



Title	7. 階段構造を有する弾性体内を伝播する表面波の模型実験
Author(s)	森, 明巨; MORI, Akio
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 20, 101-109
Issue Date	1968-09-20
DOI	<a href="https://doi.org/10.14943/gbhu.20.101">https://doi.org/10.14943/gbhu.20.101</a>
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/13947">https://hdl.handle.net/2115/13947</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	20_p101-109.pdf

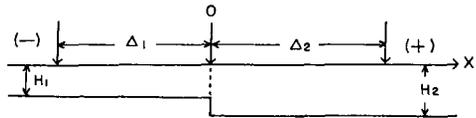


# 7. 階段構造を有する弾性体内を伝播する表面波の模型実験

森 明 巨\*  
 (北海道大学理学部地球物理学教室)  
 —昭和43年5月受理—

## 1. はじめに

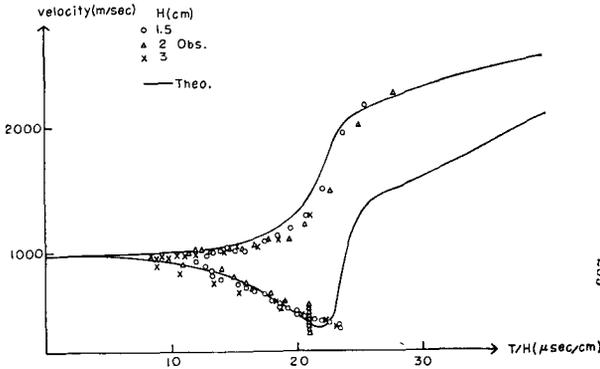
第1図に示すような階段構造の兩層を通過した表面波のスペクトラムを  $Y$  とし、階段をはさんだ兩側の平行層に固有なスペクトラムをそれぞれ  $Y_1, Y_2$  とすると、 $d_1=d_2$  のとき  $Y=(Y_1 \cdot Y_2)^{1/2}$  が使用した3種類の模型について良く成り立つことが、実験的に田治米, 森等<sup>1)</sup>によって確かめられた。今回は前と同じ実験方法および装置で群速度, 位相速度および階段付近での位相の変化等を調べた。使用した模型は上層はプラスチックで, 下層はアルミニウムである。上層の1部の厚さ  $H_1$  は1.5 cm で, 上層の他部の厚さ  $H_2$  は, 反射の実験の時は3cmで, それ以外は2cmである。



media	$V_p$	$V_s$	$\rho$
Plastic	1950m/s	1090m/s	1.4g/cm
Aluminium 5350		3150	2.7

第1図 この実験に用いられた模型

Fig. 1. The model used in the present experiment. Longitudinal velocity, shear velocity and density are denoted by  $V_p, V_s$  and  $\rho$  respectively.



第2図 測定された位相および群速度と理論的分散曲線との比較

Fig. 2. Comparisons of observed phase and group velocities for RAYLEIGH waves with theoretical dispersion curves.

\* 現在の勤務先; 北大工学部土木学教室

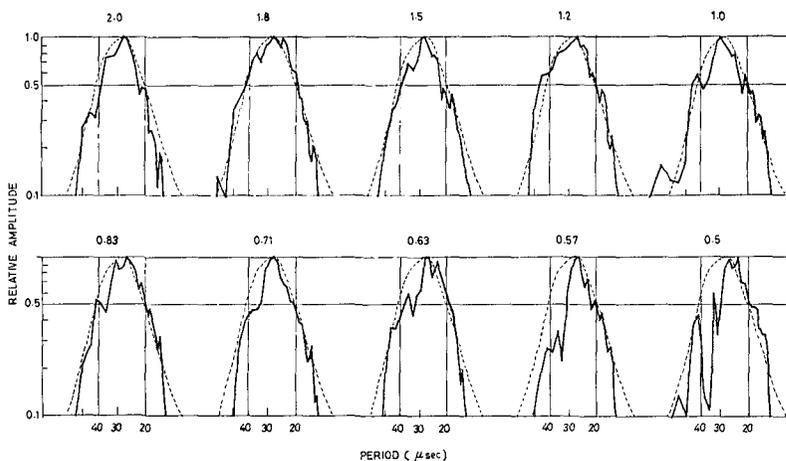
1) 田治米鏡二・森 明巨; 表面波の模型実験の結果に関する2, 3の考察, 北大地物研究報告, 19 (1968), 81-91.

