

北海道虻田鉱山地震探査報告*

森 喜 義** 小 島 整 志**

Seismic Prospecting at Abuta Mine, Hokkaidō

By

Kiyoshi Mori & Seishi Kojima

Abstract

The geological structure of the Abuta mine, Hokkaidō has been already studied by the electric prospecting and boring test. (Figs. 1, 2)

At this area, an experiment concerning the seismic prospecting was carried out summer 1954.

The major purpose of this experiment was to obtain precise data regarding the adaptability of this method for such minute structure recognized in the mineral deposits.

Owing to the instrumental difficulty, in this time, most of them were performed by means of refraction method, and the results obtained were summarized by comparing both boring and geological data.

The remarkable results obtained are as follows :

1. Briefly speaking, velocity distribution obtained from seismic data seems to correspond to the geological structure with reasonable accuracy. (Figs. 4, 5)
2. But strictly speaking, a special attention must be paid to the following problems to clarify the minute structure.

a) The characteristic velocity of the pyrite vein in this mine couldn't be always recognized on the travel-time curves at the area, in where its thickness is less than approximately 5 m. As one of the reason of these phenomena, the writers thought, "the energy loss of seismic waves transmitting through such thin vein".

Being well known, the seismic energy diminishes rapidly due to the increased shot-detector distances, when the thickness is small in comparison with the seismic wave length.

In this case, the thickness of the pyrite vein is very small and therefore, this presumption will be agreeable, and several records which prove this presumption were also obtained by our preliminary special experiment.

b) In the velocity distribution, each refracted boundary has a tendency to show its depth a little deeper than that of boring data, but such phenomenon is intensive in deeper horizon.

It may be evident that these differences are depended on various factors, but among them, it seemed that an error due to both time lags and other instrumental distortion couldn't be negligible as far as concerning the minute structure. Concerning time lag, it was suggested that time lag is not only depended on the wave length, but also severely due to the wave shapes.

In addition to the above-stated consideration, some suitable procedure concerning the determination of spread length and the interval between shot holes etc. were suggested. However, the writers believed that more complete test investigations must be held in the near future.

要 約

北海道虻田鉱山地域の地質構造については構造試錐を

他の資料からすでにかなりの精度で明らかにされている。この地域においておもに屈折法による地震探査を実施した目的は硫化鉄床を対象とするこの種の鉄床地域に対して、この方法がどの程度適応性を有するものかを検

* 日鉄鉱業株式会社受託調査，発表許可昭和32年4月

** 物理探査部

討するためであった。そのためには必ずしも充分な日数ではなかつたが、一応次のようなことが現象的に明らかにされ、それぞれについて考察を試みた。

1) 得られた速度と地質的な分布とは一応対応がつけられる。また局所的な小構造の起伏、3次元的な誤差を除いて全体的にみて試錐結果と比較的によく一致する。しかしなお微視的に観察すると、

2) 硫化層の厚みの薄い部分ではこれに対応する速度分布が現われない場合がある。

3) 下位境界面になるほど上位に較べて深目になる傾向がある。

2)については弾性波の波長と硫化層の厚みとの関係によるエネルギーの減衰から説明がつけられ、試錐孔を利用して、このことを実証する記録を得た。このような場合は硫化層上部の低速度層によるものとしても解釈がつけられるが、この考え方は実際の構造とあまり合致しなかつた。3)についてはいくつかの要素が考えられるがそのなかで *timelag* に原因する量がこの種の微細な構造の調査に関する限り無視できないものと思われる。これに関する室内実験の結果とともに考察を試みた。

1. 緒言

昭和29年8月26日から9月3日に至る9日の間、日鉄鉱業株式会社の申請に基づく受託調査として北海道虻田鉱山において地震探査を実施した。

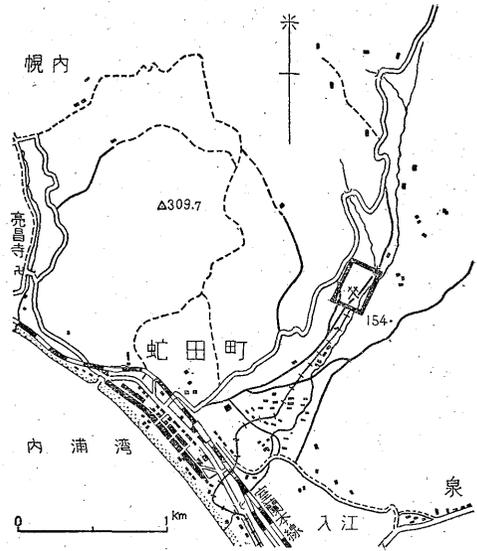
本調査は試錐によりすでに地質の知られた区域において、この種鉱床調査に対する地震探査法の適応性を調べることを目的とした。したがって、調査というより研究調査というべき態度で筆者らはこの問題を取りあげた。調査の結果は、あとに述べるように、ある点では一応解決され、今後この地域における地震探査に有益な資料が得られたものと考えられる。しかし、問題によつては疑問のまゝ残され、今後さらに長期にわたつて、かつ組織的に研究をしなければならぬものもある。

