

55. 深井戸地震計による観測 (第一報)

東京大学理学部 高野 敬
地球物理学教室
地震研究所 萩原 尊禮

(昭和40年12月21日発表—昭和41年6月30日受理)

§1. まえがき

地震波、特に微小或は極微小地震を観測する際には、その検出を困難にする土地の微動の影響をできるだけ小さくすることが望ましい。それには以前から地面に穴を掘ったり、電氣的にフィルターを用いたり、物理探鉱で用いられている様に群設置法等の方法を用いて SN 比を高める工夫が行われている。

今回は一つの方法として、微小或は極微小地震を観測する目的で、現在すでにある深井戸を利用して、井戸の底と地上で地震及び微動の比較観測を行なった。地表と地下の地震波の観測についてはすでに多くの研究が行われており、例えば、地盤の種々の性質を調べるための比較観測、また微弱な遠震をみつける目的のための深井戸での地震と微動の研究などがある。^{1), 2), 3), 4)}

§2. 器械

地震計としては、すでに爆破地震動観測等に用いられている固有周波数が 4 cps の筒型上下動地震計を用いた。これを耐水耐圧を考慮した容器の中に入れて、キャブタイヤで井戸の底まで沈めて地表で観測を行なった。容器はステンレス製、外径が 7.2 cm、長さが 30 cm で、ふたにそれぞれ 2 段に O-ring を用いてある。(容器の長さが長いのは、将来地震計の周期をのばす予定のあるためである。今回は上下動 1 成分のみであるが、将来さらに水平動 2 成分を入れることを考えている。) キャブタイヤは 6 心で、ピアノ線が入れている。

用いた増巾器は、5 cps から 100 cps までほぼ平らな周波数特性を持っている。記録はデーターレコーダーを用いました、一時的にビジコーダーで記録した。データーレコーダーには FM 方式で記録するものと、RHR と呼ぶ再生時にロータリーヘッドを用いる直接録音によるものを用いた。RHR で再生する場合は、磁気テープの送り速度を録音時の 50 倍にして、ビジコーダーで記録した。

観測は 1965 年 7 月 22 日から 8 月 1 日まで、千葉県鋸山にある地震研究所の鋸山地殻変動観測所の深さ 64 m の井戸の底で行なった。このとき、比較のために、地表に露出した

1) K. KANAI and T. TANAKA, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **29** (1951), 107.

2) H. TATEL and M. A. TUVE, *Contribution in geophysics in honor of B. Gutenberg* (1958), p. 152.

3) E. J. DOUZE, *Geophysics*, **29** (1964), 721.

4) E. J. DOUZE, *Bull. Seism. Soc. Amer.*, **56** (1966), 619.

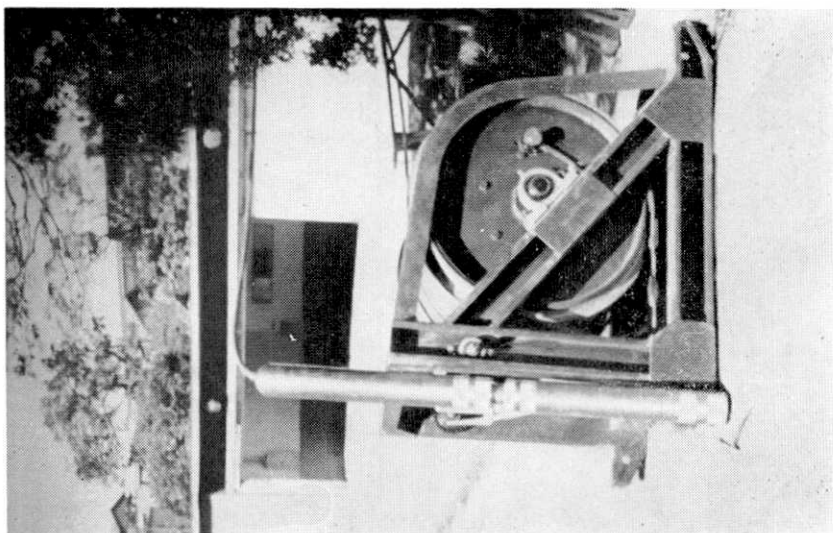


Fig. 2. Winch, cable and pressure vessel.

