JAEA-Technology 2014-011



深度500m研究アクセス南坑道における 先行ボーリング調査報告書(12MI32号孔)

Results of Pilot Borehole Investigation in -500m Access/Research Gallery-South (12MI32 Borehole)

川本 康司 黒岩 弘 山田 信人 大貫 賢二 大森 一秋 竹内 竜史 尾方 伸久 大森 将樹 渡辺 和彦

Koji KAWAMOTO, Hiroshi KUROIWA, Nobuto YAMADA, Kenji OHNUKI Kazuaki OHMORI, Ryuji TAKEUCHI, Nobuhisa OGATA, Masaki OHMORI and Kazuhiko WATANABE

> 地層処分研究開発部門 東濃地科学研究ユニット

Tono Geoscientific Research Unit Geological Isolation Research and Development Directorate July 2014

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。 本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。 なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ(<u>http://www.jaea.go.jp</u>) より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根2番地4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency. Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department, Japan Atomic Energy Agency. 2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan

Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2014

深度 500m 研究アクセス南坑道における先行ボーリング調査報告書 (12MI32 号孔)

日本原子力研究開発機構

地層処分研究開発部門 東濃地科学研究ユニット 川本 康司^{*1},黒岩 弘^{*1},山田 信人^{*1},大貫 賢二^{*1},大森 一秋^{*1}, 竹内 竜史,尾方 伸久,大森 将樹^{*2},渡辺 和彦^{*1} (2014年3月14日受理)

本報告書は、「第1段階において構築した地質環境モデルの妥当性の確認および第2段階の地 質環境モデル更新のためのデータの蓄積」を目的とし、瑞浪超深地層研究所の深度 500m 研究ア クセス南坑道における先行ボーリング(12MI32 号孔:掘削長 106.36mabh)の調査結果を取り まとめたものである。

ボーリング調査では、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、透水係数等)を取得するとともに、これらに加えて地下水水圧の初期状態および坑道掘 削時の変化の把握を目的に水圧モニタリング装置を設置した。

深度 500m 研究アクセス南坑道周辺には、中粒から粗粒の等粒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 CM~B 級である。当初モデルで推定していた S200_13 断層および IF_SB3_13_3 断層の予想位置付近で小規模な断層が認められたが、走向や規模が異 なるため、異なる断層と考えられる。割れ目密度は、40.00~80.00mabh 区間で大きく、51.00mabh で最大 20 本/m であった。

孔内湧水は 56.87mabh 以深で多くなり, 78.83mabh で最大 600L/min であった。透水係数は, 湧水の少ない区間で 2.0E-9~1.5E-08m/sec, 割れ目が集中し湧水量が多い区間で 1.1E-05~ 1.6E-05m/sec の範囲であった。地下水の水質は, Na-Cl型であり, Na 濃度は約 150~170mg/L, Cl濃度は約 330~380mg/L の範囲であった。

東濃地科学センター(駐在):〒509-6132 岐阜県瑞浪市明世町山野内1-64 ※1 技術開発協力員 ※2 技術開発協力員(現所属:株式会社アサノ大成基礎エンジニアリング)

JAEA-Technology 2014-011

Results of Pilot Borehole Investigation in -500m Access/Research Gallery-South (12MI32 Borehole)

Koji KAWAMOTO^{**1}, Hiroshi KUROIWA^{**1}, Nobuto YAMADA^{**1} Kenji OHNUKI^{**1}, Kazuaki OHMORI^{**1}, Ryuji TAKEUCHI,Nobuhisa OGATA, Masaki OHMORI^{**2} and Kazuhiko WATANABE^{**1}

Tono Geoscientific Research Unit Geological Isolation Research and Development Directorate, Japan Atomic Energy Agency Akiyo-cho, Mizunami-shi, Gifu-ken

(Received March 14, 2014)

This document summarizes the data of pilot boreholes (12MI32) in the -500m Access/Research Gallery-South of Mizunami Underground Research Laboratory (MIU). This borehole was drilled to verify the geological environment model developed in phase I (Surface-based Investigation Phase) and the update in phase II (Construction Phase).

The geological, hydraulic and geochemical data such as rock mass classification, groundwater inflow points and the volume, water pressure, and hydraulic conductivity at the -500m Access/Research Gallery-South were obtained. In addition, groundwater monitoring system was installed to observe the groundwater pressure in initial condition and change during excavation of the gallery.

Biotite granite (Toki granite) with medium to coarse-grained equigranular texture are characterized around the -500m Access/Research Gallery- South. Rock mass classification is mostly B to CM class. A minor fault is observed around the expectation position of S200_13 fault and SB3_13_3 fault (that were presumed by an original model). Since a strike and scale differs, it is considered a different fault. Density of fracture is large in the section of 40.00 to 80.00mabh, and was a maximum of 20 n/min in 51.00mabh.

Water inflow increased in number in the place deeper than the depth of 56.87mabh, and was a maximum of 600 L/min in 78.83mabh. Hydraulic conductivities range from 2.0E-9 to 1.5E-08m/sec at the zone without inflow, from 1.1E-05 to 1.6E-05m/sec at the fracture zone with high inflow, respectively. Groundwater chemistry is Na-Cl type with the concentration of Na⁺ and Cl⁻ ranging from 150 to 170 mg/L, from 330 to 380 mg/L, respectively.

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

%1 Collaborating Engineer

*2 Collaborating Engineer (Present affiliation, Asano Taiseikiso Engineering Co.,Ltd.)

目 次

1. はじめに	• 1
2. 調査概要	$\cdot 2$
2.1 調查目的	$\cdot 2$
2.2 調査期間	$\cdot 2$
2.3 調査位置	$\cdot 2$
2.4 調査内容・数量	· 3
3. ボーリング孔の掘削	• 5
3.1 旧孔の掘削	• 5
3.1.1 作業概要	·· 5
3.1.2 資材搬入・設営・準備作業	• 7
3.1.3 掘削作業	·· 9
3.2 新孔の掘削	20
3.2.1 作業概要	20
3.2.2 ボーリングマシンの移設・設営・準備作業	22
3.2.3 掘削作業	23
3.2.4 コア回収率	26
3.2.5 掘削水モニタリング装置での測定結果(送水量, 排水量)	26
3.2.6 湧水抑制作業	27
3.2.7 孔芯傾斜測定結果	29
3.2.8 解体・撤去・搬出作業	29
4. 地質学的調査	30
4.1 コア観察	30
4.1.1 目的・方法	30
4.1.2 コア観察結果	30
4.2 ボアホールテレビ(BTV)観察	34
4.2.1 BTV観察方法	34
4.2.2 BTV観察結果	35
4.3 物理検層	36
4.3.1 実施内容	36
4.3.2 物理検層結果	38
5. 水理学的調査	43
5.1 水理試験	43
5.1.1 水理試験で使用する装置	43
5.1.2 水理試験方法	44

5.1.3 解析方法	46
5.2 水理試験結果	47
5.3 代表値の選定	74
6. 地下水の地球化学的調査	79
6.1 掘削水の管理	79
6.1.1 掘削水の管理方法	79
6.1.2 掘削水の管理結果	79
6.2 地下水の採水・分析	80
6.2.1 地下水の採水・分析方法	80
6.2.2 地下水の採水・分析結果	82
7. 水圧モニタリング装置の設置	84
7.1 水圧モニタリング装置の設置の概要	84
7.2 水圧モニタリング装置の設置の手順	88
7.3 水圧モニタリング装置の設置状況の確認	88
8. まとめ	90
参考文献	92

付録CD

付録4.1.1:コア観察記載要領
付録4.1.2-1 : コア写真
付録4.1.2-2 : コア観察記載シート
付録4.2.2:BTV観察結果一覧・画像
付録5.1.3:水理試験解析式
付録5.2.1:単孔式水理試験結果

CONTENTS

1. Introduction ······	• 1
2. Investigation outline	· 2
2.1 Objects ·····	$\cdot 2$
2.2 Investigation period ······	$\cdot 2$
2.3 Investigation site	$\cdot 2$
2.4 Investigation activities and quantities	• 3
3. Borehole drilling ······	· 5
3.1 Original borehole drilling ······	· 5
3.1.1 Outline	· 5
3.1.2 Installation/ Set up/ Preparations of equipment ·····	· 7
3.1.3 Borehole drilling ······	· 9
3.2 Relocated borehole drilling ·····	20
3.2.1 Outline	20
3.2.2 Relocation/ Set up/ Preparations of a drilling machine	22
3.2.3 Borehole drilling ·····	23
3.2.4 Core recovery rate ······	26
3.2.5 Monitoring result of drilling fluid (Delivery water and discharged water)	26
3.2.6 Water inflow control measure ·····	27
3.2.7 Result of borehole inclination measurement	29
3.2.8 Dismantlement/ Removal/ Discharge of equipment	29
4. Geological investigations	30
4.1 Core description ·····	30
4.1.1 Method of core description	30
4.1.2 Results of core description	30
4.2 Borehole Television (BTV) ·····	34
4.2.1 Method of BTV ·····	34
4.2.2 Results of BTV ·····	35
4.3 Geophysical logging ·····	36
4.3.1 Investigation outline ·····	36
4.3.2 Results of geophysical logging ·····	38
5. Hydraulic investigations	43
5.1 Hydraulic test ·····	43
5.1.1 Installation of hydraulic test equipment	43
5.1.2 Method of hydraulic test ·····	44

5.1.3 Analysis method of hydraulic test ·····	46
5.2 Results of hydraulic test ·····	47
5.3 Representative values of hydraulic conductivities	74
6. Hydrochemical investigations	79
6.1 Control of drilling fluid ·····	79
6.1.1 Method of controlled drilling fluid	79
6.1.2 Results of controlled drilling fluid	79
6.2 Groundwater sampling/ water analysis ·····	80
6.2.1 Method of groundwater sampling/ chemical analysis	80
6.2.2 Results of groundwater sampling/ chemical analysis	82
7. Installation of groundwater monitoring system	84
7.1 Summary of monitoring system ·····	84
7.2 Installation of monitoring system ·····	88
7.3 Confirmation of installation state of monitoring system	88
8. Conclusions	90
References ·····	92

Appendix CD

- Appendix 4.1.1: On-site core description manual
- Appendix 4.1.2-1: Photographs of core
- Appendix 4.1.2-2: Table of core description
- Appendix 4.2.2: Borehole TV data
- Appendix 5.1.3: Analysis formulae of hydraulic test
- Appendix 5.2.1: Single-hole hydraulic test data

1. はじめに

独立行政法人日本原子力研究開発機構では、「地層処分技術に関する研究開発」のうち深地層の 科学的研究(地層科学研究)の一環として、結晶質岩(花崗岩)を対象とした超深地層研究所計 画を岐阜県瑞浪市において進めている。本計画は、「深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤 の整備」および「深地層における工学技術の基盤の整備」を全体目標として定め、「第1段階: 地表からの調査予測研究段階」、「第2段階:研究坑道の掘削を伴う研究段階」、「第3段階:研究 坑道を利用した研究段階」の3段階からなる約20年の計画である。現在は、第2段階および第3 段階における調査研究を実施している。そのうち第2段階では、「研究坑道の掘削を伴う調査研 究による地質環境モデルの構築、および研究坑道の掘削による深部地質環境の変化の把握」を段 階目標の一つとして調査研究を進めている。

本報告書は、瑞浪超深地層研究所(以下、研究所)における、「瑞浪超深地層研究所研究坑道掘 削工事(B工区その5)」において、深度500m研究アクセス南坑道の掘削に先駆けて実施された 先行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。先行ボーリング孔は、深度 500m研究アクセス南坑道の20mボーリング横坑から同坑道に沿って掘削した12MI32号孔(掘 削長:106.36mabh; meters along borehole)である。

2. 調査概要

2.1 調査目的

本調査は、「深度 500m 研究アクセス南坑道の施工情報(岩盤等級、湧水箇所、湧水量、湧水 圧、透水係数等)の取得」、「第1段階において構築した地質環境モデルの妥当性の確認および第 2段階モデル更新のためのデータの蓄積」を目的とし、先行ボーリング孔の掘削、地質学的、水 理学的、地下水の地球化学的調査および水圧モニタリング装置を設置した。

2.2 調査期間

12MI32 号孔の調査期間を以下に示す。本孔では、ロ元ケーシングが孔内の湧水圧等で設置できなかったため、掘削位置を変更して再掘削した。

・旧孔:(自) 2012年12月19日~(至) 2013年1月31日(44日間,休日含む)

・新孔: (自) 2013 年 1 月 23 日~ (至) 2013 年 4 月 29 日 (97 日間,休日含む)

2.3 調査位置

先行ボーリング孔(12MI32号孔)の位置を,図 2.3-1,図 2.3-2に示す。





図 2.3-2 深度 500m における先行ボーリング孔の位置 ²⁾

深度 500m 研究アクセス南坑道における先行ボーリング孔は、土岐花崗岩の下部割れ目低密度 帯の分布域に位置しており、上部割れ目帯と比較して透水係数が低いことを確認している¹⁾。ま た、先行ボーリング孔は、図 2.3・2 に示す地質構造モデル上²⁾で推定されている 2 条の断層 (S200_13 断層および IF_SB3_13_3 断層)に遭遇すると予測した。

2.4 調査内容 数量

12MI32 号孔は、当初の掘削孔である 12MI32 号孔(旧孔)(以下,旧孔)において,掘削長 4.00mabh での多量の湧水で口元 6 インチケーシングの設置ができなかったため、ボーリング孔 内、坑道壁面へのグラウチング等の対処を行った。しかし、口元ケーシングの設置のめどが立た なかったため、掘削位置を変更し、12MI32 号孔(新孔)(以下,新孔)を掘削した。調査内容お よび数量を以下に示す。 ①ボーリング孔の掘削長と掘削孔径:

- (旧孔) 0.00~4.00mabh HQ-3WL(3重管コアバーレル)掘削後,7-5/8インチのトリコ ンビットで拡孔
- (新孔) 0.00~3.00mabh HQ-3WL (3 重管コアバーレル) 掘削後, 7-5/8 インチのトリコ ンビットで拡孔
 - 3.00~106.36mabh PQ-3WL (3 重管コアバーレル)

②コア観察:106.36mabh (0.00~106.36mabh)

③ボアホールテレビ観察(以下, BTV 観察):

103.16mabh(3.00~57.15mabh, 3.00~106.16mabh)④物理検層(孔径,電気,音波,中性子,密度,電磁フローメーター):

106.10 mabh $(0.00 \sim 57.00$ mabh, $2.00 \sim 106.10$ mabh)

⑤水理試験:9区間(17.50~21.80mabh, 22.50~26.80mabh, 27.50~33.80mabh,

 $39.00 \sim 43.30$ mabh, $46.00 \sim 57.32$ mabh, $46.00 \sim 60.30$ mabh,

 $88.00{\sim}90.30 \text{mabh}, \ 91.50{\sim}93.80 \text{mabh}, \ 97.00{\sim}106.36 \text{mabh})$

⑥採水·水質分析:3 区間 (12.10~18.90mabh, 37.10~42.60mabh, 105.20~106.36mabh) ⑦水圧モニタリング装置の設置:

3 区間 (0.00~6.03mabh, 7.03~86.73mabh, 87.73~106.36mabh)

3. ボーリング孔の掘削

3.1 旧孔の掘削

3.1.1 作業概要

旧孔の作業概要を表 3.1.1-1 および表 3.1.1-2 に示す。なお旧孔は,新孔掘削に先立ち,閉塞グラウ チングを行い閉塞した。

No	作業内容	作業日時		
1	【資材搬入,設営,準備作業】	2012年12月19日~12月26日		
	【旧孔の第1段掘削】			
	0.00~4.00mabh: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			
	0.00~4.00mabh : PQ-3WL (3 重管コアバーレル :			
	φ123.0mm) により拡孔			
	0.00~4.00mabh: φ154mm ダイヤモンド拡孔ビットにより拡			
2	孔	2013年1月7日~1月14日		
	0.00~4.00mabh: φ184mm ダイヤモンド拡孔ビットにより拡			
	孔			
	0.00~4.00mabh:7-5/8 インチ(φ193.7mm)			
	トリコンビットにより拡孔			
	0.00~4.00mabh:6インチケーシング設置および			
	フロートシューを用いたインナーストリングセメンチング			
	【対策工】			
3	旧孔からのセメンチング	2013 年 1 月 15 日		
	エア抜き管からのセメンチング			
4	【対策工】	2013 年 1 日 16 日		
	湧水量の低減を目的とする壁面からの水抜き孔の削孔			
5	【対策工】	2013 年 1 日 17 日		
	6インチケーシングの抜管作業			
6	【対策工】	2013 年 1 日 18 日~1 日 19 日		
	セメントプラグを用いた固練りセメントの打設			
7	【対策工】	2013 在 1 日 21 日		
,	グラウトパッカーを用いたセメンチング	2010 - 1 / 21 1		
8	【旧孔の閉塞グラウチング】			
	坑道壁面漏出箇所の止水セメントブロック作成	2013 年 1 月 23 日~1 月 26 日		
	硬化時間調整型2液混合セメントによるグラウチング			
	水抜き孔からのグラウチング			

表 3.1.1-1 旧孔の作業概要(その 1)

No	作業内容	作業日時
	【旧孔の閉塞グラウチング】	
	逸泥防止材 LCM を併用したグラウチング	
9	セメントのみによるグラウチング	2013年1月29日~1月31日
	超微粒子セメントによるグラウチング	
	固練りセメントによる閉塞作業	

表 3.1.1-2 旧孔の作業概要(その 2)

3.1.2 資材搬入·設営·準備作業

2012年12月19日から資機材を荷卸,ボーリングマシンを分解して立坑内に搬入し,深度500m ステージで組立,設置した。設営作業は25日から26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S41°W(真北)に設置した。旧孔の機材配置図を 図3.1.2-1,主要機材一覧表を表3.1.2-1に示す。



