

北海道奈井江試錐井における坑井内速度測定調査報告

蟻川 親治* 鎌田 清吉*

Well Velocity Survey in Naie District, Hokkaidō

By

Shinji Ninagawa & Seikichi Kamata

Abstract

In Ishikari plain, Hokkaidō, several seismic surveys have been already performed to obtain the coal exploitation data. For the purpose of checking the results of seismic surveys, a test boring was carried out in Naie district. The vertical changes of velocity within this hole were measured by well detectors.

The slant times, interval velocities and average velocities were calculated from the observation records as shown in Figs. 5, 6.

A comparison between the result of velocity survey and the result of refraction method is shown in Table 3.

Well Shooting		Refraction Method		Geological Result of Boring Core	
depth (m)	velocity (m/sec)	depth (m)	velocity (m/sec)	depth	stratigraphic classification
—	—	0~35	1,800	0~49.4	Alluvium
50~230	2,010	35~280	2,300	49.4~241.8	Neogene
230~650	3,560	280~620	3,200	241.8~	Paleogene
650~700	4,440	620~	4,200		

A remarkable difference between Neogene and Paleogene was recognized, and higher velocities were measured at a point of more than 650m in depth.

The writers believe that the well velocity survey also must be carried out in order to ascertain the velocity of sedimental rocks themselves.

要 約

北海道奈井江試錐井において、坑井内の速度測定調査を実施した。その結果垂直時間、平均速度、区間速度および速度増加率を求めることができ、石狩平野における地震探査の基礎資料を得ることができた。

すなわち新第三系と古第三系を境とし、速度変化が著しく、また深度650m以深で比較的大きな速度値が認められた。これらの結果は奈井江測線の解析結果をよく裏づけていることがわかった。

今後機会あるごとにこの種の調査を行い、単に地震探

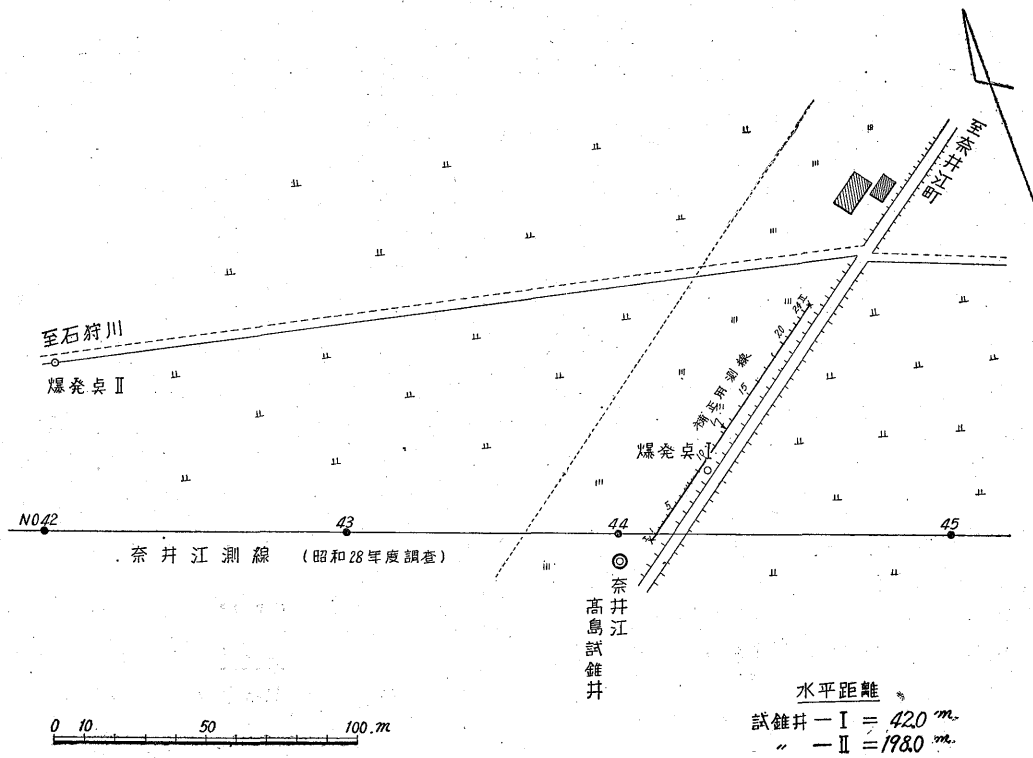
査の基礎資料を求めるとい目的のみでなく、坑井内のあらゆる物理的性質を知り、堆積岩の成因を究明する手がかりを得るようにしたい。

