PNC TJ7586 95-002

社内資料

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 【技術展開グループ】

DH-3号孔における物理検層作業報告書(その2)

(動力炉・核燃料開発事業団　契約業務報告書)

1995年3月

株式会社 物理計測コンサルタント

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)
1995

~~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合せは下記に願います。~~

~~〒509-51　岐阜県土岐市泉町定林寺字園戸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~~

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】

ＤＨ－３号孔における

物理検層作業報告書（その２）

１９９５年 ３月

株式会社　物理計測コンサルタント

~~社内資料~~
PNC TJ7586 95-002
1995年3月

登録区分
2000.3.31
変更表示

DH－3号孔における物理検層作業報告書（その2）

松岡清幸* 山本俊也* 木崎恵子*

要　　旨

1．本資料は、岐阜県瑞浪市日吉町で実施した孔内物理検層のデータをとりまとめたものである。

2．物理検層は、温度・電気・マイクロ・音波・密度・孔径・中性子・ガンマ線・ボアホールテレビュアー検層の9種類を実施した。

3．電気検層と中性子検層の結果は、良い対応を示した。

4．物理検層より、花崗岩類を大きく2つに分類し、更に深度毎に10に区分して、それぞれの物性値を比較・検討した。

本報告書は、株式会社物理計測コンサルタントが動力炉・核燃料開発事業団との契約により実施した業務の成果である。

契約番号　：06C0555

事業団担当部課室　：東濃地科学センター　環境地質課　課長　湯佐泰久

*（株）物理計測コンサルタント

~~OFFICAL USE ONLY~~
PNC ~~P~~J7586 95-002
March 1995

「Geophysical Logging Report of DH−3 Drill Hole (NO. 2)」

Kiyoyuki Matsuoka * Toshiya Yamamoto*
Keiko Kizaki*

Abstract

1. The paper presents summarized geophysical informations by the results of Geophysical logging of DH-3 drill hole, operated in Hiyoshi Town, Mizunami City, Gifu Prefeture, Japan.

2. Geophysical logging are 9kinds of temperature・resistivity・microresistivity・sonic・density・caliper・neutron・gammaray log・BHTV.

3. A comparision of the results from the electrode log and from the neutron log show very similar rerationships.

4. By the formation from geophysical logs, granitic rocks may be devided into two types:the formation are distributed in ten areas.

Work performed by Geophysical Surveying Co., Let under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.

Contract Number : 06C0555

PNC liaison : Tono Geoscience Center Geological Environment Research Section — Yasuhisa Yusa

* Geophysical Surveying CO.,Let.

目　　次

図 目 次

表 目 次

付録・資料

総合柱合図	(1／500)
温度検層記録図	(1／200)
温度検層記録図	(1／500)
電気検層記録図	(1／200)
電気検層記録図	(1／500)
マイクロ比抵抗検層記録図	(1／200)
マイクロ比抵抗検層記録図	(1／500)
密度検層記録図	(1／200)
密度検層記録図	(1／500)
孔径検層記録図	(1／200)
孔径検層記録図	(1／500)
中性子・ガンマ線検層記録図	(1／200)
中性子・ガンマ線検層記録図	(1／500)
音波検層記録図	(1／200)
音波検層記録図	(1／500)

1. はじめに

本調査は、岐阜県瑞浪市日吉町平岩に掘削されたDH-3号孔を利用して、花崗岩岩盤の諸特性を把握するために、地質調査の一貫として物理検層を実施した。本報告書は、その際実施した物理検層調査・解析結果について取りまとめたものである。

2. 調査概要

2.1 一般事項

(1) 調査件名 :『ＤＨ－３号孔における物理検層作業（その２）』

(2) 調査場所 : 岐阜県瑞浪市日吉町平岩　ＤＨ－３号孔

(3) 調査期間 : 自　平成６年12月15日
至　平成７年 3月30日

(4) 調査内容 : 孔内物理検層（温度検層，電気検層，マイクロ比抵抗検層，密度検層，孔径検層，中性子検層，ガンマ線検層，音波検層、ﾎﾞｱﾎｰﾙﾃﾚﾋﾞｭｱｰ 検層）

(5) 発注者 : 動力炉・核燃料開発事業団　東濃地科学センター

(6) 調査担当 : 株式会社　物理計測コンサルタント

本社　〒103 東京都中央区日本橋浜町３－６－３
TEL　03-3668-6261

長岡支店　〒940 新潟県長岡市西新町２－４－14
TEL　0258-36-5021

現場測定者　山本　俊也

報告書担当　松岡　清幸

2.2 調査位置図

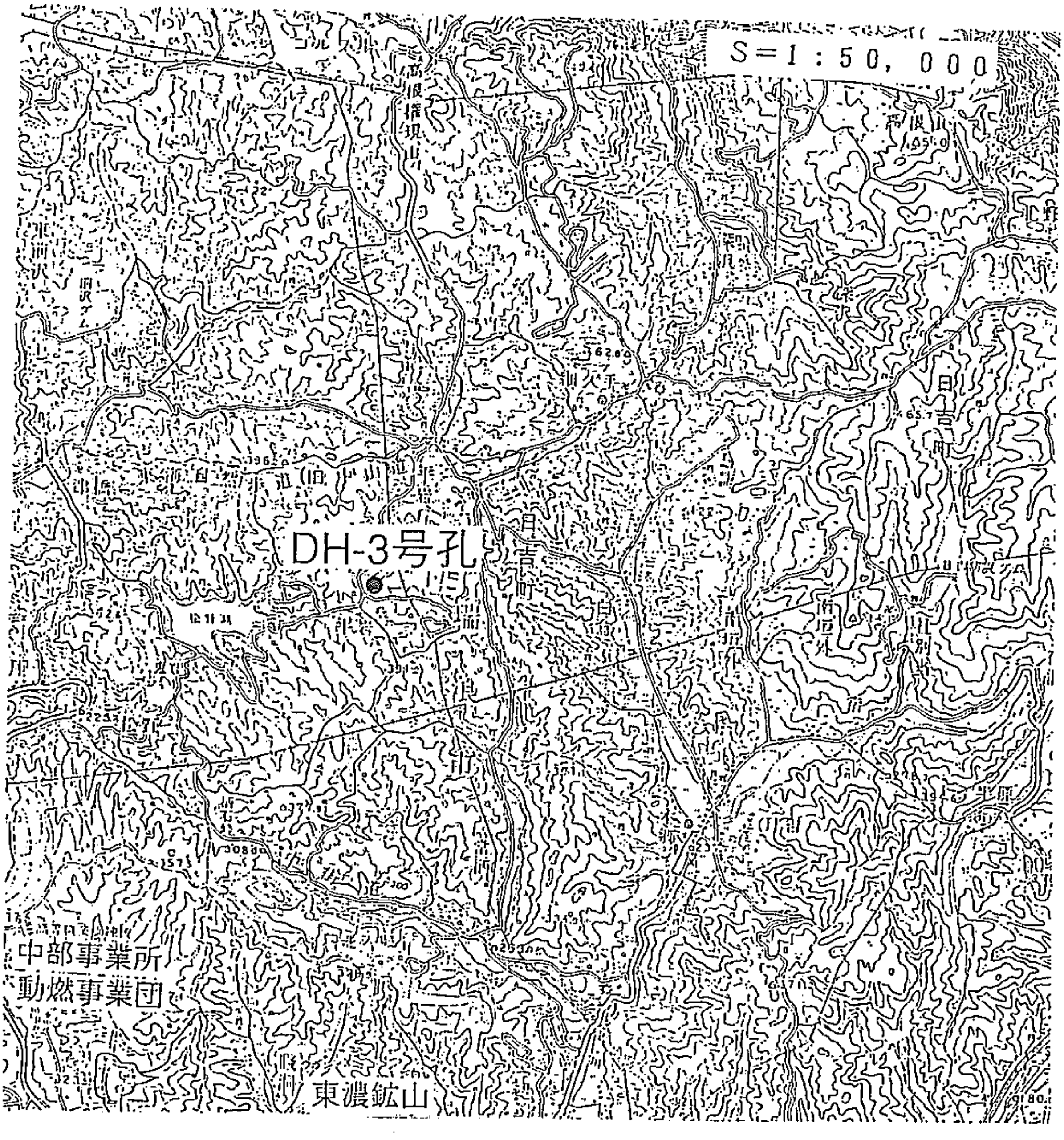


図 2.1.1 調査位置図 （1／50000）

表 3.1.1 使用機器一覧表

測定種目	機器	種別	製造元	仕様
全種目共通	検層車	三菱キャンター	三菱自動車	軽油車
	ケーブル	5芯鋼線 アーマードケーブル	海底電線	外径: 8.4mm 使用温度: 315℃以下
	記録	RV型多ペンレコーダー	理化電気	素子: 5ペン 紙送り: エンコーダー連動
	処理	9800-シリ-ズ	日本電気	
温度検層	温度検層器	TSM-300	宝工業	測定範囲: 0～200 ℃ 100～300 ℃ 出力電圧: 0～100mV
	ゾンデ	サーミスタ式	宝工業	外径: 43mm
電気検層	電気検層器	ELM 203 SCM 304	G.S.C G.S.C	出力電圧: 150Vmax 出力電流: 0~50mA 周波数 : 20~300Hz 出力波形: 矩形波
	ゾンデ	ノルマル配置	日本バルカー	外径: 50mm, 電極ステンレス, 電極間隔: 25cm, 100cm
音波検層	音波検層器 オシロスコープ 連続撮影装置	SBM 303 LPM 202 RM 504 PC 2B	G.S.C G.S.C テクトロニックス 日本電工	電源装置: 300VDC 150mA
	ゾンデ	電歪振動子	ミネラルログ	形式ツーレシーバー 振動子固有周波数:25kHz 発受信子間隔: 3 feet 外径:50mm 全長: 3.0m
密度検層	密度検層器	DPM 1 PSC 2 LRM-2D (×2)	コンプローブ	(RES-SP-VAL) リニヤーレイトメイター
	ゾンデ	デセントラライザー型	コンプローブ	線源: 137Cs, 5.55GBq GM管 2デテクター 外径: 55mm, 全長: 4m
孔径検層	孔径検層器	RMM 206 LPM 205	G.S.C ミネラル	X-Y 軸アームモータ開閉式
	ゾンデ	X-Y 型	ミネラル	外径: 43mm, 全長: 1.8m
中性子・ガンマ線検層	中性子・ガンマ線検層器	RMM 204 LPM 201	G.S.C ギャハート・オーエン	ガンマ線:シンチレーション 中性子:プロポーショナルデテクタ 線源:Am-Be ,111 GBq
	ゾンデ		ギャハート・オーエン	外径: 43mm, 全長: 3.5m
マイクロ検層	マイクロ検層器	LPM 201 MRM	G.S.C ミネラル	
	ゾンデ		ミネラル	電極間隔 : 1x1" Inverse 2" Normal

本作業に用いたボアホールテレビュアー(BHTV) 機器を以下に示す。

表 3.1.1 使用機器一覧表 (2)

孔内作業使用機器一覧表

機　　器	種　別	製　造　元	仕　　様
BHTV	測　定　器	M.V. G.S.C. NEC	BHTVモジュール デジタル収録システム PC-9801NS/L コンピューター
	ゾ　ン　デ	M.V.	小孔径 BHTV ゾンデ 外径 1-11/16" 全長 425 cm

ボアホールテレビュアー 解析作業使用機器一覧表

機　　器	種　別	製　造　元	仕　　様
解析機器	コンピューター	Apple Computer	Macintosh IIci Macintosh Quadra800
	プリンタ	Hewleett Pacard	Paint Jet XL Desk writer 550C

表 3.1.2 物理検層作業工程表（1）

<table>
<tr><th>測定種目</th><th>測定深度</th><th>測定年月日</th><th>測定時間</th><th>測定速度</th><th>記　録</th><th>孔内状況</th></tr>
<tr><td>温　　度</td><td>0.0
〜
1005.0</td><td>H6.12.21</td><td>14:26
〜
15:35</td><td>m/min
14.6</td><td>1/200
・
1/500</td><td rowspan="8">・孔　長
1011.4m

・孔　径
99 m/m

・孔内水
清　水

比抵抗
175.4 ohm/m
(5.4 ° C)

・ケーシング
深度　5.2m
径　190.0mm</td></tr>
<tr><td>電　　気</td><td>825.0
〜
1009.0</td><td>H6.12.21</td><td>13:43
〜
13:57</td><td>13.1</td><td>1/200
・
1/500</td></tr>
<tr><td>マイクロ</td><td>830.0
〜
1000.0</td><td>H6.12.21</td><td>20:19
〜
20:36</td><td>10.0</td><td>1/200
・
1/500</td></tr>
<tr><td>密　　度</td><td colspan="3">ツール降下不能の為，測定中止</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>孔　　径</td><td>820.0
〜
1000.0</td><td>H6.12.21</td><td>17:46
〜
18:04</td><td>10.0</td><td>1/200
・
1/500</td></tr>
<tr><td>中性子・
ガンマ線</td><td>800.0
〜
1000.0</td><td>H6.12.21</td><td>16:30
〜
16:53</td><td>8.6</td><td>1/200
・
1/500</td></tr>
<tr><td>音　　波</td><td>820.0
〜
1000.0</td><td>H6.12.21</td><td>19:07
〜
19:25</td><td>10.0</td><td>1/200
・
1/500</td></tr>
<tr><td>B.H.T.V</td><td>828.0
〜
1000.0</td><td>H6.12.21</td><td>10:10
〜
12:00</td><td>1.6</td><td>1/50</td></tr>
</table>

注）中性子・ガンマ線検層は、コンビネーションゾンデを使用し、記録は同時に収録した。

粘土化による押し出しの為，829.8mにロードをセットして、829.8m以深の測定を行う。

表 3.1.2　物理検層作業工程表（2）

<table>
<tr><th>測定種目</th><th>測定深度</th><th>測定年月日</th><th>測定時間</th><th>測定速度</th><th>記　録</th><th>孔内状況</th></tr>
<tr><td>電　気</td><td>600.0
～
817.2</td><td>H6.12.22</td><td>21:53
～
22:10</td><td>12.8</td><td>1/200
・
1/500</td><td rowspan="7">・孔　長
1011.4m

・孔　径
99 m/m

・孔内水
清　水

比抵抗
175.4 ohm/m
（5.4 ° C）

・ケーシング
深度　5.2m
径　190.0mm</td></tr>
<tr><td>マイクロ</td><td>608.0
～
817.6</td><td>H6.12.22</td><td>22:36
～
22:55</td><td>11.0</td><td>1/200
・
1/500</td></tr>
<tr><td>密　度</td><td colspan="3">ツール降下不能の為，測定中止</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>孔　径</td><td>600.0
～
816.5</td><td>H6.12.22</td><td>17:46
～
18:04</td><td>11.4</td><td>1/200
・
1/500</td></tr>
<tr><td>中性子・
ガンマ線</td><td>580.0
～
816.5</td><td>H6.12.22</td><td>15:34
～
16:01</td><td>8.7</td><td>1/200
・
1/500</td></tr>
<tr><td>音　波</td><td>600.0
～
815.0</td><td>H6.12.22</td><td>16:59
～
17:20</td><td>10.2</td><td>1/200
・
1/500</td></tr>
<tr><td>B.H.T.V</td><td>606.0
～
816.0</td><td>H6.12.22</td><td>18:30
～
20:20</td><td>1.9</td><td>1/50</td></tr>
</table>

注）中性子・ガンマ線検層は、コンビネーションゾンデを使用し、記録は同時に収録した。

粘土化による押し出しの為，607.8mにロードをセットして、817m～607.8m間の測定を行う。

表 3.1.2　物理検層作業工程表（3）

測定種目	測定深度	測定年月日	測定時間	測定速度	記　録	孔内状況
電　気	275.0 ～ 602.8	H6.12.23	14:08 ～ 14:35	12.1	1/200 ・ 1/500	・孔　長 1011.4m ・孔　径 99 m/m ・孔内水 清　水 比抵抗 175.4 ohm/m (5.4 ° C) ・ケーシング 深度　5.2m 径　190.0mm
マイクロ	275.0 ～ 602.8	H6.12.23	18:04 ～ 18:40	9.1	1/200 ・ 1/500	
密　度	275.0 ～ 602.5	H6.12.23	16:50 ～ 17:25	9.4	1/200 ・ 1/500	
孔　径	275.0 ～ 604.1	H6.12.23	13:02 ～ 13:32	11.0	1/200 ・ 1/500	
中性子・ガンマ線	275.0 ～ 607.2	H6.12.23	11:54 ～ 12:30	9.2	1/200 ・ 1/500	
音　波	275.0 ～ 600.0	H6.12.23	15:40 ～ 16:13	9.8	1/200 ・ 1/500	
B.H.T.V	280.0 ～ 602.0	H6.12.23	19:45 ～ 23:30	1.4	1/50	

注）中性子・ガンマ線検層は、コンビネーションゾンデを使用し、記録は同時に収録した。

3. 物理検層

物理検層は、温度，電気，マイクロ，密度，孔径，中性子，ガンマ線，音波検層，ボアホールテレビュアーの９種目について、平成６年12月21日～12月23日に実施された。

尚、物理検層に使用した機器を表3.1.1 に、作業工程を表3.1.2 に取りまとめた。

3.1 物理検層測定原理

まず、温度検層からそれぞれの検層原理について述べる。

3.1.1 温度検層

温度検層は、孔内の温度を深度に対して連続的に測定して地層の温度を決定し、地層の対比、逸水層、出水層、帯水層などの位置判定に利用する。また流体産出層、あるいは流体圧入層の温度も測定する。

孔内温度の測定は、単にその地層の温度勾配あるいは最高温度を知るだけでなく、地層中の流体の出入りにより生ずる微細な温度変化を記録することが重要である。測定原理の等価回路を図3.1.2 に示す。

図に示すように地上から１mAの定電流を供給し、サーミスター両端の電位降下を地上で測定して抵抗変化を求める。ケーブル抵抗R_1，R_2の抵抗が充分小さくサーミスターR に比べて電位差計の入力インピーダンスが充分大きければ，測定電圧V は、V=IR となりケーブル抵抗に関係なくサーミスターの抵抗を知ることができる。しかし、実際にはケーブル抵抗が存在するので，ケーブル補償回路が付

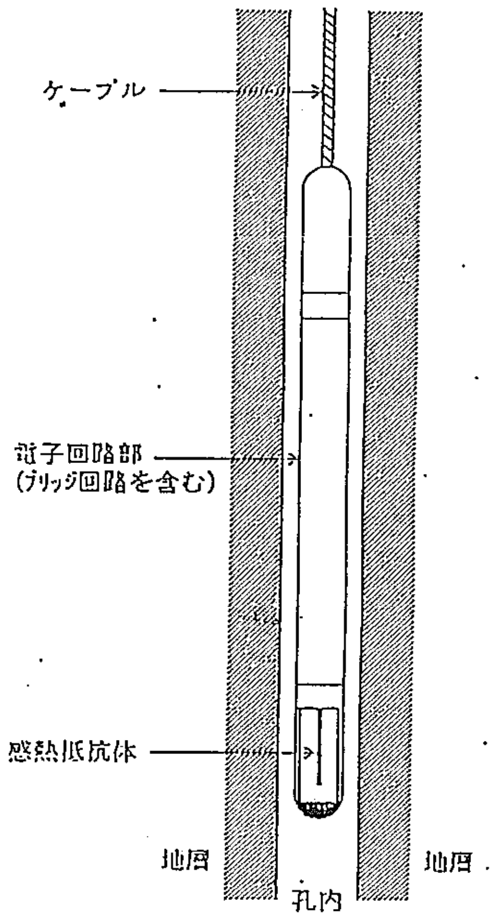


図 3.1.1 温度検層ゾンデ外観図

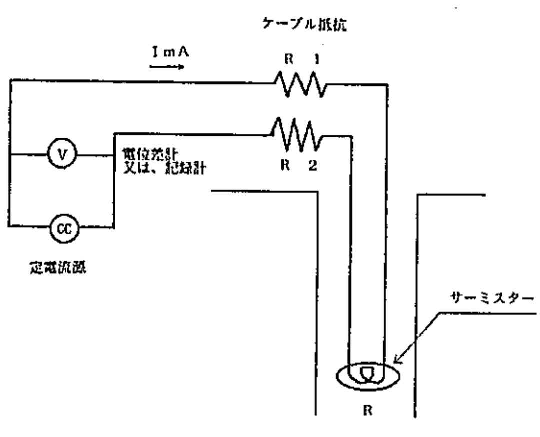


図 3.1.2 温度測定回路図

加されている。

図3.1.3 は地温勾配と長時間の泥水循環直後の孔内温度の関係を示したもので、孔内温度は、本来の温度勾配とは違った温度勾配を示すようになる。循環を中止すると、この勾配は時間が経過することによって再び元の温度勾配に戻るが、その戻る過程で泥水侵入の顕著な浸透性の層があると、その層は復元がおくれ周囲地層の温度勾配と変化が生ずる。この変化量は非常に微小であるので、差動式の高感度の温度検層機を用いる。

温度検層機の感熱素子としては、サーミスターを使用している。サーミスターの感熱応答は約0.5 秒である。

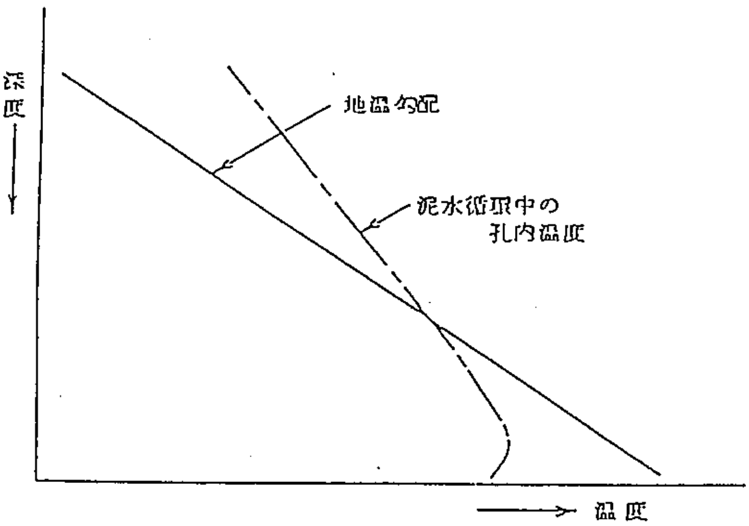


図 3.1.3 泥水循環直後の温度勾配と孔内温度の関係

3.1.2 電 気 検 層

電気検層は、坑井内で地層に電流を流し、地層の比抵抗を連続して測定する方法である。

図3.1.4　のように、電極ＡＢ間に一定の電流Ｉを流し、ＭＮ間の電位差Ｖを測定する。ここで、坑井内電極を囲む地層が一様で、地層の比抵抗Ｒと泥水比抵抗がほぼ等しいとすると、

$$R = 4\pi AM\,(V/I) \qquad (\Omega-m)$$

ＡＭは電極Ａ、Ｍの距離（ｍ）で与えられる。 測定深度の基準はＡ、Ｍの中点Ｏとなる。 ＡＭの間隔を長くするほど測定値は坑壁より、深部の地層の比抵抗（泥水の影響が少ない真の比抵抗値）に近い値を示すが、反面、薄層の検出能力が低下する。

そこで実際には、図3.1.5　のように電極ＡＭの間隔を長短２種類取り（短：AM_1 ＝25cm, 長：AM_2 ＝100cm）２つの比抵抗曲線を同時に記録することで、地層の真の比抵抗値の把握、薄層の検出などに使い分ける。

又、電気検層では、地層の比抵抗と同時に坑井内で電気化学的に発生する自然電位をも測定し、地層の対比並びに浸透層の判定に利用する。

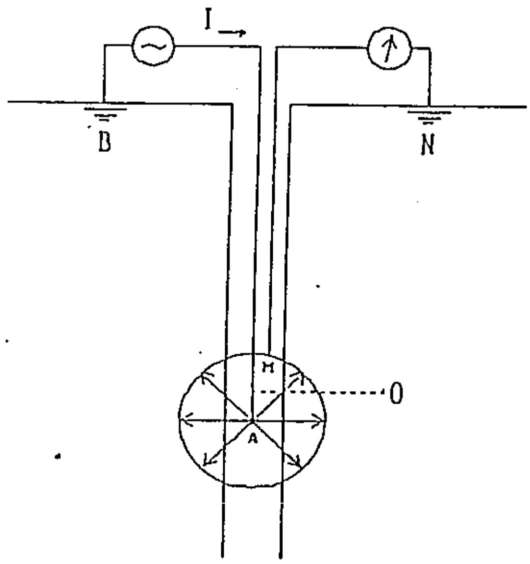


図 3.1.4　　電気検層概念図

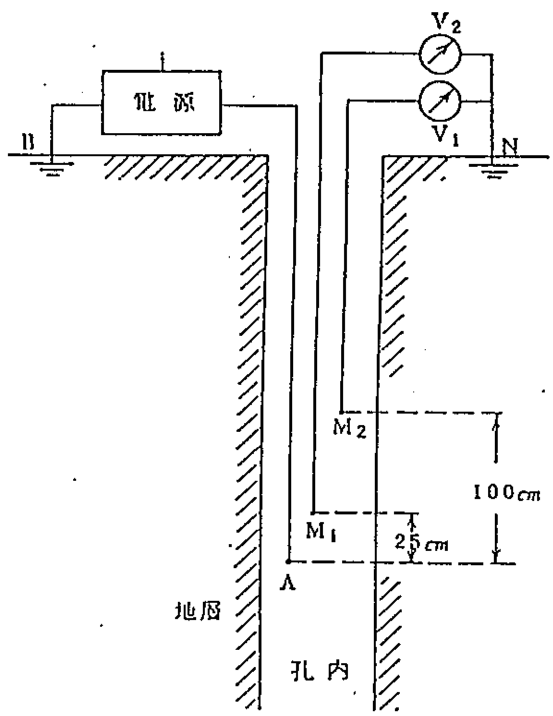


図 3.1.5　　電気検層電極配置図

3.1.3　マイクロ比抵抗検層

これは電気検層のノルマルおよびラテラル比抵抗測定法におけるA、M、N電局の間隔をそれぞれ1インチ(2.54cm)という短い間隔にとってゴム性の絶縁パットの中央に埋め込み、これを孔壁に圧着しながら孔壁近傍の比抵抗を連続的に測定するものである。測定は2インチノルマル値と1インチノルマル値をパルサー切換によって測定している。また、測定電極内には、小型モータを装備し、地上のコントロール装置からこのモータでパッドのアームを開閉できるシステムとなっており、このアームの動きより孔径の変化も測定できる。泥水を利用した掘削では浸透層の前面にできたマッドケーキの比抵抗値（1ラテラル）と泥水濾過水を含んだ浸透層の比抵抗（2インチノルマル）の関係より浸透層の判定に利用される。

泥水を利用しない掘削ではこの様な関係は認められないが、電極間隔の長いノルマル法で検知できない割れ目等の検出に有効である。

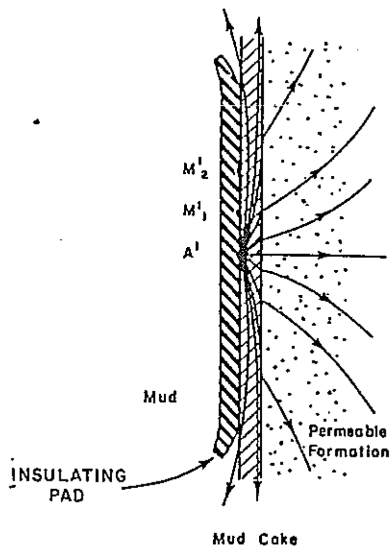


図 3.1.6　電流パターン

3.1.4 密　度　検　層

密度検層は測定電極内にガンマ線源を装備し、この線源から地層にガンマ線を放射しガンマ線の強度を深度に対応させて連続的に記録する方法で、測定速度は約780m/H、時定数(T.C.= 3sec)で行う。線源は、Cs 137(5.55GBq) を用いガンマ線と地層を構成する物質の電子コンプトン散乱を利用して地層密度を測定するものである。

坑内装置に取付けられた放射線源より地層に対しガンマ線源を放射するとコンプトン散乱、光電効果、電子対生成などの反応が生ずる。 Cs 137が放射する中程度のエネルギー(0.66MeV) を持ったガンマ線が比較的軽い元素、即ち原子番号が20位元素から構成されている堆積岩のような物質に入射する場合、その相互作用は、コンプトン散乱が著しく優勢になる。

コンプトン散乱とは、原子核の軌道電子にガンマ線が衝突するとそのエネルギーの一部を軌道電子に与え、ガンマ線は進路を変える現象をいい、ガンマ線はこのような衝突を何回か繰り返して、その一部が検出器に到達する。

ここで物質の原子番号をZ，原子量をA、密度をPとすると、単位体積当たりの電子の数はN（Z／A）Pに等しくなる。（Nはアボガドロ数)

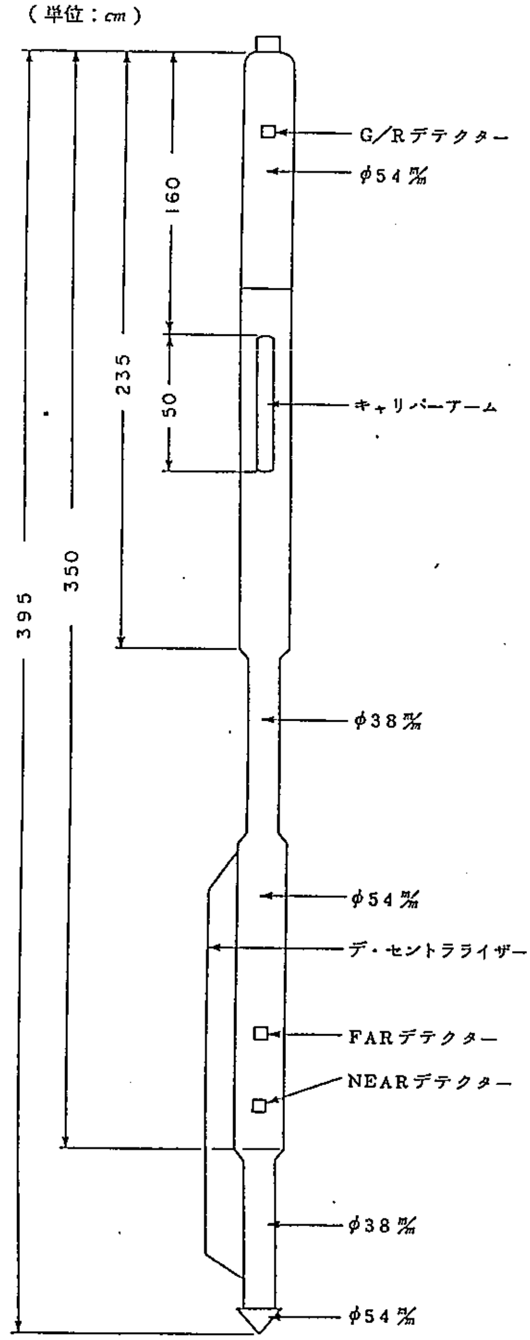


図 3.1.7　　密度検層機

従ってコンプトン散乱の程度は、地層を構成する物質の電子密度の関数になる。

線源と検出器の間隔(17 ～37cm) を適当にとれば、密度の大きい地層においては、到達するガンマ線が少なく、また密度の小さい地層においては検出器に到達するガンマ線量が多くなる。

3.1.5 孔 径 検 層

孔径検層は、ボーリング孔径を測定するもので、孔内ゾンデはモーターにより開閉できアーム数はX方向、Y方向の４本である。

検層機は図3.1.8　のように、測定アームに小型モータを装備して、地上のコントロール装置からこれらのモータで４本のキャリパーアームを開閉できるシステムになっている。キャリパーアームは閉じた状態で孔内に降下し、孔底で開いた後、検層機を巻き上げながら測定を行う。

孔径の記録は、孔径の変化に対応するキャリパーアームの動きを電気信号に変換して行っている。

孔径は、比抵抗値の補正、音波検層記録の補正などに使用される他、破砕帯を発見するのに使用される。

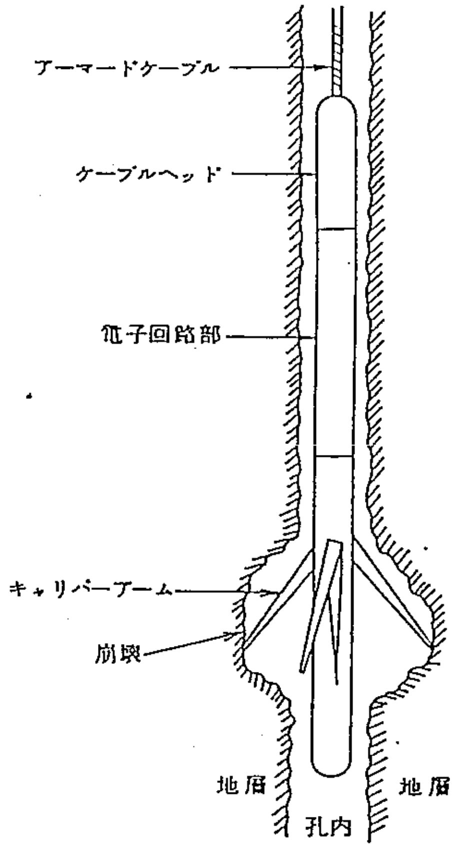


図 3.1.8　孔径検層機

3.1.6　中性子検層・ガンマ線検層

中性子検層は、測定ゾンデ内に中性子線源を装着し、そこから一定距離だけ離して置かれた検出器により、中性子線源から出て地層中を伝わってくる中性子束を測定することで、地層の孔隙率を求める検層である。

地層中に放出された高速中性子は地層を構成する物質の原子核との弾性あるいは、非弾性散乱によってそのエネルギーの一部を失いながら拡散（減速過程）してゆき、最終的には、地層構成物質の原子核に吸収されて消滅する。中性子検層で地層の孔隙率を求める場合、地層中での中性子の減速過程が本質的な役割をする。原子核との弾性散乱による中性子の減速効果は、中性子と質量が等しい水素原子核との衝突の場合が一番大きいため、地層内での減速過程は、ほとんど地層内の水素原子核密度で決定されてしまう。この地層内の水素原子核密度は、ほぼ地層の孔隙を満たす地層流体（H_2O）の水素原子数により決定されるので、地層内の水素原子核密度と孔隙率は比例することになる。（仮に、地層流体が石油であっても、水と油の単位体積当たりの水素原子数は等しいので、孔隙率は同等に求められる。）従って、中性子線源から一定の距離（1.3cm)の位置にある検出器で測定される中性子束は、地層の孔隙率（水素原子核密度）が大きければ大きいほど、小さくなる。

通常、中性子検層器は較正用ピットを用いて較正されていて、測定値の読み（中性子API 単位）から直接孔隙率が求められるようになっている。

中性子線源は、アメリシウム－ベリリウム（Am-Be)の放射性同位元素から構成され、その強さは111 GBq である。検出器はヘリウム－３プロポーショナル・ニュートロン・デテクターを使用している。

注意点として中性子検層では地層の孔隙がガスで満たされている場合は、実際の孔隙率よりも小さく評価されてしまう。頁岩では、粘土鉱物を多く含み、その粘土鉱物中の結合水が、地層中の水素原子核密度を大きくしてしまう。したがって、頁岩の場合は実際よりも大きく評価されることになる。

一方、ガンマ線検層は、地層中に含まれている放射性物質から放出される自然ガンマ線を孔井中で連続的に測定するものである。

一般に岩石中には、放射性物質が微量であるが含まれているため、岩石の種類によってその含有率が異なっている。従って岩石中の放射性物質からのガンマ線の変化を見ながら地層の同定、対比を行うことができる。又、放射性物質は、粒径の細かい頁岩や泥岩に多いので、ガンマ線検層を行うことで粘土の含有率を判定することができる。ガンマ線源となる主な放射性物質は、ポタシューム系、ウラニウム系、トリウム系放射性元素である。

ガンマ線検層で計測されるガンマ線量は、地層の密度とも密接な関係があり、地層の密度が増加すると減少する。これは地層を伝わるガンマ線は、地層中の電子に衝突するたびにエネルギーを失うため、より緻密な岩石ほど電子密度が大きく、ガンマ線を吸収しやすいことによる。

ガンマ線の検出器は、ナトリウムのヨウ化物であるシンチレーションクリスタルと電気的信号に変換する光電子増倍管（フォトマルチプライヤー）とから構成されている。

測定単位は、ガンマ線API ユニットが用いられている。

中性子検層とガンマ線検層は、図3.1.9 のようにコンビネションツールを使用して、同時に収録するシステムで行われる。

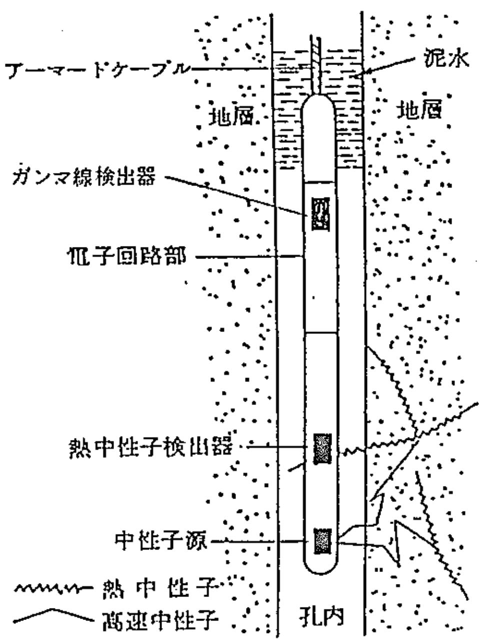


図 3.1.9　中性子・ガンマ線検層機

3.1.7. 音 波 検 層

音波検層は弾性波速度検層の一種で、超音波振動子を利用し、孔中受信の形式により孔壁の伝播時間を測定する検層方法である。

孔内装置は、図3.1.10にみられるように発信器(T)と受信器は0.91m の間隔をおいてゾンデ上に配置され、ゴムの外筒の中に封入されている。

発信器の共振周波数は約 25kHzで、パルス状に毎秒15回の割合で、音波エネルギーを発射する。

このエネルギーは孔内水を伝播して孔壁に達し、その一部は屈折して孔壁を伝播する。受信子は、孔壁からふたたび孔内水に輻射された音波エネルギーを信号として捕らえる。

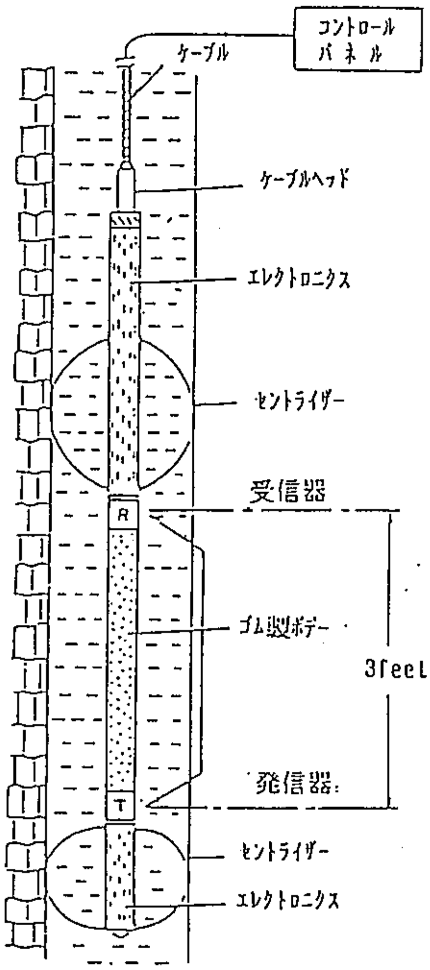


図 3.1.10 音波検層機構造図

図3.1.11　は代表的な受信信号波形で、図中Ｉは発信時を示す同時パルスで、伝播時間を計測する基準になる。　横軸は時間の経過を示し、縦軸は信号の振幅を表す。信号波形には、圧力波（Ｐ波）、剪断波（Ｓ波）、孔内波（Ｌ波）などが含まれ、一般に音波検層の場合は、Ｐ波の初動、ＰとＩの間の時間差を計測する。

図3.1.12は音波検層器のブロックダイヤグラムで、次の４種類のデータを記録することができる。

イ）ＦＴ曲線　（フォーメェーションタイム）－　孔壁の伝播時間の連続的な記録曲線

ロ）ＰＡ曲線　（パイプアンプリチュード）－　信号の振幅変化の連続的な記録曲線

ハ）ＷＴ曲線　（ウェーブトレイン）－　信号波形を深度毎にスコープカメラで撮影したもの

ニ）ＩＮＴログ（インテンシティ）－　信号波形により、スコープビームの輝度変調を行い、フィルムに連続的に記録したもの

音波検層のデータとしては調査目的に応じて上記４種類の全て、或いは何種類かを選んで行なうようにする。　ＦＴログ、ＷＴフィルムなどから、地層の伝播時間を求める場合には、図3.1.10のようなＴＲ型（発受信器が１組の形式）の検層機では、つねに孔内水中を通過する時間が含まれており、孔径補正を行う必要がある。

できればキャリパー検層を併用して、孔径を正確に求めることが望まれる。

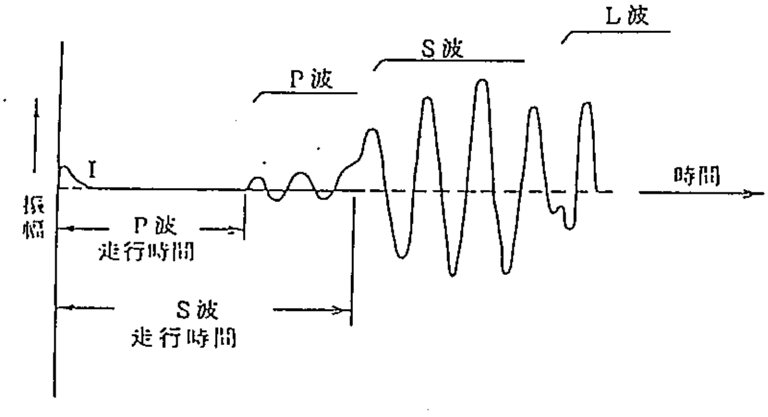


図 3.1.11　音波検層機受信波形

ＩＮＴログ（インテンシティログ）

ＩＮＴログは、図3.1.13　のような方法で撮影される。音波信号の中には、Ｐ波、Ｓ波などの各波の到達時間の他にも、振幅、周期、エコーによる波形歪み等の情報が含まれている。

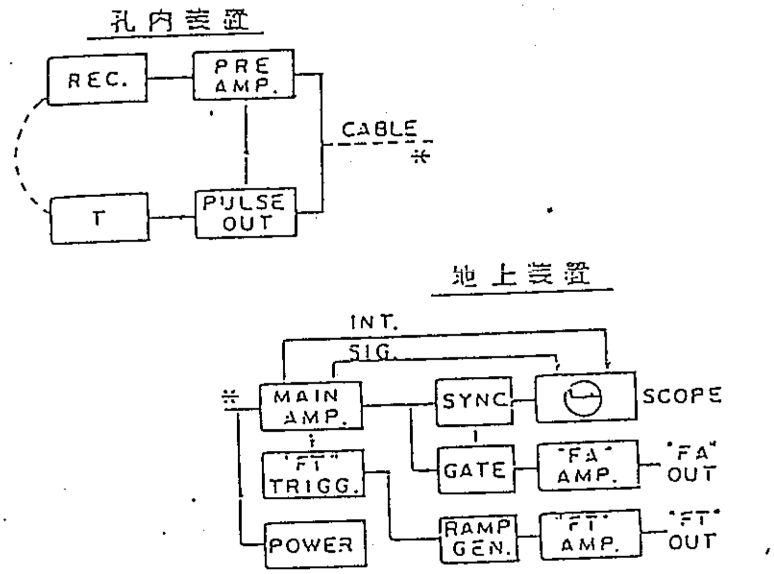


図 3.1.12　音波検層機のブロックダイヤグラム

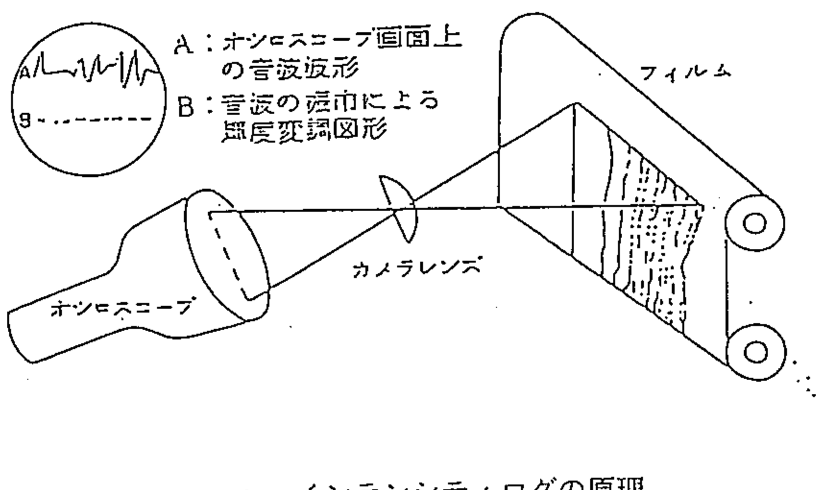


図 3.1.13　インテンシティログの原理

3.1.8　ボアホールテレビュアー検層

ボアホールテレビュアー(BHTV)は、流体で満たされた孔井の孔壁を音波で走査することにより、孔壁の状態を映像として表す測定器である。

図 3.1.14 にBHTVの孔内ゾンデのブロックダイヤグラムを示す。

ピエゾエレクトリックトランスデューサ（圧電形トランスデューサ）は音波エネルギーを孔壁に向けて発射し、その反射波を検出することによって、孔壁の状態を調べる。

フラックスゲートマグネトメーターは、地磁気を検出し、BHTVの測定結果の方位を決定するために用いられ、トランスジューサ及びマグネトメーターはモーターにより、ゾンデの垂直軸を中心として約 3rev/sec の速度で回転する。

トランスデューサ及びマグネトメーターで検出された信号は、ゾンデ内の電子回路によって、ケーブルで伝送し易いエンベロープ波（検出信号を包絡線波に処理した信号）に処理された後、地上パネルに送られる。

直径 1/2ｲﾝﾁの円盤状の圧電素子でできたトランスデューサは基本周波数が1.2MHzの音波エネルギーのトランスミッタ、及びレシーバーの両方の働きをし、非常に細いビーム状に収束された音波エネルギーのパルスは、2,000 pulse/sec の割合で孔壁に向け発射され、音波エネルギーの一部は孔壁からトランスデューサにむけて反射される。

トランスデューサが回転すると同時に、孔内ゾンデ自体も、垂直方向に移動するので、孔壁はスパイラル状に走査され、孔内ゾンデの移動速度が毎分 2m 以下なら孔壁の大部分を走査することができる。

マグネトメーターとそれに付随した電子回路によって、トランスデューサが磁北を向いたとき、パルス信号が発生し、トランスデューサは一定の速度で回転しているので、それがどの方向を向いているかは磁北パルスを基準にする事により知ることができる。

孔壁から反射される音波エネルギーの大きさは、孔壁の表面の物理的性質によって左右され、滑らかな表面は粗い表面よりもよく反射し、硬い表面は柔らかい表面よりもよく反射し、更にトランスデューサに対して反射面が斜めの場合は、反射エネルギーは著しく減少する。一般に表面のどのような不規則さも、反射信号の振幅を減少させる。

トランスデューサは、超音波を発射した後は反射エネルギーを電気エネルギーにに変換するレシーバーとして動作する。反射エネルギーは地上まで伝送するのに適した電気信号に変換されなければならない。

図 3.1.14 に示すシグナルゲートにより超音波を発射した後、ある時間だけ入力信号を削除する事により高電圧の発信パルスがアンプ回路に入るのを阻止し、反射信号だけを通過させる。また、シグナルゲートを通ったこの信号はアンプで増幅され、エンベロープ波に変換された後、地上パネルに送られる。

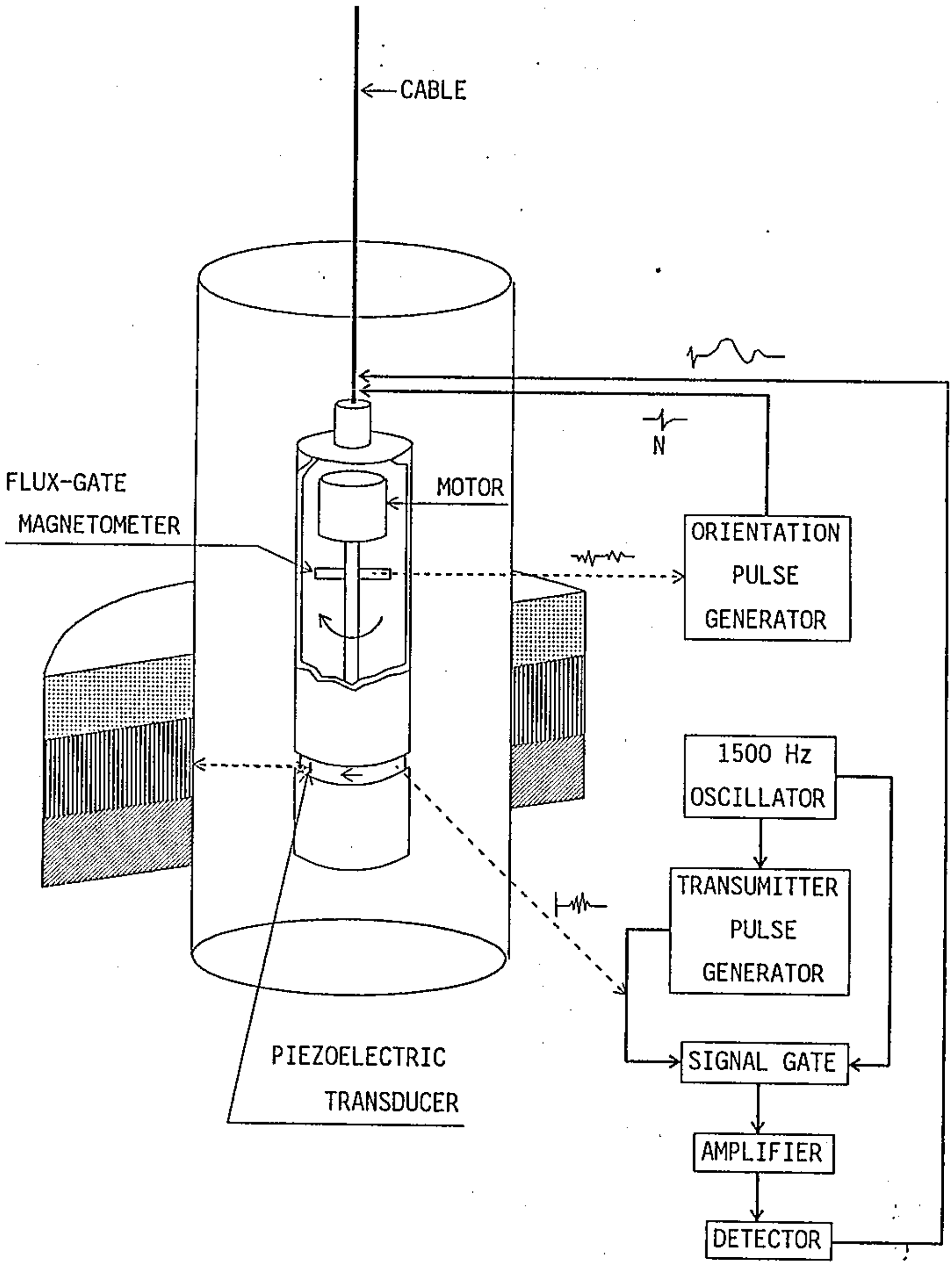


図 3.1.14 ボアホールテレビュアー(BHTV)検層装置原理図

図15にBHTVの影像測定システムのブロックダイヤグラムを示す。
坑内ゾンデから送られてきた反射信号及び方位パルスと、ケーブル案内輪の回転によって発生する深度パルス信号の3つの信号からBHTVの影像測定が行われる。

反射信号は収録されたコンピュータ内で処理され、①アンプリチュードおよび②キャリパー値として出力される。

①アンプリチュードは反射信号の振幅強度（反射強度）を測定する。振幅強度の強弱は孔壁の状態に影響され、滑らかな孔壁では振幅強度は一様な大きさを示し、割れ目や空洞あるいは傷のある孔壁では減少する。アンプリチュードはトランスデューサの回転により 360° 方向全ての孔壁が走査されるので、ゾンデを垂直方向に移動させ深度に対応させ連続的に孔壁の影像を記録すれば、孔壁を展開した連続的なデータが得られる。
また、振幅強度変化を色の変化に対応させる事により孔壁の状態を明白に捕らえる事ができる。

②キャリパーは反射信号の走時を測定する事によりゾンデから孔壁までの距離を算出する。算出されたキャリパー値は値により色分けされ、方位および垂直深度に対応した展開図として出力される。

BHTVの測定はゾンデが孔井の中心（孔芯）に保持される事が重要であり、この為ゾンデの上下には 4枚の弓スプリングを持ったセントラライザーが取り付けられ、常にゾンデは孔芯に保持される構造となっている。（図16参照）

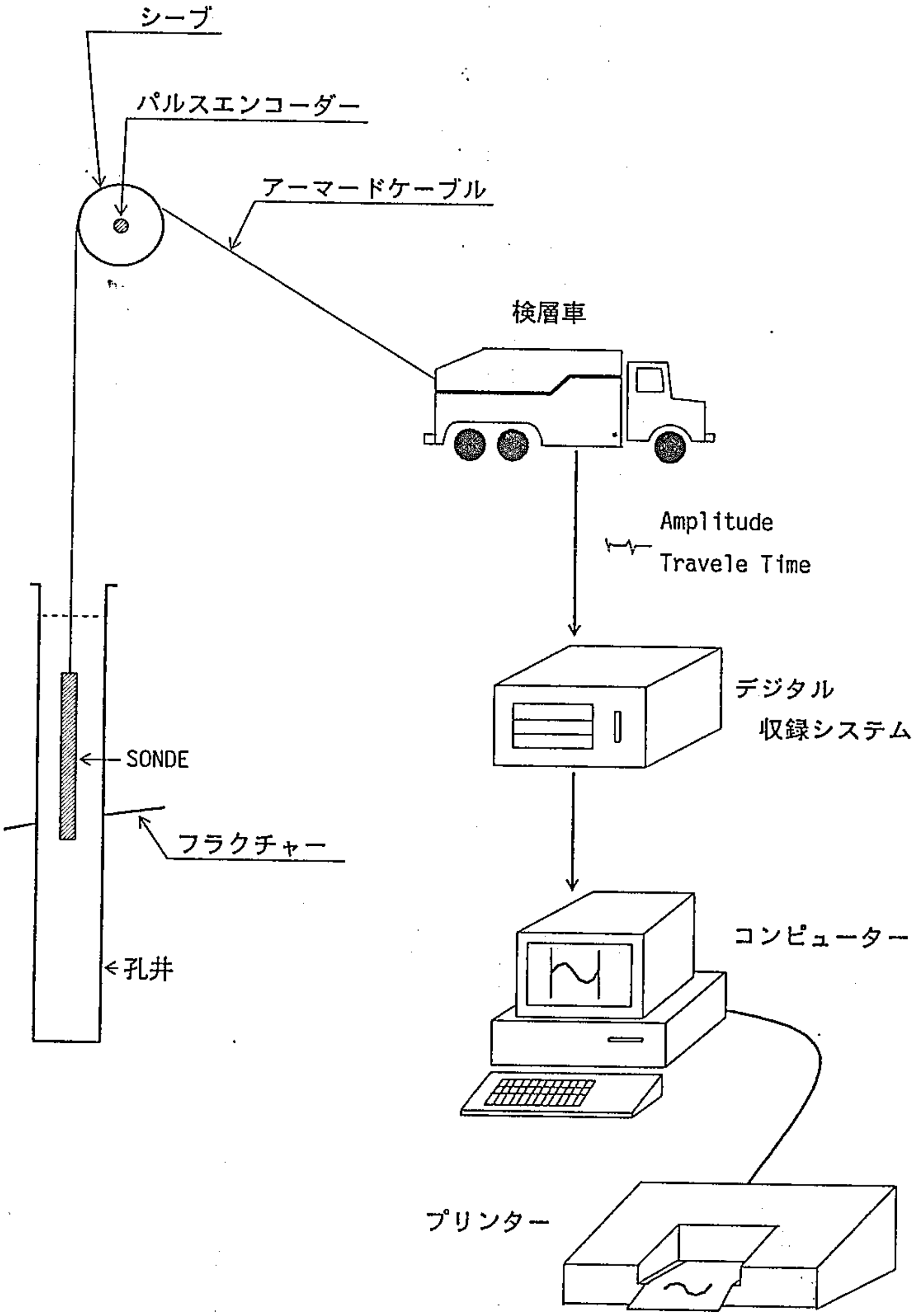


図 3.1.15 ボアホールテレビュアー測定概要図

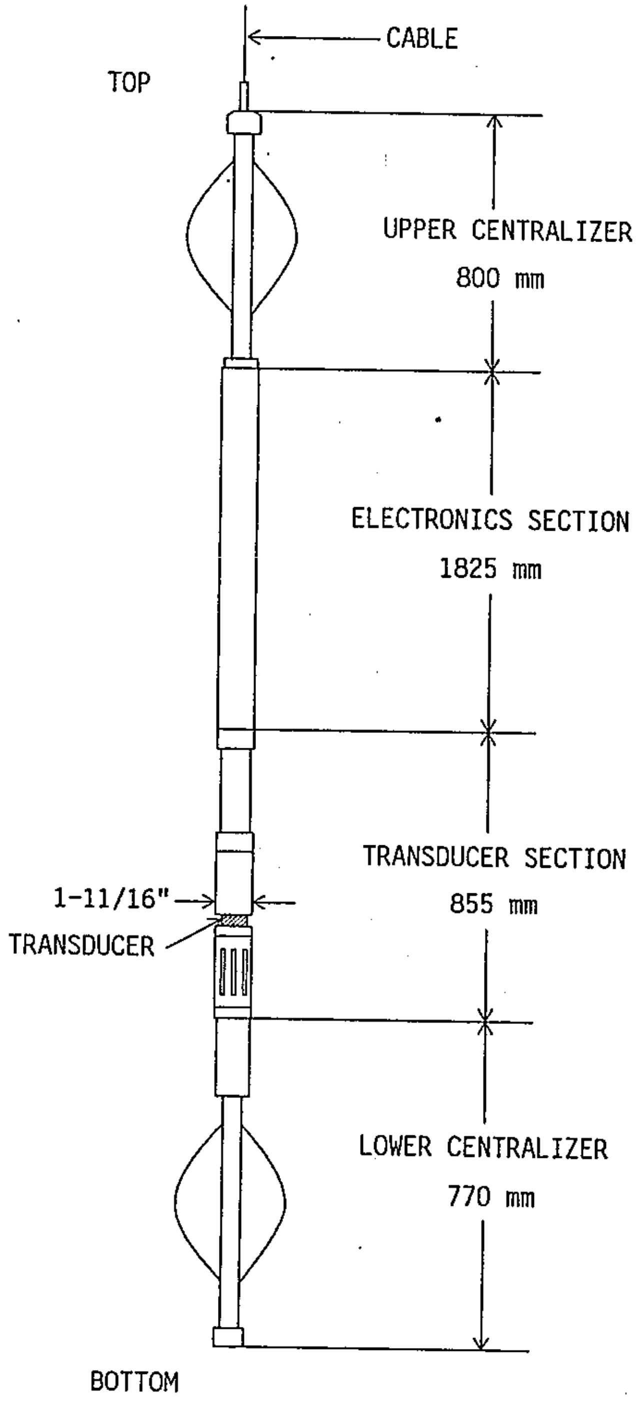


図 3.1.16 ボアホールテレビュアー(BHTV)孔内電極概略図

3.2 検層結果

本孔の検層結果については、次の9種目，温度，電気，マイクロ，密度，孔径，中性子・ガンマ線，音波，BHTVのデータについて順次説明する。

検層結果をまとめるに際し、電気検層曲線を基に、次のようにT_1～H_5の１０層に深度に従って分類し、その分類した区間について特徴を述べる。

グループ名	深度
T_1 層	275.0 ～ 427.0m（層厚 152m）
H_1 層	427.0 ～ 450.0m（層厚 23m）
T_2 層	450.0 ～ 723.0m（層厚 273m）
H_2 層	723.0 ～ 730.0m（層厚 7m）
T_3 層	730.0 ～ 856.0m（層厚 126m）
H_3 層	856.0 ～ 900.0m（層厚 44m）
T_4 層	900.0 ～ 930.0m（層厚 30m）
H_4 層	930.0 ～ 940.0m（層厚 10m）
T_5 層	940.0 ～ 983.0m（層厚 43m）
H_5 層	983.0 ～ 1000.0m（層厚 17m）

3.2.1 温度検層結果

温度検層結果については、測定区間全体の温度曲線を図3.2.1 に示す。

温度曲線から本孔の温度変化についてその特徴を述べると、地表付近の気温の影響を除けば、温度勾配は、比較的低い値を示す。（平均温度勾配　0.19°C/10m）

この値は、日本の一般的な地温勾配 0.3°C/10m より低い値を示しており、熱流量の小さな地域と考えられる。

検層時の孔内水の深度は、深度9m付近で、孔内温度の最高は、孔底（深度1005.0m)で30.8°C を記録している。

孔内温度は、深度と共に直線上に緩やかな上昇を示し、孔内水の流動等による影響は認められない。

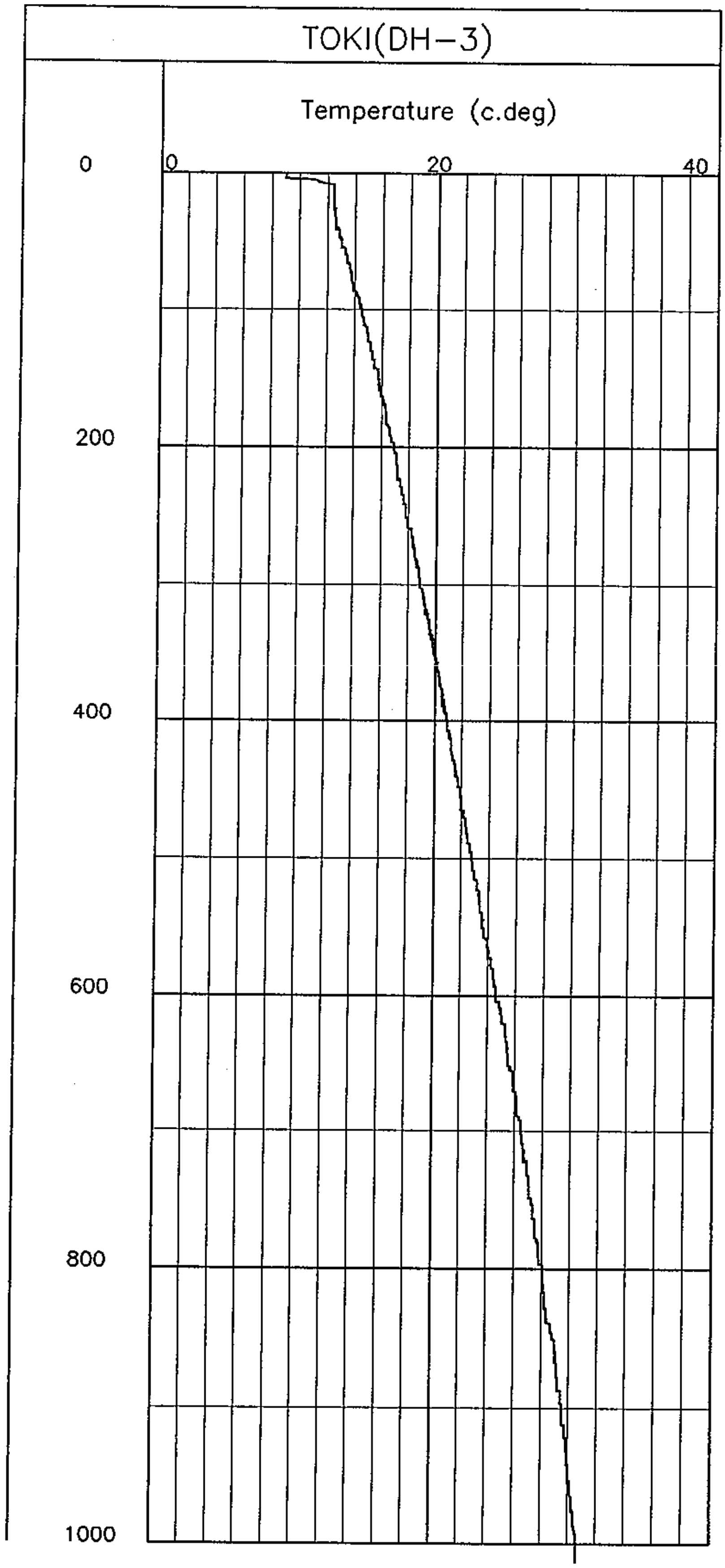


図 3.2.1 温度曲線図

3.2.2 電気検層結果

電気検層結果については、測定区間全体の自然電位・見掛比抵抗曲線を図3.2.2に示す。

自然電位検層は、孔井内で発生する電位を測定する方法で、孔内水と地層水の塩分濃度によって、正（＋側）、負（－側）に変移するが、通常は孔内水より地層水の塩分濃度が低いので正（＋側）に振れる。

