

岩石試料の超音波速度測定

飯塚 進*

Measurements of Ultrasonic Wave Velocity in Certain Rocks

Susumu IIZUKA

Abstract

Measurements of ultrasonic wave velocity were made in the laboratory in a number of rock specimens of different geological formations collected from various regions; 1) the regions of reconnaissance survey for deep drilling in A and C-zone selected for the Japanese Upper Mantle Project, 2) boring cores obtained from the Tanzawa mountains, Kanagawa Pref. and the Hidaka district, southern Hokkaido, and 3) the Matsushiro earthquake swarm area, Nagano Pref.

The results of measurements were compared and discussed with those of seismic prospectings and various geological data in the regions.

〔I〕 UMP・A, C-zone Deep Drilling 先行調査
地域における岩石試料の縦波速度

I. 1 ま え が き

1965年から1968年にかけて、地質調査所では、Upper Mantle Project (略称 UMP) のテーマの一つである Deep Drilling の最適位置を決定するため、A, B, C 各 zone で、先行調査として地震探査を実施した (YOSHIDA et al., 1973)。

その際、地震探査結果の解釈に資するため、測線付近に分布する岩石、およびその地域の基盤を構成していると推定されるものと同種の岩石試料を用いて、自然乾燥状態における縦波速度を測定した。

B-zone の結果については、すでに報告済みなので (SINGH et al., 1967)、ここでは、A, C 両 zone の結果について述べる。

A-zone における岩石試料の採取をはじめとして、地質学的な面で種々ご教示いただいた地質部吉田尚技官に感謝する。

I. 2 試料および測定方法

A-zone については、速度測定用試料を現地で採集した。I-1図に地震探査測線近傍で採取した試料の位置を示す。C-zone では、基盤を構成していると推定される

岩石が、現地に直接露出していないので、主として宮崎県下の鞍岡付近より採集された試料¹⁾を用いた。その他に、北上山地南部の氷上花崗岩²⁾、飛騨地方神岡の斑岩³⁾、丹沢花崗岩⁴⁾についても若干測定した。

測定試料は、いずれも方形切断し、その際結晶片岩のように A, B, C 軸の明瞭なものについては、3方向の測定が可能のように切断した。不明瞭なものは、A, B, C 方向は任意にとってある。

使用した測定装置は、開発電子測器研究所製の「超音波伝播速度測定器 (Type-SLS 1002D)」で、振動子には固有周波数 200 kHz のチタン酸バリウム素子を用いた。記録はポラロイドカメラを用いて撮影した。

I. 3 測定結果および考察

測定結果を I-1 表にまとめた。No. 5 ~ 10 の鶺ノ木変成岩は、本州地相斜の結晶質基盤岩 (先カンブリア紀) に相当するものと考えられ、黒石構造帯に沿って超塩基性岩が貫入してきた際に、とり込まれもちあげられたものと推定されている (YOSHIDA et al., 1973 参照)。

比較的新鮮な岩石は、平均速度 6.5 km/sec 以上の値を示し、異方性も顕著で、最大62%、平均で約30%に達する。鶺ノ木変成岩以外の異方性は、試料数も少ないのでここでは議論しない。

