

### 3 - 7 小田原観測坑井とブイ傾斜計

#### The Odawara Bore-hole Station equipped with a bouy tiltmeter

東大地震研究所

笠原慶一, 山田重平, 高橋辰利

技術部

Earthquake Research Institute,  
University of Tokyo,  
Keiichi Kasahara, Juhei Yamada,  
Tatsutoshi Takahashi.  
Technical Division

まえがき

日本地域の地震テクトニクスを研究する場として、南関東は第一級の重要性をもっている。特に、近い将来における大地震発生が心配されるこのごろでは、その重要性は単に研究上のものにとどまらない。地震予知ならびに防災のためにも、この地方の地震テクトニクスの本質を理解し、今後起こり得る地震の姿を予測することが不可欠と認識されるにいたった。

地殻の動態を正確に把握することが、この場合急務である。地震予知連絡会により南関東が観測強化地域に指定されたのに基づいて（昭和45年）、関係各機関は従来の観測網をこの目的に沿って補強し、地震予知研究に必要な資料の蓄積に努めることになった。地震研究所においては、このためのプロジェクトを南関東観測臨時事業として実施してきた。ここに紹介する観測坑井は本事業の一環として、最近小田原郊外に開設されたものである。

観測坑井とその選点

南関東における地殻変動連続観測は油壺・鋸山両観測所で多年続けられてきた。その基本目的は測地的方法の時間的不連続性を補いつつ周辺の変動経過を明らかにすること、また、これに適した観測方式を確立することにある。10～20年にわたる両観測所の活動を通じて、最近ようやく明るい見通しが得られた。すなわち、連続観測が示す変動の時間的経過（あるいはリズム）が測地測量から知られる大局的な変動のそれとよく調和していることがわかったのである。もちろん調和の程度には限界があるのであって、変動量（速度）やその卓越方向には両者間にへだたりがある。地殻の不均質性やブロック構造を考えれば、この種の不一致はむしろ当然であろう。このような限界を承知しているかぎりにおいて、水管傾斜計と土地伸縮計による連続観測方式—それは地震予知研究計画に基づく地殻変動観測所の基本でもある—は信頼できるものといえよう。

地殻変動はその性質上、対象に接近しないと有効な観測は困難である。従来の油壺・鋸山両観測所だけでは探知範囲も限られたもので、南関東全域の変動検出は望むべくもない。テクトニクス上の重要地点の近傍に観測点をもつことが不可欠なのである。

第1図を見れば、今回の観測点を小田原郊外に選んだ理由は明らかであろう。ここは、はるか日本海溝・伊豆マリアナ海溝の接合点にはじまる相模トラフが相模湾を斜断して上陸する地点にあたる。1923年の関東大地震はこのトラフに沿う相模湾底の右ずれ逆断層によるものであった。しかも、この断層運動は過去しばしば繰返えされたものらしい。それは海底地形にも鮮明な断層崖（北東側隆起）がトラフ沿いにたどれるし、陸上では大磯丘陵の西縁をきる国府津一松田断層の地形が物語っている。南関東テクトニクスの基本構造をなすこの断層の動きを直接とらえようとすれば、陸上では現在の場所を欠くことができないのである。

このような見地から同地方一帯を調査した結果、国府津駅北西1kmの鳴沢滝附近（ $\lambda = 139^{\circ} 12' 38'' 4E$ ,  $\phi = 35^{\circ} 17' 9''.6$ ,  $h = 35\text{ m}$ ）に適当な観測地を見出すことができた。これについては神奈川県温泉研究所の大木靖衛所長ならびに平賀士郎氏、また用地所有者の剣持源太郎氏の御厚意によるところが多い。この場所は新第三紀層砂岩が基盤として露出しており〔小沢・大木（1972）〕、観測にも施工にも極めて好条件が得られた。

#### ブイ傾斜計

今回の観測点では坑井方式を採用した。水管傾斜計や土地伸縮計の長期信頼性はすでに定評があるけれども、その設置には長い横坑が必要である。掘削工事の経費・日時もさることながら、相当な面積の用地を望ましい位置に得ることは著るしく困難になりつつある。人員の点においても遠隔地において長期間読取りを続けるには種々の問題が派生しよう。地震予知研究計画で採用してきた横坑方式が観測上望ましいのは事実であるが、今後は上記の難点をさけて、別の方式に移行せざるを得ない現状である。坑井方式はこれらの要求にかなうものとして、今後の基本型になることが期待される。

