

群設置法と多孔爆発法による妨害波消去の実験

— 深部物理探査研究 第5報 —

金子 徹一* 平沢 清*

An Experiment on the Reduction of Wave Noises by Using Multiple Geophone Setting and Pattern Shooting

by

Tetsuichi Kaneko & Kiyoshi Hirasawa

Abstract

This experiment was carried out in 1959 at Sarukawa oil field where several wave noises appeared on the seismic record as shown in Fig. 1 (p. 30). The experiment on the reduction of wave noises by using multiple geophone setting and pattern shooting was based on the theory of characteristic function.

The classification of wave noises, these apparent velocities and predominant frequencies are shown as follows:

Wave noise	Apparent velocity (m/sec)	Predominant frequency (cps)
A-noise	1850	40
B-noise	1500	30
C-noise	650	30
D-noise	345	25
D'-noise	345	25
E-noise	280	25

Combinations of geophones, shooting and filtering used in this experiment are shown as follows:

Shooting	Geophone	Filtering
single	single	28-out
3	3	40-15
4	6	220-out
7	9	160-54

Pattern of shot holes and geophones were always linearly arrayed with their spacings of 0.25~7.00 m.

When the characteristic functions of filtering, multiple geophone setting and pattern shooting are denoted by $K_1(\omega)$, $K_2(\omega)$ and $K_3(\omega)$ respectively, the combined characteristic functions are expressed by $K_1(\omega) \cdot K_2(\omega)$, $K_1(\omega) \cdot K_3(\omega)$ or $K_1(\omega) \cdot K_2(\omega) \cdot K_3(\omega)$. The experimental results of the wave noise reduction were compared with the values which were evaluated by the characteristic functions. Generally, such coincidence was fairly good.

* 物理探査部

For instance, *D*-noises which are seen clearly in (a), (b), (c), (d) of Fig. 10 (p. 38) are disappeared drastically in (e) record as was expected from the characteristic function in Fig. 14 (p. 41). However it is recognized that there are many exceptions which are thought to be caused by random noises.

The most excellent wave noises are not recognized in the record of single geophone but in the records of group geophone setting with small spacings of 0.25, 0.50, 0.75 or 1.00 m. These facts will be caused by the effect of random noise whose characteristics is different from those of wave noises. Assuming the characteristic function $R(\Delta x)$ of random noise as a function of spacing Δx , in a form $R(\Delta x) = \sqrt{M} + (M - \sqrt{M})e^{-k\Delta x^2}$, (M is number of geophone.), experimental formula, $R(\Delta x) = 3 + 6e^{-2.7\Delta x^2}$, was obtained for nine geophone settings as shown in Fig. 36 (p. 59).

Preliminary experiments on the reciprocity between group geophone setting and pattern shooting were performed.

1. 緒 言

秋田県申川南方地域における深部物理探査研究として地震探査法を実施中、たまたま、S. P. 7 (爆発孔番号 7) の爆発により非常に顕著な wave noise がみられた。この記録を第 1 図に示す。反射法を実施する場合、このような顕著な wave noise は反射波の検出には非常な妨げとなる。この妨害波の消去に受振器の群設置法や多孔爆発法が有効であることは多くの研究によって明らかにされている。

群設置法および多孔爆発法の理論および実験についてすでに筆者の一人金子 (1959) が研究を発表しているが、ここでは彼の理論を実際に応用し、妨害波の消去および反射波の検出に関する実験を行なった。前記のように S. P. 7 における顕著な wave noise (金子は B 型の妨害波と呼んでいる) が発生する地点は、この種の実験を行なうには好適の所と考えて実施した次第である。

具体的な実験目的としては次のような事項について調

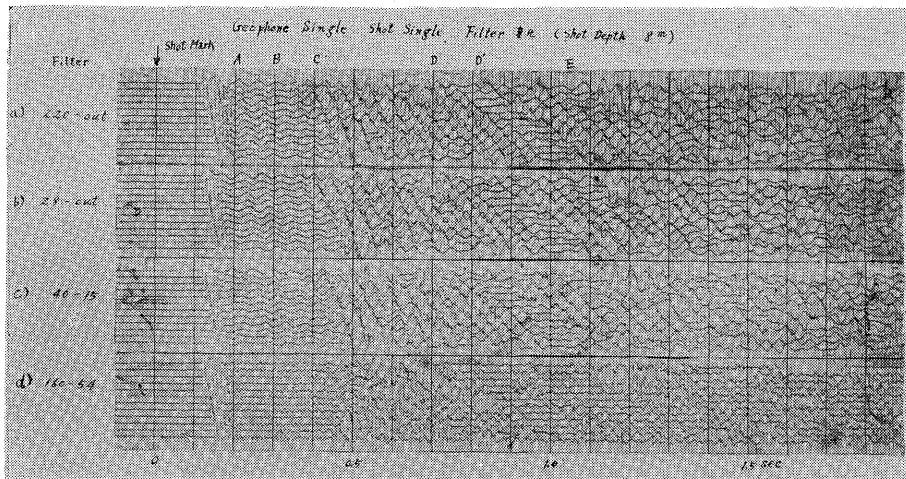
べることにした。

- 1) wave noise を消去するため群設置や多孔爆発をどのように設計したらよいか。
- 2) このためには、sampling filter として計算される特性図がどの程度まで応用できるものか。
- 3) 群設置と多孔爆発の間に相反性 (Reciprocity) が成立つか否か。
- 4) 群設置と多孔爆発を併用した場合の効果。

実験地は秋田県北秋田郡琴浜村鶴ノ木付近で平坦な台地上にある。なおこの S. P. 7 付近では L-spread, 遅延爆発等の実験も行なわれ、また石油資源開発 K.K. の調査班により“申川南方地域”として地震探査が実施された地域に含まれる。

なお、この実験には筆者らのほかに南雲昭三郎・川島威・鎌田清吉・古谷重政・本荘静光も参加し、筆者ら 2 人がこの実験報告の取りまとめを担当することになったものである。

実験を実施するに当たり、爆発孔の作孔など種々便宜を



第 1 図 受振器 1 個、爆発孔 1 孔、深度 8 m の記録

群設置法と多孔爆発法による妨害波消去の実験 (金子徹一・平沢 清)

与えられた石油資源開発 K.K. の地震探鉱班 (班長阿部技師) の方々に、特に直接作孔に当られた作孔班 (責任者三宮技師)・給水班の方々に厚く御礼申上げる。また観測器械 FR-1 の使用については電力中央技術研究所増田秀夫氏ほかの人々、および第 4 章の wave noise 消去の数量的表現に関する実験については、石油資源開発 K.K. 吉祥寺研究所佐々木恒郎室長その他の方に御協力を賜った。ここに謝意を表する次第である。

2. 実験内容および実験方法

2.1 実験内容

群設置法の実験

群設置の受振器の個数は 3 コ、6 コ、9 コの 3 種について実験した。これは既存の受振器および電線を用いて実験できる範囲という条件により上記 3 種に限定したものである。因にわれわれの調査に並行して行なわれた石油資源開発 K.K. の調査班では 24 コ、36 コなどの群設置法も使用されていた。

群設置における受振器の設置間隔 (以下 Δx と書く) について記せば 9 コ群設置については Δx の変化によって wave noise の消去を詳しく追跡するために、 $\Delta x=0.25$ m から序々に Δx をあげ 0.50 m, 0.75 m, 1.0 m,

1.5 m, 2.0 m, 3.0 m, 4.0 m, 5.0 m の 9 種について実験した。

6 コ群設置については $\Delta x=2.0$ m, 3.0 m, 5.0 m の 3 種、3 コ群設置については $\Delta x=2.5$ m, 5.0 m, 9.0 m, の 3 種である。なお、受振器の配列は全部直線形等間隔とした。

多孔爆発法の実験

多孔爆発法の実験では爆発孔の掘さくその他の関係から群設置法ほど多種の実験を行なうことができなかったが、下記の 5 種について行なうことができた。

- 3 孔 2.5 m 間隔および 5 m 間隔
 - 4 孔 2.5 m 間隔および 5 m 間隔
 - 7 孔 2.5 m 間隔
- 爆発孔の配置は第 2 図の通りである。

この実験の際には 1 回の爆発から同時に single spread と 9 コ、 $\Delta x=2.5$ m の群設置の spread を観測し、多孔爆発のみの効果と多孔爆発と群設置の両法併用の効果などを比較する資料とした。

2.2 実験方法

野外における実験の組目は観測作業一覧表として第 1 表に示した。

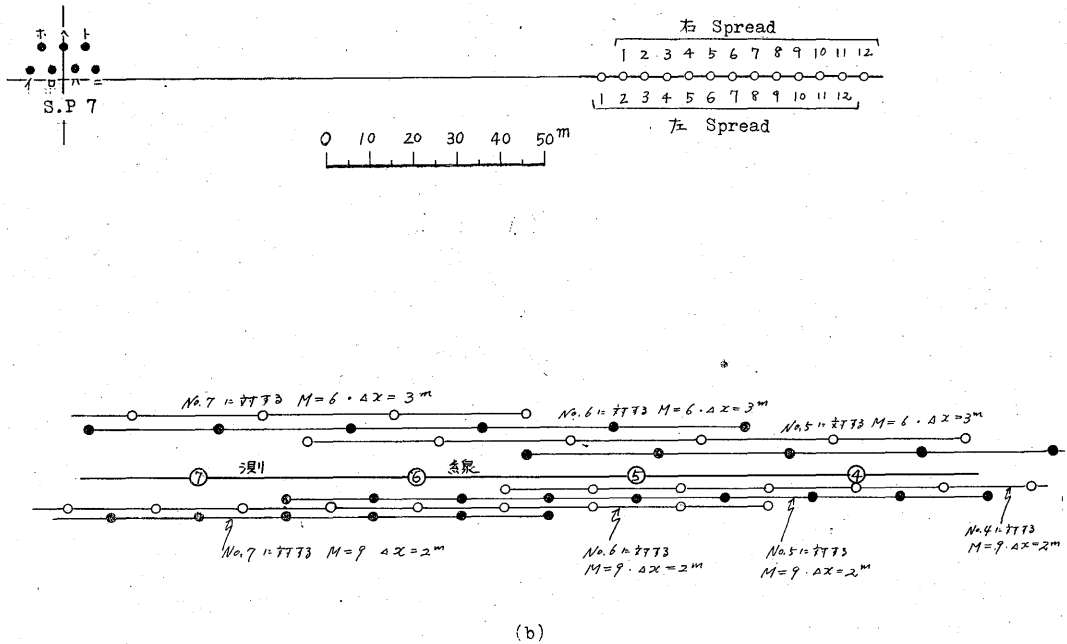
使用器械

受振器は日本電気 K.K. 製の受振器を 240 個用いた。

第 1 表 観 測 作 業 一 覧 表

観測の順序	目 的	爆 発 条 件			右 Spread			左 Spread		
		N (個)	Δy (m)	使用爆発孔	M (個)	Δx (m)	附 図 番 号	M (個)	Δx (m)	附 図 番 号
1	9 コ群設置の実験 $M=$ 一定 $\Delta x=$ 変化	S	—	イ	S	—	Fig. 4	9	0.25	a
2		S	—	イ	9	0.50	b	9	0.75	c
3		S	—	イ	9	1.00	d	9	1.50	e
5		S	—	イ	9	2.00	f	9	3.00	g
4		S	—	イ	9	4.00	h	9	5.00	i
6	3 コ・6 コ群設置	S	—	イ	3	2.50	a	6	2.00	a
7		S	—	イ	3	5.00	b	6	3.00	b
8		S	—	ハ	3	9.00	c	6	5.00	c
9	多孔爆発の実験	S	—	ニ	S	—	a	9	2.50	a
11		3	2.5	ハニト	S	—	b	9	2.50	b
10		3	5	ロハニ	S	—	c	9	2.50	c
14		4	2.5	イロハニ	S	—	d	9	2.50	d
12		4	5	イロハニ	S	—	e	9	2.50	e
13		7	2.5	イロハニホヘト	S	—	f	9	2.50	f

Δx : 受振器間隔
 Δy : 爆発孔間隔
 M : 群設置に使用された受振器の個数
 N : 多孔爆発に使用された孔数
 S : single の略



第 2 図 (a) 測線図 (b) 受振器の設置法

この受振器の固有周期は 25 cps である。

観測器械は電力中央技術研究所所有の Electro-Technical Lab. 製 FR-1 地震探鉱装置一式を使用した。本器は 24 成分で磁気録音式であるので、後日実験室内にて filter その他測定条件を種々に変化させて多種の記録を再生し得るので、この種の実験を行なうにはきわめて便利である。

実験 Spread の配置 (第 2 図 (a) 参照)

実験 Spread は S.P. 7 より約 100~150 m 距てた直線上に測点間隔 5 m で第 2 図 (a) のように配置した。観測器械は 24 成分であるが、1 回の爆発により 2 種の実験記録を得るため、spread としては同一測点に平行に 2 つの spread をとり、12 測点ずつの spread とした。爆発点に向かってそれぞれ左 spread, 右 spread と仮称しておく。

なお、実験現場は標高約 30 m の台地上であり、spread は平坦な畑の中にとった。

群設置における受振器の配列

各測点における受振器群の配列は、測点の位置を原点とし、原点から測線に平行に前後対称に位置するように配列した。

また、各測点に関する受振器群全部を測線と同一線上に配置することは、受振器や電線が幅狭して間違えおそれがあるので、各受振器群はそれぞれの測点から若干ずつ平行に移動させた。第 2 図 (b) に受振器の配列方法を

例をもって示した。

爆発孔疲労度の点検

この種の実験では各爆発ごとにできる限り同一条件で爆発が行なわれることが望ましい。しかし、爆発孔の崩壊、疲労等のため全く同一の条件で何回も爆発を行なうことは難しい。今回の実験では第 1 表にも示すように使用爆発孔、爆発深度などはほぼ一定条件で行なうことができた。すなわち群設置法の実験では最終回の $M=3$, $\Delta x=9.0$ m と $M=6$, $\Delta x=5.0$ m の観測の際のみ八孔を使用し、他は全部イ孔で深度も 30 m で一定に保ち得た。多孔爆発法の実験においても二孔を基準孔として各回の爆発に使用し得た。

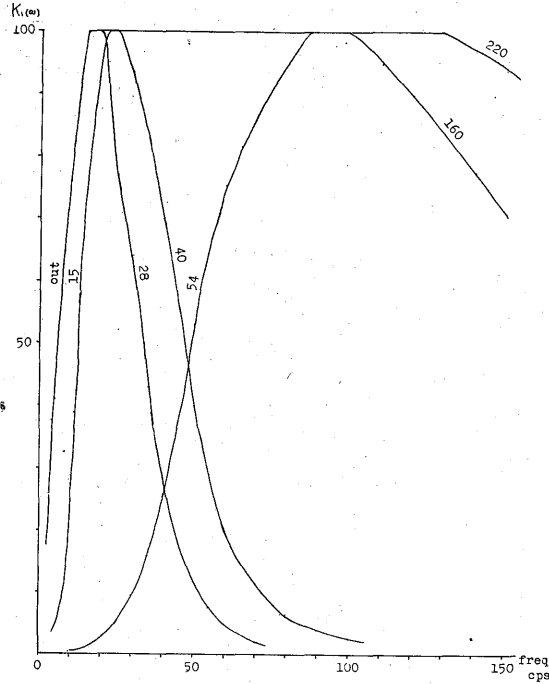
しかしながら、同一爆発孔における数回の爆発により多少ずつ火薬埋没深度の周辺地層に物理的变化が起こり各回の爆発効果は全く同一ではあり得ない。この変化を爆発孔の疲労と称しているが、その変化は一般にはそう激しいものではない。しかしながら、時とすると数回の爆発後に急激に大きな変化を起こすこともあるので、今回の実験中、常に右 spread では trace 12 を左 spread では trace 1 を疲労の check に用いて常に受振器を single で設置した。記録写真中 S と附したものは、このための single trace であるから群設置の実験対象にはならない。

なお、この疲労点検の結果では位相によって振幅、走時に若干の相違が見られるが、概略においてほとんど差

異なく、特定の場合を除いて実験結果の検討には一々考慮する必要はないようである。

2.3 記録の再生

この実験記録は次の4種の filter を用いて再生した。すなわち、9コ群設置の記録は、(220-out), (28-out), (40-15), (160-54) の4種の filter で、6コの群設置、3コの群設置、多孔爆発の記録は (28-out), (40-15) の2種の filter でそれぞれ再生した。これらの filter, すな



第3図 FR-1 の filter 特性 ($K_1(\omega)-\infty$ 特性)

わち FR-1, filter 特性図を第3図に示す。

filter (220-out) は FR-1, filter 中最も広帯域で、 $K_1(\omega)=1/\sqrt{2} \approx 70\%$ で cut off 周波数とすると 8—220 cps で、大部分の noise も signal も通過させる filter である。しかし、この filter を用いると実際には波形が複雑になり波形や振幅を検討するにはあまり適当でない。

filter (28-out) は最も低周波の filter で 8—30 cps の pass band を持っている。一般にこの地域での反射 signal は 50 cps 前後であり、表面波などの wave noise は 20—30 cps の周波数であるので、この filter では signal は消され、wave noise は強調される。

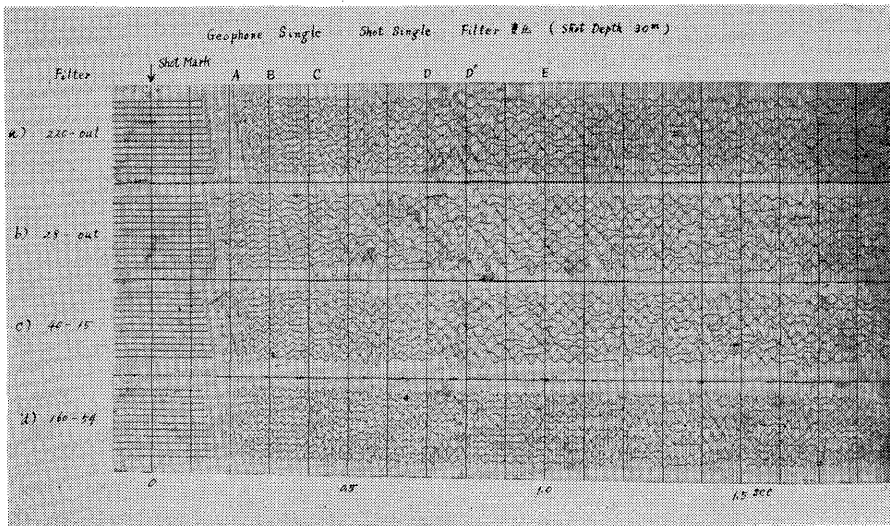
filter (40-15) は上記 filter (28-out) よりももう少し高周波部分も pass させて signal も同時に検出しようとする目的で用いた。結果的には wave noise に対しては filter (28-out) とあまり変わらず、反射 signal の検出に最適の filter としてはもう少し高帯域まで通過させるものを用いる必要があったようである。

filter (160-54) は最も高帯域の filter であるので低帯域 filter と比較のため用いたが、後に記録でも示されるように、あまり低域除去が強すぎて実験結果を検討するには役立たなかった。

