

PNC Ⅰ
会J7374 96 - 001

本資料は2000年 3月 31日付けで登録区分
変更する。

東濃地科学センター【研究調整グループ】

釜石鉦山 250m レベル坑道における シュミットハンマー起振による検層

(動力炉・核燃料開発事業団 契約業務報告書)

1996年2月

川崎地質株式会社

本資料は2000年3月27日付けで登録区分
変更する。

東濃地科学センター【研究調整グループ】

釜石鉱山250mレベル坑道における
シュミットハンマー起振による検層

(動力炉・核燃料開発事業団 契約業務報告書)

1996年2月

川崎地質株式会社



釜石鉱山 250m レベル坑道における シュミットハンマー起振による検層

野口静雄* 白 文茂*

要 旨

岩盤内に坑道を掘削した場合、坑道壁面付近には掘削影響領域が発生すると考えられる。これまでの調査では掘削影響領域は壁面から数10cm～1m程度と考えられる。この掘削影響領域を定量的に評価することは安全評価上必要であり、これを原位置で計測する技術確立しなければならない。

本試験は、坑道の掘削影響領域を定量的に把握できるための試験手法を開発することを目的としている。今回、釜石鉱山に分布する栗橋花崗閃緑岩のような弾性波速度の速い(5～6Km/sec) 岩盤において、シュミットハンマー起振による検層を行い、基礎的な知見を得た。

本報告書は、川崎地質株式会社が動力炉・核燃料開発事業団の委託により実施した調査の成果である。

契約番号 : 07C1236

事業団担当部課室及び担当者 : 東濃地科学センター 湯 佐 泰 久

* 川崎地質株式会社 本社開発部

A logging with a Schmidt hammer impulse in the EL. 250 m drift in the Kamaishi Mine

Shizuo Noguchi* and Bai Wen Mo*

Abstract

Excavating a drift through a rock mass, an excavation disturbed zone is formed in the vicinity of the drift wall. Previous works show a thickness of the excavation disturbed zone ranges between several tens centimeter and a meter. It is necessary to delineate the excavation disturbed zone quantitatively from the viewpoint of safety assessment, and to establish an in-situ measuring system.

This study was designed to develop a new method for detecting the excavation disturbed zone quantitatively. In the region of Kurihashi-granodiorite with a P-wave velocity of 5-6 km/s, a logging of elastic velocity was carried out. An elastic source was generated with hitting a Schmidt hammer against rock. This report shows the fundamental information obtained through the experiment.

Work performed by KAWASAKI GEOLOGICAL ENGINEERING CO., LTD. under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation(PNC).
PNC Liaison: Yasuhisa Yusa, TONO Geoscience Center, Geological Environment Research Section

* KAWASAKI GEOLOGICAL ENGINEERING CO., LTD.

目 次

	P
1. 概 要 -----	1
1.1 目 的 -----	1
1.2 件 名 -----	1
1.3 範囲及び数量 -----	1
1.4 場 所 -----	1
1.5 期 間 -----	1
2. 調査方法 -----	3
2.1 P波検層の実施方法 -----	3
2.2 データの解析方法 -----	7
3. 調査結果 -----	9
3.1 P波検層の記録波形 -----	9
3.2 P波伝播速度分布 -----	18
3.3 起振・受振波形の周波数 -----	20
4. 考 察 -----	20
4.1 シュミットハンマー起振によるP波検層について -----	21
4.2 平成6年度と今回のP波検層速度分布の比較検討 -----	25
4.3 調査手法の適用性について -----	26

巻末 現場記録写真

1. 概要

釜石鉱山では、掘削影響領域の評価に関する研究を実施している。これまでの調査では掘削影響領域は坑道壁面から数10cm～1m程度と考えられる。釜石鉱山に分布する栗橋花崗閃緑岩のような弾性波速度の速い（5～6Km/sec）岩盤において、坑道のごく近傍の岩盤を対象として弾性波を用いた調査を行う場合、発振器から受振器までの弾性波速度の到達時間が短いために、受振波の到達時間の読み取り誤差が大きく、弾性波速度を正確に求めることができない。このような場合、周波数の高い弾性波を用いれば、弾性波速度を正確に求めることができる。このため、通常の調査よりも周波数が高い弾性波を発生すると考えられるシュミットハンマー起振により検層を行い、坑道周辺の弾性波速度分布を求める。

1.1 目的

本調査は、シュミットハンマー起振によるP波検層手法の掘削影響領域を把握することに対する適用性の評価が主たる目的である。

1.2 件名

釜石鉱山250mレベル坑道におけるシュミットハンマー起振による検層

1.3 範囲及び数量

シュミットハンマー起振によるP波検層（水平ボーリング、KDT-1孔及びKDT-2孔において、測定は原則的として測定深度5m、測定ピッチ0.25mである）

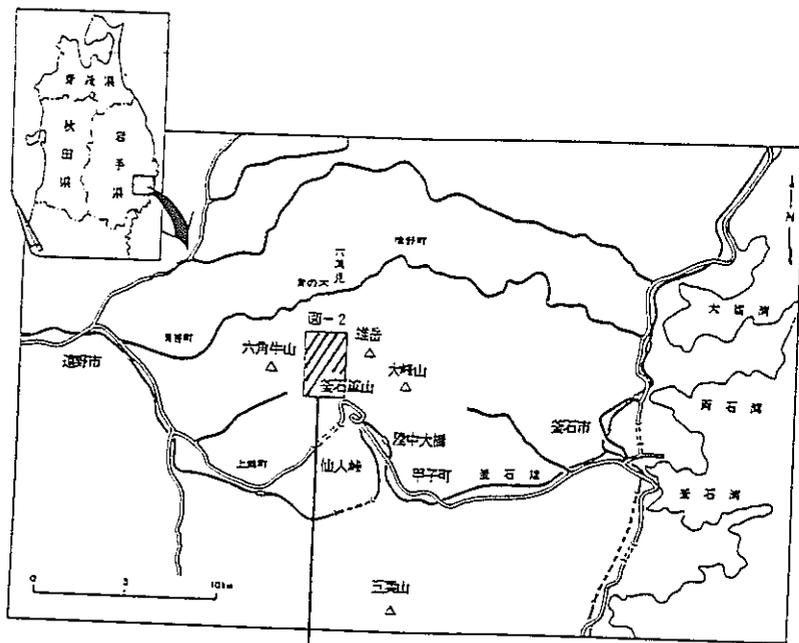
1.4 場所

岩手県釜石市甲子町第一地割八十、釜石鉱山250mレベル坑道内

（図1.1 調査地点位置図）

1.5 期間

平成 7年11月10日～平成 8年 2月15日



釜石鉱山位置図

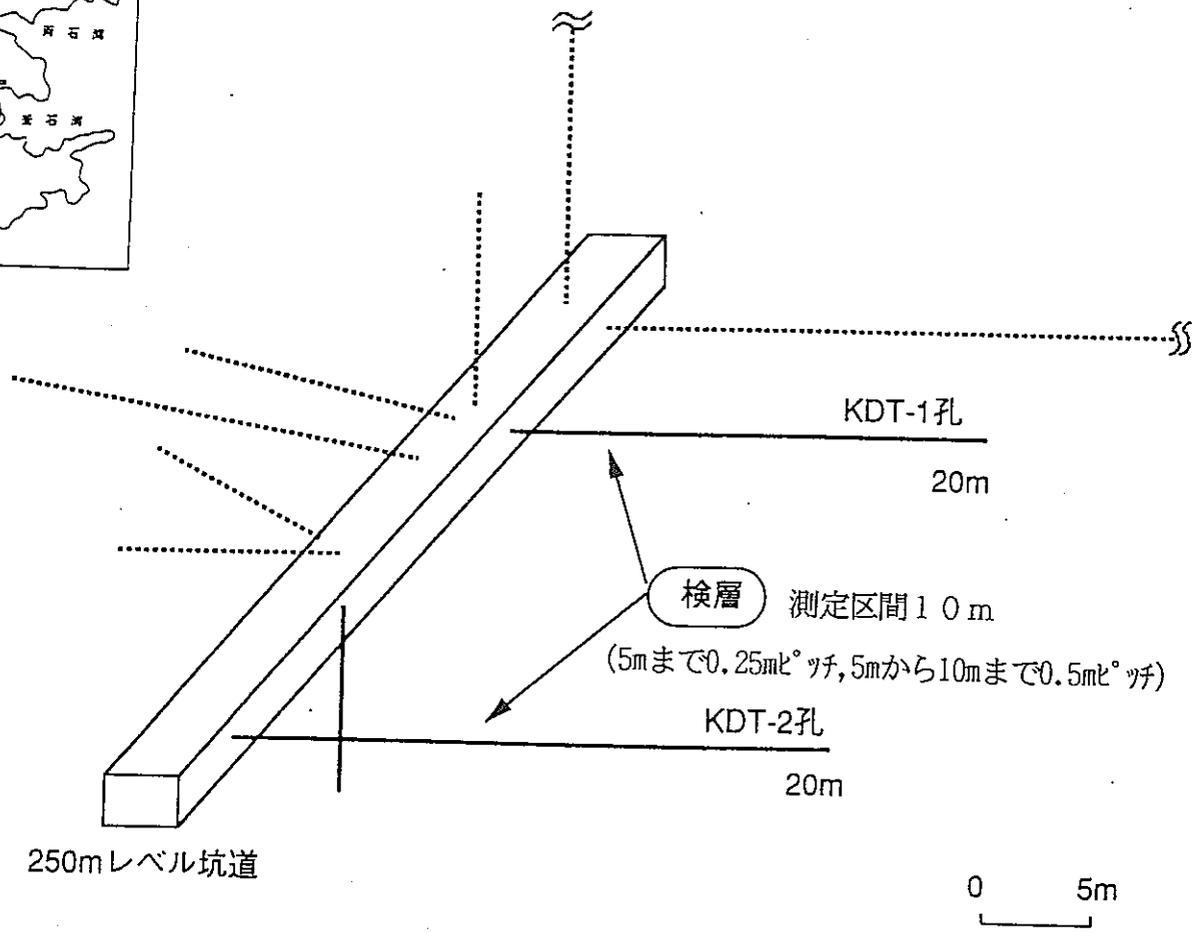
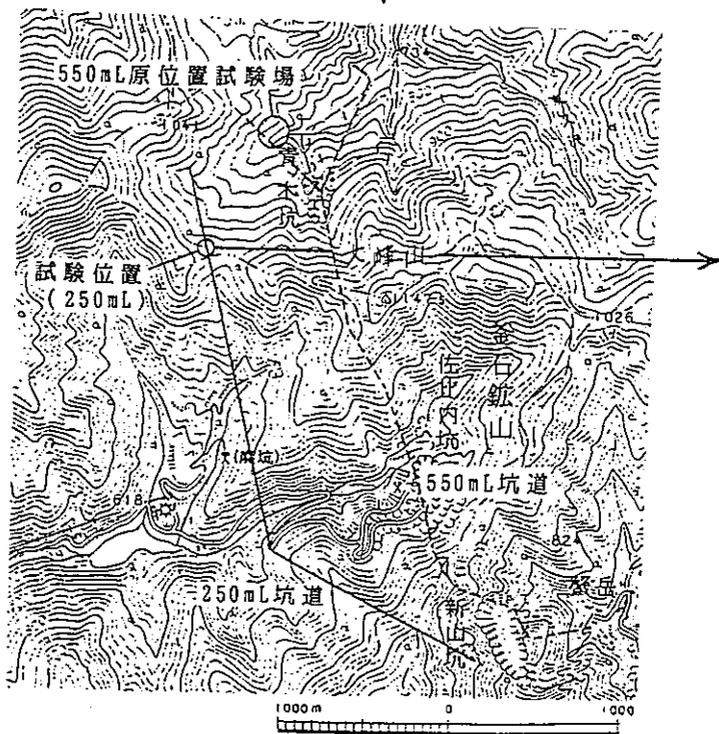