坑井観測用の計器、特に傾斜計は各国で開発が急がれ、すでに実用期に入りつつある。わが国では防災センターや地震研究所などで開発されてきた。近く観測開始が予定されている岩槻観測坑井（防災センター、3,500m）は関係者の関心をよんでいる。ところで、これらの傾斜計は例外なく基線長が短い（10cm～1mの程度）。そのため埋設深度の如何にかかわらず、ごく局部的な擾乱に影響されがちである。水管傾斜計が極めて単純な機構でありながら、よく大局的変動を記録できた秘密はその比較的長い基線長（10～100m）にある。坑井観測でこの利点を失なうことは長期変動の観測を行なう上に決して望ましいことではない。

ブイ傾斜計はこの難点を避けることができる。その原理は第2図の通り簡単であって、水中ブイを細い線で坑底に係留してあるにすぎない。浮力が十分に大きければ、ブイの浮心は常に

係留点の鉛直線上にある。いわば負の重錘をもった単振子に相当するので、地上でブイの動きを記録すればそれが岩盤の傾斜を示すことになる。この方式の利点は基線長を坑井深度いっぱいにとれること、また、測定機構がすべて地上端に集まり坑底は単に係留線を固定するだけでよいことである。その代り、坑井を極めて正確に鉛直掘削しなければ使いものにならない。

第2図はブイ傾斜計を備えた観測坑井の構造（右）と系統図（左）である。そこに見られるように、この設備は大別して坑井・マンホール・記録計室から構成される。今回のものについておもな仕様を記せば次の通りである。

<u>坑井</u>	深度	50m（ケーシング，耐圧ケーブル外附）	
	孔経	250 mm（掘削）	200 mm（ケーシング）
	精度	± 10 cm（偏心）± 0.1°（傾斜）以内	
<u>測定器</u>	傾斜計	型式	ブイ型（本文参照）
		基線長	50m
		成分	2成分（EW，NS）
	検出器	マグネセンサー（ソニー）	
地震計	型式	7サイクル（ホール・シアース）	
	成分	1成分（上下動）	
<u>記録器</u> （傾斜計用）	アナログ	打点型（横河 ERB - 10）	
	デジタル	（タケダ理研）	
	（地震計用）	（未設置）	

坑井の仕様は上記の通りであるが、最大の難関はその鉛直精度である。水中でブイが自由に浮動できるためには係留線（鉛直）に対して坑井の偏れをその内半径以内に抑えなければならない。50mの全長にわたって坑井をこの程度にまっすぐに、しかも傾きが0.1°を超えないように仕上げるのは至難の作業であった。施工に当たったのは大和工業および大島鑿井工業であるが、試行錯誤の末、この精密掘削に成功した。坑井はケーシング仕上げで、その末端には係留線固定金具のほか、短周期上下動換振器をとりつけ、膨脹セメントで岩盤に固定した（数mにわたり）。ケーシング取り付けは両端固定式で、中間部は乾燥砂充填により若干の自由度を岩盤との間にもたせてある。

0.5 mmの係留線をはじめ、ブイ・上部水槽などはすべてステンレス合金でつくられている。ブイは直径250 mm，高さ180 mmの円筒型で、自重を除き約7 kgの浮力をもっている。傾斜に応じたブイの動きはマグネセンサーで無接触的に検出される。この検出器はソニー製品で、発磁体（微小永久磁石）と検出ヘッド・増巾器からなる磁気変調ブリッジである。その、変位対出力電圧の特性は第3図のようなもので（製造会社資料）、間隔1 mmのとき6mV / μである。ブイ

傾斜計においては二組のヘッドを用い、ブイの水槽に対する変位を直角二方向に分けて検出する。

センサー増巾器の出力はアッテネータを介して記録器に入る。本観測坑井ではアナログ・デジタル併用で、前者には横河の打点式を、後者にはタケダ理研のデータ集録装置を用いる。データ集録装置はMDM - 1を主装置に、時計や紙テープ穿孔器などを附属させてある。

さきに述べた通り、坑底には地震計（短周期上下動1成分）を埋設し、ケーシング外壁に沿うケーブルで、出力を記録室に導いてある。今後、必要に応じて地震観測も併わせ行ないたい。

