

北陸域の最近の地震数と伸縮計記録

竹内文朗⁽¹⁾・澁谷拓郎・大谷文夫⁽¹⁾・
松村一男⁽¹⁾・西上欽也・平野憲雄⁽¹⁾・岡本拓夫⁽²⁾

(1) 京都大学防災研究所地震予知研究センター退職

(2) 福井工業高等専門学校

要 旨

北陸観測所は1970年にスタートし、1976年から7観測点での微小地震記録がテレメータ化され北陸観測所へオンラインデータが集まった。京都大学の他の観測所データも含め1990年代には宇治に集中され、1997年10月からは気象庁一元化データとしてまとめられた。一方、地殻変動観測機器として、2005年10月以後、北陸観測所至近距離の坑道に3成分の伸縮計が設置された。現在、6年余りの観測が続き、2007年末、2008年末の2度、伸縮記録に大きな変化が表れ、国土地理院のGPS観測から得られたstrain rateとも調和的である事がわかった。伸縮計出力の時間変化は、 $M \geq 6.5$ の起こった年と関連する様に見えた。

キーワード： 北陸域， 震源， b値， 伸縮計， GPS

1. はじめに

1970年に開始した北陸微小地震観測所は1990年に北陸観測所となり、現在に至る。当初はドラム式地震観測や近傍のトンネルでの地殻変動の諸観測がなされた。1976年からテレメータ式地震観測が始まり、北陸観測所を初め6衛星点からの微小地震観測データが、宇治へ送付される様になった。また、北陸観測所では、2005年10月に3成分の伸縮計を置き、地殻変動の観測を始めた。地震観測やb値については、(渡辺ら，1978；竹内・平野，1979；竹内，1983；竹内・平野，1985；竹内ら，2006；竹内ら，2009)等がある。今回は観測から6年を迎えた伸縮計記録の特徴について、地震数の変化と比べつつ記しておきたい。

2. データ

今回の主たる目的は北陸域での地震数の変化と、伸縮計変化の比較である。地震数については、1976年～1998年はTHANKSデータを用い、1999年～2012年04月は気象庁一元化データを利用した。THANKSは、京大防災研究所の4つの観測所である鳥取、北陸、

阿武山、上宝が各観測データから求めた震源データをつなぎ合わせたものである。また、後半の1999年～2012年04月の気象庁一元化データについては、その震源データを利用した。いずれも緯度 $35^{\circ} \sim 37^{\circ}$ ，経度 $135.5^{\circ} \sim 137^{\circ}$ ，深さ $0 \sim 30$ km， $Mag \geq 1.5$ を用いた。この範囲で、THANKSからは18,500余個、気象庁一元化からは4,400余個の地震がえられ、以下に使用した。Fig.1 は、これらの条件下の地震分布をマグニチュードに合せて黒丸で描いた。また、松村によるb値の近傍との地震数の変化の相関が高い地域を選ぶ方法を用いた。更に、これに該当しなくとも、地震数の多い地域を目測で追加し、Fig.1の橙色の5領域を選んだ。b値に関しては今回も検討したが、地震データが36年間以上あるのに対し、伸縮計のそれが短いことから、単純に地震数を見るにとどめた。

伸縮計は2005年10月半ばに北陸観測所そばのトンネルにセットした、長さ7mの3成分を利用した。概要は(竹内ら，2006)に記した。それ以後の変更点は、データロガーがDATAMARK社LS3000から、RL4220に変わった事、各チャンネルにハイパスフィルターが加えられた事、等である。伸縮計感度は変らない、この他に、気圧、気温、雨量が使用されていて、特に雨量計は木の葉の多い所から移動させた。