## 2. 平行層での実験

第2図にプラスチック-アルミニウムの分散曲線を示す。横軸は  $T/H$  で目盛っている。実線は理論曲線である。○, △, ×印はそれぞれ、層の厚さが 1.5 cm, 2 cm, 3 cm の平行層の測定値である。理論値と測定値との違いは、模型の平行層の厚さの精度、弾性定数の測定誤差、接着剤 (アラルダイト) の使用等による実験誤差および粘性等によるものと考えられる。

## 3. $A_1$ と $A_2$ の比をかえたときのスペクトラム $Y$

第3図に得られたスペクトラムを示す。スペクトラム上の数字は  $A_2/A_1$  である。点線は  $(Y_1 \cdot Y_2)^{1/2}$  である。 $A_2, A_1$  の比が変わっても  $Y = (Y_1 \cdot Y_2)^{1/2}$  の経験法則は成り立っている。しかし、 $A_2/A_1$  が小さくなると、長周期成分が  $(Y_1 \cdot Y_2)^{1/2}$  に比べて小さくなるようである。



第3図  $A_2/A_1$  を変えた際のスペクトラムの変化

Fig. 3. Spectra for various ratios of  $A_2/A_1$

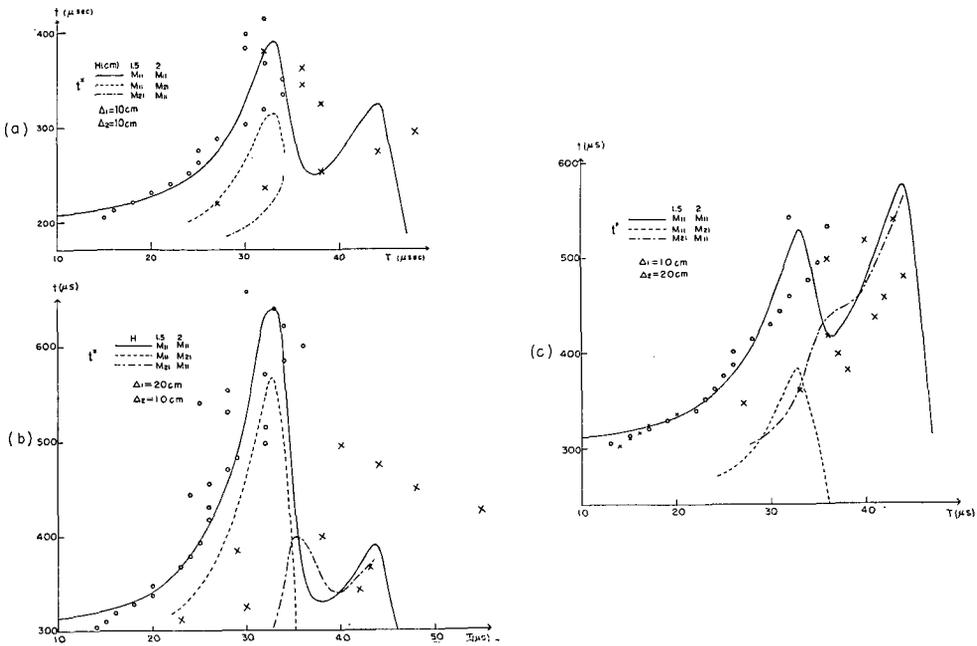
## 4. 波群の到達時刻

厚さ  $H_j$  の平行層の任意の周期  $T$  に対する理論より得られる群速度を  $U_j$  とし、思想的な走時

$$t^* \equiv \frac{A_1}{U_1} + \frac{A_2}{U_2}$$

と、実測された表面波の到達時刻  $t$  とを比較した。

$(A_1, A_2)$  が (10 cm, 10 cm), (20 cm, 10 cm), (10 cm, 20 cm) の3相について調べた。第4図 (a), (b), (c) にこれらの結果を示す。実線は両層を  $M_{11}$  で伝播した場合の  $t^*$  曲線である。○, ×印が測定値であるが、×印は波形の中点を結んで得たもので信頼度は小さい。スペクトラ



