

地質調査所構内におけるS波速度の測定

太田 裕* 嶋 悦三* 柴藤 喜平** 平沢 清** 伊藤 公介**

A Note on the Shear Wave Prospecting at the Premises of Geological Survey of Japan

By

Hiroshi OTA, Etuzo SHIMA, Kihei SHIBATO, Kiyoshi HIRASAWA,
& Kosuke ITO

Abstract

By means of a newly developed shear wave generator, which is quite similar to Jolly's "gun" with a slight modification, the small-scale experiment was carried out at the premises of Geological Survey of Japan.

Seismograms derived by using the generator were compared with the ones by the conventional "plate hitting" method. And the generator is proved to be very effective to have sharp first arrivals. The similarity of the wave forms derived from different shots but with the same firing condition is also extremely good.

The underground structure thus derived is shown in Fig. 6.

1. S波発生装置の試作と実験の目的

最近地球物理学の多方面においてS波に関する情報の必要性が増大してきた。とくにSH波は、一方ではこの波の伝播法則がP・SV波に較べてきわめて単純なため、またP波による結果とは独自の構造を与えるために、物理探査における有用性が着目され、近年実験的研究も盛んになってきた。しかし、S波発生装置の作製には技術上困難な点が多く、充分実用の段階にあるとはいえない現状である。

国内では、ごく小規模のS波地下探査のためのS波発生装置として、小林直太を中心とする地震探鉱実験グループが開発した“板叩き法”¹⁾、小牧昭三のS波発生装置²⁾があるにすぎない。前者は板(200cm×50cm×10cm程度)を地表に密着させ、その一端を木槌で叩く方法である。この方法は簡便な故に仲々有用ではあるが、次のような欠点がある。

- (i) 初動立ち上がりの不明瞭なこと。
- (ii) 波の到達距離の小さいこと。
- (iii) 波形(振幅・周期を含めた)再現性の不十分なこと。

こと。

一方、後者のものは原案をR. N. JOLLY³⁾によつており、鋼管中で少量の火薬を爆発させ、反動力によつてSH波をだそうとしたものである。力源として火薬爆発を用いた点は秀れているが、装置のバランス・媒質との接触等に問題があり、必ずしも実用の域には達していないようである。

筆者らはかねてから、上記諸欠陥を改良したS波発生装置の実現を希望していたが、今回科学技術庁が計画する地震防災研究においてS波の発生ならびに観測実験を行なうため、図版1,2に示すS波発生装置を試作することができた。

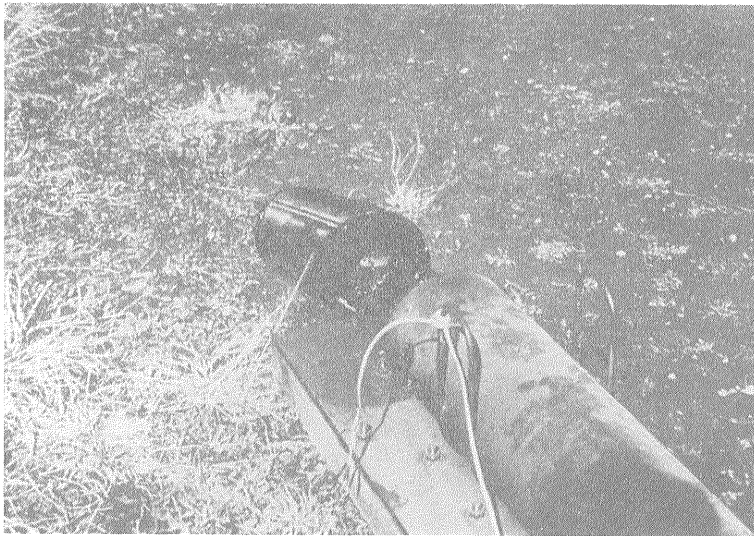
この装置は、板(約250cm×50cm×10cm)に鋼管(長さ200cm,半径10cm)をしつかりと結合し、片側内部に特殊鋼製の薬室を収容してここに火薬を装填し、もう一方の側にウエイトとして鉄製シリンダー(重量30kgのもの8~10個)を収納してある。火薬の爆発の際このウエイトが外に飛び出す反動力によつて、板と媒質との間に強力なズリ応力を発生させ、S波を発生させようとする装置である。設計に当つては、媒質との接触を充分にするために板叩き法の長所を取り入れ、また力源としては火薬による前記2方法の利点を生かし、さらにパラ

