

幌延深地層研究計画 換気立坑先行ボーリング（PB-V01 孔）調査報告書

—岩盤の水理特性調査—

Horonobe Underground Research Laboratory Project
Overview of the Pilot Borehole Investigation of the Ventilation Shaft(PB-V01)
- Hydrogeological Investigation -

薮内 聰 國丸 貴紀 石井 英一 羽出山 吉裕*
井尻 裕二* 松岡 清幸* 井原 哲夫* 松波 伸次朗*
牧野 章也*

Satoshi YABUUCHI, Takanori KUNIMARU, Eiichi ISHII, Yoshihiro HATSUYAMA*
Yuji IJIRI*, Kiyoyuki MATSUOKA*, Tetsuo IBARA*, Shinjiro MATSUNAMI*
and Akiya MAKINO*

地層処分研究開発部門
堆積岩地質環境研究グループ

Sedimentary Environment Research Group
Geological Isolation Research and Development Directorate

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 (<http://www.jaea.go.jp>)
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

幌延深地層研究計画
換気立坑先行ボーリング（PB-V01 孔）調査報告書
—岩盤の水理特性調査—

日本原子力研究開発機構 地層処分研究開発部門
幌延深地層研究ユニット

薮内 聰、國丸 貴紀、石井 英一、羽出山 吉裕^{*1}、井尻 裕二^{*1}、松岡 清幸^{*2}、
井原 哲夫^{*3}、松波 伸次朗^{*3}、牧野 章也^{*3}

(2008 年 10 月 9 日受理)

幌延深地層研究計画 地下施設建設工事（第 I 期）において、地下施設の建設に関わる詳細なグラウト施工計画の作成に必要な立坑近傍の地質構造と岩盤の水理特性、及び今後の排水処理設備で対象とする地下水の水質に関する情報を取得することを目的として換気立坑先行ボーリング調査を実施した。

当該ボーリング調査のうち岩盤の水理に関する調査である単孔式水理試験の結果から、換気立坑周辺岩盤は深度 500m 程度まで $1.1 \times 10^{-11} \sim 1.4 \times 10^{-7}$ m/sec の透水係数を示すことが明らかになった。流体電気伝導度検層の結果を考慮すると、調査対象岩盤（主として稚内層）の透水不均質性は、地下水流入箇所として検出された割れ目などの水みち構造の有無によるものと考えられ、深度約 263～約 290mまでの区間と深度約 355～約 370mまでの区間は特に透水性が高い。本調査結果を当該深度の換気立坑掘削における湧水抑制対策に反映する。

幌延深地層研究センター（駐在）：〒098-3224 北海道天塩郡幌延町北進 432-2

*1 大成建設株式会社

*2 株式会社物理計測コンサルタント

*3 大成基礎設計株式会社

Horonobe Underground Research Laboratory Project
Overview of the Pilot Borehole Investigation of the Ventilation Shaft(PB-V01)
- Hydrogeological Investigation -

Satoshi YABUCHI, Takanori KUNIMARU, Eiichi ISHII, Yoshihiro HATSUYAMA^{*1},
Yuji IJIRI^{*1}, Kiyoyuki MATSUOKA^{*2}, Tetsuo IBARA^{*3}, Shinjiro MATSUNAMI^{*3} and
Akiya MAKINO^{*3}

Horonobe Underground Research Unit
Geological Isolation Research and Development Directorate
Japan Atomic Energy Agency
Horonobe-cho, Teshio-gun, Hokkaido

(Received October 9, 2008)

The Pilot Borehole Investigation of the Ventilation Shaft was conducted in Horonobe, Hokkaido, Japan from October 2007 to March 2008. Main purpose of the investigation is to understand geological, hydrogeological and hydrochemical properties of the formation where the Ventilation Shaft has been excavated.

Hydraulic packer tests show that hydraulic conductivity lies in the range from 1.1E-11 to 1.4E-7 m/sec down to 500m in depth. This heterogeneity mainly depends on the distribution and permeability of groundwater inflow points, which were detected by Fluid Electric Conductivity logging. High conductive zones were found between 263m and 290m, 355m and 370m of the depth in the pilot borehole. An effective method for reducing groundwater inflow should be considered for the deeper Ventilation Shaft excavation.

Keywords: Horonobe Underground Research Laboratory Project, Ventilation Shaft, Pilot Borehole, Hydraulic Packer Test, Fluid Electric Conductivity Logging

*1: Taisei Corporation

*2: Geophysical Surveying Co., Ltd.

*3: Taisei Kiso Sekkei Co., Ltd.

目次

1.はじめに	1
2.換気立坑先行ボーリング調査の概要	2
2.1 調査位置	2
2.2 調査項目	2
3.流体電気伝導度検層	6
3.1 測定原理・測定機器	6
3.2 実施内容	6
3.3 結果	10
4.単孔式水理試験	13
4.1 試験装置	13
4.2 試験方法	14
4.3 解析方法	16
4.4 試験概要	23
4.5 試験結果	25
5.まとめ	30
参考文献	31
付録	33

Contents

1. Introduction	1
2. Overview of the Pilot Borehole Investigation of the Ventilation Shaft	2
2.1. Location	2
2.2. Investigation List	2
3. Fluid Electric Conductivity Logging	6
3.1. Equipment	6
3.2. Field work	6
3.3. Results	10
4. Hydraulic Packer Test	13
4.1. Equipment	13
4.2. Test methods	14
4.3. Analysis methods	16
4.4. Overview of the Field work	23
4.5. Results	25
5. Conclusion	30
Reference	31
Appendix	33

1. はじめに

幌延深地層研究計画は、平成 17 年度から第 2 段階（坑道掘削【地下施設建設】時の調査研究段階）に移行し、平成 20 年 8 月末時点での換気立坑深度約 223.0m、東立坑深度 140.5m までの掘削が終了し、140m 水平坑道の掘削が行われている。

本報告書は、換気立坑近傍の地質構造や透水性および水質等の地質環境特性を事前に把握し、湧水抑制対策などの施工計画の検討に反映することを目的として行った換気立坑先行ボーリング（以下、PB-V01 孔と略記）調査のうち、岩盤の水理に関する調査である流体電気伝導度検層ならびに単孔式水理試験の実施内容とその結果について記したものである。流体電気伝導度検層については、得られた電気伝導度の深度プロファイルとそれから読み取った地下水の流入箇所と考えられる電気伝導度の変化深度を調査結果として示した。単孔式水理試験については、取得データを解析して得られた岩盤の水理特性を表す物性値（透水量係数、透水係数、比貯留係数、平衡水位など）を、採用した試験・解析手法などの情報と合わせて示した。さらに、両者の結果を総合柱状図として取りまとめた。

2. 換気立坑先行ボーリング調査の概要

2.1 調査位置

図1にPB-V01孔の掘削位置を示す。また、PB-V01孔口の座標は以下のとおりである。

(世界測地系)

北緯 : 45°02'43.73292" (X:116238.989 m)

東経 : 141°51'34.50747" (Y:-30775.516 m)

標高 : 60.000m (Z: 60.000 m)

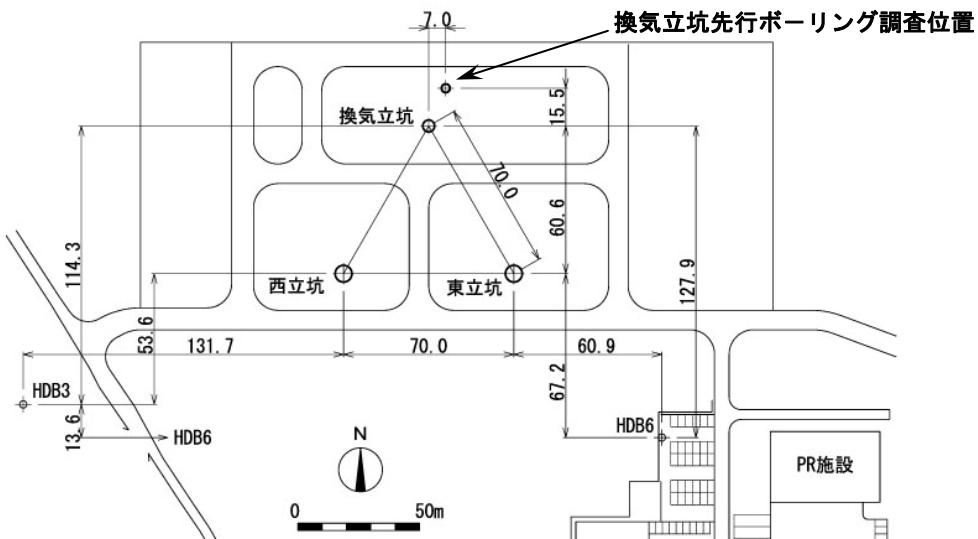


図1 調査位置図

2.2 調査項目

図2にPB-V01孔のケーシングプログラムを示す。PB-V01孔の掘削深度は520.5mであり、保孔のため深度147.3mまで鋼製のケーシングパイプが設置（セメンチングにより固定）されている。表1に調査項目および調査数量を示す。主な調査対象区間は深度150m以深である。なお、PB-V01孔を用いて地下水の水圧・水質の長期モニタリングを行うため、観測区間を対象にジットパフォレーションによりケーシングパイプおよび外周のセメントを貫通する孔をあける処置が施されている。

図3に現場作業の工程実績を示す。現場作業はPB-V01孔掘削前後の櫓組立・解体工事を含め、平成19年10月から平成20年4月にかけて実施した。

本報告書では、実施した調査項目のうち、岩盤の水理に関する調査として、地下水の流入箇所の把握を目的とした流体電気伝導度検層、ならびに岩盤の水理パラメータ（透水量係数、透水係数、比貯留係数、平衡水位など）の取得を目的として実施した単孔式水理試験の実施内容及び結果について述べる。

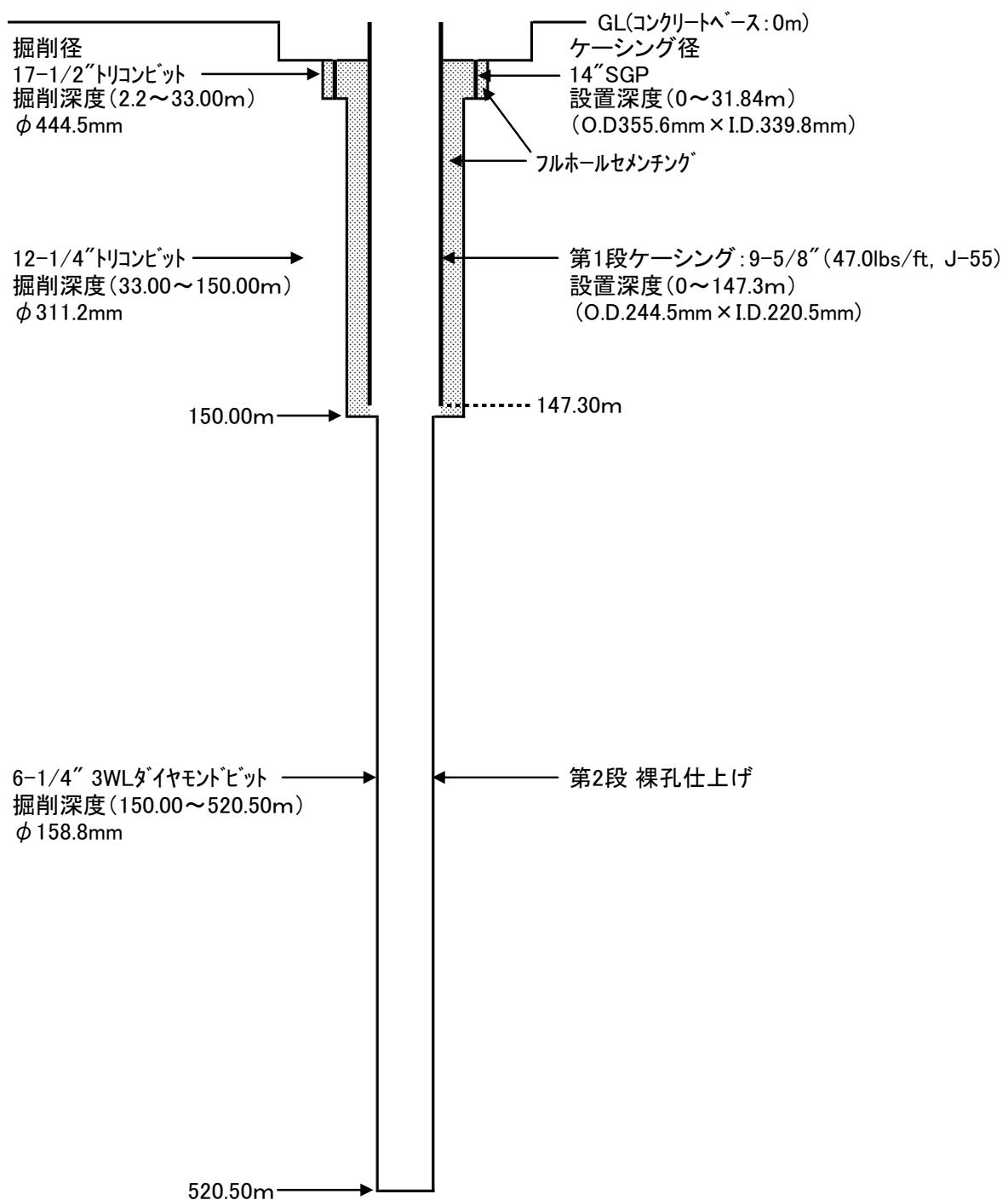


図 2 PB-V01 孔ケーシングプログラム

表 1 調査項目・調査数量

調査項目		調査数量	対象深度
試 錐 孔 掘 削	ノンコア掘削		G.L.0m～G.L.-150m
	コアリング掘削(6-1/4インチ WL)		G.L.-150m～G.L.-520m
	掘削水の管理および物理化学パラメータ測定	1式	G.L.0m～G.L.-520m
	岩芯記載および保存処理	1式	G.L.-150m～G.L.-520m
原 位 置 試 験	物理検層 (キャリバー検層、温度検層、音波検層、孔壁画像(超音波型)検層、フローメータ(ヒートパルス型)検層、孔芯傾斜測定)	1式	G.L.-150m～G.L.-520m
	物理検層 (セメントボンド検層)	1式	G.L.0m～G.L.-150m
	流体電気伝導度検層	2回	G.L.-150m～G.L.-520m
	水理試験	14区間	G.L.-150m～G.L.-520m
	うち地下水の採水	4区間	
	うち物理化学パラメータ測定	1区間	
	ジェットパフォレーション	20孔/箇所×5箇所	G.L.-30m～G.L.-150m
室 内 試 験	物理試験 (空隙率、含水量、含水比、密度、比重、単位体積重量、弾性波伝播速度)	8試料	G.L.-150m～G.L.-520m
	力学試験 (一軸圧縮強度、圧裂引張強度)		
	岩石・鉱物学的試験 (顕微鏡観察、粉末X線回折)	6試料	
	岩芯中の環境基準項目の分析		
	(岩芯を用いた溶出試験)	5試料	
	(湧水の水質試験)	4試料	
その 他	湧水量の検討	1式	
	地下施設周辺の地質図の作成	1式	

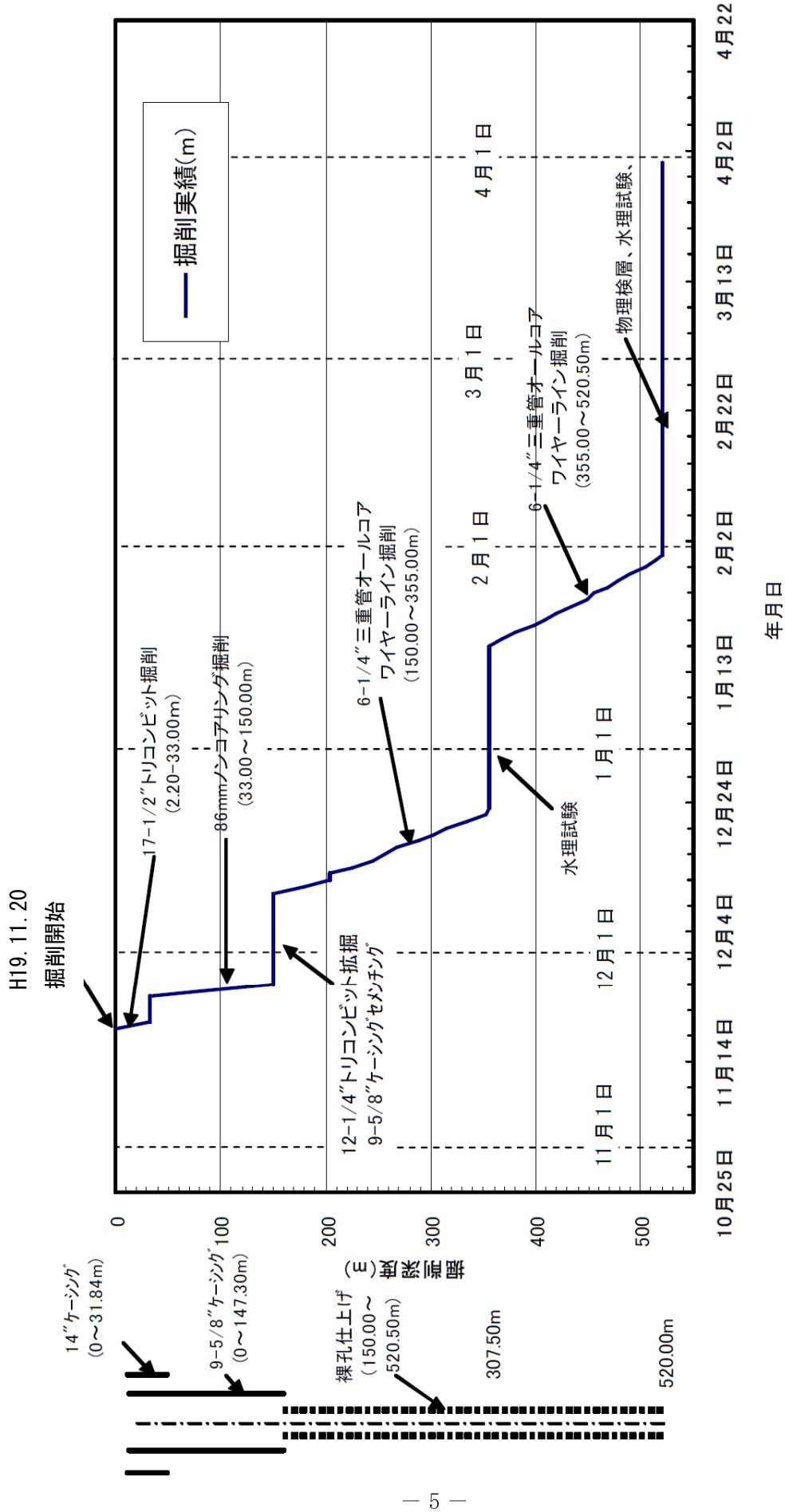


図 3 PB-V01 孔ボーリング調査現場作業工程図

3. 流体電気伝導度検層

3.1 測定原理・測定機器

流体電気伝導度検層は、孔内水を地下水の電気伝導度と異なる水に置換し、その後、揚水を行なながら試錐孔に沿って孔内水の電気伝導度を測定することにより、電気伝導度の有意な変化が認められる地下水の流入箇所を検出する調査である¹⁾。

今回の調査で使用した機器を表2に示す。

表2 流体電気伝導度検層使用機器

機 器	型 式	仕 様
検層車	ファイター4 t 増	三菱自動車・軽油車
ケーブル	7芯硬鋼線 アーマードケーブル	外径：9.5 mm 耐熱：260°C (Rochester社)
データ収録 ・ データ処理	GSC-DWL システム (理化電機工業)	デジタル検層システム コントロールユニット：検層データ収録インターフェース ホストコンピュータ：NEC PC9821 LS13 レコーダー：多チャンネルレコーダー RO-300 収録・処理ソフト：DWLS Ver.7.1
地上機器	EMFM-001 (Century)	電源：AC100V±10% 50/60 Hz 測定電圧：64VDC 解析ソフト：LOG/DISPLAY
孔内機器	電気伝導度計 (Century)	外径：48 mm 全長：161 cm 測定範囲：10～100000μS/cm 分解能：10μS/cm 以内
水位計	圧力ツール (Paine 圧力計)	圧力範囲：0～10000PSI 測定精度：±0.6%FS

3.2 実施内容

今回の流体電気伝導検層は、平成20年2月5日から2月7日にかけて、揚水量を変えて2回の測定を実施した。流体電気伝導度検層の測定手順は以下のとおりである(図4)。

- ① JFTロッド(注水ライン)を孔底付近(深度510m)まで降管
- ② 孔内水を清水に置換する。清水の置換量は、孔内容積1.5倍程度を目安とし、孔口から戻ってくる水の電気伝導度が約500μS/cm程度になった時点で注水を停止
- ③ 注水停止後、JFTロッドを揚管
(揚管に伴う孔内水圧の乱れを最小にするため、孔口から補水しオーバーフロー状態とした)
- ④ 揚水を行わない自然状態(スタティック)で電気伝導度・温度測定
- ⑤ 揚水ポンプを孔内の所定深度(第1回目：深度34m、第2回目：深度44m)に設置して、一定流量(第1回目：8L/min、第2回目：16L/min)で揚水を開始(揚水流量は排水経路に流量計を設置して計測)

⑥ 揚水過程での計測

揚水開始直後に、電気伝導度計を 15m/min で下降上昇させながら、電気伝導度・温度測定
(1 時間おきに 5 回：最終測定、揚水開始後 5 時間)

⑦ ビルトアップ時水位測定

揚水ポンプを停止後、水位回復時の水位を測定

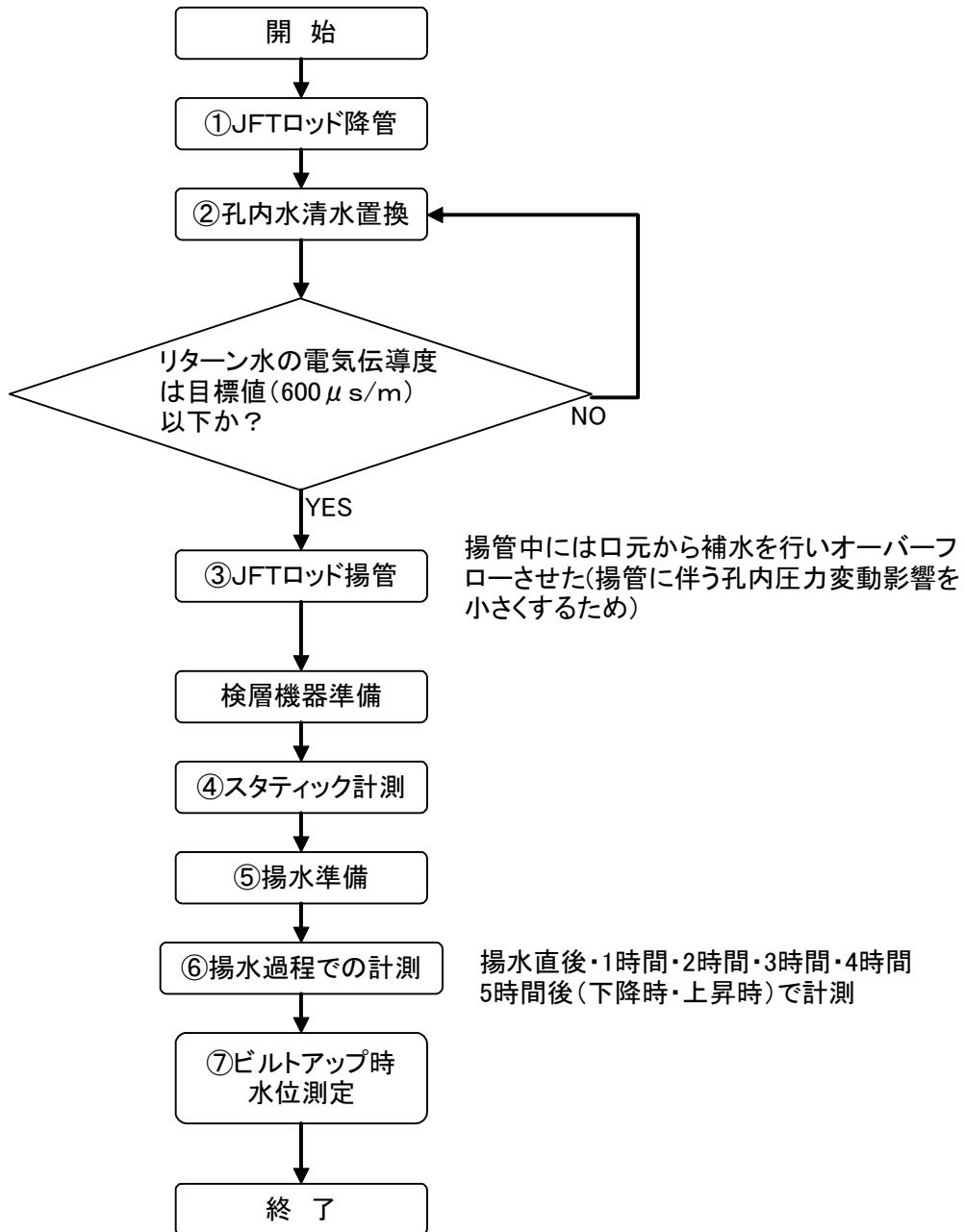


図 4 流体電気伝導度検層フロー

表 3 に第 1 回目の測定 (揚水量 : 8L/min) の工程を、表 4 に第 2 回目の測定 (揚水量 16L/min) の工程をそれぞれ示す。測定対象は、2.2 章で述べたように深度 147.3m までケーシングパイプが挿入されているため、主として深度 150m 以深とした。

