JAEA-Data/Code 2019-014 DOI:10.11484/jaea-data-code-2019-014



幌延深地層研究センター 350 m 調査坑道における 地下水の地球化学モニタリング装置による地下水圧の 連続観測結果(2016 ~ 2018 年度)

Groundwater Pressure Records by Geochemical Monitoring System in the 350 m Gallery of the Horonobe Underground Research Laboratory (FY 2016-2018)

望月 陽人 宮川 和也 笹本 広

Akihito MOCHIZUKI, Kazuya MIYAKAWA and Hiroshi SASAMOTO

核燃料・バックエンド研究開発部門 幌延深地層研究センター 深地層研究部

Horonobe Underground Research Department Horonobe Underground Research Center Sector of Nuclear Fuel, Decommissioning and Waste Management Technology Development

日本原子力研究開発機構

February 2020

Japan Atomic Energy Agency

本レポートは国立研究開発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>https://www.jaea.go.jp</u>) より発信されています。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 研究連携成果展開部 研究成果管理課 〒319-1195 茨城県那珂郡東海村大字白方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 Institutional Repository Section,

Intellectual Resources Management and R&D Collaboration Department, Japan Atomic Energy Agency.

2-4 Shirakata, 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, 2020

JAEA-Data/Code 2019-014

幌延深地層研究センター350 m 調査坑道における

地下水の地球化学モニタリング装置による地下水圧の連続観測結果(2016~2018年度)

日本原子力研究開発機構 核燃料・バックエンド研究開発部門

幌延深地層研究センター 深地層研究部

望月 陽人, 宮川 和也, 笹本 広

(2019年11月11日 受理)

幌延深地層研究センターでは、地層科学研究の一環として、地下施設内の調査坑道に設置された地下水の地球化学モニタリング装置を用い、岩盤中地下水の水圧・水質変化を継続的に観測している。本報告は、350m調査坑道に設置された地下水の地球化学モニタリング装置を利用して、2016年度~2018年度の3年間に取得した地下水圧の観測結果を取りまとめたものである。

幌延深地層研究センター:〒098-3224 北海道天塩郡幌延町字北進432番地2

JAEA-Data/Code 2019-014

Groundwater Pressure Records by Geochemical Monitoring System in the 350 m Gallery of the Horonobe Underground Research Laboratory (FY 2016-2018)

Akihito MOCHIZUKI, Kazuya MIYAKAWA and Hiroshi SASAMOTO

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

(Received November 11, 2019)

Japan Atomic Energy Agency (JAEA) has been conducting "geoscientific study" and "research and development on geological disposal" in the Horonobe Underground Research Laboratory (URL) for safe geological disposal of high-level radioactive waste. Groundwater pressure and geochemical parameters such as pH and oxidation-reduction potential in the deep groundwater have been continuously monitored with monitoring systems which were developed in the Horonobe URL Project. This report presents the data of groundwater pressure which have been obtained by the monitoring systems installed at the 350 m gallery. The data obtained from April 1, 2016 until March 31, 2019 was summarized along with related information such as the specifications of boreholes and the excavation of the URL.

Keywords: Groundwater Pressure, Horonobe URL, Monitoring System

目 次

1.	はじめ	に	1
2.	水圧観	測の概要	1
3.	各観測	孔の概要と観測結果	3
3	.1 水	平坑道掘削影響の観測孔(13-350-C05 孔,13-350-C06 孔)	3
	3.1.1	観測孔概要	3
	3.1.2	13-350-C05 孔における観測結果	4
	3.1.3	13-350-C06 孔における観測結果	8
3	.2 人	エバリア性能確認試験の実施箇所周辺の観測孔	
	(13)	-350-C07 孔,13-350-C08 孔,13-350-C09 孔)	12
	3.2.1	観測孔概要	12
	3.2.2	13-350-C07 孔における観測結果	14
	3.2.3	13-350-C08 孔における観測結果	L7
	3.2.4	13-350-C09 孔における観測結果	20
	3.2.5	注水流量増加の影響	23
3	.3 試験	験坑道 4 周辺の水圧分布	31
3	.4 水理	理・地球化学観測孔(14-350-C04 孔)	35
	3.4.1	観測孔概要	35
	3.4.2	14-350-C04 孔における観測結果	35
3	.5 水	王回復過程での継続的な水圧上昇・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	39
4.	おわり	に	ŧ0
謝話	辛 …		ŧ0
参考	夸文献		1 1
付籤	录 各調	看査孔における地下水の水圧観測結果(データは CD-ROM に収録) 4	13

Contents

1.	Intro	oduction ······ 1	L
2.	Gene	eral description 1	L
3.	Rest	alts ····· 8	}
3	.1	Boreholes for monitoring of the effect of niche excavation	
		(boreholes 13-350-C05 and 13-350-C06)	3
	3.1.1	Outline of the monitoring ····· 3	3
	3.1.2	2 Results from borehole 13-350-C05 ····· 4	ł
	3.1.3	Results from borehole 13-350-C06 ····· 8	3
3	.2	Boreholes around the location of the experiment for verification of performance of	
		engineered barrier system	
		(boreholes 13-350-C07, 13-350-C08 and 13-350-C09) 12	2
	3.2.1	Outline of the monitoring ······ 12	2
	3.2.2	2 Results from borehole 13-350-C07 ····· 14	ŀ
	3.2.3	Results from borehole 13-350-C08 ······ 17	7
	3.2.4	Results from borehole 13-350-C09 ····· 20)
	3.2.5	5 The effects of the increase in water injection flow	3
3	.3	Distribution of groundwater pressure around Niche No.4 ······ 31	L
3	.4	Borehole for hydrogeochemical monitoring (borehole 14-350-C04)	5
	3.4.1	Outline of the monitoring ······ 35	5
	3.4.2	2 Results from borehole 14-350-C04 ······ 35	5
3	.5	Continual elevation of groundwater pressure in the process of its recovery 39)
4.	Cond	clusions ······ 40)
Ack	nowl	edgement ······ 40)
Ref	erenc	es ····· 41	L
App	pendiz	x Groundwater pressure records (CSV data in CD-ROM)	3

