

人形峠花崗岩の水理・水質特性調査

1999年8月

核燃料サイクル開発機構
人形峠環境技術センター

本資料の全部または一部を複写・複製・転記する場合は、下記にお問い合わせ下さい。

〒708-0698 岡山県苫田郡上齋原村1550

核燃料サイクル開発機構 人形峠環境技術センター
施設管理部 管理課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Co-ordination Section, Facility Manegemant Division,
Ningyo-Toge Environmental Engineering Center,
Japan Nuclear Cycle Development Institute,
1550 Kamisaibara-son, Tomada-gun, Okayama-ken, 708-0698,
Japan

©核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)

1999

人形峠花崗岩の水理・水質特性調査

竹内 章*, 松村敏博*, 佐藤和彦*, 鶴留浩二*, 時澤孝之*

要旨

人形峠環境技術センター内の試錐孔に設置したモニタリング装置(MPシステム)により, 調査技術の開発を目的として, 間隙水圧の測定, 地下水の溶存ガス分析や水質分析を行っている。平成10年度までに取得した水理・水質データを整理し, 地下水の特徴について取りまとめた。

以下に主な結果を示す。

1. ピエゾ水頭値及びその変動は, 大きく4つに区分される。
2. 地下水の水質型は, 弱アルカリ性の $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 型及び NaHCO_3 型のものが混在する。
3. 地下水の水質形成には, 方解石, 斜長石, 粘土鉱物及び沸石が関与していると考えられる。
4. 地下水の酸化還元電位は, ORP 電極から求められたものは $-186 \sim 355\text{mV}$, 溶存ガス濃度比より求められたものは $-350 \sim -200\text{mV}$ であり, 異なる結果となった。

*: 人形峠環境技術センター 環境保全技術開発部 環境研究グループ

THE CHARACTERIZATION OF DEEP GROUNDWATER HYDRAULICS AND
CHEMISTRY IN GRANITIC ROCKS AT THE NINGYO-TOGE, WESTERN JAPAN

Akira Takeuchi*, Toshihiro Matsumura*, Kazuhiko Sato*,
Koji Tsurudome* and Takayuki Tokizawa*

Abstract

We have carried out the measurement of the porewater pressure and the analysis of chemistry of groundwater including dissolved gas, in order to evaluate monitoring apparatus (MP System) installed in the borehole, NKS-1 at the Ningyo-toge, Okayama, Japan. This report includes the data, which have been measured until 1998 fiscal year and their brief summaries.

The results were summarized as follows;

- 1) According to the data of piezometric head and their variations, hydraulic zones are divided into four parts.
- 2) The groundwater chemistry are in the range of the weak alkaline $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ type and the NaHCO_3 type.
- 3) The formation of the groundwater chemistry may be accompanied with dissolution-precipitation of fissure filling minerals such as calcite, plagioclase feldspar, clay minerals and zeolite.
- 4) The redox values of the groundwater indicate from -186 to 355mV using glass electrode, whereas estimated values based on CO_2/CH_4 pair in dissolved gas indicate from -350 to -200mV.

*: Environmental Research and Development Group, Ningyo-toge Environmental Engineering Center, Japan Nuclear Cycle Development Institute

目次

1. はじめに	1
2. 地質概要	1
3. 試錐孔の状況	1
4. 方法	2
4.1 間隙水圧測定・採水方法	2
4.1.1 間隙水圧・採水装置	2
4.1.2 採取位置	2
4.1.3 ピエゾ水頭と間隙水圧測定	2
4.1.4 採水	2
4.2 水質分析	3
4.2.1 平成9年度までの水質分析	3
4.2.2 平成10年度以降の水質分析	3
4.2.3 溶存ガス成分	4
5. 結果	4
5.1 水理	4
5.2 水質	5
5.2.1 地下水の水質分析結果(経時変化)	5
5.2.2 水質の深度分布	6
5.2.3 飽和指数	7
5.2.4 溶存ガス	7
6. 考察	8
6.1 間隙水圧測定	8
6.1.1 区分	8
6.1.2 表層部	9
6.1.3 中間部	9
6.1.4 岩盤部	9
6.1.5 最深部	9
6.1.6 比抵抗分布との対応	9
6.2 地下水の酸化還元電位	10
6.3 地下水の水質を形成すると推定される鉱物－水反応	10
7. まとめ	11
8. 今後の課題	11
引用文献	11

図表類

表 1	MPsystem 測定区間	13
表 2	ピエゾ水頭値測定結果表	14
表 3	クラスター分析に用いるために修正したピエゾ水頭値	15
表 4	地下水の物理化学パラメータ測定及び水質分析結果（平成1年8月）	16
表 5	地下水の物理化学パラメータ測定及び水質分析結果（平成1年11月）	17
表 6	地下水の物理化学パラメータ測定及び水質分析結果（平成2年1月）	18
表 7	地下水の物理化学パラメータ測定及び水質分析結果（平成2年6月）	19
表 8	地下水の物理化学パラメータ測定及び水質分析結果（平成3年1月）	20
表 9	地下水の物理化学パラメータ測定及び水質分析結果（平成11年2月）	21
表 10	フリークによる鉱物の飽和度	22
表 11	地下水の溶存ガス分析結果・推定した Eh 及び実測の Eh	23
表 12	区分された測定区間の対応	24
表 13	測定区間と割れ目数・RQD 値比較表	25
図 1	試錐孔（NKS—1）の位置図	26
図 2	地質断面	27
図 3	オフセット VSP 法による調査結果	28
図 4	間隙水圧値からピエゾ水頭値への換算方法	29
図 5	ピエゾ水頭値経時変化図	30
図 6	測定場所別ピエゾ水頭値の変動	31
図 7	クラスター分析結果（グループ間平均連結法）	32
図 8	クラスター分析結果（グループ内平均連結法）	33
図 9	クラスター分析結果（最近隣法）	34
図 10	クラスター分析結果（最遠隣法）	35
図 11	クラスター分析結果（重心法）	36
図 12	クラスター分析結果（メディアン法）	37
図 13	クラスター分析結果（ワード法）	38
図 14	地下水の pH の経時変化	39
図 15	地下水の EC の経時変化	40
図 16	地下水中の Na ⁺ 濃度の経時変化	41
図 17	地下水中の Ca ⁺ 濃度の経時変化	42
図 18	地下水中の SO ₄ ²⁻ 濃度の経時変化	43
図 19	地下水中の HCO ₃ ⁻ 濃度の経時変化	44
図 20	地下水中の Si 濃度の経時変化	45
図 21	地下水中の pH・EC・Na ⁺ 濃度と深度の関係	46
図 22	地下水中の Ca ₂ ⁺ ・SO ₄ ²⁻ ・HCO ₃ ⁻ 濃度と深度の関係	47
図 23	地下水のトリリニアダイアグラム	48
図 24	層区分別のピエゾ水頭値の時系列変化	49
図 25	試錐孔（NKS—1）総合柱状図	50
図 26	地下水の pH と Ca ₂ ⁺ ・HCO ₃ ⁻ 濃度との関係	51

1. はじめに

鉱山の跡処置をはじめ鉱床成因研究や地層科学研究では、地下水の水理・水質特性等の場の理解や、場を理解するための調査技術、調査機器の開発を行っている。人形峠地域では、人形峠環境技術センター内の夜次地域に試錐孔(NKS-1～3号孔)を掘削するとともに、その内のひとつ(NKS-1号孔)にモニタリング装置を設置し各種試験を実施している。

この報告書では、平成元年から開始したMPシステムを用いたモニタリングの結果を示し、モニタリングから得られた人形峠地域の深部地下水の水理・水質特性について報告する。

特に、地下水水理については、表層付近の地下浅部から深部までの間隙水圧を測定し、ピエゾ水頭値の深度分布および経時変化、そして岩盤の割れ目データから、水理場の理解の一つとして地下深部における帯水層区分を試みた。一方、地下水水質については、主要溶存成分および溶存ガス分析結果を基に、本地域の地下水水質の特徴を示すとともに、理論的解析により水質形成機構についてまとめた。

2. 地質概要

本地域は、主に白亜紀から新第三紀に形成された人形峠花崗岩類が分布し、その上位に後期中新世から鮮新世の三朝層群に属する人形峠層及び高清水層が不整合に覆う。今回対象とした試錐孔 NKS-1 の岩質は花崗閃緑岩と花崗岩が広く分布するゾーンと、花崗閃緑岩、花崗岩、半花崗岩の3者からなるゾーンに大別できる。RQD 値の低い顕著な破碎帯は、単一の岩石よりも、岩種の境界部、ひん岩脈等の岩脈、半花崗岩に多く見られる。同一岩帯が広く分布するゾーンでも花崗閃緑岩よりも花崗岩でより割れ目が少ない。変質鉱物は、肉眼的に褐鉄鉱、方解石等の白色鉱物、粘土鉱物等の桃白色鉱物および緑泥石がみられる。緑泥石化は急傾斜の割れ目と断層帯に卓越する。割れ目充填鉱物は、沸石類(束沸石、濁沸石)、粘土鉱物(スメクタイト、緑泥石、雲母鉱物)、炭酸塩鉱物(方解石、霏石、ドロマイト、シデライト)、鉄水酸化物が見いだされ、ごく一部に、ソーダ沸石、黄鉄鉱、モリブデナイトが見られる(同和工営, 1987)。

3. 試錐孔の状況

NKS-1 は、人形峠環境技術センター内夜次地区に位置する(図 1)。掘進方向は垂直で、掘進深度は 505m、孔径は 76mm(NQ)である。図 2 に NKS-1～3号孔の断面での地質図を示す。深度 135.50m には、2.45m 幅の断層に付随する破碎帯がある。割れ目系は、深度 110 から 150m、深度 350 から 400m 付近で多く RQD も低下している。キャリパー検層結果でも、深度 145m 付近に顕著な孔径の拡大が見られる。図 3 に示すように、試錐孔 NKS-1 の深度 140m 付近の断層は、試錐孔 NKS-3 の深度 340m 付近の断層と連続していることがオフセット VSP により確認さ

れている(応用地質, 1989)。また, 深度 142 から 145m の断層帯の保孔を目的として, 深度 110.0~158.6m にセメントミルクを注入して孔壁を保護している。

4. 方法

4.1 間隙水圧測定・採水方法

4.1.1 間隙水圧・採水装置

本件では, 間隙水圧測定・採水は, MP システムを用いて行った(応用地質, 1988)。MP システムは, 単一孔で多深度における地下水の間隙水圧測定及び対象深度における圧力を保持した状態での採水を行うことができる。間隙水圧測定及び採水は同一のプローブ(MOSDAX™)を用いて行っている。

4.1.2 採取位置

間隙水圧測定及び採水の区間は, 物理探査, 試錐調査および試錐岩芯の鉱物試験結果をもとに岩石の種類, 割れ目の規模などに着目し, パッカーを用いて 30 の区間を設定している(表 1)。なお, 区間 16 及び QA16 は, 埋設装置の測定部が故障しており, 平成4年以降測定及び採水ができない状態にある。

4.1.3 ピエゾ水頭と間隙水圧測定

MP システムで測定された間隙水圧値は, 静水圧値と圧力水頭値(ピエゾ水頭圧値)との2つの成分の和である。間隙水圧の測定値から静水圧値を除き, ピエゾ水頭圧値を比較することにより, 断層, 割れ目系をネットワークとした岩盤帯水層の水理学的な不均質性を推定できる。ピエゾ水頭値への換算は以下の方法で行う(図 4)。

プローブで測定されたケーシング外の水圧(P_o :kg/cm²)とケーシング内の水圧(P_i)から, ケーシング外及び内の水頭値(H_o , H_i :m)が得られる。

$$H_o=(P_o-P_{atm})/W$$

$$H_i=(P_i-P_{atm})/W$$

ここで, P_{atm} は大気圧(kg/cm²), W は水の比重(0.1kg/cm²/m)を示す。上式より

$$\Delta H=H_o-H_i=(P_o-P_i)/W$$

$$D_z=D_{MP}-\Delta H$$

が得られる。ここで ΔH は測定点(メジャメントポート)で測定されたケーシング内外の水頭圧差(m), D_{MP} はケーシング内の水位(m), D_z は地表面からの深度(m)を示し, ピエゾ水頭値と呼ぶ。

4.1.4 採水

採水は, ステンレス製の採水ボトルをプローブに接続して行う。採水ボト

ル内の空気は採取した地下水の溶存成分濃度を変化させることが推察される。そこで、採水ボトルをヘリウムガス(99.9999%以上)で数回置換した後、負圧状態にして採水を行う。

4.2 水質分析

地下水の水質分析方法は、分析中での大気による試料の酸化と水質の変化を避けるために、平成10年度に分析方法の改善を行った。以下に、水質のモニタリングを開始した平成元年から平成9年までの方法と、平成10年度からの方法を示す。

