

29. 観測井を利用した山崎断層の比抵抗連続観測

東京大学地震研究所 { 吉野登志男
行武毅

(昭和56年7月30日受理)

1. ま え が き

地震に先立って地殻の電気抵抗が変化したという報告が、ソ連や中国でいくつかなされている¹⁾²⁾³⁾。これらは、人工電位法の双極子法を利用して得られたものである。地表面より地中に人工的に制御された電流を流し、同じく地表面で電流源より数 km 離れた地点で電位差を測定して、電気抵抗を求めたもので、地下 2~3 km の電気抵抗変化を反映したものと推定される。この方法では、電流電極と電位電極の間隔を拡げる程、地殻深部の電気抵抗が得られる。しかし、いかに間隔を拡げても、電極近くの地殻表層の影響が皆無とはいえない。また電極間隔を拡げるにしたがって、地中に大電流を流す必要が生じる。

ところで深井戸や坑井などを掘削する場合、いわゆる電気検層法によって鉛直方向の電気抵抗分布を調べるのが一般的である。この方法で得られる電気比抵抗は、電極を収めた電気検層用ゾンデの位置の地層の電気抵抗を反映しているから、電極を坑井内に固定して連続的に測定を実施すれば、電極の設置された深さの地層の電気抵抗変化を知ることができると考えられる。しかし、これまで地震に伴って変化したと報告されている電気抵抗変化は大きくて20%程度である。電気検層によって得られる電気抵抗の空間変化は、場所によって桁が異なるのが普通であるから、電気抵抗の時間変化の検出には通常電気検層による測定よりはるかに高精度の測定が必要となる。

ここでは、京都大学防災研究所によって兵庫県山崎断層に掘削された深さ 20 m の坑井を利用して、試験的に行なってきた電気抵抗連続測定について報告する。この観測井では同時に水位の測定も実施されている。またすぐ近くには、地殻変動観測壕があり、断層を横切って地盤の伸縮が測定されている⁴⁾⁵⁾。観測井の坑底で得られた電気抵抗変化を、これらの観測量と比較してみた。

2. 観 測 場 所

山崎断層は兵庫県の山崎町を中心として、西北西方向に約 80 km にわたって延びる活断層である。この断層は左横ずれの水平断層で、第四紀以降平均約 1 mm/年の速度で変位を続けてきたと推定されている⁶⁾。

この地域は活断層と地震活動の関連を調べるためのテストフィールドとして、各種の地球科学的観測が集中的に実施されている地域である。電気的構造調査は1975年~1978年に地球電磁気グループによって実施された⁷⁾。人工電位法、電磁誘導法等によって断層周辺の電気抵抗分布を調べた結果、断層沿いに 100~300 Ω -m 程度の低比抵抗帯が延びてい

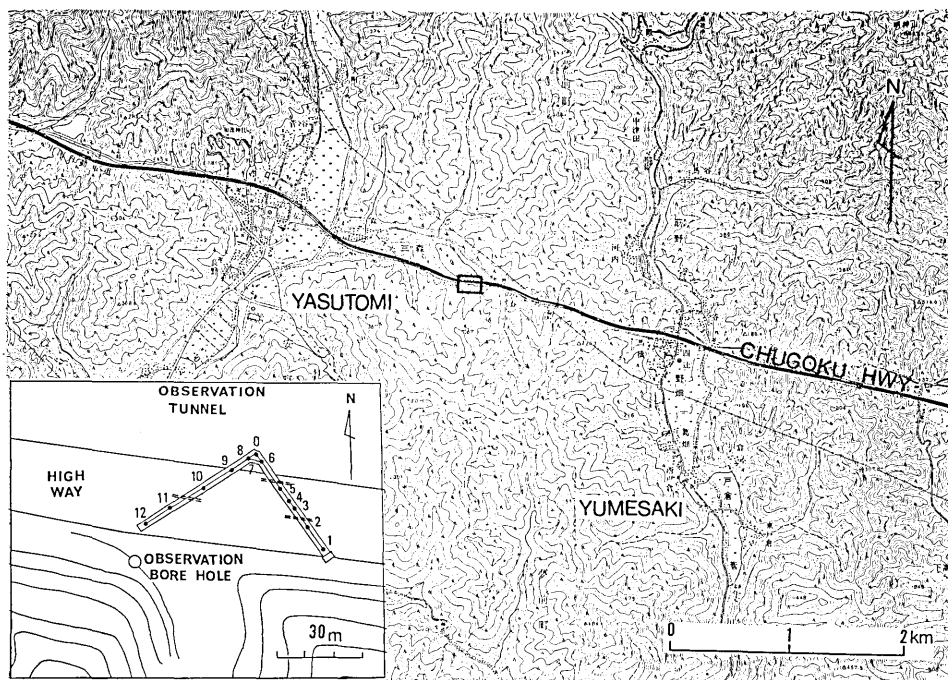


Fig. 1. Location of the observation bore hole and the tunnel where the extensometers are installed.

ることが明らかになった。

観測井は山崎から福崎へ向って延びる S 70°E 方向の断層線上の、山崎から約 7 km の所にある。この井戸から数 10 m 離れた所では、断層面を横切る伸縮変化の連続観測が行われている。観測井及び観測壕の位置を Fig. 1 に示す。

3. 観 測

3-1. 原 理

電気検層は、坑井内に電流電極と電位電極を降ろして、電流電極と近接する電位電極間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を求めるものである。電極配置には 2 極法（ノルマル配置）や 3 極法（ラテラル配置）などがあるが、この観測では Fig. 2 のように 3 極法を採用した。2 極法では電位電極の一端を地表に設置することになるが、この場合地表付近の電気抵抗変化が観測に影響を与えると想像されるからである。

電流電極 A, B 間に電流を流し、電位電極 MN 間の電位差を測定して見かけ比抵抗 ρ を求める。いま、電位電極 M 点における電位を V_M とすると

$$V_M = \frac{\rho I}{4\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) \quad (1)$$

である。同じく電極 N 点における電位 V_N は

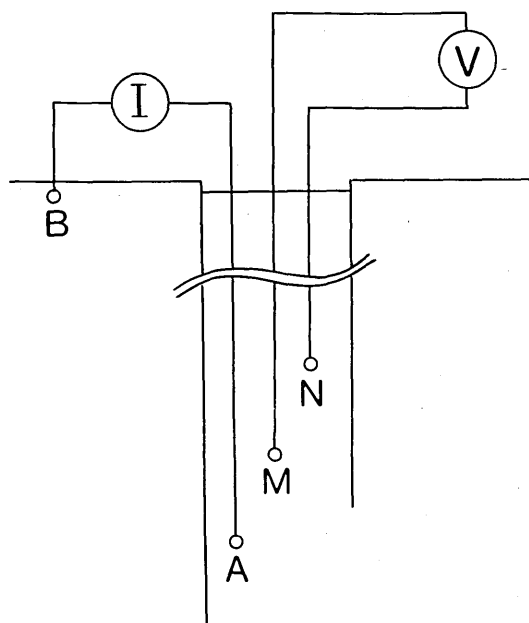


Fig. 2. Principle of the earth resistivity measurement by means of electrical well logging method.

