

えびの・吉松地区地震観測井

高橋 博・高橋末雄・鈴木宏芳・木下 舜

国立防災科学技術センター

The Observation Well of the Ebino-Yoshimatsu Earthquake

By

H. Takahashi, M. Takahashi, H. Suzuki and S. Kinoshita

National Research Center for Disaster Prevention, Tokyo

Abstract

To study the Ebino-Yoshimatsu earthquake which occurred sinbe February 1968 in southern Kyushu, an observation well 35 m deep was bored in Yoshimatsu town, Kagoshima Prefecture, in October 1968 by the National Research Center for Disaster Prevention, and a seismometer, a tiltmeter and thermistors were burried in the bottom of the well; and the observation is going on until now.

In the present report, the reason why the point of well was chosen, the geological condition of the well, the results of geophysical sounding of the well, the specifications of instruments, and the results of observation from October 1968 to October 1970 are described.

The results of the experimental boring of the Matsushiro observation well in 1965 were helpful for the manufacture of the above-mentioned instruments, which have been operating in very good condition for the period of two years.

From the results of observation, the following are presumed:

1. As to the tilt measurement, anomalous movements of over the normal secular movement were clearly recorded during the period from May 1970 to August 1970. It is desirable to make clear the relation between the tilting movement and the earthquake activities by the accumulation of more data.
2. At the time of the earthquake off the coast of Miyazaki Prefecture (July 26, 1970; $M=6.7$), the jump in the recorded line, similar to the so-called "strain steps", was observed in the records of the tiltmeter.
3. The temperature in the bottom of the observation well is 27.6°C and does not vary since the beginning of the observation.
4. As to the earthquake observation, the daily frequency of earthquakes decreases gradually from the beginning of the observation to April 1970, but since April 1970 the daily frequency shows no decrease. By this fact, it seems that the earthquake activtiy of this area may have recovered its normal state.
5. Since April 1970 the frequency of earthquakes in the records of the velocity seismograph with magnification of 10^5 at 10 Hz is about ten times per half a day.

1. はじめに

1968年2月中旬に始まり、2月21日の震度5, 6の2回の地震、および3月25日の震度5の2回の地震によりかなりの被害を生じたえびの吉松地区群発地震研究のため、防災センターは現

地に観測井を掘さくし、その孔底で地震、傾斜、温度の観測を行なうことになった。観測井の位置は、鹿児島県始良郡吉松町般若寺山下の町道沿いである。(図1) 観測井の緯度・経度は次のとおりである。

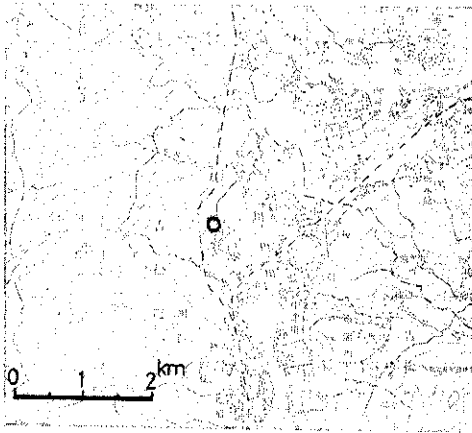


Fig. 1. Location of the observation well.

北緯 32° 01' 39", 東経 130° 44' 11", 高さ 235 m

この地点が選ばれたのは、霧島火山群の火口列線の延長上にあり、地殻の弱線に近いと考えられること、今回の群発地震の震源域にも含まれ、地中温度の増温率の不連続地帯にあり、しかも基盤の深さが浅いと推定され、我々の観測項目にとって有利であると考えたためである。傾斜観測については、通常横坑内で数十米の水管傾斜計が使用されることが多い。これは地表の温度の影響による局所的な変動を避けるためであるが、ボーリング孔内で観測を行えば地中の温度がほぼ一定な基盤内で、形の小さい振り型の傾斜計により有効な観測が可能かどうかを知ることができ、可能な場合には、地震活動と傾斜量との関係を研究する資料となり得る。また地震観測についても、地表層の影響をうけない地震波の観測が行なえ、しかも、地表の雑震動によるSN比の低下を避けることができるからである。また当地区の地震活動は、霧島、桜島の両火山活動とも関係があるらしい¹⁾といわれているので、その関係についての調査も目的の一つとなっている。この観測井では、昭和43年10月15日から、基盤の傾斜変化温度、地震動の観測が行なわれている。

なお、観測井戸の深さはわずか35 mであるが、井戸の掘さく時に孔底と地表孔口に特性のそろった上下動地震計を設置し、2 m, 4 m, 9 m, 21 m, 35 mの各深さで地震波動の比較測定を突