第4図 レーレー波の思想的な到着時間と実測値との比較

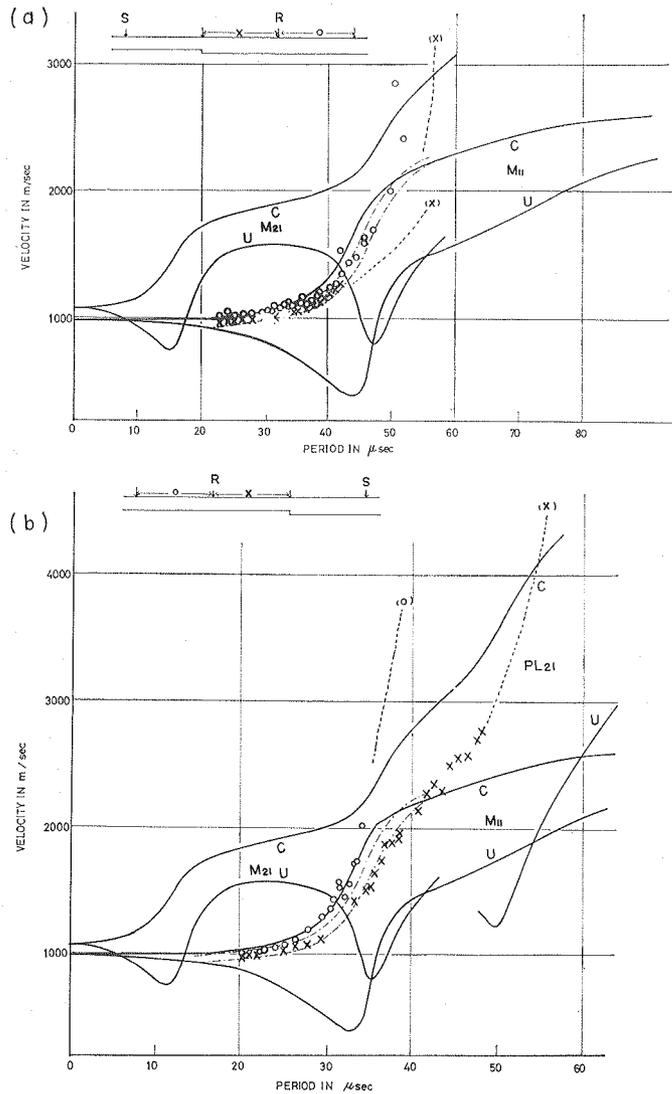
Fig. 4. Comparisons of arrival time for RAYLEIGH waves observed with  $t^*$ .  $\circ$  and  $\times$  are observed values.  $\times$  are obtained by connecting mid-points of peaks and troughs of seismograms.

$\mu$ は40  $\mu\text{sec}$  以上は小さいので除いて考えると、周期  $T$  が一定の  $t^*$  に対して1個の所では  $t=t^*$  が良く成り立っている。これに反し、2個の所では  $t$  と  $t^*$  の違いが大きい。これは、2つの周期の波が重なって、みかけ上違った周期になっているためと思われる。階段を通過する際にモードが変換される可能性も考えられる。そこで、浅層を  $M_{11}$ 、深層を  $M_{21}$  で伝播した場合の  $t^*$  および浅層を  $M_{21}$ 、深層を  $M_{11}$  で伝播した場合の  $t^*$  を計算し、破線および鎖線で第4図に示しておいた。実測値と比較してみるに、モードの変換は明らかでない。

### 5. 位 相 速 度

階段を通過後の表面波の位相速度をフーリエ解析から求め、理論値と比較した。第5図(a), (b)に結果を示す。実線は受振点のおかれた平行層に対する理論的分散曲線である。(a), (b)はそれぞれ、 $H=1.5\text{ cm}$ ,  $2\text{ cm}$  の層で測定されたものである。鎖線で示した帯状の部分は、第2図に示した平行層の測定値が収まる範囲で、周期はそれぞれの層の厚さに換算してある。

発振点(S)と受振点(R)とを図中に示す位置においた。分散図上の $\times$ 印、 $\circ$ 印はそれぞれ模型図に示す  $x$  の範囲を等間隔づつずらして測定して得られた $\times$ および $\circ$ 部の位相速度である。図からわかるように、測定値は、平行層の測定値にかなり良く一致しているが、30~35  $\mu\text{sec}$  付近で違いが大きい。これは、階段に入射した  $M_{11}$  波が階段部で  $M_{11}$  と  $M_{21}$  の波を生成



第5図 測定された位相速度と平行層理論の分散曲線との比較

Fig. 5. Comparisons of phase velocity for RAYLEIGH waves observed with theoretical dispersion curves.