3. 記録検討の予備作業

3.1 wave noise の速度および卓越周波数の決定

wave noise を消去する1つの方法は消去しようとする wave noise の見掛けの速度および卓越周波数を読みとり、それを基にして受振器の個数 M や間隔 $4x$ を適当に設計する方法である。この実験では単一爆発孔で受振器1コ、filter (28-out) の記録 (第4図に示す) か



第4図 受振器1個、爆発孔1孔、深度30mの記録

第2表 Wave noise 一覽表

Wave noise 名称	見掛けの速度 (m/sec)	卓越周波数 (cps)	位相の連続数 (列)	到達時間範囲 (sec)	備考
A - Noise	1,850	40	5	0.20 ~ 0.28	} 多孔爆発の記録でもっと到達時間が早くなる
B - Noise	1,500	30	3	0.30 ~ 0.36	
C - Noise	650	30	3	0.42 ~ 0.53	
D - Noise	345	25	4	0.69 ~ 0.88	
D' - Noise	345	25	3	0.80 ~ 0.95	
E - Noise	280	25	2	1.02 ~ 1.20	

ら、これらの値を決定した。すなわち第4図の記録から wave noise として認められるすべての phase を読み取って第5図に示すような走時図を作成した。この走時図から、この実験で問題とすべき wave noise を第2表のように定めた。この際、A-noise が wave noise であるか否かについては多少疑問があるが、ここでは一応 wave noise として取り扱うことにした。

第5図からもわかるように、A-noise、B-noise の見掛けの速度がかなり大きい値を示している。また特に

B-noise については、位相が途中で段違いになっており速度値として決定しにくい点もあるが、一応第5図のような値をとることにした。実際には、この程度の速い速度のものでは、値が多少変動しても後に示される filter 特性のうえにはそれほど影響はないので、あまり神経質になることはないようである註1)。

第2表に示した各 wave noise 中、D-noise が最も顕著に現われている。

3.2 特性曲線の作成

同じ出力の受振器や爆発孔を等間隔、直線状に並べた場合の特性曲線 $K_2(\omega)$ 、 $K_3(\omega)$ を求める式は、すでに金子の論文にも述べられているので、ここに同論文より引用することにする。

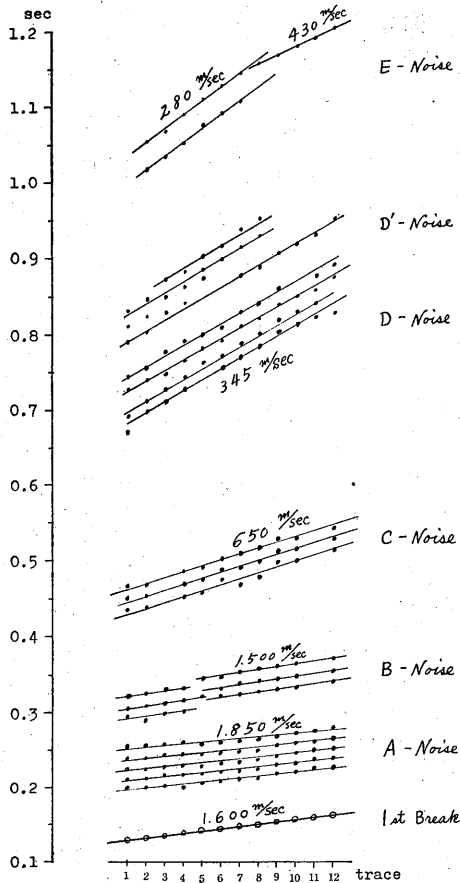
$$|K_2(\omega)| = \frac{\sin\left(\pi f M \frac{\Delta x}{V_{ap}}\right)}{M \sin\left(\pi f \frac{\Delta x}{V_{ap}}\right)} \quad (1)$$

$$|K_3(\omega)| = \frac{\sin\left(\pi f N \frac{\Delta y}{V_{ap}}\right)}{N \sin\left(\pi f \frac{\Delta y}{V_{ap}}\right)} \quad (2)$$

- ここに $K_2(\omega)$ —群設置の filter 特性
- $K_3(\omega)$ —多孔爆発の filter 特性
- M —受振器の個数
- N —多孔爆発の孔数
- f —wave noise の周波数
- Δx —受振器設置間隔
- Δy —爆発孔間隔
- V_{ap} —見掛けの速度

次に、この実験の記録を検討するうえで必要な特性曲線の作成について述べる。

註1) この地域に現われている wave noise について、それがどのような性質のものであるかは明らかでない。おそらくは速度の速いものは1種の屈折波かもしれないし、遅い速度のものはある種の表面波であろう。これらの波の性質をさらに詳しく調べることは興味深い問題であるが、ここでは触れないことにする。



第5図 第4図の記録から作られた走時図

爆発孔1孔で受振器1コのいわゆる single の場合には第3図に示した FR-1 の filter 特性 $K_1(\omega)$ だけが filter として作用する。

群設置の場合は $K_2(\omega)$ として

$M=9$ については $\Delta x=0.25$ m, 0.5 m, 0.75 m, 1.0 m, 1.5 m, 2.0 m, 3.0 m, 4.0 m, 5.0 m

$M=6$ については $\Delta x=2.0$ m, 3.0 m, 5.0 m

$M=3$ については $\Delta x=2.5$ m, 5.0 m, 9.0 m

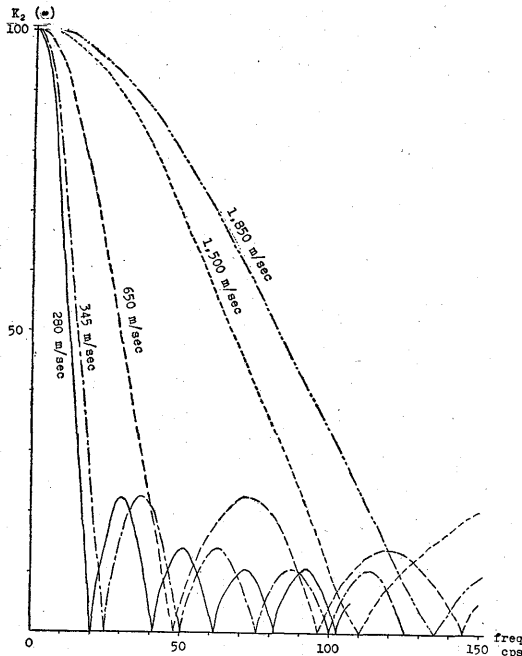
また多孔爆発の場合は $K_3(\omega)$ として

$N=7$ については $\Delta y=2.5$ m

$N=4$ については $\Delta y=2.5$ m, 5.0 m

$N=3$ については $\Delta y=2.5$ m, 5.0 m

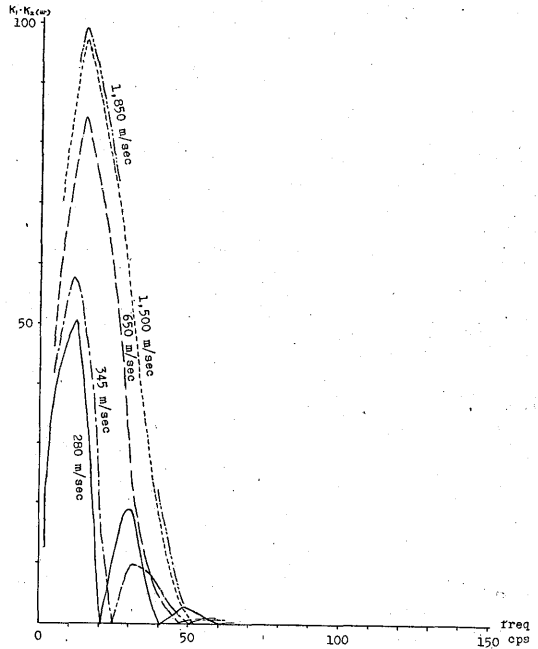
以上重複するものを除けば、 $K_2(\omega)$ 、 $K_3(\omega)$ としては 19 種類が計算される。その一例として $M=9$ 、 $\Delta x=1.5$ m の場合の $K_2(\omega)$ -freq. 特性曲線を第6図に示す。しかしながら記録は全部電氣的 filter を通して再生したものであるので、これらはそのままでは記録と対応しないことはいうまでもない。後に述べる各種の特性曲線作成の資料と考えられるものである。



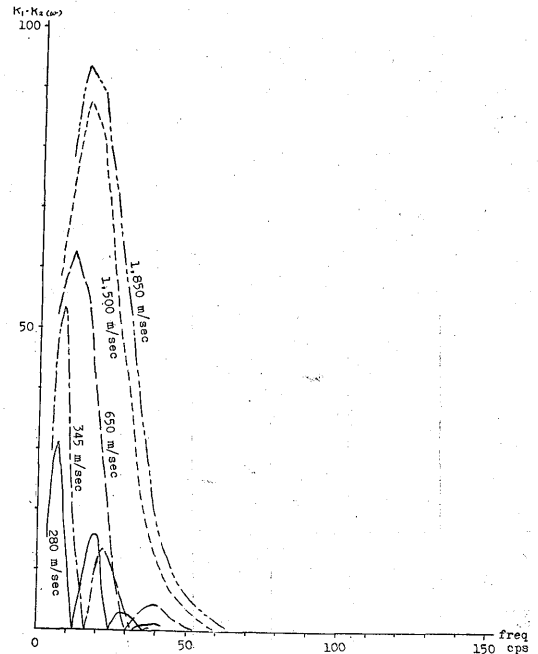
第6図 受振器個数 $M=9$ 、受振器間隔 $\Delta x=1.5$ m 群設置の $K_2(\omega)$ -freq. 特性曲線

群設置または多孔爆発が単独で用いられる場合の記録に対応する特性曲線は、 $K_1(\omega) \times K_2(\omega)$ あるいは $K_1(\omega) \times K_3(\omega)$ で表わされるものである。したがって第3図に示す (220-out), (28-out), (40-15), (160-54) の特性

曲線と上記の19種の特性曲線の組合せによって作成することができる。その一例として第6図に示した群設置 ($M=9$ 、 $\Delta x=1.5$ m) の $K_2(\omega)$ に第3図の filter (28-out) の $K_1(\omega)$ を乗じて作られた $K_1(\omega) \times K_2(\omega)$ の特性曲線を第7図に示しておく。



第7図 群設置 ($M=9$ 、 $\Delta x=1.5$ m) \times filter (28-out) の $K_1(\omega) \cdot K_2(\omega)$ -freq. 特性曲線



第8図 群設置 ($M=9$ 、 $\Delta x=1.5$ m) \times filter (28-out) \times 多孔爆発 ($N=3$ 、 $\Delta y=2.5$ m) の $K_1(\omega) \cdot K_2(\omega) \cdot K_3(\omega)$ -freq. 特性曲線

同じような操作により群設置と多孔爆発を組合せて行なった場合の特性曲線も作成される。その例として $K_1(\omega) \times K_2(\omega) \times K_3(\omega)$; (28-out) \times ($M=9, \Delta x=2.5\text{ m}$) \times ($N=3, \Delta y=2.5\text{ m}$) の特性曲線を第8図に掲げておく。

群設置および多孔爆発の表わす filter 特性を見るうえには、上記の $K(\omega)$ -freq. 曲線を作成することがよいが、次にのべる観測記録と対比して考えるには $K(\omega)-\Delta x$, あるいは $K(\omega)-\Delta y$ の特性曲線を作っておくことが便利である。というのは観測記録は $\Delta x, \Delta y$ を変化させて wave noise の消長を調べているからである。もちろんこの特性図は上記の $K(\omega)$ -freq. の組から作成してもよいし、あるいは (1), (2) 式から作ってもよい。

3.3 wave noise の明瞭度の表示

実験記録の検討に当たり、各 noise の消去の程度を表わすのに、それぞれの振幅、あるいは振幅の2乗平均(電力)を測定することが最も望ましいことであるが、この作業は実際には困難であるので、反射波の grade の概念を利用して各 noise の明瞭度を次のように記号によって表わすことにした。

記号およびそれに該当する範囲は次のようである。

- VG —非常に顕著なもの
- G —誰がみても明らかに見られる程度の振幅と phase の連続をもったもの
- F —phase は追えるが振幅は小さいもの
- P —phase は追えないが確認できる程度のもの
- D —それらしきものが見られるという程度のもの
- N —完全に消去されているもの

以上の区別はある程度主観的であり、また noise の格付けは筆者らの肉眼による判定であるので、多数の記録について、いくらか点の甘いもの、辛いものもあると思われる。判定の結果は各章で一覧表にして示されている

が、この点を考慮に入れて参照していただきたい。

3.4 爆発孔1孔で受振器1コの記録について 爆発孔深度による記録の変化

第4図は1章にあげた第1図と同様の爆発孔1孔で受振器1コの記録であるが、爆発深度のみが異なる。すなわち、第1図の方は深度8m、第4図は深度30mである。両図を一見して明らかなことは filter (160-54) のものを除き、いずれの filter による記録でも第1図の方が wave noise が顕著である。

爆発深度のみで wave noise の発生にこのような著しい差異がみられるのは、1つには地表付近の地質条件——弾性的条件——によるものと考えられるが、このことは実験の主題から遠ざかるので、これ以上立入らないことにする。

この実験を進めるうえでは noise の発生のより著しい8m 付近の爆発深度によって行なうことが望ましいのである。しかし、この深度で爆発すると、1回ごとに孔が崩壊して同一条件で幾回も爆発させることが不可能なので、爆発条件をできる限り一定に保つため、実験は30m の爆発深度を使用した。

なお参考のため、各 noise の爆発深度による差異について、第3表に爆発孔1孔、受振器1コの場合の爆発深度の変化に対する wave noise の明瞭度を一覧表として示した。

A-noise, B-noise は概して爆発深度の深い方が noise は顕著であり、C-noise は8m の記録では著しいが30m の記録ではほとんど見られない。D-noise, D'-noise, E-noise は両者ともに見られるが8m のものの方がすべて顕著である。

filter による記録の変化

第1図と第4図について filter による記録の変化につ

第3表 爆発孔1孔、受振器1コの場合、爆発深度による Wave noise の変化

	Noise 名 → Filter	A		B		C		D		D'		E	
		$K_1(\omega)$ (%)	Record	$K_1(\omega)$ (%)	Record	$K_1(\omega)$ (%)	Record	$K_1(\omega)$ (%)	Record	$K_1(\omega)$ (%)	Record	$K_1(\omega)$ (%)	Record
Fig. 1 深度 8m	220-out	100	N	100	N	100	VG	100	VG	100	VG	100	G
	28-out	28	N	64	D	63	VG	77	VG	77	VG	74	G
	40-15	70	N	94	D	94	VG	100	VG	100	VG	100	G
	160-54	26	D	10	N	10	N	5	D	5	D	5	D
Fig. 4 深度 30m	220-out	100	不明	100	P	100	D	100	G	100	G	100	F
	28-out	28	F	64	P	63	D	77	VG	77	G	74	F
	40-15	70	G	94	N	94	N	100	P	100	F	100	F
	160-54	26	不明	10	N	10	N	5	N	5	N	5	N

$K_1(\omega)$ は FR-1 の Filter 特性

群設置法と多孔爆発法による妨害波消去の実験 (金子徹一・平沢 清)

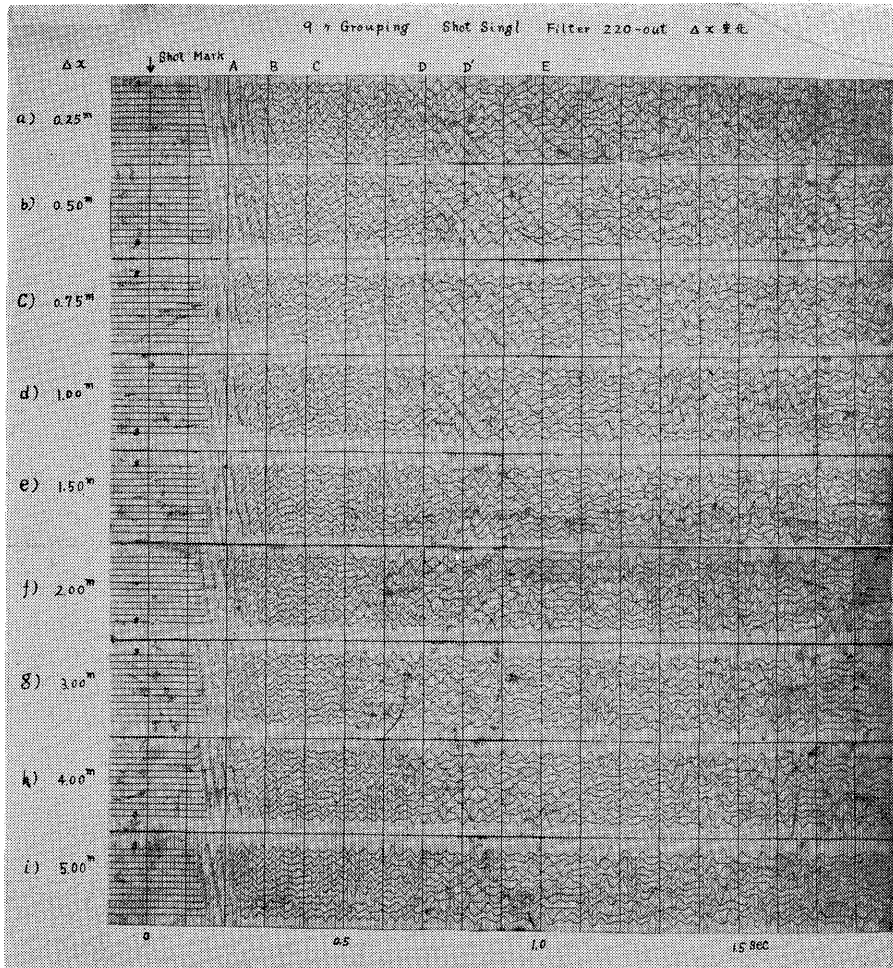
いて調べておく。第3図の FR-1, filter 特性から noise の周波数に対応する $K_1(\omega)$ の値を読み取って第3表に示したが、この $K_1(\omega)$ と記録とを比較すると次のようである。

(1) A-noise: 第1図では見られない。第4図でも filter (28-out), (160-54) の記録は初動後の騒乱のため比較できない。filter (28-out), (40-15) では $K_1(\omega)$ の値が 28, 70%に対して grade F, G と対応している。