4.2.1 平成9年度までの水質分析

(1) 前処理

pH, ORP 電位および主要溶存成分の測定・分析用試料は、大気雰囲気中で採水ボトルからビーカーに分取した。主要化学成分用の試料は、さらにポアサイズ0.45 μm のメンブランフィルタを用いてろ過をし、陰イオン分析用試料とした。また、ろ過後の試料に塩酸を加えて塩酸酸性の溶液とし、陽イオン分析用試料とした。

(2) 物理化学パラメータ

pH, ORP 電位およびEC は、大気雰囲気中でガラス電極を用いて測定した。ORP 電極については、Ag/AgCl 電極を用いた。

(3) 主要溶存成分

主要溶存成分として、以下の分析を行った。

Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}	:原子吸光ないし ICP 法
F^- , Cl^- , SO_4^{2-}	:イオンクロマトグラフ法
CO_3^{2-} , HCO_3^-	:滴定法によるアルカリ度の測定:
Si, Al	:吸光度法ないし ICP 法:

4.2.2 平成10年度以降の水質分析

平成10年度以降の前処理・物理化学パラメータの測定は、試料の酸化や二酸化炭素の吸収を避けるために、窒素雰囲気のグローブバックの中で以下のように行った。

(1) 前処理

pH, ORP 電位、主要溶存成分の測定・分析用試料は、窒素雰囲気中のグローブバック中で採水ボトルから分取した。主要化学成分用の試料は、さらにポアサイズ0.2 μm のメンブランフィルタを用いてろ過をした。Fe²⁺の分析用試料は、大気雰囲気中で塩酸を加えて塩酸酸性の溶液とした。

(2) 物理化学パラメータ

水温は、プローブから直読した値である。前処理と同じく窒素雰囲気

中で、pH および EC は、電極法で、ORP 電位はガラス電極(Ag/AgCl 電極)を用いて測定した。

(3) 主要溶存成分

主要溶存成分としては、以下の分析を行った。

Na ⁺ , K ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺	:イオンクロマトグラフ法
F ⁻ , Cl ⁻ , NO ₂ ⁻ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻	:イオンクロマトグラフ法
全炭素, 無機炭素	:赤外吸収法
Si, T-Fe, Fe ²⁺	:吸光光度法
Al	:ICP 法

4.2.3 溶存ガス成分

溶存ガス分析装置は、圧力を保持した状態で容器を連結するガスサンプリング装置、無機ガス分析用の 2 種類の分離特性の異なるカラム、低濃度(ppm)～高濃度(%)のガス分析を同時に行うための 2 種類の検出器、タイマーユニットと自動バルブなどを組み込んでいる(環境資源開発課, 1991)。溶存ガス分析は、採水ボトルをガスサンプリング装置に接続後、真空ポンプにてライン中の空気を除去する。試料を導入してサンプリング装置付属の圧力計にて試料の総ガス圧の測定を行った後、試料をガスクロマトグラフに導入して遊離したガスの分析を行った。

分析は、溶存ガスの種類を把握するための定性分析と地下水の Eh を推定するための定量分析を行った。

定性分析:CO₂, CH₄, N₂, H₂, CO, Ar

定量分析:CO₂, CH₄

5. 結果

5.1 水理

平成元年7月から平成11年1月までに計 22 回の間隙水圧測定を行った。各測定区間のピエゾ水頭値の経時変化を表 2 及び図 5 に示す。全ての区間でのピエゾ水頭値は、深度7～24mの範囲にある。区間毎のピエゾ水頭値の変動を図 6 に示す。ピエゾ水頭値及びその変動は、深度 10m 程度で推移しているグループ、深度 11m 程度で推移しているグループ、比較的広範囲に変動しているグループに概ね分けられる。

ピエゾ水頭値とその変動の関係について、クラスター分析によりグループ分けを行った。クラスター分析は、対象とするデータの中で似たものを集めてクラスターを作り、対象を分類する手法である。このクラスター分析における非類似度の計算には、一般的なユークリッド平方距離を用いた。また、各クラスターの非類似度は、グループ間平均連結法、グループ内平均連結法、最近隣法、最遠隣法、重心法、メディアン法及びウォード法の定義により決定した。クラスタ

一分析の計算に用いるデータは表 3 に示すように欠損が無いように次のように補完した。

①欠損値の多いデータ

区間 8, 16, QA16 の 3 区間を削除した。

②欠損値の少ないデータ

欠損値の前後の値を用い、この原理により平滑化を行った。

③その他

区間QA12 の1989年7月31日のデータは、1 データのみの欠損であるが、補完することができない。したがって、1989年7月31日については、全区間のデータを削除し、対象から除外した。

クラスター分析結果(テンドログラム)を図 7～13 に示す。それぞれの方法でクラスターの融合される順序やその距離が若干異なるものの、その傾向は類似している。形成されたクラスターを大別すると、

- ・ 区間 QA0, 1, QA1, 2, QA2, 3 及び QA15 (以下クラスター1と呼ぶ)
- ・ 区間 QA4, 6, QA6, 7, QA7, QA8, 9, QA9, 10, 11, QA12, 13, QA13, 14, QA14 及び 15 (クラスター2)
- ・ 区間 4, 5, QA5 及び 11(クラスター3)

の3つである。それぞれのクラスターと区間の特徴を比較すると、クラスター1が相対的に低いピエゾ水頭値を示すグループ、クラスター2が相対的に高いピエゾ水頭値を示すグループ、クラスター3がクラスター1及び2に区分されないグループとなる。

5.2 水質

5.2.1 地下水の水質分析結果(経時変化)

表 4～9 に平成元年から平成 11 年までに行った地下水の分析結果を示す。また、主な成分の経時変化を図 14～20 に示す。

(1) pH

多くの区間の pH は約 7～10 の値を示し、変動は±1 程度である。

(図 14)。

(2) EC

EC は、多くの区間で約 100～300 μ S/cm の値を示す。ただし、区間 2, 4, 8, 9 及び 11 では、値が増加する傾向が認められる(図 15)。

(3) Na⁺

Na⁺は、多くの区間において約 12～45ppm の値を示す。一部の区間では、この範囲内で徐々に増加する傾向がみられる。また、平成 11 年の測定において、区間 9 及び11の 2 点がそれぞれ 82ppm 及び 56.8ppm と高い値を示した(図 16)。

(4) Ca^{2+}

Ca^{2+} は、多くの区間で<15ppm の値を示す。ただし、区間 2, 4, 8 及び 11 では、濃度の増加する傾向がみられる(図 17)。

(5) SO_4^{2-}

SO_4^{2-} は、区間 QA8 及び 15 を除く多くの区間で、平成元年 11 月及び平成2年 1 月において減少傾向を示した。平成2年以降では、減少するものや変動するものがあり一定の傾向は認められない(図 18)。

(6) HCO_3^-

HCO_3^- は、50~150ppm の間の値で変動した。ただし、平成 11 年において、区間 2, 4, 8, 9 及び 11 の値が、他の区間より高い値を示した(図 19)。

(7) Si

Si の測定例は少ないが、1989 年から 1999 年の間に 5ppm 程度から 8ppm 程度にわずかに増加する傾向がみられる(図 20)。

5.2.2 水質の深度分布

最も新しい平成 11 年 2 月のデータを用いて、深度方向での水質の分布を調べた(図 21~22)。図に示す深度は、それぞれの区間のうち、メジャメントポートの深度である。なお全ての区間の水質は、pHは弱アルカリ性で、大部分の地下水の主要イオン間には $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ 、陰イオンでは、 $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$ 、Cl⁻といった傾向が見られる。地下水型は、 NaHCO_3 型の地下水であり、一部 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 型の地下水も混在する(図 23)。

(1) pH

pH は、全ての区間で pH7~10 の弱アルカリ性を示した。深度に依存する傾向は認められなかったが、区間 2, 4, 8, 9 及び 11 では、他に比べて pH7~8 とやや低い値を示した(図 21)。

(2) EC

EC は、多くの区間で 130~200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 程度の値を示した。深度に依存する傾向は、認められない。ただし、区間 2, 4, 8, 9 及び 11 は、他の区間に比べて高い値を示した(図 21)。

(3) Ca^{2+}

深度に依存する傾向は認められない。区間 2, 4, 8 及び 9 の値が、他の区間より高い濃度を示した(図 22)。

(4) SO_4^{2-}

SO_4^{2-} イオンは、深度の浅い区間(深度 100~200m)と深い区間(深度 360m 以上)においてやや高い(3~9ppm)濃度を示したが、その他の区間では 2ppm 以下の値を示した(図 22)。

(5) HCO_3^-

HCO_3^- は、無機炭素の測定結果をもとに計算により求めた。 HCO_3^- 濃度は、深度に依存する傾向は認められない。区間 2, 4, 8, 9 及び 11 は、他の区間と比べて高い濃度を示した(図 22)。

5.2.3 飽和指数

地球化学計算コードPHREEQE(Parkhurst et. al., 1980)により計算した鉱物の飽和指数を表10に示す。飽和指数は、平成11年2月の水質分析結果を用いて、地下水中の Na^+ 、 Ca^{2+} 、 HCO_3^- およびSi濃度に関する鉱物を対象として計算した。飽和指数は、-1未満を未飽和状態、-1以上1以下を飽和平衡、1以上を過飽和にあるものとみなした。以下に、飽和指数から推定される鉱物の地下水に対する飽和状態を示す。

・方解石

pH7~8の領域では、全て飽和平衡にある。

・ギブサイト

pH7~8の領域では、過飽和にある。pH8~10の領域では、飽和平衡もしくは過飽和にあるものもみられる。

・カオリナイト

pH7~8の領域では、ほとんど飽和平衡にあるが、区間11では未飽和にある。pH8~10の領域では、全て未飽和にある。

・K-雲母

pH7~8の領域では、区間 9 を除き全て飽和平衡にある。pH8~10の領域では、未飽和にある。

以上の他に、全ての区間において次の鉱物が未飽和にある。

・長石類(アルバイト, アノーサイト, K-長石)

・粘土鉱物(Na-モンモリロナイト, Ca-モンモリロナイト)

・フッ石類(方沸石, ローモンタイト, ワイラカイト)

・石英, SiO_2 (非晶質シリカ)

5.2.4 溶存ガス

表 11 に溶存ガス分析結果を示す。検出されたガス成分は、主に CO_2 、 CH_4 及び N_2 であった。 CH_4 及び N_2 は、全ての区間において検出されたが、 CO_2 は検出される区間と検出されない(<0.5ppm)区間がある。検出される区間での CO_2 濃度は、<2.8%、 CH_4 は、14ppm~53%であり、 $\text{CH}_4 > \text{CO}_2$ である。また、測定された CO_2 及び CH_4 の濃度とpHをもとに求めたEhは、-355~-178mVであった。

6. 考察

6.1 間隙水圧測定

6.1.1 区分

これまでの調査で平成2年2月から3年1月のデータを用いて、ピエゾ水頭値とその変動及び区間の深度分布から、区間を次の4つのゾーンに区分している(環境資源開発課, 1990)。

- ・表層部

深度:約 51~162m, ピエゾ水頭:深度約 11m, 変動:≤1m

- ・中間部

深度:約 163~188m, ピエゾ水頭:深度約 8~20m, 変動:約 10m

- ・岩盤部

深度:約 189~472m, ピエゾ水頭:深度約 10m, 変動:≤1m

- ・最深部

深度:約 473~505m, ピエゾ水頭:深度約 9~24m, 変動:約 10m

この区分と今回行ったクラスター分析による区分の空間的な分布を比較すると、表 12 に示すように、クラスター1が表層部と最深部、クラスター2の大部分が岩盤部、クラスター3が中間部と比較的よく対応している。しかし、細部では区分の方法と用いたデータ量の違いにより若干の差異がみられる。今回のクラスター分析による区分から、測定区間を以下のように区分する。

- ・表層部

深度:約 51~162m, ピエゾ水頭:深度約 11m, 変動:≤1m

- ・中間部

深度:約 162~196m, ピエゾ水頭:深度約 20~8m, 変動:>1m

- ・岩盤部

深度:約 196~480m, ピエゾ水頭:深度約 9.5m, 変動:≤1m

- ・最深部

深度:約 480~505m, ピエゾ水頭:深度約 24~9m, 変動:>1m

前回の報告との相違点は、区間 QA5 が岩盤部から中間部へ、区間 15 が最深部から岩盤部へ変わっている。また、今回の区分では、岩盤部で、区間 8 で比較的動幅が広く、区間 9 でピエゾ水頭値が深度 10m 程度と、周辺の区間に比較して若干低い。各ゾーン別のピエゾ水頭値の経時変

化を図 24 に、それぞれのゾーンの特徴を以下に示す。

6.1.2 表層部

表層部では、深度 142～145m に断層帯が分布しているにも係わらず、その上下のピエゾ水頭値及びその変動は非常に似通っている。花崗岩の上位には、人形峠層が分布しているが、その連続性は乏しく、断層で切られている部分や直接花崗岩が露出している部分が多い。また、この花崗岩の表層付近は、数十 m のオーダまで風化している。したがって、この表層部は、地下浅部の比較的透水性高い部分に対応し、地下浅部の地下水の変動と対応していることが推測される。

