

山崎断層大沢観測坑道における伸縮計観測

板場 智史・松尾 成光・浅田 照行・和田 安男・渡辺 邦彦・根岸 弘明*

*防災科学技術研究所

要 旨

兵庫県宍粟郡山崎町大沢地区に新設された広帯域地震計基盤観測網の山崎観測施設の坑道内 (N35.0859°, E134.4621°, 標高 328m) に, 3 方向 5 成分の伸縮計を設置し 2000 年 7 月より観測を開始した。1975 年 11 月より断層帯の内部で伸縮変動の観測を継続している山崎断層観測室安富観測坑道から北西約 20km に位置し, 山崎断層系大原断層東端部より北東へ約 3km 離れた, 比較的均質な角礫凝灰岩の坑道である。安富観測坑道との比較から, 断層破碎帯の特徴的挙動を抽出することを目指している。

キーワード: 山崎断層, 伸縮計, 歪, 鳥取県西部地震, BAYTAP-G

1. はじめに

西播磨地域には要注意断層といわれる山崎断層系があり (福井, 1981), 地震予知・地震防災の観点から観測体制の整備が以前から切望されていた。そのような背景の中, 山崎町を初めとする地元のご協力を得て, 科学技術庁防災科学技術研究所 (当時) によって, 1999 年度に, 兵庫県宍粟郡山崎町大沢地区に広帯域地震計観測室が設置された。観測室設置に際して, 地震予知研究センターでは観測坑道 (本稿では, 以後, 大沢観測坑道と称する) 内に伸縮計を併設することを希望し, 関係諸機関のご理解・ご支援を得て, 2000 年 5 月から観測を開始することができた (佐友ほか, 2000)。

この観測坑道は, 山崎断層系大原断層の東端から北約 3km に位置し, 比較的均質な角礫凝灰岩の強固な岩山に掘削されている。現地地質の予備調査からも, 山崎断層による破碎の影響は及んでいないと考えられた。従って, 弾性論で説明できる

ような良好な観測結果が期待された。一方, 当観測坑道の南東約 20km の, 安富断層帯の内部に設置された山崎断層観測室安富観測坑道では, 1975 年 11 月より 25 年以上にわたって伸縮計による観測を継続している。その観測結果は, 一口で言えば, 変動の振幅は大きい, その出現メカニズムは複雑である (Watanabe, 1991a, b)。すなわち, 地殻の変動現象は, 断層破碎帯領域では, 周辺地域と比較して大きく増幅されて現れると考えられるが, その増幅のメカニズムはよく分かっていない。従って, 破碎帯領域で観測される大きな変動を, 破碎帯の局地性によるものと広域の応力変化によるものとに分離することはできていない。

今回, 大沢坑道での伸縮計観測が開始されたため, 2 つの観測坑道の記録を比較することによって, 断層破碎帯の特性に関する新たな情報を得られることが期待される。Fig.1 に山崎断層系の全容と, 大沢, 安富両観測坑道の位置を示す。

