



Title	4. モデル実験による PL mode の観測
Author(s)	吉井, 敏尅; YOSHII, Toshikatsu
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 19, 65-71
Issue Date	1968-03-13
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.19.65
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/13938
Type	departmental bulletin paper
File Information	19_p65-71.pdf



4. モデル実験による PL mode の観測

吉井敏尅

(北海道大学理学部地球物理学教室)

— 昭和42年11月受理 —

I. ま え が き

自然地震における PL mode については OLIVER and MAJOR の論文¹⁾が有名だが、モデル実験でも多くの論文が発表されている^{2)~4)}。ところが自然地震では fundamental mode に相当する PL₂₁ mode が卓越するに対し、モデル実験では高次の波である PL₂₂ mode が卓越し PL₂₁ mode はほとんど認められないのが普通である。今回の実験では通常の二次元モデルを用い、震源に少しくふうをして PL₂₁ mode を見い出すことを試みた。又、近似的な方法であるが分散曲線を計算し実測と比較した。

II. 実 験

実験に使用したモデルは以前浜田⁵⁾らが使用したものと同様で、大きな alminum 又は lamiverre の板 (厚さ 2 mm) の一辺に幅 1 cm の plastics の板を接着し層構造のモデルとしたものである。これら板の P 波、S 波の速度および密度を第 1 表に示す。

今回は特に PL mode を観測する目的で source および receiver を第 1 図に示すようにあて、receiver を水平方向にずらしながら記録をとった。source および receiver はチタン酸バリウムを使用したものである⁶⁾。

記録の例を第 2 図に示す。第 2 図上は plastics-alminum のモデルの場合で、震央距離は 100 cm, source にあてたパルスの幅は約 6 μ s である。P 波の到着直後から長周期および短周期の二つの波群が現れているが、このうち短周期の方は浜田の

第 1 表

Table 1.

	α (km/s)	β (km/s)	ρ
plastics	1.89	1.07	1.40
alminum	5.35	3.06	2.70
lamiverre	3.45	1.55	1.75

- 1) J. OLIVER and M. MAJOR; Leaking Modes and the PL Phase, Bull. Seis. Soc. Am., **50** (1960), 165-180.
- 2) F. GILBERT and S. J. LASTER; Experimental Investigation of PL Modes in a Single Layer, Bull. Seis. Soc. Am., **52** (1962), 59-66.
- 3) S. J. LASTER, J. G. FOREMAN and A. F. LINVILLE; Theoretical Investigation of Modal Seismograms for a Layer Over a Half-Space, Geophysics, **30** (1965), 571-596.
- 4) S. J. LASTER and A. F. LINVILLE; Application of Multichannel Filtering to the Separation of Dispersive Modes of Propagation, J. Geophys. Res., **71** (1966), 1669-1701.
- 5) 浜田和郎; 固体-固体波の周期特性に関する模型実験, 地震, **16** (1963), 133-144.
- 6) 斎藤亀亀; 弾性波模型実験装置の改良, 北大地球物理学研究報告, **16** (1966), 1-10.

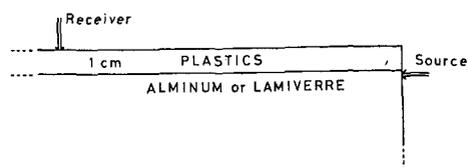
実験でも見られたものである⁵⁾。P波の後約200 μ s に現れる大きな波群は主として M_{11} mode である。従来のモデル実験の記録と異なり、 M_{11} mode では常分散の部分が卓越していることが注目される。

第2図下は plastics-lamiverre のモデルの場合で、各波群の性質は前と全く同様である。

この例では震央距離は 40 cm, source にあたえたパルスの幅は約 5 μ s である。

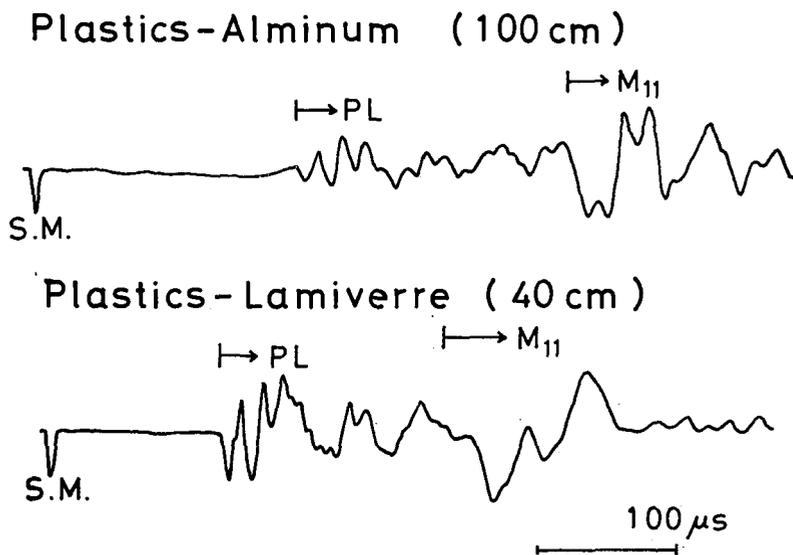
記録は、plastics-aluminum のモデルでは 50~120 cm を 10 cm ごとに、plastics-lamiverre のモデルでは 30~45 cm を 2.5 cm ごとにとった。