2. 位置および交通

本調査区域は虻田郡虻田町三豊附近で日鉄鉱山株式会社の鉱区に属し、室蘭本線虻田駅の北東方約1.3 km に位置する(第1図)。虻田駅から調査地域まではトラックを通じうる道路がある。

3. 目的

日鉄鉱業株式会社本社においては、かねてから硫化鉄床を対象とする地震探査の計画がもたれていた。しかしこの種鉄床についての地震探査の経験は、少なくともわが国ではなく、したがって、まずその適応性について検



第1図 虻田鉱山位置図

討することは重要なことと考えられる。

本調査区域は同社虻田鉱業所においてすでに120本におよぶ試錐結果から、かなりの精度で地質構造は明らかにされている。したがってこれらの資料に基づいて地震探査の適応性等を吟味すれば好個の *model case* となる。すなわち筆者らはこれらの問題を今回は一応下記のように分類し、測定の可能性・限界等を調べるとともに、結果の精度を向上するために考えられる調査の方法、観測器械における望ましい条件等を吟味することを目的とした。

(1) 屈折波法において、この区域にみられる程度微細な構造が地震波速度分布としてどの程度に反映されるか。

(2) この速度分布が表土・珪質岩・硫化鉄および褐鉄鉱等からなる地質的分類とどのように対応するものか。

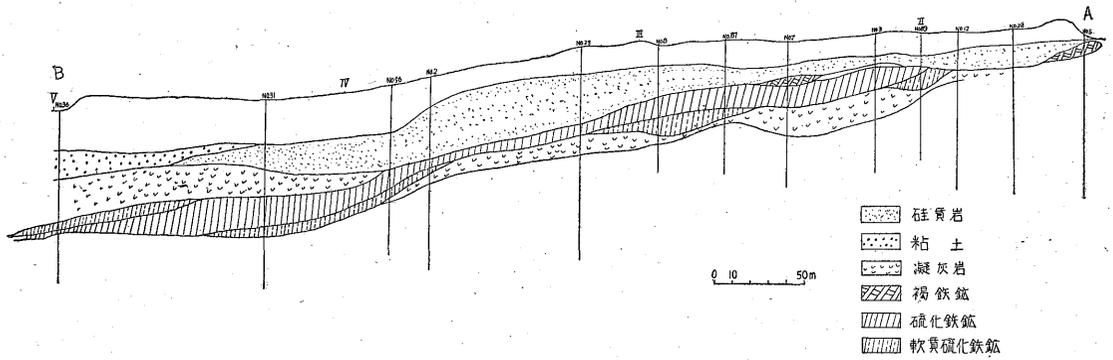
(3) 各層の深度・傾斜等をいかなる精度で把握しえられるか。

4. 地質

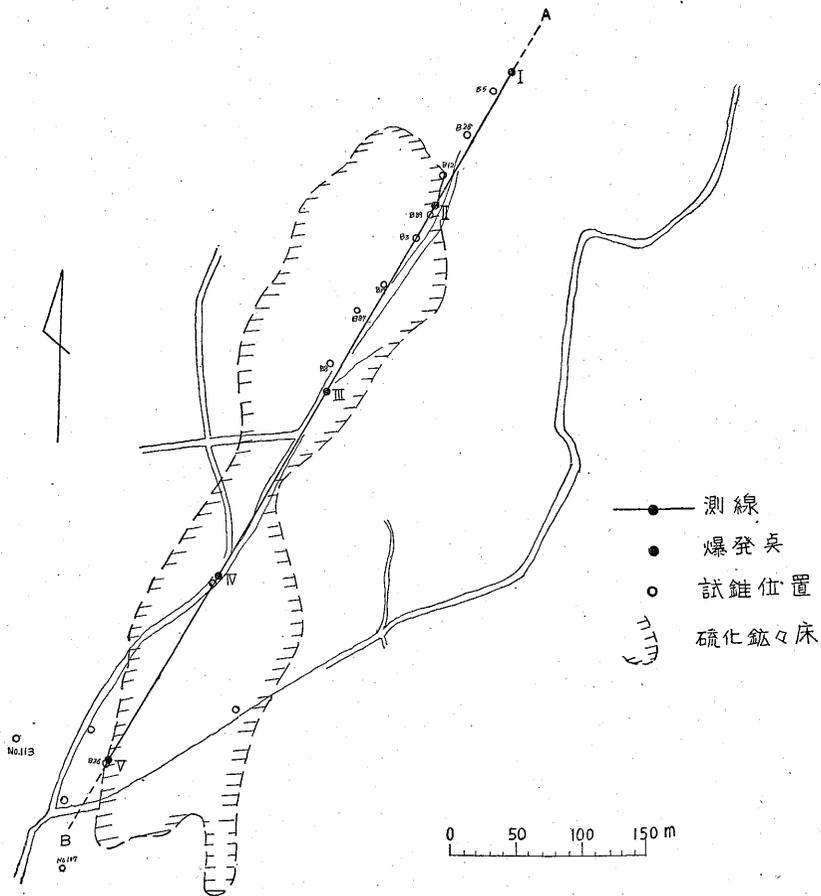
この鉱山は褐鉄鉱を対象として明治25年から開発され、その後ときどき休山はしたが、現在までに褐鉄鉱体はほとんど採掘しつくされている。