* 東京大学地震研究所

** 物理探査部



図版1 S波発生装置全景



図版2 薬室の部分

ンスの問題も充分考慮した。この結果従来のものに較べてかなり改良された装置を作り得たものと考えている。

この装置を前記研究に用いるに先立ち、装置の性能テスト等実験計画の基礎資料を得るために、地質調査所グラウンドにおいて簡単な予備実験を実施した(1966年2月23日)。この結果、今回試作した装置は従来のものに較べて一段と秀れていることがわかった。また、この際ごく大ざっぱではあるが、地質調査所におけるS波に関する浅層の地下構造を知ることができた。

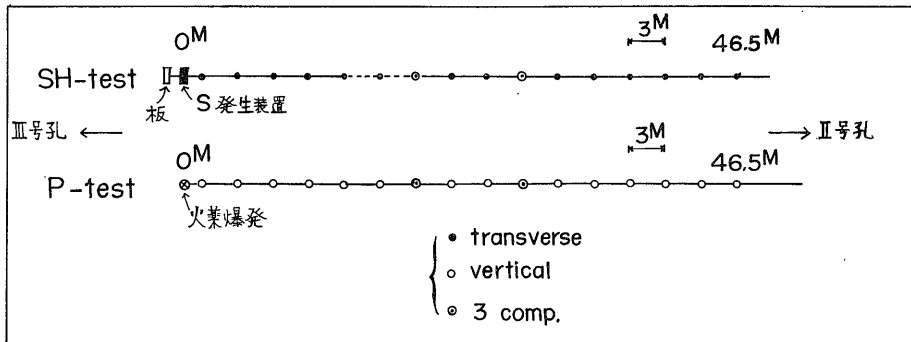
地質調査所グラウンドにおいては、かつて、地震波の発

生・伝播機構の究明と地質探査法の質的向上を目的として結成された地震探鉱実験グループ(通称小爆破グループ)による第1回実験(1953年)も行なわれ、同グループの会報⁴⁾にみるように当時としてはきわめて有意義な成果が得られている。しかし、S波データー等の不備のために未解決の問題も多く残されていることは当時としてはやむをえない。これらの未解決の問題、とくに表面波の生成・伝播の問題を考えると、前記の成果にS波データーを加えることは充分に意義をもつものと考えられる。