図1.1 調査地点位置図

2. 調査方法

2.1 P波検層の実施方法

(1) 測定方法

今回の測定方法は以下のとおりである。図2.1にはシュミットハンマー起振によるP波検層の概念図を示す。

- ① シュミットハンマーを用いて坑道壁面で起振して、弾性波を発生させる。
- ② 発生された弾性波が岩盤中を伝播してその波動を孔中内と起振点付近（基準点；孔口より20cm距離）の両受振器で検出して、受振波形を測定する。
- ③ 測定は、250mレベル坑道から水平に掘削されたKDT-1及びKDT-2孔（ ϕ 76mm、深度20m、水平孔；図1.1 調査地点位置図参照）において、坑道壁面から深度5mまで25cmピッチで実施した。
- ④ なお、可探距離を確認する意味において、5mから10m深度まで50cmピッチでも測定を追加して行った。
- ⑤ 孔中における岩盤と受振器の結合を高める必要があるためゾンデを油圧ジャッキにより確実に固定した。この時のジャッキ固定は、約 $3.0\text{kg}/\text{cm}^3$ とした。

(2) 測定装置

今回使用した測定装置は以下のとおりである。図2.2にこのP波検層システム系統図を示す。また、表2.1に使用機器の仕様一覧を示す。

- ① シュミットハンマーを用いた起振源であるため周波数の高い弾性波が発生すると予想される。したがって、通常よりも高い周波数領域まで応答性が良い3軸圧電型加速度センサーを内蔵した孔内受振器（ゾンデ）を使用した。また、基準点の受振器も同様に圧電型加速度センサーを用いた。図2.3に今回使用したゾンデの構造図を示す。
- ② 測定システムは、高周波数帯域型の受振器と増幅器を通じて、その出力に16bitでA/D変換の可能なデジタル記録器を接続した。デジタル時のサンプリングレートは、弾性波速度の速い（5～6Km/sec）岩盤であることより、測定点間隔の狭い（0.25mピッチ）測定であるために $40\mu\text{sec}$ （25kHz）として、弾性波速度を正確に求めるようにした。
- ③ このシステムの総合周波数特性としては、フィルターを使用していないので、3Hz～5kHzまで一様な応答性を持っている。

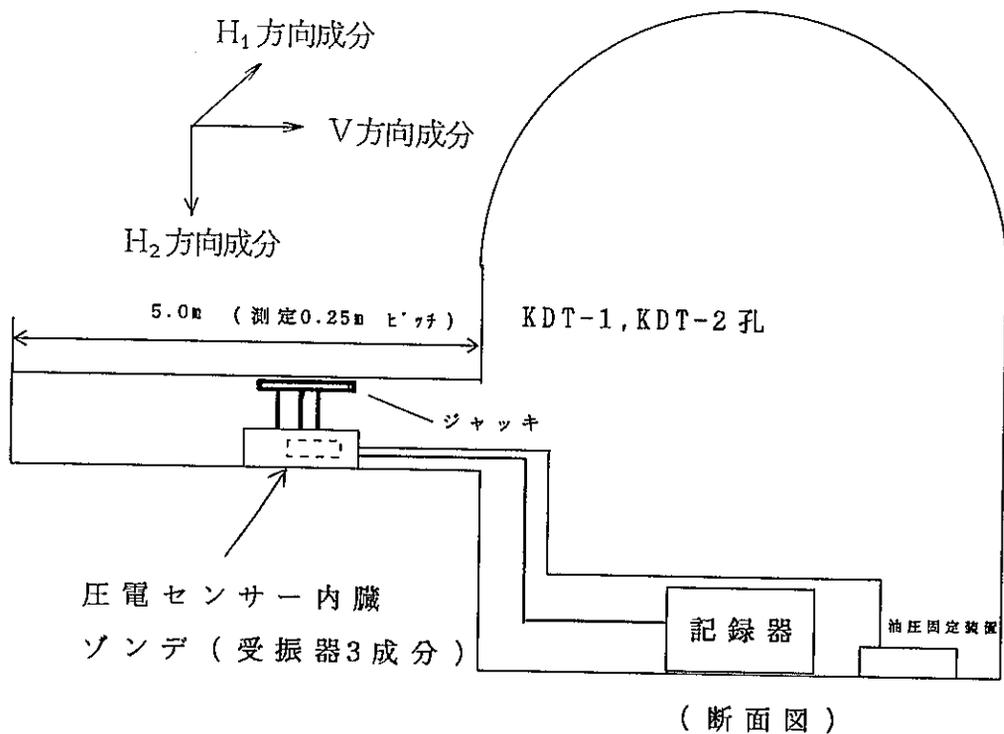
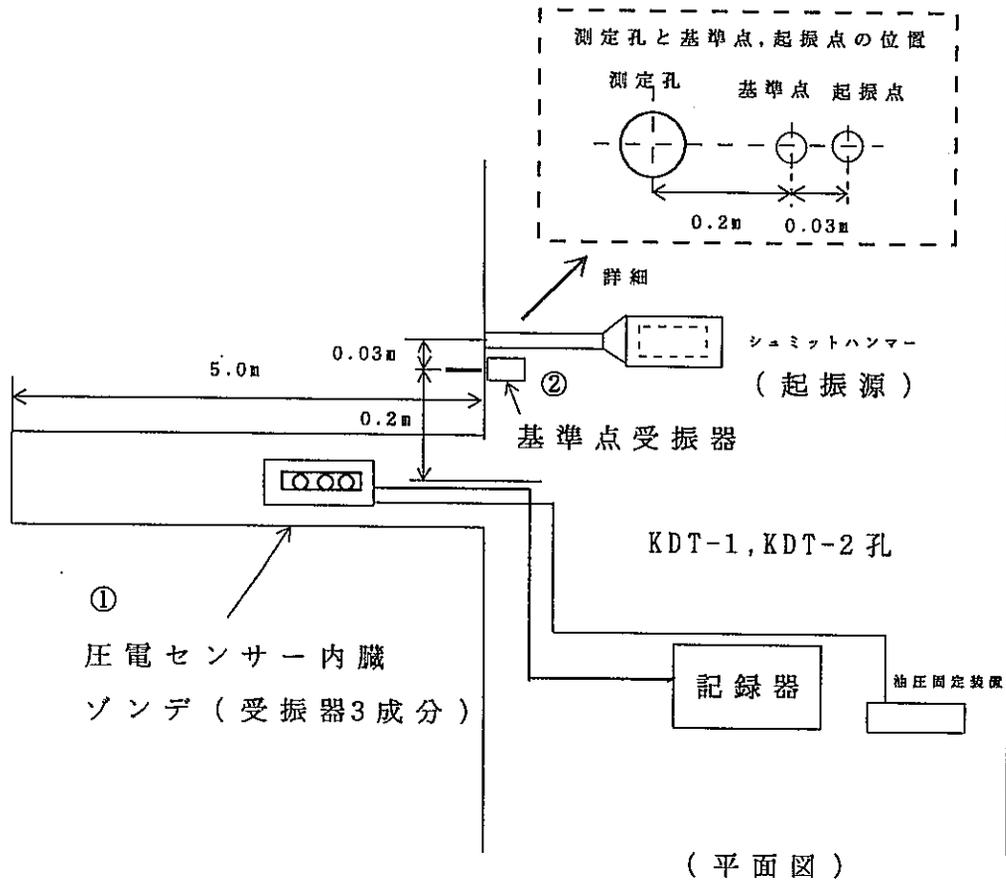
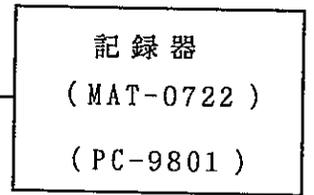
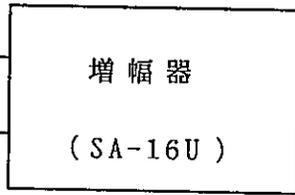
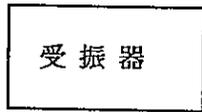
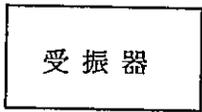


図2.1 シュミットハンマー起振によるP波検層概念図

① 孔内3成分ゾンデ



② 基準点



(f; DC ~ 20KHz)
(利得; 1 ~ 1000 倍)

(A/D ; 16bit)
(サンプルリソク ; 40 μ sec)

圧電加速度
センサー 708
(f; 3Hz ~ 10KHz)

