

六甲高雄観測室における小型多成分ボアホール歪計による観測

藤森 邦夫・山本 剛靖・東中 基倫・石井 紘・大塚 成昭

OBSERVATION BY A MULTI-COMPONENT SMALL BOREHOLE STRAINMETER AT ROKKO-TAKAO STATION

By Kunio FUJIMORI, Takeyasu YAMAMOTO, Motonori HIGASHINAKA,
Hiroshi ISHII and Shigeaki OTSUKA

Synopsis

A 3-components small borehole strainmeter was installed at Rokko-Takao station, Kobe, Japan, and observation has been started at July 1993. The station is located at 240 m under the ground surface in the side tunnel which joins two tunnels for automobiles through the Rokko mountain area (Shin-Kobe and Daini-Shin-Kobe tunnels). Geological features of the Rokko mountain area are mainly characterized by the Rokko granite containing many active faults.

The aim of this study is to obtain useful information for crustal strain observation by using the simple borehole strainmeter at the tunnel, the observation in which is disturbed by changes of atmospheric pressure and room temperature and oscillation of the ground due to running automobiles.

1. はじめに

地殻の歪変化を知ることは、テクトニクスや地震・火山噴火予知の研究にとって重要であり、横坑内に設置された伸縮計による地殻歪の連続観測が古くから行なわれてきた。また、近年、ボアホール型歪計が開発されて以来、国内における地殻歪観測点の数は、急増した¹⁾。しかし、その分布には偏りがあり、全国を覆っているとは言い難い。地殻歪の観測点を簡単に増やせない主な理由は、それを設置するために横坑や縦坑が必要であり、安定した岩盤を得るためと地殻歪観測におけるノイズである降雨などの気象影響から逃れるために、地表からの被りを深くせねばならず、掘削にコストがかかることであると思われる。従って、既存の自動車用トンネルや鉄道用トンネルなどの中で被りの深いトンネル内に簡易な歪計を設置すれば、低コストで地殻歪の観測点が設けられ、観測点の数を飛躍的に増大できると思われる。

しかし、これらのトンネルは、地殻変動専用の観測坑に比べて、自動車や列車の通行に伴う気圧変化や温度変化、ならびに、振動など人工的ノイズが多い。

そこで、このようなトンネルを地殻歪の観測点として使う場合、簡易で高精度の安定した地殻歪の連続観測が可能であるかどうかを調べるために、自動車用トンネル内の一部に設けられている六甲高雄観測室にボアホール歪計を設置し、観測を開始した。

2. 六甲高雄観測室

六甲高雄観測室は、六甲活断層地域における地殻変動を調べるために京都大学理学部により設置された観測室の1つである (Fig. 1)。この観測室は、神戸市の六甲山をほぼ南北に横断する全長約 7 km の 2 本並列した自動車用トンネル (新神戸トンネルと第二新神戸トンネル) をそのほぼ中央部で繋ぐ連絡用トンネルを借りて観測坑道としている。この観測坑道は、長さ約 340 m、幅と高さが約 3 m、そして、被り深度が約 240 m である。なお、岩質は花崗岩である。また、観測坑道の中央部分で湧水が見られる。

1989 年以来、レーザー伸縮計²⁾と水管傾斜計による歪と傾斜の連続観測、および、13 基の測定台から構成されるほぼ直線状の基線における光波測距³⁾と水準測量が行われてきた。観測坑道と自動車用トンネルとは 1 枚の扉で隔てられているだけなので、坑内温度の日変化は約 0.1℃、年変化は 1℃ を超え、一般の地