これら、二つの波群は従来の論文から考え PL_{21} mode, PL_{22} mode であろう。source にあたるパルスの幅を大きくすると長周期の波群が卓越してくるが、精度の点を考え 5~10 μ s の間で記録をとるのが望ましいと思われる。



第1図 この実験の方法

Fig. 1. Schematic diagram of this experiment.



第2図 記録例 上; plastics-aluminum モデル, 下; plastics-lamiverre モデル

Fig. 2. Examples of records.

Upper; plastics-aluminum model. Lower; plastics-lamiverre model.

III. 分散曲線

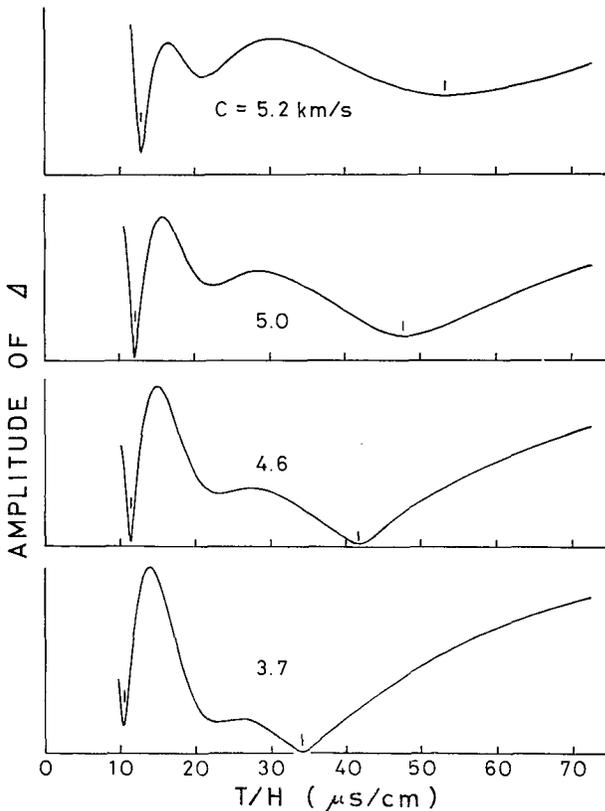
PL mode は leaking mode の一種であり、特性方程式 $A(\omega, k)=0$ の根は ω (周波数) あるいは k (波数) を複素数に拡張しなければ得られない⁷⁾。この複素根を求める作業はかなり大変

7) F. GILBERT; Propagation of Transient Leaking Modes in a Stratified Elastic Wave-guide, Rev. Geophys., 2 (1964), 123-153.

なので、ここでは OLIVER and MAJOR による近似的な方法¹⁾ で分散曲線を求めることにした。この方法では ω, k 等を全て実数とし、複素数 A の振幅 (絶対値) の極小をたどって分散曲線とする。これを理論曲線と呼ぶことは多少問題であろうが、複素根を求めて作った分散曲線と良く一致することが知られている⁸⁾。

第3図に plastics-aluminum モデルにおける A の振幅の計算例を示す。 c は位相速度である。横軸には (周期)/(層の厚さ) をとり、縦軸は任意の直線目盛とした。印を付けた二組の極小をたどって分散曲線を描くと第4図の上半分のようなになる。下半分には特性方程式の実根に対応する $M_{11}, M_{12}, M_{21}, M_{22}$ mode も示した。先の二つの曲線が $c = \beta_2$ で M_{21}, M_{22} mode につながるように見えるところから、GILBERT and LASTER はこれらを PL_{21}, PL_{22} mode と呼んでいるわけである²⁾。 PL_{12} mode に相当するものは、この例では明らかでない。