A, B: current electrodes, M, N: potential electrodes

$$V_N = -\frac{\rho I}{4\pi} \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \quad (2)$$

で表わされる。これから電位電極 M, N 間の電位 V_{MN} は

$$V_{MN} = V_M - V_N = -\frac{\rho I}{4\pi} \left(\frac{1}{AM} + \frac{1}{BN} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} \right) \quad (3)$$

となる。

これより、見かけ比抵抗 ρ は

$$\rho = 4\pi \cdot \frac{1}{\left(\frac{1}{AM} + \frac{1}{BN} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} \right)} \cdot \frac{V_{MN}}{I} \quad (\Omega\text{-m}) \quad (4)$$

となる。電極間隔 AM , BM , AN , BN は既知なので、電流 I と電位電極間の電位 V_{MN} を測ることにより、見かけ比抵抗 ρ を求めることができる。ここで電流はアンペア (A), 電位はボルト (V) でそれぞれ表わす。

3-2. 電 極

観測を行なっている観測井の深さは 20 m で、孔の直径は 130 mm ϕ である。地上から 15 m までは 100 mm ϕ の硬質塩化ビニール管をケーシングパイプとして埋め込み、15 m 以深は裸孔のままである。この裸孔の部分に、Fig. 3 のように電気検層ゾンデ〔株〕応用地質調査事務所製〕を設置し、地上に電流用の電極 I_0 を埋設した。

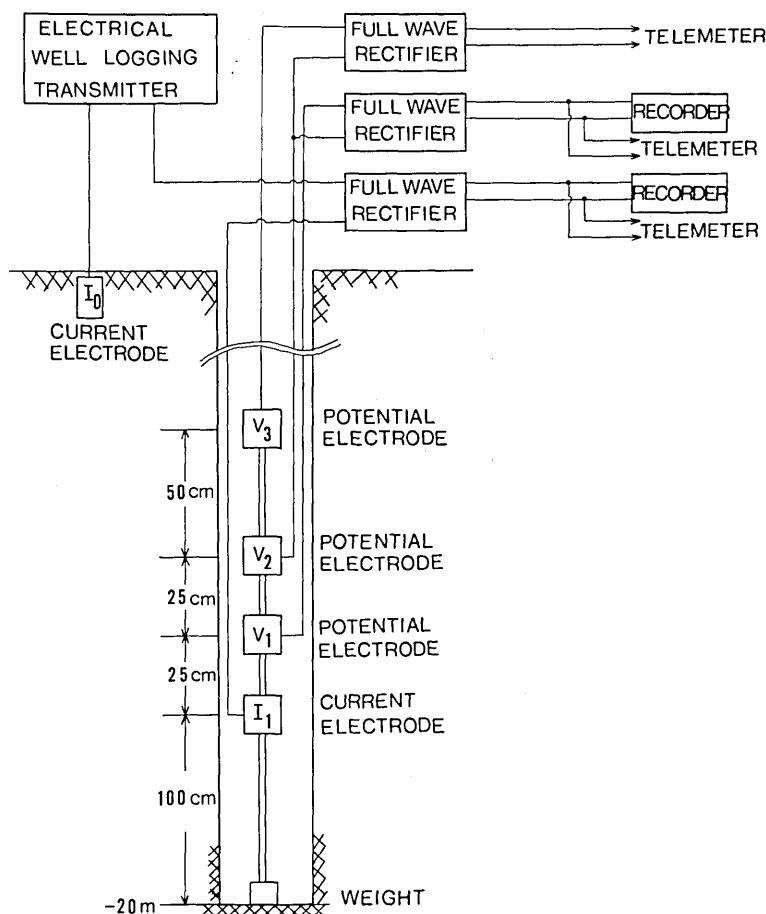


Fig. 3. Block diagram of the whole system of earth resistivity measurement.

電気検層用ゾンデは電流電極 I_1 と電位電極 V_1, V_2, V_3 とから構成され、電極間の間隔は I_1-V_1 が 25 cm, V_1-V_2 が 25 cm, V_2-V_3 が 50 cm である。それぞれの電極には外径 30 mm ϕ , 内径 20 mm ϕ , 幅 10 mm の鉛のリングを用いている。この鉛の部分にケーブルを接続し、ビニール樹脂で接続部をモールドしてある。

ケーブルは、その直径が 10 mm ϕ で、強度をもたすため中心に鋼製のワイヤーロープ (0.1 mm ϕ ×19本) があり、その回りに絶縁銅線 (0.12 mm ϕ ×16本) 4本をよりあわせ、100 kg の剪断力に耐えることができる。観測はケーブルを観測井の水中に長時間浸した状態で行なうため、ケーブルの耐水性、絶縁性には特に配慮した。ケーブルの内側はウレタン、外側はビニールの重被覆とした。線間絶縁抵抗は 2,000 M Ω 以上になっている。電流電極 I_1 の下 1 m に約 500 g の錘をつけ、張力によってケーブル全体を一直線に維持し電極位置を固定することにした。

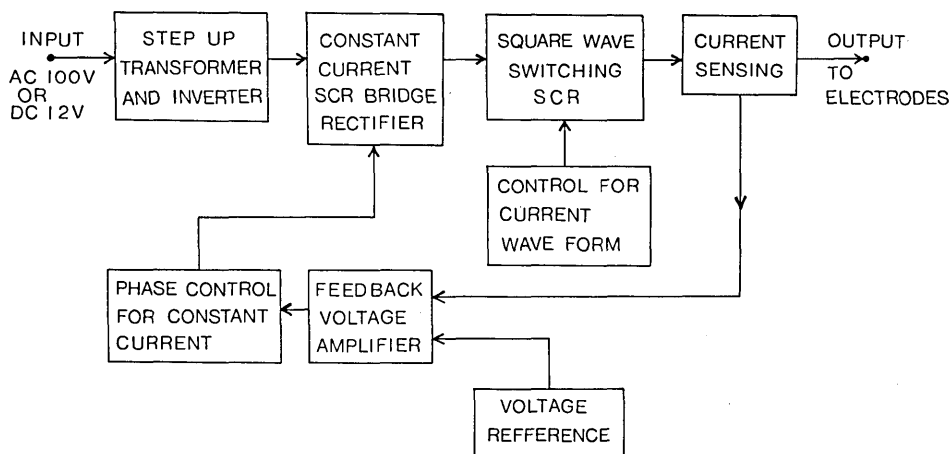


Fig. 4. Block diagram of electrical well logging transmitter.

3-3. 送 信 器

比抵抗測定の方法は直流法であるが、長時間一定方向の電流を流し続けると電極に分極作用を生ずる。また、自然電位の変動を測定結果から取り除くことも困難である。したがって I_0 - I_1 間には、充分周期の長い交代直流を流して、これらの困難を避けることにした。電気抵抗の経年変化を高精度で測定するには、出力電流を長期間一定に制御する必要がある。このため、抵抗やコンデンサー等高性能で経年変化の少ないものを用いて送信器を製作した。

送信器のブロックダイアグラムを Fig. 4 に示す。電源には商用電源の交流 100 V 又は直流 12 V を用いる。地中に必要な電流を流すために、その場所の接地抵抗に応じて、電源電圧を昇圧する。交流 100 V の場合はトランスで直接昇圧し、直流 12 V の場合はインバータで交流に変換後トランスで昇圧する。昇圧した交流を SCR (Silicon Controlled Rectifier) の整流回路で一度直流電圧に変換する。この直流電圧を大地への送信矩形波にするため SCR のインバータに入れる。これにより送信矩形波の出力電流を送り出す。この出力電流を一定に保つために次の回路をもっている。出力直前に予想される外部抵抗に比べて極めて小さい固定抵抗がある。その両端電圧（出力電流と固定抵抗の積）を取り出し、基準電圧とする。出力電流に変動があると、基準電圧との間に偏差を生じる。するとこの偏差電圧を一度増幅し、位相制御回路に加え、ここで偏差電圧が零となるよう動作し、出力電流を一定に維持している。送信器の送信電流は 2, 5, 10, 20, 30, 50, 75, 100 mA の 8 段階になっていて、定電流回路により 0.5% の精度で一定に保つことができる。電流の波形はすでに述べたように矩形波で、周波数は 20, 10, 5, 1, 0.2, 0.1 Hz と 6 段階に変えることができる。この観測では電流値は 10 mA、周期は 10 秒（周波数 0.1 Hz）の交代直流を Fig. 3 の電流電極 I_1 と I_0 間に流している。Fig. 5 の上部に電流波形を示す。電流の変動を監視するため、回路の一部に整流回路を設けた。この部分では全波整流によって電流を直流化し、これを抵抗に通して、この両端電圧の変動を記録計（東