1) 神戸信和, 2) 大和榮次郎, 3) 野沢保, 4) 沢村孝之助の各技官よりそれぞれ提供された岩石試料。

* 現在、東海大学海洋学部

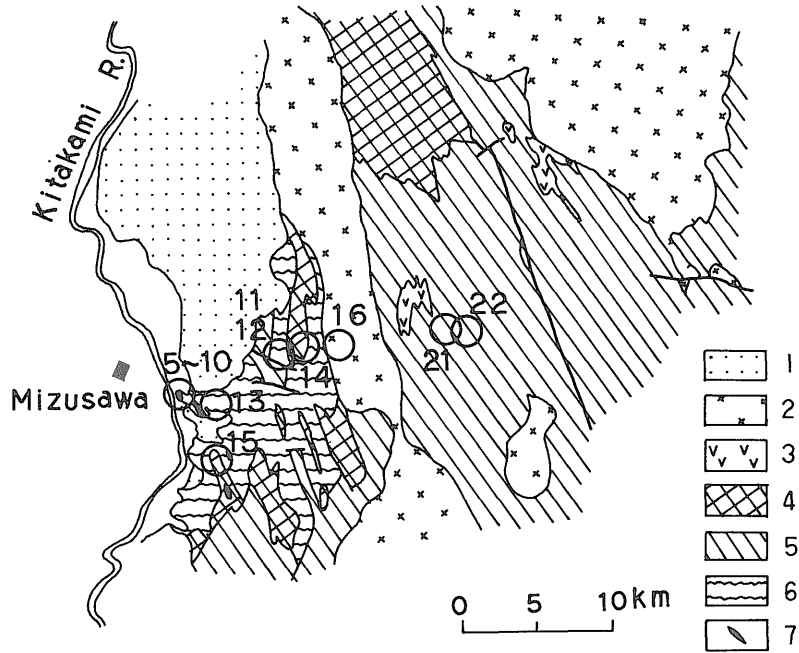
No. 1 ~ 4 は、阿武隈山地の下部石炭系~デボン系から産する結晶質基盤岩で、北上山地の鵜ノ木変成岩に相当する岩石と推定されている。平均速度は 6 km/sec 弱

であるが、鵜ノ木変成岩と同様、異方性が著しい。以上は、A-zone における地震探査の結果、基盤として解釈された 6.1 ~ 6.2 km/sec の速度層を構成する岩石に相

I-1表 岩石試料の超音波速度 V_p (km/sec).

番号に *印を付したサンプルの採取位置は I-1 図に示してある

Sample No.	岩石名	V_A	V_B	V_C	\bar{V}_p	備考
1	松ヶ平変成岩 (結晶片岩)	6.2	6.1	5.5	5.9	
2	山上 " (")	6.7	6.4	6.2	6.4	A, B やや不明瞭
3	" " (")	5.8	6.6	3.9	5.4	
4	日立 " (角閃石片岩)	5.8	6.6	5.1	5.8	
5*	鵜ノ木変成岩 (角閃石片岩)	5.6	5.8	4.4	5.3	かなり風化がはげしい
6*	" " (角閃岩)	6.5	6.9	6.0	6.5	A, B は任意
7*	" " (黒雲母片岩)	5.9	7.2	6.9	6.7	
8*	" " (")	6.3	6.5	6.6	6.5	片理にたいして 45° の切断
9*	" " (")	4.8	4.5	2.4	3.9	
10*	" " (角閃石片岩)	6.6	7.0	6.6	6.7	
11*	母体変成岩	4.1	5.0	3.1	4.1	風化がはげしい
12*	" "	6.5	6.7	6.6	6.6	A, B, C 不明
13*	大田代古期侵入岩 (角閃石斑 輝岩)	6.7	6.7	6.9	6.8	"
14*	銚子山蛇紋岩	6.8	6.6	6.8	6.7	"
15*	正法寺 "	6.1	6.1	6.0	6.1	"
16*	人首花崗岩	5.5	5.9	5.8	5.7	"
17	氷上 "	5.8	5.6	—	5.7	A, B, C 任意
18	" "	5.8	6.2	5.8	5.9	"
19	" 花崗片岩	3.4	4.1	3.6	3.7	"
20	" 圧砕岩	4.4	4.8	4.6	4.6	"
21*	物見山輝緑凝灰岩	6.5	6.7	6.3	6.5	A, B, C 不明
22*	" 粘板岩	6.7	6.8	6.1	6.5	
23	鞍岡石灰岩	6.4	6.6	6.3	6.4	A, B, C の方向は任意
24	" 大理石	6.7	6.7	6.6	6.7	"
25	三ヶ所チャート	6.2	6.0	6.1	6.1	"
26	鞍岡砂岩	5.5	5.1	4.5	5.0	"
27	" "	4.3	4.2	4.6	4.3	"
28	" 花崗岩	5.0	5.0	5.0	5.0	"
29	" "	6.2	6.1	5.9	6.1	"
30	" "	6.6	5.7	5.3	5.8	転石 "
31	" 圧砕岩	5.5	5.2	5.6	5.4	"
32	" 流紋岩	6.2	6.0	6.2	6.1	"
33	" "	5.7	5.7	5.9	5.8	"
34	" 火成岩	3.6	5.4	5.2	4.7	転石 "
35	神岡斜長石斑輝岩	6.4	6.7	6.6	6.6	"
36	" 角閃石斑輝岩	6.9	6.7	6.7	6.8	"
37	丹沢花崗岩	5.3	5.0	5.2	5.2	"



I-1図 A-zone 地震探査測線域の岩石試料サンプリング位置. 数字は I-1 表のサンプル番号に対応, 地質図は YOSHIDA et al. (1973) より引用.
 1…新第三紀層, 2…花崗岩, 3…玢岩, 4…超塩基性岩, 5…非変成古生層, 6…母体変成岩, 7…鵜ノ木変成岩.