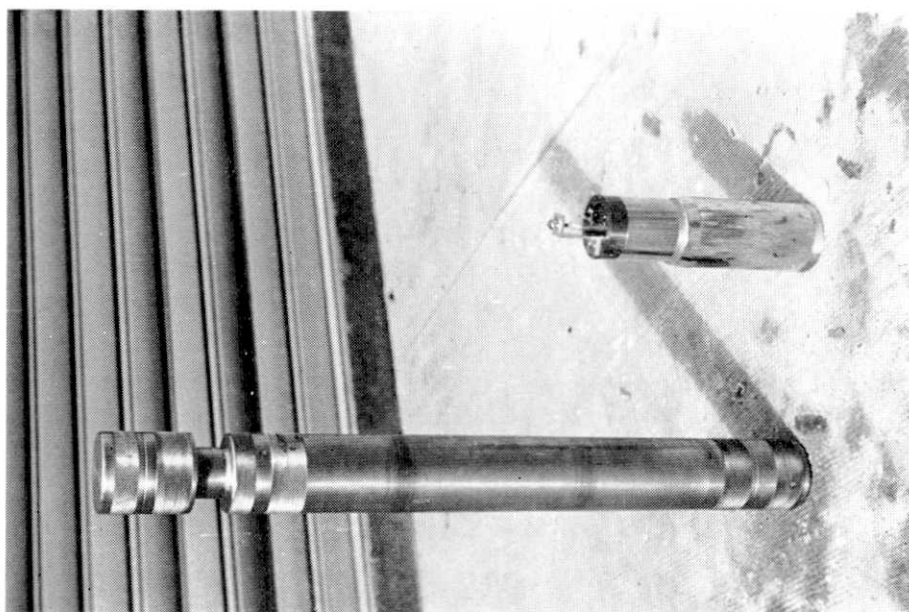


Fig. 1. Pressure vessel and seismometer.

岩と、現在地殻変動の観測を行なっている横坑内のコンクリート台で、地震と微動の同時観測を行なった。又同年の11月17日から1966年の3月末まで、東京本郷の東京大学構内にある深さ380mの井戸の底と、地表、さらに地表より3.6mの浅い穴の底で地震と微動を比較観測した。

§3. 観測結果

鋸山では10日間の観測期間中に、大小約20の地震を記録した。地震及び微動の記録の例をFigs. 3, 4に示す。増巾器の倍率は井戸、横坑を岩の上の2倍にしてある。岩の上の記録には、地震と微動のいずれにも短周期の波が含まれている。昼夜の微動の記録は地震の記録より遅い速度で送ってある。記録をみると、短周期の波は夜の記録で著しく減衰しているが、長周期特に1秒以上の波はほとんど減衰していない。これは鋸山の観測所が海に近いための脈動の影響であろうと考えられる。

本郷では1カ月間に約40の地震を観測した。本郷の深井戸で観測した地震と、微動の記録の例をFigs. 5, 6に示す。増巾器の倍率は地下を地表の4倍にしてある。井戸の底での総合倍率は、10 cpsの周波数に対し約17,000倍である。鋸山の井戸ではこれよりさらに10倍感度をあげてある。地表と地下の記録を比較すると、地表には短周期の波が含まれていること、地震の初動が地下よりやや遅れていることが目立っている。

これらの記録をスペクトル分析した結果をFigs. 7~10に示す。スペクトル分析は、磁気テープから、ピジコーダーで早送りして戻し、1/50~1/100秒毎に振巾を読み取り、 $1/2 \times (1 + \cos 2\pi ft)$ なる窓をかけてフーリエ分析を行なった。解析時間は2秒ないし4秒である。

鋸山で観測した地震のスペクトルをみると、地震によって多小異なるが、井戸で観測したもののスペクトルが他に較べて低い周波数3~4 cpsの方に山がかたより、横坑ではやや高い方6~8 cpsにのび、さらに岩の上の記録では10~20 cpsの周波数の波が、井戸と横坑に較べて卓越している。この周波数のあたりでは、岩の上の微動の振巾も大きいので、SN比は他の観測場所に較べてやや小さくなっている。横坑のコンクリート台では、微動のスペクトルも6~8 cpsの波が比較的多い。

本郷で観測した地震のスペクトルは、地表と地下で周波数に対して大体同じ傾向を示すが、地表の方が地下に較べて振巾が大きくなっている。地表と地下の振巾比は到来する地震波によって異なるが、周波数の高い方が振巾比が大きい。すなわち、地表の方が短周期の波が卓越する。これを微動のスペクトルと合わせて較べると、微動の振巾、即ちノイズレベルは地下に較べて約10倍地表の方が大きくなっている。さらに地震波と同様地表の方が短周期の波の減り方が少ない。地表と地下のSN比は周波数によって異なるが、傾向として地下の方がかなり大きくなっている。

以上鋸山では深さ64mの井戸の底と、地表に露出した岩及び横坑で比較観測を行なったのであるが、SN比は10 cps以上の高い周波数のところで地下の方がやや大きいと云う結果である。本郷の380mの井戸になると、SN比は地表と較べると2~3倍大きく

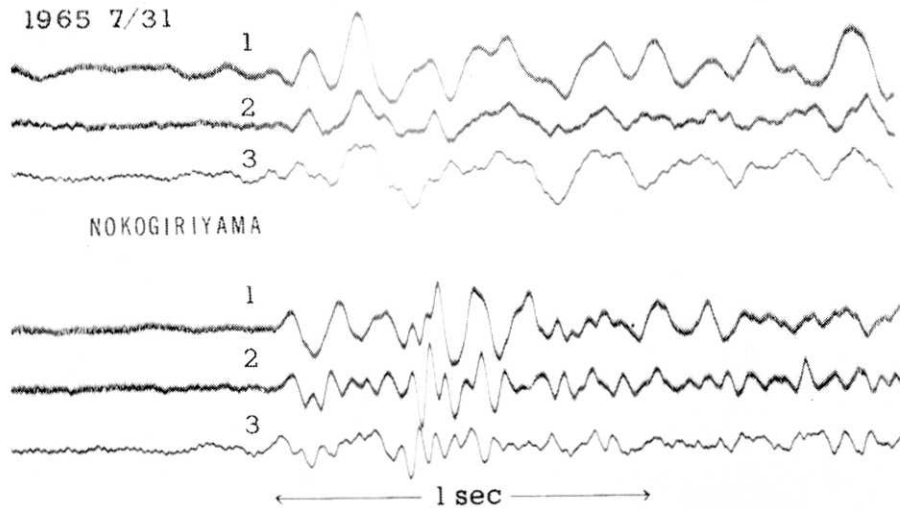


Fig. 3. Records of earthquakes observed at Nokogiriyama. The ratio of sensitivity of amplifier in the deep well to that on the ground surface and in the horizontal gallery is 2:1:1. 1. In the horizontal gallery. 2. On the ground surface. 3. In the well 64 m deep.