表3 第1回流体電気伝導度検層 工程表（深度 130.4*～506.2m）

測定項目	測定年月日	深度区間 (m)	揚水流量 (ℓ/min)	測定速度 (m/min)	測定方向
孔内水入れ 換え作業	2008/2/5 18:05～20:45	送水深度 520m	送水量 24.0m ³	0	—
スタティック 検層	2008/2/5～6 23:30～0:21	131.1～506.0	0	15	降下
		506.2～131.2		15	引揚げ
揚水開始後 0H 検層	2008/2/6 1:00～1:51	131.1～506.0	8	15	降下
		506.1～131.0		15	引揚げ
揚水開始後 1H 検層	2008/2/6 2:00～2:51	131.1～506.1	8	15	降下
		506.2～131.1		15	引揚げ
揚水開始後 2H 検層	2008/2/6 3:00～3:51	131.1～506.0	8	15	降下
		506.2～131.0		15	引揚げ
揚水開始後 3H 検層	2008/2/6 4:00～4:51	131.1～506.0	8	15	降下
		506.2～130.4		15	引揚げ
揚水開始後 4H 検層	2008/2/6 5:00～5:51	131.2～506.0	8	15	降下
		506.2～131.2		15	引揚げ
揚水開始後 5H 検層	2008/2/6 6:00～6:51	131.1～506.0	8	15	降下
		506.2～131.2		15	引揚げ
ビルドアップ時 水位測定	2008/2/6 6:55～8:45	圧力センサー位 置 30.0m	0	0	停止

[孔長：520.5m, 孔径：6-1/4 インチ, ケーシング深度・径：147.3m, 9-5/8 インチ,

揚水ポンプ設置深度：34m, 圧力センサー深度：30m, 記録：10cm ピッチ]

*検層は各回においてケーシングパイプ設置区間の深度 130.4～131.2m から計測を開始（あるいは終了）している。

表 4 第2回流体電気伝導度検層 工程表（深度 130.9**～506.2m）

測定項目	測定年月日	深度区間 (m)	揚水流量 (ℓ/min)	測定速度 (m/min)	測定方向
孔内水入れ換え作業	2008/2/6 15:48～18:10	送水深度 520m	送水量 16.6m ³	0	—
スタティック 検層	2008/2/6 20:10～21:01	131.1～506.0 506.2～131.2	0	15	降下
				15	引揚げ
揚水開始後 0H 検層	2008/2/6 21:30～22:21	131.2～506.1 506.2～131.1	16	15	降下
				15	引揚げ
揚水開始後 1H 検層	2008/2/6 22:30～23:21	131.1～506.0 506.1～131.0	16	15	降下
				15	引揚げ
揚水開始後 2H 検層	2008/2/6～7 23:30～0:21	131.1～506.0 506.2～130.9	16	15	降下
				15	引揚げ
揚水開始後 3H 検層	2008/2/7 0:30～1:21	131.1～506.1 506.3～131.1	16	15	降下
				15	引揚げ
揚水開始後 4H 検層	2008/2/7 1:30～2:21	131.2～506.1 506.3～131.1	16	15	降下
				15	引揚げ
揚水開始後 5H 検層	2008/2/7 2:30～3:21	131.1～506.1 506.2～130.9	16	15	降下
				15	引揚げ
ビルドアップ時 水位測定	2008/2/7 3:25～8:24	圧力センサー 位置 40.0m	0	0	停止

[坑長：520.5m, 孔径：6-1/4 インチ, ケーシング深度・径：147.3m, 9-5/8 インチ,

揚水ポンプ設置深度：44m, 圧力センサー深度：40m, 記録：10cm ピッチ]

**検層は各回においてケーシングパイプ設置区間の深度 130.9～131.2m から計測を開始（あるいは終了）している。

3.3 結果

第1回目および第2回目の流体電気伝導度検層で電気伝導度センサーを降下させながら深度方向に10cm間隔で測定された値(生データ)のプロファイルをそれぞれ図5、6に示す。

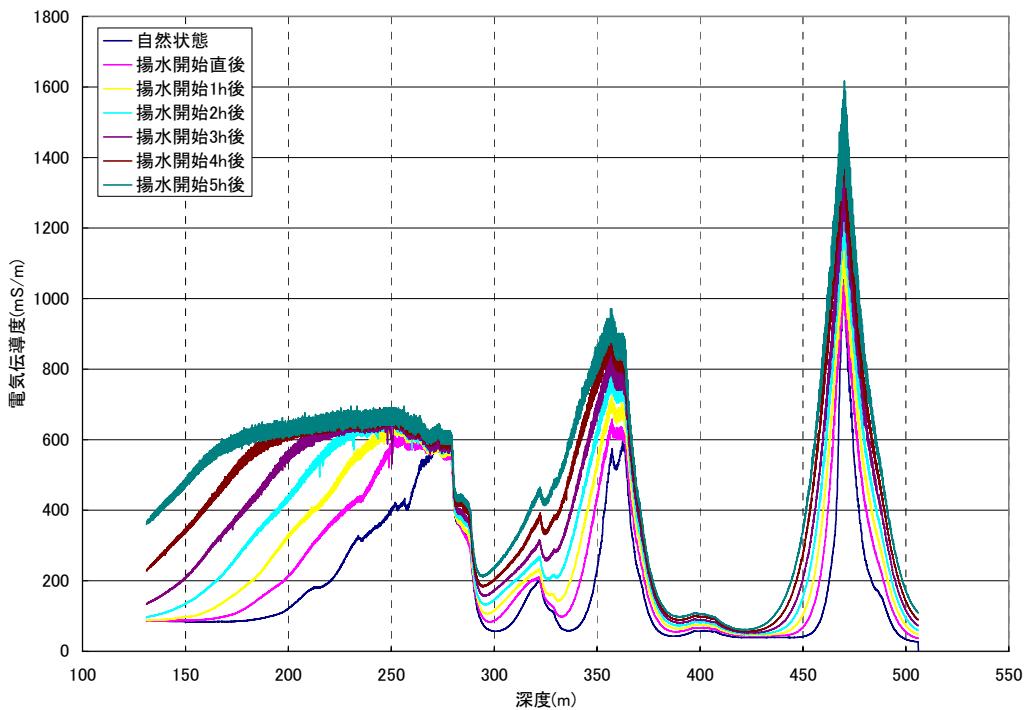


図5 流体電気伝導度検層プロファイル（1回目：揚水量 8L/min）

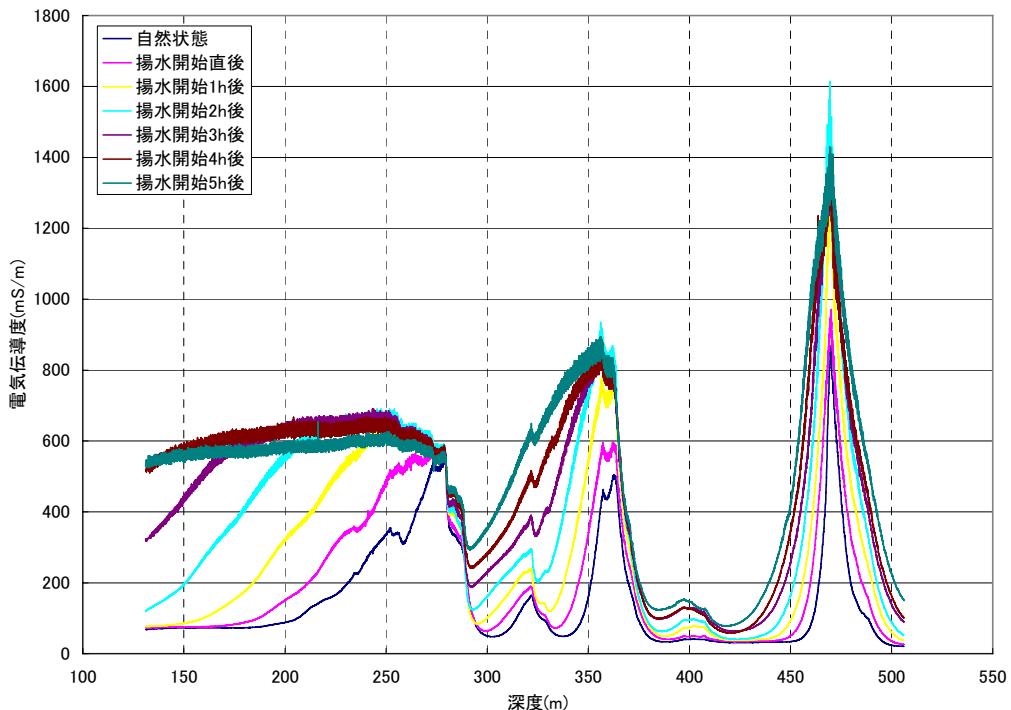


図6 流体電気伝導度検層プロファイル（2回目：揚水量 16L/min）

第1回目の降下測定のデータに対して、電気伝導度と同時に測定した温度のデータを用いて以下の式に示す温度補正を行い孔内水の温度条件を20°Cとした電気伝導度に換算した後、1m区間の相加平均（前後50cmまでの11点の値の平均）値を用いて作成した深度プロファイル（図7）から、地下水が孔内に流入していると考えられる電気伝導度の変化深度を読み取った（表5）。

$$EC(20^\circ\text{C}) = EC(T) / \{1 + 0.025(T - 20)\}$$

EC：電気伝導度($\mu\text{S}/\text{cm}$)

T：孔内水温度($^\circ\text{C}$)

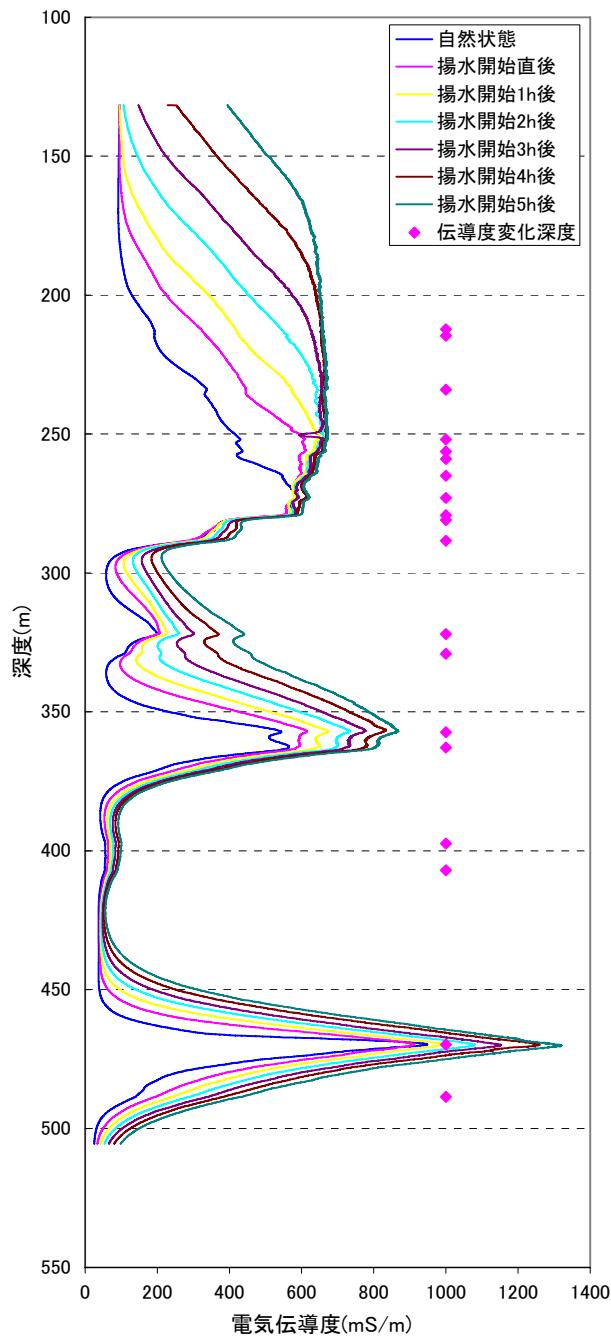


図7 流体電気伝導度検層結果

表 5 電気伝導度変化深度一覧表

N o.	変化深度 (m)
1	212.3
2	214.6
3	234.0
4	252.0
5	256.3
6	259.0
7	265.0
8	273.0
9	279.2
10	281.0
11	288.4
12	322.0
13	329.1
14	357.3
15	362.9
16	397.4
17	407.0
18	469.8
19	488.6

地下水が孔内へ流入していることを示唆する電気伝導度変化が 19 の深度で検出された。

電気伝導度の有意な変化が認められた箇所は相対的に透水性が高いと考えられることから、4 章で述べる単孔式水理試験においては流体電気伝導度検層で得られた情報を参照して試験区間の選定を行い、試験を実施した。

また、異なる揚水量で測定された流体電気伝導度検層データを用いて、地下水の流入箇所に対する割れ目などを内包した岩盤の透水量係数や平衡水位などを推定することが可能であり^{2),3)}、今後、このような解析を行う予定である。

4. 単孔式水理試験

4.1 試験装置

単孔式水理試験（以下、水理試験と略記）は、日本原子力研究開発機構が開発した試験装置に大成基礎設計㈱が開発した試験装置の一部を組み合わせて実施した。図8に水理試験装置の概要を示す。上下二つのパッカーで試錐孔を閉塞することにより試験区間が形成される。

水理試験装置は「孔内部」、「中継部」および「地上部」から構成される。「孔内部」はパッカユニットや圧力計ユニット、メインバルブユニットなどからなる。圧力計などからのデータは通信ケーブルを介し地上部計測システムへ送られる。JFTロッドや3.5インチ管は「中継部」であり、この長さを調整することにより「孔内部」を試験対象深度に設置する。なお、図に示す3.5インチ管は主に揚水試験時に使用する。パルス試験やスラグ試験では中継部のJFTロッドはピエゾメータ管としての役割も有する。「地上部」は地上部計測システムやチャンバータンクなどからなり、メインバルブやパッカーへの送圧、データ処理、揚水試験時では揚水流量の計測などを行う。

図では、下部パッカー以深をP1区間、試験区間をP2区間、上部パッカー以浅をP3区間、ピエゾメータ管内をP4区間と記した。水理試験装置はP1～P4区間の圧力とP1～P3区間の地下水温度を観測することが可能である。

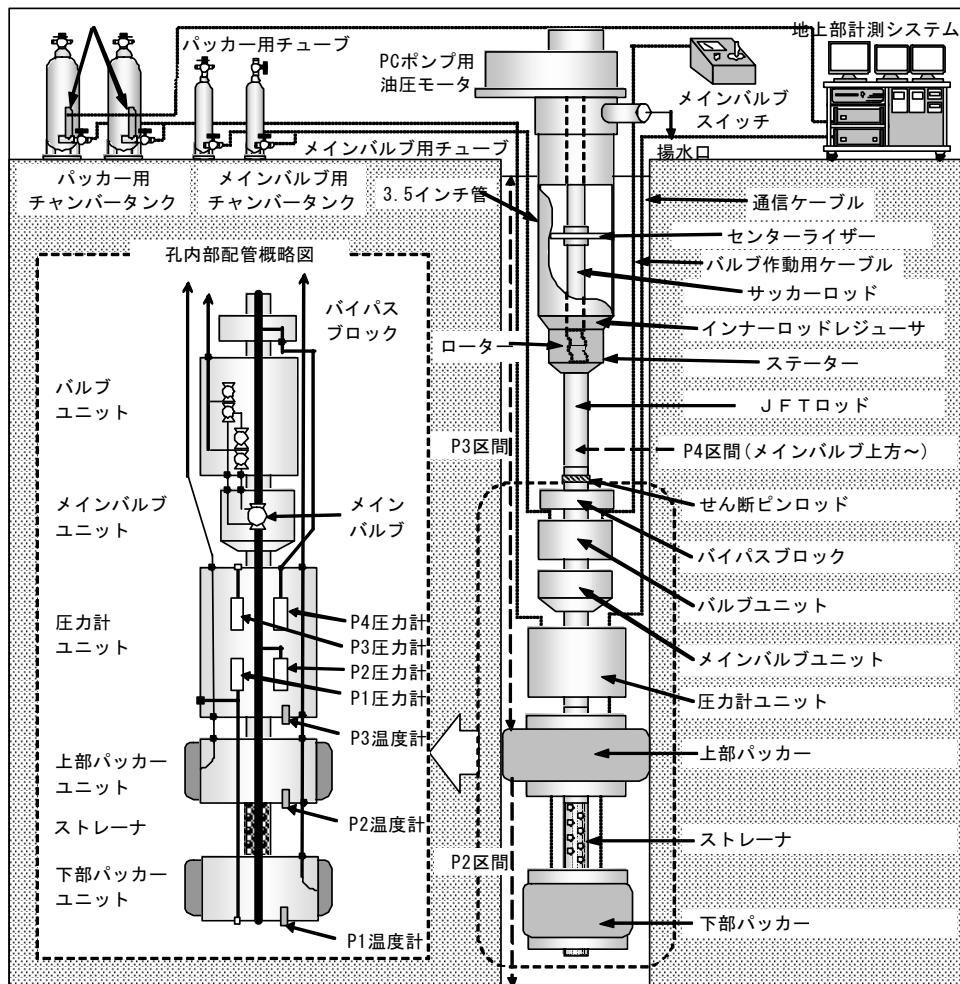


図8 水理試験装置の概要

4.2 試験方法

水理試験は、試験対象となる岩盤空隙中の水圧を把握する間隙水圧測定と、透水性を把握するための透水試験から構成される。透水試験では、パルス試験から開始し、スラグ試験および定流量揚水試験を順次実施する過程で、岩盤の透水性に適した試験手法を選択可能なシーケンシャル試験⁴⁾を適用した。図9にシーケンシャル試験による手順の一例を示す。

今回の水理試験では、PB-V01孔の掘削に用いられた泥水が試験区間の岩盤の透水性に与える影響や溶存ガスの遊離がデータに与える影響などが考えられるため、これらの影響を抑制する対策⁵⁾を講じて試験を実施した。

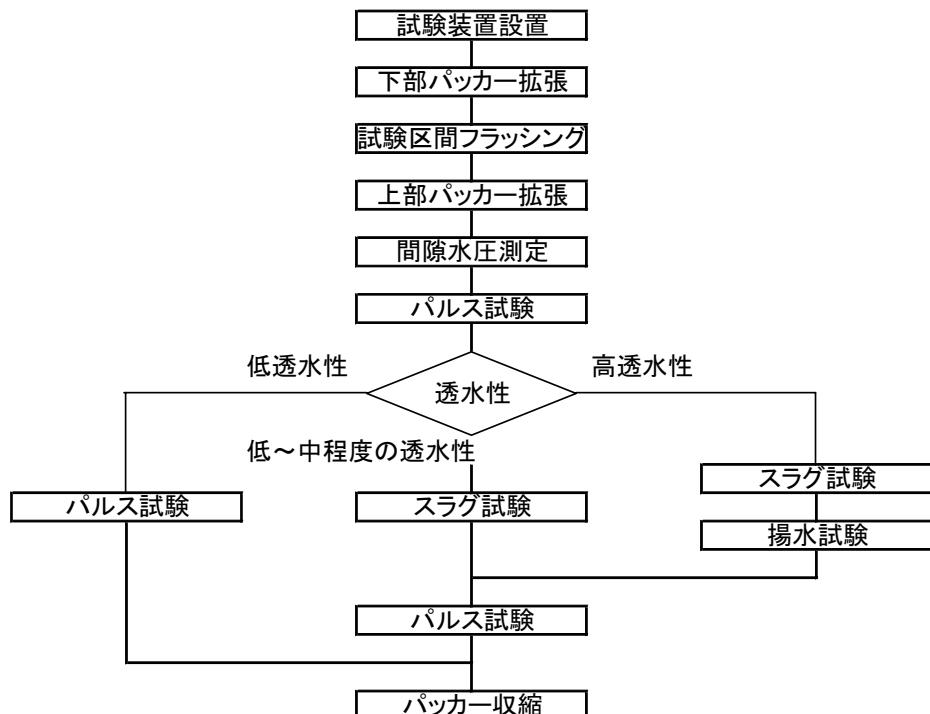


図9 水理試験手順の一例

以下に間隙水圧測定および透水試験の概要について述べる。

(1)間隙水圧測定(PSR)

図10に間隙水圧測定の概念図を示す。パッカーハットの拡張およびメインバルブの閉鎖により試験区間を形成し、試験区間の間隙水圧を測定する。ここでは、原則として試錐孔の掘削などにより乱された間隙水圧が試験対象岩盤本来の水圧に回復するまで測定を行う。

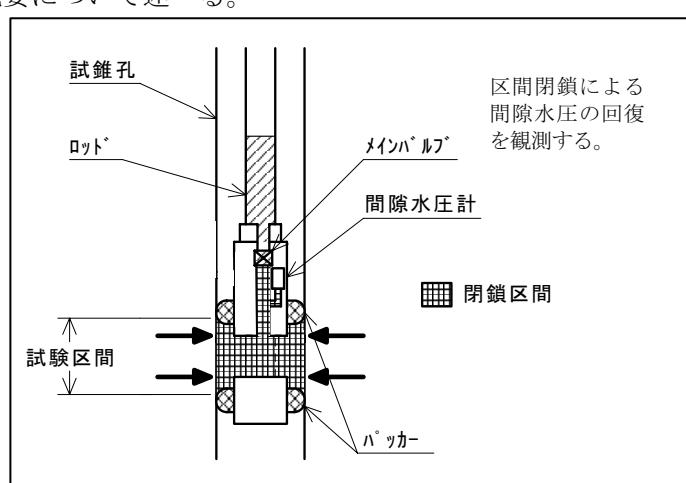


図10 間隙水圧測定

(2) パルス試験(PW, PI)

