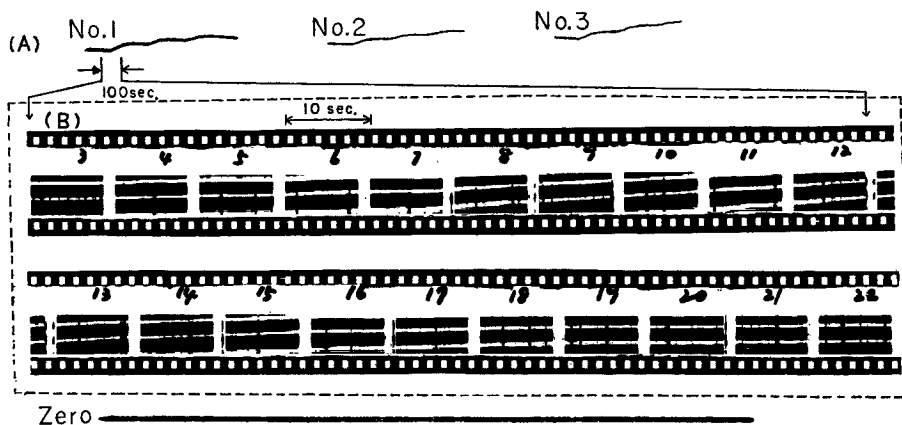


Fig. 1 An example of records of a calibration test.

- (A) Photographic paper records of a roller type extensometer
- (B) Film records of laser interferometric fringe displacement.

AMAGASE E-1 Cal.

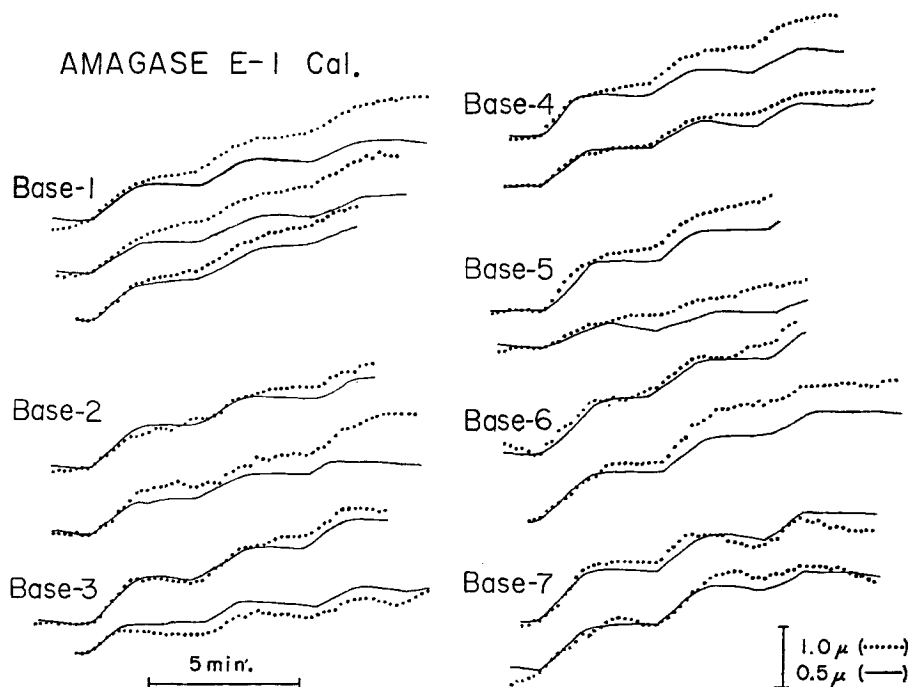


Fig. 2 Comparison of the roller displacement (solid line) and the laser interferometric fringe displacement for the each base (dotted line).