この地域の褐鉄鉱床地帯を貫流している赤川の沿岸台地は砂・礫・粘土の不規則な互層からなり、このなかに褐鉄鉱層が挟まれている。砂・礫・粘土層の基盤は幌崩火山熔岩(輝石安山岩)である。

昭和26年頃電探および試錐の結果、この鉱体の下位



第2図 試錐による地下断面図



第3図 測線配置図

に硫化鉄体の賦存することが判明した。第2図は試錐の結果から得られた地下断面図である。

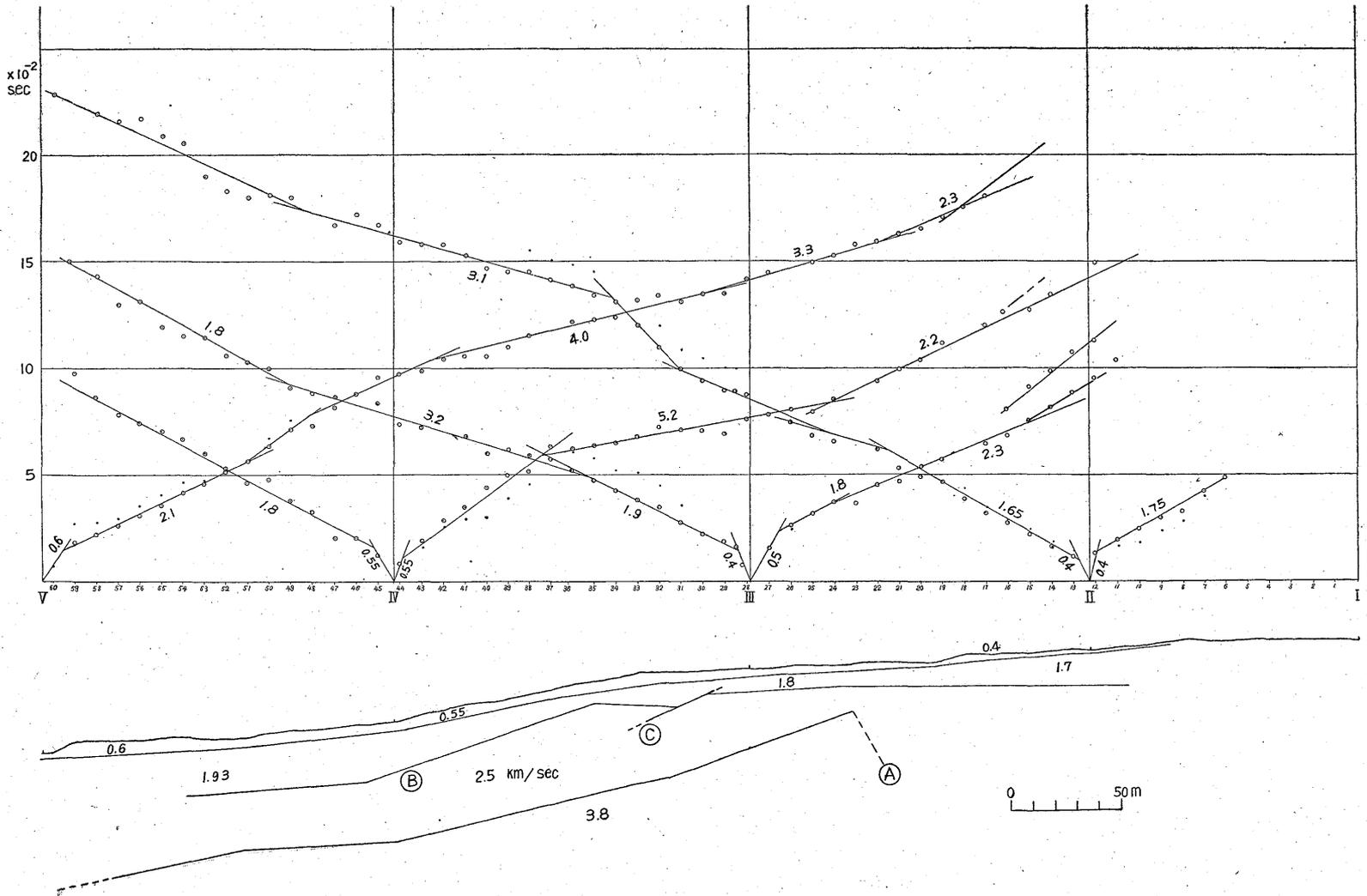
褐鉄鉱体の下盤に直接あるいは火山灰、粘土等を間に狭んで扁平な鉄層状に硫化鉄体が賦存し、その規模は試錐によつて確かめられた範囲では長さ約600m、幅は一定しないがおおむね130m以下、厚さ約5~15mと推