1. 緒 言

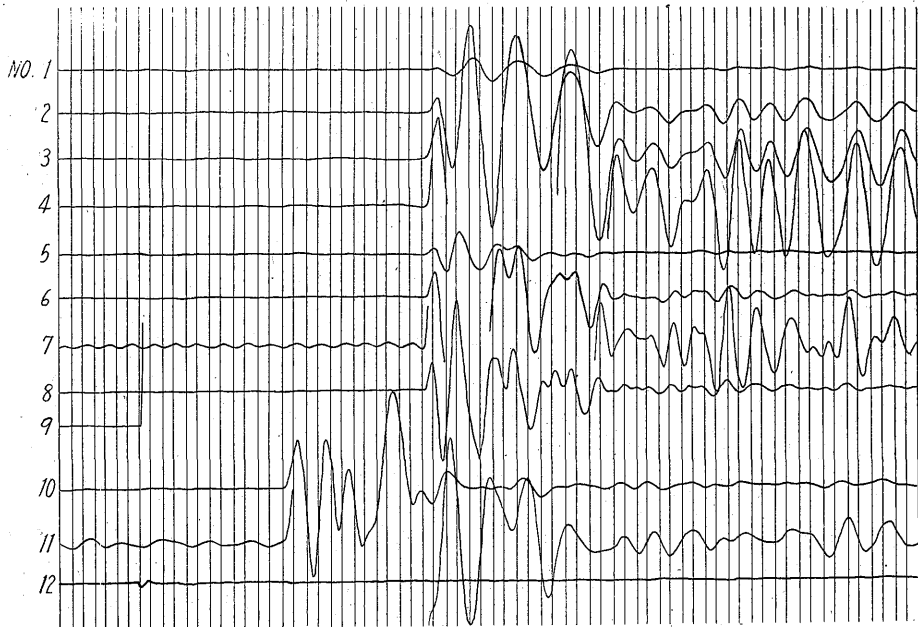
北海道空知郡奈井江町高島部落地内で試錐調査が行われた。この試錐調査は昭和28年度実施された地震探査の結果をさらに明確にするために行われたもので²⁾、試錐深度は750mである。

本調査はこの試錐井を用いて、坑井内の速度測定を行った。実施した期間は昭和30年5月中旬から下旬にかけての約2週間である。

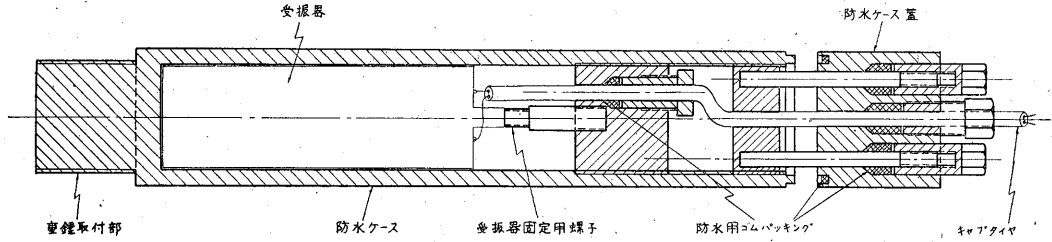
* 物理探査部



第1図 奈井江試錐井位置図



第2図 観測記録



第3図 坑井内用受振器

調査は筆者らのほかに田村芳雄が参加した。試錐井の使用にあたり、明治鋳業株式会社の試錐技術者に労をわづらわした。こゝに謝意を表する。

なお、この資料の整理には藤原健一・南雲照三郎両技官の協力を得た。

2. 位置および交通

試錐井の位置は函館本線奈井江駅の南西約4kmで、北海道空知郡奈井江町高島部落地内にあつて、奈井江測線の測点44附近にあたる(第1図参照)。周囲一帯は石狩川の流域平野で水田地帯である。道路は発達しているが、公共の交通機関は無く、駅から徒歩によらなければならない。

