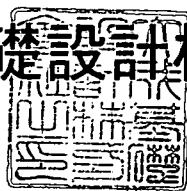


光ファイバーを用いた地下水圧観測 システムの適用性確認試験

報告書

2004年3月

大成基礎設計株式会社



本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課
電話：029-282-1122（代表）
ファックス：029-282-7980
電子メール：jserv@jnc.go.jp

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1184, Japan

© 核燃料サイクル開発機構

(Japan Nuclear Cycle Development Institute) 2005

光ファイバーを用いた地下水圧観測システムの適用性確認試験

報告書

平田 洋一* 大丸 修二*

要旨

長期モニタリング装置の開発の一環として、平成14年度に光ファイバーを用いた水圧観測装置を製作し、東濃地科学センターの試錐孔(DH-5号孔)に設置し観測を開始した。現状では試錐孔内で同装置による短期間、平常温度、淡水条件下での測定は概ね可能であることが確認されている。しかしながら、長期モニタリングシステムとして求められる性能を考えると、長期間の耐久性、高電気伝導度環境下での適用性などを確認しておくことが必要である。さらに観測期間の長期性を考慮すると、データ回収の効率性やデータ制御部(地上部)の設置環境の改善が求められる。

本件では光ファイバーを用いた水圧計の、現状とは異なる環境下での適用性を確認するとともに、設置環境の整備ならびにデータ回収作業の効率化のための作業を実施した。

その結果、以下のことが明らかになった。

- ① 光ファイバーを用いた水圧計は高電気伝導度環境下においてもその影響を受けずに計測が可能である。
- ② 光ファイバーを用いた水圧計は長期耐久性を有する。
- ③ 測定器の温度特性に解決すべき問題点がある。

本報告書は、大成基礎設計株式会社が核燃料サイクル開発機構との契約により実施した業務成果に関するものである。

機構担当課室：東濃地科学センター 瑞浪超深地層研究所 超深地層研究グループ

*大成基礎設計株式会社 技術研究所

The application test of underground water pressure measurement system
by using optical fiber;
A Technical Review

Youichi HIRATA* Shuji DAIMARU*

Abstract

In the 2002, one of the development of the long-term measurement system, we produced the hydraulic pressure measurement system by the optical sensor and made observation in the borehole of Japan Nuclear Cycle Development Institute Tono Geo science Center -DH5.

Until now, it is proved that this hydraulic pressure gauge can work in normal temperature, in fresh water and for the short-term. But it is necessary to examine the application in high electric conductivity, the durability and etc for the long-term measurement system. And also for the long-term measurement, the method to get measurement data and the measurement house must be improved.

We examined this hydraulic pressure gauge under the conditions that was not proved yet, and improved the measurement house and the method to get data. As the result of the examinations, we found next.

- ① The hydraulic pressure gauge by the optical sensor can work in high electric conductivity.
- ② This pressure gauge has the durability for the long-term but it must be experienced in the temperature that is expected before the long-term measurement.
- ③ This pressure gauge has the problem about temperature characteristic.

This work was performed by Taisei Kiso Sekkei Co.,LTD under contract with Japan Nuclear Cycle Development Institute.

JNC Liaison : Underground Research Group Mizunami Underground Research Laboratory(MIU)
Tono Geosciences Center(TGC)

* Taisei Kiso Sekkei Co.,LTD Technical Laboratory

目次

1. はじめに	1
1.1 目的	1
2. 業務概要	2
2.1 業務件名	2
2.2 目的	2
2.3 実施期間	2
2.4 実施機関	2
3. 適用性試験の概要	3
3.1 試験装置の基本構成	3
3.2 水圧計の説明	3
3.2.1 温度計内蔵型 FBG 水圧計	3
3.2.2 電気式水圧計	4
3.2.3 FBG 波長計	4
4. 高電気伝導度環境下試験	5
4.1 目的	5
4.2 試験方法	5
4.2.1 初期性能検定	5
4.2.2 高電気伝導度環境下試験	5
4.2.3 電気的な影響の有無の検討方法	6
4.3 試験結果	6
4.3.1 初期性能検定結果	6
4.3.2 高電気伝導度環境下試験結果	8
4.3.3 電気的な影響の有無の検討結果	8
5. 長期耐久性試験	10
5.1 目的	10
5.2 試験方法	10
5.3 試験結果	11
6. 品質確認試験	14
6.1 目的	14
6.2 試験方法	14
6.3 試験結果	14

7. 測定小屋の避暑対策	16
7.1 目的	16
7.2 避暑対策方法	16
8. データの遠隔回収システムの設置	17
8.1 目的	17
8.2 遠隔回収システムの概要	17
9. おわりに	18
参考文献	19

図目次

図 3.1-1	試験装置構成概要構成	3
図 3.2-2	水圧計概形図	4
図 4.2-1	高電気伝導度環境下試験概要	6
図 4.3-1	水圧計性能試験結果	7
図 4.3-2	温度計性能試験結果	7
図 4.3-3	高電気伝導度環境下試験結果	8
図 4.3-4	性能検定結果比較	9
図 5.2-1	長期耐久性試験装置構成概要図	10
図 5.3-1	長期耐久性試験(1回目)結果	11
図 5.3-2	長期耐久性試験(2回目)結果	11
図 5.3-3	性能試験比較結果	12
図 5.3-4	温度履歴に対する水圧計・温度計の反応	12
図 6.1	品質確認試験概要図	14
図 6.2	光式および電気式水圧計による水圧測定結果	15
図 8.1	遠隔監視システム概要	17
図 8.2	遠隔監視画面	17

表目次

表 3.3-1	水圧計の測定性能	4
表 4.2-1	性能検定試験条件	5
表 4.2-2	高電気伝導度環境下試験条件	5
表 4.2-3	比較用性能試験条件	6
表 4.3-1	水圧計初期性能検定結果	7
表 4.3-2	温度計初期性能検定結果	7
表 4.3-3	試験後性能評価結果	9
表 5.3-1	長期耐久性試験 (1 回目) 後性能評価結果	13
表 5.3-2	長期耐久性試験 (2 回目) 後性能評価結果	13

(巻末資料)

- ・ 試験状況写真
- ・ 光ファイバーを用いた地下化水圧観測システムソフトウェアマニュアル

1. はじめに

1. 1 目的

長期モニタリング装置の開発の一環として、平成 14 年度に光ファイバーを用いた水圧観測装置を製作し、東濃地科学センターの試錐孔(DH-5 号孔)に設置し観測を開始した。現状では試錐孔内で同装置による短期間、平常温度、淡水条件下での測定はおおむね可能であることが確認されている。しかしながら本システムの水圧計は試錐孔内でパッカーによって区切られた複数区間で、同時に測定された前例が無く、光強度の減衰などが取得されるデータの品質に与える影響などについて確認することが必要である。また、長期モニタリングシステムとして求められる性能を考えると、長期間の耐久性、高電気伝導度環境下での適用性を確認しておくことが必要である。さらに観測期間の長期性を考慮すると、データ回収の効率性やデータ制御部(地上部)の設置環境の改善が求められる。

本件では光ファイバーを用いた水圧計の、現状とは異なる環境下での適用性を確認するとともに、設置環境の整備ならびにデータ回収作業の効率化のための作業を実施する。

2. 業務概要

2. 1 業務件名

「光ファイバーを用いた地下水圧観測システムの適用性確認試験」

2. 2 目的

長期モニタリング装置の開発の一環として、平成 14 年度に光ファイバーを用いた水圧観測装置を製作し、東濃地科学センターの試錐孔(DH-5 号孔)に設置し観測を開始した。現状では試錐孔内で同装置による短期間、平常温度、淡水条件下での測定はおおむね可能であることが確認されている。しかしながら本システムの水圧計は試錐孔内でパッカーによって区切られた複数区間で、同時に測定された前例が無く、光強度の減衰などが取得されるデータの品質に与える影響などについて確認することが必要である。また、長期モニタリングシステムとして求められる性能を考えると、長期間の耐久性、高電気伝導度環境下での適用性を確認しておくことが必要である。さらに観測期間の長期性を考慮すると、データ回収の効率性やデータ制御部(地上部)の設置環境の改善が求められる。