又、孔内水が地層へ出入りする場合など、流動電位が観測される。

更に、泥岩中の電位は正側へ、砂岩中の電位は負側へ変移することが確かめられている。

自然電位曲線の特徴として、深度427.0 ～450.0m間で自然電位の負側へ移行する傾向が認められる。更に深度 856.0～ 900.0 m間、深度 930.0～ 940.0 m間、深度 983.0～1000.0 m間でも負側へ移行する傾向が認められる。逆に、正側へ移行している区間では割れ目帯による粘土化および割れ目に充填している粘土鉱物の影響に起因しているものと考えられる。

次に本孔の見掛比抵抗曲線について、自然電位同様、グループとの対比からその特徴を示す。

グループ毎に見掛比抵抗曲線のショート・ノルマル値（ＳＮ値）並びにロング・ノルマル値（ＬＮ値）の平均値を示す。

グループ名			ＳＮ値の平均値	ＬＮ値の平均値
T_1	層	(275.0 ～ 427.0m)	784.0 ohm-m	559.0 ohm-m
H_1	層	(427.0 ～ 450.0m)	2502.5 ohm-m	2404.4 ohm-m
T_2	層	(450.0 ～ 723.0m)	613.0 ohm-m	408.5 ohm-m
H_2	層	(723.0 ～ 730.0m)	1548.8 ohm-m	1204.3 ohm-m

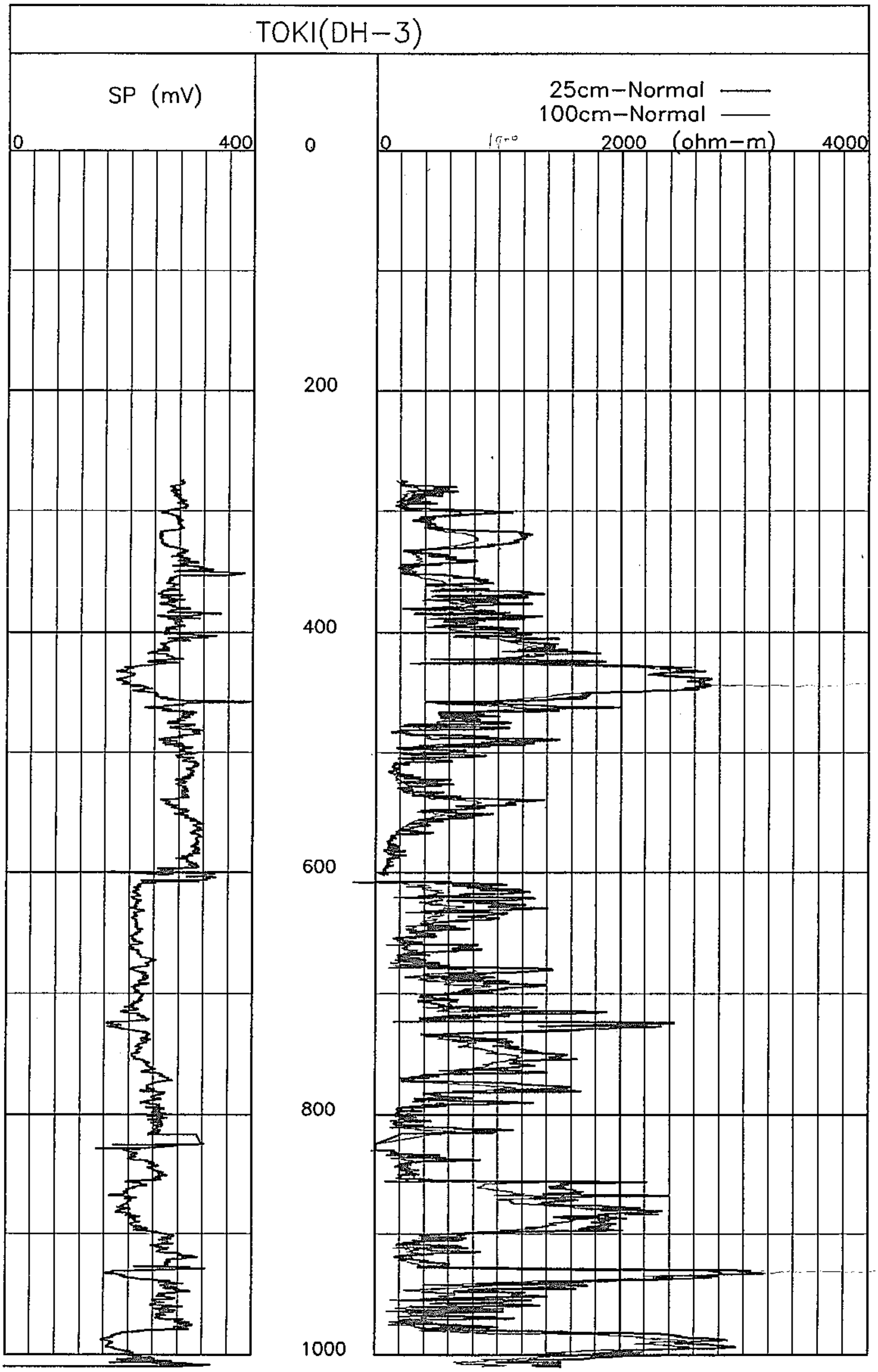


図 3.2.2 自然電位・見掛比抵抗曲線図

グループ名			SN値の平均値	LN値の平均値
T_3	層	(730.0 ～ 856.0m)	733.8 ohm-m	530.1 ohm-m
H_3	層	(856.0 ～ 900.0m)	1600.5 ohm-m	1332.0 ohm-m
T_4	層	(900.0 ～ 930.0m)	850.0 ohm-m	625.0 ohm-m
H_4	層	(930.0 ～ 940.0m)	2062.5 ohm-m	1621.0 ohm-m
T_5	層	(940.0 ～ 983.0m)	1002.9 ohm-m	576.6 ohm-m
H_5	層	(983.0 ～ 1000.0m)	2348.9 ohm-m	1928.5 ohm-m

見掛比抵抗の特徴として、H層の比抵抗値は全般的に高比抵抗を示し、T層の比抵値は全般的に低比抵抗を示す区間へと移行している。この間では岩相の変化が予想される。

尚、コア観察の結果より、本層の地質は、黒雲母花崗岩と報告されている。このように、同一岩層にもかかわらず、比抵抗値に大きな変化が認められる。その理由として亀裂の増加や変質などによる岩層の変化が考えられる。

3.2.3 マイクロ検層結果

マイクロ検層結果についても、電気検層結果と同様に測定区間全体の1ｲﾝﾁ ,2ｲﾝﾁ　の見掛比抵抗曲線を図3.2.3 に示す。

本孔の見掛比抵抗曲線について、以下にグループ毎の対比よりその特徴を述べる。

まず、グループ毎に見掛比抵抗曲線の１ｲﾝﾁ の平均値を示す。

グループ名			1ｲﾝﾁ の平均値
T_1	層	(275.0 ～ 427.0m)	121.1 ohm-m
H_1	層	(427.0 ～ 450.0m)	147.7 ohm-m
T_2	層	(450.0 ～ 723.0m)	72.1 ohm-m
H_2	層	(723.0 ～ 730.0m)	46.0 ohm-m
T_3	層	(730.0 ～ 856.0m)	38.4 ohm-m
H_3	層	(856.0 ～ 900.0m)	57.3 ohm-m
T_4	層	(900.0 ～ 930.0m)	58.6 ohm-m
H_4	層	(930.0 ～ 940.0m)	62.6 ohm-m
T_5	層	(940.0 ～ 983.0m)	61.0 ohm-m
H_5	層	(983.0 ～ 1000.0m)	127.6 ohm-m

マイクロ検層の特徴として、電気検層同様、Ｔ層間の比抵抗値は変化に富んでおり、この間で岩層の変化が予想される。比抵抗値は全般的に高く更に、鋸歯状を呈していることより亀裂の発達している区間と考えられる。

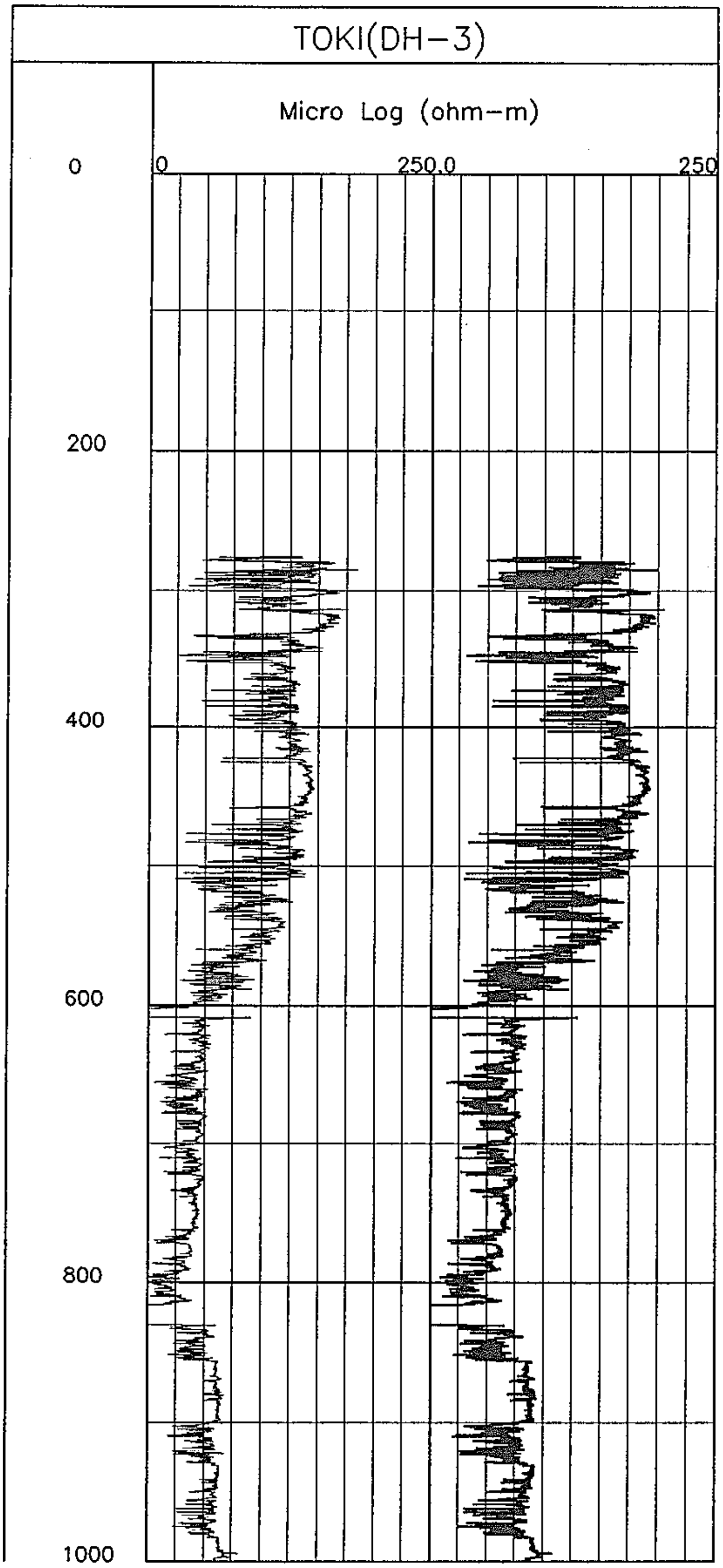


図 3.2.3 マイクロ見掛比抵抗曲線図

3.2.4 密度検層結果

密度検層結果については図3.2.4　に示しているように、密度値が2.6 g/㎤前後を示す高密度区間が連続している。深度600m以深は、坑内状況の悪化の為計測出来なかった。

グループ毎の平均密度値を示すと以下のようになる。

グループ名			密度値の平均値
T_1	層	(275.0 ～ 427.0m)	2.57 g/cm³
H_1	層	(427.0 ～ 450.0m)	2.60 g/cm³
T_2	層	(450.0 ～ 600.0m)	2.57 g/cm³

本孔で測定された密度は、深度345.0m、深度515.0mと深度600m付近の低密度部を除けば、2.6 g/㎤前後の高密度区間が続いている。これらの低密度部は、著しい岩層の変質に起因し、密度値の低下は亀裂によるものと推定される。

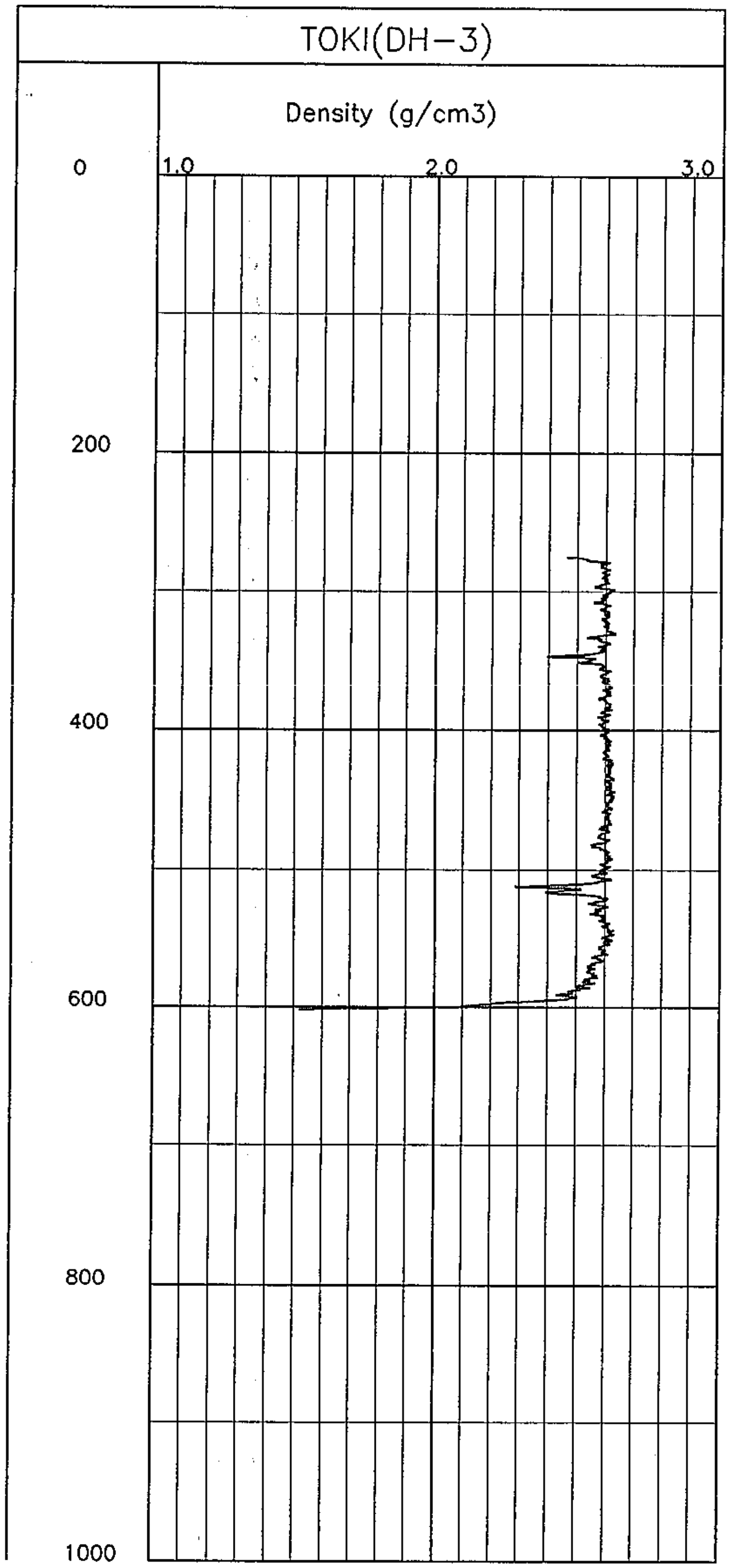


図 3.2.4 密度曲線図

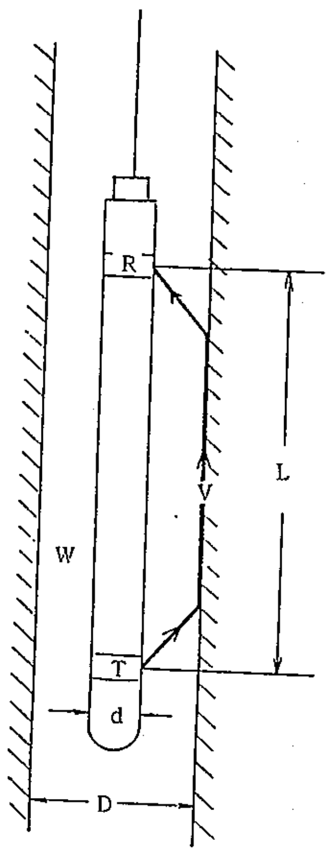
3.2.5 音波検層結果

ここで述べている地層の速度とは、音波検層よりＰ波の発信器から受信器までに要した伝播時間をもとに算出される値で、その際、孔径の影響を考慮に入れる必要がある。

更に、Ｐ波の伝播時間には、孔壁を伝播する時間の他に、孔内水中を伝播する時間も含まれている。従って、受信記録から孔内水中の伝播時間を補正し、孔壁を伝播する時間より地層のＰ波速度を算出する。

この算出式には、孔径を入力して、その影響を取り除いているが、特に孔径が拡大している箇所では、時折地層のＰ波速度を求めることが出来ない場合が発生する。

地層のＰ波速度は、次のように算出している。



ここで

Ｔ：音波発振子

Ｒ：音波受振子

ｄ：コア直径（43㎜）

Ｄ：孔径

Ｌ：Ｔ－Ｒ間隔

Ｖ：地層のＰ波速度

Ｗ：孔内水のＰ波速度

図 3.2.5　音波検層概念図

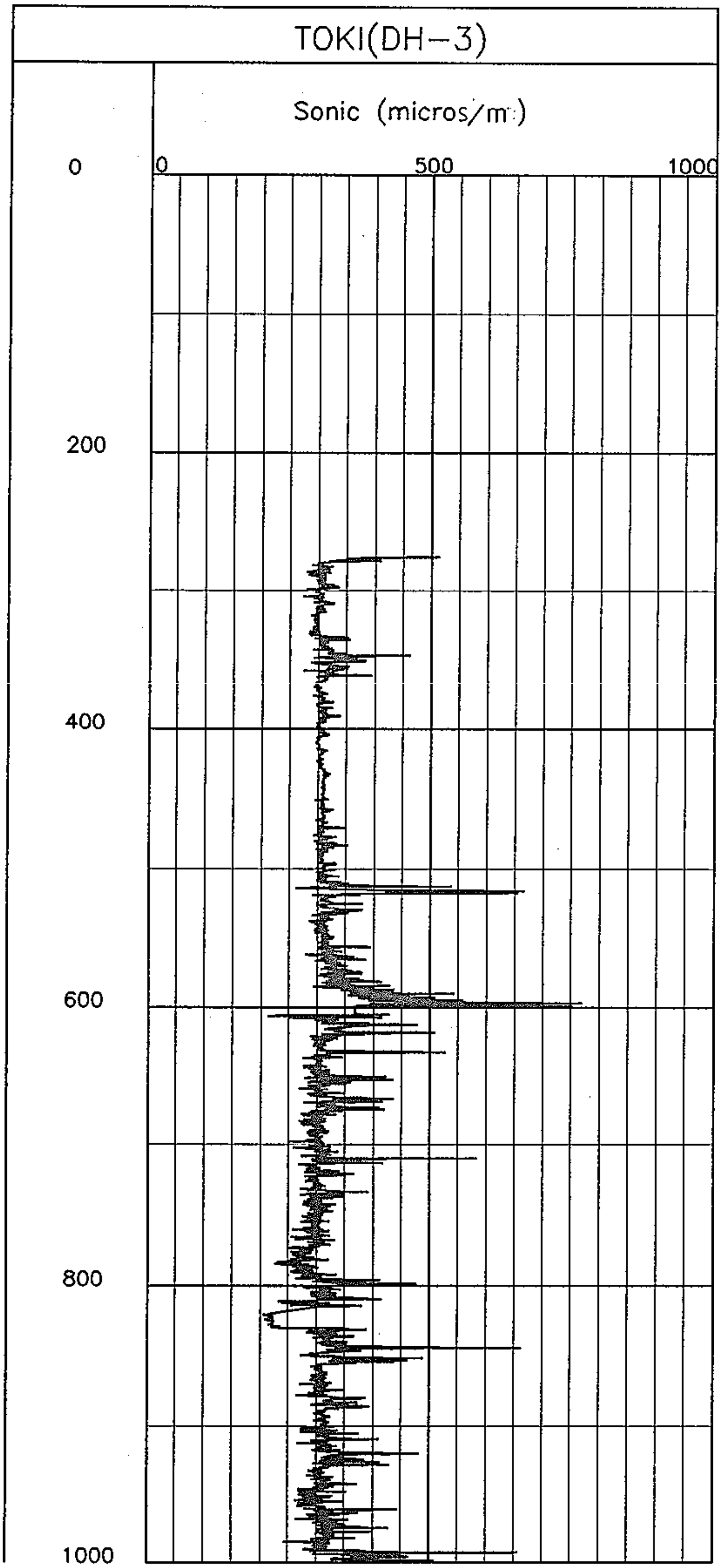


図 3．2．6　音波検層曲線図

$$V = \frac{LTW^2 + W\sqrt{L^2T^2W^2 - [W^2T^2 - 4\times((D-d)/2)^2] \times [(4((D-d)/2)^2 + L^2)]}}{T^2W^2 - 4((D-d)/2)^2}$$

音波検層結果を図3.2.6 に示し、地層のＰ波速度結果を図3.2.7 に示した。本孔の速度値は、4 km/secの低速度部と 4km/sec以上の高速度値を示す箇所に分類される。

グループ毎の地層のＰ波速度の平均値は、次のような結果になっている。

グループ名		地層のＰ波速度の平均値
T_1 層	(275.0 ～ 427.0m)	4.2 km/sec
H_1 層	(427.0 ～ 450.0m)	4.2 km/sec
T_2 層	(450.0 ～ 723.0m)	4.0 km/sec
H_2 層	(723.0 ～ 730.0m)	4.5 km/sec
T_3 層	(730.0 ～ 856.0m)	4.4 km/sec
H_3 層	(856.0 ～ 900.0m)	4.2 km/sec
T_4 層	(900.0 ～ 930.0m)	4.0 km/sec
H_4 層	(930.0 ～ 940.0m)	4.2 km/sec
T_5 層	(940.0 ～ 983.0m)	4.2 km/sec
H_5 層	(983.0 ～ 1000.0m)	－ km/sec

各層の平均的なＰ波速度は、4.0 ～4.5 km/sec であるが、Ｔ層区間に低速度部の発達が見られ、亀裂の集中部や破砕帯の発達が予想される。

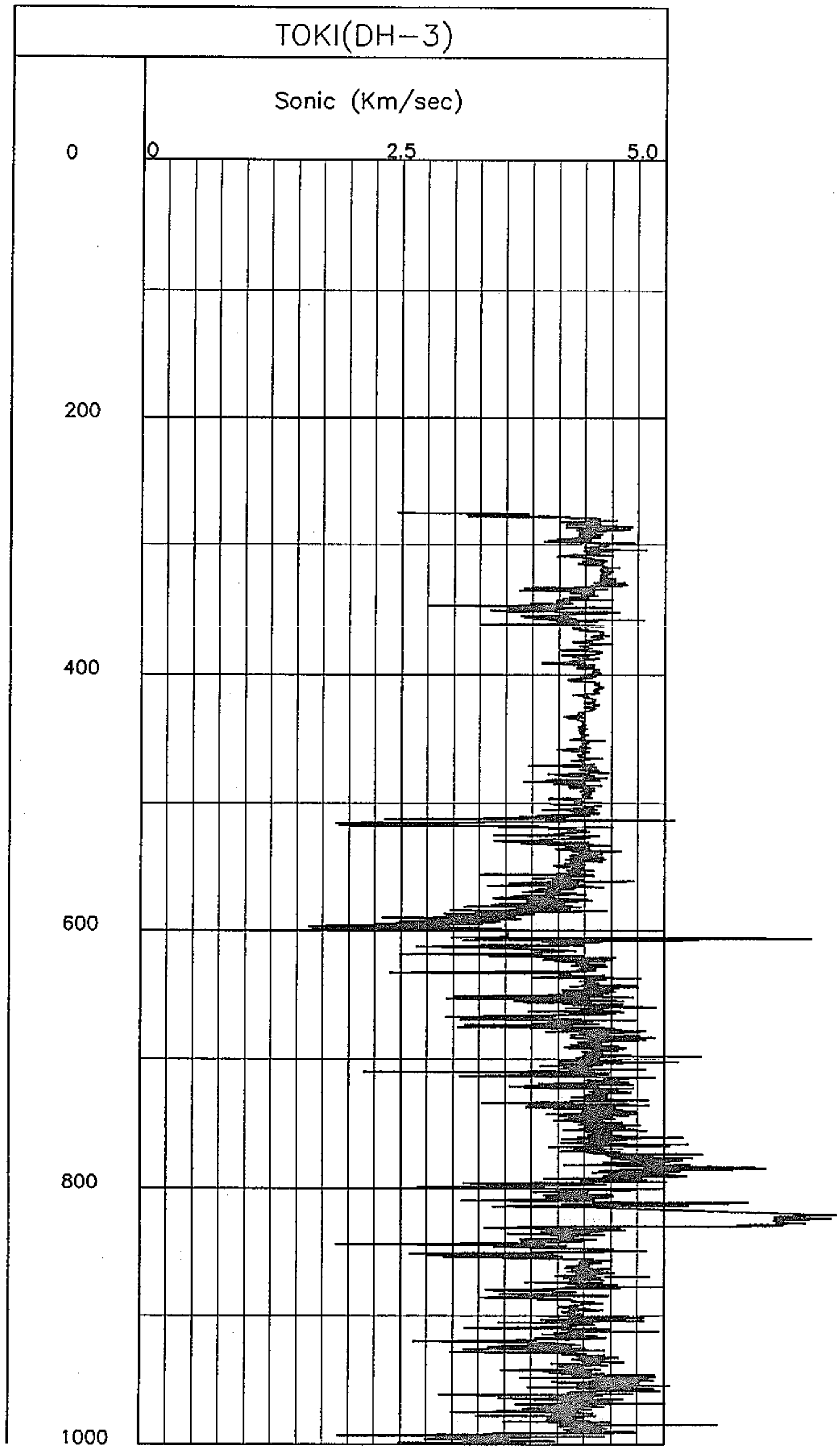


図 3．2．7　P波速度曲線図

3.2.6 孔径検層結果

孔径検層結果については、図3.2.8 に示した。

尚、本孔の掘削孔径は深度5.2 ～ 1000.0m間で 98.5mm で掘削されている。

本孔の掘削孔径に対する孔径の変化は、次のような結果になっている。

深	度		X方向の平均値	Y方向の平均値
T_1	層	(275.0 ～ 427.0m)	100.5 mm	98.3 mm
H_1	層	(427.0 ～ 450.0m)	100.8 mm	98.1 mm
T_2	層	(450.0 ～ 723.0m)	102.4 mm	98.8 mm
H_2	層	(723.0 ～ 730.0m)	102.4 mm	101.5 mm
T_3	層	(730.0 ～ 856.0m)	98.9 mm	98.4 mm
H_3	層	(856.0 ～ 900.0m)	99.0 mm	97.5 mm
T_4	層	(900.0 ～ 930.0m)	100.1 mm	95.4 mm
H_4	層	(930.0 ～ 940.0m)	98.5 mm	92.4 mm
T_5	層	(940.0 ～ 983.0m)	96.7 mm	88.7 mm
H_5	層	(983.0 ～ 1000.0m)	— mm	— mm

本孔の孔径は、全般的に掘削孔径より数mm程度拡大しているものの、次の深度では大きく拡大している。深度600m付近、、815m付近、920m付近で、特に深度600m付近では最大225mm まで拡大している。

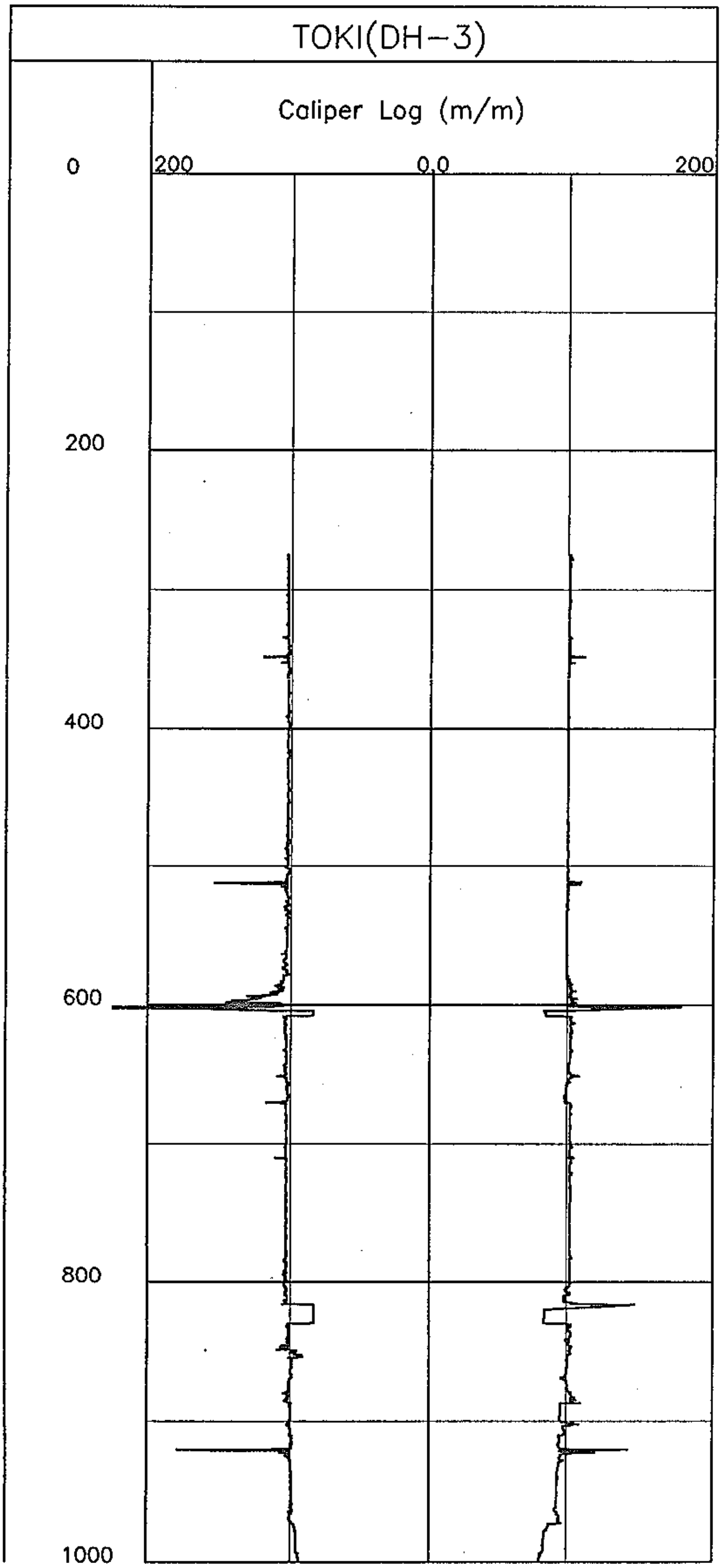


図 3.2.8 孔径検層曲線図

3.2.7　中性子検層結果

中性子検層結果については、図3.2.9 に示した通り、変化に富んだ曲線を示す。更に、中性子検層結果より算出した地層孔隙率の変化曲線についても、図3.2.10 に示した。

本孔の地層孔隙率は2.5 ～30% と比較的低い孔隙率を示している。

一般的に、中性子強度が高い程、孔隙率又は含水率が少ないことが知られている。

本孔の地層孔隙率の算出は、つぎのような孔径補正を含む換算式を用いた。

ＮＬ％＝１０「(-0.000128803-0.0000459006×孔径）×中性子強度＋log58 」

ここで　ＮＬ％　　：地層孔隙率

孔径　　　：孔径検層（inch）

中性子強度：中性子検層より求めた中性子強度

出典：Schlumberger 1972 log interpretation

本孔の地層孔隙率の平均をグループ毎に示すと次のような結果になる。

グループ名			地層孔隙率の平均値
T_1	層	(275.0 ～ 427.0m)	3.5 %
H_1	層	(427.0 ～ 450.0m)	2.1 %
T_2	層	(450.0 ～ 723.0m)	5.9 %
H_2	層	(723.0 ～ 730.0m)	2.3 %
T_3	層	(730.0 ～ 856.0m)	6.6 %
H_3	層	(856.0 ～ 900.0m)	2.9 %
T_4	層	(900.0 ～ 930.0m)	6.6 %
H_4	層	(930.0 ～ 940.0m)	2.3 %
T_5	層	(940.0 ～ 983.0m)	3.6 %
H_5	層	(983.0 ～ 1000.0m)	5.5 %

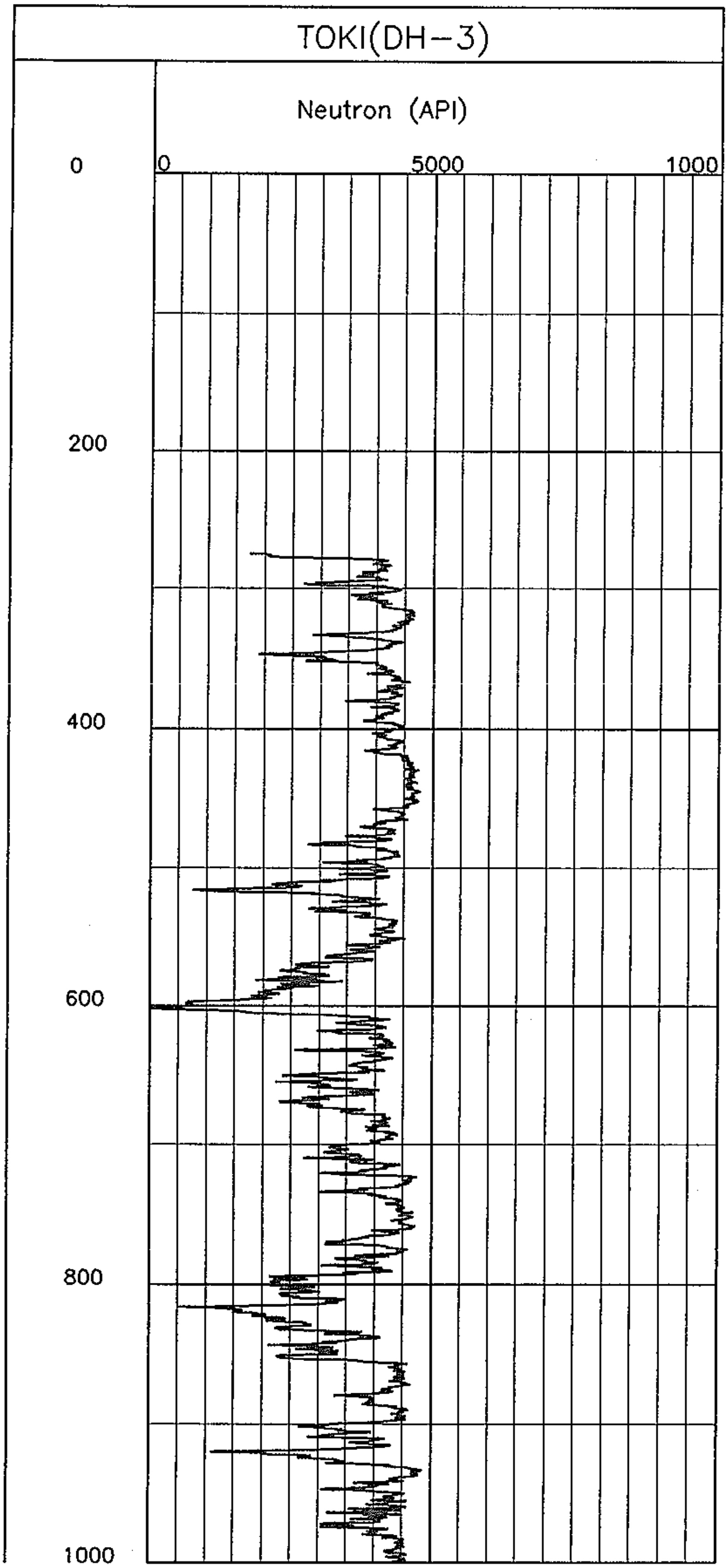


図 3.2.9 中性子強度曲線図

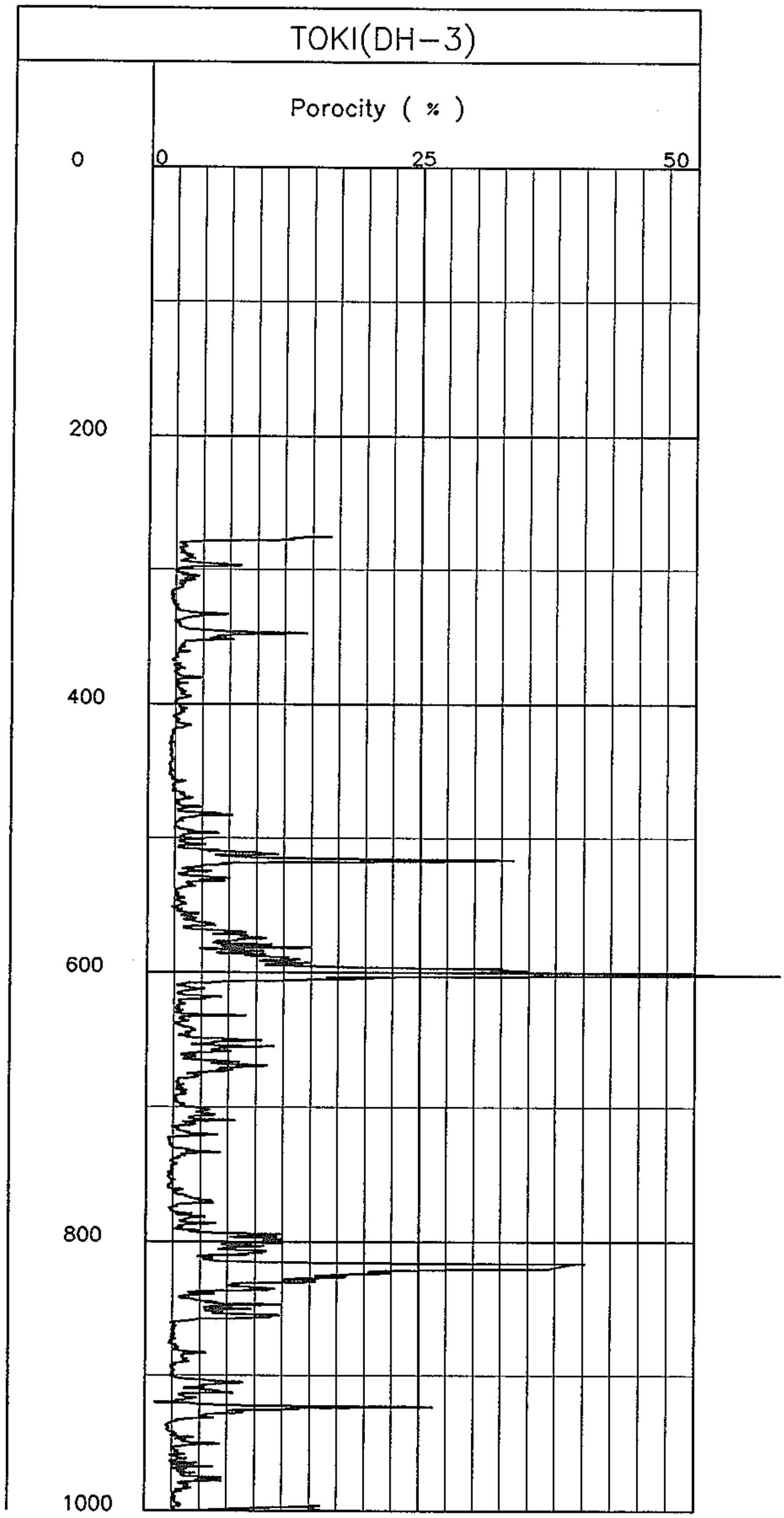


図 3.2.10 孔隙率曲線図

H層は、中性子強度も高く、電気検層の結果とも良い整合性が認められる。T層の中性子強度は低く、孔隙率は、部分的に20～40% 程度まで増加している区間も認められる。

その他の区間の平均孔隙率は、数%の低い孔隙率を示している。

3.2.8　自然放射能検層（ガンマ線検層）結果

測定されたガンマ線強度の範囲は 230～ 550 APIと一部を除き、200API以上の高い値を示している。このことは、一般的には放射性元素を多く含有している地層と判定される。

自然放射能検層結果については、図3.2.11　に示した。

本孔の平均ガンマ線強度とグループ毎の関係は、次のような結果になっている。

グループ名		ガンマ線強度の平均値
T_1 層	(275.0 ～ 427.0m)	379 API (68.9CPS)
H_1 層	(427.0 ～ 450.0m)	390 API (70.9CPS)
T_2 層	(450.0 ～ 723.0m)	360 API (65.5CPS)
H_2 層	(723.0 ～ 730.0m)	408 API (74.2CPS)
T_3 層	(730.0 ～ 856.0m)	361 API (65.6CPS)
H_3 層	(856.0 ～ 900.0m)	422 API (76.7CPS)
T_4 層	(900.0 ～ 930.0m)	395 API (71.8CPS)
H_4 層	(930.0 ～ 940.0m)	376 API (68.4CPS)
T_5 層	(940.0 ～ 983.0m)	339 API (61.6CPS)
H_5 層	(983.0 ～ 1000.0m)	395 API (71.8CPS)

1 CPS = 5.5 API

本孔のガンマ線強度は、上記に平均値を示したように、花崗岩のガンマ線強度は堆積岩や火山岩と比較しても高いガンマ線強度を示している。

H層のガンマ線強度は、T層のガンマ線強度よりも高い値を示し，放射性鉱物を多く含有している。

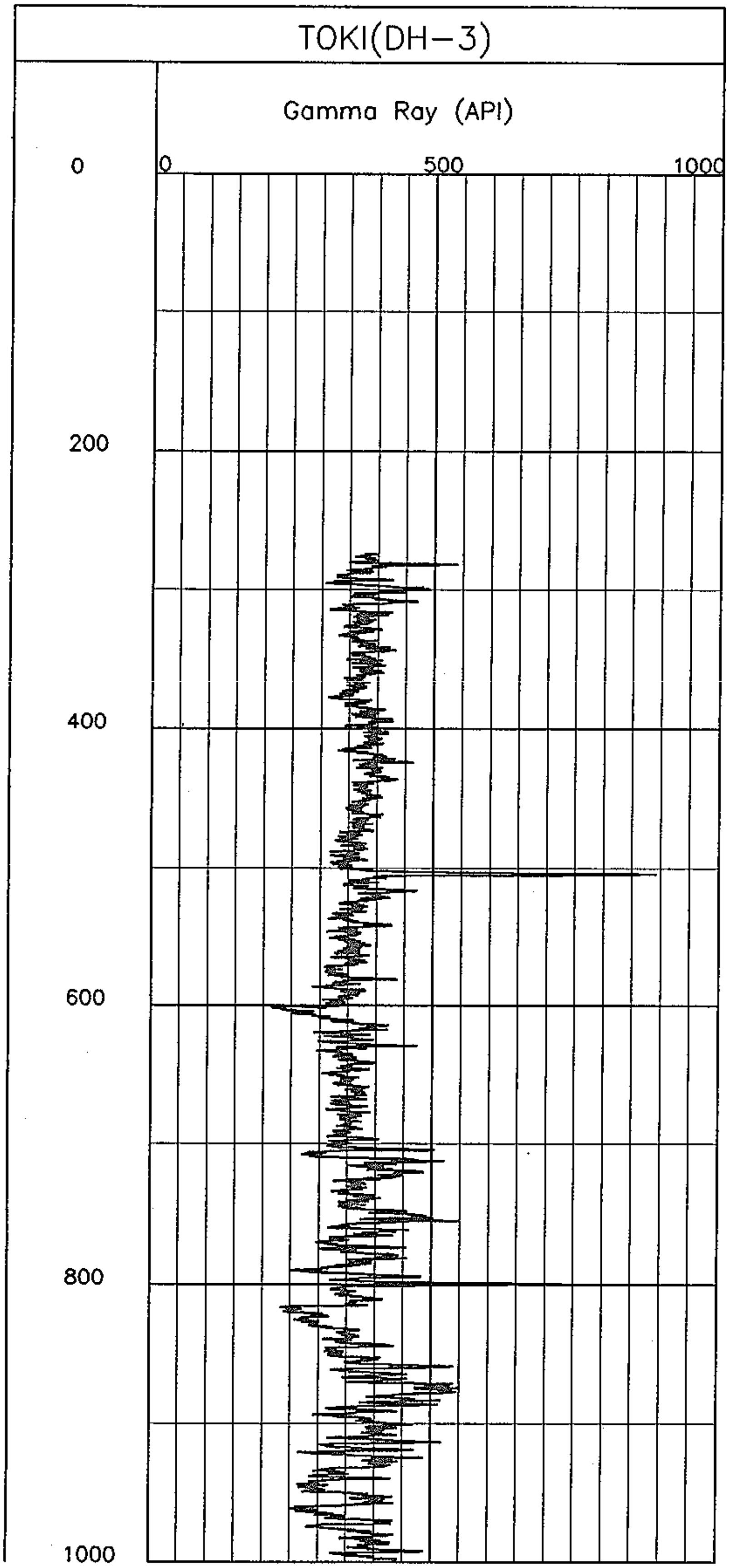


図 3．2．1 1　ガンマ線強度曲線図

上記について、風化の発達しているＡ層（深度33.0～74.4m)間のガンマ線強度の平均が本孔中で最も高いことも、放射性元素を含む鉱物がより多いことを示唆している。

3.2.9　ボアホールテレビュアー検層結果

測定されたボアホールテレビュアーのデータ（孔壁からの反射波）はコンピュータにより、反射強度（アンプリチュード値）と反射波到達時間（トラベルタイム）に分けられる。

反射強度は反射波の強弱を示すので孔壁に亀裂などがあり照射波が吸収されると弱い値を示し、孔壁が硬質で亀裂がなければ強い値を示す。反射の強度（アンプリチュード値）を色調の変化に置き換え連続的に表示することにより、孔壁の状況を知る事が出来る。

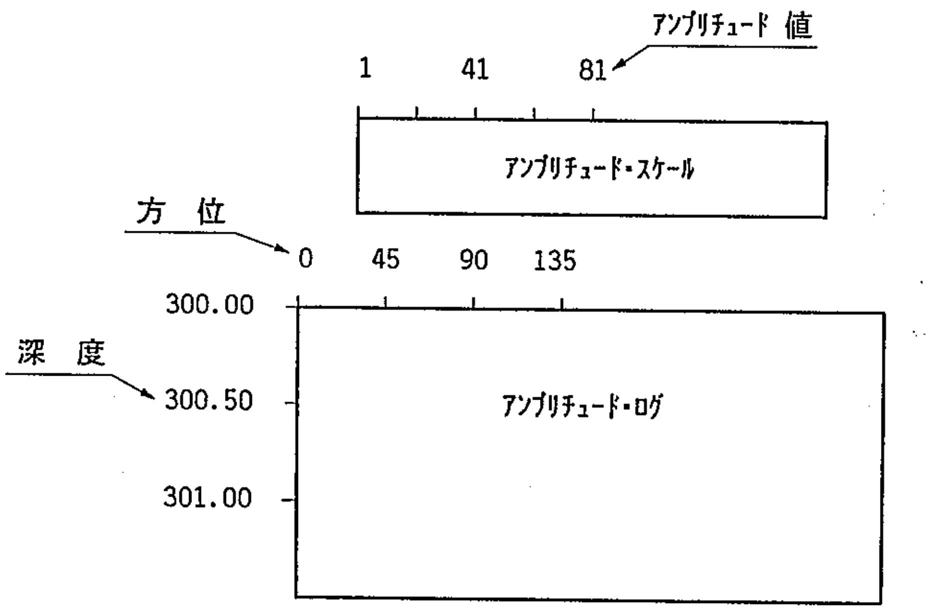
アンプリチュード・ログ を深度 10 m 毎に出力する。(図3.2.12)

ログ上の各名称、数値は

アンプリチュード・スケール
: アンプリチュード値と色調の対応を示す。
数値はアンプリチュード (0 ～10V)を256 分割して表したもので、反射の強弱を示す。数値が大きい程、反射波が大きい。

方　位
: ログの上部に記された数値、単位は度(°)。
0 ° は磁北を示し、0 ° → 90 ° → 180° → 270° →360° は方位記号　N → E→ S → W → N　に対応する。

深　度
: ログ左端の数値。
ログ縮尺は 1/50 とした。



TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

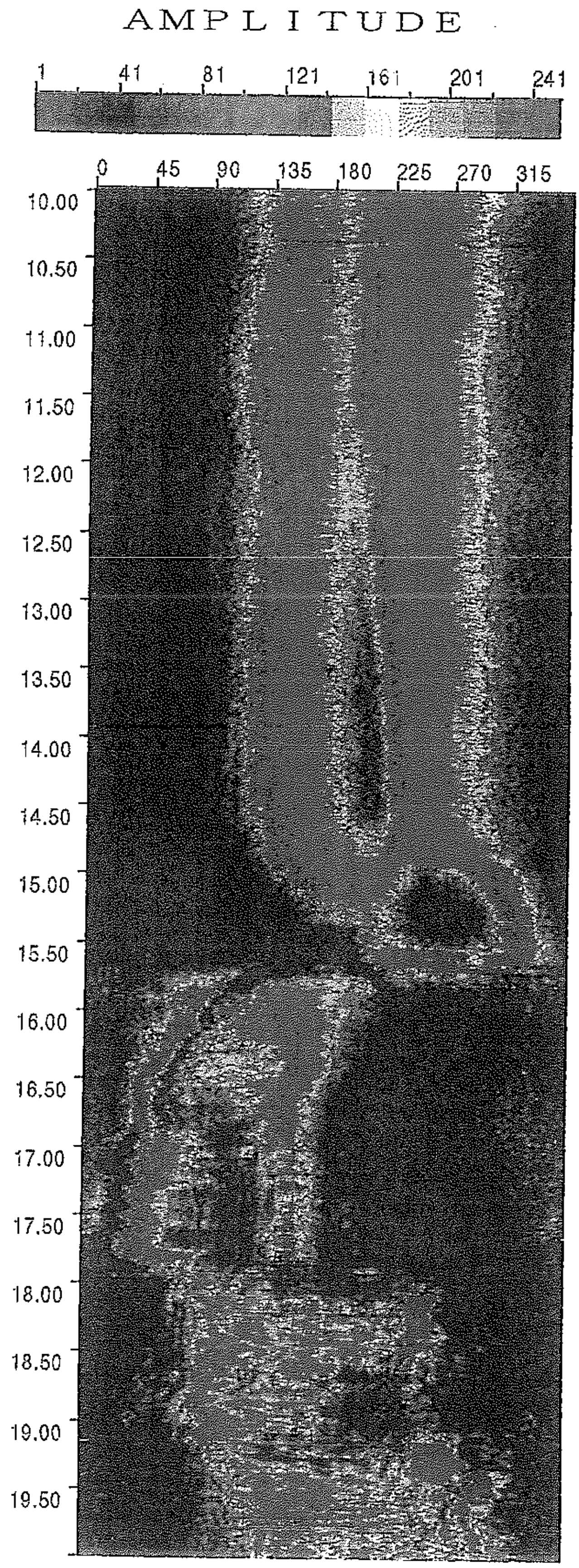
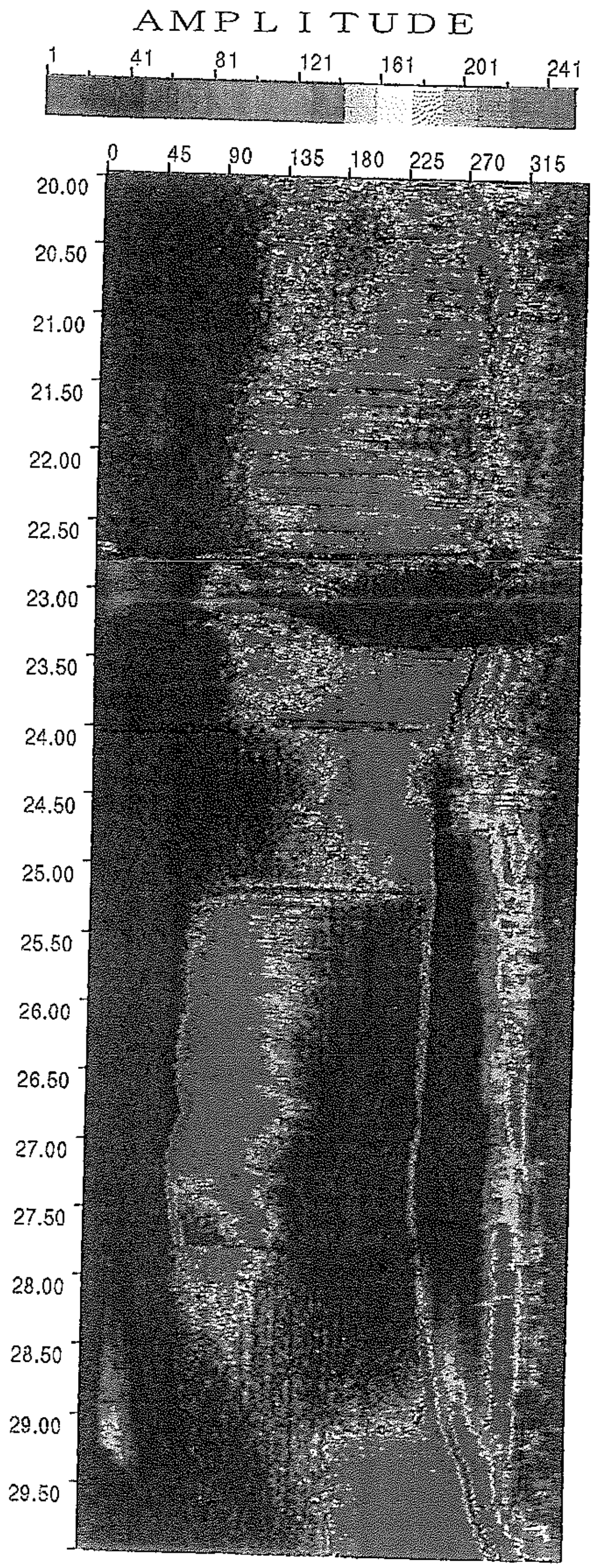


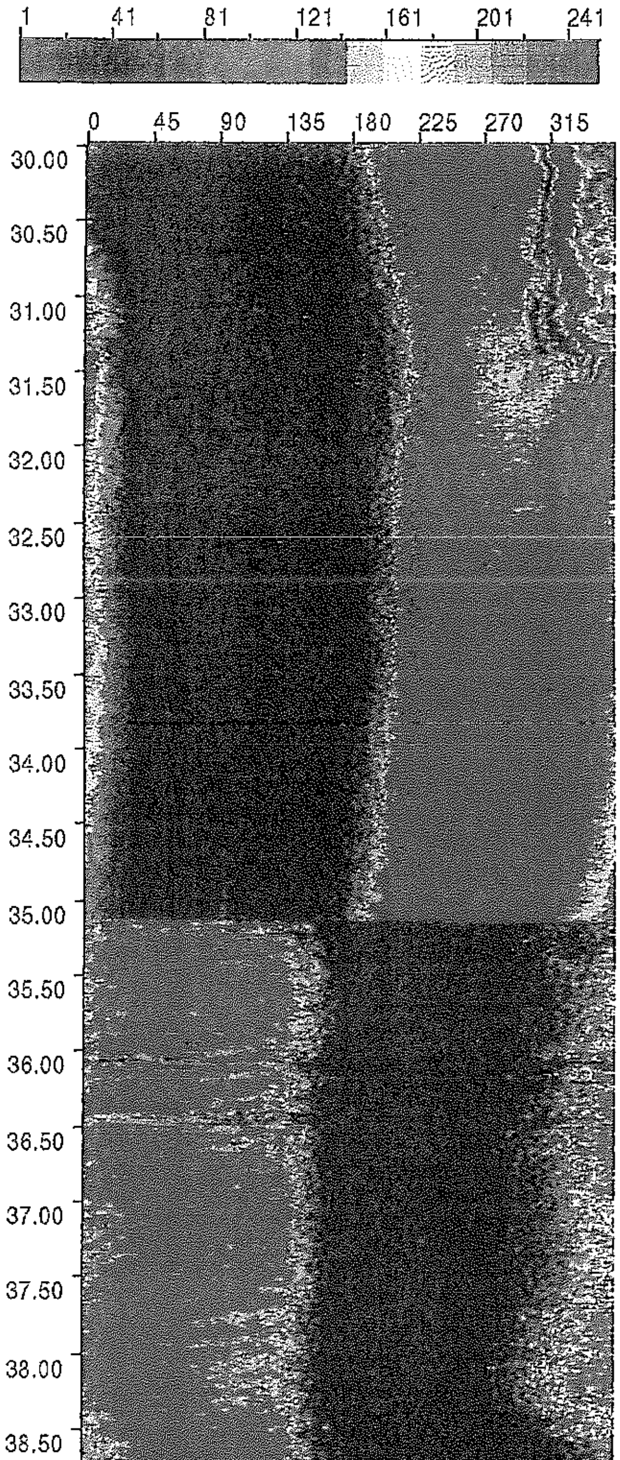
図 3.2.12 ボアホールテレビュアー検層

TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

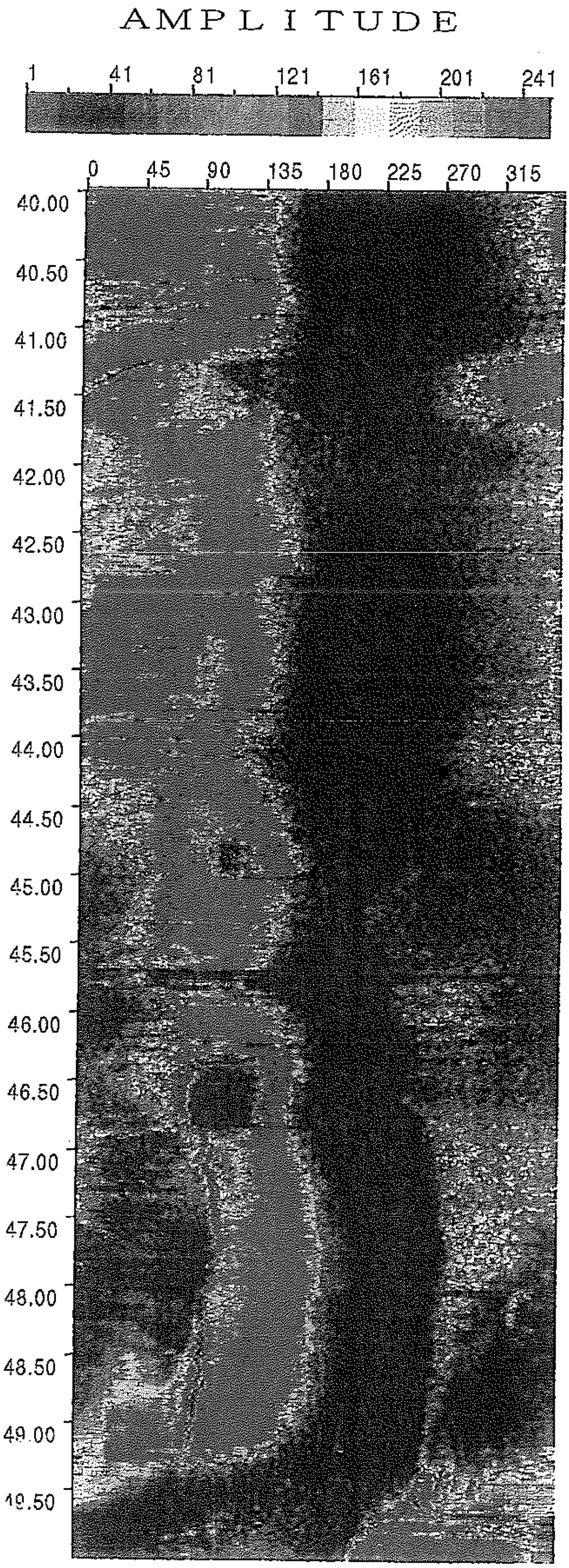


TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

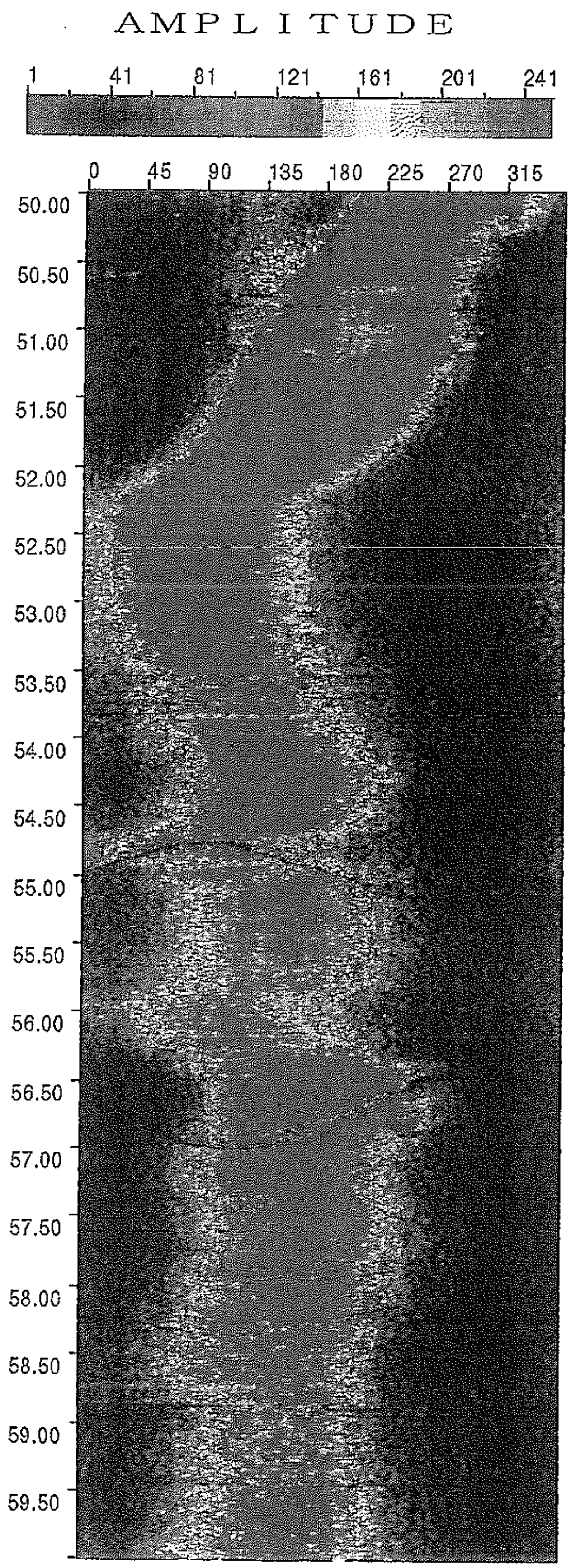
AMPLITUDE



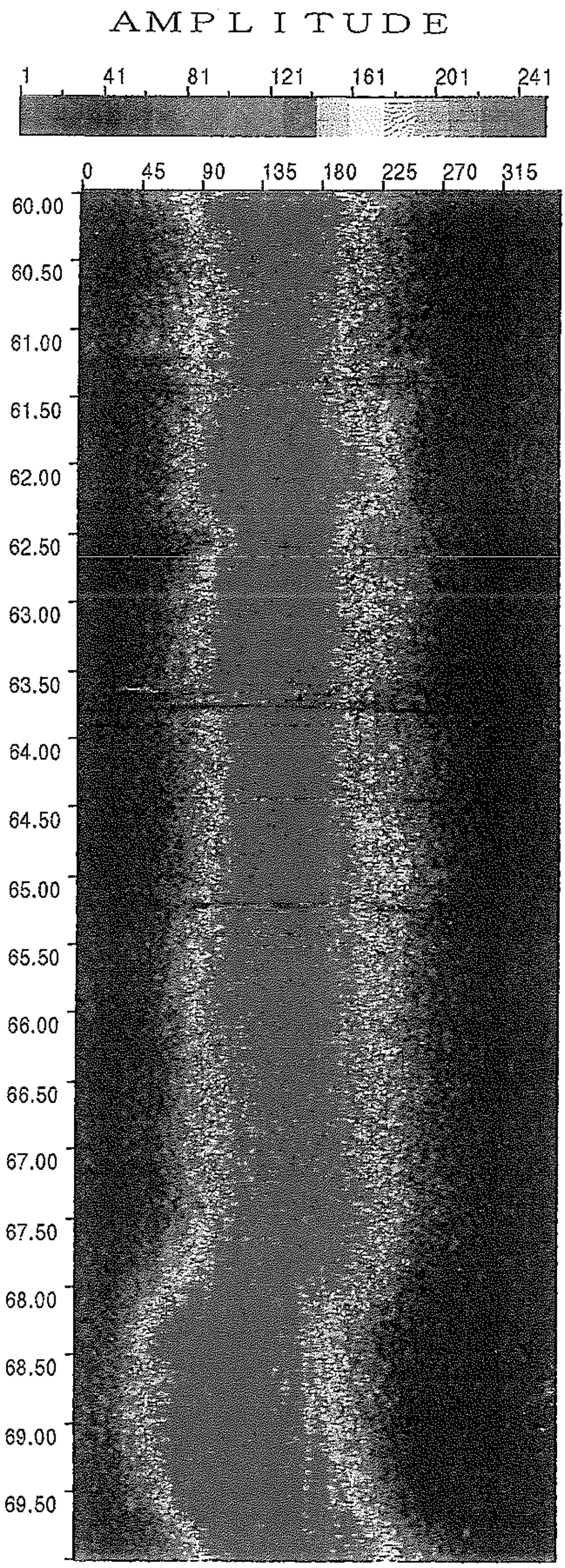
TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)



TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

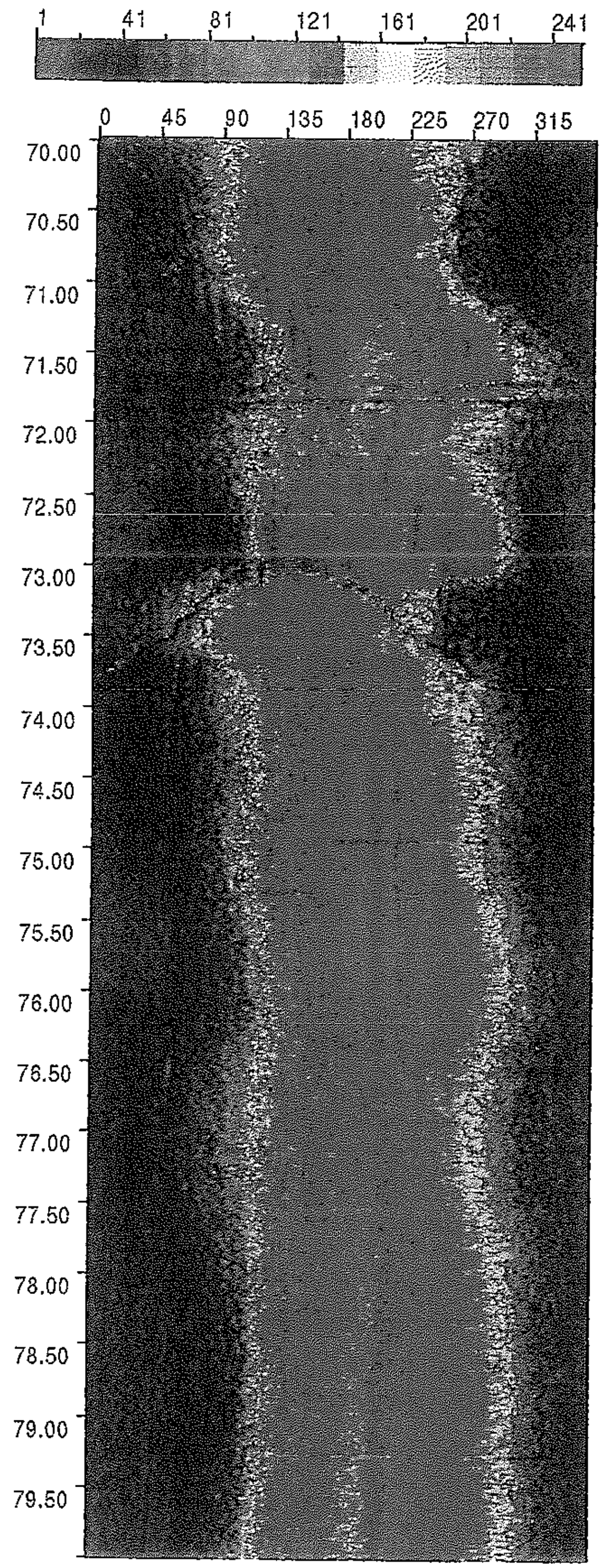


TOKI DH-3
(SCALE : 1／50)

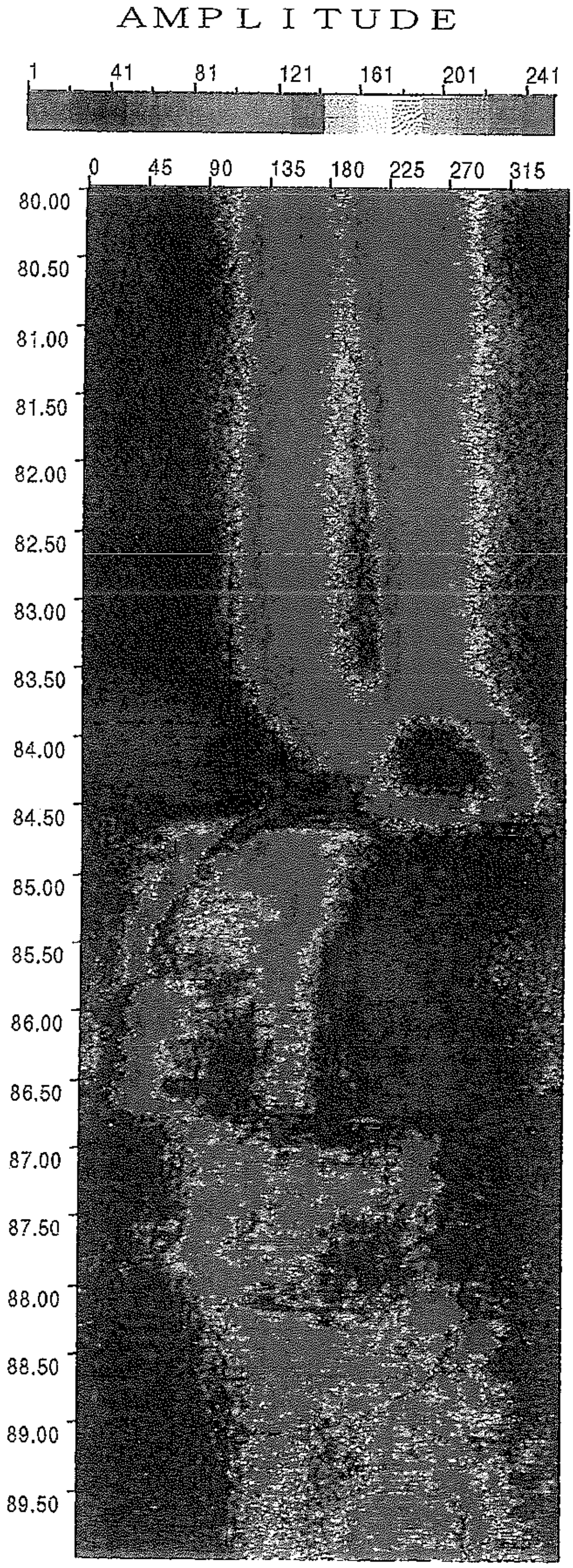


TOKI DH-3
(SCALE : 1／50)

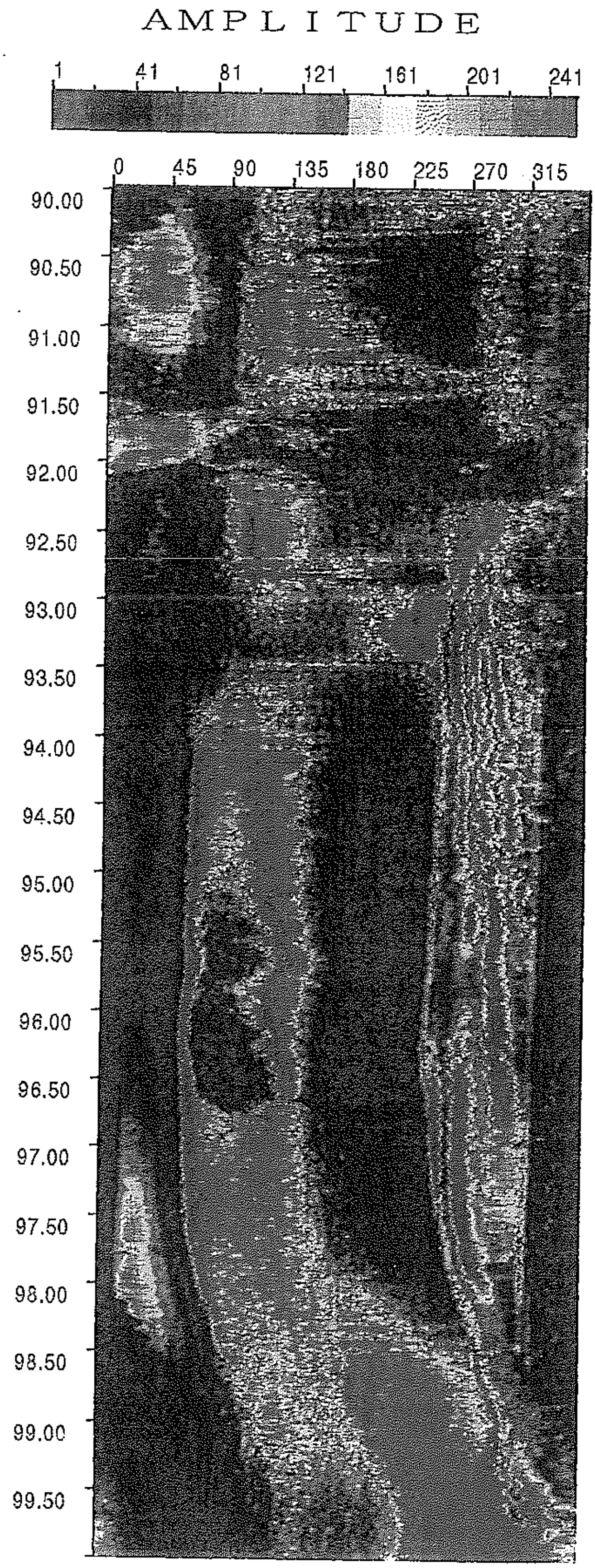
AMPLITUDE



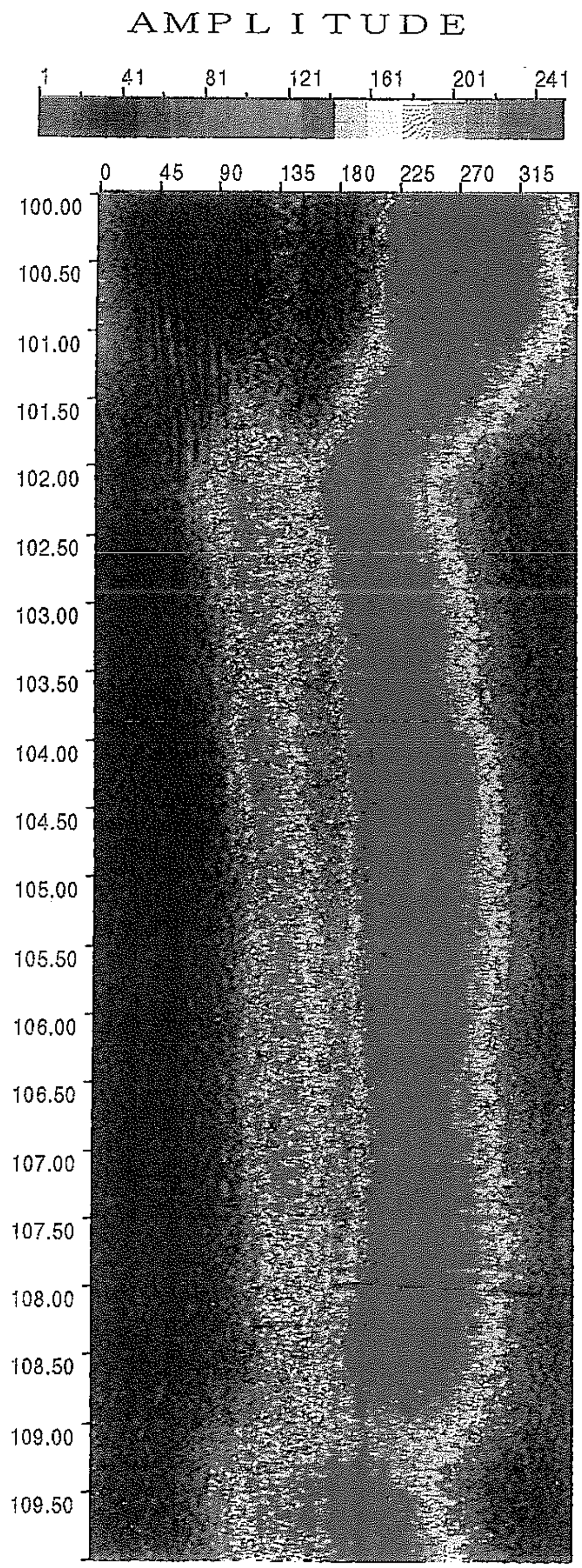
TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)



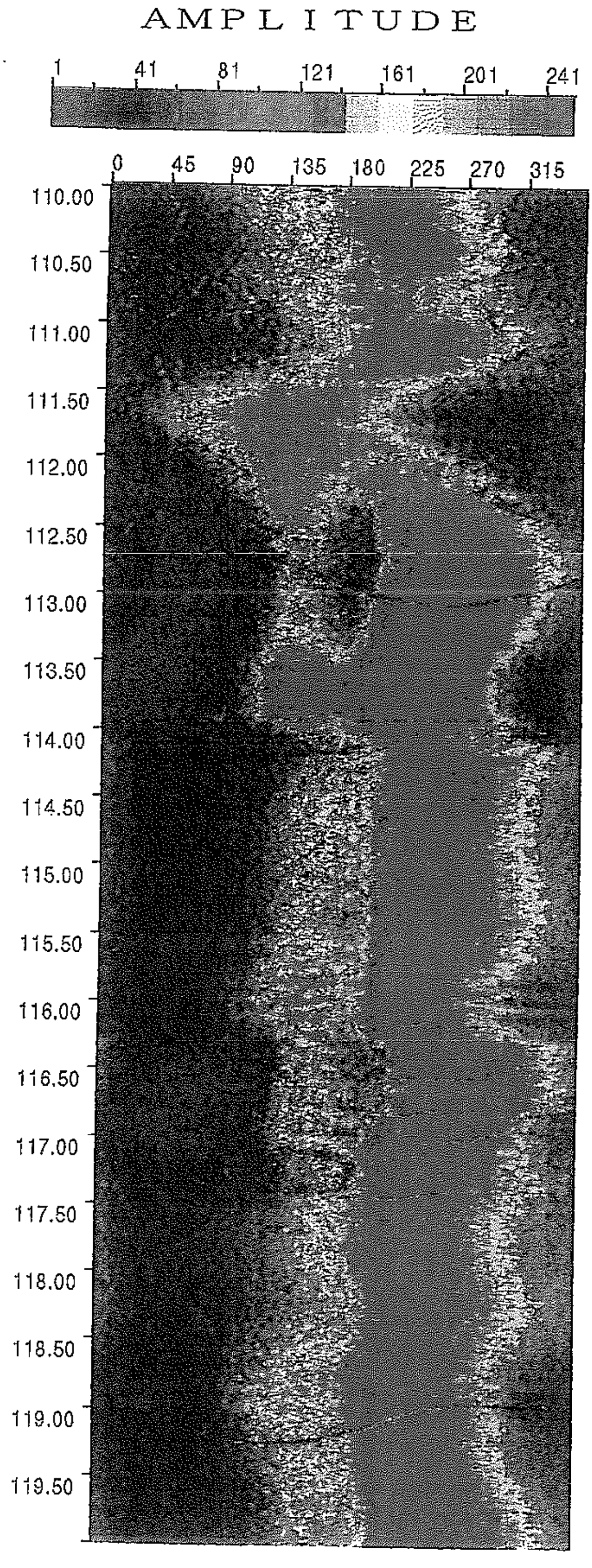
TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)



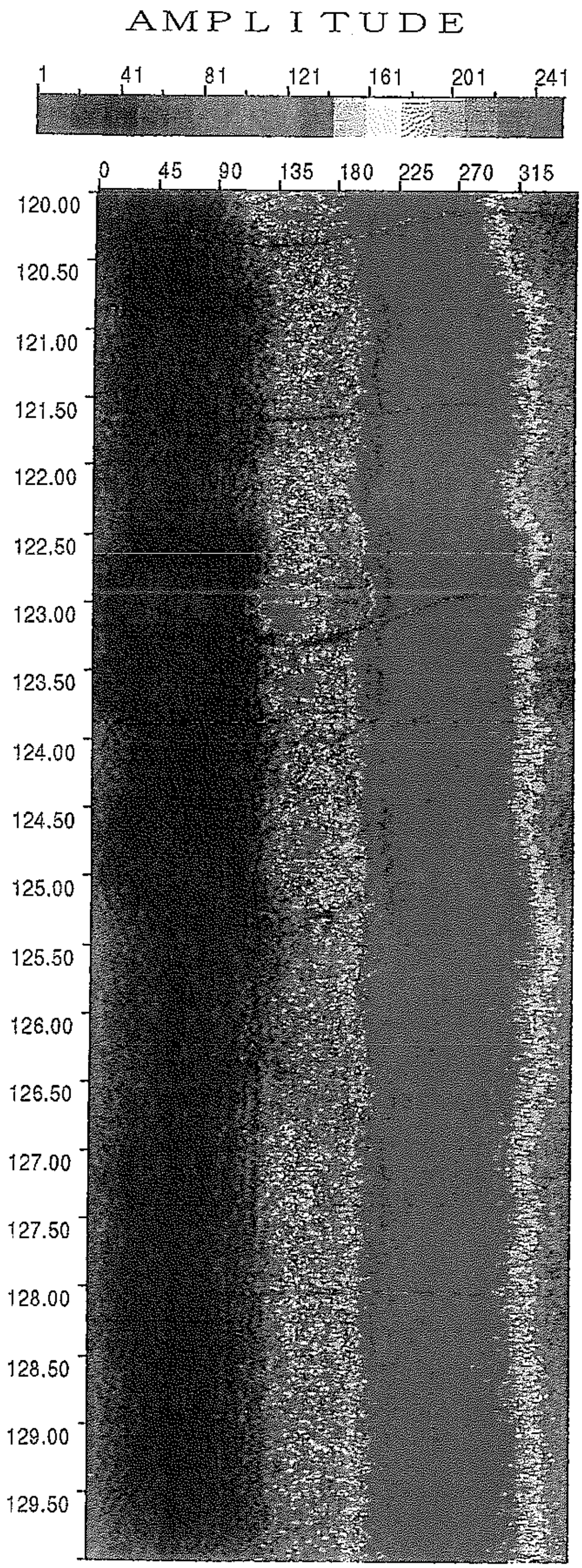
TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)



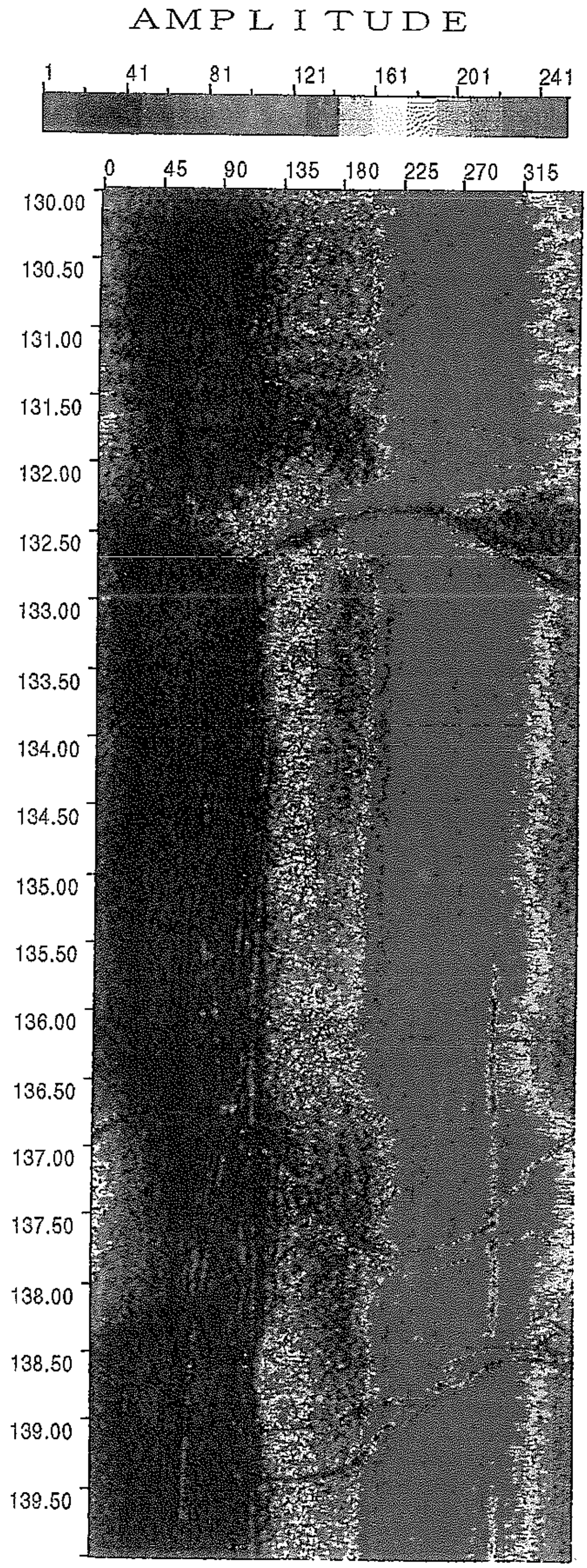
TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)



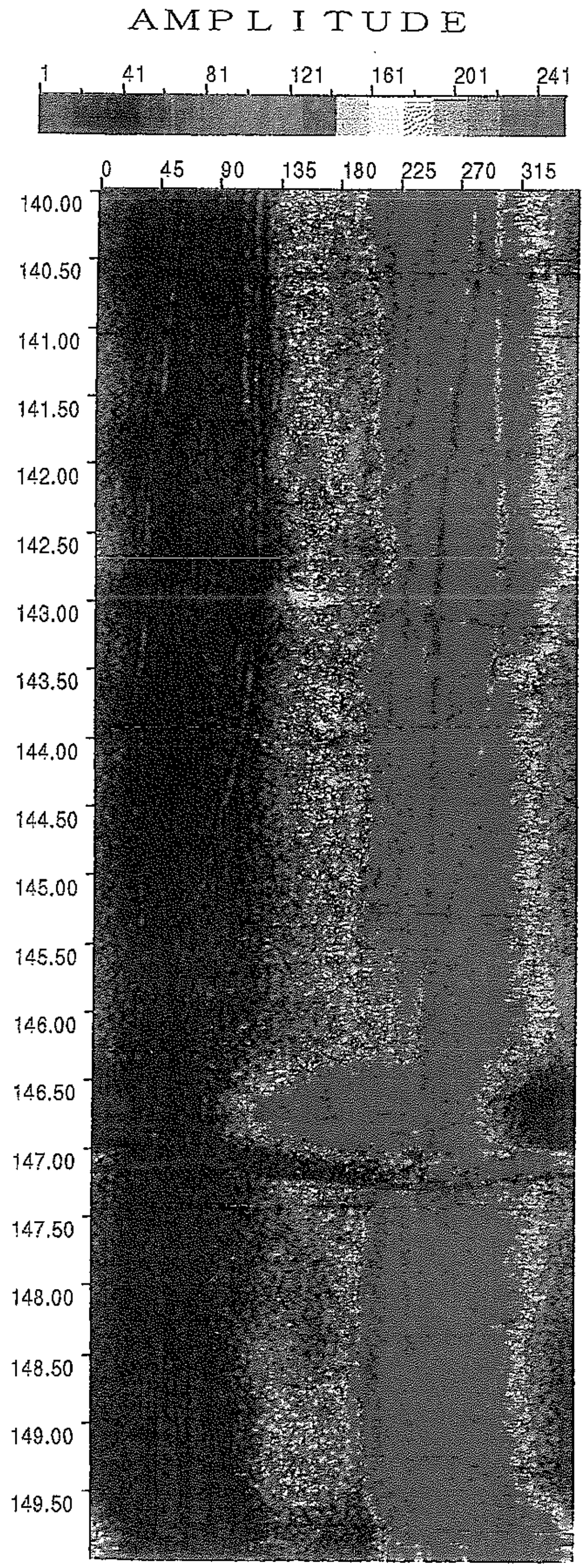
TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)



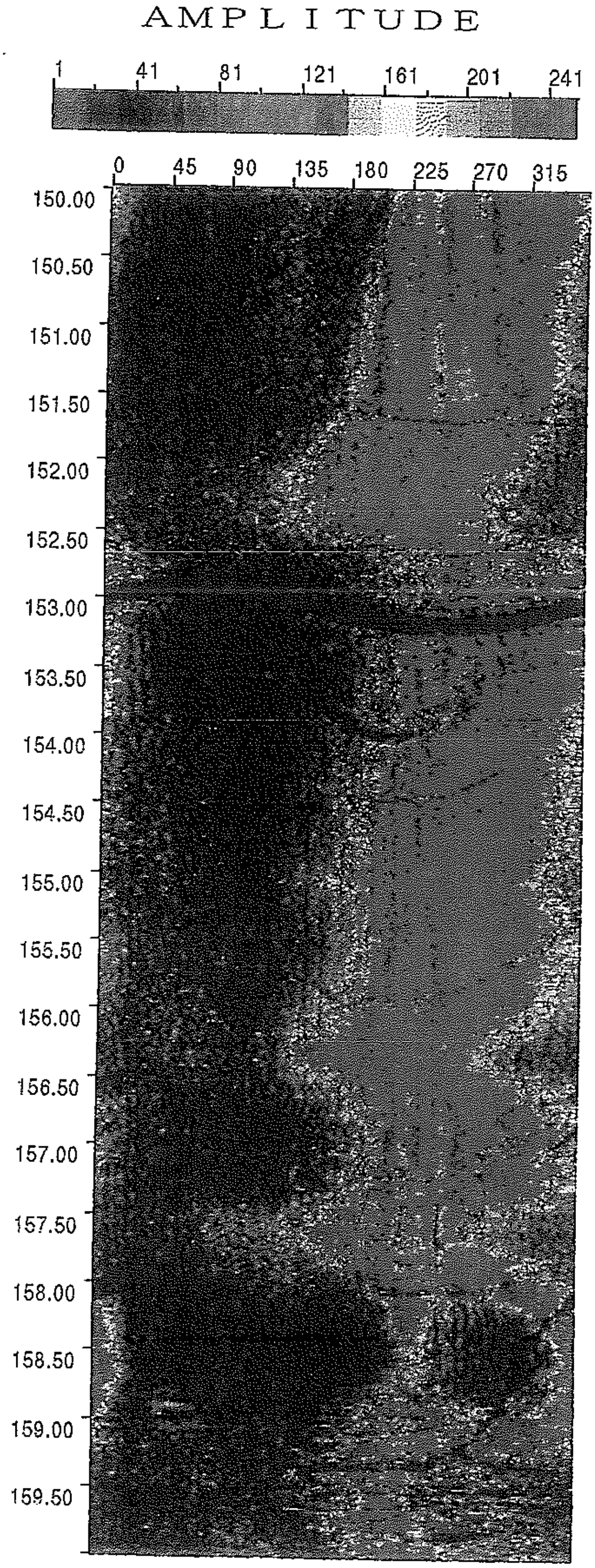
TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)



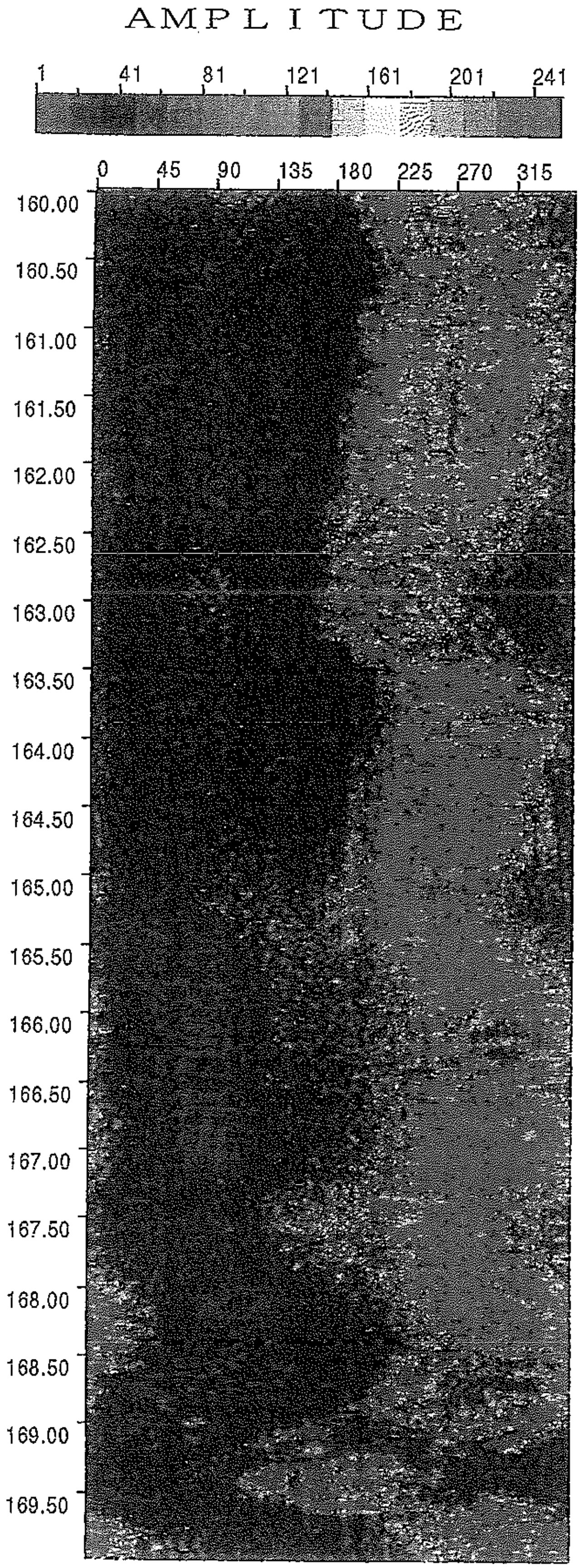
TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)



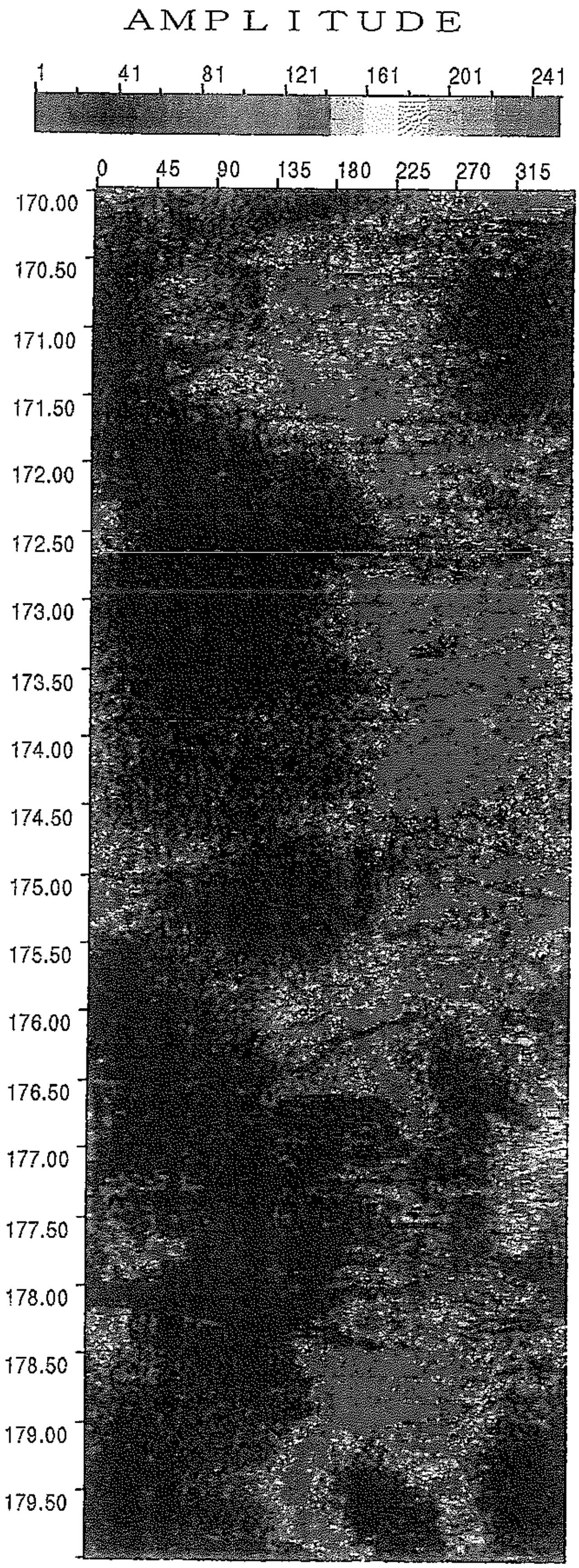
TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)



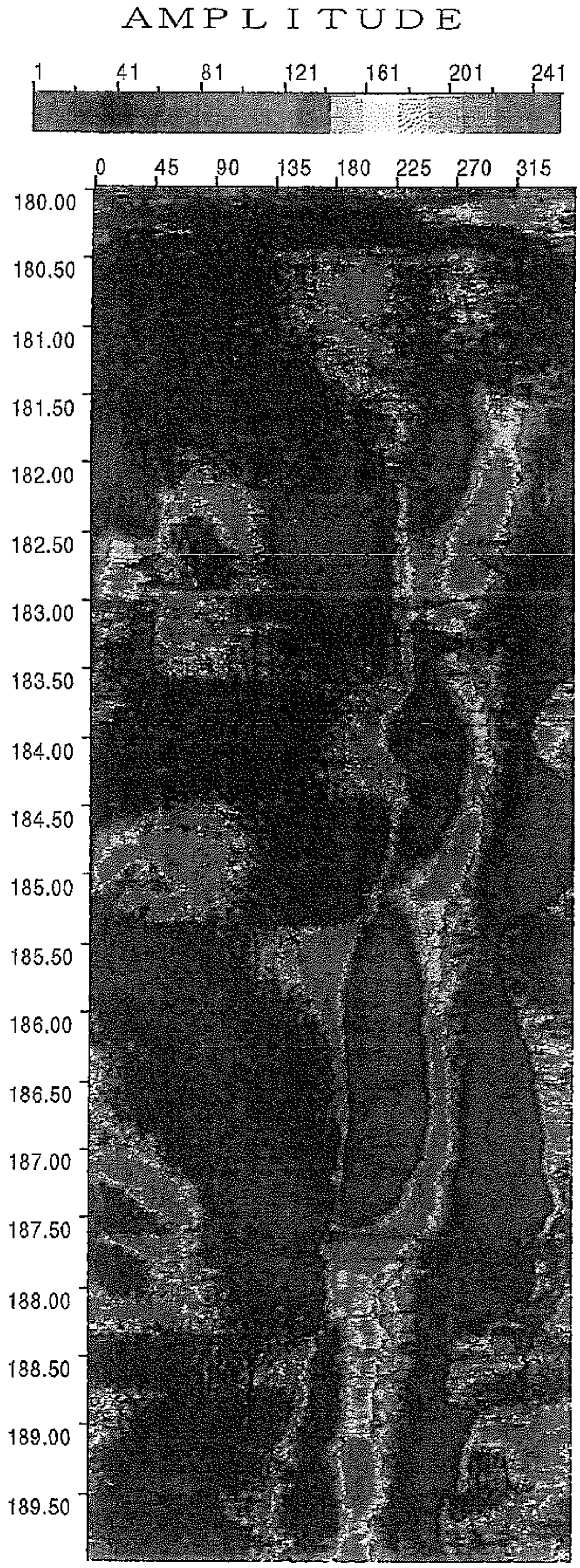
TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)



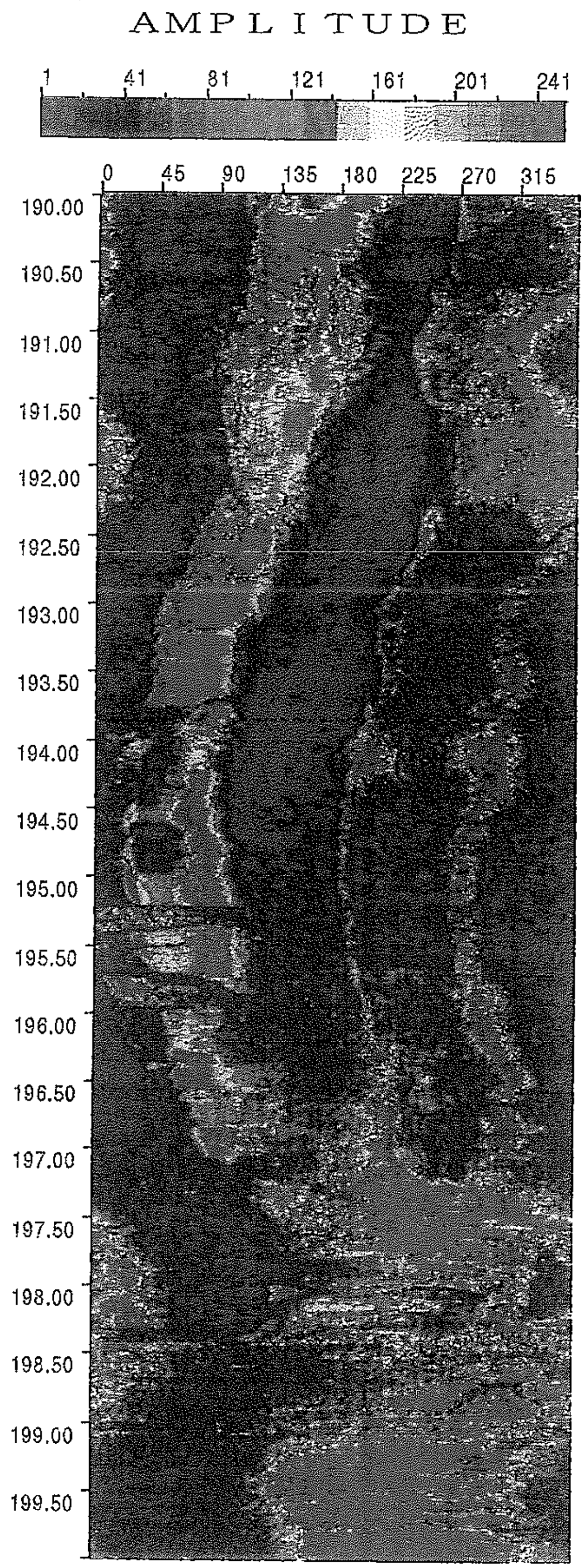
TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)



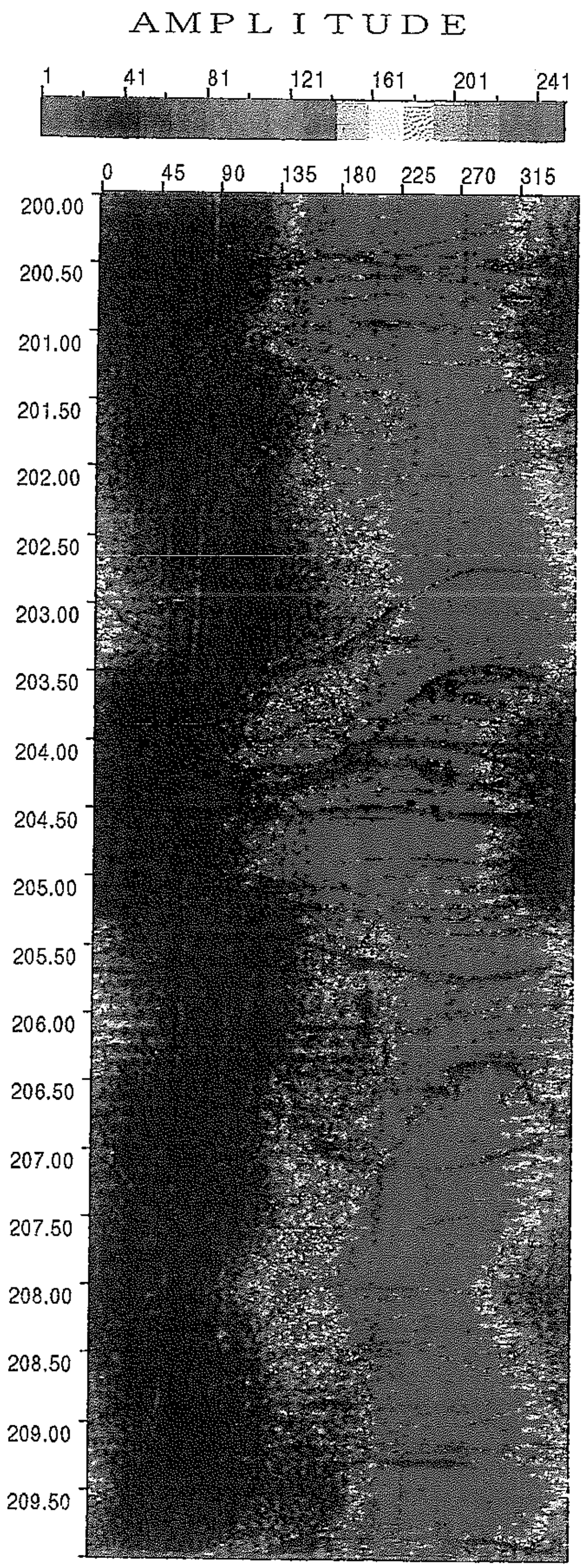
TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)



TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

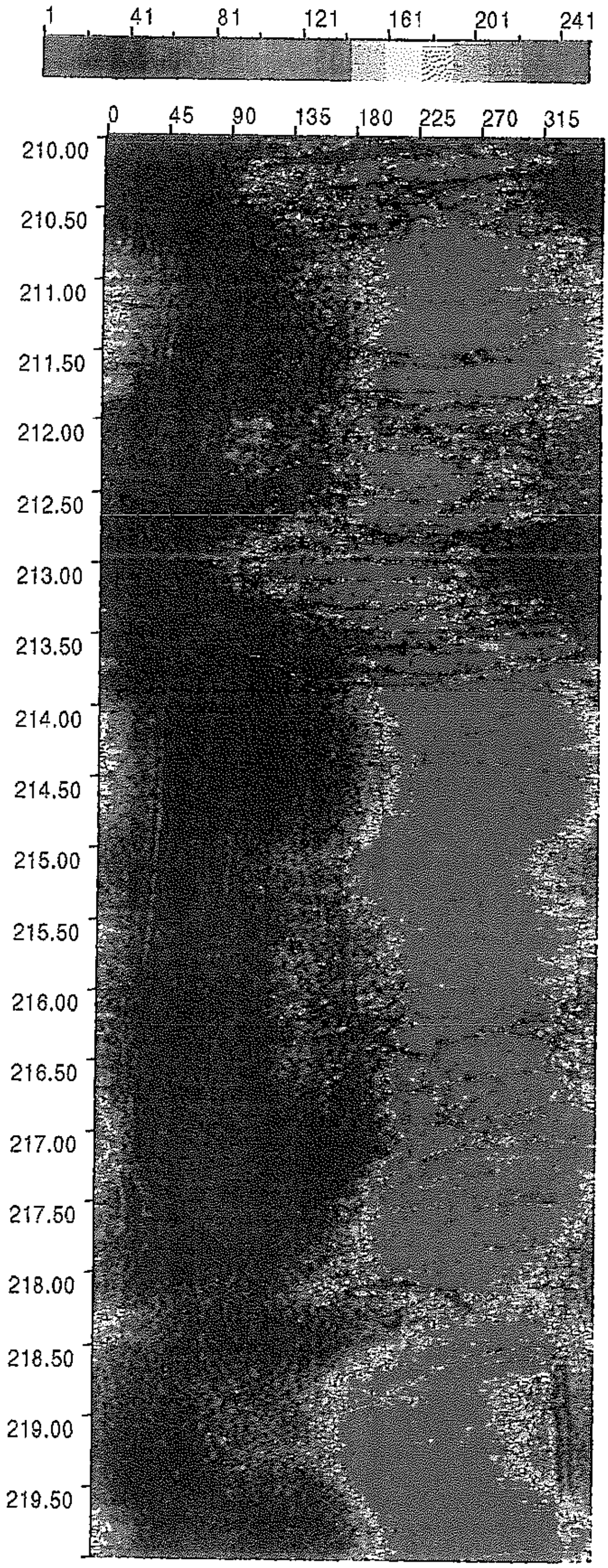


TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)



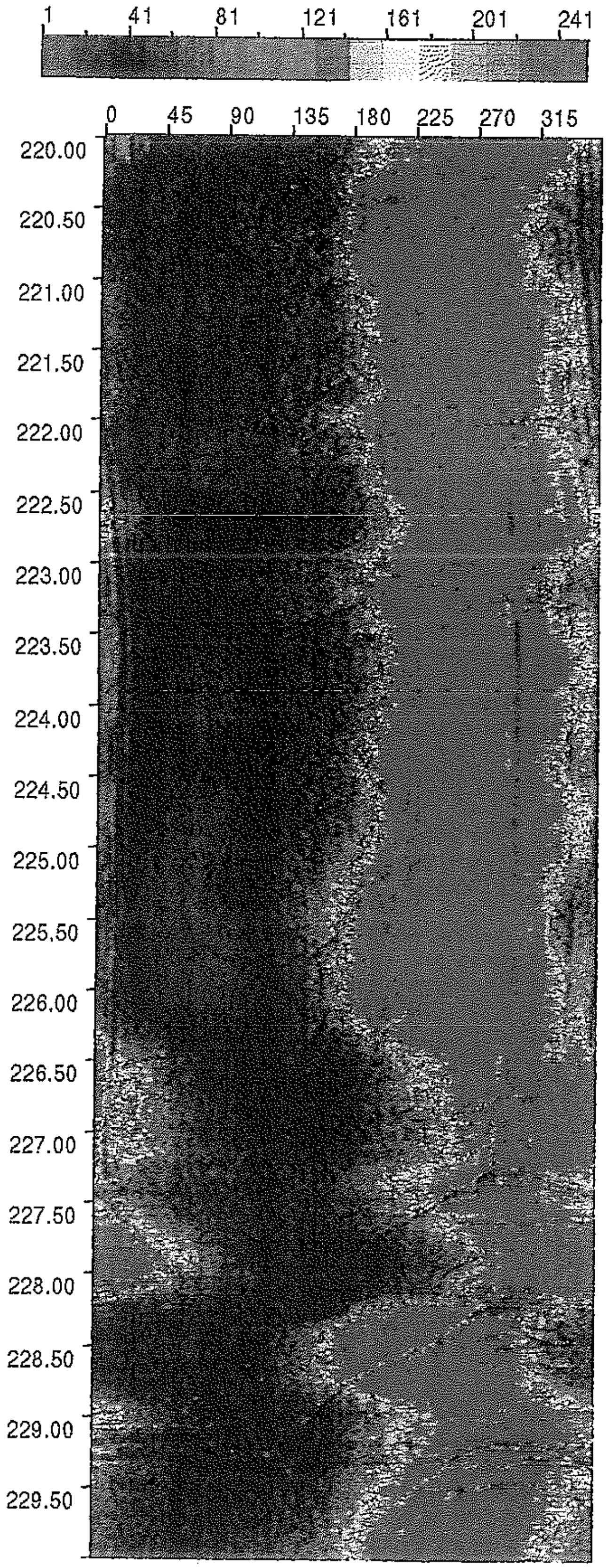
TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

AMPLITUDE

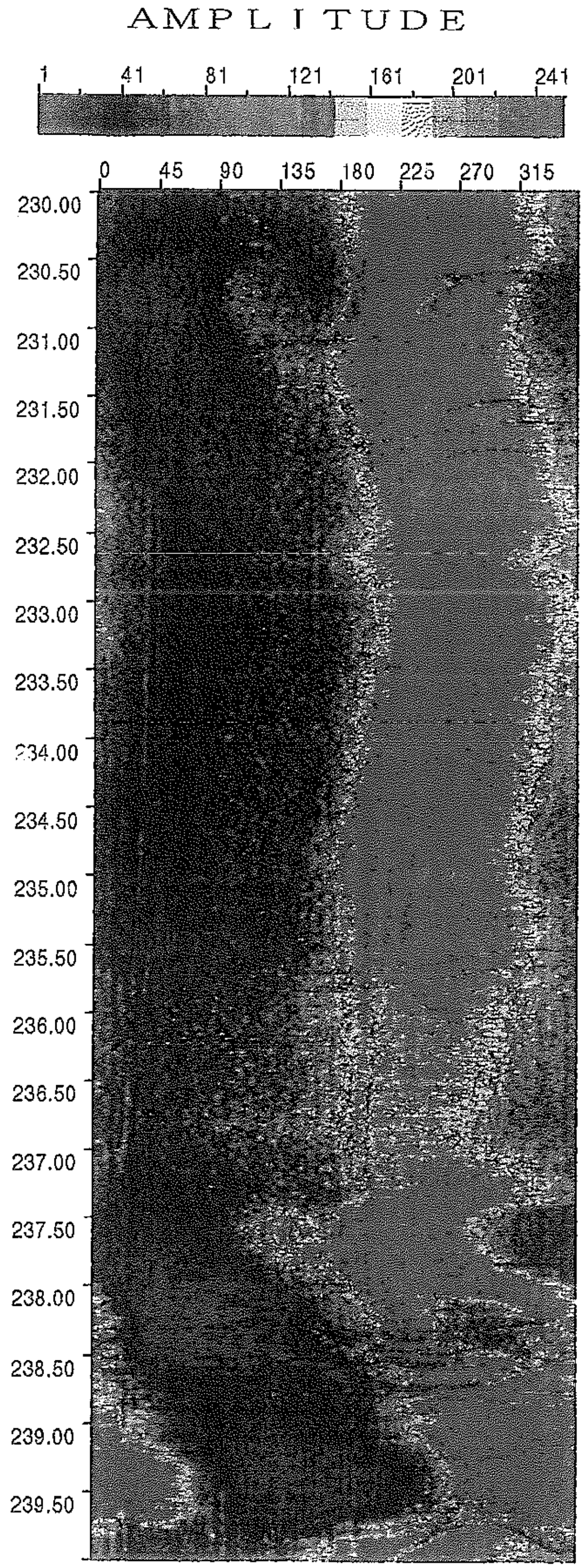


TOKI DH-3
(SCALE : 1／50)

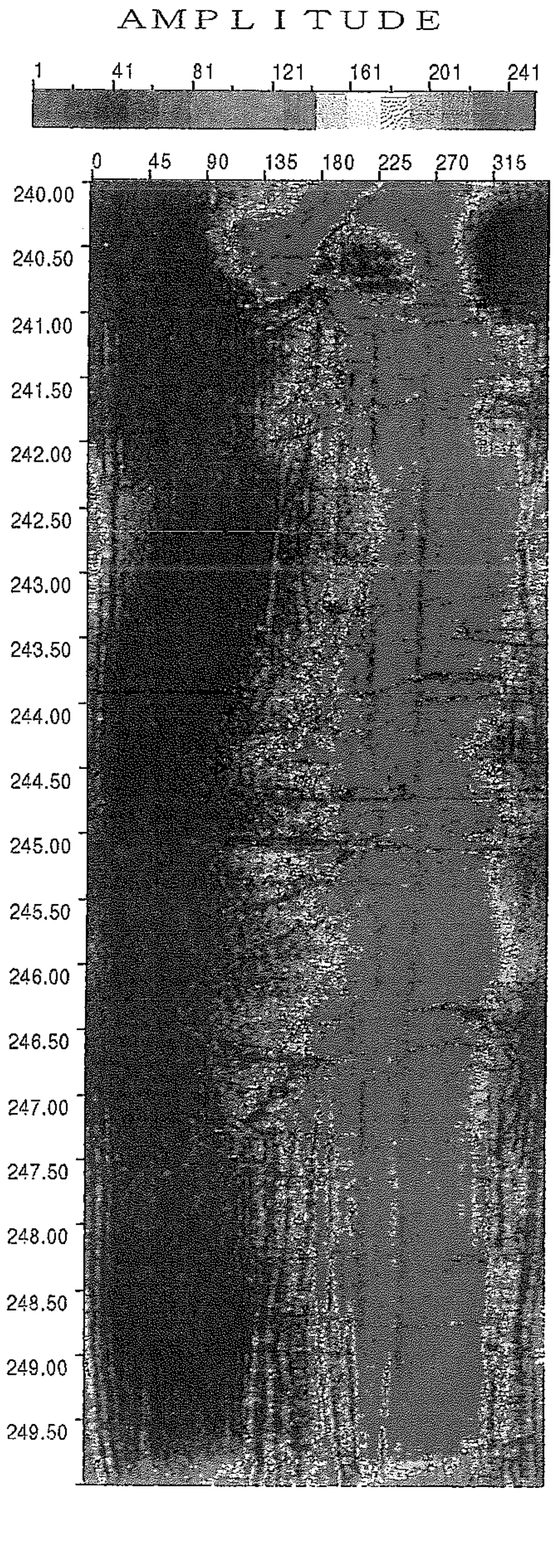
AMPLITUDE



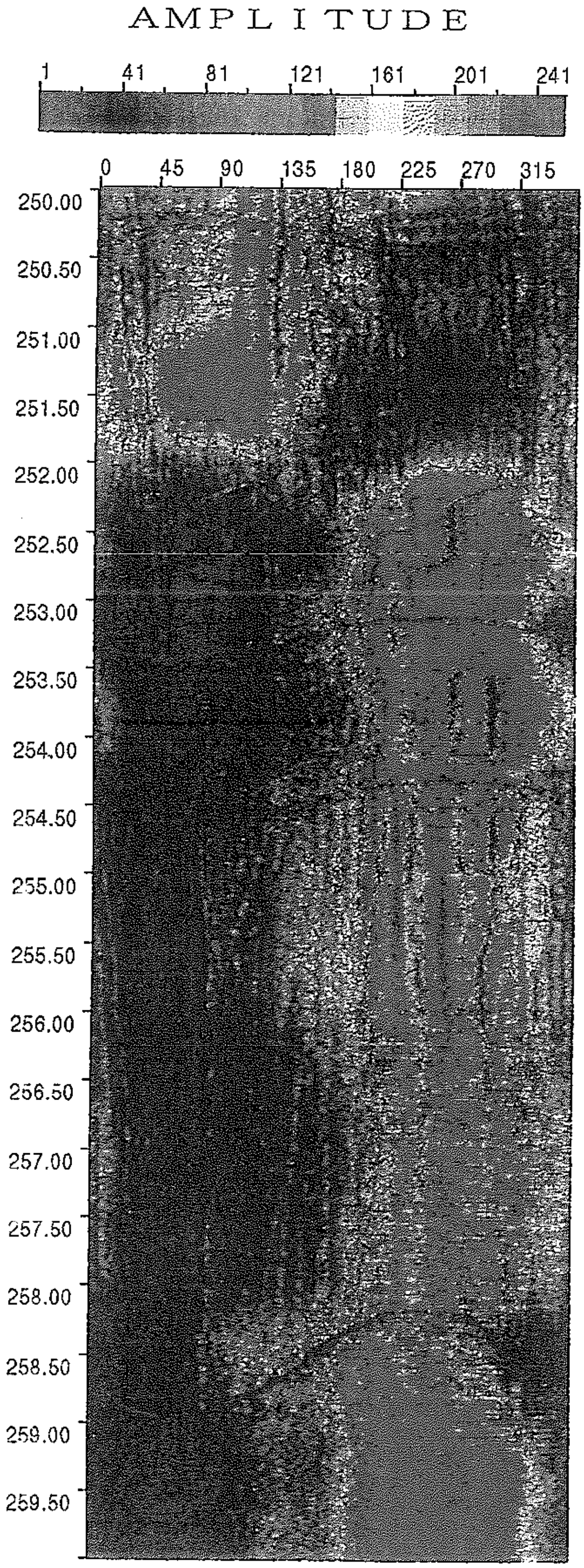
TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)



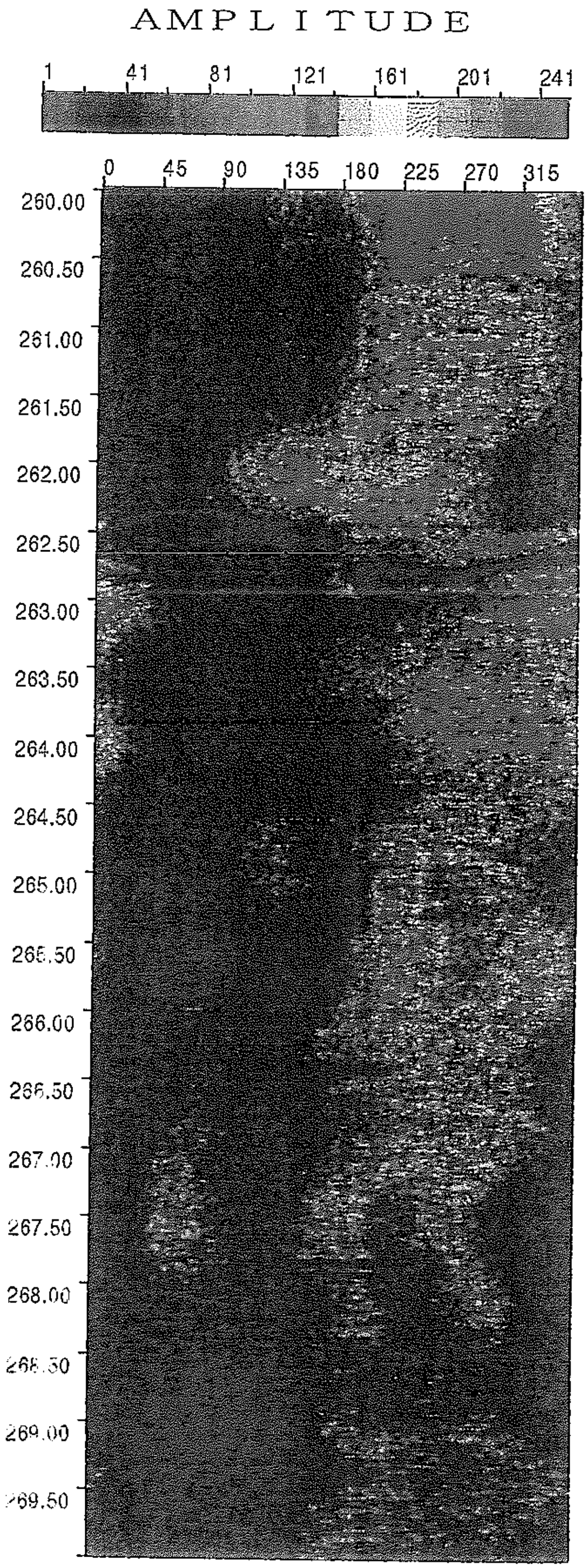
TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)