3. 試錐井の地質

試錐の結果によれば、地表から深度49.40mまでは沖積層、これより241.77mまでは滝川層で、それ以下は全部炭灰層になつている。地質の詳細については、すでに報告されているので、こゝでは省略する¹⁾。

4. 調査目的および調査方法

本調査は深度750mの試錐井を利用し、各地層の速度を測定し、地震探査の基礎資料を得るとともに奈井江測線の解析結果と比較検討することを目的とした。また併せて、石狩炭田開発に寄与するために行われたものである。

坑井内速度測定調査(Well Shooting)とは、試錐井内に1~数個の受振器を挿入し、地表の爆発点(通常1~2カ所設ける)で爆発を行い、これによつて生ずる地震波を坑井内に挿入した受振器で受振、記録する方法である。この場合坑井内の受振器は30mとか50mの間隔で深度を増しながら次々と記録を取つていく。そしてその記録から初動を読み、垂直時間、平均速度、区間速度および速度増加率等を算出する。本調査では坑井内受振器は1個使用し、深度0~700mの間で18点観測受振し総計36葉の記録²⁾を得た。第2図は記録の一例を示す。

註1) 試錐深度は750mであつたが、受振器は700mまでしかはいらなかつた。

使用した観測器械はS.S.C.製12成分の地震探鉱器である。また坑井内受振器はoil damping型のもので、第3図に示すような耐水容器に密封し、下部に径4cm、長さ2m、重量20kgの鉄製の重錘を連結した。受振器用電線は径5%のビニール被覆の2芯線を用い、継目はビニール焼付けをし漏水を防いだ。受振器を坑井内に下降させるにはビニール電線のみでは荷重に耐えないので、懸垂用として2%のピアノ線を用い、あらかじめこれに10m間隔の目盛を入れて深度測定を兼ねた。以上の坑井内受振器のほかにS.S.C.型の受振器をUp Hole用として坑口に1個置いた。これは爆発孔の変化の程度や、爆発時刻の点検をするために用いたものである。

5. 調査結果

5.1 観測記録

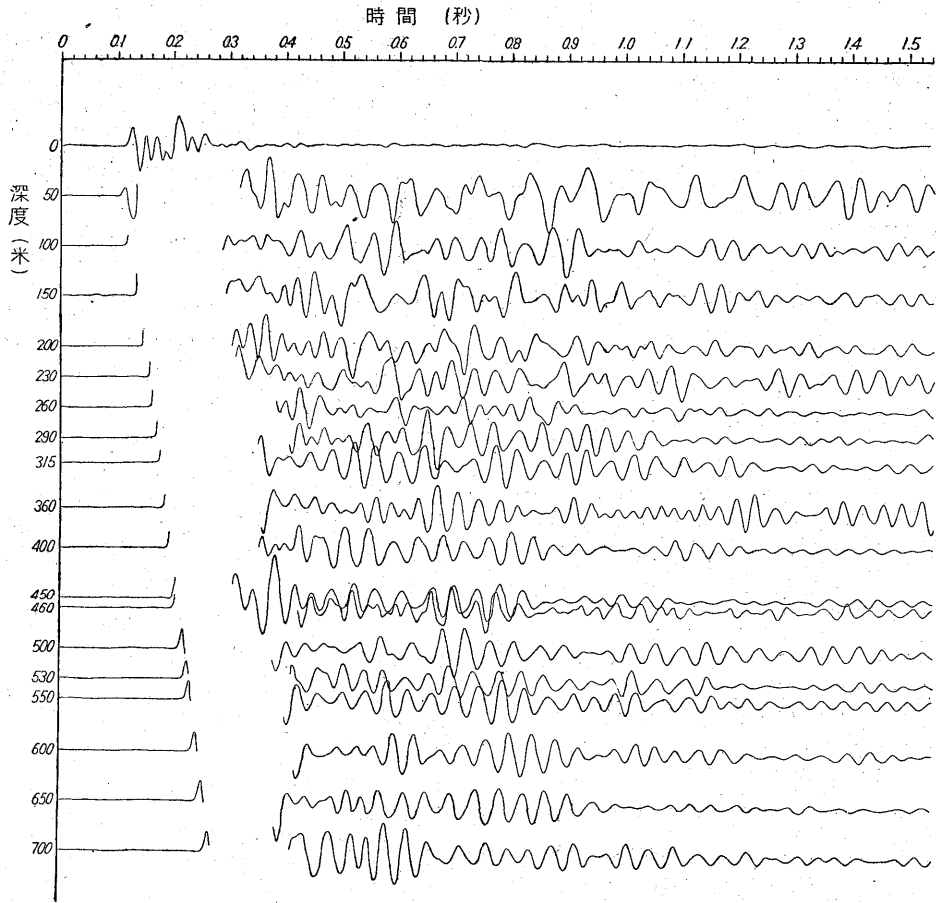
第2図は深度650mにおける観測記録を示している。この図でトレース1から8までは坑井内の1個の受振器からの出力を、1~8までの各増幅器に並列に入れて記録したもので、この場合各増幅器の利得を大・中・小にすることによつて振幅を変えて記録したものである。また同時に各増幅器のフィルターを、R-0、R-2、R-4、にしてそれぞれのトレースを比較できるようにした。

