

天ヶ瀬観測室での観測機器について

山田 勝

1.はじめに

日本は古くより地震国と言われ、過去幾度かの大地震により、人的にも物的にも多大な被害を受けてきた。このため、これらの被害を軽減するために、防災的な立場より、多くの研究がなされてきた。それらの研究には、地震予知に関するものも含まれている。大地震の発生を事前に予知することは地震の被害を軽減することにつながると言う考えのもとに、地震に関与する研究者によって、地震予知を達成するための努力がなされてきた。1965年には地震予知研究のための組織的な活動が始まった。これは、今までの研究を基に、あらゆる角度から総合的に予知研究を実施しようとするものである。

昔から大地震の前には著しい地殻の変動があるとされる例があり、地殻の変動を絶えず監視しておれば、地震予知のための有力な資料を得ることができると考えられている。このため、地震予知の研究において地殻変動連続観測に寄せられる期待は大きく、全国の要所要所に地殻変動観測所及び観測室が設けられてきた。

京都大学においては、それ以前から地震の発生と地殻変動の関係に着目して研究や観測が行われてきた。1943年の鳥取地震の際、故佐々憲三教授や故西村英一教授らが兵庫県生野鉾山の坑道に設置された傾斜計により地震の前兆的な地殻の異常傾動を観測されたのを契機に、佐々・西村両教授が中心になり、地殻変動と大地震の発生との関係について研究が進められてきた。



筆者近影

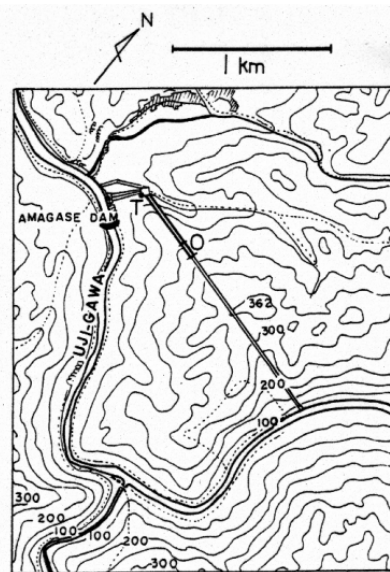
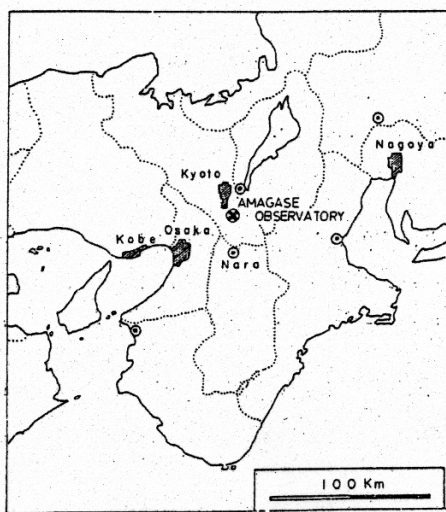


図-1 観測室の位置図

その後、1951年に防災研究所が創設され、これらの研究や観測は大部分が防災研究所の研究者に引き継がれ、次々に地殻変動観測所及び観測室が増設されると共に、観測計器や収録装置の高性能化がはかられて来た。地殻変動観測にかかわる技術的な進歩を、天ヶ瀬観測室を例にとって紹介する。

2. 観測室の概略

図-1に示すように京都府南部に位置する天ヶ瀬観測室は、京都周辺の地殻の変動を捉え、地震予知の一助にするため、京都大学防災研究所が関西電力株式会社の志津川発電所導水隧道（断面は高さ・幅共に6.06メートルの馬蹄形で、煉瓦で巻き立てられている。勾配は1/1300、奥行きは1800メートルである。）を借り受けて設置したものである。1966年の暮れから、観測坑道として使用するための改修工事が始められ、1967年3月までに工事が終了し、1967年4月から観測計器の設置が開始された。観測計器は順次設置が進められ、設置の終わったものから観測が始められた。観測室はFig. 1に示したように、隧道の入り口と、入り口から400m及び500mの位置に隔壁が設けられ、主として400mと500mの隔壁の間に観測計器が設置されている。観測計器が設置されている場所の被りは約110mである。この様に地中深い場所に観測計器を設置する主たる理由は、地表面付近の変動を避け、より深部の岩盤の変動を得るためと、観測精度を上げるために、観測計器を設置してある場所の温度変化をできるだけ小さくするためである。ちなみに、天ヶ瀬観測室における温度変化は、年間を通じて100分の2度以内である。