本件では光ファイバーを用いた水圧計の、現状とは異なる環境下での適用性を確認するとともに、設置環境の整備ならびにデータ回収作業の効率化のための作業を実施する。

2. 3 実施期間

平成 16 年 3 月 15 日まで

2. 4 実施機関

大成基礎設計株式会社 技術研究所

〒409-0112 山梨県北都留郡上野原町上野原 8154-59 (電話：0554-62-2880)

3. 適用性試験の概要

3. 1 試験装置の基本構成

本試験で使用する主たるもの以下に示す。

- ① センサー部：水圧・温度を測定する。
 - (a) 温度計内蔵型 FBG 水圧計
 - (b) 電気式水圧計（品質確認試験用）
- ② データ観測・制御装置：圧力温度データの観測・測定，表示を行う。
 - (a) FBG 反射波長測定器（以下，「FBG 波長計」と記述する。）
 - (b) 計測用パーソナルコンピュータ(以下，「計測用 PC」と記述する。)

試験装置構成の概要図を図3. 1-1に示す。本試験では温度管理が重要となるため，高電気伝導度環境下試験ならびに長期耐久性試験を恒温室内で実施する。また，水圧計に作用させる圧力は空圧とし，恒温室外部のコンプレッサーによる作用させる。その空圧は空圧制御盤により管理する。

水圧計の出力値は FBG 波長計により計測し，そのデータを計測用 PC に送信し経時的な測定値を表示する。また，FBG 波長計は計測用 PC によりデータ測定環境を設定できる。

恒温室は -20°C から 80°C まで設定可能なものを使用する。恒温室内の温度は外気の温度に影響されるため，恒温室内に設置した水圧計付近に熱伝対温度計を設置し，正確な温度を熱伝対用データロガーで測定する。

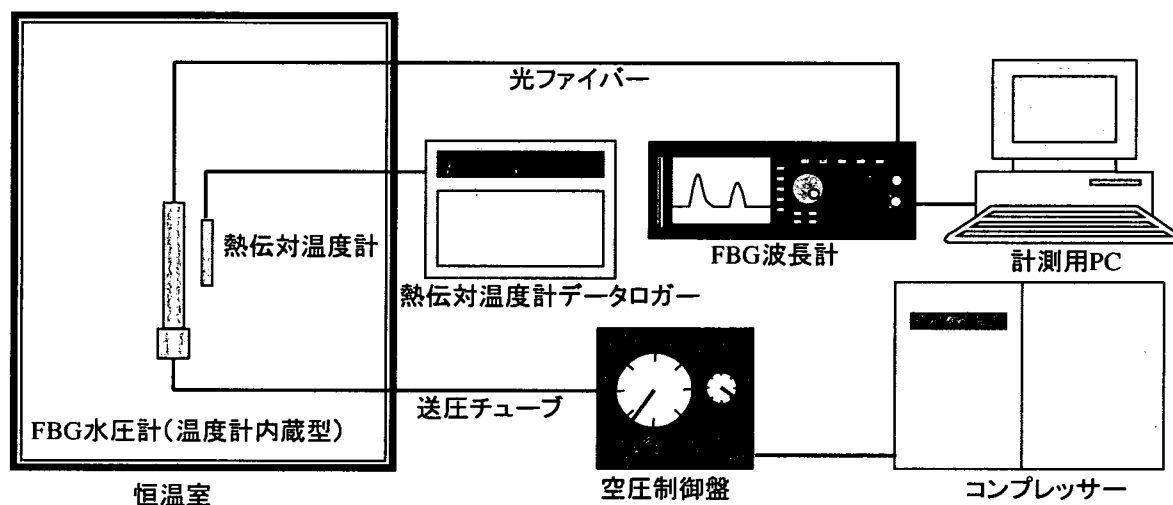


図3. 1-1 試験装置構成概要

3. 2 水圧計の説明

3. 2. 1 温度計内蔵型 FBG 水圧計

圧力計・温度計として，ID-FOS 社（ベルギー）製の温度計内蔵型の水圧計を採用した。採用計器は，測定性能については ID-FOS 社の水圧計の標準品 MPWP10 と同等であるが，本地下水圧観測装置の将来的な目標である多深度への設置に対応するため，下記の点において特別仕様となっている。

- (i) 圧力計を連装するための通過光ファイバー配線の確保
- (ii) 小型化

圧力計の測定性能を表3. 2-1に，外形図を図3. 2-2に示す。

表 3. 3-1 水圧計の測定性能

測定項目		
圧力	測定範囲	0.0 ~ 100kPa
	精度	± 0.5 %FS
温度	測定範囲	0 ~ 70 °C
	精度	± 0.5 %FS

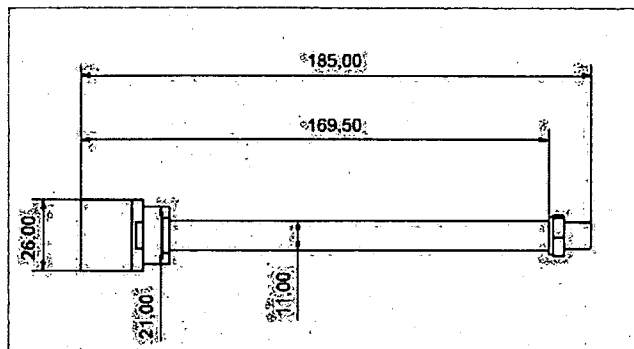


図 3. 2-2 水圧計概形図

[表示単位は mm]

3. 2. 2 電気式水圧計

品質確認試験用の水圧計として、DRUCK 社製の水位計を採用した。この水位計はこれまでに仕様実績があり、品質が確認できている。この水位計の仕様を以下に示す。

- (a) 型式：PDCR1830
- (b) 測定圧力範囲：0~100kPa
- (c) 本体材質：総チタン製
- (d) センサー外径：φ 17.5mm
- (e) 測定精度：±0.1%
- (f) 表示器：DPI265(RS-232C による通信)

3. 2. 3 FBG 波長計

本件で使用する FBG 波長計の仕様を以下に示す。

- (a) 測定範囲：1270~1680nm
- (b) 測定精度：±0.2ppm
- (c) 繰返し測定再現性：±0.2ppm
- (d) 分解能：0.0001nm

4. 高電気伝導度環境下試験

4. 1 目的

高電気伝導度環境下における、光ファイバーを用いた測定に対する電気的な影響の有無を確認する。

4. 2 試験方法

4. 2. 1 初期性能検定

光ファイバーに対する電気的な影響の有無を確認するために、高電気伝導度環境下に水圧計を一週間程度設置し、その前後での水圧計の性能比較を行った。一連の試験は、温度環境を管理するために恒温室内で実施した。水圧計へ作用させる圧力は空気圧とし、恒温室外部からの作用・制御が可能となる構成とした。水圧計および温度計の測定器は恒温室外部に設置し、測定を行った。試験手順、試験条件を以下に示す。

まず、初期性能検定を実施した。性能検定時の温度設定および各温度環境時に与えた圧力設定を表4. 2-1に示す。

表4. 2-1 性能検定試験条件

	設定圧力(KPa)	設定圧力(kgf/cm ²)	備考
圧力	0,29,49,73,5,98	0,0,0,3,0,50,75,1,0	加圧過程⇒減圧過程, 20℃
温度(℃)	5,10,20,30,40		昇温過程⇒降温過程

ここでの圧力性能検定は昇圧、降圧過程の圧力計の出力値を測定し、設定圧力と出力値の関係を求めるものである。

すべての条件における測定値から、水圧計・温度計それぞれの較正式を算出した。次に、得られた較正式に測定値を代入した結果を、設定値（圧力・温度）と比較し、その差が本水圧計の仕様の測定精度範囲内に収まるか否かを確認した。精度範囲内に収まれば、本水圧計の仕様を満足する性能を持つと判断する。