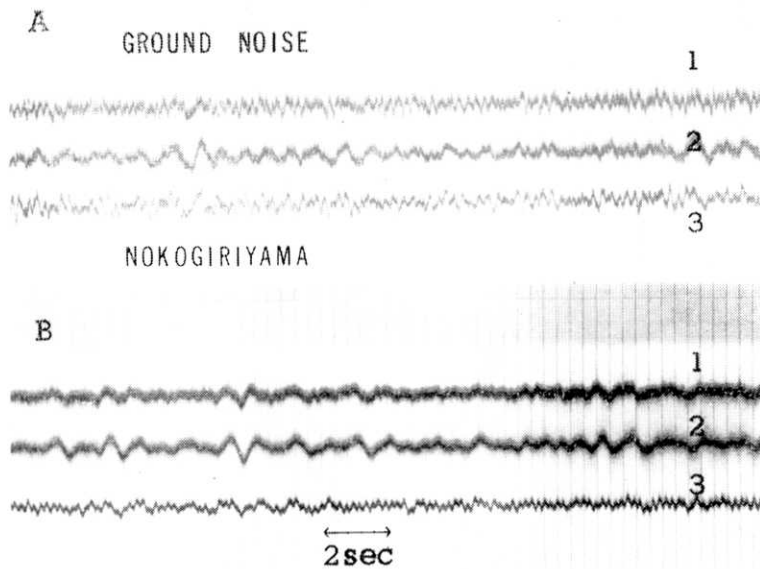


Fig. 4. Records of ground noises observed at Nokogiriyama. The ratio of sensitivity of amplifier in the deep well to that on the ground surface and in the horizontal gallery is 2:1:1. 1. In the horizontal gallery. 2. On the ground surface. 3. In the well 64 m deep.
A. In the daytime. B. In the night.

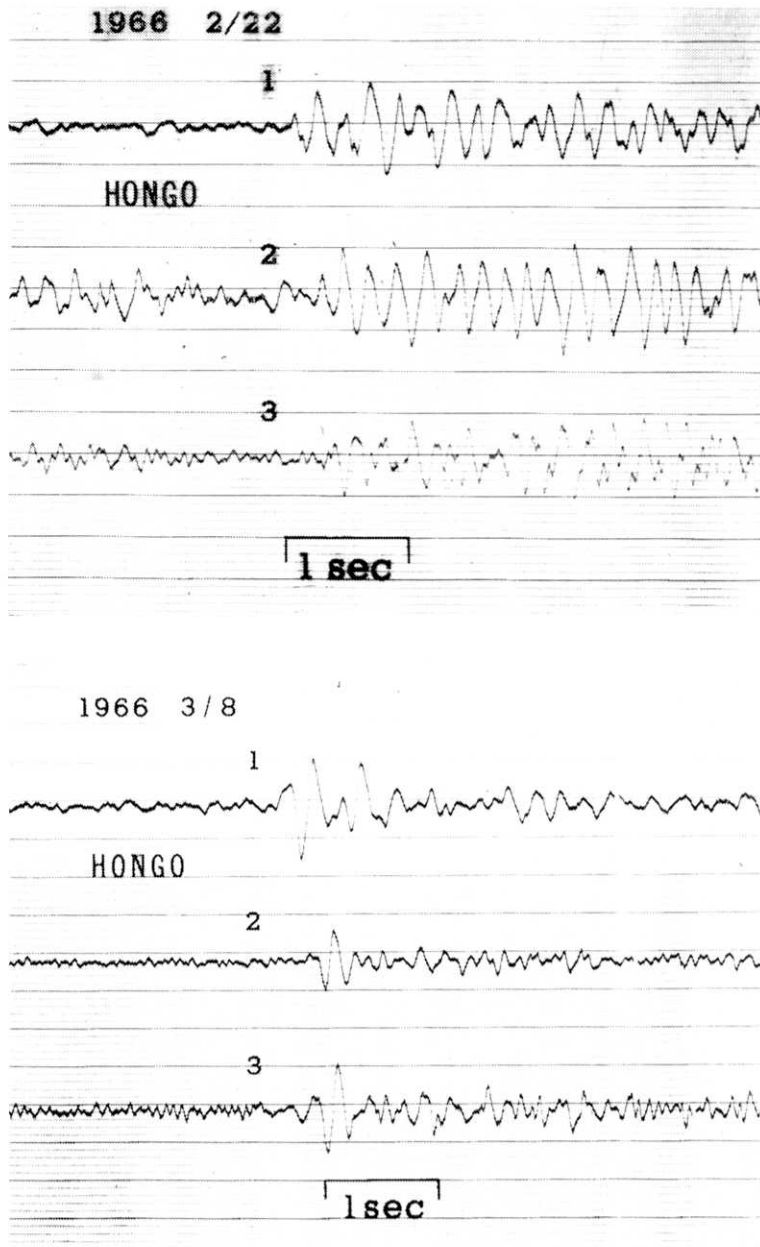


Fig. 5. Records of earthquakes observed at Hongo. The ratio of sensitivity of amplifier in the deep well to that on the ground surface and in a shallow hole is 4:1:1. 1. In the well 380 m deep. 2. In a shallow hole. 3. On the ground surface.