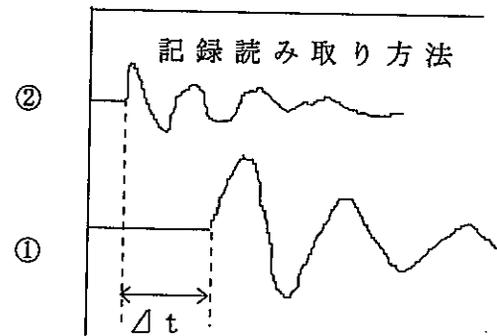


図 2.2 P波検層システム系統図

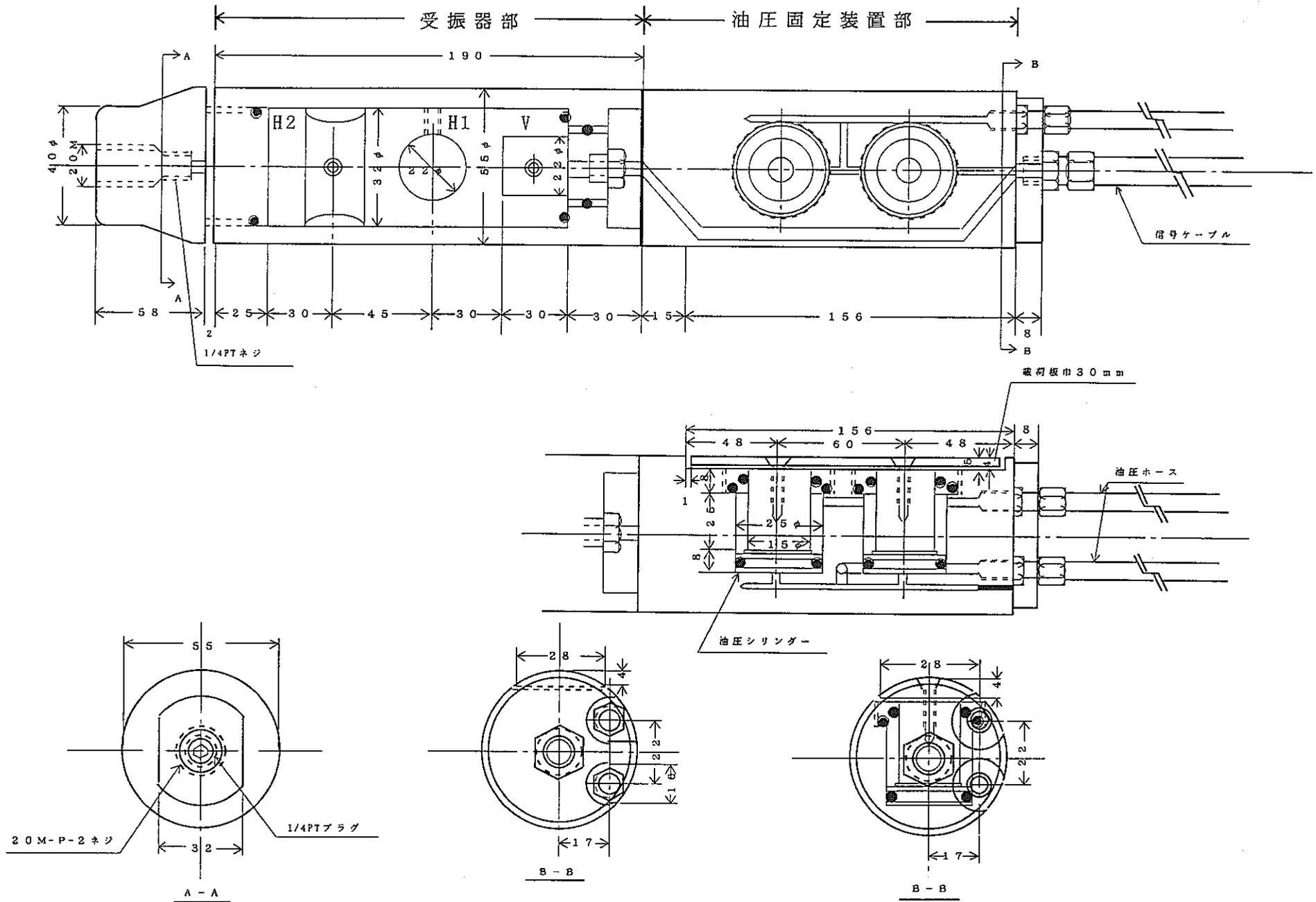


図2.3 ソンドの構造図

表2.1 使用機器仕様一覧表

項目	型式	仕様	メーカー
増幅器	SA-16 4台	チャンネル数 1ch×4台 利 得 1,2,5,10,20,50,100,200 500,1000倍 入力インピーダンス 1MΩ 出力インピーダンス 1Ω 周波数特性 DC~50KHZ フィルター LPF 10,30,100,300,1000HZ 3000HZ,PASS 校正電圧 +10,30,100mV 電 源 AC100V,DC11~15V 重 量 1.2kg×4台 外形寸法(1台) 60(W)×100(H)×230(D)mm	TEAC
圧電型加速度 センサー (3成分内臓 ゾンデ)	708 3個 (1式)	共振周波数 約40KHz 感 度 3mV/G 出力インピーダンス 300Ω 周波数応答 3~10KHZ アーム式圧着方式 油圧ジャッキ 使用最大加速度 ±10,000G	TEAC (センサー) 川崎地質 (ゾンデ)
基準点センサー	708	センサー部 同上	TEAC
(1) 記録器 (整合器)	MAT-0722	チャンネル数 7ch 利 得 20~116db(4dbステップ) 入力インピーダンス 10KΩ 出力インピーダンス 60Ω 周波数特性 16~10000Hz フィルター LPF 25,100Hz,300Hz 発振器 15Hz正弦波 電 源 7.5V (UMI×10本) 重 量 7kg 外形寸法 410(W)×226(D)×145(H)mm	B.S
(2) 記録器 (パソコン)	PC-9801	A/D 変換 16bit, チャンネル数 12チャンネル RAM 640K フロッピーディスク 1M/640Kバイト,3.5インチ2ドライブ ディスプレイ NTN型白液晶 電 源 D.C12V	NEC
起振源	SCHMIDT 1台	シュミット・ロックハンマー 衝撃エネルギー 0.225mkg 総重量 2.7kg 本体寸法 135(D)×290(H)	富士物産 (株)

2.2 データの解析方法

P波検層の解析方法の概要を以下に示す。

(1) P波初動到達時刻の読み取り

検層により得られたデジタル記録は、パソコン (PC-9801) を用いて各深度毎に波形のトレース図を作成するとともに、P波初動を確認しながら、各深度での基準点と測定点の両デジタル記録をパソコンにディスプレイしてサンプリング間隔毎 (1デジット: $40\mu\text{sec}$) にCRT画面上のカーソルを移動させて初動位相の到達時間を求める。

(2) P波の走時曲線の作成と伝播速度の決定

先に求めた各測定点でのP波到達時間 (TP_i) と伝搬距離 (R_i) の関係をグラフ化した走時曲線を作成し、その傾きから岩盤のP波速度分布を求めた。P波速度及び伝搬距離は次式から求めた。

伝搬距離 (R_i) ;

$$R_i = \sqrt{a^2 + z_i^2} \quad (\text{m}) \quad (2.2.1)$$

ただし、 a ; 起振点から調査孔までの水平距離(m)

z_i ; 測定深度(m)

i ; 1~n

P波速度 (V_p) ;

$$V_p = \frac{R_i - R_n}{TP_i} \quad (\text{m/sec}) \quad (2.2.2)$$

ただし、 TP_i ; P波の伝播時間 (sec)

$$TP_i = \Delta t_1 - \Delta t_n \quad (\text{sec}) \quad (2.2.3)$$

3. 調査結果

3.1 P波検層の記録波形

今回のシュミットハンマー起振によるP波検層で得られたデジタル記録は、アナログ記録の波形に変換したペーストアップ図を作成した。図3.1(1)、(2)、(3)及び図3.2(1)、(2)、(3)にKDT-1及びKDT-2のP波検層のアナログ記録波形を示す。図3.1(1)及び図3.1(2)の記録波形は、受振点からみて起振源に向かう水平方向つまり壁面からみて鉛直方向に伝播する波動を捉えた成分の波形である（以下、V方向の波形と呼ぶ）。また、図3.1(2)及び図3.2(2)の記録波形は、前での方向に直交する2成分のうちの1成分である（以下、H1方向の波形と呼ぶ）。また、図3.1(3)及び図3.2(3)の記録波形は、先のH1方向に直交する他の1成分（H2方向）である。このH2方向の記録波形においては、基準点の受振器の過大入力波形によるカップリングの影響を受けた出力波形になった。このようなカップリングには主として次の3つのことに起因すると考えられ、この現象が起こらないよう今後の課題として検討する必要がある。

- ①多チャンネルの場合に、測定系の負側ライン（-）が全チャンネルとも共通のため、チャンネル間で信号の漏れが生ずることがあり、特定のチャンネルに過大入力がかかると、これに隣接するチャンネルにリーク電流が入力端子に流れ込む。
- ②坑道内の湿気により電源ラインと信号入力端子間の絶縁抵抗が低下し、リーク電流が流れ安くなった。
- ③圧電センサーを用いた場合に、信号源インピーダンスがやや高いことにより、先の湿気による絶縁性の悪さに相まって過大入力電流の変化のため、隣接のチャンネルの回路に干渉した。これは周波数が高いほど甚だしく現れる。

今回は、壁面に対して鉛直に起振した弾性波（P波）を発生していることからして、V方向の波形のみを用いてP波伝播速度分布を解析する。

P波伝播速度を求めるに必要なP波の到達時間は、先のデータ解析方法で述べたようにパソコンのCRT画面上のデジタルサンプリング間隔毎のカーソル移動により確定した読み取り値とした。

図3.1(1)及び図3.2(1)に示したアナログ記録波形には、この読み取り点を「・」印で示した。なお、表3.1に走時読み取り一覧表を示す。ただし、KDT-2孔の深度0.2mのデータが無いのは、ゾンデの固定上の都合で、ゾンデ深度0.0mの測定波形を欠測したことによる。また、この読み取り一覧表の深度は、測定時のゾンデの深度と起振源から孔口までの距離により求めた伝播距離である。ただし、測定時のゾンデの深度は、ゾンデ部のV方向成分

受振器の位置する部分（図2.3のゾンデ構造図のVの部分）を基準としている。

これらの波形図よると、各測定孔や検出される成分の方向により波形が大きく異なり、次のような結果になっている。

- ① V方向の成分をみると、KDT-2孔では低い周波数が目立ち、KDT-1孔よりノイズ成分がやや高い記録波形となっている。すなわち、KDT-1の記録波形の方がS/N比（シグナルとノイズの比）が良く、やや高い周波数が卓越的である。
したがって、KDT-1孔に比べてKDT-2孔の記録波形では、初動の立ち上がりがやや不明瞭であるが走時は読み取り可能である。
- ② また、KDT-1孔では起振点から受振点までの距離が遠くになるにつれて初動付近の周波数が低くなり、後続の波形に高い周波数が目立つ傾向にある。
- ③ H1方向の成分をみると、KDT-1孔とKDT-2孔とで大差がなく、比較的高い周波数が目立ち、両測定孔も深度7m以深でややS/N比は低く、初動の立ち上がり判定がやや困難な記録である。

表 3. 1 走時読み取り一覧表

深度(m)	KDT - 1 孔(ms)	KDT - 2 孔(ms)
0.20	0.08	-
0.32	0.12	0.16
0.54	0.20	0.28
0.78	0.24	0.32
1.02	0.28	0.48
1.27	0.32	0.60
1.51	0.36	0.64
1.76	0.40	0.68
2.01	0.40	0.80
2.26	0.48	0.80
2.51	0.52	0.92
2.76	0.52	0.96
3.01	0.60	1.04
3.26	0.64	1.12
3.51	0.68	1.16
3.76	0.68	1.20
4.00	0.76	1.24
4.25	0.80	1.32
4.50	0.84	1.40
4.75	0.88	1.48
5.00	0.92	1.52
5.50	0.96	1.64
6.00	1.08	1.76
6.50	1.16	1.84
7.00	1.24	1.92
7.50	1.32	2.00
8.00	1.40	2.12
8.50	1.48	2.28
9.00	1.52	2.40
9.50	1.64	2.48
10.00	1.72	2.60

KDT-1 V方向成分

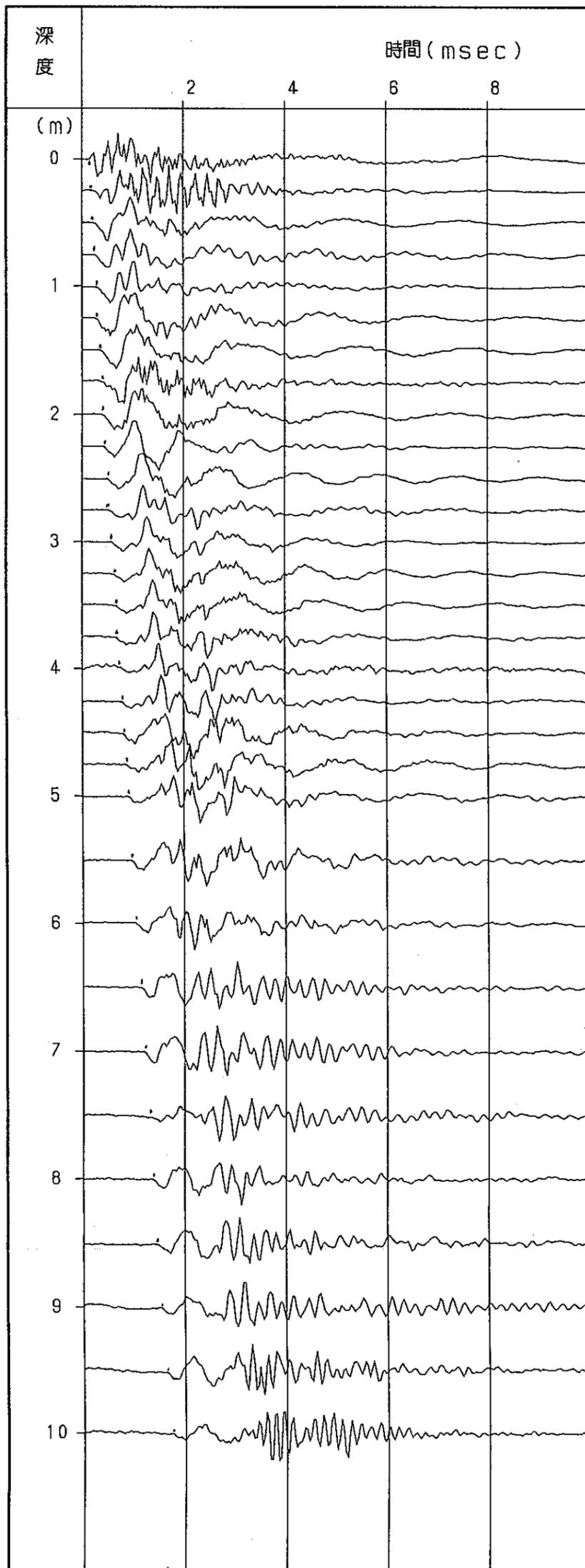


图3.1 (1) P波检层记录波形 (KDT-1孔)