4. 2. 2 高電気伝導度環境下試験

ここでは、高電気伝導度環境を設定するために塩水を用いた。この塩水の濃度は3.5%¹⁾としている。この塩水を、圧力を作用させることの可能なチャンバータンク内に注水し、水面下に水圧計を設置した。さらにチャンバータンクに、水圧計の測定範囲の50%となる圧力を与えた状態で一週間維持し、水圧計の出力変動を測定した。チャンバータンクならびに水圧計は20℃の一定温度条件とするために恒温室内に設置した。ここでの試験概要図を図4. 2-1に、試験条件を表4. 2-2にそれぞれ示す。

表4. 2-2 高電気伝導度環境下試験条件

	設定圧力(KPa)	設定圧力(kgf/cm ²)	備考
圧力	49	0.5	測定範囲の50%
温度(℃)	20		定温条件

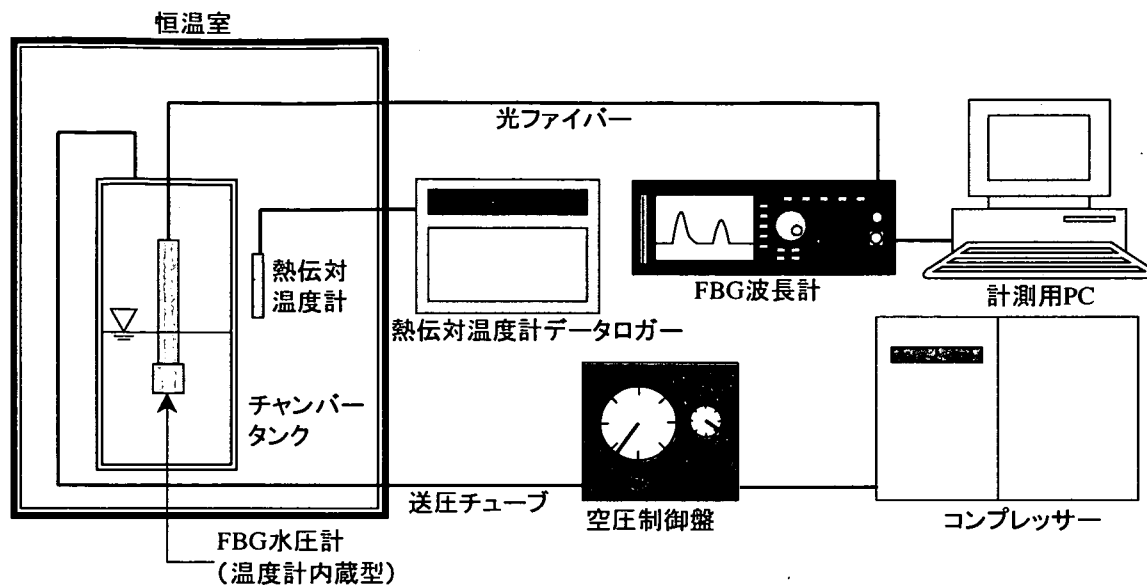


図4.2-1 高電気伝導度環境下試験概要

4.2.3 電気的な影響の有無の検討方法

高電気伝導度環境下に水圧計を設置した後、その電気的な影響の有無を検討するために性能検定を実施した。性能検定方法は4.2.1節に示した手順と同様である。性能検定時の温度設定および圧力設定を表4.2-3に示す。

表4.2-3 比較用性能試験条件

	設定圧力(KPa)	設定圧力(kgf/cm ²)	備考
圧力	0,29,49,73,5,98	0,0,0,3,0,50,75,1,0	加圧過程⇒減圧過程, 20℃
温度(℃)	20		定温条件

ここで得られる結果は4.2.1節と同様に設定圧力と出力値の関係である。塩水条件下での測定の前における設定圧力と出力値の関係を比較し、両者の差異を検討することにより電気的な影響の有無が確認できる。

4.3 試験結果

4.3.1 初期性能検定結果

水圧計に関して、検定により得られた較正式と圧力に対する相関を図4.3-1に示す。同様に、水圧計に内蔵された温度計に関する較正式と温度に対する相関を図4.3-2に示す。いずれの計器も圧力・温度に対して一定以上の相関関係が成立していた。

ここで、それぞれの計器に対する較正式を以下に示す。

圧力計較正式：

$$P=(0.044932 \times (\lambda_p - 1540)^2 - 0.38130 \times (\lambda_p - 1540) + 0.067027) \times 98.0665$$

ここで, P : 圧力 (kPa)

λ_p : 水圧計測定波長(nm)

温度計較正式:

$$T = 38.3663 \times (\lambda_t - 1530) - 39.9065$$

ここで, T : 温度 (°C)

λ_T : 温度計測定波長(nm)

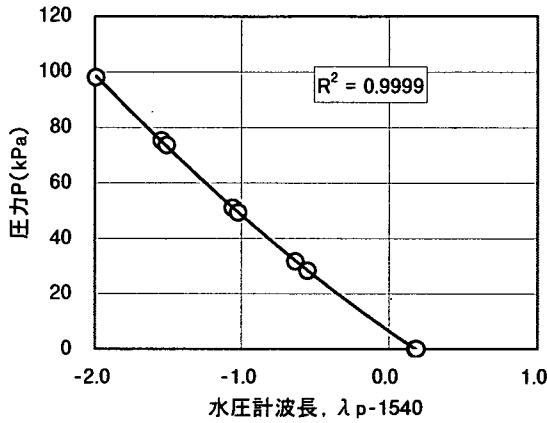


図4. 3-1 水圧計性能試験結果

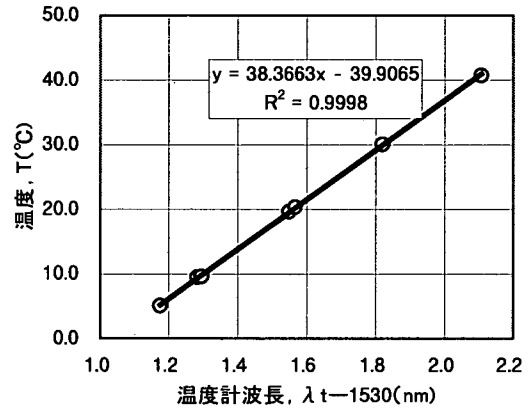


図4. 3-2 温度計性能試験結果

較正式に測定値を代入し, 設定値と比較したところ, 本計器の仕様の測定精度範囲内に収まった。水圧計ならびに温度計の性能検定結果をそれぞれ表4. 3-1, 表4. 3-2に示す。この結果から, 圧力計・温度計は仕様を満たす測定性能を有することが確認できた。

表4. 3-1 水圧計初期性能検定結果

設定圧力 kgf/cm ²	圧力 kgf/cm ²	λ_p nm	λ_p-1540 nm	較正圧力 kgf/cm ²	誤差 kgf/cm ²	精度 %
0.00	0.000	1540.179	0.179	0.000	0.000	-0.021
0.25	0.323	1539.368	-0.632	0.326	-0.003	-0.296
0.50	0.520	1538.942	-1.058	0.521	-0.001	-0.074
0.75	0.767	1538.456	-1.544	0.763	0.004	0.413
1.00	1.000	1538.009	-1.991	1.004	-0.004	-0.431
0.75	0.750	1538.490	-1.510	0.745	0.005	0.476
0.50	0.502	1538.979	-1.021	0.503	-0.001	-0.117
0.25	0.288	1539.452	-0.548	0.289	-0.001	-0.147
0.00	0.000	1540.185	0.185	-0.002	0.002	0.198

表4. 3-2 温度計初期性能検定結果

試験温度 °C	λ_t nm	λ_t-1530 nm	較正温度 °C	誤差 °C
5.07	1531.176	1.176	5.14	0.07
9.49	1531.284	1.284	9.32	-0.17
20	1531.55	1.547	19.43	-0.20
30.04	1531.819	1.819	29.87	-0.17
40.73	1532.107	2.107	40.93	0.20
20.31	1531.566	1.566	20.14	-0.17
9.58	1531.296	1.296	9.78	0.20
4.95	1531.176	1.176	5.14	0.19

