ボーリング孔間弾性波測定

神田 祐太郎*

Well-to-well Seismic Measurements

By Yutaro KANDA

Abstract

Generally speaking, the so-called seismic exploration was usually executed on the earth surface, and the geological structure of deep rocks was to be assumed from the data of geological survey and the result of the seismic explorations on the points of the earth surface.

However, in such case of the exploration at the site for the underground power station which is 600 meters deep from the surface, it is necessary to get more accurate results.

In this paper, the writer described the fact that the geological condition of such deep rocks and the influence of Isegami Fault, which is the main faults in this region, were concluded from the well to well seismic measurements, utilizing those holes drilled to the depth of 600 meters at the triangular position. The distance between those wells was about 200 meters, and those deep well geophones, whose diameter were 40 mm, could bear the water pressure of 80 kg/cm². The cables connecting those wells were especially designed with 14 pieces (6 elements) using stainless wire in order to bear enough the tensile strength of 800 gr.

Reasonably accurate records were obtained by shooting 100 to 200 gr primer charges in one well bottom.

1. 序 論

地下数百米の深部の岩盤の状態を知る新しい試みとして、中部電力株式会社および電力中央研究所の御協力のもとで、地下発電所地点候補地における調査として孔間弾性波測定および解析が行なわれた。

この発想は高層建築基礎地盤の沖積層や洪積層における地表→孔内、孔→孔間の測定の情報および解析から得たものである。

既に池田和彦他¹⁾(1966)は施工中のトンネルの低速度帯(断層破碎帯)の予知法としてトンネル切羽からの弾性波を地表で記録し、その情報を解析して断層の傾斜角を検出する論文を記述している。筆者も道路トンネルの地質調査で深度数十米のボーリング孔を利用して孔間距離十数米の記録の解析を行なったことがある(静岡県石部トンネル Nove. 1971)。また Bois, P., etc.²⁾(1972)は貯油層開発の新しい試みとして Well-to-well Seismic Measurements を行ない深部の地質構造の解明を報告している。

高層建築の基礎地盤に対する孔間測定では上下動 12 連間隔 2m の受震器を用いると、地下に速度の異なる層が水平に近い状態で存在する場合、発震点と受震点の相

互位置によって初動の向きが異なってくることから、高速度層と受震器の関係および屈折の法則に従う弾性波の径路が明瞭となるので、孔間の速度層の分布をかなり精密に検出できる。鈴木武夫³⁾(1971)、橋清和他⁴⁾(1972)。また油田開発の孔壁検層には Sonic log が考案されているが孔間の測定には適さない。孔内用受震器は従来の調査で深度 200 m までは経験済みであるが、今回の測定の如く最大深度が 573 m に達し、しかも地下水位が高く約 60 kg/cm² の水圧に耐えなければならないしまたボーリング孔を受震器に合わせて大きくすることは深層ボーリングにおいて費用が嵩むことなどから、ボーリング孔壁保護のため挿入された塩ビ管の最小内径 50 mm に対しても容易に昇降できるように受震器を外径 40 mm で設計した(写真 1-a)。受震器間隔は 10 m で 6 連とし、受震ケーブルは予備としての 2 芯を含む 14 芯で張力荷重 800 kg に耐えるようステンレスワイヤーを入れクロストークに注意をはらって設計した。震動源としては超深海用 Primer 爆薬を外径 40 mm で薬量 50 gr および 100 gr のものを(写真 1-b)日本火薬株式会社に特別注文し、起震用ケーブルは発火用と爆破瞬時伝達用の 4 芯にステンレスワイヤーを入れ 600 m のものを製作した。受震器および Primer の昇降は電動ウインチを用い降下深度指示装置をとりつけて使用した。写真 2 は受震器降下作業

* 日本物理探鉱株式会社

写真 1-a ボーリング孔より引揚げ中の受震器

写真 1-b 超深海用 Primer 爆薬 100 gr と 50 gr および深海用電気雷管

写真 2 受震器降下作業（左端・ボーリング孔と案内輪；中央・記録装置；右・受震ケーブルと電動ウィンチ；右下・発電機）

を示すもので、表 1 は測定装置の概要をまとめたものである。

2. 発破と記録作業

ボーリング孔内で Primer を爆発させると爆発付近の孔壁が破壊されるので、一度起震点として使用したボーリング孔内へ受震器を降下させるのは危険で好ましくない。

ボーリングの状況および測定の手順を以下に述べる。

No. 1 (掘進長 573.10 m)、No. 2 (掘進長 500.40 m) および No. 3 (掘進長 534.30 m) のボーリングが一辺を 200 m とする正三角形の頂点の位置にワイヤーライン工法によって掘削された。最終の孔径は 85 mm であり、孔壁保護のため V.P. 50~60 の硬質塩ビ管を挿入した。塩ビ管の継手はソケットを使用することなく接続部に相互テーパ加工を施し接着剤を使用し、自重によって離