図 11 にパルス試験の概念図を示す。パルス試験では、メインバルブを閉鎖して試験区間を開塞し、試験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測定する。ロッド内の水位を調整することにより差圧を設定した上で、瞬時にメインバルブの開閉を行うことにより試験区間の水圧は減少あるいは増加させる。試験区間の圧力を減少させる方法は回復法(PW)，増加させる方法は注入法(PI)と呼ばれる。

パルス試験は、閉鎖区間における圧力伝播を計測する方法であるため、難透水性の岩盤に対して有効である。

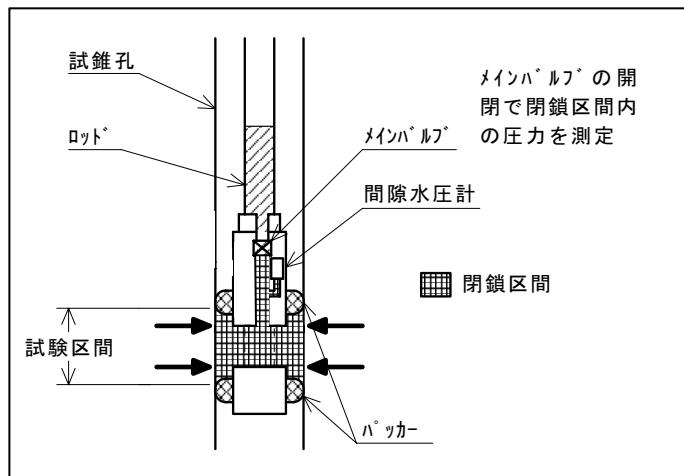


図 11 パルス試験

(3) スラグ試験(SW, SW/SWS)

図 12 にスラグ試験の概念図を示す。スラグ試験では、メインバルブを閉鎖した状態でロッド内の水位を調整し、試験区間の間隙水圧(平衡水位)に対して水頭差を設定した後、メインバルブ開放してロッド内の水位変化を測定する。

SW はメインバルブ解放後、水位回復が完了するまで観測する。SWS では、SW の水位回復中に設定した水頭差の 5 割程度水位が回復した時点でメインバルブを閉鎖(Shut-in)し、閉鎖系での水圧測定に切り替える。

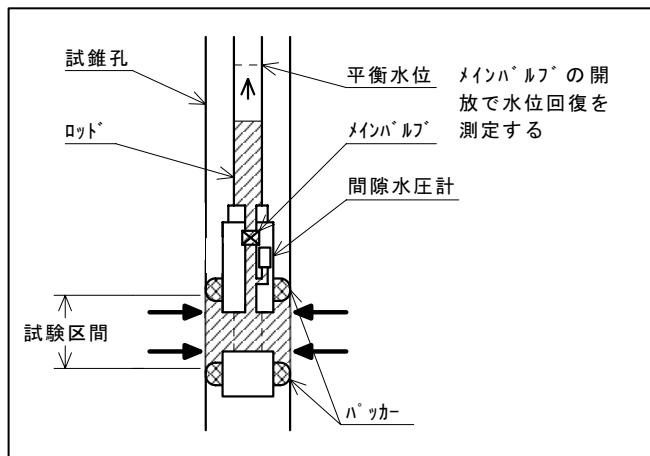


図 12 スラグ試験

(4) 定流量揚水試験／回復試験(RW/RWS)

図 13 に定流量揚水試験の概念図を示す。定流量揚水試験 (RW) では、ポンプを使用して一定の揚水量で試験区間の地下水を汲み上げながら、試験区間の水圧変化を測定する。

回復試験(RWS)では、揚水試験終了後、メインバルブを閉鎖して揚水を停止し、閉鎖系での圧力回復を測定する。

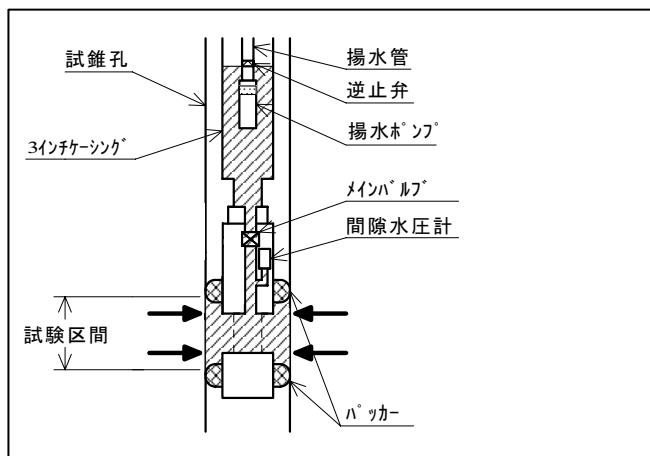


図 13 定流量揚水試験

4.3 解析方法

水理試験装置で測定される試験区間の圧力（絶対圧）に対して大気圧補正を行った値（大気圧下で 0MPa）を用い、以下に述べる解析方法を適用して試験区間の水理パラメータを求めた。

(1)間隙水圧の水頭換算（平衡水位の算出）

平衡水位は、水の密度を 1000kg/m^3 として大気圧補正後の圧力値と圧力計の設置深度から以下のように算出できる。

$$\text{平衡水位(m)} = (\text{圧力値(MPa)} \times 0.009807) - \text{圧力計設置深度(m)}$$

(2)パルス試験およびスラグ試験の解析

パルス試験(PW,PI)およびスラグ試験(SW)の解析は定常の解析式である Hvorslev の解析式と非定常の解析式である Cooper の解析式を用いた⁶⁾。また、スラグ試験の途中でメインバルブを閉鎖する SWS 試験については Agarwal の解析式を用いた。ここでは、Hvorslev の解析式と Cooper の解析式を用いた解析方法について述べる。Agarwal の解析式については次項(3)で述べる。

1)Hvorslev の解析式⁷⁾

Hvorslev の解析式は岩盤の貯留性が十分に小さいことを前提とした解析方法である。

解析式は以下のとおりである。

$$k = \frac{(2Rw)^2 \cdot \ln(m \cdot L / r)}{8L(t_2 - t_1)} \cdot \ln(s_1 / s_2)$$

ここで、

k : 透水係数(m/sec)

Rw : ピエゾメータ管内半径

r : 試錐孔の半径(m)

m : 縦横方向の透水係数比(通常は 1)

L : 試験区間長(m)

t : 経過時間(sec)

s : 経過時間に対応する水頭差(m)

である。

解析手順としては、 t -Log s グラフ上にプロットした取得データの直線部分（岩盤の貯留性が十分小さい場合の挙動）を抽出（ t_1, s_1, t_2, s_2 を読み取る）して上式により透水係数を算出する。得られた透水係数に試験区間長を乗ずることにより透水量係数 T を算出できる一方、（比）貯留係数を得ることはできない。

T : 透水量係数[= $k \cdot L$] (m^2/sec)

Hvorslev の解析式による今回の水理試験データの解析結果の一例を図 14 に示す（図題に示す試験番号については 4.4 章を参照のこと）。

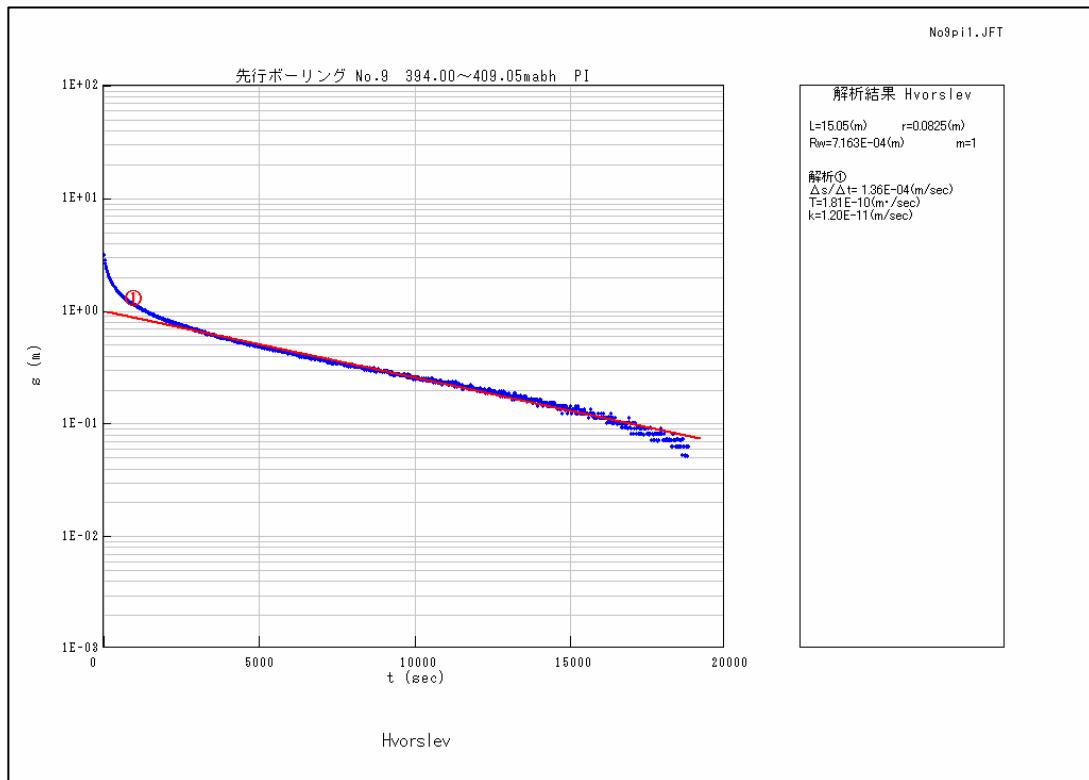


図 14 Hvorslev の解析式による解析結果例（試験番号 No.9）

2)Cooper の解析式⁸⁾

上記の t -Log s 曲線に直線部分が認められない場合は岩盤の貯留性が大きいと考えられることから、これを考慮できる Cooper の解析式を適用した。

解析手順は以下の通りである。

- 解析に用いる標準曲線上に同じスケールで取得データをプロットする ($\log t - s/s_0$ 曲線) グラフにプロットする。
- $\log t - s/s_0$ 曲線が標準曲線に重なる位置から解析式に含まれるパラメータである α , β_0 および t_0 の値を決定する。
- 得られた α , β_0 および t_0 の値を用いて、次式により透水係数と比貯留係数を算出する。

Cooper の解析式を以下に示す。

$$k = \frac{R_w^2 \cdot \beta_0}{t_0 \cdot L} \quad Ss = \frac{a}{(r/R_w)^2 \cdot L}$$

ここで、

k : 透水係数 (m/sec)

R_w : ピエゾメータ管内半径

r : 試錐孔の半径 (m)

L : 試験区間長 (m)

S_s : 比貯留係数 (1/m)

t_0 : 時間 (sec)

α : 貯留係数によって変化する係数 [$=S \cdot (rlRw)^2$]

β : 透水係数によって変化する係数 [$=T \cdot t_0/Rw^2$]

である。

得られた透水係数および比貯留係数にそれぞれ試験区間長を乗することにより、透水量係数 T と貯留係数 S を算出する。

T : 透水量係数 [$=k \cdot L$] (m^2/sec)

S : 貯留係数 [$=S_s \cdot L$]

Cooper の解析式による今回の水理試験データの解析結果の一例を図 15 に示す。

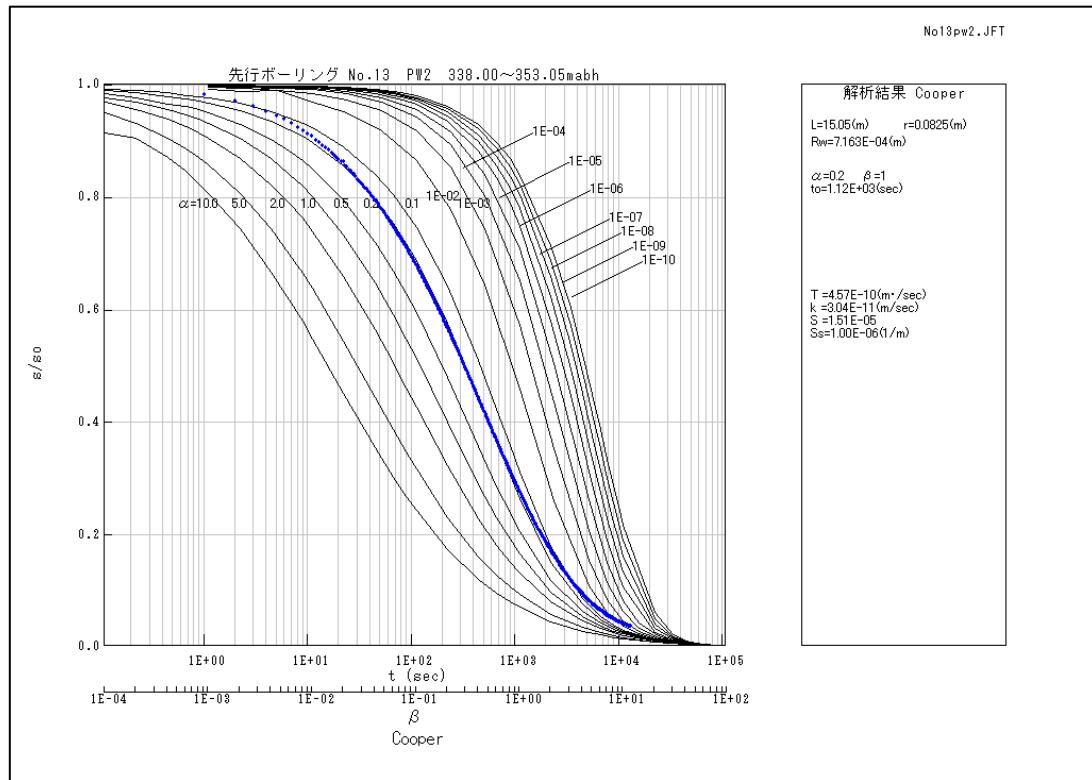


図 15 Cooper の解析式による解析結果例 (試験番号 No.13)

3)仮想半径⁹⁾の算出

パルス試験に対して上述の Hvorslev および Cooper 解析式を適用する場合は、ピエゾメータの管内半径 R_w を仮想半径 R として水理定数を求めた。

仮想半径 R の計算式を以下に示す。

$$R = \sqrt{\left(\frac{V_w}{E_w} + a\right) \cdot \frac{1}{\pi} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta H}}$$

ここで、

R : 仮想半径(m)

V_w : 閉鎖区間内の水の体積(m^3)

E_w : 水の変形係数($=2.3 \times 10^{11} gf/m^2$)

α : パッカーハーの変形係数(m^5/gf)

ΔP : 単位圧力 ($=10000 gf/m^2$)

ΔH : 単位水頭 ($=0.01m$)

である。

なお、水理試験装置のパッカーハーの変形係数は、水理試験に先立って実施した室内試験により求めた。

(3) 定流量揚水試験および回復試験の解析

定流量揚水試験(RW)の解析は2次元放射状流れを前提としたCooper-Jacobの解析式¹⁰⁾を用い、回復試験(RWS)の解析はAgarwalの解析式¹¹⁾を用いた。

1) RW の解析手順

- (a) 揚水開始からの経過時間 t と初期水位からの水位低下量 s の関係を片対数グラフにプロットする (Log t - s 曲線の作成)。
- (b) Log t - s 曲線の直線部分を抽出し、この部分を近似する直線を引いて Log t の1サイクル間における水位差 Δs を読み取る。このように求められた Δs から以下の解析式を用いて透水量係数 T を算出する。
- (c) なお、Log t - s 曲線の直線部分は、試験区間の圧力 p の時間微分を t と p の両対数グラフにプロットし(デリバティブプロット)、これが一定値を示す(放射状浸透流を示す)時間領域を選択する(図16)。
- (d) 近似直線が $s = 0$ と交わる時間 t_0 を求め、以下の解析式から貯留係数 S を算出する。ただし、近似直線が $s = 0$ と交わらず、 t_0 が求められない場合は、貯留係数 S を算出することはできない。

解析式を以下に示す。

$$T = \frac{0.183 \cdot Q}{\Delta s} \quad S = \frac{2.25 \cdot T}{r^2} \cdot t_0$$

ここで、

T : 透水量係数(m^2/sec)

S : 貯留係数 (-)

Δs : Log t の1サイクル間における水位低下量(m)

r : 試錐孔半径(m)

Q : 平均揚水量(m^3/sec)

t_0 : $s = 0$ における経過時間 t (sec)

である。

得られた透水量係数および貯留係数をそれぞれ試験区間長で除することにより、透水係数 k と比貯留係数 S_s を求めることができる。

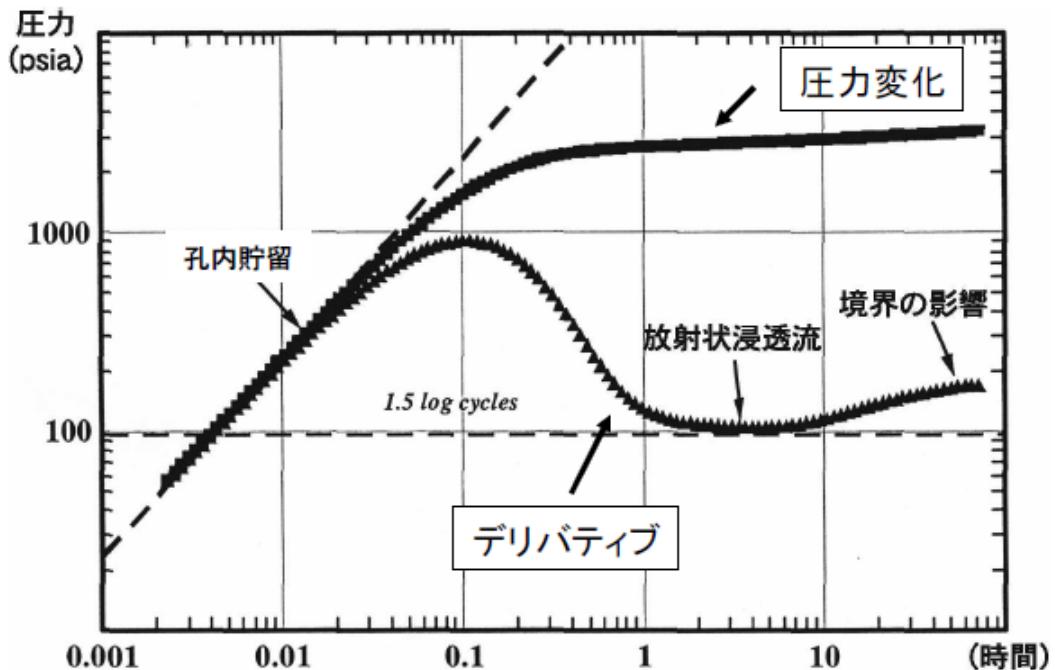


図 16 デリバティブプロットのイメージ (Horne(1995)¹²⁾を修正)

Cooper-Jacob の解析式による今回の水理試験データの解析結果の一例を図 17、18 に示す。今回の揚水試験では、揚水による水圧低下による溶存ガスの遊離が試験区間の圧力変化に影響している。これが図 16 に示すような理想的な形状のデリバティブプロットを得ることができなかつた要因の一つであると考えられる。

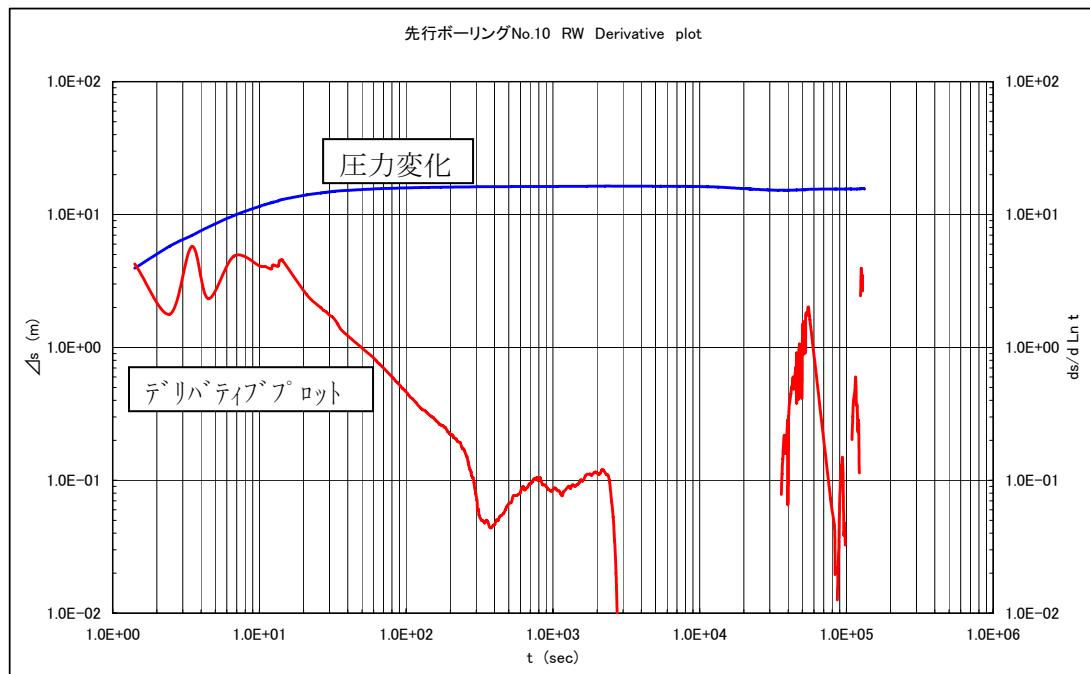


図 17 RW 試験の圧力変化とそのデリバティブプロットの例 (試験番号 No.10)

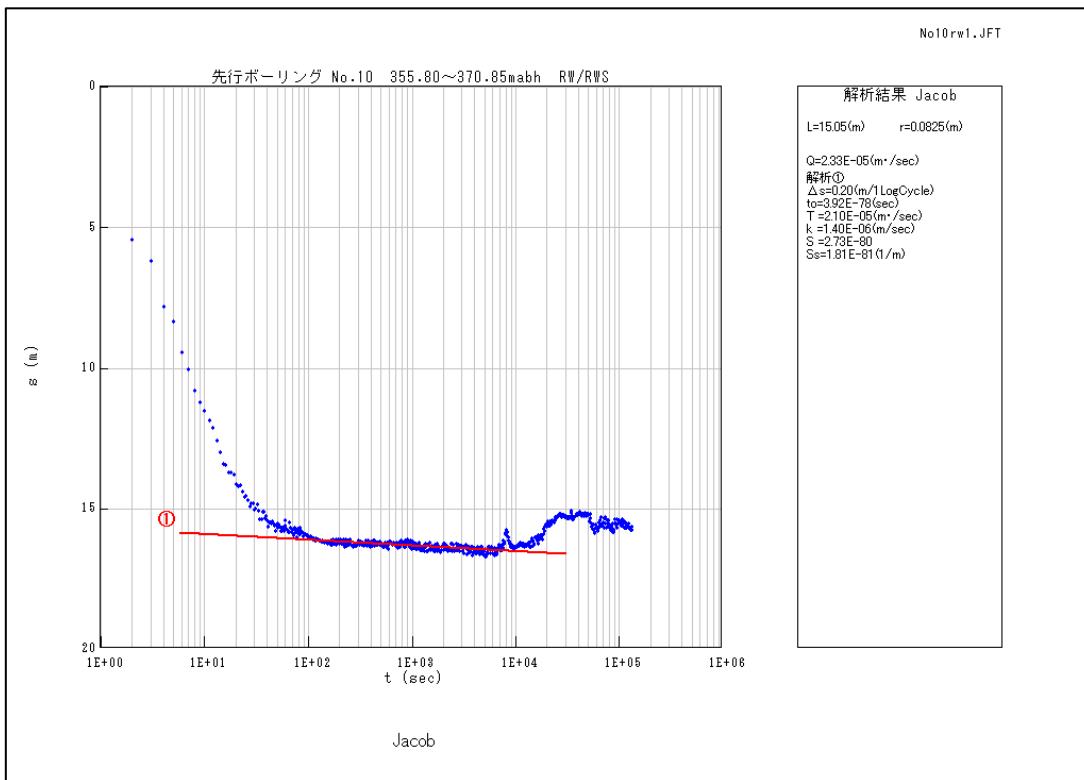


図 18 Cooper-Jacob の解析式による解析結果例（試験番号 No.10）

2)RWS の解析手順

- (a) Agarwal の等価時間($tp \cdot \Delta t / (tp + \Delta t)$)と揚水停止時からの水位回復量 Sr の関係を片対数グラフにプロットする ($\log(tp \cdot \Delta t / (tp + \Delta t)) - Sr$ 曲線の作成)。
- (b) $\log(tp \cdot \Delta t / (tp + \Delta t)) - Sr$ 曲線の直線部分を抽出し、この部分を近似する直線から $\log(tp \cdot \Delta t / (tp + \Delta t))$ の 1 サイクル間における水位差 ΔSr を読み取る。このように求められた ΔSr から以下の解析式を用いて透水量係数 T を算出する。
- (c) なお、直線部分の抽出は RW の解析手順同様、デリバティブプロットにおける放射状浸透流の時間領域を選択する (この場合の時間軸は Agarwal の等価時間 ($tp \cdot \Delta t / (tp + \Delta t)$) とする)。
- (d) 近似直線が $Sr = 0$ と交わる時間($tp \cdot \Delta t / (tp + \Delta t))_0$ を求め、以下の解析式から貯留係数 S を算出する。ただし、近似直線が $Sr = 0$ と交わらない場合は、貯留係数 S を算出することはできない。