4. 3. 2 高電気伝導度環境下試験結果及び考察

水圧計を高電気伝導度環境下に設置した状態での計測結果を図4. 3-3に示す。水圧計は塩水面下30cmの位置に設置した。この状態で水圧計に測定範囲の50%となる圧力を作用させた。図4. 3-3において試験開始後5時間程度で温度計が安定している。それに伴い水圧計も安定傾向となっている。その後の計測期間において水圧計が示した最小値は測定開始から28.8時間で50.4kPa(0.514kgf/cm²),最大値は160時間経過した時点で53.7kPa(0.548kgf/cm²)であった。

計測器には、チャンバーに与えた49.03kPa(0.5kgf/cm²)の圧力に加えて静水圧2.94kPa(0.03kgf/cm²)が作用している。このため51.97kPa(0.53kgf/cm²)が想定される圧力表示であるが、最大誤差が1.77kPa(0.018 kgf/cm²)となっている。

この間に計測条件は水温20℃で一定としている。また、水圧計には先述したように51.97kPaの一定圧力が作用している。しかし、本計測期間において温度は低下傾向、水圧は上昇傾向となっている。ここでの水圧算出には4.3.1で示したように温度計の測定波長を用いている。さらに、本試験で用いた水圧計は温度環境が上昇する時には温度波長は増加、水圧計波長は減少するという特徴がある。これらの特徴と、本計測期間での温度の微小な降下により水圧が上昇したかのような状態になっていると考えられる。

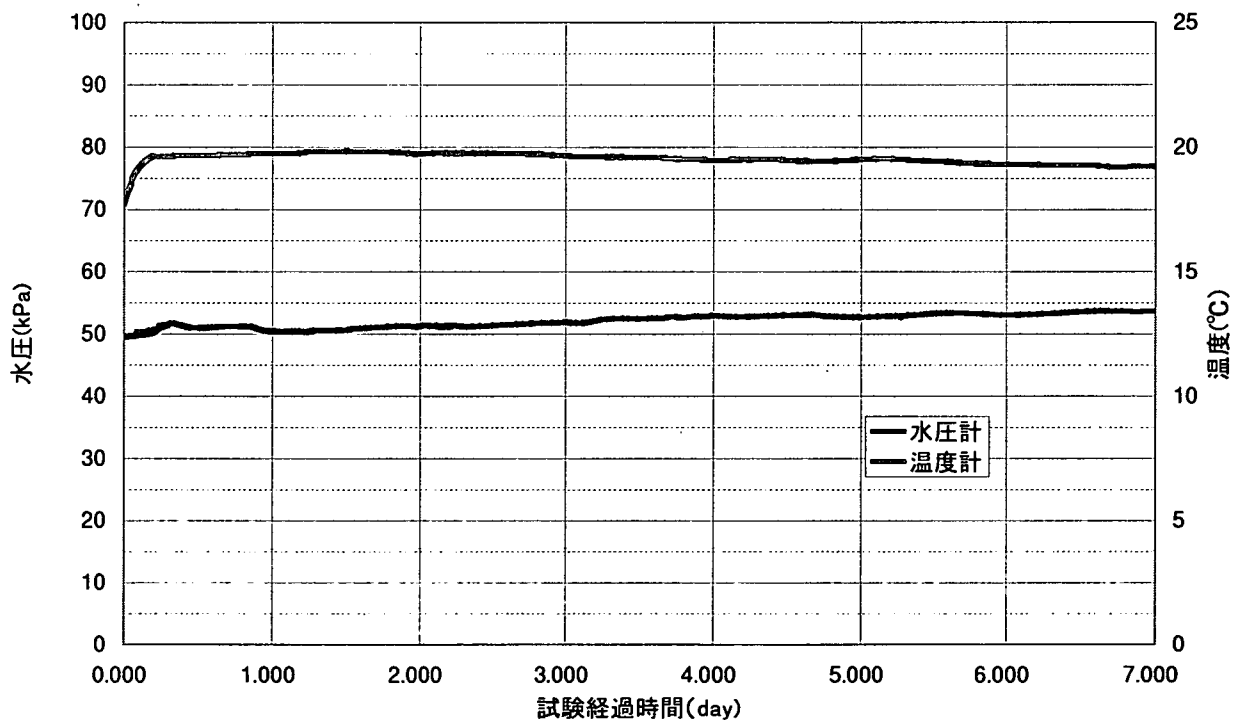


図4. 3-3 高電気伝導度環境下試験結果

4. 3. 3 電氣的な影響の有無の検討結果及び考察

高電気伝導度環境下での計測終了後、水圧計に対する電氣的な影響の有無を確認するために性能検定を実施した。検定手順は計測前に実施した性能検定と同様の手法である。図4. 3-4に性能検定を比較した結果を示す。また、表4. 3-3に検定結果から得られた較正係数を用いた

水圧計の測定精度評価結果を示す。

図4. 3-4において、作用させる圧力が高くなるにしたがって高電気伝導度試験前と試験後の測定波長に若干の差が見受けられる。しかし、表4. 3-4から高電気伝導度環境下試験後においても水圧計の測定精度は使用範囲内に維持されているといえる。

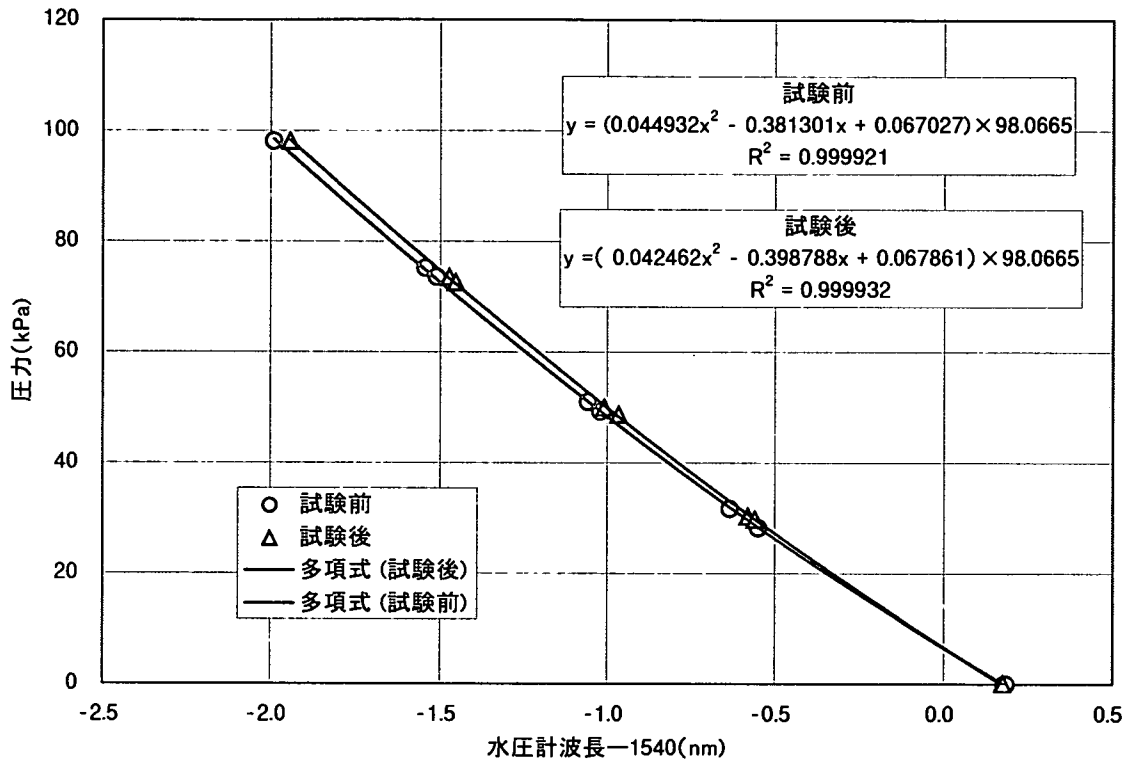


図4. 3-4 性能検定結果比較

表4. 3-3 試験後性能評価結果

圧力	λp	$\lambda p - 1540$	較正圧力	誤差	精度
kgf/cm ²	nm	nm	kgf/cm ²	kgf/cm ²	%
0.000	1540.174	0.174	0.000	0.000	0.024
0.309	1539.422	-0.578	0.313	-0.004	-0.355
0.509	1538.992	-1.008	0.513	-0.004	-0.398
0.750	1538.527	-1.473	0.747	0.003	0.259
1.000	1538.058	-1.942	1.002	-0.002	-0.245
0.740	1538.546	-1.454	0.737	0.003	0.253
0.496	1539.035	-0.965	0.492	0.004	0.377
0.303	1539.443	-0.557	0.303	0.000	-0.016
0.000	1540.176	0.176	-0.001	0.001	0.101