表 1 深孔用弾性波測定装置

名 称	個 数	方 式	性 能
受 震 器	2 組	動線輪型上下動、間隔 10 m 6 連	固有周期 28 Hz、内部抵抗 215 Ω 、感度約 0.15 V/kine
受震ケーブル	200 m 3 組	ウィンチ用巻棒および耐水圧接続器付、7 対撚線ステンレスワイヤー入り	外径 13.5 mm、引張強度 800 kg、クロストーク 70 db 以上
起震ケーブル	600 m 3 組	ステンレスワイヤー入、0.5 mm ²	外径 8 mm、引張強度 150 kg
受震ケーブル ウィンチ	1 台	100 V・0.4 kW モーター、スパーギヤーおよびローラーチェン、伝導トルクリミッター付、正逆両回転	巻揚速度 8~12 m/min リミッター調整範囲 5~15 kg・m
起震ケーブル ウィンチ	2 台	0.25 kW 直捲モーター、スパーギヤーおよびローラーチェン、伝導トルクリミッター付、正逆両回転	巻揚速度 20~40 m/min リミッター調整範囲 1~3 kg・m
受震ケーブル 案内輪	1 台	据置型ケーブルカウンタならびに警報ブザー付	軽合金製 重量 40 kg
起震ケーブル 案内輪	2 台	同 上	軽合金製 重量 35 kg

表 2 孔間測定受震区間と起震点 (図 1 参照)

受震区間 (m)	起震点 (m)	受震区間 (m)	起震点 (m)
No. 3, 526~476	No. 2, 460	No. 1, 572.1~522.1	No. 2, 406
476~426	460	522.1~472.1	403.5
426~376	460	472.1~422.1	402
376~326	409.5	422.1~372.1	402
			No. 3, 525
			525
			525
			496

脱するのを防ぐためピアノ線で吊りながらセットした。孔間速度を計算するためには起震点受震点間の距離の誤差はできる限り小さくしなければならぬので、ボーリングの孔曲りは掘進 10m 毎に村田式と Tro Pari 式を併用して測定した。各孔の最終深度における孔曲りは、No. 1—45.17 m, No. 2—47.46 m, No. 3—41.71 m あった。このため却って塩ビ管も受震器も孔壁の一方へ圧着することとなり好都合であった。

孔間測定の解析の助けとするため各孔の孔壁速度測定を行なった。このためそれぞれのボーリング孔のわき 20m のところへ検層起震用ボーリング孔 No. 1' (長さ 21m), No. 2' (長さ 17m) および No. 3' (長さ 19m) を最終孔径 76mm で掘った。孔壁検層用震源は普通ダイナマイト 100~50 gr である。

孔間測定の順序は (1) No. 2 孔の深度 493.9~440.0 m までの孔壁測定を行ない, (2) No. 3 深度 526.0~326.0 m までの孔壁測定を行ないながら No. 2 の深度 460 m で 3 回, 409.5 m で 1 回の爆発による No. 2→No. 3 孔間の測定を行なった。Primer 爆薬は 1 回につき 200 gr である。はじめの 3 回は 460 m の深度で起震したが 4 回目は前回の深度まで爆薬が降下しないので 409.5 m の深度で爆発させた。Primer はそれ自体比重が大きいので爆薬の下に直径 30 mm 長さ 200 mm の鉄棒をつけて降下を助けた。(3) 記録装置を No. 1 孔へ移し深度 572.1~372.1 m までの孔壁測定を行ないながら No. 2

の深度 406 m, 403.5 m, 402 m, 402 m の爆発による No. 2→No. 1 孔間測定と (4) No. 3 の深度 525 m で 3 回, 496 m で 1 回の爆発による No. 3→No. 1 孔間測定を順次交互に行なって記録を撮った。孔間測定の受震区間と起震点の関係は表 2 に示す如くである。

