

地下水観測データ等の解析に係る作業

(核燃料サイクル開発機構 契約業務報告書)

2004年3月

応用地質株式会社

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
Tel: 029-282-1122 (代表)
Fax: 029-282-7980
e-mail: 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

2004年3月

地下水観測データ等の解析に係る作業
(核燃料サイクル開発機構 契約業務報告書)

応用地質株式会社

要 旨

本調査では、地震活動等に伴う岩盤内の水理変化を解明することを目的に、東濃鉦山およびその周辺の試錐孔を利用した地下水観測および地殻変動観測データの整理・解析等を行った。その結果、地震動の前後に、地下水位が変化する事例を複数確認することができ、基盤の土岐花崗岩周辺の地震に対する応答特性を把握することができた。

本報告書は、応用地質株式会社が核燃料サイクル開発機構東濃地科学センターとの契約により実施した業務成果に関するものである。

目 次

	頁
1. はじめに	1
1. 1 業務概要	1
1. 2 成果品の内容	1
2. 調査観測孔の概要	3
2. 1 調査観測孔の地質の概要	3
2. 2 調査観測孔における観測項目と観測対象地層の概要	4
3. 観測システムの紹介	5
3. 1 システム構成(概要)	5
3. 2 各ボーリング孔におけるシステム構成	9
3. 2 データ回収方法	18
3. 3 データの取扱い	22
3. 4 トラブル対策	24
4. 調査観測孔の観測データ解析結果の概要	30
4. 1 東濃鉾山周辺の地下水位・間隙水圧の経時変化における特徴	30
4. 2 気圧に対する地下水位・感激水圧の応答特性	34
4. 3 東濃鉾山周辺の地下水位・間隙水圧の地震に伴う変動の特徴の概観	37
4. 4 まとめ	48
5. 観測結果	49
6. まとめ	56

別添資料

観測装置保守・データ整理手順書

CD-R、DVD-R

1. はじめに

本報告書は、核燃料サイクル開発機構 東濃地科学センターのご依頼により、応用地質株式会社が実施した内容についてまとめたものである。

1.1 業務概要

(1) 契約件名

地下水観測データ等の解析に係る作業

(2) 目的

地震活動等に伴う岩盤内の水理変化を把握することを目的に、地下水観測および地殻変動観測データの整理、解析等を行った。

(3) 場所

サイクル機構東濃地科学センター，東濃鉦山敷地内および周辺地域の試錐孔
97FT-01, 98-FE-01, SN-1, SN-3, TH-7, TH-8, BH-1 (計7孔)

(図1.1 位置図参照)

(4) 期間

自)平成16年1月14日

至)平成16年3月10日

(5) 業務内容

①観測データの整理	1式
②観測データの解析	1式
③観測装置保守・データ整理手順書の作成	1式
④報告書の作成	1式

(6) 業務実施体制

応用地質株式会社中部支社

〒463-8541

愛知県名古屋市守山区瀬古東2丁目907番地

Tel:052-793-8321 Fax:052-794-8477

細田 宏(技術士:応用理学) 応用地質(株)中部支社 地盤技術部 副部長

下山昌宏(地質調査技士) 応用地質(株)中部支社 地盤技術部

永野修一 応用地質(株)中部支社 地盤技術部

1.2 成果品の内容

- ・本報告書
- ・観測装置保守・データ整理手順書
- ・CD-R、DVD-R

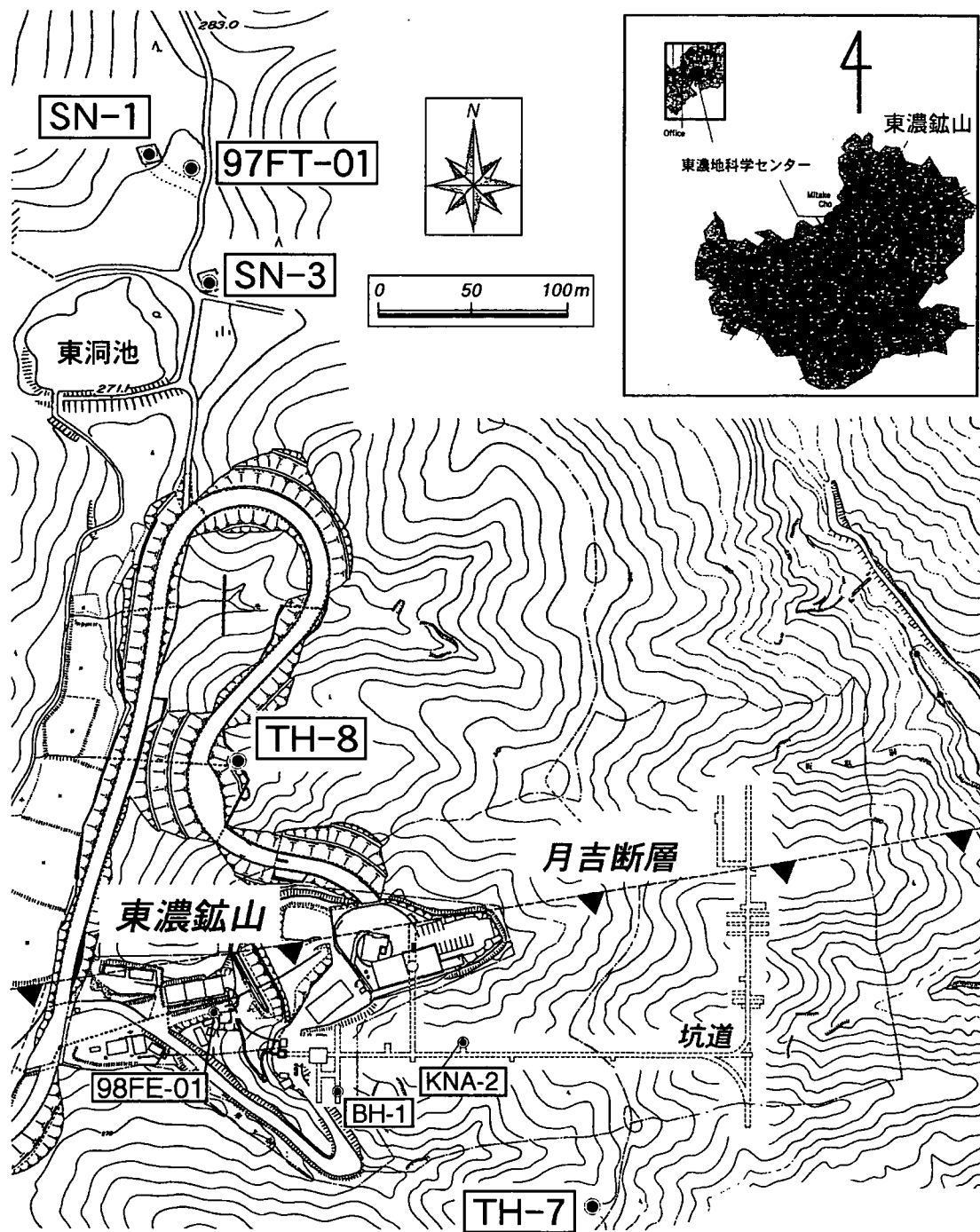


図1.1 調査位置図(東濃鉦山周辺)

2. 調査観測孔の概要

2.1 調査観測孔の地質の概要

図2.1に調査観測孔の地質柱状図(図1.1の北北西-南南東断面)および、東濃鉦山周辺を含んだ周辺地域(土岐市泉町河合-瑞浪市明世町戸狩)の地質断面図(北北西-南南東断面)を示す。観測孔の地下水位・間隙水圧・地殻歪観測点も併せて示す。

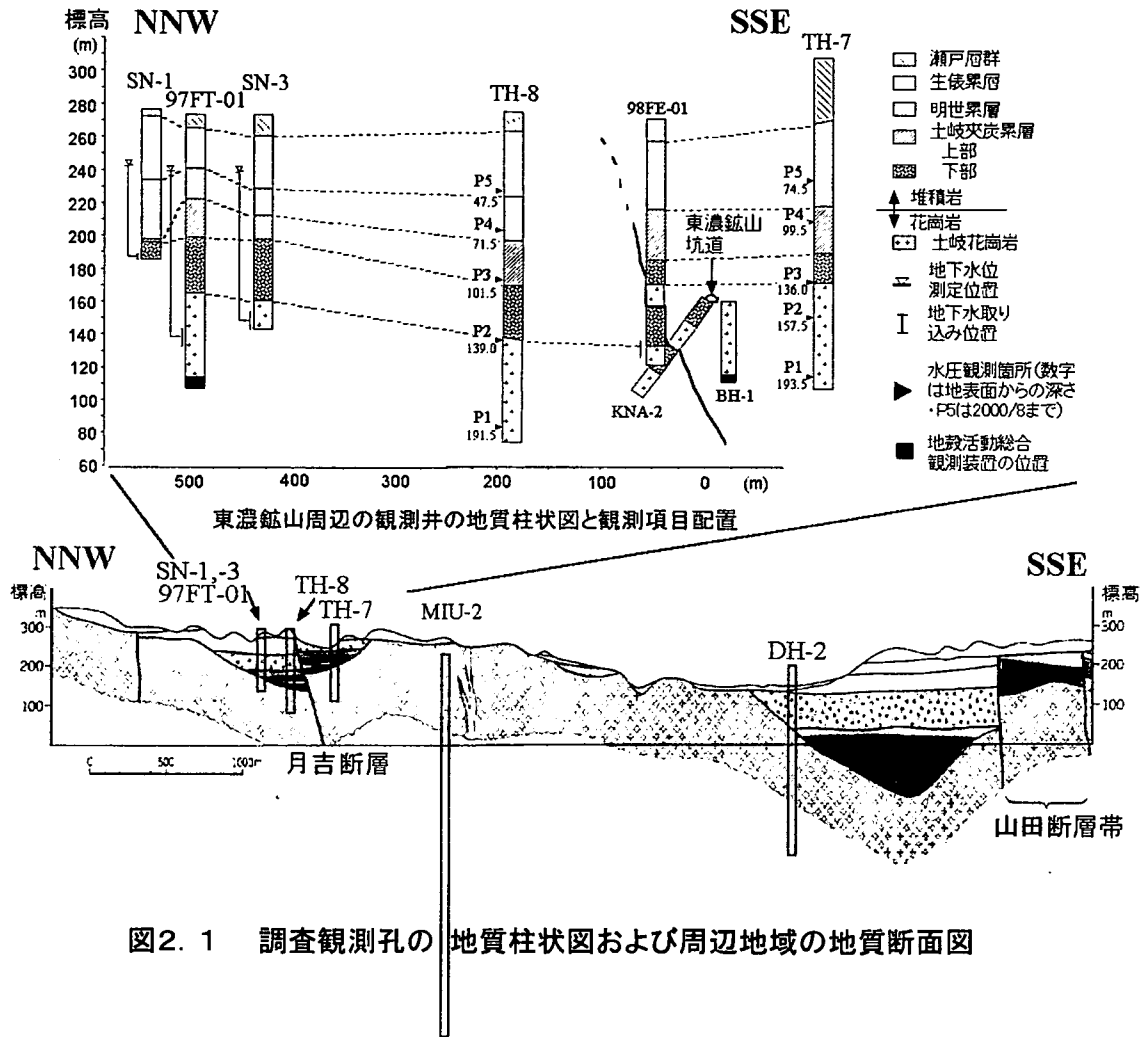


図2.1 調査観測孔の地質柱状図および周辺地域の地質断面図

東濃鉦山周辺の地質は、土岐・瑞浪市街を中心にはぼ円形に分布する白亜紀末期に貫入した基盤の土岐花崗岩の上に、中新統の湖成又は海成堆積層である瑞浪層群(下層から土岐夾炭累層下部・土岐夾炭累層上部、明世累層、生俵累層)や、更にその上に瀬戸層群が堆積することで形成されている。基盤である土岐花崗岩は、所々地表に露出し、厚い堆積層は東濃鉦山周辺や、土岐市・瑞浪市の市街地などに散在している。また、東濃鉦山をほぼ東西に月吉断層が走っている(図1.1、図2.1)。この断層は北盤下りの逆断層で上下の変位は約30mに達する。

2. 2 調査観測孔における観測項目と観測対象地層の概要

各調査観測孔における観測項目や観測対象としている地層（の透水層）・月吉断層に対する位置関係を整理すると、以下の様になる。

観測点	観測項目	対象としている地層	月吉断層との位置関係
97FT-01	地下水位・水温 ・歪・傾斜・加速度・地温	土岐花崗岩	北側（下盤）
98FE-01	地下水位・水温	土岐花崗岩	北側（下盤）
SN-1	地下水位・水温	土岐夾炭累層下部	北側（下盤）
SN-3	地下水位・水温 （・気圧・雨量）	土岐花崗岩	北側（下盤）
TH-8 P1	地下水圧・水温	土岐花崗岩	北側（下盤）
TH-8 P2	地下水圧・水温	土岐花崗岩/夾炭累層	北側（下盤）
TH-8 P3	地下水圧・水温	土岐夾炭累層上部	北側（下盤）
TH-8 P4	地下水圧・水温	明世累層	北側（下盤）
TH-8 P5	地下水圧・水温 （・気圧・気温）	生俵累層	北側（下盤）
TH-7 P1	地下水圧・水温	土岐花崗岩	南側（上盤）
TH-7 P2	地下水圧・水温	土岐花崗岩	南側（上盤）
TH-7 P3	地下水圧・水温	土岐花崗岩/夾炭累層	南側（上盤）
TH-7 P4	地下水圧・水温	土岐夾炭累層上部	南側（上盤）
TH-7 P5	地下水圧・水温 （・気圧・気温）	明世累層	南側（上盤）
BH-1	歪・傾斜・加速度・地温	土岐花崗岩	南側（上盤）

地下水位観測（4箇所：97FT-01、98FE-01、SN-1、SN-3）の対象としている深度（ストレーナー設置位置）や主な地下水位の位置、そして間隙水圧観測位置（2箇所：TH-7、TH-8×5深度、2000/10以降は更に2-3深度増加）やボアホール総合観測装置（2箇所：97FT-01、BH-1（東濃鉦山坑道内））の設置位置は、図2.1の調査観測孔の柱状図に示している。TH-7、TH-8での多深度水圧観測では、幾つかのパッカーで区切られた観測対象区間に水圧プローブを設置して、その区間の帯水層の水圧・水温の連続観測を行っている。ボアホール総合観測装置（地殻歪水平3成分・傾斜2成分・地温1成分・加速度3成分）は、周囲の岩盤と馴染むようにモルタルを使用して埋設されている。

3. 観測システムの紹介

3. 1 システム構成（概要）

東濃鉱山坑内、およびその周辺に、地震活動等に伴う岩盤内の水理変化を把握することを目的に、各種計測センサーがボーリング孔内に設置されている。それらの各計測器には、モデム、ルーターが接続されており、電話回線や ISDN 回線によりホストコンピュータで測定データを回収することが可能である。

計測センサーが設置されているボーリング孔は、全部で5孔であり、この他に独立して Westbay 社の MP システムの観測センサー（MOSDAX スtringス）を設置しているボーリング孔がある。図3. 1. 1に観測システムの構成図を示す。

また、測定器として、Catfish II（コニカメディカル社製、写真1）、LS3000（白山工業社製、写真2）および ECD-1000/1100（近計システム社製、写真3）の3種類を使用している。さらに、TH-7およびTH-8では、Westbay社のMPシステムを使用している（写真4）。表1. 1. 1に各ボーリング孔における測定センサーと測定器の概説と配置場所の一覧表を示す。これらの測定器によって得られたデータは、データサーバーに蓄積され、電話回線もしくは LAN（ローカルエリアネットワーク）で、ホストコンピュータから回収することが可能である。

表3. 1. 1 測定センサーと測定の概説と配置場所の一覧表

観測機器	特 徴	SN-1	SN-3	97FT-01	98FE-01	BH-1	TH-7,8
水位計	・圧力センサー ・DC4-20mAアナログ出力 ・気温の影響を受ける	○	○	○	○		
水温計	・1/1000の分解能 ・DC±10mVアナログ出力 ・気温の影響を受ける(恒温槽)	○	○	○			
水晶水温計	・最低で1/10000の分解能 ・A/D変換によりデジタル出力 ・温度の影響小(地下水が恒温槽)	○	○		○		
ポアホール地核活動総合観測装置	・歪(3成分) ・傾斜(2成分) ・加速度(上下各3成分) ・地温 ・バッテリー駆動			○ (ラジオで時刻校正)		○	
間隙水圧計	・MOSDAX(MPシステム)						○
Catfish II	・1分(1秒)サンプリング ・水位、アナログ水温、雨量を計測	○	○	○			
データマーク (LS3000)	・DC±2V ・1分サンプリング			○ (LS3000)	○ (LS3300)	○ (LS3300)	
ECD(近計)	・1秒(一部100Hz)サンプリング	○ (ECD-1000)	○ (ECD-1000)	○ (ECD-1100)	○ (ECD-1000)	○ (ECD-1100)	

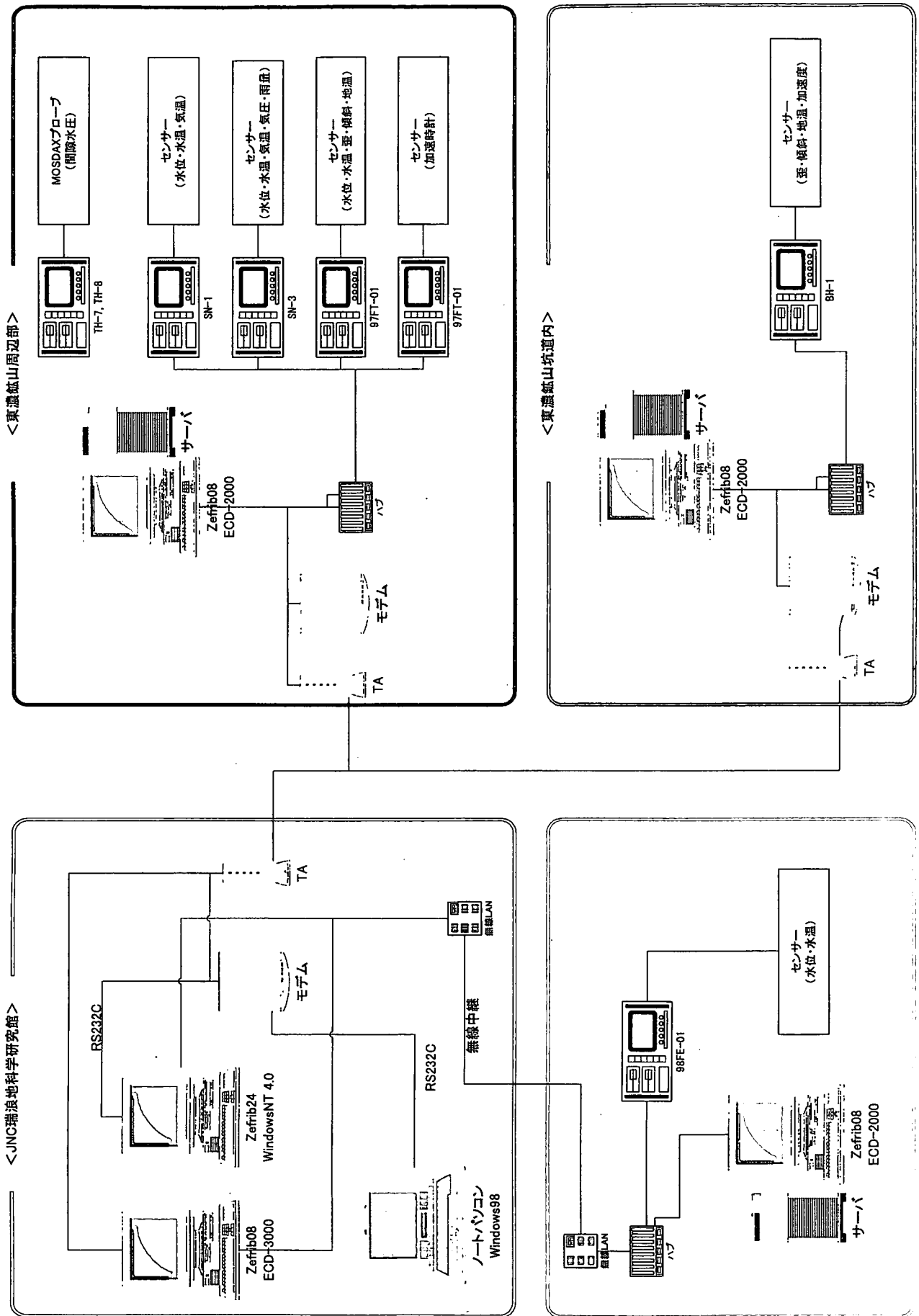


図 3. 1. 1 観測システム構成図 (概略)