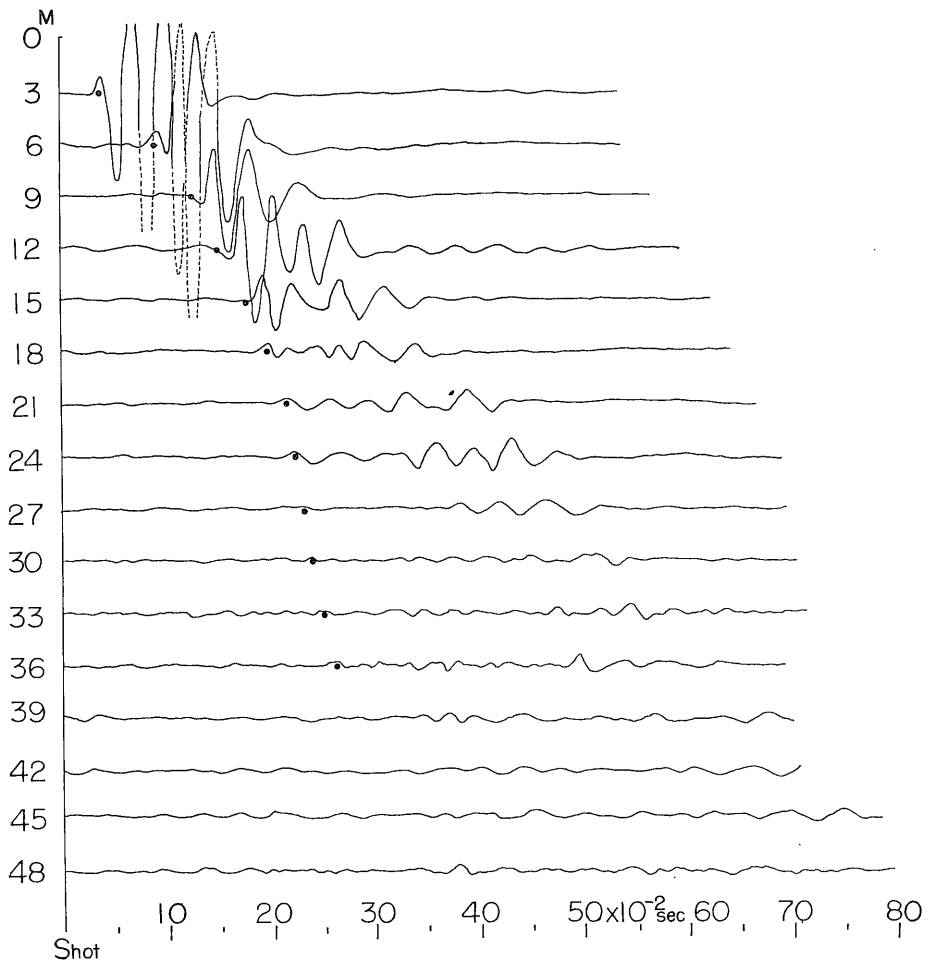
以上の観点から、S波発生装置の試作と、これを用いた地質調査所グラウンドにおけるS波実験結果について簡単に報告する。

2. 実験方法

前述のように今回の実験はS波発生装置の予備テスト



第1図 測線図



第2図 SH波の記録例 (板叩き法)

を主眼とし、実験期日もわずか1日のみであったため、測線は1方法のみに限定し、震源もほぼ1カ所に固定し往復測定は省略した。受振器の展開は第1図に示すように、3m間隔とし、受振器はNEC製地震探鉱用30cps上下動を用い、SH波実験の際にはこれを測線と直角方向に水平に設置した。P波の測定の際は通常の設置法によった。また測線上の2点では3成分観測を行ない、波の種類を区別する際の参考とした。なお、観測に用いた器械はE. T. L. M-3型地震探鉱器である。以上の観測状態のもとに、同一測線上で、板叩き法・試作装置によるSH波発生テストのほか、通常の火薬爆発によるP波測定も同時に行なつた。

たまたま、この測線は前述の小爆破グループ協同実験の爆発孔および柱状図作製のための試錐孔のII号孔とIII号孔を結ぶ線(当時の実験のA測線)にほぼ平行する測線であつた。