当する.

次に, No. 11 ~ 22 は, 同じく A-zone における非変成古生層と弱変成古生層の母体変成岩, およびそれを貫く超塩基性岩または花崗岩などである. 地震探査では, 5.4 ~ 5.9 km/sec の速度層に相当すると解釈されているが, 岩石試料による速度では, 花崗岩以外は, あまりよい一致を示さない. 特に, この層の主体を占めている母体変成岩は, 4.1, 6.6 km/sec, 非変成岩は 2 個とも 6.5 km/sec で, これら試料の速度値からは, 基盤岩との間に有意な差は見出せない. しかしながら, 6 km/sec 以上の速度を示す試料は, いずれも新鮮な割れ目の少ない岩石なので, 屈折法地震探査ではもっと速度は小さくなるものと考えられる. 秋田大学の測定によれば (市川, 1969), 母体変成岩で 4.2, 4.9 km/sec という値もある.

No. 23 ~ 34 は, 非変成のデボン~シルル系の岩石試料と, それを貫く火成岩類である. これらは, C-zone の地震探査の結果明らかになった 6.0 km/sec 層 (基盤) の岩石を推定するために測定されたものである. C-zone の 6.0 km/sec 層は, A-zone の場合と同様先カンブリア紀の結晶質基盤岩であるという考え方と, 三波川結晶片岩の下部高度変成層 (デボンまたはシルル系) であると

いう 2 つの考え方がある. いずれの場合も, 6 km/sec 台の速度を示すことは, これらの測定結果からみてまちがいあるまい.

加納 (1969) は, 爆破地震によって明らかにされた 6 km/sec 層の地質学的意義について論じている. 今回の測定結果も矛盾はない.

No. 13, 14 や No. 35, 36 などは, lower crust (basaltic layer) を構成する岩石の一つと考えられ, 6.6 ~ 6.8 km/sec の速度は, まさに爆破地震により発見された basaltic layer の速度 (たとえば HORTA et al., 1964) とよく一致している.

I. 4 あとがき

A, C 両 zone の地震探査により, いずれも本州地向斜の基盤と考えられる 6.0 ~ 6.2 km/sec 層が広く分布していることが明らかになった. 大発破地震探査では, granitic layer として一括されている 5.5 ~ 6.2 km/sec の層も, よりくわしい中発破地震探査により, 先古生層, 古生層, あるいは塩基性貫入岩体など細分化が可能となってくる. このような地震探査により明らかになった速度構造を地質学的に解釈する際, 岩石試料による速

度測定は、重要な基礎データを提供するものである。

使用した測定装置は、〔I〕の2で述べたものと同一である。試料はすべて「自然乾燥状態」で、測定は常温常圧下で行った。

〔II〕 丹沢ボーリング・コアの縦波速度

II. はじめに

丹沢山地西部の酒匂川水系河内川の大又沢上流にダムを造る目的で、東京通産局により、地質調査の一環としてボーリングが行われた(東京通産局, 1970)。その際採取されたコアの一部について、縦波速度を測定したので報告する。

コア試料の利用に際して、お世話いただいた地質部河合正虎技官(当時)と、東京通産局の関係者の方々にお礼申し上げる。

II. 2 試料と測定方法

測定試料の得られたボーリング孔の位置を II-1 図に示す。No. 1 の地点は石英閃緑岩, No. 2 の地点は緑色片岩地域である。各ボーリング孔の詳細は II-1 表にまとめてある。

速度測定には、約 5 cm 以上の長さの試料を必要とするが、得られたコアはすべて風化が激しく、測定可能な試料個数は石英閃緑岩 6 個、緑色片岩 4 個にとどまった。