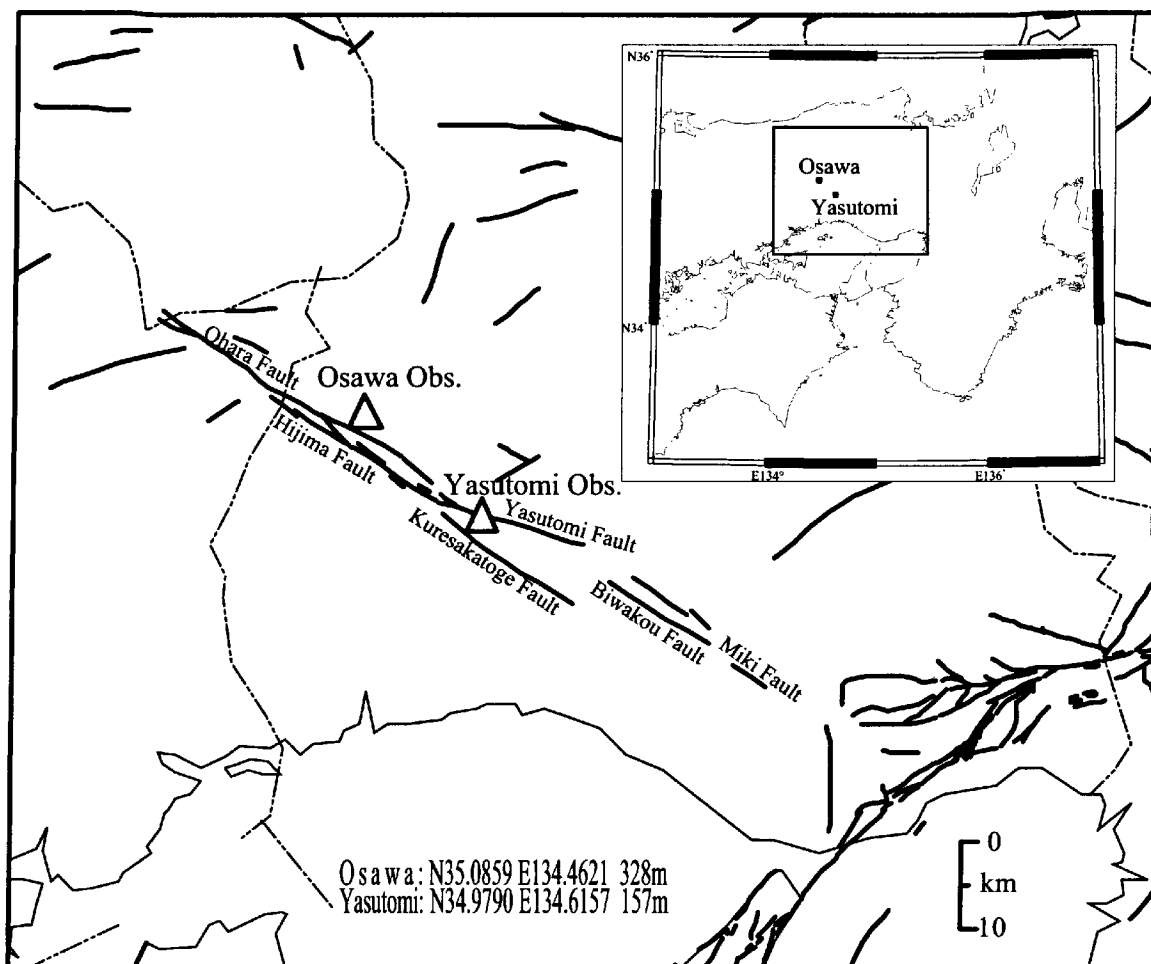


Fig. 1 The Yamasaki fault system and the location of both Osawa and Yasutomi observation vault.

2. 大沢観測坑道の概要

観測坑道は兵庫県宍粟郡山崎町大沢地区の集落から約 300m 離れた町有林に掘削された。坑道周辺は、比較的均質な角礫凝灰岩から成る。坑道は 40° 程度の急斜面の山腹を掘削しており、坑口から $N190^\circ S$ 方向に幅、高さ共に 2m の馬蹄型坑道を坑奥に向かって 2° 程度の上り傾斜で約 50m 掘削し、コンクリート吹きつけをしている。坑道最奥部の土被りは約 40m である。坑道は坑口から坑奥まで 4 箇所の扉で区切られて、温度変化が抑えられている。坑道入口の記録室に、データロガーやテレメータ装置が設置されている。最奥の区画がセンサー室で、広帯域地震計、強震計と、本研究で用いる伸縮計が設置されている。いずれも、坑道の掘削工事によって破碎された岩盤表層部分を取り去った上で、鉄ボルトを岩盤中に数本打ち込み、それ無し収縮コンクリートを絡めた構造で、坑道の床面とは 5~10cm の隙間を空けて、坑道全体の変形等の影響を直接受けにくくしている。坑道掘

削の際の記録によると、坑口から 42m あたりまでは目立った破碎帯は認められなかったが、それより奥に数箇所の破碎帯が認められた。坑道の平面図を Fig. 2 に示す。

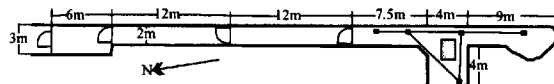


Fig. 2 A plane figure of Osawa observation vault.

