

超音波による地山の弾性係数の測定

—— 金山ダム地点における例 ——

星 野 寔* 山 下 幸 男**

目 次

ま え が き

1. 測定地点の地質概要
2. 測定方法
 - 1) 使用機器

ま え が き

従来、ダム基礎岩盤、あるいは水路隧道の地山の弾性係数の推定にあたっては、下記のような方法が用いられている。すなわち動的な方法としては人工地震による縦波の伝播速度の測定、静的な方法としてはジャッキによる岩盤変形試験および水密室水圧試験などである。ここに報告するものは超音波伝播速度から地山のそれを推定しようとするものである。この方法は、使用機器が軽量で、かつ測定操作が簡単であるという利点はあるが、他方超音波の透過距離が短いため、地山の小部分の測定に止る（ジャッキの場合とほぼ同様である。）したがって多数の測定を実施しなければならない。しかしこのために基礎岩盤の詳細な弾性係数の分布状態を測定するのに

2) 地山における測定方法

3) テストピースによる測定

3. 測定結果および考察

あ と が き

有利なようである。この試験は金山ダム地点の基礎岩盤改善効果に関する一連の試験調査のうちの基礎的実験の一つであるが、ここでは、さきに実施した岩盤変形試験およびテストピースによる各種試験などの試料もあわせて考察を加えた。

1. 試験地点の地質概要

ダム地点の約100m上流付近で著しい曲流をする空知川は、ダム地点では、ほぼ東西方向に流れ、その川幅は約40mで、左岸側に約100m幅の平且面を形成している。右岸は50°程度の急崖をなして岩盤の露出が良好である。左岸は右岸に比して、やや緩勾配であり、崩積岩屑層によつて被ふくされた露岩は見られない。またE L 350m付近に砂礫層をもつ段丘が形成されている。（図-1）

