

幌延深地層研究計画（第 1 段階）における深層ボーリング調査の物理検層データ集

日本原子力研究開発機構

バックエンド研究開発部門 幌延深地層研究センター 深地層研究部

宮良 信勝[※]，松岡 稔幸

（2017 年 1 月 20 日 受理）

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構では，堆積岩を対象とした深地層の研究施設計画を北海道幌延町において進めている。

本データ集は，幌延深地層研究計画（第 1 段階）において実施した深層ボーリング調査（HDB-1～HDB-11）のうち，物理検層のデータを取りまとめたものである。

Data of Geophysical Logging Based on the Deep Borehole Investigations
in the Horonobe Underground Research Laboratory Project (Phase I)

Nobukatsu MIYARA[※] and Toshiyuki MATSUOKA

Horonobe Underground Research Department
Horonobe Underground Research Center
Sector of Decommissioning and Radioactive Waste Management
Japan Atomic Energy Agency
Horonobe-cho, Teshio-gun, Hokkaido

(Received January 20, 2017)

Japan Atomic Energy Agency (JAEA) is performing the Horonobe Underground Research Laboratory Project, which includes a scientific study of the deep geological environment as a basis of research and development for geological disposal of high level radioactive wastes (HLW), in order to establish comprehensive techniques for the investigation, analysis and assessment of the deep geological environment in the sedimentary rock.

This report integrates geophysical logging data obtained as part of deep borehole investigations (HDB-1 ~ HDB-11) conducted in the Horonobe Underground Research Laboratory Project (Phase I).

Keywords : Geophysical Logging, Deep Borehole Investigation, Sedimentary Rock,
Horonobe Underground Research Laboratory Project

※ Collaborating Engineer

目 次

1. はじめに	1
2. 物理検層の概要	2
2.1 調査位置	2
2.2 実施項目	4
2.3 機器仕様	5
2.4 測定方法	8
2.4.1 温度検層	8
2.4.2 比抵抗検層・自然電位検層	9
2.4.3 中性子検層	10
2.4.4 自然ガンマ線検層・スペクトルガンマ線検層	11
2.4.5 孔径検層	12
2.4.6 音波検層（低周波ダイポールソニック）	13
2.4.7 密度検層	15
2.4.8 フローメータ検層	16
2.4.9 電気伝導度検層	19
3. データ取得実績	20
4. 収録データ	31
5. おわりに	33
参考文献	33
付録1：物理検層データ集（CD）	34
付録2：ボーリング調査結果概要（CD）	34
付録 CD	

Contents

1. Introduction 1

2. Overview of geophysical logging 2

 2.1. Location of boreholes 4

 2.2 Measuring items 4

 2.3 Equipments 5

 2.4 Methods of geophysical logging 8

 2.4.1 Temperature log 8

 2.4.2 Resistivity log and self-potential log 9

 2.4.3 Neutron log 10

 2.4.4 Gamma-ray log and spectral gamma-ray log 11

 2.4.5 Caliper log 12

 2.4.6 Sonic log (Low frequency dipole sonic log) 13

 2.4.7 Density log 15

 2.4.8 Flow-meter log 16

 2.4.9 Fluid electrical conductivity log 19

3. Data acquisitions 20

4. Recording data 31

5. Conclusion 33

References 33

Appendix1 : Geophysical logging data (CD) 34

Appendix2 : Overview of HDB-1 to HDB-11 borehole investigation results (CD) 34

Appendix CD

1. はじめに

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（以下、原子力機構）が、北海道幌延町で実施している幌延深地層研究計画¹⁾は、平成 17 年 10 月の「原子力政策大綱」²⁾に示された「深地層の研究施設」を活用した計画のひとつであり、堆積岩を対象に「深地層の科学的研究」と「地層処分研究開発」を行うものである。

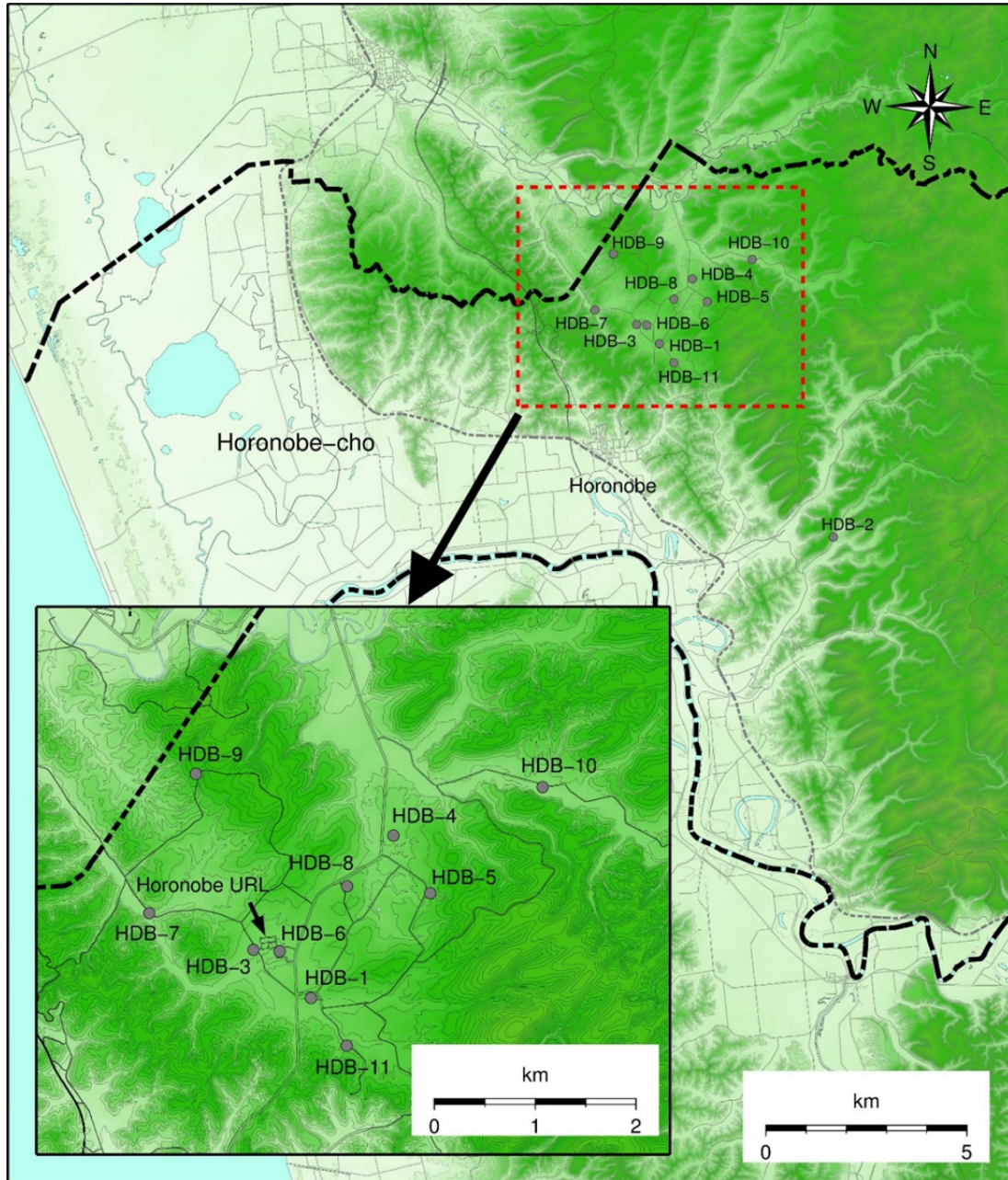
幌延深地層研究計画における調査研究は、地下施設の建設工程や研究開発課題の内容、実施時期の違いから「第 1 段階：地上からの調査研究段階」、「第 2 段階：坑道掘削（地下施設建設）時の調査研究段階」、「第 3 段階：地下施設での調査研究段階」の 3 段階に分けて実施している。

本データ集は、第 1 段階に実施した深層ボーリング調査（HDB-1～HDB-11）³⁾のうち物理検層データについて取りまとめたものである。

2. 物理検層の概要

2.1 調査位置

物理検層を実施した深層ボーリング調査孔（HDB-1～HDB11）の位置を図 2-1 に示し、孔口座標および掘削深度³⁾を表 2-1 に示す。



* GMT(Generic Mapping Tool)を使用。

図 2-1 深層ボーリング調査位置図

表 2-1 各孔の孔口座標および掘削深度

深層ボーリング 孔名	UTM 座標 (WGS84,zone54)		孔口座高	掘削深度
	N [m]	E [m]	[m]	[m]
HDB-1	4987758.417	568102.258	69.102	720
HDB-2	4983002.942	572478.747	42.529	720
HDB-3	4988229.855	567524.238	58.192	520
HDB-4	4989381.787	568904.225	63.610	520
HDB-5	4988811.806	569278.059	78.768	520
HDB-6	4988219.987	567786.853	60.212	620
HDB-7	4988583.098	566485.228	43.752	520
HDB-8	4988873.700	568450.835	70.051	470
HDB-9	4989973.229	566932.893	97.188	520
HDB-10	4989878.519	570382.397	50.829	550
HDB-11	4987289.755	568463.270	66.848	1020

2.2 実施項目

深層ボーリング調査（HDB-1～HDB11）で実施された物理検層の項目を表 2-2-1 に示す。

表 2-2-1 物理検層項目一覧表

調査孔名	温度検層	比抵抗検層・自然電位検層	中性子検層	自然ガンマ線検層	スペクトルガンマ線検層	孔径検層	密度検層	音波検層	スピナー検層	電磁フローメータ検層	電気伝導度検層
HDB-1	○	○	○	○		○	○	○	○	○	
HDB-2	○	○	○	○		○	○	○		○	
HDB-3	○	○	○	○		○	○	○		○	
HDB-4	○	○	○	○		○	○	○		○	
HDB-5	○	○	○	○		○	○	○	○	○	
HDB-6	○	○	○	○	○	○	○	○		○	○
HDB-7	○	○	○	○	○	○	○	○		○	
HDB-8	○	○	○	○	○	○	○	○		○	
HDB-9	○	○	○	○	○	○	○	○		○	
HDB-10	○	○	○	○	○	○	○	○		○	
HDB-11	○	○	○	○	○	○	○	○		○	○

