

## SH波発生装置による地盤振動の観測

高橋末雄

国立防災科学技術センター

### Observation of Seismic Waves Generated by the SH-Wave Generator

By

M. Takahashi

*National Research Center for Disaster Prevention, Tokyo*

#### Abstract

Recently from the viewpoint of paraseismic engineering, studies are made on the characteristics of vibration of the foundation, especially of the soft ground, by using the S-waves. This comes from the following reason. In the foundation of high moisture percentage the compactness and other properties of the foundation are better indicated by the vibration of S-waves than that of P-waves, because the influence by moisture content is smaller in the case of S-waves.

For the SH-wave generator, an apparatus of generating the SH-WAVES manufactured by Geological Survey of Japan, an opportunity was obtained in the Spring of 1967 on the river land of the river Tone to carry out an experiment of the apparatus, chiefly in regard to its performance. The results obtained are reported below.

The size of the SH-wave generator is 1 m × 2.5 m, the weight about 2 tons; and by explosion of dynamite of 25 ~ 75 grams in that generator the SH-waves in a direction perpendicular to the major axis of the generator are generated.

Items of the experiment are: By exchanging the quantity of exploded dynamite, comparisons are made respectively for the form of generated waves, the directivity, the directional vibration component, and the surface layer explosion.

And for physical properties of the tested foundation, consideration was made by using the obtained data.

It is found that this apparatus naturally has some points to be improved, but is far better than the method at present used, the so-called Ita-tataki (blowing with wooden board), in observation of the rising-up and arrival distance of S-waves, and therefore is considered to be put to practical use.

## 1 はしがき

昭和39年の新潟地震の際の著しい災害により軟弱地盤の振動性状の研究の必要が、前にも増して要望されるようになってきた。日本のように、厚い沖積層とか、更に条件の悪い軟弱地盤の上に構造物を作ることの多い場合には、今迄の大地震の強震計記録に、地盤の補正をどのようにおこない、耐震設計に用いべきかという問題につき当るそのためにはどうしても、軟弱地盤の性質を更によく知る必要がある。このような意味で、今回人工地震動により、軟弱地盤のS波についての振動観測を行なったので、それについて報告する。

一般に地震災害では、振幅の大きなことからS波によるものも大きいと考えられる。しかしS波を取り扱う場合には、震源距離が近いとか、震源の深い場合は別として、S波初動とか、S波群がどこまでかというようなことも不明瞭なことが多い。これは地盤内における反射屈折の影響のためであって、これがS波の研究に大きな障害となっている。もしS波の速度が、P波と同様な精度で求まり、その部分の密度が判明するならば、その地盤の弾性常数——ポアソン比、剛性率、ヤング率、体積弾性率は計算することができる。今迄実験室内ではともかく、現場でこれらの値が求められなかったために、実際からかけ離れた値を用いたものもあった。最近S波の研究のために、S波を明瞭に観測しうる地震計が考えられる一方、人工地震により、S波を強力に発生する装置が作られるようになってきた。今回は後者の立場からの観測であり、使用したS波発生装置は地質調査所で開発されたS大砲であってSH波を発生せしめるものである。SH波は、P波やSV波と異なり、地層による反射、屈折においてP波とS波の発生がなく、SH波のみであるから、距離によって、振動波形が乱されることが少なく、解析が楽である長所をもっている。また軟弱地盤のように含水率の多い場合には、S波速度はP波速度のように水分により影響を受ける度合いが少ないので、地下構造を調べる場合などはP波法より有利であるともいえる。このたび地質調査所、土木研究所、国立防災科学技術センター等が参加した総合研究として、建設中の橋脚を中心とし、表層爆破、S大砲による爆破、起振器等による振動観測が行なわれた。そのうちおもにS大砲による振動観測についてまとめたのがこの報告である。

## 2 観測場所、期日

実験地は利根川中流域の河川敷である。千葉県成田市と茨城県江戸崎間の主要地方道建設のため成田市竜台と茨城県河内村田川との間の利根川に長豊橋(幅7m、長さ510m)が建設されている。この橋の第5橋脚附近を中心として昭和40年から3か年計画で、振動実験が行なわれ、この報告では、昭和42年3月11日から16日までのS大砲の実験である。ほかに引続き17、18日にケーシング孔を用いたSV波の実験、19日～22日に橋脚上に設置した40トン起振機による振動実験も行なわれた。実験地の略図は図-1のとおりである。

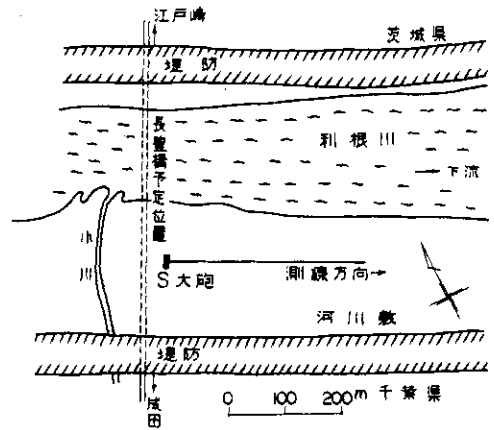


図-1 実験地略図

## 3 S大砲

S大砲の詳細については、地質調査所の報告の中でのべられることと思われるので、あらましかけを記す。原理は厚い長方形の平板を地表に置き十分な重量をかけた状態でこの板に水平方向に衝撃を与えることにより、地表にズリ応力を発生せしめるものである。我々の使用したものは図-2のような構造になっていて、板の上に直径約20cmの鋼管を固定し、この鋼管の一端に薬室を置き、鋼管の残りの部分に鉄製で1個30kgの円筒形の重錘を12個入れる。薬室でダイナマイトを爆発させれば、これらの重錘は鋼管から飛び出す。その反動として鋼管と共に板が移動して、急激なズリ応力を地表に与える。砲身の直角方向に測線を取り、砲身に平行な振動を記録させれば

