

地すべり地における土地ひずみの観測（序報）

高 田 理 夫

ON THE OBSERVATION OF GROUND-STRAIN AND GROUND-TILT AT A LANDSLIDE ZONE (I)

by Dr. Sci. Michio TAKADA

Synopsis

Seismic prospecting and electric survey were carried out to study the crustal structure in the neighbourhood of the penstock at a water power plant in Kōchi Prefecture, since a landslide might be caused in this area.

The sliding movement survey and the observation of tilting motion on the ground surface by the wire extensometers and tiltmeters are being carried out thereafter.

This paper contains these methods and the results of the investigation and observation.

1. 序

高知県下、物部川の上流に建設途上の水力発電所の水圧電管路付近が地すべりを起こしているのではないかとと思われる点があり、これの調査を依頼され、昭和34年11月、付近一帯の地震探査や電気探査を実施した。その後、この調査に引続いて、鉄管路に沿い6台の伸縮計、3台の傾斜計、1台の地下水位計を設置し、地表面での伸縮や傾斜などの観測を続け、地すべりが起こっているかどうかについての調査をして来た。

以下これらについての概略を記す。

われわれが本調査を始めた時には、水路・水槽・発電所などの建設工事はほとんど終り、山の斜面に沿って水圧鉄管支持のための固定台・小支台の基礎工事の最中で、この工事に関連し、たびたび測量が繰り返されていた。これら測量の度に差が生じ、地表面の移動、すなわち地すべりをおこしているのではないかとの考えがもたれるようになり、鉄管路付近の地下構造を調べるべく、日本物探K.K.の手により鉄管路の上の方の部分の地震探査が完了されていた。

したがって、われわれは、鉄管路の下の方の地域について地震探査をなすとともに、地盤の弾性的諸性質について調査すべく、P-波やS-波の速度・減衰率などが乾燥期と湿潤期で如何に変わるかなどの実験を試みた。又付近一帯の地下水の分布状態を調べるため、電気探査をも併せて実施した。

2. 付近の地質と探査結果

この付近の地質は大体頁岩帯と頁岩・砂岩の互層帯とよりなりたつており、鉄管路に沿った付近では、上の方の部分は砂質頁岩帯であり、中腹部は砂岩・頁岩互層帯、下方部は頁岩帯となつている。頁岩帯は、黒色緻密で塊状をなし、層理は判然としない。砂岩・頁岩互層帯では、砂岩と頁岩が数 cm の厚さで互層をなしており、風化により岩片状に剥脱される。

鉄管路に沿って地震探査をなし、得られた結果を示すと Fig. 1 のような地下構造になつている。表面第1層はP-波速度が 0.3~0.4 km/s で表土或は一部は一見岩盤の形をしているが、触れるとすぐ崩壊する脆

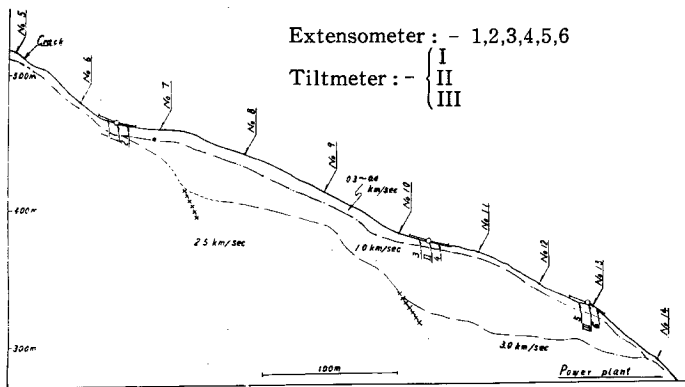


Fig. 1 Crustal structure along the penstock and disposition of the instruments

と地質とを対比すると No. 7 固定台より上は砂質頁岩帯, No. 7~No. 10 の間は, 砂岩・頁岩互層帯, それより下が頁岩帯となり, 破碎帯はこれら各地層の境界に発生しているようである。図中 No. 5~No. 14 の水圧鉄管固定台は, 基礎が 5~10 m までしか達しておらず, 大部分は第 2 層の 1.0 km/s の層に達しており, この層の挙動に大きく影響される。実験公式によると地盤の許容支持力 P と P -波速度 V_P との間には, 近似的に次のような関係が成立する。

