

サンプリングフィルターによる反射波形の変形

川 島 威*

On the Deformation of Reflected Wave due to Sampling Filter

by

Takeshi Kawashima

Abstract

Deformation of reflected wave due to sampling filter such as pattern shooting, multiple geophone setting, mixing and compositing in seismic prospecting is investigated.

Ricker's wavelet (Fig. 1) is used as a reflected wave. Output wave forms of the equal weight sampling filter, such as linear array of multiple geophone, are illustrated in Figs. 2~7. Characteristic curves of amplitude and time delay are presented in Figs. 9~14 and Fig. 17. Deformation of the wavelet is analyzed with respect to broadening of wave form (Fig. 15) and anti-symmetry (Fig. 16).

The similar analysis was done for the different weight sampling filter such as pattern shooting: Output wave forms (Figs. 18~21), amplitude characteristics (Figs. 23~26); time delay characteristics (Fig. 29), broadening of wave forms (Fig. 27) and anti-symmetry (Fig. 28) are illustrated.

Various nomograms (Figs. 30, 38, 39) are prepared for the conversion of parameter θ (phase angle) to the practical parameters such as apparent velocity frequency, geophone spacing etc.

Amplitude characteristic curves as functions of frequency and step-out time are illustrated in Figs. 31~37 and Figs. 40~46.

要 旨

非対称形の孤立波を用いて、サンプリングフィルターによる反射波の変形を系統的に調べた。すなわち孤立波として N. Ricker のいわゆる wavelet の速度波形 $R=25$ を用い、出力波形を計算し、振幅特性、波形の伸び、非対称性の変化、位相特性等を検討した。さらに実際に現場で利用するのに便利な図表をいくつか作成した。

1. 緒 言

近年受振器の小型化、作孔機の進歩、磁気録音器の発達等に伴って、反射波を検出するために、群設置法・多孔爆発法・混合法・Compositing 等の、いわゆるサンプリングフィルターの原理に基づく技術が発展してきた。

反射波のような孤立波が、群設置法・多孔爆発法・混合法等で、どのような変形を受けるかについては、F. Rieber¹⁾、M. Mott-Smith²⁾、J. E. White³⁾、金子⁴⁾らによつて、いくつかの例について研究されている。この論文では孤立波の変形をサンプリングフィルターの観点から、系統的に調べてみた。すなわち、群設置に相当

する等しい重みをもつサンプリングフィルター、多孔爆発法に相当する異なる重みをもつサンプリングフィルターのそれぞれについて、孤立波の出力波形を計算し、それから周期的波に対する特性図に相当する振幅特性図、波形の伸び、非対称性の変化、位相特性等を検討した。

2. 重みの等しいサンプリングフィルター

2.1 孤立波として用いた波形

反射波形に相当する波形として、White³⁾、金子⁴⁾は、対称形の Ricker pulse⁵⁾ を用いたが、非対称性の変化も興味ある問題なので、この論文では Ricker の wavelet の速度波形、

$$\dot{\phi} = \left(\frac{2}{R}\right)^{1/2} v(u/R) \dots \dots \dots (1)$$

$$u = (T-R) / \left(\frac{R}{2}\right)^{1/2}, \quad R = \frac{\omega_0 r}{C}, \quad T = \omega_0 t$$

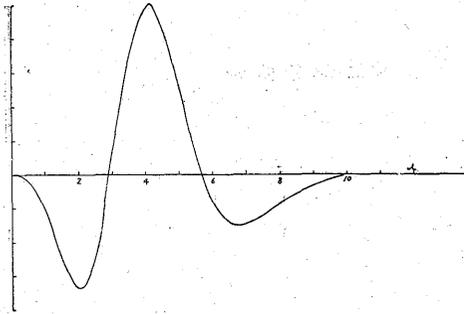
r = 距離, C = 速度, ω_0 = 常数, t = 時間

の $R=25$ を用いた。第 1 図はその波形である。

2.2 波形の合成

入力波形を $y(t)$ とし、サンプリング間隔を τ とすると、

* 物理探査部



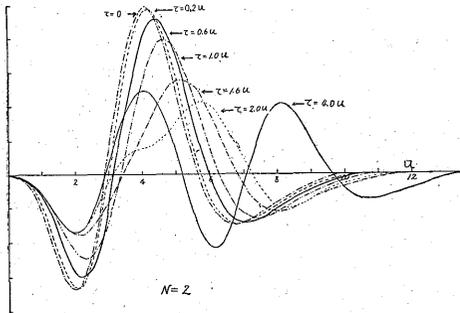
$\phi = \left(\frac{2}{R}\right)^{5/2} v(u/R)$ の $R=25$ 。ここに $U=(T-R)/\left(\frac{R}{2}\right)^{1/2}$
 $R = \frac{\omega_0 r}{C}$, $T = \omega_0 t$,