#### 試験観測

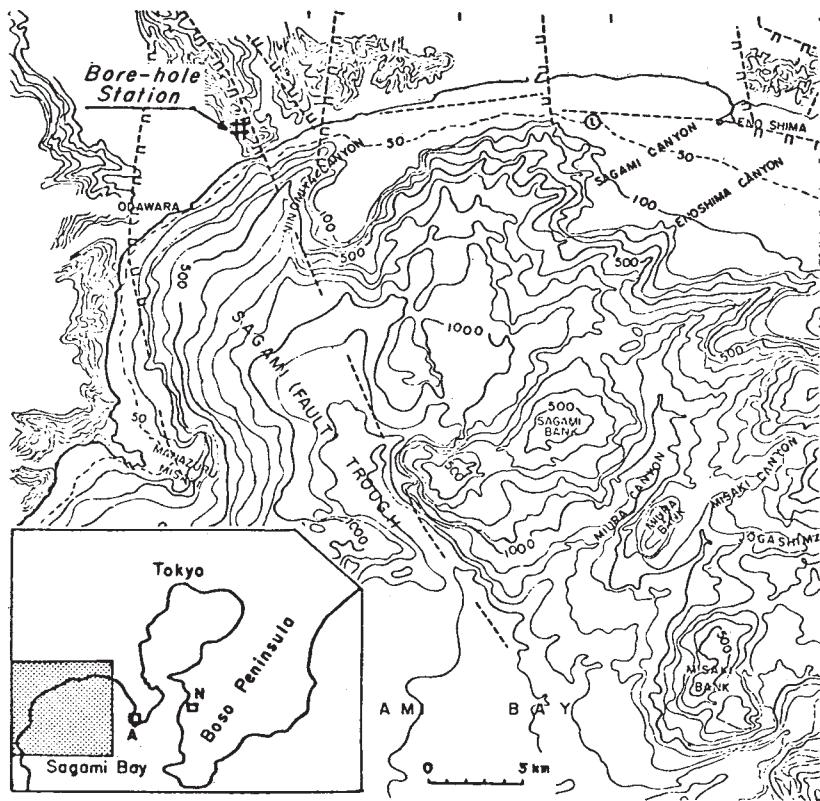
本観測井は完成後まだ日が浅く、試験観測を実施中であるので、詳細な報告は後日に譲り、ここでは現状を予備的に述べるにとどめよう。

さきに述べた感度のセンサー出力を $\frac{1}{12}$ のアッテネータを通して記録器（ $\pm 5\text{mV}$ フルスケール）に入れると、総合感度は $\pm 10 \mu$ フルスケール、いかえれば $\pm 0.04$ 秒角フルスケールとなる。現在はこの程度の条件で試験を行なっているが（第4図）、もう一桁以上感度を下げるほうが永久変化観測には適当であろう。

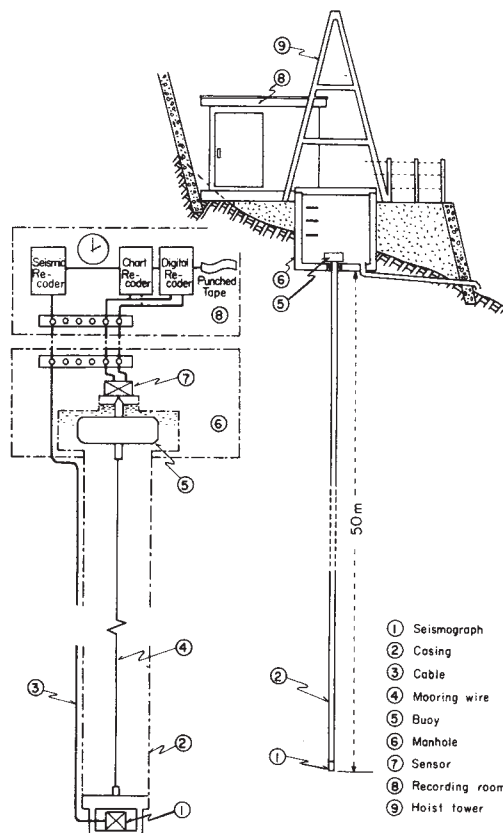
ブイ傾斜計の利点はさきに述べた通りであるが、新しい型式のものだけに解明を要する点がいろいろ考えられる。たとえば、安定性については係留線の残留歪が伸びや捩れにどう現われるか、気温や気圧変化が直接間接にどの程度の擾乱を与えるかなどである。前者については設置1ヶ月の間に約5mm、すなわち $10^{-4}$ 程度の伸びを経験した。これはいずれ落ち着いてゆくものと思われる。捩れは当初心配していたほどでない。これらは事前処理を適当に施せばさらに改善されるであろう。

気象的擾乱のうち、最も直接的なのは気温変化である。試験記録には日周変化がかなり目立っていたが、断熱カバーを付けることにより、相当軽減することができた。今後はマンホール自体にも遮熱内壁をつけ万全を期したい。それでもなお、気温変化による土地変形はあり得るが、それは今後の観測を通じて確かめて行きたい。気圧や降雨の影響についても同様である。