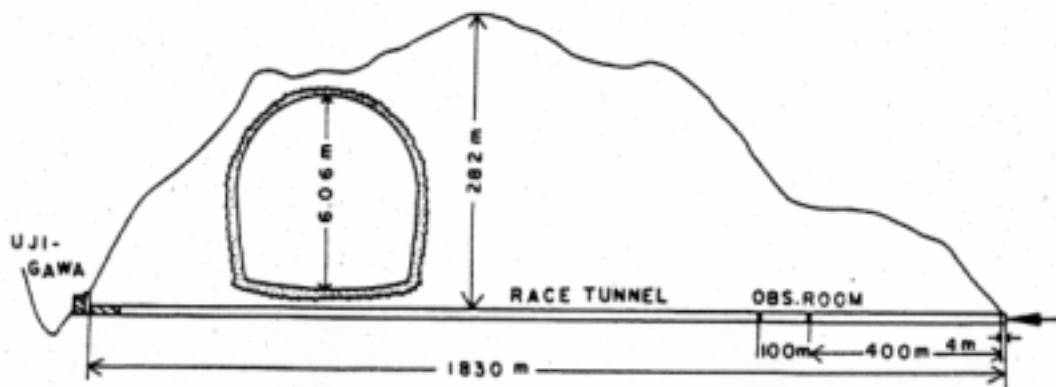


Fig. 1. Vertical section along the race tunnel.

3. 観測計器

観測開始当時に設置された計器の配置を Fig. 2 に示す。図の中に E-1 及び R-1 ~ 6 で示したものは、スーパーインバール棒を基準尺とする伸縮計である。この計器は、空間的に離れた2点間の距離の微小な変化を検出するための装置である。構造は単純で、スーパーインバール棒の一端(固定端と呼ぶ)を岩盤に固定し、他端(自由端と呼ぶ)を滑らかに回転するローラー（回転軸の軸受けは岩盤に固定されている）の上におき、2点間の距離の変化をローラーの回転角の変化に変換する仕組みになっている。基準尺として使用しているスーパーインバール棒の長さは不変（実際には温度の変化によって伸び縮みするが、前

述のように観測坑道内の温度変化は100分の2度以内なので、温度によるスーパーインバル棒の長さの変化は、棒の長さの10億分の1程度である。) なので、岩盤の伸縮によって固定端とローラーの軸受けの間の距離が変化すると、自由端がローラーの軸受けに対して相対的に移動し、その結果スーパーインバル棒に密着しているローラーが回転する仕組みである。ローラーには縦横8mm厚さ1mmの鏡が取り付けられており、この鏡に細く絞った光線を当て、反射してきた光を捉えることによってローラーの回転角の変化を検出する。これは「光学梃子」と言って、反射光を捉える装置と鏡の間の距離を変えることによって回転角の変化を検出する感度を調節する仕組みである (Photo.1 参照)。インバル棒を受ける部分のローラの太さを変えることにより鏡の回転角を大きくして高感度を得ることができる。

