

TF A - 1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)

1998年2月

株式会社 物理計測コンサルタント

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒509-5102 岐阜県土岐市定林寺字園戸 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

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to :
Exploration and Mining Technology Development Section. Tono Geoscience
Center. Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 959-31,
Jorinji, Izumi-machi, Toki-shi, Gifu-kenn 509-5102, Japan

© 動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development
Corporation) 1998

TFA-1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)

1998年2月

株式会社 物理計測コンサルタント

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	4
3.1	物理検層作業概要	4
3.2	温度検層	9
3.3	電気検層	10
3.4	中性子検層	11
3.5	ガンマ線検層	13
3.6	孔径検層	14
3.7	密度検層	15
3.8	音波検層	16
4.	検層結果	18
4.1	物理検層結果	18
4.2	温度検層結果	18
4.3	電気検層結果	18
4.4	密度検層結果	22
4.5	音波検層	22
4.6	孔径検層結果	26
4.7	中性子検層結果	28
4.8	自然放射能検層（ガンマ線検層）結果	31
5.	解 析	33
5.1	物性値の相間性	33
5.2	物理検層データから算出した地層の透水性	42
6.	あとがき	62

図 目 次

図 2.1.1 調査位置図	2
図 2.1.2 東濃鉱山坑内図	3
図 3.1.1 物理検層作業概念図	6
図 3.1.2 温度検層概念図	9
図 3.1.3 電気検層概念図	10
図 3.1.4 中性子—孔隙率相関図	11
図 3.1.5 中性子検層概念図	11
図 3.1.6 ガンマ線検層概念図	13
図 3.1.7 キャリバー検層概念図	14
図 3.1.8 密度検層概念図	15
図 3.1.9 音波検層概念図	16
図 4.1.1 検層柱状図	19
図 4.1.2 温度曲線図	20
図 4.1.3 自然電位・見掛け比抵抗曲線図	21
図 4.1.4 密度曲線図	23
図 4.1.5 音波検層曲線図	24
図 4.1.6 P波速度曲線図	25
図 4.1.7 孔径検層曲線図	27
図 4.1.8 中性子強度曲線図	29
図 4.1.9 中性子孔隙率曲線図	30
図 4.1.10 ガンマ線強度曲線図	32
図 5.1.1 比抵抗—P波速度クロスプロット図	34
図 5.1.2 比抵抗—中性子（%）クロスプロット図	35
図 5.1.3 比抵抗—ガンマ—線強度クロスプロット図	36
図 5.1.4 中性子（%）—P波速度クロスプロット図	37
図 5.1.5 中性子（%）—ガンマ—線強度クロスプロット図	38
図 5.1.6 中性子（%）—密度クロスプロット図	39

図 5.1.7 中性子 (%) 一密度 (%) クロスプロット図	40
図 5.1.8 中性子 (%) 一音波 (%) クロスプロット図	41
図 5.2.1 中性子検層より算出したフォーメイション・ファクター	43
図 5.2.2 中性子検層より算出した透水係数	44
図 5.2.3 音波検層より算出した孔隙率	46
図 5.2.4 音波検層より算出したフォーメイション・ファクター	47
図 5.2.5 音波検層より算出した透水係数	48
図 5.2.6 密度検層より算出した孔隙率	49
図 5.2.7 密度検層より算出したフォーメイション・ファクター	50
図 5.2.8 密度検層より算出した透水係数	51
図 5.2.9 比抵抗偏差曲線図	53
図 5.2.10 ショート・ノルマル 解析比抵抗曲線図	54
図 5.2.11 ログ・ノルマル 解析比抵抗曲線図	55
図 5.2.12 ショート・ノルマル フォーメイション・ファクター	56
図 5.2.13 ログ・ノルマル フォーメイション・ファクター	57
図 5.2.14 ショート・ノルマル より算出した透水係数	58
図 5.2.15 ログ・ノルマル より算出した透水係数	59
図 5.2.16 推定動弾性係数検層図	61

表 目 次

表 3.1.1 物理検査作業工程表 (1)	4
表 3.1.2 物理検査使用機器一覧表 (1)	7
表 3.1.2 物理検査使用機器一覧表 (2)	8

公開資料
PNC TJ7586 98-002
1998年 2月

TFA-1号孔における物理検層作業報告書

松岡清幸* 櫻井 豊*

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、電気・音波・密度・中性子検層の他、温度・孔径・ガンマーライン検層の7種類を実施した。
3. 物理検層より、測定区間を大きく4つに分類し、それぞれの物性値について比較・検討した。

本報告書は、株式会社物理測定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 : 09C0671

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

室長 坪田 浩二

* (株) 物理測定コンサルタント

OPEN USE ONLY
PNC TJ7586 98-002
February 1998

[Geophysical Logging Report of
TFA-1 Drill Hole in Tono Mine]

Kiyoyuki Matsuoka * Yutaka Sakurai*

A b s t r a c t

1. The paper presents summarized information by the results of geophysical logging of TFA-1 drill hole, operated in Tono Mine, Toki City, Gifu Prefecture, Japan.
2. Geophysical logging are temperature, resistivity, sonic, density, caliper, neutron and gamma ray log surveying.
3. By the formation from geophysical logs, tertiary rocks may be devided into fore types.

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

Contract Number : 09C0671

PNC liaison : Tono Geoscience Center Geological Environment Research
Section - Section Chief Koji Tubota

* Geophysical Surveying CO.,Ltd.

1. はじめに

本調査は、岐阜県土岐市に位置する東濃鉱山内・北延N A T M連絡坑道に掘削されたTFA-1号孔において測定した物理検層結果についてまとめた。

TFA-1号孔は、月吉断層を貫いており、物理検層で得られた物性値とTFA-1号孔周辺（特に断層周辺）の諸物性との関連性について、解析結果に基づいて考察した。

2. 調査概要

2.1 一般事項

- (1) 調査件名 : 『T F A - 1 号孔における物理検層作業』
- (2) 調査場所 : 岐阜県土岐市泉町大字賤洞 1221-8
東濃鉱山 北延N A T M連絡坑道 T F A - 1 号孔
- (3) 調査期間 : 自 平成 9年11月 1日
至 平成 10年 2月 26日
- (4) 調査内容 : T F A - 1 号孔の測定作業並びにデータの整理及び解析
- (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

報告書担当 松岡 清幸
桜井 豊

2.2 調査位置図

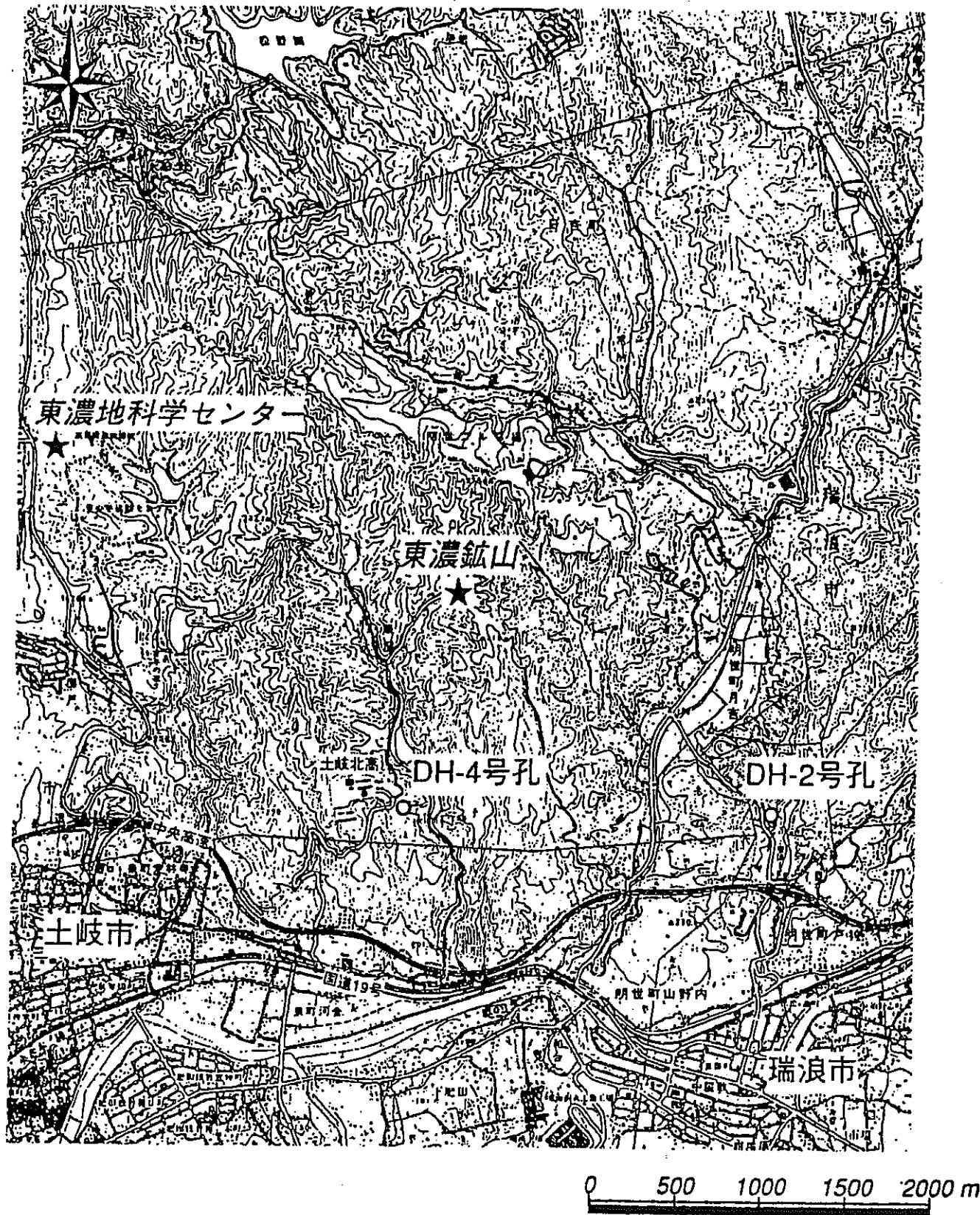


図 2.1.1 調査位置図

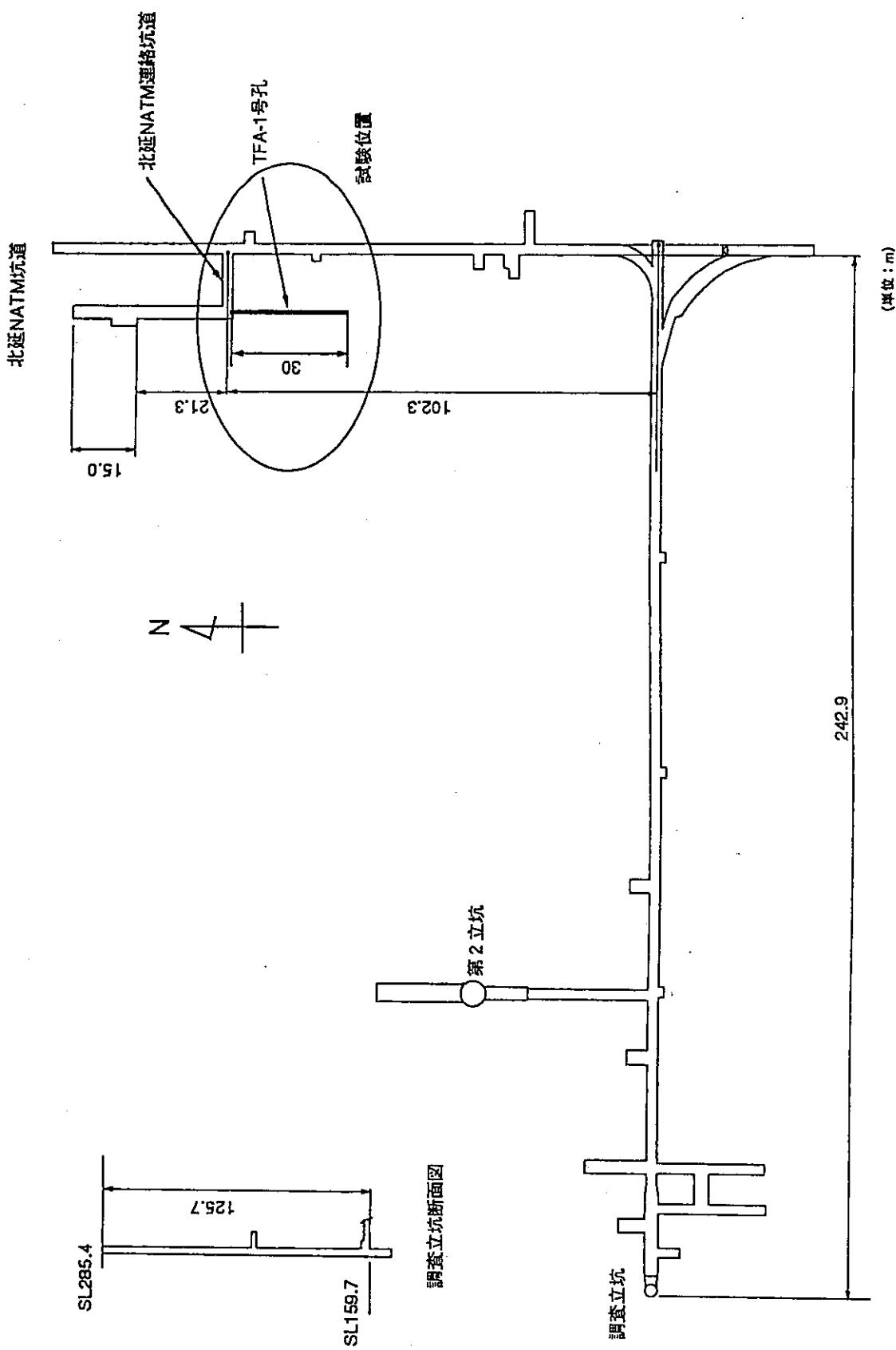


図 2.1.2 東濃鉱山坑内図

3. 物理検層

3.1 物理検層作業概要

物理検層作業は、平成9年11月5日から11月7日の3日間で実施した。孔内状況は、断層破碎帯を貫いた横孔である為、特に月吉断層付近の崩壊が著しく、厳しい測定作業を強いられた。

表3.1.1に物理検層作業工程表を示す。

表 3.1.1 物理検層作業工程表

測定種目	測定深度 (m)	測定年月日	測定時間	測定速度 (m/分)	記録	孔内状況
温 度	0.0 ～ 28.8	H9.11.05	9:12 ～ 9:30	m/min 1.6	1/50	・孔長 29.1m ・孔径 116 m/m ・孔内水 清水 比抵抗 54.6Ω -m (16.6 °C)
電 気	1.8 ～ 28.9	H9.11.05	10:05 ～ 10:20	m/min 1.8	1/50	
中性子・ ガンマ線	2.2 ～ 28.5	H9.11.05	14:10 ～ 14:25	1.8	1/50	
孔 径	1.9 ～ 28.2	H9.11.06	15:15 ～ 16:20	m/min 5.3	1/50	
密 度	0.0 ～ 28.8	H9.11.05	9:12 ～ 9:30	m/min 1.6	1/50	
音 波	31.3 ～ 400.7	H9.06.28	14:55 ～ 15:30	10.6	1/200 1/500	

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。

仕様書では、（1）電気検層（25cm, 100cmノルマル比抵抗、2.5cmマイクロ比抵抗、自然電位（S P））、（2）密度検層、（3）中性子検層、（4）音波検層の4種目であったが、密度検層の測定中、崩壊の為月吉断層付近で抑留状態になった。

そのため、その後に予定していたマイクロ検層を立ち会い者と協議の結果中止し、測定器外径の小さい孔径検層を実施して、孔内のキレツ状況を把握した。

図 3.1.1に物理検層作業概念図を、表 3.1.2には、機器一覧表を示す。

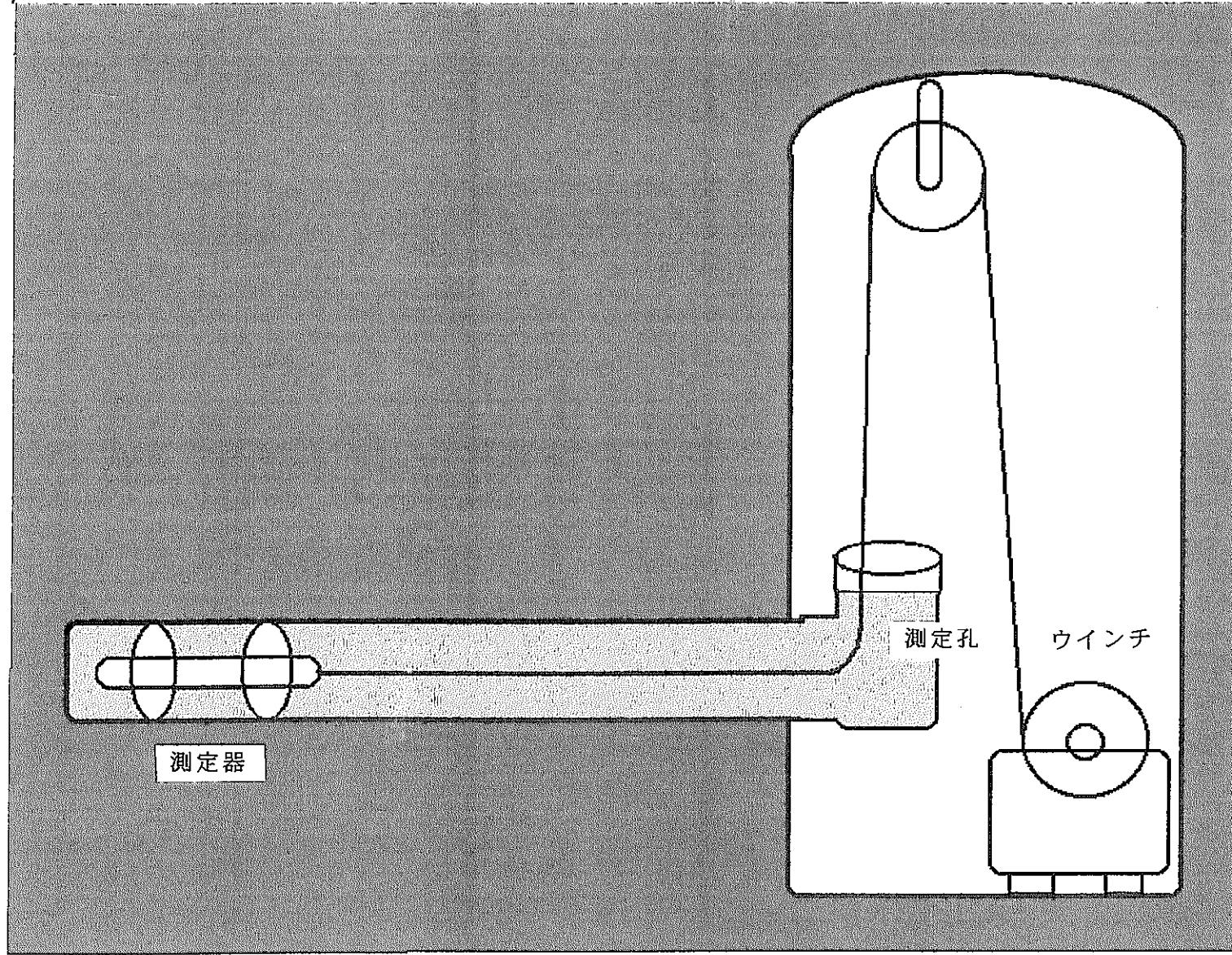


図 3.1.1 物理検査作業概念図

表 3.1.2 物理検層仕様機器一覧表(1)

種 目	機 器	型 式	仕 様
全種目共通	ポーチブル・ワイン	電動モータ駆動	50m級
	ケーブル	5芯鋼線	外径:4.0mm 耐熱:160°C
	収録	FD-6 RV型多ペンドローダー	FD-6 デジタル収録器 5ペン・エンコーダー連動
	処理	NEC/PC シリーズ	プリンター:キャノン BJC-35V
電気検層 Electrical Survey	坑内機器	ELM-204 SCM-304	電源:AC100V ±10% 50/60Hz 出力電圧:150V 出力電流:0~50mA 測定動作周波数:240Hz±10Hz 出力:25cm/ルマル/100cm/ルマル/SP 動作範囲:比抵抗(0~20KΩ·m) S.P.(0~200mV)
	孔内機器		外径:50mm 全長:1.5m 電極:25cm/ルマル/100cm/ルマル/SP
音波検層 Sonic-Log	坑内機器	LPM-SVCM A/DCM-ELK-7125	電源:AC100V ±10% 50/60Hz BIN DC300V 出力:△T, WAVE FORM, VDL 分解能:12bit 500ns/W 最大サンプリング 周波数:2MHz 最小サンプリング 深度:10cm 毎 ワード 長:1kw/ch WAVE FORM データタイプ:MSDOS ASCII
	孔内機器	COMPENSATED SONIC TOOL	外径:54mm 全長:488cm T-R1 :3feet T-R1 :1m T-R2 :5feet
孔径検層 Caliper-Log	坑内機器	LPM RMM(x2)	電源:AC100V ±10% 50/60Hz BIN DC 300V・測定電源90mA
	孔内機器	X-Y AXIS	外径:45mm 全長:127cm 測定範囲:5~71cm 耐圧15000psi 測定温度:max190 °C
密度検層 Density-Log	坑内機器	DPM-1 LRM-2A(x2)	電源:AC100V ±10% 50/60Hz BIN DC ±24V・測定電源50mA 出力:DENSITY/SS.FS PULSE
	孔内機器	DUAL SPACED	外径:54mm 全長:160cm 線源:Cs137 FAR デテクター:シンチレーション (5.55GBq) NEAR デテクター:GM カウンター

表 3.1.2 物理検層仕様機器一覧表(2)

種 目	機 器	型 式	仕 様
自然ガamma線 検 層 Gamma Ray Log	坑 内 機 器	LPM-203 RMM-204	電源:AC100V ±10% 50/60Hz 測定電源:60mA
	孔 内 機 器		外径:43mm 全長:1.5m 耐圧:15000psi デテクター:シンチレーションカウンター
中 性 子 検 層 Neutron- Log	坑 内 機 器	LPM-203 RMM-204	電源:AC100V ±10% 50/60Hz 測定電源:60mA
	孔 内 機 器		外径:43mm/全長:1.5m/線源:Am-Be デテクター:プロポーショナルデテクター
温度検層 Temperat- ure Survey	坑 内 機 器	TSM-200	電源:AC100V ±10% 50/60Hz 出力電圧:0~100mv 測定温度範囲:0~300 °C 測定精度: ±1.0 %/F.S. 分解能:0.1 出力:TEMP(300°C) DIF(10°C/m) MAG(40/80/120/160/200°C)
	孔 内 機 器		外径:43mm 全長:1.5m センサー: サーミスター

3.2 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することによって、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。

孔内温度の測定は、単にその地層の地温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 1 mA の定電流を供給し、サーミスター両端の電位降下を坑道内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加されている。