3. 実験結果

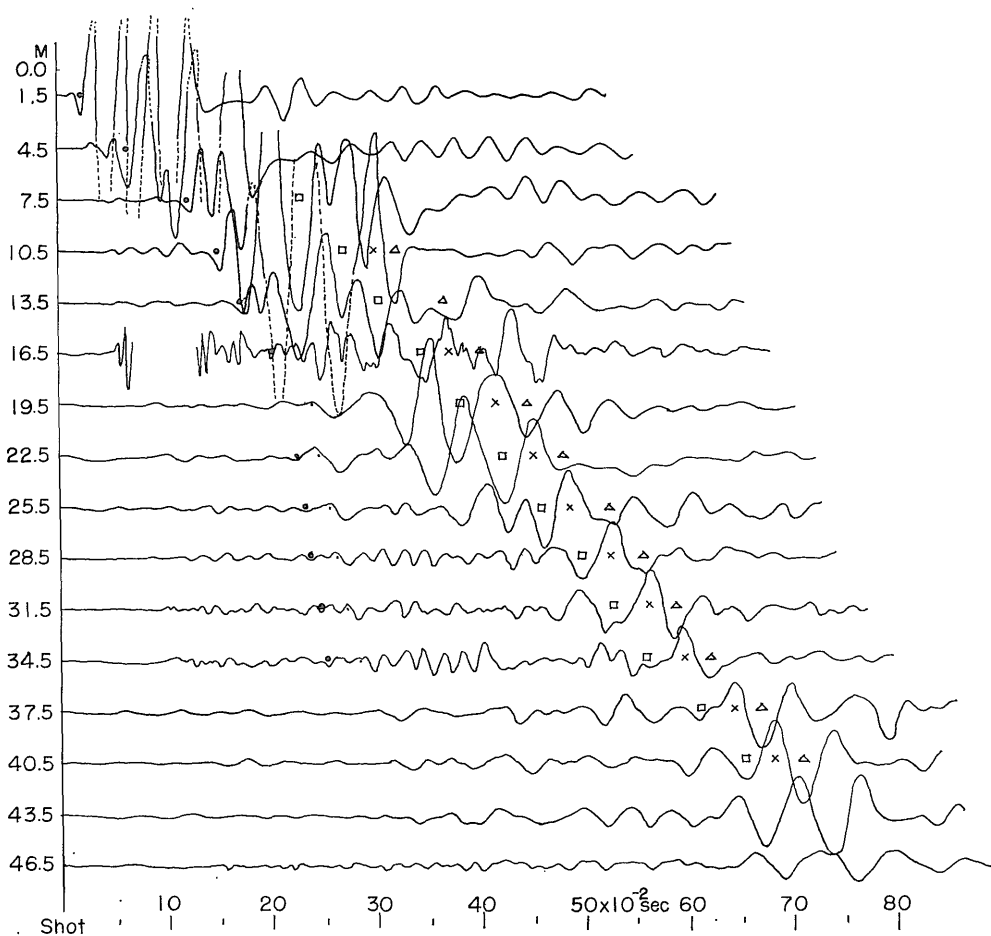
3.1 S波発生装置、板叩きによる実験

得られた記録の1部を第2図・第3図に示す。前者は板叩きによるもの、後者は試作装置による記録である。両者は比較のため同じgainで観測した。当日は強風のためnoiseが大きく探鉱器のgainは測定可能な限り小さくしたので、記録は必ずしもきれいではないが、両図の比較から筆者らの装置の効果を認めうるであろう。とくに Later phase では両者の相違は著しい。

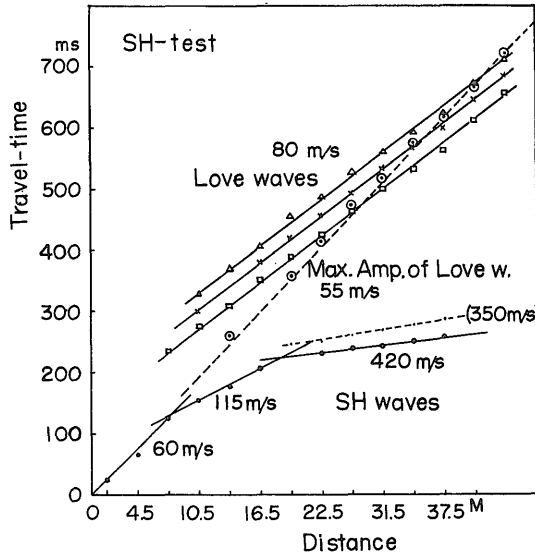
First arrivals

SH波実験の場合常に問題になるのは記録上どの点を初動と読むかである。今回のように強いnoiseを避けるため適性以下のgainで記録を取っている場合、筆者らの実験も例外ではあり得ない。

試みに3成分観測を参照しながら記録上の接線成分の



第3図 SH波の記録例(S波発生装置)