図 リスト

义	2.1 - 1	各観測孔の位置・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	2
义	3.1-1	試験坑道2および4の周辺における観測孔位置および観測区間の平面図	3
义	3.1 - 2	13-350-C05 孔における観測区間の平面図	4
义	3.1-3	13-350-C05 孔における水圧の経時変化(2013/4~2019/3)	6
义	3.1-4	13-350-C05 孔における水圧の経時変化(2016/4~2019/3)	7
义	3.1 - 5	13-350-C06 孔における観測区間の平面図	8
义	3.1-6	13-350-C06 孔における水圧の経時変化(2013/7~2019/3)	0
义	3.1-7	13-350-C06 孔における水圧の経時変化(2016/4~2019/3)	1
义	3.2 - 1	試験坑道4周辺における観測孔位置および観測区間の平面図	2
义	3.2-2	13-350-C07~C09 孔における観測区間の断面図	3
义	3.2-3	13-350-C07 孔における水圧の経時変化(2014/1~2019/3)	5
义	3.2-4	13-350-C07 孔における水圧の経時変化(2016/4~2019/3)	6
义	3.2 - 5	13-350-C08 孔における水圧の経時変化(2014/1~2019/3)	8
义	3.2-6	13-350-C08 孔における水圧の経時変化(2016/4~2019/3)	9
义	3.2-7	13-350-C09 孔における水圧の経時変化(2014/1~2019/3)	1
义	3.2-8	13-350-C09 孔における水圧の経時変化(2016/4~2019/3)	2
义	3.2-9	13-350-C08 孔の区間 4 における水圧の経時変化(2016/10~2019/3) 2	4
义	3.2-10	13-350-C09 孔の区間 4 における水圧の経時変化(2016/10~2019/3) 2	5
义	3.2-11	試験坑道 4 周辺のボーリング孔配置図	6
义	3.2 - 12	13-350-C08 孔・C09 孔の孔壁観察結果に基づく割れ目分布	7
义	3.2-13	人工バリア性能確認試験の試験孔底部(PP002)における水圧の経時変化	
		(2016/10~2019/3)	8
义	3.2-14	H4-1 孔および H4-2 孔の区間 2 における水圧の経時変化(2016/10~2019/3) ··· 2	9
义	3.2 - 15	13-350-C07 孔の孔壁観察結果に基づく割れ目分布	0
义	3.3-1	試験坑道4周辺におけるX-Z平面上の水圧分布と想定される等水圧線3	2
义	3.3-2	試験坑道4周辺におけるY-Z平面上の水圧分布と想定される等水圧線3	3
义	3.3-3	試験坑道4周辺におけるX-Y平面上の水圧分布と想定される等水圧線3	4
义	3.4-1	14-350-C04 孔の位置および観測区間の平面図	5
义	3.4-2	14-350-C04 孔における観測区間の断面図	6
义	3.4-3	14-350-C04 孔における水圧の経時変化(2014/10~2019/3)	7
义	3.4-4	14-350-C04 孔における水圧の経時変化(2016/4~2019/3)	8

表 リスト

表	2.1-1	水圧連続観測データを取得した観測孔に関わる情報	Ĺ
表	3.1-1	13-350-C05 孔の諸元一覧	ŀ
表	3.1 - 2	13-350-C06 孔の諸元一覧	3
表	3.2 - 1	13-350-C07 孔の諸元一覧	Ł
表	3.2-2	13-350-C08 孔の諸元一覧	7
表	3.2 - 3	13-350-C09 孔の諸元一覧)
表	3.4-1	14-350-C04 孔の諸元一覧	3

List of Figures

Figure 2.1-1	Locations of boreholes at the Horonobe URL
Figure 3.1-1	Locations of boreholes around the 350 m gallery at Niche No.2 and $4 \cdots 3$
Figure 3.1-2	Schematic illustration of the monitoring zones of borehole 13-350-C05 ····· 4
Figure 3.1-3	Groundwater pressure of borehole 13-350-C05 (April 2013-March 2019) \cdots 6
Figure 3.1-4	Groundwater pressure of borehole 13-350-C05 (April 2016-March 2019) $\cdots ~7$
Figure 3.1-5	Schematic illustration of the monitoring zones of borehole 13-350-C06 ····· 8
Figure 3.1-6	Groundwater pressure of borehole 13-350-C06 (July 2013-March 2019) \cdots 10
Figure 3.1-7	Groundwater pressure of borehole 13-350-C06 (April 2016-March 2019) \cdots 11
Figure 3.2-1	Locations of boreholes around the 350 m gallery at Niche No. 4 $\cdots \cdots \cdots 12$
Figure 3.2-2	Schematic illustration of the monitoring zones of boreholes
	13-350-C07 to C09
Figure 3.2-3	Groundwater pressure of borehole 13-350-C07
	(January 2014-March 2019) 15
Figure 3.2-4	Groundwater pressure of borehole 13-350-C07 (April 2016-March 2019) $\cdot\cdot16$
Figure 3.2-5	Groundwater pressure of borehole 13-350-C08
	(January 2014-March 2019) 18
Figure 3.2-6	Groundwater pressure of borehole 13-350-C08 (April 2016-March 2019) \cdots 19
Figure 3.2-7	Groundwater pressure of borehole 13-350-C09
	(January 2014-March 2019) 21
Figure 3.2-8	Groundwater pressure of borehole 13-350-C09 (April 2016-March 2019) $\cdot\cdot22$
Figure 3.2-9	Groundwater pressure of zone 4 of borehole 13-350-C08
	(October 2016-March 2019) 24
Figure 3.2-10	Groundwater pressure of zone 4 of borehole 13-350-C09
	(October 2016-March 2019)
Figure 3.2-11	Location of boreholes around Niche No. 4 ······ 26
Figure 3.2-12	Fracture distribution in boreholes 13-350-C08 and C09 $\cdots \cdots 27$
Figure 3.2-13	Groundwater pressure at the bottom of test pit of the experiment for
	verification of performance of engineered barrier system
	(October 2016-March 2019)
Figure 3.2-14	Groundwater pressure of zone 2 of boreholes H4-1 and H4-2
	(October 2016-March 2019)
Figure 3.2-15	Fracture distribution in borehole 13-350-C07 ······ 30
Figure 3.3-1	Distribution of groundwater pressure and assumed constant-pressure line
	on the X-Z plane around Niche No. 4 ······ 32
Figure 3.3-2	Distribution of groundwater pressure and assumed constant-pressure line
	on the Y-Z plane around Niche No. 4

Figure 3.3-3	Distribution of groundwater pressure and assumed constant-pressure line
	on the X-Y plane around Niche No. 4 ······ 34
Figure 3.4-1	Location of the borehole 14-350-C04 ······ 35
Figure 3.4-2	Schematic illustration of the monitoring zones of borehole $14\mathchar`-350\mathchar`-C04\mathchar`-36$
Figure 3.4-3	Groundwater pressure of borehole 14-350-C04
	(October 2014-March 2019) 37
Figure 3.4-4	Groundwater pressure of borehole 14-350-C04 (April 2016-March 2019) \cdots 38