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。

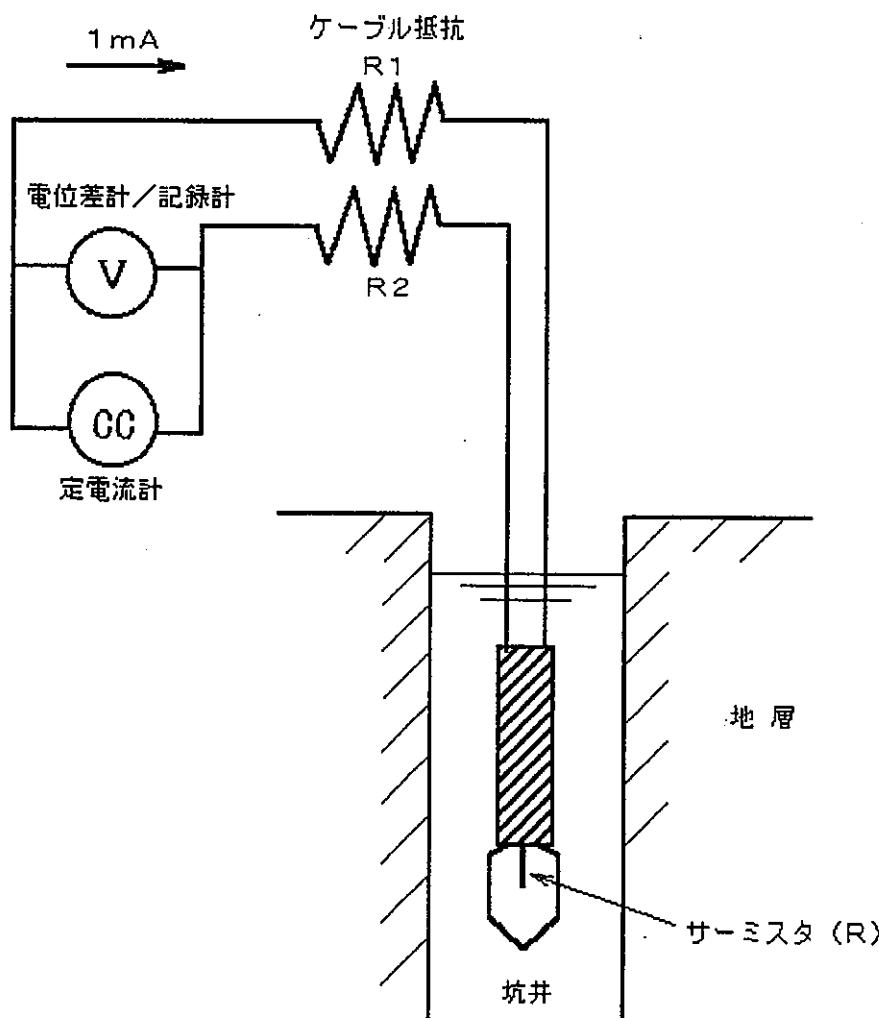


図 3.1.2 温度検層概念図

3.3 電気検層

電気検層は、導電性のある液体に満たされた孔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 3.1.3 参照)

電気検層では、等方均質媒体中の地層比抵抗 ρ (ohm-m) は、電流電極 A (mA) のまわりの等電位面は球面となり、その電位は均質な地層の比抵抗に比例する。つまり

$$\rho = 4 \pi A M \cdot V / I$$

である。ここで、A, B が電流電極、N, M は電位電極を示す。AM は電極間隔あるいはスペーシングといわれ、電極間隔を大きくするほどそれに比例して地層の探査深度が深くなるが、鉛直（孔井軸）方向の分解能が悪くなる。当社の電気検層は 2 極法（ノルマル法）を採用しており、異なる電極間隔 (25 cm, 100 cm) のものを使用することにより、異なる探査深度の地層の比抵抗を得る。実際の地層は均質でなく、また孔径や泥水比抵抗などに影響され、電流電極 A のまわりの等電位面が歪み、見掛けの比抵抗が測定される。

電気検層では、同時に地層の自然電位 (SP) を連続的に測定する。

自然電位は、孔井内電極 M と北延 N AT M 坑道内の電極 N 間の電位差を記録する。自然電位の発生機構としてはイオンを含む地層水が流動するときに生ずる流動電位と、濃度の異なる地層水によって生じる電気化学的電位があり、大部分が後者の効果である。

電気化学的電位には、拡散電位と膜電位がある。砂岩などの浸透層と頁岩からなる堆積層では、浸透層の泥水濾過水と地層水が接触し、拡散電位が生じる。また、頁岩には膜電位が生じる。普通、頁岩と砂岩の自然電位差を SP 偏差と呼び、頁岩を零位として表す。

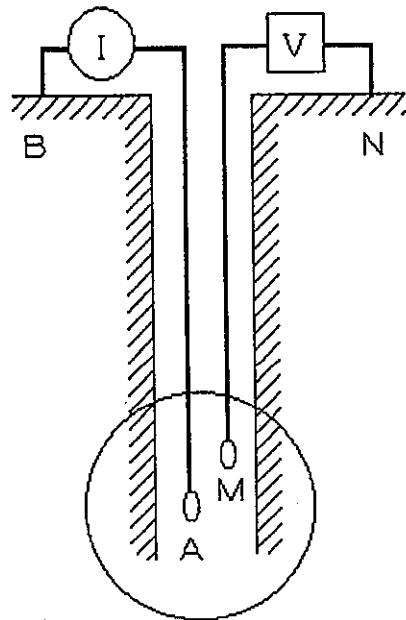


図 3.1.3 電気検層概念

3.4 中性子検層

地層中に高速中性子を照射すると、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、熱中性子になる。

地層中の中性子の減衰過程は地層内の水素原子核密度に関係し、水素原子核密度は地層の孔隙を満たす地層流体(H_2O)の水素原子により決定される。よって、中性子線源から一定距離の位置にある検出器により、中性子線源から出て地層中を伝わってくる熱中性子の量(ニュートロン API)を測定することで、地層の孔隙率を求めることが出来る。(図 3.1.4 参照)

中性子の減速効果は地層の孔隙率に比例し、測定される熱中性子強度が強い部分は地層孔隙率が低く、熱中性子強度が弱い部分は地層孔隙率が高くなる。

中性子検層は孔内測定器に中性子線の線源(アメリシウムーベリリウム Am-Be)と検出器を装着し、この線源より地層に照射され衝突・散乱した熱中性子の強度を各深度ごとに測定することにより連続的に地層孔隙率の変化を知る事が出来る。(図 3.1.5 参照)

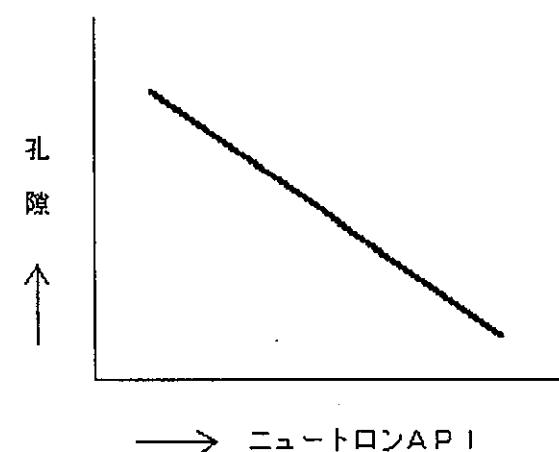


図 3.1.4 中性子ー孔隙率相關図

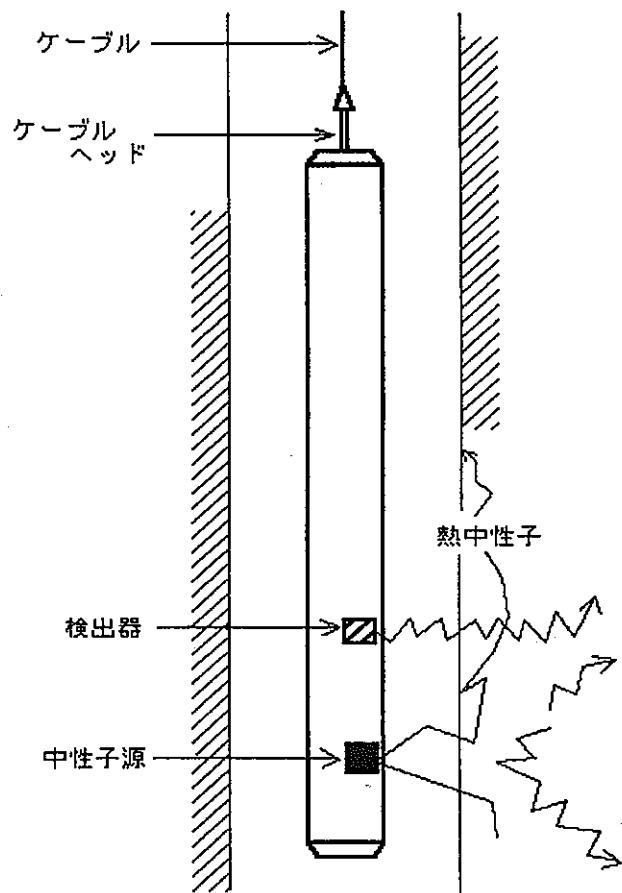


図 3.1.5 中性子検層概念図

中性子検層から地層の孔隙率を算出する式は、次のような孔径補正を含む換算式を用いた。

$$NL\% = 10^{[(-0.000128803 - 0.0000459006 \times CAL) \times NLAPI + \log 58]}$$

N L % : 地層孔隙率

C A L : 孔径検層 (inch)

N L API : 中性子強度 (API)

出典 : Schlumberger (1972)

3.5 ガンマ線検層

一般に岩石中には、微量ではあるが放射性物質が含まれており、自然ガンマ線が放出されている。

放射性物質の含有量は岩石の種類によって異なるため、地層から放射される自然ガンマ線量の変化を見ることにより地層の同定、対比を行うことが出来る。また、地層の堆積過程で放射性物質は頁岩などの粘土鉱物に集中しやすい傾向があるので、ガンマ線量を測定することにより、粘土含有率を判定することも可能である。

ガンマ線検層用いられる検出器は、ナトリウム・ヨウ化物であるシンチレーションクリスタルと電気信号に変換する光電子増倍管とから構成されている。

検出されたガンマ線はパルスの形で地上に伝送され、深度に対応した記録として出力される。（図 3.1.6 参照）

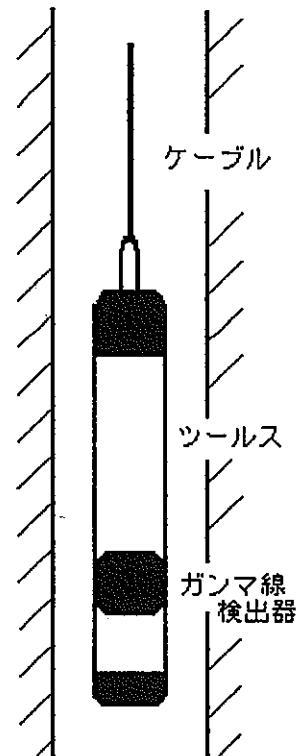


図 3.1.6 ガンマ線検層概念図

3.6 孔径検層（キャリバー検層）

キャリバー検層は孔径の変化を深度に対して連続的に測定記録し孔径補正を必要とする検層の補助的役割をする。

孔内ツールに小型モーターを内蔵し、坑道内からのコントロールで測定用アームを開閉する。

測定はアームを閉じた状態で孔内にツールを降下し、測定個所（最深部）でアームを開き、測定ツールを捲き上げながら孔径の変化を測定する。

一般にボーリング孔では破碎帯や断層、軟弱地質においては孔壁が崩壊し易く孔径拡大が顕著である。

キャリバー検層の結果得られた孔径値より孔内容量等を算出し、セメンチング作業の情報として利用する事もできる。

キャリバー検層の測定概要を図 3.1.7 に示す。

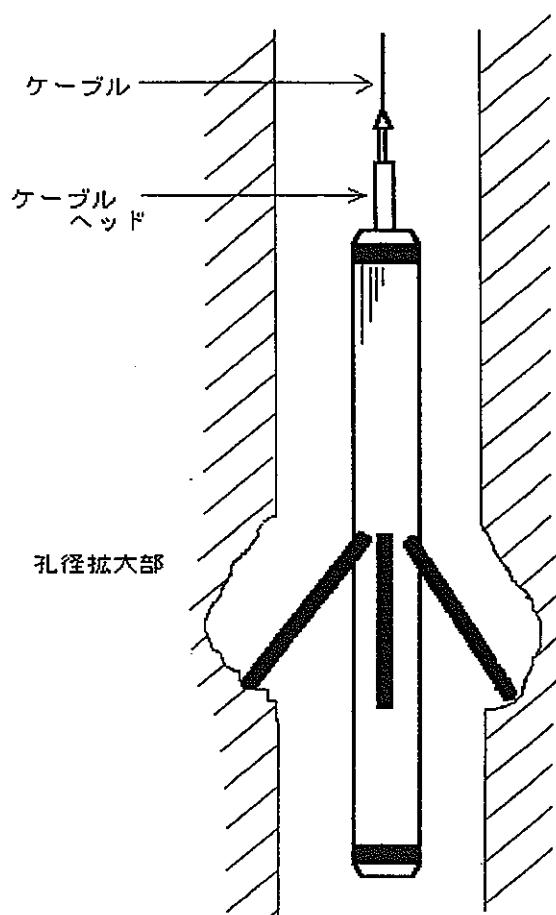
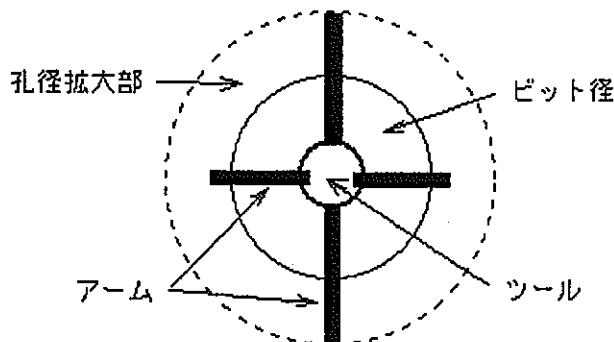


図 3.1.7 キャリバー検層概念図

3.7 密度検層

地層中に中程度のエネルギーを持ったガンマ線を照射すると、ガンマ線は地層を構成する物質の原子の軌道電子と衝突し、そのエネルギーの一部を軌道電子に与えて進路を変えながら減衰する（コンプトン散乱）。

ガンマ線エネルギーの減衰は照射する地層の電子密度に関係するため、ガンマ線線源よりもある間隔に置かれた検出器により衝突・散乱したガンマ線の強度を測定する事により地層の見掛け密度を求めることが出来る。

照射されたガンマ線の減衰度は地層の単位体積当たりの密度（陽子数）に比例し、ガンマ線強度が強い部分は地層密度が低く、ガンマ線強度が弱い部分は地層密度が高い。密度検層は孔内測定器にガンマ線の線源（セシウム ^{137}Cs ）と検出器を装着し、この線源より地層に照射され衝突・散乱したガンマ線の強度を各深度ごとに測定することにより連続的に地層密度の変化を記録する。

測定器は図 3.1.8 のようにデセントラライザ（バックスプリング）で裸孔壁の地層に線源および検出器面が直接接触するようにされる。

水の満たされた孔井におけるアーテックタ-の計数率から計算された密度は下式で表わされる。

$$D F = 3.1874 + 3.0759 \times 10^{-3} N - 1.1953 \times 10^{-5} N^2 + 6.6062 \times 10^{-9} N^3$$

ここで、DF は地層密度 (g/cm^3)、N は計数率 (cps) を表わす。

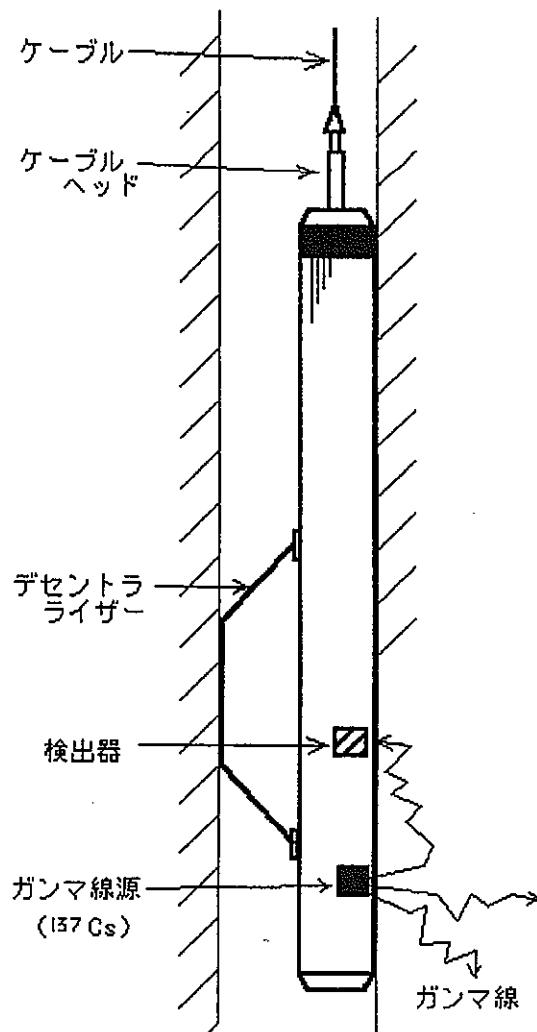


図 3.1.8 密度検層概念図

3.8 音波検層

孔井内に超音波発振器および受信器を持ったツールを降下し、発振器より超音波を孔壁に発射すると、音波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（地層）を伝播し、再び孔内水に伝播した音波が受信器に到達する。

音波検層は受信器に到達した受信波より地層内を伝播してきた音波の区間走時、振幅等の変化を深度に対応させて連続的に記録する。

孔内ツールは1つの発振器とこれより3feetおよび5feet離れた場所に設置された2つの受信器、エレクトロニクス部より構成される。

測定信号波形にはP波、S波等が含まれるが、一般に音波検層ではP波の初動が測定される。測定された区間走時（一定区間

を走行する音波の走行時間）より地層の速度値が求められる他、音波信号には地層の硬軟やフラクチャーの発達、孔径変化などによる信号振幅の変化や地層内の反射面からの反射波の位相変化など様々な地層情報が含まれている。

音波信号による地層情報としてインテンシティーログがある。インテンシティーログは、受信された波形を輝度変調によって濃淡表示し深度に対応させたものである。この受信波の変化を連続的に記録し、振幅や区間走時の全体的な傾向を視覚的に判断する事ができる。

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、受信間隔が3フィートの走行時間から地層のP波速度を算出する。その算出式は孔径補正を含み、走行時間からP波速度が求められる。

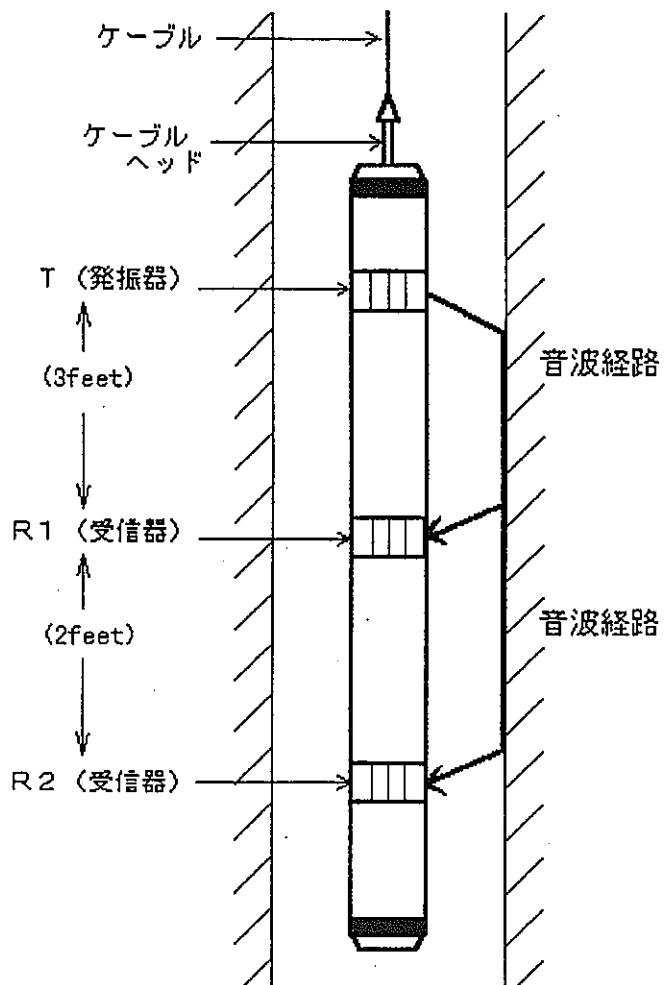


図 3.1.9 音波検層概念図

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

ここで、

T : 走向時間 d : 発振子コア直径(43mm) D : 孔径

L : 発振子と受振子の距離 W : 孔内水のP波速度 V : 地層のP波速度

4. 物理検層結果

4.1 物理検層結果

物理検層結果のまとめとして、図 4.1.1に検層柱状図を示した。検層より得られた物性値は、月吉断層付近の変化が大きく、孔内の地質状況を良く反映していた。

検層柱状図より深度順に、比較的類似した傾向を示す区間を1つのグループと見なして本孔を、A層からD層の4層のグループに分割した。

4.2 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4.1.2に示す。

測定場所が地表から約130m下の坑道内である為、気温の影響も少なく、孔口温度は14.9°Cを示した。温度曲線もなだらかで、ほぼ直線的に減少し、孔底(28.79m)で14.5°Cを記録した。

温度変化がほとんど見られないことから、測定孔の地下水の流出入は無いと考えられる。

4.2 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(SP)・見掛比抵抗曲線を図4.1.3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、負(-側)の流動電位も観測される。

本孔の自然電位曲線の特徴として、孔口から深度4m付近まで孔口近傍の影響と思われる自然電位の減少が認められる。深度4m以深については、深度22.0m付近で自然電位は正側へ移行する。又、深度16.5m付近、深度17.8m付近、深度18.3m付近で負側へ移行する傾向が認める。特に深度16.5m付近の変化(5mV)が最大である。

次に、比抵抗変化の特徴について検討する為、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
A 層	1.8 ~ 13.8m	12.8 ohm-m	20.8 ohm-m
B 層	13.8 ~ 15.2m	13.5 ohm-m	21.2 ohm-m

