

B. f. V.

地質調査所報告第164号  
火薬の爆発によつて生ずる雑振動  
および反射波の実験的研究

南雲昭三郎  
森喜義  
早川正巳

No. 1195	D
30年4月5日	
鉱床部	

地質調査所

昭和30年3月



550.834.5.001.4:534

## 地質調査所報告

所長 兼 子 勝

### 火薬の爆発によつて生ずる雑振動 および反射波の実験的研究

通商産業技官 南 雲 昭 三 郎  
通商産業技官 森 喜 義  
通商産業技官 早 川 正 巳



## 目 次

I. 緒 言	1
II. 予備的実験ならびに振幅の考察	3
II. 1 受振器設置地点の局所的“ばらつき”	3
II. 2 周波数による振幅の“ばらつき”	5
II. 3 振幅に関する考察	11
III. 振幅に関する実験的研究 (I)	15
III. 1 振幅の時間的減衰	15
III. 2 初動の最大振幅の距離による減衰	19
III. 3 Compression への応用	23
IV. 振幅に関する実験的研究 (II)	24
IV. 1 反射波および雑振動振幅の距離による変化	24
IV. 2 反射波減衰の考察および Spread への応用	28
V. 結 論	30
引 用 文 献	32
Résumé (in English)	1



# 火薬の爆発によつて生ずる雑振動 および反射波の実験的研究

通商産業技官 南 雲 昭 三 郎

通商産業技官 森 喜 義

通商産業技官 早 川 正 巳

## I. 緒 言

火薬の爆発によつてどのような弾性波が爆発点から送り出されるか、またその波がどのように伝播するかという問題は、地震探鉱、殊に反射法において最も重要、かつ基本的な問題であるばかりでなく、地震学にとつてもまた基本的な問題である。

この問題については H. Kawasumi<sup>1)</sup>, J. A. Sharpe<sup>2)</sup>, N. Richer<sup>3)</sup> はじめ幾多の理論的研究が色々の仮定の下に行われ、また実験的にもなされてきたが、それらの努力にもかかわらず、実際の地震探鉱の現場操作に役立つ知識は案外貧弱である。

これは一般にわれわれの調査を行う地域において、地層の弾性的性質・構造等が複雑なために、簡単な仮定のみでは充分近似できなくなるためと思われる。殊に反射法においては反射波の signal を back ground をなす雑振動 (noise または interference) のなかから検出しなくてはならない。しかもこの noise はその由来がよくわからないために、理論的に取扱うことは非常に困難なことと思われる。

火薬の爆発による弾性波の発生およびその伝播の問題の研究には、多くの立場があると思われるが、今回は反射法の field operation 特に spread の配置の仕方、compression の利かせ方などに対する基礎的な data をうるという、いわば技術的な立場からこの問題を現象的に取上げてみた。すなわちある一定の仕方の火薬の爆発によつて生ずる地表の振動が、時間とともに減衰してゆく有様を、爆発点から色々の距離について実験的に求めてみた。

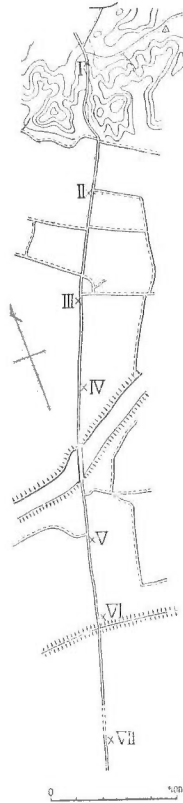
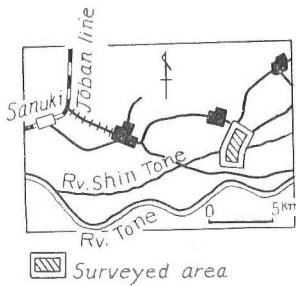
われわれの観測する地動の振幅  $A$  が時間  $T$  とともに変化の様子は、爆発点からの距離  $\Delta$  のみならず、地動の各周波数成分  $\omega$ 、受振器を設置する地表の不規則性  $Ir$ 、地下構造  $St$  および火薬の爆発の仕方  $Ch$  に関係する。すなわち、

$$A=f(T, \Delta, \omega, Ir, St, ch)$$

というような関係になる。

このうち今回の実験の主な目的は、

$$A=f(T, \Delta, \omega)$$



第1図 実験地概略および実験測線配置図  
Fig. 1 Experimental field and seismic observation line.

の関係を知ることである。

地表の不規則性、地下構造、火薬の爆発の仕方等の因子については、次のように取扱つた。すなわち、地表の不規則性については各測線において2, 3点づつ実験を行い、それが振動振幅におよぼす程度を吟味した。火薬の爆発の仕方による変化についての実験は、経費の都合上今回は行うことができなかつた。また爆発は通常の調査で行われるような深さ一約20m一の孔で、約1kgの火薬を爆発させる方法を用いた。

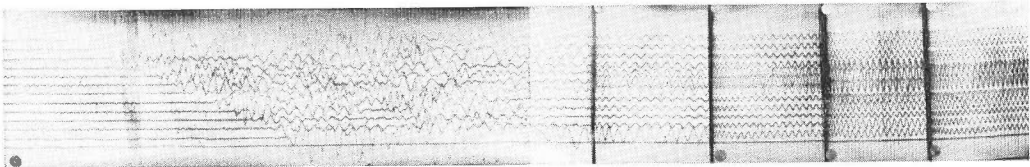
また地下構造による影響は最も基本的なものと考えられるので、実験地としては、前回に反射法の総合基礎的実験を行つた茨城県竜ヶ崎<sup>4)</sup>を選んだ。この場所においてはすでに明瞭な反射波の記録がえられ、地下構造もある程度推定されており、種々の実験が行われているので、今回の実験地としては好都合である。実験地の概略を第1図に示した。

地下構造による影響をいくらかでも調べるために、爆発点として洪積層中のII号および沖積層中のV号・VII号の3孔を使用した。爆発の条件を変えることにより、また地下構造の異なる地域において、今回得られた結果がどの程度変動するものか、将来さらに色々の地域において実験を行う必要があると考えている。

観測器械はS.S.C.地震探針器を使用し、全部A.V.C.を用いない状態で実施した。なお増幅器の感度を観測記録ごとに能率よく測定するために、感度 check 用の test panel<sup>15)</sup>を製作した。感度記録の1例を第2図に示した。

受振器は地表の不規則性をできるだけ小さくするよう地下約1mに埋めるため、明石製作所製の受振器を使用した。この受振器の特性および感度の揃いについては正確には検定を行ななかつたが、1ヶ所に設置して、ある距離だけはなれた

ところで振動を与えて調べたところ、phaseの揃いは充分信用できることが判つた。なお感度



第2図 感度 check を行つた今回の実験記録の1例 Shot point V filter 2-2  
Fig. 2 An example of sensitivity tests in seismic records,

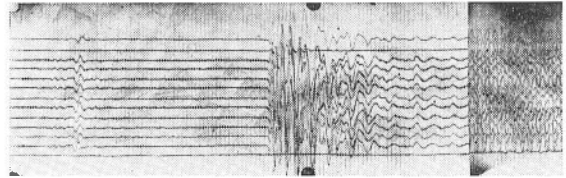


は10%程度ばらついていた。参考までにその記録を第3図に示した。

以下の各節において、以上述べた地振動の振幅の変化を、爆発点からの距離や爆発瞬間からの時間に関連して調べた結果を述べるのである

が、まずIIにおいて、これらの実験を行う前に考えておかなければならない予備の実験ならびに考察について述べ、III、IVで振幅に関して今回行つた実験の内容についてくわしく説明し、若干の考察を行つた。

本実験を行うにあたり、物理探査部の大滝忠雄技官は爆発孔の掘鑿、爆破ならびに数種の実験に協力した。また本実験に使用した test panel は同部鈴木実技官が製作した。表土地質について現地ならびに実験室での検討は同部藤原健一技官が担当した。



第3図 受振器の感度の違いを示す記録  
Fig. 3 Comparison of sensitivities of detectors.

## II. 予備の実験ならびに振幅の考察

今回の実験を行う前に、いくらかの予備の実験と振幅に関する考察とを行つた。それらについて以下に述べる。

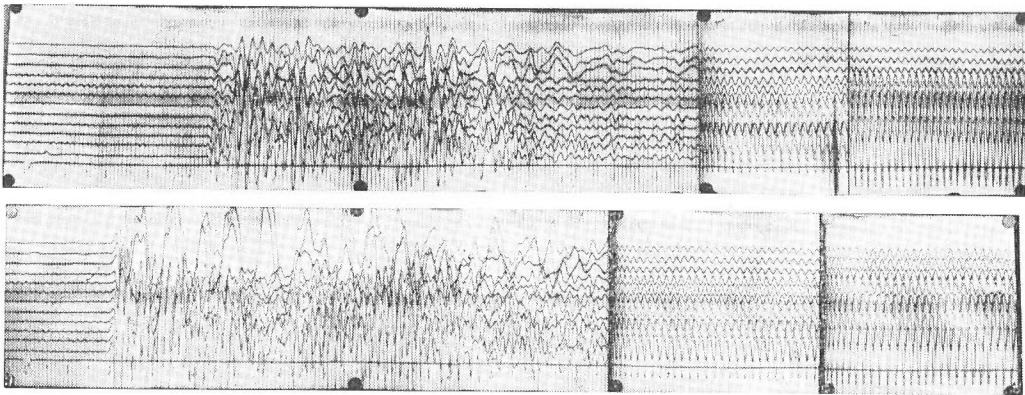
### II. 1 受振器設置地点の局所的“ばらつき”(local factor)

これから地振動の振幅の変化を爆発点からの距離や爆発瞬間からの時間について議論していかうとするのであるが、これらの振幅は、受振器の設置の仕方などによつても当然変化をうけることであろう。したがつて1地点で観測された振幅の変化を、なんらの考慮なしにそのまま爆発点からの距離や爆発瞬間からの時間に結びつけて議論することは危険である。

そこで予備実験の第1として、ある1地点で観測した振幅の大きさをどの程度信用してよいかについて調べるために、受振器を数mはなして設置した場合、その振幅がどの程度“ばらつく”か吟味し、地表の不規則性による変化の量を確かめた。すなわち、前述の  $A=f(T, \Delta, \omega, Ir, St, Ch,)$  の  $Ir$  に相当するものを吟味した。

この実験は爆破点 S.P. II について爆破点から160m, 400m, 560mの3ヶ所において、また S.P. V については爆破点から280mの地点において行つた。S.P. II の前2つの地点は畑であり、S.P. II の最後と S.P. V の場所は地表水はないが湿つた水田である。受振器は間隔2m<sup>#1)</sup>の正三角形の頂点にそれぞれ1つづつ、深さ約1mの地下<sup>#2)</sup>に埋めて設置した。このようにして出力を4つの filter R-1, 2-2, 3-3, 4-4 について同時に調べた。記録の1例を第4図に示した。これらの実験記録から、3つの受振器のそれぞれの時刻における“ばらつき”を求め場合次のような手続きをとつた。すなわち、

註 1), 2) 受振器の間隔, 設置の深さについては、なお色々の場合について吟味する必要があるが、今回はこの程度にとどめた。



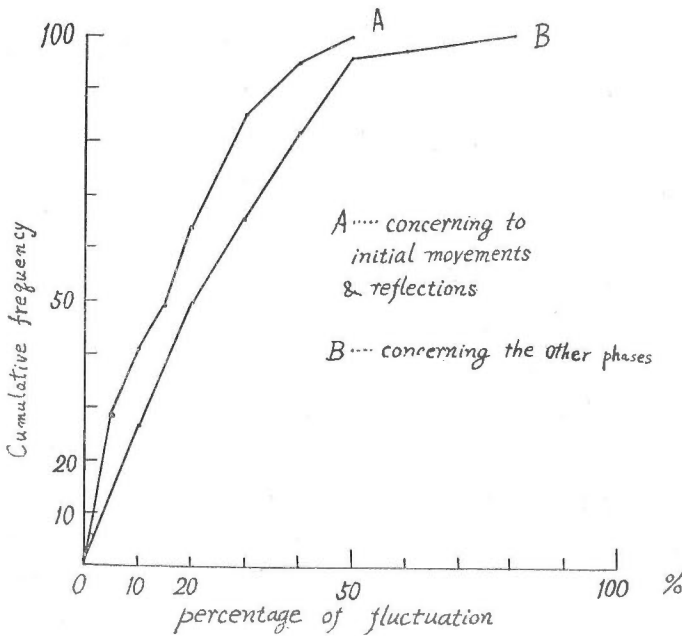
第4図 受振器設置地点の局所的“ばらつき”をしらべるための実験記録の1例

		R-1 (detector No. 1-3)
Shot point V	filter	2-2 ( " 4-6)
		3-3 ( " 7-9)
		4-4 ( " 10-12)
Shot detector distance=640m		
		R-1 (detector No. 1-3)
Shot point V	filter	2-2 ( " 4-6)
		3-3 ( " 7-9)
		4-4 ( " 10-12)
Shot detector distance=280m		

Fig. 4 An example of seismic records showing the extent of amplitude fluctuations by local effects of setting detectors.

$$\text{“ばらつき”量} = \frac{\text{おのおのの振幅} - \text{算術平均振幅}}{\text{算術平均振幅}} \times 100(\%)$$

として、この量の累積頻度曲線をつくつた。初動と顕著な反射波との39ケについて求めてみ



第5図 受振器設置地点の局所的“ばらつき”の頻度曲線

Fig. 5 Cumulative frequency curve of amplitude fluctuation by local effects of setting detectors.