II. 3 測定結果および考察

縦波速度の測定結果は、II-2 表の通りである。以下に主な特徴点を述べる。

1) 試料 No. 1 と No. 2, No. 3 と No. 4, No. 5 と No. 6, No. 7 と No. 8 は、それぞれ一本のコアを上下 2 個に切断したものであり、そのためほぼ同じ速度値をとるのは当然である。ただし No. 7 と No. 8 の差が他に比べてやや大きいのは、No. 8 に割れ目が発達しているためと思われる。

2) 同一ボーリング孔より得られた試料でも、深さにより速度が異なっているのは、鉱物の結晶粒子の大小の差によるものと推定される。No. 1, No. 2 と No. 3, No. 4 をくらべると、後者の方が深いにもかかわらず速度値が小さいのは、粒子が粗いためであろう。

3) No. 10 が特におそいのは、割れ目の発達が著しいためである。

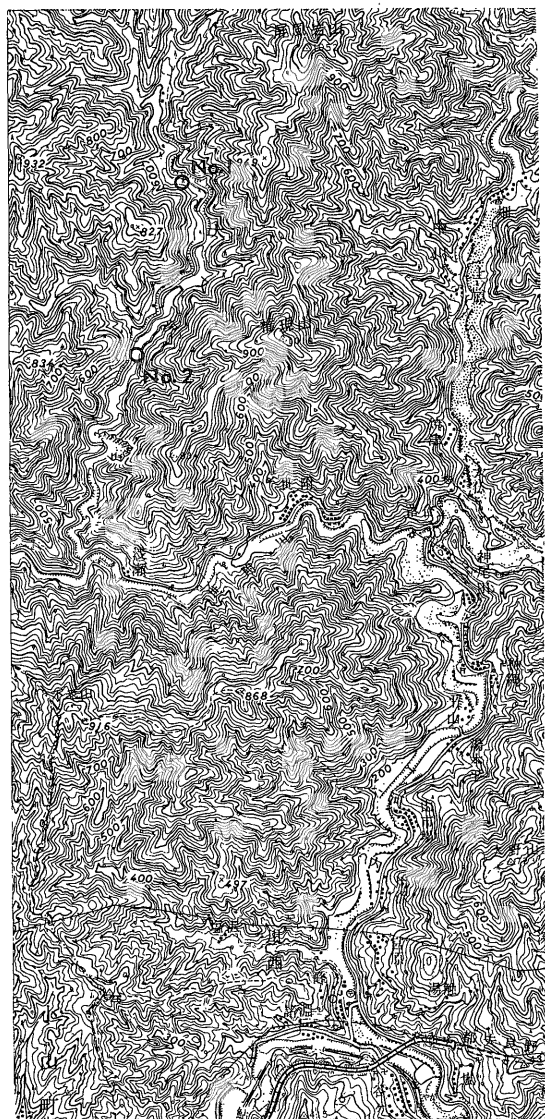
4) 石英閃緑岩と緑色片岩との間には、大きな速度差はみとめられない。これは、この地域で行われた地震探査の結果とも矛盾しない。すなわち、地震探査によれば

II-1 表 測定用試料の得られたボーリング孔

位置番号	孔番号	標高	表土	砂礫または崖錐	岩盤	深度	備考
1	1	561.00m	0.25m	9.45m	20.30m	30.00m	石英閃緑岩地域
	2	551.54	—	3.50	46.50	50.00	
2	6	464.34	—	2.70	17.30	20.00	緑色片岩地域
	9	525.00	—	4.70	15.30	20.00	

II-2 表 ボーリング・コアの縦波速度

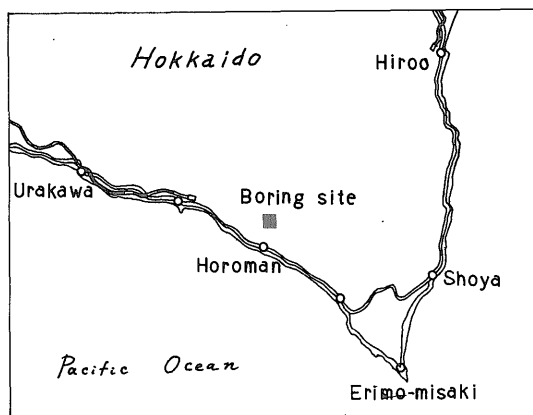
位置番号	孔番号	試料番号	岩石名	縦波速度	コア採取深度	備考
1	1	1	石英閃緑岩	5.20 km/sec	12.0~12.2m	
		2	"	5.07		
		3	"	4.95	26.8~27.0	
		4	"	4.95		
	2	5	"	5.42	48.3~48.5	
		6	"	5.48		
2	6	7	緑色片岩	5.00	8.5~8.7	割れ目あり
		8	"	5.18		
		9	"	4.85	17.3~17.4	
	9	10	"	3.66	12.1~12.2	割れ目多し