$$\text{砂礫の場合} \quad P=18 \times V_P^{2.3}$$

$$\text{粘土の場合} \quad P=16 \times V_P^{1.5}$$

したがって, 第 1 層 0.3~0.4 km/s・第 2 層 1.0 km/s の各層が砂礫と粘土の中間的な性質を持つものと考えると各層の支持力は第 1 層で 3 ton/m², 第 2 層で 17 ton/m² 位あり, 一応固定台に対する支持力はあるように思える。

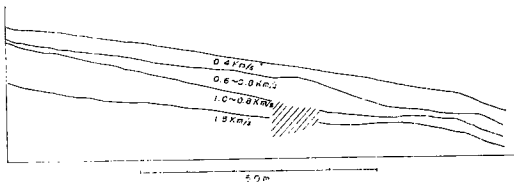


Fig. 2 Crustal structure

おらず, 湿潤期の調査として, 適当であつたとは思われないが, 乾燥期・湿潤期の地盤の諸性質を比較のため Table 1 に示しておく。

また, 当地域一帯 50 カ所の地点を選び電気探査を実施し, 地下水分布の状態や地下構造について調査した。調査の対照深度は大体 70 m であつたが, 地下構造は大へん複雑で, 以前の地すべりで相当変動をうけたものと想像される。これらの結果得られたものは, 弾性波探査で得られたものと一致しており, 破碎帯の近くでは種々雑多な層が交錯している。問題の地下水層は, この調査では認められなかつたが, これはボーリングからも予想される所であつた。

3. 伸縮計・傾斜計による土地ひずみの観測

以上の諸調査に続き, 昭和34年12月より, 当鉄管路に沿つて, 6 台の伸縮計と 3 台の傾斜計を据え, 地表面の動きの観測を行つている。諸計器は Fig. 1 に示したように, 3 カ所に観測小屋を設け, それより上

弱なものである。第 2 層は風化帯で P -波速度は 1.0 km/s 位であり, 崩土を含んだ迂り出し岩盤と思われる。この層は厚く, 地すべり地域にしばしば見られる典型的な形をしている。その下に 2.5~3.0 km/s の層があるが, 速度の点から見て, 新鮮な岩盤ではなく, ある程度風化をうけているものと想像される。又この層の中には地すべりにより生じたと思われる破碎帯が認められる。これらの地下構造

次に P -波や S -波を使つて, 乾燥期・湿潤期の地層の弾性的諸性質を調べる実験について述べる。この実験は, No. 7 固定台付近のやや平坦な所で, 鉄管路に直角な方向に測線を取り行なつたが, ここの地下構造は Fig. 2 のようである。調査当時, 約 1 カ月間降雨は無く, 末期にわずか 30 mm 程度の降雨を見たが, この程度では雨水は深くまで滲透して

Table 1

第 1 層	乾 燥 期	湿 潤 期
V_P (P-波速度)	0.31 km/s	0.35 km/s
V_S (S-波速度)	0.12 km	0.11 km/s
V_P/V_S	2.58	3.18
σ (Poisson 比)	0.41	0.45
E (Young 率)	1.02×10^9	0.87×10^9
G (剛性率)	0.36×10^9	0.30×10^9
η (粘性係数)	1.29×10^8	3.65×10^8
K (P-波減衰率)	3.0×10^{-4}	1.2×10^{-4}
第 2 層	乾 燥 期	湿 潤 期
V_P	0.75 km/s	0.78 km/s
V_S	0.35 km/s	0.40 km/s
V_P/V_S	2.14	1.95
σ	0.36	0.32
E	8.32×10^9	10.56×10^9
G	3.06×10^9	4.00×10^9
η	—	—
K	—	—