グループ名		SN値の平均値	LN値の平均値
-------	--	---------	---------



TFA-1

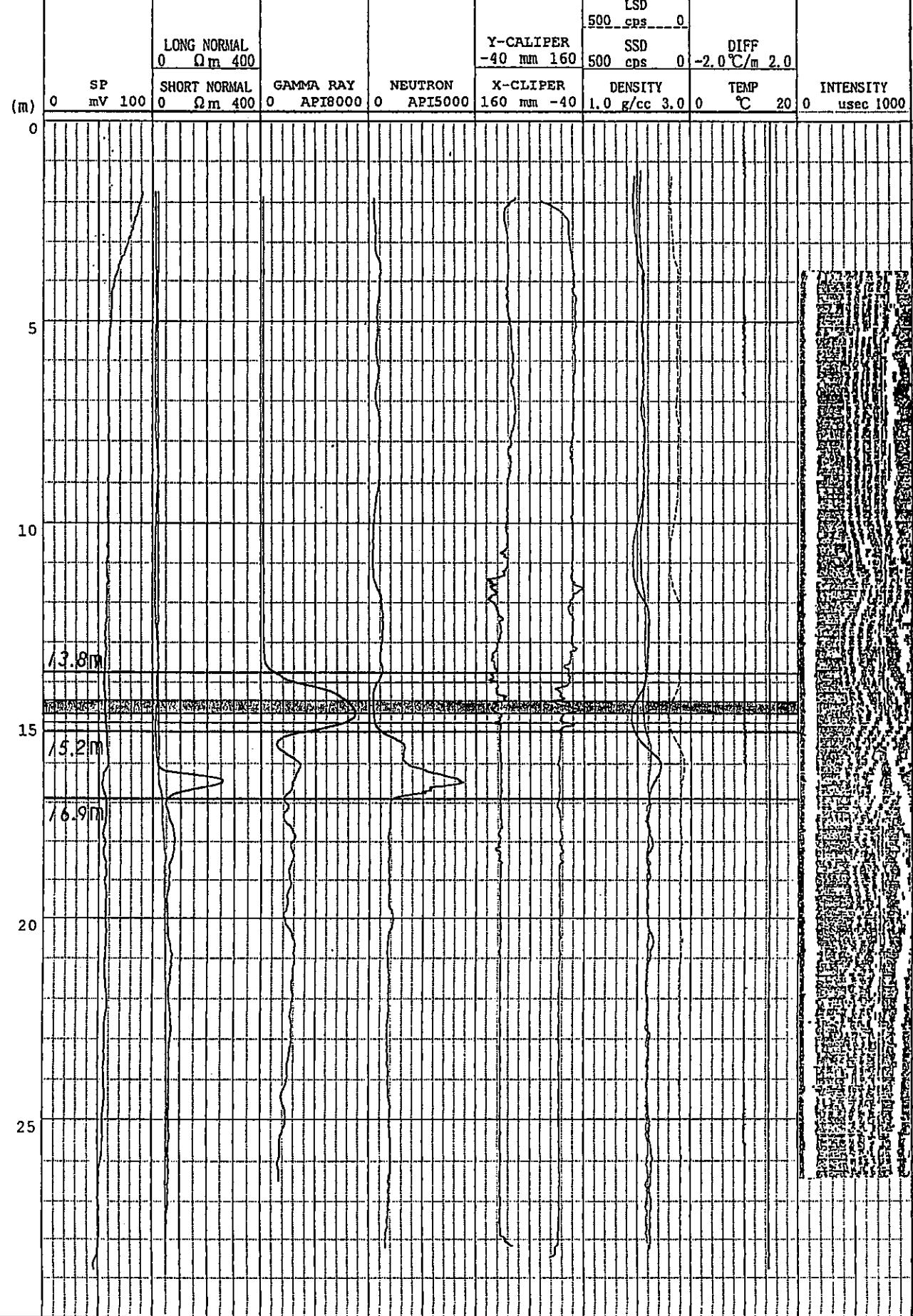


図 4.1.1 総合柱状図

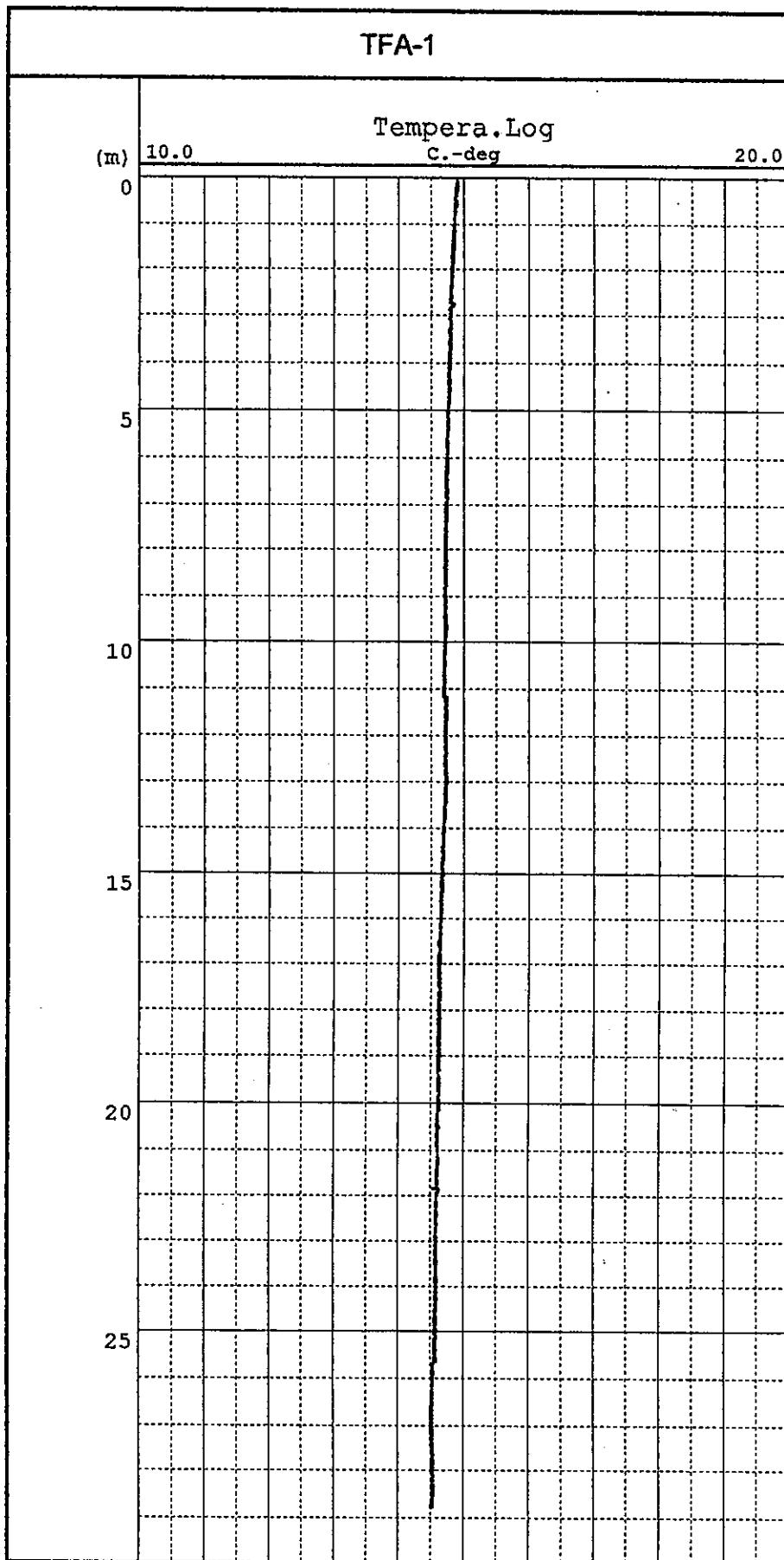


図 4.1.2 溫度曲線図

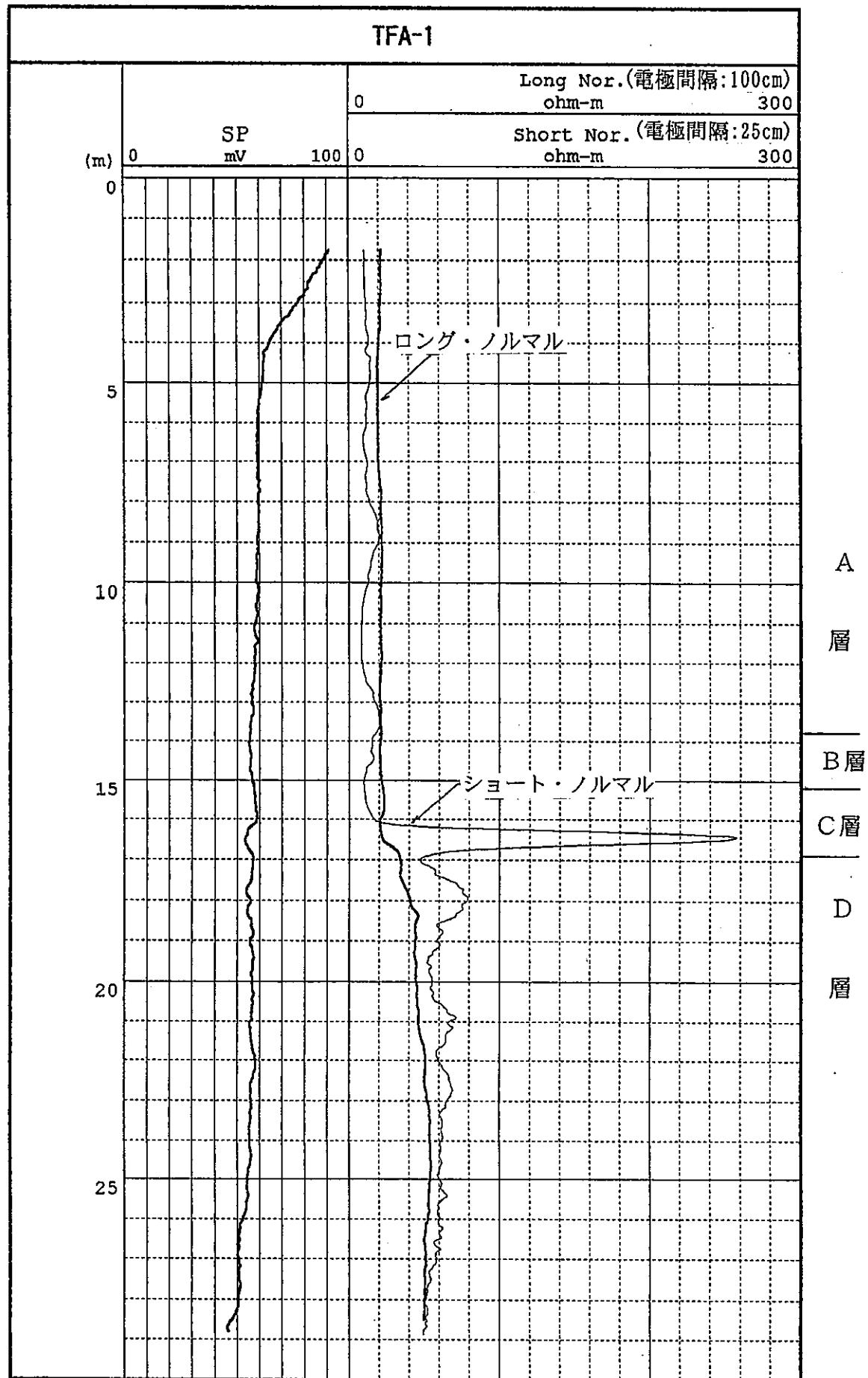


図 4.1.3 自然電位・見掛け比抵抗曲線図

C 層	15.2 ~ 16.9m	73.3 ohm-m	23.8 ohm-m
D 層	16.9 ~ 28.9m	60.5 ohm-m	48.4 ohm-m

見掛比抵抗の特徴として、A層は瑞浪層群の砂岩層で低比抵抗値を示す。B層は月吉断層を含む破碎帯に相当し、全般的に低比抵抗である。C層は、レキ岩を含む地層に対応し、高低比抵抗を示す。D層は、瑞浪層群の砂岩層と考えられるが、月吉断層（逆断層）の上盤側に位置している為、A層より下位の砂岩層に対応しているものと予想される。そのことを裏付けるようにD層の比抵抗は、A層より高比抵抗を示す。

4.4 密度検層結果

密度検層結果については図4.1.4に示しているように、密度値が $1.9 \sim 2.4 \text{ g/cm}^3$ の範囲を示す区間が連続している。

グループ毎の平均密度値を示すと次のようになる。

グループ名	密度値の平均値
A 層	2.07 g/cm^3
B 層	2.00 g/cm^3
C 層	2.26 g/cm^3
D 層	2.22 g/cm^3

本孔で測定された密度は、深度15.2m以浅で 2.0 g/cm^3 前後の低密度を示す。特に深度11.0m付近と深度15.0m付近で 1.9 g/cm^3 まで減少している。それに対し、月吉断層（深度14.6～14.8m）より孔底側の深度15.2m以深では、深度16.0m付近の 2.44 g/cm^3 のピーク（レキ質部）を除けば、 2.2 g/cm^3 前後の一様な値を示す。このことは、この区間で比較的均質な砂岩層が堆積しているものと予想される。

4.5 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、受信間隔が3フィートの走行時間から地層のP波速度を算出する。その算出式は孔径補正を含み、走行時間からP波速度が求められる。

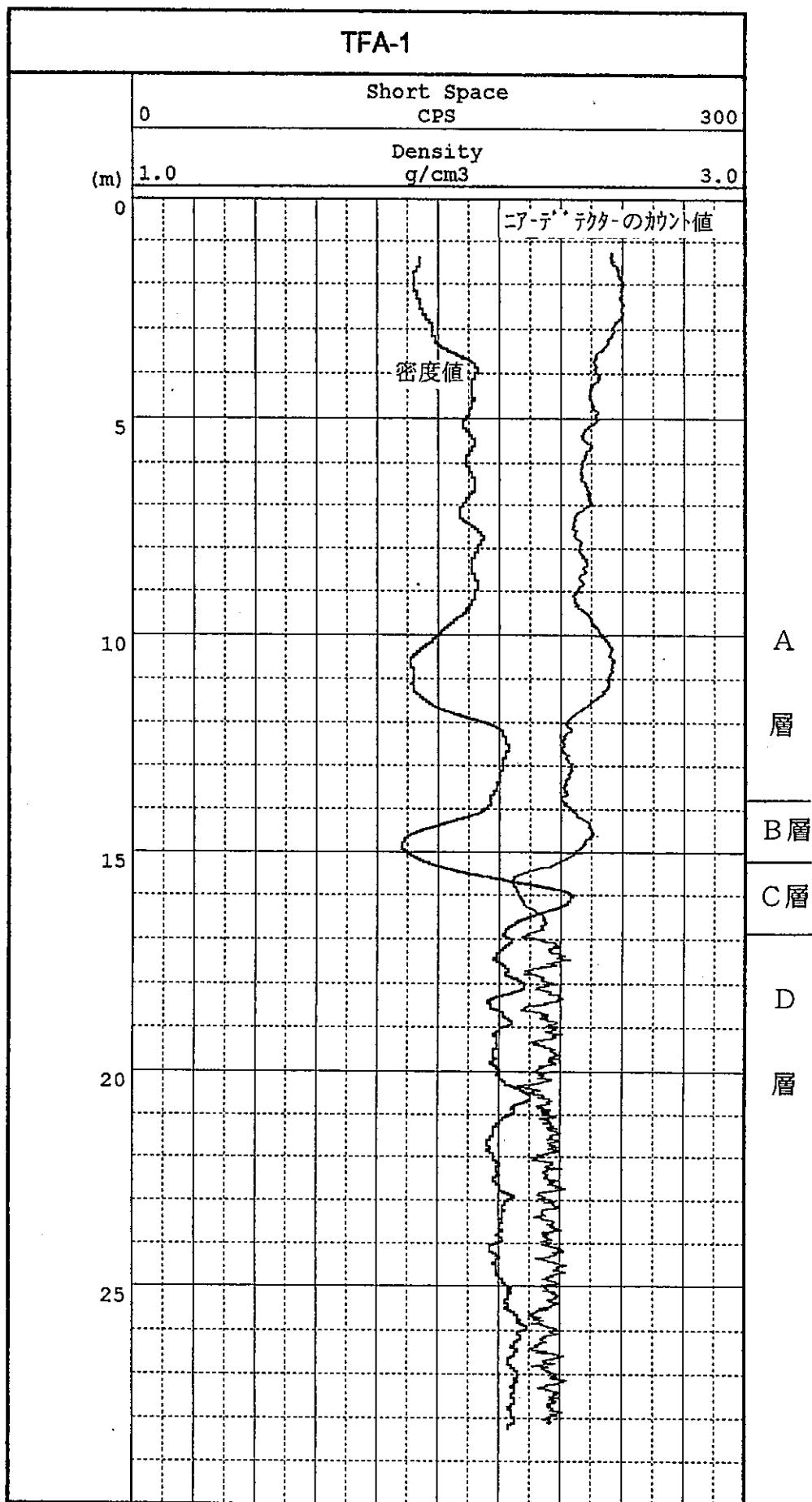


図 4.1.4 密度曲線図

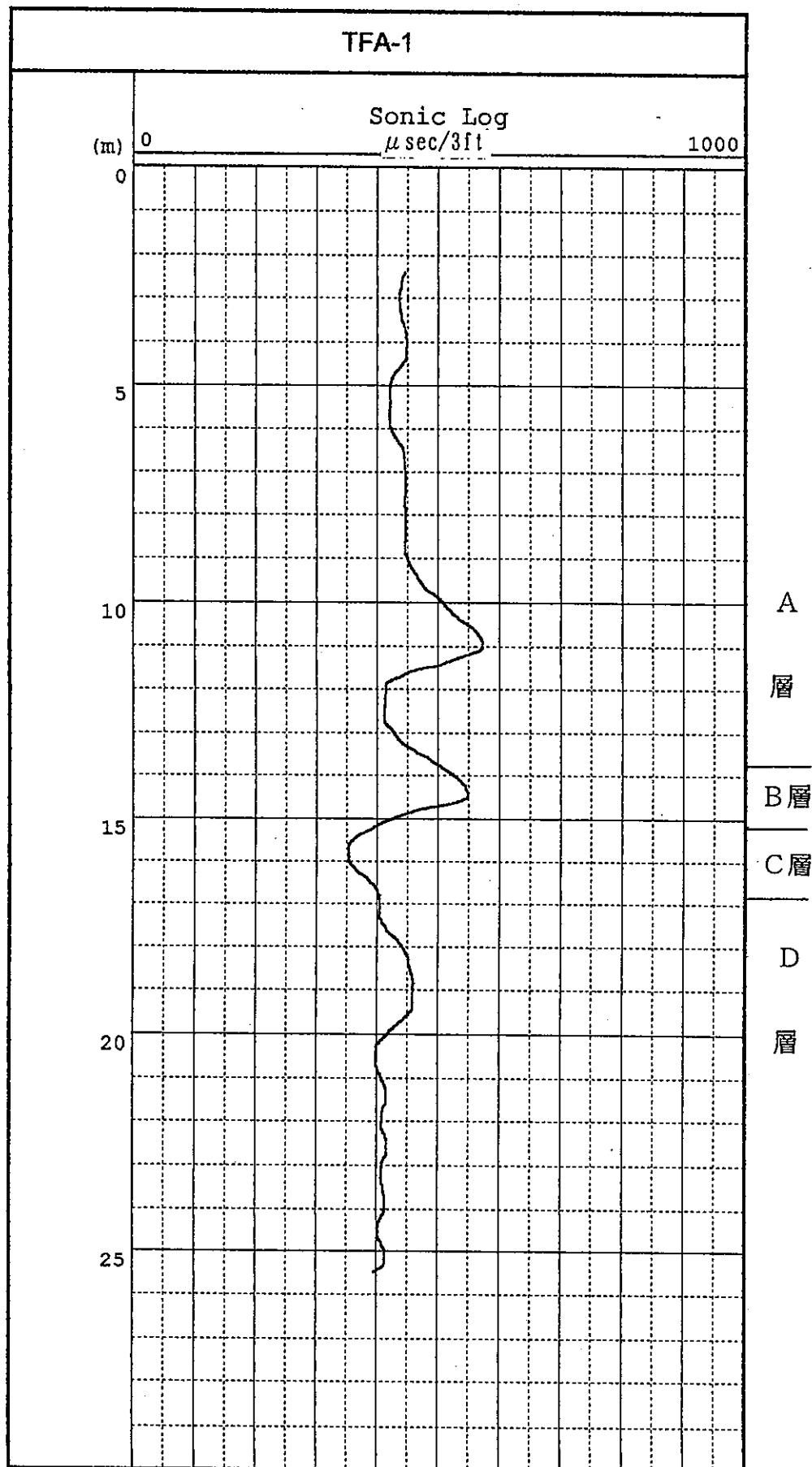


図 4.1.5 音波検層曲線図

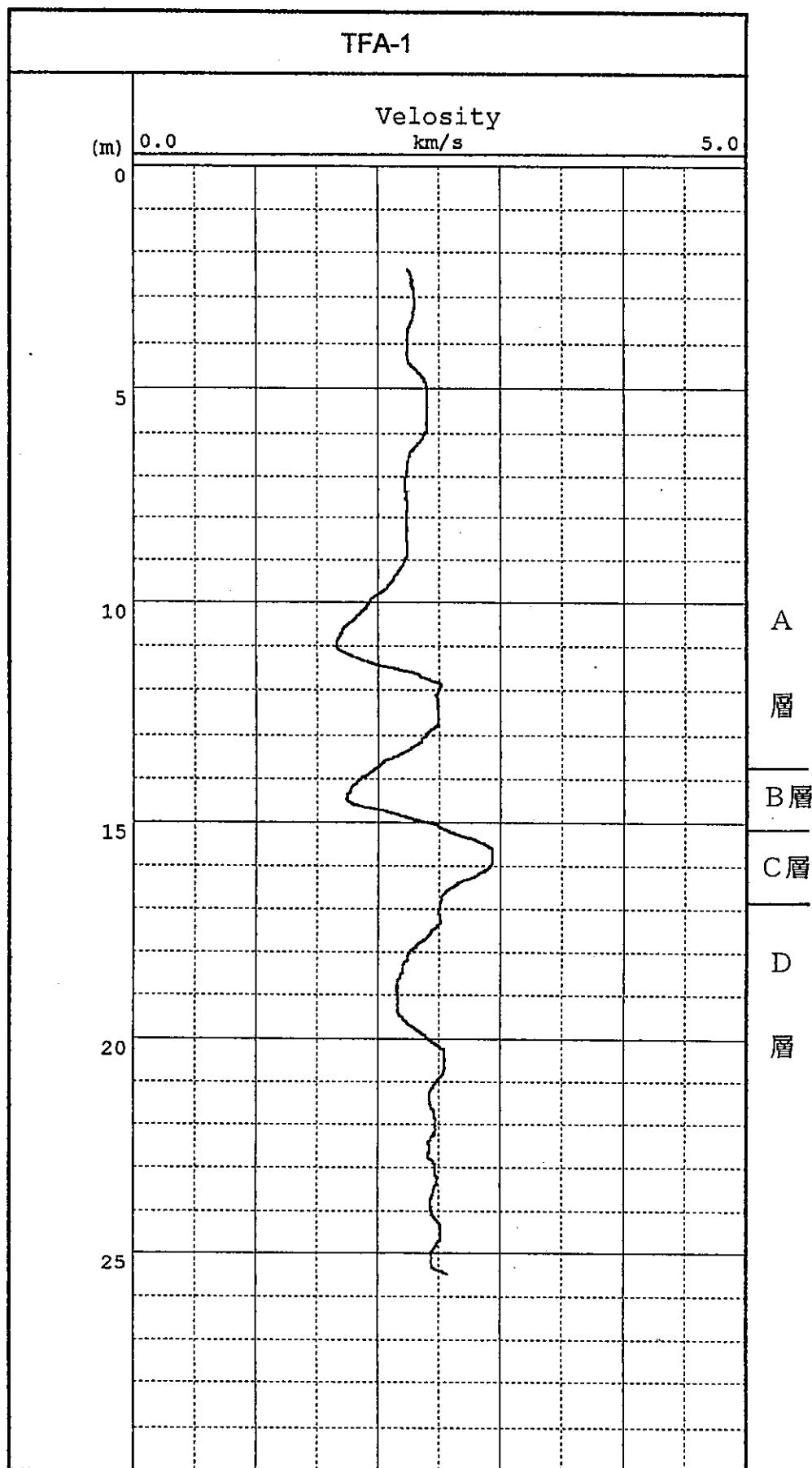


図 4.1.6 P波速度曲線図

$$V = \frac{LW^2 + W\sqrt{L^2T^2W^2 - [W^2T^2 - 4 \times ((D-d)/2)^2] \times [(4((D-d)/2)^2 + L^2]} }{T^2W^2 - 4((D-d)/2)^2} \quad (1)$$

ここで、 T : 走向時間 d : 発振子コア直径(43mm) D : 孔径
 L : 発振子と受振子の距離 W : 孔内水のP波速度 V : 地層のP波速度

音波検層結果を図4.1.5に示し、地層のP波速度分布を図4.1.6に示した。本孔の速度値は、1.7~2.9km/secの範囲を示す。

グループ毎の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	P波速度の平均値
A 層 1.8 ~ 13.8m	2.22 km/sec
B 層 13.8 ~ 15.2m	2.00 km/sec
C 層 15.2 ~ 16.9m	2.75 km/sec
D 層 16.9 ~ 28.9m	2.40 km/sec

各層の平均的なP波速度は、2.0~2.75 km/secであり、A層からD層とも、地層を良く反映し、特に密度値との整合性が良好であった。

4.6 孔径検層結果

孔径検層結果については、図4.1.7に示した。

尚、本孔の掘削孔径は孔口から孔底(深度29.1m)まで直径116.0mmで掘削されている。本孔は横孔である為、セントラライザーを使用して測定しているが、通常、掘削孔径よりやや狭くなる傾向にある。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。

グループ名	X方向とY方向の相加平均値
A 層 1.8 ~ 13.8m	122.1 mm
B 層 13.8 ~ 15.2m	122.3 mm
C 層 15.2 ~ 16.9m	115.0 mm
D 層 16.9 ~ 28.9m	114.9 mm

