

# 東濃鉱山KNA-6号孔における物理検層作業報告書

(動力炉・核燃料開発事業団 契約業務報告書)

1995年11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

技術協力部・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

本件は著作権法上保護される場合があります

本件は著作権法上保護される場合があります

本件は著作権法上保護される場合があります

本件は著作権法上保護される場合があります

東濃鉱山ＫＮＡ－６号孔に

おける物理検層作業報告書

1995年 11月

株式会社 物理計測コンサルタント

1995年11月

## 東濃鉱山KNA-6号孔における孔曲がり測定作業報告書

松岡清幸\* 長田和洋\*

### 要 旨

1. 本資料は、岐阜県土岐市東濃鉱山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・孔曲り検層の9種類を実施した。
3. 物理検層より、花崗岩類と第三紀層に大きく2つに分類し、更に花崗岩類を深度毎に2つに区分して、それぞれの物性値を比較・検討した。
4. 孔曲り測定結果は、90mで傾斜角46°であった。

---

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 : 07C0560

事業団担当部課室 : 東濃地科学センター

地層科学研究開発室 花室 孝広

\* (株) 物理計測コンサルタント

PNC TJ7586 95-006  
November 1995

[Geophysical Logging Report of  
KNA-6 Drill Hole in Tonou Mine]

Kiyoyuki Matsuoka \* Kazuhiro Nagata \*

Abstract

1. The paper presents summarized geophysical informations by the results of Geophysical logging of KNA-6 drill hole, operated in Tonou Mine, Toki City, Gifu Prefecture, Japan.
2. Geophysical logging are 9kinds of temperature • resistivity • microresistivity • sonic • density • caliper • neutron • gamma ray log • bore hole surveying.
3. By the formation from geophysical logs, granitic rocks and tertiary rocks may be devided into two types: the formation are distributed in two areas.
4. Bore Hole Surveying at 90m is 46° (Inclination angle).

---

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

Contract Number : 07C0560

PNC liaison : Tono Geoscience Center Geological Environment Research Section — Takahiro Hanamura

\* Geophysical Surveying CO., Ltd.

# 目 次

1.	はじめに	1
2.	調査概要	1
2.1	一般事項	1
2.2	位置図	2
3.	物理検層	7
3.1	物理検層測定原理	7
3.1.1	温度検層	7
3.1.2	電気検層	9
3.1.3	マイクロ比抵抗検層	10
3.1.4	密度検層	11
3.1.5	孔径検層	13
3.1.6	中性子・ガンマ線検層	14
3.1.7	音波検層	16
3.1.8	孔曲がり検層	19
3.2.	検層結果	20
3.2.1	温度検層結果	21
3.2.2	電気検層結果	23
3.2.3	マイクロ検層結果	26
3.2.4	密度検層結果	28
3.2.5	音波検層	30
3.2.6	孔径検層結果	34
3.2.7	中性子検層結果	36
3.2.8	自然放射能検層（ガンマ線検層）結果	39
3.2.9	孔曲り測定	41

3.3. 解析	44
3.3.1 電気検層解析	44
3.3.2 物性値の相関性	50
4. あとがき	56
4.1 謝辞	56
4.2 参考文献	56

## 図 目 次

図 2.1.1 調査位置図	2
図 3.1.1 温度検層ソンデ外観図	7
図 3.1.2 温度測定回路図	7
図 3.1.3 温度勾配と泥水循環直後と孔内温度の関係	8
図 3.1.4 電気検層概念図	9
図 3.1.5 電気検層電極配置図	9
図 3.1.6 電流パターン	10
図 3.1.7 密度検層機	11
図 3.1.8 孔度検層機	13
図 3.1.9 中性子・ガンマ線検層機	15
図 3.1.10 音波検層機構造図	16
図 3.1.11 音波検層機受信波形	17
図 3.1.12 音波検層機のブロックダイヤグラム	18
図 3.1.13 インテンシティログの原理	18
図 3.2.1 温度曲線図	22
図 3.2.2 自然電位・見掛け比抵抗曲線図	25
図 3.2.3 マイクロ見掛け比抵抗曲線図	27
図 3.2.4 密度曲線図	29
図 3.2.5 音波検層概念図	30
図 3.2.6 音波検層曲線図	31
図 3.2.7 P波速度曲線図	33
図 3.2.8 孔径検層曲線図	35
図 3.2.9 中性子強度曲線図	37

図 3.2.10 孔隙率曲線図	3 8
図 3.2.11 ガンマ線強度曲線図	4 0
図 3.2.12 孔曲り測定概念図	4 2
図 3.2.13 孔曲り測定結果（フィルム）	4 3
図 3.3.1 比抵抗偏差曲線図	4 5
図 3.3.2 ショート・ルル解析比抵抗曲線図	4 6
図 3.3.3 ロング・ルル 解析比抵抗曲線図	4 7
図 3.3.4 マイクロ解析比抵抗曲線図	4 8
図 3.3.5 ショート・ルル フォーメーション ファクター	4 9
図 3.3.6 比抵抗—ガンマ線強度プロット図	5 1
図 3.3.7 中性子孔隙率—P波速度プロット図	5 2
図 3.3.8 中性子孔隙率—密度プロット図	5 3
図 3.3.9 中性子孔隙率—密度孔隙率プロット図	5 4
図 3.3.10 音波孔隙率—中性子孔隙率プロット図	5 5

## 表 目 次

表 3.1.1 使用機器一覧表 (1) ······	3
表 3.1.1 使用機器一覧表 (2) ······	4
表 3.1.2 物理検層作業工程表 (1) ······	5
表 3.1.2 物理検層作業工程表 (2) ······	6
表 3.2.1 孔曲がり測定結果 ······	41

## 付録・資料

温度検層記録図	(1/200)
電気検層記録図(1)	(1/200)
電気検層記録図(2)	(1/200)
マイクロ比抵抗検層記録図	(1/200)
密度検層記録図	(1/200)
孔径検層記録図(1)	(1/200)
孔径検層記録図(2)	(1/200)
中性子・ガンマ線検層記録図(1)	(1/200)
中性子・ガンマ線検層記録図(2)	(1/200)
音波検層記録図(1)	(1/200)
音波検層記録図(2)	(1/200)

## 1.はじめに

本調査は、岐阜県土岐市東濃鉱山に掘削されたKNA-6号孔を利用して、孔井周辺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が実施された。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 : 『東濃鉱山KNA-6号孔における物理検層作業』

(2) 調査場所 : 岐阜県土岐市東濃鉱山本延55m 試錐座 KNA-6号孔(100m, 45° 下斜孔)

(3) 調査期間 : 自 平成 7年 8月20日  
至 平成 7年11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、孔曲がり検層）

(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 長田 和洋

報告書担当 松岡 清幸

## 2.2 調査位置図

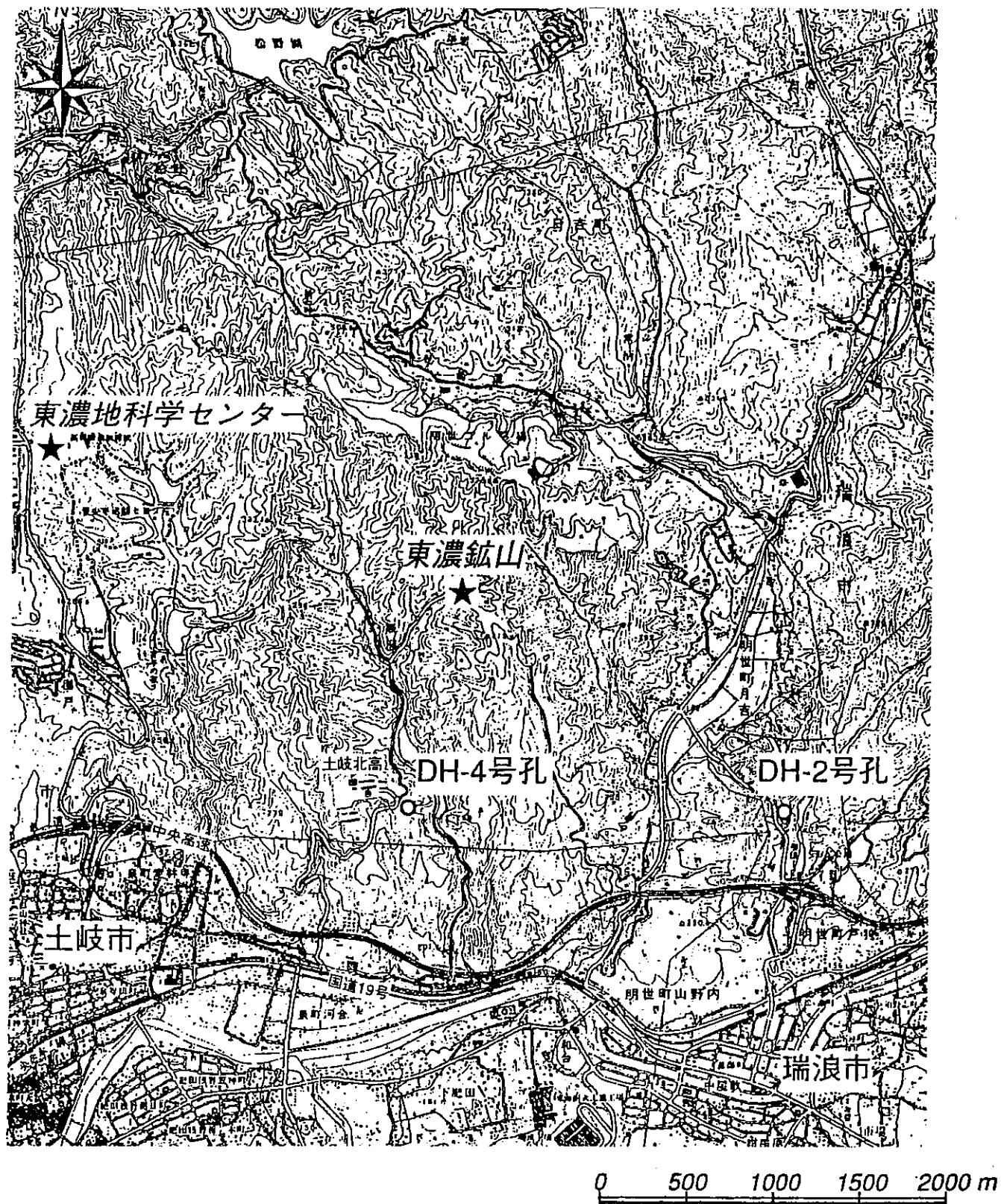


図 2.1.1 調査位置図

表 3.1.1 使用機器一覧表 (1)

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°C以下
	記録	RV型多ベルコーダー	理化電気	素子: 5ペン 紙送り: エンコーダー連動
	処理	9800-シリーズ	日本電気	
温度検層	温度検層器	TSM-300	宝工業	測定範囲: 0~200 °C 100~300 °C 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	日本バルカ一	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	密検層度器	DPM 1 PSC 2 LRM-2D (×2)	コンプローブ	(RES-SP-VAL) リニアレイトメーター
	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- 外径: 55mm, 全長: 4m
孔径検層	孔検層径器	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: プローチョナルデテクタ 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 M R M	G. S. C ミネラル	
	ゾンデ		ミネラル	電極間隔: 1x1" Inverse 2" Normal

表 3.1.1 使用機器一覧表 (2)

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°C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-シリーズ	日本電気	
孔曲がり 検 層	孔曲がり 測定器	A型シングルショット	イーストマン社	測定範囲: 0~12° タイマー: Max 90min

表 3.1.2 物理検層作業工程表 (1)

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
温 度	0.0 52.1	H7. 8.31	11:45 5 11:50	m/min 10.4	1/200	孔 長 101.0m
電 気	30.5 51.0	H7. 8.31	12:33 5 12:36	6.8	1/200	孔 径 98 m/m
マイクロ	30.5 52.0	H7. 8.31	15:22 5 15:26	5.4	1/200	孔内水 清 水 比抵抗 61ohm-m (20.2° C)
密 度	30.5 51.5	H7. 8.31	15:57 5 16:03	3.5	1/200	ケーシング 深度 30.5m 径 102.0mm
孔 径	30.5 47.8	H7. 8.31	13:13 5 13:15	8.7	1/200	
中性子	30.5 51.6	H7. 8.31	14:50 5 14:53	7.0	1/200	
ガンマ線	30.5 50.5	H7. 8.31	14:28 5 14:32	5.0	1/200	
音 波	30.5 50.7	H7. 8.31	16:58 5 17:07	2.2	1/200	

表 3.1.2 物理検層作業工程表 (2)

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
温 度	0.0 5 98.7	H7. 9. 7	13:05 5 13:25	m/min 4.9	1/200	
電 気	54.7 5 98.3	H7. 9. 7	13:55 5 14:02	6.2	1/200	孔 長 101.2m
マイクロ	ツール降下不能の為、測定中止					孔 径 98 m/m
密 度	ツール降下不能の為、測定中止					孔内水 清 水 比抵抗 61ohm-m (20.1° C)
孔 径	54.7 5 98.4	H7. 9. 7	16:18 5 16:32	3.1	1/200	ケーシング ロット 深度 54.7m 径 77.0mm
中性子	54.7 5 98.4	H7. 9. 8	9:45 5 9:58	3.4	1/200	
ガンマ線	54.7 5 98.4	H7. 9. 7	16:18 5 16:32	3.1	1/200	
音 波	54.7 5 97.0	H7. 9. 8	10:58 5 11:05	5.3	1/200	
孔曲がり	60.0 5 90.0	H7. 9. 8	13:30 5 14:55	静止状態	4shot	

### 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、孔曲がり検層の9種目について、平成7年8月31日～9月8日の内2回実施された。

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、帶水層などの位置判定に利用する。また流体产出層、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1.1.2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

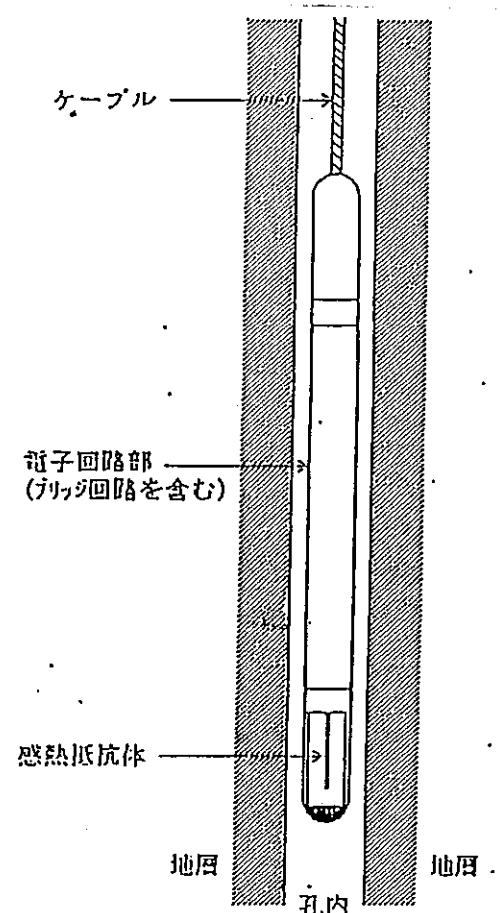


図 3.1.1 温度検層ソンデ外観図

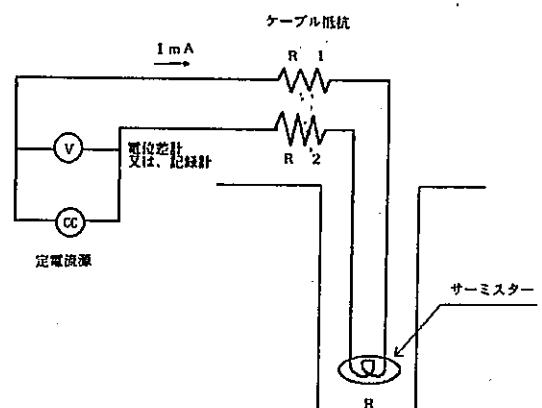


図 3.1.2 温度測定回路図

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顯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。