して位相が乱れるので、みかけ上平行層の  $M_{11}$  波と違った値を示すものと思われる。周期 45  $\mu\text{sec}$  付近では、 $M_{11}$  と  $PL_{21}$ <sup>2)</sup> とが重複しているようである。

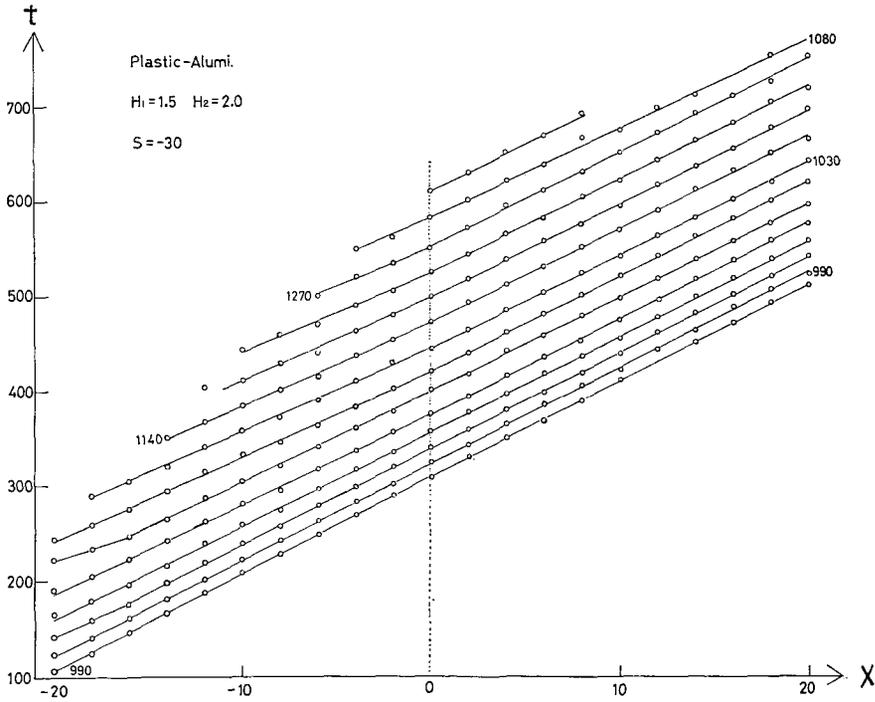
点線の部分は波群の重複だけでは説明が困難と思われるもの、 $t^*$  がフーリエ解析の解析区間に含まれていないもの等である。ただし、これらのスペクトラムの振幅は非常に小さい。

2) 吉井敏尙；モデル実験による PL mode の観測，北大地物研究報告，19 (1968), 65-71.

### 6. 階段構造付近での位相の変化

#### 6.1 浅層から深層に表面波が入射した場合

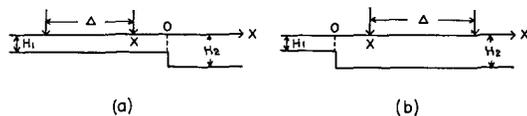
第6図は測定された表面波部の山の走時プロットである。走時は階段部を通り、次の層に滑らかにつながっている。位相速度は、フーリエ解析の結果によると、表面波であることを示している。したがって、浅層から深層に表面波が入射すると、次の層の表面波成分は、階段部からただちに充分成長した表面波として伝播するものと思われる。



第6図 浅層から深層に向けて測定された山の走時、曲線の数字の単位は m/s

Fig. 6. Travel time curves when RAYLEIGH waves incident from the shallow layer into the deep one.

