

岐阜県揖斐川水系徳山ダム地点弾性波速度測定報告

本荘 静光* 南雲 昭三郎*

Elastic Wave Velocity Survey at Tokuyama Dam,
Ibi River System, Gifu Prefecture

by

Shizumitsu Honsho & Shozaburo Nagumo

Abstract

The 3-dimensional distributions of elastic wave velocity within the foundation rock were obtained at Tokuyama dam, Ibi river system, Gifu prefecture, by the mean velocity method which was developed by Dr. H. Masuda, the Power Central Research Institute.

Bed rocks are composed of Paleozoic chert and schalstein. The velocity values are comparatively small. There is large difference between the field velocity and the sample velocity. The velocity value decreases towards higher level, and increases towards the inside of bed rock. This tendency is in good agreement with the general one which was found by Dr. H. Masuda. The local low velocity zone are recognized at 4-places. The engineering significance of velocity values and velocity distributions are examined from the viewpoint of Young's modulus distribution of bed rock, and of the design and construction of arch dam.

1. 緒 言

昭和36年10月下旬から11月中旬にわたって、岐阜県揖斐川水系徳山ダム地点において弾性波速度測定および弾性波による岩盤探査の基礎実験を行なった。この野外調査および実験は、岩石岩盤の力学的性質に関する研究の一環として計画されたものであり、ダム基礎岩盤に関する力学的諸問題の分析と、岩盤探査における弾性波法の潜在的能力の吟味とに対する資料を得る目的をもつて行なわれたものである。

調査・実験地点は、岐阜県徳山村・同藤橋村の境界に位置する。当該地点には、電源開発 K.K. により、高さ約 140m のアーチダムの建設が予定されていた。同地点の調査は同社地質課その他によつて、昭和33年以来継続して行なわれており、数次にわたる横坑掘削、試錐、岩盤支持力試験等が実施されている。今回の調査においては、まずアーチダム基礎岩盤内部の速度分布を明らかにすることを目的とし、電力中央研究所増田秀夫氏によつて開発された平均速度法による速度測定を行なった。この報告はおもにその速度測定に関するものである。実験については別途報告する。

現場測定には筆者らのほか物理深査部細野武男技官が参加した。現地の地質状況および各種測定結果につき御教示頂いた電源開発 K.K. 地質課一杉武治・柏木日出治両氏、ならびに現地測定にあたり御援助を頂いた同社

* 元所員

揖斐川詰所関係各位に深く謝意を表する次第である。

2. 地質概況

資料によれば次のとおりである。調査地点は付近の地域の地層は古生層に属する。岩質は主として輝緑凝灰岩およびチャートであつて、一部に粘板岩を含んでいる。ダム地点付近の地形はかなり急峻であつて、谷壁はおおよそ40~60°の傾斜をもち、特に左岸には多くの露岩および岩壁が谷にのぞんでいる。岩質は輝緑凝灰岩・チャートともかなり堅硬であるが、全体としては脆い傾向があり、節理、亀裂はかなり多く、最大1m程度の破碎帯をもつ断層も数カ所にみられる。

3. 測定方法

調査方式は、増田秀夫によつて開発された、平均速度法によつた。すなわち、調査横坑内に数m間隔で受振器を設置し、他の横坑内での爆発により、横坑間の弾性波縦波の平均速度を測定し、また同じ横坑内での爆発により、横坑間の弾性波を測定する方法をとつた。今回の測定では右岸17本、左岸16本、合計33本の横坑を利用し、一部河床および試錐孔内での爆発を加えた。測定器は ETL-M 3 型24成分地震探鉱器を使用し、フィルターは R-5 (最広域) または R-4 によつた。測定間隔は原則として 3 m、一横坑内に原則として 10~12 成分の受振器を設置し、横坑長により適宜増減した。爆薬は新桐ダイナマイトを用い、薬量は 75 g ~ 300 g、一部例外として 600

gを使用した。観測点は両岸合計18スプレッド、延べ約2,400点に及んでいる。なお、地質調査所物理探査部としては、この測定は昭和35年秋の黒又川ダム地点の測定(受託調査)に続く2回目のもので、観測方法の一部に改良を加えて実施した。

測定に使用した横坑位置を第1図に、測定した横坑間平均速度を第1表~第3表に示す。これから8カ所の垂直断面(第1図)および9カ所の水平断面の速度値分布図を作成し、それを基として0.5km/sec 間隔のコンターで速度分布図を作成した。速度値分布図を作るにあたって、当該断面から原則として5m以内の距離に含まれる

4. 測定結果

第1表 横坑間平均速度(右岸その1)

Spr. No.	1		2		3		4		5		T2注) 115 (12)
	128 (24)		127 (12)	126(12)	129(10)	119(8)	118(12)	4(5)	2(12)	1(12)	
127 S	2.9, 3.5, 3.1~1.9		/	2.3	2.0	1.8					
127 I	1.5		/	1.4~2.1	(1.4)	1.2					
126 S	2.9~2.4~1.5		2.8, 2.6~1.5	/							
126 I			2.2	/							
129 S				/		1.6					
129 I				/		1.8					
119 S			2.1~1.3	2.0	2.0, 1.4	/					
119 I					(1.4), 1.6	/					
118 S								(1.7)			
118 C					2.1	(2.4~1.2)	/				
118 I							/	(1.6)			
4 S			2.2~1.8	2.4	2.0	2.0	1.9	3.0~2.3	2.7~1.9,	3.0~2.5	
2 S							2.5	2.8	/	3.5~2.5	
2 I									/	1.4	
1 S							3.2		3.2~1.7	/	
1 I									2.5~1.8	/	3.8
115 S									3.2~2.3	/	
113 S									3.0~1.9	/	
112 S							3.3, 3.0	2.2	2.5~2.1	/	
112 I									3.0~2.5, 2.1	/	

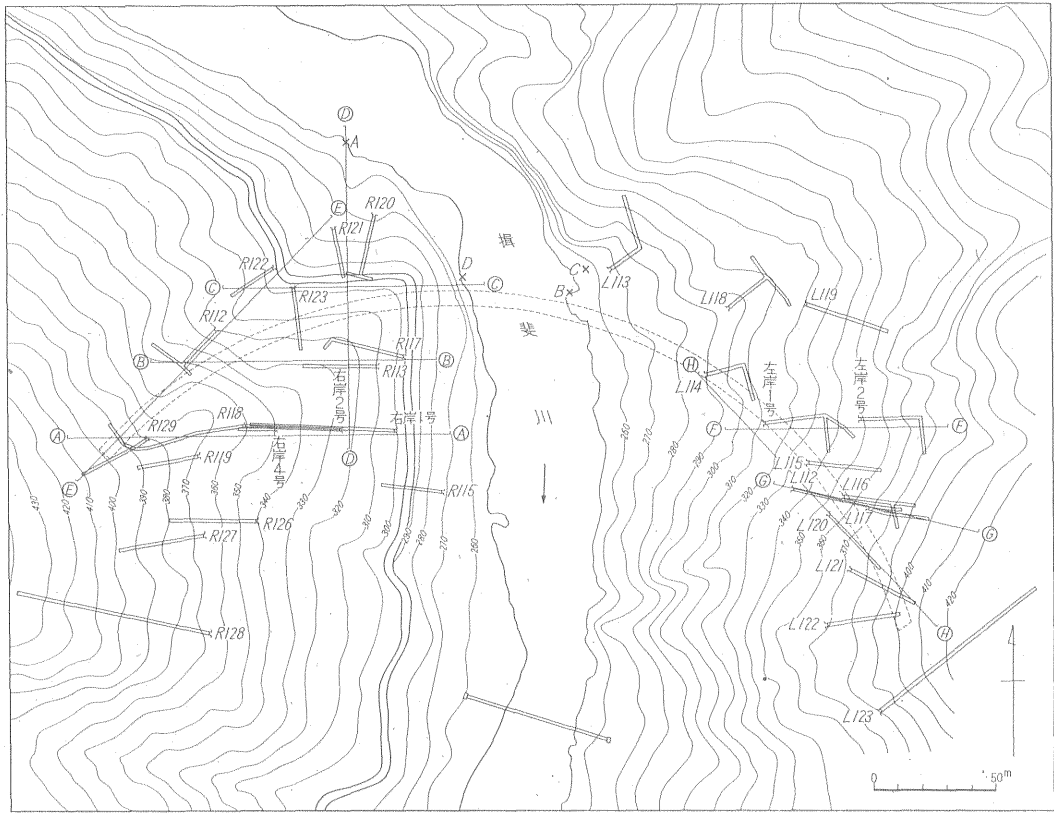
注) 微細構造測定

第2表 横坑間平均速度(右岸その2)