List of Tables

Table 2.1-1	Monitoring periods and number of monitoring zones of each borehole	1
Table 3.1-1	Specifications of borehole 13-350-C05	4
Table 3.1-2	Specifications of borehole 13-350-C06	8
Table 3.2-1	Specifications of borehole 13-350-C07 ····· 1	.4
Table 3.2-2	Specifications of borehole 13-350-C08 ······ 1	7
Table 3.2-3	Specifications of borehole 13-350-C09 ····· 2	20
Table 3.4-1	Specifications of borehole 14-350-C04 ······ 3	36

1. はじめに

幌延深地層研究計画における深地層の科学的研究では、高レベル放射性廃棄物の地層処分にお いて必要となる技術基盤の整備のために、調査技術や調査機器の開発を進めている。幌延深地層 研究計画は、地上からの調査研究段階(第1段階)、坑道掘削時の調査研究段階(第2段階)、地 下施設での調査研究段階(第3段階)の3つの段階に分けて実施されている。第2・3段階では、 地下施設の建設・運用が周辺の地質環境に及ぼす影響を調査するための技術が開発されており、 その一環として、水圧・水質を連続観測するための地下水の地球化学モニタリング装置の開発が 進められている^{1),2)}。本報告は、350m調査坑道に設置された地下水の地球化学モニタリング装置 によって取得された 2016 年度~2018 年度(2016 年 4 月 1 日~2019 年 3 月 31 日)の3年間の 地下水圧観測結果を、地下施設の運用状況などとも関連付けながら取りまとめたものである。本 報告の目的は、地下施設の建設・運用が地下水流動に与える影響を評価するための基盤となる情 報を整理することである。

2. 水圧観測の概要

表 2.1-1 には,350 m 調査坑道における各観測孔の観測期間や観測区間を,図 2.1-1 には各観 測孔の位置をそれぞれ示す。各観測孔に設置されているモニタリング装置の概要や水圧観測デー タの取得・収録方法,および 2015 年度までの水圧観測結果は,女澤ほか(2017)³⁾を参照された い。

71 47	観測	期間	知识了目来在	/世 - 之	
化石	開始	終了	観側区関数	佣石	
13-350-C05	2013/4/24	継続中	4	_	
13-350-C06	2013/7/8	継続中	4	区間 3,4 が連結	
13-350-C07	2014/2/1	継続中	4	_	
13-350-C08	2014/2/1	継続中	4	区間 2,3 が連結	
13-350-C09	2014/2/1	継続中	4	_	
14-350-C04	2014/10/14	継続中	6	—	

表 2.1-1 水圧連続観測データを取得した観測孔に関わる情報



図 2.1-1 各観測孔の位置

3. 各観測孔の概要と観測結果

以下では、350 m 調査坑道において掘削された各試験孔の概要と、各孔を利用して観測された 水圧の経時変化の結果を示す。経時変化については、各孔での観測開始時から 2018 年度までの グラフと、本報告の対象期間である 2016 年度~2018 年度のグラフの両方を示す。ただし、各区 間の変化の特徴や地下施設の運用状況との関連については基本的に、2016 年度~2018 年度のデ ータのみを対象として議論する。

3.1 水平坑道掘削影響の観測孔(13-350-C05 孔, 13-350-C06 孔)

3.1.1 観測孔概要

350 m 調査坑道に位置する試験坑道 2 および試験坑道 4 の周囲には、13-350-C05 孔、13-350-C06 孔、13-350-C07 孔、13-350-C08 孔および 13-350-C09 孔の 5 本の観測孔が掘削されている。 このうち 13-350-C05 孔と 13-350-C06 孔は、試験坑道の掘削に伴う周辺岩盤中の地下水の水圧・ 水質変化を把握するために、試験坑道 2 および 4 に先立って掘削され、試験坑道の掘削前から現 在に至るまで継続的に水圧・水質観測が実施されている。これら観測孔の位置および観測区間の 平面図を図 3.1-1 に示す。13-350-C05 孔は試験坑道 4 の南側 3.0 m、13-350-C06 孔は試験坑道 2 の北側 0.6 m の位置に、それぞれ孔長 52 m、72 m で掘削された。両孔とも、東周回坑道の路 面から約 1.1 m の高さで、隣接する試験坑道と平行に掘削されている。



図 3.1-1 試験坑道2および4の周辺における観測孔位置および観測区間の平面図

3.1.2 13-350-005 孔における観測結果

(1) 観測区間概要

観測孔の諸元と観測区間の一覧を表 3.1-1 に, 観測区間の詳細図を図 3.1-2 にそれぞれ示す。 これまでの観測期間において, 観測区間を遮水するパッカーの破損は認められていない。パッカ 一圧の低下を防ぐための加圧は, 数ヶ月に1回程度の頻度で実施している。

孔口高さ(GL-(m)) 347.863 m 観測 区間深度(m) 区間延長 掘進長 52.0 m 区間 浅部 深部 (m) 0 掘進方向 89 区間4 6.7 10.2 3.5 270 0 掘進方位 区間3 11.2 24.2 13.0 孔径 86 mm 区間2 25.2 41.2 16.0 mm 装置径 60.5 区間1 42.2 52.0 9.8 パッカー標準 Ø 86mm 孔用, 収縮時 76mm





図 3.1-2 13-350-C05 孔における観測区間の平面図

ボーリング孔中の白抜き部は観測区間を示し、黒塗り部は保孔あるいはパッカー部を示す。観測孔は実寸よりも太く表示さ れている。

(2) 水圧変化の傾向

観測開始時(2013年4月)から2018年度まで、および2016年度~2018年度の水圧の経時変化を、それぞれ図3.1-3、図3.1-4に示す。本報告の対象期間において、区間1の水圧は、採水・メンテナンスなどにより水圧が急激に低下した後の回復過程において、水圧低下前よりも約50kPa低い値で安定するという挙動を示し(図3.1-4のA)、このため本報告の期間では約1,750kPaから1,550kPaまで低下した。区間2では水質観測や採水を頻繁に行っているため、水圧の変動が大きい。全体的な傾向としては2016年4月の約1,300kPaから徐々に低下し、2018年度には約1,000kPaとなった。ただし、水質観測機の着脱や採水などによる水圧低下からの回復過程において、2017年度までは値が比較的速やかに安定していたのに対し(図3.1-4のB)、2018年度以降は時間経過とともに上昇し続ける傾向にあった(図3.1-4のC)。同様の経時変化は13-

350-C08 孔および 14-350-C04 孔でも観測されており,その原因については 3.5 節で議論する。 区間 3 および 4 の水圧は,2013 年 11 月~12 月に実施された試験坑道 4 の掘削直後にはおよそ 3,000 kPa から 700 kPa へと大幅に低下したが(図 3.1-3)³,2016 年度以降は顕著な変化は見ら れず,約 700 kPa で安定している。