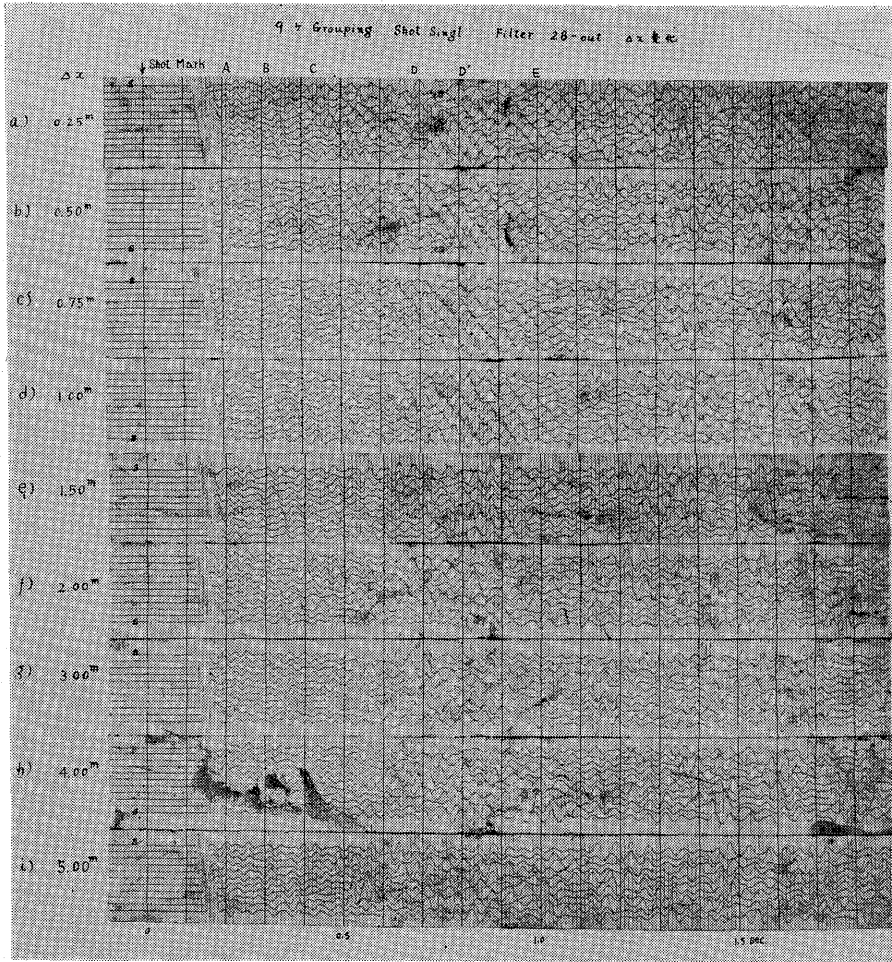
第4表 反射 Signal 一覧表

Signal の番号	到達時間 (sec)	関係している Wave noise	反射波の良否	備 考
L - 1	0.45	C-Noise	Doubt	初動と逆向きの Step up
L - 2	0.50	"	Poor	
L - 3	0.55	"	Fair	
L - 4	0.69	D-Noise	Poor	
L - 5	0.78	D-Noise D'-Noise	Fair	6 コ群設置のもののみ 1.24 sec 付近に検出
L - 6	0.90	D'-Noise	Good	
L - 7	1.12	E-Noise	Good	
L - 8	1.42	Wave noise 無し	Good	

ただし、到達時間および反射波の良否は Fig. 32 から決定したものであり、他の記録ではそれぞれ多少異なる。



第9図 M=9の群設置および filter (220-out) の記録



第10図 M=9の群設置およびfilter (28-out) の記録

(2) B-noise, C-noise: 振幅が小さくて詳細な比較はできないが, C-noise について第1図をみれば一応振幅と $K_1(\omega)$ の値とは一致しているようである。

(3) D-noise, D'-noise, E-noise: 第1図, 第4図ともに a), b), c), の3枚の記録に顕著に見られ d) の記録ではほとんど見られず, 巨視的には $K_1(\omega)$ と振幅はよく一致している。

3.5 反射 signal の検出

この実験は群設置および多孔爆発による wave noise の除去に関することを主目的としているが, 終局の目的は1章に述べたように wave noise その他の妨害波を除去して反射 signal を検出することにある。今回の実験記録にも wave noise が除去されて反射 signal が明瞭に検出された例が多数あるので, 反射 signal の最もよく表われている群設置と多孔爆発併用の filter (40-15) の記録 (第32図) から第4表のように反射波を検出し,

これに基づいて各章に反射波検出の良否を述べることにする。

1.5 sec 以後の signal は wave noise と関係がないので省略する。

4. 9コ群設置の実験

4.1 特性曲線

9コ群設置の記録は (220-out), (28-out), (40-15), (160-54) の4種の filter を用いて再生した。第9~12図にそれぞれの記録を示す。

まず 3.2 に述べた $K_1(\omega) \cdot K_2(\omega) - \Delta x$ 特性曲線について理論的に予想される事柄を検討してみる。9コ群設置の $K_1(\omega) \cdot K_2(\omega) - \Delta x$ 特性曲線を第13~16図に示す。第13図は filter (220-out) に, 第14図は filter (28-out) 第15図は filter (40-15), 第16図は filter (160-54) に対応する特性曲線である。また, それぞれは第9~12図の

記録に対応する。

(1) Δx の変化による $K_1(\omega) \cdot K_2(\omega)$ の値の変化は filter (220-out) を用いた場合が最も大で, (40-15), (28-out) の順に小さくなり, filter (160-54) の場合は, Δx の変化による $K_1(\omega) \cdot K_2(\omega)$ の変化はほとんどなく, 理論的には A-noise を除き, Δx をどのようにとっても記録上には noise はほとんど消去されていることになる。

(2) 理論的には各 wave noise が完全に消去され $K_1(\omega) \cdot K_2(\omega) = 0$ になる Δx の値は A-noise: $\Delta x = 5$ m, C-noise: $\Delta x = 2.5$ m, および D-noise: $\Delta x = 1.5$ m および 3 m, E-noise では $\Delta x = 2.5$ m となる。いうまでもなく filter に関係なくこの値は一定である。

(3) Δx の値が小さい場合には理論的には群設置の記録は single のそれとあまり変わらないはずである。

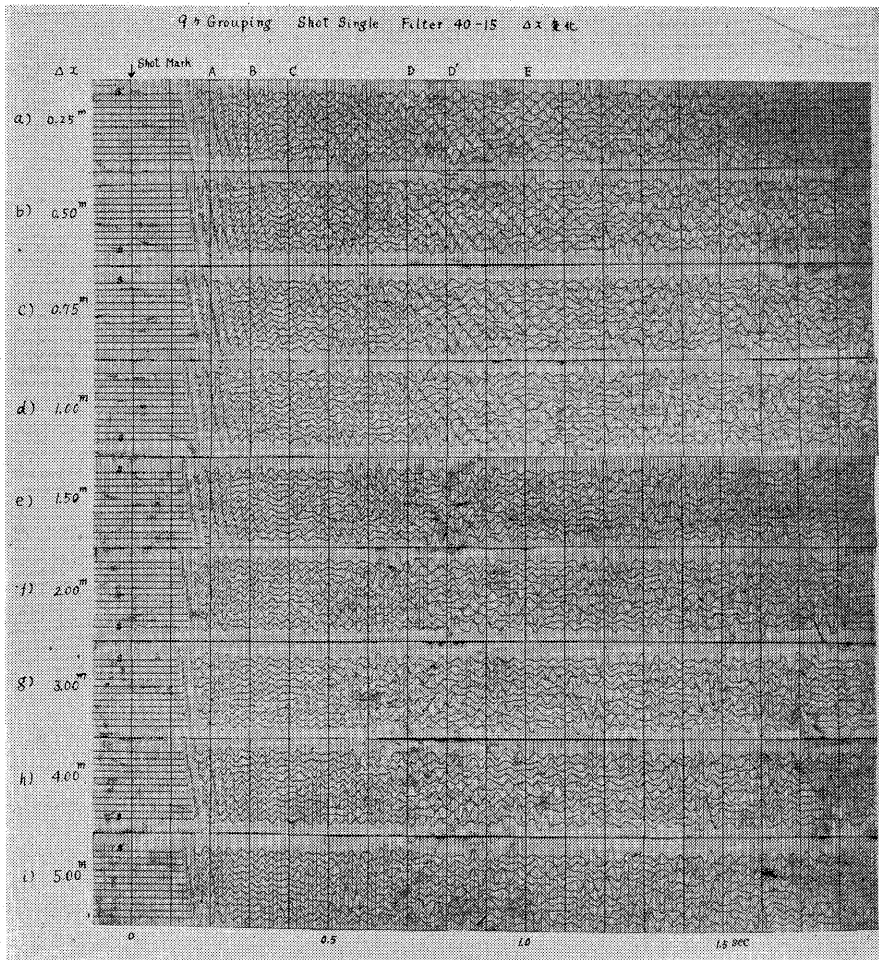
特に見掛けの速度の大きい wave noise については Δx の値がかなり大きくなっても変わらないことが期待される。

4.2 記録との対比

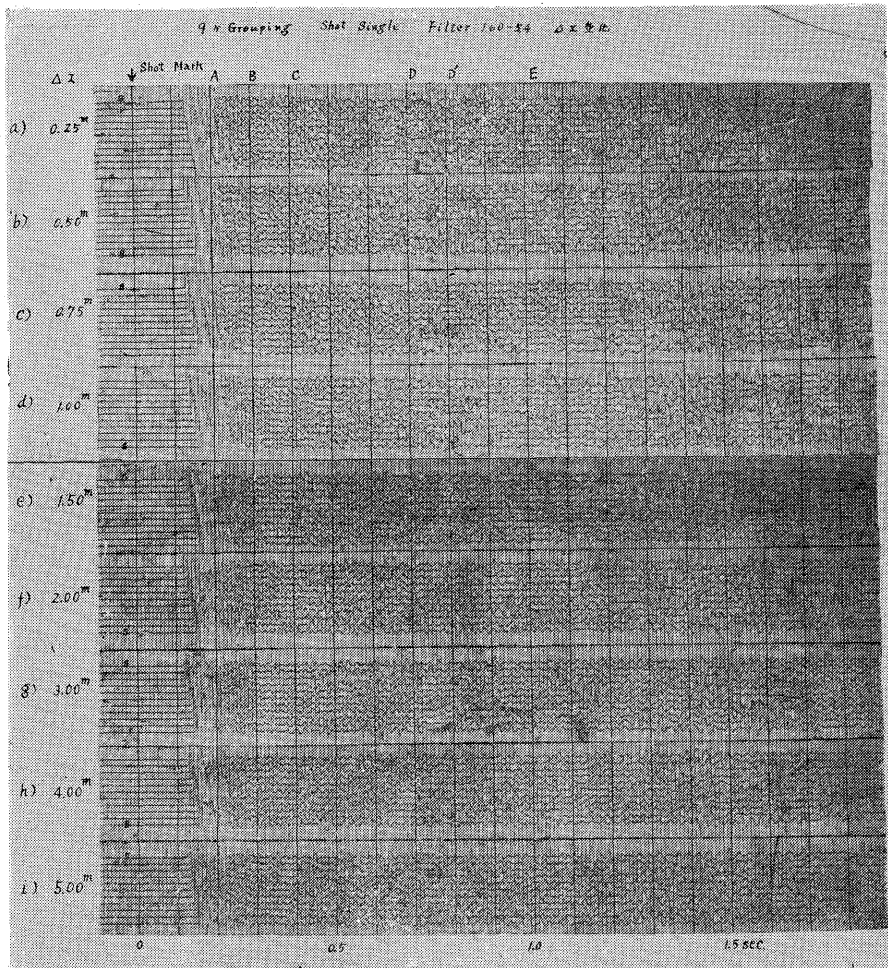
第5表に9コ群設置の場合の $K_1(\omega) \cdot K_2(\omega)$ の値と記録における wave noise の明瞭度とを一覧表にして示す。

4種の filter の記録を概観して共通に見られる顕著なことから

(1) D-noise が $\Delta x = 0.25$ m, 0.50 m, 0.75 m, 1.00 m の記録では著しくみられるのに, $\Delta x = 1.5$ m の記録ではほぼ完全に消去され, さらに Δx が大きくなってもほとんど見られない。したがって, D-noise に関しては wave noise の消去の点では特性曲線からの推論ときわめてよく一致している。



第11図 M=9の群設置および filter (40-15) の記録



第12図 M=9の群設置および filter (160-54) の記録

(2) E-noise についてみると、 $\Delta x=0.25$ m および 0.50 m では比較的明確であるが、 $\Delta x=0.75$ m では非常に微弱となり、 $\Delta x=1$ m 以上ではほとんど認められない。こゝでは noise の振幅と $K_1(\omega) \cdot K_2(\omega)$ との関連性が明らかである。

(3) A-noise では Δx の増大とともに次第に減衰し、 $\Delta x=5.0$ m で消滅するはずであるが、記録上では filter (220-out) および (40-15) の場合、振幅はいくらか小さくなっている事實はみられるが、 $\Delta x=5$ m で消滅せず、これは特性曲線からの期待に反している。しかし filter (28-out) については $\Delta x=3.0$ m 以上になるとほぼ消えたように見える。

(4) B-noise および C-noise については noise のエネルギーが小さいので、single の記録でも振幅が小さいが、 Δx の増大とともに減少して一応特性曲線とは一

致している。

以下 filter 別に記録を検討してみる。

filter ごとの記録の検討

(1) filter (220-out) の記録

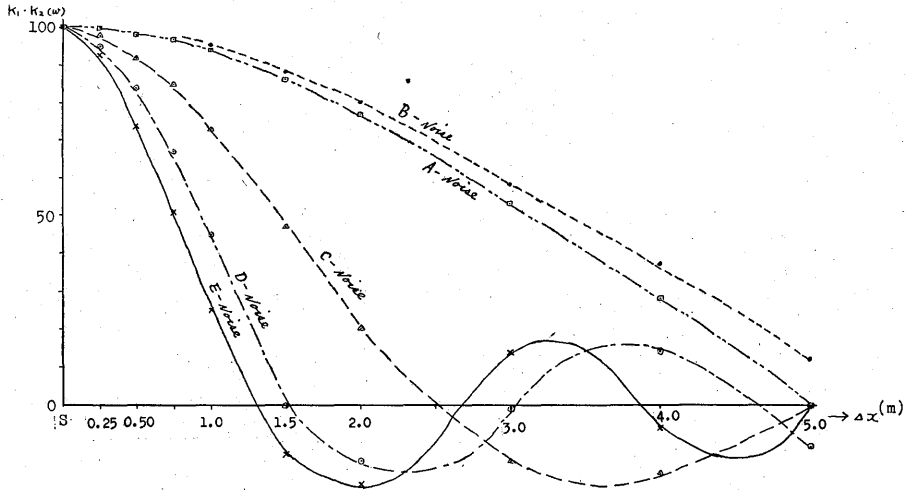
A-noise: Δx の増大とともにわずかに振幅は減少しているが、全体に振幅がきわめて大きい。 $\Delta x=5$ m でも著しく消去されない。

B-noise: $\Delta x=0.25 \sim 1.5$ m まで認められ、 $K_1(\omega) \cdot K_2(\omega)=80\%$ となる。 2.0 m 以上では認められない。

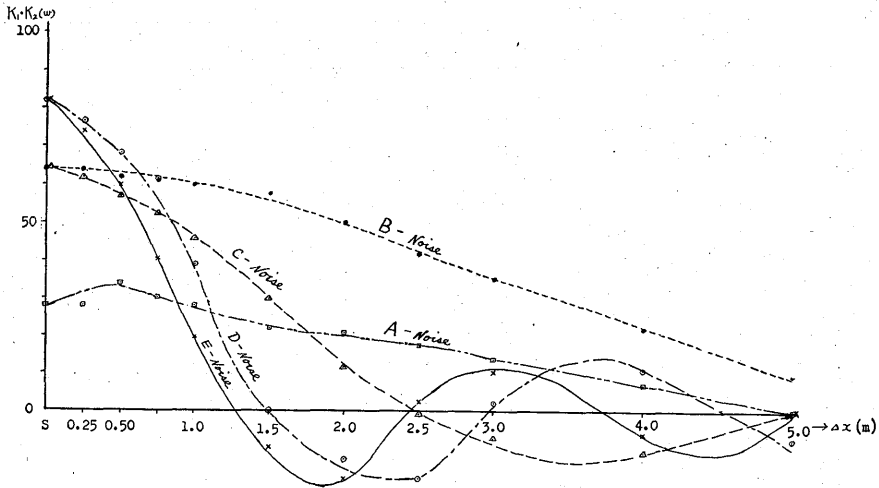
C-noise: $\Delta x=0.25 \sim 0.75$ m でわずかに認められる程度である。

D-noise: $\Delta x=0.25 \sim 1.00$ m では顕著に認められる。 $\Delta x=1.0$ m では $K_1(\omega) \cdot K_2(\omega)=45$ で約 $\frac{1}{2}$ であるが、振幅にはそれほど著しい変化は見られないが、 Δx の増大とともに漸減の傾向は認められる。 $\Delta x=1.5$ m で消

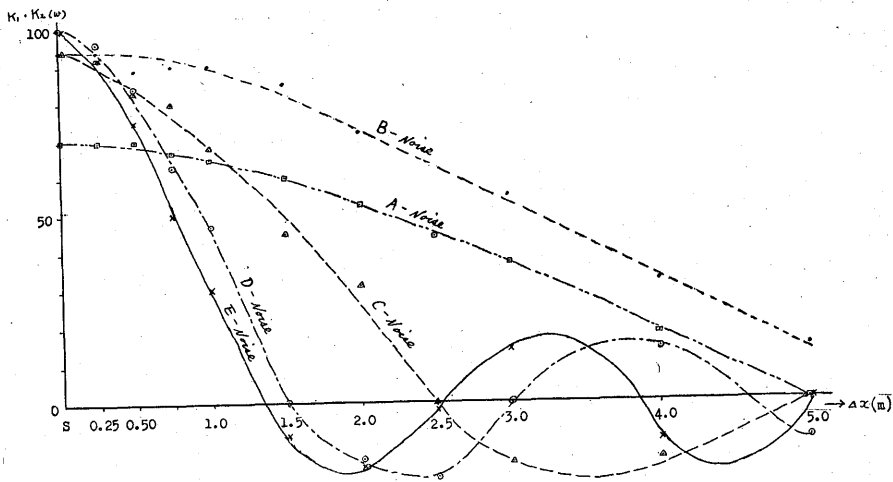
群設置法と多孔爆発法による妨害波消去の実験 (金子徹一・平沢 清)