写真1 Catfish II



写真2 LS-3000/3300



写真3 LDC-1000/1100

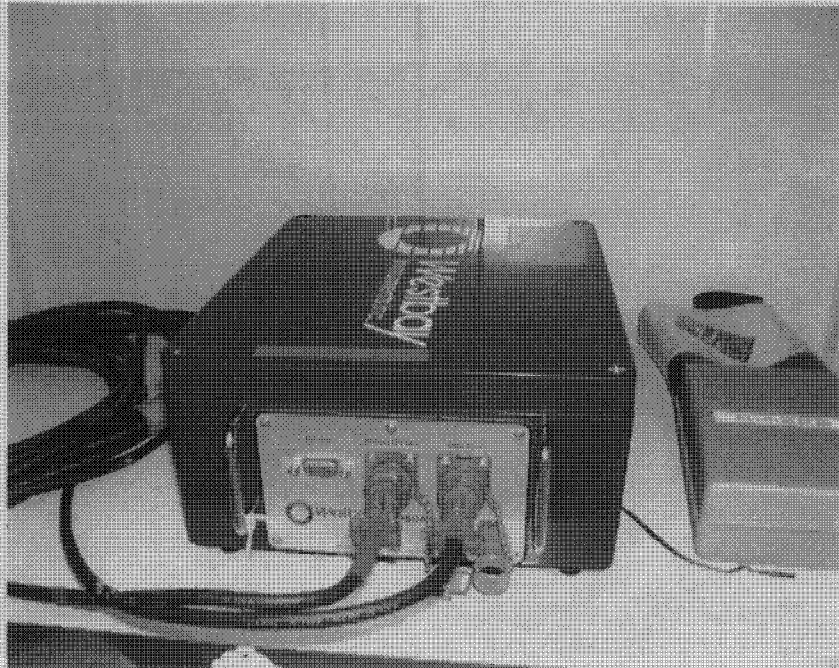


写真4 MDL (Westbay 社)

3. 2 各ボーリング孔におけるシステム構成

以下では、各ボーリング孔におけるセンサーやロガーの接続状況について示す。

(1) 97FT-01 孔

図3. 2. 1に97FT-01号孔の測定システム構成図を示す。ボーリング孔97FT-01には、データ収録器としてデータマーク (LS3000)、Catfish II、ICカードおよびECD-1100の4種類が設置されている。それぞれモデムもしくはハブに接続されているため、電話回線などによりデータの回収が可能となっている。また、表3. 2. 1に各センサーのロガーまでの接続一覧表を示す。

ボーリング孔97FT-01には、3成分の加速度計がボーリング孔内とボーリング孔口付近に設置されており、それらのデータは「ICカード」に保存される。ICカードに保存されたデータは、電話回線を通して回収プログラム「SMAC-CG」により回収される。ECD-1100で測定されたデータは、ECD-2000に接続しているサーバーに保存され、データはこのサーバーに接続することにより回収する。データ回収方法の手順については、後述する。

表3. 2. 1 各センサーのロガーまでの接続状況一覧表

ロガー	チャンネル	接続
Catfish II	1~4ch: 空き	水位計(DC4~20mV出力)→ディストリビューター(DC1~5Vに変換) 水温計(DC±10mV出力)→DCアンプ(DC±5Vに変換)
	5ch: 水位(1分サンプリング)	
	7ch: 水位(1秒サンプリング)	
	8ch: 水温	
LS3000	1~3ch: 歪計	ボアホール総合観測装置(DC±10V出力)→端子盤 →絶縁アンプ、ゲイン付(DC±2Vに変換)
	4~5ch: 傾斜計	
	6ch: 地温	水位計(DC4~20mV出力)→ディストリビューター(DC1~5Vに変換) →DCアンプ(±2Vに変換) 水温計(DC±10mV出力)→DCアンプ(DC±5Vに変換) →DCアンプ(DC±2Vに変換)
	7ch: 水位	
	8ch: 水温	
ICカード	1~3ch: 3成分加速度計(孔底)	ボアホール総合観測装置(DC±10V出力)→端子盤 →SMAC-MD地震計
	4~6ch: 3成分加速度計(地上)	
ECD-1000	1ch: 水位	ボアホール総合観測装置(DC±10V出力)→端子盤 →ADボード(デジット値に変換)
	2ch: 空き	
	3~5ch: 歪計	ボアホール総合観測装置(DC±10V出力)→端子盤 →ADボード(デジット値に変換)
	6ch: 空き	
	7~8ch: 傾斜計	

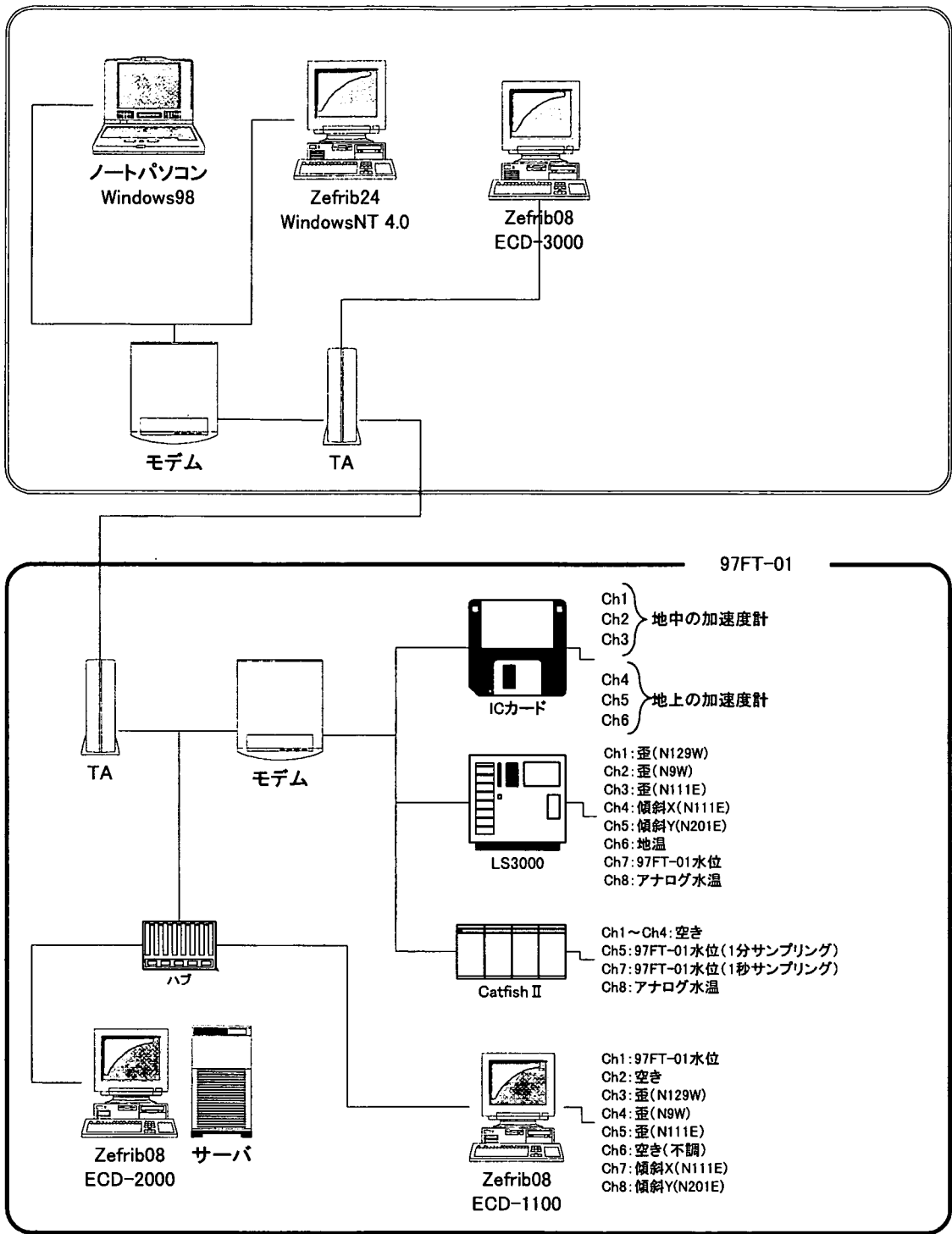


図 3. 2. 1 観測システム構成図 (97FT-01 号孔)

(2) BH-1 孔

図 3. 2. 2 に BH-1 号孔の測定システム構成図を示す。ボーリング孔 BH-1 には、データ収録器としてデータマーク (LS3300)、IC カードおよび ECD-1100 の 3 種類が設置されている。それぞれモデムもしくはハブに接続されているため、電話回線などによりデータの回収が可能となっている。また、表 3. 2. 2 に各センサーのロガーまでの接続一覧表を示す。

ボーリング孔 BH-1 には、3 成分の加速度計がボーリング孔内とボーリング孔口付近に設置されており、それらのデータは「IC カード」に保存される。IC カードに保存されたデータは、電話回線を通して回収プログラム「SMAC-CG」により回収される。ECD-1100 で測定されたデータは、ECD-2000 に接続しているサーバーに保存され、データはこのサーバーに接続することにより回収する。データ回収方法の手順については、後述する。

表 3. 2. 2 各センサーのロガーまでの接続状況一覧表

ロガー	チャンネル	接続
LS3000	1~3ch: 歪計 4~5ch: 傾斜計 6ch: 空き 7ch: 地温 8ch: 空き	ボアホール総合観測装置(DC±10V出力)→端子盤 →絶縁アンプ、ゲイン付(DC±2Vに変換)
ICカード	1~3ch: 3成分加速度計(孔底) 4~6ch: 3成分加速度計(地上)	ボアホール総合観測装置(DC±10V出力)→端子盤 →SMAC-MD地震計
ECD-1000	1ch: 地温 2ch: 空き 3~5ch: 歪計 6ch: 空き 7~8ch: 傾斜計	ボアホール総合観測装置(DC±10V出力)→端子盤 →ADボード(デジット値に変換) ボアホール総合観測装置(DC±10V出力)→端子盤 →ADボード(デジット値に変換)

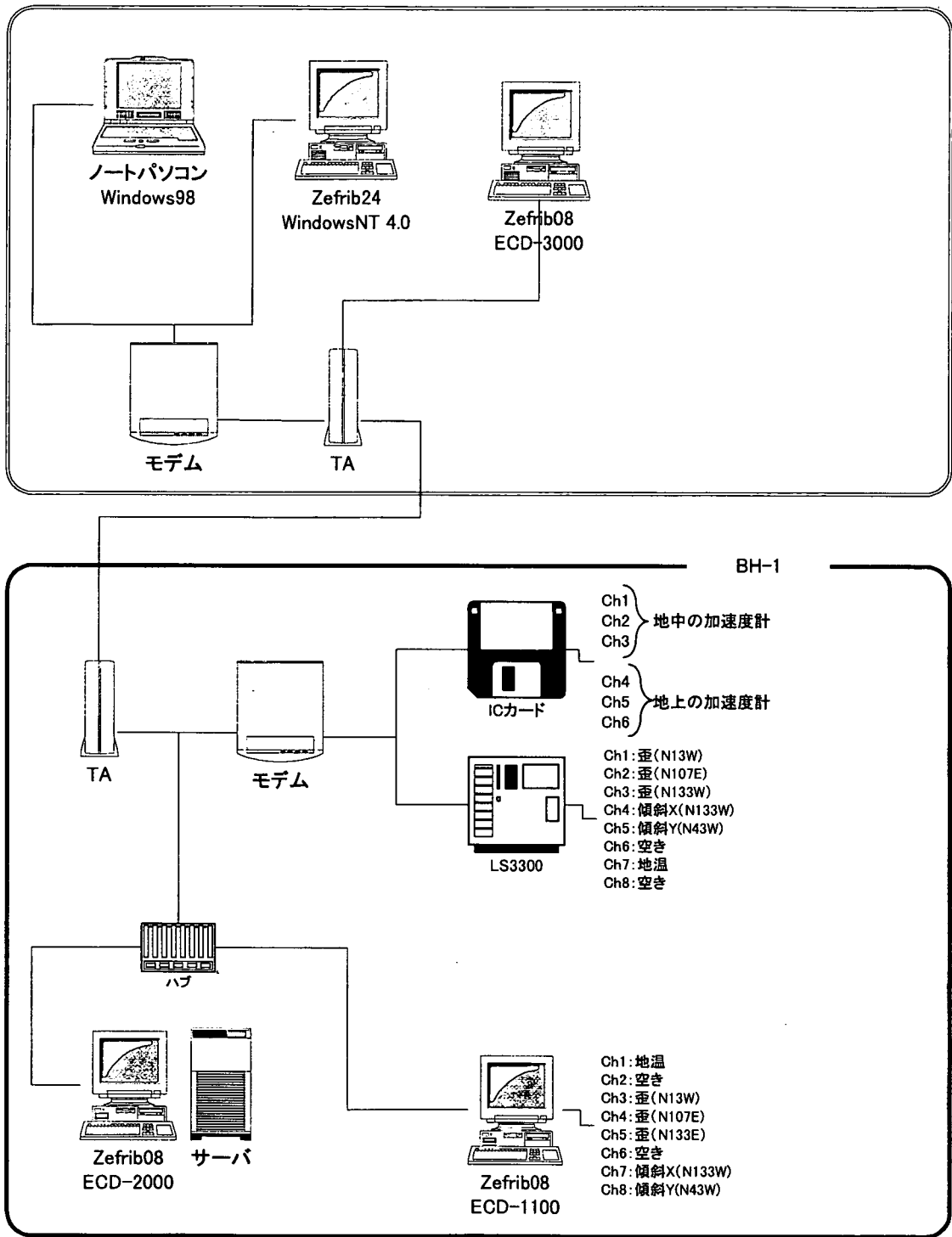


図 3. 2. 2 観測システム構成図 (BH-1 号孔)

(3) SN-1、SN-3 孔

図3. 2. 3にSN-1号孔およびSN-3号孔の測定システム構成図を示す。これらのボーリング孔には、データ収録器としてCatfish IIおよびECD-1100の2種類が設置されている。それぞれモデムもしくはハブに接続されているため、電話回線などによりデータの回収が可能となっている。SN-1号孔およびSN-3号孔で得られたデータは、97FT-01号孔の観測小屋に設置しているECD-2000に接続しているサーバーに保存される。

ECD-1100で測定されたデータは、ECD-2000に接続しているサーバーに保存され、データはこのサーバーに接続することにより回収する。データ回収方法の手順については、後述する。

(4) 98FE-01 孔

図3. 2. 4に97FE-01号孔の測定システム構成図を示す。これらのボーリング孔には、データ収録器としてLS3300およびECD-1100の2種類が設置されているが、LS3300はモデムに接続していないため、電話回線によるデータの回収は不可能である。ECD-1100は、モデムもしくはハブに接続されているため、電話回線などによりデータの回収が可能となっている。

ECD-1100で測定されたデータは、ECD-2000に接続しているサーバーに保存され、データはこのサーバーに接続することにより回収する。データ回収方法の手順については、後述する。

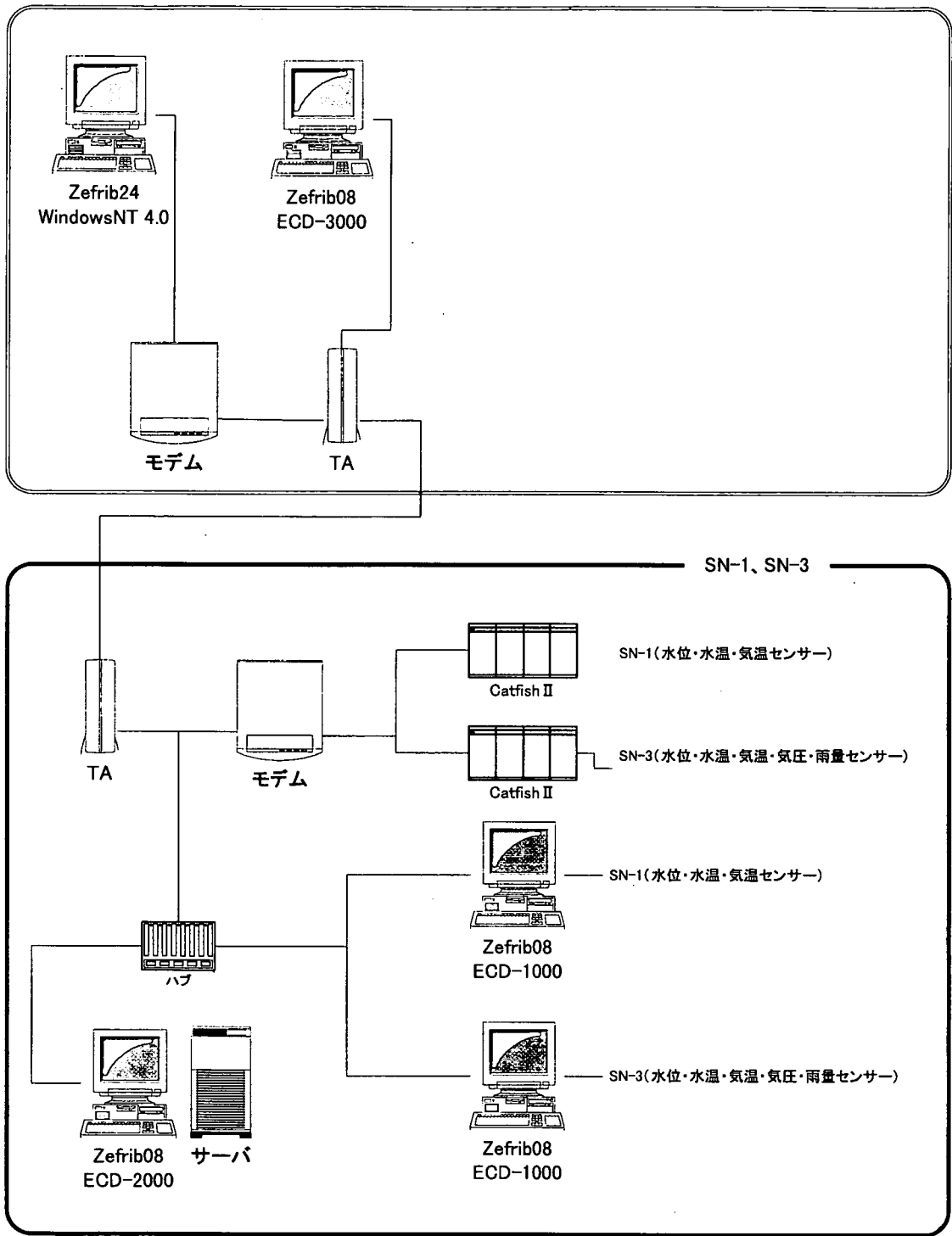


図 3. 2. 3 観測システム構成図 (SN-1 号孔、SN-3 号孔)

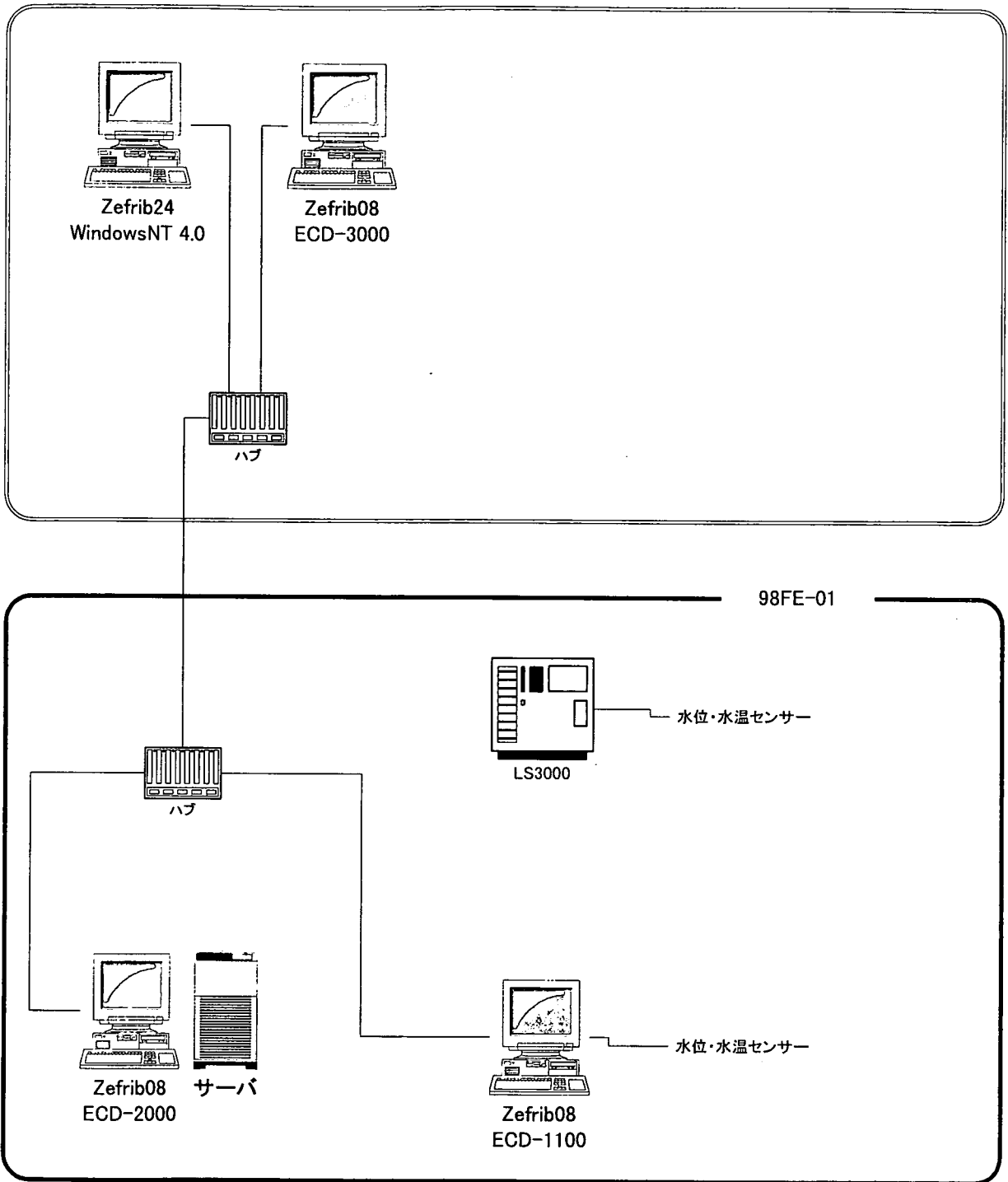


図 3. 2. 4 観測システム構成図 (97FE-01 号孔)