Ⅰ-1図 ボーリング位置 (5万分の1地形図「桑野」による)

ば、石英閃緑岩地域の速度が、4.0 ~ 4.5 km/sec, 緑色片岩地域では 4.0 ~ 4.2 km/sec を示し、両地域の間には有意な差はみとめられない。ただしこの場合、地震探査による現場測定値の方が、室内実験値よりも小さい値をとる傾向がある。その原因は、巨視的にみると風化その他による割れ目の発達が大なる影響を与えるためであろう。

5) 一般に、結晶片岩は速度異方向性が大きく、30~40%にも達することもまれではない。片理面内で線構造に



Ⅲ-1図 ボーリング位置

平行に波が伝わる場合に速度は最大値をとり、片理面に垂直の場合最小値をとる。いまの場合、片理面と約45度傾いた面で測定しているため、測定値は中間的な速度を示しているものと考えられる。

〔Ⅲ〕 北海道幌満産カンラン岩ボーリング・コアの縦波速度と密度

Ⅲ. はじめに

地質調査所では、1968年に北海道日高地方の幌満において、深層試錐技術の予備実験としてカンラン岩の岩体を貫く約 200mのボーリングを実施した。その際採取されたコアの一部について、自然乾燥状態における縦波速度と密度の測定を行った。カンラン岩はマントルを構成する岩石の一種と考えられているので、種々の物性を測定しておくことは重要である。

測定用試料は、試錐課河内英幸技官からお借りしたものである。

Ⅲ. 2 試料と測定方法

ボーリングの位置を Ⅲ-1 図に示す。測定に用いた試料は、直径 4.35 cm × 高さ 8.70 cm の円筒形に整形された圧縮強度試験用の Group-1 と、直径 4.35 cm × 高さ 4.35 cm の円筒形に整形された引張強度試験用の Group-2 の2つのグループで、Ⅲ-1 表に示すように、それぞれ深度別に15個の試料からなっている。各試料は、一本のコアを上下に切断して長 (Group-1)、短 (Group-2) 2個のテストピースに分けたもので、同じ深度の試料と考えてよい。

これらの試料は、いずれも風化して割れ目の発達が著しく、また蛇紋岩化も進んだ岩石で、物性測定用の試料

III-1表 測定試料の採取深度および縦波速度、密度

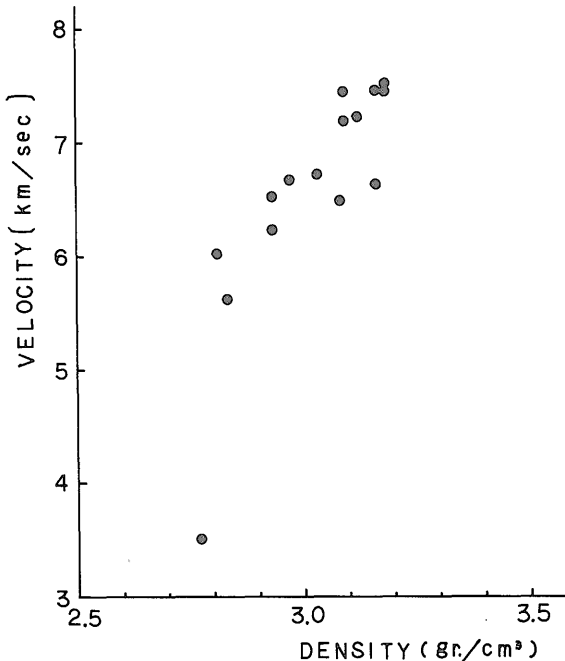
Sample No.	Depth (m)	Velocity (km/sec)			Density (gr./cm ³)	Remarks
		Group-1	Group-2	Mean		
1	11.10~11.39	(4.07)	6.49	—	3.08	割れ目著しい
2	23.00~23.34	3.56	3.46	3.51	2.77	〃
3	40.22~40.45	7.11	7.34	7.23	3.12	
4	55.95~56.70	6.84	6.43	6.64	3.16	割れ目少ない
5	65.80~66.05	6.86	6.58	6.72	3.03	
6	84.07~84.34	7.37	7.53	7.45	3.18	割れ目少ない
7	98.85~99.13	5.57	5.69	5.63	2.83	
8	110.75~111.10	7.39	7.55	7.47	3.16	
9	126.76~127.02	7.70	7.19	7.45	3.09	
10	140.43~140.78	6.13	5.92	6.03	2.81	
11	153.59~153.82	6.75	6.60	6.68	2.97	
12	170.57~170.79	7.48	7.55	7.52	3.18	割れ目少ない
13	178.40~178.53	—	7.20	—	3.09	〃
14	192.05~192.25	6.38	6.10	6.24	2.93	割れ目著しい
15	195.57~195.73	6.54	—	—	2.93	

