



Title	1. 八郎潟北部の採石予定地で行なった弾性波探査
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, 12, 1-14
Issue Date	1964-08-25
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.12.1
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/13870
Type	departmental bulletin paper
File Information	12_p1-14.pdf



1. 八郎瀨北部の採石予定地で行なった弾性波探査

田治米鏡二・岡田 広・浜田和郎

(北海道大学理学部地球物理学教室)

— 昭和 39 年 4 月受理 —

1. 測定 の 概 況

採石の際にこの地域で予想される表土層、軟石層及び硬岩層の境界面を知るのがこの調査の目的である。

測線は I から V 迄であって、測線の配置は第 1 図に示してある。図の白丸は発破孔の位置であり、二重丸の位置でテストボーリングが予定されている。これらの測線は岩盤の走向・傾斜を考慮せずに設けられた。従って、多層構造を解析するには不適當である。表層と岩盤との 2 層構造を予期している。

使用器械は米国 E.T.L 会社製 PRA-2 型 24 成分であって、上下動 7.5 c/s の pick up を 8 m 間隔に single で測線上に配置した。

この測定は 1963 年秋に行なわれたが、当時既に採石作業が行なわれつつあったので、測定時間に非常な制約を受けた。測定は主として夜間に、一口一測線の割で行なわれた。測定の様子は第 1 表に挙げてある。

第 1 図左下方から右上方を眺めた採石作業場の全景と、ここで得られた seismic records の 1 部を第 2 図に示しておく。初動の走時図は第 3 ~ 7 図の如くなった。

第 4 ~ 7 図は大局的には似ている。第 5 図と第 6 図とは特によく似ている。これらの図は各測線の右端から 30 m 位迄は硬岩層が地表付近迄現れていることを示している。この部分は現に採石中であって、実は硬岩層が露出しているのである。