施した。それらについては、別の報告²⁾を参照されたい。

2. 観測井戸

測器埋設前の井戸の状況は次のようになっている。深さ2.8 mまでは孔径210 mmで掘さくして200 mmのケーシングパイプを入れ、次いで深さ30 mまで178 mmの孔径で165 mmのケーシングパイプが押入されている。それ以後は150 mmの孔径でこの井戸の深度35.1 mまで掘さくし、この部分は裸孔となっている。後に観測装置の検出部はこの裸孔部に松代の200 m観測井の際、開発された特殊セメントモルタルで固定された。基盤が当初推定したよりも若干堅かったこともあって35.1 mの掘進には8日を要した。

この井戸の地質柱状図は、第2図に示してある。この地点の地質は鮮新世の加久藤安山岩類に属し、加久藤カルデラの西縁を形成している。深さ9 mまでがかなり風化した安山岩であるが、とくに

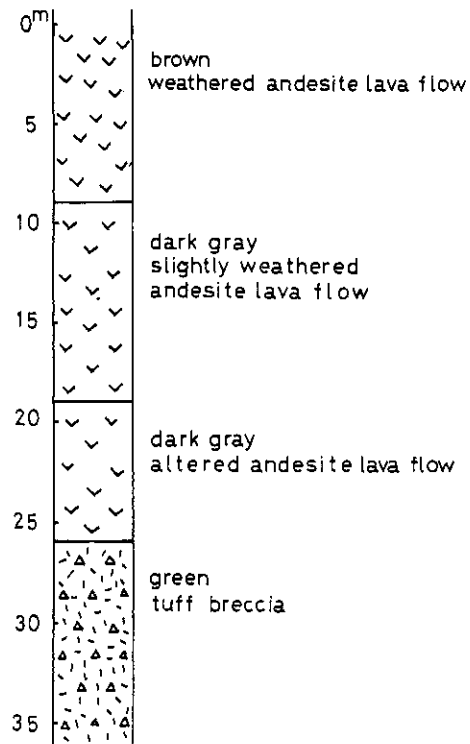


Fig. 2. Columnar section of the observation well.

3.5 mまでは風化が著しく、茶褐色でもろくなっている。9mから19mまではやや風化はしているが茶灰色がかたい。19mから26 mまでは極めて堅い暗灰色の安山岩で、それ以下は緑色の角礫質凝灰岩が孔底まで続いている。この地点の波動伝播からみた堅硬な岩盤は9 m以深であると考えられる。掘進中9 m附近にクラックがあって少々漏水があったが、湧水は認められなかった。

観測井戸そのものについての測定は、温度検層、電気検層、孔曲り測定が行なわれ、別に前述の如く深さ別の地震動比較観測も行なった。

電気検層および温度検層の結果は図3のとおり

である。比抵抗についてみると27 m附近で変化が大きく、上部ではその値が50—100 $\Omega\cdot\text{m}$ を示しているのに対し、下部では10 $\Omega\cdot\text{m}$ と小さくなっており、コアーと対比すると上部が溶岩であるのに対し、下部が凝灰角礫岩に対応し、凝灰岩の部分は熱水変質作用を受け粘土化しているため比抵抗値が低いものと考えられる。

孔曲り測定には精度2.5°といわれるトロバリ測定器を用いて、深度5 mごとに7か所で行なったが、傾斜角はいずれも0°で、試錘孔は垂直であった。

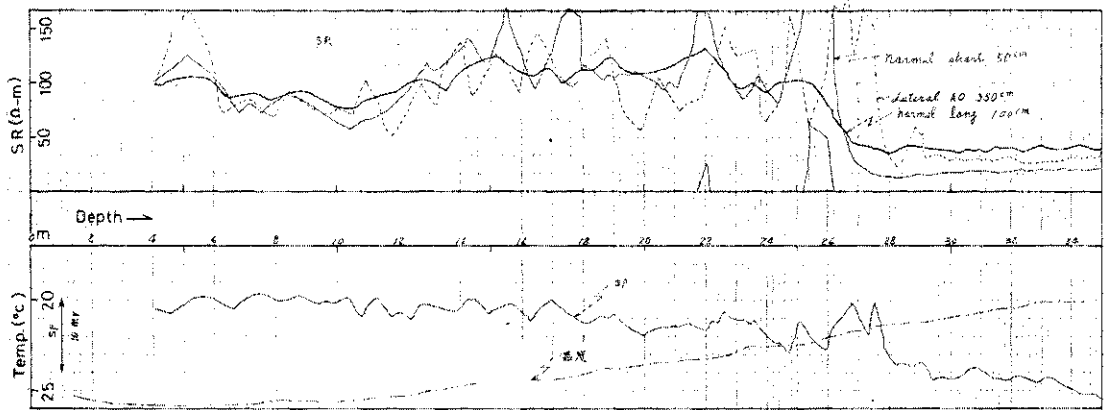


Fig. 3. Results of the electrical and the temperature logging.

