JAEA-Technology
2015-011
DOI:10.11484/jaea-technology-2015-011

深度500m研究アクセス北坑道における ボーリング調査報告書 （13MI38号孔～ 13MI44号孔）

Results of Borehole Investigation in -500m Access/Research Gallery-North (13MI38 ～ 13MI44 Boreholes)

長谷川 隆　川本 康司　山田 信人　大貫 賢二
大森 一秋　竹内 竜史　岩月 輝希　佐藤 稔紀

Takashi HASEGAWA, Koji KAWAMOTO, Nobuto YAMADA, Kenji OHNUKI
Kazuaki OHMORI, Ryuji TAKEUCHI, Teruki IWATSUKI and Toshinori SATO

バックエンド研究開発部門
東濃地科学センター
地層科学研究部

Geoscientific Research Department
Tono Geoscience Center
Sector of Decommissioning and Radioactive Waste Management

July 2015
Japan Atomic Energy Agency
日本原子力研究開発機構

JAEA-Technology

JAEA-Technology 2015-011

深度 500m 研究アクセス北坑道におけるボーリング調査報告書
（13MI38 号孔～13MI44 号孔）

日本原子力研究開発機構
バックエンド研究開発部門　東濃地科学センター　地層科学研究部

長谷川 隆※，川本 康司※，山田 信人※，大貫 賢二※，
大森 一秋※，竹内 竜史，岩月 輝希，佐藤 稔紀

（2015 年 3 月 13 日受理）

本報告書は，瑞浪超深地層研究所の深度 500m 研究アクセス北坑道におけるボーリング（13MI38 号孔：掘削長 102.10mabh，13MI39 号孔：掘削長 16.40mabh，13MI40 号孔：掘削長 16.60mabh，13MI41 号孔：掘削長 16.60mabh，13MI42 号孔：掘削長 11.55mabh，13MI43 号孔：掘削長 11.60mabh，13MI44 号孔：掘削長 11.67mabh）の調査により得られた地質学的，水理学的，地球化学的データ（岩盤等級，湧水箇所，湧水量，湧水圧，透水係数，水質分析結果等）と，各ボーリング孔に設置した観測装置（岩盤変位計，地下水の水圧・水質モニタリング装置）の概要を取りまとめたものである。

深度 500m 研究アクセス北坑道の深度 500m 冠水坑道周辺には，中粒～粗粒の等粒状～斑状組織を示す黒雲母花崗岩（土岐花崗岩）が分布する。岩盤等級は概ね B 級が主体で，割れ目のやや多い箇所で CH～CM 級となる。コア観察に基づく割れ目密度は，13MI38 号孔で平均 2.3 本/m，13MI39 号孔から 13MI44 号孔では，最少 0.1 本/m，最大 3.5 本/m であった。掘削中の孔内湧水は 13MI38 号孔で最大 78L/min, 13MI39 号孔から 13MI44 号孔では, 0.0～0.42L/min であった。透水係数は，健岩部の湧水が少ない区間で 2.3E-11～8.2E-08m/s，健岩部の湧水が多い区間で 1.9E-07～9.2E-06m/s であった。地下水の水質は Na，Cl に富む水質であり，Na 濃度は約 160~220mg/L，Cl 濃度は約 280~600mg/L の範囲であった。

東濃地科学センター：〒509-6132　岐阜県瑞浪市明世町山野内1-64
※　技術開発協力員

JAEA-Technology 2015-011

Results of Borehole Investigation in -500m Access/Research Gallery-North (13MI38～13MI44 Boreholes)

Takashi HASEGAWA※, Koji KAWAMOTO※, Nobuto YAMADA※, Kenji OHNUKI※
Kazuaki OHMORI※, Ryuji TAKEUCHI, Teruki IWATSUKI and Toshinori SATO

Geoscientific Research Department, Tono Geoscience Center,
Sector of Decommissioning and Radioactive Waste Management,
Japan Atomic Energy Agency
Akiyo-cho, Mizunami-shi, Gifu-ken

(Received March 13, 2015)

The geological, hydraulic and geochemical data such as rock mass classification, groundwater inflow points and the volume, water pressure, hydraulic conductivity, and results of water analysis were obtained from boreholes (13MI38～13MI44) in the -500m Access/Research Gallery-North of Mizunami Underground Research Laboratory (MIU). In addition to data acquisition, monitoring systems were installed to observe hydrochemical changes in the groundwater, and rock strain during and after the groundwater recovery experiment.

Biotite granite (Toki granite) with medium to coarse-grained equigranular texture is characterized around the -500m Access/Research Gallery-North. Rock mass classification is mostly B class and CH to CM at the fracture zone. Density of fracture in core description is small, and was 2.3 n/m in 13MI38 borehole. Maximum water inflow during drilling borehole was 78 L/min in 13MI38 borehole. Hydraulic conductivity in intact zone ranges from 2.3E-11 to 8.2E-08m/s at low inflow part, and from 1.9E-07 to 9.2E-06m/s at high inflow part, respectively. Groundwater chemistry riches in Na and Cl ion with the concentration ranging from 160 to 220 mg/L, from 280 to 600 mg/L, respectively.

Keywords: Mizunami Underground Research Laboratory (MIU) Project, Crystalline Rock, Borehole Investigation

---

※ Collaborating Engineer

目　次

CONTENTS

図リスト

表リスト

写真リスト

1. はじめに

本報告書は，瑞浪超深地層研究所（以下，研究所）の深度 500m 研究アクセス北坑道において，坑道周辺の地質環境特性（岩盤力学特性，水理・地球化学特性）を把握するために実施した以下のボーリング孔の掘削・調査の結果を取りまとめたものである。

- 13MI38 号孔（掘削長：102.10mabh）：深度 500m研究アクセス北坑道 57m ボーリング東横坑から同坑道に並行して掘削
- 13MI39 号孔（掘削長：16.40mabh）：主立坑中心から 156.60m 地点を孔口として鉛直方向に掘削
- 13MI40 号孔（掘削長：16.60mabh）：主立坑中心から 156.60m 地点を孔口として北東方向に掘削
- 13MI41 号孔（掘削長：16.60mabh）：主立坑中心から 156.60m 地点を孔口として南西方向に掘削
- 13MI42 号孔（掘削長：11.55mabh）：主立坑中心から 134.00m 地点を孔口として鉛直方向に掘削
- 13MI43 号孔（掘削長：11.60mabh）：主立坑中心から 134.00m 地点を孔口として北東方向に掘削
- 13MI44 号孔（掘削長：11.67mabh）：主立坑中心から 134.00m 地点を孔口として南西方向に掘削

mabh: meters along borehole

13MI38，39，40，41 号孔には，地下水の水圧や水質等の変化を把握するための水圧・水質モニタリング装置を，13MI42，43，44 号孔には，岩盤変位を把握する観測装置を設置した。

2. 調査概要

2.1 調査目的

本調査は，深度 500m 研究アクセス北坑道先端部の冠水坑道において実施する再冠水試験の一環として，冠水坑道周辺の地質状況，透水性，地下水の水圧・水質分布を把握するとともに，再冠水前後の水圧，水質，岩盤変位を観測するための観測装置を設置することを目的として実施した。

2.2 調査期間

・13MI38 号孔：2014 年 1 月 6 日～2014 年 2 月 21 日

・13MI39~44 号孔：2014 年 1 月 6 日～2014 年 3 月 14 日

2.3 調査位置

ボーリング孔（13MI38 号孔，13MI39~44 号孔）の位置を図 2.3-1，図 2.3-2 に示す。

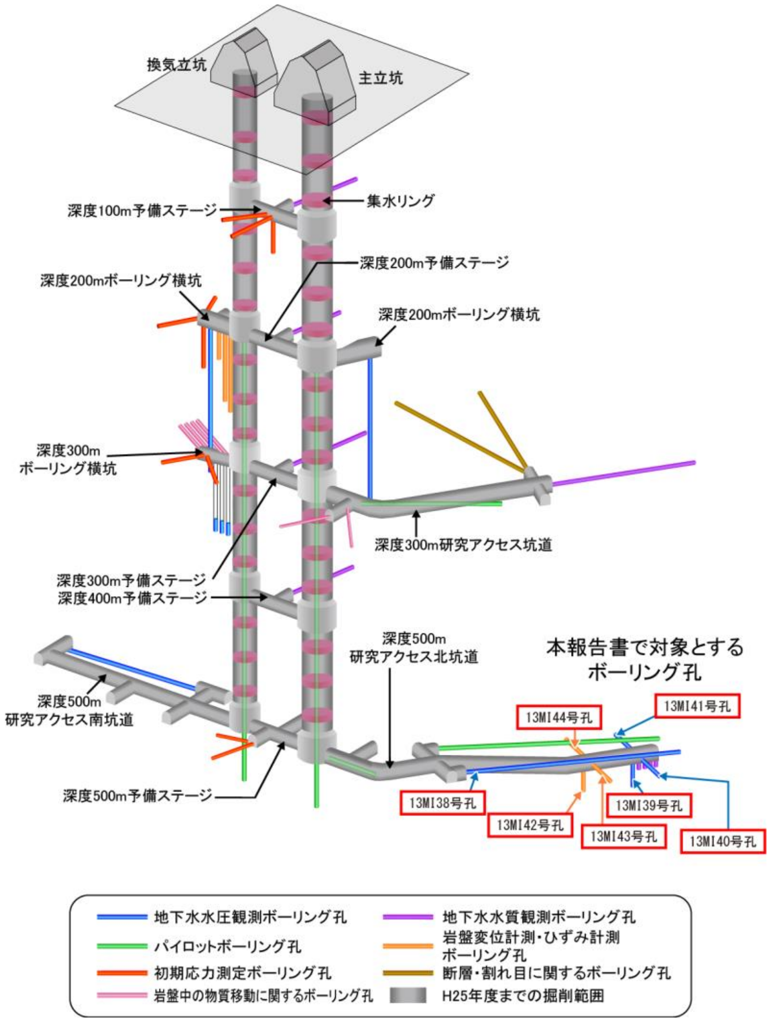
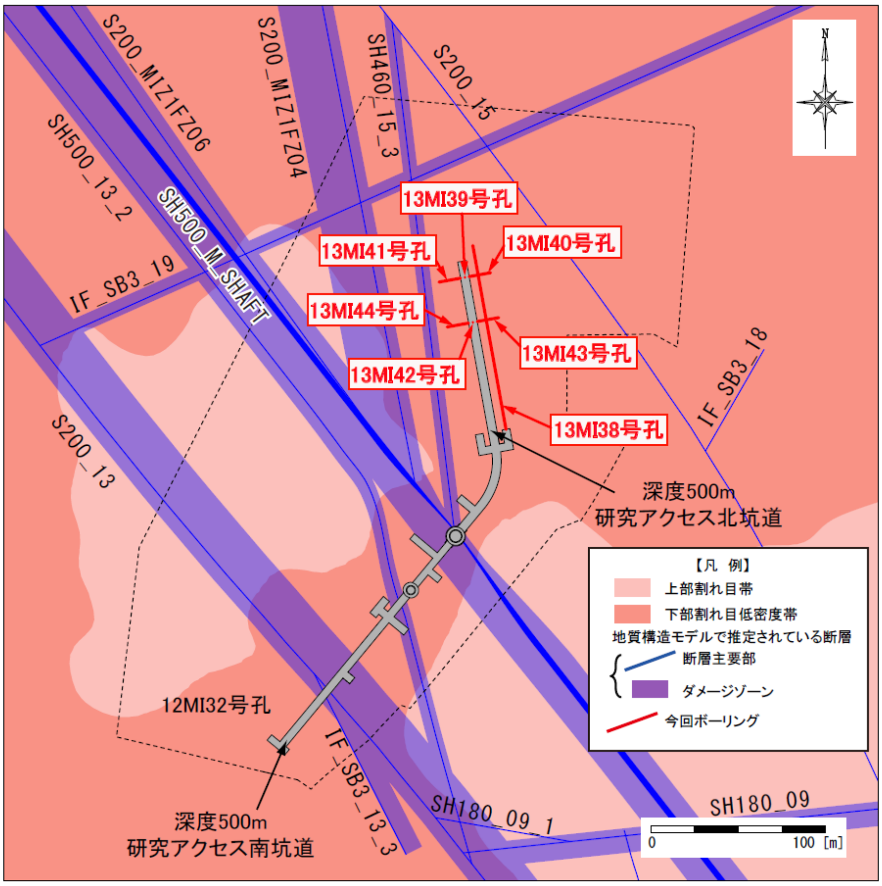


図 2.3-1 ボーリング孔位置図



（Shaft500 地質構造モデル　深度 500m 水平断面図）

図 2.3-2 深度 500m におけるボーリング孔の位置 2)に加筆

掘削したボーリング孔は，土岐花崗岩の上部割れ目帯と比較して透水係数が低い下部割れ目低密度帯 1)に位置している。また，ボーリング孔は，図 2.3-2 に示す地質構造モデル 2)で推定されている断層（SH460_15_3 断層）には遭遇しないと予測された。

2.4 調査内容

13MI38 号孔，13MI39~41 号孔，13MI42~44 号孔の調査内容を以下に示す。

(1) 13MI38 号孔

①掘削長：102.10mabh（8-5/8 インチシングルコアバーレル掘削区間；0.00~4.00mabh，HQ-3WL（3 重管コアバーレル）掘削区間；4.00~102.10mabh）

②コア観察：0.00~102.10mabh

③ボアホールテレビ（BTV）観察（以下，BTV 観察）：4.30～101.91mabh

④物理検層：孔径検層（4.30～101.70mabh），電磁フローメーター（2.00～93.00mabh）

⑤水理試験：6 区間（6.50～10.80，11.00～49.80，50.00～59.80，60.00～69.80，70.00～90.30，90.00～102.10mabh）

⑥採水・水質分析：6 区間（5.41～36.66，37.61～49.36，50.31～59.06，60.01～69.26，70.21～89.46，90.41～102.10mabh）

⑦水圧・水質モニタリング装置の設置：6 区間

(2) 13MI39 号孔

①掘削長:16.40mabh(7-5/8 インチシングルコアバーレル掘削区間;0.00~2.00mabh, HQ-3WL
(3 重管コアバーレル) 掘削区間；2.00~16.40mabh)

②コア観察： 0.00~16.40mabh

③BTV 観察： 2.00～16.21mabh

④物理検層：孔径検層（2.00～16.00mabh），電磁フローメーター（2.50～16.00mabh），音波検層（2.00～14.90mabh）

⑤水理試験：1 区間（3.20～5.38mabh）

⑥水圧・水質モニタリング装置の設置：4 区間

(3) 13MI40 号孔

①掘削長:16.60mabh(7-5/8 インチシングルコアバーレル掘削区間;0.00~2.00mabh, HQ-3WL
(3 重管コアバーレル) 掘削区間；2.00~16.60mabh)

②コア観察：16.60mabh（0.00~16.60mabh）

③BTV 観察：14.31mabh（2.00～16.31mabh）

④物理検層：孔径検層（2.00～16.00mabh），電磁フローメーター（2.50～16.00mabh），音波検層（2.00～15.40mabh）

⑤水理試験：2 区間（4.00～6.18，15.30～16.60mabh）

⑥水圧・水質モニタリング装置の設置：4 区間

(4) 13MI41 号孔

①掘削長:16.60mabh(7-5/8 インチシングルコアバーレル掘削区間;0.00~2.00mabh, HQ-3WL
(3 重管コアバーレル) 掘削区間；2.00~16.60mabh)

②コア観察：0.00~16.60mabh

③BTV 観察：2.00～16.31mabh

④物理検層：孔径検層（2.00～16.00mabh），電磁フローメーター（2.50～16.30mabh），音波検層（2.00～15.40mabh）

⑤水理試験：2 区間（6.50～8.68，15.30～16.60mabh）

⑥水圧・水質モニタリング装置の設置：4 区間

(5) 13MI42 号孔

①掘削長:11.55mabh(7-5/8 インチシングルコアバーレル掘削区間;0.00~2.00mabh, HQ-3WL
(3 重管コアバーレル) 掘削区間；2.00~11.55mabh)

②コア観察： 0.00~11.55mabh

③BTV 観察： 2.00～11.36mabh

④物理検層：孔径検層（2.00～11.10mabh），音波検層（2.00～10.40mabh）

⑤岩盤変位計の設置：3 区間

(6) 13MI43 号孔

①掘削長：11.60mabh（HQ-3（3 重管コアバーレル）掘削区間；0.00~11.60mabh）

②コア観察： 0.00~11.60mabh

③BTV 観察： 0.00～11.41mabh

④物理検層：孔径検層（1.00～11.10mabh），音波検層（1.70～10.40mabh）

⑤岩盤変位計の設置：4 区間

(7) 13MI44 号孔

①掘削長：11.67mabh（HQ-3（3 重管コアバーレル）掘削区間；0.00~11.67mabh）

②コア観察： 0.00~11.67mabh

③BTV 観察： 0.00～11.48mabh

④物理検層：孔径検層（1.00～11.10mabh），音波検層（1.50～10.40mabh）

⑤岩盤変位計の設置：5 区間

3. ボーリング孔の掘削

3.1 13MI38 号孔

表 3.1-1 に 13MI38 号孔の作業概要を示す。

表 3.1-1 13MI38 号孔の作業概要

No	作業内容	作業日
1	【資材搬入・設営・準備作業】	2014 年 1 月 7 日～1 月 11 日
2	【第 1 段掘削】 0.00～4.50mabh：HQ-3WL（3 重管コアバーレル：φ99.0mm）コアリング掘削およびコア観察 0.00～4.30mabh：8-5/8 インチ（φ220mm）シングルコアバーレルにより拡孔 0.00～4.30mabh：6 インチケーシング設置およびフルホールセメンチング 6 インチケーシング加圧試験（4MPa/5min）	2014 年 1 月 13 日～1 月 20 日
3	【第 2 段掘削】 4.50～102.10mabh：HQ-3WL コアリング掘削およびコア観察，孔内洗浄	2014 年 1 月 20 日～1 月 27 日
4	【BTV 観察・物理検層】4.30～101.91mabh	2014 年 1 月 28 日～1 月 31 日
5	【水理試験・採水】 6 区間	2014 年 2 月 3 日～2 月 11 日
6	【水圧・水質モニタリング装置の設置】	2014 年 2 月 10 日～2 月 14 日
7	【解体・撤去・搬出作業】	2014 年 2 月 12 日～2 月 21 日

3.1.1 資材搬入･設営･準備作業

2014 年 1 月 7 日から 8 日まで資機材を荷卸し，ボーリングマシンを分解して立坑内に搬入を行い，深度 500m 研究アクセス北坑道 57mボーリング東横坑まで運搬した。据付および設営作業を 9 日から 11 日まで 1 方作業にて実施した。スピンドル型ボーリングマシンを傾斜角度-3°，掘削方位 N10.23°W（真北を基準）に設置した。

機材配置図および主要機材一覧表を図 3.1.1-1，表 3.1.1-1 に示す。

3.1.2 掘削作業

13MI38 号孔の掘削は，深度 500m 研究アクセス北坑道内で実施するため最大で 5MPa の湧水を伴うことが想定される。そのため，ボーリング孔の口元は，6 インチケーシングを 4.00mabh まで設置し，6 インチケーシングに暴噴対策として孔口装置（マニホールド，ゲートバルブ，プリペンダー）を取り付け，被圧条件下での掘削の安全性の担保と各種調査時の湧水量を適切にコントロールできるように計画した。掘削作業中の湧水量は，1 掘削単位ごとにサクションタンクの水位を計測することで確認した。

また，4.00～102.00mabh 間の掘削で断層の出現は予測されていないことから，102.00mabh まで BTV 観察，物理検層，水理試験が可能な孔径：HQ-3WL（3 重管コアバーレル）で計画した。

13MI38 号孔の計画図，完成図を図 3.1.2-1 に示す。

(1) 第 1 段掘削（0.00～4.50mabh）

第 1 段掘削は 2014 年 1 月 13 日より着手し 1 方作業で実施した。掘削に必要な用水は，深度 500m 研究アクセス北坑道内からの湧水を貯水用タンクに貯め，蛍光染料（アミノ G 酸）を 5mg/L±10％の濃度で混入したものを使用した。4.50mabh まで HQ-3WL (3 重管コアバーレル) で掘削し，その後 8 - 5/8 インチシングルコアバーレルで 4.30mabh まで拡孔を実施した。掘削中は約 20L/min の湧水が発生した。図 3.1.2-1 に示すように，6 インチステンレスケーシングを 4.00mabh まで設置し，フルホールセメンチングを実施した。設置した 6 インチステンレスケーシングのフルホールセメンチングについて，湧水抑制に対する耐圧性を確認するため，4MPa/5min でケーシング加圧試験を 1 回実施した。

(2) 第 2 段掘削（4.50～102.10mabh）

第 2 段掘削は 1 月 20 日に HW ケーシングを 4.30mabh にセットした後，孔口装置（マニホールド，ゲートバルブ，プリベンダー）を取付け，HQ-3WL（3 重管コアバーレル）によって 4.50～102.10mabh まで掘削を 2 方作業で実施した。掘削中は第 1 段掘削と同様に掘削水のモニタリングを実施した。また，掘削長 20.00m 毎に孔芯傾斜測定を行いボーリング孔跡の傾斜・方位を管理した。102.10mabh まで掘削後に孔内を洗浄し，BTV 観察，物理検層，水理試験（6 区間）を実施した後に，水圧・水質モニタリング装置を設置した。

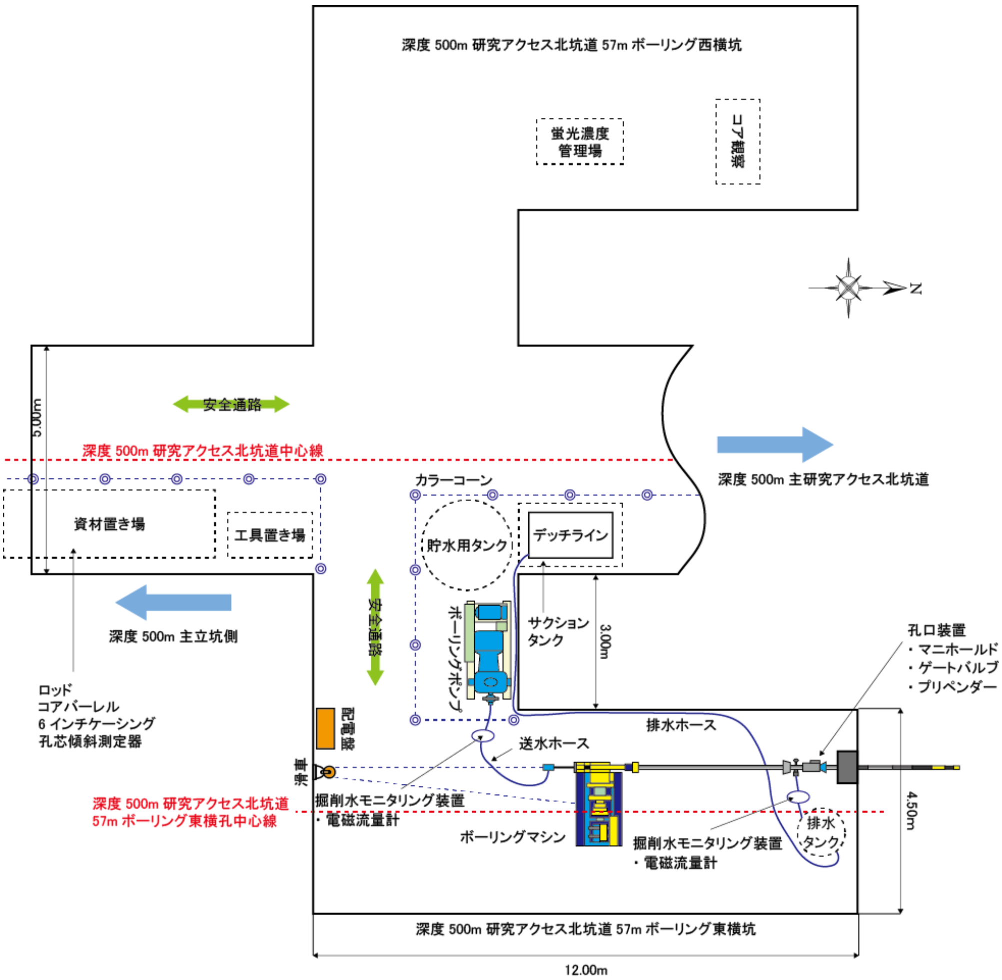


図 3.1.1-1　13MI38 号孔掘削の機材配置図

表 3.1.1-1 13MI38 号孔掘削の主要機材一覧表

名　称		型　式	規　格	質　量	数量
ボーリングマシン		L-38-150	巻上げ能力 480kN　30kW	2,060kg	1 台
ボーリングポンプ		MG-25	吐出量 45～400L/min　22kW	1,700kg	1 台
タンク類	排水タンク	-	$0.75m^3$	80kg	1 槽
	デッチライン	-	$0.72m^3$	120kg	1 槽
	貯水用タンク	-	$3.00m^3$	31kg	1 槽
	サクションタンク	-	$2.40m^3$	150kg	1 槽
ロッド		HQ	長さ：3.00m，1.00m	11.5kg/m	110.00m
コアバーレル		HQ-3WL（3 重管コアバーレル）	長さ：4.20m 外形：99.0mm，コア径：61.1mm インナーチューブ （アクリルチューブ内包）	40.0kg/m	1 式
		8-5/8 インチシングルコアバーレル	長さ：2.00m 外径：220.0mm，コア径：188.7mm	50.0kg/m	1 式
6 インチステンレスケーシング		STGP-sch40	長さ：4.70m 外径：165.2mm，内径：151.0mm	28.0kg/m	1 本
HW ケーシング		-	長さ：3.00m，1.50m 外径：114.3mm，内径：101.6mm	17.0kg/m	各 1 本
孔口装置	マニホールド	-	6 インチ 30K フランジ	20kg	1 式
	ゲートバルブ	-	6 インチフランジ	60kg	1 式
	プリペンダー	-	6 インチフランジ	15kg	1 式
配電盤		-	200V（屋外用）	40kg	1 式
孔芯傾斜測定器		Type-SR 村田製作所製	シングルショット 測定傾斜角：5-100°計	20kg	1 式

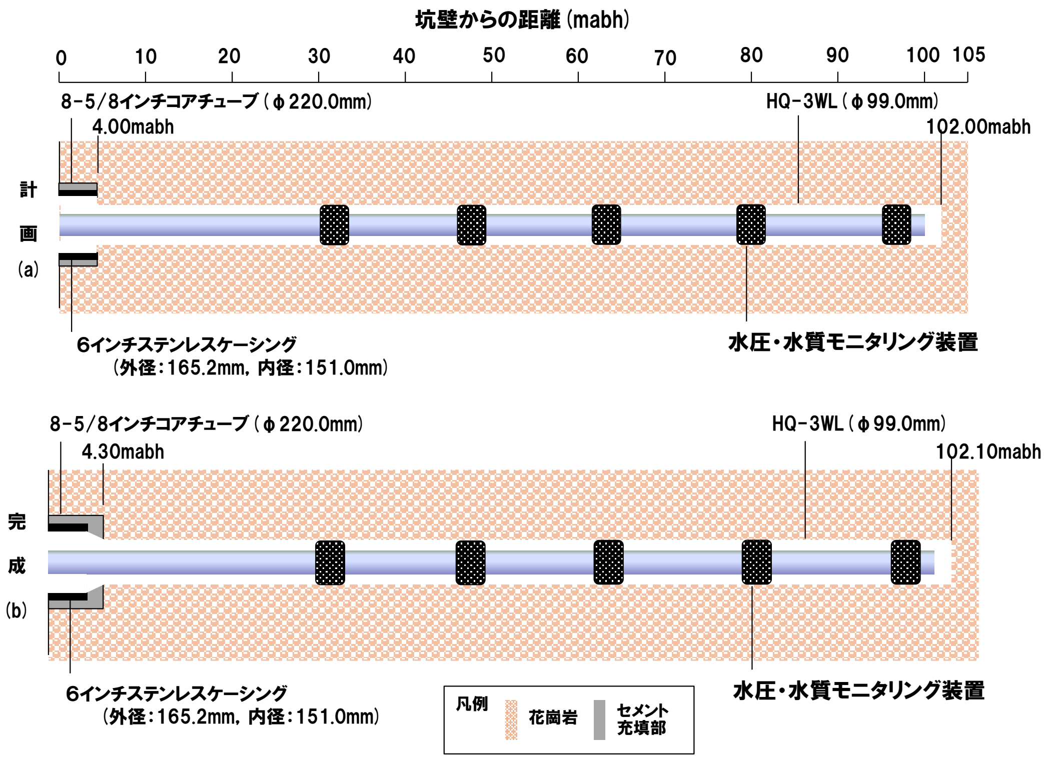


図 3.1.2-1 13MI38 号孔の計画および完成図

3.1.3 コア回収率

本調査では，コア回収率向上のため HQ-3WL を使用した。HQ-3WL は，インナーチューブの内側にアクリルチューブを内包している。アクリルチューブは縦に分かれる構造となっており，コアの形状を壊すことなくアクリルチューブから取り出しが可能である。また，掘削時にコアがアクリルチューブに入ってくる際，ボーリングポンプからの送水と接触する度合いが一般的な 2 重管コアバーレルより少ないため，送水に起因するコアロスが軽減（特に軟質の場合は顕著）される利点を持つ。一方で，コア径が 2 重管コアバーレルより小さくなるが（2 重管コアバーレル：コア径 63.5mm，3 重管コアバーレル：コア径 61.1mm），調査への影響はないと判断した。HQ-3WL でコアリング掘削した 0.00～102.10mabh 区間のコア採取率は, 平均 93.0%であった。

3.1.4 地下水のモニタリング結果

掘削した 0.00～102.10mabh 区間の湧水は最大で 78L/min であった。水圧・水質モニタリング装置設置完了後に採水を行った際に測定した電気伝導度，pH，温度，溶存酸素濃度，酸化還元電位については，6 章の地下水の地球化学的調査に示す。

3.1.5 孔芯傾斜測定結果

ボーリング孔は N10.23°W（真北），傾斜：-3.0°で掘削を開始した。ボーリング孔掘削時の孔跡管理は，20mabh 掘削毎に方位と傾斜の測定を行った。

測定方法は，磁気の影響を排除するために HQ-3WL 内のインナーチューブ先端に非磁性ステンレスコンテナを接続してその中に傾斜方位測定器を収納し，ビット先にコンテナを突き出して写真記録方式で測定した。孔芯傾斜測定結果は，方位は N10°W と概ね当初設定と近似するが，傾斜は－1.0°へ徐々に上向きとなった。結果を表 3.1.5-1 に示す。

表 3.1.5-1 13MI38 号孔の孔芯傾斜測定結果

深度（mabh）	孔径	方位(真北基準)	傾斜
20.00	HQ-3WL（φ99.0mm）	N 9.00°W	-2.5°
40.00	HQ-3WL（φ99.0mm）	N10.00°W	-1.5°
60.00	HQ-3WL（φ99.0mm）	N 9.00°W	-1.5°
80.00	HQ-3WL（φ99.0mm）	N 9.00°W	-0.5°
100.00	HQ-3WL（φ99.0mm）	N10.00°W	-1.0°

3.1.6 解体･撤去･搬出作業

ボーリングマシンを分解し，2 月 17 日から 19 日にかけて深度 500m ステージから主立坑地上設備まで資機材の荷揚げ作業を 1 方作業にて実施し, 2 月 21 日にすべての資機材を敷地外に搬出した。

3.2　13MI39～41 号孔，13MI42～44 号孔

13MI39~41 号孔と 13MI42~44 号孔の掘削は同じボーリングマシンと設備を使用した。表 3.2-1～3 に 13MI39～41 号孔の作業概要を示す。

表 3.2-1　13MI39 号孔の作業概要

No	作業内容	作業日時
1	【資材搬入・設営・準備作業】	2014 年 1 月 7 日～1 月 10 日
2	【第 1 段掘削】 0.00～2.14mabh： HQ-3（3 重管コアバーレル：φ99.0mm）コアリング掘削およびコア観察 0.00～2.14mabh：7-5/8 インチ（φ194.5mm）シングルコアバーレルにより拡孔 0.00～2.00mabh：5 インチステンレスケーシング設置およびフルホールセメンチング， 5 インチステンレスケーシング加圧試験（4MPa/5min）	2014 年 1 月 10 日～1 月 14 日
3	【第 2 段掘削】 2.14～16.40mabh：HQ-3WL（3 重管コアバーレル：φ99.0mm）コアリング掘削およびコア観察，孔内洗浄	2014 年 1 月 14 日～1 月 15 日
4	【BTV 観察・物理検層】2.00～16.21mabh	2014 年 1 月 28 日～1 月 30 日
5	【水理試験】1 区間	2014 年 2 月 6 日～ 2 月 7 日
6	【水圧・水質モニタリング装置の設置】	2014 年 2 月 17 日～3 月 11 日

表 3.2-2　13MI40 号孔の作業概要

No	作業内容	作業日時
1	【13MI40 号孔への移設・準備作業】	2014 年 1 月 15 日～ 1 月 16 日
2	【第 1 段掘削】 0.00～2.00mabh： HQ-3（3 重管コアバーレル：φ99.0mm）コアリング掘削およびコア観察 0.00～2.00mabh：7-5/8 インチ（φ194.5mm）シングルコアバーレルにより拡孔 0.00～2.00mabh：5 インチステンレスケーシング設置およびフルホールセメンチング， 5 インチステンレスケーシング加圧試験（4MPa/5min）	2014 年 1 月 16 日～ 1 月 20 日
3	【第 2 段掘削】 2.00～16.60mabh：HQ-3WL（3 重管コアバーレル：φ99.0mm）コアリング掘削およびコア観察，孔内洗浄	2014 年 1 月 20 日～ 1 月 21 日
4	【BTV 観察・物理検層】2.00～16.31mabh	2014 年 1 月 28 日～ 1 月 30 日
5	【水理試験】2 区間	2014 年 2 月 7 日～ 2 月 8 日
6	【水圧・水質モニタリング装置の設置】	2014 年 2 月 15 日～ 3 月 11 日

表 3.2-3　13MI41 号孔の作業概要(1)

No	作業内容	作業日時
1	【13MI41 号孔への移設・準備作業】	2014 年 1 月 21 日
2	【第 1 段掘削】 0.00～2.00mabh： HQ-3（3 重管コアバーレル：φ99.0mm）コアリング掘削およびコア観察 0.00～2.00mabh：7-5/8 インチ（φ194.5mm）シングルコアバーレルにより拡孔 0.00～2.00mabh：5 インチステンレスケーシング設置およびフルホールセメンチング， 5 インチステンレスケーシング加圧試験（4MPa/5min）	2014 年 1 月 21 日～ 1 月 24 日

表 3.2-3　13MI41 号孔の作業概要(2)

No	作業内容	作業日時
3	【第 2 段掘削】 2.00～16.60mabh : HQ-3WL（3 重管コアバーレル: φ99.0mm）コアリング掘削およびコア観察，孔内洗浄	2014 年 1 月 24 日～ 1 月 25 日
4	【BTV 観察・物理検層】2.00～16.21mabh	2014 年 1 月 28 日～ 1 月 30 日
5	【水理試験】2 区間	2014 年 2 月 3 日～ 2 月 5 日
6	【水圧・水質モニタリング装置の設置】	2014 年 2 月 17 日～ 3 月 11 日

表 3.2-4～6 に 13MI42～44 号孔の作業概要を示す。

表 3.2-4　13MI42 号孔の作業概要

No	作業内容	作業日時
1	【13MI42 号孔への移設・準備作業】	2014 年 1 月 30 日
2	【第 1 段掘削】 0.00～2.00mabh : HQ-3（3 重管コアバーレル : φ99.0mm）コアリング掘削およびコア観察 0.00～2.00mabh : 7-5/8 インチ（φ194.5mm）シングルコアバーレルにより拡孔 0.00～2.00mabh : 5 インチステンレスケーシング設置およびフルホールセメンチング， 5 インチステンレスケーシング加圧試験（4MPa/5min）	2014 年 1 月 31 日～ 2 月 4 日
3	【第 2 段掘削】 2.00～11.55mabh : HQ-3WL（3 重管コアバーレル: φ99.0mm）コアリング掘削およびコア観察，孔内洗浄	2014 年 2 月 4 日～ 2 月 6 日
4	【BTV 観察・物理検層】2.00～11.36mabh	2014 年 2 月 12 日～ 2 月 13 日
5	【岩盤変位計の設置】	2014 年 3 月 6 日～ 3 月 14 日

表 3.2-5　13MI43 号孔の作業概要

No	作業内容	作業日時
1	【13MI43 号孔への移設・準備作業】	2014 年 2 月 6 日
2	【掘削】 0.00～11.60mabh: HQ-3（3 重管コアバーレル : φ99.0mm）コアリング掘削およびコア観察，孔内洗浄	2014 年 2 月 6 日～ 2 月 7 日
3	【BTV 観察・物理検層】0.00～11.41mabh	2014 年 2 月 12 日～ 2 月 13 日
4	【岩盤変位計の設置】	2014 年 3 月 6 日～ 3 月 14 日

表 3.2-6　13MI44 号孔の作業概要

No	作業内容	作業日時
1	【13MI44 号孔への移設・準備作業】	2014 年 2 月 7 日
2	【掘削】 0.00～11.67mabh: HQ-3（3 重管コアバーレル : φ99.0mm）コアリング掘削およびコア観察，孔内洗浄	2014 年 2 月 7 日～ 2 月 10 日
3	【BTV 観察・物理検層】0.00～11.48mabh	2014 年 2 月 12 日～ 2 月 13 日
4	【岩盤変位計の設置】	2014 年 3 月 6 日～ 3 月 14 日
5	【解体・撤去・搬出作業】	2014 年 2 月 14 日～ 3 月 12 日

3.2.1 資材搬入・設営・準備作業

2014 年 1 月 7 日から 8 日まで資機材を荷卸し，ボーリングマシンを分解して立坑内に搬入を行い，深度 500m 研究アクセス北坑道 156.60m まで運搬した。掘削は，水圧・水質観測孔の 13MI39 号孔（鉛直孔），13MI40 号孔（水平孔），13MI41 号孔（水平孔）の後，ボーリングマシンを研究アクセス北坑道 134.00m まで移動して，岩盤変位観測孔の 13MI42 号孔（鉛直孔），13MI43 号孔（水平孔），13MI44 号孔（水平孔）の順序とした。最初に 13MI39 号孔の据付および設営作業を 1 月 9 日に 1 方作業にて実施した。各孔の掘削方位と傾斜を表 3.2.1-1 に示す。

表 3.2.1-1 13MI39～44 号孔の掘削方位と傾斜

No	立坑中心からの距離	方位(真北)	傾斜	備考
13MI39 号孔	156.60m	-	鉛直	水圧・水質観測孔
13MI40 号孔		N79.77°E	-3°	
13MI41 号孔		S79.77°W	-3°	
13MI42 号孔	134.00m	-	鉛直	岩盤変位観測孔
13MI43 号孔		N79.77°E	-3°	
13MI44 号孔		S79.77°W	-3°	

13MI40 号孔掘削時の機材配置図を図 3.2.1-1 に示すが，他孔掘削時も同様の配置である。また，13MI39 号孔から 13MI44 号孔の掘削時の使用機材一覧表を表 3.2.1-2 に示す。

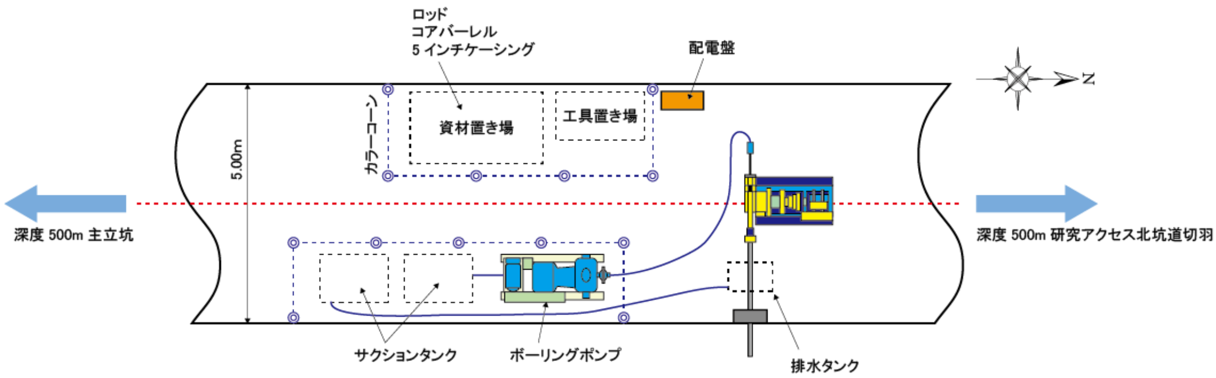


図 3.2.1-1 13MI40 号孔掘削の機材配置図

表 3.2.1-2 13MI39～44 号孔掘削の主要機材一覧表

名 称	型 式	規 格	質 量	数 量
ボーリングマシン	OE-8	巻上げ能力 20kN, 7.5kW	kg	1 台
ボーリングポンプ	MG-10	吐出量 70L/min, 7.5kW	kg	1 台
タンク　サクションタンク	-	0.75m^3	80kg	2 槽
タンク　貯水用タンク	-	3.00m^3	31kg	1 槽
ロッド	HQ	長さ:3.00m, 1.50m	11.50kg/m	21.00m
コアバーレル	HQ-3WL(3 重管コアバーレル)	長さ: 4.20m 外径:99.0mm, コア径:61.1mm インナーチューブ （アクリルチューブ内包）	40.0kg/m	1 式
コアバーレル	7-5/8 インチシングルコアバーレル	長さ:2.00m 外径:194.50mm, コア径:168.3mm	40.0kg/m	1 式
5 インチステンレスケーシング	SUS304-sch40	長さ:2.50m 外径:139.8mm, 内径:126.6mm	20.0kg/m	4 本
HW ケーシング	-	長さ:3.00m 外径:114.3mm, 内径:101.6mm	17.0kg/m	1 本
孔口装置　マニホールド	-	5 インチ 30K フランジ	16kg	1 式
孔口装置　ゲートバルブ	-	5 インチフランジ	50kg	1 式
孔口装置　プリベンダー	-	5 インチフランジ	12kg	1 式
配電盤	-	200V(屋外用)	40kg	1 式
孔芯傾斜測定器	Type-SR 村田製作所製	シングルショット 測定傾斜角:5～100°	20kg	1 式

3.2.2 掘削作業

13MI39～41 号孔の掘削は，13MI38 号孔と同様に最大で 5MPa の湧水を伴うことが想定されることから，ボーリング孔の口元は 5 インチケーシングを 2.00mabh まで設置し，5 インチケーシングに暴墳対策として孔口装置（マニホールド，ゲートバルブ，プリベンダー）を取り付け，被圧条件下での掘削の安全性の担保と各種調査時の湧水量を適切にコントロールできるように計画した。13MI42～44 号孔は岩盤変位観測孔であり，坑道掘削による影響領域の変位を計測することからケーシングを設置しない計画とした。但し，下向きの 13MI42 号孔はボーリングピットの底部に位置しているため，ボーリングピットで実施する埋戻し試験に支障がないよう 13MI39 号孔と同様に 5 インチケーシングと孔口装置を設置した。掘削作業中の湧水量は 1 掘削単位ごとにサクションタンクの水位を計測することで確認した。

また，12MI33 号孔の掘削実績により断層が存在しないと判断されることから，BTV 観察，物理検層，水理試験が可能な孔径：HQ-3WL（3 重管コアバーレル）で計画した。

13MI39～41 号孔の計画図，完成図を図 3.2.2-1 に，13MI42 号孔の計画図，完成図を図 3.2.2-2 に，ケーシングを設置しない 13MI43～44 号孔の計画図，完成図を図 3.2.2-3 に示す。

(1) 第 1 段掘削（13MI39～42 号孔：0.00～2.00mabh）

13MI39 号孔の第 1 段掘削は 2014 年 1 月 10 日より着手し，2 方作業で実施した。掘削に必要な用水は，深度 500m 研究アクセス北坑道内からの湧水をサクションタンクに貯め，蛍光染料（アミノ G 酸）を 5mg/L±10%の濃度で混入したものを使用した。掘削に伴って大量湧水が発生した

場合の止水対処等を考慮して最初に HQ-3（3 重管コアバーレル）普通工法で先行掘削を実施した後，7-5/8 インチケーシングビットで拡孔を実施し，図 3.2.2-1 に示すように，5 インチステンレスケーシングを 2.00mabh まで設置し，フルホールセメンチングを実施した。設置した 5 インチステンレスケーシングのフルホールセメンチングについて，湧水抑制に対する耐圧性を確認するため，4MPa/5min でケーシング加圧試験を 1 回実施した。

13MI39 号孔以外の第 1 段掘削は，13MI40 号孔は 1 月 16 日，13MI41 号孔は 1 月 21 日，13MI42 号孔は 1 月 31 日よりそれぞれ着手し，2 方作業で実施した。掘削方法等は 13MI39 号孔と同様である。

(2) 第 2 段掘削（13MI39～41 号孔：2.00～16.40，16.60mabh，13MI42 号孔：2.00～11.55mabh）

13MI39 号孔の第 2 段掘削は 1 月 14 日に HW ケーシングを仮ケーシングとして 2.00mabh にセットした後，孔口装置（マニホールド，ゲートバルブ，プリベンダー）を取付け，HQ-3WL（3 重管コアバーレル）によって 2.00～16.40mabh までの掘削を 2 方作業にて実施した。また，掘削完了毎に孔芯傾斜測定を行い，ボーリング孔跡（傾斜・方位）を管理した。

13MI39 号孔以外の第 2 段掘削は，13MI40 号孔は 1 月 20 日，13MI41 号孔は 1 月 24 日，13MI42 号孔は 2 月 4 日よりそれぞれ着手し，2 方作業で実施した。掘削方法等は 13MI39 号孔と同様である。