KDT-1 H1方向成分

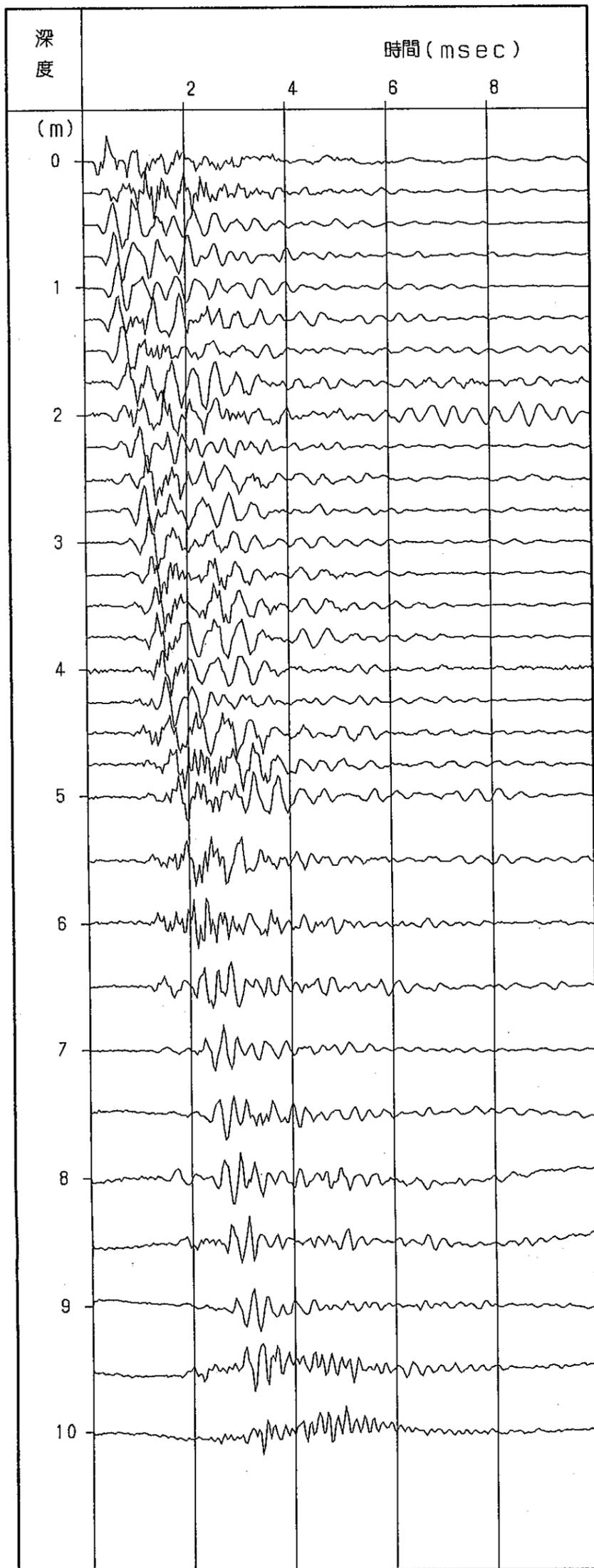


図 3. 1 (2) P波検層記録波形 (KDT-1孔)

KDT-1 H2方向成分

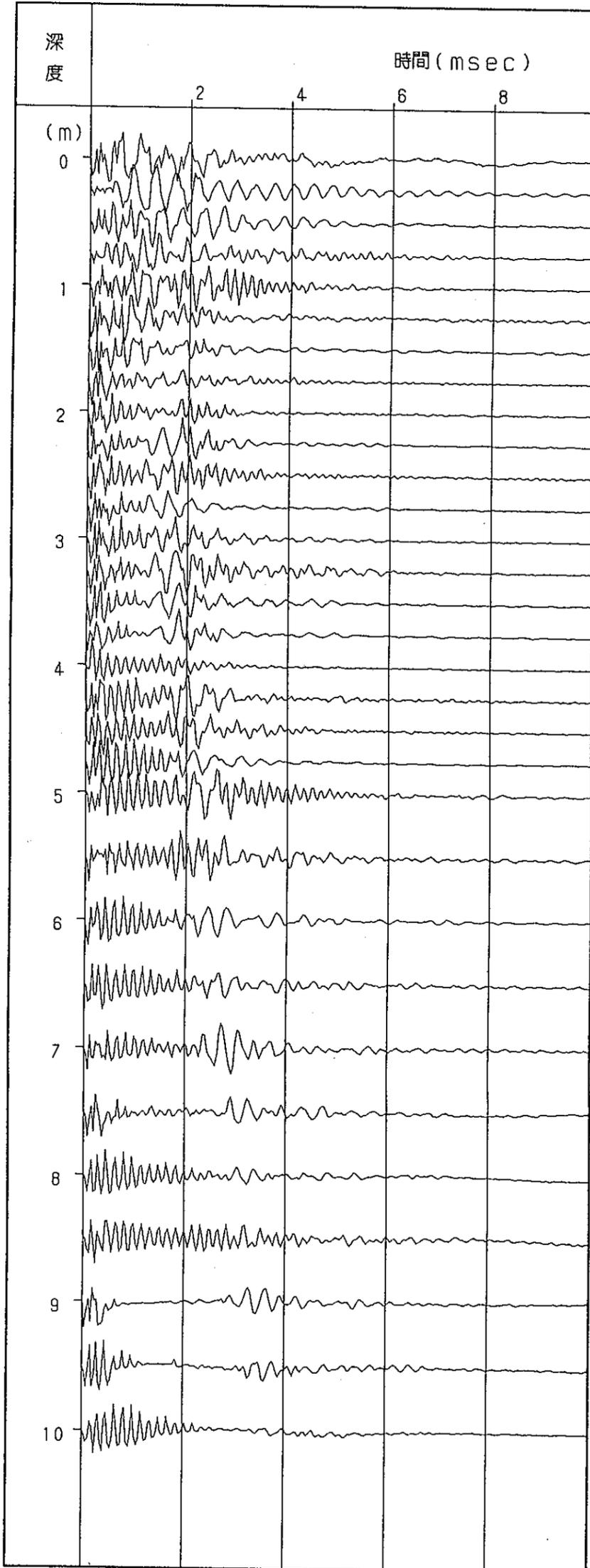


图3.1(3) P波检层记录波形 (KDT-1孔)

KDT-2 V方向成分

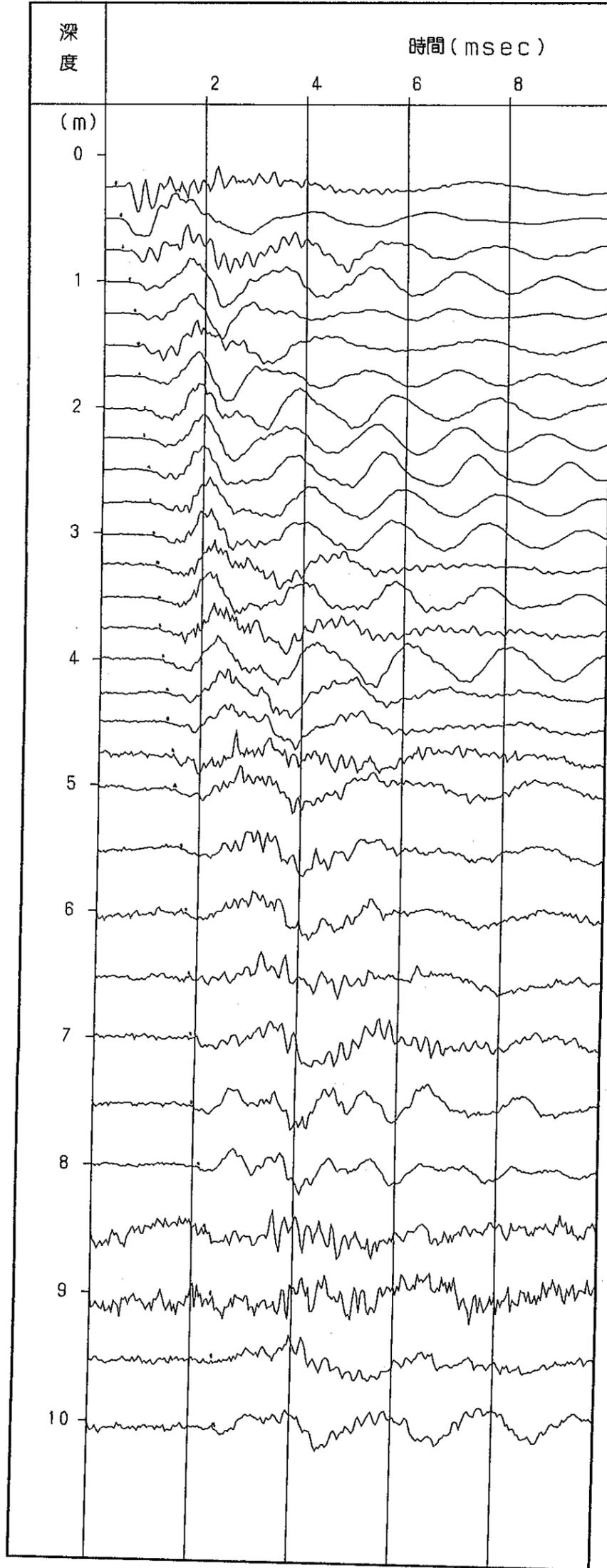


図 3. 2 (1) P波検層記録波形 (KDT-2孔)