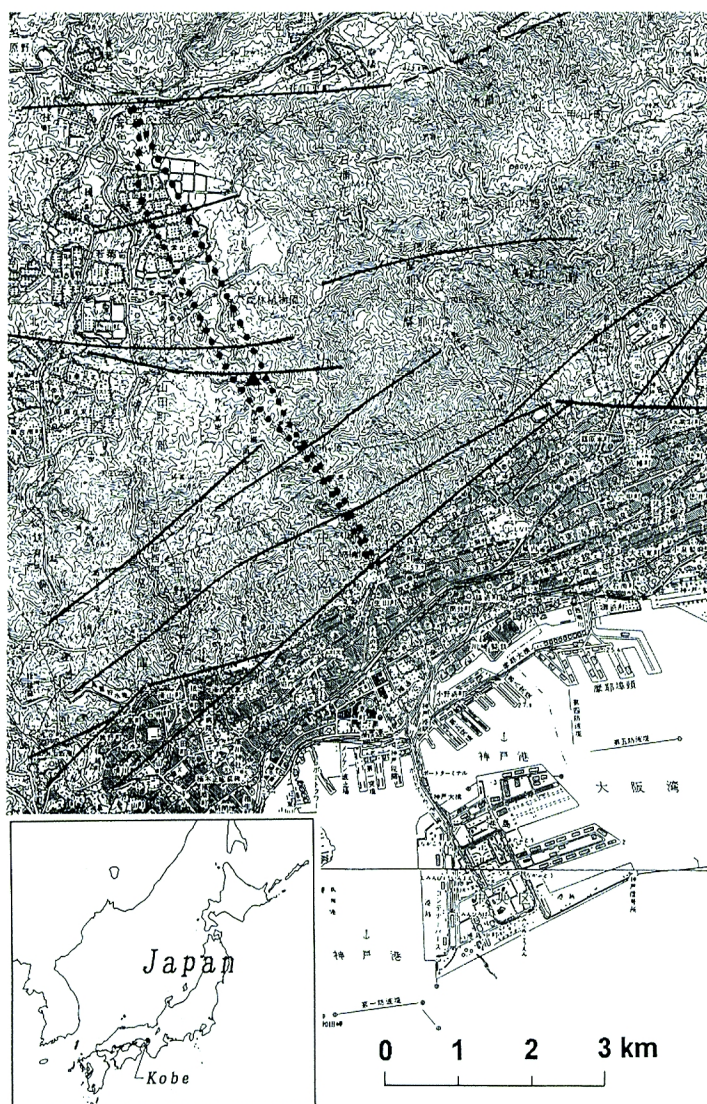


Fig. 1 Location of Rokko-Takao station (▲) and SHin-Kobe tunnels (···), showing active faults (—) near the station.

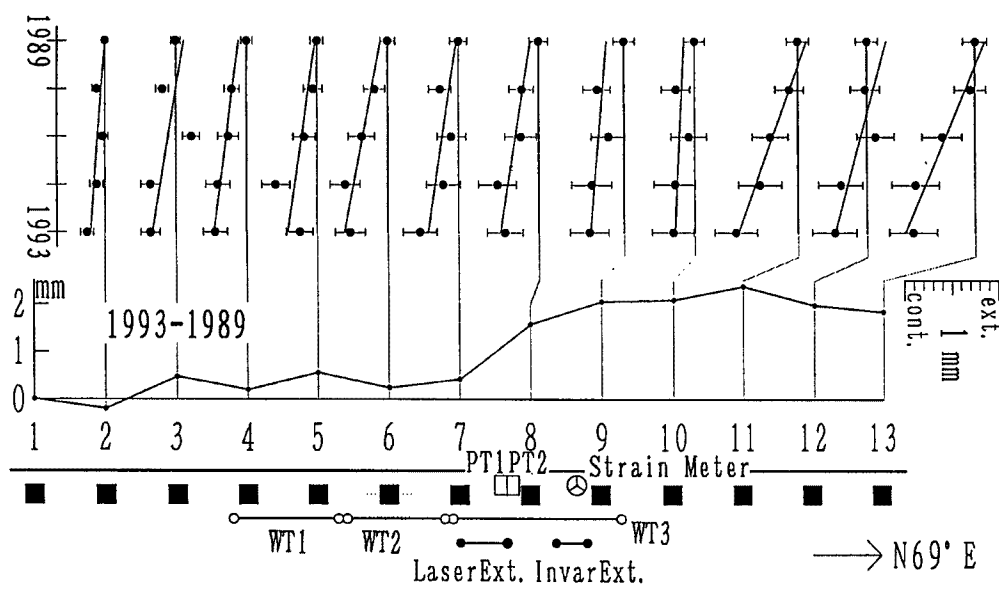


Fig. 2 Top: Change of baseline lengths referred to site 1 in 1989-1993.
 Middle: Height changes of respective sites referred to site 1 in 1989-1993.
 Bottom: Arrangement of instruments and geodetic sites (■) in the station.