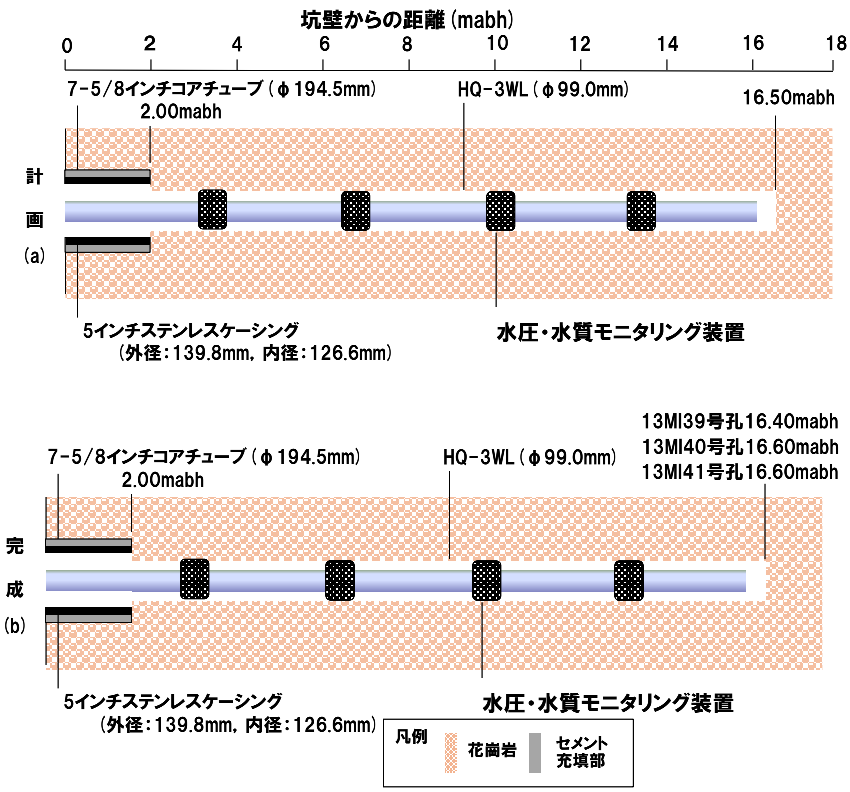


図 3.2.2-1　13MI39～41 号孔の計画および完成図

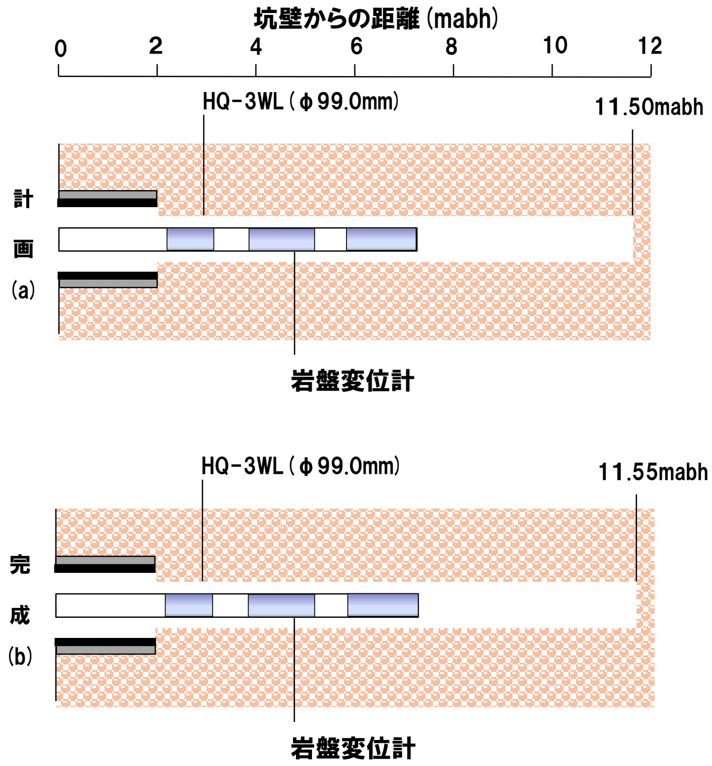


図 3.2.2-2　13MI42 号孔の計画および完成図

掘削完了後に孔内を洗浄し，BTV 観察，物理検層，水理試験(13MI42 号孔を除く)を実施した後に，13MI39～41 号孔には水圧・水質モニタリング装置を，13MI42 号孔には岩盤変位計を設置した。

(3) 掘削(13MI43～R44 号孔:0.00～11.60mabh，11.67mabh)

13MI43 号孔と 44 号孔はケーシングを設置せず，口切りから 11.60mabh および 11.67mabh まで HQ-3（3 重管コアバーレル）普通工法で掘削を実施した。掘削完了後に孔内を洗浄し，BTV 観察，物理検層を実施した後に，岩盤変位計を設置した。

3.2.3 コア回収率

コア回収率向上のため，HQ-3WL を使用した。コア採取率は，13MI39 号孔で 96.6%，13MI40 号孔で 95.4%，13MI41 号孔で 90.7%，13MI42 号孔で 100%，13MI43 号孔で 96.2%，13MI44 号孔で 86.5%であった。

3.2.4 地下水のモニタリング結果

掘削中の湧水は最大で 13MI39 号孔で 0.38L/min，13MI40 号孔で 0.20 L/min，13MI41 号孔で 0.42 L/min, 13MI42 号孔で 0.00 L/min, 13MI43 号孔で 0.35 L/min, 13MI44 号孔で 0.20L/min であった。水圧・水質モニタリング装置設置完了後に採水を行った際に測定した電気伝導度, pH，温度，溶存酸素濃度，酸化還元電位については，6 章の地下水の地球化学的調査に示す。

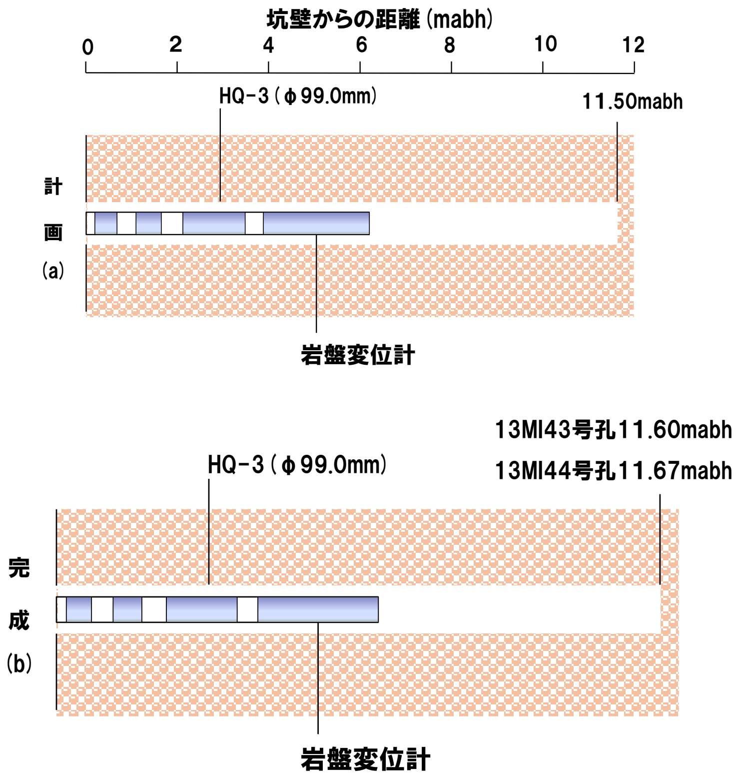


図 3.2.2-3　13MI43～44 号孔の計画および完成図

3.2.5　孔芯傾斜測定結果

ボーリング孔の方位と傾斜は，それぞれ表 3.2.1-1　掘削方位と傾斜に示す値で設定して掘削を開始した。ボーリング孔掘削完了時に方位と傾斜の測定を行った。

測定方法は，磁気の影響を排除するために HQ-3WL 内のインナーチューブ先端に非磁性ステンレスコンテナを接続してその中に傾斜方位測定器を収納し，ビット先にコンテナを突き出して写真記録方式で測定した。孔芯傾斜測定結果を表 3.2.5-1 に示す。

表 3.2.5-1　13MI39～44 号孔の孔芯傾斜測定結果

孔 NO.	計画		実測結果	
	方位(真北)	傾斜	方位(真北)	傾斜
13MI39 号孔	-	下向き 90.0°	N43.00°W	下向き 89.5°
13MI40 号孔	N79.77°E	-3.0°	N78.00°E	-4.0°
13MI41 号孔	S79.77°W	-3.0°	S80.00°W	-3.5°
13MI42 号孔	-	下向き 90.0°	S14.00°W	下向き 90.0°
13MI43 号孔	N79.77°E	-3.0°	N79.00°E	-3.5°
13MI44 号孔	S79.77°W	-3.0°	S81.00°W	-2.5°

3.2.6 解体･撤去･搬出作業

ボーリングマシンを分解し，2 月 14 日から 21 日にかけて深度 500m 冠水坑道から主立坑地上設備まで資機材の荷揚げ作業を 1 方作業にて実施し, 2 月 21 日にすべての資機材を敷地外に搬出した。

4. 地質学的調査

4.1 コア観察

4.1.1 目的･方法

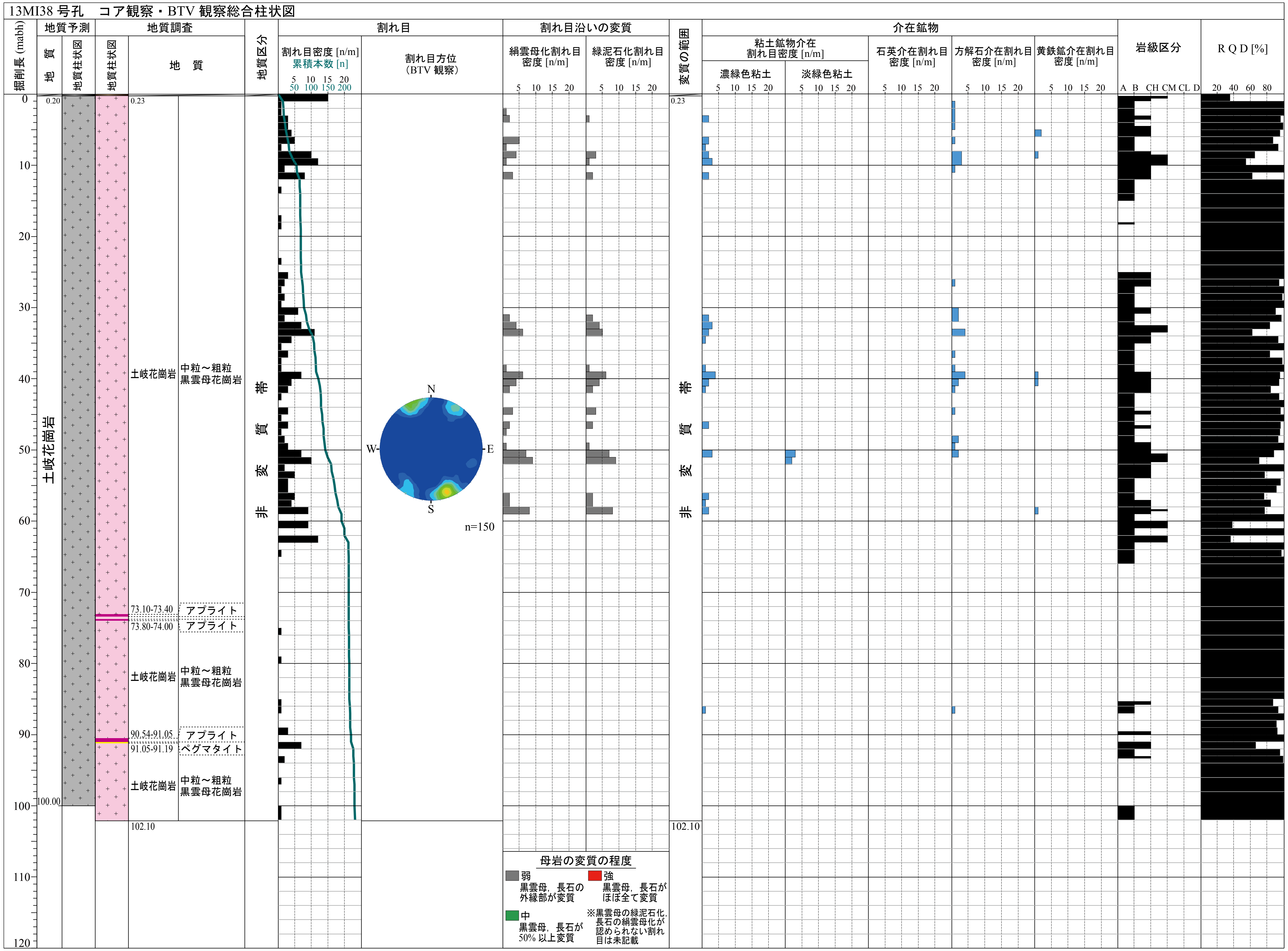
コア観察は，深度 500m 冠水坑道周辺の地質学的特徴を把握することを目的として実施した。

コアの記載は，これまでの研究所およびその周辺において実施してきたボーリング調査の基準に基づいて行うこととし（付録 4.1.1），記載用紙のスケールは 1/10 とした。

4.1.2 コア観察結果

(1) 13MI38 号孔

13MI38 号孔におけるコア観察および BTV 観察の結果をまとめた総合柱状図を図 4.1.2-1 に示す。また，コア写真を付録 4.1.2-1，コア観察記載シートを付録 4.1.2-2 に示す。



※割れ目の方位は BTV 観察結果，その他の情報はコア観察結果に基づく

図 4.1.2-1　13MI38 号孔コア観察・BTV 観察総合柱状図

1）岩相

13MI38 号孔のコアは，主に黒雲母花崗岩で構成される。その他に，91.05～91.19mabh ではペグマタイト，73.10～73.40mabh，73.80～74.00mabh および 90.54～91.05mabh ではアプライトが認められた。黒雲母花崗岩とペグマタイトやアプライトの境界は明瞭である。

黒雲母花崗岩は，主に中粒～粗粒の等粒状～斑状組織を示す（写真 4.1.2-1）。主要構成鉱物は，石英，カリ長石，斜長石，黒雲母であり，石英，カリ長石，斜長石は自形～半自形，黒雲母は半自形～他形である。鉱物の粒径は，石英，斜長石および黒雲母が 2～10mm，カリ長石が 2～25mm である。なお，18.50mabh 付近，19.50mabh 付近，49.05～49.40mabh および 52.20～52.30mabh では黒雲母が帯状に濃集する（写真 4.1.2-2）。

ペグマタイトは幅 14cm で認められる（写真 4.1.2-3）。粗粒で斑状組織を示し，主要構成鉱物は石英とカリ長石で，石英の最大粒径は 52mm，カリ長石の最大粒径は 26mm であった。

アプライトは幅 10～50cm の脈として認められる（写真 4.1.2-4）。細粒で等粒状組織を示し，主要構成鉱物は石英とカリ長石で黒雲母が点在する。石英および黒雲母の最大粒径は 1mm 程度，カリ長石の最大粒径は 3mm 程度であった。

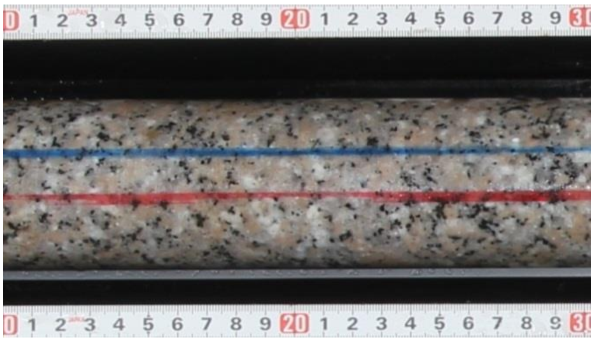


写真 4.1.2-1　中粒～粗粒の黒雲母花崗岩（96.10～96.30mabh）

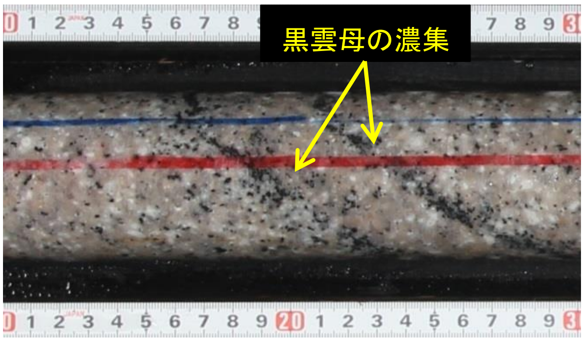


写真 4.1.2-2　黒雲母が帯状に濃集した中粒～粗粒の黒雲母花崗岩（51.10～51.30mabh）

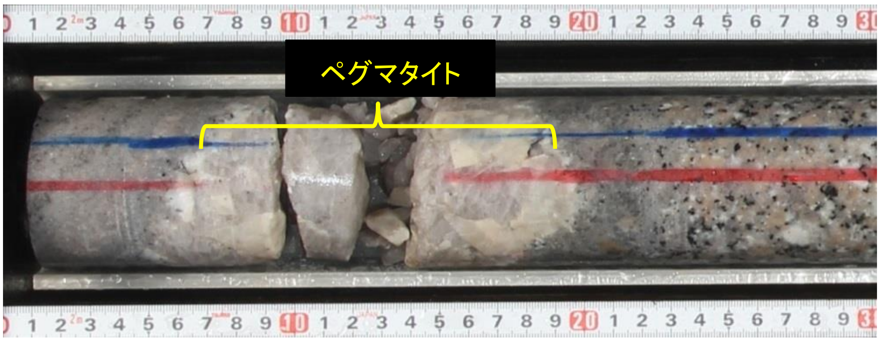


写真 4.1.2-3　ペグマタイト（91.00～91.30mabh）

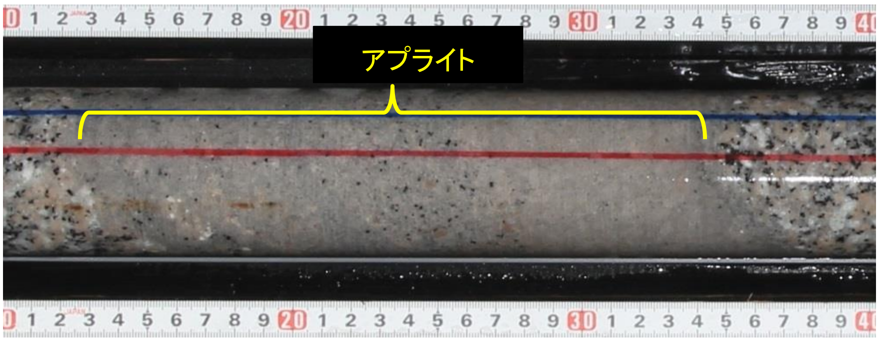


写真 4.1.2-4 アプライト（73.10～73.40mabh）

2) 断層

13MI38 号孔で断層は確認されなかった。

3) 割れ目記載

(a) 割れ目密度

割れ目密度は平均 2.3 本/m で，最大は 0.00～1.00mabh の 15.0 本/m，最小は 39 区間で 0.0 本/m であった。

(b) 割れ目沿いの変質

割れ目沿いの変質は，わずかに絹雲母化，緑泥石化が認められるものの，ほとんど非変質であった。

(c) 割れ目の介在鉱物

割れ目の介在鉱物は，緑泥石と方解石がほぼ全区間において認められた。黄鉄鉱は 60.00mabh 以浅，スメクタイトおよび雲母粘土鉱物に相当すると考えられる淡緑色の粘土鉱物は 50.00～52.00mabh で確認した。これ以外の鉱物は認められなかった。

4) RQD

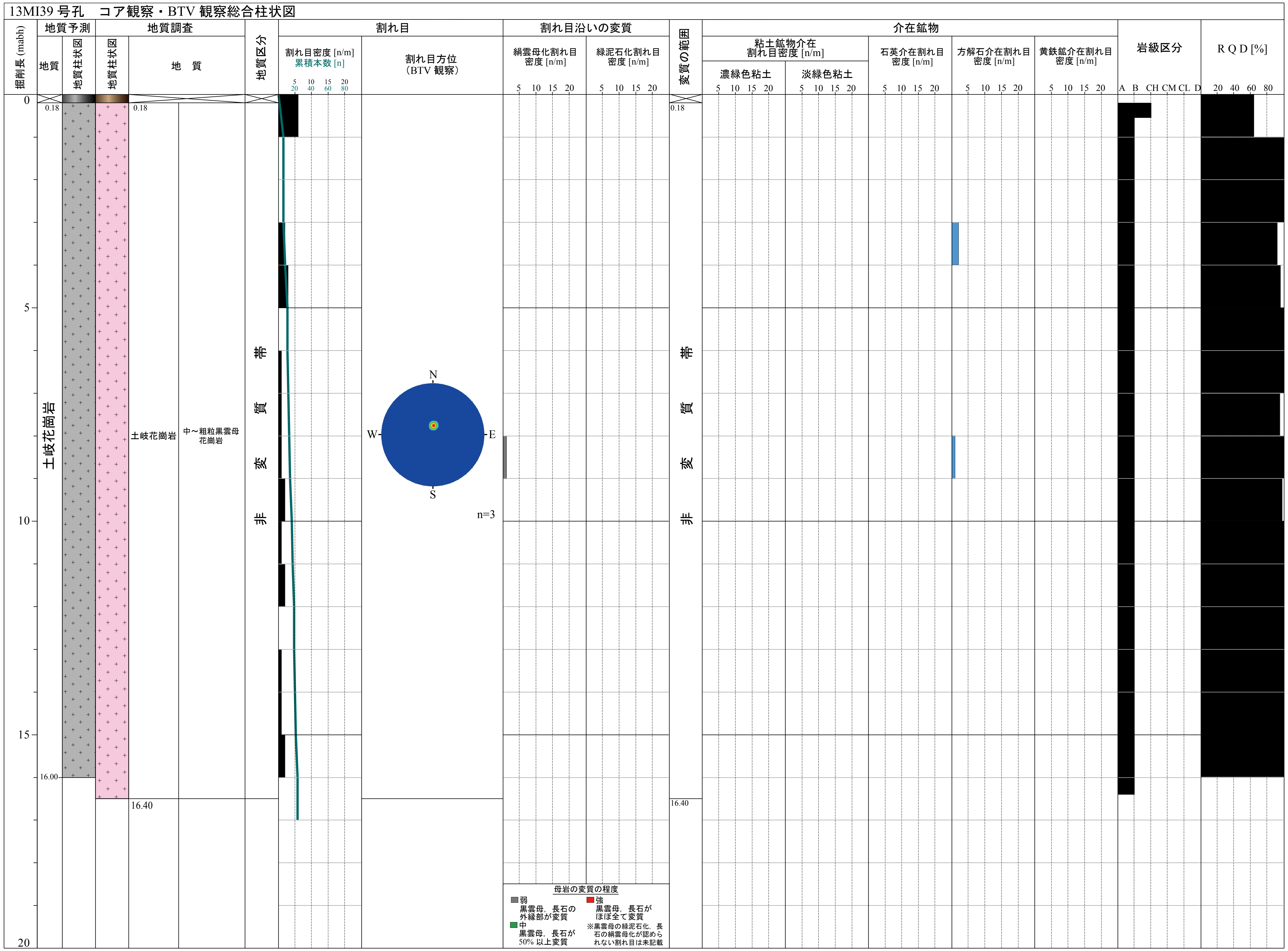
RQD は平均 93.0%で，最大は 58 区間で 100.0%，最小は 0.00～1.00mabh の 35.0%であった。

5) 岩盤等級

岩盤等級は B 級を主体とし，割れ目の無い箇所で A 級，割れ目のやや多い箇所で CH～CM 級となる。なお，13MI38 号孔では CL～D 級は認められなかった。

(2) 13MI39 号孔

13MI39 号孔におけるコア観察および BTV 観察の結果をまとめた総合柱状図を図 4.1.2-2 に示す。また，コア写真を付録 4.1.2-1，コア観察記載シートを付録 4.1.2-2 に示す。



※割れ目の方位は BTV 観察結果，その他の情報はコア観察結果に基づく

図 4.1.2-2　13MI39 号孔コア観察･BTV 観察総合柱状図

1) 岩相

13MI39 号孔のコアは，黒雲母花崗岩で構成される。黒雲母花崗岩は，主に中粒～粗粒の等粒状～斑状組織を示す（写真 4.1.2-5）。主要構成鉱物は，石英，カリ長石，斜長石，黒雲母であり，石英，カリ長石，斜長石は自形～半自形，黒雲母は半自形～他形である。鉱物の粒径は，石英，斜長石および黒雲母が 2～8mm，カリ長石が 2～25mm である。なお，4.30mabh 付近，7.50mabh 付近および 11.30mabh 付近では黒雲母が帯状に濃集する（写真 4.1.2-6）。

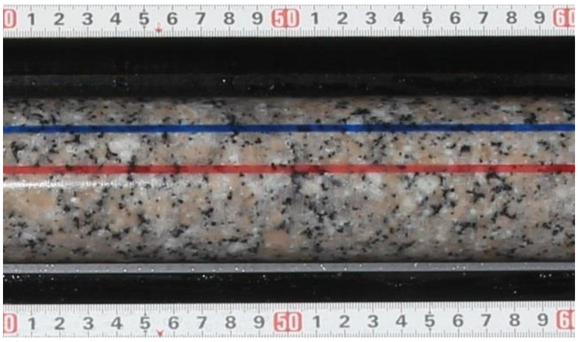


写真 4.1.2-5　中粒～粗粒の黒雲母花崗岩（15.40～15.60mabh）

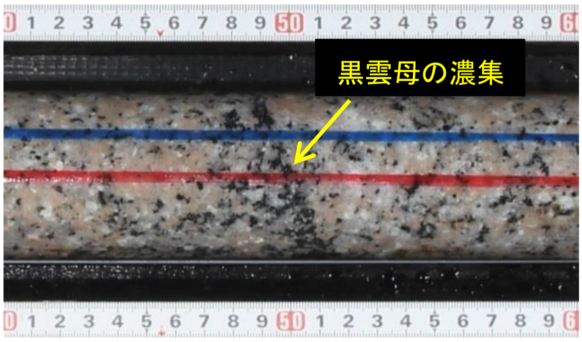


写真 4.1.2-6　黒雲母が帯状に濃集した中粒～粗粒の黒雲母花崗岩（7.40～7.60mabh）

2) 断層

13MI39 号孔で断層は確認されなかった。

3) 割れ目記載

(a) 割れ目密度

割れ目密度は平均 1.4 本/m で，最大は 0.00～1.00mabh の 6.0 本/m，最小は 4 区間で 0.0 本/m であった。

(b) 割れ目沿いの変質

割れ目沿いの変質は，ほとんど認められなかった。

(c) 割れ目の介在鉱物

割れ目の介在鉱物は，3.90mabh 付近と 8.23mabh において方解石が認められたものの，これ以外の鉱物は認められなかった。

4) RQD

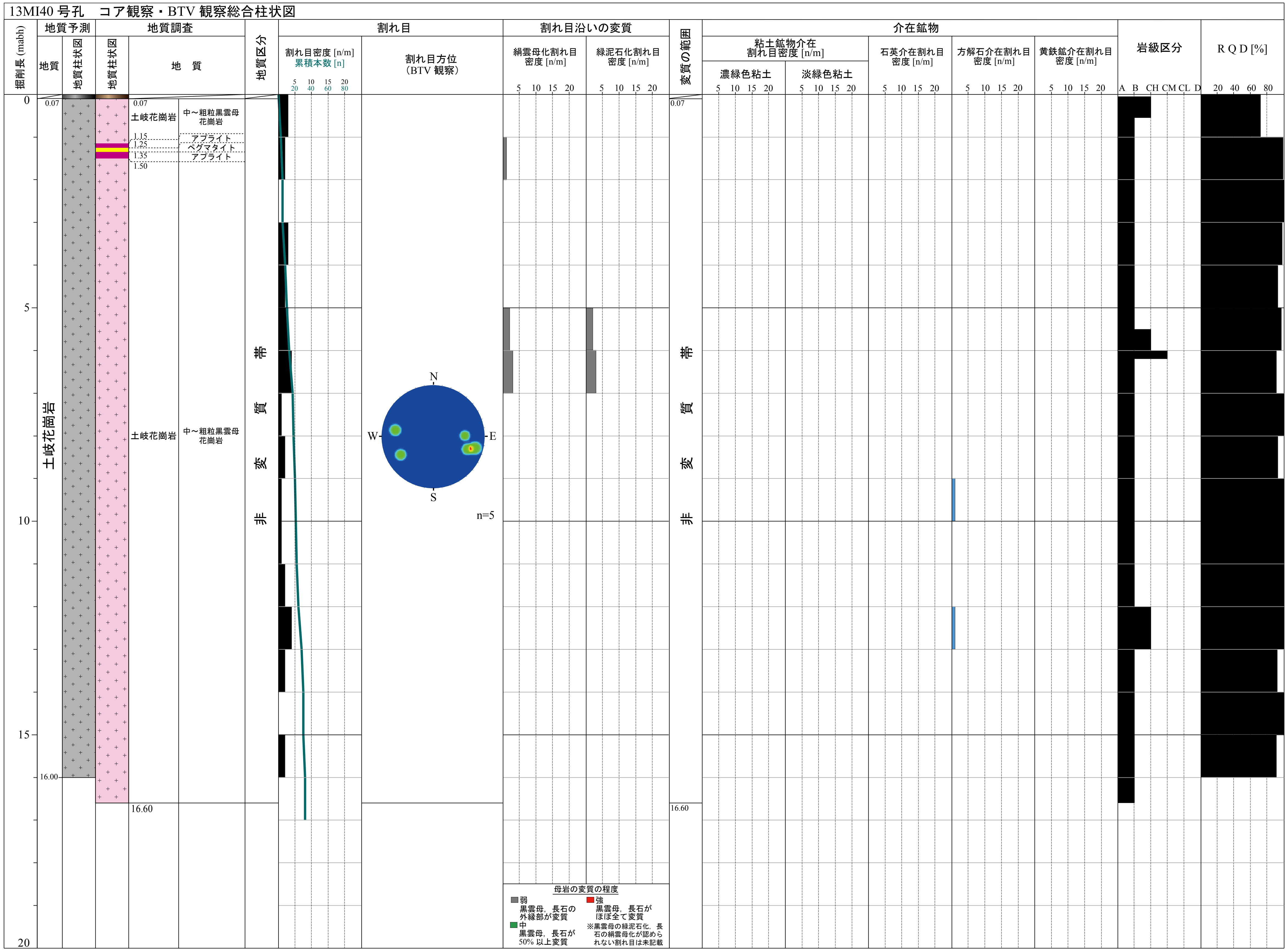
RQD は平均 96.6%で，最大は 11 区間で 100.0%，最小は 0.00～1.00mabh の 64.0%であった。

5) 岩盤等級

岩盤等級は B 級を主体とし，割れ目のやや多い孔口部で CH 級となる。なお，13MI39 号孔では A 級および CM～D 級は認められなかった。

(3) 13MI40 号孔

13MI40 号孔におけるコア観察および BTV 観察の結果をまとめた総合柱状図を図 4.1.2-3 に示す。また，コア写真を付録 4.1.2-1，コア観察記載シートを付録 4.1.2-2 に示す。



※割れ目の方位は BTV 観察結果，その他の情報はコア観察結果に基づく

図 4.1.2-3　13MI40 号孔コア観察・BTV 観察総合柱状図

1) 岩相

13MI40 号孔のコアは，主に黒雲母花崗岩で構成される。その他に，1.25～1.35mabh ではペグマタイト，1.15～1.25mabh および 1.35～1.50mabh ではアプライトが認められた。黒雲母花崗岩とペグマタイトやアプライトの境界は明瞭である。

黒雲母花崗岩は，主に中粒～粗粒の等粒状～斑状組織を示す（写真 4.1.2-7）。主要構成鉱物は，石英，カリ長石，斜長石，黒雲母であり，石英，カリ長石，斜長石は自形～半自形，黒雲母は半自形～他形である。鉱物の粒径は，石英，斜長石および黒雲母が 2～15mm，カリ長石が 2～30mm である。

ペグマタイトは幅 10cm で認められる（写真 4.1.2-8）。粗粒で等粒状組織を示し，主要構成鉱物は石英，斜長石およびカリ長石で，粒径は 20～30mm であった。

アプライトは幅 10～15cm の脈として認められる（写真 4.1.2-8）。細粒で等粒状組織を示し，主要構成鉱物は石英とカリ長石で黒雲母が点在し，粒径は 1～2mm 程度であった。

写真 4.1.2-7　中粒～粗粒の黒雲母花崗岩（15.40～15.70mabh）

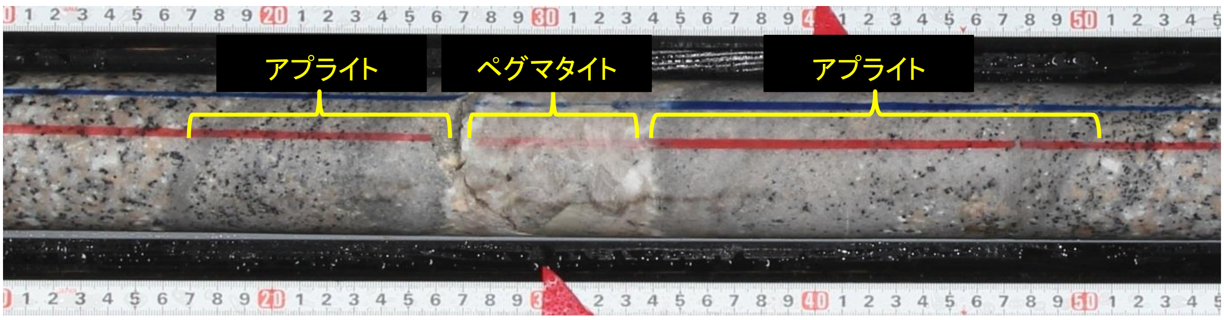


写真 4.1.2-8　ペグマタイトおよびアプライト（1.10～1.55mabh）

2) 断層

13MI40 号孔で断層は確認されなかった。

3) 割れ目記載

(a) 割れ目密度

割れ目密度は平均 2.0 本/m で，最大は 6.00～7.00mabh および 12.00～13.00mabh の 4.0 本/m，最小は 2.00～3.00mabh および 14.00～15.00mabh の 0.0 本/m であった。

(b) 割れ目沿いの変質

割れ目沿いの変質は，ほとんど認められなかった。

(c) 割れ目の介在鉱物

割れ目の介在鉱物は，9.28mabh と 12.60mabh において方解石が認められたものの，これ以外の鉱物は認められなかった。

4) RQD

RQD は平均 95.4%で，最大は 7 区間で 100.0%，最小は 0.00～1.00mabh の 72.0%であった。

5) 岩盤等級

岩盤等級は B 級を主体とし，割れ目のやや多い箇所で CH～CM 級となる。なお，13MI40 号孔では A 級および CL～D 級は認められなかった。

(4) 13MI41 号孔

13MI41 号孔におけるコア観察および BTV 観察の結果をまとめた総合柱状図を図 4.1.2-4 に示す。また，コア写真を付録 4.1.2-1，コア観察記載シートを付録 4.1.2-2 に示す。

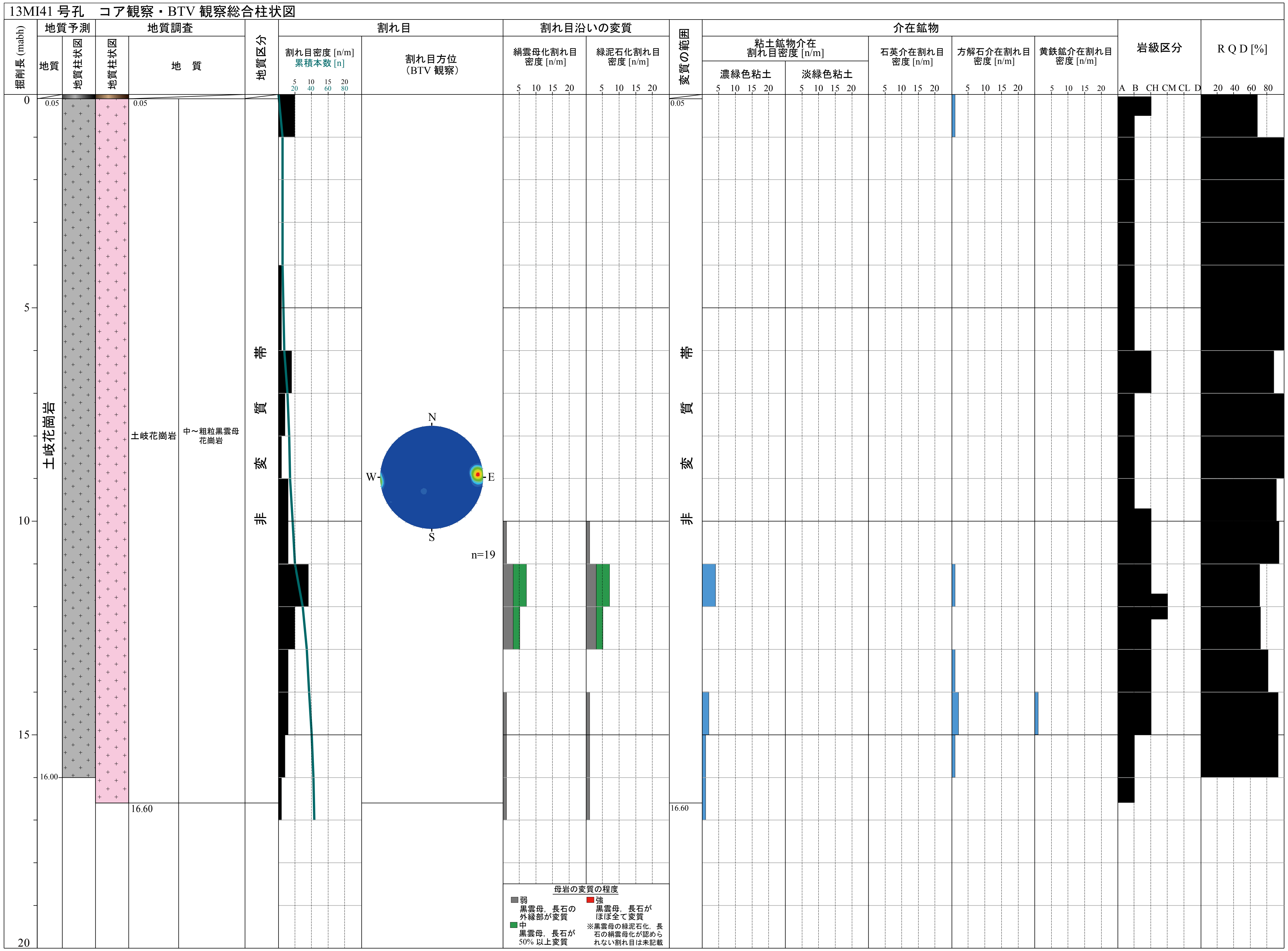


図 4.1.2-4　13MI41 号孔コア観察・BTV 観察総合柱状図

1）岩相

13MI41 号孔のコアは，黒雲母花崗岩で構成される。黒雲母花崗岩は，主に中粒～粗粒の等粒状～斑状組織を示す（写真 4.1.2-9）。主要構成鉱物は，石英，カリ長石，斜長石，黒雲母であり，石英，カリ長石，斜長石は自形～半自形，黒雲母は半自形～他形である。鉱物の粒径は，石英，斜長石および黒雲母が 2～8mm，カリ長石が 2～15mm である。なお，15.10～15.20mabh では黒雲母が濃集する（写真 4.1.2-10）。

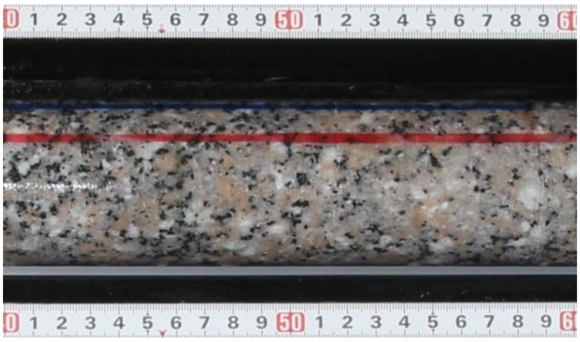


写真 4.1.2-9　中粒～粗粒の黒雲母花崗岩（9.40～9.60mabh）

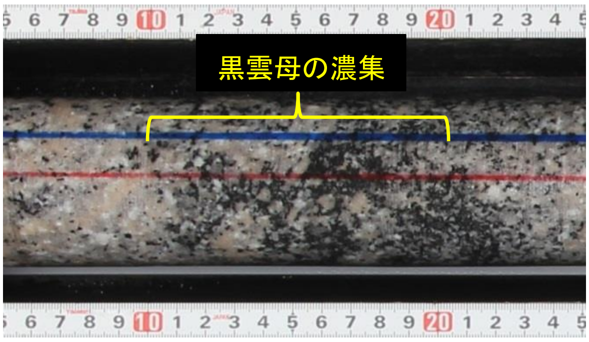


写真 4.1.2-10　黒雲母が帯状に濃集した中粒～粗粒の黒雲母花崗岩（15.05～15.25mabh）

2）断層

13MI41 号孔で断層は確認されなかった。

3）割れ目記載

(a) 割れ目密度

割れ目密度は平均 2.7 本/m で, 最大は 11.00～12.00mabh の 9.0 本/m, 最小は 1.00～4.00mabh の 0.0 本/m であった。

(b) 割れ目沿いの変質

割れ目沿いの変質は，新鮮～弱変質を主体とするが，11.00～13.00mabh では中変質となる。特に 12.00mabh 付近では，黒雲母の半分が緑泥石に置き換わっており，割れ目沿いが暗緑色～淡緑色を呈する（写真 4.1.2-11）。

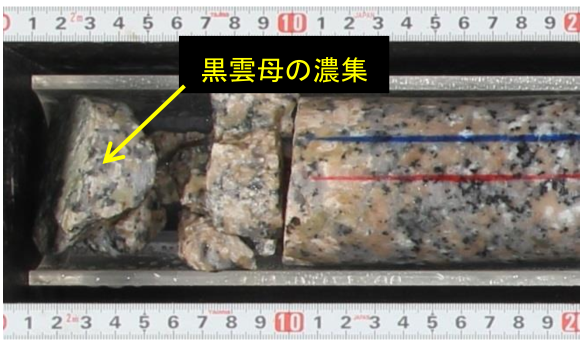


写真 4.1.2-11　割れ目沿いが淡緑色を呈する変質（12.00～12.20mabh）

⒞ 割れ目の介在鉱物

割れ目の介在鉱物は, 方解石を 1.00mabh 付近と 11.95mabh 以深, 緑泥石を 11.70mabh 以深, 黄鉄鉱を 14.70mabh 付近で確認した。これ以外の鉱物は認められなかった。

4) RQD

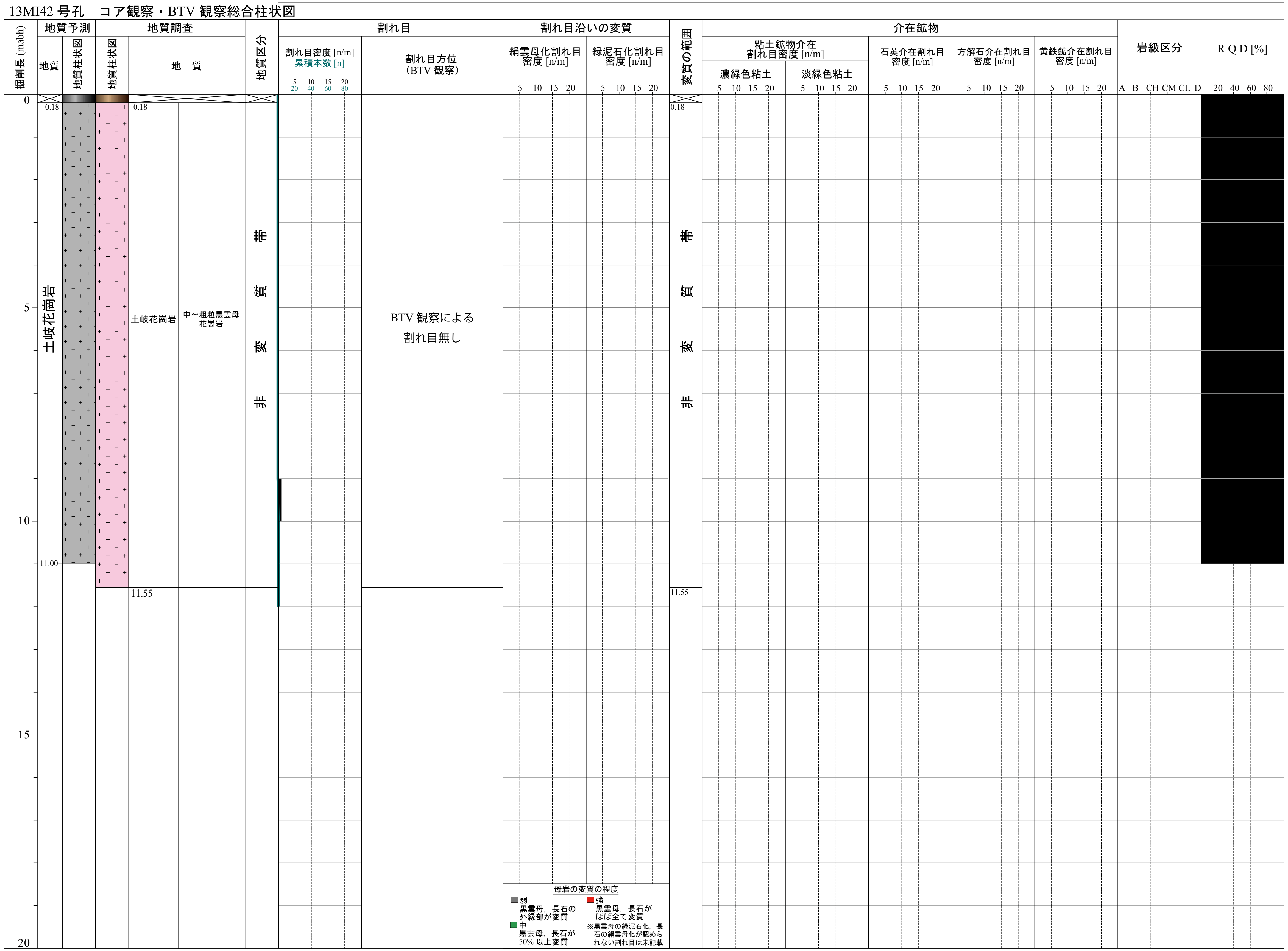
RQD は平均 90.7%で，最大は 7 区間で 100.0%，最小は 0.00～1.00mabh の 68.0%であった。