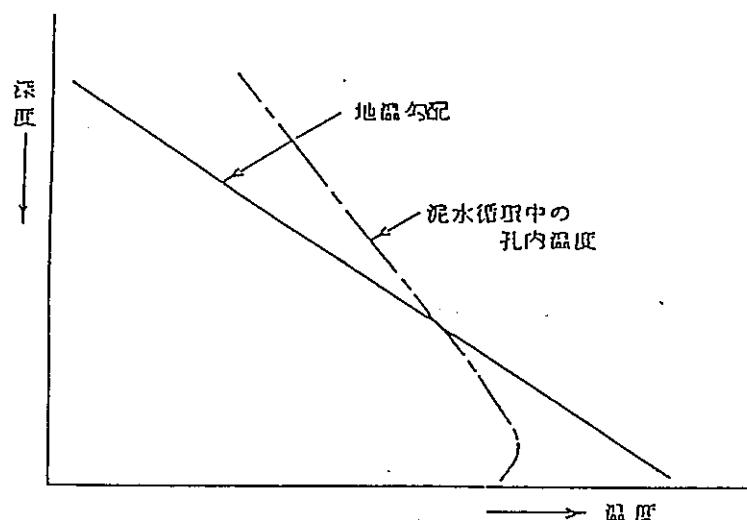


図 3.1.3 泥水循環直後の温度勾配と孔内温度の関係

### 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A B間に一定の電流Iを流し、M N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、

$$R = 4 \pi A M (V / I) \quad (\Omega - m)$$

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<sub>1</sub> = 25cm、長: AM<sub>2</sub> = 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。

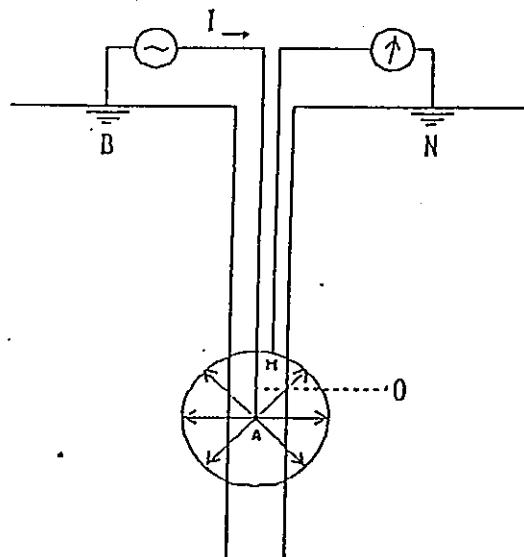


図 3.1.4 電気検層概念図

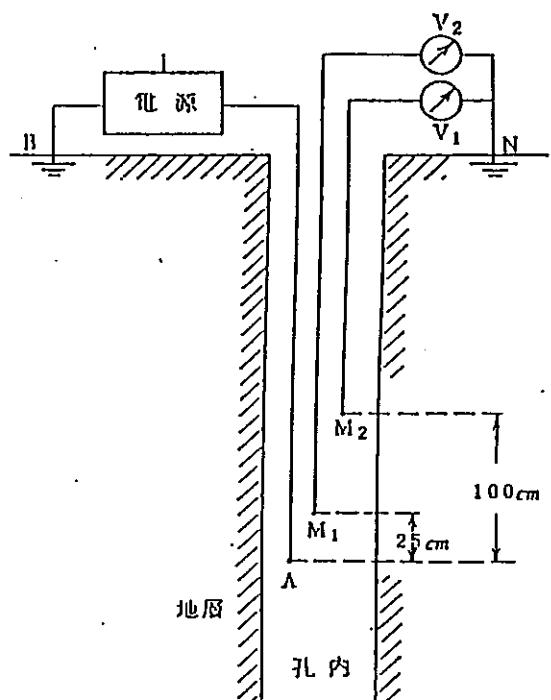


図 3.1.5 電気検層電極配置図

### 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)と泥水滲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。

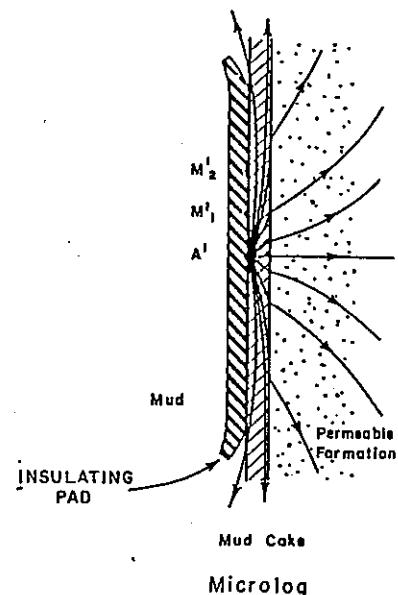


図 3.1.6 電流パターン

### 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(5.55G Bq)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)

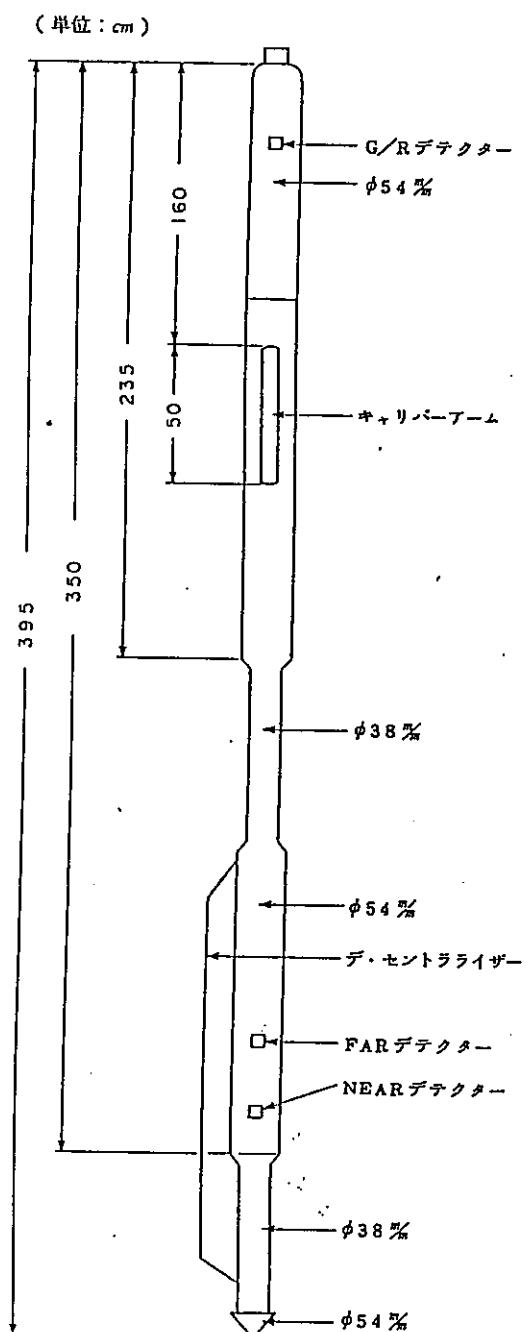


図 3.1.7 密度検層機

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本のキャリバーアームを開閉できるシステムになっている。キャリバ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バ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、破碎帯を発見するのに使用される。

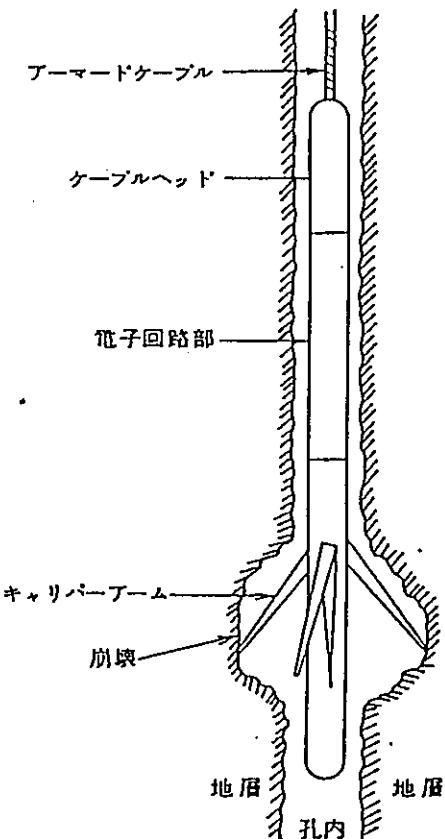


図 3.1.8 孔径検層機

### 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 プロボーショナル・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、ポタシウム系、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 のようにコンビネー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。

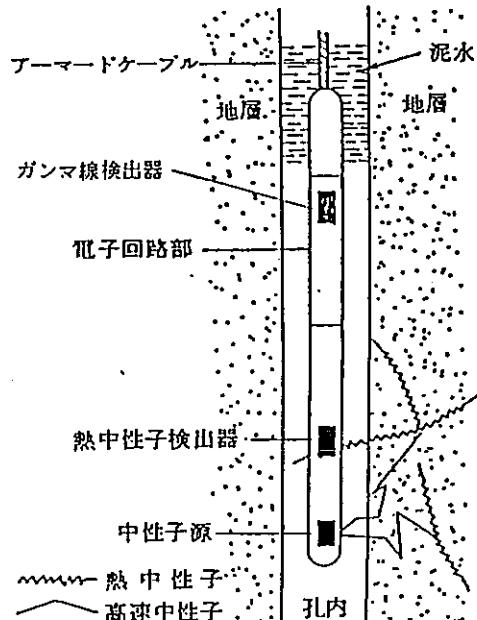


図 3.1.9 中性子・ガンマ線検層機

### 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て、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の間隔をおいてソンデ上に配置され、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幅射された音波エネルギーを信号として捕らえる。

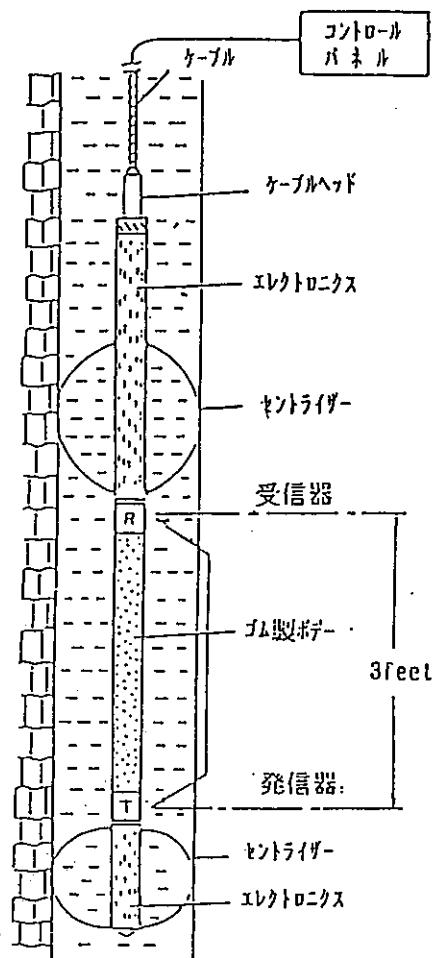


図 3.1.10 音波検層機構造図

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) F T 曲線 （フォームエーションタイム） — 孔壁の伝播時間の連続的な記録曲線
- ロ) P A 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) W T 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とする。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。

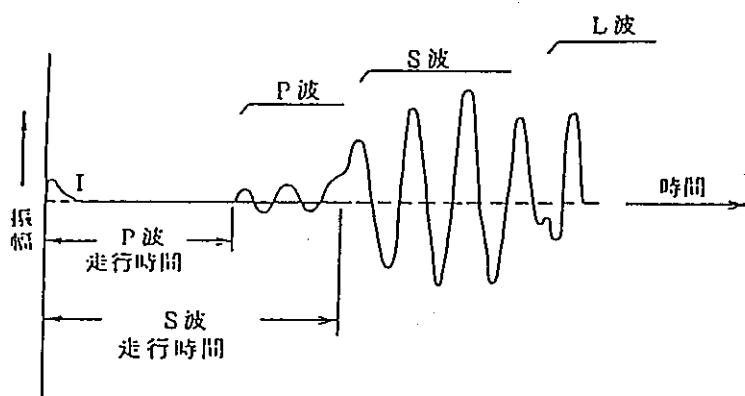


図 3.1.11 音波検層機受信波形

## 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。

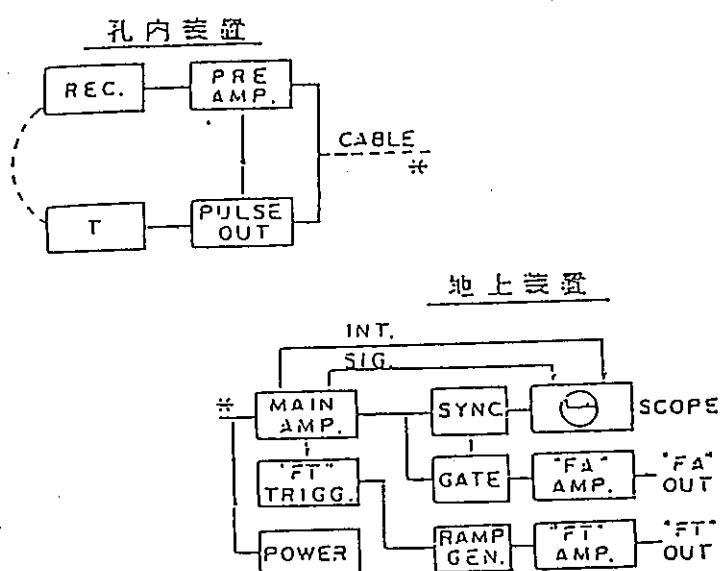


図 3.1.12 音波検層機のブロックダイヤグラム

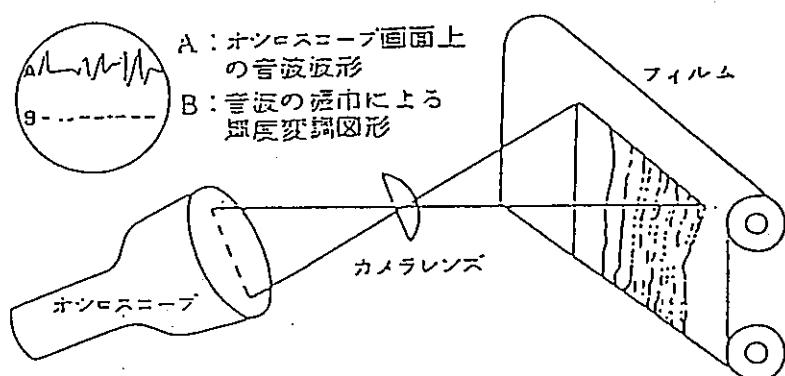


図 3.1.13 インテンシティログの原理

### 3.1.8. 孔曲がり検層（方位・傾斜測定）

孔曲がり測定は、孔井の方位及び傾斜を測定する。A型シングルショット12度計は、フィルム上にボーリング孔の方位及び傾斜を同時に写し、現像することのできる写真式の孔井記録傾斜儀である。