トレース9は爆発符号を書いており、ダイナマイトに捲線して記録装置に入れ、正確な爆発時間を得るようにした。

トレース10、11は坑口に置いた受振器(Up Hole Geophone)の出力を記録したもので、爆発孔の状態の変化をこれで監視した。

トレース12は従来通りの発火器による爆発符号である。

第4図は0~700mまでの各記録中のNo.4トレースだけを取り出し纏めたもので、縦軸に深度、横軸に時間をとつてある。この図でもはつきりしているように、各トレースの初動は比較的明瞭で、ケーシングや電線による雑振動、あるいはcuplingなどによる妨害はほとんどなく、良好な記録が得られた。



第4図 坑井内の各深度における地震波動 (S.P. II からの)

5.2 補正

坑井内速度測定の際に、地表附近の低速度層 (weathering layer) の速度および層厚を求め、これを補正して用いなければならない。そのために第1図に示すように試錐井の附近に約 90m の測線を取り、解析結果から低速度層の速度を 950m/sec、層厚を 12m と決定しこれを補正值とした。

5.3 計算

第1, 2表は各記録の初動の読みから傾斜時間、垂直時間、区間速度、平均速度を求めた計算表である。この表における傾斜時間とは、初動の読みから爆発孔の深度補正、低速度層の補正をした値である。垂直時間とは、震源を坑口に仮定した場合、地震波が垂直に坑井内受振器に到達するに要する時間をいう。区間速度とは各深度の差を、垂直時間の差で除したもので、その区間の地層の速度を表わしている。平均速度とは補正面から各深度までの平均の速度を示しており、深度を垂直時間で除したものである。

5.4 考察

第1, 2表の計算結果を図示したものが第5, 6図である。両図とも縦軸に深度、横軸に時間および速度をとつてある。図で垂直時間は深さとともに増加し、正常な曲線となつている。平均速度は 1,900~2,900m/sec の間で変化し、これもほとんど深さとともに増加している。また坑井内の区間速度分布の傾向は、奈井江測線の解析結果に類似しており、両者の間に矛盾は認められないようである。

第3表は本調査・奈井江測線および試錐調査の各結果をまとめて示したものである。ただこゝで考えなければならない問題は、奈井江測線で 620m 附近を境として、3,200m/sec と 4,200m/sec の2つの速度層に分けられた。また区間速度でも 650m 附近で2つの速度層に分けられている。ところが試錐コアからは 241.77m 以下はすべて夾炭層で、650m 附近で特に岩相変化は認められていない。このように地層区分と速度区分は必ずしも一致していないことがわかつた。これについては後述する。

