切山導水トンネル内における 100 m 長及び 330 m 長ハーフ フィールド型水管傾斜計 による傾斜観測

東海大学理学系大学院*
興津 修^{*1}・平田 裕^{*2}
東海大学開発技術研究所**
浅田 敏・綱川秀夫
国土地理院地殻調査部***
菊池新市・平井英明

Ground-tilt Observations by a 100 m and a 330 m
Half-filled Water-tube Tiltmeter
in the Kiriya Water-pipe
Tunnel in the Tokai Area

Osamu OKITSU, Yutaka HIRATA

Department of Physics, Tokai University,
Kitakaname 1117, Hiratsuka, Kanagawa
259-12, Japan

Toshi ASADA, Hideo TSUNAKAWA

Institute of Research and Development, Tokai
University, Kitakaname 1117, Hiratsuka,
Kanagawa 259-12, Japan

Shinichi KIKUCHI and Hideaki HIRAI

Crustal Dynamics Department, Geographical Survey
Institute, Kitasato 1, Tsukuba,
Ibaraki 305, Japan

(Received June 15, 1992;

Accepted August 3, 1992)

§ 1. はじめに

ハーフフィールド型水管傾斜計については, MICHELSON (1914), 綱川・浅田 (1984), 綱川・他 (1985), 浅田・綱川 (1987) 等の論文がある。現在東海大学では, 静岡県榛原郡の切山導水トンネル [東側末端位置: 北緯 $34^{\circ}47.5'$, 東経 $138^{\circ}09.5'$, 方向 $N85^{\circ}E$, 静岡県地震対策課 (1984)] で 100 m 長ハーフフィールド型水管傾斜計によ

る連続観測を行っている。このトンネルは空気の流通や人の出入りがあるが, ハーフフィールド型水管を用いればこの様な条件下でも充分に実用的な観測が可能である [平田・他 (1990)]。

切山導水トンネルでは 100 m 長の他に国土地理院の 330 m 長ハーフフィールド型水管による傾斜観測も行われている。本論ではそれらの記録がどの程度一致しているかを調べる。なお 100 m 長水管傾斜計はトンネル東端より 100 m から 200 m 奥の部分に設置されており, さらに 50 m 西に離れて 330 m 長水管傾斜計が設置されている。トンネルは全体として 0.4% 東下りである。

§ 2. 100 m 長水管による観測

Fig. 1a に, 1990 年 9 月 2 日より 1992 年 2 月 8 日までの観測例を示す。各点は 1 日平均 (5 分間隔 288 個データの単純平均) である。1 日平均とした理由は, 国土地理院データとの整合性のためである。傾斜の年周変化は, 2 月に西上がり, 8 月末に東上がりになる。データ期間が充分ではないがその変化を直線の変化と一年周期成分との結合として近似してみると, 永年変化が東下り 2.4×10^{-7} rad/年, 年周変化が 5.6×10^{-7} rad になる (Fig. 1a)。しかし気温は傾斜の年周変化と同じ傾向を示すので (8 月に高温 2 月に低温) 計測系の温度ドリフトの影響を疑ってみる必要がある。一つの目安として, 傾斜計に用いている変位センサー (マグネセンサー) の温度ドリフトから推測される変動の最大値を算出し, 観測記録と比較してみる。

センサーの温度ドリフトのカタログ値 ($0.3 \mu\text{m}/^{\circ}\text{C}$) を用いると変動の最大値は 1°C につき 3×10^{-9} rad である。なお, この水位計の縦方向の構造材の材質はスーパーインバルであり, 構造上の温度ドリフトは考慮しなくともよい。しかも常に空気の流通があるためにトンネル内の温度は空間的にはほぼ一様と考えられ, 両端の水位計の温度変化は打ち消され傾斜計としての温度ドリフトは更に小さくなると考えられる。

我々の観測によれば, 切山導水トンネル中の温度変化は最大でも年間 12°C をこえることはなく, センサーの温度ドリフトに起因するみかけの傾斜変化は最大でも 10^{-8} rad のオーダーである。Fig. 1a からわかるように観測された傾斜変動は年間で約 5.6×10^{-7} rad であるので, センサー自体の温度ドリフトは無視できよう。

§ 3. 330 m 長ハーフフィールド型水管傾斜計による観測

Fig. 1b に, 国土地理院による 330 m 長水管傾斜計の観測例を示す。その変化を 100 m 長と同じように近似

*. ** 〒259-12 神奈川県平塚市北金目 1117

*** 〒305 茨城県つくば市北郷 1

^{*1} 現在 日本鉱業株式会社

^{*2} 現在 NHK 学園高等学校

Fig. 1. The upper (a) and lower (b) graphs present records taken by the 100 m and 330 m half-filled water-tube tiltmeters, respectively.

In each graph, small circles represents daily averages (of 288 5-minute values). The records were obtained in the Kiriya water-pipe tunnel, the eastern end of which is at $34^{\circ}47.5' \text{ N}$, $138^{\circ}0.95' \text{ E}$ and the direction of which is N85E. The eastern end of the 100 m tiltmeter is placed 100 m inward of the eastern end of the tunnel. The eastern end of the 330 m tiltmeter is placed 50 m further inward of the western end of the 100 m tiltmeter.