定されている(第2・3図参照)。

5. 測線および使用器械

第3図のように、測線はほぼ南北に約600mにとりその間に約10mの間隔で測点60を設けた。また爆発点は約150mの間隔で計5点を設けた。

52—(670)



第 4 图 走時曲線および地下速度分布图

使用器械は S.S.C 型地震探査器 (12 成分) を用い、フィルターは反射法の場合を除いて終始 R-O (10~30 \sim) を用いた。この種の調査においては位相差が解析結果に大きく影響してくるので、この点調査期間中は毎日 check を試みた。mixing はあまり顕著でない later phase がみられた場合を除きほとんど用いなかつた。その他器械に関して、新しい試みとしてオシログラフ記録紙の送りを普通の場合より約 1.5 倍に早めた。送りを過度に早めることは、ときには初動の尖鋭度 (立上り) を害することもあるが、この調査の場合、この程度の速度は初動読取りの精度の点で非常に有効であつた。

6. 解析結果および試錐結果との比較

第 4 図に走時曲線およびそれから得た解析結果を示す。これについて走時曲線に現われた諸現象および試錐結果との比較を述べると、

1) 速度分布については

第 1 層	0.4~0.6 km/sec	
第 2 層	1.7~1.93 "	
第 3 層	2.4~2.5 "	
第 4 層	3.8 "	が現われている。

全体の傾向として各層とも北側 (S.P.I 寄り) へ向かつて速度が僅かに低くなつている。

2) 走時に地形の影響がかなり大きく現われている。この補正はかなり深部における各層の深度・傾斜に関係するのでできるだけ厳密に行つた。これには測量の精度とともに、補正の際の表土の速度の選び方に非常に左右される。この意味から表土補正のための爆発も何回か行つたが、手掘孔であつたため尖鋭な初動が得られず実際の解析にはあまり役に立たなかつた。そこでできるだけ近傍の爆発点から得た走時の表土速度 (相隣の爆発点の中間については両走時からの平均値) をもつて補正をした。この場合ときには補正された走時が直線にならないときがあるので、そのようなときには仮定を少し変えて直線上に乗るまで cut and try error を繰返した。多くの場合、こうして得られた最終的な補正走時を決める表土速度は近傍走時からの表土速度と近似値をとるものである。

