静岡と網代における体積歪観測孔内 の水位変化と歪変化

吉 田 明 夫
二 瓶 信 一
太 田 金 房
薄 田 真 司

Change of Strain and Variation of Water Level in the Bore-holes of the Volumetric Strain Meter Installed at Shizuoka and Aziro

by

Akio Yoshida

Meteorological Research Institute, Tsukuba, Ibaraki, 305 Japan

Shin-ichi Nihei

Japan Meteorological Agency, Tokyo, 100 Japan

Kanefusa Ohta

Shizuoka Local Meteorological Observatory, 422 Japan

Shinji Susukida

Aziro Weather Station, 413-01 Japan

(Received Aug. 15, 1984; Revised Nov. 20, 1984)

Abstract

The relationship between the ground strain change and the water level variation in the bore-hole of the volumetric strain meter is investigated. At Shizuoka, the strain appears in the dilatational sense with rise of water level, whereas at Aziro, uplift of the groundwater table results in contraction.

The latter sense of correlation can be attributed to the increase of groundwater loading on the local rocks. On the other hand, the correlation as observed at Shizuoka is explained by the increase of pore pressure due to rising of groundwater level, which decreases stress in the rock surrounding the strainmeter and causes volumetric strain expansion.

The theoretical correction of the observed strain for variation of the underground water table is difficult, because the water level in the bore-hole does not necessarily represent the water table which controls the local stress affecting the strainmeter.

1. はじめに

気象庁では現在、東海・南関東地域の31地点に埋込式体積歪計を設置して観測を行なっている。この観測網の展開の主目的は、大規模地震の短期的な前兆現象をとらえることであり、そのためには平常における各地点の歪変化の特徴を正確につかんでおく必要がある。これまでに、各歪計の気圧変化に対する応答、すなわち気圧係数（檜皮ほか、1983）や、地震波に対する感度（古屋・檜皮、1983）、地球潮汐の振幅と位相（福留、1983）等が調べられているが、このほか歪変化の中には降雨の影響によるものや、また地中温度の変化に起因すると思われるものも存在することが知られている（二瓶・檜皮、1983）。

ここでは、歪に対する地下水の影響を調べる目的で、静岡地方気象台と網代測候所の構内にある歪計観測孔内の水位変化を観測し、それと歪変化とを比較してみた。その結果、静岡と網代では地下水の歪変化に対する影響が逆のセンスで現れることがわかった。この違いの原因についても定性的な考察を行なう。

2. 観測孔の状況と観測方法

静岡の体積歪計の観測孔の深さは、Fig. 1に

示すように地表から60mである。上部の31mまでは砂礫で、最初小砂利があり、その下は固結して、中に礫径 30~40cm の円礫または角礫を含む。31mから32.8mの間は細粒、風化した軟弱な砂岩の層で、その下に層厚 1.6m の泥岩の層がある。そして34.4mから孔底までは堅硬緻密な砂岩で、一部に粘土化した 10~30cm の泥岩層をはさむところがあるが、亀裂はほとんど認められない。

観測孔には地表から 34.55m のところまで鉄管が入っており、一方、孔底から 6.63m のところまでは膨張セメントで固めてあるが、その間は裸孔となっている。従って、そこから地下水は孔内に自由に入出力できる。現在、水位は地表から平均 8m ほどで、あとで詳しく述べるように年間 2m 程度の変動がある。まわりの地下水との流通具合をみるために、この孔に水を注入して水位の減り方を観測した。Fig. 2 はその時の水位変化を示したもので、水を注入する前、水位は地表から 7m 83cm のところにあり、15分間で同じく地表から 2m 37cm のところまで入れた。水位低下の時定数は初めの数十分間では 5~6 時間ほどだが次第に長くなり、完全に元の水位の状態に戻るまでに 4 日近く要した。なお、水の注入に伴う歪変化は全

Fig. 1 Geological columnar map and bore-hole conditions at Shizuoka. The bore-hole is unprotected for the depth range 34.6—53.4 m, which allows free passage of underground water into the hole.

Fig. 2 Lowering of water level in the bore-hole at Shizuoka, after water is experimentally pored into it. The relaxation time constant is initially 5~6 hours but tends to increase, later.

Fig. 3 Geological columnar map and bore-hole conditions at Aziro. The unprotected part is deep and very narrow compared to that of Shizuoka.

