

簡易三成分ひずみ計

尾上謙介・松尾成光*・細 善信・高橋輝雄*・石井 紘**

* 京都大学大学院人間・環境学研究科

** 東濃地震科学研究所

要 旨

既設のトンネルなどを利用して地殻ひずみの多点観測を行う目的で比較的設置の簡単な短スパンひずみ計の試作を行った。これまでに逢坂山観測所観測坑道内に設置した一成分の短スパンひずみ計により潮汐変動や地震波が観測できることが確認されたので、今回はさらに三成分による簡易短スパンひずみ計を試作し、前回と同じ逢坂山観測所のより堅固な岩盤内に設置して観測を行い従来の長スパンひずみ計による観測記録との比較を行った。約 3 ヶ月間の短スパンひずみ計による観測の結果、潮汐変動および遠地地震の波動が記録され、長スパンひずみ計の観測結果と良い一致を示した。

キーワード：簡易短スパンひずみ計，メカニカル拡大システム，円筒，潮汐変動

1. はじめに

地殻変動連続観測データを有効に活用する方法の一つとしてアレー観測などの多点観測がある。しかし従来の観測坑道による地殻変動連続観測は観測坑道の掘削，長スパンのひずみ計の設置，そして保守などに多額の経費が掛かるためにこのような観測施設を多く設置することは不可能である。そのために我々は多点観測を行うために比較的経費が掛からず，保守の容易な簡易の短スパンひずみ計の開発を試みた(松尾, 2005)。これは直径約 75cm, 長さ約 10cm, 厚さ 1 cm のステンレス製の円筒の中にひずみ計を取り付けて，この円筒を岩盤内に設置するという方法である。スパンが 75cm であるので長スパンひずみ計に相当する感度を得るために，石井等がボアホ

ールひずみ計用として開発したメカニカル拡大システムが利用されている(石井等, 1990)。逢坂山観測所(重富, 1988)の観測坑道内の約 1 m の深さに設置して観測を行ったところ，地球潮汐変動が観測され，また 2004 年 12 月のスマトラ地震の余震と見られる M 8 の地震波動が記録されて，ひずみ計として利用できる可能性が示された。しかし，一方で潮汐変動が不明瞭であることや，地震波形も既設の長スパンひずみ計と一致しない部分もあり，今後の課題となった。これらの課題を克服するために今回三成分による短スパンひずみ計を試作した。この短スパンひずみ計を逢坂山観測所でさらに深く掘削して堅固な岩盤内に設置し，地殻ひずみの観測を行った。短スパンひずみ計の観測記録は既設の長スパンひずみ計の観測結果との良い一致が見られた。ここでは簡易

三成分短スパンひずみ計の試作，設置そして比較観測の結果について報告する。

2. 簡易短スパンひずみ計

短スパンひずみ計の平面図と断面図を Fig.1 に示す。ステンレス製の円筒は直径が 75cm，厚さ 1cm で前回と同じであるが，長さは三成分を取り付けるために 20cm とした。円筒の製作とひずみ計の設置台の厚さ 1cm で一片が 10cm のステンレス板の円筒への取り付けは溶接である。ステンレス板は三成分のひずみ計が同じ条件で観測できるように円筒の下部から 5cm の同じ水準に取り付けられている。使用した基準尺は直径 1cm，長さが約 60cm のインバール棒である。メカニカル拡大システムは前回と同様であるが，拡大倍率は前回の約 16 倍から約 40 倍と拡大された。センサーは新光電気社製の差動トランスを用いており，同社製の電子回路と組み合わせた総合感度は $25\text{mv}/\mu\text{m}$ である。

短スパンひずみ計を校正するには $0.01\mu\text{m}$ の変位を精確に測定する必要があるが，精密な測定装置がなく校正は出来ない。今後の課題である。

3. 簡易短スパンひずみ計の設置

短スパンひずみ計は逢坂山観測所の観測坑道内の前回と同じ場所に設置されたが，さらに約 60cm 深く掘削し，硬い岩盤内への固着を目指した(Photo. 1)。ひずみ計の設置孔は直径が約 1.5m，深さが約 1.6m である。そのまま放置すると，一日で床から約 60cm の深さまで地下水が貯留される。そのために防水をする必要があり，排水後に型枠を使用して無収縮性のセメントを充填し，円筒周辺に均等に膨張セメントが充填されるように整形された。三成分短スパンひずみ計は孔の底部に膨張セメントで固定された。ひずみ計の設置作業と設置後の状況を Photo.2,3 に示す。