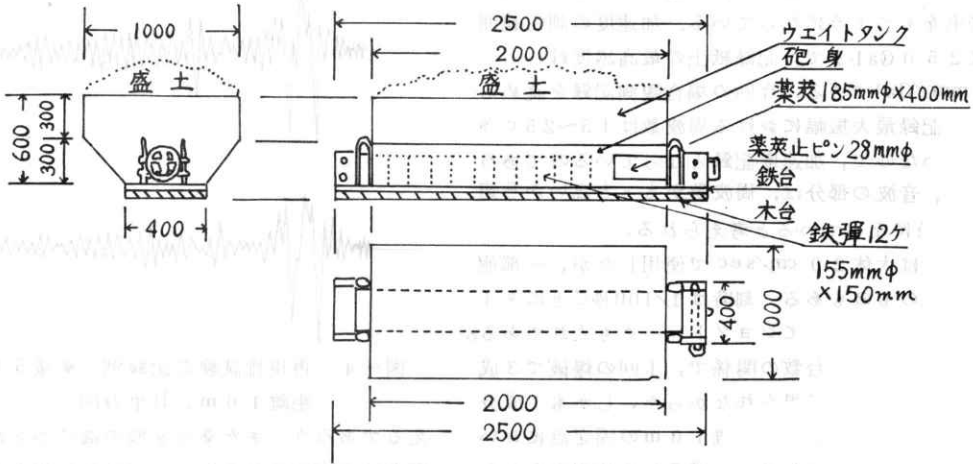


図-2 SH波発生装置の構造(単位mm)

SH波が観測される。SH波を安定に発生させる条件として、大砲の重量を大きくし、地面との接触抵抗を大きく、全体のバランスを取って水平1方向のみに振動させることが必要である。大砲の重量を増すため、板上の鋼管を覆うように舟型の鋼製の容器が板に固定されていて、使用時に約1トンの土等を入れて、重量を増す。装置自体の自重を合わせ2トン程度となる。

地震計は勝島製(PK-130H, V)で、固有周期: 3 c/s, コイル抵抗: 121 Ω, 使用状態における感度: 15 μA/Gal であって、水平動, 上下動とも同一性能である。

この出力を記録装置の検流計に入れる訳であるが地震計の減衰定数および記録感度を所定の値に合致させるため、地震計と検流計の間に感度調整器を使用している。この感度調整器は上記の目的のほか、4段の感度切換えと、30 Gal 以下の任意の較正加速度を記録させることができ、これにより観測精度の向上をねらっている。

記録装置は三栄測器製のビシグラフで、使用した検流計はG-100C, 固有周期100 c/s, 感度500 mm/mA/30 cm, コイル抵抗23 Ωである。



写真-1 薬量25 grでSH波発生装置から飛び出した重錘

#### 4 観測測器

防災センターでは、いわゆる人工地震用の地震探鉱器を所有していないので、自然地震観測用のものを使用した。

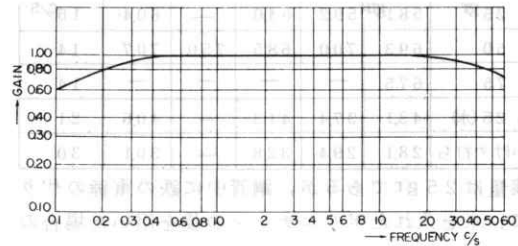


図-3 地震計の周波数特性

地震計, ケーブル, 感度調整器, 記録装置等による総合周波数特性は図-3のとおりであって、

0.3~3.0 c/sの間では、加速度に関して一様な倍率をもつようになっている。加速度の測定範囲は250 Galまで、記録紙上の最高感度は4 mm/Galである。今回の場合観測記録を眺めると、記録最大振幅における周波数は1.5~2.5 c/sくらいなので、加速度記録となっているのであろうが、音波の部分は、周波数が高いため速度記録になっていると考えられる。

紙送りは大体20 cm/secで使用したが、一部他の速度のものもある。刻時は1/100秒ごとにタイミングが入り同時にショットマークも入れてある。今回は地震計の台数の関係で、1回の爆破で3成分づつしか記録が得られなかった。しかも1成分は常に基準用として、距離10 mの固定点においたので、移動用としては2成分しか使用できなかった。(異った地震計の記録は別に得られている) 発破回数が多かったため、若干の解析を行なうことができた。

#### 5 S大砲の性能に関する観測

##### 5.1 再現性と薬量の変化

S大砲を使用した場合に、同一地点の観測では、同じ薬量を爆発させた時、同じ波型、同じ振幅が記録されなければ、つまりS大砲が安定した振動を発生していなければ、量的な取り扱いはできない。