図 3.1.2-1 旧孔の機材配置図

表 3.1.2-1 旧孔の主要機材一覧表

	名称	型 式	規 格	質量	数量
ボー	-リングマシン	THS-70	巻上げ能力 180kN 11.00kW	1150. Okg	1 台
ボー	-リングポンプ	NAS-3	吐出量 70~150L/min 11.00kW	850. Okg	1 台
タ	排水タンク	-	0. 70m ³	100. Okg	1槽
シク	貯水用タンク	-	0. 40m ³	30. Okg	1槽
類	サクションタンク	-	0. 50m ³	40. 0kg	1槽
	. L [®]	PQ	長さ:3.00m, 1.00m	14.9kg/m	110. OOm
		HQ	長さ:3.00m, 1.00m	11.4kg/m	110. OOm
			長さ:4.20m,		
		PQ-3WL	外径:123.0mm, コア径:85.0mm	EQ Oldar/m	4 _15
		(3 重管コアバーレル)	アクリルチューブ内包インナーチ	ou. ukg∕m	「氏
	7 . 5 1 . 11		ューブ		
_ /			長さ:4.20m,		
		HQ-3WL	外径:99.0mm, コア径:61.1mm	10.0km/m	1 式
		(3 重管コアバーレル)	アクリルチューブ内包インナーチ	40. UKg/m	
			ューブ		
		φ154mm	外径:157.0mm,	Г. О	1個
		ダイヤモンドビット	PQ-3WL コアバーレル使用	D. UKg	
++ 7	۱ L ² I	φ184mm	φ184mm 外径:184.0mm,		
抵托ビット		ダイヤモンドビット	PQ-3WL コアバーレル使用	0. UKg	1 10
		7-5/8 トリコンビット	外径:193.7mm	25. Okg	1 個
フロ	ロートシュー付き		長さ:0.54m		
61	ンチケーシング	STGP-sch40	 外径:165.0mm,内径:150.8mm	15.0kg/m	1本
			長さ:2.00m, 1.70m		
61	ンチケーシング	STGP-sch40		27.7kg/m	各1本
			長さ:5.50m	/	
51	ンチケーシング	STGP-sch40		14.0kg/m	1本
孔	マニホールド	-	6インチ 40k フランジ	20. Okg	1式
口装	ゲートバルブ	-	6インチ 40k フランジ	60. Okg	1式
置	プリペンダー	-	6インチ 40k フランジ	15. Okg	1式
グラ	, , , , , , , , , , , , , , , , , , ,	CP-10D	吐出量1~120L/min 11.00kW	610. Okg	2 台
グラ	ゥ ウトミキサー	LAM-250	/ 搅拌容量 200L×2 槽 2.20k₩	220. Okg	1 台
電磁	兹流量 計	FPC-100-50	測定流量 0~60L/min	95. Okg	2 台
			収縮時外径 ϕ 56mm	00.01	6本
局灶	ニホハッカー		│ 拡張時外径¢116mm	20. UKg	
配電	<u> </u>		200V(屋外用)	40. 0kg	1 式

	名 称	型式	規格	質 量	数量
掘削水	電磁流量計	LF410/400 東芝製	ϕ 50mm, ϕ 80mm	7. 0kg	各1台
モニタ	pH 測定計				
リング	電気伝導度計	→ ジュロホ貢烈之留 WOC-24 亩西 DDK 計制	測定範囲:0.00~100.00mS/m	1. 5kg	1 台
装置	温度計		測定範囲:−5.00~55.00℃		
削岩機	削岩機 -		圧縮空気駆動式	18. Okg	1 台
削岩機用ロッド -		1.00m	1.5kg	4本	
削岩機用ビット 硬岩用		φ 45mm	1. 0kg	1個	
孔芯傾斜測定器		Sparry_Sup 対 制	シングルショット	20. 0kg	1 ====
		operry=oun 社衆 	測定傾斜角:5-100°計		

表 3.1.2-1 主要機材一覧表(続き)

3.1.3 掘削作業

旧孔の掘削は、図 2.3-2 に示す S200_13 断層および IF_SB3_13_3 断層の分布が想定される花 崗岩中に、BTV 観察、物理検層、水理試験などの各種試験を行えるボーリング孔を掘削すること から、10MI23 号孔で実績のある多段ケーシング工法 ³⁾を選択した。

また、本調査は、深度 500m 研究アクセス南坑道 20m ボーリング横坑で実施することから、 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、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 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 ントロールできる計画とした。旧孔のケーシングプログラムを図 3.1.3-1 に示す。



図 3.1.3-1 ケーシングプログラム(計画)

1) 第1段掘削(0.00~4.00mabh)

旧孔の第1段掘削は2013年1月7日から14日まで、1方作業にて実施した。掘削用水は、深度500m研究アクセス南坑道20mボーリング横坑に配管した坑内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%の濃度で添加したものを使用した。

掘削は, 0.00~4.00mabh まで HQ-3WL (3 重管コアバーレル) で掘削を実施した。掘削中は, 送水量等を,掘削水モニタリング装置(電磁流量計等,表 3.1.2-1)を用いて自動計測で実施した。

4.00mabh までの掘削において, 6.8L/min の湧水が認められたが, ケーシングのフルホールセ メンチングに影響がないと判断し, PQ-3WL (3 重管コアバーレル), φ154.0mm ダイヤモンド 拡孔ビット, φ184.0mm ダイヤモンド拡孔ビット, 7-5/8 インチトリコンビットの順に拡孔を実 施した。拡孔終了時の湧水量は, 10L/min であった。

拡孔終了後,図 3.1.3・2 に示すフロートシュー付き 6 インチケーシングを 3.90mabh まで設置 し、孔口補強セメントおよびエア抜き管を設置した後、フランジ蓋で 6 インチケーシングを閉塞 した状態にしてエア抜き管の圧力計で孔内に流入する湧水の湧水圧を測定した。測定の結果、湧 水圧力が 1.0MPa まで上昇した直後に 0.1MPa まで低下し、同時に坑道壁面から湧水の漏出を確 認した。そこで、フロートシューを用いたインナーストリングセメンチング(以下、セメンチン グ)を継続したが、坑道壁面からのセメント漏出を止めることができず、セメンチングを中止し た。また、その後、6 インチケーシング内側からも 10.0L/min の湧水を確認したことから、6 イ ンチケーシングのセメンチングを断念した。

セメント漏出等の原因としては、3.50mabh の湧水している透水性割れ目と坑道壁面への漏出 経路となる 0.50mabh の透水性割れ目による影響が考えられる。これらの透水性割れ目および湧 水は、第1段掘削の HQ-3WL (3 重管コアバーレル) 掘削において確認されていたが、ケーシン グ設置のために拡孔した孔径に適合するグラウトパッカーが無いにも関わらず、6 インチケーシ ングセメンチングの実施は可能であると判断し、6 インチケーシング設置のための拡孔作業を実 施したため、6 インチケーシングセメンチングの断念後に裸孔を利用したグラウチングをするこ とができなかったためである。



図 3.1.3-2 フロートシューを用いたインナーストリングセメンチング図

2) 坑道壁面の漏出箇所の改良および旧孔からのセメンチング

コア観察結果と掘削中の湧水量の変化から,坑道壁面への漏出経路となる 0.50mabh の透水性 割れ目と 3.50mabh に湧水している透水性割れ目の存在を確認した。これらの割れ目が,6イン チケーシングのセメンチングに悪影響を及ぼしていると考えられることから,対策工として坑道 壁面から水抜き孔を削孔し,旧孔からのセメンチングを実施した。対策工は1月14日~21日ま で2方作業で実施した。対策工の実施内容を①~⑥に示す。

①セメンチング

図 3.1.3-2 に示すインナーストリング付きロッドをフロートカラーに挿入し,再度,セメン チングを試みた。

その結果,フロートカラーに1回目のセメンチングのセメントが付着しており,インナース トリング付きロッドを挿入することができず,セメンチングは実施できなかった。

②エア抜き管からのセメンチング

6 インチケーシン内からのセメンチングを実施することができなかっため、6 インチケーシング孔口をフランジ蓋で閉塞して、図 3.1.3-2 に示す φ 25mm エア抜き管からセメンチングを 実施した。

セメンチングでは、セメント配合を当初のセメント比重 1.8 から 1.9 の比重の高いセメント に変更して実施したが、先のセメンチングと同様に坑道壁面漏出箇所から湧水で希釈されたセ メントが漏出したため、セメンチングを中止した。

③湧水量の低減を目的とする水抜孔の削孔

6インチケーシング内に流入する湧水の低減(1.0L/min 以下)を目的として、坑道壁面から 手動式の削岩機を用いて水抜き孔(削孔径: ϕ 45mm, 1.50~4.30m, 計 5 本)を削孔した。 水抜き孔の削孔位置図および水抜き孔の湧水量を図 3.1.3-3,表 3.1.3-1 に示す。

その結果, 6 インチケーシング内に流入する湧水量は 10.0L/min から 8.2L/min まで低減さ れたが,それ以上の湧水量の低減が見込めなかったため,さらなる水抜き孔の設置は中止した。



図 3.1.3-3 水抜き孔の削孔位置図

	旧孔	水抜き孔	水抜き孔	水抜き孔	水抜き孔	水抜き孔	坑道壁面
		No.1-1	No.1-2	No.2	No.3	No.4	漏出箇所
削孔長 (m)	_	1. 50	4. 00	3. 30	2. 20	2. 20	_
対策前湧水量 (L/min)	10. 00	_	_	_	_	_	2. 10
対策後湧水量 (L/min)	8. 20	0. 12	0. 36	0. 45	0. 00	0. 24	2. 10

表 3.1.3-1 水抜き孔の削孔長および湧水量

④6インチケーシングの抜管

セメンチングでは、3.50mabh の透水性割れ目から流入する湧水の影響によりセメントが希 釈され、旧孔と坑道壁面への漏出経路となる透水性割れ目に沿ってセメントが坑道壁面から漏 出する。そこで、旧孔内に固練りセメントを打設し、3.50mabh の透水性割れ目からの湧水を 止水するため、6インチケーシングの抜管作業を実施した。

6 インチケーシング抜管作業は、孔口に設置した孔口補強コンクリートを取り剥し、6 イン チケーシングと HQ ロッドを接続して、ボーリングマシンのフィード給圧力によるケーシング の抜管作業を実施した。しかし、これまでのセメンチングにより 6 インチケーシングと孔壁と の間にセメントが残留し固着していたため、ボーリングマシンのフィード給圧力(2,000kg) では、6 インチケーシングを抜管することはできなかった。 ⑤セメントプラグを用いた6インチケーシング内側からの固練りセメント打設

固練りセメント打設は、ケーシング等を抜管した後、裸孔にした状態でセメントプラグを用いた固練りセメントの打設を行う方法である。しかし、今回6インチケーシングを抜管できず、 裸孔状態での固練りセメント打設ができなかったことから、6インチケーシング内側からのセ メントプラグを用いた固練りセメント打設作業を実施した。

固練りセメント打設では、6 インチケーシングに設置しているフロートシューの逆止弁を手 動式の削岩機(削孔径: φ45mm)を用いて浚渫し、6 インチケーシング孔底までのセメント 投入口を確保した後、図 3.1.3-4 に示すように 6 インチケーシング内に団子状になる硬さのセ メントを投入し、6 インチケーシング内側に入るセメント製プラグをボーリングマシンのフィ ード給圧力により押し込んだ。

注入量の計算からセメント製プラグを 2.50mabh まで押し込む予定であったが,これまでの セメンチングにより 6 インチケーシングと孔壁の間にセメントが充填されていたため, 1.35mabh までしかセメント製プラグを押し込むことができなかった。また,セメントの硬化 後,HQ-3WL により浚渫した結果,6インチケーシング内から 10.0L/min の湧水を確認したこ とから,本方法でも止水できなかった。



図 3.1.3-4 セメントプラグを用いた固練りセメントの打設

⑥ グラウトパッカーを用いたセメンチング

固練りセメントの打設後も、10.0L/min の湧水を確認したことから、次の方法としてグラウトパッカーを用いたセメンチングを実施した。セメンチングは、図 3.1.3-5 に示す 6 インチケーシング内のセメントを HQ-3WL により浚渫してグラウトパッカーを 3.20mabh に設置し、 セメント比重 1.8 の配合でセメンチングを実施した。

セメントの硬化を確認後、グラウトパッカーを収縮したが、6 インチケーシング内側から 10.0L/minの湧水が確認された。このため、本方法でも止水できないと判断した。



図 3.1.3-5 グラウトパッカーを用いたセメンチング

3) 対策エ不調の原因

坑道壁面の漏水箇所の改良および止水ができなかった原因として、本調査は深度 500m での被 圧条件下でのボーリング孔であることから、3.50mabh に存在する透水性割れ目からの湧水の圧 力が非常に高く、その湧水が坑道壁面への漏出経路となる透水性割れ目へ流出したためと考えら れる。そのため、対策工で実施したセメンチングは、注入時にセメントが坑道壁面に漏出し、注 入時の圧力を維持して注入することができず、坑道壁面への漏出経路となる透水性割れ目にセメ ントを充填することができなかった。

4) 対策工の検討

これまでに実施した対策工では、坑道壁面の漏水箇所の改良および止水ができなかったことか ら、新規ボーリング孔の掘削も含め対策工を検討した。対策工の比較・評価表を表 3.1.3-2 に示 す。

工種	概要	施工性	工期	品質	総合	
						評価
覆エコンクリートエ	坑道壁面・底盤へ厚さ 30cm の覆エコンクリー トを打設し、12MI32 号 れから再度セメンチン	ボーリングマシ ン等の一時撤 去・移設の段取り	20 日	坑道壁面からの漏出が懸念される 箇所を全面覆工することで止水が 可能	Δ	
	グを実施する。	替えが必要。		- 1 100		
グラウチング	旧孔周辺にグラウト孔 を削孔し、グラウトを注 入して坑道壁面の水み ちの止水を行う。	グラウチング資 機材が必要。	14 日	状況により,所要の品質を満たすに は,グラウト孔の本数を追加する必 要がある。	Δ	
逸泥防止材(LCM) 注入工	水みちとなる割れ目に 逸泥防止材 (LCM) を注 入し, 湧水の抑制を行 う。	粒度分布調整が 可能な数種類の 逸泥防止材(LCM) が必要。	5日	 孔壁とケーシング間に充填される と、逸泥防止材は硬化しないため、 6 インチケーシングのセメンチング を阻害する可能性がある。 	×	
新規ボーリング孔 の掘削	旧孔とは異なる位置に 新孔を掘削する。	6 インチケーシン グが必要。	7日	壁面観察と12MI32 号孔のコア観察 および水抜き孔にて得た情報によ り、地質条件、湧水状態が良好な箇 所に選定が可能である。	0	

表 3.1.3-2 対策工の比較・評価表

(LCM : Lost Circul Material)

表 3.1.3-2 に示す対策工において工期および品質について検討した結果,新孔の掘削が最も適 当と判断し,旧孔をグラウチングによって閉塞した。

5) 旧孔の閉塞グラウチング

旧孔を閉塞するため、坑道壁面への漏出経路となる割れ目の充填と6インチケーシング内から の湧水の低減(2.0L/min以下)を目的として、グラウチングを1月22日~30日まで1方作業で 実施した。また、旧孔からの閉塞グラウチング前に坑道壁面から漏出する箇所に止水セメントブ ロックを打設した。下記に実施内容を示す。

①止水セメントブロックの打設

これまでのセメンチングにより坑道壁面からセメントと湧水が漏出した箇所に型枠を設置し, 止水セメントブロックを打設した。図 3.1.3-6 に養生後の止水セメントブロックを示す。



図 3.1.3-6 止水セメントブロック

②硬化時間調整型2液混合セメントによるグラウチング

これまでに実施したセメンチングでは、セメントの硬化時間が 6 時間程度必要であり、 3.50mabhに存在する湧水の影響によりセメントが希釈され、坑道壁面より漏出することから、 グラウト材の硬化時間(ゲルタイム)を調整可能な硬化時間調整型2液混合セメント(超微粒 子セメント)によるグラウチングを実施した。グラウチングは、図 3.1.3-5 に示すようなグラ ウトパッカーを用いた工法で実施した。また、表 3.1.3-3 示す配合①(2液混合時の硬化時間2 分)~配合④(2液混合時の硬化時間10秒)の順にグラウチングを実施した。

硬化時間調整型2液混合セメントによるグラウチングを実施した結果,坑道壁面の止水セメ ントブロックの水抜き管から湧水により希釈されたグラウト材が漏出した。また,止水セメン トブロックに設置した水抜き管のバルブを閉塞し,グラウチングを実施したが止水セメントブ ロックの上部壁面から新たなグラウト材の漏出箇所を確認したことから,グラウチングを中止 した。

硬化時間調整型2液混合セメントによるグラウチングでは、坑道壁面への漏出経路となる透水性割れ目の幅が大きいことと、流入する湧水量が多いことから、硬化時間を調整したグラウト材が坑道壁面への漏出経路となる透水性割れ目に留まることができず、坑道壁面の止水ができなかったと考えられる。

		通水時間確認用	配合①	配合②	配合③	配合④	
A 液	超微粒子セメント(kg)	25.00	55.00	25.00	25.0	25.0	
	水(L)	41.71	91.30	41.50	41.50	41.50	
	MC ヘルパー(kg)	0.25	0.55	0.25	0.25	0.25	
	練上がり量(L)	50.00	110.00	50.00	50.00	50.00	
B 液	硬化促進剤(kg)	_	50.00	25.00	25.00	25.00	
	ゲルタイム調整剤(kg)	-	1.51	0.63	0.50	0.25	
	水(L)	-	56.00	28.00	28.00	28.00	
	練上がり量(L)	-	100.00	50.00	50.00	50.00	
2 液混合時の硬化時間		_	24	14	20 I I	10 T h	
(ゲルタイム)		_	2 77		30 种少	10 #9	

表 3.1.3-3 硬化時間調整型 2 液混合セメントの配合表

③水抜き孔からのグラウチング

②のグラウチングでは、坑道壁面への漏出経路となる透水性割れ目を止水することはできな かったことから、新たに水抜き孔からグラウトパッカーを用いたグラウチングを実施した。グ ラウチングに用いたグラウト配合は、表 3.1.3-3 に示す硬化時間調整型 2 液混合セメントに用 いた通水時間確認用の A 液のみでグラウチングを実施した。

水抜き孔からのグラウチングの結果,表 3.1.3-4 に示すように 3.3~4.3MPa まで注入圧力の 上昇を確認し,水抜き孔を止水することはできたが,坑道壁面への漏出経路となる透水性割れ 目の充填,止水ができなかった。

	最大注入量	注入時最大流量	積算注入量
	(MPa)	(L/min)	(L)
第 1-1 孔	3.3	0. 5	1.0
第 1-2 孔	4.3	1.8	1.0
第2孔	3.6	4. 0	22.0
第3孔	3.5	1.5	2.0
第4孔	3.5	1.5	2.0

表3.1.3-4 水抜き孔からのグラウチング実績

④ 逸泥防止材を併用したグラウチング

②,③のグラウチングでは、透水性割れ目の充填、止水ができなかったため、逸泥防止材 (LCM:Lost Circulation Materials)を併用したグラウチングを旧孔から実施した。グラウ チングは、②に示した工法で、逸泥防止材の濃度を表 3.1.3-5 に示す配合①から配合④の順で グラウチングを実施した。