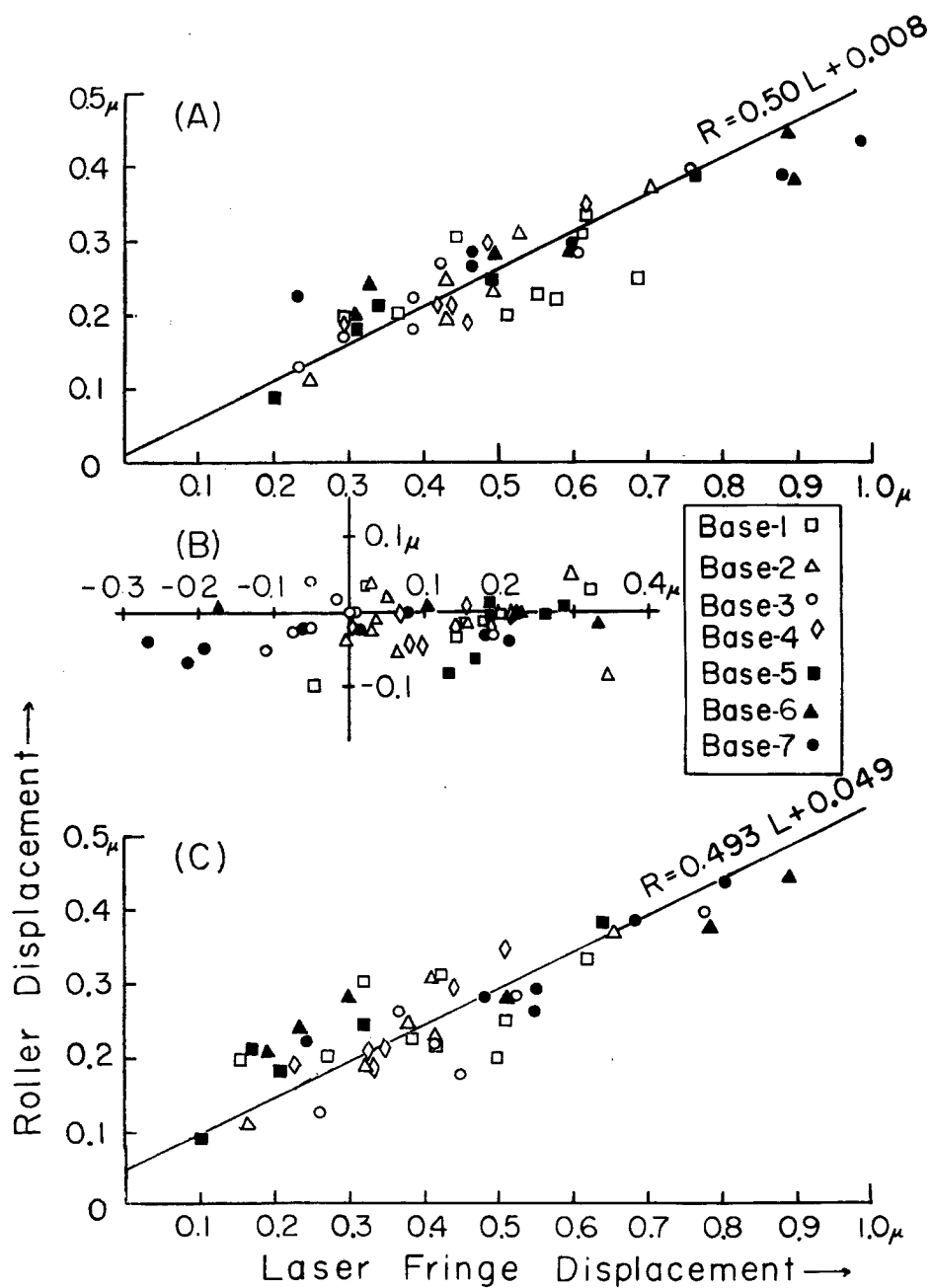


Fig. 3 Relationship between the roller displacement and the laser interferometric fringe displacement.

また Fig. 2 は各 Base についての干渉ジマの記録 (点線) とそれに対応する印画紙上の記録 (実線) を変位量に直して示したものであるが, scale は点線は実線の 2 倍になっている。フィルム記録上の干渉ジマの間隔は干渉計を構成している 2 つの全反射ミラーの相対的な傾むきによって決まるが, フィルム面上で 3~5 mm になるように調整し, 1/10 fringe ($0.032 \mu\text{m}$) まで読取る。印画紙記録の方は Comparator で 1/20 mm まで読取っている。Calibration の信号は 1 分間ニクロム線を加熱し, その後 2 分間休止を繰り返すことにより与えている。この際, 意外であったが Super-invar 棒を熱しはじめると棒は縮む。記録は示していないが, さらに長時間棒を熱し続けると変曲点があり伸びに転ずる。この点については今後さらに他の成分も合わせて詳しく検討して見なければならない。

Fig. 3 は Fig. 2 に示した記録について, 加熱している部分とそうでない部分とを分けて比較したものであり, (A) は加熱している部分だけを無補正で比較したもの, (B) は加熱していない部分だけを比較したもので横軸にひばられているのは主にレーザ干渉計のドリフトによるものと考えられる。(C) は各記録について, 加熱していない部分の平均をその測定期間中のドリフトと考えてその値を (A) から差し引いたものである。Fig. 3 は Base 毎に記号をかえてあるが (A) 及び (C) 共に Base の違いによる系統的な差は認められない。従って中間支持 Roller の影響は見出し得なかったということである。また, (A), (C) いずれの場合も Roller 拡大装置の変位の干渉ジマの変位に対する割合は 0.5 である。このことは Roller の半径と光学距離から計算された拡大率は真の拡大率の 50% ということになるが, Calibration の信号として与えた変位の max. が $1 \mu\text{m}$ なのに対して, 信号を与える前の noise (drift?) が max. $0.3 \mu\text{m}$ もあるので早急に結論を出すことは差しひかえたい。これは今後遠隔記録のとれる方式を考えて人間の擾乱の影響のない状態で長期にわたる記録をとることで解決できると考える。

おわりにご指導下さった高田理夫教授並びに装置の製作をお願いした小林年夫技官, 観測を手伝っていた山田勝技官, 広野秋男氏に厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 竹本修三: レーザ干渉計による伸縮計・ひずみ地震計の calibration について, 京都大学防災研究所年報, 第14号 A, 昭46, 4, pp. 7-13.