としては最適とはいえない。

用いた測定装置は、[I]の2で述べたものと同一である。

III. 3 測定結果および考察

縦波速度および密度の測定結果を III-1 表に示す。屈



III-2図 北海道幌満産カンラン岩のボーリング試料の縦波速度と密度との関係

折法地震探査などにより得られる Moho 面直下 (主にカンラン岩からなると考えられている) の速度が、通常 8.0 ~ 8.1 km/sec, 小さくとも 7.9 km/sec, また密度は 3.2 ~ 3.3 gr./cm³ であるのにくらべて、この測定値は全般的に著しく小さな値になっている。特に No. 2, No. 7 は速度がおそい。最大値でさえも 7.70 km/sec で 8 km/sec 以上の値は一つもない。これは、すでに述べたように風化や蛇紋岩化の影響によるものと考えられる。

また、測定値は深さとともに系統的な変化を示さずランダムにばらついており、一つの岩体の中で岩質そのものが複雑に変化しているのか、あるいは風化や割れ目の発達が一様でないのか、いずれかまたは両方の原因によるものであろう。

III-2 図は、速度と密度の関係を図示したものである。ほぼ直線関係が成り立っている。

【IV】 松代群発地震域における岩石の縦波速度

IV. 1 はじめに

1965年8月から始まった松代群発地震の活動が、ようやく下降傾向をたどりはじめた1967年11月から12月にかけて、震源域を中心とする地域の地下構造を明らかにする目的で、測線長延 110 km に及ぶ大がかりな地震探査が行われた (ASANO et al., 1969 a, b, c).

この探査による速度構造の地質学的解釈に資するため、震源域を中心とする地域に分布する種々の岩石試料を採取して、自然乾燥状態における縦波速度を測定し

た.

サンプリングに際し、地質部垣見俊弘・大沢穠の両技官にご教示いただいた。記して謝意を表する。

IV. 2 試料および測定方法

採取した岩石試料は全部で38個で、採取位置および岩石名をIV-1図とIV-1表にそれぞれ示す。地質区分は、沢村, 他 (1967) の松代地域地質図をもとに簡略化した。測定試料はすべて方形切断した。A, B, C 方向は任意にとつてある。

使用した測定装置は、[I] の2で述べたものと同一である。

IV. 3 測定結果および考察

測定結果をIV-1表にまとめた。時代区分および岩石名は、沢村, 他 (1967) によつた。IV-2図は、沢村, 他

(1967) の松代地域地質断面図のうち、A-A' 断面および D-D' 断面 (IV-1 図の A-A', D-D') を簡略化した図に、これらの測定値を書き入れたものである。