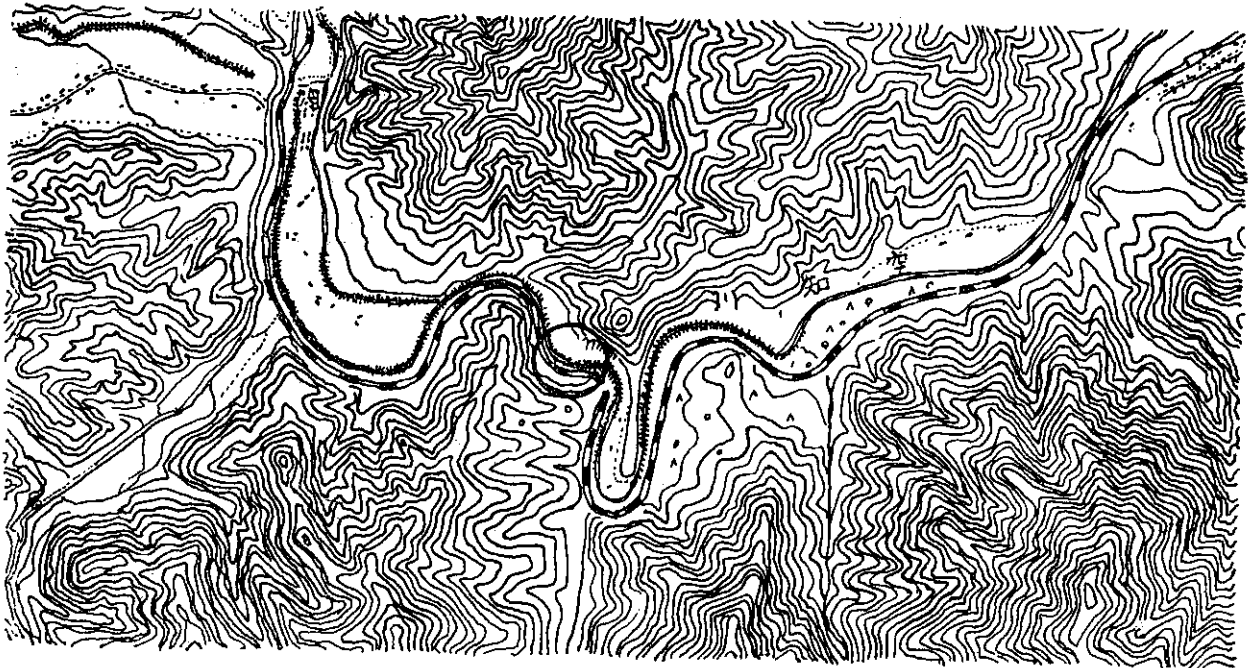


図-1 金山ダム地点位置図

この地域に分布する岩層は、ジュラ紀とされる山部層下部のトマム輝緑凝灰岩層で、上流には白亜紀下部の富

良野層の砂岩・泥岩互層が分布している。トマム輝緑凝灰岩層は、輝緑凝灰岩および輝緑岩熔岩を主体としチャ

*理博 地質研究室副室長 **同室

ート・砂岩・石灰岩などからなっている。ダム地点では輝緑凝灰岩および輝緑岩熔岩が分布している。これらは激しい造構作用によつて圧砕岩状を示すもの、ブロック状をなすものなどが部分的に見られるがダム地点では一部ブロック化し、脆弱になつてゐるが、大部分は堅硬な岩盤である。地震探査によれば基盤岩の大部分は4~5.4 km/sec の速度層となつており、下床部において3km/sec

R_1 が見られる。

超音波による測定は以前に堀削された横坑内（左岸のNo.3, No.4, 右岸のNo.5, No.6, で実施した。これらはいずれも輝緑岩からなつてゐるもので、岩質の大差はない。つぎにこれらの各横坑内の風化状況・亀裂・節理の状態について述べる。（図-2）

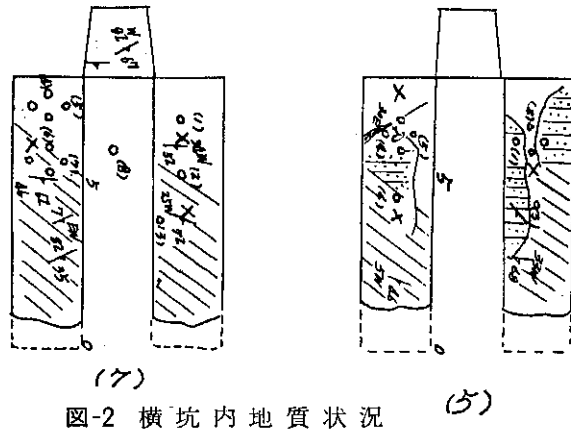


図-2 横坑内地質状況

横坑No. 3: 坑口より1.8mまでは崩積岩屑, その以深7mまではかなり風化されている。深度8~9m間にやや規則的な亀裂が発達している。この走向傾斜はN 30°~50°・60°~70°Wである。これはいずれも密着しており、間隙は見られない。

横坑No. 4: 深度18m付近までかなり風化されており、かつ亀裂・節理の発達が著しい。ことに深度14m付近のものは2m前後の間隙をもつ。18m以深では部分的に風化しているが全般的に良好である。