3. 大沢観測坑道の伸縮計について

大沢観測坑道には、3 方向 5 成分の伸縮計を設置した。伸縮計の配置図を Fig. 2, Fig. 3 に示す。3 本の基準尺の長さはそれぞれ 15m, 5.5m, 7.1m である。坑道と平行な方向に 0 番を固定端とした 15m の基準尺を設置し、途中 1, 3, 4 番の位置に 3 つの変位センサーを配置した。これにより、0-1, 0-3, 0-4 区間はもとより、1-3, 1-4, 3-4 区間の変位を測定できる。更に、第 2, 第 3 の方向とし

て、1 番を固定端として 2 番に変位センサーを配置した基準尺長 5.5m の伸縮計、3 番を固定端として 2 番に変位センサーを配置した基準尺長 7.1m の伸縮計を設置した。なお、0-1 区間は、先に述べた破碎帯をまたいでいる。

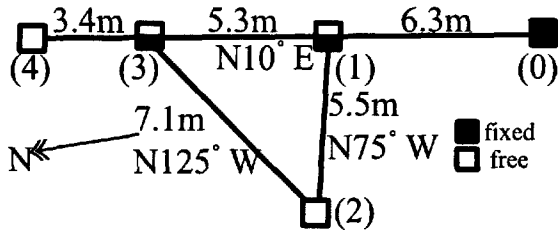


Fig. 3 Distribution of the displacement sensors of extensometers settled in the Osawa observation vault. Each numeral denotes the sensor number. (0) means the fixed end.

基準尺にはスーパーインパール製のパイプ（直径 30mm，肉厚 1mm，長さ 2m）を同じくスーパーインパール製のジョイントで繋いだものを用いている。このパイプを坑道の床に約 2m 間隔で設置した吊り枠から直径 0.1mm のピアノ線で吊って、基準尺のたわみを防いでいる。なお、Fig. 3 に記した基準尺の方位と長さは、簡易測定に基づくもので、近く予定の精密測定の結果で、多少の変更があり得る。

4. 測定・収録について

変位センサーには、差動トランス（Shaevitz 社製、050HR 型）を用いている。変位センサー部の詳細を Fig. 4 に示す。各成分とも、測定精度はほぼ 10^{-9} 以上である。安富観測坑道の場合は、別型式の差動トランスを用いているが、変位計の構造や、測定精度はほぼ同じである。

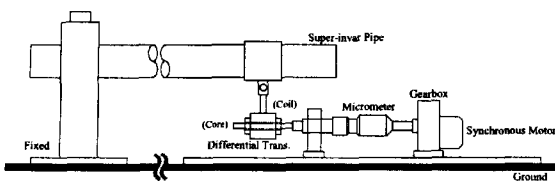


Fig. 4 Detailed structure of the displacement sensor.

差動トランスのアナログ出力信号は坑道入口に設置されたデータロガー（白山工業製，LS-3000PtV）によって収録され、公衆回線により

定期的に収録される。現在は、30 秒間の移動平均値を、5 分毎サンプリングで収録している。

5. 大沢観測坑道での記録例と考察

大沢観測坑道で連続観測を開始した 2000 年 7 月 17 日からの記録を Fig. 5 に示す。3 成分ある 15m の基準尺に関しては、0-1，1-3，3-4 区間の歪を表示した。同一方向でありながら、この 3 区間の歪の振幅，向きにはばらつきがある。これは、岩盤の中に新たな自由空間を空けた事による応力の再配分と、それに伴う歪変化，計器の初期ドリフト等が当分の間継続しているため、と考えられる。しかし、0-1，1-3 区間においては、2000 年 12 月頃より振幅，方向共に近づいてきており，初期ドリフトは一段落してきている，と考えられる。また，破碎帯をまたいでいる 0-1 区間と，またいでいない 1-3 区間の記録が近づいていることから，長期的変動に関する限り，坑道内の破碎帯の影響はあまり大きくないと考えられる。3-4 区間は，ステップがほかの区間と比較して多く認められるため，観測機器の物理的な異常も考えられる。

