



Title	2. 静内ダム及び下静内ダム予定地での弾性波探査
Author(s)	田治米, 鏡二; TAZIME, Kyozi; 岡田, 広 他
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 8, 11-35
Issue Date	1961-03-23
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.8.11
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/13829
Type	departmental bulletin paper
File Information	8_p11-35.pdf



2. 静内ダム及び下静内ダム予定地での 弾性波探査

田治米鏡二・岡田 広
浜田和郎・窪田 将
(北海道大学理学部地球物理学教室)
— 昭和35年10月受理 —

まえがき

発電用ダム予定地の如く、地形の複雑な場所での弾性波探査に於いては、地下構造の算出に際して、主として trial and error 法に頼っている場合が多い。

然し trial and error 法では先づ第一近似の地下構造模型を推定しておかなければならぬ。若しこの第一近似の模型が間違っていると、実はいくら精しい計算を行なつても意味がない。余り解析の初期の段階から trial and error 法に頼り過ぎると常にこの危険がある。

初動の走時を使つて各層の厚さを算出する最終的計算に入る前に、先づ初動の走時のどの部分がどの層からの屈折波であるかを区分けする必要がある。この区分けの仕方の1つは同一の spread に対し遠方からの発破をいくつか行なつて、走時曲線の平行性から、同一層からの屈折波を見分けるのである。他の1つは通称萩原の方法¹⁾或は method of differences と呼ばれている計算を行なつて、 T' 直線なるものに留意する仕方である。

ともかく method of differences の計算を行なつてみることは、全く器械的な作業であつて、頭を使う必要は全然ない。然し屈折波の区分けに役立つことが多い。

先に述べた如く、解析の初期の段階に於いては、頭を使う余地のない手段から出発するのが好ましいので、今回は method of differences を徹底的に利用することを考えた。

2層構造に対する method of differences は既に公式化されている¹⁾が、実際の調査では3層構造を考えなければならぬ場合の方が多い。又4層、5層となるにつれて、普通の観測方法では解析能力の限界を次第に越すものと思われるので、ここでは3層構造に対する method of differences の公式化を心掛けることにする。この点についても既に増田・北野²⁾の研究があり、一部は重複のきらいもあるが、今回の観測結果処理の便宜上、更めて公式化を完成させることにした。

第1章 予備的考察

method of differences に対する発破点の深さの影響は既に一応調べてある³⁾ので、ここで

- 1) 萩原尊礼：物理探鉱法，pp.23-27，朝倉書店（1951）。
- 2) 増田秀夫・北野昭彦：浅い地下構造の屈折法について，物理探鉱，**10**（1957），56-66。
- 3) 田治米鏡二・武内俊昭：屈折法の解析に対する萩原の方法の拡張，物理探鉱，**11**（1958），44-46。

は発破点は地表にあるものとする。

§1 2層構造に対する method of differences

span の両端を **A** 及び **B** とし、観測点を **D** とすると、直接波の走時は次の如くなる。

$$T_{1AD} = AD/v_1, \quad T_{1BD} = BD/v_1. \quad (1.1)$$

一方第1図(a)の如き屈折波の走時は、次の如く計算される。

$$\left. \begin{aligned} T_{2AD} &= (h_{1A} + h_{1D}) \frac{\cos i_{1,2}}{v_1} \\ &+ \frac{AD}{v_2}, \\ T_{2BD} &= (h_{1B} + h_{1D}) \frac{\cos i_{1,2}}{v_1} \\ &+ \frac{BD}{v_2}, \\ T_{2AB} &= T_{2BA} = (h_{1A} + h_{1B}) \\ &\times \frac{\cos i_{1,2}}{v_1} + \frac{AB}{v_2} \end{aligned} \right\} (1.2)$$

但し、

$$\sin i_{1,2} = v_1/v_2 \quad (1.3)$$

であつて、 $A_1D_1 \approx AD$ 及び $B_1D_1 \approx BD$ を仮定している。

(1.2) の左辺を method of differences の

$$\left. \begin{aligned} T'_{AD} &= T_{AD} - \frac{1}{2}(T_{AD} + T_{BD} - T_{AB}), \\ T'_{BD} &= T_{BD} - \frac{1}{2}(T_{AD} + T_{BD} - T_{AB}) \end{aligned} \right\} (1.4)$$

なる計算に代入すると、

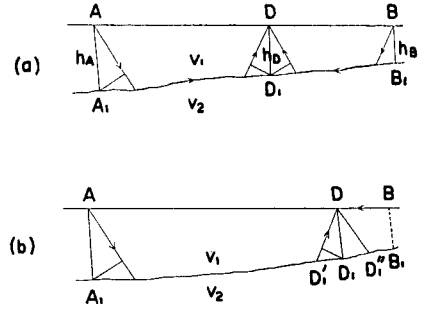
$$\left. \begin{aligned} T'_{2AD} &= T_{2AD} - \frac{1}{2}(T_{2AD} + T_{2BD} - T_{2AB}) = h_{1A} \frac{\cos i_{1,2}}{v_1} + \frac{AD}{v_2}, \\ T'_{2BD} &= T_{2BD} - \frac{1}{2}(T_{2AD} + T_{2BD} - T_{2AB}) = h_{1B} \frac{\cos i_{1,2}}{v_1} + \frac{BD}{v_2}. \end{aligned} \right\} (1.5)$$

故に

$$\left. \begin{aligned} T_{2AD} - T'_{2AD} &= T_{2BD} - T'_{2BD} = h_{1D} \frac{\cos i_{1,2}}{v_1}, \\ T'_{2AD}(D \rightarrow A) &= h_{1A} \frac{\cos i_{1,2}}{v_1}, \quad T'_{2BD}(D \rightarrow B) = h_{1B} \frac{\cos i_{1,2}}{v_1}. \end{aligned} \right\} (1.6)$$

次に第1図(b)の如く、(1.2) の T_{2AD} と(1.1) の T_{1BD} とを組合せて(1.4)の計算を行なうと、

$$\left. \begin{aligned} T'_{1,2AD} &= T_{2AD} - \frac{1}{2}(T_{2AD} + T_{1BD} - T_{2AB}) = (2h_{1A} + h_{1B} + h_{1D}) \\ &\times \frac{\cos i_{1,2}}{2v_1} + \frac{AD}{2v_{1,2}} - \frac{AB}{2} \left(\frac{1}{v_1} - \frac{1}{v_2} \right), \end{aligned} \right\}$$



第1図 屈折波の経路

Fig. 1. The path of refracted waves.

$$T'_{1,2BD} = T_{1BD} - \frac{1}{2}(T_{2AD} + T_{1BD} - T_{2AB}) = (h_{1B} - h_{1D}) \frac{\cos i_{1,2}}{2v_1} + \frac{BD}{2v_{1,2}}, \quad \left. \vphantom{T'_{1,2BD}} \right\} \quad (1.7)$$

但し,

$$1/v_{1,2} = 1/v_1 + 1/v_2.$$

又

$$\left. \begin{aligned} T'_{1,2AD}(D \rightarrow B) &= (h_{1A} + h_{1B}) \frac{\cos i_{1,2}}{v_1} + \frac{AB}{v_2} = T_{2AB}, \\ T'_{1,2BD}(D \rightarrow B) &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (1.8)$$

§2 3層構造に対する method of differences

第3層を通過して来る屈折波の走時は次の如くなる。

$$\left. \begin{aligned} T_{3AD} &= (h_{1A} + h_{1D}) \frac{\cos i_{1,3}}{v_1} + (h_{2A} + h_{2D}) \frac{\cos i_{2,3}}{v_2} + \frac{AD}{v_3}, \\ T_{3BD} &= (h_{1B} + h_{1D}) \frac{\cos i_{1,3}}{v_1} + (h_{2B} + h_{2D}) \frac{\cos i_{2,3}}{v_2} + \frac{BD}{v_3}, \\ T_{3AB} &= T_{3BA} = (h_{1A} + h_{1B}) \frac{\cos i_{1,3}}{v_1} \\ &\quad + (h_{2A} + h_{2B}) \frac{\cos i_{2,3}}{v_2} + \frac{AB}{v_3}, \end{aligned} \right\} \quad (2.1)$$

但し

$$\sin i_{1,3}/v_1 = \sin i_{2,3}/v_2 = 1/v_3. \quad (2.2)$$

(2.1) を使って (1.4) の計算を行なうと、

$$\left. \begin{aligned} T'_{3AD} &= h_{1A} \frac{\cos i_{1,3}}{v_1} + h_{2A} \frac{\cos i_{2,3}}{v_2} + \frac{AD}{v_3}, \\ T'_{3BD} &= h_{1B} \frac{\cos i_{1,3}}{v_1} + h_{2B} \frac{\cos i_{2,3}}{v_2} + \frac{BD}{v_3}. \end{aligned} \right\} \quad (2.3)$$

故に

$$\left. \begin{aligned} T_{3AD} - T'_{3AD} &= T_{3BD} - T'_{3BD} = h_{1D} \frac{\cos i_{1,3}}{v_1} + h_{2D} \frac{\cos i_{2,3}}{v_2}, \\ T'_{3AD}(D \rightarrow A) &= h_{1A} \frac{\cos i_{1,3}}{v_1} + h_{2A} \frac{\cos i_{2,3}}{v_2}, \\ T'_{3BD}(D \rightarrow B) &= h_{1B} \frac{\cos i_{1,3}}{v_1} + h_{2B} \frac{\cos i_{2,3}}{v_2}. \end{aligned} \right\} \quad (2.4)$$

次に (2.1) の T_{3AD} と (1.2) の T_{2BD} とを組合せて (1.4) の計算を行なうと、

$$\left. \begin{aligned} T'_{2,3AD} &= h_{1A} \frac{\cos i_{1,3}}{v_1} + h_{2A} \frac{\cos i_{2,3}}{v_2} + (h_{1B} + h_{1D}) \frac{\cos i_{1,3} - \cos i_{1,2}}{2v_1} \\ &\quad + (h_{2B} + h_{2D}) \frac{\cos i_{2,3}}{2v_2} + \frac{AD}{2v_{2,3}} - \frac{AB}{2} \left(\frac{1}{v_2} - \frac{1}{v_3} \right), \\ T'_{2,3BD} &= h_{1B} \frac{\cos i_{1,3} + \cos i_{1,2}}{2v_1} + (h_{2B} - h_{2D}) \frac{\cos i_{2,3}}{2v_2} \end{aligned} \right\} \quad (2.5)$$

$$\left. \begin{aligned}
 & -h_{1D} \frac{\cos i_{1,3} - \cos i_{1,2}}{2v_1} + \frac{BD}{2v_{2,3}}, \\
 & 1/v_{2,3} = 1/v_2 + 1/v_3.
 \end{aligned} \right\}$$