3. 観測装置

装置は孔底に埋設された検出部と、孔口から5 m離れたところに建てられた観測小屋(13.2 m^2)におさめられた記録部、および両者を結ぶケーブルの3者により構成されている。

3.1 検出部

検出部は外径127 mm、長さ4,050 mm、肉厚5 mmの円筒型黄銅体の中に、下から方位計、傾斜計、温度計、地震計およびケーブル接合部の順に収納されている。

a. 方位計

方位計は傾斜計および地震計の設置方位を知るためのもので、検出部組み立て時に基準とした筐体マークが、北から何度回転しているかを検出することを目的としている。互いに直交するX、Y 2成分の検出コイルにより、地磁気のX、Y成分の大きさに比例した電気信号を発生させ、その各

々をメータで読み取れば、その読み取り値の比から基準マークの方位を知ることができる。測定精度は $\pm 1^\circ$ 、測定範囲は 360° である。

この方位計で測定された埋設後の検出計基準マークはS 44° Wとなっているので、傾斜計・地震計の水平成分は、ほぼNE-SW、NW-SEの方向に設置された。方位計は、連続観測は行なわない。

b. 傾斜計

傾斜計は差動トランス方式で、直交する2成分よりなる。振子の長さは10 cm、測定範囲は2段切換えとなっていて ± 12.5 秒、 ± 37.5 秒がそれぞれのフルスケールとなっているが、孔曲り等の補正のため傾斜計基準面をモーターによりX、Y両方向とも調整しうるよう設計されており、その調整範囲は ± 5 度である。

傾斜計機構本体は、制動、防蝕を兼用したシリコン油を充填した筒内に内蔵されている。

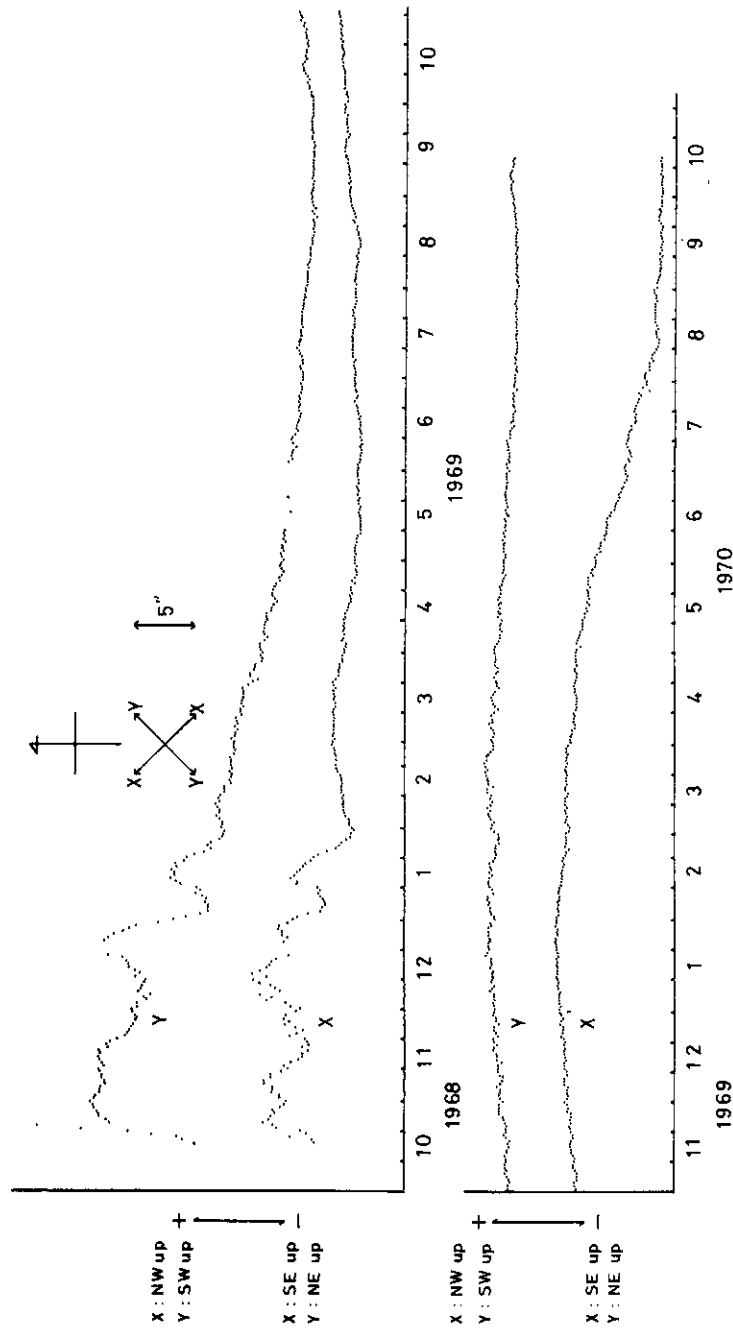


Fig. 4. Results of the tilt measurement.

c. 温度計

温度計はサーミスタを用いている。ガラス封入部の太さ2 mm、長さ15 mmのものを2本同一状態にして収納している。これは過去の経験から、サーミスタについてはバックアップ用が必要であると考えられるためである。精度は 0.1°C である。

d. 地震計

地震計は上下1、水平2、計3成分収納されている。上下動は爆破観測などで使用されている筒型の動コイル地震計で、固有周期0.3秒、電圧感度 1.75V/Kine のものを減衰定数0.6で使用しており、水平動も筒型の動コイル地震計で、固有周期1.0秒、電圧感度 0.2V/Kine 、減衰定数はシリコン油を用いて0.6に調整されている。