5) 岩盤等級

岩盤等級は B～CH 級を主体とし，割れ目のやや多い箇所で CM 級となる。なお，13MI41 号孔では A 級および CL～D 級は認められなかった。

⑸ 13MI42 号孔

13MI42 号孔におけるコア観察および BTV 観察の結果をまとめた総合柱状図を図 4.1.2-5 に示す。また，コア写真を付録 4.1.2-1，コア観察記載シートを付録 4.1.2-2 に示す。



※割れ目の方位は BTV 観察結果，その他の情報はコア観察結果に基づく

図 4.1.2-5　13MI42 号孔コア観察・BTV 観察総合柱状図

1） 岩相

13MI42 号孔のコアは，黒雲母花崗岩で構成される。黒雲母花崗岩は，主に中粒～粗粒の等粒状～斑状組織を示す（写真 4.1.2-12）。主要構成鉱物は，石英，カリ長石，斜長石，黒雲母であり，石英，カリ長石，斜長石は自形～半自形，黒雲母は半自形～他形である。鉱物の粒径は，石英，斜長石および黒雲母が 2～8mm，カリ長石が 2～20mm である。

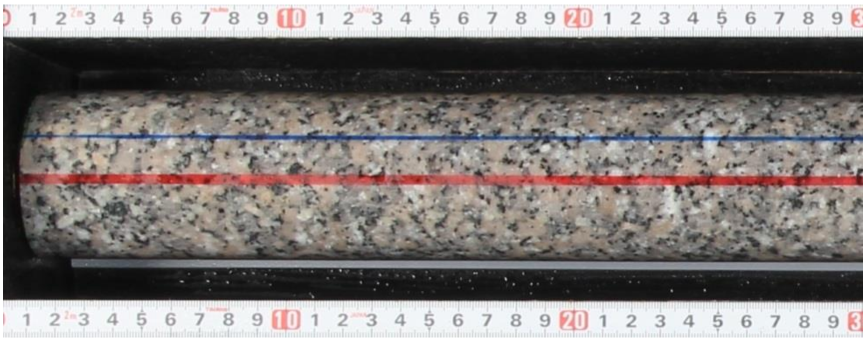


写真 4.1.2-12 中粒～粗粒の黒雲母花崗岩（9.00～9.30mabh）

2） 断層

13MI42 号孔で断層は確認されなかった。

3） 割れ目記載

(a) 割れ目密度

割れ目密度は平均 0.1 本/m で，割れ目は 9.34mabh のみであった。

(b) 割れ目沿いの変質

割れ目沿いの変質は，ほとんど認められなかった。

(c) 割れ目の介在鉱物

割れ目の介在鉱物は認められなかった。

4) RQD

RQD は全区間で 100%であった。

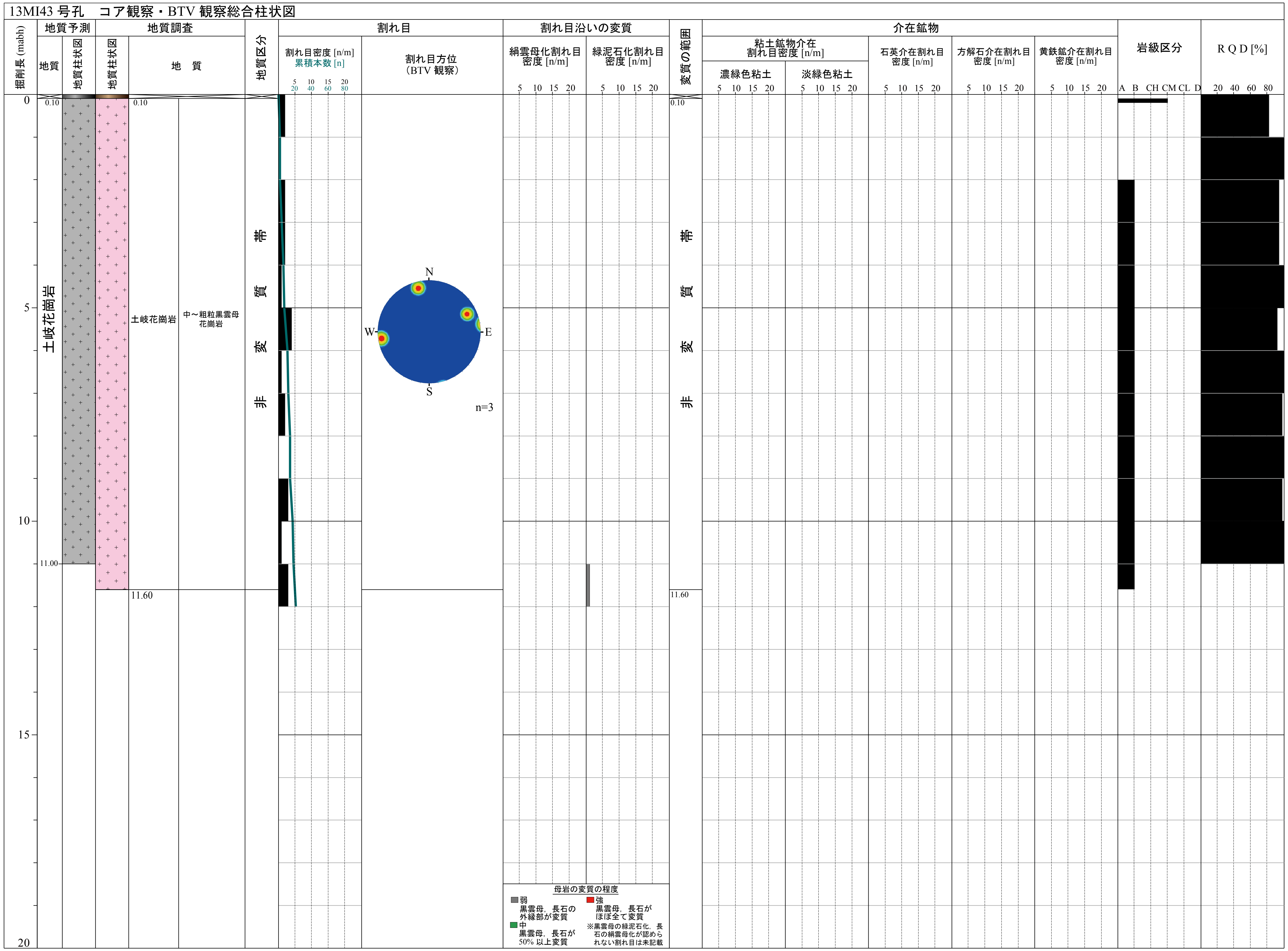
5） 岩盤等級

岩盤等級は全区間で A 級であった。

(6) 13MI43 号孔

13MI43 号孔におけるコア観察および BTV 観察の結果をまとめた総合柱状図を図 4.1.2-6 に示す。また，コア写真を付録 4.1.2-1，コア観察記載シートを付録 4.1.2-2 に示す。

This is a blank page.



※割れ目の方位は BTV 観察結果，その他の情報はコア観察結果に基づく

図 4.1.2-6　13MI43 号孔コア観察・BTV 観察総合柱状図

1) 岩相

13MI43 号孔のコアは，黒雲母花崗岩で構成される。黒雲母花崗岩は，主に中粒～粗粒の等粒状～斑状組織を示す（写真 4.1.2-13）。主要構成鉱物は，石英，カリ長石，斜長石，黒雲母であり，石英，カリ長石，斜長石は自形～半自形，黒雲母は半自形～他形である。鉱物の粒径は，石英，斜長石および黒雲母が 2～8mm，カリ長石が 2～25mm である。

写真 4.1.2-13　中粒～粗粒の黒雲母花崗岩（9.50～9.80mabh）

2) 断層

13MI43 号孔で断層は確認されなかった。

3) 割れ目記載

(a) 割れ目密度

割れ目密度は平均 1.8 本/m で，最大は 5.00～6.00mabh の 4.0 本/m，最小は 1.00～2.00mabh と 8.00～9.00mabh の 0.0 本/m であった。

(b) 割れ目沿いの変質

割れ目沿いの変質は，ほとんど認められなかった。

(c) 割れ目の介在鉱物

割れ目の介在鉱物は認められなかった。

4) RQD

RQD は平均 96.2%で，最大は 5 区間で 100.0%，最小は 0.00～1.00mabh の 82.0%であった。

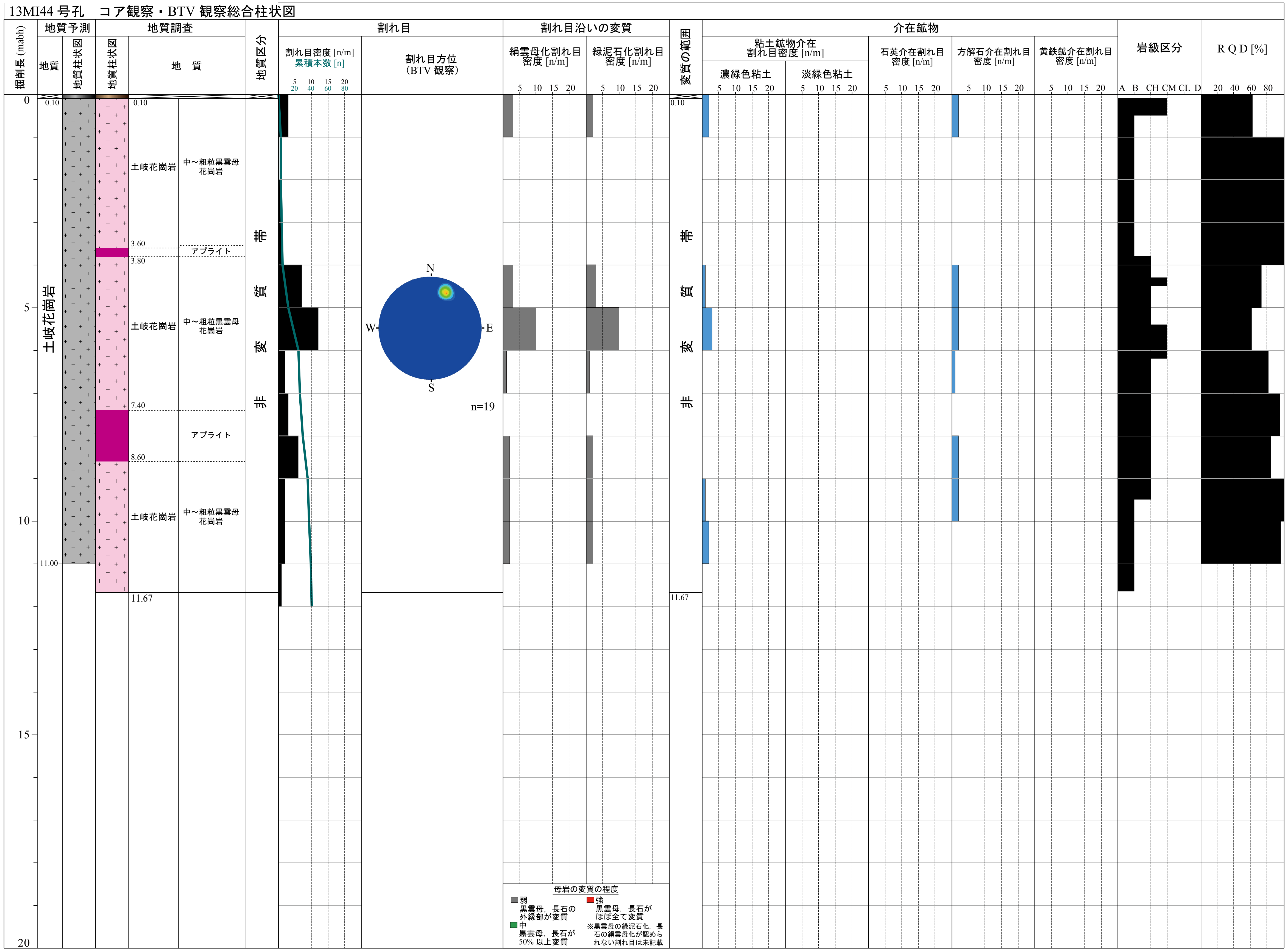
5) 岩盤等級

岩盤等級は，孔口部の 0.20mabh まで CM 級であったが，それ以深では A～B 級であった。なお，13MI43 号孔で CH 級および CL～D 級は認められなかった。

(7) 13MI44 号孔

13MI44 号孔におけるコア観察および BTV 観察の結果をまとめた総合柱状図を図 4.1.2-7 に示す。また，コア写真を付録 4.1.2-1，コア観察記載シートを付録 4.1.2-2 に示す。

This is a blank page.



※割れ目の方位は BTV 観察結果，その他の情報はコア観察結果に基づく

図 4.1.2-7　13MI44 号孔コア観察・BTV 観察総合柱状図

1）岩相

13MI44 号孔のコアは，主に黒雲母花崗岩で構成される。その他に，3.60～3.80mabh および 7.40～8.60mabh ではアプライトが認められた。黒雲母花崗岩とアプライトの境界は明瞭である。

黒雲母花崗岩は，主に中粒～粗粒の等粒状～斑状組織を示す（写真 4.1.2-14）。主要構成鉱物は，石英，カリ長石，斜長石，黒雲母であり，石英，カリ長石，斜長石は自形～半自形，黒雲母は半自形～他形である。鉱物の粒径は，石英，斜長石および黒雲母が 2～10mm，カリ長石が 2～17mm である。アプライトは幅 20～120cm の脈として認められる（写真 4.1.2-15）。細粒で等粒状組織を示し，主要構成鉱物は石英とカリ長石で黒雲母が点在し，粒径は最大 1mm であった。

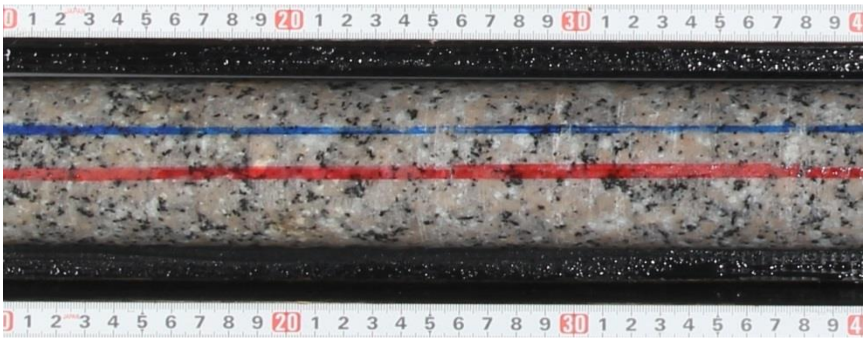


写真 4.1.2-14　中粒～粗粒の黒雲母花崗岩（11.10～11.40mabh）

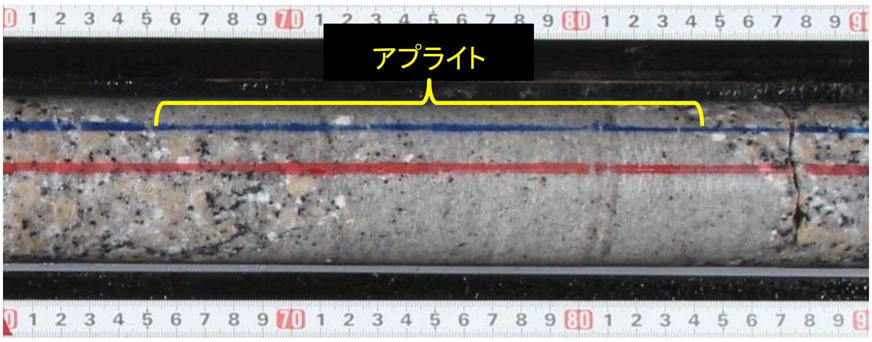


写真 4.1.2-15　アプライト（3.60～3.90mabh）

2）断層

13MI44 号孔で断層は確認されなかった。

3）割れ目記載

(a) 割れ目密度

割れ目密度は平均 3.5 本/m で，最大は 5.00～6.00mabh の 12.0 本/m，最小は 1.00～2.00mabh の 0.0 本/m であった。

(b) 割れ目沿いの変質

割れ目沿いの変質は，わずかに絹雲母化，緑泥石化が認められるものの，ほとんど非変質であった。

⒞ 割れ目の介在鉱物

割れ目の介在鉱物は，方解石と緑泥石がほぼ全区間において認められた。これ以外の鉱物は認められなかった。

4) RQD

RQD は平均 86.5%で，最大は 4 区間で 100.0%，最小は 5.00～6.00mabh の 61.0%であった。

5) 岩盤等級

岩盤等級は B～CH 級を主体とし，割れ目が多い箇所で CM 級となる。なお，13MI44 号孔では A 級および CL～D 級は認められなかった。

4.2 ボアホールテレビ(BTV)観察

4.2.1 BTV 観察方法

BTV 観察は，ボーリング孔内の壁面情報（割れ目の位置・方位・開口幅・形状，ペグマタイトや貫入岩脈の位置・方位）を連続的かつ詳細に取得することを目的として実施した。BTV 観察の実施内容を表 4.2.1-1 に示す。

表 4.2.1-1 BTV 観察の数量･作業工程

孔 番	観察区間(mabh)	測定長(m)	作業期間	備 考
13MI38	4.30～101.91	97.61	2013 年 1 月 29 日	孔底 102.10mabh
13MI39	2.00～16.21	14.21	2013 年 1 月 28 日	孔底 16.40mabh
13MI40	2.00～16.31	14.31	2013 年 1 月 28 日	孔底 16.60mabh
13MI41	2.00～16.31	14.31	2013 年 1 月 28 日	孔底 16.60mabh
13MI42	2.00～11.36	9.36	2013 年 2 月 13 日	孔底 11.55mabh
13MI43	0.00～11.41	11.41	2013 年 2 月 13 日	孔底 11.60mabh
13MI44	0.00～11.48	11.48	2013 年 2 月 13 日	孔底 11.67mabh

BTV 観察は，リアルタイムでの孔壁全周の展開画像をフルカラーで記録でき，幅 0.1mm 以下の割れ目を解析可能な精度で，展開画像と方位データを連続的に記録できる機器を使用した。表 4.2.1-2 に使用機器・機材一覧を示す。

表 4.2.1-2 BTV 観察の使用機器･機材

名 称	型 式	機 能	数量	備 考
BIP システム コントロールユニット	ODS-200	プローブ･ウインチ制御	1	レアックス社製
BIPS データ解析 プログラム	Ver2.71	データ解析	1	レアックス社製
ノート型 PC	Tough Book CF-30	展開画像作成･記録	1	パナソニック社製 143GB HDD 内臓
展開画像専用 プローブ	BPR-555A	孔壁の展開画像撮影	1	レアックス社製 CCD カメラ，円錐ミラー 蛍光燈照明 磁気方位センサー φ50mm アクリル窓 耐圧 10MPa，1 ライン 720 画素
水平押込装置	BIP-SCR2	深度測定	1	レアックス社製 0.25mm/Pulse 深度測定機能のみ使用
200ｍケプラーケーブル ＆ウインチ	BIPV-200 W	プローブ昇降装置	1	レアックス社製
バックアップ用 HDD レコーダ	GR-D650	バックアップ用画像記録	1	ビクター社製 MiniDV 方式録画

4.2.2 BTV 観察結果

13MI38～13MI44 号孔における BTV 観察結果の以下に記すとともに，観察結果の一覧と展開画像を付録 4.2.2 に示す。

(1) 13MI38 号孔

1) 割れ目の本数と密度

展開画像で確認された割れ目は全 150 本で，そのうち明瞭割れ目が全体の 7 割以上を占め，ヘアークラック，不連続割れ目の順となる。割れ目全体の平均割れ目密度は 1.5 本/m であるが，開口した明瞭割れ目は 0.2 本/m にすぎない。観察された割れ目の本数と平均割れ目密度を表 4.2.2-1 に示す。

表 4.2.2-1 13MI38 号孔の割れ目本数と平均割れ目密度

割れ目の区分		本　数		割合（%）		平均割れ目密度（本/m）	
明瞭割れ目	開口なし	108	84	72.0	56.0	1.1	0.9
	開口あり		24		16.0		0.2
ヘアークラック		27		18.0		0.3	
不連続割れ目		15		10.0		0.2	
合　計		150		100.0		1.5	

（測定長＝97.61m）

2) 割れ目の方位

割れ目の方位データを基にステレオネットを作成した（図 4.1.2-1「割れ目方位」）。走向傾斜毎の割れ目本数を表 4.2.2-2 に示す。傾斜は, 30°未満を低角度傾斜, 30°以上 60°未満を中角度傾斜, 60°以上を高角度傾斜として示している。

割れ目は，NE 走向で高角度傾斜が卓越し，低～中角度傾斜の割れ目はほとんど認められなかった。

表 4.2.2-2 13MI38 号孔の走向傾斜毎の割れ目本数

	NW 走向			NE 走向			合計
	低角度傾斜	中角度傾斜	高角度傾斜	低角度傾斜	中角度傾斜	高角度傾斜	
本　数	0	1	48	0	0	101	150
割合（%）	0.0	0.7	32.0	0.0	0.0	67.3	100.0

(2) 13MI39 号孔

1) 割れ目の本数と密度

展開画像で確認された割れ目は全 3 本で, ヘアークラックが 2 本, 明瞭割れ目が 1 本であった。割れ目全体の平均割れ目密度は 0.2 本/m で，開口した明瞭割れ目は認められなかった。観察された割れ目の本数と平均割れ目密度を表 4.2.2-3 に示す。

表 4.2.2-3　13MI39 号孔の割れ目本数と平均割れ目密度

割れ目の区分		本　数		割合（%）		平均割れ目密度（本/m）	
明瞭割れ目	開口なし	1	1	33.3	33.3	0.1	0.1
	開口あり		0		0.0		0.0
ヘアークラック		2		66.7		0.1	
不連続割れ目		0		0.0		0.0	
合　計		3		100.0		0.2	

（測定長＝14.21m）

2）割れ目の方位

割れ目の方位データを基にステレオネットを作成した（図 4.1.2-2「割れ目方位」）。走向傾斜毎の割れ目本数を表 4.2.2-4 に示す。傾斜は, 30˚未満を低角度傾斜, 30˚以上 60˚未満を中角度傾斜, 60˚以上を高角度傾斜として示している。

割れ目は，NW 走向の低角度傾斜のみで，他の走向傾斜の割れ目は認められなかった。

表 4.2.2-4　13MI39 号孔の走向傾斜毎の割れ目本数

	NW 走向			NE 走向			合計
	低角度傾斜	中角度傾斜	高角度傾斜	低角度傾斜	中角度傾斜	高角度傾斜	
本　数	3	0	0	0	0	0	3
割合（%）	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0

(3) 13MI40 号孔

1）割れ目の本数と密度

展開画像で確認された割れ目は全 5 本で, ヘアークラックが 4 本, 明瞭割れ目が 1 本であった。割れ目全体の平均割れ目密度は 0.3 本/m で，開口した明瞭割れ目は認められなかった。観察された割れ目の本数と平均割れ目密度を表 4.2.2-5 に示す。

表 4.2.2-5　13MI40 号孔の割れ目本数と平均割れ目密度

割れ目の区分		本　数		割合（%）		平均割れ目密度（本/m）	
明瞭割れ目	開口なし	1	1	20.0	20.0	0.1	0.1
	開口あり		0		0.0		0.0
ヘアークラック		4		80.0		0.3	
不連続割れ目		0		0.0		0.0	
合　計		5		100.0		0.3	

（測定長＝14.31m）

2）割れ目の方位

割れ目の方位データを基にステレオネットを作成した（図 4.1.2-3「割れ目方位」）。走向傾斜毎

の割れ目本数を表 4.2.2-6 に示す。傾斜は, 30°未満を低角度傾斜, 30°以上 60°未満を中角度傾斜, 60°以上を高角度傾斜として示している。

割れ目は，NE 走向および NW 走向の高角度傾斜のみで，低～中角度傾斜の割れ目は認められなかった。

表 4.2.2-6　13MI40 号孔の走向傾斜毎の割れ目本数

	NW 走向			NE 走向			合計
	低角度傾斜	中角度傾斜	高角度傾斜	低角度傾斜	中角度傾斜	高角度傾斜	
本　数	0	0	2	0	0	3	5
割合（%）	0.0	0.0	40.0	0.0	0.0	60.0	100.0

(4) 13MI41 号孔

1）割れ目の本数と密度

展開画像で確認された割れ目は全 19 本で, そのうちヘアークラックが全体の半数以上を占め, 明瞭割れ目，不連続割れ目の順となる。割れ目全体の平均割れ目密度は 1.3 本/m であるが，開口した明瞭割れ目は 0.1 本/m にすぎない。観察された割れ目の本数と平均割れ目密度を表 4.2.2-7 に示す。

表 4.2.2-7　13MI41 号孔の割れ目本数と平均割れ目密度

<table>
<tr><th colspan="2">割れ目の区分</th><th colspan="2">本　数</th><th colspan="2">割合（%）</th><th colspan="2">平均割れ目密度（本/m）</th></tr>
<tr><td rowspan="2">明瞭割れ目</td><td>開口なし</td><td rowspan="2">8</td><td>7</td><td rowspan="2">42.1</td><td>36.8</td><td rowspan="2">0.6</td><td>0.5</td></tr>
<tr><td>開口あり</td><td>1</td><td>5.3</td><td>0.1</td></tr>
<tr><td colspan="2">ヘアークラック</td><td colspan="2">10</td><td colspan="2">52.6</td><td colspan="2">0.7</td></tr>
<tr><td colspan="2">不連続割れ目</td><td colspan="2">1</td><td colspan="2">5.3</td><td colspan="2">0.1</td></tr>
<tr><td colspan="2">合　計</td><td colspan="2">19</td><td colspan="2">100.0</td><td colspan="2">1.3</td></tr>
</table>

（測定長＝14.31m）

2）割れ目の方位

割れ目の方位データを基にステレオネットを作成した（図 4.1.2-4「割れ目方位」）。走向傾斜毎の割れ目本数を表 4.2.2-8 に示す。傾斜は, 30°未満を低角度傾斜, 30°以上 60°未満を中角度傾斜, 60°以上を高角度傾斜として示している。

割れ目は，NW 走向で高角度傾斜が卓越し，NE 走向で高角度傾斜，NW 走向で中角度傾斜の順となり，低角度傾斜の割れ目は認められなかった。

表 4.2.2-8　13MI41 号孔の走向傾斜毎の割れ目本数

	NW 走向			NE 走向			合計
	低角度傾斜	中角度傾斜	高角度傾斜	低角度傾斜	中角度傾斜	高角度傾斜	
本　数	0	3	14	0	0	2	19
割合（%）	0.0	15.8	73.7	0.0	0.0	10.5	100.0

⑸ 13MI42 号孔

13MI42 号孔では，BTV 観察で割れ目は認められなかった。

⑹ 13MI43 号孔

1）割れ目の本数と密度

展開画像で確認された割れ目は全 3 本で，明瞭割れ目が 2 本，不連続割れ目が 1 本であった。割れ目全体の平均割れ目密度は 0.3 本/m で，開口した明瞭割れ目は認められなかった。観察された割れ目の本数と平均割れ目密度を表 4.2.2-9 に示す。

表 4.2.2-9 13MI43 号孔の割れ目本数と平均割れ目密度

割れ目の区分		本　数		割合（%）		平均割れ目密度（本/m）	
明瞭割れ目	開口なし	2	2	66.7	66.7	0.2	0.2
	開口あり		0		0.0		0.0
ヘアークラック		0		0.0		0.0	
不連続割れ目		1		33.3		0.1	
合　計		3		100.0		0.3	

（測定長＝11.41m）

2）割れ目の方位

割れ目の方位データを基にステレオネットを作成した（図 4.1.2-6「割れ目方位」）。走向傾斜毎の割れ目本数を表 4.2.2-10 に示す。傾斜は，30°未満を低角度傾斜，30°以上 60°未満を中角度傾斜，60°以上を高角度傾斜として示している。

割れ目は，NW 走向および NE 走向の高角度傾斜のみで，低～中角度傾斜の割れ目は認められなかった。

表 4.2.2-10 13MI43 号孔の走向傾斜毎の割れ目本数

	NW 走向			NE 走向			合計
	低角度傾斜	中角度傾斜	高角度傾斜	低角度傾斜	中角度傾斜	高角度傾斜	
本　数	0	0	2	0	0	1	3
割合（%）	0.0	0.0	66.7	0.0	0.0	33.3	100.0

⑺ 13MI44 号孔

1）割れ目の本数と密度

展開画像で確認された割れ目は全 19 本で，そのうちヘアークラックが全体の約半数を占め，明瞭割れ目，不連続割れ目の順となる。割れ目全体の平均割れ目密度は 1.7 本/m であるが，開口した明瞭割れ目は 0.1 本/m にすぎない。観察された割れ目の本数と平均割れ目密度を表 4.2.2-11 に示す。

表 4.2.2-11 13MI44 号孔の割れ目本数と平均割れ目密度

割れ目の区分		本　数		割合（%）		平均割れ目密度（本/m）	
明瞭割れ目	開口なし	6	5	31.6	26.3	0.5	0.4
	開口あり		1		5.3		0.1
ヘアークラック		9		47.4		0.8	
不連続割れ目		4		21.1		0.3	
合　計		19		100.0		1.7	

（測定長＝11.48m）

2）割れ目の方位

割れ目の方位データを基にステレオネットを作成した（図 4.1.2-7「割れ目方位」）。走向傾斜毎の割れ目本数を表 4.2.2-12 に示す。傾斜は，30°未満を低角度傾斜，30°以上 60°未満を中角度傾斜，60°以上を高角度傾斜として示している。

割れ目は，NW 走向で高角度傾斜が卓越し，NE 走向で高角度傾斜，NW 走向で中角度傾斜の順となり，低～中角度傾斜の割れ目は少ない。

表 4.2.2-12 13MI44 号孔の走向傾斜毎の割れ目本数

	NW 走向			NE 走向			合計
	低角度傾斜	中角度傾斜	高角度傾斜	低角度傾斜	中角度傾斜	高角度傾斜	
本　数	0	2	12	1	1	3	19
割合（%）	0.0	10.5	63.2	5.3	5.3	15.8	100.0

4.3 物理検層

4.3.1 実施内容

物理検層の実施項目および実績を表 4.3.1-1 に，使用機器一覧表を表 4.3.1-2 に示す。

表 4.3.1-1 物理検層の実施項目・実績

孔番	調査項目	調査実績	
		調査区間(mabh)	調査年月日
13MI38	孔径検層	4.30 ～ 101.70	2014年1月30日
	電磁フローメーター検層	2.00 ～ 93.00	2014年1月31日
13MI39	孔径検層	2.00 ～ 16.00	2014年1月29日
	電磁フローメーター検層	2.00 ～ 16.10	2014年1月29日
	音波検層	2.00 ～ 14.90	2014年1月30日
13MI40	孔径検層	2.00 ～ 16.00	2014年1月29日
	電磁フローメーター検層	2.00 ～ 16.20	2014年1月29日
	音波検層	2.00 ～ 15.40	2014年1月30日
13MI41	孔径検層	2.00 ～ 16.00	2014年1月29日
	電磁フローメーター検層	2.00 ～ 16.30	2014年1月29日
	音波検層	2.00 ～ 15.40	2014年1月30日
13MI42	孔径検層	2.00 ～ 11.10	2014年2月12日
	音波検層	2.00 ～ 10.40	2014年2月12日
13MI43	孔径検層	1.00 ～ 11.10	2014年2月12日
	音波検層	1.70 ～ 10.40	2014年2月12日
13MI44	孔径検層	1.00 ～ 11.10	2014年2月12日
	音波検層	1.50 ～ 10.40	2014年2月12日

表 4.3.1-2 物理検層の使用機器

種　目	機　器	型　式	仕　様
孔径検層	測定機器	LPM-202 RMM-2003（×2）	電源：AC100V±10%　50/60Hz BIN DC 300V・測定電源 90mA
	孔内機器（ゾンデ）	X-Y AXIS	外径：44.0mm　全長：2.17m 孔径測定範囲：5～71cm 耐温：190℃
音波検層	測定機器	MATRIX Logger	
	孔内機器（ゾンデ）	FWS50	外径：50.0mm　全長：3.9m 最小対応孔径：60mm 耐圧：20.0MPa　耐温：70℃ Tx-Rx：Rx1 0.8m，Rx2 1.2m，Rx3 1.6m 基本周波数：20kHz 収録時間間隔：最小2.0μ S
電磁フローメーター検層	測定機器	SYSTEM VI	
	孔内機器（ゾンデ）	EMFM-9721	外径：60.0mm　全長：1.6m 流速範囲：10cm/min～78.6m/min 温度測定範囲：0～60℃　精度：±5% 泥水比抵抗測定範囲：0～500Ω m 精度：±5%

4.3.2 物理検層結果

(1)～(7)に 13MI38 号孔から 13MI44 号孔までの各孔の物理検層結果について示す。

(1) 13MI38 号孔

13MI38 号孔の物理検層結果をコア観察データと対比して図 4.3.2-1 に示す。また，1)，2)に各物理検層結果について示す。

1） 孔径検層

孔径の平均値は X 軸が 100.10mm，Y 軸が 100.26mm 程度で，ほぼ掘削孔径（φ99.0mm）に等しい。9.7mabh 付近の X 軸の孔径は 107.2mm で，孔径の平均値と比較して 7mm 程度の孔径拡大が認められる。電磁フローメーター検層の結果から 10.00～11.00mabh の区間で 37.2L/min の湧水が確認されており，湧水割れ目を捉えたものであると考えられる。86.00mabh から孔底までの区間 で 31.3L/min の湧水が確認されているが，当区間において孔径拡大箇所は認められない。

2） 電磁フローメーター検層

電磁フローメーター検層の解釈結果を表 4.3.2-1 に示す。93.00mabh 以深は水位が無いことから測定不能であるため，測定区間は 1.00～93.00mabh の区間に限られている。10.00～11.00mabh が最大流入区間となっており，流入量は 37.2L/min である。また，22.0～24.0mabh の区間，39.00～41.00mabh の区間においてもそれぞれ 4.4L/min，5.1L/min の流入がみられる。85.00～93.00mabh の区間は 16.6L/min の流出となっており，当区間に存在する割れ目が冠水坑道に連結している可能性がある。

表 4.3.2-1 13MI38 号孔電磁フローメーター検層解釈結果

深度区間（mabh）	流出入	流出入量（L/min）
10.00 ～ 11.00	流入	37.2
22.00 ～ 24.00	流入	4.4
39.00 ～ 41.00	流入	5.1
85.00 ～ 93.00	流出	16.6

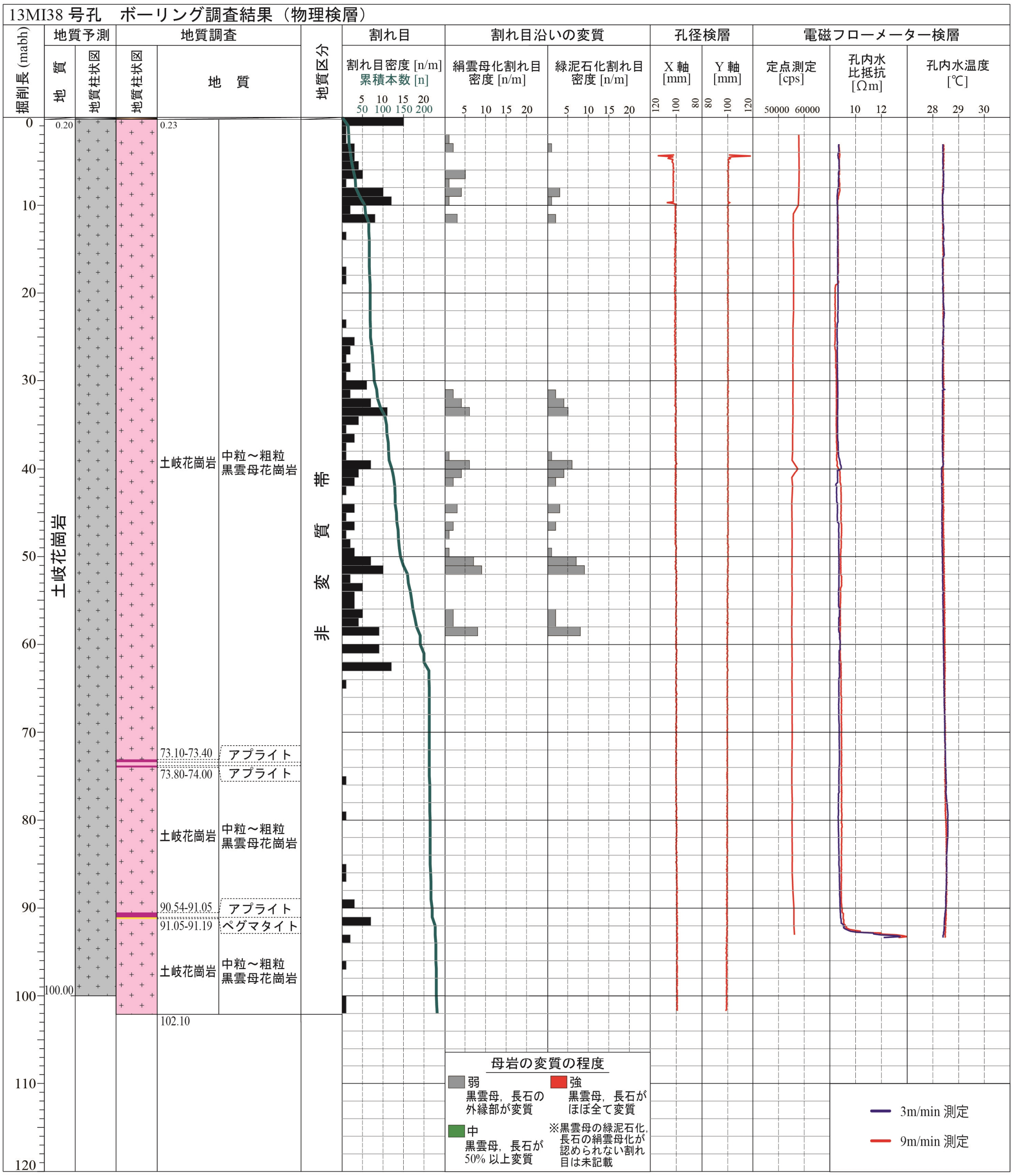


図 4.3.2-1　13MI38 号孔ボーリング調査結果(物理検層)

(2) 13MI39 号孔

13MI39 号孔の物理検層結果をコア観察データと対比して図 4.3.2-2 に示す。また，1)～3)に各物理検層結果について示す。

1) 孔径検層

孔径の平均値は X 軸が 100.82mm，Y 軸が 100.59mm 程度で，ほぼ掘削孔径（φ99.0mm）に等しい。また，ケーシング下端の影響であると考えられる 2.00mabh 付近の孔径拡大以外に，孔径が拡大している箇所は見られない。

2) 音波検層

音波検層から得られた P 波速度の平均値は 5.51km/s 程度であり，既存の音波検層結果[4)]から得られた土岐花崗岩健岩部における P 波速度（概ね 5.5km/s 程度）と整合的である。 P 波速度の低下は 2.20mabh 付近にみられ，当掘削深度の P 波速度は 4.90km/s 程度であるが，当深度はケーシング下端付近の孔径拡大に相当しており，コア観察から割れ目密度の増加も確認されないことから，ケーシング挿入の影響による P 波速度の低下である可能性がある。

3) 電磁フローメーター検層

電磁フローメーター検層の解釈結果を表 4.3.2-2 に示す。3.50～4.00mabh の区間において 0.38L/min 程度の流入が見られる。それ以外の区間で流出入は見られない。

表 4.3.2-2 13MI39 号孔電磁フローメーター検層解釈結果

深度区間（mabh）	流出入	流出入量（L/min）
3.50 ～ 4.00	流入	0.38

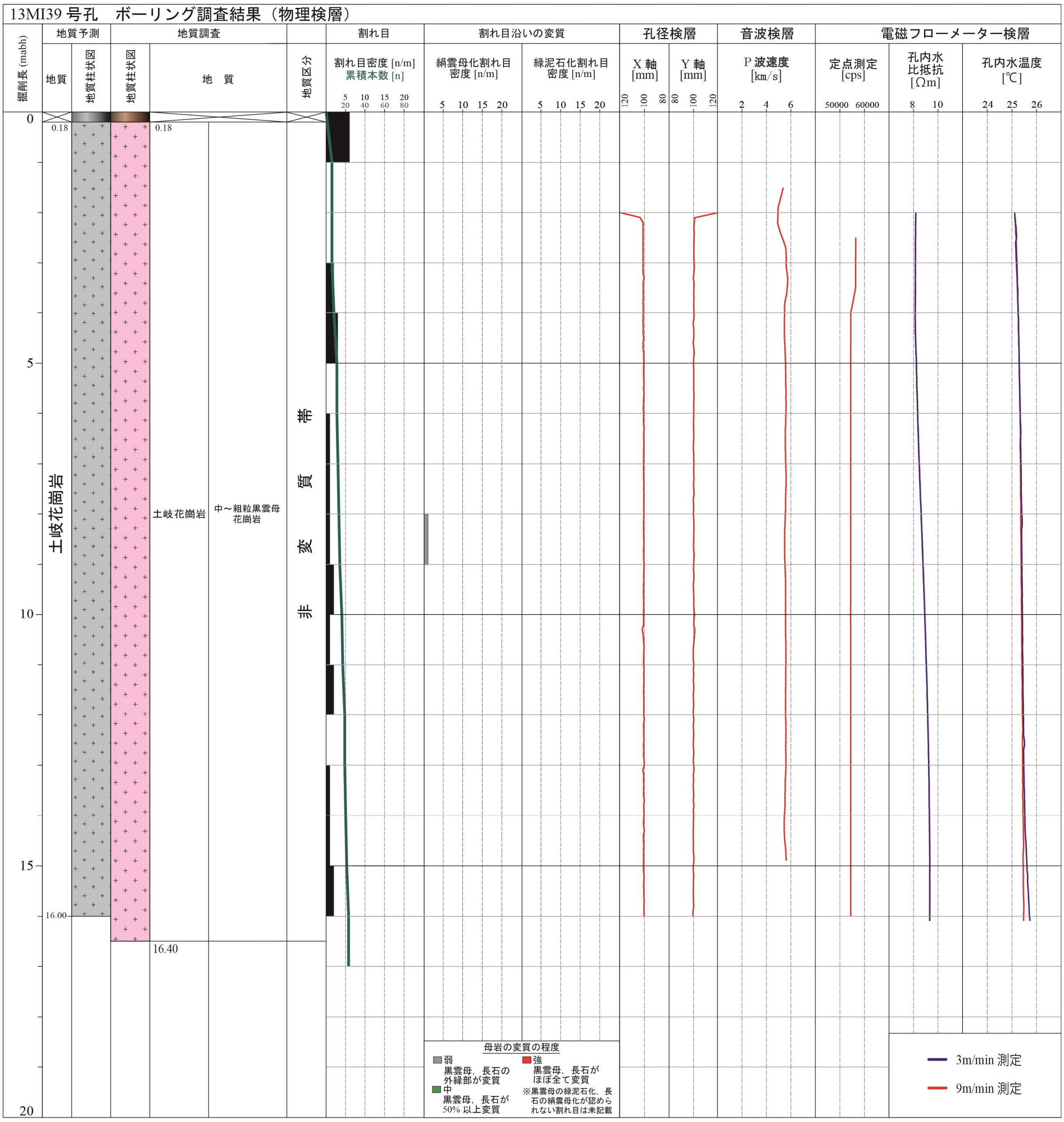


図 4.3.2-2　13MI39 号孔ボーリング調査結果(物理検層)

(3) 13MI40 号孔

13MI40 号孔の物理検層結果をコア観察データと対比して図 4.3.2-3 に示す。また，1)～3)に各物理検層結果について示す。

1) 孔径検層

孔径の平均値は X 軸が 100.31mm，Y 軸が 100.59mm 程度で，ほぼ掘削孔径（φ99.0mm）に等しい。また，ケーシング下端の影響であると考えられる 2.00mabh 付近の孔径拡大以外に，孔径が拡大している箇所は見られない。

2) 音波検層

音波検層から得られた P 波速度の平均値は 5.46km/s 程度であり，一般的な土岐花崗岩の P 波速度と整合的である。 P 波速度の低下は 2.00mabh と 6.00mabh 付近に見られ，P 波速度はそれぞれ 4.93km/s，5.14km/s である。2.00mabh 付近の P 波速度低下は 13MI39 号孔と同様，ケーシング挿入の影響を受けた速度低下の可能性があるが，6.00mabh 付近の P 波速度低下は割れ目沿いの変質が観測された掘削深度と整合的である。

3) 電磁フローメーター検層

電磁フローメーター検層の解釈結果を表 4.3.2-3 に示す。4.50～5.00mabh の区間において 0.08L/min，15.50mabh～16.00mabh の区間において 0.12L/min の流入が見られる。

