

## 山崎断層うすづく観測井における 地震前後の電気抵抗変化

東京大学地震研究所 {吉野登志男  
行武毅

(昭和 60 年 7 月 30 日受理)

### 要 旨

兵庫県の山崎断層のうすづくに掘られたボーリング孔 130 mmφ、深さ 20 m の観測井で、電気検層法による電気抵抗の時間変化の測定を 1979 年 10 月より実施している。1984 年 5 月 30 日に山崎断層に  $M$  5.6 の地震が発生した。この地震の前後の 1 日で約 2% の比抵抗変化が観測された。

### 1. 山崎断層における電気抵抗連続観測

山崎断層は兵庫県の山崎町を中心として、北西-南東方向に約 80 km にわたって延びる左横ずれの活断層である (活断層研究会, 1980)。

観測井は山崎から福崎へ向かって延びる  $S70^{\circ}E$  方向の断層線上の、山崎から約 7 km の所にある。1984 年 5 月 30 日 9 時 40 分に山崎断層のほぼ直下深さ 17 km に、 $M$  5.6 の地震が発生した。震央は観測井から南西約 3 km の所である。観測井及び震央の位置を Fig. 1 に示す。

この断層では 1947 年に  $M$  5.2, 1961 年に  $M$  5.9, 1973 年に  $M$  5.1 の地震が起っており、今回の地震の規模は過去 40 年間では 1961 年の  $M$  5.9 に次ぐものである。

今回の地震の地震活動現象をみると、次の様である (佃, 1985)

1) 1982 年後半に、今回の地震の震源域の真上の深さ 6 km のところに  $M$  2 クラスの群発地震が発生した。

2) 1983 年の約 1 年間は、山崎断層全体として活動が非常に低調であったが、今回の地震の震源付近の直径 20 km の範囲は  $M \geq 1$  の地震が 1 回も無い、ほとんど完全な地震空白域が形成されていた。

3) 今回の地震の数箇月前には、山崎断層東端周辺に集中した活動があつた。約 1 箇月前には、先に述べた空白域の南縁で  $M$  2 の活動があり、直前の 3~4 日前には今回の地震とほぼ同じ場所に本震と直接関連していると見なされる前震が 4 回発生した。

われわれは地震活動に伴う電気抵抗変化の検出を目的として 1979 年 10 月からこの観測井で測定を実施してきた。ここでは、1981 年 2 月から今回の地震直後までの電気抵抗変化について報告する。