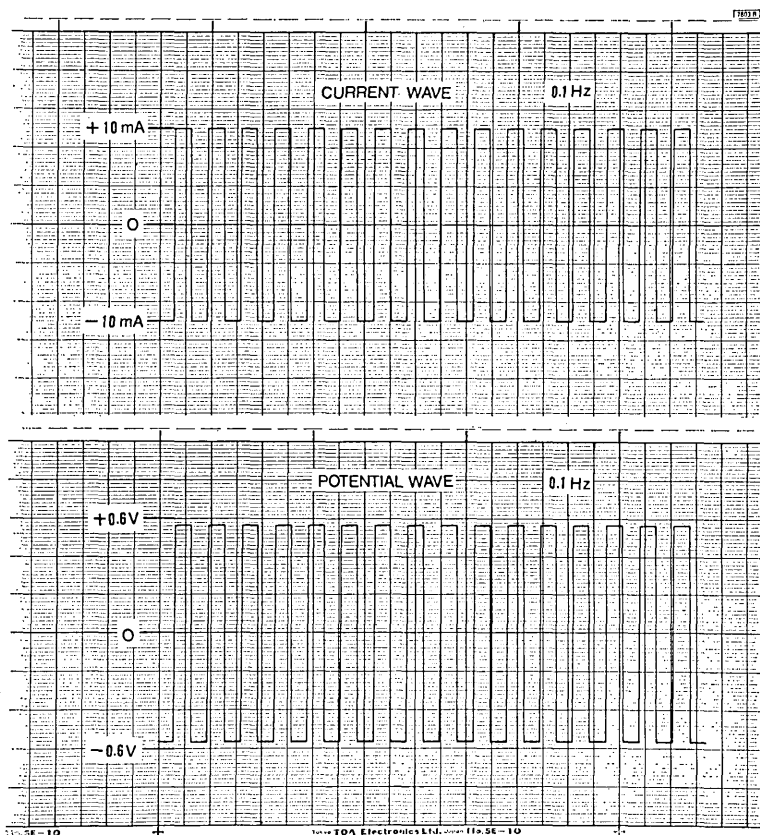


Fig. 5. Current and potential waveforms. The amplitude of current is 10 mA and its frequency 0.1 Hz.

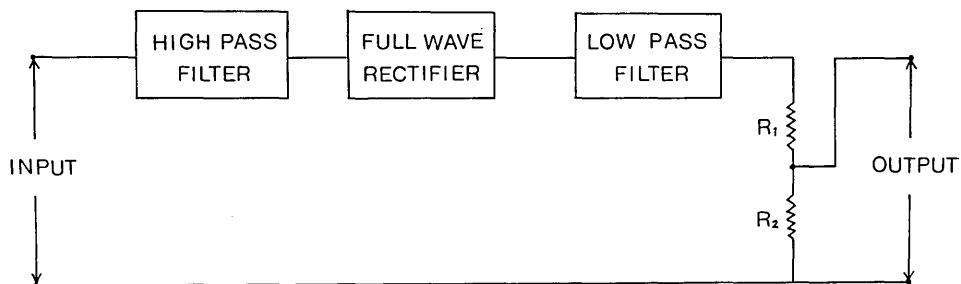


Fig. 6. Block diagram of the receiver circuit.

亜電波製, EPR-100 A型) に記録している. この記録計の精度はフルスケールで $\pm 0.5\%$ である.

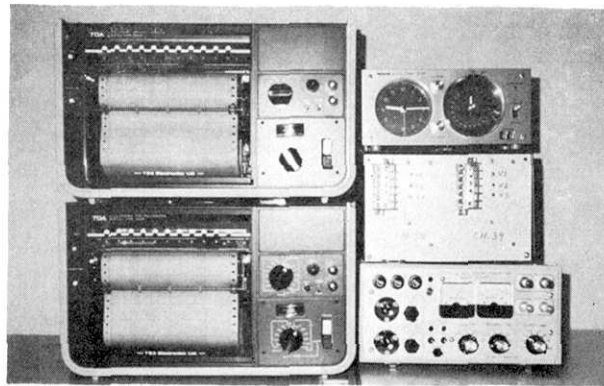


Fig. 7. From bottom to top on the right are shown electrical well logging transmitter, a device of full wave rectifier circuit and timer and on the left recorders.

3-4. 受信装置と記録装置

電位電極 (V_1 - V_2) 間の電位差は, Fig. 6 のように high-pass filter, 全波整流回路, low-pass filter を通して EPR-100 A 記録計に記録させている. 電位差の波形を Fig. 5 の下図に示す. High-pass filter は自然電位の変動を除くためのもので, 低域遮断周波数は 7×10^{-4} Hz (約 24 分) となっている. これによって周期 10 秒の波形をくずすことはない. 入力インピーダンスは $2 M\Omega$ である. High-pass filter を通った電位差は自然電位の変動に影響なく, 零を中心とした正, 負対称の矩形波になる.

全波整流回路は OP アンプを使って構成している. 矩形波入力電圧が正のときは正, 負のときは正電圧が得られる回路になっているので, 電位電極間の電位差はここで正のみの電圧となる. Low-pass filter は矩形波に非対称性があつた場合に予想される周期 10 秒のノイズやその他の短周期ノイズを除去するためのものである. その遮断周波数は 0.02 Hz とした. Low-pass filter を通して, さらに R_1 , R_2 の抵抗で適当に分圧して記録計に記録している.

送信電流と V_1 - V_2 間の電位差は 観測井脇の観測室で記録計に記録すると同時にテレメータ装置により宇治市の京都大学防災研究所に伝送され磁気テープに記録している. V_3 - V_2 間の電位差は同じく high-pass filter, 全波整流回路, low-pass filter を通して, さらに抵抗にて分圧してテレメータで防災研究所の磁気テープのみに記録している. この観測に使用した器械を Fig. 7 に示す. 右側は下部から送信器, 受信器, タイマー, 左側は記録計 2 台である.

送信電流の精度が 0.5%, 電位差の記録計の精度がフルスケールで $\pm 0.5\%$ で, この観測システムの総合精度は約 1% と推定される.

1979年10月3日より1981年12月18日までは毎日2時45分から4時45分までと14時45分と16時15分までの2回の時間帯で測定を行なった. 1981年12月19日以後は2時45分から6時15分までの時間帯で測定を実施している.

この観測システムでは, 連続的に電流を流すことにより, 見かけ比抵抗の連続測定が可

能であるが、10 mA の電流値でも近くの地殻変動観測壕内で継続されている自然電位の連続観測に擾乱を与える。この擾乱を小さくするため、1日の内特定の時間帯のみ電流を流し測定を実施してきた。したがって本報告では1日より短い周期の変動は議論の対象としないことにする。

4. 観 測 結 果

4-1. 水位変化と見かけ比抵抗変化

電流電極 I_1 - I_0 間に 10 mA を流すと電位電極 V_1 - V_2 間に約 1.02 V (p-p), V_2 - V_3 間に約 0.25 V (p-p) の電位差が測定される。この値から前述の 3-1 の (4) 式で見かけ比抵抗 ρ を計算するとそれぞれ 320 Ω -m, 314 Ω -m になる。ところで観測井の近くで実施した Schlumberger 法垂直探査結果によれば、深さ 10 m から 40 m にかけての比抵抗は 260 Ω -m である⁹⁾。したがって、ここで得られた見かけ比抵抗は Schlumberger 法垂直探査結果に比べると約23%大きいことになる。

電気検層法で得られた見かけ比抵抗値は、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⁹⁾。その結果によると坑井の直径 130 mm, 電極間隔が 370 mm の場合、泥水の比抵抗を 10~30 Ω -m とすると、現在の観測システムによっ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。これは Schlumberger 法による結果との比較と極めてよく一致している。深さ 20 m 付近の大地の比抵抗は、実際は 260 Ω -m 程度であるのが観測井中の電極が地下水に浸されているために、見かけ比抵抗が約 320 Ω -m として測定されるのであろう。この見かけ比抵抗値の日々の変化を観測している。