くみられなかった。従って、以下に述べる孔内の水位変化に関係した歪変化は、孔内の水の直接の作用ではない。それは単に周辺帯水層内の地下水量に対する一つの指標であって、歪変化をもたらすのはあくまで周辺一帯の地下水の増減である。

網代の観測孔は、深さが120mで、地表付近に表土、崖錐堆積物があるほかは、その下はずっと火山岩となっている (Fig. 3)。そのほとんどは玄武岩と火山角礫岩の互層で、一部凝灰岩を含む。玄武岩は多孔質な部分が多く、また100m以深では流理もみられる細粒岩となる。火山角礫岩の礫の大きさは層によって数cmから数十cmにわたり、

やはり多孔質なものが多い。

網代の観測孔の場合は鉄管が100.82mのところまで入っており、孔底から5.80mまでは膨張セメントがつまっているから、裸孔部分はわずかである。しかし、静岡に比べて、網代の水位の変動幅が数十cmと小さいのは、この裸孔部分が深くて間隔が狭いためというよりも、そこが帯水層になっていないことによるのであろう。

水位の観測は、絶縁した2本の導線におもりをつけて下ろし、地上でテスターに接続しておいて、抵抗値が急に下がった時先端が水面に達したとして、その時の線の長さを測るという簡便な方法を

用いた。静岡では2人が交代で観測したが、何回か比較測定してみた結果ほとんど1 cm 以内で一致しており、この程度の精度はあるものと考えている。なお、測定時刻は静岡、網代ともほぼ午前11時で、欠測は月に1, 2回の程度である。

3. 水位変化と歪変化

a. 静岡の場合

Fig.4(a) は、1981年8月1日から1983年7月31日まで2年間の静岡における歪の変化で、日平均値を7日移動平均してプロットしたものである。この期間、全般的に縮み傾向を示しているが、その上に 10^{-6} 程度の大きさの変動分がのっている。Fig.4(b)は、このトレンドを直線的な近似で取り去ったあとの残り、すなわち変動分を少し拡大して示したものである。そして Fig.4(c)に、同じ期間の観測孔の中の水位変化をやはり一週間移動平

均して示してある。これらの図から、トレンドを取り去った変動分については、歪の変化と水位の変化はかなり良い相関をもっていることがわかる。その変化の関係は、水位が上がると膨張し、水位が下がると縮むというものである。

Fig. 5 は、縦軸にトレンドを取り去った歪の変化、横軸に観測孔内の水位をとったもので、先ほど述べたように、全体として水位が上がると膨張するという傾向を示している。しかし、分布の特徴をよくみると、水位の変化の大きいときの水位係数、すなわち水位1 cm あたりの歪変化は、この分布全体の回帰直線の係数よりもいくらか小さいようにみえる。

Fig. 6 は、縦軸にトレンドを取り除かない観測された歪変化そのもの、横軸に水位変化を示したものである。これから、水位の上昇によって膨張し、水位が下がると収縮するという相関関係が明らかにみられるが、そのほかに水位が変化してい

Fig. 4 (a) Change of strain for the period Aug. 1, 1981—Jul. 31, 1983 at Shizuoka.

(b) Variation of strain after correction for the linear trend.

(c) Variation of water level in the bore-hole.

A high-cut filter, with moving time-window for 7-days is applied to both curves of strain change and variation of water level. The correlation between strain and water level is apparent. Notice that the rise of water level causes expansion.

Fig. 5 Variation of strain after subtraction of the linear trend versus variation of water level at Shizuoka. It seems that the precise water level coefficient (strain change per unit amplitude of water level variation) is a little smaller than the apparent gradient of linear regression of the macroscopic whole distribution.

Fig. 6 Change of strain versus variation of water level at Shizuoka. Although the correlation between strain change and water level variation is evident, there are also periods in which large strain changes occur without any conspicuous variation of water level, or contrarily, in spite of large variation of water level strain does not change so much.

Fig. 7 Change of strain after the correction of effects due to variation of water level at Shizuoka (lower). The upper is the same as Fig. 4(a). It is seen that after the correction short-period variation becomes rather conspicuous, long-period change disappearing.