表 4.3.2-3 13MI40 号孔電磁フローメーター検層解釈結果

深度区間（mabh）	流出入	流出入量（L/min）
4.50 ～ 5.00	流入	0.08
15.50 ～ 16.00	流入	0.12

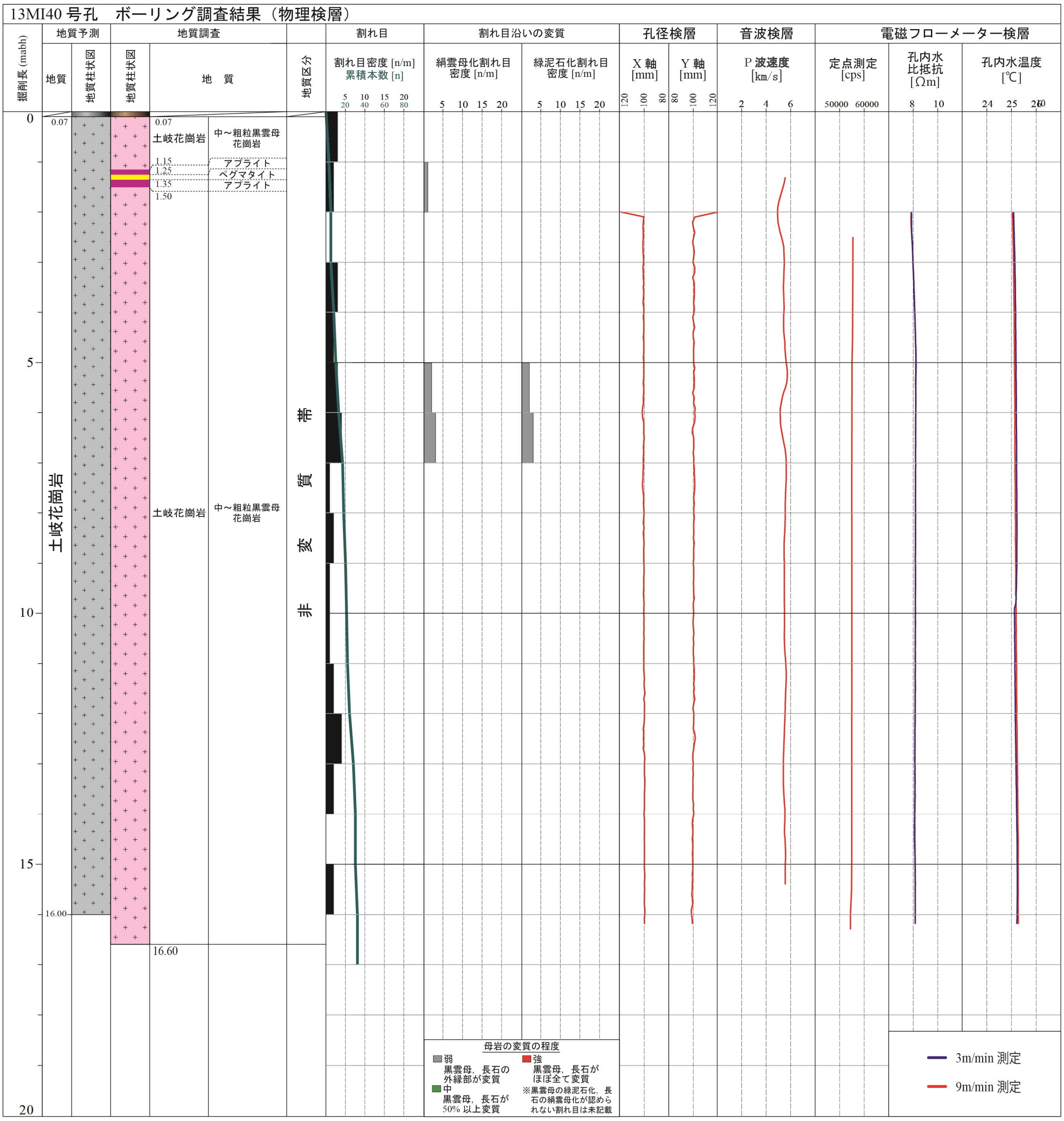


図 4.3.2-3　13MI40 号孔ボーリング調査結果(物理検層)

(4) 13MI41 号孔

13MI41 号孔の物理検層結果をコア観察データと対比して図 4.3.2-4 に示す。また，1)～3)に各物理検層結果について示す。

1) 孔径検層

孔径の平均値は X 軸が 100.28mm，Y 軸が 100.20mm 程度で，ほぼ掘削孔径（φ99.0mm）に等しい。また，ケーシング下端の影響であると考えられる 2.00mabh 付近の孔径拡大以外に，孔径が拡大している箇所は見られない。

2) 音波検層

音波検層から得られた P 波速度の平均値は 5.53km/s 程度であり，一般的な土岐花崗岩の P 波速度と整合的である。 P 波速度の低下は 2.00mabh，7.00mabh，12.00mabh 付近に見られ，それぞれの P 波速度は 4.98km/s，5.28km/s，5.14km/s 程度である。2.00mabh 付近の速度低下は他孔と同様，ケーシング挿入の影響による P 波速度低下の可能性がある。7.00mabh 付近は電磁フローメーター検層から湧水が確認されており，透水性割れ目の影響を受けた速度低下であると考えられる。また，12.00mabh 付近の P 波速度低下はコア観察から割れ目沿いの変質が確認された地点と整合的である。

3) 電磁フローメーター検層

電磁フローメーター検層の解釈結果を表 4.3.2-4 に示す。6.50～7.00mabh の区間において 0.23L/min, 15.70mabh から孔底までの区間において 0.19L/min の流入が見られる。

表 4.3.2-4 13MI41 号孔電磁フローメーター検層解釈結果

深度区間（mabh）	流出入	流出入量（L/min）
6.50 ～ 7.00	流入	0.23
15.70 ～ 孔底	流入	0.19

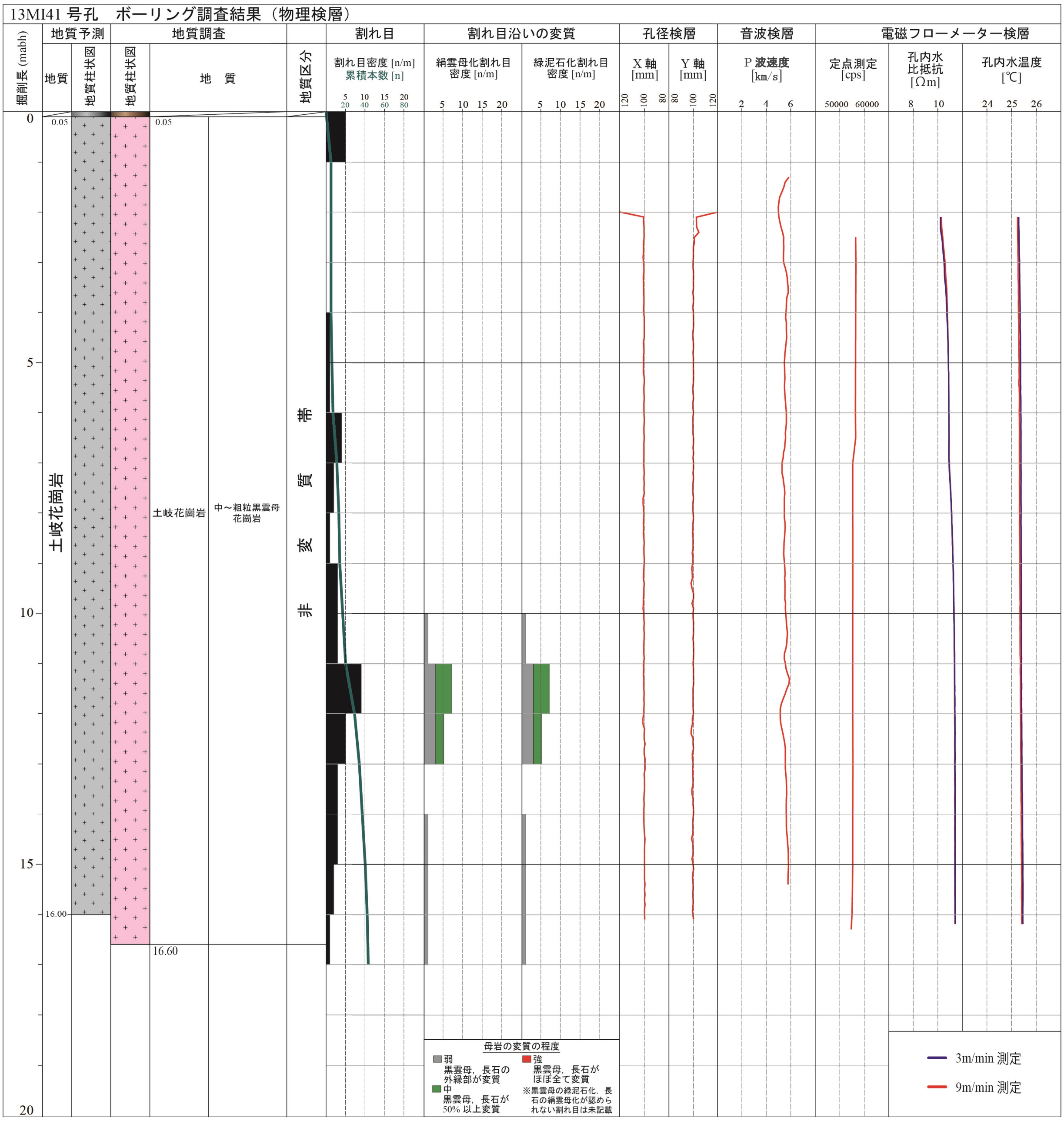


図 4.3.2-4　13MI41 号孔ボーリング調査結果(物理検層)

(5) 13MI42 号孔

13MI42 号孔の物理検層結果をコア観察データと対比して図 4.3.2-5 に示す。また，1)～2)に各物理検層結果について示す。

1) 孔径検層

孔径の平均値は X 軸が 100.31mm，Y 軸が 100.59mm 程度で，ほぼ掘削孔径（φ99.0mm）に等しい。また，ケーシング下端の影響であると考えられる 2.00mabh 付近の孔径拡大以外に，孔径が拡大している箇所は見られない。

2) 音波検層

音波検層から得られた P 波速度の平均値は 5.54km/s 程度であり，一般的な土岐花崗岩の P 波速度と整合的である。 2.00mabh 付近において，P 波速度値が 4.94km/s まで低下しているが，ケーシング挿入の影響による P 波速度低下の可能性がある。

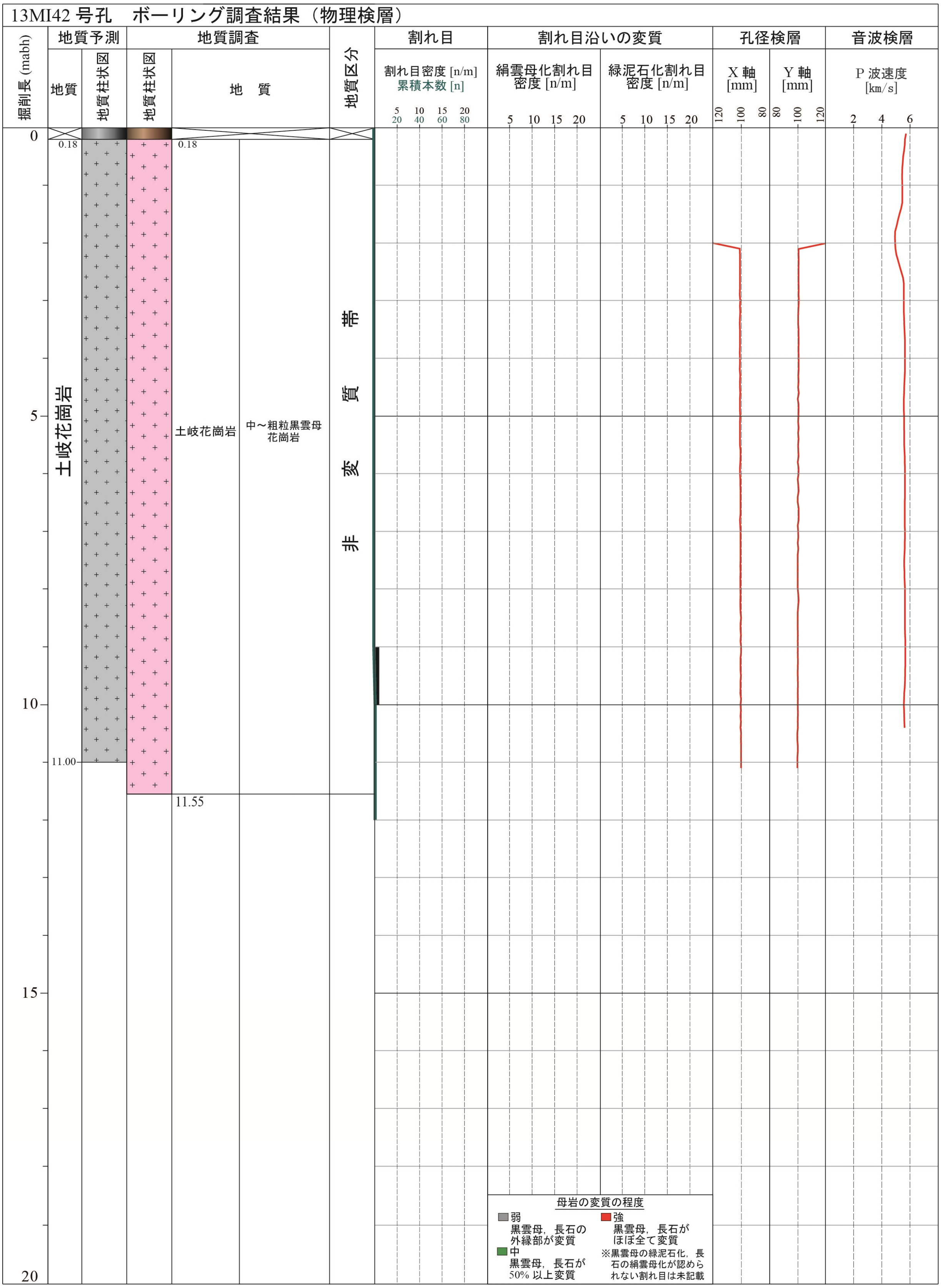


図 4.3.2-5　13MI42 号孔ボーリング調査結果(物理検層)

(6) 13MI43 号孔

13MI43 号孔の物理検層結果をコア観察データと対比して図 4.3.2-6 に示す。また，1)～2)に各物理検層結果について示す。

1) 孔径検層

孔径の平均値は X 軸が 100.96mm，Y 軸が 100.95mm 程度で，ほぼ掘削孔径（φ99.0mm）に等しい。孔径が拡大している箇所は見られない。

2) 音波検層

音波検層から得られた P 波速度の平均値は 5.44 km/s 程度であり，一般的な土岐花崗岩の P 波速度と整合的である。P 波速度が低下している掘削深度は見られない。

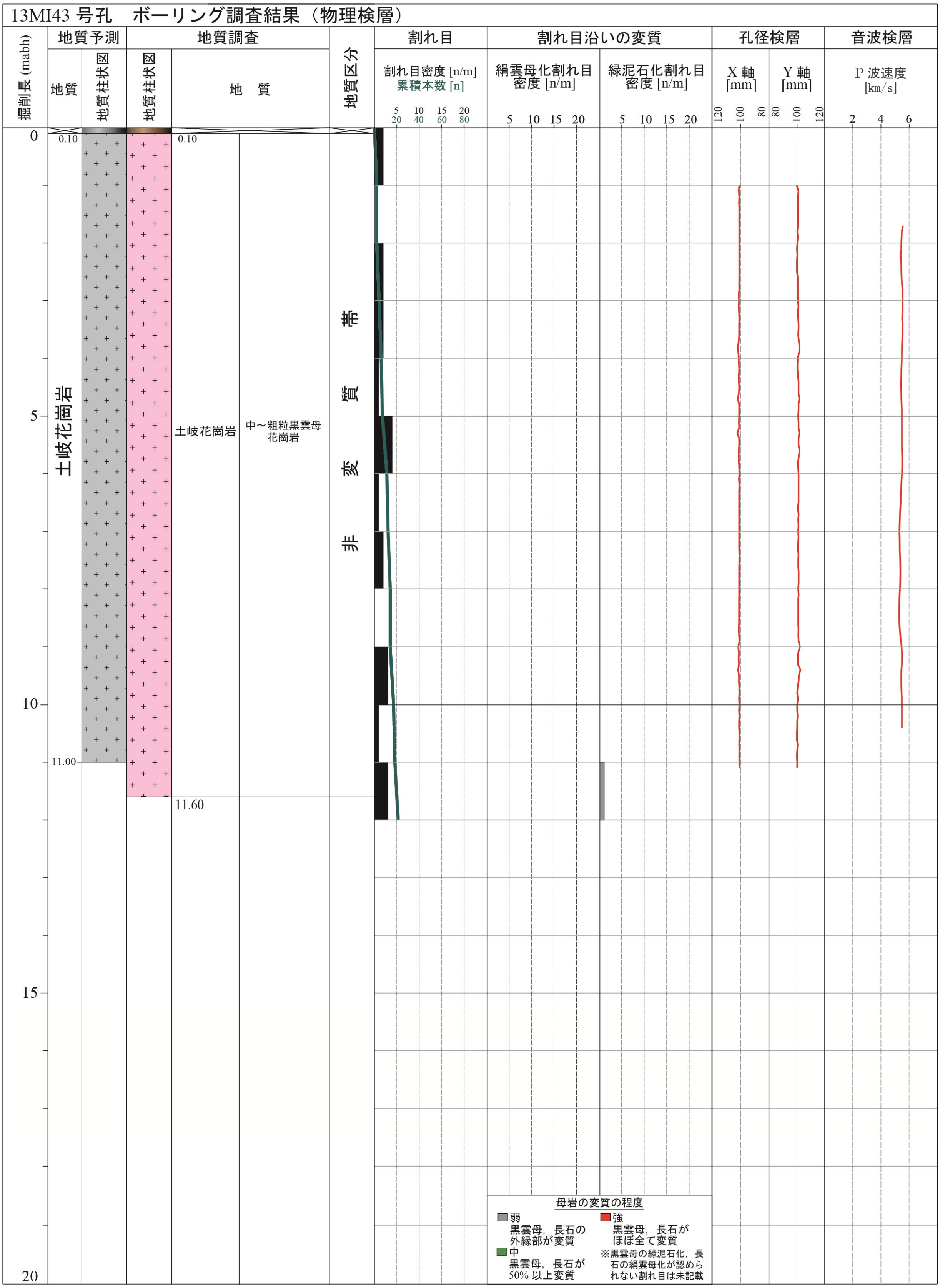


図 4.3.2-6　13MI43 号孔ボーリング調査結果(物理検層)

(7) 13MI44 号孔

13MI44 号孔の物理検層結果をコア観察データと対比して図 4.3.2-7 に示す。また，1)～2)に各物理検層結果について示す。

1) 孔径検層

孔径の平均値は X 軸が 100.58mm，Y 軸が 101.62mm 程度で，ほぼ掘削孔径（φ99.0mm）に等しい。孔径が拡大している箇所は見られない。

2) 音波検層

音波検層から得られた P 波速度の平均値は 5.62km/s 程度であり，一般的な土岐花崗岩の P 波速度と整合的である。6.00mabh 付近において割れ目密度の増加に併せて P 波速度が若干低下しているが，当地点においても P 波速度は 5.38km/s であり，13MI41 号孔の 12.00mabh 付近において 5.14km/s まで P 波速度が低下している点と比較すると，有意に低下しているとは言い難い。

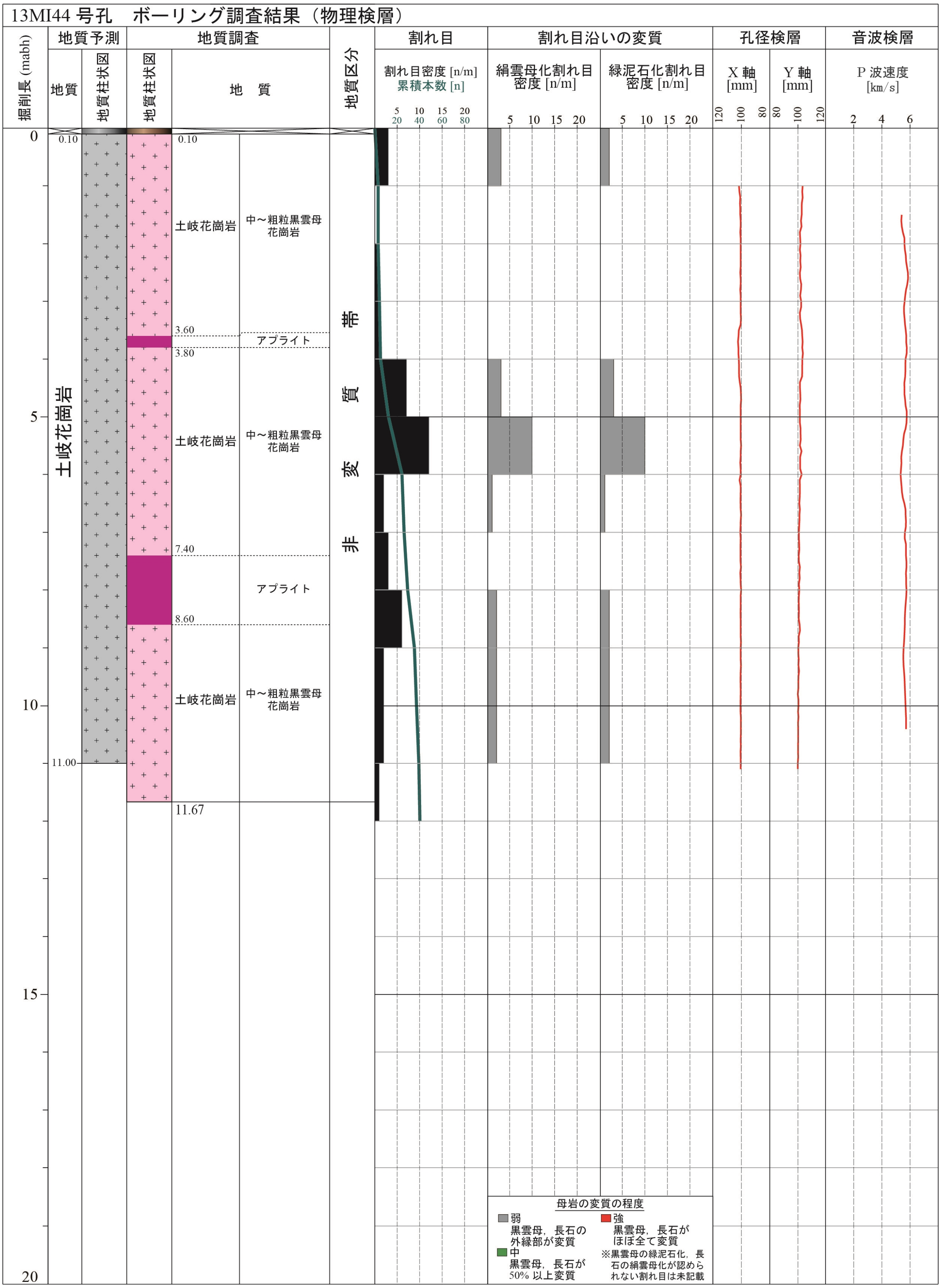


図 4.3.2-7　13MI44 号孔ボーリング調査結果(物理検層)

5 水理学的調査

5.1 水理試験

5.1.1 水理試験で使用する装置

水理試験では，日本原子力研究開発機構が所有する「深度 1000m 対応揚水試験機[3]」を，地下坑道内での湧水環境下における試験を念頭に改良した水理試験装置[4]を使用した（JAEA 揚水試験機改良型 1 号機；図 5.1.1-1）。水理試験装置の孔内部仕様を表 5.1.1-1 に，孔外部仕様を表 5.1.1-2 に示す。

本水理試験装置は，圧力計，気圧計，流量計などの電気・通信系機器を孔外に配置し，孔内部はパッカー，ロッドおよびストレーナのみの単純な構成としたものである。孔内部を単純な構成にすることにより挿入時および回収時における孔内部の取扱いが容易となり，かつ漏水などによる電気的なトラブルを避けることができる。パッカー編成は，試験区間をダブルパッカーで形成し，試験区間の上部区間における湧水を止めるための口元パッカーを追加したトリプルパッカー編成としている。ボーリング孔の孔底部を含む区間で試験を行う場合は，下部パッカーで試験区間を形成し，その上部には口元パッカーを設置する編成とする。試験区間からの揚水量は，孔口のロッドに電磁流量計を取り付け測定する。試験区間の開閉はメインバルブによって制御し，試験区間からの揚水量はグローブバルブおよびボールバルブの開度によって制御する。

本水理試験装置では，各区間の圧力，湧水量を連続的に測定することで，区間の透水係数等を算定・評価する。なお，閉鎖区間の圧力漏えい等の監視とデータの品質管理のため，各パッカー圧力の連続測定が可能である。

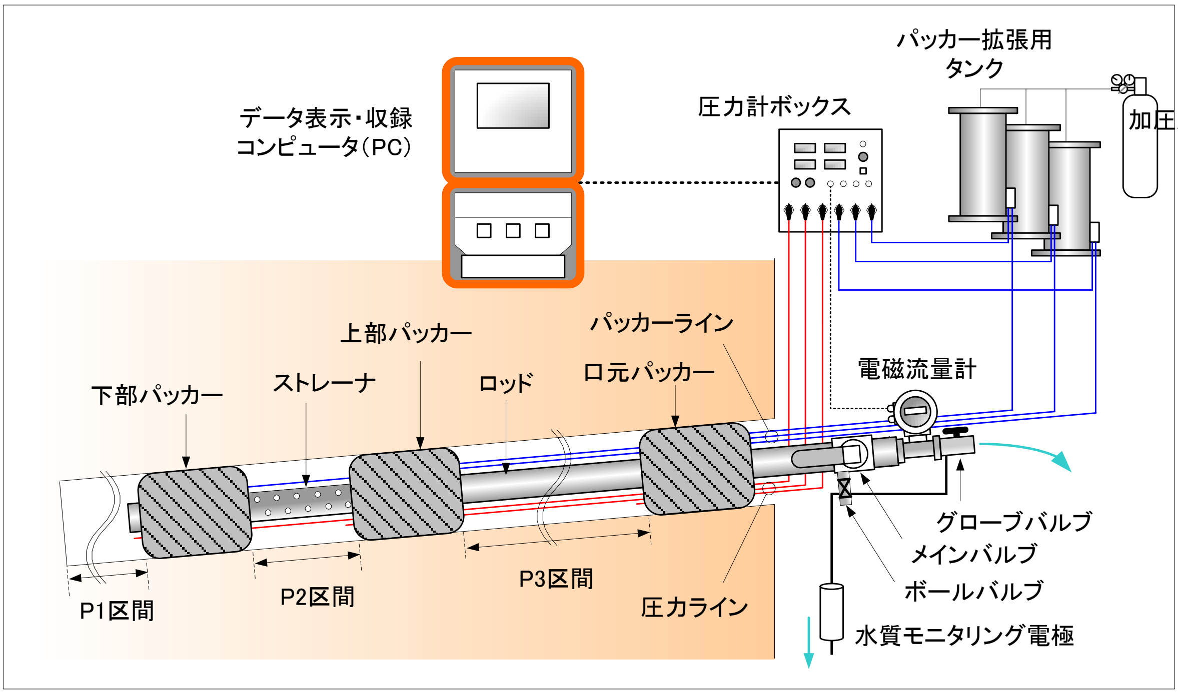


図 5.1.1-1 水理試験装置（JAEA 揚水試験機改良型 1 号機）概念図

表 5.1.1-1 水理試験装置の構成・仕様（孔内部）

分類	装　置（図5.1.1-1に対応）	主要部品　数量など	仕　様
孔内部	パッカーユニット	3台（下部用、上部用、口元用）	スライド式　最大拡張圧5MPa, 適用孔径φ 100～140mm
	ストレーナ（試験区間用）	0.5m,1m,2m,3m（ステンレス製）	穴あきパイプ，外形φ 42.7mm
	ロッド（中継用）	1m,2m,2.5m,3m ステンレス製	外形φ 42.7mm　内径φ 35.8mm 連結部外径φ 49.0mm
	パッカーライン（パッカー圧用）	設置深度に応じて調整	ナイロン製　6×4mm 最高使用圧力5.0MPa
	圧力ライン（区間圧用）	設置深度に応じて調整	ナイロン製　6×4mm 最高使用圧力3.0MPa

表 5.1.1-2 水理試験装置の構成・仕様（孔外部）

分類	装　置（図5.1.1-1に対応）	主要部品　数量など	仕　様
孔外部	電磁流量計	2台	MAX：290L/min，精度:0.1%FS MAX：30L/min，精度:0.1%FS
	メインバルブ	1台	ボールバルブ　高耐圧仕様
	グローブバルブ	2台	流量調整用（1-1/2”、1/2”）
	ボールバルブ	1台	パルス試験流量調整用（1/4”）
	圧力計ボックス	水晶振動式絶対圧計2台	MAX：13.8MPa 精度：0.01%FS
		ひずみゲージ圧力計4台	MAX：10MPa　精度：0.1%FS
		気圧計1台	0～1034hPa,精度0.05%FS
	パッカー拡張用タンク	3台（パッカー1台につきタンク1台）	パッカー拡張用　容量10L
	水質モニタリング電極	1台	測定範囲 pH：0～14 COND：0～9.99S/m Do：0～19.99mg/L TEMP：0～55℃ ORP：±1999mV
	データ表示・収録コンピュータ	パソコン(PC)、表示器、バッテリー	HOST-PC（サンプリング間隔1sec）、 Graph-PC

5.1.2 水理試験方法

水理試験は，パルス試験（PW:Pulse Withdrawal），定流量揚水試験（RW:Constant Rate Withdrawal）を実施した。湧水量が 2L/min となる区間については，水理試験装置の構造上，バルブ操作による定流量制御の方が定圧力制御よりも安定した精度を保て，かつ操作が容易であることから，定流量揚水試験（RW）を選択した。図 5.1.2-1 に基本的な試験手順フローを示す。

また，パルス試験（PW）は低透水性区間に適用する試験方法であるが，今回は概算の透水性の把握と地下水中の溶存ガスの遊離状況を把握するための圧縮率の算定を目的として，湧水量に関わらず全区間で実施した。

水理試験中は，原位置にて圧力の時間変化とそのデリバティブプロットを用いた実測データをリアルタイムで確認することにより [5)]，解析の前提となる放射状の均質な流れ（Infinite Acting Radial Flow：IARF），井戸貯留の影響および境界条件の影響の有無を判断することで品質の向上に努めた。以下にパルス試験（PW）および定流量揚水試験（RW）の概要を示す。

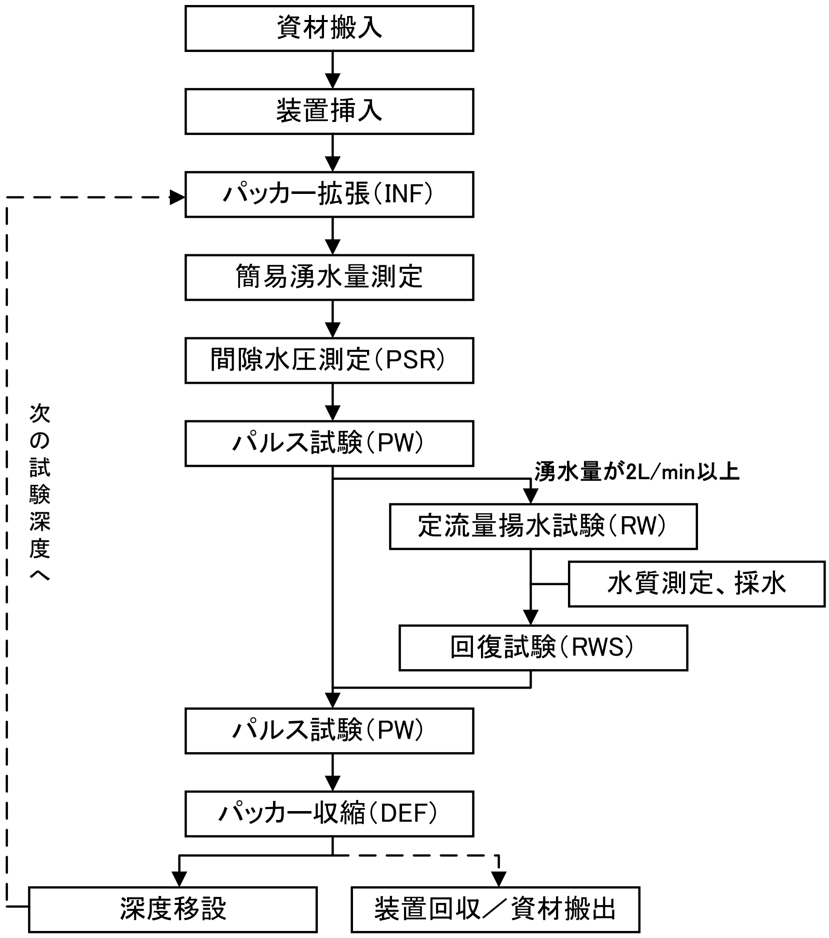


図 5.1.2-1 試験手順フロー

(1)パルス試験（PW）

パルス試験（PW）は，メインバルブを閉鎖して閉鎖区間を形成し，瞬時にボールバルブの開閉を行うことにより区間の間隙水圧に対して差圧を生じさせ，その後の水圧変化を水圧計で測定する方法である（図 5.1.2-2）。パルス試験（PW）は，試験に伴う水の移動量が少なく水圧収束が早いため，透水性の低い箇所での試験に適している。

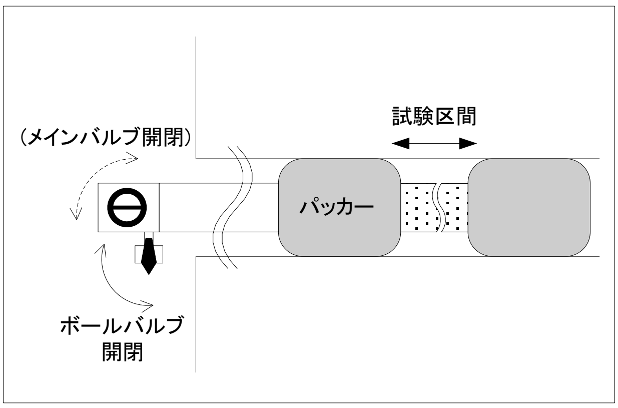


図 5.1.2-2 パルス試験（PW）概要

(2)定流量揚水試験(RW)および定流量揚水試験後の回復試験(RWS)

定流量揚水試験（RW）は，一定の揚水量で試験区間の地下水を汲み上げ，このときの試験区間の水位変化を水圧計で測定する方法である（図 5.1.2-3)。定流量揚水試験後の回復試験（RWS:Pressure Recovery after Constant Rate Withdrawal (shut-in)) は, 定流量揚水試験 (RW) 終了後，メインバルブを閉鎖し，閉鎖系での圧力回復を水圧計で測定する方法である。

定流量揚水試験（RW）は試験区間の湧水量が 2L/min 以上の場合に実施した。

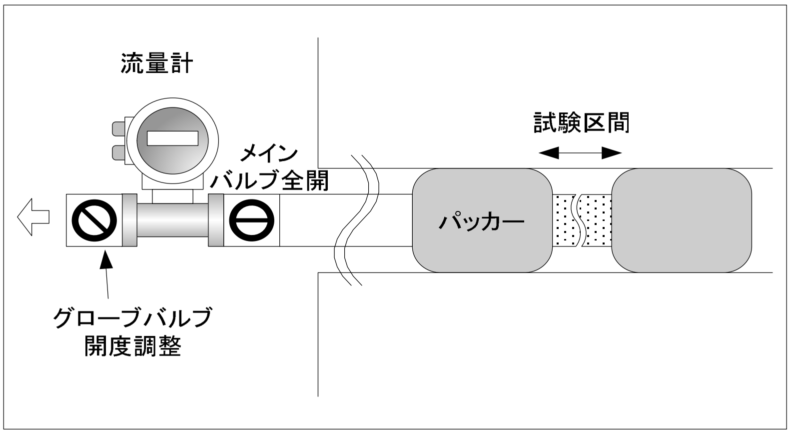


図 5.1.2-3 定流量揚水試験(RW)概要

5.1.3 解析方法

水理試験結果に基づく水理特性の算出は理論式による解析を基本とし，パルス試験（PW）は Hvorslev 法[6] または Cooper 法[7]，定流量揚水試験（RW）は Jacob-Cooper 法[8]，定流量揚水試験後の回復試験（RWS）は Agarwal 法[9]による解析を行った。各試験方法の詳細は，付録 5.1.3 水理試験解析式に示した。

5.2 水理試験結果

各ボーリング孔で実施した水理試験結果を下記に示す。表 5.3-1，図 5.3-1，2 に水理試験の結果（代表値）を示す。代表値の一覧には，各ボーリング孔における試験実施日，試験区間，区間長ならびに水理特性を算出した試験イベントと解析方法など，トレーサビリティーの観点から必要と考えられる情報についても記載した。

5.2.1 13MI38 号孔

(1)試験区間 No.1(6.50～10.80mabh)

本試験は，下部低密度割れ目帯の湧水割れ目を対象として実施した。

1)装置構成

図 5.2.1-1 に試験区間 No.1 の装置構成を示す。

装置構成はダブルパッカー編成とした。試験区間の湧水量の測定結果は 24.0L/min のため，図 5.1.2-1 の試験手順フローに従い，定流量揚水試験（RW）/定流量揚水試験後の回復試験（RWS）を実施することから，揚水試験用の装置編成とした。

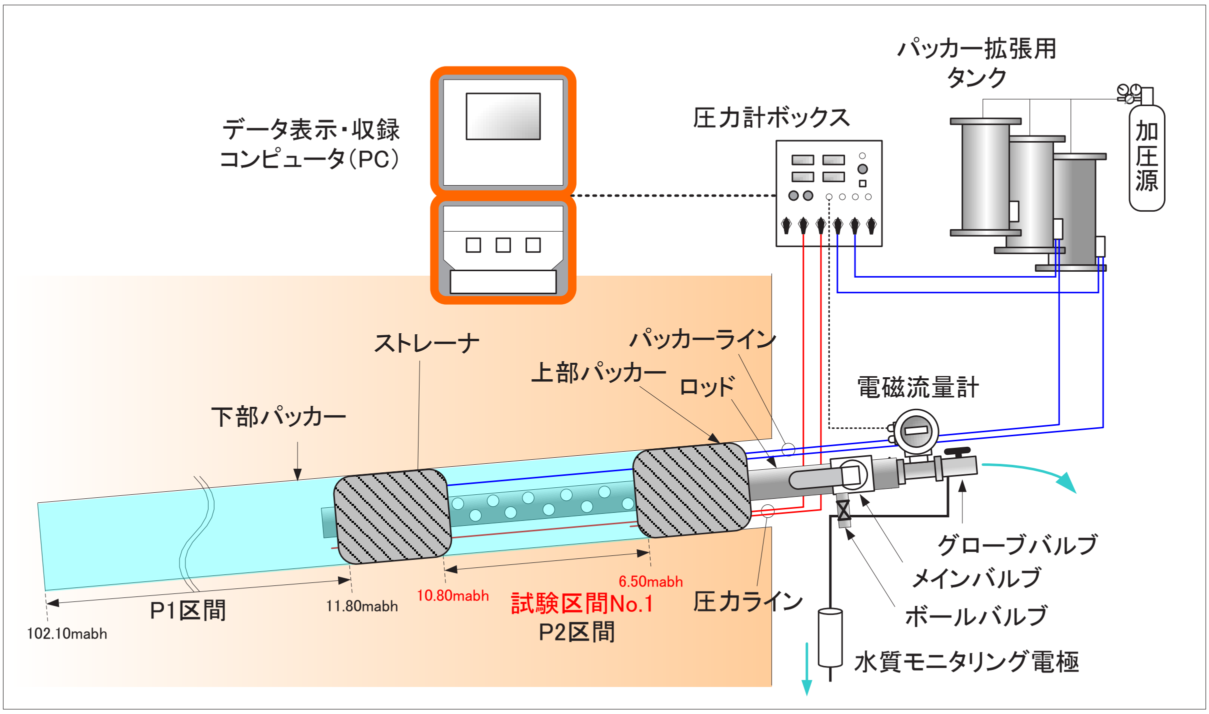


図 5.2.1-1　試験区間 No.1 装置構成

2)各区間の間隙水圧測定

図 5.2.1-2 に試験区間 No.1 の圧力変化を示す。試験区間 P2 の区間湧水量 24.0L/min であった。間隙水圧は，区間閉塞後直ちに 3.75MPa 付近まで上昇し，その直後から平衡状態に達したと考えられる。一方，間隙水圧の平衡後も不規則な変化が発生しており，試験イベント毎に 3.72～3.75MPa 間で異なる値へ収束した。また，P1 の間隙水圧は，約 3.07MPa でほぼ平衡状態となった。

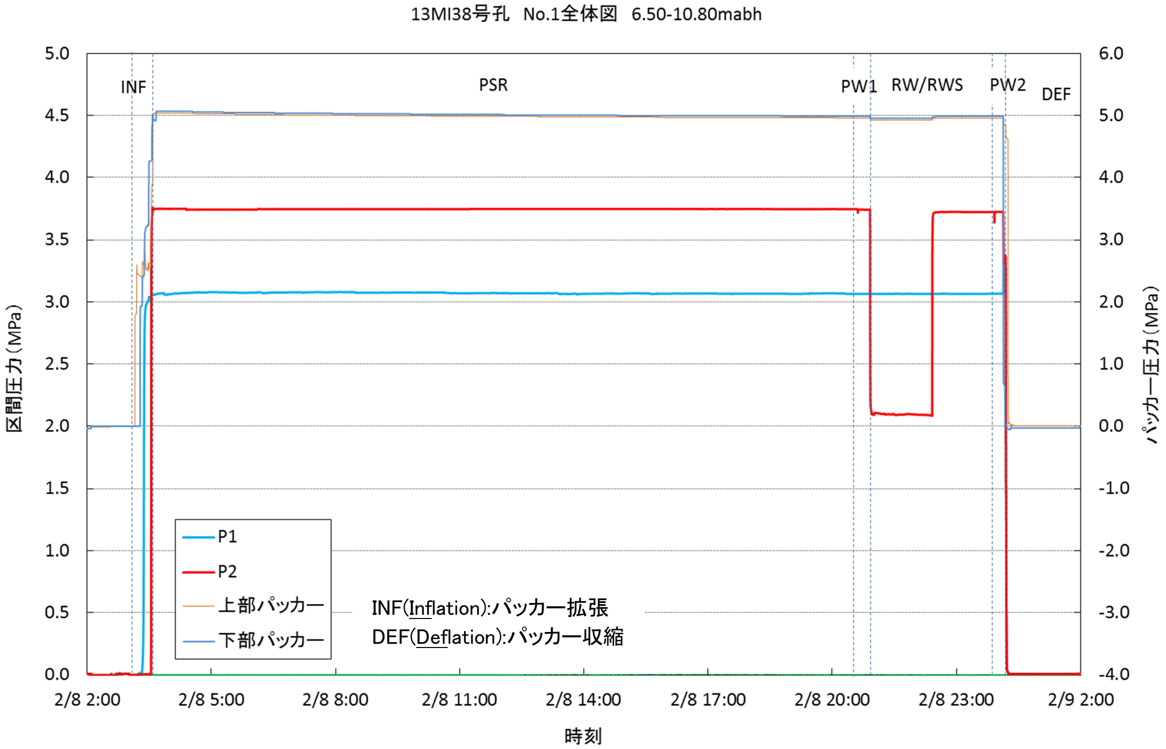


図 5.2.1-2　試験区間 No.1 の圧力変化図

3)試験結果

表 5.2.1-1 に試験区間 No.1 の結果を示す。試験区間 No.1 のパルス試験（PW）1，定流量揚水試験（RW）/定流量揚水試験後の回復試験（RWS），パルス試験（PW）2 の結果，透水係数はパルス試験（PW）1 で 3.79E-07m/s，定流量揚水試験（RW）/定流量揚水試験後の回復試験（RWS）で 4.16E-06m/s，9.26E-06m/s，パルス試験（PW）2 で 1.97E-07m/s であった。解析結果から，水理学的影響圏の大きい定流量揚水試験後の回復試験（RWS）の結果を選定した。なお，個々の試験解析図は付録 5.2.1 に示した。

パルス試験（PW）の排水量から算定した圧縮率の値はパルス試験（PW）1（1.44E-09m^3/Pa），パルス試験（PW）2（6.32E-10 m^3/Pa）であり，表 5.2.1-1 に示す試験区間内を水＋パッカー（3.16E-11 m^3/Pa）とガス＋パッカー（1.95E-08 m^3/Pa）で仮定した圧縮率の中間値を示した。これは，湧水量の多い本区間に対してバルブの開放時間が短く，十分な水頭差が得られなかったことが要因と考えられる。

表 5.2.1-1 試験区間 No.1 試験結果一覧

13MI38号孔　No.1水理試験結果					
試験開始日	2014/2/8 2:00		試験終了日	2014/2/9 2:00	
使用装置	揚水試験改良型　1号機		パッカー構成	ダブルパッカー	
試験区間上端　(mabh)		6.50	掘削深度　(mabh)		102.10
試験区間下端　(mabh)		10.80	掘削孔半径　(m)		0.05
試験区間長　(m)		4.30	掘削傾斜角		水平下向
圧力計高さ　(底盤＋m)		0.15	ロッド半径　(m)		0.0179

試験概要					
実施試験	INF～PSR～PW1～RW/RWS～PW2～DEF（水質モニタリング／採水4L）				
水＋パッカーのCompressbility (m^3/Pa)		3.16E-11	システム容積　(L)		38.90
ガス＋パッカーのCompressbility (m^3/Pa)		1.95E-08	区間湧水量　(L/min)		24.00
間隙水圧測定					
水圧記録時のイベント	PW1	RW/RWS	PW2	DEF	備考
試験前P1水圧 (MPa)	3.0637	3.0637	3.0645	3.0650	不規則変化
試験前P2水圧 (MPa)	3.7463	3.7421	3.7218	3.7242	不規則変化
試験前P3水圧 (MPa)	-	-	-	-	P3区間無し
PW1試験結果					
試験区間のCompressibility (m^3/Pa)		1.44E-09	PWの排水量　(L)		0.16
仮想半径Rw　(m)		2.12E-03	最大水位低下量　(m)		11.36
RW/RWS試験結果					
平均揚水流量　(L/min)		14.01	揚水時間　(min)		90
Shut-In時水位低下量　(m)		168.70	積算揚水量　(L)		1260.90
PW2試験結果					
試験区間のCompressibility (m^3/Pa)		6.32E-10	PWの排水量　(L)		0.46
仮想半径Rw　(m)		1.41E-03	最大水位低下量　(m)		74.16