そのための実験として、S大砲から測線上10 mの所に、同一の水平動地震計を、測線と直角方向に振動しうる方向(H T 方向)に設置し、種々の薬量による観測を行なった。その結果は、表-1のとおりである。値は記録最大加速度(ラブ波と思われる)である。表中25(水)とあるのは、

表-1 S H波発生装置の最大加速度

火 薬 量	1回目	2回目	3回目	4回目	平均	平均周波数
25 gr	58.1	59.2	64.0	—	60.4	16 c/s
50	69.3	70.0	68.5	75.0	70.7	14
75	67.5	—	—	—	—	14
25(水)	43.1	37.4	41.3	—	40.6	21
かけや打ち	28.1	29.4	32.8	—	30.1	30

薬量は25 grであるが、鋼管中に鉄の重錘の代わりに、水を入れたポリエチレンの袋を用いた場合の値である。値は最大加速度しか記してないが、同一薬量の各記録を比較してみると図-4の例のように波形の相似は大変よいのがわかる。表の値も平均値からの偏差は数%程度であって、当初考えていたより小さく、まず再現性は良好であるとい

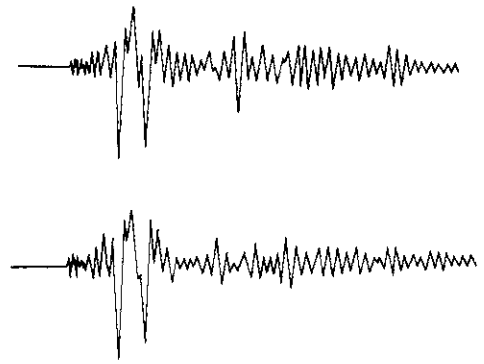


図-4 再現性試験の記録例 薬量50 gr  
距離10 m, H T 方向

えるであろう。また薬室を他の端にかえればズリ応力は逆方向になるから、記録の位相も逆転することになる。観測記録からもこれがよく認められる。

表 1 の値からわかる様に薬量増加による、最大加速度のふえ方は、推定された値より小さい。これは爆発の状況にもよる。薬量25 grでは鋼管中の重錘12個のうち、外部に飛び出すのは平均4個であって、大砲全体の地面とのスベリは3 mm以下である。薬量が50 grとなると9~10個が飛び出し、スベリ量も20~30 mmとなり、75 gr 以上となると、重錘は12個全部が完全に飛び出すほか、薬室固定部の破損等もおこり、地面に与えるズリ応力は50 grの場合と同じ程度となるらしく、観測される最大加速度の増加は殆んどみとめられない。波形についても25 gr以下では最大振幅の部分も、まずきれいな正弦波であるが50 gr, 75 gr となるにしたがって正弦波の乱れる度合いが大きくなることからも薬量が大きくなった場合、期待されるズリ応力以外に、何か余分な力が加わるとか、大砲のスベリの影響がでているものと考えられる。しかし50 grまでは、総合的にみて今回のS大砲はその性能を発揮していると考えている。そして50 gr以上では波形のひずみが大きく、ズリ応力は50 grとくらべ、同程度か、むしろ小さくなることもあり得ることがわかる。これの改善には、大砲の単位面積当りの地面との接触抵抗を大きくすることが、もっとも効果があるであろう。といって、地面にスパイク状のものを出すことは、ズリ応力を与える立場からはよくなく、必ずしも安定したS H波を発生させる方法ではないことが、他の実験から確かめ

られている。砲身を長くし重錘を増すとか他にも種々考えられるが、現場での取り扱い易さも考えねばならぬ条件であろう。

次に周期についてであるが、これは薬量につれて僅かに変化があるが、むしろ薬量によるよりも振幅の増加によるものであって、薬量の増加が直接周期に関係しているのではないと考えられる。何らかの改良を加えて、振幅と同時に振動周期も伸ばすことができ、自然地震の周期に近い波動が発生できれば、実験用途はさらに広まろう。この意味で鉄の重錘の代りに水を入れることは、反動がおだやかとなって、周期に影響すると考えたが、今回の実験から、そのような結果は得られなかった。また案外と思われるものに向けや打ちがある。加速度の割合大きいことと共に3回の最大加速度が大体同じであることである。大きいことについては今迄もいわれていたことで、人力でも距離150m くらいまで観測できるのも、もっともと思われる。

かけや打ちの欠点といわれた再現性が、案外よしいということ、注目に値する点で、適当な方法さええれば簡便な方法として活用価値のあることを示している。しかしこれは最大加速度のみについてであってS波の初動は火薬爆発の場合にくらべると、かなり劣り不明瞭となっている。しかし火薬の場合のような波型の歪といえるものは無いようである。

### 5.2 指向性

S大砲を中心とし半径10mの半円周上等間隔な9点に地震計を設置して測定を行なった。地震計は水平動であって、その振動方向は接線方向である。結果は図-5のとおりである。