北海道奈井江試錐井における坑井内速度測定調査報告（嶋川親治・鎌田清吉）

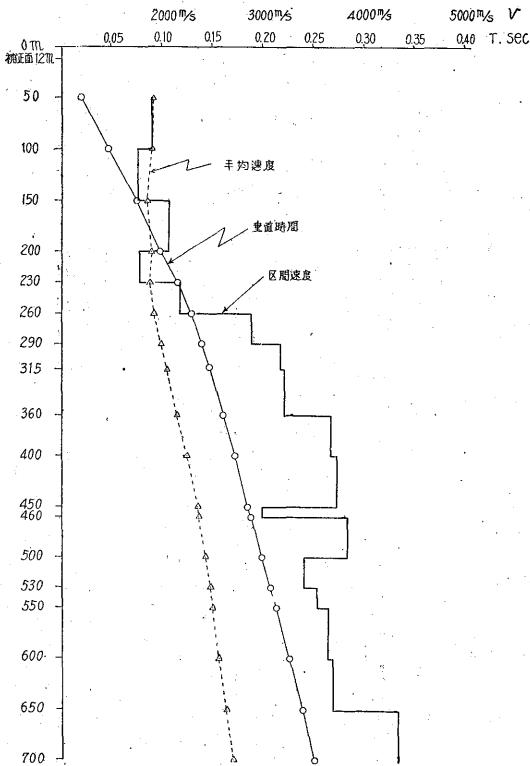
第1表 第I爆点計算表

受振器の深度		初動の読み (sec)	傾斜時間 (sec)	垂直時間 (sec)	垂直時間 の差	区間速度 (m/sec)	平均速度 (m/sec)	引口の受振器 までの走時 (sec)
孔口よりの深度 (m)	補正面から受振 器迄の深度(m)							
50	38	0.0307	0.0297	0.01992	0.02637	1900	1910	0.0406
100	88	0.0529	0.0513	0.04629	0.02842	1760	1900	0.0384
150	138	0.0794	0.0781	0.07471	0.02415	2070	1850	0.0367
200	188	0.1023	0.1013	0.09886	0.01681	1780	1900	0.0406
230	218	0.1188	0.1178	0.11567	0.01378	2180	1880	0.0402
260	248	0.1323	0.1313	0.12945	0.01036	2890	1920	0.0410
290	278	0.1424	0.1414	0.13981	0.00787	3180	1990	0.0405
315	303	0.1507	0.1491	0.14768	0.01395	3220	2050	0.0400
360	348	0.1633	0.1628	0.16163	0.01086	3680	2150	0.0390
400	388	0.1745	0.1735	0.17249	0.01335	3740	2250	0.0397
450	438	0.1877	0.1867	0.18584	0.00333	3000	2360	0.0390
460	448	0.1921	0.1900	0.18917	0.01039	3850	2370	0.0389
500	488	0.2019	0.2003	0.19956	0.00876	3420	2440	0.0391
530	518	0.2108	0.2090	0.20832	0.00563	3550	2490	0.0391
550	538	0.2167	0.2146	0.21395	0.01367	3660	2510	0.0397
600	588	0.2298	0.2282	0.22762	0.01346	3710	2580	0.0392
650	638	0.2447	0.2416	0.24108	0.01145	4370	2650	0.0421
700	688	0.2572	0.2530	0.25253			2720	0.0417

