



Title	8. 浅層反射法
Author(s)	田, 望; DEN, Nozomu; 森谷, 武男 他
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 14, 81-93
Issue Date	1965-09-20
DOI	<a href="https://doi.org/10.14943/gbhu.14.81">https://doi.org/10.14943/gbhu.14.81</a>
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/13900">https://hdl.handle.net/2115/13900</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	14_p81-93.pdf



## 8. 浅層反射法

田 望・森谷武男・小川逸郎\*・田治米鏡二

(北海道大学理学部地球物理学教室)

— 昭和40年4月受理 —

### 1. ま え が き

陸上で行なわれる反射法は、主として油田の探査を目的として、技術的な発達が行なわれて来た。そのために、従来の反射法は100 mよりも浅い構造の探査に適さない。一方、屈折法だけで100 mよりも深い構造を調べるのは、測定が大掛りになり、容易でない。故に、今までの地震探査では、地下100 mを境として、それより浅い構造の探査は屈折法、それより深い構造の探査は反射法と云う具合に、それぞれの受け持ち範囲を分担させている。しかしながら、両者共それぞれ上述の如き技術的な難点の他に、原理的な欠陥を持っている。反射法では時間軸上に反射面の位置を知るだけで、各地層の性質(速度等)を知ることはむずかしい。これに反し、屈折法では屈折波が地表に戻って来ることを仮定している。地表付近の実際の地質構造では、実はこの仮定はかなり苦しい場合が多い。屈折法では、初動の走時を解析する際に、あやまって、この仮定を犯す危険がある。故に、反射法と屈折法とを同時に行なうと、それぞれの短所を補なうことが望ましい。現に油田の探査では、しばしばこの方法が採られている。しかし地盤調査等では浅層反射法が技術的に未開発であったため、屈折法に反射法を併用することができなかつたのである。一方、近年になり海上での探査にはスパーカー法やサイスマックプロファイラー法等のごとく、連続的な発破記録を得る技術が開発されて、地下探査技術の面が一新した。従来の反射法では、反射位相の検出及び測線間の地層の対比に多くの学識経験を要する。これに反し、スパーカー法等では、時間軸上の地層断面を直接記録してしまうので、大局的な地下構造は一目瞭然である。反射法にせよ屈折法にせよ、今までの地震探査の解析で最も困難であったのが、実は大局的な地下構造の推定である。連続発破による反射記録方式によって、この困難が軽減されることが、地下探査には最もありがたい。陸上の地震探査でも連続発破による反射記録を得たいとは誰もが願うところである。

著者等はこの測定方式を採用し、浅い構造探査のための測定器を試作した。

### 2. 測定装置

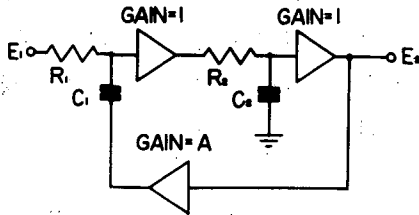
**2.1 使用計器** この測定に使用する装置はピックアップ、前置増幅器、濾波器、テープレコーダー、シンクロスコープ等である。ピックアップは小型のものの方がよいので、地震探査用

\* 現在の勤務先、東北大学工学部鉱山工学科

の Hall-Sears 製 HS-J Sub-miniature 型, PC-7 Case, 14 cps を用いた。テープレコーダーはステレオ・オーディオ用として市販されているソニー製 TC-200 型を, 又シンクロスコープは岩崎通信機 K.K. 製 SS-5302 型を用いた。濾波器 2 成分及び前置増幅器 1 成分はこの実験のために著者等が新たに試作した。これらについて簡単に述べる。

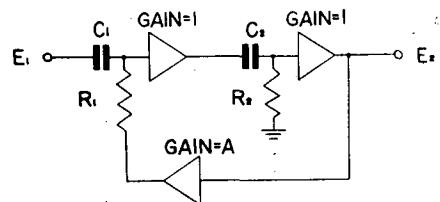
**2.2 濾波器** この濾波器は低域濾波回路及び高域濾波回路を含み, それぞれ独立に使用することも出来るし, また両者を直列に接続して帯域濾波器として用いることも出来る。その遮断周波数は広い範囲にわたり連続可変にしてある。野外における使用にも適するように, 回路をトランジスター化してあり, 従って消費電力も少く, 全般的に小型軽量になっている。

この濾波回路の動作原理は第 1-a 図及び第 1-b 図に示してある。両者とも RC 2 段の濾



第 1-a 図 低域濾波回路の動作原理

Fig. 1-a. Fundamental circuit of low pass section.



第 1-b 図 高域濾波回路の動作原理

Fig. 1-b. Fundamental circuit of high pass section.