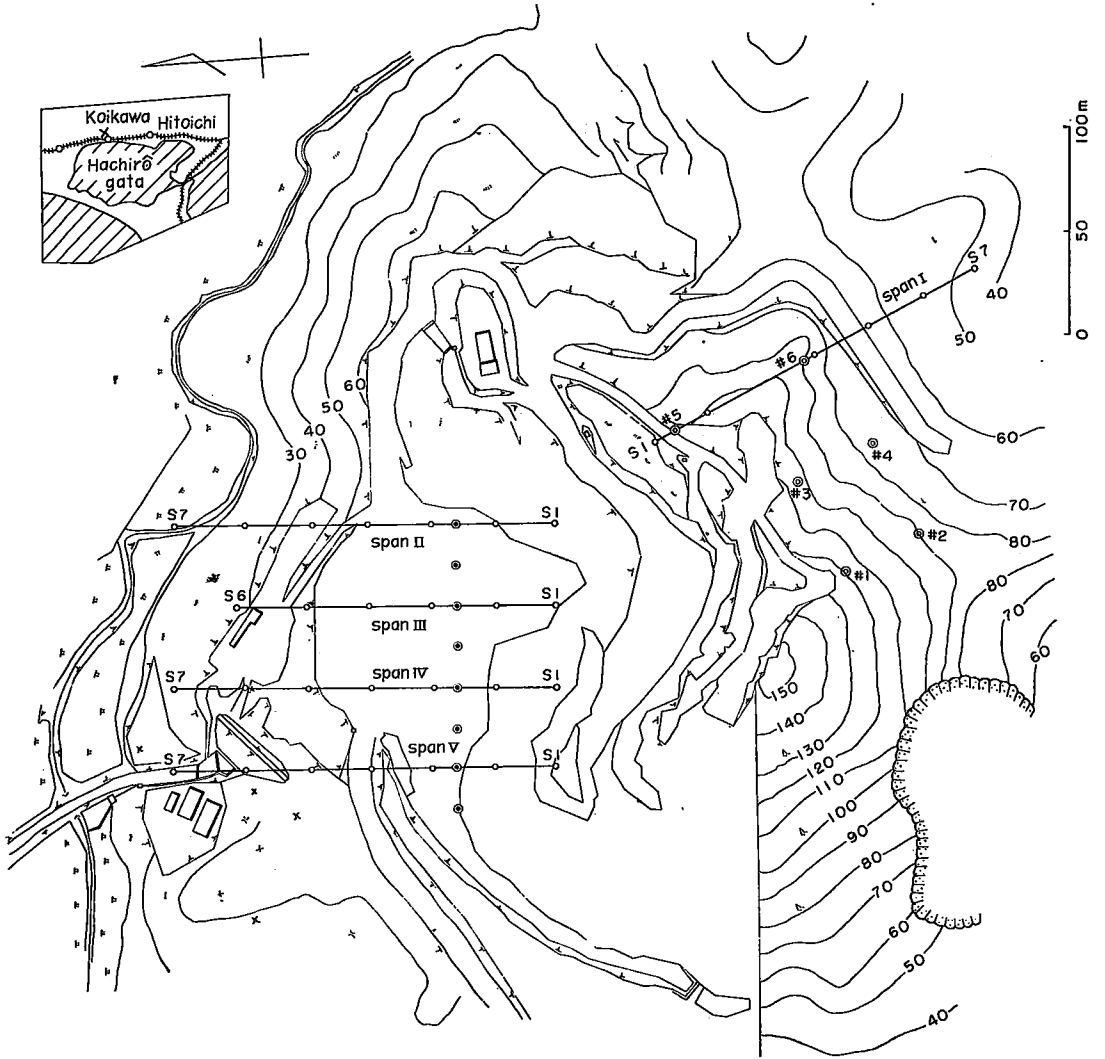
2. 測線 IV の走時解析

地形が比較的平坦であって、初動の走時が最も完全に測定されている測線 IV から解析を始める。

元来の method of differences¹⁾ は適用されぬものと思われるが、その拡張²⁾をも考慮して、敢えて S1 ~ S7 の間で T' を求めた。第 8 図の白丸がこれである。この図で分類した T' 直線の傾斜は次の如くである。

1) 萩原尊礼; 基盤面の傾斜が一樣でない場合の走時曲線解析法, 地震, 10 (1938), 463.

2) 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, 物理探査, 11 (1958), 44.



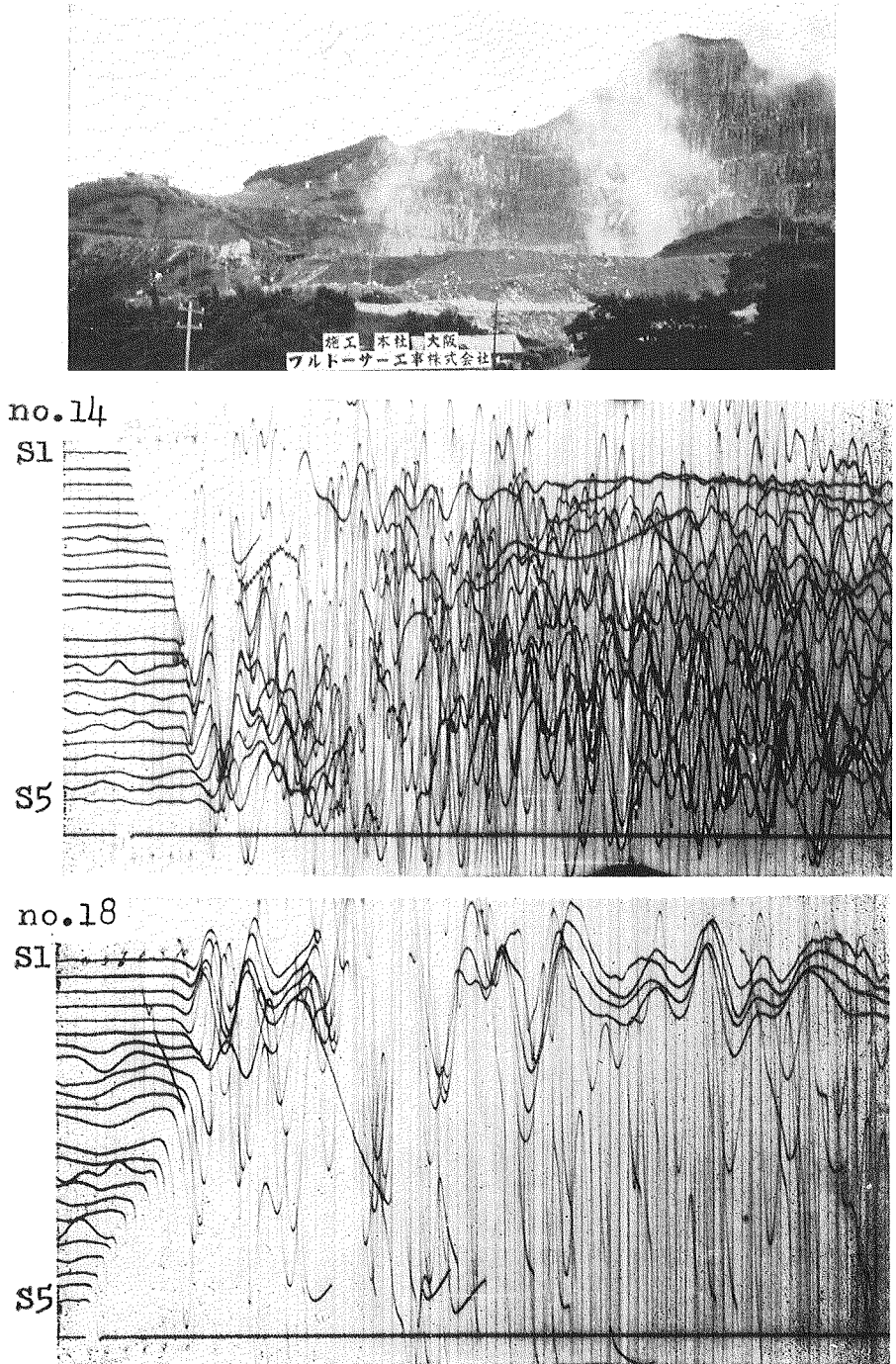
第1図 測線の配置

Fig. 1. The location of spans observed.