解析式を以下に示す。

$$T = \frac{0.183 \cdot Q}{\Delta Sr} \quad S = \frac{2.25 \cdot T}{r^2} \cdot (tp \cdot \Delta t / (tp + \Delta t))_0$$

ここで、

T : 透水量係数 (m^3/sec)

S : 貯留係数 (-)

tp : 揚水時間 (sec)

Δt : 揚水停止（回復開始）からの経過時間(sec)

ΔSr : $\log(tp \cdot \Delta t / (tp + \Delta t))$ 1 サイクル間での水位回復量(m)

r : ボーリング孔半径(m)

Q : 平均揚水量(m^3/sec)

$(tp \cdot \Delta t / (tp + \Delta t))_0 : s = 0$ における $(tp \cdot \Delta t / (tp + \Delta t))$ (sec)

である。

得られた透水量係数および貯留係数から前述のように透水係数 k と比貯留係数 Ss を求めるこ
とができる。

なお、(2)で述べたようにスラグ試験の途中でメインバルブを閉鎖する SWS についても RWS
同様の解析により水理パラメータを算出した。この場合の平均揚水量 Q および tp は、以下のよ
うに求めた。

$$Q = A \cdot (ds/dt) \quad tp = Sr_0 / (ds/dt)$$

ここで、

Q : 平均揚水量(m^3/sec)

A : ピエゾメーターの断面積(m^2)

(ds/dt) : SWS 開始直前 60 秒間の水位回復速度(m/sec)

Sr_0 : SW 過程の水位回復量(m)

である。

Agarwal の解析式による今回の水理試験データの解析結果の一例を図 19、20 に示す。

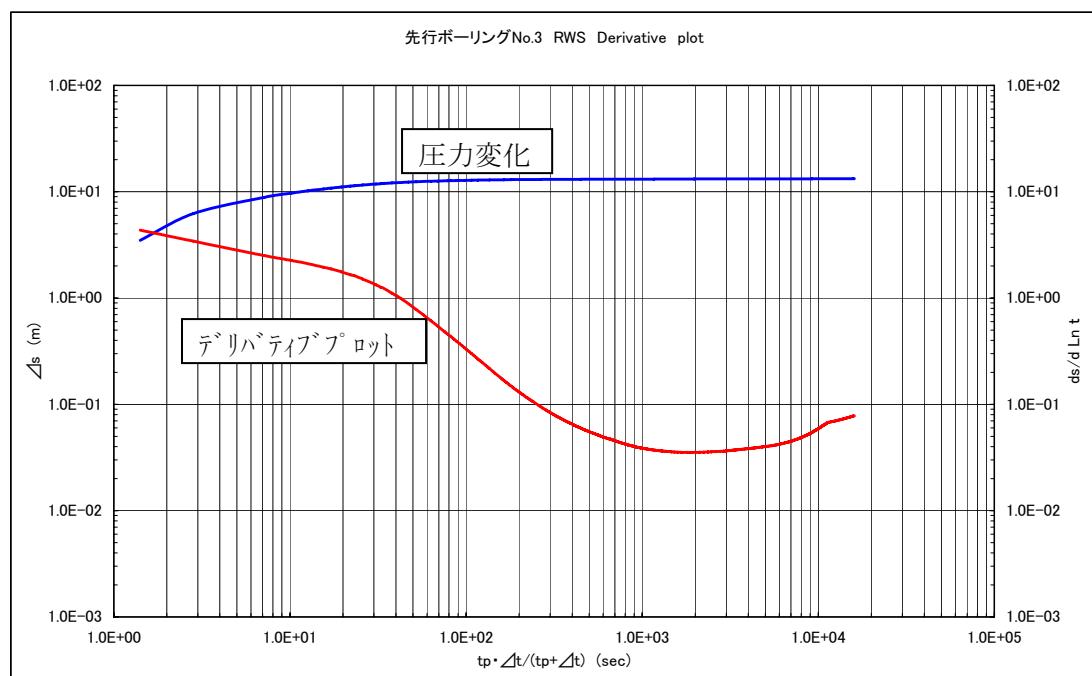


図 19 RWS 試験の圧力変化とそのデリバティブプロットの例（試験番号 No.3）

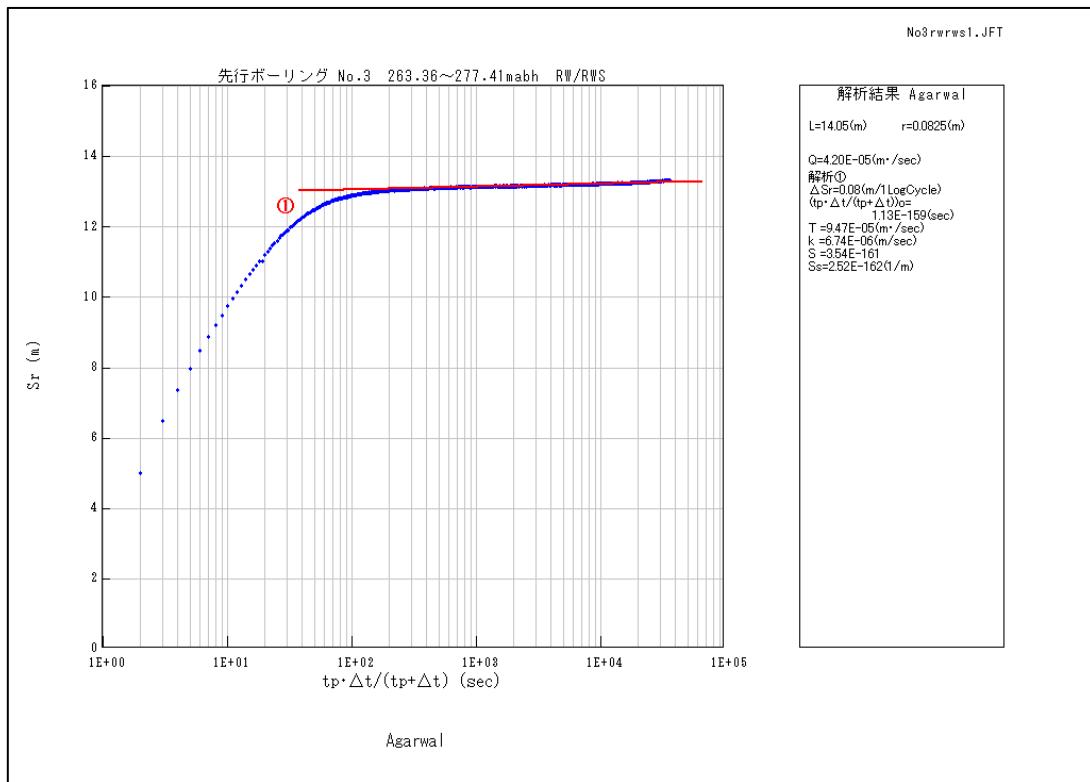


図 20 Agarwal の解析式による解析結果例（試験番号 No.3）

4.4 試験概要

今回の水理試験は、2回に分けて計14点（試験番号No.1～No.14）において実施した。

1回目（試験番号No.1～No.4）：平成19年12月28日～平成20年1月17日

（試錐孔掘削深度：355.0m）

2回目（試験番号No.5～No.14）：平成20年2月9日～平成20年3月18日

（試錐孔掘削深度：520.5m）

図21に各試験の実施深度を示す。また。表6には各試験区間の地層区分を合わせて示した。試験を実施した区間は最も深い試験番号No.2（声問層）を除いて稚内層である。

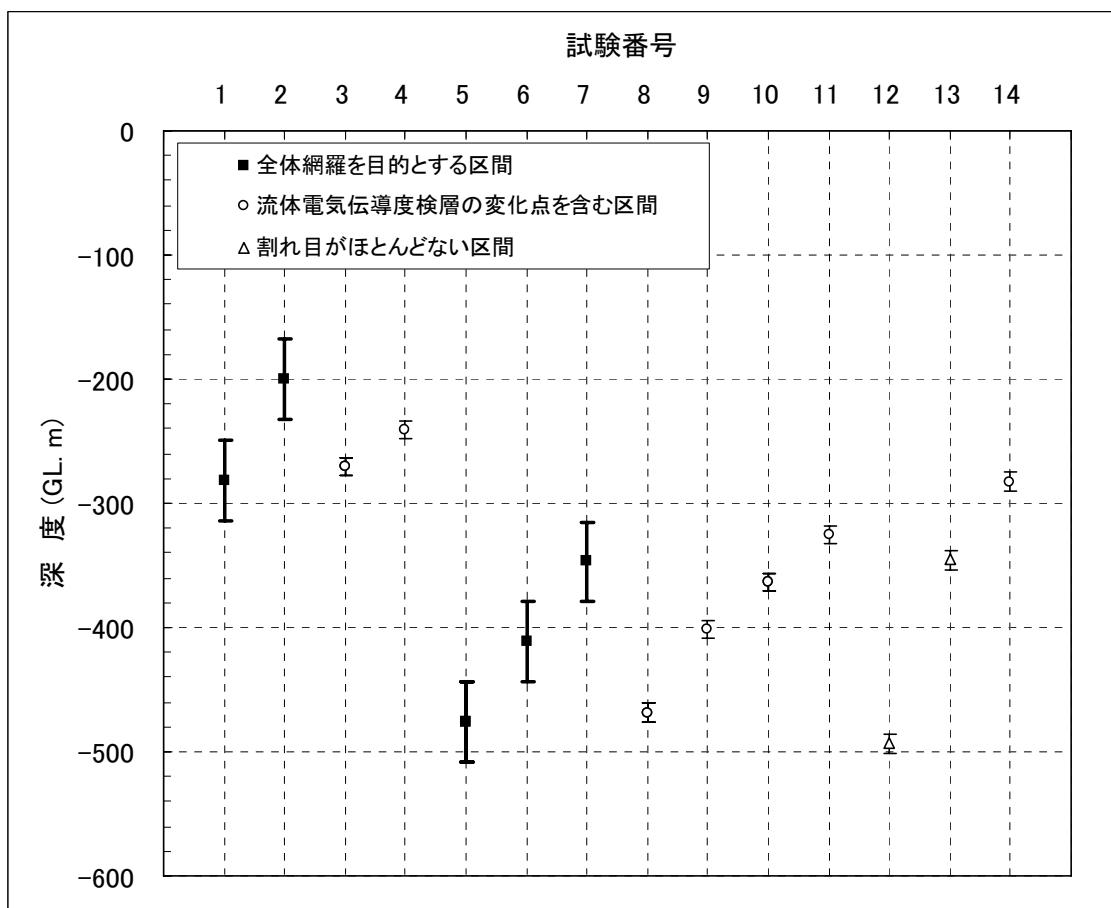


図 21 試験区間の深度

表 6 試験区間一覧

区間番号	区間上端(GL.m)	区間下端(GL.m)	区間長(m)	層	岩層	区間設定条件	備考
No.1	-249.38	-313.93	64.55	稚内層	珪質泥岩	全体網羅を目的とする区間	
No.2	-167.78	-232.33	64.55				
No.3	-263.36	-277.41	14.05	稚内層	珪質泥岩	流体電気伝導度検層の変化点を含む区間	
No.4	-233.86	-247.91	14.05				
No.5	-444.00	-508.55	64.55			全体網羅を目的とする区間	
No.6	-379.45	-444.00	64.55				
No.7	-314.90	-379.45	64.55				
No.8	-461.00	-476.05	15.05			流体電気伝導度検層の変化点を含む区間	
No.9	-394.00	-409.05	15.05				別途、原位置地下水の物理化学パラメータ測定を実施
No.10	-355.80	-370.85	15.05				
No.11	-318.00	-333.05	15.05	割れ目がほとんどない区間		割れ目がほとんどない区間	
No.12	-486.00	-501.05	15.05				
No.13	-338.00	-353.05	15.05				
No.14	-275.00	-290.05	15.05			流体電気伝導度検層の変化点を含む区間	

今回の水理試験では、図表に示したように、PB-V01 孔を掘削した岩盤の水理特性を全深度にわたって把握することを目的として試験区間長を相対的に長く設定した試験と、3 章で示した流体電気伝導度検層の結果から高透水性が予想される区間および水みちとして機能するような割れ目が認められず低透水性が予想される区間を対象とした試験を実施した。また、図 21 からわかるように後者の試験は相対的に局所的な（短区間の）水理特性を得るものであり、換気立坑周辺の岩盤は透水性に関して言えば不均質性を有していると推察される。一方、前者の試験ではスケール的に平均した水理特性が得られるものと考えられる。

なお、揚水試験を実施した区間（試験番号 No.3,4,10）においては揚水試験に合わせて地下水の採水を行った。さらに、試験番号 No.10 の区間では別途、原位置での地下水の物理化学パラメータの計測と封圧採水を実施し、地下水の水質に関する情報の取得に供した。

卷末付録に各試験の詳細情報を記載する。

4.5 試験結果

今回の水理試験で得られた水理パラメータを表 7 に示す。4.2 章で述べたように、一つの試験区間においてパルス試験やスラグ試験など複数の試験を組み合わせて実施していることから、取得データの品質などに問題があり適切に解析ができない場合を除いて、取得データに含まれる情報を与える岩盤の範囲（広がり）を反映した複数の解析結果（水理パラメータ）が得られる。表 7 では複数の解析結果が得られたケースについて、互いの解析結果の整合性などを確認した上で、PW あるいは SW の解析結果については「試錐孔の近傍」、SWS あるいは RWS については「より遠方」と、試験対象範囲について定性的な表現を用いてその旨を記述した。

表 7 水理試験結果一覧

区間番号	区間上端(GL, m)	区間下端(GL, m)	区間長(m)	P2水位(GL, m)	隙間水压(MPa)	透水量係数T(m ² /sec)	透水係数k(m/sec)	貯留係数S	比貯留系数S _s (1/m)	試験方法	解析方法	範囲	備考
No.1	-249.38	-313.93	64.55	8.25	2.843	9.30E-06	1.44E-07			SW2	Hvorslev	試験孔の近傍	
No.2	-167.78	-232.33	64.55	7.78	2.038	4.22E-07	6.54E-09	4.71E-06	7.29E-08	SW	Cooper	試験孔の近傍	
No.3	-263.36	-277.41	14.05	6.94	2.720	2.32E-06	1.65E-07			SW	Hvorslev	試験孔の近傍	
No.4	-233.86	-247.91	14.05	6.72	2.428	1.12E-06	8.00E-08			SW	Hvorslev	試験孔の近傍	より遠方
No.5	-444.00	-508.55	64.55	10.04	4.769	4.90E-07	7.59E-09			SW	Hvorslev	試験孔の近傍	
No.6	-379.45	-444.00	64.55	15.96	4.194	6.91E-10	1.07E-11	1.43E-03	2.22E-05	P1	Cooper	試験孔の近傍 (参考値)	
No.7	-314.90	-379.45	64.55	8.60	3.489	3.10E-06	4.80E-08			SW	Hvorslev	試験孔の近傍	
No.8	-461.00	-476.05	15.05	9.50	4.688	5.52E-07	3.67E-08			SW	Hvorslev	試験孔の近傍	
No.9	-394.00	-409.05	15.05	16.47	4.099	6.03E-11	4.01E-12	3.77E-04	2.50E-05	P1	Cooper	試験孔の近傍	
No.10	-355.80	-370.85	15.05	8.12	3.643	1.29E-06	8.57E-08			SW	Hvorslev	試験孔の近傍	
No.11	-318.00	-333.05	15.05	7.89	3.270	4.18E-07	2.78E-08	9.05E-07	6.01E-08	SWS	Agarwal	より遠方	試験法による差がなく、 均質な場と考えられる。
No.12	-486.00	-501.05	15.05	16.56	5.002	1.63E-10	1.09E-11			P1	Hvorslev	試験孔の近傍 (参考値)	Cooper不良 Hvorslev弯曲
No.13	-338.00	-353.05	15.05	9.91	3.486	4.57E-10	3.04E-11	1.51E-05	1.00E-06	PW2	Cooper	試験孔の近傍	
No.14	-275.00	-290.05	15.05	7.86	2.848	4.59E-06	3.05E-07			SW	Hvorslev	試験孔の近傍	
										SWS	Agarwal	より遠方	

※ 隙間水压は、試験区間の中央にかかる水圧

※ 範囲は、定性的な表現

※ 網掛けはデリバティプロットで一定値を示していないもの

図22は、得られた水理パラメータのうち平衡水位を試錐孔の深度に対して示したものである。試験区間の平衡水位は、試験番号 No.6,9,12 を除いて概ね GL+7~10m であり、わずかに被圧状態を示している。また、深部ほど平衡水位が高くなる傾向を示している。これらは、研究所設置地区におけるこれまでの調査結果と整合している。試験番号 No.6,9,12 で得られた平衡水位はこれより高い（概ね GL+16~16.5m）が、これらの試験区間の透水性は小さく、試験を実施していた期間中も平衡水位はゆるやかな低下を示していた（厳密には平衡状態に達していなかった）ことから、本来の平衡水位は今回の水理試験で得られた値よりも小さいものと考えられる。

図23は、得られた水理パラメータのうち透水量係数を深度に対して示したものである。PB-V01孔掘削区間全体を対象とした長区間（区間長：64.55m）の試験結果より、深度 500m程度まで $4.2 \times 10^{-7} \sim 9.3 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sec}$ の透水量係数を示す中で、深度約 380~約 444m では低透水性（透水量係数： $6.9 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{sec}$ ）であることがわかる。一方、短区間（区間長：14.05m または 15.05m）の試験結果では、流体電気伝導検層のアノマリー（ここでは表5に示す電気伝導度変化深度）を含む箇所で概ね $10^{-7} \sim 10^{-5} \text{ m}^2/\text{sec}$ オーダーの透水量係数を示す一方、割れ目がほとんど認められず低透水性と考えられる区間を対象とした試験では $10^{-10} \text{ m}^2/\text{sec}$ オーダーの透水量係数が得られている。