Primer 爆薬爆発点の深度は地表から 400~525 m であり水圧は 40~50 kg/cm² がかかっている。同一深度で 2~3 回の爆発は可能であり、発破線の断線によって No. 2 において不発が 1 回あった。孔壁保護のための硬質塩ビ管は、孔口で網管ケーシングへ結締した程度で飛出すことは全くなかった。爆発と同時に写真 3 に示すような水の噴出があった。

写真 3 No. 2 孔における爆発後の水の噴出, (案内輪と深度指示カウンター, 上方は爆薬取扱所)

図 1 No. 2→No. 1 孔間測定模式図

発破技術は特別なことはないが、普通ダイナマイトは 100m 以上の水深では斉発しないので超深海用 Primer を特別注文し、50 gr は 4 ケ, 100 gr は 2 ケをまとめて薬量 200 gr とし、深海用瞬発電気雷管によって発破する。爆薬には発破時伝達のリレー線を巻き、この電流が爆発によって断たれた瞬間をオシログラフに伝達して震動の情報と同時に記録する。1 日の作業として 1 つの孔間および孔壁測定ができた。

受震器へ到達した地震波は、陸上における弾性波測定と同じように、増幅器 (利得 85 db...5~500 Hz, 高域減衰波 5 段) を通じ電磁オシログラフ (振動子 G300 A,

固有振動数 300 Hz; 内部抵抗 20 ohms, 臨界制動抵抗 25 ohms, 直流感度 30 mm/mA/30 cm) によって刻時装置による 1/100 sec (約 6 mm) の目盛と共に 125 m 幅の長尺プロマイドに記録される。初動の走時は 0.05/100 sec 程度の精度で読むことができる。

3. 解析の方法

孔壁速度の決定……孔壁の速度は 2 点間の距離 (10 m) を走時差 Δt で除したものである。即ち

$$v_n = 10 \text{ (m)} / \Delta t \text{ (sec)}$$

或る 1 点に関する読みの誤差をできるだけ消去するため 2 点間平均速度 v_m を

$$v_m = \{(v_{n-1}) + 2(v_n) + (v_{n+1})\} \div 4$$

によって求め、さらにボーリング柱状図の顕著な境界を一致せしめるように平均して、その境界間の速度を決定する。

孔間速度の決定……初動の伝播時間を用いて孔間の弾性波速度を決定するのであるが、孔壁速度分布の資料を利用して孔間の速度分布を仮定し、弾性波径路を記入してその所要時間と、初動の伝達時間を繰返しによって一致せしめる方法によった。

地震波が一つのボーリング孔 B_i において発せられ、他のボーリング孔 P_j で記録されたとき図 2 の如く $B_i P_j$

図 2 孔間測定の図
 B_i …発震点 P_j …受震点
 $B_i P_j$ …孔間径路

のような波の初動の走時 t_{ij} は

$$t_{ij} = \int_{B_i}^{P_j} \frac{ds}{V}$$

である。ここに ds は微小径路、 V は孔間に分布する弾性波速度である。

ここで、孔間測定を解析するには 2 つの問題がある。即ち

(1) は与えられた速度分布に対して初動の走時を計算する。

(2) は初動の走時から弾性波速度を決める。

(1) の問題は理論的に困難ではないが、(2) の問題は平均速度を決定する点で問題はないとしても、異なった速度が分布する問題については多くの不確かさがある。

例えば弾性波は孔間の一平面内を伝わると仮定し、均一と推定されればただ一つの縦波速度が考えられる。そこで、

(1) 速度分布を仮定しそれに対応する初動の走時を計算する……それにはまず与えられた起震点から与えられた受震点への最短時間の径路を決めなければならない。弾性波の径路を決めるには孔壁測定から得た資料に基いて孔間の速度を仮定する。特定の起震点から与えられた受震点へ到達する数本の弾性波径路から最短時間の径路が選ばれる。

径路の挿入は Snell の法則 $\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{V_1}{V_2}$ (i_1, i_2 はそれぞれ速度 V_1, V_2 の層側の入射角, 屈折角) によって決まる。

このようにして孔間の二次元的な問題は解決できるとしても孔間の断面から外れた三次元的な問題の解決は困難である。地表踏査、地表弾性波および孔壁の速度検層などの資料があっても孔間深部の地質構造を決定するのに躊躇するような場合にはこの孔間測定の初動到達時間は一つの重要な情報となる。