5. 長期耐久性試験

5. 1 目的

地下水圧を観測する場合、測定期間が長期間となることが想定される。ここでは、光ファイバーによる水圧計に温度履歴を与えることによって、長期耐久性を短期間で検討することを目的とする。

5. 2 試験方法

水圧計を高温条件下、低温条件下に一定期間設置し、その前後における水圧計測定結果と比較し、水圧計の性能の長期耐久性を検討した。試験は温度環境を管理するために恒温室内で実施した。試験装置の概要図を図5. 2-1に示す。

本試験を実施する前に、水圧計、温度計の温度に対する反応を確認するために低温(-10℃)から高温(60℃)まで温度変化させ、その間の経時変化を測定した。

次に初期性能検定を実施し、この時点での性能を確認した。その後、水圧計を恒温室内に設置し、水圧計に測定範囲の50%(49.03kPa)となる一定圧力を作用させた。この一定圧力条件下で恒温室を低温および高温条件にそれぞれ1日間設定した。これを1温度サイクルとし、合計4温度サイクル(8日間)の試験条件を行った。

4温度サイクル経過後、性能検定を実施しこの段階での水圧計の性能を確認した。確認方法として、20℃の温度環境下で圧力検定を実施し、水圧計の較正係数と測定精度を評価する方法とした。

その後、再度4温度サイクルの温度条件下に水圧計を設置し、さらに圧力検定を実施した。圧力測定性能が維持されているかどうかの判断方法は、試験前後での圧力性能検定結果の評価によるものとした。

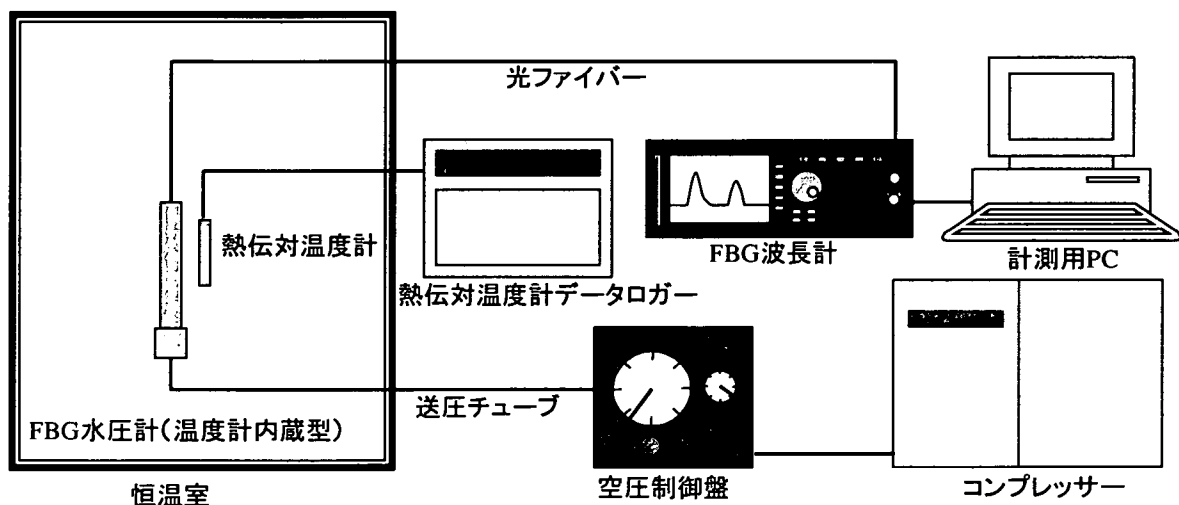


図5. 2-1 長期耐久性試験装置構成概要図

5. 3 試験結果及び考察

1 回目の長期耐久性試験結果を図5. 3-1に, 2 回目の長期耐久性試験結果を図5. 3-2にそれぞれ示す。また, 図5. 3-3に長期耐久性試験の前後に行った性能検定を比較した結果を示す。