2.3 機器仕様

深層ボーリング調査 (HDB-1~11) の物理検層で使用した機器の仕様を取りまとめ、表 2-3-1 ~表 2-3-3 に示す。

表 2-3-1 物理検層使用機器一覧表

検層項目	機 器	型 式	仕 様	適 用
全種目共通	検層車	三菱スーパー・グレート	6000m 級検層車	HDB-1 ~ HDB-11
	ケーブル	アーマードケーブル	7 芯鋼線検層ケーブル 外径 : 7/16" 耐熱 : 260 °C	
	データ収録 ・ データ処理	GSC-DWL システム	デジタル検層システム コントロールユニット: 検層データ収録インターフェース ホストコンピュータ: NEC PC9821 LS13 (Pentium 133MHz) プリンター: ROLON TP-5000 CANNON BJC-5500J 収録・処理ソフト: DWLS Ver.7.1	
温度検層 Temperature Log	地上機器	TSM-200	電源: AC100V ±10% 50/60 Hz 出力電流: 0~100 mA 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)	HDB-1 ~ HDB-11
	孔内機器		外径: 43 mm 全長: 150 cm センサー: サーミスタ	
比抵抗検層 Resistivity Log	地上機器	ウェスタンアトラス社製 総合パネル インタクションパネル	電源: AC100V ±10% 50/60 Hz 出力電圧: 180 V 出力電流: 0~50 mV 測定動作周波数: 20.05kHz ±10 Hz 出力: DEEP, MEDIUM, FOCUS / SP 動作範囲: 比抵抗(0~2000Ω・m) SP(0~200mV)	HDB-1 ・ HDB-3 ~ HDB-11
	孔内機器		外径: 86 mm 全長: 7.2 m 耐熱: 204 °C, 耐圧: 1400 KSC	
	地上機器	ELM-204 SCM-304	電源: AC100V ±10% 50/60 Hz 出力電圧: 180 V 出力電流: 0~50 mV 測定動作周波数: 2405Hz ±10 Hz 出力: DEEP, MEDIUM, SHALLOW/SP 動作範囲: 比抵抗(0~20kΩ・m) SP(0~200mV)	HDB-2
	孔内機器		外径: 50 mm 全長: 150 cm 電極: 25 cm/ノルマル 1/100 cm/ノルマル/SP	
中性子検層 Neutron Log	地上機器	LPM-203 RMM-204	電源: AC100V ±10% 50/60 Hz 測定電源: 60mA	HDB-1 ・ HDB-2
	孔内機器		外径: 43 mm 全長: 150 cm 耐圧: 15,000psi デテクター: プロポーションナルデテクター	
	地上機器	センチュリー社製 ultra-lite model	電源: AC100V ±10% 50/60 Hz	HDB-3 ~ HDB-11
	孔内機器	9073 タイプ	外径: 50 mm 全長: 284 cm 線源: ²⁴¹ Am-Be(111 GBq) デテクター: He ³ 2 デテクター	

表 2-3-2 物理検層使用機器一覧表

検層項目	機器	型式	仕様	適用
自然ガンマ線検層 Gamma-Ray Log	地上機器	LPM-203 RMM-204	電源: AC100V ±10% 50/60 Hz 測定電源: 60mA	HDB-1 ・ HDB-2
	孔内機器		外径: 43 mm 全長: 150 cm 耐圧: 15,000 psi デテクター: シンチレーションカウンター	
	地上機器	センチュリー社製 ultra-lite model	電源: AC100V ±10% 50/60 Hz	HDB-3 ～ HDB-11
	孔内機器	9073 タイプ	外径: 50 mm 全長: 284 cm デテクター: NaI シンチレーション	
スペクトル ガンマ線検層 Spectral gamma-ray Log"	地上機器	EXCELL 2000	デジタル検層収録システム	HDB-6 ～ HDB-11
	孔内機器	CSNG-A	外径: 92.1mm 全長: 4.54m 測定孔径: 114～508mm ディテクタ: NaI(Tl) チャンネル数: 768	
孔径検層 Caliper Log	地上機器	LPM RMM(×2)	電源: AC100V ±10% 50/60 Hz BIN DC300 V 測定電源 90 mA	HDB-1 ～ HDB-11
	孔内機器	X-Y AXIS	外径: 45 mm 全長: 127 cm 測定範囲: 5～71 cm 耐圧: 15,000psi 測定温度: max 190°C	
密度検層 Density Log	地上機器	DPM-1 LRM-2A(×2)	電源: AC100V ±10% 50/60 Hz BIN DC300 V 測定電源 50 mA 出力: DENSITY/SS.FS PULSE	HDB-1 ～ HDB-2
	孔内機器	DUAL SPACED	外径: 54 mm 全長: 160 cm 線源: ¹³⁷ Cs(5.55 GBq) FAR デテクター: シンチレーション NEAR デテクター: GM カウンター	
	地上機器	センチュリー社製 ultra-lite model	電源: AC100V ±10% 50/60 Hz 測定電圧 56VDC	HDB-3 ～ HDB-11
	孔内機器	9039 タイプ	外径: 56 mm 全長: 280 cm 線源: ¹³⁷ Cs(5.55 GBq) FAR/NEAR デテクター: シンチレーション	
9139 タイプ		耐熱: 70°C		
音波検層 Sonic Log	地上機器	EXCELL 2000	デジタル検層収録システム サンプリング深度: 0.025m サンプリング時間: 0～ 4096μs(MP) 0～16384μs(DP)	HDB-1 ～ HDB-11
	孔内機器	LFDL (低周波 ダイポールソニック)	外径: 92 mm 全長: 960 cm MONOPOLE 発振周波数: 15 KHz T-R1: 11ft, T-R2: 12ft T-R3: 13ft, T-R4: 14ft DIPOLE 発振周波数: 1.5 KHz T-R1: 11ft, T-R2: 12ft T-R3: 13ft, T-R4: 14ft	

表 2-3-3 物理検層使用機器一覧表

検層項目	機器	型式	仕様	適用
インペラー型 フローメータ 検層 Impeller Flow meter Log	地上機器	LPM-203 スタックコントロール モジュール	電源: AC150V ±10% 50/60 Hz FLOW METER PRESSURE 対応	HDB-1 ~ HDB-5
	孔内機器	フローメータ	インペラー型 外径: 43 mm	
		圧カツール (Paine 圧力計)	圧力範囲: 0~10,000psi 精度: ±0.6% FS 耐熱: 170°C	
電磁式 フローメータ検層 Electro-magnetic Flow meter Log	地上機器	HPFM-001	電源: AC100V ±10% 50/60 Hz 測定電圧: 64VDC	HDB-1 ~ HDB-5
	孔内機器	フローメータ	外径: 48 mm 全長: 142 cm 電磁型 測定流量範囲: 0.005~40 l/min 分解能: ±0.002 l/min	
	地上機器	センチュリー社製 ultra-lite model	電源: AC100V ±10% 50/60 Hz	HDB-6 ~ HDB-11
	孔内機器	9721E-M Flowmeter	外径: 41.3 mm 全長: 1.42 m 電磁型 測定流量範囲: 0.005~40 l/min 分解能: ±0.002 l/min Temp, Fluid Resistivity 同時収録	
電気伝導度検層 Fluid Electric Conductivity Log	地上機器	センチュリー社製 ultra-lite model	電源: AC100V ±10% 50/60 Hz	HDB-6
	孔内機器	9721E-M Flowmeter	外径: 41.3 mm 全長: 142 cm 電磁型 測定流量範囲: 0.005~40 l/min 分解能: ±0.002 l/min Temp, Fluid Resistivity 同時収録	
	地上機器	EMFM-001	電源: AC100V ±10% 50/60 Hz 測定電圧: 64VDC	HDB-11
	孔内機器	電気伝導度計	外径: 48 mm 全長: 142 cm 測定範囲: 10 ~ 100,000 μ S/cm 分解能: 10 μ S/cm 以内	

2.4 測定方法

深層ボーリング調査（HDB-1～11）で実施した物理検層の測定方法について記載する。

2.4.1 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する手法で、一般に地層の対比、逸水層、湧水層および帯水層などの位置判定に利用されている。また石油等の探鉱では、温度測定により生産あるいは圧入地層の深度を決定している。この温度の測定においては、流体の流動により生ずる微細な温度変化を記録することが重要な要素となる。

温度検層器の感熱素子としては、抵抗式温度測定素子であるサーミスタを使用している。サーミスタの抵抗と温度の関係は以下の通りである。

$$R = R_0 \exp B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)$$

R : 温度 T (K) の時の抵抗値 (Ω)
 R_0 : 温度 T_0 (K) の時の抵抗値 (Ω)
 B : サーミスタ係数 (K)

測定原理の等価回路を図 2-4-1 に示す。図に示すように地上から 1 mA の一定電流を供給し、サーミスタ両端の電位降下を孔内で測定して、その抵抗変化を求める。ケーブル抵抗 R_1 , R_2 の抵抗が十分小さくサーミスタ R に比べて電位差計の入力インピーダンスが十分大きければ、測定電圧は $V=IR$ となりケーブル抵抗に関係なくサーミスタ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た機構になっている。