逸泥防止材を併用したグラウチングの結果,配合④(LCM:6.7%配合)の注入時に,注入 圧力が 5.0MPa まで急上昇したことからグラウチングを終了した。その際,止水セメントブロ ックの湧水量が 7.6L/min から 3.1L/min まで低減した。止水セメントブロックからの湧水には, セメントが含まれなかったことから,逸泥防止材により透水性割れ目を充填することができた と考えられ,若干の湧水については,吹付面と坑道壁面の境界から流入する湧水と考えられる。

また、グラウチング効果の確認のため、旧孔に設置したグラウトパッカーを収縮した際に、 6インチケーシング内側から 11.0L/min の湧水を確認した。このため、旧孔先端から流入する 湧水は止水できなかったと判断された。表 3.1.3-5 に逸泥防止材を併用したグラウト材の配合 および注入実績を示す。

	配合①	配合②	配合③	配合④	
	LCM 配合なし	LCM:3%配合	LCM:6%配合	LCM:6.7%配合	
普通セメント(kg)	50.0	50.0 50.0 50.0		75.0	
水(L)	36.5	36.5	36.5	55.0	
逸泥防止材(kg)	0. 0	1.5	3. 0	5.0	
練上がり量 (L)	50.0	50.0	50.0	75.0	
注入量(L)	50.0	50. 0	100.0	22.0	
積算注入量(L)	222. 0				

表3.1.3-5 逸泥防止材を併用したグラウト材の配合および注入実績

⑤セメントのみによるグラウチング

逸泥防止材を併用したグラウチングでは、旧孔先端から流入する湧水は止水できなかったため、②に示す工法でセメントのみによるグラウチングを実施した。また、グラウチングは、セメント注入前の水押し試験によってルジオン値を算出し、算出したルジオン値によって、表 3.1.3-6 に示すセメントの初期配合を選択し、注入を実施した。

水押し試験でルジオン値 Lu=2.4 を確認したことから,表 3.1.3-6 に示す配合①によりグラウ チングを実施した。その結果,坑道壁面からのグラウト材の漏出もなく,注入圧力が 3.5MPa まで上昇し,注入流量が 0.3L/min まで低下したことから,グラウチングを終了した。

グラウチングの効果確認のため、旧孔に設置したグラウトパッカーを収縮した際、6 インチ ケーシング内側から 4.8L/min の湧水量の低減を確認した。

	配合①	配合②	配合③			
ルジオン値(Lu)	Lu<5	5≦Lu<10	10≦Lu<20			
水セメント比(W/C)	1:6	1:4	1:2			
普通セメント(kg)	7.90	11.59	43.20			
水(L)	47.50	46.35	43.20			
注入量(L)	77.00	-	_			

表3.1.3-6 ルジオン値によるセメント初期配合表および注入実績

⑥超微粒子セメントによるグラウチング

⑤の工法で湧水量は低減できたが, 湧水量をさらに低減すること(2.0L/min 以下)を目的として, 浸透性の優れた超微粒子セメントによるグラウチングを実施した。

グラウチングの結果,注入圧力が 5MPa まで上昇し,注入流量が 0.5L/min 以下まで低下し たことからグラウチングを終了した。グラウチング効果の確認のため,旧孔に設置したグラウ トパッカーを収縮した際に,6インチケーシング内からの湧水が 0.1L/min 以下であったため, 湧水量の低減が達成されたと判断し,グラウチングを終了した。その後,固練りセメントを打 設し,フランジ蓋をして閉塞した。

3.2 新孔の掘削

3.2.1 作業概要

新孔の作業概要を表 3.2.1-1 に示す。

表 3.2.1-1	新孔の作業概要
-----------	---------

No	作業内容	作業日時	
1	【ボーリングマシンの移設、設営、準備作業】	2013年1月23日~1月29日	
	【新孔の第1段掘削】		
	0.00~3.00mabh:HQ-3WLコアリング掘削およびコア観察		
	0.00~3.00mabh:湧水抑制対策		
	0.00~3.00mabh:PQ-3WL により拡孔		
2	0.00~2.75mabh:7-5/8 インチ(φ193.7mm)	2013 年 1 日 21 日~2 日 8 日	
2	パイロットロッド付トリコンビットで拡孔		
	2. 75~3. 00:7-5/8 インチトリコンビットで拡孔		
	0.00~3.00mabh: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(5MPa/10min)		
	【第2段掘削】		
3	3.00~57.32mabh:PQ-3WL コアリング掘削および	2013 年 2 月 9 日 ~ 2 月 27 日	
	コア観察		
4	【BTV 観察,物理検層】3.00~57.32mabh	2013 年 2 月 27 日~3 月 3 日	
5	【水理試験】5区間	2013 年 3 月 4 日~3 月 11 日	
	【湧水抑制作業とリボーリング】		
	56.00~57.32mabh:湧水抑制作業		
6	56.00~57.32mabh : PQ-3WL によりリボーリング	2013 年 3 月 12 日~3 月 18 日	
	17.50~57.32mabh:湧水抑制作業		
	17.50~57.32mabh:PQ-3WL によりリボーリング		
	【第2段掘削】		
7	57.32~79.83mabh:PQ-3WL コアリング掘削および	2013 年 3 月 18 日~3 月 19 日	
	コア観察		
	【湧水抑制作業とリボーリング】		
8	56.00~79.83mabh∶湧水抑制対策	2013 年 3 月 20 日~3 月 25 日	
	56.00~79.83mabh:PQ-3WL によりリボーリング		
	【第2段掘削】		
9	79.83~83.54mabh:PQ-3WL コアリング掘削および	2013 年 3 月 26 日~4 月 1 日	
	コア観察		
	【湧水抑制作業とリボーリング】		
10	76.00~83.54mabh:湧水抑制対策	2013 年 4 月 2 日~4 月 6 日	
	76.00~83.54mabh:PQ-3WL によりリボーリング		

No	作業内容	作業日時
	【第2段掘削】	
11	83.54~88.02mabh:PQ-3WL コアリング掘削および	2013 年 4 月 6 日~4 月 8 日
	コア観察	
	【湧水抑制作業とリボーリング】	
12	76.70~88.02mabh:湧水抑制対策	2013 年 4 月 9 日~4 月 11 日
	76.70~88.02mabh:PQ-3WL によりリボーリング	
	【第2段掘削】	
13	88.02~106.36mabh:PQ-3WL コアリング掘削および	2013 年 4 月 11 日~4 月 17 日
	コア観察	
14	【BTV 観察,物理検層】57.32~106.36mabh	2013 年 4 月 18 日~4 月 22 日
15	【水理試験】4区間	2013年4月23日~4月24日
16	【水圧モニタリング装置の設置】	2013 年 4 月 25 日
17	【解体・撤去・搬出作業】	2013年4月26日~4月29日

表 3.2.1-1 新孔の作業概要(続き)

3.2.2 ボーリングマシンの移設・設営・準備作業

旧孔から新孔への掘削位置の変更に伴うボーリングマシンの移設作業を1月23日から29日まで1方作業で実施した。新たな機材配置図を図3.2.2-1,また,新たに追加した機材を表3.2.2-1 に示す。





名称	型式	規格	質量	数 量
ボーリングポンプ	NAS-4	吐出量 70~230L/min 15.00kW	850. Okg	1 台
拡孔ビット	7-5/8 インチパイロットロ ッド付トリコンビット	外径:193.7mm	25. Okg	1個
6 インチケーシング	STGP-sch40	長さ:5.50m 外径:165.0mm,内径:150.8mm	27.7kg/m	1本

表 3.2.2-1 主要機材一覧表(追加分)

3.2.3 掘削作業

新孔の掘削は、旧孔で得られた情報から、以下に示す掘削方針で実施した。新孔の計画図および完成図を図 3.2.3-1 計画(a)、完成(b)に示す。

掘削方針

新孔掘削個所の選定

壁面地質調査結果から、坑道壁面の左翼側は割れ目が少ないことから、図 3.2.2-1 に示すように旧孔から 1.00m 離れた左翼側に新孔を選定した。

②湧水量低減

HQ-3WL 掘削の際は, 湧水量の測定を 1.00mabh 掘削毎に行い, 0.1L/min 程度が観測され た場合は掘削を中断し, グラウチングによる湧水抑制作業を実施する。

③第1段目掘削完了基準の設定

6インチケーシングの設置長については、掘削前の計画で4.00m としていたが、旧孔のコア 観察において3.50mabh 付近に透水性割れ目の存在が確認されたことから、ケーシングのフル ホールセメンチング時の湧水流入の影響を低減するため、第1段目掘削を3.00mabh までとし た(ただし、3.00 mabh 付近の岩盤等級が CM 級以下、あるいは割れ目が多い場合は、良質な 岩盤が確認されるまで掘削を継続する)。



図 3.2.3-1 新孔の計画図および完成図

1) 第1段掘削(0.00~3.00mabh)

第1段掘削は、1月31日から2月8日まで、2方作業にて実施した。掘削水は旧孔の第1段掘 削と同様に、深度500m研究アクセス南坑道に配管されている坑内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%の濃度で添加したものを使用した。掘削は、0.00~ 3.00mabhまでHQ-3WLで掘削を実施した。掘削中は、送水量等を、掘削水モニタリング装置(電 磁流量計等、表3.1.2-1)を用いて自動計測で実施した。

HQ-3WL での掘削時に, 2.00mabh において 1.20L/min, 3.00mabh において 1.50L/min の湧 水を確認したため,掘削方針に則り湧水抑制作業を実施した。湧水抑制作業は,旧孔の閉塞グラ ウチングと同様のグラウトパッカーを用いたセメントのみによるグラウチングを実施した。その 結果,孔内の湧水量を 0.13L/min まで抑制することができた。また,コア観察から,0.00~ 3.00mabh 間の岩盤等級が CM 級であり,かつ 2.90~3.00mabh 間に透水性割れ目がないことか ら,掘削方針で定めた第1段掘削完了基準を満たしており,ケーシングのフルホールセメンチン グ時における湧水の影響がないと判断した。

拡孔作業は、PQ-3WL にて 3.00mabh まで再掘削し、2.75mabh まで 7-5/8 インチパイロット

ロッド付トリコンビット, 2.75mabh~3.00mabh 間は 7-5/8 インチパイロットロッド付トリコン ビットの先端に付いているロッドを取り外して拡孔を実施した。

拡孔作業後,図 3.2.3-1 完成(b)に示すように 6 インチケーシングを 3.00mabh まで設置し,図 3.2.3-2 に示すフルホールセメンチングを実施した。フルホールセメンチングは,坑道壁面からの セメントの漏出を抑制するために,旧孔の閉塞グラウチングに使用した逸泥防止材を併用したグ ラウト工法によりセメンチングを実施した。表 3.2.3-1 にフルホールセメンチングの配合および 実績を示す。フルホールセメンチング後,6 インチケーシングの耐圧性を確認するため,PQ-3WL にて 6 インチケーシング内を 3.00mabh まで浚渫し,5MPa/10min でケーシング加圧試験を 2 回 実施した。



図 3.2.3-2 フルホールセメンチング

作業概要	水セメント比	逸泥防止材 LCM	注入圧	注入量	进 来
	(W/C)	混入率(%)	(MPa)	(L)	順方
1回目注入	1 : 2	0.0	1.0~1.2	154. 0	導通確認用注入
2回目注入	1 : 2	3. 0	1.2~2.2	228. 0	
3回目注入	1 : 0.5	0.0	1.4	150. 0	

表 3.2.3-1 フルホールセメンチングの配合および実績

2) 第2段掘削(3.00~106.36mabh)

第2段掘削は、2月9日に5インチケーシングを仮ケーシングとして3.00mabhにセットした 後、孔口装置(マニホールド、ゲートバルブ、プリペンダー)を取付け、PQ-3WLによる掘削を 2方作業にて実施した。掘削中は第1段掘削と同様に掘削水モニタリング装置を用いた自動計測 を行った。ただし、グラウチングによる湧水抑制作業を行った区間のリボーリングの際は、掘削 水モニタリング装置の測定部にセメントが付着し装置故障の原因となることが懸念されるため、 全ての水質データの測定は実施していない。また、掘削長20m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。

掘削中の湧水量および湧水圧は、1掘進完了時および目視で確認できる程度に湧水量が増大し

た場合に測定した。湧水圧については、孔口装置を閉鎖し、孔口装置に取り付けたブルドン管に より測定した。そのため、掘削時に孔口装置が取り付けられていない 0.00~3.00 mabh の掘削時 は、湧水圧測定を実施していない。湧水量については、孔口に取り付けた電磁流量計によって、 流量を計測した。湧水量が少ない場合(50.00 L/min 以下)は、併せて手計りも実施した。掘削 した 3.00~106.32mabh 間での湧水が、57.32mabh、78.83mabh、83.56mabh、88.02mabh の 4 箇所で発生したことから、グラウチングによる湧水抑制作業とリボーリングを実施した。

当初,第2段目掘削では,図2.3-2に示すS200_13断層およびIF_SB3_13_3断層の分布が予 測されていたが,106.36 mabh までの掘削でこれらの断層に遭遇しなかった。このため,第3段 掘削の4インチケーシングによる保孔対策およびHQ-3WLによる掘削は実施しなかった。なお, 48.90mabh にダメージゾーンを伴わない小規模な断層角礫がコア観察で認められたが,この断層 は,既往調査で想定されていたS200_13断層およびIF_SB3_13_3断層とは規模および走向・傾 斜が異なることから,上記の断層では無いと考えられる。

BTV 観察,物理検層および水理試験は、3.00~57.32mabh 間の掘削後,グラウチングによる 湧水抑制作業前に水理試験(4 区間)を実施した。また、57.32~106.36mabh 間については、 106.36mabh まで掘削完了後に孔内を洗浄し、BTV 観察,物理検層,水理試験(4 区間)を実施 した後に、水圧モニタリング装置を設置した。

3.2.4 コア回収率

本調査では、コア回収率向上のため、HQ-3WL および PQ-3WL (3 重管コアバーレル)を使用した。3 重管コアバーレル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構造 となっており、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。このため、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。ただし、3 重管コアバーレルはコア径が 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 (HQ-3WL)、81.0mm (PQ-3WL))、調査への影響はないと判断した。

HQ-3WL で掘削した 0.00~3.00mabh のコア採取率は 100%であった。PQ-3WL で掘削した 3.00mabh 以深では, 64.16~64.56mabh および 79.36~82.54mabh においてコアロスが発生し, これらの区間ではコア採取率が 0%となったが, それ以外の区間ではコア採取率は 100%であった。したがって全体のコア回収率は 97%であった。

64.16~64.56mabh のコアロスは、インナーチューブ回収時にインナーチューブにセットした アクリル管から角礫化したコアが抜け落ちたためと考えられる。また、79.36~82.54mabh 間の コアロスは、PQ-3WL のインナーチューブが正しくコアバーレルにセットされない状態で掘削し たためと考えられる。

3.2.5 掘削水モニタリング装置での測定結果(送水量,排水量)

本調査では、掘削中の湧水量を把握するため、送水量および排水量を掘削水モニタリング装置 により自動計測した。また、掘削中の1掘進完了時および目視で確認できる程度に湧水量が増大 した場合は、掘削を中断し湧水圧、湧水量の測定を実施した。湧水抑制作業箇所を併記した送水 量および排水量と湧水圧、湧水量の測定結果を図 3.2.5-1 に示し、電気伝導度、PH、温度につい ては、6章の地下水の地球化学的調査、図 6.1.2-1 および図 6.1.2-2 に示す。 なお,62.56~78.83mabh では湧水量の増加に伴い排水量が研究所の排水処理能力を超えたが, グラウチングによる湧水抑制作業を実施せず,ボーリング孔口に設置した孔口装置で排水処理能 力を超えない排水量(300.0L/min以下)になるようにコントロールして掘削した。



3.2.6 湧水抑制作業

研究坑道内からの排水は、全て地上の排水処理施設において処理している。このため、本ボー リング掘削により、排水処理施設の排水処理能力を超えるような大量の湧水が発生した場合は、 グラウチングによって湧水を抑制することとした。湧水抑制作業を行う湧水量の基準は、以下に 示すように 360.0L/min とした。

- ・排水処理施設の1日の最大排水処理能力:約1,500m³/日
- ・排水処理能力の安全率 1.2 を見込んだ1日の排水量: 1,500 m3/日/1.2=1,250 m3/日
- ・研究坑道の掘削工事などに伴う通常時の排水量:約720 m3/日
- ・本ボーリング調査に許容される排水量:1,250 m³/日-720 m³/日=530 m³/日
- ・湧水量換算:530 m³/日≒368.1L/min⇒360.0L/min

グラウチングによる湧水抑制作業では、セメント注入前の水押し試験によってルジオン値を算 出する。算出したルジオン値によって、セメントの初期配合を選択し、撹拌したセメントを低流 量から徐々に注入する。ルジオン値によるセメント初期配合および注入計画を表 3.2.6-1 に示す。

ルジオン値		配合切替(水・セメント比)				(1)	
(Lu)	1:8	1:6	1:4	1:2	1:1	1 : 0. 75	
Lu<5		400	400	400	1,000	800	3, 000
5≦Lu<10			400	800	1,000	800	3, 000
10≦Lu<20				800	1, 200	800	3, 000
20≦Lu					2,000	1,000	3, 000

表 3.2.6-1 ルジオン値によるセメント初期配合および注入計画

新孔では、57.32~88.02mabh で排水処理能力を超える湧水(表 3.2.6-2)が確認されたことから、グラウチングによる湧水抑制作業を計5回実施した。

57.32mabh で実施した湧水抑制作業については,改良対象区間を 56.00~57.32mabh として実施したが、グラウチングの際、孔口からセメントが流出したため、湧水抑制作業を中止した。湧水抑制作業後の湧水測定をした結果、340.0L/min から 270.0L/min まで湧水を低減できたが、不十分なものであり、再度、湧水抑制作業を実施することとした。

グラウチング時に孔口からセメントが流出した原因として、グラウトパッカーおよび注入ロッドの接続部からの漏出が考えられたが、点検の結果、異状は認められなかった。そこで、透水性割れ目のネットワーク経路による漏出が考えられたことから、3.00~57.32mabhにグラウトパッカーを設置し、水押し試験(着色顔料入り)を実施した。水押し試験の結果、22.50mabh以深にグラウトパッカーを設置した場合は着色した水が孔口より流出したが、17.50mabh以浅にグラウトパッカーを設置した場合は着色された水が孔口から流出しなかった。そこで17.50~57.32mabhを改良対象区間として湧水抑制作業を実施した。