次に、第7(a)図のごとく振源と受振点とをおいて、階段からの反射の影響を調べた。第8図に得られたスペクトラムを示す。Δを一定にして受振点xをかえている。スペクトラムの上を示した数字は、それぞれ左側が振源で右側が受振点の位置である。実線は今述べた実験の測定値で、点線は平行層の記録から得られた値である。したがって、反射波はほとんどなく、あっても実験誤差の範囲内にあるものと



第7図 階段からの反射波の影響をしらべるための発振点と受振点との位置

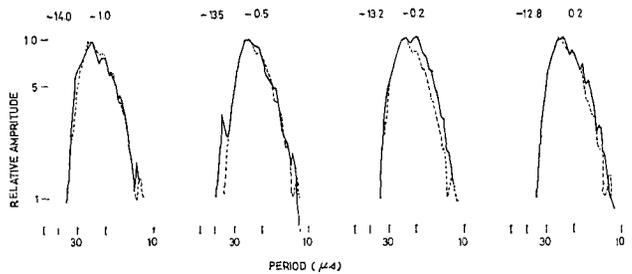
Fig. 7. Positions of the source and the receiver for observation of reflection from the step.

考えられる。

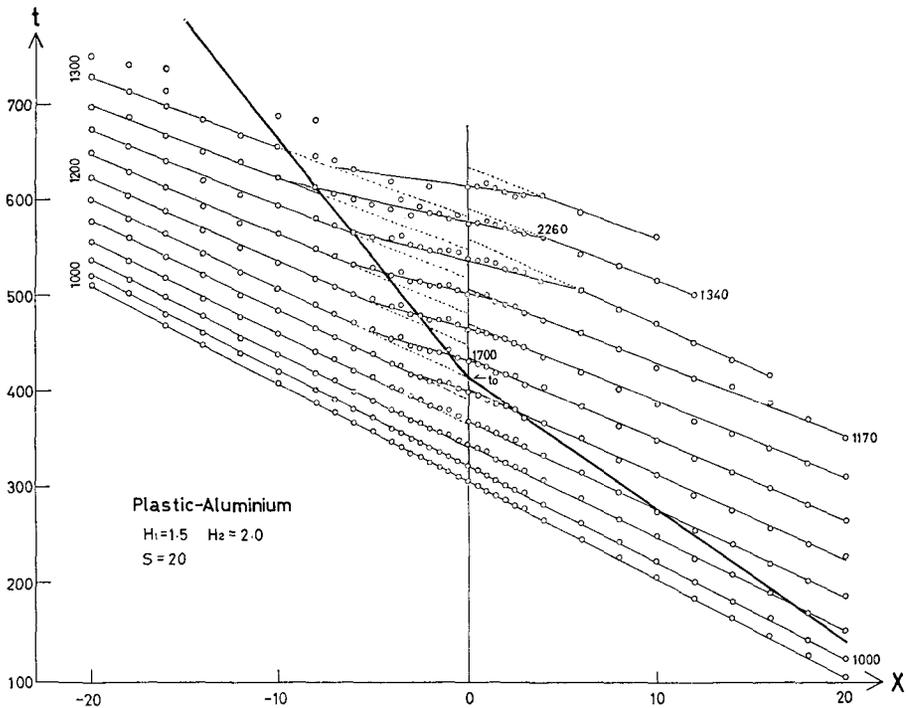
**6・2 深層から浅層に表面波が入射した場合**

第9図が測定された表面波部の山の走時プロットである。位相は階段に波が到着する前にすでに乱されている。これは階段からの反射波の影響である。太い実線は、周期33  $\mu$ sec (浅層のエアリー位相の周期) の  $t^*$  曲線である。

この実験では、プラスチック-アルミニウムの模型では、逆分散の部分が卓越している。



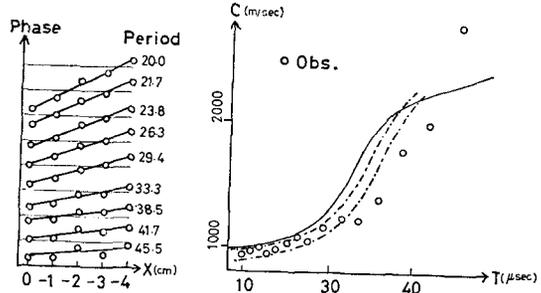
第8図 第7(a)図の位置で測定された波形のスペクトラム  
Fig. 8. Spectra obtained by the set of Fig. 7(a).