また，2000 年 9 月頃まで認められる幾つかのステップは，坑道内部の整備工事やメンテナンス等での入室の影響である。

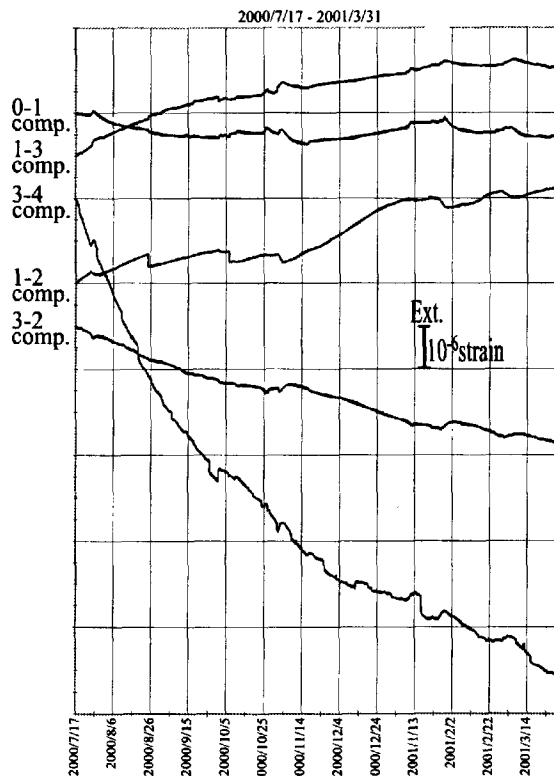


Fig. 5 Strain variations observed in the Osawa vault from Jul. 17th, 2000 to Mar. 31st, 2001.

次に、兵庫県北部の地震(2001/1/12, $M_{JMA}=5.4$, 観測室から $N3^{\circ} E$ 方向に 41.7km) の前後の記録を Fig. 6-1, 2 に、鳥取県西部地震(2000/10/6, $M_{JMA}=7.3$, $N79^{\circ} W$ 方向に 103.1km) の前後の記録を Fig. 7-1, -2 に示す。兵庫県北部の地震前後の記録については、工業技術院地質調査所(当時)の安富観測施設での降雨量データを併せて示している。大沢と安富は約 20km 離れているが、降雨の大勢を知ることができる。図 6-2 は、図 6-1 の記録から、BAYTAP-G (Ishiguro et al., 1981; Tamura et al., 1991) により潮汐成分を取り除いた記録である。大沢坑道では気象要素の観測を開始していないので、気圧、気温、降雨量等の影響は取り除けていない。観測された潮汐成分の振幅は、 $4 \sim 6 \times 10^{-8}$ であった。

Fig. 6-1, -2 よりこの観測坑道の記録の、降雨による影響の特性を全体的に見ると、0-1, 1-3, 3-4 区間において降雨後、1 日程度遅れて伸びの方向に動き、上に凸の記録になる。1-2 区間においては、降雨中に伸び、降雨後に縮みの方向に動き、上に凸の記録になる。3-2 区間においては、降雨後に下に凸の記録となる。しかし、入手できた降雨データが 2 ヶ月程度しかなく、もう少しデータを積み重ねる必要がある。

Fig. 6-1, -2, Fig. 7-1 は、それぞれ周辺地域の地震前後の記録であるが、どちらも数日前から、それ以前の変動パターンとは異なる変動が記録されている。変動の向きは先に述べた降雨の影響による場合と同じであるため、降雨による異常と思われるが、降雨データを積み重ねた上での検証が必要であろう。