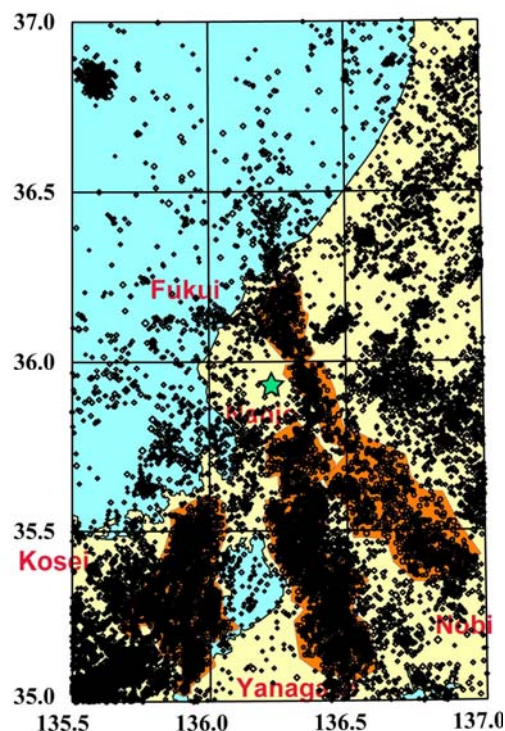


Fig.1 Map of epicenters, Jan., 1976 – Apr., 2012, $M \geq 1.5$, $D \leq 30\text{km}$ (brack) Total number equals to 22, 95.★ is the point of Hokuriku Observatory. Five orange regions show the studied areas.

3. 地震の数

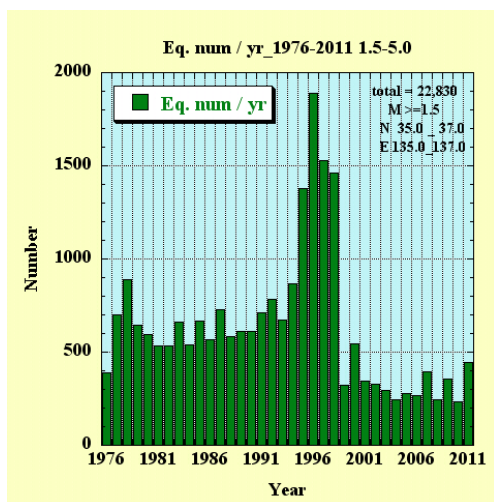


Fig.2 Yearly number of earthquakes $M \geq 1.5$ in all region shown in Fig.1. We used the THANKS data from 1976 to 1998, and Kishouchou Ichigenka data from Jan., 1999 to Apr., 2012.

Fig.2 は、2. のデータで述べた地震の一年分の合計数を示す。 M は ≥ 1.5 で、2011年までをプロットしている。地震数は特徴は、1981年から増え始め、兵庫県南部地震の1995から激しく増加し、翌1996年が最大である。更に1998年まで発生数は平年の2倍を超える。1999年以後は、気象庁一元化に方式が変わり、直接的比較はできないが、徐々に減少気味である。

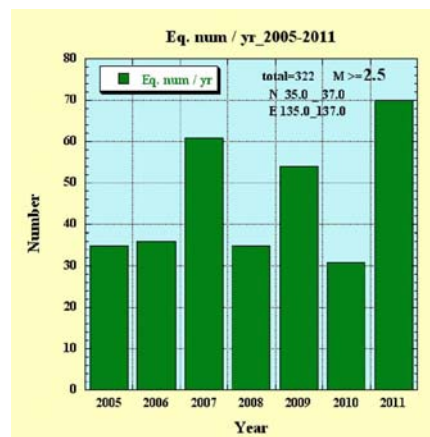


Fig.3 Yearly number of earthquakes $M \geq 2.5$ in the whole region shown in Fig.1. However, the plotted time is only after 2005, when the extensometers near the Hokuriku observatory started to work.

Fig.3 では 2005年以後の $M \geq 2.5$ の数を示した。以下に示す伸縮計等の図に合せて描いたものである。特徴として、2007年、2009年、2011年が多く見える。これはFig.2 の $M \geq 1.5$ でも同様である。2005年～2011年には比較的浅い $M \geq 6.5$ の地震として、2007年3月の能登半島 ($M6.9$)、同7月の新潟県中越沖地震 ($M6.8$)、2009年8月の駿河湾 ($M6.5$) がある。更にやや遠方ながらも 2011年3月には東北地方太平洋沖地震 ($M9.0$) が発生した年である。

次に、Fig.1 で示した範囲の $M \geq 2.5$ 地震につき、時間- M 図を示す (Fig.4)。上述の5つの地域とtotal域での時間変化が見られる。領域により、地震数の多少がある。各域でそれぞれ2000年以降地震数が少なくなり、時おり年単位で地震が多く発生する様にも見える。 M を大きくとったため、THANKS と気象庁一元化の違いは少ないと思われるが。だとすれば、2000年以後は、どの域も以前より地震発生数が少ないと思われる。