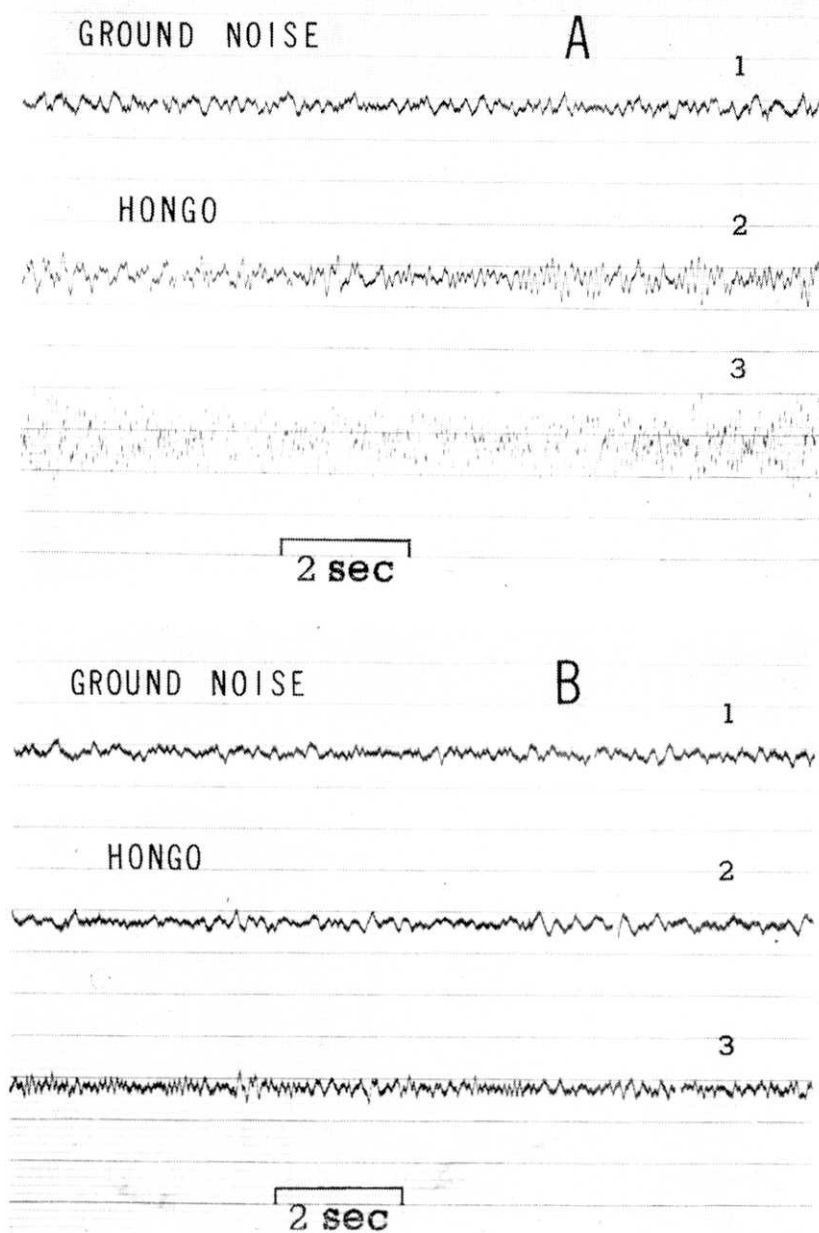


Fig. 6. Records of ground noises observed at Hongo. The ratio of sensitivity of amplifier in the deep well to that on the ground surface and in a shallow hole is 4:1:1. 1. In the well 380 m deep. 2. In a shallow hole. 3. On the ground surface. A. In the daytime. B. In the night.