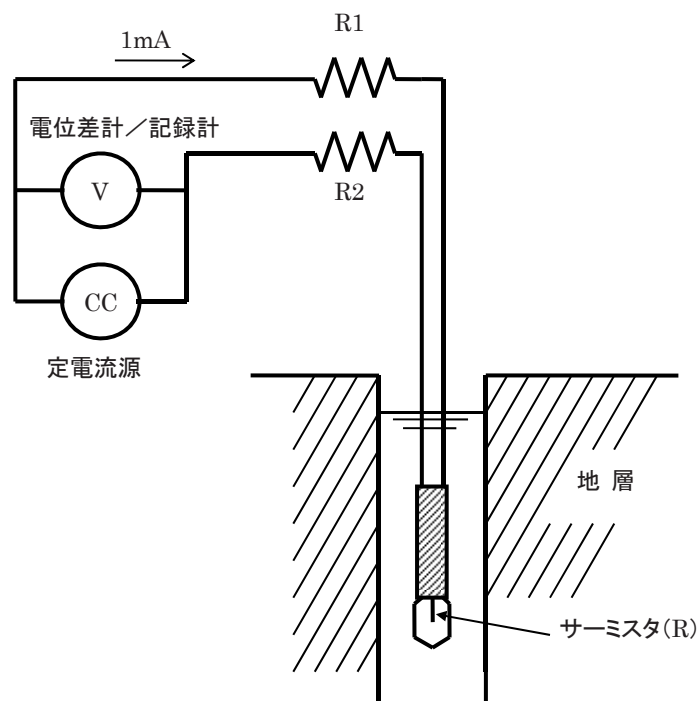


図 2-4-1 温度検層概念図

2.4.2 比抵抗検層・自然電位検層

比抵抗検層は孔内に満たされた液体が、非導電性の場合でも、地層の比抵抗を測定できる検層で、しかも比抵抗の低い地層に有効である。

インダクション検層の測定原理は、検層機中に配列したトランスコイルが電流変化によって磁場を変化させる装置で、この磁場が次の2次電流を地層内に発生させる。この2次電流の強さは、その地層が有する導電率に比例する関係にある。その地層の導電率が高ければ（地層の比抵抗が低ければ）、誘導電流の強さは大きくなる。この誘導電流は、受信器のコイルに信号を発生させ、この信号の強度は地層に流れる電流の大きさ（従ってその地層の導電率の大きさ）に比例することになる（図 2-4-2）。

導電性の大きい地層では、測定電極によって地層に誘起された渦流におよぼす表皮効果が増加して測定される導電率が多少減少する傾向を示すが、これは装置内に組み込まれた補正機構で自動的に補正される。

比抵抗検層では、比抵抗と同時に地層の自然電位(SP)も連続的に測定する。自然電位は孔井内電極 M と地上の電極 N との間の電位差である。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と考えられている。

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。

インダクション検層ツールは、受信コイルを複数使って、2種類の探査深度で測定できる。探査深度の深い方をディープ、比較的浅い方をミディアム、さらに補助電極の短いラテロ型比抵抗を同時に組み込み、探査深度が最も浅くした比抵抗値をシャローと呼んでいる。

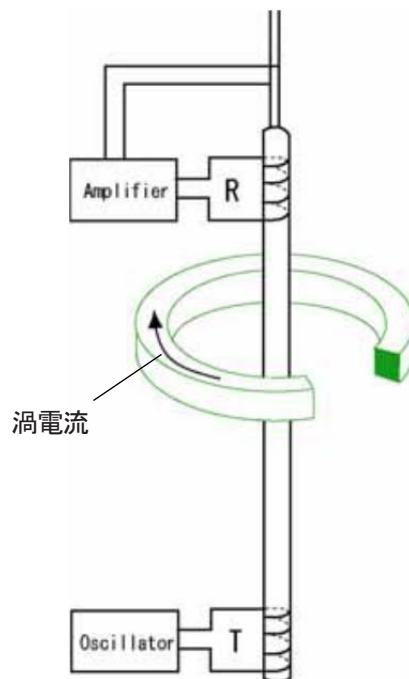


図 2-4-2 インダクション検層測定概念図

2.4.3 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。

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（図 2-4-3）。

中性子検層は孔内測定器に中性子線の線源（アメリカシウム-ベリリウム $^{241}\text{Am}\text{-Be}$: 111GBq 米国 Gulfnuclea Inc.製）と検出器を装着し、この線源から地層に照射され、衝突・散乱した熱中性子の強度を 2 個のディテクタ（Near, Far）で深度ごとに連続的に測定することにより地層孔隙率の変化を求めることができる（図 2-4-4）。

中性子検層の検層器は、孔隙率がわかっている石灰岩からなる API 規格（American Petroleum Institute Standard unit）の標準ピットによってキャリブレーションをおこなったのち、そのキャリブレーション結果を用いて、調査に使用される。

尚、中性子孔隙率への換算式を以下に示す。

$$\phi_N = 1.226 \times (\text{Near}/\text{Far}) - 12.056$$

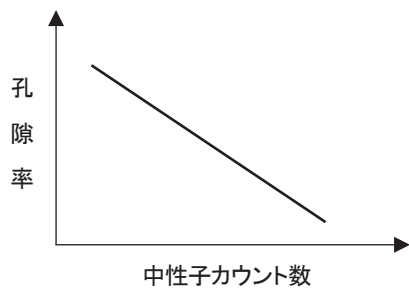


図 2-4-3 中性子-孔隙率の相関図

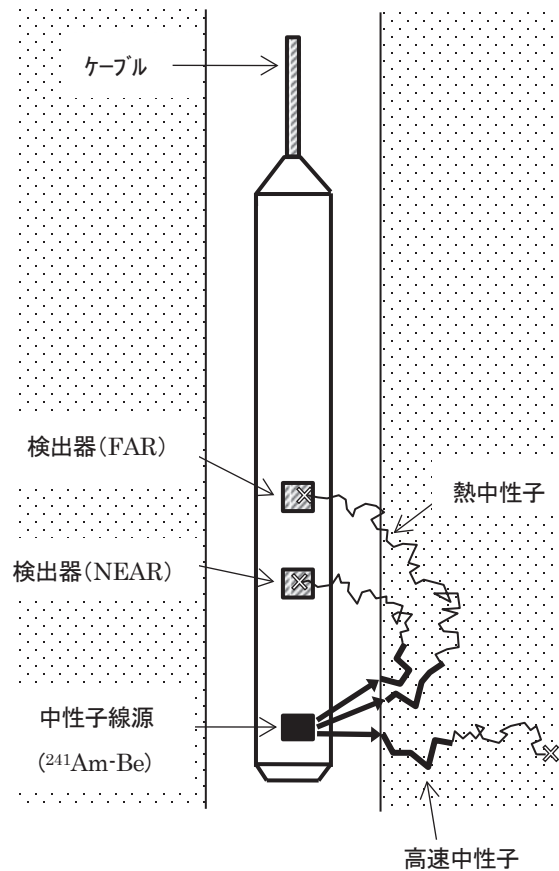


図 2-4-4 中性子検層概念図

2.4.4 自然ガンマ線検層・スペクトルガンマ線検層

一般に岩石中においては、カリウム、ウラン、トリウム等の天然放射性元素が存在し、それらの壊変に伴う自然ガンマ線と呼ばれる放射線が放出される。

天然放射性元素の存在量は、岩石の種類によって異なり、地層から放射される自然ガンマ線量の変化を測定することにより地層の同定、対比を行うことが出来る。また、堆積岩においては、主要構成物である頁岩などの粘土鉱物にそれらの元素が多く含まれ、自然ガンマ線量を測定することにより、構成粘土鉱物含有率を計算することも可能である。

ガンマ線検層に用いられる検出器は、放射線が入射すると蛍光するヨウ化ナトリウム (NaI) シンチレータと、それを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(図 2-4-5)。

ガンマ線のエネルギーに関係なく、すべてのガンマ線をカウントしたものをトータルガンマ線強度 (単位: API) と呼び、中性子検層などと同時に測定される。

スペクトルガンマ線検層は、ガンマ線のエネルギーを 3 種類に区分し測定するもので、地層中に含まれるカリウム (K)、トリウム (Th)、ウラン (U) の存在比を測定することができる。単位は K(%), Th(ppm), U(ppm) である(図 2-4-6)。

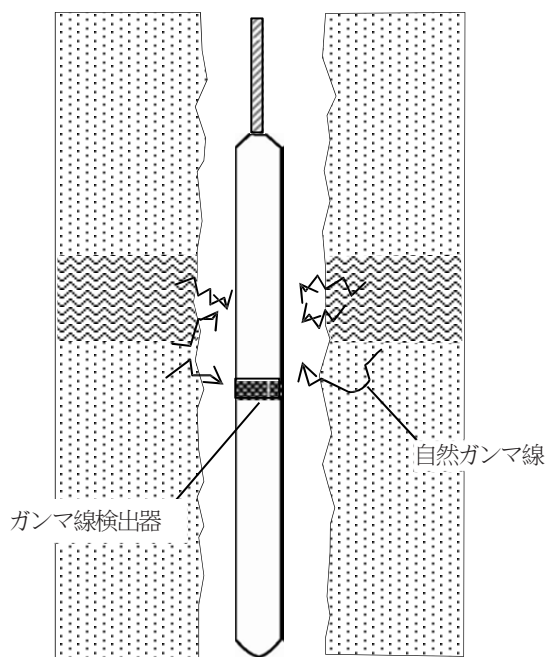


図 2-4-5 ガンマ線検層概念図

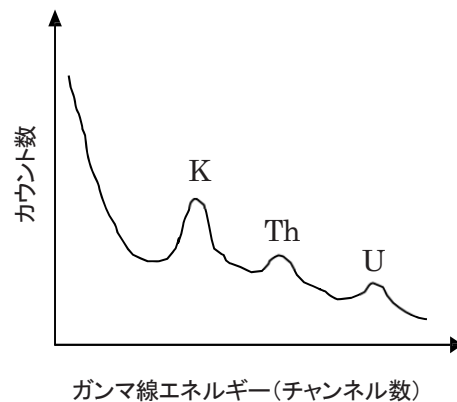


図 2-4-6 スペクトルガンマ線検層概念図

2.4.5 孔径検層

孔径検層は、孔径の変化を深度に対して連続的に測定記録し、孔内における空洞、崩壊の位置やその形状・程度を把握できるほか、孔径による補正を必要とする他の検層結果の解釈などに用いられる。

孔径検層に用いられる測定器は、内部に小型モーターを内蔵し、地上からの遠隔操作により測定用アームの開閉を行う。

測定はアームを閉じた状態で孔内に測定器を降下し、測定区間の最深部となる箇所ではアームを開き、測定器を巻き上げながら、アームに記録される孔径の凹凸から、孔径の変化を測定する（図 2-4-7）。