17.50~57.32mabhの湧水抑制作業は、グラウトパッカーを17.50mabhに設置して実施した。 湧水抑制作業後の湧水量測定の結果、36.0L/minまで湧水が低減したことから、十分な効果があ ったと判断し作業を終了した。

また,78.83,83.54,88.02mabh での湧水抑制作業では,各点1回の湧水抑制作業で湧水量を 規定値以下に低減できた。湧水量および注入実績を表3.2.6-2に示す。
湧水抑制作業区間 (mabh)	作業前湧水量 (L/min)	作業後湧水量 (L/min)	配合 (W/C)	注入 量 (L)	備考
56 00~57 32	300.0	270_0	1:1	651.0	孔口よりセメント漏出のため作業
50.00.07.52	500.0	270.0	1:0.75	110.0	を中止。作業区間を変更。
			1:6	400.0	
			1:4	400.0	
17.50 ~ 57.32	340. 0	36.0	1:2	400.0	
			1:1	1, 000. 0	
			1 : 0. 75	115.0	
			1:6	400.0	
			1:4	400.0	
56.00~78.83	490. 0	55.0	1:2	400.0	
			1:1	1,000.0	
			1 : 0. 75	1, 010. 0	
			1:2	800.0	
76.70 ~ 83.54	375.0	57.0	1:1	1, 200. 0	
	1 : 0. 75	1, 700. 0			
76 70 . 00 00	260.0	E7 0	1:1	2, 000. 0	
/0. /0~88. 02	300.0	57.0	1:0.75	1, 055. 0	

表 3.2.6-2 湧水抑制作業実施前後の孔内湧水量および注入実績

3.2.7 孔芯傾斜測定結果

ボーリング孔の掘削方位は、S41°W(真北), 傾斜:-3.0°で開始した。ボーリング孔掘削時の孔跡管 理として, 孔芯傾斜測定を20m毎に行った。測定方法は, 磁気の影響を排除するために PQ-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, その中に孔芯傾斜測定器を収納し, 写真 記録方式で測定した。孔芯傾斜測定の結果から, 設計方位 S41°W に対して西に 2°の差異が認められ るが, 20.00mabh から最奥部(104.00mabh)まで直線であり, 孔曲りが増加する傾向は見られなかった。 孔芯傾斜測定の結果を表 3.2.7-1 に示す。

掘削長(mabh)	孔径	方位	傾斜
20.00	PQ-3WL (ϕ 122.0mm)	S43° W	-3. 0°
30.00	PQ-3WL (ϕ 122.0mm)	\$43° W	−3. 0°
40.00	PQ-3WL (ϕ 122.0mm)	S43°W	-3. 0°
60.00	PQ-3WL (ϕ 122.0mm)	S43°W	-3. 0°
80.00	PQ-3WL (ϕ 122.0mm)	S43° W	−3. 0°
100.00	PQ-3WL (ϕ 122.0mm)	S43°W	−3. 0°
104.00	PQ-3WL (ϕ 122.0mm)	S43°W	-3. 0°

表 3.2.7-1 孔芯傾斜測定結果

3.2.8 解体·撤去·搬出作業

ボーリングマシンを分解し,4月26日から29日にかけて深度500mステージから換気立坑地上設備 まで資機材の荷揚げ作業を1方作業にて実施し,4月29日に全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,S200_13 断層,IF_SB3_13_3 断層の分布および,その周辺岩盤(下部割れ目低 密度帯)の割れ目や変質について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 1/20 とした。

4.1.2 コア観察結果

12MI32 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。

1) 岩相

12MI32 号孔のコアは,主に黒雲母花崗岩で構成される。その他に, 54.29~54.40mabh では アプライトが認められた。

黒雲母花崗岩は、主に中粒〜粗粒の等粒状(写真 4.1.2-1)であり、一部で斑状組織を示す(写 真 4.1.2-2)。主要構成鉱物は、石英、カリ長石、斜長石、黒雲母と少量の角閃石である。カリ長 石、斜長石および角閃石は自形〜半自形、石英および黒雲母は半自形〜他形である。鉱物の粒径 は、石英が 1~8mm、長石類が 2~30mm、黒雲母および角閃石が 1~3mm である。アプライト は幅 10cm の脈として認められる(写真 4.1.2-3)。粒径 1mm 以下の石英、カリ長石と少量の黒 雲母が帯状に分布する。黒雲母花崗岩とアプライトの境界は、コアが機械的に角礫化したため不 明である。なお、24.80mabh や 28.10mabh 付近では黒雲母が帯状に濃集する(写真 4.1.2-4)。



写真 4.1.2-1 黒雲母花崗岩の等粒状組織

(38.70~38.90mabh)



<u>5 6 7 8 9 1 1 2 3 4 5 6 7 8 9 1 1 2 3 4 5</u> 写真 4.1.2-3 アプライト(54.25~54.45mabh)



4.1.2-4 黒雲母が冊次に濃果した 黒雲母花崗岩(24.70~24.90mabh)



図 4.1.2-1 12MI32 号孔コア観察・BTV 観察総合柱状図

2) 断層

12MI32 号孔では、48.90mabh に断層角礫が認められた(写真 4.1.2-5, 図 4.1.2-2)。この断層 は走向・傾斜が N19E[°]71E[°],幅 5mm 程度でダメージゾーンを伴わない小規模な断層であった。 12MI32 号孔では、既往調査で S200_13 断層および IF_SB3_13_3 断層が想定されたが、確認さ れた断層はその規模および走向・傾斜が異なるため、S200_13 断層および IF_SB3_13_3 断層で は無いと考えられる。



写真 4.1.2-5 48.90mabh 付近の断層角礫(48.80~49.00mabh)



(Shaft500 地質構造モデル 深度 500m 水平断面図)

図 4.1.2-2 先行ボーリング調査結果にもとづく地質平面図 2を加筆修正

3) 割れ目記載

(a) 割れ目密度

割れ目密度は平均 5.2 本/m で,最大は 51.00~52.00mabh の 20.0+本/m, 40.00mabh 以浅お よび 70.00mabh 以深では割れ目が少なく 17 区間/m で 0.0 本/m であった。

注)コアが礫状となり割れ目を正確に数えることができない区間は割れ目密度の数値に「+」を記した。

(b)割れ目沿いの変質

割れ目沿いの変質は、一部の黒雲母がわずかに緑泥石化しているものの、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、方解石および緑泥石、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がほぼ全区間において認められた。また、石英および黄鉄鉱が 40.00mabh 以深で認められた。

4) RQD

RQD は平均 78.2%で,40.00mabh 以浅は RQD が高く平均 93.1%であった。最小は 57.00~ 57.00mabh の 11.0%であった。

注)コアロス区間を除く。

5) 岩盤等級

岩盤等級は,26.00mabh まで CH 級,26.00~40.00mabh では CH~B 級,40.00mabh 以深で は CM~CH 級が主体となる。なお,12MI32 号孔では CL 級および D 級岩盤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。

孔番	観察区間(mabh)	測定長(m)	作業期間	備考
12MI32	3.00~57.15	54.15	2013 年 3 月 1 日	孔底 57.34mabh
	3.00~106.16	103.16	2013 年 4 月 18 日	孔底 106.36mabh

表 4.2.1-1 BTV 観察の数量・作業工程

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。

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-200W	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

表 4.2.1-2 BTV 観察の使用機器・機材

4.2.2 BTV 観察結果

12MI32 号孔における BTV 観察結果の一覧と展開画像を付録 4.2.2-1 に示す。

1)割れ目の本数と密度

展開画像で確認された割れ目は,全体で483本,そのうちへ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4.7本/mであるが, 開口した明瞭割れ目は0.7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。

密度

割れ目の)区分	本	数	割合	(%)	平均害 密度(3	削れ目 本/m)
旧時割わ日	開口なし	144	71	20.0	14.7	1.4	0.7
明瞭刮れ日	開口あり	144	73	29.0	15.1	1.4	0.7
ヘアーク	ラック		311		64.4		3.0
不連続書	削れ目		28		5.8		0.3
合	計		483		100.0		4.7

(測定長=103.16m)

2) 割れ目の方位

割れ目の方位データを基に、割れ目の比較的多い区間(40.00~80.00mabh;割れ目密度 7.3 本/m)と割れ目の比較的少ない区間(3.00~40.00mabh;割れ目密度 2.5 本/m, 40.00~ 106.16mabh;割れ目密度 3.8 本/m)のステレオネットを作成した(図 4.1.2-1「割れ目方位」)。 ステレオネットを作成した各区間の走向・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。

相应次由	NW走向			NE走向			스러
観奈床度 (mabh)	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	合計 (本)
3.00~40.00	1	11	62	0	6	11	91
40.00~80.00	7	18	232	2	0	33	292
80.00~106.16	0	2	94	2	1	1	100
合計(本)	8	31	388	4	7	45	483

表 4.2.2-2 ステレオネット区間の走向・傾斜毎の割れ目本数

12MI32 号孔の割れ目は、割れ目の比較的多い区間および割れ目の比較的少ない区間ともに、 NW 走向で高角度傾斜が卓越する(図 4.1.2-1「割れ目方位」)。

4.3 物理検層

4.3.1 実施内容

物理検層は、57.32m までの第 2-1 段階掘削終了後、グラウチング実施前に一回目の測定を行い、第 2-2 段階掘削終了時に二回目の測定を行った。そのため、一回目の測定実施時にはケーシング挿入区間を除いてグラウチング未実施の状態で測定を行っているが、二回目の測定時には88.02mabh 以浅の区間でグラウチング実施後の測定となっている。当項目では一回目の測定を 1 次検層、二回目の測定を 2 次検層とした。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。

71	园木石口	調査実約	主 見
九田	前宜項日	調査区間	作業期間
	1 汉 公 侯 居	[1次検層] 3.00~ 56.20mabh	2013年2月28日
	「し」注が、「高	[2次検層] 3.00~105.30mabh	2013年4月20日
	雨气冷风	[1次検層] 3.00~ 57.00mabh	2013年3月2日
電気 密度 12MI32	电风快眉	[2次検層] 3.00~106.00mabh	2013年4月21日
	应由全网	[1次検層] 3.00~ 56.90mabh	2013年3月3日
	省及快厝	[2次検層] 3.00~106.00mabh	2013年4月19日
	中性子検層	[1次検層] 3.00~ 57.00mabh	2013年3月3日
		[2次検層] 3.00~106.10mabh	2013年4月19日
	去 ::::::::::::::::::::::::::::::::::::	[1次検層] 3.00~ 55.80mabh	2013年3月2日
	日次快度	[2次検層] 3.00~105.10mabh	2013年4月21日
	●磁フロ//	[1次検層] 0.00~ 56.90mabh	2013年3月3日
	電磁フローメーター検層	[2次検層] 2.00~106.00mabh	2013年4月20日

表 4.3.1-1 物理検層の実施項目・実績

表 4.3.1-2 物理検層の使用機器

種目	機器	型式	仕様
	測定機器	LPM-202 RMM-2003 (×2)	電源 : AC100V±10% 50/60Hz BIN DC 300V・測定電源 90mA
孔径検層	孔内機器(ゾンデ)	X-Y AXIS	外径:44.0mm 全長:2.17m 測定範囲:5~71cm 耐圧:15,000psi 測定温度:max 190℃
電気検層	測定機器	ELM-204 SCM-304	測定動作周波数:240Hz±10Hz 出力:25cmノルマル/100cmノルマル/SP 動作範囲:比抵抗(0~20kΩm) SP(0~200mV)
	孔内機器(ゾンデ)		外径:51.0mm 全長:1.7m 電極:25cmノルマル/100cmノルマル/SP
	測定機器	SYSTEM VI	
密度検層	孔内機器 (ゾンデ)	CNL-9139	外径:51mm 全長:2.83m 線源: ¹³⁷ Cs (74GBq) ディテクタ:NaIシンチレーション 測定誤差:0.05g/cm ³ 以内
	測定機器	SYSTEM VI	
中性子検層	孔内機器(ゾンデ)	CNL-9073	外径:50.8mm 全長:2.83m 線源: ²⁴¹ Am-Be(185GBq) ディテクタ:He-3 比例計数管
	測定機器	MATRIX Logger	
音波検層	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°C 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2.0μS
	測定機器	SYSTEM VI	
電磁フローメー ター検層	孔内機器(ゾンデ)	EMFM-9721	外径:60.0mm 全長:1.6m 流速範囲:0~60℃ 精度:±5% 泥水比抵抗測定範囲:0~500Ωm 精度:±5%

4.3.2 物理検層結果

物理検層結果を図 4.3.2-1 に示す。また,1)~6)に各物理検層結果について示す。なお,密度値 および間隙率は,孔径補正を適用した結果である。

1) 孔径検層

1 次検層での平均孔径は 125.3mm, 2 次検層における 57.00mabh 以深での平均孔径は 123.9mm であり,ともにほぼ掘削孔径 (ϕ 123.0mm) に等しく,1次検層における 52.30mabh 付近と 55.30mabh 付近の X 軸側の孔径縮小を除いて顕著な孔径変化の区間は存在しない。なお,これらの X 軸側の孔径縮小箇所は 2 次検層時には認められないことから,岩盤のせり出し等による孔径の縮小ではなく,1 次検層実施時には孔底付近であることから,孔内の残留物の影響により小さく測定されたものと考えられる。

2) 電気検層

1 次検層では、51.00mabh 以浅の区間はロングノルマル値で 1000Ω・m 以上の高比抵抗であ り、51.00mabh~孔底区間では 1000Ω・m 以下の低比抵抗値を示している。52.40mabh 付近で は比抵抗値が約 500Ω・m まで減少しており、この低比抵抗区間は密度検層の低密度区間、中性 子検層の高間隙率区間、電磁フローメーター検層の流体流入区間と一致している。

2 次検層は、ほとんどの区間でロングノルマル値 1000 Ω・m 以上の高比抵抗を示したが、比抵 抗値は深度により変動しており、1 次検層よりも多くの箇所で比抵抗の変動がみられる。それら 比抵抗値の低下部は 65.00mabh 付近、79.00mabh 付近および 95.00mabh 付近でみられ、いず れも中性子検層での 2%以上の高間隙率箇所と一致している。

3)密度検層

密度値は、ほぼ全区間において 2.5g/cm³を上回る高密度値を示している。51.00~60.00mabh で密度値が減少しており 2.5g/cm³を下回っているが、この区間は電気検層において低比抵抗、中 性子検層において高間隙率、1 次検層の電磁フローメーター検層においての主流入区間であり、 密度値の低下は、他の区間に比較して割れ目密度が高く、かつ、湧水を伴う割れ目が存在するこ とによって密度値の低下を示したと考えられる。

4) 中性子検層

1次検層および2次検層での間隙率の平均値は1.62%で、概ね2.00%以下の低間隙率である。 また、1次検層と2次検層の結果はよく一致しており、グラウチングが中性子検層結果へ与えた 影響は軽微であるといえる。52.00~60.00mabh、65.00mabh 付近、79.00mabh 付近および 95.00mabh 付近は、2.00%以上の高間隙率を示しており、57.60mabh では最大間隙率 3.40%を 示す。これらの区間は、いずれも電気検層における低比抵抗区間と一致している。また、52.00 ~60.00mabh は1次検層における電磁フローメーター検層での主流入区間とも一致している。

5) 音波検層

音波検層において速度解析が実施できた区間は、1 次検層の P 波で 10.00mabh 以浅と 25.00 ~46.00mabh, S 波で深度 17.00mabh 以浅と 25.00~50.00mabh, 2 次検層の 57.00mabh 以深

の区間について、P波で 58.00~84.00mabh, 90.00mabh 付近および孔底付近であり、S波はわずかな区間に限られている。速度解析を行えなかった原因は、水平孔においては孔内機器を孔の中心に保持できないため、孔内機器を孔壁に接触させた状態で測定を行ったことに加えて、流体の流入とそれに付随する溶存気体の遊離によりノイズが増加したためであると考えられる。

1 次検層における 25.00mabh 以深の区間での速度の平均値は,P 波速度で 5.36km/ sec,S 波 速度で 2.95km/ sec である。

2次検層における 57.00mabh 以深の P 波速度の平均値は 5.44km/sec で,57.00mabh 以浅よ り割れ目の多い区間においても、1次検層の測定値と同等か大きい値を示す傾向にある。これは、 57.00mabh 以浅の、1次検層と2次検層を重複して測定している区間において、1次検層の測定 値よりも2次検層の測定値が大きい傾向にあることから、グラウチングで間隙が充填された影響 により測定値が増加したものであると考えられる。速度の低下部は 52.00mabh 付近と 64.00mabh 付近で、いずれもP波速度で約4.00km/secまで減少している。上記深度は、電気検 層の低比抵抗、中性子検層の高間隙率の箇所と一致している。

6) 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。

1次検層の結果は54.00~57.30mabhからの流入が顕著であり、全湧水量の約80%がこの区間からの流入であると考えられる。47.00~52.00mabhは流量が一旦減少している区間も見られるが、3.8MPaの被圧環境下での流出は考えにくいため、測定された流量に誤差があった可能性がある。よって、47.00mabhと52.00mabhの測定流量のみを用いて、24.8 L/minの区間流入量と評価した。24.00~26.00mabhでは、電気電導度と温度に変化がみられるため、流入区間と考えられる。3.00~5.00mabhでの流量変化は、ケーシング直下の孔径拡大による影響であり、流体の流出入を反映した測定値変化では無いと判断した。

2 次検層結果は 88.00~91.00mabh では、1m 毎に流入・流出・流入をくりかえす結果になっている が、3.8MPa 程度の被圧環境下での流出は考えにくいうえ、BTV 観察結果では当該区間に気泡の混入 が原因であると考えられる画像の乱れが存在したため、気泡の影響により流量測定に誤差が生じたと判 断し、1次検層と同様に 88.00mabh と 91.00mabh の測定値のみを用いて 124.8L/min の区間流入量 と評価した。91.00mabh 以深での流体の流出入は 0 L/min となっているが、流体の電気電導度および 温度は当該区間でも変化していることから、微小ではあるが流体が流入していると考えられる。また、 12.00mabh 以浅での流量変化は1次検層と同様、ケーシング直下での乱流の影響と考え、流体の流出 入を反映した値では無いと判断した。

	掘削深度 (mabh)	流出入	流出入量 ^(*) (L/min)	備考
	11.00 ~ 12.00	流入	+20.3	
1	24.00 ~ 26.00	流入	+25.4	
次 検	47.00 ~ 52.00	流入	+24.8	
層	54.00 ~ 55.00	流入	+85.1	十法10問
	56.00 ~ 57.30	流入	+184.4	土流入区间
2	54.00 ~ 56.00	流入	+4.1	
次 検	64.00 ~ 72.00	流入	+26.1	
層	88.00 ~ 91.00	流入	+124.8	