第 1 表 測 定 の 手 順

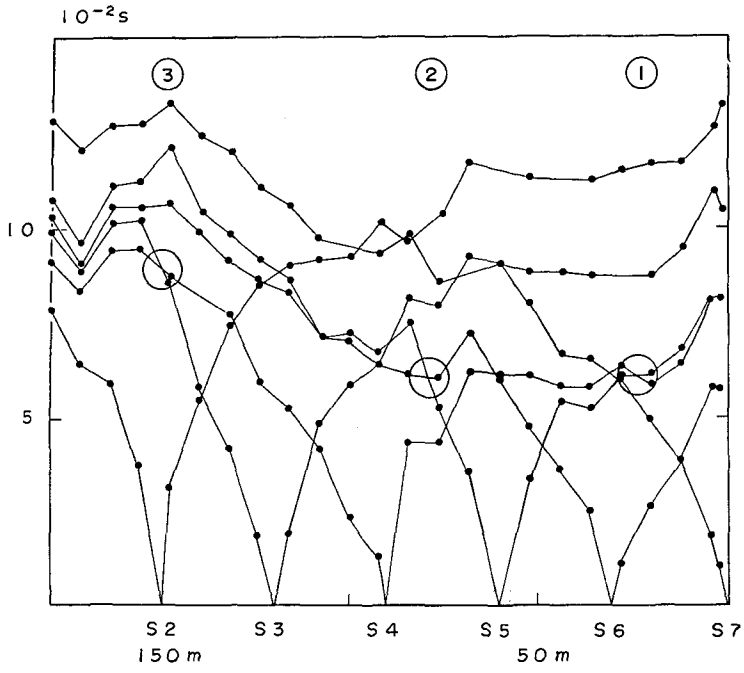
Table 1. The process for the observation.

record number	span	shot number	shot position	depth of the shot	amount of charges	remarks
1	V	1	0	1	2	day time
2	V	2	30	1	2	Gain 3, 100%
3	V	3	60	1	2	Filter 1
4	V	4	90	1	2	
5	V	6	150	1	2	
6	V	5	120	1	2	
7	IV	1	0	1	4	night
8	IV	2	30	1	4	Gain 4, 100%
9	IV	3	60	1	4	Filter 1
10	IV	4	90	1	4	
11	IV	5	120	1	4	
12	IV	6	155	1	4	
13	IV	7	180	1	4	
14	III	1	0	1	4	night
15	III	2	30	1	4	Gain 4, 100%
16	III	3	60	1	4	Filter 1
17	III	4	90	1	4	
18	III	5	180	1	4	
19	II	1	0	1	4	night
20	II	2	30	1	4	Gain 4, 100%
21	II	3	60	1	4	Filter 1
22	II	4	90	1	4	trace 13: rotation
23	II	5	113	1	2	
24	II	6	150	1	4	
25	II	7	187	1	4	
26	I	1	30	1	4	day time
27	I	2	60	1	4	Gain 3, 100%
28	I	3	90	1	4	Filter 1
29	I	4	120	1	4	
30	I	5	150	1	4	
31	I	6	180	1	4	
			(m)	(m)	(×45 g)	



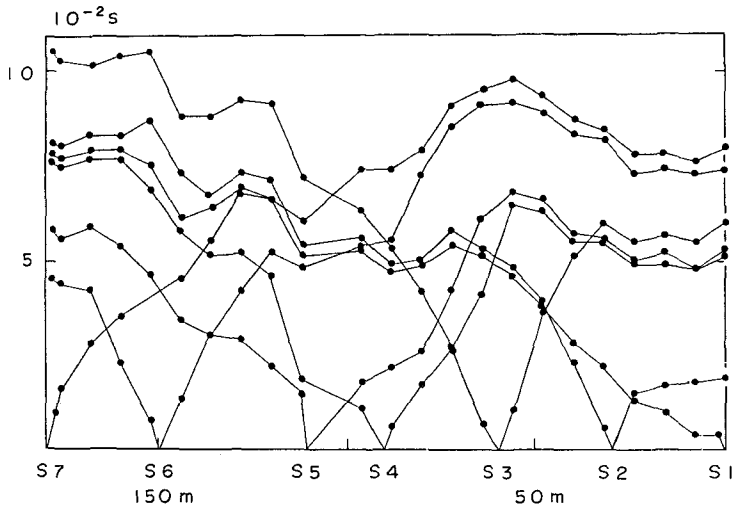
第 2 図 採石作業場の全景と地震記録の一部

Fig. 2. A landscape of the quarry and several seismic records.



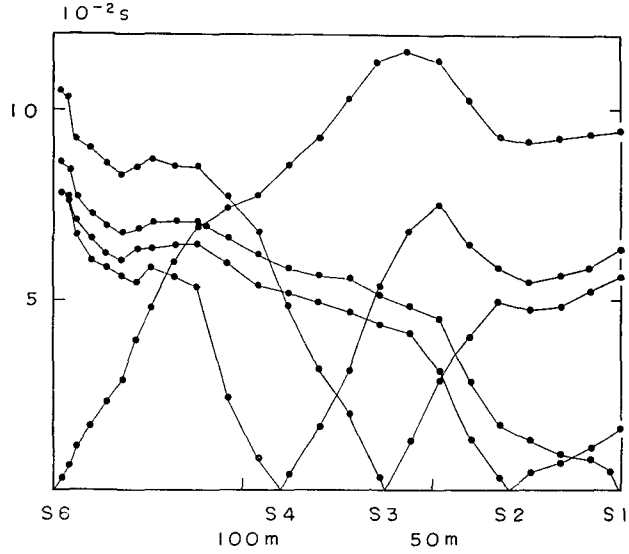
第 3 図 測線 I における初動の走時図

Fig. 3. Time-distance plots of the first break for span I.