3) 試錐結果と比較してみると、速度分布と地質層序との関係は次のように対比できそうである (第 5 図参照)。

0.4~0.6 km/sec 層	風化層
1.7~1.93 " "	表土
2.4~2.5 " "	珪質岩
3.8 " "	硫化鉄

しかし表土と粘土層および凝灰岩層との速度差はきわめて少なく、走時曲線からは判別し難い。

4) 速度分布と試錐結果から考えられる地質構造と比較してみると、

(1) 試錐結果には現われていない低速度層 (0.4~0.6 km/sec) が地表近くに現われている。

(2) 全般的にみて南部 (S.P.V 寄り) において珪質岩および硫化鉄の境界がよく一致しているが北部においては、

(i) 珪質岩の境界面は全体的な傾向としてよく一致しているのに反して、硫化鉄のそれは試錐結果より 7~8m 位深くなつている。

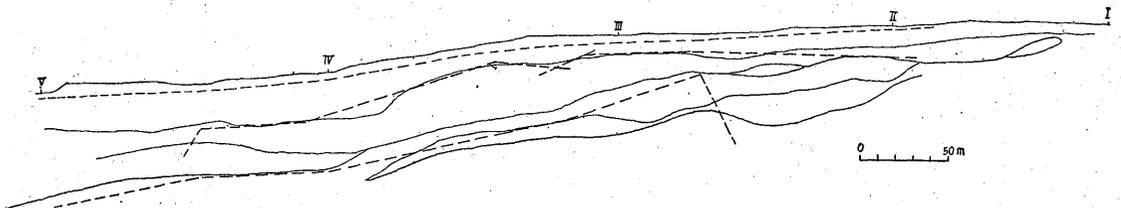
(ii) 試錐結果による比較的小さい構造的起伏が走時に明確に現われていない。

(iii) S.P.V, VI からの走時曲線に現われている高速度 (4.0~5.2 km/sec) の走時が S.P. III 附近で明瞭に消失している。すなわち図中④部より北寄りにおいては、試錐結果からは硫化鉄の存在が確認されているにもかかわらずこれに対応する高速度層 (3.8 km/sec) の存在が認められない。

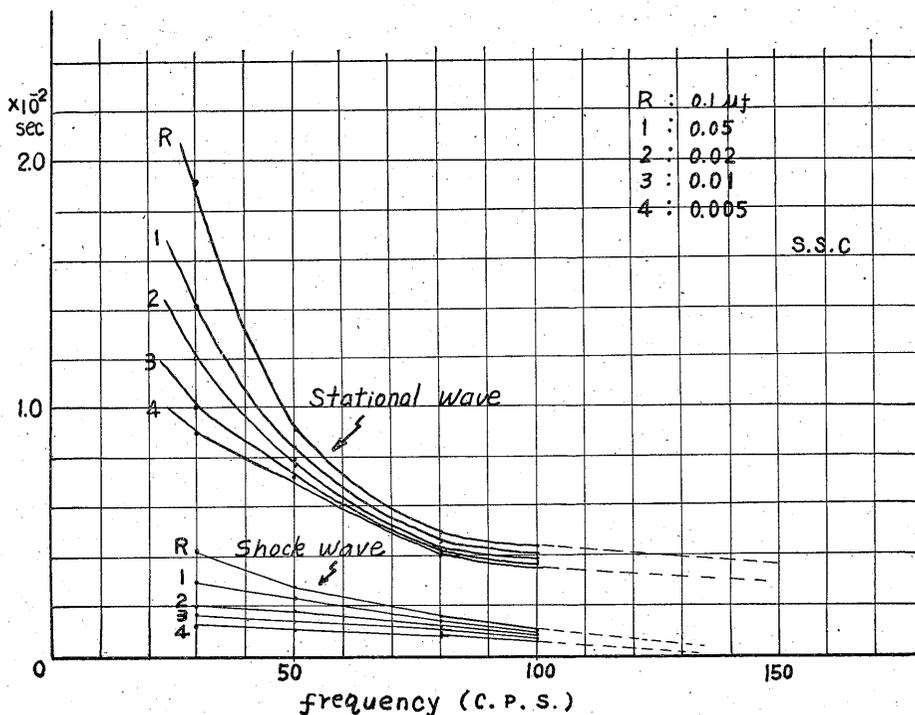
5) 反射法も 2, 3 試みてみたが期待される反射走時が初動直後の A.G.C. 動作以前の過渡範囲にあるため、S.S.C. 探査器では反射法の顕出が困難であつた。この点器械の都合により suppression および compression 装置を具備する E.T.L. 探査器が利用できなかつたことは遺憾であつた。

7. 結果に対する考察

(1) 走時曲線において硫化鉄層の上位境界は求め得たが下位境界を決定すべき走時が現われていない。これは硫化鉄層の速度が比較的に大きいため、今後さらに



第 5 図 試錐結果と速度分布との比較



第6図 Time lag の1例, Low cut filter による time lag の変化

深部——この区域におけるような深度では安山岩層まで——の構造を求めようとするならば、さらに測線を延長する必要がある。しかし硫化鉄層より下位の層の速度が低速度の場合には問題はむづかしくなってくる。もし試錐コアを得られる地域ならば、あらかじめ各層について速度の室内測定を行つたうえで、測線長を考慮すべきであろう。

(2) 特に北寄りにおいて試錐結果と一致しない点については根本的な問題として3次元の地質構造を2次元として取扱っていることから生じる誤差が当然考えられる。第4図C部における喰い違いはこの原因によるものである。この部分においては各爆発点からの走時を同時に満足するような条件をみいだせなかつた。