6.1.3 中間部

中間部では、ピエゾ水頭値が深度 20～8m の範囲で他の区間に比べ大きく変動している。区間 QA4 を除くとピエゾ水頭値の変動は変動幅が異なるものの、比較的同様の変動を示している。中間部に区分された区間は、断層や試錐掘削時に逸水が認められた区間である。したがって、この中間部では、他のゾーンに比べて地下水の流動が激しく、比較的若い地下水が涵養していると考えられる。

6.1.4 岩盤部

岩盤部では、ピエゾ水頭値が深度 18～6.7m の範囲にあるが、一部の値を除くと、ピエゾ水頭値は深度 9.5m 程度である。この値は、表層部の深度約 11m よりも若干高く、涵養域は表層部のものとは異なる地域であることが推察される。岩盤部の上位には、断層や破碎帯の発達する中間部があり、これらとピエゾ水頭値の関係については、今後事例調査を含めて検討していきたい。

6.1.5 最深部

最深部では、ピエゾ水頭値が深度 24～8.8m の範囲で大きく変動している。また、ピエゾ水頭値の平均も深度 13m 程度と、他のゾーンと比較して最も低い値を示している。

6.1.6 比抵抗分布との対応

今回の区分を図 25 に示す各種検層結果と比較すると、NKS-1 で実施した電気検層(同和工営, 1987)と良い対応がみられる。すなわち、低比抵抗帯は表層部に、高比抵抗帯は岩盤部に、変化点付近は中間部に対応する。このことは岩盤の地下水流動が岩盤の含水比、言い換えれば風化ないし割れ目状況と対応した区分が可能であることを示している。深度別の区分と割れ目数及び RQD 値との関係を表 13 に示す。全体的には、割れ目数が 10 個以下で RQD 値が 50%以上であり、一部に割れ目数が 25 個で RQD 値が 0 の比較的割れ目が少なく透水性の低い部分がある。特

に深度 110~150m 及び 350~400m 付近は、割れ目の数が多く、RQD 値も低い。ただし、ピエゾ水頭値と RQD 値とは、必ずしも調和的であるとは言えず、ピエゾ水頭値のデータだけから帯水層を区分する事は困難であり、検層結果等の水理地質データを交えて検討することが必要である。

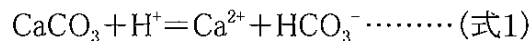
6.2 地下水の酸化還元電位

地下水の Eh は、ORP 電極 (Ag/AgCl 電極) 及び溶存ガス (CO₂ 及び CH₄) から求めた。ORP 電極から求めた Eh は、-186~355mV を示し、還元的な値を示す区間や酸化的な値を示す区間がある。一方、溶存ガス濃度比から計算した Eh は、全ての区間において -200~-350mV 程度の還元的な値である。ORP 電極から求めた Eh と溶存ガスから求めた Eh との間には、明瞭な直線関係はみられない。地表での測定値は、原位置の測定に比べて圧力の開放及び溶存ガスの遊離を伴う。電極を用いての測定方法は、共存イオンなどの様々な因子によって影響を受ける。一方、溶存ガスや溶存イオンの酸化還元対の濃度比から求めた Eh は、ORP 電極から求めた Eh と調和的でないことが指摘されている (例えば Patterson and Runnells, 1992)。真の Eh を把握するためには、ORP 電極による測定及び CO₂-CH₄ 系からの Eh だけでなく、Fe²⁺-Fe³⁺系や H₂S-HS⁻系などから求めた Eh を含めての多角的な検討が必要となってくる。

6.3 地下水の水質を形成すると推定される鉱物-水反応

本地域の地下水は、天水起源である (環境資源開発課, 1991)。天水起源の地下水は、地下水の浸透とともに、割れ目表面の鉱物の溶解、沈殿、及びイオン交換反応が起き、水質が進化すると考えられる。NKS-1 孔で観察される割れ目充填鉱物には、沸石類、粘土鉱物、炭酸塩鉱物、鉄水酸化物がある。これらの鉱物のうち、地下水中の Na⁺もしくは Ca²⁺を供給する鉱物としては、方解石、沸石、粘土鉱物である。一方、Si を供給する鉱物としては、沸石、粘土鉱物である。これらの鉱物と水が反応して、地下水中の濃度が変化すると考えられる。

地下水の水質分析の結果 (平成 11 年 2 月) より、特に区間 2, 4, 8 及び 9 の地下水はその他の区間と異なり、pH7~8 で Ca²⁺濃度及び HCO₃⁻濃度が高く、Ca(HCO₃)₂ の水質型である。この 4 カ所の区間では、低 pH ほど Ca²⁺濃度及び HCO₃⁻濃度が高い傾向が認められる (図 26)。したがって、これらの区間では、方解石の溶解 (式1) に伴い水質が形成されているものと考えられる。



一方、上記以外の区間では、pH9~10 の NaHCO₃ 型の水質である。一般的に、弱アルカリ性の NaHCO₃ 型の水質形成には、方解石の溶解とともに斜長石の溶解、粘土鉱物やフッ石によるイオン交換が関与していることが報告されて

いる(佐藤ほか, 1992)。NKS-1 の花崗岩中の割れ目には, 斜長石, 粘土鉱物及び沸石類が認められ, それらの飽和指数は未飽和状態にあることを示している。また, 方解石の飽和指数は平衡状態にあることを示している。したがって, NaHCO_3 型の水質形成には, 式1に示す方解石の溶解が関与しているものと考えられるが, $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+}$ とする反応については現状では特定できない。

7. まとめ

モニタリング装置(MP システム)により, 平成 10 年度までに取得した人形峠花崗岩の地下水の水理・水質データを整理し, 地下水の特徴についてまとめた。以下に本報告内容について示す。

間隙水圧の測定結果より求めたピエゾ水頭及びその変動は, 大きく4つに区分される。そこで, 平成 10 年度の水質分析結果をもとに深度方向での水質の分布を調べたが, 特徴的な傾向は認められず, 地下水の水質と深度方向や前出の4つの区分との関連性については不明である。

地下水の水質は, モニタリング開始当初(平成元年)に比べ平成 11 年の測定値(Na^+ , Ca^{2+} , HCO_3^- の濃度)が一部の区間において高い値を示し, 弱アルカリ性の $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 型及び NaHCO_3 型のものが混在する水質である。また, 地下水の酸化還元電位は, ORP 電極から求められたものは $-186 \sim 355\text{mV}$, 溶存ガス濃度比より求められたものは $-350 \sim -200\text{mV}$ であり, 異なる結果となった。

地下水の水質形成については, 岩石・鉱物データ及び地下水の水質データより, 方解石, 斜長石, 粘土鉱物及び沸石が関与していると考えられる。

8. 今後の課題

- ①観察データ, 物理検層結果, 及び透水係数の測定結果の整理を行うとともに間隙水圧の測定を継続し, 地下水の水理地質モデルを作成する。
- ②平成 10 年度から改善を行った分析方法によるデータを蓄積し, 長期的な水質のモニタリングを継続する。
- ③微量成分の分析を行い, 水質形成機構について多角的な検討を行う。
- ④ H_2S , HS^- (S^{2-}) の分析と Eh の推定を行い, 地下水の酸化還元状態測定の信頼性を高める。
- ⑤②～④の結果から, 水質形成機構について検討を行い, 地下水の地球化学モデルを作成する。
- ⑥MP システムによる水理及び水質のモニタリングを継続し, データの信頼性を評価することにより, 採水システムの耐久性を評価する。

引用文献

- 応用地質(株)(1988)MPシステム機器及び設置に関する報告書
応用地質(株)(1988)人形峠事業所における物理探査(オフセットVSP)
改訂地下水ハンドブック編集委員会(編)(1998)改訂地下水ハンドブック

- 環境資源開発課(1991)平成2年度人形峠事業所環境資源開発課年報 PNC PN
6410 91-065, 231-253
- 笹本ほか(1996)釜石鉱山における地球化学的研究(I), PNC TN 8410 96-203
- 佐藤ほか(1992)花崗岩類の地下水経路における鉱物-水反応の実験的評価
同和工営(株)(1987)人形峠夜次地区地質構造試錐調査(NKS-1)
同和工営(株)(1988)人形峠夜次地区地質構造試錐調査(NKS-3)
- 那須ほか(1981)水の分析 第3版, 日本分析化学会北海道支部編
- 山本莊毅(1983)新版地下水調査法, 古今書院
- James, I.D.(1988)The geochemistry of natural water
- Parkhurst, D.L., Thorstenson, D.C., and Plummer, L.N. (1980) PHREEQE -A
computer program for geochemical calculations. U.S. Geological Survey
Water-Resources Investigations Report 80-96, p. 195.
- Patterson, C.G. and Runnells, D.D. (1992) Dissolved gases in ground water as
indicators of redox conditions. Water-Rock Interaction, WRI-7, 517-520.

表 1 MPSystem測定区間

No	深 度		区間長 m	シメント深度 m	透水試験 cm/sec	断層	割れ目		逸水量 L/min	岩 質			備考	予測
	m	m					縦	横		Gn	Gd	Ap		
QA0	51.0	- 92.1	41.1	88.8										
1	93.0	- 94.6	1.6	93.3					70/60	○			割れ目系密集, れき状から短棒状コア	
QA1	95.5	- 104.1	8.6	100.8										
2	105.0	- 109.6	4.6	105.3			○				○		横割れ目優勢	断層上部
QA2	110.5	- 158.1	47.6	154.8										
3	159.0	- 161.6	2.6	159.3			○				○		横割れ目5本程度	断層下部
4	162.5	- 164.1	1.6	162.8		163.30 - 163.80					○		下区間とパッカー共通	上区間とコンタミの恐れ
QA4	165.0	- 178.6	13.6	175.3										
5	179.5	- 188.1	8.6	179.8			○	75/24-29			○		横割れ目優勢	
QA5	189.0	- 195.6	6.6	192.3										
6	196.5	- 207.1	10.6	196.8				75/21			○			
QA6	208.0	- 247.1	39.1	243.8										
7	248.0	- 258.1	10.1	248.3	7.71E-008		○	75/27-30			○		横割れ目優勢	
QA7	259.0	- 274.1	15.1	270.8										
8	275.0	- 277.6	2.6	275.3							○		279.3-283.0mフレッシュ	
QA8	278.5	- 312.1	33.6	308.8										
9	313.0	- 314.6	1.6	313.3		313.80 - 313.90					○		下区間とパッカー共通	下区間とコンタミの恐れ
QA9	315.5	- 364.6	49.1	361.3										
10	365.5	- 369.1	3.6	365.8	8.11E-007	366.20 - 368.30					○		下区間とパッカー共通	上下区間とコンタミの恐れ
11	370.0	- 377.1	7.1	370.3			○				○			上区間とコンタミの恐れ
12	378.0	- 387.1	9.1	378.3			○				○			
QA12	388.0	- 413.1	25.1	409.8										
13	414.0	- 426.6	12.6	414.3			○ ○				○		縦割れ目から横割れ目	
QA13	427.5	- 440.6	13.1	437.3										
14	441.5	- 448.6	7.1	441.8			○				○			
QA14	449.5	- 472.1	22.6	468.8										
15	473.0	- 479.6	6.6	473.3			○ ○				○		横割れ目優勢, 一部縦割れ目	
QA15	480.5	- 494.1	13.6	490.8										
16	495.0	- 498.6	3.6	495.3	6.42E-010		○				○ ○ ○			
QA16	499.5	- 505.0	5.5	499.8										