横坑No. 5: 深度1.5mまで風化しており、その以深5~6mまでは破碎されている。その以深は堅緻な岩盤である。

横坑No. 6: 風化深度は3m前後であり、その以深は良好岩である。

2. 測定方法

1) 使用機器

ここに使用した測定器はKK円井製作所製の超音波伝

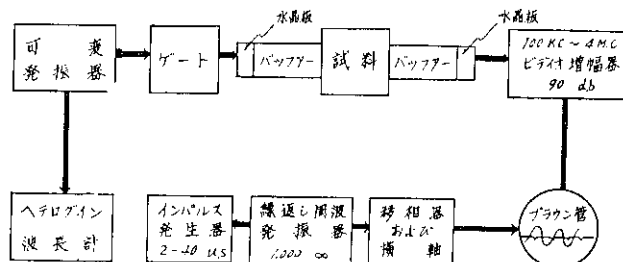
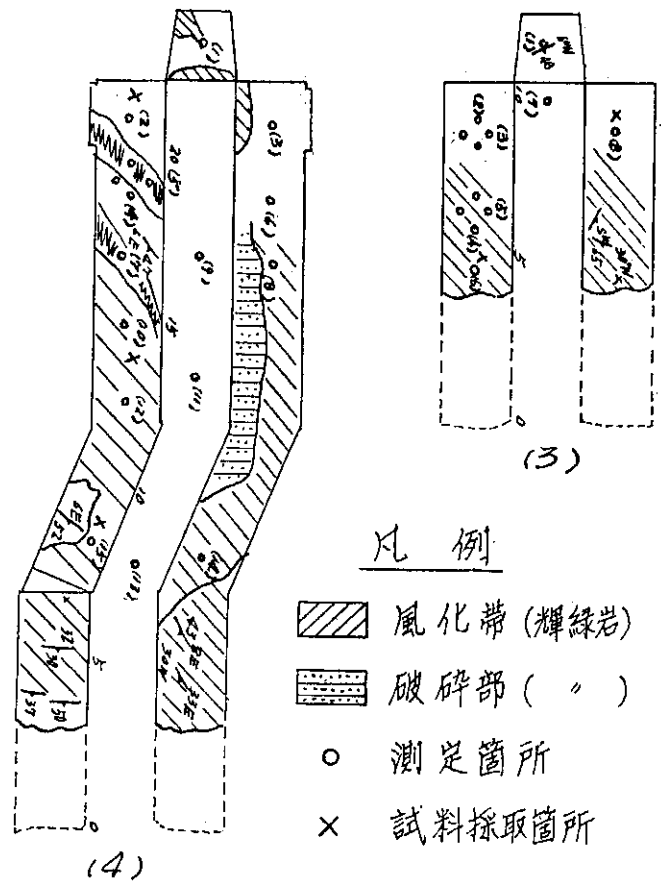


図-3



(4)

播反射測定器であり、周波数は15~200Kcのものである。（図-3）測定にあつてはブラウン管上に図-4のような図形が得られ、これを計測することによつて、下式から音速が得られる。

$$V = \frac{L}{T} \times 10$$

ここに

V: 音速

L: 測定間距離

T: 時間

2) 測定方法

上記横坑内において、さきに実施した岩盤変形試験と対比しやすいような地点を34カ所選定して実施した（図-2）振動子と受信子は並列とし、両者の間隔は50cmとした。（この測定器はコンクリートにおいては約2mの透過能力を有すると称されているが、この場合は振動波の減衰が