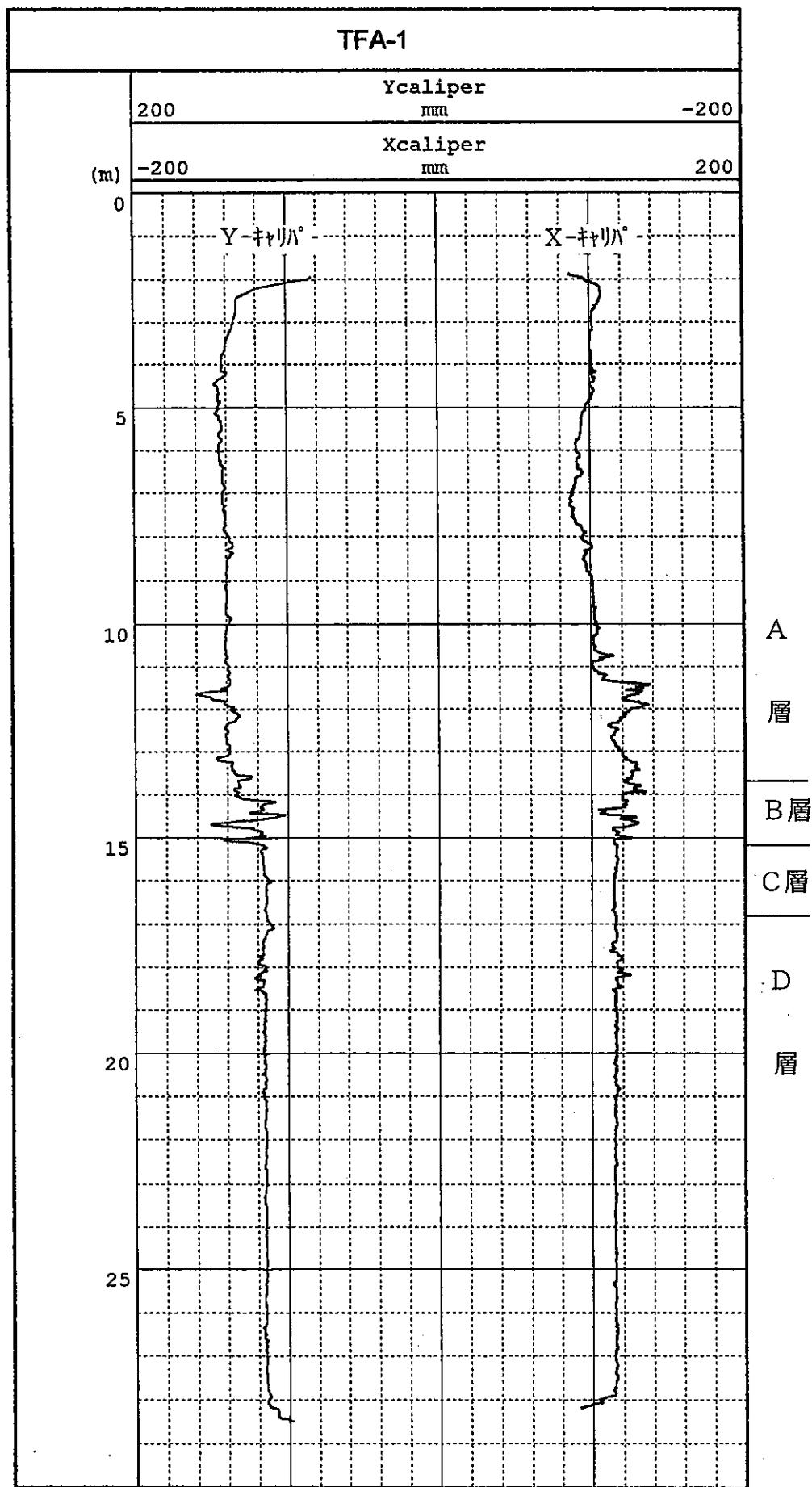


図 4.1.7 孔径検層曲線図

本孔の孔径は、全般的に掘削孔径より約 6mm程度拡大し、深度12.5mから15.2m 区間では大きく拡大している。特に、深度12.7mでは最大160mmまで拡大している。

これらの孔径拡大箇所は、月吉断層を含んだ断層破碎帯の深度共良く一致し、この深度で割れ目の発達が予想される。

4.7 中性子検層結果

中性子検層結果については、図4.1.8 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4.1.9 に示した。

本孔の地層孔隙率は1.9 ~51.1%と広い範囲の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低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。

$$NL \% = 10^{[(-0.000128803 - 0.0000459006 \times \text{孔径}) \times \text{中性子強度} + \log_5 8]} \quad (2)$$

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
A 層	1.8 ~ 13.8m	42.6 %
B 層	13.8 ~ 15.2m	46.7 %
C 層	15.2 ~ 16.9m	14.1 %
D 層	16.9 ~ 28.9m	28.8 %

図4.3.8 に示したように、電気検層のショート・ノルマルの結果と中性子強度とは良い整合性が認められた。また、図4.3.9に示したB層の地層孔隙率が最も高い。

C層・D層の地層孔隙率とA層・B層の孔隙率のコントラストが大きく、この間での地層変化の大きいことが予想される（月吉断層）。

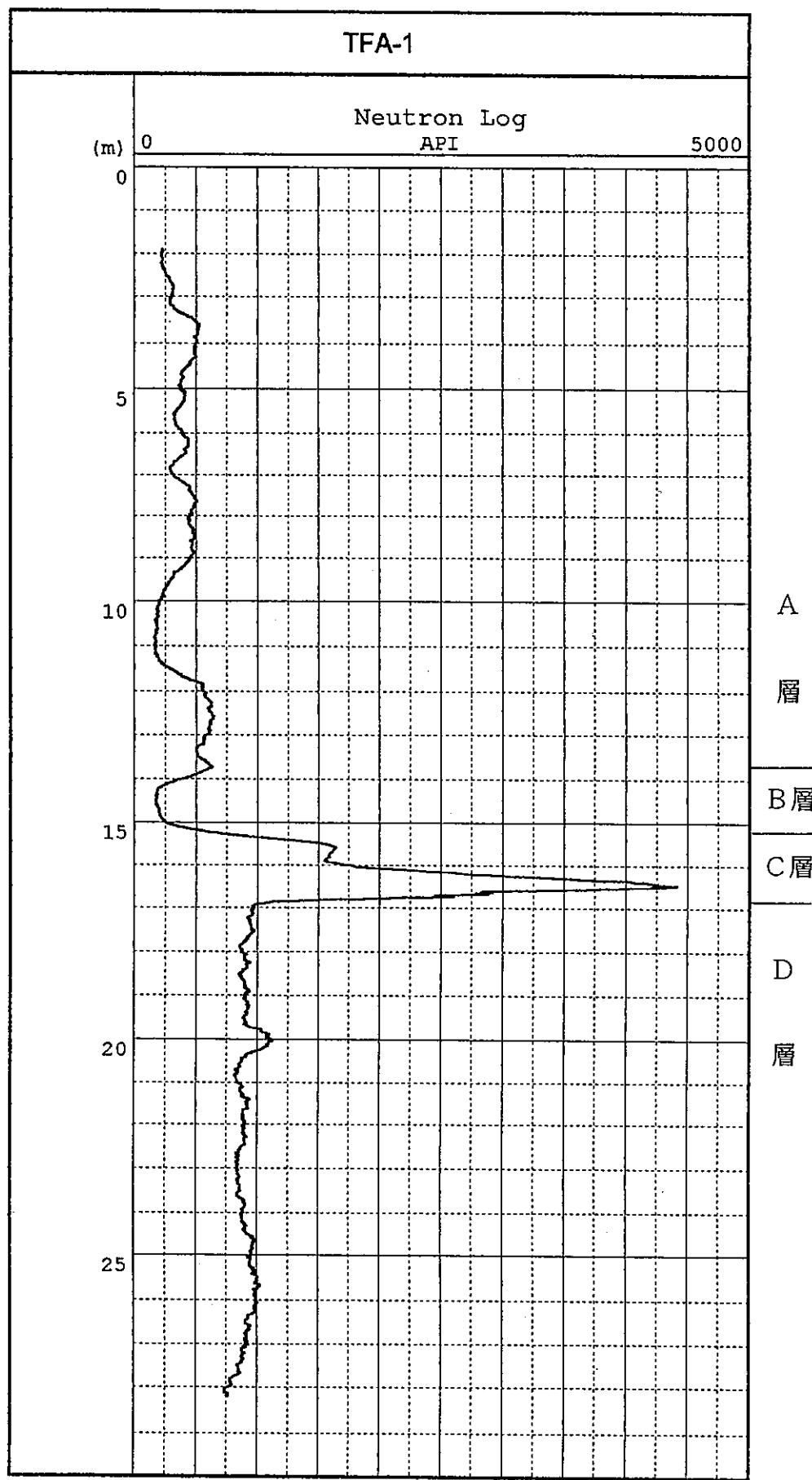


図 4.1.8 中性子強度曲線図

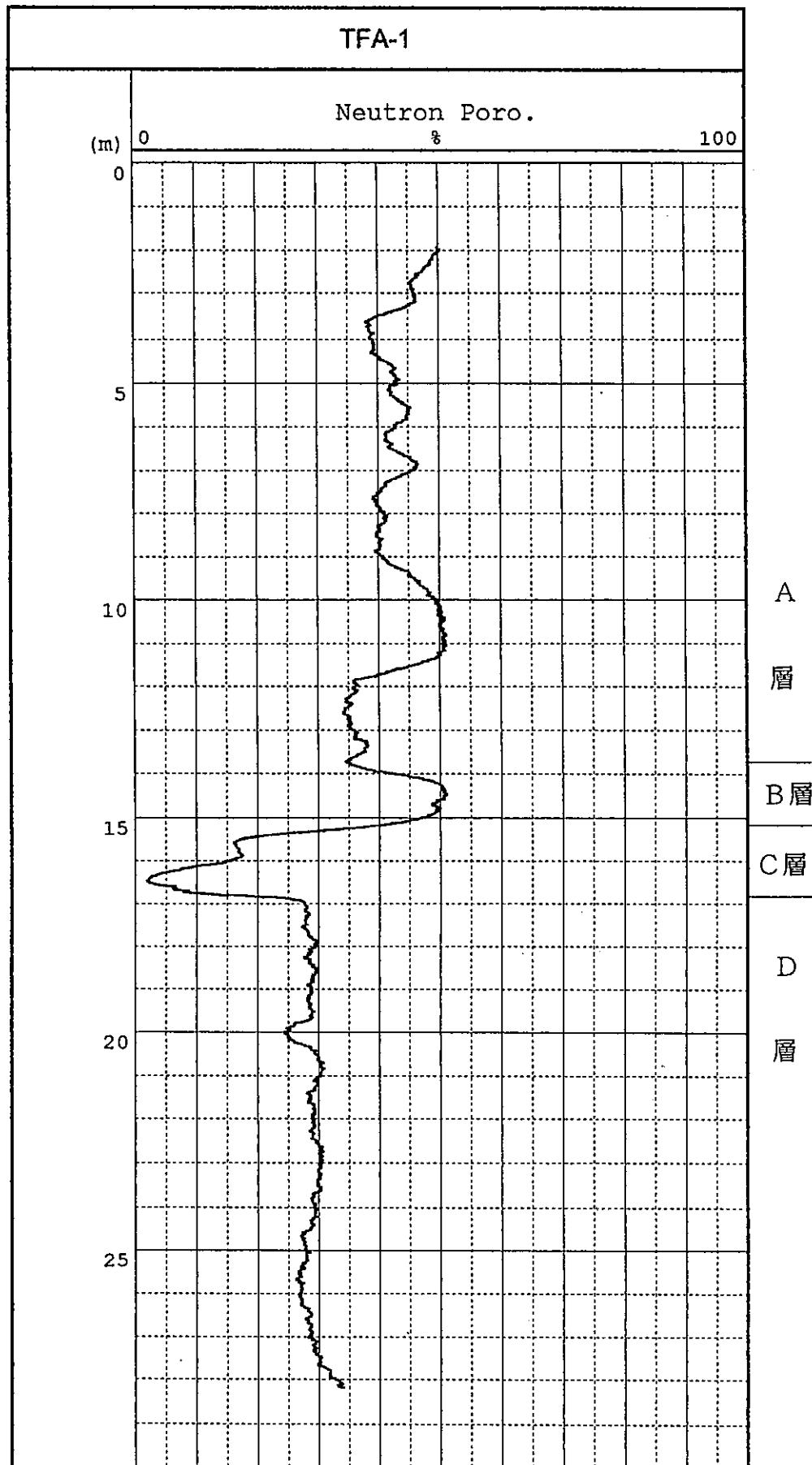


図 4.1.9 中性子孔隙率曲線図

4.8 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 150～6950 API (但し 1 CPS= 5.5 API) と非常に広範囲に渡り、特に高い数値を示す区間が存在している。

自然放射能検層結果については、図4.1.10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
A 層 1.8 ~ 13.8m	194 API
B 層 13.8 ~ 15.2m	5114 API
C 層 15.2 ~ 16.9m	2117 API
D 層 16.9 ~ 28.9m	1984 API
但し 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、かなり高いガンマ線強度を示している。特に、B層のガンマ線強度は最高値が6950APIと高く、この区間が断層破碎帯に相当することから、B層で放射能鉱物が濃集しているものと考えられる。

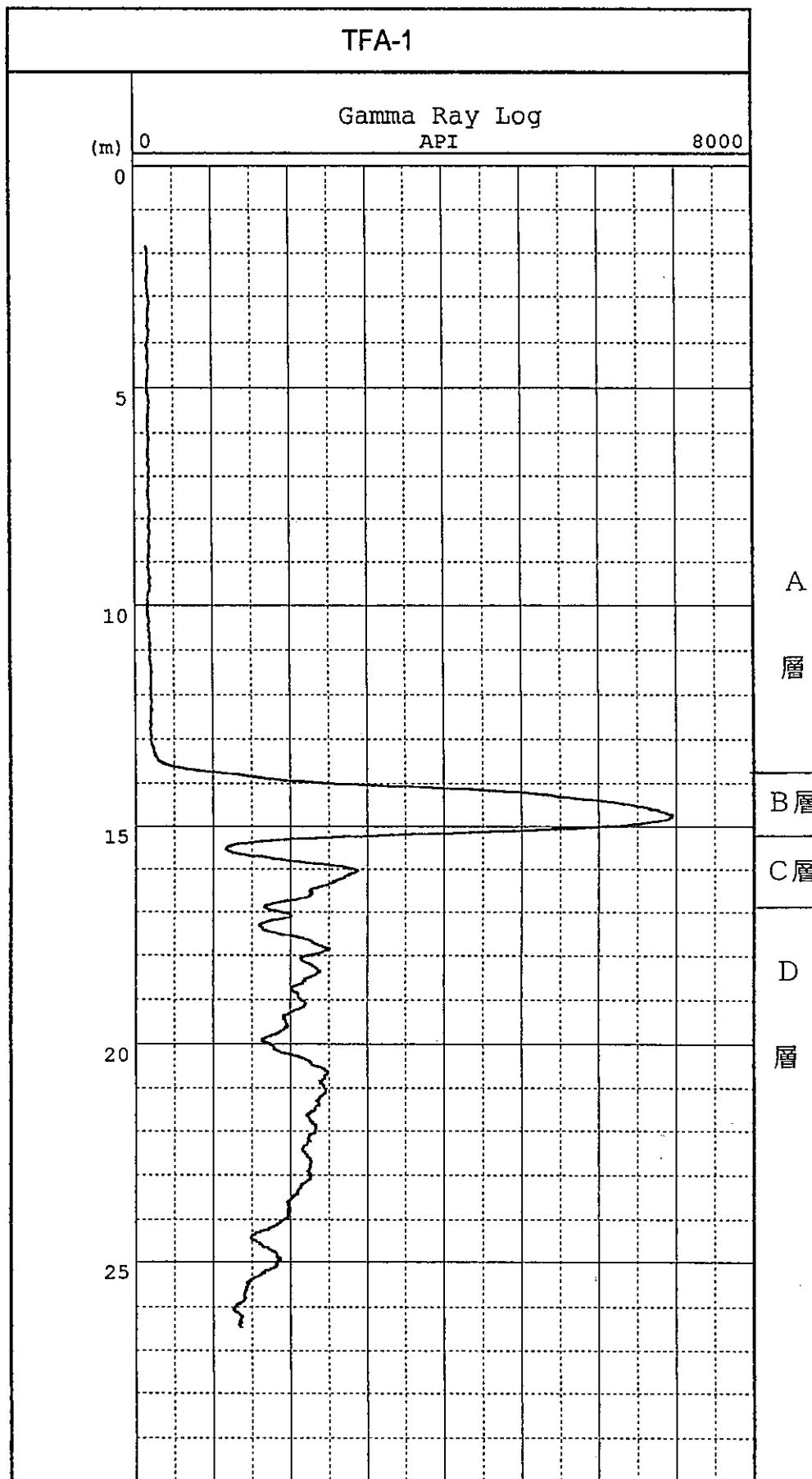


図 4.1.10 ガンマ線強度曲線図

5. 解析

5.1 物性値の相関性

検層結果から得られた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）を示す。クロスプロットのサンプリング間隔は10cmである。

（1）比抵抗値と各物性値との岩相区分による相関性

① 比抵抗—P波速度プロット図（図 5.1.1）

A層、B層とも低比抵抗・低速度 ($20\text{ohm}\cdot\text{m}, 2\text{km}/\text{s}$) に分布している。D層は、A層と比較して比抵抗値、速度値共やや高い領域に分布する ($60\text{ohm}\cdot\text{m}, 2.4\text{km}/\text{s}$)。C層の速度値は、 2.5 から $3\text{km}/\text{s}$ の範囲に留まっているものの、比抵抗値は $20\text{ohm}\cdot\text{m}$ から $260\text{ohm}\cdot\text{m}$ と広い範囲に分散している。

② 比抵抗—中性子孔隙率プロット図（図 5.1.2）

比抵抗と中性子孔隙率の間には、逆相関が認められる。

③ 比抵抗—ガンマ線強度プロット図（図 5.1.3）

A層とD層は、ほぼ正の相関を示す直線上に分布している。それに比べてB層は、低比抵抗、高いガンマ線強度を示し、C層は、ほぼ一様なガンマ線強度に対し、比抵抗変化が大きい ($20\sim260\text{ohm}\cdot\text{m}$) 特徴が認められる。

（2）中性子孔隙率と各物性値との岩相区分による相関性

① 中性子孔隙率—P波速度プロット図（図 5.1.4）

中性子孔隙率とP波速度の間には、逆相関が認められる。

② 中性子孔隙率—ガンマ線強度プロット図（図 5.1.5）

A層・C層・D層については、中性子孔隙率とガンマ線強度の間に、逆相関が認められる。しかし、B層については、正の相関性を暗示している。つまり、孔隙率が高い程、ガンマ線強度、言い換えると放射能鉱物の濃集が顕著である。