ひずみ計の設置後わずかに瀧水が見られる。数ヶ月に一度の排水が必要であるが，現在ほとんど観

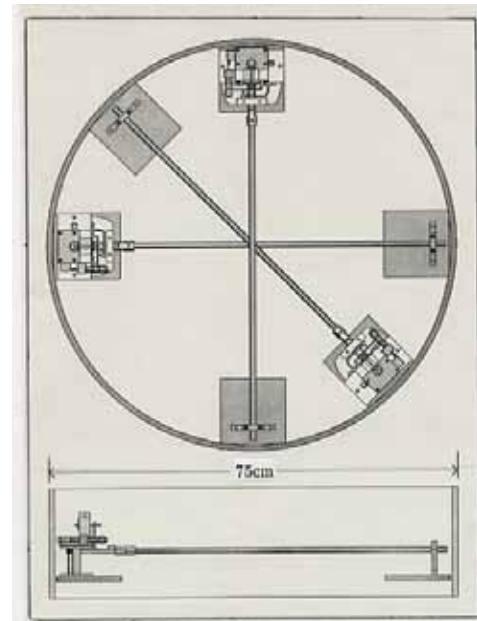


Fig. 1 Schematic view of short span strainmeter

Upper: plane figure viewed from top.

Lower: side view.



Photo 1 Hard rock into the hole excavated

測の障害にはなっていない。

三成分短スパンひずみ計の方位は $\text{N}38^\circ \text{E}$ (SpE3), $\text{N}52^\circ \text{W}$ (SpE1) そして $\text{N}83^\circ \text{W}$ (SpE2) である。SpE3 の方位は主坑道と平行で，観測所既設の長スパンひずみ計 E1 と，また SpE1 の方位は主坑道と直交の長スパンひずみ計 E1 と同じである。しかし，SpE2 の方位は $\text{N}83^\circ \text{W}$ で，長スパンひずみ計 E2 の $\text{N}07^\circ \text{W}$ とは 90° 異なる。短スパンひずみ計は長スパンひずみ計から北東へ 60m から 80m の距離に位置する。