Spr. No.	6		7		8		9	
	113 (10)	117 (10)	112 (12)	122 (7)	123 (8)	116 (10)	120 (10)	121 (7)
113 S	/	2.0	2.3	1.9				
113 I	/	1.2, 1.5						
117 S	2.2~1.4	/						
117 I	1.9	/						
112 S			/	2.9				
112 C	2.5~1.9	2.6	/	3.2~2.5	3.1~2.3	2.3, 2.6		
122 S			3.8	/	2.1	2.3		
123 S	2.7~1.6	1.9				1.9, 2.2		
123 I	1.9	1.7				/	2.1	2.5~1.9
116 S	2.3~1.8	2.1				1.7	1.9	1.7
116 I						/	2.0	1.8
120 S						2.0	/	2.0
120 I							/	1.6~1.1
121 S			2.9	3.0~2.5			1.8	/
1 I								
118 S			3.2, 2.8	2.9				
A							4.0~2.9	3.0~2.4
D						2.8		

凡例 (第1表~第3表)

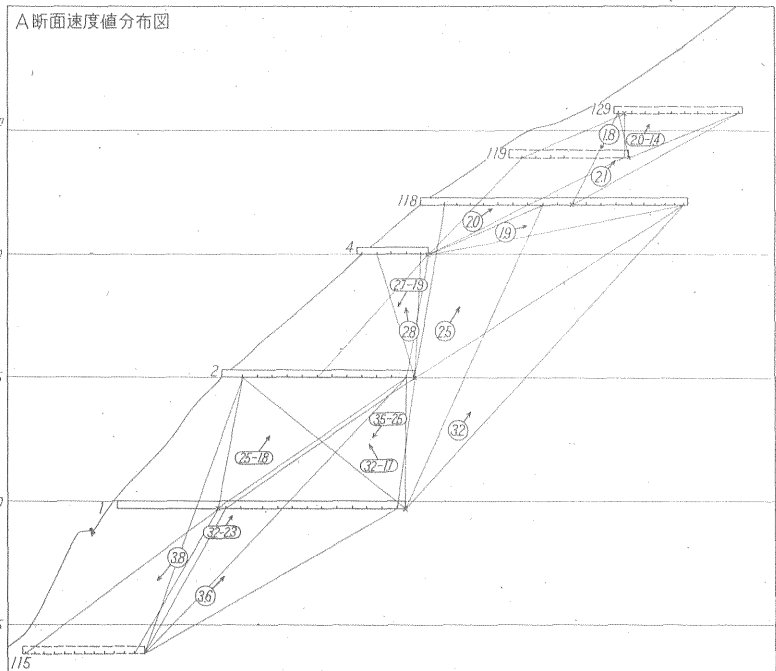
- | | | | |
|------|------------|----------|-----------------------|
| Spr. | スプレッド | A~D | 河床爆発点 |
| No. | 横坑番号(受振点数) | 3.1~1.9 | 3.1~1.9km/sec (坑奥より) |
| S.P. | 爆発点 | 3.1, 1.9 | 3.1および1.9km/sec (") |
| S | 坑奥 | () | 記録悪く不確実な値 |
| C | 坑中央部 | — | " 読取不能 |
| I | 坑入口 | | |



第1図 揖斐川徳山ダム地点

横坑間の速度値を記入し、速度分布図を作るに当つては速度値分布図を基とし、他の関連した速度値(同一横坑内測定を含む)を参考とした。垂直断面、水平断面はそれぞれ独立に作成した後、食い違う点については速度値に矛盾しない範囲で修正した。これらを第2図～第35図に示す。

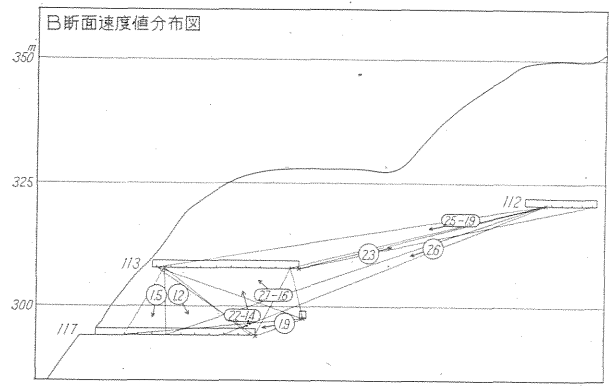
速度値は一般に標高が増すと減少し、同じ標高では岩盤内部に向かって増加しているが、全体としては値がやや小さいようである。輝緑凝灰岩とチャートの違いによる速度の差はこの測定ではみることができない。以下局所の特徴につき述べる。



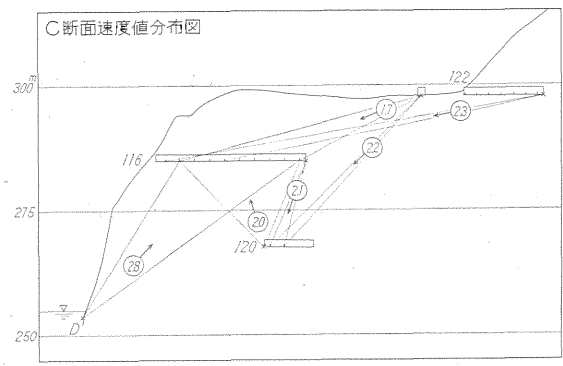
第2図

第 3 表 横 坑 間 平 均 速 度 (左 岸)

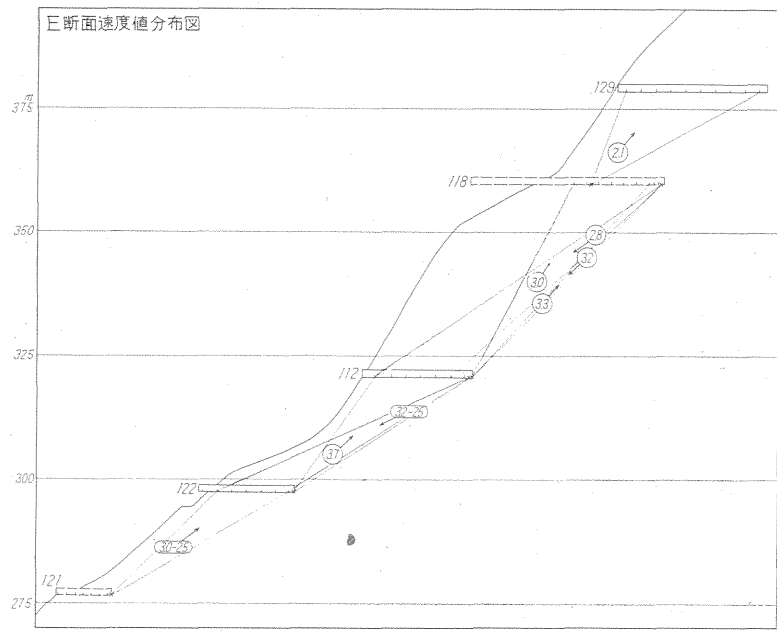
S.P.	Spr.	11		12		13		14		15		16		17		18
	No.	123 (12)	122 (10)	121(10)	120 (10)	116 (10)	117 (8)	112 (12)	2 (12)	115 (10)	1 (12)	119 (11)	114 (9)	118 (11)	113 (12)	
123 S	/		2.7, 2.6~2.3	2.7												
123 I	/		2.1, 2.5	1.5												
122 S	/		/	1.0												
122 I	/		/	1.1												
121 S	-2.2~1.3	1.4	/	/												
121 I		0.8	/	2.7, 1.9	2.0, —	2.0	2.6									
120 S	2.9, 2.5	1.7	2.5	/	2.2~1.3											
120 I				/	1.4~0.9											
116 S				2.0, —	/											
116 I				1.1	/	1.3	1.0, 1.2~2.2	1.8	1.2~2.1							
117 S	2.7, 2.0	1.9	2.2	2.3~1.6	1.9, 1.5	/	3.1, 2.7									
117 I						/	1.8, 2.3, 2.6									
112 S				2.9~2.0	2.1, —	3.3~2.6	/									
112 I				2.6~2.1	2.3	2.7	/	2.5	—, 2.4~1.6							
2 S				1.9	2.3, 1.5			/	2.5, 2.1							
2 I								/	1.5~2.3~1.9	2.9, 2.5	(2.7), —					
115 S						2.5, 2.1	1.4~2.2	3.8, 3.1~2.0	/							
115 I								2.1~2.5	/	2.5, 2.0	—					
1 S										/	3.4, —					
1 C								3.4, 3.9~3.5	3.9, 3.0	/						
1 I										/	(2.6)	2.4, 2.2~1.7	(2.3)			
119 S										4.0~3.3	/					
119 I										2.4~1.9	/	2.9, 2.6~1.8	(2.0)			
114 S										4.1~2.3	(3.8)—	/				
114 C											/		3.9~2.3	—, 2.7		
118 S										3.4, 2.8	3.6, 3.3~2.1	3.6, 4.0~2.1	/			
118 C											—, 2.9	/		3.5~2.6		
113 S												3.0, 2.8~2.2	2.3, 4~2.7	/		
113 C														/		
B															3.8~2.7	
C															4.3, 3.4, 2.9	