③ 中性子孔隙率—密度プロット図（図 5.1.6）

中性子孔隙率と密度値の間には、逆相関が認められる。

（3）孔隙率による岩相の相間性

① 中性子孔隙率—密度孔隙率プロット図（図 5.1.7）

中性子孔隙率と密度孔隙率の間には、当然な結果であるが、正の相関が認められる。

② 中性子孔隙率—音波孔隙率プロット図（図 5.1.8）

中性子孔隙率と音波孔隙率の間には、正の相関が認められる。

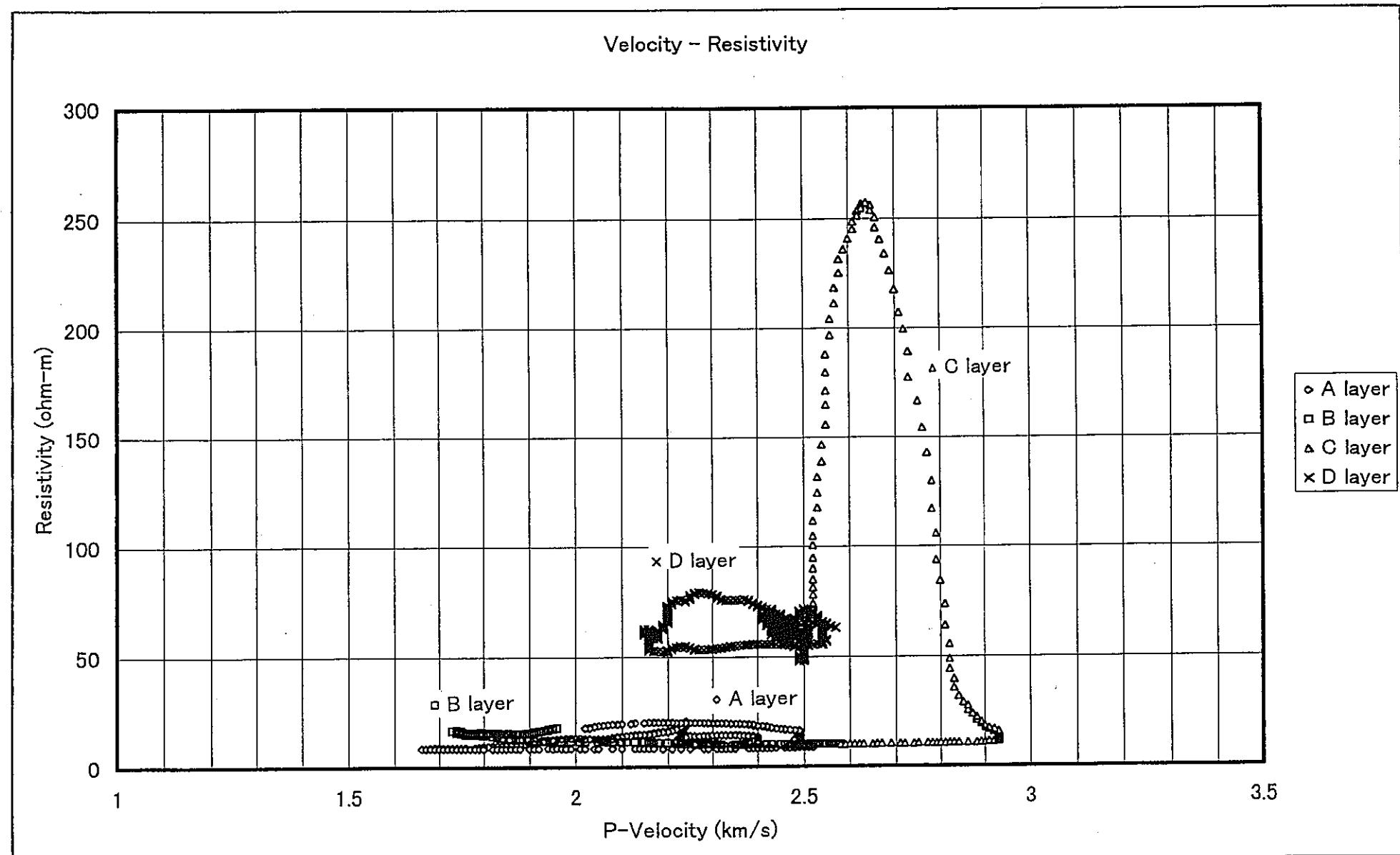


図 5.1.1 比抵抗—P波速度散布プロット図

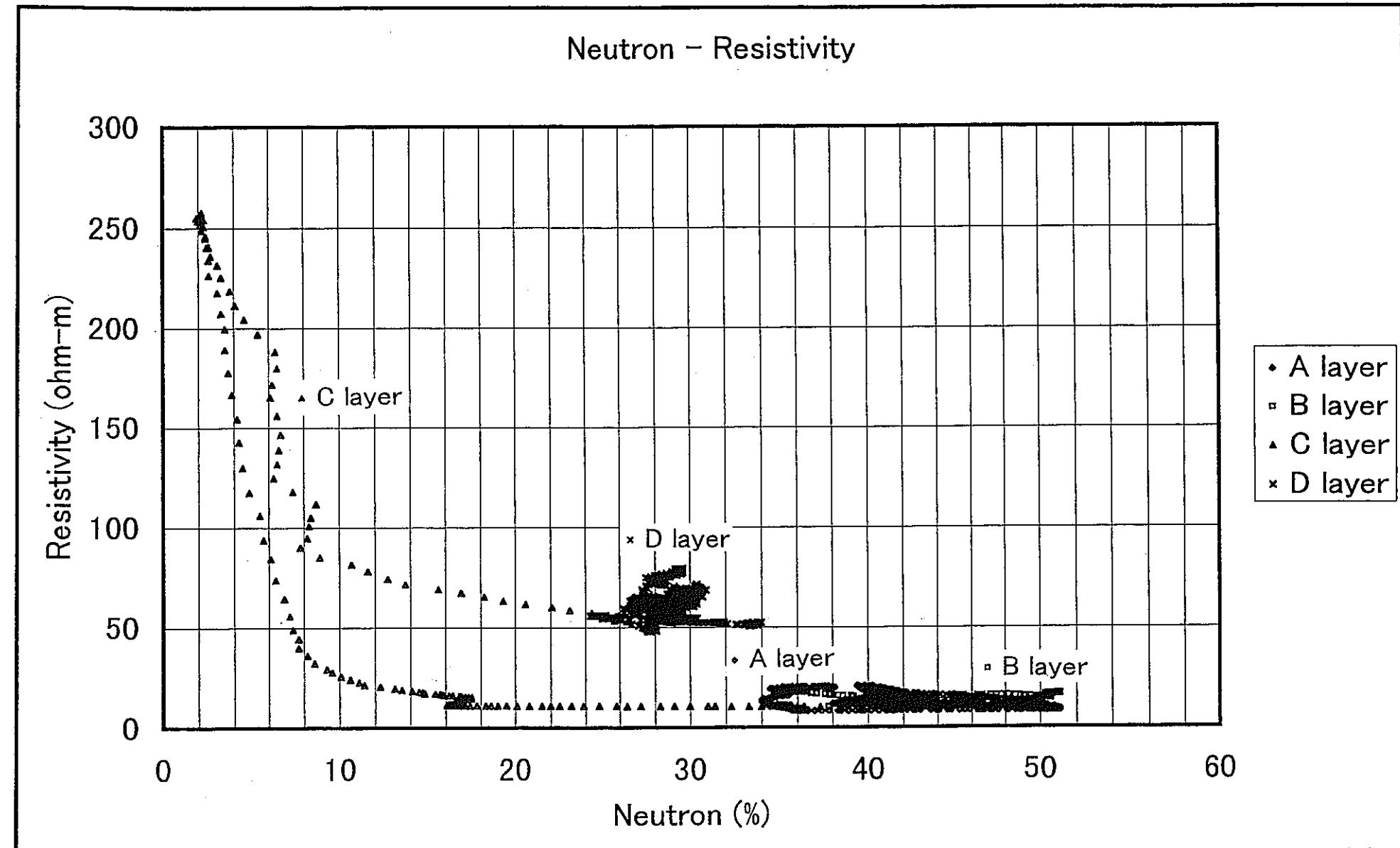


図 5.1.2 比抵抗—中性子 (%) クロスプロット図

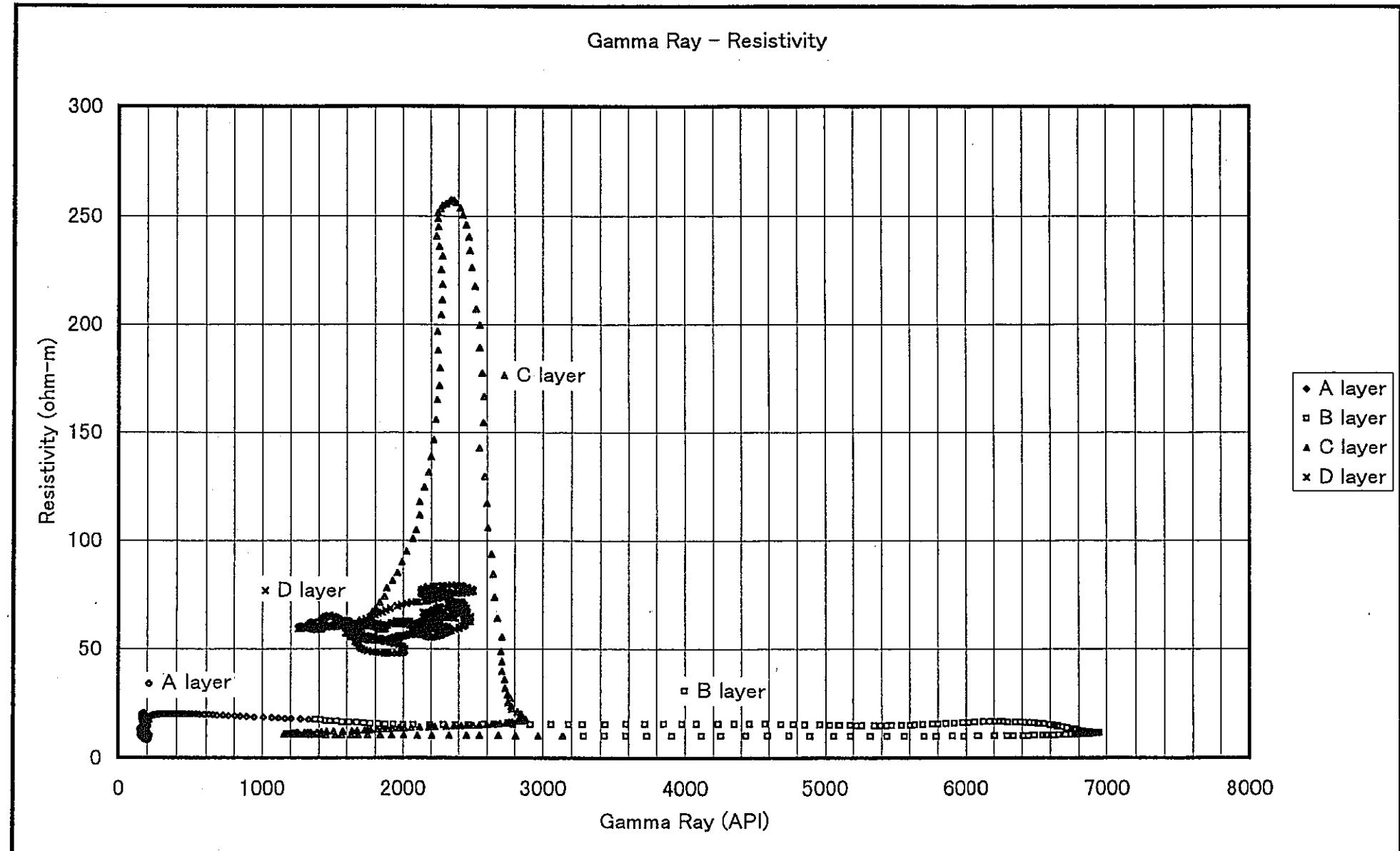


図 5.1.3 比抵抗—ガンマ線強度クロスプロット図

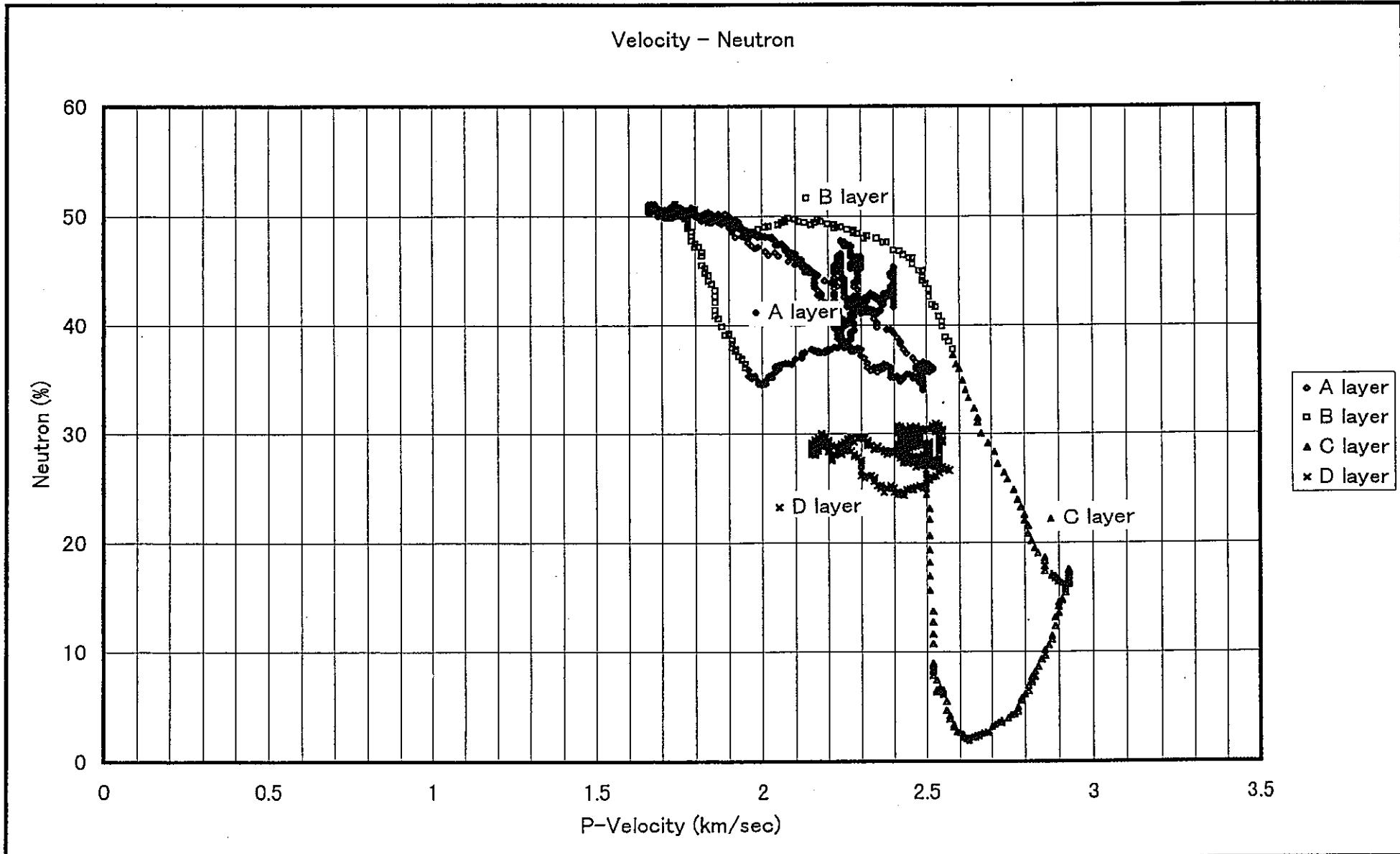


図 5.1.4 中性子 (%) — P波速度散布図

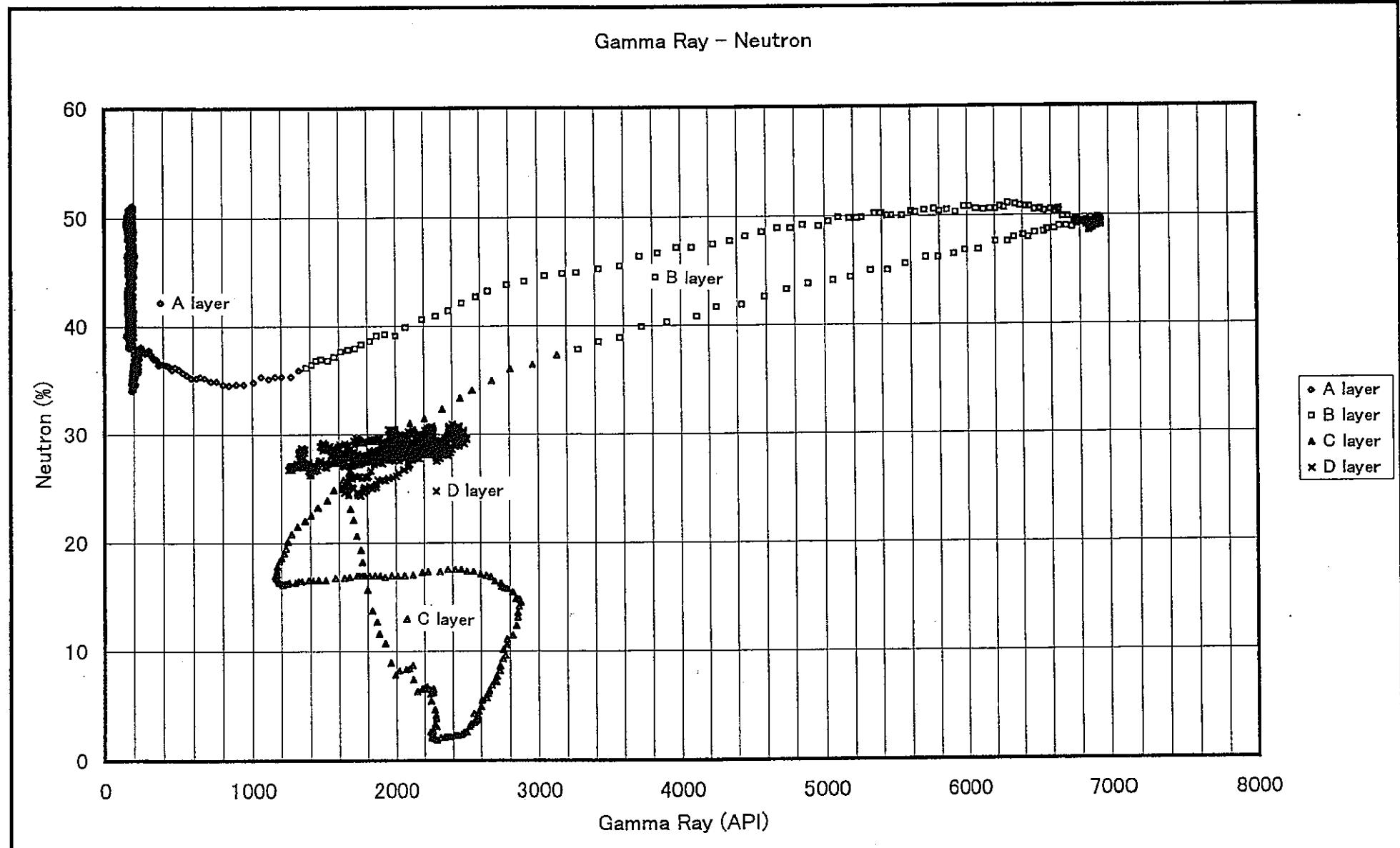


図 5.1.5 中性子（%）—ガンマ—線強度クロット図

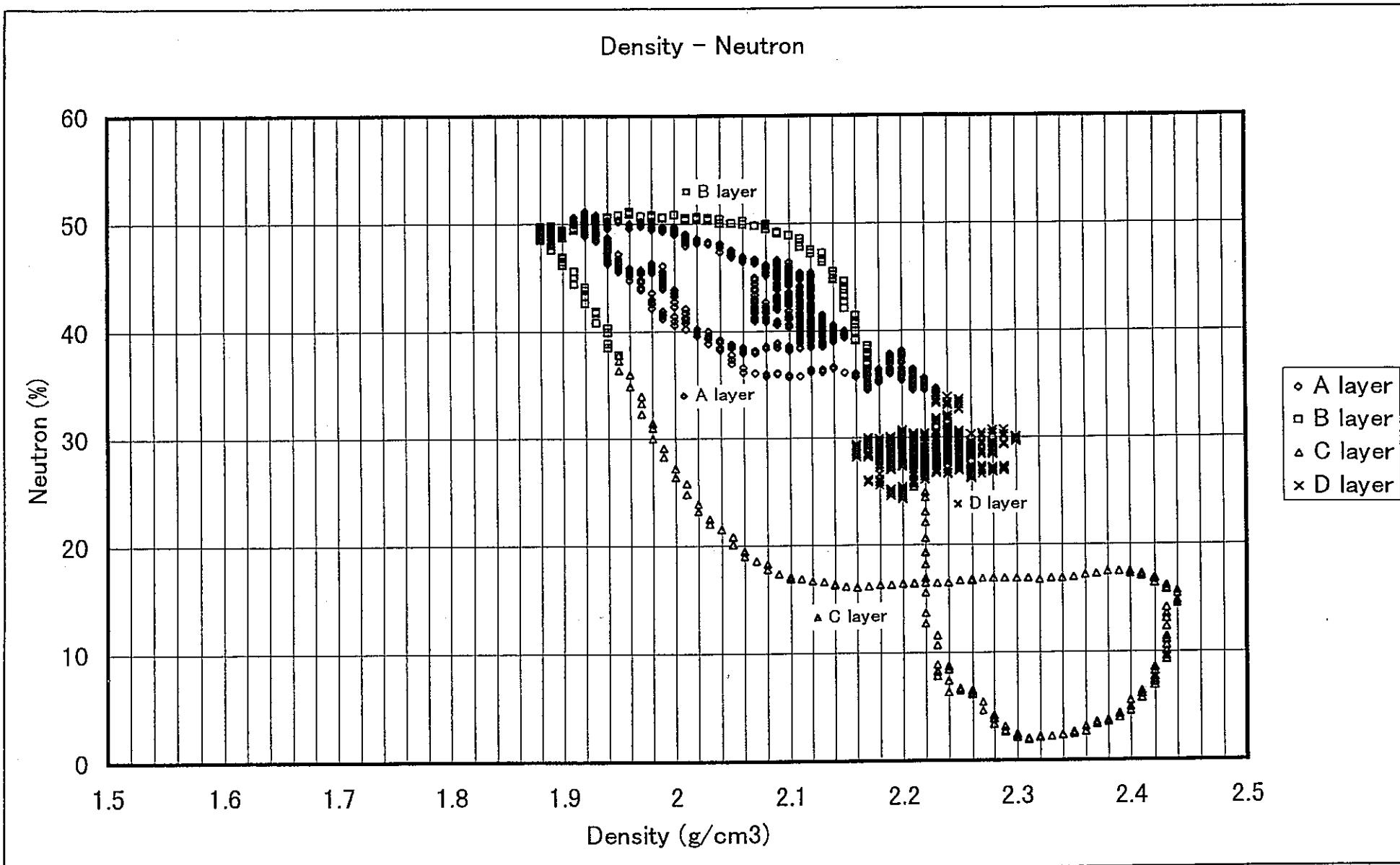


図 5.1.6 中性子 (%) — 密度散布図

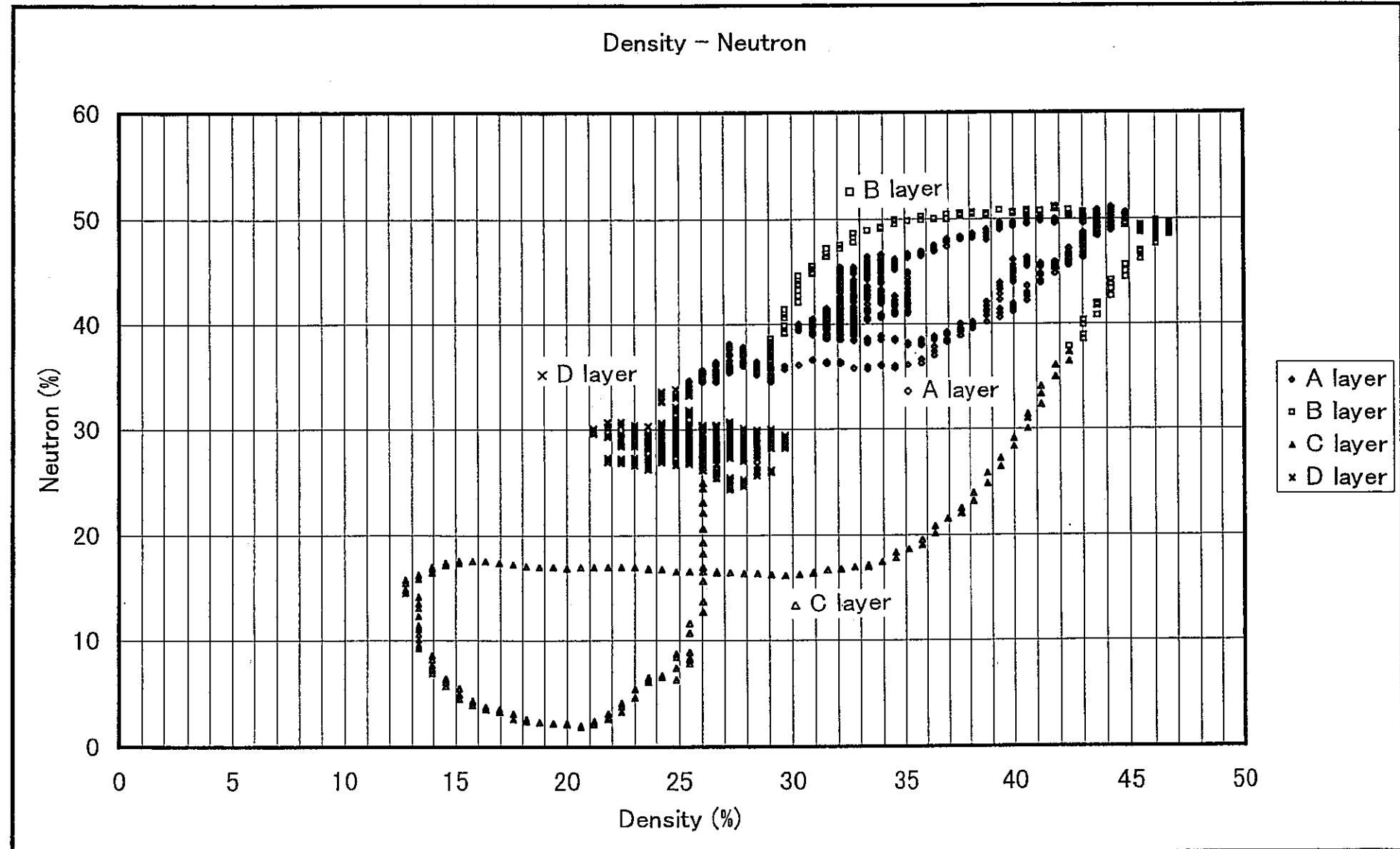


図 5.1.7 中性子 (%) — 密度 (%) クロスプロット図

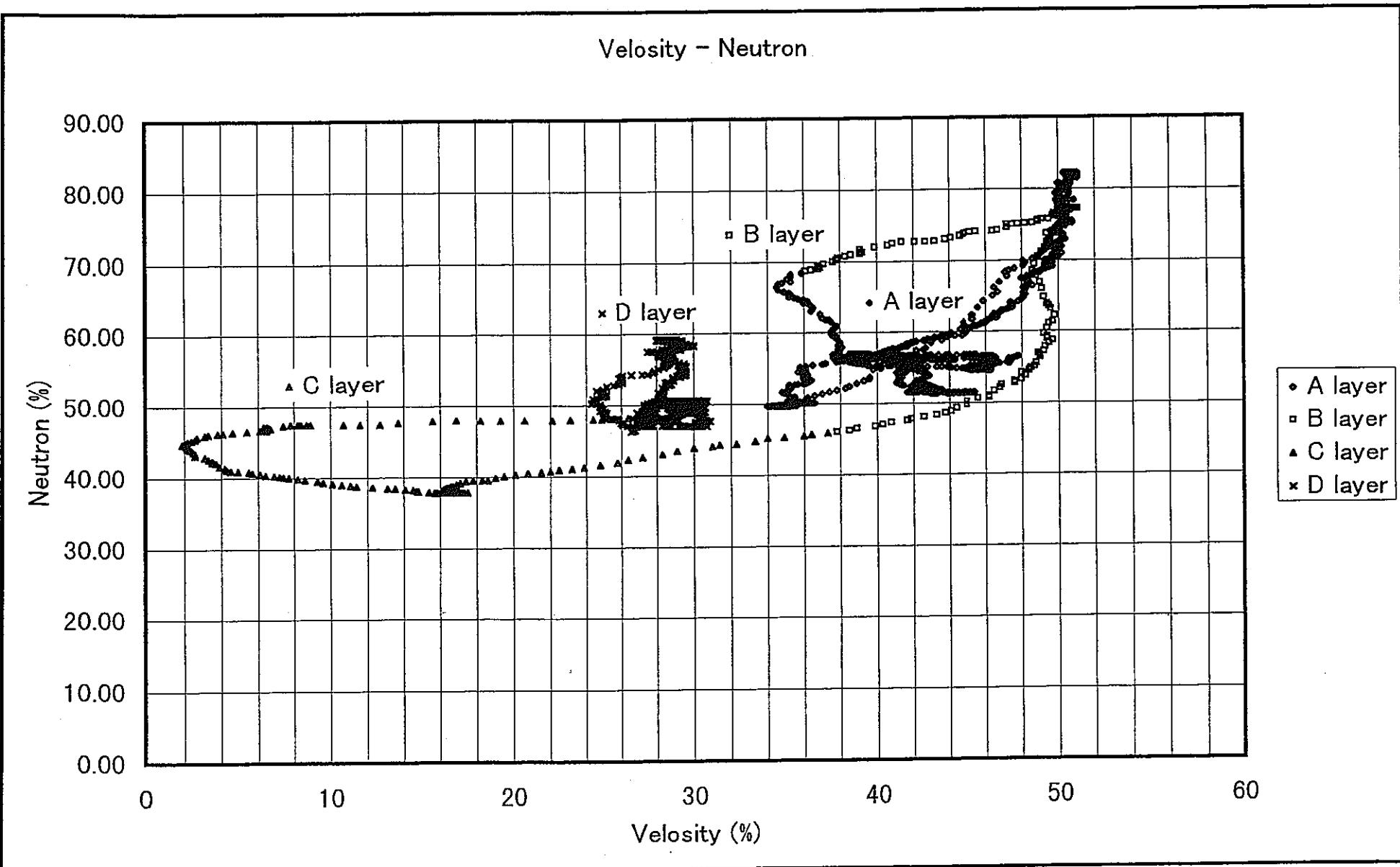


図 5.1.8 中性子 (%) — 音波 (%) クロスプロット図

5.2 物理検層データと水理試験（透水性）結果との比較・検討

物理検層データと岩盤の透水性との関連性について、次のような分類に従って検討する。

手法としては、孔隙率やフォーメーションファクターを算出する式を示し、またカナダ（URL）での亀裂性岩盤を対象としたKatsube et al., 1987 の式を用い、それぞれの検層データから透水係数を算出した。