(2) 任意の速度分布から出発して走時が計算され、測定した走時 t_{ij} と比較する……そのときの差から速度値に変更が加えられ、新しく走時が計算されて測定値と対比する。こうして実験誤差 (0.05/100 sec) の単位のオーダーで計算値と測定値の差が縮まるまでこの操作を継続する。

時としてこの方法で許容の誤差まで縮めることができない場合がある。こんなときは推定速度を根本的に変える必要がある。

(2) の問題での大きな障害は問題の解が唯一つだけではないことである。極端な言い方をすれば解の数は無限にあると言える。しかし同一受震点へ、または同一起震点からの径路の数が増せば不正確さの度は減る。

4. 現場測定の結果

現場は標高 670~720m の山地であり、地質は領家内

図 3 調査地点と付近の地形、地質図

帯の黒雲母花崗岩を主とする。現場の東側を北東方向に走る伊勢神断層に最も近い No. 1 ボーリングは約 350m 離れているが、全般的に岩盤には割れ目が発達していてボーリングコアは岩等級 $C_m \sim C_l$ 級と判定された部分が多く $C_h \sim B$ 級と判定される部分が比較的少ない。検層の結果と等級の対比したものを図 4 に示した。

孔間の測定記録は 125mm 幅のプロマイドに記録される (図 5)。タイムマークの目盛 (1/100 sec) の間隔は約 6mm である。これを各孔間毎にまとめたものを図 6, 図 7, 図 8 に示してある。ほとんどの記象にははっきりと見分けられる第 2 動がない。受震器は上下動成分であるので、屈折波の第 1 動が下向きのものについては、受震点よりも起震点の標高が高いことおよび受震点の上部に大きい速度の層がある場合と考えられる。得られた記象および解析に用いる径路の数は 65 である。

解析方法……起震点と受震点の距離 D を走時 t_{ij} で除したものが平均速度 $\bar{v}$ である。

図 4 ボーリング検層結果と等級判定 (岩石は黒雲母花崗岩を主とする……一部分麻状花崗岩および雲母片岩)

図5 No. 2 孔底 409.5 で起震し 200m 距った深度 326~376 の孔内で受震した記録

図6 S.P. No. 2 より起震した波を No. 3 孔内 526~326 においてとった記録 (レ印は初動の下向を示す)

図7 P.S. No. 2 より起震した波を No. 1 孔内 572.1~372.1 においてとった記録 (レの印は初動が下向きのもの)

図8 P.S. No. 3 より起震した波を No. 1 孔内 572.1~372.1 においてとった記録 (レの印は初動が下向きのもの)

$$\bar{v} = D/t_{ij}$$

距離 D はボーリング孔の孔曲りを“村田式および Tro Pari 式”で正確に測量されている。受震点の座標 (X, Y, Z) と起震点の座標 (X_0, Y_0, Z_0) を用い次式によって求めた。

$$D = \sqrt{(X - X_0)^2 + (Y - Y_0)^2 + (Z - Z_0)^2}$$

孔間の初動走時 t_{ij} と距離 D および平均速度 $\bar{v}$ は表3に示した。

ボーリング孔間には当然低速度帯が存在するが求められた平均孔間速度もそれを暗示するが如く単純ではない。

No. 1 ボーリングから約 300m 離れたところにある伊勢神断層の影響を受けている主な破碎帯の走向傾斜を $N60^\circ E, 75^\circ NW$ と仮定すると、それぞれ孔間の断面へ現われる見掛けの傾斜角は No. 1—No. 2 で $70^\circ NW$, No. 2—No. 3 で $74^\circ NW$, No. 1—No. 3 で $36^\circ NW$ となる。この傾斜によって孔壁速度から孔間の速度分布図を作図することができる。作図によって得られた孔間速度分布に従い Snell の法則に基づく屈折波の径路を記入し、その所要走時を測定によって得られた走時と比較する。1 回目ではほとんどが測定値よりも $\frac{0.1}{100} \sim \frac{0.5}{100}$ sec 大きいという範囲におちつく。深部にある速度を少し大きく仮定して再度図上の走時を計算し、その誤差を最終的に $\frac{0.05}{100}$ sec 以内とした。No. 1—No. 2 では4回目, No. 2—No. 3 では3回目, No. 1—No. 3 では4回目の反復計算によって満足な結果に到達した (図9, 10, 11)。