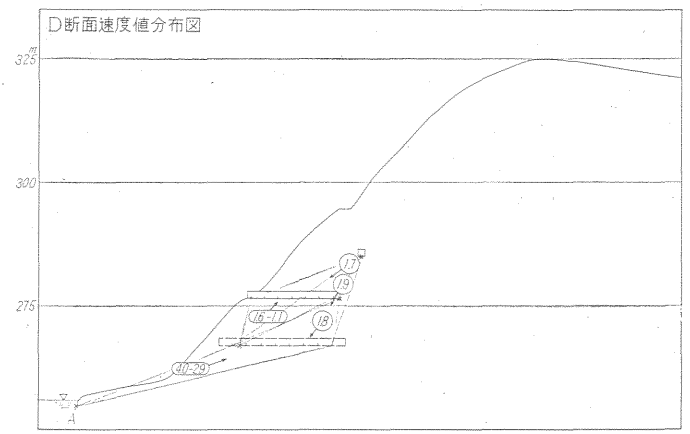
【第 3 図】



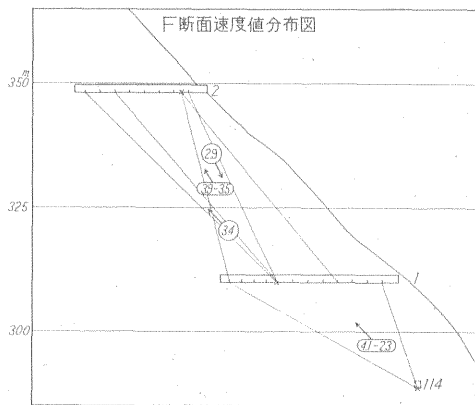
第 4 図



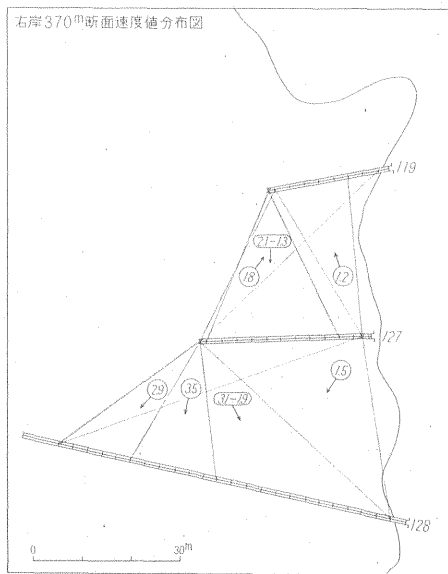
第 5 図



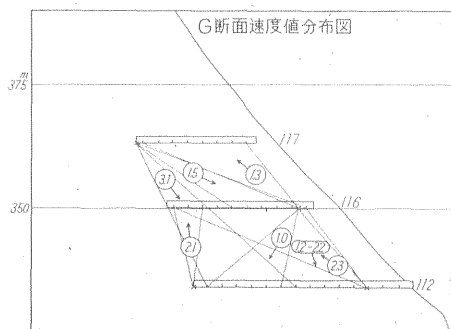
第 6 図



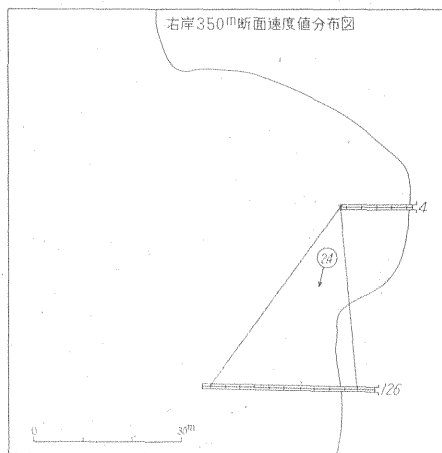
第 7 圖



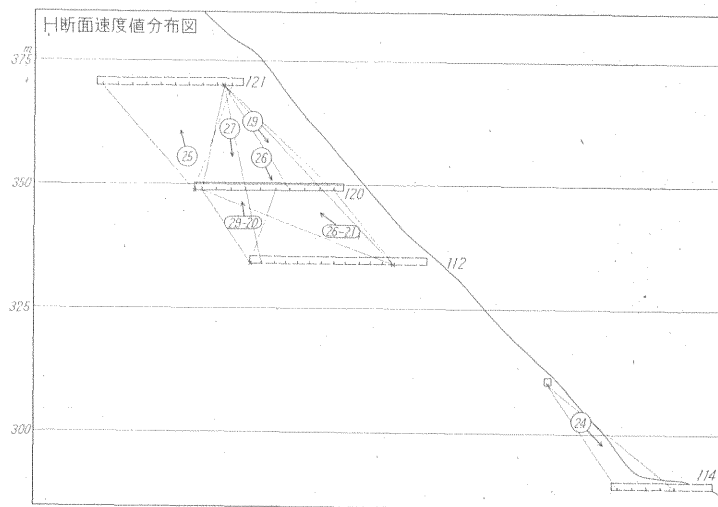
第 10 圖



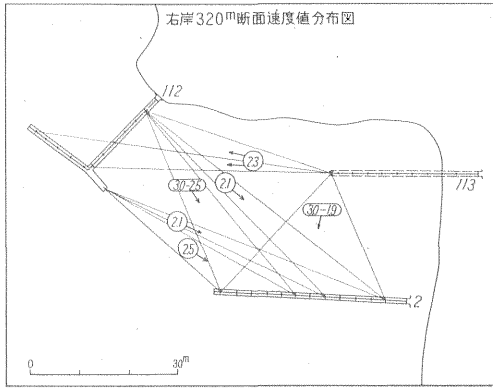
第 8 圖



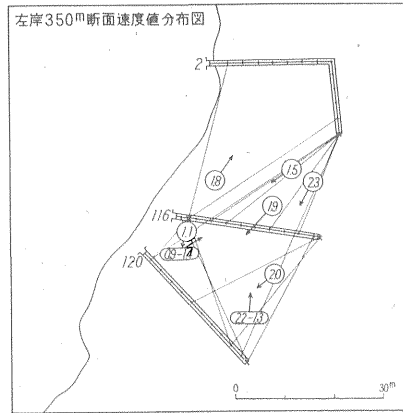
第 11 圖



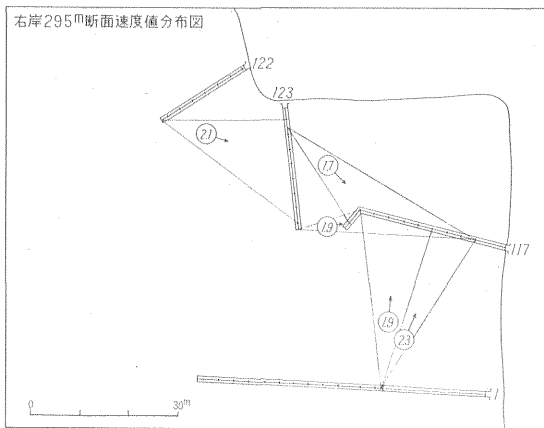
第 9 圖
32—(714)