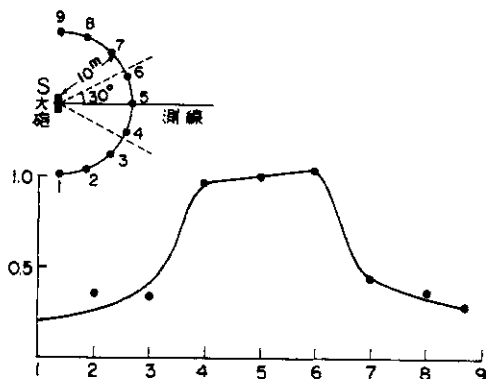


図-5 指向性試験，半径10mの円周上の加速度比(点5を1とした場合)

このような実験では当然測線上にある5の地点の加速度が最大となり、両端に行くにしたがって減少する筈である。結果もそのとおりである。すなわち5の加速度を1.0とすれば、S大砲の長手方向は0.4以下となっている。

図からもわかる通り、加速度の大きな方向は、測線を中心線とした両端30°の範囲内(第1のグループ)であり、この範囲を越えた部分(第2のグループ)とは明らかに相異している。第1、第2のグループの境の部分のみは変化が急であるが、それぞれのグループ内では変化は少ない。ということは、このS大砲の指向性のよいことを示している。S大砲のバランスがくずれると、第1グループの中心線が測線と合致しなくなったり測線以外にピークが出ることになるであろうが我々の場合にも僅かにこの傾向がでている。なお同様な地点で、地震計の振動方向を半径方向に設置した場合には、指向性といえるものはでない。本来ならば、S大砲の長手方向点1または9が大きくなるはずであろうが、今回の場合には、重錘の飛び出しや、作業上の理由から、S大砲の長手方向の両端に接して、24(長)×15(幅)×0.5(深)mの穴が掘ってあったのが影響していることも考えられる。この穴は、飛び出した重錘が地面に落下して、二次的振動を発生する際に、二次振動を弱めるのにも若干役立っている。なお主振動と二次振動はその時間差から容易に識別される。

### 5.3 振動方向の比較

S大砲の測線上距離10mの地点での3成分—測線に直角な振動成分 $H_T$ 、測線方向の振動成分 $H_L$ 、上下成分 $V$ —の同時観測で得られた最大加速度は、薬量50grの時は、それぞれ

640Gal, 302Gal, 62Galとなっている。(図-6)

これら3成分の最大動の初動からの時間は、同じでありその周期についても、 $H_T$ 方向がわずかに長いといえる程度であって大差ない。SH波の発生装置といっても $H_L$ 方向にも $H_T$ 方向の5割程度、 $V$ 方向に1割程度の勢力の振動が観測されている。この割合は、一回だけの25gr(水)実験ではわずかずつ大きくなって、SH波発生のため以外の力の影響が強くなった結果がでているが、常にそうなのか、また薬量が大となってS大砲のスベリが大きくなったときはどうなるかなどは、次回の実験に待ちたい。

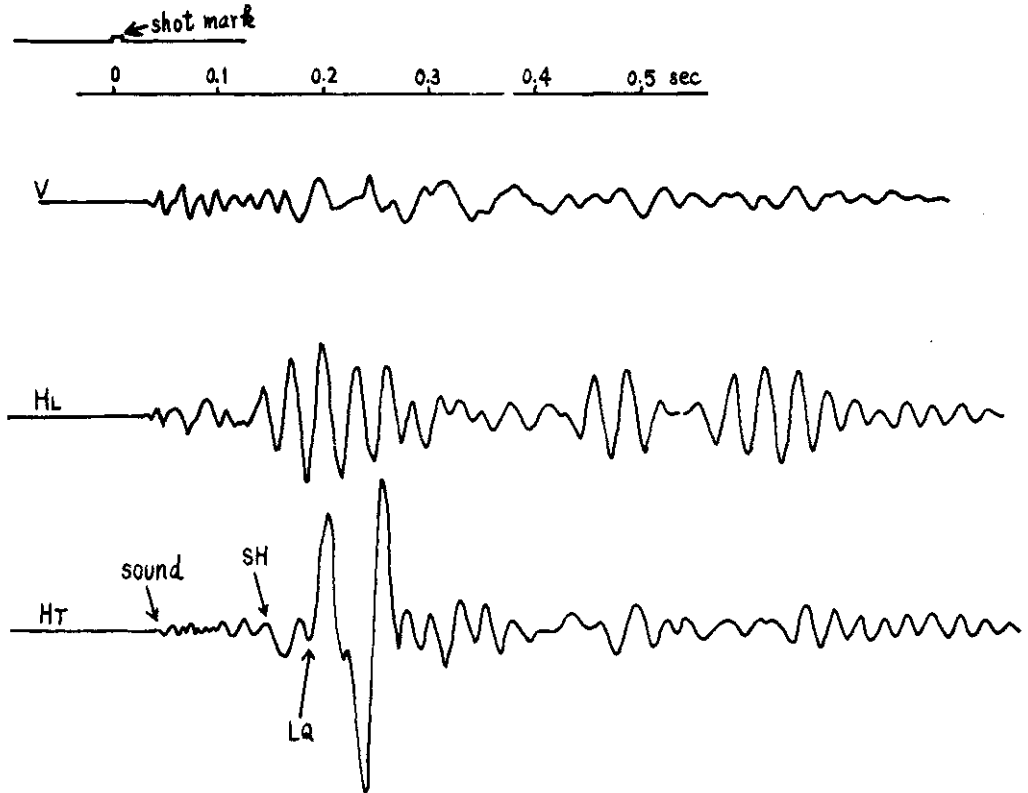


図-6 振動方向の比較

5.4 S大砲爆破と表層爆破

S大砲による記録と比較するため、S大砲に密着してハンドオーガーによる深さ1mの穴の中で、薬量50grのP波法による表層爆破の観測を行なった。

この比較を行なった目的は、今後も種々のS大砲が製作されるとした場合、それらの性能の比較を現場実験から簡便に得られるのではないかと考えたからである。同一地点・時期にS大砲と表層爆破を行なえば、実験地盤の状況、火薬の種類等については同じ条件となるから、S大砲の性能の比較が、表層爆破を基準として容易となるからである。