測定器は5つの部分より構成され、各機構は次の通りである。

　　タイマー……………照明時間をコントロールする為のタイマーである。

　　メカニカルタイマー（機械式タイマー）で最大90分

　　バッテリーチューブ……………電源として乾電池を収納するケース

　　ボデー……………フィルムを収納するケース

　　レンズ、ランプユニット……………レンズと照明を取り付けたユニット

　　コンパスユニット……………写真の被写体となる角度、方位を示す部分であり、0  
～12度のコンパスアングルユニットを有す

### 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、孔曲り測定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、大きく2層に分類した。深度40.0mを境にして、それより浅い比抵抗の低い区間をT層、深くて比抵抗の高い区間をH層とした。そして、更にH層を2つに細分化し、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 層	30.5 ~ 40.0m (層厚 9.5m)
H <sub>1</sub> 層	40.0 ~ 79.0m (層厚 39.0m)
H <sub>2</sub> 層	79.0 ~ 孔底 (層厚約 20.0m)

### 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、低い。（平均温度勾配  $0.06^{\circ}\text{C}/10\text{m}$ ）

検層時の孔内水は、湧水状態 ( $10\text{l}/\text{mi}$ ) にあり、温度勾配も低いことから、逸水温度は地層温度と同様で、逸水箇所は特定されない。

しかし検層結果から、深度  $45\text{m}$ ,  $48\text{m}$ ,  $70\text{m}$  附近で僅かな温度の低下を示し、深度  $51\sim67\text{m}$  間は温度の変化が認められることから、孔内水の流動等の影響も予想される。

孔内温度の最高は、孔底（深度  $99.6\text{m}$ ）で  $20.8^{\circ}\text{C}$  を記録している。

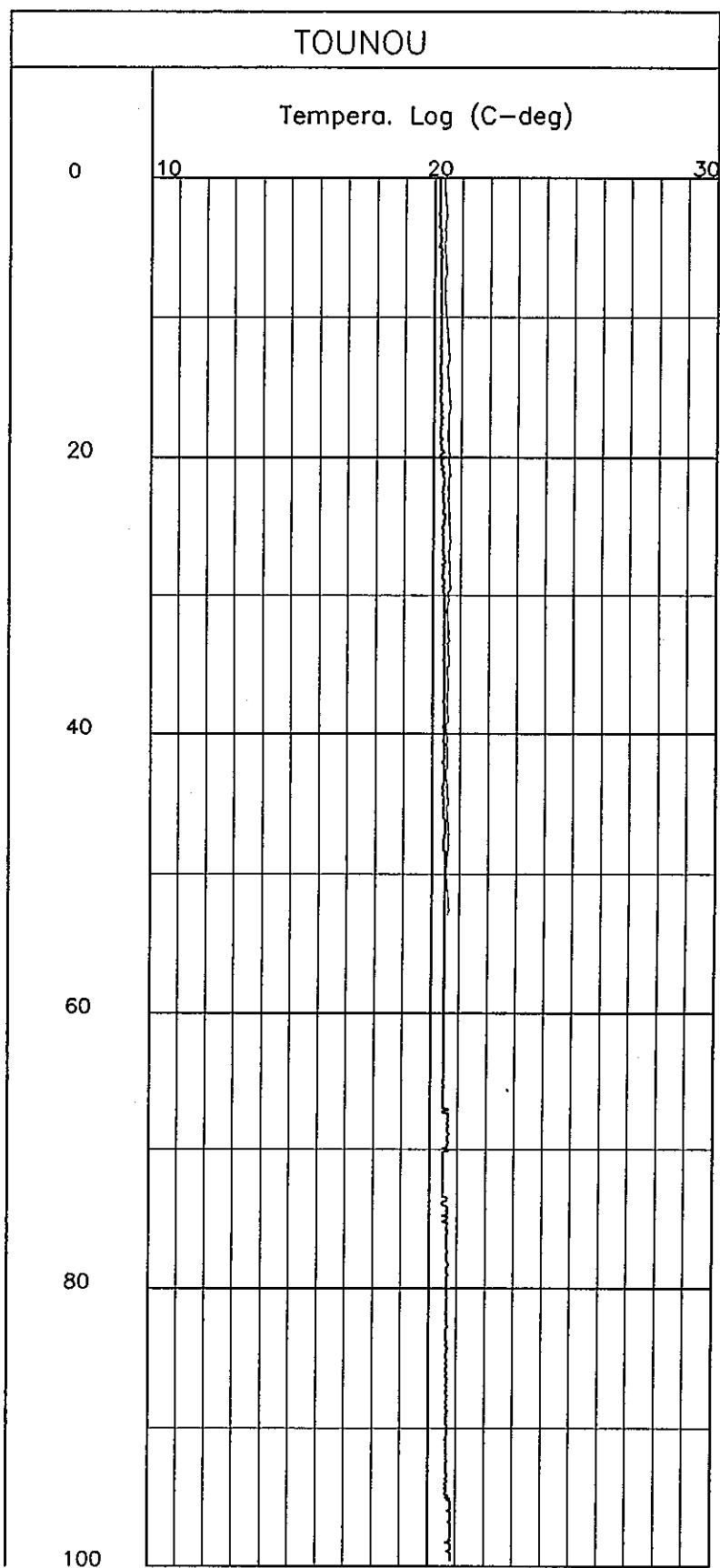


図 3.2.1 溫度曲線図

### 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・見掛け比抵抗曲線を図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、殆ど変化の少ない直線状を示すが、深度 84m付近で自然電位の負側へ移行する傾向が認められる。深度 51 ~ 54.7m 間は、未測定区間につき電位変化は不明である。

次に本孔の見掛け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。

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

グループ名		S N値の平均値	L N値の平均値
T 層	30.5 ~ 40.0m	21.5 ohm-m	17.2 ohm-m
H <sub>1</sub> 層	40.0 ~ 79.0m	165.5 ohm-m	151.3 ohm-m
H <sub>2</sub> 層	79.0 ~ 99.0m	682.8 ohm-m	587.6 ohm-m

見掛け比抵抗の特徴として、T層の低比抵抗層からH層の高比抵抗区間へと移行している。この間で岩相の変化が予想され、土岐挟炭累層から土岐花崗岩へと岩質の変化が予想され、その結果の比抵抗値に大きな変化が認められたと考える。更に土岐花崗岩層であるH層について、H<sub>1</sub>層はH<sub>2</sub>層と比較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。

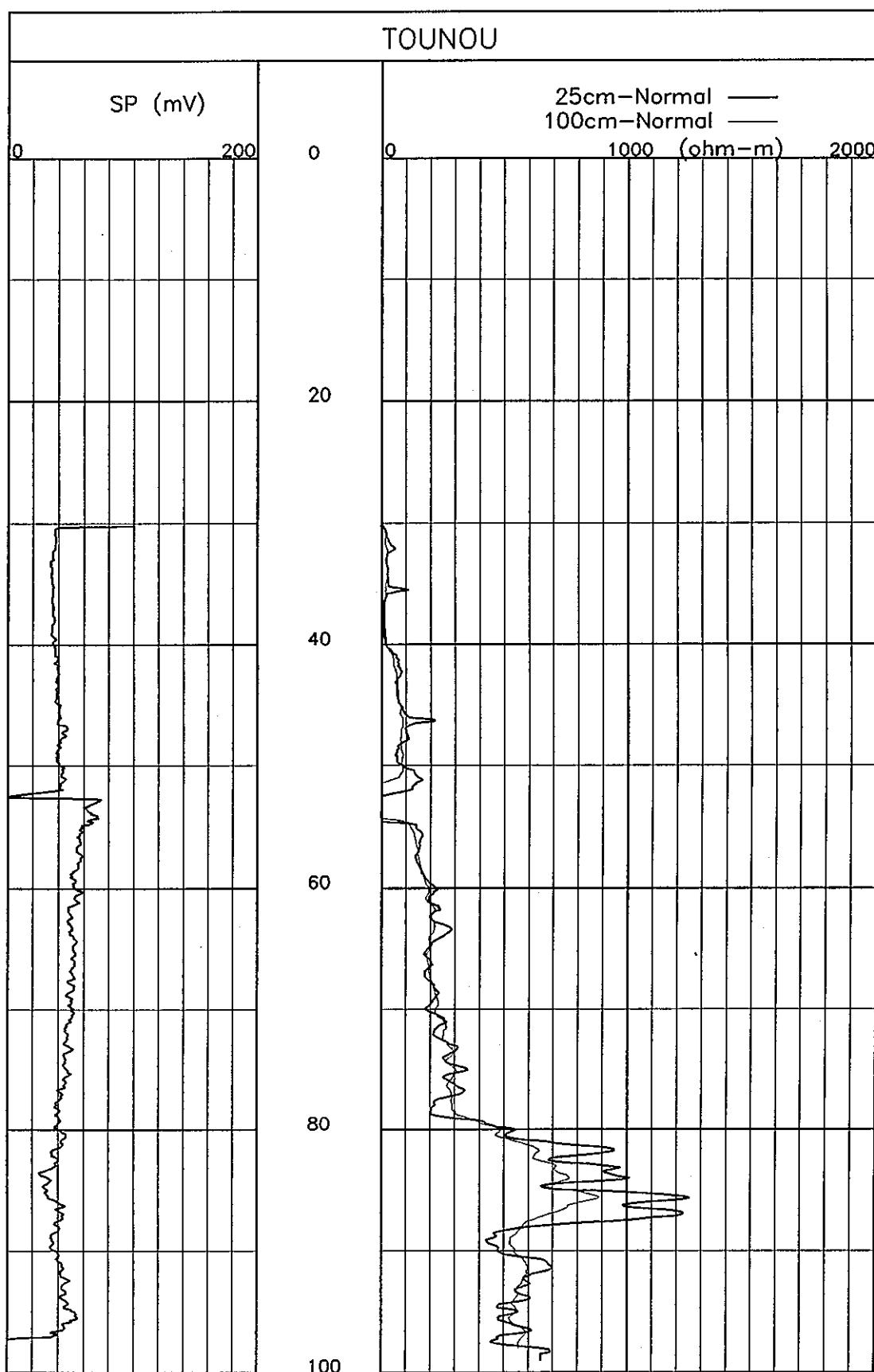


図 3.2.2 自然電位・見掛け比抵抗曲線図

### 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インチの見掛け比抵抗曲線を図3.2.3に示す。

本孔の見掛け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、グループ毎に見掛け比抵抗曲線の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 層	30.5 ~ 40.0m
H <sub>1</sub> 層	40.0 ~ 52.5m
H <sub>2</sub> 層	ツール降下不能の為、未測定

マイクロ検層の特徴として、電気検層同様、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低く更に、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。

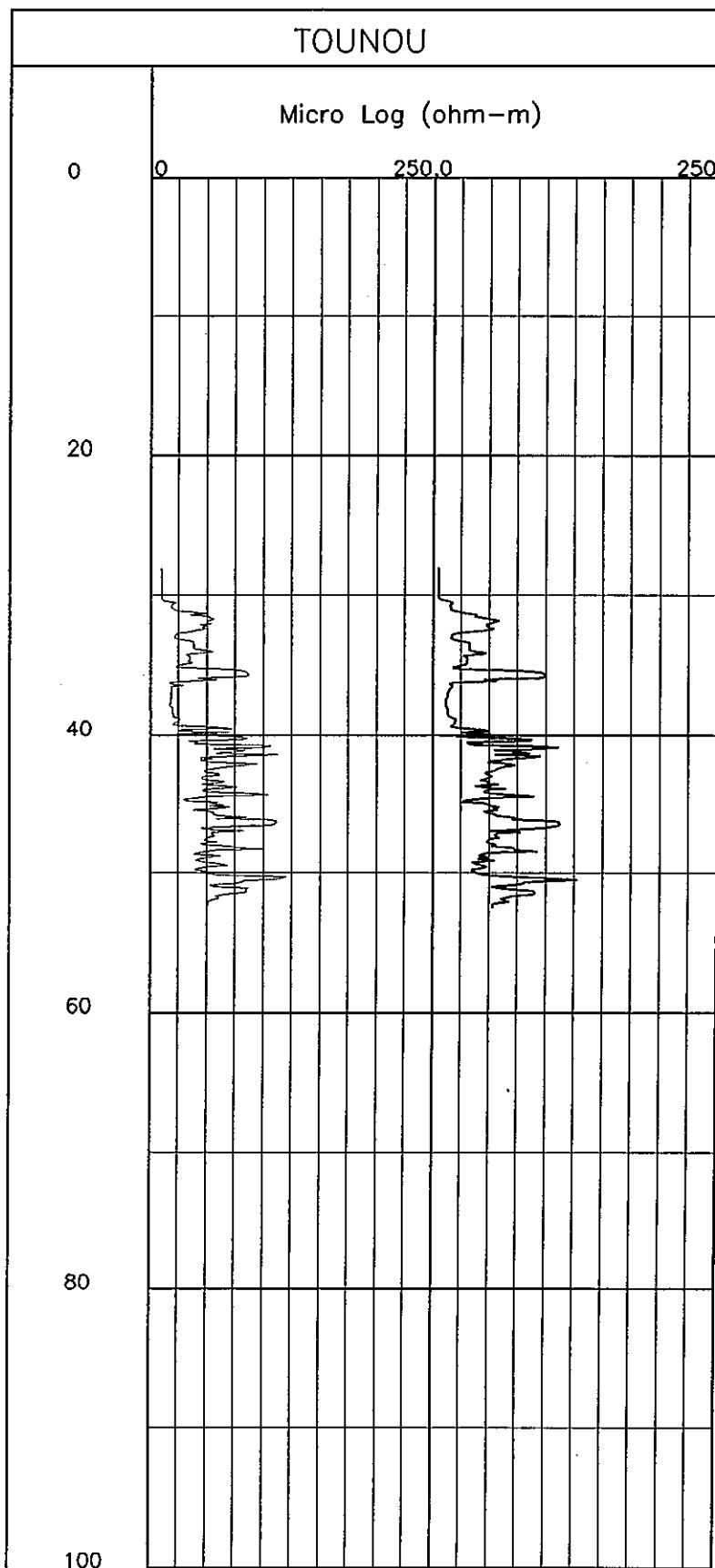


図 3.2.3 マイクロ見掛け抵抗曲線図

### 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、低密度から高密度区間まで多く変化している。

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 層 30.5 ~ 40.0m	2.08 g/cm <sup>3</sup>
H <sub>1</sub> 層 40.0 ~ 52.0m	2.38 g/cm <sup>3</sup>
H <sub>2</sub> 層 ツール降下不能の為、未測定	

本孔で測定された密度は、深度40m 付近を境として浅深部は低密度区間で、深度35m では1.48g/cm<sup>3</sup>まで低下している。しかし深度40m より深部は、2.4 g/cm<sup>3</sup>前後と高密度区間である。この変化は、著しい岩層の変化に起因し、密度値の低下は亀裂や変質によるものと推定される。