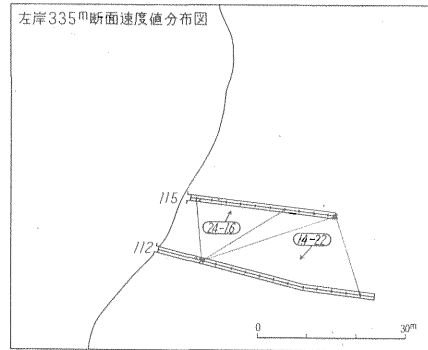
第 12 図

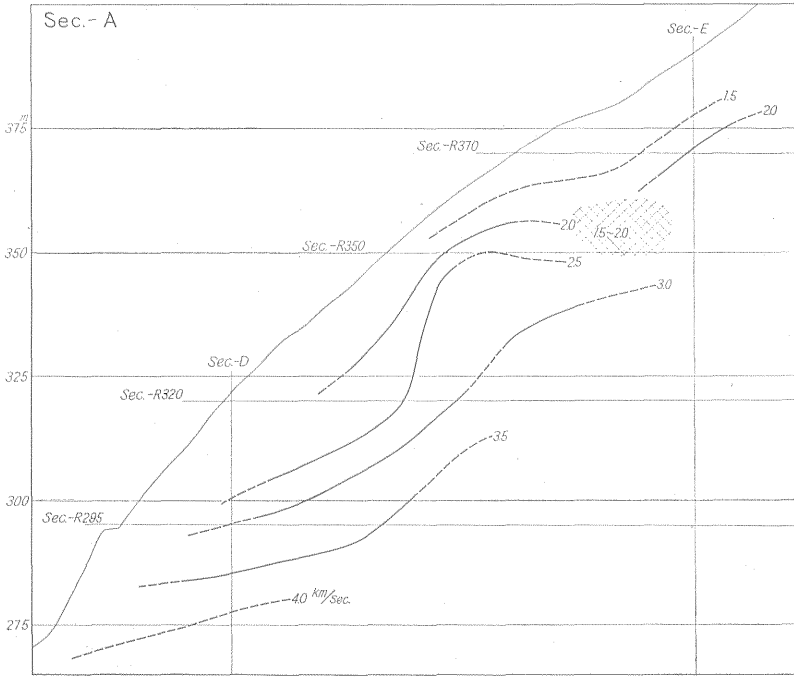


第 15 図

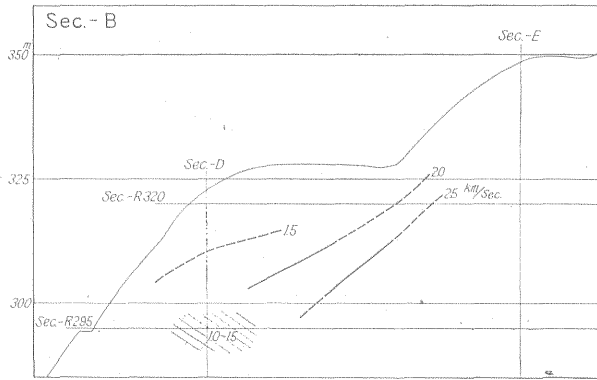


第 13 図

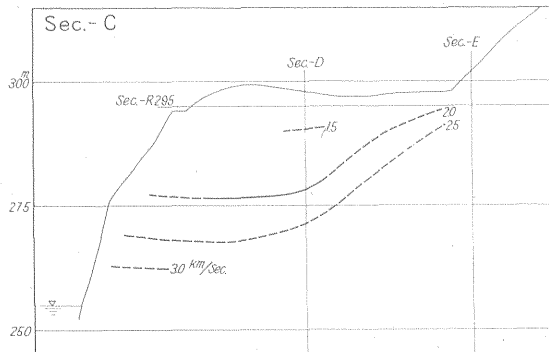




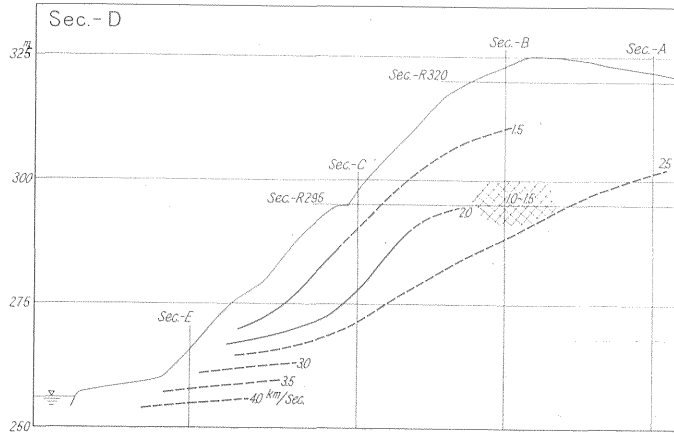
第 19 图 A 断面速度分布图



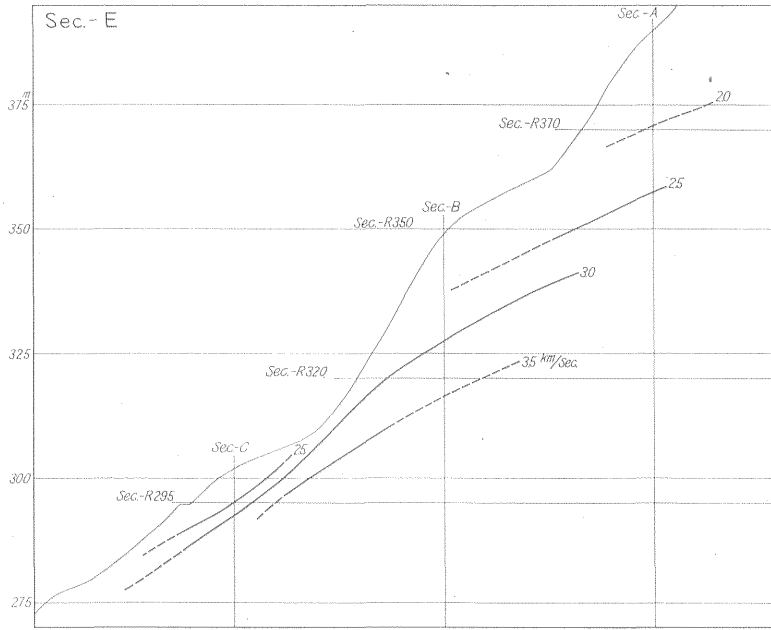
第 20 图 B 断面速度分布图



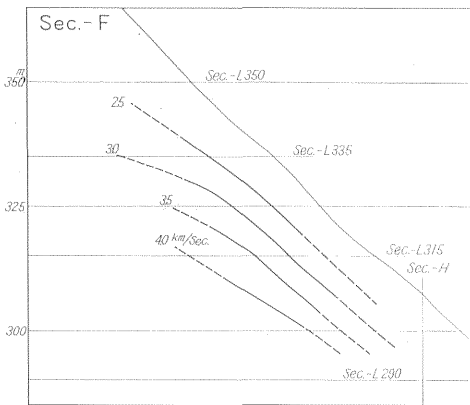
第 21 图 C 断面速度分布图



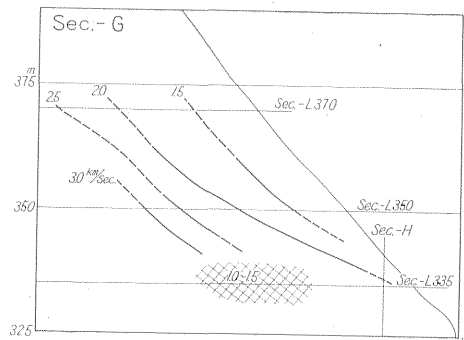
第22図 D断面速度分布図



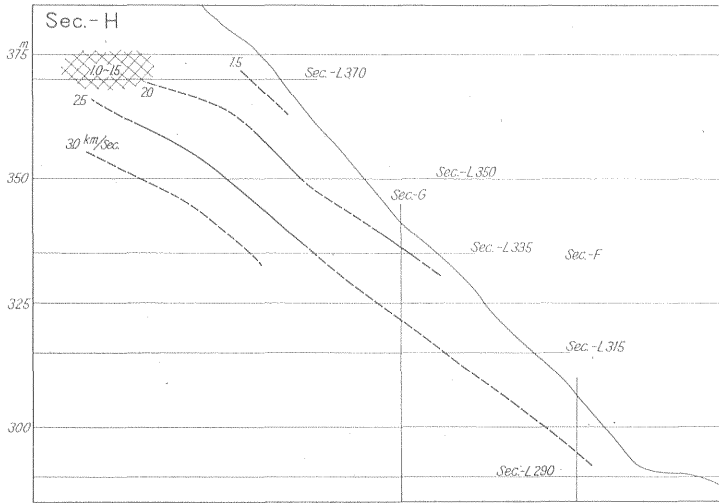
第23図 E断面速度分布図



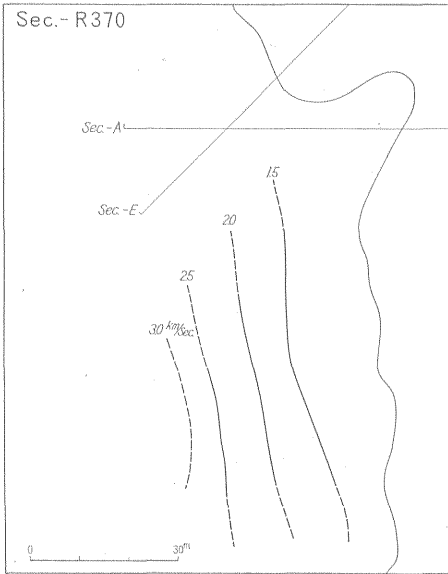
第24図 F断面速度分布図



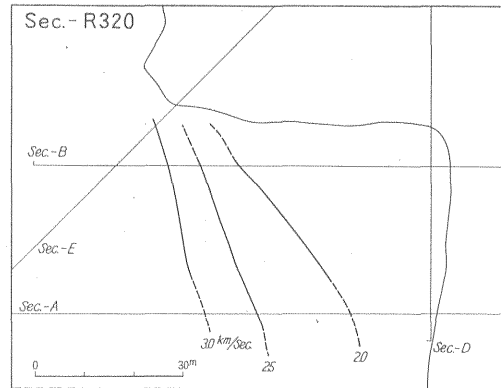
第25図 G断面速度分布図



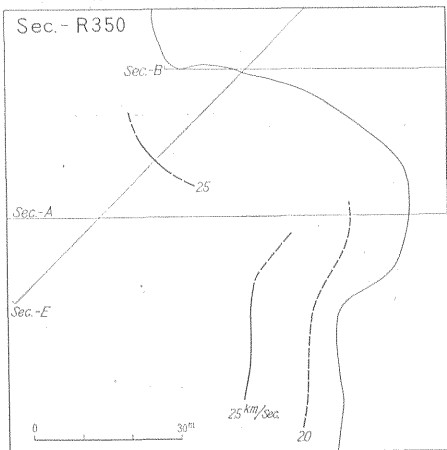
