

27. 小田原傾斜観測井周辺の水準測量

地震研究所 井筒屋貞勝

(昭和56年7月31日受理)

1. はじめに

1923年関東地震の震源となった相模トラフの延長上には国府津—松田断層があり、大磯丘陵の西縁をなしている。国府津—松田断層は地形的には正断層的で、箱根火山の軽石堆積物の変位から 100 m 以上の垂直変位があると見られる (村井ほか, 1973)。関東地震の際には大磯丘陵南部が 2 m 程度隆起したことはよく知られているが、大磯丘陵付近の最近の垂直地殻変動の様相を、三島市から御殿場を経て小田原市に至る二等水準路線の垂直変動図 (国土地理院, 1980) で見ると、大磯丘陵の西部が1977年2月~1979年9月の間に 3 cm 程度沈降している。

国府津—松田断層の動きを直接とらえるために、断層付近に観測井を設け、ブイ傾斜計により1973年以来観測を続けている (笠原ほか, 1973)。観測井は東海道新幹線の弁天山トンネル入口 (小田原側) の南東約 300 m に位置し、1977年5月、1978年9月および1979年11月の3回にわたり、傾斜計観測の信頼性を確かめる目的で水準測量を実施した。ここでは、これらの水準測量成果とブイ傾斜計観測成果との対比について検討を進める。

2. 水準路線

傾斜計観測と水準測量を比較する場合は、水準路線の設定には特別の配慮が必要である。たとえば、水準点の配置を傾斜計から 500 m までは 100 m 間隔、それ以後は 750 m, 1 km, 1.5 km, 2 km 間隔とし、水準路線も直角方向に2方向設置した方がよい (檀原, 1965)。しかし、小田原観測井は斜面上にあり、斜面につけられた農道は幅員が狭く、小型自動車が通行するときは、水準儀や標尺をその都度はずさなければならないため、理想的な水準点の配置は困難である。

水準路線は、国道1号線上の道路基準点 001-078 (国府津駅の西方約 600 m) より、国府津—松田断層に沿う二等水準路線を北に向かい、神奈川県温泉地学研究所の水準点 (岡部落の北端) を経て二等水準点 10074 (東海道新幹線の南側) に至る約 1.3 km と、温泉地学研究所水準点より分岐して断層崖の斜面を横切り、観測井に至る約 0.5 km の極めて短い路線である。断層崖の斜面にはミカン畠が多く、農道はコンクリート簡易舗装で整備されている。水準点を新たに設置した場所は観測井の付近と、観測井と温泉地学研究所水準点の間であり、いずれも、直径 2 cm のステンレス棒をコンクリート上に 5 cm 程度埋めこみ水準点とした。この報告では、仮に神奈川県温泉地学研究所の水準点を B と呼び、観測井付近の水準点を観測井 BM, コンクリート舗装上の水準点を F と呼ぶ。これ