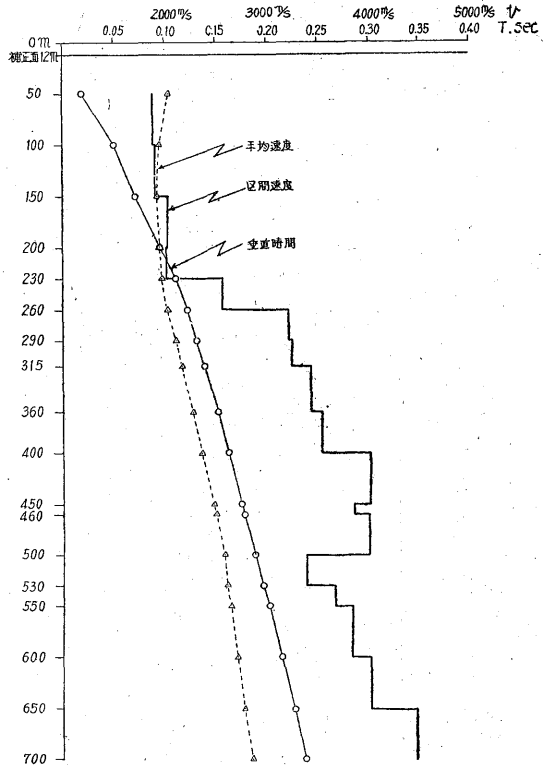
第2表 第II爆発点計算表

受振器の深度		初動の読み (sec)	傾斜時間 (sec)	垂直時間 (sec)	垂直時間 の差	区間速度 (m/sec)	平均速度 (m/sec)	引口の受振器 までの走時 (sec)
孔口よりの深度 (m)	補正面から受振 器迄の深度(m)							
50	38	0.1008	0.0987	0.01861	0.02644	1890	2040	0.1210
100	88	*0.1117	0.1109	0.04505	0.02621	1910	1950	0.1210
150	138	0.1262	0.1246	0.07126	0.02459	2030	1930	
200	188	0.1413	0.1392	0.09585	0.01488	2020	1960	0.1210
230	218	0.1517	0.1496	0.11073	0.01166	2570	1970	0.1194
260	248	0.1597	0.1566	0.12239	0.00930	3220	2030	0.1200
290	278	0.1638	0.1617	0.13169	0.00768	3250	2110	0.1193
315	303	0.1678	0.1665	0.13937	0.01309	3440	2170	0.1178
360	348	0.1775	0.1754	0.15246	0.01126	3550	2280	0.1186
400	388	0.1854	0.1838	0.16372	0.01241	4030	2370	0.1190
450	438	0.1949	0.1933	0.17613	0.00258	3870	2490	0.1182
460	448	0.1975	0.1954	0.17871	0.00995	4020	2510	0.1179
500	488	0.2049	0.2036	0.18866	0.00881	3400	2590	0.1178
530	518	0.2130	0.2114	0.19747	0.00543	3680	2620	0.1169
550	538	0.2180	0.2162	0.20290	0.01298	3850	2650	0.1199
600	588	0.2291	0.2278	0.21588	0.01237	4040	2720	0.1185
650	638	0.2411	0.2390	0.22825	0.01112	4500	2790	0.1198
700	688	*0.2512	0.2491	0.23937			2870	0.1191

註) * は Shot Mark (巻線による) が不明なので Up Hole Geophone から逆算したもの。



第5図 坑井内速度分布図(S.P. I)



第6図 坑井内速度分布図(S.P. II)

第3表

坑井内速度測定結果		奈井江測線解析結果		試錐調査結果	
深度 (m)	速度 (m/sec)	深度 (m)	速度 (m/sec)	深度 (m)	地層区分
—	—	0~35	1,800	0~49.4	沖積層
50~230	2,010	35~280	2,300	49.4~241.8	瀧川層
230~650	3,560	280~620	3,200	241.8~	夾炭層 (古第三系)
650~700	4,440	620~	4,200		

次に区間速度から速度増加率を求めるのであるが、速度増加率とは深度とともに変化する速度の増加率で、堆積層においてそれに加わる圧力や緻密度は深さとともに大きくなり、したがって堆積層の下位層ほど地震波の速度も増加するものと仮定して、反射法の計算には $V = V_0 + kh$ の式を通常用いている。上式の k がすなわち速度増加率である。

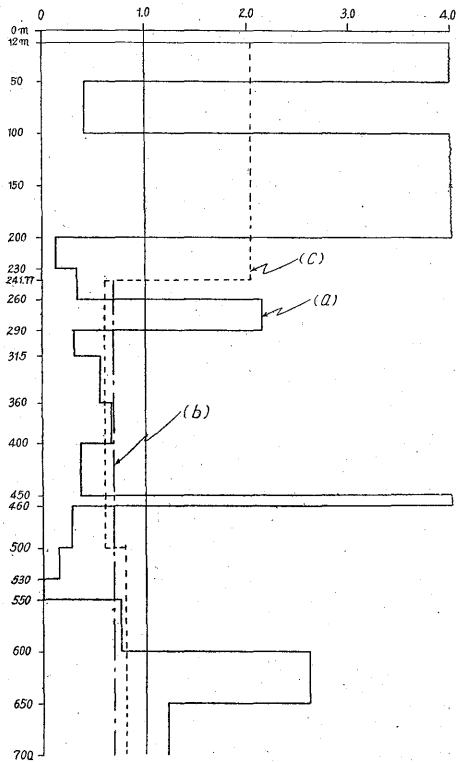
本地域の速度増加率を求めるにあたり、241.77mの不整合面を境として2つに区分して求めた区間速度の増加は速度増加率に関係しているから、区間の速度から増加率を求める。すなわち $V = V_0 + kh$ を観測方程式として、最小自乗法により速度増加率を求めると次の値が得られた。