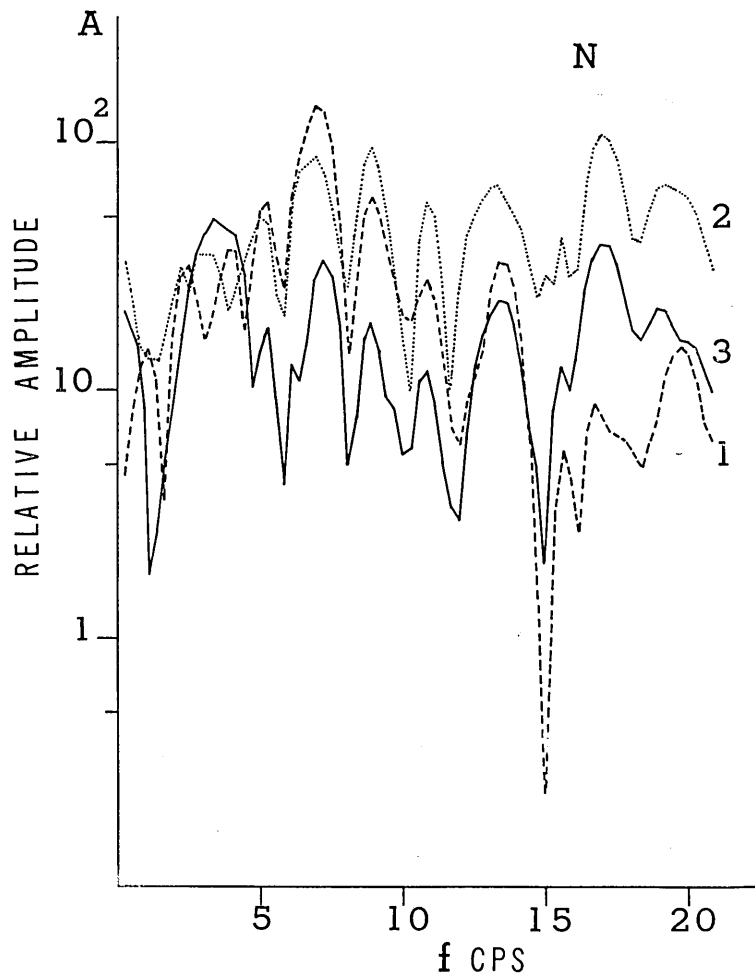


Fig. 7. Spectra of earthquakes from the records at Nokogiriyama.
 1. In the horizontal gallery. 2. On the ground surface.
 3. In a well 64 m deep.

なっている。また微動のスペクトルは、鋸山、本郷のいずれにおいても、地下の方が高い周波数の波の減衰が早い。即ち 10 cps 以上の高い周波数の波は、地表面に源をもつか、または地表近くの構造によるものであることがわかる。このことをさらに詳しくみると、10 cps 以上の短周期の波は、場所によっては深さが 2~3 m の穴の底でもかなり減衰していることが示される。今回の観測では本郷の深井戸附近に 3.6 m の浅い穴を掘り、その底に地震計を置いて観測したのであるが、Fig. 6 にある記号 2 の如く地表に較べて短周期の波が

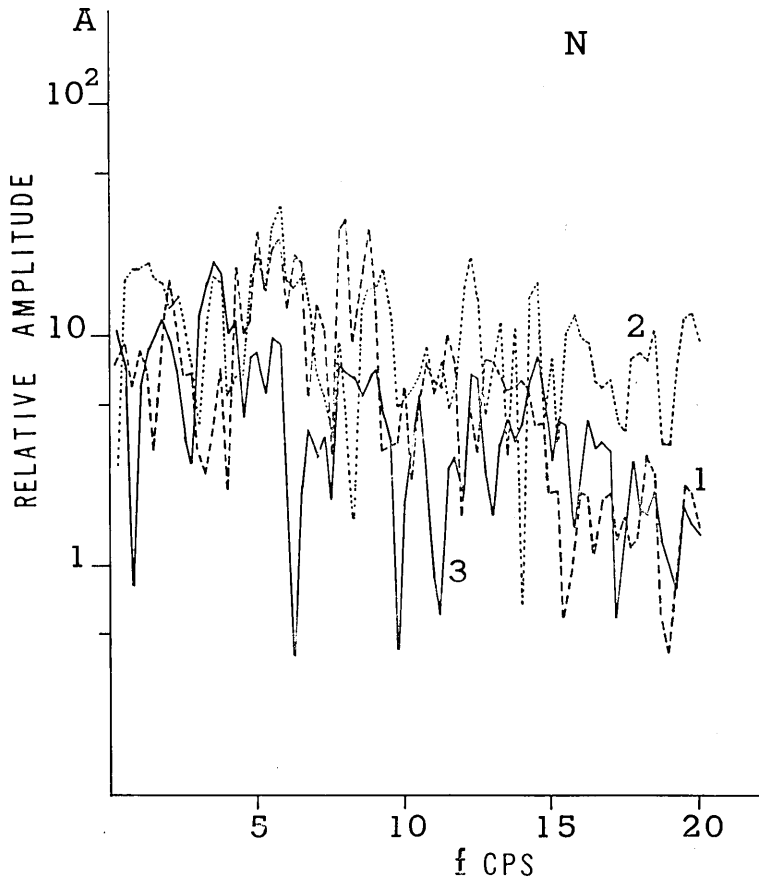


Fig. 8. Spectra of ground noises from records at Nokogiriyama.
 1. In a horizontal gallery. 2. On the ground surface.
 3. In a well 64 m deep.

かなり減少している。又筆者の一人が 1958 年に茨城県柿岡で地表と、深さ 2.5 m の穴の底で観測した微動の記録及びそのスペクトル⁵⁾を Fig. 11 に示す。

前にも述べた様に、特に本郷での観測の場合、地震の初動の到着時刻が地表と地下では最大 0.3 秒位違う。(実際の初動が地表では微動の中に埋れて、検出が不可能の場合もある。)これは表層の P 波の速度を平均 1 km/sec とすれば、この程度の差が出ることになる。表層の存在は走時の解析、特に微小或は極微小地震の走時の解析に影響を及ぼすことになる。地表と地下で記録の初動部分のみを比べると、初動の検出は地下の方がはるかに容易であって、初動部分のみの SN 比は、地下の方が特に短周期の波に関して大きくなっ

5) K. AKAMATU, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 39 (1961), 23.