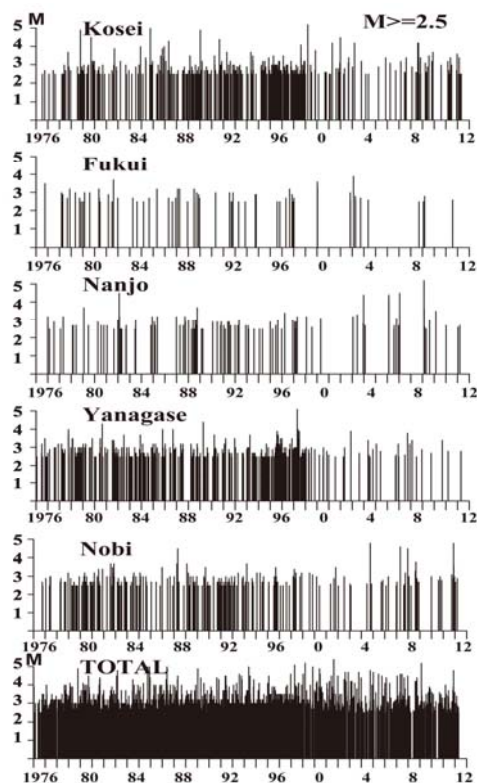


Fig.4 Time-magnitude distribution for $M \geq 2.5$ earthquakes in 5 regions and total area from 1976-Apr., 2012.

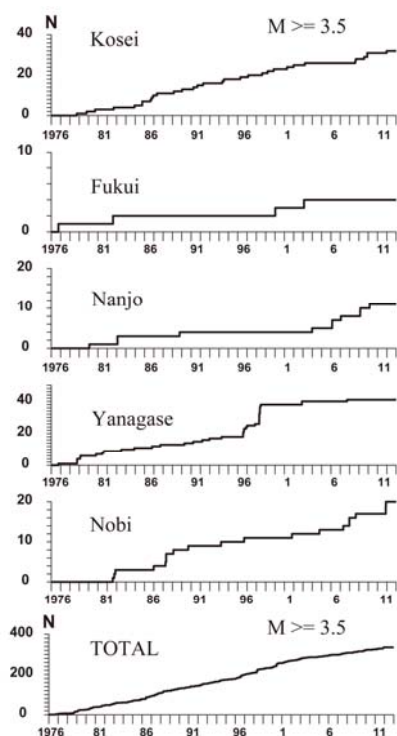


Fig.5 Cumulative nonber of earthquakes for $M \geq 3.5$ in 5 regions and total area from 1976-Apr., 2012.

Fig.5 は、1976年～2012年4月の $M \geq 3.5$ について蓄積地震数を示したものである。 M の大きな地震に関しても地域によりトータルの地震数が異なる。 $M \geq 3.5$ と大きい地震を対象にしているので、観測精度は各域で均等と思われる。

Kosei : 1976-2003 は、 $M \geq 3.5$ の地震については、ほぼ均等に発生している。2003年～2007年では特に発生はなく、ここ数年には再び以前のような発生を見せている。

Fukui : 1948年6月に福井地震 ($M7.1$) が発生した域である。 $M \geq 3.5$ の地震は全年を通じて4回しか起こっていない。現在も2003年以後は発生を見ていない。

Nanjo : 南条は、濃尾地震断層の西方で柳ヶ瀬断層との中間部にあたり、小面積域である。しかし2003年以後、大きめの地震が幾度も発生している。Fig.4で見ると、2000年以後のこの域には $M3$ 程度までの地震は、それ以前より少なめに見えた。しかし、 $M3.5$ 程度以上は2003年末以後、目立って多発している。隣接のNobiとやや似ているが、同じく隣接のYanagase とは異なって見える。

Yanagase : 1996～1998年に大きめの地震が多発している。しかし、それ以後は、1976～1996における通常の発生率の $1/2 \sim 1/3$ 程度の発生率を示すにとどまっている。

Nobi: 1891年に発生した濃尾地震域の一部と考えられる。ここも2007年から最近まで、 $M \geq 3.5$ の地震はやや多く発生している様にみえる。

Total: 全域を見ると、1980年以後、ほぼ同率で増えて来た $M \geq 3.5$ の地震が、1996年頃から発生率が増え、ここ数年で元の率に戻った感がある。なお、ここでは $M3.5$ 以上に注目したため、観測精度の変化は一定と考える。

以上から、兵庫県南部地震以後の各域の $M \geq 3.5$ の地震数を見ると、Yanagase, Fukui, Nanjo, Nobi の順に目立つ増加があった様に見える。

4. 地殻変動データ



Fig.6 Ext.1, Ext.2, Ext.3 show the outputs of the extensometers.
 Blue : original data. Thin blue : average from extents for ± 0.5 yr.
 Red: least mean square.