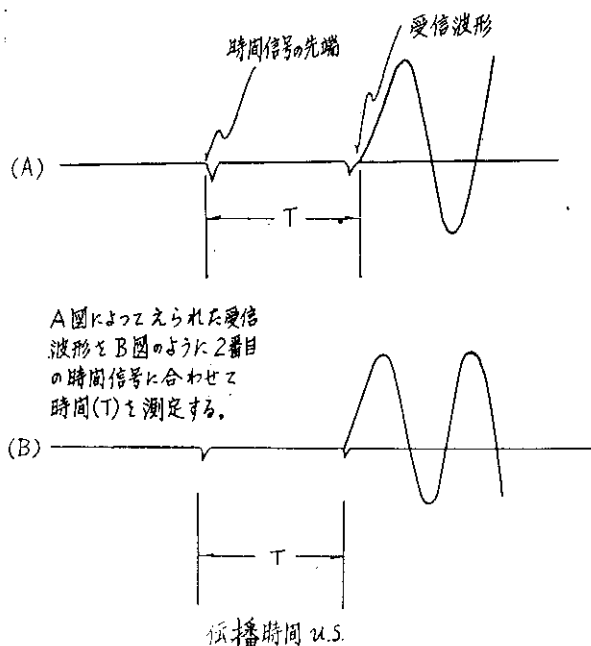


図-4

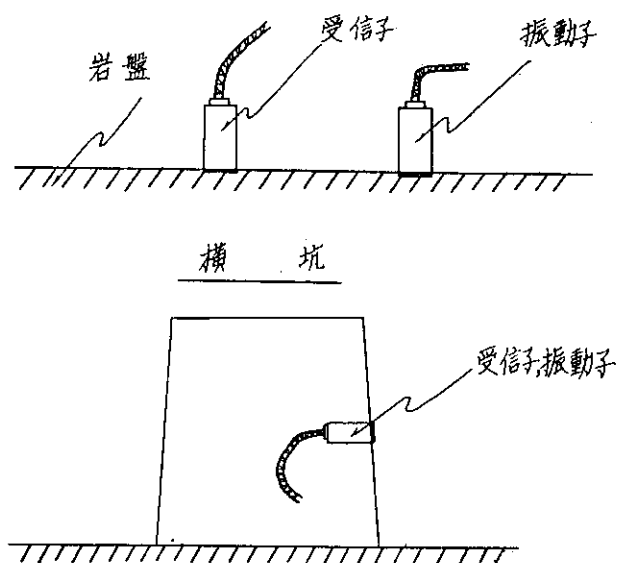


図-5

著しいため、50cmとした。)受信子および振動子の接点は岩盤の整形を入念にし、とくに浮石の除去には注意をはらった。岩盤との接着にはプラストーンを用いた。(図-5)

このような操作によつて得られた音速から次式によつて動弾性係数(E P)を求めた。

$$EP = \frac{VP^2 \rho (1 + \sigma)(1 - 2\sigma)}{g(1 - \sigma)}$$

ここに、EP:動弾性係数

VP:音速

σ :ポアソン比(ここでは0.25と仮定した)

ρ :岩盤の密度(ここでは2.7と仮定した)

なおこの測定においては透過法を用いたが、この場合超音波の指向性が問題となるので、次のような予備実験によつてこれを検討した。すなわち図-6に示すように柱状のコンクリートを用いて、任意の点に振動子を固定し受信子を(A)、(B)、(C)、(D)に移動して、それぞれの伝播速度を求めた。この結果、これら4通りの播速速度において著しい差異が認められなかつた。この事実から一応指

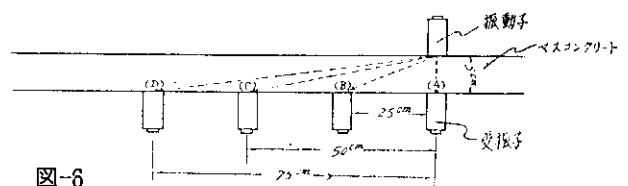


図-6

向性の問題は無視してよいものと判断した。

3) テストピースによる試験

地山の測定値と比較検討するために、地山における測定区間からテストピースを採取してこれについても超音波伝播速度の測定を実施した。この場合はテストピースを1辺5cmの立方体とした。使用機器はとくに小テストピース用に製作された超音波伝播速度測定器(K K円井製作所製)を用いたこの場合は次式によつてEPを求めた。

$$EP = VP^2 \rho \frac{1}{g}$$

表-1

地山の Vp と Ep

測点 (No.)	横坑 (No.)	岸別	標高 (m)	時間(T) (us)	Vp (km/sec)	Ep (kg/cm ²)	地質状況
1	3	左岸袖部	316.0	359	1.392	48.000	亀裂なく全般的に良好
2	〃	〃	〃	416	1.201	35.000	〃
3	〃	〃	〃	419	1.193	35.000	亀裂なく全般的に風化
4	〃	〃	〃	454	1.102	30.000	〃
5	〃	〃	〃	445	1.123	31.000	風化著しく小亀裂多し
6	〃	〃	〃	441	1.133	31.000	〃
7	〃	〃	〃	461	1.084	30.000	〃
8	〃	〃	〃	341	1.466	53.000	全体的に良好
1	4	〃	333	173	2.890	207.000	亀裂少なく全般的に良好