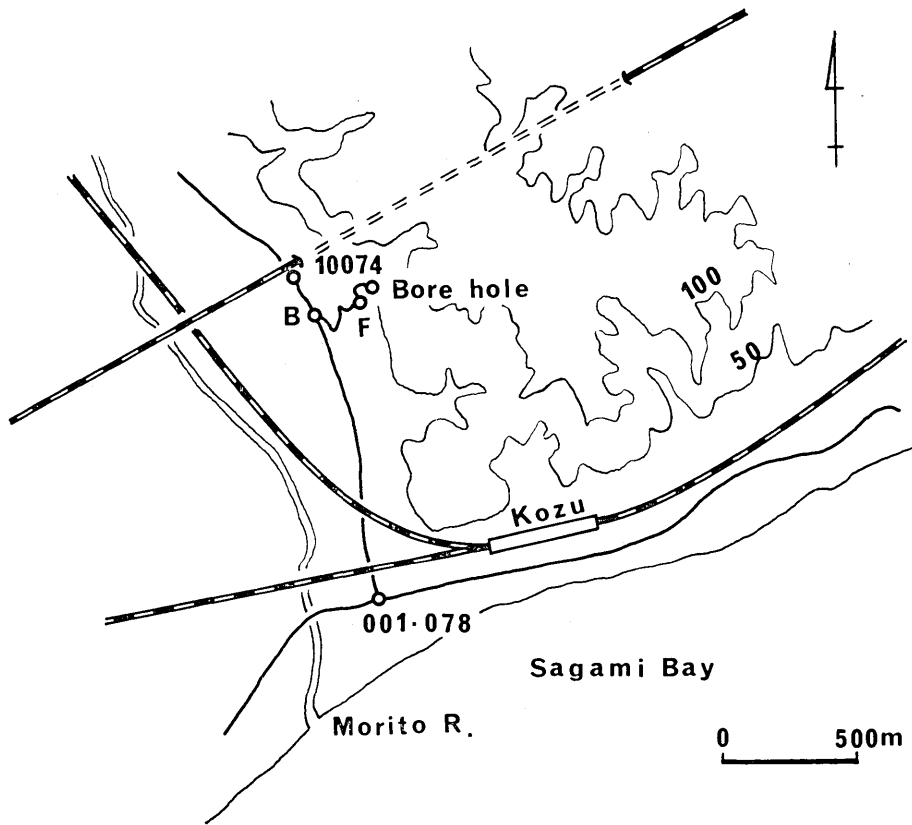


Fig. 1. Location of bench marks.

らの水準点の配置を Fig. 1 に示す。

水準点の設置場所を地質図 (鈴木, 1971) で見ると, BM 001-078 は立川ローム期の河岸段丘, BM B および BM 10074 は沖積面, BM F および観測井 BM は第三系からなる斜面上にあると思われる。

水準測量はウィルド N3 型精密一等水準儀とウィルド一等水準儀用標尺 10159 A, B を使用し, 精密一等水準測量 (往復観測の往復差が $2.5\sqrt{S}$ mm, S は片道の観測距離で km 単位) の精度で実施している。なお, 往復の観測値から次式により精度を求めると, 1 km 当りの観測中等誤差 U_r は 0.4 mm 程度である。

$$U_r = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{n_r} \sum_i \frac{\rho_i^2}{r_i}}$$

但し, n_r : 隣接する水準点間の数

ρ_i : 隣接する水準点間 i の往復差 (mm)

r_i : 隣接する水準点間 i の距離 (km)

水準測量は1977年5月, 1978年9月, 1979年11月の3回にわたり実施し, それらの観測

Table I. Measured height differences.

B. M.	MAY. 1977	SEP. 1978	NOV. 1979
001-078	m	m	m
B	+ 4.2319	+ 4.2312	+ 4.2303
10074	- 0.8061	- 0.8072	- 0.8077
B			
F	+ 14.9753	+ 14.9737	+ 14.9755
Borehole	+ 27.2946	+ 27.2949	+ 27.2930

成果を Table I に示す.

3. 垂直変動

BM 001-078 を不動と仮定し、1977年5月の観測値を基準にして、1978年9月および1979年11月の垂直変動を Fig. 2 に示した。この変動図では、断層に沿う水準路線を実線で、断層を横切る路線を破線で表わした。

BM B と BM 10074 は近接（距離約 200 m）しているが、これらの沈降速度は、それぞれ 0.6 mm/年と 1.3 mm/年であり、BM 10074 の沈降速度は BM B の約 2 倍程度である。これから BM 10074 の局所的な沈降が推測されるが、このことは Fig. 3 に示した垂直変動図（国土地理院、1980）によっても裏づけられる。小田原・厚木道路の南側で BM 10074 の西方約 1.8 km に位置する下堀集落付近には、東西方向に 200 m の間で沖積層の層序が全く異なる場所があり（鈴木、1971）、BM 10074 の局所的沈降も地質的な原因によるものかもしれない。