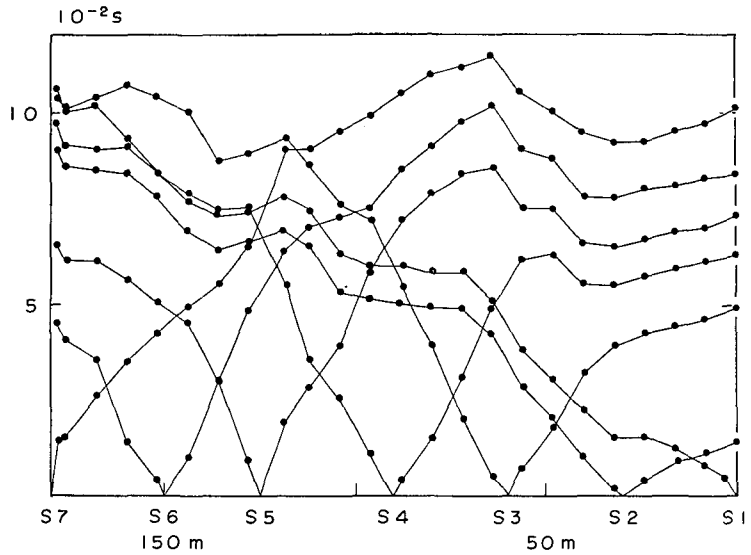
第 4 図 測線 II における初動の走時図

Fig. 4. Time-distance plots of the first break for span II.



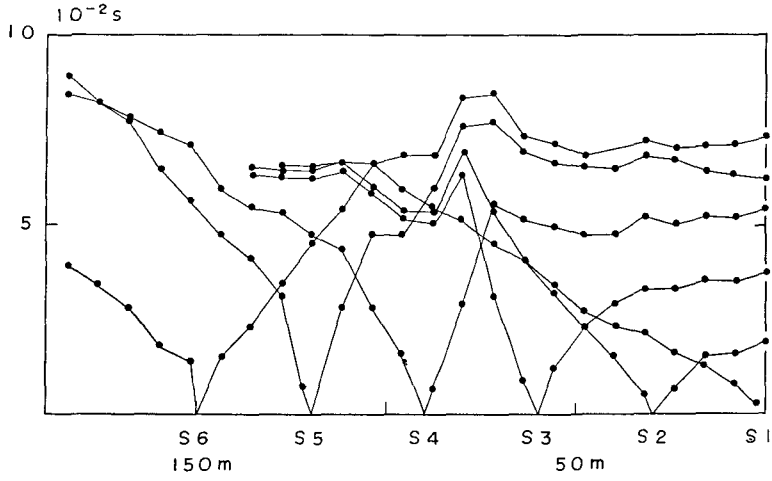
第5図 測線IIIにおける初動の走時図

Fig. 5. Time-distance plots of the first break for span III.



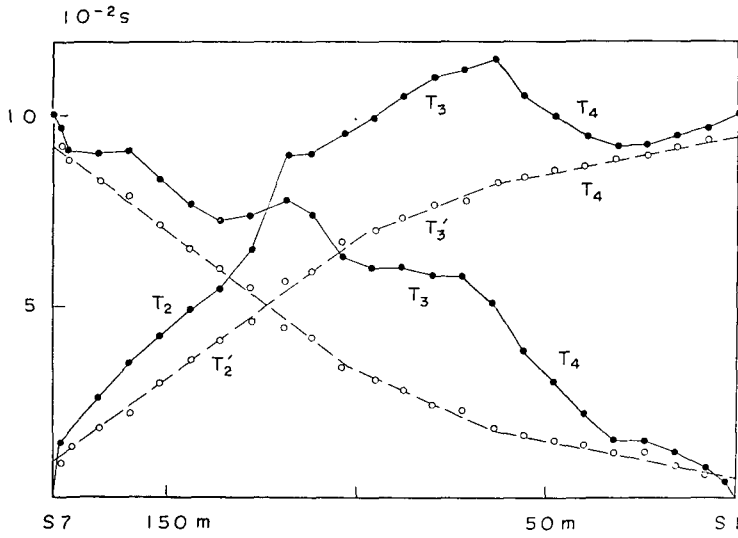
第6図 測線IVにおける初動の走時図

Fig. 6. Time-distance plots of the first break for span IV.



第 7 図 測線 V における初動の走時図

Fig. 7. Time-distance plots of the first break for span V.