1979年10月より1981年1月までの観測結果を示したのが Fig. 8 である。上のグラフには電位電極 V_1 - V_2 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。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。1979年10月3日より1981年12月18日までは前記の2回の時間帯での測定値の平均値をその日の値としてプロットした。1981年12月19日以降については、測定を実施した時間帯内の平均値をプロットした。

見かけ比抵抗は1980年3月頃から徐々に増加し、同年9月にその積算増加量は最高の10%に達した。その後徐々に減少に転じている。Fig. 8 の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。地表面から鉛直上向きにとった座標系で水面までの深さを表示したもので、例えば縦軸の -3 m は地面から水面までの距離が 3 m であることを示す。下のグラフは1日当りの雨量を示したものである。

三つの関係を更に詳しくみるために Fig. 8 の中1980年5月14日~6月15日の期間を拡大したものが Fig. 9 である。上から見かけ比抵抗の変化、水位の変化、雨量を示している。この図から降雨があると約2日遅れて観測井の水位が上昇することがわかる。また、水位の上昇に伴って、見かけ比抵抗の増加が認められる。例えば5月23日の水位の極大に対して、見かけ比抵抗では5月24日に極大が認められる。また6月2~4日の水位の高まりに対応して、見かけ比抵抗は6月2~4日に増加している。

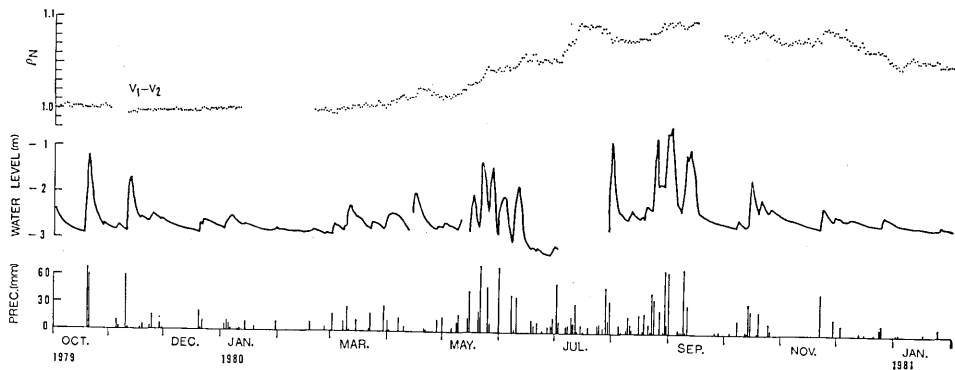


Fig. 8. From top to bottom are shown variations of the apparent resistivity normalized by the values in October, 1979, water level in the observation bore hole and precipitation.

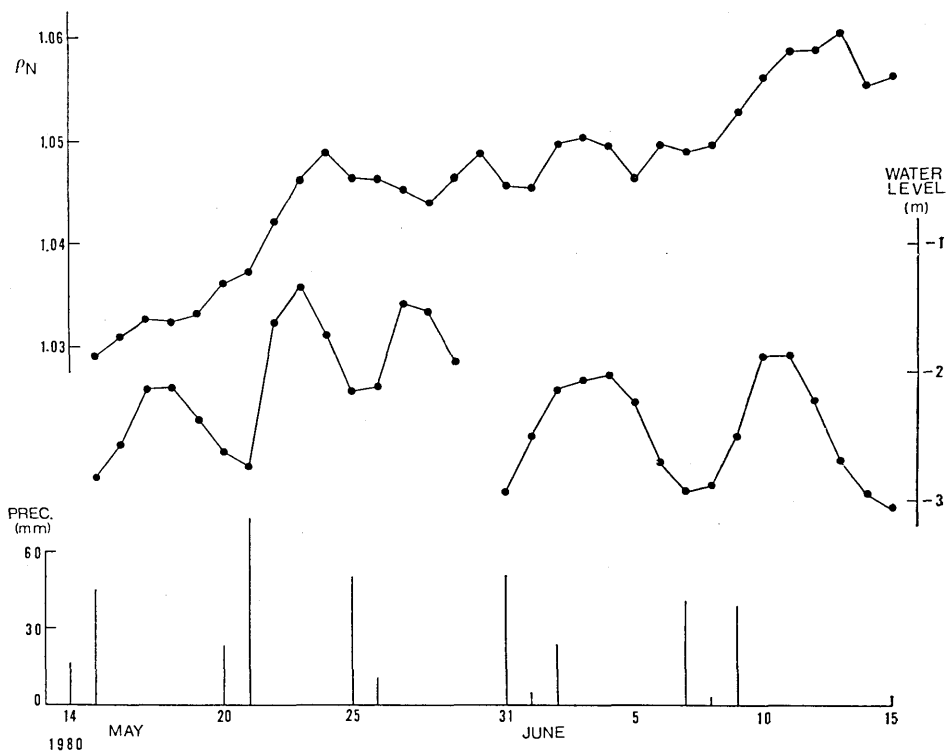


Fig. 9. Variations in the apparent resistivity, water level and precipitation from May 14 to June 15, 1980.

Fig. 10 は Fig. 9 から見かけ比抵抗の変化量を読み取り、水位の変化量との相関関係を調べたものである。1980年3月から9月までのデータについて、両者の時間を T だけ

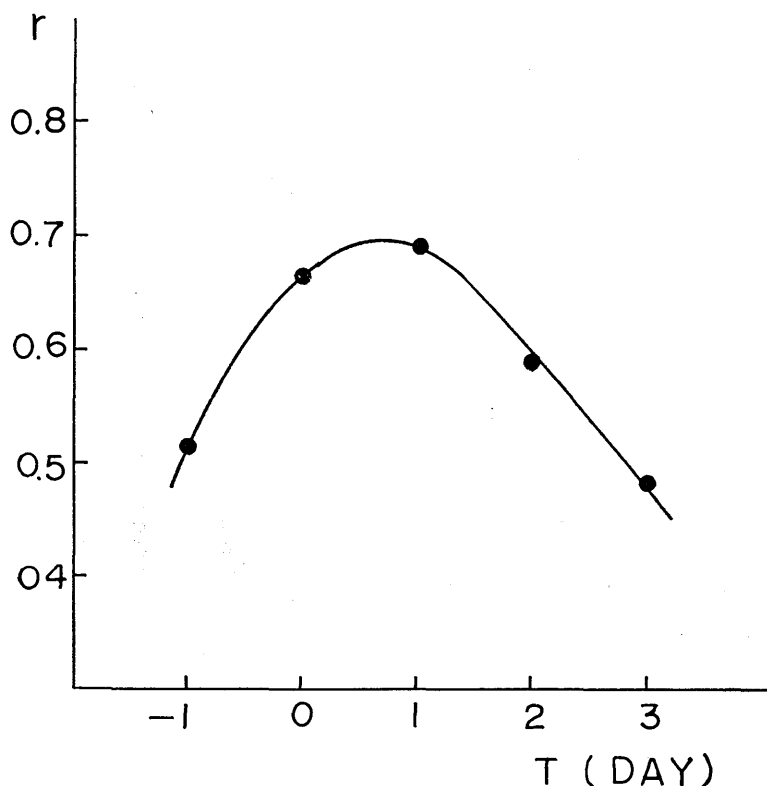


Fig. 10. Lag correlation between variations of the apparent resistivity and the water level. r is correlation coefficient whereas T is the time lag taken to compute the correlation coefficients.