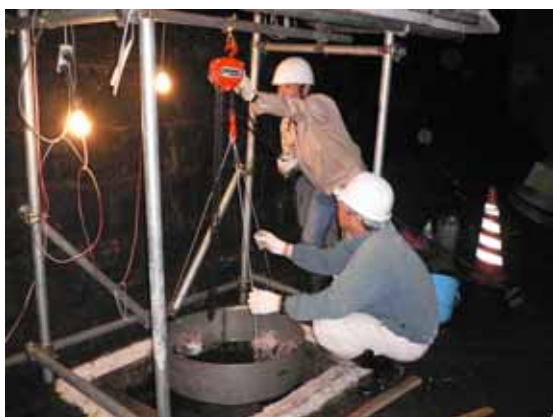


Photo 2 Setting work of the strainmeter

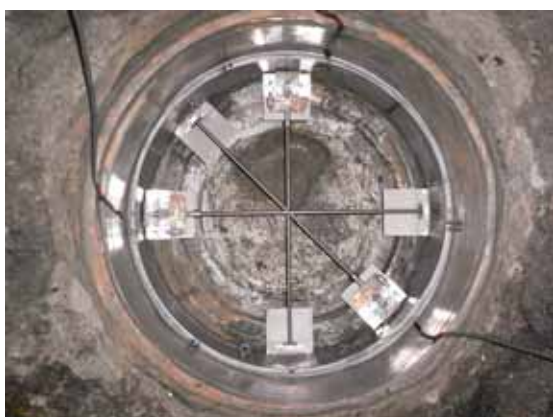


Photo 3 The short span strainmeter set into the hole

4. 観測

短スパンひずみ計は 2006 年 1 月 17 日に設置が完了して、1 月 18 日から観測が開始された。1 月 18 日から 4 月 28 日までの短スパンひずみ計 (SpE3, SpE2, SpE2) と逢坂山観測所既設の長スパンひずみ計 (E3, E2, E1) の各成分の比較記録を Fig.2 に示す。SpE2 と E2 は設置の方位が 90° 異なる。Fig.2 に示す短スパンひずみ計 (Sp) のスケール値は拡大システムを 40 倍とし、差動トランスと電子回路の総合感度から計算されたものである。SpE1 は設置後センサーの設置不良があり、4 日後に修正された。Fig.2 から短スパンひずみ計は設置後数日から 10 日ほどでは安定し、潮汐変動が認められる。SpE3 は観測期間中“伸び”の、SpE1 は“縮み”のトレンドを示

す。これらのトレンドは円筒を製作するため或いはステンレス板の溶接などによる金属ひずみの影響が残っているものと考えられる。3 月からの降雨などの影響と考えられる主坑道に平行成分の“伸び”,そして直行方向成分の“縮み”変化は短スパンひずみ計にも明瞭に現れている。潮汐変動や長期変動を見るために、トレンドを差し引いて拡大した 4 月 8 日から 4 月 18 日までの 11 日間の記録を Fig.3 に示す。Fig.3 のスケールは Fig.2 と同様に計算された。SpE1 と SpE2 は明瞭な潮汐変動が見られ、同位相で E1 や E2 とほぼ同じ大きさの振幅を示す。しかし、SpE3 の潮汐変動は E3 に比べて非常に小さい。4 月 15 日から振幅は小さいが、SpE3 に E3 と同位相の潮汐変動が認められる。SpE3 と SpE1 は降雨の影響と見られる長期変動が見られ、同じ方位の長スパンひずみ計の E3 と E1 とはほぼ同じ変動を示している。方位が 90° 異なる SpE2 と E2 は逆センスの変動を示すが、三成分で構成される変形を考慮すると、SpE2 と E2 の変動は整合すると考えられる。

短スパンひずみ計には数時間の気圧変動と見られる変化が見られる。特に主坑道と直交成分の SpE1 に顕著であり、ひずみ計設置の孔あるいは観測坑道の坑道効果によるものと考えられる。今後検討したい。

観測期間中の 2006 年 4 月 20 日 23 時 25 分 40 秒 (UTC) にカムチャッカ半島近くの北緯 61.092° 、東経 167.1° でマグニチュード 7.1 の地震が発生した (アメリカ地質調査所, 2006)。逢坂山観測所のひずみ計に明瞭な波形が記録された。短スパンひずみ計にも記録されたが、SpE3, SpE2 は電子回路が原因と思われるノイズにより主要動以外は不明瞭であった。Fig.4 に明瞭に記録された SpE1 と E1 の地震波形を示す。Fig.4 は約 30 分間の記録であるが、ほとんどすべての波動の位相が対応しており、振幅の変動もほぼ一致していることがわかる。SpE1 のトレンドの変動は気圧変動によると考えられる。これらの記録からひずみ地震計としても使用できることがわかる。