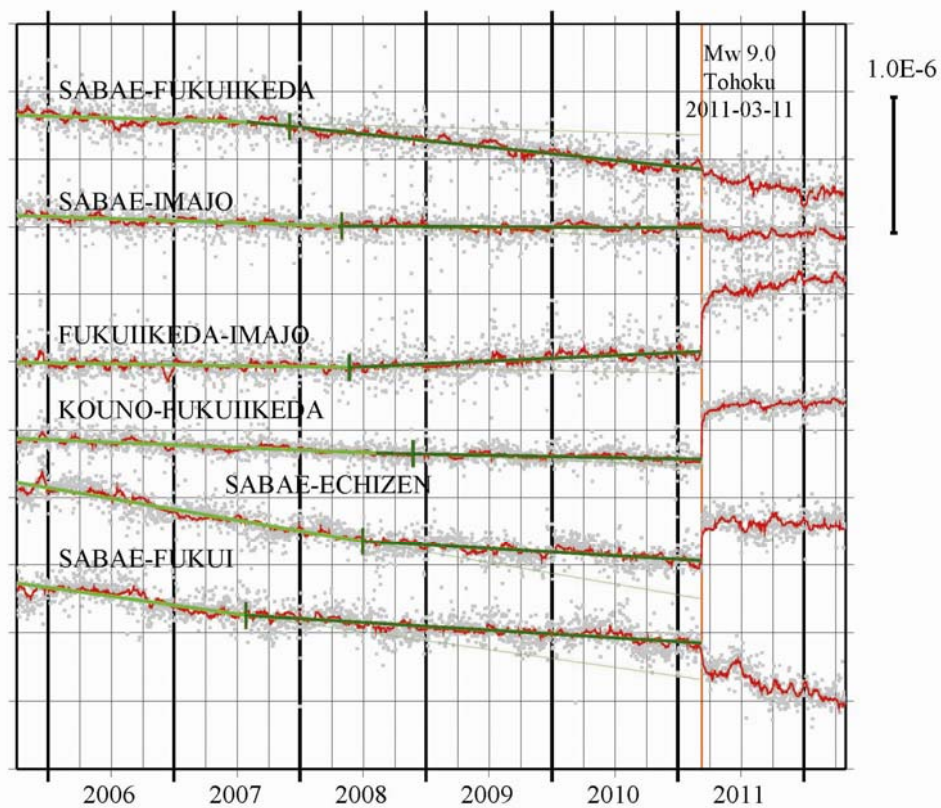


Fig.7 Baseline strain calculated from the GPS output data by the Geospatial Information Authority of Japan.

Fig.6 は2005年10月に北陸観測所坑道 (Fig.1の★) 内に設置した伸縮計 (竹内ら, 2006) の記録である。上から3成分が伸縮計の出力で、青色の振幅の大きいものが生波形、細い青が ± 0.5 年の平均値、赤は、細い青線一成分を3直線で代表的に表示したものである。なお、3直線は最小2乗法で求めた。赤に注目すると、3成分とも、おおむね2006-2007, 2008, 2009-2011 (年) に異なる傾きであらわされる。これは Fig.3 の地震数変化と深く関連する様に見える。

Bar. Press. は気圧計出力で、6年間を通じてほぼ1,000-1025 hPa に治まっている。

Temp は気温で、2008年から2010年まで $0.25^\circ/\text{年}$ 程度下がっている。それ以後も下降気味であるが、率は小さくなっている。

最下部のPrecp.は雨量である。2009年の大半は欠測で、2010年後半からも観測機器の不調が続いた。

Fig.7 は国土地理院のGPSデータを用いて、必要な2点間の歪変化をプロットした。横軸は伸縮計に合せ、2005年10月-2012年4月とした。(測点位置はFig.8に示す。)

この図では、データのプロットは、淡い灰色が生データ、赤線は、当日と ± 10 日の計21日データの中央値である。細い緑の直線は、各成分を2直線に近似したもので、作成方法は伸縮計と同様、最小二乗近似である。GPSの SABAE 電子基準点は伸縮計の置かれたトンネル (Fig.9 の■) から数kmにある。上部3記録は Fig.9 の太い赤△ (ほぼ正三角形) で解る様に、北陸観測点の伸縮計を取り囲んでいる。下から3成分は参考には使用したが、内容には特に触れない。各成分に付けた縦緑線は、赤線のデータを代表2直線で表した区切り部分を表す。これらは伸縮計と同様、2008年内に変化が見られ、2009年以後には特に認められなかった。