(kPa) 国水郎



3.1.3 13-350-006 孔における観測結果

(1) 観測区間概要

観測孔の諸元と観測区間の一覧を表 3.1-2 に,観測区間の平面図を図 3.1-5 にそれぞれ示す。 2013年11月15日に区間3と区間4との間に位置するパッカーが破損し,それ以降,両区間は 連結している。パッカー圧の低下を防ぐための加圧は,2~3ヶ月に1回の頻度で実施している。 また,区間1は,観測孔の最深部が東連絡坑道に近いことから(図 3.1-1),その掘削影響を受け ている可能性がある³⁾。

表 3.1-2 13-350-006 孔の諸元一覧

孔口高さ(GL-(m)) 3 堀波馬	347.486	m	観測	区間深	è度(m)	区間延長
加進女 堀進士白	12.0	°	区間	浅部	深部	(m)
加進力问 」 」 」 一 一 一	09 270	o	区間4	5.0	9.0	4.0
加速力位	270	mm	区間3	10.0	18.0	8.0
<u>北</u>] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [60 5	mm	区間2	19.0	28.0	9.0
祝世日 パッカー標準の86mm孔用。	収縮時	76mm	区間1	29.0	72.0	43.0



図 3.1-5 13-350-006 孔における観測区間の平面図

ボーリング孔中の白抜き部は観測区間を示し、黒塗り部は保孔あるいはパッカー部を示す。観測孔は実寸よりも太く表示さ れている。

(2) 水圧変化の傾向

観測開始時(2013年7月)から2018年度まで,および2016年度~2018年度の水圧の経時変 化を,それぞれ図3.1-6,図3.1-7に示す。本報告の対象期間では,いずれの区間も顕著な水圧の 変化はなく,わずかに低下する傾向を示すものの値はおおむね安定している。区間1の水圧は, 試験坑道2の掘削前(2013年8月)の時点で約650kPaであり,深度350mの静水圧と比べて も低い値を示していた(図3.1-6)³⁾。同区間の水圧はその後,2016年度末には約550kPaまで 低下し(図3.1-6),本報告の期間では,およそ550kPaから500kPaまで緩やかに低下した(図 3.1-7)。区間2,区間3および区間4の水圧は,2013年12月~2014年1月に実施された試験坑 道2の掘削直後に2,000kPa前後から100~150kPaまで急激に減少した(図3.1-6)³⁾。その後 は大きな変化はなく,本報告の期間においても同程度の値を示した(図3.1-7)。

13-350-C06 孔と 13-350-C05 孔とで、東周回坑道からの距離が同程度の区間(たとえば、両孔

の区間3同士,区間4同士)の水圧を比較すると、13-350-C06孔のほうが相対的に低い。これは、試験坑道からの距離の違いによるものと考えられる。すなわち、試験坑道4からの距離が3.0mである13-350-C05孔に比べて、試験坑道2からの距離が0.6mである13-350-C06孔のほうが、試験坑道の掘削による水圧低下の影響がより顕著に現れていると考えられる。同様の傾向は各試験坑道の掘削直後から認められており(図3.1-3,図3.1-6)、掘削から3年以上経過した本報告の期間においても継続している。



- 10 -



- 11 -

3.2 人工バリア性能確認試験の実施箇所周辺の観測孔 (13-350-C07 孔, 13-350-C08 孔, 13-350-C09 孔)

3.2.1 観測孔概要

試験坑道 4 の最奥部には、13-350-C07 孔、13-350-C08 孔および 13-350-C09 孔の 3 孔が、そ れぞれ鉛直上方、水平および鉛直下方に掘削されている。同試験坑道の奥から約 7 m は、人工バ リア性能確認試験 4 のために埋め戻され、再冠水のための原位置地下水の注入が行われている。 これに伴う周辺岩盤中の地下水の水圧・水質変化を把握するために、上記の 3 孔での観測が継続 されている。試験坑道 4 の周辺における観測孔位置および観測区間の平面図を図 3.2-1 に、断面 図を図 3.2-2 にそれぞれ示す。



図 3.2-1 試験坑道 4 周辺における観測孔位置および観測区間の平面図



図 3.2-2 13-350-007~009 孔における観測区間の断面図

ボーリング孔中の白抜き部は観測区間を示し,黒塗り部は保孔あるいはパッカー部を示す。観測孔は実寸よりも太 く表示されている。

3.2.2 13-350-007 孔における観測結果

(1) 観測区間概要

観測孔の諸元と観測区間の一覧を表 3.2-1 に示す。これまでの観測期間において、観測区間を 遮水するパッカーの破損は認められていない。パッカー圧の低下を防ぐための加圧は、約 1.5 ヶ 月に1回の頻度で実施している。

孔口高さ(GL-(m)) 掘進長	346. 278 16. 0	m m	観測	区間深	<u>(m)</u> 空部	区間延長 (m)
掘進方向 掘進方位	180 0	0 0	区間4	<u></u> 元 1.7	<u>水</u> 即 3.2	1.5
孔径	86	mm	<u>区間3</u> 区間2	<u>4. 2</u> 6. 7	<u>5.7</u> 8.2	<u>1.5</u> 1.5
装直住 パッカー標準φ86mm孔月	00.5 月,収縮時	mm 76mm	区間1	9.2	16.0	6.8

表 3.2-1 13-350-007 孔の諸元一覧

(2) 水圧変化の傾向

観測開始直前(2014年1月)から2018年度まで、および2016年度~2018年度の水圧の経時 変化を、それぞれ図3.2-3、図3.2-4に示す。区間1の水圧は、2016年度以降緩やかに低下し、 本報告の期間においておよそ2,000 kPaから1,800 kPaまで減少した。区間2の水圧は、採水や メンテナンスなどによる水圧低下後の回復過程において特徴的な挙動を示した。すなわち、水圧 が回復してからおよそ3~4ヶ月間はほぼ一定の値を示したが、その後上昇に転じた(図3.2-4の A)。また、2019年1月にはガス抜きによる圧力低下の後、継続的な上昇が認められた(図3.2-4 のB)。区間3および区間4の水圧は緩やかに低下する傾向にあり、本報告の期間ではそれぞれお よそ1,800 kPaから1,600 kPa、650 kPaから600 kPaまで低下した。