第 8 図 測線 IV の S1 to S7 間の T'

Fig. 8. T' for S1 to S7 on span IV.

$$\left. \begin{array}{l} T'_2: (15 \times 10^2 \text{ m/s})^{-1}, \\ T'_3: (25 \times 10^2 \text{ m/s})^{-1}, \\ T'_4: (50 \times 10^2 \text{ m/s})^{-1}. \end{array} \right\} \quad (2. 1)$$

一方第6図から直接読みとられる T_1 の平均傾斜は次の如くである。

$$T_1: (6 \times 10^2 \text{ m/s})^{-1} \quad (2. 2)$$

(2.1)の数値を決めるに際しては、S1↔S7以外の組合せから求まるすべての T' 図を作成し、いずれの図に対しても矛盾のないことが確かめられている。

T'_4 の傾斜は、先に述べた採石状況から考えて、硬岩層の速度 v_4 を与えているものと思われる。これに反し、 T_1 の傾斜はしまっていない土石層の速度 v_1 を与えているものと思われる。

先ず、第8図でS7から始まる走時曲線の T_4 の逆傾斜部を調べてみると、

$$\left. \begin{array}{l} T_{4+}: -(13 \times 10^2 \text{ m/s})^{-1}, \\ T_{4-}: (9 \times 10^2 \text{ m/s})^{-1}. \end{array} \right\} \quad (2. 3)$$

故に T_4 の逆傾斜部の地下構造を v_1 層と v_4 層との2層構造と考えれば、境界面の傾斜 $\omega_{1,4}$ 及び臨界角 $\theta_{1,4}$ は次の如くなる。

$$\left. \begin{array}{l} \omega_{1,4} = 34^\circ, \\ \theta_{1,4} = \sin^{-1}(v_1/v_4) = 6^\circ. \end{array} \right\} \quad (2. 4)$$

v_4 層はS2付近で殆んど地表迄達している。以上の考察は、 $T_4 - T'_4$ を使って v_1 層の厚さを算出する方法と少しも矛盾していない³⁾。

次に T'_3 の傾斜は v_4 層とは違う岩質の速度 v_3 を示しているものと解せられる²⁾。この様に解釈すると、この部分を v_1 層と v_3 層との2層構造と考えて、再び method of differences により、 v_1 層の厚さを算出しよう。

最後に、 T'_2 部についても、 T'_3 部と同様な解釈を行なった。

従って、測線IVの推定地下構造では、 v_1 層の下に v_2 、 v_3 及び v_4 層が水平方向に不連続に顔を出していることになる。 v_3 層は軟石層で、 v_2 層は古くからの堆積でしまっている表層と考えられる。これに反し、 v_1 層は新しい、ぐさぐさの表層である。