観測井の底部には Fig. 2 に示すように電気検層用の電極 (鉛電極) を鉛直方向に設置

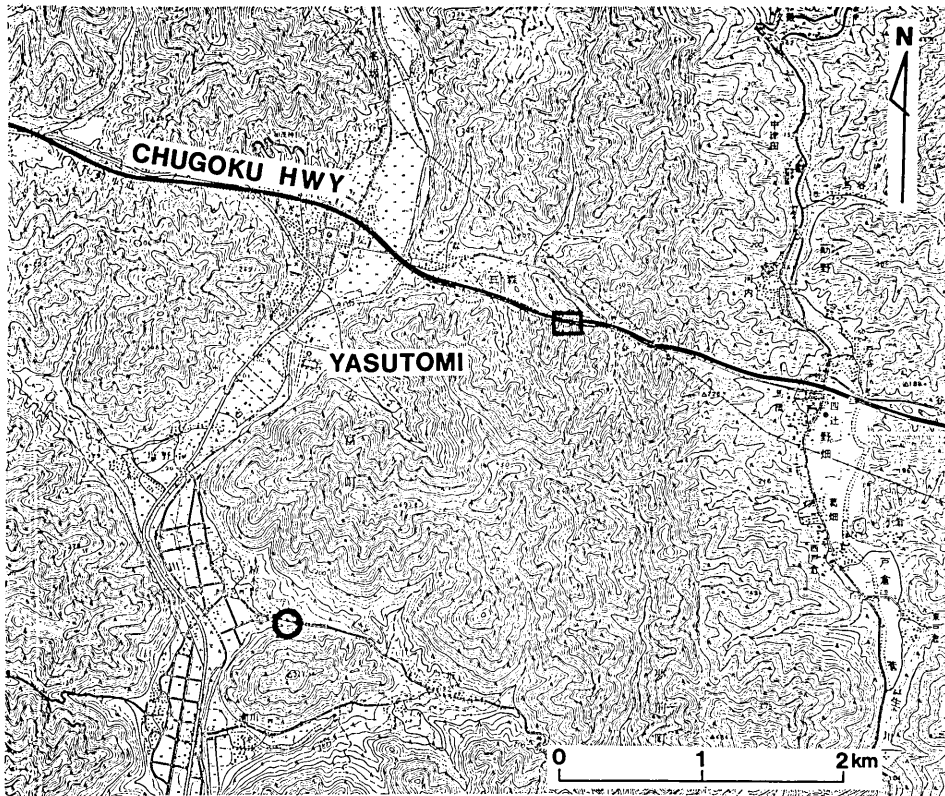


Fig. 1. Location of the observation bore hole and epicenter of the Earthquake of  $M 5.6$  on May 30, 1984. Rectangle: place of observation bore hole. Circle: epicenter of Earthquake.

固定してある。地上の電流電極  $I_0$  と坑井内の電流電極  $I_1$  に周期 10 秒の矩形波で 10 mA の一定電流を 1 日の特定の時間帯のみ送信器より流す。その時の電位電極間  $V_1-V_2$  又は  $V_3-V_2$  の電位を測定することにより、電位電極の深さでの地層の比抵抗値を求めている。電気検層法で得られる見かけ比抵抗値は、電極周辺の地層の比抵抗を反映しているだけでなく、坑井中の泥水の比抵抗の影響をも含んでいる。見かけ比抵抗と真の比抵抗との関係を表わす偏差曲線が、種々の坑井半径、電極間隔について計算されている(山口, 1962)。その結果によると、現在の観測システムによつて得られる見かけ比抵抗は周辺地層の比抵抗より約 20% 大きくなる。現在のシステムは、この見かけ比抵抗値の日々の変化を観測していることになる。

測定の実理や電極、送信器、受信装置、記録装置等についてはすでに詳しく報告している(吉野・行武, 1981) ので、ここでは省略する。

## 2. 見かけ比抵抗変化

1981 年 2 月から 1985 年 3 月までの観測結果を示したのが Fig. 3~5 である。各々

の図で上のグラフは電位電極間の電位差から算出した1日毎の見かけ比抵抗値をプロットしたものである。これらの値は1979年10月初めの値を基準にして正規化してある。1981年2月1日から同年10月11日までは2時45分から6時15分まで測定を行った。1981年10月12日以降は1時45分から2時15分まで測定を実施している。図には測定を実施した時間帯内の平均値をプロットした。中間のグラフは京都大学防災研究所で測定中の観測井内の水位の変化を示したものである。毎日午前0時の値をプロットした。地表面から水面までの深さを表示したものである。下のグラフは1日当りの雨量を示したものである。1982年6月までは電位電極の組合せは $V_1-V_2$ で行っていたが、 $V_1$ の電位電極に異常を生じたため、同年7月24日以降は $V_3-V_2$ の組合せで測定を行っている。観測当初、組合せ $V_3-V_2$ と $V_1-V_2$ による電位差からそれぞれの見かけ比抵抗値を算出したところ、 $V_3-V_2$ は $V_1-V_2$ に比べ、見かけ比抵抗値は約1.9%低い値であった。

1981年2月から1982年6月までの観測結果をFig. 3に示す。見かけ比抵抗値は1981年2月から増加し、同年11月初めに2月に比べ約10%増えた。その後徐々に減少し1982年3月初めに極小となり、又増加に転じている。

Fig. 4は1982年7月から1984年6月までの観測結果である。見かけ比抵抗は1983年5月に同年初めに比べ約20%増加し、その後1984年初めまで減少の傾向を示している。同年5月初め頃から再び増加し始めた所で今回の地震が起きている。見かけ比抵抗が約20%増加した1983年は、今回の地震の震源付近の直径20kmの範囲は $M \geq 1$ の地震が1回もない、ほとんど完全に地震空白域が形成された時期である。