2016年10月より,人工バリア性能確認試験の試験孔底部(図 3.2-2)に対する注水流量をおよ そ 300 mL/min から 1,000 mL/min へ,埋め戻し外周部(試験坑道 4 壁面)への注水流量を 0 mL/min から約 300 mL/min へ増加させている 4。しかし,後述する 13-350-C08 孔や 13-350-C09 孔とは異なり,13-350-C07 孔においてはこのことに起因すると考えられる顕著な水圧の変 化は認められなかった。







3.2.3 13-350-008 孔における観測結果

(1) 観測区間概要

観測孔の諸元と観測区間の一覧を表 3.2-2 に示す。2015 年 7 月 13 日に区間 2 と区間 3 との間 に位置するパッカーが破損し、それ以降、両区間は連結している。パッカー圧の低下を防ぐため の加圧は、1~2ヶ月に1回の頻度で実施している。

孔口高さ(GL−(m)) 掘進長 堀進去向	348.939 16.0	m m °	観測 区間	区間深 浅部	è度(m) 深部	区間延長 (m)
掘進方问 掘進方位	90 270	o	区間4	1.0	1.5	0.5
孔径	86 60 5	mm	<u>区間3</u> 区間2	<u>2.5</u> 5.0	<u>4.0</u> 7.5	1.5
表旦1空 パッカー標準φ86mm孔月	00.5 月,収縮時7	76mm	区間1	8.5	16.0	7.5

表 3.2-2 13-350-008 孔の諸元一覧

(2) 水圧変化の傾向

観測開始直前(2014年1月)から2018年度まで,および2016年度~2018年度の水圧の経時 変化を,それぞれ図 3.2-5,図 3.2-6に示す。本報告の期間において,区間1の水圧はおよそ2,200 kPaから1,800 kPaまでほぼ直線的に減少した。区間2および連結する区間3では水質観測や採 水を頻繁に行っているため,水圧の変動が大きい。水圧はおよそ1,100 kPaから800 kPaまで減 少しており,2018年度には13-350-C05孔の区間2と同様に,水圧回復過程での継続的な水圧上 昇が3回認められた(図3.2-6のA)。区間4の水圧は,2016年度当初は約150 kPaであったが, 2016年10月から人工バリア性能確認試験の実施箇所に対する注水流量を増加したことに伴い,約200 kPaに上昇した(図3.2-6のB)。その後は120~290 kPaの範囲で推移しているが,注水 流量の増加前に比べて変動がやや大きい。区間4における注水流量増加後の水圧の経時変化については、13-350-C09孔の結果と併せて3.2.5項で詳しく述べる。



- 18 -



図 3. 2-6 13-350-008 孔における水圧の経時変化(2016/4~2019/3)

3.2.4 13-350-009 孔における観測結果

(1) 観測区間概要

観測孔の諸元と観測区間の一覧を表 3.2-3 に示す。これまでの観測期間において、観測区間を 遮水するパッカーの破損は認められていない。パッカー圧の低下を防ぐための加圧は、1.5~2 ヶ 月に1回の頻度で実施している。

	「四日」	浅部	深部	(m)
加進力内 り つ し し し し し し し し し し し し し し し し し し	区間4	1.0	1.5	0.5
加進力 2 0 3 次 86 mm	区間3	2.5	4.0	1.5
11日 00 mm 生置 な 60 5 mm	区間2	5.0	7.5	2.5
え回注 00.3 mm パッカー 標進 d 86mm 月 田 山 26 時 76mm	区間1	8.5	16.0	7.5

表 3.2-3 13-350-009 孔の諸元一覧

(2) 水圧変化の傾向

観測開始直前(2014年1月)から2018年度まで、および2016年度~2018年度の水圧の経時 変化を、それぞれ図3.2.7、図3.2.8に示す。区間1の水圧は、2016年7月のメンテナンスの際 におよそ2,150 kPaから2,250 kPaへわずかに増加し、その後一定の値を示した(図3.2.8のA)。 この値は、2016年9月に実施されたチューブ内への注水作業により約2,100 kPaに低下し(図 3.2.8のB)、その後は2019年3月までの間で約2,000 kPaまで低下した。区間2では、2014年 9月に実施されたチューブ配置の変更作業以降、パルス状の水圧変化が観測されるようになり(図 3.2.7)、循環経路内でチューブの損傷などが生じているものと推測される³⁾。このため、同区間で の水圧変化については議論しない。区間3の水圧は、わずかな増減はあるもののおよそ650~700 kPaの範囲で推移した。区間4では、13-350-C08孔の区間4と同様に、人工バリア性能確認試験 の実施箇所に対する注水流量増加に起因すると考えられる水圧の経時変化が観測された(図 3.2-8のC)。







図 3.2-8 13-350-C09 孔における水圧の経時変化(2016/4~2019/3)

3.2.5 注水流量増加の影響

試験坑道 4 における人工バリア性能確認試験の実施箇所では,2016 年 10 月より,注水流量を 増加させた。これに伴い,試験坑道 4 から水平方向 1.0 m の距離に位置する 13-350-C08 孔の区 間 4 および鉛直下向き方向 1.0 m の距離に位置する 13-350-C09 孔の区間 4 では,水圧が約 150 kPa から 200 kPa まで上昇した。これら 2 つの区間における,2016 年 10 月から 2019 年 3 月ま での水圧の経時変化を,図 3.2-9 および図 3.2-10 にそれぞれ示す。両区間の水圧の経時変化は類 似していることがわかる。2016 年 10 月から 11 月にかけては,注入流量の増減を反映して,水圧 が変化する傾向が認められる。2016 年 11 月,2017 年 12 月および 2018 年 10 月の急激な水圧上 昇(図 3.2-9 および図 3.2-10 の A)は、近接するボーリング孔(H4-1 および H4-2;図 3.2-11) を利用して行われた透水試験における注水の影響によるものと考えられる。また、2017 年 4 月以 降に観測された水圧の急激な低下は、地下水注入ポンプの不調による注入量の減少(図 3.2-9 お よび図 3.2-10 の B)、観測区間のガス抜き(図 3.2-9 および図 3.2-10 の C)および停電によるポ ンプ・センサー等の不調(図 3.2-9 および図 3.2-10 の D)によるものと推測される。

ボアホール・テレビューアを用いた孔壁観察の結果より、13-350-C08 孔および C09 孔では坑 壁からおよそ 1.5 m 以内の距離に割れ目が集中し、その一部は、両孔の区間 4 の位置に相当する 坑壁から 1.0~1.5 m の距離にも分布することがわかる (図 3.1-12)。これら区間は試験坑道 4 の 掘削損傷領域内に位置していると推測され、そのため、両区間における水圧の経時変化は注入流 量の変化を鋭敏に反映していると考えられる。また、人工バリア性能確認試験の試験孔底部に設 置された間隙水圧計 (PP001~004, ここでは PP002 を例示) や、上述した透水試験用のボーリ ング孔 H4-1 と H4-2 のうち試験坑道 4 に近接する区間 2 でも、13-350-C08 孔・C09 孔の区間 4 と類似した水圧の経時変化 (ただし、ガス抜きの影響を除く)が観測されている (図 3.2-13; 図 3.2-14)。これら区間も、試験坑道 4 (あるいは試験孔)の掘削影響領域内に位置していると考え られる。