測線IVの推定地下構造は第9(d)図の如くなった。この図の点線部は初動の測定にその影響が現れていないので、現場付近の地層構造から推定して描き入れたのである。

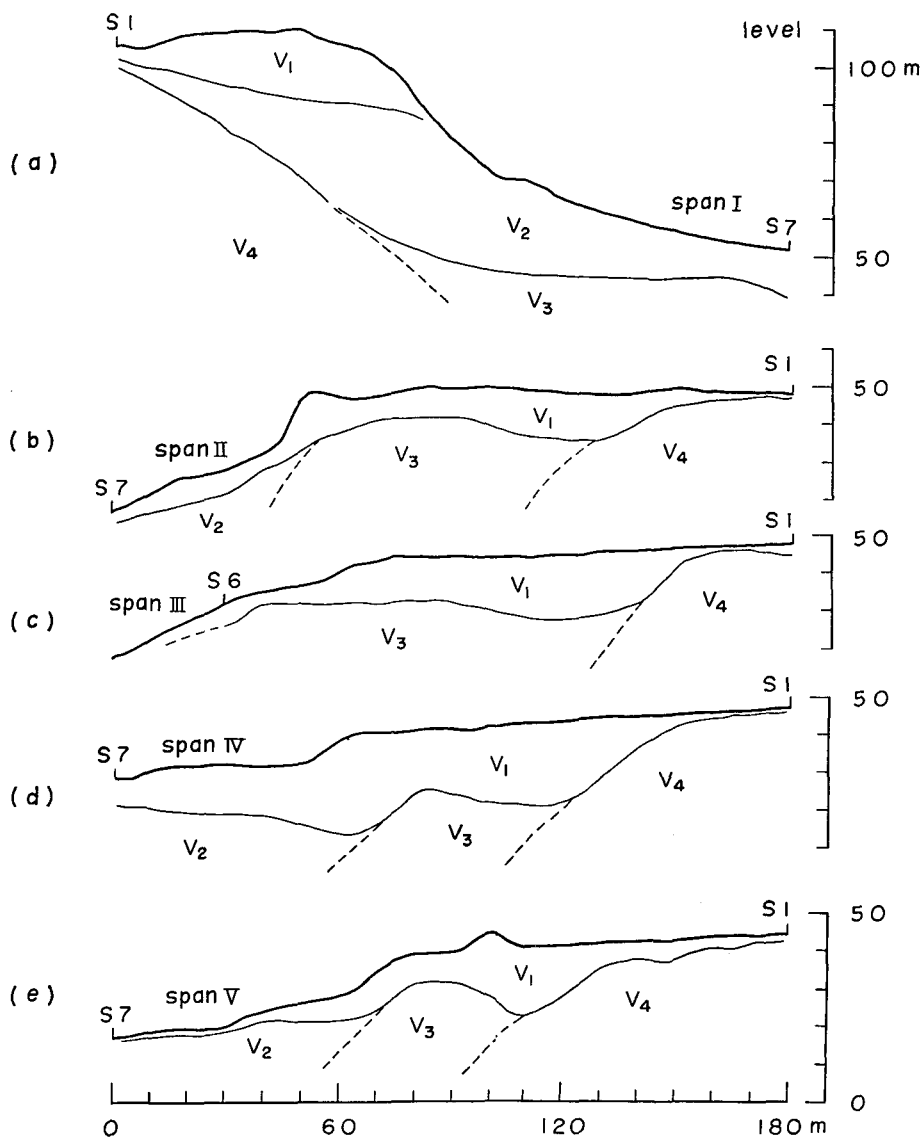
3. 残りの測線の走時解析

測線IV以外に対しても、今述べたのと全く同じ手順を繰返した。得られた推定地下構造は全部第9図にまとめて示してある。但し、対応させてある各層の速度は各測線毎に必ずしも

3) 田治米鏡二；新潟県見附市郊外の小発破実験場で行なった屈折法による地下探査，北大地物報告，11 (1963)，113～168.

2) 前出

一致していない。夫々の速度を第2表に挙げておく。



第9図 推定地下構造，縦横同縮尺

Fig. 9. Subsurface structures deduced. Equal scales are used in vertical and horizontal directions.

測線 III の v_3 と測線 V の v_4 とは夫々他と比較して異常に小さい。特に測線 III では v_2 が明瞭には出ていないので、分類そのものも少々不確実である。然し、調査目的で問題にしているのは v_4 層だけなので、この点に関してはここではこれ以上の議論は行なわない。 v_4 の数値については、風化の状況の違いなどで、同じ岩種についても、この程度のばらつきはありうる。

第2表 測線毎の地層の速度
Table 2. Velocities of layers for each span.

	I	II	III	IV	V	岩 質
v_1	4	4	5~6	6	4~6	新 表 層
v_2	7~8	12	—	13	13	堆 積 層
v_3	18~25	25	16	25	25	軟
v_4	50	50	45	50	35	硬

単位 10^2 m/s, unit 10^2 m/s.

4. 地震波形と地下構造

第2図に示した測線 II~V の地震記録に於て、何れも S1 近くの波形だけが他の測点で得られたものと著しく異っている。S1 付近で測定された振幅は他部に於ける振幅よりも著しく小さい。又 S1 付近での発破により生じた波の周期は S3~7 から生じた波の周期の約 1/2 である。これらの事実は第9図に示した地下構造と考え合せると、弾性波動論上興味ある資料になりえよう。

今回の測定では、S1 付近を除くと、振幅が大きすぎて波形の議論はできない。S1 付近の波形だけから、表面波部の位相速度の見当をつけると、次の3種の波が観測されているものと思われる。

18×10^2 m/s, 25×10^2 m/s 及び 35×10^2 m/s.

これらの波の周期は $(4 \sim 9) \times 10^{-2}$ s である。

この結果だけでは、かなり硬い層が地表付近迄来ていることしか判らぬ。若しも測線全体にわたって波形が観測されていれば、更に多くの話題を提供しえたであろう。

測定の際には北大大学院修士課程小柳敏郎、佐々木嘉三両氏の協力を得た。

補 遺

テストボーリングとの比較

5. テストボーリングの結果

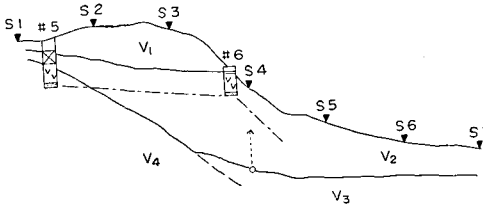
第1図の◎印の位置で、かつてテストボーリングが行なわれたそうであるが、その資料は不明である。

我々の弾性波探査が終った後、◎印の位置でテストボーリングが行なわれた。この事は意外であった。我々は新たにテストボーリングが行なわれた地域で、テストボーリングと比較しうる結果を得るに足る測定を行なっていない。この地域での我々の測定は測線 I のみである。

得られたテストボーリングの資料を図示すると、第10図の如くである。何れの孔でも、硬

岩層迄の深さは、測線 I で我々が推定したよりもはるかに浅い。

測線 I の我々の推定地下構造第 9 (a) 図は、他測線のものに比し、我々には最も自信のない解析結果である。然し、せつかく貴重なテストボーリングの資料が得られたので、第 9 (a) 図に測線 I 上のテストボーリング結果を対比させてみると、第 11 図の如くなる。



第 11 図 測線 I の推定地下構造と
テストボーリングとの比較

Fig. 11. The Comparison of Fig. 9 (a) with
the result of the test boring on span I.