(5) TH-7,TH-8 孔

TH-7 および TH-8 孔には、地盤の間隙水圧を測定するために、Westbay 社の MP システムの MOSDAX ストリングプローブが設置されている。各プローブは、データロガー (MDL) に接続されており、設定したサンプリング間隔で測定を行う。データロガーには、電話回線が設備されていないため、測定データはモデムを介して回収することはできない。そのため、データはパソコンをシリアルケーブルで接続して回収を行う。

表 3. 2. 3 および表 3. 2. 4 に各孔の各プローブの設置深度の一覧表を示し、図 3. 2. 5 に測定システムのプロット図を示す。

表 3. 2. 3 プローブ設置深度一覧表 (TH-7)

ポート番号	深度(m)	標高(m)	シリアル番号	測定レンジ
地上	0.0	275.782	1905	
1	47.5	228.282		
2	71.5	204.282	1836	100psia
3	101.5	174.282	1835	250psia
4	116.5	158.282	1834	250psia
5	121.0	154.782	1833	250psia
6	128.5	147.282	1832	250psia
7	139.0	136.782	1831	1000psia
8	155.5	120.282	1830	1000psia
9	191.5	84.282	1829	1000psia

表 3. 2. 4 プローブ設置深度一覧表 (TH-8)

ポート番号	深度(m)	標高(m)	シリアル番号	測定レンジ
地上	0.0	308.702	1904	
1	74.5	234.202		
2	85.0	223.702	1841	100psia
3	99.5	209.202	1840	100psia
4	124.0	184.702	1839	100psia
5	130.0	178.702	1838	100psia
6	136.0	172.702	1837	100psia
7	157.5	151.202	1797	1000psia
8	193.5	115.202	1796	1000psia

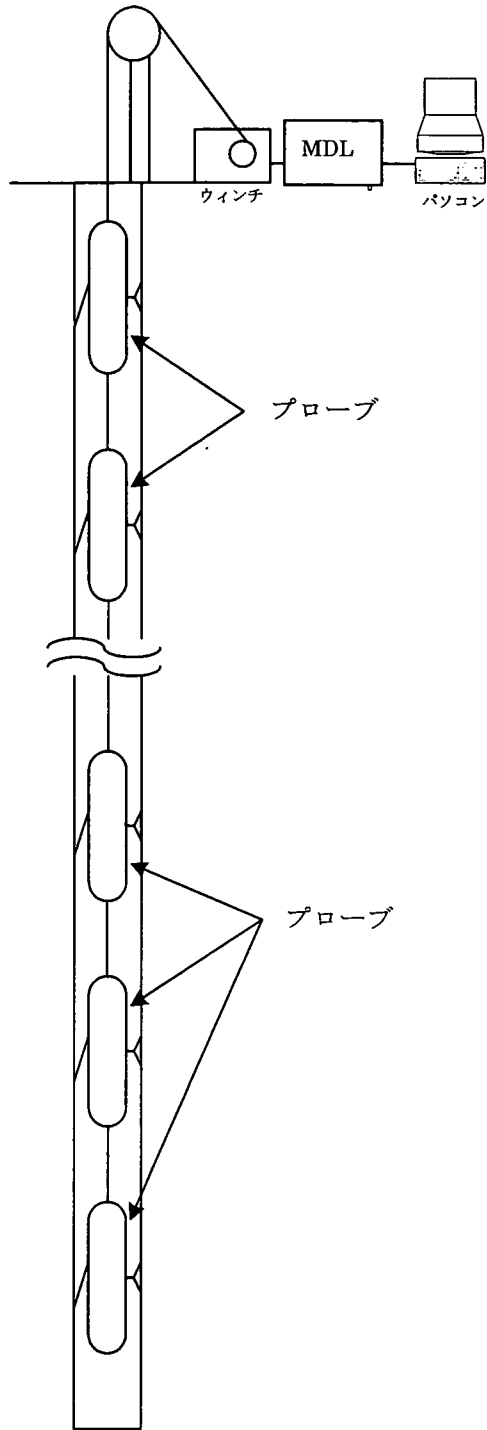


図3. 2. 5 MPシステム (測定概念図)
(MOSDAX スtringスプローブ)

3. 2 データ回収方法

各ボーリング孔のセンサーは、電話回線などによりデータ回収が可能であり、2種類の回収方法がある。TH-7、TH-8号孔に関しては、電話回線で接続されていないため、現地に赴きパソコンによりデータを回収する。

3. 2. 1 Zefrib24 を用いたデータ回収方法

この方法は、BH-1 および 97FT-01 号孔に設置しているデータロガーLS3000 に保存されているデータを回収する方法である。

回収されたデータは、「D:\¥EG-data¥Autodata」フォルダ内に自動的に保存され、「97FT****.dt3」は 97FT-01 孔のデータファイル、「Toun****.dt3」は BH-1 孔のデータとなる。「****」には観測日が記入され、例えば「97FT0306.dt3」というファイルが作成されたならば、2003 年 5～6 月に観測された 97FT-01 孔のデータであることを意味する。また、得られたデータはバイナリフォーマットであるため、テキストフォーマットに変換する必要がある。

得られたデータの一例を図 3. 2. 1 に示す。計測データは、基本的に 1 分サンプリングであり、各チャンネルは±2V の範囲の電圧値である。

The diagram shows a table of data with the following structure:

	日時、時間	ch番号	ch番号							
			1	2	3	4	5	6	7	8
1	00/03/17	10:57	-1.5910	0.3443	-0.4901	0.8597	0.0562	0.9528	-0.7474	-0.1003
2	00/03/17	10:58	-1.5905	0.3446	-0.4901	0.8593	0.0558	0.9528	-0.7468	-0.1000
3	00/03/17	10:59	-1.5908	0.3447	-0.4899	0.8590	0.0555	0.9528	-0.7467	-0.0980
4	00/03/17	11:00	-1.5911	0.3448	-0.4902	0.8595	0.0559	0.9528	-0.7469	-0.0980
5	00/03/17	11:01	-1.5909	0.3448	-0.4901	0.8597	0.0563	0.9528	-0.7464	-0.1019
6	00/03/17	11:02	-1.5910	0.3447	-0.4903	0.8593	0.0558	0.9528	-0.7465	-0.1018

Labels in the diagram: '日時、時間' points to the first two columns; 'ch番号' points to the third column and the header of the last eight columns; 'データ(電圧値)' points to the data values in the last eight columns.

図 3. 2. 1 データフォーマットの例

3. 2. 2 Zefrib8 を用いたデータ回収方法

SN-1,SN-3,97FT-01,BH-1,98FE-01 孔では、ECD-1000 で測定され、それらの測定データは同小屋に設置されている ECD-2000 に接続しているサーバーに保存される。Zefrib8 を用いたデータ回収方法は、このサーバーに保存されているデータを回収する方法である。

回収されたデータは、各孔ごとのフォルダに保存され、更にサンプリング時間ごとにフォル

ダに保存される。表3. 2. 1に各孔の測定データのフォルダ一覧表を示す。これらは、回収時に自動的に各孔のフォルダに保存され、ファイル名はサンプリング時間と日時で表示される。

表3. 2. 1 測定データフォルダ一覧表

フォルダ名	ボーリング孔名	備考	ファイル名(例)	
sn-ft	sn360m	SN-3	SN-3孔の1時間データの1日ファイル	20000401m60
	sn310m		SN-3孔の10分データの1日ファイル	20000401m10
	sn31m		SN-3孔の1分データの1日ファイル	20000401m10
	sn31s		SN-3孔の1秒データの1日ファイル	20000401s1
	sn160m	SN-1	SN-1孔の1時間データの1日ファイル	20000401m60
	sn110m		SN-1孔の10分データの1日ファイル	20000401m10
	sn11m		SN-1孔の1分データの1日ファイル	20000401m10
	sn11s		SN-1孔の1秒データの1日ファイル	20000401s1
	97f60m	97FE-01	97FE-01孔の1時間データの1日ファイル	20000401m60
	97f10m		97FE-01孔の10分データの1日ファイル	20000401m10
	97f1m		97FE-01孔の1分データの1日ファイル	20000401m10
	97f1s		97FE-01孔の1秒データの1日ファイル	20000401s1
tme	98f60m	98FT-01	98FT-01孔の1時間データの1日ファイル	20000401m60
	98f10m		98FT-01孔の10分データの1日ファイル	20000401m10
	98f1m		98FT-01孔の1分データの1日ファイル	20000401m10
	98f1s		98FT-01孔の1秒データの1日ファイル	20000401s1
tmn	bh160m	BH-1	BH-1孔の1時間データの1日ファイル	20000401m60
	bh110m		BH-1孔の10分データの1日ファイル	20000401m10
	bh11m		BH-1孔の1分データの1日ファイル	20000401m10
	bh11s		BH-1孔の1秒データの1日ファイル	20000401s1

得られるデータフォーマットの一例を図3. 2. 2に示す。計測データは、基本的に1秒サンプリング（BH-1のみ100Hzサンプリング）で行い、そのデータから1分データ、10分データ、60分データを自動作成する。使用していないチャンネルは、「00000」で表示され、「日付・時間・各チャンネルのデータ・各チャンネルの設定」の数字の羅列となる。SN-3、SN-1、98FE-01に設置しているECD-1000では、データは0~65535(=2¹⁶-1)の間で表示され、BH-1では0~6553500(=(2¹⁶-1)×100)で表示される。また、データファイル中の「各チャンネルの設定」欄に表示されている数字の意味は、以下の通りである。

- 1 : ±10V ⇔ -10V→0 表示、+10V→65535 表示
- 5 : 0~+10V ⇔ 0V→0 表示、+10V→65535 表示
- 2 : ±2V ⇔ -2V→0 表示、+2V→65535 表示
- 0 : 使用していない

日時、時間	データ(0~65535表示)								各チャンネルの設定									
2000-04-01 00:00:00.000	29548	32752	25382	00000	00000	00000	00000	00000	5	1	5	0	0	0	0	0	0	0
2000-04-01 01:00:00.000	29625	32735	25331	00000	00000	00000	00000	00000	5	1	5	0	0	0	0	0	0	0
2000-04-01 02:00:00.000	29692	32726	25339	00000	00000	00000	00000	00000	5	1	5	0	0	0	0	0	0	0
2000-04-01 03:00:00.000	29759	32702	25283	00000	00000	00000	00000	00000	5	1	5	0	0	0	0	0	0	0
2000-04-01 04:00:00.000	29804	32737	25259	00000	00000	00000	00000	00000	5	1	5	0	0	0	0	0	0	0
2000-04-01 05:00:00.000	29795	32766	25395	00000	00000	00000	00000	00000	5	1	5	0	0	0	0	0	0	0
2000-04-01 06:00:00.000	29773	32756	25534	00000	00000	00000	00000	00000	5	1	5	0	0	0	0	0	0	0

図 3. 2. 2 データフォーマット例 (SN-3)

3. 2. 3 TH-7、TH-8 孔データ回収方法

TH-7、TH-8 については、電話回線により接続されていない。したがって、測定データは現場に赴き、パソコンを直接ロガーに接続させ回収する方法しかない。回収には専用のプログラム「Mlog32」を使用する。データロガーにモデムを接続することにより、電話回線などによるデータ回収は可能である。

得られるデータは、バイナリフォーマットであるため、テキストフォーマットのファイルに変換する必要があるが、これは専用プログラム「Mout」を使用する。ファイルの一例を図 3. 1. 3 に示す。得られるデータは、各プローブの圧力値と温度値であり、それぞれの単位はプログラム上で任意に設定することができる。また、変換後のデータは、CSV フォーマット（カンマ区切りフォーマット）である。

TIME DATE	PRB-0 PRES. (Kpa)	PRB-0 TEMP. (C)	PRB-1 PRES. (Kpa)	PRB-1 TEMP. (C)	PRB-10 PRES. (Kpa)	PRB-10 TEMP. (C)
Wed Mar 01 15:15:55 2000	99.61	27.78	9790.03	37.1	1136.86	19.84
Wed Mar 01 15:16:55 2000	99.61	27.62	9790.44	37.1	1136.83	19.83
Wed Mar 01 15:17:55 2000	99.61	27.45	9790.44	37.1	1137.29	19.84
Wed Mar 01 15:18:55 2000	99.62	27.26	9790.03	37.1	1137.25	19.83
Wed Mar 01 15:19:55 2000	99.62	27.06	9790.03	37.1	1137.29	19.84
Wed Mar 01 15:20:55 2000	99.62	26.83	9790.44	37.1	1136.83	19.83
Wed Mar 01 15:21:55 2000	99.62	26.6	9790.84	37.1	1136.86	19.84
Wed Mar 01 15:22:55 2000	99.62	26.37	9790.44	37.1	1137.29	19.84
Wed Mar 01 15:23:55 2000	99.62	26.12	9790.03	37.1	1136.83	19.83
Wed Mar 01 15:24:55 2000	99.62	25.89	9790.84	37.1	1136.86	19.84
Wed Mar 01 15:25:55 2000	99.62	25.67	9790.44	37.1	1136.4	19.83
Wed Mar 01 15:26:55 2000	99.62	25.47	9790.44	37.1	1137.29	19.84
Wed Mar 01 15:27:55 2000	99.63	25.28	9790.44	37.1	1136.83	19.83
Wed Mar 01 15:28:55 2000	99.62	25.08	9790.84	37.1	1136.86	19.84
Wed Mar 01 15:29:55 2000	99.63	24.89	9790.13	37.09	1137.25	19.83

図3. 2. 3 データフォーマット例

3.3 データの取扱い

回収したデータについて、Zefrib24 を使用して以下の作業が実施可能である。

- ① データのバックアップ
- ② 観測データのグラフ化

以下に各方法について述べる。

(1) データのバックアップ

回収されたデータは、Zefrib8 の内蔵ハードディスクに保存される。内蔵ハードディスクに何らかの支障が発生した場合、データの紛失・消去される可能性がある。そのような支障が起きる前に、データのバックアップが必要である。

データのバックアップは、Zefrib24 の外付け用ハードディスクに保存され(写真参照)、バックアップの方法は巻末資料にまとめる。



写真 バックアップ用ハードディスク

(2) 観測データのグラフ化

データの時間経緯変化を確認するために、Zefrib24 に保存されているプログラムでグラフを参照することが可能である。グラフの作成方法については、巻末資料にまとめる。

図 3. 3. 1 に測定結果の一例を示す。

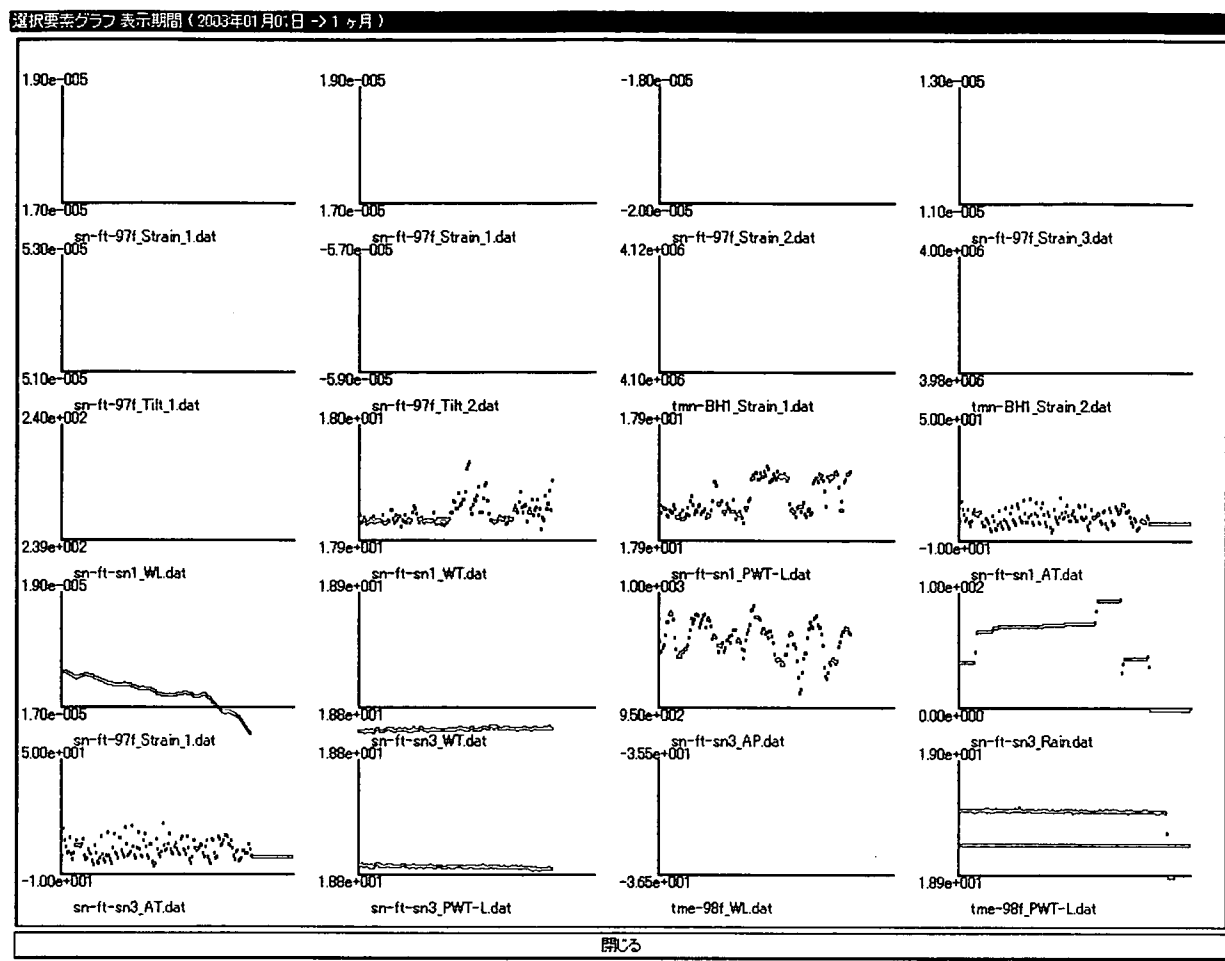


図 3. 3. 1 観測データ一例

3. 4 トラブル対策

3. 4. 1 通信不可

本観測システムは、ロガーやパソコンは、電話回線、LAN 回線、ISDN 回線によりネットワークを形成している。これらの回線が、何らかの症状により通信ができないことが起きる可能性がある。以下では、通信が出来ない場合の対応策について述べる。

通信ができない症状の原因として以下のものが挙げられる。

- ① 通信回線の異常
- ② 測定器本体の異常

(1) LAN 回線の場合

通信回線の異常と考えられる場合の確認方法として、「ping」コマンドを使用した方法がある。これは、測定器やターミナルアダプター、パソコンに割り当てた IP アドレスを入力することに、簡単なダミーデータを相手に送信し、そのデータが返信されるかを確認する方法である。具体的には、コマンドプロンプトより

: >ping IP アドレス

と入力する。表 3. 4. 1 に観測システムを構成している機器の IP アドレスの一覧表を示す。

回線に異常が無ければ、ダミーデータの送受信は 1 秒弱で終了するが、異常がある場合は送受信の時間が大きい、もしくは返信されないことが見られる。これにより、回線の異常を確認することができる。