同一薬量、同一距離で得られた両者の記録が図-7である。爆破点からの距離は10m、同じ地震計によるHL方向の記録である。見やすくするため同じスケールに修正してある。記録を比較してみてもすぐわかることは、振幅の明らかな差であるが、そのほかにも次のようなことがわかる。

S大砲による記録では、P波部分が欠除して

表層爆破の初動に相当する時刻には記録は全くあらわれていない。S大砲初動は15msecおくれれており、これは走時曲線から、爆発音波であることが明らかである。表層爆破では主要部分の周期に変化がなく、P相以外の相は殆んど不明であるにかゝらず、S大砲の方はHT記録でなくHL記録であるにかゝらず、S波がわかる。S波はショット・マーク(S・M)から160msecあとの振幅・周期とも増しているところである。これに続いて振幅のさらに大きいところは表面波である。

最大加速度については、表層爆破の記録でスケールアウトの部分があるため明らかでないが、記録された振幅から得られる値は195Galであるから、波形から見て200Gal以上ではないかと考えられるのに対し、S大砲では30Galである。だからHT方向は先に述べたように60Gal程度となる。

すなわち今回の場合、HL方向では表層爆破に

くらべ、最大加速度は、S大砲では1/6~1/7くらいである。HT方向では表層爆破の記録がないので明らかでないが、1/3くらいではないかと考えられる。よくいわれているようにP波法の場合火薬(TNT)の爆発エネルギー(10<sup>10</sup> erg/gr)の10%が振動エネルギーになるとすれば、このS大砲でのHT方向では、爆発エネルギーの3%くらいが振動源として効いているとみてよいのかも知れない。

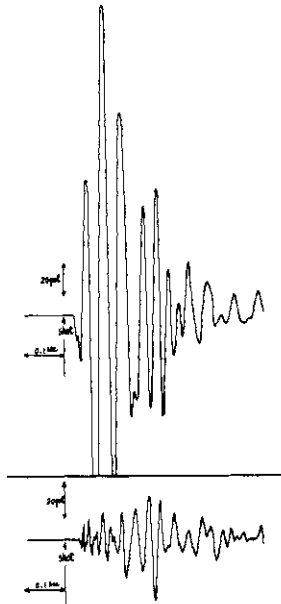
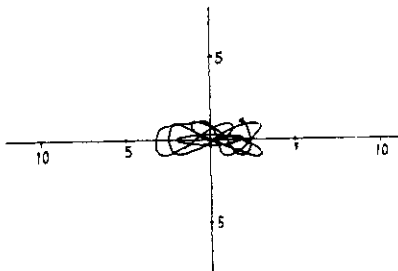
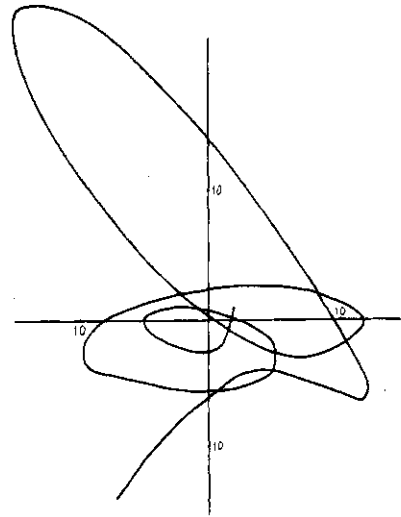


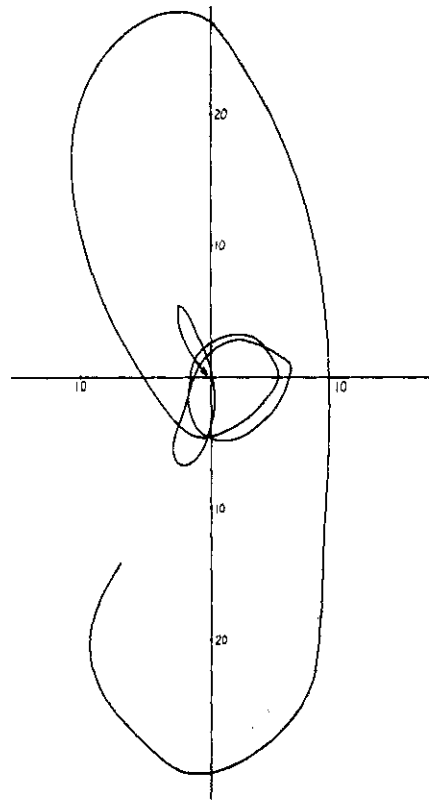
図-7 同じ薬量によるHL方向の表層(上)およびSH波発生装置(下)の爆破振動比較



