

SH波発生装置により発生した波群の研究： ラブ波の発生とその地中観測

嶋悦三*・太田裕*・柴藤喜平

地質調査所

Observation of Love Waves Generated by the SH-Wave Generator

By

E. Shima,* Y. Ohta* and K. Shibato

Geological Survey of Japan, Tokyo

Abstract

The Mark I SH-wave generator has been modified by taking account of the experiences of the field test reported in the previous paper. The main point of modification is the increment of the weight of generator itself (see Photo 1). By means of this Mark II generator, the quality of the generated waves were greatly improved. Love wave groups were observed not only on the surface ground but also in the bore-holes. Observed data were compared with the theoretical calculations such as dispersion curve and the amplitude distribution with respect to depths, and fairly good agreement was found between them.

1 はじめに

地震時における震害を僅小にくいとめるためには、まずその場所における地盤の振動特性をくわしく知る必要がある。このためには、従来おこなわれてきたようなP波のみによる調査に併せてS波による調査も実施し、地盤の物理的性質をしらべていかなければならない。特にS波速度は、それをつたえる地盤の強度との間に簡単な関係があ

ることから、これらの資料が工学の分野でも急速に注目を集めるようになってきた。

さて、実際に現場において、S波速度を実測しその応用面を開発しようという立場にたてば、現在まがりなりにも、S波による小規模な地震探査が可能になってきたとはいえ、これはまだ専門家にとっての話であり、我々に残された問題点は数多い。すなわち、このような調査が誰にでもでき

* 調査員（東京大学地震研究所）

るようにするためには、より能率よくS波を発生させるために、発生装置の改良とか、観測計器の改良をふくめたより簡便な測定法の開発等への努力がのぞまれる。この目的のためには、現実使用している発生装置によりどのような波群が発生しているか、またその波群がどのような伝播特性をもっているかを詳しく吟味する必要がある。一方、このような基礎的実験と平行して各種地盤を伝わるS波速度をしらべ、地質との対比を行なっていくことも応用面から考えて重要であろう。^{1) 2) 3)}

前回筆者らは、SH波発生装置を試作する機会を得て、これによる野外実験をおこない、かなりよい結果を得たことを報告した⁴⁾。この際気付かれたいくつかの欠点を改良し、再び実験を行なった。今回の実験では、改良点の検討、また発生した波群の伝播特性をしらべることを主眼とした。実験地は、成田市、長豊橋附近の利根川河川敷であり、この地下構造については、前報^{5) 6)}に詳しく報告してある。

2 SH波発生装置の改良

前報にものべた通り、SH波発生装置の原理は次のようなものである。火薬の爆発によって生じた鉄管内の圧力により、おもりが外部へおし出される。この反動によって、発生装置の台座は逆方向に押し出され、地面との間に急激なズリ応力を発生する。よってSH波が発生すると考えられる。前回の実験では装置の自重が軽かったため薬量をふやすと水平力が摩擦力に打勝って台座が地表をすべってしまい、薬量増加による効果があまりみとめられなかった。この点を改めるためには、装置の自重をましてやればよい。そのためPhoto-1にしめすような容器を発生装置にのせ、この中

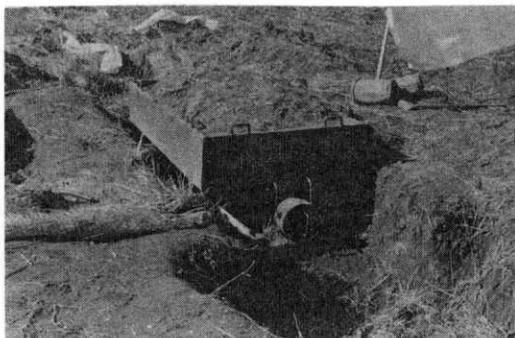


Photo.1 Mark II SH-Wave generator.

土を入れることにより、その自重をふやすことを試みた。その他、ストッパーピンと鉄管との結合部分、薬室とおもり附近の鉄管を強化する等、こまかな改良がなされた。

3 実験方法及び使用計器

実験は、昭和43年2月、千葉県成田市竜台の長豊橋附近の利根川河川敷で行なわれた。実験には、SIE 24成分探針器、三栄測器製24成分電磁オシログラフ、SONY製4成分データレコーダーを使用した。使用した地震計は、上下水平兼用の固有周波数10 c/sの地震計および3成分地中地震計(固有周波数5 c/s)である。10 c/sの地震計は、15 c/sより高い周波数の波動に関しては、地動の速度に比例した出力を得るよう設計されている。また3成分地中地震計はシリコンオイルで強力なダンピングを与えてあり0.2~50 c/sの周波数範囲で地動の加速度に比例する出力が得られる。