波回路の一部に帰還をほどこして, コーナピーキングを行なっている。その遮断周波数は両者とも次のように表わされる。

$$f_{co} = 1/2\pi\sqrt{\tau_1\tau_2}$$

ただし

$$\tau_1 = R_1 C_1, \quad \tau_2 = R_2 C_2$$

又, 遮断周波数における利得は, 低域濾波回路では

$$G_{co} = 1/\{\sqrt{\tau_2/\tau_1} + (1-A)\sqrt{\tau_1/\tau_2}\}$$

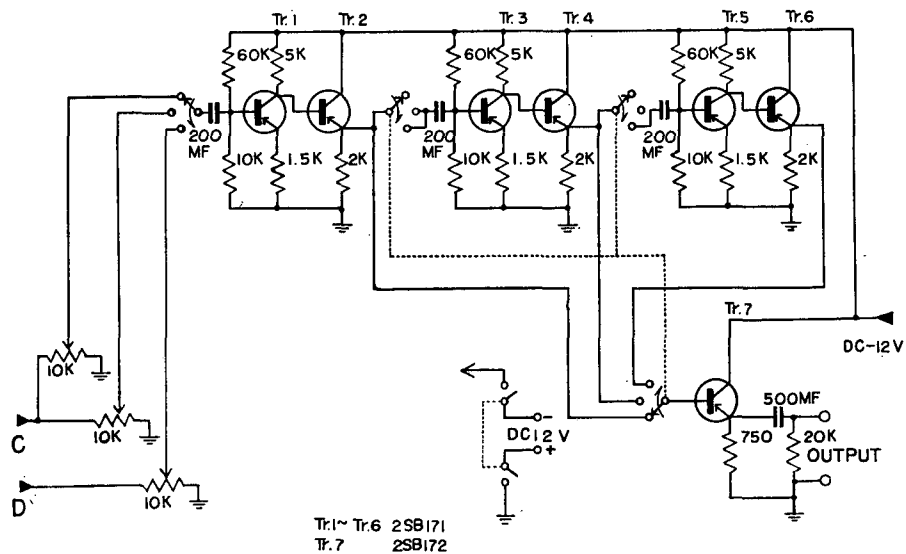
高域濾波回路では

$$G_{co} = 1/\{\sqrt{\tau_1/\tau_2} + (1-A)\sqrt{\tau_2/\tau_1}\}$$

で与えられる。阻止帯域での減衰勾配は 12db/oct である。

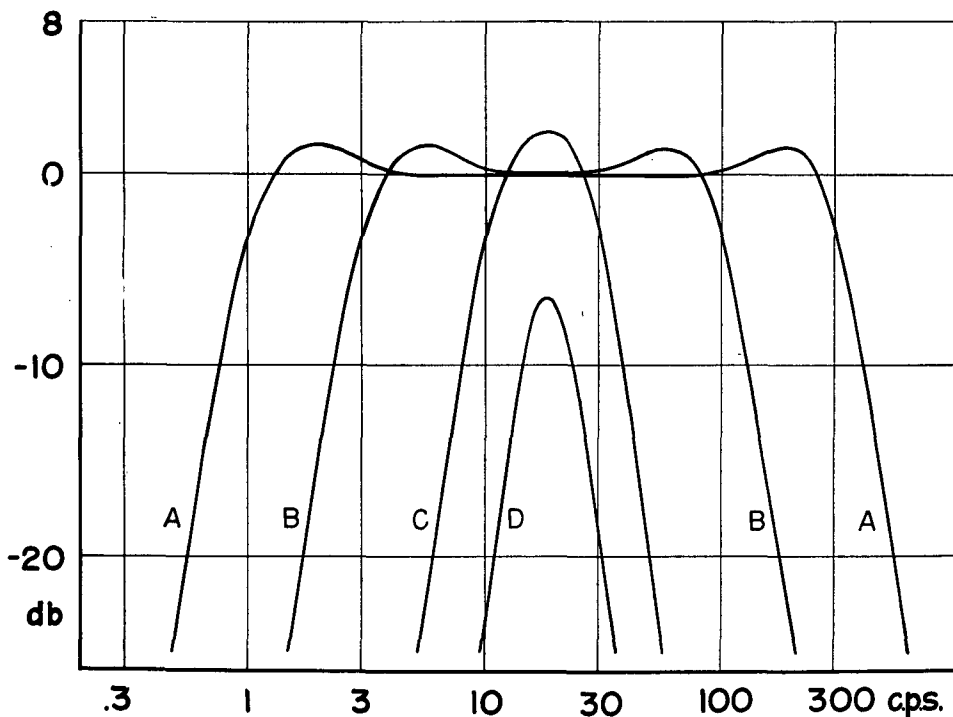
試作した濾波器の回路を第 2-a 図, 第 2-b 図, 及び第 2-c 図に示す。低域及び高域濾波回路とも上述の回路を 2 段直列に接続してある。それぞれの遮断周波数の変化は 4 連スイッチで 6 段階に分け, その間を 4 連可変抵抗で連続的に行なうようになっており, 可変域は 0.2~400 cps を覆っている。遮断周波数における利得は約 -3 db であり, 阻止帯域での減衰勾配は 24 db/oct である。





第 2-c 図 増幅回路

Fig. 2-c. Circuit diagram of amplifire section of the filter.