3.2 ケーブル

検出部と地上測器を結ぶケーブルは、耐熱ビニールキャブタイケーブルを用いた。外径17.1mm、長さ100mのものを切断せずに使用している。芯線は錫メッキ軟銅熱線で25芯、一芯の太さは 0.5mm^2 であり、傾斜計、地震計用の芯線はシールド線構造となっている。測器設計時には場所が温泉地帯に近く孔底温度の推定が困難であったため、ケーブルの最高許容温度 105°C のものを選んだ。導体抵抗は 20°C で $3.9\Omega/100\text{m}$ である。なお埋設作業時の吊下げ用にはこのケーブルとは別にナイロンザイルを用いた。

3.3 観測

記録装置は傾斜、温度は打点記録計により連続観測、地震については上下動のみ夜間12時間の抜き取り観測をすゝ書き記録計で行なっている。紙送り速度は打点計が 25mm/時 、すゝ書き記録計は 240mm/分 である。感度および倍率は、傾斜計では記録紙上16.4 cmが25秒に相当し、温度計では18 cmが10度、地震計では速度型として使用しており、 $10^{\circ}/\text{s}$ における倍率が10万倍となっている。

観測は依託により行なわれ、毎日1回の地震計記録紙の交換と、水晶時計の読み取り時間外は無人である。水晶時計は1日1回J.J.Yによる耳目法で較正を行なっている。地震の検測データは別に報告されている。⁴⁾

4. 観測結果

4.1 傾斜

傾斜については、感度が記録紙上で0.14秒角/1 耗と若干低いこともあって、最初予想したよ

り安定がよい。1970年10月までの傾斜記録の読み取り結果は図4のようになっている。設置は1968年10月15日であって、検出部を固定するための特殊セメントモルタルが安定するまで、かなり長期間を要するものと考えていたのであるが、特に大きな変動は約10日間程であった。以後もその影響が残っていたと思われるが、傾斜計検出部(孔底)と検波増幅部を結ぶケーブル——とくに観測室内のもの——の温度による特性変化の影響が大ききくいていたため目立つことはなかった。このケーブルの温度による影響は大きく、その日変化量は傾斜量の4秒に匹敵する程であったが、1968年12月に原因が判明し、調整されてから小さくなり、観測結果についてもある程度信頼がおける状態となった。たゞ、1968年12月から1月末にかけて、その全振幅が5秒、周期が約1か月と思われる変動がX・Y両成分にあらわれたが、この時以後この様な記録は認められていない。これが何の原因によるものかは明らかでないが、当時地震活動に特に変化があったようにも見えないので、あるいは測器に原因があったのかも知れない。

傾斜計の地震動による直接の記録は、えびの群発地震などの短周期で、しかも振動時間の短いものについては、打点間隔が12秒毎であるため明らかなものは少ないが、震央距離が大きく、振動時間が長い地震については明りょうに記録する。図5に1969年の規模7.8の北海道東方沖の記録例を示す。この例では最大傾斜量は、サチュレートしているから12.5秒角以上地震波動により、設置地点が傾斜したことを示している。

このほか、規模の大きな速地震等も明りょうに記録している。また図5には、伸縮計の観測で通常strain stepといわれている“とび”の記録も示した。この例は別に直接地震に伴ったstrain stepではなく、その原因が不明なものであって、約15分間に両成分とも傾斜量が1.1秒に相当する“とび”が記録されたもので、このように明りょうな例は後に述べる宮崎県沖地震の際に発生したものと、今迄に2回である。図5の記録の時には、これに相当する時間には地震はなく、前後にも地震活動に変化があるとはいえないが、瞬間的に動いたものではなく、その傾斜にかなりな時間を要した点に興味がある。測器および電源変動によるものとも考えて、電源について調査をしたが、特に認められるような電源変動はな