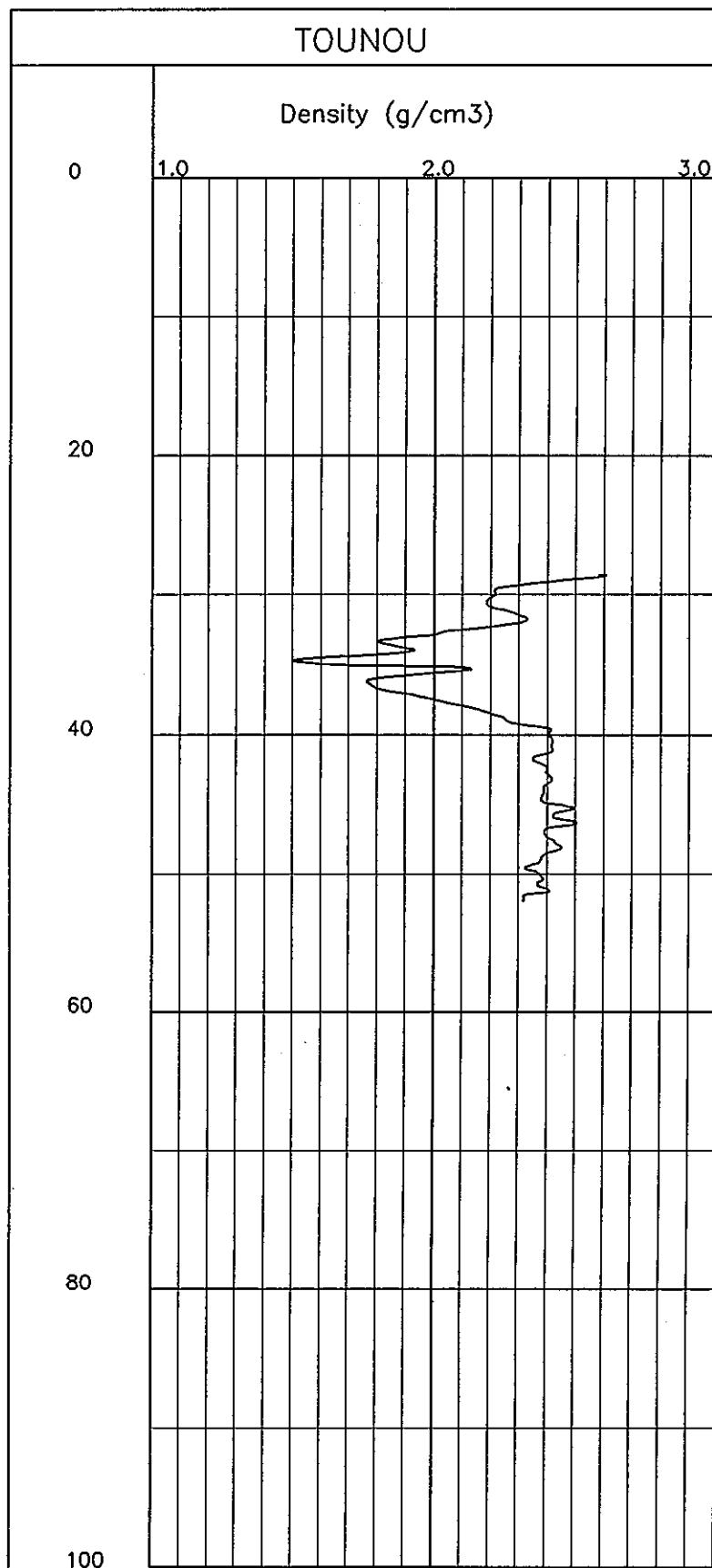


図 3.2.4 密度曲線図

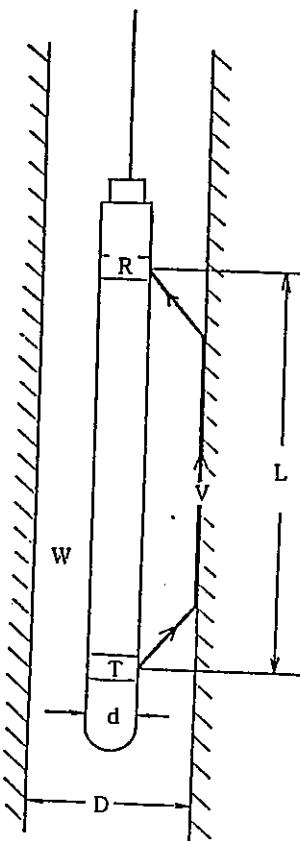
### 3.2.5 音波検層結果

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 (43mm)

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

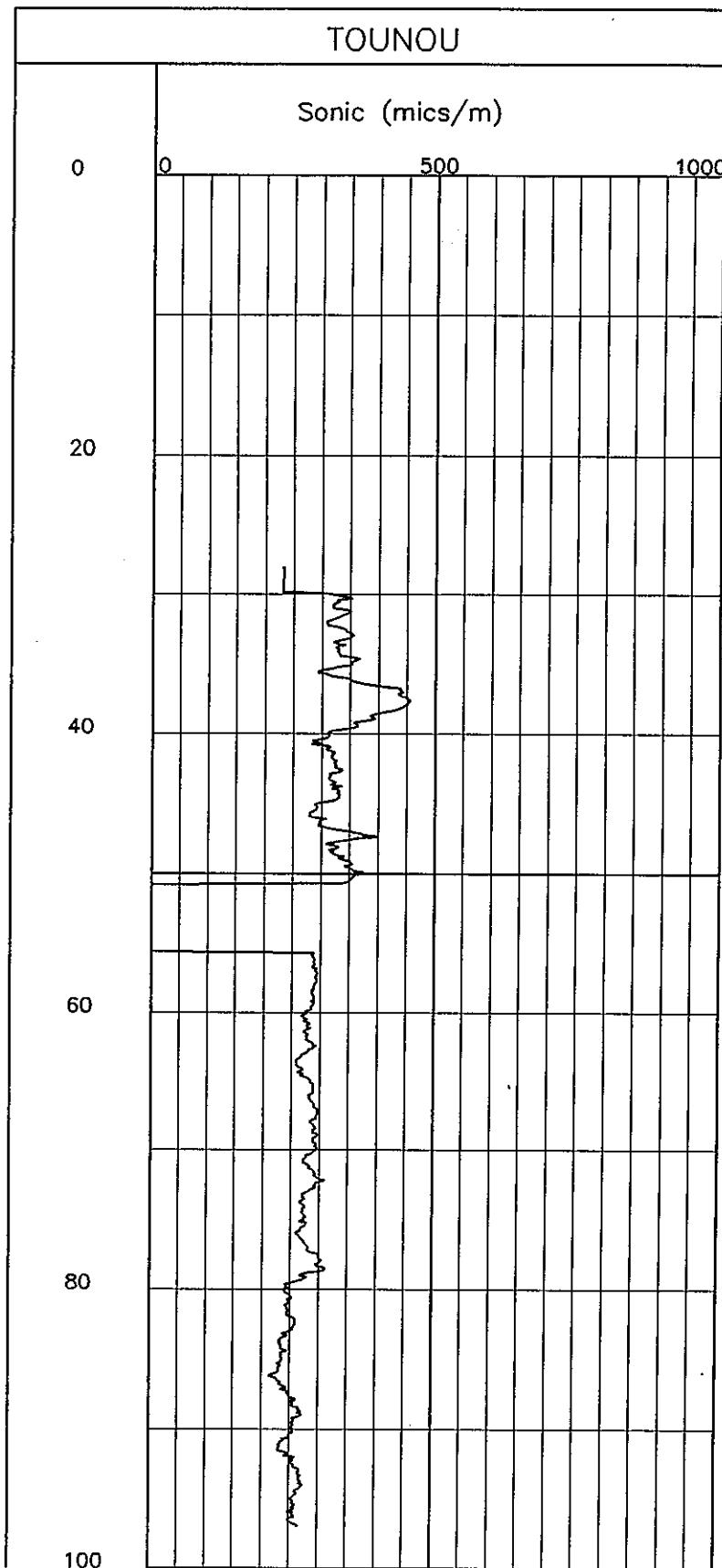


図 3.2.6 音波検層曲線図

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

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、4.0km/sec以下の低速度値を示す区間が大部分で、特に3.5km/sec以下を示す箇所は、亀裂の発達の予想される区間である。

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 層      30.5 ~ 40.0m	3.1 km/sec
H <sub>1</sub> 層    40.0 ~ 79.0m	3.6 km/sec
H <sub>2</sub> 層    79.0 ~ 99.0m	4.3 km/sec

各層の平均的なP波速度は、3.1~4.3 km/secで、T層からH層へと深くなるに連れてP波速度が高くなっている。この理由として、深い岩層ほど強く圧密を受けており、それ作用と思われる。

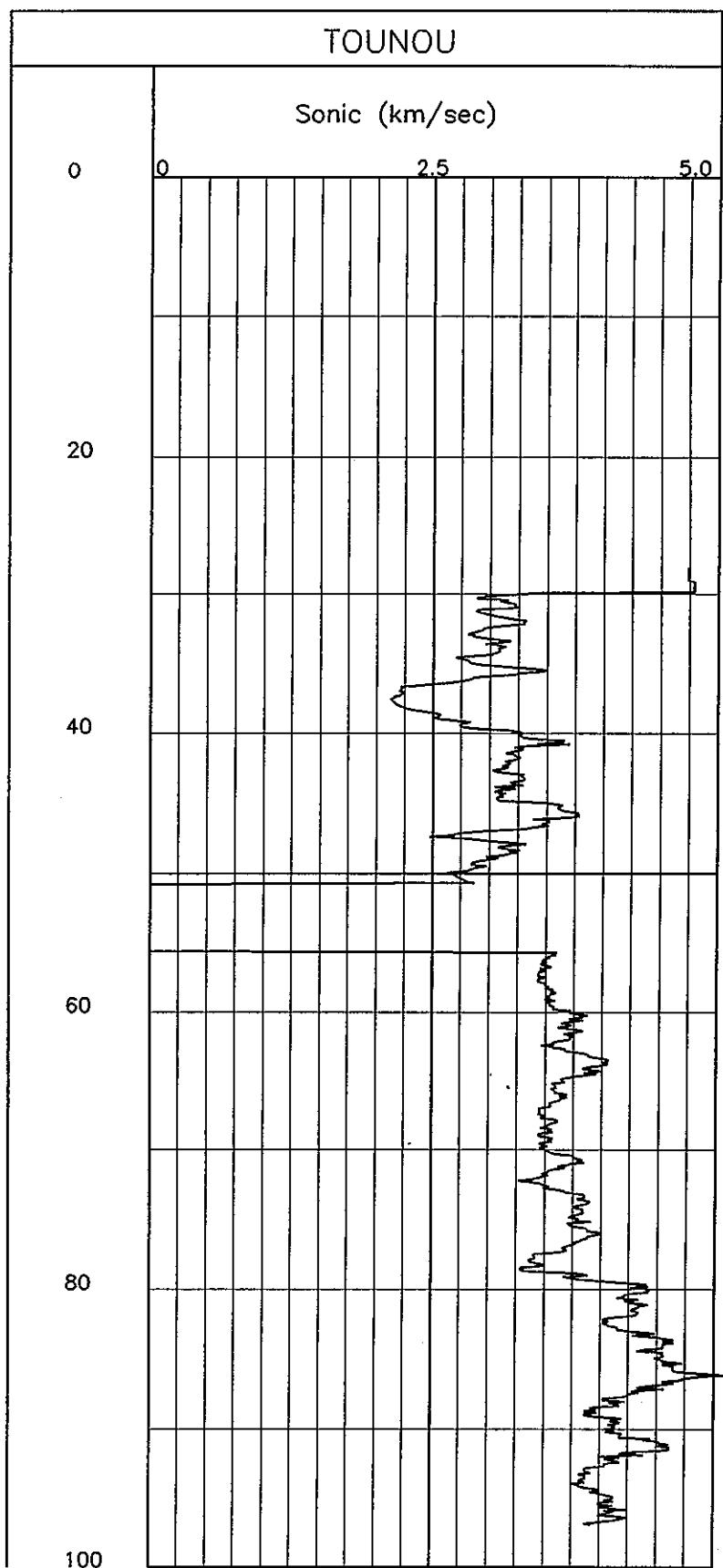


図 3.2.7 P波速度曲線図

### 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30.5～101.2m間で 98.0mm 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
30.5 ~ 99.0m	94.5 mm	81.0 mm

本孔の孔径は、X方向・Y方向の平均値とも掘削孔径を大きく下回り、特にY方向は著しい。理由として傾斜井であることとケーシング内のデータも含まれているためである。

次に深度35m, 40～48m, 55m, 70m, 78m, 89m 付近での変化が大きく、中でも深度 45m付近が最大107mm まで拡大している。

しかし、大きい変化が予想されるのは、測定中崩壊の危険が有るためケーシング内のデータになった深度 48～55m 区間であり、この区間からの逸水の可能性が高いと予想される。

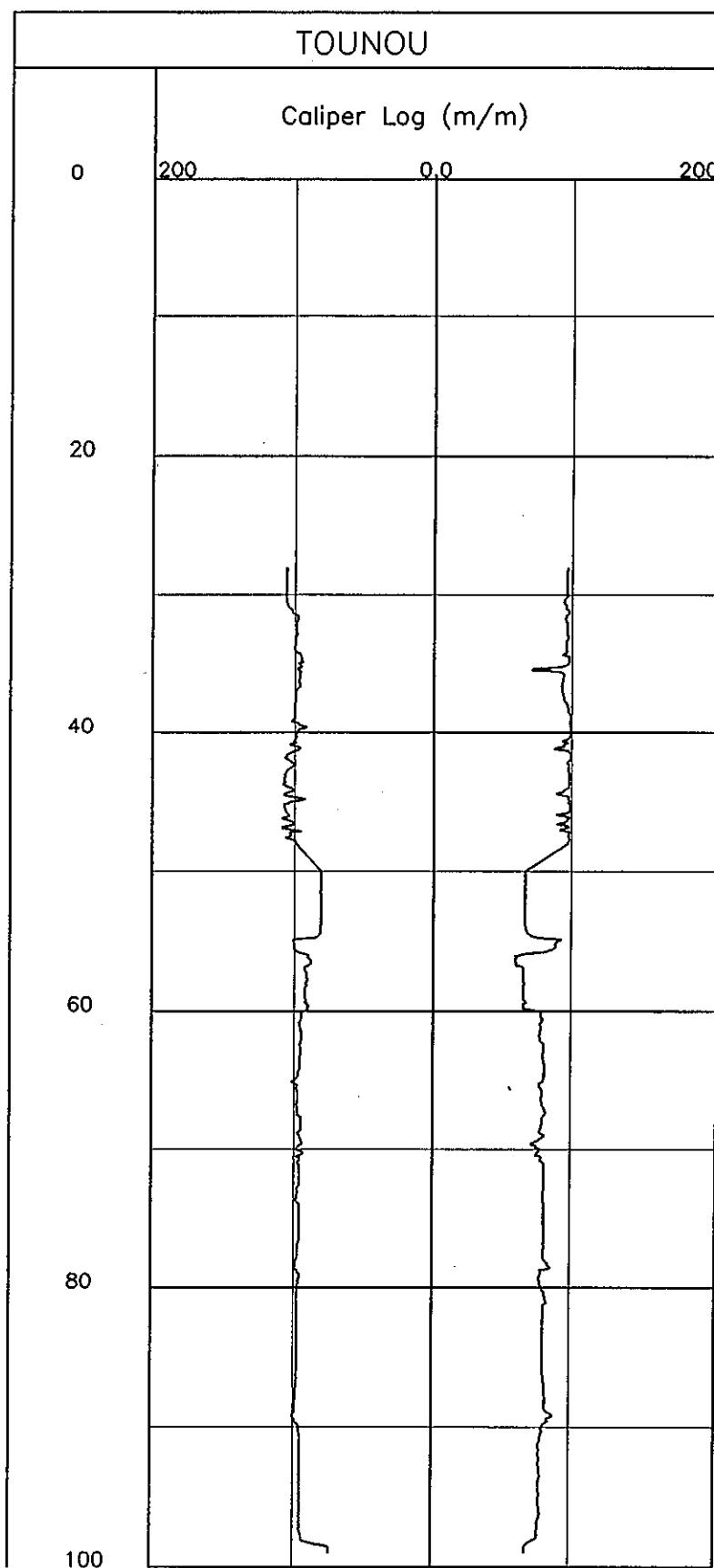


図 3.2.8 孔径検査曲線図

### 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10%以上と比較的高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。

$$NL\% = 10 \left[ (-0.000128803 - 0.0000459006 \times \text{孔径}) \times \text{中性子強度} + \log 58 \right]$$