但し、

$$\left. \begin{aligned}
 T'_{2,3BD}(D \rightarrow B) &= h_{1B} \frac{\cos i_{1,2}}{v_1} = T'_{2HD}(D \rightarrow B), \\
 T'_{2,3AD}(D \rightarrow B) &= (h_{1A} + h_{1B}) \frac{\cos i_{1,3}}{v_1} + (h_{1A} + h_{2B}) \frac{\cos i_{2,3}}{v_2} \\
 &+ \frac{AB}{v_3} - h_{1B} \frac{\cos i_{1,2}}{v_1} = T_{3AB} - T'_{2,3BD}(D \rightarrow B).
 \end{aligned} \right\} \quad (2.6)$$

§3 2層構造から多層構造への拡張

(2.1) の代わりに次の如く書き直す。

$$\left. \begin{aligned}
 T_{3AD} - (h_{1A} + h_{1D}) \frac{\cos i_{1,3}}{v_1} &= (h_{2A} + h_{2D}) \frac{\cos i_{2,3}}{v_2} + \frac{AD}{v_3}, \\
 T_{3BD} - (h_{1B} + h_{1D}) \frac{\cos i_{1,3}}{v_1} &= (h_{2B} + h_{2D}) \frac{\cos i_{2,3}}{v_2} + \frac{BD}{v_3}, \\
 T_{3AD} - (h_{1A} + h_{1B}) \frac{\cos i_{1,3}}{v_1} &= (h_{2A} + h_{2B}) \frac{\cos i_{2,3}}{v_2} + \frac{AB}{v_3}.
 \end{aligned} \right\} \quad (3.1)$$

これに応じて (2.3), (2.4) は次の如く書かれる。

$$\left. \begin{aligned}
 T'_{3AD} - h_{1A} \frac{\cos i_{1,3}}{v_1} &= h_{2A} \frac{\cos i_{2,3}}{v_2} + \frac{AD}{v_3}, \\
 T'_{3BD} - h_{1B} \frac{\cos i_{1,3}}{v_1} &= h_{2B} \frac{\cos i_{2,3}}{v_2} + \frac{BD}{v_3}.
 \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

$$\begin{aligned}
 \left(T_{3AD} - h_{1D} \frac{\cos i_{1,3}}{v_1} \right) - T'_{3AD} &= \left(T_{3BD} - h_{1D} \frac{\cos i_{1,3}}{v_1} \right) - T'_{3BD} \\
 &= h_{2D} \frac{\cos i_{2,3}}{v_2}.
 \end{aligned} \quad (3.3)$$

(3.1), (3.2) 及び (3.3) の右辺は夫々 (1.2), (1.5) 及び (1.6) の右辺の添字 1 を 2 に, 2 を 3 に書き換えたものにすぎぬ。故に (1.6) によつて h_{1A} , h_{1B} 及び h_{1D} が算出できた後には, (3.1) ~ (3.3) の左辺第 2 項の補正を行なつたものを更めて初動の走時とみなせば, (3.1) ~ (3.3) は (1.2), (1.5) 及び (1.6) と全く同等なものとなる。

かくの如く (1.6) によつて h_{1D} を求め, 次に (3.3) によつて h_{2D} を求めると云う具合にしてゆけば, (1.6) と全く同様な計算を繰返すだけで, h_{3D} , h_{4D} , …… を算出することができる。

思想的には以上の如く理解するのが最も簡明である。然し (3.3) の計算に必要な T' 直線の傾斜を求めるためには, 予め (3.1) の左辺第 2 項の補正を行なつておく必要はない。実は必要量を求める際にも, できるだけ補正を施さぬ生の値から求める方が好ましいので, 実際の計

算には §3 ではなくて §2 の方式に従った方がよい。

§4 T' 直線の性質

(1.6), (2.4) によれば, T 曲線と T' 直線との走時差から h_{1D} 及び h_{2D} が算出される。故に T' 直線を決めることが method of differences では最も大切である。

(1.5) 或は (2.3) から判る如く, T' 直線の傾斜は 2 層構造では $1/v_2$, 3 層構造では $1/v_3$ である。

次に (1.2) に於いても, (2.1) に於いても

$$T'_{AD} + T'_{BD} = T_{AB}. \quad (4.1)$$

故に T'_{AD} と T'_{BD} とは (1.5), (1.7) 或は (2.3), (2.5) に於いて何れも $T = \frac{1}{2} T_{AB}$ に対して夫々対称であつて, T'_{AD} と T'_{BD} との交点は $T = \frac{1}{2} T_{AB}$ 上にある。

更に (1.6) 或は (2.4) によれば, T'_{AD} と T'_{BD} との交点は走時図上で T_{AD} と T_{BD} との交点と同一の横座標を持つべきことも判る。

T'_{AD} , T'_{BD} 直線の傾斜及び両直線の交点の縦横座標, 以上の 3 つが T' 直線の有する最も基本的な性質であり, 逆にこの 3 つの性質を利用して走時図上に T' 直線を作図することができる。

(1.7) 或は (2.6) によれば, h_{1D} 及び h_{2D} の変化が大きくなければ, $T'_{1,2}$ 及び $T'_{2,3}$ 曲線は直線とみなされる。これらを (1.2) 或は (2.1) と比較すると, h_D の変化による直線からのずれは $T'_{1,2}$ 及び $T'_{2,3}$ では生の走時 T に比し半減している。

更に h_D が一様に増大又は減少する場合に, T_{AD} の傾斜と T_{BD} の傾斜とは相反して増減するが, $T'_{1,2AD}$ の傾斜と $T'_{1,2BD}$ の傾斜とは h_D の変化による傾斜の増減を互いに同じ向きに受ける。故に h_D が一様に増大又は減少しても, $T'_{1,2AD}$ の傾斜と $T'_{1,2BD}$ の傾斜とは依然として同じ $1/2v_{1,2}$ である。

$T'_{1,2}$ も $T'_{2,3}$ も厳密には直線ではない。然し上述の如く, 大局的には直線とみなし得る。

実は初動の走時のみに着目していると, T_{1AD} , T_{2AD} , T_{3AD} 或は T_{1BD} , T_{2BD} , T_{3BD} の区別は何れも判然とせぬ場合が多い。予めこれらの区別なしに, 単に器械的に (1.4) の計算を行なうと, T'_2 直線か $T'_{1,2}$ 直線かの何れかが得られる。然し T'_2 , T'_3 直線の傾斜は $1/v_2$, $1/v_3$ であるのに反し, $T'_{1,2}$, $T'_{2,3}$ 直線の傾斜は $1/2v_{1,2}$, $1/2v_{2,3}$ になる。故に T'_2 直線と $T'_{1,2}$ 直線との区別は明瞭である。勿論 span の中央部では T'_2 直線が得られ, 両端近くでは $T'_{1,2}$ 直線が得られる。

$T'_{1,2}$, $T'_{2,3}$ 直線は h_D の算出には役立つ。然しこの直線の傾斜が $1/2v_{1,2}$, $1/2v_{2,3}$ であると云うことは, 第 1 にはこれらが T'_2 , T'_3 直線ではないことを示し, 第 2 には v_1 , v_2 の何れかを知つて他方を, 或は v_2 , v_3 の何れかを知つて他方を算出するために役立つのである。

§5 最表層を無視したことにより生じる基盤迄の深さの誤差

h_{1D} も v_1 も小さい場合には, T_{1AD} , T_{1BD} が現われるのは発破点の極く近くだけなので,

T_{AD} , T_{BD} を見ただけでは, 3層構造を2層構造と見誤りやすい。

第1層を無視して2層構造と考えた場合は(1.6)により

$$T_{AD} - T'_{AD} = h_D \frac{\cos i_{2,3}}{v_2}. \quad (5.1)$$

然るに第1層を無視せぬ場合は(2.4)により

$$T_{AD} - T'_{AD} = h_{1D} \frac{\cos i_{1,3}}{v_1} + h_{2D} \frac{\cos i_{2,3}}{v_2}. \quad (5.2)$$

(5.1), (5.2) の左辺は同じものを使っているので,

$$\begin{aligned} h_D - h_{2D} &= h_{1D} \cot i_{1,3} \tan i_{2,3}, \\ \therefore \frac{h_D - h_{2D}}{h_{2D}} &= \left(\frac{h_{1D} \cos i_{1,3}}{v_1} \right) / \left(\frac{h_{2D} \cos i_{2,3}}{v_2} \right). \end{aligned} \quad (5.3)$$

(5.3) の右辺は(5.2)の右辺の第1項と第2項との比に他ならぬ。一般には $v_1 < v_2$, $\cos i_{1,3} > \cos i_{2,3}$ であるので, $h_{1D} \ll h_{2D}$ であつても, 第1層を不用意に省略することはできぬ。省略した時としない時との差は

$$\begin{aligned} h_D - (h_{1D} + h_{2D}) &= h_{1D} (\cot i_{1,3} \tan i_{2,3} - 1) \\ &\approx h_{1D} \left\{ \frac{v_2}{v_1} \left(1 + \frac{1}{2} \frac{v_2^2 - v_1^2}{v_3^2} \right) - 1 \right\} \\ &\approx h_{1D} \left[\frac{v_2}{v_1} \left\{ 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{v_2}{v_3} \right)^2 \right\} - 1 \right]. \end{aligned} \quad (5.4)$$

故に屢々経験する如く, v_2/v_1 が2又はそれ以上で, v_3/v_2 はそれ程は大きくない様な場合には(5.4)右辺の h_{1D} の係数は1よりも大きくなることがある。

h_{1D} を見逃がさぬためには T'_{2AD} , T'_{2BD} 直線が全 span にわたつて作図できるように発破点の間隔を狭く採る必要がある。

然るに v_3 を決めるためには T'_{3AD} , T'_{3BD} が或る程度長い距離にわたつて求められなければならぬ。このためには発破点の間隔を拡げなければならぬ。