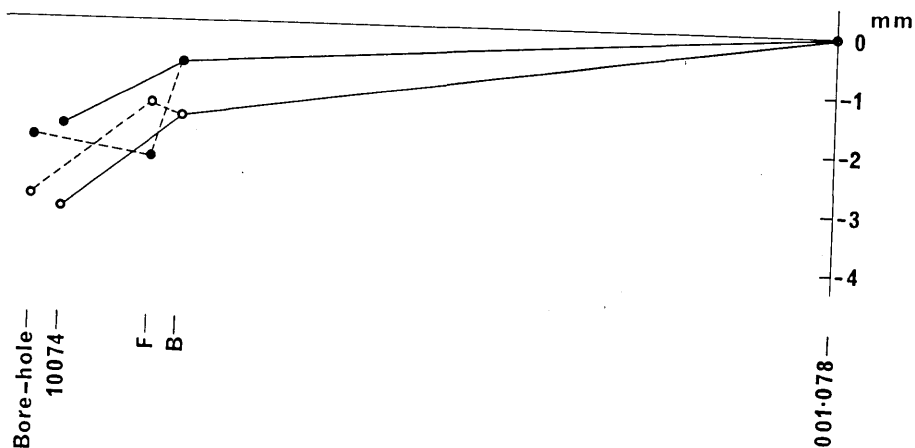


Fig. 2. Changes in elevation of bench marks.
 (●) : May 1977~Sep. 1978, (○) : May 1977~Nov. 1979

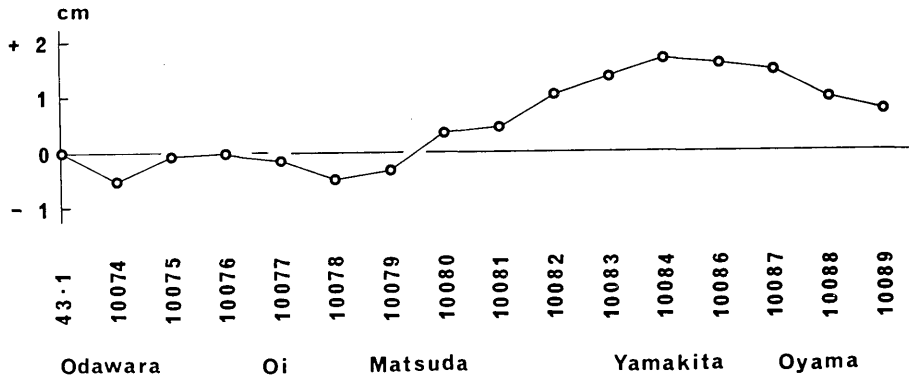


Fig. 3. Changes in elevation along Highway No. 246 (from the Geographical Survey Institute, 1980).

BM F は BM B に対して1977年5月～1978年9月には 1.6 mm 沈降していたが、1978年9月～1979年11月では逆に 1.8 mm 隆起した。この垂直変動の原因のひとつに次のことが考えられる。すなわち、ステンレス棒をコンクリートの簡易舗装に 5 cm 程度埋めこみ、これを BM F としたが、この舗装が地表から遊離し、気温など気象環境の変化によって垂直方向に動くのではないだろうか。

観測井 BM も沈降の傾向にあるが、その沈降速度は 1.5 mm/年から 0.8 mm/年と小さくなる傾向にある。また、観測井 BM と BM 10074 は断層崖の上と下にそれぞれ設置され対称的な位置関係にあるため、異なる垂直変動を示すのではないかと期待されたが、それらの垂直変動の様相は互いに類似しており、同一の地塊上にあるように見られる。

地塊運動をしらべる方法のひとつに Sine-method (宮部, 1933) がある。これは、地塊の傾斜面が水平面となす角を θ_m 、その方位角を φ_m とし、斜面上の任意の方位角 φ における傾斜角を θ とし、

$$\tan \theta = \tan \theta_m \cdot \cos(\varphi - \varphi_m)$$

の関係式を利用する方法である。 $\tan \theta$ の値を φ についてプロットするとき、測定点が同一の地塊の上であれば正弦曲線の上に配列される。測定点が面的に分布している程正弦曲線を描く誤差は小さくなるから、水準点が Fig. 1 に示されるように直線的に分布している場合は Sine-method は適当ではないと考えられるが、一応試算することにした。その結果、1977年5月～1978年9月の傾斜変動は N 50°E に 0.7" 下りを得たが、BM 001-078 が他の水準点と異なる地塊上にあるように見られるため、BM 001-078 を除外して再度計算すると N 30°E に 1.5" 下りという結果を得た。このように傾斜角が2倍程度大きい結果となったが、その理由は、BM 10074 が局所的に沈降しているため、BM B から BM 10074 を見た場合に見かけの傾斜が卓越したことによる。同様に、1977年5月～1979年11月まで2.5年間の傾斜変動を求めると N 20°W に 0.5" 下りになる。この結果を Fig. 4 に実線で示した。なお、BM 001-078 を除いて求めた傾斜変動 (N に 2.4" 下り) を参考までに Fig. 4 に破線で示す。