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 層	30.5 ~ 40.0m	39.3 %
H <sub>1</sub> 層	40.0 ~ 79.0m	22.9 %
H <sub>2</sub> 層	79.0 ~ 98.5m	14.5 %

深度37m付近の中性子強度が最も低く、地層孔隙率が49.5%に達する。中性子強度が低い箇所は、亀裂の発達しているゾーンと良く一致している。

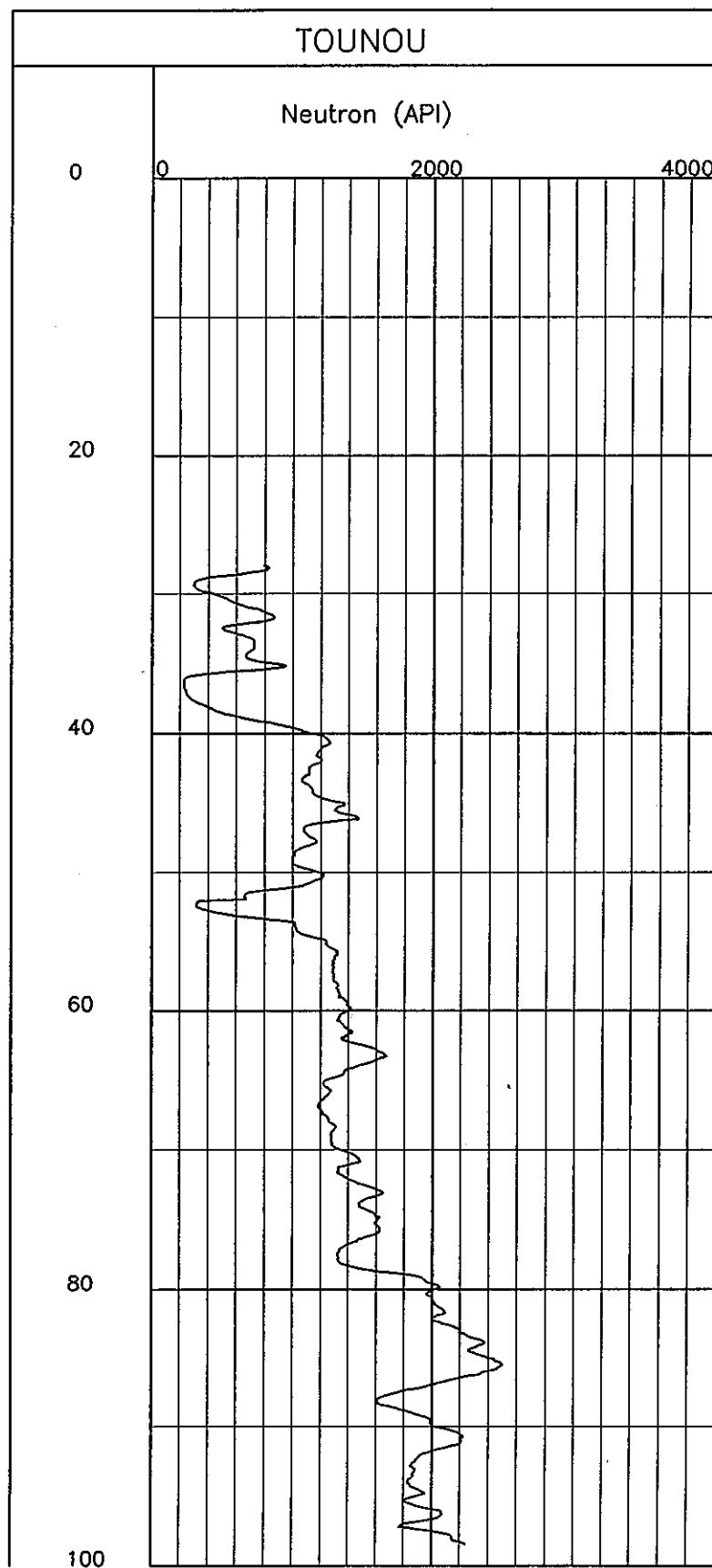


図 3.2.9 中性子強度曲線図

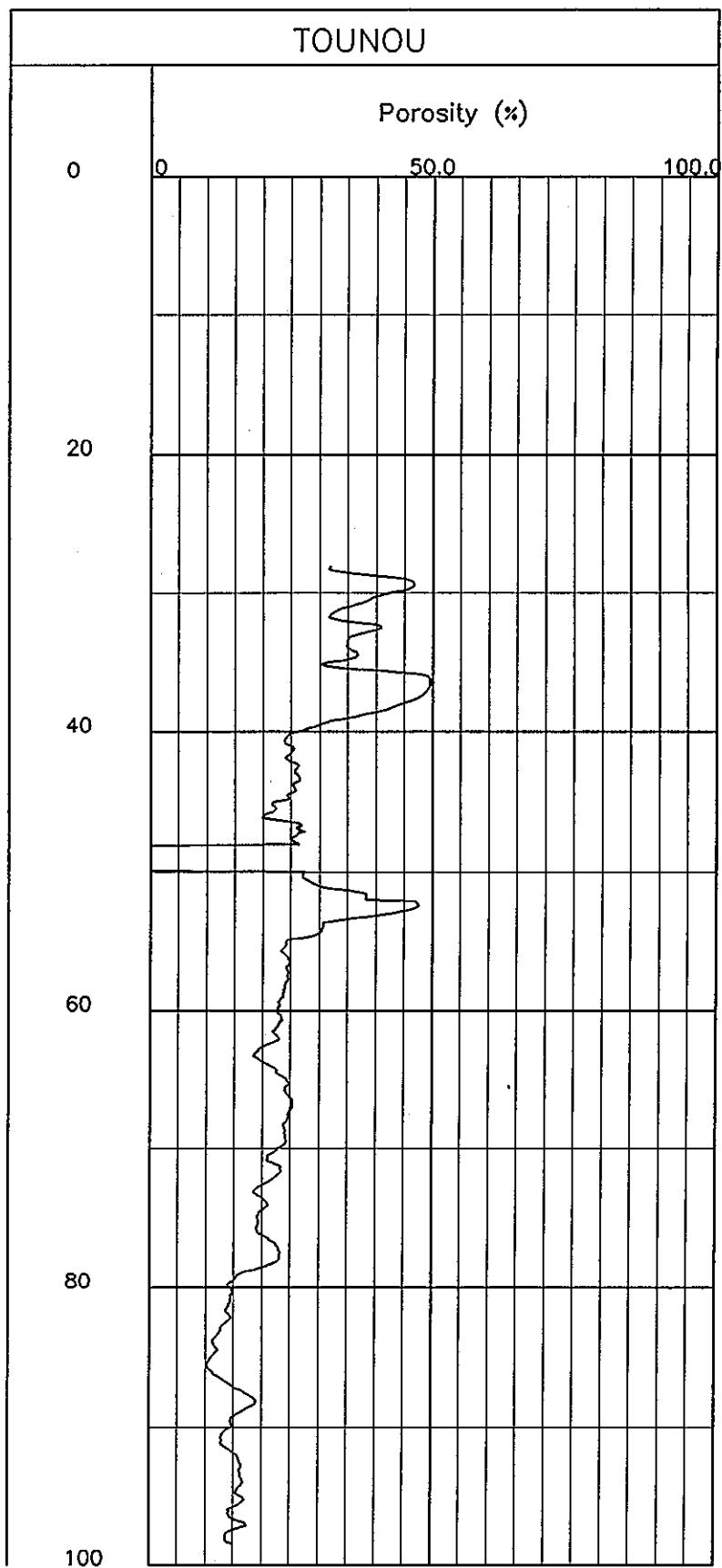


図 3.2.10 孔隙率曲線図

### 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 180～5870 APIと一部を除き、200API以上が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 層      30.5 ~ 40.0m	3010 API (547.3CPS)
H <sub>1</sub> 層    40.0 ~ 79.0m	323 API ( 58.7CPS)
H <sub>2</sub> 層    79.0 ~ 98.5m	417 API ( 75.8CPS)

$$1 \text{ CPS} = 5.5 \text{ API}$$

本孔のガンマ線強度は、上記に平均値を示したように、非常に高いガンマ線強度を示し、特にT層ではウラン鉱体の胚胎する区間と予想される。

のことより、本孔の岩層には多くの放射性鉱物が含有しているものと予想される。

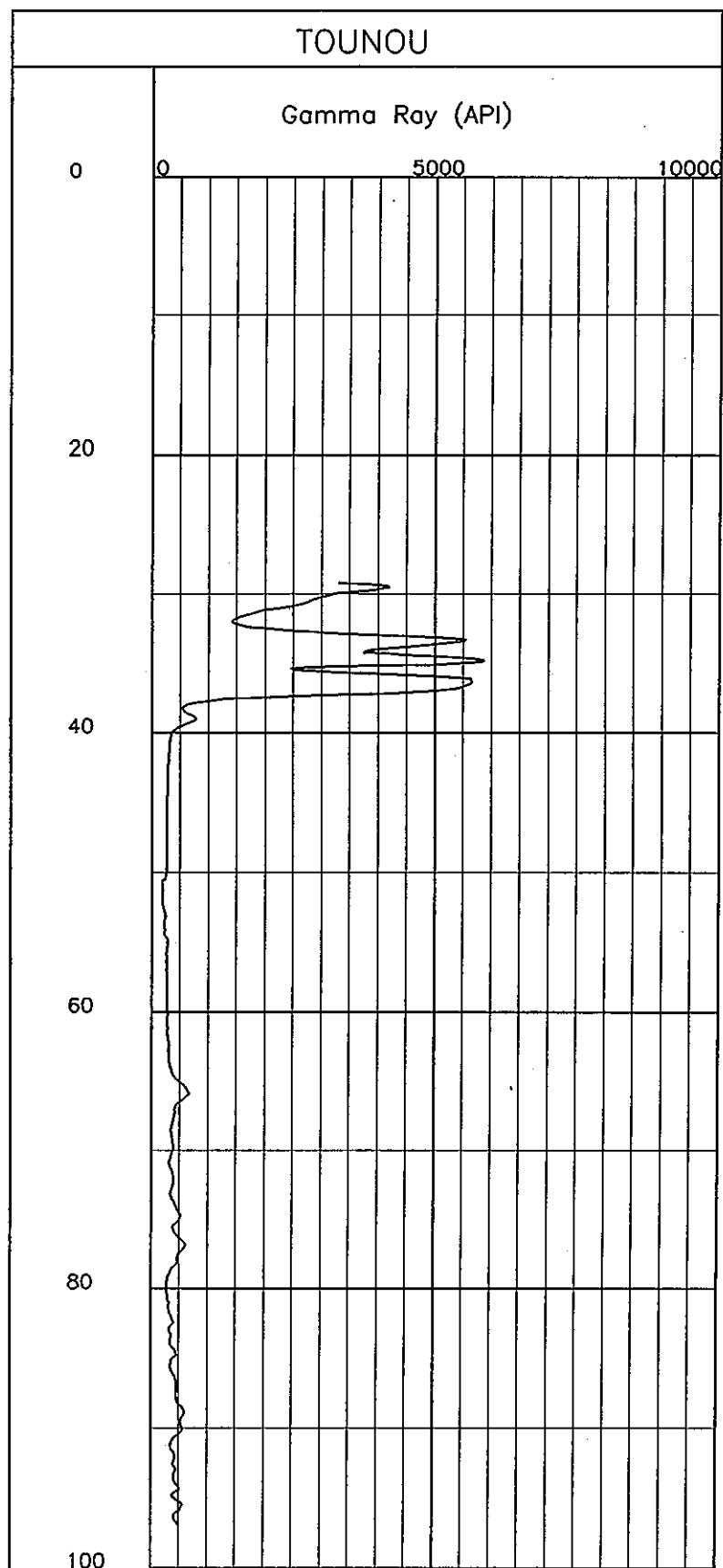


図 3.2.11 ガンマ線強度曲線図

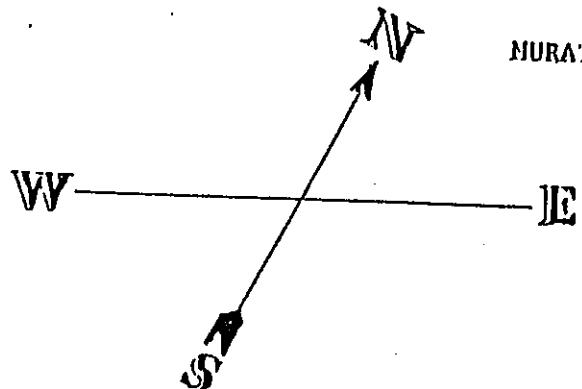
### 3.2.9 孔曲り測定

孔曲り測定結果については、測定概念図を図3.2.12に、測定結果一覧表を表3.2.1に示す。

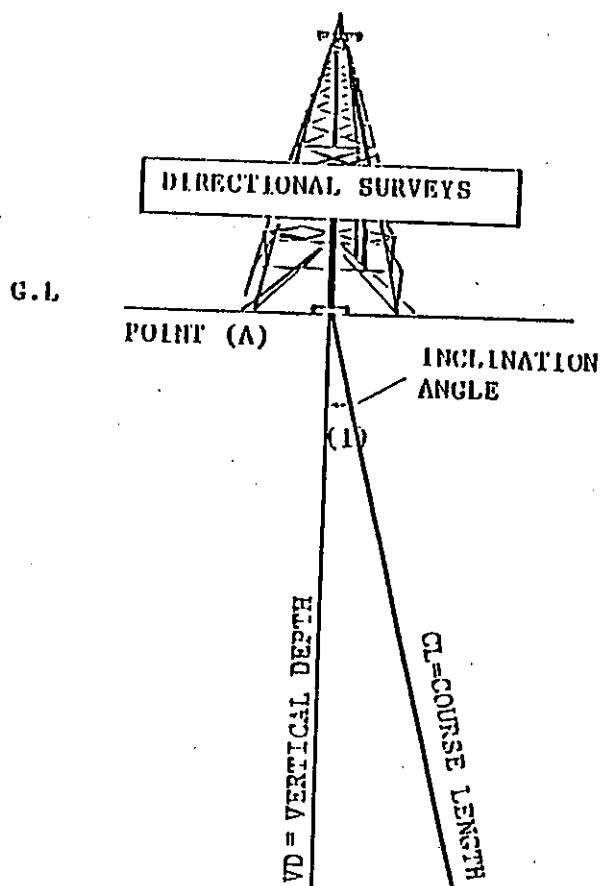
表 3.2.1 孔曲がり測定結果

掘進長m	傾斜角	方 位 角	C. D m	C. D m	D m	D m
60	46 °	N 0° ( 0° )	43.16	41.68	0° 0	43.16
70	46 °	N 0° ( 0° )	50.33	48.65	0° 0	50.33
80	46 °	N 0° ( 0° )	57.52	55.60	0° 0	57.52
90	46 °	N 0° ( 0° )	64.71	62.55	0° 0	64.71