設置場所	機器名	IPアドレス
管理棟	TAルータ	192.168.10.1
	Zefrib8	133.188.250.24
	Zefrib24	133.188.250.37
東濃鉾山周辺部	TAルータ	192.168.1.1
	ECD1000(97FT-01)	192.168.1.2
	ECD1000(SN-1)	192.168.1.3
	ECD1000(SN-3)	192.168.1.4
	UPS(97FT-01)	192.168.1.5
	UPS(SN-1)	192.168.1.6
	UPS(SN-3)	192.168.1.7
	ECD2000	192.168.1.10
東濃鉾山坑道内	TAルータ	192.168.174.1
	ECD1000(BH-1)	192.168.174.9
	ECD2000	192.168.174.10
	UPS(BH-1)	192.168.174.12
98FE-01	ECD2000	133.188.76.26
	ECD1000	133.188.76.27

表 3. 4. 1 IP アドレス一覧表

(2) 電話回線の場合

LS3000 のデータを回収するプログラムを使用する。

まず、通常の操作により 97FT-01 号孔へ通信を試みる。その時、通信が出来ない場合は、BH-1 号孔へ通信を試みる。どちらのボーリング孔にも通信しない場合は、通信回線に異常があると考えられる。一方、どちらかが通信可能であれば、通信回線よりもデータロガーなどの機器に異常があると考えられる。

機器に異常があると考えられる場合は、現地に赴き、対処を行う必要がある。一番の効果的な方法は、測定器本体の電源の On/Off である。

また、サーバーに保存されたデータ量が多すぎて、通信できないこともある。したがって、サーバーの容量も確認する必要がある。

3. 4. 2 停電時の対策

観測システムのロガーや観測機器は、停電復旧に伴って、自動復旧を行う。正常に復旧したか否かは、その後得られるデータ値の状況で判断する。

ただし、管理棟に設置しているデータ回収用パソコン Zefrib24 および Zefrib8 は、それぞれ OS が Windows と UNIX であるため、再起動が完了するまで両者の時間差が生じ、Zefrib24 の方が早く再起動を終える。両者は、LAN で接続する必要があるため、Zefrib24 から Zefrib8 に自動的にネットワークを形成するルーチンが組み込まれている。Zefrib24 の方が早く再起動を終了するため、「Zefrib8 に接続できません」というエラーが発生する。

この場合は、再度 Zefrib24 を再起動する必要がある。

3. 4. 3 97FT-01 および BH-1 のボアホール総合監視装置のバッテリーの異常対策

97FT-01 および BH-1 孔には、得られた観測データは始めにボアホール総合観測装置(図 3. 4. 1)に入力され、DC±10V の電圧値に変換される。この観測装置の電源として、12V の蓄電池を 4 台使用している。このうち、2 台は充電、2 台は観測装置の電源として使用し、交互に充電するシステムである。

この電源システムに異常が発生した場合、回収したデータには「00000」表示となる。電源システムに異常があると考えられる場合は、現地に赴き、以下の点を確認し対処する。

- (1) 観測装置の下部にある充電器が正常か否か、表示ランプで確認する。このとき、ランプが消えている場合、充電器の異常が考えられる。対応策として、総合観測装置の電源を切り、充電器本体を交換する(図 3. 4. 2)。
- (2) 観測装置の下部にある電圧値について、使用中であれば 12V、充電中であれば 14V を示す。これらの値より小さい場合は、バッテリーの異常であると考えられる。対応策と

して、4つのバッテリーの電圧をテストで計測し、使用に耐えられないような電圧値を示す場合は、バッテリーを交換する(図3. 4. 2)。

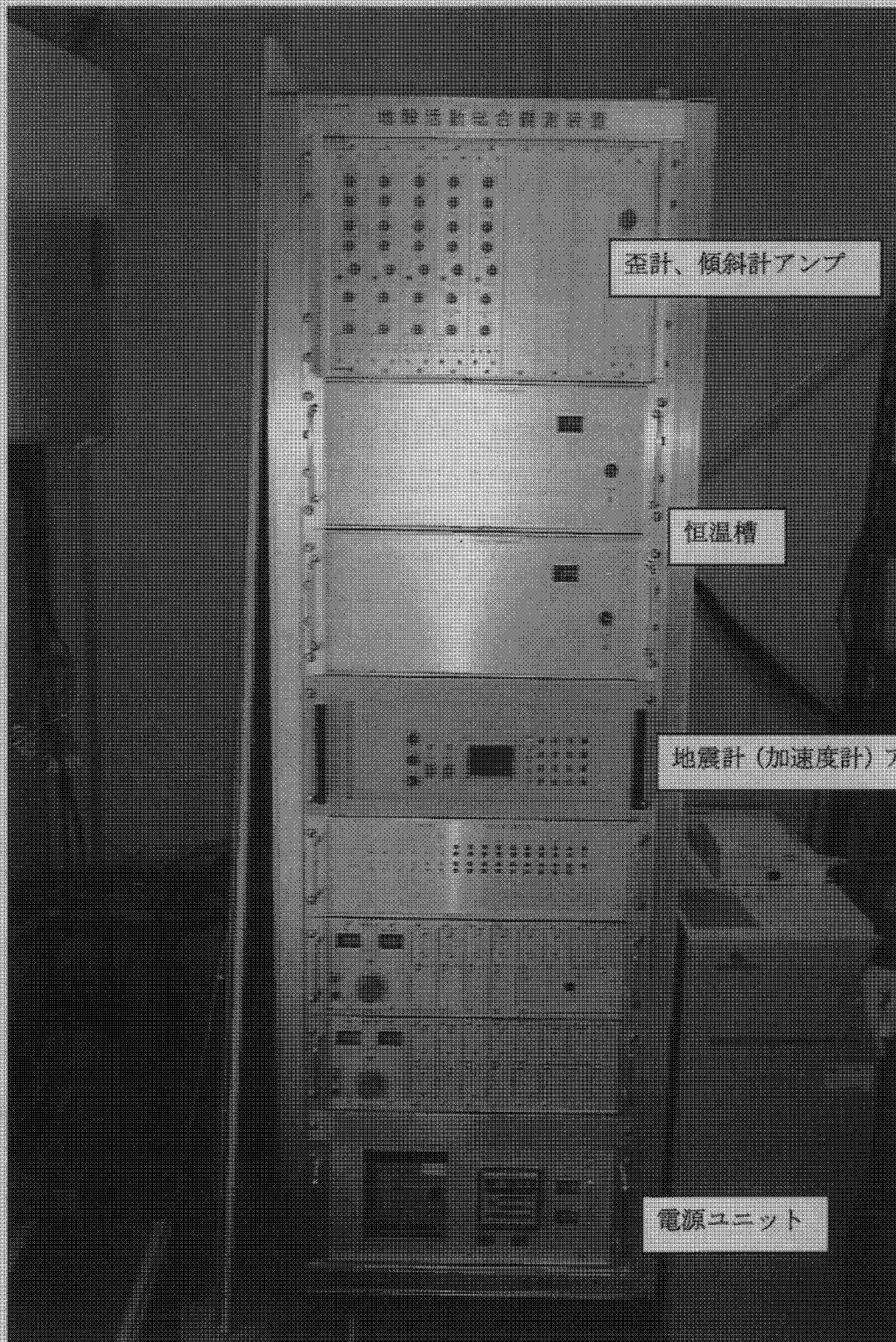


図3. 4. 1 ボアホール総合観測装置

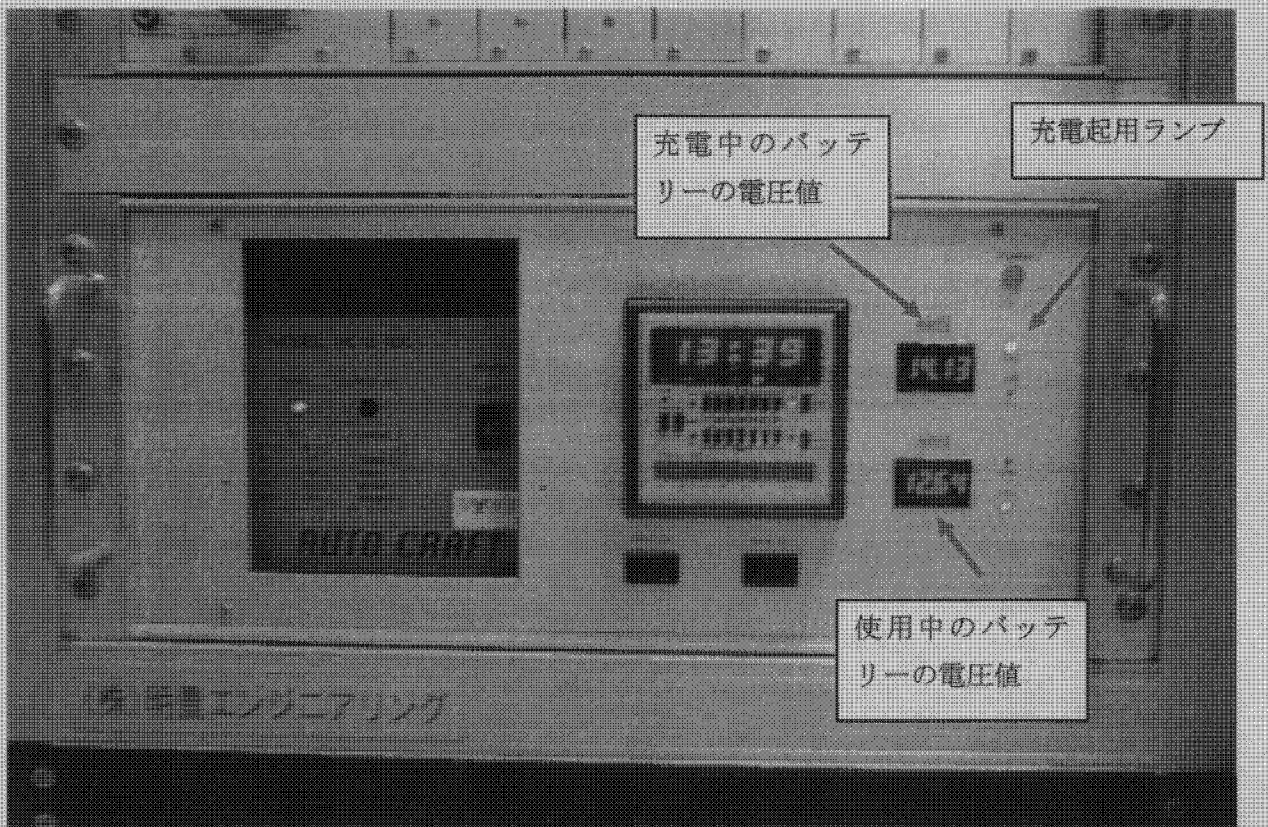


図3. 4. 2 電源ユニット全景

3. 4. 4 ECD-1000 の遠隔操作

通信が出来ない原因の一つとして、測定器事態の異常が考えられる。この場合の対処法として、電源の On/Off が挙げられるが、電源の On/Off は現場作業となる。しかし、この方法を遠隔で実施することが可能である。この方法は、測定器本体の電源を On/Off するものではなく、測定器に接続している UPS(無停電電源装置)の電源を On/Off する方法である。以下では、その方法について述べる。

- ① Zefrib8 を使用して、コマンドプロンプトより各測定器に接続している UPS へアクセスする。

>telnet IPアドレス

- ② ユーザー名とパスワードを入力する。UPS のユーザー名とパスワードは、全て「apc」と「apc」

```

xterm IPアドレス
Ztelnet 192.168.1.7
Trying 192.168.1.7...
Connected to 192.168.1.7.
Escape character is '^]'.

User Name : apc
Password : apc
  
```

である。

- ③ 「1- Device Manager」を選択する
- ④ 「1-Smart-UPS 700」を選択する。

```
xterm
-----
American Power Conversion          Web/SNMP Management Card v1.0.1
www.apcc.com                      (c) Copyright 1998 All Rights Reserved
-----
Name      : Unknown                Date      : 09/01/2001
Contact   : Unknown                Time      : 21:17:53
Location  : Unknown                Up Time   : 101 Days 19 Hours 55 Minutes
Status    : P+ N+ A+              User      : Administrator

Smart-UPS 700 named UPS_IDEN : On

-----
Control Console
-----
1- Device Manager
2- Network
3- System
4- Logout

? - Help
<ENTER> Redisplay Menu
<ESC> Refresh Main Menu

> 1
```

```
----- Device Manager -----
1- Smart-UPS 700
<ENTER> Redisplay Menu
<ESC> Return To Previous Menu

> 1
```

- ⑤ 以上の操作を行うと、当該 UPS の現状が表示される。次に「1-Control」を選択する。

```
xterm
----- Smart-UPS 700 -----
Status of UPS : On
Last Transfer : Due to software command or UPS's test control.
-----
Input Voltage : 106.6 VAC          Operating Frequency : 60.00 Hz
Output Voltage : 106.6 VAC          UPS Internal Temp  : 048.1 C
Load Power     : 019.2 %            Battery Voltage     : 27.87 VDC
Max Line Voltage : 105.9 VAC        Battery Capacity    : 100.0 %
Min Line Voltage : 104.6 VAC        Runtime Remaining   : 0068 min
-----
Self-Test Result : Passed           Calibration Result  : Unknown
Self-Test Date   : 08/27/2001      Calibration Date    : Unknown

1- Control
2- Configuration
3- Detailed Status
4- About UPS

? - Help
<ENTER> Redisplay Menu
<ESC> Return To Previous Menu

> 1
```

- ⑥ 「6- Put UPS To Sleep」を選択する。その後、作業を続けるために「YES」を入力する（大文字）。これによって、約 20 秒後に UPS の電源が切れ、ECD-1000 への給電が停止する。その後、約 6 分後に自動的に UPS が復旧し、ECD-1000 に給電が再開され、ECD-1000 が再起動されたことと同じことになる。

```

> 1
----- Control -----
      Status of UPS : On

1- Turn UPS On
2- Turn UPS Off
3- Turn UPS Off Gracefully
4- Reboot UPS
5- Reboot UPS Gracefully
6- Put UPS To Sleep
7- Put UPS To Sleep Gracefully
8- Simulate Power Failure
9- UPS Self-Test
10- Start/Stop Runtime Calibration
11- Test UPS Alarm

?- Help
<ENTER> Redisplay Menu
<ESC> Return To Previous Menu
> 6

```

```

----- Put UPS To Sleep -----
      The UPS will turn off in approximately 020 seconds.
      Once off it will turn on in approximately 0.1 hours and
      000 seconds.

      Enter 'YES' to continue or <ENTER> to cancel :

```

「YES」を入力

⑦ 再起動後、⑤の画面に戻るなので、終了するときは「4-Logout」と選択する。

4. 調査観測孔の観測データ解析結果の概要

4.1 東濃鉱山周辺の地下水位・間隙水圧の経時変化における特徴

東濃鉱山周辺における地下水の特徴として、図4.1に見られる現象が確認された。これは、東濃鉱山をほぼ東西に横断する月吉断層を挟んで南(TH-7)北(TH-8, SN-1, SN-3, 97FT-01)にある観測孔における間隙水圧(水位はストレーナーの位置で水圧に換算)を比較したものである。堆積岩層の上部のP5(TH-7では明世累層、TH-8では生俵累層)やP4(TH-7では土岐夾炭累層上部、TH-8では明世累層)における間隙水圧は、月吉断層を挟んで南北で大きな差は見られない。一方で、土岐花崗岩およびその直上の土岐夾炭累層においては、南北で明確に間隙水圧に差があり、かつその差が数年間維持され続けていることを示している。

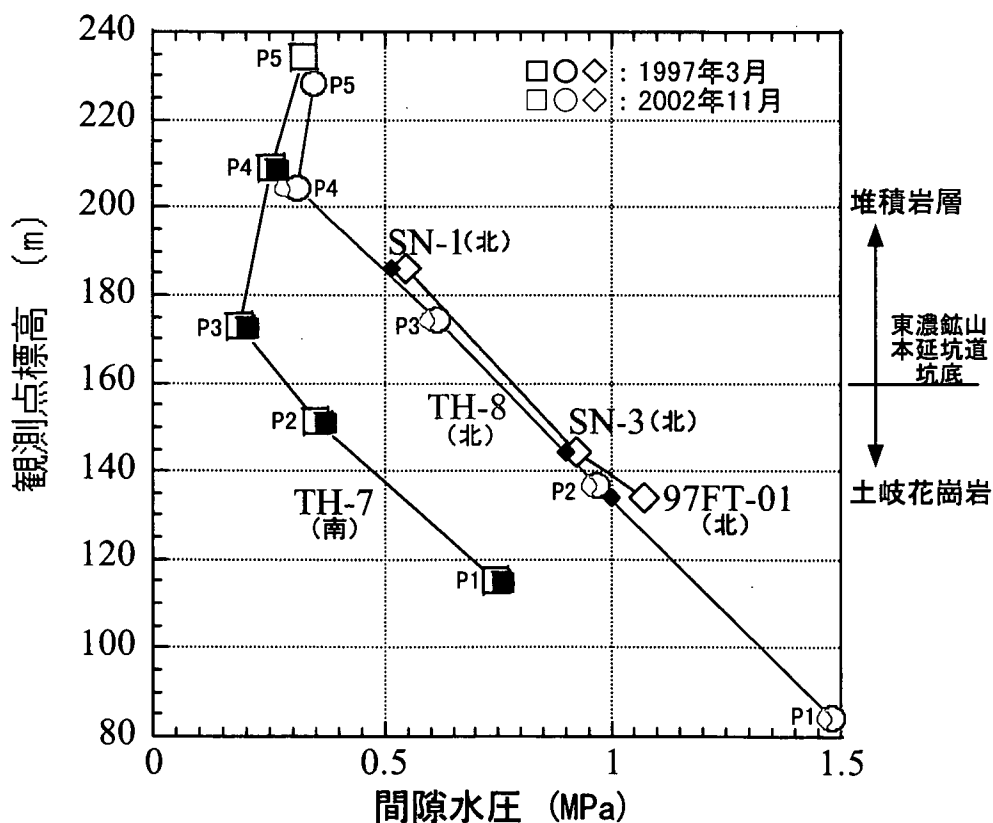


図4.1 東濃鉱山周辺の月吉断層を挟んで南北の観測点における間隙水圧の経年変化(1997-2002)

差がある原因は、月吉断層の南側の土岐花崗岩とその上の土岐夾炭類層下部の不整合面付近に東濃鉦山の坑道が開削され、染み出す地下水をくみ上げているためである。これによって、断層南側の土岐花崗岩における地下水位（水頭・間隙水圧）は、東濃鉦山の本延坑道の標高 160m 付近にまで低下し、その状態で維持されている。一方、断層の北側の土岐花崗岩層では、東濃鉦山開削以前に比較的近い地下水位（水頭・間隙水圧）状態を保っていると考えられる（図 4. 2 の推定される地下水水頭参照）。

また、差が維持される原因は、かつての破碎帯である月吉断層の亀裂が、土岐花崗岩領域においても、粘土鉱物で充填されていて、断層を横切る方向の透水係数が小さくなっているためと考えられる。観測結果である図 4. 1 は、月吉断層自身が短期（数 10 年規模のタイムスケール）的に一種の遮水壁として振舞い、東濃鉦山周辺の土岐花崗岩領域の地下水系を南北に分断している事を示している。そのため、断層の北側の領域では、南側の東濃鉦山における立孔掘削や本延坑道における継続的は排水による土岐花崗岩領域における地下水位の低下の影響が大きくは及んでいないと考えられる（図 4. 2）。

東濃鉦山の坑道の一部は、月吉断層を越えて断層の北側にも開削されている（図 1. 1）。しかし、開削された北側の地層は、断層が北下がりであるため土岐花崗岩ではなく瑞浪層群の堆積層が殆どである。瑞浪層群の透水係数が小さかったり、北側の坑道の孔壁にモルタルの吹き付けを行っていたりするため、北側の地下水位には影響していないことが逆に図 4. 1 から判明する。

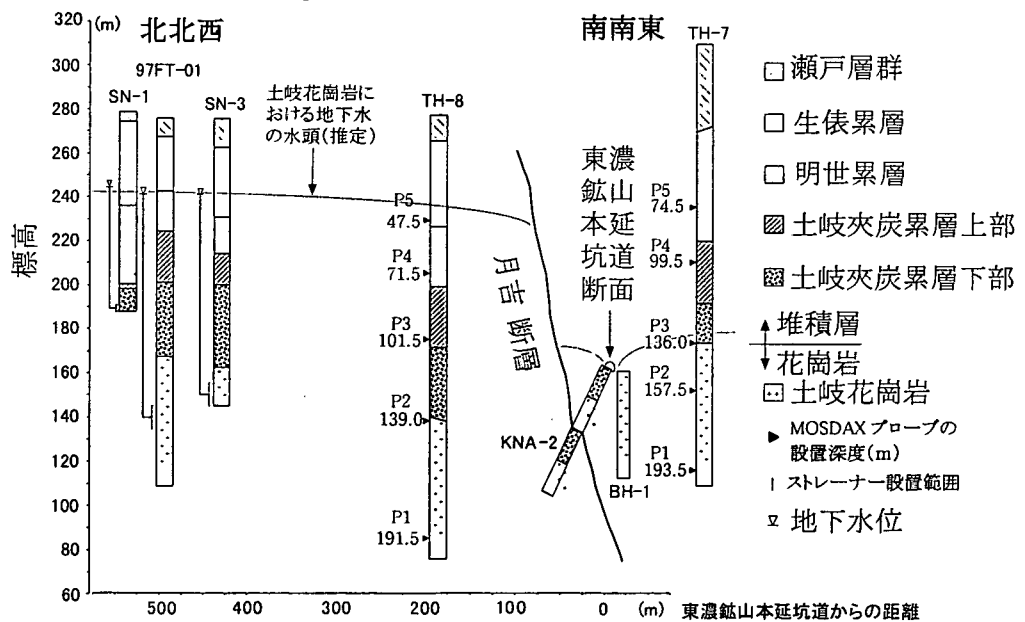


図 4. 2 東濃鉦山周辺の主な観測井の配置及び地質柱状図

(説明の都合上、98FE-01 の柱状図を除いて表記している。)