第 3 図 濾波器の代表的周波数特性

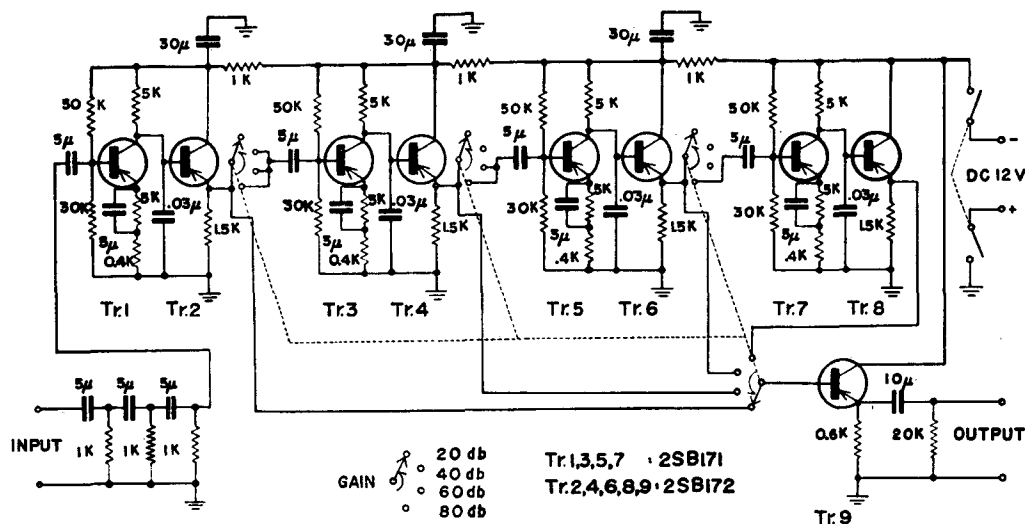
Fig. 3. Typical pass band characteristics.

実効帯域幅の減少による出力レベルの低下を補償するために、この装置には増幅回路を付けてある。通過帯域の総合を 0 db, 10 db, 及び 20 db の 3 段階に調節出来る。

この装置の入ラインピーダンスは約 26 k $\Omega$ , 出ラインピーダンスは約 10  $\Omega$ , 消費電力は 12 V の電源を使用した時で約 960 mW である。

この濾波器の代表的周波数特性を第 3 図に示す。A は通過帯域を 1~300 cps, B は 3~100 cps, C は 10~30 cps にした場合, 又 D は 20 cps にピークを持つようにした場合の帯域濾波器としての特性である。

**2.3 前置増幅器** 反射波測定と同時に屈折波測定も行なうので、屈折波用の前置増幅器を製作した。回路図は第 4 図に示してある。利得は 20 db, 40 db, 60 db 及び 80 db の 4 段に切り



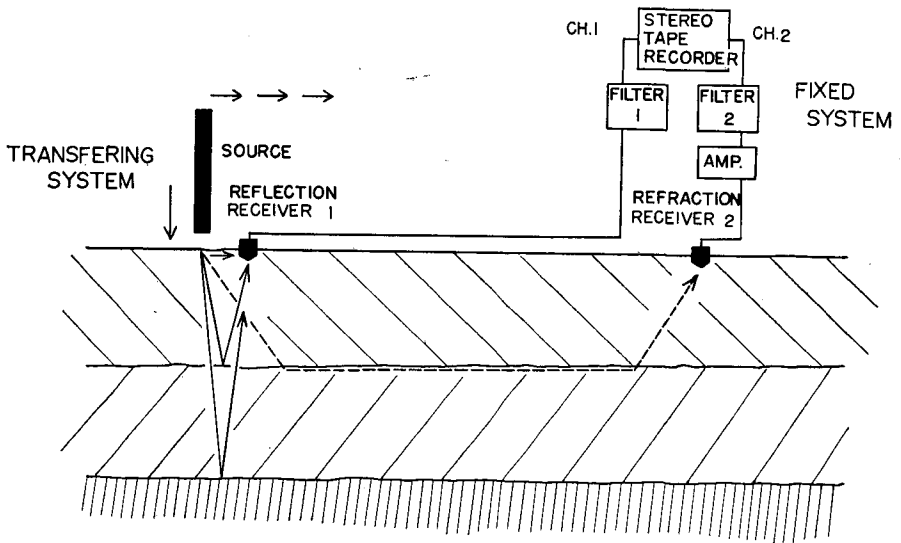
第 4 図 前置増幅器の回路

Fig. 4. Circuit diagram of the pre-amplifier.