るのに歪がほとんど変化しない時期があったり、また逆に、水位変化はそれほどないのに歪だけが変化している時があることがわかる。いま、水位の変動による歪の変化分を取り除くために、比較相関のよい期間について水位 1 cm あたりの歪変化、いわゆる水位係数を求めて、全期間について歪変化の補正を行なってみた。Fig. 7 にその結果を示す。これをみると、年変化のような長周期の変化は消えたものの、短周期の変動はむしろ大きくなっている。これは、Fig. 6 からわかるように、水位係数の大きさが期間によって変化していること、歪変化には水位の変動以外の要因による変化もあること等のためであろう。また観測孔内の水位は、体積歪変化に影響を与える地下水位を正確には反映していないということも考えられる。ただ補正後の歪変化から、長期的な傾向として歪は一定のペースで縮んでいるのではなくて、あまり変化しない時期と比較的大きく変化する時期とがあるようにみえる。

なお、観測孔内の水位は降雨によってもちろん変わるが、それ以外に付近の工場の揚水が大きく

影響していることがわかっている。例えば、正月、5月の連休、お盆などでは顕著に水位が上がっているが、これは工場が休むためである。

b. 網代の場合

Fig. 8 は、1982年12月11日から1983年12月10日までの、1年間の網代における歪変化と観測孔内の水位の変化である。静岡に比べて水位の変化は小さく、歪変化との関係もはっきりしないが、傾向としては、水位が下がると膨張し、上がると収縮するという静岡とは反対のセンスの関係が認められる。なお、8月なかばに水位、歪とも大きく変化しているが、このときは台風が近くを通過し 400mm ほどの雨量を記録した。

Fig. 9 は、Fig. 6 と同様に、縦軸に1週間移動平均した歪を、横軸に同じく一週間移動平均した水位をとってプロットしたものである。これから、網代の場合は観測孔内の水位変化とは関係ない大きな歪変化の存在することがわかる。しかし、これが地下水の変動とは全く無関係な歪変化であるとは必ずしも断定できない。なぜなら網代の場合、いわゆる井戸のストレーナに相当する裸孔部分は深いところにあつて、かつ幅が狭いから、

Fig. 8 (a) Change of strain for the period Dec. 11, 1982–Dec. 10, 1983 at Aziro. (b) Variation of water level in the bore-hole.

A high-cut filter, with moving time-window for 7-days, is applied to both data. The correlation between strain change and water level variation is not so clear as in the case at Shizuoka. However, the tendency of the strain to contract with the rise of water level is recognized.

Fig. 9 Change of strain versus variation of water level at Aziro. The correlation is evidently superposed by considerable strain changes independent of variation of water level in the well.

83.1.1.

Fig. 10 Difference of the two time-series of strain change, after filtering with 3- and 11-day time windows, respectively, and the same for water level variation at Aziro.

Fig. 11 The ordinate represents the difference of the two time-series of strain change, after filtering with 3- and 11-day time windows, respectively, whereas the abscissa is that of water level (Aziro). The tendency of the strain to contract with the rise of water level is clearly seen.

観測孔内の水位には歪変化に影響を与える地下水のごく一部しか反映されていない可能性があるからである。

歪と水位の関係をよりはっきりとみるために、3日移動平均と11日移動平均の差をとってみたのが Fig. 10 である。そして Fig. 11 は、縦軸にそうした移動平均の差の歪値を、横軸には水位の差をとってプロットしたものである。これらの図をみると、確かに、水位が上がると縮んで、水位が下がると膨張する傾向のあることがわかる。

4. 議論

Fig. 12 は、水位変化と歪変化の間の相関係数を日にちをずらして試みてみたものである。データとしては、静岡の場合、歪については一週間移動平均値から2年間全体のトレンドを除いたものを、また水位については一週間移動平均したものを、網代の場合は、それぞれ3日移動平均値と11日移動平均値の差を用いている。従って、一概にこれらの相関係数の大きさと傾向を比べることはできないが、両者での顕著な違いとして、網代

の場合は、1日前の水位と歪を比べた時が最も相関係数が大きいのにに対して、静岡の場合は4～5日前の水位と歪を比べた時に最も大きくなっている。すなわち、静岡のほうが水位変化に対する歪変化の遅れが大きい。しかも、静岡の場合、水位が上がると約 $1.2 \times 10^{-8}/\text{cm}$ の割合で膨張するのに対して、網代では逆に約 $0.9 \times 10^{-8}/\text{cm}$ の割合で収縮しており、センスが逆となっている。これらの違いはどのように考えたらよいのであろうか。