比較的構造が平坦で2次元表示に基因する誤差が無視できる部分についてもなお次のような誤差は免れない。

(i) 記録における初動の立上りの悪い場合、真の初動部分より遅れて走時を読みがちであること。

(ii) 初動を正しく読み得たとしても、機械的に time lag があるために、絶対的には走時を遅れて読んでいること。この遅れはフィルター R-O のような低域濾波の場合特に大きい(第6図参照)。

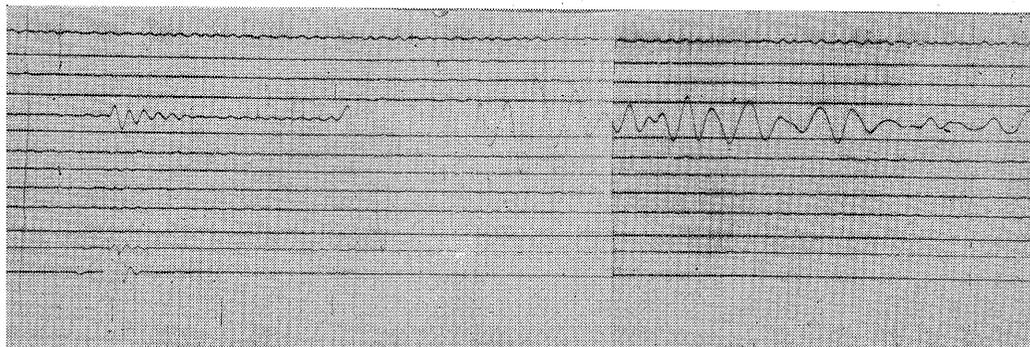
(3) 上記のように特に北寄りにおいては硫化鉄層の

上位境界が試錐結果より深めにでているのに対して、珪質岩層の深度はよく一致しているのは次のように考えられる。すなわち珪質岩層を通る path は、

- (i) 距離的に硫化鉄層を通る path に較べて短い。
- (ii) 弾性波の屈折する境界が少ないので境界面における energy の吸収が少ない。

したがって硫化鉄層を通る path の初動に較べて振幅が大きく周期も理論的には短い。実際の記録をみると周期の違いは弁別できるほど大きくはないが、振幅については明らかに大きい。いずれにしろこの path を通る弾性波の初動は shock wave に近い形をとっている。これに対して硫化鉄層を通る弾性波の初動は振幅も小さく flat な、少なくとも記録上は低周波の波を描いている。したがって前者に対して、後者においては time lag がかなり存在するものと思われる。このことに関しては最近地質調査所においても tape recorder を利用して実験的にも確認されつつある。

第6図はこのことに関連して定常波と突然現われる波について周期と time lag との関係を示すものである。このような事実も珪質岩の上位境界面の比較的一致するのに対して、硫化鉄層の上位境界面の深度が大きく現われる結果の一要因と考えることもできる。



図版 1 記録例

(4) 第 4 図 A 部において、硫化鉄層に対応する速度分布が現われていないことに関しては次の場合が考えられる。

- (i) 硫化鉄層が急に深く落ち込む場合。
- (ii) 硫化鉄層そのものの速度が水平的に急に低下する場合。
- (iii) 硫化鉄層の厚みが弾性波の波長に較べて薄いため energy が減衰する場合。
- (iv) 褐鉄鉱部分の速度が遅いために珪質岩層を通る波が初動として先に到達する場合。

このうち (i) の場合は試錐結果から明らかに硫化鉄層の存在が確認されているので考えられない。また硫化鉄鉱の物理的組成から考えて (ii) の場合が成り立つとしてもその変化の量— $3.8 \text{ km/sec} \rightarrow 2.5 \text{ km/sec}$ —が大きすぎる。残る (iii) と (iv) との場合であるが、(iii) については次の実験結果が得られている。

この実験は、初め硫化鉄の速度を直接測定する目的で試みたのであるが、はからずも次のことがわかった。

すなわち受振計を No. 1 B (S.P.V より西方約 70 m, 第 3 図参照) の硫化鉄層中 (深度 73 m) に挿入し、一方これより約 500 m を隔てた S.P.II の硫化鉄層中 (深度 20 m) に火薬を装填して (薬量 4 kg) 爆発を行った。図版 1 はこの記録を示す。これから得られた速度は 2.5 km/sec でこの値は珪質岩のそれと一致しており硫化鉄の速度を直接求めようとした当初の目的は完全に失敗に終わった。しかしながらこの試みはある層、この場合では硫化鉄層の厚みが弾性波の波長に較べて薄いと火薬の爆発によつて生ずる弾性波 energy は距離とともに急激に減衰して、ある距離以上には現われてこないことを実証している点で、むしろ大きな意義があつた。これに関して、さらにいくつかの適当な受振計と試錐孔の利用が許されればもう少し定量的な結果が得られるであろう。いずれにせよこの実験から少なくともこの区域の硫化鉄層の厚さでは、距離 500 m においてすでに波は伝わっていない