逸水量は, 送水量/排水量を示す。
110.0-158.6mは保孔のためセメンテーションを行っている。

表 2 ピエゾ水頭値測定結果表

No	測定深度		測定日																						
	m	m	89/07/31	89/08/03	89/08/09	89/08/28	89/10/19	90/01/16	90/02/21	90/02/26	90/03/05	90/06/25	90/08/27	90/12/11	91/01/17	91/09/11	92/01/08	92/10/06	93/08/23	93/08/27	97/02/14	98/01/14	98/08/07	99/01/12	
QA0	51.0 - 92.1		-11.13	-11.59	-11.52	-11.57	-10.76	-11.08	-10.82	-10.76	-10.80	-11.38	-11.87	-10.77	-11.13	-11.45	-11.21	-11.52	-10.24	-10.03	-11.79	-11.37	-11.52	-11.86	
1	93.0 - 94.8		-11.23	-11.75	-11.67	-11.57	-10.81	-11.13	-10.87	-10.70	-10.71	-11.32	-11.71	-10.81	-11.07	-11.40	-11.18	-11.37	-9.86	-9.89	-11.74	-11.30	-11.56	-11.76	
QA1	95.5 - 104.1		-10.93	-11.55	-11.42	-11.42			-10.95	-10.70	-10.83	-10.63	-11.23	-11.81	-10.71	-10.95	-11.36	-11.18	-11.37	-10.18	-10.25	-11.74	-11.40	-11.46	-11.75
2	105.0 - 109.6		-11.73		-11.66	-11.78	-10.96	-11.39	-11.04	-10.87	-10.85	-11.35	-11.85	-10.86	-11.09	-11.51	-11.33	-11.50	-10.12	-9.84	-11.69	-11.23	-11.50	-11.75	
QA2	110.5 - 158.1		-10.53	-11.54	-11.41	-11.51	-10.70	-11.02	-10.80	-10.71	-10.70	-11.22	-11.88	-10.78	-11.02	-11.38	-11.04	-11.44	-9.84	-9.90	-11.74	-11.35	-11.43	-11.76	
3	159.0 - 161.6		-11.13	-12.99	-11.34	-10.85	-11.54	-11.07	-10.82	-10.75	-10.63	-11.28	-11.67	-10.72	-10.95	-11.39	-10.99	-11.55	-10.17	-9.96	-11.69	-11.38	-11.48	-11.72	
4	182.5 - 184.1		-9.34	-11.68	-9.01		-9.99	-12.13	-20.01	-19.82	-18.91	-15.82	-11.70	-13.48	-12.32	-11.08	-14.81	-13.71	-15.37	-12.54	-8.93	-9.12	-10.32		
QA4	165.0 - 178.6		-9.06	-10.02	-9.85	-9.85	-9.25	-9.28	-9.44	-9.25	-9.05	-9.36	-9.98	-8.91	-9.06	-9.57	-9.60	-9.74	-8.46	-8.31	-10.07	-9.85	-9.74	-9.80	
5	179.5 - 188.1		-11.67	-8.25	-10.50	-10.50	-10.15	-18.09	-18.06	-18.69	-17.86	-14.58	-11.29	-12.75	-12.00		-16.13	-13.41	-13.68	-14.74	-12.51	-9.18	-9.48	-10.28	
QA5	189.0 - 195.6		-8.89	-8.02	-9.91	-10.03	-9.40	-11.31	-11.91	-11.43	-11.31	-10.71	-9.87	-9.58	-9.54		-14.44	-10.18	-10.19	-10.26	-12.14	-9.50	-9.80	-9.87	
6	196.5 - 207.1		-8.59	-9.95	-9.82	-9.92	-9.34	-9.27	-9.55	-9.47	-9.24	-9.66	-10.14	-9.12	-9.36	-9.80	-9.71	-9.82	-8.57	-8.41	-10.21	-9.85	-9.84	-9.98	
QA6	203.0 - 247.1		-8.41	-9.94	-9.90	-9.91	-9.33	-8.40	-9.64	-9.55	-9.31	-9.54	-10.20	-9.21	-9.60	-9.78	-9.68	-9.81	-9.35	-8.86	-10.24	-9.81	-9.81	-9.97	
7	248.0 - 258.1		-8.71	-10.19	-9.99	-10.11	-9.37	-8.56	-9.67	-9.59	-9.39	-9.59	-10.24	-9.22	-9.65	-9.88	-9.75	-9.85	-9.05	-8.45	-10.35	-9.75	-9.76	-9.95	
QA7	259.0 - 274.1		-9.77	-10.02		-11.27	-9.39	-9.65	-9.79	-9.60	-9.43	-9.60	-10.18	-9.12	-9.66	-9.89	-9.77	-9.66	-8.58	-8.58		-9.86	-9.86	-9.97	
8	275.0 - 277.6		-11.37	-10.98	-11.24	-10.51						-9.59					-18.24	-12.34	-10.99	-12.63	-11.40	-8.39	-9.00	-9.30	
QA8	278.5 - 312.1		-7.85	-9.84	-9.81	-9.82	-9.26	-9.45	-9.88	-9.39	-9.15	-9.55	-10.19	-9.15	-9.45	-9.79	-9.68	-9.69	-8.62	-8.40	-10.22	-9.85	-9.85	-9.97	
9	313.0 - 314.6		-8.55	-10.61	-10.68	-10.68	-10.40			-11.17	-10.51	-10.37	-10.12	-10.73	-9.38	-9.89	-10.38	-10.19	-10.15	-8.87	-10.77	-11.01	-9.58	-9.79	-9.90
QA9	315.5 - 364.6		-7.73	-10.01	-9.87	-9.92		-9.41	-9.64	-9.39	-9.23	-9.70	-10.30	-9.16	-9.56	-8.85	-9.57		-8.45	-8.43	-10.31	-9.83	-9.96	-10.09	
10	365.5 - 369.1		-7.53	-9.74	-10.70	-9.61	-9.15	-9.07	-9.42	-9.23	-8.98	-9.35	-10.04	-8.90	-9.20	-9.60	-9.55	-9.57	-8.48	-8.22	-9.05	-9.66	-9.69	-9.79	
11	370.0 - 377.1		-8.12	-9.99	-10.15	-10.16	-9.60	-10.82	-10.66	-10.59	-10.34	-10.30	-11.27	-9.45	-9.65	-9.99	-14.49	-9.93	-8.93	-8.39	-10.39	-9.19	-9.73	-9.64	
12	378.0 - 387.1		-7.81	-9.71	-9.60	-9.65	-9.23	-9.21	-9.43	-9.30	-8.95	-9.41	-9.98	-8.96	-9.24	-9.65	-9.55	-9.64	-8.51	-8.30	-10.11	-9.67	-9.81	-9.80	
QA12	388.0 - 413.1			-9.36	-9.66	-9.68	-9.24	-9.33	-9.45	-9.30	-9.15	-9.51	-10.05	-8.95	-9.24	-9.62	-9.82	-9.63	-8.52	-8.30	-10.07	-9.83	-9.78	-9.80	
13	414.0 - 428.6		-7.37	-9.94	-9.90	-9.92	-9.45	-9.68	-9.68	-9.66	-9.40	-9.76	-10.28	-9.19	-9.48	-9.94	-9.70	-9.76	-8.67	-8.46	-10.01	-9.66	-10.72	-9.70	
QA13	427.5 - 440.8		-6.93	-9.76	-9.72	-9.64	-9.17	-9.29	-9.50	-9.36	-9.13	-9.56	-10.00	-8.99	-9.39	-9.73	-9.67	-9.68	-8.67	-8.27	-10.09	-9.64	-9.79	-9.83	
14	441.5 - 448.6		-6.83	-9.83	-9.88	-9.78	-9.35	-9.44	-9.65	-9.32	-9.07	-9.52	-10.03	-9.14	-9.53	-9.72	-9.67	-9.73	-8.71	-8.38	-10.12	-9.78	-9.83	-9.87	
QA14	449.5 - 472.1		-6.77	-9.79	-9.83	-9.78	-9.31	-9.41	-9.61	-9.39	-9.10	-9.47	-10.07	-9.10	-9.47	-9.70	-9.71	-9.68	-8.64	-8.37	-10.04	-9.75	-9.84	-9.87	
15	473.0 - 479.6		-7.87	-10.43	-10.47	-10.52	-10.15	-9.66	-10.36	-9.93	-9.66	-10.22	-10.52	-9.64	-9.93	-9.96	-10.03	-9.92	-8.98	-8.92	-9.98	-8.73	-9.89	-9.83	
QA15	480.5 - 494.1		-8.80	-11.62	-11.56	-11.53	-11.44	-11.54	-11.87	-11.83	-11.56	-11.59	-12.10	-11.42	-11.40	-11.64	-11.93	-11.80	-11.03	-10.88		-11.89	-11.54	-11.60	
16	495.0 - 498.8		-11.21	-12.57	-13.00	-12.98	-13.58	-17.29	-23.92	-18.67	-17.50	-13.84	-13.54	-13.29	-12.73	-11.96	-15.57								
QA16	499.5 - 505.0		-9.61	-11.71	-12.59	-13.01	-13.22			-14.81	-15.01	-14.84	-13.72	-13.77	-12.93	-12.67									

表 3 クラスタ分析に用いるために修正したピエゾ水頭値

	測 定 日																				
	89/08/03	89/08/09	89/08/28	89/10/19	90/01/16	90/02/21	90/02/26	90/03/05	90/06/25	90/08/27	90/12/11	91/01/17	91/09/11	92/01/08	92/10/06	93/08/23	93/08/27	97/02/14	98/01/14	98/09/07	99/01/12
QA 0	-11.59	-11.52	-11.57	-10.76	-11.08	-10.82	-10.76	-10.80	-11.38	-11.87	-10.77	-11.13	-11.45	-11.21	-11.52	-10.24	-10.03	-11.79	-11.37	-11.52	-11.86
1	-11.75	-11.67	-11.57	-10.81	-11.13	-10.87	-10.70	-10.71	-11.32	-11.71	-10.81	-11.07	-11.40	-11.16	-11.37	-9.86	-9.89	-11.74	-11.30	-11.56	-11.76
QA 1	-11.55	-11.42	-11.42	-11.25	-10.95	-10.70	-10.63	-10.63	-11.23	-11.81	-10.71	-10.95	-11.36	-11.18	-11.37	-10.18	-10.25	-11.74	-11.40	-11.46	-11.75
2	-11.71	-11.66	-11.76	-10.96	-11.39	-11.04	-10.87	-10.85	-11.35	-11.85	-10.86	-11.09	-11.51	-11.33	-11.50	-10.12	-9.84	-11.69	-11.23	-11.50	-11.75
QA 2	-11.54	-11.41	-11.51	-10.70	-11.02	-10.80	-10.71	-10.70	-11.22	-11.68	-10.78	-11.02	-11.38	-11.04	-11.44	-9.84	-9.90	-11.74	-11.35	-11.43	-11.76
3	-12.99	-11.34	-10.85	-11.54	-11.07	-10.82	-10.75	-10.63	-11.28	-11.67	-10.72	-10.95	-11.39	-10.99	-11.55	-10.17	-9.95	-11.69	-11.38	-11.48	-11.72
4	-11.68	-9.01	-9.27	-9.99	-12.13	-20.01	-19.82	-18.91	-15.82	-11.70	-13.48	-12.32	-11.49	-11.08	-14.81	-13.71	-15.37	-12.54	-8.93	-9.12	-10.32
QA 4	-10.02	-9.85	-9.95	-9.25	-9.28	-9.44	-9.25	-9.05	-9.36	-9.98	-8.91	-9.06	-9.57	-9.50	-9.74	-8.46	-8.31	-10.07	-9.65	-9.74	-9.80
5	-8.25	-10.50	-10.50	-10.15	-18.09	-18.06	-18.69	-17.86	-14.58	-11.29	-12.75	-12.00	-14.75	-16.13	-13.41	-13.68	-14.74	-12.51	-9.18	-9.48	-10.28
QA 5	-8.02	-9.91	-10.03	-9.40	-11.31	-11.91	-11.43	-11.31	-10.71	-9.87	-9.58	-9.54	-12.80	-14.44	-10.18	-10.19	-10.26	-12.14	-9.50	-9.80	-9.87
6	-9.95	-9.82	-9.92	-9.34	-9.27	-9.55	-9.47	-9.24	-9.66	-10.14	-9.12	-9.36	-9.80	-9.71	-9.82	-8.57	-8.41	-10.21	-9.85	-9.84	-9.98
QA 6	-9.94	-9.90	-9.91	-9.33	-8.40	-9.64	-9.55	-9.31	-9.54	-10.20	-9.21	-9.60	-9.78	-9.69	-9.81	-9.35	-8.85	-10.24	-9.81	-9.91	-9.97
7	-10.19	-9.99	-10.11	-9.37	-8.56	-9.67	-9.59	-9.39	-9.59	-10.24	-9.22	-9.65	-9.88	-9.75	-9.85	-9.05	-8.45	-10.35	-9.75	-9.76	-9.95
QA 7	-10.02	-10.32	-11.27	-9.39	-9.65	-9.79	-9.60	-9.43	-9.60	-10.18	-9.12	-9.66	-9.89	-9.77	-9.86	-8.68	-8.58	-9.46	-9.69	-9.85	-9.97
QA 8	-9.84	-9.81	-9.82	-9.26	-9.45	-9.88	-9.39	-9.15	-9.55	-10.19	-9.15	-9.45	-9.79	-9.66	-9.69	-8.62	-8.40	-10.22	-9.85	-9.85	-9.97
9	-10.61	-10.68	-10.68	-10.40	-10.95	-11.17	-10.51	-10.37	-10.12	-10.73	-9.38	-9.89	-10.38	-10.19	-10.15	-8.87	-10.77	-11.01	-9.58	-9.79	-9.90
QA 9	-10.01	-9.87	-9.92	-9.73	-9.41	-9.64	-9.39	-9.23	-9.70	-10.30	-9.16	-9.56	-8.85	-9.57	-9.06	-8.45	-8.43	-10.31	-9.83	-9.96	-10.09
10	-9.74	-10.70	-9.61	-9.15	-9.07	-9.42	-9.23	-8.98	-9.35	-10.04	-8.90	-9.20	-9.60	-9.55	-9.57	-8.48	-8.22	-9.05	-9.66	-9.69	-9.79
11	-9.99	-10.15	-10.16	-9.60	-10.92	-10.66	-10.59	-10.34	-10.30	-11.27	-9.45	-9.65	-9.99	-14.49	-9.93	-8.93	-8.39	-10.39	-9.19	-9.73	-9.64
12	-9.71	-9.60	-9.65	-9.23	-9.21	-9.43	-9.30	-8.95	-9.41	-9.98	-8.95	-9.24	-9.65	-9.55	-9.64	-8.51	-8.30	-10.11	-9.67	-9.81	-9.80
QA 12	-9.36	-9.66	-9.68	-9.24	-9.33	-9.45	-9.30	-9.15	-9.51	-10.05	-8.95	-9.24	-9.62	-9.82	-9.63	-8.52	-8.30	-10.07	-9.63	-9.78	-9.80
13	-9.94	-9.90	-9.92	-9.45	-9.68	-9.88	-9.66	-9.40	-9.75	-10.28	-9.19	-9.48	-9.94	-9.70	-9.78	-8.67	-8.46	-10.01	-9.65	-10.72	-9.70
QA 13	-9.76	-9.72	-9.64	-9.17	-9.29	-9.50	-9.36	-9.13	-9.55	-10.00	-8.99	-9.39	-9.73	-9.67	-9.68	-8.67	-8.27	-10.09	-9.64	-9.79	-9.83
14	-9.83	-9.88	-9.78	-9.35	-9.44	-9.65	-9.32	-9.07	-9.52	-10.03	-9.14	-9.53	-9.72	-9.67	-9.73	-8.71	-8.38	-10.12	-9.78	-9.83	-9.87
QA 14	-9.79	-9.83	-9.76	-9.31	-9.41	-9.61	-9.39	-9.10	-9.47	-10.07	-9.10	-9.47	-9.70	-9.71	-9.68	-8.64	-8.37	-10.04	-9.75	-9.84	-9.87
15	-10.43	-10.47	-10.52	-10.15	-9.66	-10.36	-9.93	-9.68	-10.22	-10.52	-9.64	-9.93	-9.95	-10.03	-9.92	-8.98	-8.92	-9.98	-9.73	-9.89	-9.83
QA 15	-11.82	-11.56	-11.53	-11.44	-11.54	-11.87	-11.83	-11.56	-11.59	-12.10	-11.42	-11.40	-11.64	-11.93	-11.80	-11.03	-10.88	-11.52	-11.69	-11.54	-11.60