たのが第5図A曲線であり、それ以外の初動や反射波に引きつづく振動、その他の相の89例について求めたのが同図B曲線である。図は横軸にばらつきの%、縦軸に累積頻度を示した。

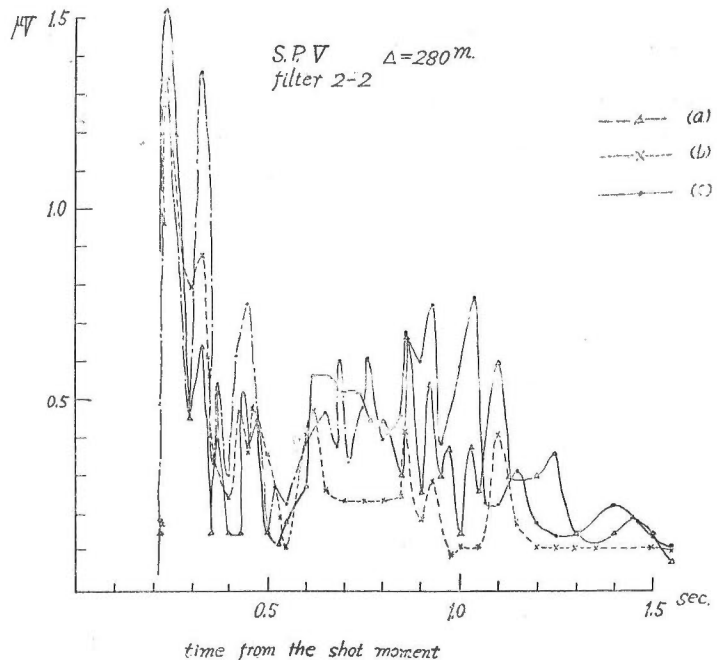
これらの曲線から次のようなことがわかる。すなわち初動や大きな外力、たとえば顕著な反射波のようなものが到達した場合は、それ以外の場合よりも“ばらつき”の程

度が少なく、大部分のものが20~30%の“ばらつき”におさまっている。30%以上ばらついている初動は爆発点から遠い距離におかれており、外力が小さくなつたためと考えられる。またそれ以外の相の振幅の“ばらつき”は大部分のものが30~40%以内のばらつきにおさまっているが、特別なものでは50%以上もばらついているものもある。波の周波数によつて“ばらつき”の量が変わることも予想されたが、実験の結果、顕著な差異は認められなかつた。

上に述べたように、受振器は地表の不規則をさけるために約1m地下に埋めた。そこは水分の飽和した粘土であつて一見均質にみえるところではあるが、この程度にばらついている。したがつて、地振動の初動その他の相の振幅・週期・波形等の変化量を爆発点からの距離や地下構造と結びつけて議論する時には、この受振器を設置する所の地表の不規則による“ばらつき”の量を吟味して、それ以上の量を議論の対象にしなれば無意味であると考えられる。

ある時刻に着目した場合の振幅の“ばらつき”は以上のようであるが、次に爆発瞬間からの時間とともに振幅の変化する様子を見ると、それらは第6図に例を示す程度にばらついている。

これを見ると時間とともに変わる様子はたとえ短い時間に相当変動するものがあつても、時間的変化の傾向はこれらの個々の変動量より大きく、地表の不規則性によつてあまり差異のないことがわかる。



第6図 1 trace としてみた場合の受振器設置地点の局所的“ばらつき”の程度  
Fig. 6. An expression of amplitude fluctuations by local effects of setting detectors.

## II. 2 周波数による振幅の“ばらつき”

地振動の振幅の変化を厳密に取り扱うためには、地振動の周波数成分について議論を進めなければならないと思われる。そのためにはまずその目的に観測器械の製作をしなければならないが、今回は現在の探検器でなしうる範囲のことを行つた。

すなわち周波数成分の分析については、S. S. C. 地震探検器についての filter を利用し

た。そのために予備実験として、まず使用した filter band とその際得られる波の周波数との関係を調べ、filter band のもつ意味を吟味した。

次に filter を変えた場合の振幅の変化をみるためには、厳密に言えば同一の波に対して実験を行わなければならないが、今回の実験の場合にはたゞ1回の爆発により、多くの filter について同時に観測できないので、各 filter ごとに爆発を変えて実験を行った。このため毎回爆発の条件が少しずつ変化することが考えられるので、それらの記録から周波数の関係を議論する場合には、たゞ1回の爆発によつて生じた波を数多くの filter を通して記録し、各記録の関係を検討しておく必要がある。

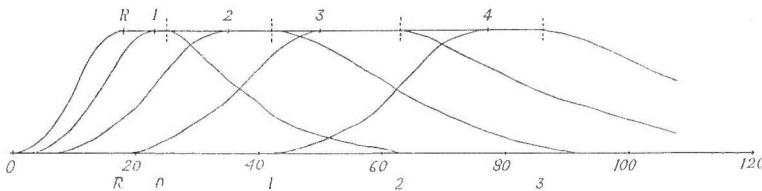
今回は各測線の数点において以上の実験を行ったが、その結果を以下に述べる。

## II. 2. 1 filter による波形の変形

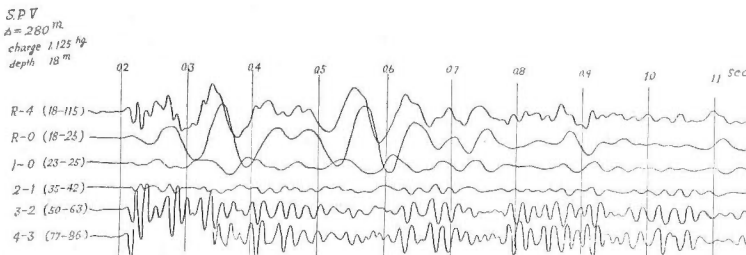
実験はまず1つの受振器の出力を、filter band を色々に変えた各増幅器に並列に入れて、記録に現われてくる波が filter によつてどのように変化するかをみた。

なお filter の frequency response curve は第7図<sup>註3)</sup>の通りで、その filter の各 switch position と通過帯域との関係は次のようである。

(filter)	(filter band)	(filter)	(filter band)
R-4	18-115~	2-1	35-42~
R-0	18-25	3-2	50-63
1-0	23-25	4-3	77-86



第7図 filter の周波数特性曲線 (第18図を model 化したもの)  
Fig. 7. Filter amplitude frequency response curve (model).

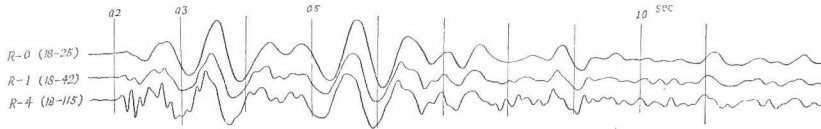


第8図 filter band を変えてとつた記録  
Fig. 8 Seismic records by using several filter bands.

註3) この場合は filter による各 response curve の振幅の上限を一定におさえた。実際の実験結果は第18図を参照されたい。

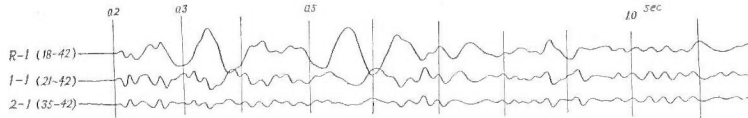
まず第8図に広い幅 (wide band) の filter を用いた記録と、比較的狭い色々の band pass filter を用いた記録とを示す。

次に第9図に通過帯域を低い周波数から次第に高い周波数まで抜けてゆく時、低い周波数成分に高い周波数成分が重なってくる有様を示す。



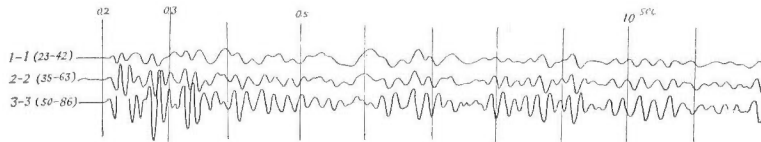
第9図 低い周波数成分に高い周波数成分の重なる有様  
Fig. 9 Effect of the high frequency components superposing the low frequency components.

第10図に比較的広い通過帯域から低い周波数成分を cut してゆくと、高い周波数成分が残ってくる有様を示す。



第10図 広い通過帯域から低い周波数成分を cut してゆく有様  
Fig. 10 Exclusion of low frequency components from the wide filter band.

第11図に色々の broad band による記録を示す。



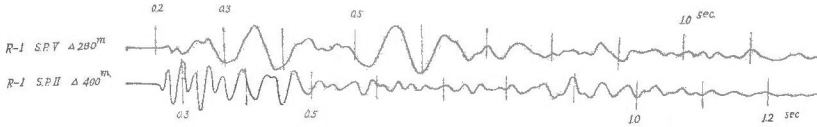
第11図 色々の broad band による記録  
Fig. 11 Seismic records by using the various broad filter band.

## II. 2. 2 filter band の意味

ある filter を通ってきた波の周波数成分というものは、frequency response が第7図のように“すそ”を引いているために、かならずしもその記されている filter band の周波数成分の波のみではない。むしろこのような response の filter selection の意味は、地振動を数多くの周波数成分の合成と考えると、それぞれの周波数成分に filter response に応じた weight をつけて合成したものと考えるべきと思う。

したがって同じ filter を使つて周波数を選択しても、通過した波の周波数成分は元の波の frequency spectrum によつて異なってくるものである。第12図にその例を示すが、filter はいずれも R-1 (18-42) で、図の上の段の trace は S.P. V,  $\Delta=280$  m, 下の段の trace は S.P. II,  $\Delta=400$  m のところの振動である。S.P. V の場合は低い周波数の波が目立つて出ているが、S.P. II の場合は高い周波数の波が目立つている。しかしこれらの trace をさらに

注意深くみると、S.P.V の trace では、目立っている低い周波数成分の上に、高い周波数成



第12図 同じ filter でも記録の周波数成分が元の波の frequency spectrum によつて異なる例  
Fig. 12 An example of showing varieties of frequency components in records following to original frequency spectra in spite of using a fixed filter.

分が乗っており、下の S.P.II の trace では、目立っている高い周波数成分の上に、低い周波数成分が重なっていると思われる。

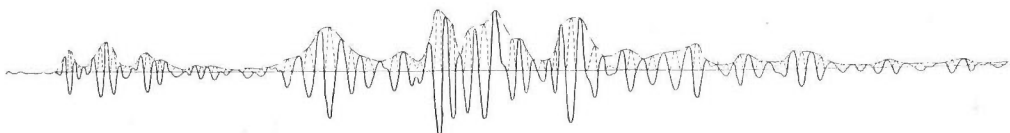
すなわち S.P.V の trace においては、地下から受振器に到達した地振動の数多くの周波数のうち、割合低い、丁度 filter response に応じた周波数成分が卓越し、かなり weight がかかっているものと考えられる。一方割合高い周波数成分の energy が小さく、しかもこれは filter response のすその部分にあたっているようである。それに反して S.P.II の trace においては、高い方の周波数成分は filter response のすその部分に相当しているにもかかわらず、energy が大きく、一方今の場合の filter response に応じた低い方の周波数成分が小さいために、こゝに現われたような結果がでたものと思われる。これらの量的な関係は、目下製作中の周波数分析装置ができてからでないとわからないが、振幅を議論する場合に filter band に対応する周波数成分の振幅は、次(II. 2. 3)に述べる手続きで求められた大きさよりも幾分小さいものと考えられる。さらに S.P.II の filter R-1 を用いたような場合には、その差はかなり大きいと考えるべきであると思う。したがつて次節以下での振幅・周波数の取扱いの場合に filter の違いというものは正確な意味では波の周波数に対応するものではない。しかし今回の場合をみると、S.P.V の R-1 では第12図の上の trace の記録からわかるように、波の周波数と filter band の周波数とが大体において一致しているので、S.P.V については次の節で議論する curve の filter band を波の周波数と対応させてよいであろう。一方 S.P.II については第12図の下 trace にみられるように、波の周波数と filter band の周波数とがかならずしも対応していないので、低い周波数の filter band を記録上の波の周波数と直接考えることは難しい。したがつて filter band に対応する周波数成分の波の振幅を議論するには、以上のことを考慮して行わなければならない。なおこの問題は増幅器のみでなく、受振器や oscillograph についても考えてみなければならないが、これについては(II. 3)に述べることにする。

### II. 2. 3 周波数成分とその振幅との関係

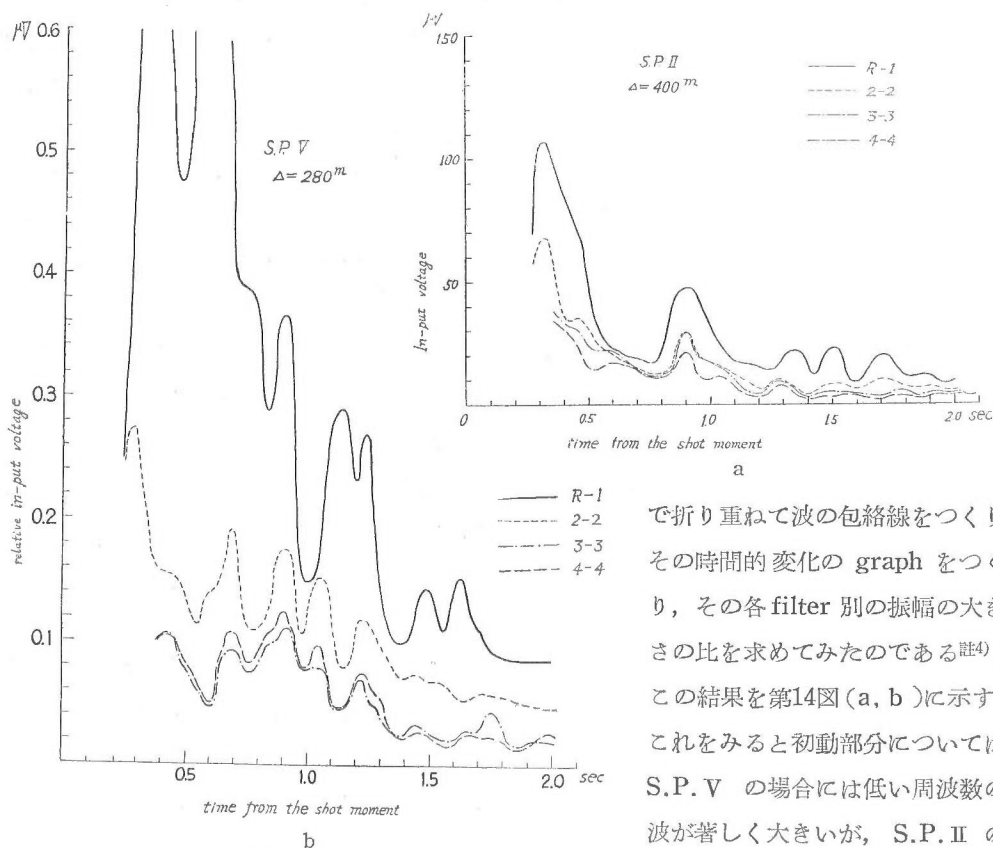
この問題については T.C. Poulter<sup>1)</sup> が air shooting に関して調べたことがある。筆者らが実際記録を取扱つてみると、filter によりその振幅の大きさが異なっている。そして III, IV の各節においては、爆発による影響を除くために、各記録の1つの trace (今回は No. 12)

の filter および感度を、いつも同じ条件 (R-1) にしておき、それらの記録から判断して、爆発条件の変化が小さいものを選んで種々組み合わせて検討した。しかしたとえこのような取扱いをしても、各記録が filter ごとに爆発を異にしているため filter による差を検討するにはなお不安があるので、前述したようにここでたゞ1つの爆発に対して1つの受振器の出力を種々の filter を通して同時に記録し、振幅の大きさの filter による割合を調べてみた。

これを調べるにはまず第13図のように、記録の各 trace の波形を、波形の中心線(ゼロ線)



第13図 記録から振幅をとり出す場合の手続き  
Fig. 13 Procedure of drawing amplitude-traces in a record.