1984年7月から1985年3月までの観測結果をFig. 5に示す。この期間の見かけ比抵抗の変化は5%程度で大きな変化はみられない。

地震前後の見かけ比抵抗の変化を詳しくみるために1984年4月20日から6月30

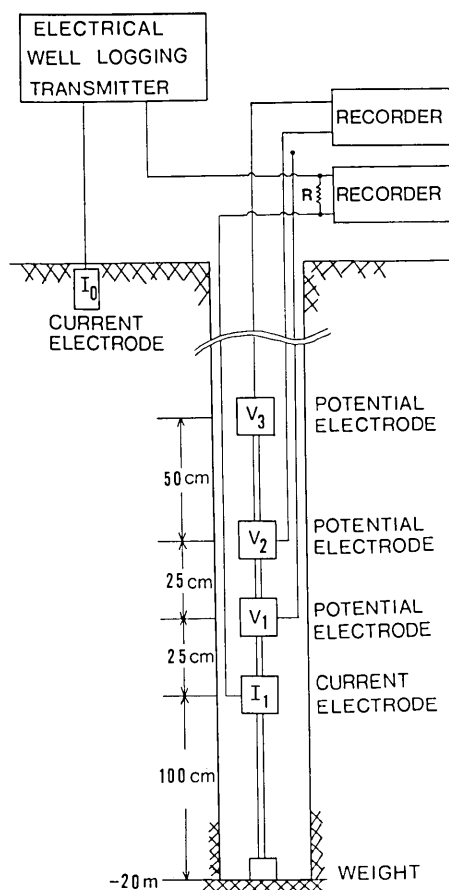


Fig. 2. Block diagram of the whole system of earth resistivity measurement.

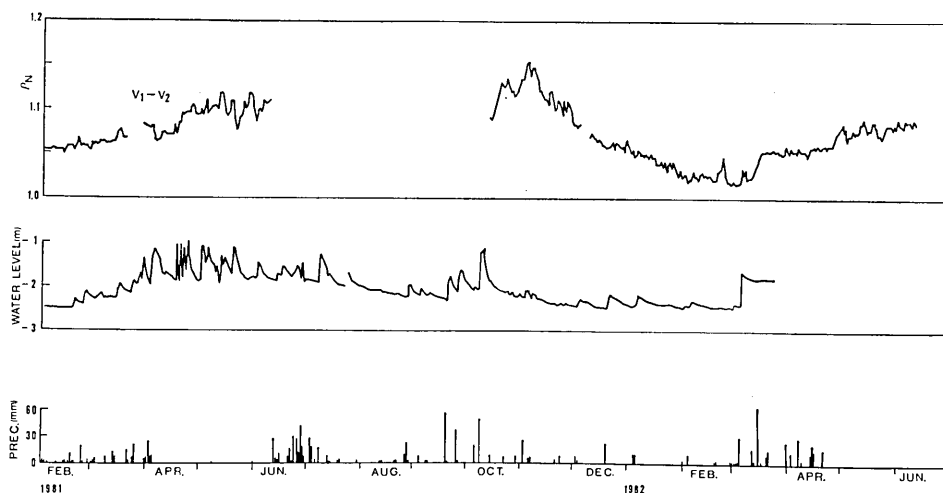


Fig. 3. Variations of the apparent resistivity normalized by the value on October 4, 1979, water level in the observation bore hole and precipitation from February, 1981 to June, 1982.