以上の2点を併せ考慮すると, 発破点の間隔は次の如く選ぶことが大切である。

- (i) v_3 を決めるための大間隔は第3層からの屈折波が現われだすよりも充分に長い。
- (ii) h_{1D} を求めるための小間隔は第3層からの屈折波が現われだす距離よりも長くない。

第2章 測定方法

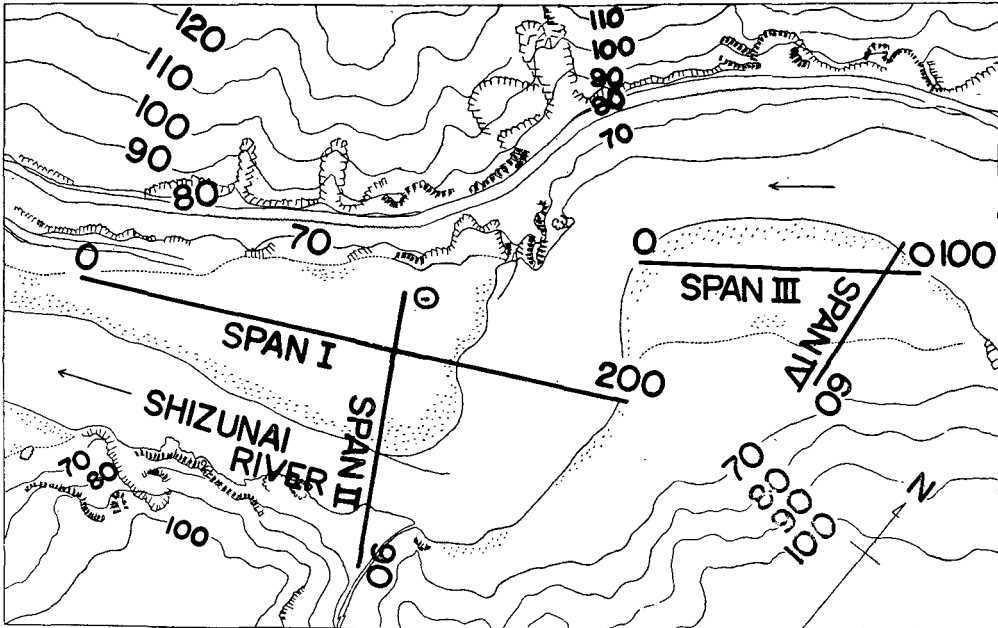
使用器械は米国 E.T.L 会社製 PRA 2 型屈折用地震探鉱器 12 成分であつて, 上下動 7.5 c.p.s の pick up を single で用いた。なお最表層の資料を少しでも多くとつておく意味で, できるだけ up hole の trace を入れる様に心掛けた。

測線は第2図に示した如く, 夫々4測線である。静内に於いても下静内に於いても, 測

線 I 以外は、第 1 章の終りで考察した程充分長い span をとることができなかつた。これは地形上止むを得ぬので、解析法に工夫を加えて、この欠点を補うより致し方ない。

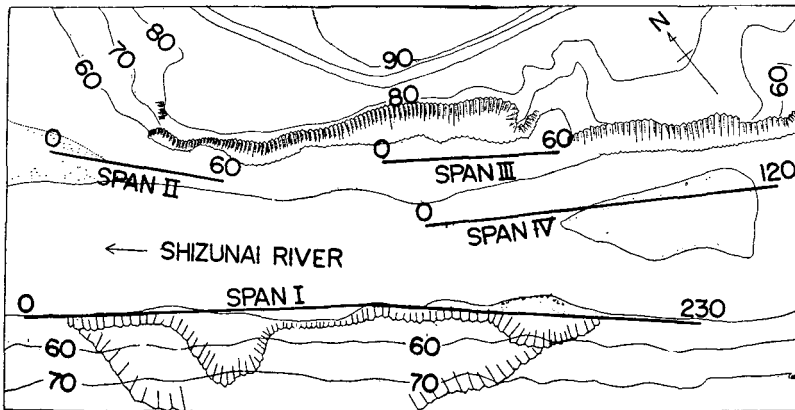
pick up 配置の間隔は必要に応じて 1.0 m 或は 2.5 m としたが、全般を通じては 5.0 m を標準にした。

ダイナマイトの量は震央距離 60 m 迄は 20 grs, 120 m 迄は 50 grs, そして 200 m 程度迄



第2図 (a) 静内測線の位置

Fig. 2. (a) Seismic spans at Shizunai.



第2図 (b) 下静内測線の位置

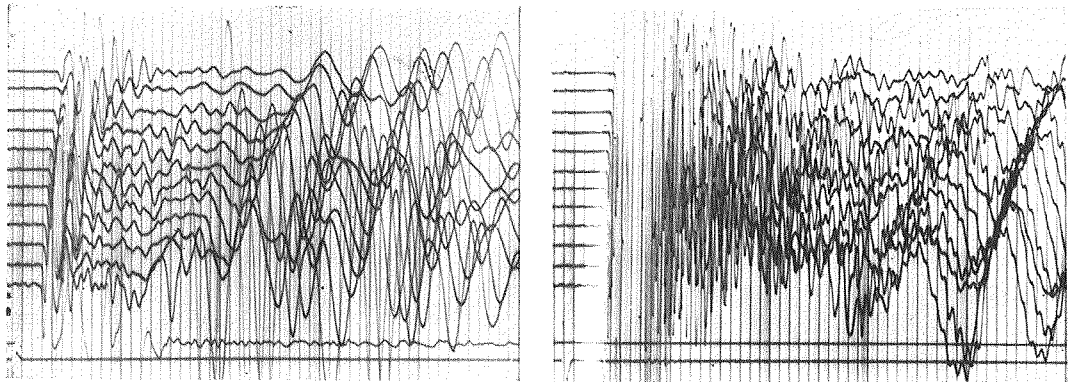
Fig. 2. (b) Seismic spans at Shimo-shizunai.

延びた場合は 100 grs であつた。

発破点の深さは、玉石まじりの川原又は川岸では 0.2~0.5 m であつて、濡れ畳を数枚その上にかぶせて小石の飛散を防いだ。川の中に発破点を選んだ場合は石にダイナマイトをくくりつけ、川底に沈めて発破させた。

水中発破の際には短周期の波が極めて優勢であつて、初動の立ち上がりが非常に明瞭である。第3図に同一地点で観測した陸上発破と水中発破との比較を示しておく。

以上の測定は 1960 年 9 月 11 日から 26 日の間に行なつた。



(a) 陸上発破で得られた地震記象

距離 50~110 m, 火薬量 100 grs, 火薬深度 0.5 m.

A seismic record obtained by a shot on land.

(b) 水中発破で得られた地震記象

距離 100~160 m, 火薬量 78 grs, 水深 0.8 m.

A seismic record obtained by a shot in water.

第3図 陸上発破と水中発破との比較. 受震点は陸上の同一地点である。刻時 1/100 秒

Fig. 3. Comparison of a shot on land with a shot in water, observation points being the same to each other. Time marks indicate 1/100sec.

第3章 静内ダム予定地の地下構造の算出

§6 測線 I

初動の走時図は第4図(a)の通りである。spreadを移動した際の走時のずれはいつも 1/1000 秒以内におさまっている。発破点の深さはいずれも 0.5 m 以内であり、時刻読取りの精度も 1/1000 秒しかない。故に spread 間の走時のずれ 1/1000 秒は特に問題にはしないことにして、発破点に近い方の spread の走時を基準とし、他を少しずつ上下にずらして夫々一本の走時曲線に描き直した。これが第4図(b)である。

第4図(b)を見ると、薄い最表層を含んだ3層構造に対する走時図と判断される。然し、先ず method of differences の計算を行なつた。第5図、第6図の白丸が計算値であつて、これらの白丸は夫々適当な直線に大体のせることができる。

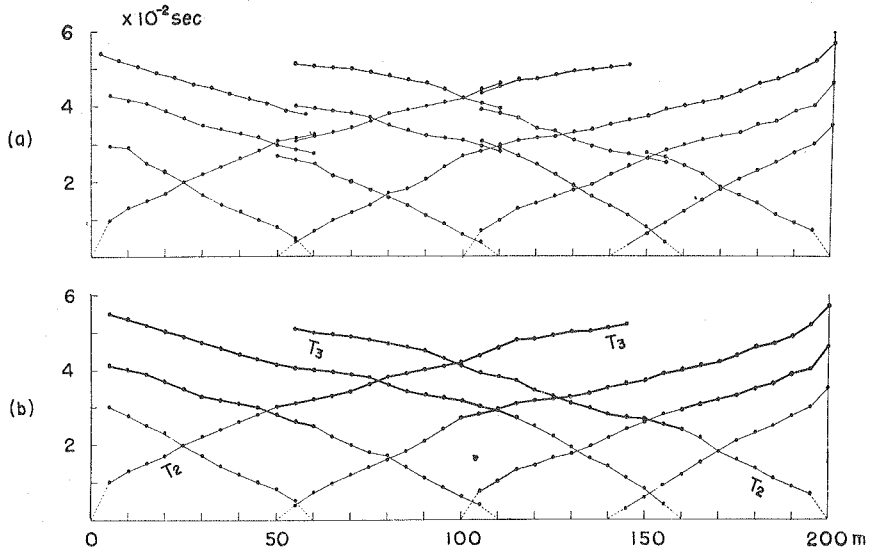
第5図の直線の傾斜は $20 \times 10^2 \text{m/s}$ の速度を示している。これに反し、第6図中央部の直

線の傾斜は $48 \times 10^2 \text{m/s}$ であり、両端部の直線の傾斜は $28 \times 10^2 \text{m/s}$ の速度を示している。

ここで (2.5) の関係を予想し、

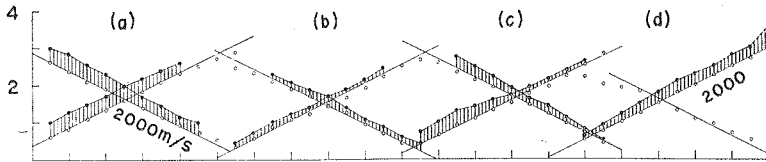
$$1/v_{2,3} = (1/20 + 1/48)$$

とおくと、



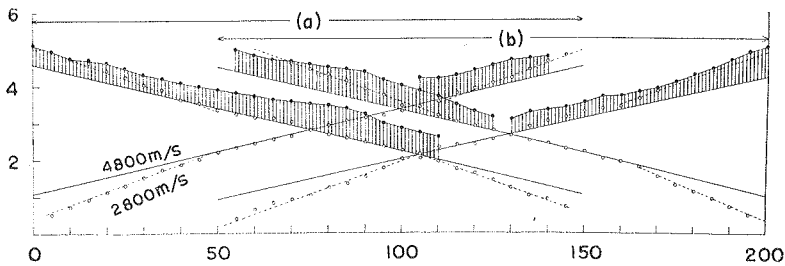
第4図 (a) 測線Iの未補正走時図
(b) 測線Iの補正後の走時図

Fig. 4. (a) Time-distance plots for span I.
(b) Smoothed time-distance plots for span I.