第14図 周波数成分とその振幅との関係  
Fig. 14 Amplitude-traces by using several frequency components.

で折り重ねて波の包絡線をつくりその時間的変化の graph をつくり、その各 filter 別の振幅の大きさの比を求めてみたのである(註4)。

この結果を第14図(a, b)に示す。これをみると初動部分については S.P. V の場合には低い周波数の波が著しく大きい、S.P. II の場合にはそれほどではない。このような部分を除けば、低い周波数

註4) この手続きは III 節においてもそのまま用いた。

らそれぞれの filter による振幅比をこまかくとつて、それらの平均を求めてみると第1表のようになる。

第1表 周波数成分とその振幅との関係

Table 1. Relations between frequency components and amplitudes

	R-1	2-2	3-3	4-4	備 考
S. P. II	1	0.56	0.49	0.36	
S. P. V {	1	0.53	0.26	0.25	記録のはじめの方の 0.70 秒位までのところをとつてみた値
	1	0.19	0.08	0.09	

この平均のとり方には色々の問題もあると思われるので、第1表にあげた数字は厳密にいえばそれほど正確な意味はないと思われるが、R-1 の値を1とすると、2-2 は約  $1/2$ 、さらに3-3、4-4 と周波数の高くなるにしたがい幾分小さくなっている。これらの値は、前のII.2.2において述べたように、正確には filter band に対応する周波数成分の振幅比と考えることはできないが、S.P. V の場合は filter band とそれを通つた波の周波数成分とが対応しているので、これらの振幅比は大体そのまま波の周波数成分の振幅比と考えてよいと思う。また S. P. II の R-1 の場合には、filter band を、それを通つた波の周波数成分と考えることは難しいが、それにしても R-1 の振幅が、目立つた波の周波数成分に対応する filter band の振幅より、このように大きいということは、R-1 の filter band に対応する波の周波数成分がかなり含まれていることを示している。したがつて低い周波数成分の振幅は、こゝに求められた振幅比よりもある程度小さいが、少なくとも 2-2 以上の周波数成分の振幅より大きいことがわかる。これらの考察から、この地域においては、低い周波数成分の振幅は、高い周波数成分の振幅より大きいことはわかる。しかし II.2.2において述べたような色々の問題があるので、以下の節においては、各周波数成分間の振幅比は、こゝに述べた程度以上のことは議論しないことにし、これらの詳細な研究は後日に譲ることにする。

以上を要約すると、

(1) ある filter を通つてきた波は、frequency response が“すそ”を引いているので、かならずしもその記されている filter band の波のみではない。たとえば今の場合でも S.P. V については、filter band を波の周波数に対応させてもよいが、S.P. II については低い周波数の filter band を記録上の波の周波数と考えることはむずかしい。

したがつて振幅を議論する場合には、filter band に対応する周波数成分の振幅は、上の手続きで求められた大きさよりも、幾分小さいものと考えべきであろう。

(2) ある時間に着目した場合に、低い周波数の波の振幅は高い周波数の波の振幅より大きい。

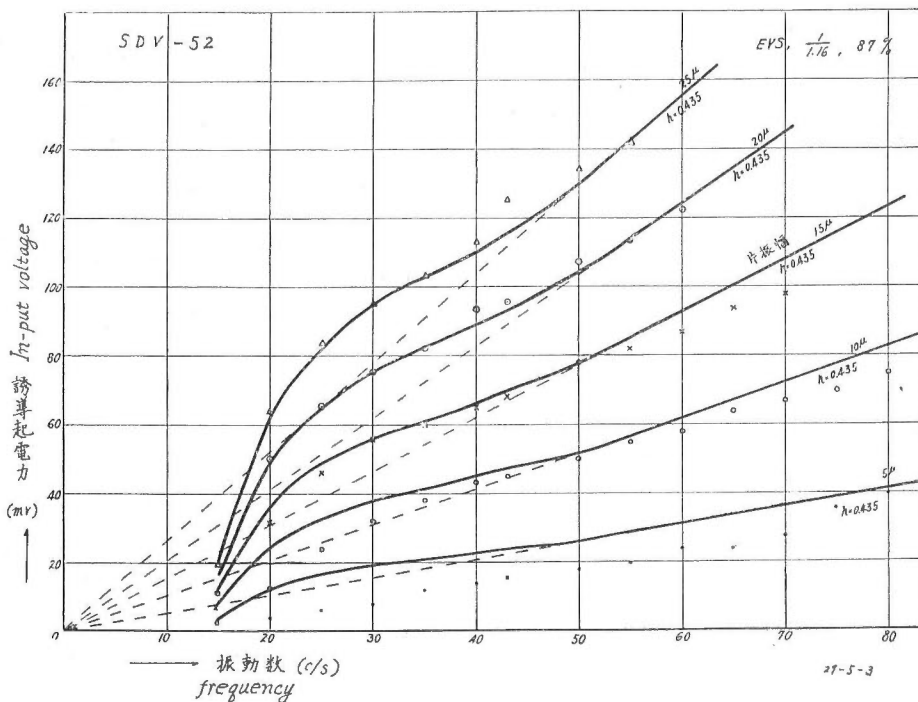
以上が今回現地で行つた予備的実験であるが、振幅の実験に進む前に、振幅と周期との意味についても一応の考察を行つておかなければならない。それについて次に述べる。



### II. 3 振幅に関する考察

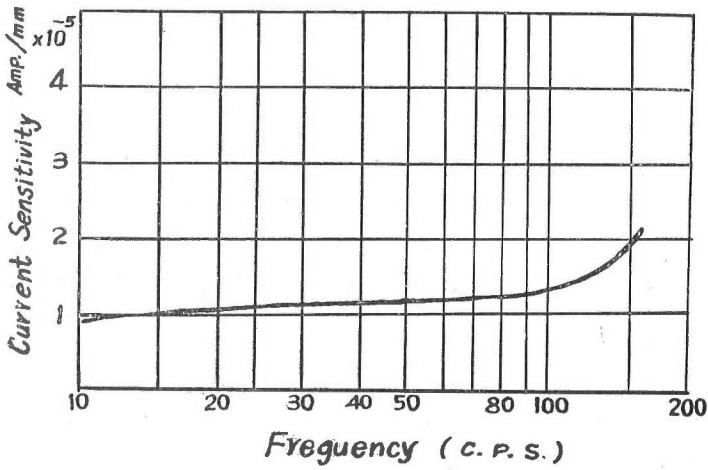
地動の波形と oscillograph に記録される波形との関係は、受振器(色々の filter をもつた増幅器), oscillograph の総合周波数特性, 減衰特性に関係する。したがつて oscillograph に記録される波形は地動の周波数によつて, 変位あるいは速度または加速度等に比例し, また地動の波形の不規則の変化によつて, 過渡現象による複雑なものが含まれてくる。古い屈折地震計の1つである波江野式地震計について, かつて筆者の1人はこの問題<sup>7)</sup>について吟味したが, 今回も大体の傾向をつかみ, oscillograph の波形が地動の速度に比例する範囲を調べるために, 以下簡単な考察を試みる。

まず受振器については, 受振器の振子と地面の相対運動とにより起される起電力は, 受振器の振子自身が変位計として作用している範囲では, 運動の速度に比例する。その様子を明らかにするため受振器の出力一周波数特性を第15図に示した。



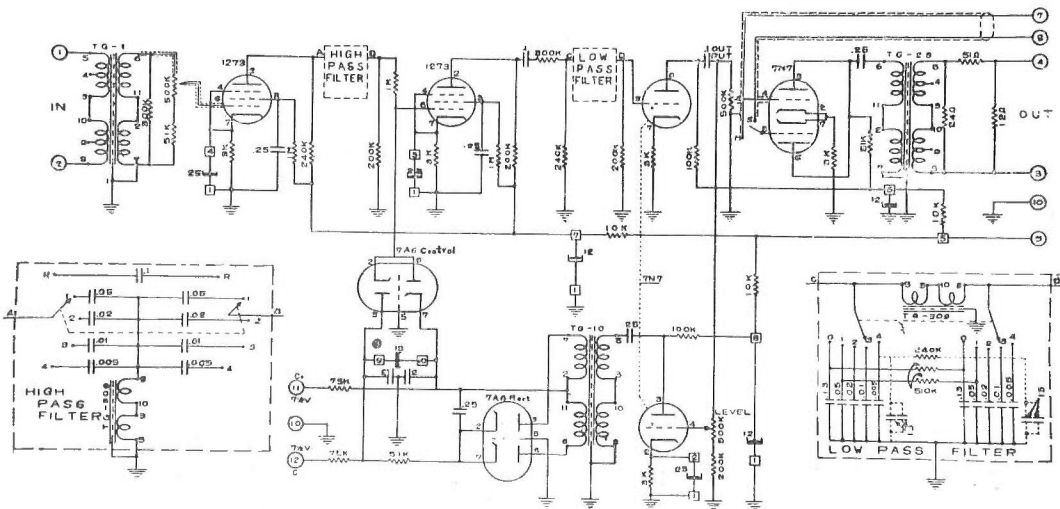
第15図 受振器の周波数-出力特性(実験による)  
Fig. 15 Out put voltage frequency response of detector.

次に oscillograph の電流感度一周波数特性(第16図)は30~60位の範囲で平坦である。最後に増幅器(第17図)においては, 入力および出力トランス, および抵抗結合増幅器の周波数特性は20~200位の範囲で平坦<sup>8)</sup>であるので, 色々の周波数特性は filter によつてきまる。したがつて微分・積分を受ける回路は high pass および low pass filter だけになる。

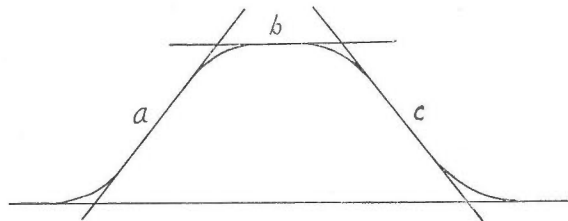


第16図 Oscillograph の周波数-電流感度特性 (実験による)  
 Fig. 16 Current sensitivity frequency response of S.S.C. oscillograph.

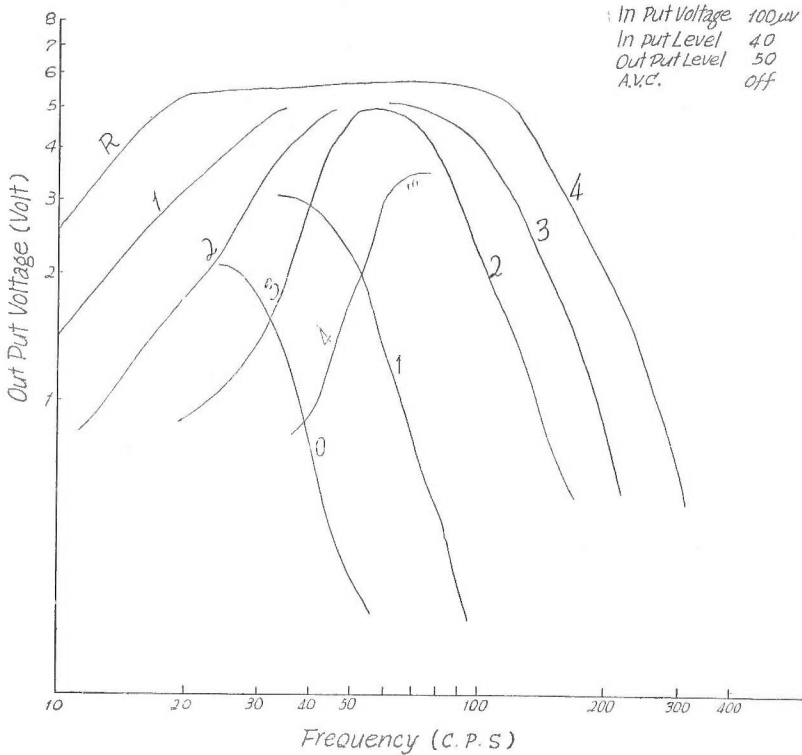
そして filter の周波数特性 (第18図) について入力と出力との関係を見ると、aの部分では微分が行われ、cの部分では積分が行われ、平坦なbの部分では微積分が行われない。以上の受振器・増幅器 (filter)、oscillograph の周波数特性を総合して、地動と oscillograph に記録される波形との関係を図表にすると、第2表のようになる。なお受振器、oscillograph の常数を第3表に、さらに増幅器各 filter の周波数特性を第19図に示した。第2表を少し説明すると、受振器の固有周期 23~ 以上の地動に対しては、受振器出力は地動の速度に比例する。oscillograph は 20~100~ の間で微積分を行わないから、filter の平坦部を通つた波は受振器の出力すなわち地動の速度に比例する。この範囲を第2表では線で囲んでおいた。したがつ



第17図 増幅器1成分の配線図  
 Fig. 17 Circuit diagram of S.S.C. amplifier.



第18図 増幅器の周波数特性曲線の模式図  
Fig. 18 Three actions of filter response curve of an amplifier.



第19図 filter の周波数特性曲線 (実験による)  
Fig. 19 Filter amplitude frequency response curve (by experiment).