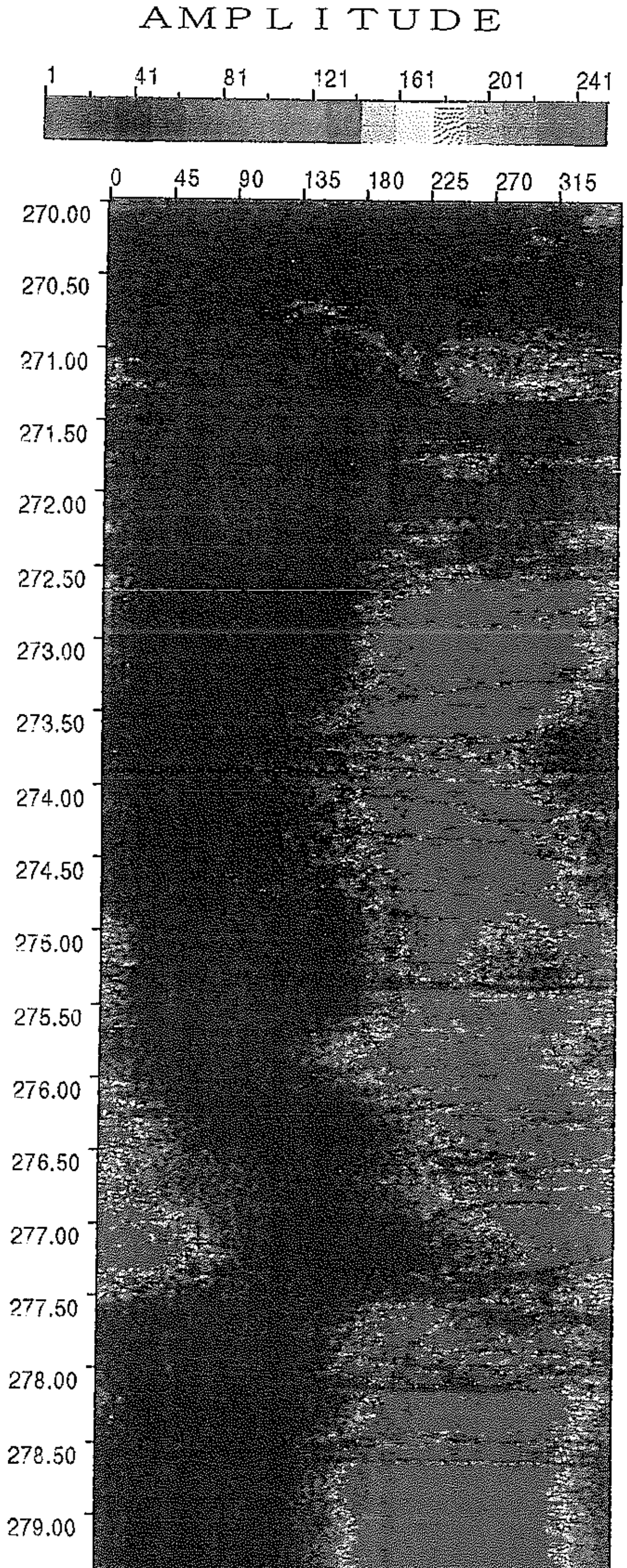
TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)



TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

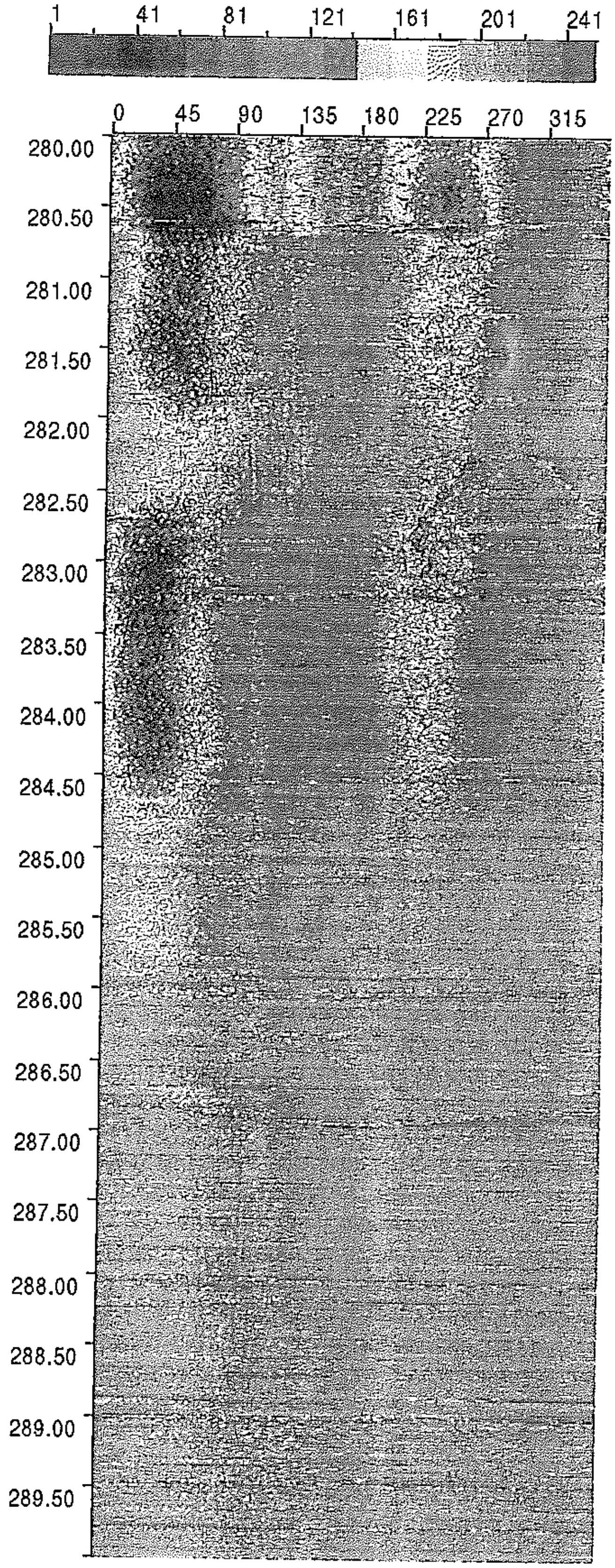


TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

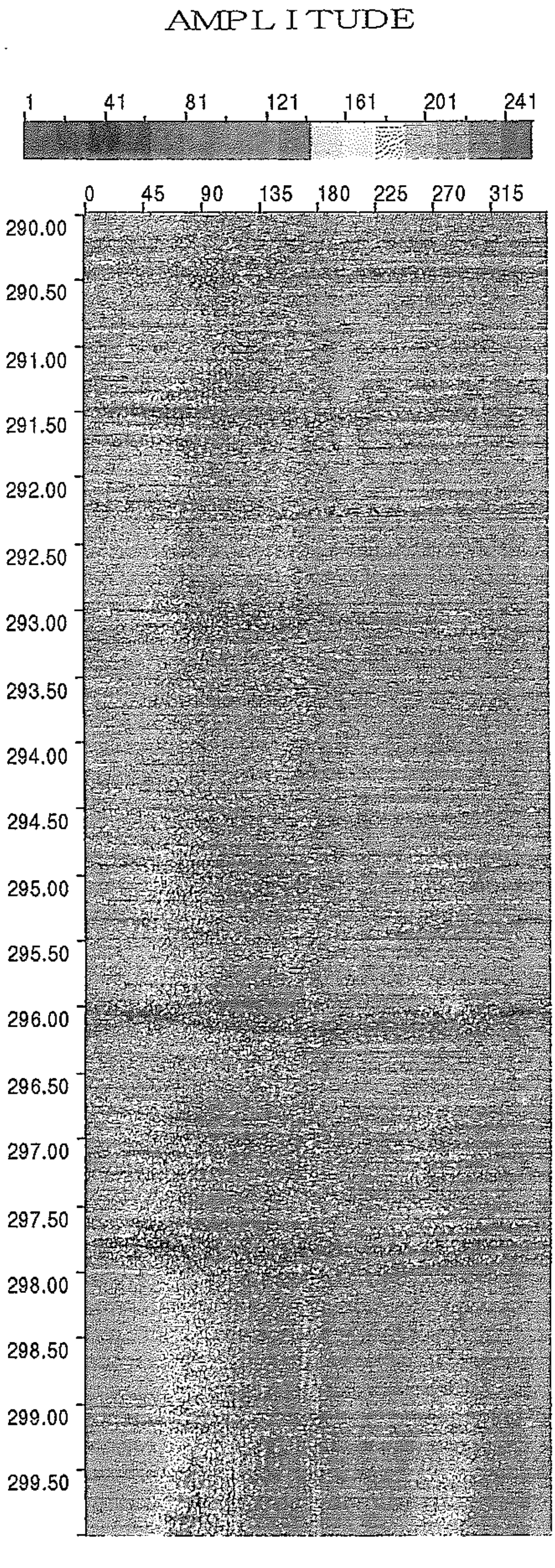


TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

AMPLITUDE

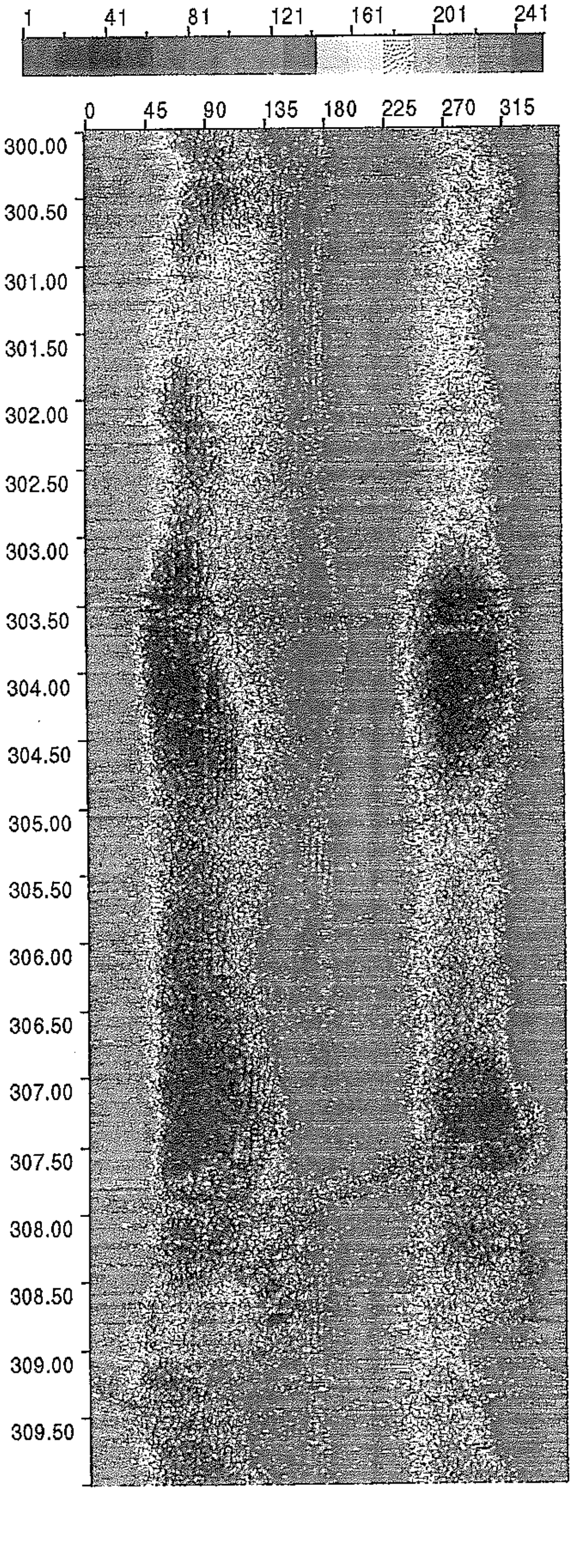


TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

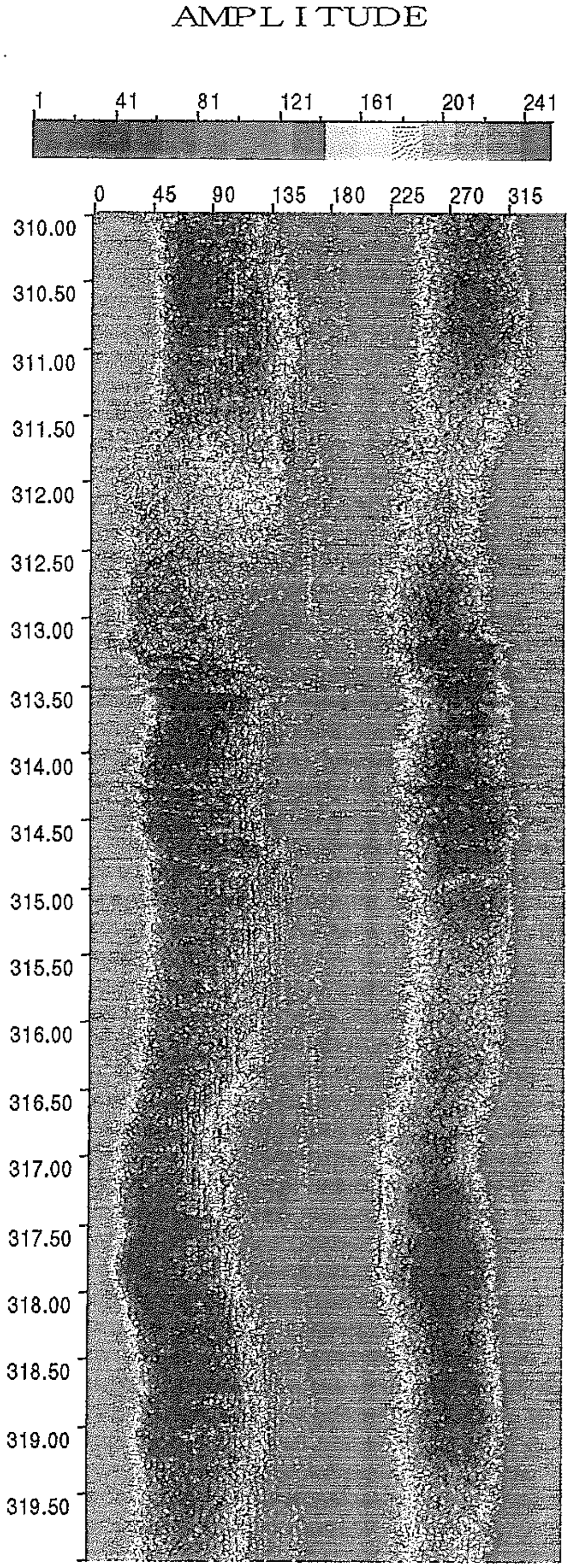


TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

AMPLITUDE

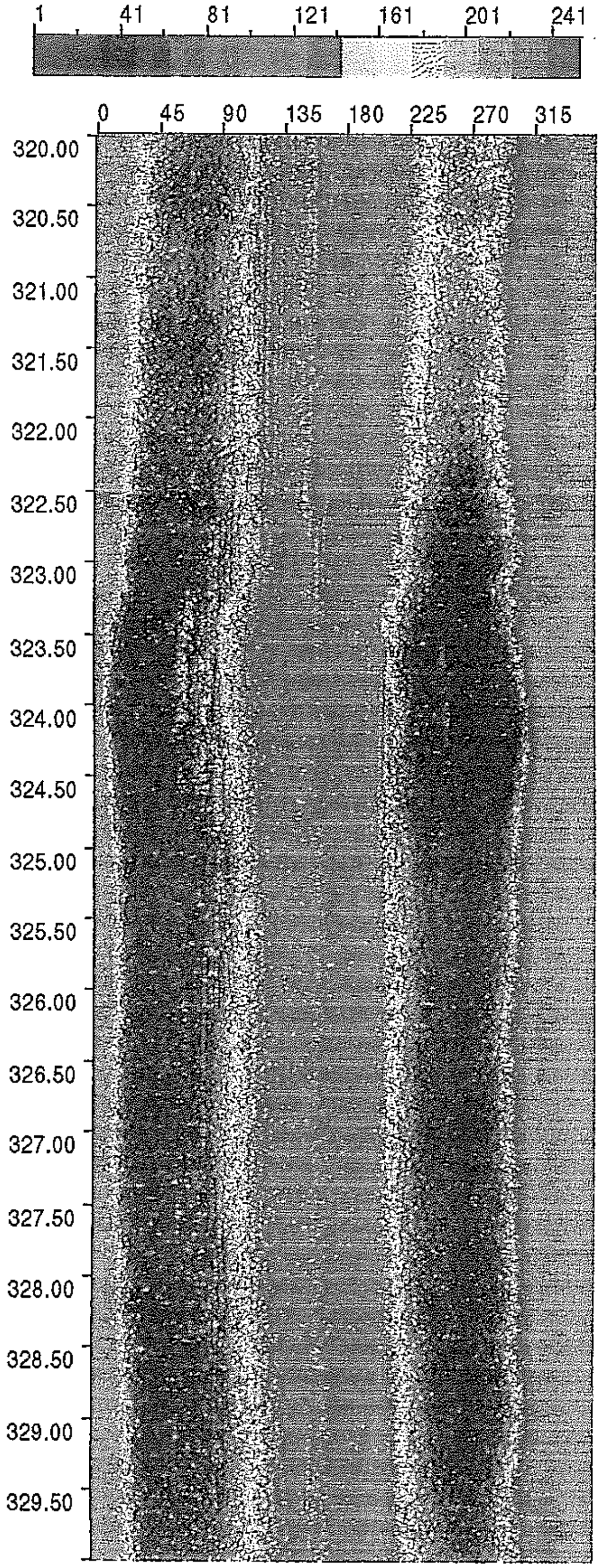


TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)



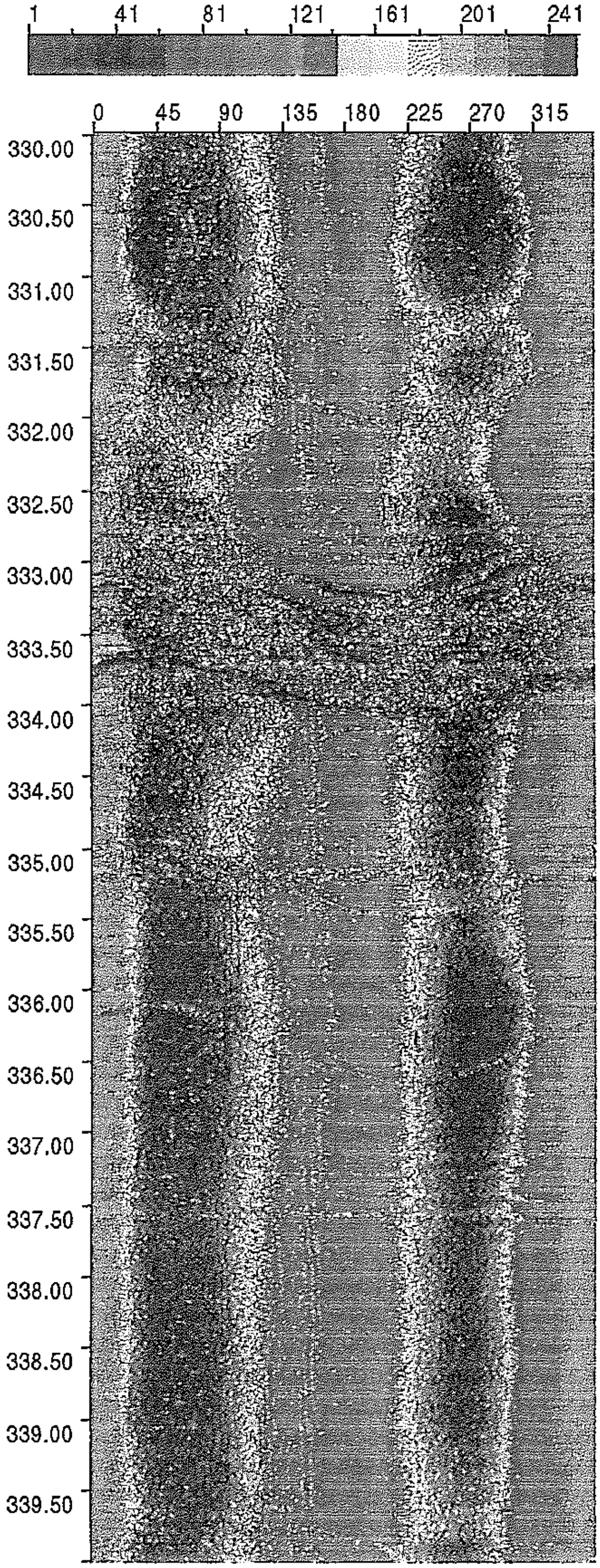
TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

AMPLITUDE



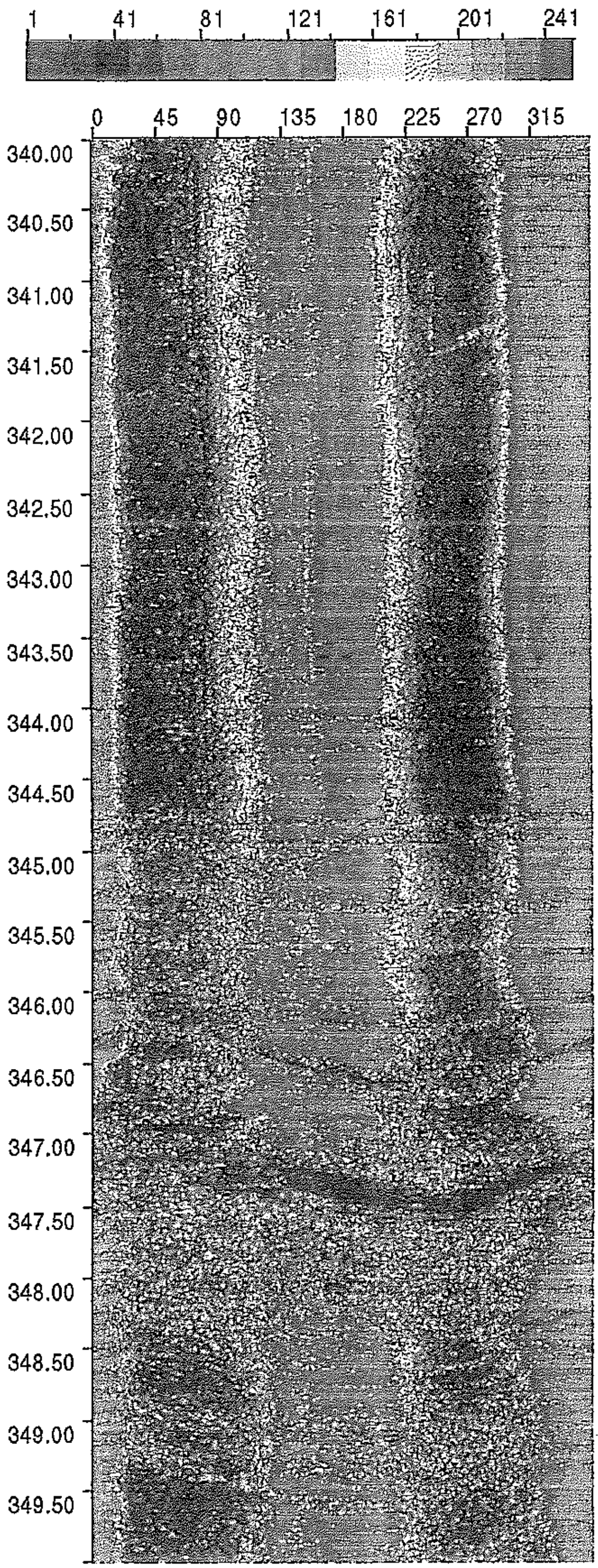
TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

AMPLITUDE



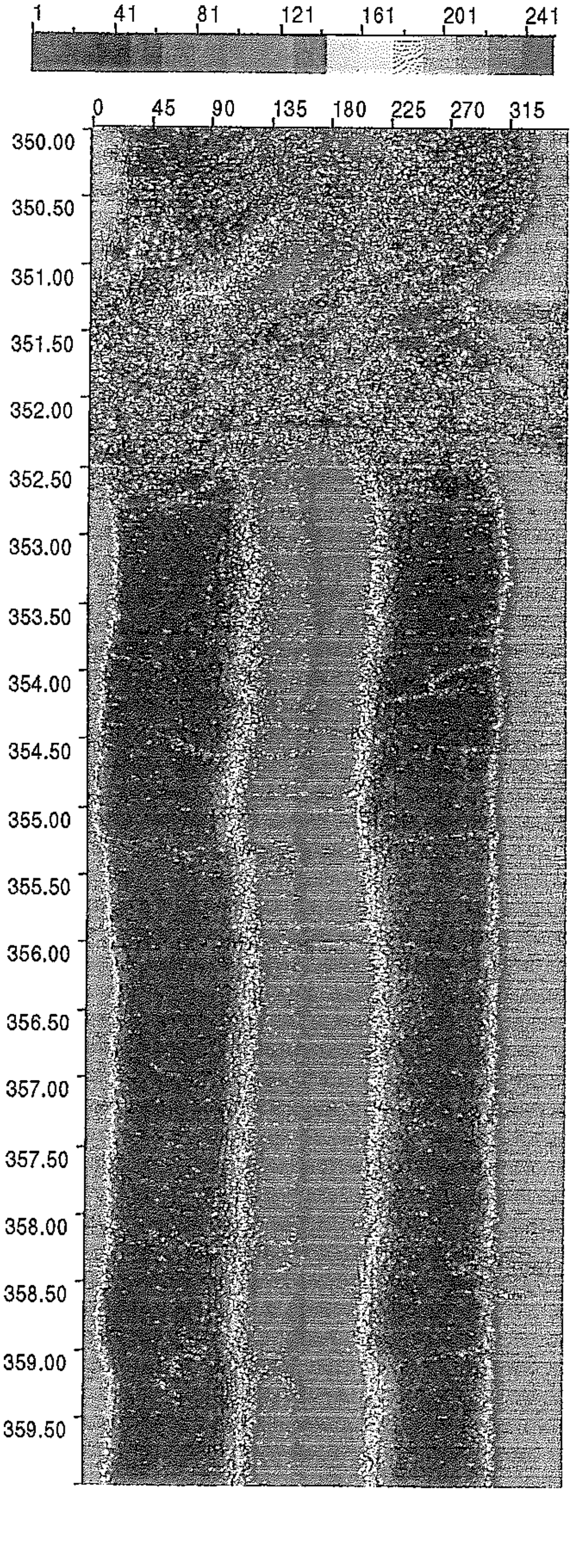
TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

AMPLITUDE

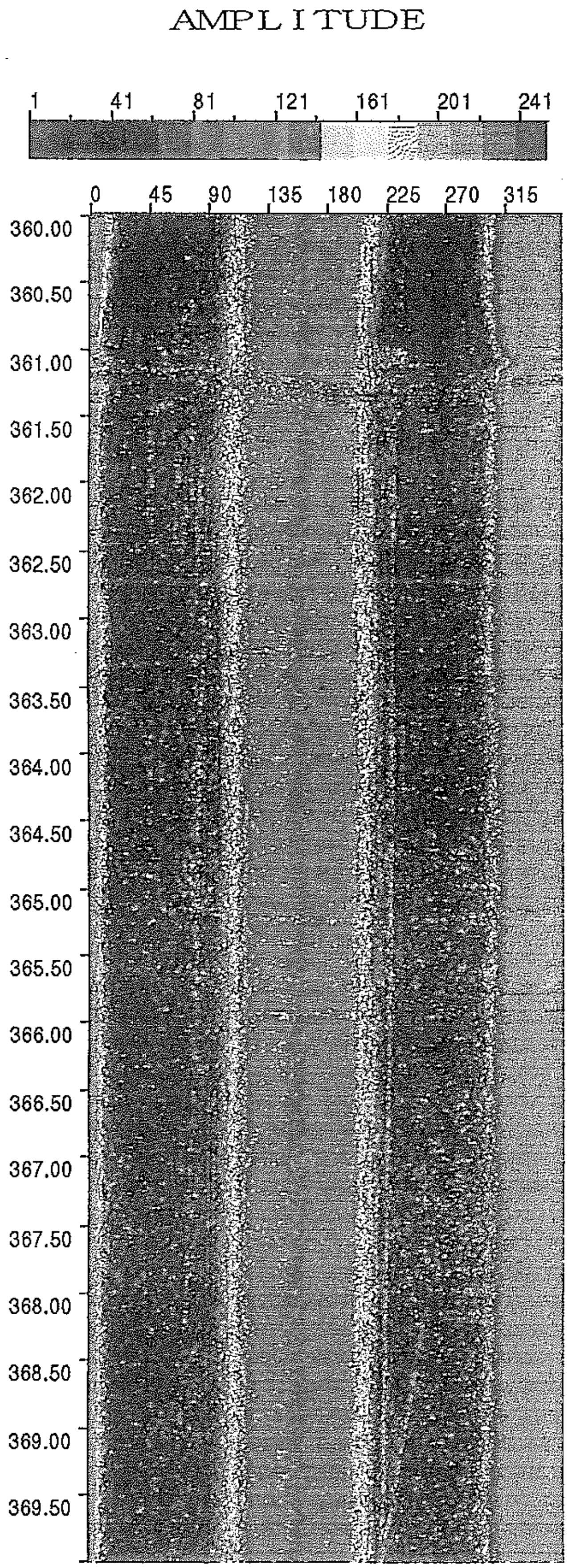


TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

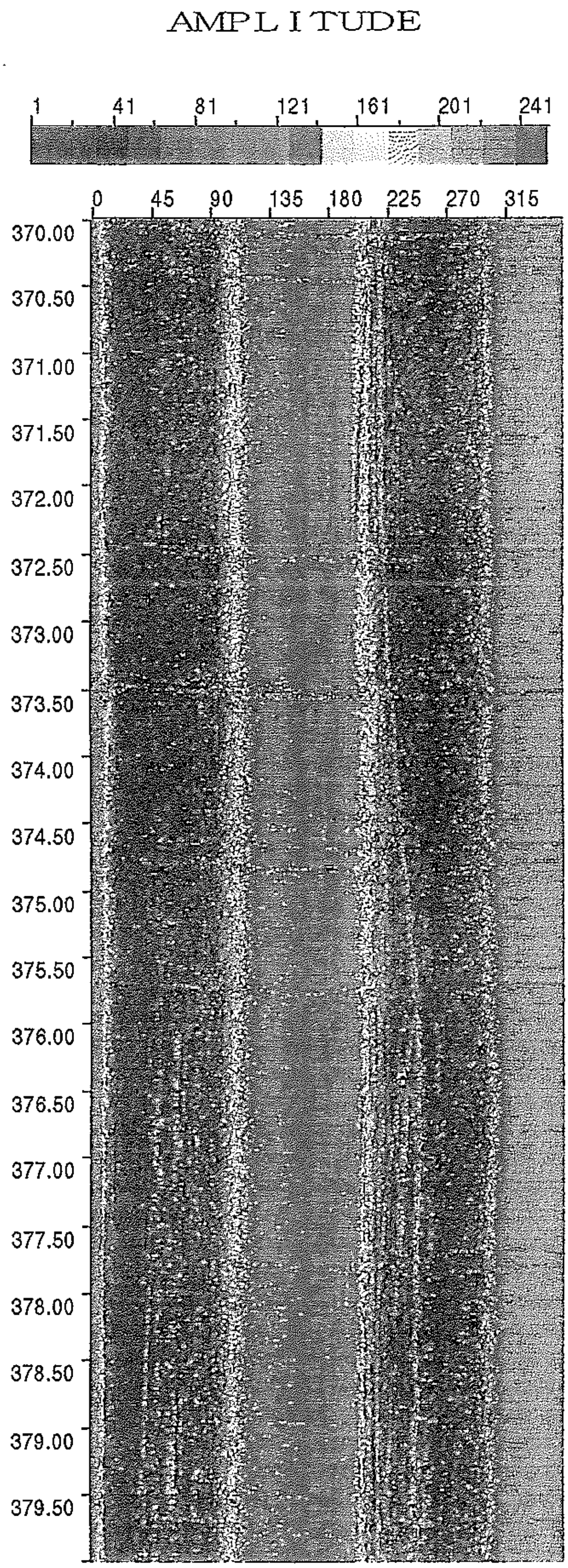
AMPLITUDE



TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

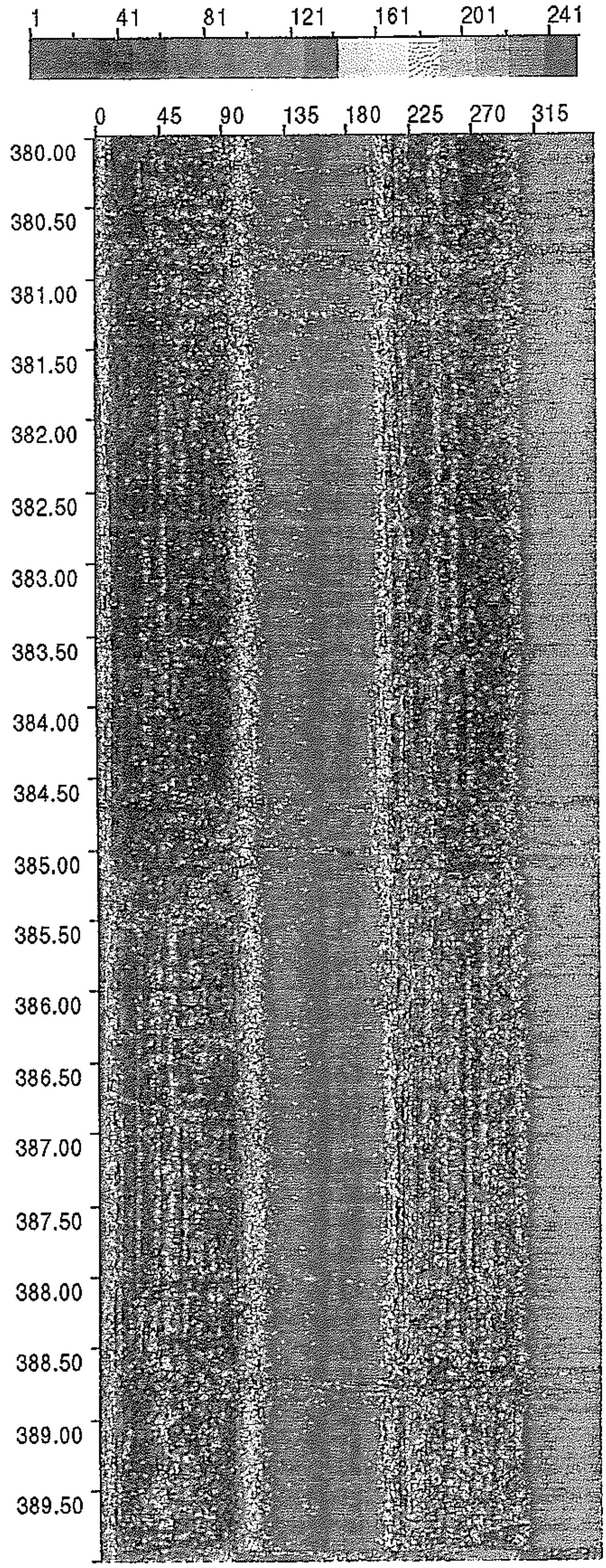


TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)



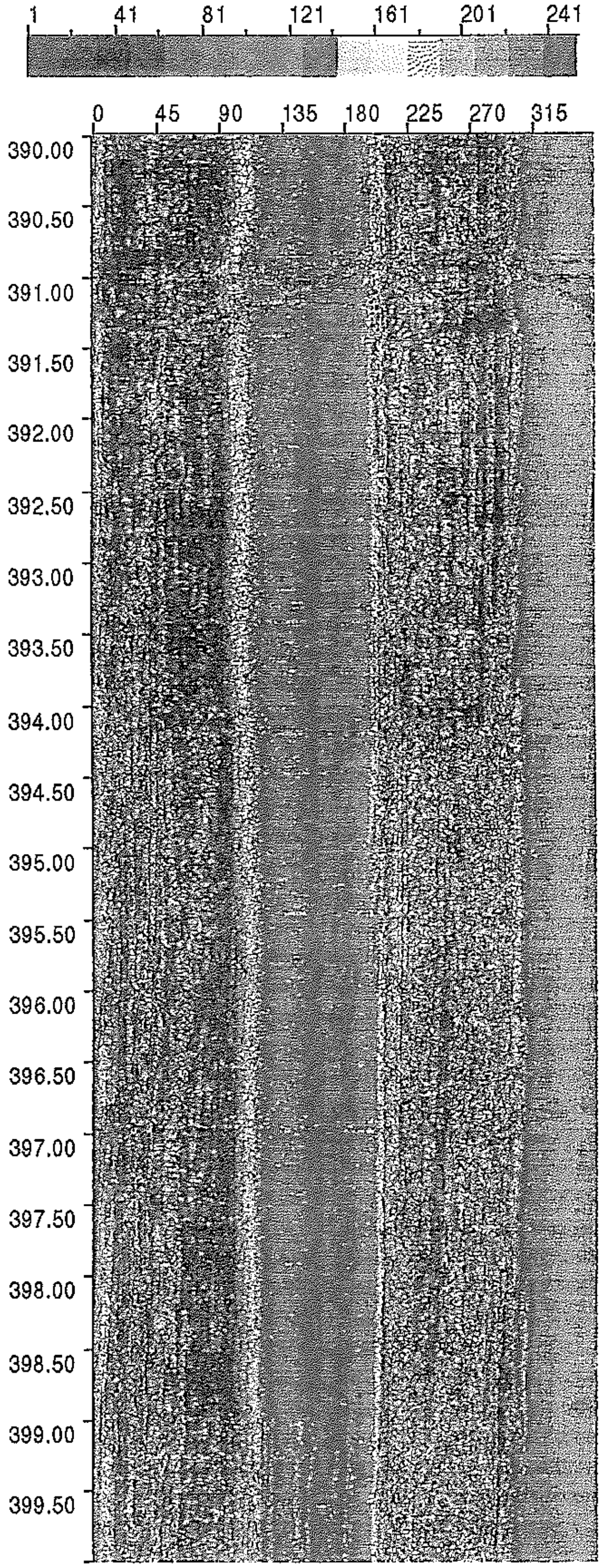
TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

AMPLITUDE



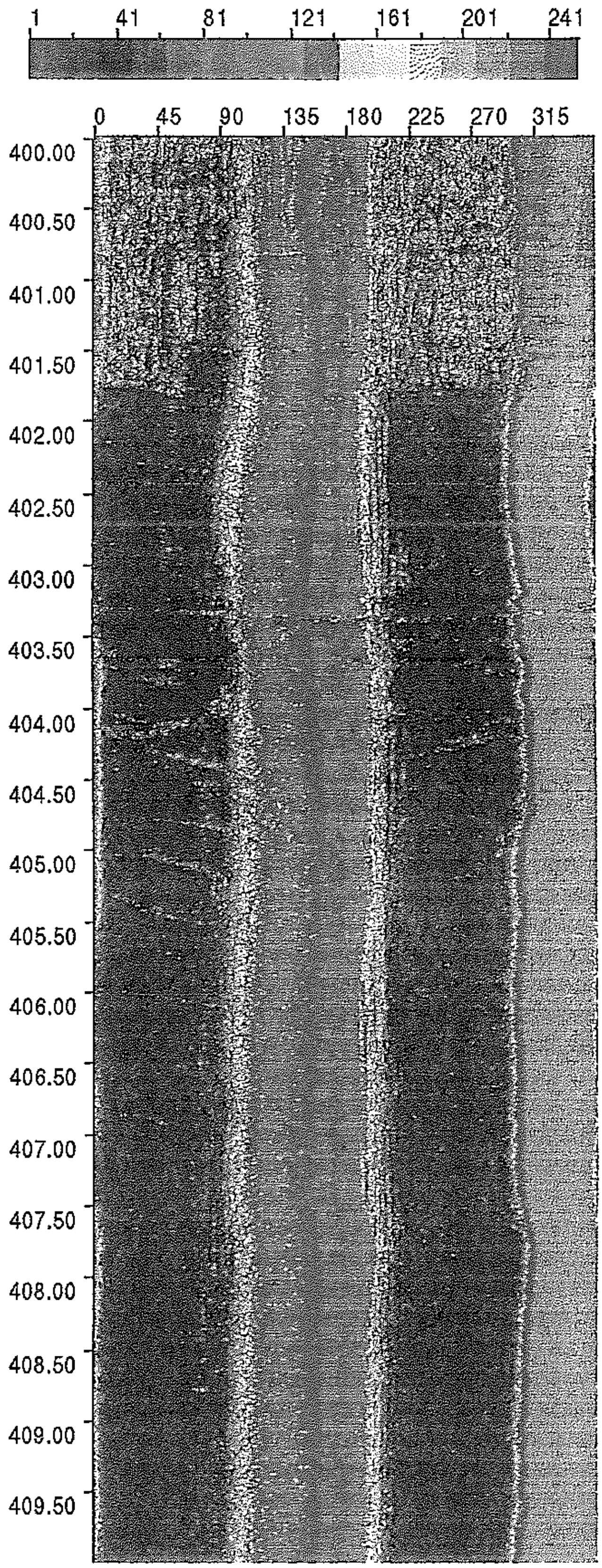
TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

AMPLITUDE



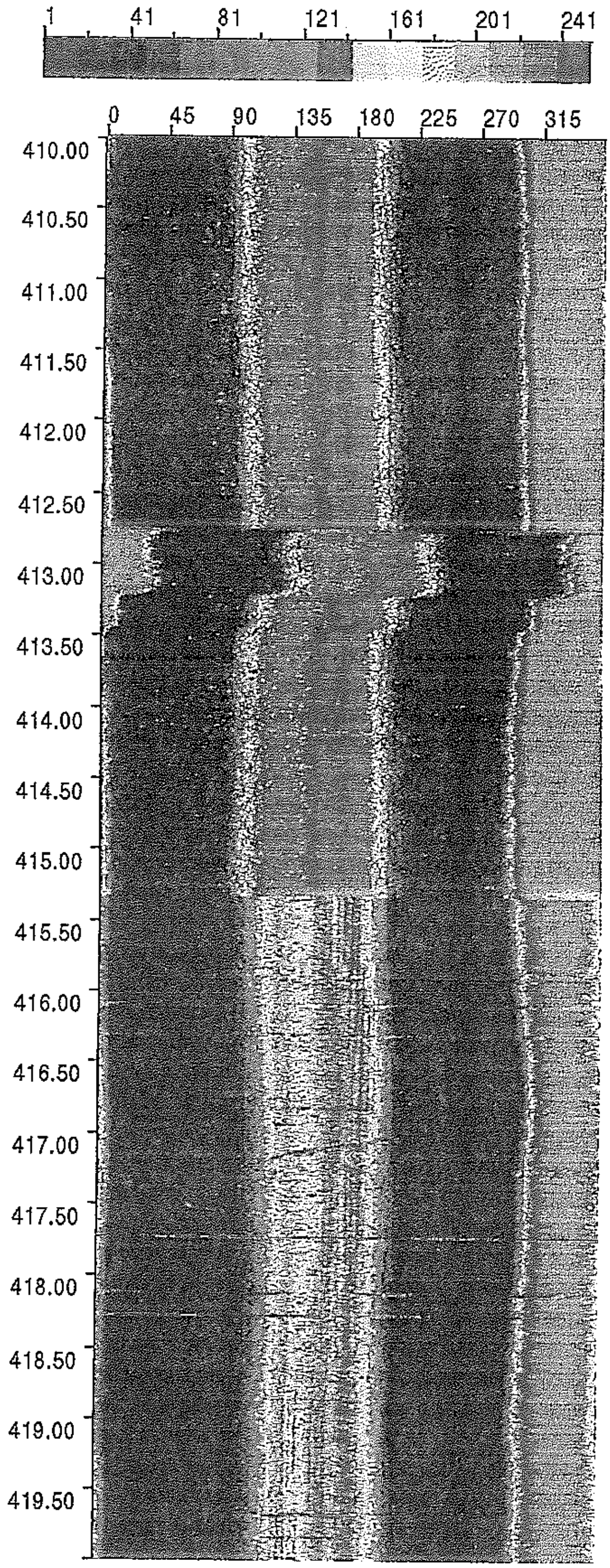
TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

AMPLITUDE



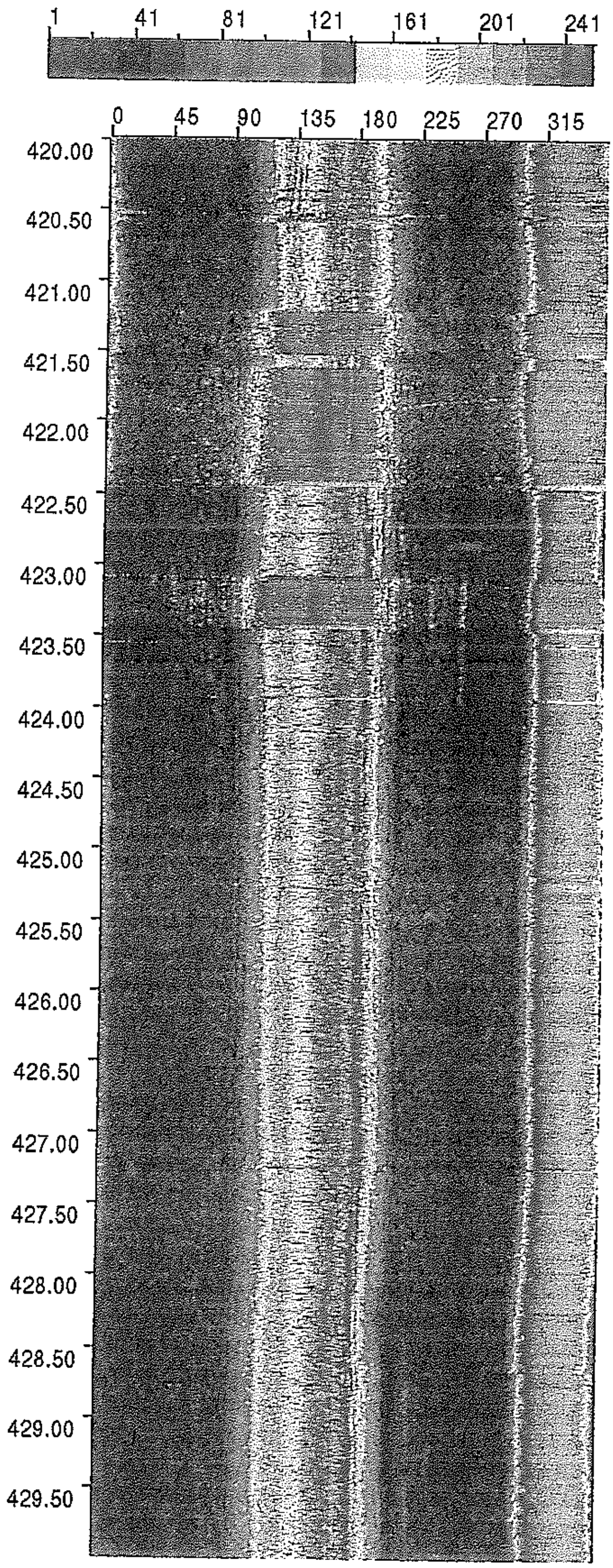
TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

AMPLITUDE



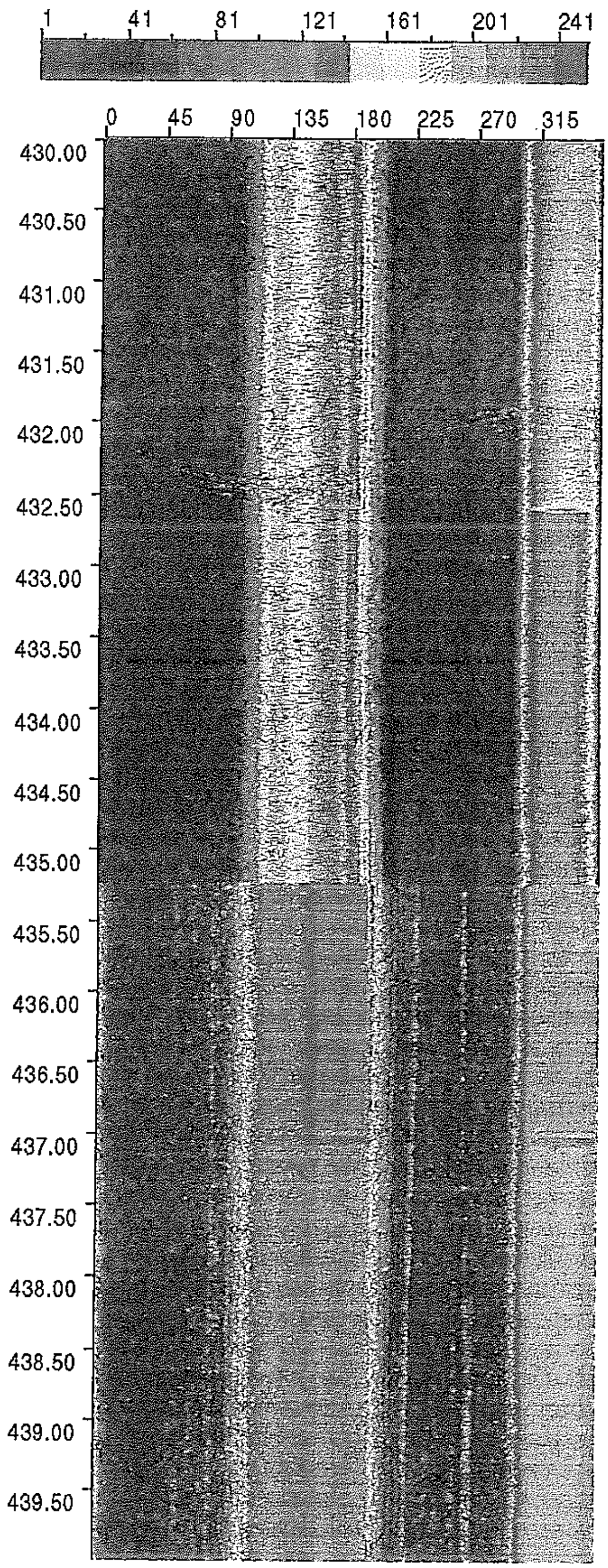
TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

AMPLITUDE



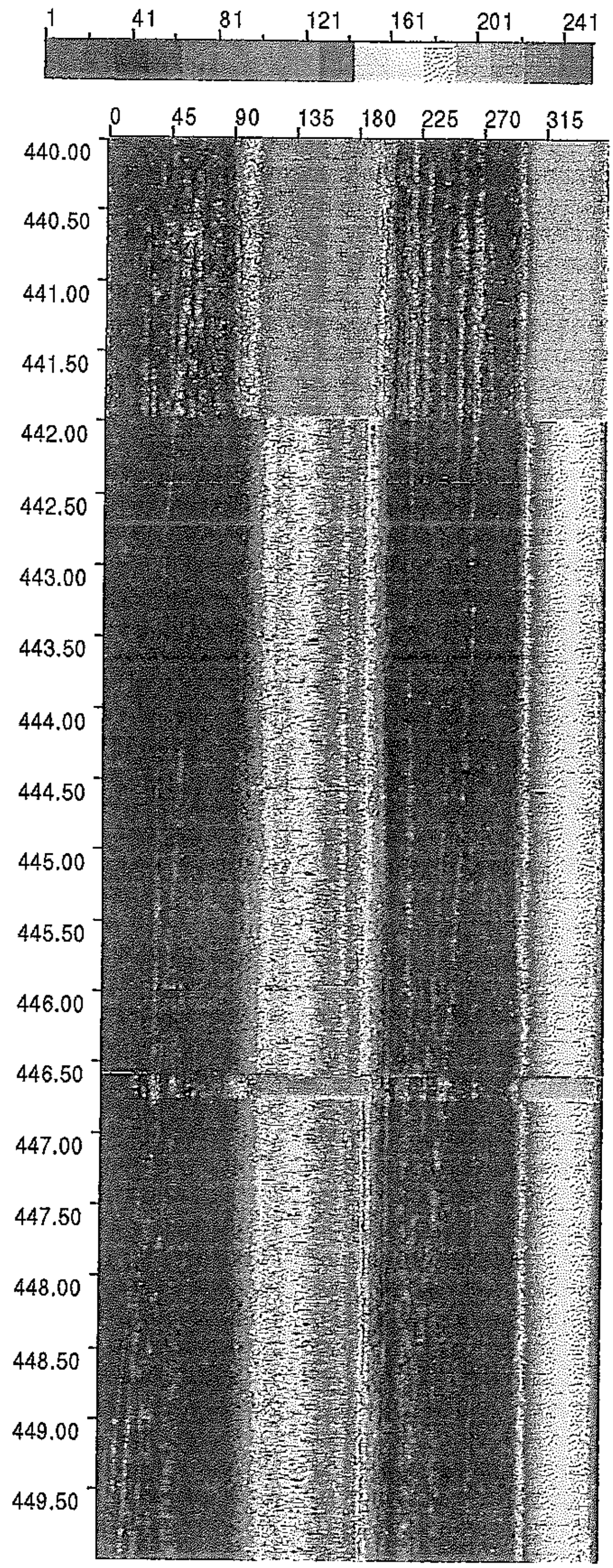
TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

AMPLITUDE

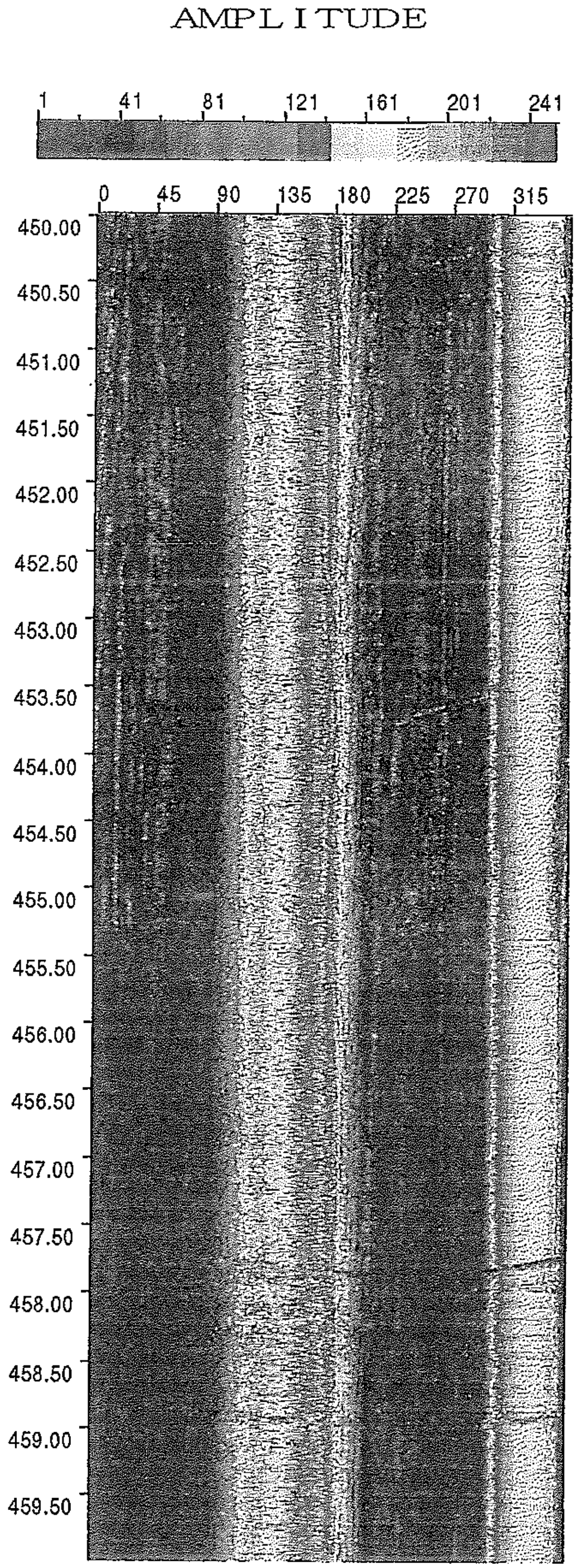


TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

AMPLITUDE

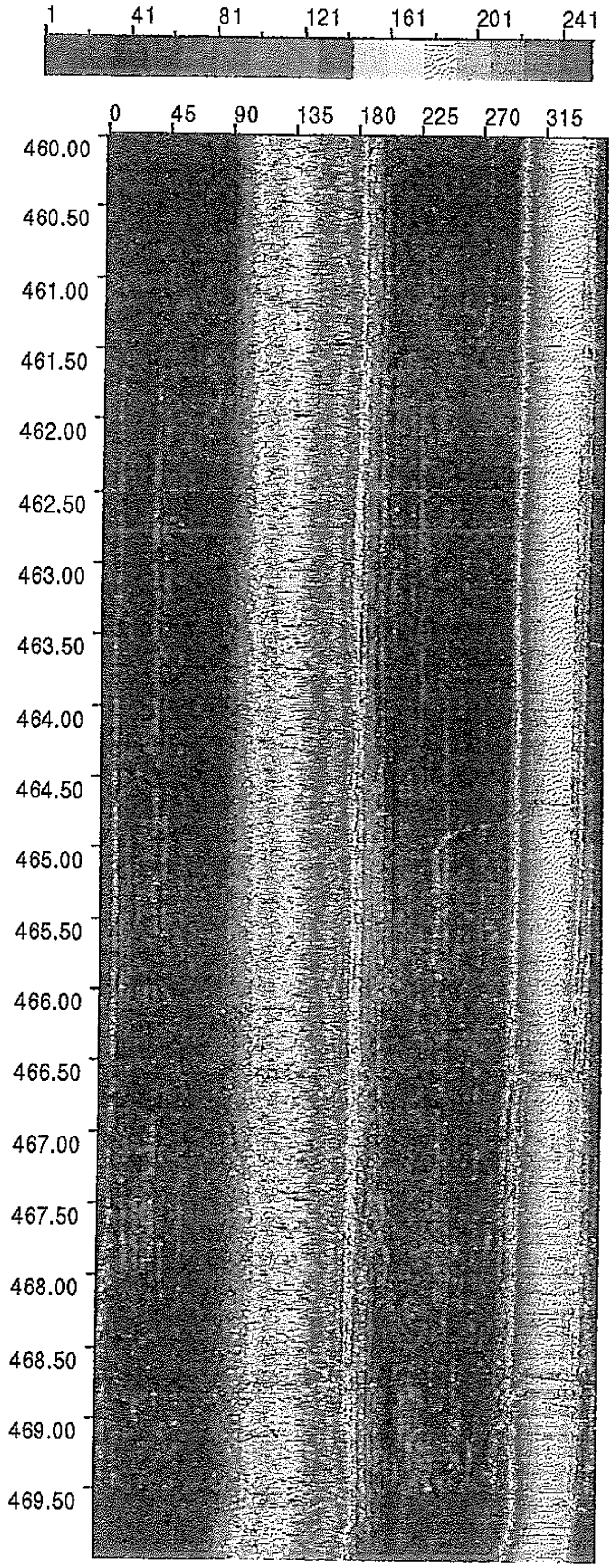


TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)



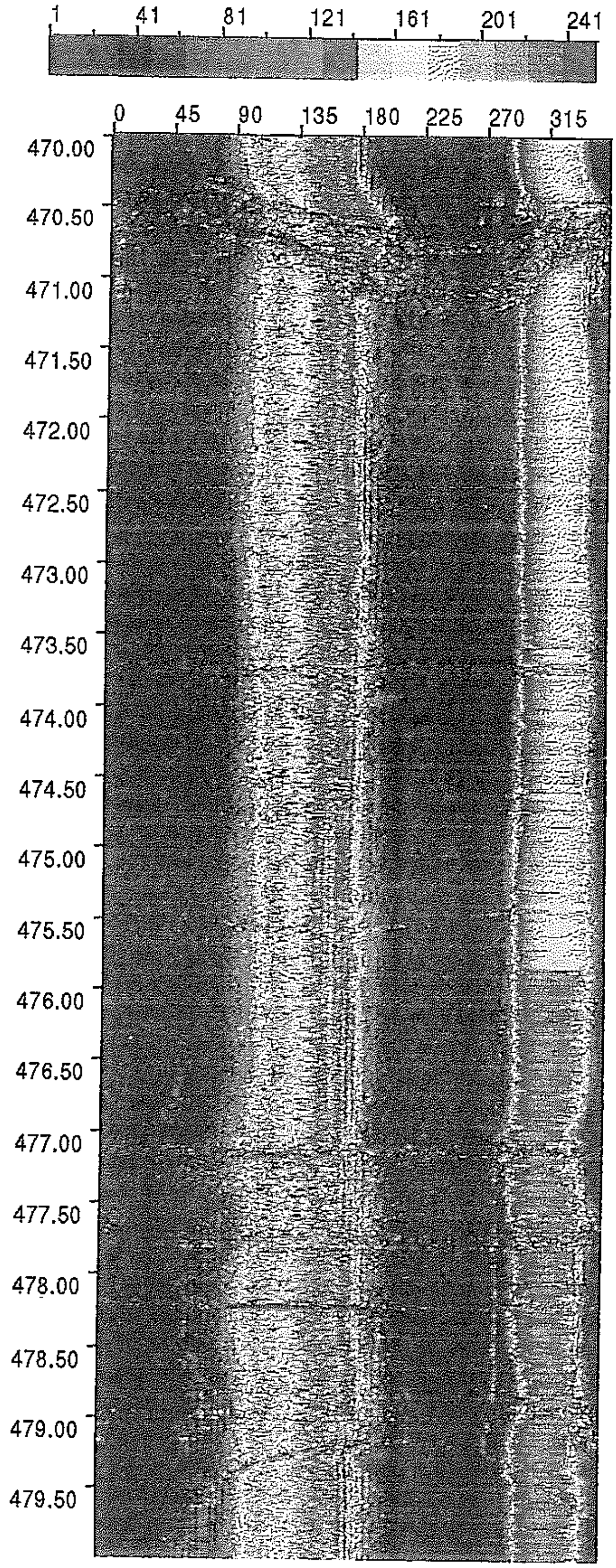
TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

AMPLITUDE



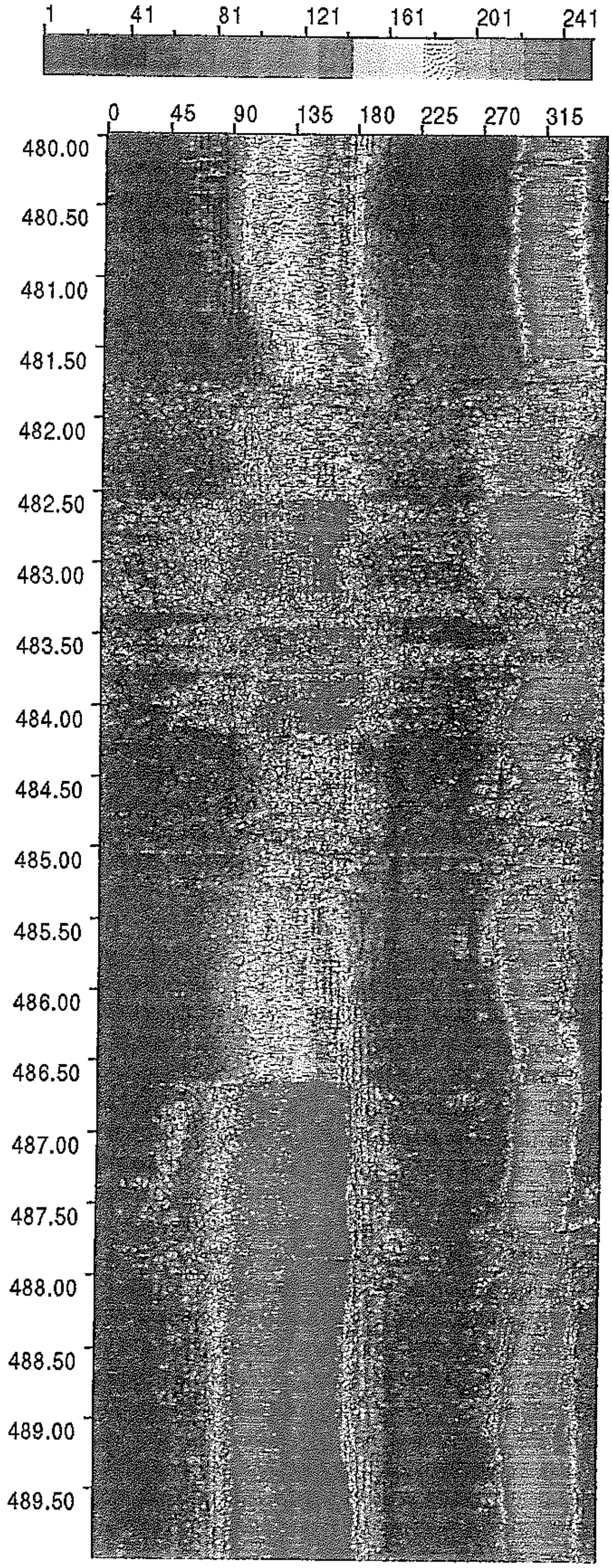
TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