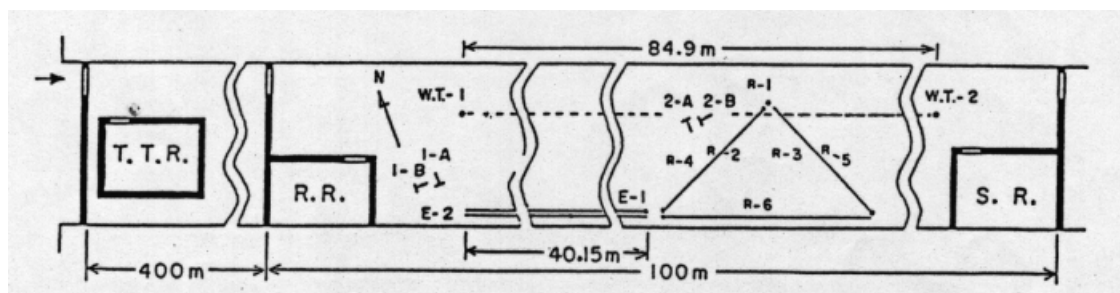


Fig.2 計器配置図

伸縮計は、その構造上、基準尺の方向の伸び縮みしか計れないので、岩盤全体の歪を測定するためには、複数の伸縮計を異なる方向に設置する必要がある。このため、Fig.2に示したように多数の伸縮計が設置されている。R-1～3で示した伸縮計は鉛直方向と水平2成分の直交3軸方向に設置されている。R-4～6は直交3軸成分の端を結ぶように設置されている。E-1で示した伸縮計は隧道の軸方向に設置された長尺のスーパーインバル棒伸縮計である。E-2で示した計器は、佐々式スーパーインバル線伸縮計である。これは、空間的に離れた2点に固定した支柱の間にスーパーインバルの線を張り渡し、その線のたるみ具合から2点間の距離の変化を検出する計器である。E-2の両端は、E-1の固定端及び検出用ローラーが設置されたブロックに固定されている。同一地点に二つの計器を設置したのは、計器の違いが観測結果にどのように影響するかを検討することによって、観測精度の向上をはかるためである。

伸縮計は岩盤の微小な伸び縮みを検出することができるが、それは計器が設置された地点の伸び縮みであり、より広い範囲の岩盤の歪とどのように関係しているかを知ることは重要な課題である。そのため、天ヶ瀬観測室では隧道の入り口と、入り口から400m、800m、1700mの地点に光波測量のための基点を設けて、定期的に測量を繰り返すことによって隧道の全延長に渡る伸縮変動を測定している。

1-A、1-B、2-A、2-B、WT-1及びWT-2で示したものは、傾斜変動をはかるための計器である。1-A、1-B、2-A、2-Bは水平振子型傾斜計である。これは、設置した地点の傾斜を振子の回転に変換し、前述の「光学梃子」によって拡大して検出する装置である。A、Bは互いに直交する方向に設置されている (Photo.1 参照)。WT-1及びWT-2は水管傾斜計と呼ばれる計器を示している。これは、WT-1及びWT-2で示

した2箇所にガラスの水槽を設置し、両方の水槽をパイプで連通させ、水槽内の液面の高さの変化を読み取ることによって水平面に対する岩盤の傾斜変動を検出する装置である。水面の高さの測定には2種類の方法が使われる。一つは水槽に固定したマイクロメータによって直接測定する方法である。もう一つは、水槽にフロートを浮かべて、その浮力によって反射鏡を回転させ、「光学艇子」を用いて検出感度を上げる方法である。

この様に、観測開始当初は全て「光学艇子」による拡大方式を用いていたため、記録は印画紙による写真式自記記録方式を使用していた。これは、2週間で1回転するドラムに印画紙を巻きつけ、各観測計器からの反射光の動き（即ち検出装置に取り付けた鏡の回転



水平振子型傾斜計



佐々式伸縮計



伸縮計 E-1



伸縮計 1（垂直）, 2



伸縮計 4, 6



伸縮計 3, 5

Photo.1 写真式及び光電変換式の拡大部

角の変化)を記録するものである(Photo.2 参照)。印画紙は2週間に1回交換し、記録済みの印画紙は現地で現像処理を行い、研究所に持ち帰って乾燥させた後に読み取りを行っていた。