一方,試験坑道4から2.5 m以上離れた13·350·C08 孔およびC09 孔の区間1~3や,鉛直上 向き1.7 mの距離に位置する13·350·C07 孔の区間4(図3.2·2),さらに坑道から水平方向3.0 m の距離に掘削された13·350·C05 孔(図3.1·2)では、上述のような水圧の経時変化は観測されて いない(図3.1·4;図3.2·4;図3.2·6)。また、13·350·C07 孔において、区間4の位置に相当する 坑壁から1.7~3.2 mの距離には割れ目が認められない(図3.1·15)。これら区間は試験坑道4の 掘削損傷領域の外側に位置すると推測される。そのため、水圧の経時変化には注水流量増加の影 響が認められないと考えられる。



- 24 -





(b)



(a) 俯瞰図, (b) 東周回坑道側からの断面図⁵⁾



図 3.2-12 13-350-C08 孔・C09 孔の孔壁観察結果に基づく割れ目分布 (a) 13-350-C08 孔, (b) 13-350-C09 孔



人エバリア性能確認試験の試験孔底部(PP002)における水圧の経時変化(2016/10~2019/3) 2-13 с. С X





図 3.2-15 13-350-007 孔の孔壁観察結果に基づく割れ目分布

3.3 試験坑道4周辺の水圧分布

3.1.2 項および 3.2.2~3.2.4 項で示した試験坑道 4 周辺のボーリング孔における水圧モニタリ ング結果をもとに,試験坑道 4 周辺の水圧分布を図示した。図 3.3・1,図 3.3・2 および図 3.3・3 に は,それぞれ X-Z 平面, Y-Z 平面および X-Y 平面での水圧分布と,各平面上で想定される等水圧 線を示している。なお,水圧については 2017 年 3 月頃の値を採用しており,水圧の変動が大き い 13・350-C05 孔の区間 2 および 13・350-C08 孔の区間 2 については,採水やメンテナンスの影 響が小さいと考えられる期間の値としている。

X-Z 平面上では,試験坑道 4 から 1.7~3.0 m の距離に 600~700 kPa の等水圧線が分布してい ると考えられる(図 3.3·1)。この等水圧線と試験坑道との距離は,坑道の側方や下方に比べて上 方で小さい。これは,幌延の坑道周辺の掘削損傷領域が坑道上方で相対的に小さいことによるも のと考えられ,坑道周辺の水圧分布に関するモデリングでも同様の結果が得られている Ø。試験 坑道 4 の上方および下方 8.5~9.2 m の距離には,約 2,000 kPa の等水圧線が分布していると考 えられるが,坑道側方の分布については本報告のデータのみでは判断できない。また,13·350·C07 孔と 13·350·C09 孔のいずれも,坑道からの距離が相対的に近い区間 3 のほうが,より遠くに位 置する区間 2 よりも高い水圧を示している。このため,坑道より 3~8 m の距離の範囲では確か らしい等水圧線を描くことが難しい。ただし,両孔の区間 2 では水圧の不規則な変動(図 3.2·4) や脈動(図 3.2·8)が観測されることから,基本的には 13·350·C07 孔の区間 3 で観測されている ように,試験坑道 4 から約 4 m の距離で 1,700 kPa 前後の水圧を示すと考えられる。

Y-Z 平面上では, 試験坑道 4 から 0.5~1.0 m の距離に約 200 kPa, 1.7~2.5 m の距離に 600~700 kPa の等水圧線が分布していると考えられる (図 3.3-2)。X-Z 平面と同様に, 試験坑道 4 とこれら等水圧線との距離は坑道上方で相対的に小さい。13-350-C08 孔ではパッカーの破損により区間 2 と区間 3 が連結しているため,水圧は両区間とも約 1,000 kPa となっている。また, 試験坑道 4 から 8.5~9.2 m の距離に, 約 2,000 kPa の等水圧線が分布していると考えられる。

X-Y 平面上では, 試験坑道 4 の側方 3.0 m に位置する 13-350-C05 孔の区間 3 および区間 4 で 600~700 kPa の水圧が観測されており, また坑道前方 2.5 m の距離に 1,000~1,200 kPa の等水 圧線が分布すると考えられる(図 3.3-3)。13-350-C05 孔と 13-350-C08 孔の区間 1 同士を比べる と, 13-350-C05 孔のほうが試験坑道 4 からの距離は遠いが, 水圧は相対的に低い。これは, 13-350-C05 孔の区間 1 が, 近傍に位置する東立坑および東周回坑道(図 3.1-1)の掘削影響を受けて いる可能性が考えられる。



図 3.3-1 試験坑道 4 周辺における X-Z 平面上の水圧分布と想定される等水圧線



図 3.3-2 試験坑道 4 周辺における Y-Z 平面上の水圧分布と想定される等水圧線



図 3.3-3 試験坑道 4 周辺における X-Y 平面上の水圧分布と想定される等水圧線

3.4 水理·地球化学観測孔(14-350-C04 孔)

3.4.1 観測孔概要

西周回坑道の試験坑道 5 付近には,水理・地球化学観測の一環として 14-350-C04 孔が掘削さ れている。同孔は,深度 350 m 調査坑道のうち,相対的に割れ目の少ない岩盤部分を対象とした 地下水圧・水質の長期観測を目的として掘削された。14-350-C04 孔の位置および観測区間の平面 図を図 3.4-1 に示す。試験坑道 5 の北側から西周回坑道と東周回坑道との交差部方向に向かって, 路面より約 0.3 m の高さから,斜め下向き 20°に掘削されている。孔長は 61 m である。



図 3.4-1 14-350-C04 孔の位置および観測区間の平面図

3.4.2 14-350-C04 孔における観測結果

(1) 観測区間概要

観測孔の諸元と観測区間の一覧を表 3.4-1 に, 観測区間の詳細図を図 3.4-2 にそれぞれ示す。 掘削時の孔内へのセメント注入の影響から,区間 1~3 においては水圧観測結果が原位置の間隙 水圧を反映していない可能性が高い ³⁾。これまでの観測期間において,観測区間を遮水するパッ カーの破損は認められていない。パッカー圧の低下を防ぐための加圧は,数ヶ月に1回程度の頻 度で実施している。