て filter の平坦部に対応する周波数をもつた波の oscillograph 記録は、地動の速度に比例していることがわかる。

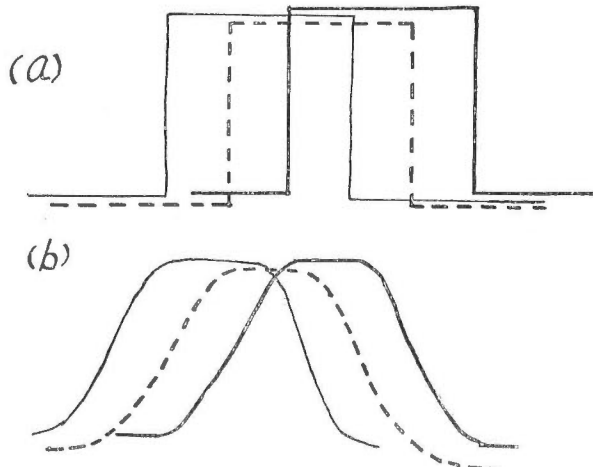
次に地動の周波数による差をみるために、第2表に示したような R-1, 2-2, 3-3, 4-4 という filter を使用したが、filter の特性曲線が第20図(a)のように正確な矩形型であれば記録された波の周波数とその filter band に対応してゐる限り、記録された波形は地動のその周波数成分に比例していることになる。しかし実際の filter の特性曲線は第20図(b)のように、すそをひく山形をしているから、filter band に対応しない地動の周波数成分も記録に含まれてくる。したがつて厳密にはその含まれる量の多少が問題となつてくるが、現在われわれ

第2表 地動—受振器—増幅器 (filter) —Oscillograph の作用関係

Table. 2 Relation of earthmovement—detector—amplifier (filter) —oscillograph

地 動 の 周 波 数	受振器出力	増幅器を通り oscillograph に書かれる記録				
		R-4	R-1	2-2	3-3	4-4
18~	$\frac{d^3X}{dt^3}$	$\frac{d^3X}{dt^3}$	$\frac{d^3X}{dt^3}$	$\frac{d^4X}{dt^4}$	$\frac{d^4X}{dt^4}$	$\frac{d^4X}{dt^4}$
23~	$\frac{d^3X}{dt^3}$	$\frac{d^2X}{dt^2}$	$\frac{d^2X}{dt^2}$	$\frac{d^3X}{dt^3}$	$\frac{d^3X}{dt^3}$	$\frac{d^3X}{dt^3}$
35~	$\frac{dX}{dt}$	$\frac{dX}{dt}$	$\frac{dX}{dt}$	$\frac{d^2X}{dt^2}$	$\frac{d^2X}{dt^2}$	$\frac{d^2X}{dt^2}$
42~	$\frac{dX}{dt}$	$\frac{dX}{dt}$	$\frac{dX}{dt}$	$\frac{dX}{dt}$	$\frac{d^2X}{dt^2}$	$\frac{d^2X}{dt^2}$
50~	$\frac{dX}{dt}$	$\frac{dX}{dt}$	X	$\frac{dX}{dt}$	$\frac{d^2X}{dt^2}$	$\frac{d^2X}{dt^2}$
63~	$\frac{dX}{dt}$	$\frac{dX}{dt}$	X	$\frac{dX}{dt}$	$\frac{dX}{dt}$	$\frac{d^2X}{dt^2}$
77~	$\frac{dX}{dt}$	$\frac{dX}{dt}$	X	X	$\frac{dX}{dt}$	$\frac{d^2X}{dt^2}$
86~	$\frac{dX}{dt}$	$\frac{dX}{dt}$	X	X	$\frac{dX}{dt}$	$\frac{dX}{dt}$
115~	$\frac{dX}{dt}$	$\frac{dX}{dt}$	X	X	X	$\frac{dX}{dt}$

X : 地動の変位  
比例常数を省略した。



第20図 filter の特性曲線の模式的説明  
Fig. 20 Model explanation of filter response curve.

が持っている器械では、それ以上の処理ができないので、前述の II. 2. 2 のような注意をもつて解析を行つた。また減衰特性による過渡現象のことは全く省略したが、これらについては

第3表 受振器および oscillograph の常数  
Table. 3 Constants of detector and oscillograph

受振器	減衰常数…………… $h=0.42$ 固有振動周期……………23~
oscillograph	感度…………… $3.5 \times 10^{-5}$ A/mm (50~) 内部抵抗……………14 $\Omega$ 減衰常数…………… $h=0.47$

後日改めて検討したいと思つている。

以上波形について考察を行つてきたが、以下の実験においてはその振幅を取扱う。したがつて以下の記述において、単に振幅といえば地動の速度に比例した振幅という意味である。なお記録から振幅をよみとる方法としては、II. 2 第13図に示したように行つた。

### III. 振幅に関する実験的研究 (I)

#### III. 1 振幅の時間的減衰 (A—T)

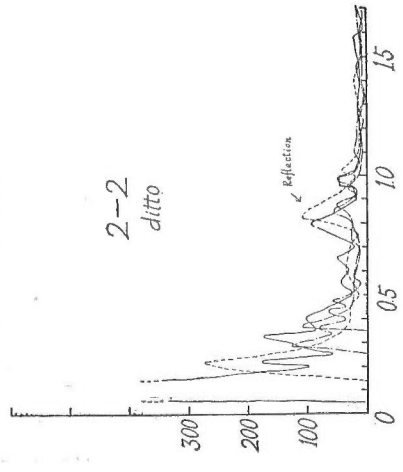
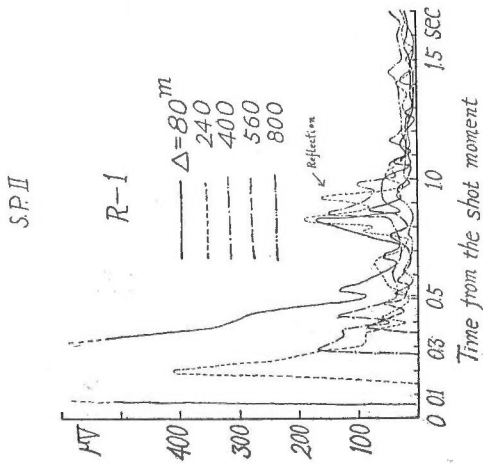
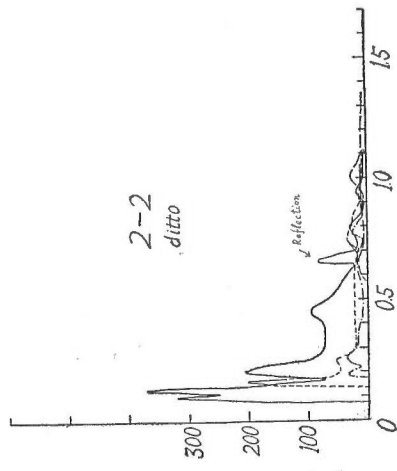
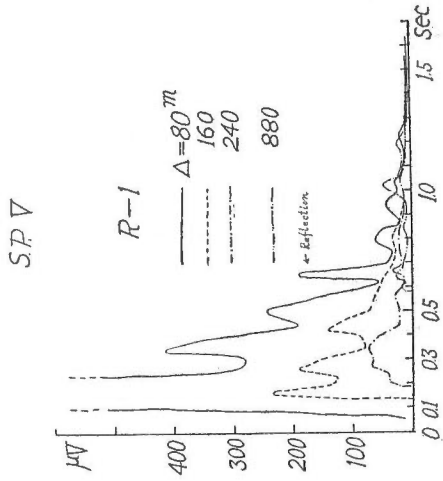
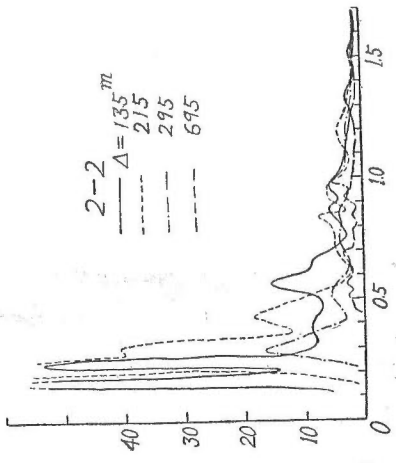
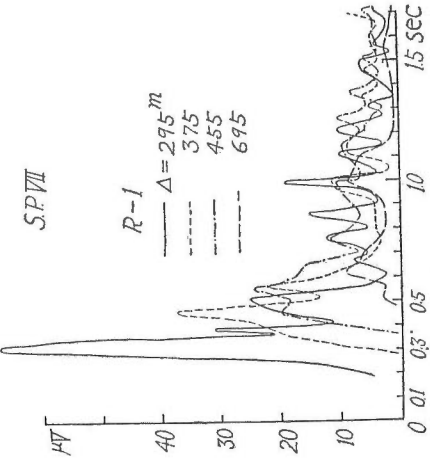
火薬の爆発によつて生じた地表振動の振幅が、爆発瞬間からの時間とともに減衰してゆくありさまを、爆発点から約 900 m の範囲において求めたのが第 21 図である。

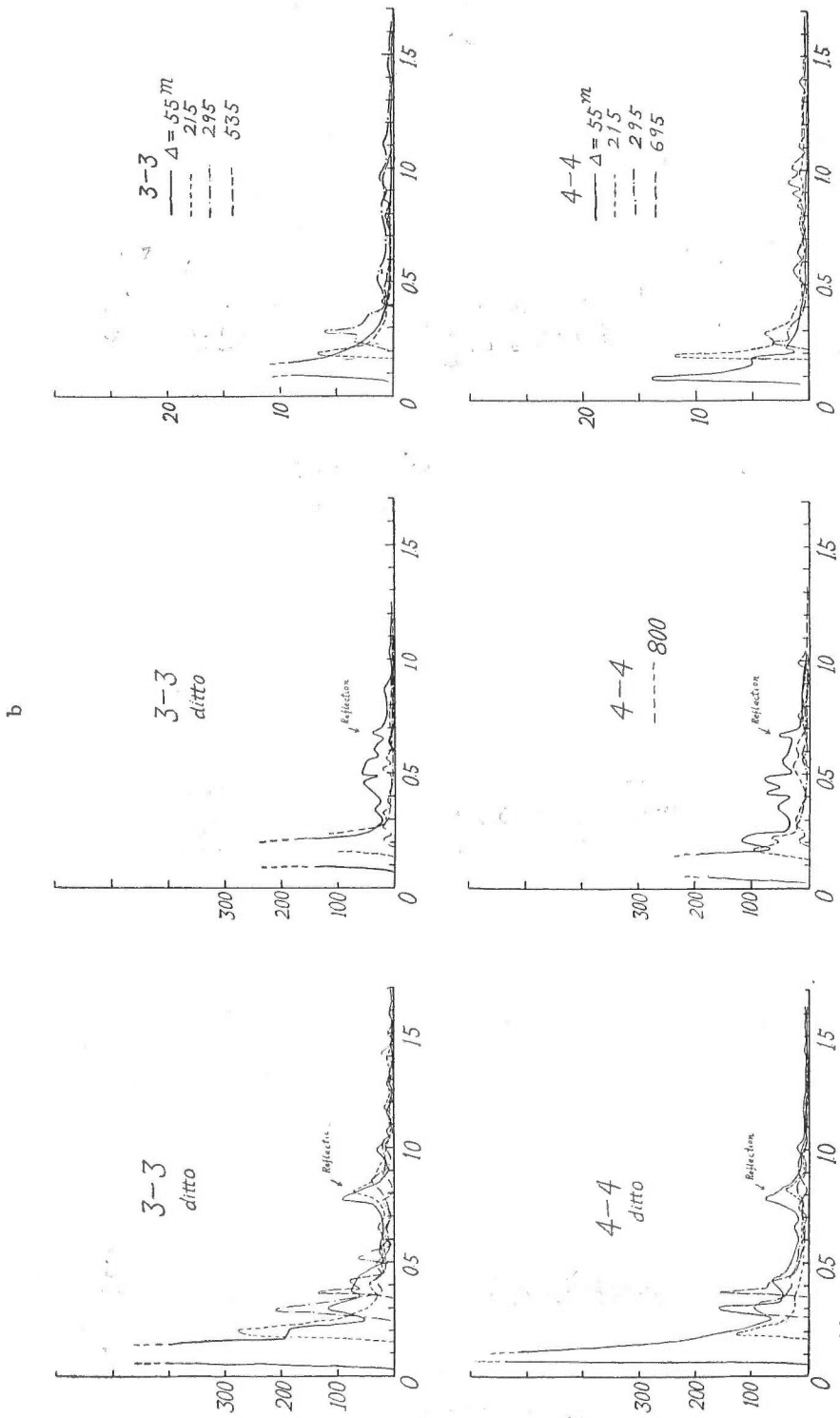
火薬の量は各爆発孔いずれも 1.125 kg であり、孔の深さは S.P. II が 25~18 m, S.P. V が 22 m, S.P. VII が 32~28 m である。受振器は爆発点から 80 m 間隔に 12 成分設置し、爆発点から 880 m の距離について同時に観測した。II. 2 でも述べたように、一番遠くに設置した第 12 番目の受振器は、爆破条件の変化を監視するために用いられた。

振動の周波数による変化をみるために band pass filter の selection は R—1 (18—42~) 2—2 (35—63~), 3—3 (50—86~), 4—4 (77—115~) の 4 つの band について行つた。増幅器は A.V.C. を用いないで、true picture をとり、その増幅感度を各記録をとるごとに check して用いた。爆発点近くのような、振幅変化が大きくて初動から約 3 秒間を 1 つの記録におさめ切れないものは、増幅器の感度を交えて 2 回あるいは 3 回にわけて観測し、爆発条件の変化は pick up No. 12 (R—1) で監視し、その変化のないものを採用した。

これらの curve は常識的に予想されるように、初動部分に大きな振幅が到達して、その後時間とともに次第に減衰するという一般的傾向をとつているが、その減衰の形をさらにくわしく調べてみよう。まず S.P. V の filter R—1 については、爆発点から 80 m の記録では、初動に引き続いて大きな振幅がしばらくの間続き、それが通り過ぎた後、一見どこからきたかわからないが大きな波が時々到達し、その振幅が時間とともに次第に減少してゆく。そして、

a





第21図 振幅が時間とともに減衰してゆく有様  
 Fig. 21 Amplitude attenuation with respect to time.