測 点 (No.)	横 坑 (No.)	岸 別	標 高 (m)	時間(T) (μ s)	Vp (km/sec)	Ep (kg/cm ²)	地 質 状 況
2	4	左岸袖部	333	184	2.717	183.000	亀裂少なく全般的に良好
3	〃	〃	〃	188	2.659	115.000	〃
4	〃	〃	〃	184	2.717	183.000	〃
5	〃	〃	〃	194	2.577	164.000	〃
6	〃	〃	〃	175	2.857	202.000	亀裂少なく全般的にやや風化して
7	〃	〃	〃	356	1.404	48.000	いる
8	〃	〃	〃	391	1.718	73.000	〃
9	〃	〃	〃	239	2.092	108.000	〃
10	〃	〃	〃	307	1.628	65.000	〃
11	〃	〃	〃	391	1.278	40.000	小亀裂多し
12	〃	〃	〃	399	1.253	38.000	〃
13	〃	〃	〃	459	1.089	30.000	風化著しい
14	〃	〃	〃	495	1.010	25.000	〃
15	〃	〃	〃	485	1.030	26.000	〃
1	5	右岸袖部	300	230	2.608	168.000	風化少なく全般的に良好
2	〃	〃	〃	255	2.352	137.000	〃
3	〃	〃	〃	445	2.474	151.000	〃
4	〃	〃	〃	424	2.594	166.000	〃
5	〃	〃	〃	239	2.092	108.000	〃
6	〃	〃	〃	410	2.439	147.000	〃
1	7	〃	321.88	284	1.760	76.000	亀裂多く風化著しい
2	〃	〃	〃	486	1.028	26.000	〃
3	〃	〃	〃	287	1.742	75.000	全般的にやや風化
4	〃	〃	〃	236	2.118	111.000	〃
5	〃	〃	〃	221	2.261	126.000	〃
6	〃	〃	〃	431	1.161	33.000	〃
7	〃	〃	〃	451	1.108	30.000	〃
8	〃	〃	〃	264	1.893	88.000	風化しているがやや良好

表-2 深 度 別 の vp お よ び Ep

横 坑	深 度(m)	Vp cm/secV	Ep kg/cm ²	横 坑	深 度(m)	Vp cm/secV	Ep kg/cm ²
3	4.0~ 6.0	1,133	31.000	4	21.0~22.0	2,890	207.000
〃	6.0~ 8.0	1,102	30.000	5	4.0~ 4.5	2,272	108.000
〃	8.0~ 9.5	1,197	42.000	〃	5.0~ 6.0	2,302	137.000
〃	9.5~10.0	1,392	48.000	〃	6.5~ 8.0	2,132	107.000
4	5.0~10.0	1,043	27.000	7	4.7~ 5.0	1,742	75.000
〃	10.0~14.0	1,265	40.000	〃	5.0~ 5.20	1,134	30.000
〃	14.0~18.0	1,717	78.000	〃	5.7~ 6.0	1,460	53.000
〃	18.0~20.0	2,717	183.000	〃	6.7~ 8.0	2,046	111.000
〃	20.0~21.0	2,688	175.000				

3. 測定結果および考察

上記のような方法によつて求められた測定値のうち、地山のものは表-1および表-2に示してある。また、テストピースによつて求められたものは表-3のとおりである。表-3に示すように伝播速度は深度が大になるほど大

になる。すなわちEPの値が大きくなる。このように、Vpは明らかに 風化度および亀裂の多少によつて影響されている。表-4は地山のEPとその地山から採取したテストピースのEPを併記して比較したものである。これによれば若干の例外はあるが、そのほとんどはテストピー

スのEPの方が大である。これは地山のそれは岩質条件と地質条件のみを表現しているのに対して、テストピースのそれは岩質条件のみを表現しているもので、地山のEPの小さい部分は地質条件を表わすと考えてもよいわけであり、またこのようにきわめて小範囲（測定距離50cm）においてはその地質条件もほとんど亀裂・節理などのひびわれと考えてよく、このことから次のように亀裂