第1図 孤立波として用いた波形, Ricker の Wavelet 速度波形

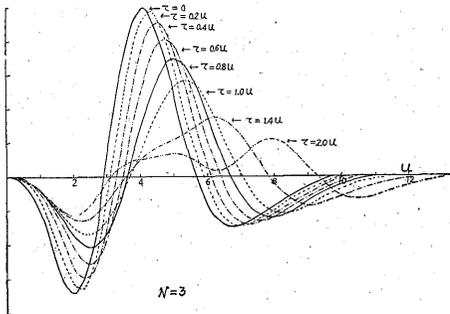
等しい重みの N 個のサンプリングの出力波形 $Z(t)$ は

$$Z(t) = 1/N \sum_{K=0}^{N-1} y(t+K\tau) \dots \dots \dots (2)$$

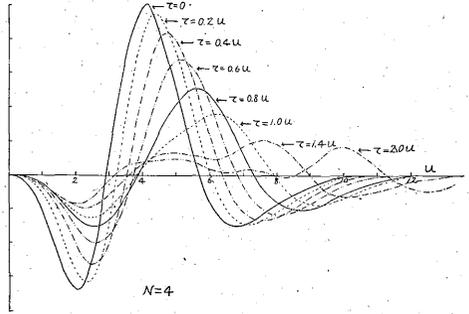
で表わされる。1/N の因子は基準化のためのものである。この式によつて $N=2, 3, 4, 6, 9, 12$ のそれぞれの個数についてサンプリング間隔 τ を $0.2u, 0.4u, 0.6u, 0.8u, 1.0u, 1.4u, 1.6u, 2.0u, 4.0u$ と変えた場合の波形の変形を計算した結果が、第2~7図であ



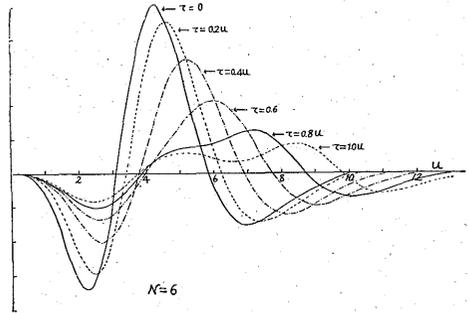
第2図 重みの等しいサンプリングフィルターによる出力波形, $N=2$ の場合, τ はサンプリング間隔である。



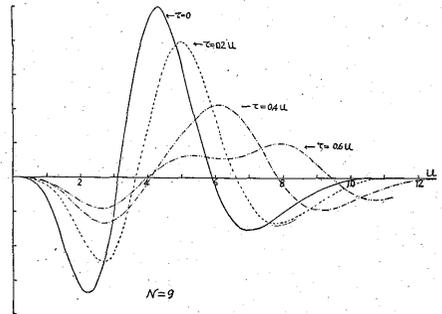
第3図 重みの等しいサンプリングフィルターによる出力波形, $N=3$ の場合



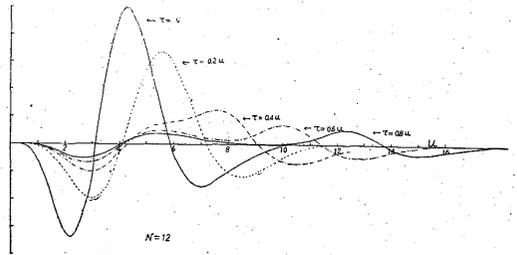
第4図 重みの等しいサンプリングフィルターによる出力波形, $N=4$ の場合



第5図 重みの等しいサンプリングフィルターによる出力波形, $N=6$ の場合



第6図 重みの等しいサンプリングフィルターによる出力波形, $N=9$ の場合



第7図 重みの等しいサンプリングフィルターによる出力波形, $N=12$ の場合

る。ただし、反射波の検出が終局の目的なので、波形が崩れ始めるまで計算し、以下は略した。サンプリング間隔の単位にとつた $0.2u$ は、第1図に示した原波形の、谷から谷までの長さが約 $4.7u$ であるから、これを卓越した波の波長とすれば、その $1/23.5$ にあたるわけである。また第2~7図のように、サンプリング個数を一定にして、サンプリング間隔を変化させることは、実際的な問題としては、群設置法では受振器の個数を一定にして、受振器間隔を変えた場合であり、直線型多孔爆発法では、孔の数が一定で、孔間隔が異なる場合になり、混合法では、反射波の到達時刻の差、 ΔT が異なる場合にあたるわけである。

それぞれの図についてみると、次のことに気がつく。

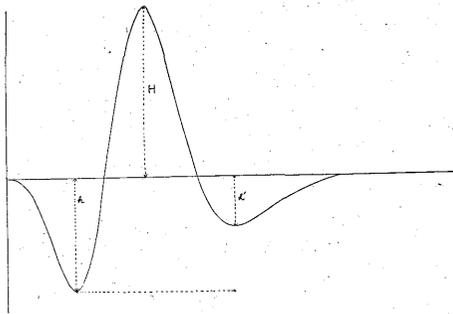
- (1) 個数が一定の場合、サンプリング間隔 τ が増すにつれて振幅は減少する。
- (2) 谷と谷との間隔は増大して波形が延びる。
- (3) 波形の非対称性は順次減少して対称形に近づいている。
- (4) 波形は順次変化してゆくが、ある点までくるとかなり急激に崩れる。

以上4点のうち、(1)、(2)は周期的波に対する特性から予想されることであり、(3)、(4)は孤立波に特有のものである。

以下にやゝ詳しく検討する。

2.3 振幅の変化

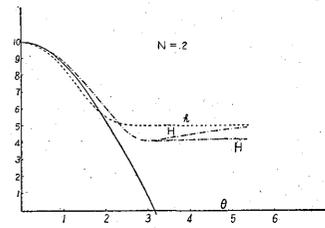
孤立波の振幅のサンプリングフィルタによる変化を表わすために、孤立波の最初の谷の振幅 h 、最初の山の振幅 H (第8図参照) について、原波形 (h_0, H_0) と出力