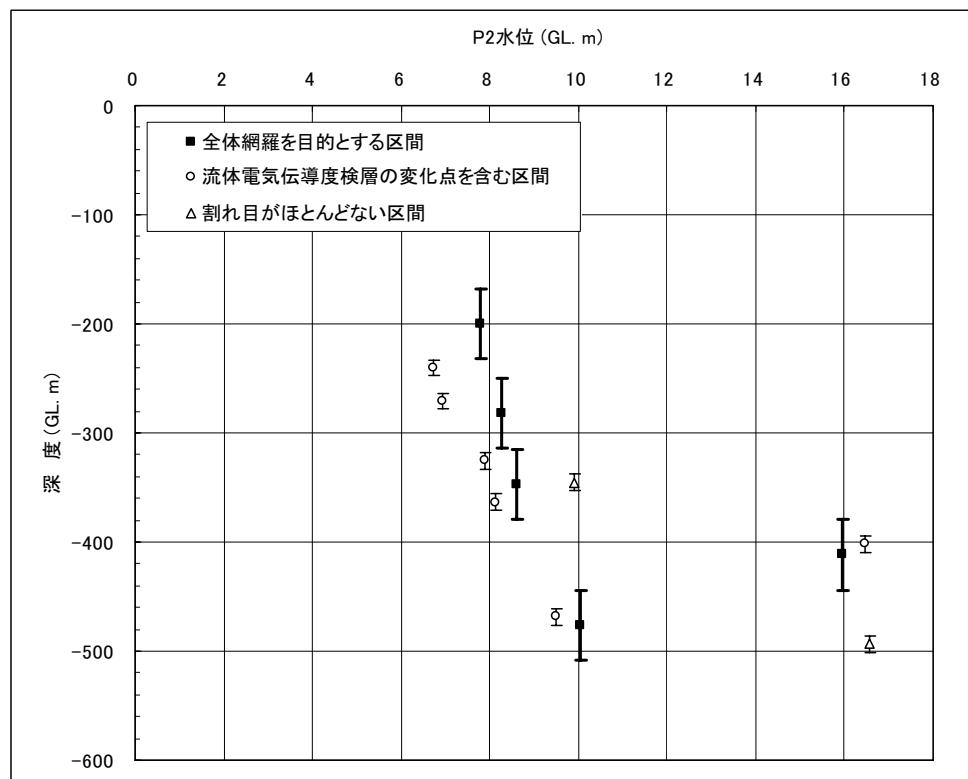


図 22 試験区間の平衡水位

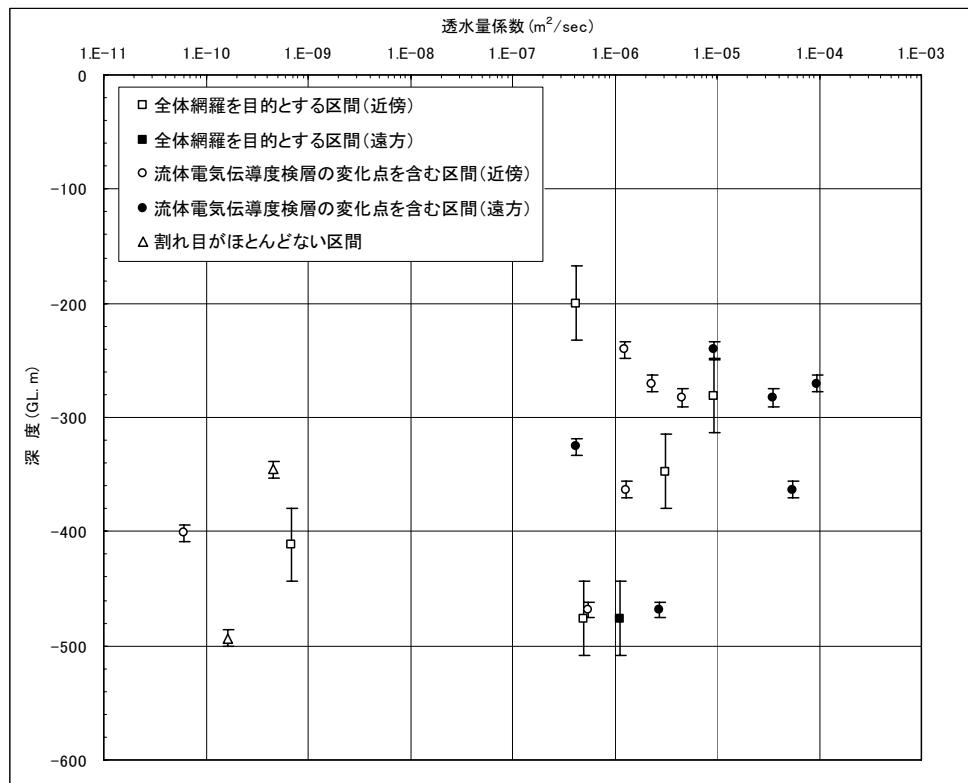


図 23 透水量係数分布

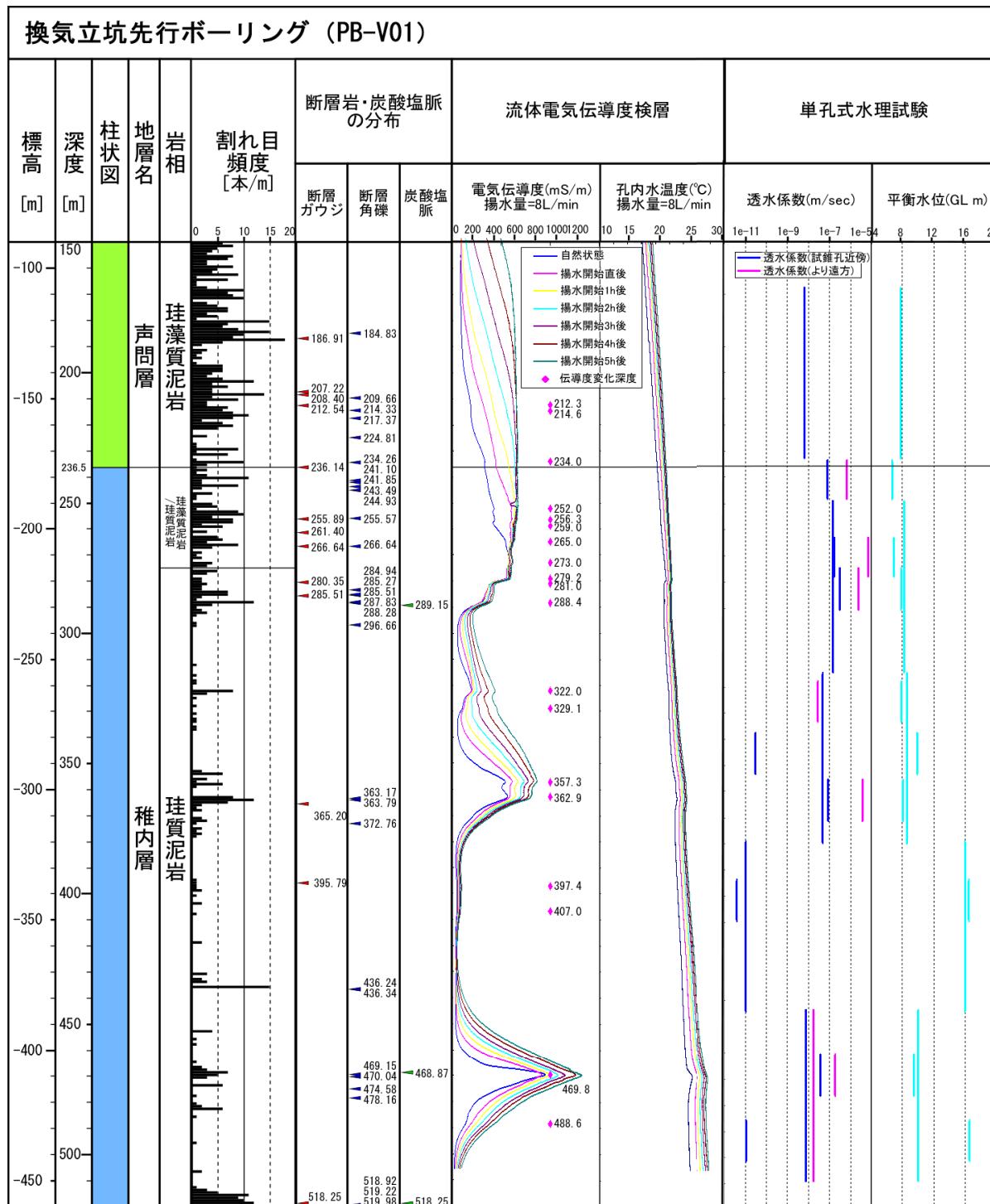
短区間の試験結果とその区間を含む長区間の試験結果（試錐孔近傍の透水量係数）に着目すると、長区間の透水量係数のほうが大きい値を示していることに加え、短区間の透水量係数はそれに近い（概ね同じオーダー）値を示している。これらのことから、短区間（流体電気伝導検層のアノマリー）の透水性がそれを含む長区間の透水性に大きく影響していると考えることができ、両者の試験結果には整合性が認められる。

また、短区間の試験について、「試錐孔近傍」の透水量係数と「より遠方」の透水量係数を着目すると、「試錐孔近傍」のほうが概ね 1 オーダー程度小さい傾向を示す。このような現象について、今回の水理試験においては、試験開始前に清水置換を行っているものの掘削泥水による泥壁などが影響している可能性が考えられる。また、一般的にはスキン効果(skin effect)として知られており^{13),14)}、試錐孔近傍の透水性が小さくなる場合も大きくなる場合も考えられている。

水理試験データの解析方法については、4.3 章で述べた以外に、水理試験による応答の数値シミュレーションが可能な解析コードを用い、シミュレーションにより得られた圧力応答を取得データにフィッティングさせることにより水理パラメータを推定する方法がある。このようなシミュレーションでは、上記のスキン効果や 2 次元放射状流れに従わない場合などを考慮したフローモデルを設定することができるため、試験区間にに対してより現実的な水理パラメータを推定できる可能性がある。今後、汎用の解析コードを用いて、このような解析を行う予定である。

図 24 は、流体電気伝導度検層データと水理試験により得られた水理パラメータの深度分布を総合柱状図として示したものである。これまでの考察から、換気立坑周辺岩盤は、流体電気伝導検層のアノマリー分布が示すような（深度方向の）空間的に、透水係数で 4 オーダーないしはそ

れ以上の透水不均質性を有していると考えられる。深度約263～約290mまでの区間と深度約355～約370mまでの区間は特に透水性が高く、当該深度の換気立坑掘削に際して湧水抑制対策を検討する必要があると考えられる。



舟木ら(2008)¹⁵⁾に加筆

図 24 PB-V01 孔水理調査結果概要

5. まとめ

PB-V01 孔における岩盤の水理に関する調査の主な結果は、以下の通りである。

- (1) 流体電気伝導度検層の結果、地下水の流入箇所と考えられる電気伝導度の変化深度が深度 147.3～520.5m の区間で 19 箇所検出された。
- (2) 単孔式水理試験は深度 147.3～520.5m の区間で 14 点実施した。PB-V01 孔掘削区間全体を対象とした長区間の試験結果によると、換気立坑周辺岩盤は深度 500m程度まで $6.5 \times 10^{-9} \sim 1.4 \times 10^{-7}$ m/sec の透水係数を示す中で、深度約 380～約 444m では低透水性（透水係数： 1.1×10^{-11} m/sec）を示す。
- (3) 流体電気伝導度検層のアノマリーを含む短区間で実施した試験結果を考慮すると、換気立坑周辺岩盤（主として稚内層）は、地下水流入箇所の有無により透水係数で 4 オーダーないしはそれ以上の透水不均質性を有していると考えられる。
- (4) 深度約 263～約 290m までの区間と深度約 355～約 370m までの区間は特に透水性が高く、当該深度の換気立坑掘削に際して湧水抑制対策を検討する必要があると考えられる。

参考文献

- 1) Tsang, C.-F., Hufschmied, P. and Hale, F.V.: "Determination of Fracture Inflow parameters with a Borehole Fluid Conductivity Logging Method", Water Resources Research, vol.26, No.4, pp.561-578(1990).
- 2) Doughty, C., Takeuchi, S., Amano, K., Shimo, M. and Tsang, C.-F. : "Application of Multi-rate Flowing Fluid Electric Conductivity Logging Method to Well DH-2, Tono Site, Japan", Water Resources Research, vol.41(2005).
- 3) Doughty, C., Tsang, C.-F., Hatanaka, K., Yabuuchi, S. and Kurikami, H. : "Application of direct-fitting, mass-integral, and multi-rate methods to analysis of flowing fluid electric conductivity logs from Horonobe, Japan", Water Resources Research, vol.44(2008).
- 4) 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).
- 5) 太田久仁雄、阿部寛信、山口雄大、國丸貴紀、石井英一、操上広志、戸村豪治、柴野一則、濱克宏、松井裕哉、新里忠史、高橋一晴、丹生屋純夫、大原英史、浅森浩一、森岡宏之、舟木泰智、茂田直孝、福島龍朗：“幌延深地層研究計画における地上からの調査研究段階（第1段階）研究成果報告書 分冊「深地層の科学的研究」”，JAEA-Research 2007-044(2007).
- 6) 地盤工学会：“地盤調査の方法と解説”，社団法人地盤工学会, pp.377-390(2004).
- 7) Hvorslev, M.J. : "Time lag and soil permeability in ground-water observations", Bull. 36, pp.1-50, Waterways Exp. Stn., U.S. Army Corps of Eng.(1951).
- 8) Cooper, H.H., Bredehoeft, J.D. and Papadopoulos, I.S. : "Response of a Finite-diameter Well to an Instantaneous Change of Water Time", Water Resource Res., Vol.3, No.1, pp.263-269(1967).
- 9) 柳澤孝一、西垣誠、平田洋一：“動燃式低水圧制御水理試験機（動燃式 JFT）の原理と適用例”，地下水学会誌 第30巻 第3号, pp.127-137(1988).
- 10) Cooper, H.H., Jacob, C.E. : "A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well field history", Trans. Am. Geophys. Un., Vol.27, No.4, pp.526-534(1946).
- 11) Agarwal, R.G. : "A New Method to Account for Production Time Effects When Drawdown Type Curves Are Used to Analyze Build up and Other Test Data", SPE paper 9289, 55th Annual Fall Meeting, Dallas, Tex., pp.1-13(1980).
- 12) Horne, R.N. : "Modern Well Test Analysis", Petroway Inc., p.257(1995).
- 13) 例えば、Chakrabarty, C. and Enachescu, C. : "Using the Deconvolution Approach for Slug Test Analysis : Theory and Application", Ground Water, vol.35, No.5,

pp.797-806(1997).

- 14) 例えば、Yang, Y. J. and Gates, T. M. : “Wellbore Skin Effect in Slug-Test Data Analysis for Low-Permeability Geologic Materials”, *Ground Water*, vol.35, No.6, pp.931-937(1997).
- 15) 舟木泰智、常盤哲也、石井英一、羽出山吉裕、松尾重明、津田和康、小泉朗、石川泰己、大條裕一、杉山和稔：“幌延深地層研究計画 換気立坑先行ボーリング(PB-V01)孔調査報告書－地質調査－”，JAEA-Data/Code 2008-013(2008).

付録

単孔式水理試験結果概要（試験番号 No.1～No.14）

This is a blank page.

水理試験結果概要（試験番号 No.1）

地 点 No.	先行ボーリング孔	試験深度	249.38～313.93mabh
試験開始日	平成19年12月28日	試験終了日	平成19年12月29日
試験装置種別	幌延型水理試験装置	試験装置No	
パッカー構成	Double Packer(s)	試験者	大成基礎設計(株)

・地盤高	・X座標	・Y座標	
------	------	------	--

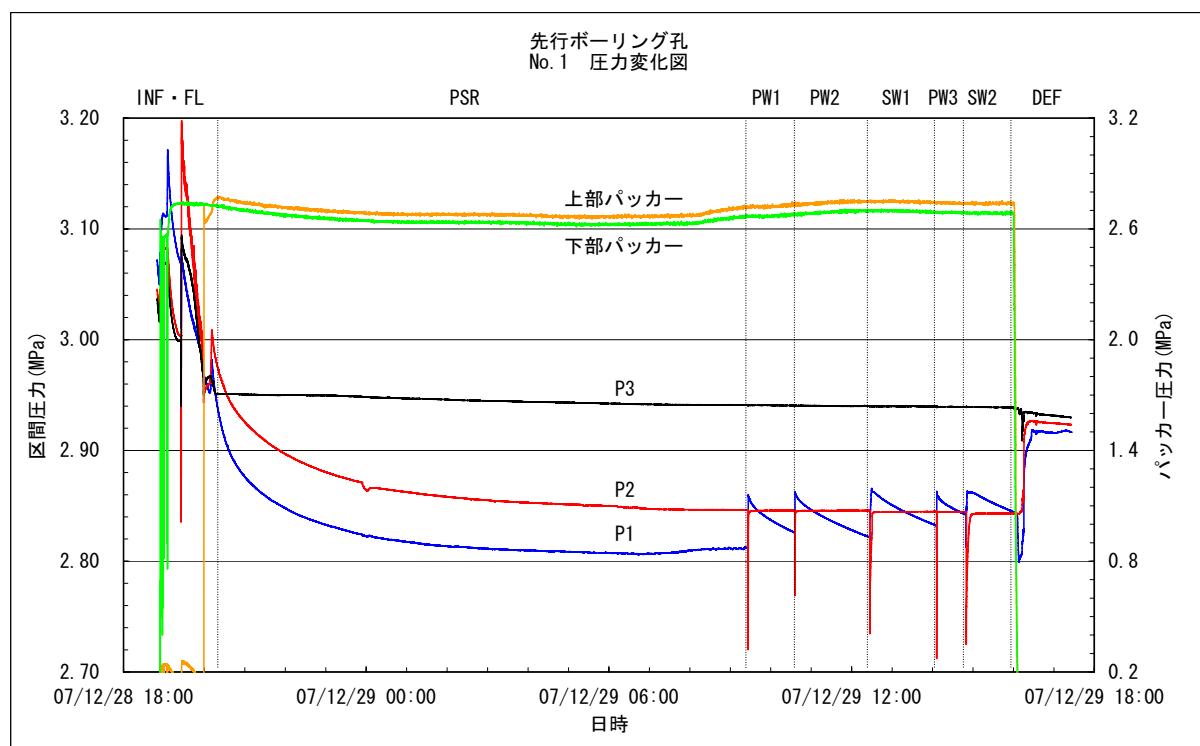
Test Name & Condition				
Test No.1				
	mabh	mbgl		
ボーリング孔深度	355.00		掘削傾斜角度 (度)	—
孔内水位	8.97		試錐孔半径 (m)	0.0825
上部パッカー上端	247.85		揚水ケーシング半径 (m)	0.0451
試験区間上端	249.38		ロッド半径 (m)	0.0179
試験区間下端	313.93		試験区間長 (m)	64.55
下部パッcker下端	315.45		装置内容積(MAIN～)(m ³)	6.606E-03
試験区間中点	281.66		試験区間容積 (m ³)	1.337E+00
P1圧力計深度	245.85		仮想半径Rw (m)	1.413E-03
P2圧力計深度	245.85			
P3圧力計深度	245.55			
※孔内水位は装置挿入前の泥水位(12月28日 9:42測定)				

試験概要					
試験項目 INF・FL-PSR-PW1-PW2-SW1-PW3-SW2-DEF					
試験目的 265mabh付近の逸水箇所を内包する稚内層の水理定数の把握					
試験区間の地質学的特徴					

試験結果	T(m ² /sec)	k(m/sec)	S (-)	Ss(1/m)	解析方法
PW1	7.42E-07	1.15E-08	2.93E-06	4.54E-08	Cooper
	解析困難	解析困難			Hvorslev
PW2	6.92E-07	1.07E-08	2.93E-06	4.54E-08	Cooper
	解析困難	解析困難			Hvorslev
SW1	解析困難	解析困難	解析困難	解析困難	Cooper
	7.71E-06	1.19E-07			Hvorslev
PW3	1.41E-06	2.19E-08	2.93E-08	4.54E-10	Cooper
	解析困難	解析困難			Hvorslev
SW2	解析困難	解析困難	解析困難	解析困難	Cooper
	9.30E-06	1.44E-07			Hvorslev
P1水位	-8.39	mabh			
P2水位	-8.25	mabh			
P3水位	-18.01	mabh	※各水位は、DEF前の圧力計換算値		

Flow Model	境界
試験実施状況	
2007.12.28	INF・FL-PSR
2007.12.29	PW1-PW2-SW1-PW3-SW2-DEF

圧力変化図



水理試験結果概要（試験番号 No.2）

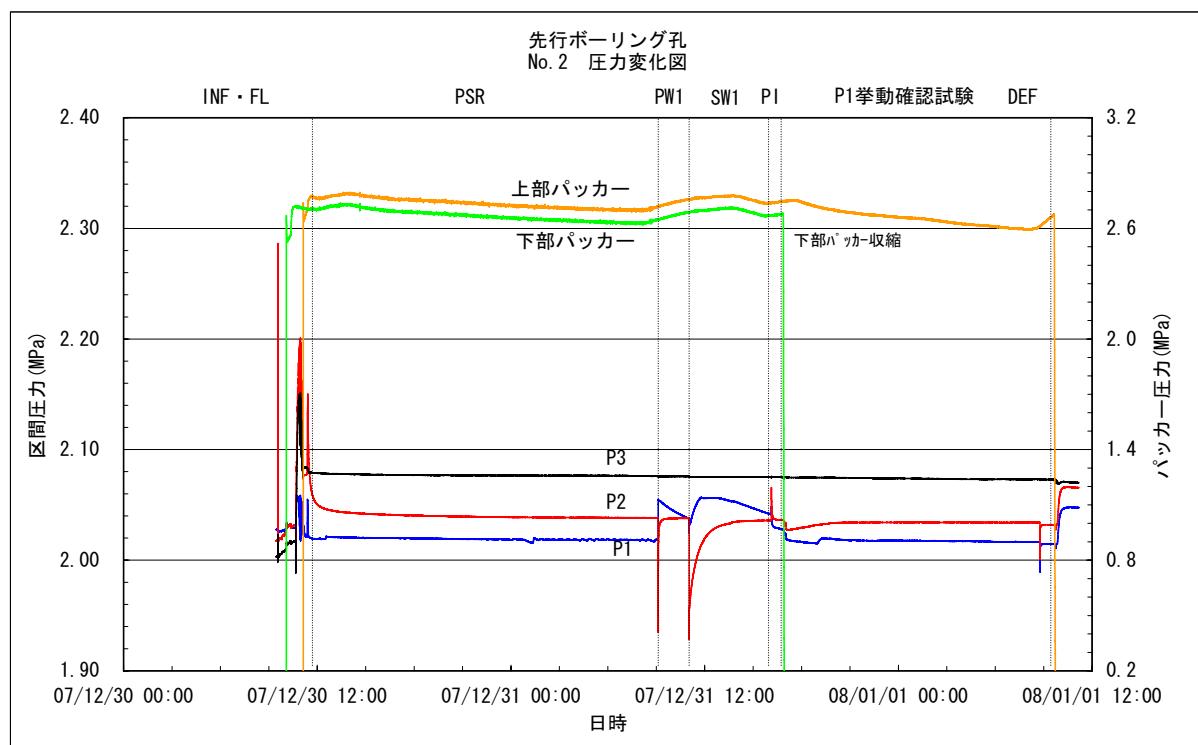
地 点 No.	先行ボーリング孔	試験深度	167.78～232.33mabh
試験開始日	平成19年12月30日	試験終了日	平成20年1月2日
試験装置種別	幌延型水理試験装置	試験装置No.	
パッカー構成	Double Packer(s)	試験者	大成基礎設計株

・地盤高	・X座標	・Y座標	
Test Name & Condition			
Test No.2			
ボーリング孔深度	355.00	mbgl	掘削傾斜角度(度)
孔内水位	—		試錐孔半径(m)
上部パッカー上端	166.25		揚水ケーシング半径(m)
試験区間上端	167.78		ロッド半径(m)
試験区間下端	232.33		試験区間長(m)
下部パッカ下端	233.85		装置内容積(MAIN～)(m ³)
試験区間中点	200.06		試験区間容積(m ³)
P1圧力計深度	164.25		仮想半径Rw(m)
P2圧力計深度	164.25		
P3圧力計深度	163.95		
※			
試験概要			
試験項目 INF・FL-PSR-PW1-SW1-PI-下部パッカーのみDEF-P1挙動確認試験-DEF			
試験目的 173mabh付近の逸水箇所を内包する声問層の水理定数の把握			
試験区間の地質学的特徴			

試験結果	T(m ² /sec)	k(m/sec)	S (-)	Ss(1/m)	解析方法
PW	4.90E-08	7.59E-10	2.93E-05	4.54E-07	Cooper
	解析困難	解析困難			Hvorslev
SW	4.22E-07	6.54E-09	4.71E-06	7.29E-08	Cooper
	解析困難	解析困難			Hvorslev
PI	4.27E-08	6.61E-10	2.93E-06	4.54E-08	Cooper
	解析困難	解析困難			Hvorslev
P1水位	-5.79 mabh				
P2水位	-7.78 mabh				
P3水位	-11.63 mabh	※各水位は、PW前の圧力計換算値			

Flow Model	境界
試験実施状況	
2007.12.30	INF・FL-PSR
2007.12.31	PW-SW-PI-下部パッカーのみDEF
2008.1.1	P1圧力計挙動確認試験-DEF

圧力変化図



水理試験結果概要（試験番号 No.3）

地 点 No.	先行ボーリング孔	試験深度	263.36～277.41mabh
試験開始日	平成20年1月3日	試験終了日	平成20年1月10日
試験装置種別	幌延型水理試験装置	試験装置No.	
パッカー構成	Double Packer(s)	試験者	大成基礎設計㈱