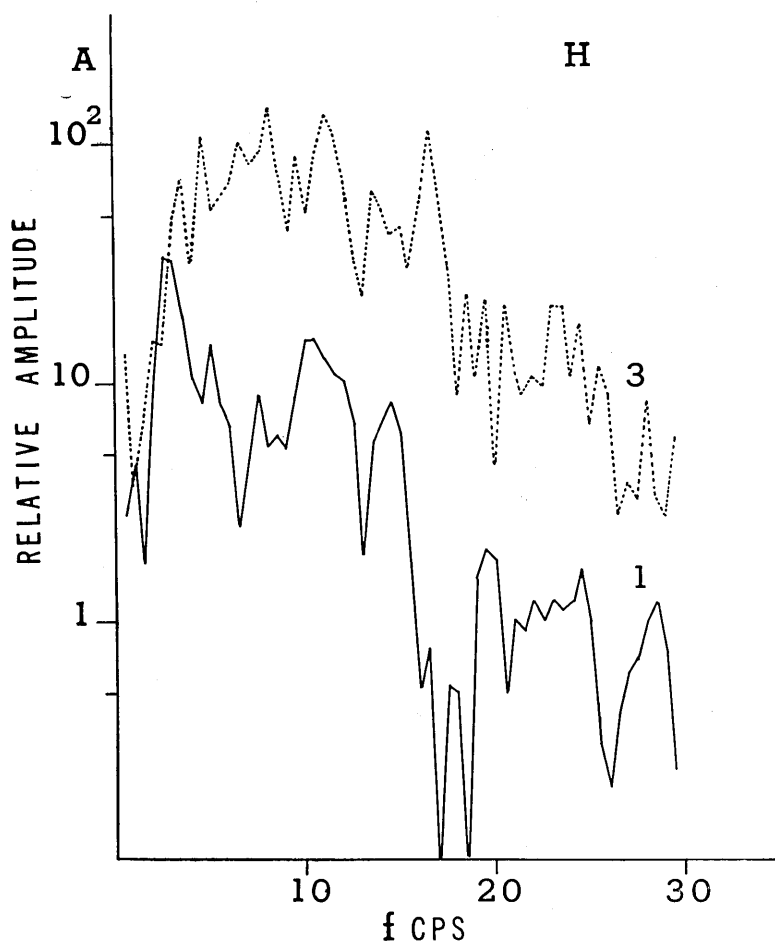


Fig. 9. Spectra of ground noises from the records at Hongo.
 1. In the well 380 m deep. 3. On the ground surface.

ている。

深井戸において、短周期の方でSN比が大きくなることは、微小或は極微小地震の観測に特に適していると思われる。

表層の存在は地震波の振巾を議論する際問題になるので、初めからできるだけ取除いた方がよいと考えられる。

本郷の深井戸で観測した地震を、同じ期間に地震研究所で常時観測を行なっている速度計 ($T_0=0.4$ 秒, 倍率約 200 倍) の煤書による記録と比較すると、地震の個数で約 4 倍深井戸の方が多い程度であるが、初動部分では特に近い地震において著しく記録がよくな