第4図 SH波・Love波の走時曲線

大きくなり始めるところをSH波立ち上がり点とみて(第3図・のところ)走時曲線を作つたのが第4図に・で書かれたものである。これから平行層近似^{注1)}を採用して構造を計算すると

	SH波速度 (m/sec)	層厚 (m)
第1層	60	2.3
第2層	115	6.1
第3層	420	

となる。板叩き法の記録によつてもほぼ同様の結果を得る。なお、最小層の走時として前とはやや違つた点(第3図・のところ)をとると第4図……のように速度350 m/sec, 第2層の層厚7.0mが得られる。

一般に浅層構造調査のためのP波地震探査では受振点間隔2~5mが普通であるが、P・SH波ともに初動付近の振動数は20~50 cps程度、また速度は軟弱地盤層を対象とする場合にはSH波では通常P波速度の数分の1以下であることを考えあわせると、P波地震探査と同程度の精度でS波による構造を決定するには、SH波の場合少なくとも受振点間隔50cm以下に設置しなければならない。したがつて今回のように受振点間隔の大きい場合には、各 trace 上の読み取り点の対応の不確かさから招かれる若干の誤差の混入は避けられない。

Later phase

波の出現の様子や3成分観測との比較から判断して、

注1) II号孔, III号孔の柱状図から判断して平行層近似はあまり無理とは思われない。

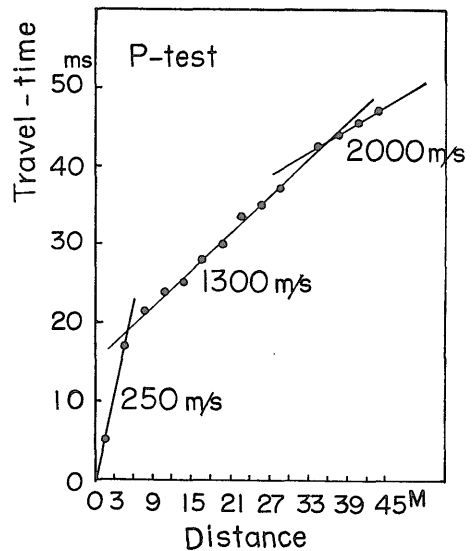
記録上もつとも大きな振幅・周期を示す一連の波群はLove波と考えてよい。このようにSH波実験に伴つてLove波が観測されると、SH初動走時からの構造の妥当性を検討するためにも、装置の有用性を確かめるうえにも大変都合が良い。

さて、2・3の山谷について位相速度を求めるといづれもほぼ80m/secに近い。試みにこの波群の包絡線を作り、これが最大となる時間を各 trace 毎に plot してみると(第4図◎印)、これの延長はほぼ原点を通る位置にある。最大振幅伝播速度は55m/secである。最大振幅付近の波の振動数は13~15 cpsであるから波長 λ_L は5~6mとなる。したがつて $\lambda_L/H_1=2\sim3$ となり、 $V_2/V_1=115/60\approx 2$, $\rho_1=\rho_2$ (密度)の理論分散曲線⁵⁾と較べるとAiry phaseに近いことがわかる。このとき最大振幅伝播速度50~55m/secはほぼ極小群速度に相当する。つまり今回の実験では主として最上層に起因する分散性Love波のうちの最低次のMode波をとらえたことになる。しかしより高次のLove波をみいだすことはできなかった。なお、板叩き法でもLove波は得られているが、試作装置によるものに較べてそのエネルギーはきわめて劣勢である。

小爆破グループの実験報告ではRayleigh波の位相速度として60~70 m/sec また群速度52 m/sec と報告されている。これは今回の結果とも矛盾しない。