写真式自記記録方式には、リアルタイムで記録を観ることができないことや、解析を行う前に記録を数値化する手間がかかることなどいくつかの問題があった。これらの問題を解消するために、1977年4月から電話回線を利用した有線テレメータ(FATEC130, 富士通株式会社製)が導入され、観測室から約5 km離れた防災研究所本館までデータが伝送できるようになった。それに伴って、テレメータ設備に対応できる記録装置が必要となり、光学梃子の動きをデジタル出力に変換できる光電変換記録装置が開発された(Photo.2 参照)。光電変換記録装置は、受光素子の付いた台を直線軸上の一端から他端へ向けて一定の速さで移動させ、受光素子が光を捉えるまでの時間を計ることによって光学梃子の動きを数値化する装置である。この装置は振子型傾斜計・伸縮計・水管傾斜計の記録装置として使用され、これによって、宇治の本館に居ながらにして地殻変動の記録をリアルタイムで見ることができるようになった。



印画紙式記録器



光電変換記録器の内部

Photo.2 記録器

光電変換記録装置は1994年まで記録装置として使用されたが、機械的に停電や雷サージに弱く、ICや受光素子の交換等の修理・調整を行うために、頻繁に観測室に足を運ばなければならないことや、動帯域や時間分解能が充分でないなどの問題があった。この問題を解決するために、伸縮計と水管傾斜計の変位検出部分を、従来の光学梃子式から差動トランス方式に変更することが計画された。

地殻変動連続観測において重要な「観測の継続性」を維持するため、伸縮計の基準尺や水管傾斜計の水槽等は従来から設置された状態のままで、変位検出部分だけを交換することが求められた。このため交換作業は、既設の検出装置が設置されている空間に配置可能な装置の設計から始めなければならなかった。まず最初に、既存の検出装置とそれが設置されているベースの採寸を行い、それに基づいて新しい検出装置のサイズを決定した。次に、材料として使用する金属の種類や、部品として使用するマイクロメータのタイプなどの選定を行った。以上の決定は、天ヶ瀬観測室での観測を担当している森井互氏と相談して行った。基本的なことが決まると、図面引き、材料の発注、装置の製作に取り掛かった。装

置の製作は宇治の工作室で松尾成光技官の助言を受けながら行った。新しい検出装置は既存の設備に合わせて設置しなければならないため、現地で設置する際の自由度を考慮しながら、試行錯誤を繰り返して製作した。この様に、観測装置の製作に際しては装置に求められる条件が複雑なために、経費の問題だけではなく、業者への外注がむずかしく、自作しなければならないことが多い。