2011年3月の東北地方太平洋沖地震 (M9.0) による振幅は最大 5×10^{-7} 程度で伸縮計のそれと同程度である。

Photo 1 はSABAE 電子基準点を遠方から眺めたものである。この写真は基準点付近が安定した状況であることを示すもので、現地で目視確認した際、撮影したものである (2012年2月森井と細, 撮影)。目視時、積雪があり細部は不明であるが、近傍には特段な異常もなく、結果は良好と判断した。赤い実

線は、以下主ひずみ計算に用いたlineである。

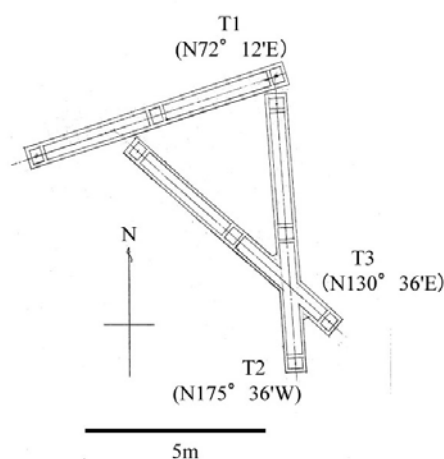


Fig.8 The extensometers set near the Hokuriku observatory. Their lengths are 7m. Observation directions of the instruments are shown in the figure.



Fig.9 3 big red points : permanent GPS monuments that we used in this study. Black square : Hokuriku observatory in which tunnel the extensometers are set.



Photo 1 SABAE permanent GPS monument. See from North to South. (Photo by Morii and Hoso, 2012)

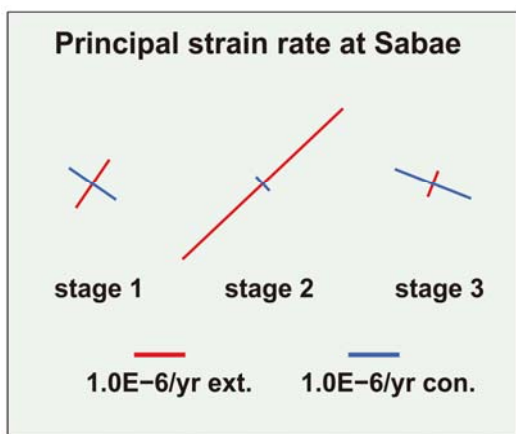


Fig.10 Maximum principal strain calculated from the extensometers in the Hokuriku Observatory tunnel, from Oct., 2005 to Apr., 2012.

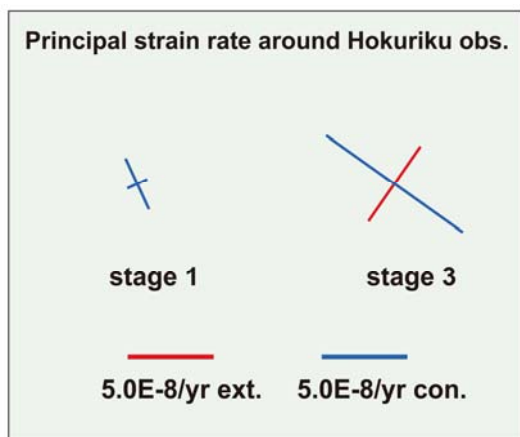


Fig.11 Maximum principal strain calculated from the GPS, named SABAE, FUKUIKEDA, and IMAJOU, from Oct., 2005 to Apr., 2012.