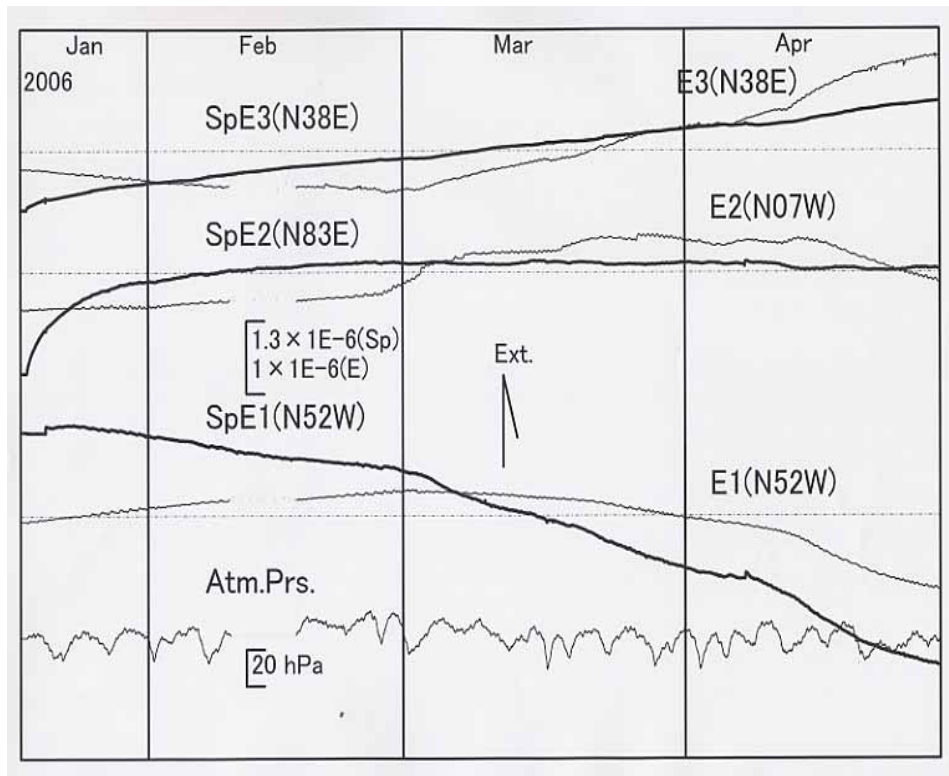


Fig. 2 The strain records observed by the short span strainmeters (thick lines) marked SpE3, SpE2 and SpE1, the long span strainmeters(thin lines) marked E3, E2 and E2 and atmospheric pressure. The scale values are calculated from device constants. Sp is the short span strainmeter.

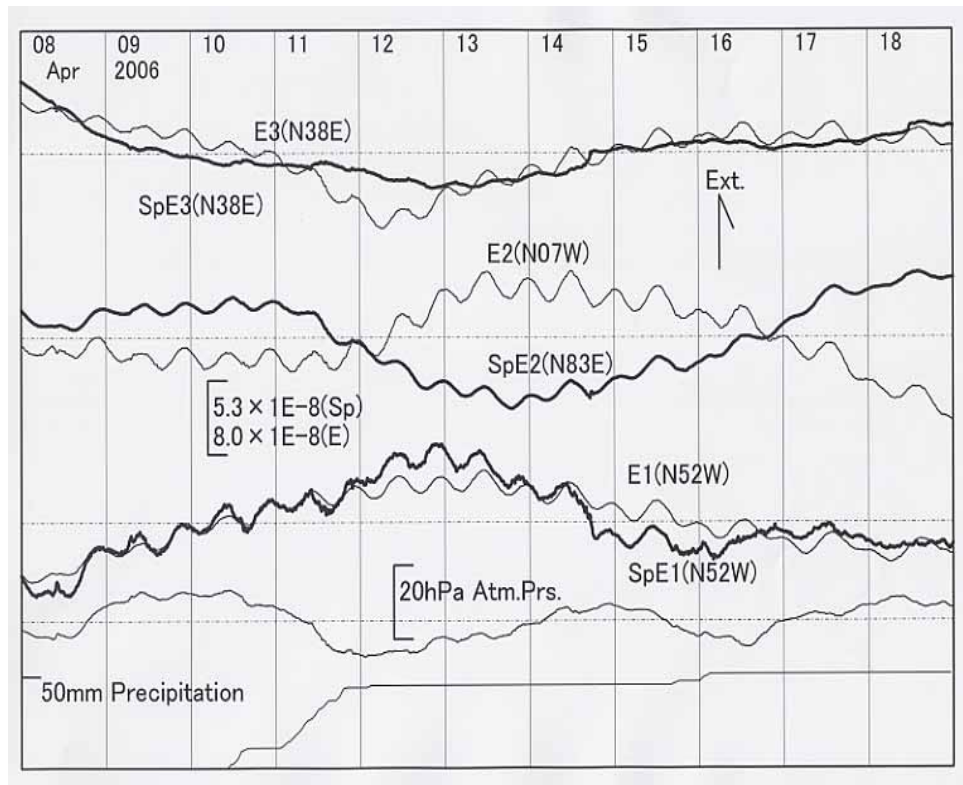


Fig.3 The comparison of long period changes and tidal changes between the short span strainmeters (thick lines) and the long span strainmeters (thin lines) for 8 to 18 April. Precipitation is accumulated.