すなわち12mから260mまでの増加率 k は 1.24 ± 0.3 で

$$V = 1790 + (1.24 \pm 0.3)h \text{ となる。}$$

また260mから700mまでの増加率は 2.37 ± 0.45 で $V = 2570 + (2.37 \pm 0.45)h$ となつた。

第3表において区間速度を3つに大別した。しかしながら第5, 6図を詳細にみると、速度は深さとともに単純に増加しているわけではなく、特に500mを超すと一たん小さくなり、ふたたびまた深度とともに増加していることが認められる。この深度とともに区間速度の増減する原因や、速度増加率の変化などが岩相変化との間にどのような関係にあるかを知るために、次に述べる砂泥



第7図 砂泥比 (Sand-Shale Ratio)

比を求めた。

堆積層において堆積が進んできて、一定の圧力がそれに加わった場合、砂岩質と泥岩質のものでは、それぞれ圧密を受ける程度が異なることが知られており、圧密の程度が異なればそれに従って弾性波速度も異なった岩石になることが考えられる。

$$\text{砂泥比}^{\text{註2)}} = \frac{\text{礫岩} + \text{砂岩}}{\text{泥岩} + \text{頁岩}}$$

砂泥比とは上式から求めたもので、地質柱状図から各堆積層の見掛けの層厚を知り、上式によつて砂泥比を求める。この場合比をとる幅(層厚)によつて砂泥比が変わるものなので、(a)区間速度の幅に対応する砂泥比。(b)滝川層と夾炭層の不整合面で2分して表わした砂泥比。(c)さらにこの不整合面と、夾炭層中の区間速度変化の著しい500mの所で3分したものの3通りについての砂泥比を求めた。これを第7図に示す。これによると0~241.77mまでは砂岩質のものが卓越しており、241.77m

以深では泥岩質の堆積層が卓越していることがわかる。これを区間速度と比較してみると、241.77mの不整合面における区間速度の変化は砂泥比と矛盾しない結果を示している。しかしながら500m付近で区間速度が小さくなり、ふたたび大きくなる傾向は、砂泥比からは説明できない結果が得られた。

坑井内速度測定は今後もしばしば行われなければならないが、単に地震探査の基礎資料あるいは、解析のチェックというだけでは意味が少ない。この種の調査で得られたものを充分利用し、地層を解釈するのに役立たせることが必要であるとする。その一つの試みとして、ここで砂泥比を求め区間速度と対比したのである。

6. 結 論

本調査によつて石狩平原下の数少ない試錐井について、地震探査の貴重な資料を得ることができた。また同時に奈井江測線の解析結果を点検し、速度分布を再確認することもできた。

従来石狩空知炭田における古第三系は4,000m/sec以下の速度層であると一般に考えられてきた。以前坑内における調査で、幾春別夾炭層(古第三系)が4,500m/sec³⁾の速度を示した例が報告されている以外にはあまり知られていない。ところが本試錐井によつて、奈井江測線の4,200m/sec層が古第三系であることが確認され、また今回の坑井内速度測定によつても裏づけられた。

しかしながらまだ検討すべき問題も残されているので古第三系の速度および基盤岩類の速度については別の機会に述べることにする。

現在実験室内で本試錐井のコアーの速度測定を行つている。試料の数が膨大なため、まだ全部測定を終わっていないが、本調査とも比較してさらに検討してみるつもりである。

(昭和30年5月調査)

文 献

- 1) 河内英幸・春城清之助：北海道奈井江石炭試錐調査報告，地質調査所月報，Vol. 6, No. 12, 1955
- 2) 蛭川親治：北海道奈井江地区地震探査報告，地質調査所月報，Vol. 6, No. 2, 1955
- 3) 立石哲夫・平沢清：北海道石狩炭田奔別地区地震探査報告，1953年調査，未発表

註2) Sand-Shale Ratio, こゝでは一応砂泥比と訳しておく。