I) Shotより0.1秒まで



II) 0.1より0.2秒まで



III) 0.2より0.3秒まで

図-8 距離10mにおける質点の水平軌跡

### 5.5 S大砲記録の質点運動

S大砲記録の、質点の運動をみるため、距離10mの測線におかれたHT方向とHL方向の水平2成分を、合成したものが図-8である。初動から0.1秒間づつI, II, IIIに分けて書いてある。

これを見ると、初動から0.1秒までの運動は、波動の伝播方向(HL方向)の成分がよく表われているがいずれにせよ振幅はかなり小さく周期も10 msec程度で短い。この部分は主に音波の記録と考えられる。

0.1~0.2秒間のIIでは、始まりの部分にS波が到達し、振幅・周期とも伸びてくる。しかしHT方向は、HL方向にくらべ振幅がそれほど大きくならない。そしてすぐ続いて伝播方向に直角な成分(HT方向)の強い大波動が画かれている。上下動記録には殆んど欠除しているのをみれば、ラブ波であることがわかる。これが2振動ばかりあった後で、終りの部分に入り、質点は単純な円運動ともいえる振動をしながら減衰していく。S波付近からHT成分の大きくなってゆく有様がよくわかる。しかし地震探針器による記録では、S波の現われ方はさらに明瞭であって、これはA.G.Cその他各種フィルターの利用によるものである。

### 5.6 最大加速度の距離による減衰

一般の地震観測で得られる最大動と震源距離との関係は<sup>2)</sup> 振幅をA, 距離を $\Delta$ とすれば

$$A \propto \Delta n e^{-k\Delta}$$

と表わされる。地震波が等方均質な物質を通過してきたとすれば、P波S波については $n = -1$ , 表面波については $n = -0.5$ くらいであるといわれている。

kは物質の粘性による減衰係数で、粘性定数に比例し、周期の2乗または1乗に比例する。

今の場合最大動はラブ波であることから $n = -0.5$ を用いてkを求めるとHT方向では

$$k = 0.016/m$$

という値が得られる。この値は強度の軟弱地盤であることを考えると大体想像される値である。自然地震で得られるkは $3 \times 10^{-4}$ くらいである。東京、大阪など家屋の密集地帯では0.02~0.03が得られているが、これなどは多数の建築物が作用しているであろう。

いずれにしろkは地盤に影響されることも大きいことが考えられるから地盤判定の一資料ともなるかもしれない。今回の場合は、観測距離がごく限られた範囲内であるためと思われるが、記録最大振幅と距離との関係は両対数のグラフで大体直線となることから