変えて調節できる。入力インピーダンスは約 250  $\Omega$ , 出ラインピーダンスは約 15  $\Omega$ , 消費電力は 12 V の電源を使用した時で約 290 mW である。

### 3. 測定方法及び記録の処理方法

**3.1 測定方法** 地層の境界面からの反射波を記録するためには、第 5 図に示すように、地面にピックアップ 1 を置き、振源としては、この傍の地表を人が棒で叩く。この時棒がはね返らない様にして 2 度叩きを防がなければならない。ピックアップ 1 の出力は濾波器 1 を通り、テープレコーダーのチャンネル 1 に記録される。この時、濾波器の通過帯域はハムやバックグラウンドノイズを除くため、80~400 cps にしてある。又このことは振源から誘起される強い波により、濾波器が飽和するのを防いでいる。ピックアップ 1 及び振源は一測点で記録を行なった後、測線に沿って次の測点に移動させる。各地層の地震波の伝播速度を知る必要から、又、反



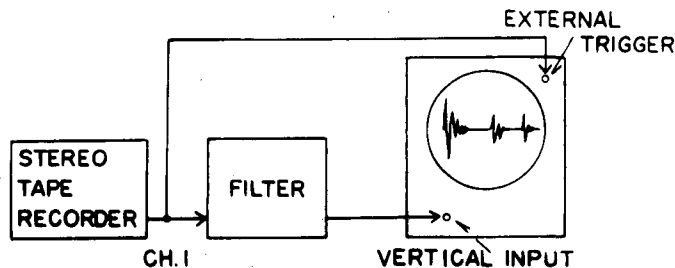
第5図 測定方法

Fig. 5. Method of observation.

射法で求めた地下構造と比較するために、屈折法を同時に行なう。この方法は、測線的一端にピックアップ2を固定する。測線上に多数のピックアップを並べて1個の振源で行なう方法の代りに、このように1個のピックアップを固定し、振源を移動して行なうことにより、一連の走時を得る。

上述のような振源では、エネルギーは火薬のそれに比較すると非常に小さいので、ピックアップ2の出力は前置増幅器で増幅された後、濾波器2を経て、テープレコーダーのチャンネル2に記録される。

**3.2 反射波の再生** 反射波の再生は第6-a図に示すように、テープレコーダーのチャンネル1の出力は濾波器を経て、シンクロスコープの垂直入力端子に接続され、同時にこのチャンネル1の出力はシンクロスコープの外部トリガー端子に接続される。この操作によれば、棒で叩

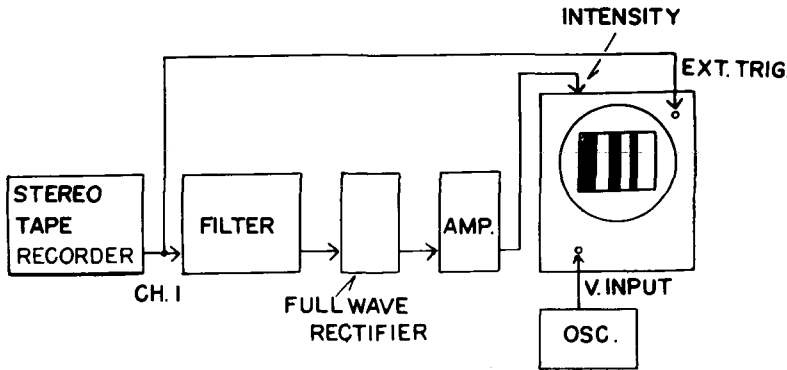


第6-a図 反射波の再生

Fig. 6-a. Playback of reflection waves.

いた直接波による電圧上昇によってトリガーが働いて光点の掃引が始まり、反射波の到達した時に光点がふれるのが観測される。このブラウン管上の波形を写真撮影する。濾波器の通過帯域は記録に応じて、あるいは目的とする探査深度に応じて適当に変えることが必要である。今回の実験では 100 cps ピーク、80~120 cps, 200~300 cps, 300~400 cps 等を試みた。

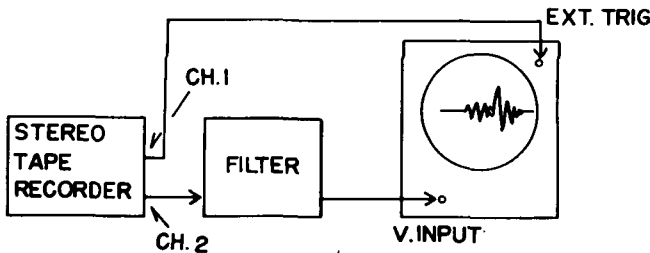
反射波の記録を上述の「波形」で得るのではなく「濃淡」で得る目的のために、シンクロスコープの輝度変調を利用することもできる。第 6-b 図のようにチャンネル 1 の出力を濾波器



第 6-b 図 濃淡記録を得るための操作  
Fig. 6-b. Recording of variable intensity.

及び両波整流器を経て、増幅器で増幅した後、輝度変調端子に接続する。トリガー及び濾波器の通過帯域については「波形」の場合と同様である。この操作によりシンクロスコープの光点は「波形」の振幅が大きい時間には強く光り、一本の濃淡のある線となって掃引される。この線に適当な幅を持たせた方が見やすいので、そのため、シンクロスコープの垂直入力端子に発振器を接続し、濾波器の通過帯域より充分高い周波数の波を入れる。

**3.3 屈折波の再生** 屈折波の再生の操作は第 6-c 図に示してある。ピックアップ 2 からの信号を記録してあるチャンネル 2 の出力は濾波器を経て、シンクロスコープの垂直入出力端子に接続し、又、同時にチャンネル 1 の出力は外部トリガー端子に接続される。そうすれば地面を



第 6-c 図 屈折波の再生  
Fig. 6-c. Playback of refraction waves.