KDT-2 H1方向成分

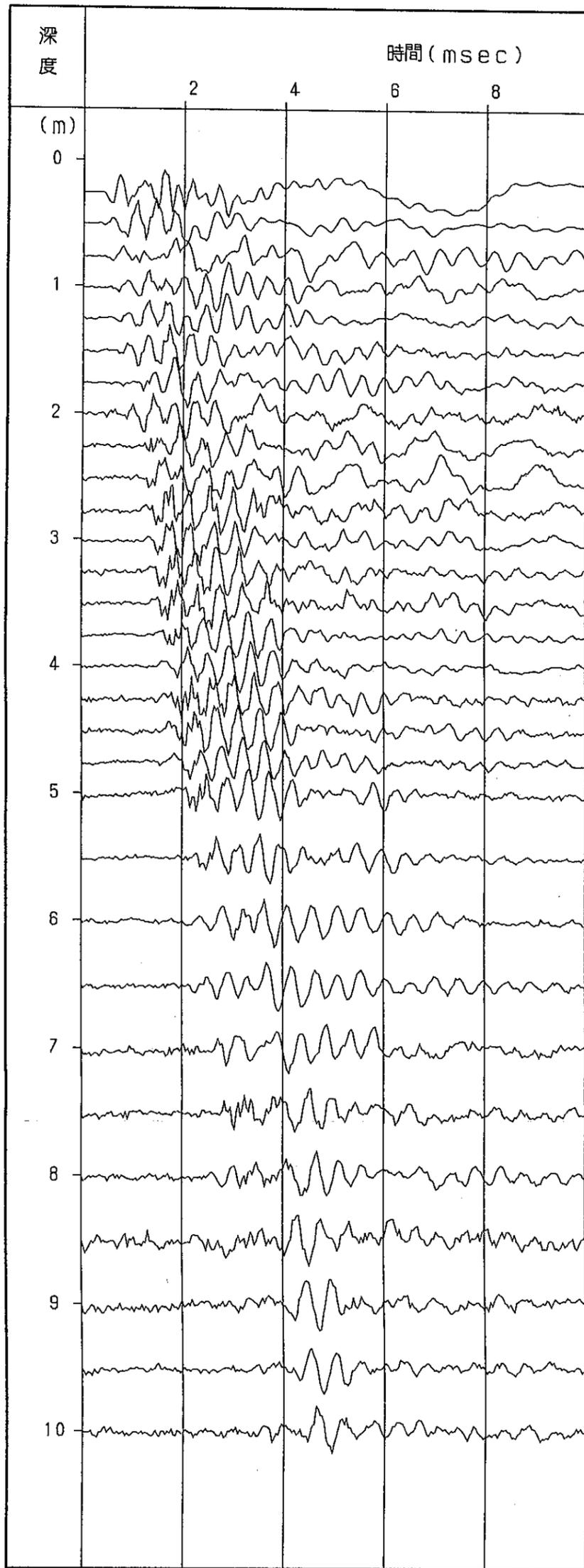


图 3. 2 (2) P波檢層記錄波形 (KDT-2孔)

KDT-2 H2方向成分

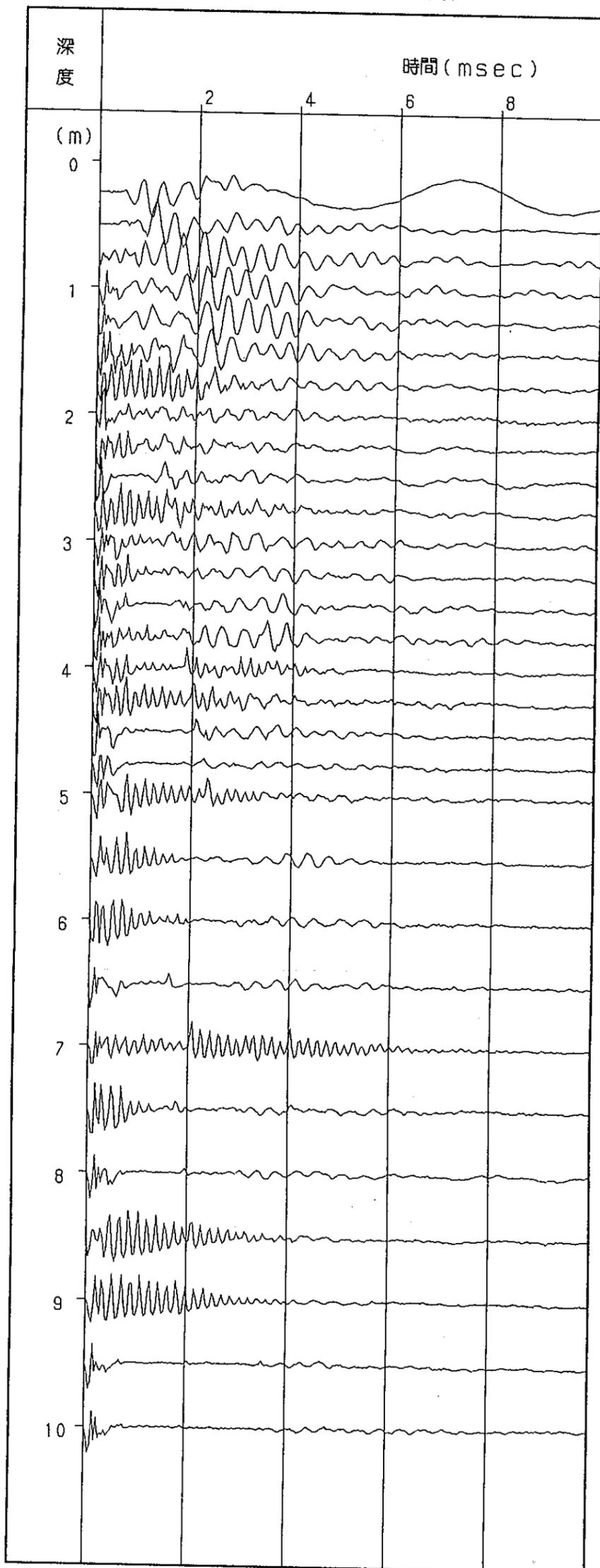


图3.2(3) P波检层记录波形 (KDT-2孔)

3.2 P波伝播速度分布

P波初動到達時間と伝播距離の関係を図化した、いわゆる走時曲線図を作成してP波伝播速度分布を求めた。走時曲線を作成するに際しては、起振点が調査孔より0.2m離れているため、起振点から受振点までの距離補正（深度5mまで）を行った。図3.3に今回の検層で得られた走時曲線を示す。図中には、×印がKDT-1孔、+印がKDT-2孔の各測定点の走時を示し、それぞれの走時曲線を実線と波線で区別して、P波伝播速度を示した。

この結果図によると、P波伝播速度分布は、KDT-1孔とKDT-2孔でかなりの相異が認められる。以下にこの結果を測定孔毎に示すとともに表3.2にまとめて示した。

①KDT-1孔；

速度分布は2層に区分され、第1層目が坑道壁面から深度0.5mまで2.5Km/secであり、第2層目が深度0.5m以深で6.0Km/secとなっている。

②KDT-2孔；

速度分布は3層に区分され、第1層目が坑道壁面から深度1.25mまで2.2Km/secであり、第2層目が深度1.25mから深度4.75mまで4.0Km/secで、第3層目が深度4.75m以深で4.5Km/secとなっている。

表3.2 P波検層で得られた速度分布一覧表

速度層区分	KDT-1孔		KDT-2孔	
	深度(m)	速度(Km/sec)	深度(m)	速度(Km/sec)
第1層目	0 ~ 0.5	2.5	0 ~ 1.25	2.2
第2層目	0.5以深	6.0	1.25 ~ 4.75	4.0
第3層目			4.75以深	4.5

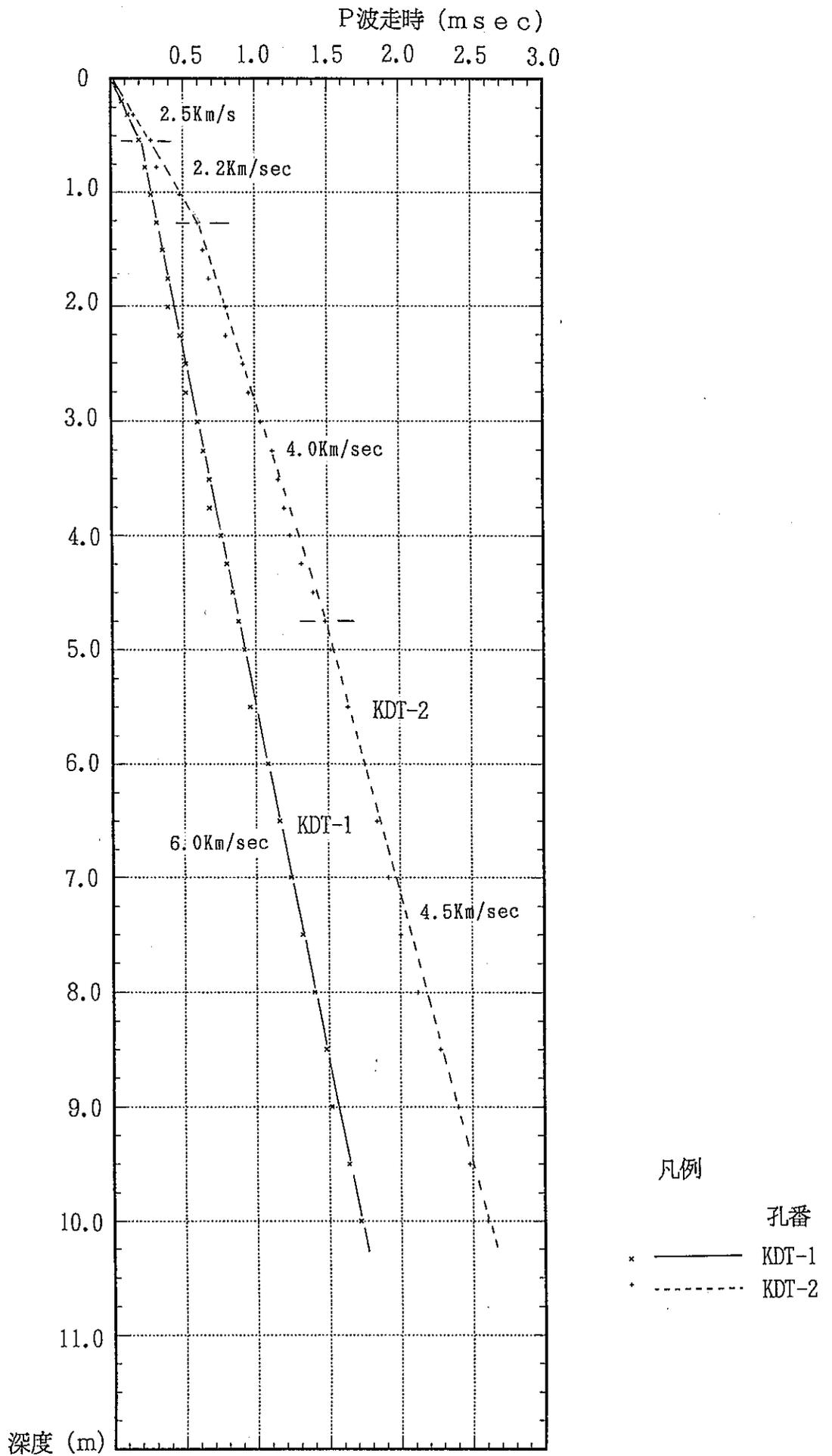


图 3. 3 P波檢層走時曲線

3.3 起振・受振波形の周波数

前で3.1に示した記録波形から各測定孔や各記録成分の起振・受振点の卓越的な周波数を波形の時間軸上より概観した結果を表3.3に示す。なお。起振波形の周波数の読み取りは、起振点の極近傍に設置した基準点の受振波形（起振点より離れ0.03cm）が過大の起振力によりサチュレートしたために、0～0.5m付近での受振波形で行った。

表3.3 起振・受振点で観測された波の周波数一覧表

起振・受振点		KDT-1 P波の周波数(Hz)		KDT-2 P波の周波数(Hz)	
		V方向	H方向	V方向	H方向
起振源付近(0～0.5m)		3000～5000	3000～5000	2000～3000	2000～3000
受振点 (1.0m以深)	初動	1000～2000	2000～3000	500～700	700～1500
	後続波	2000～3000	2000～3000	500～700	700～1500

表3.3 平成6年度実施のP S検層で観測された波の周波数一覧表

ボーリング孔	P波の周波数(Hz)	S波の周波数(Hz)	備考
KDT-1	500～600	300～400	全体的
KDT-2	200～300	200～300	全体的