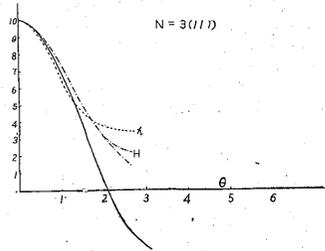
第8図 振幅 H, h, h' および波形の幅 B の説明図

波形との比 $h/h_0, H/H_0$ をとり、周期的波の特性と比較するために、サンプリング間隔 τ を位相角 θ に変換して、周期的波の特性図と重ねて表現したものが第9~14図である。

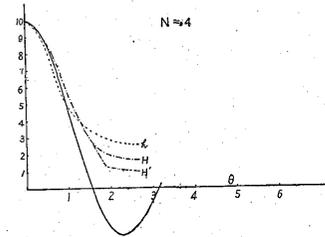
実線で示したのが周期的波の特性図で、点線で示したのが最初の谷 h の振幅変化、鎖線で最初の山 H の振幅変化である。



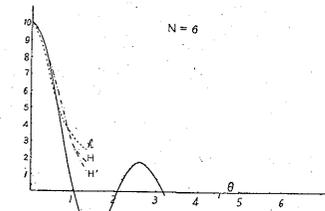
横軸の単位 θ は位相角である。
実線：周期的波 点線： h 破線： H
2つに割れているのは波形の崩れ
第9図 振幅特性図、 $N=2$ の場合



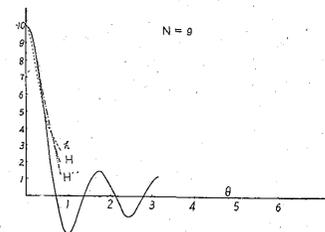
第10図 振幅特性図、 $N=3$ の場合



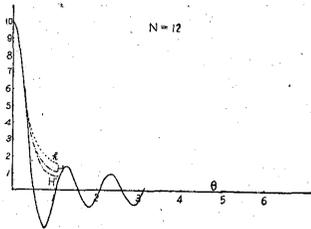
第11図 振幅特性図、 $N=4$ の場合



第12図 振幅特性図、 $N=6$ の場合



第13図 振幅特性図、 $N=9$ の場合



第14図 振幅特性図, N=12 の場合

(1) θ が小さいうちは周期的波の特性図とほとんど重なり合っているが、 θ が大きくなると孤立波の振幅の方が大きくなり、周期的波の特性図が負になるより少し前で、孤立波の振幅減少率は急に変わって曲線は緩傾斜になる。

(2) 周期的波の場合の 従属の透過帯の 振動部分はない。

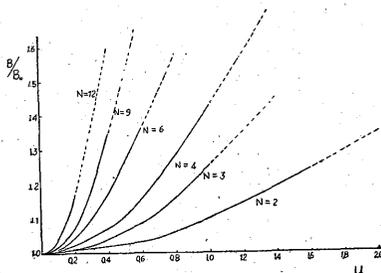
(3) θ が大きくなると、 H の曲線は2つに分かれてくる。これは波形が崩れて山が2つに分かれてくることを示している。

この波形が崩れ始める点は、周期的波の場合の特性図が横軸を切る点に一致している。また個数が増すほど崩れ始めは早くなっている。周期的波の場合に特性図が負になることは、位相の反転を意味するが、孤立波の場合には、波形の崩れとして表現されるわけである。

(4) 最初の谷の振幅 h は、 θ が増すとともに $1/N$ に収斂している。これはサンプリング間隔が充分大きくなった場合に、それぞれの波が独立になることを示している。最初に述べたように出力波形の振幅を基準化のために $1/N$ にしてあることから、振幅は $1/N$ に収斂しているのである。したがって H も、波形が崩れ始めているが、サンプリング間隔が充分大きくなれば $1/N$ に収斂するはずである。

2.4 波形の延び

第8図に示したように、谷から谷までを B として、原形と比較するために B/B_0 をとつて、波形の延びを表わしたのが第15図である。



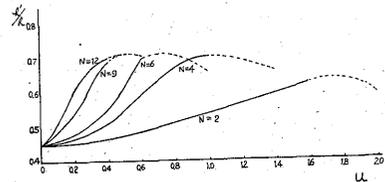
第15図 重みの等しいサンプリングフィルターによる波形の延び

図に実線で示してあるのは波形が崩れていない部分であり、点線で示してあるのは、波形が最初に崩れ始めている点までの部分である。したがって点線の部分のなかで波は崩れ始めているわけである。

波形が延びるのは、サンプリングフィルターの high cut filter としての性質が鋭くなつてゆくことを示しているが、個数が少ない場合を除いて、約1.4倍まで延びると ($B/B_0=1.4$)、それ以上は波形が崩れてくる。

2.5 非対称性の変化

最初の谷の振幅 h と、次の谷の振幅 h' (第8図参照) との比 h'/h をとつて非対称性の変化を示したのが第16図である。



第16図 重みの等しいサンプリングフィルターによる非対称性の変化

波形の延びの場合と同様に、実線部分では波形は崩れていない。同一個数についてみれば、サンプリング間隔 τ が増すほど対称形に近づいている。また個数が少ない場合を除き、 h'/h が0.7程度で波形は崩れ始める。すなわち原型では $h'/h_0=0.45$ の非対称孤立波が、サンプリングフィルターで除々に非対称性は鈍くなつてゆくが、対称形にはならず、 $h'/h=0.7$ 程度で崩れてしまうのである。