解析結果					
透水試験名	T (m^2/s)	k(m/s)	S (-)	Ss(1/m)	解析方法
PW1	1.63E-06	3.79E-07	1.80E-05	4.18E-06	Cooper
	解析不可		-	-	Hvorslev
RW/RWS	1.79E-05	4.16E-06	1.24E-69	2.90E-70	Cooper-Jacob
	3.97E-05	9.24E-06	2.54E-154	5.90E-155	Agarwal
PW2	8.48E-07	1.97E-07	7.95E-06	1.85E-06	Cooper
	解析不可		-	-	Hvorslev

(2)試験区間 No.2(11.00～49.80mabh)

本試験は，下部低密度割れ目帯の湧水を伴わない割れ目を対象として実施した。

1)装置構成

図 5.2.1-3 に試験区間 No.2 の装置編成を示す。

装置構成はダブルパッカー編成とした。試験区間の湧水量の測定結果は 9.5L/min のため，図 5.1.2-1 の試験手順フローに従い，定流量揚水試験（RW）／定流量揚水試験後の回復試験（RWS）を実施することから，揚水試験用の装置編成とした。

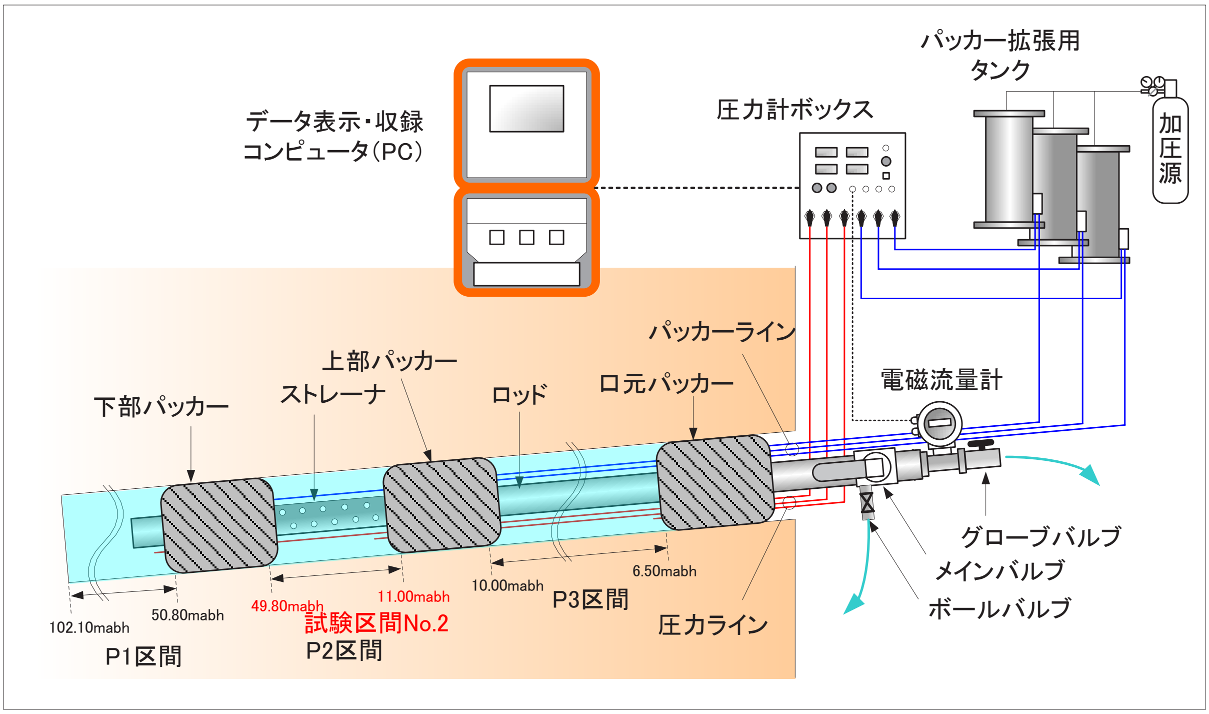


図 5.2.1-3　試験区間 No.2 装置構成

2)各区間の間隙水圧測定

図 5.2.1-4 に No.2 の圧力変化を示す。試験区間 P2 の区間湧水量は 9.5L/min であった。間隙水圧は，区間閉塞の約 2 時間後には 2.37MPa 付近で平衡状態に達したと考えられる。一方，間隙水圧の平衡後も不規則な変化が発生しており，試験イベント毎に 2.29～2.38MPa 間で収束値が異なる現象が生じた。また，P1 の間隙水圧は約 3.27MPa，P3 の間隙水圧は約 3.73MPa で平衡状態となった。

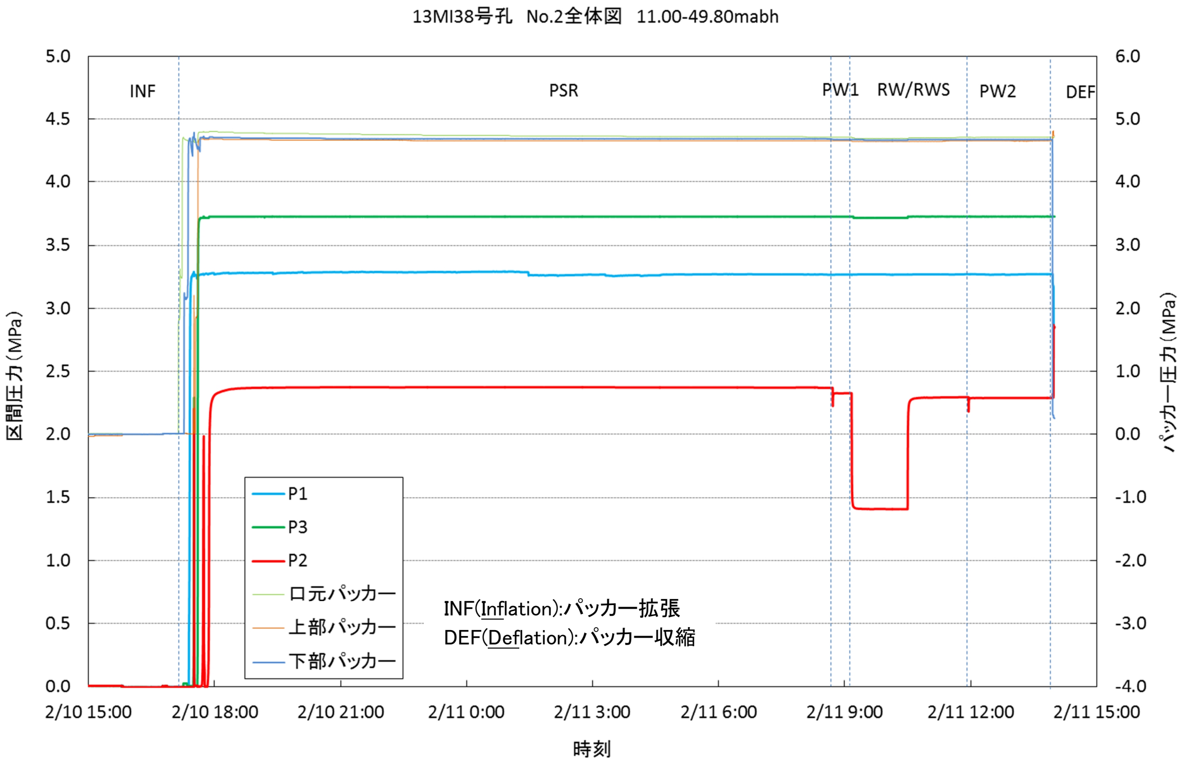


図 5.2.1-4 試験区間 No.2 の圧力変化図

3)試験結果

表 5.2.1-2 に試験区間 No.2 の結果を示す。

試験区間 No.2 のパルス試験（PW）1，定流量揚水試験（RW）／定流量揚水試験後の回復試験（RWS），パルス試験（PW）2 の結果，パルス試験（PW）1，パルス試験（PW）2 ともに湧水量が多く，水位を低下させることができなかったため，解析困難であった。定流量揚水試験（RW）／定流量揚水試験後の回復試験（RWS）で 2.70E-07m/s，1.90E-07m/s であった。解析結果から，水理学的影響圏の大きい定流量揚水試験後の回復試験（RWS）の結果を選定した。なお，個々の試験解析図は付録 5.2.1 に示した。

パルス試験（PW）1，パルス試験（PW）2 ともに湧水量が多く，水位を低下させることができず試験が成立しなかったため，圧縮率の評価はできなかった。

表 5.2.1-2 試験区間 No.2 試験結果一覧

13MI38号孔　No.2水理試験結果			
試験開始日	2014/2/10 16:00	試験終了日	2014/2/11 15:00
使用装置	揚水試験改良型　1号機	パッカー構成	ダブルパッカー

試験区間上端　(mabh)	11.00	掘削深度　(mabh)	102.10
試験区間下端　(mabh)	49.80	掘削孔半径　(m)	0.05
試験区間長　(m)	38.80	掘削傾斜角	水平下向
圧力計高さ　(底盤＋m)	0.15	ロッド半径　(m)	0.0179

試験概要					
実施試験	INF～PSR～PW1～RW/RWS～PW2～DEF				
水＋パッカーのCompressbility (m^3/Pa)		1.65E-10	システム容積　(L)		306.50
ガス＋パッカーのCompressbility (m^3/Pa)		1.53E-07	区間湧水量　(L/min)		9.50
間隙水圧測定					
水圧記録時のイベント	PW1	RW/RWS	PW2	DEF	備考
試験前P1水圧 (MPa)	3.2651	3.2658	3.2692	3.2693	不規則変化
試験前P2水圧 (MPa)	2.3700	2.3281	2.2968	2.2911	不規則変化
試験前P3水圧 (MPa)	3.7262	3.7264	3.7266	3.7264	ほぼ安定
PW1試験結果					
試験区間のCompressibility (m^3/Pa)		8.28E-10	PWの排水量　(L)		0.22
仮想半径Rw　(m)		1.61E-03	最大水位低下量　(m)		27.10
RW/RWS試験結果					
平均揚水流量　(L/min)		5.21	揚水時間　(min)		80
Shut-In時水位低下量　(m)		93.84	積算揚水量　(L)		416.80
PW2試験結果					
試験区間のCompressibility (m^3/Pa)		6.35E-10	PWの排水量　(L)		0.21
仮想半径Rw　(m)		1.41E-03	最大水位低下量　(m)		33.73

解析結果					
透水試験名	T (m^2/s)	k(m/s)	S (-)	Ss(1/m)	解析方法
PW1	解析不可				Cooper
			-	-	Hvorslev
RW/RWS	1.05E-05	2.70E-07	7.52E-62	1.94E-63	Cooper-Jacob
	7.37E-06	1.90E-07	9.26E-42	2.39E-43	Agarwal
PW2	解析不可				Cooper
			-	-	Hvorslev

(3)試験区間 No.3(50.00～59.80mabh)

本試験は，下部低密度割れ目帯および止水壁手前（止水壁を含む）を対象として実施した。

1)装置構成

図 5.2.1-5 に試験区間 No.1 の装置構成を示す。装置構成はダブルパッカー編成とした。試験区間の湧水量測定結果は 0.18L/min であったため，図 5.1.2-1 の試験手順フローに従い，パルス試験（PW）のみを 2 回実施した。そのため，パルス試験（PW）のみを行う装置編成とした。

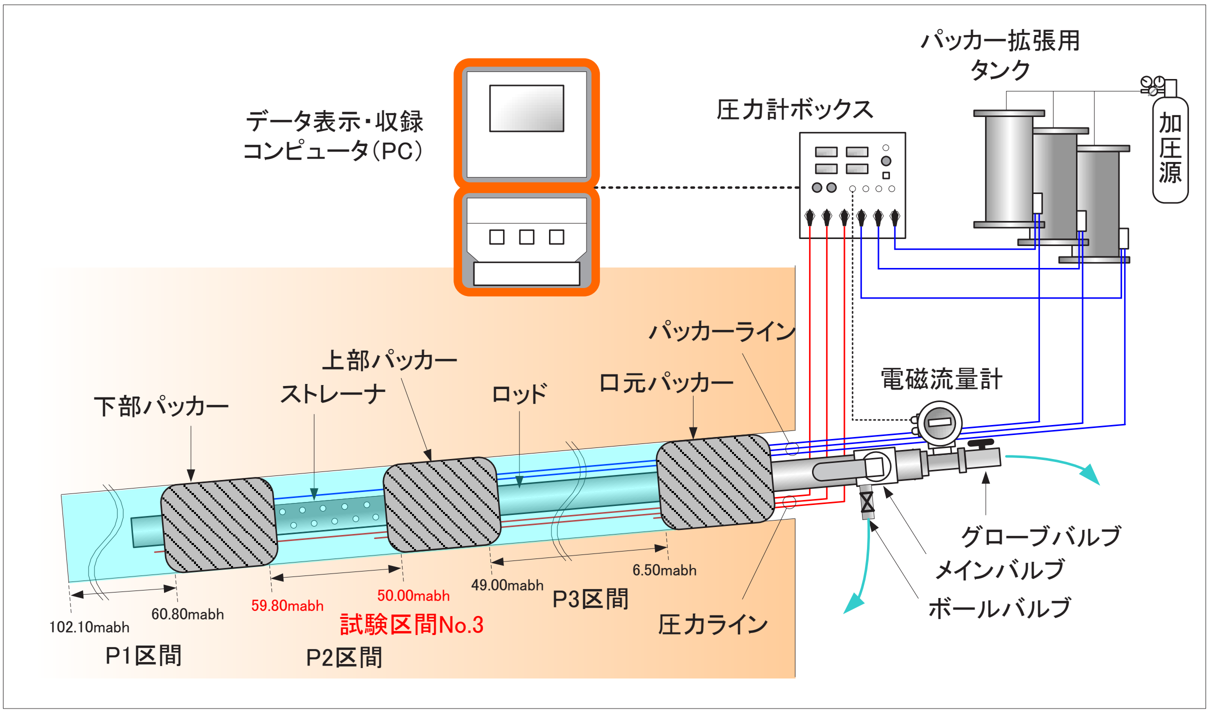


図 5.2.1-5 試験区間 No.3 装置構成

2)各区間の間隙水圧測定

図 5.2.1-6 に試験区間 No.3 の圧力変化を示す。試験区間 P2 の区間湧水量は 0.18L/min であった。間隙水圧は，区間閉塞の約 3 時間後には 2.27MPa 付近で平衡状態に達したと考えられる。また，P1 の間隙水圧は約 2.27MPa，P3 の間隙水圧は約 3.41MPa で平衡状態となった。

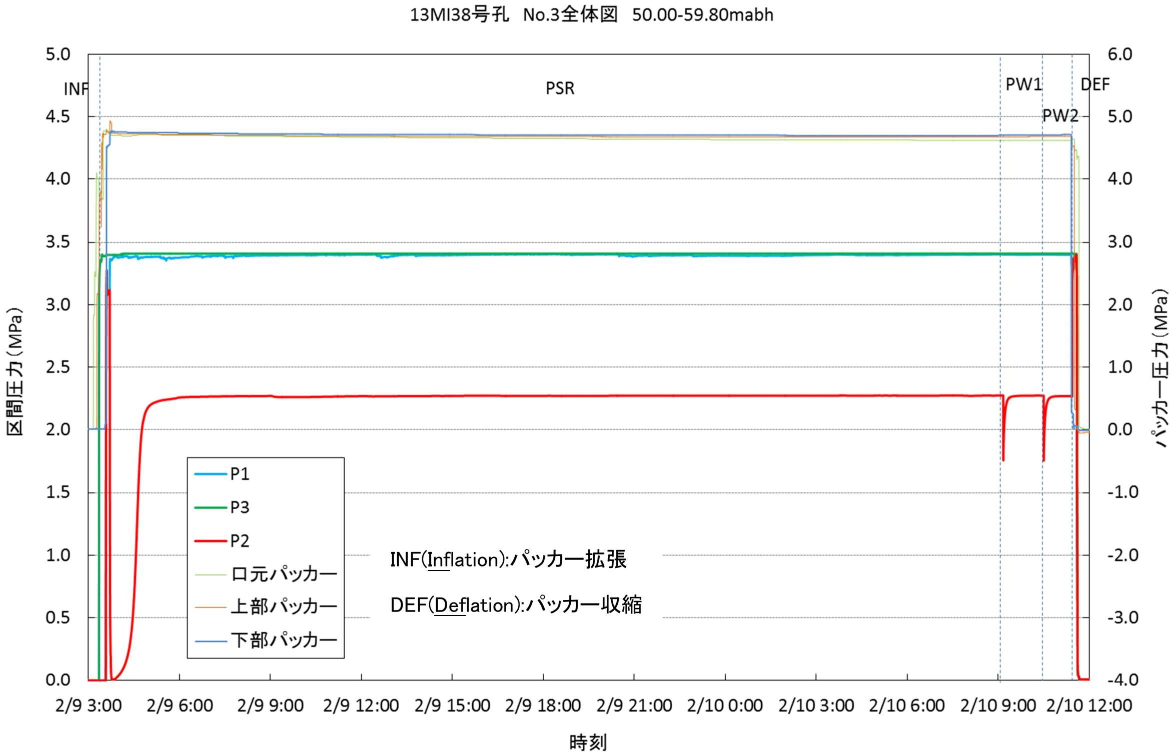


図 5.2.1-6　試験区間 No.3 の圧力変化図

3)試験結果

表 5.2.1-3 に試験区間 No.3 の試験結果一覧を示す。試験区間 No.3 のパルス試験（PW）1，パルス試験（PW）2 の結果，透水係数はパルス試験（PW）1 で 1.21E-09m/s，パルス試験（PW）2 で 1.37E-09m/s であった。なお，Hvoslev 法 [6)]による解析が困難であったため，Cooper 法 [7)]のみの結果となった。解析結果から，十分な間隙水圧の収束を待ったパルス試験（PW）1 の結果を選定した。個々の試験解析図や考察は付録 5.2.1 に示した。

パルス試験（PW）の排水量から算定した圧縮率の値はパルス試験（PW）1（2.14E-10m^3/Pa），パルス試験（PW）2（2.31E-10m^3/Pa）ともほぼ同様の値であり，表 5.2.1-3 に示す試験区間内を水＋パッカーと仮定した圧縮率（7.09E-11m^3/Pa）に近い値を示したことから，試験区間において試験結果に影響を与えるほどの気泡が生じていないことを確認した。

表 5.2.1-3 試験区間 No.3 試験結果一覧

13MI38号孔　No.3水理試験結果			
試験開始日	2014/2/9 2:00	試験終了日	2014/2/10 16:00
使用装置	揚水試験改良型　1号機	パッカー構成	ダブルパッカー
試験区間上端　(mabh)	50.00	掘削深度　(mabh)	102.10
試験区間下端　(mabh)	59.80	掘削孔半径　(m)	0.05
試験区間長　(m)	9.80	掘削傾斜角	水平下向
圧力計高さ　(底盤＋m)	0.15	ロッド半径　(m)	0.0179

試験概要					
実施試験	INF～PSR～PW1～PW2～DEF				
水＋パッカーのCompressbility (m^3/Pa)		7.09E-11	システム容積　(L)		117.50
ガス＋パッカーのCompressbility (m^3/Pa)		5.88E-08	区間湧水量　(L/min)		0.18
間隙水圧測定					
水圧記録時のイベント	PW1	PW2	DEF	備考	
試験前P1水圧 (MPa)	3.3984	3.3985	3.3971	安定傾向だが不規則変化	
試験前P2水圧 (MPa)	2.2754	2.2739	2.2717	安定傾向だが不規則変化	
試験前P3水圧 (MPa)	3.4067	3.4067	3.4065	ほぼ安定	
PW1試験結果					
試験区間のCompressibility　(m^3/Pa)		2.14E-10	PWの排水量　(L)		0.13
仮想半径Rw　(m)		8.18E-04	最大水位低下量　(m)		61.81
PW2試験結果					
試験区間のCompressibility　(m^3/Pa)		2.31E-10	PWの排水量　(L)		0.14
仮想半径Rw　(m)		8.49E-04	最大水位低下量　(m)		61.84

解析結果					
透水試験名	T (m^2/s)	k(m/s)	S (-)	Ss(1/m)	解析方法
PW1	1.19E-08	1.21E-09	2.68E-08	2.73E-09	Cooper
	解析不可		-	-	Hvorslev
PW2	1.34E-08	1.37E-09	2.88E-08	2.94E-09	Cooper
	解析不可		-	-	Hvorslev

(4)試験区間 No.4(60.00～69.80mabh)

本試験は，下部低密度割れ目帯および止水壁奥（止水壁を含まない）を対象として実施した。

1)装置構成

図 5.2.1-7 に試験区間 No.4 の装置構成を示す。装置構成はダブルパッカー編成とした。試験区間の湧水量測定結果は 0.01L/min であったため，図 5.1.2-1 の試験手順フローに従い，パルス試験（PW）のみを 1 回実施した。そのため，パルス試験（PW）のみを行う装置編成とした。

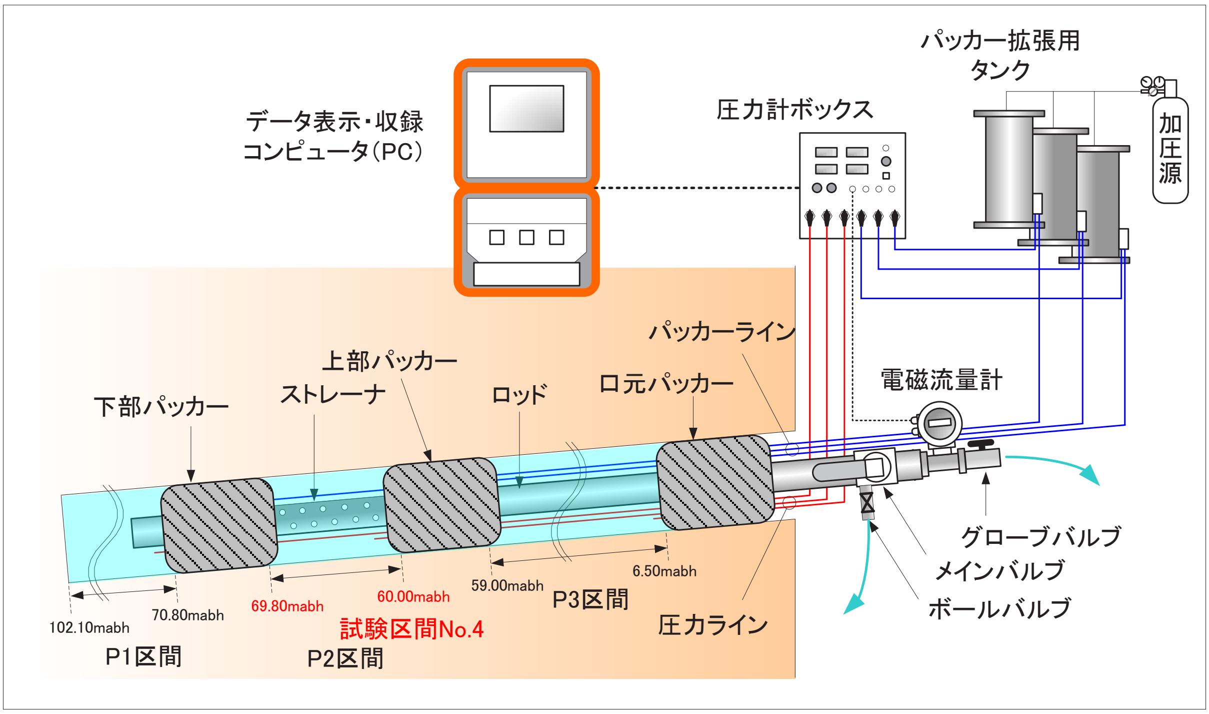


図 5.2.1-7 試験区間 No.4 装置構成

2)各区間の間隙水圧測定

図 5.2.1-8 に試験区間 No.4 の圧力変化を示す。試験区間 P2 の区間湧水量は 0.01L/min であり，間隙水圧の収束には長時間を要した。間隙水圧は，区間閉塞から 41 時間後に 2.36MPa 付近で上昇のピークとなり，その後は下降傾向を示した。また，P1 の間隙水圧は約 3.55MPa，P3 の間隙水圧は約 3.41MPa で平衡状態となった。

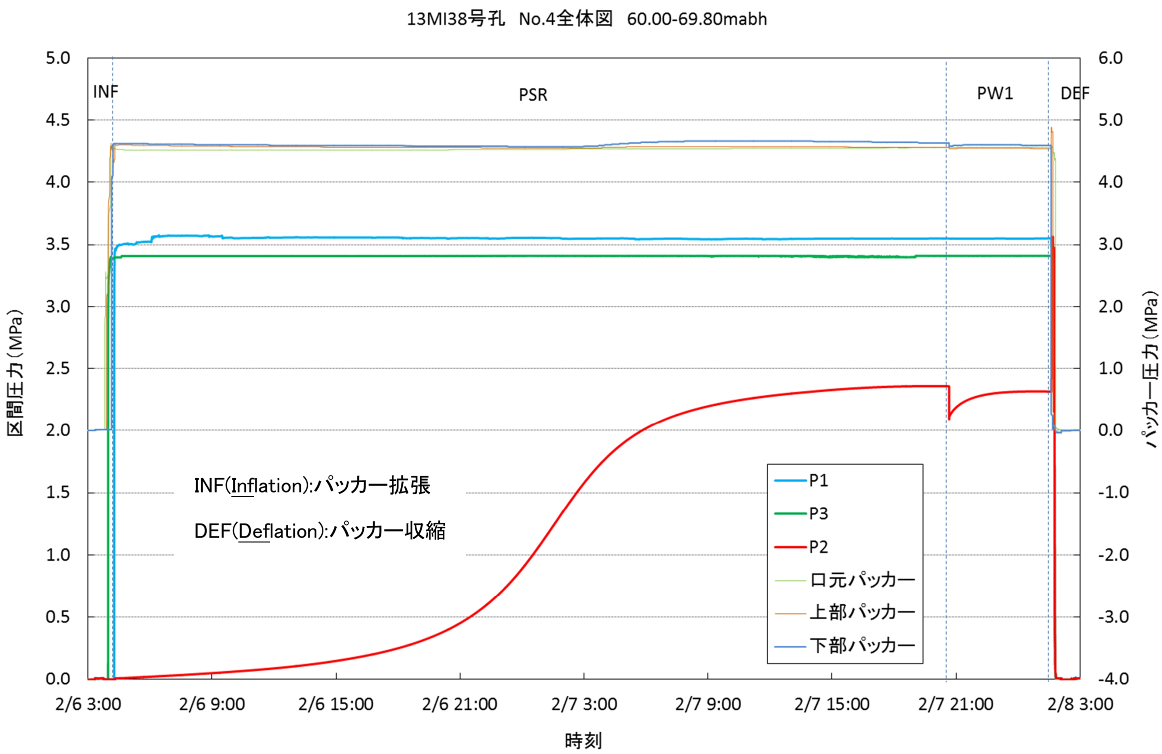


図 5.2.1-8　試験区間 No.4 の圧力変化図

3)試験結果

表 5.2.1-4 に試験区間 No.4 の結果を示す。試験区間 No.4 のパルス試験（PW）1 の結果，透水係数はパルス試験(PW)1 で 2.31E-11m/s であった。解析結果から，貯留係数を算出できる Cooper 法[7]を用いたパルス試験（PW）1 の結果を選定した。個々の試験解析図や考察は付録 5.2.1 に示した。

パルス試験（PW）1 の排水量から算定した圧縮率の値は 2.18E-10m³/Pa であり，表 5.2.1-4 に示す試験区間内を水＋パッカーと仮定した圧縮率（7.59E-11m³/Pa）に近い値を示したことから，試験区間において試験結果に影響を与えるほどの気泡が生じていないことを確認した。

表 5.2.1-4 試験区間 No.4 試験結果一覧

13MI38号孔　No.4水理試験結果			
試験開始日	2014/2/6 2:00	試験終了日	2014/2/8 2:00
使用装置	揚水試験改良型　1号機	パッカー構成	ダブルパッカー
試験区間上端 (mabh)	60.00	掘削深度 (mabh)	102.10
試験区間下端 (mabh)	69.80	掘削孔半径 (m)	0.05
試験区間長 (m)	9.80	掘削傾斜角	水平下向
圧力計高さ (底盤＋m)	0.15	ロッド半径 (m)	0.0179

試験概要				
実施試験	INF～PSR～PW1～DEF			
水＋パッカーのCompressbility (m^3/Pa)	7.59E-11	システム容積 (L)		127.60
ガス＋パッカーのCompressbility (m^3/Pa)	6.38E-08	区間湧水量 (L/min)		0.01
間隙水圧測定				
水圧記録時のイベント	PW1	DEF		備考
試験前P1水圧 (MPa)	3.5489	3.5510		安定傾向だが不規則変化
試験前P2水圧 (MPa)	2.3569	2.3144		上昇から下降傾向へ
試験前P3水圧 (MPa)	3.4065	3.4061		ほぼ安定
PW1試験結果				
試験区間のCompressibility (m^3/Pa)	2.18E-10	PWの排水量 (L)		0.062
仮想半径Rw (m)	8.26E-04	最大水位低下量 (m)		28.96

解析結果					
透水試験名	T (m^2/s)	k(m/s)	S (-)	Ss(1/m)	解析方法
PW1	2.26E-10	2.31E-11	2.73E-06	2.78E-07	Cooper
	解析不可		-	-	Hvorslev

(5)試験区間 No.5(70.00～90.30mabh)

本試験は，下部低密度割れ目帯の湧水を伴わない割れ目を対象として実施した。

1)装置構成

図 5.2.1-9 に試験区間 No.5 の装置構成を示す。装置構成はダブルパッカー編成とした。試験区間の湧水量測定結果は 0.02L/min であったため，図 5.1.2-1 の試験手順フローに従い，パルス試験（PW）のみを 1 回実施した。そのため，パルス試験（PW）のみを行う装置編成とした。

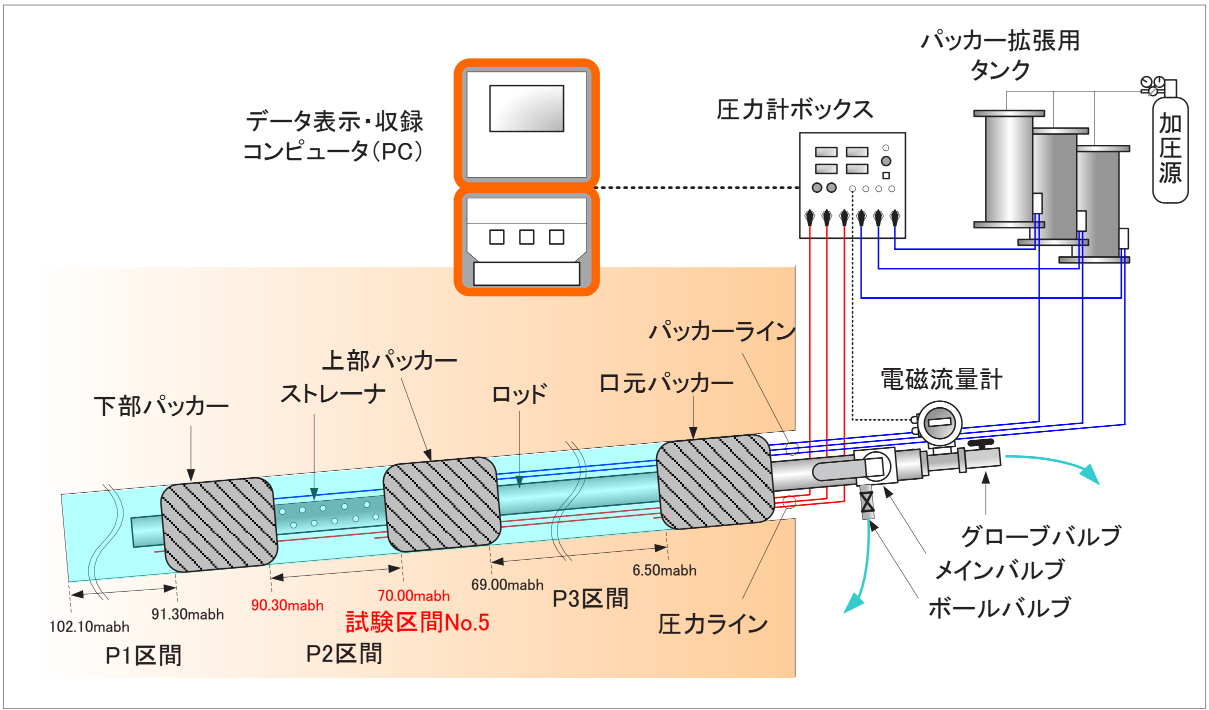


図 5.2.1-9 試験区間 No.5 装置構成

2)各区間の間隙水圧測定

図 5.2.1-10 に試験区間 No.5 の圧力変化を示す。試験区間 P2 の区間湧水量は約 0.02L/min であった。間隙水圧は，区間閉塞から 10 時間以降は上昇勾配がなだらかとなったが，試験終了時まで上昇傾向は継続し平衡水圧は確認できなかった。また，P1 の間隙水圧は約 3.56MPa，P3 の間隙水圧は約 3.38MPa で平衡状態となった。

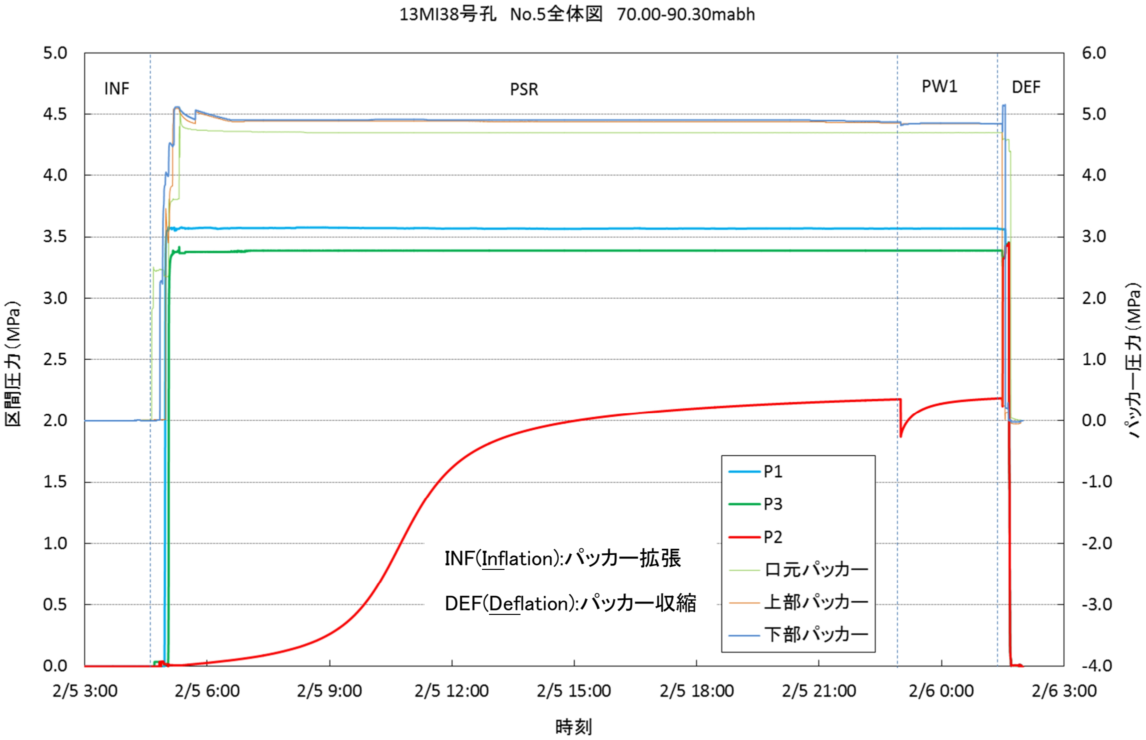


図 5.2.1-10 試験区間 No.5 の圧力変化図

3)試験結果

表 5.2.1-5 に試験区間 No.5 の結果を示す。試験区間 No.5 のパルス試験（PW）1 の結果，透水係数はパルス試験（PW）1 で 3.28E-11m/s であった。解析結果から，貯留係数を算出できる Cooper 法 [7]を用いた結果を選定した。個々の試験解析図や考察は付録 5.2.1 に示した。

パルス試験（PW）1 の排水量から算定した圧縮率の値は 1.99E-10m^3/Pa であり，表 5.2.1-5 に示す試験区間内を水＋パッカーと仮定した圧縮率（1.23E-10m^3/Pa）に近い値を示したことから，試験区間において試験結果に影響を与えるほどの気泡が生じていないことを確認した。

表 5.2.1-5 試験区間 No.5 試験結果一覧

13MI38号孔　No.5水理試験結果			
試験開始日	2014/2/5 3:00	試験終了日	2014/2/6 2:00
使用装置	揚水試験改良型　1号機	パッカー構成	ダブルパッカー
試験区間上端 (mabh)	70.00	掘削深度 (mabh)	102.10
試験区間下端 (mabh)	90.30	掘削孔半径 (m)	0.05
試験区間長 (m)	20.30	掘削傾斜角	水平下向
圧力計高さ (底盤＋m)	0.15	ロッド半径 (m)	0.0179

試験概要					
実施試験	INF～PSR～PW1～DEF				
水＋パッカーのCompressbility (m^3/Pa)		1.23E-10	システム容積 (L)		222.00
ガス＋パッカーのCompressbility (m^3/Pa)		1.11E-07	区間湧水量 (L/min)		0.02
間隙水圧測定					
水圧記録時のイベント	PW1	DEF		備考	
試験前P1水圧 (MPa)	3.5675	3.5630		安定傾向だが不規則変化	
試験前P2水圧 (MPa)	2.1775	2.1854		上昇傾向	
試験前P3水圧 (MPa)	3.3847	3.3852		ほぼ安定	
PW1試験結果					
試験区間のCompressibility (m^3/Pa)		1.99E-10	PWの排水量 (L)		0.062
仮想半径Rw (m)		7.88E-04	最大水位低下量 (m)		31.78

解析結果					
透水試験名	T (m^2/s)	k(m/s)	S (-)	Ss(1/m)	解析方法
PW1	6.65E-10	3.28E-11	2.48E-06	1.22E-07	Cooper
	9.59E-10	4.73E-11	-	-	Hvorslev

(6)試験区間 No.6(90.00～102.10mabh)

本試験は，下部低密度割れ目帯の湧水を伴う割れ目を対象として実施した。

1)装置構成

図 5.2.1-11 に試験区間 No.6 の装置構成を示す。装置構成はダブルパッカー編成とした。試験区間の湧水量の測定結果は 22.0L/min のため，図 5.1.2-1 の試験手順フローに従い，定流量揚水試験（RW）/定流量揚水試験後の回復試験（RWS）を実施することから，揚水試験用の装置編成とした。

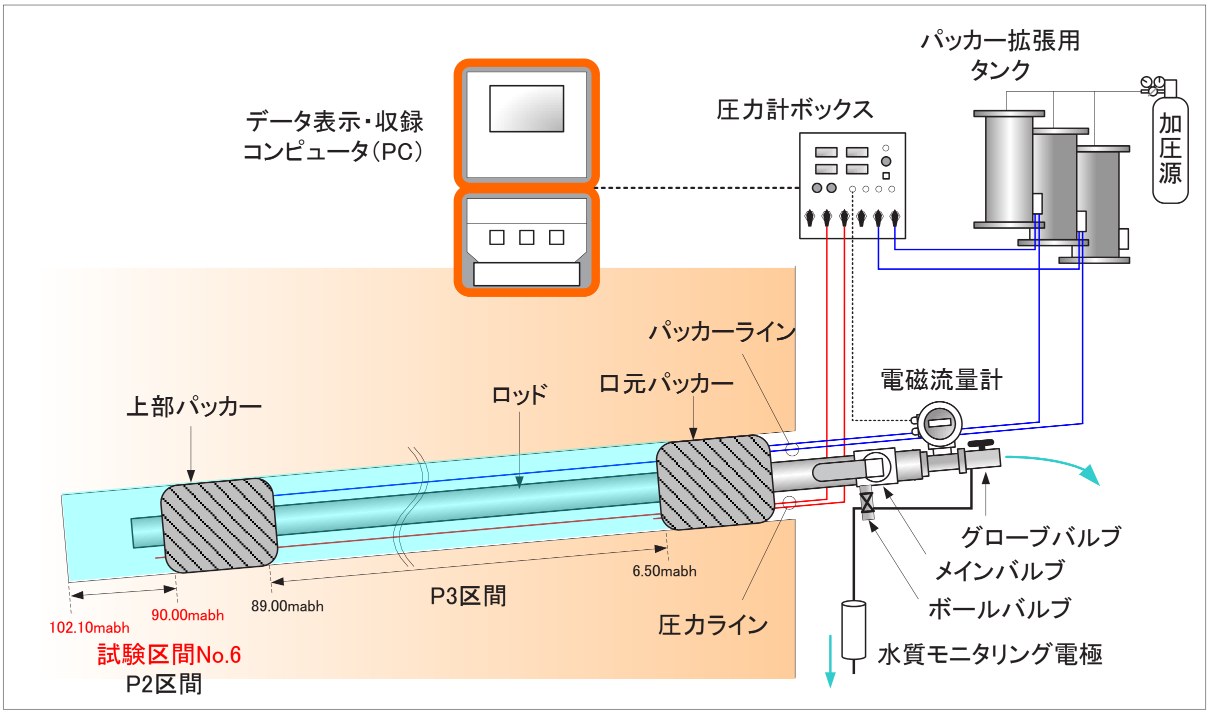


図 5.2.1-11 試験区間 No.6 装置構成

2)各区間の間隙水圧測定

図 5.2.1-12 に試験区間 No.6 の圧力変化を示す。試験区間 P2 の区間湧水量は 22L/min であった。間隙水圧は，区間閉塞後直ちに 3.70MPa 付近まで上昇し，その直後から平衡状態に達したと考えられる。一方，間隙水圧の平衡後も不規則な変化を示した。また，P3 の間隙水圧は，約 3.35MPa でほぼ平衡状態となった。

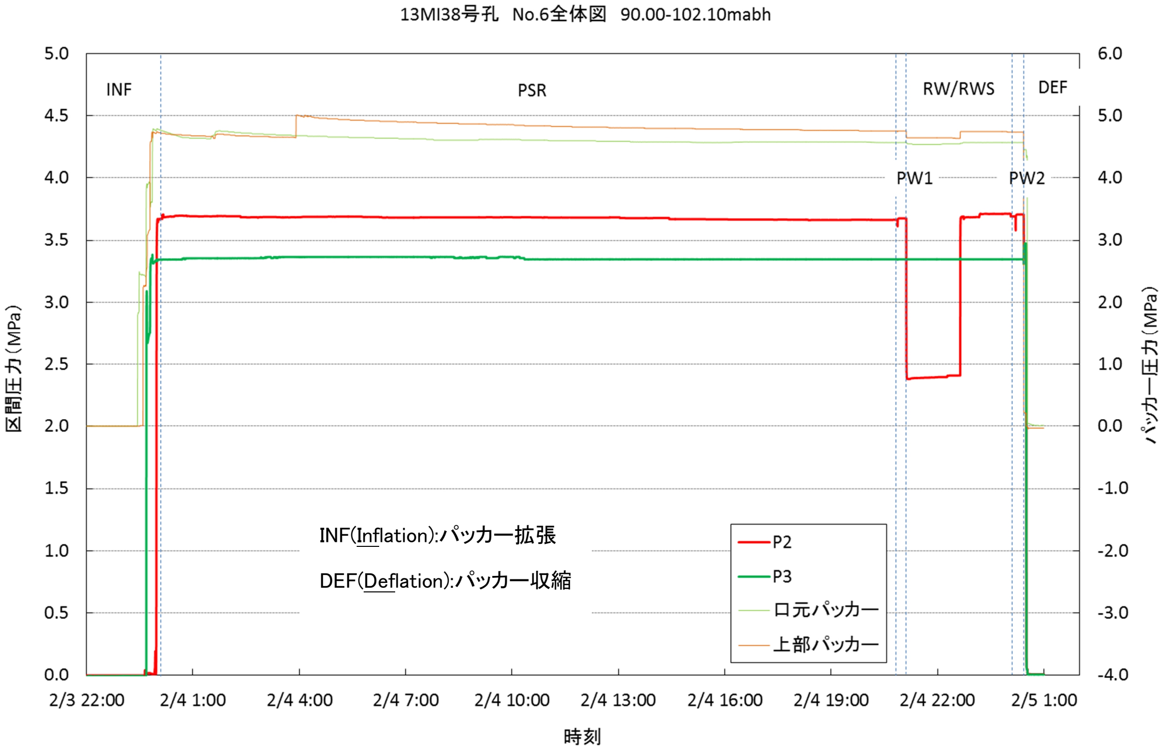


図 5.2.1-12　試験区間 No.6 の圧力変化図

3)試験結果

表 5.2.1-6 に試験区間 No.6 の結果を示す。試験区間 No.6 のパルス試験（PW）1，定流量揚水試験（RW）/定流量揚水試験後の回復試験（RWS），パルス試験（PW）2 の結果，透水係数はパルス試験（PW）1 で 1.63E-07m/s，定流量揚水試験（RW）/定流量揚水試験後の回復試験（RWS）で 2.66E-06m/s，2.04E-06m/s，パルス試験（PW）2 で 1.86E-07m/s であった。解析結果から，水理学的影響圏の大きい定流量揚水試験後の回復試験（RWS）の結果を選定した。なお，個々の試験解析図は付録 5.2.1 に示した。