AMPLITUDE



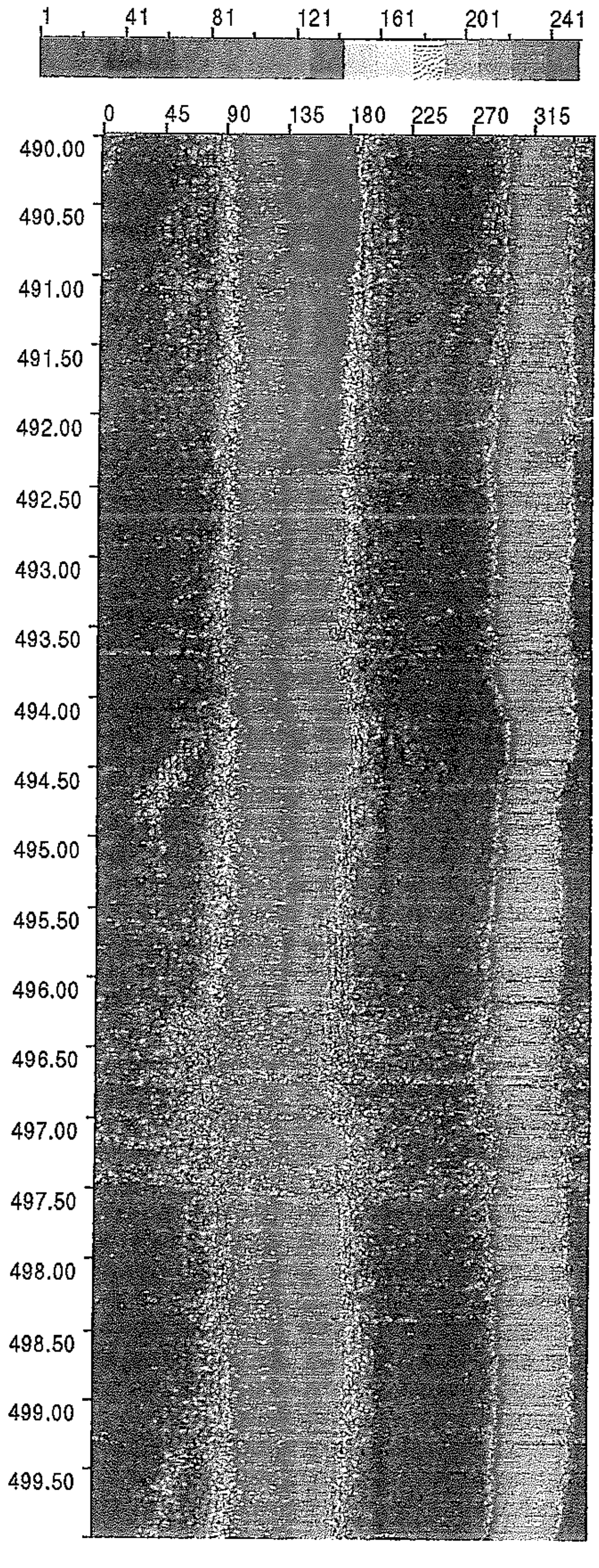
TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

AMPLITUDE



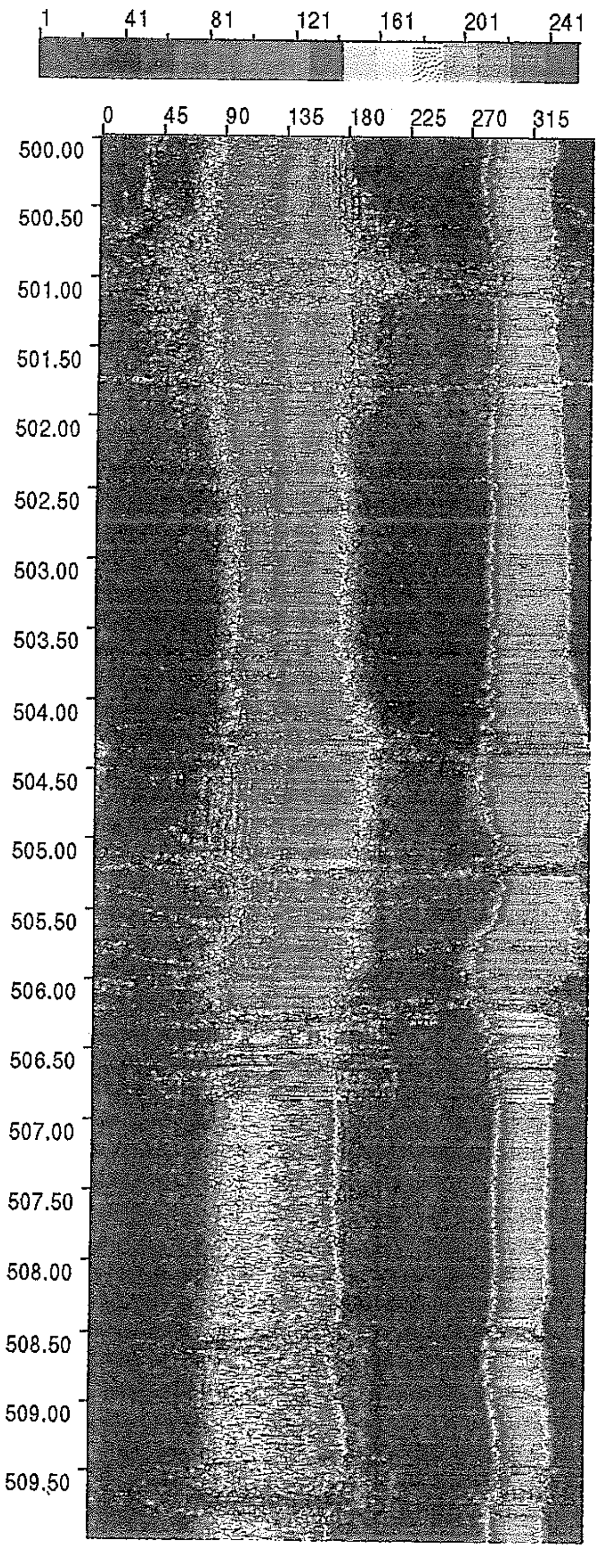
TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

AMPLITUDE



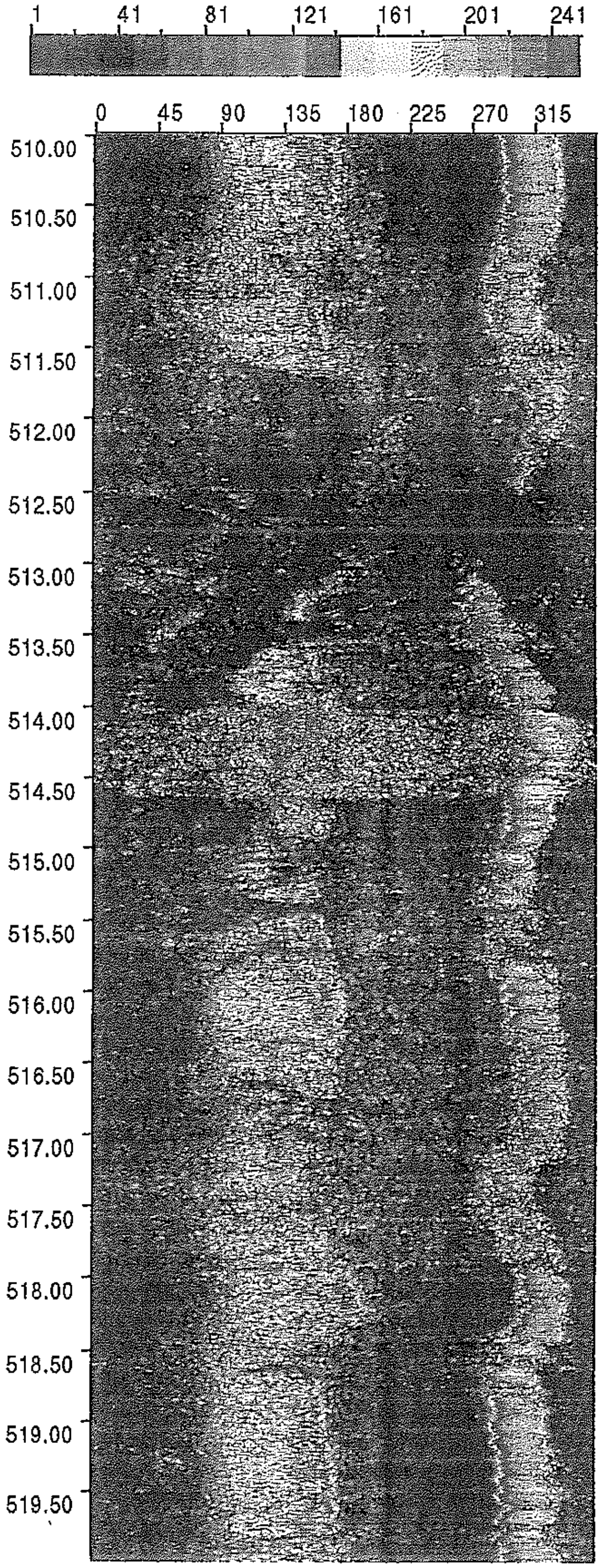
TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

AMPLITUDE



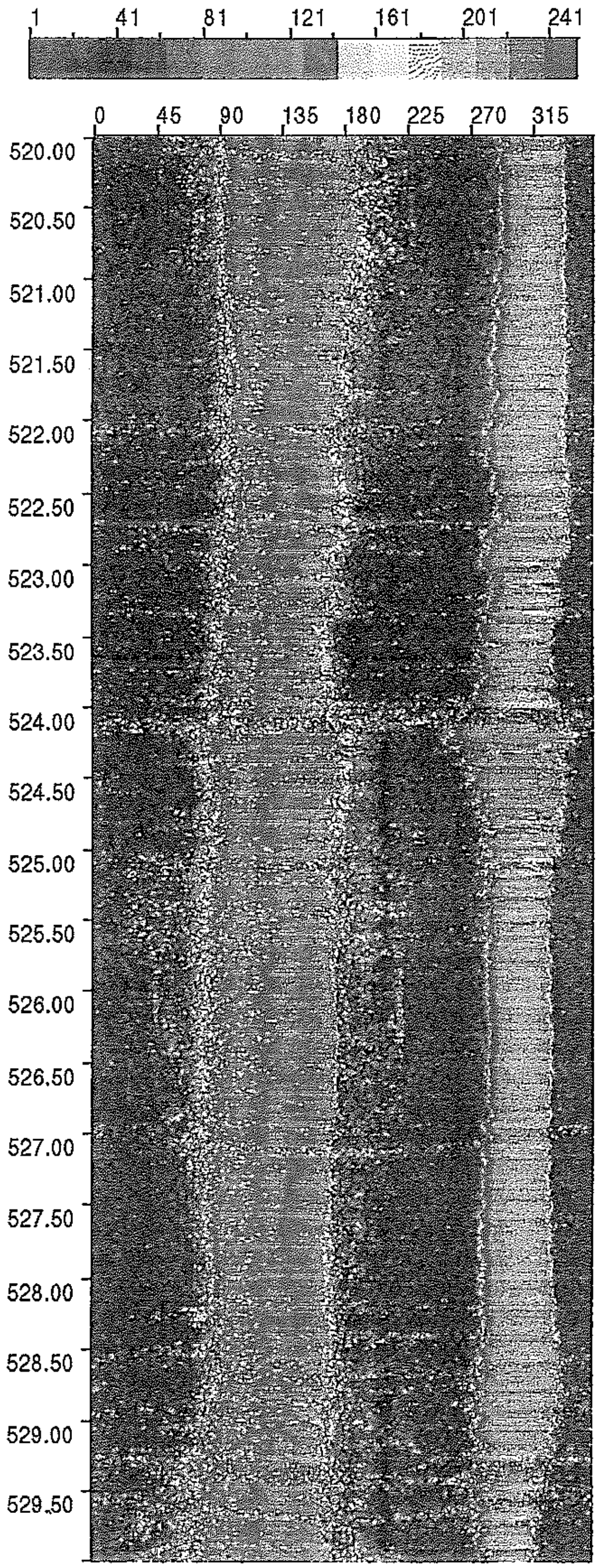
TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

AMPLITUDE

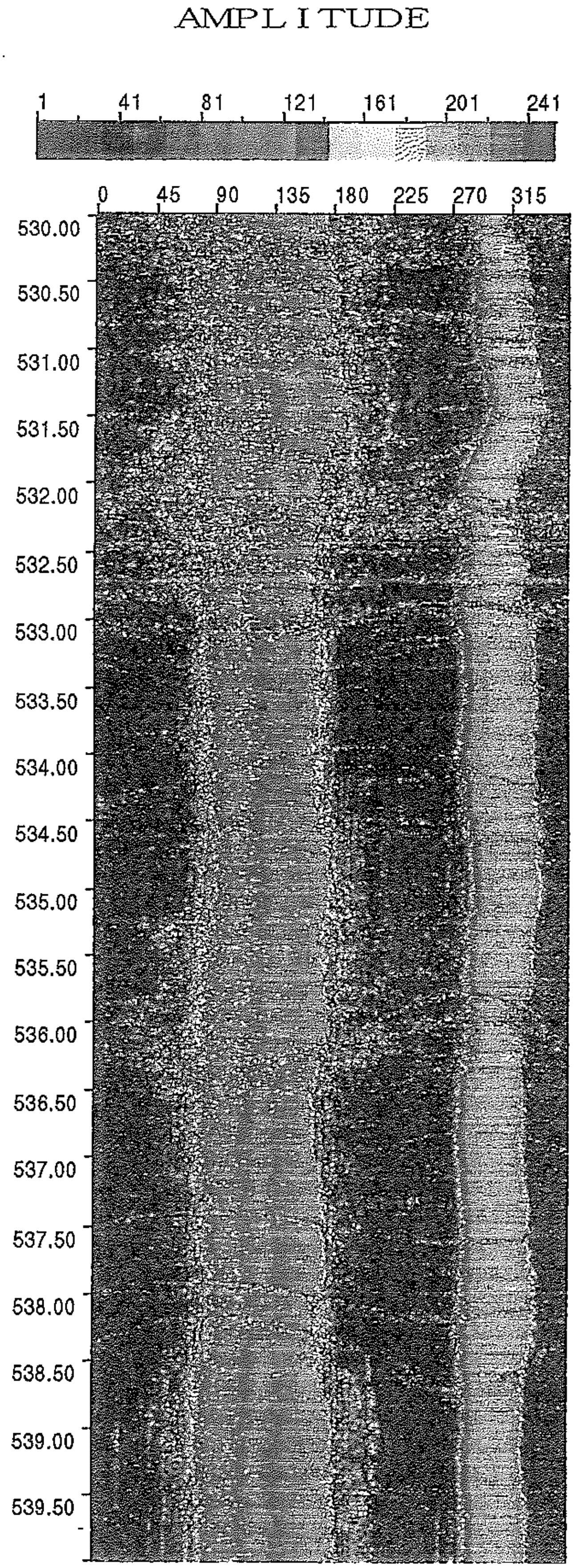


TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

AMPLITUDE

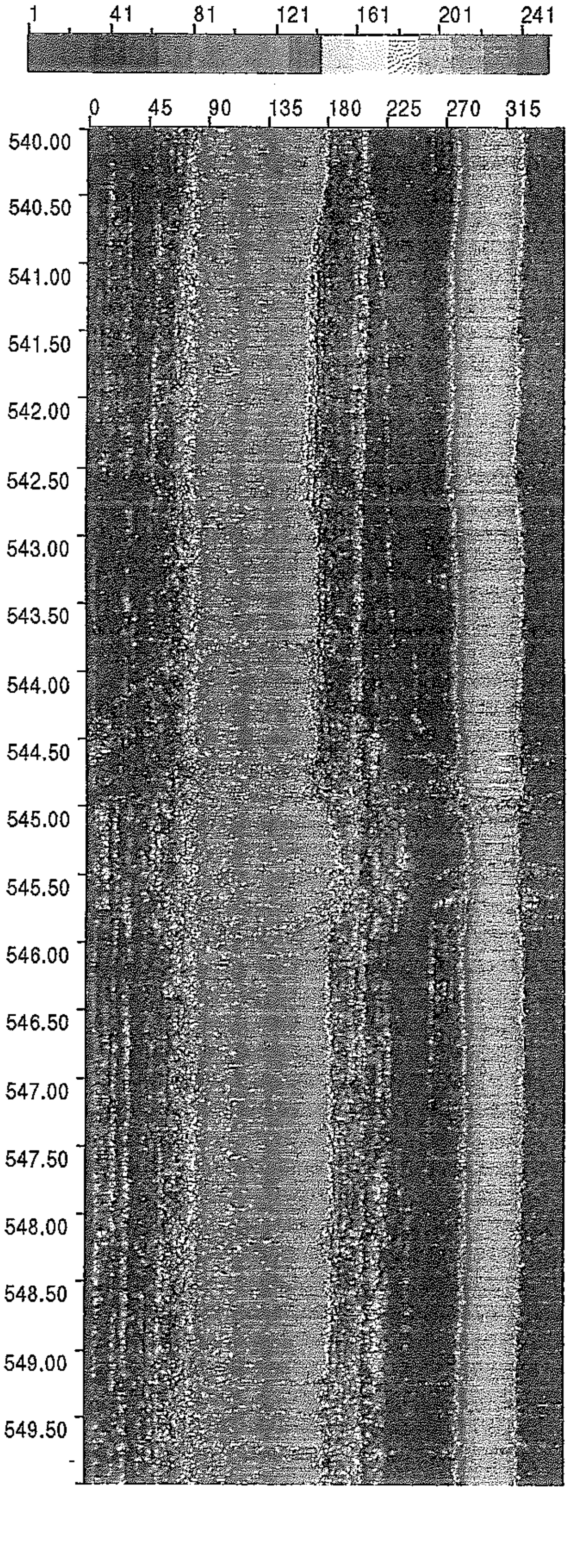


TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)



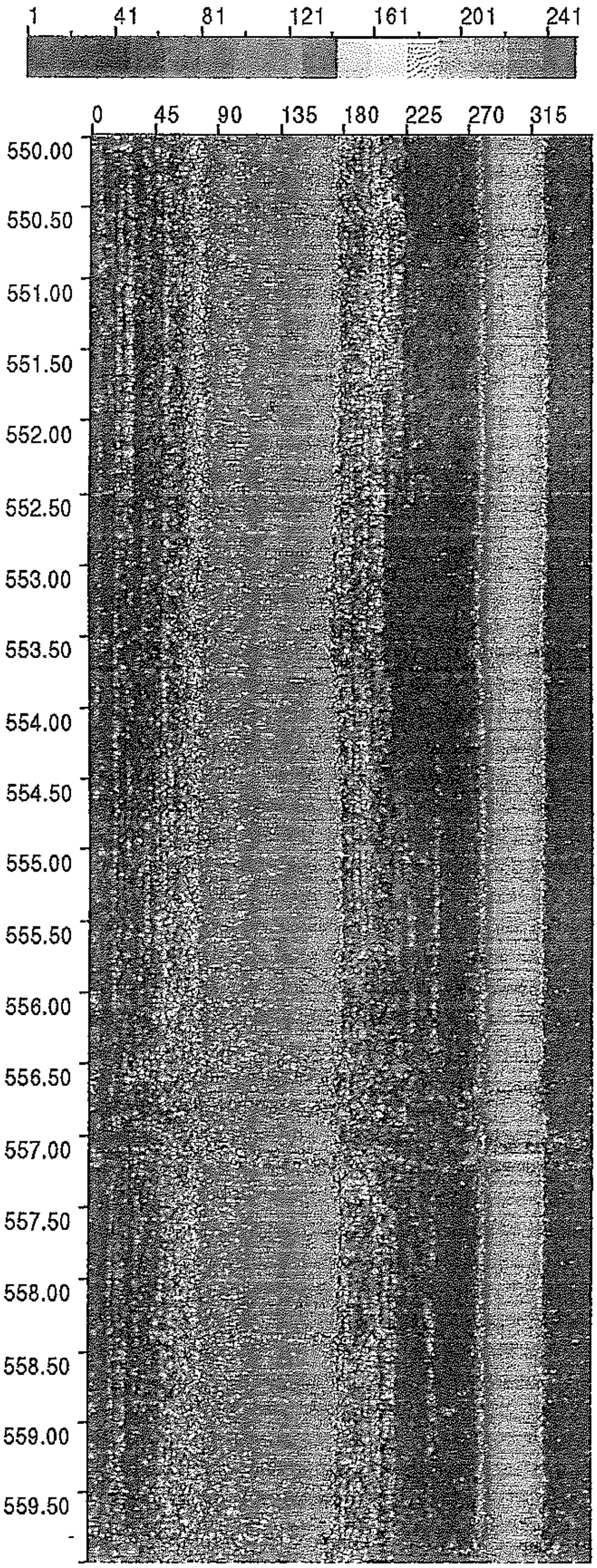
TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

AMPLITUDE

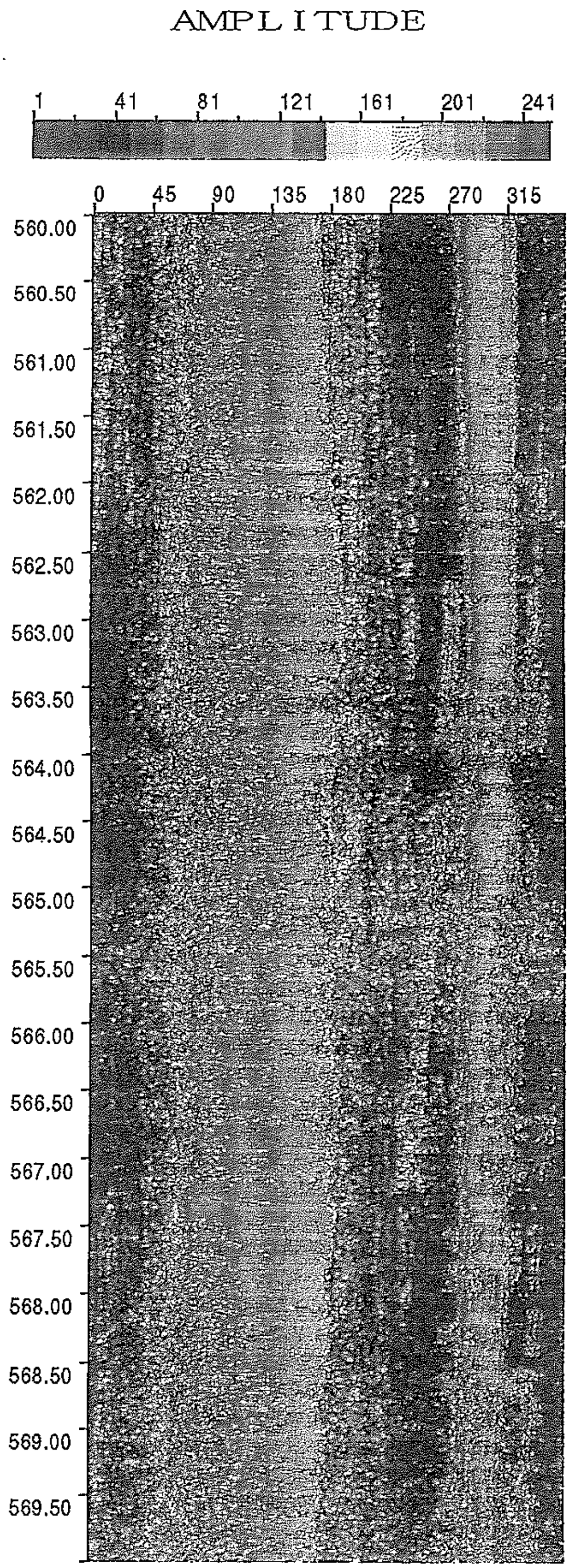


TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

AMPLITUDE

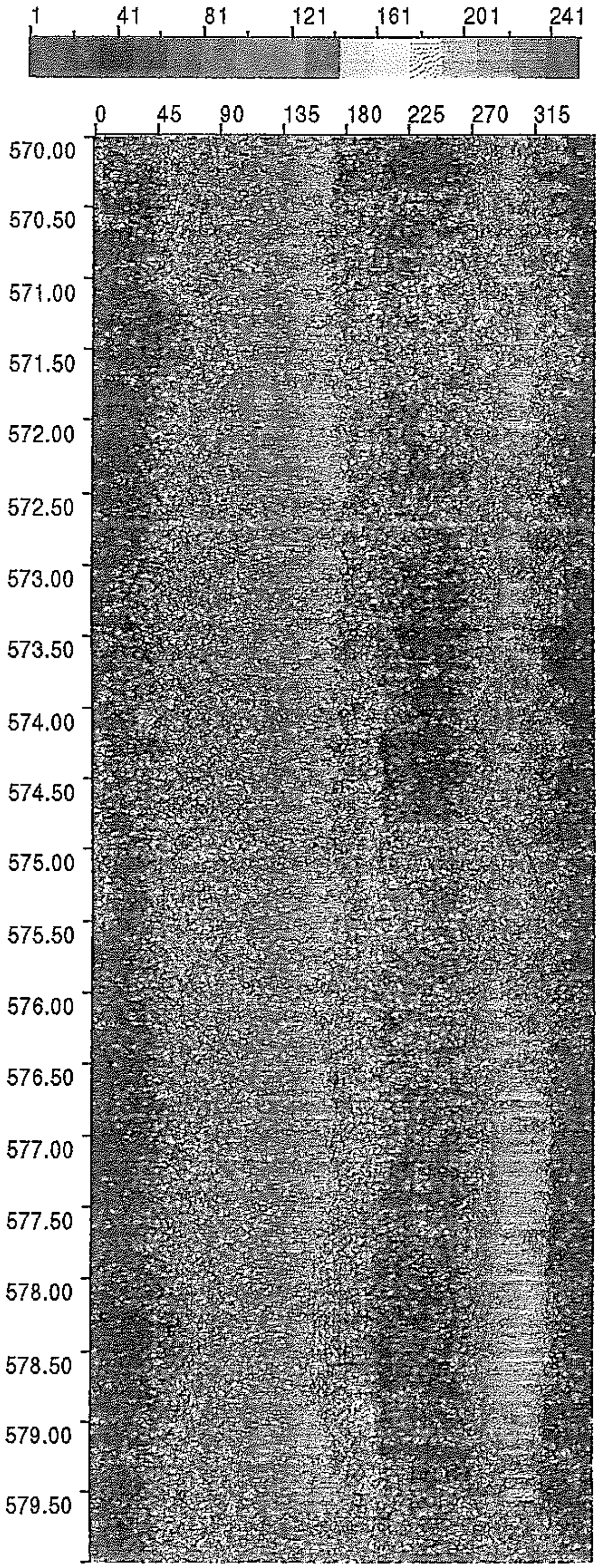


TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)



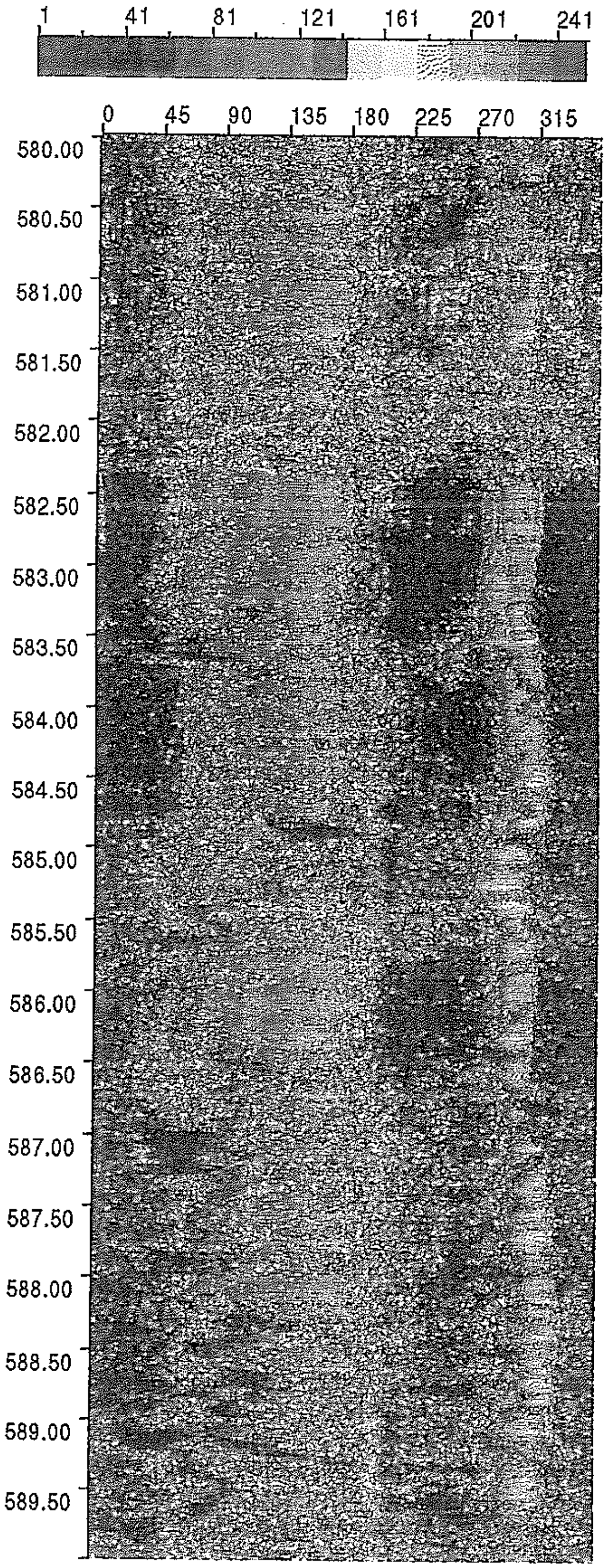
TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

AMPLITUDE

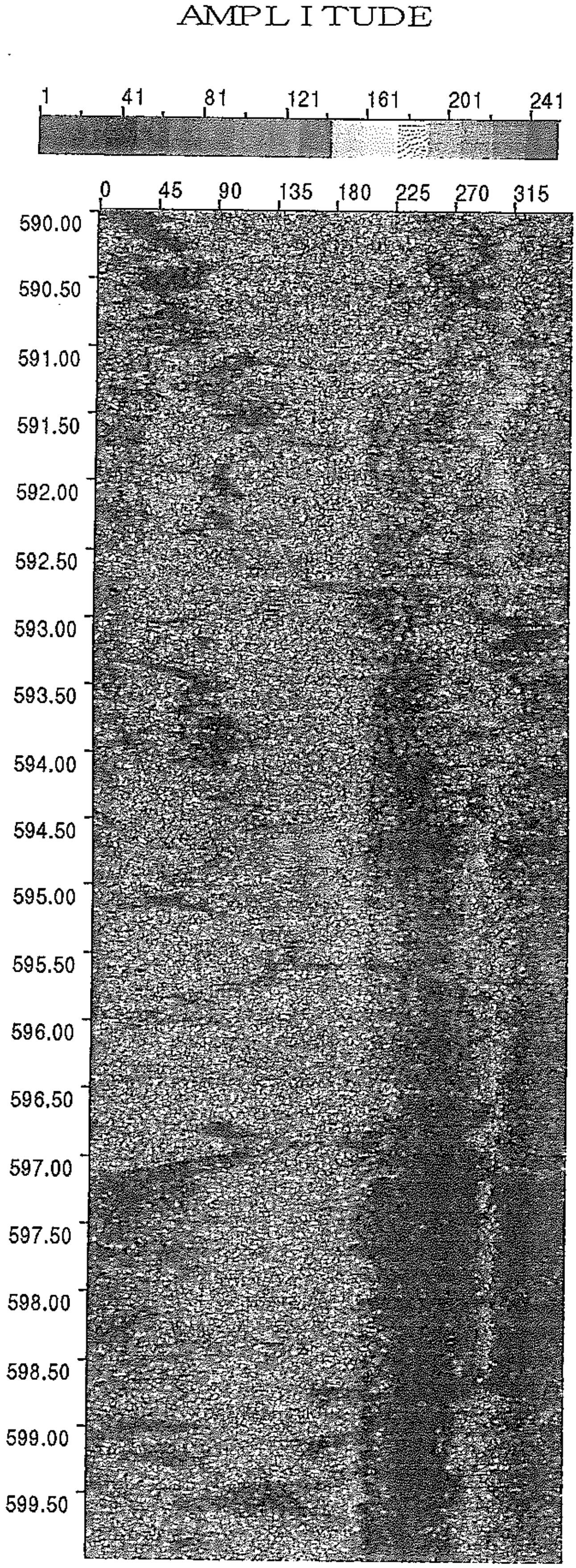


TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

AMPLITUDE

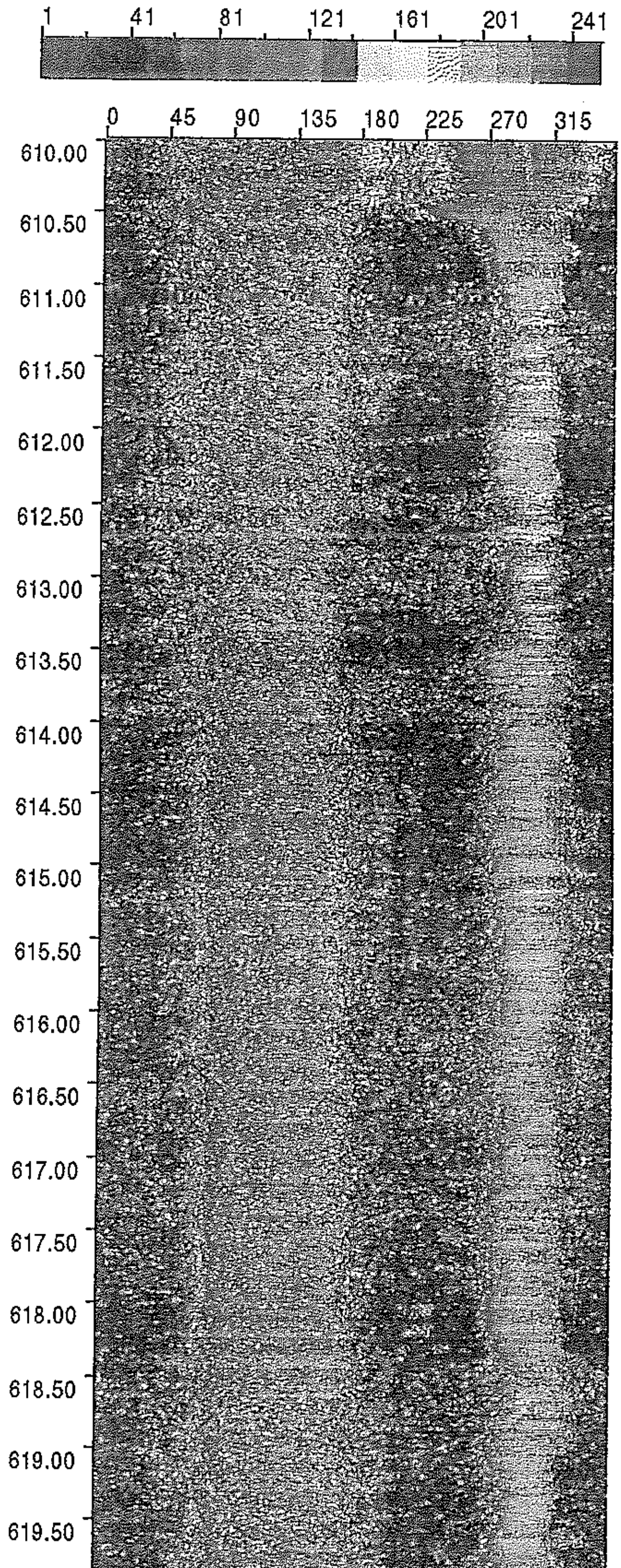


TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)



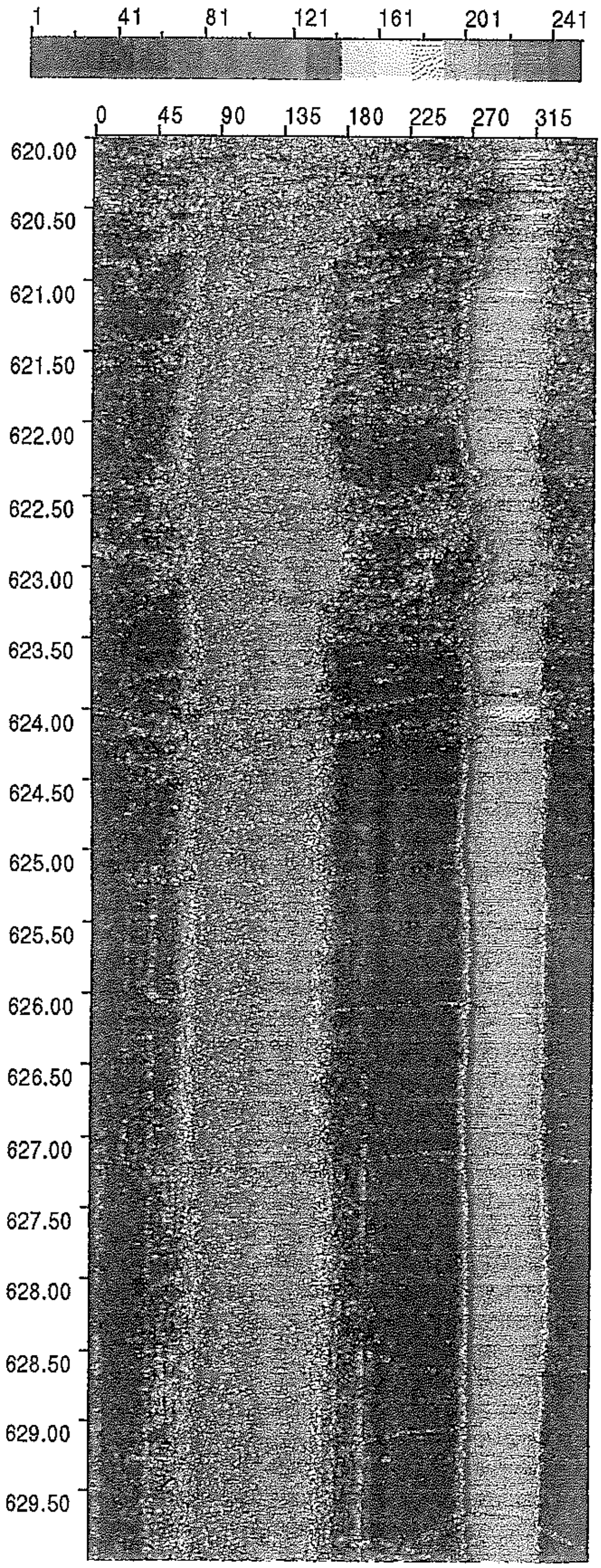
TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

AMPLITUDE



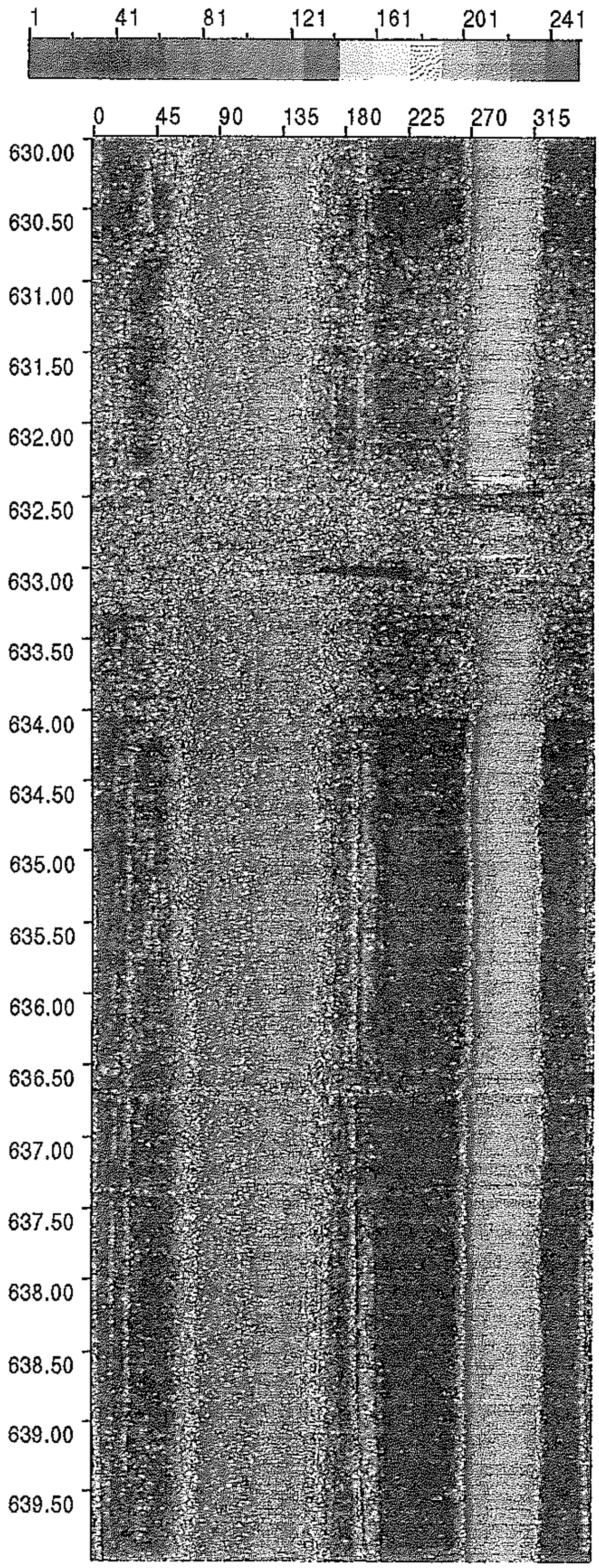
TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

AMPLITUDE



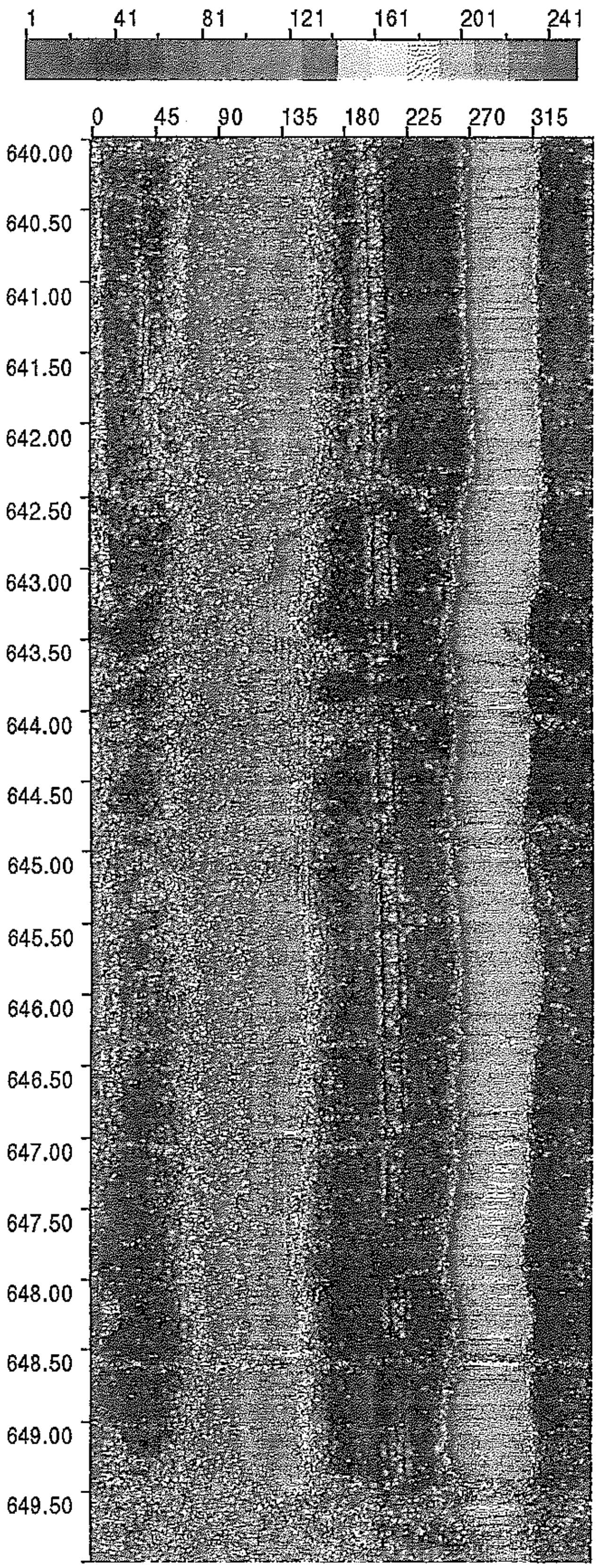
TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

AMPLITUDE

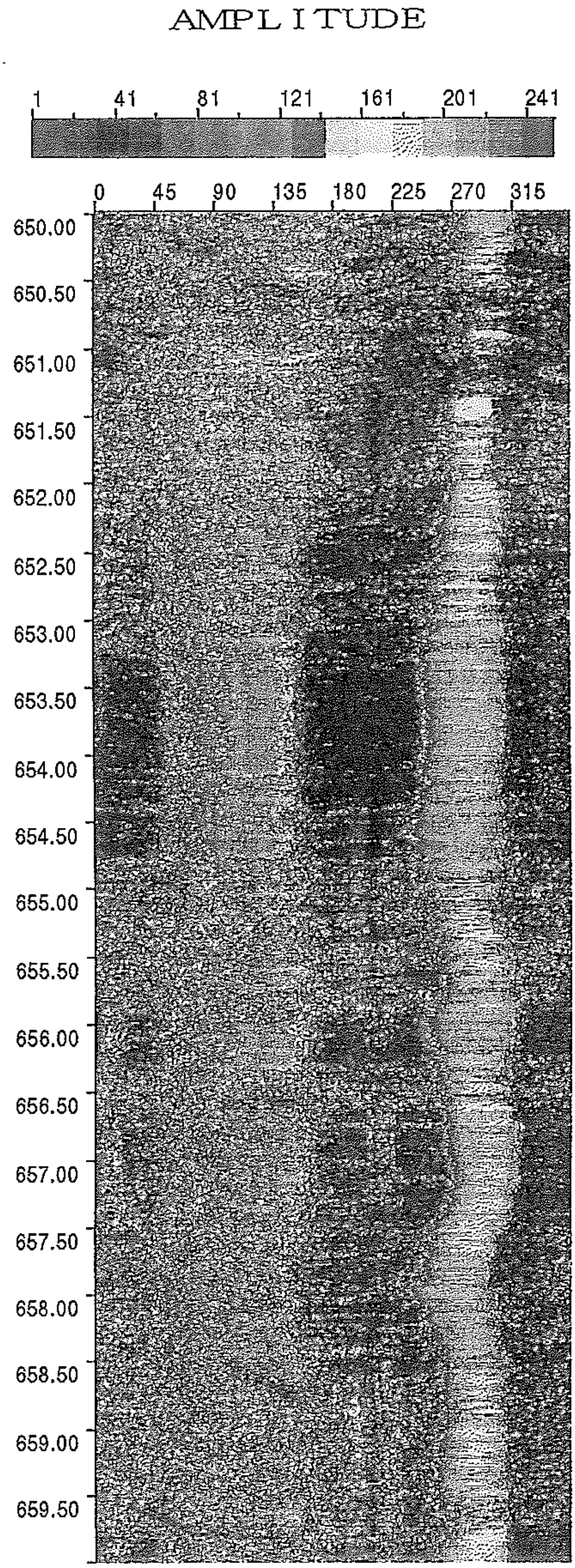


TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

AMPLITUDE

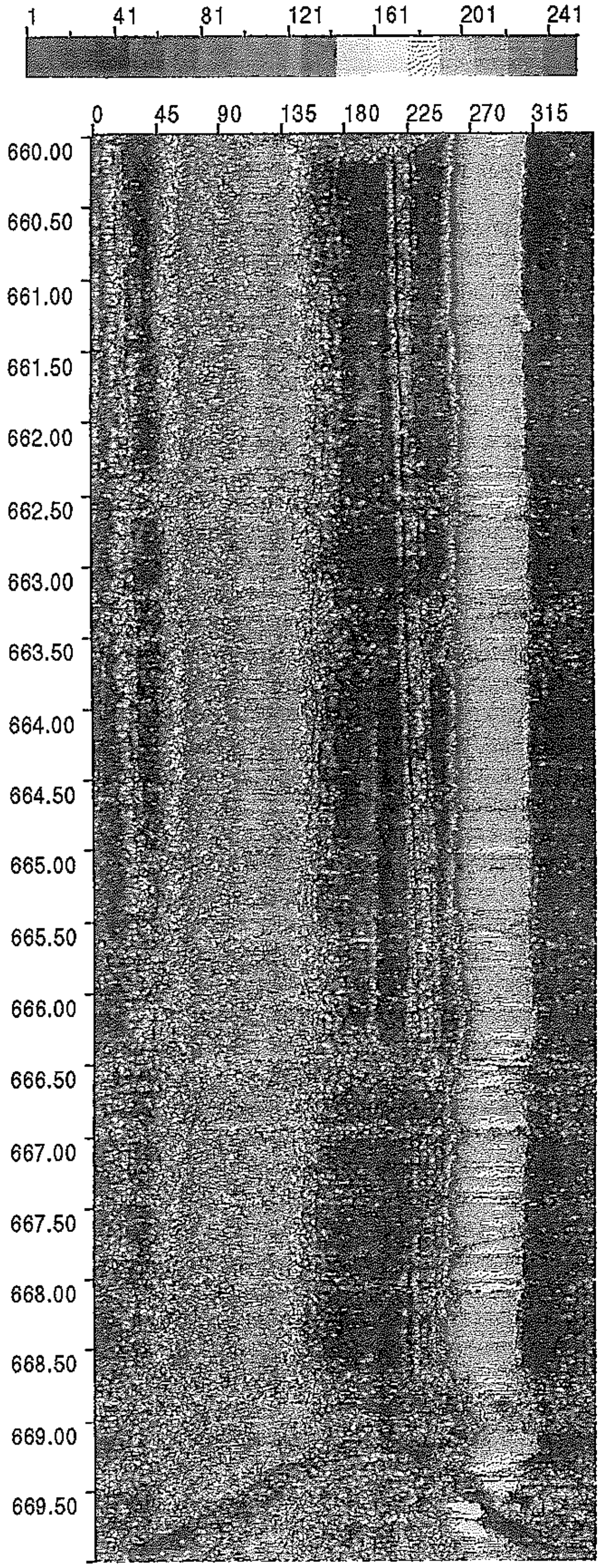


TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)



TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

AMPLITUDE

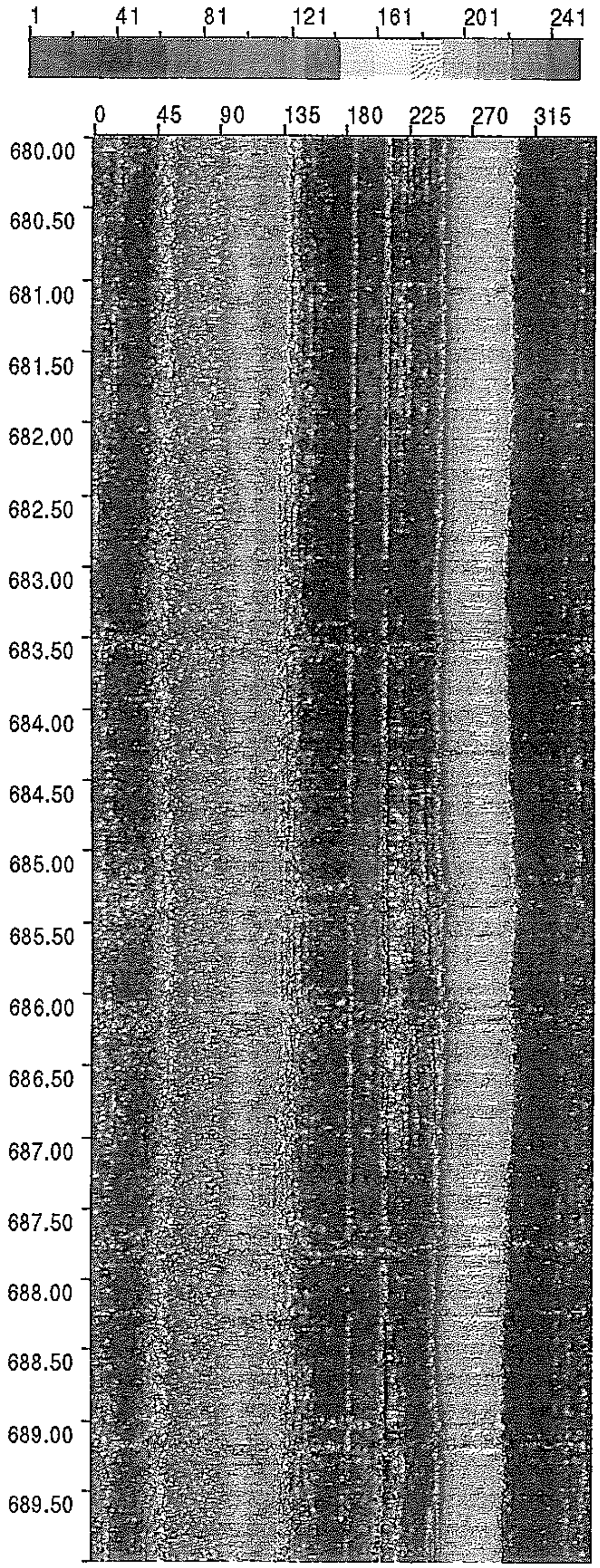


TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

AMPLITUDE

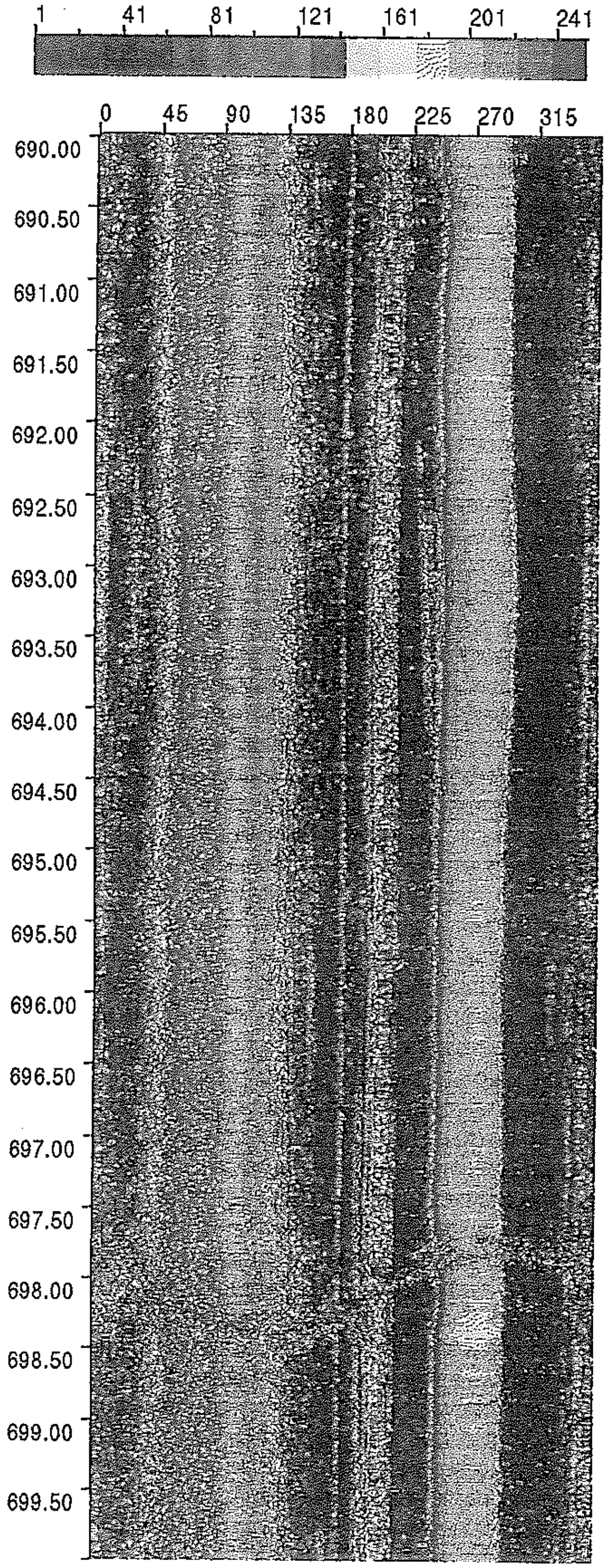
TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

AMPLITUDE



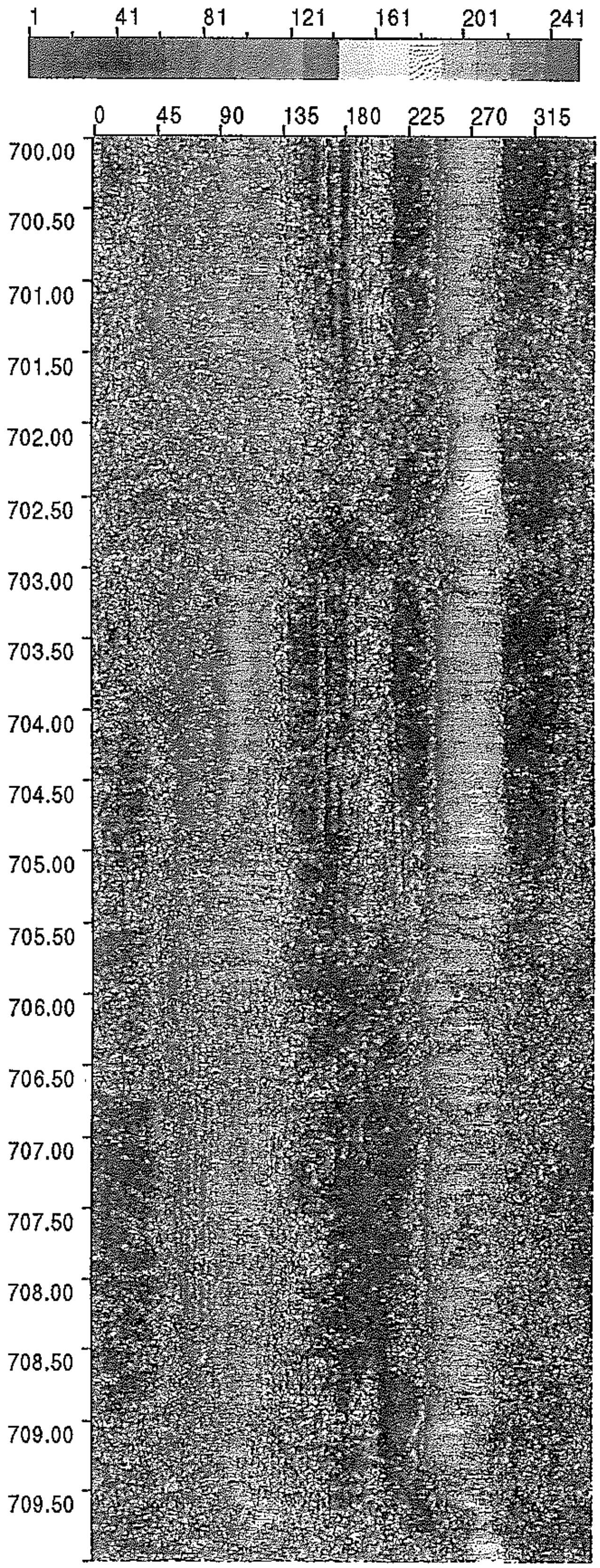
TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

AMPLITUDE



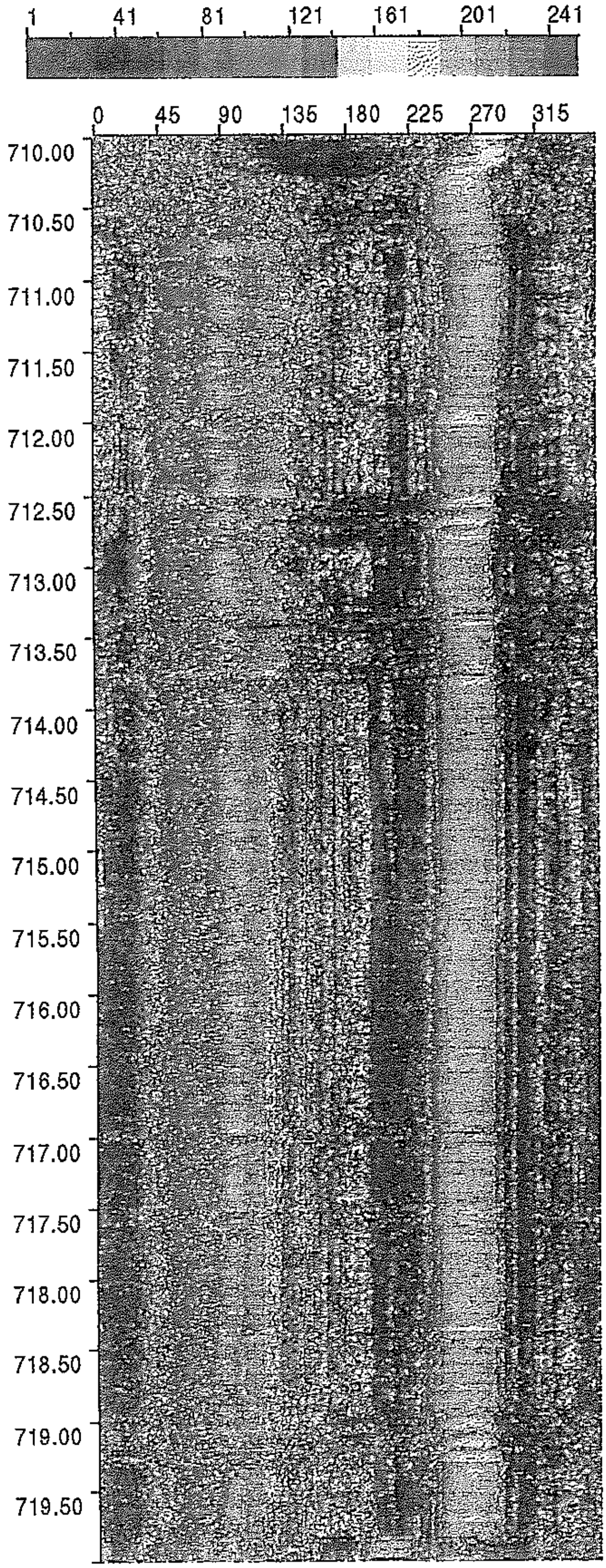
TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

