

III-94 インパルス音波による柿田川水源の地層探査実験

東京工業大学 正員 奥島基良

正員 〇本岡誠一

木下信行

1. まえがき 筆者らは、地表上に送受波器を置き、パルス反射法を用い、受信信号に特殊な実時間相関処理を施し、比較的浅い地層の断面図を比較的容易に製作する技術の開発を企画し、研究を進めている。その方法は、地表上に置いた電磁誘導形音源から大勢力のインパルス音波を地中に放射し、地層の境界面からの反射波を地表の数ヶ所に設置した圧電形受波器で受信し、受波器の出力を多チャンネルのデータレコーダで同時録音したのを、再生時に各チャンネル出力にそれぞれ適当な遅延を与え合成し、かつ信号処理を行なうことによって受信指向性を作り、遅延時間を変えることによって受信指向性の方向を変え、それによって地層内部をscanし地層断面図を作製しようとするものである。本報告は、柿田川湧水の水源部の地下層の断面図を作製する目的で行なった実験結果について述べる。

2. 測定期日 昭和45年8月8日

3. 測定場所 沼津市清水町の柿田川湧水源（概略図参照）

4. 測定装置および測定 a)電磁誘導形送波器：うず巻コイルに衝撃大電流を流したときに対置した振動板との間に発生する反極力を振動板に持した地中に伝え、地中に鋭い衝撃インパルス音波を発生させる。b)受波器：圧電セラミックPZTで作ったランシバン形受波器で、受音面は土砂との結合を密にするために鋭いV溝が切つてある。図1に送受波器の構造図を示す。その他の測定装置の概要とブロック図を図2に示す。測定は湧水している水面より、高さ約4mの丘の上に、送波器を中心に左右対称に2個ずつ計4個の受波器を1.1m間隔で配置し、送波器より大勢力のインパルス音波を地中に放射し、各層からの反射波を同時に4個の受波器で受信し、受信出力をデータレコーダに録音する。

5. 信号処理の方法 図3に信号処理の概要とブロック図を示す。

4個の受信出力は、指向性を与えるために、内3個に適当な遅延を与えたのを、2個づつをそれぞれ加算し、その2個の出力を図4の装置で相関処理を行なう。すなわち、図4で入力ⅠとⅡが同符号のときはⅠとⅡの和の絶対値が正の出力として、異符号のときはⅠとⅡの和の絶対値が負の出力として、また、ⅠとⅡのいずれか一方が零のときは出力が零となるような信号

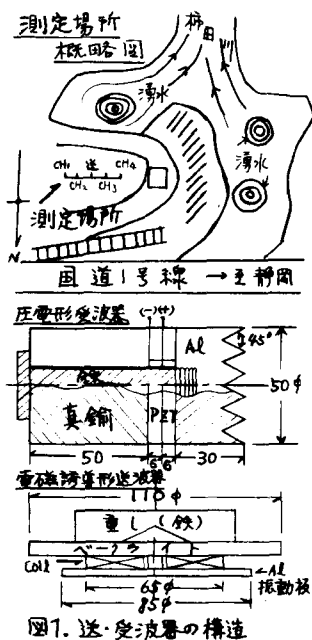


図1. 送・受波器の構造

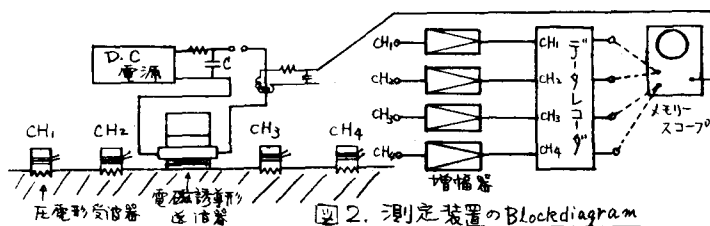
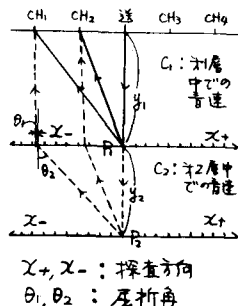
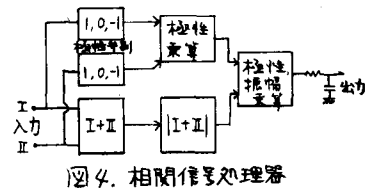
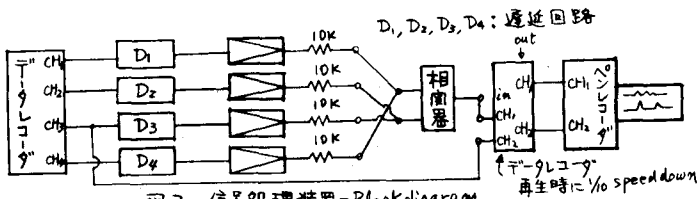