1.2~1.3 秒ごろで振幅変化の範囲が小さく収つて、ほぼ一定の振幅が2~3秒まで続く。その途中 0.65, 0.85 秒のところに反射波が到来している（これが反射波であることは前回の測定から判明している）。

受振点が爆発点から遠ざかると初動および初動部分の振幅が急速に減衰する。また初動部分に引き続く disturbance の振幅も減ずる。その結果、振幅変化の範囲が小さくなり、またほぼ一定の振幅に収まるまでの初動からの時間が、受振・爆発点間の距離が大きくなるほど短くなってくる。S.P. V の R-1 では約 300 m 離れると、初動部分の後ですぐほぼ一定の振幅に収つてしまう。一方、300 m 以上離れると、初動部分の距離による減衰の程度も小さくなり、その形も距離によつてほぼ変化しなくなる。したがつて爆発点の近くでは、初動部分の振幅と 1~2 秒後の noise の振幅との変化範囲が数 100 倍にもなつているが、ある距離以上になると、それが僅か数倍あるいはほとんど違わなくなつてしまう。これらのことは field operation にとつて注意すべきことと思われるので、III.3 においてその応用について述べる。

次に爆発点から一定の距離において、増幅器の filter を変えた場合についてみると、初動部分の振幅は low の filter による方が大きく、high の filter を通つたものは小さくなつてくる。先に filter response curve で注意した事柄から考えると、この傾向はさらに助長される向きにある。また初動部分に続く disturbance の振幅が high pass filter になるほど小さくなり、その結果、high pass filter になるほど一定振幅に収まる時間が短くなつてくる。filter による差異と波の周波数による差とは早合点され易いのであるが、この点については II.2 でも述べたように注意を要する。しかし S.P. V では filter band と波の周波数とは対応させて考えてよいので、この傾向はそのまゝ認められてよい。

S.P. VII についても受振点が爆発点から遠ざかるに従い、初動および初動部分の振幅が急速に減少し、振幅変化の範囲が小さくなり、ほぼ一定の振幅に収まるまでの初動からの時間が受振—爆発点間の距離が大きくなるほど短くなつてきている。しかしこの短くなる時間は S.P. V の場合よりも幾分長くなつてきている。

また filter による初動附近の振幅の大きさは、傾向としては S.P. V の場合と同じである。なお初動部分につづく disturbance が一定振幅に収まる時間も、S.P. V 同様やはり filter に支配され、low から high になるほど短くなつてきている。

次に S.P. II についてみると、大体の傾向は S.P. V と変わらないが距離による初動部分の振幅の変化は S.P. V ほどはげしくない。また初動部分につづく disturbance の減衰も S.P. V や S.P. VII ほど大きくはない。初動および初動部分の減衰によつて一定振幅に収まる時間は、距離とともにやはり短くなつてくるが、その時間は S.P. V や S.P. VII の場合より幾分長くなつてきている。

また filter による初動附近の振幅の大きさは、S.P. V, S.P. VII と同じ傾向を示し、かつ初動部分につづく disturbance が一定振幅に収まる時間が、filter の low から high になる



ほど短くなることも、それらの爆発点の場合と同じである。

S.P. II の R-1 の場合は II.2.2 で述べたように、filter band を通つた波の周波数成分とそのまゝ対応させて考えることはできないが、かなり filter band に対応する周波数成分が含まれているので、以上に述べた傾向は低い周波数まで成立していると考えられる。

また以上の事柄は受振器の位置の違いによる“ばらつき”の程度を考慮に入れても、原則的には変わるものではない。

なお以上の現象が原則的にはどの爆発点についても認められるが、量的には多少の違いが爆発点や受振点により認められるものと考えられる。

今の場合爆発条件を支配すると思われる因子のうち、深度・薬量については本実験を通じて統一してきた。また今1つの因子爆発孔の地質も3孔ともほとんど同じである（1例を第25図にしるした）。したがって、爆発条件についての厳密な実験は行わなかつたが、上に記した量的な原因としては媒質の方を考えてよいであろう。

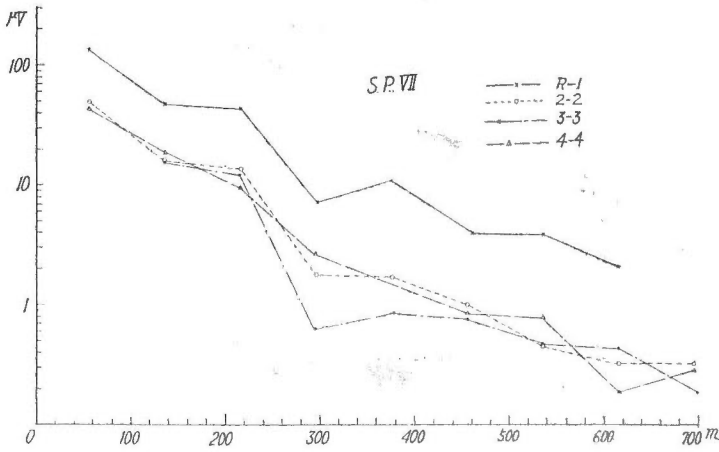
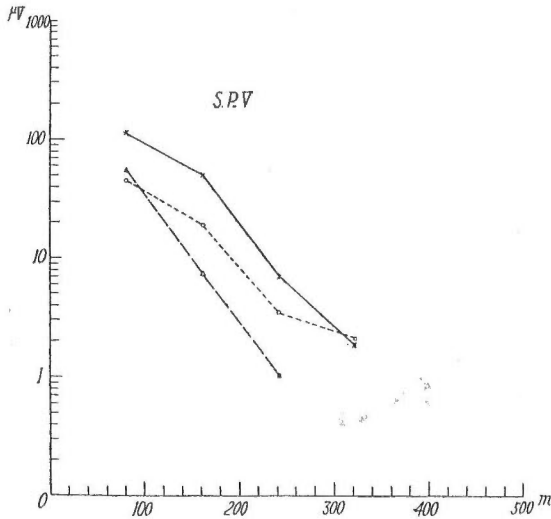
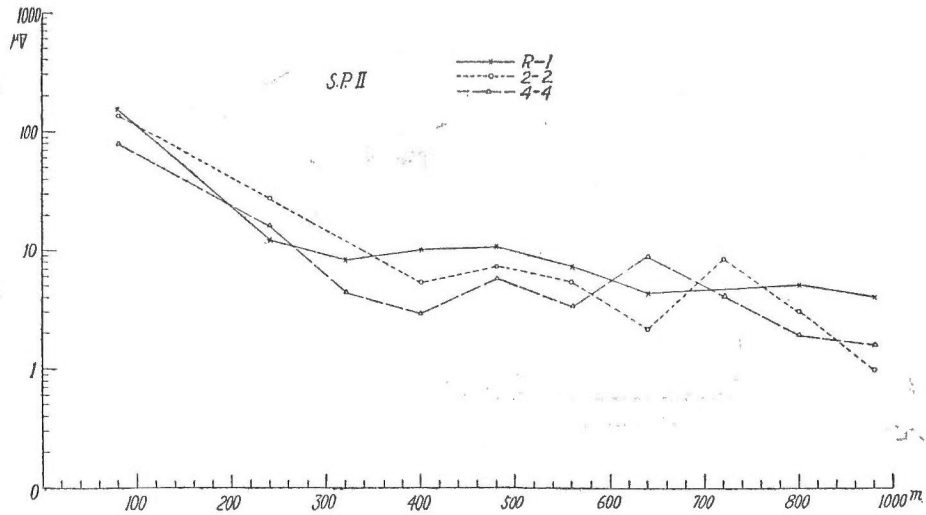
### III. 2 初動の最大振幅の距離による減衰 ( $A-\Delta, \infty$ )

S.P. II, V, VII について、初動および初動部分の最大振幅の距離とともに減衰する有様を第22図に、また初動の走時曲線を第23図に示した。

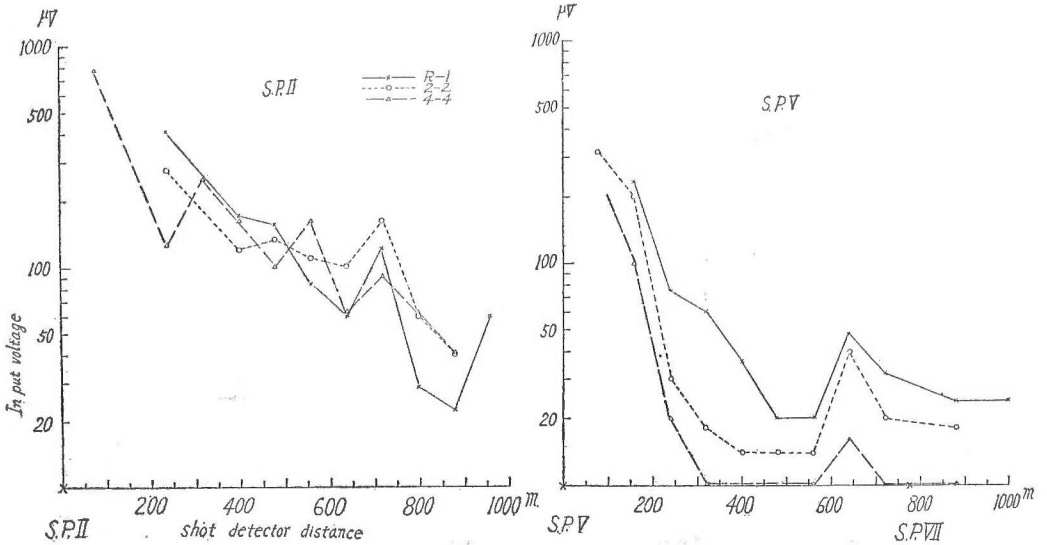
爆発点附近の初動の減衰する様子は、この実験が特にこれを目的として行つたものでないため、data が少なく詳しくはわからないが、ともかく爆発点から遠ざかるに従つて急速に減衰する。S.P. II について初動は、II の地表の不規則性による“ばらつき”と、II.3 の波形による変化の程度、とを考慮に入れて、爆発点から約400mまで減衰し、それ以遠では顕著な減衰はみられない。また初動部分の最大振幅をみても、約400mまでは急速に減衰するが、それ以遠は減衰が小さくなつている。

初動の走時曲線をみると、約400mの所が折れ目になつているので、初動についていえば約400mまでは第1層を通つてきた波で、その層の減衰係数が大きいため減衰するものと思われる。また400m以遠は第2層を通つてきた波で、第2層の減衰係数が小さいため減衰が小さいものと思われる。初動部分の最大振幅は、どのような相がどのようにして作り出したかまだ充分にはわからないが、その減衰の状態は、この第2層の減衰係数の差異にある程度関係していると思われる。以上のことは filter を変えた場合でもいえることである。

これと類似の現象は前に筆者の1人<sup>7)</sup>が、別の地震計でかつ別の方法で地震波の振幅を調べた際にも遭遇したことがあつた。いずれにしても、機会をとらえ、さらにこのような data をあつめて検討することは必要なことである。なおこの附近の地下構造については金子技官の報告書<sup>4)</sup>に記されているが、S.P. II より北の方には洪積層の台地があり、S.P. I ~ IV 附近までは洪積層が地表面近くまで存在しており、S.P. V あたりから南の方は沖積層が表面近くにきている。



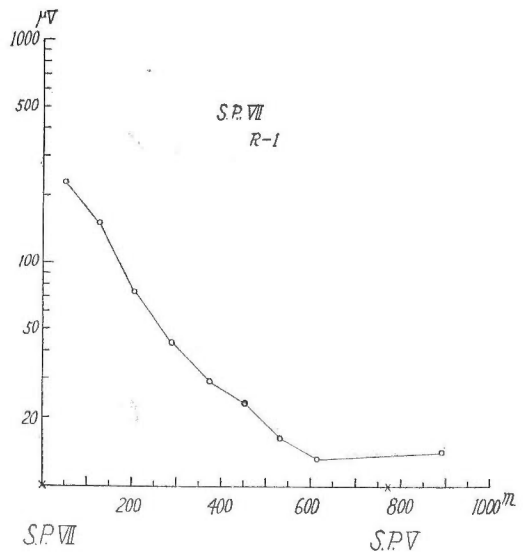
第22図1) 初動の最大振幅の距離による減衰  
Fig. 22 1) Amplitude attenuation of initial movements with respect to shot-detector distances.



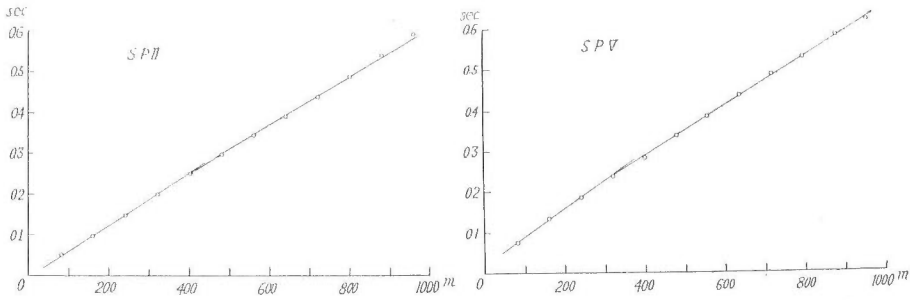
S.P. V, VIIについてみると、初動は約300mまで S.P. II の場合よりも急速に減衰して、たとえば S.P. V においては380 m の所で初動の波形(向き等)が不規則な現象を起す(これらに関する詳細の検討は、いずれあらためて行うつもりである)。そしてそれ以遠は徐々に減衰する。初動部分の最大振幅をみると、約300m までは急速に減少しているが、それ以遠は振幅が非常に小さくなるために振幅の大きさが地表の不規則性による変動の幅のなかに入ってきて、減衰の様子は一寸簡単にはわからなくなる。

これを走時曲線についてみると、400m 附近から観測された初動が複雑になり

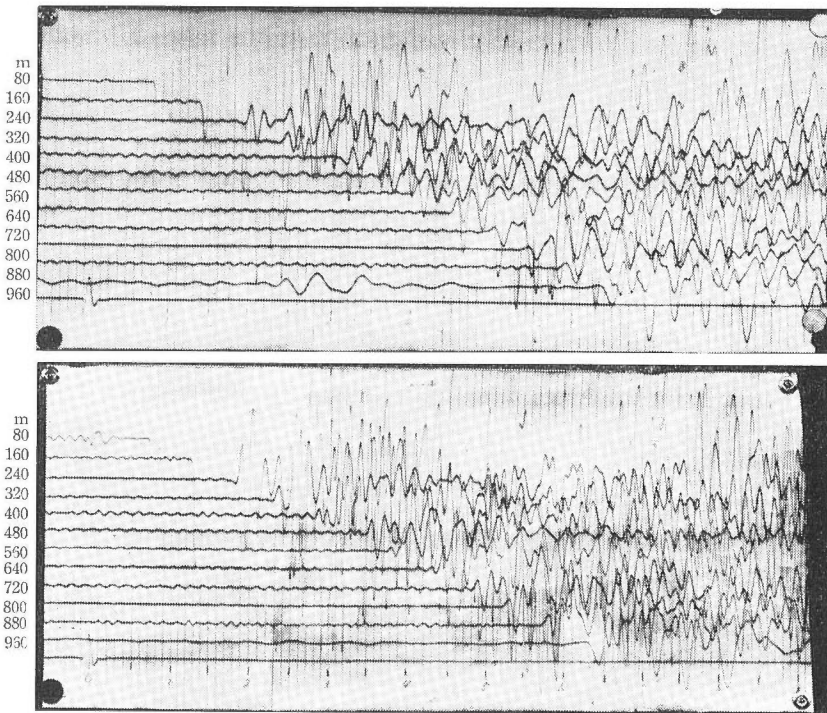
(参考のため、記録を第24図に示しておく)、走時がおくれているが、S.P. II の場合のような第1層・第2層が明瞭には認められない。しかし上述したように急激な振幅の減衰が、約400m のところまであり、そこで上記のように振幅が小さくなっていることから、第1層・第2層を考えることは可能である。なおこの場合、S.P. II の場合の方が S.P. V に比べて減衰の度が緩いことは、走時に現われた速度分布 (S.P. II ……1.6~1.7 km/sec, S.P. V ……1.3



第22図2) 初動附近の最大振幅の距離による減衰  
Fig. 22 2) Maximum amplitude attenuation near initial movements with respect to shot-detector distances.