叩いた瞬間の信号でトリガーが働らき、光点の掃引が始まり、ピックアップ2に波が到達すると同時に光点はふれ出すことになる。これを各測点について行なえば、走時曲線が得られる。泸波器の通過帯域は今回は100~300 cpsとした。

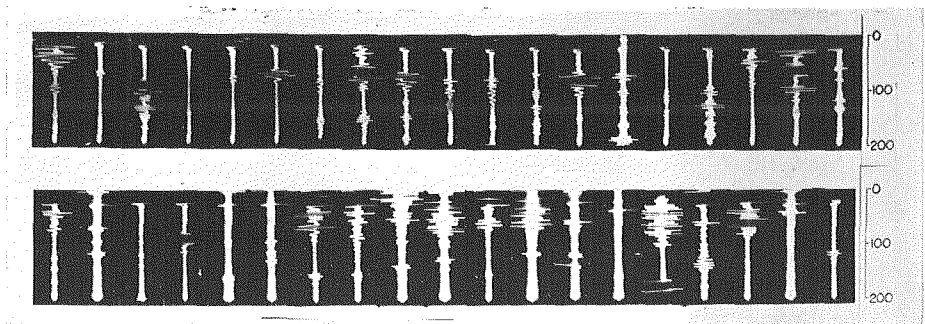
#### 4. 野 外 実 験

4.1 大夕張南部小学校付近 実験は1964年11月に、この小学校の校庭及び傍の丘で行なつた。ここは夕張炭田地帯の丘陵の中腹に位置する。校庭の一部は山地を削り、他の一部は盛土を施してある。この付近は地送り指定地域であつて、日本特殊土木 K.K. が比抵抗探査を行なつたが、風化土と岩盤との間に顕著な境界面は見付からなかつた。

著者等の浅層反射法では、振源及びピックアップ1の移動間隔を0.5 mとし、測線長20 mの測定を行なつた。

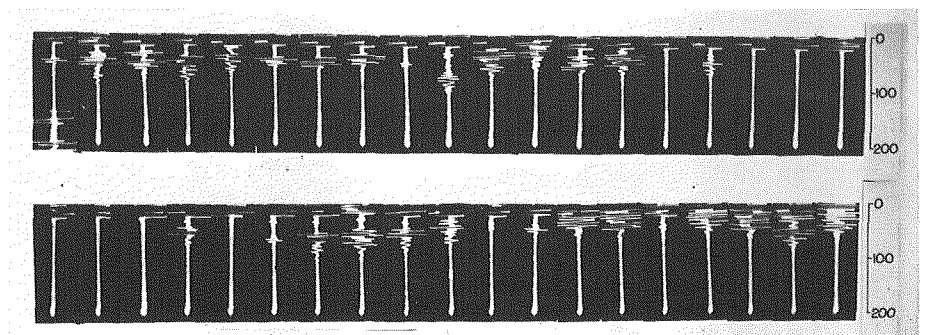
第7図は小学校付近の丘で得られた記録である。再生の際の通過帯域は200~300 cpsである。全掃引時間200 msの間に反射波が2乃至3見られる。

第8図は小学校校庭で得られた記録である。再生の条件は第7図の場合と同じである。ここで



第7図 大夕張南部小学校付近の丘で得られた反射波の記録

Fig. 7. Reflection records at Oyubari, band pass frequencies of playback being 200-300 cps.

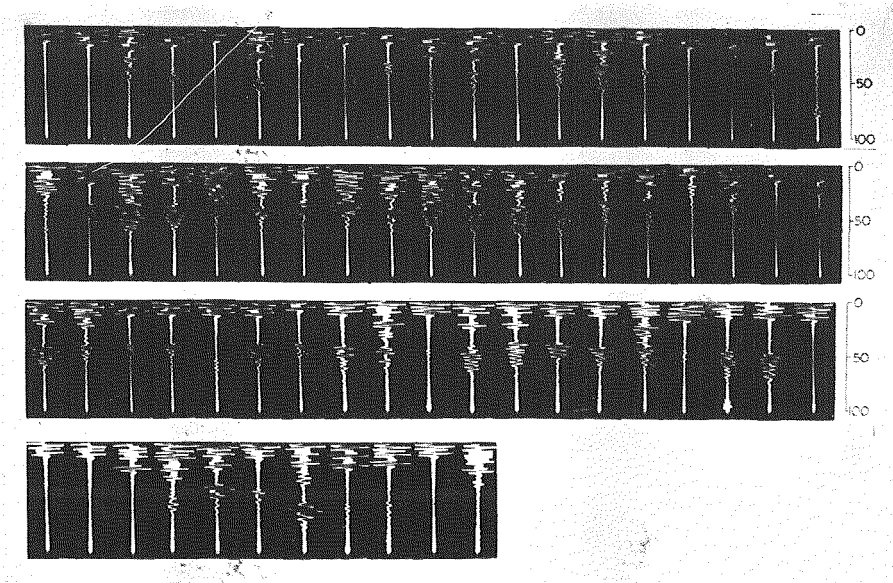


第8図 大夕張南部小学校校庭で得られた反射波の記録

Fig. 8. Reflection records on the other field of Oyubari, band pass frequencies of playback being 200-300 cps.