一般に破碎帯や断層、軟弱地質においては、孔壁が崩壊し易く孔径拡大が顕著に認められる。また、孔径検層から得られた測定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こともできる。

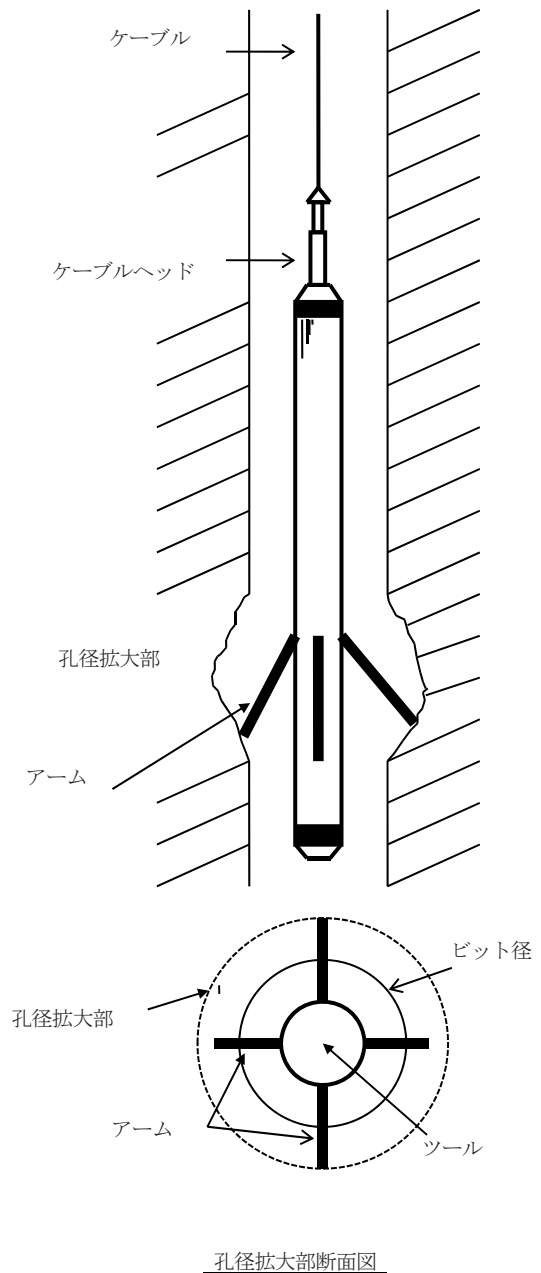


図 2-4-7 孔径検層概念図

2.4.6 音波検層（低周波ダイポールソニック）

低周波ダイポールソニック（以下 LFDL）は従来型音波検層機の MONOPOLE 部と低周波発振音波検層機の DIPOLE 部の異なる 2 つの測定系より構成される。

MONOPOLE 部は発振周波数 15kHz の Piezoelectric 型発振子とこれより 11,12,13 及び 14 フィート離れた箇所に設置された 4 個の Piezoelectric Ring 受信子により伝播波を測定する。DIPOLE 部は Magnetostrictive 発振子とこれより 11,12,13 及び 14 フィート離れた位置に設置された 4 個の Piezoelectric disk 受信子により測定が行われる。

MONOPOLE 発振子の発振周波数が比較的高い周波数であり、発生する音波エネルギーが発振子（一極発振）を中心に 360°同位相で広がるのに対し、DIPOLE 発振子は 1.5 kHz の低い発振周波数の音波エネルギーを平面よりなる発振子（二極発振）より孔軸（ツール軸）に垂直な 2 方向に非対称位相に発生し、同様に対面した 2 平面よりなる受信子により孔軸に垂直な 2 方向の音波エネルギーを受信測定する。

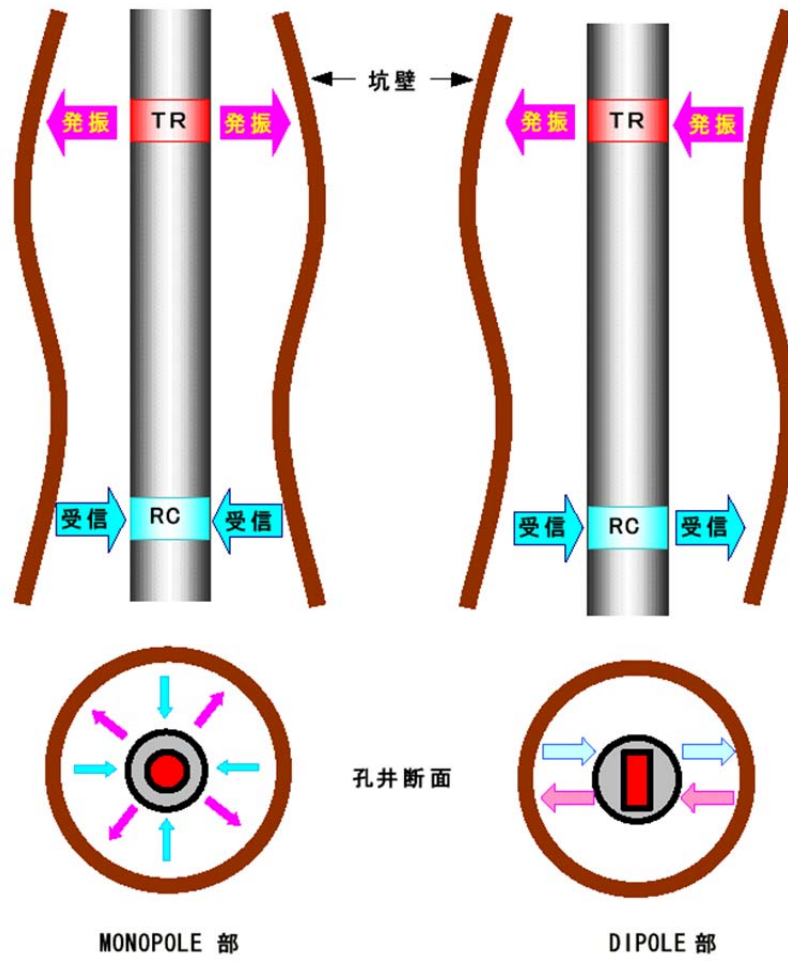
MONOPOLE 部では従来のフルウエーブ・ソニックと同様に発振された音波エネルギーは地層または孔壁を伝播し受信器に到達する。これらの受信波形を測定することにより地層の各種弾性波速度を算出する。

DIPOLE 部の Magnetostrictive 発振子より発生した Flexural 波は低周波数領域において分散せず、Shear 波とほぼ等しい弾性波速度を示す。このため軟弱地層において Shear 波が測定できない場合でも間接的に S 波速度を知ることができる。

測定されたデータは孔内機器内でデジタル信号化され、アーマード・ケーブルにより地上機に伝送される。MONOPOLE では発振時より約 4000 μ s までの波形を、DIPOLE では約 16000 μ s までの波形をレシーバーごとに収録する。

MONOPOLE, DIPOLE の 4 受信器 (R1,R2,R3,R4) より得られた波形データは R1-R2, R2-R3, R3-R4 の 3 組の対波形に分けられ、各組の対波形における初動波到達部周辺の波形位相を比較することにより P 波, S 波弾性波速度 (MONOPOLE), S 波弾性波速度 (DIPOLE) を算出する。また、MONOPOLE の R1, R2 受信波より Stoneley 波の振幅、弾性波速度を算出する。算出された走行時間の単位は μ s/feet、弾性波速度の単位は km/s とする。

この様にして得られた弾性波速度は受信波形を輝度変調し連続的に出力した Variable Density Log (V.D.L.) と共にログ上に表される。V.D.L. は全受信時間について波形情報が表示されるため、弾性波速度値では把握できない、波形の反射や位相ずれ等、多くの孔内情報を知ることができる (図 2-4-8)。



MONOPOLE, DIPOLE 発振概略図

図 2-4-8 音波検層概念図

2.4.7 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現象がある(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していると考えられるため、ガンマ線の線源より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できる。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(電子密度)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-137Cs : 7.4GBq)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深度ごとに測定し、連続的に地層密度の変化を記録する。測定器は孔内泥水と泥壁の影響を最小限にするため、図 2-4-9 のようにデセントライザー(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。

水で満たされた孔井におけるニアードテクターの計数率から計算された密度は下式(J.R.Samworth,1992)で表わされる。

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

D : 地層密度 (g/cm³)
 F : 係数率 (cps)

ディテクターで検出されるガンマ線カウント数と地層密度との関係は図 2-4-10 に示すように、片対数上でほぼ直線の関係がある。

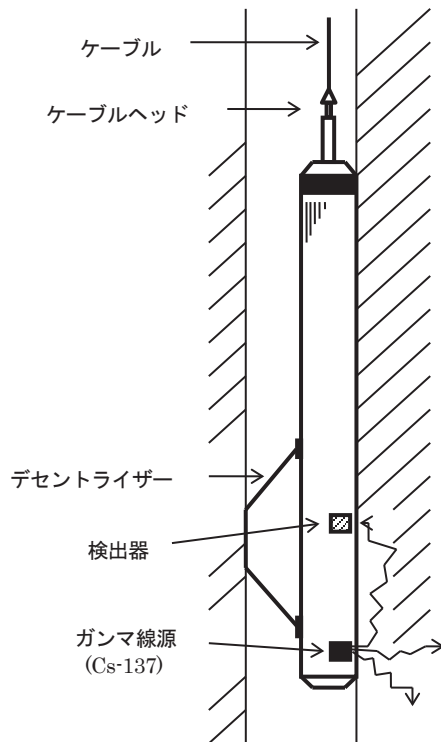


図 2-4-9 密度検層概念図

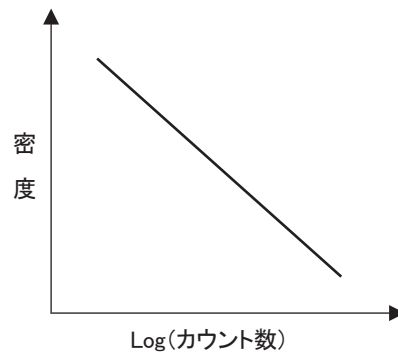


図 2-4-10 ガンマ線カウント数と密度の相関図

2.4.8 フローメータ検層

(1) スピンナー検層

インペラー型（スピナー型）フローメータ検層は、ケーシングパイプ中、あるいは裸孔の流体の流量を深度に応じて測定する検層である。

インペラー型の検層器は流量計の一つで、一定の速度で孔内を移動した際に、測定電極による流体の相対速度やケーブル速度を記録し、孔径変化のデータを加えて孔内流体の流量を求めるものである。