・地盤高	・X座標	・Y座標	
------	------	------	--

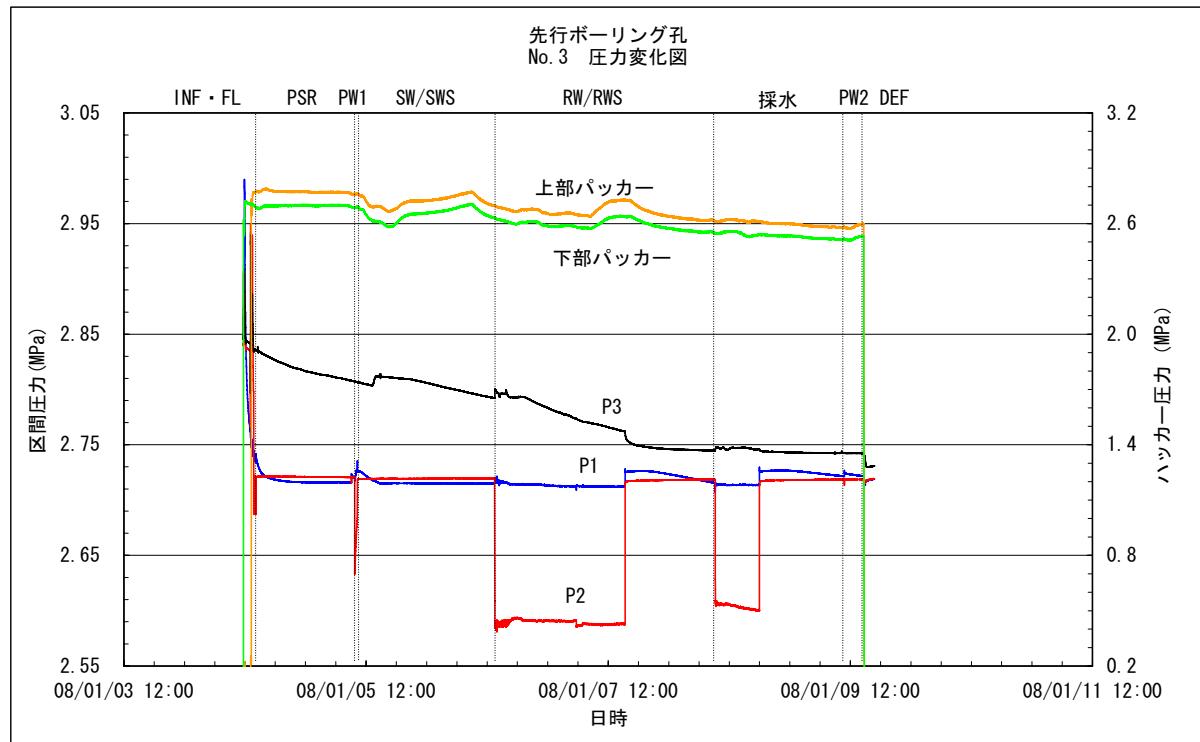
Test Name & Condition				
Test No.3				
	mabh	mbgl		
ボーリング孔深度	355.00		掘削傾斜角度(度)	—
孔内水位	—		試錐孔半径(m)	0.0825
上部パッカー上端	261.83		揚水ケーシング半径(m)	0.0451
試験区間上端	263.36		ロッド半径(m)	0.0179
試験区間下端	277.41		試験区間長(m)	14.05
下部パッカーワーク下端	278.93		装置内容積(MAIN～)(m ³)	6.606E-03
試験区間中点	270.39		試験区間容積(m ³)	2.797E-01
P1圧力計深度	259.83		仮想半径Rw(m)	7.293E-04
P2圧力計深度	259.83			
P3圧力計深度	259.53			
※				

試験概要	
試験項目	INF・FL-PSR-PW1-SW/SWS-RW/RWS-採水のための揚水-PW2-DEF
試験目的	265mabh付近の逸水箇所(稚内層)の水理定数の把握
試験区間の地質学的特徴	

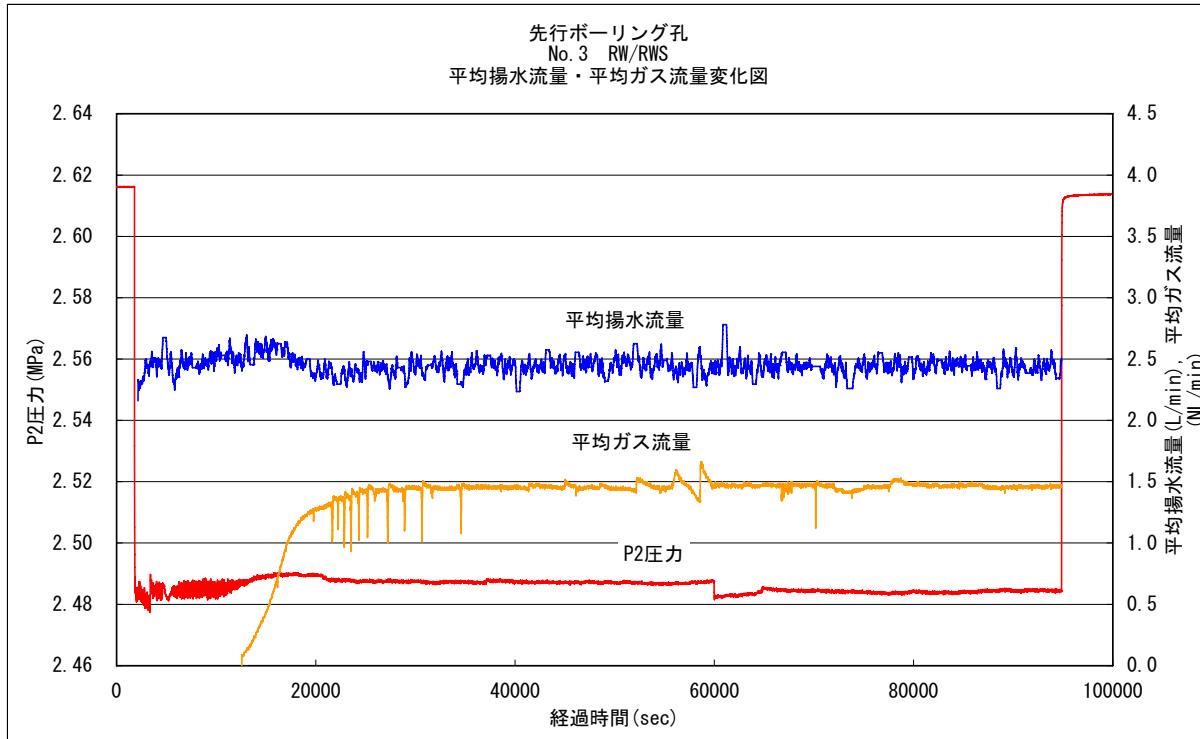
試験結果	T(m ² /sec)	k(m/sec)	S (-)	Ss(1/m)	解析方法
PW1	2.17E-07	1.54E-08	7.81E-07	5.56E-08	Cooper
	解析困難	解析困難			Hvorslev
SW/SWS	解析困難	解析困難	解析困難	解析困難	Cooper
	2.32E-06	1.65E-07			Hvorslev
RW/RWS	5.66E-05	4.03E-06	—	—	Agarwal
	2.56E-06	1.82E-07			Hvorslev
PW2	9.47E-05	6.74E-06	—	—	Agarwal
	3.06E-07	2.18E-08	7.81E-07	5.56E-08	Cooper
	解析困難	解析困難			Hvorslev
P1水位	-6.46 mabh				
P2水位	-6.94 mabh				
P3水位	-14.33 mabh	※各水位は、RW前の圧力計換算値			

Flow Model	境界
試験実施状況	
2008.1.4	INF・FL-PSR
2008.1.5	PW1-SW/SWS
2008.1.6	RW
2008.1.7	RWS
2008.1.8	採水のための揚水
2008.1.9	PW2-DEF

圧力変化図



平均揚水流量・ガス流量



水理試験結果概要（試験番号 No.4）

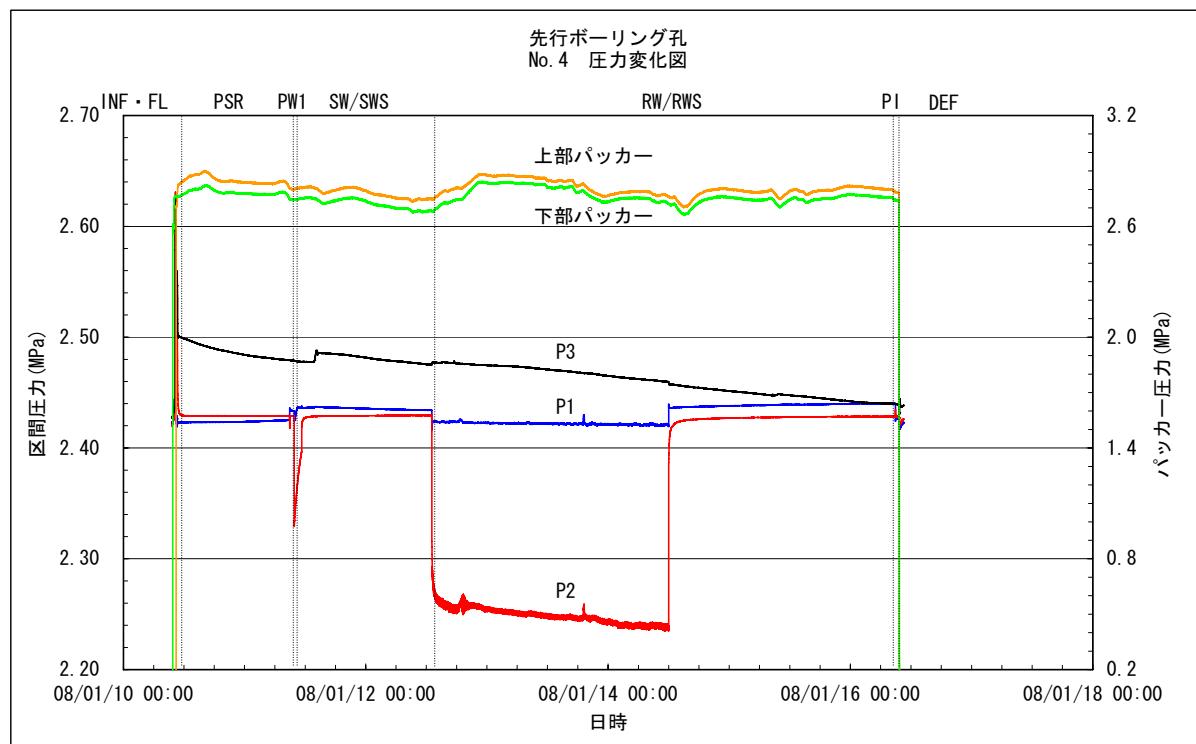
地 点	先行ボーリング孔	試験深度	233.86～247.91mabh
試験開始日	平成20年1月10日	試験終了日	平成20年1月17日
試験装置種別	幌延型水理試験装置	試験装置	
パッカー構成	Double Packer(s)	試験者	大成基礎設計(株)

・地盤高	・X座標	・Y座標
Test Name & Condition		
Test No.4		
mabh	mbgl	
ボーリング孔深度	355.00	掘削傾斜角度 (度)
孔内水位	—	試錐孔半径 (m)
上部パッカー上端	232.33	揚水ケーシング半径 (m)
試験区間上端	233.86	ロッド半径 (m)
試験区間下端	247.91	試験区間長 (m)
下部パッカーワークス	249.43	装置内容積(MAIN～)(m ³)
試験区間中点	240.89	試験区間容積 (m ³)
P1圧力計深度	230.33	仮想半径Rw (m)
P2圧力計深度	230.33	
P3圧力計深度	230.03	
※		
試験概要		
試験項目 INF・FL-PSR-PW-SW/SWS-RW/RWS-PI-DEF		
試験目的 244.5mabh付近の逸水箇所(稚内層)の水理定数の把握		
試験区間の地質学的特徴		

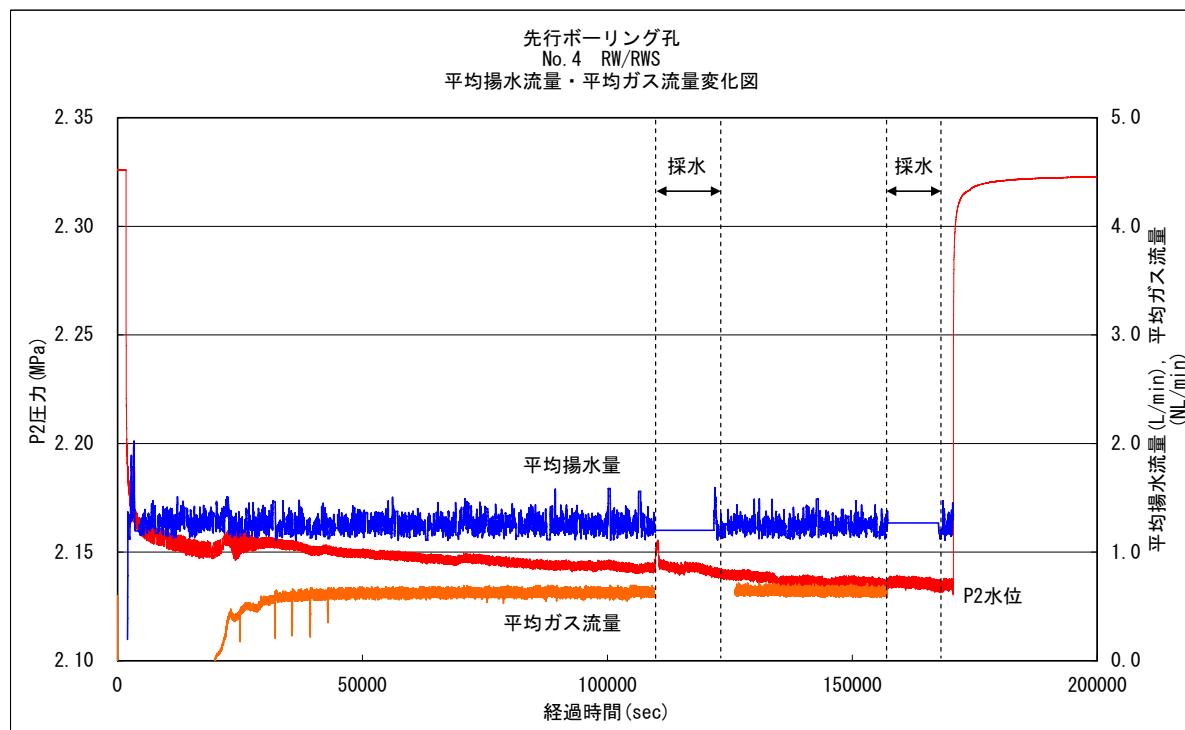
試験結果	T(m ² /sec)	k(m/sec)	S (-)	Ss(1/m)	解析方法
PW1	1.34E-07	9.51E-09	7.81E-07	5.56E-08	Cooper
	解析困難	解析困難			Hvorslev
SW/SWS	解析困難	解析困難	解析困難	解析困難	Cooper
	1.12E-06	8.00E-08			Hvorslev
RW/RWS	1.26E-06	9.00E-08	4.12E-05	2.94E-06	Agarwal
	2.47E-06	1.76E-07	2.71E-11	1.93E-12	Jacob
PI	9.28E-06	6.60E-07	—	—	Agarwal
	1.16E-07	8.28E-09	7.81E-08	5.56E-09	Cooper
	解析困難	解析困難			Hvorslev
P1水位	-7.93 mabh				
P2水位	-6.72 mabh				
P3水位	-7.92 mabh	※各水位は、PI前の圧力計換算値			

Flow Model	境界
試験実施状況	
2008.1.10	INF・FL-PSR
2008.1.11	PW-SW/SWS
2008.1.12～13	RW
2008.1.14	RWS
2008.1.15	RWS
2008.1.16	PI-DEF

圧力変化図



平均揚水流量・ガス流量



水理試験結果概要（試験番号 No.5）

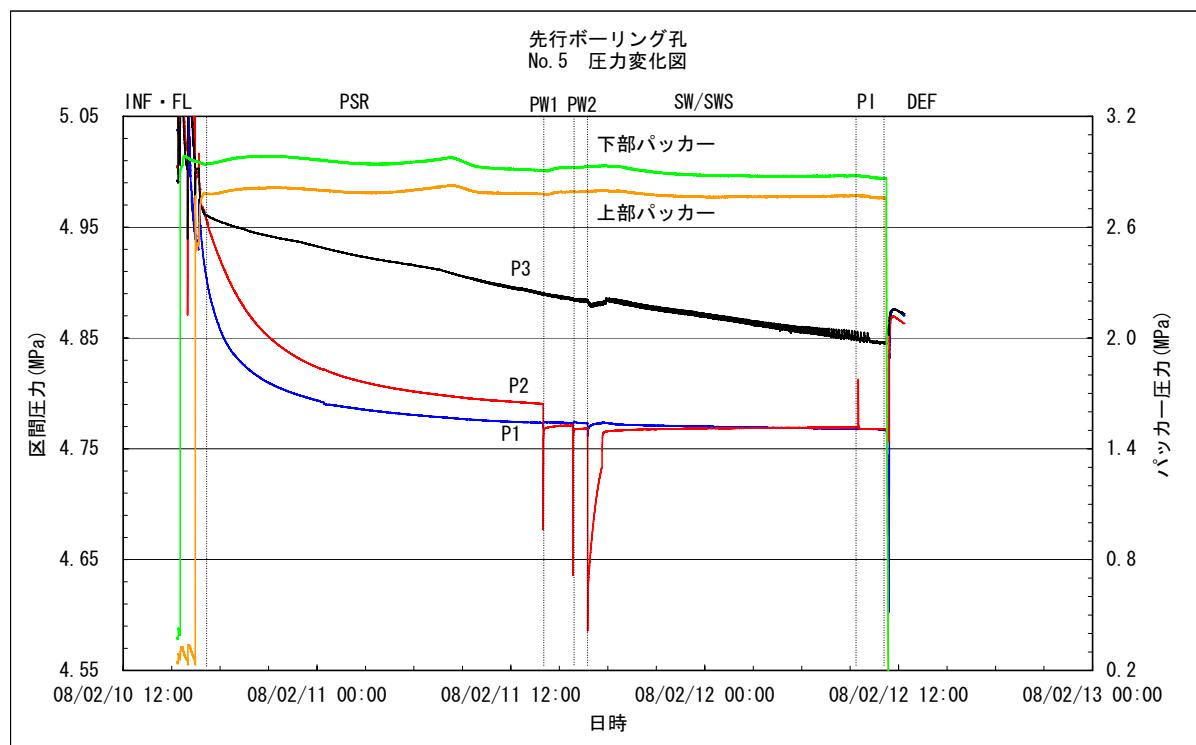
地 点 №	先行ボーリング孔	試験深度	444.00～508.55mabh
試験開始日	平成20年2月9日	試験終了日	平成20年2月12日
試験装置種別	幌延型水理試験装置	試験装置№	
パッカー構成	Double Packer(s)	試験者	大成基礎設計(株)

・地盤高	・X座標	・Y座標	
------	------	------	--

Test Name & Condition				
Test No.5				
	mabh	mbgl		
ボーリング孔深度	520.59		掘削傾斜角度 (度)	—
孔内水位	5.31		試錐孔半径 (m)	0.0825
上部パッカー上端	442.47		揚水ケーシング半径 (m)	0.0451
試験区間上端	444.00		ロッド半径 (m)	0.0179
試験区間下端	508.55		試験区間長 (m)	64.55
下部パッカーワーク下端	510.07		装置内容積(MAIN～)(m ³)	6.606E-03
試験区間中点	476.28		試験区間容積 (m ³)	1.337E+00
P1圧力計深度	440.47		仮想半径Rw (m)	1.396E-03
P2圧力計深度	440.47			
P3圧力計深度	440.17			
※孔内水位は装置挿入前の泥水位				
試験概要				
試験項目 INF・FL-PSR-PW1-PW2-SW/SWS-PI-DEF				
試験目的 電気伝導度検層でアノマリーの認められた470mabh付近を内包する稚内層の水理定数の把握				
試験区間の地質学的特徴				

試験結果	T(m ² /sec)	k(m/sec)	S (-)	Ss(1/m)	解析方法
PW1	7.24E-08	1.12E-09	2.86E-06	4.44E-08	Cooper
	解析困難	解析困難			Hvorslev
PW2	1.15E-07	1.78E-09	2.86E-06	4.44E-08	Cooper
	解析困難	解析困難			Hvorslev
SW/SWS	解析困難	解析困難	解析困難	解析困難	Cooper
	4.90E-07	7.59E-09			Hvorslev
	1.11E-06	1.71E-08	—	—	Agarwal
PI	2.19E-07	3.39E-09	2.86E-07	4.44E-09	Cooper
	2.73E-07	4.22E-09			Hvorslev
P1水位	-9.86 mabh				
P2水位	-9.90 mabh				
P3水位	-17.80 mabh	※各水位は、DEF前の圧力計換算値			
Flow Model			境界		
試験実施状況					
08/2/9	準備・孔内部挿入				
08/2/10	ロッド挿入・INF/FL-PSR				
08/2/11	PSR-PW1-PW2-SW/SWS				
08/2/12	PI-DEF-No.6区間へ移設				

圧力変化図



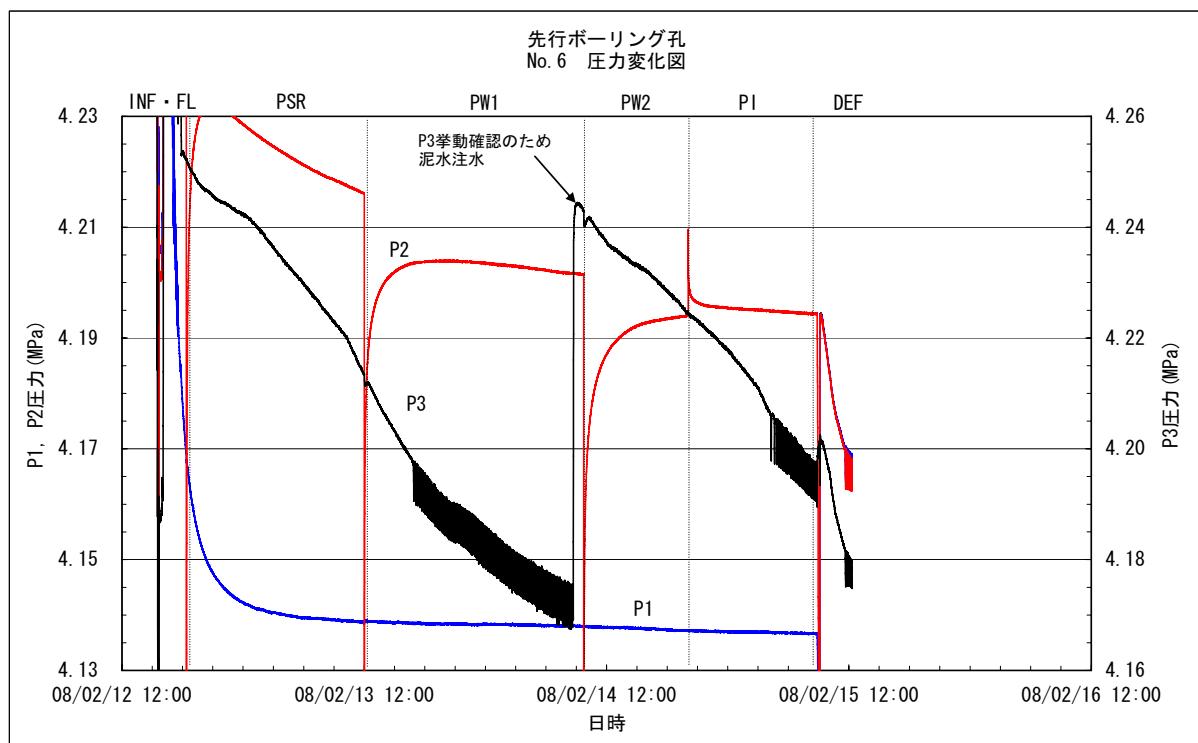
水理試験結果概要（試験番号 No.6）

地 点 №	先行ボーリング孔	試験深度	379.45～444.00mabh
試験開始日	平成20年2月12日	試験終了日	平成20年2月15日
試験装置種別	幌延型水理試験装置	試験装置№	
パッカー構成	Double Packer(s)	試験者	大成基礎設計(株)

・地盤高	・X座標	・Y座標	
Test Name & Condition			
Test No.6			
ボーリング孔深度	mabh 520.59	mbgl —	掘削傾斜角度 (度) —
孔内水位	—	試錐孔半径 (m)	0.0825
上部パッカー上端	377.92	揚水ケーシング半径 (m)	0.0451
試験区間上端	379.45	ロッド半径 (m)	0.0179
試験区間下端	444.00	試験区間長 (m)	64.55
下部パッカー下端	445.52	装置内容積(MAIN～)(m ³)	6.606E-03
試験区間中点	411.73	試験区間容積 (m ³)	1.337E+00
P1圧力計深度	375.92	仮想半径Rw (m)	1.396E-03
P2圧力計深度	375.92		
P3圧力計深度	375.62		
試験概要			
試験項目 INF・FL-PSR-PW1-PW2-PI-DEF			
試験目的 稚内層の水理定数を網羅すること			
試験区間の地質学的特徴			