概略次のように区分することができる。

第1層: 2 ~ 3 km/sec の第四紀火山岩

第2層: 4 ~ 5 km/sec の中信層群とそれを貫く貫入岩体

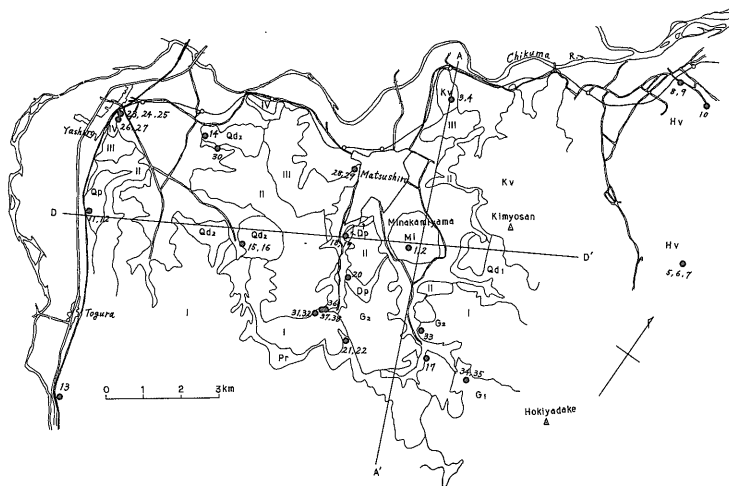
第3層: 約 6 km/sec 弱の貫入岩体

これら3層は、上下関係にあるばかりでなく、ある場合には、D-D' 断面にみられるように水平方向にも変化しており複雑である。

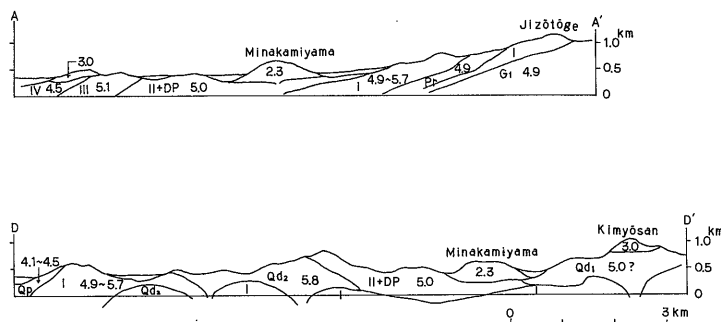
ASANO et al. (1969 b, c) は、地震探査の結果を次のように解釈している。

第1層 (約 2 km/sec): 後期中新世から第四紀にかけての新しい堆積層

第2層 (約 4 km/sec): 中期中新世以前の別所層, 内



IV-1図 岩石試料のサンプリング位置。番号および地質区分記号はIV-1表を参照(地質区分は、沢村, 他 (1967) の松代地域地質図より簡略化して示す)。



IV-2図 岩石試料による速度断面。単位は km/sec, 地層の記号はIV-1表参照(沢村, 他 (1967) の地質断面を簡略化)。

村層などの堆積層, および閃緑岩, 玢岩などの
貫入岩体
第3層 (6.0 km/sec) : 基盤岩. 中新世および中生代の
花崗岩, 変成または非変成古生層
一方, 南雲, 他 (1967) は, 気象庁の松代地震観測所
坑内で, 弾性波速度測定を行い, 黒色頁岩 (別所層)

IV-1表 岩石試料の超音波速度 V_p (km/sec)
A, B, C の方向は任意

時代	No.	岩石名および地質区分	V_A	V_B	V_C	\bar{V}_p		
第四紀	1	皆神山安山岩溶岩 (Ml)	2.4	2.3	2.4	2.4		
	2		2.2	2.5	2.3		2.3	
?	3	奇妙山安山岩溶岩 (紫石) (Kv)	3.0	3.2	2.9	3.0		
	4		3.1	3.2	2.9		3.1	
鮮 新 世	5	保基谷岳火山岩 (Hv)	玄武岩	5.9	6.0	5.4	5.8	
	6			5.8	5.9	5.8		5.8
	7		凝灰角礫岩	6.0	6.0	5.8	4.7	
	8			4.7	4.4	4.3		4.5
	9			5.0	5.0	5.0		5.0
	10			枕状溶岩	4.8	4.9		4.9
中	11	石英斑岩 (Qp)	4.4	4.5	4.8	4.6		
	12		4.8	4.3	4.5		4.5	
	13		4.2	4.1	4.1		4.1	
	14	石英閃緑岩~花崗閃緑岩 (Qd)	5.2	5.1	5.2	5.8		
	15		5.9	5.8	5.9		5.9	
	16		5.8	5.8	5.8		5.8	
	17	閃緑玢岩 (Dp)	5.7	5.6	5.5	5.0		
	18		4.9	4.6	4.7		4.7	
	19		5.3	5.3	5.3		5.3	
	20		4.9	5.0	5.0		5.0	
21	変質安山岩 (Pr)	4.9	4.7	4.9	4.9			
22		5.0	5.1	5.0		5.0		
新 世	23	中信層群IV累層 (IV)	砂岩	4.4	4.5	4.5	4.5	
	24			4.0	3.5	3.8		3.8
	25		安山岩溶岩	4.8	4.7	4.7	5.5	
	26			5.5	5.5	5.5		5.5
	27			5.6	5.5	5.5		5.5
	28	" III累層 (II) 綠色凝灰岩	5.3	5.4	5.3	5.1		
	29		5.0	5.1	4.8		5.0	
	30	" II " (I) 黒色泥岩	5.3	4.5	5.2	5.0		
	31	" I " (I)	石英安山岩 質凝灰岩	3.2	3.1	3.4	2.9	
	32			2.8	2.6	2.6		2.7
	33		綠色凝灰岩 (G)	5.8	6.0	6.1	4.9	
	34			4.8	4.9	4.6		4.8
35	5.0			4.9	5.1	5.0		
36	砂岩	5.0	5.1	4.6	4.9			
37	黒色泥岩	5.7	5.6	5.7	5.7			
38		5.8	5.7	5.6		5.7		