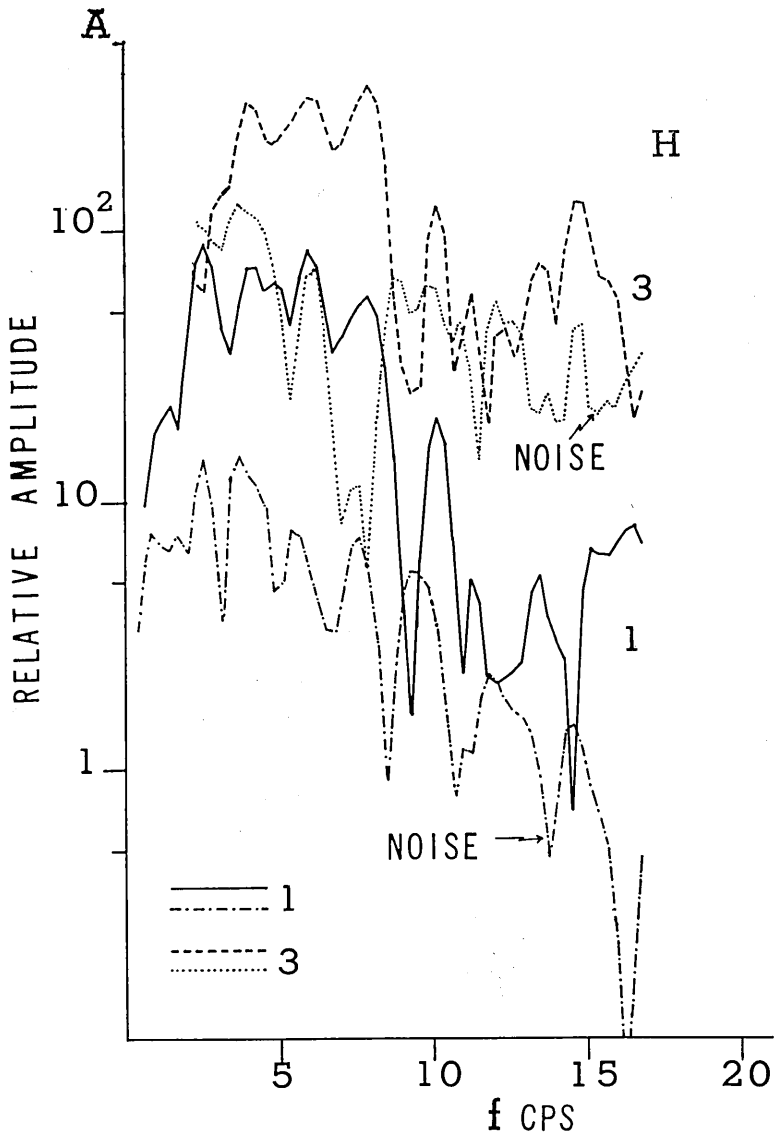


Fig. 10-A. Spectra of earthquakes and ground noises from the records at Hongo.
 1. In the well 380 m deep. 3. On the ground surface.

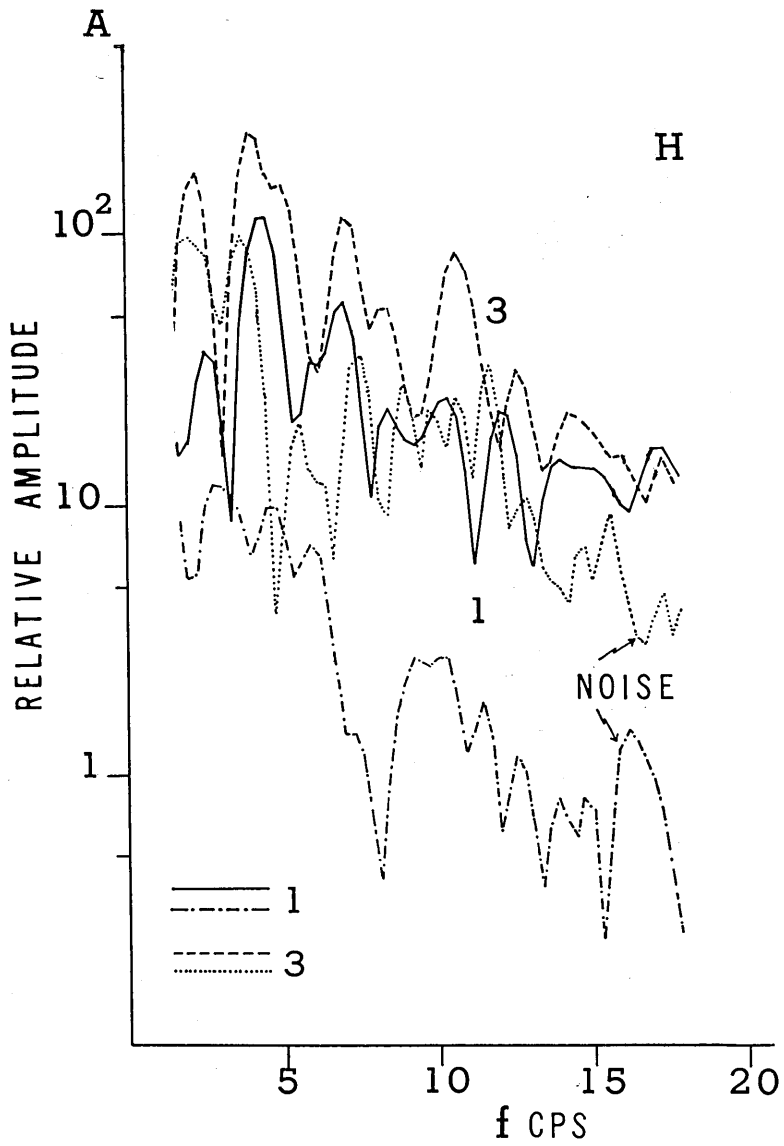


Fig. 10-B. Spectra of earthquakes and ground noises from the records at Hongo.
1. In the well 380 m deep. 3. On the ground surface.

っている。

以上の結果をまとめると、

(1) 千葉県鋸山で、地表と、深さ 64 m の井戸の底での微動の平均の振巾比は約 2:1 になる。東京本郷での地表と、深さ 380 m の井戸の底での微動の平均の振巾比は約 10:1

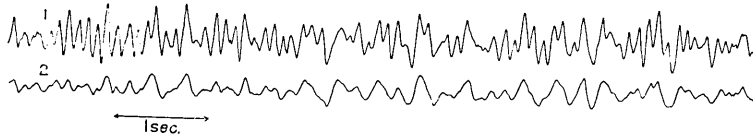


Fig. 11-A. Records of ground noises at Kakioka.