表 3.2.1のよう、方位角は真北に偏位しており、深度に対する偏位の割合は傾斜角 46 ° と一定な為、等増になっている。



EXAMPLE



KNOWN :  $CL = 100 \text{ m}$   
 $I = 12^\circ$   
 $A = 50^\circ$

UNKNOWN :  $VD$   
 $D$   
 $L$

$$CD = CL \times \sin I \\ 100 \times \sin 12 \\ 20.79 \text{ m}$$

$$VD = CL \times \cos I \\ 100 \times \cos 12 \\ 97.81 \text{ m}$$

$$D = CD \times \sin A \\ 20.79 \times \sin 50 \\ 15.93 \text{ m}$$

$$L = CD \times \cos A \\ 20.79 \times \cos 50 \\ 13.36 \text{ m}$$

UNKNOWN  $VD = 97.81 \text{ m}$   
 $D = 15.93 \text{ m}$   
 $L = 13.36 \text{ m}$

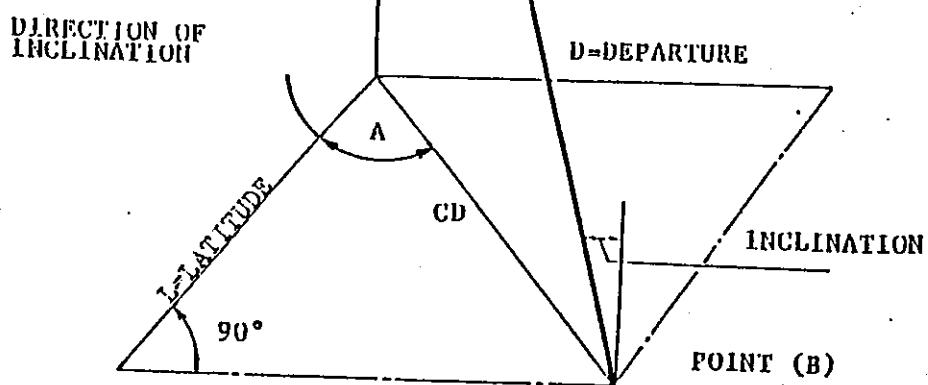
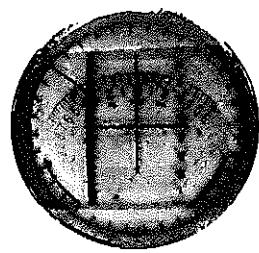
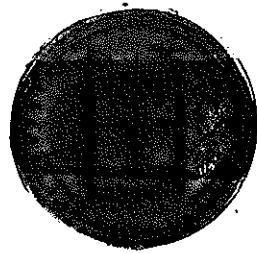


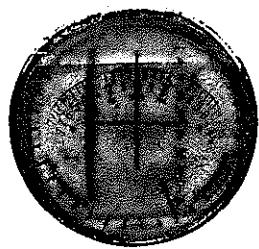
図 3.2.12 孔曲り測定概念図



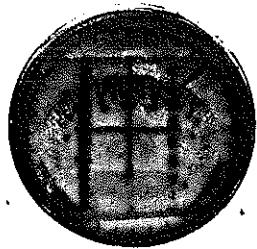
60m



70m



80m



90m

図 3.2.13 孔曲り測定結果 (フィルム)

### 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、 $S_n \cdot L_n \cdot \text{マイクロ比抵抗}$ 毎に、下記の近似式を用いて計算し、その結果を図化した。（図3.3.2～3.3.4）

#### $L_n$ の近似式

$$R_t (\text{Long N}) = 10^{(0.889 \log Y + 0.041)} \times 61 \times 41.7 / (\text{温度} + 21.5)$$

#### $S_n$ の近似式

$$R_t (\text{Short N}) = 10^{(0.989 \log Y - 0.030)} \times 61 \times 41.7 / (\text{温度} + 21.5)$$

#### マイクロの近似式

$$R_t (\text{マイクロ N}) = 10^{(1.033 \log Y + 0.001)} \times 61 \times 41.7 / (\text{温度} + 21.5)$$

それぞれのY：比抵抗値/孔内水の比抵抗値

また、 $S_n$  のフォーメーション・ファクターも算出し、図3.3.5に図示した。

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)