試験結果	T(m ² /sec)	k(m/sec)	S (-)	Ss(1/m)	解析方法
PW1	(1.78E-08)	(2.75E-10)	(2.86E-05)	(4.44E-07)	Cooper
	解析困難	解析困難			Hvorslev
PW2	(6.60E-09)	(1.02E-10)	(1.43E-04)	(2.22E-06)	Cooper
	解析困難	解析困難			Hvorslev
PI	6.91E-10	1.07E-11	1.43E-03	2.22E-05	Cooper
	2.56E-10	3.96E-12			Hvorslev
					※PW1, PW2の値は参考値とする
P1水位	-10.08 mabh				
P2水位	-15.96 mabh				
P3水位	-15.82 mabh	※各水位は、DEF前の圧力計換算値			
Flow Model					境界
試験実施状況					
08/2/12	孔内部移設・INF/FL-PSR				
08/2/13	PW1				
08/2/14	PW2-PI				
08/2/15	DEF-No.7区間へ移設				

圧力変化図



水理試験結果概要（試験番号 No.7）

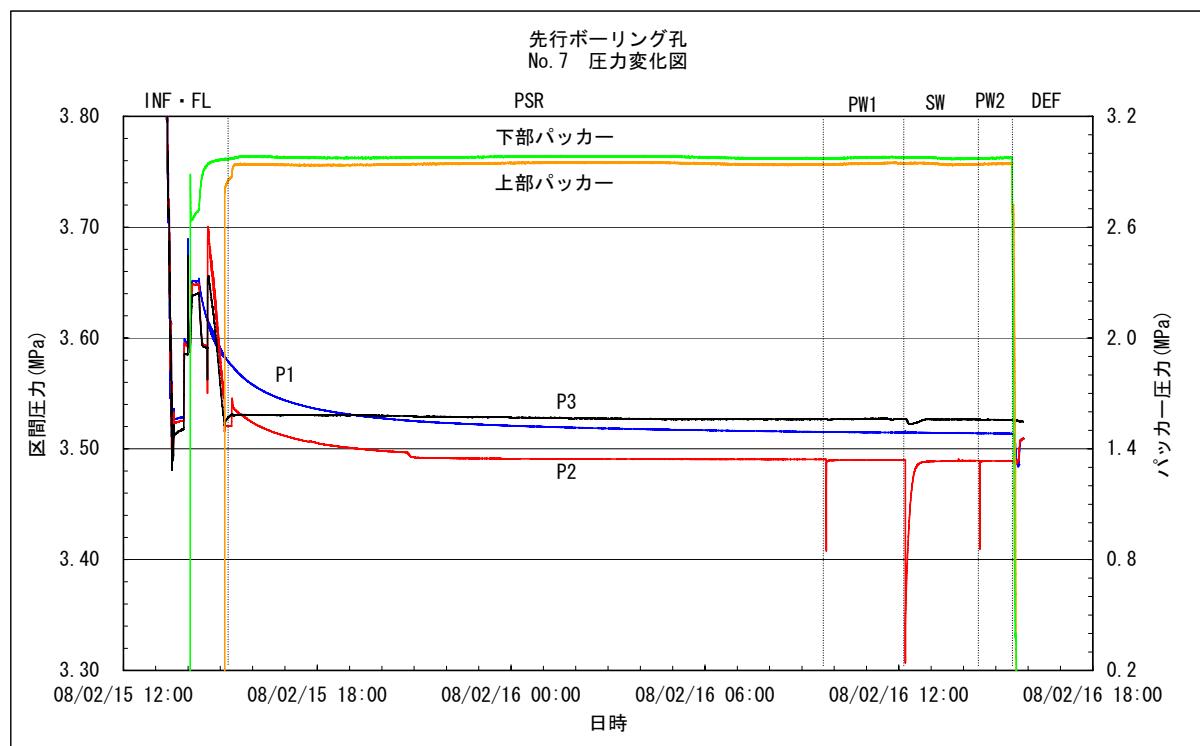
地 点 №	先行ボーリング孔	試験深度	314.90～379.45mabh
試験開始日	平成20年2月15日	試験終了日	平成20年2月17日
試験装置種別	幌延型水理試験装置	試験装置№	
パッカー構成	Double Packer(s)	試験者	大成基礎設計(株)

・地盤高	・X座標	・Y座標	
Test Name & Condition			
Test No.7			
ボーリング孔深度	mabh	mbgl	
孔内水位	520.59	掘削傾斜角度 (度)	—
上部パッカー上端	—	試錐孔半径 (m)	0.0825
試験区間上端	313.37	揚水ケーシング半径 (m)	0.0451
試験区間下端	314.90	ロッド半径 (m)	0.0179
下部パッcker下端	379.45	試験区間長 (m)	64.55
試験区間中点	380.97	装置内容積(MAIN～)(m ³)	6.606E-03
P1圧力計深度	347.18	試験区間容積 (m ³)	1.337E+00
P2圧力計深度	311.37	仮想半径Rw (m)	1.396E-03
P3圧力計深度	311.07		
試験概要			
試験項目 INF・FL-PSR-PW1-SW-PW2-DEF			
試験目的 電気伝導度検層でアノマリーの認められた稚内層の水理定数の把握			
試験区間の地質学的特徴			

試験結果	T(m ² /sec)	k(m/sec)	S (-)	Ss(1/m)	解析方法
PW1	1.38E-06	2.14E-08	—	—	Cooper
	7.22E-07	1.12E-08			Hvorslev
SW	解析困難	解析困難	—	—	Cooper
	3.10E-06	4.80E-08			Hvorslev
PW2	2.04E-06	3.16E-08	—	—	Cooper
	8.97E-07	1.39E-08			Hvorslev
P1水位	-11.11 mabh				
P2水位	-8.60 mabh				
P3水位	-12.38 mabh				
※各水位は、DEF前の圧力計換算値					

Flow Model	境界
試験実施状況	
08/2/15	No.6区間より移設・INF/FL-PSR
08/2/16	PW1-SW-PW2-DEF
08/2/17	孔内部装置回収

圧力変化図



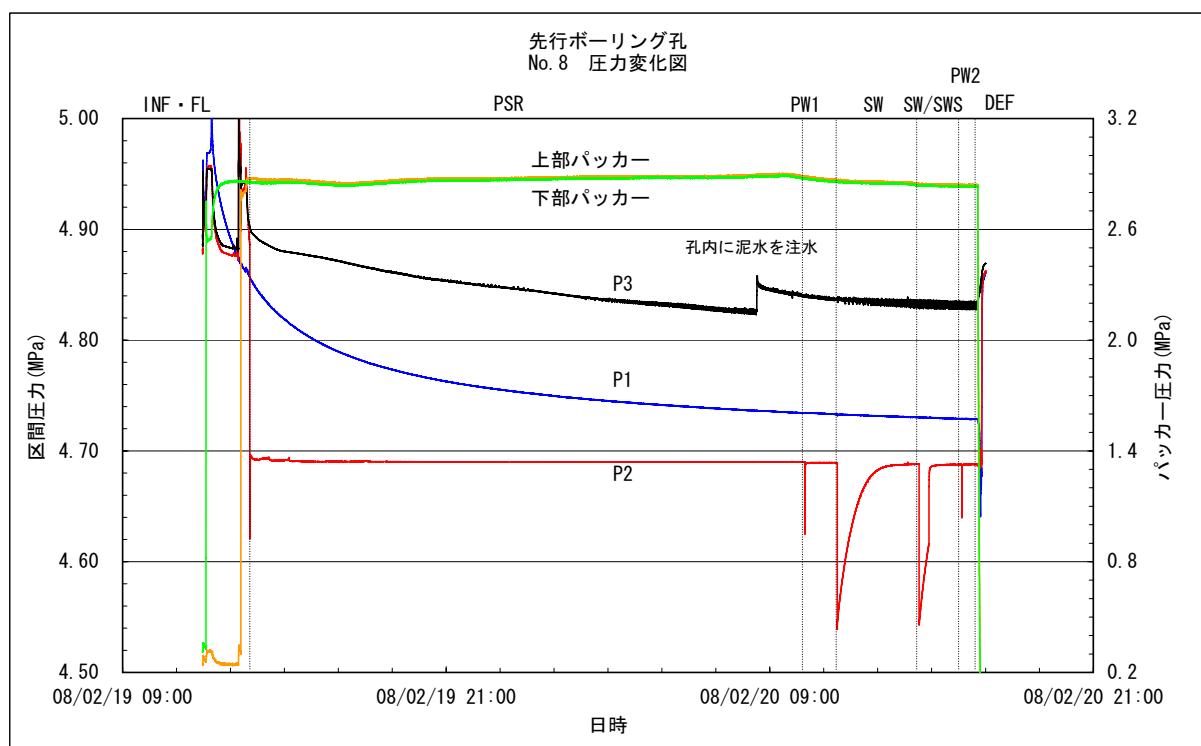
水理試験結果概要（試験番号 No.8）

地 点 №	先行ボーリング孔	試験深度	461.00～476.05mabh
試験開始日	平成20年2月18日	試験終了日	平成20年2月20日
試験装置種別	幌延型水理試験装置	試験装置№	
パッカー構成	Double Packer(s)	試験者	大成基礎設計(株)

・地盤高	・X座標	・Y座標	
Test Name & Condition			
Test No.8			
ボーリング孔深度	520.59	mbgl	
孔内水位	—	掘削傾斜角度 (度)	—
上部パッカー上端	459.47	試錐孔半径 (m)	0.0825
試験区間上端	461.00	揚水ケーシング半径 (m)	0.0451
試験区間下端	476.05	ロッド半径 (m)	0.0179
下部パッcker下端	477.57	試験区間長 (m)	15.05
試験区間中点	468.53	装置内容積(MAIN～)(m ³)	6.606E-03
P1圧力計深度	457.47	試験区間容積 (m ³)	3.007E-01
P2圧力計深度	457.47	仮想半径Rw (m)	7.163E-04
P3圧力計深度	457.17		
試験概要			
試験項目 INF・FL-PSR-PW1-SW-SW/SWS-PW2-DEF			
試験目的 電気伝導度検層でアノマリーの認められた稚内層の水理定数の把握			
試験区間の地質学的特徴			

試験結果	T(m ² /sec)	k(m/sec)	S (-)	Ss(1/m)	解析方法
PW1	1.20E-07	7.99E-09	7.54E-08	5.01E-09	Cooper
	解析困難	解析困難			Hvorslev
SW	解析困難	解析困難	解析困難	解析困難	Cooper
	5.52E-07	3.67E-08			Hvorslev
SW/SWS	解析困難	解析困難	解析困難	解析困難	Cooper
	4.44E-07	2.95E-08			Hvorslev
	2.77E-06	1.84E-07	-	-	Agarwal
PW2	1.70E-07	1.13E-08	7.54E-08	5.01E-09	Cooper
	解析困難	解析困難			Hvorslev
P1水位	-13.64	mabh			
P2水位	-9.50	mabh			
P3水位	-24.08	mabh	※各水位は、DEF前の圧力計換算値		
Flow Model			境界		
試験実施状況					
08/2/18	装置挿入				
08/2/19	INF・FL-PSR				
08/2/20	PW1-SW-SW/SWS-PW2-DEF				

圧力変化図



水理試験結果概要（試験番号 No.9）

地 点 №	先行ボーリング孔	試験深度	394.00～409.05mabh
試験開始日	平成20年2月21日	試験終了日	平成20年2月23日
試験装置種別	幌延型水理試験装置	試験装置№	
パッカー構成	Double Packer(s)	試験者	大成基礎設計(株)

・地盤高	・X座標	・Y座標
------	------	------

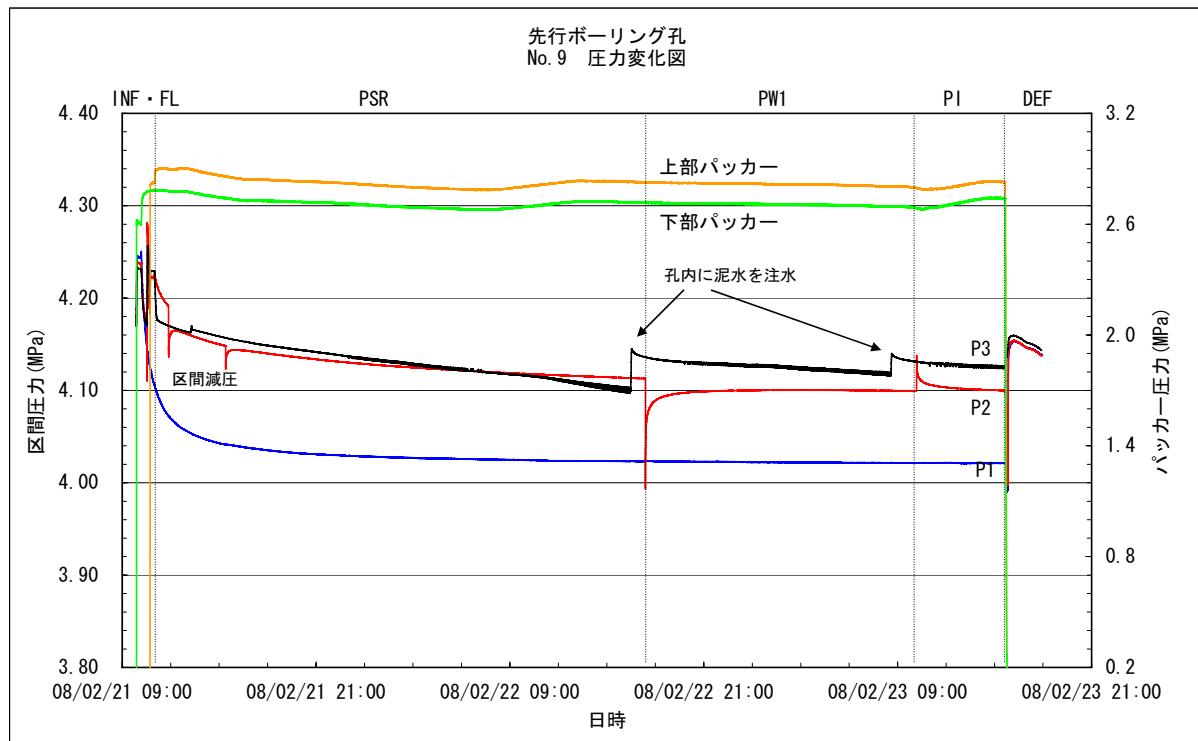
Test Name & Condition				
Test No.9				
	mabh	mbgl		
ボーリング孔深度	520.59		掘削傾斜角度 (度)	—
孔内水位	—		試錐孔半径 (m)	0.0825
上部パッカー上端	392.47		揚水ケーシング半径 (m)	0.0451
試験区間上端	394.00		ロッド半径 (m)	0.0179
試験区間下端	409.05		試験区間長 (m)	15.05
下部パッカーアンダ	410.57		装置内容積(MAIN～)(m ³)	6.606E-03
試験区間中点	401.53		試験区間容積 (m ³)	3.007E-01
P1圧力計深度	390.47		仮想半径Rw (m)	7.163E-04
P2圧力計深度	390.47			
P3圧力計深度	390.17			

試験概要				
試験項目 INF・FL-PSR-PW-PI-DEF				
試験目的 電気伝導度検層でアノマリーの認められた稚内層の水理定数の把握				
試験区間の地質学的特徴				

試験結果	T(m ² /sec)	k(m/sec)	S (-)	Ss(1/m)	解析方法
PW1	2.46E-10	1.63E-11	3.77E-04	2.50E-05	Cooper
	解析困難	解析困難			Hvorslev
PI	6.03E-11	4.01E-12	3.77E-04	2.50E-05	Cooper
	1.81E-10	1.20E-11			Hvorslev
P1水位	-8.51 mabh				
P2水位	-16.47 mabh				
P3水位	-19.55 mabh	※各水位は、PI前の圧力計換算値			

Flow Model	境界
試験実施状況	
08/2/21	装置移設- INF・FL-PSR
08/2/22	PW
08/2/23	PI-DEF

圧力変化図



水理試験結果概要（試験番号 No.10）

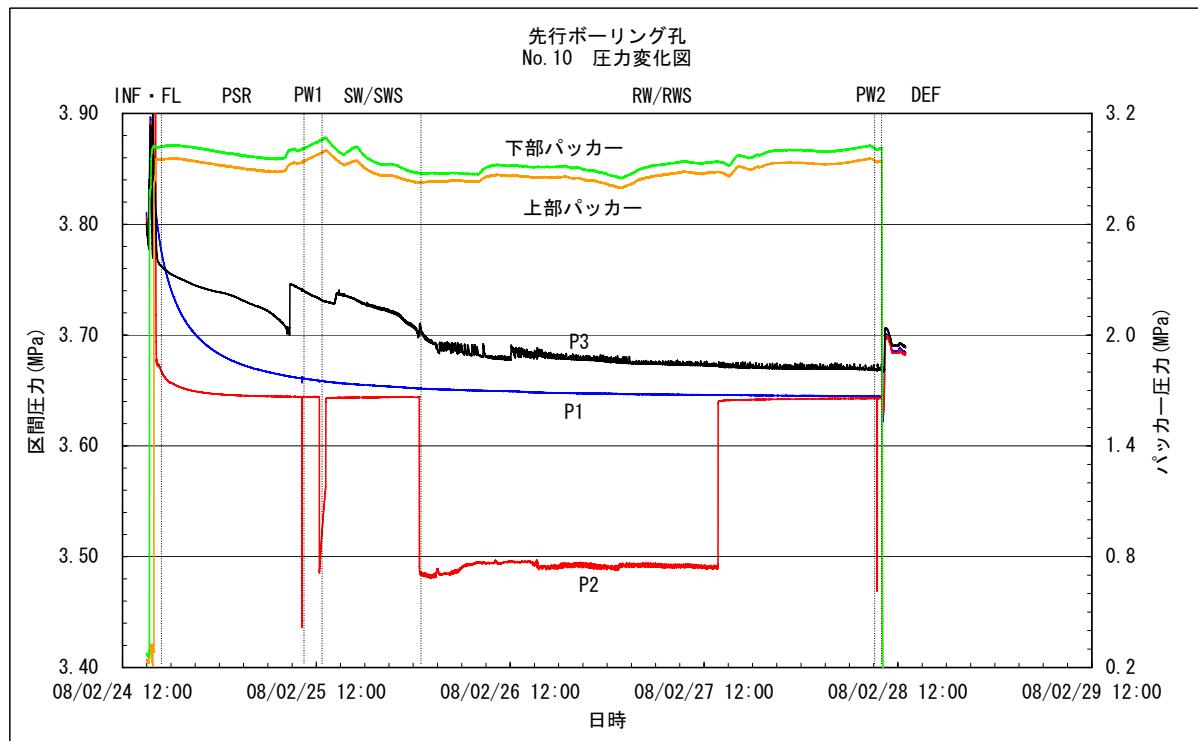
地 点 №	先行ボーリング孔	試験深度	355.80～370.85mabh
試験開始日	平成20年2月24日	試験終了日	平成20年2月28日
試験装置種別	幌延型水理試験装置	試験装置№	
パッカー構成	Double Packer(s)	試験者	大成基礎設計㈱

・地盤高	・X座標	・Y座標	
Test Name & Condition			
Test No.10			
ボーリング孔深度	520.59	mbgl	掘削傾斜角度(度)
孔内水位	—		試錐孔半径(m)
上部パッカー上端	354.27		揚水ケーシング半径(m)
試験区間上端	355.80		ロッド半径(m)
試験区間下端	370.85		試験区間長(m)
下部パッカーワン端	372.37		装置内容積(MAIN～)(m ³)
試験区間中点	363.33		試験区間容積(m ³)
P1圧力計深度	352.27		仮想半径Rw(m)
P2圧力計深度	352.27		
P3圧力計深度	351.97		
試験概要			
試験項目 INF・FL-PSR-PW1-SW/SWS-RW/RWS-PW2-DEF			
試験目的 電気伝導度検層でアノマリーの認められた稚内層の水理定数の把握			
試験区間の地質学的特徴			

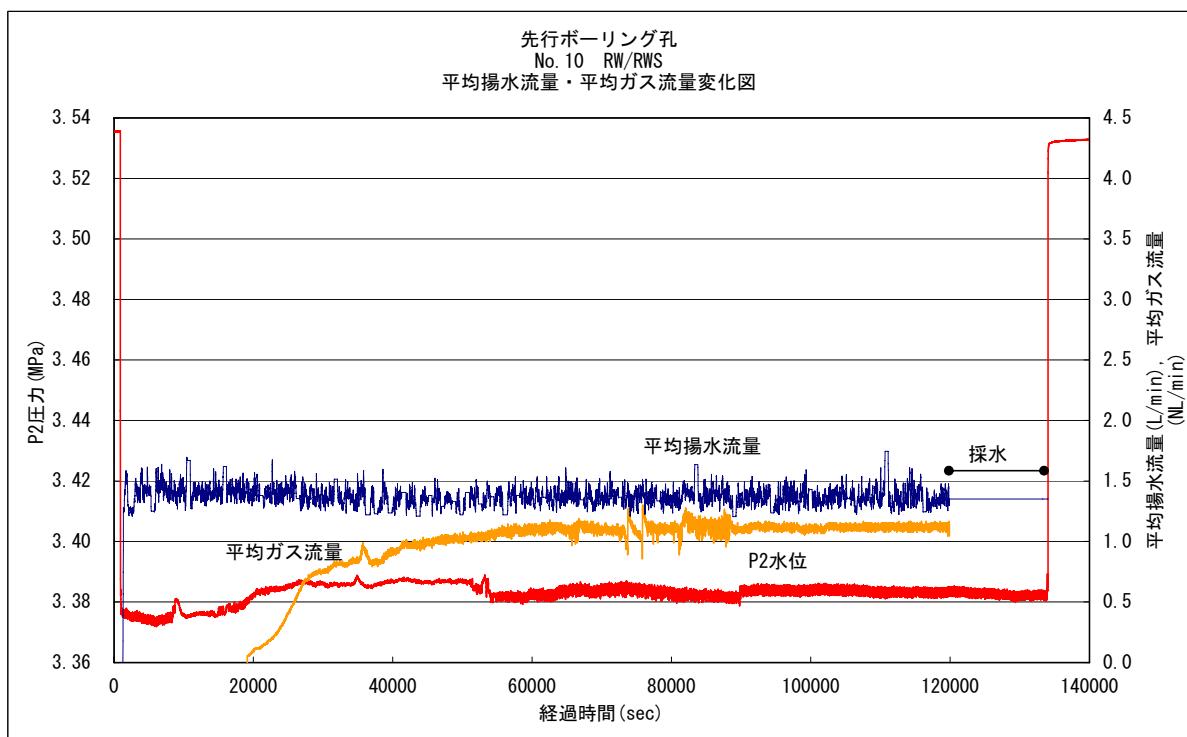
試験結果	T(m ² /sec)	k(m/sec)	S (-)	Ss(1/m)	解析方法
PW1	9.55E-07	6.35E-08	7.54E-13	5.01E-14	Cooper
	3.73E-07	2.48E-08			Hvorslev
SW/SWS	解析困難	解析困難	解析困難	解析困難	Cooper
	1.29E-06	8.57E-08			Hvorslev
RW/RWS	5.36E-05	3.56E-06	—	—	Agarwal
	2.10E-05	1.40E-06	-	-	Jacob
	1.17E-06	7.77E-08			Hvorslev
PW2	5.51E-05	3.66E-06	-	-	Agarwal
	5.63E-07	3.74E-08	7.54E-09	5.01E-10	Cooper
	3.63E-07	2.42E-08			Hvorslev
P1水位	-8.30	mabh			
P2水位	-8.12	mabh			
P3水位	-10.73	mabh	※各水位は、DEF前の圧力計換算値		