表 4.3.2-1 電磁フローメーター検層解釈結果

(*) 流出入量 +: 孔井内への流入, -: 孔井外への流出



図 4.3.2-1 12MI32 号孔 ボーリング調査結果(物理検層)

5. 水理学的調查

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⁴⁾」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 5した水理試験装置を使用した(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ロ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、その上部にはロ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

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¢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 \$42.7mm
		1m,2m,2.5m,3m	外形 φ42.7mm 内径 φ35.8mm
	ロット(中継用)	ステンレス製	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
	圧カライン(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 5.1.1-1 水理試験装置の構成・仕様(孔内部)

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
	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")
		水晶振動式絶対圧計2台	
	圧力計ボックス	圧力計ボックス ひずみゲージ圧力計4台	
孔外部		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 2.0L/min 以上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⁶、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。



(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2.0L/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⁷⁾または Cooper 法⁸⁾,定流量揚水試験(RW)は Jacob-Cooper 法⁹⁾,定流量揚水試 験後の回復試験(RWS)は Agarwal 法¹⁰⁾による解析を行った。その他の解析方法として、水理 解析ソフトウェアである nSIGHTS(旧 GTFM¹¹⁾)によるカーブマッチング手法を用いた。

各試験方法の詳細は、付録 5.1.3 水理試験解析式を参照。

5.2 水理試験結果

12MI32 号孔の各区間で実施した水理試験結果を下記に示す。

(1) No.1 試験区間(17.50~21.80mabh)

本試験は、20.00mabh付近の透水性割れ目を対象として実施した。

1) 装置構成

図 5.2.1-1 に No.1 試験区間の装置構成を示す。

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0.5L/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 5.2.1-1 No.1 試験区間装置構成

2) 各区間の間隙水圧測定

図 5.2.1-2 に No.1 試験区間の圧力変化を示す。

試験区間である P2 区間の間隙水圧は,パッカー拡張後から短時間で3.4MPa 程度まで上昇し, その後はなだらかな上昇が継続した。ただし,全体的な変化の傾向から間隙水圧収束の末期であ ると考えられることから,間隙水圧は,期間全体を通して最大値を確認したパッカー収縮(DEF) 前の値(3.5MPa)とした。

P1 区間の間隙水圧は、パッカーの拡張後から数秒足らずで 3.5MPa まで上昇し、その後はほぼ安定した。P1 区間は孔底付近の湧水量の多い割れ目を含んでおり、透水性が高い状況を反映していると考えられる。





表 5.2.1-1 に No.1 試験区間の結果を示す。

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6.04E-09m/sec, 2.79E-09m/sec,パルス試験(PW)2で5.41E-09m/sec, 2.50E-09m/sec であった。解析結果から貯留性が小さく,間隙水圧の上昇傾向の少ないパルス試験(PW)2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 (6.31E-11m³/Pa), パルス試験 (PW) 2 (5.93E-11m³/Pa) ともほぼ同様の値であり,表 5.2.1-1 に示す試験区間内 を水+パッカーと仮定した圧縮率 (4.40E-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。

	12MI32号	孔 No.1試験区	間水理試験結果				
試験開始日	2013/3/	/11 9:00	試験終了日	2013/3/	11 20:20		
使用装置	JAEA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)	17.50	掘削深度	(mabh)	57.32		
試験区間下端	(mabh)	21.80	掘削孔半径	(m)	0.0615		
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~ PW2 ~	DEF				
水+パッカーのCompressbility(m³/Pa)		4.40E-11	システム容積	(L)	63.60		
ガス+パッカーのCompressbility(m ³ /Pa)		3.20E-08	区間湧水量	(L/min)	0.50		
		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)	3.6710	3.6743	3.6763				
試験前P2水圧(MPa)	3.5038	3.4937	3.4950				
試験前P3水圧(MPa)	3.3735	3.4012	3.4039				
		PW1試験結	果				
試験区間のCompressibility	(m³/Pa)	6.31E-11	PWの排水量	(L)	0.11		
仮想半径Rw	(m)	4.44E-04	最大水位低下量	(m)	177.80		
PW2試験結果							
試験区間のCompressibility	(m³/Pa)	5.93E-11	PWの排水量	(L)	0.12		
仮想半径Rw	(m)	4.30E-04	最大水位低下量	(m)	206.29		
		解析結果					

表 5.2.1-1 No.1 試験区間の結果

解析結果							
透水試験名	T(m ² /sec) k(m/sec) S(-) Ss(1/m)				解析方法		
PW1	2.60E-08	6.04E-09	5.21E-12	1.21E-12	Cooper		
	1.20E-08	2.79E-09			Hvorslev		
PW2	2.33E-08	5.41E-09	4.89E-12	1.14E-12	Cooper		
	1.07E-08	2.50E-09			Hvorslev		

(2) No.2 試験区間(22.50~26.80mabh)

本試験は、24.00mabh付近の透水性割れ目を対象として実施した。

1) 装置構成

図 5.2.1-3 に No.2 試験区間の装置編成を示す。

装置構成はダブルパッカー編成とした。試験区間の湧水量測定結果が16.8L/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)および定流量揚水試験(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 No.2 試験区間装置構成

2) 各区間の間隙水圧測定

図 5.2.1-4 に No.2 試験区間の圧力変化を示す。

試験区間である P2 区間の間隙水圧は,パッカー拡張後から短時間で3.3MPa 程度まで上昇し, その後はなだらかな上昇が継続した。ただし,全体的な変化の傾向から間隙水圧収束の末期であ ると考えられることから,間隙水圧は,期間全体を通して最大値を確認したパッカー収縮(DEF) 前の値(3.39MPa)とした。

P1 区間の間隙水圧は、パッカーの拡張後から数秒足らずで 3.5MPa まで上昇し、その後はほぼ安定した。P1 区間は孔底付近の湧水量の多い割れ目を含んでおり、透水性が高い状況を反映していると考えられる。





表 5.2.1-2 に No.2 試験区間の結果を示す。

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) の結果,透水係数はパルス試験 (PW) 1 で 3.80E-07m/sec, 5.47 E-07m/sec, 定流量 揚水試験 (RW) /定流量揚水試験後の回復試験 (RWS) で 7.12E-07m/sec, 4.40E-06m/sec, 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 (RW) 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 (4.98E-10m³/Pa), であり,表 5.2.1-2 に示す試験区間内を水+パッカーと仮定した圧縮率 (4.60E-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。

	12MI32号	孔 No.2試験区	間水理試験結果				
試験開始日	2013/3	/6 6:37	試験終了日	2013/3/6 16:40			
使用装置	JAEA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)	22.50	掘削深度	(mabh)	57.32		
試験区間下端	(mabh)	26.80	掘削孔半径	(m)	0.0615		
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		
実施試験 INF ~ PSR ~ PW1 ~ RW/RWS ~ DEF							
水+パッカーのComp	4.60E-11	システム容積	(L)	68.60			
ガス+パッカーのComp	3.40E-08	区間湧水量	(L/min)	16.80			
		間隙水圧測	定	-			
水圧記録時のイベント	PW1	RW/RWS	DEF		備考		
試験前P1水圧(MPa)	3.6841	3.6859	3.7000				
試験前P2水圧(MPa)	3.3813	3.3831	3.3947				
試験前P3水圧(MPa)	3.2940	3.2847	3.3041				
	-	PW1試験結	果				
試験区間のCompressibility	(m³/Pa)	4.98E-10	PWの排水量	(L)	0.30		
仮想半径Rw	(m)	1.25E-03	最大水位低下量	(m)	61.40		
		RW/RWS試験	結果				
平均揚水流量	(L/min)	8.50	揚水時間	(min)	156		
Shut-In時水位低下量	(m)	108.35	積算揚水量	(L)	1326.00		

表 5.2.1-2 No.2 試験区間の結果

解析結果							
透水試験名	T(m ² /sec) k(m/sec) S(-) Ss(1/m)				解析方法		
PW1	1.64E-06	3.80E-07	4.13E-05	9.61E-06	Cooper		
	2.35E-06	5.47E-07			Hvorslev		
RW/RWS	3.06E-06	7.12E-07	9.88E-14	2.30E-14	Cooper-Jacob		
	1.89E-05	4.40E-06	1.22E-74	2.85E-75	Agarwal		

(3) No.3 試験区間(27.50~33.80mabh)

本試験は、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 5.2.1-5 に No.3 試験区間の装置構成を示す。

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0.3L/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 No.3 試験区間装置構成

2) 各区間の間隙水圧測定

図 5.2.1-6 に No.3 試験区間の圧力変化を示す。

試験区間である P2 区間の間隙水圧は,パッカー拡張後から短時間で 3MPa 程度まで上昇し, その後はなだらかな上昇が継続した。ただし,全体的な変化の傾向から間隙水圧収束の末期であ ると考えられることから,間隙水圧は,期間全体を通して最大値を確認したパッカー収縮(DEF) 前の値(3.37MPa)とした。

P1 区間の間隙水圧は、パッカーの拡張後から数秒足らずで 3.5MPa まで上昇し、その後はほぼ安定した。P1 区間は孔底付近の湧水量の多い割れ目を含んでおり、透水性が高い状況を反映していると考えられる。



図 5.2.1-6 No.3 試験区間の圧力変化図

表 5.2.1-3 に No.3 試験区間の試験結果一覧を示す。

試験区間 No.1 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 5.05E-09m/sec, 2.19E-09m/sec, パルス試験 (PW) 2 で 4.74E-09m/sec, 1.96E-09m/sec であった。解析結果から貯留性が小さく,間隙水圧の上昇傾向が少ないパルス試験 (PW) 2 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 (5.61E-11m³/Pa), パルス試験 (PW) 2 (5.27E-11m³/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 (6.00E-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。

12MI32号	孔 No.3試験区	間水理試験結果					
2013/3	/8 6:03	試験終了日	2013/3/	9 20:21			
JAEA揚水試験	改良型 1号機	パッカー構成	ダブルパッカー				
(mabh)	27.50	掘削深度	(mabh)	57.32			
(mabh)	33.80	掘削孔半径	(m)	0.0615			
(m)	6.30	掘削傾斜角		水平下向			
(底盤+m)	0.15	ロッド半径	(m)	0.0179			
試験概要							
INF ~ PSR ~	PW1~ PW2 ~	DEF					
水+パッカーのCompressbility(m³/Pa)		システム容積	(L)	95.40			
ガス+パッカーのCompressbility(m ³ /Pa)			(L/min)	0.30			
	間隙水圧測	定					
PW1	PW2	DEF		備考			
3.6986	3.6969	3.7022					
3.3650	3.3140	3.3712					
3.3541	3.3444	3.3543					
	PW1試験結	果					
(m³/Pa)	5.61E-11	PWの排水量	(L)	0.10			
(m)	4.18E-04	最大水位低下量	(m)	181.75			
(m³/Pa)	5.27E-11	PWの排水量	(L)	0.11			
(m)	4.05E-04	最大水位低下量	(m)	212.96			
	12MI32号 2013/3 JAEA揚水試験 (mabh) (mabh) (m) (底盤+m) INF ~ PSR ~ ressbility(m ³ /Pa) ressbility(m ³ /Pa) PW1 3.6986 3.3650 3.3541 (m ³ /Pa) (m) (m)	12MI32号孔 No.3試験区 2013/3/8 6:03 JAEA揚水試験 改良型 1号機 (mabh) 27.50 (mabh) 27.50 (mabh) 27.50 (mabh) 27.50 (mabh) 33.80 (m) 6.30 (mbh) 0.15 (mbk) 0.15 INF ~ PSR ~ PW1~ PW2 ~ ressbility(m³/Pa) 6.00E-11 ressbility(m³/Pa) 4.80E-08 BikrtEll BikrtEll PW1 PW2 3.6986 3.6969 3.3650 3.3140 3.3541 3.3444 PW1 試験結 (m³/Pa) (m³/Pa) 5.61E-11 (m) 4.18E-04 PW2 23.698 3.3541 3.3444 PW1 試験結 (m³/Pa) (m³/Pa) 5.27E-11 (m) 4.05E-04 FW2 15.27E-11 (m) 4.05E-04	12MI32号孔 No.3試験区間水理試験結果 2013/3/8 6:03 試験終了日 JAEA揚水試験改良型 1号機 パッカー構成 (mabh) 27.50 掘削深度 (mabh) 27.50 掘削深度 (mabh) 33.80 掘削深度 (mabh) 6.30 掘削傾斜角 (底盤+m) 0.15 ロッド半径 INF ~ PSR ~ PW1~ PW2 ~ DEF essbility(m³/Pa) 6.00E-11 システム容積 essbility(m³/Pa) 4.80E-08 区間湧水量 PW1 PW2 DEF 3.6986 3.6969 3.7022 3.3650 3.3140 3.3712 3.3541 3.3444 3.3543 PW1試験結果 (m³/Pa) 5.61E-11 (m³/Pa) 5.61E-11 PWの排水量 (m³/Pa) 5.27E-11 PWの排水量 (m³/Pa) 5.27E-11 PWの排水量 (m) 4.05E-04 最大水位低下量	12MI32号孔 No.3試験区間水理試験結果 2013/3/8 6:03 試験終了日 2013/3/3 JAEA揚水試験改良型 1号機 パッカー構成 ダブル/ (mabh) 27.50 掘削深度 (mabh) (mabh) 33.80 掘削孔半径 (m) (mabh) 33.80 掘削(斜角) (mabh) (mm) 6.30 掘削(斜角) (m) (mm) 0.15 ロッド半径 (m) (mm) 0.15 ロッド半径 (m) (mm) 6.00E-11 システム容積 (L) ressbility(m ³ /Pa) 6.00E-11 システム容積 (L/min) ressbility(m ³ /Pa) 4.80E-08 区間湧水量 (L/min) ressbility(m ³ /Pa) 3.6160 3.7022 9W1 PW2 DEF 3.6986 3.6969 3.7022 3.3650 3.3140 3.3712 (m ³ /Pa) 5.61E-11 PWの排水量 (L)			

表 5.2.1-3 No.3 試験区間の結果

解析結果							
透水試験名	T(m ² /sec) k(m/sec) S(-) Ss(1/m)				解析方法		
PW1	3.18E-08	5.05E-09	4.62E-14	7.33E-15	Cooper		
	1.38E-08	2.19E-09			Hvorslev		
PW2	2.98E-08	4.74E-09	4.34E-13	6.88E-14	Cooper		
	1.23E-08	1.96E-09			Hvorslev		

(4) No.4 試験区間(39.00~43.30mabh)

本試験は、湧水を伴う割れ目を対象として実施した。

1) 装置構成

図 5.2.1-7 に No.4 試験区間の装置構成概略を示す。

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2.0L/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)および定流量揚水試験(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 5.2.1-7 No.4 試験区間装置構成

2) 各区間の間隙水圧測定

図 5.2.1-8 に No.4 試験区間の圧力変化を示す。

P2の間隙水圧は、パッカーの拡張後から短時間で3.5MPa付近まで上昇した。その後は、パルス試験(PW)や定流量揚水試験(RW)/定流量揚水試験後の回復試験(RWS)の実施前後においても、間隙水圧測定(PSR)で確認した間隙水圧とほぼ同じ値へ収束しており、人為的な影響を除き間隙水圧は安定した。そのため、間隙水圧は、期間全体を通して最大値を確認したパッカー収縮(DEF)前の値(3.70MPa)とした。

P1 区間の間隙水圧は、パッカーの拡張後から数秒足らずで 3.5MPa まで上昇し、その後はほぼ安定した。P1 区間は孔底付近の湧水量の多い割れ目を含んでおり、透水性が高い状況を反映していると考えられる。



図 5.2.1-8 No.4 試験区間の圧力変化図

表 5.2.1-4 に No.4 試験区間の結果を示す。

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5.60E-08m/sec,2.89E-08m/sec,定 流量揚水試験(RW)/定流量揚水試験後の回復試験(RWS)で1.47E-07m/sec,9.52E-09m/sec, パルス試験(PW)2で5.60E-08m/sec,2.82E-08m/secであった。解析結果から水理学的影響圏 が大きいことと定流量揚水試験後の回復試験(RWS)では,derivative plotの一定値をとる領域 が約10秒程度と短かったことから,定流量揚水試験(RW)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 (1.13E-10m³/Pa), パルス試験 (PW) 2 (1.13E-10m³/Pa) ともほぼ同様の値であり,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 (5.50E-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 No.4 試験区間の結果

12MI32号孔 No.4試験区間水理試験結果							
試験開始日	2013/3/	/5 17:41	試験終了日	2013/3	/6 4:40		
使用装置	JAEA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)	39.00	掘削深度	(mabh)	57.32		
試験区間下端	(mabh)	43.30	掘削孔半径	(m)	0.0615		
試験区間長	(m)	4.30	掘削傾斜角		水平下向		
圧カ計高さ	(底盤+m)	0.15	ロッド半径	(m)	0.0179		
	INF~PSR~PW	1~RW/RWS~F	PW2~DEF				
水+パッカーのComp	ressbility(m ³ /Pa)	5.50E-11	システム容積	(L)	85.20		
ガス+パッカーのComp	ressbility(m ³ /Pa)	4.30E-08	区間湧水量	(L/min)	2.00		
· · · · · ·		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)	3.6916	3.6933	3.7142	3.7047			
試験前P2水圧(MPa)	3.4031	3.4048	3.4264	3.7042			
試験前P3水圧(MPa)	3.3445	3.3459	3.3706	3.3738			
		PW1試験結	果	-			
試験区間のCompressibility	(m³/Pa)	1.13E-10	PWの排水量 (L)		0.26		
仮想半径Rw	(m)	5.90E-04	最大水位低下量	(m)	234.08		
		RW/RWS試験	結果				
平均揚水流量	(L/min)	1.25	揚水時間	(min)	275		
Shut-In時水位低下量	(m)	188.18	積算揚水量	(L)	343.75		
		PW2試験結	果				
試験区間のCompressibility	(m ³ /Pa)	1.13E-10	PWの排水量	(L)	0.30		
仮想半径Rw	(m)	5.90E-04	↓最大水位低下量 (m)		270.53		
解析結果							
	T(m ² /sec)	k(m/sec)	S (-)	Ss(1/m)	解析方法		
	2.41E-07	5.60E-08	9.20E-11	2.14E-11	Cooper		
	1.24E-07	2.89E-08			Hvorslev		
	6.34E-07	1.47E-07	1.24E-38	2.88E-34	Cooper-Jacob		
RW/RWS	4.10E-08	9.52E-09	6.24E-06	1.45E-06	Agawal		