$$A \propto \Delta^n$$

でも代用できる。図-9はこの状態を示す。これが

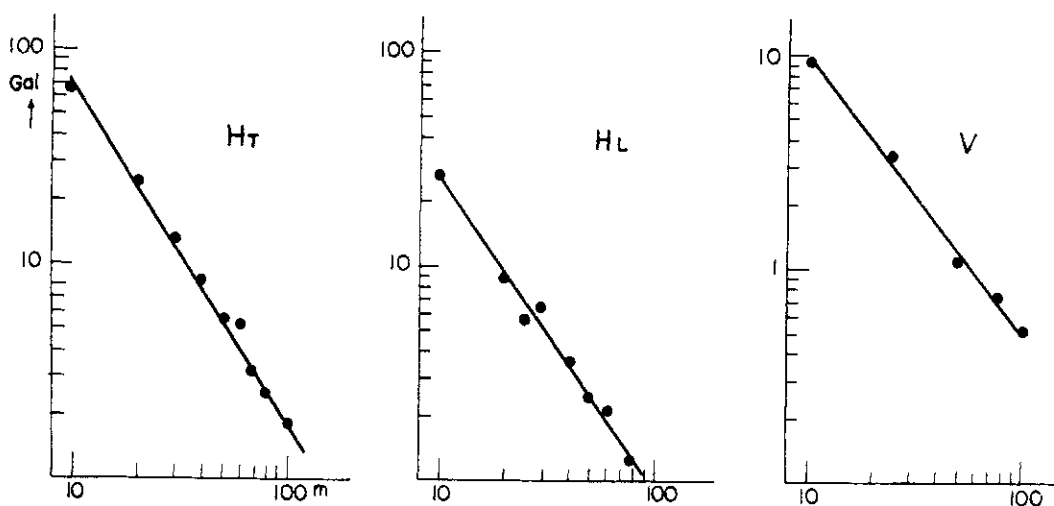


図-9 SH波発生装置による成分別距離と最大加速度の関係



ら  $n$  を求めると

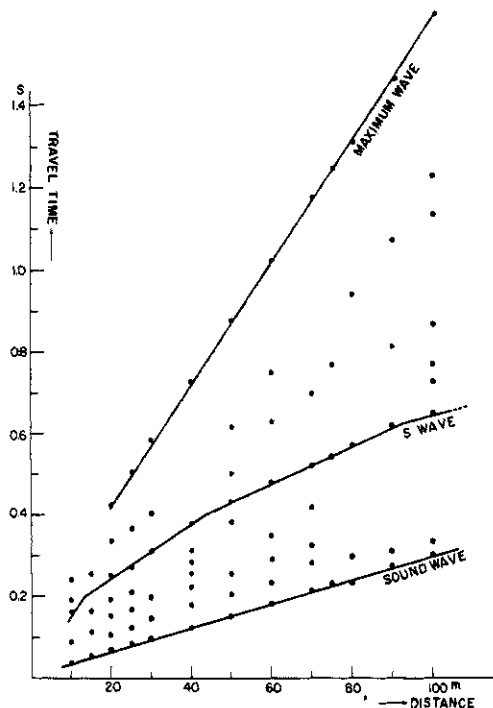
HT 方向  $n = -1.4$

HL 方向  $n = -1.3$

V 方向  $n = -1.2$

となり、記録振幅が小さい成分ほど、わずかではあるが減衰が小さくなり、地震波の種別によるものとも考えられるが、興味ある点である。しかし一般の場合にくらべればかなり大きく、軟弱地盤の影響と考えられる。

観測状況における地盤のノイズは  $0.1 \text{ Gal}$  程度である。 $n = -1.4$  とすれば、薬量  $50 \text{ gr}$  の場合、S大砲の最大加速度は距離  $600 \text{ m}$  で  $0.1 \text{ Gal}$  となる。すなわち増幅器を用いたとしても、SN比の関係から最大動ですら信号は識別不能となる。S波については振幅も小さいし、周期の点でもノイズのそれと似ているので、さらに条件は



図一 10 SH波発生装置による走時曲線

悪くなる。この点からも自動利得制御装置、種々のフィルターを活用した地震探検器を用い、地震計のグルーピングを行なうなどして、S大砲の改良とあわせて有効距離を伸ばせば、地盤の振動性状を知る上で極めて有効な方法となるであろう。

#### 6 S波から求まる地下構造

S大砲による振動観測を、測線上距離  $10 \sim 100$

mの間で行なった結果から走時曲線をかくと図一10のようになる。

この走時曲線で、記録の初動を結ぶと完全に直線となる。そしてこれの速度は  $330 \text{ m/s}$  であることから、火薬爆発による音波であることは間違いない。周波数は  $100 \text{ c/s}$  程度である。

S波については、走時曲線から求まる速度と折点距離は下記のようになる。

70 m/s	0	-130 m
123 m/s	130 m	-435 m
244 m/s	435 m	-

さらに  $90 \text{ m}$  を越えた付近で、さらに走時曲線は折れるようであるが、測定距離が  $100 \text{ m}$  までなのではっきりしたことはわからない。地下構造が水平層から成っているとすれば各層の厚さは

第1層	70 m/s	が	34 m
第2層	123 m/s	が	114 m, 地表から 148 m

第3層 244 m/s

となる。

S波の立ち上りが、特に明瞭であるとはいえないのであるが、この結果は1年前に行なった実験により、地震研究所の嶋・太田らの出した結果<sup>3)4)</sup>と殆んど同じものとなった。この一年間に実験地は2~3回、水深3~4mの浸水を被っているようなので、もう少し異ったものが得られるのではないかと考えていたのであるが、それらによる変化は全く認められない。

なお地質調査所でP波法による地震探査が同じ場所で行なわれ、結果は次のようになっている。

第1層の速度	360 m/s	で厚さ	31 m
第2層	1150 m/s		30 m
第3層	1470 m/s		100 m

第1層の厚さは両者とも大体一致している。

S波法の最大動はきれいに一直線上にのっており速度は  $67 \text{ m/s}$  となっている。位相速度は  $80 \text{ m/s}$  前後のものがあり、いわゆる分散も認められる。

#### 7 実験地の地盤

実験地は河川敷内であるから、増水期には当然水面下になる。昨年10月には水面下約  $4 \text{ m}$  となっていた。しかし実験は3月の氾水期であって、兩岸の提防間  $500 \text{ m}$  のうち、いわゆる川幅は  $150 \text{ m}$  程度であり、実験場所は、当時の水面上  $1 \text{ m}$  くらいで、牛の放牧地として使用するため整地し、芝が植えられていた。

表-2 コア資料と地下構造から計算される弾性定数

コア採取深度 (m)		130 ~195	520 ~605	605 ~685	1050 ~1125	2400 ~2450
粒度分析試験	礫 %	0	0	0	0	175
	砂 %	90	600	210	135	29.0
	シルト %	595	305	615	625	465
	粘土 %	315	95	175	240	65
粒度上の名称		シルト質粘土	砂質ローム	シルト質ローム	シルト質粘土ローム	深まじりシルト質ローム
一軸圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )		0.44	0.38	0.50	0.58	1.07
密度 ρ		1.65	1.83	1.67	1.57	2.07
P波速度 m/s		360	1150	1470	1470	1660
S波速度 m/s		70	123	123	123	244
ポアソン比 σ		0.48	0.49	0.49	0.49	0.49
剛性率 μ (×10 <sup>8</sup> )		0.81	2.77	2.53	2.38	12.32
ヤング率 E (×10 <sup>8</sup> (ダイ/ cm <sup>2</sup> ))		2.39	8.27	7.56	7.11	36.70
体積弾性率 K (×10 <sup>10</sup> (ダイ/ cm <sup>2</sup> ))		0.20	2.38	3.57	3.36	5.54