Fig.10 は北陸観測所の伸縮計出力 3 成分から、Fig.6 に示した 3 期に分けて主歪 2 成分を計算したものである。従って、stage1 と stage2 の区切りは 2008 年初め、stage2 と stage3 の区切りは 2009 年初めである。これに対し、Fig.11 は、Fig.7 で示した国土地理院の GPS 記録から得た 2 つの stage での主歪を示し、2008 年前半とそれ以後に分けられている。Fig.10 における stage1 は Fig.11 での stage1 に対応し、Fig.10 の stage2 と stage3 は、併せて Fig.11 での stage3 が対応する。各 stage に於ける strain rate の増減は、図に大きな×印で表されている。strain rate の変化のプラスは赤、マイナスは青で表されている。

5. 検討

北陸観測所(鯖江)の年あたり歪をFig.6 で見ると、2008年1年間程度は大きな変化であった。2009年以後は、2008年以前と同程度に戻る。気温は補正無しであるが、2008年以後減少し、2008-2009 年が最もきつく0.3°程度低下した。そこで伸縮の参考のため、目視ながら stage2, stage3の合計をFig.11でGPSの同期 stage3と比較すると、両者はよく似通う。

Fig.9 の SABAE-IMAJO, KOUNO-FUKUIKEDA はほぼ直交し、いずれも主歪解の節線方向に近く、歪変化量が小さくなっている (Fig.7)。更に、KOUNO-FUKUIKEDA は主歪計算に使用しておらず、Fig.11 の右方stage3とは独立量で、調和的である。

<SABAE>点を含む測線では、2007年～2008年に、歪速度の不連続な変化が大きい。特に対向する FUKUI-SABAE-FUKUIKEDA を見ると、FUKUI 側は歪速度減少、FUKUIKEDA 側が増加となっており、<SABAE>点のローカルな不安定が懸念された。しかし幸い<SABAE>点とは独立な測点を持つ FUKUIKEDA-IMAJO でも明瞭な変化が見られ、よって数十 km 程度の範囲で歪速度変化が生じ、<SABAE>はその動きを示したと考えた。なお、<SABAE>の安定度は目視で確認した。(Photo 1)

6. まとめ

地震活動について、主な 5 域の時間変化を $M \geq 2.5$ で見た。全般に地震数は 2000 年以降少ない。より均等と思われる $M \geq 3.5$ についても全域では同様に減少している。ただし、Nanjo, Nobi はここ数年多発している。

地殻変動では北陸観測所の伸縮計の動きが近傍の GPS 3 点からの結果と似通っている事が示された。

謝辞

震源データは、京大防災研、及び気象庁一元化のものを使用させて頂きました。地殻変動に関しては、京大の伸縮計、国土地理院の GPS データを利用させて頂きました。関係各位に感謝致します。

参考文献

竹内文朗・平野憲雄(1979) : 北陸地方南部の地殻構造について, 京都大学防災研究所年報, 第 22 号 B-1, pp.1-10.
竹内文朗 (1983) 北陸地方の微小地震活動の特徴について (その 2) : 京都大学防災研究所年報, 第26 号B-1, pp.145-151.
竹内文朗・平野憲(1985) : 北陸微小地震観測所の震源マップの概要について, 京都大学防災研究所年報, 第28号B-1, pp.157-170.

竹内文朗・大谷文夫・森井 互・尾上謙介・細 善信・和田安男・園田保美(2006) : 北陸観測所トンネルの伸縮計設置, 京都大学防災研究所年報, 第 49号B, pp.239-243.

竹内文朗・澁谷拓郎・松村一男・岡本拓夫(2009) : 北陸観測所30年間の地震観測(2) — b値の時間変化 —, 京都大学防災研究所年報, 第52号B, pp.263-268.
渡辺邦彦・平野憲雄・岸本兆方(1978) : 北陸地方のサイスミシティ, 地震Ⅱ, 第31巻 第1号, pp.35-47.

(論文受理日 : 2012年6月8日)

Microearthquake number in these years in the Hokuriku area and the extensometer observation in the Hokuriku Observatory

Fumiaki TAKEUCHI⁽¹⁾, Takuo SHIBUTANI, Fumio OHYA⁽¹⁾, Kazuo MATSUMURA⁽¹⁾, Kin'ya NISHIGAMI, Norio HIRANO⁽¹⁾ and Takuo OKAMOTO⁽²⁾

(1) Retired

(2) Fukui National College of Technology

Synopsis

The Hokuriku Observatory started in 1970. After 1976, microearthquake data from each satellite station started to be sent to the observatory to by telemeters. After Oct., 1997, the Japan Meteorological Agency started the Ichigenka system, and our data also began to be used.

From Oct., 2005, we set 3 directional extensometers in the tunnel near to the Hokuriku Observatory. The maximum principal strains shown by the extensometers were similar to the GPS data of Geospatial Information Authority of Japan.

Keywords : Hokuriku region, epicenter, b-value, extensometer, GPS