また、図4.1より、土岐花崗岩領域における間隙水圧は、月吉断層の南側も北側もそれぞれ静水圧を示していることが分かる。そして、断層北側の観測孔はほぼ同一の静水圧状態に属していることが判明した。土岐花崗岩領域における同一標高での月吉断層を挟んでの南北間の水圧差は約0.4MPa（水頭で約40m）程度となっている。

図4.3は、1989年から地下水位観測を開始しているSN-1,SN-3を中心とした地下水位の経年変化を概観したものである。途中から観測を開始した97FT-01や、比較のために瑞浪市明世町山野内の500m孔DH-2の土岐花崗岩における地下水位も表示している。

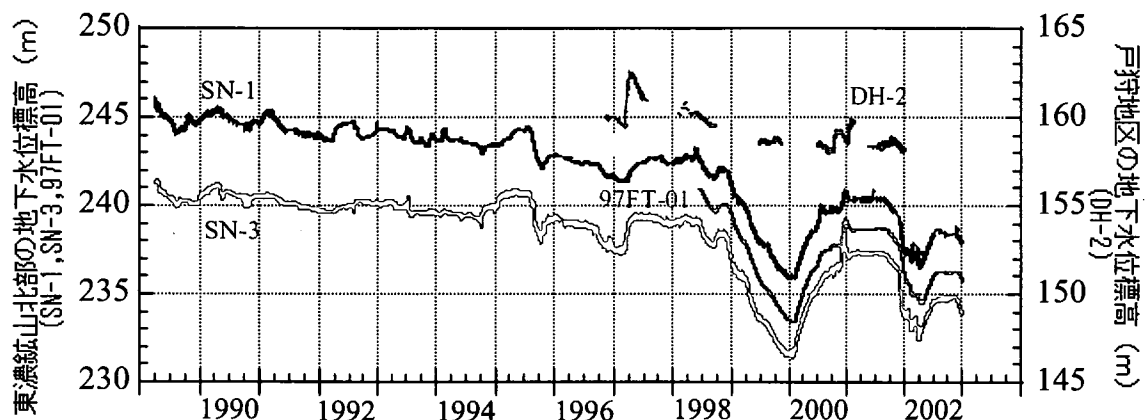


図4.3 東濃鉾山北部の観測孔SN-1, SN-3, 97FT-01における地下水位の経年変化

SN-1やSN-3における地下水位は、1998年末以降の大きな変動を除けば、緩やかに低下しつつも、大体一定の幅で推移していることが分かる。図4.1と組み合わせると、月吉断層を挟んでの南北における地下水位・間隙水圧の差は、1997-2002間に留まらず、少なくとも1989年以降維持され続けている事が推定される。

一方、図4.4は、月吉断層を挟んで南北に設置してある観測孔TH-7(南側)とTH-8(北側)における間隙水圧の経年変化を(図4.3と比較し易い様に)水頭で示したものである。簡単のため、土岐花崗岩領域およびその直上の地層における観測結果のみ示している。TH-8のP1-P3に見られる変動は、図4.3の断層北側の各観測孔の水位変化とほぼ等しく、地下水が同一の水系として挙動している事が分かる。

図4.3や図4.4に見られる、1998年末以降の大規模な変動は、図2.1にある、瑞浪市明世町月吉の正馬様洞に掘削された1000m孔MIU-2(SN-3からは直線距離で約1km離れている)が、深度900m付近で月吉断層を貫いた事に由来することが判明している。MIU-2において断層領域のパッカーを外すと、断層の下部(北側)から地下水が溢れ、上部(南側)の逸水層に供給されるため、北側の観測孔では土岐花崗岩領域の地下水位・間隙水圧が低下し、南側の観測孔TH-7の土岐花崗岩領域では間隙水圧が上昇

する事が観測されている(図4.4)。一方、MIU-2でパッカーをかけて断層の南北の水系を分断すると、断層を挟んで南北の地下水位・間隙水圧は回復方向に変化する(図4.4)。この結果も、月吉断層が遮水壁的な役割を果たし続けている事を支持している。月吉断層を貫いて土岐花崗岩に達する孔(図2.1のKNA-2など)は、やはりMIU-2同様の影響を与えることになる。いずれも、地震などの自然現象とは異なる人為的な変動として扱う必要がある。

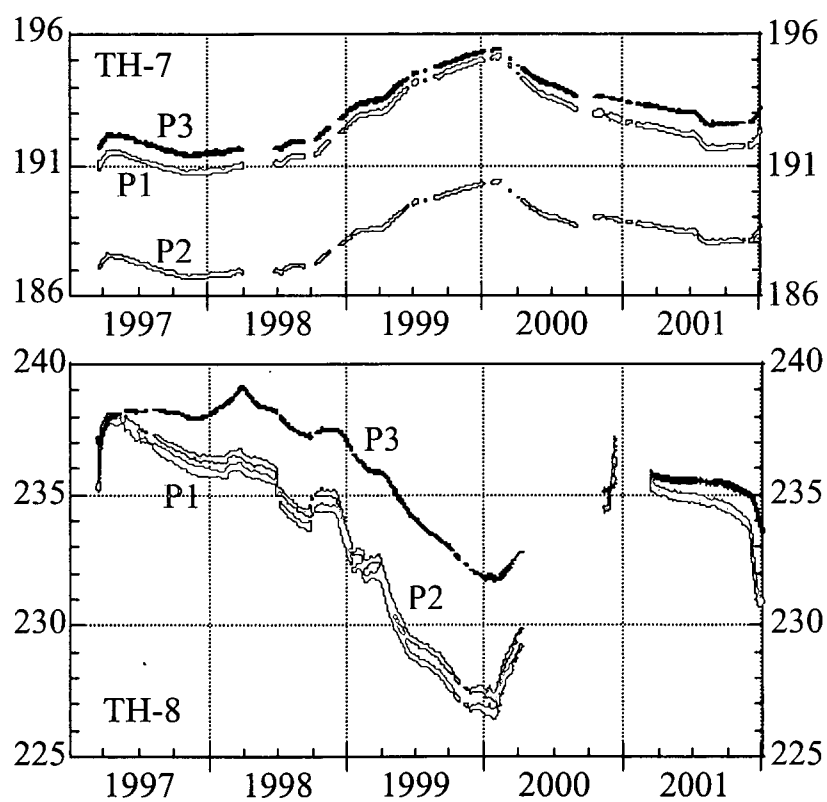


図4.4 月吉断層を挟んで南(TH-7)北(TH-8)の水頭(m)の変化
(P1-P3のみを示)

4.2 気圧に対する地下水位・間隙水圧の応答特性

気圧に対する応答については、Rojstaczer(1988)の帯水層モデル(透水係数の小さい層に上下に挟まれた透水層)と Quilty and Roeloffs (1991)の計算方法に基づいて、地下水位・水圧における気圧応答の推定を行った。

SN-3 号孔の地下水位の、気圧変動に対する応答を計算したものを、図4.5に示す。各点は、様々な期間の地下水位と気圧の関係を計算したものである。その結果、周波数0.1-0.6 サイクル/日 の範囲では、気圧の周期変化に対する気圧の応答は、周波数に依存せず、振幅比が 0.5cm/hPa であり、位相ずれがほぼ 180 度だった。180 度の意味は、気圧が増加する時に水位が低下する関係を表している。気圧の変動が地下水位に良く反映している事を示している。しかし、潮汐の振幅に比べると十分小さい。

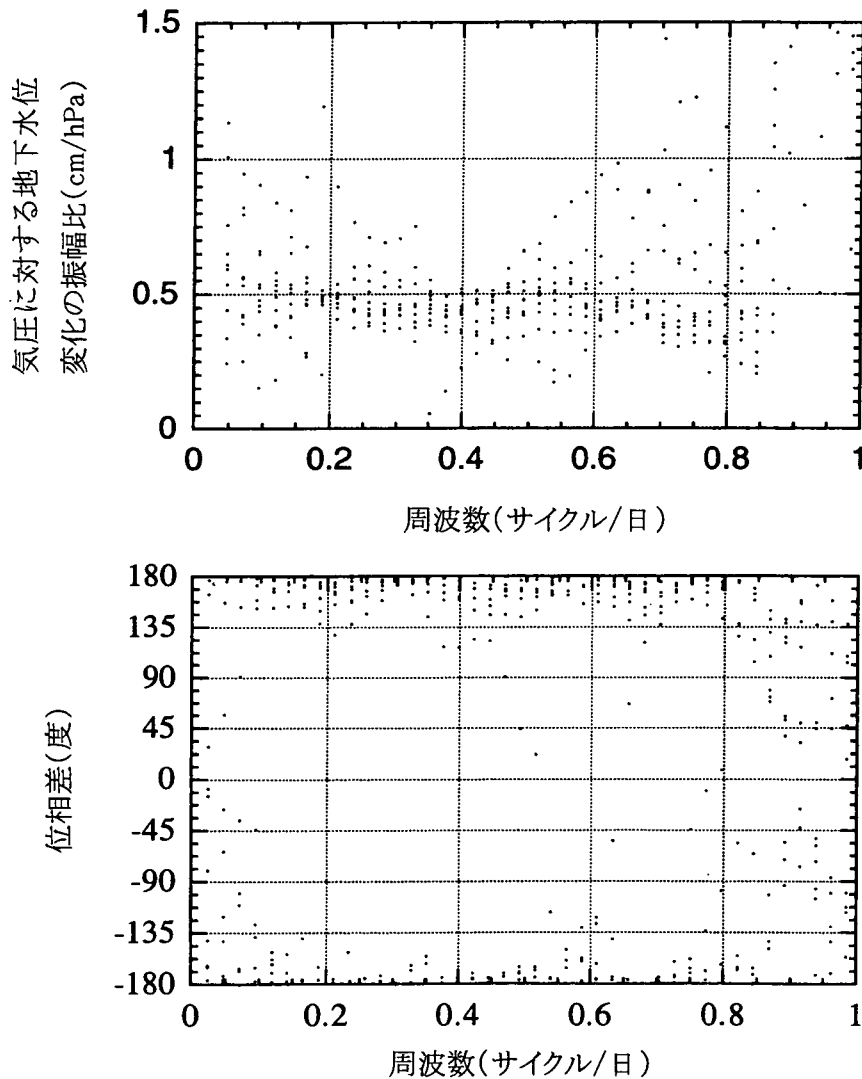


図4.5 SN-3 号孔の地下水位の気圧応答特性

TH-8 号孔の土岐花崗岩領域の間隙水圧(水頭に換算)も、気圧に対する応答特性は、振幅比においてはバラつくものの、位相差は広い周波数範囲でほぼ180度を示し、SN-3号孔の地下水位の場合とほぼ同じだった。代表として、TH-8のP1プローブの結果を図3.6に示す。

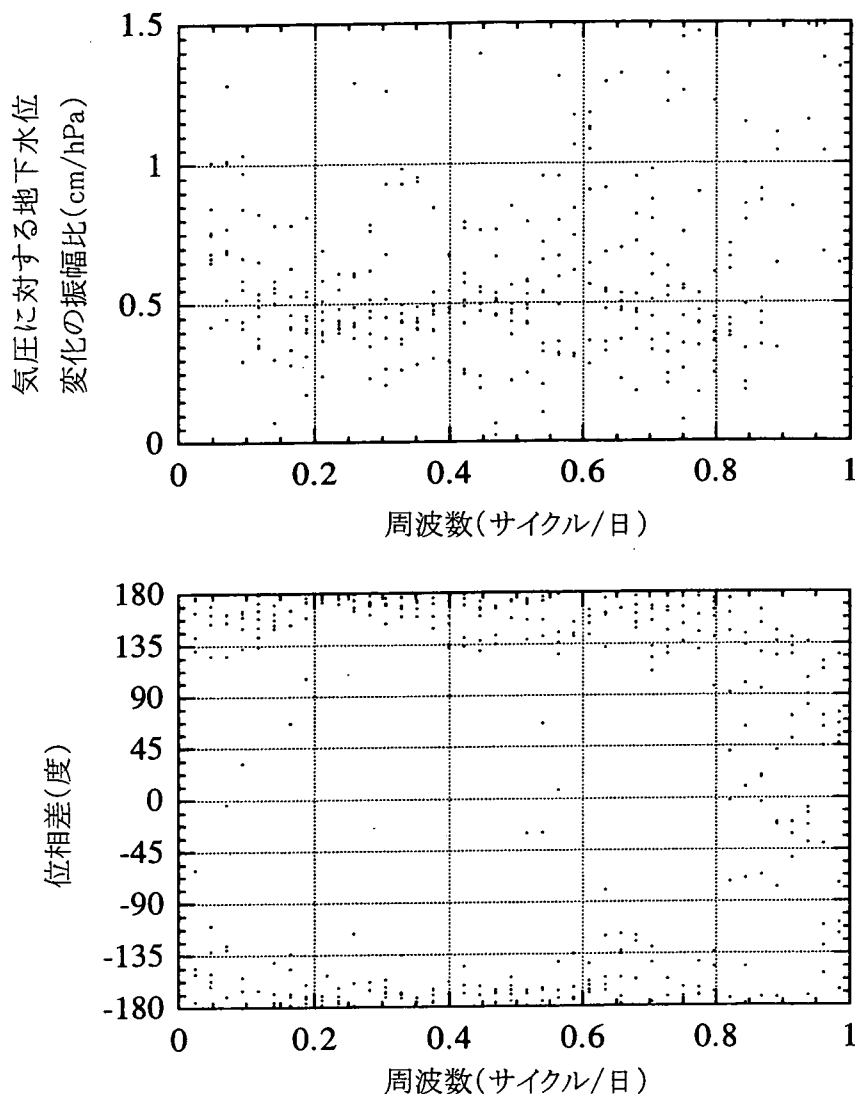


図4.6 TH-8 号孔の土岐花崗岩領域の間隙水圧 P1 の気圧応答特性

一方、土岐夾炭累層上部の SN-1 号孔における、地下水位の気圧に対する応答特性は、大きく異なっていた(図4.7)。周波数 0.2-0.8 サイクル/日の気圧変動に対して、振幅比は 0.1-0.2cm/h Paと SN-3 などと比べて小さく、周波数が小さくなるにつれて、振幅比が大きくなっている(~0.4 程度)。これは、周波数の小さい、長周期の気圧変動に対して応答が良いことを示しており、土岐夾炭累層中の地下水が地表との間の水理的なつながりが悪いことを意味している。これはこの地層中の地下水の被圧が良いことを示している。位相差も SN-3 や TH-8 の花崗岩領域の結果と大きく異なり、特徴的な傾向を掴み難い結果だった。

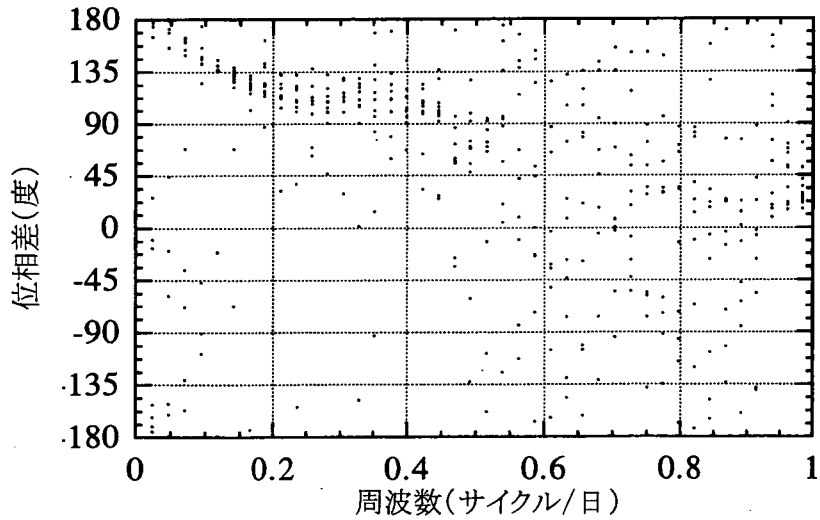
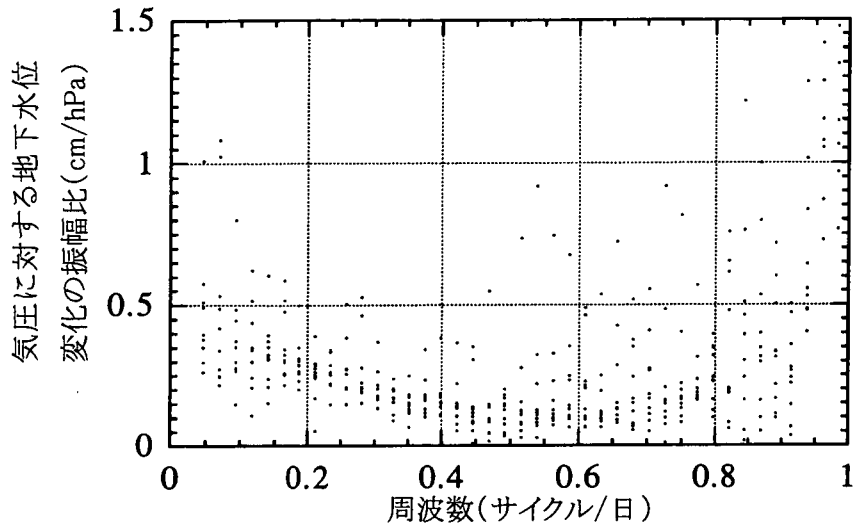


図 4.7 SN-1 号孔の地下水位の気圧応答特性

SN-1 の地下水位と同様の結果は、堆積層に多く見られたが、同じ土岐花崗岩層でも、周囲の岩盤に亀裂が少なく透水係数が小さい 97FT-01 の地下水位の場合は、SN-1 と同様振幅比が小さかった(図4.8)。

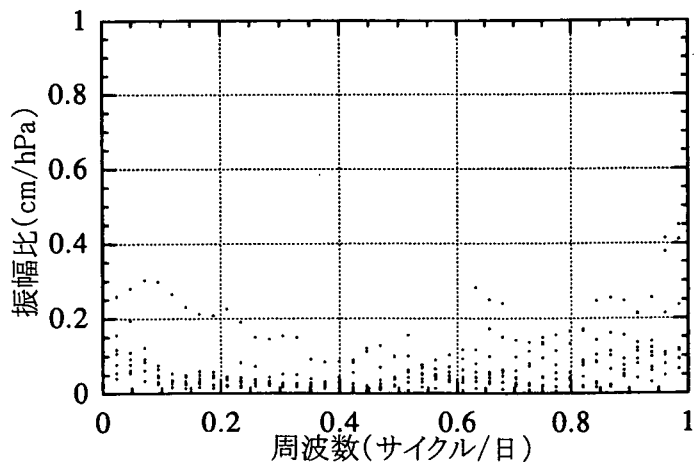


図 4.8 97FT-01 号孔の地下水位の気圧応答特

4.3 東濃鉾山周辺の地下水位・間隙水圧の地震に伴う変動の特徴の概観

東濃地域において地下水位(間隙水圧)・地殻歪の長期連続観測を実施したところ、日常的に潮汐変動が見られる中で、地震に関連して以下の様な変動が個別に、或いは複合して観測された。個別に概観し、細部は5章で触れる。

- (1) 地震直後の地下水位の急な低下 (SN-3, SN-1 のみ)
- (2) 地震後1週間~1.5ヶ月にわたる地下水位・水圧の上昇 (SN-3, TH-8, TH-7)
(地震後6ヶ月にわたる地下水位・水圧の上昇と低下 (TH-8, SN-1))
- (3) 地震前の地下水位の上昇と地殻歪の変動 (SN-1 のみ, 97FT-01, BH-1)
- (4) 地震波に対応する地下水位・地殻歪の振動 (SN-3, 97FT-01)