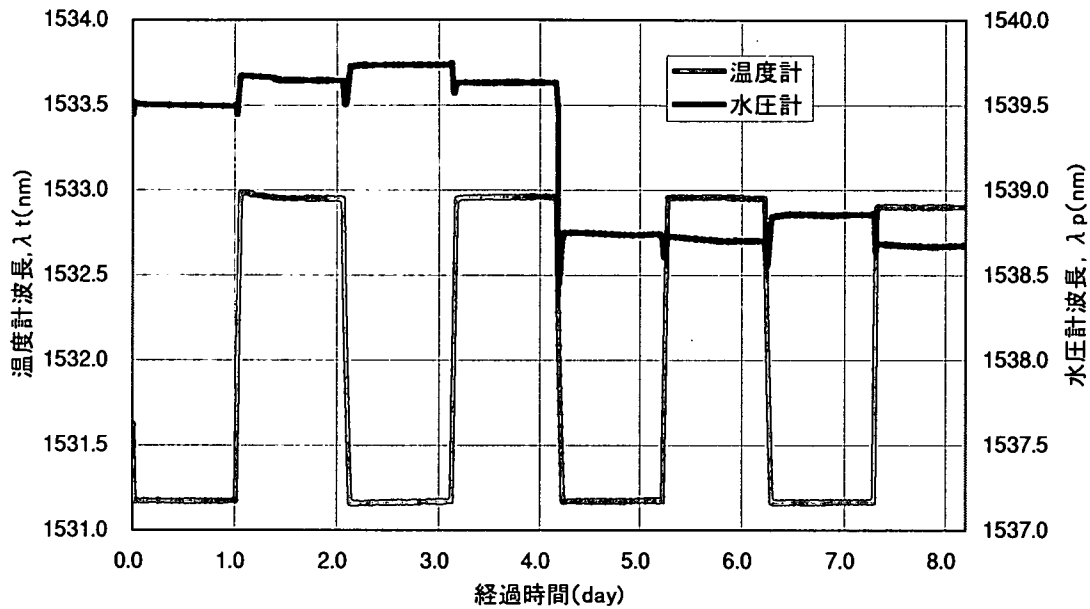


図5. 3-1 長期耐久性試験(1 回目)結果

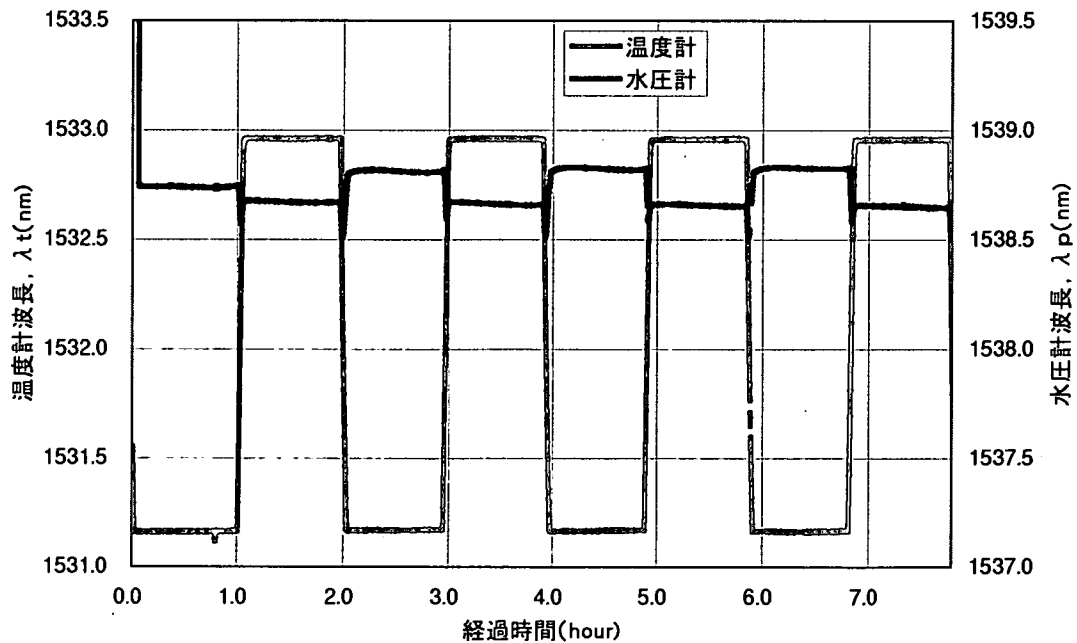


図5. 3-2 長期耐久性試験(2 回目)結果

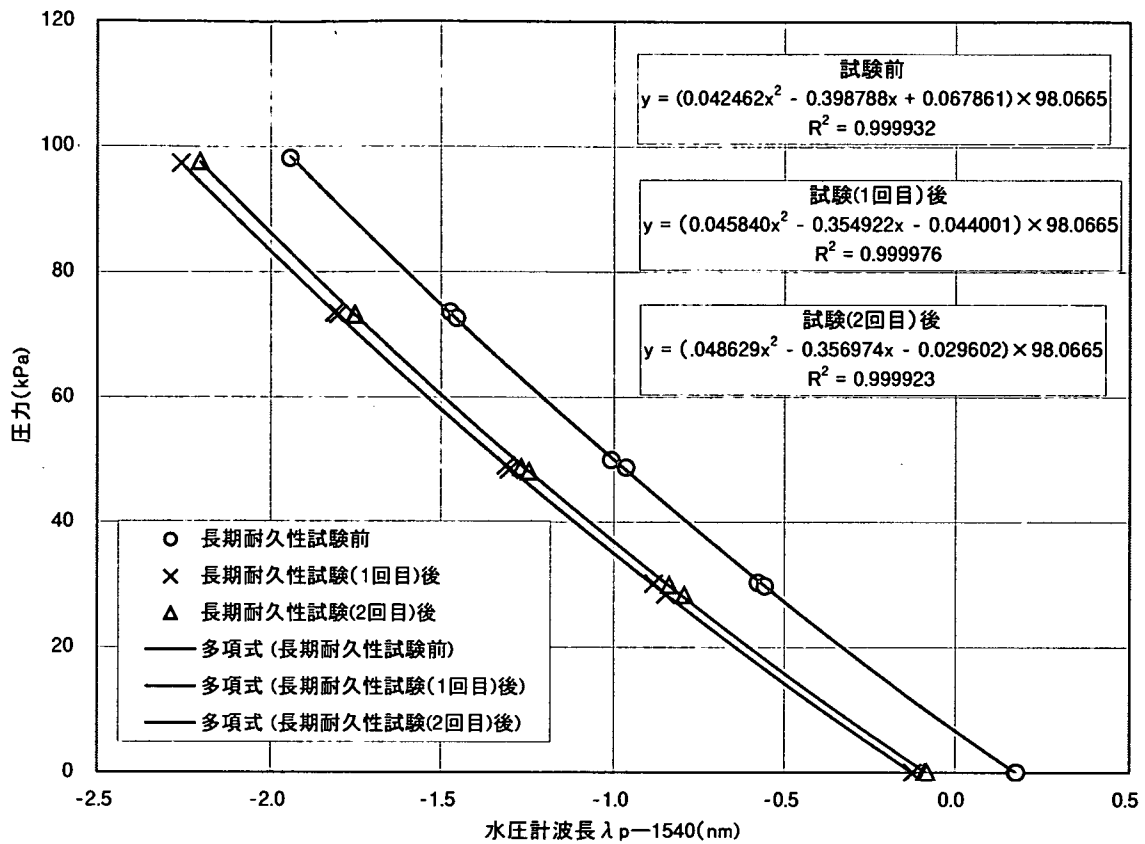


図5.3-3 性能試験比較結果

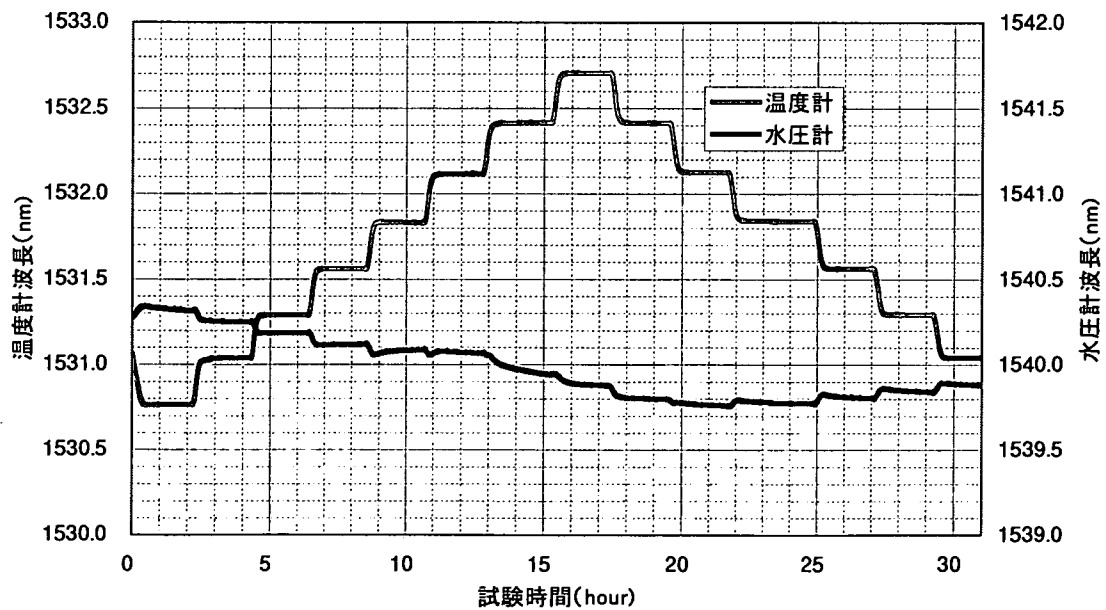


図5.3-4 温度履歴に対する水圧計・温度計の反応

図5. 3-1において、水圧計には試験開始後4日経過するまでは負荷状態を作用させず、5日目から50%FS (49.03kPa) の圧力を作用させている。温度計の測定波長は温度環境の変化に対応しているに対して、水圧計は温度変化に対して一定の傾向を示していない。

図5. 3-2において、水圧計には試験期間を通じて50%FSの圧力を作用させた。低温条件では、初期状態とその後の低温状態でわずかな差があるが、全体としては温度に対する反応は良好であるといえる。

5. 3-3の比較結果において長期耐久性試験の1回目と2回目の後に実施した検定結果は大きな変化はみられないが、長期耐久性試験の前に実施した検定結果とは差がみられた。

この原因となる現象として図5. 3-4を示す。これは長期耐久性試験を実施する前に行った、水圧計の温度に対する反応の測定結果である。この温度反応試験は恒温室内の温度を-10℃から60℃まで上昇させた後に、0℃まで降下させている。この際、温度計は恒温室内の温度に対して精度良く反応しているが、水圧計は40℃付近から挙動がそれまでとは異なった挙動を示している。さらに60℃からの降温過程により再度0℃となった時点で、水圧計は初期の0℃とは異なる測定値を示している。この変化が図5. 3-3における検定結果の差であると考えられる。

ここで、表4.1、表4.2は長期耐久性試験後の水圧計に対する測定性能の評価である。水圧計の測定性能を精度によって評価するならば仕様を満たしているといえるが、図5. 3-1及び図5. 3-4で示したように、ここでの水圧計には温度に対する反応の不安定性がある。水圧計に内蔵されている温度計に関しては特に問題点は見受けられなかった。