パルス試験（PW）の排水量から算定した圧縮率の値はパルス試験（PW）1（7.85E-10m^3/Pa），パルス試験（PW）2（8.97E-10m^3/Pa）ともほぼ同様の値であり，表 5.2.1-6 に示す試験区間内を水＋パッカーと仮定した圧縮率（1.03E-10m^3/Pa）に近い値を示したことから，試験区間において試験結果に影響を与えるほどの気泡が生じていないことを確認した。

表 5.2.1-6 試験区間 No.6 試験結果一覧

13MI38号孔　No.6水理試験結果					
試験開始日	2014/2/4 21:00		試験終了日	2014/2/5 3:00	
使用装置	揚水試験改良型　1号機		パッカー構成	シングルパッカー	
試験区間上端　(mabh)		90.00	掘削深度　(mabh)		102.10
試験区間下端　(mabh)		102.10	掘削孔半径　(m)		0.05
試験区間長　(m)		12.10	掘削傾斜角		水平下向
圧力計高さ　(底盤＋m)		0.15	ロッド半径　(m)		0.0179

試験概要					
実施試験	INF～PSR～PW1～RW/RWS～PW2～DEF				
水＋パッカーのCompressbility (m^3/Pa)		1.03E-10	システム容積　(L)		180.90
ガス＋パッカーのCompressbility (m^3/Pa)		9.05E-08	区間湧水量　(L/min)		22.00
間隙水圧測定					
水圧記録時のイベント	PW1	RW/RWS	PW2	DEF	備考
試験前P1水圧 (MPa)	-	-	-	-	P1区間なし
試験前P2水圧 (MPa)	3.6638	3.6758	3.6908	3.7072	不規則変化
試験前P3水圧 (MPa)	3.3442	3.3443	3.3444	3.3444	ほぼ安定
PW1試験結果					
試験区間のCompressibility　(m^3/Pa)		7.85E-10	PWの排水量　(L)		0.13
仮想半径Rw　(m)		1.57E-03	最大水位低下量　(m)		16.88
RW/RWS試験結果					
平均揚水流量　(L/min)		9.95	揚水時間　(min)		91
Shut-In時水位低下量　(m)		129.11	積算揚水量　(L)		905.45
PW2試験結果					
試験区間のCompressibility　(m^3/Pa)		8.97E-10	PWの排水量　(L)		0.16
仮想半径Rw　(m)		1.67E-03	最大水位低下量　(m)		18.19

解析結果					
透水試験名	T (m^2/s)	k(m/s)	S (-)	Ss(1/m)	解析方法
PW1	解析不可				Cooper
	1.97E-06	1.63E-07	-	-	Hvorslev
RW/RWS	3.22E-05	2.66E-06	6.13E-140	5.06E-141	Cooper-Jacob
	2.47E-05	2.04E-06	3.81E-106	3.15E-107	Agarwal
PW2	解析不可				Cooper
	2.25E-06	1.86E-07	-	-	Hvorslev

5.2.2 13MI39 号孔

(1)試験区間 No.7(3.20～5.38mabh)

本試験は，下部低密度割れ目帯の湧水を伴う割れ目を対象として実施した。

1)装置構成

図 5.2.2-1 に試験区間 No.7 の装置構成を示す。装置構成はダブルパッカー編成とした。試験区間の湧水量測定結果は 0.39L/min であったため，図 5.1.2-1 の試験手順フローに従い，パルス試験（PW）のみを 2 回実施した。そのため，パルス試験（PW）のみを行う装置編成とした。

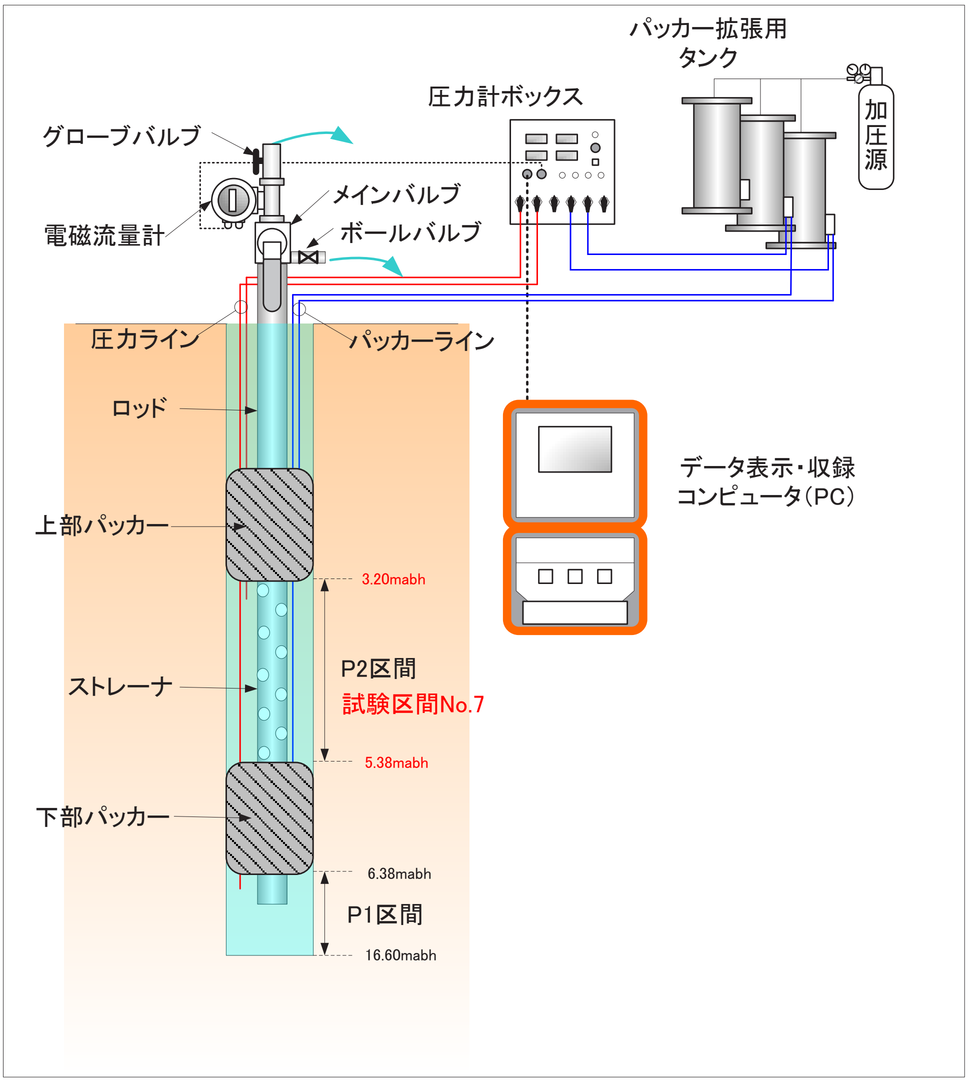


図 5.2.2-1 試験区間 No.7 装置構成

2)各区間の間隙水圧測定

図 5.2.2-2 に試験区間 No.7 の圧力変化を示す。試験区間 P2 の区間湧水量は 0.39L/min であった。間隙水圧は，区間閉塞から緩やかに上昇し，試験終了時まで上昇傾向は継続した。また，P1 の間隙水圧は P2 よりも上昇勾配の強い上昇傾向を示した。P1，P2 ともに DEF 時点で間隙水圧の最高値を示した。

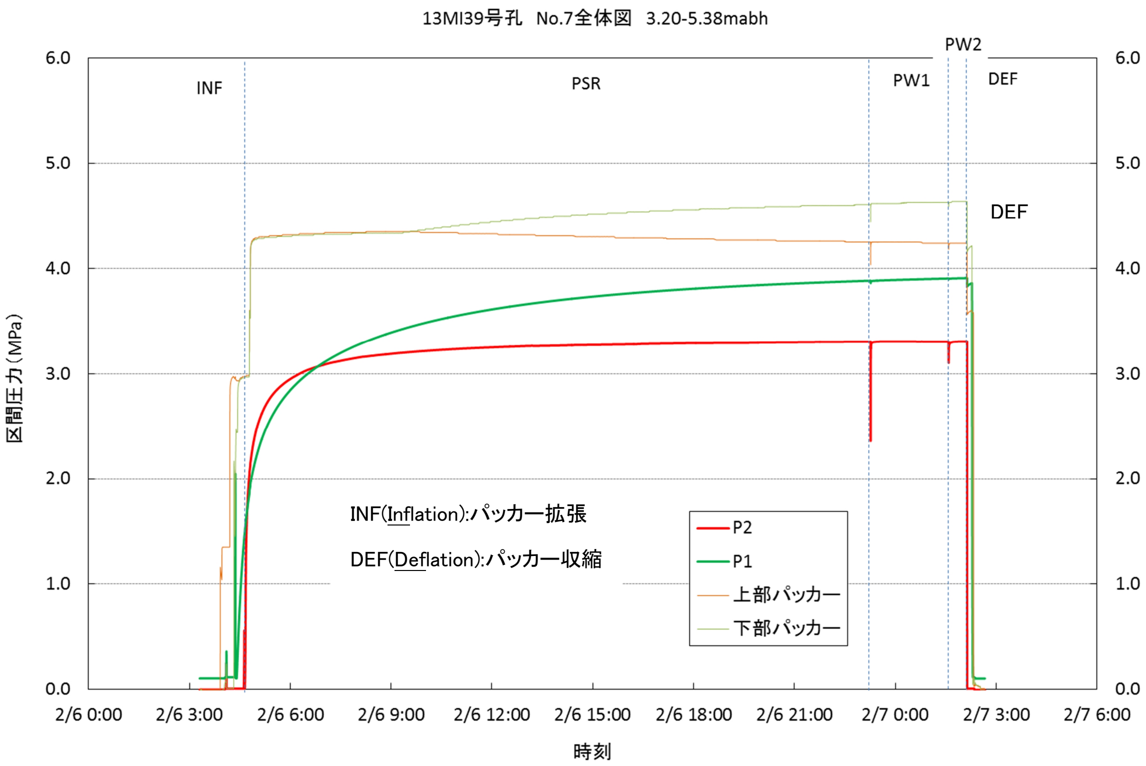


図 5.2.2-2 試験区間 No.7 の圧力変化図

3)試験結果

表 5.2.2-1 に試験区間 No.7 の結果を示す。試験区間 No.7 のパルス試験（PW）1，パルス試験（PW）2 の結果，透水係数はパルス試験（PW）1 で 6.70E-09m/s，パルス試験（PW）2 で 2.38E-09m/s であった。解析結果から，十分な間隙水圧の収束を待ったパルス試験（PW）1 の結果で，さらに貯留係数を算出できる Cooper 法 [7]を用いた結果を選定した。なお，個々の試験解析図や考察は付録 5.2.2 に示した。

パルス試験（PW）の排水量から算定した圧縮率の値はパルス試験（PW）1（4.63E-11m^3/Pa），パルス試験（PW）2（4.10E-11m^3/Pa）ともほぼ同様の値であり，表 5.2.2-1 に示す試験区間内を水＋パッカーと仮定した圧縮率（2.14E-11m^3/Pa）に近い値を示したことから，試験区間において試験結果に影響を与えるほどの気泡が生じていないことを確認した。

表 5.2.2-1 試験区間 No.7 試験結果一覧

13MI39号孔　No.7水理試験結果			
試験開始日	2014/2/6 2:00	試験終了日	2014/2/7 3:00
使用装置	揚水試験改良型　2号機	パッカー構成	ダブルパッカー
試験区間上端　(mabh)	3.20	掘削深度　(mabh)	16.60
試験区間下端　(mabh)	5.38	掘削孔半径　(m)	0.05
試験区間長　(m)	2.18	掘削傾斜角	鉛直
圧力計高さ　(底盤＋m)	0.15	ロッド半径　(m)	0.0179

試験概要				
実施試験	INF～PSR～PW1～PW2～DEF			
水＋パッカーのCompressbility (m^3/Pa)		2.14E-11	システム容積　(L)	18.50
ガス＋パッカーのCompressbility (m^3/Pa)		9.26E-09	区間湧水量　(L/min)	0.39
間隙水圧測定				
水圧記録時のイベント	PW1	PW2	DEF	備考
試験前P1水圧　(MPa)	3.7773	3.7980	3.8018	上昇傾向
試験前P2水圧　(MPa)	3.3057	3.3044	3.3073	微上昇傾向(不規則変化)
試験前P3水圧　(MPa)	-	-	-	P3区間無し
PW1試験結果				
試験区間のCompressibility　(m^3/Pa)		4.63E-11	PWの排水量　(L)	0.03
仮想半径Rw　(m)		3.37E-04	最大水位低下量　(m)	66.07
PW2試験結果				
試験区間のCompressibility　(m^3/Pa)		4.10E-11	PWの排水量　(L)	0.044
仮想半径Rw　(m)		3.37E-04	最大水位低下量　(m)	109.53

解析結果					
透水試験名	T (m^2/s)	k(m/s)	S (-)	Ss(1/m)	解析方法
PW1	1.46E-08	6.70E-09	4.53E-05	2.08E-05	Cooper
	2.34E-08	1.07E-08	-	-	Hvorslev
PW2	5.18E-09	2.38E-09	4.53E-05	2.08E-05	Cooper
	1.39E-08	6.38E-09	-	-	Hvorslev

5.2.3 13MI40 号孔

(1)試験区間 No.8(4.00～6.18mabh)

本試験は，下部低密度割れ目帯の湧水を伴う割れ目を対象として実施した。

1)装置構成

図 5.2.3-1 に試験区間 No.8 の装置構成を示す。装置構成はダブルパッカー編成とした。試験区間の湧水量測定結果は 0.064L/min であったため，図 5.1.2-1 の試験手順フローに従い，パルス試験（PW）のみを 2 回実施した。そのため，パルス試験（PW）のみを行う装置編成とした。

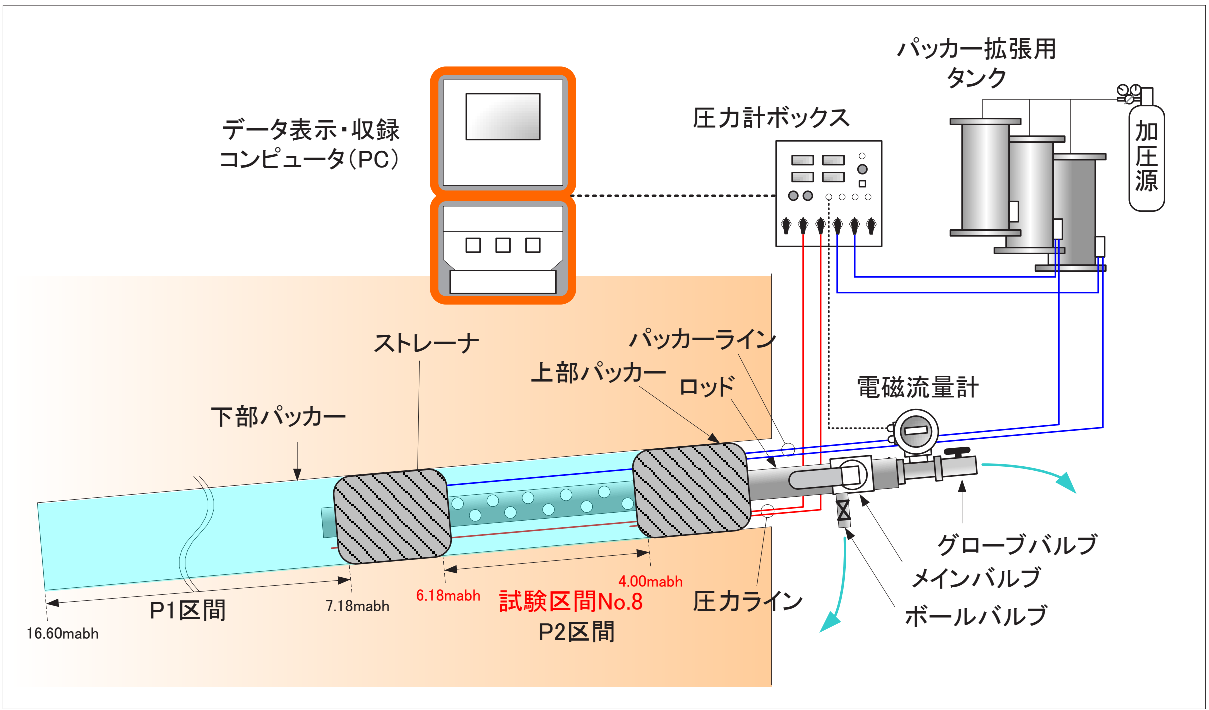


図 5.2.3-1　試験区間 No.8 装置構成

2)各区間の間隙水圧測定

図 5.2.3-2 に試験区間 No.8 の圧力変化を示す。試験区間 P2 の区間湧水量は 0.064L/min であった。間隙水圧は，区間閉塞十数分後には 3.94MPa 付近で平衡状態に達したと考えられる。また，P1 の間隙水圧は約 4.08MPa で平衡状態となった。

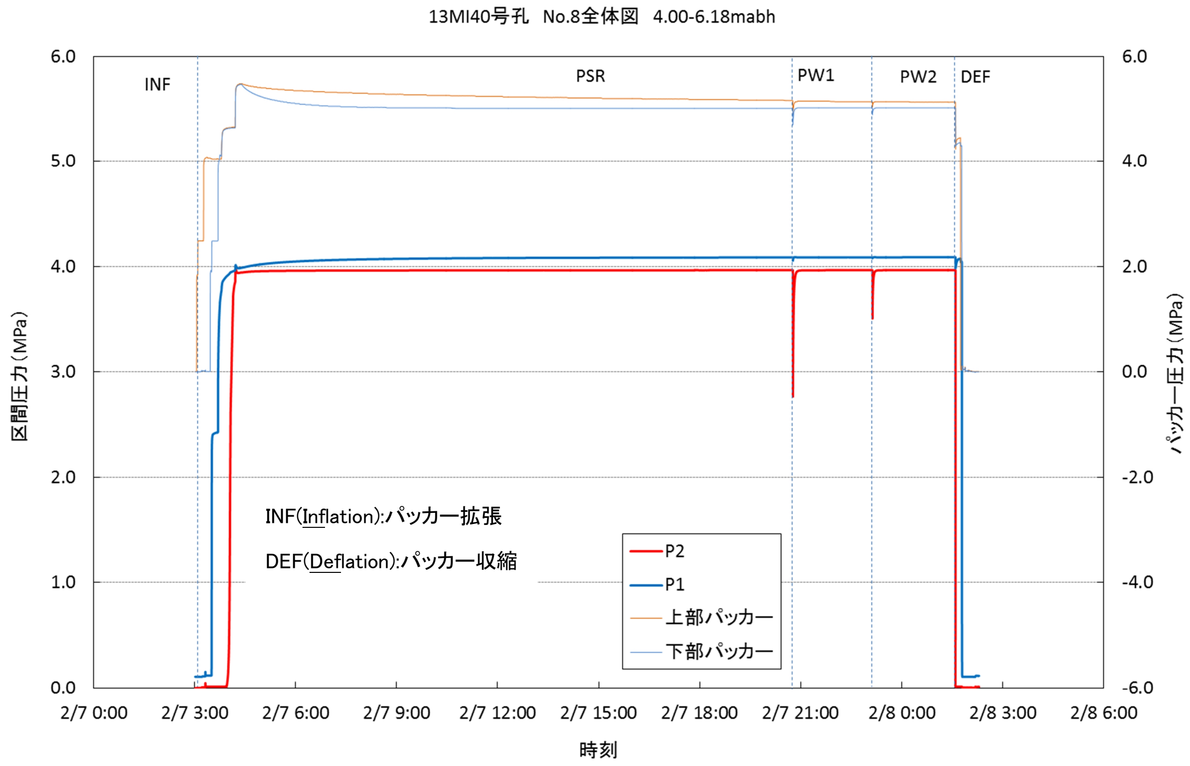


図 5.2.3-2　試験区間 No.8 の圧力変化図

3)試験結果

表 5.2.3-1 に試験区間 No.8 の結果を示す。試験区間 No.8 のパルス試験（PW）1，パルス試験（PW）2 の結果，透水係数はパルス試験（PW）1 で 1.50E-09m/s，パルス試験（PW）2 で 1.65E-09m/s であった。解析結果から，十分な間隙水圧の収束を待ったパルス試験（PW）1 の結果で，さらに貯留係数を算出できる Cooper 法 [7]を用いた結果を選定した。なお，個々の試験解析図や考察は付録 5.2.3 に示した。

パルス試験（PW）の排水量から算定した圧縮率の値はパルス試験（PW）1（1.76E-11m^3/Pa），パルス試験（PW）2（1.90E-11m^3/Pa）ともほぼ同様の値であり，表 5.2.3-1 に示す試験区間内を水＋パッカーと仮定した圧縮率（2.15E-11m^3/Pa）に近い値を示したことから，試験区間において試験結果に影響を与えるほどの気泡が生じていないことを確認した。

表 5.2.3-1 試験区間 No.8 試験結果一覧

13MI40号孔　No.8水理試験結果			
試験開始日	2014/2/7 3:00	試験終了日	2014/2/8 3:00
使用装置	揚水試験改良型　2号機	パッカー構成	ダブルパッカー
試験区間上端　(mabh)	4.00	掘削深度　(mabh)	16.60
試験区間下端　(mabh)	6.18	掘削孔半径　(m)	0.05
試験区間長　(m)	2.18	掘削傾斜角	水平下向
圧力計高さ　(底盤＋m)	0.15	ロッド半径　(m)	0.0179

試験概要					
実施試験	INF～PSR～PW1～PW2～DEF				
水＋パッカーのCompressbility (m^3/Pa)		2.15E-11	システム容積　(L)		18.70
ガス＋パッカーのCompressbility (m^3/Pa)		9.36E-09	区間湧水量　(L/min)		0.064
間隙水圧測定					
水圧記録時のイベント	PW1	PW2	DEF	備考	
試験前P1水圧 (MPa)	3.9798	3.9807	3.9812	平衡状態	
試験前P2水圧 (MPa)	3.9644	3.9647	3.9650	平衡状態	
試験前P3水圧 (MPa)	-	-	-	P3区間無し	
PW1試験結果					
試験区間のCompressibility　(m^3/Pa)		1.76E-11	PWの排水量　(L)		0.027
仮想半径Rw　(m)		3.37E-04	最大水位低下量　(m)		156.43
PW2試験結果					
試験区間のCompressibility　(m^3/Pa)		1.90E-11	PWの排水量　(L)		0.009
仮想半径Rw　(m)		3.37E-04	最大水位低下量　(m)		48.35

解析結果					
透水試験名	T (m^2/s)	k(m/s)	S (-)	Ss(1/m)	解析方法
PW1	3.28E-09	1.50E-09	4.54E-07	2.08E-07	Cooper
	2.74E-09	1.26E-09	-	-	Hvorslev
PW2	3.59E-09	1.65E-09	4.54E-07	2.08E-07	Cooper
	3.41E-09	1.57E-09	-	-	Hvorslev

(2)試験区間 No.9（15.30～16.60mabh）

本試験は，下部低密度割れ目帯の湧水を伴う割れ目を対象として実施した。

1)装置構成

図 5.2.3-3 に試験区間 No.9 の装置構成を示す。装置構成はダブルパッカー編成とした。試験区間の湧水量測定結果は 0.084L/min であったため，図 5.1.2-1 の試験手順フローに従い，パルス試験（PW）のみを 2 回実施した。そのため，パルス試験（PW）のみを行う装置編成とした。

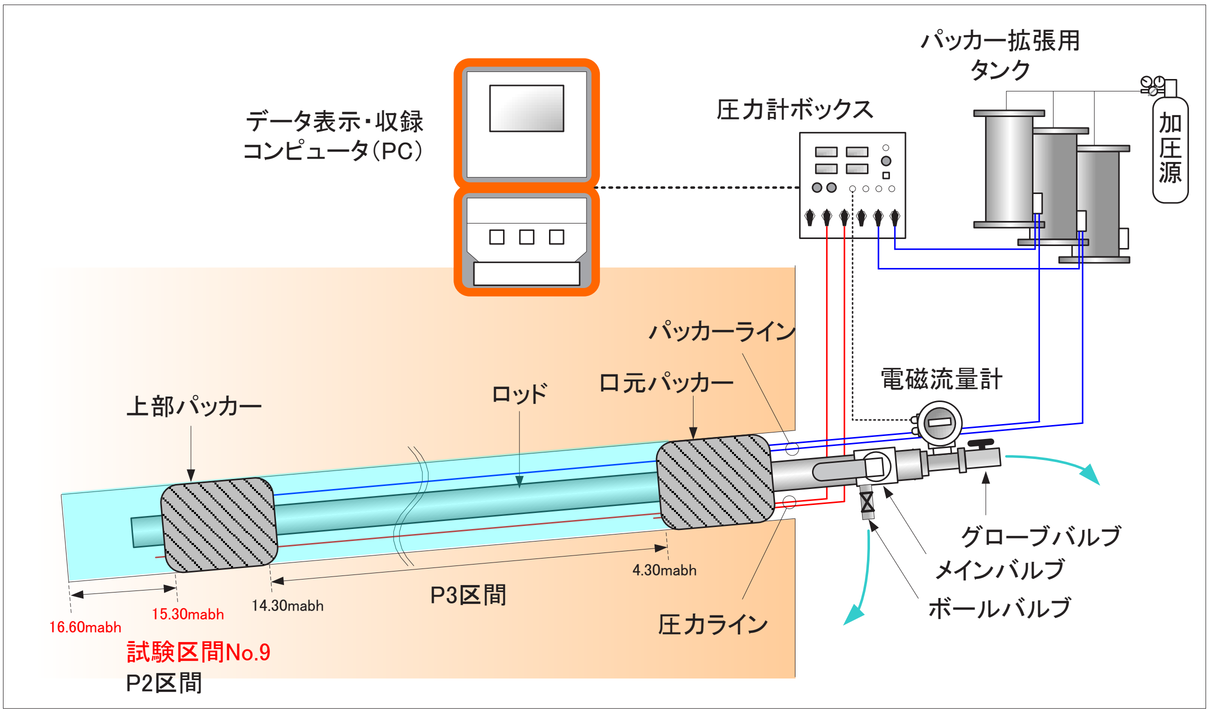


図 5.2.3-3 試験区間 No.9 装置構成

2)各区間の間隙水圧測定

図 5.2.3-4 に試験区間 No.9 の圧力変化を示す。試験区間 P2 の区間湧水量は 0.084L/min であった。間隙水圧は，区間閉塞の約 6 時間後には 3.98MPa 付近で平衡状態に達したと考えられる。また，P3 の間隙水圧は試験終了時に約 4.04MPa でほぼ平衡状態に達したと考えられる。

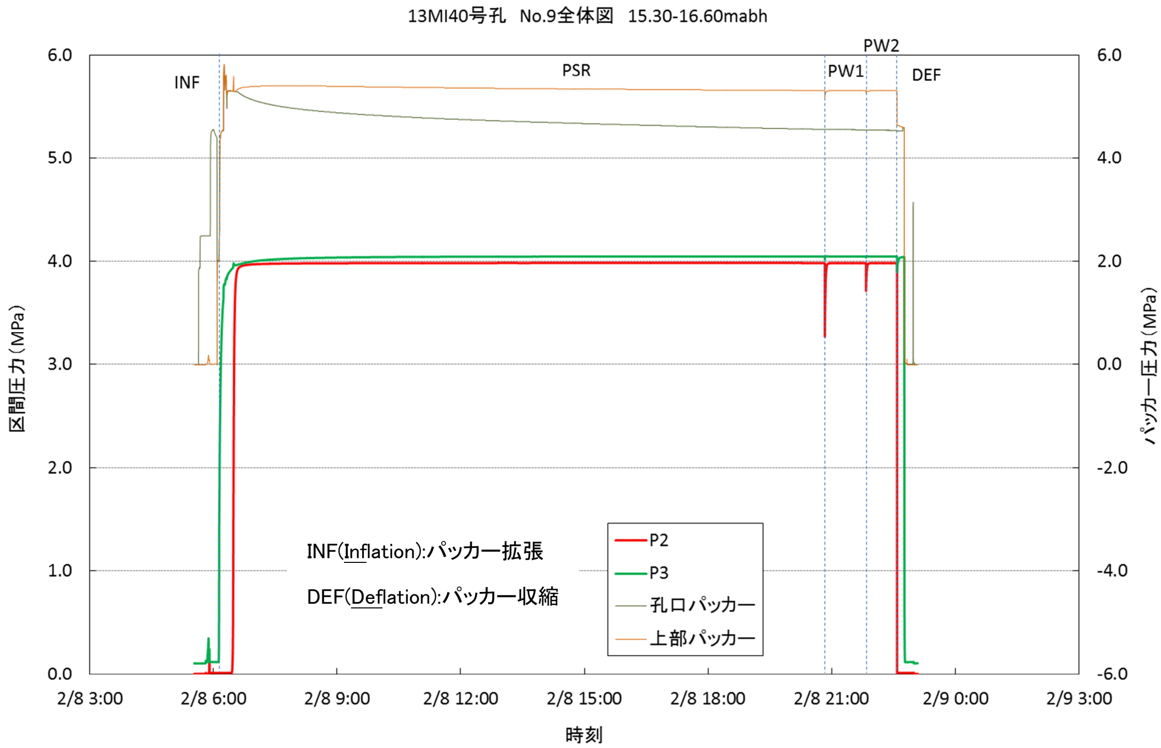


図 5.2.3-4　試験区間 No.9 の圧力変化図

3)試験結果

表 5.2.3-2 に試験区間 No.9 の結果を示す。試験区間 No.9 のパルス試験（PW）1，パルス試験（PW）2 の結果，透水係数はパルス試験（PW）1 で 6.92E-09m/s，パルス試験（PW）2 で 7.42E-09m/s であった。解析結果から，十分な間隙水圧の収束を待ったパルス試験（PW）1 の結果で，さらに貯留係数を算出できる Cooper 法 [7]を用いた結果を選定した。なお，個々の試験解析図や考察は付録 5.2.3 に示した。

パルス試験（PW）の排水量から算定した圧縮率の値はパルス試験（PW）1（2.03E-11m^3/Pa），パルス試験（PW）2（1.68E-11m^3/Pa）ともほぼ同様の値であり，表 5.2.3-2 に示す試験区間内を水＋パッカーと仮定した圧縮率（2.41E-11m^3/Pa）に近い値を示したことから，試験区間において試験結果に影響を与えるほどの気泡が生じていないことを確認した。

表 5.2.3-2 試験区間 No.9 試験結果一覧

13MI40号孔　No.9水理試験結果			
試験開始日	2014/2/8 3:00	試験終了日	2014/2/9 3:00
使用装置	揚水試験改良型　2号機	パッカー構成	シングルパッカー
試験区間上端　(mabh)	15.30	掘削深度　(mabh)	16.60
試験区間下端　(mabh)	16.60	掘削孔半径　(m)	0.05
試験区間長　(m)	1.30	掘削傾斜角	水平下向
圧力計高さ　(底盤＋m)	0.15	ロッド半径　(m)	0.0179

試験概要				
実施試験	INF～PSR～PW1～PW2～DEF			
水＋パッカーのCompressbility (m^3/Pa)	2.41E-11	システム容積　(L)	23.90	
ガス＋パッカーのCompressbility (m^3/Pa)	1.20E-08	区間湧水量　(L/min)	0.084	
間隙水圧測定				
水圧記録時のイベント	PW1	PW2	DEF	備考
試験前P1水圧 (MPa)	-	-	-	P1区間無し
試験前P2水圧 (MPa)	3.9811	3.9806	3.9810	平衡状態
試験前P3水圧 (MPa)	3.9406	3.9403	3.9407	平衡状態
PW1試験結果				
試験区間のCompressibility (m^3/Pa)	2.03E-11	PWの排水量　(L)	0.014	
仮想半径Rw　(m)	2.55E-04	最大水位低下量　(m)	70.43	
PW2試験結果				
試験区間のCompressibility (m^3/Pa)	1.68E-11	PWの排水量　(L)	0.005	
仮想半径Rw　(m)	2.55E-04	最大水位低下量　(m)	27.36	

解析結果					
透水試験名	T (m^2/s)	k(m/s)	S (-)	Ss(1/m)	解析方法
PW1	9.00E-09	6.92E-09	2.61E-15	2.01E-15	Cooper
	2.07E-09	1.59E-09	-	-	Hvorslev
PW2	9.64E-09	7.42E-09	2.61E-15	2.01E-15	Cooper
	2.16E-09	1.66E-09	-	-	Hvorslev

5.2.4 13MI41 号孔

(1)試験区間 No.10(6.50〜8.68mabh)

本試験は，下部低密度割れ目帯の湧水を伴う割れ目を対象として実施した。

1)装置構成

図 5.2.4-1 に試験区間 No.10 の装置構成を示す。装置構成はダブルパッカー編成とした。試験区間の湧水量測定結果は 0.58L/min であったため，図 5.1.2-1 の試験手順フローに従い，パルス試験（PW）のみを 3 回実施した。そのため，パルス試験（PW）のみを行う装置編成とした。なお，3 回目のパルス試験（PW）は，1 回目と 2 回目のパルス試験（PW）時の透水係数に差があったことから，再現性の確認のため実施した。

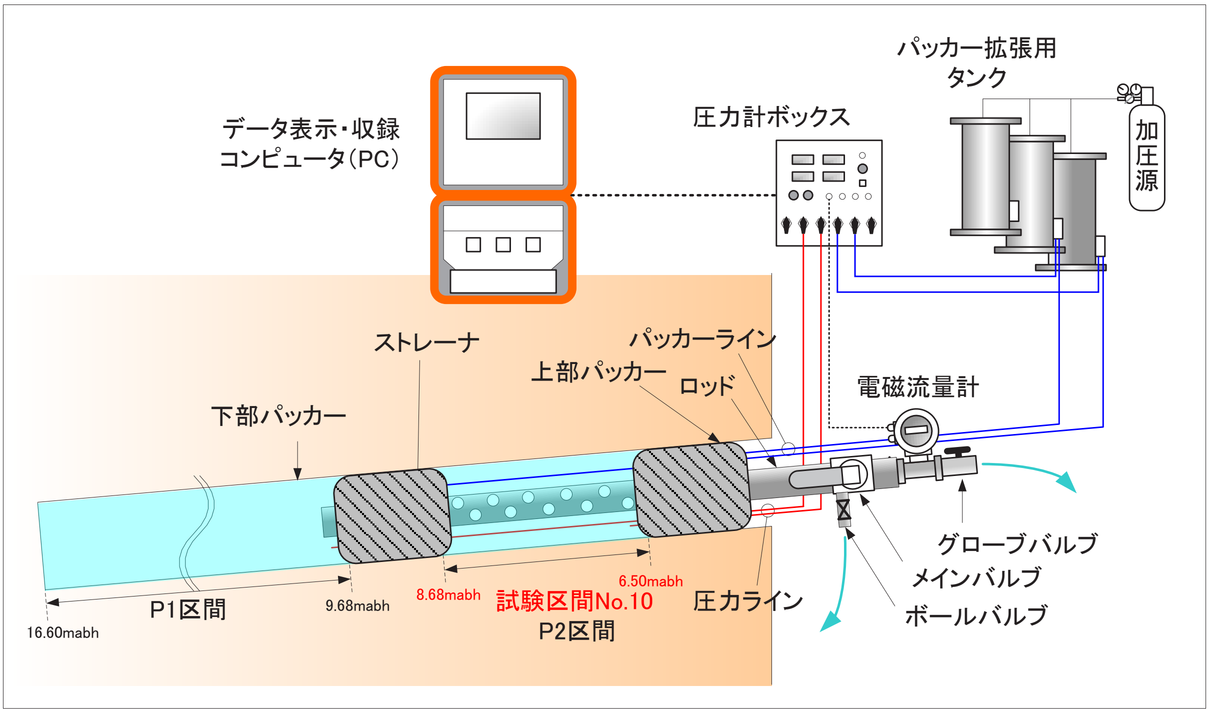


図 5.2.4-1 試験区間 No.10 装置構成

2)各区間の間隙水圧測定

図 5.2.4-2 に試験区間 No.10 の圧力変化を示す。試験区間 P2 の区間湧水量は 0.58L/min であった。間隙水圧は，区間閉塞の約 30 分後には 1.85MPa 付近で平衡状態に達したと考えられる。一方で，間隙水圧は平衡後も不規則な変化が断続的に発生した。また，P1 の間隙水圧は約 4.07MPa で平衡状態となった。

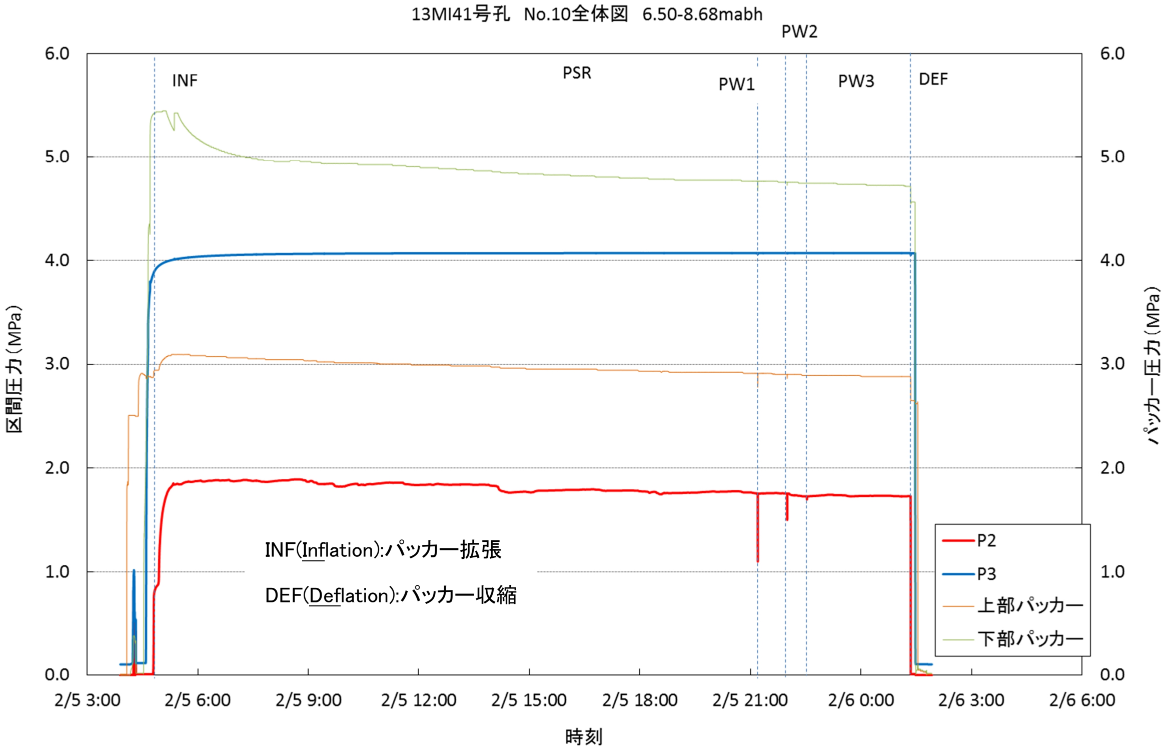


図 5.2.4-2 試験区間 No.10 の圧力変化図

3)試験結果

表 5.2.4-1 に試験区間 No.10 の結果を示す。試験区間 No.10 のパルス試験（PW）1，パルス試験（PW）2，パルス試験（PW）3 の結果，透水係数はパルス試験（PW）1 で 8.24E-08m/s，パルス試験（PW）2 で 2.79E-08m/s，パルス試験（PW）3 で 5.40E-08m/s であった。解析結果から，十分な間隙水圧の収束を待ったパルス試験（PW）1 の結果で，さらに貯留係数を算出できる Cooper 法 [7)]を用いた結果を選定した。なお，個々の試験解析図や考察は付録 5.2.4 に示した。

パルス試験（PW）の排水量から算定した圧縮率の値はパルス試験（PW）1（5.23E-11m³/Pa），パルス試験（PW）2（5.43E-11m³/Pa），パルス試験（PW）3（3.45E-11m³/Pa）それぞれが同様の値であり，表 5.2.4-1 に示す試験区間内を水＋パッカーと仮定した圧縮率（2.27E-11m³/Pa）に近い値を示したことから，試験区間において試験結果に影響を与えるほどの気泡が生じていないことを確認した。

表 5.2.4-1 試験区間 No.10 試験結果一覧

13MI41号孔　No.10水理試験結果			
試験開始日	2014/2/5 2:00	試験終了日	2014/2/6 2:00
使用装置	揚水試験改良型　2号機	パッカー構成	ダブルパッカー
試験区間上端　(mabh)	6.50	掘削深度　(mabh)	16.60
試験区間下端　(mabh)	8.68	掘削孔半径　(m)	0.05
試験区間長　(m)	2.18	掘削傾斜角	水平下向
圧力計高さ　(底盤＋m)	0.15	ロッド半径　(m)	0.0179

試験概要					
実施試験	INF～PSR～PW1～PW2～PW3～DEF				
水＋パッカーのCompressbility (m^3/Pa)		2.27E-11	システム容積　(L)		21.20
ガス＋パッカーのCompressbility (m^3/Pa)		1.06E-08	区間湧水量　(L/min)		0.58
間隙水圧測定					
水圧記録時のイベント	PW1	PW2	PW3	DEF	備考
試験前P1水圧 (MPa)	3.9642	3.9641	3.9641	3.9639	平衡状態
試験前P2水圧 (MPa)	1.7576	1.7563	1.7302	1.7305	不規則変化
試験前P3水圧 (MPa)	-	-	-	-	P3区間無し
PW1試験結果					
試験区間のCompressibility (m^3/Pa)		5.23E-11	PWの排水量　(L)		0.032
仮想半径Rw　(m)		3.37E-04	最大水位低下量　(m)		62.40
PW2試験結果					
試験区間のCompressibility (m^3/Pa)		5.43E-11	PWの排水量　(L)		0.014
仮想半径Rw　(m)		3.37E-04	最大水位低下量　(m)		26.29
PW3試験結果					
試験区間のCompressibility (m^3/Pa)		3.45E-11	PWの排水量　(L)		0.016
仮想半径Rw　(m)		3.37E-04	最大水位低下量　(m)		47.36

解析結果					
透水試験名	T (m^2/s)	k(m/s)	S (-)	Ss(1/m)	解析方法
PW1	1.80E-07	8.24E-08	4.53E-08	2.08E-08	Cooper
	1.27E-07	5.84E-08	-	-	Hvorslev
PW2	6.09E-08	2.79E-08	4.53E-05	2.08E-05	Cooper
	9.96E-08	4.57E-08	-	-	Hvorslev
PW3	解析不可				Cooper
	1.18E-07	5.40E-08	-	-	Hvorslev

(2)試験区間 No.11（15.30～16.60mabh）

本試験は，下部低密度割れ目帯の湧水を伴う割れ目を対象として実施した。

1)装置構成

図 5.2.4-3 に試験区間 No.11 の装置構成を示す。装置構成はダブルパッカー編成とした。試験区間の湧水量測定結果は 0.16L/min であったため，図 5.1.2-1 の試験手順フローに従い，パルス試験（PW）のみを 2 回実施した。そのため，パルス試験（PW）のみを行う装置編成とした。

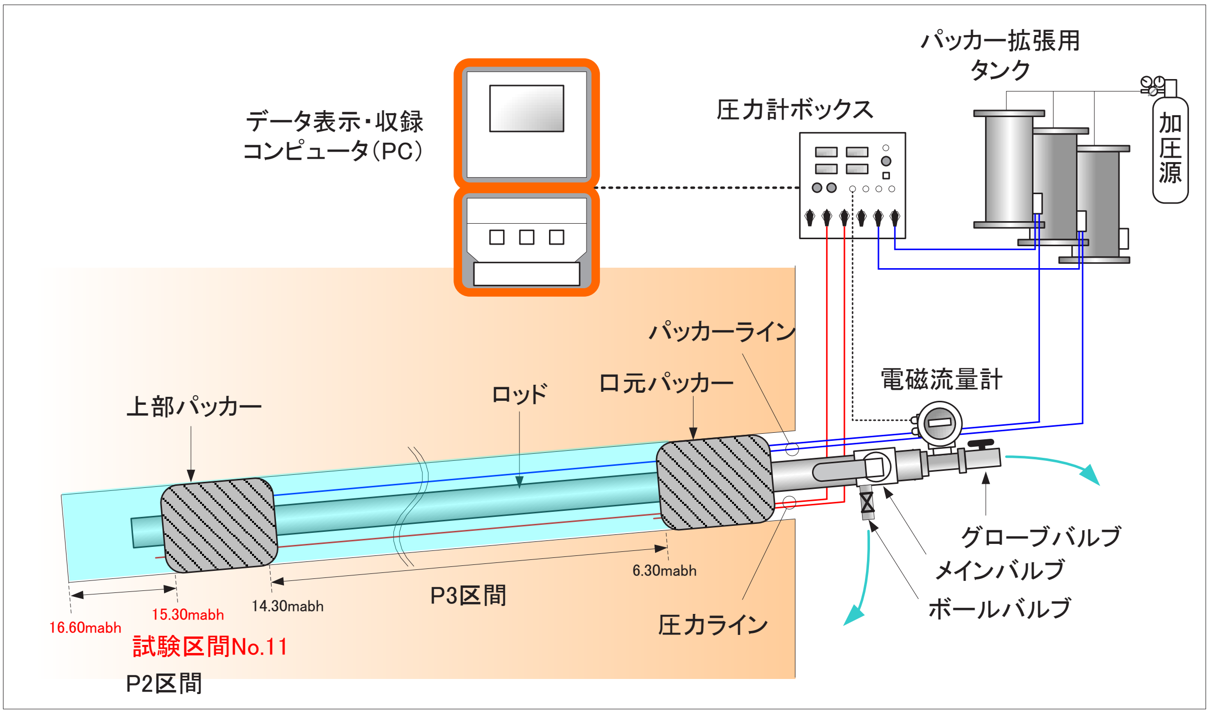


図 5.2.4-3　試験区間 No.11 装置構成

2)各区間の間隙水圧測定

図 5.2.4-4 に試験区間 No.11 の圧力変化を示す。試験区間 P2 の区間湧水量は 0.16L/min であった。間隙水圧は，区間閉塞から約 2 時間経過後に 3.99MPa 付近で平衡状態に達したと考えられる。また，P3 の間隙水圧も同様に，区間閉塞から 1～2 時間後に 1.80MPa 付近で平衡状態に到達したと考えられるが，間隙水圧の不規則な変化が断続的に発生した。