殻変動観測坑に比べて約 10～100 倍大きい。一方、降雨の影響は、ほとんど無い。なお、この観測坑道の比較的近くを地下鉄が通っており、自動車と共に、これもノイズ源となっている。

Fig. 2 (Top) に、4 年間の基線長変化を示す。観測坑道内における各区間の歪速度は一樣でなく、伸びを示す区間もあるが、縮みを示す区間が多い。また、Fig. 2 (Middle) に示すように、測定点 7 と 8 の間で明瞭な高さの変化が見られる。これらの変動は、観測坑道内を通る東西走向の万福寺断層と関係するものと考えられる。

3. ボアホール歪計とその設置

設置された計器は、最近開発された小型多成分ボアホール歪計⁴⁾ (NBS 58-3C) である。これは、中央部分の上・中・下段に 3 個の歪計が 60° ずつ異なる方向にセットされている。各歪計は、容器の変形を R 形バネとテコのアームによってメカニカルに拡大して変位センサーで電気信号として検出し、バッファアンプを介して差動出力する。感度は、製作時に検定された値で固定であり、約 $1 \text{ mV}/10^{-7}$ である。また、メカニカルなゼロ調整装置は無く、出力電圧にオフセットを与えることによりゼロ調整が行われる。このボアホール歪計は、直径が 58 mm、長さが 383 mm、重量が 4 kg と小型・軽量であり、小スペースで簡単に設置できる。ちなみに、他のものより安価である。

1993 年 3 月、当観測坑道内にボアホール (孔径：77 mm、深さ：1.2 m) を自掘し、同年 7 月、ボアホール歪計が膨張セメントを用いて埋設された。なお、掘削されたボアホールからは湧水があり、ポンプで汲み出して測定された湧水量は 4～5 ℓ/分、ボアホールの周囲をパイプで嵩上げして測定された水位は床面より約 16 cm 上であった。セメントが流出しないように、嵩上げた溜水状態で、ボアホール歪計の設置を行った。