AMPLITUDE



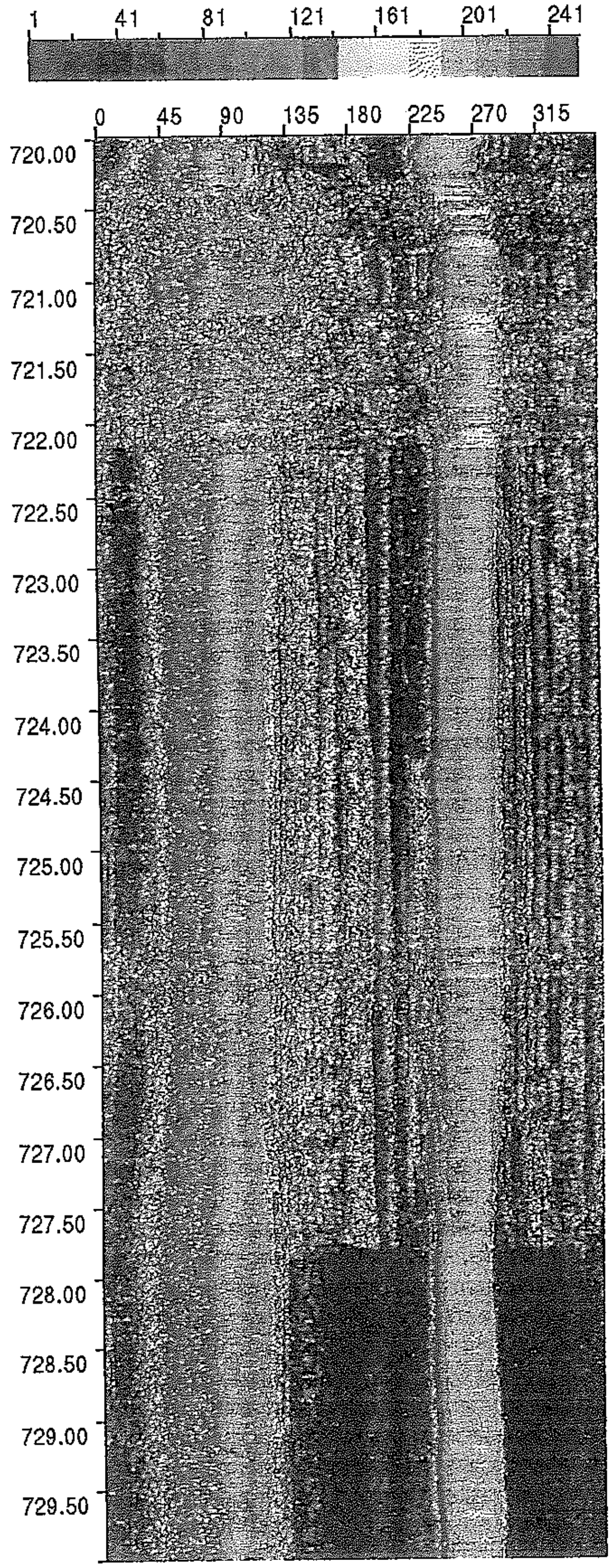
TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

AMPLITUDE



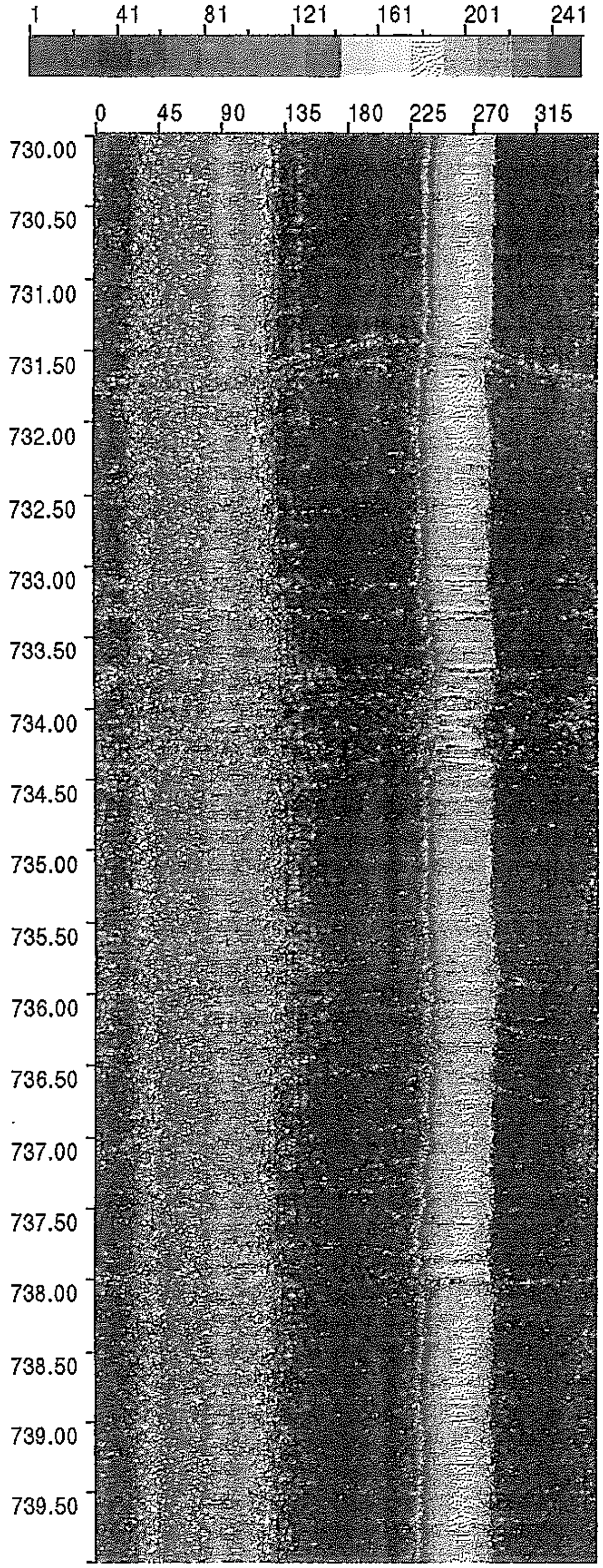
TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

AMPLITUDE



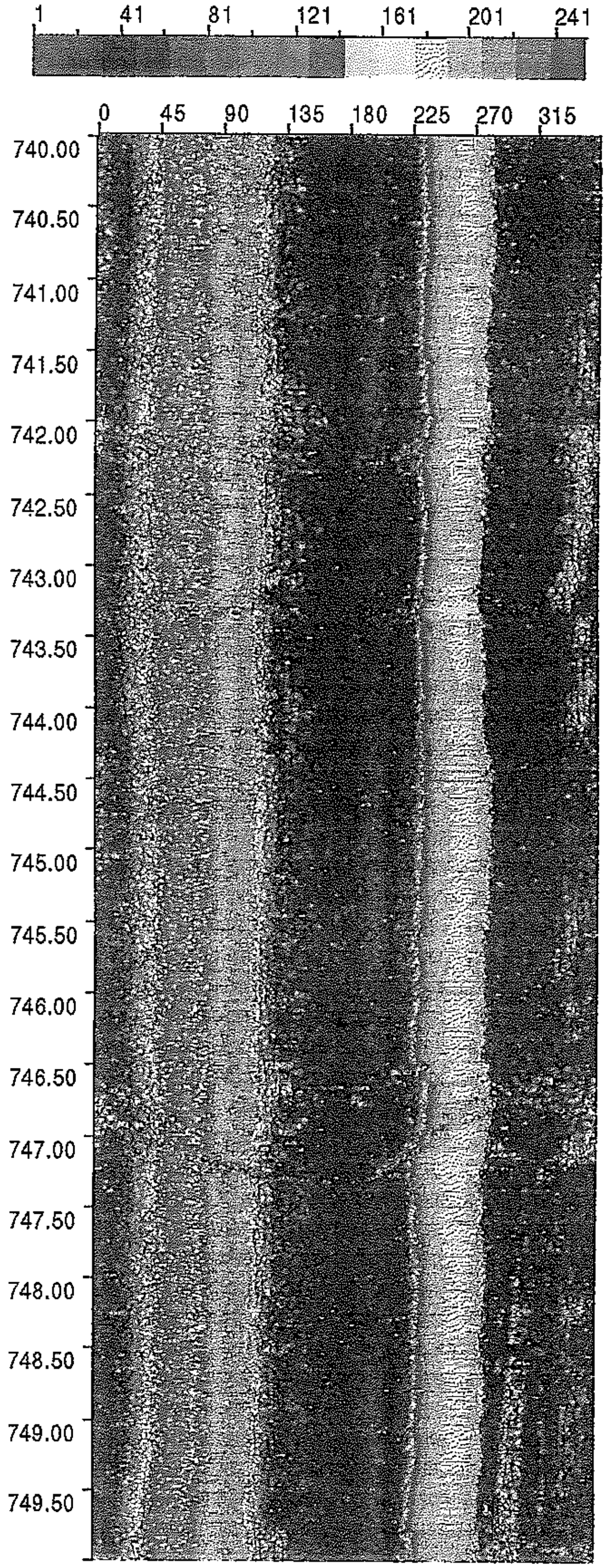
TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

AMPLITUDE

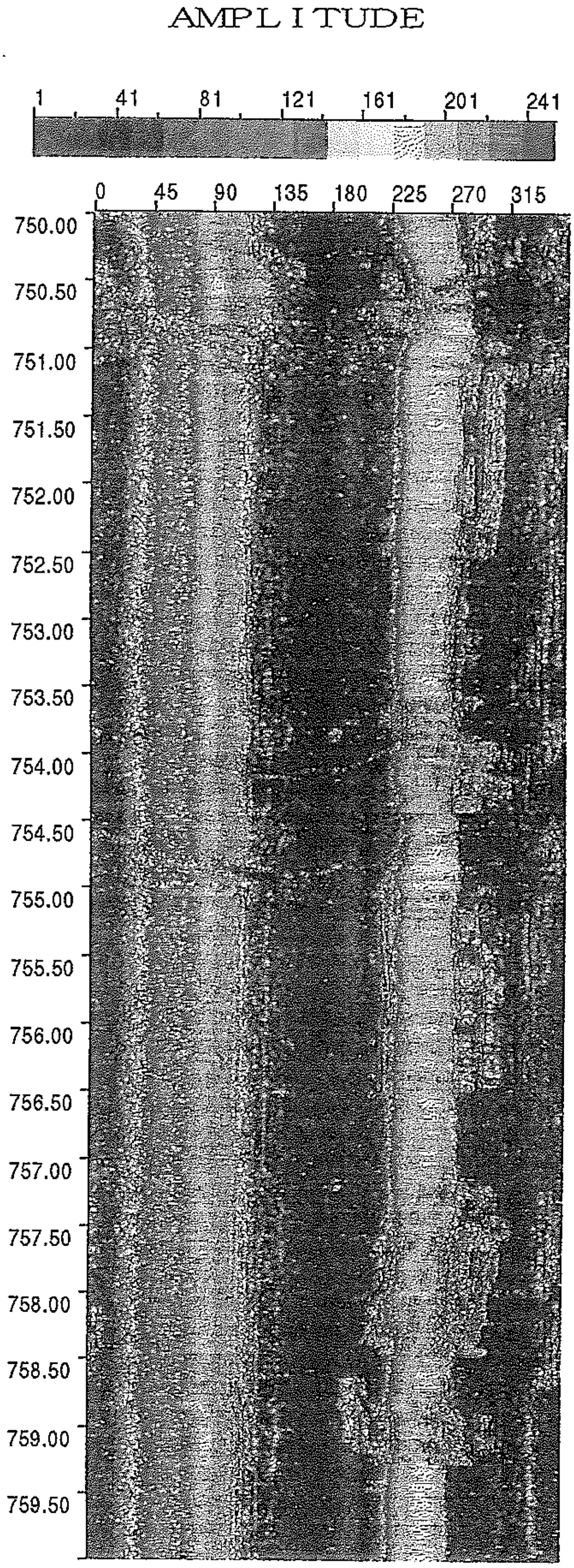


TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

AMPLITUDE

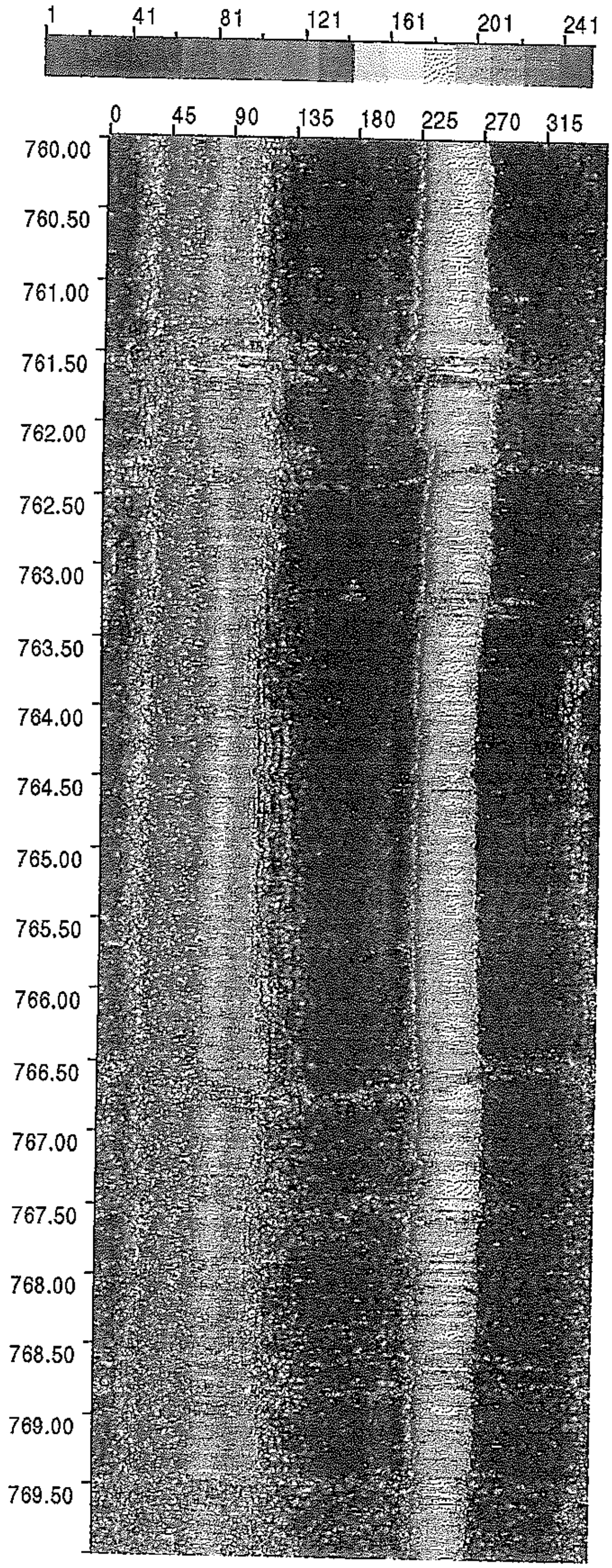


TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)



TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

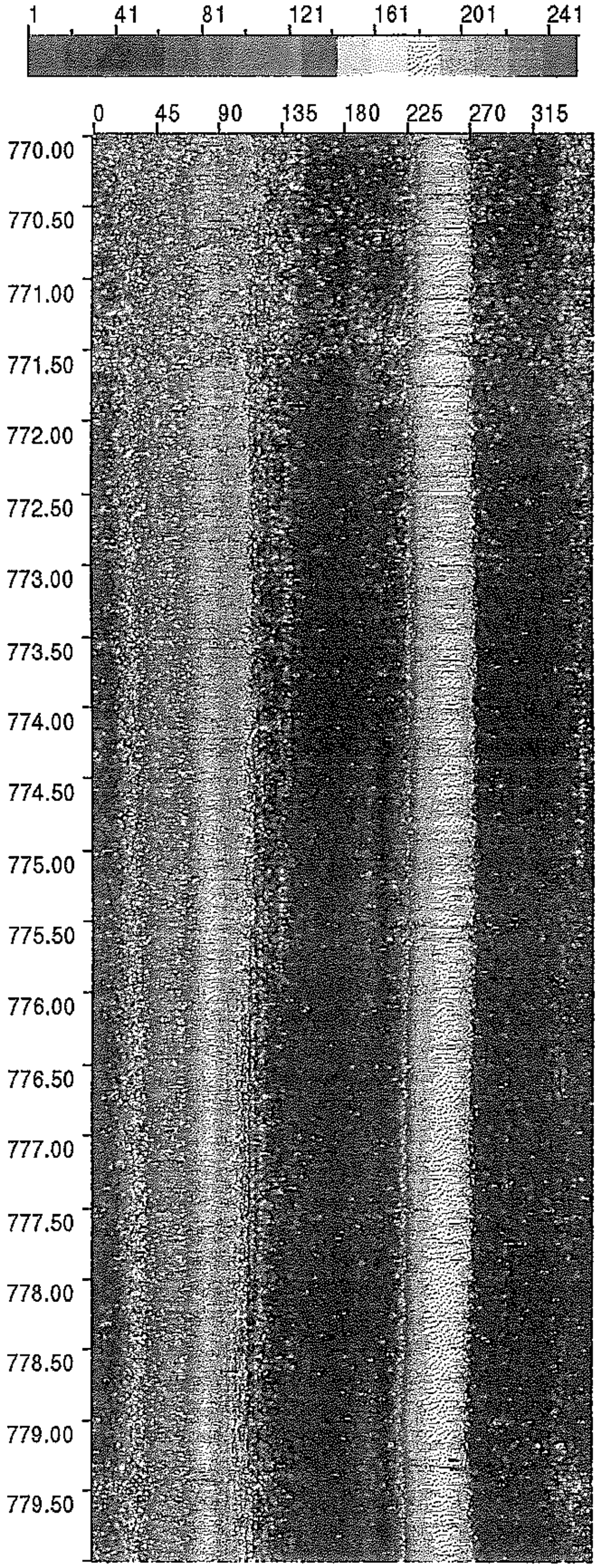
AMPLITUDE



TOKI DH-3

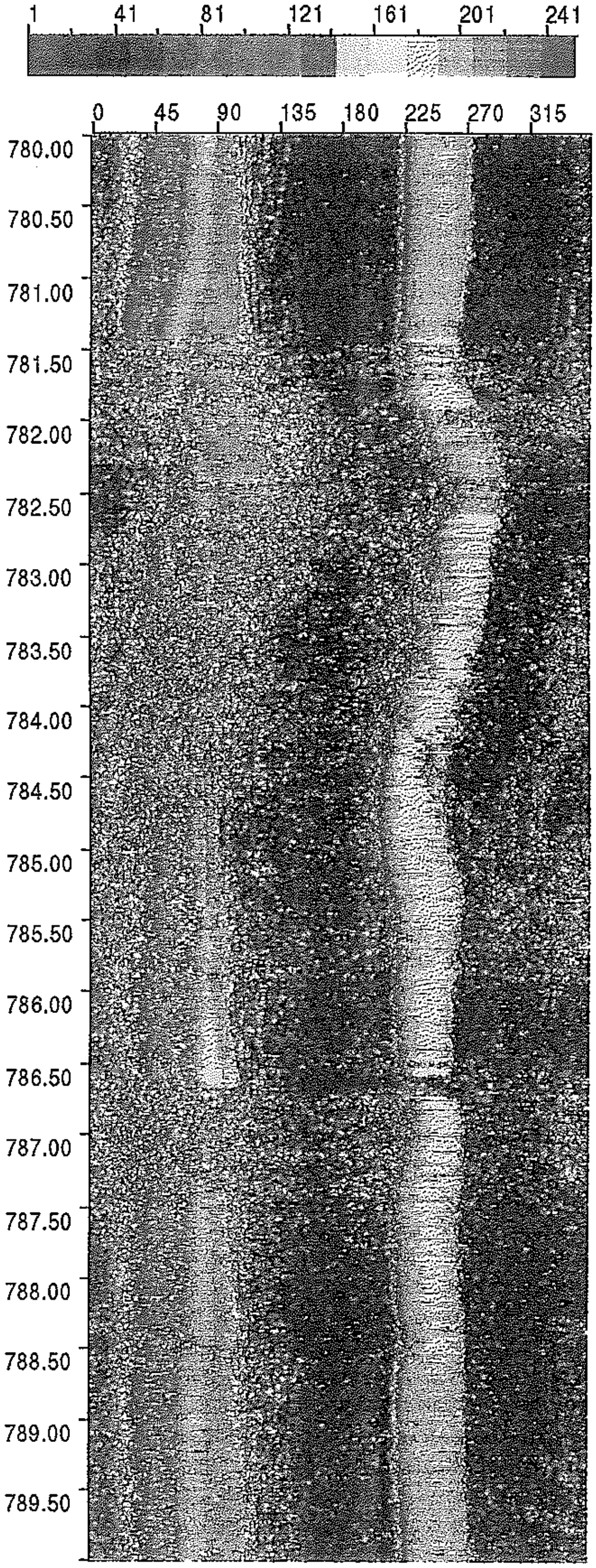
(SCALE : 1/50)

AMPLITUDE



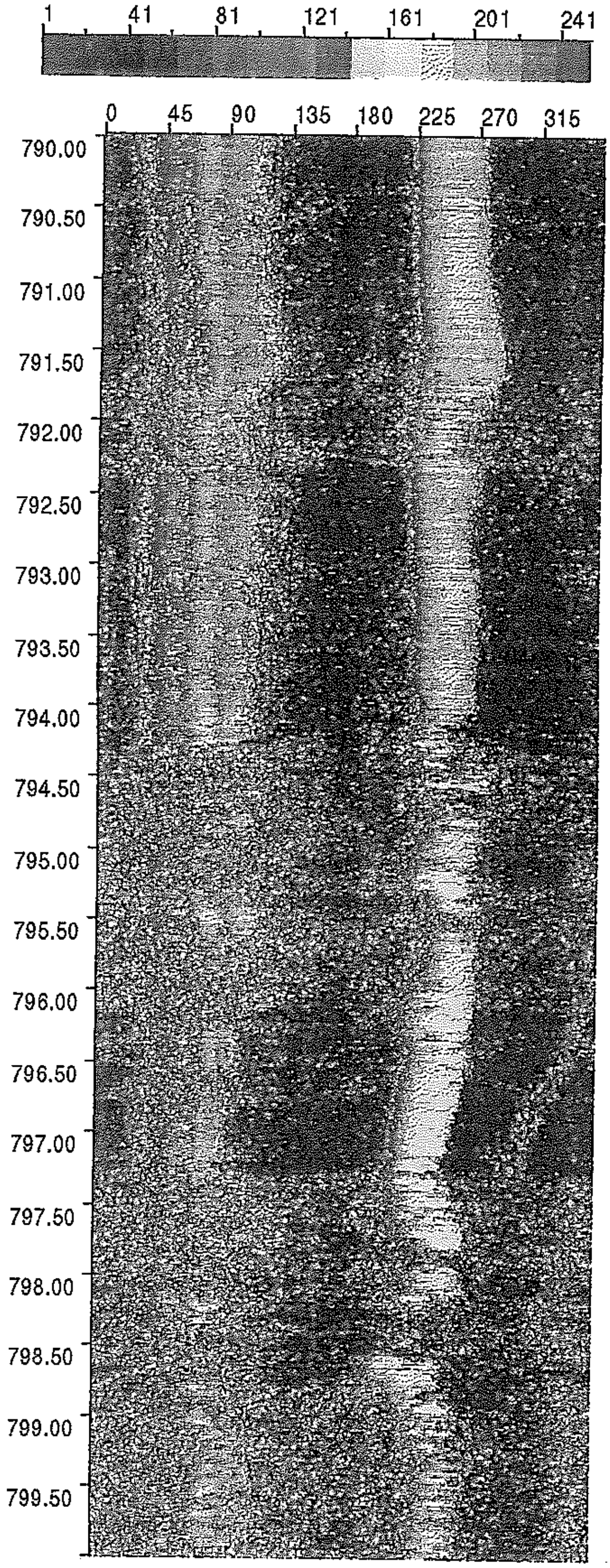
TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

AMPLITUDE



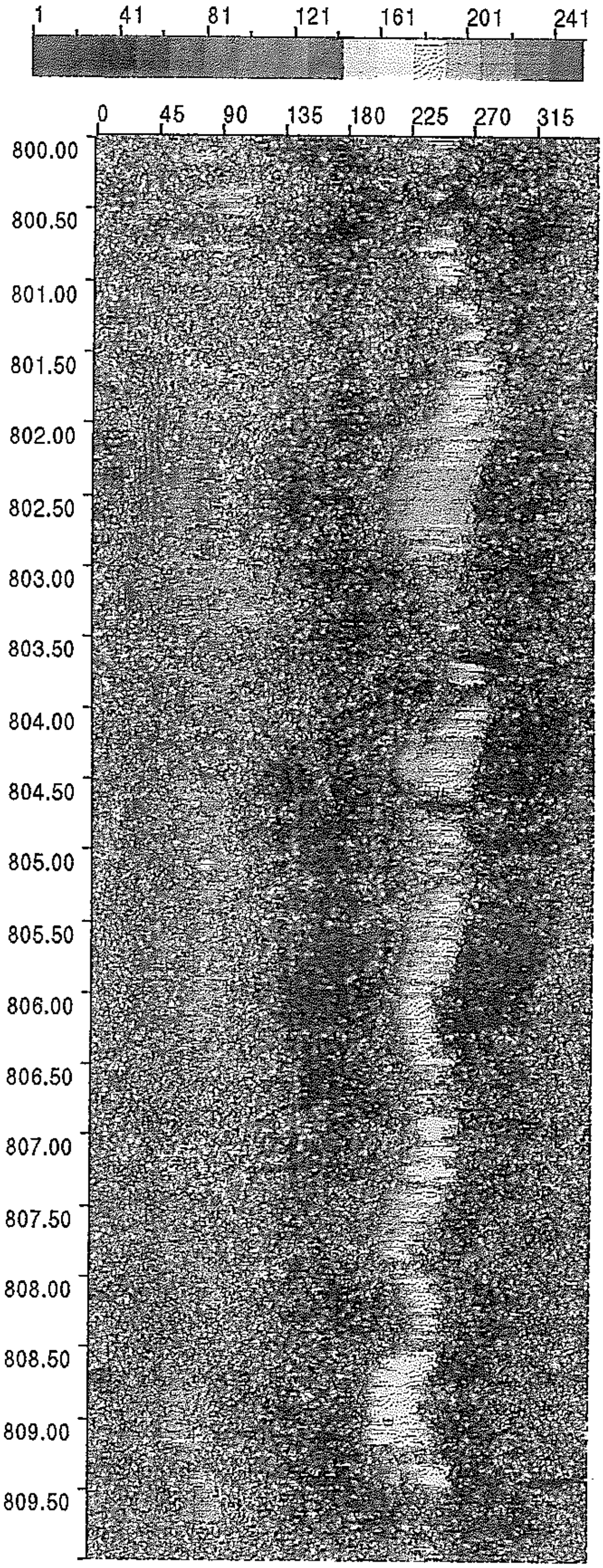
TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

AMPLITUDE



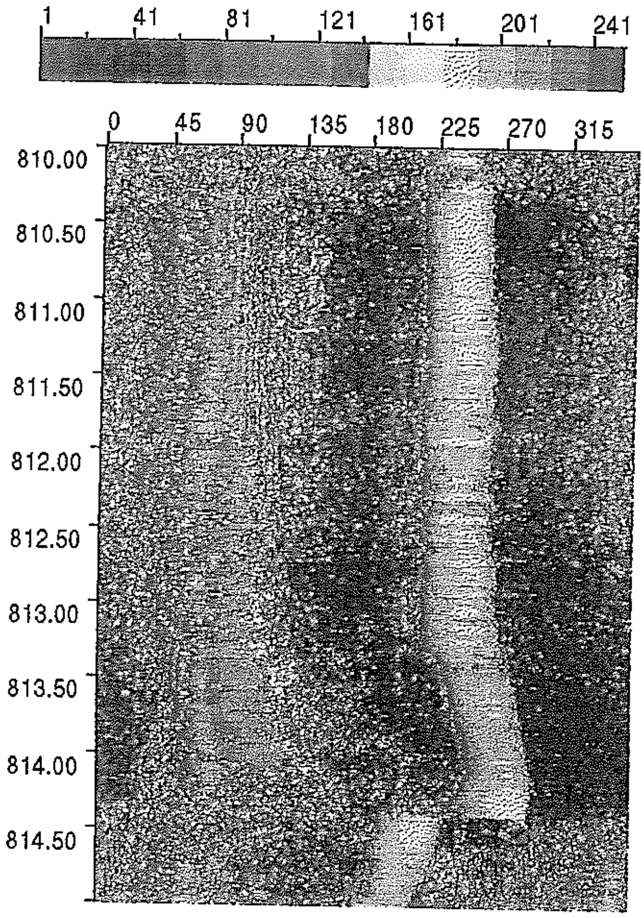
TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

AMPLITUDE



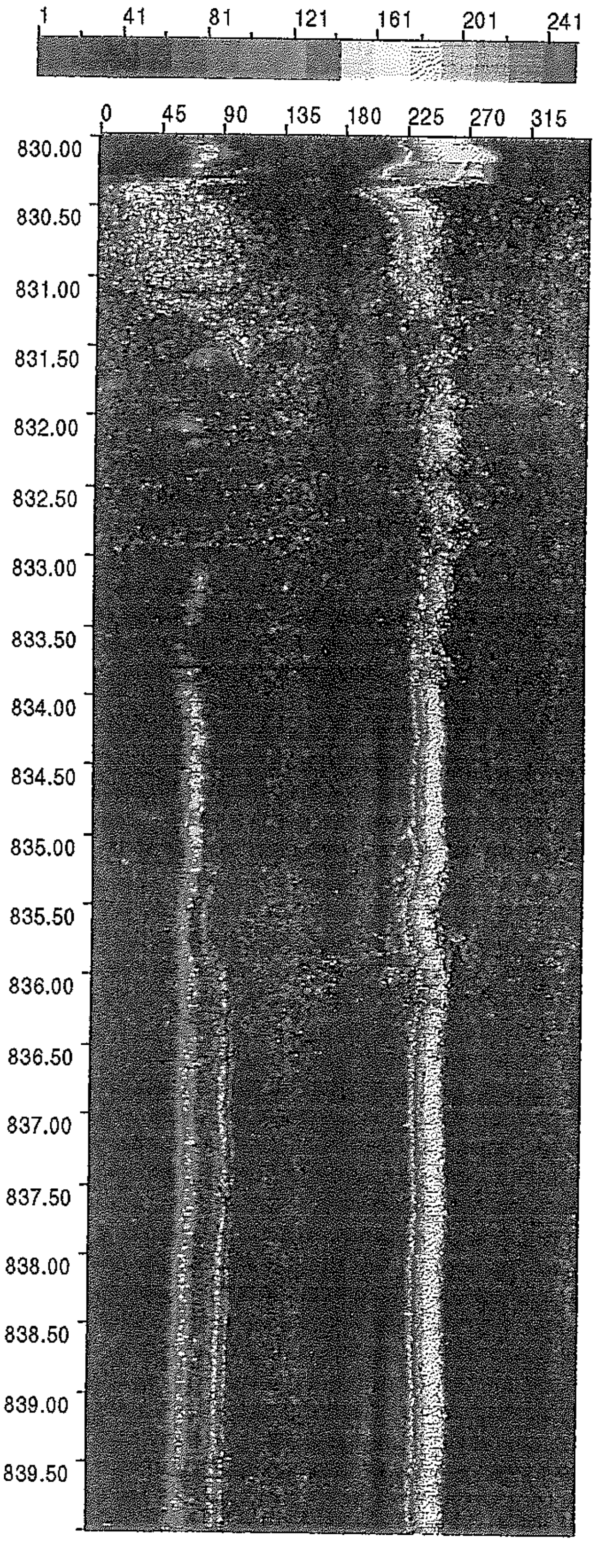
TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

AMPLITUDE



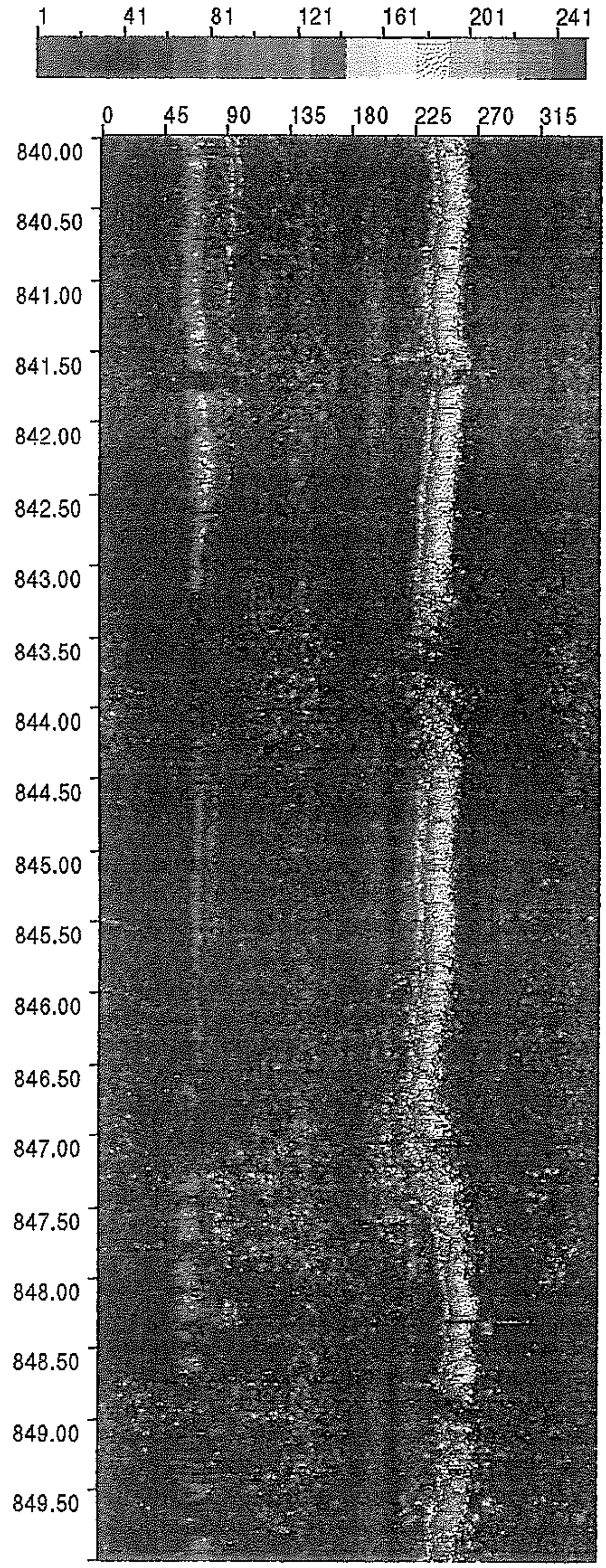
TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

AMPLITUDE



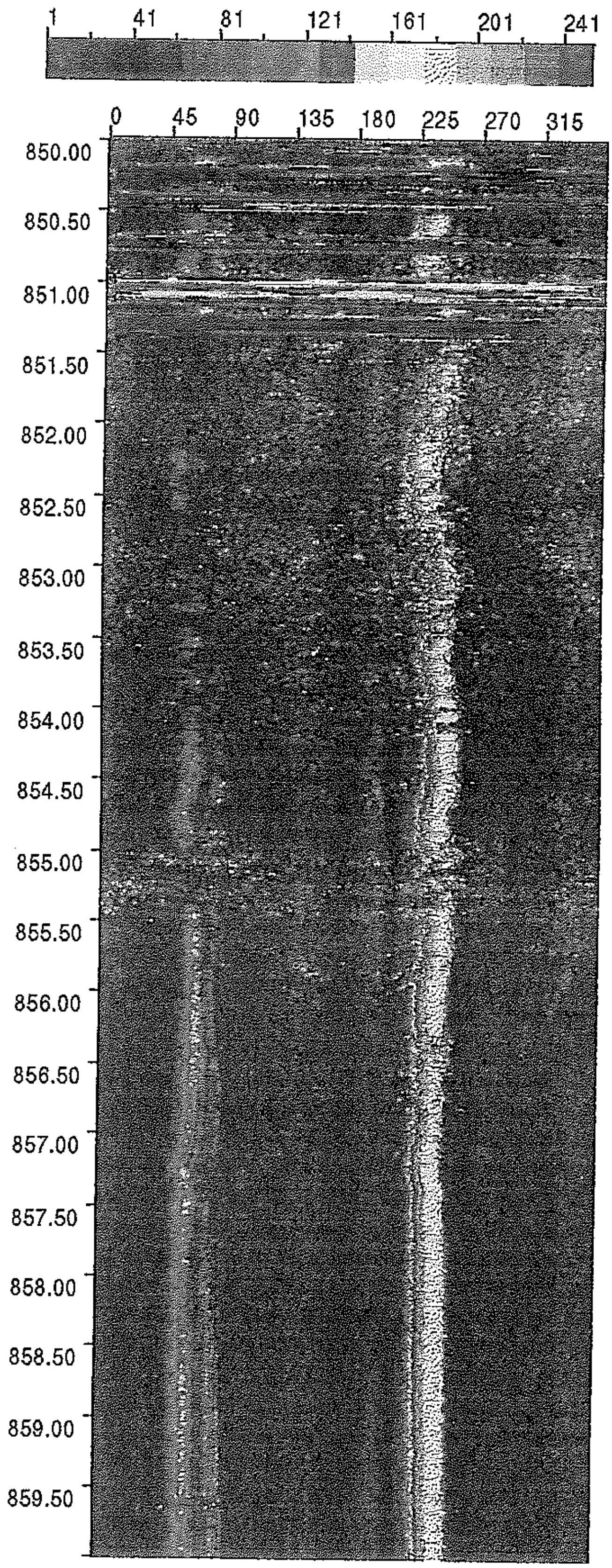
TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

AMPLITUDE



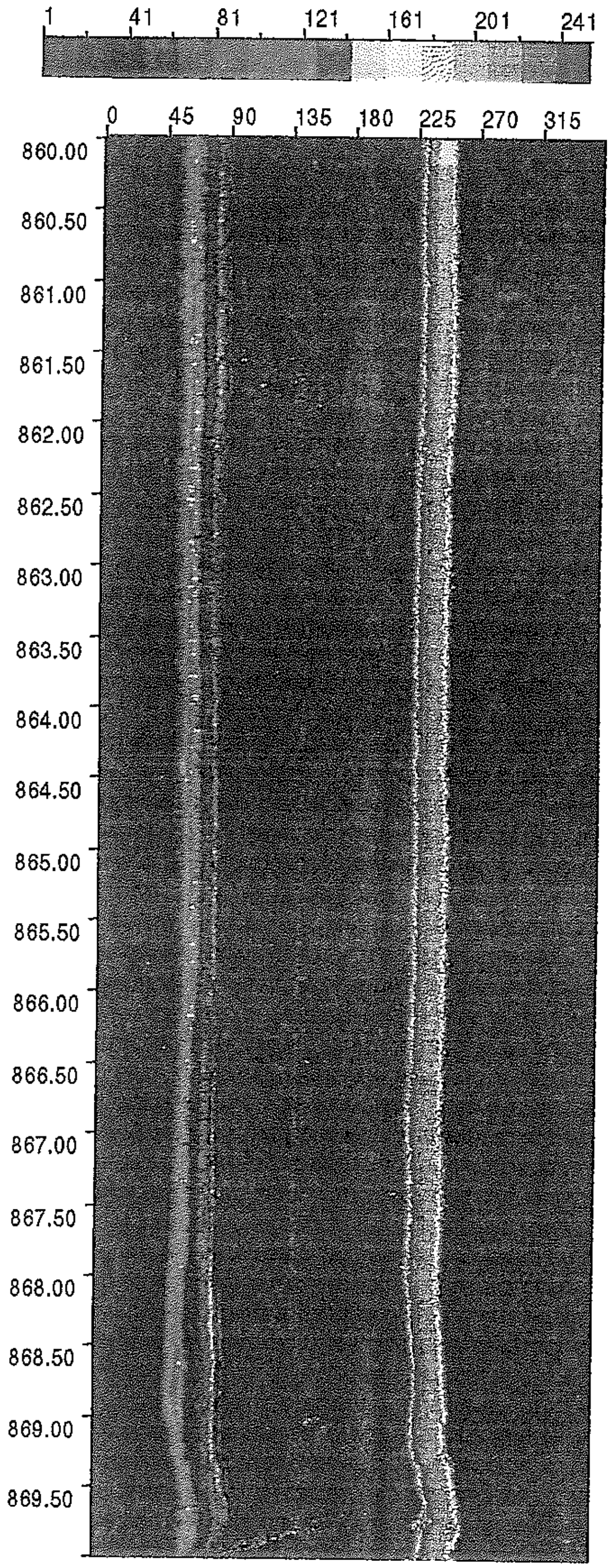
TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

AMPLITUDE



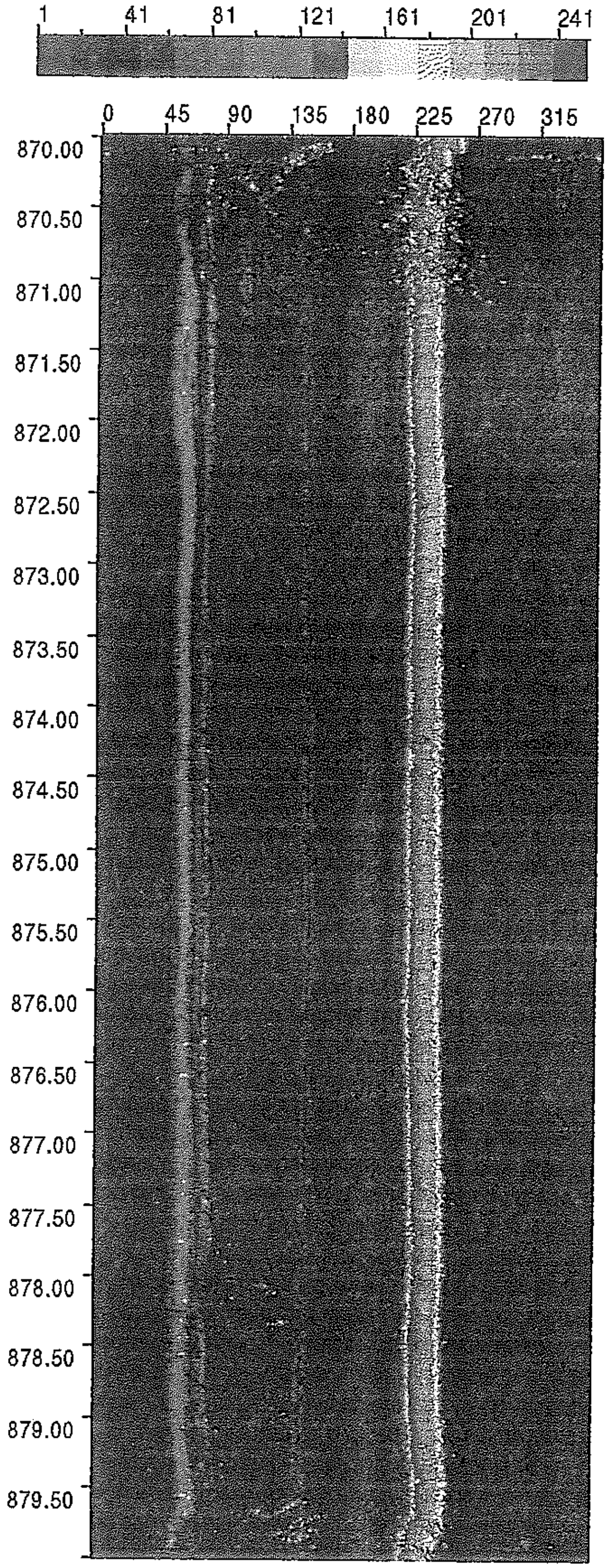
TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

AMPLITUDE



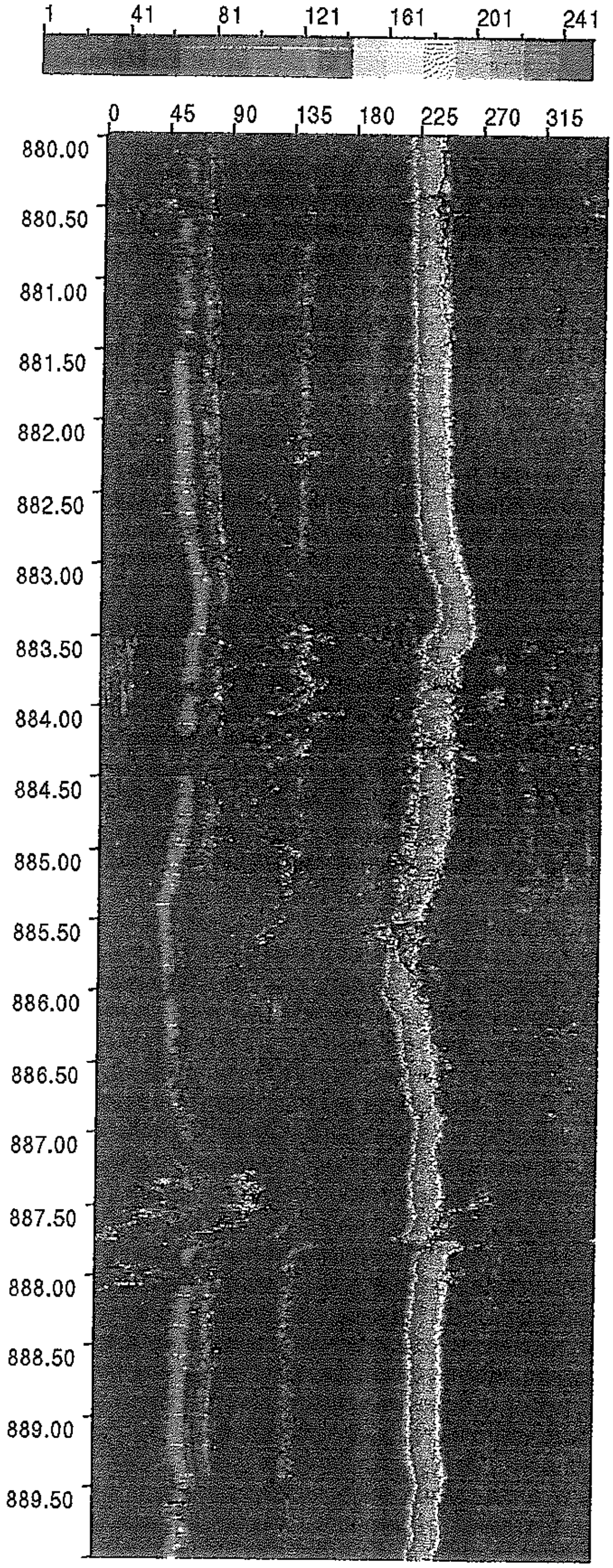
TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

AMPLITUDE



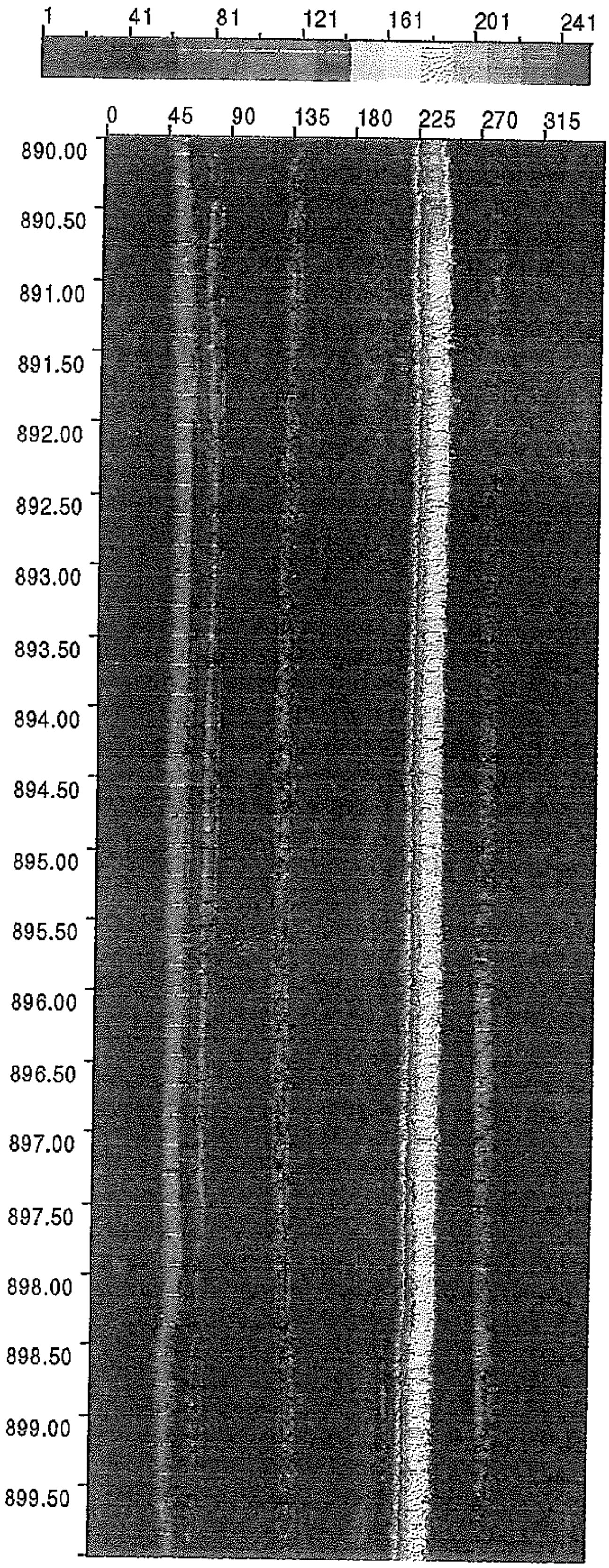
TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

AMPLITUDE



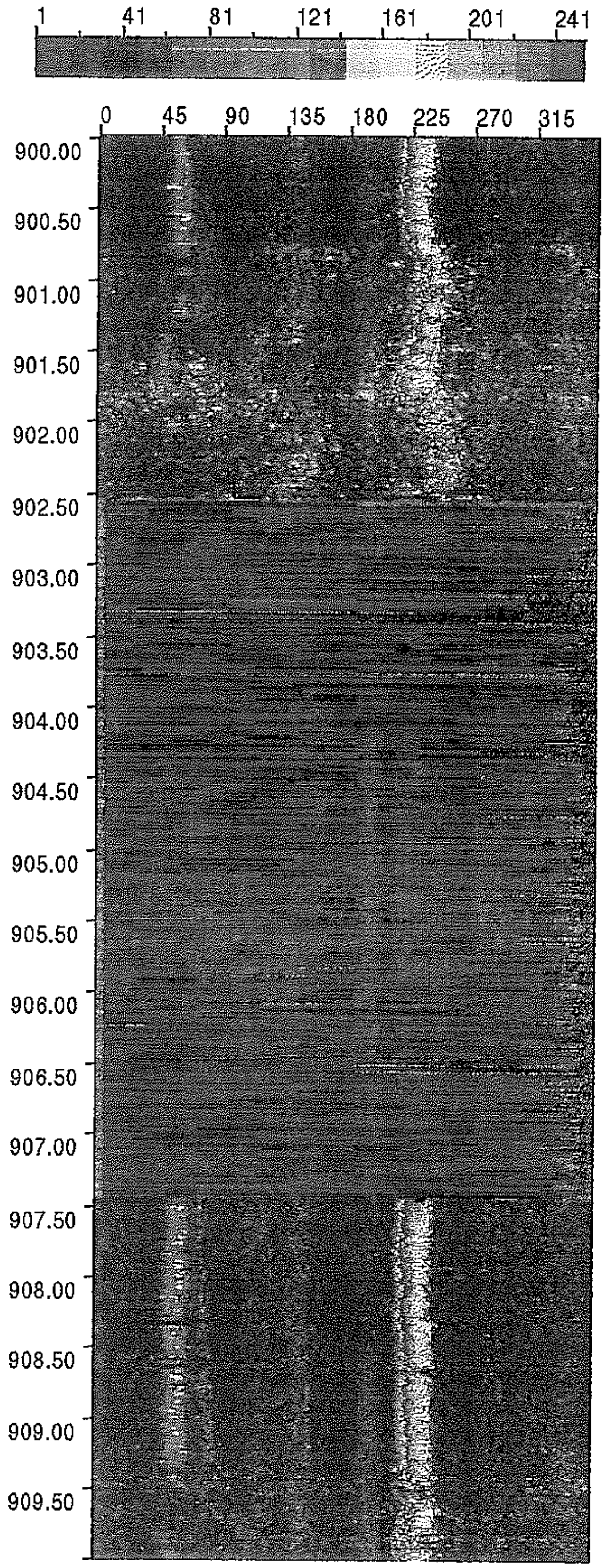
TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