第5図 T_2' 直線

Fig. 5. T_2' is indicated by \circ and T_2 by \bullet .



第6図 $T_{2,3}'$ 及び T_3' 直線

Fig. 6. $T_{2,3}'$ and T_3' are indicated by \circ and $T_3 - h_{LD} \cos i_{1,3} / v_1$ by \bullet .

$$2v_{2,3}=28 \times 10^2 \text{ m/s} \quad (6.1)$$

となる。

故に

$$v_2=20 \times 10^2 \text{ m/s}, \quad v_3=48 \times 10^2 \text{ m/s} \quad (6.2)$$

であつて、第5図の直線は T'_2 であり、第6図中央部の直線は T'_3 であることが判る。これに反し、第6図両端部の直線は $T'_{2,3}$ であると判断される。このことはなお(2.4)の関係、即ち $T'_{2,3AD}(D \rightarrow A) = T'_{2AD}(D \rightarrow A)$, $T'_{2,3BD}(D \rightarrow B) = T'_{2BD}(D \rightarrow B)$ を満足している事実によつても確かめられる。

第6図では更に、 $T'_{2,3}$ と T'_3 との境界が明瞭なので、先ず T'_3 の現われている区間に着目し、第4図(b)に於いてもこの区間の T を T_3 と考えた。

第4図(b)に以上の考察から T_3 と判断した部分を太い実線で示しておく。

第5図(a)では測点0~45間が T'_2 であり、(b)及び(c)では全測点に T'_2 が現われている。このことを第4図(b)に移して考えると、直接波の走時 T_1 は殆んど観測されていないことになる。

然るに第5図に第4図(b)の走時 T_2 を黒丸で記入してみると、 $T_2 - T'_2$ は無視しえぬだけの値を持っている。故に v_1 なる速度を持った最表層があるものと思わなければならない。

先にも述べた如く、第4図(b)には直接波の走時部分が極めて少ないので、 v_1 を精度よく決めることはできかねる。他に決め手がないので、止むなく、発破点の極く近傍の走時の傾斜を平均化して、

$$v_1=10 \times 10^2 \text{ m/s} \quad (6.3)$$

と考えることにする。

以上の如く、 v_1 及び v_2 を定めると、

$$v_1/\cos i_{1,2}=11 \times 10^2 \text{ m/s} \quad (6.4)$$

となる。

第5図の $T_{2AD} - T'_{2AD}$ 又は $T_{2BD} - T'_{2BD}$ にこの値を乗じ、(1.6)によつて h_{1D} を算出したのが第7図の $v_1=1000 \text{ m/s}$ 層の厚さである。

次に

$$v_1/\cos i_{1,3}=10 \times 10^2 \text{ m/s} \quad (6.5)$$

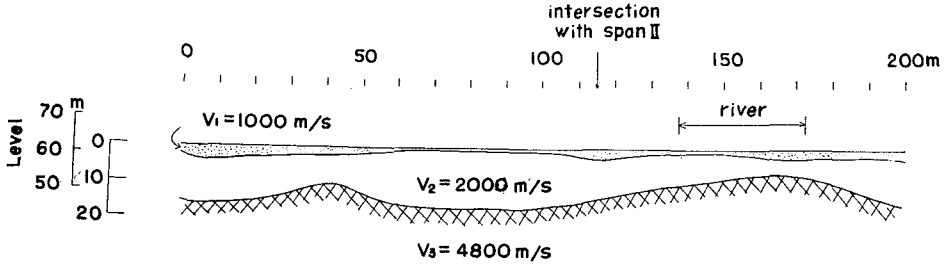
なので、第4図(b)の T_3 から $h_{1D} \cos i_{1,3}/v_1$ を引いた時間を第6図に黒丸で記入した。(2.4)を参照してみると、これで

$$T_{3AD} - h_{1D} \cos i_{1,3}/v_1$$

なる計算が終つたことになる。故に黒丸と T'_3 との差に

$$v_2/\cos i_{2,3} = 22 \times 10^2 \text{ m/s} \tag{6.6}$$

を乗じれば、(2.4) の第 1 式から明らかな如く、 h_{2D} が算出される。これが第 7 図の $v_2=2000\text{m/s}$ 層の厚さである。



第 7 図 測線 I の地下構造

Fig. 7. The structure under span I.

$v_3=4800\text{ m/s}$ 層はこの附近の基盤と考えられる diabase である。

§7 実測例と予備的考察との比較

測線 I についての地下構造の解析は以上で終つたが、この走時図の実例を見ながら予備的考察で調べた T' 直線の性質をふり返つてみることにしよう。

(i) 第 5 図及び第 6 図から (6.2) を求めたものとする、第 6 図に見える他の傾斜 (6.1) は (2.5) から予想される値とよく一致している。

(ii) 第 5 図と第 6 図とを比較すると、(2.6) で予想した関係、 $T'_{2,3AD}(D \rightarrow A) = T'_{2AD}(D \rightarrow A)$ 及び $T'_{2,3BD}(D \rightarrow B) = T'_{2BD}(D \rightarrow B)$ が実際に成立していることが判る。

(iii) T'_{2AD} と T'_{2BD} との交点及び T'_{3AD} と T'_{3BD} との交点の時間座標は $\frac{1}{2} T_{AB}$ であつて、(4.1) が満たされている。

(iv) 又これらの交点の測点座標は T_{2AD} と T_{2BD} との交点及び T_{3AD} と T_{3BD} との交点の測点座標と夫々一致している。一般的には次の関係が満たされている。

$$T_{2AD} - T'_{2AD} = T_{2BD} - T'_{2BD},$$

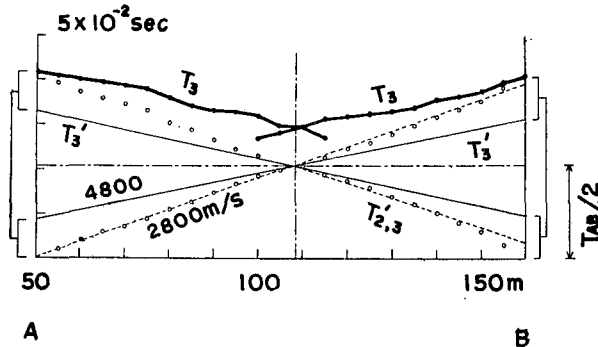
$$T_{3AD} - T'_{3AD} = T_{3BD} - T'_{3BD}.$$

これらも (1.7), (2.4) での予想通りである。

次に測点 50 と 160 との間の走時を使つて method of differences の計算を行ない、 T' 直線を求めると第 8 図の白丸の如くなる。この図の中央部に極めて僅かな区間だけ傾斜の小さい部分が認められるが、大局的には $28 \times 10^2 \text{ m/s}$ の傾斜を持つた直線が全域を占めている。既に行なつた解析結果を参照すれば $2v_{2,3} = 28 \times 10^2 \text{ m/s}$ であつて、第 8 図の優勢な直線は実は $T'_{2,3}$ であり、僅かに見える緩い傾斜部が $v_3 = 48 \times 10^2 \text{ m/s}$ の T'_3 直線であると解される。

然し第 8 図だけから T'_3 直線を定めるのは無理であつて、このままでは h_{2D} を算出することができない。

ところで第 8 図の T_{AD} は第 6 図 (b) の T_{AD} の一部であり、第 8 図の T_{BD} は第 6 図 (a) の



第8図 $T'_{2,3}$ 及び T'_3 直線

Fig. 8. $T'_{2,3}$ and T'_3 are indicated by \circ and $T_3-h_{1D} \cos i_{1,3}/v_1$ by \bullet .

T_{BD} の一部である。故に第6図(b)の T'_{3AD} と第6図(a)の T'_{3BD} を第8図に描き移すと、第8図の $T_3-T'_3$ を使って、測点50と100の区間は第7図と同じ地下構造が得られる筈である。

測点0と110との間で method of differences の計算を行なった場合には T'_{3BD} 直線を他方からそのまま描き移すことはできぬ。然し T'_{3AD} は第6図(a)から描き移すことができるので、これと(3.1)の関係とを使えば T'_{3BD} を作図することができる。測点0近傍では $T_{3BD}-T'_{3BD}$ を、測点110近傍では $T_{3AD}-T'_{3AD}$ を使えば、測点0と110との間で第7図と同じ地下構造が得られる筈である。

§8 測線が短くて屈折波の重複区間がない場合の解析法

若しも第6図を利用することができず、 v_3 と第8図しか与えられていないとすると、描き移し法で T'_3 を作図することはできぬ。然しこの区間に於いても T_3 は或程度観測されているので、何とかして T'_3 を作図することができれば、 h_{2D} を算出することができる。

この際に T' 直線の性質として第1に利用すべきは(4.1)である。

第2に(2.4)から

$$\left. \begin{aligned} T_{3AD}(D \rightarrow A) - T'_{3AD}(D \rightarrow A) &= T'_{3AD}(D \rightarrow A), \\ T_{3BD}(D \rightarrow B) - T'_{3BD}(D \rightarrow B) &= T'_{3BD}(D \rightarrow B) \end{aligned} \right\} \quad (8.1)$$

でなければならぬ。

実際に第8図に於いても第1, 第2の関係が満たされている。

T'_{3AD} と T'_{3BD} との交点が $T = \frac{1}{2} T_{AB}$ 上を右に移動すると、(8.1)の第1式の左辺は減小し右辺は増大する。故に v_3 と(3.1)と(8.1)とから T'_3 直線を確定させることができる。