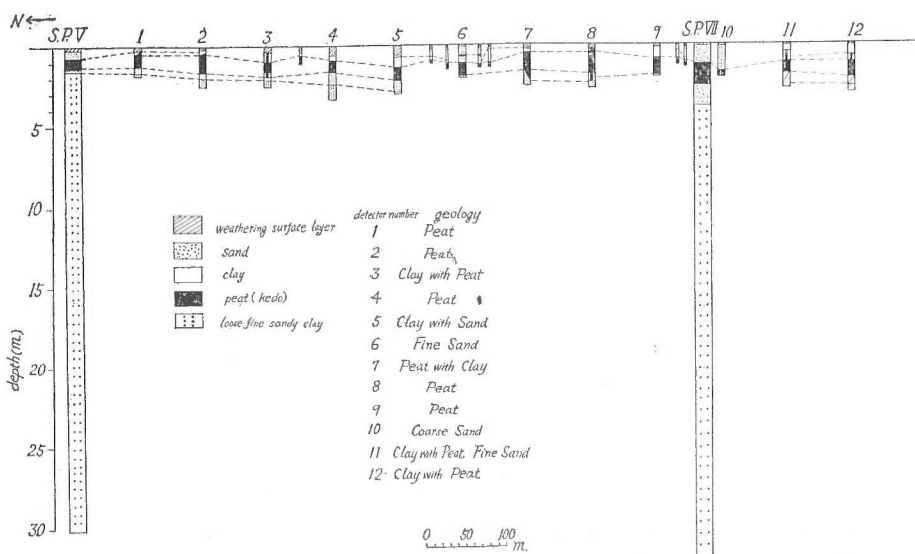
第23図 初動の走時曲線  
Fig. 23 Time distance curve of initial movements.



第24図 走時曲線における初動の複雑化  
shot point V filter 2-2      shot point V filter 4-4  
Fig. 24 Seismic record showing the complexity of initial movements.

km/sec) からみても妥当なことである。S.P. VII は傾向的には S.P. V の場合とよく似ている。地表附近の不規則性については疑問が持たれるので、この測線について藤原健一技官に調べてもらった沖積地断面図を第 25 図に示す。

これをみると、peat, sand, clay の表層が S.P. V から S.P. VII にゆくに従い次第に厚くなっているほか、各受振点の状態には特別の変化はみられない(これらの peat, sand, clay, の弾性的性質については、詳しく調べられてはいないが)。したがって地表 3~4m の部分の変化は大きいものではないと考えられる。



第25図 沖積地断面図 (藤原技官による)

Fig. 25 Alluvial geological section.

### III. 3 Compression への応用

反射法の発展において、反射用地震探検器の増幅器の変遷をみると、最初は Componder system が使用され、その後 A.V.C. system が全盛をきわめ、最近になつて A.V.C. system と Compression system (昔の compander) の結合されたものが使用されてきている。

この理由は Componder は適当な振幅に調整をとるのが難しいために、自動的に調整できる A.V.C. 方式に発展し、その後 A.V.C. が場合によつてはむしろ反射波の顕出をみにくくする作用をもっていることから、反射波のでにくい場所では true picture の方がよいことが認められて Compression 方式が復活してきたものと考えられる。

この Compression を使用する場合、地振動の振幅の時間的変化がわかつておれば、かなり有効に調整できるものと思われる。

上に得られたように、爆発に伴う地振動の振幅がほぼ一定に収まるまでの初動からの時間は、爆発点からの距離が遠くなるほど小さくなるということから、受振器の spread が爆発点から遠ざかる場合には、compression の time constant を短くする必要がある。

また等しい爆発点からの距離においても、周波数の高い波でその時間が短くなるような場合は、やはり time constant を短くする必要がある。また振幅変化の範囲が爆発点近くでは非常に大きいので、初動附近の相をよくみようとする時には、time constant を短くしてやればよいのではないかと思われる。

要するに compression time の調整の仕方により、目的とする地動の振幅をうまく顕出させることができることと思われる。

## IV. 振幅に関する実験的研究 (II)

### IV. 1 反射波および雑振動振幅の距離による変化

(Signal to Noise Ratio— $\Delta$ ,  $\infty$ )

良い反射記録は、受振器の grouping や filter, A.G.C., Compression 等の器械的操作によるほかに、受振器に入ってくる反射波とそれに先立つ雑振動との振幅比に大きく依存する<sup>9)</sup>。したがってこのいわゆる S—N 比の大きくなる所に、spread をもつてゆくことが必要になってくる。

このような意味から、今回は深さ 700m あたりの反射面からきた顕著な反射波とそれに先立つ noise との振幅が、距離とともにどのように変化するかを調べてみた。

反射波の振幅としては反射波の最大振幅をとり、noise の振幅としては反射波および noise の波長等を考慮に入れて、反射波の第 1 波に先立つ約 0.1 秒の平均振幅をとつた。これらの誤差は読みとり、感度 check 等からおこるが、その量は次のように考えられる。すなわち、今  $A$ ……振幅、 $A_r$ ……記録振幅の読みとり、 $S$ ……増幅器の感度、 $A'_r$ ……感度 check 記録振幅の読みとり、 $E$ ……真空管電圧計 (V.V.) の観測電圧、とすれば、

$$A = A_r S$$

$$S = E/A'_r$$

$$\left| \frac{\Delta S}{S} \right| = \left| \frac{\Delta E}{E} - \frac{\Delta A'_r}{A'_r} \right|$$

$$\left| \frac{\Delta A}{A} \right| = \left| \frac{\Delta A_r}{A_r} + \frac{\Delta S}{S} \right|$$

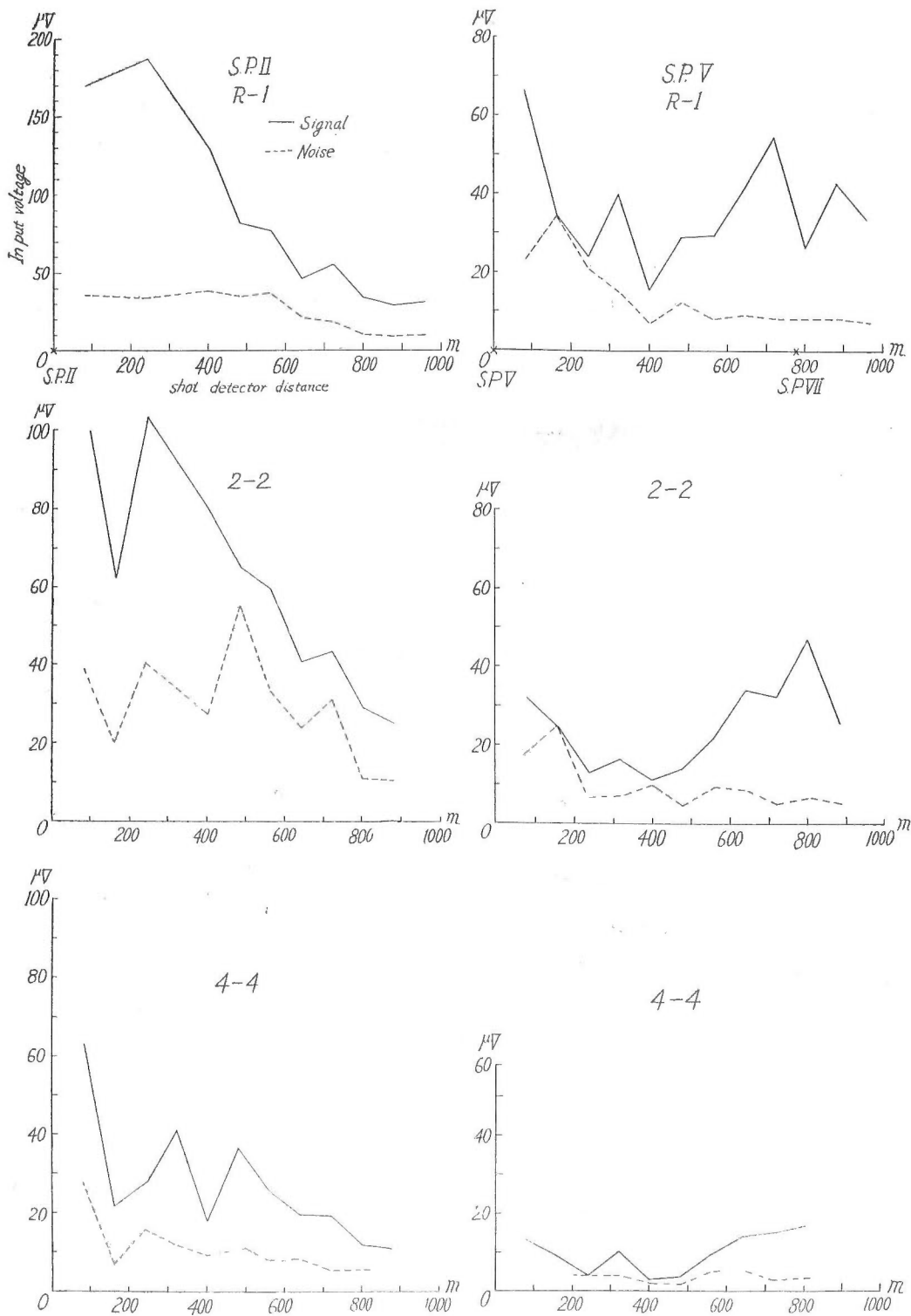
となる。

今回の場合、V.V. (真空管電圧計) の観測電圧の読みとり誤差  $\left( \frac{\Delta E}{E} \right)$  は 1% 以下、記録からの振幅の読みとりの誤差  $\left( \frac{\Delta A'_r}{A'_r}, \frac{\Delta A_r}{A_r} \right)$  は 10% 以下に収まるので、検算された振幅の誤差  $\left( \frac{\Delta A}{A} \right)$  は最大 20% ととれば充分である。また記録振幅の大きいものほど誤差は小さくなってくる。

以上のほかに II. 3 に述べた波長による影響等は、他の場合と同様考えておかねばならぬのは当然のことである。

読みとりの誤差よりは地表の不規則性による変動の方が大きいので、反射波については最大 20~30%、noise については 30~40% の変動があるかも知れないことは考慮しておくべきである。

爆発点からの距離とともに反射波と noise 振幅との変化の様子を示したのが第 26 図であ



第 26 図 反射波と雑振動振幅とが爆発点からの距離により変化する様子

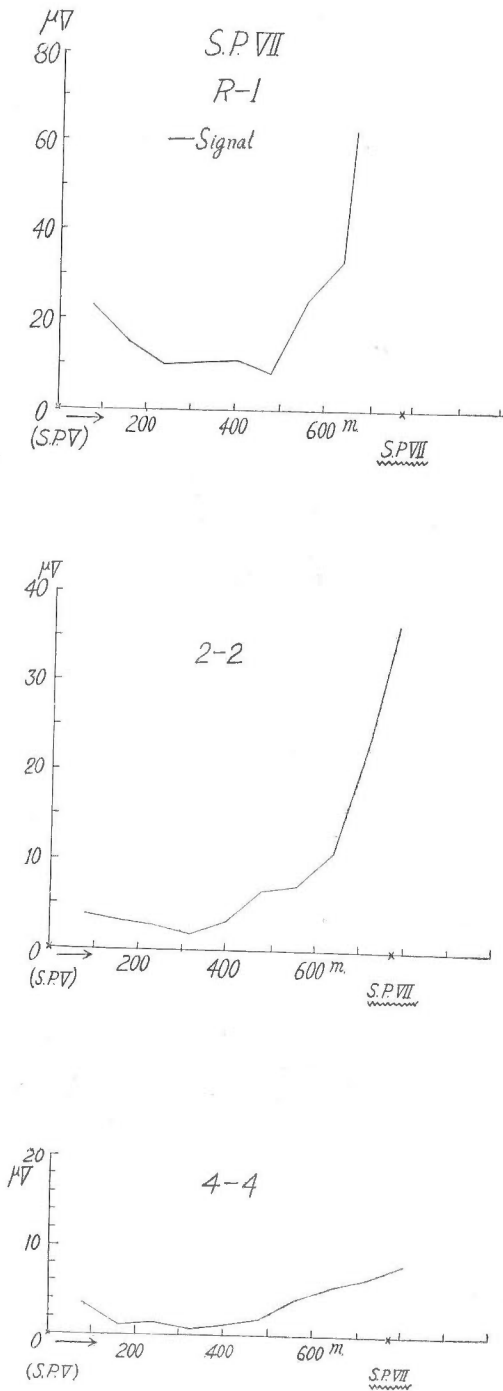


Fig. 26 Amplitude attenuations of both reflection signals and disturbant noises with respect to shot-detector distances.