4.3.1 地震直後の SN-3 号孔の地下水位の急な低下

地震発生直後の SN-3 号孔の地下水位低下を1989年以降で40回以上観測した(例 図4.9)。この変化は常に水位の低下を示し、地下水位低下量は数 cm - 数 10cm であった。水位変化が常に低下である点や、SN-3 号孔の地下水位の地殻歪に対する変位の感度を考えると、各地の地震の震源でのズレによる広域の地殻変動(地殻歪の変動)が地震発生直後の SN-3 号孔の地下水位低下の直接の原因ではないと推測できる。加えて、同じ土岐花崗岩層の観測点で、水理的につながりが良いと推測される観測孔 TH-8 の間隙水圧観測では類似の現象は見られない。水理的に繋がりが良くない97FT-01の地下水位観測においても見られない。これは SN-3 号孔のごく近傍の小さな領域に起きた地震誘発現象を表わしている可能性が強い。

地震発生直後の水位低下は、殆ど SN-3 のみが示すが、1997/3/16 愛知県東部の地震(M5.8)においては、時間遅れで SN-1 も示した(図4.10)。(当時、97FT-01 号孔はまだ存在しなかった。)97FT-01 号孔と異なる、SN-1 と SN-3 の共通項(孔径が細い、土岐花崗岩と土岐夾炭累層下部との不整合面に近い、等)に原因がある可能性もある。(例 孔径が細い事から、孔内の地下水位が周辺より常にやや高い状態にある可能性。または、不整合面付近に地下水の不飽和層が存在し、地震の伝播による震動によって不飽和層が毛管現象で地下水を吸い上げるため起こる可能性、など。)

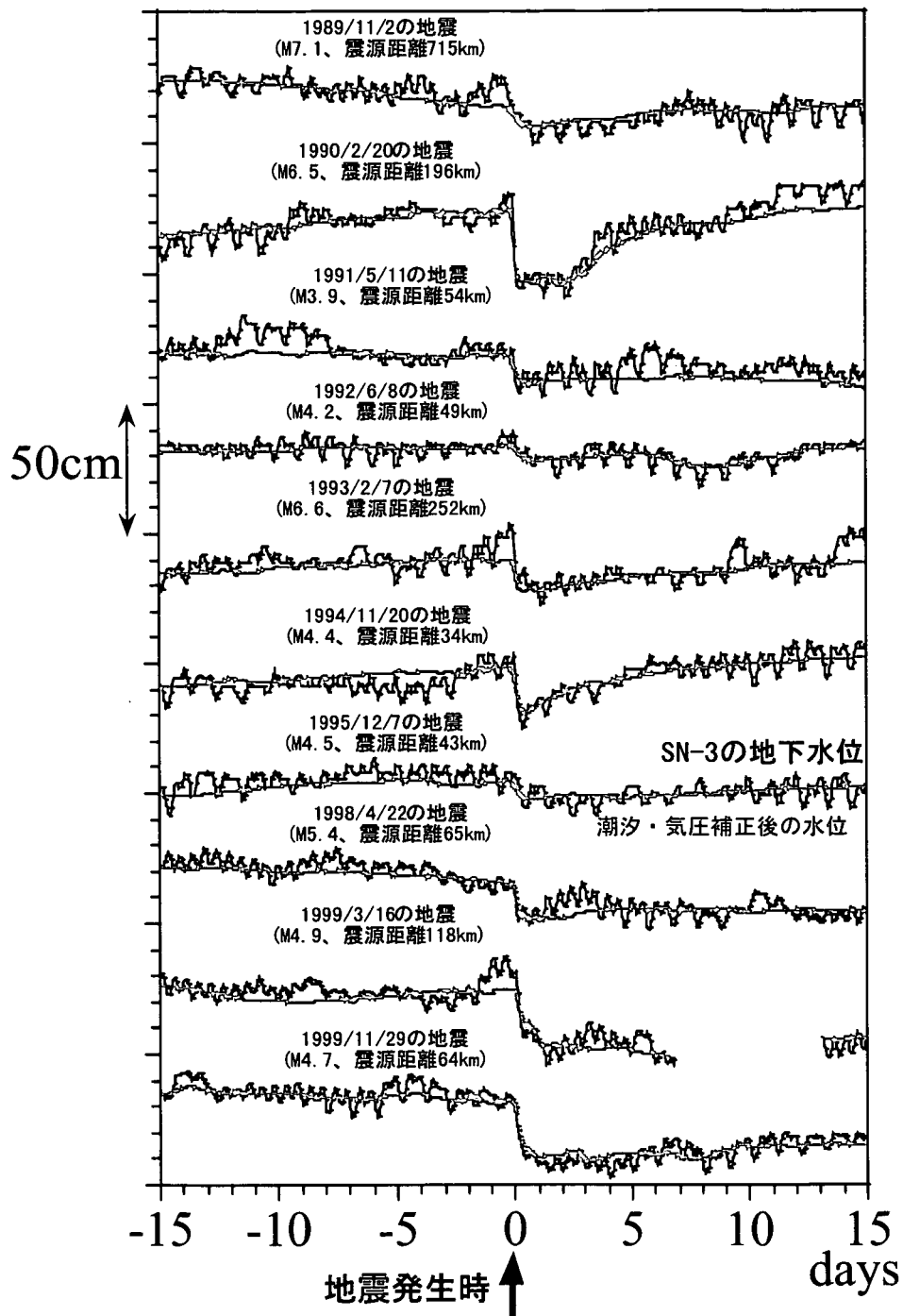


図 4.9 地震直後のSN-3号孔の地下水位低下

4. 3. 2 地震後の長期にわたる地下水位・間隙水圧の上昇

地震後1週間~1ヶ月にわたる地下水位・間隙水圧の上昇は、主に土岐花崗岩部に見られ、SN-3号孔では兵庫県南部地震をはじめ繰り返し何度も観測された(図4.3)。

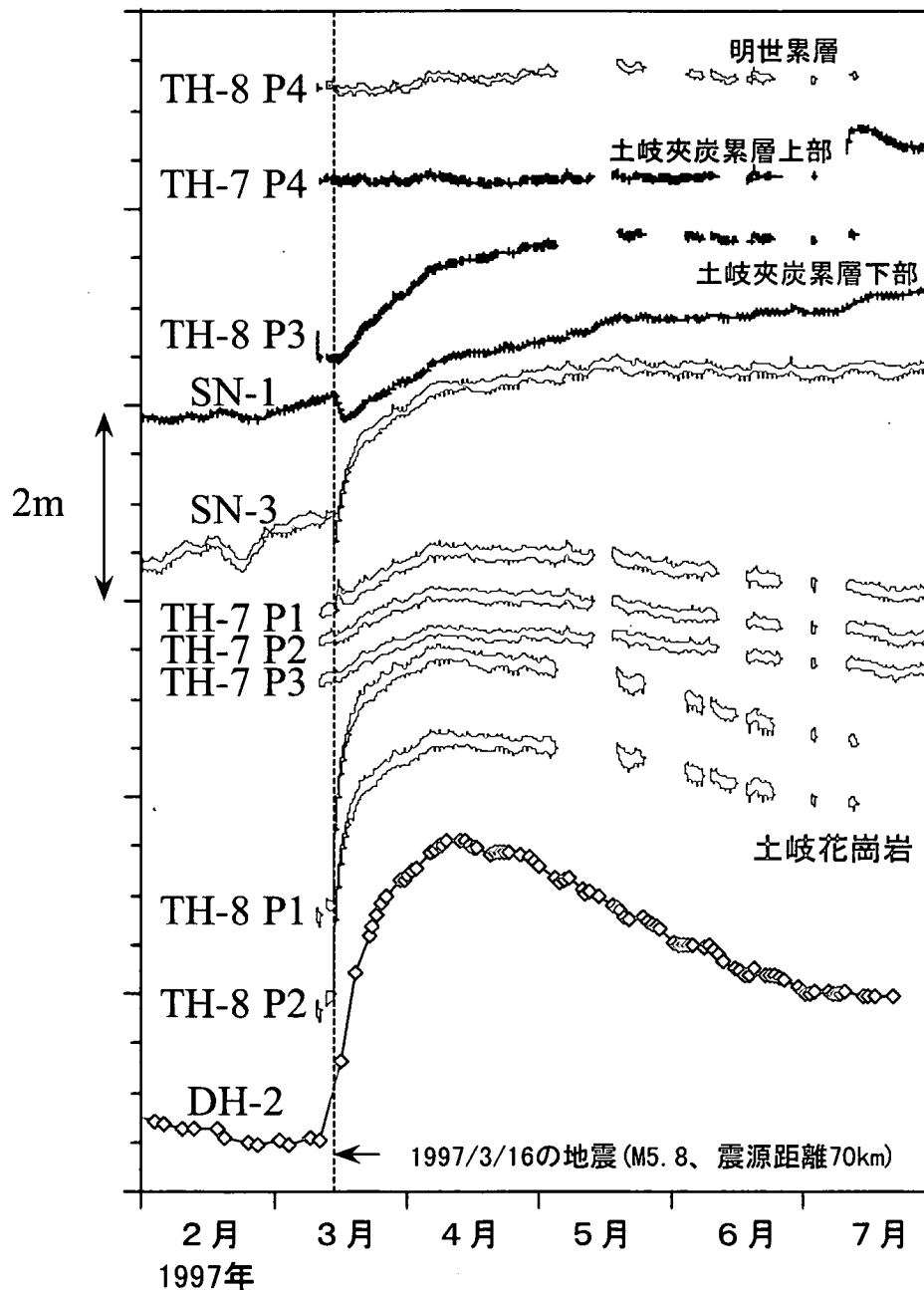


図4.10

1997/3/16の愛知県東部の地震(M5.8・深さ39km)に伴う地下水位(SN-3, SN-1, DH-2)・間隙水圧(TH-7, TH-8)の変動(間隙水圧は水頭に換算して比較)

特に、1997/3/16の愛知県東部地震(M5.8・深さ39km)後は、多くの観測井で同様の現象が観測された(図4.10)。最大は瑞浪市明世町山野内のDH-2号孔で見られた約3mの地下水位上昇だったが、TH-8の土岐花崗岩領域でも約2.5m相当の間隙水圧上昇を示した。時間スケールは地震の余効変動と言われる現象に近いと思われるが、特徴的なのは常に上昇を示す点である。また土岐花崗岩の上に堆積する瑞浪層群における観測、特にTH-7号孔のP4(土岐夾炭累層上部)やTH-8号孔のP4(明世累層)にこの地震による長期の変動が見られないことや、変動量がより下層の土岐花崗岩領域の方が大きいことから、土岐花崗岩層が主体となって発生する現象であることが分かる。また同時に、同一地域内における堆積層から土岐花崗岩領域への地下水の供給は無かったと考えられる。

地震後の変動の原因としては、まず地震に伴う岩盤の歪の影響が考えられる。しかし、97年3月の地震を例にとれば、東濃地域周辺の歪は約 5×10^{-9} 程度と小さく、直接上記の水位・水圧変化を説明することができない。また、様々な地震に対して常に上昇を示す為には地震の度に常に押しによる圧縮が起っていないければならず、説明が困難である。地殻歪の観測も開始してからは、小さな上昇しか検出されないケースが多いが、その際の地殻歪の変動には常に圧縮を示唆するようなものはなかった。

常に上昇を示す事を説明する別の方法としては、観測点より常に高い水頭・間隙水圧を持つ領域からの地下水の流入が考えられる。比較的浅い所(深さ1kmほど)において土岐花崗岩体の地下水系が幾つかに分断されている(例 月吉断層による地下水系の南北分断など)事を考慮すると、間隙水圧の異なる領域が隣り合って存在していて、地震の際の地震動の伝播に伴って、小さな亀裂の発生や破碎帯の充填物質の脱離などによって境界の透水係数が高まり、水頭の高い領域から低い領域への水の移動が発生し、その移動に伴って境界が修復されることで透水係数が再び小さくなって水の移動が停止し、再び間隙水圧が異なる状態が持続される、というモデルが考えられる。しかしMIU-2号孔掘削時に見られた(図4.4、図4.3)様な月吉断層を挟んでの地下水の移動は、地震の際にこれまで観測されなかった。

だが、このモデルを補強する幾つかの事例が観測された。1つは、逆に地震によって系からの流出路が塞がれた例であり、月吉断層北側の堆積層・明世累層で観測された(図4.11)。これはTH-8号孔の間隙水圧の測定結果であるが、97年12月の小さな地震の直後にこの層(TH-8 P4)の水圧がリニアに上昇し、水頭で6m分上昇した3.5ヵ月後に一転栓が抜けたように低下して元のレベルに戻っている。当時、東濃地科学センターでは鉾山周辺の他の観測孔を月1回のペースで観測していて、その結果も図に見られる変化が実際に月吉断層北側の明世累層の規模で起っていた事を支持している(図4.12)。これは、地震に伴って系から流出する側の透水係数が小さくなる事例と考えられるが、地震動の伝播に伴って、比較的浅い所で透水係数の変化が生じる可能性を支持する。但し、この変動はこの時1度だけしか観測されていない。

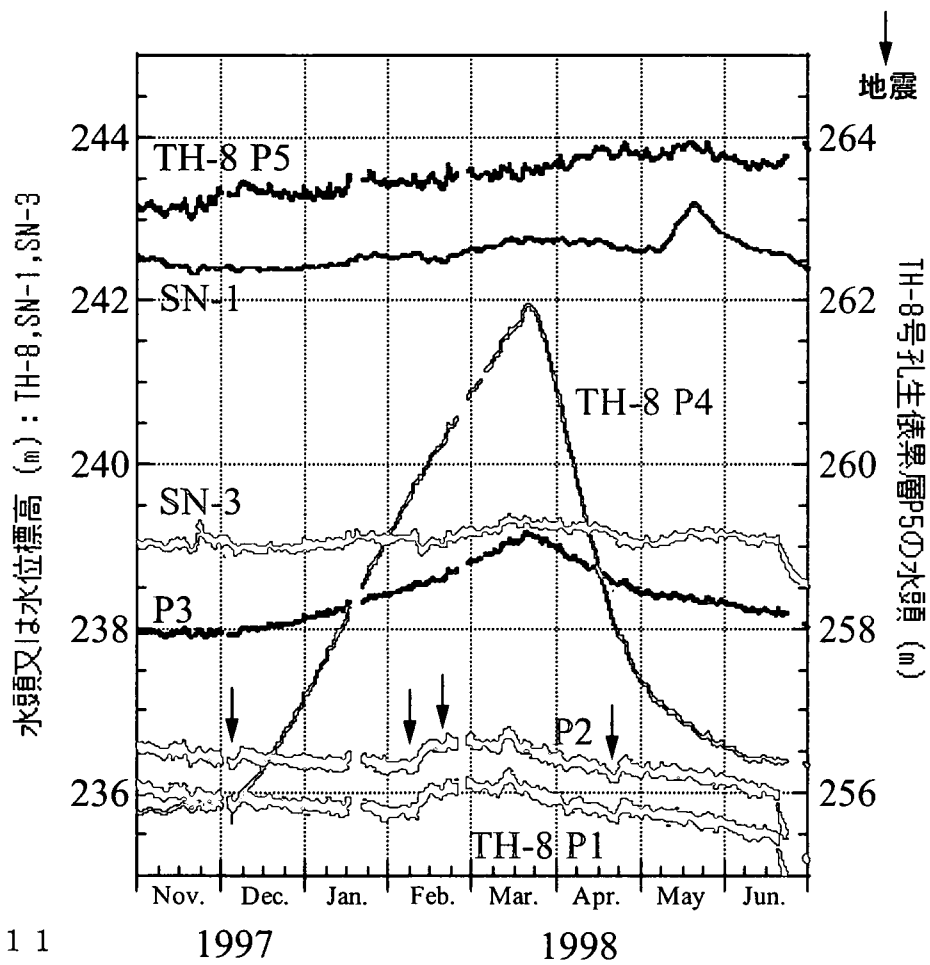


図4. 11

明世累層 (TH-8 P4) において地震後長期にわたって間隙水圧が上昇した例

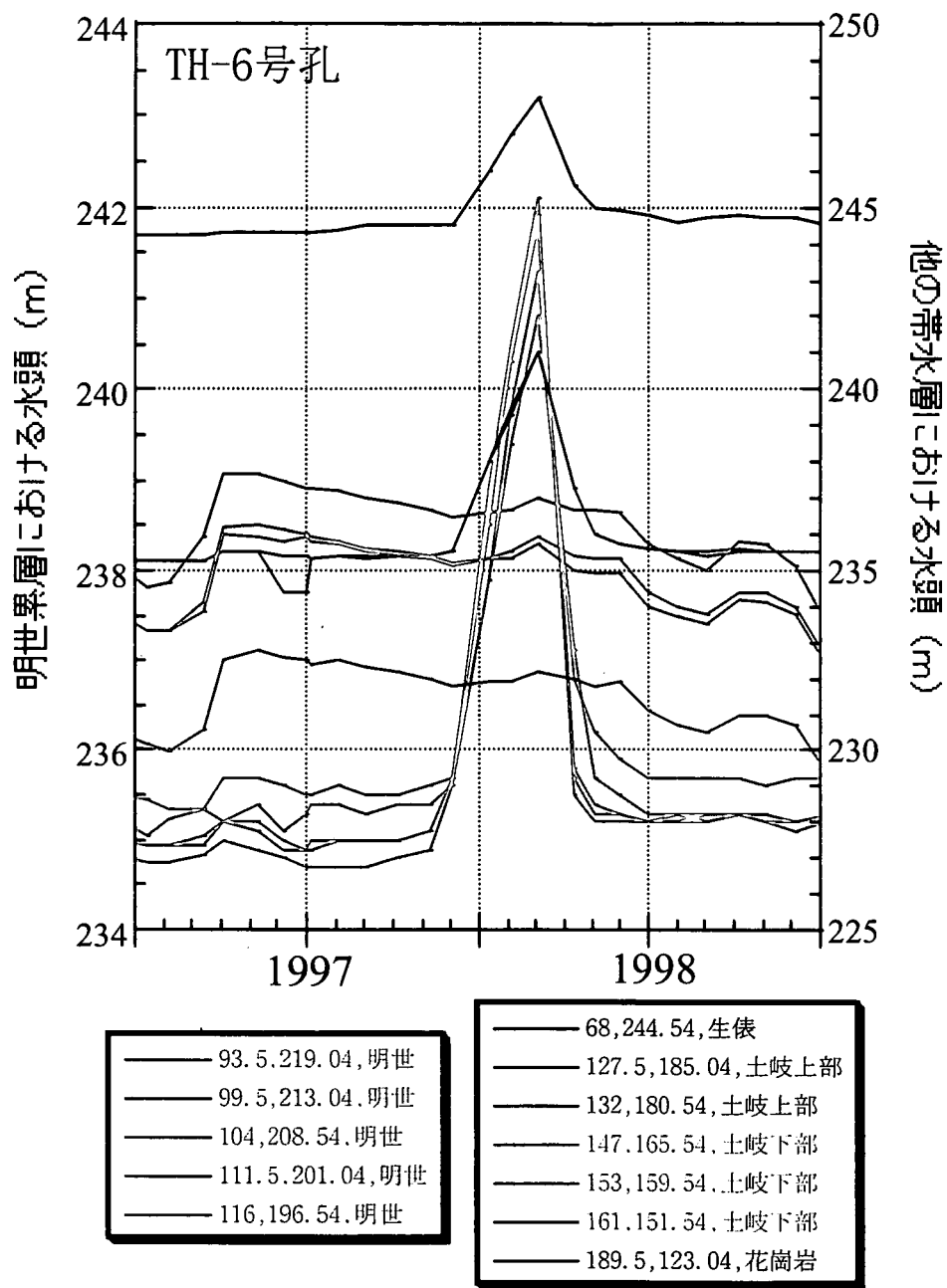


図4. 1 2 他の東濃鉦山北の試錐孔 TH-6 における各地層の水頭変化
(1997年1月~1998年12月。数字は測定場所の深度と標高を示す。)

また、戸狩・正馬様洞の北部の柄石にある DH-9 号孔で、鳥取県西部地震の際に土岐花崗岩層で地下水位が低下した事例が観測された(図 4. 13)。この時、DH-2 では同じタイムスケールでの水位の上昇が観測された。SN-3 では同様の上昇が僅かに見られるが、地震直後の水位低下と重なってしまっている。DH-9 が存在する領域が直接の供給源かどうかは今後の観測を待たなければならないが、地震後の水の移動が原因である可能性を支持する事例と考えられる。