装置は、図 2-4-11 のように測定電極の孔内移動あるいは流体の流れによるスピナーの回転をピックアップコイルで電氣的信号に変換し（図 2-4-12）、最終的にはパルス数(C.P.S)で記録される。

この測定では、孔内の逸水層や湧水層を検出し、それぞれの箇所での透水性に関する評価を行う。

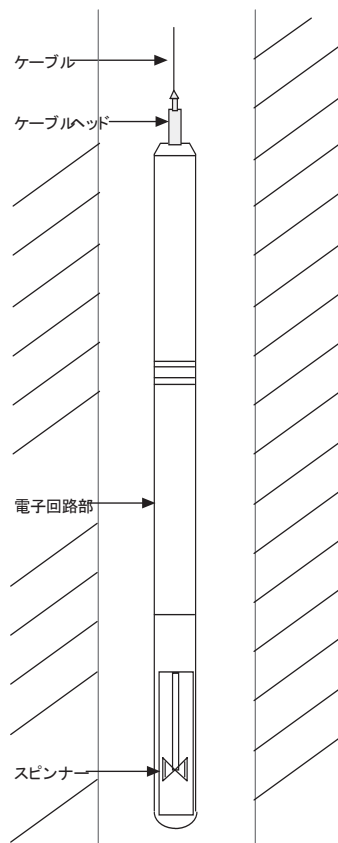


図 2-4-11 インペラー型フローメータ検層概念図

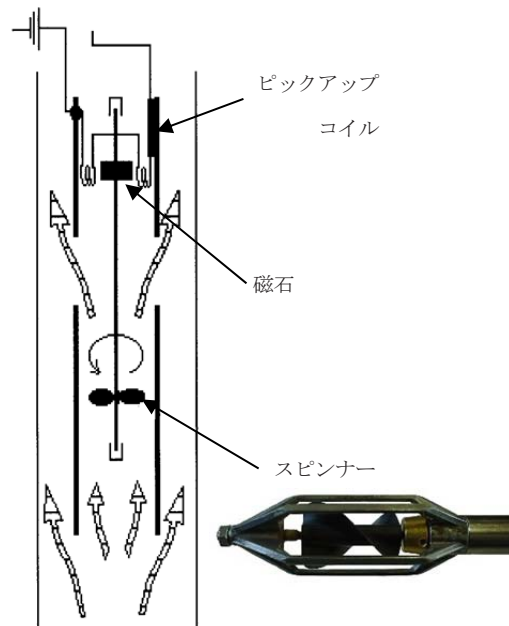


図 2-4-12 インペラー型フローメータ検層器 スピナー部

(2) 電磁型フローメータ検層

電磁型フローメータ検層は、電磁流量計と同じファラデーの法則（電磁誘導の法則）を利用している。そのため、従来のインペラー型フローメータやヒートパルス型フローメータと比較すると、測定範囲が非常に広いのが特長である。

この検層ツールは、フローチューブ内に電磁センサーが組み込まれ、孔内水はこの電磁センサー内を通ることにより、孔内水の流れを測定する。また、同時に孔内水温度と孔内水比抵抗も測定する。

電磁型フローメータにゴムのダイバーターを取り付けることで、「流量計」になる。この場合、孔井内の任意の測定ポイントごとに停止して測定を行う。正確な流量を計測するには、ダイバーターで孔内流体の流れをすべてフローチューブ内に集中させる必要がある。そのため、孔内で亀裂のない位置や孔壁が安定している位置にダイバーターを孔壁に密着させる必要がある。測定ポイントの選定は、温度検層やキャリパー検層、孔内テレビ、ボアホールテレビュアーなどの検層結果から決定される。

さらに、電磁型フローメータは、ゴムのダイバーターを取り外すことにより、「流速計」になる。この場合、一定の速度で孔内を移動した際に、測定ツールによる流体の相対速度やケーブル速度を記録し、それらに孔径変化のデータを加えて孔内流体の流量を求める。

電磁型フローメータ検層では、孔内の逸水層や湧水層を検出し、それぞれの箇所での透水性に関する評価を行う。

また、電磁型フローメータ検層は、インペラー型フローメータのようにインペラーなどの回転する動的部分がないため、機械的ノイズがほとんど発生しないのが特長である（図 2-4-13）。

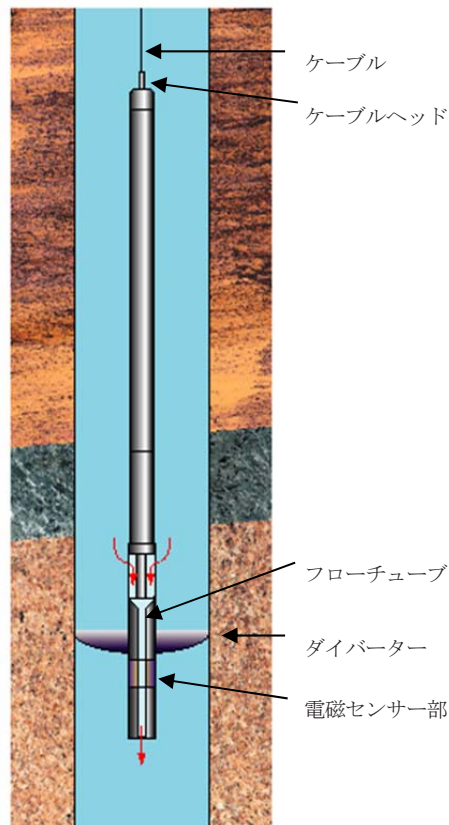


図 2-4-13 電磁式フローメータ検層概念図

フローメータ検層の解析は、電磁センサーが感知した孔内水の動きをカウント数として捉え、得られたカウント数から孔内流速に変換する。その手法は、スピナー検層とよく類似して、異なるケーブル速度によるカウント数より仮想的なケーブル速度 0m/min の状態でのカウント数を深度毎に算出する。仮想静止状態でのカウント数を流速変換式より孔内流速として算出している。

実際の解析手法として、データ・ポイントを利用して平均的スロープを以下の式を用いて計算する。

$$m = \frac{\Sigma XY - \Sigma X \Sigma Y}{n \Sigma X^2 - (\Sigma X)^2}$$

m : スロープ特性(m/min/rps)
 X : ライン速度(m/min)
 Y : cps カウント数/s

このスロープの切片は、見掛けの流体速度（カウント数）を表している。

$$va = \frac{\Sigma Y - m \Sigma X}{n}$$

n : ポイントの合計
 va : 見掛けの流体速度(cps)

算出した孔内流速をさらに孔径補正式より最終の孔径補正孔内流速値としてそれぞれ求めている。

2.4.9 電気伝導度検層

電気伝導度検層は、センサー内部に配列した電極を利用して裸孔中での流体の電気伝導度とさらに温度測定ツールから孔内の温度を同時に測定する。

センサーは、電磁フローメータ検層で用いた同じ測定機器を使用する（図 2-4-14 参照）。

電気伝導度検層は、まず孔内水を純水や脱イオン水に置換して孔内水と地下水との電気伝導度差を十分に担保することが最適とされるが、本調査では工事全般で使用している水井戸の用水でも十分に同コントラストを担保できるため、同用水を用いた。その作業として高圧ポンプ車を用いて注水ライン（高圧ホース）を孔底付近まで下ろす。

さらに、揚水ポンプを地下水面上に設置する。適正量で注水と揚水を行って孔内水を上記用水に置換する。上記用水の置換量は、孔内容積の2倍以上を目安とし、揚水の伝導度が一定値以下になった時点で揚水・注水を停止する。

停止後、注水パイプを引き上げた後、再度揚水ポンプを設置して、一定流量で揚水を開始する。揚水開始直後に、伝導度計をある一定の速度で降下～引揚しながら、伝導度・温度測定を行なう。その後、揚水開始後1時間、それ以降は1時間おきに5回（最終6時間）繰り返し測定を行ない、孔内水の電気伝導度と孔内温度の経時変化を測定する。