個数が少ない場合以外には、波が崩れ始める直前の波形は、 $h'/h=0.7$ $B/B_0=1.4$ 程度で、大体同じ波形であることが推測される。

2.6 位相特性

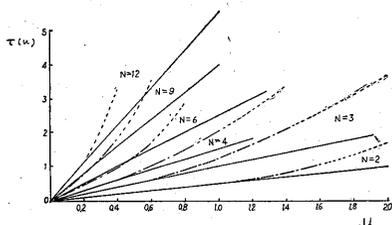
周期的波の場合には、位相のおくれ ϕ はよく知られているように、

$$\phi = \frac{N-1}{2} \theta \dots \dots \dots (3)$$

$$= 2\pi \cdot \frac{N-1}{2} \cdot \Delta d/v \cdot f \dots \dots \dots (4)$$

で表わされる。これは $f=0$ で、 $\phi=0$ を通る linear phase shift である。

非対称孤立波について、位相のおくれを検討する場合には、波形の中心のおくれをみることはかなり困難である。また実際に記録から反射波の到達時刻を読みとる時には、最初の山または谷の到達時刻を読んでいるので、波形の中心に近いピークという意味で、山の位置のずれをみることにした。第17図の実線は周期的波の場合で



第17図 重みの等しいサンプリングフィルターの位相特性

あり、破線は孤立波の場合である。

点線で示した部分で波形は崩れている。図をみれば明らかかなように、間隔が小さいうちは、ほとんど linear phase shift と考えてよいが、ある程度間隔が大きくなると位相のずれは大きくなり、直線性は失われてくる。波形が崩れ始めるより早く、直線性は失われてくるので、この点は注意する必要がある。

3. 対称型の重みのあるサンプリングフィルター

周期的波の特性図の従属的透過帯の共振部分が、フィルターとしての特性を妨害しており、その山の高さを小さくするために、サンプリングされるそれぞれの波に適当な重みをつけることが行なわれる。その方法については、Parr²⁾、金子¹⁾、Savit³⁾ らの研究がある。適当な重みをつけて、この従属透過帯の山の高さを著しく変えた場合に、孤立波の変形にどのような影響があるかを検討した。

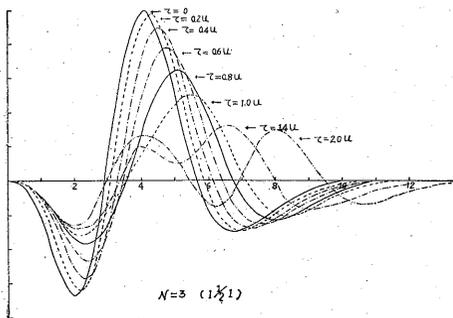
3.1 出力波形

サンプリングの重みが異なる場合に、 K 番目のサンプリングの重みを a_K とすると、 N 個のサンプリングの出力波形 $Z(t)$ は、

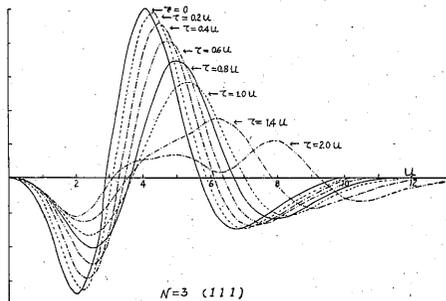
$$Z(t) = \frac{1}{\sum a_K} \sum_{K=0}^{N-1} a_K y(t+K\tau) \dots (5)$$

で表わされる。ここで $y(t)$ は入力波形である。基準化因子は全重量の和をとつてある。

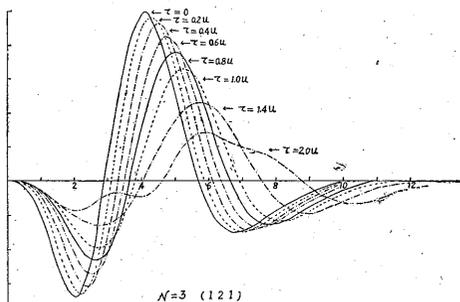
この式から $N=3$ の場合について、外側の重みを 1、



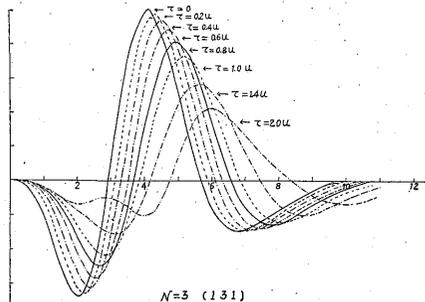
第18図 対称型の重みのあるサンプリングフィルターによる出力波形、 $N=3$ (1 1/2 1) の場合



第19図 対称型の重みのあるサンプリングフィルターによる出力波形、 $N=3$ (1 1 1) の場合



第20図 対称型の重みのあるサンプリングフィルターによる出力波形、 $N=3$ (1 2 1) の場合



第21図 対称型の重みのあるサンプリングフィルターによる出力波形、 $N=3$ (1 3 1) の場合

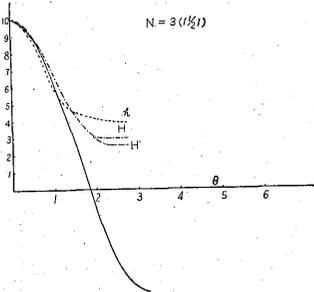
波の進行方向	爆発孔の型	サンプリングの型
→	● ● ●	□ □ □ $N=3$ (1 1/2 1)
→	● ● ●	□ □ □ $N=3$ (1 1 1)
→	● ● ●	□ □ □ $N=3$ (1 2 1)
→	● ● ●	□ □ □ $N=3$ (1 3 1)