NORMAL DEVICE  
NO INVASION

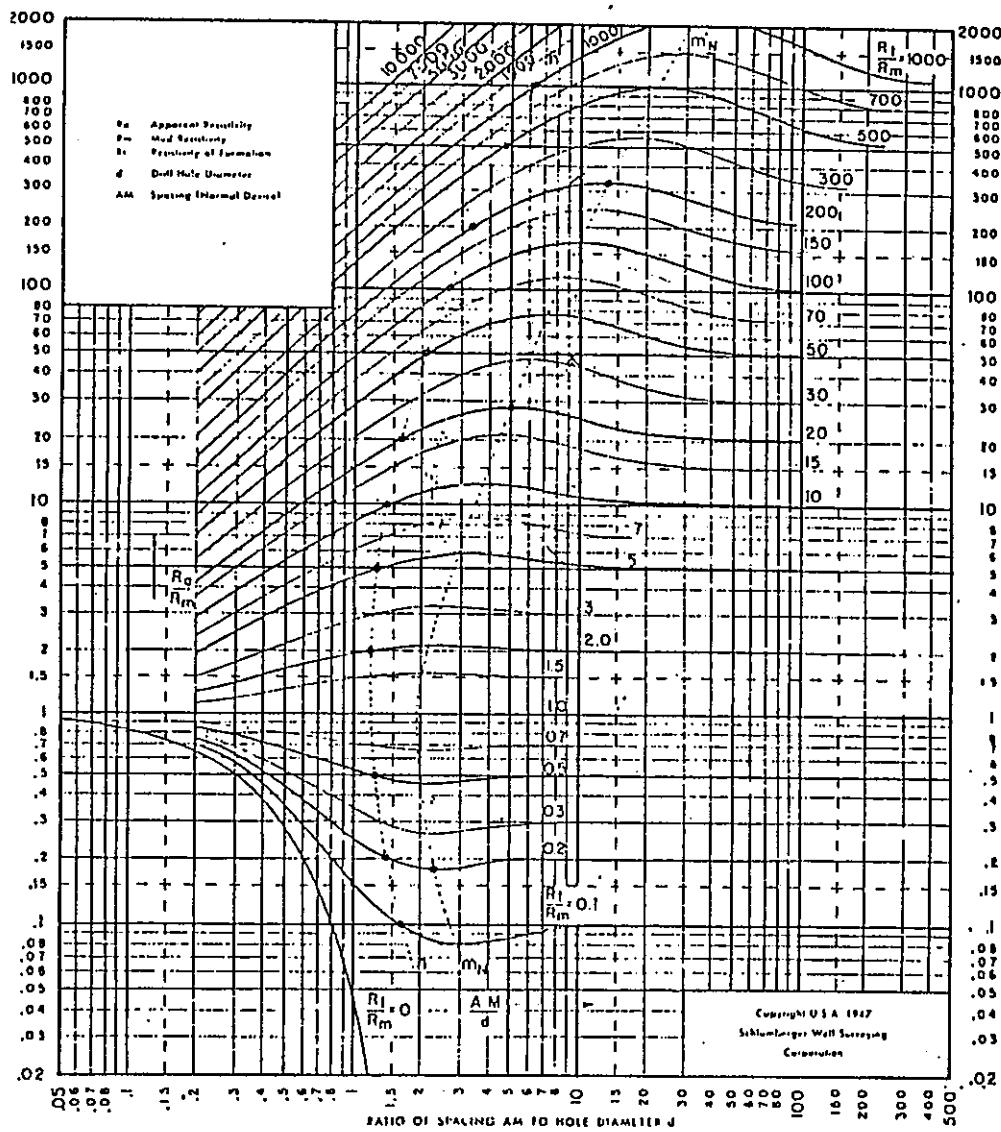


図 3.3.1 比抵抗偏差曲線

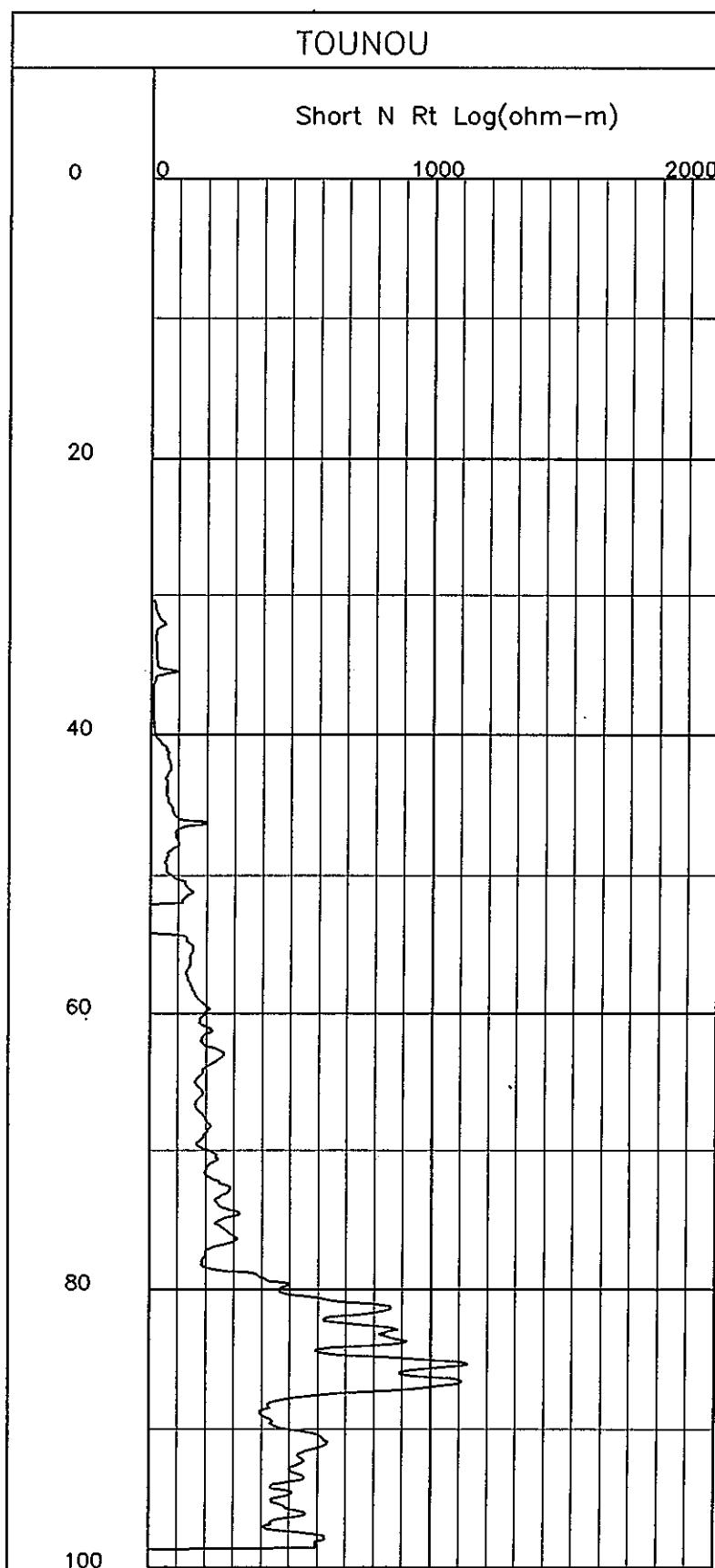


図 3.3.2 ショート・ノイズ解析比抵抗曲線図

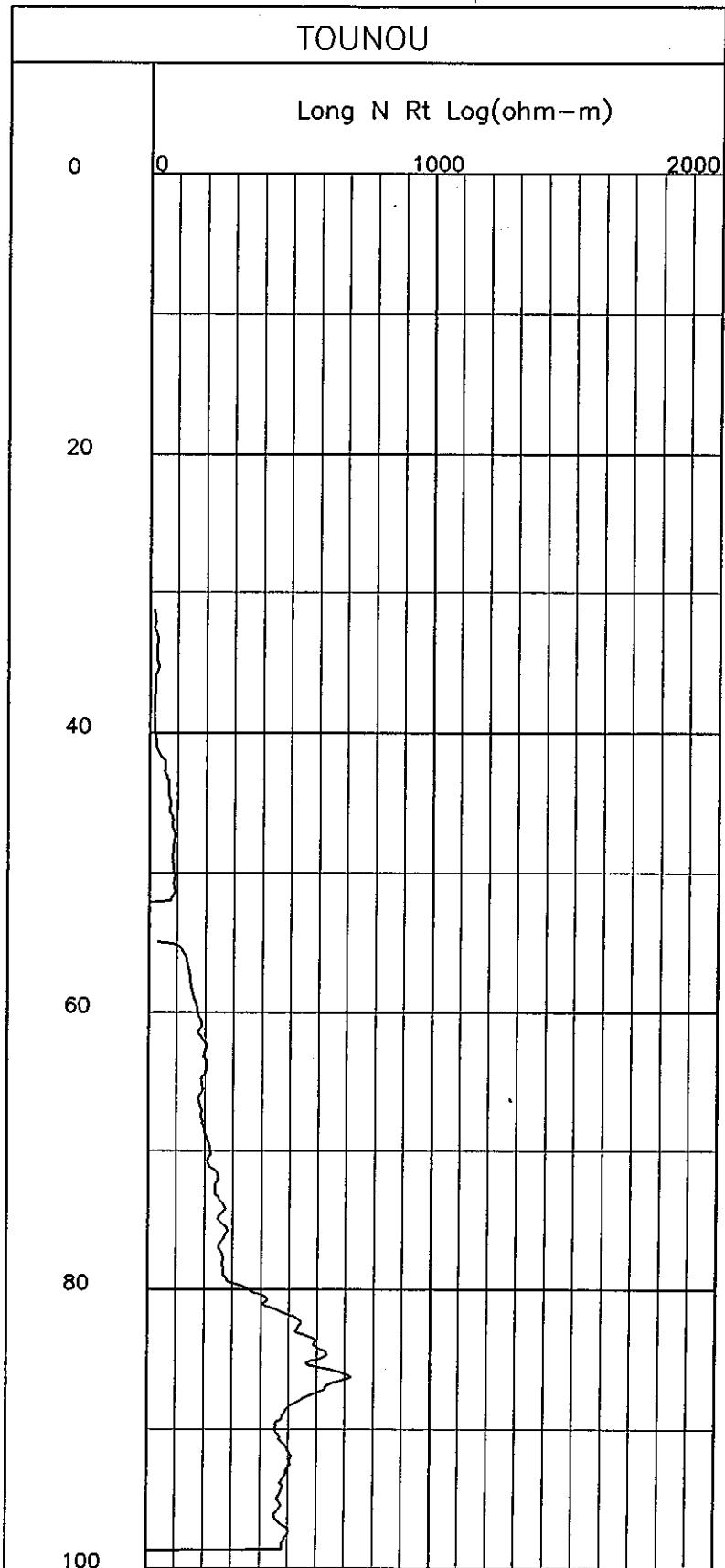


図 3.3.3 ロン・ルル 解析比抵抗曲線図

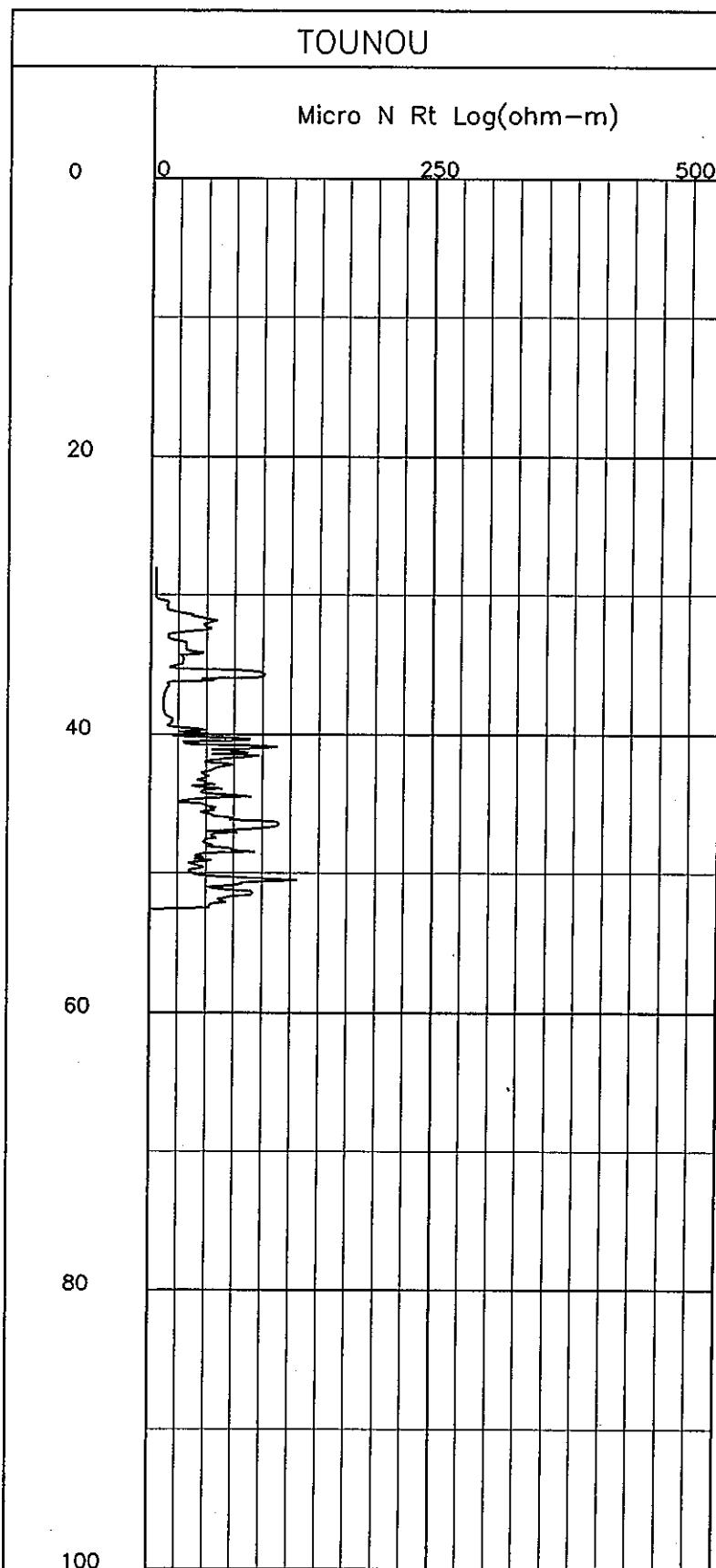


図 3.3.4 ライカ解析比抵抗曲線図

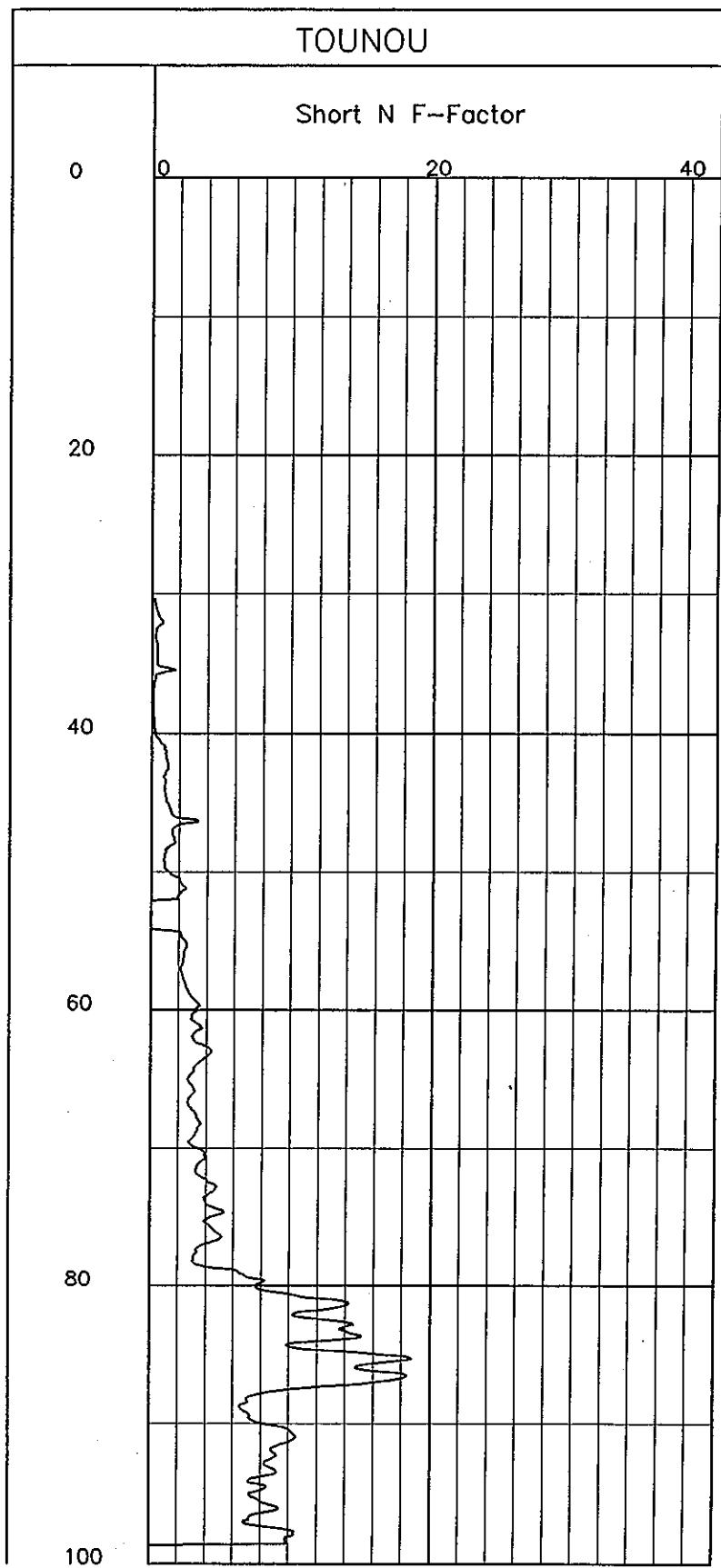


図 3.3.5 ショート・ルルル フォーメーション フラクト-

### 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、各検層の相間図（クロスプロット）を示した。

クロスプロットは、0.1 m 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－ガンマ線強度プロット図（図3.3.6）

比抵抗値とガンマ線強度の間には、逆相関が認められるものも、比較的弱い。

##### ② 中性子孔隙率－P波速度プロット図（図3.3.7）

中性子孔隙率とP波速度の間には、明瞭な逆相関が認められる。

##### ③ 中性子孔隙率－密度プロット図（図3.3.8）

中性子孔隙率と密度の間には、逆相関が認められる。

尚、相関図中の印は、深度区分を示している。

印・ 深度 40m以浅 、 印・ 深度 40m以深

#### (2) 孔隙率による岩相の相関性

##### ① $\phi_n$ (中性子孔隙率) - $\phi_f$ (密度孔隙率) プロット図（図3.3.9）

縦軸の  $\phi_f$  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  $\phi_n$  は中性子検層より算出した孔隙率である。

$$\phi_f = (F_m - F_b) / (F_m - F_t) \times 100$$

出典 : Schumberger(1972a)

$\phi_f$  : 密度検層から推定した孔隙率 (%)

$F_m$  : 地層のマトリックスの密度

$F_f$  : 流体の密度 (1.0g/cm<sup>3</sup>)

$F_b$  : 地層の密度

中性子孔隙率・密度孔隙率とも、変化幅は大きく広い帶或に分布し、最大は50%以上に達している。

##### ② $\phi_s$ (音波孔隙率) - $\phi_n$ (中性子孔隙率) プロット図（図3.3.10）

縦軸の  $\phi_s$  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  $\phi_n$  は中性子検層より算出した孔隙率である。

$$\phi_s = (S_m - V_p) / (S_m - F_s) C_p \times 100$$

出典 : Schumberger(1972a)

$\phi_s$  : 音波検層から推定した孔隙率 (%)

$S_m$  : 地層のマトリックスの速度 (5.6km/s)

$F_s$  : 流体の速度 (1.5km/s)