第 26 图 H 断面速度分布图



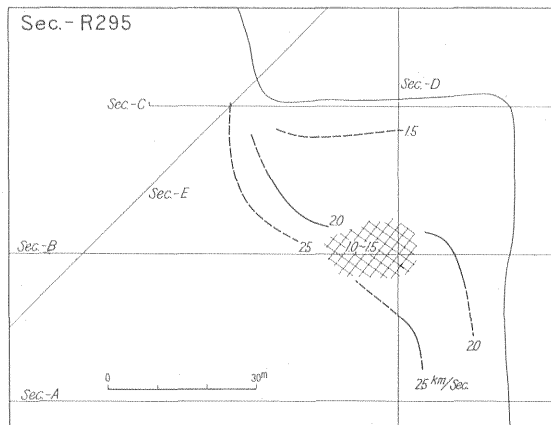
第 27 图 右岸370m断面速度分布图



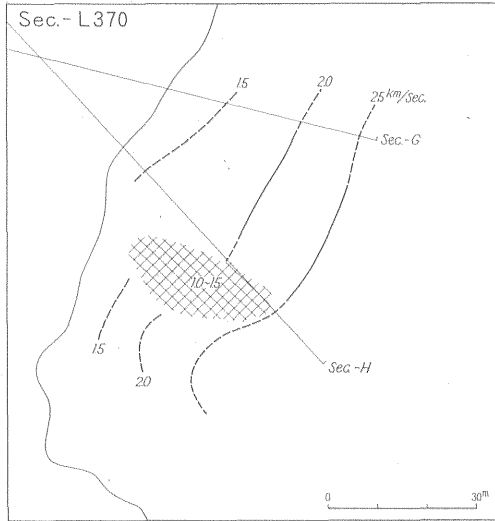
第 29 图 右岸320m断面速度分布图



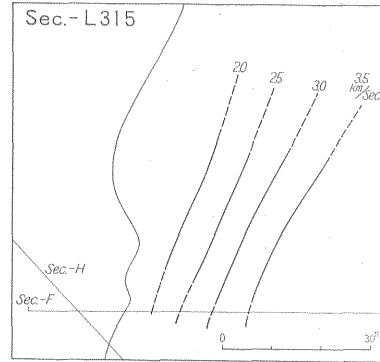
第 28 图 右岸350m断面速度分布图



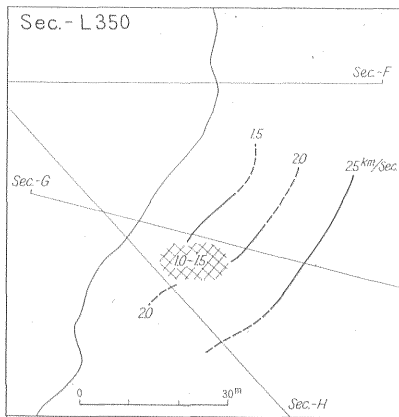
第 30 图 右岸295m断面速度分布图



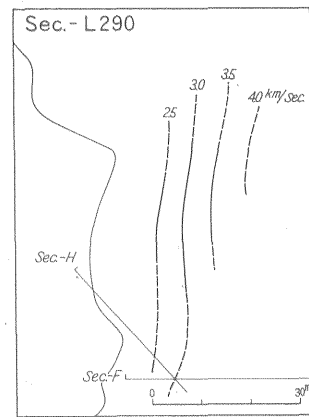
第 31 図 左岸370m 断面速度分布図



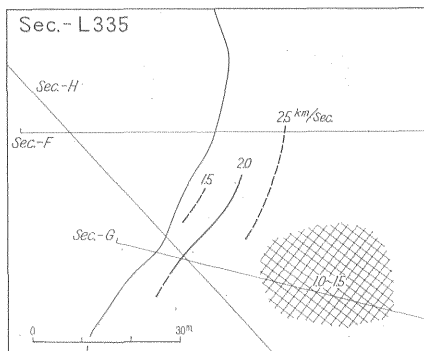
第 34 図 左岸315m 断面速度分布図



第 32 図 左岸350m 断面速度分布図



第 35 図 左岸290m 断面速度分布図



第 33 図 左岸335m 断面速度分布図

4.1 右岸

1) ダム予定線の南側に当地点で最大の尾根が標高380m付近から河床に延びている。この尾根の下半部(295mL道路付近)は全体に低速であり、速度値からは堅硬岩盤とはいえない。尾根の突出部は大体2.0km/sec以下の速度を示す(Sec.-R320(第29図), R 295(第30図)参照)。