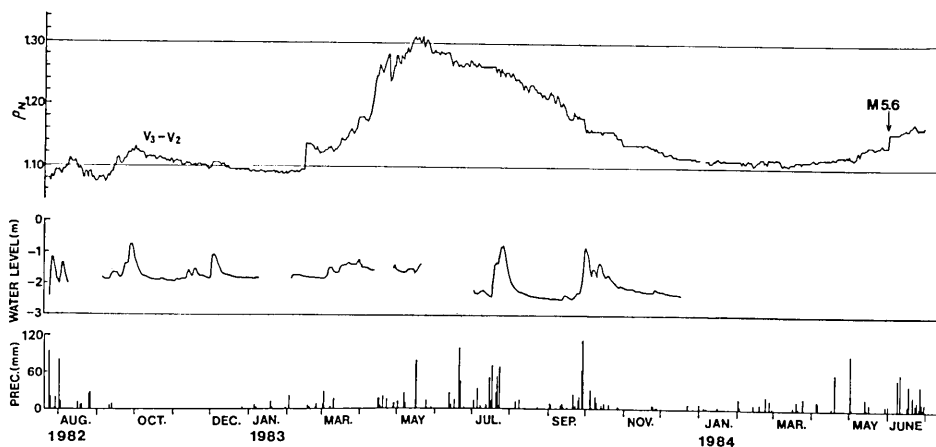


Fig. 4. Variations of the apparent resistivity, water level and precipitation from July, 1982 to June 1984.

日までの期間を拡大したのが Fig. 6 である。黒丸は 1 日毎の見かけ比抵抗値である。測定時間帯での測定値の平均値をその日の値とした。5 月 2 日から 5 月 14 日にかけて約 2% 増加し、その後ほぼ一定の水準にあつたが、地震の起る直前の 5 月 30 日午前 2 時と、地震発生後の 5 月 31 日午前 2 時との間で約 2% の見かけ比抵抗の増加が観測された。また、地震前 5 日間と地震後の 9 日間は、0.5% の精度で一定値が続いた。

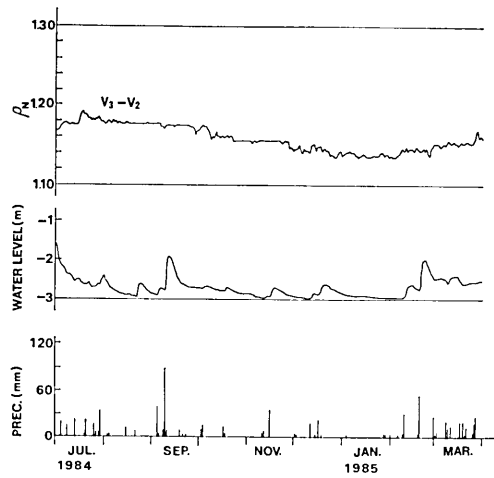


Fig. 5. Variations of the apparent resistivity, water level and precipitation from July, 1984 to March, 1985.