表5. 3-1 長期耐久性試験(1回目)後性能評価結果

圧力 kgf/cm ²	λ _p nm	λ _p -1540 nm	較正圧力 kgf/cm ²	誤差 kgf/cm ²	精度 %
0.000	1539.877	-0.123	0.000	0.000	-0.035
0.308	1539.116	-0.884	0.306	0.002	0.243
0.493	1538.698	-1.302	0.496	-0.003	-0.282
0.749	1538.187	-1.813	0.750	-0.001	-0.115
0.992	1537.740	-2.260	0.992	0.000	-0.026
0.747	1538.198	-1.802	0.744	0.003	0.258
0.500	1538.689	-1.311	0.500	0.000	-0.009
0.290	1539.151	-0.849	0.290	0.000	-0.037
0.000	1539.878	-0.122	0.000	0.000	0.002

表5. 3-2 長期耐久性試験(2回目)後性能評価結果

圧力 kgf/cm ²	λ _p nm	λ _p -1540 nm	較正圧力 kgf/cm ²	誤差 kgf/cm ²	精度 %
0.000	1539.913	-0.087	0.002	-0.002	-0.182
0.305	1539.162	-0.839	0.304	0.001	0.109
0.497	1538.732	-1.268	0.501	-0.004	-0.423
0.745	1538.246	-1.754	0.746	-0.001	-0.093
0.995	1537.795	-2.205	0.994	0.001	0.104
0.745	1538.249	-1.751	0.745	0.000	0.050
0.490	1538.755	-1.245	0.490	0.000	-0.016
0.289	1539.205	-0.795	0.285	0.004	0.407
0.000	1539.919	-0.081	0.000	0.000	0.044

6. 品質確認試験

6. 1 目的

現在光ファイバーによる地下水圧観測システムに使用している水圧計の測定値の信頼性や制度などのデータの品質確認を目的とする。

6. 2 試験方法

試験方法としては、当該水圧計(FOS&S 社製、以下「光式水圧計」と記述)と別機構を有する水圧計を設置し測定値を比較する。ここでは比較用に DRUCK 社製の水圧計(測定範囲0～100kPa,測定精度±0.1%, 以下「電気式水圧計」と記述)のものを用いた。

両水圧計を水深が GL-200.0m となる試錐孔に設置した。設置深度は GL-5.2m 付近とし、設置時の水面は GL-0.3m であった。ここでの品質確認試験の概要を図6. 1に示す。

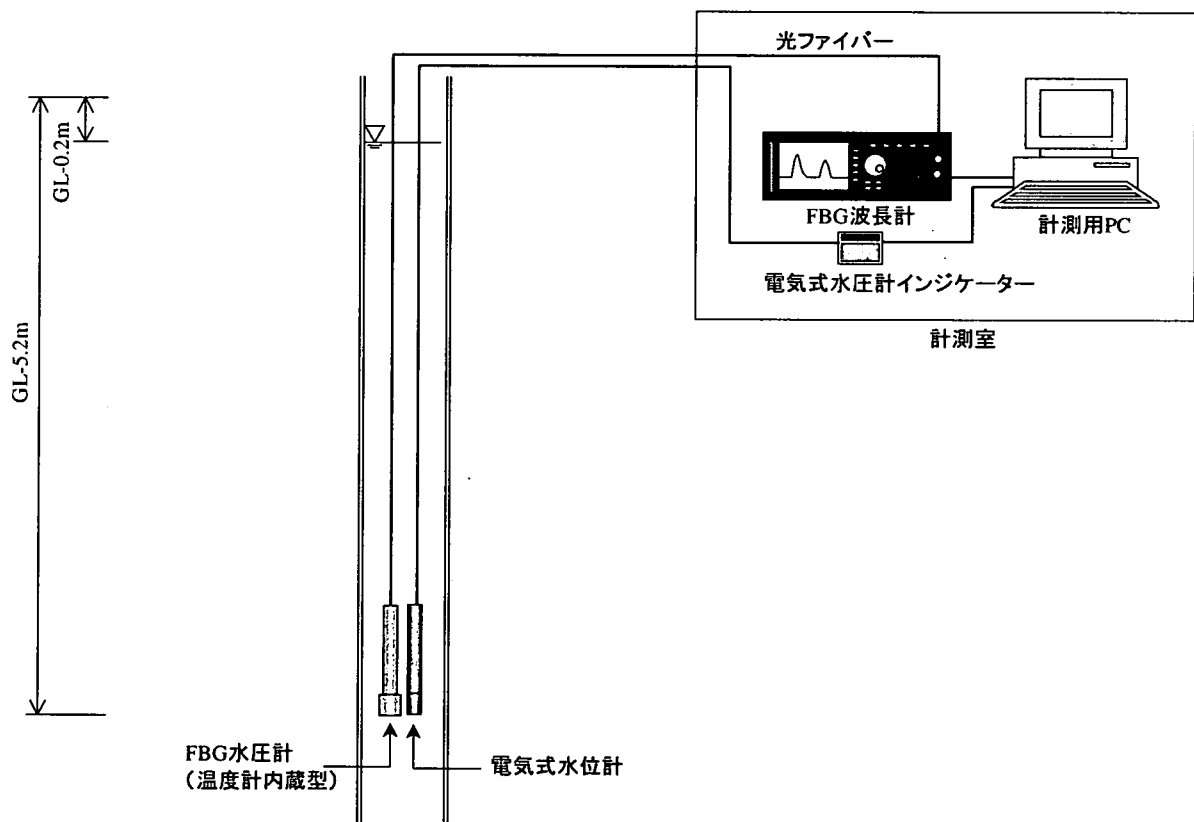


図6. 1 品質確認試験概要図

6. 3 試験結果

図6. 2に光式水圧計ならびに電気式水圧計での水圧測定結果を示す。光式水位計の較正式に関して、ここでは水温が測定開始前の水温が 11℃であったため、10℃の環境下で実施した性能試験から得られた較正係数を用いた。較正係数を以下に示す。

水圧計較正式：

$$P = (0.035776 \times (\lambda_p - 1540)^2 - 0.31008 \times (\lambda_p - 1540) - 0.015967) \times 98.0665$$

ここで、 P ：圧力 (kPa)

λ_p ：水圧計波長 (nm)

温度計較正式： $T=383663(\lambda-1530)-39906$

ここで、 T ：温度 (°C)

λ_T ：温度計測定波長(nm)

本測定において電気式水圧計が示した水圧は測定開始後 90 時間で 48.03kPa(0.4897kgf/cm²)であった。また、光式水圧計が示した水圧は同時点で 48.65kPa(0.496kgf/cm²)であった。この時点において両者の測定誤差は 0.62kPa(0.0063kgf/cm²)となり、水頭にして 6.3cm(0.63%FS)であった。また、温度計による測定水温は 10.5°Cであった。

最終的には両水位計とも比較的精度良く水圧を測定しているものの、光式水圧計は測定期間中の水温変動の影響を受けている。また、計測開始当初には両水位計の測定値に誤差が生じている。これらの現象の原因としては、光式水圧計の温度特性の変化が考えられる。

本試験で用いた較正係数は高電気伝導度環境下試験を実施する以前に行った性能検定時のものである。本品質確認試験までに段階的に実施してきた、20°C環境下での性能試験では仕様を満たす結果となっていた。そのため、各試験による影響はないと考え、温度環境を変えた性能試験は実施しなかった。しかし、図5. 3-4に示したような現象が生じたため、温度特性に変化が生じたと考えられる。今回の測定結果を評価するためには、温度特性を考慮した較正係数の取得が再度必要となる。