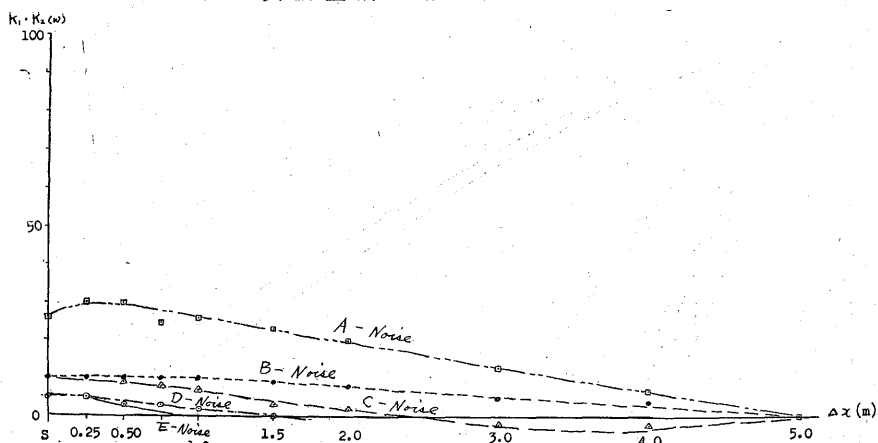
第 13 図 $M=9$ の群設置の $K_1(\omega) \cdot K_2(\omega) - \Delta x$ 特性曲線, filter (220-out); 第 9 図の記録に対応する



第 14 図 $M=9$ の群設置の $K_1(\omega) \cdot K_2(\omega) - \Delta x$ 特性曲線, filter (23-out); 第 9 図の記録に対応する



第 15 図 $M=9$ の群設置の $K_1(\omega) \cdot K_2(\omega) - \Delta x$ 特性曲線 filter (40-15); 第 9 図の記録に対応する



第 16 図 $M=9$ の群設置の $K_1(\omega) \cdot K_2(\omega) - \Delta x$ 特性曲線, filter (160-54); 第 9 図の記録に対応する

第 5 表 9 コ 群 設 置

	Δx (m)	A		B		C		D		D'		E	
		$K_1 \cdot K_2$ (%)	Record	$K_1 \cdot K_2$ (%)	Record	$K_1 \cdot K_2$ (%)	Record	$K_1 \cdot K_2$ (%)	Record	$K_1 \cdot K_2$ (%)	Record	$K_1 \cdot K_2$ (%)	Record
220-out	0.25	100		F	100	98	D	95	G	Dに同じ	G	93	G
	0.50	98	初動後の騒乱のため不明	G	98	92	D	84	VG		VG	84	F
	0.75	97		G	97	85	D	67	VG		G	51	D
	1.0	94		G	95	73	N	45	G		G	25	N
	1.5	86		G	88	47	N	0	N		N	13	N
	2.0	77		F	80	20	N	15	N		N	21	N
	3.0	53		P	58	15	N	1	N		N	14	N
	4.0	28		F	37	18	N	14	D		N	6	N
5.0	0	P		12	0	N	11	N	N	0	N		
28-out	0.25	28	G	64	F	62	G	76	VG	Dに同じ	G	74	F
	0.50	34	G	62	F	57	G	68	VG		G	60	F
	0.75	30	G	61	F	52	F	62?	VG		G	40	P
	1.0	28	G	60	F	46	P	39	VG		G	20	D
	1.5	22	G	58	F	30	D	0	N		N	10	N
	2.0	21	P	50	N	12	N	13	N		N	18	N
	3.0	14	D	35	N	7	N	2	N		N	10	N
	4.0	7	D	22	N	11	N	11	P		N	6	N
5.0	0	F	10	N	0	N	7	N	N	0	N		
40-15	0.25	70	VG	94	F	92	F	96	G	Dに同じ	G	92	G
	0.50	70	VG	89?	F	83	P	84	G		G	75	F
	0.75	67	VG	90?	P	80	P	63	G		G	50	P
	1.0	65	VG	90	D	68	P	47	G		G	30	P
	1.5	60	VG	85	D	45	N	0	N		N	9	N
	2.0	53	VG	72	N	31	N	15	N		N	17	N
	3.0	37	VG	55	N	16	N	0	N		N	14	N
	4.0	18	VG	32	N	15	N	14	N		N	10	N
5.0	0	VG	14	N	0	N	10	N	N	0	N		

160-54 省 略

$K_1(\omega)$: FR-1 周波数特性, $K_2(\omega)$: 群設置の周波数特性

去され特性曲線と一致する。 $\Delta x=2.0\sim 5.0$ mの間では $\Delta x=4.0$ m でわずかに認められる程度である。

D' -noise: D -noise より振幅が小さいので、振幅の減少の様子がよく見られ、 $\Delta x=1.5$ m で消去されている。

E -noise: $\Delta x=0.25$ m, 0.50 m, 0.75 m にわずかに認められ、 $\Delta x=1.0$ m 以上になると認められない。

(2) filter (28-out) の記録

A -noise: 特性曲線の上からは他の filter のものに比べ $K_1(\omega) \cdot K_2(\omega)$ は著しく小さいが、記録上でも他の filter のものより小さいことが認められる。また、 $\Delta x=3.0$ m 以上ではほぼ消去されているように見える。しかし、前にも述べたように $\Delta x=5$ m でも完全には消えておらず、特性曲線からの期待と一致しない。

B -noise: $\Delta x=0.25\sim 1.5$ m までの記録ではほぼ同じ位に認められ、 $\Delta x=2.0$ m 以上になると認められない。これは特性曲線の傾向とよく一致するが、他方 filter (220-out) の場合は $K_1(\omega) \cdot K_2(\omega)=80\%$ ですでに認められないのに、この場合には $64\sim 58\%$ でもこの noise が認められる。これは random noise の周波数成分に関係するものと思われる。

C -noise: $\Delta x=0.25\sim 1.5$ mの間では Δx の増加とともに次第に衰微し、 $\Delta x=2.0$ m 以上になると認められない。特性曲線と一致する。

D -noise: $\Delta x=0.25\sim 1.00$ m 間ではほぼ同じ位の振幅で顕著にあらわれ、 $\Delta x=1.5$ m で critical に消去されている。それ以上の Δx では $\Delta x=4.0$ m でわずかに認められる程度で、消去に関して特性曲線と実によく一致する。

D' -noise: D -noise より多少振幅が小さいが D -noise とほぼ同様に表われている。

E -noise: $\Delta x=0.25\sim 1.50$ m の記録に弱い程度に見られ、 $\Delta x=2.00$ m 以上では認められない。

(3) filter (40-15) の記録

A -noise: Δx が増加すると振幅が減少することは認められるが、 $\Delta x=5.0$ m でも完全に消去はされなく、明瞭に残っている。

B -noise: $\Delta x=0.25\sim 1.50$ m までわずかながら認められるが、特に $\Delta x=1.50$ m 以上では phase が追えない位微弱である。

C -noise: $\Delta x=0.25\sim 1.00$ m までわずかに認められる。

D -noise: こゝでも $\Delta x=1.5$ m で完全に消される。 $\Delta x=0.25\sim 1.00$ m 間において Δx の増加に従って振幅の減少が一応認められる。全体の振幅は他の filter の記

録より一般に小さい。

D' -noise: D -noise とほぼ同様である。

E -noise: $\Delta x=0.25$ m ではかなり顕著であるが Δx が增大するとともに急速に消えて行き、 $\Delta x=1.50$ m 以上ではほとんど認められない。

(4) filter (160-54) の記録

filter (160-54) の記録では、 A -noise が初動後の騒乱として見られるのみで、他の phase も phase として追えるものは認められない。 $\Delta x=0.25\sim 1.00$ m 間の記録では D -noise, D' -noise, E -noise 付近には一応微弱ではあるが、noise のエネルギーが見られるようである。noise の卓越周波数は $25\sim 40$ cps 程度の低周波であるので、このような low-cut filter を用いた場合群設置の filter 以前に電氣的 filter によって大部分 cut される。しかしながら noise の中に含まれるわずかな部分を占める高周波成分が残され、これが D -noise などについては記録上にあらわれたものと思われる。このことについてはすでに金子 (1959) が述べている。

反射 signal の検出

9 群設置の実験では、 C -noise が消去された後に L -3 signal; D -noise および D' -noise が消去された後に L -4 signal, L -5 signal, L -6 signal; E -noise の後に L -7 signal がそれぞれ検出されている。

L -3 signal は filter (220-out) の記録では C -noise が若干残っている $\Delta x=0.75$ m の記録から現われはじめ、 $\Delta x=1.5$ m で最も顕著で、 $\Delta x=3.0$ m, 5.0 m のものにも見られる。filter (28-out) の記録では $\Delta x=1.5$ m 以下ではほとんど見られず、 $\Delta x=3.0$ m, 5.0 m に明瞭で、filter (40-15) の記録では $\Delta x=0.75$ m 以上の記録にはいずれにも認められ、 $\Delta x=1.5$ m と $\Delta x=5.0$ m に特に顕著である。

L -4 signal は filter (220-out), filter (28-out) のものでは非常に貧弱であるが、 D -noise の消去された $\Delta x=1.5$ m 以上の記録に若干認められる程度である。filter (40-15) では $\Delta x=1.5$ m 以上の記録では比較的明瞭に現われ、特に $\Delta x=3.0$ m のものが良好である。これは反射 signal の卓越周波数が 40 cps 程度であり、filter (40-15) が最も適当な filter となっているためであろう。

L -5 signal は (28-out), (40-15) の両 filter の $\Delta x=1.5$ m のものにわずかに見られる程度である。

L -6 signal は D' -noise の消去された $\Delta x=1.5$ m 以上の記録に表われているが、 $\Delta x=1.5$ m および 3.0 m のものが比較的良好である。

L -7 signal はエネルギーとしてはかなり大きい

phase の連続性が悪い。

以上述べた各 signal は L-3 signal を除いてはいずれも何ら先入感なしに単独の記録から反射 signal として pick up できるほど顕著なものではない。wave noise は消去されても random noise が充分消去されていないためであろう。しかし、検出される signal については振幅および phase の連続性などからみて最初の予想通り filter (40-15) の記録が最も良好である。

以上のように filter 別に 9 コ群設置の場合の Δx の変化による記録の変化、および反射 signal の検出について記した。これを総括すると次の通りである。

(1) 総括的にみると特性曲線と実際の記録とはかなりよく一致している。特に、この実験においては見掛けの速度の遅い wave noise の消去に関して特によく一致する。すなわち、群設置の sampling filter としての filter 効果は実験的にも証明されたものと考えてよいであろう。

(2) したがって、 Δx の変化に伴う特性 $K_1(\omega) \cdot K_2(\omega)$ の変化と noise の振幅とは必ずしも定量的に一致しているとはいえない。

(3) 9 コ群設置のように比較的受振器の多い場合は特性曲線の最初の cut off 以後の振動部分では $K(\omega)$ の値が小さいし、記録の上でもこの部分では noise がほとんど現われなくなる。

(4) random noise の消去に関しては 9 コ程度の群設置では著しいとはいえない。

(5) wave noise が消去された後に多くの反射 signal が検出されたが、random noise の消去が充分でないで、まだ単独で反射 signal として pick up するほど明瞭ではない。しかし、群設置法により反射特性の向上が得られることを立証し得たものと思う。

(6) A-noise のように初動直後の速度の速い wave noise の消去は困難である。これは A-noise のエネルギーが著しく大きいためかもしれない。

4.3 Wave noise 消去の数量的表現

原理

前に述べたように、われわれは wave noise の消長を反射波の検出に使用される grade と大体同じ記号を用いて表わしたのであるが、これを数量的に表現する1つの試みとして佐々木 (1957) の S-N 比を定義するために提示した方法を用いることにした。その原理は次の通りである。

いま i trace について、 N_i は noise の振幅、 N_{iW} 、 N_{iR} をそれぞれ wave noise および random noise の

振幅とすると

$$N_i = N_{iW} + N_{iR} \quad (3)$$

である。いま wave noise に対して $\Delta t = \frac{\Delta x}{V_{ap}}$ だけずらして加え合せると

$$\sum_{i=1}^m N_i = \sum_{i=1}^m N_{iW} + \sum_{i=1}^m N_{iR} \quad (4)$$

と表わされる。

もし各 trace についての wave noise の振幅が大体等しく N_W とすれば

$$\sum_{i=1}^m N_i = mN_W + \sum_{i=1}^m N_{iR} \quad (5)$$

また各 trace の1つおきに引き算をして加え合せると trace の数 m が偶数ならば $\sum (-1)^m N_W = 0$ となり、したがって (4) 式の右辺の第1項は 0 になり

$$\sum_{i=1}^m (-1)^i N_i = \sum_{i=1}^m N_{iR} \quad (6)$$

また自乗平均値については

$$\left\{ \sum_{i=1}^m (-1)^i N_i \right\}^2 = \left\{ \sum_{i=1}^m N_{iR} \right\}^2$$

random noise はエルゴード的の集合であり、もし m が相当大きい数であるならば N_{iR} の自乗平均値は m に比例して増大し、したがって R. M. S. (root-mean-square) は \sqrt{m} に比例して増加する。また (5) 式の右辺の第1項と第2項とを比較すると第1項では N_W の m 倍に、第2項は N_{iR} の \sqrt{m} 倍になる。 m の値が大きくと $N_W \geq N_{iR}$ であるなら

$$\sum_{i=1}^m N_i = mN_W$$

と考えるとよいであろう。

したがって、wave noise の振幅を

$$N_W = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m N_i \quad (7)$$

random noise の振幅を示す量として

$$N_R = \sqrt{\left\{ \sum_{i=1}^m (-1)^i N_i \right\}^2} \quad (8)$$

となる。

方法

(7)、(8) の式の計算は石油資源開発 K. K. の佐々木技師の協力により、analog の方法により直接録音テープよりすることにした。使用した録音テープは第10図に示されている a)、b)、……、i) の記録に当るもので、使用した filter もこの記録に使用した filter (28-out) に一番近い性質を持った SIE の (2-47-out) の filter を用いた。

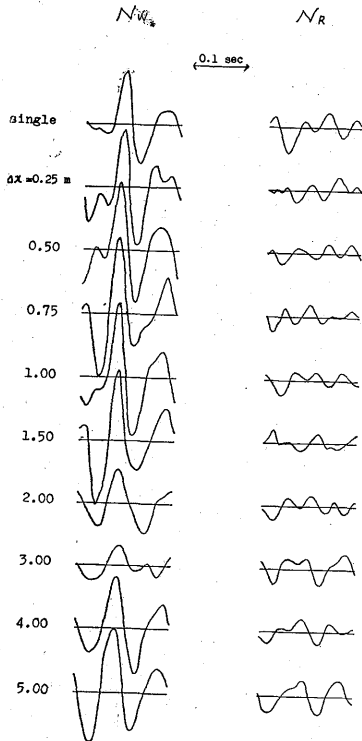
Δt の move out time は SIE の録音ヘッド (これは static correction として用いられているものであるが)

を移動させることによって、また加算、減算は佐々木技師の作成した装置によって実施した。また実験の対象にした phase は B -noise, D -noise でそれぞれの move out time Δt は前者が 14.3 m sec/tr., 後者が 5.0 m sec/tr. である。

第17図に B -noise についての N_W , N_R の波形を、第18図に D -noise の N_W , N_R の波形を示す。

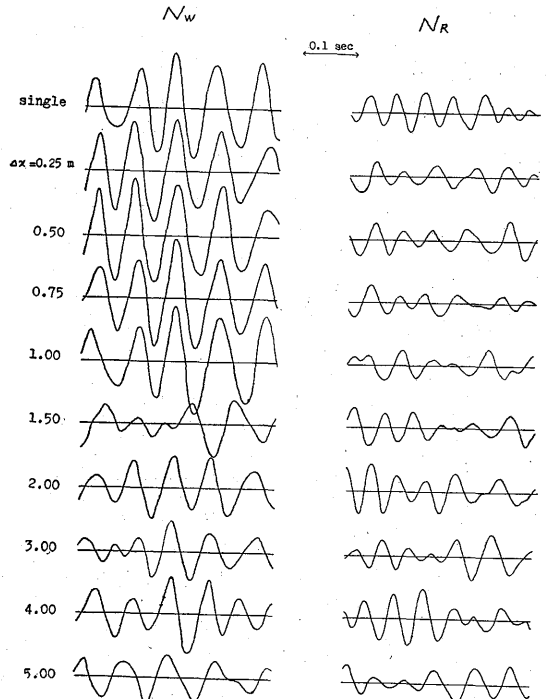
量的表示

第17図と第18図から wave noise の振幅としてどの量をとるかについては問題があるが、これも佐々木の S - N 比の定義に用いた方法をそのまま利用して最大振幅をとることとした。random noise については、 B -noise については 0.2 sec の間、 D -noise については 0.35 sec の間での振幅の 2 乗平均の平方根、すなわち (8) 式に従って計算した。この際、標本点としては標本化の定理に従って 2.5 m sec 間隔の値により数値計算を行なった。



第 17 図 B -noise (N_W) とその random noise (N_R)

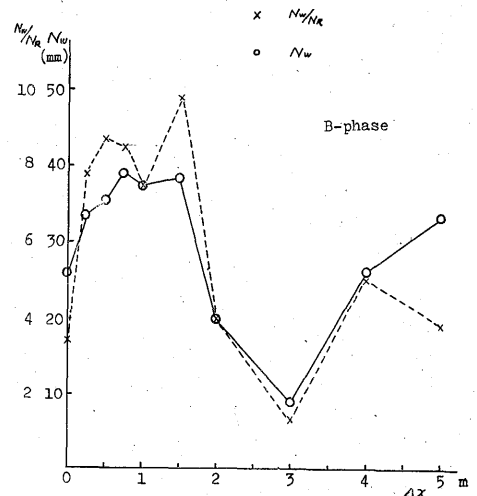
第19図、第20図に受振器間隔 Δx を横軸に、 N_W と N_W/N_R の値を縦軸にとって表示した。この際 $\Delta x=0$ は single の場合である。この際、 N_W はいうまでもなく wave noise の振幅を示すものであるが N_W/N_R はある意味では wave noise の見易さを示すものと考えてもよいであろう。



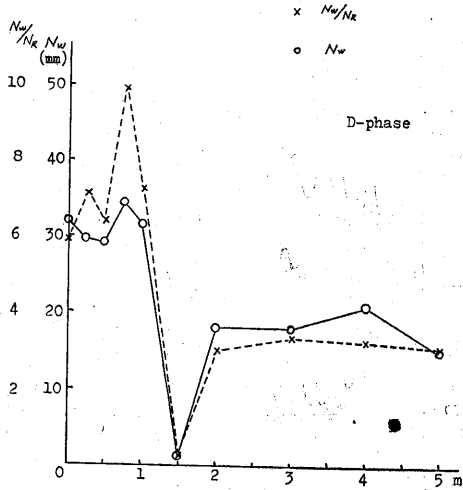
第 18 図 D -noise (N_W) とその random noise (N_R)