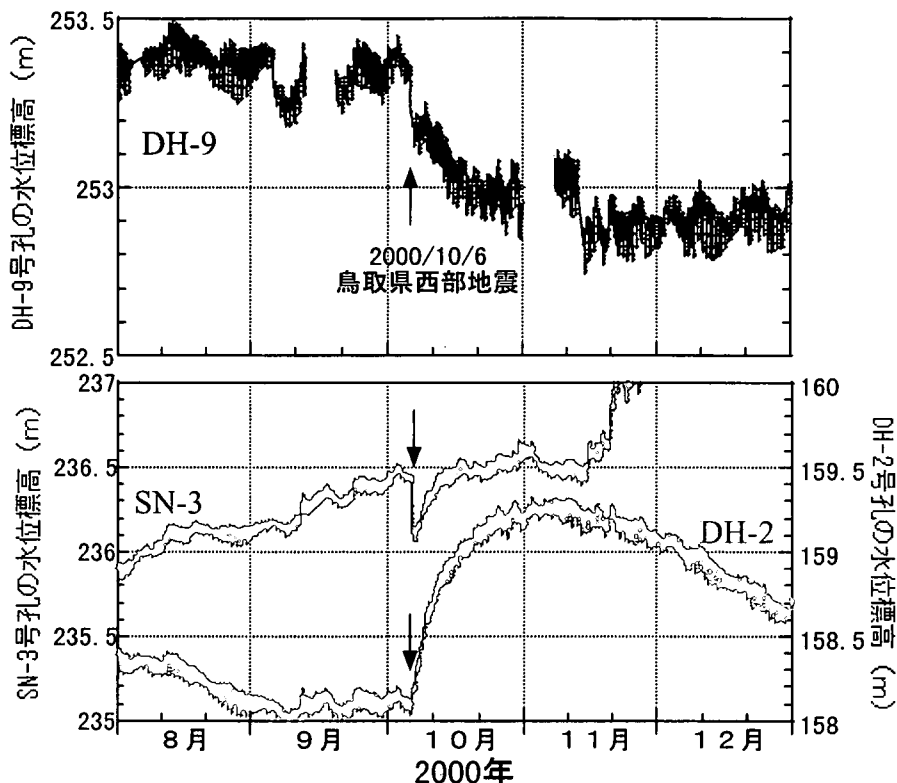


図4.13 土岐花崗岩の地下水位観測点SN-3, DH-2, DH-9における、鳥取県西部地震に対する地下水位変化の比較

このモデルが事実である場合、(震源に比べ)比較的浅い場所での地震後数日～1ヶ月程の水の移動に伴って地殻歪の変動を引き起こす可能性がある。これまで地震の余効変動を説明する方法の1つとして、震源断層の変移による体積歪変化に伴う(震源と同程度の深度の)間隙水圧変化とそれによる水の移動が挙げられているが、より浅い場所でのこのモデルの様な地下水移動で説明できる可能性もある。このモデルの検証のためには、土岐花崗岩領域に集約的に幾つか開削された試錐孔による観測の継続・データの比較が欠かせないものと考えられる。

他の研究で、このモデルに合致するような事例を探すと、兵庫県南部地震の際の淡路島における地下水の流動が挙げられる。元来自由地下水面は地形の標高に合わせて山側が高く海側が低いものだが、粘土鉱物で充填された破碎帯などで仕切られ、自然な状態

よりも水頭差が大きかった可能性がある。地震に伴う破壊によって仕切りの部分の透水係数が高くなり、水頭の高い山側から海側に一気に地下水が流れ出たとも解釈できる。また、通常の試錘孔の掘削においても、破碎帯を超えた所で大規模な逸水や湧水が生じる事例も多数存在する。地下水系が分断・ブロック化され、各ブロックの間隙水圧が異なる状態になっている事例が結晶質岩だけでなく堆積岩も含めてどれぐらい普遍性があり、どれぐらいの深さまで実現しているか、今後の事例研究が待たれる。

4. 3. 3 地震前の地下水位の上昇と地殻歪の変動

これまでの連続観測の結果、地震発生の1週間程度前からSN-1号孔(土岐夾炭累層)の地下水位が10-30cm程度上昇する例が数度観測された(図4.14:SN-3と比較)。これらは潮汐・気圧変動や人為的な要因では説明できない変化であることが分かっている。

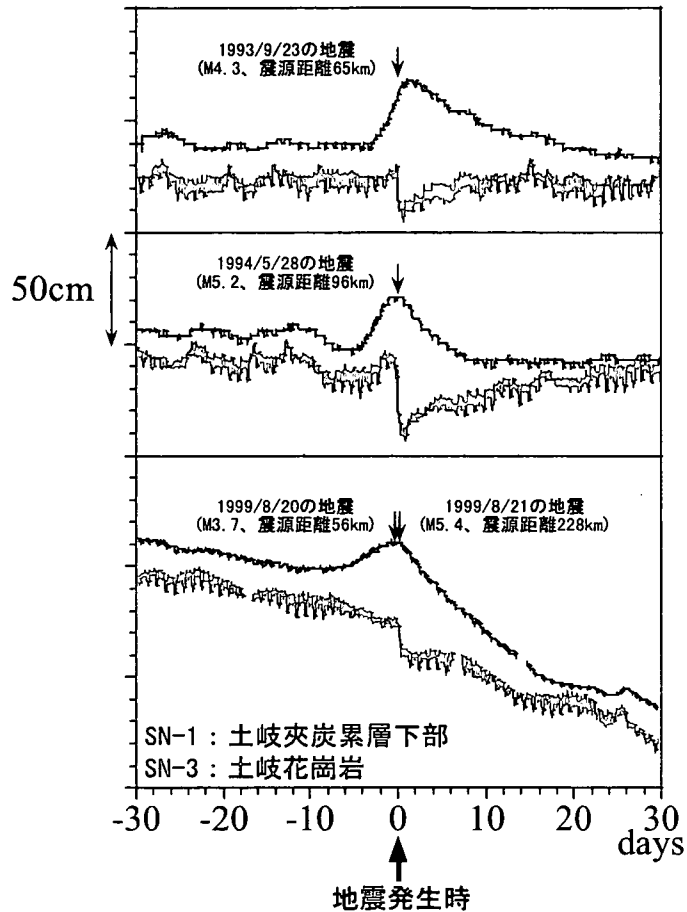


図4.14 地震前のSN-1号孔の地下水位上昇

特に1999年8月の場合は、同時に土岐花崗岩を対象とした97FT-01号孔での地殻歪観測(直線トレンドは取り除いてある)にも変動が見られ(図4.15)、主歪の方向(図4.16)や剪断歪成分にSN-1号孔の地下水位変動と同様のタイミングで特徴的な変動が見られた。一方、SN-3・97FT-01号孔の地下水位を始めとする他の観測井の地下水位・水圧には、類似の地震前の変動は検出されなかった。

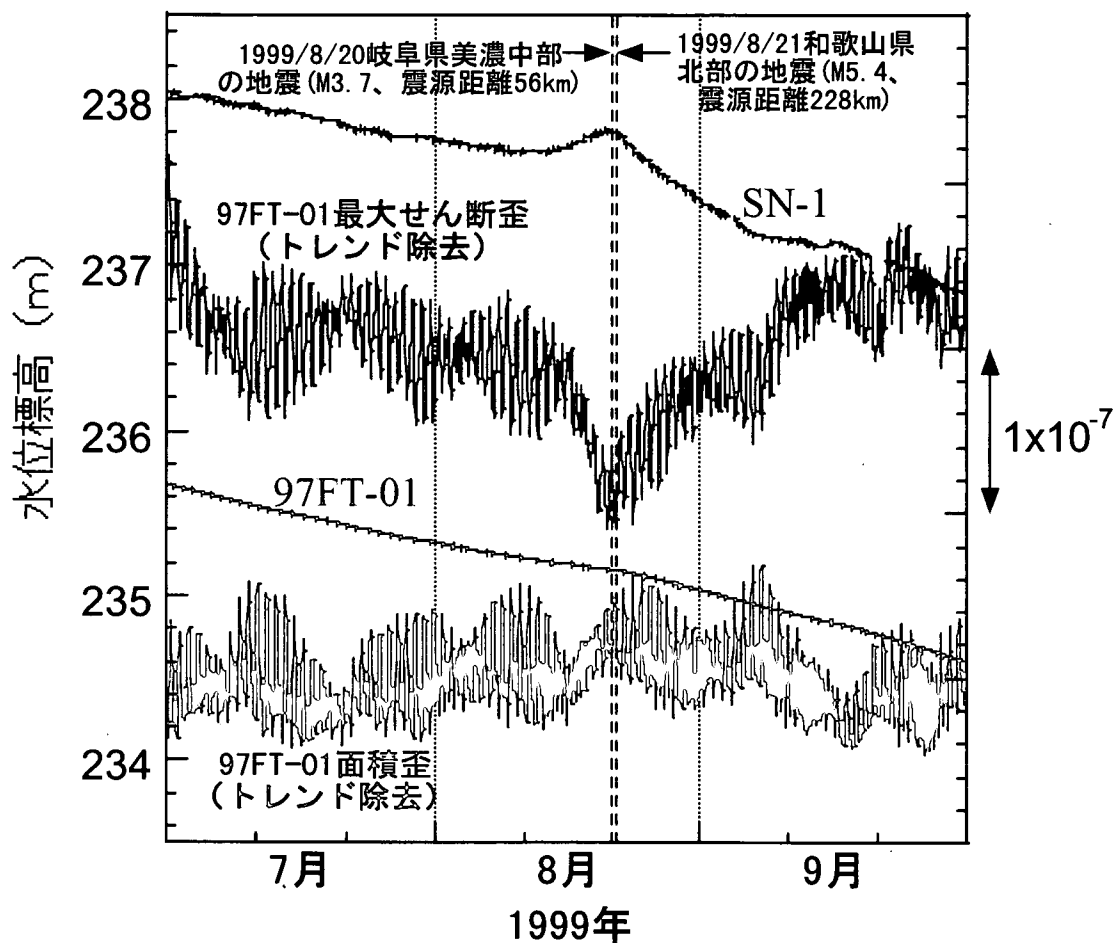


図4.15 1999年7-9月における地下水位変化 (SN-1, 97FT-01) と地殻歪 (97FT-01) の変動

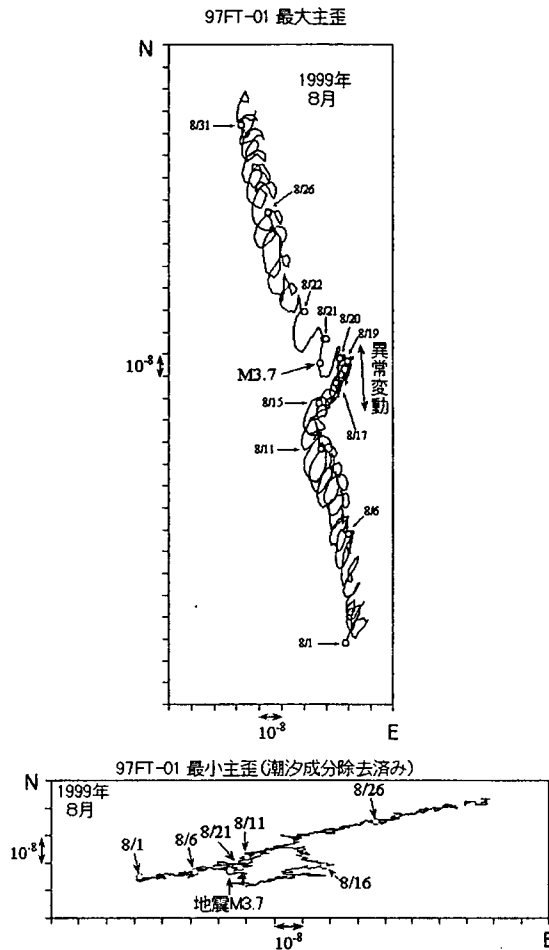


図4. 16 1999年8月の97FT-01号孔における最大主歪・最小主歪のベクトル

図4. 14で示した地震前のSN-1号孔の地下水位上昇が表われた幾つかの地震は、その震源の深さが40-70km程で、潜り込んだフィリピン海プレートで起こった地震であり、上部地殻中の地震ではないという共通点を持っている。図4. 15および図4. 16の1999年8月の地殻歪の観測結果は、地震の前後でフィリピン海プレートの沈み込みによる広域の応力場が少し変化したことを反映していると思われる。SN-1で見られた変動は、この土岐花崗岩の歪変化に対応していると考えられるが、一方で同じ花崗岩の地下水位には変動が見られず、そのメカニズムは明確ではない。

SN-1がある月吉断層北側の土岐夾炭累層下部は、遮水壁的な断層と花崗岩による堆積盆状の所に存在し、透水性が小さい事、その地下水位の気圧応答特性などから土岐花崗岩に比べ十分被圧がよい事が分かっている。これは、ゆっくりとした変形に対して大きな応答を期待できる可能性を意味する。また、地層そのものはフレッシュな花崗岩の巨礫を含む非常に不均質な堆積岩層である側面もあり、歪変化に対して異方性を示す可能性も考えられる。これらが体積(面積)歪または剪断歪変化を増幅して地下水位変動に

転換するメカニズムと関連している可能性があるが、現時点ではこれ以上の詳細は不明である。

4.4 まとめ

地下水位・間隙水圧・地殻歪の連続観測によって、土岐花崗岩周辺の地震に対する応答特性が判明してきた。中でも、土岐花崗岩領域で、地震後1週間～1ヶ月間ほど地下水位・間隙水圧が上昇する現象が特徴的に観測された。これは、土岐花崗岩体の様な結晶質岩層において、亀裂が粘土鉱物などで充填されているかつての破碎帯などによって地下水系が幾つかに分断されている構造と密接に関連している可能性がある。この場合、この地震後の変動は比較的浅い領域での地下水の移動による可能性が大きく、震源に近い所からの影響とは区別して考える必要がある。

また、直下のフィリピン海プレートの沈み込みに関連した地震に対しては、地震の数日前から土岐花崗岩の上層の土岐夾炭累層下部において地下水位が上昇し地震後元に戻る現象が3例観測された。その内1999年の例では同時に土岐花崗岩体の地殻歪にも水位と同じタイミングで特徴的な変動が見られた。こちらでは震源付近の地殻変動を反映している可能性があるが、検証のため更に事例を集める必要がある。