第22図 爆発孔の配置とサンプリングの型の関係

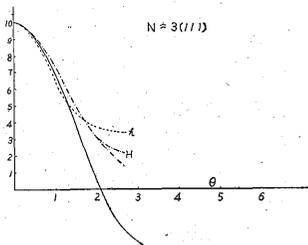
内側の重みを $1/2, 1, 2, 3$ と変えて波形の変形を計算した。第18~21図がその結果である。これは多孔爆発法としてわが国で実際に行なわれている3~5孔の爆発の場合にあたる。また後に述べるように、周期的波の特性図で、従属的透過帯が高いものと低いものとの比較になつてゐる。爆発孔の配置と、サンプリングの型の関係は第22図に示す。

3.2 波形の変形

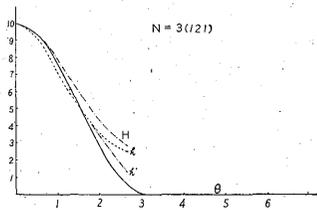
周期的波のサンプリングで、対称型の重みのある場合の特性図が、等しい重みの特性図から簡単に求められることは、南雲^{註1)}が発表している。第23~26図は、それぞれ $N=3$ で中央の重みが $1/2, 1, 2, 3$ の場合について、孤立波の振幅特性と周期的波の特性図とを重ねて表現したものである。重みの等しい場合と同様に、実線は周期的の特性図であり、点線は最初の谷 h 、鎖線は最初の山 H の振幅特性を示している。



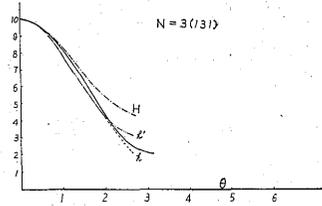
第23図 振幅特性図 $N=3 (1 \frac{1}{2} 1)$



第24図 振幅特性図 $N=3 (1 1 1)$ の場合



第25図 振幅特性図 $N=3 (1 2 1)$ の場合



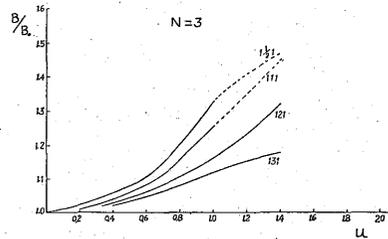
第26図 振幅特性図 $N=3 (1 3 1)$ の場合

周期的波の場合には、中央の重みが小さいほど、high cut filter としての性質は鋭く、従属的透過帯の山は高い。中央の重みが増すほど従属的透過帯の山は低くなり、121の場合にはゼロ、131の場合には特性図は横軸にまで達しない。

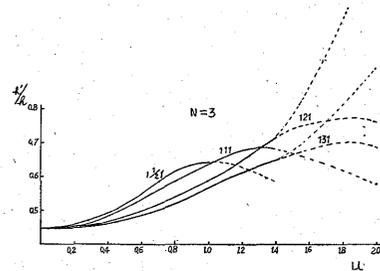
孤立波についてみれば、

(1) 中央の重みが増すにつれて、周期的波の特性曲線に重なる部分が長くなつており、従属的透過帯のない121, 131の場合(第25, 26図)には、波形が崩れるまでほとんど一致している。

(2) 波形の崩れは、重みの等しい場合には最初の谷 (h) は割れずに、山 (H) がサンプリング間隔が大きくなるにつれて割れ始めて行つたが、中央に大きい重みをつけた場合は、まず最初の谷 (h) から割れ始めてゆく。割れた谷の振幅は、基準化因子のために $\frac{1}{\sum a_k}$ に収斂してゆく。波形が崩れ始める点、すなわち振幅特性図が2つに割れ始める点は、重みが等しい場合には周期的波の特性図が横軸を切る点(位相が反転する点)に一致していた



第27図 対称型の重みのあるサンプリングフィルターによる波形の延び



第28図 対称型の重みのあるサンプリングフィルターによる非対称性の変化

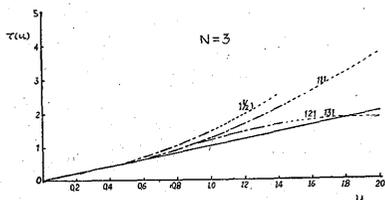
註1) 南雲昭三郎：“サンプリングフィルターの加法性”，物理探鉱協会，昭和33年度秋期講演会に発表)

が、第 25, 26 図では特性図が横軸に達するより早く、 $\theta=2$ の附近で h が割れ始めている。

(3) 非対称性の変化 (h'/h) を第 27 図に、波形の伸び (B/B_0) を第 28 図に示す。サンプリング間隔が増すにつれて非対称形の波形が対称形に近づき、波形も伸びてゆくが、 $h'/h=0.7$ 程度、 $B/B_0=1.4$ 程度から波形が崩れてゆくことは、重みの等しい場合と同様である。