今回行なった主な実験項目は次のとおりである。

- a 発生した波群(SH波、ラブ波)の検討。
- b 指向性実験。

第2の項目については前回にも行なったが、そのときは、地震探査用の上下動地震計を水平にして使用した。そのため、総合特性の補正が必ずしも充分でなかった。そこで振幅のくわしい議論が出来るようにさきのべた特性のそろった10 c/sの地震計を前回と同様に配置し、観測した。その結果前回と較べて振幅の精度が増し、予期した通りのパターンが得られた。この問題については機会をあらためて報告することとし、ここではこれ以上ふれない。この他、火薬の爆速を変化させた場合の発生装置のふるまいおよびそのとき発生された波群をしらべる基礎的実験も行なわれた。爆速をおそくした場合(たとえば黒色火薬を使った場合)一般の新桐ダイナマイト等に較べて、はるかに大量の薬量を安全に爆破させられることがわかった。このことは、薬量変化と、振巾のかわりを調べる上でより広範囲に薬量変化を期待出来るという意味で非常に重要なことである。この問題も将来機会を得て研究をすすめたい。

以下項目a)についてのべることにする。

前にものべた通り、発生装置によって発生させられた波群を検討しておくことは、将来装置を改良する上で重要な情報を提供するものである。もちろん理学的見地からいってもこのような波群を

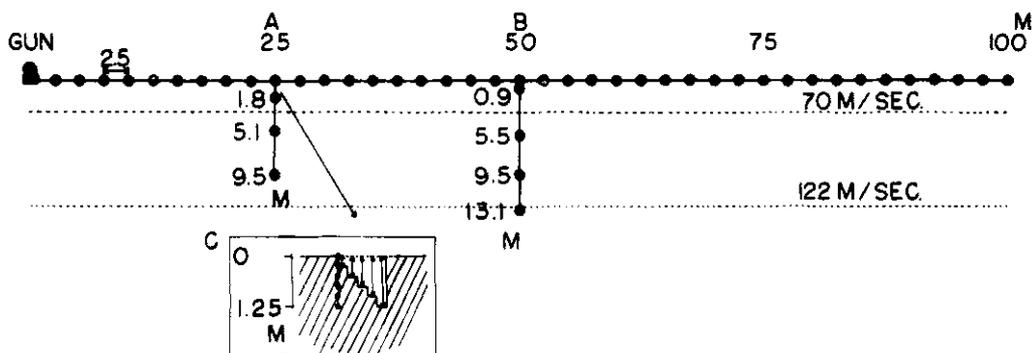


Fig. 1 The explanatory figure of observations. "o" shows the observation point. The underground structure for S waves is also shown with dashed lines.

つたえる媒質の情報を得る意味で重要である。

もし、発生装置により、安定したSH波が出されているとすれば、当然のことながら、これに付随して生ずるラブ波が存在しなければならない。そこで、地表観測のみでなく、地下の観測も加えて、ラブ波が理論から期待されるような深さに対する振幅分布をしめすかどうかをたしかめることにした。

Fig. 1 は、上記のような意味で行なった測線の配置をしめしている。地表展開は、10 c/sの地震計を Transverse 方向に、2.5~100 mまで2.5 mおきにならべ(2スパン)、また、A、B 两点では3成分による観測を行なった。記録器は三栄測器製24成分電磁オツシログラフであり増巾器は使用せず、地震計を直結した。また地中観測は、A、B、C 3点で行ない、A、Bでは、図示の深さのボーリング孔底に3成分地中地震計を設置した。記録は、SONYのデータレコーダーおよびSIEの地震探鉱器によった。この際地表には標準の地震計をおき、各実験における発生波の安定性を確めた。Cでは図にしめすように Transverse 方向に階段状の観測点をつくった。地表より0.25 mおきに1.25 mまで6ヶ所で観測した。地震計は10 c/sのものを使った。これはラブ波の振幅の減小が地表付近で特にいちどるしいであろうという予想があったためである。

Fig. 2 は地表展開における観測結果のpasted-upの例である。SH波に続いて大振幅の波群がラブ波であると考えられる。Fig. 3 は、波群の

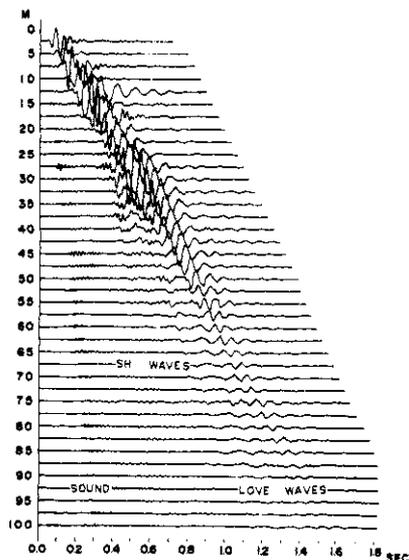


Fig. 2 An example of pasted-up seismograms showing the SH as well as Love waves.