ことが確認された。

この事実からもう一度 S.P.IV, V からの走時を吟味してみると S.P.V については 4.0 km/sec の見掛走時は約 300 m の距離で消失しているのに対して、S.P.IV からの走時は 200 m で、すでに消失している。しかもこの部分に対応する地質断面では硫化鉄鉱床がまだ北へ向かつて延びている。

したがつて S.P.V からの走時のみについては前記 (iii) の要素から解釈することもできるが、S.P.IV からの走時とともに考えるとこのことだけでは説明がつきにくい。したがつてこの要素のほかに (iv) にも相当基因するのではなからうか。褐鉄鉱の部分が低速度であることは当初よりある程度予想はされていたが、できれば今後この部分の試錐コアについて、速度測定を行つて珪質岩・硫化鉄層と比較検討することによりこの点を吟味する必要がある。たゞこゝで少し問題になるのは (iii) とともに (iv) にも相当の原因を帰着するならば試錐結果より得られた断面図に較べて、低速度層が相当広い範囲に介在していることである。これは、

(A) 褐鉄鉱の部分が第 2 図に示す分布より大きい扁平な拡がりをもっている (この程度の精度を議論するほど試錐が細かく数多く施行されていない)。

(B) 褐鉄鉱の拡がりは大きくないか、その周辺か、低速度分布として現われるのか (このことはいわゆる破碎帯の周辺でしばしば経験的に認められる現象と似ているが、理論的には、まだあまり明確でない) のいずれかに原因するものと考えられる。

8. 結 語

上述のように、硫化鉄層上限までは速度分布と地質的な分布とは一応対応する関係が得られたが、さらに深く基盤までの構造を求めるには測線を延長する必要がある。

しかし硫化鉄層の質位の境界を求めるには、これは下

層の速度にも関係してくるので、試錐コアの速度測定を行い吟味する必要がある。

深度について地下構造が比較的平坦な部分においては上位層はやゝ深目にでており、time lag が大きな原因となっている。構造的に起伏の大きい部分については、3次元的な誤差のほかに波動論的な問題も考えられる。またA部のように低速度の介在あるいは energy の減衰によつて高速度層の現われない部分については、試錐その他によつて吟味する必要がある。

しかしながらこの区域に関しては一応珪質岩および硫化鉄層の上位境界はある精度で求め得られたが、この精度については、今回の経験に基づいて今後調査の方法(受振点、爆発点の配置、later phase の利用、反射法の利用等)、使用器械の条件(filter およびその time lag の測定、compression, A.G.C. 等)などを吟味することにより今回よりは向上できるものと信じる。

硫化鉄層の厚さと弾性波 energy との関係は屈折法に関する限り今後この種の調査には大きな問題で、本質的には試錐その他の資料から検討すべきであろう。たゞこの点将来反射法に相当期待できるものと思うが、なお観測器械の検討が必要であろう。

既述のように今回の調査に関してはなお幾多の問題が残っているし、これらについては試錐コアの速度測定等により今後さらに吟味を加えてみたいと思う。

(昭和29年8月~9月調査)

附

今回の調査を通じて特に感じた点および今後この種の調査を実施する場合に問題となるであろう点を整理してみると次の通りである。

1. 解析上の手続から

1) 風化層の補正を厳密にすること。既述のように風化層の深度、速度を決定する精度いかに深部について解析精度に非常に影響してくるので、この部分の補正は充分に行う必要がある。風化層に原因する走時曲線のバラツキは、(1)地形による高低、(2)下位境界の凹凸の2つに分けられる。もし(2)の量が少なくして測定の精度が高く速度の決定が正しければ、地形補正によつて走時曲線は大体直線上にのるが、(2)の量が相当大きくなつてくると地形補正だけではなおバラツキが残る。換言すれば地形補正のみで走時が直線上にのらないときは、(1)速度の決定の誤りか(2)下位境界の凹凸に原因すると考えてよからう。この対策としてはいまのところいずれも常識的なことであるが次のような手続が考えられる。