考察

これらの計算に用いられた trace の数 m は 10 trace であり、充分大きい値とみなすわけには行かない。また wave noise の振幅にはそれぞれ相当に違いがあり、ことに B -noise については $N_W \geq N_R$ の条件は満たされていないようである。このように上記の諸式で考えた条件の多くが満足されていないことを考慮に入れて、次に wave noise の振幅と Δx との関係調べてみよう。



第 19 図 B -noise における N_W - Δx (実線)、 N_W/N_R - Δx (点線) の関係、第 17 図に対応する



第20図 D-noiseにおける $N_w-\Delta x$ (実線), $N_w/N_R-\Delta x$ (点線) の関係, 第18図に対応する

第19図, 第20図は第14図の B-noise 曲線と D-noise 曲線に対応して考えられるべきものである。まず第19図 $N_w-\Delta x$ の特性 (実線) についてみると, B-noise について Δx が 1.5 m になるまで少しずつ増加し, それから減少し $\Delta x=3$ m で最小値になり, また $\Delta x=4$ m, 5 m では大きくなっている。他方, 第14図の B-noise 曲線は単純に $\Delta x=1.5$ m 辺から徐々に減少して $\Delta x=5$ m で約 0.1 の値になり, 両者の特性曲線は必ずしも一致しない。強いていえば Δx の値の大きい方に向かって全体として減少の傾向にあることは一致している。また第5表の明瞭度の grade では $\Delta x=0.25\sim 1.50$ m の間では (F), それより Δx が大きくなると (N) となり消滅しており, $\Delta x=1.50$ m で急変する点は第19図の特性でもかなりよく現われている。しかし, $\Delta x=4.0$ m, 5.0 m で特性ではその値が大きくなっている点では一致しない。

第20図の $N_w-\Delta x$ 特性 (実線) と第14図の D-noise 曲

線を比較すると, これはかなりよく一致している。 $\Delta x=0.25\sim 1.00$ m までは両者とも相当大きな値を示しているが, $\Delta x=1.50$ m ではともに零または非常に小さい値になり, この間で変化が critical であることがよく表明されており, これは記録上の wave noise の消長とも一致している。 $N_w-\Delta x$ 特性は $\Delta x=2.0\sim 5.0$ m の間では比較的小さい値で一定しており, 第14図の振動部分に当り, このことも大体一致している。第5表では $\Delta x=1.50\sim 3.00$ m まで (N), $\Delta x=4.0$ m で (P), $\Delta x=5.0$ m で (N) であるが, これは $N_w-\Delta x$ 特性でも $\Delta x=4.0$ m の値が多少他の点よりも大きいことに一致している。

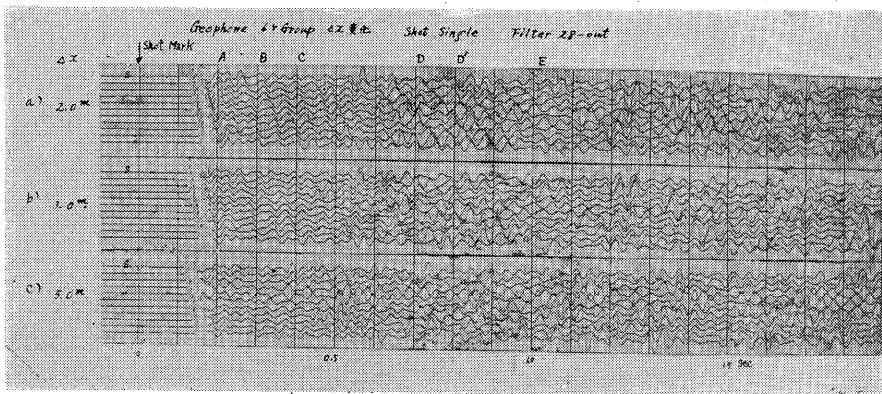
N_w の代わりに N_w/N_R の値をとって, いわゆる S-N 比に当るものについて Δx との関係調べたものを第19図, 第20図の点線で示す。これは前に述べたように wave noise の見易さを表わすものであるから, 明瞭度に対応されるものかもしれない。しかし, 実線で表わした $N_w-\Delta x$ と, 点線で表わした $N_w/N_R-\Delta x$ は見られるように大体平行的であり, 特に述べることもない。

しかしながら, $N_w/N_R-\Delta x$ 特性について特に注目すべき点は $\Delta x=0.25\sim 1.00$ m の間で, すなわち受振器間隔が非常に小さいとき, Δx の値が零から次第に増大すると N_w/N_R の値が大きくなり最大値を持つ形が, 第19図, 第20図の両方にも明瞭に見られることである。このことは記録のうえからも single や Δx の小さい場合よりも Δx の値がある程度 (0.75~1.00 m) の方が一般に wave noise が顕著に現われる事実を前にも述べたことに一致する。この問題については後にまた考察することにする。

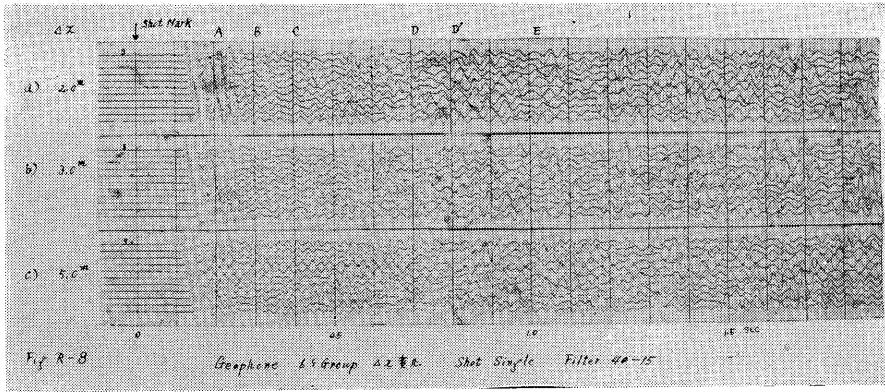
5. 6コ群設置と3コ群設置の実験

5.1 特性曲線

6コ群設置の記録を第21図 (filter 28-out) および第

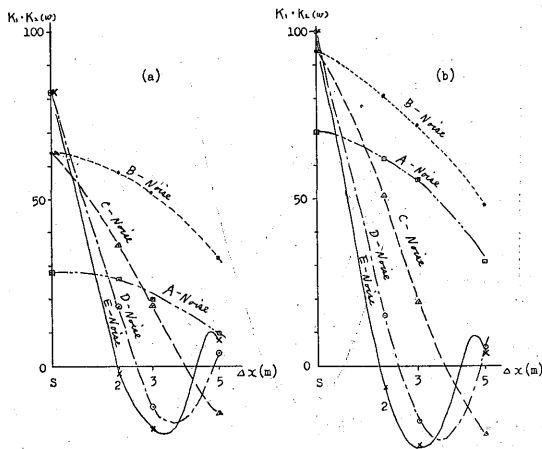


第21図 M=6 の群設置および filter (28-out) の記録



第22図 M=6の群設置および filter (40-15) の記録

22図 (filter 40-15) に、3 コ群設置の記録を第24図 (filter 28-out) および第25図 (filter 40-15) にそれぞれ示す。これらの記録に対応する $K_1(\omega) \cdot K_2(\omega) - \Delta x$ 特性曲線を



第23図 M=6の群設置の $K_1(\omega) \cdot K_2(\omega) - \Delta x$ 特性曲線
(a) filter (28-out) (b) filter (40-15)

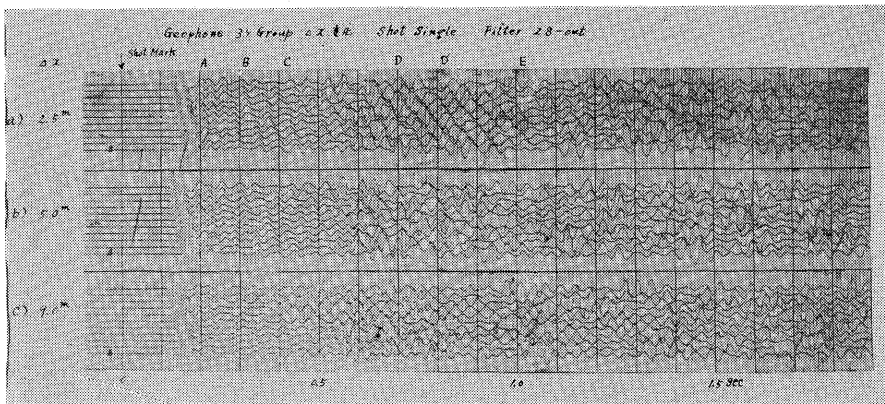
6 コ群設置のものについては第23'図に、3 コ群設置については第26図に示した。

以下 $K_1(\omega) \cdot K_2(\omega) - \Delta x$ 特性曲線について考察する。

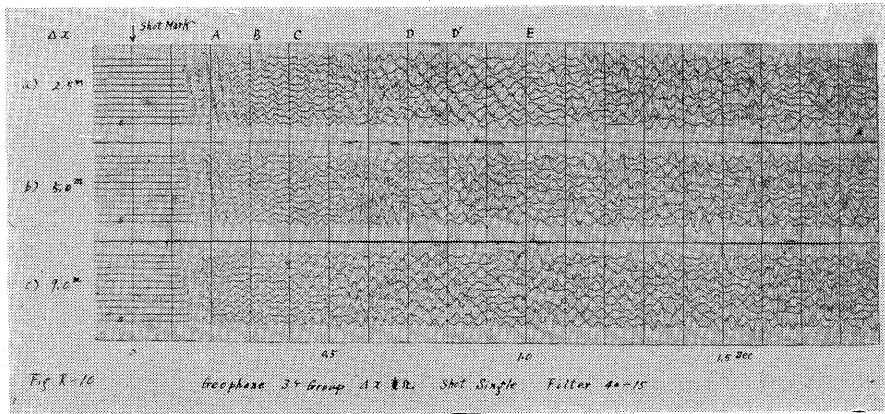
(1) 6 コの場合、3 コの場合の特性はかなりよく似ている。6 コの場合は $\Delta x=2\text{m}, 3\text{m}, 5\text{m}$; 3 コの場合は $\Delta x=2.5\text{m}, 5\text{m}, 9\text{m}$ であるが、両者の $K_1(\omega) \cdot K_2(\omega) - \Delta x$ 特性曲線図はちょうど3 コ群設置の曲線を Δx に関して2に圧縮したものが6 コの群設置になっているような形をしている。

(2) 3 コ群設置 filter (28-out) の曲線については A, B-noise は Δx が変化しても特性には顕著な差がないことを示している。これは比較的速度の速い wave noise については、この程度の受振間隔の3 コ群設置ではあまり効果がないことを示している。filter (40-15) についても同様である。

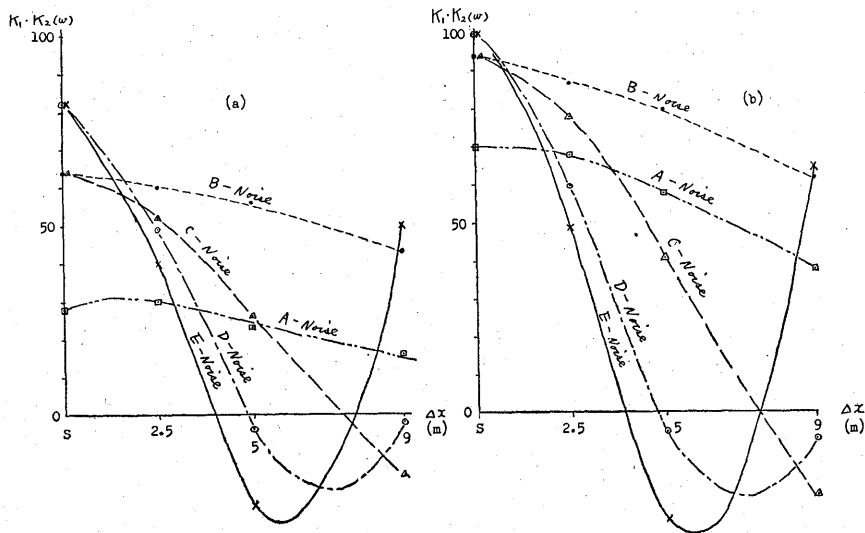
(3) 3 コ群設置の場合 C-noise は $\Delta x=9\text{m}$ で比較的小さくなり; $\Delta x=5\text{m}$ および 9m でほとんど消えるはずである。E-noise については逆に $\Delta x=9\text{m}$ でかえ



第24図 M=3の群設置および filter (28-out) の記録



第25図 M=3の群設置およびfilter (40-15)の記録



第26図 M=3の群設置の $K_1(\omega) \cdot K_2(\omega) - \Delta x$ 特性曲線
(a) filter (28-out) (b) filter (40-15)

って増大し、振幅も大きくなるのが特性曲線から予想される。

(4) 6コ群設置の場合 A-noise, B-noise の filter 効果は3コの場合よりも幾分よい。C-noise は $\Delta x=4$ m 位で消去されることになり、 $\Delta x=3$ m および 5 m では完全には消えない。D-noise は $\Delta x=5$ m で E-noise は $\Delta x=2$ m および 5 m でほぼ消えることになる。

5.2 6コ群設置の記録との対比

第6表に6コ群設置の $K_1(\omega) \cdot K_2(\omega)$ の値と noise の grade を一覧表にして示す。

Wave noise の消長

(1) filter (28-out) の記録

A-noise: $\Delta x=2$ m, 3 m の順に noise は小さくなり $\Delta x=5$ m で消去されている。

B-noise: $\Delta x=2$ m, 3 m で順に小さくなり、 $\Delta x=5$ m で消去されている。

C-noise: $\Delta x=2$ m でわずかに見られ、 $\Delta x=3$ m, 5 m では認められない。

D-noise: $\Delta x=2$ m では振幅は小さいが比較的はっきり認められ、 $\Delta x=3$ m では多少見える程度、 $\Delta x=5$ m では認められない。

D'-noise: D-noise とほぼ同様である。

E-noise: 全然認められない。

(2) filter (40-15) の記録

A-noise: $\Delta x=2.0$ m, 3.0 m では非常に顕著であるが、両者の振幅を比較すると $\Delta x=2.0$ m の方が一層著しい。 $\Delta x=5.0$ m になると phase の連続が悪くなるが認められる。

第 6 表 6 コ 群 設 置

Filter	Δx (m)	A		B		C		D		D'		E	
		$K_1 \cdot K_2$ (%)	Record	$K_1 \cdot K_2$ (%)	Record	$K_1 \cdot K_2$ (%)	Record	$K_1 \cdot K_2$ (%)	Record	$K_1 \cdot K_2$ (%)	Record	$K_1 \cdot K_2$ (%)	Record
28-out	2	26	G	58	P	46	D	18	F	18	F	2	N
	3	20	F	52	D	18	N	12	D	12	D	18	N
	5	10	N	32	N	14	N	4	N	4	N	8	N
40-15	2	62	VG	81	D	51	N	15	D	15	P	6	N
	3	56	VG	72	N	19	N	16	N	16	D	24	N
	5	31	D	48	N	20	N	6	N	6	N	4	N

第 7 表 3 コ 群 設 置

Filter	Δx (m)	A		B		C		D		D'		E	
		$K_1 \cdot K_2$ (%)	Record	$K_1 \cdot K_2$ (%)	Record	$K_1 \cdot K_2$ (%)	Record	$K_1 \cdot K_2$ (%)	Record	$K_1 \cdot K_2$ (%)	Record	$K_1 \cdot K_2$ (%)	Record
28-out	2.5	30	P	60	D	52	N	49	VG	D に 同 じ	G	40	D
	5.0	23	P	55	D	26	N	4	D		D	24	N
	9.0	16	D	43	N	16	N	2	G		N	50	D
40-15	2.5	68	VG	85	D	78	N	60	G	F	49	D	
	5.0	58	VG	80	N	41	N	5	N	D	28	N	
	9.0	38	G	62	N	22	N	7	F	D	65	D	

B-noise: $\Delta x=2.0$ m で多少認められるが非常に貧弱である。

C-noise: 全然認められない。

D-noise: $\Delta x=2.0$ m のみに見られ、 $\Delta x=3$ m, 5 m では認められない。

D'-noise: D-noise と同様であるが、 $\Delta x=2$ m では D-noise より顕著である。

E-noise: 全然認められない。

以上いずれの filter の記録でも、noise ごとの個々の特性曲線と記録における振幅とは一般的によく一致しているようである。

反射 signal の検出

9 コ群設置の記録に較べると反射 signal の検出が難しく、C-noise 後の L-3 signal, E-noise 後の L-7 signal の 2 つだけしか認められない。

L-3 signal は両 filter の記録とも $\Delta x=2.0$ m, 3.0 m のものに比較的著しく現われている。

L-7 signal は $\Delta x=3.0$ m のものが比較的良好で、 $\Delta x=2.0$ m のものは energy があることがわかる程度で、 $\Delta x=5.0$ m では顕出されない。たゞしこの signal は第 4 表に示した到達時刻より多少遅れて到達しているが、その原因はよくわからない。

6 コ群設置の実験結果を総括すると次のようである。

(1) 個々の noise について Δx の変化による noise の消長を観察すると特性曲線とは比較的よく符合している。

(2) 特性曲線からは A-noise, B-noise のような速度の速い noise では $\Delta x=2$ m, 3 m とでは著しい差異はないはずであるが、記録上では比較的是っきり差異が認められた。

(3) D-noise, D'-noise では 9 コ群設置の場合と同様に、 Δx の変化による noise の変化は明瞭に認められる。

(4) 反射 signal の検出は 9 コ群設置の場合に較べて悪くなっており、特に 9 コ群設置では D-noise, D'-noise の消去された後に L-4, L-5, L-6 の signal が検出されているにもかかわらず、6 コ群設置の場合、これらの signal は見られない。すなわち wave noise が消去されても random noise が見られるのみで、反射 signal として phase の揃ったものが認められない。しかし、他方 9 コ群設置では検出されなかった L-7 の signal が明瞭に検出されている。

5.3 3 コ群設置の記録との対比

第 7 表に 3 コ群設置の $K_1(\omega) \cdot K_2(\omega)$ と noise の grade を一覧表にして示す。

Wave noise の消長

(1) filter (28-out) の記録

A-noise: 全体的に振幅の小さいことは特性曲線の示す通りで、その中でも Δx の増加によりさらに衰微し $\Delta x=9\text{ m}$ ではほとんど認められない。

B-noise: $\Delta x=2.5\text{ m}$ でも phase が追えない位にわずかに認められる程度で、 $\Delta x=9.0\text{ m}$ では全然認められない。