2) 同じ尾根の上部の350mL付近の突出部は標高が大きい割には速度値が大きく、Sec.-Aに見られるように2.5km/sec以上の値を示す。なおSec.-Aでこの内部に表われた低速部は地形による見掛上のものである。

3) ダム予定線の北側にある谷は地表近くから大きい速度値を有する。Sec.-Eに見られるように大体3.0km/sec以上で、谷沿いの露岩がかなり堅硬に見えることが速度値からも首肯される。河床近くでは4.0km/sec以上と推定される(Sec.-D参照)。

4) 前述の尾根の末端にあたるダム予定線上の河床付近の岩壁は大体3.0km/sec以下の速度値を示し、標高に比し低速である(Sec.-C参照)。

5) Sec.-B, Sec.-Dの交点295mL付近はかなり顕著な

第4表 隣接受振点間の異常

横坑	位置	走時差	偏差注1)	地質異常注2)	備考
L 1	9-10	—	—	開口亀裂	横坑間速度のみに見られる異常
L 2	6-7	2.6ms	1.3ms	粘土破碎	坑口からの走時差
L 116	5-6	3.7	2.2	なし	坑奥からの走時差
L 117	5-6	3.4	1.6	粘土+亀裂30cm	坑奥からの走時差
L 121	4-5	4.7	2.6	粘土入り破碎180cm	坑奥からの走時差
L 123	2-3	3.2	1.7	断層破碎帯30cm	坑奥からの走時差

注 1) 走時差から、その付近が一樣な速度をもつとした時の走時差を減じたもの。
 2) 電源開発K.K.資料による。

低速部をなす。横坑 No. 117 の内部に見られる断層、亀裂群を表現していると考えられる。

6) ダム予定線の上端近く、370mL付近の内部(横坑 No.128)は 3.0~3.5km/sec と比較的大でかつ一樣な速度値を示している。

4.2 左岸

1) ダム予定線の河床部分付近は予想どおり高速で大体 3.5km/sec の速度値を示す。

2) 335mL付近の No. 112 横坑から No.115 横坑にかけてかなり広い低速部がみられ、影響は垂直、水平双方の速度値に表われている。特にこれに関連していると思われる地質的な異常はみられない。

3) 350mL付近の No. 116, No.120 各横坑間に一部低速部がみられる。これも原因はよくわからない。

4) 370mLの No. 121 横坑に沿う部分はかなり顕著な低速部となっている。地質的にもこの横坑の内部は風化帯、脆弱部分が多く速度を小さくする原因となっていると考えられる。なお以上3カ所の低速部については、測量による誤差が最大20%位まで速度値に影響していることが考えられ、修正測量結果による再検討が望まれる。

5) 右岸 No. 128 横坑に対応する No. 123 横坑の内部は、2.7~2.9 km/sec の比較的安定した速度値を示している。ただし右岸対応部よりやや小さい。

6) 平均速度値の分布には明らかでないが、特定の隣り合った受振点間の異常が弾性波の到達時刻差となつて数カ所に見られ、その受振点に対する爆発記録の大部分に時間の不連続となつて表われている。これらは破碎帯を伴つた断層や顕著な亀裂と一致するものが多い。速度分布図には表現できないのでまとめて第4表に示す。

4.3 同一横坑内の測定走時

各横坑内で測定した弾性波の走時を第36図および第37図に示す。横坑間測定に比し不明瞭な記録が多いが原因はおもに爆発と受振の間のカップリングによるものである。走時から次の傾向を知ることができる。

- 1) 明瞭に2層構造をなすものは認められない。
- 2) 走時から求めた横坑内速度を横坑間速度と比較す

ると、標高および深度に対する傾向は大体一致するが速度値としては横坑内速度はやや小さく、平均 0.3km/sec の差がみられる。

3) 4.2 6)で述べた隣接受振点間の異常のうちいくつかは走時からおよその時刻差(ギャップ)を読みとることができ、異常の規模を判断する一つの目安になると思われる。

5. 結果の考察

5.1 弾性係数について

岩盤を、弾性波の伝播に対して、均質等方の完全弾性

第5表 岩石試料の速度および密度

番号	岩質	横坑名	位置	L (cm)	T(μs)	V(km/sec)	V	ρ(g/cm ³)
1	S	L113	15m	5.36	9.0	5.96	5.96	2.86
2	C	L 1	25m	6.32	13.1	4.83	4.83	2.61
3	C	L 1	40m	5.22	10.6	4.92	4.92	2.56
4	C	R120	左坑奥	5.27	11.0	4.79	4.79	2.60
5	S	R112	"	5.01	(14.3)	(3.50)	(3.50)	2.78
6	S	R112	"	5.45	11.2	4.96	4.96	2.81
7	S	R113	29m	5.33	8.7	6.02	6.02	2.96
11	C	L123	0m	5.03	9.2	5.47	5.47	2.62
12-X	C	L123	25m	3.10	5.4	5.74	5.61	2.57
-Y				3.15	5.9	5.34		
-Z				3.28	5.7	5.75		
13-X	C	L123	60m	4.43	8.1	5.47	5.51	2.59
-Y				3.99	7.2	5.55		
14-X	S	L118	0m	4.44	7.4	6.00	6.05	2.76
-Y				4.16	6.8	6.12		
-Z				4.28	7.1	6.03		
15-X	S	L118	10m	5.37	9.8	5.48	5.41	2.82
-Y				5.59	10.5	5.33		
16-X	C	R115	0m	5.10	8.9	5.73	5.79	2.60
-Y				5.23	9.1	5.74		
-Z				5.36	9.1	5.89		
17-X	C	R115	0m	4.18	7.2	5.81	5.76	2.60
-Y				4.19	7.4	5.67		
-Z				4.18	7.2	5.81		
18-X	S	R123	17m	5.22	9.4	5.56	5.50	2.91
-Y				5.38	9.7	5.55		
-Z				5.27	9.8	5.38		
19-X	S	R118	36m	5.33	9.8	5.44	5.48	2.87
-Y				5.46	(10.8)	(5.06)		
-Z				5.62	10.2	5.51		
平均							5.47	2.72

岩質 S: 輝緑凝灰石
 C: チャート
 X,Y,Z: 互いに直角なる方向
 位置: 坑口からの距離

体と仮定した場合の等価なヤング率 E_0 は、弾性論における周知の関係式

$$E_0 = \frac{(1+\sigma)(1-2\sigma)}{1-\sigma} \rho V^2 \text{ (c. g. s.)} \dots\dots\dots(1)$$