記録は、ボアホール歪計の出力電圧にオフセットを与え、21 倍に増幅し、0.1 mV/digit のデータロガーを用い、現地で収録されている。

4. 観 測

設置直後から 1994 年 2 月までのボアホール歪計の記録を **Fig. 3** に示す。設置以後、コンクリートの収縮

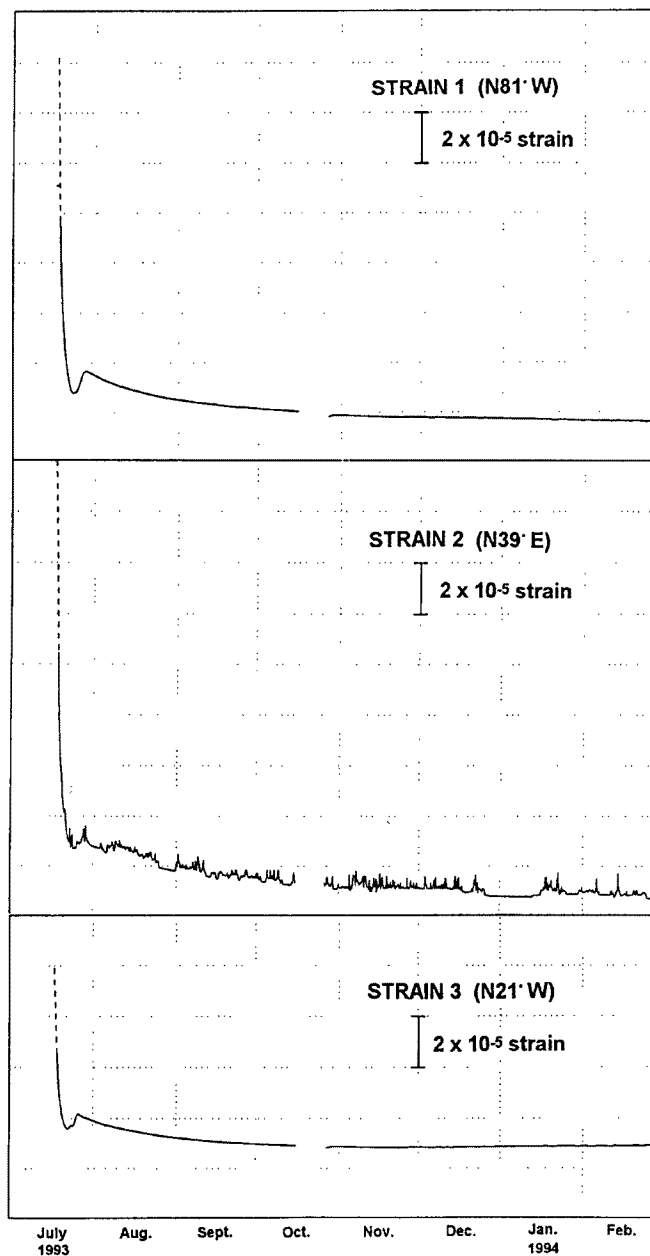


Fig. 3 Strain data observed by a multi-component small borehole strainmeter at the station (July 17, 1993 - February 28, 1994).

に伴う約 10^{-4} に及ぶ大きな縮みのドリフトが見られ、約半年ではほぼ収まったように思われる。中段にセットされている歪計 (N39°E-S39°W) のみは、設置直後から大きなスパイク状のノイズを示し、そのノイズの無い期間は短い。この原因は現在不明である。

Fig. 4 および **Fig. 5** に、1994 年 1 月 1 日～2 月 28 日および 1994 年 1 月 1 日～1 月 12 日の歪計の記録をそれぞれ示す。地球潮汐が認められ、歪計として十分な感度で作動している。地球潮汐の波形が滑らかで

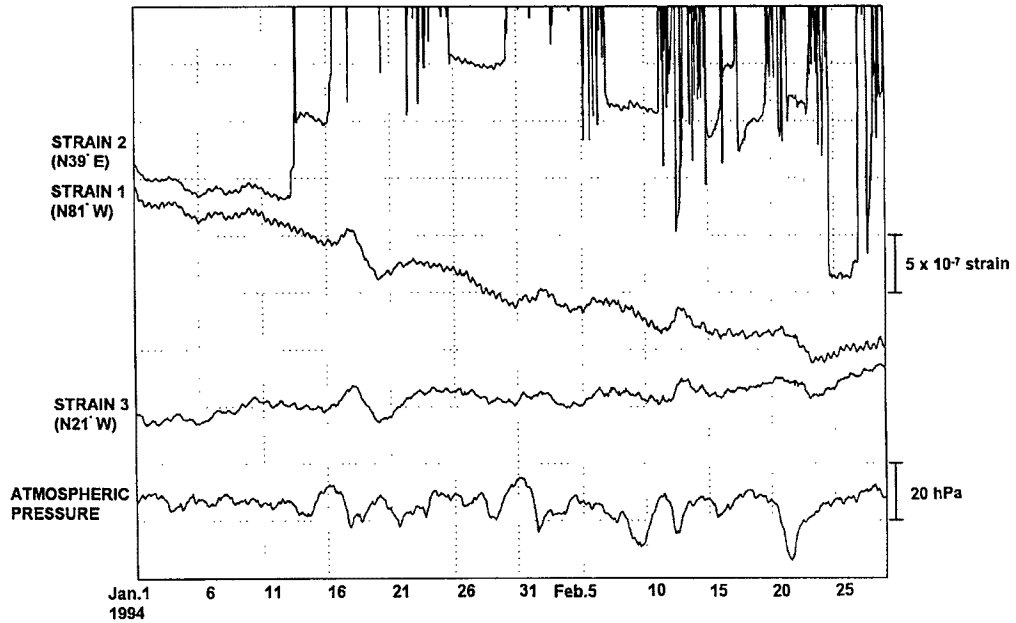


Fig. 4 Strain data observed by the strainmeter (January 1, 1994 - February 28, 1994).