図2. 測定装置のBlock diagram



処理を行なう。さらに、その出力を短時間平均する。

6. 地層の概要の推定 地層中の音速を仮定した場合、測定時に設置した送受波器間距離に比べて、探査すべき地層の位置が十分遠方と見なせるか否かで、受波出力に与えるべき遅延時間の決め方が異なってくる。したがって、地層の概要を推定した上で、受信出力に与える遅延時間を決めなければならない。そこで、4個の受波器で同時に録音した反射波の内、最初に、送波器から一番遠方に配置した受波器2個(CH_1 と CH_4)で受けた反射波

図5. 音波の屈折と探査方向 を同時に取り出し、遅延零の状態で、相関信号処理を施した結果、 $\alpha 1$ 層と $\alpha 2$ 層との境界面 P_1 からの反射波と考えられる出力信号がほぼ 30ms の位置に、 $\alpha 2$ 層と $\alpha 3$ 層との境界面 P_2 からの反射波と考えられる信号が 40.5ms の位置に現われた。なお、この場合には、送受波器の垂直方向を探索したことになる。同様に、 CH_2 と CH_3 で受けた反射波を上述のごとく信号処理を施した結果、 P_1 、 P_2 からの反射波と考えられる出力信号が 27.5ms 、 37.5ms の位置に現われた。したがって、それぞれ P_1 からの反射波と推定される出力信号の位置 $30\text{ms}(\text{CH}_1 \text{ と } \text{CH}_4)$ と $27.5\text{ms}(\text{CH}_2 \text{ と } \text{CH}_3)$ について、送受波器間距離を考慮に入れ、 $\alpha 1$ 層中の音速 $C_1=300\text{m/s}$ と仮定した上で、送波器から P_1 までの垂直距離を求めると両者とも、ほぼ $y_1=4.2\text{m}$ となった。さらに、測定場所を考えた場合、 $\alpha 2$ 層は氷を十分に含んだ土砂層と推定されるので、 $y_1=4.2\text{m}$ は喫水面から送受波器を設置した丘の高さを表わしているものと考えられる。そこで、測定場所を撮影した写真より喫水面から丘の高さを求めた結果、約 4.3m だったことを考えれば、両者は良く一致している。次に、 $\alpha 2$ 層と $\alpha 3$ 層との境界面 P_2 からの反射波と考えられる出力信号の位置 $40.5\text{ms}(\text{CH}_1 \text{ と } \text{CH}_4)$ と $37.5\text{ms}(\text{CH}_2 \text{ と } \text{CH}_3)$ に着目する。測定場所の状況より、 $\alpha 2$ 層中での音速 $C_2=1700\text{m/s}$ と仮定した。この場合、 $\alpha 1$ 層と $\alpha 2$ 層中での音速が違ふため、スネルの法則に従った音波の屈折を考慮に入れて、 P_2 の位置を決めなくてはならない。そこで、 $\frac{C_2}{C_1} = \frac{17}{3}$ なる条件と、 P_1 と P_2 の反射波の時間間隔がいずれの場合も約 12ms あり、送受波器間距離に比べて P_1 から P_2 までの垂直距離 y_2 がかなり長いこと等を考慮に入れると音線の屈折角の状態は $\theta_1 \ll \theta_2$ (図5参照)となることが予想される。したがって、 $\alpha 1$ 層と $\alpha 2$ 層との境界面から各送受波器までの音線を重線で近似($\theta_1=0$)して y_2 の距離を求め、 P_2 の位置を決めた。その結果、 41ms 、 37.5ms のどちらの場合も $y_2=11\text{m}$ となった。喫水面下 11m の附近より $\alpha 3$ 層が存在しているものと推定される。

7. 遅延時間の決め方 前もって、推定される地層の境界の位置を決め、その位置から反射信号が時間的に一致するように往路差に相当した電気的遅延を3個の受信信号に与える。探査位置を変えるには受信信号の遅延時間を変えればよい。遅延時間を順次変えてゆけば空間をScanして反射体を探査することができる。a) 才1層と才2層の境界面の探査の場合 推定される境界の位置 P_1 を中心に、送受信器の配列に対し平行な X_1 - X_2 方向に20cm間隔で探査位置を決めた。 X_1 方向を探索する場合は受信

器CH₁が受信した探査すべき目的位置からの反射波の位相に、他の3個の受波器で同時に受信した同じ目的地点からの反射波の位相を合わせるように、CH₂, CH₃, CH₄の径路差を求め、求めた径路差に相当した電氣的遅延量を求め遅延時間を決める。Z方向を探索する場合はX方向を探索する場合と逆の操作を行ない電氣的遅延量を定めれば良い。この場合、推定した地表面からオ2層との境界面までの距離y₁=4.2mは送受波器間距離1.1mに比べて、十分遠方ではないので、推定した境界の位置P₁から4個の受波器までの径路差を無視できない。したがって、探査位置が狭い範囲となる。しかし、推定した境界面の位置P₁から4個の受波器までの径路差に放射インパルス音波の波長の1/10程度の誤差を許容すれば、探査位置が広がる。(計算結果では、地表面下4.2mの位置に探査点を合わせても、地表面下3.1m~6.3mの範囲を探索したことになる。)