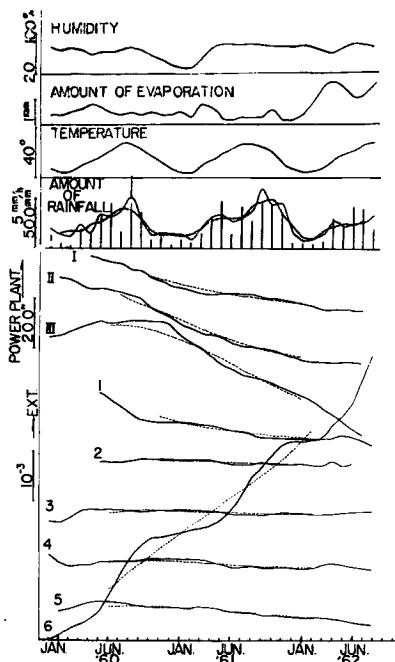


Fig. 3 Variations of the ground-strains and the ground-tilts
 —: observed value
 ---: secular variation

下に2台の伸縮計を鉄管路に平行になるよう設置し、この中に記録部を置き自記々録させている。同時に、各観測小屋には1台ずつ傾斜計を設置し、鉄管路方向の傾斜変化も自記々録せしめている。なお観測小屋内の各計器の基礎は同一のブロックになるよう考慮した。

これに用いた伸縮計は、地すべり用に作られたスーパー・インヴァー線伸縮計で、測定しようとする2点にコンクリートの基礎を作り、1つの基礎にスーパー・インヴァー線的一端を、他の基礎に拡大記録部を固定し、スーパー・インヴァー線の他端をこれに連結して、スーパー・インヴァー線を物指しとして、両コンクリート基礎間の伸縮変化を拡大記録せしめるものである。この拡大記録部は実変化を20倍・40倍に拡大することができるが、本調査では、2点間距離を15mにとり、20倍に拡大しているから、感度は記録紙上1mmが 3.3×10^{-6} の変化を示すことになる。

又傾斜計も地すべり地用に作られたZöllner吊り水平振り型傾斜計で、水平振子とその回転軸の傾斜にとともに、傾斜方向に回転して静止する性質を利用し、振子に鏡を取り付け、光学的にプロマイド上に記録せしむるものである。この種の水平振子を用いた傾斜計の感度は、振子のもつ固有振動周期により定まるので、これを自由に調節できるようにしてある。現在周期は10秒になつており、感度は記録紙上1mmが1.1"の変化を示す。これら諸計器により観測された結果を示すとFig. 3のようになる。1~6は上より順次設置した伸縮計で、I~IIIは同様傾斜計で観測されたものである。この図の実線で示したものは、毎日0時の値の月平均値を、点線で示したものは、この13ヵ月移動平均値を表わしており、一応年変化は除かれ、経年変化を示している。これらの変化を見ると、1は縮み、6は伸び、他のものはほとんど変化していない。これから推して、伸縮計1・2のあたりから上部と伸縮計5・6から下部が動いているものと思われる。これを示すかのように最近固定台No. 5の下方10m位の処にcrackの存在が認められた。しかし、No. 13固定台付近の伸びは大きく、年間15m区間で約30mmも伸びることになり、付近にcrackが生じる筈であるが、今のところ、それらしいものは見当たらない。これはごく表面的な変化であるのかも知れない。また、傾斜計の観測よりすれば、全部山の斜面と逆方向に傾斜している。以上のような観測からは、一番知りたいと思う固定台が、どのような動きをしてい