5.60E-08

2.81E-08

9.20E-11

2.14E-11

Cooper

Hvorslev

2.41E-07

1.21E-07

PW2

(5) No.5 試験区間(46.00~57.32mabh)

本試験は、湧水を伴う割れ目集中部を対象として実施した。

1) 装置構成

図 5.2.1-9 に No.5 試験区間の装置構成を示す。

45.00~46.00mabh に上部パッカーを配したシングルパッカーとした。試験区間の湧水量測定 結果が260.0L/min であったため、図5.1.2-1の試験手順フローに従い、パルス試験および定流量 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 5.2.1-9 No.5 試験区間装置構成

2) 各区間の間隙水圧測定

図 5.2.1-10 に No.5 試験区間の圧力変化を示す。

P2 区間の間隙水圧は、パッカー拡張後から短時間で3.7MPa 付近まで上昇した。その後は、 パルス試験(PW)や定流量揚水試験(RW)/定流量揚水試験後の回復試験(RWS)の実施前後 においても、間隙水圧測定(PSR)で確認した間隙水圧とほぼ同じ値へ収束しており、人為的な 影響を除き間隙水圧は安定した。そのため、間隙水圧は、期間全体を通して最大値を確認した定 流量揚水試験(RW)前の値(3.71MPa)とした。

P3 区間の間隙水圧は、パッカー拡張後から短時間で 3.4MPa 付近まで上昇し、その後はほぼ 安定した。



図 5.2.1-10 No.5 試験区間の圧力変化図

表 5.2.1-5 に No.5 試験区間の結果を示す。

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,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)は6.11E-06m/sec, 1.63E-05m/secであった。解析結果から 水理学的影響圏が大きいことと定流量揚水試験(RW)ではDerivative plotの一定値をとる領域 が約20秒程度と短かったため,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 5.2.1-5 No.5 試験区間試験結果一覧

	12MI32号	孔 No.5試験区	間水理試験結果				
試験開始日	2013/3	/5 4:28	試験終了日	2013/3	/5 16:00		
使用装置	JAEA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)	46.00	掘削深度	(mabh)	57.32		
試験区間下端	(mabh)	57.32	掘削孔半径	(m)	0.0615		
試験区間長	(m)	11.32	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					
	INF~PSR~PW	′1∼RW∕RWS∼F	PW2~DEF				
水+パッカーのComp	ressbility(m ³ /Pa)	9.90E-11	システム容積	(L)	173.60		
ガス+パッカーのComp	pressbility(m ³ /Pa)	8.70E-08	区間湧水量	(L/min)	260.00		
		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区間無し		
試験前P2水圧(MPa)	3.6867	3.7125	3.6998	3.6726			
試験前P3水圧(MPa)	3.3554	3.3542	3.3599	3.3445			
		PW1試験結	果				
試験区間のCompressibility	(m³/Pa)	—	PWの排水量	(L)	0.40		
仮想半径Rw	(m)	_	最大水位低下量 (m)		_		
		RW/RWS試験	結果				
平均揚水流量	(L/min)	139.00	揚水時間	(min)	160		
Shut-In時水位低下量	(m)	106.61	積算揚水量	(L)	22240		
		PW2試験結	果				
試験区間のCompressibility	(m³/Pa)	—	PWの排水量	(L)	0.20		
仮想半径Rw	(m)	—	最大水位低下量	(m)	—		
解析結果							
透水試験名	$T(m^2/sec)$	k(m/sec)	S (-)	Ss(1/m)	解析方法		
DW/1	解析困難				Cooper		
	解析困難				Hvorslev		
	6.92E-05	6.11E-06	1.25E-15	1.11E-16	Cooper-Jacob		

1.63E-05

1.05E-41

9.24E-43

Agawal

Cooper

Hvorslev

RW/RWS

PW2

1.85E-04

解析困難

解析困難

(6) 試験区間 No.5G(46.00~60.30mabh)

本試験は、グラウチングの効果を確認することを目的とし、グラウチングされた区間を対象として実施した。なお、グラウチング前の水理試験結果は、(5) No.5 試験区間(46.00~57.32mabh) に示した。

1) 装置構成

図 5.2.1-11 に No.5G 試験区間の装置構成を示す。

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が10.0L/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)および定流量揚水試験(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 No.5G 試験区間装置構成

2) 各区間の間隙水圧測定

図 5.2.1-12 に No.5G 試験区間の圧力変化を示す。

P2 区間の間隙水圧は、パッカー拡張後から短時間で 3.5MPa 付近まで上昇した。その後は、 パルス試験 (PW) や定流量揚水試験 (RW) /定流量揚水試験後の回復試験 (RWS) の実施前後 においても、間隙水圧測定 (PSR) で確認した間隙水圧とほぼ同じ値へ収束しており、間隙水圧 は安定した。そのため、間隙水圧は、期間全体を通して最大値を確認したパッカー収縮 (DEF) 前の値 (3.73MPa) とした。

P1 区間の間隙水圧は、パッカーの拡張後から数秒足らずで 3.5MPa まで上昇し、その後はほぼ安定した。P1 区間は複数の湧水量の多い割れ目を含んでおり、透水性が高い状況を反映していると考えられる。



図 5.2.1-12 No.5G 試験区間の圧力変化図

表 5.2.1-6 に No.5G 試験区間の結果を示す。

パルス試験(PW)1は,試験水頭差がわずかであったため試験が成立せず,解析を実施しなかった。そのため,パルス試験(PW)2は,パルス試験(PW)1のやり直しとして実施した。パルス試験(PW)2、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)3の結果,透水係数はパルス試験(PW)2で4.58E-08m/sec,定流量揚水試験(RW)/ 定流量揚水試験後の回復試験(RWS)で7.30E-07m/sec,6.65E-09m/sec,パルス試験(PW)3 で1.53E-07m/sec,5.13E-08m/secであった。また,パルス試験(PW)2はCooper法®による 解析が困難であったため,Hvoslev法ののみの結果となったが,概算の透水性を把握することを 目的としているため,再度やり直しを実施しなかった。そのため,解析結果から貯留性が小さく, 間隙水圧の上昇傾向が少ないパルス試験(PW)3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) 2 (2.60E-10m³/Pa), パルス試験 (PW) 3 (2.99E-10m³/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 (1.13E-10m³/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 No.5G 試験区間試験結果一覧

	12MI32号子	FL No.5G	試験区	間水理試験結果	2			
試験開始日	2013/4/24 15:47			試験終了日	2013/4	/25 2:25		
使用装置	JAEA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)		46.00	掘削深度	(mabh)	106.36		
試験区間下端	(mabh)		60.30	掘削孔半径	(m)	0.0615		
試験区間長	(m)		14.30	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		
	INF~PSR~(PV	V1)~PW	2~RW/	/RWS~PW3~D	EF			
水+パッカーのComp	oressbility(m ³ /Pa)	1.1	3E-10	システム容積	(L)	194.00		
ガス+パッカーのComp	ressbility(m ³ /Pa)	1.0	01E-07	区間湧水量	(L/min)	10.00		
		間隙	水圧測	 定				
水圧記録時のイベント	ント PW2		RWS	PW3	DEF	備考		
試験前P1水圧(MPa)	3.7544	3.7549		3.7601	3.7603			
試験前P2水圧(MPa)	3.7278	3	3.7283	3.7332	3.7333			
試験前P3水圧(MPa)	3.4069	3	3.3958	3.4073	3.4073			
		PW2	試験結	果				
試験区間のCompressibility	(m³/Pa)	2.6	60E-10	PWの排水量	(L)	0.038		
仮想半径Rw	(m)	9.0	02E-04	最大水位低下量 (m)		14.87		
		RW/RW	VS試験	結果				
平均揚水流量	(L/min)		5.00	揚水時間	(min)	120		
Shut-In時水位低下量	(m)	1	80.66	積算揚水量	(L)	600.00		
		PW3	試験結	果				
試験区間のCompressibility	(m³/Pa)	2.9	99E-10	PWの排水量	(L)	0.045		
仮想半径Rw	(m)	9.6	67E-04	最大水位低下量	(m)	15.33		
解析結果								
透水試験名	$T(m^2/sec)$	k(m/s	sec)	S (-)	Ss(1/m)	解析方法		
	解析困難					Cooper		
	6.56E-07	4.5	58E-08			Hvorslev		
PW//PWS	1.04E-05	7.3	30E-07	1.87E-122	1.31E-123	Cooper-Jacob		
Γ₩/ T₩3								

6.65E-09

1.53E-07

5.13E-08

8.76E-05

2.47E-14

6.13E-06

1.73E-15

Agarwal

Cooper

Hvorslev

9.05E-08

2.19E-06

7.34E-07

PW3

(7) 試験区間 No.6(88.00~90.30mabh)

本試験は、湧水を伴う割れ目集中部を対象として実施した。

1) 装置構成

図 5.2.1-13 に No.6 試験区間の装置構成を示す。

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83.0L/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)および定流量揚水試験(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 5.2.1-13 No.6 試験区間装置構成

2) 各区間の間隙水圧測定

図 5.2.1-14 に No.6 試験区間の圧力変化を示す。

P2 区間の間隙水圧は、パッカー拡張後から短時間で3.7MPa 付近まで上昇した。その後は、 パルス試験(PW)や定流量揚水試験(RW)/定流量揚水試験後の回復試験(RWS)の実施前後 においても、間隙水圧測定(PSR)で確認した間隙水圧とほぼ同じ値へ収束しており、人為的な 影響を除き間隙水圧は安定した。そのため、間隙水圧は、期間全体を通して最大値を確認したパ ッカー収縮(DEF)前の値(3.73MPa)とした。

P1 区間の間隙水圧は、パッカーの拡張後から数秒足らずで 3.5MPa まで上昇し、その後はほぼ安定した。



図 5.2.1-14 No.6 試験区間の圧力変化図

表 5.2.1-7 に No.6 試験区間の結果を示す。

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,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)は8.42E-06m/sec,1.12E-05m/secであった。解析結果から 水理学的影響圏が大きく,Derivative plotが安定していた定流量揚水試験後の回復試験(RWS) の結果を選定した。なお,個々の試験解析図や考察は付録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 5.2.1-7 No.6 試験区間の結果

	12MI32号	孔 No.6試験区	間水理試験結果		
試験開始日	2013/4/	23 23:46	試験終了日	2013/4/	23 13:40
使用装置	JAEA揚水試験	改良型 1号機	パッカー構成	ダブルハ	パッカー
試験区間上端	(mabh)	88.00	掘削深度	(mabh)	106.36
試験区間下端	(mabh)	90.30	掘削孔半径	(m)	0.0615
試験区間長	(m)	2.30	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			
	INF~PSR~PW	/1∼RW/RWS∼F	PW2~DEF		
水+パッカーのComp	ressbility(m ³ /Pa)	9.88E-11	システム容積	(L)	173.60
ガス+パッカーのComp	ressbility(m ³ /Pa)	8.68E-08	区間湧水量	(L/min)	83.00
		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)	3.7687	3.7700	3.7689	3.7690	
試験前P2水圧(MPa)	3.7558	3.7570	3.7559	3.7560	
試験前P3水圧(MPa)	3.5961	3.5962	3.5963	3.5961	
		PW1試験結	果		
試験区間のCompressibility	(m³/Pa)		PWの排水量	(L)	0.021
仮想半径Rw	(m)		最大水位低下量	(m)	1.34
		RW/RWS試験	結果		
平均揚水流量	(L/min)	29.00	揚水時間	(min)	152
Shut-In時水位低下量	(m)	71.92	積算揚水量	(L)	4408.00
		PW2試験結	果		
試験区間のCompressibility	(m³/Pa)		PWの排水量	(L)	0.108
仮想半径Rw	(m)		最大水位低下量	(m)	
		解析結果			
透水試験名	T(m ² /sec)	k(m/sec)	S (-)	Ss(1/m)	解析方法
	解析困難				Cooper
	解析困難				Hvorslev
	1.94E-05	8.42E-06	8.67E-16	3.77E-16	Cooper-Jacob

1.12E-05

1.50E-20

8.54E-21

Agawal

Cooper

Hvorslev

RW/RWS

PW2

2.59E-05

解析困難

解析困難

(8) No.7 試験区間(91.50~93.80mabh)

本試験は、湧水を伴う単一透水性割れ目を対象として実施した。

1) 装置構成

図 5.2.1-15 に No.7 試験区間の装置構成を示す。

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0.25L/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,2回目のパルス試 験(PW)時の水位低下量が小さかったことから,再現性の確認のため実施した。



図 5.2.1-15 No.7 試験区間装置構成

2) 各区間の間隙水圧測定

図 5.2.1-16 に No.7 試験区間の圧力変化を示す。

P2 区間の間隙水圧は、パッカー拡張後から短時間で 3.7MPa 付近まで上昇した。そのため、 間隙水圧は、期間全体を通して最大値を確認したパッカー収縮(DEF)前の値(3.75MPa)とした。

P1 区間の間隙水圧は、パッカーの拡張後から短時間で 3.7MPa まで上昇し、その後はほぼ安定した。



図 5.2.1-16 No.7 試験区間の圧力変化図

3) 試験結果

表 5.2.1-8 に No.7 試験区間の結果を示す。

パルス試験 (PW) 3 は, パルス試験 (PW) 2 の再現性の確認のため実施した。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 1.21E-09m/sec, パルス試験 (PW) 2 で 2.88E-08m/sec, 2.53E-08m/sec, パルス試験 (PW) 3 で 2.42E-08m/sec, 1.01E-08m/sec であった。解析結果から, 貯留性の小さく, 間隙水圧の上昇傾向が少ないパルス 試験 (PW) 3 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 (1.30E-10m³/Pa), パルス試験 (PW) 2 (1.10E-10m³/Pa), パルス試験 (PW) 3 (1.20E-10m³/Pa) ともほぼ同様 の値であり,表 5.2.1-8 に示す試験区間内を水+パッカーと仮定した圧縮率 (7.02E-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 5.2.1-8 No.7 試験区間試験結果一覧

	12MI32号	孔 No.7試験区	間水理試験結果	:	
試験開始日	2013/4/	23 15:06	試験終了日	2013/4/	23 23:10
使用装置	JAEA揚水試験	改良型 1号機	パッカー構成	ダブルノ	ペッカー
試験区間上端	(mabh)	91.50	掘削深度	(mabh)	106.36
試験区間下端	(mabh)	93.80	掘削孔半径	(m)	0.0615
試験区間長	(m)	2.30	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			
	INF~PSR~PW	1~PW2~PW3~	~DEF		
水+パッカーのComp	ressbility(m ³ /Pa)	7.02E-11	システム容積	(L)	116.30
ガス+パッカーのComp	ressbility(m ³ /Pa)	5.82E-08	区間湧水量	(L/min)	0.25
		間隙水圧測	 定		
水圧記録時のイベント	PW2	RW/RWS	PW2	DEF	備考
試験前P1水圧(MPa)	3.7659	3.7658	3.7661	3.7663	
試験前P2水圧(MPa)	3.7497	3.7098	3.7286	3.7503	
試験前P3水圧(MPa)	3.7363	3.7363	3.7363	3.7359	
	-	PW1試験結	果		
試験区間のCompressibility	(m³/Pa)	1.30E-10	PWの排水量	(L)	0.265
仮想半径Rw	(m)	6.47E-04	最大水位低下量	(m)	201.37
		PW2試験結	果		
試験区間のCompressibility	(m³/Pa)	1.10E-10	PWの排水量	(L)	0.005
仮想半径Rw	(m)	5.83E-04	最大水位低下量	(m)	4.69
		PW3試験結:	果		
試験区間のCompressibility	(m³/Pa)	1.20E-10	PWの排水量	(L)	0.020
仮想半径Rw	(m)	6.13E-04	最大水位低下量	(m)	16.93
		解析結果			
	T(m ² /sec)	k(m/sec)	S (-)	Ss(1/m)	解析方法
	解析困難				Cooper
	2.79E-09	1.21E-09			Hvorslev

2.88E-08

2.53E-08

2.42E-08

1.01E-08

6.63E-08

1.10E-08

5.56E-08

2.32E-08

PW2

PW3

8.99E-12

9.94E-12

3.91E-12

4.32E-12

Cooper

Hvorslev

Cooper

Hvorslev

(9) No.8 試験区間(97.00~106.36mabh)

本試験は、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 5.2.1-17 に No.8 試験区間の装置構成を示す。

96.00~97.00mabh に上部パッカーを配したシングルパッカーとした。試験区間の湧水量測定 結果は 2.0L/min であったが,パルス試験 (PW) 1 で低透水(透水係数 1.00E-09 m/sec 程度) であることがわかったため,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 5.2.1-17 No.8 試験区間装置構成

2) 各区間の間隙水圧測定

図 5.2.1-18 に No.8 試験区間の圧力変化を示す。

P2 区間の間隙水圧は、パッカー拡張後から短時間で 3.7MPa 付近まで上昇し、その後は安定 した。そのため、間隙水圧は、期間全体を通して最大値を確認したパッカー収縮(DEF) 直前の 値(3.77MPa)とした。

また, P3 区間の間隙水圧もパッカー拡張後から短時間で 3.7MPa 付近まで上昇し, その後は 安定した。



図 5.2.1-18 No.8 試験区間の圧力変化図

3) 試験結果

表 5.2.1-8 に No.8 試験区間の結果を示す。

試験区間 No.1 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 9.66E-09m/sec, パルス試験 (PW) 2 で 1.53E-08m/sec であった。なお, Cooper 法 ⁸による解析が困難であったため, Hvoslev 法 ⁷のみの結果となった。解析結果から, 貯留性も小さく,間隙水圧の上昇傾向が少ないパルス試験 (PW) 2 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 (1.56E-10m³/Pa), パルス試験 (PW) 2 (1.53E-10m³/Pa) ともほぼ同様の値であり,表 5.2.1-8 に示す試験区間内 を水+パッカーと仮定した圧縮率 (1.10E-10m³/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。