る。また反射波形と noise との関係をさらによくわかるように、その原記録を trace したものを第 27 図に示した。したがって第 26 図に plot した反射波の振幅のなかには、noise の振幅も含まれていることはもちろんである。

まず S.P. II についてみると、反射波の振幅は距離とともに次第に減衰している。これに対し、noise の方は距離とともに顕著に減衰する様子はみられない。したがって S-N 比を考えると、爆発点の近くにおいても充分大きい S-N 比があり、また S.P. から遠くはなれてもなおかなりの S-N 比がある。filter を変えてもこの傾向に変わりはない。この場所では前年 split spread でもつて非常によい記録<sup>註5)</sup> が得られており、S-N 比の現象は丁度これを説明するには好都合である。

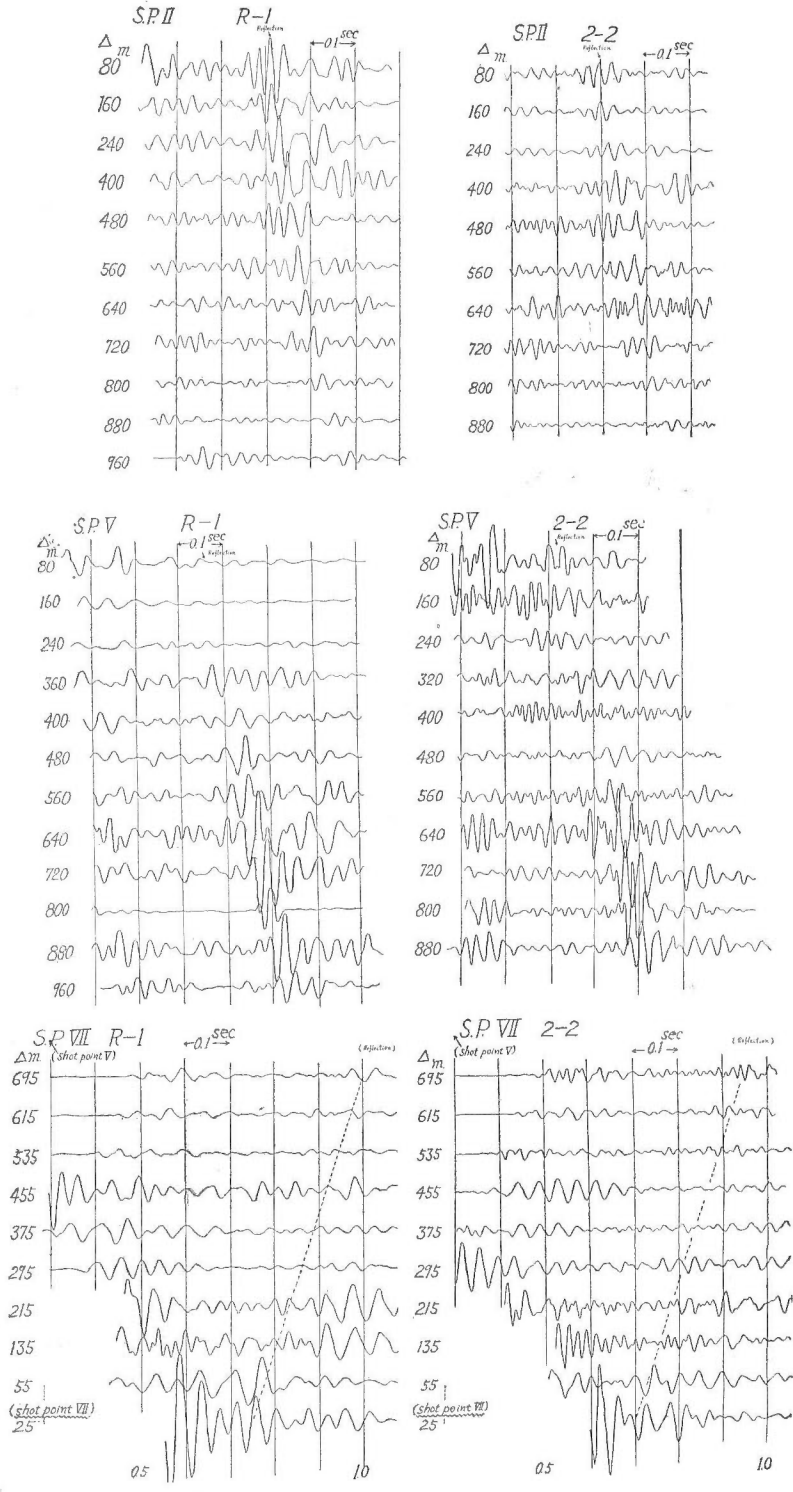
次に S.P. V をみると、反射波は爆発点から 450 m までは急激に減少しているが、それ以遠になるとふたたび振幅が大きくなつてきている。noise の方は爆発点から 400 m 附近まで減少して、それ以遠になるとほとんど一定の大きさの振幅になつている。S-N 比を考えると、爆発点近くにおいてはほとんど 1 位で、すなわち反射波と noise の振幅がほとんど等しく、また S.P. から遠くなると S-N 比は良くなつている。この場所は前年 split spread では poor な記録しかとれず、遠くに行つて良い反射記録がとれた所である<sup>註6)</sup>。これは spread が爆発点

註 5) 文献 (4) に記録の写真がある。

註 6) 文献 (4) に記録がある。



a



第27図 反射波と雑振動振幅との関係をわかり易く示す記録

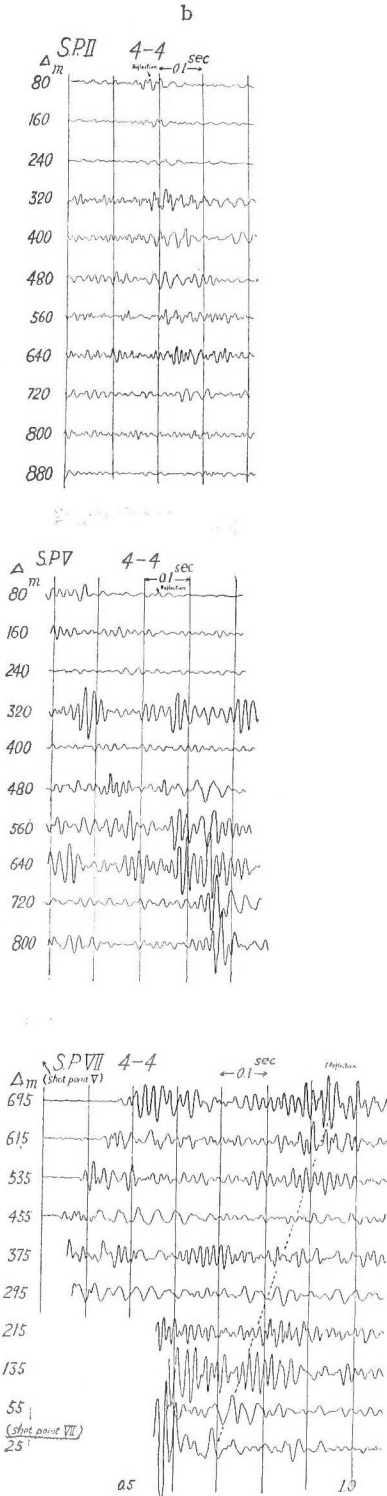


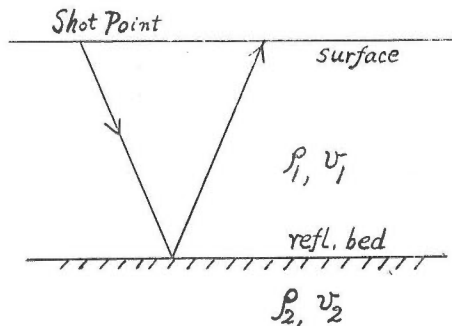
Fig. 27 Some traces showing signal and its forerunning noises.

から速ざかつたために、noise が小さくなつたのは事実であるが、さらに反射波振幅が大きかつたためでもあることがわかつた。filter を変えてもこれらの傾向の変わらないことは S.P. II と同様である。

さらに S.P. VII については、傾向としては S.P. V に似ているが、ある部分で反射波の energy が小さく noise との判別が難しいので (第 27 図参照)、第 26 図には noise の振幅は書き入れることができなかつた。反射波の振幅については、S.P. からはなれるにしたがい急激に減少し、400 m で極小に達し、S.P. から大体 700m 位はなれた処までいくらか大きさを取り戻している。

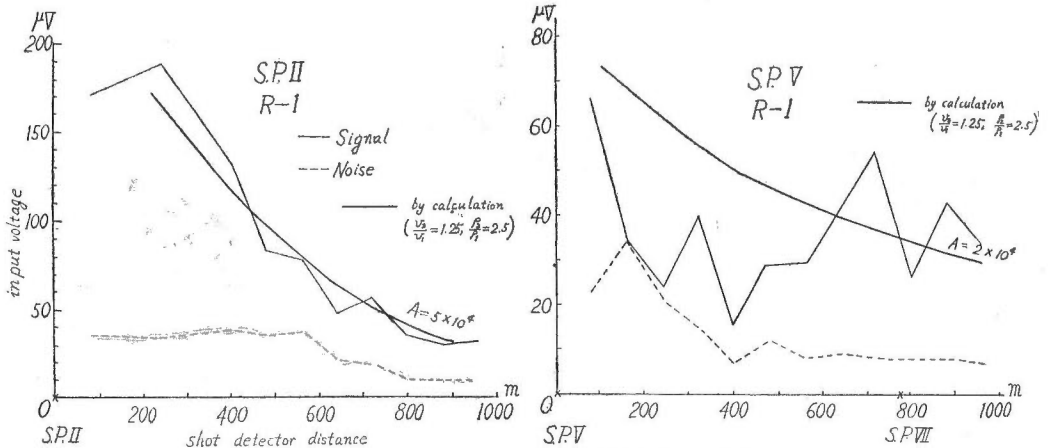
#### IV. 2 反射波減衰の考察および Spread への応用

IV. 1 に述べたように反射波の振幅が距離とともに変化する有様は、S.P. II では単調に減衰しているが、S.P. V ではそれよりも比較的急激に減衰し、ある距離からふたたび大きくなつてゐる。反射波振幅の距離による変化は、反射波の走行距離・反射角によるだけでなく、反射面の反射係数の変化、波の通る媒質の減衰係数の変化、表層の不規則性等のいわゆる地層の弾性的性質の不均一によつても変化する。均質等方の完全弾性体が 2 層ある場合 (第 28 図)、反射波の距離による減衰を計算してみると第 29 図の



第 28 図 2 層の説明図  
Fig. 28 Schema of 2 layers

太い実線のようになる。計算はさらに平面波で得られる結果<sup>10)</sup> に  $1/r$  をかけて、球面波の距離に反比例する減衰の補正を加えた。なお  $v_2=1,600m/s, v_3=2,000m/s$ , ポアソン比  $=1/4, \rho^2/\rho_1=2.5$



第29図 反射の距離による減衰曲線 (実験結果および計算)  
Fig. 29 Amplitude attenuation curves of reflection with respect to shot-detector distances (experiment and calculation).

にとつて、地表面に到達する波の垂直成分を求めた。第29図をみると、S.P. IIにおける反射波の距離とともに次第に減衰する様子は、走行距離と反射角の変化とによつてきているということがわかる。S.P. Vの場合は爆破点から400~500m位まではそれ以上に急激な減衰をしており、600~900mにおいて走行距離と反射角との変化から推定される傾向になつてきている。したがつて反射振幅が600m附近から見かけ上ふたたび大きくなつたように見えるが、むしろ400~500mまでの間の急激な減衰は、地層の弾性的性質が完全弾性体から大きくはずれ、また不均一を伴ふことによつて起つていていると考えられる。地表層の不規則性は第25図の沖積地断面図にみられるように、地質的にはほとんど大きな差異はない。また反射面の均一さについてはS.P. V、とS.P. VIIとによる反射振幅曲線(第26図)およびS.P. VとS.P. VIIとの中間のS.P. VIを利用した前回の報告<sup>4)</sup>を比較することによつて、反射面の一部において反射係数が小さくなると考えるには無理があることがわかる。したがつて、S.P. Vの爆発点から約400~500mまでの急激な減衰は、反射波の通る媒質の減衰係数の変化によるものと思われ、その部分に減衰係数の大きい吸収層があるものと考えられる。また初動の振幅の減衰の様子を示した第22図にみられるように、S.P. IIにくらべてS.P. Vの場合は初動の減衰が非常に急激であることから、この吸収層はかなり地下浅い所までできていることが考えられる。

このように、反射面が水平で、地形が関東平野の一部というような平地で、見かけ上弾性的性質が一樣と考えられ易い場合においてすら地層の弾性的性質の顕著な不均一があるので、反射波振幅の減衰を、簡単に距離だけで推定することは困難である。

次に顕著な反射波以外の、どこからきたかわからない波からなつていゝゆる雑振動(ground noise) 振幅が距離とともに変わる様子については、初動からの時間と地下構造とによつ

て異なるものと考えられる。初動に引き続く雑振動が確かに距離とともに減少することは、第26図・第27図からわかるが、初動から0.7~2秒ごろの雑振動については、S.P.Vの場合のように距離とともに僅かに減少する場合もあり、またほとんど変わらない場合もある。これらの雑振動の現象を充分解明するためには、雑振動のそれぞれの波の意味について、さらに詳細な分析と実験とが必要と思われる。それらについては現在測定器械の整備中なので、いずれあらためて報告したいと思つている。

現場操作において spread をとる場合、爆発点からどれ位の距離でS-N比が良くなるかということは、反射波・雑振動振幅の距離に伴う変化によるものであるが、簡単に距離だけでは推定が困難なものである。それらは地層の弾性的性質、地下構造にもよるものであるから、各調査地域によつて、また1つの調査地域においても所によつて色々異なることが予想される。したがつて spread と爆発点との距離は、ある程度 try and error (試行錯誤) 式に爆発点から約1 kmの距離まで連続させることが望ましい。

## V. 結 論

火薬の爆発によつて生ずる反射波および雑振動の問題を、反射地震探鉱法の field operation 特に spread の配置の仕方、compression の使い方、などに対する基礎的 data をうるという技術的な立場から、現象的に取り上げて実験を行つた。すなわち、反射法で普通用いられている火薬の爆発(爆発深度約20 m、火薬量約1 kg)について、それによつて生ずる地表の振動が、爆発瞬間からの時間とともに減衰してゆく有様を、爆発点から約900 mまでの色々な距離について実験的に求めてみた。また深さ約700 mの反射面からの反射波、およびそれに先立つ雑振動の振幅が、距離とともに変化する有様を求めてみた。実験を行つた場所は前回反射法の実験を行つた茨城県竜ヶ崎である。

地表振動の振幅  $A$  の時間  $T$  とともに変化する有様は、爆発点からの距離  $\Delta$ 、地振動の周波数成分  $\omega$  のみでなく、受振器を設置する地表の不規性  $I_r$ 、地下構造  $St$ 、火薬の爆発の仕方  $Ch$  に関係する。すなわち、

$$A = f(T, \Delta, \omega, I_r, St, Ch)$$

このうち予備実験として、地表の不規則による地振動振幅の変動、および filter とそれを通つた波との関係について実験を行い、次の結果を得た。

(1) 受振器を湿つた水田の地下約1 mに約2 mはなして設置した場合、地振動振幅の変動は、初動・反射波等の大きな振幅については大体30%以内の“ばらつき”におさまつている。それ以外の位相の振幅は、大部分のものが30~40%以内の“ばらつき”におさまつている。したがつて振幅の距離による変化をみる場合には、この変動量以上のものが意味をもつ。