係数が考えられる。

$$\text{亀裂係数} = \frac{V_p - V_o}{V_p} \times 100$$

ここに V_o : 地山の伝播速度

V_p : 同一地山から採取したテストピースの伝播速度

表-3

テストピースの V_p と E_p

横坑 (No.)	供試体 (No.)	採取深度 (m)	形 状 (cm)	見掛け の比重	吸水率 (%)	自然状態に おける(T) 時間 (us)	V_p km/sec	E_p (E_b) kg/cm ²	摘 要
3	3a	坑口より4.00	5.1×4.9×5.14	2.956	1.99	15.98	3.191	280.000	やや風化している
〃	3b	〃 4.00	5.1×4.89×5.18	2.942	1.83	16.04	3.179	208.000	小亀裂有り
〃	3.1	〃 5.00	5.17×5.26×5.0	2.961	2.20	12.08	4.297	508.000	良 好
〃	3.2	〃 9.00	5.11×5.0×4.96	2.854	2.30	10.48	4.875	654.000	〃
4	4.1	〃 8.50	5.08×5.09×5.01	2.850	1.87	15.41	3.296	299.000	風 化
〃	4.2	〃 14.00	5.14×5.21×5.14	2.863	2.65	13.64	3.768	391.000	小亀裂有り
〃	4.3	〃 21.50	5.11×5.0×4.92	2.894	1.92	12.24	4.174	480.000	良 好
5	5.1	〃 4.00	5.18×5.0×5.14	2.901	1.45	12.38	4.184	482.000	〃
〃	5.2	〃 5.50	4.91×5.05×4.9	2.934	1.55	12.29	3.995	439.000	〃
〃	5.3	〃 7.50	5.04×5.15×5.15	2.848	1.70	11.42	4.413	536.000	〃
7	7.1	〃 4.00	5.11×5.12×5.25	2.934	1.52	14.64	3.490	335.000	やや風化している
〃	7.2	〃 6.00	5.21×5.0×5.05	2.893	0.71	11.79	4.418	537.000	良 好
〃	7.3	〃 6.50	5.05×5.07×5.38	2.947	1.41	12.05	4.190	483.000	〃

表-4

地山の E_p とテストピースの E_p

測定深度 m	横 坑 No.	測 点 No.	時 間 (T) us	V_p km/sec	E_p kg/cm ²	供 試 体 No.	時 間 (T) us	V_p km/sec	E_p kg/cm ²
4.0~6.0	3	6	441	1.133	31.000	3(a)(b)	16.01	3.185	279.000
6.0~8.0	〃	4	454	1.101	30.000	3~1	12.03	4.297	508.000
	〃	5	445	1.123	31.000				
	〃	7	461	1.084	30.000				
8.0~10.0	〃	1	359	1.392	48.000	3~2	10.48	4.875	654.000
	〃	2	416	1.201	35.000				
	〃	3	419	1.193	35.000				
	〃	8	341	1.466	53.000				
5.0~10.0	4	13	459	1.089	30.000	4~1	15.41	3.296	299.000
	〃	14	495	1.010	25.000				
	〃	15	485	1.030	26.000				
10.0~18.0	〃	7	356	1.404	48.800	4~2	13.64	3.768	391.000
	〃	8	291	1.718	73.000				
	〃	9	239	2.092	108.000				
	〃	10	307	1.628	65.000				
	〃	11	391	1.278	40.000				
	〃	12	399	1.253	38.000				

測定深度 m	横 坑 No.	測 点 No.	時 間 (T) us	Vp km/sec	Ep kg/cm ²	供 試 体 No.	時 間 (T) us	Vp km/sec	Ep kg/cm ²
18.0~22.0	4	1	173	2.890	207.000	4~3	12.24	4.174	480.000
	〃	2	184	2.717	183.000				
	〃	3	188	2.659	175.000				
	〃	4	184	2.717	183.000				
	〃	5	194	2.577	164.000				
	〃	6	175	2.857	202.000				
4.0~ 5.0	5	6	410	2.439	147.000	5~1	12.38	4.184	482.000
5.0~ 6.0	〃	3	445	2.474	157.000	5~2	12.29	3.995	439.000
	〃	4	424	2.594	166.000				
6.0~ 8.0	〃	1	230	2.608	168.000	5~3	11.42	4.413	536.000
	〃	2	255	2.352	137.000				
	〃	5	239	2.092	108.000				
4.0~ 5.0	7	3	287	1.742	75.000	7~1	14.64	3.490	335.000
5.0~ 6.0	〃	6	431	1.160	33.000	7~2	11.79	4.418	537.000
	〃	7	451	1.108	30.000				
	〃	8	264	1.893	88.000				
	〃	2	486	1.028	26.000				
6.0~ 8.0	〃	4	236	2.118	111.000	7~3	12.05	4.190	483.000
	〃	5	221	2.261	126.000				
	〃	1	284	1.760	76.000				