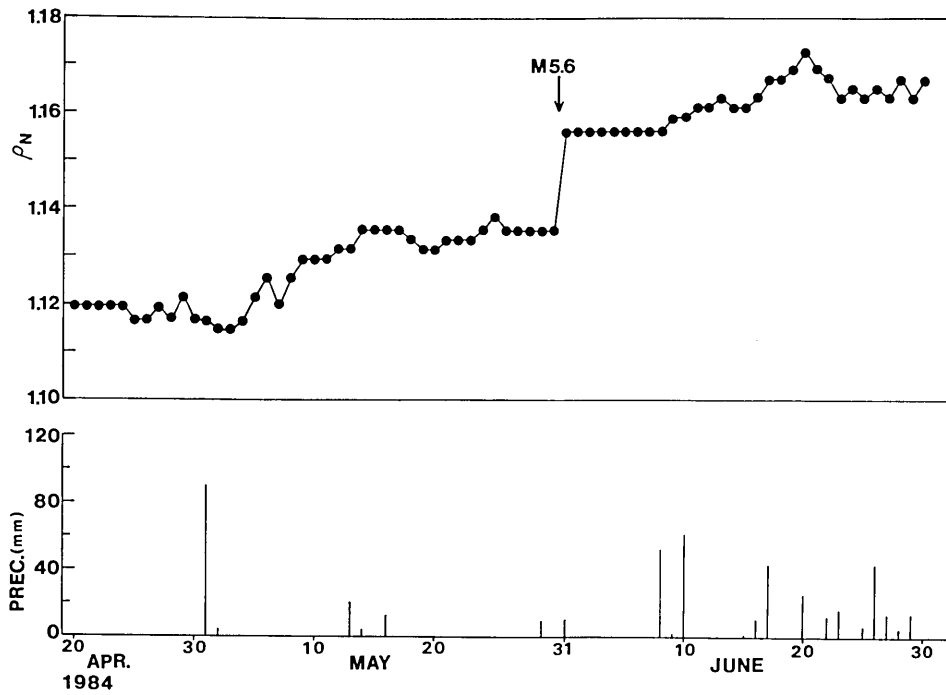


Fig. 6. Variations of the apparent resistivity and precipitation from April 20 to June 30, 1984. About 2% increase of apparent resistivity was observed during one day before and one day after the earthquake. Gradual increase started in early May.

### 3. 考 察

観測井の近くでは、水平方向に電流を流し、断層の見かけ比抵抗変化を測定している(住友, 1985)が、断層に平行に電流を流した場合の見かけ比抵抗が増加に転じたのが5月初旬である。Fig. 6 にみられるように観測井内の見かけ比抵抗もこの時期より増加を始めている。いずれも比抵抗が増加する方向に変化している。

この時期は、空白域の南縁で  $M 2$  の活動が起こる等、地震活動が活発化した時期に当るのは注目に値する。

電気検層法で得られる見かけ比抵抗値は、観測井の水位の変化や雨量に影響されるのでそれ等の関係を調べた。

見かけ比抵抗の変化量と水位の変化量の関係を Fig. 7 に示した。縦軸に見かけ比抵抗の変化量を横軸に水位の変化量をとつてプロットした。黒丸は 1980 年 3~9 月の測定結果で、ばらつきがみられるが水位が上昇すると見かけ比抵抗の増加する傾向が認められる。黒四角で示した 1982 年 9~10 月の期間についても同様の増加傾向が認められる。この期間の方が前期間より増え方が大きい。1981 年 3~6 月(黒三角)、1983 年 7~11 月(白丸)の期間は、水位が変化しても見かけ比抵抗は変化しない。水位と見かけ比抵抗の

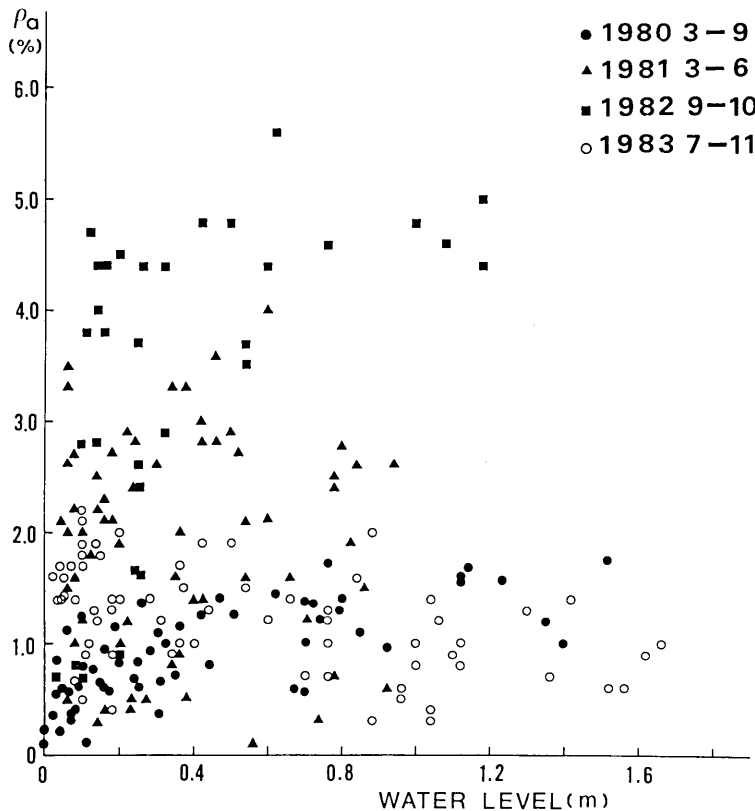


Fig. 7. Correlation between variation of the apparent resistivity and water level.