(1) 補正のため爆発点を増すこと(2)近傍爆発、(3)スパイラル、オーガスプーン等による地表の check、風化層

が浅い場合にはこの方法は相当有効であろう。

2) ミラージュ現象の場合

実際には風化層・表土等に対応する走時では多かれ少なかれこの現象を示す場合が多い。風化層の決定が重大であるだけに、もしこのような様相を呈している場合、これを一定速度として取り扱うことは危険であろう。これについて解析上の手続は各機関のいろいろな研究が発表されているのでそれらを参照されたい(それらのうち金子・川島のチャート¹⁾は実際の解析に便利であつた)。

3) 爆発孔深度の補正

4) 受振計間隔について

今回は都合により10m 間隔で行つたが、測線上の場所によつてはもつと間隔を縮めたい部分もある(5m 位)。しかし多くの場合、このような場所は調査終了頃解析がある程度進んでからでないといつてもわからないものであるから、現場作業と並行して解析も概算程度は進めて行く必要がある。また風化層補正のための爆発を行う際にはなるべく間隔を狭くした方がよい。

5) 測線と3次元的な誤差

構造的起伏が大きい場合は、測線上のある点で各S.P.からの走時を同時に満足するような場合は1つの測線だけでは解釈がつかない。

2. 記録上および器械の点から

6) 記録読取りの精度を上げること

少なくとも精度 $1/1000$ 秒以上で読取りたい。そのためには初動の立上りが大きな問題で、これには爆発条件・観測条件等に関係するので後記する。

7) phase shift を点検補正すること

8) 各濾波器による time lag を点検補正すること。

9) in put gain および oat put gain による初動読取り誤差を点検すること、出力電流を制御する in put および out put 等の level による初動の読取り時刻の変化についてはすでに Norman Ricker らの論文にも指摘されている²⁾。

将来陰極線オシログラフのような無慣性記録装置ができない限りこの誤差は特にこの種の調査においては厳密には無視できない。

10) paper speed を考慮すること。

11) J.J.Y. による音叉の校正および shot mark 等の問題。

いずれにせよ屈折法に関する限り尖鋭な初動を記録して読取り精度を上げ、これに対して上記の補正——地形・風化層の補正、爆発孔深度の補正、filter による time lag, gain による time lag の補正、音叉の補正——を充分試みるのが理想的である。尖鋭な初動と——というの

は振幅が大きく周期の短いことで、high-f-position にした場合にみられるような見掛上のものではない——を得ることは読取り精度を上げるばかりでなく、time lag 等の点からも望ましいことである。尖鋭な初動について次の問題が関係してくる。

12) 爆発孔の問題

この種の調査は油田・炭田等の調査に比較して小規模なので、やゝもすれば爆発孔は手掘式になりがちであるが、精度の点から考えると大構造の場合よりもむしろ孔の問題は深刻に考えるべきであろう。深度については地域により最適値は異なるであろうが、概括的には少なくとも5m以上は必要であろう。たゞこゝで after phase (反射も含めて) に注目する場合、しばしば妨害となる表面波の振幅は、爆発孔が中途半端な深土であると理論的に爆発を地表で行った場合よりもさらに大きくなり得るから注意を要する。

13) 爆発条件の問題

薬長があまり長い場合には、爆発速度が利いてくる。これは発火器の形式にも関係する問題で、この意味からは巻線式 shot mark の方法も従来試みられている。なお火薬に沿って導爆線 を緊縛する方法も有効であろう。薬量は屈折法においては多目の方が無難であるが、coupling 等に注意する必要がある。

14) 受振計の固有周期と立上りの関係。

3. その他

15) 屈折法において A.G.C. の使用はさしつかえなすが initial suppression を用いることは一見きれいな記録は得られるが、この種の調査においてはあまり望ましくないのではなからうか。

16) 一般的なことであり、また当然のことであるが、記録に対する吟味は充分行う必要がある。例えば spread 端末を重ねる等のことはほとんどこんには常識的になされているが、さらに極端な議論が許されるなら、1つの spread で2回の爆発を行うようなことも必要であろう。

文 献

- 1) 金子徹一・川島威：ミラー現象の見られる場合の図式計算法，地質調査所月報，Vol. 6, No. 2, 1952
- 2) Norman, R.: The Form and Laws of Propagation of Seismic Wave Lets, Geophys., Vol. 18, No. 10, 1953
- 3) 太田良平：5万分の1地質図幅および同説明書，虻田，地質調査所，1958.
- 4) 佐藤泰夫：いかにして表面波から逃れるか，物理探鉱，Vol. 7, No. 4, 1954
- 5) 田治米鏡二・狐崎長琅：E. T. L. 地震探鉱器 (PRA 型) の性能試験について，秋田大学鉱山学部地質資源開発研究所報告，No. 13, 1955