新しい検出装置は1994年の末に完成し、1995年から1996年にかけて取り付け・調整作業を行った。変位検出部を光学梃子式から差動トランス方式に交換したことに



伸縮計 6 成分



水管傾斜計



伸縮計 4, 6



伸縮計 3, 5



伸縮計 1 (垂直), 2

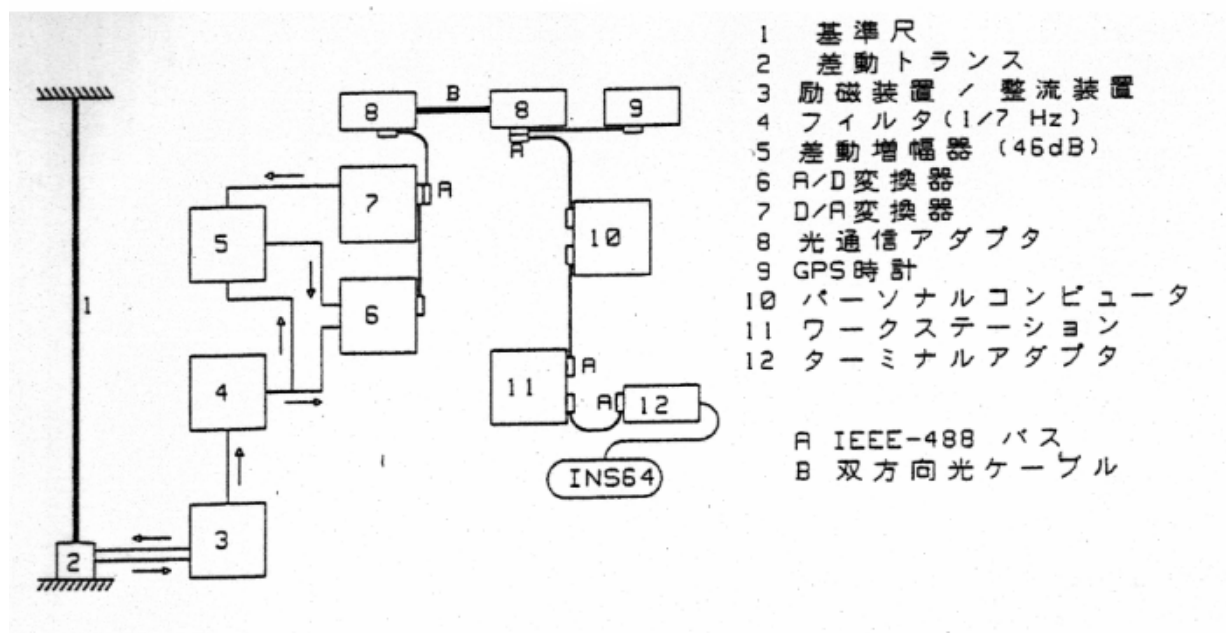


伸縮計 E-1

Photo. 3 差動トランス方式センサー部

よって、観測装置の動帯域、最小分解能及び周波数応答特性が大幅に向上した。センサー部分の性能向上に伴い、伸縮計の基準尺（スーパーインバール棒）の支持方式に問題があることが明らかとなり、それまで使用してきたローラー支持方式をやめて、新たにベニオフ吊による支持方式に変更した（E-1は1995年10月、R-1～3,R-6は1996年2月）。支持のために必要な吊枠は、高度な工作技術と溶接技術を持った宮崎観測所の園田保美技官に製作を依頼した。また、1996年10月には水管傾斜計の検出部分も差動トランス方式に交換した。（Photo.3 参照）

以上の改良によって観測計器の性能が大幅に向上したため、その能力を十分に生かすためには、従来から使用していた有線テレメータによる収録システムの性能では不十分となったので、森井 互氏が計算機制御による新データ収録システムを開発された。このシステムの特徴は、フィードバック方式によって得られる広動帯域、GPS 時計制御による高い時刻精度及び機器障害時の自動復旧機能である。ブロック図に示すように、アナログ関連機器は観測計器の近くに、計算機や通信ターミナル等のデジタル機器は入り口近くの送信室に配置し、両者の間は長さ450メートルの光通信ケーブルで双方向接続している。収録されたデータは、INS 回線を使用して、随時宇治の地震予知研究センター研究棟に伝送されるようになった。



ブロック図

4. あとがき

観測開始当初に設置された観測機器のほとんどは故小林年夫技官が作成されたものがあります。小林技官が観測計器の作成される時、その技術を拝見しながら自分も技術を身につけなければと思い、指導を受けていたところ定年退官を目前にして亡くなりました。技術の継承途中で、さぞ残念であったと推察します。

生前に指導していただいた技術が、今回の差動トランス方式への変更に、その時の経験が生かされたことを深く感謝します。

参考文献

- 1) 高田理夫・尾上謙介・小林年夫・山田勝：天ヶ瀬地殻変動観測所における地殻変動観測（序報），京都大学防災研究所，第11号A，1968，pp. 213-220
- 2) 高田理夫・古澤 保・竹本修三・山田勝：天ヶ瀬地殻変動観測所における地殻変動観測（第2報），京都大学防災研究所，第17号B，1974，pp.47-56
- 3) 高田理夫・古澤 保・竹本修三・山田勝：天ヶ瀬地殻変動観測所における地殻変動観測（第3報），京都大学防災研究所，第21号B-1，1974，pp.47-56
- 4) 森井互・山田勝：天ヶ瀬地殻変動観測室の新データ収録システムについて
京都大学防災研究所，第44号B-1，2001