変化の仕方は時期によつて異なつた変化を示す。全体としてみると水位変化と見かけ比抵抗の間に、それ程よい相関は認められない。

一方短期的変化をみると、この観測井の北東数 10 m のところに深さ 8 m の地殻変動観測壕があり、地盤伸縮の連続観測が行われている。M 5.6 の地震の際に、この伸縮計に STRAIN STEP が観測された(渡辺ほか, 1985)。M 5.6 の本震による STEP 量は伸縮計各成分により異なるが、ほぼ  $2\sim 5.5 \times 10^{-6}$  の歪みであつた。地震時の見かけ比抵抗は Fig. 6 にみられるように増加しているのに対して、NW-SE, NE-SW 両方向の伸縮計とも縮みを示し、断層に平行な方向は伸びを示した。

岩石の電気抵抗は、適度に水を含む岩石を加圧すると、圧力とともに急激に電気抵抗が変化する(BRACE, 1975)。観測された見かけ比抵抗変化も、水を含んだ地盤に応力が作用したために生じたものである可能性が強い。

#### 4. 結 び

山崎断層のすぐ近くに掘られた深さ 20 m の観測井で、電気抵抗の時間変化の測定を実施しているが、1984 年 5 月 30 日に山崎断層で発生した M 5.6 の地震を挟んで、前後 1 日間で約 2% の比抵抗変化が観測された。また、5 月初め頃から抵抗が徐々に増加している。人工電位法による断層の平行な方向の見かけ比抵抗が増加に転じたのも 5 月初旬で、観測井内の見かけ比抵抗の増加の時期と一致している。観測井内の電気抵抗観測が、今回の地震の発生約 1 箇月前に地震の前兆的变化を捕らえていた可能性も否定できない。将来は深井戸を用いて同様の観測を行うことが重要と思われる。

#### 5. 謝 辞

この観測を実施するにあつて、秋田大学鉱山学部の乗富一雄教授(現在九州大学工学部)、京都大学防災研究所の岸本兆方教授、尾池和夫助教授の御協力を頂いた。また、同防災研究所の渡辺邦彦氏には水位、雨量、伸縮計等の観測資料を提供していただいた。日常の観測は安富町小学校教諭宇野琢哉氏の御協力によります。これらの皆様に深く感謝いたします。

#### 参 考 文 献

- BRACE, W. F., 1975, Dilatancy-related electrical resistivity changes in rocks, *Pure Appl. Geophys.*, 113, 207-217.
- 活断層研究会, 1980, 日本の活断層, 東京大学出版会, 238-239.
- 住友則彦, 1985, 電磁気諸観測, 月刊地球, 海洋出版, 7, 32-37.
- 佃 為成, 1985, 山崎断層の地震活動, 月刊地球, 海洋出版, 7, 9-15.
- 山口久之助, 1962, 比抵抗検層, さく泉の電気検層法, 昭晃堂, 13-23.
- 吉野登志男・行武 毅, 1981, 観測井を利用した山崎断層の比抵抗連続観測, 地震研究所彙報, 56, 603-621.
- 渡辺邦彦・尾池和夫・中村佳重郎, 1985, 破碎帯における地殻変動, 月刊地球, 海洋出版, 7, 57-62.

*Changes in Earth Resistivity in an Observation Bore Hole  
near the Yamasaki Fault Associated  
with an Earthquake of M 5.6*

Toshio YOSHINO and Takesi YUKUTAKE

Earthquake Research Institute

The electrical well logging method has been applied to continuous measurement of earth resistivity in a shallow observation bore hole which was drilled to a depth of 20 m near the Yamasaki fault.

A current electrode is installed at the surface and the other 1 m from the bottom of the bore hole (Fig. 2). Between the electrodes, electric currents of a rectangular wave form with an amplitude of 10 mA and a period of 10 seconds are applied. The potential difference is measured between the potential electrodes placed near the current electrode at the bottom and the apparent resistivity is computed from the potential difference.

An earthquake of *M* 5.6 occurred on May 30, 1984 about 3 km southwest of the bore hole. It was found that the apparent resistivity had changed about 2% during one day before and one day after the earthquake.