(1) 中性子検層データから算出した透水性について

まず測定結果より、孔隙率（ ϕ ）を算出し（図 5.2.1参照）、それから(3)式（Archie, 1942）を用いてフォーメーションファクタFを算出する。ここで、mをHumble Formulaより 2.15 と仮定した。

$$F = \frac{0.62}{\phi^m} \quad (\text{Archie}, 1942) \quad (3)$$

更に、(4)式(Katsube et al., 1987)

$$k = 2.51 \times 10^7 \times F^{-2.22} (am^2) \quad (\text{Katsube et al., 1987}) \quad (4)$$

から透水係数（k）を求めた（図 5.2.2）。

尚、Katsube et al., 1987の式から算出した透水係数は、次の換算式より変換した。
(1am²=1×10⁻¹¹m/sec)。

中性子検層データから算出した透水係数は、A層・B層では 10⁻⁵ m/s、C層では10⁻⁹ m/s、D層では10⁻⁶ m/s程度であり、全体的には10⁻⁵～10⁻⁶m/sのオーダである。

上記に示した物理検層結果から、透水係数を算出する手法は土岐花崗岩のような結晶質岩を対象した地層に適用する方法で、今回測定した東濃鉱山内の堆積岩に適用すると、本来の透水係数より小さなオーダ（10⁻²～10⁻³程度）を示す。

その要因は、Katsube et al., 1987の式が結晶質岩を対象にした計算式であり、堆積岩を対象にした地層に適用するためには、水理試験から求めた透水係数と物理検層結果から算出した透水係数を比較検討する必要がある。

(2) 音波検層データから算出した透水性について

まず測定結果から(Wyllie, 1952) の(5)式を用いて孔隙率を算出した（図 5.2.3）。(Wyllie, 1952) の(5)式は下記の通りである。

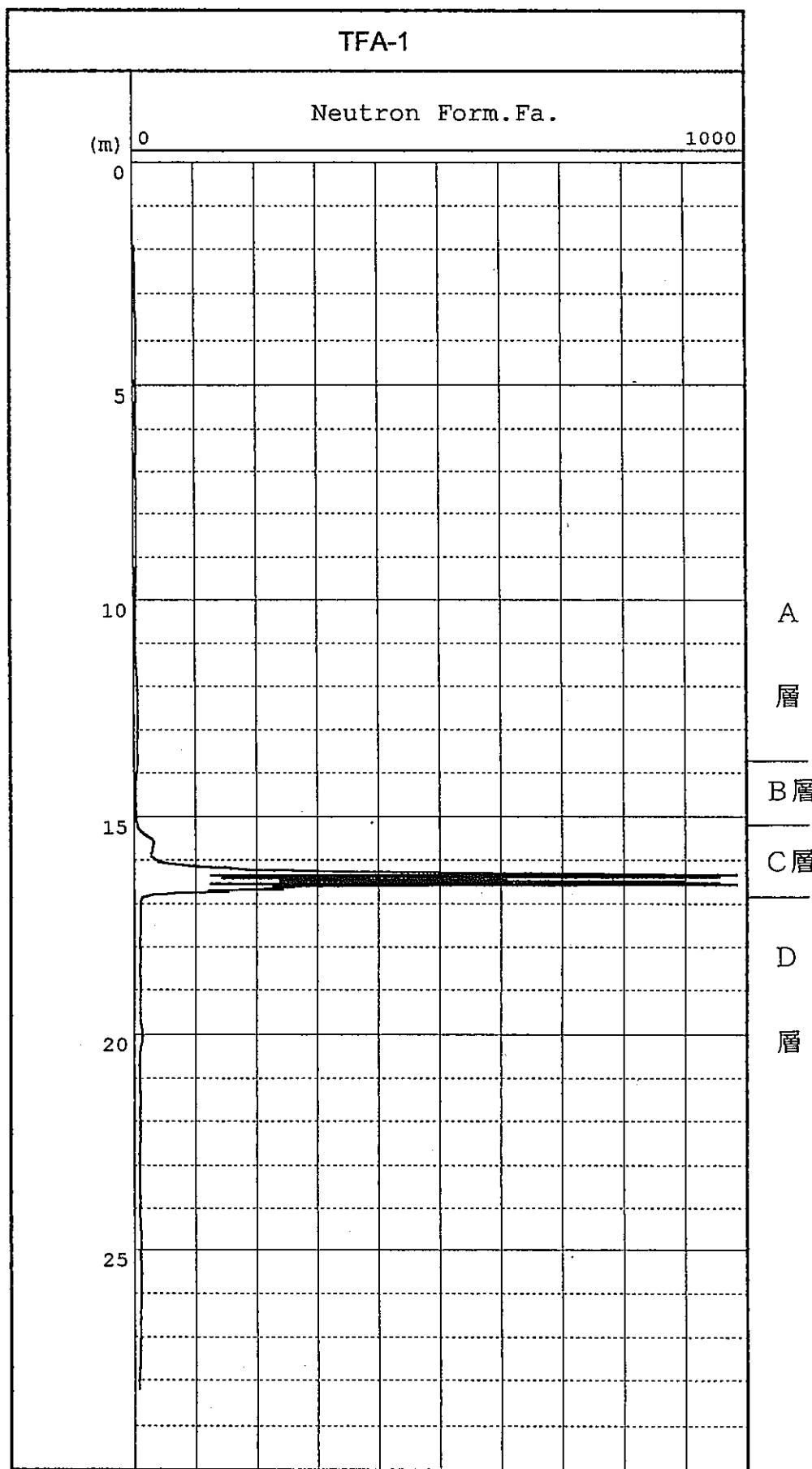


図 5.2.1 中性子検層より算出したフォーメイション・ファクター

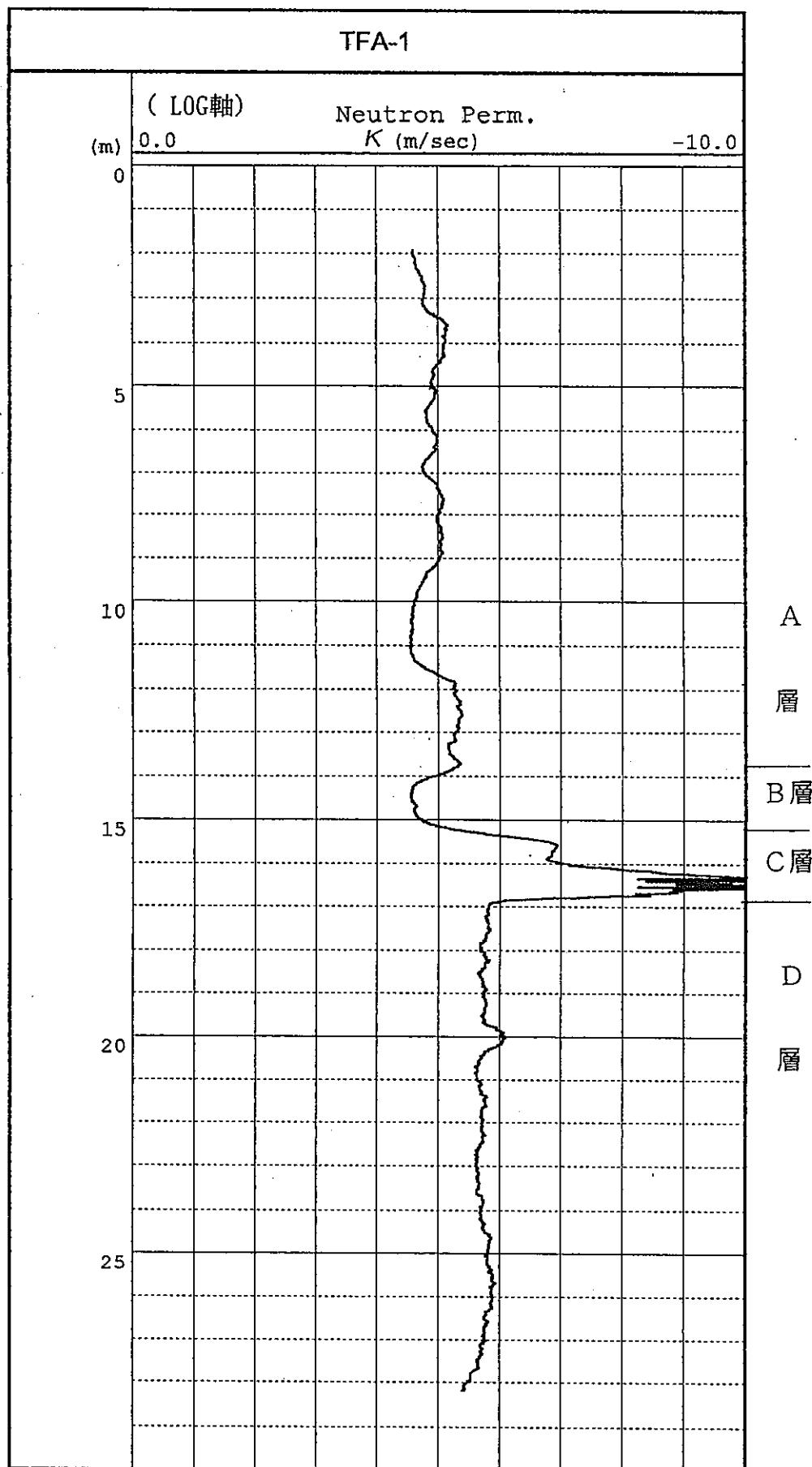


図 5.2.2 中性子検層より算出した透水係数

$$\phi_{SL} = \frac{\Delta T - \Delta T_{ma}}{\Delta T_i - \Delta T_{ma}} \quad (Wyllie, 1952) \quad (5)$$

ϕ_{SL} : 音波検層による孔隙率

ΔT : 1ft 間のP波走行時間

ΔT_{ma} : マトリックスの1ft 間のP波走行時間

ΔT_i : 水の1ft 間のP波走行時間

中性子検層同様、(3)式(Archie, 1942)を用いてフォーメーションファクタFを算出する。mは、Humble Formulaより 2.15と仮定した。

$$F = \frac{0.62}{\phi^m} \quad (Archie, 1942) \quad (3)$$

その図を図 5.2.4に示す。

更に、(4)式(Katsube et al., 1987)

$$k = 2.51 \times 10^7 \times F^{-2.22} (am^2) \quad (Katsube et al., 1987) \quad (4)$$

から同様に透水係数(k)を求めた(図 5.2.5)。

音波検層データから算出した透水係数は、 $10^{-4} \sim 10^{-5}$ m/sのオーダであり、中性子検層の場合と同様C層の透水性がやや低い傾向がみられる。

(3) 密度検層データから算出した透水性について

密度検層データをもとに(6)式(Schlumberger, 1972)より孔隙率を算出する。(図4.2.6)

$$\phi_D = \frac{\gamma_m - \gamma}{\gamma_m - \gamma_i} \quad (Schlumberger, 1972) \quad (6)$$

ϕ_D : 密度検層による孔隙率(%)

γ_m : 岩盤の気質密度 (g/cm³)

γ : 検層による密度 (g/cm³)

γ_i : 水の密度 (g/cm³)