も反射波が見られる。大夕張南部地区の実験では屈折法を併用しなかったので、地層内の地震波の速度を知ることができなかつた。従つて時間軸上に見た反射面の深度を実際の深度に換算することができない。しかし、最初の予備実験としては、反射面らしいものをいくつか検出し得ただけでも有意義であつた。

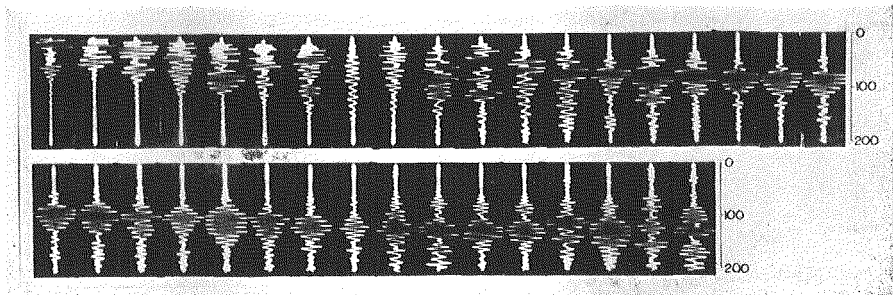
4.2 札幌旭ヶ丘高校校庭 旭ヶ丘高校は市内藻岩山麓の傾斜地に在る。藻岩山は第3紀の



第9図 旭ヶ丘で得られた反射波の記録

Fig. 9. Reflection records at Asahigaoka, band pass frequencies of playback being 300-400 cps.

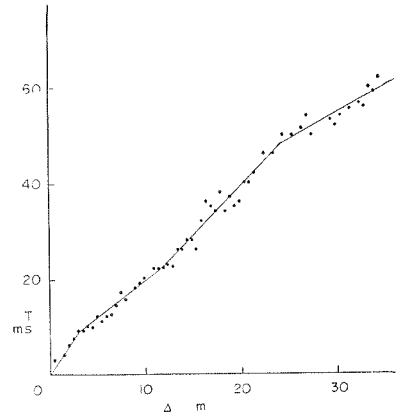
安山岩から成っているので、この付近では顕著な反射波が検出されるものと期待した。振源及びピックアップ1の移動間隔は0.5 mであり、測線の長さは34 mである。第9図がこの再生記録であつて、通過帯域は300~400 cpsであり、全掃引時間は100 msである。この記録には顕著な反射波が2つ見られる。ここで行なつた実験では、第3節で述べた方法による屈折波の測



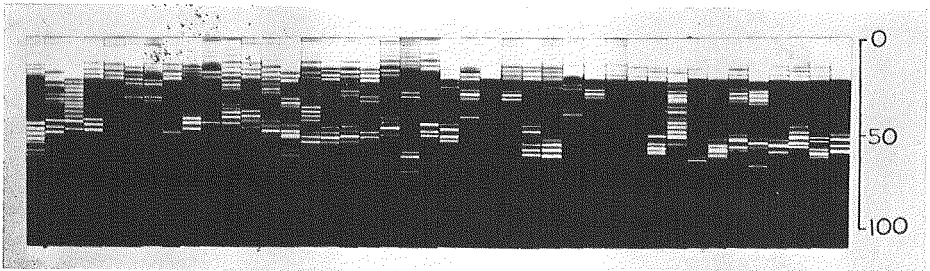
第10図 旭ヶ丘で得られた屈折波の記録

Fig. 10. Refraction records at Asahigaoka.