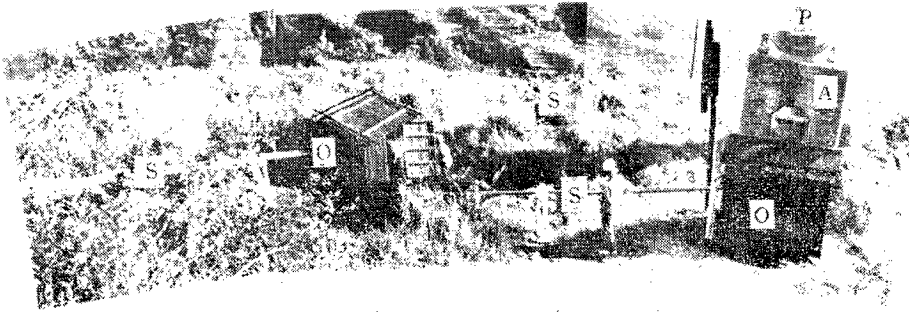


Photo. 1 Disposition of the observing instruments in the neighbourhood of No. 7 anchor block
S : super-invar wire O : observing room P : penstock A : saddle

るかを知るには充分でない。したがって、さらにくわしく調べるため、伸縮計 1・2 の記録部基礎と鉄管路小支台との間に伸縮計を設置し観測を始めた。この伸縮計は丁度鉄管路に直角に設置されている。(Photo. 1 参照) また、ここにもう一台傾斜計を据え鉄管路に直角方向の傾斜おも観測できるようにした。一番変化の大きいと思われる No. 13 固定台には伸縮計 6 と平行に下方 15m との間とこれと直角方向 15m の間に、それぞれ 2 台の伸縮計を直角方向に据え、その動きを知ることとし、ここでも一方向だけの傾斜だけでなく直角方向の傾斜をも知るべく、もう 1 台の傾斜計を観測小屋に設置した。別に No. 5 固定台下方の Crack がどのように変化するかを見るため、ここにも伸縮計を設置し観測を行なっている。

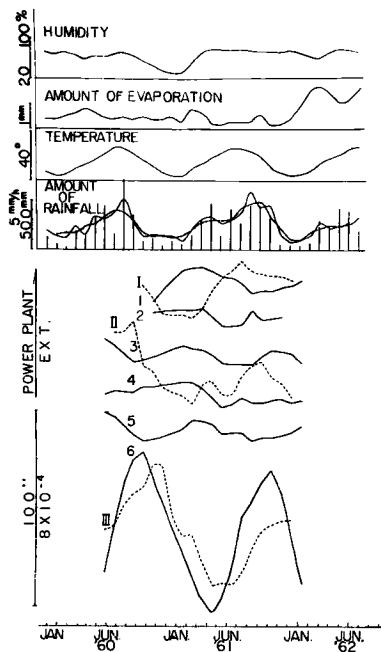


Fig. 4 Annual variations of the ground-strains (—) and the ground-tilts (---)

次に年変化の性質をしらべるため、各観測値と経年変化との差を求めた。これを示すと Fig. 4 のようになる。これらの変化は大体週期的な曲線を呈しているが、phase は一致していない。この phase の差は地すべりとある種の関連をもつものと思われるが、これについては今後さらに研究を進めたい。ここで一つ興味をひくことは、伸縮変化を見ると、経年変化が縮みであるもの (1・5) と伸びであるもの (6) との phase が逆になっており、経年変化が縮みであるものは、年変化も雨期に縮みであり、伸びであるものは雨期にやはり年変化も伸びである。また経年変化の大きいものはやはり年変化の振幅も大きい。したがって経年変化の小さいものは年変化の振幅も小さいためあまり規則正しい週期性を認めることができない。これら年変化は何が原因で生じるのであるかを知るため、一応考えられる気象的な諸量の観測結果を Fig. 3, Fig. 4 に比較のため示しておいたが、はつきりした関係を見ることはできない。これらについてはさらに研究する必要がある、何らかの手がかりが得られるのではないかと思ひ、1962年9月日変化について調べた。これらの観測結果を示したのが Fig. 5 である。伸縮計・発電所事務室内温度・No. 13 固定台近くの地表温度・発電所構内での雨量を併示してあるが、伸縮計・温度の観測はそれぞれ2時間ごとの観測値を、雨量は各日の9時の観測値を、また点線は観測値