更に method of differences の計算を行なった区間で T_{3AD} と T_{3BD} とが交わっている場合にはその交点の距離座標は T'_{3AD} と T'_{3BD} の交点の距離座標と一致すべきである。実際に第6図では完全に一致し、第8図でも大体一致している。逆に T'_3 直線が求まっていない場合には、 T_3 の交点から決めた距離座標と(4.1)から決めた時間座標とを使い、これらの座標点を

通つて傾斜が v_3 である直線を作図すればこれが T'_3 となる筈である。

§9 測線 II

初動の走時図は第9図の通りであつて, spread を移動した際の走時のずれは全然ない。

先ず method of differences の計算を行なうと, 第10図及び第11図の白丸の如くなる。これらの白丸は第10図では $20 \times 10^2 \text{m/s}$, 第11図では $28 \times 10^2 \text{m/s}$ の直線上に並んでいる。

測線 I の場合と対応させると,

$$v_2 = 20 \times 10^2 \text{m/s}, \quad 2v_{2,3} = 28 \times 10^2 \text{m/s}$$

$$\text{従つて } v_3 = 48 \times 10^2 \text{m/s}$$

であると解釈される。このことを念頭において第9図では T_3 と考えられる部分を太い実線で示しておく。

第10図に第9図の走時 T_2 を黒丸で記入し, $T_2 - T'_2$ を使つて h_{1D} を算出する際に, 次の点に注意すべきである。実は第9図で T_2 と T_3 との境は幾分判然としていない。故に T_{BD} の A 点附近及び T_{AD} の B 点附近は T_2 に属するか T_3 に属するかが判らぬのである。この危険を逃れるためには A 点附近では $T_{2AD} - T'_{2AD}$ を用うべきであり, B 点附近では $T_{2BD} - T'_{2BD}$ を用うべきである。

尤も A 点附近の T_{AB} 及び B 点附近の T_{BD} は一般には T_2 ではなくて T_1 に属している危険もある。然し今の場合は v_1 層は極めて薄く, 前者に比し後者の危険は少ない。

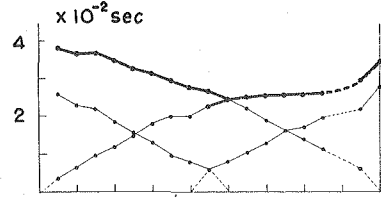
第10図の $T_{2AD} - T'_{2AD}$ 又は $T_{2BD} - T'_{2BD}$ に (6.4) を乗じて h_{1D} を求めたのが第13図の v_1 層の厚さである。

さて, 第11図には T'_3 直線が現われていないので, §8 に述べた方法で T'_3 直線を作図しなければならぬ。

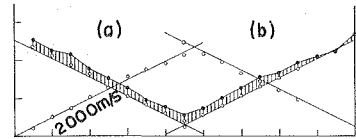
第12図では測点 0~90 間の T_3 だけを考慮することにし, §8 の方法で決めた T'_3 直線が描いてある。 T_3 から $h_{1D} \cos i_{1,3}/v_1$ を引いた時間を黒丸で記入すると, §6 と同様にして h_{2D} が得られる。これが第13図の v_2 層の厚さである。

§10 測線 III

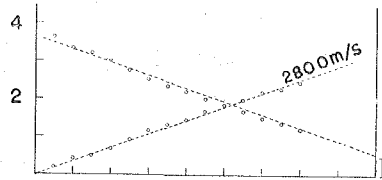
初動の走時図は第14図の通りである。spread を



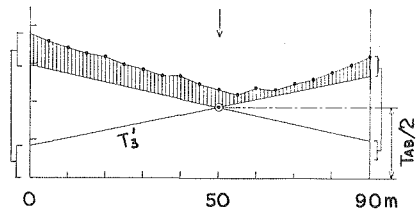
第9図 測線 II の走時図
Fig. 9. Time-distance plots for span II.



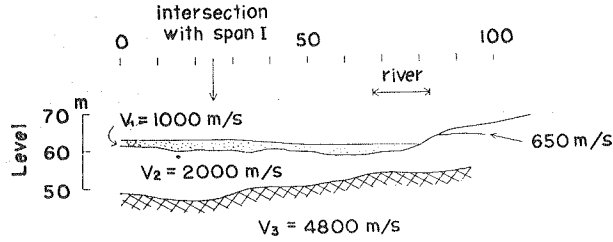
第10図 T'_2 直線
Fig. 10. T'_2 is indicated by O and T_2 by ●.



第11図 $T'_{2,3}$ 直線
Fig. 11. $T'_{2,3}$ is indicated by O.



第12図 理論的に作図した T'_3 直線と $T_3 - h_{1D} \cos i_{1,3}/v_1$ 曲線。
Fig.12. T'_3 drawn theoretically and $T_3 - h_{1D} \cos i_{1,3}/v_1$.



第13図 測線IIの地下構造
Fig. 13. The structure under span II.

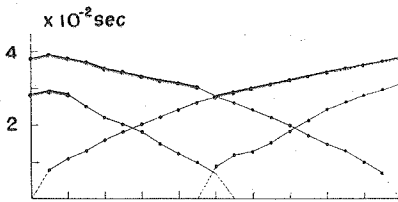
移動した際の走時のずれは全くなかった。

先ず method of differences の計算を行なうと、第15図及び第16図の白丸の如くなる。これらの白丸は第15図では $20 \times 10^2 \text{m/s}$ 、第16図では $32 \times 10^2 \text{m/s}$ の直線上に並んでいる。前者は測線 I, II の場合と一致しているが、後者は明らかに一致していない。このことはなお D→A 及び D→B に於ける (2.4) によつても確かめられる。故に第16図の T' 直線の傾斜は v_3 を示しているものと思われる。測線 III の v_3 が測線 I, II の v_3 よりも小さいのはこの附近の地質学的見地からも妥当である。なお

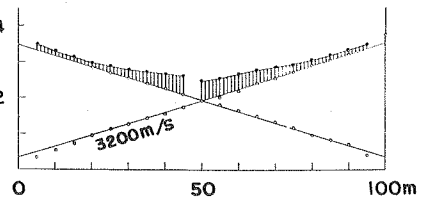
$$1/v_{1,3} = 1/10 + 1/32 \tag{10.1}$$

なる方程式から $2v_{1,3} = 15 \times 10^2 \text{m/s}$ が得られるが、第16図の A 点及び B 点近傍での白丸は大局的にはこの傾斜を有する直線にのつているものと見做される。

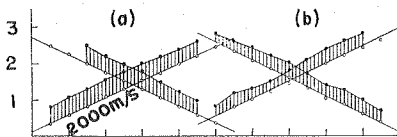
第16図の如く $2v_{2,3}$ なる傾斜を有する T' 直線が見られぬのは、A 点及び B 点近傍に於



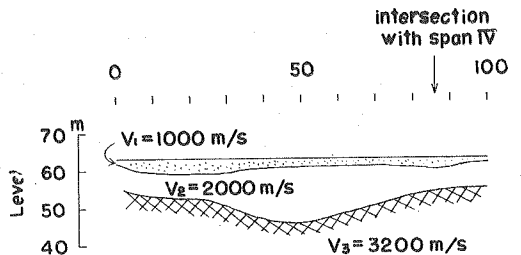
第14図 測線IIIの走時図
Fig. 14. Time-distance plots for span III.



第16図 T_3' 直線
Fig. 16. T_3' is indicated by ○ and $T_3 - h_{1,D} \cos i_{1,3} / v_1$ by ●.



第15図 T_2' 直線
Fig. 15. T_2' is indicated by ○ and T_2 by ●.



第17図 測線IIIの地下構造
Fig. 17. The structure under span III.

いて v_2 層の厚さが極めて薄いからであると考えられる。

§6 に於けると同様に第 15 図に第 14 図の T_2 を黒丸で記入し、 $T_2 - T'_2$ に (6.4) を乗じれば h_{1D} が得られる。これが第 17 図の v_1 層の厚さである。

次に h_{1D} を

$$v_2 / \cos i_{1,3} = 10.5 \times 10^2 \text{ m/s} \quad (10.2)$$

で割った時間を第 14 図の T_3 から引きこの時間を第 16 図に黒丸で記入する。この黒丸と T'_3 との差に

$$v_2 / \cos i_{2,3} = 26 \times 10^2 \text{ m/s} \quad (10.3)$$

を乗じれば h_{2D} が得られる。これが第 17 図の v_2 層の厚さである。

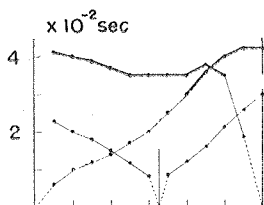
v_3 層はこの附近の基盤と考えられている slate である。

§11 測線 IV

初動の走時図は第 18 図に示した如くかなり複雑である。とに角 method of differences の計算を行なうと、第 19 図及び第 20 図の白丸の如くなる。測線 III の v_2 及び v_3 の値を使うと

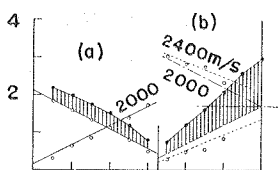
$$2v_{2,3} = 24 \times 10^2 \text{ m/s}$$

となり第 20 図の T' 直線の傾斜と一致する。なお $v_2 = 20 \times 10^2 \text{ m/s}$ は第 19 図 (a) の T' 直線の傾斜と一致している。



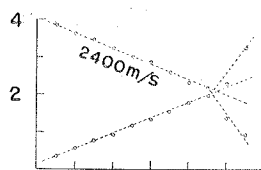
第 18 図 測線 IV の
走時図

Fig. 18. Time-distance
plots for span IV.



第 19 図 T'_2 直線

Fig. 19. T'_2 is indicated
by \circ and T_2 by \bullet .



第 20 図 $T'_{2,3}$ 直線

Fig. 20. $T'_{2,3}$ is indicated
by \circ .