ずらして相関係数 (r) を求めた。縦軸は相関係数 (r) を示し、横軸は水位について移動した時間 (T) を表す。水位の時間軸を17~18時間移動した場合が最も相関がよく相関係数が0.7となる。ここで水位は午前0時をその日の値としているが、見かけ比抵抗は前に記したように2時45分~4時15分と14時45分~16時15分の平均値をその日の値としている。得られた見かけ比抵抗値は2回の時間帯の平均値の午前9時30分の値を表わすとすれば、実際には水位の時間軸を8時間ずらした場合が最も相関がよくなるといえる。すなわち、水位の変化後8時間して見かけ比抵抗に変化が現れると考えられる。

Fig. 11 は見かけ比抵抗の変化量と水位の変化量の関係を水位の時間軸を1日ずらした状態でプロットしたものである。直線は最小自乗法により求めたもので、見かけ比抵抗の変化量を $\rho_a(\%)$ 、水位を $x(\text{m})$ とすると

$$\rho_a = 0.74x + 0.75 (\%)$$

の関係が得られた。見かけ比抵抗は水位1mの上昇に対して約0.7%増加することを示している。この見かけ比抵抗の値は約320 $\Omega\text{-m}$ であるから、水位が1m上昇するとおよそ8時間後に約2 $\Omega\text{-m}$ 増加するということになる。

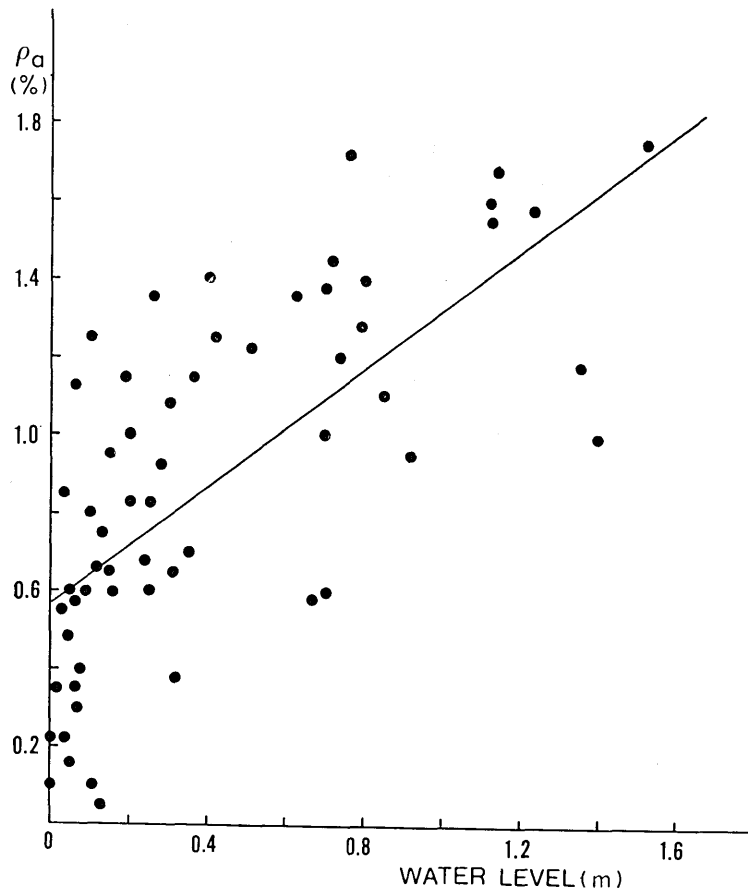


Fig. 11. Correlation between variation of the apparent resistivity and water level with one day lag of apparent resistivity.

観測井の深さは 20 m であるが、Fig. 8 を見てわかるように、ふだんは平均して地表から約 2.5 m の深さまで地下水で満たされている。この地下水は各種のイオンを含み、その抵抗値は雨水（比抵抗 1,000~1,500 Ω -m）¹⁰⁾ に比較すると著しく低いと推定される。降雨があるとイオン含有量の少ない雨水が地下水となって観測井内に浸透して、観測井内の水のイオン濃度を下げると考えられる。新鮮な水の流入によって、井戸水自体の比抵抗は増大する。この電極周辺の井戸水の電気抵抗の増加が、先に述べた水位 1 m の上昇に対して約 0.7% の見かけ比抵抗の増加をもたらしているのであろうと推測される。しかし降雨によって直接引き起された水位変化は、これまでの記録では最大 1.5 m であるから、この機構によって期待される見かけ比抵抗増加はたかだか 1.1% である。前に述べた数か月で 10% に達する変化を、降雨による水位変化で説明することは困難である。

見かけ比抵抗、水位それぞれ 1 か月平均をとり図示したのが Fig. 12 である。いずれも明白な年周変化が現れ、両者の間には一見極めてよい相関があるように見える。Fig. 13

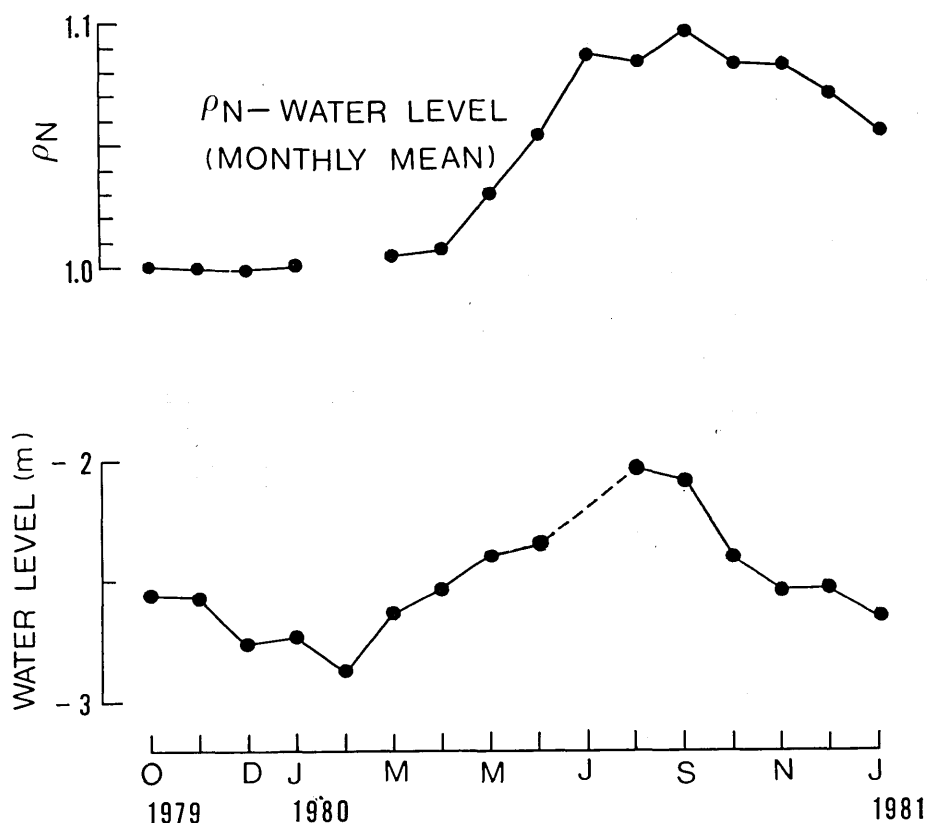


Fig. 12. Variations of the apparent resistivity and water levels on a monthly average.