3.2 P波による地下構造

第1図に示す受振器配置で深さ約50cmにおいて25gのダイナマイトを爆発させて観測した。走時曲線を第5図に示す。これから速度および層厚を計算し、



第5図 P波の走時曲線

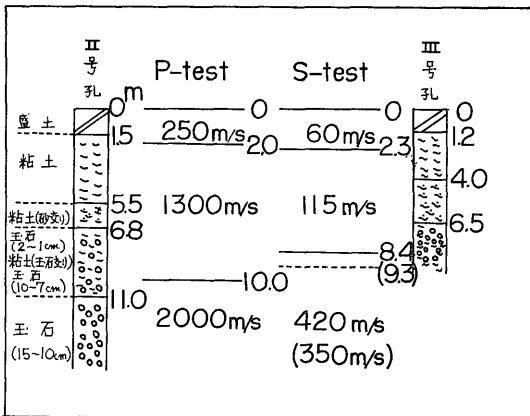
	P波速度 (m/sec)	層厚 (m)
第1層	250	2.0
第2層	1300	8.0
第3層	2000	

を得た。これは小爆破グループの出した2・3のモデルのいずれとも少しずつ違っている。

彼らは25~50cm程度の極端に小さい受振点間隔で測定しているので、表層近くの構造については彼らの結果の方が一層正確であろう。事実遠い測点から得られる第3層の速度は1,800 m/secとなっており、今回の値にかなり近い。

4. 速度層と地層との対応

前記のように測線のほぼ延長上に試錐孔があり、詳細な柱状図が得られている。(第6図)



第6図 柱状図と速度層との比較

60 m/sec (SH波), 250 m/sec (P波) からなる最表層は表土すなわち盛土に相当する。地震探査による層厚と柱状図とで若干の相違がある。これは受振点間隔が層厚より大きく、この結果として生ずる誤差とも考えられるが、また地層境界が必ずしも速度境界に対応しないためとも考えられる。

115 m/sec (SH波), 1,300 m/sec (P波) の第2層はほぼ粘土層ないし砂混り粘土層に対応する。しかし速度境界は柱状図にみる6.5~6.8 mの砂混り粘土—玉石混り粘土との境界とは一致しない。これは前記測定条件による結果とも考えられるが、次のような解釈も不可能ではない。すなわち、柱状図をよくみると玉石混り粘土層中の玉石は層の上部で1~2 cmと小さいが下部では7

~10cmと急に大きくなり、さらに下部の玉石層(10~15cm)に続いている。速度測定からの深度8~10mの境界はこれに当るのかも知れない。P・SH波ともに純然たる玉石層では大きな速度をもつ点からも、この考えはあながち無理ではない。

なお、ここに得たSH波の速度は、同様な地層構成からなる別の地域で得た値とも非常によく合っている⁶⁾。

最近、P・SH波それぞれ独自に得られる速度層が一致しないことは、とくに浅層構造では決して不自然ではないとの考えがある。しかし、今回の実験からはこれを支持するに足る資料はとくに得られていない。

5. 結 語

今回試作したS波発生装置の実験を行なった際に得られた地質調査所グラウンドのS波による地下構造を中心とし、これに関連した2,3の事柄について簡単に報告した。

その後、前記地震防災研究で千葉県成田市の利根川河原において本装置を用いてS波の発生と伝播に関する諸種の基礎実験を行なったところ、本装置はSH波の立ち上り、到達距離、記録の再現性等の点でも従来の方法に較べて秀れていることがわかった。これらについては別の機会に報告する予定である。

参考文献

- 1) 小林直太(1959) : SH波をつかつて地下構造をきめる1方法, 地震II, vol. 12, p. 19~24
- 2) 小牧昭三(1959) : S波発生に関する基礎実験, 地震探査実験グループ会報, no. 18, p. 91~100
- 3) JOLLY, R. N. (1956) : Investigation of shear waves, *Geophysics*, vol. 21, p. 905~938
- 4) 地震探査実験グループ(1954) : 1953年2月地質調査所構内で行われた実験内容, 地震探査実験グループ会報, no. 1, p. 1~28
- 5) KANAI, K. (1951) : On the Group Velocity of Dispersive Surface Waves, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, vol. 29, p. 49~60
- 6) 河角広他5名(1966) : 東京都内各所におけるS波の測定結果(第1報), 震研彙報, vol. 44