故に第 19 図 (a) の T' は T'_2 であると考えられる。(b) 図の方には T'_2 直線は現われていない。然し第 18 図によれば、測点 32.5 側から測点 60 へ向つて v_1 層が急激に厚くなつていて、測点 32.5 から 60 へ向う T は忽ち T_2 に属していることが判る。又第 19 図 (a) の T'_2 直線と測点 32.5 の時間軸との交点の値は今述べた T_2 直線と測点 32.5 の時間軸との交点の値 0.7×10^{-2} sec の丁度 1/2 になつている。故に測点 32.5 から 60 へ向う T'_2 直線は 0.35×10^{-2} sec なる時刻から始まるべきことが判る。傾斜は既に判つているので直線は直ちに作図できる。

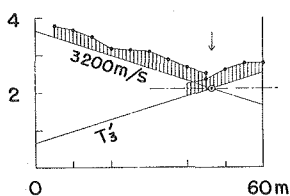
次にこの直線と $T = \frac{1}{2} T_{AB}$ との交点から逆方向に同一の直線を作図すると、これは測点 60 側から始まる T'_2 直線となる。第 19 図 (b) に鎖線で T'_2 直線を示しておく。

前の場合と同様に、第 18 図の T_2 に当る部分を黒丸で第 19 図に記入し、黒丸と T'_2 との差に

$$v_1/\cos i_{1,2}=11.5 \text{ 又は } 6.9 \times 10^2 \text{ m/s} \quad (11.1)$$

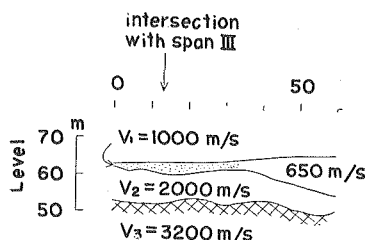
を乗じれば h_{1D} が得られる。但し測線を通じて (11.1) の第1の値のみを用いると、測線 30 を境として h_{1D} が急激に変わる。又第 18 図で測点 60 から始まる T は $6.5 \times 10^2 \text{ m/s}$ の傾斜を有している。故に測点 32 より 0 側では $v_1=10 \times 10^2 \text{ m/s}$ とし、60 側では $v_1=6.5 \times 10^2 \text{ m/s}$ とした。第 22 図の v_1 層の厚さはこの様にして求めた h_{1D} である。

さて第 20 図には T_3 直線は現われていない。然し第 18 図で T_3 部同志が測点 46.5 で交叉しているので、測点 46.5 の時間軸 $T=\frac{1}{2}T_{AB}$ を第 1 章の考察通り T_3 直線の交点と考えれば、更めて第 21 図に示した如く T_3 直線を作図することができる。



第 21 図 理論的に作図した T_3

Fig. 21. T_3 drawn theoretically and $T_3-h_{1D} \cos i_{1,3}/v_1$.



第 22 図 測線 IV の地下構造

Fig. 22. The structure under span IV.

次に h_{1D} を

$$v_1/\cos i_{1,3}=10.5 \times 10^2 \text{ m/s} \quad \text{又は} \quad 6.6 \times 10^2 \text{ m/s} \quad (11.2)$$

で割った時間を第 18 図の T_3 から引き、この時間を第 21 図に黒丸で記入する。すると、黒丸と T_3 との差に

$$v_2/\cos i_{2,3}=26 \times 10^2 \text{ m/s} \quad (11.3)$$

を乗じたものが h_{2D} である。第 22 図の v_2 層の厚さがこれである。

§ 12 v_1 の値と v_1 層の厚さ

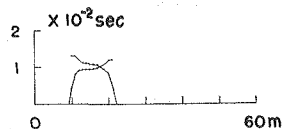
測線 IV の測点 10 と 21 の間に pick up を 1 m 毎に配列すると、初動の走時は第 23 図の如くなつた。ここに見られる v_1 の値は $3 \times 10^2 \text{ m/s}$ よりも小さく、もつと長い測線に対する走時から推定される v_1 よりも非常に小さい。かくの如き小さな v_1 は泥層内の速度 $6.5 \times 10^2 \text{ m/s}$ よりも更に小さく、極めて局所的な値であると思われる。

h_{2D} を求める際の表層補正は

$$h_{1D} \cos i_{1,3}/v_1 = (T_2 - T_2') \cos i_{1,3} / \cos i_{1,2} \quad (12.1)$$

である。

故に、 v_1 の推定を誤り、その結果 h_{1D} を誤算しても、同一の $T_2 - T_2'$ を用いている限り、



第 23 図 極めて短い span の走時図

Fig. 23. Time-distance plots for a very short span.

(12.1) の補正值そのものには大差はない。

更に実際上は

$$\cos i_{1,3} / \cos i_{1,2} \approx 1 \tag{12.2}$$

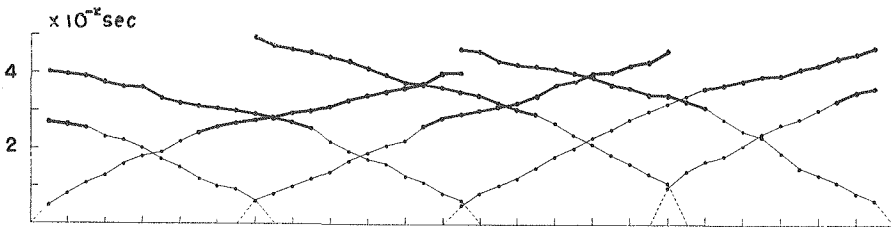
と見做し得る場合が多い。

故に v_3 層迄の深さのみを問題にしている場合には、 v_1 の値 そのものとか h_{1D} には余り神経質になる必要はなく、 $T_2 - T'_2$ に留意しさえすればよい。

第4章 下静内ダム予定地の地下構造の算出

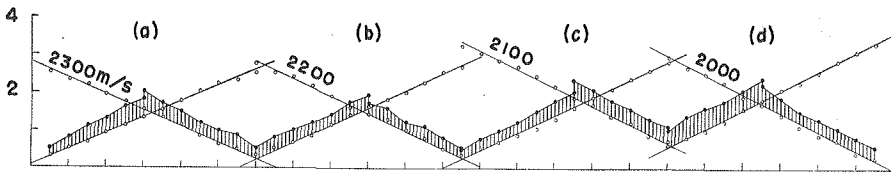
§13 測線 I

初動の走時図は第24図に示したとおりである。method of differences の計算を行なうと、第25図及び第26図の白丸の如くなる。図が混み入るので測点50~175間の T' 直線の計算図(b)は第26図では省略した。



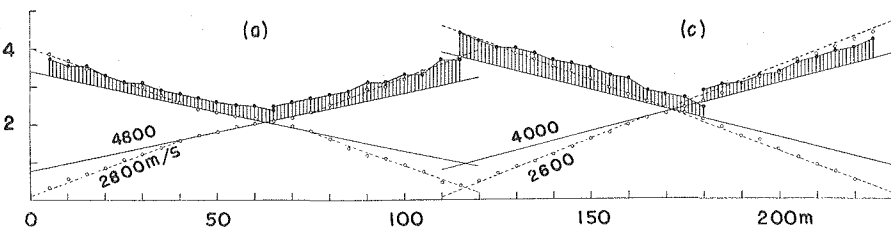
第24図 測線 I の走時図

Fig. 24. Time-distance plots for span I.



第25図 T'_2 直線

Fig. 25. T'_2 is indicated by \circ and T_2 by \bullet .



第26図 T'_3 及び $T'_{2,3}$ 直線

Fig. 26. T'_3 and $T'_{2,3}$ are indicated by \circ and $T_3 - h_{1D} \cos i_{1,3} / v_1$ by \bullet .

第 26 図を見ると、静内測線 I の第 6 図と大体同じである。故に T' 直線の傾斜は

$$v_3 = 48 \times 10^2 \text{m/s}, \quad 2v_{2,3} = 28 \times 10^2 \text{m/s} \quad (13.1)$$

を示しているものと考えられる。但し測点 230 の方へ寄るにつれて、 v_3 は $40 \times 10^2 \text{m/s}$ 迄減少している様である。

(13.1) と (2.5) なる関係から、静内測線 I に於けると同様に

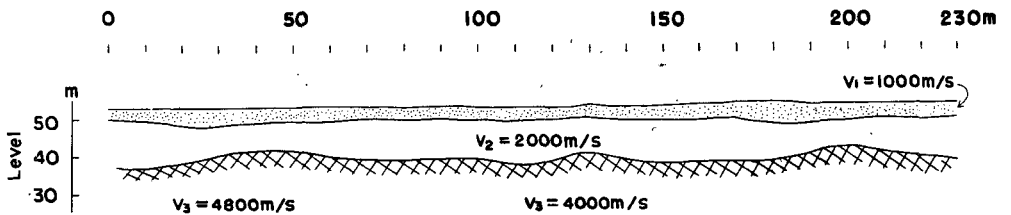
$$v_2 = 20 \times 10^2 \text{m/s} \quad (13.2)$$

となる。この値は第 25 図 T' 直線の傾斜と大体一致している。従つて第 25 図の T' 直線は T'_2 であると判断される。

第 25 図に第 24 図の T_2 部分を黒丸で記入し、黒丸と T'_2 直線との差に

$$v_1 / \cos i_{1,2} = 11 \times 10^2 \text{m/s} \quad (13.3)$$

を乗じれば h_{1D} が得られる。第 27 図の v_1 層の厚さがこれである。但し静内ダム予定地に於け



第 27 図 測線 I の地下構造

Fig. 27. The structure under span I.