また、Fig. 7-2 は、鳥取県西部地震当日の記録であるが、明瞭な歪ステップが記録された。国土地理院による断層モデル(国土地理院, 2000)を用いて、大沢坑道で期待される主歪変化と、実際に記録された歪ステップから求めた主歪を併せて Fig. 8 に示す。Fig. 7-2 から分かるように、1-2 区間のステップ量が特別大きいことに影響されているが、理論計算結果と観測結果は振幅、方向ともに比較的良好に一致していると言えよう。このことは、大沢坑道や周辺の岩盤の状態が良いことを意味している。1-2 区間の歪ステップ量が特別に大きいこと、1-3, 3-4 区間に殆どステップが見られないことなどが、今後の課題である。

地震の前後に着目すると、3-4, 1-2, 3-2 区間において本震の約 7 時間前より変動のパターンが変化し、本震後には元に戻っていることが分かる。ステップ部分を取り除くと、滑らかな正弦曲線に近くなるため、潮汐による影響と考えられる。

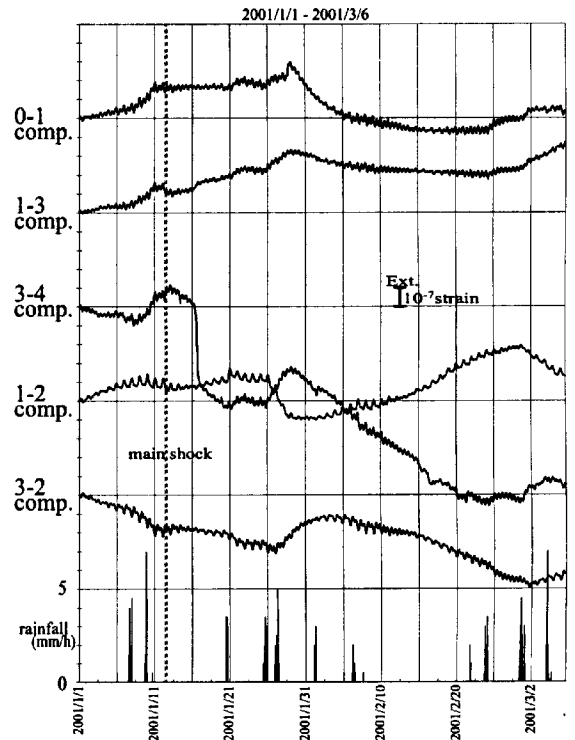


Fig. 6-1 Strain variations with precipitation data before and after the M5.4 earthquake occurred in the northern part of Hyogo Pref. (on Jan. 12th, 2001). Vertical dotted line shows the occurrence of the earthquake.

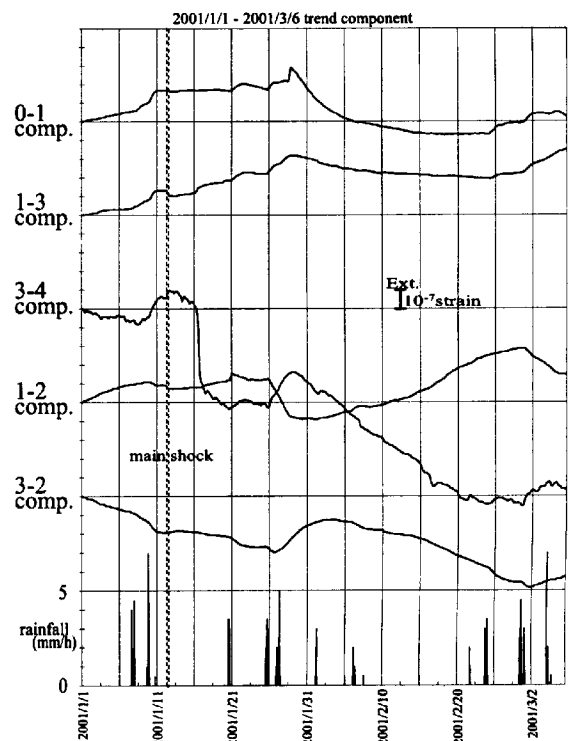


Fig. 6-2 Reduced strain variations obtained by extracting tidal variation by applying BAYTAP-G.