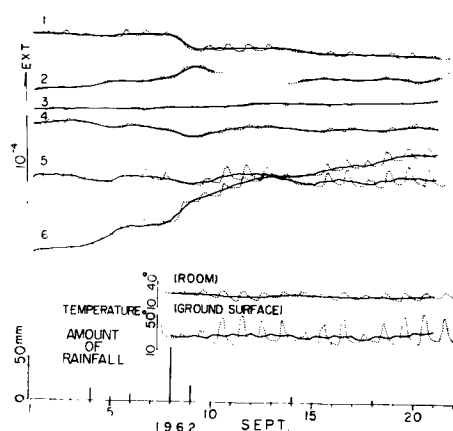


Fig. 5 Variations of the ground-strains, the temperatures and the amount of rainfall

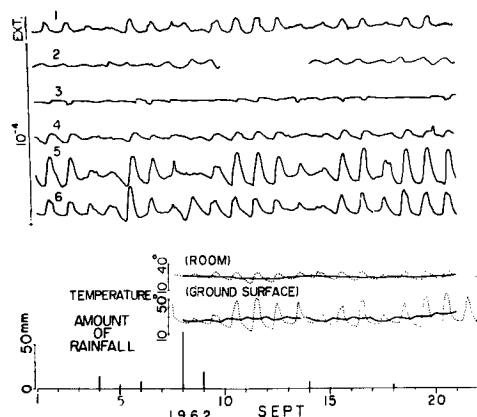


Fig. 6 Daily variations of the ground-strains, the temperatures and the amount of rainfall

そのままを、実線は26時間(2時間ごと観測値13個)の移動平均値を示してある。したがって、点線と実線の変化の差は日変化を表わしている。これを見ると、雨の影響がよく現われている。すなわち前述の経年変化の大きいものは、雨の影響も大きく、その変化は一方的に累積され元に復帰しない(1・6)。経年変化の小さいものは、雨の影響をほとんどうけないか、さもなければ影響をうけても、降雨後何日から再び復帰している。これが経年変化を小さくしている一つの原因のようにも思える。ここで注意をひくことは、経年変化が縮みであるものは、雨の影響も縮みであり、伸びであるものは、雨の影響も伸びである。次に日変化だけを取り出し示すと Fig. 6 のようになる。この日変化も年変化と同様、経年変化の大きいものは日変化も大きい。しかし、年変化のように、伸縮のちがいによる phase のちがいはなく、振幅の大小は温度、特に地表温度の振幅に起因しているようである。以上の事より考えると、年変化は雨量に関係があるのではないと思われる。これらについては今後、さらに究明する必要がある、これと同時に当地域の地すべりの全貌を明らかにしたいと思う。

最後に本研究を進めるに当り、終始御指導・御教示を賜った佐々憲三教授に厚く御礼申し上げますと共に、御助言・御激励を頂いた吉川宗治教授に謝意を表します。また調査や記録整理・計算など御協力いただいた、渡辺晃・大久保彪・森本喜一郎・西正男・小林年夫・多中勝美・吉良昭男・狐崎れい・土屋祥子の諸氏並びに観測などの労をおとりいただいた発電所の方々に御礼を申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 日本物探K.K.: 弾性波式地質調査報告書, 昭37.
- 2) 高田理夫: 発電所鉄管路付近地すべり防止対策調査(弾性波及び電気地下探査調査並びに伸縮計・傾斜計による土地変動の調査についての中間報告), 京大防災研究協会報告書, 昭35.
- 3) 高田理夫: 発電所鉄管路付近の土地ひずみ変化についての調査報告, 京大防災研究協会報告書, 昭36.