4. 考察

釜石鉱山250mレベルでは、平成6年度において、掘削影響領域の評価に関する研究の一つとして、P S検層による評価を実施している。この調査では、岩盤のP波速度が5.0～6.0Km/sec、S波速度が3.0～3.5km/secが求められ、掘削影響領域は0.5～1.0 m程度で評価された。また、狭い領域、坑道の極く近傍の岩盤を対象にした場合には、起振点から受振点までの到達時間が、0.1～0.2msecと短いために、発生される弾性波の周波数が低い通常のP S検層の起振源では、読み取り誤差が大きいことが指摘された。

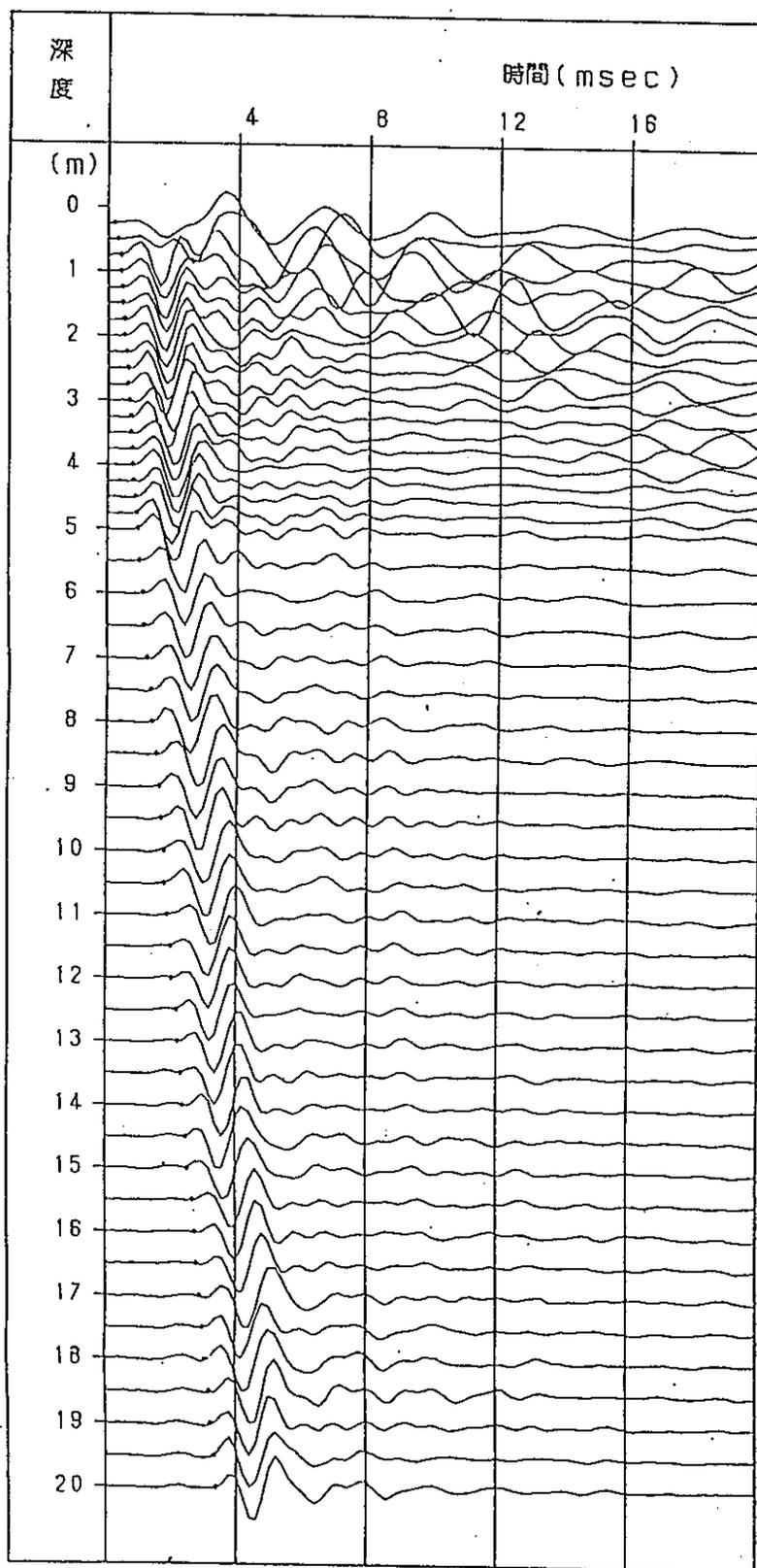
したがって、ここでは、今回得られたシュミットハンマー起振による検層結果の知見と平成6年度の通常の起振源を用いた結果を比較検討して、坑道の掘削影響領域を把握する

ことを目的とした調査手法の適用性を検討する。

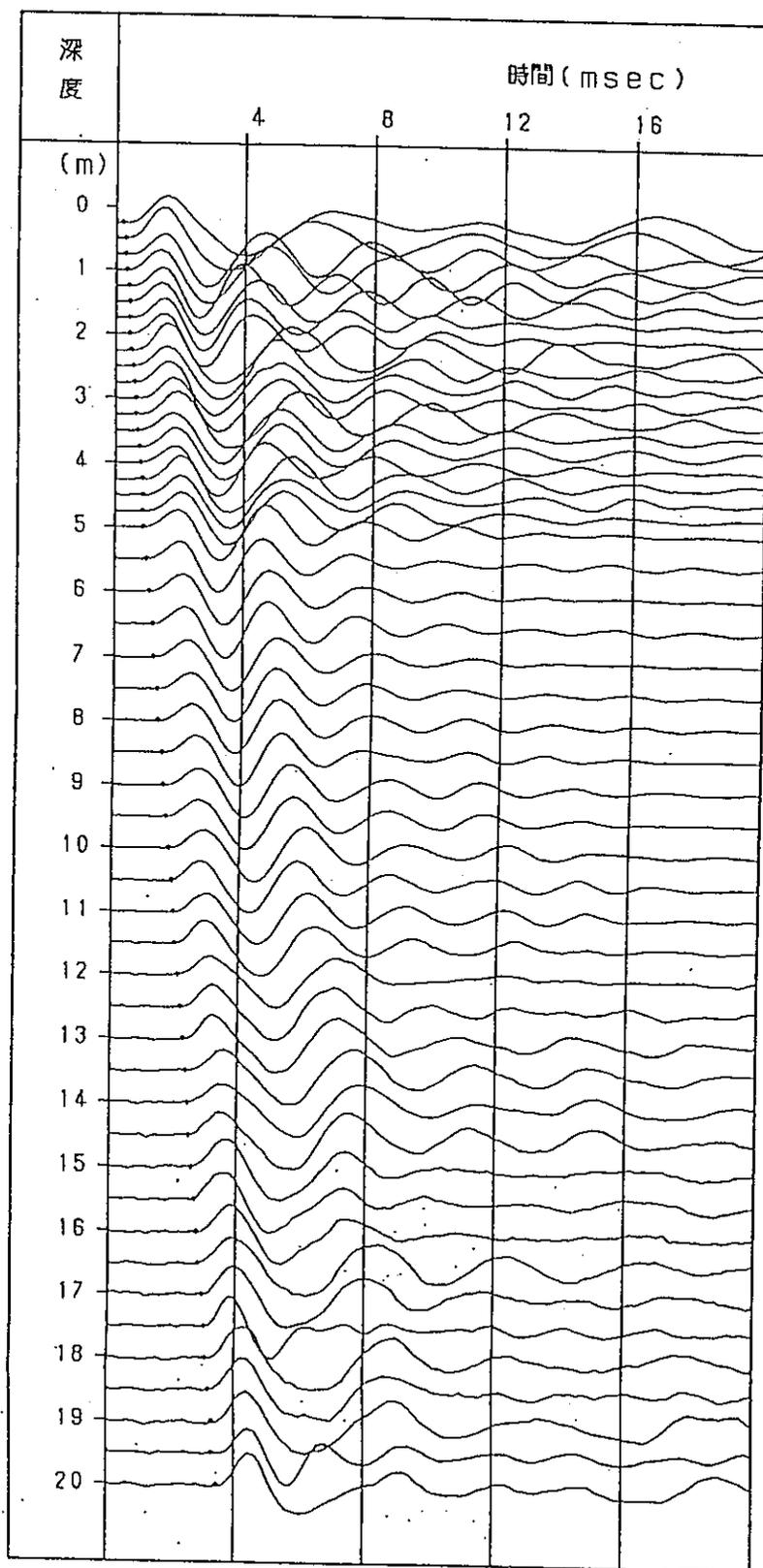
4.1 シュミットハンマー起振によるP波検層について

(1) 打撃起振を概観すると、次のような特徴が認められる。

- ① シュミットハンマー起振はあまり大きくない一定の起振力を岩盤に加えるため、通常の人力によるハンマー打撃の起振より現象の再現は基本的に優れている。また、この起振源を用いて同一地点を鉛直打撃すると、何度でも同じように一定のP波は発生できる。一方ハンマー打撃でも再現性は基本的にあるが、一般的には起振力を大きくさせて遠距離まで弾性波が伝播することを考慮しているため、坑道壁面の極く近傍の岩盤を対象とする場合でも起振力を調整させず大きな力を加えている。そのため、ハンマー打撃の場合は、現象の再現に対して起振力が大きな影響を及ぼさないように注意深く測定する必要がある。
- ② シュミットハンマー起振により発生する弾性波の周波数は、人力によるハンマー打撃による周波数500～1000Hz（平成6年度の実施例）より概ね2～3倍程度高くなった。これによって記録の読み取りには容易な記録が得られている。特に、坑道の極く近傍の受振地点の記録では、平成6年度実施結果に比べて明らかに初動の立ち上がりが鋭くなっている（平成6年度の結果図4.1及び図4.2参照）。
- ③ 測定波形の周波数については、起振源付近（深度1.0m以浅）では、KDT-1孔及びKDT-2孔とも明らかに3000Hz以上が卓越的である。しかし、測定地点の深度が1.0mより離れると3000Hz以下が卓越している。特に、V方向の成分の波形では、KDT-1孔は初動付近で1000～2000Hzと低下し、KDT-2孔は全体的に1000Hz以下に低下する。一方のH1方向の成分の波形では、V方向の成分より目立った低下ではないが、坑道壁面の鉛直起振によるV方向の成分波が卓越する発生現象が認められる。このような周波数の低下及びV方向成分の卓越性の原因には、一般的な岩盤の持つ粘弾性に伴う逸散的現象によるほかに、岩盤の不均質性や特定方向のクラックの発達形態がもたらす可能性もある。また、KDT-2孔のV方向に見られた低い周波数の卓越性については、起振源付近を含み極く浅いところでクラックの発達が激しい領域で境界があることも予想される。しかし、KDT-1孔に見られたような初動付近の低い周波数に対して後続波のやや高い周波数を持つ不可解な現象は、一般的に現段階では事実を説明する資料がないため不明であるが、シュミットハンマー起振による実際のP波検層方式との関連で今後の課題として検討する余地がある。また、孔中でのクラックの評価のためにこれらの現象を利用することも興味ある課題である。



平成6年度実施
 図4. 1 P S 検層記録波形 (KDT-1 : P 波)



平成6年度実施
 図4. 2 P S検層記録波形 (KDT-2 : P波)

④以上のことより、この検層方式の本来の効果を見極めるためには、同様な調査によるデータの蓄積が必要であると考えられる。

(2) 測定システムと記録の整理・解析を概観すると、次のような特徴が認められる。

① シュミットハンマー起振による検層で圧電型加速度センサーを内臓したゾンデの適用を試み、最も大きい弾性波（P波）速度として 6.0Km/sec、最も高く卓越する周波数として5000Hzの岩盤物性値を得ることができた。これらのことから、波長1.2mであり、0.3m程度の局所的異状部（掘削影響に伴うクラック等）があれば先のV・H方向の成分波の発生を卓越的にもたらすことになる。