してみると、永年変化が東上がりに $8.2 \times 10^{-8} \text{ rad/年}$ 、年周変化が $6.6 \times 10^{-7} \text{ rad}$ になる (Fig. 1b)。年周変化は夏に東上がりである。330 m 長水管傾斜計に用いられている変位トランスデューサーは 100 m 長と同じである。水位計の温度ドリフトが 100 m 長の場合と等しいならば、そのためのみかけの傾斜変動は、100 m 長の 1/3 以下である。水位計の両端にあるための効果も同様である。したがって、観測に現れる水位計に直接関係した温度ドリフトは 100 m 長と同じように無視できよう。

§ 4. 傾斜記録の比較

Fig. 1a および b を見ると 100 m 長も 330 m 長もかなり似た形の記録を示していることがわかる。数日程度以上の長さの変動はほぼ一致しており、ことに振幅の大きな変動の方が一致がよい。しかしながら永年変化の傾向は異なり、100 m 長の方は東下がりであるのに対して、330 m 長の方は僅かに東上がりである。100 m 長傾斜計東端は 330 m 長傾斜計西端に比べて約 $3 \times 10^{-7} \text{ rad/年}$ の東下がりの変化を示す。この 330 m 長に見られる東上がりの傾向は数年以上にわたっているの、測定機器のためではないと思われる [国土地理院 (1992)]。従って、このトンネル自体が湾曲しながら東側に沈降し

ていると考えられよう。この湾曲が空間的にどの程度か、またはある限定された地域のみに見われているのかわからない。なお短い周期での相違については、降雨の影響の現れ方が異なることが原因の一つかもしれない。

年周変化は、330 m 長の方が 100 m 長よりやや大きい。データ期間が充分でないので詳しい議論はできないが、設置場所の違いや両端水槽の支え方の違いなどが原因であると考えられる。330 m 長水管傾斜計の両端はコンクリート柱により支えられており、東側がおおよそ 1.3 m 高い。コンクリートの膨張係数は 10^{-5} 位であるから、Fig. 1b の年周変化の内 50% 位はコンクリート柱の伸縮によるみかけの変動であろう。100 m 長の水管の両端はトンネル壁面に固着しており、両端の高さの差は 40 cm である。この場合温度差による影響は、空気中に全面露出した柱よりは小さいと考えられる。

§ 5. 結 論

前述の通り、水管傾斜計による連続観測は 100 m 長でもほぼ充分であると言える。このトンネル中には 480 m にわたって水管傾斜計が直線的に配置してあるが、100 m 長のものを 3 台 100 m 間隔で配置する方が適切であると考えられる。長さ 480 m の水管傾斜計を用い

ると安定性・精度に優ることは明白であるが、トンネルが湾曲している可能性を見出せないことは言うまでもない。

ここにまた注意すべきことは、傾斜の年周変化の振幅である。掛川・御前崎間 20 km の水準測量による年周変化の振幅は約 6×10^{-7} rad であり、菊川・小笠間 2 km の水準測量による年周変化の振幅は 10^{-7} rad、切山トンネルの水管傾斜計による傾斜の年周変化は $5 \sim 7 \times 10^{-7}$ rad であり、それぞれの方向は違うがオーダーは $10^{-7} \sim 10^{-6}$ とほぼ同じである。以上は国土地理院 (1992) による。

永年変化は掛川・御前崎間で東下がり 3×10^{-7} rad/年、菊川・小笠原については南下がり 5×10^{-7} rad/年であるので、計測するのにそう困難を感じる量ではない。国土地理院が御前崎に設置した在来型長基線水管 (328 m 長) は、1981 年 1992 年にわたって年間約 10^{-6} rad の永年変化を記録し、同時に水準測量によるチェックも行われている。ただしこの水管傾斜計はトンネル中に設置されたものではなく、地表面から約 1.5 m の深さに埋没されたものである。切山トンネルの 2 つの傾斜計全体では永年変化が東下がり 3×10^{-7} rad/年である。このように、切山トンネルでの観測結果およびハーフフィールド型水管傾斜計のすでに述べた文献の内容等を考えると、地表面下 1~2 m に設置した場合でも基線長が

100 m もあれば $10^{-7} \sim 10^{-6}$ rad/年の永年変化は良好に記録出来ると考えられる。

謝 辞

江川良武・青木治三・平澤朋郎・稲谷栄己の諸氏に原稿の閲読およびディスカッションをお願いした事を記し感謝の意を表す。

文 献

- 浅田 敏・綱川秀夫, 1987, ハーフフィールド型水管傾斜計における温度変化の影響について, 地震 2, **40**, 125-126.
- 平田 裕・浅田 敏・綱川秀夫, 1990, ハーフフィールド型水管傾斜計による観測とその評価, 地震学会講報予稿集, No. 2, 240.
- 国土地理院, 1992, 東海地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, **46**, 272-289.
- MICHELSON, A. A., 1914, Preliminary result of measurement of the rigidity of the earth, *Astrophys. J.*, **39**, 105-138.
- 静岡県地震対策課, 1984, 切山トンネル地盤変動観測手法検討報告書, 134 pp.
- 綱川秀夫・浅田 敏, 1984, フロート式水位計についての一考察, 地震 2, **37**, 513-515.
- 綱川秀夫・浅田 敏・井野盛夫, 1985, ハーフフィールド型水管傾斜計のノイズのスペクトルについて, 地震 2, **38**, 609-610.