一つの解釈としては、網代の場合には歪計の上の帯水層内に入ってきた水が荷重として作用しており、一方、静岡の場合は、歪計のセンサー部が帯水層内かあるいはそれに近いところにあつて、帯水層の間隙水圧が増すことによって岩盤に働く応力場が小さくなる効果の影響を受けているということが考えられる。Fig. 13 はそれを模式的に示したものである。もちろん地質構造は二つの観測孔で全く異なるが、一つの重要な要素として網代の観測孔の深さは静岡の2倍あるということがあげられる。一般に深井戸は降水の影響が小さい

Fig. 12 The correlation coefficient between strain and water level variation when time lag is introduced. For Aziro, the largest value is obtained when we apply to strain the time delay for one day relative to water level change, and for Shizuoka the correlation coefficient becomes the largest in the case of applying to strain the time delay for 4 or 5 days relative to water level change.

Fig. 13 A schematic figure of the two observation wells at Shizuoka and at Aziro, which explains why the water level variation affects strain change at the two sites in different ways.

ことが知られており (杉山ほか, 1981), 雨水は容易に地下深部にまでは浸み込まないのであろう。これに対して静岡の60mという深さは, 近くの工場で日に約6000トンという大量の水をくみ上げている井戸の深さとはほぼ一致する。工場のくみ上げの影響が顕著に観測孔内の水位変化にでることから, このあたりに帯水層があって, その中の地

下水量の変化が岩盤内の応力, ひいては歪に大きな影響を与えているということは十分に考えられる。また, 静岡では, 歪変化が水位変化に比べて4~5日遅れて現れる傾向があるということも, 帯水層にしみ込んできた水がゆっくりと間隙水圧を増大させるとすれば理解できる。なお, 静岡の場合も降雨の直後をみると縮み変化を示すときが

あり、水の荷重としての効果も同時に作用しているものと思われる。残念ながら1日1回の観測データではこれ以上の時間分解能で解析することはできないが、最近(1984年4月)、水位の連続観測を開始した。これによって、歪と水位の関係が更に詳細に解明されることを期待している。

5. まとめ

体積歪計の観測孔内の水位変化と歪変化の関係が、静岡と網代では逆のセンスをもっていることがわかった。すなわち、静岡では水位が上昇すると膨張するのに対して、網代では水位の上昇によって収縮する。また、静岡の歪の変化は水位変化に遅れてでてくる傾向がある。この差異は、歪計センサーが含水量の変化する帯水層の中にあるか、その下にあるかによって生じているように思われる。

謝辞

草稿を読んで有益なコメントをいただいた気象研究所 勝又 護氏、地質調査所 東野徳夫氏、

京都大学 小沢泉夫氏、防災研究所 田中寅夫氏にお礼申しあげます。また匿名のレフェリー氏の意見も原稿の改善にたいへん役立ちました。更に、水位観測を継続するにあたっては、静岡地方気象台、網代測候所、気象庁地震予知情報課歪係の多くの方々に有形無形の援助をいただきました。ここに記して厚く感謝いたします。

参考文献

- 福留篤男, 1983: 埋込式体積歪計による地球潮汐の観測, 験震時報, 48, 23—33.
 古屋逸夫, 檜皮久義, 1983: 気圧変化及びレーリー波入射に対する埋込式体積歪計の応答, 験震時報, 48, 1—6.
 檜皮久義, 佐藤 馨, 二瓶信一, 福留篤男, 竹内 新, 古屋逸夫, 1983: 埋込式体積歪計の気圧補正, 験震時報, 47, 91—111.
 二瓶信一, 檜皮久義, 1983: 三ヶ日における埋込式体積歪計に対する降雨の影響, 験震時報, 48, 18—22.
 杉山雄一, 佃 栄吉, 加藤 完, 池田喜代治, 1981: 東海地域の地下水観測データの解析——地下水位変動の解析(その1)——, 地質調査所月報, 32, 133—150.

静岡と網代における体積歪観測孔内の水位変化と歪変化

吉田明夫・二瓶信一*・太田金房**・薄田真司***

静岡と網代に埋設されている体積歪計の観測孔内の水位変化と歪変化の関係を調べた。その結果、静岡の場合は、水位の上昇によって歪が膨張するのに対して、網代の場合は逆に収縮する傾向のあることがわかった。

網代にみられる変化は、地下水が荷重として作用しているためと考えられるが、静岡の場合は、地下水位の上昇が帯水層内の間隙水圧を増大させ、それによって岩盤内の応力が減小するというメカニズムを想定することによって理解できる。

* 気象庁地震予知情報課

** 静岡地方気象台

*** 網代測候所