② 坑道壁面の極く近傍の岩盤を対象とする掘削影響領域の把握には、測定間隔とデジタル記録のサンプリング数を十分吟味する必要がある。今回の測定では、測定間隔は坑道壁面から深度5.0mまで0.25mとし、これ以深で0.5mとした。また、デジタルサンプリング数は25KHz（40 μ sec）とした。例えば、上記①で得られた岩盤の物性値より、測定間隔0.25mの場合で区間時間は約42 μ secを有することになる。

③ したがって、このような岩盤を対象にする測定システムは、総合周波数特性として、少なくとも上限周波数 10KHz以上を有すること、測定間隔を考慮するとデジタルサンプリング数40 μ sec以下を有することが不可欠であると考えられる。

今回の測定では、受振器の測定間隔とデジタルサンプリング数が基本的に正しかったことを意味する。しかし、データ整理・解析上の精度を向上するために、CRT画面上のカーソルの移動で1デジット毎（デジタルサンプリング数）は、今より2倍程度高く調整した方がよいと考えられる。

④ 測定システムの内、基準点として適用した圧電加速度センサーは、シュミットハンマー起振の瞬時（ショット時刻）を得るために、起振源に至近させて設置した。

したがって、このセンサーには、過大な信号が入力される結果となり、増幅器ではこの信号を調整する能力を超えて、この過大入力により隣接する増幅器の1つのH成分に対して電氣的誘導（カップリング現象）が発生して記録を得るにできなかつた。

この現象については、予想外のことであったので、現地でこのカップリングを制御した計測を実行することは實際上、難しい状況であった。今後の対応として、起振源近傍に設置するセンサーには、今より低感度のものを選定するか、あるいは増幅器に過大信号を抑制する機能（減衰器）を付加させることが考えられる。

⑤測定で得られたP波検層のV方向の成分波とH方向の成分波の両者成分では、初動到

達時刻が若干の相異を示している。これは、V方向の成分波の発生は坑道壁面の鉛直打撃による主振動方向であり、発生強度が大きい。一方のH方向の成分波のそれは主振動方向に直交する鉛直面内であり、単に発生強度だけでなく、指向性を持ってその強度や波形が変わり、結果として、波形の振幅が小さいため見かけ上H方向の成分波が目立たないだけである。したがって、V方向の成分波の出現時との差は有意なものでないと考えられる。

また、今回の検層において、H方向の成分波を卓越発生せしめた事実は、起振源の発生源機構や振源近傍での坑道壁面の岩盤の不均質性に起因するものと考えられる。すなわち、このH方向の成分波自体は、鉛直起振の一般的状況においても常に存在するもので、結果として、起振源の放射パターンと起振源点の極く近傍の弾性的な異質部により特殊な指向性を持って、波形が変わったものと考えられる。

4.2 平成6年度と今回のP波検層速度分布の比較検討

- (1) 平成6年度において、同様の調査孔でハンマー起振によるP S検層が実施されて、次のような結果が得られている。
 - ① KDT-1 孔の場合、P波速度分布とS波速度分布の境界層を異にするが、坑道壁面から深度0.5~0.75mまで第1層目とし、これより以深を第2層目とする評価を得ていた。P波速度は、第1層目が3.0Km/secを示し、第2層目が6.0Km/secを示していた。
 - ② KDT-2孔の場合、P波速度分布が1層の区分であるが、S波速度分布では2層の区分とし、坑道壁面から深度0.5mまで第1層目で、これ以深を第2層目とする評価を得ていた。P波速度は全深度区間で一様に6.0Km/secを示していた。
- (2) 今回のシュミットハンマー起振によるP波検層では、次のような結果が得られた。
 - ① KDT-1 孔の場合は、2層に区分され、第1層目が坑道壁面から深度0.5mまで2.5Km/secを、第2層目が深度0.5m以深で6.0Km/secを示した。
 - ② KDT-2 孔の場合は、3層に区分され、第1層が坑道壁面から1.25mまで2.2Km/secを、第2層目が深度1.25mから4.75mまで4.0Km/secを、さらに第3層目が深度4.75m以深で4.5Km/secを示した。
- (3) P波速度分布の比較検討
上記(1)と(2)の結果によると、大きな特徴・相違点は、次のように示される。

- ① KDT-1 孔の場合には、平成6年度と大局的に同じ結果となっている。しかし、シュミットハンマー起振源を用いたことにより、測定されたデジタル記録は高周波数の波であったため、読み取り・解析の精度が向上し、坑道壁面近傍に相当する走時曲線の変曲点は明瞭になっている。すなわち、弾性波速度の速い岩盤において、坑道壁面の極く近傍を対象したP波検層は、高周波の波が発生できる起振源とこれに対応できる測定・解析システムを適用することで、正確な弾性波速度分布が求められることを意味する。したがって、この調査地点のP波検層で判った坑道掘削影響領域は、坑道壁面から深度0.5mまでの範囲と考えられる。
- ② KDT-2 孔の場合には、平成6年度と大きく相違している。P波速度分布の速度層区分は、平成6年度では弾性波速度6.0Km/secの第1層で区分されていたが、今回の場合には、かなり詳細な3層の区分で示され、深度区間全体に速度値の低下が認められる。この弾性波の低速度化は、平成6年度に比べても激しい変化で全体的に低下していることからして、現地の坑道内状況の変化である、新たな坑道が調査孔の極く近くに平行して掘削されたことに起因する現象でないかと考えられる。

したがって、この調査地点のP波検層で判った坑道掘削影響領域は、従来の坑道壁面からみると深度1.25mまでの範囲と考えられる。

4.3 調査手法の適用性について

今回の調査では、速い弾性波速度を持つ岩盤において、シュミットハンマー起振によるP波検層を実施して、上述したような結果と考察を得ることができた。

これらのことより、手法の適用性について、次のようにまとめられる。

- ① シュミットハンマー起振では、通常のハンマー打撃に比べて、周波数の高い波が発生される。しかし、起振源近傍に局所性の不均質な岩盤形態があると、やや周波数が低くなる傾向にあるが、緻密な高速度の岩盤に対する同様な目的の検層方式には、十分に適用可能な起振源であると考えられる。
- ② 測定は、この高い周波数に対応した周波数応答特性を持つ一連の測定システム系「受振器（圧電加速度センサー）、増幅器、記録器（デジタル的）」を装備することで、速い弾性波速度の岩盤に対応できる。ただし、起振源近傍の基準点の受振器の出力には、起振力による振幅の抑制が可能な減衰器等を備える必要がある。

また、デジタル記録器では、デジタルサンプリング数を20 μ sec程度と高くする必要がある。すなわち、測定システムについては、少なくとも以上のようなことを考慮して、ゾンデから記録器までの全体の機能性と小型化、システム化を施した専用タイ

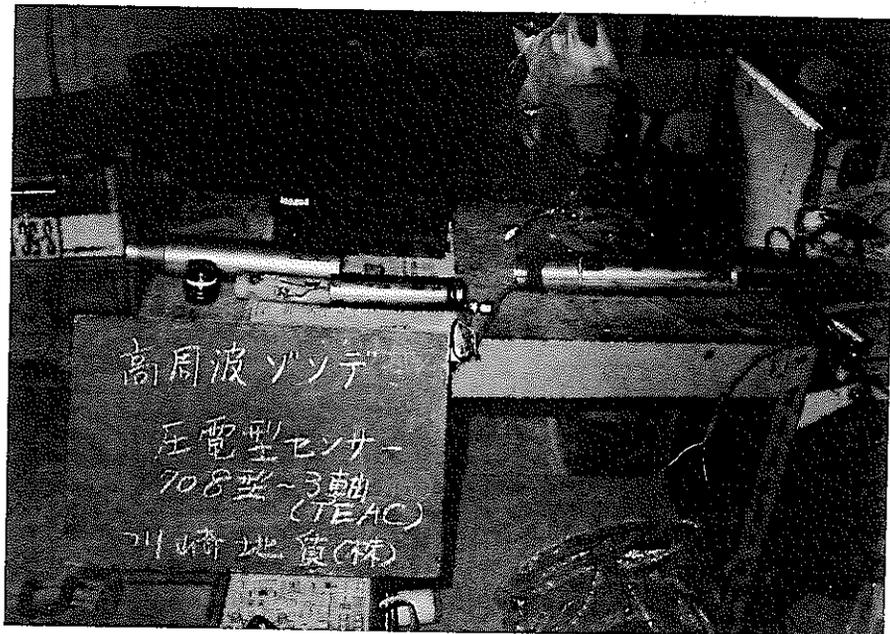
ブのシステムを開発することでより一層の精度の向上が期待できる。

- ③ 以上のことより、掘削影響領域を把握することを目的とした調査手法として、シュミットハンマー起振による検層は高速度の岩盤であっても精度的に十分対応できると考えられる。

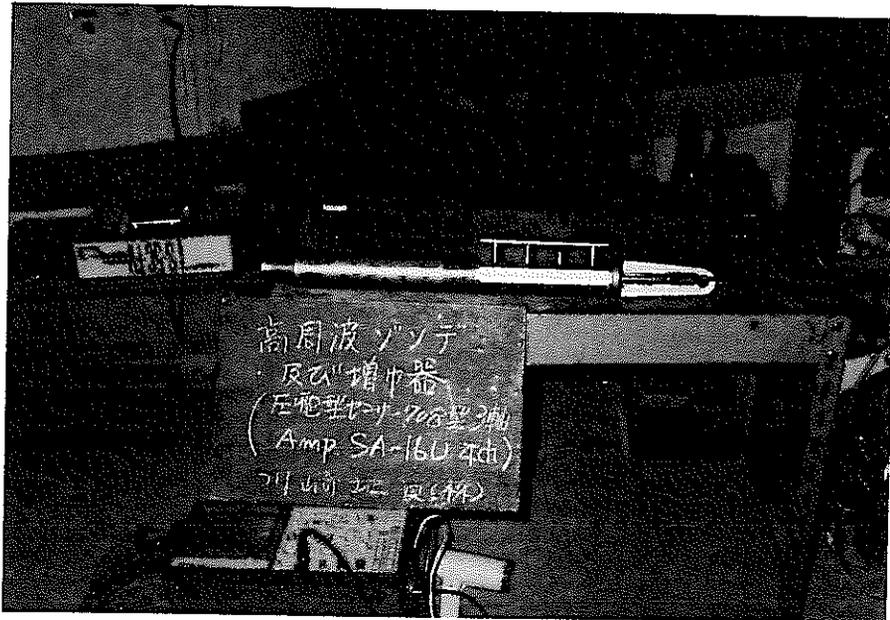
現場記録写真



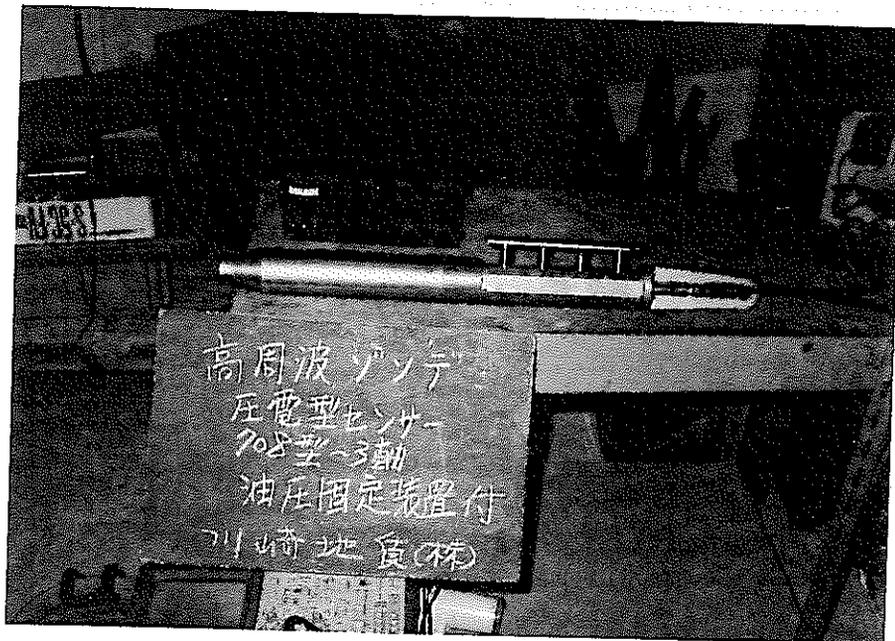
高周波型ゾンデ (圧電型加速度センサー708 ; 3成分内臓)