C-noise: 全く見られない。

D-noise: $\Delta x=2.5\text{ m}$ で顕著であり、 $\Delta x=5.0\text{ m}$ ではほぼ消去され、 $\Delta x=9.0\text{ m}$ で再び多少出現している。特性曲線からは $\Delta x=9.0\text{ m}$ では消えてよいはずである。また注意すべきことは D-noise の前に D-noise とほぼ同じ位の速度をもつ phase のものが現われ、特に $\Delta x=2.5\text{ m}$ 、および 9.0 m のものに著しい。これはいままで検討した 9コ、6コの群設置に見られなかったことである。

D'-noise: $\Delta x=2.5\text{ m}$ では顕著に、 $\Delta x=5.0\text{ m}$ ではほぼ消去され、 $\Delta x=9.0\text{ m}$ では認められなくなっている。

E-noise: ほとんど認められないが、 $\Delta x=9.0\text{ m}$ ではこの部分に振幅の大きな random noise が現われている。

(2) filter (40-15) の記録

A-noise: 3葉の記録ともにきわめて顕著に現われているが、振幅は Δx の増加とともに減少している。特性曲線とはよく一致している。

B-noise: ほとんど認められない。

C-noise: 全く認められない。

D-noise: $\Delta x=2.5\text{ m}$ では明瞭に、 $\Delta x=5.0\text{ m}$ では全然認められず、 $\Delta x=9.0\text{ m}$ でわずかに認められている。こゝでは (28-out) の記録に見られた D-noise の前の phase は見られず、L-3 signal が見られている。特に $\Delta x=5.0\text{ m}$ のものに顕著である。

E-noise: 全く認められない。

反射 signal の検出

3コ群設置における反射 signal の検出は6コ群設置よりもさらに悪く、L-3 signal が認められるだけである。しかも filter (28-out) の記録にはこの signal すら全く見られていない。filter (40-15) の記録では L-3 signal は $x=2.5\text{ m}$ のものではわずかに、 $x=5.0\text{ m}$ では比較的顕著に認められている。 $x=9.0\text{ m}$ では検出できる程度には認められない。

3コ群設置の実験結果を総括すれば次のようである。

(1) $\Delta x=2.5\text{ m}$ の記録では、特に D-noise が非常によく現われており、単一の受振器の記録とほとんど変わらない。このように群設置の個数も少なく、 Δx も小

さい群設置は noise の消去には全く効果がないことを示している。

(2) 反射波の検出に関しても3コ群設置程度ではほとんど効果は認められない。

(3) $\Delta x=0.25\text{ m}$ について2つの filter の記録を比較すると $T=0.6\text{ sec}$ 付近で(28-out)の記録が D-noise を示し、(40-15)の記録が L-3 signal を示し、こゝに両 filter の相違が明瞭に表われている。

(4) E-noise については特性曲線から $\Delta x=9\text{ m}$ である程度現われるのではないかと予想したが、3葉の記録とも E-noise は全然見られなかった。

5.4 Coverage 一定で個数が変わった場合

これまでの群設置の実験では受振器の個数を一定にして間隔 Δx を変化させて調べてきたのであるが、coverage を一定にして個数を変える場合について、上記の実験の中から幾組かの組合せによって調べることができ

る。coverage を wave noise の波長に較べて決定して noise の消去を計ることは、しばしば用いている方法である。この際、2コの群設置の場合には wave noise の半波長の coverage が、また受振器の数が非常に多い場合には1波長の coverage が適当である。

われわれの実験において該当する資料は厳密には1組だけであるが、ほぼ同じ coverage と見なし得るもの2例を加えて検討することにする。

(1) $M=6$, $\Delta x=2\text{ m}$ (coverage 10 m) と $M=3$, $\Delta x=5\text{ m}$ (coverage) との比較

前者は第21図および第22図の(a)の記録、後者は第24図、第25図の(b)の記録である。まず特性曲線から考察すると $M=6$ の場合には D-noise に対して $K_1(\omega) \cdot K_2(\omega)$ の値は約20%となり、 $M=3$ の場合には約+20%になり絶対値については同じ値であるが符号を異にしている。しかし、filter としては $M=3$ の方が sharp な形を示す。しかし、記録を見ると D-noise のみならず他の noise も $M=3$ の方がよく消去されている。同時に filter (40-15) については反射 signal の検出も $M=3$ の場合の方が良好である。ちなみに D-noise の卓越波長は約14 m である。

(2) $M=6$, $\Delta x=3\text{ m}$ (coverage 15 m) と $M=9$, $\Delta x=2\text{ m}$ (coverage 16 m) との比較

前者は第21図、第22図の(b)の記録、後者は第10図、第11図の(f)の記録である。この場合は特性曲線はほとんど同じであり、したがって $K_1(\omega) \cdot K_2(\omega)$ の値もほとんど変わらない。

実際の記録を比較してみると、全体の様相はきわめて

よく似ているが、noise については A-noise, B-noise および D-noise が $M=6$ の記録の方がやゝ顕著である。また反射 signal については、L-3 signal が $M=6$ に著しく $M=9$ には見られない。L-6 signal は $M=9$ に僅かに見られ、L-7 signal は両方に見られるが $M=6$ の方が顕著である。全体として反射 signal の検出は $M=6$ の方がやゝ優れている。

(3) $M=6, \Delta x=5\text{ m}$ (coverage 25 m) と $M=9, \Delta x=3\text{ m}$ (coverage 24 m) との比較

記録は前者は第21図、第22図の(c)、後者は第10図、第11図の(g)である。wave noise は両者ともほとんど消去されているので比較する資料がない。反射 signal の検出に関しては $M=9$ の方で L-3, L-4, L-6 の各 signal が見られ、これに対して $M=6$ の方はほとんど signal が見られず、明らかに $M=9$ の場合の方が良好である。

(4) 以上のことから wave noise の消去に関しては受振器の個数の多少よりも特性により関係があることがいえそうである。しかし、反射波の検出に対しては同じ特性の場合には受振器の個数の多い方が良好になるわけであるが、6コと9コ程度の差異では明らかではないようである。

6. 多孔爆発の実験

初めに述べたように、多孔爆発の実験は爆発孔掘さくなどの関係から、あまり多種の実験はできなかったが、この実験の時に受振器1個で多孔爆発のみによる効果と受振器を群設置 ($M=9, \Delta x=2.5\text{ m}$) して、群設置と多孔爆発を併用した場合の効果とを比較することができた。

6.1 多孔爆発のみの場合

特性曲線

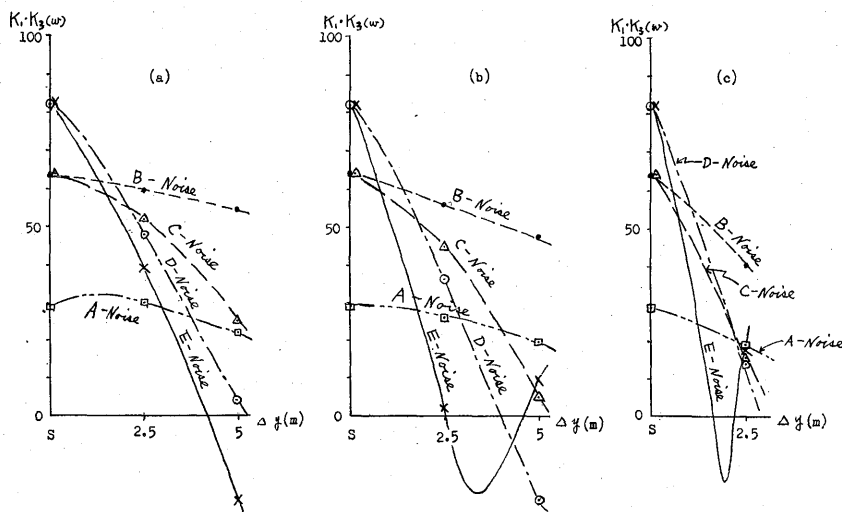
多孔爆発のみの場合の特性 $K_1(\omega) \cdot K_2(\omega) - \Delta x$ を第27図 (filter 28-out) および第28図 (filter 40-15) に示す。爆発孔数 N の種類によりそれぞれ (a), (b), (c) の場合が得られる。一般的にこの特性から分かることは A-noise, B-noise では Δx を変えても消去の割合にあまり変化が少なく D-noise, E-noise では顕著であり、C-noise は中間の割合である。

filter (28-out) と filter (40-15) の特性を比較すると後者の場合に D, E-noise において特に Δx の変化により特性値 $K_1(\omega) \cdot K_3(\omega)$ が大幅に変わることが注目される。

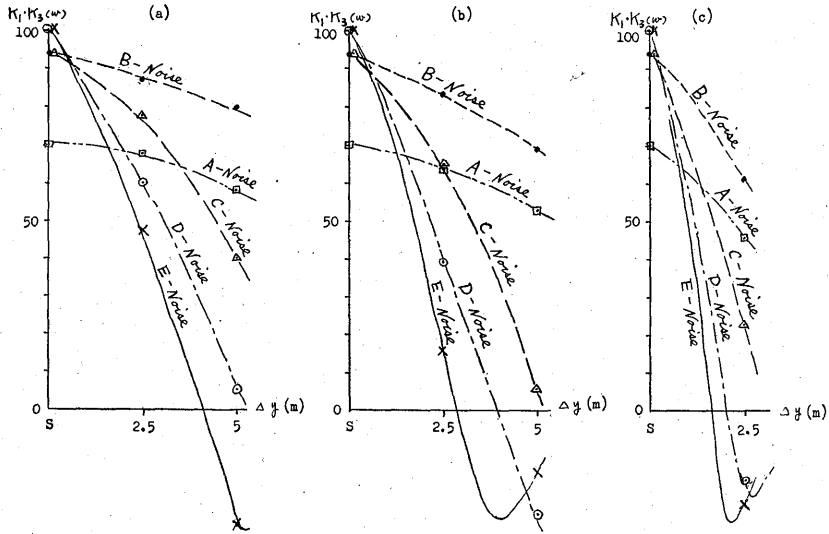
記録について

受振器が1つの場合の多孔爆発の記録を第29図 (filter 28-out) および第30図 (filter 40-15) に示す。両図において (a) の記録は受振器1個、爆発孔1孔で取った記録であり、第4図に示した記録と爆発孔が異なるだけで他の条件は同一である。

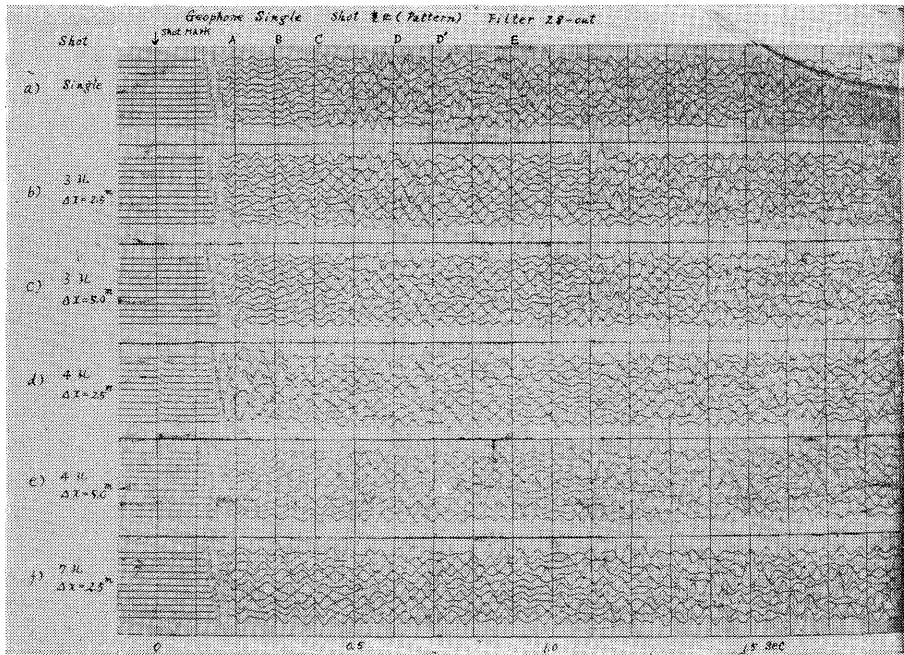
以下にそれぞれ記録を比較検討するが、群設置の場合と同じように特性曲線による $K_1(\omega) \cdot K_3(\omega)$ の値と noise の明瞭度を記号で表わし、一覧表として第8表 (a) に示し比較の資料とした。noise の現われる時間については群設置の実験では $M=3, \Delta x=9\text{ m}$; $M=6, \Delta x=5\text{ m}$ の場合を除き全部 (イ) の爆発孔を用いたので、noise の到達時間は一定であったが、多孔爆発の実験では作業一覧表および測線図 (第2図) でもわかるように、最も spread に近い (二) 爆発孔が常に用いられ、(イ)



第27図 多孔爆発, filter (28-out) の $K_1(\omega) \cdot K_3(\omega) - \Delta x$ 特性曲線
(a) $N=3$ (b) $N=4$ (c) $N=7$



第28図 多孔爆発, filter (40-15) の $K_i(\omega) \cdot K_s(\omega) - \Delta y$ 特性曲線
 (a) $N=3$ (b) $N=4$ (c) $N=7$



第29図 多孔爆発のみ, filter (28-out) の記録

爆発孔との距離差が 20 m である。初動, A-noise, B-noise のように速度の速いもの, あるいは反射 signal は使用爆発孔によって到達時刻はそれほど変わらないが, D-noise, E-noise のように速度の遅いものは 20 m (最大値) の差でかなり到達時刻に影響し, D-noise を例にとれば single の記録にも見られるように群設置の実験の場合よりも 0.15 sec 早く到着している。多孔爆発の

記録を検討するうえに注意を要する。

N=3 の場合

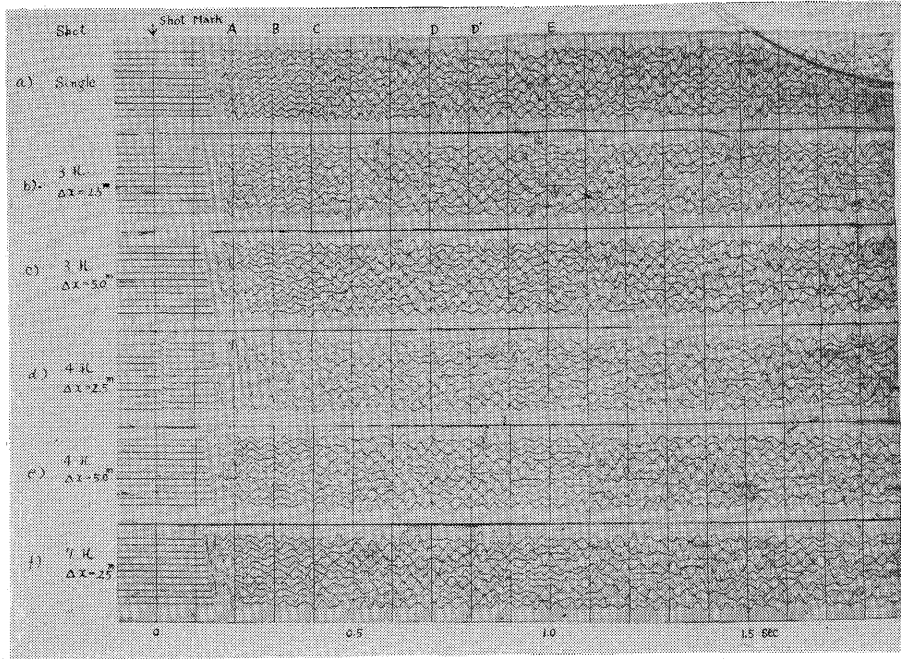
N=3 の場合, $\Delta y=2.5$ m および $\Delta y=5.0$ m の記録と single の記録と3葉について比較してみる。filter (28-out) のものについては A-noise, B-noise のように見掛けの速度の速い, noise では $K_i(\omega) \cdot K_s(\omega)$ の値は3者の間にほとんど差がなく, 記録の上でもほとんど差

群設置法と多孔爆発法による妨害波除去の実験 (金子徹一・平沢 清)

異が認められない。しかし、 D -noise については表に示す通り $K_1(\omega) \cdot K_3(\omega)$ の値に顕著な差が見られるにもかかわらず、記録上には差異がなく、むしろ $4y=2.5$ m の方がよいぐらいである。また $K_1(\omega) \cdot K_3(\omega)$ の差が

D -noise ほど著しくない E -noise において記録上に差異が見られる。

filter (40-15) の記録においては A -noise が $4y=2.5$ m のみで不明瞭になっており理論特性とは一致しない。



第30図 多孔爆発のみ, filter (40-15)の記録

第8表 多孔爆発における記録上に表われた noise の明瞭度

(a) 受振器1個の場合

Filter	N	4y (m)	A		B		C		D		D'		E	
			$K_1 \cdot K_3$ (%)	Record	$K_1 \cdot K_3$ (%)	Record	$K_1 \cdot K_3$ (%)	Record	$K_1 \cdot K_3$ (%)	Record	$K_1 \cdot K_3$ (%)	Record	$K_1 \cdot K_3$ (%)	Record
28-out	Single		29	P	64	P	64	P	82	P	Dに同じ		82	P
		2.5	30	D	60	P	52	D	48	F		D	39	D
	5.0	22	P	55	P	25	D	4	P	N		22	N	
	4孔	2.5	26	不明	56	D	45	N	36	F		D	3	D
		5.0	20	D	48	N	5	N	22	P		D	10	N
7孔	2.5	19	N	40	N	16	N	14	D	N	18	N		
40-15	Single		70	F	93	D	93	D	100	P	Dに同じ		100	P
		2.5	68	D	85	N	78	N	60	P		D	48	D
	5.0	58	F	80	D	40	N	5	P	N		30	N	
	4孔	2.5	64	不明	83	D	65	N	39	P		N	16	D
		5.0	53	P	69	N	6	N	27	P		N	14	D
	7孔	2.5	46	D	61	N	23	N	18	D		N	24	N

(b) 群設置 ($M=9 \text{ m}$ $\Delta x=2.5 \text{ m}$) の場合

Filter	N	Δy (m)	A		B		C		D		D'		E	
			$\frac{K_1 \cdot K_2 \cdot K_3}{K_3}$ (%)	Record	$\frac{K_1 \cdot K_2 \cdot K_3}{K_3}$ (%)	Record	$\frac{K_1 \cdot K_2 \cdot K_3}{K_3}$ (%)	Record	$\frac{K_1 \cdot K_2 \cdot K_3}{K_3}$ (%)	Record	$\frac{K_1 \cdot K_2 \cdot K_3}{K_3}$ (%)	Record	$\frac{K_1 \cdot K_2 \cdot K_3}{K_3}$ (%)	Record
28-out	Single		19	P	40	N	1	N	17	N	D に 同 じ	N	2	N
	3孔	2.5	16	P	40	D	0	D	9	D		N	2	N
		5.0	12	F	35	P	0	D	1	N		N	2	N
	4孔	2.5	16	不明	38	P	0	P	8	N		N	1	N
		5.0	13	F	31	P	0	P	8	N		N	1	N
	7孔	2.5	11	F	26	P	0	D	3	N		N	0	N
		Single		44	G	59	N	1	N	21		N	D に 同 じ	N
3孔	2.5	43	G	56	N	1	N	13	D	N	1	N		
	5.0	36	G	51	D	0	N	0	N	N	0	N		
4孔	2.5	40	不明	55	D	0	D	9	N	N	0	N		
	5.0	32	G	45	D	0	D	4	N	N	0	N		
7孔	2.5	33	G	43	D	0	D	4	N	N	0	N		