3.3 位相特性

第 29 図に対称型の重みのある場合の位相のずれを示す。第 17 図の場合と同様に、実線は周期的波、破線は孤立波の場合で、点線で示した部分で波形が崩れている。



第 29 図 対称型の重みのあるサンプリングフィルタによる位相特性

周期的波の phase shift は、対称型の重みのある場合でも、重みのない場合と同様に、

$$\phi = \frac{N-1}{2} \theta$$

である。孤立波の場合、サンプリング間隔が大きくなると直線性が失われてくるのは、重みの等しい場合と同じである。サンプリング間隔が大きくなると、中央の重みによつて、位相のずれに大きな差が出ているのは、第 18~21 図をみれば明らかなように、波形の崩れ方が異なるためである。

4. 実際的应用

群設置法・多孔爆発法・混合法等は、サンプリングフィルタの原理によるものであつて、いずれも等価である。したがつて以下に述べることは、すべてに共通するものであるが、一応方法別に説明する。

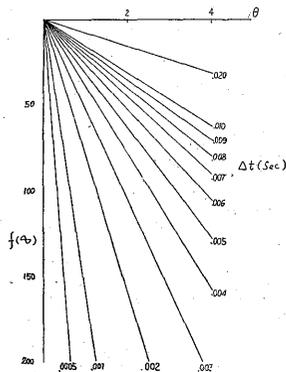
4.1 群設置法

わが国で行なわれている群設置法は、通常直線型に受振器を配列している。したがつて重みの等しいサンプリングフィルタに相当するわけである。第 9~14 図、第 23~26 図の振幅特性図は、位相角 θ を横軸にとつてある。現場で作業計画をたてたり、記録の検討をする場合には不便なので、利用しやすい量に変換するノモグラムを作成した。

位相角 θ は、

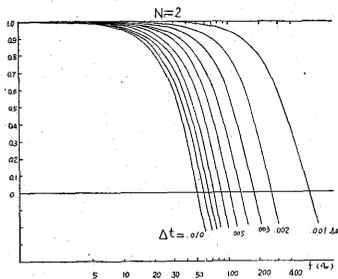
$$\theta = 2\pi \cdot \Delta t \cdot f \dots \dots \dots (5)$$

で表わされる。したがつて第 30 図のようなノモグラムを作つておけば、位相角 θ を時刻差 Δt をパラメーターにして周波数 f に変換することができる。第 30 図の横軸 θ を、振幅特性図の横軸に重ね合せて用いればよい。

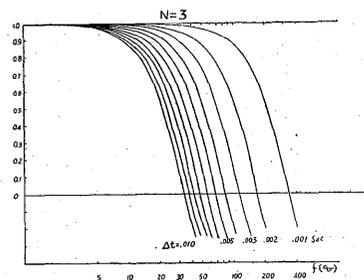


第 30 図 位相角 θ を時刻差 Δt をパラメーターとして周波数 f に変換するノモグラム

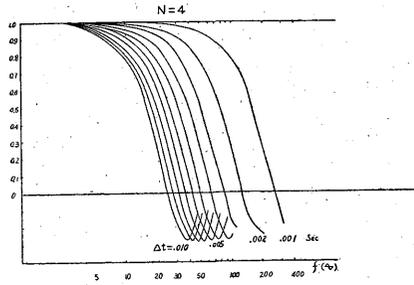
さらに現場で利用しやすくするために、サンプリング個数 N が 2, 3, 4, 5, 6, 9, 12 の場合について、それぞれ周期的波の特性図を、時刻差 ΔT をパラメーターとして、周波数 f を直接横軸にとつた曲線群に分解して表現した。第 31~37 図がそれである。これらの図表を用いれば、普通のフィルタと同様に利用することができる。すなわちサンプリング個数 N が大きいほど、また



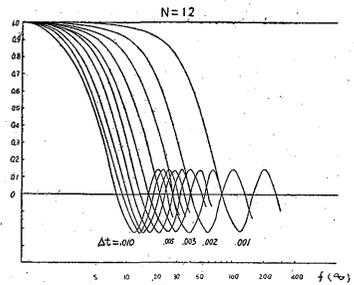
第 31 図 横軸に周波数 f をとり時刻差 Δt をパラメーターとした特性図の表現 $N=2$ の場合



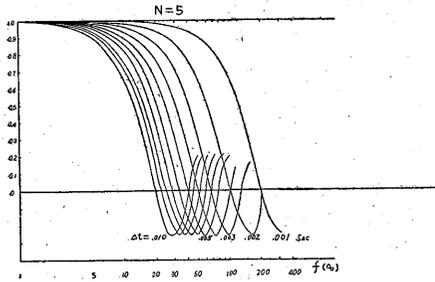
第 32 図 横軸に周波数 f をとり時刻差 Δt をパラメーターとした特性図の表現 $N=3$ の場合



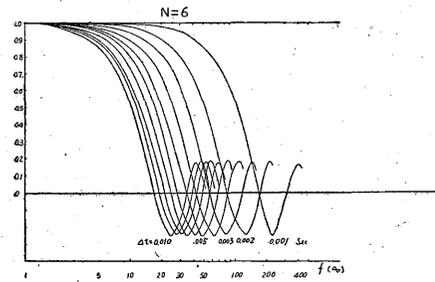
第33図 横軸に周波数 f をとり時刻差 Δt をパラメーターとした特性図の表現 $N=4$ の場合