ピークの走時をよみとったものであり、点線は最大振幅の位置をしめしている。この波群の伝播速度はほぼ60 m/sをしめしている。なお $\Delta = 50$ mより速くでは、幾分これより早い速度を示しているようにも思われるが、これが地下構造を反映しているものかどうかははっきりしない。Fig.

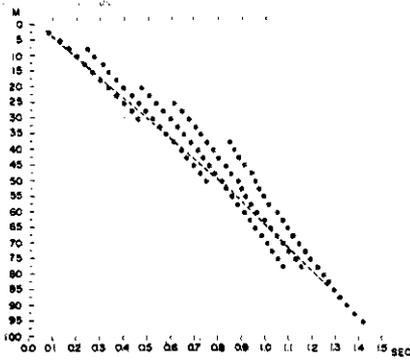


Fig. 3 Travel times of peaks shown in Fig. 2

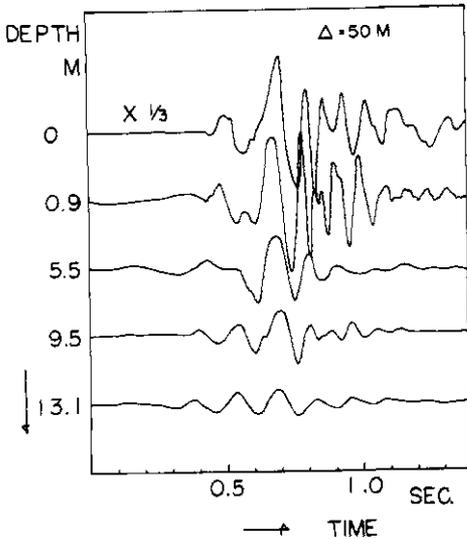


Fig. 4 Love waves observed at various depths.

4は $\Delta = 50$ m (B)における地下観測の例である。地表の記録のみ相対感度 $1/3$ にかいてある。Fig. 5, 6に今までの調査でわかっているSH波の地下構造をもとにしてモデルA, Bを考えて理論的に計算した。分散曲線および各周波数(5, 7, 11, 15 cps)における地下の振幅分布をかいてある。この場合、地表の振幅を単位にと

L_o

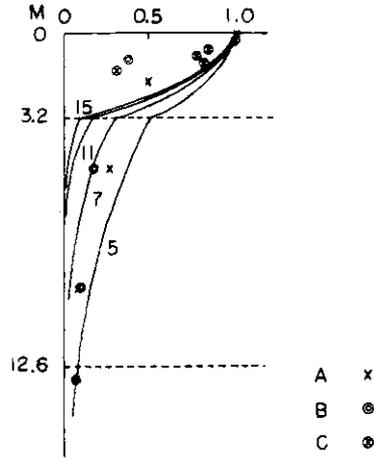


Fig. 5 Dispersion curves for Love waves. The calculation is based upon the S-underground structure.

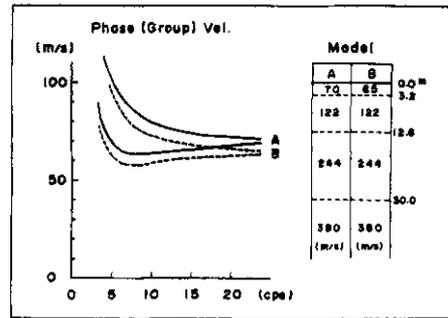


Fig. 6 Theoretical and experimental Love wave amplitude distribution vs. depths.

である。Fig. 5にはさらにFig. 4などからよみとったラブ波群の最大振幅をかきこんであり、計算と較べてある。この場合も地表の振幅を1.0とした。この図をみると、理論と実測とが割合によい一致をしめしていることがわかる。今回は、この結果をうるために、2種類の周波数特性のちがう計器をつかったため、更に詳しい議論は行な