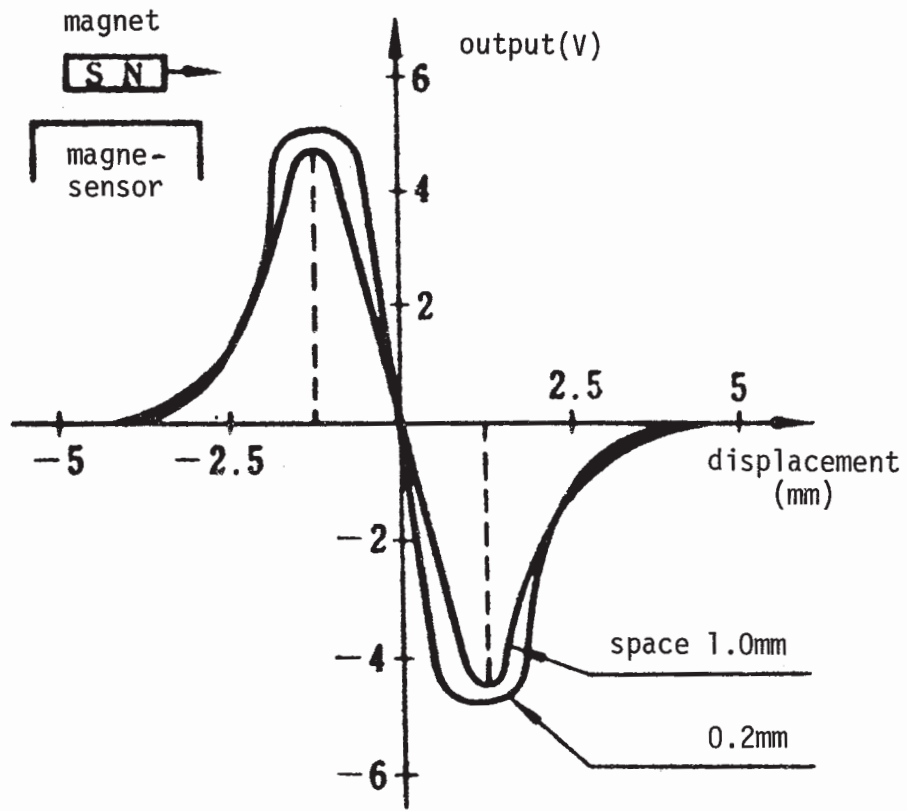
参考までに記録の一例を第4図に示す。



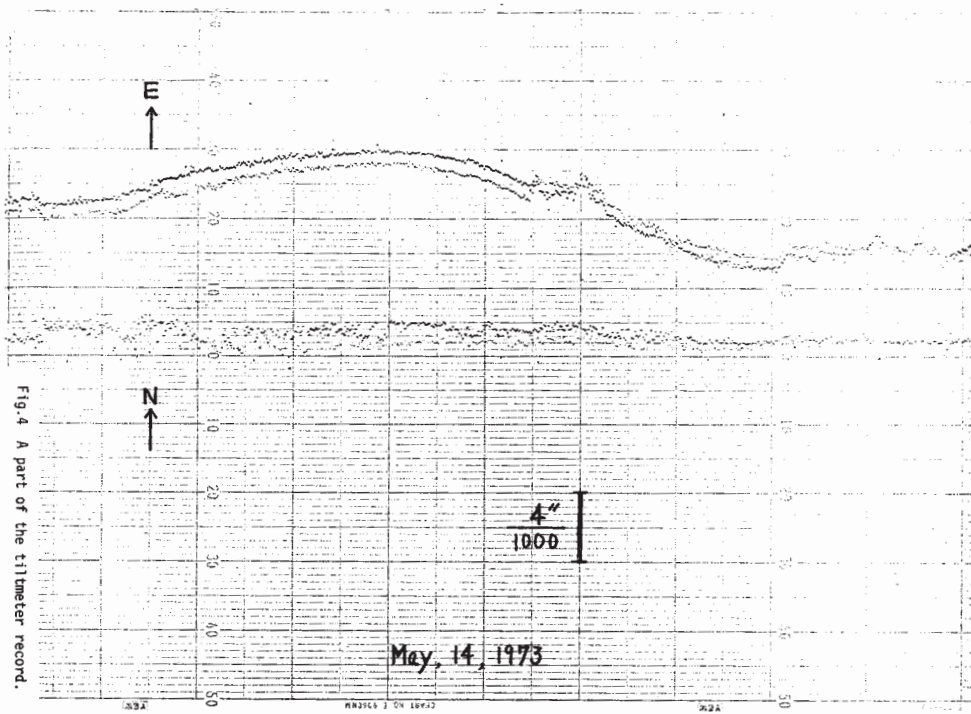
第1図 相模トラフ断層（推定）と観測坑井の位置  
 Fig. 1 Location of the station and the Sagami Trough fault



第2図 観測坑井とブイ傾斜計（略図）  
 Fig. 2 A bore-hole station equipped with a bouy tiltmeter



第3図 磁気信号検出器としての特性  
 Fig. 3 Characteristics of a magnet sensor



第4図 記録の一例 (小田原)  
 Fig. 4 A part of the tiltmeter record