5. 観測結果

97FT-01, 98-FE-01, SN-1, SN-3, TH-7, TH-8, BH-1 における観測結果のグラフを年代順に示す。

5-1 1989年

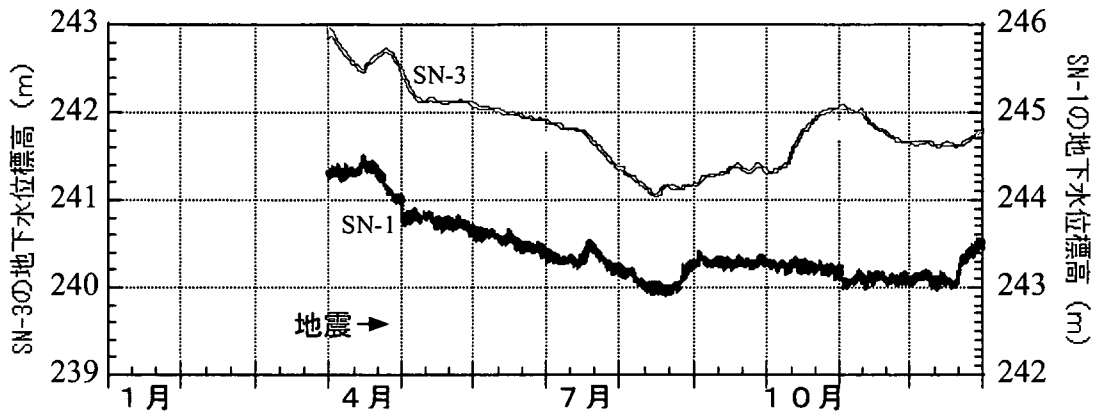


図5.1 1989年における地下水位変化

5-2 1990年

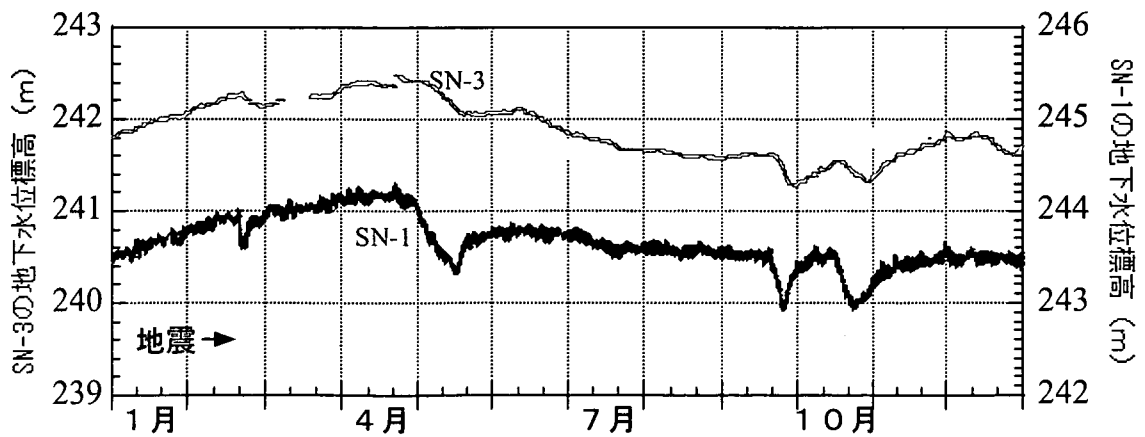


図5.2 1990年における地下水位変化

5-3 1991年

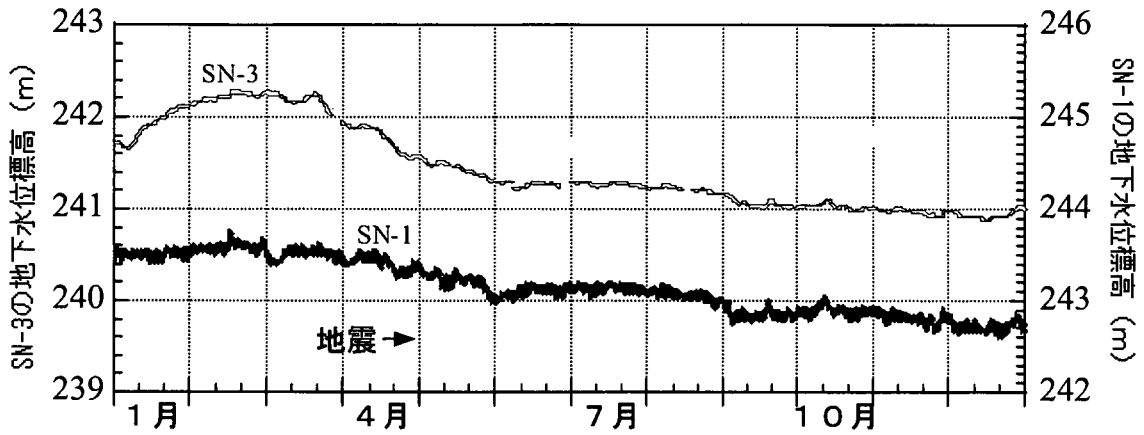


図5.3 1991年における地下水位変化

5-4 1992年

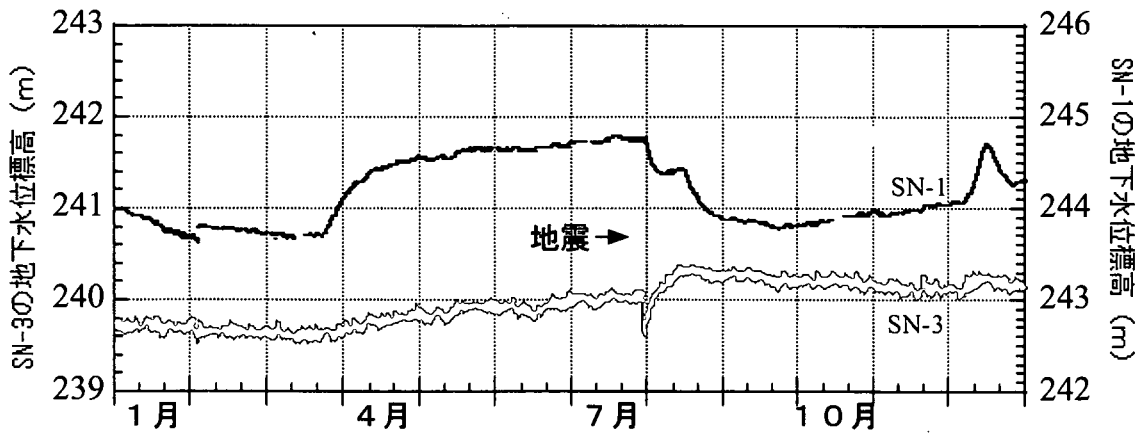


図5.4 1992年における地下水位変化

5-5 1993年

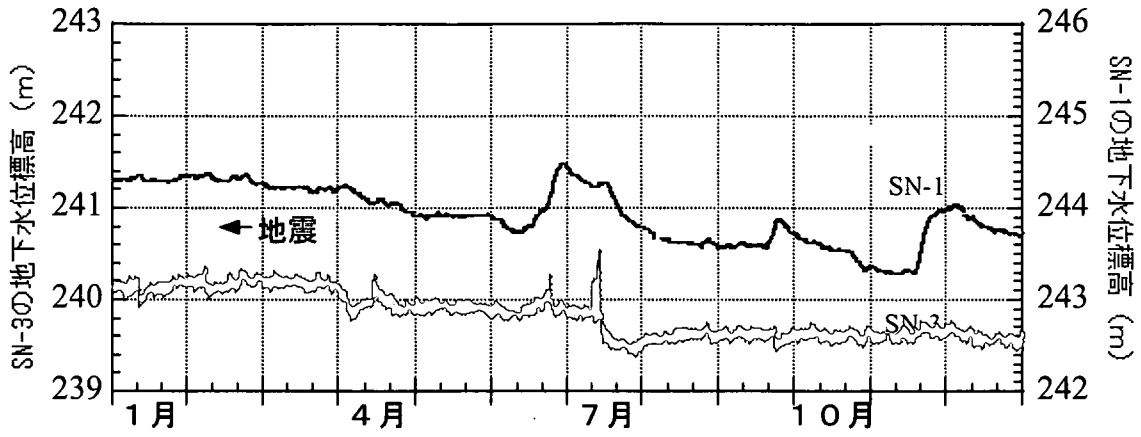


図5.5 1993年における地下水位変化

5-6 1994年

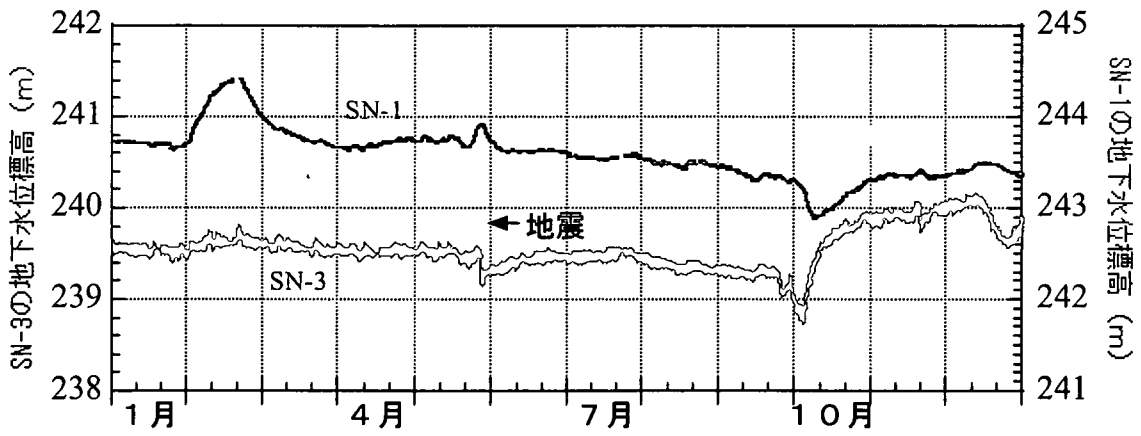


図5.6 1994年における地下水位変化

5-7 1995年

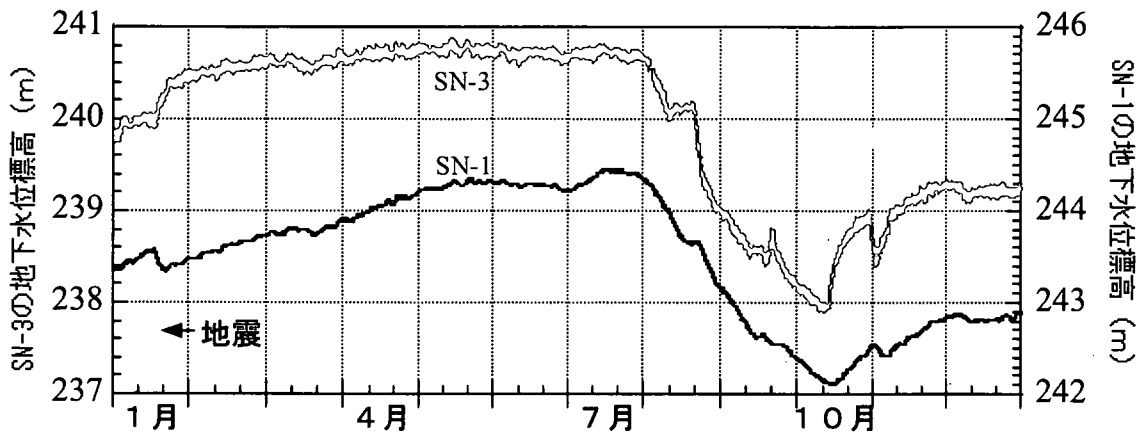


図5.7 1995年における地下水位変化

5-8 1996年

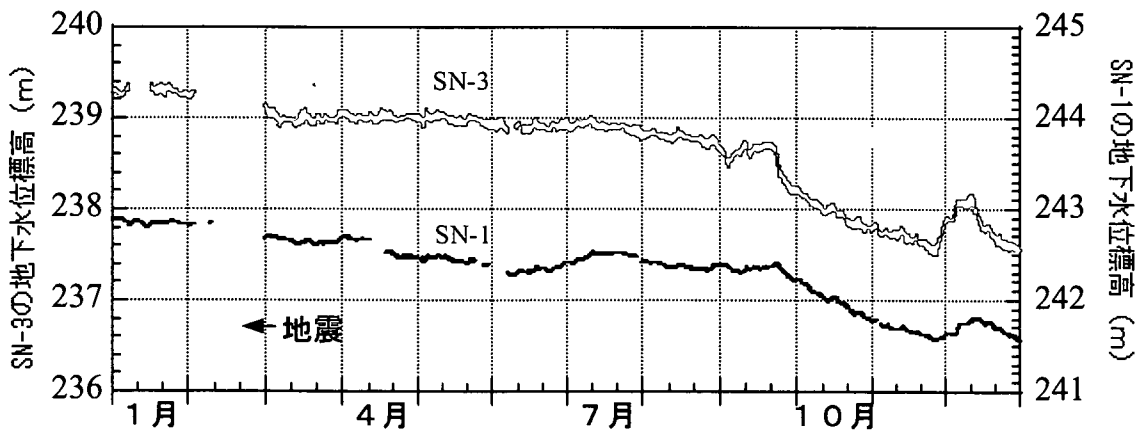


図5.8 1996年における地下水位変化

5-9 1997年

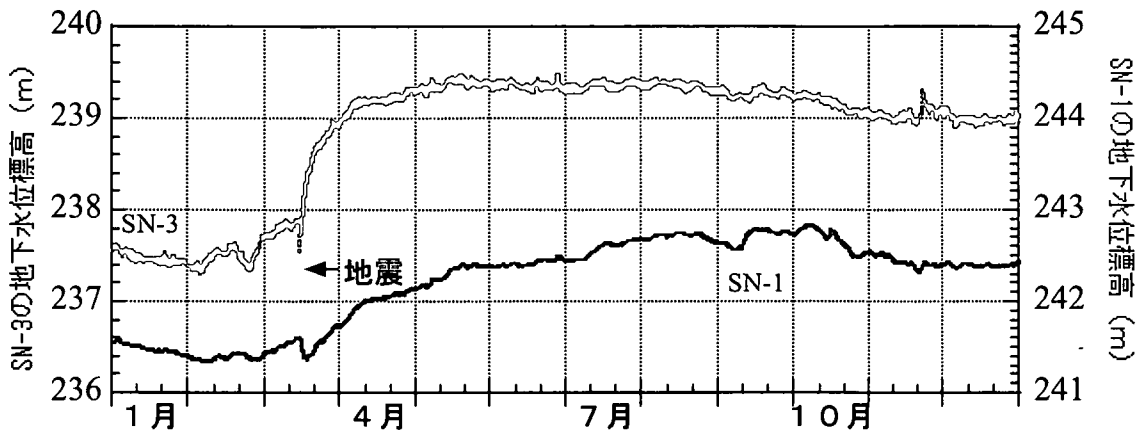


図5.9 1997年における地下水位変化

5-10 1998年

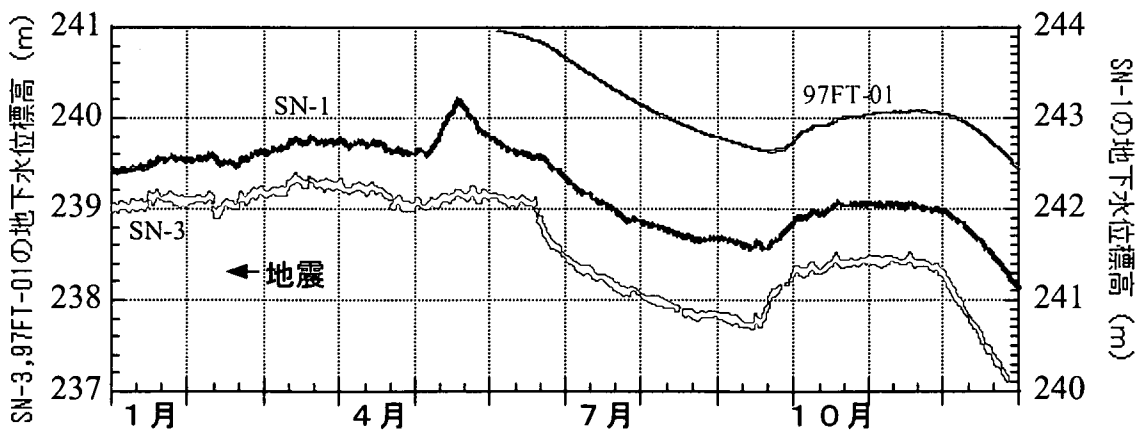


図5.10 1998年における地下水位変化

5-11 1999年

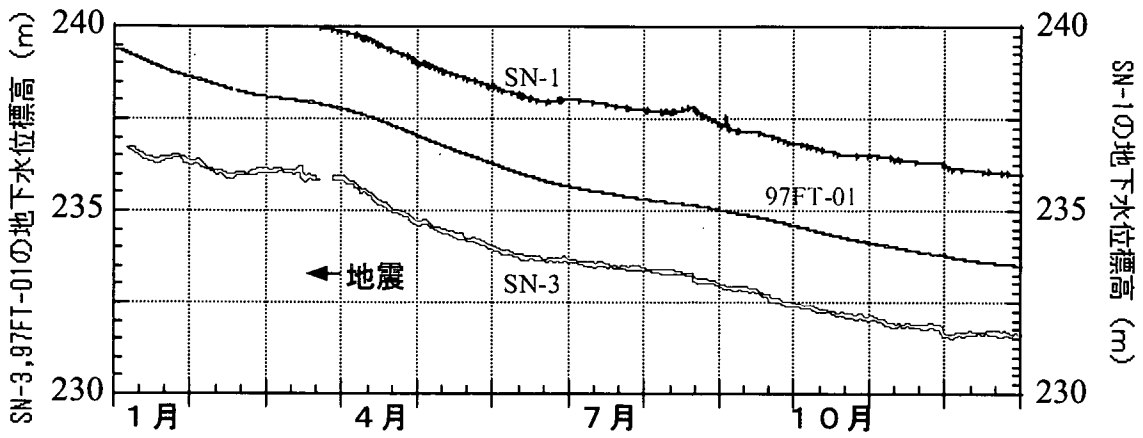


図5.11 1999年における地下水位変化

5-12 2000年

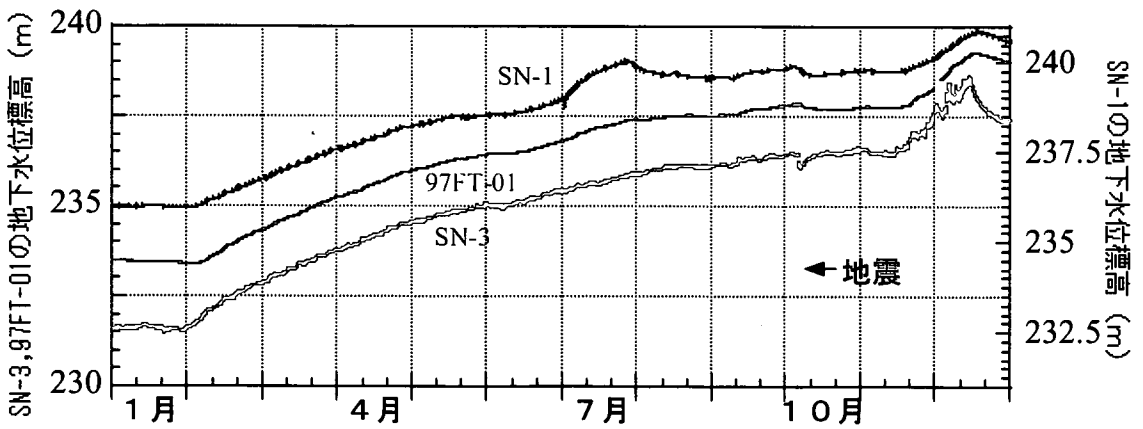


図5.12 2000年における地下水位変化

5-13 2001年

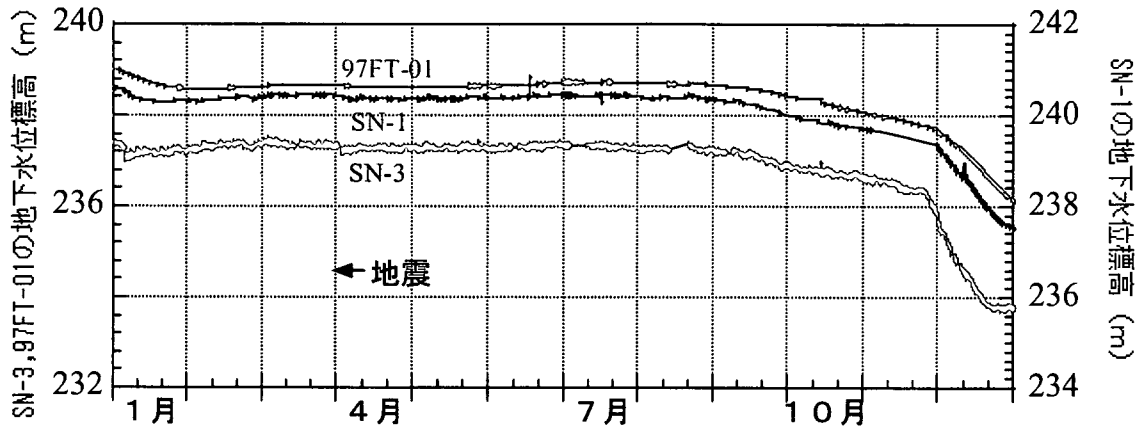


図5.13 2001年における地下水位変化

5-14 2002年

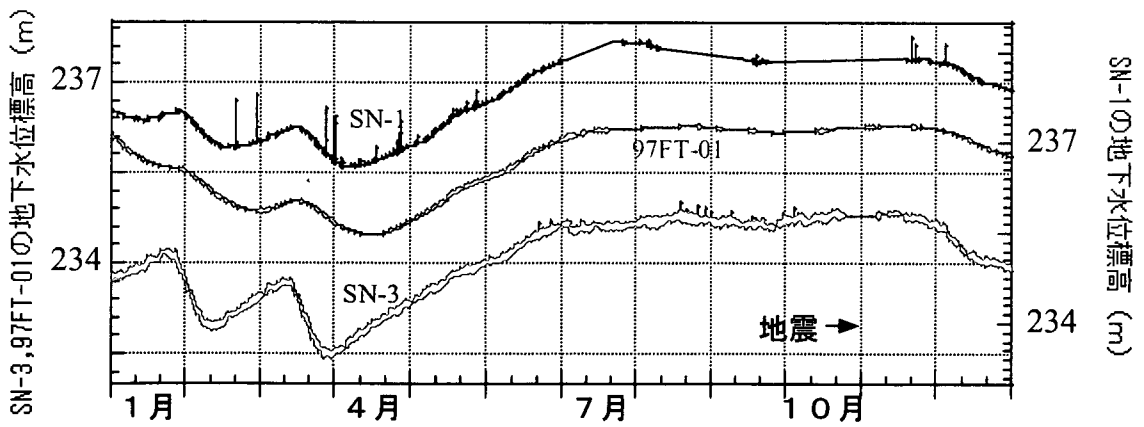


図5.14 2002年における地下水位変化

6. まとめ

地下水位・間隙水圧・地殻歪の連続観測によって、土岐花崗岩周辺の地震に対する応答特性や、その他の潮汐・気圧・人工的な地下水変動の影響に対する応答も判明してきた。これを簡単に以下のレスポンス表にまとめた。

対象となる観測点毎に、観測対象としている地層（の帯水層）と、各種の変動に対する応答の有無を示している。○は繰り返し応答があったものを示し、△は1回から3回程度応答が見られたもの、×は観測期間中応答が見られなかったもの、－は判断を下すだけの観測に至らなかったものを示している。

取上げた変動は、

潮汐、

気圧、

地震波動（地震で揺れている時の応答）、

地震前（地震の前に観測された特徴的な変動）、

地震直後（地震後数時間以内に顕著に現れた地下水位低下現象）、

地震後長期（地震後1週間～1ヶ月ほどかけて変動した地下水位・間隙水圧変動）、

地震後（地震後数ヶ月間変動が見られた、月吉断層北側の明世累層における間隙水圧上昇現象）、

漏水（KNA-2号孔や、MIU-2号孔に代表される、土岐花崗岩領域において月吉断層を貫いた試錐孔を通して、長期にわたって地下水が間隙水圧の高い断層北側から低い南側に移動した事に伴う変動）、

注水（東濃鉦山域内での掘削における注水に伴う地下水位・間隙水圧変動）に対する地下水位・間隙水圧や地殻歪の変動である。sは秒、hは時間、dは日を示す。

最も特徴的なのは、土岐花崗岩領域で、地震後1週間～1ヶ月間ほど地下水位・間隙水圧が上昇する現象が観測された点である。この影響は、土岐花崗岩直上の堆積層（土岐夾炭累層）には見られるが、それより上位の堆積層には見られず、土岐花崗岩における地下水の流動に起因していることが分かる。これは、土岐花崗岩体の様な結晶質岩層において、亀裂が粘土鉱物などで充填されているかつての破碎帯などによって地下水系が幾つかに分断されている構造と密接に関連している可能性がある。この場合、この地震後の変動は比較的浅い領域での地下水の移動による可能性が大きく、震源に近い所からの影響とは区別して考える必要がある。この現象は、日本に分布する結晶質岩の地層において、普遍的に見られる現象である可能性が高い。ただし、今回のように広域におけるこの現象の検証のためには、東濃地科学センターが実施する規模および密度に匹敵する観測の集中度が必要となる。

地震前の現象として、直下のフィリピン海プレートの沈み込みに関連した地震に対しては、地震の数日前から土岐花崗岩の上層の土岐夾炭累層下部において地下水位が上昇し地震後元に戻る現象が3例観測された。その内1999年の例では同時に土岐花崗岩体の地殻歪にも水位と同じタイミングで特徴的な変動が見られた。この変動が、真に震源

付近を起源とする地殻変動の影響を捉えたものと結論付けるには、更に繰り返し事例が認められる必要がある。

各観測点における、潮汐・気圧・地震に伴う各種の変動の有無をまとめたレスポンス表

観測対象 (時定数)	地層 (断層の南北)	観測点	潮汐 (25h, 12h)	気圧 (1-7d)	地震波動 (~数s)	地震前 5-10d直前	地震直後 (~数h)	地震後長期 (7-30d)	地震後 (数ヶ月)	漏水 (10d-年)	注水 (~数d)
地下水位 間隙水圧	生俵累層(北)	TH-8 P5	x	x	○	x	x	△?	x	x	-
	明世累層(北) (南)	TH-8 P4	○	○	○	x	x	x	△	x	-
		TH-7 P5	x	-	○	x	x	x	x	x	x
	土岐夾炭(北)	TH-8 P3	○	○	○	x	x	○	△	○	○
	累層上部(南)	TH-7 P4	○	○	○	x	x	x	x	x	-
	土岐夾炭下(北)	SN-1	x	○	x	△	△	○	△	○	○
	(北)	SN-3	○	○	○長周期	x?	○	○	x	○	○
	(北)	97FT-01	x	○	x	x	x	○	x	○	○
	(北)	TH-8 P2	○	○	○	x	x	○	x	○	○
	土岐花崗岩(北)	TH-8 P1	○	○	○	x	x	○	x	○	○
地殻歪	(北)	98FE-01	x	○	-	x	x	○	x	○	-
	(南)	TH-7 P3	○	○	○	x	x	○	x	○	-
	(南)	TH-7 P2	○	○	○	x	x	○	x	○	-
	(南)	TH-7 P1	○	○	○	x	x	○	x	○	-
	土岐花崗岩(南)	BH-1	○	○	○	△	x	x	x	○	○
地下水位	(北)	97FT-01	○	○	○	△	x	x	x	x	-
	土岐花崗岩(南)	DH-2	○	○	-	x	x	○	x	x	x
	(北)	DH-9	○	-	-	-	x	○(減少も)	x	-	-