			観測	区間深	è度(m)	区間延長
孔口高さ(GL-(m))	348.570	m	区間	浅部	深部	(m)
加進長	01.U	° °	区間6	0.0	15.0	15.0
加進力回	/U 56	o	区間5	16.0	27.0	11.0
加進力型	00 76	mm	区間4	28.0	39.5	11.5
1112 社罢汉	60 F	 mm	区間3	40.5	46.5	6.0
表世1年 パッカー博進な06mmで日	00.0	 76mm	区間2	47.5	57.0	9.5
ハッカー 伝牟 4 00000111111	,收帕时	UIIII	区間1	58.0	61.0	3.0

表 3.4-1 14-350-C04 孔の諸元一覧



図 3.4-2 14-350-C04 孔における観測区間の断面図

ボーリング孔中の白抜き部は観測区間を示し、黒塗り部は保孔あるいはパッカー部を示す。観測孔は実寸よりも太く表示さ れている。

(2) 水圧変化の傾向

観測開始時(2014年10月)から2018年度まで、および2016年度~2018年度の水圧の経時変化を、それぞれ図3.4-3、図3.4-4に示す。2016年4月における区間1、区間2および区間3の水圧はそれぞれ約550kPa、約750kPa、約750kPaであり、その後はわずかに低下しつつもほぼ一定の値を示した。ただし、区間2においては2018年5月頃より水圧が比較的大きく低下し始め(図3.4-4のA)、2018年9月にバルブの開放に伴い約550kPaまで低下したのち、ほぼ同程度の値で推移した(図3.4-4のB)。2018年5月頃より生じたこの水圧低下の原因は、現状のところ不明である。区間4の水圧は、本報告の期間において、およそ1,650kPaから1,400kPaまでほぼ直線的に減少した。区間5および区間6では水質観測や採水を頻繁に行っているため、水圧の変動が大きい。区間55に、2016年4月から2018年12月の間に、水圧がおよそ1,300kPaから1,000kPaまで低下した。ただし、同期間内に13-350-C05孔の区間2や13-350-C08孔の区間2で観測されたような継続的な水圧上昇が4回認められ(図3.4-4のC)、2018年12月以降にも同様の水圧上昇が生じている(図3.4-4のD)。区間6の水圧は、およそ500~1,000kPaの範囲内で不規則に脈動した。水質観測時のポンプの作動による影響と考えられる。





(Eqy) **丑**水劇間





3.5 水圧回復過程での継続的な水圧上昇

13-350-C05 孔の区間 2, 13-350-C08 孔の区間 2 および 14-350-C04 孔の区間 5 では,水質観 測・採水・メンテナンスなどに伴う水圧低下からの回復過程において,値が速やかに安定せずに 継続的に上昇するという経時変化が観測された。また,13-350-C07 孔の区間 2 では,水圧が一度 安定したのち,数ヶ月後に上昇し始めるという経時変化を示した。幌延地域のように溶存ガスを 多量に含有する地下環境では,水圧低下からの回復過程において,岩盤中の地下水から遊離した ガスが区間内へと移行したり,排水前と比べて減圧環境にある区間内の地下水からガスが遊離し たりすることが想定される。このような遊離ガスの影響により,区間内の圧力が上昇し続けた可 能性が考えられる。実際に,上述の区間において水圧が継続的に上昇した際には,区間を大気圧 開放してもガスのみが噴出し地下水が排出されない,水質観測の循環経路内に気泡が多量に発生 してポンプによる地下水の循環が停止する,などの事象が発生している。これらの事象は,区間 内でのガスの発生および滞留が水圧の上昇と関係していることを示唆するものである。

水圧回復過程での継続的な水圧上昇は、2018年度以降に頻繁に観測されるようになった。この 原因として、坑道掘削からの時間経過に伴いボーリング孔周辺の地下水量が減少したことが考え られる。また、13-350-C05 孔および 13-350-C08 孔では、2018年度より水質観測の頻度を1ヶ 月に1回程度から2ヶ月に1回程度に減少させた。このため、これまでは観測されていなかった、 水圧上昇後1ヶ月以降の水圧変化を捉えている可能性も考えられる。13-350-C07 孔の区間2に おいて、圧力が一度安定してから数ヶ月後に上昇するという事象の詳細な原因は現状のところ不 明であるが、他の孔と同様に、地下水から発生した遊離ガスに起因するものと推測される。

4. おわりに

幌延深地層研究センターの地下施設ではこれまでに、低透水性かつ溶存ガスを含有する地下深 部の堆積岩環境において、原位置環境を維持した状態で水圧データを取得するための地球化学モ ニタリング装置が開発・改良されてきた。本報告では、350 m 調査坑道から掘削されたボーリン グ孔に設置された地球化学モニタリング装置において、2016 年 4 月~2019 年 3 月の期間に得ら れた地下水圧の観測結果をデータ集として取りまとめた。

多くの区間で、水圧は時間経過とともに徐々に低下した。ただし、本報告の期間における水圧 低下量は最大でもおよそ 400 kPa であり、坑道掘削直後の最大 2,000 kPa におよぶ水圧低下と比 べるとその程度は小さい。試験坑道 4 の最奥部に掘削された 13-350-C08 孔および 13-350-C09 孔 の、最も坑道に近い区間 4 では、人工バリア性能確認試験の注水流量の増減に関連すると考えら れる水圧の経時変化が観測された。また、一部の区間では採水・メンテナンスなどに伴う水圧低 下からの回復過程で、水圧が直ちに安定せずに継続的に上昇し続けるという経時変化が観測され た。地下水から発生する遊離ガスの影響と考えられる。

謝辞

350 m 調査坑道の地球化学モニタリング装置の開発は,民間資金等活用事業:地下研究施設整 備(第II期)等事業(平成23年1月31日~令和2年3月31日)における研究支援業務の一部 として行われた。モニタリング装置の運用にあたっては,幌延深地層研究センターに技術開発協 力員として在職していた女澤徹也氏(現在,株式会社ダイヤコンサルタント)にご協力いただい た。モニタリング装置のメンテナンスに際しては,大成建設株式会社の白瀬光泰氏ならびに小野 誠氏,および株式会社ダイヤコンサルタントの細谷真一氏,若浜洋氏ならびに森川佳太氏にご協 力いただいた。人工バリア性能確認試験の試験孔底部およびH4-1孔・H4-2孔の間隙水圧データ の使用に関しては,それぞれ,幌延深地層研究センターの中山雅氏および石井英一氏にご快諾い ただいた。以上の方々に,この場を借りて御礼申し上げる。