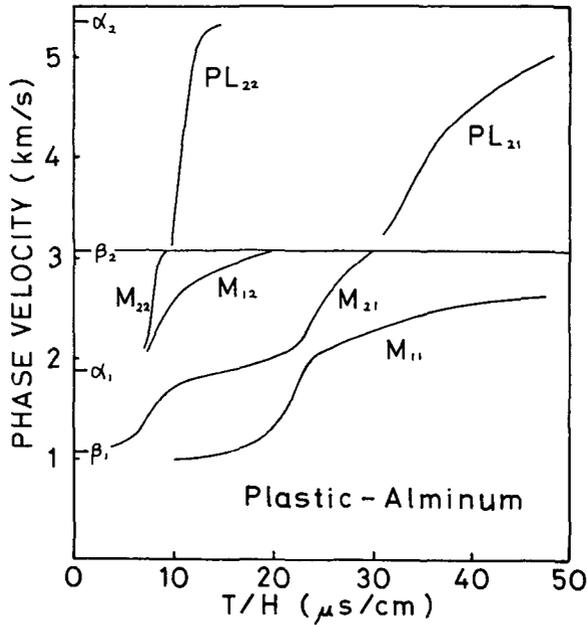
第4図には簡単のために位相速度のみを示してある。($k-c$) 面上で位相速度曲線を微分す



第3図 A の振幅の計算例

Fig. 3. Example of amplitudes of A .

8) S. S. SU and J. DORMAN; The Use of Leaking Modes in Seismogram Interpretation and in Studies of Crust-Mantle Structure, Bull. Seis. Soc. Am., 55 (1965), 989-1021.

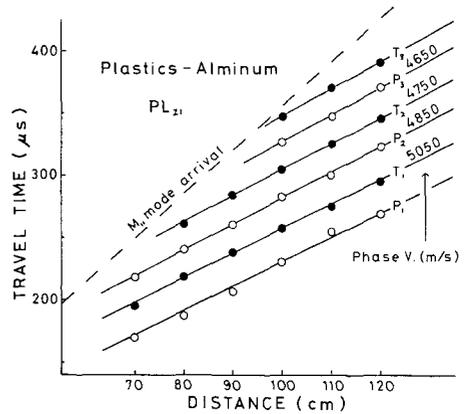


第4図 PL mode および normal mode の位相速度曲線 (plastics-aluminum モデル)

Fig. 4. Phase velocity curves of PL modes and normal modes (plastics-aluminum model).

れば群速度を求めることができるが、実根の部分は問題ないにしても、PL mode については相当精度の悪いものとなるのは避けられないであろう。

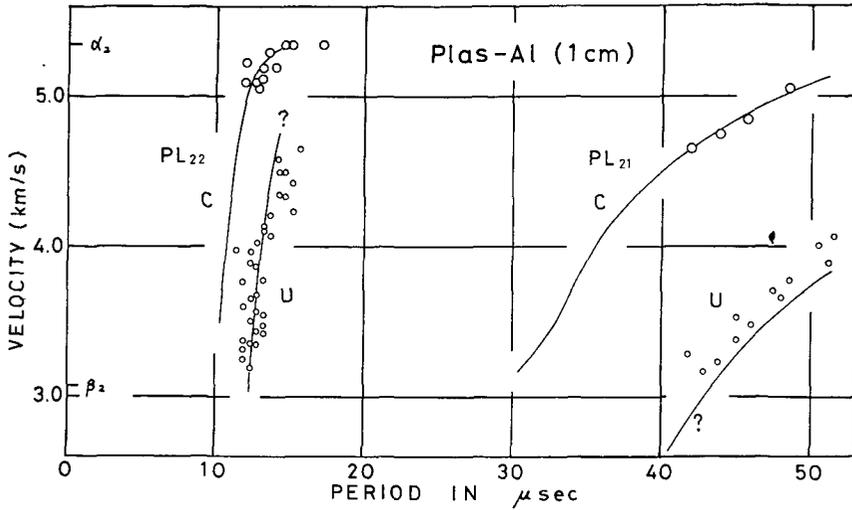
得られた分散曲線の形から考え、記録に見られた長周期、短周期の分散波がそれぞれ PL_{21} , PL_{22} , mode であることは間違いはないだろうが、これを確かめるために記録から位相速度、群速度を求めることにした。第5図に plastics-aluminum のモデルにおける PL_{21} mode の山谷の走時を示す。図上、 P_n は山、 T_n は谷を表わし、この波群は M_{11} mode の到着により乱されるまで続く。この図からすぐに位相速度が得られるが、同時に 90, 100, 110, 120 cm の記録から群速度を求めた。 PL_{22} mode についても同様である。



第5図 PL_{21} mode の走時曲線 (plastics-aluminum モデル)