なお，本区間では PW1 試験中に 13MI38 号孔の水理試験のイベントの応答と考えられる圧力変化を観測した。圧力応答による変化は P2，P3 共に観測され，ほぼ同時刻に実施された 13MI38 号孔の試験区間 No.6（90.00～102.10mabh）の RW 試験による減圧操作の影響受けたと考えられる。

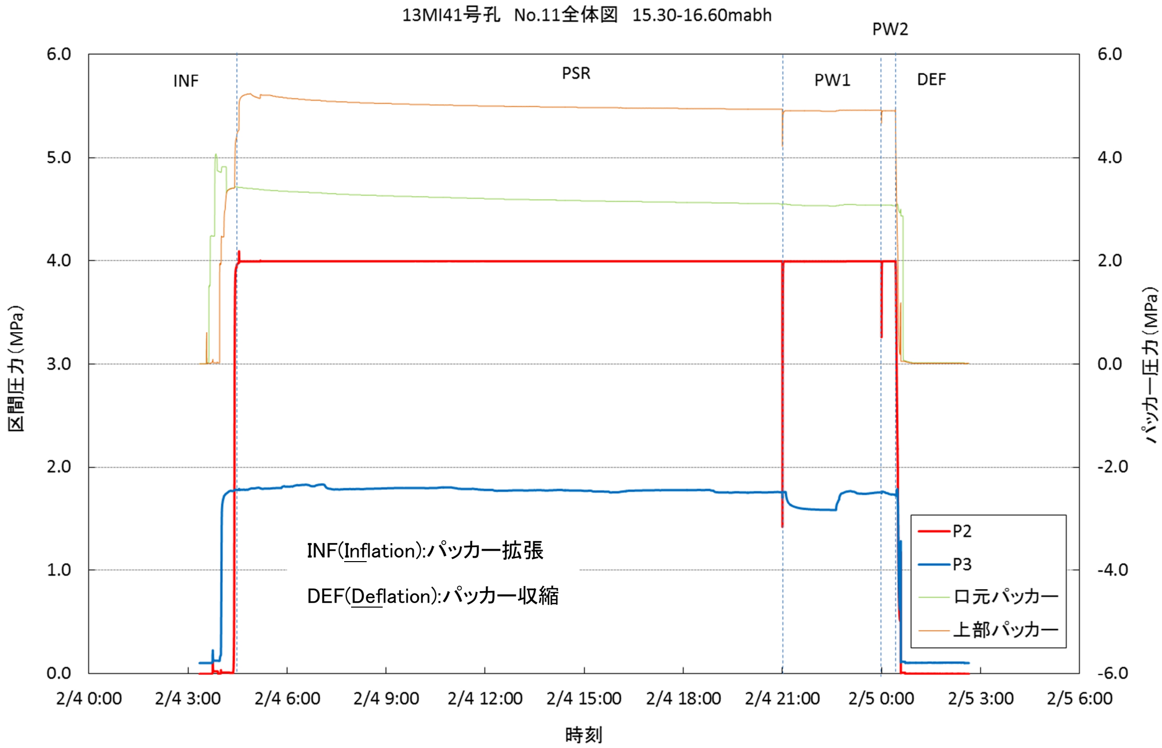


図 5.2.4-4　試験区間 No.11 の圧力変化図

3)試験結果

表 5.2.4-2 に試験区間 No.11 の結果を示す。試験区間 No.11 のパルス試験（PW）1，パルス試験（PW）2 の結果，透水係数はパルス試験（PW）1 で 1.41E-08m/s，パルス試験（PW）2 で 5.85E-09m/s であった。解析結果から，十分な間隙水圧の収束を待ったパルス試験（PW）1 の結果で，さらに貯留係数を算出できる Cooper 法 [7]を用いた結果を選定した。なお，個々の試験解析図や考察は付録 5.2.4 に示した。

パルス試験（PW）の排水量から算定した圧縮率の値はパルス試験（PW）1（1.83E-11m^3/Pa），パルス試験（PW）2（1.77E-11m^3/Pa）ともほぼ同様の値であり，表 5.2.4-2 に示す試験区間内を水＋パッカーと仮定した圧縮率（2.41E-11m^3/Pa）に近い値を示したことから，試験区間において試験結果に影響を与えるほどの気泡が生じていないことを確認した。

表 5.2.4-2 試験区間 No.11 試験結果一覧

13MI41号孔　No.11水理試験結果			
試験開始日	2014/2/4 2:30	試験終了日	2014/2/5 2:00
使用装置	揚水試験改良型　2号機	パッカー構成	シングルパッカー
試験区間上端　(mabh)	15.30	掘削深度　(mabh)	16.60
試験区間下端　(mabh)	16.60	掘削孔半径　(m)	0.05
試験区間長　(m)	1.30	掘削傾斜角	水平下向
圧力計高さ　(底盤＋m)	0.15	ロッド半径　(m)	0.0179

試験概要				
実施試験	INF～PSR～PW1～PW2～DEF			
水＋パッカーのCompressbility (m^3/Pa)		2.41E-11	システム容積　(L)	23.90
ガス＋パッカーのCompressbility (m^3/Pa)		1.20E-08	区間湧水量　(L/min)	0.16
間隙水圧測定				
水圧記録時のイベント	PW1	PW2	DEF	備考
試験前P1水圧 (MPa)	-	-	-	P1区間無し
試験前P2水圧 (MPa)	3.9920	3.9915	3.9913	平衡状態(38号孔の応答有り)
試験前P3水圧 (MPa)	1.6572	1.6579	1.6288	不規則変化(38号孔の応答有り)
PW1試験結果				
試験区間のCompressibility (m^3/Pa)		1.83E-11	PWの排水量　(L)	0.047
仮想半径Rw　(m)		2.52E-04	最大水位低下量　(m)	261.44
PW2試験結果				
試験区間のCompressibility (m^3/Pa)		1.77E-11	PWの排水量　(L)	0.013
仮想半径Rw　(m)		2.52E-04	最大水位低下量　(m)	74.84

解析結果					
透水試験名	T (m^2/s)	k(m/s)	S (-)	Ss(1/m)	解析方法
PW1	1.83E-08	1.41E-08	2.54E-15	1.95E-15	Cooper
	5.98E-09	4.60E-09	-	-	Hvorslev
PW2	解析不可				Cooper
	7.61E-09	5.85E-09	-	-	Hvorslev

5.3 代表値の選定

透水量係数は，各試験区間において，試験手法や解析方法の違いから複数の係数が得られる試験区間がある。各試験区間の結果一覧を表 5.3-1 に，表 5.3-2 に最も水理特性を反映した透水試験，解析方法等を示す。また，水理試験結果をボーリング調査結果と併記した図を図 5.3-1 から図 5.3-4 に示し，試験結果は付録資料として添付した。

表 5.3-1 水理試験結果一覧

孔名	試験No.	区間上端 (mabh)	区間下端 (mabh)	区間距離 (m)	区間湧水量 (L/min)	透水量係数 (m^2/s)	透水係数 (m/s)	貯留係数	比貯留係数 (1/m)	試験方法	解析方法
13MI38	1	6.50	10.80	4.30	25.0	–	–	–	–	PW1	Hvorslev
						1.6E-06	3.8E-07	1.8E-05	4.2E-06		Cooper
						4.9E-06	1.1E-06	7.1E-20	1.7E-20	RW	Jacob
						4.0E-05	9.2E-06	2.5E-154	5.9E-155	RWS	Agarwal
						–	–	–	–	PW2	Hvorslev
						8.5E-07	2.0E-07	8.0E-06	1.9E-06		Cooper
	2	11.00	49.80	38.80	9.5	1.5E-06	3.8E-08	–	–	PW1	Hvorslev
						–	–	–	–		Cooper
						1.1E-05	2.7E-07	7.5E-62	1.9E-63	RW	Jacob
						7.4E-06	1.9E-07	9.3E-42	2.4E-43	RWS	Agarwal
						2.0E-06	5.1E-08			PW2	Hvorslev
						1.2E-06	3.1E-08	8.0E-06	2.1E-07		Cooper
	3	50.00	59.80	9.80	0.18	–	–	–	–	PW1	Hvorslev
						1.2E-08	1.2E-09	2.7E-08	2.7E-09		Cooper
						–	–	–	–	PW2	Hvorslev
						1.3E-08	1.4E-09	2.9E-08	2.9E-09		Cooper
	4	60.00	69.80	9.80	0.01	–	–	–	–	PW1	Hvorslev
						2.3E-10	2.3E-11	2.7E-06	2.8E-07		Cooper
	5	70.00	90.30	20.30	0.02	9.6E-10	4.7E-11	–	–	PW1	Hvorslev
						6.7E-10	3.3E-11	2.5E-06	1.2E-07		Cooper
	6	90.00	102.10	12.10	22.0	2.0E-06	1.6E-07	–	–	PW1	Hvorslev
						–	–	–	–		Cooper
						3.2E-05	2.7E-06	6.1E-140	5.0E-141	RW	Jacob
						2.5E-05	2.0E-06	3.8E-106	3.2E-107	RWS	Agarwal
						2.3E-06	1.9E-07	–	–	PW2	Hvorslev
						–	–	–	–		Cooper
13MI39	7	3.20	5.38	2.18	0.39	2.3E-08	1.1E-08	–	–	PW1	Hvorslev
						1.5E-08	6.7E-09	4.5E-05	2.1E-05		Cooper
						1.4E-08	6.4E-09	–	–	PW2	Hvorslev
						5.2E-09	2.4E-09	4.5E-05	2.1E-05		Cooper
13MI40	8	4.00	6.18	2.18	0.064	2.7E-09	1.3E-09	–	–	PW1	Hvorslev
						3.3E-09	1.5E-09	4.5E-07	2.1E-07		Cooper
						3.4E-09	1.6E-09	–	–	PW2	Hvorslev
						3.6E-09	1.7E-09	4.5E-07	2.1E-07		Cooper
	9	15.30	16.60	1.30	0.084	2.1E-09	1.6E-09	–	–	PW1	Hvorslev
						9.0E-09	6.9E-09	2.6E-15	2.0E-15		Cooper
						2.2E-09	1.7E-09	–	–	PW2	Hvorslev
						9.6E-09	7.4E-09	2.6E-15	2.0E-15		Cooper
13MI41	10	6.50	8.68	2.18	0.45	1.3E-07	5.8E-08	–	–	PW1	Hvorslev
						1.8E-07	8.2E-08	4.5E-08	2.1E-08		Cooper
						1.0E-07	4.6E-08	–	–	PW2	Hvorslev
						6.1E-08	2.8E-08	4.5E-05	2.1E-05		Cooper
						1.2E-07	5.4E-08	–	–	PW3	Hvorslev
						–	–	–	–		Cooper
	11	15.30	16.60	1.30	0.16	6.0E-09	4.6E-09	–	–	PW1	Hvorslev
						1.8E-08	1.4E-08	2.5E-15	2.0E-15		Cooper
						7.6E-09	5.9E-09	–	–	PW2	Hvorslev
						–	–	–	–		Cooper

PW: Pulse withdrawal
RW: Constant rate withdrawal
RWS: Pressure recovery after RW (shut-in)
mabh: meters along borehole

表 5.3-2 水理試験結果一覧(代表値)

孔名	試験番号	孔口座標(世界測地系)			試験区間			区間長(m)	試験結果(代表値)※水理試験から得られた数値を記載のため，使用には留意				代表値算定試験イベント	代表値解析方法
		N-S (m)	E-W (m)	E.L.m	上端 (mabh)	下端 (mabh)	中点 (mabh)		透水量係数 (m^2/sec)	透水係数 (m/sec)	貯留係数	比貯留係数 (1/m)		
13MI38	No.1	−68946.8	6479.5	−297.6	6.5	10.8	8.7	4.3	4.0E−05	9.2E−06	2.5E−154	5.9E−155	RWS	Agawal
	No.2	−68946.8	6479.5	−297.6	11.0	49.8	30.4	38.8	7.4E−06	1.9E−07	9.3E−42	2.4E−43	RWS	Agawal
	No.3	−68946.8	6479.5	−297.6	50.0	59.8	54.9	9.8	1.2E−08	1.2E−09	2.7E−08	2.7E−09	PW1	Cooper
	No.4	−68946.8	6479.5	−297.6	60.0	69.8	64.9	9.8	2.3E−10	2.3E−11	2.7E−06	2.8E−07	PW1	Cooper
	No.5	−68946.8	6479.5	−297.6	70.0	90.30	80.2	20.3	6.7E−10	3.3E−11	2.5E−06	1.2E−07	PW1	Cooper
	No.6	−68946.8	6479.5	−297.6	90.0	102.1	96.1	12.1	2.5E−05	2.0E−06	3.8E−106	3.2E−107	RWS	Agawal
13MI39	No.1	−68859.8	6459.2	−305.2	3.2	5.4	4.3	2.2	1.5E−08	6.7E−09	4.5E−05	2.1E−05	PW1	Cooper
13MI40	No.1	−68859.4	6459.2	−303.1	4.0	6.2	5.1	2.2	3.3E−09	1.5E−09	4.5E−07	2.1E−07	PW1	Cooper
	No.2	−68859.4	6459.2	−303.1	15.3	16.6	16.0	1.3	9.0E−09	6.9E−09	2.6E−15	2.0E−15	PW1	Cooper
13MI41	No.1	−68860.3	6454.3	−303.1	6.5	8.7	7.6	2.2	1.8E−07	8.2E−08	4.5E−08	2.1E−08	PW1	Cooper
	No.2	−68860.3	6454.3	−303.1	15.3	16.6	16.0	1.3	1.8E−08	1.4E−08	2.5E−15	2.0E−15	PW1	Cooper

PW: Pulse withdrawal
RW: Constant rate withdrawal
RWS: Pressure recovery after RW (shut-in)
mabh: meters along borehole

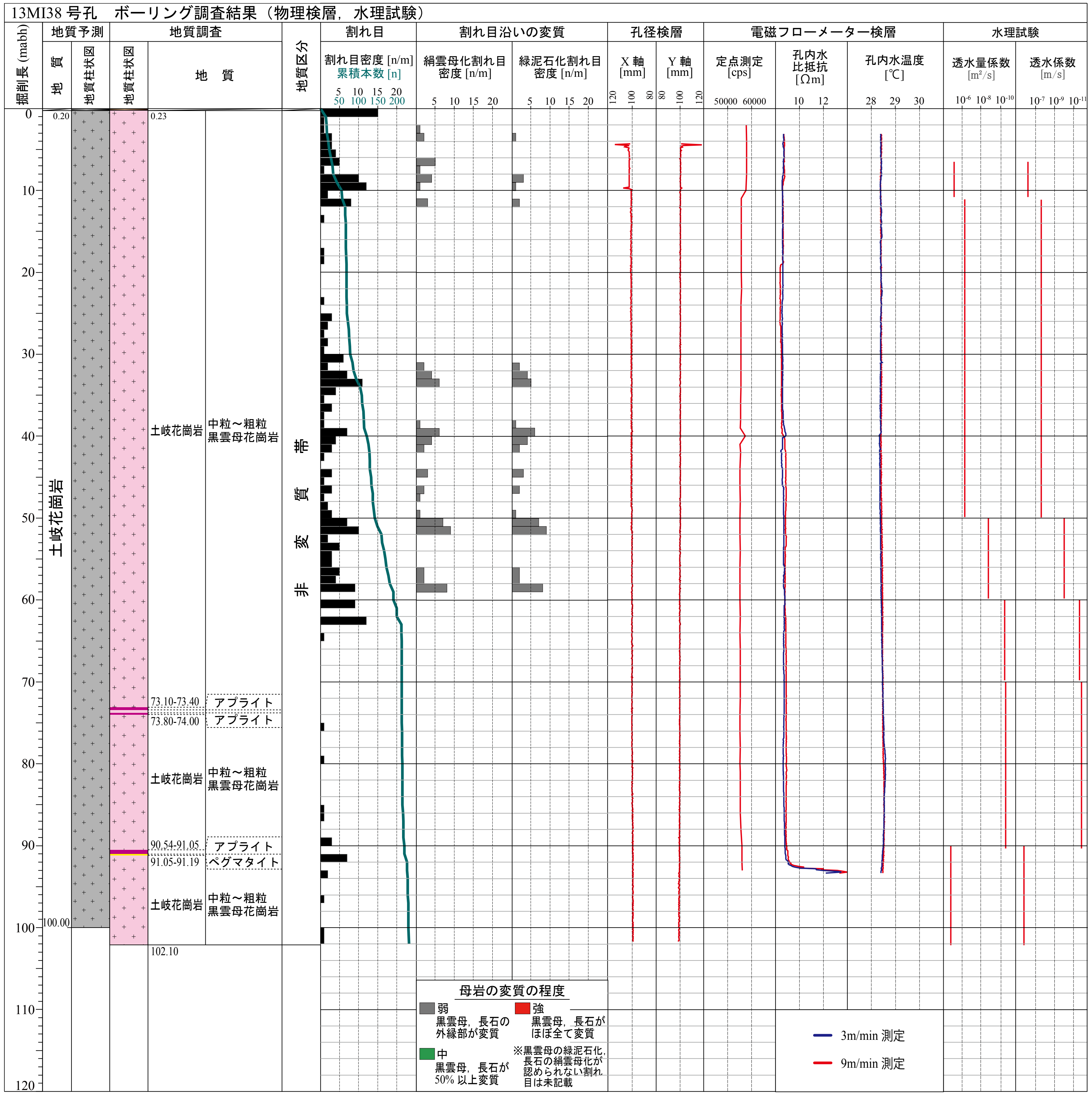


図 5.3-1　13MI38 号孔　ボーリング調査結果(コア観察、物理検層、水理試験)

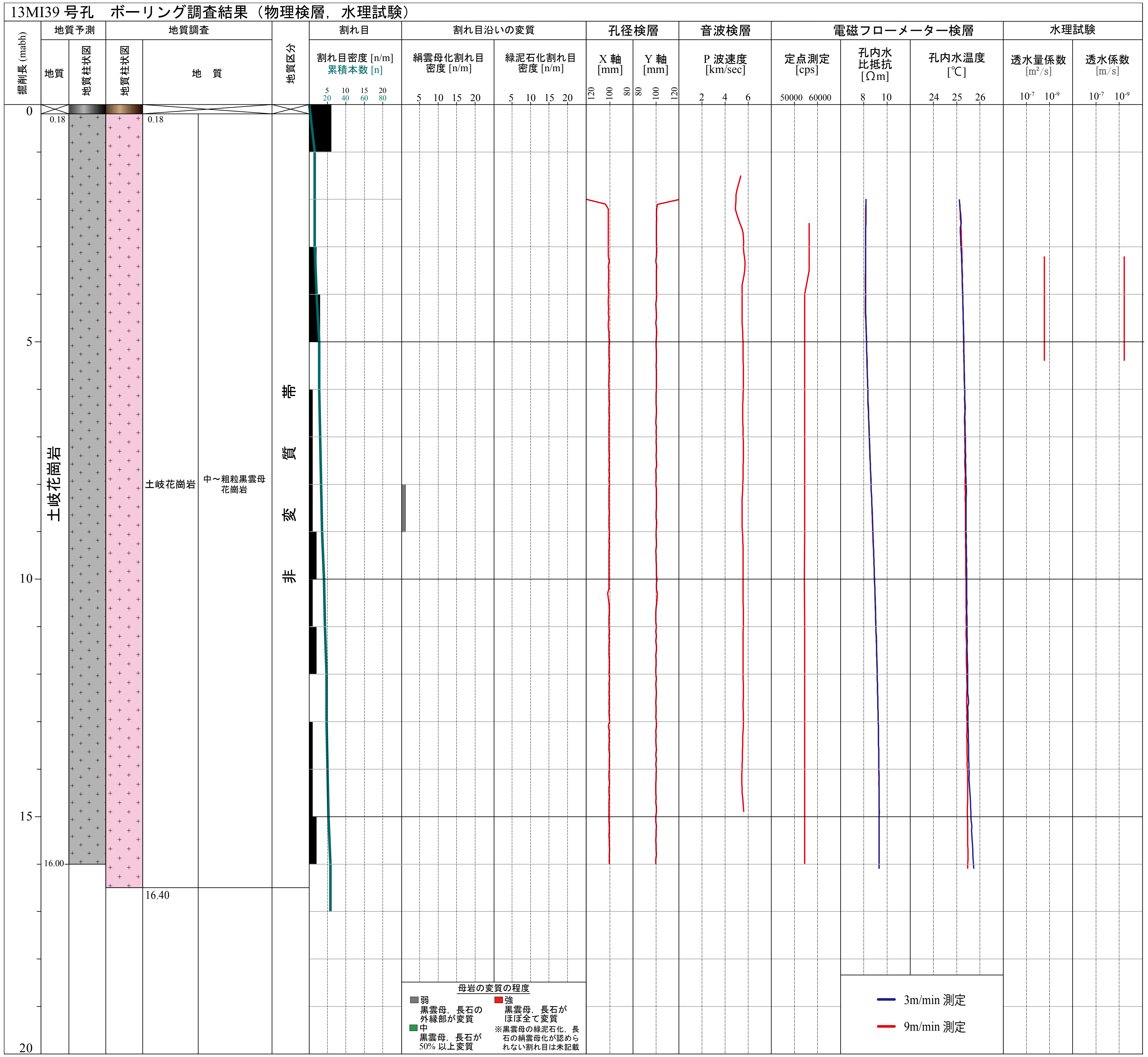


図 5.3-2　13MI39 号孔　ボーリング調査結果(コア観察、物理検層、水理試験)

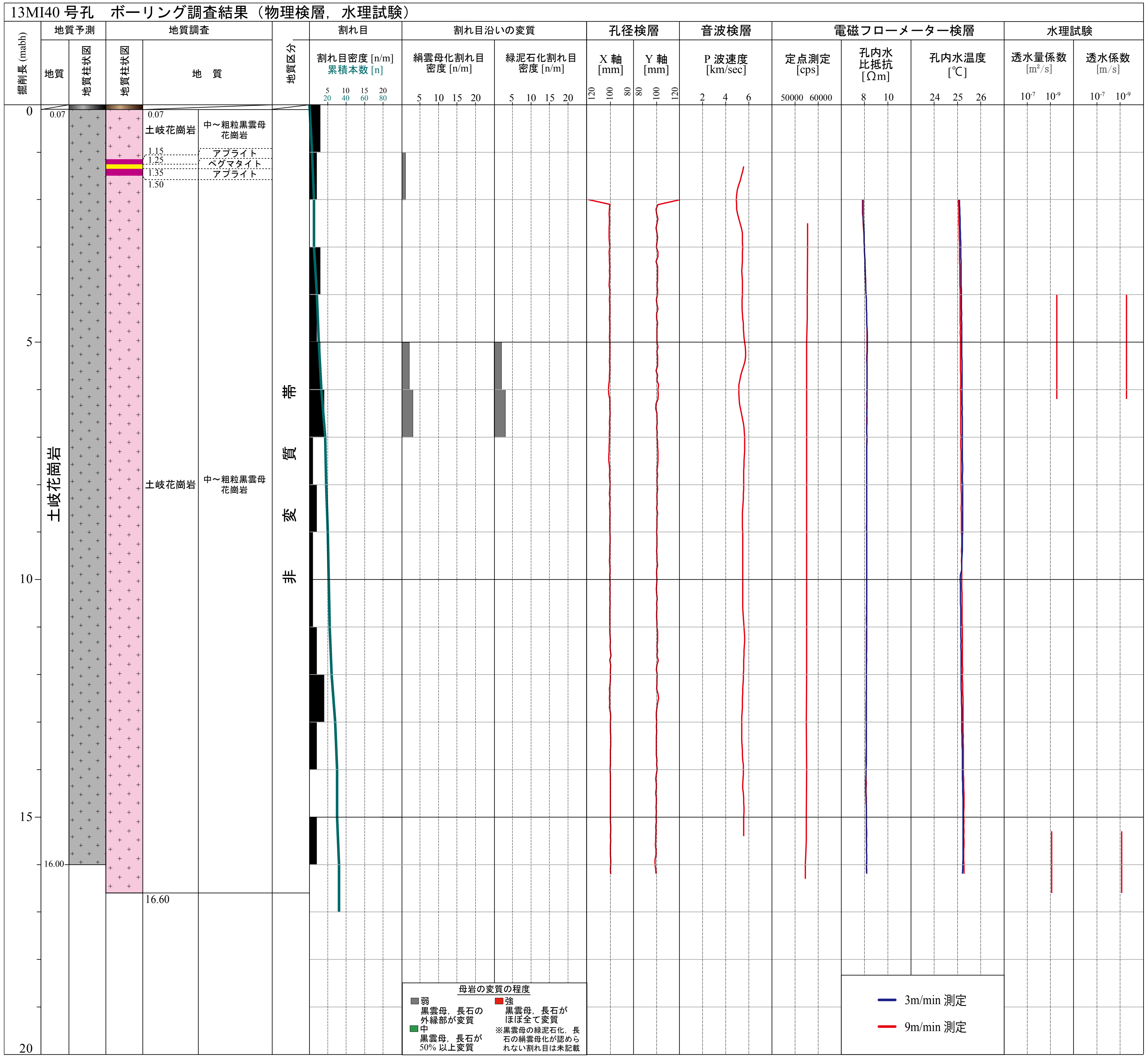


図 5.3-3　13MI40 号孔　ボーリング調査結果(コア観察、物理検層、水理試験)

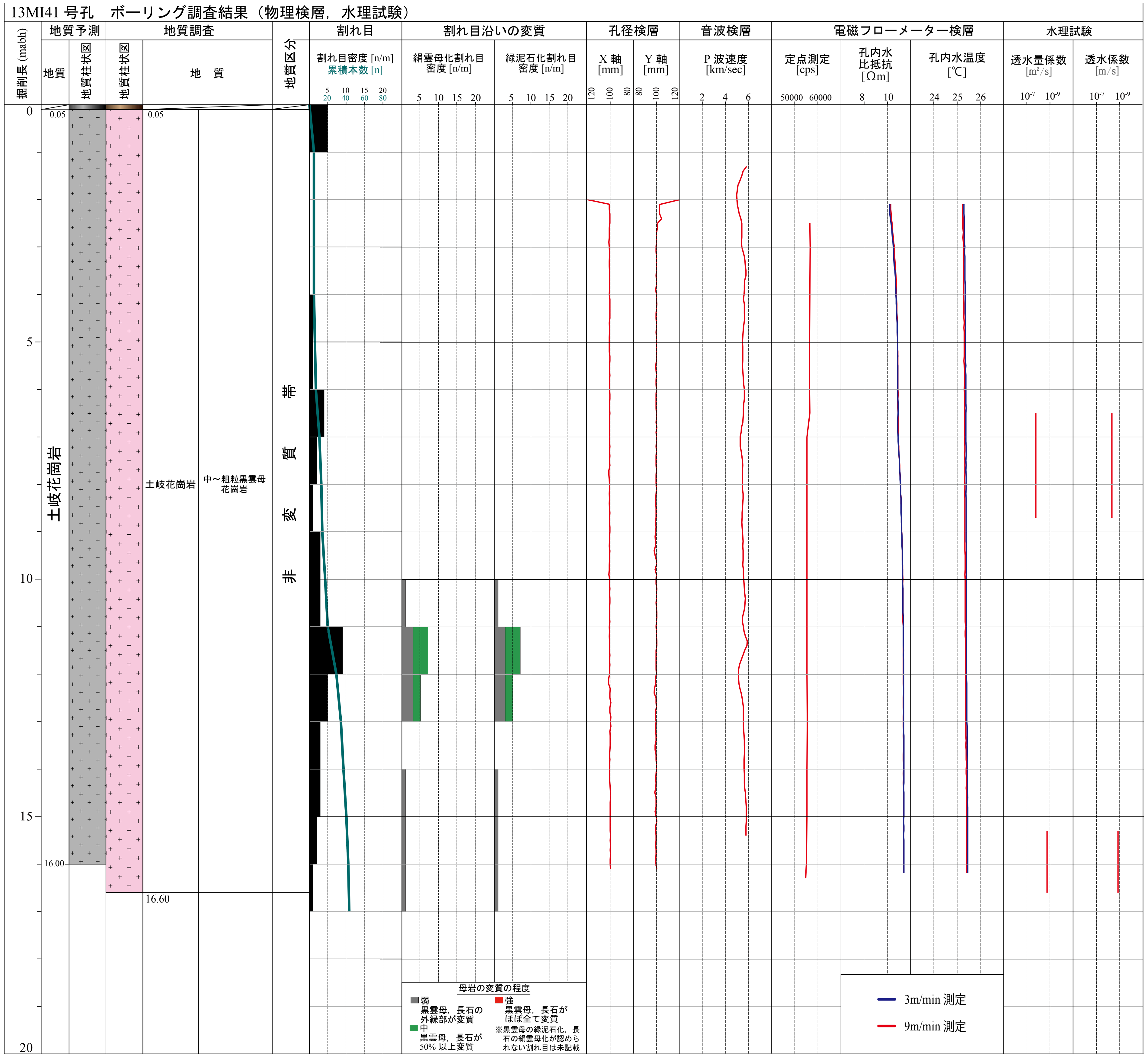


図 5.3-4　13MI41 号孔　ボーリング調査結果(コア観察、物理検層、水理試験)

6. 地下水の地球化学的調査

本調査は，水圧・水質モニタリング装置設置完了後の地下水を採水し分析を行い，深度 500m 研究アクセス北坑道の掘削後の地下水の地球化学特性を把握することを目的とする。

6.1 水圧・水質モニタリング装置の設置

深度 500m 研究アクセス北坑道先端（冠水坑道）周辺の地下水圧，水質を把握することを目的として，13MI38 号孔，13MI39 号孔，13MI40 号孔，13MI41 号孔に水圧・水質モニタリング装置を設置した。孔内部装置は掘削時の状況，コア観察結果，各種物理検層結果，水理試験結果を踏まえて作成したレイアウト計画（表 6.1-1～表 6.1-4）に従って設置した。

① 装置設置孔：13MI38 号孔
観測区間　：6 区間
観測項目　：間隙水圧，パッカー拡張圧力，水質分析，地下水採水
（被圧採水および不圧採水），および地下水循環機能

② 装置設置孔：13MI39 号孔・13MI40 号孔・13MI41 号孔
観測区間　：各観測孔あたり 4 区間
観測項目　：間隙水圧，パッカー拡張圧力，水質分析，地下水採水
（被圧採水および不圧採水），および地下水循環機能

各孔の水圧・水質モニタリング装置の概要を図 6.1-1，図 6.1-2 に，水圧・水質モニタリング装置の構成を表 6.1-5，表 6.1-6 に示す。

表 6.1-1 水圧・水質モニタリング装置のレイアウト計画(13MI38 号孔)

パーツNo.	部品名	単体長 (m)	挿入長 (mabh)	閉鎖区間 (mabh)	区間圧力・採水 ポート位置(mabh)	注水ポート位置 (mabh)	全長(m)
1	ヘッドブロック	0.195	101.415	102.100	101.36		0.195
2	ケーシングロッド-1	2.500	101.220				2.695
3	ケーシングロッド-2	2.500	98.720				5.195
4	ケーシングロッド-3	2.500	96.220				7.695
5	ケーシングロッド-4	2.500	93.720				10.195
6	パッカーマンドレル-1	2.200	91.220	90.405 89.455	89.265	90.975	12.395
7	ケーシングロッド-5	0.500	89.020				12.895
8	ケーシングロッド-6	2.500	88.520				15.395
9	ケーシングロッド-7	2.500	86.020				17.895
10	ケーシングロッド-8	2.500	83.520				20.395
11	ケーシングロッド-9	2.500	81.020				22.895
12	ケーシングロッド-10	2.500	78.520				25.395
13	ケーシングロッド-11	2.500	76.020				27.895
14	ケーシングロッド-12	2.500	73.520				30.395
15	パッカーマンドレル-2	2.200	71.020	70.205 69.255	69.065	70.775	32.595
16	ケーシングロッド-13	0.500	68.820				33.095
17	ケーシングロッド-14	2.500	68.320				35.595
18	ケーシングロッド-15	2.500	65.820				38.095
19	ケーシングロッド-16	2.500	63.320				40.595
20	パッカーマンドレル-3	2.200	60.820	60.005 59.055	58.865	60.575	42.795
21	ケーシングロッド-17	2.500	58.620				45.295
22	ケーシングロッド-18	2.500	56.120				47.795
23	ケーシングロッド-19	2.500	53.620				50.295
24	パッカーマンドレル-4	2.200	51.120	50.305 49.355	49.165	50.875	52.495
25	ケーシングロッド-20	0.500	48.920				52.995
26	ケーシングロッド-22	2.500	48.420				55.495
27	ケーシングロッド-23	2.500	45.920				57.995
28	ケーシングロッド-24	2.500	43.420				60.495
29	ケーシングロッド-25	2.500	40.920				62.995
30	パッカーマンドレル-5	2.200	38.420	37.605 36.655	36.465	38.175	65.195
31	ケーシングロッド-26	2.500	36.220				67.695
32	ケーシングロッド-27	2.500	33.720				70.195
33	ケーシングロッド-28	2.500	31.220				72.695
34	ケーシングロッド-29	2.500	28.720				75.195
35	ケーシングロッド-30	2.500	26.220				77.695
36	ケーシングロッド-31	2.500	23.720				80.195
37	ケーシングロッド-32	2.500	21.220				82.695
38	ケーシングロッド-33	2.500	18.720				85.195
39	ケーシングロッド-34	2.500	16.220				87.695
40	ケーシングロッド-35	2.500	13.720				90.195
41	ケーシングロッド-36	2.500	11.220				92.695
42	ケーシングロッド-37	1.000	8.720				93.695
43	パッカーマンドレル-6	2.200	7.720	6.905 5.955	–	7.475	95.895
44	パッカージョイントブロックb	0.050	5.520				95.945
45	パッカージョイントブロックa	0.170	5.470				96.115
46	ケーシングロッド-38	1.000	5.300				97.115
47	ケーシングロッド-39	2.500	4.300				99.615
48	ケーシングロッド-40	2.500	1.800				102.115
49	孔口マニホールド立ち上げ	0.700	-0.700				–
50	孔口マニホールド	0.318	–				–
51	孔口フランジ	0.318	–	–		–	102.433

注1 基準面は壁面とする。
注2 パッカー有効長＝0.95m（拡張時のスライド幅を0.05mとする）

表 6.1- 2　水圧・水質モニタリング装置のレイアウト計画(13MI39 号孔)

パーツNo.	部品名	単体長 (m)	挿入長 (mabh)	閉鎖区間 (mabh)	区間圧力・採水 ポート位置(mabh)	注水ポート位置 (mabh)	全長(m)
1	ヘッドブロック	0.195	15.205	16.200	15.15		0.195
2	ケーシングロッド-1	1.000	15.010				1.195
3	ケーシングロッド-2	1.000	14.010				2.195
4	パッカーマンドレル-1	2.200	13.010	12.195 11.245	11.055	12.765	4.395
5	ケーシングロッド-3	0.500	10.810				4.895
6	ケーシングロッド-4	1.000	10.310				5.895
7	ケーシングロッド-5	1.000	9.310				6.895
8	ケーシングロッド-6	1.000	8.310				7.895
9	パッカーマンドレル-2	2.200	7.310	6.495 5.545	5.355	7.065	10.095
10	ケーシングロッド-7	1.000	5.110				11.095
11	パッカーマンドレル-3	2.200	4.110	3.295 2.345	2.155	3.865	13.295
12	ケーシングロッド-8	1.000	1.910				14.295
13	ケーシングロッド-9	1.000	0.910				15.295
14	ケーシングロッド-10	1.000	-0.090				16.295
15	孔口マニホールド立ち上げ	1.090	-1.090				-
16	孔口マニホールド	0.298	-				-
17	孔口フランジ	0.298	-	-1.388		-1.388	16.593

注1　基準面は壁面とする。
注2　パッカー有効長＝0.95m (拡張時のスライド幅を0.05mとする)

表 6.1- 3　水圧・水質モニタリング装置のレイアウト計画(13MI40 号孔)

パーツNo.	部品名	単体長 (m)	挿入長 (mabh)	閉鎖区間 (mabh)	区間圧力・採水 ポート位置(mabh)	注水ポート位置 (mabh)	全長(m)
1	ヘッドブロック	0.195	15.795	16.300	15.74		0.195
2	ケーシングロッド-1	0.500	15.600				0.695
3	パッカーマンドレル-1	2.200	15.100	14.285 13.335	13.145	14.855	2.895
4	ケーシングロッド-2	1.000	12.900				3.895
5	ケーシングロッド-3	2.500	11.900				6.395
6	ケーシングロッド-4	2.500	9.400				8.895
7	パッカーマンドレル-2	2.200	6.900	6.085 5.135	4.945	6.655	11.095
8	ケーシングロッド-5	0.500	4.700				11.595
9	パッカーマンドレル-3	2.200	4.200	3.385 2.435	2.245	3.955	13.795
10	ケーシングロッド-6	2.500	2.000				16.295
11	孔口マニホールド立ち上げ	0.500	-0.500				-
12	孔口マニホールド	0.298	-				-
13	孔口フランジ	0.298	-	-0.798		-0.798	16.593

注1　基準面は壁面とする。
注2　パッカー有効長＝0.95m (拡張時のスライド幅を0.05mとする)

表 6.1-4 水圧・水質モニタリング装置のレイアウト計画(13MI41 号孔)

パーツNo.	部品名	単体長 (m)	挿入長 (mabh)	閉鎖区間 (mabh)	区間圧力・採水ポート位置(mabh)	注水ポート位置 (mabh)	全長(m)
1	ヘッドブロック	0.195	15.795	16.300	15.74		0.195
				14.785		15.355	
2	パッカーマンドレル-1	2.200	15.600				2.395
				13.835	13.645		
3	ケーシングロッド-1	2.500	13.400				4.895
				10.085		10.655	
4	パッカーマンドレル-2	2.200	10.900				7.095
				9.135	8.945		
5	ケーシングロッド-2	0.500	8.700				7.595
6	ケーシングロッド-3	1.000	8.200				8.595
				6.385		6.955	
7	パッカーマンドレル-3	2.200	7.200				10.795
				5.435	5.245		
8	ケーシングロッド-4	0.500	5.000				11.295
9	ケーシングロッド-5	2.500	4.500				13.795
10	ケーシングロッド-6	2.500	2.000				16.295
11	孔口マニホールド立ち上げ	0.500	-0.500				−
12	孔口マニホールド	0.298	−				−
13	孔口フランジ	0.298	−	-0.798		-0.798	16.593

注1 基準面は壁面とする。
注2 パッカー有効長＝0.95m (拡張時のスライド幅を0.05mとする)

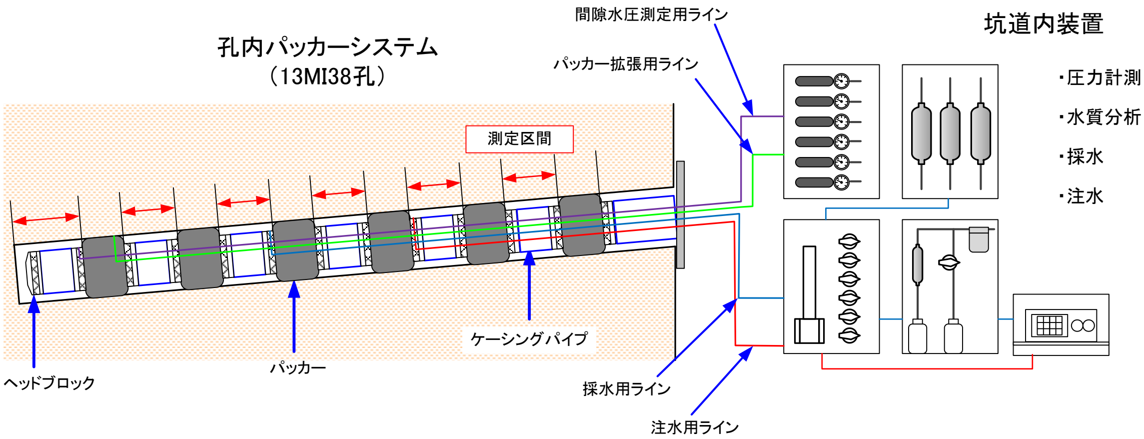


図 6.1-1 水圧・水質モニタリング装置 概要図(13MI38 号孔)

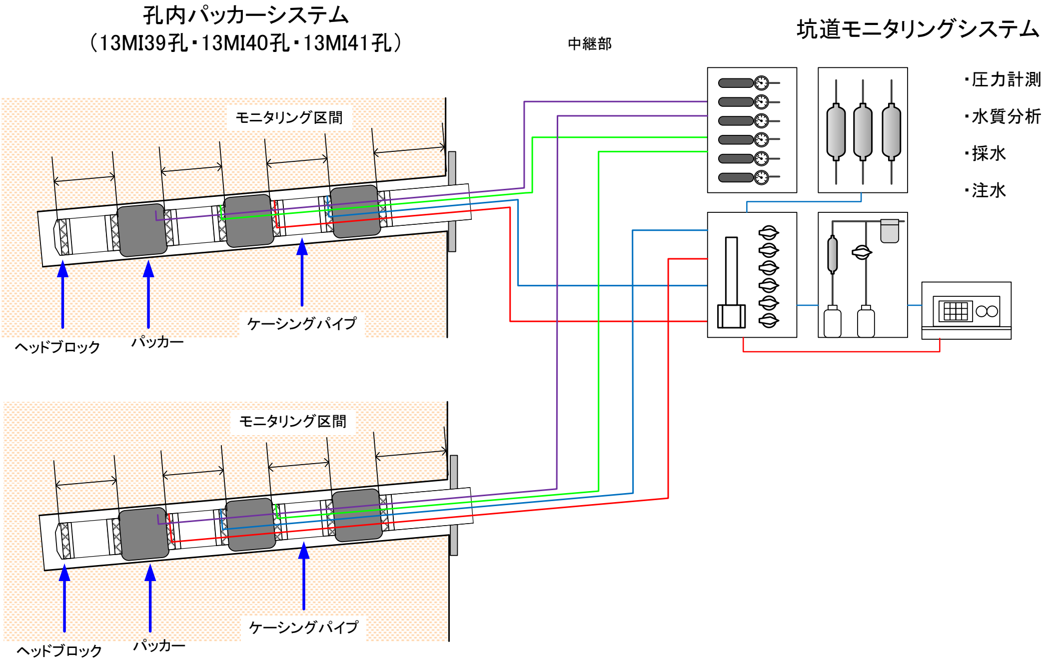


図 6.1-2　水圧・水質モニタリング装置　概要図（13MI39・40・41 号孔）

表 6.1-5　水圧・水質モニタリング装置の構成（13MI38 号孔）

項目	仕様等
対象ボーリング孔	孔長：約100m 孔径：φ 100mm 数量：1孔
最大使用環境圧力	5 MPa
モニタリング区間最小調整長さ	50 cm
孔内パッカーシステム部外径	φ 90mm
最大パッカー連装数	6連装
最大モニタリング区間数	6区間 （孔口マニホールドで閉塞される区間を除く）
パッカー最大遮水差圧	10 MPa
パッカー拡張・収縮	個別拡張・収縮
パッカー拡張方式	水圧式

表 6.1-6 水圧・水質モニタリング装置の構成（13MI39・13MI40・13MI41 号孔）

項目	仕様等
対象ボーリング孔	孔長：約15m 孔径：φ 100mm 数量：3孔
最大使用環境圧力	5 MPa
モニタリング区間最小調整長さ	50 cm
孔内パッカーシステム部外径	φ 90mm
最大パッカー連装数	3連装
最大モニタリング区間数	4区間 （孔口マニホールドで閉塞される区間を含む）
パッカー最大遮水差圧	10 MPa
パッカー拡張・収縮	個別拡張・収縮
パッカー拡張方式	水圧式

6.2 中継用配管の設置

13MI39 号孔・13MI40 号孔・13MI41 号孔は冠水坑道内に掘削された。一方で測定データを記録するモニタリング部は深度 500m 研究アクセス北坑道 57m ボーリング東横坑に設置する必要があり，孔内観測部とモニタリング部の間を中継用配管で接続した。

中継用配管にはナイロンチューブを使用し，配管保護のため FEP 管（波型硬質ポリエチレン管）で覆い，深度 500m 冠水坑道壁面に取り付けた。止水壁設置予定部については，その前後にバルブを取付け，止水壁設置時に装置内部のパッカー拡張圧および間隙水圧を保持して中継用配管を切断できるようにした。また，バルブ間の配管には約 20m の余長を設けた。

中継用配管には上記の孔内装置用の配管の他に，冠水坑道内の地下水向けの計測用配管（間隙水圧計測用 4 本および採水用 4 本）も同時に設置した。 これらについては 13MI40 号孔の孔口付近に，設置余長を設けて壁面に仮固定し，先端部にフィルターを取り付けた。

6.3 パッカーの拡張

パッカー拡張圧力は 5MPa を基準として，ブルドン管式圧力計で確認した。

6.4 地下水の採水・分析

6.4.1 地下水の採水・分析方法

水圧・水質モニタリング装置設置完了後に地下水の採水を行った。13MI38 号孔では 6 区間，13MI39 号孔，13MI40 号孔，13MI41 号孔では各 4 区間の採水を行った。採水区間の概要を表 6.4.1-1 に示す。採水した地下水は電極法により pH，電気伝導度（EC），温度，溶存酸素濃度（DO），酸化還元電位（Eh）を測定するとともに，化学分析を行った。