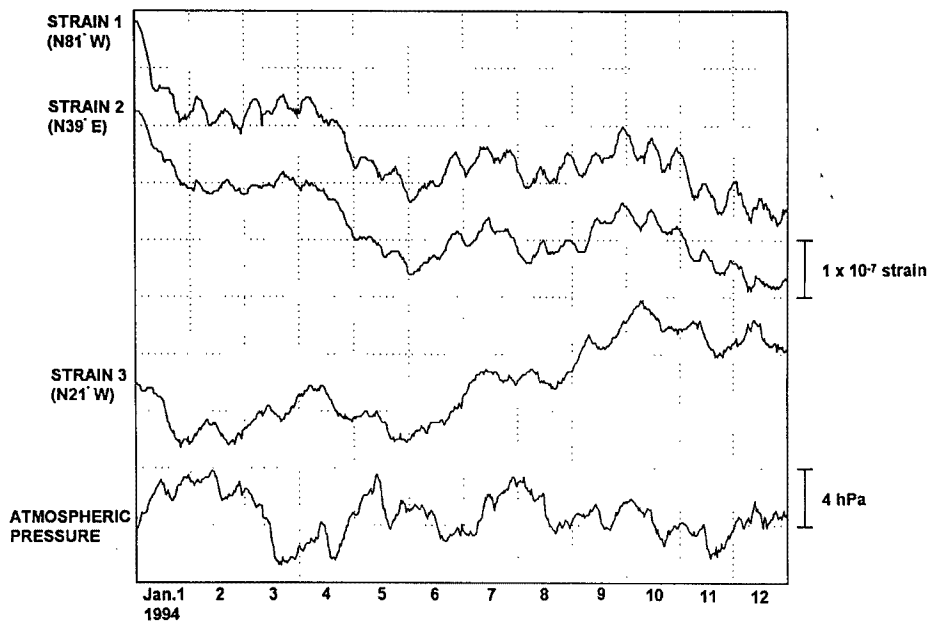


Fig. 5 Strain data observed by the strainmeter (January 1 - 12, 1994).

ないのは、数分から数時間の周期の気圧変化による影響である。さらに、数日の周期の歪変化が見られるが、これは気圧変化に似ており、3成分に同様に現れている。掘削されたボアホールからは前述のように大量の湧水があった。このことから、ボアホール歪計は、湧水帯内に設置され、周囲には地下水が充満しており、この地下水を介して、気圧変化の影響を大きく受けているものと考えられる。

5. 今後の予定

ボアホール歪計の設置とほぼ同時期に、幾つかの観測計器を追加した。現在行っている観測項目を列挙すると、レーザー伸縮計 (15.4 m)、インバー伸縮計 (12 m)、小型多成分ボアホール歪計、水管傾斜計 (40 m : 2 台, 50 m : 1 台)、震研 93 型平行二枚バネ式可搬型傾斜計 (2 成分)、湧水量計、温度計、および、気