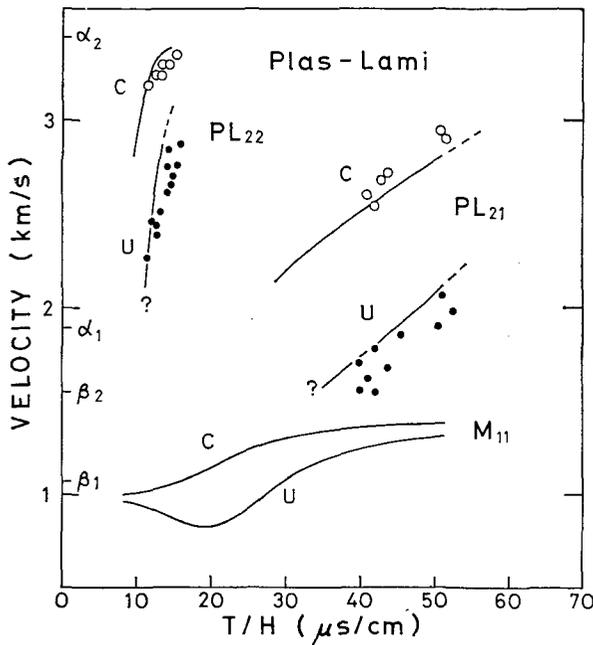
Fig. 5. Travel time curves of PL_{21} mode (plastics-aluminum model).

plastics-aluminum モデルについての結果を理論曲線と共に第6図に示す。大きな丸、小さな丸



第6図 実測による位相速度と群速度および理論曲線 (plastics-aluminum モデル)

Fig. 6. Observed phase and group velocities of PL modes and theoretical curves (plastics-aluminum model).



第7図 実測による位相速度と群速度および理論曲線 (plastics-lamiverre モデル)

Fig. 7. Observed phase and group velocities of PL modes and theoretical curves (plastics-lamiverre model).

な丸はそれぞれ位相速度，群速度の実測値を表わす。前述のように群速度の理論曲線がそれほど信用のおけるものでないことを考えると，まず満足すべき結果と言えよう。浜田が以前観測した波も確かに PL₂₂ mode であることがわかった。

第7図には plastics-lamiverre モデルの結果を示す。plastics-aluminum の場合よりコントラストの小さなモデルのためか， d の極小はそれほど鋭くならなかった。しかし図に見られるとうり実測と分散曲線との一致はかなり良い。

IV. 結 論

従来モデル実験では観測され難かった PL₂₁ mode が，source のあて方により顕著に現れることがわかった。実験がまだ不十分なので，この理由はまだはっきりしていない。ただ source の深さが重要なカギであることは明らかであって，今までのモデル実験の記録より自然地震の記録に近い感じのものが得られた。M₁₁ mode (レイリー波) についても逆分散より常分散の部分が卓越している。

今回の実験ではモデルの角を利用して source の位置を深くしたのであるが，板の内部に source をうめこんでみると別の結果が得られるかもしれない。

理論曲線は簡単のため近似的な方法でしか求めなかった。GILBERT⁷⁾によれば複素根の虚数部は多くの場合実数部の10分1のあるいはそれ以下であり，このことが上に述べた近似法が有効である一つの理由なのかもしれない。虚数部のより大きな場合，この方法では不十分であろうが，そのような波は減衰が大きく観測されにくいはずである。

計算のプログラムはマトリックス法⁹⁾を用いて書かれているのでかなり複雑なモデルについても容易に計算できる。この方法の限界さえ十分わきまえて使用すれば，さらに多方面への応用が可能であろう。

数値計算は北大計算センター，NEAC 2203 G により行なわれた。

4. Model Seismology on PL Modes

By Toshikatsu YOSHII

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

Experimental studies on PL modes have been performed by many authors. But usually PL₂₁ modes were very weak or absent in their experiments. In this study, plastics-aluminum model and plastics-lamiverre model are used, and location of source is modified to find PL₂₁ mode as shown in Fig. 1. Because of this modified method, it is easy to identify

9) N. A. HASKELL; The Dispersion of Surface Waves on Multilayered Media, Bull. Seis. Soc. Am. 43 (1953), 17-34.

PL₂₁ modes on records (Fig. 2).

Theoretical dispersion curves for PL modes are drawn by tracing minimums of period function (Fig. 3). Phase velocity curves for plastics-aluminum model are shown in Fig. 4.

Observed phase and group velocities are obtained by usual method (Fig. 5) and are compared with the theoretical curves. These results are shown in Fig. 6 and Fig. 7.