但し、0-1 区間で観測された記録は、本震前後で変動方向が正反対になっている。また、1-2 区間、3-2 区間では、余効変動と思われる変動パターンも認められる。今後、潮汐成分を取り除いた上で、それらの出現メカニズムを詳しく検討する必要がある。

伸縮計の精度面においては、基準尺長がすべて数 m と短いにも関わらず、Fig.6-1,-2, Fig.7-1 で見られるように、地球潮汐が明瞭に記録されていることから、現時点では大沢観測坑道における伸縮計観測は、概ね良い精度が得られていると考えられる。

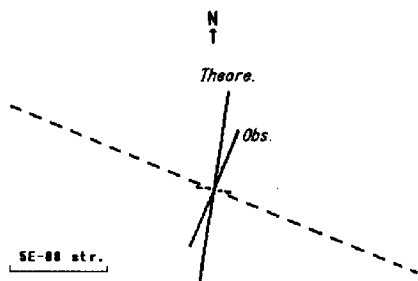


Fig. 8 Principal strain patterns for both theoretical and observed ones. Solid lines denote extension and dotted lines, contraction.

6. まとめ、今後の予定

坑道掘削による応力の再配分により、記録が安定しない状況が数ヶ月続いたが、2000 年 12 月頃より安定した状態に入ったと考えられる。3-4 区間については、機器の異常等も考えられる。それ以外の区間については、概ね良好な観測結果が得られている、と考えられる。

今後は、気圧計、雨量計、坑内温度計、気温計等を設置し、気象による要因を可能な限り取り除いた上で解析を行う。また、安富観測坑道の記録についても、気象による要因を取り除く。それらの後、断層破砕帯内部で測定している安富の記録と、断層破砕帯の影響を受けずに周辺の応力をほぼ忠実に示していると考えられる大沢の記録を比較し、破砕帯由来の変動成分を抽出することによって、断層破砕帯の特徴的挙動に関する新たな情報を得る事ができると考えている。

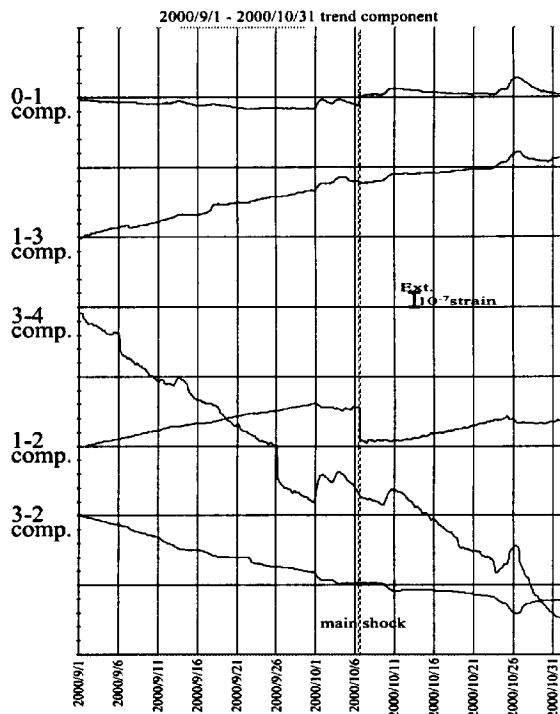


Fig.7-1 Strain variations before and after the Tottori-ken Seibu earthquake on Oct. 6th, 2000. Tidal variations have been reduced by using BAYTAP-G.