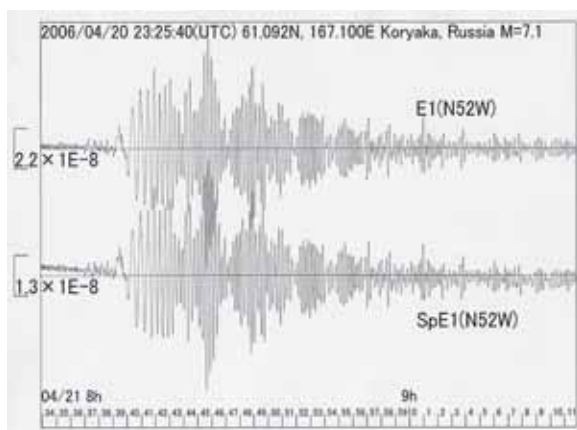


Fig.4 Strain seismographs of event (M7.1)
occurred in Koryaka, Russia on 20 Apr.
Upper: the long span strainmeter(E1)
Lower: the short span strainmeter(SpE1)

5. まとめ

今回の三成分による短スパンひずみ計の試作・観測からたとえ短スパンであっても堅固な岩盤に設置すれば長スパンひずみ計に相当するひずみ計としてまたひずみ地震計として利用できることがわかった。しかし、一方で観測期間中に見られた SpE3 の“伸び”と SpE1 の“縮み”のトレンド、そして SpE3 の潮汐変動が非常に小さいなどの原因を究明しなければならない。また、短スパンひずみ計に見られる気圧変動と考えられる数時間変動のメカニズム解明など課題が残った。今後、気圧変動を調べるために、また設置が容易になるように底と蓋を一体とした密閉型の簡易三成分ひずみ計の試作を考えている。

謝 辞

短スパンひずみ計の逢坂山観測所での設置については京大防災研究所森井 互博士に多くの協力をいただきました。またひずみ計の試作については重富國宏氏、東大地震研究所松本滋夫氏に多くの助言をいただきました。さらにひずみ計の製作については京大大学院人間・環境学研究科渡邊雅之博士に多くの便宜を図っていただきました。ここに深く感謝の

意を表します。

参考文献

- アメリカ地質調査所(2006) : USGS<SIPKIN> CMT Solution, アメリカ地質調査所HP
- 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・若林忠雄・加藤照之・中尾 茂(1992) : 新しい小型多成分ボアホール歪計の開発, 地球惑星科学関連学会 1992 年合同大会 予稿集, C22-03.
- 重富國宏・橋田匡邦・藤井伸蔵(1988) : 逢坂山地殻変動観測所における地下水の連続観測について, 京都大学防災研究所年報, 第 31 号, B-1, pp.19-28.
- 松尾成光・尾上謙介・重富國宏・森井 互・浅田照行・細 善信・高橋輝雄・石井 紘(2005) : メカニカル拡大システムを用いた短スパンひずみ計の開発, 京都大学防災研究所年報, 第 48 号, B, pp.231-234.

A Small-Scale Strainmeter with Three Components

Kensuke ONOUE, Shigemitsu MATSUO*, Yoshinobu HOSO,
Teruo TAKAHASHI* and Hiroshi ISHII**

* Graduate School of Human and Environmental Studies, Kyoto University

** Tono Research Institute of Earthquake Science

Synopsis

We made a trial manufacture of a improved short span strainmeter with three components by using a mechanical magnification system. The cylinder of the short span strainmeter was installed into hard rock deeper than before at Osakayama Observatory. The orientations of the short span strainmeter with three components were N38E(SpE3), N52W(SpE1) and N83W(SpE2). The N38E(SpE3) and N52W(SpE1) were at the same orientation as the long span strainmeter E3 in the tunnel and E1 which is perpendicular to the tunnel direction. But, unfortunately, the N83W(SpE2) was different, 90 degrees from the long span strainmeter E2 with N07W. The tidal changes and long changes obtaining by SpE1 components of the short span strainmeter correspond to those of the E1 long span strainmeters. And the strain seismographs of the earthquake with M7.1 2006/04/20 in Koryaka, Russia, the SpE1 and E1 show the clear correspondence in relative amplitude and phase.

Keywords: Short span strainmeter, mechanical magnification system, cylinder, Tidal change