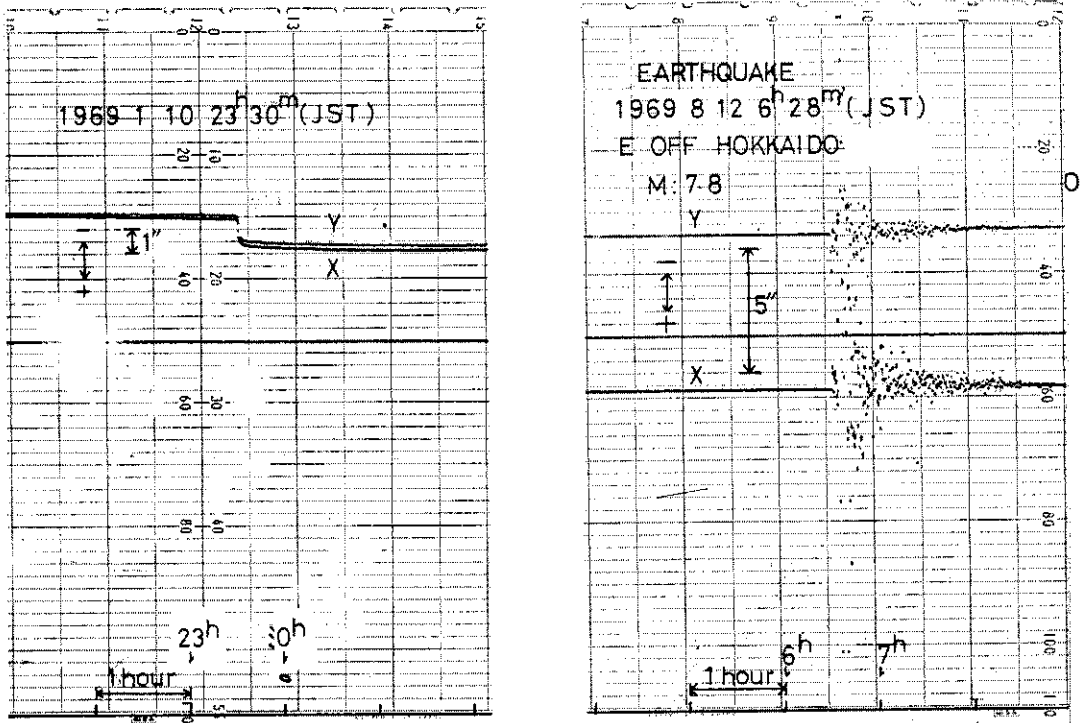


Fig. 5. Examples of the change of the tiltmeter.

いようであった。

傾斜計の観測結果から注目されるのは、1970年5月から始まるX成分(NW-SE)の変化であって、これは同年8月10日頃まで同様な変化を続け、それ以後は5月以前の変化の状態にもどっている。これは通常の年変化と考えられるものとは別の割合大きな変化であって、5月から8月10日頃までにその傾斜変化は7秒に達し、この間Y成分には異常な変化は現われていないから、変化の方向は、SWさがりかNEあがりとなる。そしてこの変化の最終期に近い7月26日7時41分に規模6.7、宮崎県内で負傷者13名と、四国・九州地方で40 cm前後の津波が観測された宮崎県沖の地震が発生している。この余震は、気象庁震源速報によれば8月1日までに15回震源決定されている。このほか8月18日と9月21日に1回ずつ震源が求まっている。これらの地震の震央距離は130 軒程度である。また、観測井からの距離90 軒程度の雲仙・熊本附近には、1970年6月始めより群発地震が発生しており、以後9月は1

回となっているが、その他の月は10数回雲仙岳で有感地震が発生していて、10月には20回を越えている。とくに8月9日には、地震規模4前後のものが熊本附近に5回発生している。また観測井から50 kmほど離れている桜島火山も4月下旬から噴煙量とその高さが増加しており6月12日今年3回目、ついで7月1回、8月4回、9月3回、10月14日には今年になって最大の爆発が観測されている。

これらの地震・火山活動と傾斜記録との関係があるのか、どうなのかについては、今後も資料を積み重ねることにより検討されるべきことと考えられる。

なお、7月26日の宮崎県沖の地震時には傾斜計が、その振動記録と同時に“とび”も記録している。その量はX成分が0.8秒、Y成分が0.5秒となっており、その傾斜方向はESEあがりまたはWNWさがりとなる。そしてこの“とび”の量は48時間後の28日7時頃までに、X成分で“とび”の量の6割、Y成分で9割がとびの方向と逆