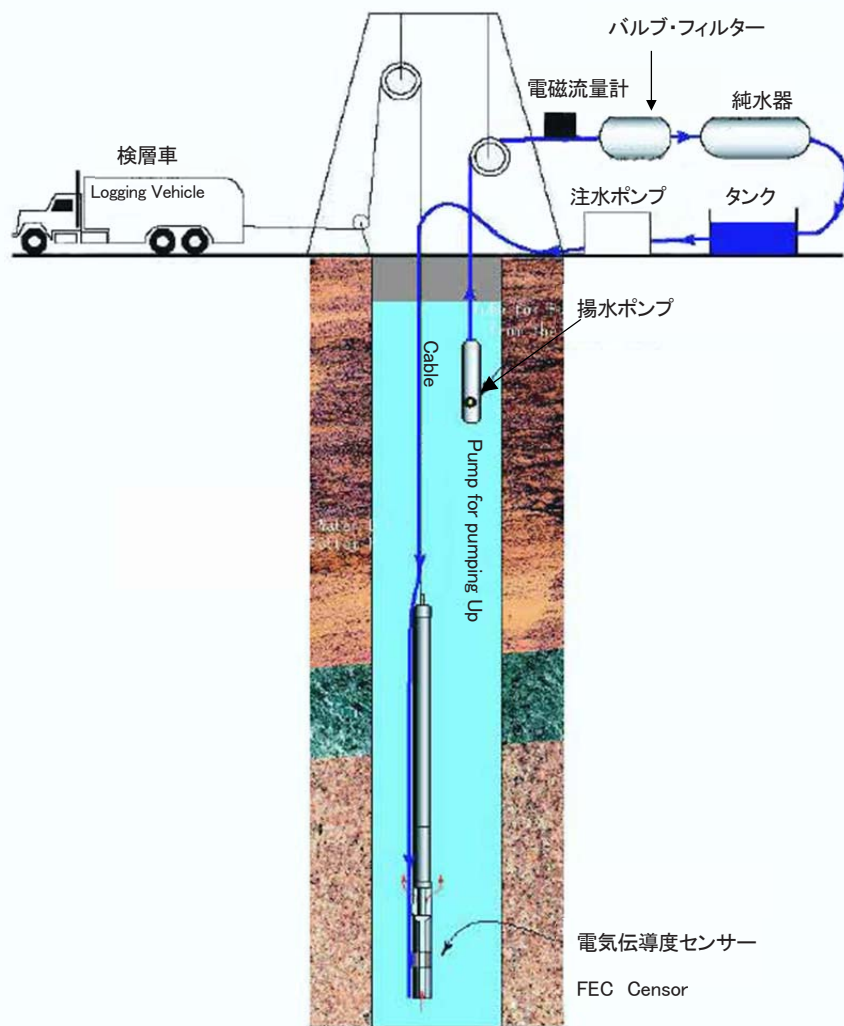


図 2-4-14 電気伝導度検層概念図

3. データ取得実績

深層ボーリング調査（HDB-1～11）で実施した物理検層の作業工程を取りまとめ表 3-1～表 3-11 に示す。

表 3-1 HDB-1 物理検層作業工程一覧表

検層項目	測定 回数	測定深度 (mabh)	測定年月日	測定速度 (m/min)	備 考
温 度	1-1	0.0 - 148.0	H13.11.22	4.4	孔内状況悪化の為、1 次測定を 2 回に分割した。
	1-2	0.0 - 212.5	H13.12.23	3.1	
	2	0.0 - 419.0	H14.1.29	4.4	
	3-1	0.0 - 717.8	H14.4.10	3.1	
	3-2	0.0 - 717.6	H14.4.11	4.4	
比抵抗・自然 電位	1-1	50.3 - 138.8	H13.11.23	8.9	"
	1-2	130.0 - 212.8	H13.12.23	4.9	
	2	215.0 - 419.2	H14.1.29	8.9	
	3	417.7 - 717.3	H14.4.10	4.9	
中性子	1-1	50.3 - 148.5	H13.11.22	3.3	"
	1-2	130.0 - 213.4	H13.12.23	3.3	
	2	215.0 - 419.9	H14.1.28	3.3	
	3	417.7 - 718.0	H14.4.10	2.6	
中性子・ガン マ線	1-1	50.3 - 148.4	H13.11.22	2.6	"
	1-2	130.0 - 213.3	H13.12.23	2.6	
	2	215.0 - 419.5	H14.1.29	2.6	
	3	417.7 - 717.6	H14.4.10	2.6	
孔 径	1-1	50.3 - 148.5	H13.11.21	3.1	"
	1-2	50.3 - 213.2	H13.12.23	4.4	
	2	215.0 - 419.8	H14.1.28	3.1	
	3	417.7 - 717.4	H14.4.10	4.4	
密 度	1-1	50.3 - 148.2	H13.11.22	3.3	"
	1-2	50.3 - 213.2	H13.12.23	3.3	
	2	215.0 - 419.3	H14.1.29	3.3	
	3	417.7 - 717.4	H14.4.10	3.3	
音 波	1-1	50.3 - 137.2	H13.11.23	2.5	"
	1-2	50.3 - 213.4	H13.12.23	1.9	
	2	215.0 - 138.8	H14.1.29	1.4	
	3	417.7 - 717.8	H14.4.11	3.3	
スピナー	3	400.0 - 700.0	H14.4.12	35	自然状態、降下測定
		400.0 - 630.0	H14.4.12	25, 35 揚水量 0.089 l/min	揚水状態、降下・引揚測定
電磁フローメ ータ	1-1	40.0 - 136.0	H13.11.24	15, 25	自然状態、降下・引揚測定
		55.0 - 136.0	H13.11.24	15, 25 揚水量 49.2 l/min	揚水状態、降下・引揚測定
	1-2	40.0 - 206.0	H13.12.24	15, 25	自然状態、降下・引揚測定
		55.0 - 206.0	H13.12.24	15, 25 注水量 33.3 l/min	揚水状態、降下・引揚測定
	2	191.2 - 416.2	H14.1.30	15, 25	自然状態、降下・引揚測定
		191.2 - 415.2	H14.1.30	15, 25 揚水量 4.0 l/min	揚水状態、降下・引揚測定

表 3-2 HDB-2 物理検層作業工程一覧表

検層項目	測定 回数	測定深度 (mabh)	測定年月日	測定速度 (m/min)	備 考
温 度	1 - 1	0.0 - 402.9	H14.1.26	9.6	
	1 - 2	0.0 - 402.8	H14.1.30	9.0	
	2	0.0 - 718.4	H14.4.17	13.1	
比抵抗・自然 電位	1 - 1	72.0 - 403.7	H14.1.26	13.8	
	1 - 2	51.2 - 90.0	H14.1.31	9.7	
	2	399.2 - 718.2	H14.4.17	10.6	
中性子	1 - 1	72.0 - 403.7	H14.1.26	14.4	
	1 - 2	51.2 - 90.0	H14.1.31	2.4	
	2	399.2 - 718.3	H14.4.17	8.0	
中性子・ガン マ線	1 - 1	72.0 - 404.0	H14.1.26	5.7	
	1 - 2	51.2 - 90.0	H14.1.31	2.8	
	2	399.2 - 718.6	H14.4.16	8.4	
孔 径	1 - 1	72.0 - 404.2	H14.1.26	9.2	
	1 - 2	51.2 - 105.0	H14.1.31	6.7	
	2	399.2 - 718.6	H14.4.16	9.1	
密 度	1 - 1	72.0 - 403.7	H14.1.26	7.5	
	1 - 2	51.2 - 92.7	H14.1.31	6.9	
	2	399.2 - 718.4	H14.4.17	8.0	
音 波	1 - 1	86.7 - 401.0	H14.1.26	6.3	
	1 - 2	51.2 - 96.8	H14.1.31	6.5	
	2	399.2 - 718.8	H14.4.17	5.6	
電磁フローメ ータ	1-1	—	—	—	実施せず
	1-2	41.2 - 400.0	H14.1.31	15, 25	自然状態, 降下・引揚測定
		49.2 - 403.5	H14.2.1	15, 25 揚水量 33.3 l/min	揚水状態, 降下・引揚測定
	2	399.2 - 700.0	H14.4.18	15, 25	自然状態, 降下・引揚測定
		399.2 - 700.0	H14.4.18	15, 25 揚水量 0.32 l/min	揚水状態, 降下・引揚測定

表 3-3 HDB-3 物理検層作業工程一覧表

検層項目	測定 回数	測定深度 (mabh)	測定年月日	測定速度 (m/min)	備 考
温 度	1	0.0 - 311.5	H14.11.14	9.4	
	2	0.0 - 518.8	H15.1.2	7.6	
比抵抗・自然 電位	1	53.5 - 311.7	H14.4.17	13.5	
	2	314.6 - 519.0	H15.1.2	8.9	
中性子・ガン マ線	1	47.8 - 311.5	H14.11.14	4.9	
	2	314.6 - 519.2	H15.1.2	6.6	
孔 径	1	53.5 - 312.4	H14.11.14	8.9	
	2	314.6 - 519.3	H15.1.2	8.9	
密 度	1	47.0 - 311.5	H14.4.17	8.0	
	2	314.6 - 519.2	H15.1.2	8.1	
音 波	1	50.0 - 309.5	H14.4.17	6.6	
	2	314.6 - 518.7	H15.1.2	9.1	
電磁フローメ ータ	1	10.0 - 309.0	H14.4.16	15, 25	自然状態, 降下・引揚測定
		50.0 - 307.0	H14.4.16	15, 25 揚水量 3.2 ℓ/min	揚水状態, 降下・引揚測定
	2	250.0 - 514.0	H15.1.3	15, 25	自然状態, 降下・引揚測定
		250.0 - 512.0	H15.1.3	15, 25 揚水量 1.8 ℓ/min	揚水状態, 降下・引揚測定

表 3-4 HDB-4 物理検層作業工程一覧表

検層項目	測定 回数	測定深度 (mabh)	測定年月日	測定速度 (m/min)	備 考
温 度	1	0.0 - 315.2	H14.11.17	10.9	
	2	0.0 - 519.0	H14.12.27	10.6	
比抵抗・自然 電位	1	53.5 - 314.7	H14.11.17	13.1	
	2	316.5 - 519.6	H14.12.26	18.5	
中性子・ガン マ線	1	50.0 - 351.2	H14.11.17	5.4	
	2	310.0 - 517.4	H14.12.26	6.7	
孔 径	1	53.5 - 315.2	H14.11.17	9.3	
	2	316.5 - 519.3	H14.12.26	9.2	
密 度	1	50.0 - 315.3	H14.11.17	7.6	
	2	310.0 - 517.4	H14.12.26	7.4	
音 波	1	47.0 - 312.3	H14.11.17	7.4	
	2	316.5 - 519.6	H14.12.26	9.2	
電磁フローメ ータ	1	10.0 - 310.0	H14.11.18	15, 25	自然状態, 降下・引揚測定
		50.0 - 310.0	H14.11.18	15, 25 揚水量 21.3 l/min	揚水状態, 降下・引揚測定
	2	250.0 - 514.0	H14.12.28	15, 25	自然状態, 降下・引揚測定
		250.0 - 512.0	H14.12.28	15, 25 揚水量 12.0 l/min	揚水状態, 降下・引揚測定