参考文献

- 南條功, 天野由記, 岩月輝希, 國丸貴紀, 村上裕晃, 細谷真一, 森川佳太: "幌延深地層研究センター東立坑 140m 調査坑道における地下水の地球化学モニタリングに関する研究開発", JAEA-Research 2011-048, 162p. (2012).
- 女澤徹也,宮川和也,笹本広,曽我弘一: "幌延深地層研究センター350m 調査坑道における 地下水の地球化学モニタリング装置の改良・開発", JAEA-Technology 2016-003, 25p. (2016).
- 3) 女澤徹也,望月陽人,宮川和也,笹本広: "幌延深地層研究センター調査坑道における地下水の地球化学モニタリング装置による地下水圧の連続観測結果", JAEA-Data/Code 2017-010, 63p. (2017).
- 4) 中山雅, 大野宏和, 中山真理子, 小林正人: "幌延深地層研究計画における人工バリア性能確 認試験計測データ集(平成 29 年度)", JAEA-Data/Code 2019-003, 57p. (2019).
- 5) 吉野浩光, 佐俣洋一, 丹生野純夫, 石井英一: "幌延深地層研究計画における 350m 試験坑道 掘削影響領域を対象とした透水試験(その1)", JAEA-Data/Code 2018-015, 169p. (2019).
- Aoyagi, K., Ishii, E. : "A method for estimating the highest potential hydraulic conductivity in the excavation damaged zone in mudstone", Rock Mechanics and Rock Engineering, vol.52, no.2, pp.385-401 (2019).

This is a blank page.

JAEA-Data/Code 2019-014

付録

各調査孔における地下水の水圧観測結果 (データは CD-ROM に収録)

対象孔

13-350-C05 孔, 13-350-C06 孔, 13-350-C07 孔, 13-350-C08 孔, 13-350-C09 孔, 14-350-C04 孔

収録期間

2016 (平成 28) 年 4 月 1 日~2019 (平成 31) 年 3 月 31 日

This is a blank page.

13-350-C05 (1/2)



水圧の経時変化(観測期間:2016/4~2019/3)



水圧の経時変化(観測期間:2016/4~2017/3)

13-350-005 (2/2)



水圧の経時変化(観測期間: 2017/4~2018/3)



水圧の経時変化(観測期間:2018/4~2019/3)

13-350-006 (1/2)



水圧の経時変化(観測期間:2016/4~2019/3)



水圧の経時変化(観測期間: 2016/4~2017/3)

13-350-006 (2/2)







水圧の経時変化(観測期間:2018/4~2019/3)

13-350-C07 (1/2)



水圧の経時変化(観測期間:2016/3~2019/3)



水圧の経時変化(観測期間: 2016/4~2017/3)

13-350-007 (2/2)



水圧の経時変化(観測期間:2017/4~2018/3)



水圧の経時変化(観測期間:2018/4~2019/3)





水圧の経時変化(観測期間:2016/4~2019/3)



水圧の経時変化(観測期間:2016/4~2017/3)

13-350-008 (2/2)



水圧の経時変化(観測期間:2017/4~2018/3)



水圧の経時変化(観測期間:2018/4~2019/3)

13-350-C09 (1/2)



水圧の経時変化(観測期間:2016/4~2019/3)



水圧の経時変化(観測期間:2016/4~2017/3)





水圧の経時変化(観測期間:2017/4~2018/3)



水圧の経時変化(観測期間:2018/4~2019/3)





水圧の経時変化(観測期間:2016/4~2019/3)



水圧の経時変化(観測期間:2016/4~2017/3)





水圧の経時変化(観測期間:2017/4~2018/3)



水圧の経時変化(観測期間:2018/4~2019/3)

_

表 1. SI 基本単位				
甘大昌	SI 基本単位			
本平里	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
AI 立長 SI 組立単位	
名称	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 ⁸
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	t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

			SI 租立单位	
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 角	ラジアン ^(b)	rad	1 ^(b)	m/m
立体鱼	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
E 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	$m^2 kg s^{\cdot 3} A^{\cdot 1}$
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	$kg s^{-2} A^{-1}$
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
光東	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

酸素活性(1) ダール kat [s¹ mol]
 (w)SH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。
 (h)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。
 (d)へルツは周期現象についてのみ、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。 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。それシウス度とケルビンの
 (a)やレシウス度はケルビンの特別な名称で、温度器や温度開隔を表す整備はとお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物告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	[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 s A
表面電荷	「クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
電東密度, 電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ² s A
誘 電 辛	コアラド毎メートル	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 s A
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	名称	記号	乗数	名称	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	Е	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	М	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=60 s		
時	h	1 h =60 min=3600 s		
日	d	1 d=24 h=86 400 s		
度	۰	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, 1	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	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)×10 ⁻¹⁹ J			
ダルトン	Da	1 Da=1.660 538 86(28)×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)×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	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単位しの粉結的な朋友け
ベル	В	対数量の定義に依存。
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	Р	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1Pa s			
ストークス	St	$1 \text{ St} = 1 \text{ cm}^2 \text{ s}^{\cdot 1} = 10^{\cdot 4} \text{ m}^2 \text{ s}^{\cdot 1}$			
スチルブ	$^{\mathrm{sb}}$	$1 \text{ sb} = 1 \text{ cd cm}^{-2} = 10^4 \text{ cd m}^{-2}$			
フォト	ph	1 ph=1cd sr cm ⁻² =10 ⁴ lx			
ガ ル	Gal	1 Gal =1cm s ⁻² =10 ⁻² ms ⁻²			
マクスウエル	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 ^(a)	Oe	1 Oe ≙ (10 ³ /4 π)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 尾	属さないその他の単位の例
	-	名利	5		記号	SI 単位で表される数値
キ	ユ		IJ	ſ	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq
$\scriptstyle u$	\sim	ŀ	ゲ	\sim	R	$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{C/kg}$
ラ				K	rad	1 rad=1cGy=10 ⁻² Gy
$\scriptstyle u$				Д	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv
ガ		$\boldsymbol{\mathcal{V}}$		7	γ	$1 \gamma = 1 \text{ nT} = 10^{-9} \text{T}$
フ	T.		N	11		1フェルミ=1 fm=10 ⁻¹⁵ m
メー	ートル	采	カラゞ	ット		1 メートル系カラット= 0.2 g = 2×10 ⁻⁴ kg
ŀ				ル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標	準	大	気	圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
+1	ы		11	_		1 cal=4.1858J(「15℃」カロリー), 4.1868J
15	Ц		9		cal	(「IT」カロリー), 4.184J(「熱化学」カロリー)
3	ク			~	u	$1 \mu = 1 \mu m = 10^{-6} m$