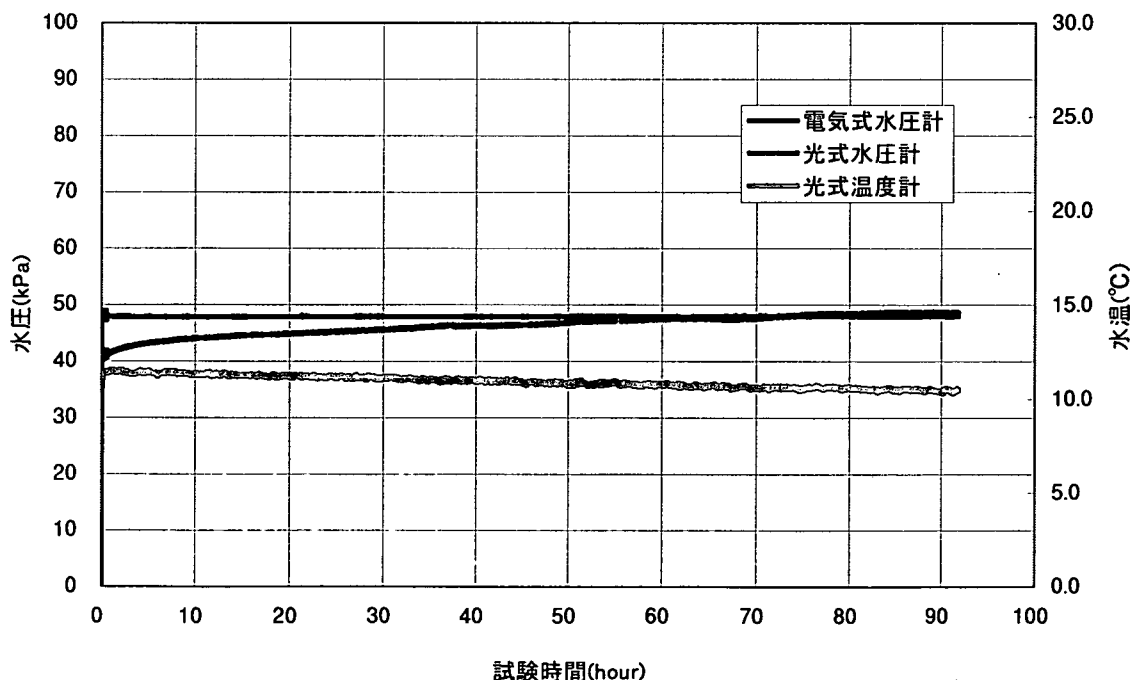


図6. 2 光式および電気式水圧計による水圧測定結果

7. 測定小屋の避暑対策

7. 1 目的

地上観測小屋の中に収納している測定システムのうち、データ測定装置(FBG 測定器)の作動温度の上限は 40℃である。夏季には室内温度が 40℃を超える可能性があることから、作動温度を確保するために避暑対策を実施する。

7. 2 避暑対策方法

観測小屋に空調および断熱材を設置することにより、避暑対策とした。詳細を以下に示す。空調の設置としては、観測小屋の側壁に穴を開けて換気扇を設置した。排気口は風雨や鳥、虫などの侵入を防ぐため、金網を張ったエルボー型の塩化ビニルパイプを設置した。

また、直射日光による熱を遮断するために屋根には発砲プラスチックなどからなる断熱シートを貼り付けた板を設置した。

8. データの遠隔回収システムの設置

8. 1 目的

データ回収の効率性の改善を図る。

8. 2 遠隔回収システムの概要

現場の水圧測定データを事務所で回収するシステムを設置する。図8. 1に遠隔監視システムの概要図を示す。遠隔監視は、現場計測用パソコンと携帯電話を接続しておき、遠隔監視パソコンから現場計測用パソコンにダイヤルアップ接続することにより行う。現場データは電話回線を用いて、現場から事務所側へ送信する。取得したデータは遠隔監視用ソフトウェアにてグラフ化する。遠隔監視用ソフトウェアの監視画面を図8. 2に示す。遠隔監視システムの詳細は付録に示す。

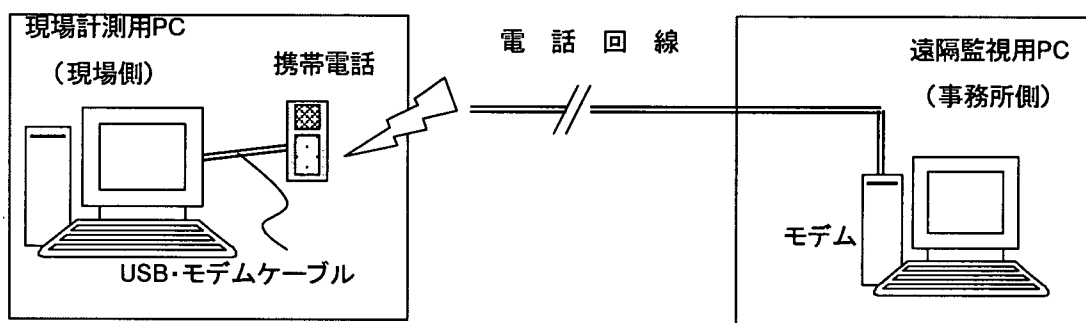


図8. 1 遠隔監視システム概要

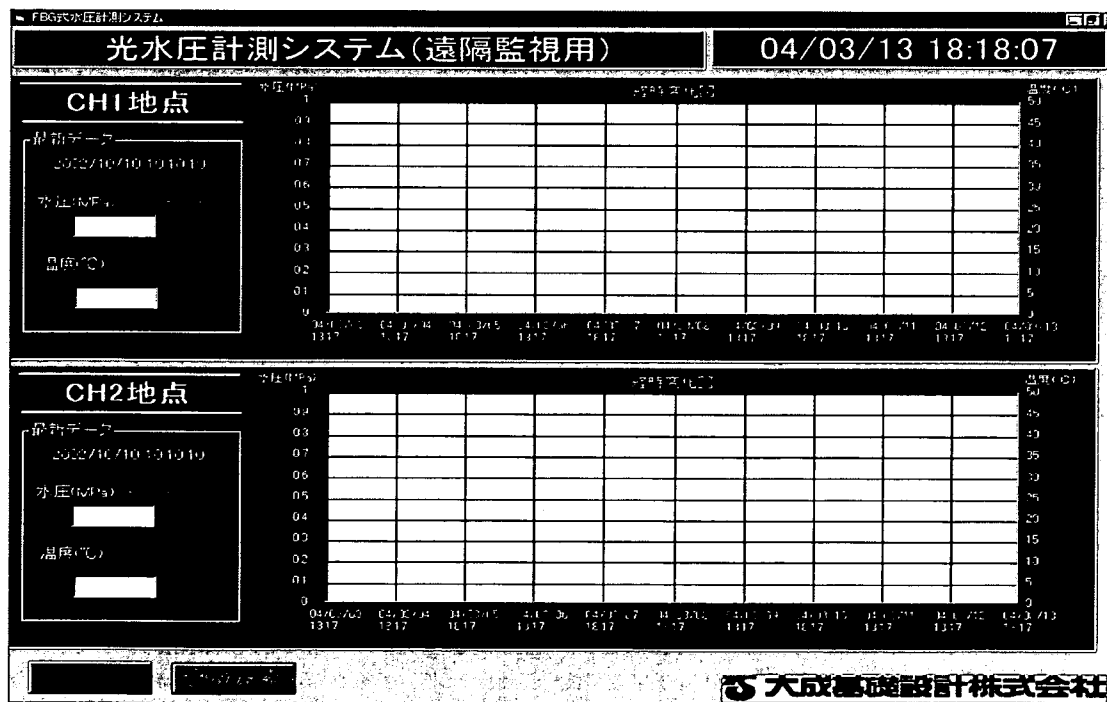


図8. 2 遠隔監視画面

9. おわりに

地下水圧観測システムの核となる光ファイバーを用いた水圧計は、高電気伝導度環境下試験の前後および長期耐久性試験の前後の検定時において測定仕様を満たすものであった。しかし、本試験全体で評価した場合以下の問題点が残る。

- ① 図4. 3-4のように高電気伝導度環境下試験の前後で、高圧条件下では水圧計の反応に差があった。
- ② 図5. 3-1, 図5. 3-4のように、水圧計は温度に対して一定の反応を示さない場合がある。

①は測定再現性に関する問題点、②は温度特性に関する問題点であるといえる。②は図5. 3-2のように温度作用履歴を繰り返すことによって解消できる可能性がある。

①, ②のような現象は水圧計の構造特性（温度特性）、もしくはセンサ特性に起因する可能性も考えられるが、今回の試験結果からは原因が特定できない。

光ファイバーを用いた水圧計を長期間の現場測定に適用するためには、これらの問題点の解決が今後の課題となるといえる。

参考文献

- 1) 国立天文台編：理科年表，第73冊，丸善，pp.694～699. (2000)