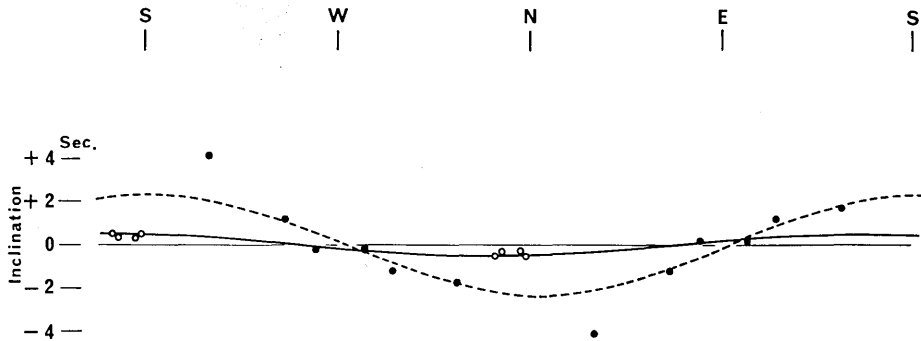


Fig. 4. A sine-curve fitting to the elevation changes observed during the period from May 1977 to Nov. 1979.

3. 傾斜計記録と水準測量結果との比較

Fig. 5 に示した傾斜変動図（東京大学地震研究所地殻変動研究部門ほか，1979）には年周変化らしいものが見られ，また，11ヶ月の欠測がある．欠測期間中には傾動が無かったと仮定し，水準測量を実施したときの月平均値だけから傾斜変動を求めると，1977年5月～1978年9月では N 60°E に 1.1" 下りという結果が得られる．一方，水準測量の観測成果から求めた同じ期間の傾斜変動は N 50°E に 0.7" 下りである．更に，BM 001-078 が異なる地塊上にあると考えてこれを除外し，他の水準点（BM B, F, 10074, および観測井 BM）のみから求めた傾斜変動は N 30°E に 1.5" 下りであった．このように，水準

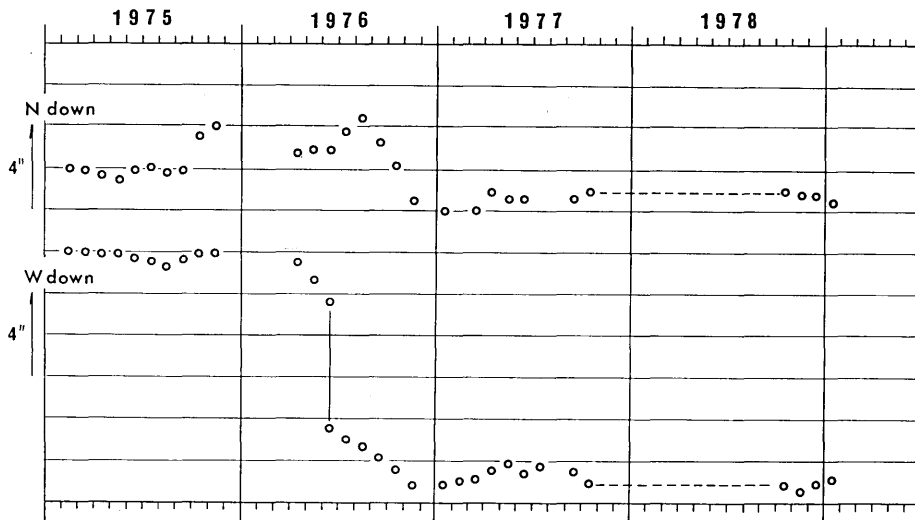


Fig. 5. Ground tilt observed at the Odawara tiltmeter borehole (from Section of Crustal Movement Studies and Aburatsubo Crustal Movement Observatory, Earthquake Research Institute, 1979).