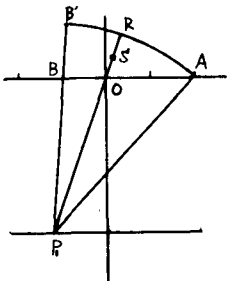
b) オ2層とオ3層の境界面の探査の場合 オ2層とオ3層の境界面と推定した水面下11m地点の位置P₂を中心に、X₊, X₋方向に40cm間隔で探査位置を決めた。遅延時間の決め方はa)の場合と同じ操作を行なうのであるが、オ1層とオ2層中での音速が異なるため、スネルの法則に従った音線の屈折を考慮に入れ、電氣的遅延量を決めた。この場合、推定した境界面までの距離(水面下11m)は送受波器間距離1.1mに比べて推定境界面の位置P₂から4個の受波器までの径路差を無視できる範囲にある。したがって、この場合は、探査範囲が非常に広がる。すなわち、水面下11m地点に探査位置を合わせても、計算結果では水面下8m以後全ての範囲を探索したことになる。この場合、遅延時間を変える事は探査位置を決める事より、むしろ、探査方向を決める事になる。

8. 信号処理後の記録の表示方法 a) オ1層とオ2層の推定境界面の探査(音波の屈折がない場合)

図6で、B点の位置の受波器CH₂に、 $\overline{BB'}$ のpassに相当する遅延量を与える。このとき、O点から放射された音波がP点で反射され、A点でO:音源の位置(送波器)
 受波されるまでの時間と、B点で受波され、R:基準となる反射体の位置
 $\overline{BB'}$ に相当する遅延を与えた後までの時間は等しい。次に、遅延をこの状態A:Rから最も遠い受波器CH₄の位置
 にしてエコーグラムを取る。受信波形のB:受波器CH₂の位置
 $\overline{PA} = \overline{PR} = \overline{PB'} \therefore \overline{OP} + \overline{AP} = 2\overline{SP}$
 $\overline{OP} + \overline{PB} + \overline{BB'} = \overline{OP} + \overline{PB'} = 2\overline{SP}$
 $(\overline{OS} = \overline{SR} = \frac{1}{2} \overline{OR})$

図6で、B点の位置の受波器CH₂に、 $\overline{BB'}$ のpassに相当する遅延量を与える。このとき、O点から放射された音波がP点で反射され、A点でO:音源の位置(送波器)
 受波されるまでの時間と、B点で受波され、R:基準となる反射体の位置
 $\overline{BB'}$ に相当する遅延を与えた後までの時間は等しい。次に、遅延をこの状態A:Rから最も遠い受波器CH₄の位置
 にしてエコーグラムを取る。受信波形のB:受波器CH₂の位置
 $\overline{PA} = \overline{PR} = \overline{PB'} \therefore \overline{OP} + \overline{AP} = 2\overline{SP}$
 $\overline{OP} + \overline{PB} + \overline{BB'} = \overline{OP} + \overline{PB'} = 2\overline{SP}$
 $(\overline{OS} = \overline{SR} = \frac{1}{2} \overline{OR})$

おき、 $\overline{SP}$ 線上に表示した結果を図8に示した。



b) オ2層とオ3層の境界面の探査(音波の屈折を考慮に入れた場合)

図7に概略を示す。まず、y₁とy₂のP₂:基準となる反射体の位置
 境界面y₁までの音波の屈折点を求める y₁:オ1層の厚さ(4.2m)
 ために、y₁, y₂中での音速をy₂中で y₂:オ2層の厚さ(11m)
 の音速C₂で規準化した見掛け上の送受 y₀:y₁とy₂の境界面
 波面(y₁ × $\frac{C_1}{C_2}$)を描く。この場合、y₁ C₁:オ1層(y₁)中での音速(300m/s)
 × $\frac{C_1}{C_2}$ からP₂までは音速を等しいとし C₂:オ2層(y₂)中での音速(1700m/s)
 ているので音波の屈折はなく、見掛け A:Rから最も遠い受波器CH₄の位置
 上の音源O₁から放射された音波はP O:音源の位置(送波器)
 点で反射され見掛け上の受信点A₁で受波される。

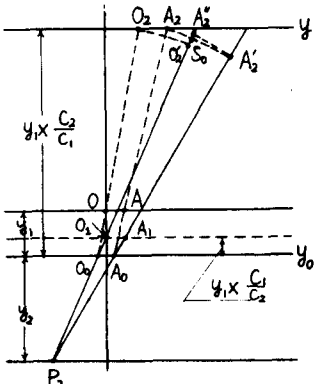


図7. 音波の屈折を考慮に入れた近似的記録の表示