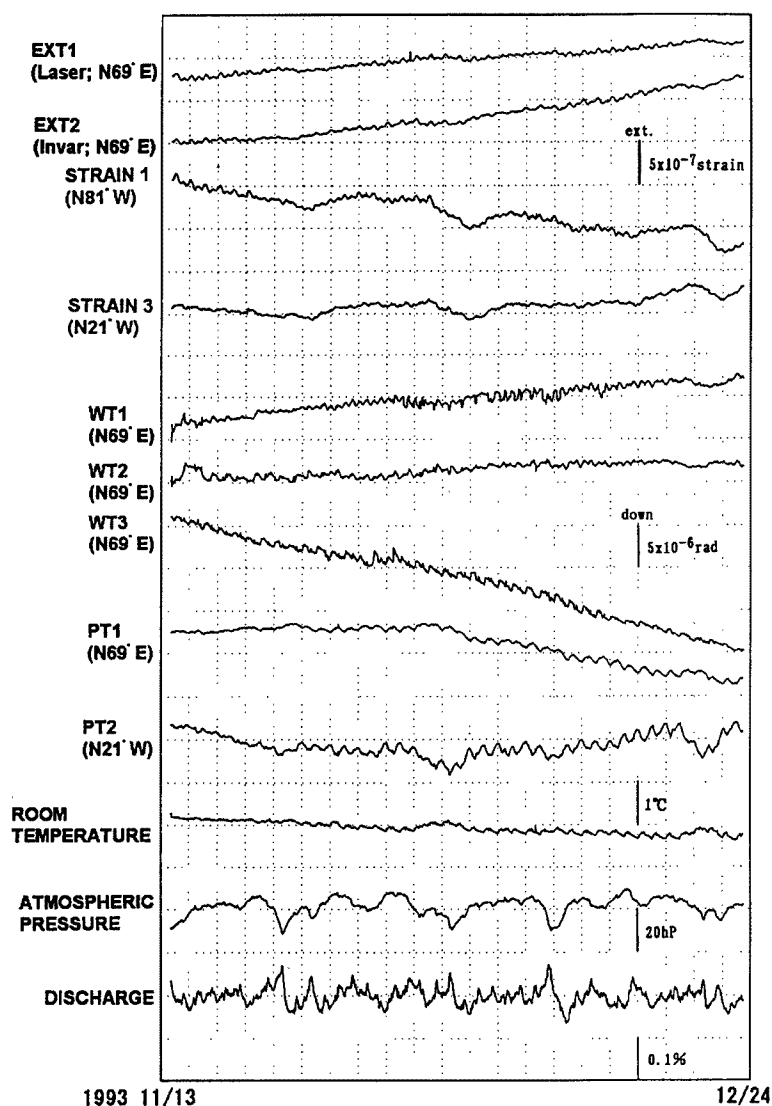


Fig. 6 Data of strains, tilts, room temperature, atmospheric pressure and discharge at the station (November 13 - December 24, 1993).

圧計による観測である。計器の配置を Fig. 2 (Bottom) に、1993 年 11 月 13 日～12 月 24 日のそれらの記録を Fig. 6 にそれぞれ示す。温度変化あるいは気圧変化の影響と見られる数日程度の周期の変化は、成分ごとに異なるようである。年周変化や設置後のドリフトがまだ不明なので、それらのことは、データの蓄積を待って報告したい。

また、観測を継続し、伸縮計や傾斜計とボアホール歪計の記録を比較検討することにより、

- (1) 車両の走行による振動や気圧変化による影響の計器のスケールの差による違いとその周期依存性、
- (2) 地下約 1 m に埋設されたことによる坑道内の温度変化の影響が減少する度合、
- (3) 地殻歪観測の長期安定性、

などについて調べ、ボアホール歪計による高精度の地殻歪観測の可能性を追求したい。

6. おわりに

地殻変動の観測点の設置には労力と時間がかかるため、一度設置するとその観測点は簡単に捨てられない。しかし、簡易な観測点が増加すれば、良質のデータが得られる観測点を選別することも可能であろう。今後、小型多成分ボアホール歪計による観測点を増設していく予定である。

なお、観測を簡易化するためには、データをテレメータする必要がある。これは、電話線を引けるかどうか、または、非常電話の空き回線を使用させてもらえるかどうかによっている。当観測室は、6 週間に 1 度、入坑して記録を交換している。

最後に、六甲高雄観測室は、神戸市道路公社の御好意により設けられている。ここに厚く御礼申しあげる。

参考文献

- 1) 地震予知総合研究振興会：地殻変動観測施設要覧，1993，491p.
- 2) 竹本修三・山本剛靖・向井厚志・佐藤忠弘：潮汐ひずみの観測に及ぼす海洋潮汐の荷重影響，測地学会誌，第 38 巻，1992，pp.211-219.
- 3) Yamamoto, T. : High Precision Measurements of Crustal Strains on an Underground Baseline by an Electro-Optical Distance Meter, Jour. Geod. Soc. Japan, Vol.37, 1991, pp.319-331.
- 4) 石井 紘・松本滋夫・平田安廣・山内常生・高橋辰利・鈴木喜吉・渡辺 茂・若杉忠雄・加藤照之・中尾 茂：新しい小型ボアホール歪計の開発と観測，地球惑星科学関連学会 1992 合同大会予稿集，1992，p.205.