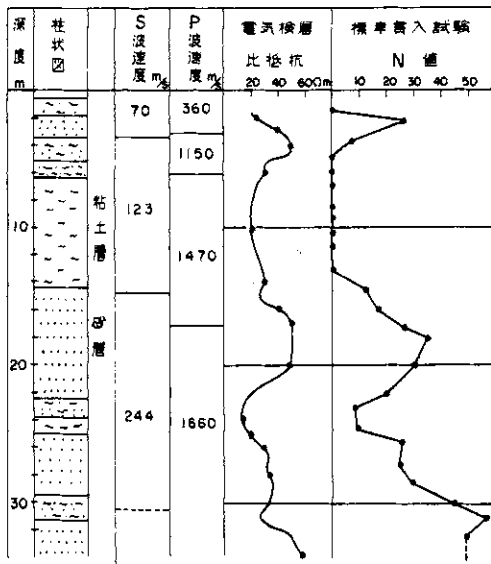


図-1.1 実験地の地下構造

こゝでは、地質調査所がP波屈折法によって、P波速度による地下構造を求めており、また地点は数10m離れているが、試錐より得られた資料もある。これらの結果を今回求めたS波速度と比較したものが図-1.1、表-2である。

この図にある電気検層は、2極法ノルマル方式で電極間隔は25cmである。

この図をみると、表土と考えられるのは深さ3

~4mまでであることがわかる。この部分は、それより深い部分とくらべて水分が少いらしく、P波速度も360m/sとなっており、一般にいわれているように、水分の多い場合のP波速度の1km/s程度<sup>5)</sup>と較べて小さくなっている。比抵抗も水が新鮮なためか、割合大きく50Ωm近い値となっている。深さが4mを越えるとN値は0となり極めて軟弱である。そしてP波速度も1km/s以上となっていることから水分の飽和状態が想像される。S波速度は剛性率によるので水分には鈍感であり、その変化はP波ほど大きくない。この4~13mの深さの部分では比抵抗も、粘土層であるため小さな値を示している。N値、比抵抗の減少から、震波速度が小さくなくてもよいように思われるが、P波、S波とも速度は増している。これは記録上でもラブ波が明瞭に観測されていることと、同地域で行なわれたSV波の実験などからも、低速層は認められなかった。しかしながら、たしかにS波速度は表土にくらべ増してはいるが、4~13mの深さの間では一定であり、密度が減っていることから、深度が増しているのに、表-2からもわかるように、剛性率はかえって小さくなっている。この様な傾向は注意すべきことであろう。一方体積弾性率は凹凸はあるにしても、深さ5mよりは11mの方が大きな値を示している。

ところが深さ24m付近では、剛性率が上層と比較して大きな値となっているにもかかわらず、比抵抗、N値ともここだけ小さくなっている。このようなところは、さらに詳細な調査が必要となる

であるが、また地盤の複雑性があらためて認識されるところでもある。

深さ30m付近では、N値も50以上となり、比抵抗も砂ないし砂礫層のため、60Ωm近い値を示している。これはいわゆる基盤を示していると考えられ、橋脚の根入れもこゝまで入れてある。そして走時曲線の折点が、測線距離が90mを越えた所で認められるところから、この付近に不連続面の存在が予想されるのであるが、P波の方からは全く認められないようである。

このようなことから軟弱地盤の地下構造や、その力学的性質を知るためには、その状況の複雑なことから、ボーリング資料の調査、標準貫入試験電気検層、弾性波探査等の総合的な解析が必要であろう。そして弾性波探査に当っては、今迄用いられたP波によるものよりもS波によつたものの方が含水率に影響される程度が少く、剛性率によつてより大きく影響されることから、地盤のあるがまゝのしまり具合を示すので、一層有効であることがわかる。

#### 8 あとがき

SH波を火薬により発生させる装置—S大砲—の試作2号機について、おもに性能についての振動を行なった。その結果砲身部が弱体であった昭和40年度試作の1号機にくらべ、大砲本体の強度に改良を加えられたが、今度は薬室部に弱い部分が見られ、これらについて、更に改良の必要がある。重量については2倍強になったのであるが、波動発生に際し、薬量75g以上となるとやはり不足が感ぜられた。しかし50g程度の薬

量では、大体予想された性能を発揮しており、板たゝき法にくらべれば、S波の立ち上り、到達距離等は極めて良い結果が得られている。

今後上記の点はもちろん大砲の大きさを変えること、また地面との密着法の改善等により周期・振幅等を、ある程度変化させることができれば、SN比も向上させることができ、実用化にあたって、さらに有効な方法となるであろうと考えられる。

爆破作業については、宇部興産の関係者の方々に大変お世話になった。また資料をお見せ頂いた地質調査所物理探査課の関係者、観測に当り助力頂いた当センター第2研究部、第3研究部の方々および図面作製に尽力頂いた当研究室中村喜代子嬢に厚くお礼を申し上げる。

#### 参 考 文 献

- 1) 村松郁栄, 爆破地震動研究グループ会報 No. 22
- 2) 大築志夫・金井清(1962): 耐震設計 コロナ社
- 3) 嶋悦三・大田裕・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
- 4) 大田裕・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
- 5) 吉川宗治・島通保・後藤典俊(1966): 地盤調査における2,3の問題, 京都大学防災研究所年報, 9, 99-109