表 3-5 HDB-5 物理検層作業工程一覧表

検層項目	測定 回数	測定深度 (mabh)	測定年月日	測定速度 (m/min)	備 考
温 度	1	0.0 - 273.3	H14.12.1	10.5	
	2	0.0 - 518.2	H15.1.15	10.0	
比抵抗・自然 電位	1	50.0 - 273.8	H14.12.2	15.8	
	2	271.1 - 518.5	H15.1.16	14.6	
中性子・ガン マ線	1	50.0 - 273.7	H14.12.1	7.0	
	2	271.1 - 518.2	H15.1.15	6.9	
孔 径	1	53.0 - 273.7	H14.12.1	9.2	
	2	271.1 - 518.4	H15.1.15	9.2	
密 度	1	50.0 - 273.6	H14.12.2	8.0	
	2	271.1 - 518.2	H15.1.15	7.7	
音 波	1	50.0 - 271.0	H14.12.2	8.4	
	2	273.0 - 519.0	H15.1.16	5.5	
スピナー	1	20.0 - 270.0	H14.12.2	25, 35 (流量 21.2 ℓ/min)	揚水状態, 降下・引揚測定
電磁フローメ ータ	1	40.0 - 271.2	H14.12.2	測定不可(濃泥)	自然状態, 降下測定
	2	200.0 - 513.0	H15.1.17	15, 25 湧水量 2.7 ℓ/min	自然状態, 降下測定(湧水)
		200.0 - 512.0	H15.1.17	15, 25 湧水量 14.3 ℓ/min	揚水状態, 降下測定(湧水)

表 3-6 HDB-6 物理検層作業工程一覧表

検層項目	測定 次数	測定深度 (mabh)	測定年月日	測定速度 (m/min)	備 考
温 度	1	0.0 - 136.1	H15.9.5	8.5	
	2	0.0 - 364.7	H15.10.7	9.1	
	3	0.0 - 617.6	H15.11.29	9.4	
比抵抗・自然 電位	1	12.6 - 136.3	H15.9.5	12.4	
	2	132.9 - 365.0	H15.10.7	17.9	
	3	365.7 - 617.6	H15.11.29	16.8	
中性子・ガン マ線	1	12.6 - 136.3	H15.9.5	3.6	
	2	132.9 - 365.0	H15.10.7	6.8	
	3	365.7 - 617.5	H15.11.28	7.4	
スペクトル ガンマ線	1	12.6 - 135.5	H15.9.4	2.8	
	2	130.0 - 363.7	H15.10.7	2.3	
	3	365.7 - 616.0	H15.11.29	3.0	
孔 径	1	12.6 - 136.0	H15.9.4	11.2	
	2	132.9 - 364.9	H15.10.7	15.9	
	3	365.7 - 617.7	H15.11.28	10.5	
密 度	1	12.6 - 136.5	H15.9.5	8.3	
	2	132.9 - 365.2	H15.10.7	7.7	
	3	365.7 - 617.3	H15.11.28	7.6	
音 波	1	12.6 - 135.0	H15.9.5	9.4	
	2	132.9 - 363.9	H15.10.7	5.8	
	3	365.7 - 616.3	H15.11.29	7.6	
電気伝導度 電磁フローメ ータ	1	10.0 - 134.2	H15.9.5	15	自然状態, 降下測定
		50.0 - 307.0	H15.9.5	15 揚水量 7.1 l/min	揚水状態, 降下測定
	2	120.0 - 361.0	H15.10.8-9	15 揚水量 17.1 l/min	揚水状態, 降下測定(湧水)
		120.0 - 361.1	H15.10.9	15 湧水量 17.1 l/min	自然状態, 降下測定(湧水)
電磁フローメ ータ	2	120.0 - 360.0	H15.10.9	25	自然状態, 降下測定
		120.0 - 360.0	H15.10.9	15, 25 揚水量 30.0 l/min	揚水状態, 降下測定
	3	350.0 - 606.0	H15.11.30	15, 25	自然状態, 降下測定
		350.0 - 606.0	H15.11.30	15, 25 揚水量 15.0 l/min	揚水状態, 降下測定

表 3-7 HDB-7 物理検層作業工程一覧表

検層項目	測定 回数	測定深度 (mabh)	測定年月日	測定速度 (m/min)	備 考
温 度	1	0.0 - 176.5	H15.9.3	6.3	
	2	0.0 - 321.8	H15.10.3	8.9	
	3	0.0 - 517.6	H15.11.8	9.4	
比抵抗・自然 電位	1	11.7 - 176.9	H15.9.3	5.7	
	2	175.9 - 322.2	H15.10.3	18.3	
	3	322.2 - 517.9	H15.11.9	13.0	
中性子・ガン マ線	1	11.7 - 177.0	H15.9.3	7.2	
	2	175.9 - 322.3	H15.10.3	7.0	
	3	322.2 - 518.0	H15.11.8	4.7	
スペクトル ガンマ線	1	11.7 - 177.2	H15.9.2	2.2	
	2	175.9 - 320.7	H15.10.3	2.8	
	3	322.2 - 518.0	H15.11.8	4.7	
孔 径	1	11.7 - 176.8	H15.9.2	11.8	
	2	175.9 - 322.1	H15.10.3	11.2	
	3	322.2 - 517.8	H15.11.8	10.3	
密 度	1	11.7 - 177.2	H15.9.3	7.5	
	2	175.9 - 322.6	H15.10.3	7.7	
	3	322.2 - 518.1	H15.11.8	9.4	
音 波	1	11.7 - 174.7	H15.9.2	7.4	
	2	175.9 - 320.7	H15.10.3	9.1	
	3	322.2 - 517.3	H15.11.9	6.3	
電磁フローメ ータ	1	—	—	—	孔壁崩壊の可能性が高 いため実施せず
	2	—	—	—	
	3	301.2 - 501.0	H15.11.9・10	15, 25	自然状態, 降下測定
301.2 - 501.0		H15.11.10	15, 25 揚水量 1.5 ℓ/min	揚水状態, 降下測定	

表 3-8 HDB-8 物理検層作業工程一覧表

検層項目	測定 回数	測定深度 (mabh)	測定年月日	測定速度 (m/min)	備 考
温 度	1	0.0 - 11.4	H15.9.6	11.1	
	2	0.0 - 304.8	H15.10.14	9.2	
	3	0.0 - 467.5	H15.12.1	10.6	
比抵抗・自然 電位	1	4.2 - 111.9	H115.9.7	15.4	
	2	111.1 - 305.6	H15.10.14	6.5	
	3	306.0 - 467.8	H15.12.1	10.8	
中性子・ガン マ線	1	4.2 - 111.7	H15.9.6	4.9	
	2	111.1 - 305.5	H15.10.14	7.5	
	3	306.0 - 467.3	H15.12.1	7.0	
スペクトル ガンマ線	1	4.2 - 109.0	H15.9.7	2.8	
	2	111.1 - 304.2	H15.10.14	3.1	
	3	306.0 - 466.5	H15.12.1	3.1	
孔 径	1	4.2 - 111.6	H15.9.6	11.9	
	2	111.1 - 305.2	H15.10.14	8.8	
	3	306.0 - 166.9	H15.12.1	10.7	
密 度	1	4.2 - 111.8	H15.9.6	8.3	
	2	111.1 - 305.6	H15.10.14	8.1	
	3	306.0 - 467.5	H15.12.1	8.1	
音 波	1	4.2 - 110.0	H15.9.7	8.1	
	2	111.1 - 304.1	H15.10.14	5.2	
	3	306.0 - 465.5	H15.12.1	8.0	
電磁フローメ ータ	1	4.2 - 111.2	H15.9.7	15, 25	自然状態, 降下測定
		20.0 - 111.2	H15.9.8	15, 25 揚水量 0.67 ℓ/min	揚水状態, 降下測定
		4.2 - 111.2	H15.9.8	15, 25 注水量 3.46 ℓ/min	注水状態, 降下測定
	2	100.0 - 302.0	H15.10.15	15, 25	自然状態, 降下測定
		100.0 - 302.0	H15.10.15	15, 25 揚水量 6.9 ℓ/min	揚水状態, 降下測定
	3	280.0 - 463.0	H15.12.1	15, 25	自然状態, 降下測定
280.0 - 462.0		H15.12.1	15, 25 揚水量 1.7 ℓ/min	揚水状態, 降下測定	

表 3-9 HDB-9 物理検層作業工程一覧表

検層項目	測定 次数	測定深度 (mabh)	測定年月日	測定速度 (m/min)	備 考
温 度	1	0.0 - 124.1	H16.10.30	8.9	
	2	0.0 - 256.5	H16.11.18	8.8	
	3	0.0 - 519.2	H17.1.1	10.2	
比抵抗・然電 位	1	25.5 - 124.2	H16.10.31	8.3	
	2	124.2 - 256.7	H16.11.18	12.0	
	3	256.2 - 519.0	H17.1.1	17.4	
中性子・ガン マ線	1	25.5 - 124.5	H16.10.30	6.6	
	2	124.2 - 256.8	H16.11.17	7.0	
	3	256.2 - 519.5	H16.12.31	8.5	
スペクトル ガンマ線	1	25.5 - 124.8	H16.10.30	2.6	
	2	124.2 - 257.4	H16.11.17	3.2	
	3	256.2 - 519.9	H16.12.31	3.4	
孔 径	1	25.5 - 124.3	H16.10.30	11.0	
	2	124.2 - 256.7	H16.11.17	8.8	
	3	256.2 - 519.3	H16.12.31	10.5	
密 度	1	25.5 - 124.5	H16.10.30	7.6	
	2	124.2 - 256.9	H16.11.17	7.8	
	3	256.2 - 519.5	H16.12.31	7.7	
音 波	1	25.5 - 124.8	H16.10.31	7.1	
	2	124.2 - 257.4	H16.11.17	8.3	
	3	256.2 - 519.4	H17.1.1	9.7	
電磁フローメ ータ	1	25.5 - 121.0	H16.10.30 -31	15, 25	自然状態, 降下測定
		25.5 - 121.0	H16.10.31	15, 25 揚水量 9.41 ℓ/min	揚水状態, 降下測定
	2	124.2 - 252.0	H16.11.18	15, 25	自然状態, 降下測定
		124.2 - 252.0	H16.11.18	15, 25 揚水量 16.2 ℓ/min	揚水状態, 降下測定
	3	256.2 - 517.0	H17.1.2	15, 20, 25	自然状態, 降下測定
		256.2 - 512.0	H17.1.2	15, 25 揚水量 0.21 ℓ/min	揚水状態, 降下測定