表 3 孔間速度測定の深度および走時

ボーリング孔	受震器深度	起震点深度	各受震器への走時 t_{ij} , 直線距離 D , 平均速度 $\bar{v}$						
			(1 段目)		(2 段目)		(3 段目)		
No. 1 No. 1 No. 2	372.1~422.1	No. 2, 402 m	4.13	4.12	4.07	4.10	4.10	4.12	1/100 sec
			209.50	207.25	205.45	204.09	203.19	202.67	m
			5.07	5.03	5.05	4.96	4.96	4.92	km/sec
	422.1~472.1	No. 2, 402 m	4.10	4.20	4.12	4.20	4.13	4.30	1/100 sec
			202.67	202.65	203.00	204.25	205.33	207.51	m
			4.94	4.83	4.93	4.86	4.97	4.94	km/sec
	472.1~522.1	No. 2, 403.5 m	4.30	4.25	4.35	4.37	4.50	4.55	1/100 sec
			207.33	209.76	212.54	215.82	219.47	223.47	m
			4.82	4.94	4.89	4.94	4.88	4.91	km/sec
	522.1~572.1	No. 2, 406 m	4.53	4.70	4.80	4.95	5.00	5.13	1/100 sec
			223.45	226.96	231.53	236.57	241.62	247.49	m
			4.93	4.83	4.82	4.78	4.83	4.82	km/sec
No. 1 No. 1 No. 3	372.1~422.1	No. 3, 496 m	4.70	4.60	4.50	4.40	4.35	4.30	1/100 sec
			240.22	235.11	230.36	225.94	221.93	218.15	m
			5.11	5.11	5.12	5.14	5.10	5.07	km/sec
	422.1~472.1	No. 3, 525 m	4.40	4.32	4.25	4.25	4.18	4.15	1/100 sec
			232.69	227.92	223.52	219.44	215.74	212.44	m
			5.29	5.28	5.26	5.16	5.16	5.12	km/sec
	472.1~522.1	No. 3, 525 m	4.17	4.13	4.05	4.05	4.27	4.20	1/100 sec
			212.44	209.59	207.11	205.07	203.52	202.38	m
			5.09	5.07	5.11	5.06	4.77	4.82	km/sec
	522.1~572.1	No. 2, 525 m	4.20	4.18	4.10	4.23	4.20	4.30	1/100 sec
			202.38	201.76	201.59	202.01	202.78	204.23	m
			4.82	4.83	4.92	4.78	4.83	4.75	km/sec
No. 3 No. 3 No. 2	326 ~376	No. 2, 409.5 m	4.43	4.35	4.28	4.22	4.13	4.10	1/100 sec
			219.16	214.85	210.89	207.48	204.42	201.87	m
			4.95	4.94	4.93	4.92	4.95	4.92	km/sec
	376 ~426	No. 2, 460 m	4.32	4.20	4.10	4.03	4.00	4.00	1/100 sec
			218.61	214.26	210.02	206.69	203.46	200.96	m
			5.06	5.10	5.12	5.13	5.09	5.02	km/sec
	426 ~476	No. 2, 460 m	4.02	4.00	3.95	4.00	3.97	3.90	1/100 sec
			200.96	198.76	197.10	195.82	195.14	194.97	m
			5.00	4.97	4.99	4.90	4.92	5.00	km/sec
	476 ~526	No. 2, 460 m	3.90	3.90	3.87	3.92	3.95	4.00	1/100 sec
			194.97	195.31	196.26	197.71	199.56	202.07	m
			5.00	5.01	5.07	5.04	5.05	5.05	km/sec

図 9 No. 2→No. 3 の孔間速度分布図と波の径路 (図 4 の記録に対応する)

図 10 No. 2→No. 1 の孔間速度分布図と波の径路 (図 5 の記録に対応する)

図 11 No. 3→No. 1 の孔間速度分布図と波の径路 (図 6 の記録に対応する)

因みに孔壁速度検層の結果をマクロにみてその深度と共に速度が増加するとして最小二乗法によって $V=v_0+KZ$ なる式で表わすとそれぞれボーリング孔について次の式が得られた。(v_0 …検層最上部の速度; K …速度増加率; Z … v_0 より V までの深さ)

$$\text{No. 1 孔} \quad V=4760+0.34 \cdot Z \quad (\text{m/sec})$$

$$\text{No. 2 孔} \quad V=4800+1 \cdot Z \quad (\text{m/sec})$$

$$\text{No. 3 孔} \quad V=4940+1 \cdot Z \quad (\text{m/sec})$$

5. 地表弾性波測定結果との対比

この付近では水路トンネル経過地および地下発電所候補地としての弾性波探査が既に地表において実施されている。No. 1—No. 2 の線に最も近い測線口の弾性波探査結果を示すと図 12 の如くである。岩盤速度は 5.0~5.5 km/sec で 3.0 km/sec 以下の速度を示す破碎帯が数本存在する。破碎帯の傾斜を 75°NW と推定すると図 13 に示すように検層の結果および孔間測定の解析結果