ると同じ理由で

$$v_1 = 10 \times 10^2 \text{m/s}$$

を仮定した。

次に第 24 図の T_3 から h_{1D} を

$$v_1 / \cos i_{1,3} = 10 \times 10^2 \text{m/s} \quad (13.4)$$

で割つた時間を引き、この時間を第 26 図に黒丸で記入する。黒丸と T'_3 との差に

$$v_2 / \cos i_{2,3} = 22 \times 10^2 \text{m/s} \quad (13.5)$$

を乗じれば h_{2D} が得られる。第 27 図の v_2 層の厚さがこれである。

v_3 層はこの附近の基盤と考えられている microdiorite である。

§ 14 測線 II

初動の走時図は第 28 図のとおりである。測点 0 及び 65 から始まる走時について method of differences の計算を行なうと第 29 図 (a) の白丸の如くなる。

又測点 -45 及び 115 から始まる走時については $T_{AB} = 60 \times 10^{-2} \text{sec}$ と見当をつけて method of differences の計算を行なうと第 29 図 (b) の白丸が得られる。

第29図(b)で右方の T' 直線は(13.1)の v_3 と同じ傾斜を有し、左方の T' 直線は(13.2)と同じ傾斜である。故に夫々 T'_3 及び T'_2 であると考えられる。

第29図(a)で右方の T' は(b)の場合より乱れているのは、純粋に T_3 のみから成り立っているのではなく、 T_3 と T_2 或は T_1 との組合せが混じっているものと思われる。

何れにせよ測点35よりも右方では T'_2 直線が求まっていない。然し測点65から始まる走時曲線は測点65附近では測点115及び165から始まる走時曲線とは平行ではなくて、 v_3 層の上に表層があることを示している。

第29図で T'_3 と T'_2 とだけがあつて、 $T'_{2,3}$ が見られぬのは v_3 層が測点35附近から左方で無くなつているか、又は急傾斜で左方へ落ちてきているものと解せられる。

測点35よりも左方に就ては第29図(a)に第28図の T_2 を黒丸で記入し、黒丸と T'_2 との差に(13.3)

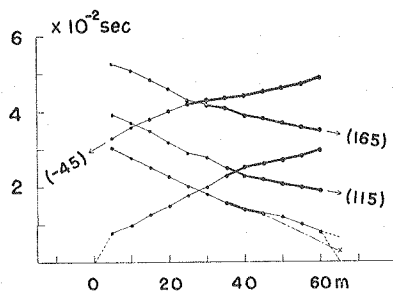
を乗じれば h_{1D} が得られる。第32図の v_1 層の厚さがこれである。

測点65から始まる走時曲線に於いては、測点50又は45に於いて既に T_3 が現われているものと見られる。とすると測点40, 45附近では第29図(a)と(b)に於いて $T_3 - T'_3$ が互いに等しいことも納得できる。

かくの如き解釈によれば測点65から始まる走時曲線は測点60, 55に於いては T_3 ではなくて T_2 である。先にも述べた如く測点35よりも右方では T'_2 直線は求まっていない。然し、今述べた T_2 と測点65に於ける時間軸との交点の半分の高さの点から $20 \times 10^3 \text{m/s}$ の傾斜を持った直線を作図すれば、§8での考察により、これが T'_2 直線である筈である。すると、 $T_2 - T'_2$ に(13.2)を乗じて測点35よりも左方と同様に h_{1D} 即ち v_1 層の厚さを算出することができる。

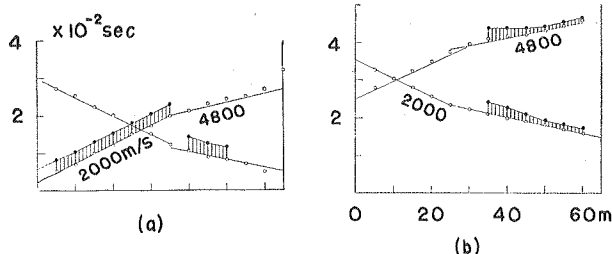
次に h_{1D} を(13.4)で割つた時間を T_3 から引き、この時間を第29図(b)に黒丸で記入する。黒丸と T'_3 直線との差に(13.5)を乗じれば h_{2D} が得られる。これが第32図の v_2 層の厚さである。

第29図(a)よりも(b)の方が T'_2 直線と T'_3 直線との境が左方に寄つている。これは v_3 層が測点35で垂直に落ちてきているのではなくて、第32図の破線で示した如く、傾斜していること



第28図 測線IIの走時図

Fig. 28. Time-distance plots for span II.



第29図 T'_2 及び T'_3 直線

Fig. 29. T'_2 and T'_3 are indicated by \circ

を意味している。

§ 15 測線 III

初動の走時図は第 30 図のとおりである。method of differences の計算を行なうと第 31 図の白丸の如くなる。

$$\left. \begin{aligned} v_3 &= 48 \times 10^2 \text{m/s}, & 2v_{2,3} &= 31 \times 10^2 \text{m/s}, \\ 2v_{1,2} &= 15 \times 10^2 \text{m/s} \end{aligned} \right\} \quad (15.1)$$

と考えると、(2.5) 及び (1.7) から

$$v_2 = 23 \times 10^2 \text{m/s}, \quad v_1 = 10 \times 10^2 \text{m/s}. \quad (15.2)$$

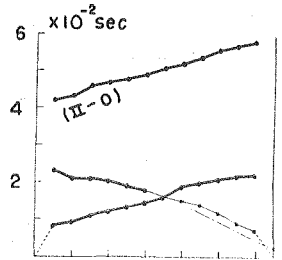
v_2 の値は他の測線の場合といくらか異なるが、測線が異なればこの程度の相違は実際にあり得るであろう。

さて T'_2 直線は求まつていないので、§ 8 で述べた方法により作図するより致し方ない。第 30 図で測点 65 から始まる走時曲線は測点 45 迄は T_2 であると考えられる。故に T_2 直線と測点 65 の時間軸との交点の 1/2 の高さの点 (×印) を通り、 $23 \times 10^2 \text{m/s}$ の傾斜を持った直線を作図すれば、これが T'_2 である。第 30 図に鎖線で T'_2 直線を描いておく。

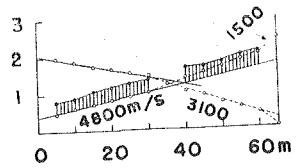
$T_2 - T'_2$ に

$$v_1 / \cos i_{1,2} = 11 \times 10^2 \text{m/s} \quad (15.3)$$

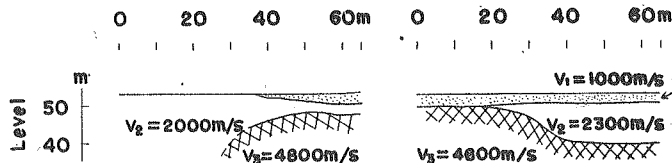
を乗じれば h_{1D} が得られる。これが第 33 図の v_1 層の厚さである。



第 30 図 測線 III の走時図
Fig. 30. Time-distance plots for span III.



第 31 図 T'_2 及び $T'_{2,3}$ 直線
Fig. 31. T'_2 and $T'_{2,3}$ are indicated by O.



第 32 図 測線 II の地下構造
Fig. 32. The structure under span II.

第 33 図 測線 III の地下構造
Fig. 33. The structure under span III.

測点 35 よりも左方の走時では T_2 部が判然としない。然も測点 5 の走時は T_1 と T_3 との交点に近いものと考えられる。故に測点 0 附近では測点 65 附近よりも厚い v_1 層があつて、 v_2 層を欠いているものと思われる。

但し測点 15~30 では走時がいくらかふくらんでいるので、この辺から v_2 層が現われて右方に続くものと考えられる。

先ず測点 65~45 の間について v_2 層の厚さを算出するために、 h_{1D} を (13.4) で割つた時間

を T_3 から引き、その時間を第 31 図に黒丸で記入する。黒丸と T_3 との差に

$$v_2/\cos i_{2,3} = 26 \times 10^2 \text{m/s} \tag{15.4}$$

を乗じれば h_{2D} が得られる。これが第 33 図で測点 45~65 間の v_2 層の厚さである。

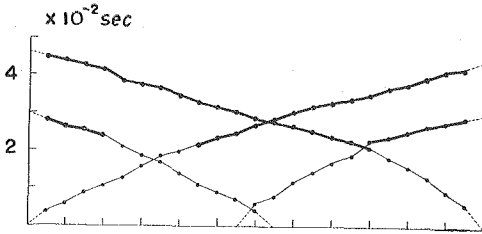
次に測点 0 から始まる走時は T'_3 と大体平行であり、測点 30 と 40 との間で約 $0.3 \times 10^{-2} \text{sec}$ だけ jump していることから、(15.4) を考慮して、 $0.3 \times 26 \approx 8 \text{m}$ だけこの間で v_2 層の厚さが変化していると考えた。先に考えた測点 0 附近の走時の解釈と今の考えとをまとめたのが第 33 図の測点 40 より左方の v_3 層の head である。

§ 16 測線 IV

初動の走時図は第 34 図の如くである。method of differences の計算を行なうと第 35 図及び第 36 図が得られる。

第 36 図中央部の直線の傾斜から

$$v_3 = 36 \times 10^2 \text{m/s} \tag{16.1}$$



第 34 図 測線 IV の走時図

Fig. 34. Time-distance plots for span IV.

が得られる。この値は第 34 図 T_3 曲線の傾斜が測点 0 側で $32 \times 10^2 \text{m/s}$ 、測点 120 側で $40 \times 10^2 \text{m/s}$ であることから妥当な値と考えられる。

第 36 図の測点 0 側の直線の傾斜が $26 \times 10^2 \text{m/s}$ であるのは、

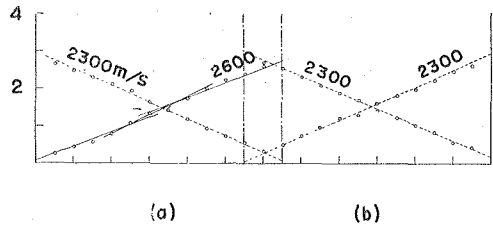
$$v_2 = 20 \times 10^2 \text{m/s} \tag{16.2}$$

とすれば (2.5) の関係をよく満足させることができる。第 34 図で T_2 と思われる部分の曲線の傾斜もこの程度の値を示している。

一方第 35 図の測点 120 側の直線の傾斜は $23 \times 10^2 \text{m/s}$ であつて、(16.1) を用いて (2.5) を満足させるためには

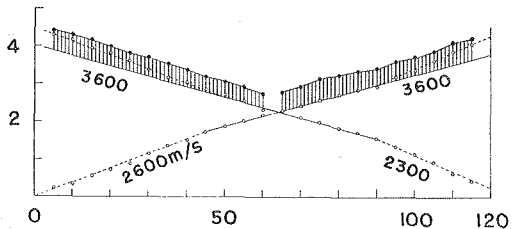
$$v_2 = 18 \times 10^2 \text{m/s} \tag{16.3}$$

でなければならぬ。逆に (16.2) を用いて (2.5) を満足させようとする、 $v_3 = 24 \times 10^2 \text{m/s}$ となる。



第 35 図 $T'_{2,3}$ 直線

Fig. 35. $T'_{2,3}$ is indicated by O.



第 36 図 T'_3 及び $T'_{2,3}$ 直線

Fig. 36. T'_3 and $T'_{2,3}$ are indicated by O.