表 4 地下水の物理化学パラメータ測定及び水質分析結果

平成1年8月

sample	水温 (°C)	pH	Eh (mV)	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Na ⁺ (ppm)	K ⁺ (ppm)	Ca ²⁺ (ppm)	Mg ²⁺ (ppm)	F ⁻ (ppm)	Cl ⁻ (ppm)	NO ₂ ⁻ (ppm)	Br ⁻ (ppm)	NO ₃ ⁻ (ppm)	SO ₄ ²⁻ (ppm)	無機炭素 (ppm)	全炭素 (ppm)	Si (ppm)	T-Fe (ppm)	Fe ²⁺ (ppm)	CO ₃ ²⁻ (ppm)	HCO ₃ ⁻ (ppm)	Al (ppm)
1		9.8	181	117	22.6	0.4	3.7	0.1	0.4	5.8				13.3						27.0	39.7	
QA 1																						
2																						
3		8.0	260	131	30.4	0.3	4.4	0.2	0.3	5.2				12.9							76.3	
4																						
QA 4																						
5		8.8	222	130	24.9	0.4	4.8	0.2	0.3	7.5				13.5						15.0	61.0	
QA 5																						
6																						
QA 6																						
7		8.0	249	123	20.0	0.2	6.3	0.2	0.3	6.1				12.1							68.6	
QA 7																						
8																						
QA 8																						
9																						
QA 9																						
10																						
11																						
12																						
QA 12																						
13																						
QA 13																						
14		9.3	180	142	30.2	0.3	7.2	0.5	0.2	7.4				11.3						18.0	70.2	
QA 14																						
15																						
QA 15																						
16																						
QA 16																						

表 5 地下水の物理化学パラメータ測定及び水質分析結果

平成1年11月

sample	水温 (°C)	pH	Eh (mV)	EC (μ S/cm)	Na ⁺ (ppm)	K ⁺ (ppm)	Ca ²⁺ (ppm)	Mg ²⁺ (ppm)	F ⁻ (ppm)	Cl ⁻ (ppm)	NO ₂ ⁻ (ppm)	Br ⁻ (ppm)	NO ₃ ⁻ (ppm)	SO ₄ ²⁻ (ppm)	無機炭素 (ppm)	全炭素 (ppm)	SiO ₂ (ppm)	T-Fe (ppm)	Fe ²⁺ (ppm)	CO ₃ ²⁻ (ppm)	HCO ₃ ⁻ (ppm)	Al (ppm)
1		9.3	205	132	20.9	0.5	4.8	0.2	0.3	4.2				11.1			6.7			14.9	49.4	0.05
QA 1		9.9	10	158	21.2	0.5	5.2	0.1	0.4	4.1				9.9			7.3			28.2	60.4	0.08
2		9.0	212	184	30.7	0.6	12.2	0.4	0.4	4.0				11.9			9.5			0	101.3	0.02
3		8.3	-100	150	22.3	0.3	5.8	0.2	0.3	3.3				5.0			10.5			0	94.8	0
4		7.9	180	153	27.2	0.3	11.5	0.4	0.3	3.3				5.3			10.2			0	107.4	0.03
QA 4		8.8	251	142	24.5	0.3	4.2	0.1	0.2	3.8				7.2			11.5			22.4	62.8	0.03
5		8.0	203	160	25.7	0.3	6.1	0.2	0.3	2.8				4.2			8.9			0	89.8	0.01
QA 5		8.4	220	153	24.5	0.2	5.5	0.2	0.3	3.0				5.4			11.6			6.8	78.1	0.01
6		8.7	145	145	22.5	0.3	5.5	0.2	0.3	3.7				6.3			10.3			22.5	64.1	0
QA 6		8.9	200	148	24.6	0.2	4.3	0.1	0.3	3.9				7.2			11.2			14.7	70.0	0.01
7		8.4	-225	147	20.4	0.3	6.0	0.2	0.1	3.6				7.5			9.0			24.0	62.1	0.02
QA 7		8.0	138	141	26.0	0.6	4.4	0.1	0.3	3.1				6.9			12.6			0	78.7	0
8		8.1	215	153	23.5	0.5	9.3	0.3	0.2	3.4				4.1			7.7			0	85.7	0.01
QA 8		9.3	120	260	23.9	0.2	2.9	0.1	0.3	3.2				4.2			10.9			17.7	59.8	0
9		8.0	260	123	25.9	0.5	25.6	0.6	1.5	3.8				6.0			10.8			17.8	163.5	0
QA 9		8.8	250	131	26.6	0.3	5.8	0.1	0.1	3.4				9.5			12.0			33.6	47.8	0.02
10		8.8	206	130	18.4	0.3	3.5	0.1	0.2	3.7				3.2			10.2			23.3	64.7	0.01
11		8.4	195	160	28.4	0.3	5.7	0.1	0.2	3.5				4.4			11.1			3.3	107.4	0.01
12		9.0	172	152	26.6	0.3	3.0	0.0	0.2	3.2				4.2			9.5			22.8	65.9	0.03
QA 12		9.3	150	149	25.1	0.3	2.9	0.1	0.2	2.7				4.7			8.0			26.4	75.0	0.06
13		9.2	183	153	25.3	0.3	2.6	0.1	0.3	3.9				5.0			11.0			19.8	64.7	0.03
QA 13		9.2	160	143	25.5	0.7	3.0	0.1	0.2	4.1				6.9			10.5			46.5	49.1	0.01
14		9.0	190	151	25.1	0.2	3.5	0.1	0.2	2.8				3.8			10.9			9.2	76.3	0.06
QA 14		9.1	196	159	28.1	0.4	2.4	0.1	0.0	3.6				6.3			12.7			37.5	48.8	0.32
15		8.5	105	175	28.8	0.3	5.6	0.1	0.4	3.3				2.1			10.6			10.2	105.5	0.04
QA 15		8.9	-119	156	27.5	0.3	5.5	0.1	0.2	3.4				4.2			10.9			10.8	82.4	0.06
16		7.3	-114	171	28.9	0.4	7.8	0.3	0.2	4.2				5.8			8.1			0	112.9	0
QA 16		8.0	249	123	30.0	0.0	14.0	0.0	1.0	3.0				4.0			10.0			0	69.0	0

表 6 地下水の物理化学パラメータ測定及び水質分析結果

平成2年1月

sample	水温 (°C)	pH	Eh (mV)	EC (μ S/cm)	Na ⁺ (ppm)	K ⁺ (ppm)	Ca ²⁺ (ppm)	Mg ²⁺ (ppm)	F ⁻ (ppm)	Cl ⁻ (ppm)	NO ₂ ⁻ (ppm)	Br ⁻ (ppm)	NO ₃ ⁻ (ppm)	SO ₄ ²⁻ (ppm)	無機炭素 (ppm)	全炭素 (ppm)	SiO ₂ (ppm)	T-Fe (ppm)	Fe ²⁺ (ppm)	CO ₃ ²⁻ (ppm)	HCO ₃ ⁻ (ppm)	Al (ppm)
1		9.3	154	137	20.2	0.4	5.0	0.2	0.3	3.1				3.9			7.7			14.0	76.3	0.01
QA 1		10.1	124	175	27.3	0.5	6.1	0.2	0.3	2.8				4.7			8.2			7.8	68.7	0.01
2		9.0	48	148	26.1	0.6	8.2	0.4	0.4	2.8				3.6			8.8			4.7	87.0	0.01
3		9.4	-26	179	29.6	0.3	8.3	0.3	0.5	3.0				4.2			9.8			21.7	79.3	0.08
4		7.9	-93	263	29.7	0.4	20.5	0.8	1.5	2.6				3.8			9.8			0.0	147.9	0.24
QA 4		10.2	-83	154	29.6	0.2	3.4	0.2	0.4	3.0				5.3			11.3			12.4	82.4	0.02
5		8.5	17	160	29.1	0.2	6.4	0.3	0.3	2.8				2.3			10.9			1.6	76.3	0
QA 5		8.7	-72	155	28.5	0.2	5.5	0.3	0.3	2.9				2.7			12.2			3.1	88.5	0
6		8.9	163	121	23.5	0.2	6.1	0.3	0.2	2.7				2.9			11.1			6.2	76.3	0.02
QA 6		9.0	158	142	27.4	0.2	3.4	0.2	0.3	2.7				5.3			12.9			4.7	77.8	0.01
7		9.2	-78	135	23.4	0.2	2.7	0.2	0.1	2.7				5.6			12.5			6.2	71.2	0.02
QA 7		9.6	-45	157	28.3	0.2	3.8	0.0	0.3	2.9				3.2			9.7			6.2	66.6	0.02
8		7.7	19	191	29.4	0.3	15.0	0.4	0.3	3.0				4.6			11.5			0.0	119.0	0.02
QA 8		9.9	22	150	29.8	0.2	3.3	0.0	0.3	3.0				5.7			11.6			10.9	73.2	0.03
9		7.8	-64	251	35.6	0.4	20.8	0.6	0.1	3.4				3.6			11.0			0.0	125.0	0.01
QA 9		9.0	-15	130	14.6	0.2	10.0	0.2	1.2	2.4				6.9			11.1			4.7	58.0	0.02
10		8.8	32	136	28.7	0.2	4.0	0.1	0.2	2.8				2.0			10.9			3.1	82.4	0.01
11		8.4	-71	150	33.5	2.0	8.7	0.2	0.3	4.3				3.2			12.4			0.0	110.0	0.01
12		9.4	70	127	32.7	0.1	3.8	0.1	0.3	2.7				2.7			10.5			4.7	80.8	0.02
QA 12		9.4	-87	127	33.7	0.2	4.1	0.1	0.3	2.8				5.1			11.2			14.0	97.6	0.02
13		9.4	-102	138	33.9	0.2	3.5	0.1	0.2	2.8				2.6			10.8			10.9	91.5	0.07
QA 13		9.1	-75	131	31.4	0.1	4.1	0.0	0.1	2.8				3.6			9.6			9.3	80.8	0.05
14		7.9	-82	143	31.0	0.3	5.7	0.1	0.2	3.0				2.4			10.1			0.0	86.9	0.03
QA 14		8.7	-38	144	33.8	0.3	3.3	0.0	0.2	3.5				6.2			13.1			4.7	82.4	0.02
15		7.1	208	163	42.2	0.4	7.7	0.2	0.4	2.9				2.4			11.6			0.0	109.8	0.11
QA 15		8.6	157	142	19.7	0.3	8.4	0.4	0.3	4.5				2.1			8.7			3.1	70.2	0.08
16		7.5	251	191	33.2	0.3	10.3	0.4	0.3	3.5				2.8			8.5			0.0	131.2	0.02
QA 16		7.4	206	200	37.0	0.4	18.4	0.4	0.4	3.2				3.2			8.3			0.0	161.7	0.02