更に音波検層同様、(3)式(Archie, 1942)を用いてフォーメーションファクタF

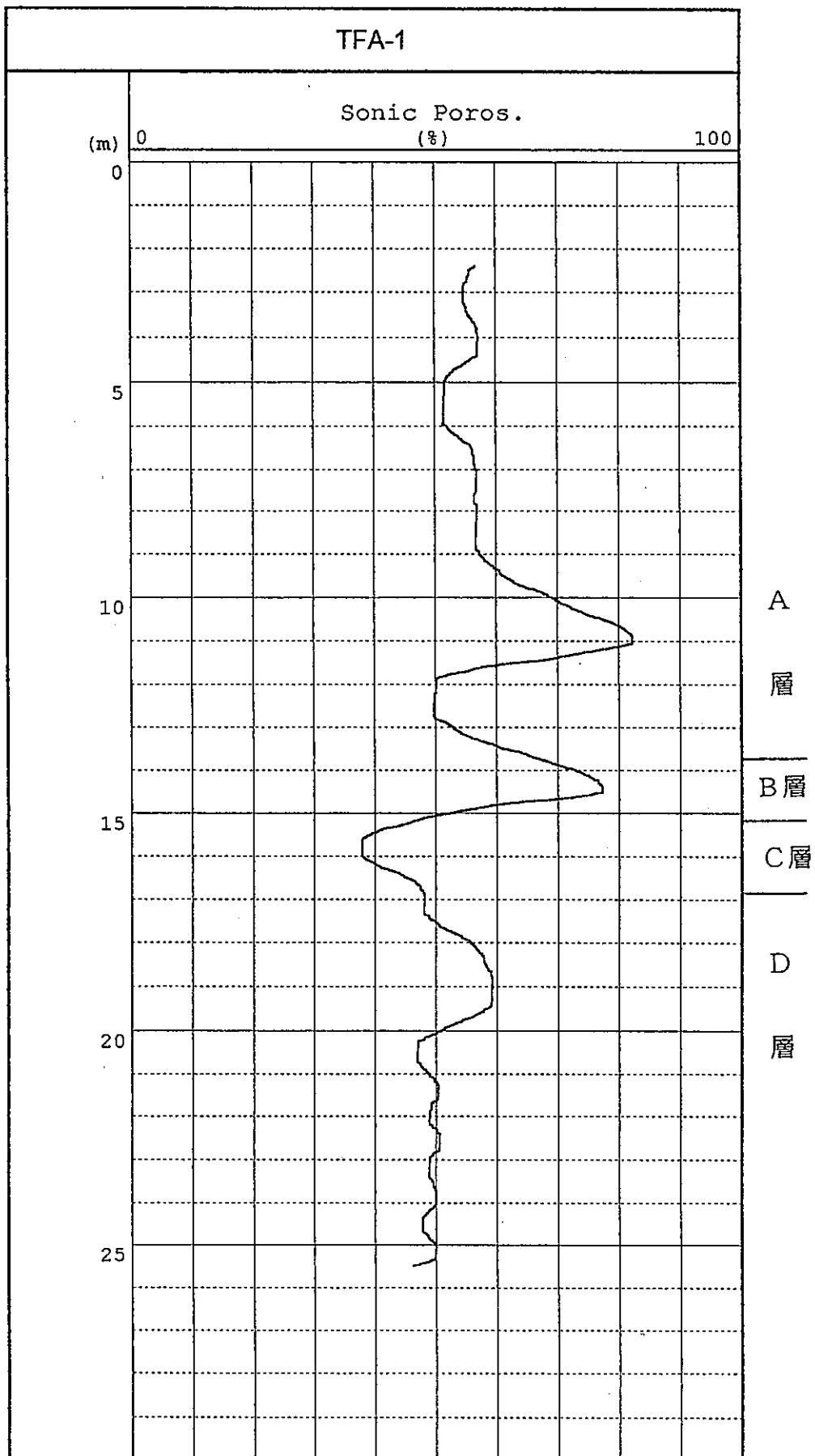


図 5.2.3 音波検層より算出した孔隙率

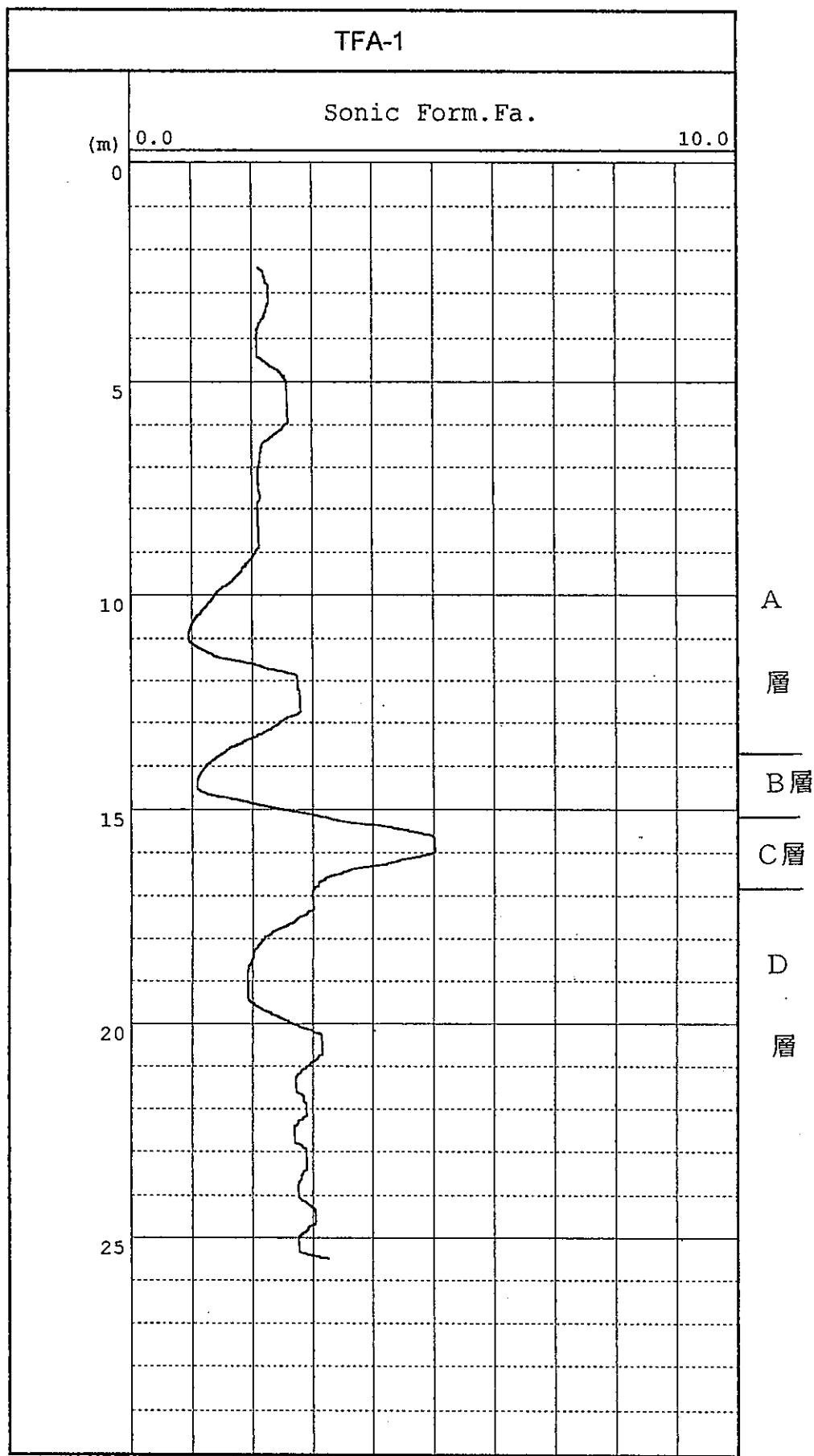


図 5.2.4 音波検層より算出したフォーメイション・ファクター

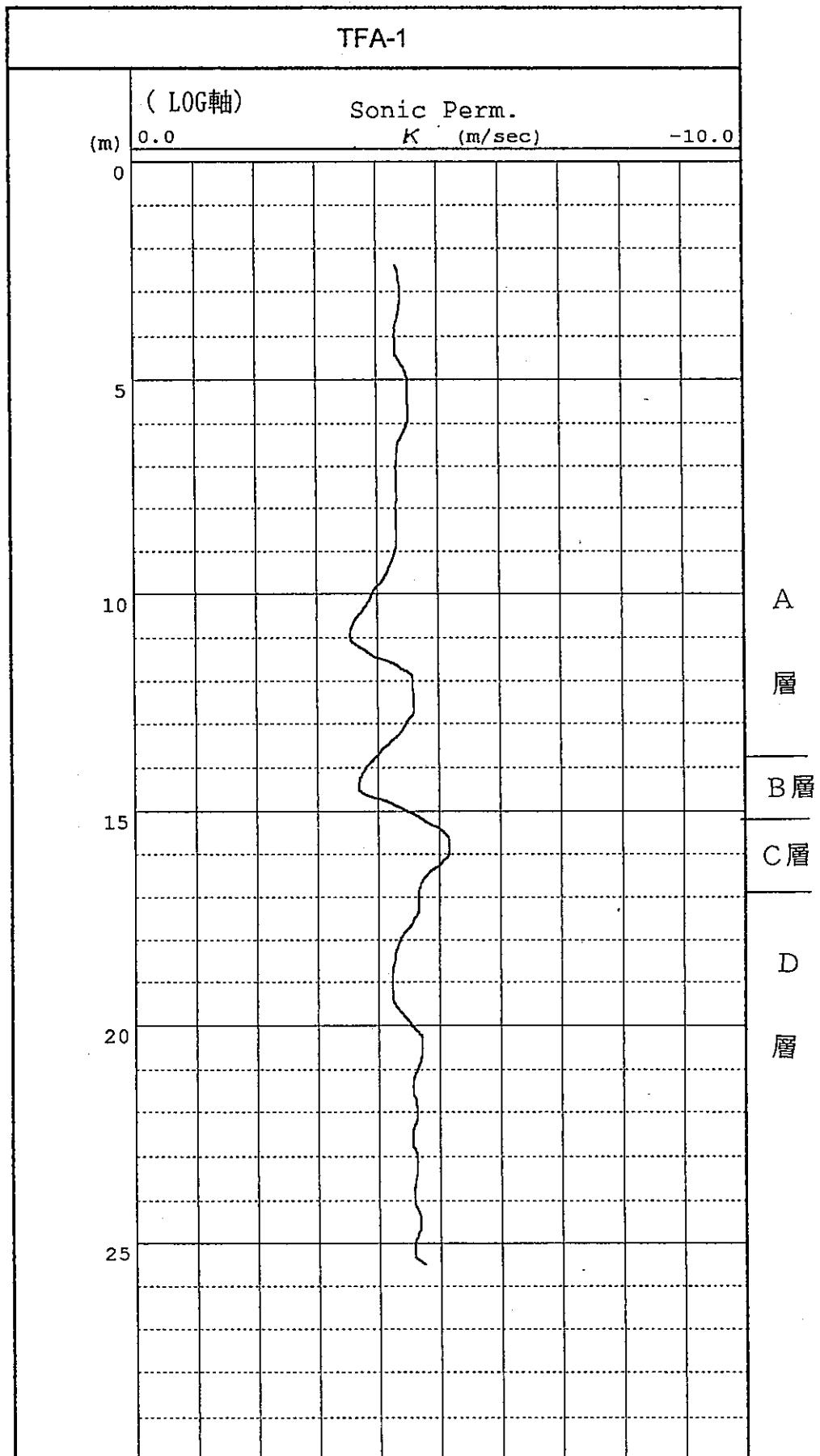


図 5.2.5 音波検層より算出した透水係数

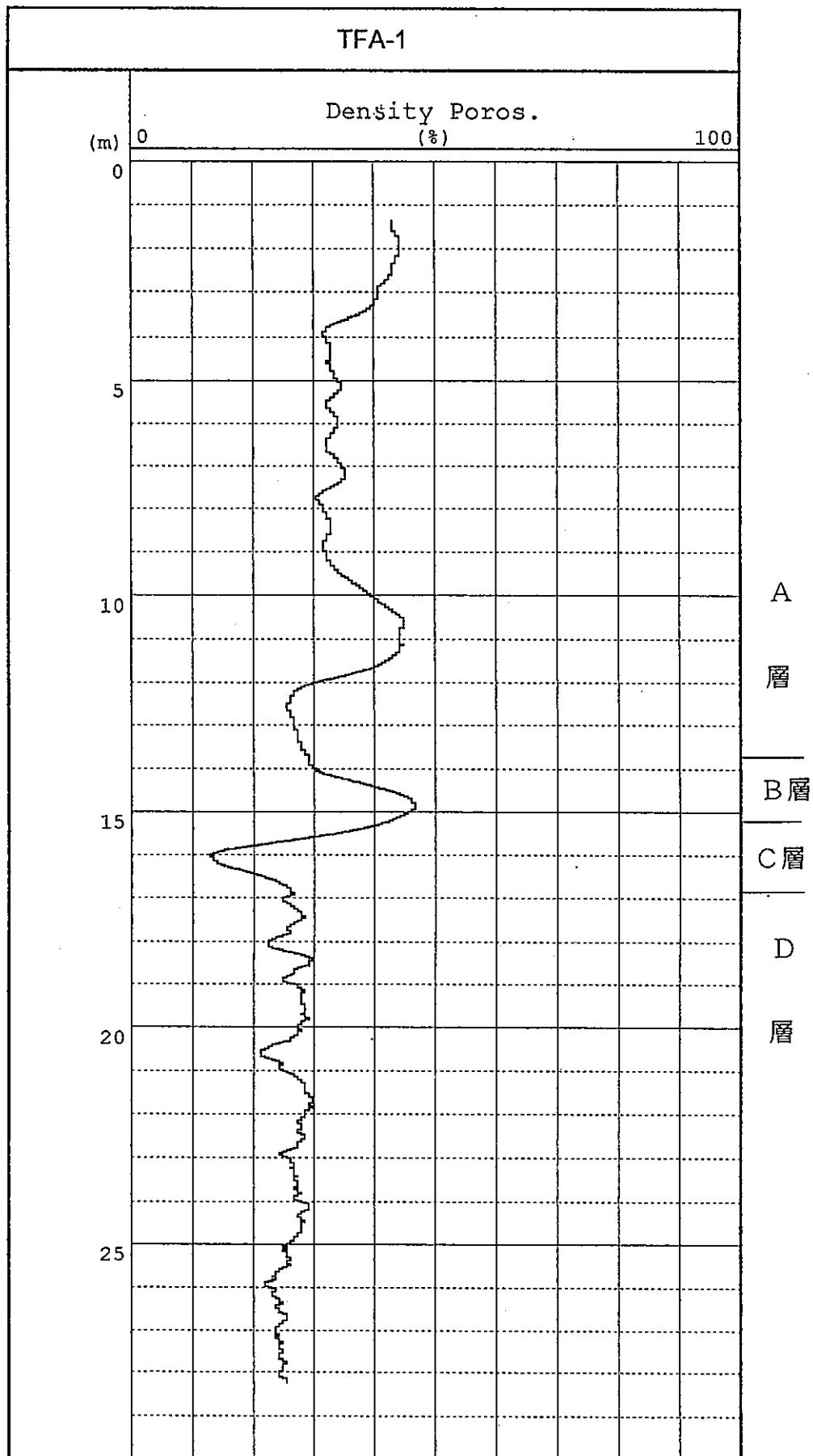


図 5.2.6 密度検層より算出した孔隙率

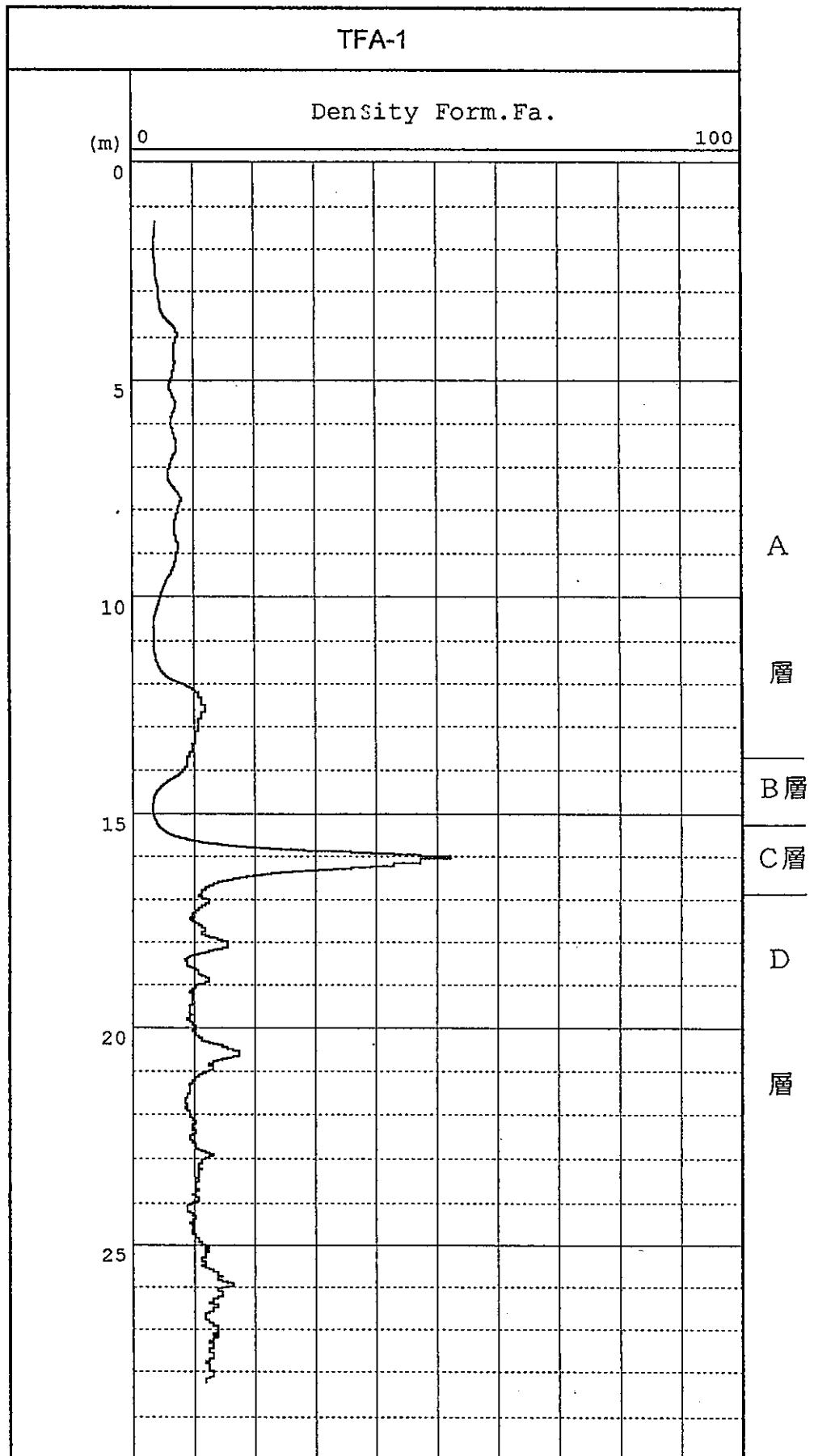


図 5.2.7 密度検層より算出したフォーメーション・ファクター

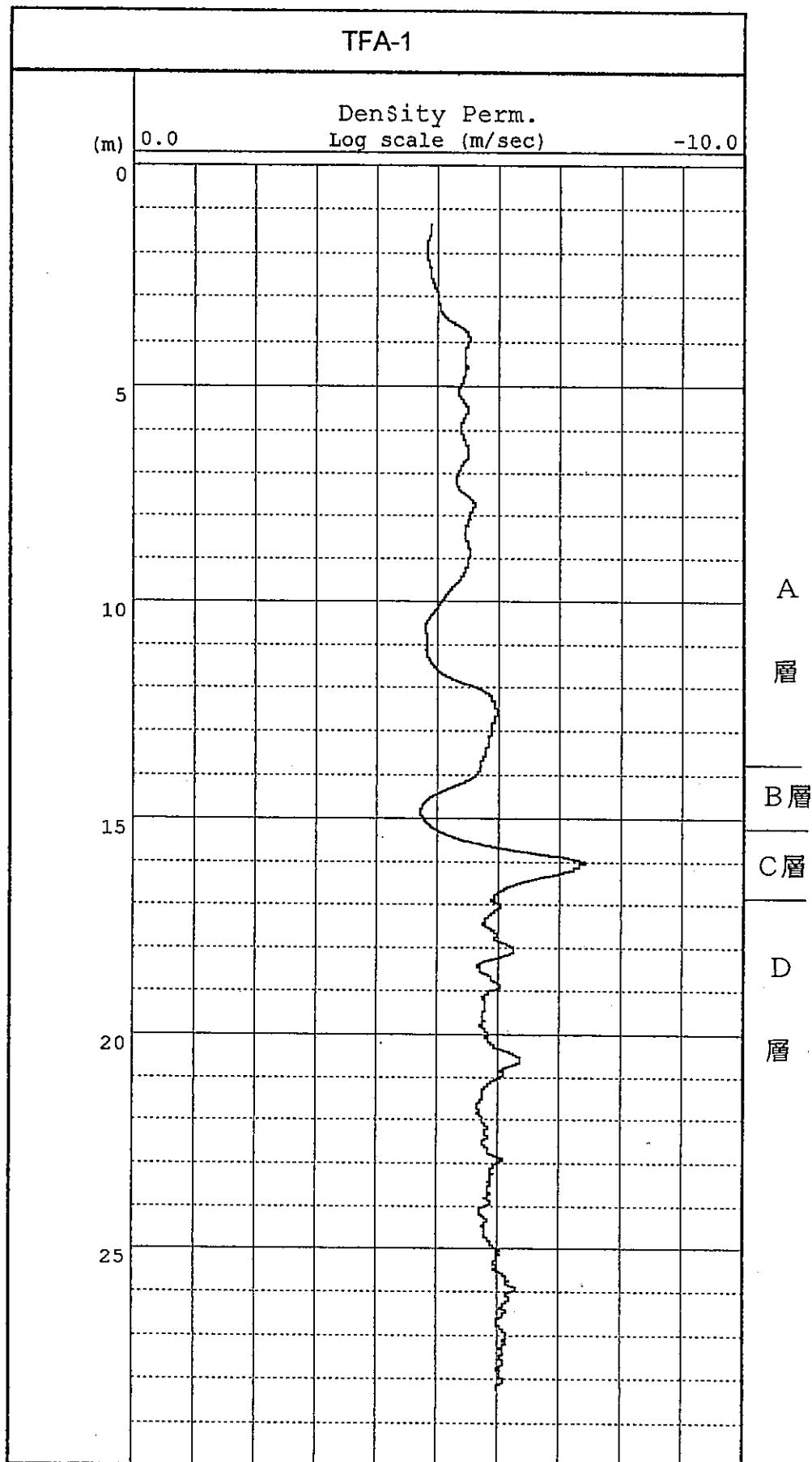


図 5.2.8 密度検層より算出した透水係数

を算出する。ここで、mは、Humble Formulaより 2.15 と仮定した。

$$F = \frac{0.62}{\phi^m} \quad (\text{Archie}, 1942) \quad (3)$$

更に、(4) 式(Katsube et., 1987)

$$k = 2.51 \times 10^7 \times F^{-2.22} (\text{am}^2) \quad (\text{Katsube et.al., 1987}) \quad (4)$$

から透水係数 (k) を求めた (それぞれ図 5.2.7 と図 5.2.8)。

密度検層データから算出した透水係数は、 $10^{-5} \sim 10^{-6}$ m/s のオーダであり、C 層でやや透水性が低い傾向が見られる。

(4) 電気検層 (25cm, 100cm ノルマル比抵抗) 結果と透水性の関係について

最初に比抵抗検層の結果から、真の比抵抗値を求めた。

真の比抵抗値を算出する手法として、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 5.2.9 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・L n 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 5.2.10~5.2.11)

L n (ロング ノルマル) の近似式

$$R_L(\text{LongN.}) = 10^{(1.12 \times \log)} \times 6.52 \times (\text{温度} + 21.5) \quad (7)$$

S n (ショート ノルマル) の近似式

$$R_L(\text{ShortN.}) = 10^{(1.21 \times \log)} \times 6.52 \times (\text{温度} + 21.5) \quad (8)$$

それぞれの Y : 比抵抗値 / 孔内水の比抵抗値

検層データを基に測定区間全域についてそれぞれ真の比抵抗値を連続的に算出し、その値を用いて(9) 式(Schlumberger, 1972) よりフォーメーションファクタを算出した(図 5.2.12~図 5.2.13)。

$$F = \text{真の比抵抗値} / \text{地層水の比抵抗値} \quad (\text{Schlumberger, 1972}) \quad (9)$$