$V_p$  : 地層の速度

$C_p$  : コンパクションファクター

$C_p$  : コンパクションファクター を2.3 して、音波孔隙率と中性子孔隙率は、1対1の正の相関を示す。

TOUNOU

RESIST.-GAMMA RAY

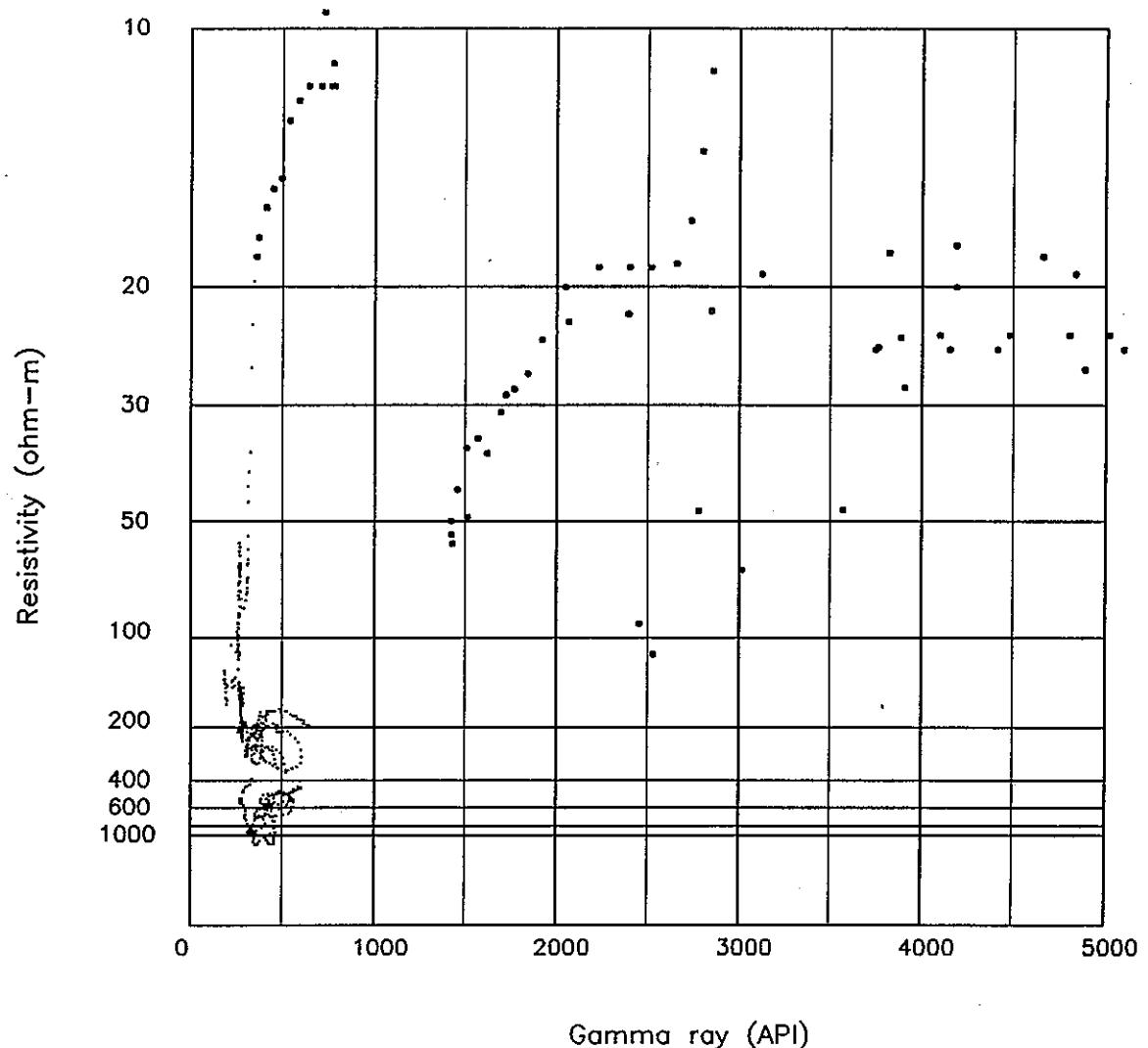


図 3.3.6 比抵抗-ガンマ線強度プロット図

TOUNOU

VELOCITY-NEUTRON

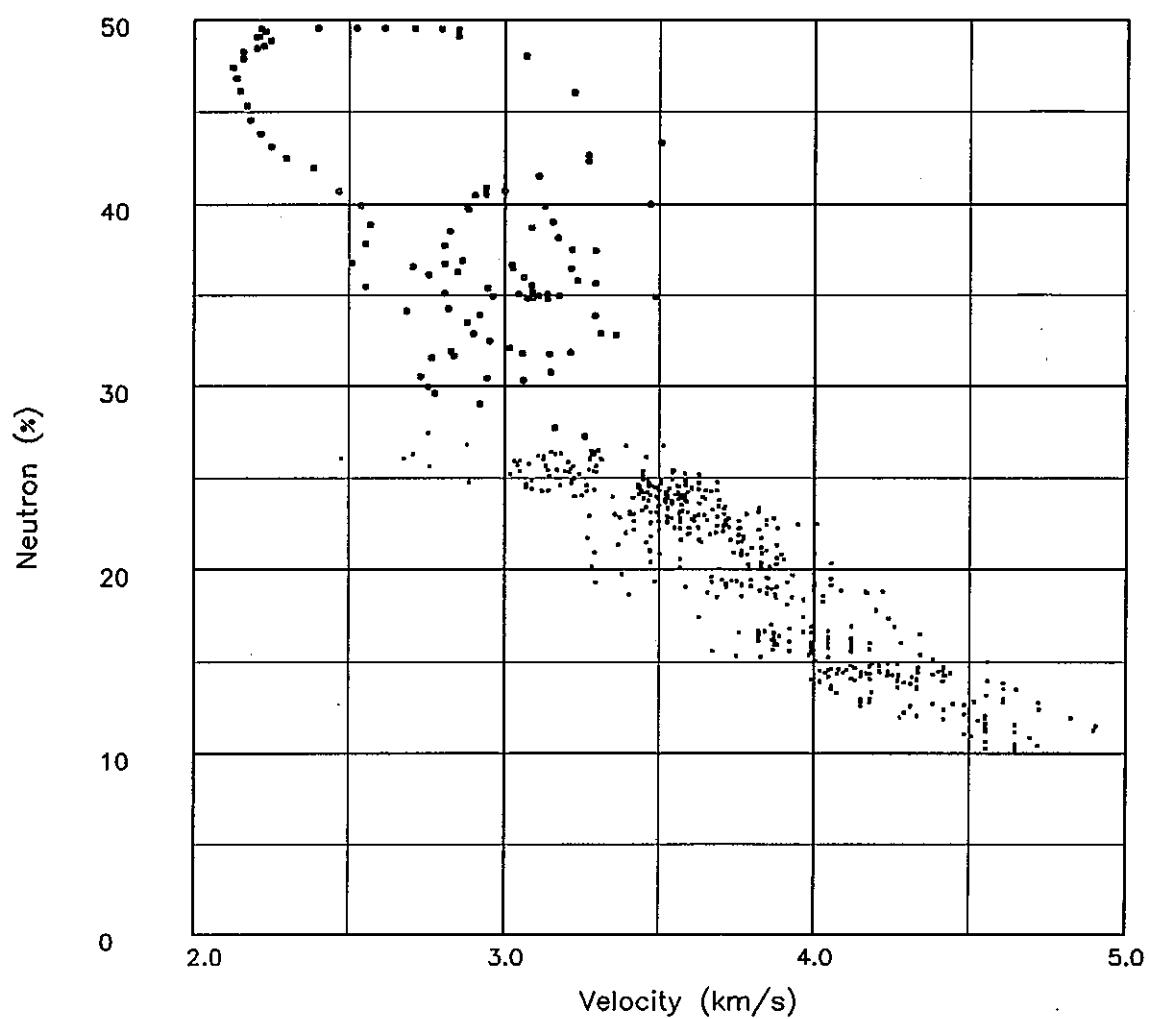


図 3.3.7 中性子孔隙率-P波速度プロット図

TOUNOU

NEUTRON - DENSITY

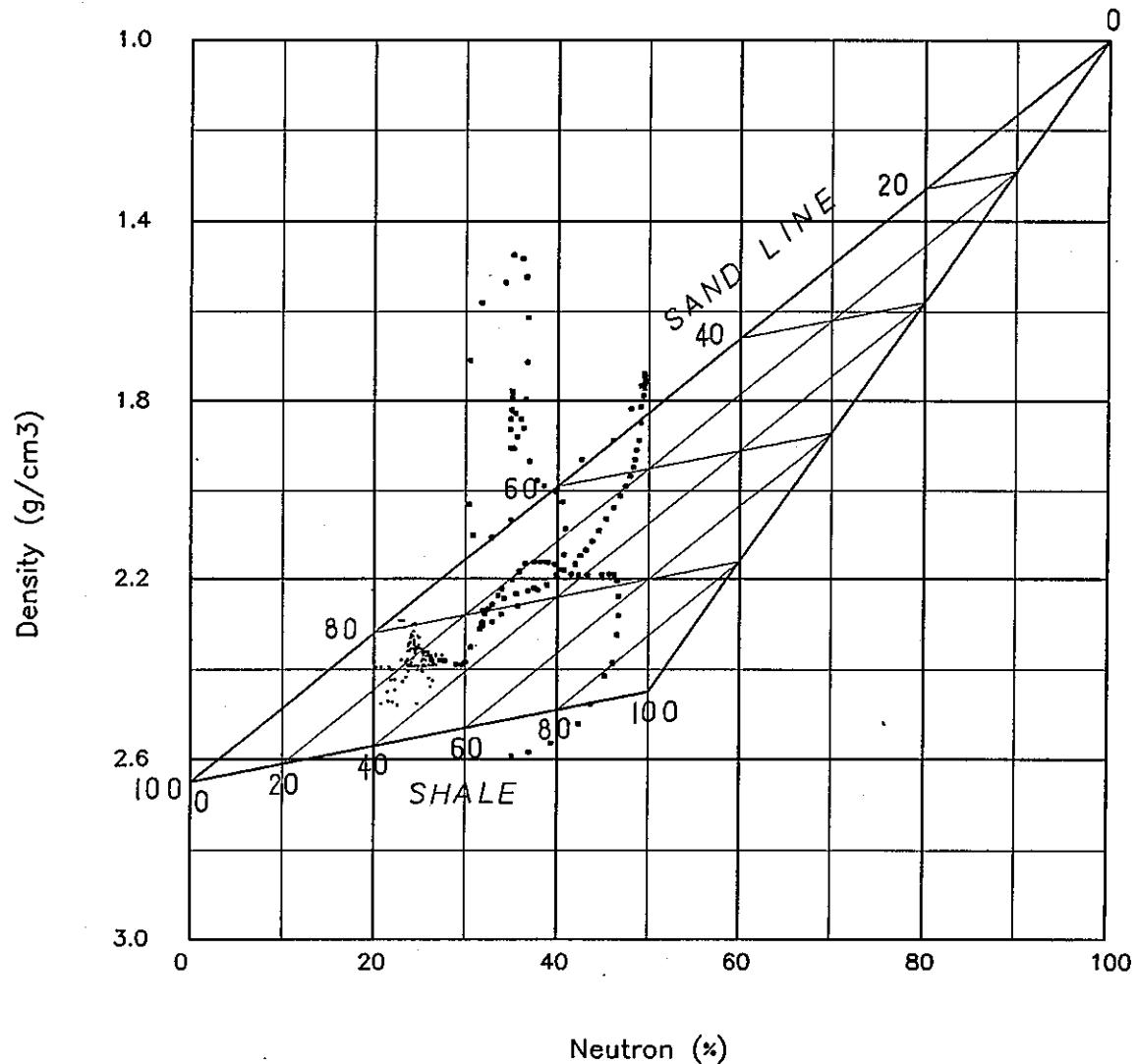


図 3.3.8 中性子孔隙率-密度プロット図

TOUNOU

NEUTRON - DENSITY

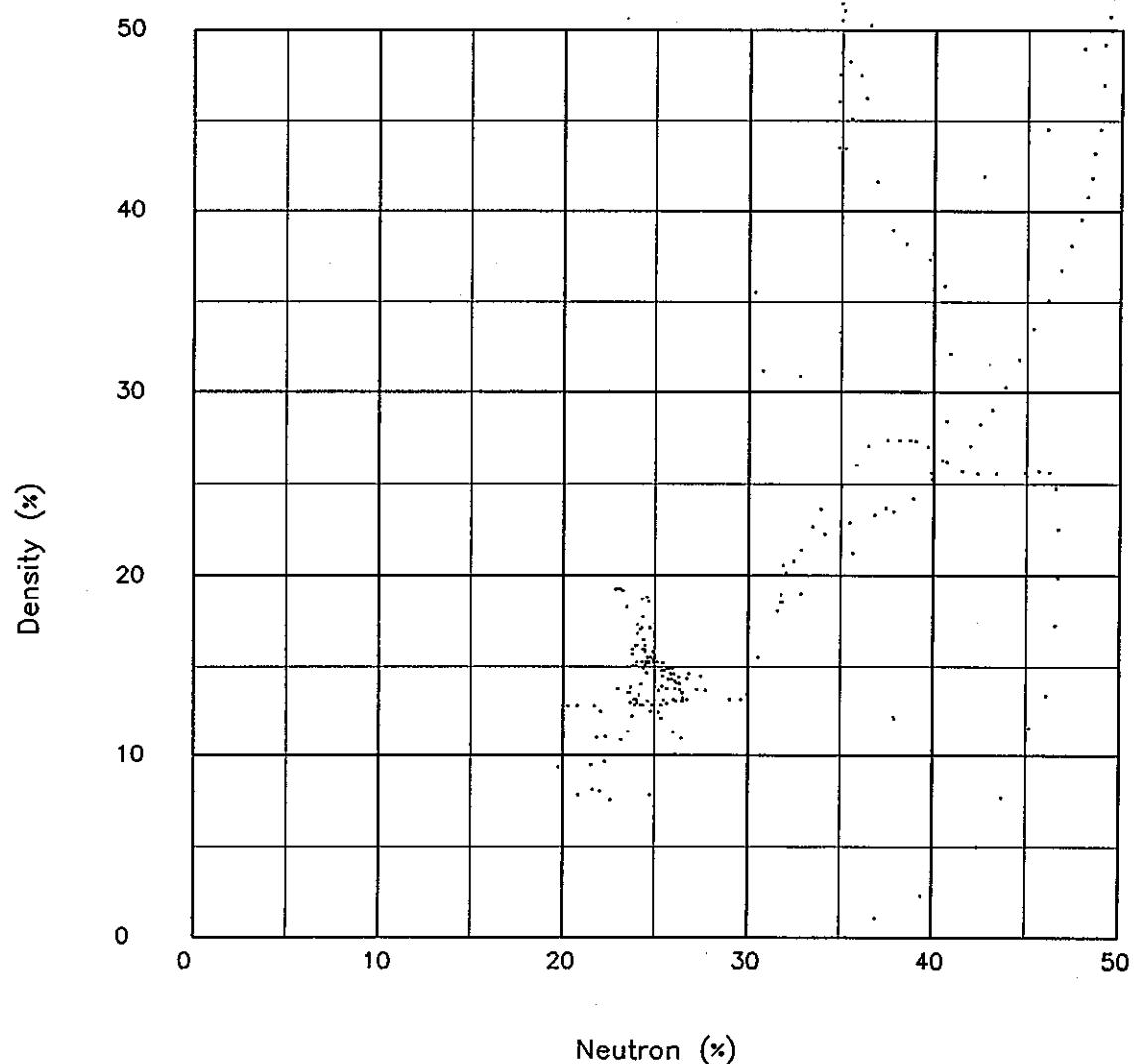


図 3.3.9 中性子孔隙率-密度孔隙率プロット図

TOUNOU

NEUTRON - SONIC

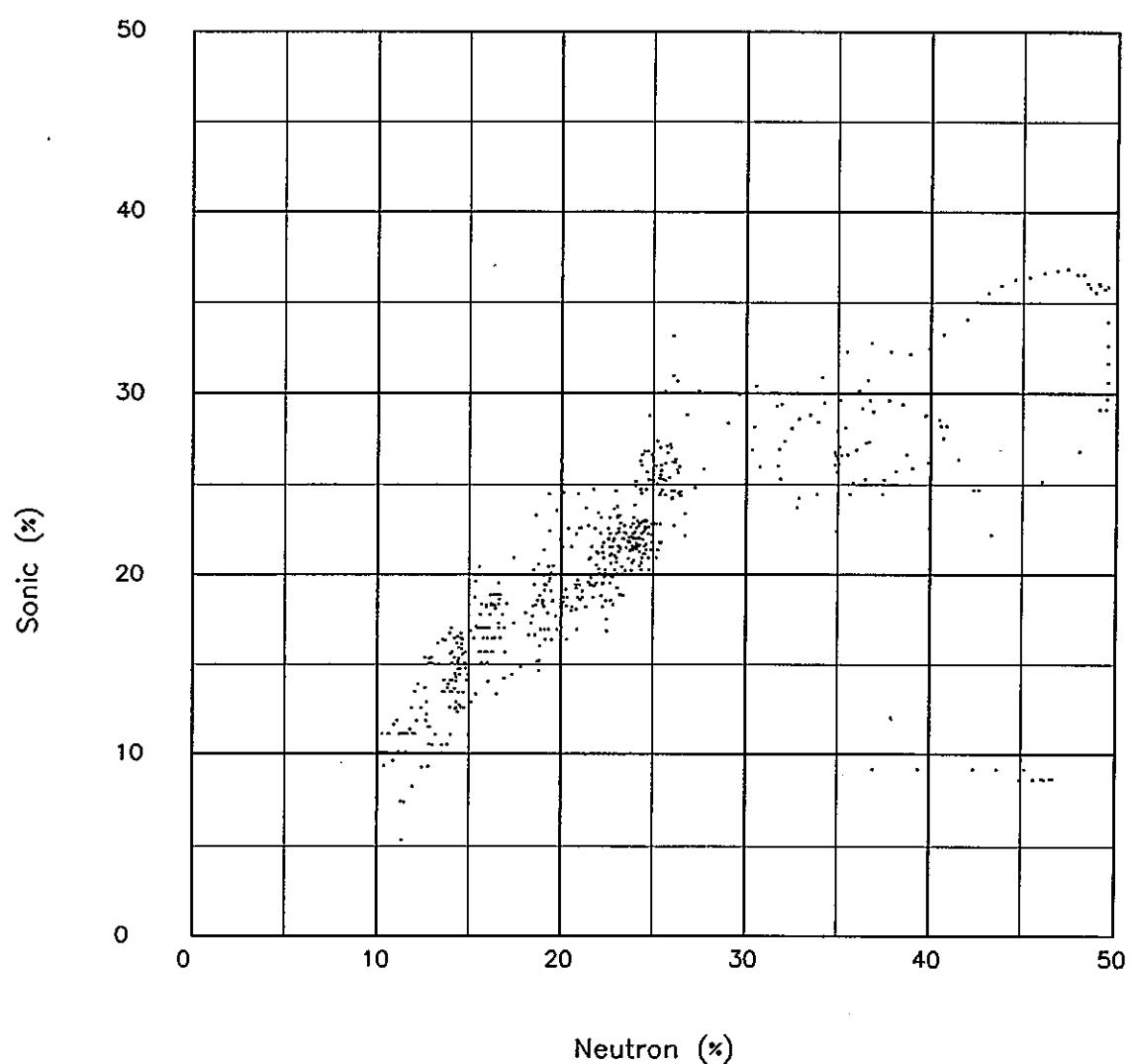


図 3.3.10 音波孔隙率－中性子孔隙率プロット図

#### 4. あとがき

今回の報告書「東濃鉱山KNA-6号孔における物理検層報告書」では、深度に沿って検層区間を3ヶ所に区分して、その物性値を示した。測定区間は、花崗岩類と第三紀層で構成され、それぞれに対比を成している。

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。

#### 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。

#### 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) Katube et al, GEOPHYSICS, VOL. 52 NO 3 1987