表 7 地下水の物理化学パラメータ測定及び水質分析結果

平成2年6月

sample	水温 (°C)	pH	Eh (mV)	EC (μ S/cm)	Na ⁺ (ppm)	K ⁺ (ppm)	Ca ²⁺ (ppm)	Mg ²⁺ (ppm)	F ⁻ (ppm)	Cl ⁻ (ppm)	NO ₂ ⁻ (ppm)	Br ⁻ (ppm)	NO ₃ ⁻ (ppm)	SO ₄ ²⁻ (ppm)	無機炭素 (ppm)	全炭素 (ppm)	SiO ₂ (ppm)	T-Fe (ppm)	Fe ²⁺ (ppm)	CO ₃ ²⁻ (ppm)	HCO ₃ ⁻ (ppm)	Al (ppm)	
1		9.3	-122	122	18.3	0.5	5.7	0.2	0.6	3.9				6.9						42.2	57.3		
QA 1																							
2		7.4	-120	151	12.7	1.4	12.1	0.7	0.1	8.1				4.4								70.4	
3		9.4	20	143	28.5	0.4	3.3	0.1	0.7	3.4				11.1						60.1		79.1	
4		7.1	-113	268	27.9	0.6	29.2	1.0	3.1	4.8				3.0								158.0	
QA 4																							
5		7.8	-174	172	29.4	0.6	7.0	0.3	1.0	4.5				3.7								92.3	
QA 5																							
6		8.0	19	133	18.4	0.3	8.8	0.6	0.2	3.7				3.5								75.4	
QA 6																							
7		8.4	21	136	23.9	0.3	5.9	0.2	0.5	3.6				2.2								86.5	
QA 7		8.7	-125	144	27.9	0.6	4.2	0.1	0.4	3.7				1.6						41.5		73.8	
8					31.3	0.5	20.9	0.6	1.3	4.5				0.7									
QA 8		8.8	170	146	31.7	0.2	2.7	0.1	0.5	3.5				7.3						64.0		76.8	
9					14.4	0.1	10.3	0.2	0.1	2.9				2.3									
QA 9																							
10		8.6	-70	136	24.6	0.2	3.6	0.1	0.2	3.3				1.8						26.7		67.9	
11		7.7	-160	206	28.5	0.2	2.7	0.1	0.3	3.6				6.4								121.4	
12		8.7	88	163	32.6	0.3	3.5	0.1	0.9	4.2				3.0						61.3		90.6	
QA 12		8.8	-165	158	31.8	0.4	3.2	0.1	1.2	4.1				2.3						70.8		88.5	
13					32.3	0.2	2.3	0.1	0.3	4.6				0.6									
QA 13		9.0	-132	144	36.5	0.3	11.7	0.0	1.9	3.7				3.5						70.1		73.9	
14		8.5	-160	162	32.9	0.5	4.0	0.2	0.5	3.8				3.0						57.3		92.2	
QA 14		9.2	30	168	35.7	0.4	2.3	0.0	0.4	3.9				9.2						50.2		88.9	
15					39.3	0.5	6.6	0.2	0.8	3.8				1.0									
QA 15		8.0	-190	191	40.2	0.4	5.4	0.1	0.4	3.8				0.9						4.8		104.3	
16					30.0	0.5	13.0	0.4	0.2	4.9				0.5									
QA 16		6.9	300	322	44.8	0.8	28.6	0.8	1.4	3.8				2.0								193.0	

表 8 地下水の物理化学パラメータ測定及び水質分析結果

平成33年1月

sample	水温 (°C)	pH	Eh (mV)	EC ($\mu S/cm$)	Na ⁺ (ppm)	K ⁺ (ppm)	Ca ²⁺ (ppm)	Mg ²⁺ (ppm)	F ⁻ (ppm)	Cl ⁻ (ppm)	NO ₂ ⁻ (ppm)	Br ⁻ (ppm)	NO ₃ ⁻ (ppm)	SO ₄ ²⁻ (ppm)	無機炭素 (ppm)	全炭素 (ppm)	SiO ₂ (ppm)	T-Fe (ppm)	Fe ²⁺ (ppm)	CO ₃ ²⁻ (ppm)	HCO ₃ ⁻ (ppm)	Al (ppm)	
1																							
QA 1		9.7	-2	144	25.2	0.6														14.2	65.8		
2		8.1	-7	222	28.7	0.8														0	99.3		
3		11.1	30	136	32.7	1.5														54.2	77.5		
4																							
QA 4		9.0	-144	151	31.0	0.2														7.8	80.9		
5																							
QA 5																							
6		8.6	-7	251	19.9	0.2														3.5	72.9		
QA 6		9.0	-26	146	28.3	0.2														10.1	70.8		
7		8.5	105	143	26.1	0.2														2.4	71.9		
QA 7		9.1	-126	143	29.2															9.4	69.6		
8																							
QA 8		9.0	-90	154	31.9	0.3														9.3	71.5		
9		7.6	-122	236	29.2	0.2														0	122.5		
QA 9		8.6	8	126	16.3	0.1														6.2	52.1		
10		8.8	-94	144	28.9	0.2														4.3	70.1		
11		8.1	-33	227	38.1	0.2														0	108.6		
12		8.5	-5	183	36.8															2.1	79.0		
QA 12		8.5	54	145	24.4	0.6														3.8	63.5		
13		9.3	-8	168	36.8	0.2														12.6	91.2		
QA 13		9.2	-6	148	31.0	0.1														9.3	59.9		
14																							
QA 14		9.3	-4	170	37.2															13.6	70.8		
15		8.1	200	207	41.5															0	114.2		
QA 15																							
16																							
QA 16																							

表 9 地下水の物理化学パラメータ測定及び水質分析結果

平成11年2月

sample	水温 (°C)	pH	ORP (mV)	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Na ⁺ (ppm)	K ⁺ (ppm)	Ca ²⁺ (ppm)	Mg ²⁺ (ppm)	F ⁻ (ppm)	Cl ⁻ (ppm)	NO ₂ ⁻ (ppm)	Br ⁻ (ppm)	NO ₃ ⁻ (ppm)	SO ₄ ²⁻ (ppm)	無機炭素 (ppm)	全炭素 (ppm)	Si (ppm)	T-Fe (ppm)	Fe ²⁺ (ppm)	CO ₃ ²⁻ (ppm)	HCO ₃ ⁻ (ppm)	Al (ppm)	
1	12.3	9.1	-245	168	20.9	0.6	14.3	0.9	0.5	3.6	ND	ND	ND	4.1	12.9	22.2	7.0	ND	ND				
QA 1	12.5	9	-314	142	18.7	0.6	11.6	0.8	0.7	3.3	ND	ND	ND	2.9	10.4	22.1	8.4	ND	ND				
2	12.6	7.6	-181	340	28.6	1.0	42.6	4.0	0.2	4.2	ND	ND	ND	0.4	42.8	42.0	10.2	ND	ND				
3	13.8	8.7	-204	193	30.1	0.1	12.1	0.2	0.1	3.7	ND	ND	ND	5.4	20.4	20.6	8.9	ND	ND				
4	13.9	7.4	-138	400	33.6	0.6	56.5	1.0	0.1	9.8	ND	ND	ND	0.2	50.5	50.6	5.6	3.7	3.5				
QA 4	14.2	8.9	-290	168	34.7	0.2	3.7	0.1	0.6	4.5	ND	ND	ND	0.8	18.6	17.2	7.1	ND	ND				
5	14.3	8.3	-186	210	41.3	ND	8.4	0.2	0.8	5.0	ND	ND	ND	0.4	25.8	26.1	9.9	ND	ND				
QA 5	14.6	8.1	-19	210	36.4	ND	13.2	0.8	0.6	4.9	ND	ND	ND	0.3	27.3	30.0	7.1	ND	ND				
6	14.8	8.6	-291	140	15.3	0.2	13.6	0.9	0.1	3.4	ND	ND	ND	0.3	13.1	13.7	8.3	ND	ND				
QA 6	15.9	8.5	-250	159	25.6	ND	9.8	0.4	0.4	3.9	ND	ND	ND	0.2	17.8	16.4	7.0	ND	ND				
7	16.0	8.2	-219	183	25.7	0.1	14.7	0.6	0.1	3.5	ND	ND	ND	0.4	20.3	22	7.5	ND	ND				
8	16.8	7.5	-108	430	36.7	0.4	60.9	1.5	0.1	5.6	ND	ND	ND	1.2	60.8	63.3	8.4	2	2				
QA 8	17.6	9.1	-347	163	34.8	0.1	2.5	ND	0.4	4.1	ND	ND	ND	1.0	14.4	15.6	10.3	ND	ND				
9	17.8	7.0	-102	650	82	ND	74.3	2.2	0.1	4.7	ND	ND	ND	0.4	110.8	109.4	10.9	7.8	7.6				
QA 9	19.0	9.2	145	132	15.0	ND	11.9	0.2	0.1	3.1	ND	ND	ND	8.1	11.1	11.5	9.1	ND	ND				
10	19.1	8.9	-219	164	32.3	0.1	5.0	0.1	0.2	3.6	ND	ND	ND	0.4	16.4	16.4	6.3	ND	ND				
11	19.1	7.6	-53	373	56.8	0.3	28.2	0.7	0.3	4.1	ND	ND	ND	0.2	47.9	48.9	8.9	ND	ND				
12	19.5	8.5	-282	188	35.0	0.1	8.1	0.1	0.8	5.5	ND	ND	ND	0.8	18.8	21.0	9.1	ND	ND				
QA 12	20.2	9.1	-314	147	35.4	ND	4.0	0.1	2.6	5.3	ND	ND	ND	2.4	14.9	14.8	8.0	ND	ND				
13	20.4	9.0	-316	187	37.9	ND	3.1	ND	0.5	4.6	ND	ND	ND	2.0	17.1	17.7	6.9	ND	ND				
QA 13	21.1	9.2	-253	142	28.3	ND	3.4	ND	0.4	3.7	ND	ND	ND	6.3	12.0	11.5	7.3	ND	ND				
14	21.3	9.7	-299	174	34.8	ND	2.5	ND	0.4	3.8	ND	ND	ND	6.0	13.6	14.0	7.1	ND	ND				
QA 14	21.9	9.7	-254	178	35.4	0.1	2.3	ND	0.4	3.9	ND	ND	ND	6.7	13.5	14.6	8.7	ND	ND				
15	22.0	8.5	-190	180	36.3	0.1	6.4	0.1	0.4	4.0	ND	ND	ND	3.3	18.1	26.1	8.3	0.7	0.7				
QA 15	22.6	9.5	-327	195	42.1	0.1	2.4	ND	0.4	4.3	ND	ND	ND	1.1	19.3	18.1	8.5	ND	ND				
16																							
QA 16																							