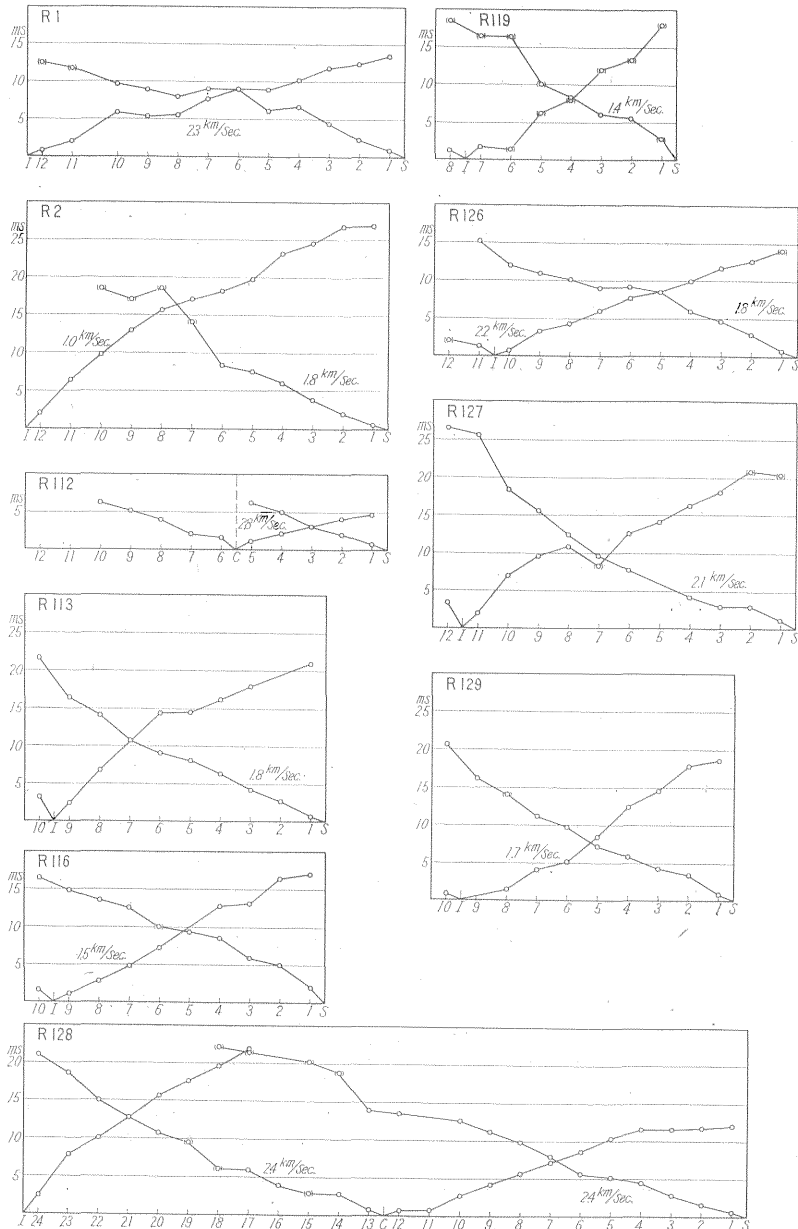
によって計算される。ここで σ はポアソン比、 ρ は密度、 V は縦波速度である。ここで $\sigma = 0.25$ と仮定し、密度として当地点の岩石試料の平均値 (第5表) から $\rho = 2.72$ を用いると、当地点における岩盤の、弾性波伝播に対して等価な完全弾性体のヤング率 E_0 は

$$E_0 \text{ (kg/cm}^2\text{)} = 2.312 \times 10^4 V^2 \text{ (km/sec)} \dots\dots\dots(2)$$

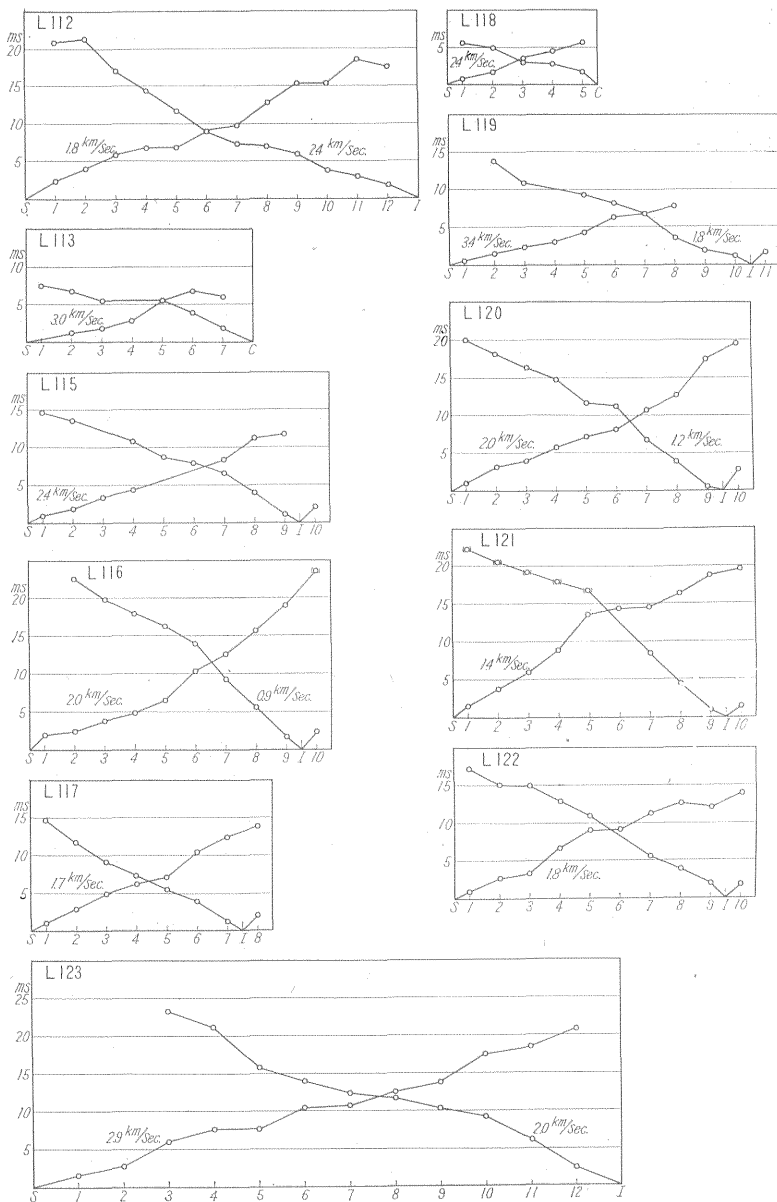
によって求められる。

(2)式によって求められた E_0 と、支持力試験によって求められたヤング率 E_R の値²⁾とを比較すると、第38図のようになる。これを見ると、 E_R 、 E_0 とも広い範囲にわたって変化しているが、相互の関係を全体としてみると、かなりよい相関を示している。岩盤が完全弾性体でないために E_0 は通常 E_R の数倍の値を示すことはよく知られている (たとえば増田¹⁾、小野寺³⁾ 参照) が、当地点では平均して E_0 は E_R の2.8倍となっている。

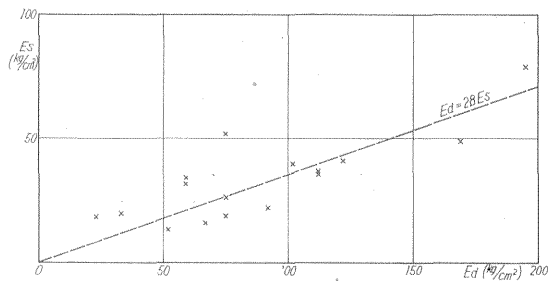
次に、アーチダムの設計やモデルテストに際して必要



第36図 横坑内速度測定走時曲線(右岸)



第 37 図 横坑内速度測定走時曲線(左岸)

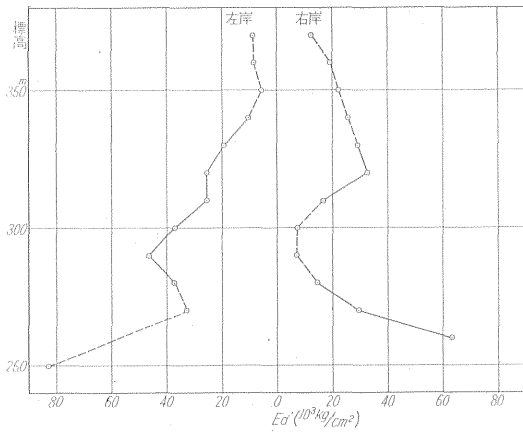


第 38 図 E_d - E_s 比較図

な岩盤のヤング率 E_R' の値は、増田¹⁾によれば、 E_s から次のような換算式

$$E_R' = \frac{1}{2} \frac{\bar{V}}{V_m} E_s \dots\dots\dots (3)$$

によつて求められる。ここで V_m は岩石試料の速度の値、 \bar{V} は平均速度法によつてえられた速度の値、 E_s は(2)式によつて計算された値である。試料として採取された岩石は岩盤から節理・亀裂などの不均一要素を除いたものと考えられるから、 \bar{V}/V_m は、その岩盤の「一様な岩石」からのずれを表わすものと考えられる。また係数 $\frac{1}{2}$ は、コンクリートのヤング率 E_c を決める実験値の整理手続