(2) 1の状態では、爆発瞬間からの時間とともに変化する振幅の“ばらつき”は、個々の位相

で相当変動するものがあつても、時間的变化の傾向は第 6 図に示すようにかなり一致している。

(3) filter の通過帯と filter を通つた波の周波数とは必ずしも一致しない。したがつて filter によつて周波数成分による差異をみいだすためには、個々の場合について、その filter band と通過した波の周波数との対応を吟味しなければならない。

(4) 少なくとも（この地域では）低い周波数の波の振幅は、高い周波数の波の振幅より大きい。

(5) 取扱つている波動は受振器—増幅器—oscillograph の器械全体の system を通るため、ある場合には変位を、またその他のもつと複雑な波を記録していることが予想されるので、これらに関する検討を行い、それによつて振幅の大きさがどのような影響をうけるかを調べた。

以上のほか、振幅との意味についても考察を行つた。これらの予備実験の結果を考慮しながら、本論の波の減衰に関する実験を吟味して、次のような結果を得た。

(1) 火薬の爆発によつて生じた地表振動の速度変位に相当する記録上の振幅が、爆発瞬間からの時間とともにどのように減衰するかを、爆発点からの色々の距離で調べた結果は、第 21 図に示す通りである。

爆発点から約 100m の距離では初動部分に大きな振幅が到来し、時間とともに比較的急速に減衰し、ある時間たつとほゞ一定の振幅におさまり、しばらくの間その振幅で振動が続く。

初動、初動部分およびそれに引続く disturbance の振幅は、距離とともに急速に減衰する。一方 1~2 秒後から続くほゞ一定の振幅をもつ振動の振幅は、距離によつてもそれほど変化しない。

その結果、初動部分の振幅と、1~2 秒後からほゞ一定の振幅で振動している disturbance の振幅との比は、爆発点から約 100m では数 100 倍もあり、距離とともに小さくなり、ある距離以上になると僅か数倍あるいはほとんど変わらなくなる。

またほゞ一定の振幅におさまるまでの時間は距離とともに短くなり、また周波数が高いほど短くなる。

(2) 初動の振幅が距離とともに減衰する有様は、地下構造にも関係すると考えられるので、それを調べた。その結果、振幅は距離とともに爆発点から急激に減ずるが（第 22 図）、ある処までくるとそれほど減少しなくなる。この場合走時曲線をつくつてみると、この 2 つの部分の移り変わりの場所は、丁度走時の折れ目に相当している（第 23 図）。

(3) 1 の結果から地震探鉱用増幅器の compression において compression time を可変にしておくことが望ましい。

(4) 反射波と noise との振幅比に関して受振—爆発点間の距離について調べてみた（第 26 図）。その結果 S.P. II においては、反射波と noise との振幅関係は反射波も noise も爆発点からの距離とともに減少し、しかも noise 自身はそれほど減らず、爆発点近くの方が S—N 比の値が大きい。こゝは前年の field 実験でも split spread で良好な記録のとれた所である。

これに反し S.P.V. においては、爆発点からの距離とともに一応反射波・noise とともに減少するが、ある所で反射波はふたたび大きくなってくる。この距離で S-N 比が一番大きくなる。こゝでは前年の実験において split spread で良好な反射波は出ず、受振—爆発点間の距離の大きい所で良好な記録が得られたのである。

(5) このこと(4)は spread の配置に重要な意味をもつてくる。すなわちこれほどの近い距離をはなれただけでも、既に split spread でよい記録の出る場合とそうでない場合とがある。したがって field operation において spread をとる場合、爆発点からどの位はなれたら S-N 比がよくなるかということは、各調査地によつてもまた1つの調査地においても、場所により異なることが考えられるので、その距離はある程度 try and error (試行錯誤) 式に検討する必要がある。

以上が今回の実験により得られた主な結果である。

さてこの稿をとじるにあたり、締め繰りとして今後の研究の進め方について一言する。

この種の基礎実験は単に1ヶ処だけでなく、多くの地域において行われて後、初めて真価を発揮するものであるが、それには相当量の火薬・費用・時間と多くの人員を要するのである。また1つの爆発孔を数回使用すれば、爆発孔の条件等も変わる恐れがある。また現在の器械では充分周波数分析を行うことは不可能である。

これらの事柄を解決するためには、どうしても今後は波の再現装置と周波数分析器<sup>11)</sup>とをつくり、それによつて実験を行うことが望ましい。最近は反射記録をとる場合、雑振動を除くための filter の使い方についても、この器械によつて非常に有効な結果の得られることが紹介されている<sup>12)</sup>。

そこで筆者等は目下 magnetic tape recorder を利用しての周波数分析器を試作中である。

この器械の完作を俟ち、この種の実験が発展して反射記録を確実にとらえ、またその反射機構を明らかにし、実際面に利用して、地質構造の解明に役立てられる日の早からんことを希望するものである。

## 引用文献

- 1) Kawasumi, H. & Yoshiyama, R. : On an Elastic Wave Animated by the Potential Energy of Initial Motion, Bull. Earthq. Res. Inst., Vol. 13, p.496~503, 1935
- 2) Sharpe, J.A. : The Production of Elastic Wave by Explosive Pressure I, Geophysics, Vol. 7, p. 144~154, 1942
- 3) Ricker, N. : The Form and Laws of Propagation of Seismic Wavelets, Geophysics, Vol. 18, p. 10~40, 1953

- 4) 金子徹一：地震探鉱反射法の研究，地質調査所報告，No. 156, 1953
- 5) 鈴木 実：Test Panel の試作，物探協会にて講演，1953
- 6) Poulter, T.C. : The Poulter Seismic Method of Geophysical Exploration, Geophysics, Vol. 15, p. 181~207, 1950
- 7) 早川正巳：地震探鉱に関する研究，地質調査所報告，No. 137, 1951
- 8) 森 喜義・南雲昭三郎：反射地震探査用増幅器の自動利得調整 (A.G.C.) に関する実験，地質調査所月報，Vol. 4, No. 11, 1954
- 9) Dyk, K. & Eisler, J. D. : A Study of the Influence of Background Noise on Reflection Picking, Geophysics, Vol. 16, p. 450~455, 1951
- 10) 松沢武雄：平面波の表面反射の1例，地震，Vol. 4, p. 125~139, 1932
- 11) Jakosky, J. Jay & Jakosky, John J. : Frequency Analysis of Seismic Waves, Geophysics, Vol. 17, p. 721~738, 1952
- 12) Frank, H.R. & Doty, W.E.N. : Signal-to-Noise Ratio Improvement by Filtering and Mixing, Geophysics, Vol. 18, p. 587~604, 1953





Résumé  
**Experimental Studies on Seismic Disturbances  
 and Reflection Waves**

by

Shōzaburō Nagumo, Kiyoshi Mori &  
 Masami Hayakawa

As the geological structure in Japan is very complicated in comparison with the continental countries, to obtain good reflection records is very difficult. It is suggestive, therefore, that the most important subject on the study of seismic reflection method in Japan is to distinguish the reflected impulses from all other disturbing waves on the records.

The writers performed some experimental studies on this subject by using "S. S.C." seismograph at Inashiki province, Ibaragi Prefecture in which place some experimental studies on reflection method such as group-setting, amounts and depth of dynamite charges, and distant spread effect, had already been conducted in 1952 by T. Kaneko, Geol. Surv. Japan.

In the present study, writers have taken up the problems of reflection and disturbing waves generated by explosion, phenomenally, from the view point of obtaining fundamental data which will be useful in the practical field operation, especially in setting spread and in using compression.

They have studied experimentally how the amplitudes of seismic waves decrease with respect to the time, the shot-detector distance, and the frequency. They also made an experiment on the changes of amplitudes in both reflections and their forerunning disturbances with respect to the shot-detector distance.

In order to discuss the problem on amplitude, writers used the seismograph in "without A.V.C." condition, and checked its sensitivity for each record. They also noticed the significance of recorded amplitude from the synthetic characteristics of the detector-amplifier-oscillograph.

The amplitude attenuation of the earthmovements depends on not only the time from the shot moment ( $t$ ), the shot-detector distances ( $\Delta$ ), the frequency distribution of earth's surface ( $Ir$ ), the subterranean geological structures ( $St$ ), and the detonating methods ( $Ch$ ), i.e.  $A=f(t, \Delta, \omega, Ir, St, Ch)$ .

Among these factors, they ignored this time, temporarily the charge and subterranean structure problems. On the irregularity of the earth's surface, and the frequency distribution of the earthmovements, they made some preliminary experiments with associated instrumental examination, and obtained the following results;

(1) As for the irregularity, they made an experiment by setting detectors at each apex of a triangle, drawn on the earth's surface, whose sides were two meters

in length, and they could know that the range of fluctuation of these amplitudes was within 30%.

(2) The amplitudes of low frequency waves are more predominant than those of high waves in this field.

(3) The response of filter band does not always correspond to the frequency of waves which passed through each filter. Then, in the discussion of the amplitudes, it is necessary to check the correspondencies between the response of filter band and the frequency of wave which passed through each filter.

After considering these data, they have made the present major experiments in which three shot holes averaged 20 m in depth were drilled. The holes were separated from the 1st (S.P. II) to the 2nd (S.P. V) and from the 2nd to the 3rd (S.P. VII), by 800m respectively, and detector stations were placed at 80m intervals. The charges were mostly 1.125 kg. The results are as follows;

(1) At first, they carried experiments on the amplitude attenuation with respect to the time from the shot-moment at various shot-detector distances. Fig. 21 shows the results.

Near the shot point, amplitudes of initial phases and following disturbances are large but decrease rapidly with respect to the time. And after a certain time, the amplitudes of disturbances become nearly constant, and disturbances continue for a few second with these amplitudes.

Amplitudes of the first break and the initial phases decrease rapidly with respect to the shot-detector distance. On the other hand amplitudes of later disturbances do not vary so much with respect to the shot-detector distance.

The duration time from the first break to nearly constant amplitude becomes shorter with respect to the shot-detector distance. This tendency is conspicuous in the case of high pass filters.

(2) The amplitude attenuations of the initial movements with respect to shot-detector distances seemed to depend on subterranean structures. The amplitude decreases rapidly from the shot point with respect to shot-detector distances, but beyond a certain distance, it does not decrease so much. (Fig. 22) It was found after drawing the time-distance curve, that the transforming point in the amplitude attenuation corresponded to the inflexion point of the time-distance curve. (Fig. 23)

(3) The results obtained in (1) suggest that compression time in the seismic amplifier should be variable.

(4) Next, they have investigated the relations between Signal-to-Noise ratio and its corresponding shot-detector distance (Fig. 26).

In using the S. P. II, both the reflection signal and its neighbouring noises decrease with respect to shot-detector distances. Furthermore, noises themselves do not decrease so much, while the value of S-N ratio is larger in the neighbourhood of the shot point. This is the place where good reflection records were obtained by split spread the year before last.

On the contrary, in the case of S.P. V, though both the reflection signal and its neighbouring noises decrease with respect to the shot-detector distances, the reflection signal amplitude increases again gradually at a certain point away from the shot point, and the S—N ratio, at the same time, becomes the greatest there. This point corresponds to the place where good reflection records were obtained by distance shot spread the year before last.

(5) In order to obtain good reflection records, we must check and find out the most suitable shot-detector distances available for setting spread.

The above are the summary of the results of experiments performed by the present writers. To develop these experiments for obtaining good reflection records, writers are now designing and constructing a new apparatus. Consequently further discussion on the results and the development of these experiments will be made in the future.



The Geological Survey of Japan has published in the past several kinds of reports such as the Memorirs, the Bulletin, and the Report of the Geological Survey.

Hereafter all reports will be published exclusively in the Report of the Geological Survey of Japan. The Report will be consecutive to the numbers of the Report of the Imperial Geological Survey of Japan hitherto published. As a general rule each issue of the Report will have one number, and for convenience's sake, the following classification according to the field of interest will be indicated on each Report.

- |                              |  |
|------------------------------|--|
| A. Geology & allied sciences | a. Geology.  |
|                              | b. Petrology and Mineralogy.                               |
|                              | c. Palaeontology.  |
|                              | d. Volcanology.  |
|                              | e. Geophysics.   |
|                              | f. Geochemistry.   |
| B. Applied geology           | a. Ore deposits.   |
|                              | b. Coal.   |
|                              | c. Petroleum and Natural Gas.                              |
|                              | d. Underground water.                                      |
|                              | e. Agricultural geology.<br>Engineering geology.           |
|                              | f. Physical prospecting.<br>Chemical prospecting & Boring. |
| C. Miscellaneous             |  |
| D. Annual Report of Progress |  |

Note: In addition to the regularly printed Reports, the Geological Survey is newly going to circulate "Bulletin of the Geological Survey of Japan," which will be published monthly commencing in July 1950.

本所刊行の報文類の種目には従来地質要報・地質調査所報告等があつたが、今後はすべて刊行する報文は地質調査所報告に収めることとし、その番号は従来の地質調査所報告を追つて附けることにする。そして報告は1報文につき報告1冊を原則とし、その分類の便宜のために、次の如くアルファベットによる略号を附けることにする。

- |   |                   |   |   |
|---|-------------------|---|---|
| A | 地質およびその基礎科学に関するもの | { | a. 地質<br>b. 岩石・鉱物<br>c. 古生物<br>d. 火山・温泉<br>e. 地球物理<br>f. 地球化学               |
| B | 応用地質に関するもの        | { | a. 鉱床<br>b. 石炭<br>c. 石油・天然ガス<br>d. 地下水<br>e. 農林地質・土木地質<br>f. 物理探鉱・化学探鉱および試錐 |
| C | その他               |   |   |
| D | 事業報告              |   |   |

なお刊行する報文以外に、当分の間報文を謄写して配布したものに地下資源調査所速報があつたが、今後は地質調査所月報として第1号より刊行する。

昭和 30 年 3 月 20 日印刷

昭和 30 年 3 月 25 日発行

著作権所有 工業技術院  
地質調査所

印刷者 田 中 春 美

印刷所 田中幸和堂印刷所

東京都台東区東黒門町 3 番地







**REPORT No. 164**

GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN

Katsu KANERO, Director

**EXPERIMENTAL STUDIES ON  
SEISMIC DISTURBANCES AND  
REFLECTION WAVES**

by

Shōzaburō NAGUMO, Kiyoshi MORI

&

Masami HAYAKAWA

GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN

Hisamoto-chō, Kawasaki-shi, Japan

1 9 5 5