3.2 km/sec, 玢岩 3.8 km/sec の速度値を得た。また、高橋, 他 (1967) は, 皆神山北西麓に掘削したボーリング孔を利用して弾性波速度測定を行い, 皆神山溶岩 3.1 km/sec, 黒色頁岩 (別所層) 4.1 km/sec の値を得ている。

岩石試料の測定値は, これら現場での値にくらべてやや大きめに出ているものもあるが, 大局的にみれば, これらの結果はいずれも比較的良好に一致しているといえよう。

文 献

[I]

HOTTA, H., MURAUCHI, S., USAMI, T., SHIMA, E., MOTOYA, Y. and ASANUMA, T. (1964) Crustal Structure in Central Japan along Longitudinal Line 139°E as Derived from Explosion-Seismic Observations. Part 2. Crustal Structure. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, vol. 42, p. 533-541.

市川金徳 (1969) 水沢周辺地震探査について (UMP・深層試錐の先行調査). 地質調査所月報, vol. 20, p. 247-260.

加納 博 (1969) 日本列島の基盤地質問題と爆破地震学. 地質学雑誌, vol. 75, p. 247-254.

SINGH, R., HAYAKAWA, M. and IZUKA, S. (1967) Some Geophysical Investigations for the Crustal Structure near Oshima, Japan. *Bull. Intern. Inst. Seism. and Earthq. Engineering*, vol. 4, p. 73-94.

YOSHIDA, T., IZUKA, S. and IGI, S. (1973) Reconnaissance Survey for Deep Drilling in the Japanese Upper Mantle Project.—Some Considerations to Upper Crustal Structure in the Japanese Islands.—. *The Crust and Upper Mantle of the Japanese Area, Part II Geology and Geochemistry*, p. 163-176.

[II]

東京通商産業局 (1970) 酒匂川水系河内川総合開発調査報告書.

[IV]

ASANO, S., ICHIKAWA, K., OKADA, H., KUBOTA, S., SUZUKI, H., NOGOSHI, M., WATANABE, H., SEYA, K., NORITOMI, K. and TAZIME, K. (1969a) Explosion seismic observations in the Matsushiro earthquake swarm area. *Spec. Rep. Geol. Survey Jap.*, no. 5, p. 1-162.

————— KUBOTA, S., OKADA, H., NOGOSHI, M., SUZUKI, H., ICHIKAWA, K. and WATANABE, H. (1969b) Underground structure in the Matsushiro earthquake swarm area as derived from explosion seismic data. *Spec. Rep. Geol. Survey Jap.*, no. 5, p. 163-203.

—————, —————, —————, —————, ————— and ————— (1969c) Explosion seismic studies of the underground structure in the Matsushiro earthquake swarm area. *J. Phys. Earth.*, vol. 17, p. 77-90.

南雲昭三郎・高橋 博・長谷川 淳 (1967) 気象庁地震観測所坑内における弾性波速度測定. 防災科学技術総合研究速報, 第5号, p. 49-55.

沢村孝之助・垣見俊弘・曾我部正敏・小林 勇・長谷絃和 (1967) 松代震源域の地質と地質構造. 防災科学技術総合研究速報, 第5号, p. 3-11.

高橋 博・高橋末雄・鈴木宏芳 (1967) 試錐による松代群発地震地域の地下構造. 防災科学技術総合研究速報, 第5号, p. 57-69.