Ks: 多孔爆発の周波数特性

D-noise, E-noise についても filter (28-out) の場合とほぼ同様なことがいえる。

結局この程度の孔数の少ない多孔爆発では wave noise の消去という意味からは効果が少ないようである。また反射 signal はどの記録にも全く検出されていない。

N=4 の場合

single の記録と $N=4$, $\Delta y=2.5 \text{ m}$ および $N=4$, $\Delta y=5 \text{ m}$ の 3 枚の記録を比較すると, $\Delta y=2.5 \text{ m}$ の記録では A-noise, B-noise 付近では増幅器の A. G. C. 動作不備のため比較できないが, $\Delta y=5 \text{ m}$ の記録では A, B の両 noise とよく消えている。D-noise, D'-noise, E-noise は両 filter の記録とも single $> \Delta y=2.5 \text{ m} > \Delta y=5.0 \text{ m}$ の順に小さくなり, $\Delta y=5.0 \text{ m}$ の記録では D'-noise, E-noise はほとんど消されている。N=3 の場合に比べ効果が期待し得る。

反射 signal は N=3 の場合と同様いずれの記録にも検出されない。

N=7 の場合

N=7 の場合については $\Delta y=2.5 \text{ m}$ の記録だけなので single の記録と比較する。両者の記録を並べると明らかに N=7 の記録の方が wave noise が消されていることがわかる。filter (28-out) の記録では D-noise がわずかに見られる程度, (40-15) の記録では A-noise, B-noise および D-noise がそれぞれほんのわずかに見

られる程度で理論特性値と一致する。

しかし, このようにほとんど noise が消されていても受振器 1 コの多孔爆発のみの記録には反射の signal が全然現われていない。

Δy が一定で N が変わる場合の変化

$\Delta y=2.5 \text{ m}$ の場合については $N=3, 4, 7$ の 3 種あるが, 全体としては N が多いほど noise の消去はよくなっている。A-noise, B-noise のように速度の早い noise ではあまり変わらないが, D-noise では $N=3$ と $N=4$ とではほとんど変わらず, いくらか $N=4$ の方がよい程度では, $N=7$ においては著しく消されている。

$\Delta y=5 \text{ m}$ の場合については $N=3, 4$ の 2 種であるが, あまり顕著な差異はない。しかし幾分 $N=4$ の方が noise が小さくなっている。

爆発孔の coverage による変化

多孔爆発の実験を coverage の小さい順に並べると (L は coverage)

$$\left(\begin{matrix} N=3 & \Delta y=2.5 \text{ m} \\ L=5 \text{ m} \end{matrix} \right) < \left(\begin{matrix} N=4 & \Delta y=2.5 \text{ m} \\ L=7.5 \text{ m} \end{matrix} \right) < \left(\begin{matrix} N=3 & \Delta y=5 \text{ m} \\ L=10 \text{ m} \end{matrix} \right) < \left(\begin{matrix} N=4 & \Delta y=5 \text{ m} \\ L=15 \text{ m} \end{matrix} \right) = \left(\begin{matrix} N=7 & \Delta y=2.5 \text{ m} \\ L=15 \text{ m} \end{matrix} \right)$$

となる。いままでに比較した記録をもう一度 coverage

について簡単に比較すると、表面波の消え方は coverage の大きいほど良好であるといえることができる。

しかし、coverage の等しい場合は N の大きい方が良好である。これらはおのおのの特性曲線から当然期待されることである。

受振器が 1 コで多孔爆発の場合を総括すると次の通りである。

(1) 多孔爆発を単独で用いる場合は群設置を単独で用いるよりも noise の除去の度も反射 signal の検出の度も悪くなるようである。(このことは相反性の項でもう一度触れることにする。)

(2) 群設置の場合と同様に多孔爆発のみを単独で用いる場合、3 孔程度ではほとんど効果は期待できない。

(3) 今回の実験では、孔数の多いほど、また $4x$ の長いほど、記録上で wave noise の除去が良好である。これは理論的特性と実験結果とが一致していることを示している。

(4) 多孔爆発を単独で用いた場合の記録には反射 signal が全く検出されていない。しかし、たとえば $L-7$ signal が検出されるはずの 1.15 sec 付近ではいずれの記録でも random noise の振幅が大きくなっており、phase は揃わないが energy の到来は認められる。

6.2 群設置と多孔爆発を併用した場合

まず述べたように多孔爆発と併用した群設置は $M=9$

$4x=2.5$ m に統一した。記録を第31図 (filter 28-out) 第32図 (filter 40-15) に示す。

特性曲線

群設置と併用した場合の多孔爆発の特性図を第33・34図に示す。図を一見してわかるように、いずれの filter の場合にも多孔爆発のみ、群設置のみの場合に比べて特性の値 $K_1(\omega) \cdot K_2(\omega) \cdot K_3(\omega)$ は小さくなっており、 A -noise, B -noise のような速度の速いもののみが残ることになる。

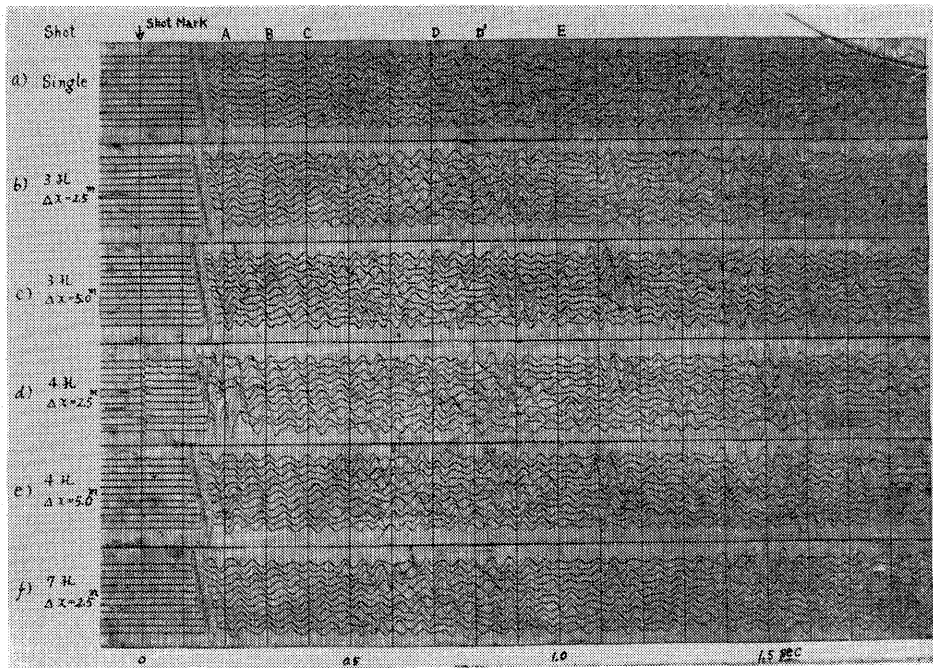
記録との対比

記録による各 noise の明瞭度と $K_1(\omega) \cdot K_2(\omega) \cdot K_3(\omega)$ の値を一覧表にして第8表(b)に示す。次に、(28-out), (40-15) の2種の filter の記録について観察されることを次に述べよう。

(1) まず特筆されることは、記録全体の様相が今まで調べてきた群設置あるいは多孔爆発のみの記録に比し非常に変わってきて、位相が揃ってきたことである。特に A -noise から C -noise までの間、すなわち 0.25 sec から 0.50 sec までの位相にその傾向が著しい。そしてこの傾向は多孔爆発の孔数が多いほど著しく、位相の連続は filter (28-out) において特に顕著である。

(2) A -noise は相変わらず優勢である。多孔爆発のみの記録に比較して、むしろ顕著になってくる。

(3) B -noise, C -noise については A -noise ととも



第31図 群設置×多孔爆発 filter (28-out) の記録

に random noise が消されたために、かえって顕著に現われてきたものと見られる。

(4) *D*-noise, *E*-noise のように速度の遅い noise については群設置と多孔爆発の併用によりみごとに消去されている。 $N=3, \Delta y=2.5\text{ m}$ の記録に *D*-noise がわずかに残る程度である。wave noise に対しては、総合特性が両者の特性の積になるという法則をよく実証しているものと考えられる。

(5) 全体として反射 signal の検出が非常に良好に

なり、特に *L*-5, *L*-7 の signal が良好である。

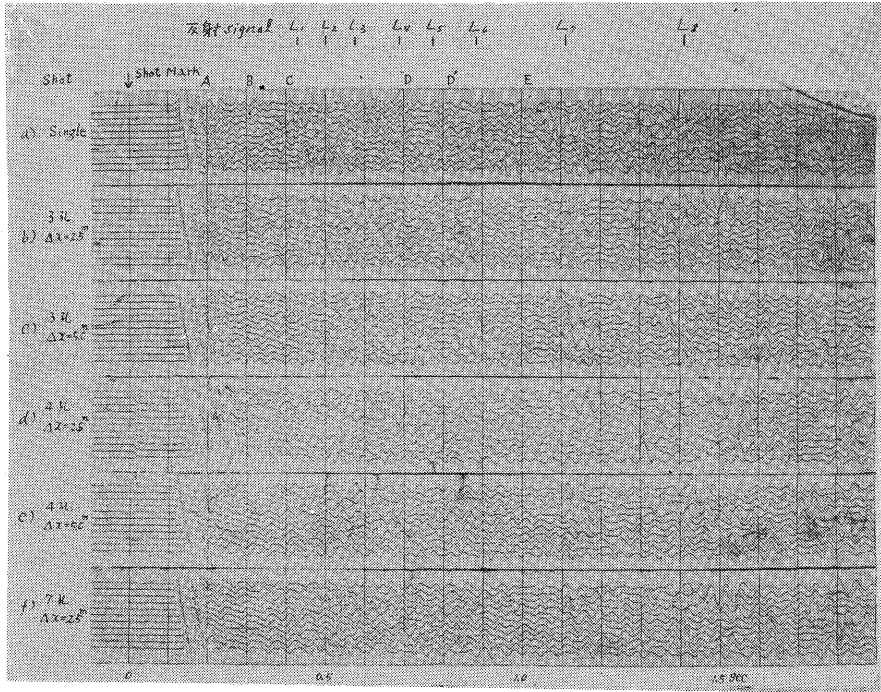
6.3 多孔爆発のみの記録と群設置×多孔爆発の記録の比較

前2節に多孔爆発のみの記録および群設置×多孔爆発を併用した記録について述べたが、両者の間には非常に顕著な差異が認められるので両者を比較してみる。

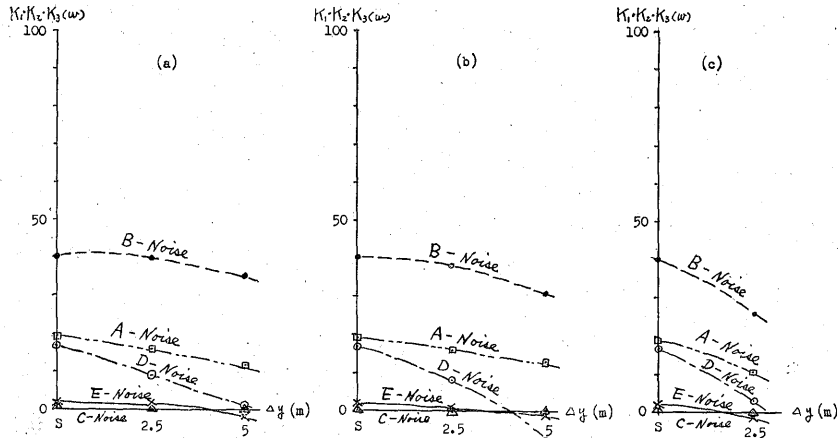
Wave noise の比較

(1) 記録の様相の比較

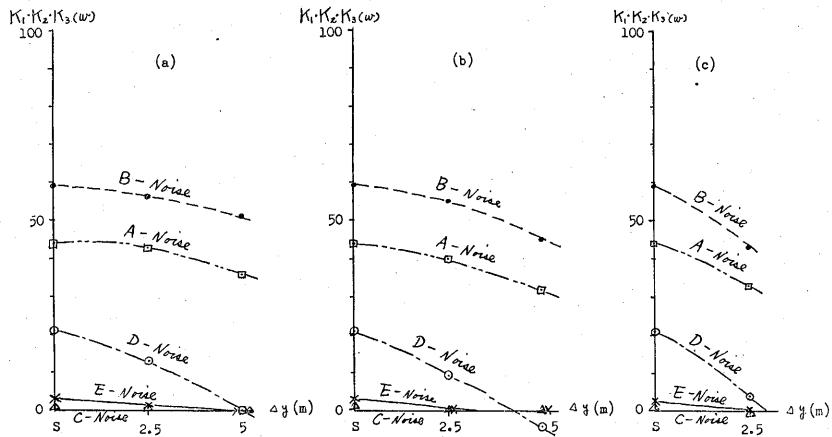
たとえば、 $N=3, \Delta y=5.0\text{ m}$ で $M=9, \Delta x=2.5\text{ m}$ の



第32図 群設置×多孔爆発 filter (40-15) の記録、上部の L_1, L_2, \dots, L_8 は反射 signal



第33図 群設置 ($M=9, \Delta x=2.5\text{ m}$) × 多孔爆発, filter (28-out) の $K_1(\omega) \cdot K_2(\omega) \cdot K_3(\omega) - \Delta y$ の特性 (a) $N=3$ (b) $N=4$ (c) $N=7$



第 34 図 群設置 ($M=9, \Delta x=2.5 \text{ m}$) \times 多孔爆発, filter (40-15) の $K_1(\omega) \cdot K_2(\omega) \cdot K_3(\omega) - \Delta y$ の特性
(a) $N=3$ (b) $N=4$ (c) $N=7$

記録についてみると、記録の様相は受振器 single で $N=3, \Delta y=5.0 \text{ m}$ の記録よりも、むしろ $M=9, \Delta x=2.5 \text{ m}$ で単一爆発の記録に類似している。多孔爆発と群設置とを組合せた場合、その総合特性は両者の積になるが、この際 $K_2(\omega) \cdot K_3(\omega) - \text{freq.}$ 特性曲線における最初の cut-off までの特性は常に両者のいずれか sharp な方の特性曲線に支配されることは金子も指摘している。この場合上記の 3 者の特性曲線を比較すると、すなわち ($N=3, \Delta y=5.0 \text{ m}$) \times ($M=9, \Delta x=2.5 \text{ m}$) の特性の cut-off は ($M=9, \Delta x=2.5 \text{ m}$) \times single の特性に支配されることが明らかであるから、($N=3, \Delta y=5.0 \text{ m}$) \times ($M=9, \Delta x=2.5 \text{ m}$) の記録と ($M=9, \Delta x=2.5 \text{ m}$) \times single の記録が ($N=3, \Delta y=5.0 \text{ m}$) \times single の記録に較べてよく似ていることは説明される。

(2) A-noise の比較

A-noise ではいずれの記録でも群設置と多孔爆発を併用した記録の方が顕著に現われている。特性曲線からは $K_1(\omega) \cdot K_3(\omega) = 30 \sim 20, K_1(\omega) \cdot K_2(\omega) \cdot K_3(\omega) = 20 \sim 10$ であり、明らかに併用した方が小さくなるはずである。それにもかかわらず、かえって顕著になることは random noise の消去を考慮しなければ説明できないことである。

(3) B-noise, C-noise の比較

B-noise, C-noise と併用した記録の方が明瞭である。この点は wave noise だけを問題とすると理論的特性と一応相反するように見えるが、wave noise の消去の割合が、random noise の減少の割合よりも小さいとすれば見掛け上 wave noise が顕著になることは不思議はない。

(4) D-noise, D'-noise, E-noise の比較

これらの速度の違い noise については多孔爆発単独の場合と群設置と多孔爆発を併用した場合とでは実に顕著な差異を示している。すなわち、D-noise については多孔爆発のみの記録では、いずれの場合にも完全には消去されなかったが、併用の場合、実にみごとに消されている。そして noise の消去された後に反射 signal が多数見られる。

Random noise の比較

Random noise の消去については、群設置と多孔爆発とを併用した場合、受振器としての総合効果が $M \times N$ 個であるから、群設置あるいは多孔爆発を単独で用いた場合よりも著しい効果が期待されるはずである。すなわち、 $N=3, 4, 7$ 孔の多孔爆発を $M=9$ 個の群設置と併用した場合には、それぞれ 27, 36, 63 個を使用したことになり、記録上でも多孔爆発単独のものに比較すると著しく random noise が消去されているように見られる。しかし、27個、36個、63個と受振器の総合個数の割合は記録上ではあまり明瞭には表われていない。

7. 考 察

7.1 相反性について

次に相反性 (reciprocity) について考えてみたい。ここで相反性というのは一般に (P 本の群設置) \times (P' 孔の多孔爆発) と (P' 本の群設置) \times (P 孔の多孔爆発) との場合、全く同等であるかどうかという問題である。もちろん、この場合においては、それぞれの受振器間隔、爆発孔間隔は相反性が成立つようにしてある。したがって、両者の特性曲線は全く同一であり、総合個数 $M \times N$ も等しい。

今回の実験では相反性の検討が主目的ではなかったの

で、次の2組の資料しか得られなかった。すなわち、

- 1) $\left\{ \begin{array}{l} (M=3, \Delta x=2.5 \text{ m の群設置}) \\ \times (1 \text{ 孔爆発}) \\ (1 \text{ コの受振器}) \\ \times (N=3, \Delta y=2.5 \text{ m の多孔爆発}) \end{array} \right.$
- 2) $\left\{ \begin{array}{l} (M=3, \Delta x=5.0 \text{ m の群設置}) \\ \times (1 \text{ 孔爆発}) \\ (1 \text{ コの受振器}) \\ \times (N=3, \Delta x=5.0 \text{ m の多孔爆発}) \end{array} \right.$