	12MI32号	孔 No.8試験区	間水理試験結果		
試験開始日	2013/4/	/23 3:50	試験終了日	2013/4/	23 14:40
使用装置	JAEA揚水試験	改良型 1号機	パッカー構成	ダブルィ	パッカー
試験区間上端	(mabh)	97.00	掘削深度	(mabh)	106.36
試験区間下端	(mabh)	106.36	掘削孔半径	(m)	0.0615
試験区間長	(m)	9.36	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			
	INF~PSR~PW	1~PW2~DEF			
水+パッカーのComp	ressbility(m ³ /Pa)	1.10E-10	システム容積	(L)	194.00
ガス+パッカーのComp	ressbility(m ³ /Pa)	9.70E-08	区間湧水量	(L/min)	2.00
		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)	3.7665	3.7670	3.7695		
試験前P2水圧(MPa)	3.7659	3.7665	3.7694		
試験前P3水圧(MPa)	3.7468	3.7565	3.7557		
		PW1試験結	果		
試験区間のCompressibility	(m³/Pa)	1.56E-10	PWの排水量	(L)	0.12
仮想半径Rw	(m)	5.22E-04	最大水位低下量	(m)	78.60
		PW2試験結	果		
試験区間のCompressibility	(m ³ /Pa)	1.53E-10	PWの排水量	(L)	0.21
仮想半径Rw	(m)	6.99E-04	最大水位低下量	(m)	139.93
		解析結果			
	T(m ² /sec)	k(m/sec)	S (–)	Ss(1/m)	解析方法
					-

表 5.2.1-8 No.8 試験区間試験結果一覧

		解析結果			
透水試験名	T(m²/sec)	k(m/sec)	S (-)	Ss(1/m)	解析方法
D\W1	解析困難				Cooper
PWI	9.04E-08	9.66E-09			Hvorslev
	解析困難				Cooper
PWZ	1.43E-07	1.53E-08			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 に示 し,試験結果は付録資料として添付した。

		試験区間ス	スペック			試験結果								
測点	上端深度	下端深度	区間長	湧水量	1試験	透水量係数	透水係数	貯留係数	非貯留係数	解析式				
	(mabh)	(mabh)	(m)	(L/min)		(m ² /sec)	(m/sec)	(-)	(1/m)					
					Duti	2.60E-08	6.04E-09	5.21E-12	1.21E-12	Cooper				
					PW1	1.20E-08	2.79E-09			Hvorslev				
No.1	17.50	21.80	4.30	0.50		2.33E-08	5.41E-09	4.89E-12	1.14E-12	Cooper				
					PW2	1.07E-08	2.50E-09			Hvorslev				
						1.64E-06	3.80E-07	4.13E-05	9.61E-06	Cooper				
N 0	00.50	00.00	4.00	10.00		2.35E-06	5.47E-07			Hvorslev				
No.2	22.50	26.80	4.30	16.80	RW	3.06E-06	7.12E-07	9.88E-14	2.30E-14	Cooper-Jacob				
					RWS	1.89E-05	4.40E-06	1.22E-74	2.85E-75	Agawal				
						3.18E-08	5.05E-09	4.62E-14	7.33E-15	Cooper				
NL 0	07.50	22.00	6.00	0.00		1.38E-08	2.19E-09			Hvorslev				
N0.3	27.50	33.80	0.30	0.30	DWO	2.98E-08	4.74E-09	4.34E-13	6.88E-14	Cooper				
						1.23E-08	1.96E-09			Hvorslev				
						2.41E-07	5.60E-08	9.20E-11	2.14E-11	Cooper				
					PWI	1.24E-07	2.89E-08			Hvorslev				
No.4	20.00	12 20	1 20	2.00	RW	6.34E-07	1.47E-07	1.24E-38	2.88E-34	Cooper-Jacob				
110.4	39.00	43.30	4.30	2.00	RWS	4.10E-08	9.52E-09	6.24E-06	1.45E-06	Agawal				
						2.41E-07	5.60E-08	9.20E-11	2.14E-11	Cooper				
					FVVZ	1.21E-07	2.82E-08			Hvorslev				
					PW1	解析困難								
No 5	46.00	57.22	11 22	260.00	RW	6.92E-05	6.11E-06	1.25E-15	1.11E-16	Cooper-Jacob				
10.5	40.00	J7.3Z	11.32	200.00	RWS	1.85E-04	1.63E-05	1.05E-41	9.24E-43	Agawal				
					PW2	解析困難								
						解析困難				Cooper				
					1 112	6.56E-07	4.58E-08			Hvorslev				
No 5G	46.00	60.30	1/1 30	10.00	RW	1.04E-05	7.30E-07	1.87E-122	1.31E-123	Cooper-Jacob				
110.0 G	+0.00	00.00	14.00	10.00	RWS	9.05E-08	6.65E-09	8.76E-05	6.13E-06	Agawal				
					DW3	2.19E-06	1.53E-07	2.47E-14	1.73E-15	Cooper				
					1 100	7.34E-07	5.13E-08			Hvorslev				
					PW1	解析困難								
No 6	88.00	90.30	2.30	83.00	RW	1.94E-05	8.42E-06	8.67E-16	3.77E-16	Cooper-Jacob				
110.0	00.00	00.00	2.00	00.00	RWS	2.59E-05	1.12E-05	1.50E-20	6.54E-21	Agawal				
					PW2	解析困難								
					PW1	解析困難				Cooper				
						2.79E-09	1.21E-09			Hvorslev				
No 7	91.50	93 80	2 30	0 2 5	PW2	6.63E-08	2.88E-08	8.99E-12	3.91E-12	Cooper				
110.7		00.00	2.00	0.20		1.10E-08	2.53E-08			Hvorslev				
					PW3	5.56E-08	2.42E-08	9.94E-12	4.32E-12	Cooper				
					L	2.32E-08	1.01E-08			Hvorslev				
					PW1	解析困難				Cooper				
No.8	97.00	106.36	9,36	2.00	<u> </u>	9.04E-08	9.66E-09			Hvorslev				
		100.00		2.00	PW2	解析困難				Cooper				
				1	1.43E-07	1.53E-08			Hvorslev					

表 5.3-1 水理試験結果一覧

4 4	言式馬灸	(1	孔口座標 世界測地系)			試験区間		区間長	※水理試験カ	試験結果 いら得られた数値	!(代表値) 〔を記載のため,∮	使用には留 意	代表値 ^笛 っ計略	代表値
¢ ¢	播	N-S(m)	E-W(m)	E.L.m	上述 (mabh)	下端 (mabh)	中点 (mabh)	(m)	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)	サイビットイント	解析方法
	No.1	-69053.0	6404.8	-298.0	17.5	21.8	19.7	4.3	1.1E-08	2.5E-09	I	I	PW2	Hvorslev
	No.2	-69053.0	6404.8	-298.0	22.5	26.8	24.7	4.3	3.1E-06	7.1E-07	9.9E-14	2.3E-14	RW	Cooper-Jacob
	No.3	-69053.0	6404.8	-298.0	27.5	33.8	30.7	6.3	1.2E-08	2.0E-09	Ι	I	PW2	Hvorslev
28	No.4	-69053.0	6404.8	-298.0	39.0	43.3	41.2	4.3	6.3E-07	1.5E-07	1.2E-38	2.9E-34	RW	Cooper-Jacob
SIMS	No.5	-69053.0	6404.8	-298.0	46.0	57.3	51.7	11.3	1.9E-04	1.6E-05	9.8E-42	8.6E-43	RWS	Agawal
i L	No.5G	-69053.0	6404.8	-298.0	46.0	60.3	53.2	14.3	7.3E-07	5.1E-08	Ι	I	PW3	Hvorslev
	0.0N	-69053.0	6404.8	-298.0	88.0	90.3	89.2	2.3	2.6E-05	1.1E-05	1.5E-20	6.5E-21	RWS	Agawal
	No.7	-69053.0	6404.8	-298.0	91.5	93.8	92.7	2.3	2.3E-08	1.0E-08	Ι	I	PW3	Hvorslev
	No.8	-69053.0	6404.8	-298.0	97.0	106.4	101.7	9.4	1.4E-07	1.5E-08	Ι	I	PW2	Hvorslev
		10110												

(代表値)
一 割
火理試験結果
5.3-2 7
表

PW: Pulse withdrawal RW: Constant rate withdrawal

RWS: Pressure recovery after RW (shut-in)

mabh:meters along borehole

This is a blank page.



図 5.3-1 12MI32 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

本調査では、研究アクセス南坑道の掘削前における地下水の地球化学特性の把握を目的とするため、先行ボーリング孔掘削時の掘削水の管理および水理試験時の地下水の採水・分析を行った。

6.1 掘削水の管理

6.1.1 掘削水の管理方法

12MI32 号孔の掘削には深度 500m 研究アクセス南坑道に配管されている坑内の湧水をタンク に貯水して使用した。掘削水には蛍光染料(アミノG酸)を 5mg/Lの濃度となるように添加し た。分析には、蛍光染料計測装置(島津製作所 RF1500)を使用した。また、添加は原則として 掘削直前に実施し、掘削中は、掘削リターン水を1 掘削長ごとに1回サンプリングして、ボーリ ング現場において濃度を測定し、蛍光染料濃度が設定濃度の±10%以内の範囲になるように調整 した。

また, 掘削水タンクを介して循環する掘削リターン水の pH, 電気伝導度, 温度を, 電極法に より計測するとともに, 掘削リターン水をポリビンに採取し化学分析を行った。

6.1.2 掘削水の管理結果

掘削水の pH, 温度, 電気伝導度を図 6.1.2-1 および図 6.1.2-2 に示す。掘削水の pH と電気伝 導度が, 5mabh 付近以浅, 58mabh 付近および 80mabh 付近以深で大きく値が変化しているが, この変化はグラウト材の影響と考えられる。また, 5mabh 付近以浅と 80mabh 付近以深での温 度低下は, 掘削水の入れ替えとサクションタンク内での掘削くずの清掃に起因していると考えら れる。



図 6.1.2-1 掘削中における温度・pH データ



図 6.1.2-2 掘削中における電気伝導度データ

6.2 地下水の採水・分析

6.2.1 地下水の採水・分析方法

12MI32 号孔では、水理試験時に定流量揚水試験を実施した3区間を対象として地下水の採水を 行った(表 6.2.1-1)。また、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、採水した地下水の化学分析を行った。分析方法の概略を1)~ 8)に示す。

	水理試験区間	試験深度(mabh)	試料採取日時
			2013/3/6 11:50
	No.2	12.10~18.90	2013/3/6 12:50
			2013/3/6 13:50
			2013/3/5 22:14
12MI32 号孔	No.4	37.10~42.60	2013/3/6 0:15
			2013/3/6 2:16
			2013/3/5 10:30
	No.5	105.20~106.36	2013/3/5 11:45
			2013/3/5 12:30

表 6.2.1-1 地下水採水の概要

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(日立製作所製 F-3000 型)を使用し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、濃度を算出した。

2) Na⁺, K⁺, NH₄⁺, Ca²⁺, Mg²⁺

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,濃度を算出した。

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

試料を硝酸で pH2 以下に調整し、メンブランフィルター(0.45 μ m) 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-Mark II)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、濃度を算出した。

4) Fe²⁺

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(Fe²⁺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, 濃度を算出した。

5) F⁻, Cl⁻, Br⁻, NO₃⁻, NO₂⁻, SO₄²⁻, I⁻, PO₄³⁻

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,濃度を算出した。

6) S²⁻

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(S²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、 濃度を算出した。

7) 全炭素, 全無機炭素, 全有機炭素

全炭素と全無機炭素については試料をよく振り混ぜて均一にした後,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,全炭素濃度,全無機炭素濃度を算出した。全有 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,全有 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。

> アルカリ度 (meq/L) = a × f × 1/50 × 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)

6.2.2 地下水の採水・分析結果

地下水の水質分析の結果, Na-Cl型の地下水であり, Na 濃度は 154~165mg/L, Cl 濃度は 325 ~375mg/L の範囲であった。分析結果を表 6.2.2-1 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)の分析については, 地下水をポリエチレン製容器に採取し, 地上にて測定した結果である。

S²	[mg/L]	メチレンブ レー吸光光度 法	島津製作所社製 Uvmini-1240型紫外 可視分光光度計				0.4	-	•	0.2			0.4	備考													
SO4 ²⁻	[mg/L]	イオンクロマ トグラフ法	ダイオネクス 社製 イオン クロマトグラ フICS-1000	5.2	6.8	6.6	6.6	7.0	6.6	7	7.9	7.5	7.5	イオンバランス	[%]	-	,	-0.89	-0.84	-0.57	-0.85	-0.57	-0.61	-0.53	-0.69	-0.67	-0.62
アルカリ度	[meq/L]	滴定法	I	0.35	0.54	0.51	0.53	0.54	0.51	0.52	0.56	0.55	0.55	2陰イオン	[meq/L]	-	,	6.81	10.21	10.59	10.70	11.42	11.57	11.36	10.97	11.30	11.38
TOC	[mg/L]	及収法	жo	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0.5	<0.5	<0.5	2陽イオン	[meq/L]		,	69.9	10.04	10.47	10.52	11.29	11.43	11.24	10.82	11.15	11.24
TIC	[mg/L]	化-赤外線明	alytikjena≵± uti N/C 2100	4.3	6.3	6.1	5.9	6.5	6.1	6.2	6.6	6.5	6.3	∍	[mg/L]		,			-					-		
Ţ	[mg/L]	燃焼酸	Ā	4.4	6.7	6.4	6.2	6.6	6.3	6.4	6.8	7.0	6.7	в	[mg/L]	ICP発光分 光分析法	リガク製 CIROS- Markll	'			1.5			1.6	-		1.6
Mg ²⁺	[mg/L]		0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.1	0.2	0.2	чW	[mg/L]	ICP発光分 光分析法	リガク製 CIROS- MarkII	0.074	0.021	0.009	0.009	0.010	0.011	0.010	0.010	0.010	0
Ca ²⁺	[mg/L]	コマトグラフ法	ネクス社製 トグラフICS-100	23	99	20	71	85	25	82	8	83	84	Fe ²⁺	[mg/L]	フェナントロ リン吸光光度 法	島津製作所社製 Uumini-1240型紫外 可視分光光度計		-	-	<0.2			<0.2	-		<0.2
¥.	[mg/L]	イオンクロ	ダイオオンクロス	1.6	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	0.8	0.9	0.9	T-Fe	[mg/L]	后法	_	8.5	0.110	<0.005	<0.005	0.007	0.008	0	0.015	<0.005	<0.005
Na⁺	[mg/L]		×	126	154	159	159	161	165	163	156	160	161	A	[mg/L]	卷光 分光分 相	リガク鯼 iROS-Markll	0.13	0.07	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	<0.01
ナレチオ ン쩷 Na	[mg/L]		他度計	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	ō	[mg/L]	lOP§	U	5.6	6.6	6.4	6.4	6.6	6.6	6.5	6.7	6.6	6.5
アミノG酸	[mg/L]	黄光光度法	立製 作所製 型蛍光分光5	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.001	0.002	0.001	0.001	PO4 ³⁻	[mg/L]			<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
ウラニン	[mg/L]		E-3000 <u>1</u>	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	NH4 ⁺	[mg/L]		-1000	<0.1	0.2	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2
DO	[mg/L]						1.9			1.2			1.7	-	[mg/L]	7法	- グラフICS	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	[mV(vsSHE)]						-85			06-			-91	P.	[mg/L]	コマトグラフ	オンクロマー	6.0	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6
ά	[m/(wag/agci)]			'	,		-292		,	-296			-298	NO ₂ -	[mg/L]	イオンクロ	ス社製 イ:	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
追度	[°]		実 ター 10D)	24.1	21.7	24.9	24.0	20.4	21.5	23.6	21.4	22.2	22.8	NO3.	[mg/L]		ダイオネク	0.13	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
EC	[mS/m]	電極法	屈場製作所 4型pHメー 電極(9621-	80	120	120	120	130	130	130	130	130	130	ġ	[mg/L]		, i	208	325	340	343	368	375	367	351	363	366
H			₽ ₽ ₽	8.3	8.2	8.2	8.2	8.3	8.2	8.1	8.2	8.2	8.2	íL.	[mg/L]			9.0	6.6	6.5	6.4	6.4	6.3	6.3	6.5	6.4	6.4
러 쇼 쇼		,	,	2013/2/18 14:30	2013/3/6 11:50	2013/3/6 12:50	2013/3/6 13:50	2013/3/5 22:14	2013/3/6 0: 15	2013/3/6 2:16	2013/3/5 10:30	2013/3/5 11:45	2013/3/5 12:30	日 四 赤 称		-	ı	2013/2/18 14:30	2013/3/6 11:50	2013/3/6 12:50	2013/3/6 13:50	2013/3/5 22:14	2013/3/6 0: 15	2013/3/6 2:16	2013/3/5 10:30	2013/3/5 11:45	2013/3/5 12:30
		٩щ	影	间原水		No.2			No.4			No.5				ьth	影	间原水		No.2			No.4			No.5	
計判夕		分析方法	将 装置 ・	福井				2	水計理論	Ki 4				計約久	1	分析方法	茶 画	福井				5	水計理略				
			\$					12MI3	년 孔								尔					12MI3	년 孔				

表 6.2.2-1 12MI32 号孔における切削水, 地下水の分析結果

7. 水圧モニタリング装置の設置

7.1 水圧モニタリング装置の設置の概要

深度 500m 研究アクセス南坑道周辺の坑道掘削前および坑道掘削時の地下水圧の把握と水圧応 答を利用した水理地質構造の推定を目的として,12MI32 号孔に水圧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,物理検層,水理試験結果を踏まえて作成したレイ アウト計画(表 7.1-1)に従って設置した。観測区間の位置は次のとおりである。また水圧モニ タリング装置の全体概要図(図 7.1-1),水圧モニタリング装置の基本性能(表 7.1-2),構成部品 の数量(表 7.1-3)を以下に示す。

> 観測区間 P1: 87.73 ~ 106.36 mabh 観測区間 P2: 7.03 ~ 86.73 mabh 観測区間 P3: 0.00 ~ 6.03 mabh