AMPLITUDE

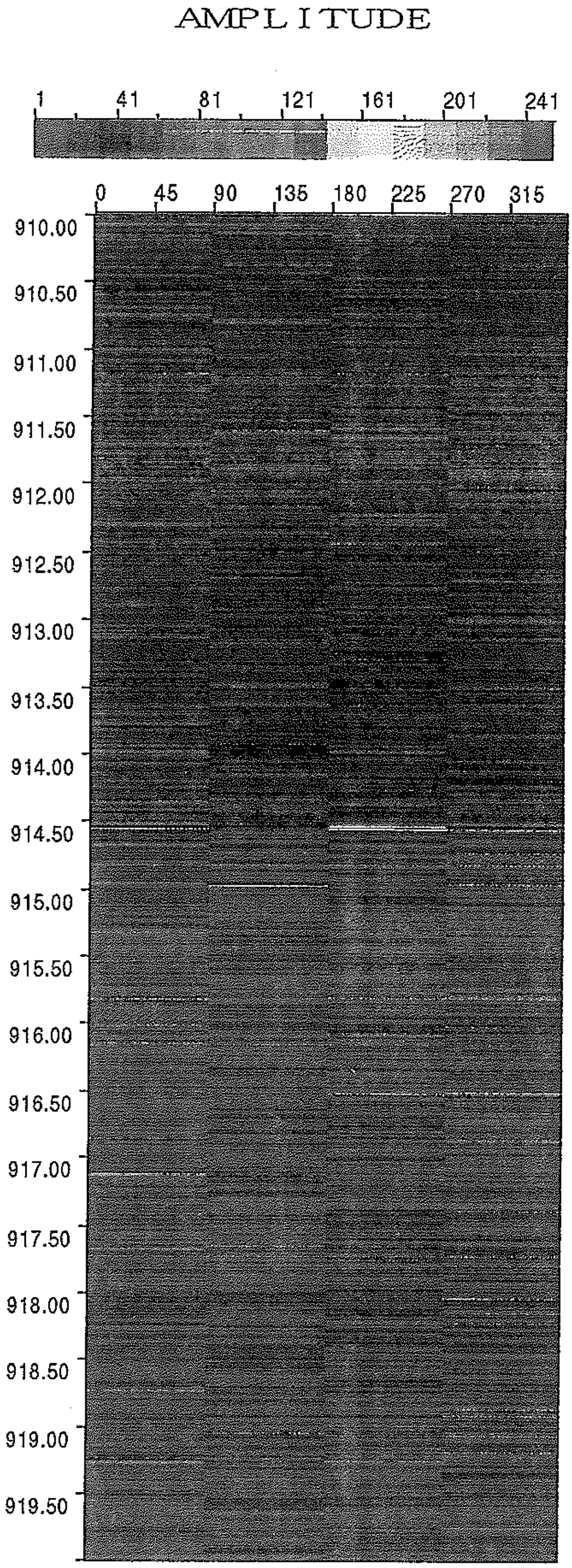


TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

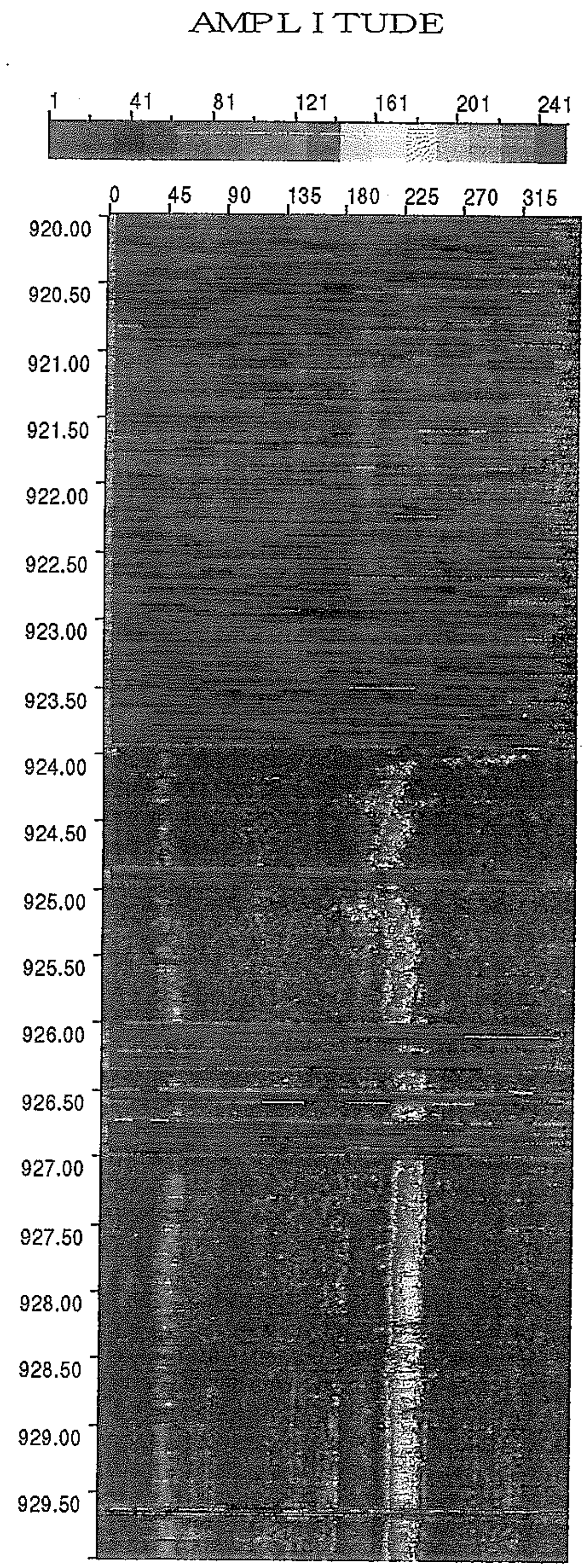
AMPLITUDE



TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

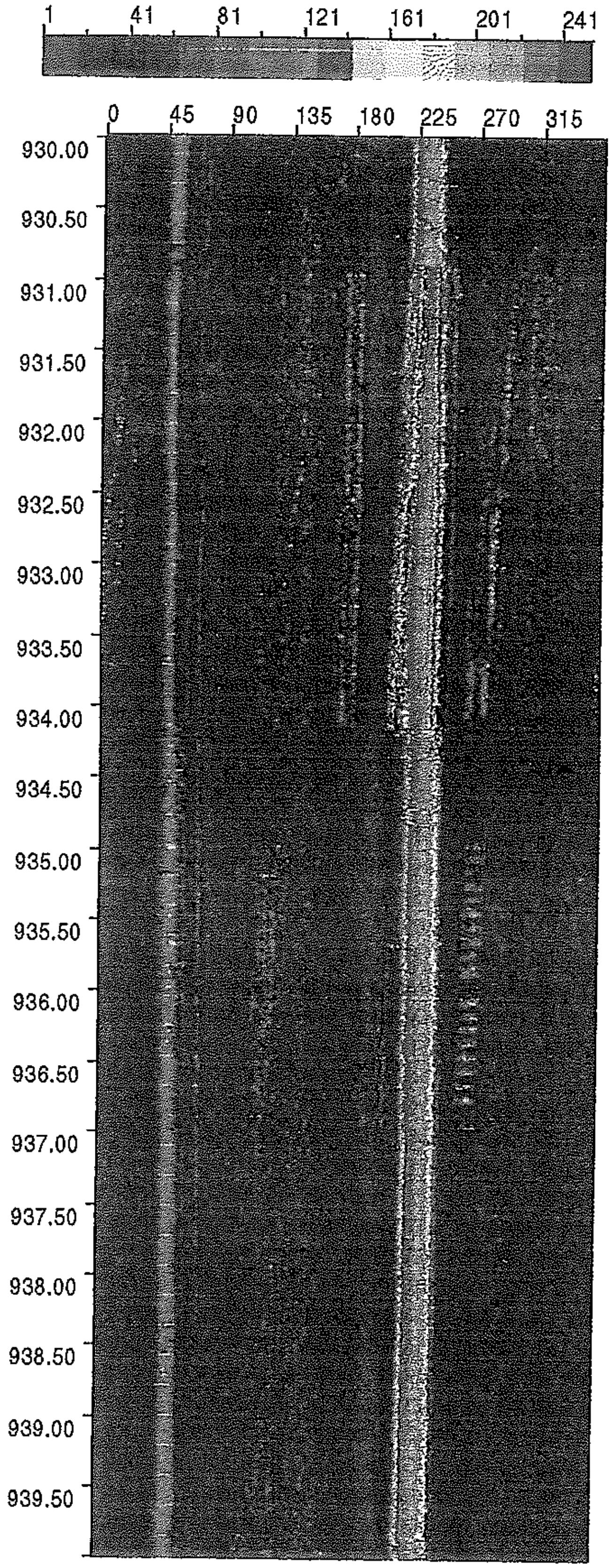


TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

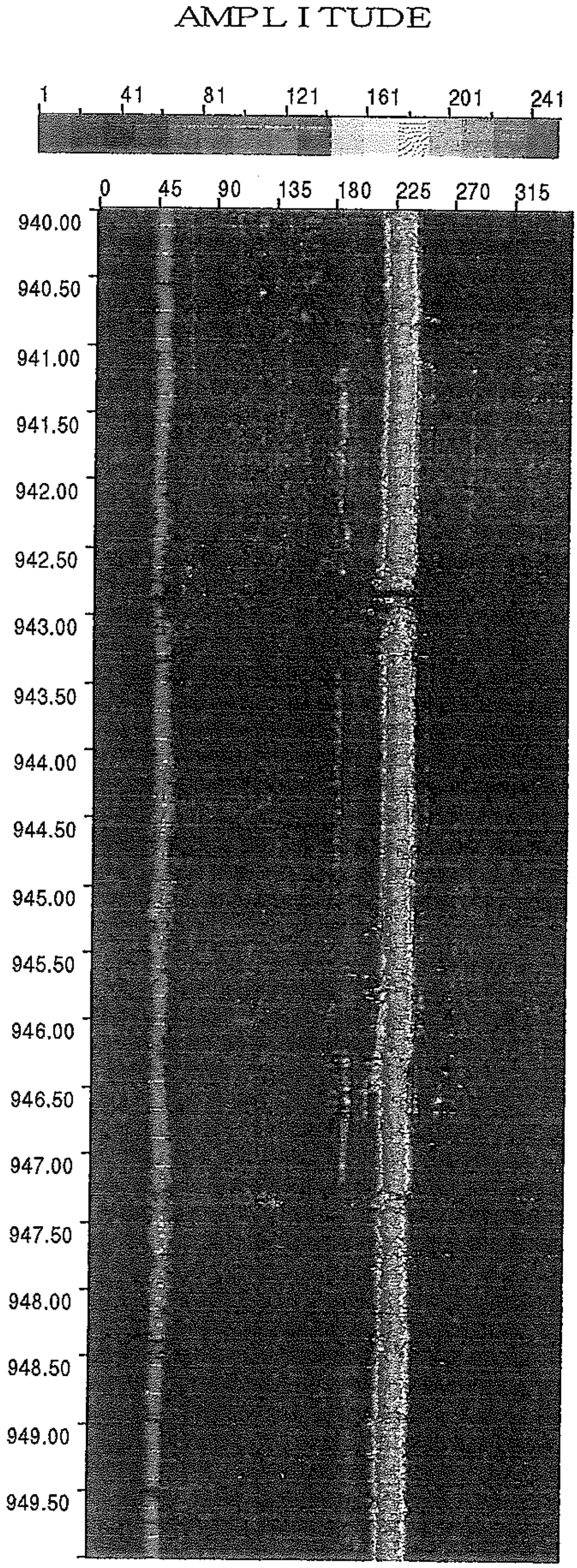


TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

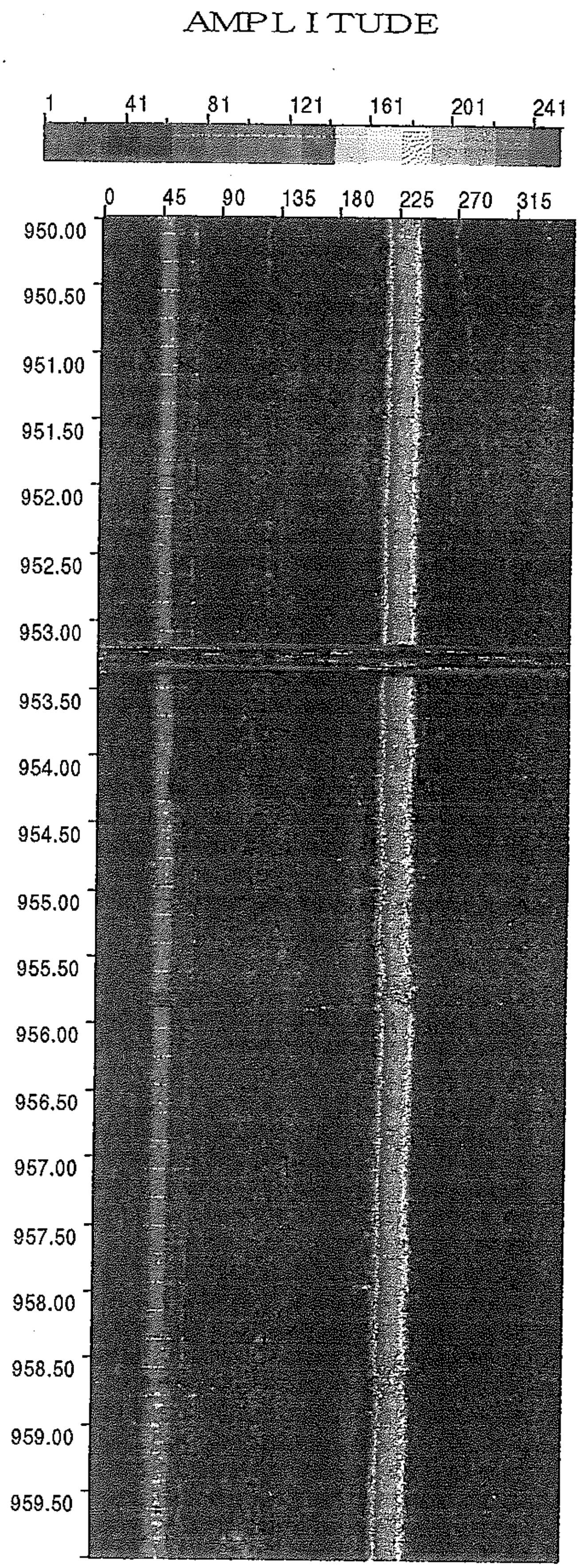
AMPLITUDE



TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

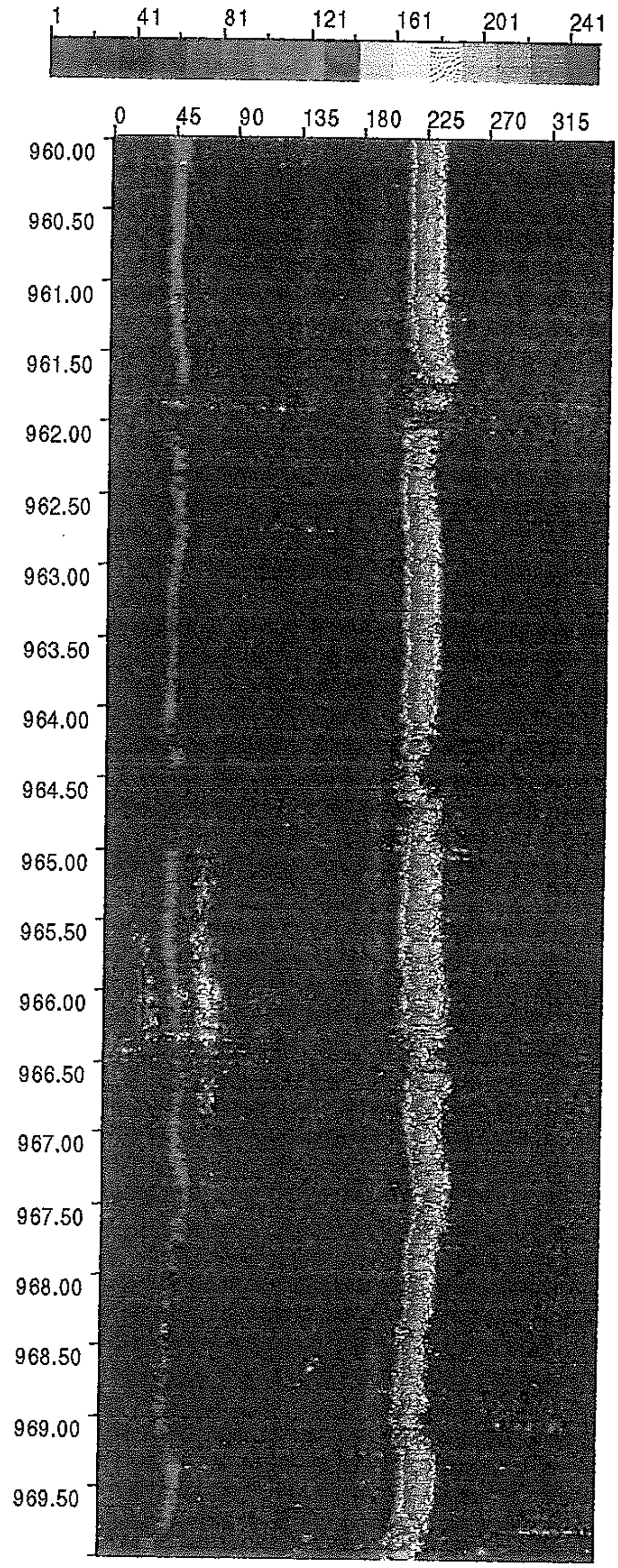


TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

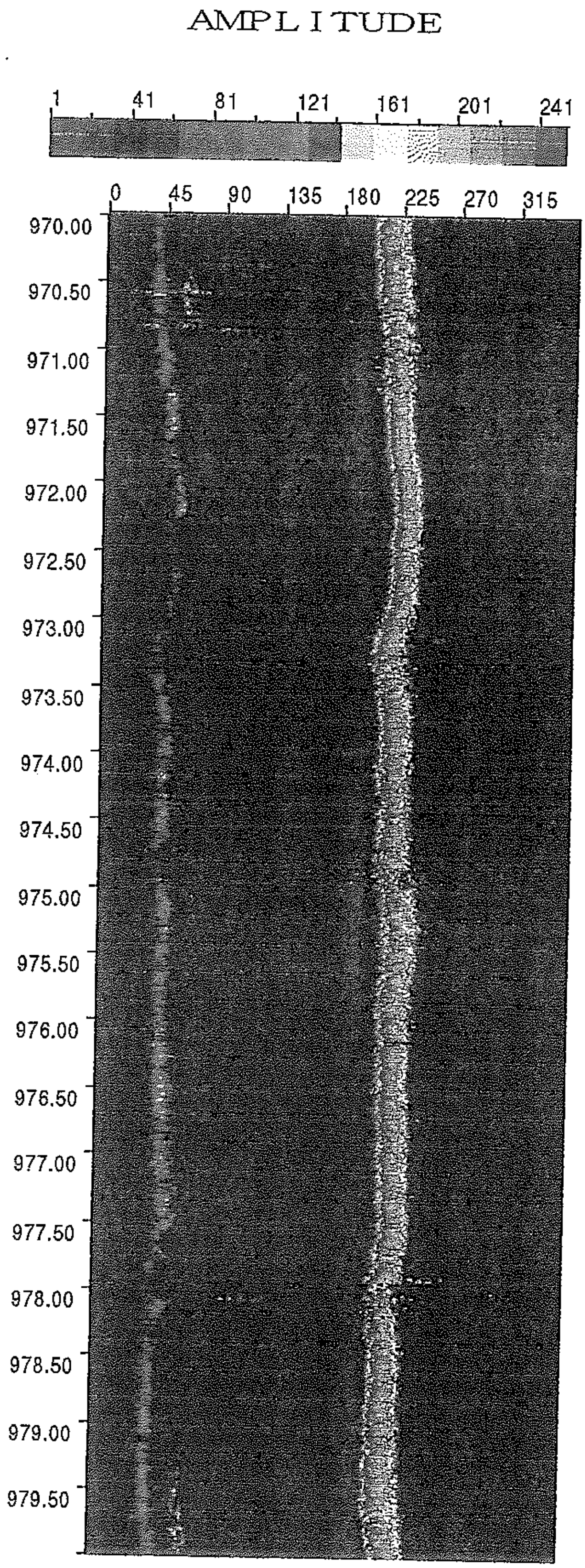


TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

AMPLITUDE

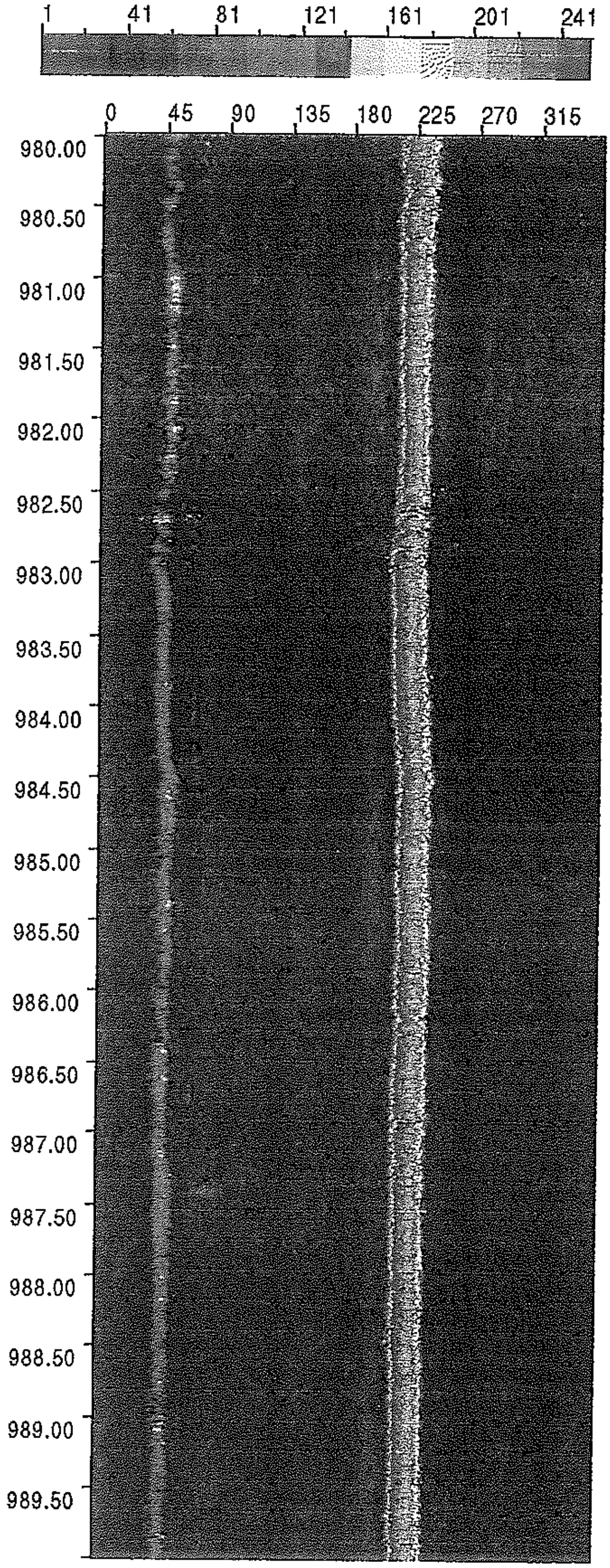


TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)



TOKI DH-3
(SCALE : 1/50)

AMPLITUDE



3.3 解　　　析

3.3.1　電気検層解析

比抵抗検層の結果から、グループ毎について比抵抗解析を行った。

解析には、シュランベルジャーの比抵抗偏差曲線のうち、NO INVASION チャートを使用した。（参考資料として、図3.3.1 に比抵抗偏差曲線を示す。）

解析にあたっては、孔井内温度を考慮するとともに、孔径についても、補正し、解析比抵抗値の算出には、Ｓｎ・Ｌｎ・ﾏｲｸﾛ比抵抗毎に、下記の近似式を用いて計算し，その特徴を図化した。(図3.3.2 ～3.3.4)

Ｌｎの近似式

$$R_t\ (\mathrm{Long\ N}) = 10^{(0.889\mathrm{LOG}Y+0.041)} \times 6.52(\text{温度}+21.5)$$

Ｓｎの近似式

$$R_t\ (\mathrm{ShortN}) = 10^{(0.989\mathrm{LOG}Y-0.030)} \times 6.52(\text{温度}+21.5)$$

ﾏｲｸﾛの近似式

$$R_t\ (\text{ﾏｲｸﾛ N}) = 10^{(1.033\mathrm{LOG}Y+0.001)} \times 6.52(\text{温度}+21.5)$$

それぞれのＹ：比抵抗値/ 孔内水の比抵抗値

また、Ｌｎ・Ｓｎ・ﾏｲｸﾛからのﾌｫｰﾒｰｼｮﾝ･ﾌｧｸﾀｰも算出し、更に孔隙率についても図化した。(図3.3.5 ～3.3.8)

次に、既存資料として、吸水した深成岩（花崗岩類）の比抵抗を示す。

・第四系、第三系、中生界	500 ～ 2000 ohm-m
・石炭系、先石炭系、	1000 ～ 5000 ohm-m
・先カンブリア系、	5000 ～ 20000 ohm-m

出典：Handbook of Physical Constants(1966)

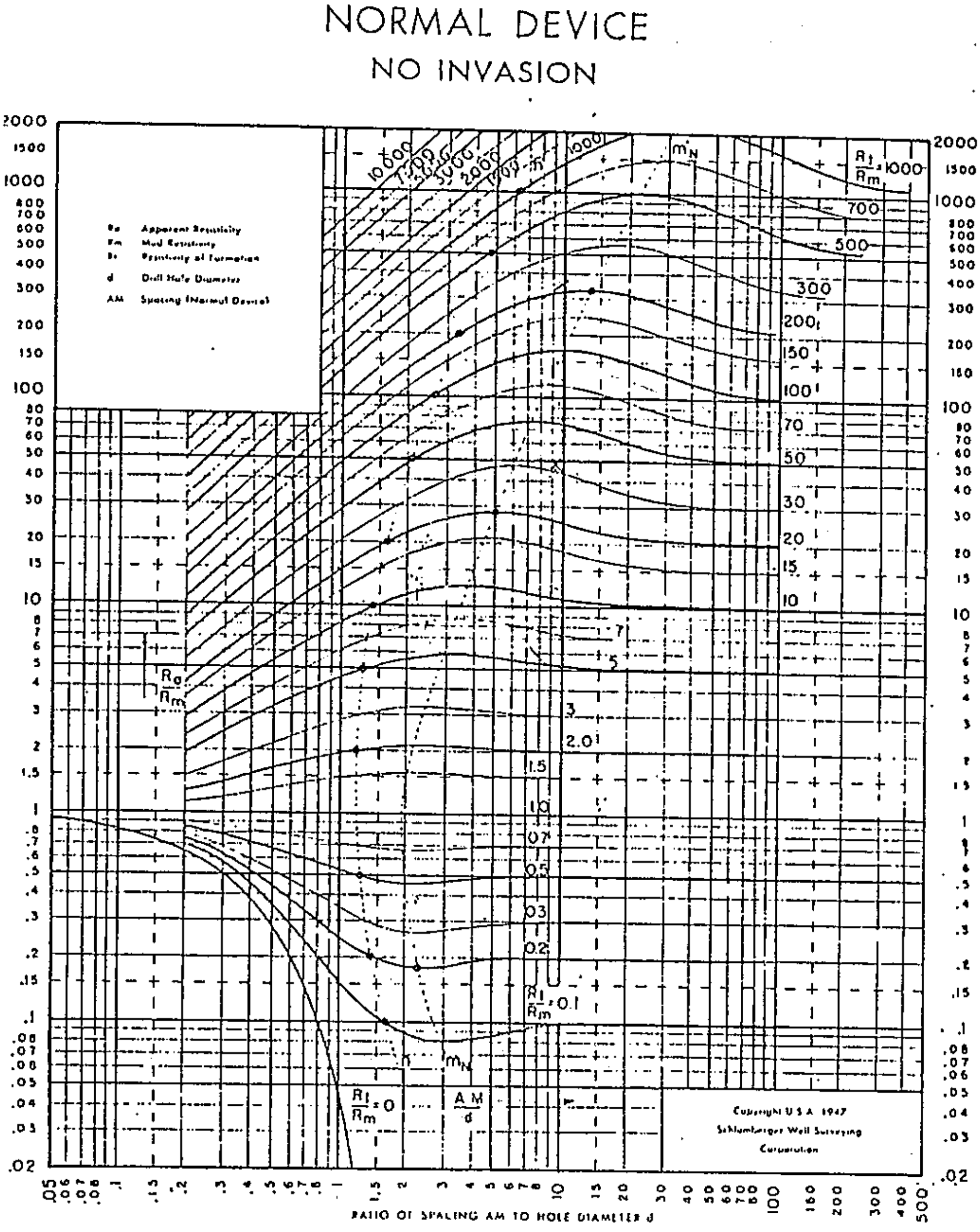


図 3.3.1 比抵抗偏差曲線

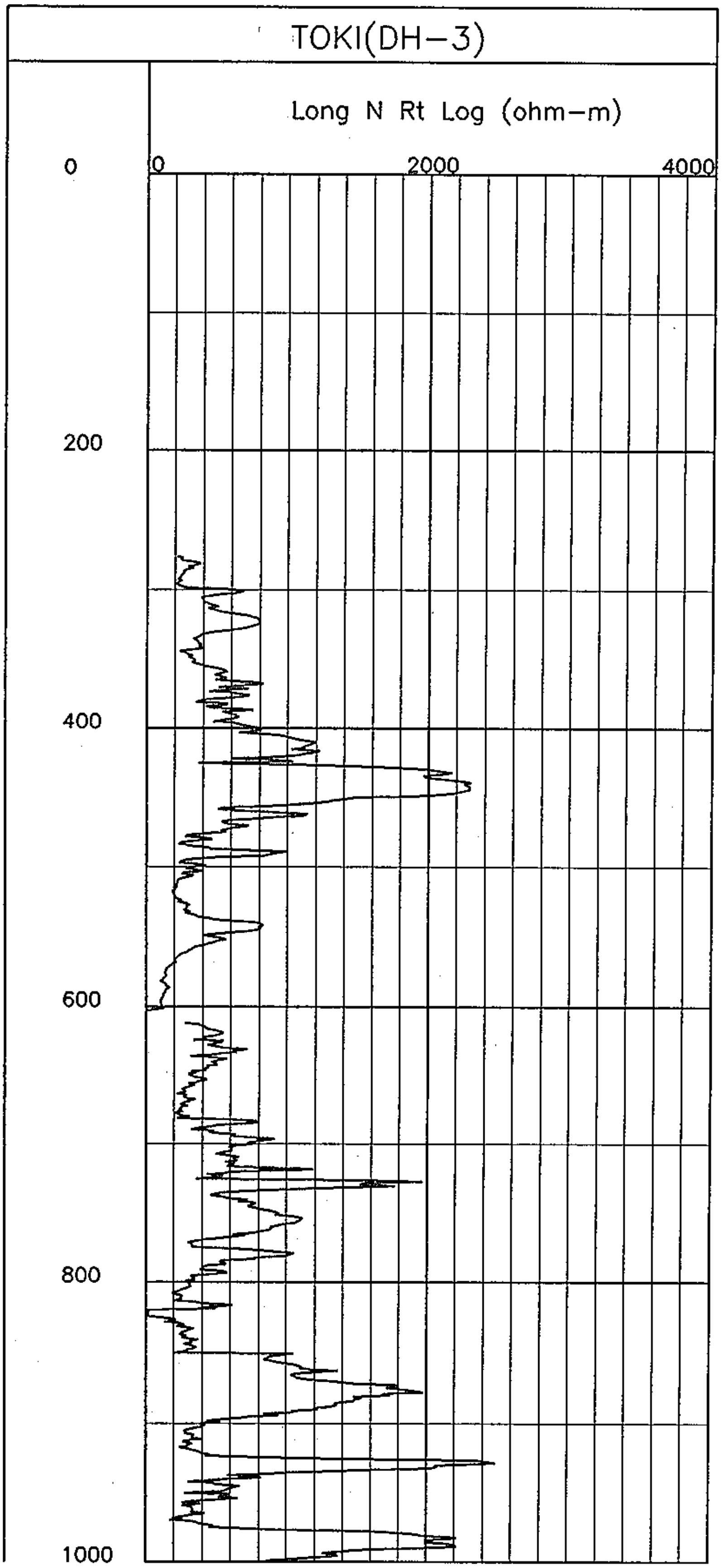


図 3.3.2 ロング・ノルマル解析比抵抗曲線図

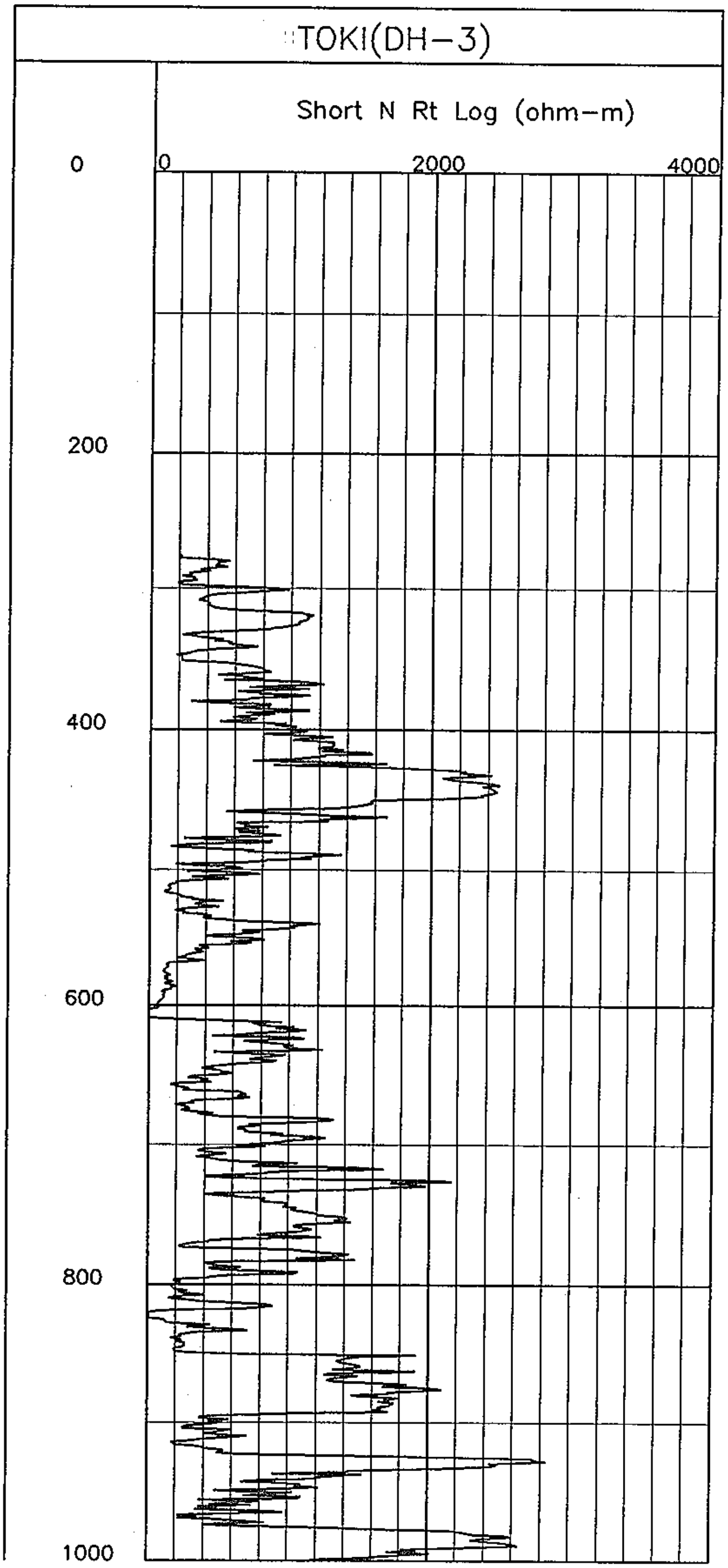


図 3.3.3 ショート・ノルマル解析比抵抗曲線図

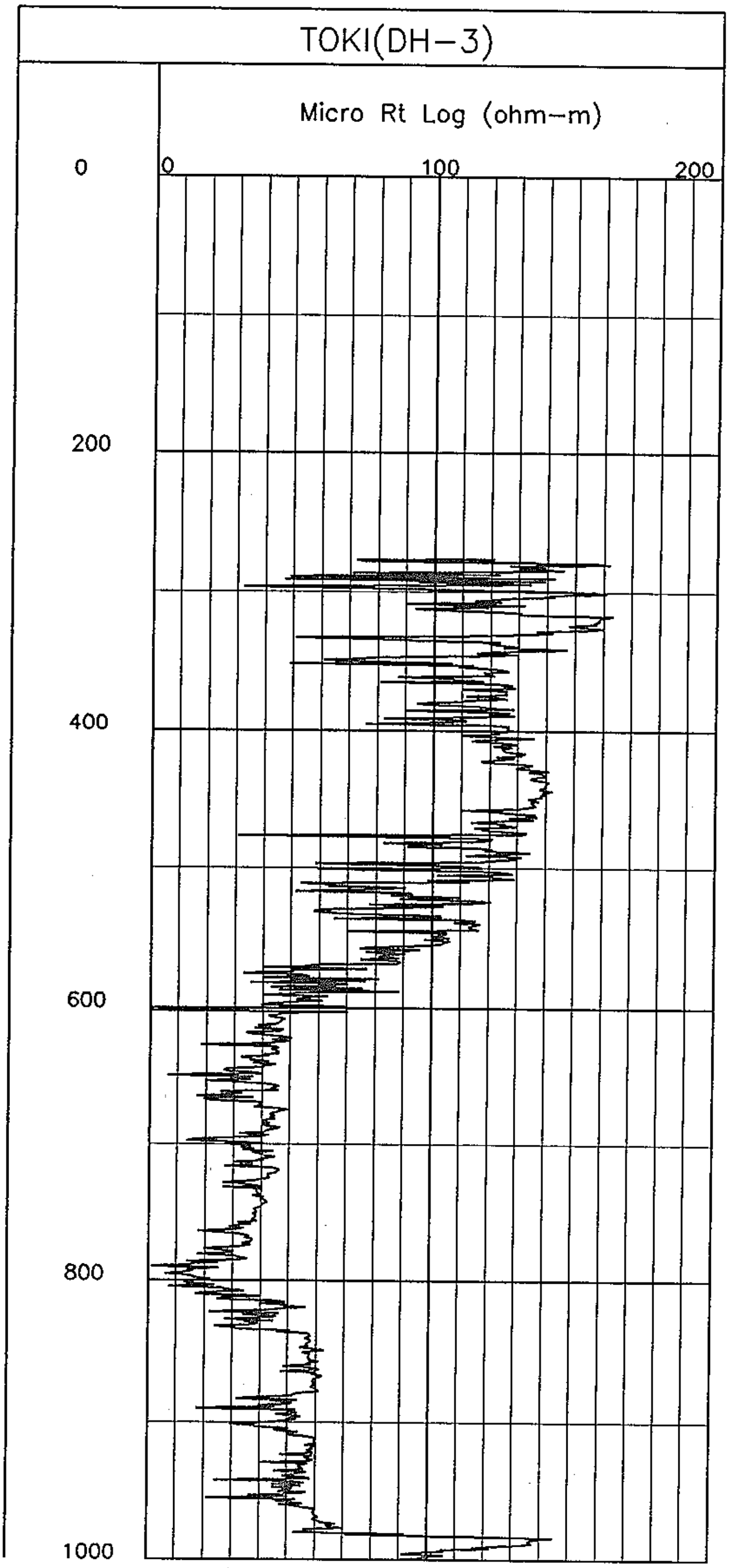


図 3.3.4 マイクロ解析比抵抗曲線図

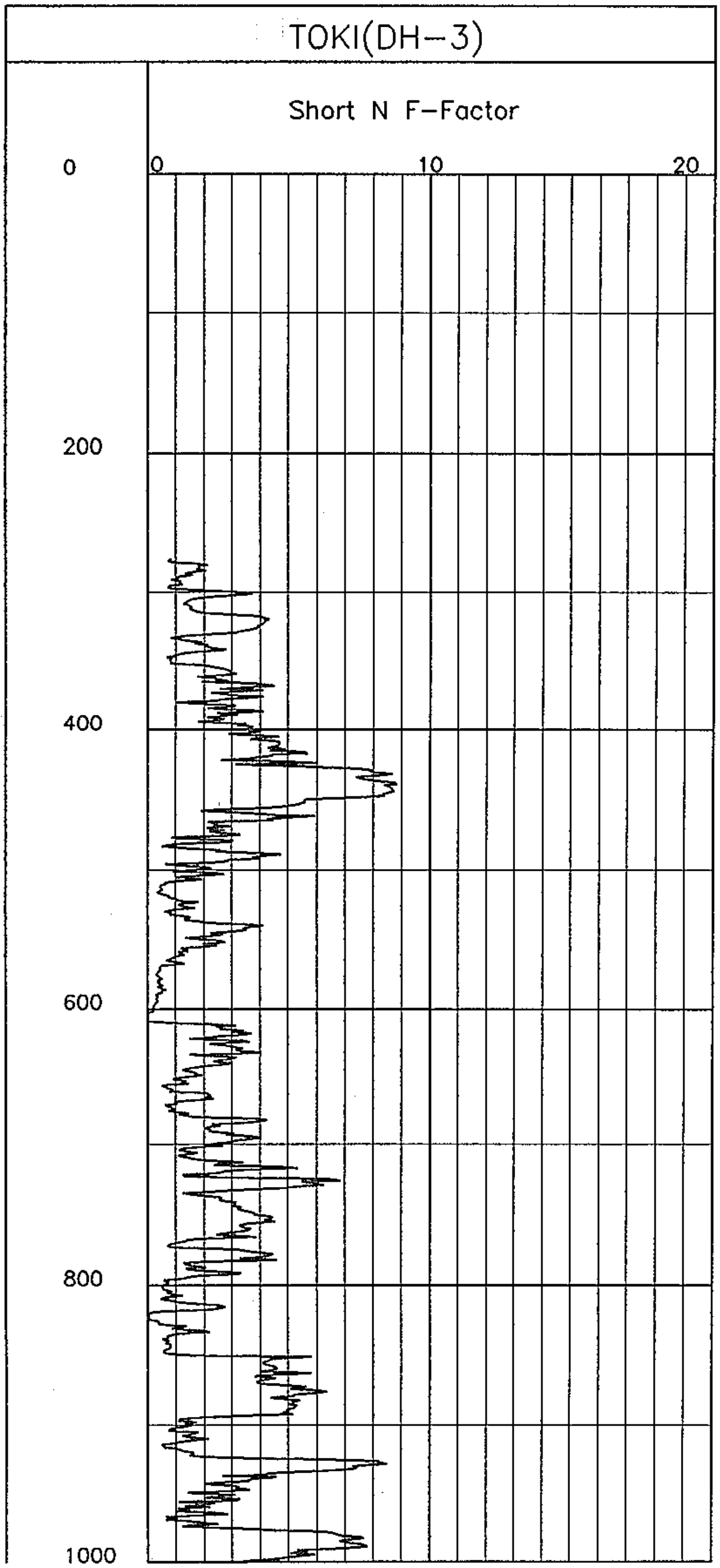


図 3.3.5 ショート・ノルマル フォーメーションファクター

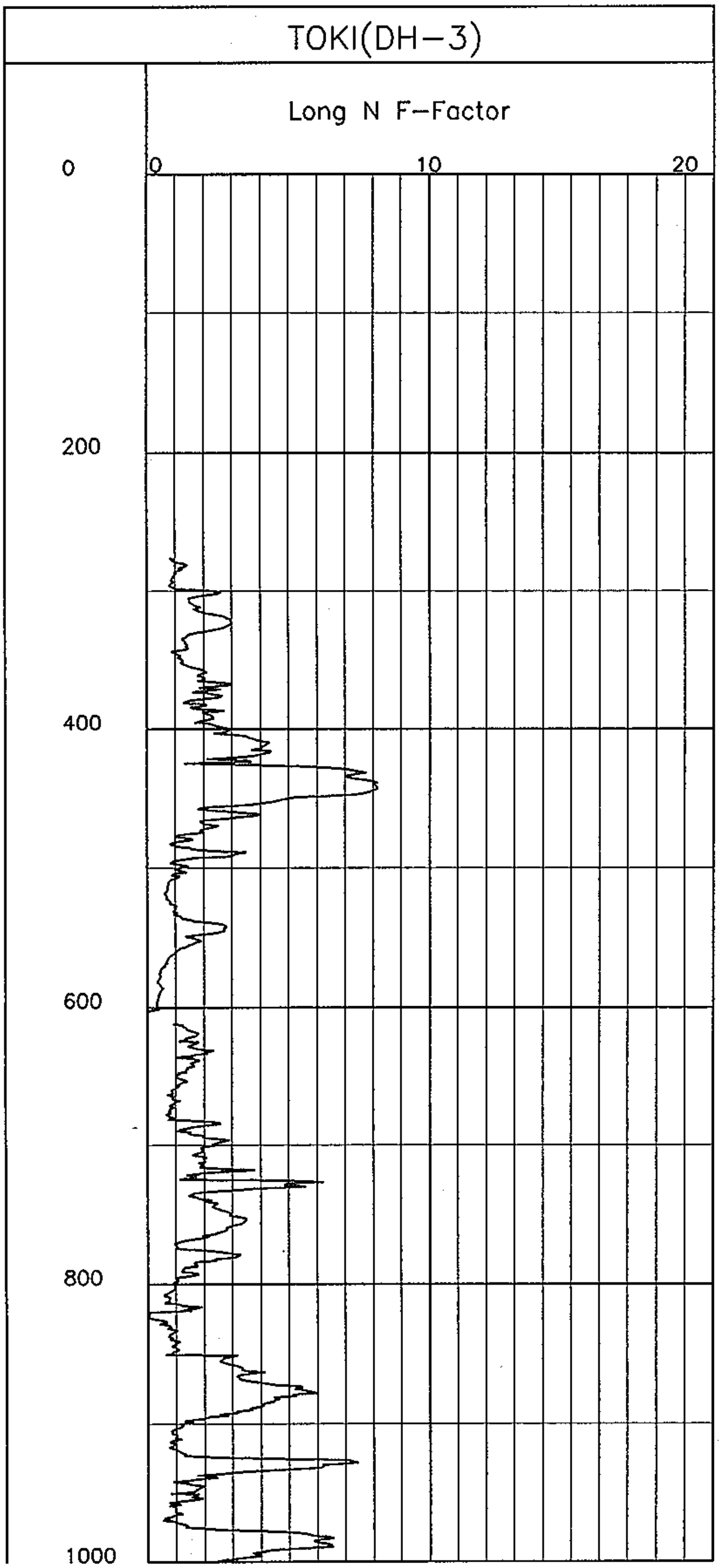


図 3.3.6 ロング・ノルマル フォーメーションファクター

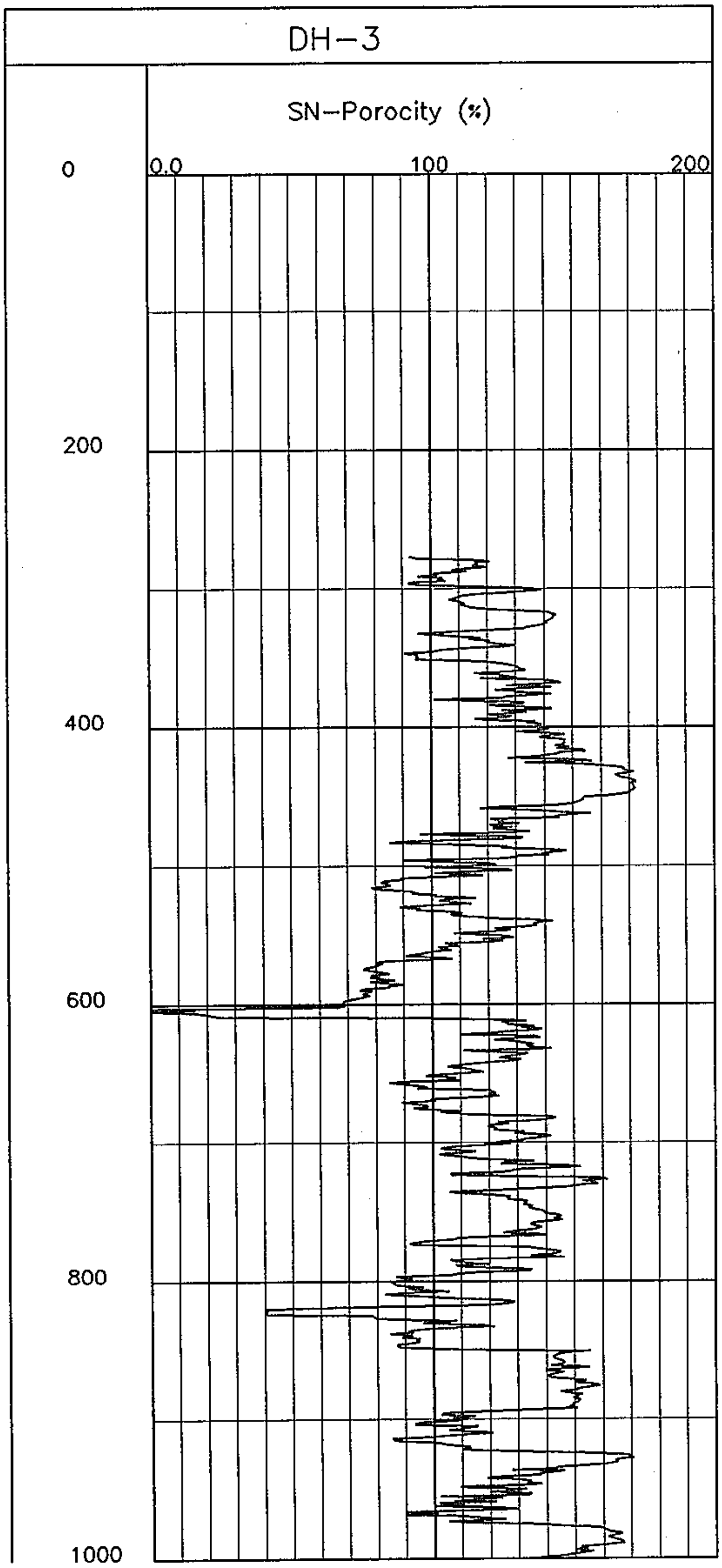


図 3．3．7 ショート・ノルマル孔隙率

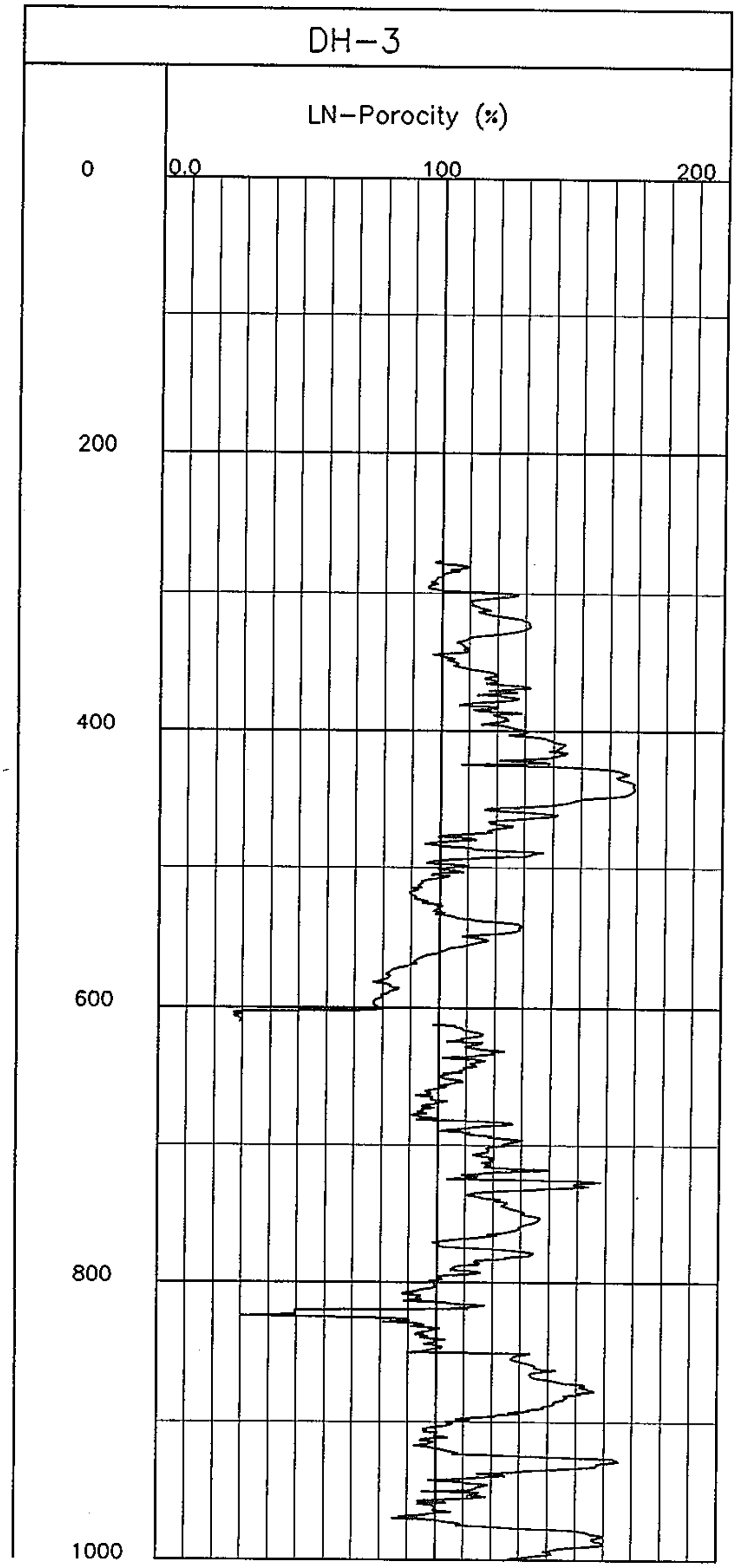


図 3.3.8 ロング・ノルマル孔隙率

3.3.2　　物性値の相関性

検層結果より物性値を比較検討する為に、各検層の相関図（クロスプロット）を示した。
クロスプロットは、0.25m 毎に各検層データを読み取った。

(1) 比抵抗・中性子強度等による岩相の相関性

① 比抵抗－P波速度プロット図（図3.3.9）・・・・比抵抗値とそれぞれの物性値

② 比抵抗－中性子孔隙率プロット図（図3.3.10）　共、広範囲に分散し相関性は

③ 比抵抗－ガンマ線強度プロット図（図3.3.11）　認められない。

④ 中性子孔隙率－P波速度プロット図（図3.3.12）・・逆相関が認められる。

⑤ 中性子孔隙率－ガンマ線強度プロット図（図3.3.13）・・相関性が弱い。

⑥ 中性子孔隙率－密度プロット図（図3.3.14）・・明瞭な逆相関が認められる。

(2) 孔隙率による岩相の相関性

①ϕn（中性子孔隙率）－ϕf（密度孔隙率）プロット図（図3.3.15）

縦軸のϕfは、密度検層データから次式を用いて孔隙率に変換した数値で、横軸のϕnは中性子検層より算出した孔隙率である。

$$\phi f = (Fm-Fb)/(Fm-Ft)\times 100$$

出典：Schumberger(1972a)

ϕf　：密度検層から推定した孔隙率（%）
Fm　：地層のマトリックスの密度
Ff　：流体の密度（1.0g/cm3）
Fb　：地層の密度

両者の孔隙率の間には、正の相関が認められるものの、中性子孔隙率にくらべて密度孔隙率は広い帯或に分布している。

②ϕ_s（音波孔隙率）－ϕn（中性子孔隙率）プロット図（図3.3.16）

縦軸のϕ_sは、音波検層データから次式を用いて孔隙率に変換した数値で、横軸のϕnは中性子検層より算出した孔隙率である。

$$\phi_s = (Sm-Vp)/(Sm-Fs)Cp\times 100$$

出典：Schumberger(1972a)

ϕ_s　：音波検層から推定した孔隙率（%）
Sm　：地層のマトリックスの速度(5.6km/s)
Fs　：流体の速度(1.5km/s)）
Vp　：地層の速度
Cp　：ｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾌｧｸﾀｰ