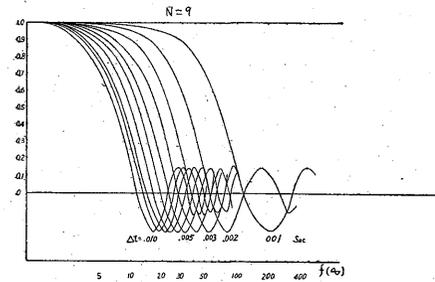
第37図 横軸に周波数 f をとり時刻差 Δt をパラメーターとした特性図の表現 $N=12$ の場合



第34図 横軸に周波数 f をとり時刻差 Δt をパラメーターとした特性図の表現 $N=5$ の場合



第35図 横軸に周波数 f をとり時刻差 Δt をパラメーターとした特性図の表現 $N=6$ の場合

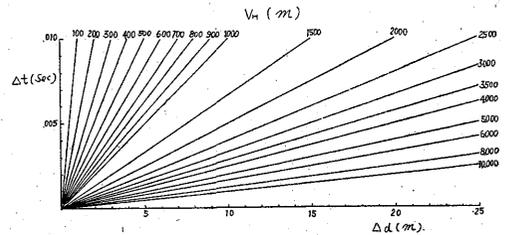


第36図 横軸に周波数 f をとり時刻差 Δt をパラメーターとした特性図の表現 $N=9$ の場合

時刻差 ΔT が大きいほど、high cut filter としての性質が鋭くなっている。一般に反射波は下方から到達するので時刻差 ΔT は小さいが、Rayleigh 波等の妨害波は側方からくることが多いので、 ΔT は反射波の場合に較べてはるかに大きい。これは群設置法が反射波の検出の

ために、 $S-N$ 比を向上させる有力な手段とされている理由である。

なお、現場で利用しやすい量としては、見掛けの速度、受振器間隔等も考えられるので、時刻差 ΔT をさらに見掛けの速度 V_H 、受振器間隔 Δd に変換するノモグラムを作成しておけば便利であろう。第38図はそのノモグラムである。

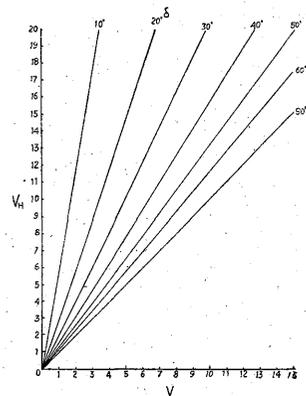


第38図 時刻差 Δt を見掛けの速度 V_H 、受振器間隔 Δd に変換するノモグラム

金子¹⁾が、9個の場合について、 Δd と V_H をパラメーターとした特性図をいくつか計算しているが、第36図の曲線群はそれに相当するものであり、第38図を併用すれば全く同じに用いることができる。

4.2 多孔爆発法

わが国ではまだ充分効果的に指向性を利用するに至つ



第39図 真の速度 V 、見掛けの速度 V_H 、出射角 δ の関係を示すノモグラム

ていないが、爆発点からでてゆく波に、指向性を与えることはいろいろ面白い問題を含んでいる。

真の速度を V 、見掛けの速度を V_H とし、出射角を δ とすれば、これらの関係は、

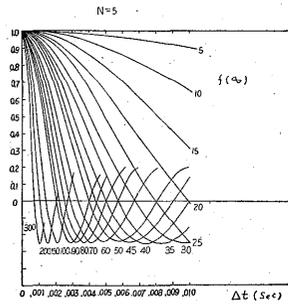
$$V = V_H \sin \delta \dots\dots\dots (6)$$

で示される。

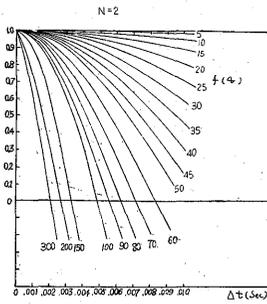
第39図に出射角 δ をパラメーターとして、 V と V_H の関係を示すノモグラムを示した。これを第9~14図、第23~26図の特性図、第30、38図のノモグラム等を併用すれば指向性の制御に便利であろう。

4.3 混合法

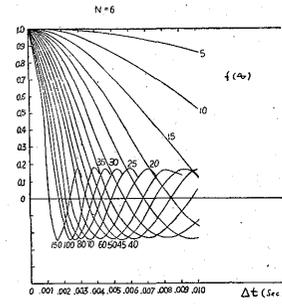
普通の混合法の場合には、 $N=2$ 、または3程度であ



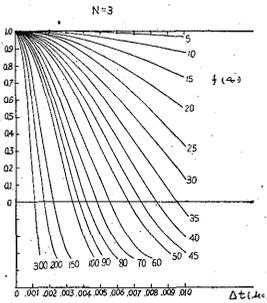
【第43図 横軸に時刻差 Δt をとり周波数 f をパラメーターとした特性図の表現 $N=5$ の場合



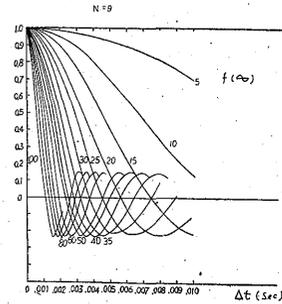
第40図 横軸に時刻差 Δt をとり周波数 f をパラメーターとした特性図の表現 $N=2$ の場合



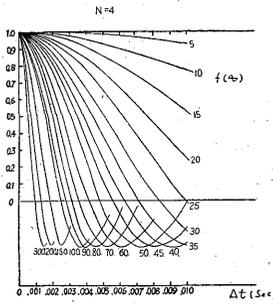
第44図 横軸に時刻差 Δt をとり周波数 f をパラメーターとした特性図の表現 $N=6$ の場合