然し第35図(b)の T' 直線の傾斜は第36図によれば $2v_{2,3}$ を与えるものと考えるべきであり、 $v_3=24 \times 10^2 \text{m/s}$ は妥当ではない。第34図の測点55よりも右方で T_2 と考えられる部分の傾斜は(16.3)と一致している。

すると第35図(a)の T' は点線の如く $23 \times 10^2 \text{m/s}$ の傾斜をもつた1本の直線と考えるべきではなくて、実線の如く、 $26 \times 10^2 \text{m/s}$ の傾斜をもつた部分と $20 \times 10^2 \text{m/s}$ の傾斜をもつた部分とに分けて考えるべきである。

この結果第35図では T'_2 直線が求まっていないことになる。然し幸いにも第34図における T_2 部は大体に於いて左右対称の直線性を示し、発破点に於いてはこれらの直線は測点0では0.2, 測点65では0.2, 測点55では0.3, 測点120では $0.5 \times 10^{-2} \text{sec}$ に於いて夫々震央距離0の場合の時間軸を切っている。

(1.2), (1.6)によれば T'_2 直線は以上の値の夫々1/2の時間に於いて震央距離0の場合の時間軸を切るべきであり、然も傾斜は(16.2)又は(16.3)によつて与えられているので、第35図の代りに第37図の如く更めて T'_2 直線を作図することができる。

故に第34図の T_2 と考えられる部分を第37図に黒丸で書き移すと、黒丸と T'_2 との差に

$$v_1 / \cos i_{1,2} \approx 12 \times 10^2 \text{m/s} \quad (16.4)$$

を乗じて h_{1D} を求めることができる。これが第38図の v_1 層の厚さである。ここでは $v_1=10 \times 10^2 \text{m/s}$ と考えているが、実は v_1 の値を正確に決めることはできない。故に(16.2)又は(16.3)によつて(16.4)の値を区別することは余り意味がない。

従つて h_{1D} の算出に際しては測線IVを通じて(16.4)を採用している。

次に

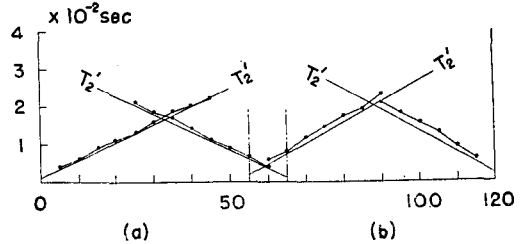
$$v_1 / \cos i_{1,3} = 10 \times 10^2 \text{m/s} \quad (16.5)$$

であるので、 h_{1D} をこれで割つた時間を第34図の T_3 から引き、この時間を黒丸で第36図に記入する。

さて

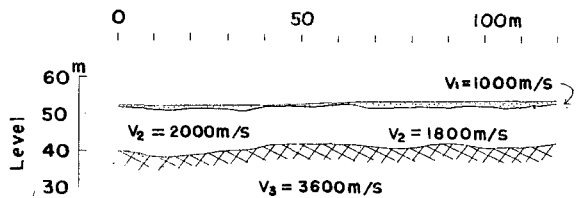
$$v_2 / \cos i_{2,3} = 24 \text{ 又は } 21 \times 10^2 \text{m/s} \quad (16.6)$$

となるが、 v_2 が何れの測点から(16.2)から(16.3)に移るかは判然とせぬ。止むを得ぬので測点



第37図 理論的に作図された T'_2 直線

Fig. 37. T'_2 drawn theoretically and T_2 indicated by ●.



第38図 測線IVの地下構造

Fig. 38. The structure under spen IV.

60 を境として 0 側では (16.6) の前の値を、120 側では後の値を採用して、黒丸と T'_3 との差に乘じた。これが h_{2D} であつて第 38 図の v_2 層の厚さである。 v_3 層は幾分変質を受けた micro-diorite である。

第 5 章 method of differences により算出した基盤迄の深さの誤差

§17 h_D の精度

初動読取りの精度は 1/1000 秒であつて、これが以下に考察する種々の誤差にすべて関係して来る。

v_1 層の厚さに比し、発破点の間隔が余り大きくなく、然も測線の長さが充分に大きい時は、 T'_2 直線は初動読取りの精度と同程度の精度で確定する。この場合には v_1 層の厚さの精度は $v_1 \times (1/1000 \text{ 秒})m$ となる。

v_2 層の厚さに比し、発破点の間隔が余り大きくなく、然も測線の長さが充分に大きい時は T'_3 直線も初動読取りの精度と同程度の精度で確定する。この場合には v_2 層の厚さの精度は $v_2 \times (1/1000 \text{ 秒})m$ となる。

静内及び下静内の測線 I は上に挙げた条件を v_1 層に対しても v_2 層に対しても満たしている。

更に h_{1D} と h_{2D} とは (3.3) に於いて見る如く、 h_{1D} を過小に採れば h_{2D} は過大となり、逆に h_{1D} を過大に採れば h_{2D} は過小となる。即ち h_{1D} の誤差と h_{2D} の誤差とは加算されず、互いに相殺される傾向にある。

故に静内及び下静内の測線 I での $h_{1D} + h_{2D}$ の計算誤差は 2 m 以内であろう。なおこれらの測線の如く、同一区間に対し初動の走時曲線が何本も重複している場合には $T - T'$ の計算を幾通りも行なえる。これらの値を平均した上で h_D を求めるようにすれば、 h_D の精度は一層向上する。

今回は同一の D に対し、幾通りかの $T - T'$ から h_D の値をいくつか出し、最後に h_D の平均値を求めた。

他の測線に於いては、 T'_2 直線や T'_3 直線が確定しにくいものが多かつた。 T' の計算値からではなくて、第 1 章で考察した T' 直線の性質を利用して、純理論的に T' 直線を作図したものもある。この場合の T' 直線作図誤差は、悪条件のもとにあつては初動読取り誤差の 2 倍に達することもある。然し今回の資料を整理した限りに於いては、 T' 直線の作図は案外うまくゆくものであつて、初動読取り誤差の 3 倍にもなるとは考えられなかつた。

以上を総合すると、作図した場合をも含めて、 T' 直線を仲介にした h_D の算出誤差は 2 ~ 3 m 程度と考えられる。この誤差が大きい原因は始めに述べた如く、読取りの精度が 1/1000 秒であつて、 v_2 が 2000 m/sec なので、このために既に $2000/1000 = 2$ m の誤差が生じる危険があるためである。

§ 18 method of differences に於ける仮定と実際との喰い違いにより生じる誤差

method of differences では次の 2 つを仮定している。

「屈折波は境界面上を忠実に伝播する」 (18. 1)

「境界面の凹凸が余り激しくない」 (18. 2)

(18. 2) は更に次の 2 つに分けて取り扱うべきである。

「境界面は測線の向きに一様に変化している」 (18. 3)

然も

「境界面の凹凸は測線方向にも余り激しくない」 (18. 4)

(18. 2), (18. 4) で言う「余り激しくない」とは、具体的に述べれば、(1. 3) の次で述べた仮定、即ち

$$A_1D_1 \approx AD \quad (18. 5)$$

である。

微小な線分区間 AD と A_1D_1 とを比較した場合に、両線分のなす角を ω とすれば

$$A_1D_1 = AD \cos \omega. \quad (18. 6)$$

故に (18. 5) の成立に 5% 迄の誤差を許すものとすれば、 $\cos \omega > 0.95$ であるから $\omega < 18^\circ$ であればよい。

実は屈折波なるものは境界面の凹凸に「全く忠実に伝わって来るもの」ではないであろう。境界面が凹凸している場合の屈折波の本性が未だ明らかにされていない現状にあつては、(18. 5) の仮定に余りとられすぎるのは意味がない。

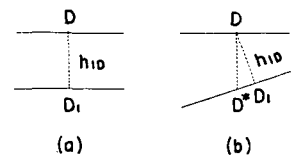
method of differences の計算から求めた T' が初動読取りの精度内で一直線上に並んだ場合には (18. 1), (18. 4) の仮定は許されるものと思わなければならない。

實際上問題となるのは (18. 3) である。第 39 図で、測線が D を通り紙面に垂直であるとすると、(18. 3) では第 39 図 (a) の如き地下構造を仮定している。然し実際には同図 (b) の如き状態になっていることであろう。method of differences により算出したのは $h_{1D} = DD_1$ であつて、boring から指摘される深さ DD^* ではない。 DD_1 と DD^* との関係は (18. 5) と全く同様に

$$DD_1 = DD^* \cos \omega \quad (18. 7)$$

である。但し、(18. 6) の場合には測線方向に T' 直線を算出し、大体の傾向からのずれを判定し得たのに対し、(18. 7) では T' 直線の如き規準となるものがない。従つて (18. 7) の未知量 $\cos \omega$ は最後まで未知量として残され、これは深さの誤差に生で利く。

(18. 3) の仮定が許されぬ場合には、method of differences により算出した深さ $h_{1D} = DD_1$



第 39 図 境界面の傾斜と測線との関係

Fig. 39. The span is assumed to be perpendicular to the plane of this paper through D .

は boring から指摘される深さ DD^* よりも常に小さくなる。

静内及び下静内測線では (18.7) の ω はたかだか 30° と考えられるので、これにより生じる誤差のために深さを 10% 程度小さく評価していることになる。実際の数値にして 1 m 程度の過小評価となる。これは §17 で考察した誤差の範囲内に入るので、余り重要視する必要はない。

あ と が き

此の弾性波探査は、地質調査、比抵抗探査及び boring 探査等との総合調査の一部として行なわれたのである。ここでは弾性波探査による基盤迄の深さの算出経過のみを述べた。総合調査の概況とか、それから見た弾性波探査の役割り等については別の機会に述べられるであろう。

今述べた如く、此の弾性波探査は地質調査結果を基にして計画されたのであつて、測定結果の解析には道立地下資源調査所河田英氏の助言に負うところが多い。

2. Seismic Prospecting at the Projected Places for the Dam at Shizunai and Shimo-shizunai in Hokkaido

By Kyozi TAZIME, Hiroshi OKADA, Kazuo HAMADA
and Susumu KUBOTA

(Department of Geophysics, Faculty of Science, Hokkaido University)

“The method of differences” for three layers has been formulated. The behaviour of “ T' -curve” is theoretically investigated in detail. This is compared with that obtained actually at span I of Shizunai which had so long span as to give enough data for discussion.

Then it is attempted to make full application of “ T' -curve” to the analysis of data obtained at the other span which was sometimes too short to apply the usual analysis.

The process of the present analysis is described to each span in the fields.