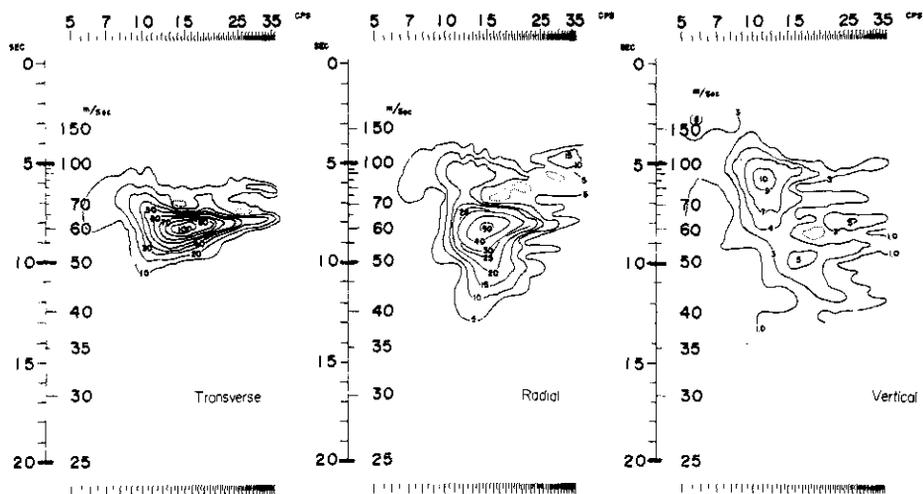


Fig. 7. Examples of running spectrum analysis.

わなかったが、特性のそろった計器でこのような観測を行ない、記録の周波数分析を行なった上で各周波数における振幅の変化をしらべれば、さらによい一致をうることも期待される。以上のことから、我々がラブ波であろうといていた波群が理論的に期待されるような挙動をしめしていることが明らかになり、ラブ波であると断定してもよいと考える。逆にいえば、発生装置から安定したSH波が出されているといってもよい。このことをさらにたしかめる意味で、Fig. 7に $\Delta = 50$ mの点における3成分の記録をRunning spectrum analysis⁷⁾した結果をしめす。横軸は周波数、縦軸は原点からある波群が観測点に到達するまでの走時である。これは便利のため群速度でも表現されている。なおコンターにかきこまれた数字は、Transverse成分と比較する意味で、その最大を100として相対的にしめしてある。いうまでもないことであるが、Fig. 7において、ある時間(あるいは群速度)を固定して考えれば、つまりコンターを横にきったものが、その時間附近の波群のフーリエスペクトラムをあたえることになる。これら3つの図を較べていえることは次のとおりである。

1) Transverse成分は、群速度約60 m/sの附近に集中している、(Fig. 3も参照)。この

図でコンターが横長になっていることは、波群が弧立的であることをしめしている。

2) Radial成分は、幾分60 m/sの群速度附近に集中している傾向もみとめられるが、振巾はTransverse成分ほど大きくなく、全体として縦長の傾向がある。このことは、Transverse成分とちがって、はっきりきまった群速度でつたわる波群がないことを示している。

3) 上下成分の振幅は非常に小さい。

これらのことから、SH波発生装置が、ノイズとしての他成分をあまり発生せず、安定にSH波を発生していることがわかる。

4. おわりに

SH波発生装置を改良し、そのテストをかねて実験を行なった。改良点のもっとも重要なことはその自重をましたことおよび各部を強化したことである。このことにより、爆速のおそい火薬を使うことにより、以前にもまして広範囲の薬量変化の実験を、安全に行なう道をひらいた。

発生した、SH波およびラブ波を地上展開ならびに、地下の観測により、得た結果とすでに得られている地下構造から理論的に予想されるラブ波の分散曲線、および地下の振幅分布と比較したところよい一致がみとめられた。

3成分Running spectrum analysisの結果

果からも、発生装置が安定なSH波を発生していることがわかった。

おわりに本研究の現場の実験を手伝われた、柳沢馬住、野口静雄の両氏、図面の作製にあたり助力された、上村葉子、渡辺さゆりの両嬢に御礼申し上げる。数値計算には、IBM7090および、東京大学計算センターのHITAC 5020E(課題番号:3001B00031,3001B00450.)を使用した。

参 考 文 献

- 1) 河角広・嶋悦三・太田裕・柳沢馬住・アーメッドアラム・宮川和志(1966):東京都内各所におけるS波の測定結果(1). 震研彙報44, 731-747.
- 2) 嶋悦三・太田裕・柳沢馬住・アーメッドアラム・河角広(1968):東京都内各所におけるS波の測定結果(2). 震研彙報46, 759-772.
- 3) 嶋悦三・太田裕・柳沢馬住・工藤一嘉・河角広(1968):東京都内各所におけるS波の測定結果(3). 震研彙報46, 印刷中.
- 4) 嶋悦三・太田裕・柴藤喜平・平沢清・伊藤公介(1967):SH波発生装置の試作とその実験. 防災科学技術総合研究速報6, 7-14.
- 5) *loc cit* 4)
- 6) 太田裕・嶋悦三・柴藤喜平・平沢清・伊藤公介(1967):SV波発生のための二、三の試み. 防災科学技術総合研究速報6, 15-22.
- 7) 太田裕・久保寺章(1968):火薬爆発によって発生したLove波. 地震(III)21, 109-120