表 10 フリークによる鉱物の飽和度

	Calcite	Albite	Anorthite	Gibbsite	Kaolinite	Beidellite	Na-Montmo	Ca-Montmo	Analcime	Laumontite	Wairakite	K-feldspar	K-mica
1	-0.19	-10.61	-8.30	0.65	-3.55	-10.40	-22.69	-10.18	-9.18	-10.11	-14.80	-9.65	-2.82
QA1	-0.46	-10.40	-8.21	0.74	-3.20	-9.91	-22.18	-9.69	-9.06	-9.85	-14.54	-9.40	-2.38
2	-0.70	-9.89	-7.45	2.11	-0.20	-6.65	-18.92	-6.41	-8.66	-8.85	-13.53	-8.85	0.92
3	-0.43	-10.16	-8.16	0.97	-2.69	-9.46	-21.36	-9.14	-8.83	-9.81	-14.45	-10.16	-2.68
4	-0.74	-10.70	-7.94	2.24	-0.51	-7.48	-19.47	-7.17	-9.19	-9.97	-14.60	-9.97	0.05
QA4	-0.77	-10.45	-8.89	0.75	-3.36	-10.30	-22.14	-10.08	-9.01	-10.80	-15.42	-10.22	-3.17
5	-0.87	-9.88	-8.21	1.34	-1.84		-20.30	-8.23	-8.60	-9.79	-14.41		
QA5	-0.85	-10.39	-8.32	1.52	-1.76		-20.44	-8.37	-8.96	-10.19	-14.80		
6	-0.64	-10.60	-8.18	1.02	-2.67	-9.48	-21.35	-9.18	-9.22	-9.96	-14.56	-10.02	-2.43
QA6	-0.73	-10.67	-8.50	1.06	-2.76		-21.34	-9.43	-9.20	-10.50	-15.06		
7	-0.80	-10.56	-8.26	1.35	-2.10	-9.02	-20.61	-8.69	-9.13	-10.20	-14.76	-10.52	-2.26
8	-0.48	-10.33	-7.65	1.99	-0.73	-7.49	-19.00	-7.16	-8.93	-9.53	-14.06	-9.85	-0.31
QA8	-0.80	-10.27	-8.89	0.37	-3.93		-22.04	-10.53	-8.89	-10.77	-15.28	-10.38	-4.07
9	-0.71	-9.76	-7.48	2.39	0.27		-17.58	-5.99	-8.45	-9.20	-13.70		
QA9	-0.14	-10.95	-8.41	0.20	-4.45		-22.62	-11.10	-9.47	-10.53	-14.99		
10	-0.62	-10.99	-9.03	0.50	-4.11	-11.32	-22.36	-11.02	-9.39	-11.40	-15.86	-11.09	-4.52
11	-0.75	-10.21	-7.97	1.78	-1.16	-7.95	-19.03	-7.65	-8.79	-9.97	-14.42	-10.07	-0.93
12	-0.74	-10.44	-8.47	0.87	-3.00	-9.91	-20.88	-9.58	-9.01	-10.51	-14.95	-10.57	-3.24
QA12	-0.56	-10.79	-9.01	0.24	-4.49		-22.46	-11.31	-9.24	-11.31	-15.72		
13	-0.70	-10.93	-9.22	0.33	-4.42		-22.44	-11.35	-9.32	-11.64	-16.05		
QA13	-0.61	-11.12	-9.21	0.10	-4.92		-22.90	-11.87	-9.49	-11.69	-16.07		
14	-0.27	-11.50	-9.68	-0.41	-6.25		-24.44	-13.48	-9.72	-12.47	-16.85		
QA14	-0.31	-11.28	-9.56	-0.44	-6.15		-24.12	-13.27	-9.57	-12.23	-16.59	-11.45	-6.74
15	-0.82	-10.71	-8.73	0.75	-3.39	-10.45	-21.03	-10.12	-9.19	-11.03	-15.38	-10.89	-3.80
QA15	-0.29	-11.08	-9.45	-0.28	-5.73		-23.49	-12.76	-9.41	-12.06	-16.39	-11.33	-6.29

表 11 地下水の溶存ガス分析結果・推定したEh及び実測のEh*

sample	CO ₂ (ppm)	CH ₄ (ppm)	Eh (mV)	Eh* (mV)
1	ND	25851	-312	-30
QA 1	ND	3734	-306	-100
2	948	166870	-226	33
3	29	8109	-272	10
4	285	4213	-199	75
QA 4	ND	11804	-312	-76
5	ND	59877	-290	28
QA 5	71	74422	-247	195
6	ND	624	-295	-78
QA 6	ND	4362	-296	-38
7	34	7393	-246	-6
8	1327	64509	-181	104
QA 8	ND	271	-293	-135
9	2824	534216	-178	109
QA 9	4	457	-305	355
10	ND	1213	-316	-9
11	360	66934	-211	157
12	ND	3713	-293	-72
QA 12	ND	6491	-329	-105
13	ND	5623	-326	-107
QA 13	ND	505	-328	-44
14	ND	86	-350	-90
QA 14	ND	804	-355	-46
15	288	55558	-265	18
QA 15	ND	6285	-354	-119

表 12 区分された測定区間の対応

	平成2年	グループ間 平均連結法	グループ内 平均連結法	最近隣法	最遠隣法	重心法	メディアン法	ウオード法	新区分
QA0	表層部								表層部
1	表層部								表層部
QA1	表層部								表層部
2	表層部								表層部
QA2	表層部								表層部
3	表層部								表層部
4	中間部	3	3	3	3	3	3	3	中間部
QA4	中間部								中間部
5	中間部	3	3	3	3	3	3	3	中間部
QA5	岩盤部			3					中間部
6	岩盤部								岩盤部
QA6	岩盤部								岩盤部
7	岩盤部								岩盤部
QA7	岩盤部								岩盤部
QA8	岩盤部								岩盤部
9	岩盤部								岩盤部
QA9	岩盤部								岩盤部
10	岩盤部								岩盤部
11	岩盤部			3					岩盤部
12	岩盤部								岩盤部
QA12	岩盤部								岩盤部
13	岩盤部								岩盤部
QA13	岩盤部								岩盤部
14	岩盤部								岩盤部
QA14	岩盤部								岩盤部
15	最深部								岩盤部
QA15	最深部								最深部

クラスタ-1: 相対的に低いピエゾ水頭値を示す区間
 クラスタ-2: 相対的に高いピエゾ水頭値を示す区間
3 クラスタ-3: クラスタ-1及び2に区分されない区間

表 13 測定区間と割れ目数・RQD値比較表

	測定区間		割れ目数(個/m)			RQD値(%)			区分
	m	m	<10	10-25	25<	<20	20-80	80<	
QA0	51.0	- 92.1			○	○			表層部
1	93.0	- 94.6		○				○	
QA1	95.5	- 104.1	○					○	
2	105.0	- 109.6	○				○		中間部
QA2	110.5	- 158.1			○	○			
3	159.0	- 161.6	○					○	
4	162.5	- 164.1			○	○			岩盤部
QA4	165.0	- 178.6		○			○		
5	179.5	- 188.1		○			○		
QA5	189.0	- 195.6		○				○	岩盤部
6	196.5	- 207.1			○	○			
QA6	203.0	- 247.1		○			○		
7	248.0	- 258.1		○			○		
QA7	259.0	- 274.1	○					○	
8	275.0	- 277.6	○					○	
QA8	278.5	- 312.1	○					○	
9	313.0	- 314.6			○	○			
QA9	315.5	- 364.6		○			○		
10	365.5	- 369.1			○	○			
11	370.0	- 377.1			○	○			
12	378.0	- 387.1			○	○			
QA12	388.0	- 413.1			○	○			
13	414.0	- 426.6			○	○			
QA13	427.5	- 440.6			○		○		
14	441.5	- 448.6		○			○		
QA14	449.5	- 472.1		○			○		
15	473.0	- 479.6		○			○		
QA15	480.5	- 494.1		○			○		最深部
16	495.0	- 498.6		○			○		
QA16	499.5	- 505.0	○					○	

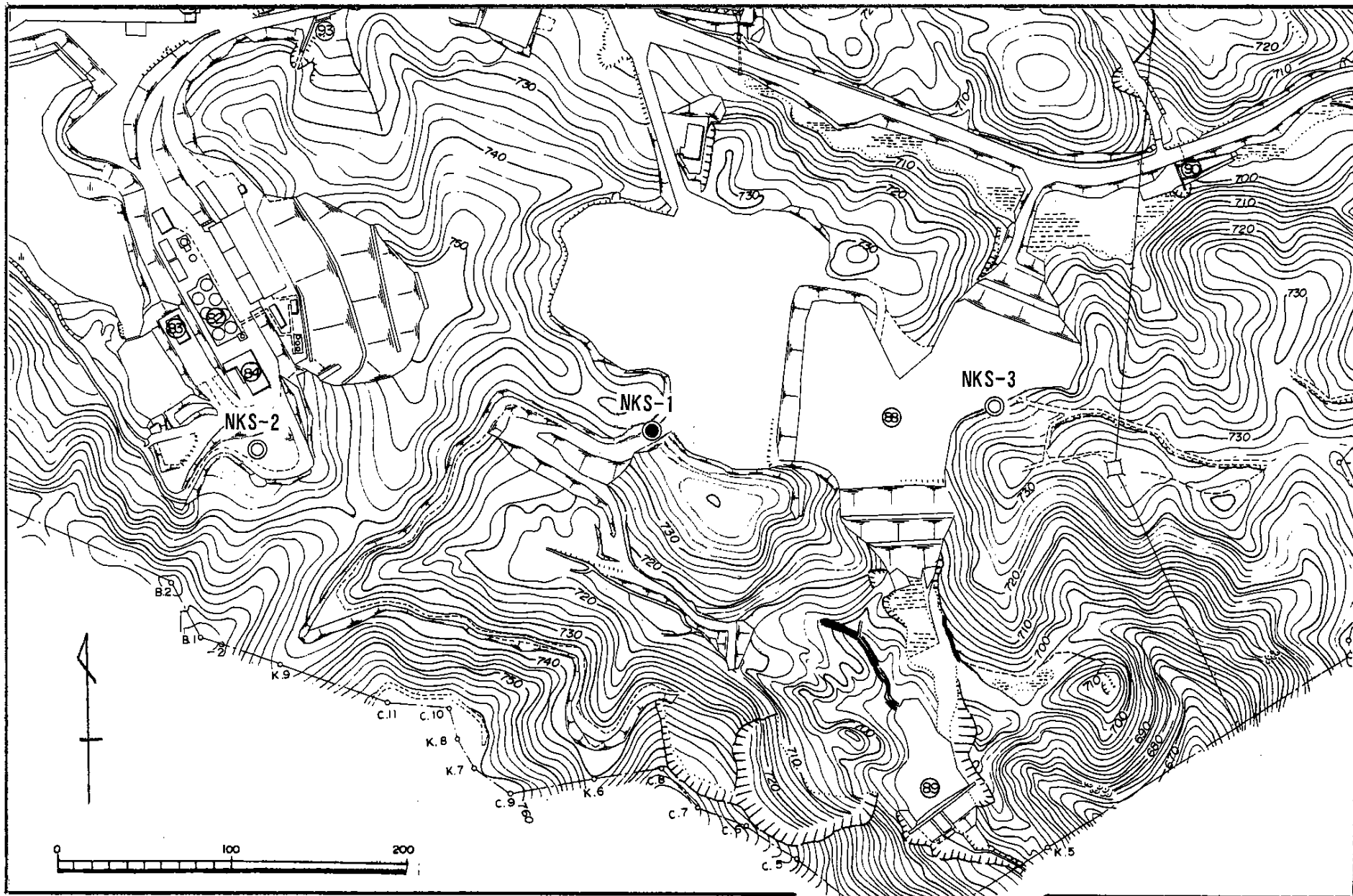


図 1 試錐孔(NKS-1)の位置

(W)

(E)