に横軸に水位を、縦軸に見かけ比抵抗をとって両者の関係を示した。0.7 m の水位の増加に対して10%の見かけ比抵抗の増加があったように見える。

次に10日間の平均値をとってみると、Fig. 14 のようになる。見かけ比抵抗変化と水位変化との間に、それ程よい相関は認められない。両者の相関図を Fig. 15 に示す。この図から見かけ比抵抗変化と水位変化との間に1次式で表現できるような関係があるとは結論できない。1980年8～9月に顕著な水位変化が観測された。これは Fig. 15 では -2.4 m から -1.6 m におよぶ水位変化の大きな振れとして現われている。この大きな水位変化に対して、見かけ比抵抗の変化は約2%である。しかしこの時期以外の水位変化に対しては、見かけ比抵抗はまったく複雑な変化をしており、両者の間に統一的関係を見出すことは困難である。水位変化の影響が長時間見かけ比抵抗変化に持続して残るのであれば別であるが、1か月平均値にみられた両者の間の相関は、10日平均に見られた水位の短周期変化を平均化したために現れた見かけ上のものであろう。

4-2. 地盤の伸縮と見かけ比抵抗変化

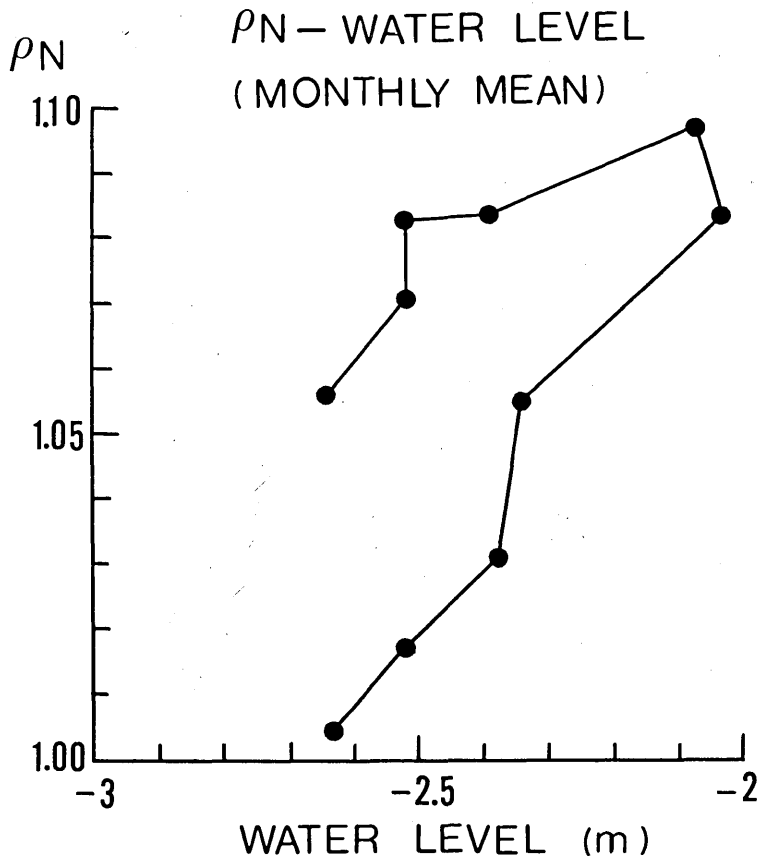


Fig. 13. Correlation between variations of the apparent resistivity and water levels on a monthly average.

この観測井の北東数 10 m のところに Fig. 1 に示した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。この壕の深さは中国自動車道の直下で約 8 m である。図中で黒丸は伸縮計の歪み測定装置の位置を、破線は粘土化された断層面の位置を示す。1～6 番の歪み測定用変位計は N 34°W の方向に、8～12 番は N 56°E 方向に設置されており、それぞれの位置で固定端 (0 番) からのスーパーアンバー・パイプ(ニッケル 32%, コバルト 4%, 鉄 64%) の伸縮を測定する仕組みになっている。

Fig. 16 は見かけ比抵抗の変化と伸縮計の N 34°W 方向の内 0-2, 0-3 の測定によって得られた歪み変化とを比べたものである。伸縮変化は 1 時間 1 回の割合で記録されているが、ここでは毎日午前 0 時の値をその日の値とし、その 10 日平均値をプロットした。見かけ比抵抗は 3 月頃から徐々に増加し、9 月に極大となっているが、伸縮計の 0-2 は 7～8 月頃最も縮み、0-3 は 6 月頃最も縮んでいる。2 測線の内、0-2 について、見かけ比抵抗の増減と地盤の伸縮の関係を縦軸に見かけ比抵抗、横軸に歪みをとって示したのが Fig. 17 である。この場合見かけ比抵抗の値及び伸縮計の値共に 10 日平均値で示した。両

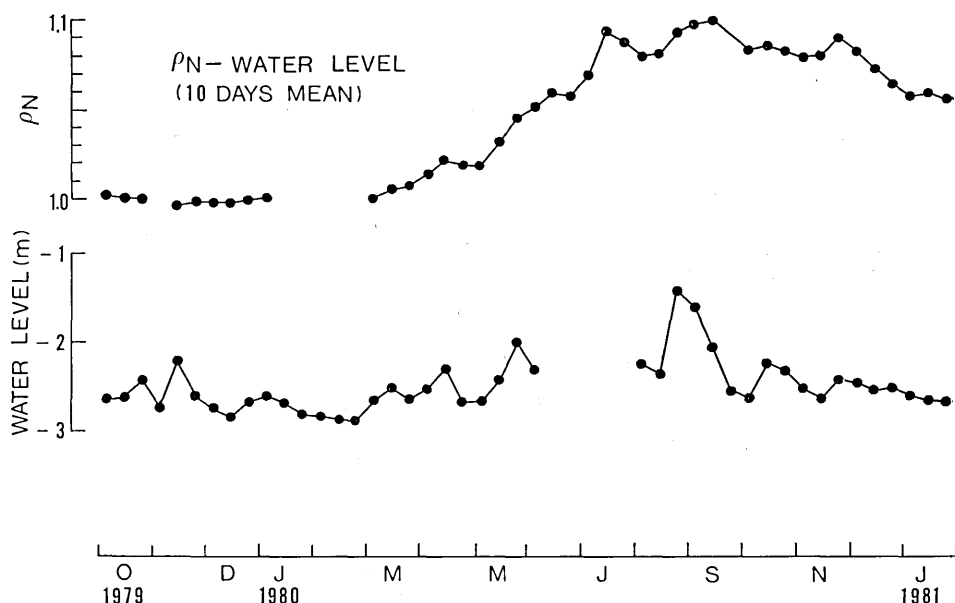


Fig. 14. Variations of the apparent resistivity and water levels on a 10 day average.

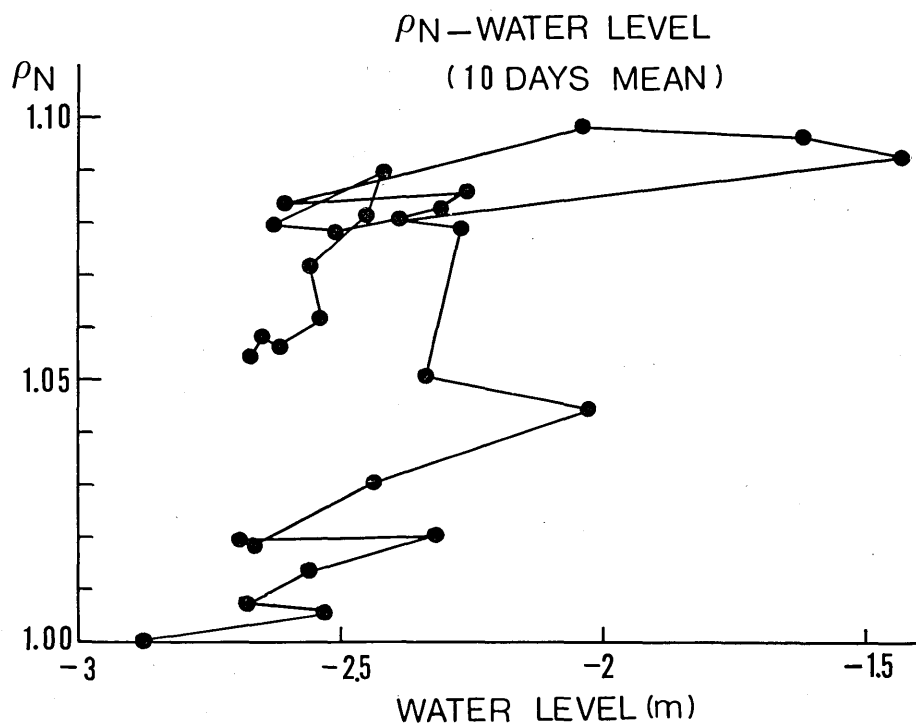


Fig. 15. Correlation variations of the apparent resistivity and water levels on a 10 day average.