測量成果から求めた傾斜変動は、概して傾斜計のそれとよく合っている。

関東地方の地塊の大きさは、一般に数 km~10 km 程度と考えられている(宮部, 1933)。そこで、Fig. 3 に示した国土地理院の垂直変動図を基にして、BM 43-1 の北西方向約 10 km に位置する BM 10079 の垂直変動量から、BM 43-1 を基準にした見かけの傾斜を求めると N 50°W に 0.1" 程度下りが得られる。また、観測井 BM は、BM B の北東約 300 m に位置し、水準測量の結果 BM B を基準にした観測井 BM の見かけの傾斜は、N 60°E に 1.3" 程度下りである。これら二方向の成分を合成すると、N 60°E に 1.3" 程度下りという結果が得られる。以上のようにして、BM 43-1 より北西方向約 10 km の範囲の傾斜変動について推定してみた。

4. おわりに

ブイ傾斜計観測の信頼性を確かめる目的で水準測量を実施した結果、1977年5月から1978年9月までの期間の、傾斜計・水準測量の両者から得られた傾斜変動は、それぞれ N 60°E に 1.1" 下りと N 50°E に 0.7" 下りである。最大傾斜の方向および傾斜角は共によい一致性を示すと考えられる。1979年以降については、傾斜計記録が整理未了のため、水準測量から求めた傾斜変動と比較できない。しかし、水準測量の成果によると、最大傾斜の方向が1978年9月から1979年11月までの期間に、N 60°E から N 20°W の方向に変化した。

傾斜計がどの範囲の地盤傾斜を示しているかは今回の水準測量だけでは推測できないが国土地理院の垂直変動図を参考にすると、大磯丘陵がその範囲と考えられないことはない。

この報告をまとめるにあたっては、地震研究所萩原幸男教授の御指導を受け、笠原慶一教授から御助言を戴いた。また、水準測量の実施に際しては次の方々のご協力を得た。記して感謝の意を表したい。

加藤照之(地震研究所助手)

花田英夫(現在は緯度観測所)

島田誠一(現在は国立防災科学技術センター)

小川卓司(大学院地球物理研究課程)

天野 博()

この作業は、文部省科学研究費補助金自然災害特別研究「地学的特性を考慮した地震動災害予測の研究—相模湾・東京湾沿岸をモデルケースとして—」によって実施したことを附記する。

文 献

- 檀原 毅, 1965, 油壺における傾斜計記録と水準測量結果との比較, 測地学会誌, 11, 3-4, 107-113.
 笠原慶一・山田重平・高橋辰利・東大地震研究所技術部, 1973, 小田原観測井とブイ傾斜計, 地震予知連絡会会報, 10, 51-56.
 国土地理院, 1970, 一等水準点検測成果集録, 24, 32.
 MIYABE, N., 1933, Block movements of the earth crust in Kwanto District., *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 11, 639-692.

- 村井 勇・金子史朗, 1973, 南関東のネオテクトニクス・ノート, 関東大地震50周年論文集, 125-145.
- 鈴木 隆介, 1971, 足柄平野および大磯丘陵南部, 神奈川県地盤地質調査報告書—神奈川県地震対策資料一, 19-32.
- 東京大学地震研究所地殻変動研究部門・油壺地殻変動観測所, 1979, 小田原観測井について (3), 地震予知連絡会会報, 22, 56.

27. Leveling Surveys around the Odawara Tiltmeter Borehole.

By Sadakatu IZUTUYA,

Earthquake Research Institute, University of Tokyo.

The Odawara tiltmeter borehole is located near the Kozu-Matsuda fault, which is the northwestern extension of the Sagami trough. In order to check the tiltmeter data, short-range leveling surveys have been conducted once a year since 1977. The tiltmetry resulted in A N 60°E tilting of about 1 second of arc during 1977-1978, while the leveling resulted in A N 50°E tilting of 0.7 second of arc during the same period.