音波孔隙率は、中性子孔隙率に比べて集中する傾向が見られる。

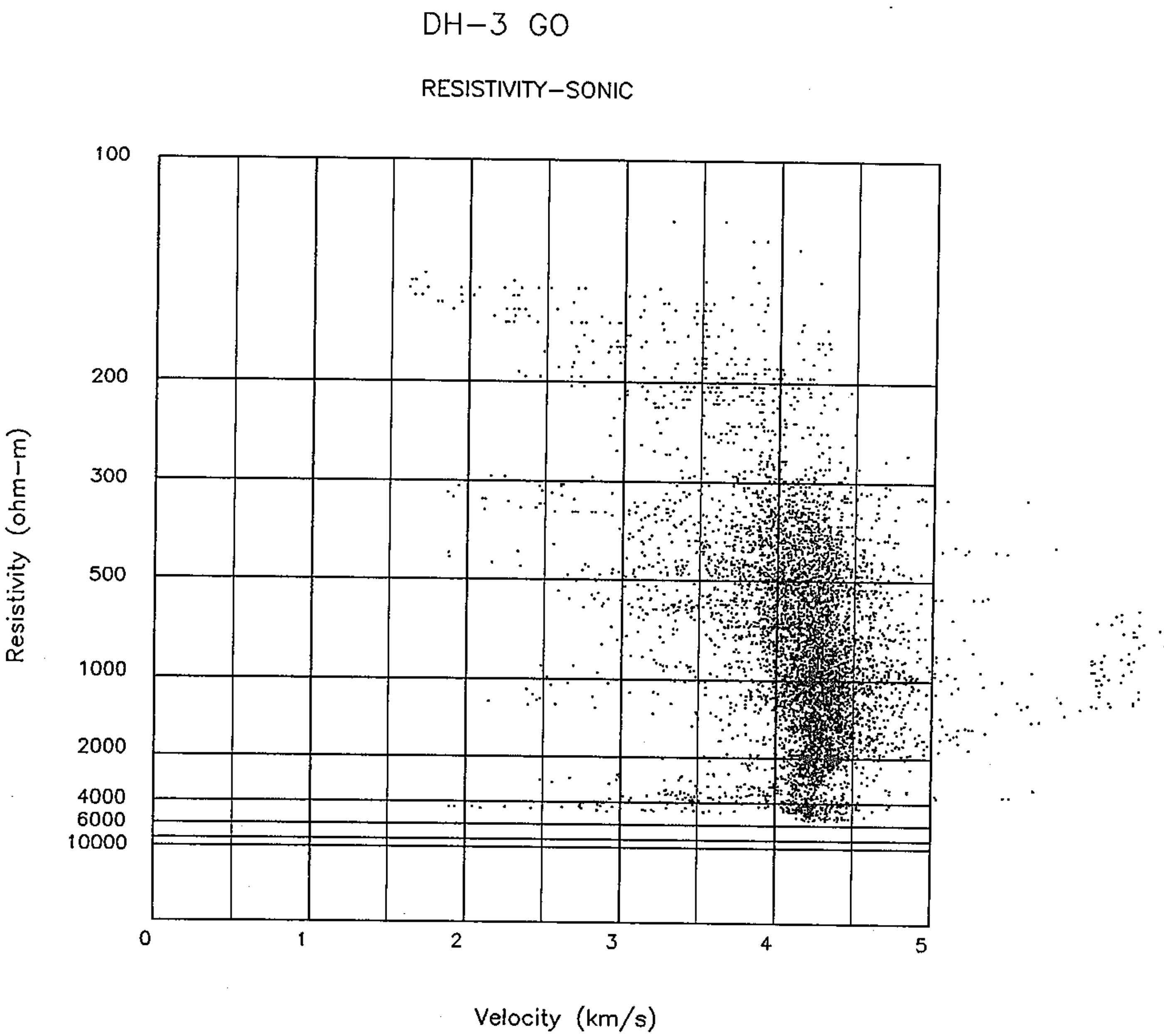


図 3.3.9 比抵抗 ー P波速度プロット図

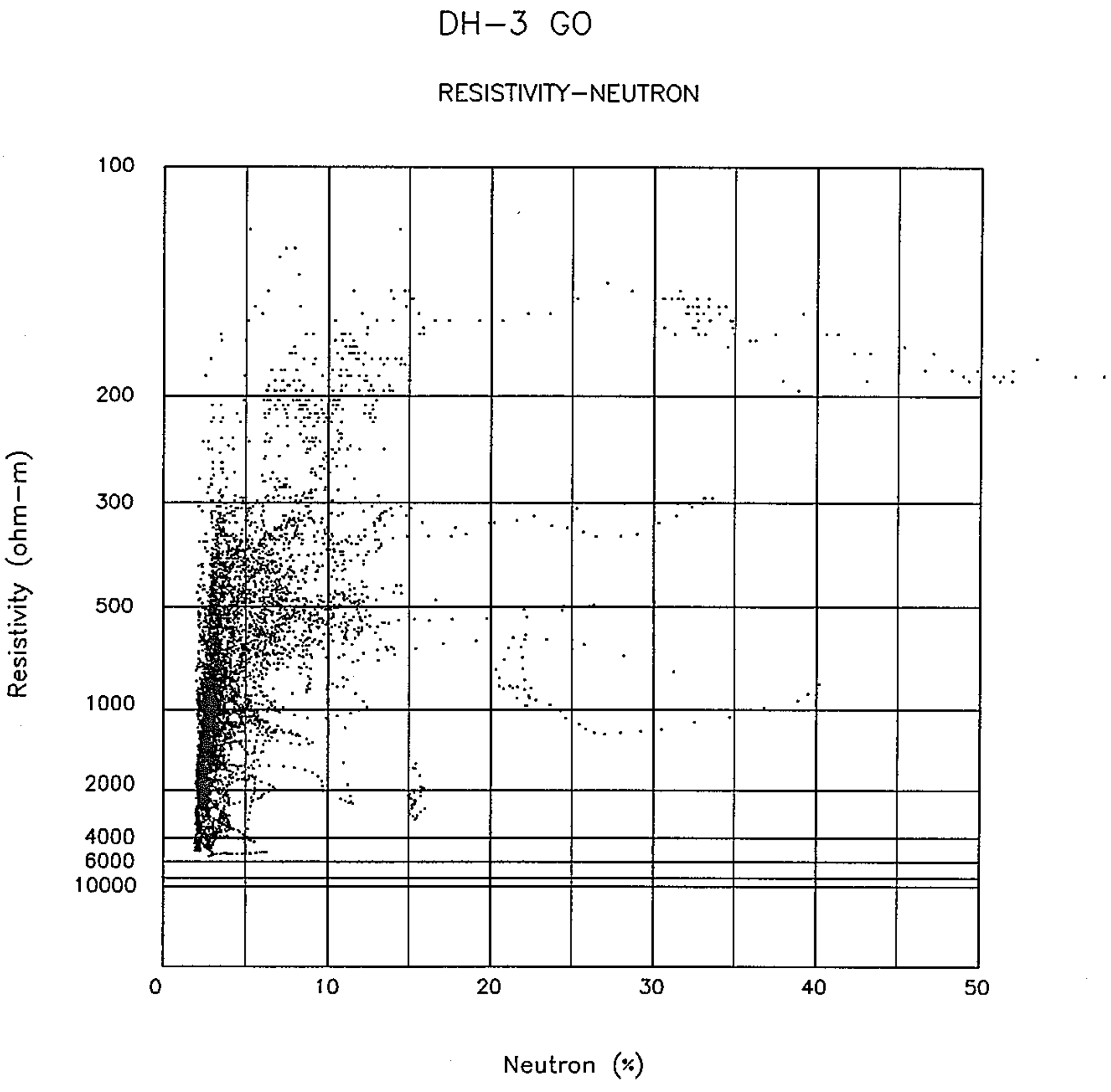


図 3.3.10 比抵抗 － 中性子孔隙率プロット図

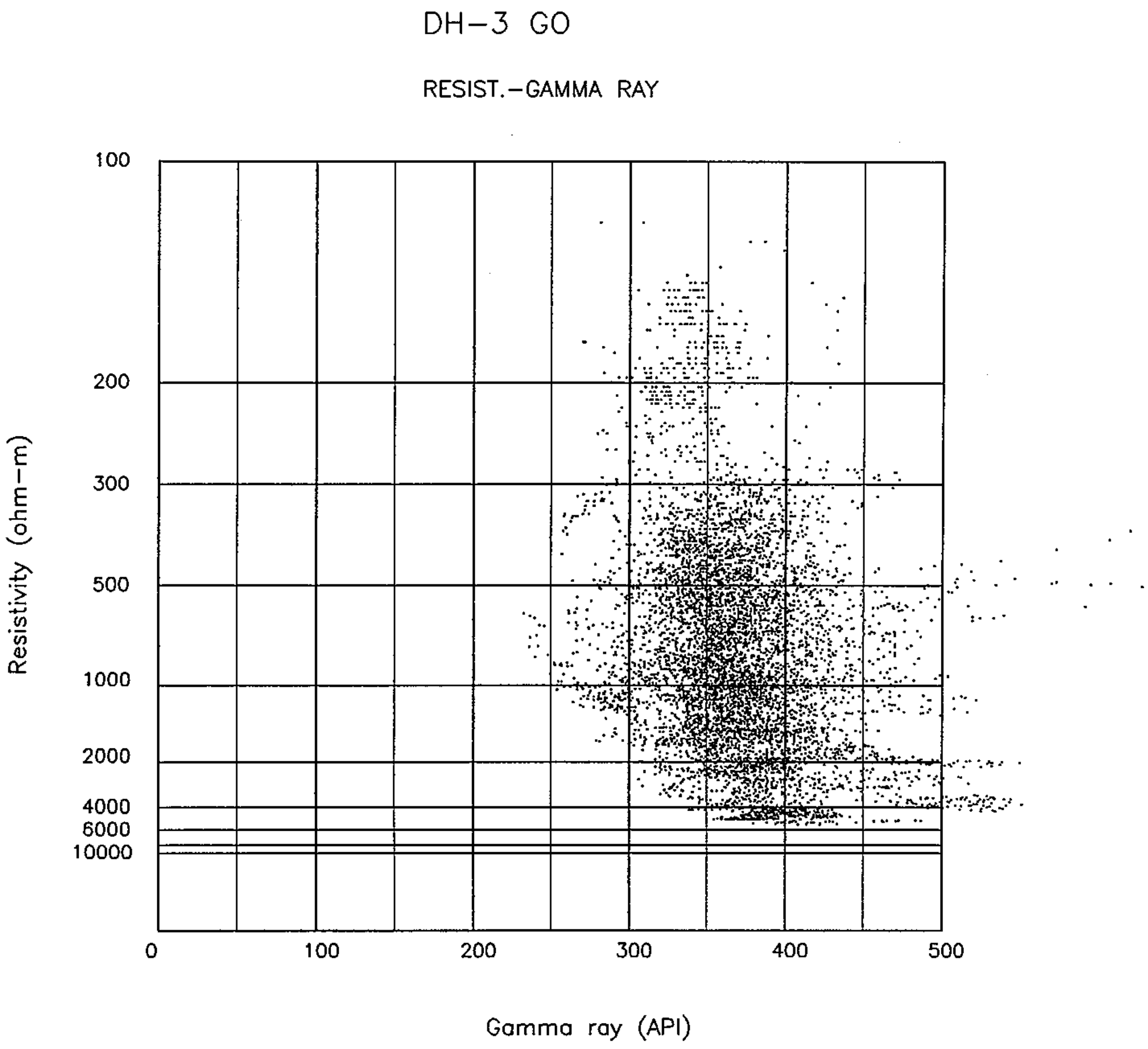


図 3.3.11 比抵抗 － ガンマ線強度プロット図

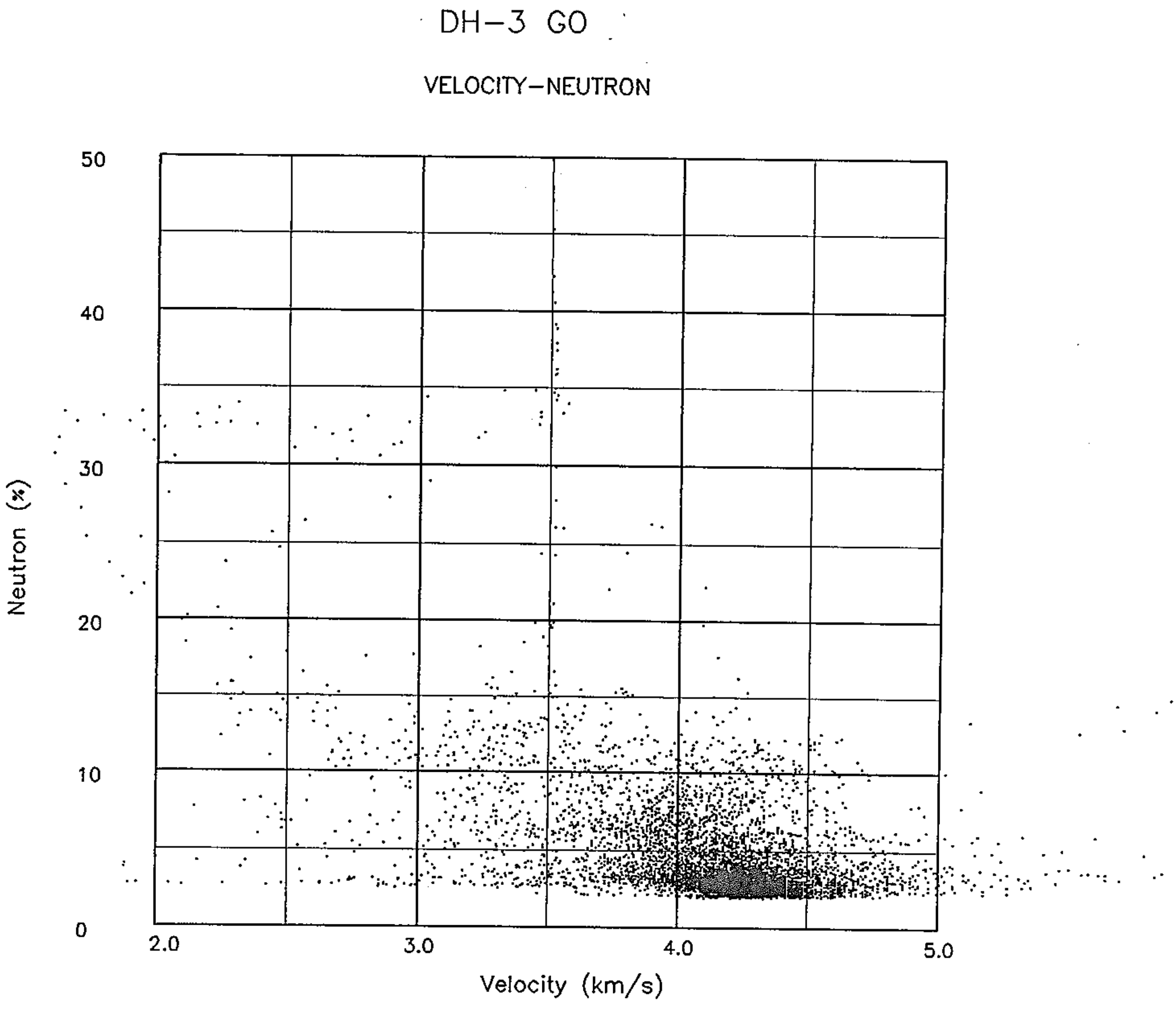


図 3.3.12 中性子孔隙率 － P波速度プロット図

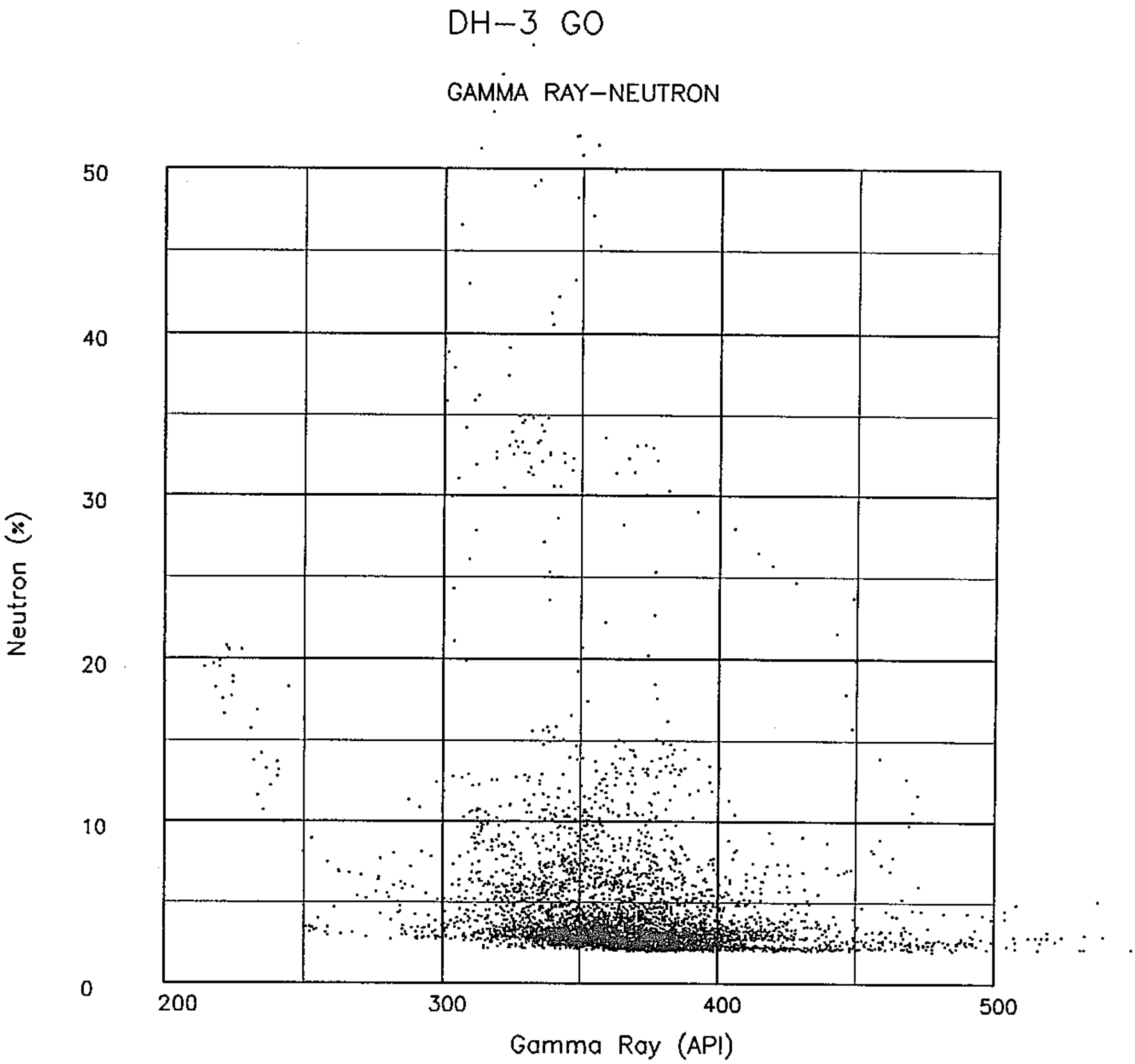


図 3.3.13 中性子孔隙率 − ガンマ線強度プロット図

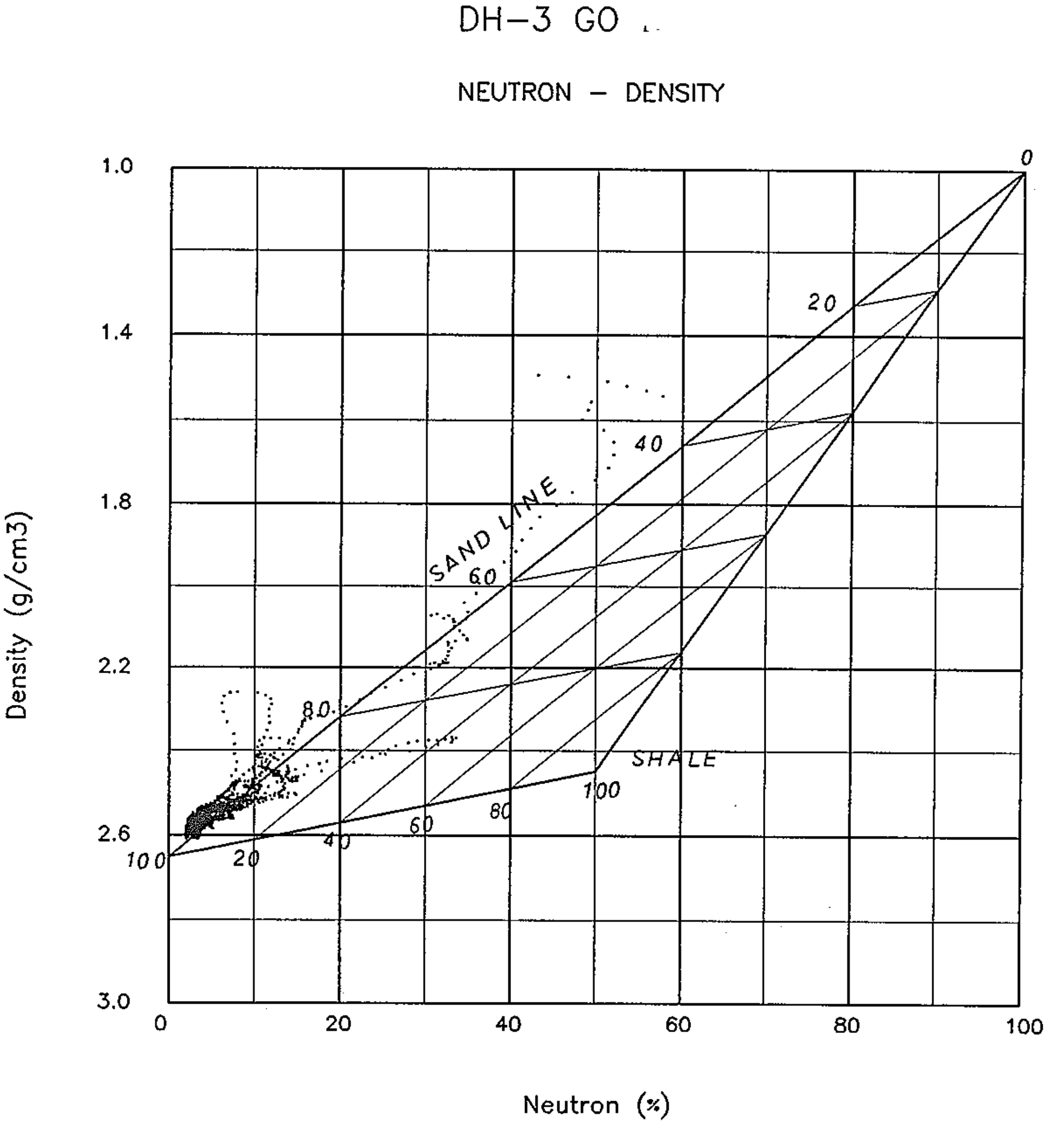


図 3.3.14 中性子孔隙率 ― 密度プロット図

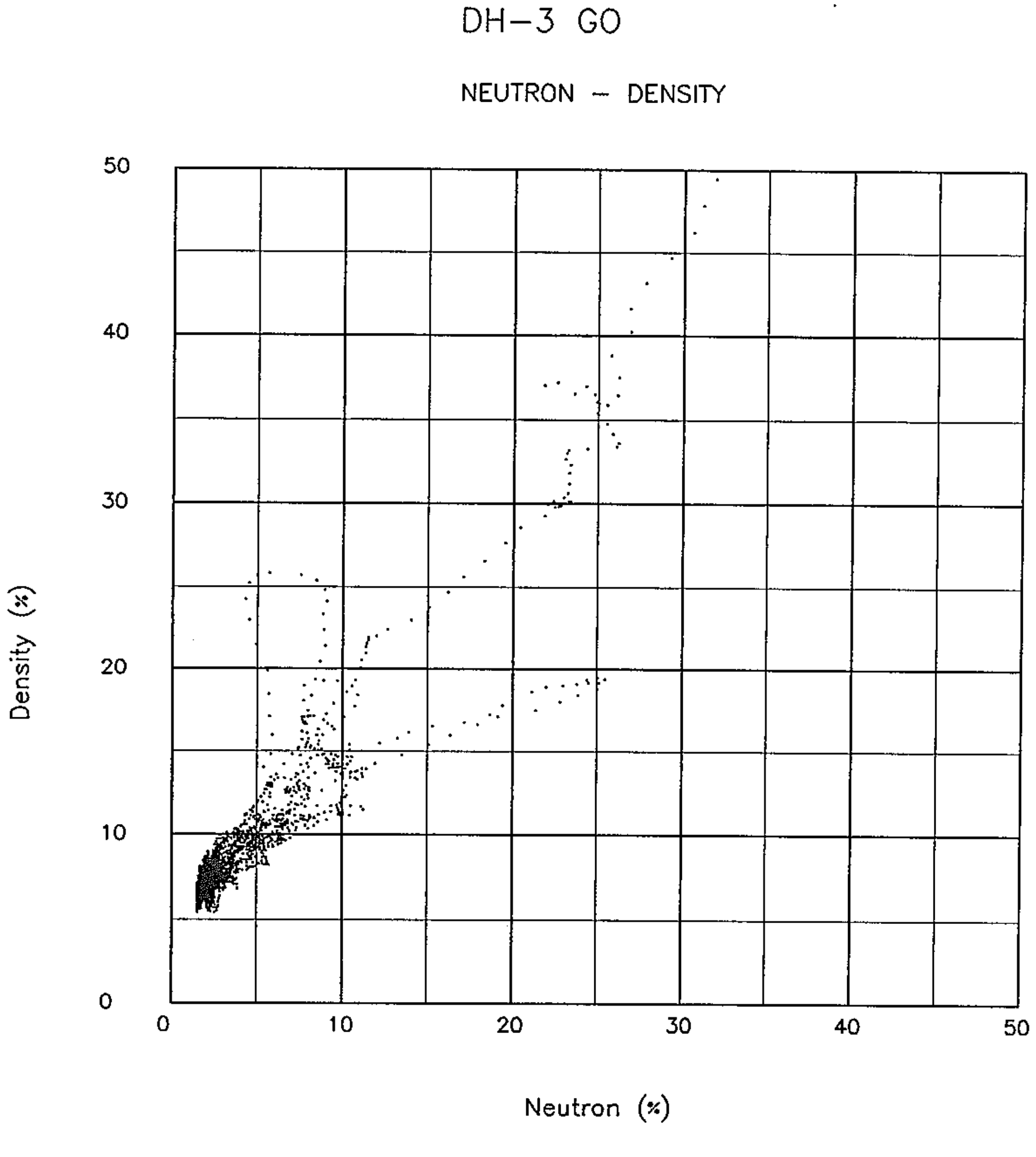


図 3.3.15 中性子孔隙率 – 密度孔隙率プロット図

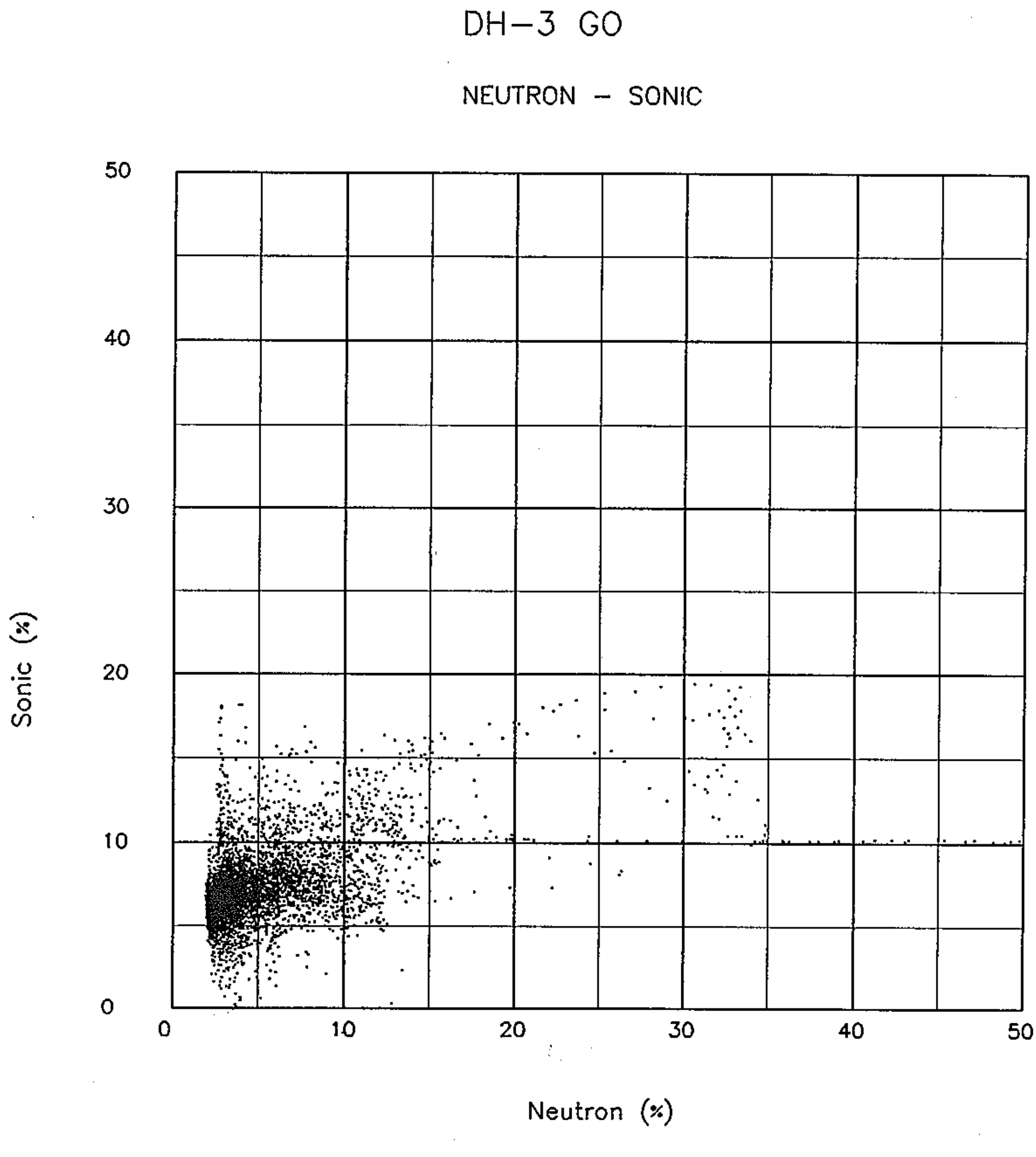


図 3.3.16 音波孔隙率 ー 中性子孔隙率プロット図

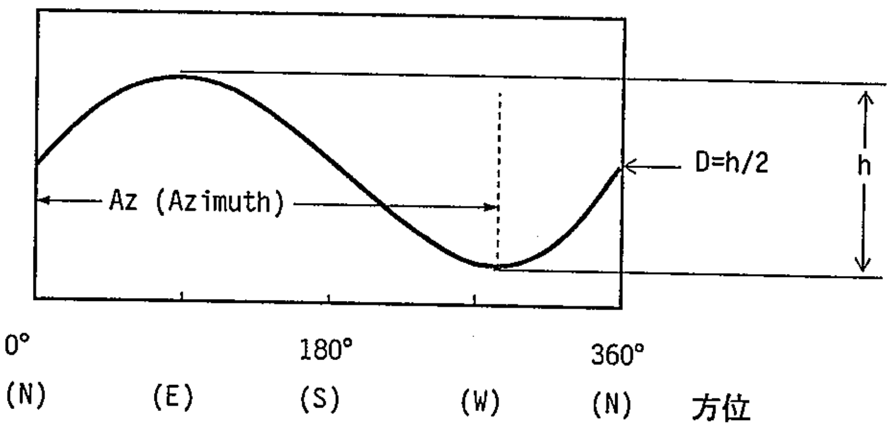
3.3.3 ボアホールテレビュアーの解析

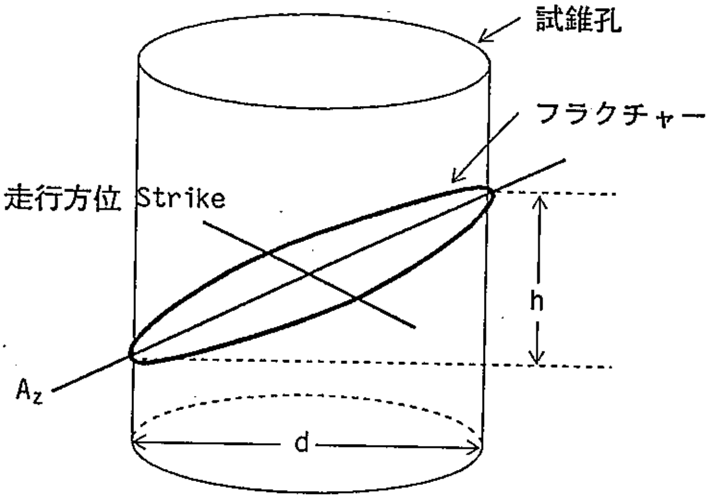
フラクチャーの検出はコンピューター画面上の孔壁図より肉眼で検知(サインカーブで表せるもののみ) し、これをコンピューターに入力し、解析した。

コンピューター内ではフラクチャー方位（フラクチャーの傾斜方位）および反射波から算出した孔径によりフラクチャーの傾斜角 (Dip)を解析・出力する。

各記号は以下の意味を持つ。

A_z	:	フラクチャー方位 (Azimuth)
D	:	深度 (Depth)
h	:	フラクチャーの高さ (Height)
d	:	孔径
Dip	:	フラクチャーの傾斜角　$Dip=\tan^{-1}(h/d)$





解析結果より次のような図を作成した。

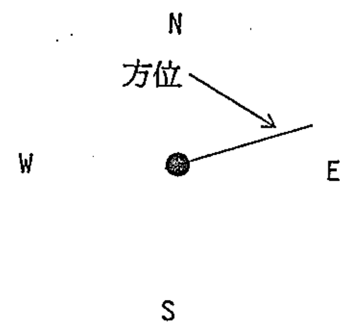
① フラクチャー密度プロット（Fracture Density Plot） 図 3.3.17

深度5m当たりのフラクチャーの数を示す。

② アロープロット・スティックプロット 図 3.3.18

アロープロット

深度に（縦軸）に対するフラクチャーの方位と傾斜（横軸）を示す。



③ ポールプロット 図 3.3.19

フラクチャーの方位（投影方法によりローズダイアグラムとは逆）および傾斜分布（円の中心を０°、円周上を90°）を示す。

④ ローズダイアグラム（Azimuth Frequency Plot ） 図 3.3.20

フラクチャーの方位と分布（円の中心を０個、円周上を20個とする。）を示す。

ローズダイアグラムより、孔井中のフラクチャーの方位は, SSE-NNW ESE-WNW, SW-NE の三方向群に分類される。

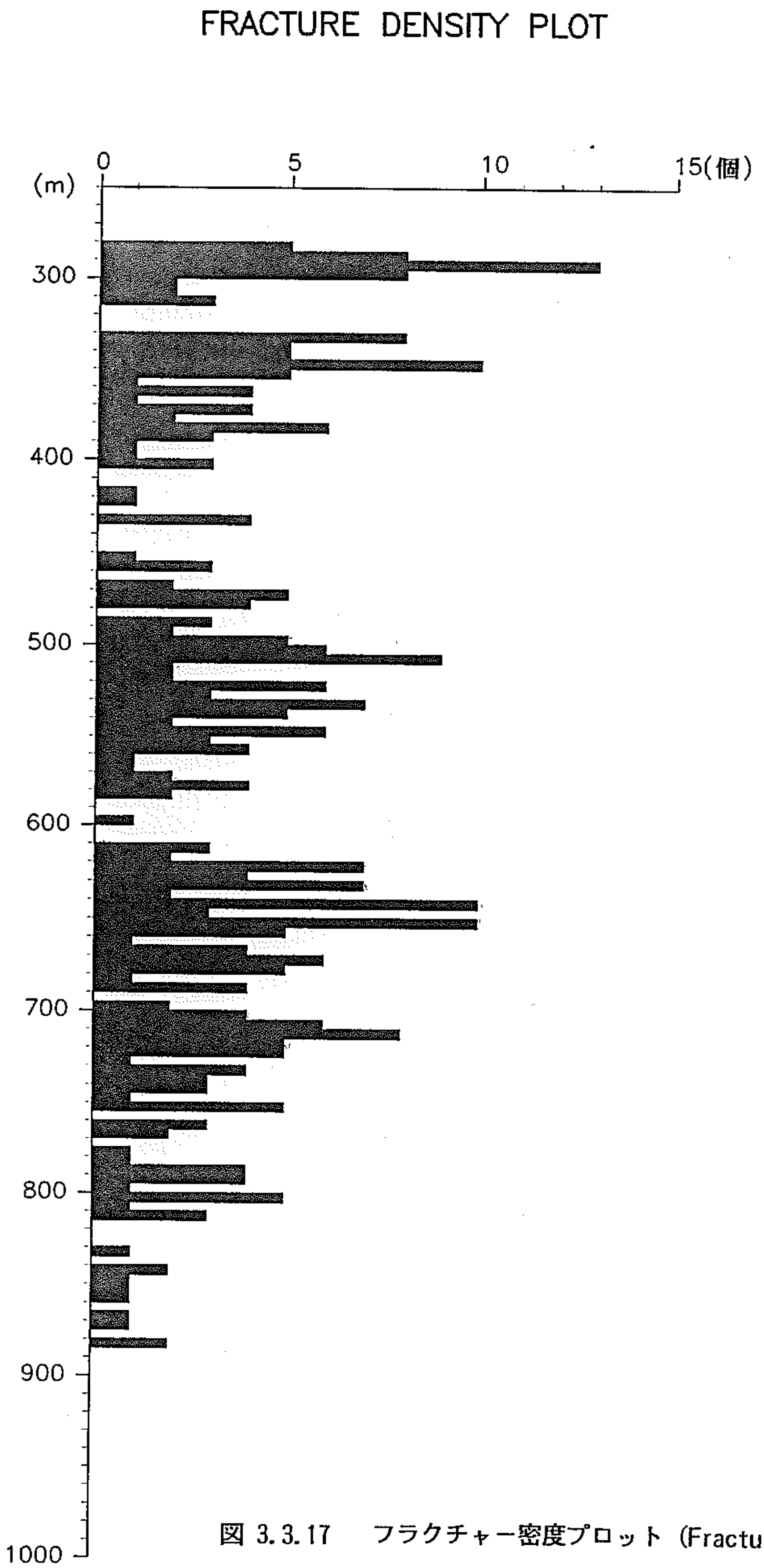


図 3.3.17　フラクチャー密度プロット (Fracture Density Plot)

TOKI DH-3

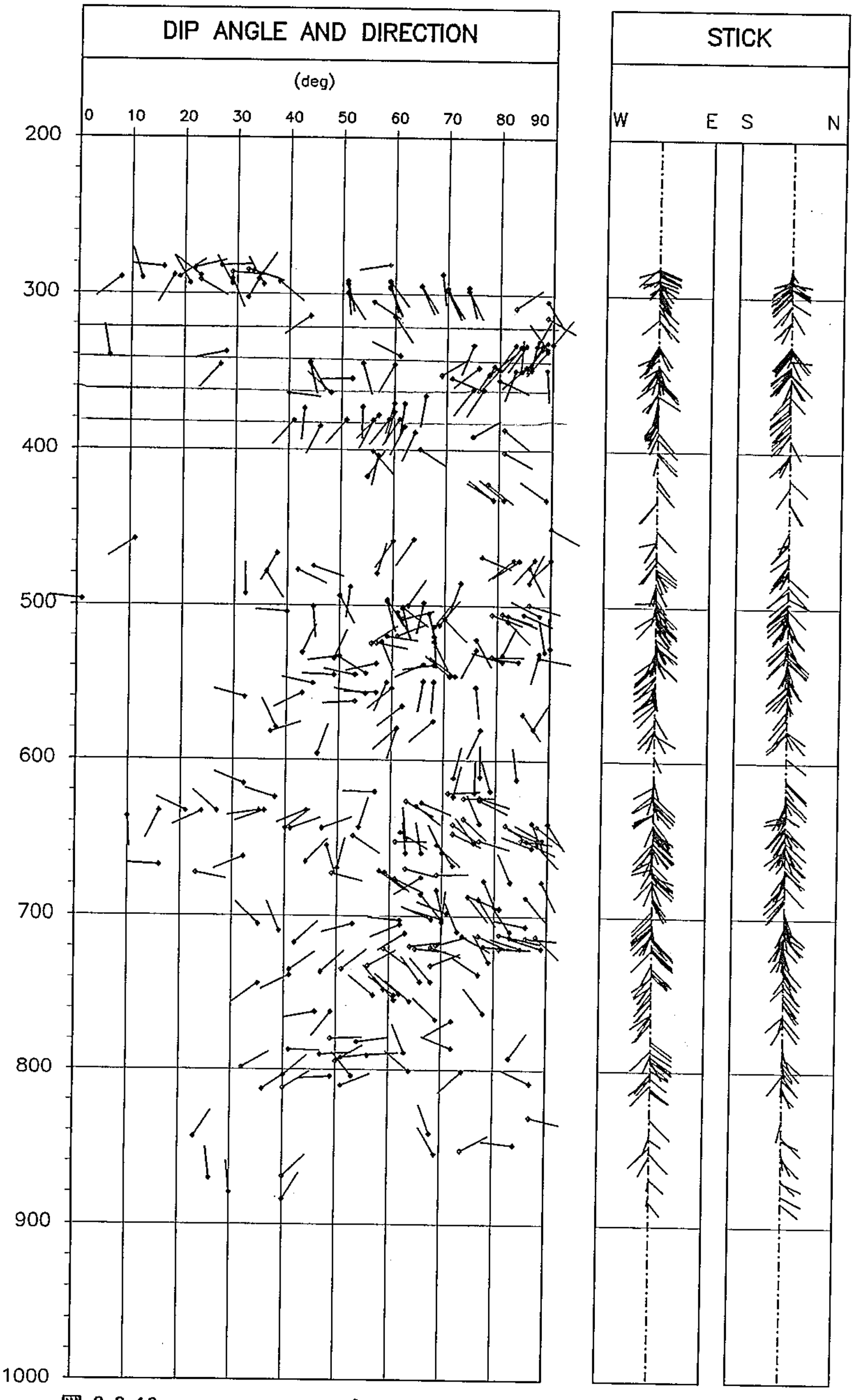


図 3.3.18 アロープロット・スティックプロット

TOKI DH−3

POLAR PLOT

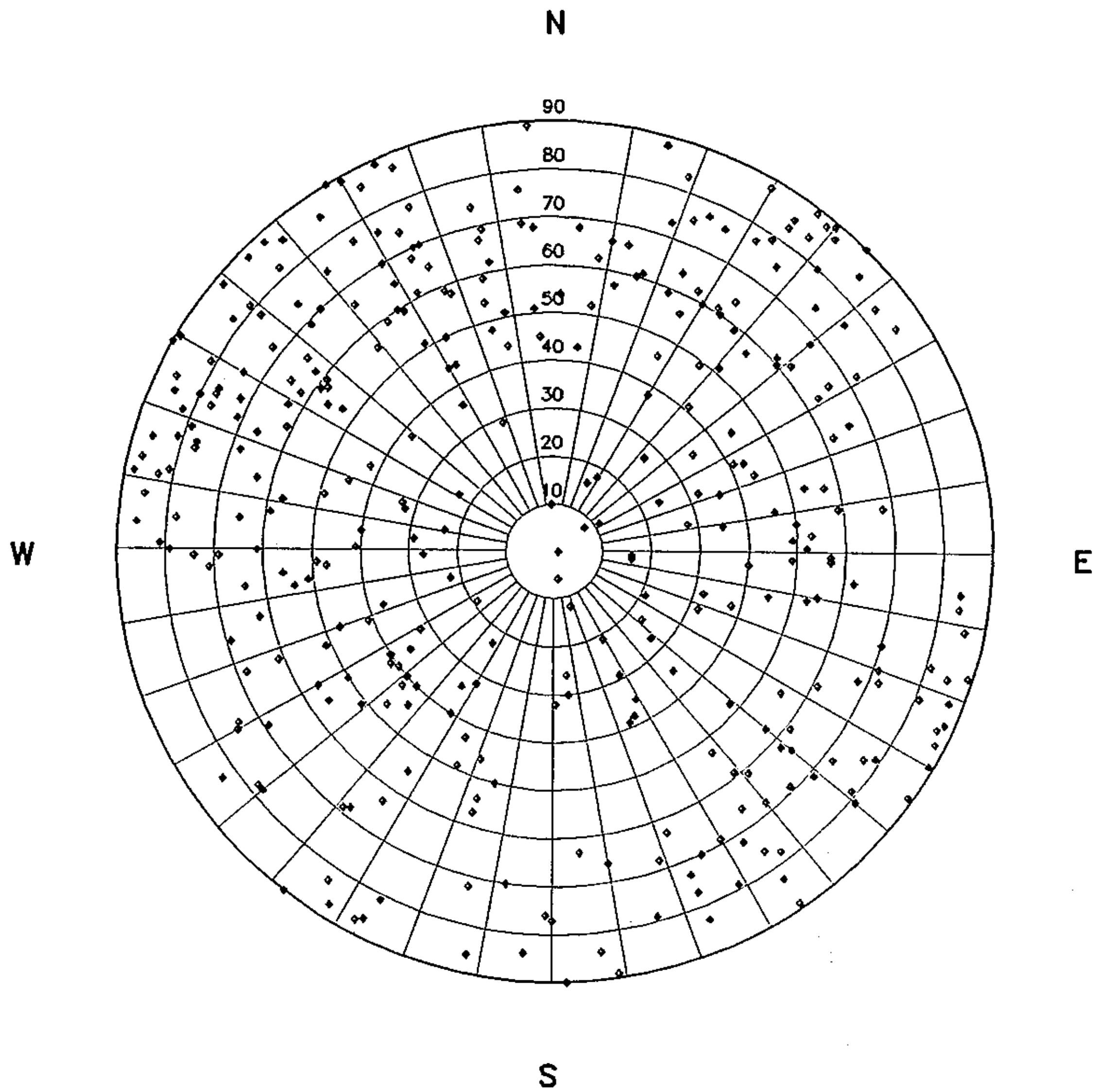


図 3.3.19　　ポールプロット

TOKI DH−3

AZIMUTH FREQUENCY PLOT

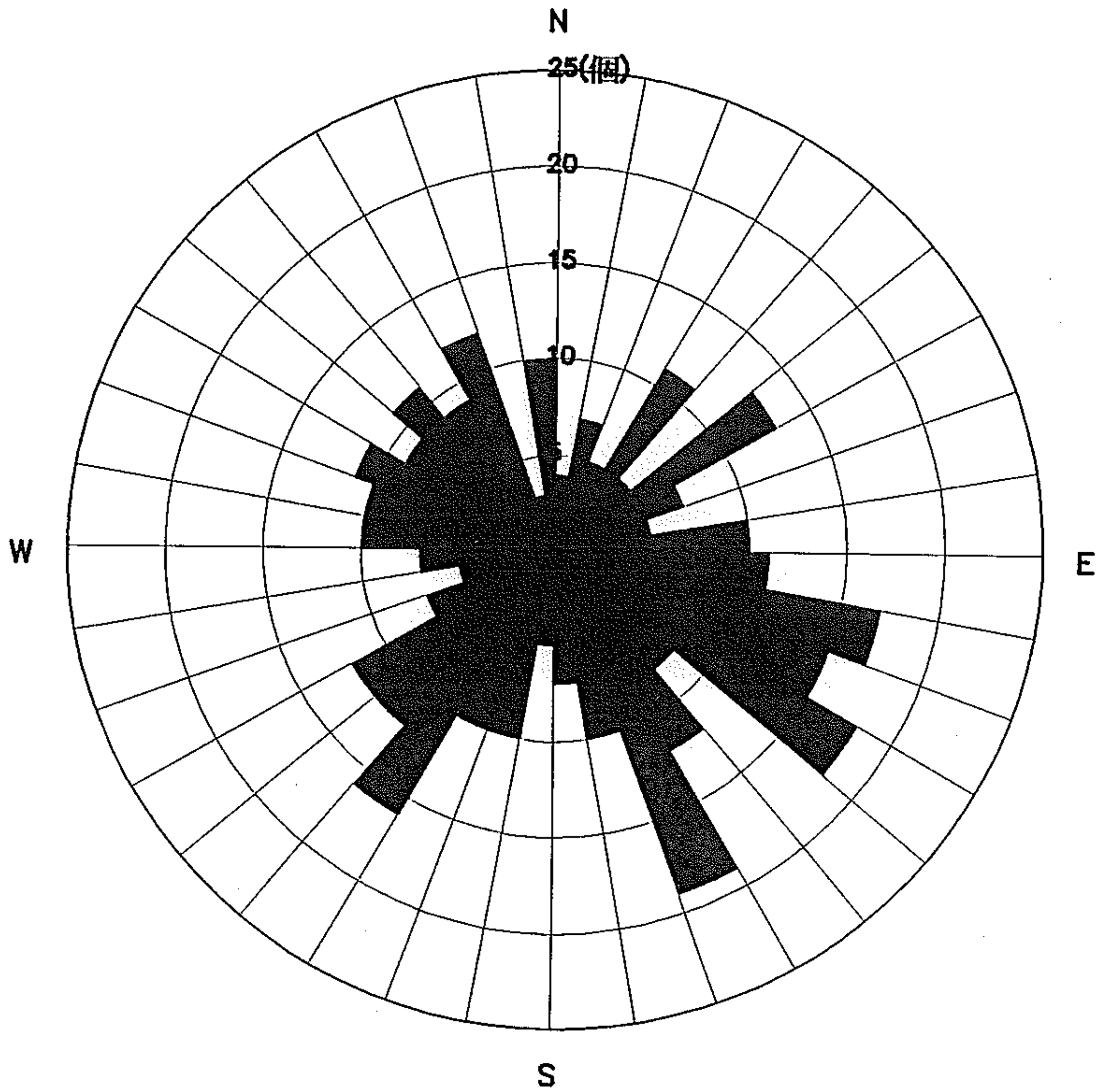


図 3.3.20 ローズダイアグラム (Azimuth Frequency Plot)

3.3.4　検層結果による透水性の検討

① 地層係数解析　（図3.3.21～24）

地層係数解析図は、検層データより次式（Archieの式）を用いて算出した。

$$F = \frac{1}{\phi n^{m}}$$

出典：Schumberger(1972a)

F　：地層係数

φn：孔隙率

m　：セメンテイション係数（-2）

孔隙率はそれぞれ中性子検層・音波検層から算出した数値を用いた。

（孔隙率の算出については、3.3.2 項で示した。）

中性子検層より算出した孔隙率による地層係数	図3.3.21
音波検層より算出した孔隙率による地層係数	図3.3.22
音波検層より算出した孔隙率	図3.3.23

一般的にＦが大きい程、透水性は悪くなり、Ｆが小さくなる程、良くなることが知られている。図3.3.21より、Ｈ層のＦ（地層係数）は大きく、Ｔ層のＦは小さいことから、Ｔ層の透水性は比較的良好と考えられる。

次に、勝部の論文より引用した計算式を用いて地層係数を算出した。（図3.3.24）孔隙率は、中性子検層より算出した孔隙率を用いた。

$$F = \frac{5.9 \times 10^{-3}}{\phi n^{2.21}}$$

出典：Katsube et al(1985)

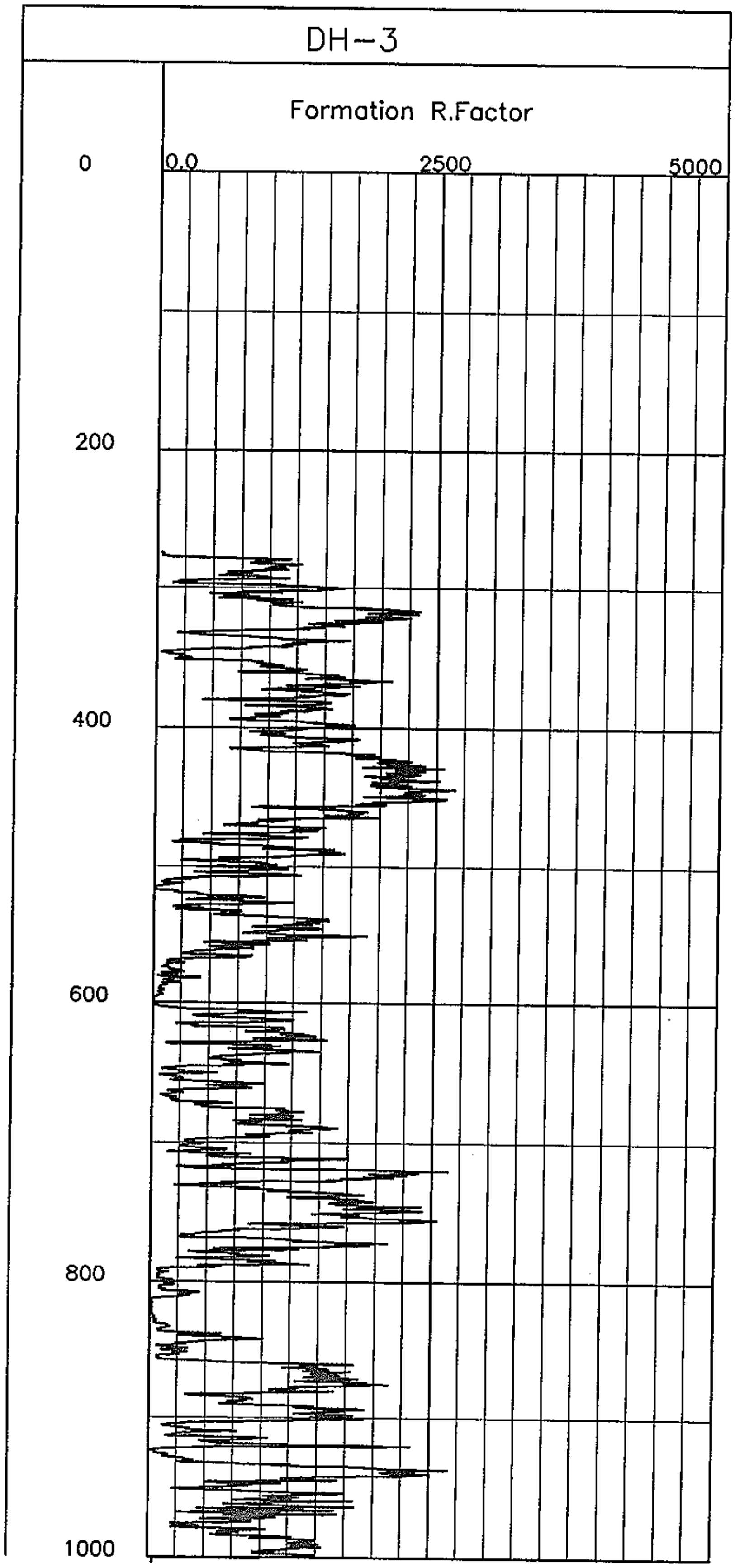


図3. 3. 21　中性子検層より算出した孔隙率による地層係数

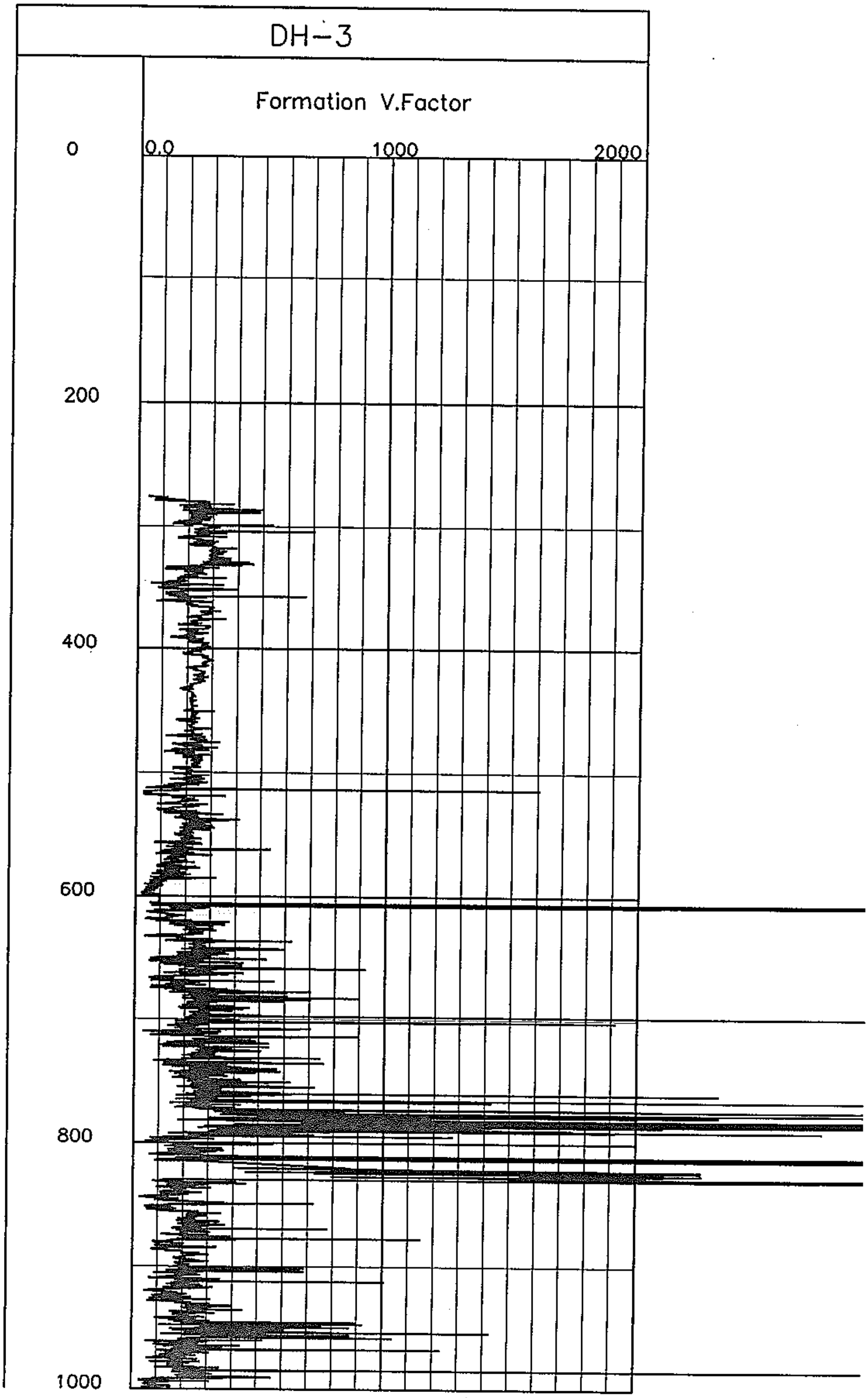


図3. 3. 22　　音波検層より算出した孔隙率による地層係数

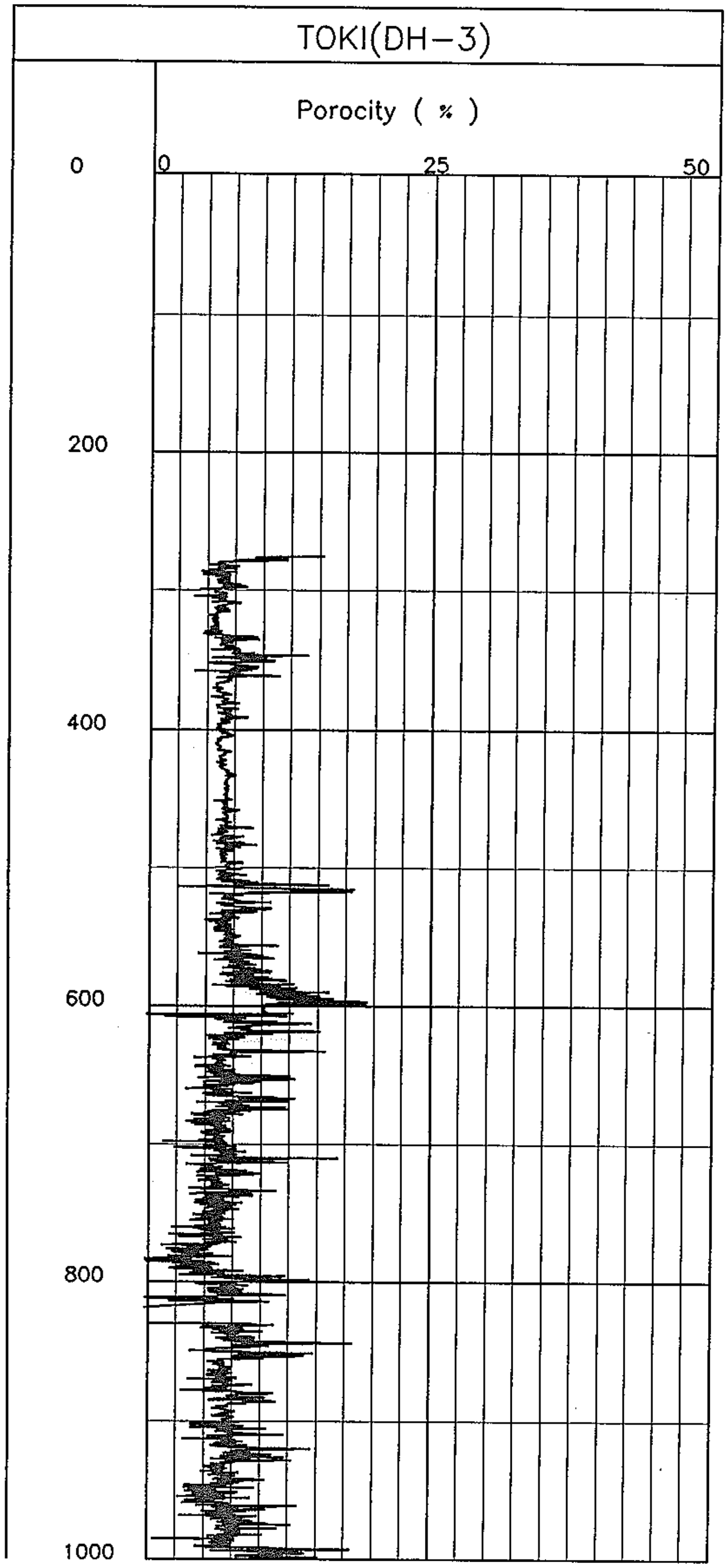


図3.3.23　　音波検層より算出した孔隙率

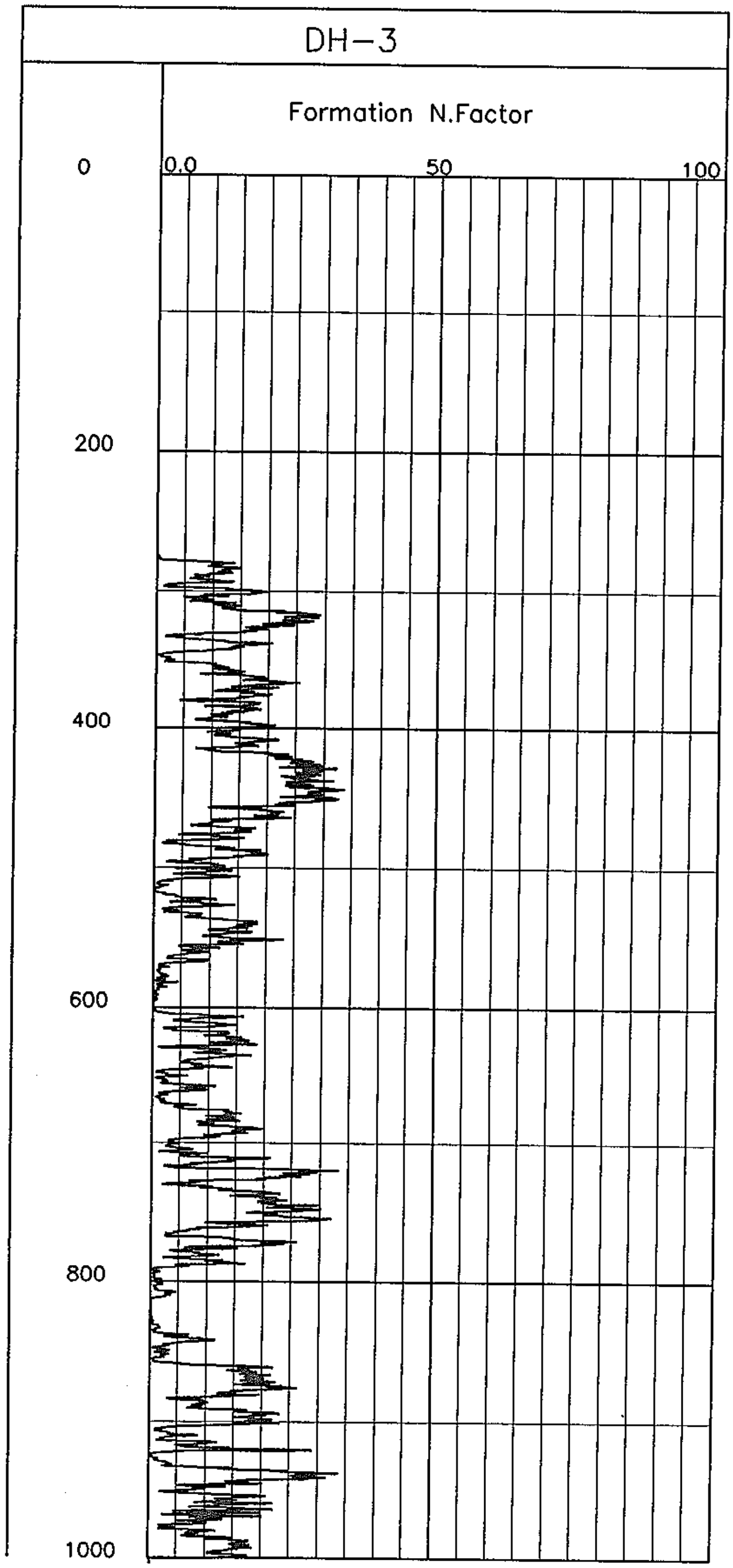


図3.3.24　　地層係数　　出典：Katsube et al(1985)

② 浸透率解析　(図3.3.25～27)

浸透率解析図は、各検層データを基に次式を用いて算出した。

$$K = \frac{1}{F}\left[\frac{\phi n}{1-\phi n}\right]^2 \frac{1}{Sw}$$

出典：Schumberger(1972a)

K　：浸透率
F　：地層係数
φn：孔隙率
Sw：Sw＝1とした。

地層係数解析と同様に、それぞれ中性子検層・音波検層・密度検層から算出した孔隙率を用いて浸透率解析をおこなった。

密度検層より算出した孔隙率による浸透率	図3.3.25
音波検層より算出した孔隙率による浸透率	図3.3.26
中性子検層より算出した孔隙率による浸透率	図3.3.27

更に、勝部の式より算出した浸透率を図3.3.28に示した。

$$K = 2.51 \times 10^{7} \times F^{-2.22}$$

出典：Katsube et al(1985)

ここで用い単位は、1m-darcy(10^{-3}darcy)を、10^{-6}cm/sとして図化している。

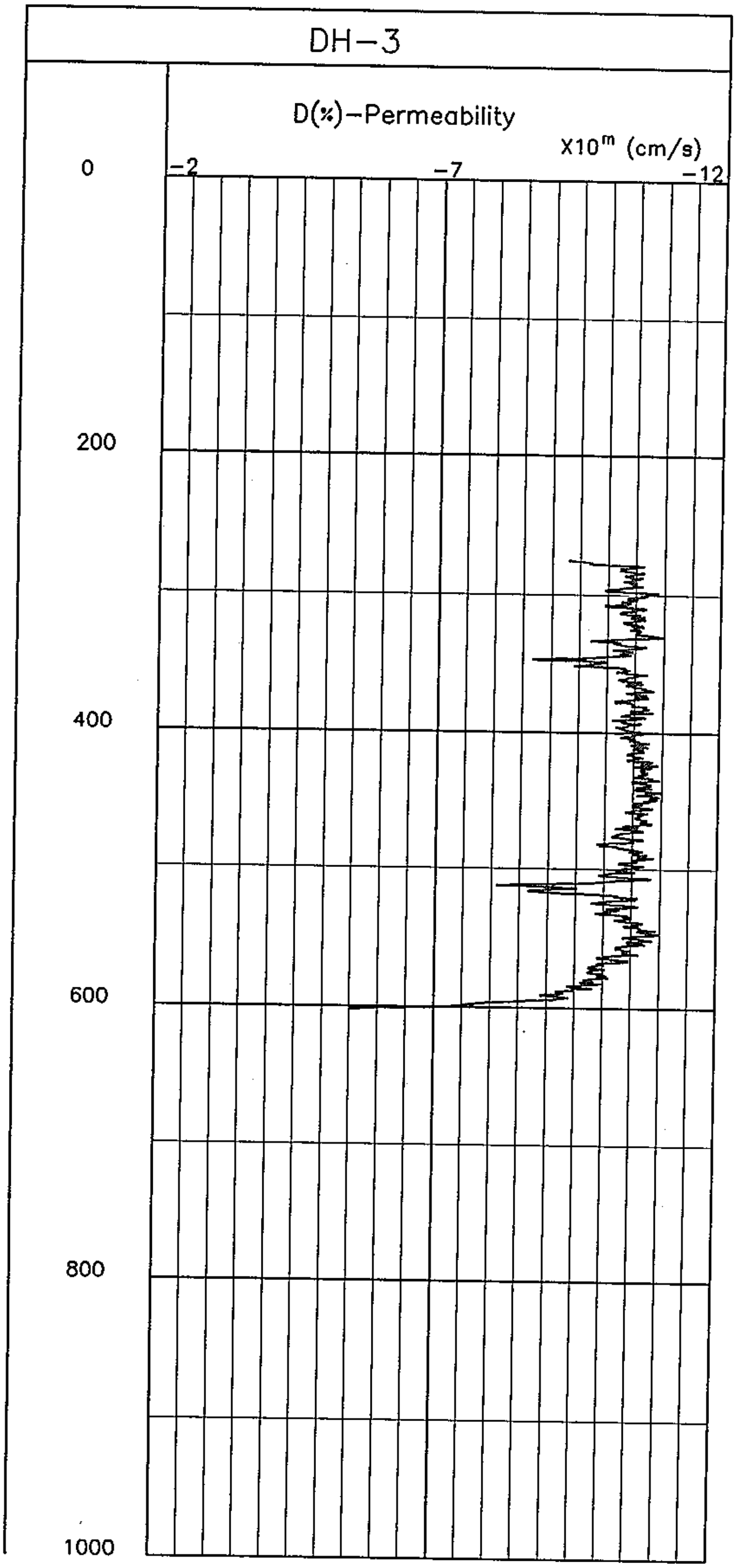


図3.3.25　　密度検層より算出した孔隙率による浸透率

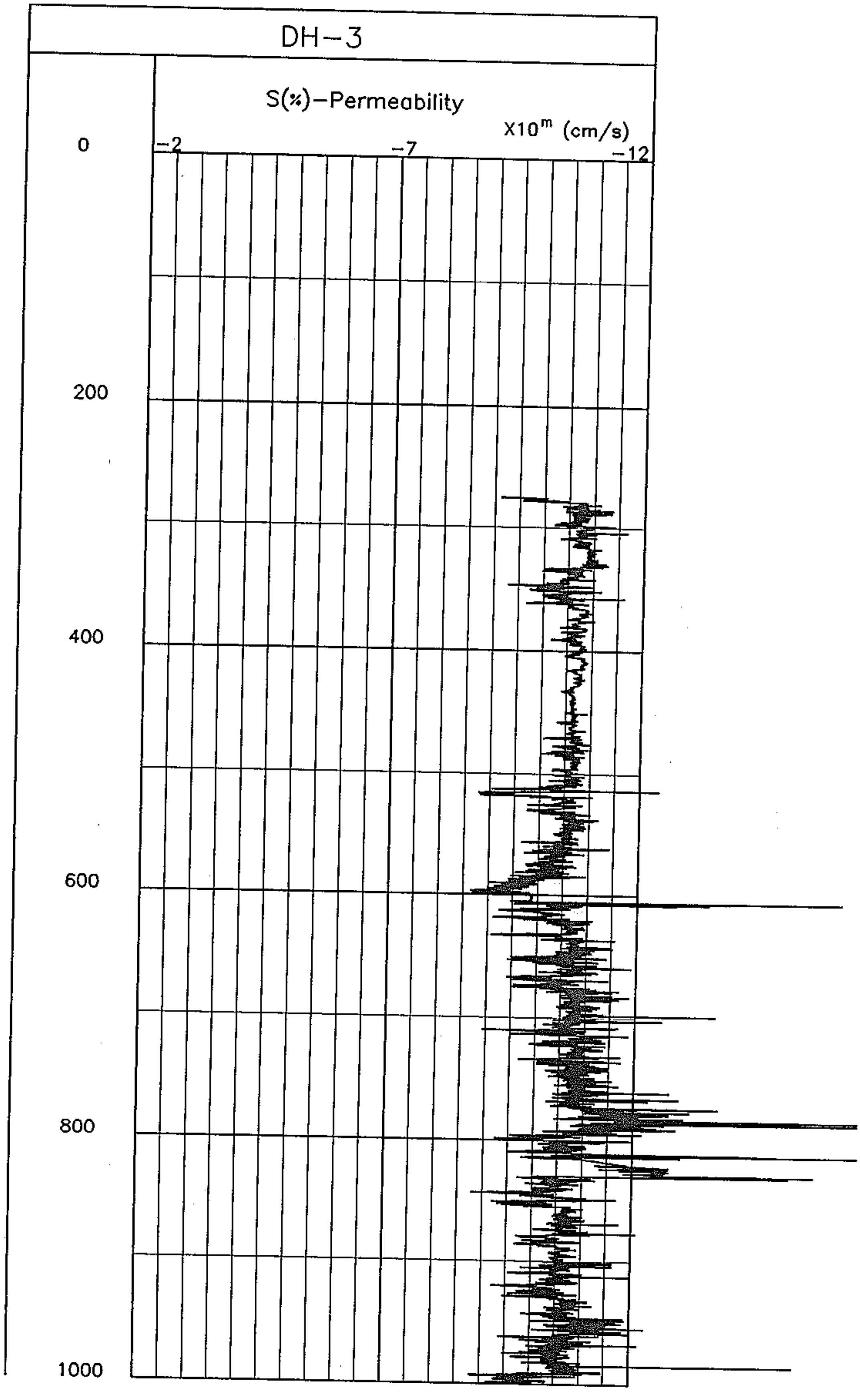


図3.3.26　音波検層より算出した孔隙率による浸透率

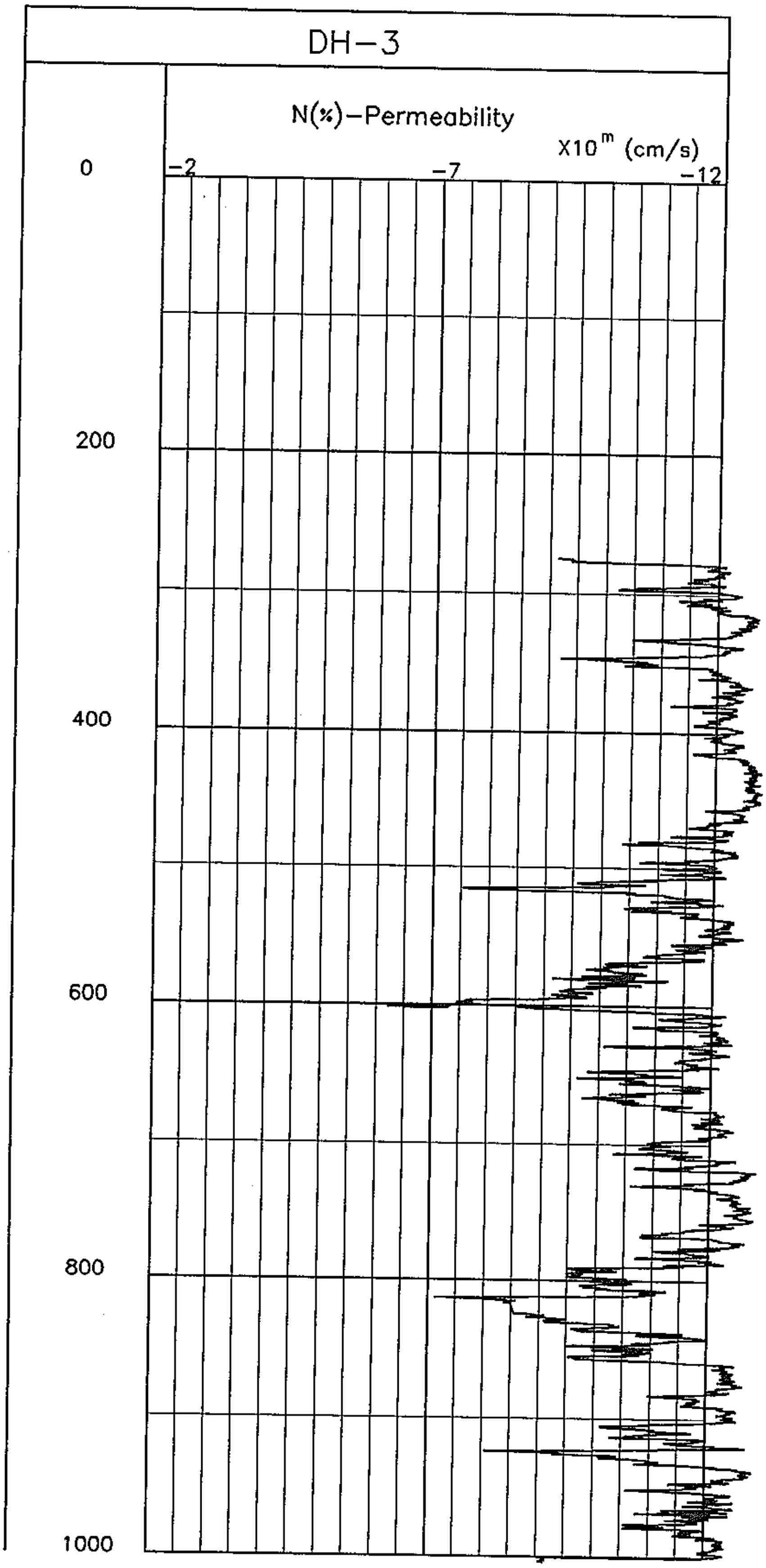


図3. 3. 27　中性子検層より算出した孔隙率による浸透率

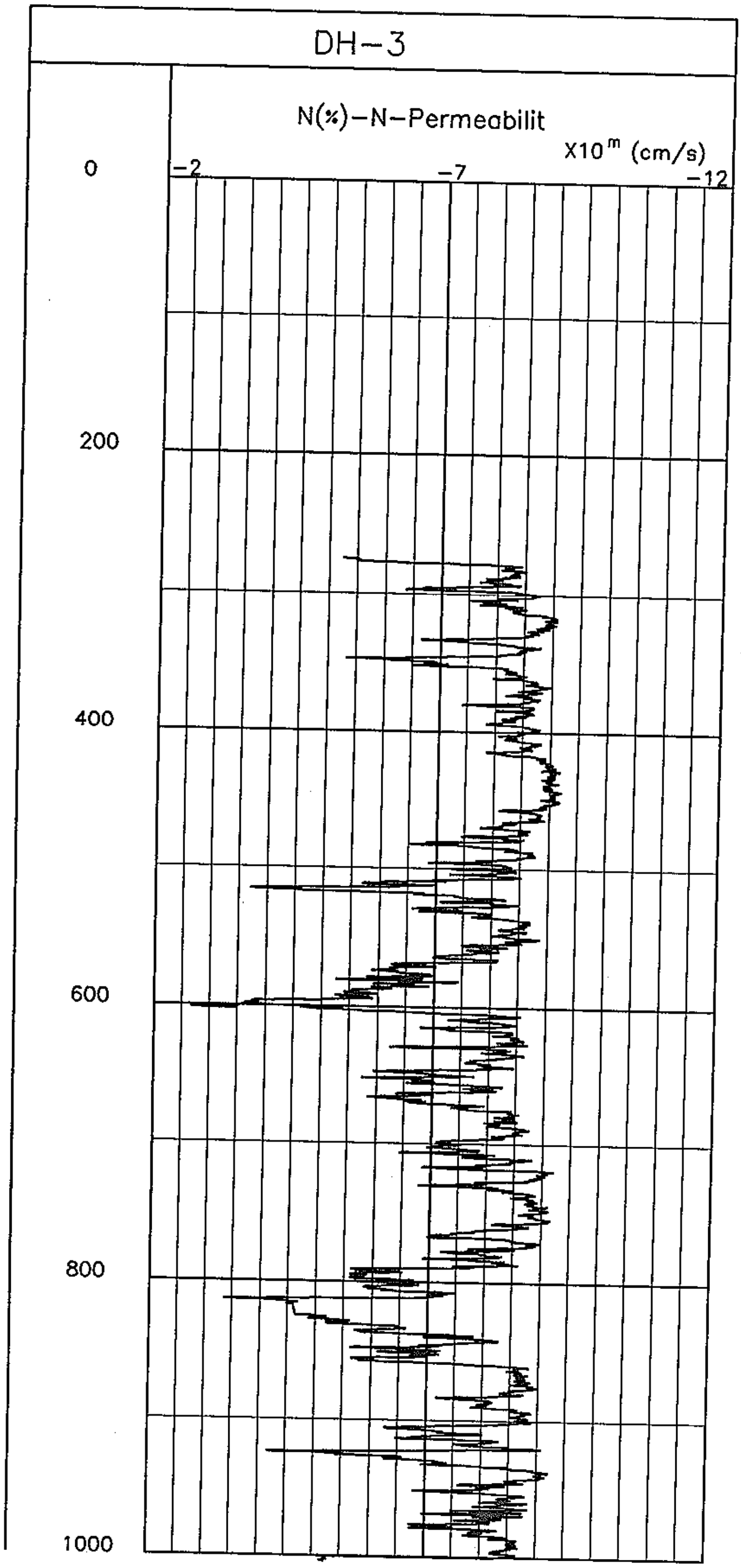


図3. 3. 28　　浸透率　　出典：Katsube et al(1985)

4. あとがき

今回の報告書「DH-3号孔における物理検層報告書」（その２）では、深度に沿って検層区間を１０に区分して、その物性値を示した。今回の測定区間は、火成岩（花崗岩）で構成され、それぞれに対比を成している。
（その２）では、全区間で構成されている岩層を対比させながら、それぞれの物性間の相関性について検討した。

4.1 謝　辞

本作業を遂行するにあたり、関係各所の方々にご指導並びにご協力を賜りました。ここに、心から謝意を表します。

4.2 参考文献

(1)　Schlumberger Log Interpretation 1972Edition

(2)　検層技術説明書　（株）物理計測コンサルタント 1981

(3)　Katsube et al, GEOPHYSICS, VOL.52 NO 3 1987