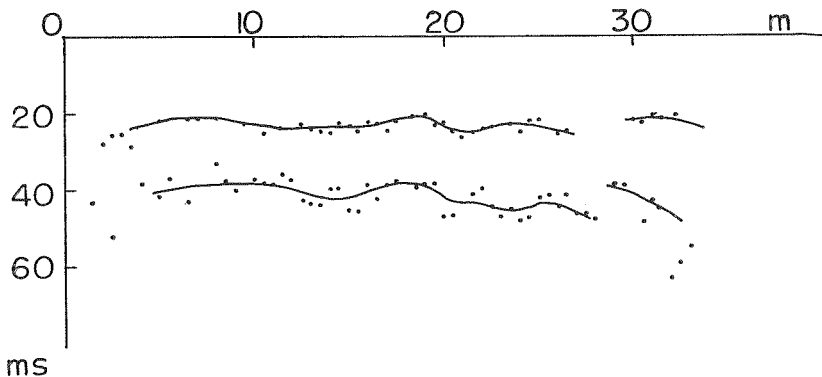
定も反射波の測定と同時にこなされた。その記録は第10図に、走時曲線は第11図に示してある。これによれば地震波の見掛けの速度は 330 m/s, 500~550 m/s, 950 m/s と変っている。各地層を地表に対して平行と仮定して、走時曲線を解析すると速度が 330 m/s から 500~550 m/s に変わる面は地下約 0.7 m であり、500~550 m/s から 950 m/s に変わる面は地下約 7 m である。これらの速度の値を利用し、反射法によって得られた境界面の深さを計算すれば、往復時間約 23 ms の反射面は 7 m の面に一致する。さらに深い層は、屈折法では測線が短いため得られなかった。しかし 950 m/s という伝播速度を用い、往復時間約 43 ms の反射波を解析すれば、これは地下約 16 m の面からの反射波であることが明らかになった。16 m 以下の層についての伝播速度は得られていない。第12図は再生記録の一部を「濃淡」で得たものである。濾波器の通過帯域は 200~300 cps, 全掃引



第11図 旭ヶ丘における初動の走時  
Fig. 11. Time-distance plots of the first break at Asahigaoka.



第12図 旭ヶ丘で得られた反射波の濃淡記録  
Fig. 12. Reflection records by variable intensity at Asahigaoka.



第13図 推定地下構造  
Fig. 13. The subsurface structure deduced.

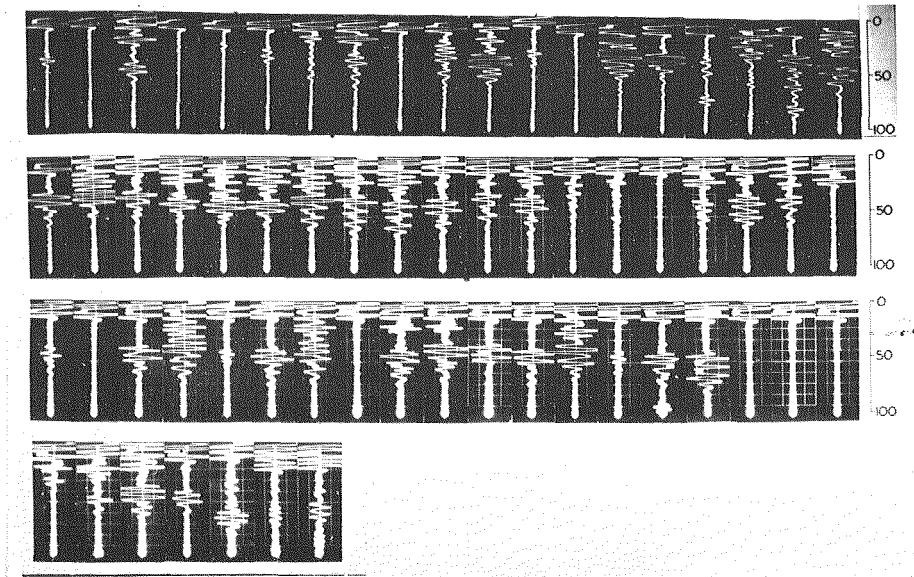
時間は 100 ms である。これを見れば 2つの反射面が平行にうねって描かれているのがわかる。特に 42 ms 付近の反射面は顕著である。以上の考察をもとに推定した地下構造は第 13 図に示してある。

## 5. 実験結果についての考察

**5.1 濾波器の通過帯域** 第 14 図及び第 15 図は旭ヶ丘高校における記録を再生の際の全掃引時間を 100 ms とし、濾波器の通過帯域をそれぞれ 200~300 cps, 80~120 cps として比較したものである。通過帯域の周波数が高ければ、反射波の分解能は良いが、深さによる減衰が大きくなる。又、周波数が低ければ分解能が悪くなるが、深い反射面からの反射波は浅いそれより相対的に振幅が大きくなる。従って再生の際の通過帯域は目的とする境界面の深さに応じ適当に選択することが必要である。