高周波型ゾンデ (圧電型加速度センサー708 ; 3成分内臓)



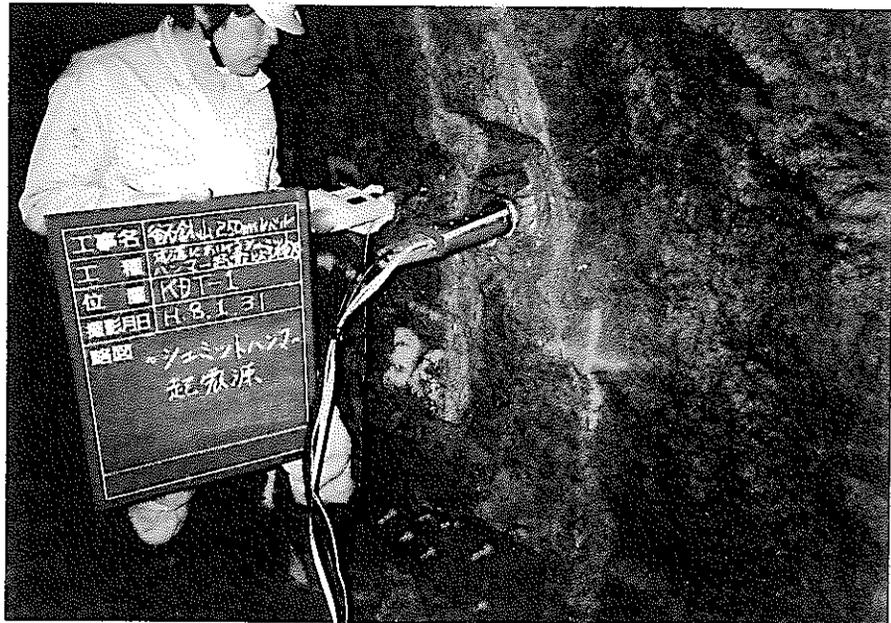
高周波型ゾンデ及び増幅器SA-16U



高周波型ゾンデ及び増幅器SA-16U、油圧固定装置



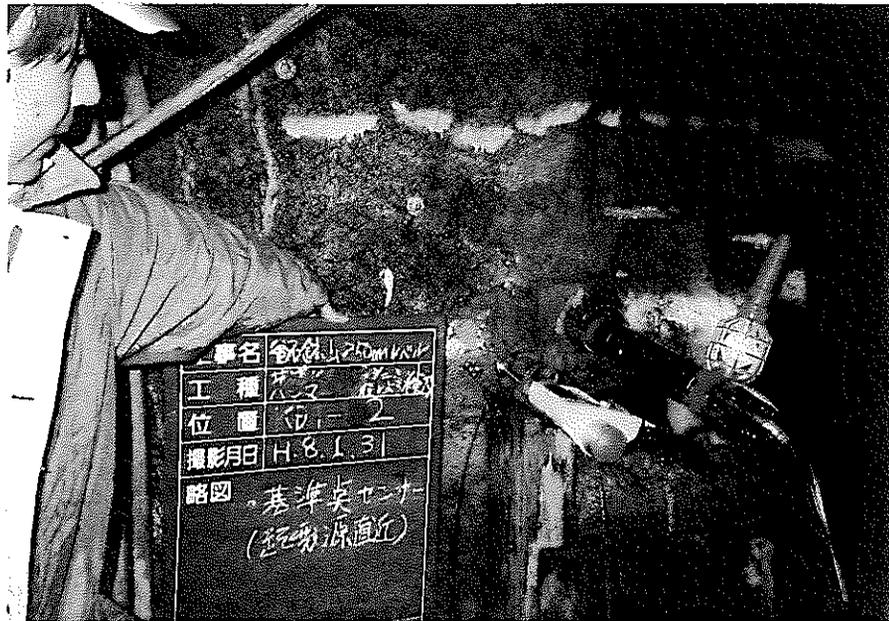
基準点受振器 (KDT-1)



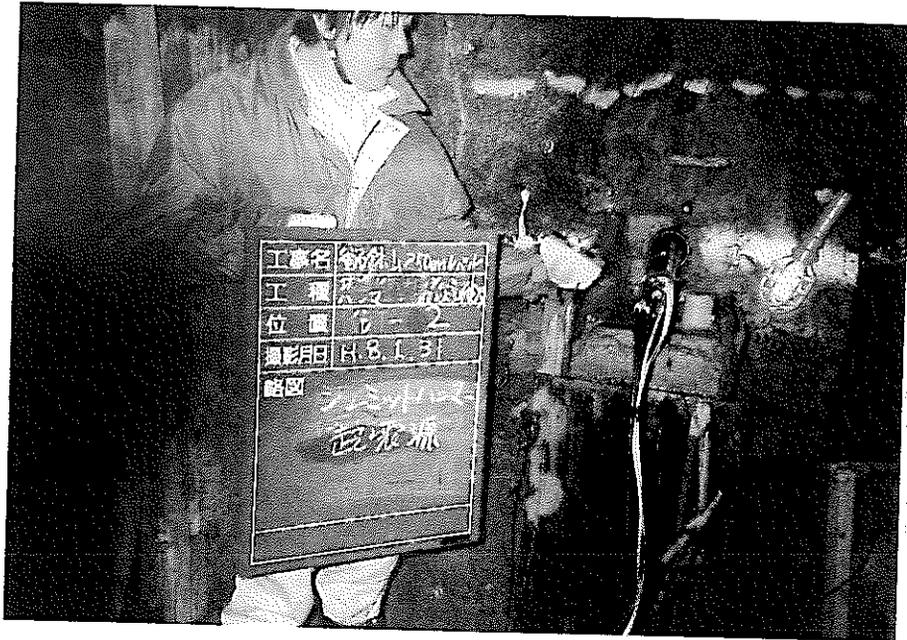
シュミットハンマー起振源 (KDT-1)



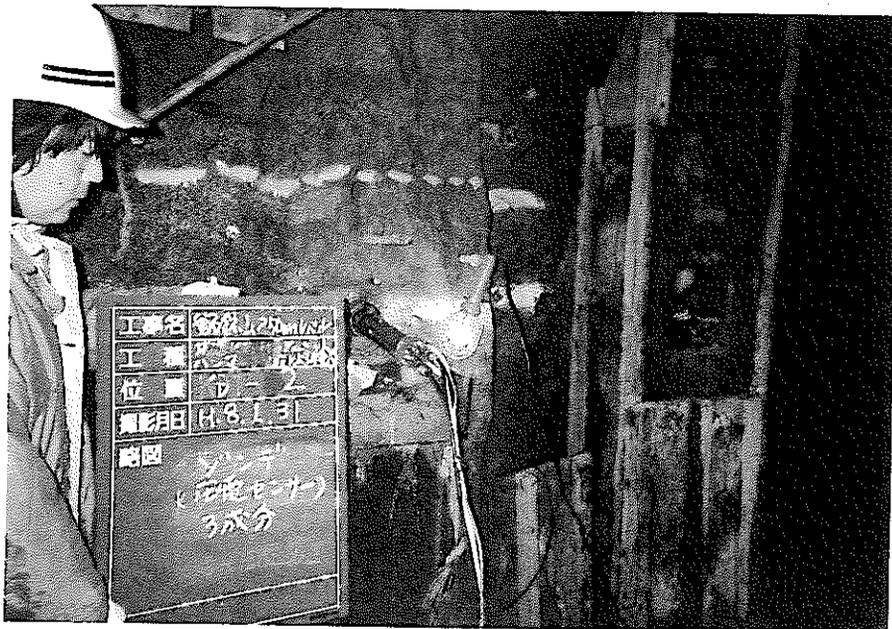
3成分高周波ゾンデ挿入状況 (KDT-1)



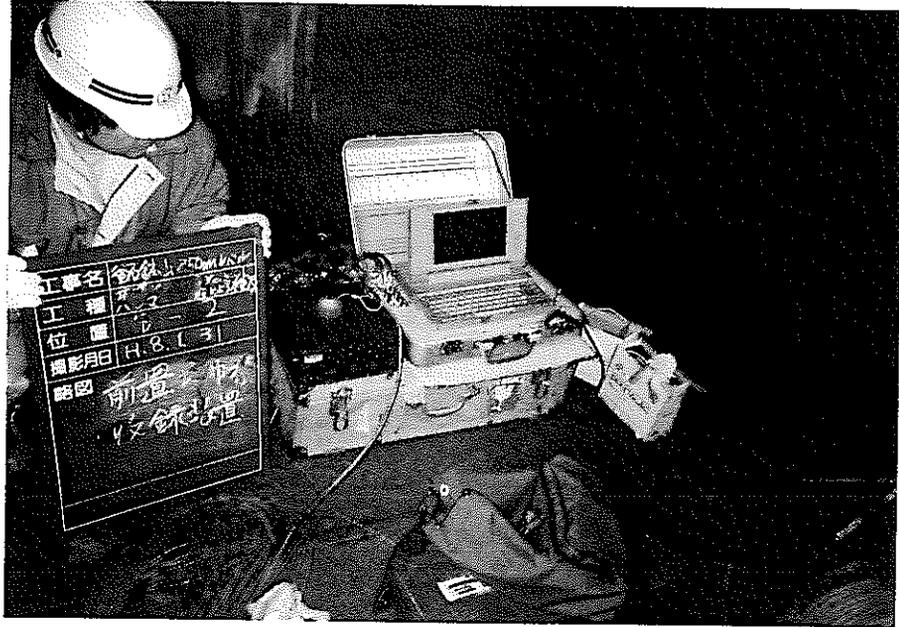
基準点受振器 (KDT-2)



シュミットハンマー起振源 (KDT-2)



3成分高周波ゾンデ挿入状況 (KDT-2)



増幅器及び収録装置 (MAT-0722, PC-9801)

本文の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせ下さい。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松 4 番地 49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1184
Japan

©核燃料サイクル開発機構
(Japan Nuclear Cycle Development Institute)
1996

~~この資料は、動燃事業団の開発業務を進めるため、特に限られた関係者だけに開示するものです。ついては、複製、転載、引用等を行わないよう、また第三者への開示又は内容漏洩がないよう管理して下さい。また今回の開示目的以外のことには使用しないよう特に注意して下さい。~~

~~本資料についての問い合わせは下記にお願いします。~~

~~〒509-51-~~

~~岐阜県土岐市泉町定林寺園戸959-31-~~

~~動力炉・核燃料開発事業団~~

~~東濃地科学センター~~

~~技術開発課~~