表 6.4.1-1 地下水採水の概要

	観測区間	試験深度(mabh)	試料採取日時
13MI38	1	90.41～102.10	2014/3/7 9:12
	2	70.21～89.46	2014/3/7 13:43
	3	60.01～69.26	2014/3/8 8:25
	4	50.31～59.06	2014/3/8 9:01
	5	37.61～49.36	2014/3/8 9:03
	6	5.41～36.66	2014/3/8 9:16
13MI39	1	12.20～16.20	2014/3/5 9:28
	2	6.50～11.25	2014/3/5 16:56
	3	3.30～5.55	2014/3/5 17:07
	4	0.00～2.35	2014/3/6 9:50
13MI40	1	14.29～16.30	2014/3/4 11:14
	2	6.09～13.34	2014/3/4 15:45
	3	3.39～5.14	2014/3/4 16:57
	4	0.00～2.44	2014/3/5 13:57
13MI41	1	14.79～16.30	2014/3/5 14:10
	2	10.09～13.84	2014/3/6 9:01
	3	6.39～9.14	2014/3/6 9:19
	4	0.00～5.44	2014/3/6 9:45

地下水の分析は以下の方法で行った。

(1) ウラニン，アミノ G 酸，ナフチオン酸ナトリウム

ウラニンについては，試料 9mL に対して，0.05mol/L 四ほう酸ナトリウム溶液 1mL を加えて試料液とした。アミノ G 酸，ナフチオン酸ナトリウムについては，四ほう酸ナトリウム溶液を加えず到着した試料を試料液とした。試料液については，蛍光分光光度計（株式会社日立製作所製 F-3000 型）を使って各励起波長および検出波長で蛍光強度を測定した。あらかじめ段階的に希釈した標準試料を用いて検量線を作成し，作成した検量線より濃度を算出した。

(2) Na^+, K^+, NH_4^+, Ca^{2+}

試料をメンブランフィルター（0.45μm）でろ過し，ろ過液を試料液とした。試料液をイオンクロマトグラフ（ダイオネクス社製 イオンクロマトグラフ ICS-1000）に導入し測定した。あらかじめ段階的に希釈した標準試料を用いて検量線を作成し，作成した検量線より濃度を算出した。

(3) Mn, Total-Fe, Si, Al, B, Mg

試料を硝酸で pH2 以下に調整し，メンブランフィルター（0.45μm）でろ過し，ろ過液を試料液とした。ICP 発光分光分析装置（リガク製 CIROS-MarkⅡ）に試料液を導入して測定した。あらかじめ段階的に希釈した標準試料を用いて検量線を作成し，作成した検量線から濃度を算出した。

(4) Fe^{2+}

試料をメンブランフィルター（0.45μm）でろ過し，ろ過液を試料液とした。試料液（Fe^{2+}として 0.01～0.05mg を含む量，最大で 40mL）を取り，体積比で塩酸 1 に対して超純水 1 の割合で調整した塩酸（1+1）1mL を加えた。1,10-フェナントロリン溶液（1.3g/L）2.5mL と酢酸アンモニウム溶液（500g/L）5mL を加えた後，50mL に定容し，20 分間放置した。この溶液の一部を 10mm 吸収セルに移し，波長 510nm の吸光度を紫外可視分光光度計（島津製作所製 UVmini-1240 型）で測定した。あらかじめ段階的に希釈した標準試料を用いて検量線を作成し，作成した検量線から濃度を算出した。

(5) F^-, Cl^-, Br^-, NO_3^-, NO_2^-, SO_4^{2-}, I^-, PO_4^{3-}

試料をメンブランフィルター（0.45μm）でろ過し，ろ過液を試料液とした。試料液をイオンクロマトグラフ（ダイオネクス社製 イオンクロマトグラフ ICS-1000）に導入して測定した。あらかじめ段階的に希釈した標準試料を用いて検量線を作成し，作成した検量線より算出した。

(6) S^{2-}

試料をメンブランフィルター（0.45μm）でろ過し，ろ過液を水酸化ナトリウム水溶液で pH12 にして固定し，試料液とした。試料液（S^{2-}として 0.005～0.4mg を含む量）を取り，溶存酸素を含まない水を加えて 40ml とした後，体積比で硫酸 1 に対して超純水 1 の割合で調整した硫酸（1+1）1mL を加え，さらに溶存酸素を含まない水で 50mL に定容した。N,N'-ジメチル-p-フェニレンジアンモニウム溶液 0.5mL を加えて振り混ぜた後，塩化鉄（Ⅲ）溶液 1mL を加え，再び振り混ぜ，1 分間放置し，りん酸水素二アンモニウム溶液 1.5mL を加えて振り混ぜ，5 分間放置した。この溶液の一部を吸収セルに移し，波長 670nm の吸光度を紫外可視分光光度計（島津製作所製 UVmini-1240 型）で測定した。あらかじめ段階的に希釈した標準試料を用いて検量線を作成し，作成した検量線から濃度を算出した。

(7) 全炭素，溶存無機炭素，溶存有機炭素

全炭素と溶存無機炭素については試料をよく振り混ぜて均一にし，メンブランフィルター（0.45μm）でろ過し，ろ過液を試料液とした。試料液を TOC 測定装置（Analytikjena 社製 multi N/C 2100S 型全自動液体 TOC 測定装置）へ導入し，あらかじめ段階的に希釈した標準試料を用いて検量線を作成し，作成した検量線より全炭素濃度，溶存無機炭素濃度を算出した。溶存有機炭素については，試料に酸溶液を加えて pH2 以下に調整し，酸素ガスを通気して無機炭酸を除去した溶液を試料液とし，あらかじめ段階的に希釈した標準試料を用いて検量線を作成し，作成した検量線により溶存有機炭素を算出した。

(8) アルカリ度

試料 20～100mL をビーカーに分取し，ブロモクレゾールグリーン-メチルレッド溶液を指示薬として 3～5 滴加えた。マグネチックスターラーでゆっくり撹拌しながら，0.01mol/L 硫酸で溶液の色が青から灰紫（pH4.8）に達するまで滴定した。これに要した 0.01mol/L 硫酸の量(a)を求め，次式よりアルカリ度（pH4.8）を算出した。

$$\text{アルカリ度}(\mathrm{meq}/\mathrm{L}) = a \times f \times 1/50 \times 1000/v$$

A: 滴定に要した 0.01mol / L 硫酸量(mL)
F: 0.01mol / L 硫酸のファクター
V: 試料量(mL)

(9) U

試料を硝酸で pH2 以下に調整し，メンブランフィルター（0.45μm）でろ過し，ろ過液を試料液とした。ICP 質量分析装置（Agilent technologies 製 7700x）に試料液を導入して測定した。あらかじめ段階的に希釈した標準試料を用いて検量線を作成し，作成した検量線から濃度を算出した。

6.4.2 地下水の採水･分析結果

分析結果を表 6.4.2-1 から表 6.4.2-2 に示す。なお，pH，電気伝導度（EC），温度，酸化還元電位（Eh），溶存酸素濃度（DO）の分析値については，分析室（地上）にて測定した結果であり，原位置で測定した結果ではない。

今回観測された地下水の特徴として Na, Cl イオンに富む水質であることが確認された。なお，酸化還元電位（Eh）については，水理試験終了時の測定データを示しているが，データ取得後も測定値が低下傾向にあり，定常状態に至っていないため参考値として取り扱う必要がある。

表 6.4.2-1 13MI38～41 号孔における地下水の分析結果(その1)

試料名		試料採取日	pH	EC	温度	Eh		DO	ウラニン	アミノG酸	ナフチオン酸Na	Na^{+}	K^{+}	Ca^{2+}	全炭素	溶存無機炭素	溶存有機炭素	アルカリ度	SO_4^{2-}	S^{2-}
				[mS/m]	[℃]	[mV(vsAg/AgCl)]	[mV(vsSHE)]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[meq/L]	[mg/L]	[mg/L]
分析方法		-	電極法			電極法	-	電極法	蛍光光度法			イオンクロマトグラフ法			燃焼酸化-赤外線吸収法			滴定法	イオンクロマトグラフ法	メチレンブルー吸光光度法
分析装置・器具		-	堀場製作所製D-54型pHメーター+pH電極(9621-10D)	堀場製作所製D-54型pHメーター+導電率防水電極(9382-10D)	堀場製作所製D-54型pHメーター+pH電極(9621-10D)	堀場製作所製D-55型pHメーター+ORP防水電極(9300-10D)	-	堀場製作所製D-55型pHメーター+DO防水電極(9520-10D)	株式会社日立製作所製F-3000型蛍光分光光度計			ダイオネクス社製 イオンクロマトグラフICS-1000			Analytikjena社製 multi N/C 2100S			-	ダイオネクス社製 イオンクロマトグラフICS-1000	島津製作所社製Uvmini-1240型紫外可視分光光度計
13MI38号孔	区間1	2014/2/7 9:12	7.5	140	21.2	142	351	7.3	<0.001	<0.001	<0.001	180	0.9	86	4.2	3.9	0.6	0.37	0.2	<0.1
	区間2	2014/3/7 13:43	8.3	110	21.3	101	310	7.9	0.001	0.001	0.002	160	0.6	45	5.9	4.2	1.2	0.41	0.2	<0.1
	区間3	2014/3/8 8:25	8.2	120	21.3	108	317	6.3	<0.001	<0.001	<0.001	165	0.8	64	4.7	4.2	<0.5	0.39	0.3	<0.1
	区間4	2014/3/8 9:01	8.2	120	21.4	109	318	7.2	<0.001	<0.001	<0.001	163	0.8	65	4.2	4.0	<0.5	0.37	0.4	<0.1
	区間5	2014/3/8 9:03	8.0	200	21.3	124	333	7.4	<0.001	<0.001	<0.001	217	1.1	145	2.9	2.9	<0.5	0.28	0.2	<0.1
	区間6	2014/3/8 9:16	8.1	140	21.3	119	328	8.5	<0.001	<0.001	<0.001	180	0.9	85	4.0	3.7	<0.5	0.35	0.4	<0.1
13MI39号孔	区間1	2014/3/5 9:28	7.9	140	21.7	145	354	7.4	<0.001	0.001	<0.001	183	1.0	81	5.0	3.8	0.7	0.36	0.2	<0.1
	区間2	2014/3/5 16:56	7.6	150	21.8	124	332	6.7	<0.001	0.003	0.002	189	1.0	89	6.6	4.5	1.7	0.39	0.4	<0.1
	区間3	2014/3/5 17:07	8.0	160	21.8	113	321	6.8	<0.001	<0.001	<0.001	198	1.0	108	3.5	3.4	<0.5	0.29	0.4	<0.1
	区間4	2014/3/6 9:50	11.1	240	21.9	-61	147	6.6	<0.001	0.016	0.002	199	4.0	178	7.1	5.4	1.2	2.74	1.6	<0.1
13MI40号孔	区間1	2014/3/4 11:14	8.1	160	22.2	111	319	6.4	<0.001	<0.001	<0.001	191	0.9	97	4.0	3.3	<0.5	0.40	0.4	<0.1
	区間2	2014/3/4 15:45	7.8	150	22.1	117	325	6.7	<0.001	0.001	<0.001	188	0.9	86	5.1	3.9	1.1	0.36	0.3	<0.1
	区間3	2014/3/4 16:57	7.8	140	22.1	112	320	5.3	<0.001	0.001	0.001	180	1.0	90	8.4	5.3	3.0	0.46	1.1	<0.1
	区間4	2014/3/5 13:57	11.8	240	22.3	-48	160	6.7	<0.001	<0.001	<0.001	193	11	176	5.2	3.5	1.2	4.42	0.9	<0.1
13MI41号孔	区間1	2014/3/5 14:45	8.4	100	22.1	136	344	7.0	<0.001	<0.001	<0.001	155	0.7	38	5.2	4.5	0.5	0.44	0.4	<0.1
	区間2	2014/3/6 9:01	8.4	100	22.1	124	332	7.8	<0.001	<0.001	<0.001	159	0.7	34	5.0	4.3	0.6	0.40	0.5	<0.1
	区間3	2014/3/6 9:19	7.9	120	22.1	123	331	4.9	<0.001	0.002	0.001	166	0.9	59	7.9	5.1	2.9	0.48	0.3	<0.1
	区間4	2014/3/6 9:45	11.7	220	22.2	-35	173	6.2	<0.001	<0.001	<0.001	191	18	129	3.0	2.3	0.7	3.86	0.9	<0.1

表 6.4.2-2 13MI38～41 号孔における地下水の分析結果(その 2)

試料名		F^-	Cl^-	NO_3^-	NO_2^-	Br^-	I^-	NH_4^+	PO_4^{3-}	Mg	Si	Al	T-Fe	Fe^{2+}	Mn	B	U	Σ陽イオン	Σ陰イオン	イオンバランス	備考
		[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[meq/L]	[meq/L]	[%]	
分析方法		イオンクロマトグラフ法								ICP発光分光分析法				フェナントロリン吸光光度法	ICP発光分光分析法		ICP質量分析法	-	-	-	
分析装置・器具		ダイオネクス社製　イオンクロマトグラフICS-1000								リガク製CIROS-MarkII				島津製作所社製Uvmini-1240型紫外可視分光光度計	リガク製CIROS-MarkII		Agilent Technologies製 7700x	-	-	-	
13MI38号孔	区間1	6.5	415	<0.05	<0.05	0.8	0.1	0.3	<0.5	0.146	7.1	0.05	0.44	<0.2	0.02	1.6	0.00008	12.17	12.43	-1.06	
	区間2	6.9	309	<0.05	<0.05	0.6	<0.1	0.2	<0.5	0.091	6.7	0.04	0.029	<0.2	0.01	1.5	0.00003	9.25	9.50	-1.33	
	区間3	7.0	350	<0.05	<0.05	0.7	0.1	0.2	<0.5	0.15	7.4	0.18	0.24	<0.2	0.022	1.5	0.00004	10.41	10.65	-1.14	
	区間4	7.1	348	<0.05	<0.05	0.7	0.1	0.3	<0.5	0.15	6.9	0.11	0.28	<0.2	0.024	1.5	0.0011	10.38	10.58	-0.95	
	区間5	5.5	597	<0.05	<0.05	1.1	0.2	0.4	<0.5	0.26	6.7	0.01	0.26	<0.2	0.021	1.7	0.00002	16.75	17.42	-1.96	
	区間6	6.6	414	<0.05	<0.05	0.8	0.1	0.3	<0.5	0.16	6.8	0.02	0.21	<0.2	0.014	1.5	0.00001	12.12	12.40	-1.14	
13MI39号孔	区間1	6.6	410	<0.05	<0.05	0.8	0.1	0.3	<0.5	0.14	7.1	0.18	0.21	<0.2	0.028	1.6	0.00006	12.06	12.29	-0.94	
	区間2	6.4	433	<0.05	<0.05	0.8	0.1	0.3	<0.5	0.18	7.3	0.20	1.20	<0.2	0.066	1.6	0.00008	12.72	12.96	-0.93	
	区間3	6.0	483	<0.05	<0.05	0.9	0.1	0.3	<0.5	0.18	6.6	0.12	0.32	<0.2	0.028	1.7	0.00028	14.06	14.25	-0.67	
	区間4	5.3	496	<0.05	<0.05	0.9	0.1	0.3	<0.5	0.044	8.6	1.40	0.21	<0.2	0.007	1.5	0.00007	17.66	17.05	1.76	
13MI40号孔	区間1	6.2	452	<0.05	<0.05	0.9	0.1	0.3	<0.5	0.16	6.6	0.04	0.15	<0.2	0.024	1.7	0.00007	13.20	13.50	-1.12	
	区間2	6.3	428	<0.05	<0.05	0.8	0.1	0.2	<0.5	0.18	6.9	0.10	0.55	<0.2	0.026	1.6	0.00013	12.51	12.78	-1.07	
	区間3	6.3	415	<0.05	<0.05	0.8	0.1	0.2	<0.5	0.31	7.6	0.66	1.70	<0.2	0.083	1.7	0.00056	12.39	12.53	-0.56	
	区間4	4.3	441	<0.05	<0.05	0.8	0.1	0.3	<0.5	0.039	4.9	1.20	0.025	<0.2	<0.003	1.3	0.00001	17.47	17.12	1.01	
13MI41号孔	区間1	7.5	286	<0.05	<0.05	0.6	<0.1	0.2	<0.5	0.093	6.5	0.03	0.03	<0.2	0.011	1.5	0.00002	8.68	8.92	-1.36	
	区間2	7.4	286	<0.05	<0.05	0.5	<0.1	0.2	<0.5	0.10	6.8	0.19	0.33	<0.2	0.024	1.4	0.0001	8.66	8.88	-1.25	
	区間3	7.1	342	<0.05	<0.05	0.7	0.1	0.2	<0.5	0.12	6.5	0.04	0.27	<0.2	0.033	1.6	0.00008	10.20	10.52	-1.54	
	区間4	4.8	397	<0.05	<0.05	0.7	0.1	0.3	<0.5	0.016	6.5	1.10	0.018	<0.2	<0.003	1.4	0.00002	15.23	15.34	-0.36	

7. 岩盤変位計の設置

7.1 岩盤変位計の製作概要

深度 500m 研究アクセス北坑道において実施している再冠水試験の一環として，冠水時の周辺岩盤の力学的挙動を把握するために，光ファイバ式岩盤変位計を製作した。測定方式の検討にあたっては，耐久性の向上および計測される変位が mm オーダー以下と想定されるため，光ファイバを利用したセンサのうち，精度が高いファブリペロー方式を採用した。ファブリペロー方式とは，入射した光が二つのミラーで反射干渉し，これにより生じた干渉縞の変化でひずみや変位などを検出するものである。1 ラインでの多点計測はできないものの，精度が良く比較的安価であることが特徴である。ボーリング孔内に設置するために，ばね式アンカーを備えた躯体にファブリペロー式変位計を収納して 5MPa の耐圧性を確保するとともに，計測区間を任意に設定できるように製作した。

製作した光ファイバ式岩盤変位計のシステム構成を図 7.1-1 に示す。製作した装置の作動確認試験として，装置単体の精度確認試験，計測区間を変更した引張試験および花崗岩供試体を利用した圧縮試験を実施した。装置単体の精度確認試験の結果，ファブリペロー単体の分解能 0.001mm に対し，読み値の 10%程度の精度を得ることができた。また，計測の最小区間（415mm）においては，繰返し載荷の残留変位は 0.001mm と良好な結果となった。

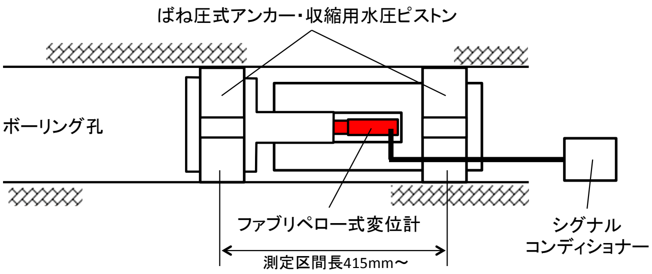


図 7.1-1 光ファイバ式岩盤変位計のシステム構成

7.2 岩盤変位計の設置

製作した装置を再冠水試験用のモニタリング孔（13MI42, 43, 44 号孔）に設置し計測を開始した。計測システムのうち，シグナルコンディショナーと計測用 PC を図 7.2-1 に，計測区間の深度と地質状況を表 7.2-1 に示す。なお，孔内の温度を計測するため，温度計をそれぞれの孔口付近に設置し，あわせて PC にデータを取り込んでいる。

a）シグナルコンディショナー

b）計測用 PC

図 7.2 -1 光ファイバ式岩盤変位計測システム

表 7.2 -1 光ファイバ式岩盤変位計の設置深度と地質状況

孔名	センサ	深度（mabh）	区間長(mm)	岩盤等級	割れ目の状況
13MI42 号孔	D101	2.000 – 2.915	915	A 級	なし
	D102	3.215 – 4.630	1415	A 級	なし
	D103	4.930 – 6.345	1415	A 級	なし
13MI43 号孔	D104	2.000 – 2.915	415	CM 級	掘削損傷による割れ目
	D105	2.000 – 2.915	415	A 級	なし
	D106	2.000 – 2.915	1415	A･B 級	なし
	D107	2.000 – 2.915	2415	B 級	なし
13MI44 号孔	D108	0.000 – 0.415	415	CM 級	掘削損傷による割れ目
	D109	0.715 – 1.130	415	B 級	健岩部中の割れ目
	D110	1.430 – 2.845	1415	B 級	健岩部中の割れ目
	D111	3.145 – 5.060	1915	B･CH･CM 級	多数の割れ目
	D112	5.360 – 7.275	1915	CH･CM 級	多数の割れ目

計測システムの作動確認のために，変位および温度の収録を行った。収録したデータのうち，2014 年 3 月 14 日の 12 時から 15 時までの計測値を図 7.2-2 に示す。なお，同図では変位は相対値で表している。同図によると，D104 と D108 センサを除いて，変位はほとんど変化しておらず（±0.001mm 以内），ドリフトも発生していないことを示している。D104 と D108 センサは，それぞれ 13MI43 号孔と 13MI44 号孔の最も孔口に近い区間に設置されており，設置当初は，センサが完全に水没した状態ではなかった。その後，孔口の止水処理を行ったことから，D104 センサは 13 時 35 分頃，D108 センサは 14 時頃に完全に水没した。水没時にセンサ筐体の温度が低下して，センサのアンカー構成部品が収縮し，岩盤に固定されたアンカーとアンカーとの離間が広まったと考えられる。このため，見かけ上，岩盤に引張り変位が生じたような計測データが得られた。

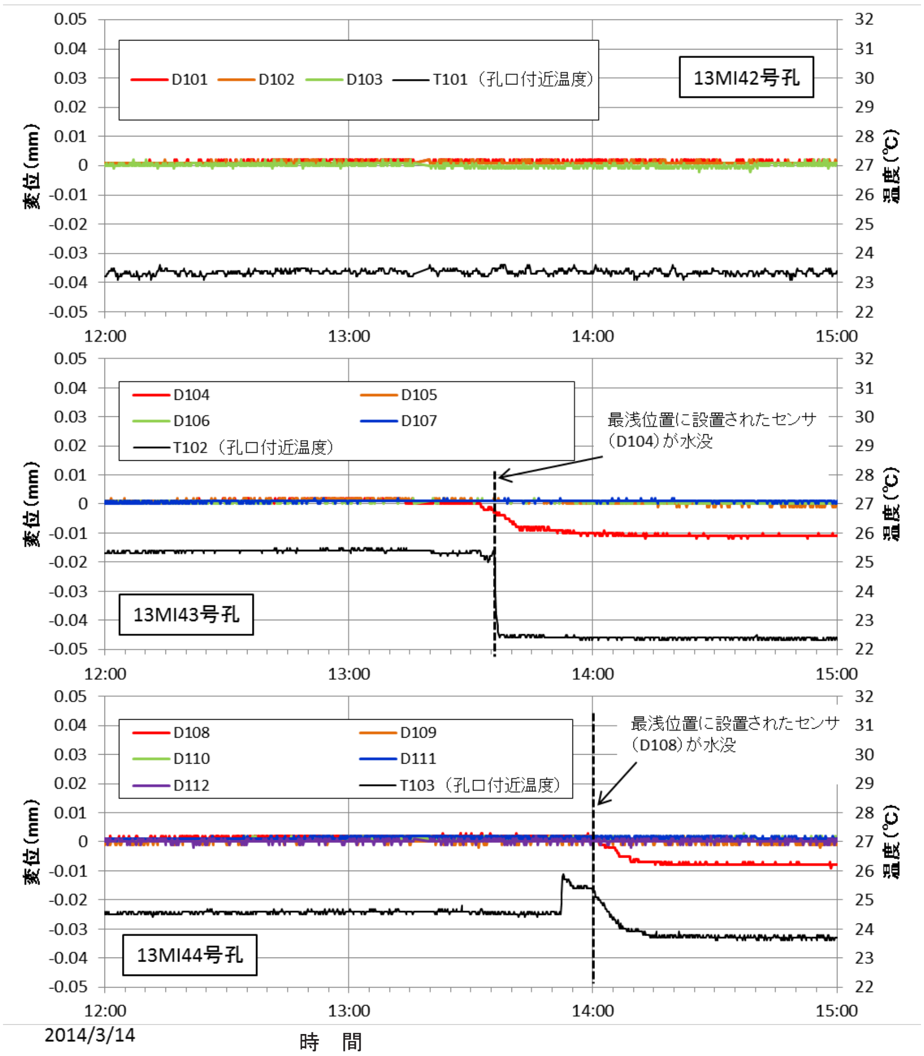


図 7.2-2 光ファイバ式岩盤変位計の設置時の作動確認試験

8. まとめ

深度 500m 研究アクセス北坑道におけるボーリング（13MI38 号孔、13MI39～44 号孔）の調査結果の概略を以下に示す。

8.1 13MI38 号孔

1)コア観察：

・岩相：中粒～粗粒の等粒状～斑状組織を示す黒雲母花崗岩
・断層：認められない。
・割れ目密度：平均 2.3 本/m
・割れ目の変質：わずかに絹雲母化，緑泥石化が認められるもののほとんど非変質
・割れ目の介在鉱物：ほぼ全区間で緑泥石，方解石
・RQD：平均 93.0％
・岩盤等級：B 級が主体とし，割れ目のない箇所で A 級，割れ目のやや多い箇所で CH～CM 級となる。

2)BTV 観察

・平均割れ目密度：1.5 本/m（明瞭な開口割れ目：0.2 本/m）
・割れ目の走向・傾斜：NE 走向で高角度傾斜が卓越し，低～中角度傾斜の割れ目はほとんど認められない。

3)物理検層

・孔径検層：概ね 100mm であるが，9.70mabh 付近で孔径-X が約 7ｍｍ拡大している。
・電磁フローメーター検層：10.00～11.00mabh 区間で 37.2L/min の湧水が孔内へ流入

4)水理試験

・変質を伴わない割れ目帯（区間湧水量が 24.00L/min の 6.50～10.80mabh 区間）: 9.24E-06m/s
・非変質帯及び弱変質帯（区間湧水量が 9.50L/min の 11.00～49.80mabh 区間）：1.90E-07m/s
・弱変質帯（区間湧水量が 0.18L/min で深度 500m 冠水坑道プラグ部を含む 50.00～59.80mabh 区間）：1.21E-09m/s
・非変質帯（区間湧水量が 0.01L/min で深度 500m 冠水坑道プラグ奥の 60.00～69.80mabh 区間）: 2.31E-11m/s
・非変質帯（区間湧水量が 0.02L/min の 70.00～90.30mabh 区間）：3.28E-11m/s
・非変質帯（区間湧水量が 22.0L/min の 90.00～102.10mabh 区間）：2.04E-06m/s

5)地下水の水質

・Na、Cl に富む水質であり，Na 濃度は 160~217mg/L，Cl 濃度は 309~597mg/L の範囲

6)水圧・水質モニタリング装置の設置

・深度 500m 冠水坑道周辺の地下水圧，水質を把握することを目的として，水圧・水質モニタリング装置を設置した。

観測区間 1： 90.405 ～ 102.100 mabh
観測区間 2： 70.205 ～ 89.455 mabh
観測区間 3： 60.005 ～ 69.255 mabh
観測区間 4： 50.305 ～ 59.055 mabh
観測区間 5： 37.605 ～ 49.355 mabh
観測区間 6： 5.405 ～ 36.655 mabh

8.2 13MI39 号孔

1)コア観察:

・岩相：中粒～粗粒の等粒状～斑状組織を示す黒雲母花崗岩
・断層：認められない。
・割れ目密度：平均 1.4 本/m
・割れ目の変質：ほとんど認められない。
・割れ目の介在鉱物：方解石のみ認められた。
・RQD：平均 96.6%
・岩盤等級：ほぼ B 級を主体とし，割れ目のやや多い孔口部で CH 級となる。

2)BTV 観察

・平均割れ目密度：0.2 本/m（明瞭な開口割れ目：0.00 本/m）
・割れ目の走向・傾斜：NW 走向の低角度傾斜のみで，他の走向傾斜の割れ目は認められなかった。

3)物理検層

・孔径検層：概ね 100mm
・電磁フローメーター検層：3.50～4.00mabh 区間で 0.38L/min の湧水が孔内へ流入
・音波検層：全体に 5.5km/s（P 波速度）で概ね健岩

4)水理試験

・非変質帯（区間湧水量が 0.39L/min の 3.20～5.38mabh 区間）：6.70E-09m/s

5)地下水の水質

・Na，Cl に富む水質であり，Na 濃度は 183~199mg/L、Cl 濃度は 410～496mg/L の範囲

6)水圧・水質モニタリング装置の設置

・深度 500m 冠水坑道周辺の地下水圧，水質を把握することを目的として，水圧・水質モニタリング装置を設置した。

観測区間 1： 12.195 ～ 16.200 mabh
観測区間 2： 6.495 ～ 11.245 mabh
観測区間 3： 3.295 ～ 5.545 mabh
観測区間 4： 0.000 ～ 2.345 mabh

8.3 13MI40 号孔

1)コア観察:

・岩相：中粒～粗粒の等粒状～斑状組織を示す黒雲母花崗岩
・断層：認められない。
・割れ目密度：平均 2.0 本/m
・割れ目の変質：ほとんど認められない。
・割れ目の介在鉱物：方解石のみ認められた。
・RQD：平均 95.4％
・岩盤等級：ほぼ B 級を主体とし，割れ目のやや多い箇所で CH～CM 級となる。

2)BTV 観察

・平均割れ目密度：0.3 本/m（明瞭な開口割れ目：0.00 本/m）
・割れ目の走向・傾斜：NE 走向および NW 走向の高角度傾斜のみで，低～中角度傾斜の割れ目は認められなかった。

3)物理検層

・孔径検層：概ね 100mm
・電磁フローメーター検層：4.50～5.00mabh 区間及び 15.50～16.00mabh 区間で計 0.20L/min の湧水が孔内へ流入
・音波検層：全体に 5.5km/s（P 波速度）で概ね健岩
・

4)水理試験

・非変質帯（区間湧水量が 0.064L/min の 4.00～6.18mabh 区間）：1.50E-09m/s
・非変質帯（区間湧水量が 0.084L/min の 15.30～16.60mabh 区間）：6.92E-09m/s

5)地下水の水質

・Na，Cl に富む水質であり，Na 濃度は 180~193mg/L，Cl 濃度は 415～452mg/L の範囲

6)水圧･水質モニタリング装置の設置

・深度 500m 冠水坑道周辺の地下水圧，水質を把握することを目的として，水圧・水質モニタリング装置を設置した。

観測区間 1： 14.285 ～ 16.300 mabh
観測区間 2： 6.085 ～ 13.335 mabh
観測区間 3： 3.385 ～ 5.135 mabh
観測区間 4： 0.000 ～ 2.435 mabh

8.4 13MI41 号孔

1)コア観察:

・岩相：中粒～粗粒の等粒状～斑状組織を示す黒雲母花崗岩
・断層：認められない。
・割れ目密度：平均 2.7 本/m

・割れ目の変質：新鮮～弱変質を主体とし，11.00～13.00mabh では中変質となる。12.00mabh 付近では黒雲母が緑泥石化
・割れ目の介在鉱物：主に緑泥石，方解石と黄鉄鉱
・RQD：平均 90.7%
・岩盤等級：ほぼ B～CH 級を主体とし，割れ目の多い箇所で CM 級となる。

2)BTV 観察

・平均割れ目密度：1.3 本/m（明瞭な開口割れ目：0.1 本/m）
・割れ目の走向・傾斜：NW 走向で高角度傾斜が卓越し，NW 走向で中角度傾斜，NE 走向で高角度傾斜の順となり，低角度傾斜の割れ目は認められなかった。

3)物理検層

・孔径検層：概ね 100mm
・電磁フローメーター検層：6.50～7.00mabh 区間及び 15.50～16.60mabh 区間で計 0.42L/min の湧水が孔内へ流入
・音波検層：全体に 5.5km/s（P 波速度）で概ね健岩

4)水理試験

・非変質帯（区間湧水量が 0.58L/min の 6.50～8.68mabh 区間）：8.24E-08m/s
・弱変質帯（区間湧水量が 0.16L/min の 15.30～16.60mabh 区間）：1.41E-08m/s

5)地下水の水質

・Na，Cl に富む水質であり，Na 濃度は 155~191mg/L，Cl 濃度は 286～397mg/L の範囲

6)水圧・水質モニタリング装置の設置

・深度 500m 冠水坑道周辺の地下水圧，水質を把握することを目的として，水圧・水質モニタリング装置を設置した。

観測区間 1： 14.785 ～ 16.300 mabh
観測区間 2： 10.085 ～ 13.835 mabh
観測区間 3： 6.385 ～ 9.135 mabh
観測区間 4： 0.000 ～ 5.435 mabh

8.5 13MI42 号孔

1)コア観察：

・岩相：中粒～粗粒の等粒状から斑状組織を示す黒雲母花崗岩
・断層：認められない。
・割れ目 9.34mabh の 1 本のみで平均 0.1 本/m
・割れ目の変質：ほとんど認められず。
・割れ目の介在鉱物：認められない。
・RQD： 100%
・岩盤等級：A 級

2)BTV 観察

・観察区間に割れ目は観察されなかった。

3)物理検層

・孔径検層：概ね 100mm
・音波検層：全体に 5.5km/s（P 波速度）で概ね健岩

4)岩盤変位計の設置

・再冠水試験による坑道周辺岩盤の地中変位を把握することを目的として，岩盤変位計を設置した。

8.6 13MI43 号孔

1)コア観察:

・岩相：中粒～粗粒の等粒状～斑状組織を示す黒雲母花崗岩
・断層：認められない。
・割れ目密度：平均 1.8 本/m
・割れ目の変質：ほとんど認められない。
・割れ目の介在鉱物：認められない。
・RQD：平均 96.2%
・岩盤等級：主に A～B 級

2)BTV 観察

・平均割れ目密度：0.3 本/m（明瞭な開口割れ目：0.00 本/m）
・割れ目の走向・傾斜：NW 走向および NE 走向の高角度傾斜のみで，低～中角度傾斜の割れ目は認められなかった。

3)物理検層

・孔径検層：概ね 101mm
・音波検層：全体に 5.4km/s（P 波速度）で概ね健岩

4)岩盤変位計の設置

・再冠水試験による坑道周辺岩盤の地中変位を把握することを目的として，岩盤変位計を設置した。

8.7 13MI44 号孔

1)コア観察:

・岩相：中粒～粗粒の等粒状～斑状組織を示す黒雲母花崗岩
・断層：認められない。
・割れ目密度：平均 3.5 本/m
・割れ目の変質：ほとんど非変質。わずかに絹雲母化，緑泥石化
・割れ目の介在鉱物：主に緑泥石と方解石

・RQD：平均 86.5％
・岩盤等級：主に B～CH 級、割れ目の多い箇所で CM 級となる。

2)BTV 観察

・平均割れ目密度：1.7 本/m（明瞭な開口割れ目：0.1 本/m）
・割れ目の走向・傾斜：NW 走向の高角度傾斜が卓越し，低～中角度傾斜の割れ目は少ない。

3)物理検層

・孔径検層：概ね 101mm
・音波検層：全体に 5.4km/s（P 波速度）で概ね健岩

4)岩盤変位計の設置

・再冠水試験による坑道周辺岩盤の地中変位を把握することを目的として，岩盤変位計を設置した。

参考文献

1) 下茂道人，熊本創，露口耕治，尾上博則，三枝博光，水野崇，大山卓也：超深地層研究所計画（岩盤の水理に関する調査研究）研究坑道掘削に伴う地下水流動場及び地下水水質の変化を考慮した地下水流動のモデル化・解析（2009 年度），JAEA-Research 2012-043（2013）, 98p.
2) 石橋正祐紀，笹尾英嗣，窪島光志，松岡稔幸：超深地層研究所計画におけるサイトスケール地質構造モデルの構築 －第 2 段階における Shaft460 および Shaft500 地質構造モデルへの更新－，JAEA-Research 2013-019（2013）, 31p.
3) 後藤和幸，牧野章也，奥寺勇，松本隆史：1,000m 対応水理試験装置(高温環境型)の製作, JNC TJ7440 99-001（1999）, 151p.
4) 鶴田忠彦，竹内真司，竹内竜史，水野崇，大山卓也：瑞浪超深地層研究所における立坑内からのパイロットボーリング調査報告書，JAEA-Research 2008-098（2009).
5) 竹内真司，中野勝志，平田洋一，進士喜英，西垣誠：深層岩盤を対象としたシーケンシャル水理試験手法の開発と適用，地下水学会誌，第 49 巻，第 1 号，pp.17-32（2007）, 116p.
6) Hvorslev, M.T., Time lag and soil permeability in ground-water observations, U.S. Army Waterways Experiment Station, Bull No.36, 50p. (1951).
7) Cooper, H.H.JR., Bredehoeft, J.D., Papadopulos, I.S, Response of a finite-diameter well to an instantaneous charge of water, Water Resource Research, Vol.3, No.1, pp.263-269 (1967).
8) Cooper, H.H.JR., Jacob, C.E. A generalized graphic method for evaluating formation constants and summarizing well-field history, Transactions, American Geophysical Union, Vol.27, No.4, pp.526-534 (1946).
9) Agarwal, R.G., A New Method to Account for Producing Time Effects When Drawdown Type Curves are Used to Analyze Pressure Buildup and Other Test Data, paper SPE 9289 presented at the 55th SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Dallas, TX, Sept.21-24 (1980).

国際単位系（SI）

表１．SI 基本単位

基本量	SI 基本単位 名称	SI 基本単位 記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表２．基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位 名称	SI 組立単位 記号
面積	平方メートル	m^2
体積	立方メートル	m^3
速さ，速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s^2
波数	毎メートル	m^{-1}
密度，質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m^3
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m^2
比体積	立方メートル毎キログラム	m^3/kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m^2
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度 (a)，濃度	モル毎立方メートル	mol/m^3
質量濃度	キログラム毎立方メートル	kg/m^3
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m^2
屈折率 (b)	（数字の）　1	1
比透磁率 (b)	（数字の）　1	1

(a) 量濃度（amount concentration）は臨床化学の分野では物質濃度（substance concentration）ともよばれる。
(b) これらは無次元量あるいは次元１をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の１は通常は表記しない。

表３．固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI 組立単位 名称	記号	他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン(b)	rad	1 (b)	m/m
立体角	ステラジアン(b)	sr(c)	1 (b)	m^2/m^2
周波数	ヘルツ (d)	Hz		s^{-1}
力	ニュートン	N		$m\ kg\ s^{-2}$
圧力，応力	パスカル	Pa	N/m^2	$m^{-1}\ kg\ s^{-2}$
エネルギー，仕事，熱量	ジュール	J	N m	$m^2\ kg\ s^{-2}$
仕事率，工率，放射束	ワット	W	J/s	$m^2\ kg\ s^{-3}$
電荷，電気量	クーロン	C		s A
電位差（電圧），起電力	ボルト	V	W/A	$m^2\ kg\ s^{-3}\ A^{-1}$
静電容量	ファラド	F	C/V	$m^{-2}\ kg^{-1}\ s^4\ A^2$
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	$m^2\ kg\ s^{-3}\ A^{-2}$
コンダクタンス	ジーメンス	S	A/V	$m^{-2}\ kg^{-1}\ s^3\ A^2$
磁束	ウエーバ	Wb	Vs	$m^2\ kg\ s^{-2}\ A^{-1}$
磁束密度	テスラ	T	Wb/m^2	$kg\ s^{-2}\ A^{-1}$
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	$m^2\ kg\ s^{-2}\ A^{-2}$
セルシウス温度	セルシウス度(e)	℃		K
光束	ルーメン	lm	cd sr(c)	cd
照度	ルクス	lx	lm/m^2	$m^{-2}\ cd$
放射性核種の放射能 (f)	ベクレル (d)	Bq		s^{-1}
吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ	グレイ	Gy	J/kg	$m^2\ s^{-2}$
線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量	シーベルト (g)	Sv	J/kg	$m^2\ s^{-2}$
酸素活性	カタール	kat		$s^{-1}\ mol$

(a)SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。
(b)ラジアンとステラジアンは数字の１に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の１は明示されない。
(c)測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
(d)ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。
(e)セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。
(f)放射性核種の放射能（activity referred to a radionuclide）は、しばしば誤った用語で”radioactivity”と記される。
(g)単位シーベルト（PV,2002,70,205）についてはCIPM勧告2（CI-2002）を参照。

表４．単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位 名称	記号	SI 基本単位による表し方
粘度	パスカル秒	Pa s	$m^{-1}\ kg\ s^{-1}$
力のモーメント	ニュートンメートル	N m	$m^2\ kg\ s^{-2}$
表面張力	ニュートン毎メートル	N/m	$kg\ s^{-2}$
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	$m\ m^{-1}\ s^{-1}=s^{-1}$
角加速度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s^2	$m\ m^{-1}\ s^{-2}=s^{-2}$
熱流密度，放射照度	ワット毎平方メートル	W/m^2	$kg\ s^{-3}$
熱容量，エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	$m^2\ kg\ s^{-2}\ K^{-1}$
比熱容量，比エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	$m^2\ s^{-2}\ K^{-1}$
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/kg	$m^2\ s^{-2}$
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	$m\ kg\ s^{-3}\ K^{-1}$
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m^3	$m^{-1}\ kg\ s^{-2}$
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	$m\ kg\ s^{-3}\ A^{-1}$
電荷密度	クーロン毎立方メートル	C/m^3	$m^{-3}\ s\ A$
表面電荷	クーロン毎平方メートル	C/m^2	$m^{-2}\ s\ A$
電束密度，電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m^2	$m^{-2}\ s\ A$
誘電率	ファラド毎メートル	F/m	$m^{-3}\ kg^{-1}\ s^4\ A^2$
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	$m\ kg\ s^{-2}\ A^{-2}$
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	$m^2\ kg\ s^{-2}\ mol^{-1}$
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	$m^2\ kg\ s^{-2}\ K^{-1}\ mol^{-1}$
照射線量（X線及びγ線）	クーロン毎キログラム	C/kg	$kg^{-1}\ s\ A$
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s	$m^2\ s^{-3}$
放射強度	ワット毎ステラジアン	W/sr	$m^4\ m^{-2}\ kg\ s^{-3}=m^2\ kg\ s^{-3}$
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	$W/(m^2\ sr)$	$m^2\ m^{-2}\ kg\ s^{-3}=kg\ s^{-3}$
酵素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m^3	$m^{-3}\ s^{-1}\ mol$

表５．SI 接頭語

乗数	名称	記号	乗数	名称	記号
10^{24}	ヨタ	Y	10^{-1}	デシ	d
10^{21}	ゼタ	Z	10^{-2}	センチ	c
10^{18}	エクサ	E	10^{-3}	ミリ	m
10^{15}	ペタ	P	10^{-6}	マイクロ	µ
10^{12}	テラ	T	10^{-9}	ナノ	n
10^9	ギガ	G	10^{-12}	ピコ	p
10^6	メガ	M	10^{-15}	フェムト	f
10^3	キロ	k	10^{-18}	アト	a
10^2	ヘクト	h	10^{-21}	ゼプト	z
10^1	デカ	da	10^{-24}	ヨクト	y

表６．SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI 単位による値
分	min	1 min=60 s
時	h	1 h =60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	’	1’=(1/60)°=(π/10 800) rad
秒	”	1”=(1/60)’=(π/648 000) rad
ヘクタール	ha	$1\ ha=1\ hm^2=10^4 m^2$
リットル	L，l	$1\ L=1\ l=1\ dm^3=10^3 cm^3=10^{-3} m^3$
トン	t	$1\ t=10^3\ kg$

表７．SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI 単位で表される数値
電子ボルト	eV	$1\ eV=1.602\ 176\ 53(14)\times 10^{-19} J$
ダルトン	Da	$1\ Da=1.660\ 538\ 86(28)\times 10^{-27} kg$
統一原子質量単位	u	1 u=1 Da
天文単位	ua	$1\ ua=1.495\ 978\ 706\ 91(6)\times 10^{11} m$

表８．SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
バール	bar	$1\ bar=0.1MPa=100\ kPa=10^5 Pa$
水銀柱ミリメートル	mmHg	1 mmHg≈133.322Pa
オングストローム	Å	$1\ Å=0.1nm=100pm=10^{-10} m$
海里	M	1 M=1852m
バーン	b	$1\ b=100fm^2=(10^{-12}cm)^2=10^{-28}m^2$
ノット	kn	1 kn=(1852/3600)m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的な関係は、対数量の定義に依存。
ベル	B	
デシベル	dB	

表９．固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
エルグ	erg	$1\ erg=10^{-7}\ J$
ダイン	dyn	$1\ dyn=10^{-5} N$
ポアズ	P	$1\ P=1\ dyn\ s\ cm^{-2}=0.1Pa\ s$
ストークス	St	$1\ St=1cm^2\ s^{-1}=10^{-4} m^2\ s^{-1}$
スチルブ	sb	$1\ sb=1cd\ cm^{-2}=10^4 cd\ m^{-2}$
フォト	ph	$1\ ph=1cd\ sr\ cm^{-2}=10^4 lx$
ガル	Gal	$1\ Gal=1cm\ s^{-2}=10^{-2} ms^{-2}$
マクスウエル	Mx	$1\ Mx=1G\ cm^2=10^{-8} Wb$
ガウス	G	$1\ G=1Mx\ cm^{-2}=10^{-4} T$
エルステッド (a)	Oe	$1\ Oe \triangleq (10^3/4\pi) A\ m^{-1}$

(a) ３元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「 ≙ 」は対応関係を示すものである。

表10．SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI 単位で表される数値
キュリー	Ci	$1\ Ci=3.7\times 10^{10} Bq$
レントゲン	R	$1\ R=2.58\times 10^{-4} C/kg$
ラド	rad	$1\ rad=1cGy=10^{-2} Gy$
レム	rem	$1\ rem=1\ cSv=10^{-2} Sv$
ガンマ	γ	$1\ \gamma=1\ nT=10^{-9} T$
フェルミ		1 フェルミ=1 fm=10^{-15}m
メートル系カラット		1 メートル系カラット= 0.2 g = 2×10^{-4}kg
トル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
カロリー	cal	1 cal=4.1858J（「15℃」カロリー），4.1868J（「IT」カロリー），4.184J（「熱化学」カロリー）
ミクロン	µ	$1\ \mu=1\mu m=10^{-6} m$

（第8版，2006年）