第9図 深層から浅層に向けて測定された山の走時、曲線の数字の単位は m/s  
Fig. 9. Travel time curves when RAYLEIGH waves incident from the deep Layer into the shallow one. Thick full Line is  $t^*$ -curve for  $T=33\mu$ sec.

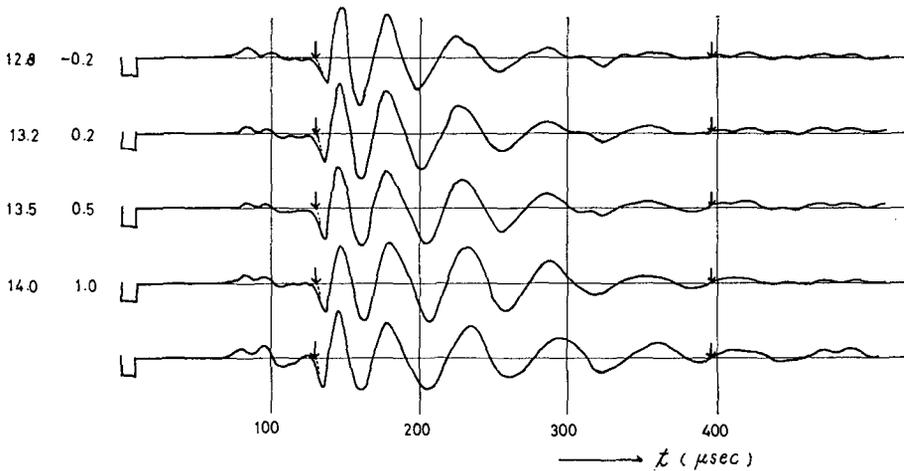
$t^*$  曲線より右側の部分には浅層側で振幅が卓越する筈の波群が存在しない。この部分は、深層で卓越した波群がそのまま浅層側に伝わるものと思われる。走時の傾向から考えて、これらの波群は表面波と考えられる。 $t^*$  曲線より左側では、浅層側で卓越すべき波群が存在し、位相速度もこの卓越した波群の値を示す。

第10図に、階段を通過した直後の位相速度を示す。位相の目盛は $2\pi$ である。周期 $30\mu\text{sec}$ 以下ではバラツキは小さいが長周期ではバラツキが大きい。これから得られた位相速度を右側に示す。短周期では鎖線の範囲内にある平行層の実測値と良く一致する。これは、短周期では隣りの層の表面波成分が階段からただちに表面波として伝播することを意味している。長周期では、階段による散乱の影響が大きいため、平行層の値からのずれが大きいものと思われる。



第10図 左側はフーリエ成分の位相、右側は左図からえられた位相速度と平行層を仮定した場合の理論的分散曲線との比較。

Fig. 10. The left side is phase change obtained from FOURIER analysis near the step and the right side is comparisons of phase velocity obtained from FOURIER analysis with theoretical dispersion curves.



第11図 第7(b)図のごとき測定方法でえられた記録、最下の記録は平行層の場合。

Fig. 11. Seismograms obtained by the set of Fig. 7(b). The coordinates of source and receiver are denoted in the right side of seismograms. The lowest seismogram is obtained with the parallel layer.

第7(b)図のごとく振源と受振点とをおき、 $\Delta$ を一定にし、 $x$ を変えて階段の影響を調べた。Fig. 11に得られた波形を示す。長周期の部分で階段の影響を大きく受けていることがわかる。平行層のものとは比べた振幅の変化、位相の変化をそれぞれ $\delta A$ 、 $\delta\theta$ とすると、次の様な傾向がある：

$$\begin{aligned} x \leq 1 \text{ の時} & \quad \delta\theta > 0, \\ x = 1 \text{ の時} & \quad \delta A > 0, \\ x \leq 0.5 \text{ の時} & \quad \delta A < 0. \end{aligned}$$