図 7.1-1 水圧モニタリング装置設置概要図

パーツ No.	部品名	check 1	単体長 (m)	全長(m)	先端深度 (mabh)	※10mmポート 深度(mabh)	6mmポート 深度(mabh)	区間深度 (mabh)
1	トップジョイント		0.200	89.386	88.700	88.630		孔底:106.36
2	レジューサA		0.220	89.186	88.500			
3	パッカーマンドレル-1		1.980	88.966	88.280	86.540	88.250	87.730
4	ケーシングロッド-1		2 500	86 986	86 300	00.540		00.750
5	ケーシングロッド-2		2 500	84 486	83 800			
6	ケーシングロッド-3		2 500	81 986	81 300			
7	ケーシングロッド-4		2.500	79,486	78.800			
8	ケーシングロッド-5		2 500	76 986	76 300			
9	ケーシングロッドー6		2 500	74 486	73 800			
10	ケーシングロッド-7		2 500	71.986	71.300			
11	ケーシングロッド-8		2 500	69 486	68 800			
12	ケーシングロッド-9		2 500	66.986	66.300			
13	ケーシングロッド-10		2 500	64 486	63 800			
14	ケーシングロッド-11		2.500	61.986	61.300			
15	ケーシングロッド-12		2 500	59 486	58 800			
16	ケーシングロッド-13		2.500	56.986	56.300			
17	ケーシングロッド-14		2.500	54.486	53.800			
18	ケーシングロッド-15		2.500	51.986	51.300			
19	ケーシングロッド-16		2.500	49,486	48.800			
20	ケーシングロッド-17		2.500	46.986	46.300			
21	ケーシングロッド-18		2.500	44.486	43.800			
22	ケーシングロッド-19		2.500	41.986	41.300			
23	ケーシングロッド-20		2.500	39,486	38.800			
24	ケーシングロッド-21		2.500	36.986	36.300			
25	ケーシングロッド-22		2.500	34.486	33.800			
26	ケーシングロッド-23		2.500	31.986	31.300			
27	ケーシングロッド-24		2.500	29.486	28.800			
28	ケーシングロッド-25		2.500	26.986	26.300			
29	ケーシングロッド-26		2.500	24.486	23.800			
30	ケーシングロッド-27		2.500	21.986	21.300			
31	ケーシングロッド-28		2.500	19.486	18.800			
32	ケーシングロッド-29		2.500	16.986	16.300			
33	ケーシングロッド-30		2.500	14.486	13.800			
34	ケーシングロッド-31		2.500	11.986	11.300			
35	ケーシングロッド-1		0.500	9.486	8.800			
36	ケーシングロッド-2		0.500	8.986	8.300			
37	レジューサA		0.220	8.486	7.800			
38	パッカーマンドレル-2		1.980	8.266	7.580	5 840	7.550	7.030
39	ケーシングロッド-1		1.000	6.286	5.600			
40	ケーシングロッド-2		1.000	5.286	4.600			
41	ケーシングロッド-3		1.000	4.286	3.600			
42	ケーシングロッド-4		1.000	3.286	2.600			
43	ケーシングロッド-5		1.000	2.286	1.600			
44	ケーシングロッド-1		0.500	1.286	0.600			
45	ケーシングロッド-2		0.500	0.786	0.100			
46	ジョイントケーシング		0.286	0.286	-0.400		フランジ面	
47	孔口マニホールド(立上)		0.286		-0.686			
48	6インチケーシング立上		0.400		-0.400			

表 7.1-1 水圧モニタリング装置のレイアウト計画

項目	仕様
基本構成	①孔内部 ②孔ロモニタリング部
孔内部最大外径	直径90mm(ケーシングパイプネジ接続部)
パッカー数	2本
モニタリング区間数	3区間(孔口マニホールドによる閉鎖区間を含む)
	各測定区間の間隙水圧
孔ロモニタリング部での測定項目	各パッカーの拡張圧(ブルドン管で計測)
	大気圧
パッカー最大遮水差圧	3MPa
パッカー拡張・収縮方法	水圧式、個別拡張
パッカー拡張形式	片端固定片端スライド式
区間圧カ用絶対圧カ計の定格容量	10MPa
区間圧力用絶対圧力計の測定精度	0.1%FS

表 7.1-2 水圧モニタリング装置の基本性能

区分	ユニット名	材質/寸法	数量				
	トップジョイント	材質:SUS304	1.個				
	(区間圧力測定用ポート×1)	最大外径:					
	モニタリングポート付パッカーマンドレル	材質:SUS304					
	(パッカー拡張・収縮ポート×1、区間圧力測定用ポート ×1、区間注水用ポート×1)	(ラバー部:NBR)	2本				
	※レジューサーA含む	最大外径∶ <i>ф</i> 90mm I=2200mm					
		最大外径∶	31本				
		L=2500mm					
		材質:SUS304					
	ケーシングロッド	最大外径∶	5本				
		L=1000mm					
		材質:SUS304					
		最大外径∶	4本				
孔		L=500mm					
内		材質:SUS304					
部	ジョイントケーシング	最大外径:	1本				
		L=286mm					
		材質:ナイロン					
	区間注水用チューブ	外径:φ6mm	2*				
		L=90m×1本	24				
		L=10m×1本					
		材質:ナイロン					
		外径: ϕ 4mm					
	区間圧力測定用チューブ	L=95m×1本	3本				
		L=90m×1本					
		L=10m×1本					
		材質:ナイロン					
	 パッカー拉張・収線田チューブ	外径: ϕ 4mm	2大				
		L=90m×1本	2/1				
		L=10m×1本					
		孔ロモニタリング部	3台				
孔		ケース内へ収納	•				
	 パッカー圧力計(ブルドン管式)	孔ロモニタリング部	2台				
モー		ケース内へ収納					
一 々		孔ロモニタリング部	1台				
Ĵ,		ケース内へ収納	· · u				
ン	 データ収録装置	孔ロモニタリング部	1台				
グ		ケース内へ収納					
一司	 大気圧計	孔ロモニタリング部	1				
		ケース内へ収納	· · ·				

7.2 水圧モニタリング装置の設置の手順

孔内部装置を挿入・設置後に,各パッカーを拡張した。下記に手順を記す。またパッカー拡張 時の概要を図7.2-1に示す。パッカー拡張は孔底側から1本ずつ拡張し,間隙水圧の変化からパッ カーによる閉塞性を確認した。孔内部装置の設置前に実施した水理試験から,12MI32号孔の間隙 水圧は3.7~3.8 MPaであると推定されたため,パッカーの拡張圧を5.0 MPaとした。



図 7.2-1 パッカー拡張方法の概略図

パッカー拡張の手順は以下のとおりである。

- ①パッカー拡張ラインにチャンバータンクを取り付ける。
- ②パッカー区間の間隙水圧を計測する。
- ③パッカーにチャンバータンクから注水しパッカーを拡張する。
- ④パッカー区間の間隙水圧が上昇したことを確認する。
- ⑤全てのパッカーについて、同様の手順を繰り返し、すべてのパッカー圧を 5.0MPa とする。

7.3 水圧モニタリング装置の設置状況の確認

表 7.3-1 に、水圧モニタリング装置の設置後に実施したパッカー圧および区間圧力の点検結果 を示す。

		点検日時								
点検箇所	点検項目	2013/4/26	2013/4/27	2013/4/29	2013/4/30	2013/4/30	2013/5/7	2013/5/7	2013/5/8	2013/5/9
		17:01	16:00	9:30	9:20	9:30	7:20	10:40	7:30	7:30
パッカー圧力	PP1 [孔底側] (MPa)	4.7	4.4	4.4	4.4	4.5	4.4	5.0	4.8	4.8
(ブルドン管)	PP2 [孔口側] (MPa)	4.8	3.8	4.0	4.0	4.4	4.3	4.7	4.6	4.6
	P1圧力 (MPa)	3.844	3.826	3.830	3.834	3.848	3.860	3.856	3.856	3.858
区間圧力	P2圧力 (MPa)	3.718	3.254	3.456	3.482	3.704	3.722	3.690	3.710	3.714
(圧力計)	P3圧力 (MPa)	3.552	0.178	0.178	0.178	3.532	3.554	3.480	3.528	3.468
	大気圧 (hPa)	1039	1049	1056	1045	1045	1050	1049	1055	1052
その他記載事項		・4/25 4:30 にパッカー 拡張終了 PP1:5.0MPa PP2:4.9MPa 再拡張未実 施※1	・P1~P3揚 水ラインを 開放後測定 (15:45) ・湧水量測 定(16:00) P1:3L/min P2:6L/min P3:9L/min	・P1~P3揚 水ラインは 開放状態 ・湧水量測 定(9:30) P1:2L/min P2:4L/min P3:9L/min	・点検後バ ルブ閉鎖 (9:22)	・ バルブ閉 鎖後のパッ カーおよび 区間圧力測 定		・10:30 差圧が約 1MPaになる ようにパッ カー再拡張 ※2		

表 7.3-1 水圧モニタリング装置設置後の点検結果

※1:0.2~0.3MPaパッカー圧が落ちているがなじみによるもので問題ないと判断して再拡張は実施していない。 ※2:区間圧力とパッカー拡張圧の差が約0.5MPa,今後の長期観測を考慮した。

8. まとめ

深度 500m 研究アクセス南坑道における先行ボーリング(12MI32 号孔)の調査結果の概略を 以下に示す。

1)コア観察:

- ・岩相:中粒から粗粒の等粒状,一部斑状組織を示す黒雲母花崗岩。
- ・断層: 48.90mabh で断層角礫を伴う断層を確認。
- ・割れ目密度:平均 5.2 本/m で 40.00 mabh~80.00 mabh 区間で割れ目が多い。
- ・割れ目の変質:全体に新鮮~弱変質,部分的に黒雲母が緑泥石化。
- ・割れ目の介在鉱物:主に方解石,緑泥石,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。
- ・RQD: 平均 78.2%で 40.00mabh 以浅は RQD が高い。
- ・岩盤等級: 40.00mabh 以浅では CH~B 級, 40.00mabh 以深では CM~CH 級が主体。

2)BTV 観察

- ・平均割れ目密度: 4.7 本/m(明瞭な開口割れ目: 0.7 本/m)
- ・割れ目の走向・傾斜: NW 走向で高角度傾斜

3)物理検層

- ・電気検層:比抵抗値 1,000 Ω・m 以上で概ね健岩,48.90mabh の小断層付近で比抵抗値に変化 はほとんどない。
- ・密度検層:ほぼ全区間において 2.5g/cm³を上回る高密度,48.90mabhの小断層付近で密度に 変化はほとんどない。
- ・中性子検層:全体に 2%以下の低間隙率,48.90mabh の小断層付近で間隙率に変化はほとんど ない。
- ・音波検層:平均値 5.4km/sec(P 波速度)で概ね健岩,48.90mabhの小断層付近で P・S 波速 度に変化はほとんどない。
- ・電磁フローメーター検層: 56.00~57.30mabh 区間で 184.4L/min の湧水が孔内へ流入。88.00
 ~91.00mabh 区間で 124.8L/min の湧水が孔内へ流入, 48.90mabh の小断層付近で流量に変化 はほとんどない。

4)水理試験

- ・20.00mabh 付近の透水性割れ目(17.50~21.80mabh,区間湧水量 0.50L/min): 2.5E-09m/sec
- ・24.00mabh 付近の透水性割れ目(22.50~26.80mabh,区間湧水量 16.80L/min): 7.1E-07m/sec
- ・湧水を伴わない割れ目(27.50~33.80mabh,区間湧水量 0.30L/min): 2.0E-09m/sec
- ・ 湧水を伴う割れ目(39.00~43.30mabh,区間湧水量 2.00L/min): 1.5E-07m/sec
- ・湧水を伴う割れ目集中部(46.00~57.32mabh,区間湧水量 260.00L/min): 1.6E-05m/sec
- ・グラウトされた区間(46.00~60.30mabh,区間湧水量10.00L/min): 5.1E-08m/sec
- ・ 湧水を伴う割れ目集中部(88.00~90.30mabh,区間湧水量 83.00L/min): 1.1E-05m/sec
- ・ 湧水を伴う単一透水割れ目(91.50~93.800mabh,区間湧水量 0.25L/min): 1.0E-08m/sec
- ・ 湧水を伴わない割れ目 (97.00~106.36mabh, 区間湧水量 2.00L/min): 1.5E-08m/sec

5) 地下水の水質

- ・Na-Cl型の地下水であり,Na 濃度は 154~165mg/L,Cl 濃度は 325~375mg/L の範囲 6) 水圧モニタリング装置の設置
- ・坑道掘削前の地下水圧を把握することを目的として,水圧モニタリング装置を設置 観測区間:0.00~6.03 mabh, 7.03~86.73 mabh, 87.73~106.36 mabh

参考文献

- 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).
- 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).
- 3) 鶴田忠彦,武田匡樹,上野孝志,大丸修二,徳安真吾,尾上博則,新宮信也,石橋正祐紀, 竹内竜史,松岡稔幸,水野崇,田上雅彦:超深地層研究所計画主立坑断層を対象としたボー リング調査結果報告書,JAEA-Technology 2012-001 (2012).
- 4) 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).
- 5) 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).
- 6) 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).
- 7) Hvorslev, M.T., Time lag and soil permeability in ground-water observations, U.S. Army Waterways Experiment Station, Bull No.36, 50p. (1951).
- 8) Cooper, H.H.JR., J.D.Bredehoeft and I.S.Papadopulos, Response of a finite-diameter well to an instantaneous charge of water, Water Resource Research, Vol.3, No.1, pp.263-269(1967).
- 9) Cooper, H.H.JR. and C.E.Jacob, 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).
- 10) 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).
- 11) R.L. Beauheim, R.M. Robert, Hydrology and hydraulic properties of a bedded evaporite formation, J. Hydrol., 259, pp.66-88(2002).

表 1. SI 基本単位					
甘大昌	SI 基本単位				
盔半里	名称	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	Α			
熱力学温度	ケルビン	Κ			
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
SI 基本単位	ť.
名称	記号
面 積 平方メートル	m ²
体 積 立法メートル	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/	^ℓ kg/m ³
面積密度キログラム毎平方メート/	^ℓ kg/m ²
比体積 立方メートル毎キログラ」	△ m ³ /kg
電 流 密 度 アンペア毎平方メート/	ν 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 ⁸
質量濃度 キログラム毎立法メート/	^ℓ kg/m ³
輝 度 カンデラ毎平方メート/	ν 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) ともよげれる	

(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

			SI 租工单位	
組立量	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 隹	ラジアン ^(b)	rad	1 ^(b)	m/m
立 体 隹	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	Ν		m kg s ⁻²
压力,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	С		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	$m^{2} kg^{1} s^{3} A^{2}$
磁東	ウエーバ	Wb	Vs	$m^2 kg s^2 A^1$
磁束密度	テスラ	Т	Wb/m ²	$\text{kg s}^{2} \text{A}^{1}$
インダクタンス	ヘンリー	Н	Wb/A	$m^2 kg s^{-2} A^{-2}$
セルシウス温度	セルシウス度 ^(e)	°C		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	$m^2 s^{\cdot 2}$
酸素活性	カタール	kat		s ⁻¹ mol

酸素活性(カタール) kat [s¹ 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。
 (a)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。
 (a)へルツは周頻現象についてのみ、ペラ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。
 (a)へルツは周頻現象についてのみ、ペラ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。
 (a)やレ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。モルシウス度とケルビンの
 (b)からさは同一である。したがつて、温度差や温度関係を対象値はどもらの単位で表しても同じである。
 (b)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

	S	I 組立単位	
組立量	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
カのモーメント	ニュートンメートル	N m	m ² kg s ⁻²
表 面 張 九	リ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 sA
表 面 電 荷	「クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ² sA
電東密度,電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² sA
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	ペンリー毎メートル	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 sA
吸収線量率	ダレイ毎秒	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	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号			
10^{24}	э 9	Y	10 ⁻¹	デシ	d			
10^{21}	ゼタ	Z	10 ⁻²	センチ	с			
10^{18}	エクサ	E	10 ⁻³	ミリ	m			
10^{15}	ペタ	Р	10 ⁻⁶	マイクロ	μ			
10^{12}	テラ	Т	10 ⁻⁹	ナノ	n			
10^{9}	ギガ	G	10^{-12}	ピコ	р			
10^{6}	メガ	M	10^{-15}	フェムト	f			
10^3	+ 1	k	10 ⁻¹⁸	アト	а			
10^{2}	ヘクト	h	10^{-21}	ゼプト	z			
10^{1}	デカ	da	10^{-24}	ヨクト	v			

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=60s			
時	h	1h =60 min=3600 s			
日	d	1 d=24 h=86 400 s			
度	۰	1°=(п/180) rad			
分	,	1'=(1/60)°=(п/10800) rad			
秒	"	1"=(1/60)'=(п/648000) rad			
ヘクタール	ha	1ha=1hm ² =10 ⁴ m ²			
リットル	L, 1	1L=11=1dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³			
トン	t	$1 \pm 10^3 \text{ kg}$			

表7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で

衣される剱値が美験的に待られるもの							
	名	称		記号	SI 単位で表される数値		
電	子 オ	ベル	ŀ	eV	1eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J		
ダ	ル	ŀ	\sim	Da	1Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg		
統-	一原子	質量単	单位	u	1u=1 Da		
天	文	単	位	ua	1ua=1.495 978 706 91(6)×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=100kPa=10 ⁵ Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1mmHg=133.322Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1nm=100pm=10 ⁻¹⁰ m
海 里	Μ	1 M=1852m
バーン	b	$1 \text{ b}=100 \text{ fm}^2=(10^{-12} \text{ cm})2=10^{-28} \text{m}^2$
ノット	kn	1 kn=(1852/3600)m/s
ネーパ	Np	SI単位しの粉値的な間接け
ベル	В	対数量の定義に依存。
デジベル	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	Р	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1Pa s			
ストークス	St	$1 \text{ St} = 1 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1} = 10^{-4} \text{m}^2 \text{ s}^{-1}$			
スチルブ	sb	$1 \text{ sb} = 1 \text{ cd cm}^{-2} = 10^4 \text{ cd m}^{-2}$			
フォト	ph	1 ph=1cd sr cm ⁻² 10 ⁴ lx			
ガル	Gal	$1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm s}^{-2} = 10^{-2} \text{ ms}^{-2}$			
マクスウェル	Mx	$1 \text{ Mx} = 1 \text{ G cm}^2 = 10^{-8} \text{Wb}$			
ガウス	G	1 G =1Mx cm ⁻² =10 ⁻⁴ T			
エルステッド ^(c)	Oe	1 Oe ≙ (10 ³ /4π)A m ⁻¹			
(c) 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。

		쿺	₹10.	SIに 尾	禹さないその他の単位の例
	名称 言			記号	SI 単位で表される数値
キ	ユ	IJ	ĺ	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq
$\scriptstyle u$	ン	トゲ	\sim	R	$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{C/kg}$
ラ			ド	rad	1 rad=1cGy=10 ⁻² Gy
$\scriptstyle u$			ム	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv
ガ		\sim	7	γ	1 γ =1 nT=10-9T
フ	T.	ル	"		1フェルミ=1 fm=10-15m
メー	ートル	系カラ	ット		1メートル系カラット = 200 mg = 2×10-4kg
ŀ			ル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標	進	大気	圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
力		IJ	ļ	cal	1cal=4.1858J(「15℃」カロリー), 4.1868J (「IT」カロリー) 4.184J(「熱化学」カロリー)
3	カ	17	~		$1 = 1 = 10^{-6}$ m