1. On the ground surface. 2. In a hole 2.5 m below the surface.

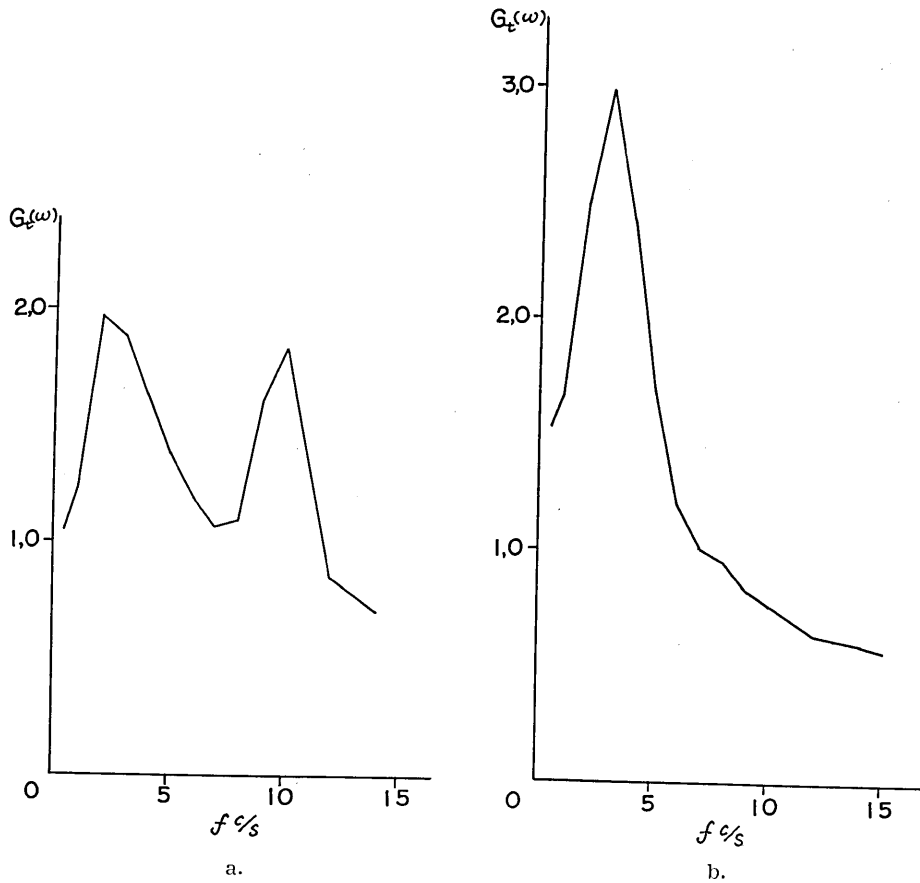


Fig. 11-B. Power spectra of ground noises from the records at Kakioka.
a. On the ground surface. b. In a hole 2.5 m below the surface.

である。この振巾比は周波数によって異なり、周波数が高くなるに従って比が大きくなる傾向にある。

(2) 東京本郷の深井戸での地震と微動の振巾比は周波数によって異なるが、初動附近のスペクトルを求めてみると、約 2~3 倍地下の方が大きくなっている。すなわち SN 比が 2~3 倍改良されることになる。特に 10 cps 以上の高い周波数の波では、地上の SN 比は著しく小さくなっている。

(3) 記録上、地震の初動部分のみを比較すると、深さ 380 m の井戸では地表に較べて著しくよくなっている。地表では小さい地震は特に土地の微動にかくされて判別できない場合が多い。このことから、深井戸は地震特に微小地震の初動の検出に有利なことがわかる。

(4) 東京本郷の深井戸で、1カ月間に観測された地震の数は約 40 で、これを地震研究所で常時観測を行なっている速度計 ($T=0.4$ 秒, 倍率約 200 倍) の煤書による記録と比較すると、約 4 倍になっている。

将来は更に深い井戸による微小地震の観測の開発を行なう一方、土地の微動はそれぞれ局地性をもっているので、10 m 程度の浅い穴による効果なども合わせて調べて行きたいと思っている。

なおデータの解析には東京大学データ処理センターの OKITAC 5090 を使用した。

謝辞

終りに、この研究に当り、鋸山及び本郷での観測に御協力下さった、地震研究所の齊藤貞夫、千葉平八郎両氏、鋸山地殻変動観測所の島津孝氏に、又種々の御便宜をいただいた地震研究所山田重平氏に感謝の意を表する。

55. Preliminary Observation of Microearthquakes with a Deep Well Seismometer.

By Kei TAKANO,

Geophysical Institute, Faculty of Science, The University of Tokyo

and

Takahiro HAGIWARA,

Earthquake Research Institute.

Earthquakes were recorded in two wells, the one 64 m deep at Nokogiriyama in Chiba Prefecture and the other 380 m deep in the campus of the University of Tokyo at Hongo, in order to increase the signal to noise ratio on the seismograms especially of the microearthquakes.

A vertical seismometer of moving coil type with natural frequency of 4 cps was used. The pressure vessel is made of stainless steel pipe with diameter of 72 mm.

The recording system is composed of two magnetic data recorders, a FM data recorder and a direct recording data recorder. The frequency response of the whole system is flat from 5 cps up to 100 cps. The total magnification of the instrument was 1.7×10^5 times at Nokogiriyama and 1.7×10^4 times at Hongo.

We obtained the following results:

1. The ratio of amplitudes of the ground noises on the surface to those of the well is about 2:1 at Nokogiriyama and 10:1 at Hongo for the frequency range from 5 cps to 20 cps.
2. The SNR is slightly larger at a depth of 64 m and three times larger at a depth of 380 m than on the surface.
3. The initial motion is more clearly detected in the record at a depth of 380 m than on the surface. It is far better for observation of microearthquakes to put the seismometer at some depth, even if the depth is only a few hundred meters.