Flow Model	境界
試験実施状況	
08/2/24	No.9から装置移設-INF・FL-PSR
08/2/25	PW1-SW/SWS-揚水準備(PCポンプ)
08/2/26	RW
08/2/27	RW-(WS)-RWS
08/2/28	PW2-DEF-No.11区間へ移設

圧力変化図



平均揚水流量・ガス流量



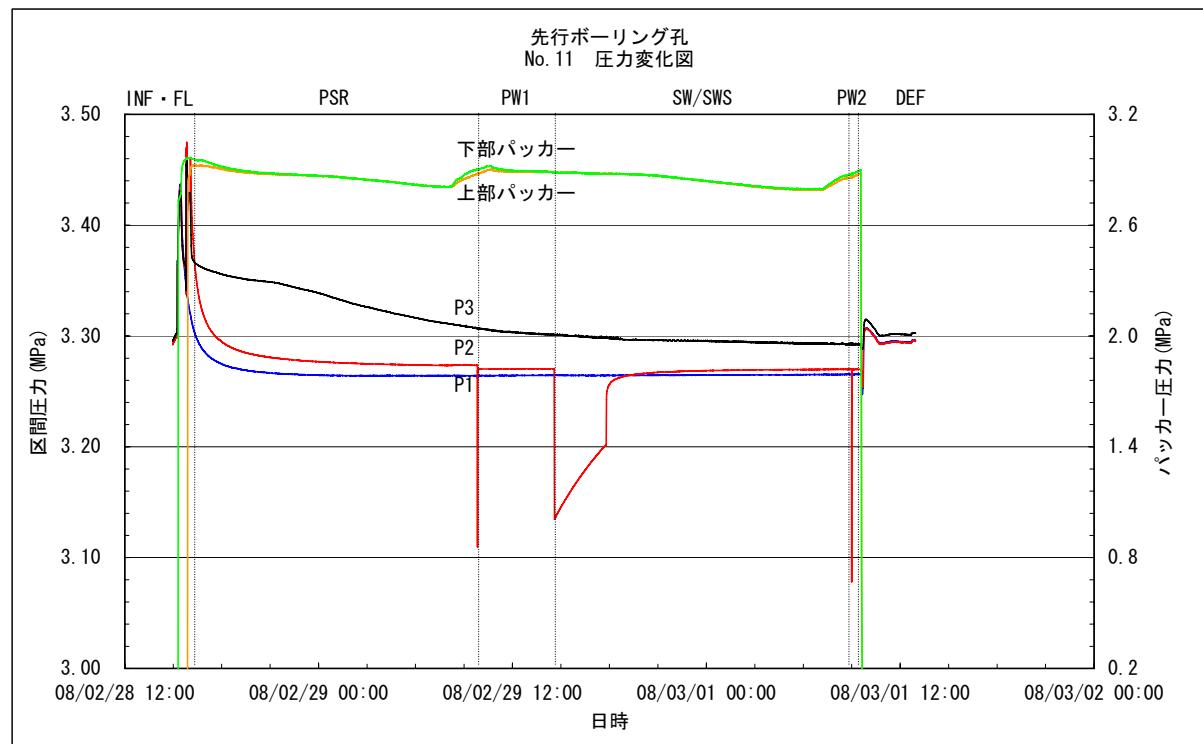
水理試験結果概要（試験番号 No.11）

地 点 №	先行ボーリング孔	試験深度	318.00～333.05mabh
試験開始日	平成20年2月28日	試験終了日	平成20年3月1日
試験装置種別	幌延型水理試験装置	試験装置№	
パッカ構成	Double Packer(s)	試験者	大成基礎設計株

・地盤高	・X座標	・Y座標	
Test Name & Condition			
Test No.11			
試験概要			
試験項目 INF・FL-PSR-PW1-SW/SWS-PW2-DEF			
試験目的 電気伝導度検層でアノマリーの認められた稚内層の水理定数の把握			
試験区間の地質学的特徴			

試験結果	T(m ² /sec)	k(m/sec)	S (-)	Ss(1/m)	解析方法
PW1	2.46E-07	1.63E-08	7.54E-12	5.01E-13	Cooper
	1.30E-07	8.64E-09			Hvorslev
SW/SWS	解析困難	解析困難	解析困難	解析困難	Cooper
	3.13E-07	2.08E-08			Hvorslev
PW2	4.18E-07	2.78E-08	9.20E-07	6.12E-08	Agarwal
	解析困難	解析困難	解析困難	解析困難	Cooper
	3.04E-07	2.02E-08			Hvorslev
P1水位	-7.42	mabh			
P2水位	-7.89	mabh			
P3水位	-10.31	mabh	※各水位は、PW2前の圧力計換算値		
Flow Model	境界				
試験実施状況					
08/2/28	No.10から装置移設-INF・FL-PSR				
08/2/29	PW1-SW/SWS				
08/3/1	PW2-DEF-3.5インチ管、ロッド回収(原位置水質モニタリング用編成変更)				

圧力変化図



水理試験結果概要（試験番号 No.12）

地 点 №	先行ボーリング孔	試験深度	486.00～501.05mabh
試験開始日	平成20年3月11日	試験終了日	平成20年3月14日
試験装置種別	幌延型水理試験装置	試験装置№	
パッカ構成	Double Packer(s)	試験者	大成基礎設計(株)

・地盤高		・X座標		・Y座標	
------	--	------	--	------	--

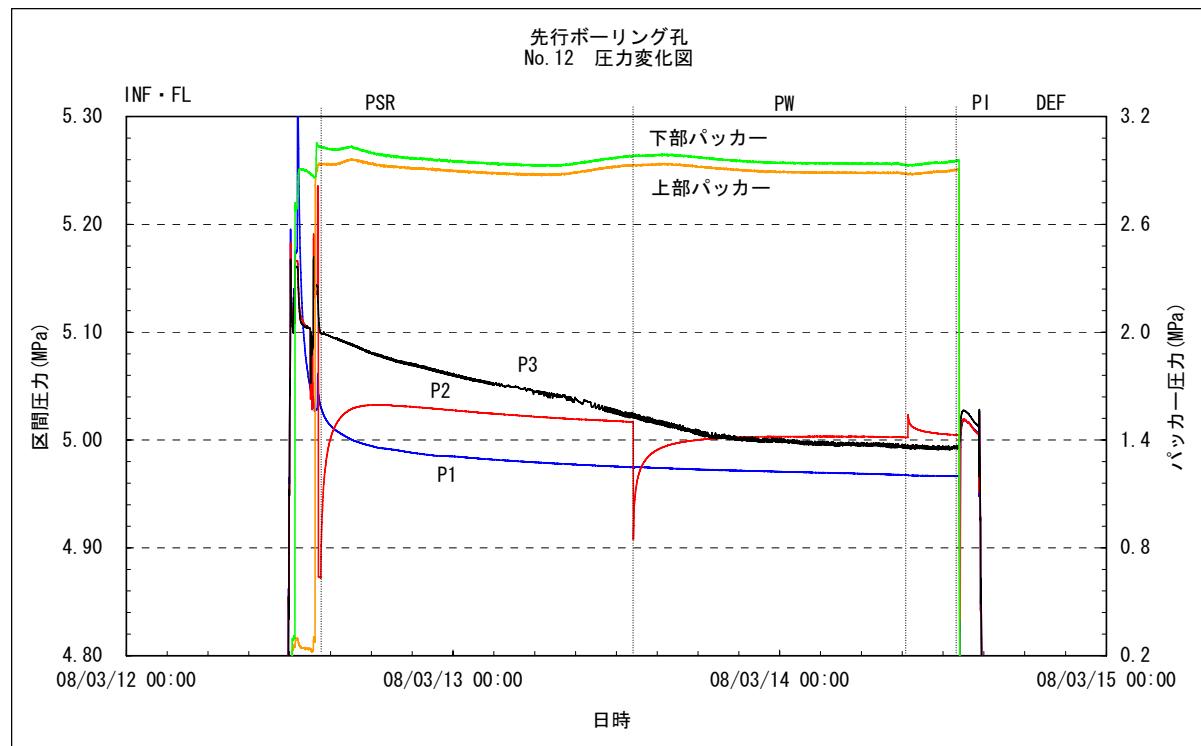
Test Name & Condition				
Test No.12				
ボーリング孔深度	520.59	mbgl	掘削傾斜角度 (度)	—
孔内水位	—		試錐孔半径 (m)	0.0825
上部パッカ上端	484.47		揚水ケーシング半径 (m)	—
試験区間上端	486.00		ロッド半径 (m)	0.0179
試験区間下端	501.05		試験区間長 (m)	15.05
下部パッカ下端	502.57		装置内容積(MAIN～)(m ³)	6.606E-03
試験区間中点	493.53		試験区間容積 (m ³)	3.007E-01
P1圧力計深度	482.47		仮想半径Rw (m)	7.163E-04
P2圧力計深度	482.47			
P3圧力計深度	482.17			

試験概要					
試験項目 INF・FL-PSR-PW-PI-DEF					
試験目的					
稚内層の水理定数の把握					
試験区間の地質学的特徴					

試験結果	T(m ² /sec)	k(m/sec)	S (-)	Ss(1/m)	解析方法
PW	解析困難	解析困難	解析困難	解析困難	Cooper
	解析困難	解析困難			Hvorslev
PI	解析困難	解析困難	解析困難	解析困難	Cooper
	1.63E-10	1.09E-11			Hvorslev
P1水位	-13.00	mabh			
P2水位	-16.56	mabh			
P3水位	-15.62	mabh	※各水位は、PI前の圧力計換算値		

Flow Model	境界
試験実施状況	
08/3/11	孔内泥水補充後、装置挿入まで
08/3/12	装置(ロッド挿入)-INF/FL-PSR
08/3/13	PSR-PW
08/3/14	PI-DEF-No.13区間へ移設

圧力変化図



水理試験結果概要（試験番号 No.13）

地 点 №	先行ボーリング孔	試験深度	338.00～353.05mabh
試験開始日	平成20年3月14日	試験終了日	平成20年3月16日
試験装置種別	幌延型水理試験装置	試験装置№	
パッカー構成	Double Packer(s)	試験者	大成基礎設計(株)

・地盤高	・X座標	・Y座標
------	------	------

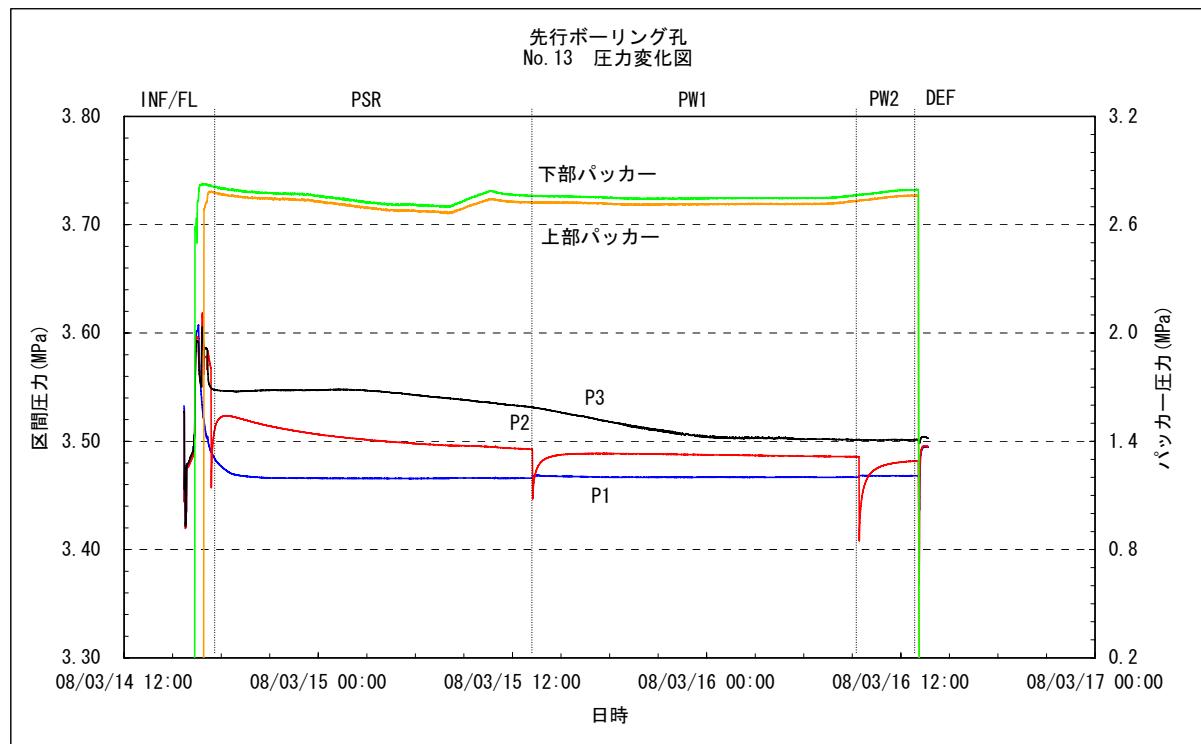
Test Name & Condition				
Test No.13				
ボーリング孔深度	mabh 520.59	mbgl	掘削傾斜角度 (度)	—
孔内水位	—		試錐孔半径 (m)	0.0825
上部パッカー上端	336.47		揚水ケーシング半径 (m)	—
試験区間上端	338.00		ロッド半径 (m)	0.0179
試験区間下端	353.05		試験区間長 (m)	15.05
下部パッcker下端	354.57		装置内容積(MAIN～)(m ³)	6.606E-03
試験区間中点	345.53		試験区間容積 (m ³)	3.007E-01
P1圧力計深度	334.47		仮想半径Rw (m)	7.163E-04
P2圧力計深度	334.47			
P3圧力計深度	334.17			

試験概要				
試験項目 INF・FL-PSR-PW1-PW2-DEF				
試験目的 稚内層の水理定数の把握				
試験区間の地質学的特徴				

試験結果	T(m ² /sec)	k(m/sec)	S (-)	Ss(1/m)	解析方法
PW1	4.27E-10	2.84E-11	1.51E-05	1.00E-06	Cooper
	解析困難	解析困難			Hvorslev
PW2	4.57E-10	3.04E-11	1.51E-05	1.00E-06	Cooper
	解析困難	解析困難			Hvorslev
P1水位	-7.98 mabh				
P2水位	-9.91 mabh				
P3水位	-11.51 mabh	※各水位は、PW2前の圧力計換算値			

Flow Model	境界
試験実施状況	
08/3/14	No.12から装置移設-INF・FL-PSR
08/3/15	PW1
08/3/16	PW2-DEF-No.14区間へ移設

圧力変化図



水理試験結果概要（試験番号 No.14）

地 点 №	先行ボーリング孔	試験深度	275.00～290.05mabh
試験開始日	平成20年3月16日	試験終了日	平成20年3月18日
試験装置種別	幌延型水理試験装置	試験装置№	
パッカー構成	Double Packer(s)	試験者	大成基礎設計(株)

・地盤高	・X座標	・Y座標	
------	------	------	--

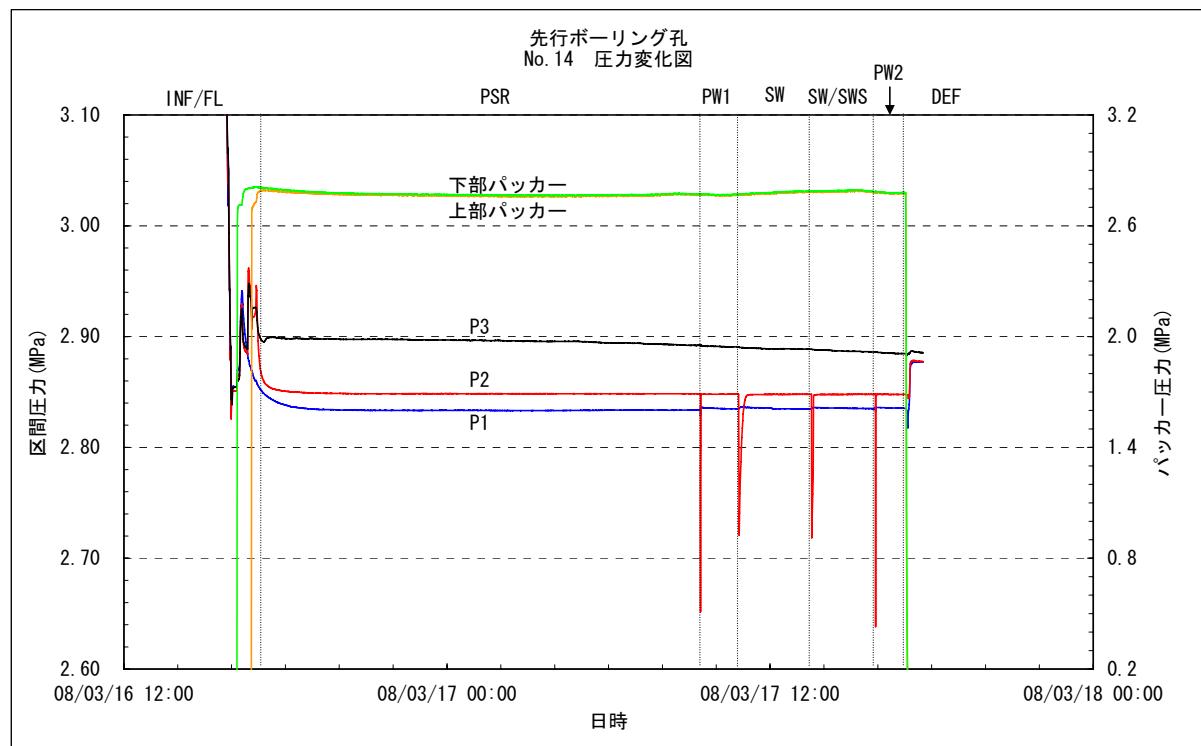
Test Name & Condition				
Test No.14				
	mabh	mbgl		
ボーリング孔深度	520.59		掘削傾斜角度 (度)	—
孔内水位	—		試錐孔半径 (m)	0.0825
上部パッカー上端	273.47		揚水ケーシング半径 (m)	—
試験区間上端	275.00		ロッド半径 (m)	0.0179
試験区間下端	290.05		試験区間長 (m)	15.05
下部パッカーワークス	291.57		装置内容積(MAIN～)(m ³)	6.606E-03
試験区間中点	282.53		試験区間容積 (m ³)	3.007E-01
P1圧力計深度	271.47		仮想半径Rw (m)	7.163E-04
P2圧力計深度	271.47			
P3圧力計深度	271.17			

試験概要				
試験項目 INF・FL-PSR-PW1-SW-SW/SWS-PW2-DEF				
試験目的 稚内層の水理定数の把握				
試験区間の地質学的特徴				

試験結果	T(m ² /sec)	k(m/sec)	S (-)	Ss(1/m)	解析方法
PW1	解析困難	解析困難	解析困難	解析困難	Cooper
	4.14E-07	2.75E-08			Hvorslev
SW	解析困難	解析困難	解析困難	解析困難	Cooper
	4.59E-06	3.05E-07			Hvorslev
SW/SWS	解析困難	解析困難	解析困難	解析困難	Cooper
	2.74E-06	1.82E-07			Hvorslev
	3.53E-05	2.35E-06	—	—	Agarwal
PW2	解析困難	解析困難	解析困難	解析困難	Cooper
	4.39E-07	2.91E-08			Hvorslev
P1水位	-6.54 mabh				
P2水位	-7.86 mabh				
P3水位	-11.76 mabh				
※各水位は、PW2前の圧力計換算値					

Flow Model	境界
試験実施状況	
08/3/16	No.13から深度移設、INF/FL～PSR
08/3/17	PW1-SW-SW/SWS-PW2-DEF
08/3/18	試験装置回収・点検整備・清掃
2008/3/19～21	搬出・機材返却

圧力変化図



国際単位系 (SI)

表1. SI基本単位		
基本量	SI基本単位	
	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	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例		
組立量	SI基本単位	記号
面積	平方メートル	m^2
体積	立方メートル	m^3
速度	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
比體積	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
質量濃度 ^(a)	モル毎立方メートル	mol/m^3
質量濃度	キログラム毎立方メートル	kg/m^3
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m^2
屈折率 ^(b)	(数字の) 1	1
透磁率 ^(b)	(数字の) 1	1

(a) 量濃度(amount concentration)は臨床医学の分野では物質濃度(substance concentration)ともよばれる。

(b) これらは無次元量あるいは次元1をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の1は通常は表記しない。

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

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

(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やはコヒーレントではない。

(b) ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は明示されない。

(c) 調光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。

(d) ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。

(e) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。

(f) 放射性核種の放射能(activity referred to a radionuclide)は、しばしば誤った用語で“radioactivity”と記される。

(g) 単位シーベルト(PV,2002,70,205)についてはCIPM勧告2(CI-2002)を参照。

表4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

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

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

表6. SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	$1^\circ=(\pi/180) \text{ rad}$
分	'	$1'=(1/60)^\circ=(\pi/10800) \text{ rad}$
秒	"	$1''=(1/60)'=(\pi/648000) \text{ rad}$
ヘクタール	ha	$1ha=1hm^2=10^4 m^2$
リットル	L	$1L=1dm^3=10^3 cm^3=10^{-3} m^3$
トン	t	$1t=10^3 kg$

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

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

表8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI単位で表される数値
バール	bar	$1 bar=0.1 MPa=100 kPa=10^5 Pa$
水銀柱ミリメートル	mmHg	$1 mmHg=133.322 Pa$
オングストローム	Å	$1 \text{ \AA}=0.1 nm=100 pm=10^{-10} m$
海里	M	$1 M=1852 m$
バーン	b	$1 b=100 fm^2=(10^{-12} cm)^2=10^{-28} m^2$
ノット	kn	$1 kn=(1852/3600) m/s$
ネーベル	Np	$SI \text{ 単位との数値的な関係は、対数量の定義に依存。}$
ベル	B	
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	$1 erg=10^{-7} J$
ダイニン	dyn	$1 dyn=10^{-5} N$
ボアズ	P	$1 P=1 dyn s cm^{-2}=0.1 Pa s$
ストークス	St	$1 St=1 cm^2 s^{-1}=10^{-4} m^2 s^{-1}$
スチルブル	sb	$1 sb=1 cd cm^{-2}=10^4 cd m^{-2}$
フォント	ph	$1 ph=1 cd sr cm^{-2} 10^4 lx$
ガル	Gal	$1 Gal=1 cm s^{-2}=10^{-2} ms^{-2}$
マクスウェル	Mx	$1 Mx=1 G cm^2=10^8 Wh$
ガウス	G	$1 G=1 Mx cm^{-2}=10^4 T$
エルステッド	Oe	$1 Oe \triangleq (10^3/4\pi) A m^{-1}$

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

表10. SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI単位で表される数値
キュリ	Ci	$1 Ci=3.7 \times 10^{10} Bq$
レントゲン	R	$1 R=2.58 \times 10^4 C/kg$
ラド	rad	$1 rad=1 cGy=10^{-2} Gy$
レム	rem	$1 rem=1 cSv=10^{-2} Sv$
ガンマ	γ	$1 \gamma=1 nT=10^{-9} T$
フェルミ	fm	$1 \text{ フェルミ}=1 fm=10^{-15} m$
メートル系カラット		$1 \text{ メートル系カラット}=200 mg=2 \times 10^{-4} kg$
トル	Torr	$1 Torr=(101 325/760) Pa$
標準大気圧	atm	$1 atm=101 325 Pa$
カロリ	cal	$1 cal=4.1868 J ([15^\circ C] \text{ カロリー}), 4.1868 J ([IT] \text{ カロリー})$
ミクロ	μ	$1 \mu=1 \mu m=10^{-6} m$