表-5 亀 裂 係 数

横 坑 (No.)	測 点 (No.)	岸 別	標 高 (m)	測 定 深 度 (m)	現場における (Vo)伝播速度 km/sec	室内における (VR)伝播速度 km/sec	亀裂係数	平 均
3	6	左岸袖部	316	4.0~ 6.0	1.133	3.185	64.4	64.4
〃	4	〃	〃	6.0~ 8.0	1.101	4.297	74.3	74.6
〃	5	〃	〃		1.123		75.0	
〃	7	〃	〃		1.084		74.7	
〃	1	〃	〃	8.0~10.0	1.392	4.875	71.4	73.0
〃	2	〃	〃		1.201		75.5	
〃	3	〃	〃		1.193		75.5	
〃	8	〃	〃		1.466		69.9	
4	13	〃	333	5.0~10.0	1.089	3.296	66.9	68.3
〃	14	〃	〃		1.010		69.3	
〃	15	〃	〃		1.030		68.7	
〃	7	〃	〃	10.0~18.0	1.404	3.768	62.7	47.3
〃	8	〃	〃		1.718		54.4	
〃	9	〃	〃		2.092		44.4	
〃	10	〃	〃		1.628		56.5	
〃	11	〃	〃		1.278		66.0	
〃	12	〃	〃		1.253		66.7	

横 坑 (No.)	測 点 (No.)	岸 別	標 高 (m)	測定深度 (m)	現場における (Vo)伝播速度 km/sec	室内における (VR)伝播速度 km/sec	亀裂係数	平 均
4	1	左岸袖部	337	18.0~22.0	2.890	4.174	30.7	34.4
〃	2	〃	〃		2.717		34.9	
〃	3	〃	〃		2.659		36.2	
〃	4	〃	〃		2.717		34.9	
〃	5	〃	〃		2.577		38.2	
〃	6	〃	〃		2.857		31.5	
5	6	右岸袖部	300	4.0~ 5.0	2.439	4.184	41.7	41.7
〃	3	〃	〃	5.0~ 6.0	2.474	3.995	38.0	36.5
〃	4	〃	〃		2.594		35.0	
〃	1	〃	〃	6.0~ 8.0	2.608	4.413	40.9	46.7
〃	2	〃	〃		2.352		46.7	
〃	5	〃	〃		2.092		52.5	
7	3	〃	321.88	4.0~ 5.0	1.742	3.490	50.0	50.0
〃	6	〃	〃	5.0~ 6.0	1.160	4.418	73.7	70.6
〃	7	〃	〃		1.108		74.9	
〃	8	〃	〃		1.893		57.1	
〃	2	〃	〃		1.028		76.7	
〃	4	〃	〃	6.0~ 8.0	2.118	4.190	49.4	51.1
〃	5	〃	〃		2.261		46.0	
〃	1	〃	〃		1.760		57.9	

表-6 亀裂係数による岩盤の分類

亀 裂 係 数	分 類
25%以下	きわめて良質
25~50%	良質堅岩
50~65%	健岩
65~80%	やや不良
80%以上	不良

岩盤の良否の目安として亀裂係数を用い、次のような分類が試みられている。しかしこれはあくまでも相対的な表現であつて、これに岩質条件を加味せねばならないことは当然である。

表-7はさきに実施した岩盤変形試験によつて求められた弾性係数 (Es) とこれに対比される地点におけるEPを比較したものである。これによるとEP/Esは3号坑では1.02、4号坑では3.8、5号坑では2.2、7号坑では5.5という値を示している。

あとがき

以上測定結果の概要について述べたが、この方法は簡

表-7 Ep と変形試験による Es

横 坑	測定深度 m	Ep kg/cm ²	Es kg/cm ²
3	8.0~10.0	43.000	42.000
4	10.0~18.0	62.000	33.000
4	18.0~22.0	186.000	32.000
5	6.0~ 8.0	138.000	63.000
7	6.0~ 8.0	104.300	19.000

単かつ経費が少ないという良い点があり、かなり利用しうる見透しを得た。しかしまだ試験データが少ないことまた人工地震によつて求められたEdとの対比ができなかつたことなど、今後残された問題は多い。また亀裂係数と岩盤改善効果の関係については今後に残された大きな問題である。またこれと関連して岩盤の良否の分類についても、亀裂係数と岩質条件の組み合わせによつて、かなり詳細にかつ現場の要求に即した表現も可能となるであろう。

終わりにのぞみ現地で種々御協力いただいた金山ダム調査事務所の関係各位に厚く御礼申し上げます。