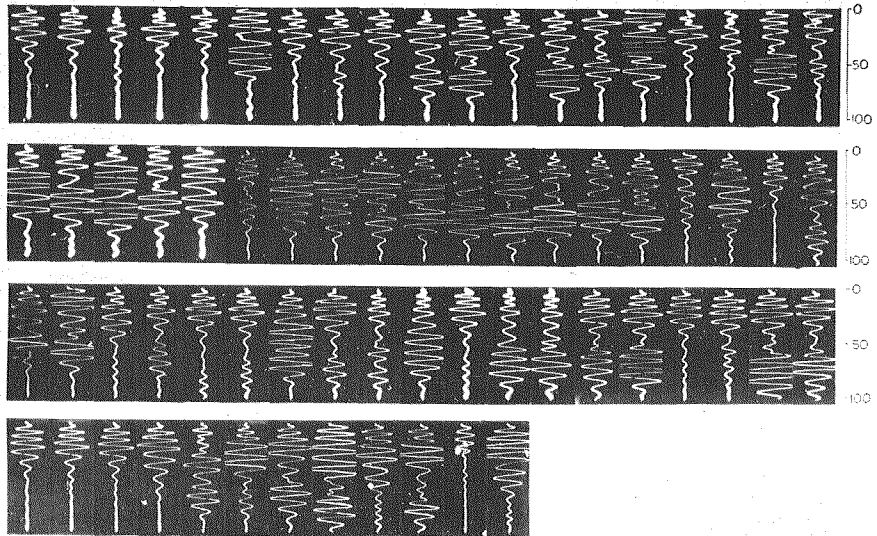
**5.2 反射波の再現性** 旭ヶ丘高校における記録を見ると、多くの測点で強い反射波が観測されているのに、これに隣るある測点では反射波が全く見られなくなることがある。同一測点で繰返し測定を行なった場合の記録の数例を第 16 図に示してあるが、ほとんど同じ波形が観測され、振源として棒で地面を叩く方法でも記録の再現性は良好である。従って上述の現象はその測点の地面及び地下の状態の違いによる影響と考えられる。

**5.3 重複反射** 今回の実験では重複反射は見られなかった。時間軸をのぼし、更に深い反射面を検出したい場合には、重複反射が問題になるかもしれない。



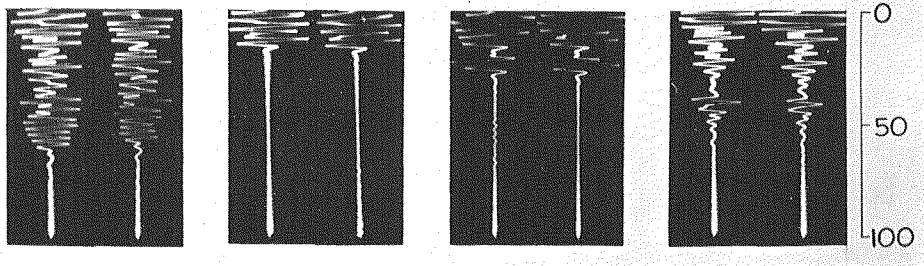
第 14 図 旭ヶ丘で得られた反射波の記録

Fig. 14. Reflection records taken at Asahigaoka, band pass frequencies of playback being 200-300 cps.



第15図 旭ヶ丘で得られた反射波の記録

Fig. 15. Reflection records at Asahigaoka, band pass frequencies of playback being 80-120 cps.



第16図 種々の測点における反射波の再現性

Fig. 16. Tests for reproduction of records at various observation points.

5.4 今後の課題 未だ実測例が少く、断定的なことは云えないが、上述の方法によって、地下20m程度の反射面の検出は可能と思われる。掃引時間をのばして時間軸を拡げた再生波形も調べた。その結果、更に深い境界面からの反射波が認められたが、SN比の悪化や振幅の減少等によって反射波の対比が悪くなり、読み取りが難しい。異なる深さからの反射波を良好に記録するためには、適当な Suppressor や AGC を用いるのが望ましいであろうし、SN比を改善するには相関等の方法を適用することも有益であろう。そうすれば地下100m以内にある反射面の検出は可能であると思われる。今回行なった反射波測定では指向性に乏しいので、下からの反射波のみでなく、横からの反射波も記録されていると考えられる。そのために記録上の時間断面がそのまま地下構造断面を示していると言う訳にはゆかぬ。人力による振源はエ

エネルギーが小さく、不安定であるから、これを改良して一定波形、一定エネルギーを与える振源にする必要がある。

## 8. Reflection Method for Shallow Layers

By Nozomu DEN, Takeo MORIYA, Itsuro OGAWA\* and Kyozi TAZIME

(Department of Geophysics, Faculty of Science, Hokkaido University)

A new technic has been tried to detect easily reflection waves from shallow layers whose depths are smaller than 100 m.

Reflection waves are recorded on a magnetic tape continuously from a place to another. This system is quite similar to that used by "sparker" method as well as by "seismic profiler" which give on the record directly the time section of reflection layers under water. In order to know velocities of seismic waves, refraction waves are recorded at the same time in the present method. Therefore the tape recorder having more than two channels is desired. The tape recorded will be playbaced, resulting in photographic papers. The specially designed filter has various frequency-ranges from 0.2 c/s to 400 c/s. The amplifier is also prepared for the refraction method above mentioned.

Two experiments were carried out, one at the southern part of Yubari-city and the other at the western part of Sapporo-city. A shock was delivered on the ground by a human power with a pile, each 0.5 m on a straight line when an usual pick up for seismic prospecting was set near a place to be piled. On the other hand, the other pick up was kept setting on one end of the span, for the purpose of refraction method.

Several waves were clearly detected which were reflected from various depths between 1 to 30 m. The results corresponded successfully with those deduced from the refraction method. However, fields having simple structures were chosen in the present experiment. Many tests should be repeated on various places for finding the general ability of this method.

---

\* At present, Department of Mining, Faculty of Engineering, Tohoku University