両者を比較すると、最表層の厚さだけは一致しているが、他は全然合っていない。この原因としては次の様な事柄が思い浮かぶ。

- i) 我々の調査時に於ては、この地域は重要視されていなかった。故に、この地域の地層構造に関する地質学上の知識を欠いたままで、我々の測定が行なわれた。このために、我々の推定地下構造に重大な欠陥が見出された可能性がある。
- ii) 我々の推定した地層とボーリング結果から指摘されている地層とに對比上の喰い違いがあるかも知れぬ。

以上の見地に立って、先ず我々の走時解析を検討しなおしてやることにした。

6. 走時解析の再検討

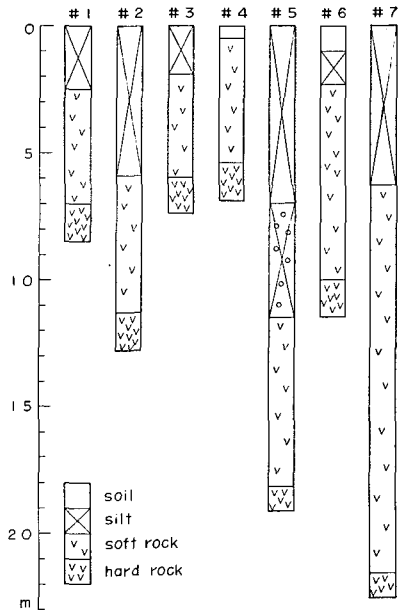
走時の逆転 第 3 図の○で囲った位置で、S3→S1 と S4→S1, S5→S1 と S6→S1 及び S5→S7 と S4→S7 とが夫々交叉している。これらは何れも、交叉点以遠では、遠方の発破点から出発した波の方が近くの発破点から出た波よりも早く到着していることを現わしている。これを理解するためには、特殊な地下構造と波線経路とを考えなければならぬ。

第 12 (a) 図の如き地下構造と波線経路とを考えると、

$$\sin(\theta_{12}-\omega) = v_1/v_{2+}, \quad \sin(\theta_{12}+\omega) = v_1/v_{2-} \quad (6.1)$$

然るに、

$$T_{AA'B'B} - T_{DD'B'B} = (AD/v_1) \sin(\theta_{12}-\omega) = AD/v_{2+} \quad (6.2)$$



第 10 図 測線 I 付近のテスト
ボーリング結果

Fig. 10. The results of
test-borings near span I.

故に、

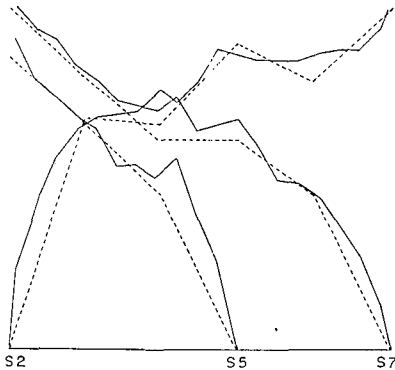
$$v_{2+} < 0 \text{ ならば } T_{AA''B''B} < T_{DD''B''B} \quad (6.3)$$

である。

この解釈に従えば、①に対応して、S3-S4間の下層は地表に対しS3→S4へ昇り傾斜をしていなければならぬ。又②に対応して、下層がS5→S6へ昇り傾斜でなければならぬ。これに反し、③に対応しては、下層がS4→S5へ降り傾斜でなければならぬ。

逆算走時 次に第3図のS2, S3, ……S7→S1の走時を使って、S1→S2, S3, ……S7の走時図を作りなおすと、第13図の如くなる。同図には、今と同様にして得られたS2, S3, ……S7から始まる走時図も示してある。

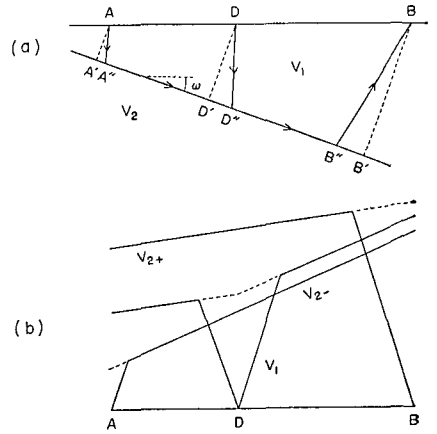
若しも各発破点同志の発破の状態が何れも同じで、然も初動の測定に誤りが無いものとするれば、第3図と第13図とは一致せねばならぬ。今第13図を透明な紙に描き写して、第3図に重ね合せて見ると、第14図の点線及び実線の如くなり、両者は大局的には一致している。



第14図 第3図と第13図との比較

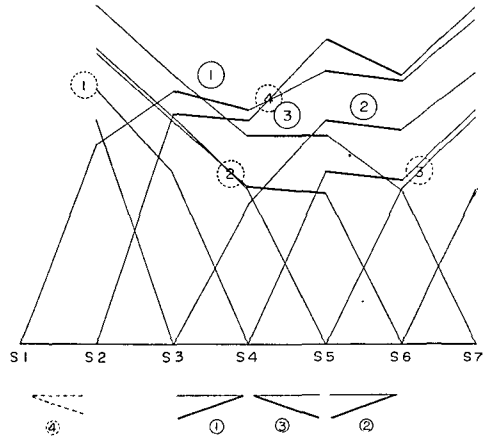
Fig. 14. The comparison of Fig. 3 to Fig. 13

に戻ると、第13図の下部に示した位置に、夫々模型的に示した急傾斜層が存在するものと思われる。



第12図 急傾斜層の走時解析

Fig. 12. An analysis of time-distance relation for a surface layer having a steep dip.