図 12 測線口……0~550 の速度断面図 (地表弾性波探査より)

図 13 ボーリング検層, 孔間の結果と対比させて作図した, 測線口……0~550 の地質断面

を共によく満足させることが確認される。例えば No. 1 ボーリングの深度 460 m 以下にある $B \sim C_h$ 級の多い岩盤と地表での 0~110 の 5.5 km/sec の速度; 深度 450 付近の D 級の岩盤と地表での 110~130 の破碎帯; No. 2 ボーリングの深度 385 以下の岩盤状態と地表での 190~320 の 5.0 km/sec の速度; 深度 370~385 の D 級の岩盤と地表での 320~330 の破碎帯などが対比される。しかも今回の測定のように平面的に正三角形の位置で深いボーリングを行なって孔間測定を行なった場合は, 孔間の速度分布をもとにして任意の Formation の平面的な速度分布図を作図することも可能となる。

6. 結 語

深度 500 m 程度のボーリング孔内に装填した 200 gr の Primer 爆薬によって距離 200 m の他の孔内での受震記録をとり, 弾性波初動走時を $\frac{0.05}{100}$ sec の精度で測定することは可能である。孔内用受震器は上下動 27 Hz のもので耐水圧 80 kg/cm² に設計してこのために製作した。上下動成分の受震器は初動の方向によって波の径路を判定することができるので地質構造解析の一つの情報として利用できる。孔内の爆発によって塩ビ管が多少破損するので同一起震点は 2~3 回が限度である。6 連の受震装置であるから 1 回の起震による径路を 6 本記録できる利点がある。起震点をもっと多くとり, 受震孔と起震孔の関係を交換して数多くの初動の径路を解析することによって, もっと詳細な地質構造の解析が可能となると考えられるが, 今回の測定では起震点として使用したボーリング孔内へ受震器を降下させることは塩ビ管の破損のため起る危険を想定して実施しなかった。将来はいわゆる孔-孔間の往復測定を実施することを考えたい。Bois, P. etc.²⁾ (1972) は解析に大型コンピュータを用い短時間に数多くの繰返し計算を行なっている。

解析の過程として, 考えられた速度分布に対する初動走時を計算することは実際に行なってみるとこれは容易であるが, 測定された初動走時に対応する速度分布を計算することはむづかしい。幾つかの仮定したモデルで初動走時が計算されるが, 測定走時と甚しく誤差の大きいモデルは採用しないということなどから実験誤差 $\frac{0.05}{100}$ sec 範囲内の矛盾しない解析結果は得られるが絶対的な唯一つというものの解析は困難である。しかし地表弾性波や検層結果などを利用すれば孔間弾性波測定によって孔間での地質構造の解析は十分期待でき, 地下発電所のような深部の岩盤の地質状態のより詳細な調査を可能ならしめるものである。

この調査の受震器その他測定機器の設計製作は日本物

理探鉱株式会社機械開発部 (長谷川重則他), 測定は第一事業部 (橋清和他) が担当した。ボーリングの実施は日特建設株式会社で行なったものであり, 現場測定をはじめ解析に関して中部電力株式会社今井福三郎, 阪西信太郎, 山本正の諸氏の御協力を感謝します。

参 考 文 献

- 1) 池田和彦, 田中敏夫, 樋口岩雄 (1966): 掘削中の
- トンネルの断層予知法, 鉄道技術研究報告 No. 561
- 2) BOIS, P., M. LAPORTE, M. LAVERGNE, and G. THOMAS (1972): Well-to-Well Seismic Measurements, GEOPHYSICS; Vol. 37 No. 3
- 3) 鈴木武夫 (1971): ボーリング孔内検層によるミラージ層の確認, 地質工学第7輯
- 4) 橋 清和, 石沢 功, 長谷川重則, 神田祐太郎 (1972): ボーリング孔内の弾性波測定とその実例, 物理探鉱第25巻第6号