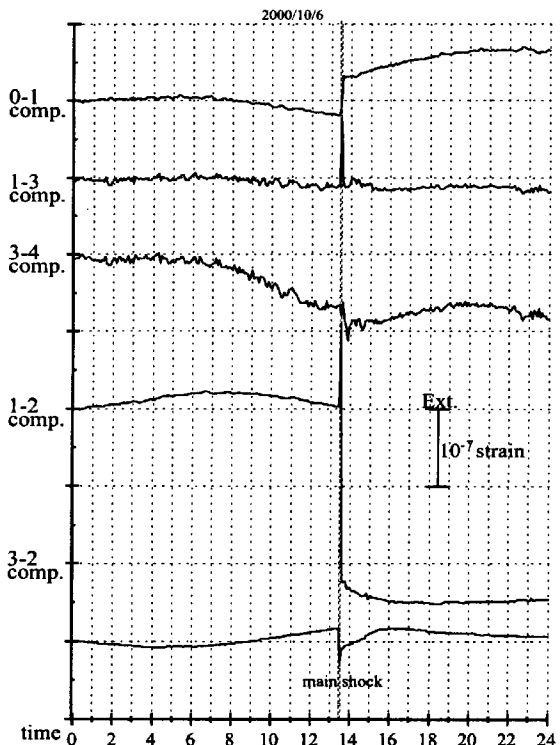


Fig.7-2 Strain steps correspond to Tottori-ken Seibu earthquake. Total length of the record is one day.

謝 辞

山崎地震観測施設坑道内での観測開始にあたり、科学技術庁防災科学研究所（当時）のご高配をいただきましたこと、また、西播磨市町長会をはじめ地元関係諸機関のご協力を頂いておりますことに、感謝いたします。産業技術研究所の小泉尚嗣博士には気象データの提供を頂きました。また、防災研究所地震予知研究センターの皆様には、計器の製作・設置とご議論に多大のお世話になりました。BAYTAP-G 解析には、産業技術研究所の WEB による解析システムを利用させていただきました。各位に深甚なる感謝の意を表します。

参考文献

- 国土地理院（2000）；平成 12 年 6 月鳥取県西部地震に伴う地殻変動と断層モデル，第 140 回地震予知連絡会資料，トビックス資料，pp.40.
- 住友則彦・渡辺邦彦（2000）：山崎断層の総合観測体制の整備，西播磨地域地震防災研究会報告書
- 福井謙三（1981）：山崎断層系の変位地形，地理学評論，54-5，pp.196-213.
- Ishiguro, M., H. Akaike, M. Ooe and S. Nakai (1981) : A Bayesian Approach to the Analysis of Earth Tides, Proc. 9th Int. Sympos. Earth Tides, New York, pp/283-292
- Tamura, Y., T. Sato. M. Ooe and M. Ishiguro(1991): A Procedure for Tidal Analysis with a Bayesian Information Criterion, Geophys. J. Int., Vol. 104, pp.507-516
- Watanabe, K. (1991a) : Strain Variations of the Yamasaki Fault Zone, Southwest Japan, Derived from Extensometer Observations, Part 1 -On the Long-term Strain Variations-, Bull. D.P.R.I., Kyoto Univ., Vol. 41, pp.29-52.
- Watanabe, K. (1991a) : Strain Variations of the Yamasaki Fault Zone, Southwest Japan, Derived from Extensometer Observations, Part 2 -On the Short-term Strain Variations Derived from Strain Steps-, Bull. D.P.R.I., Kyoto Univ., Vol.41, pp.53-85.

Extensometer observation at Osawa area on the Yamasaki Fault

Satoshi ITABA, Shigemitsu MATSUO, Teruyuki ASADA
Yasuo WADA, Kunihiko WATANABE, Hiroaki NEGISHI*

*National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

Synopsis

The Yamasaki observation station of broad band seismograph has been established in Osawa area, Yamasaki-town, Hyogo-prefecture. Through the courtesy of the National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, then Science and Technology Agency, we installed an extensometer system with 5 displacement sensors in 3 directions in the tunnel and started observation from July, 2000. This observation station is settled in comparatively homogeneous tuff braccia. The observation station is apart 3 km in northeast direction from the east end of the Ohara Fault. This station is located about 20 km northwest from the Yamasaki Fault observation station (Yasutomi-town), where the fracture zone observation by extensometers has been carried out since 1975. We aim to extract characteristic behavior of the fracture zone by comparing both observation facilities.

Key words : Yamasaki fault, extensometer, strain, Tottori-ken seibu earthquake,
BAYTAP-G