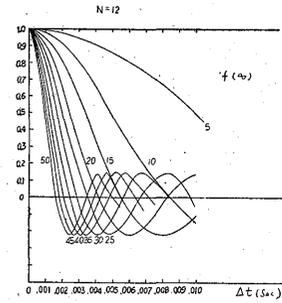
第41図 横軸に時刻差 Δt をとり周波数 f をパラメーターとした特性図の表現 $N=3$ の場合



第45図 横軸に時刻差 Δt をとり周波数 f をパラメーターとした特性図の表現 $N=9$ の場合



第42図 横軸に時刻差 Δt をとり周波数 f をパラメーターとした特性図の表現 $N=4$ の場合



第46図 横軸に時刻差 Δt をとり周波数 f をパラメーターとした特性図の表現 $N=12$ の場合

るが、解析用再生機(Office playback machine)で行なわれる Compositing では、 N を多くすることができる。

急傾斜の反射面からの反射波に対する混合法の影響をみやすくするために、周期的波の特性図を周波数 f をパラメーターとして、時刻差 ΔT を横軸によつて表現したものが、第40~46図である。個数2または3の普通の混合法の場合についてみると(第40, 41図), 反射波の周波数を40~50 \sim とすれば、時刻差 ΔT が 3×10^{-3} sec 程度になつても波形の変形はほとんど問題ではない。当然のことではあるが ΔT をパラメーターとし f を横軸にとつた表現、すなわち第31~37図も混合法のフィルター特性を表わすものとして使用できる。

5. 結 論

反射波が、群設置・多孔爆発・混合等のいわゆるサンプリングフィルターによつて、どのように変形するかを調べ、次の結論を得た。なお、反射波としては Ricker pulse の速度波形 $R=25$ (非対称形の孤立波) を用いた。

1. 重みの等しい場合

(1) 反射波の振幅は、サンプリング間隔の小さいうちには周期的波の特性図と重なり合っているが、間隔が大きくなると振幅減少率は急に減つて、やがて波形は崩れる。振幅は $1/N$ に収斂してゆく。

(2) 波形が崩れ始めるのは、周期的波の特性図が負になる点、すなわち、位相が反転する点に一致している。

(3) 波形はサンプリング間隔が増すにつれて延びる。しかし1.4倍程度延びると一様に波形が崩れ始める。

(4) 原型では $k_0/h_0=0.45$ の非対称形孤立波が、サンプリングフィルターによつて徐々に対称形に近づく。 $k/h=0.7$ 程度で崩れ始める。

(5) 位相特性は、サンプリング個数が少なく、間隔が小さい場合は、直線型と考えても良いが、ある程度大きくなると直線性は失われてくる。

2. 対称形の重みのある場合

$N=3$ のとき、外側の重みを1として、中央の重みを $1/2$, 1, 2, 3 とした場合について計算した。これはわが国で多孔爆発法として普通に用いられている3~5孔の場合にあたる。

(1) 振幅の変化は、中央の重みが大きくなると、周期的波の特性図に重なる部分が長くなつてくる。

(2) 中央の重みが小さいときは、重みの等しいときと同様に、最初の山 H から崩れ始めるが、中央の重みが大きくなると崩れ方が変わつてきて、最初の谷 h から

崩れ始める。

(3) 波形の延び、非対称性の変化は、重みの等しい場合と同様に、それぞれ1.4倍、0.7倍程度で波は崩れ始める。

(4) 位相特性は、重みの等しい場合と同様に、ある程度サンプリング間隔が増してくると直線性が失われてくる。

3. 実際的应用について

(1) 初めに示した特性図は、位相角 θ を横軸にとつてあるので、現場で利用しやすい量、すなわち時刻差 ΔT , 周波数 f , 見掛けの速度 V_H , 受振器間隔 Δd 等に変換するノモグラムを作成した。また周波数 f を直接横軸にとつた曲線群に分解して表現し、利用しやすいものとした。

(2) 多孔爆発法の指向性の制御に便利なノモグラムを作成した。

(3) 急傾斜の反射面からの反射波に対する混合法の影響をみやすくする図表を作成した。また、普通に行なわれている混合法の場合に、反射波の変形はそれほど問題にならないことを確かめた。

この研究は南雲昭三郎の御指導によるところが大きい。また、金子徹一課長からも多くの助言を得た。

(昭和34年1月稿)

文 献

- 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
- Parr, J. O. Jr. & W. H. Mayne: A New Method of Pattern Shooting, Geophys., Vol. 20, No. 3, p. 539~564, 1955
- Ricker, N.: Further Developments in the Wave Theory of Seismogram Structure, B. S. S. A., Vol. 33, p. 197~228, 1943
- Rieber, F.: Complex Reflection Patterns and their Geologic Source, Geophys., Vol. 2, No. 2, p. 132~160, 1937
- Savit, C. H., J. T. Brustad & J. Sider: Move-out Filter, Geophys., Vol. 23, No. 1, p. 1~25, 1958
- Mott-Smith, M.: Adverse Effects Associated with Variably Compounded Seismograph Records, Geophys., Vol. 2, No. 3, p. 265~294, 1937
- White, J. E.: Transient Behavior of Patterns, Geophys., Vol. 23, No. 1, p. 26~43, 1958