第39図 標高-弾性係数関係図

を考慮して導入されたものである(詳細は文献1, 4)を参照されたい)。

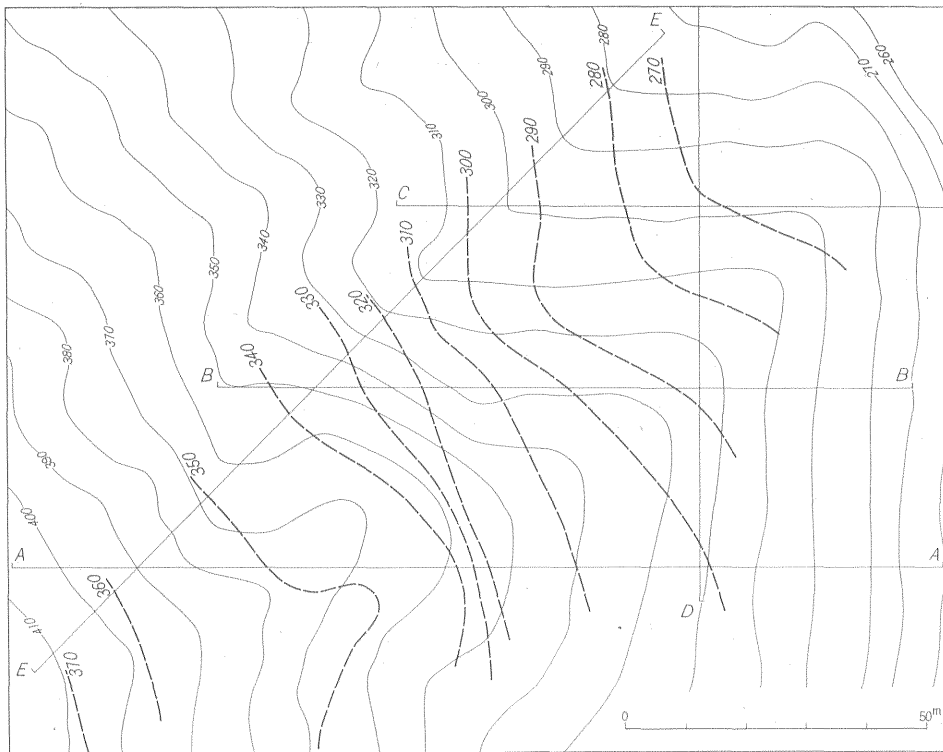
第(3)式によつて E_0 を E_n' に換算し、地質調査より推定された基礎岩盤線³⁾上の値を、標高の変化とともに示したものが第39図である。この推定基礎岩盤線上では、第39図で明らかなように、左右両岸の E_n' の分布は、対称性に欠けている。ことに右岸中央部以下では E_n' は非常に小さい。この所は尾根の突出部に相当する所であり、速度値も 2.5km/sec に達していない所である。また左岸

標高 340m レベル以上、右岸標高 360m レベル以上では E_n' は $1 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ に満たない。以上の諸点はダムの設計、施工に際してさらに慎重に検討すべき事項と考えられる。

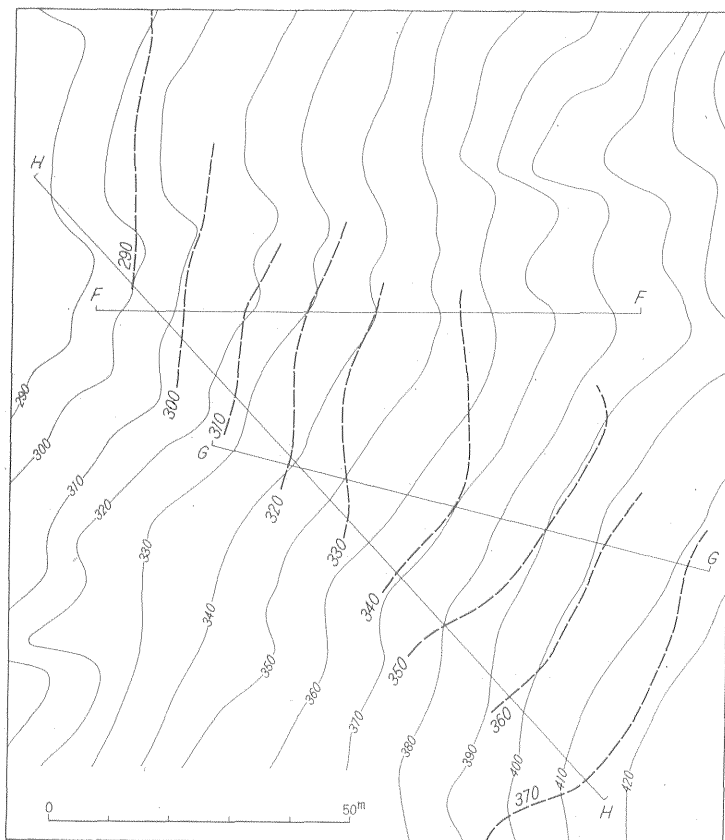
5.2 弾性波速度と岩質について

当地点の岩盤内の速度分布については、4. に述べた通りであるが、ダム基礎岩盤の岩質と弾性波速度との関係については、増田⁴⁾によれば輝緑凝灰岩またはチャートの場合、2.5km/sec 以上の弾性波速度を示す岩盤はダム基礎として適するものと考えてよく、これ以下の場合には速度値のみから可否を判定すべきではないと考えられている。この基準については、横坑間平均速度と同一横坑内速度との差、さらに岩石試料の速度との比などを考慮しなくてはならないが、一応 2.5km/sec に目安をおいて、当地点の岩盤内 2.5 km/sec 等高線を描いたものが第40図(右岸)および第41図(左岸)である。

左岸では 2.5km/sec 等高線はほぼ地形の等高線に平行し、局所的な低速部などによる凹凸を除いては比較的単調な岩盤であるといえる。それに反して右岸では、2.5 km/sec 等高線と地形の等高線がかなり異なつた様相を示し、ことに 4. で述べた尾根の中部以下では 2.5km/sec 以下の部分が広い範囲にわたつていて、両者の差が垂直深度にして 35m に達する部分も認められる。地質的にみ



第40図 岩盤内 2.5km/sec 等高線図(右岸)



第41図 岩盤内2.5km/sec等高線図(左岸)

るとこの部分には数10cmの破碎帯をもつ断層がいくつか認められており³⁾、かなり内部まで緩んだ岩盤であることが示されている。その原因は、あるいはこの部分が大局的にみて輝緑凝灰岩とチャートの境界に相当することに求められるかも知れない。いずれにせよ2.5km/sec等高線による第40図の表示は、地質調査の結果を定量的に裏付けるものであると考える。

6. 結 論

揖斐川水系徳山ダム地点の岩盤内弾性波速度測定を行ない次の結果をえた。

- 1) 岩質は堅硬であるが速度値は比較的小さく、岩石試料による速度値との差が大きい。
- 2) 速度値は標高が大きくなるに従って減少し、岩盤内部に向かって増加する一般的傾向に合致する。
- 3) 局所的低速部が4カ所に認められ、うち2カ所は地質的に観察された異常と一致する。
- 4) 速度値から求めた弾性係数、および速度値と岩質

との関係の基準の双方からみて、右岸のある尾根の部分および左岸標高340mレベル以上はダム基礎として慎重な考慮を要するものと認められる。

(昭和36年10月調査)

文 献

- 1) 増田秀夫：ダム基礎の地球物理学的調査，物理探鉱，Vol. 13, No. 1, 1960
- 2) 揖斐川水系徳山ダム地点の基礎岩盤支持力試験について，電源開発株式会社資料
- 3) 小野寺透：建設省でおこなっている物理地下探査，物理探鉱，Vol. 13, No. 1, 1960
- 4) 増田秀夫：わが国におけるコンクリートダム基礎岩盤の弾性波速度に関する応用地球物理学的研究，電力中央研究所技術研究所報告，1961
- 5) 揖斐川水系徳山ダム地点地質調査報告，電源開発株式会社資料