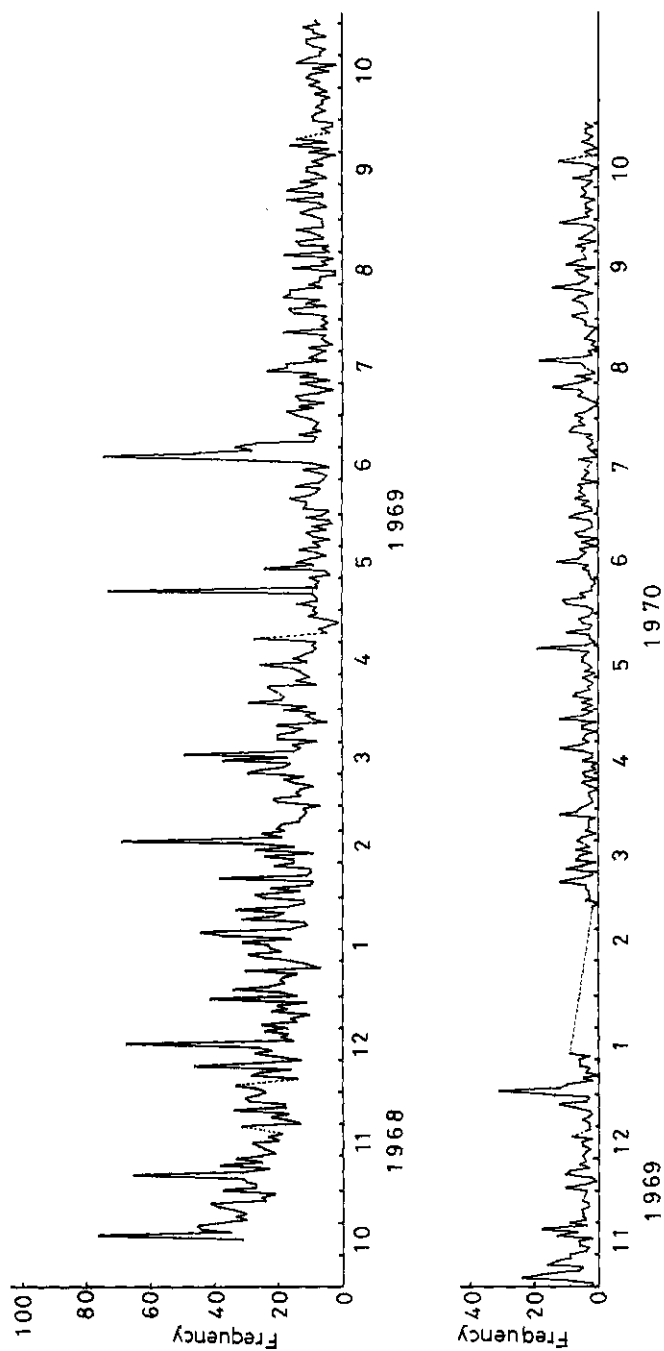


Fig. 6. Frequencies of earthquakes per half a day.

方向に打消されて地震発生前の状態に近くなっている“とび”の現象については、まだ観測例も少ないのであるが、この宮崎県沖地震の際のもの、図5の例のものでは、その方向は逆であり、量も異なり、strain step の場合と同様、量および方向に規則性がみられないのかも知れない。今後とも測器のテストと同時に、資料を増すことに努力したいと考えている。

4.2 温度

温度については観測開始当初より27.6°Cを示し、変化はみられない。2本のサーミスタの抵抗は数KΩ異なった値をもつが、検定図より得られる温度は完全に一致しており、この温度は充分信頼できる。

4.3 地震

図6に1968年10月から1970年10月までの、観測されたすべての地震回数(半日あたり)を示す。これによると地震回数は設置当初より徐々に減少しており、1970年の4月頃からは半日あたり回数が平均5回程度で横ばいとなっている。図7には、1か月ごとにまとめた図を示すがこれでも同様な結果がはっきりわかる。また図8は余震の減衰を示す図であるが、これでも4月から直線上にのらなくなり、減衰に変化があったように見え、地震活動が横ばいとなったことを示している。もう少し長期間の観測によらなければはっきりはわからないが、あるいは1970年4月頃から、えびの群発地震発生前のこの地区の平常の地震活動のレベルにもどったのかも知れない。

次に検測を行なった全振幅3mm以上の地震について、P～S時間の分布を図9に示す。便宜上期間を1968年、1969年前半、1969年後半、1970年に分けて図示する。これによると群発地震の余震と思われる地震のP～S時間は1968年には0.1～1.6 secに分布しており、時間の経過につれてP～S時間の長いものが発生するようになり、1970年には2.0秒程度のもも発生しており、わずかながら深度も含めての震源域の拡大を示している。群発地震活動と震源域の関係も注目すべき点であろう。P～S時間頻度のピークは0.3～0.5秒、0.7～1.0秒付近にみられるが、あまりはっきりしたピークはない。特に1970年以後の地震ではピークのない分布を示しており、余震活動の低下に関係あると思われる。P～S時間から震源域を推定すると、地震研究所⁵⁾京大防

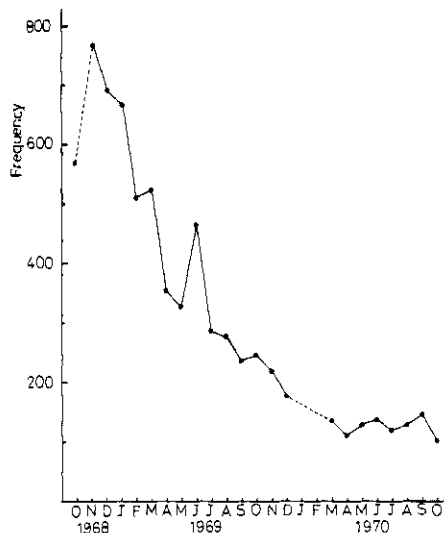


Fig. 7. Monthly frequencies of earthquakes. Frequencies of October 1968 are per half a month.