第13図 逆算走時

Fig. 13. The time-distance relation in reverse direction to Fig. 3

走時の大勢を見るために、第13図に着目すると、第3図に○で示した交叉点①、②及び③に対応して、第13図の太線で示した位置に、負又は0に近い走時の傾斜が見られる。

この事実を考慮しながら第12図の考察

第11図でこのことを調べてみると、S3-S4及びS5-S6間の下層の傾斜は上述の推論結果と同じ傾向である。然しS4-S5間では逆である。S4-S5間に於ても、上の推論結果と同じ傾向にするためには、 v_3 層の上面をS4の下で10~20m持ち上げねばならぬ。こうすれば、 v_3 、 v_4 層の上面はS4の下で上方に凸になる。以前の我々の推定では上方に凹であった。

一方ボーリング結果から推定される硬岩層の上面は、第11図の鎖線の如く、S4付近で上方に凸である。

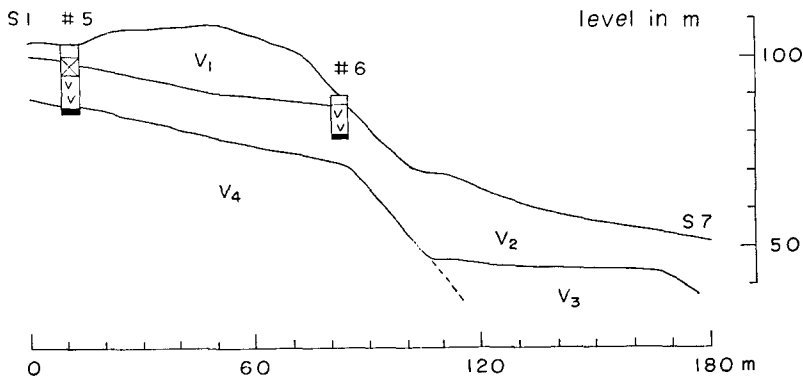
故に以前に我々が推定したS4の下方の点○を大幅に持ち上げてやれば、量的な問題はともかくとして、我々の解析結果はテストボーリングの結果に近づく。

v_4 層の速度 実は第2表に挙げた測線Iの v_4 の数値は第3図では測定されていない。他測線の数値を引用したに過ぎぬ。その際に、山容と風化の進み方との関係から考えて、測線IIの v_4 を用いるよりも測線Vの v_4 を用いた方がよかつたであろう。

又実際にはS4-S7間にも、1m未満かも知れぬが、薄い表層(v_1 層)がある。

以上の2点を考慮すると、 v_3 層及び v_4 層迄の深さは以前に推定したよりも浅くてよい。然し硬岩層の上面を第11図の鎖線迄持ち上げると、S4及びS5から始まる計算走時が第3図に示した実測値の1/2位になってしまい、時間にして、 $4\sim 5 \times 10^{-2}$ s以上小さくなる。この様な大きな喰い違いは測定及び走時計算誤差をはるかに越えるものである。

v_4 層の速度を 30×10^2 m/s迄小さくし、実測された走時と矛盾せぬ程度に#6直下の v_4 層の上面を持ち上げると、第11図に示した推定地下構造は、第15図の如く変る。



第15図 推定しなおした地下構造

Fig. 15. The subsurface structure redetermined.

この様に以前求めた構造を推定しなおすと、ボーリング結果と余り矛盾しない構造に変えることができる。すると第5節のii)に就いての吟味は、差し当って必要でない。

7. 屈折法に対する注意

他の知識が全然なくて、単に1本の測線の測定結果だけから推定した地下構造が第9(a)で

ある。特に、S1-S5間は地形が悪く、初動の走時が複雑であった。故に、S1-S5間に種々の構造を仮定し、走時計算を測点毎に行なうことをしなかった。S4-S7間では、第3図について第8図に例示した如きハギトリ法を行なっている。

第3図の如き複雑な走時図を解析する際には、余りにも多種多様な地下構造を仮定して走時計算を行なってみなければならぬ。然も単に屈折波走時だけに頼ると、唯一の地下構造を選び出す決め手が得られぬのである。

地層に関する地質学上の知識、或いはボーリング資料等と相助け合って初めて弾性波探査の威力を発揮しうるのである。

1. Seismic Prospecting for Quarrying at Northern Part of Hachiro-gata, Akita Prefecture

By Kyozi TAZIME, Hiroshi OKADA and Kazuo HAMADA
(Department of Geophysics, Faculty of Science, Hokkaido University)

It was the purpose to find the boundary surfaces between the layer consisting of the hard stone and that of the others, the soil, the gravel and the soft stone.

None of the new device was used for the analysis of seismic records as well as for the observation, although the shape of the boundary had been expected somewhere to have a steep inclination.

Time-distance curves show curious shape, owing to complicated structures on and/or in the ground. The present span could not avoid to cross inhomogeneities in horizontal direction.

The method of differences has been applied cautiously in that respect. The result is illustrated in Fig. 9.

The comparison of the subsurface structure deduced by us at span I with that from test-boring is discussed in appendix.