である。以下これらの場合を記録について検討しよう。

Δx , または Δy が 2.5 m の場合の比較

まず filter (28-out) の記録について比較してみると (第9図 (a), 第11図 (b)), 記録全体の感じでは両者は非常に類似した様相を呈している。すなわち各 noise の出方, random noise の出方などでは両者ほとんど同じである。しかし wave noise の振幅では明らかに群設置のみの記録の方が大きく、特に D, D', E -noise 間の振幅と位相の連続に相当の差異がみられる。

filter (40-15) についてみると (第10図 (a), 第12図 (b)) やはり記録全体の様相は類似しているが、wave noise については群設置のみの場合の方が明瞭である。特に A -noise については顕著である。反射 signal は filter (28-out) では見られなかったが、filter (40-15) では群設置のみの記録で 0.55 sec 付近に貧弱に見られ、多孔爆発のみの方には見られない。

Δx , または Δy が 5.0 m の場合

filter (28-out) の場合 (第9図 (b), 第11図 (c)) および filter (40-15) の場合 (第9図 (c), 第11図 (d)) 両者ともその記録は類似している。

両者を比較すると次の通りである。

- (1) A -noise は両 filter とともに群設置のみの方が顕著である。
- (2) B -noise, C -noise はあまり変わらないが多孔爆発のみの方が多少著しい。しかし、0.5 sec まですなわち A -noise から C -noise までの範囲は振幅に多少の差がみられるだけで両者の間にそれほど大きな差異はない。
- (3) D -noise 付近になると記録の様相が変わり、群設置のみの記録では random noise の記録が大きくなり、 D -noise の振幅がかなり大きいにもかかわらず picking がしにくい。多孔爆発の記録では D -noise の振幅は小さいが、random noise の振幅も小さいので picking は比較的容易である。
- (4) D -noise 以降でも群設置のみの記録は random noise がかなり大きくなり、 D' -noise, E -noise の顕出を妨げている。

(5) filter (40-15) の群設置のみの記録では 0.58 sec 付近に顕著な反射 signal が認められるが、多孔爆発のみの記録では認められない。 ($\Delta x=2.5 \text{ m}$ の場合と同様である。)

相反性の検討

以上の2つの資料だけから群設置と多孔爆発に関する相反性の結論をだすことはできないが、概略において両者の記録がよく似ていること、しかし詳細な点では上記のように差異があることがわかった。すなわち厳密な意味では相反性は成り立っていないが、実用的には成り立つと考えてもよいようである。

相反性を否定する原因として次のようなことが考えられる。

(1) 群設置の場合には受振器は正確に一直線上に配置されたが、多孔爆発の爆発孔は第1表および第2図でわかるように $\Delta y=2.5 \text{ m}$ の場合は一直線上にはない。

(2) 地表条件の一様性は群設置の性質に、また爆発点付近の地質条件の一様性は多孔爆発の性質に影響を及ぼす。したがって、両者の一様性がかなり違う場合には相反性は成立しないであろう。

(3) 群設置の場合、受振器の出力の加算は代数的加算にかなり正確に近似していることが知られているが、多孔爆発のとき各孔の間隔が 5 m 以内のような時、相互の干渉が起こさされているかどうかについては明らかでない。もし相当大きい干渉があるとすれば当然相反性は否定されることになる。

以上のように、この問題については未解決の事項が多く、今後の研究を必要とする。

7.2 random noise について

この実験は random noise を主題としたものではなかったが、実験の過程において興味ある事項が知られたので次に述べることにする。

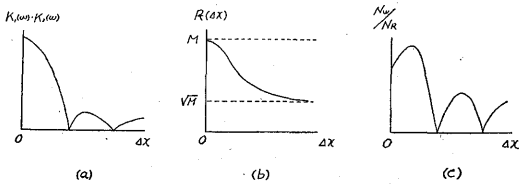
元来 random noise といわれている記録上の振動は各 trace の振動間で全く拘束 (coherence) をもたないものとして、またこの仮定のもとで調べられている。しかしながら、現実の各 trace の記録においては、特に群設置のように比較的短い間隔で受振器が配置される場合には相当の関連性があることは明らかである。このような trace 間の拘束については Smith (1956) も簡単な考察を述べているが、こんにちまであまり調べられていないようである。また、この関連性に関しては以前に金子の実験があり、土地の性質 (例えば畑とか道路など)、あるいは用いる filter の種類によって拘束性が異なることを定性的に示している。

各 trace 間に全く拘束のない random noise の場合

には、周知のように、その合成振幅は \sqrt{M} 倍になり、完全に拘束されており、同じ位相のものは、たとえば反射 signal のようなものは M 倍になる。したがって、random であっても、ある程度拘束のあるものでは、その合成振幅は \sqrt{M} 倍と M 倍との間にあることが期待される。また拘束の大きさは $\Delta x=0$ のとき当然 100% であり、充分に受振器が離れていけば、つまり Δx の値が相当大きければ拘束はないと考えられる。金子の上記の実験では同じ Δx の値に対しては水田地は道路のように踏み固めた土地よりも、また、周波数の高いものの方が拘束は小さいことが知られている。

さて第19図、第20図の $N_W/N_R-\Delta x$ 曲線において Δx が 0 から増大するとともに N_W/N_R の値 ($S-N$ 比に相当する) が次第に増し、ある極大値をとって減少することを思い出していただきたい。極大値の値は第19図では $\Delta x=1.5\text{m}$ 、第20図では 0.75m である。このことは多くの記録でしばしば見られるように (たとえば第10図 (a), (b), (c), (d)) wave noise の最も顕著なもの、実は single の記録ではなく、 Δx の値が上記の程度の値のときであることに該当することである。

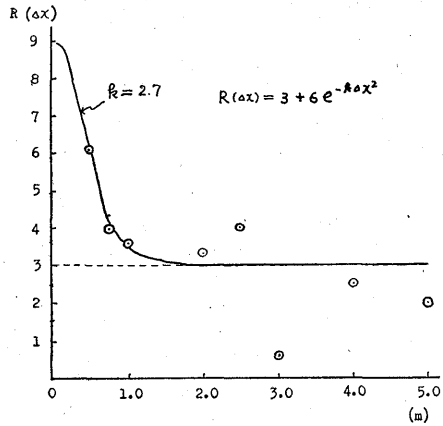
この事実は次のように考えることができる。wave noise の振幅を規定するのは特性 $K_1(\omega) \cdot K_2(\omega)$ である。他方 random noise の振幅を規定するのは受振器の個数 M と間隔 Δx に関係する拘束性である。 $K_1(\omega) \cdot K_2(\omega)$ は受振器の個数とその pattern によって決定され、たとえば第35図 (a) である。random noise を決定する関係はまだ知られていないが、前記のような条件を考慮すると (b) 図のような形になるであろう。もし、この曲線が知られたとすれば (a) 図の値を (b) 図の値で割れば、それは (c) 図の N_W/N_R の値を表わすわけである。



第35図 Wave noise, random noise およびその比と spacing Δx との関係

いま、9コ群設置、filter (28-out) の D -noise に着目することにしよう。 $K_1(\omega) \cdot K_2(\omega)$ は第14図から知られ、また N_W/N_R は第20図に示されている。そこで両図から第35図 (b) 図に当る random noise の特性 $R(\Delta x)$ が計算され、これを第36図に示す。いま、 $R(\Delta x)$ を

$$R(\Delta x) = \sqrt{M} + (M - \sqrt{M}) e^{-k \Delta x^2} \quad (9)$$



第36図 第14図と第20図から計算された random noise と Δx との関係

で表わすと第36図のように (9) 式は

$$R(\Delta x) = 3 + 6 e^{-2.7 \Delta x^2} \quad (10)$$

で表わされ、 k の値は 2.7 になる。もちろん、この式は何ら理論的に根拠のあるものではない。しかし、もし $R(\Delta x)$ が上記のような式で表わされるとすれば k は拘束を示す値と考えてよいであろう。したがって、この値は土地の状態、振動の周期によって変わることは明らかである。

上記の考え方は wave noise と random noise の関係から random noise の拘束を評価したのであるが、全く同様のことが反射 signal と random noise から可能である。もし、反射 signal の見掛け速度が大きいときは第35図の (a) で $K_2(\omega) = \text{const.}$ となり、取り扱いは容易である。

7.3 Wave noise と反射 signal

Wave noise の消長と理論特性との対応のことについては各章において詳しく述べてきた。いま記録を $R(t)$ 反射 signal を $S(t)$ 、wave noise を $N_W(t)$ 、random noise を $N_R(t)$ と表わすと

$$R(t) = S(t) + N_W(t) + N_R(t) \quad (11)$$

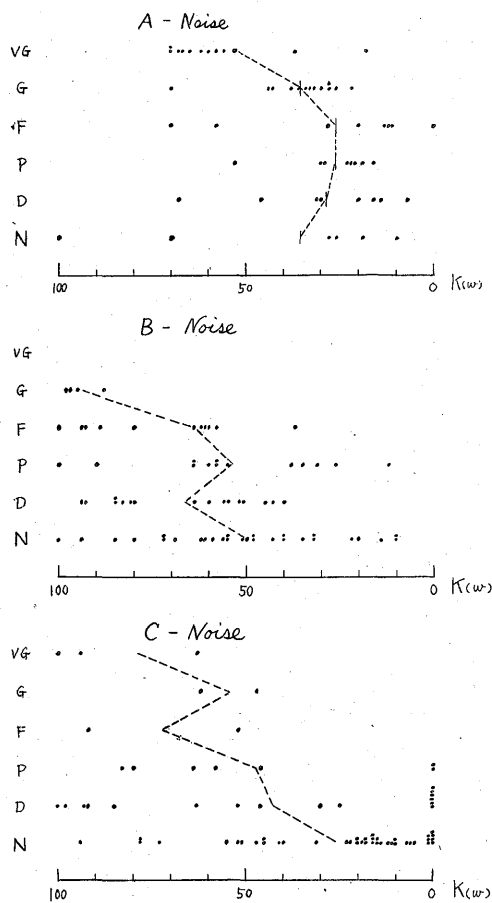
の関係がある。いま wave noise $N_W(t)$ を消去すれば、

$$R(t) = S(t) + N_R(t) \quad (12)$$

であり $S(t) > N_R(t)$ であれば反射 signal の検出は良好になり、 $S(t) < N_R(t)$ ならば反射 signal は分からないで random noise だけが顕著になる。われわれの実験では一応 wave noise の消去を目的として行なったわけであるが、受振器の個数、間隔、爆発孔の個数、間隔の変化により当然のことであるが $S(t)$ にも $N_R(t)$ にも影響を与えているわけである。random noise との簡単な考察は前節に行なったのであるが、かなり複雑な問題であ

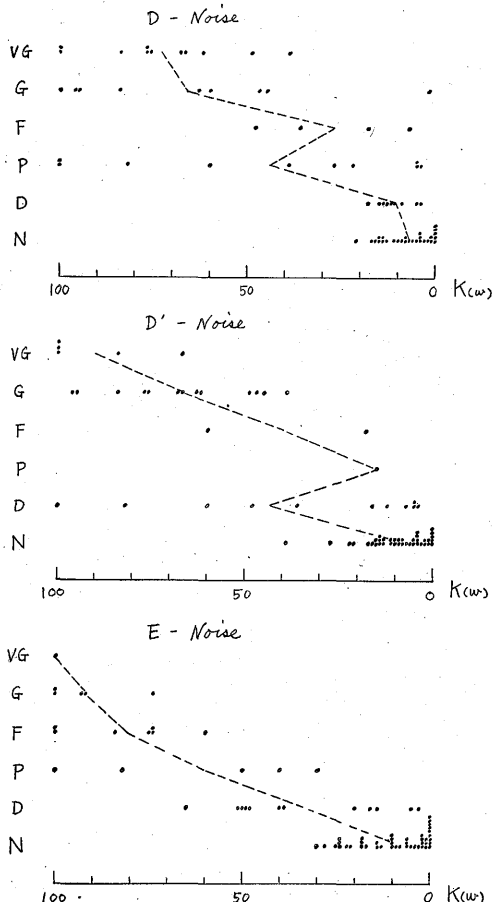
る。さらにわれわれが実験に使用した装置は A. G. C. 回路をもっていることを考えると記録上の反射 signal, wave noise の消長ということも、たゞ記録の振幅の大きさ、あるいは明瞭度だけから消長を確認することが困難な場合もあるように思われる。

それにもかかわらず、wave noise の消去に関しては群設置および多孔爆発の理論的特性から期待される結果と一般的によく一致するという結論には誤りないようである。いままで述べた記録全部について各 wave noise ごとに $K(\omega)$ の値と noise の明瞭度との関係を表わしたのが第 37・38 図である。また各 grade ごとに $K(\omega)$



第 37 図 A, B, C 各 noise の $K(\omega)$ と明瞭度との関係

の平均値を計算して点線で結び、平均曲線とした。平均曲線だけから考えると $K(\omega)$ の値の小さいものほど grade も低いことは明らかであるが、そのばらつきはかなり激しいことが見られる。ばらつきの原因の 1 つとして、あるいは非常に多くの部分は random noise に原因するものと考えられるが、その検討は前節に述べた程度



第 38 図 D, D', E 各 noise の $K(\omega)$ と明瞭度との関係

でそれ以上の考察は今後の問題として残された。

第 9 表に filter (40-15) の記録について各群設置および多孔爆発の記録から反射 signal を検出し、F, P, D の grade をつけて一覧表に示した。この表から群設置と多孔爆発を併用することがいかに反射の検出に対して有効であるかは明らかである。

7.4 群設置法と多孔爆発法の使用上の注意

群設置法および多孔爆発法あるいは両法の併用について、その理論的特性をよく考慮すべきであること、また反射 signal の変形をも考えなくてはならぬことについては筆者の 1 人金子が前の論文において詳しく述べている。この実験結果は wave noise においては上記の点がさらに確認されたと思われる。

再言すると wave noise の消去に関しては理論特性を支配する受振器あるいは爆発孔の pattern (配置) が主役を演じており、受振器の個数あるいは爆発孔の孔数は二次的の役目をもっていることである。このことは理論特性と wave noise の消去とがよく一致することにほか

群設置法と多孔爆発法による妨害波消去の実験 (金子徹一・平沢 清)

ならない。他方、反射 signal は消長は wave noise の消長と同様に random noise の消長に支配されることはいうまでもない。特に A. C. G. 回路はこの関係を強調することになる。前節に述べたように random noise の消長は受振器の個数とともに、受振器間の距離、いわゆる spacing に強く依存しており、特に個数 M の多いときには著しい。すなわち spacing は wave noise の消長に関する理論特性にも、また random noise の消長にも関連するものであるので、一般に noise の消去という際には両者の兼ねあいを充分理解しておくことが必要であると思われる。

random noise の拘束性については、こんにちまで理論的研究が進んでいないので、wave noise に対するように現場ですぐ利用できる理論はないが、上記のような定性的の意味を理解することにより大きな誤りを避けることができるであろう。

8. 結論および要約

群設置および多孔爆発による wave noise の消長を調べることを実験の主目的にしたのであるが、群設置と多孔爆発の間の相反性および random noise についても簡単な考察を行なった。

第 9 表 Filter (40-15) による反射 Signal 検出の比較表

Shot	Geophone	Fig. No.	L-1	L-2	L-3	L-4	L-5	L-6	L-7	L-8
Single	Single	Fig. 4 c	—	—	—	—	—	—	—	—
Single	M 9 0.25 m	Fig. 11	a	—	—	P	—	—	—	—
	" 0.50		b	—	—	—	—	—	—	—
	" 0.75		c	—	—	D	—	—	—	—
	" 1.0		d	—	—	P	Partial D	—	—	—
	" 1.5		e	—	—	F	Partial D	D	P	—
	" 2.0		f	—	—	—	Partial D	—	Partial D	—
	" 3.0		g	—	—	D	P	—	Partial D	—
	" 4.0		h	—	—	—	—	—	Partial D	—
	" 5.0		i	—	—	P	D	—	D	—
Single	6 2.0	Fig. 22	a	—	—	P	—	—	—	D
	" 3.0		b	—	—	F	—	—	—	F
	" 5.0		c	—	—	Partial D	—	—	—	—
Single	3 2.5	Fig. 25	a	—	—	D	—	—	—	—
	" 5.0		b	—	—	F	—	—	—	—
	" 9.0		c	—	—	—	—	—	—	—
N Single	Δy Single	Fig. 29	a	—	—	—	—	—	—	—
3 2.5	"		b	—	—	—	—	—	—	—
" 5.0	"		c	—	—	—	—	—	—	—
4 2.5	"		d	—	—	—	—	—	—	—
" 5.0	"		e	—	—	—	—	—	—	—
7 2.5	"		f	—	—	—	—	—	—	—
Single	9 2.5	Fig. 32	a	D	P	F	Partial D	P	D	F
3 2.5	" "		b	P	—	P	—	—	F	P
" 5.0	" "		c	D	—	P	Partial D	—	P	F
4 2.5	" "		d	—	—	—	Partial D	—	D	D
" 5.0	" "		e	—	—	—	Partial D	—	F	D
7 2.5	" "		f	—	—	D	D	—	P	P

実験地においては A, B, C, D, D', E の6種の wave noise が観測されたが、これに対し受振器 9, 6, 3 個の群設置, 7, 4, 3 孔の多孔爆発により wave noise の消長を調べた。群設置あるいは多孔爆発は個数および間隔が指定されれば上記の各種の wave noise に対してそれぞれ理論的特性が計算される。そこで観測の結果得られた記録上での wave noise の消長と理論的特性の値とを比較してみると、多くの実験において傾向としてはよく一致することが認められる。特に最も顕著である D -noise に対しては特性上から期待される値と記録上の消長とは驚くほど一致している。しかし、他の wave noise については多くの例外もあるのであるが、その原因としては random noise が考えられる。

受振器1個の記録に較べて受振器間隔の小さい群設置において wave noise が顕著であるという事実は群設置あるいは多孔爆発が wave noise と random noise の消去に関する特性函数の形を異にすることから生ずるものと考えられる。random noise の特性の1例として $R(\Delta x) = \sqrt{M} + (M - \sqrt{M})e^{-k\Delta x^2}$ の函数を考えたとき、9コノ群設置において $R(\Delta x) = 3 + 6e^{-2.7\Delta x^2}$ の実験式が得られた。

今回の実験により群設置、多孔爆発および両者を併用した場合、その理論特性を利用して受振器、爆発孔の配置、その個数(孔数)を決定して wave noise を消去することが、実際に役立つものであることを証明し得たものと考えられる。しかし、相反性の問題や特に random noise の消去に関しては疑問の点が多く、群設置および多孔爆発をさらに有効に利用するためには今後さらにこの種の研究を進める必要があるものと思われる。

(昭和35年5月稿)

文 献

- 1) 金子徹一：地震探鉱における群設置法と多孔爆発法の研究，地質調査所報告，No. 182, 1959
- 2) 金子徹一：地震探鉱反射法の研究，地質調査所報告，No. 156, 1953
- 3) Smith, M. K.: Noise analysis and multiple seismometer theory, Geophysics, Vol. 21, No. 2, 1956
- 4) 佐々木恒郎： S/N について，物探技術報告，43，石油資源 K. K., 1957