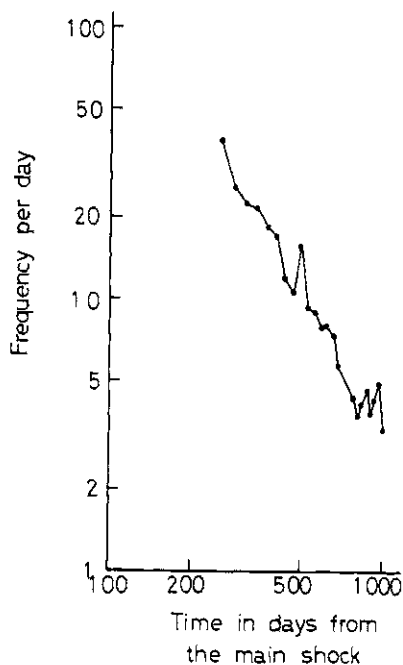


Fig. 8. Decrease in the daily frequency of earthquakes.

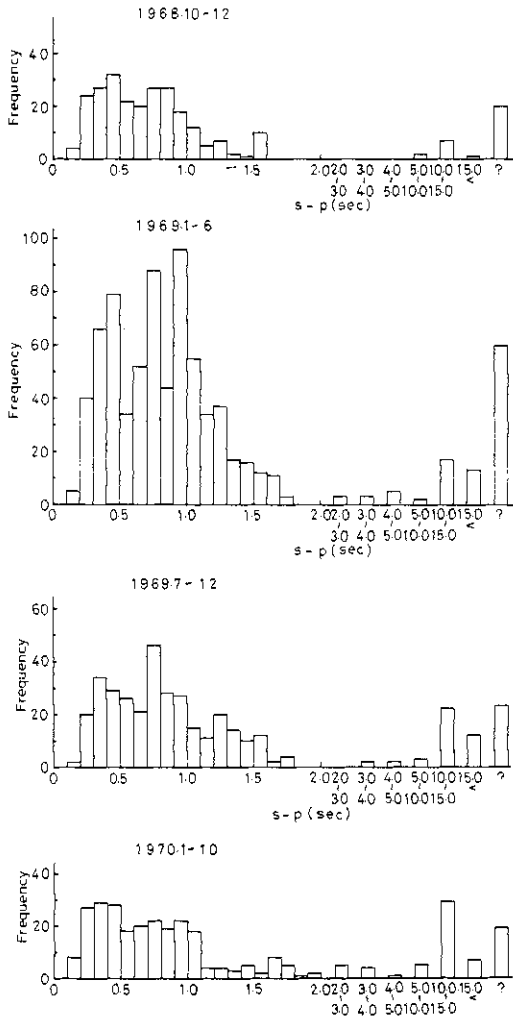


Fig. 9. Frequency distribution of the S-P travel-time intervals.

災研究所⁶⁾等のデータから震源が観測点の北東～東方向に分布し、深さが5 km程度とすると、震源域の東端は加久藤附近にまで分布することになる。P～Sが0.5秒以下のものから推定して観測点の近傍にも多数の地震が発生していると考えられる。またP～S時間が1.0数秒程度の地震は日向灘に発生している地震であろう。気象庁の資料によると霧島火山新燃岳附近にも地震が若干起きているにかかわらず、ここでは観測されていないが、これは地震の規模に関係があると考えられる。また昭和43年の一等三角測量により5秒角程度に達する角変化の認められた国見岳⁷⁾(観測井北

東63 km)方面の地震も観測されていないようである。

石本・飯田の係数を求めたのが図10である。期間の区切り方はP～S頻度分布の場合と同じで

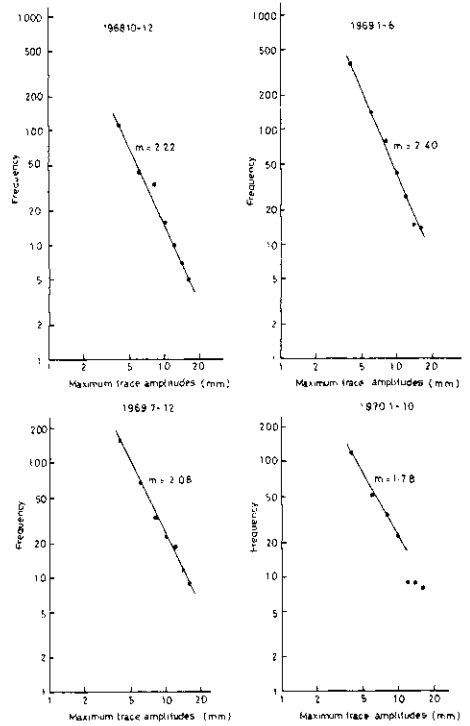


Fig. 10. Relation between the frequency of occurrence of earthquakes and the maximum trace amplitudes.