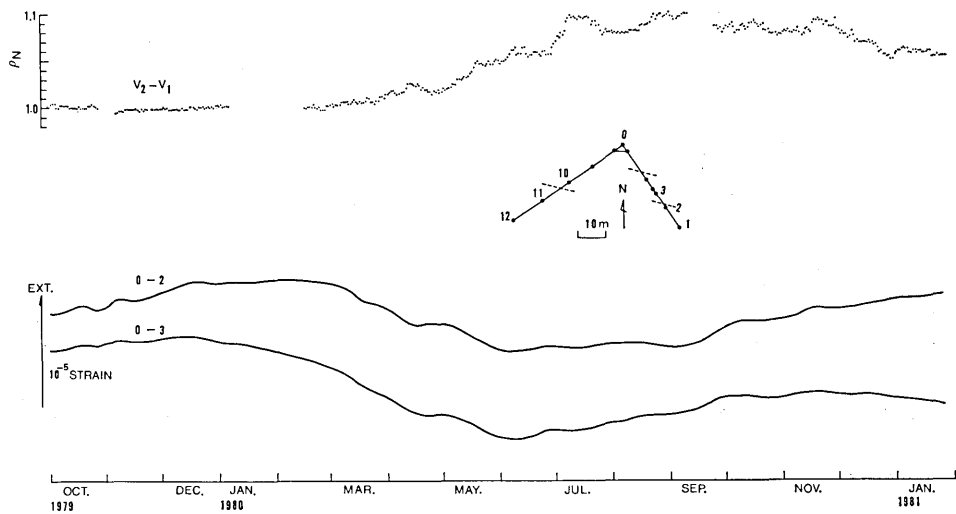


Fig. 16. Variations of the apparent resistivity obtained from the pair of potential electrodes, V_1 , V_2 and those of strain obtained from extensometers 0-2 and 0-3 intalled in the directions of N34°W.

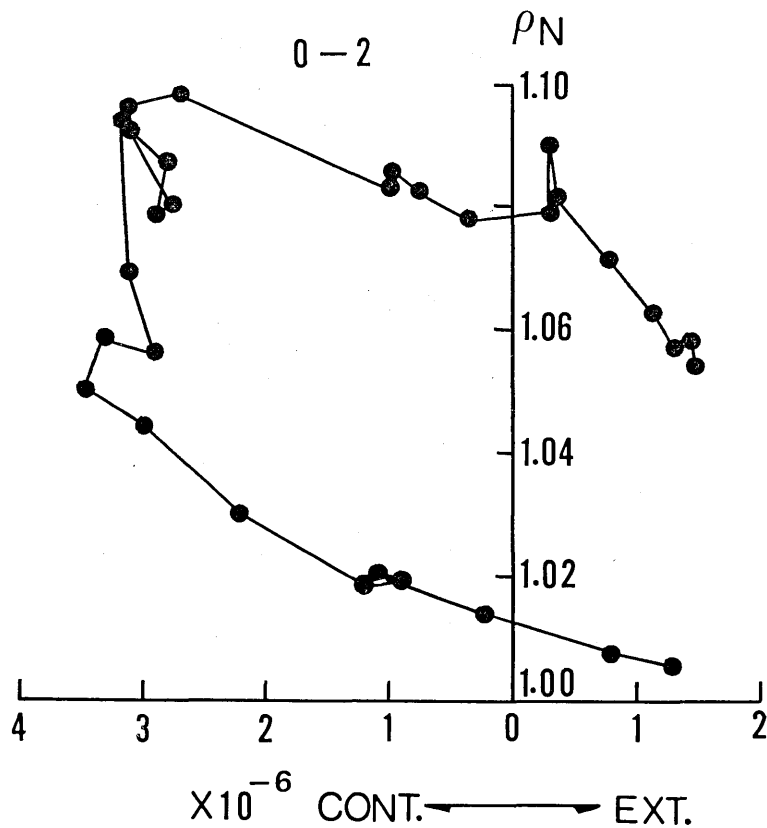


Fig. 17. Relation between variations of the apparent resistivity and the strain obtained from 0-2 extensometer.

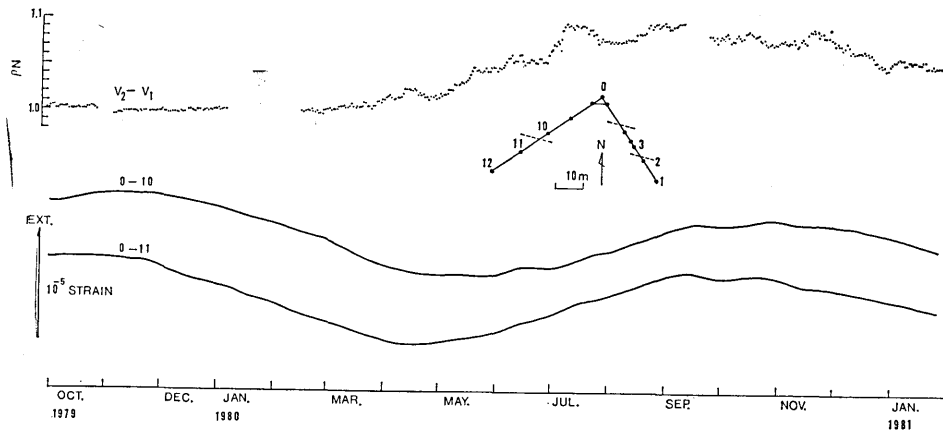


Fig. 18. Variations of the apparent resistivity from the pair V_1 , V_2 and those of strain obtained from extensometers 0-10 and 0-11 in the directions of $N56^\circ E$.

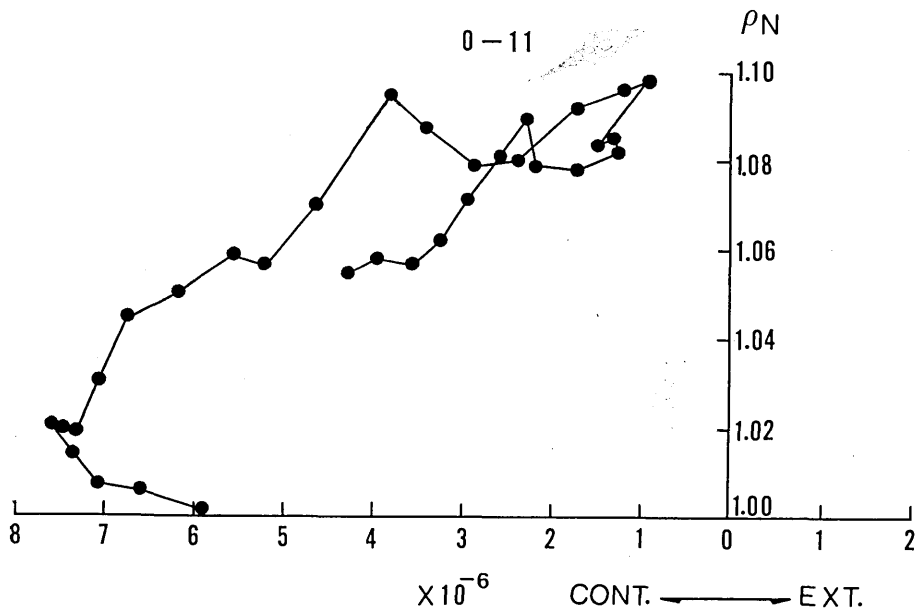


Fig. 19. Relation between variation of the apparent resistivity and the strain obtained from 0-11 extensometer.