第12図に前図の矢印で示した区間の波形から得られたスペクトラムを示す。点線は平行層の際に得られた値である。

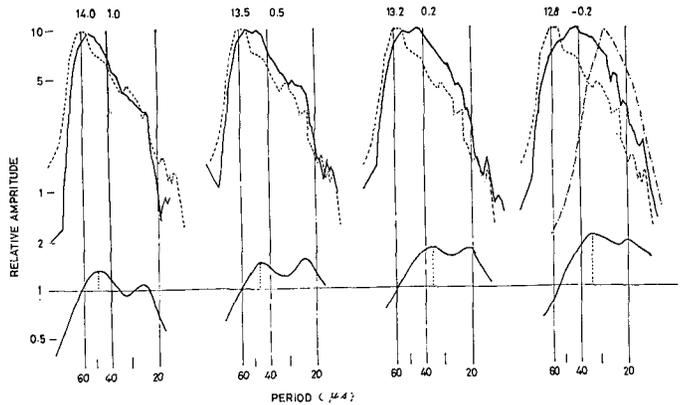
スペクトラムの下の実線は、上図の実験と点線の比を表わしている。この図から、 $|x|$  が小さくなり階段に近づくとき、相対的に長周期の振幅が小さくなっていることがわかる。

次に受振点  $x$  を 0.5 cm

に固定し、 $\Delta$  を変えて位相速度、群速度を調べた。結果は第13図に×印で示されている。○印は平行層の場合に得られた値である。群速度では○、×両者に組織的な違いはない。位相速度

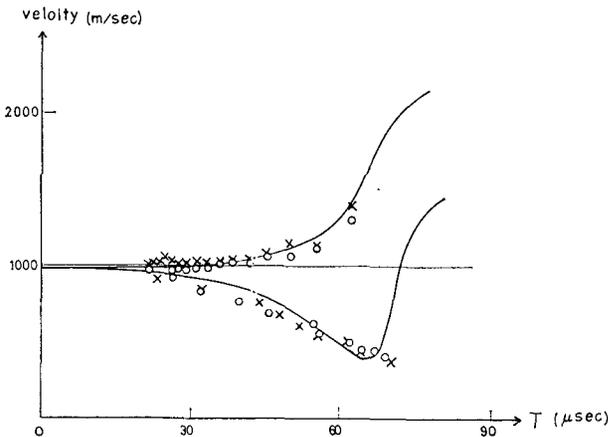
では階段の場合の方がいつも5%程度大きい。

謝 辞 北海道大学理学部地球物理学教室田治米鏡二教授および田望助教授から有益な御意見を頂いた。同教室岡田広博士および吉井敏尅氏に数多くの討議をして頂いた。また、森谷武男氏に一部の実験装置の設計および製作をして頂いた。スペクトラムの計算には北大計算センターのお世話になった。以上の方々に感謝する。



第12図 前図よりえられたスペクトラム (実線), 点線は平行層のスペクトラム  $Y_2$ , 下図は実線と点線との比。

Fig. 12. Obtained spectra with the use of seismograms in Fig. 11. Dotted line is  $Y_2$ .



第13図  $\Delta$  を変えた場合の位相速度、群速度 (×) と平行層の場合 (○) との比較

Fig. 13. Comparisons of phase and group velocities (×) obtained by the set of Fig. 7(b) where observation point  $x$  is fixed with those (○) obtained with a parallel layer.

## 7. Model Experiments for Surface Waves in Layered Elastic Media Having a Step.

By Akio MORI\*

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

When distances ( $A_1$  and  $A_2$ ) of the source and the receiver from the step are changed, spectrum  $Y$  observed is always almost equal to  $(Y_1 Y_2)^{1/2}$  where  $Y_1$  and  $Y_2$  mean the spectra for the thin and the thick layers.

Arrival times of the surface waves observed can be explained by the usual formula  $A_1/U_1 + A_2/U_2$  in which  $U$  means group velocity.

Generally speaking, phase velocity of the surface waves is characterized by only a layer on which it is observed. When the waves come from the shallow layer to the deep one, travel times of any phase may be connected, with two straight lines, on the step. However, when the waves come from the deep layer to the shallow one, each travel-time curve of any phase is removed gradually from one to the other straight line. In the latter case, reflections at the step would occur seriously.

---

\* At present; Department of Civil Engineering, Faculty of Technology, Hokkaido University.