それから、(4) 式(Katsube et., 1985) よりフォーメーションファクタの値を用い

NORMAL DEVICE NO INVASION

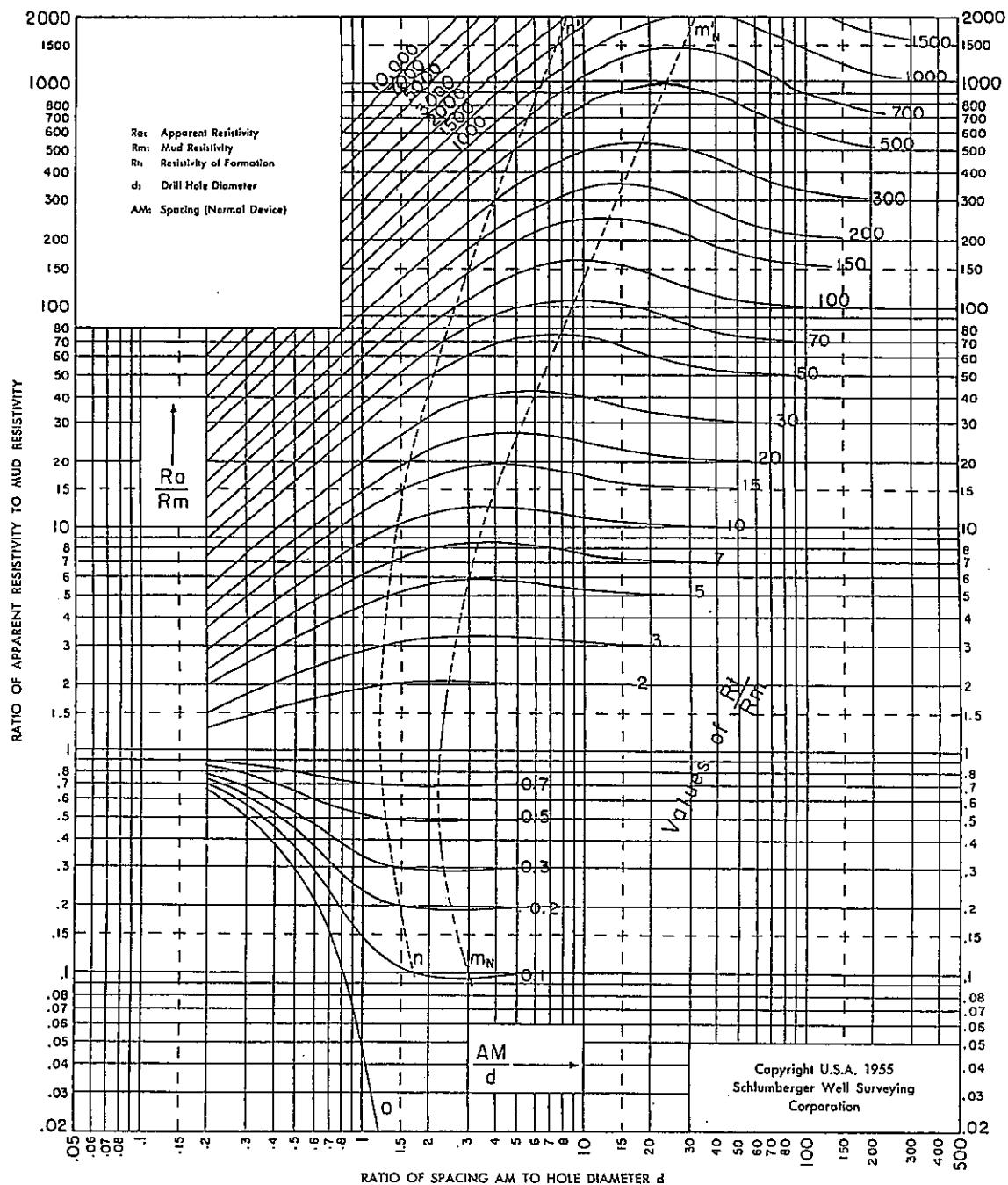


図 5.2.9 比抵抗偏差曲線図

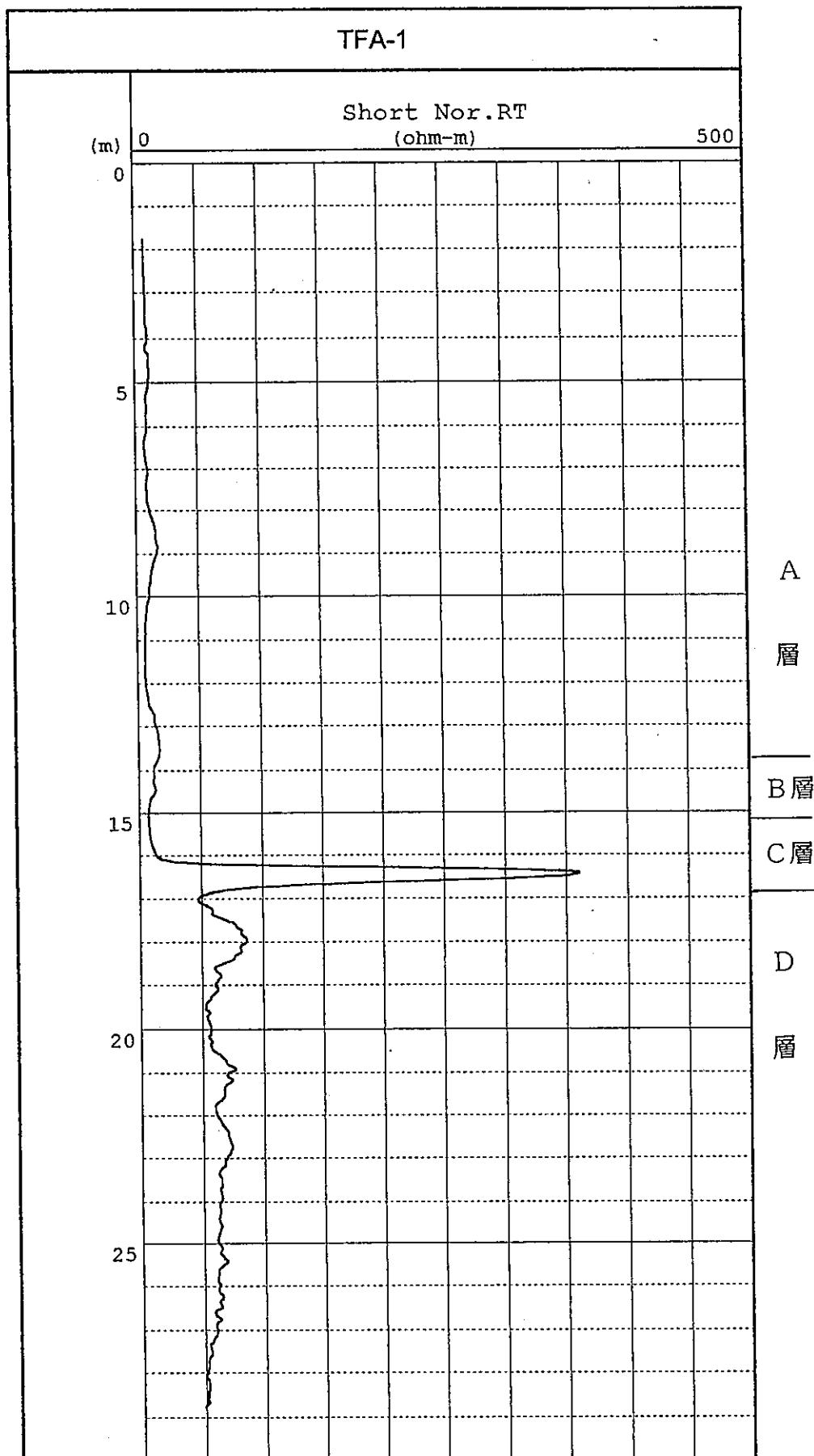


図 5.2.10 ショート・ノルタル 解析比抵抗曲線図

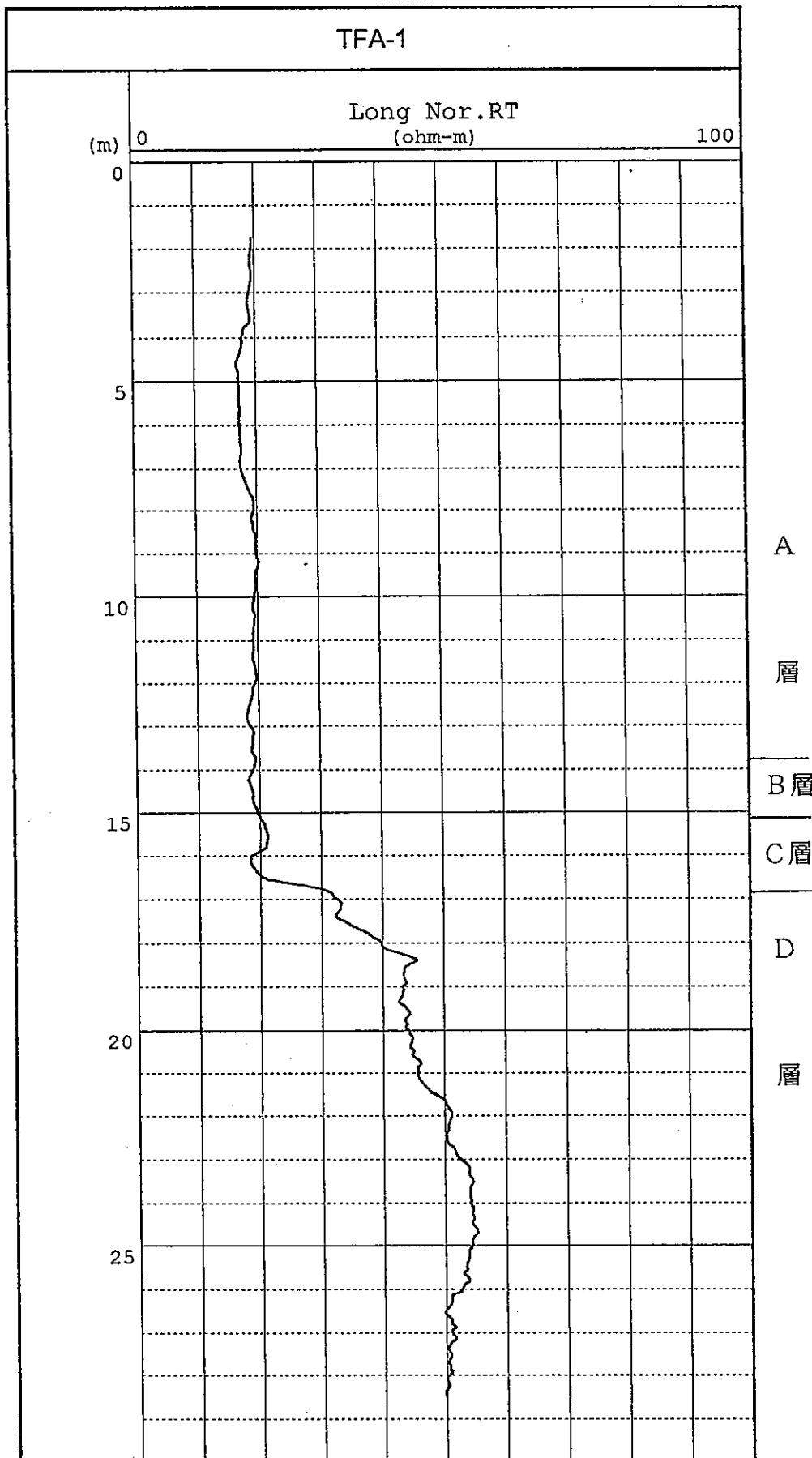


図 5.2.11 口^ク・川^{カワ}解析比抵抗曲線図

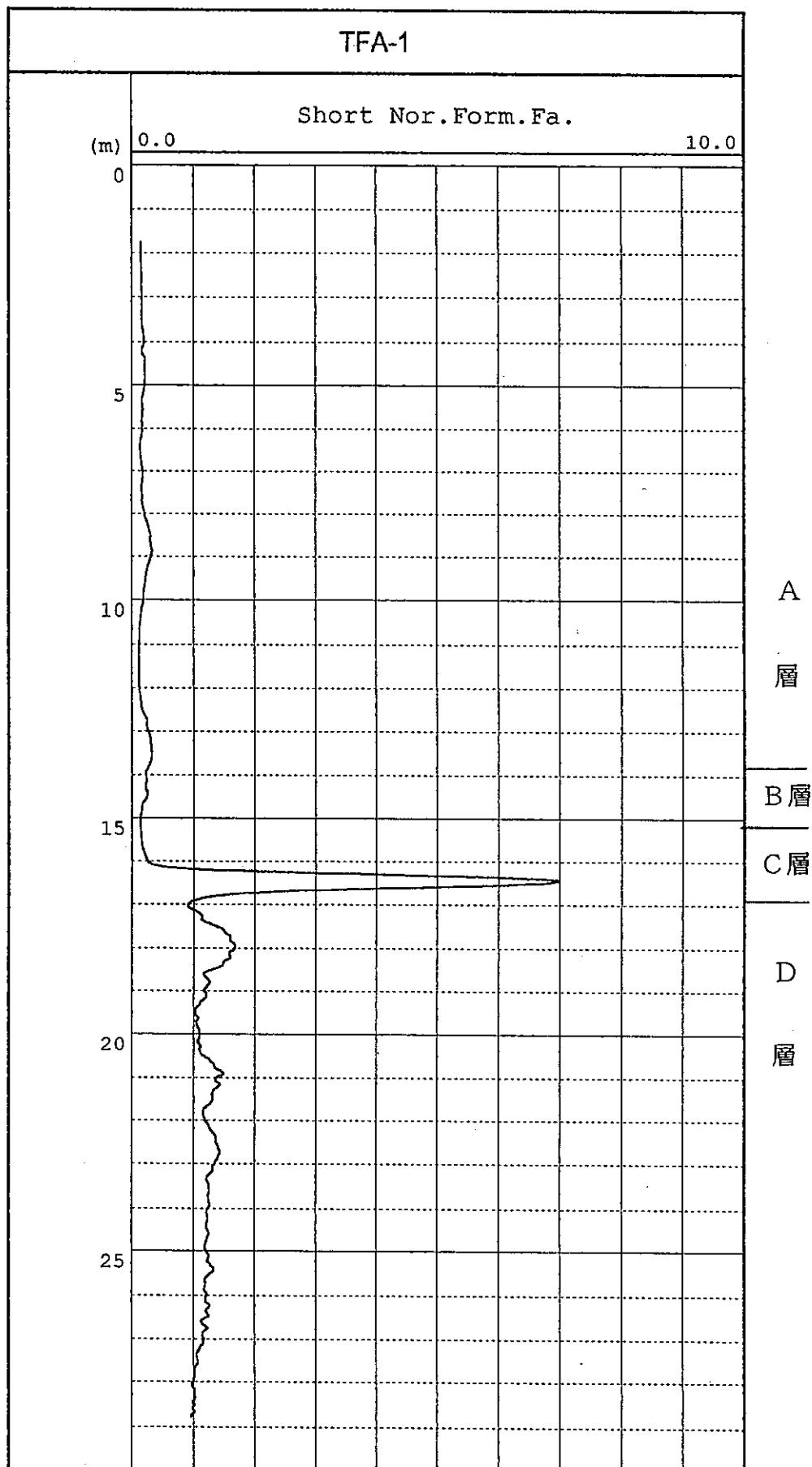


図 5.2.12 ショート・ノルマル フォーメーション・ファクター

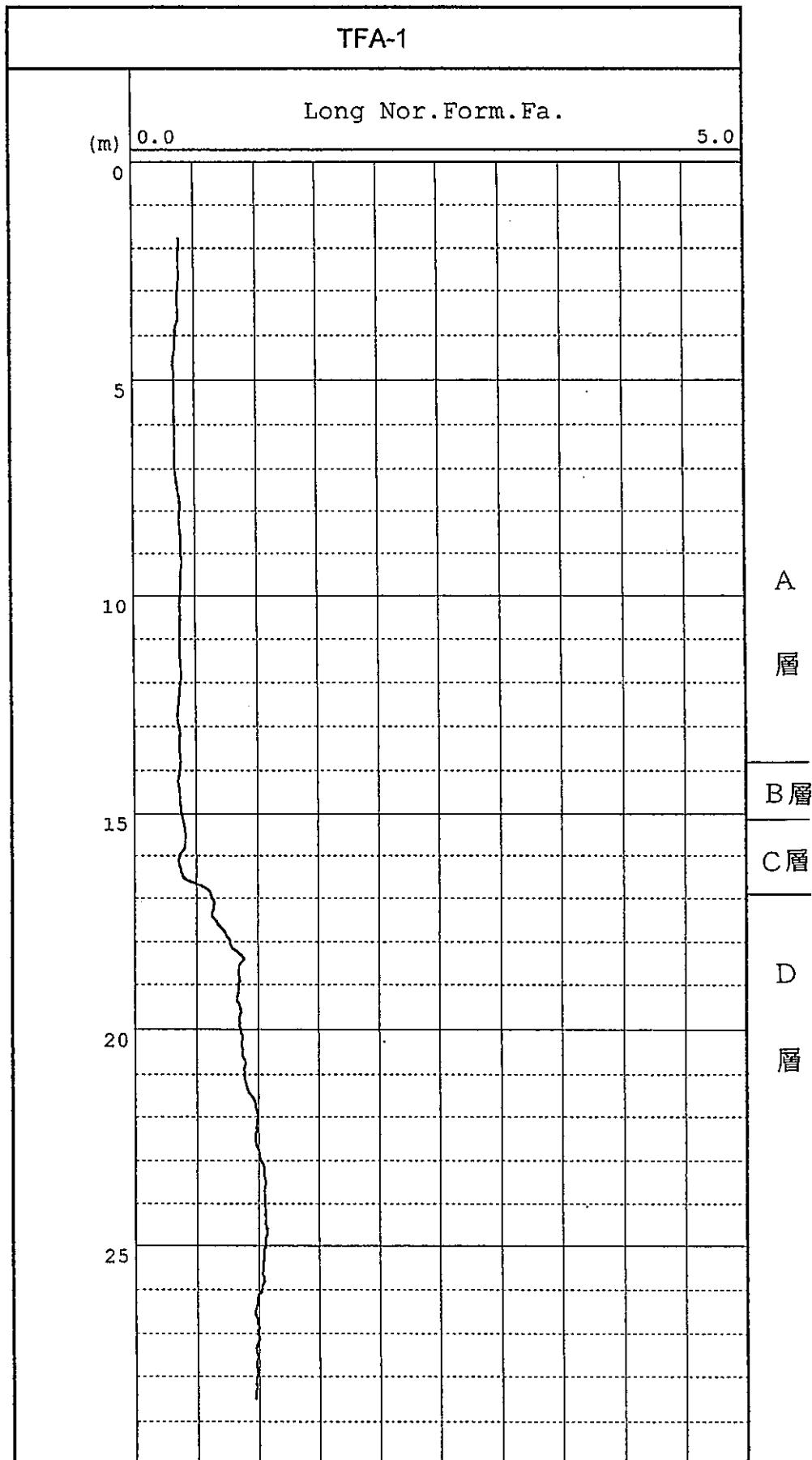


図 5.2.13 ロング・ノルル フォーメイション・ファクター

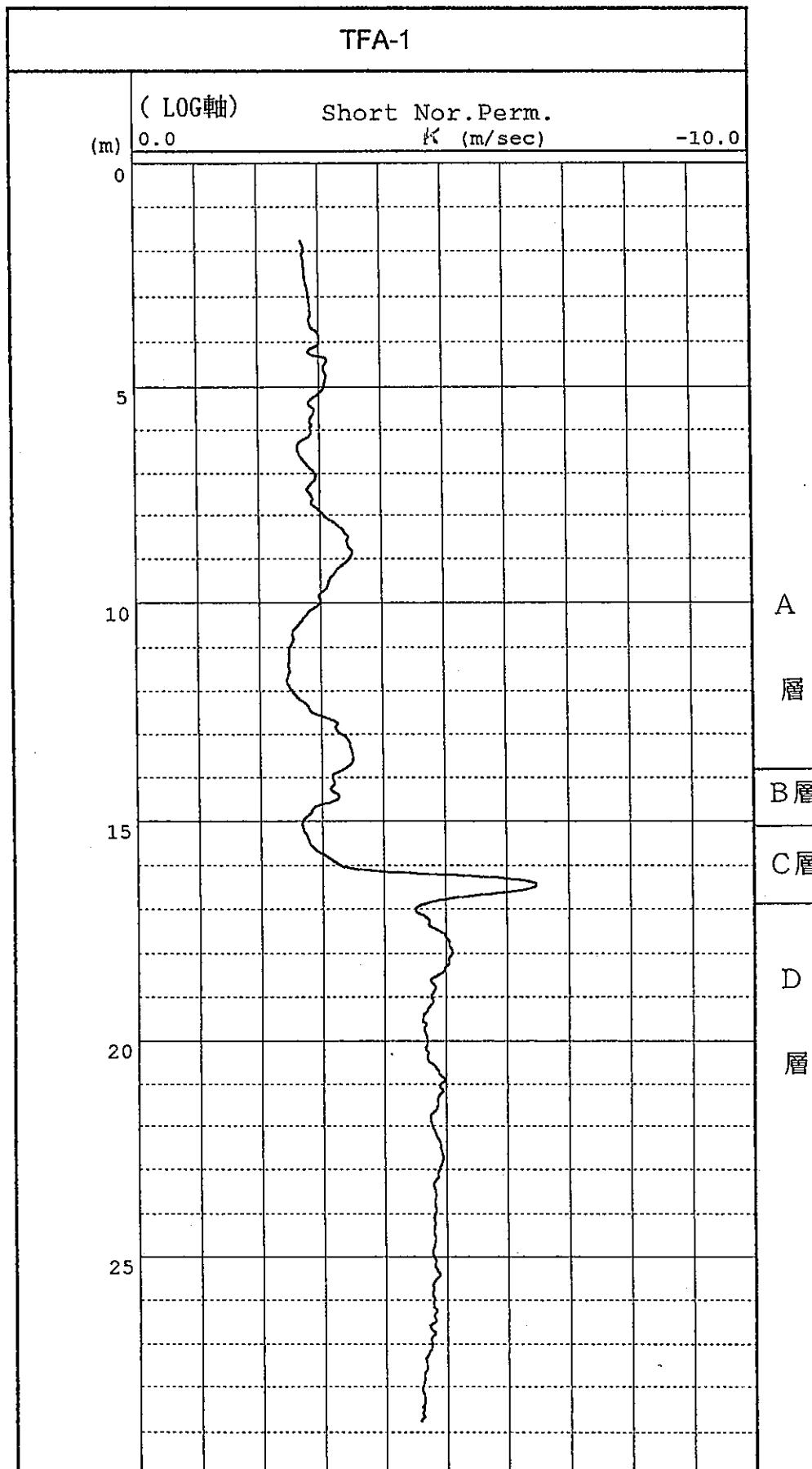


図 5.2.14 ショート・ノルマルより算出した透水係数

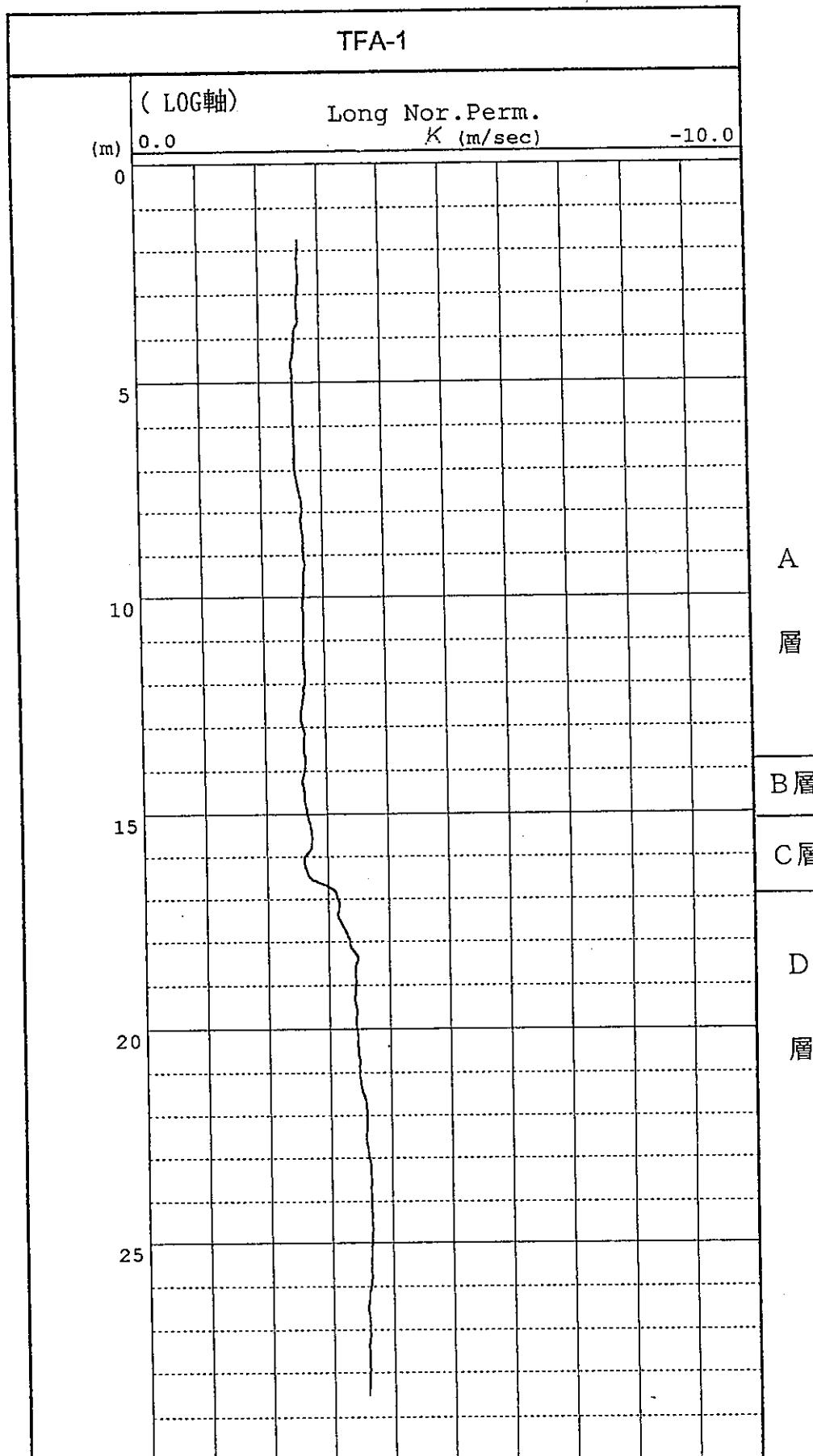


図 5.2.15 ログ・ナルルより算出した透水係数

て透水係数 (k) を求めた (図 5.2.14~図 5.2.15)。

$$k = 2.51 \times 10^7 \times F^{-2.22} (\text{am}^2) \quad (\text{Katsube et al., 1987}) \quad (4)$$

電気検層データから算出した透水係数は、 S_n (ショートナルル) が $10^{-3} \sim 10^{-5}$ m/s のオーダで、 L_n (ロングナルル) が $10^{-3} \sim 10^{-4}$ m/s の範囲を示す。その他の検層データから算出した透水係数に比べて、 $10^1 \sim 10^2$ オーダ高い透水係数であった。その理由として、孔内に注水した水の比抵抗を地層水の比抵抗と仮定して透水係数を求めたことが原因の一つであると考えられる。

以上のことから判断して、検層データから算出したTFA-1号孔の透水係数は、 $10^{-5} \sim 10^{-6}$ m/s のオーダが妥当であると考えられる。

月吉断層を含む断層破碎帯については、いずれの検層結果でも高い透水性を示している。その理由として粘土化が進んでいる岩盤の為、各物性値とも低アノマリーを形成し、その影響による原因と考えられる。本来の透水性は、かなり難透水性岩盤と予想される。

(5) 音波検層解析について

音波検層結果 (P波速度) から本孔の動弾性係数を推定する為、次のような仮定を取り入れて解析を行い、その解析図を図 5.2.16に示した。

最初に岩盤のポアソン比を次式から仮定した。

$$\gamma = 0.420 - 0.032 \times V_p \quad (10)$$

ここで、 γ : ポアソン比

V_p : P波速度 (km/s)

上式の結果より、本孔の動弾性係数を次式から算出し、その結果を示した。

$$Ed = V_p^2 \times FD \times (1 + \gamma) \times (1 - 2\gamma) / G / (1 - \gamma) \quad (11)$$

出典 : 土質工学会

E_d : 動弾性係数 (kg/cm^2)

$F D$: 単位体積重量 (kg/cm^3) 密度検層データ

V_p : P波速度 (cm/sec)

G : 重力加速度 (980cm/sec^2)

解析の結果、本孔の動弾性係数は $3 \sim 14 \times 10^4 \text{kg/cm}^2$ のオーダを示す。



TFA-1号孔

推定動弾性係数

ELASTIC CO.

*10000kg/cm²

(m) 1

100

0

5

10

15

20

25

A

層

B層

C層

D

層

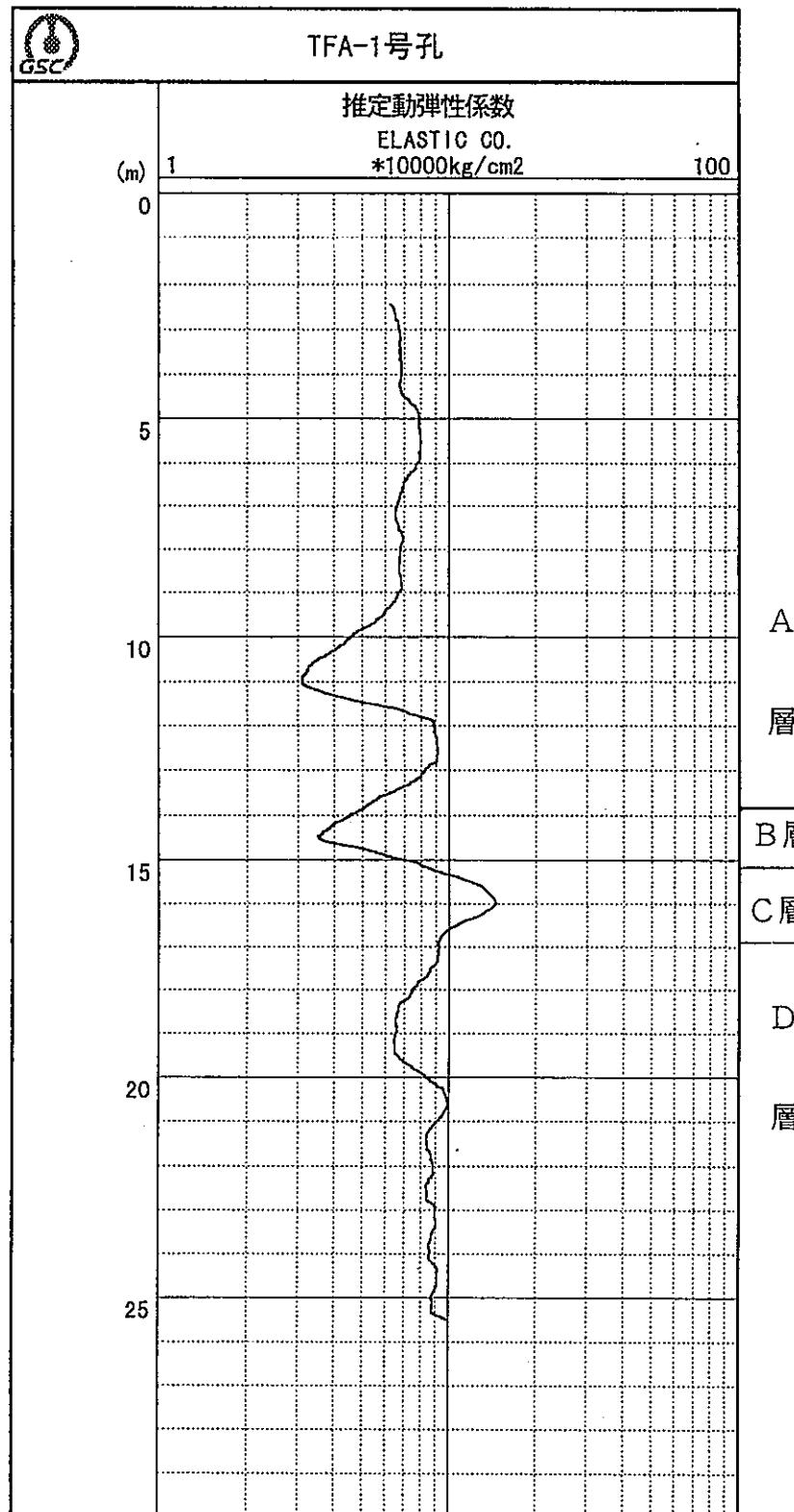


図 5.2.16 推定動弾性係数検層図

6. あとがき

今回の報告書「東濃山 TFA-1 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4ヶ所に区分して、その物性値を示した。測定区間は、第三紀層で構成され、取得された物性値と岩相、特に月吉断層を含む断層破碎帯と良い対比を成している。

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

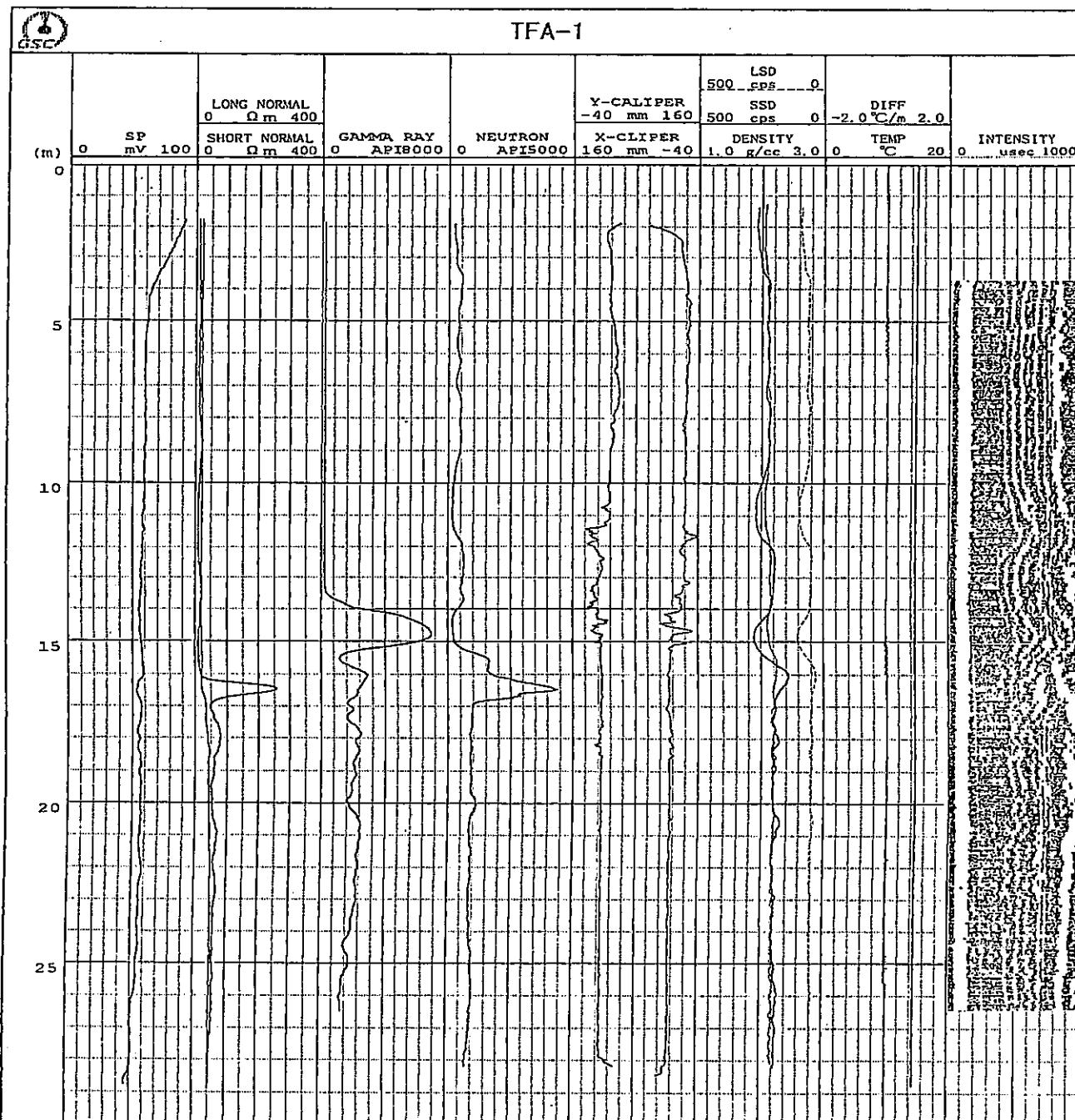
本作業を遂行するにあたり、関係各所の方々にご指導並びにご協力を賜りました。ここに、心から謝意を表します。

参考文献

- (1) Schlumberger Log Interpretation 1972Edition
- (2) 検層技術説明書 (株) 物理探査コンサルタント 1981
- (3) Katsube et al, GEOPHYSICS, VOL. 52 NO 3 1987

1 / 2 0 0

物理検層柱状図



1 / 5 0 0