者の間には、単純な比例関係はなく、一種の履歴曲線を描いている。この図では、見かけ比抵抗は始めのうちは0-2の縮みに対して増加していくが、ある点まで行くと地盤の伸縮に関係なく増加する。約10%程増加した段階で、今度は地盤の伸びに対して減少していくという変化を示す。

Fig. 18 は見かけ比抵抗の変化と伸縮計の N 56°E 方向の内 0-10, 0-11 の変化とを比べたものである。0-10 は11月頃, 0-11 は10月頃が最も伸びが大きくなる。2 測線の内, 0-11 について, 見かけ比抵抗の増減と伸縮の変化の関係を Fig. 19 に示した。見かけ比抵抗 1.0 の付近の, 最初の 3 点 (1 か月) を除くと, 伸びに対して見かけ比抵抗の増加, 縮みに対して見かけ比抵抗の減少という歪みと比抵抗との間に一次の関係が見られる。Fig. 17 の 0-2 の伸縮との間に見られたような履歴曲線は現われない。

岩石に圧力を加えて電気抵抗を測定した例は数多い。岩石の電気抵抗は, その値そのものも, 加圧時の振舞いも, 含水率によって著しく異なる。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減少する¹¹⁾。すなわち, 体積の減少とともに電気抵抗が減少し, 体積増加とともに電気抵抗が増大する。前に述べた観測壕内の伸縮計の記録は地盤の伸縮が南東方向と南西方向とで同位相で起っていないことを示しているが, 伸縮計に現れた年周変化はその地点の温度変化ときわめて対応がよく, 温度変化による地盤の膨縮を表わしているという (尾池, 1981, 私信)。一見方向によって変化の様子が異なるように見えるのは, 伸縮計計測部の置かれている場所の地表からの深さが異なるためであると考えられる。11の測点は観測井に近く, 0-11の伸縮変化が観測井周辺の歪み変化をよく表現しているとする。地盤の伸びに対して見かけ比抵抗が増加し, 縮みに対して減少しているのは, 岩石に対する加圧実験の結果ともよく一致する。したがって, 観測井内の見かけ比抵抗測定によって得られた比抵抗10%に及ぶ長周期変化は, 地盤の温度変化に伴う歪み変化を反映したものではないかと推定される。

5. 結 び

電気検層法を応用して, 山崎断層のすぐ近くに掘削された深さ 20 m の観測井の坑底で電気抵抗時間変化の測定を実施している。電流電極, 電位電極を坑底に固定し, 周期10秒, 振幅 10 mA の矩形波を1日のある特定の時間帯に流して比抵抗値を求めた。

このようにして得られた日々の値を調べてみると約 6 ヶ月間で10%に及ぶ変化をしているのが明らかになった。さらに詳しく調べると大きな変化の上に短周期の細かな変動が重なっている。この細かな変化は, 降雨に伴う観測井内の水位変動と対応がよい。水位が上昇すると見かけ比抵抗が増加している。その変化の割合は水位 1 m の上昇について約 0.7% の増加である。この見かけ比抵抗変化は, 水位の上昇に約 8 時間遅れで起っている。観測井内の地下水のイオン濃度が, 新たに降った雨水によって薄められるための変化であろうと推定される。

この短周期で小振幅の変化に比べて, 約10%に達する緩やかな変化は, 比抵抗年周変化に由来するものではないかと思われる。観測井から 10 m 離れた所で実施されている地殻変動観測壕内の伸縮測定で, 0-11の測定区間の伸縮と見かけ比抵抗変化との相関があることが明らかになった。地盤の縮みに伴って見かけ比抵抗が減少し, 伸びに対応して比抵抗が増加している。伸縮記録は, 計測器の置かれている場所周辺の温度変化に伴う地盤の膨縮を反映していると考えられているから, 見かけ比抵抗変化も, 地盤の伸び縮みに対応した年周変化を記録しているのであろうと推測される。このように考えれば, 岩石比抵抗の室内実験ともよく調和する。

現在の実験は、観測井を利用して地殻の電気抵抗変化の連続測定が可能かどうかを、山崎断層の浅井戸を用いて試験的に実施しているものである。地盤の伸縮に対応する年周変化が得られたことは、この方法が地殻歪みの監視にも有効であることを示している。将来深井戸を用いて同様の実験を行なうことが重要であると思われる。

6. 謝 辞

この観測を実施するにあたって、秋田大学鉱山学部の乗富一雄教授、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、阿武山地震観測所の中村佳重郎氏には伸縮計、水位、雨量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の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

- 1) BARSUKOV, O.M., 1972, Variations of electric resistivity of mountain rocks connected with tectonic causes. *Tectonophysics*, 14, 273-277.
- 2) BARSUKOV, O.M. and SOROKIN, O.N., 1973, Variations in apparent resistivity of rocks in the seismically active Garm region. *Izv. Acad. Sci. U.S.S.R. (Phys. Solid. Earth)*, 8, 685-687.
- 3) 朱鳳鳴, 1976, 海域に発生した M 7.3 の地震に関する予知, 予報と防災の概況, 中国地震考察団講演論文集 (地震学会), 15~24.
- 4) 尾池和夫・中村佳重郎, 1978, 山崎断層における伸縮変化の連続観測結果, 京都大学防災研究所年報第21号 B-1, 11-18.
- 5) 中村佳重郎・尾池和夫, 1980, 山崎断層における伸縮変化と降雨との関係について, 京都大学防災研究所年報第21号 B-1, 77-85.
- 6) 松田時彦, 1976, 活断層と地震—その地質学的研究, 地質学論集, 12, 15-32.
- 7) ELECTROMAGNETIC RESEARCH GROUP FOR THE ACTIVE FAULT, 1981, Low Electrical Resistivity along an active fault, Yamasaki Fault. Submitted to J. Geomag. Geoelectr.
- 8) 乗富一雄, 高橋利昌, 田中信一, 行武毅, 吉野登志男, 歌田久司, 半田駿, 小泉尚嗣, 宮腰潤一郎, 1979, 山崎断層帯における Schlumberger 法による電気抵抗測定結果, Conductivity Anomaly 研究会論文集, 5-8.
- 9) 例えば, 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.
- 10) 志村 馨, 1977, 比抵抗法の水理地質学的根拠, 電気探査法, 昭晃堂, 63.
- 11) BRACE, W.F., 1975, Dilatancy-related electrical resistivity changes in rocks. *Pure Appl. Geophys.*, 113, 207-217.

29. *Continuous Observation of Earth Resistivity by Means of the
Electrical Well Logging Method in a Bore
Hole near the Yamasaki Fault.*

By Toshio YOSHINO and Takesi YUKUTAKE,

Earthquake Research Institute, University of Tokyo.

The electrical well logging method has been applied for continuously measuring the earth resistivity. Both the current and the potential electrodes have been installed in an observation bore hole drilled very close to the Yamasaki fault in Hyôgo prefecture. Electric currents of a rectangular wave form of an amplitude of 10 mA with a period of 10 second are being applied between the current electrodes and the apparent resistivity is computed from the potential difference measured between the adjacent potential electrodes.

It was found that the apparent resistivity had increased about 10% between March and September, 1980. After that it gradually decreased. Superposed on this gradual change are small fluctuations closely related to changes in the water level in the bore hole. An examination of these short period fluctuations indicates that the apparent resistivity increases about 0.7 % for a one meter rise in water level with a time lag of 8 hours.

On the other hand, the gradual increase of 10% in the resistivity observed between March and September is supposed to be a part of the seasonal variations. It was found that this change could be well correlated to the seasonal change in strain observed by an extensometer installed in the direction of N56°E in a tunnel across the Yamasaki fault about 10 m from the bore hole. Although the bore hole used for this experiment is only 20 m deep, the present technique will be applicable in deeper wells to measure the resistivity of the deeper crust.