表 3-10 HDB-10 物理検層作業工程一覧表

検層項目	測定次数	測定深度 (mabh)	測定年月日	測定速度 (m/min)	備考
温 度	1	0.0 - 134.5	H16.10.8	9.0	
	2	0.0 - 296.6	H16.11.5	9.9	
	3	0.0 - 498.8	H16.12.9	10	
比抵抗・自然 電位	1	24.7 - 135.1	H16.10.8	15.8	
	2	135.0 - 297.0	H16.11.5	16.2	
	3	297.1 - 499.0	H16.12.9	15.5	
中性子・ガン マ線	1	24.7 - 134.9	H16.10.7	6.9	
	2	135.0 - 296.9	H16.11.4	7.7	
	3	297.1 - 499.1	H16.12.8	7.5	
スペクトル ガンマ線	1	24.7 - 135.6	H16.10.7	3.5	
	2	135.0 - 296.0	H16.11.4	3.2	
	3	297.1 - 499.0	H16.12.9	3.7	
孔 径	1	24.7 - 134.8	H16.10.8	9.2	
	2	135.0 - 296.9	H16.11.4	12.4	
	3	297.1 - 499.5	H16.12.8	10.1	
密 度	1	24.7 - 135.1	H16.10.7	7.4	
	2	135.0 - 296.8	H16.11.4	7.7	
	3	297.1 - 499.0	H16.12.8	7.8	
音 波	1	24.7 - 135.8	H16.10.8	2.6	
	2	135.0 - 297.6	H16.11.5	9.6	
	3	297.1 - 499.7	H16.12.9	10.1	
電磁フローメ ータ	1	24.7 - 132.0	H16.10.8	15, 25	自然状態, 降下測定
		26.2 - 132.0	H16.10.9	15, 25 揚水量 3.83 l/min	揚水状態, 降下測定
	2	135.1 - 294.0	H16.11.5	15, 25	自然状態, 降下測定
		135.1 - 294.0	H16.11.5	15, 25 揚水量 1.23 l/min	揚水状態, 降下測定
	3	297.1 - 498.0	H16.12.10	15, 25	自然状態, 降下測定
		297.1 - 496.0	H16.12.10	15, 20, 25 揚水量 15.9 l/min	揚水状態, 降下測定

表 3-11 HDB-11 物理検層作業工程一覧表

検層項目	測定 回数	測定深度 (mabh)	測定年月日	測定速度 (m/min)	備 考
温 度	1	0.00 - 451.30	H16.11.28	10	
	2	0.00 - 799.60	H17.1.29	10	
	3	0.00 - 1018.00	H17.5.29	9.9	
比抵抗・自然 電位	1	151.95 - 450.50	H16.11.27	16.6	
	2	451.60 - 801.60	H17.1.27	14	
	3	801.00 - 1020.00	H17.5.27	15.6	
中性子・ガン マ線	1	151.95 - 449.80	H16.11.29	8.3	
	2	451.60 - 801.00	H17.1.26	7.8	
	3	801.00 - 1019.70	H17.5.27	7.8	
スペクトル ガンマ線	1	151.95 - 449.00	H16.11.28	3.4	
	2	451.60 - 800.00	H17.1.27	3.7	
	3	801.00 - 1017.00	H17.5.28	3.1	
孔 径	1	151.95 - 451.70	H16.11.27	10.7	
	2	451.60 - 801.70	H17.1.26	10	
	3	801.00 - 1020.00	H17.5.27	8.4	
密 度	1	151.95 - 449.00	H16.11.29	8.3	
	2	451.00 - 801.00	H17.1.26	7.9	
	3	801.00 - 1019.70	H17.5.27	7.3	
音 波	1	151.95 - 447.40	H16.11.28	7.6	
	2	451.60 - 802.10	H17.1.27	9.7	
	3	801.00 - 1020.00	H17.5.27	7.8	
電気伝導度 電磁フローメ ータ	1	151.95 - 447.00	H16.11.29	15, 25	自然状態, 降下測定
		151.95 - 440.00	H16.11.29	15, 25 揚水量 1.0 ℓ/min	揚水状態, 降下測定
電磁フローメ ータ	2	451.60 - 795.00	H17.1.28	15, 25	自然状態, 降下測定
		451.60 - 784.00	H17.1.28	15, 25 揚水量 2.0 ℓ/min	揚水状態, 降下測定
	3	801.00 - 1008.00	H17.5.29	15, 25	自然状態, 降下測定
		801.00 - 1005.00	H17.5.29	15, 25 揚水量 0.02 ℓ/min	揚水状態, 降下測定

4. 収録データ

第1段階に実施した深層ボーリング調査（HDB-1～HDB-11）³⁾のうち物理検層結果について以下のデータを付録1に収録する。また、ボーリング調査結果概要³⁾を付録2に収録する。付録1に取りまとめた表の例を図4-1に示す。

・深度 (m)

単位はmとし、各検層結果の測定深度から小数点以下第1位(10cm単位)まで記入した。ケーブルの深度補正は、地表面(G.L.)を深度基準(0.0m)とし、ケーブルを降下させる際に各検層ツールのセンサー部やメジャーリングポイント間の中心部を基準深度に合わせて測定を開始し、着底時やケーシングの終端で深度を記録し検定している。巻き上げ時も同様に深度の検定を行い、必要があれば装置内の深度補正機構により補正する。

・温度検層 (°C)

温度検層は、孔内かく乱の影響を排除し地層温度に近い温度を計測するために、検層次数の最初または各測定日の最初に実施されたデータを収録した。

・比抵抗検層 ($\Omega\cdot m$)

探査深度が異なる測定データを【Shallow Focused Log】、【Medium Induction Log】、【Deep Induction Log】として収録した。

・自然電位(SP)検層 (mV)

比抵抗検層で同時に測定された電位データを収録した。

・スペクトルガンマ線検層

でカリウムK [%]、ウランU [ppm]、トリウムTh [ppm]の3種類の測定データをHDB-6～HDB-11に収録した。

・自然ガンマ線検層 (API)

トータルガンマ線強度の測定データを収録した。

・孔径検層 (mm)

任意のX, Y方向の測定データを収録した。

・密度検層 (g/cm^3)

ガンマ線強度の測定データから算出した地層密度値を収録した。

・中性子空隙率 (%)

中性子検層の測定データを空隙率へ換算した値を収録した。

・音波検層 (km/s)

HDB-1～HDB-11 受振器間の位相差を考慮した補正計算により、孔径および孔内水の速度の影響を取り除いた P 波速度、S 波速度を収録した。

・フローメータ検層 (m/min)

検層次数毎に自然状態および揚水状態で測定し、補正算出した流速値を収録した。

HDB-1 の 3 次検層および HDB-5 の 1 次検層は、スピナー型フローメータ、他の HDB-3, HDB-4, HDB-6～HDB-11 は電磁型フローメータによる流速値である。

・電気伝導度検層 (S/m)

HDB-1～HDB-5, HDB-7～HDB-10 は、フローメータ検層の比抵抗値【 $\Omega\cdot m$ 】から電気伝導度値【 $\Omega^{-1}\cdot m^{-1}$ 】を算出して収録した。

HDB-6 と HDB-11 については、別途に実施した電気伝導度検層の測定データから電気伝導度値を算出して収録した。

深度 (m)	温度検層1 (°C)	温度検層2 (°C)	温度検層3 (°C)	比抵抗検層 Shallow Focused Log ($\Omega\cdot m$)	比抵抗検層 Medium Induction Log ($\Omega\cdot m$)	比抵抗検層 Deep Induction Log ($\Omega\cdot m$)	自然電位 (SP)検層 (mV)	中性子空隙率 (%)	フローメータ検層 (m/min)				電気伝導度検層 (S/m)							
									自然ガンマ 線検層 (API)	スペクトルガンマ 線検層 K[%]	スペクトルガンマ 線検層 U[ppm]	スペクトルガンマ 線検層 Th[ppm]	孔径検層 X (mm)	孔径検層 Y (mm)	密度検層 (g/cm ³)	音波検層 VP (km/s)	音波検層 VS (km/s)	フローメータ検層 自然状態 1 (m/min)	フローメータ検層 揚水状態 1 (m/min)	電気伝導度 自然状態 2 (S/m)
0.0	15.39	11.88	4.54																	
0.1	15.40	11.89	4.50																	
0.2	15.38	11.90	4.47																	
0.3	15.33	11.91	4.45																	
0.4	15.27	11.92	4.42																	
0.5	15.21	11.94	4.38																	
0.6	15.13	11.95	4.30																	
0.7	15.04	11.96	4.24																	
0.8	14.96	11.98	4.17																	
0.9	14.89	12.00	4.11																	
1.0	14.81	12.01	4.07																	

図 4-1 物理検層結果図

5. おわりに

本データ集は、第1段階に実施した深層ボーリング調査における物理検層結果について取りまとめたものである。

この調査結果は、今後、第2・3段階に実施される各種調査データと併せて、地質環境モデル（地質構造モデル、地下水の水理モデル等）の更新及び数値解析の実施等へ反映される。

参考文献

- 1) 核燃料サイクル開発機構, 深地層研究所 (仮称) 計画 地表から行う調査研究 (第1段階) 計画, JNC-TN1410 2001-001, 32p. (2001).
- 2) 原子力委員会, 原子力政策大綱, 平成17年10月11日.
- 3) 太田久仁雄, 阿部寛信, 山口雄大, 國丸貴紀, 石井英一, 操上広志, 戸村豪治, 柴野一則, 濱克宏, 松井裕哉, 新里忠史, 高橋一晴, 丹生屋純夫, 大原英史, 浅森浩一, 森岡宏之, 舟木泰智, 茂田直孝, 福島龍朗, 幌延深地層研究計画における地上からの調査研究段階 (第1段階) 研究成果報告書 分冊「深地層の科学的研究」, JAEA-Research 2007-044, 2007, 434p.

付録 1 : 物理検層データ集 (CD)

付録 2 : ボーリング調査結果概要 (CD)
(第 1 段階報告書 : JAEA-Research 2007-044 からの抜粋)