ある。この図で注目されるのは、1969年前半までは群発地震に特徴的な大きなmをもっていたものが、1969年後半から減少を示し、1970年には1.75まで減少したことである。このことから群発地震の活動が低下していることが推定される。

4.4 深さ別地震観測

前述のように観測孔掘進中に、地表と地中で地震動の同時観測を行なった。これについては別の報告⁸⁾に詳しいので概要だけ述べる。各深度で観測された地震の振幅の変化は図I1に示したよう

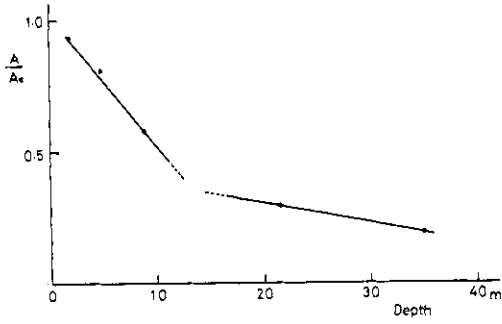


Fig. 11. Ratio of the earthquake wave amplitude at bore hole versus surface. A_0 : surface; A : bore hole.

になっていて、深さ10 m附近で減衰率の変化するところがある。各深さで得られた地中と地表の地震記録例が図12である。3.5 mの孔底と地表の比較では0.1秒より長い周期の波は振幅の変化が小さく、位相のおくれもほとんどない。0.1秒より周期の短い地震波については、深さ変化による影響が大きくなり、微小地震の最大動附近の20~30 c/sの振幅は、地中は地表の5分の1程度となっている。

5. 謝 辞

終りにのぞみこの観測所の設置にあたり、鹿児島県消防防災課、同県吉松町役場の関係者、ならびに九州電力加治木営業所に一方ならぬ御援助を頂いた。

また観測にあたり、鹿児島地方气象台、宮崎地方气象台、気象庁地震課および京都大学校島火山観測所から貴重な資料を見せて頂いた。これらの方々に厚く御礼を申し上げます。

参 考 文 献

- 1) T. MINAKAMI, S. HAGIWARA, M. YAMAGUCHI, E. KOYAMA and K. HIRAI. The Ebino Earthquake Swarm and the Seismic Activity in the Kirishima Volcanoes, in 1968 - 1969 Part 4. Shifts of Seismic Activity from the Kakuto Caldera of Simmoe-dake, Naka-dake and Takatibo-mine. Bull. Earthquake

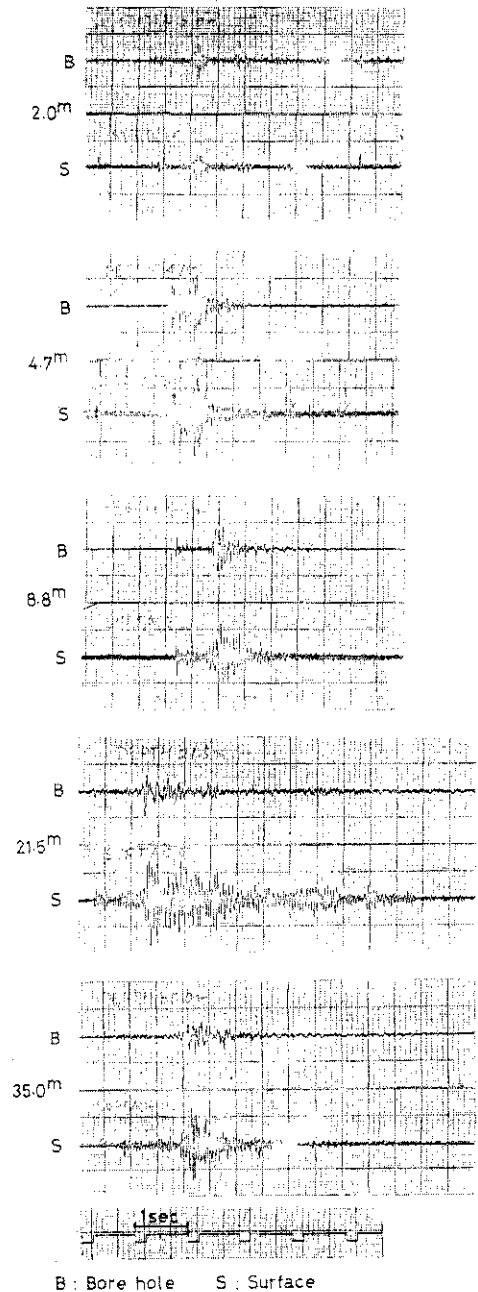


Fig. 12. Examples of traces of earthquakes at different depths.

- Res. Inst. Tokyo Univ., 48 205-233, 1970.
- 2) 高橋末雄・鈴木宏芳：浅井戸における地震波の深さによる変化，国立防災科学技術センター研究報告，第5号，1971年3月，9-24, 1971.
 - 3) 太田良平・沢村孝之助(1971)：えびの・吉松地区地震震源域附近の地質，防災科学技術総合研究報告，No. 26，
 - 4) Earthquake Laboratory : Seismological Bulletin of National Research Center for Disaster Prevention No. 1, 1970.
 - 5) 1)と同じ
 - 6) 吉川圭三・中村俊造：南九州の地震，京都大学防災研究所年報，第13号A，1970年3月，
 - 7) 国土地理院地殻活動調査室，九州地方の地殻変動，地震予知連絡会会報，1 3-6，1969.