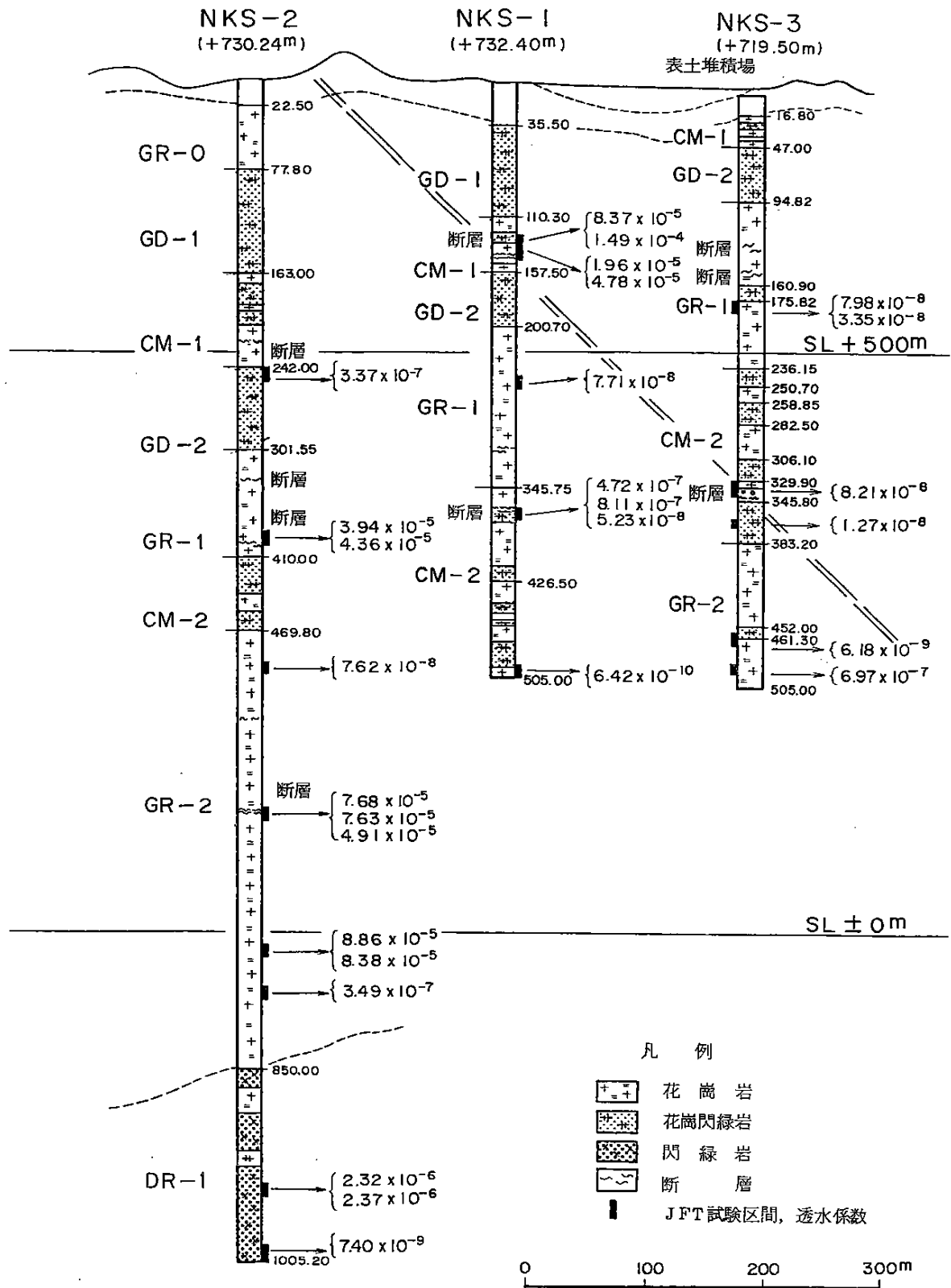


図 2 地質断面

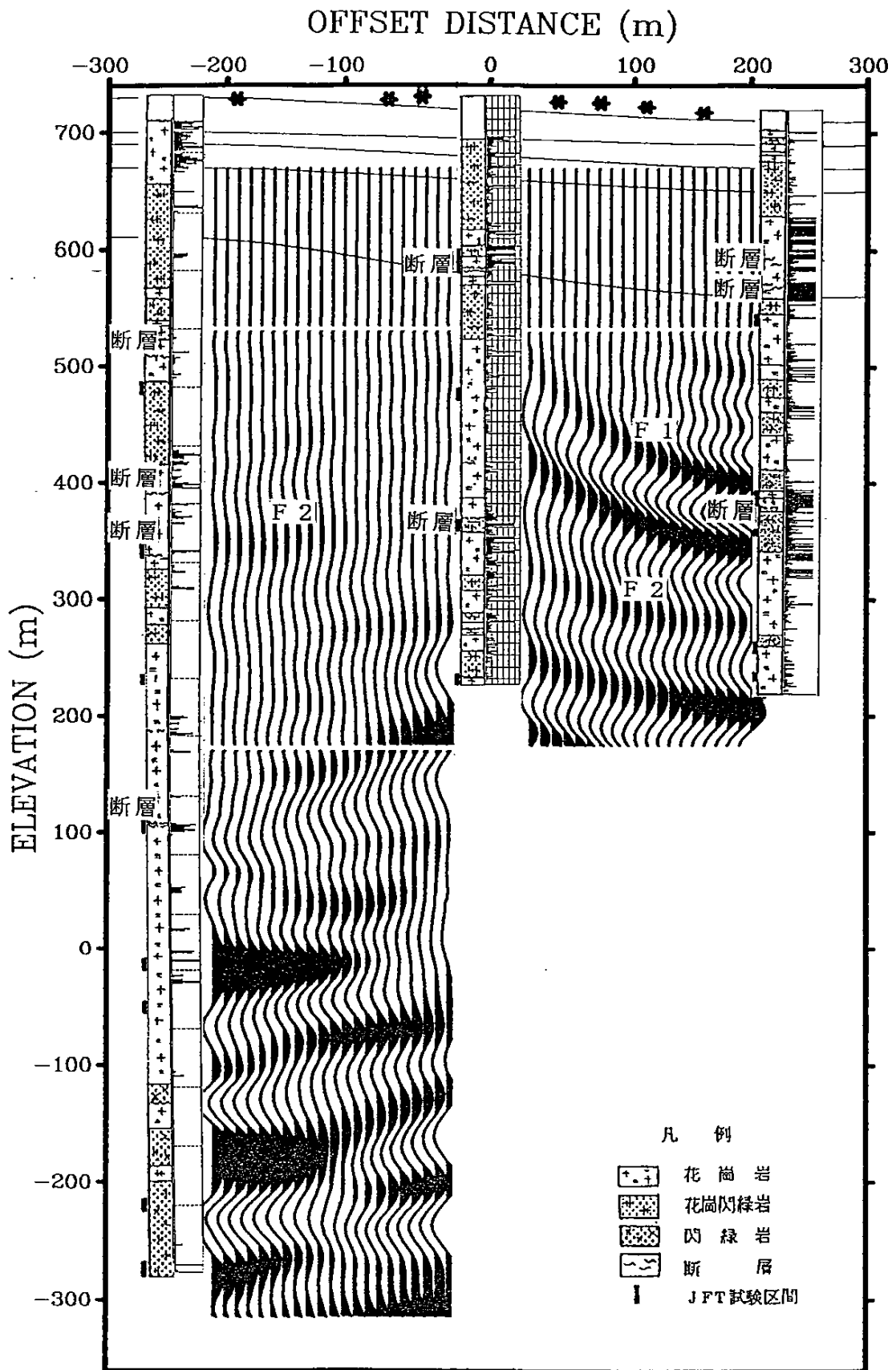
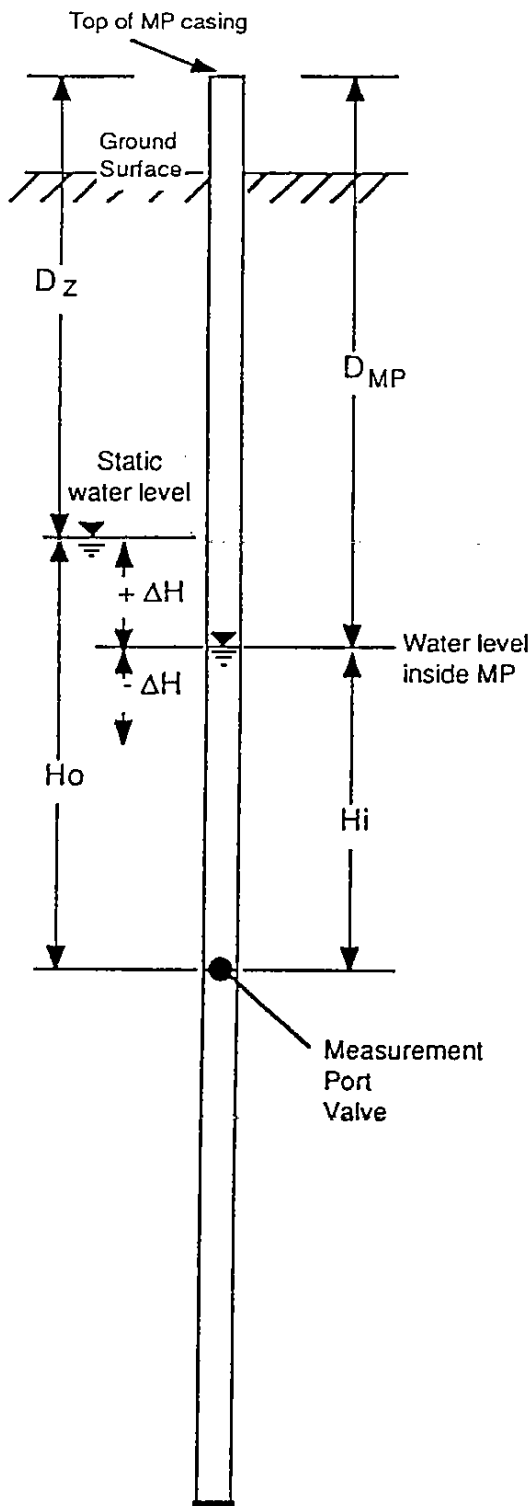


図 3 オフセットVSP法による調査結果
出典：応用地質（株）（1989）



Definition of Terms:

D_z = Depth to static water level for monitoring zone (below top of MP) (m)

D_{MP} = Depth to water inside MP casing, from field data (below top of MP) (m)

P_o = Pressure reading outside MP casing (kg a/cm^2)

P_i = Pressure reading inside MP casing (kg a/cm^2)

P_{atm} = Atmospheric pressure (kg a/cm^2)

H_i = Pressure head inside MP casing (m)

H_o = Pressure head outside MP casing (m)

ΔH = Pressure head difference between monitoring zone pressure head and casing pressure head as measured at measurement port valve (m)

w = weight of water with density of $1.0 \text{ g/cm}^3 = 0.1 \text{ kg/cm}^2/\text{m}$ or 1.42 psi/m

Calculations:

$$H_i = \frac{(P_i - P_{atm})}{w} \quad (1)$$

$$H_o = \frac{(P_o - P_{atm})}{w} \quad (2)$$

$$\Delta H = H_o - H_i = \frac{P_o - P_i}{w} \quad (3)$$

$$D_z = D_{MP} - \Delta H \quad (4)$$

$$\text{Piezometric level} = \text{Elevation of top of MP} - D_z \quad (5)$$

図 4 間隙水圧値からピエゾ水頭値への換算方法
出典：応用地質（株）（1989）

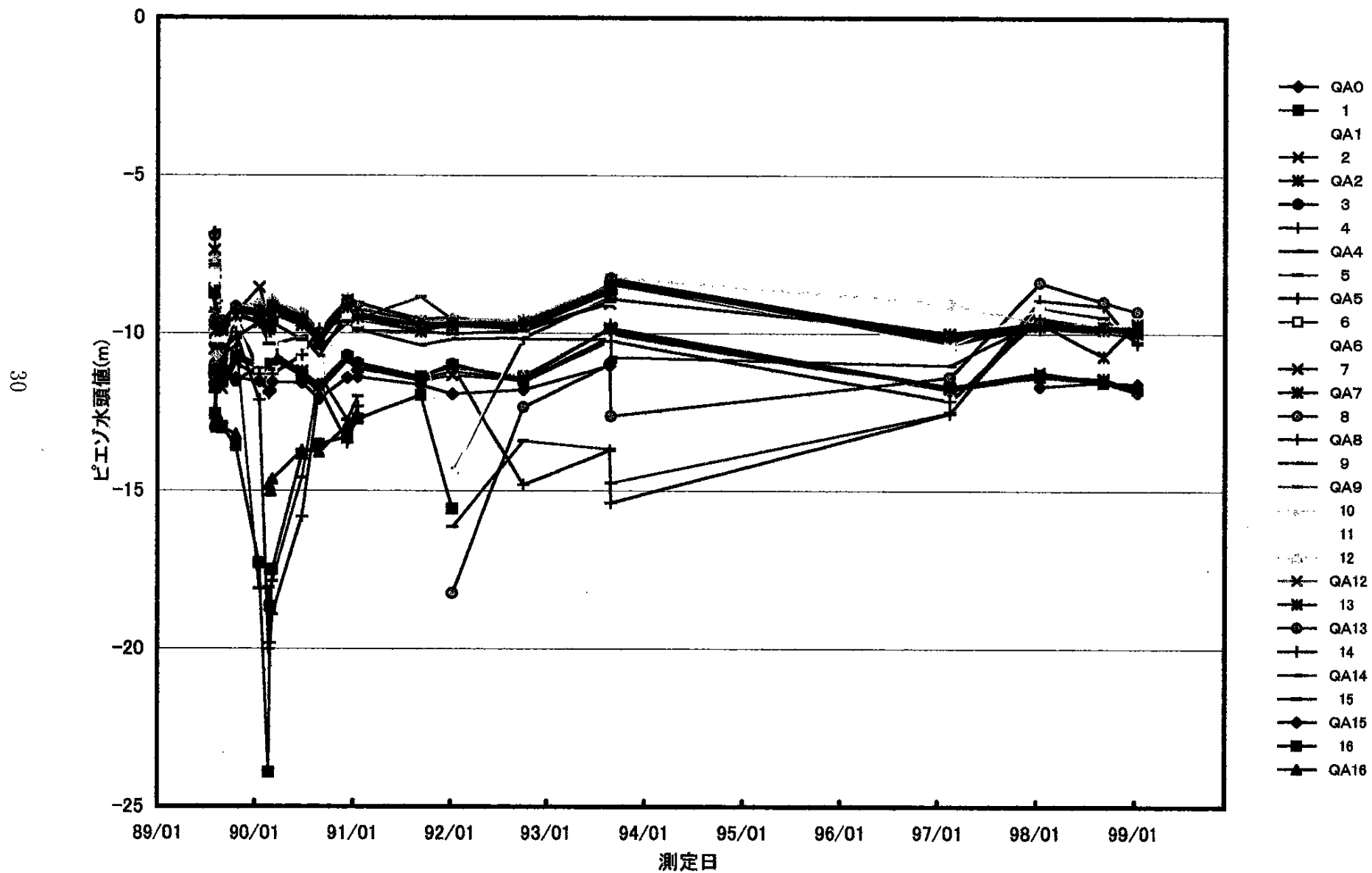


図5 ピエゾ水頭値経時変化図

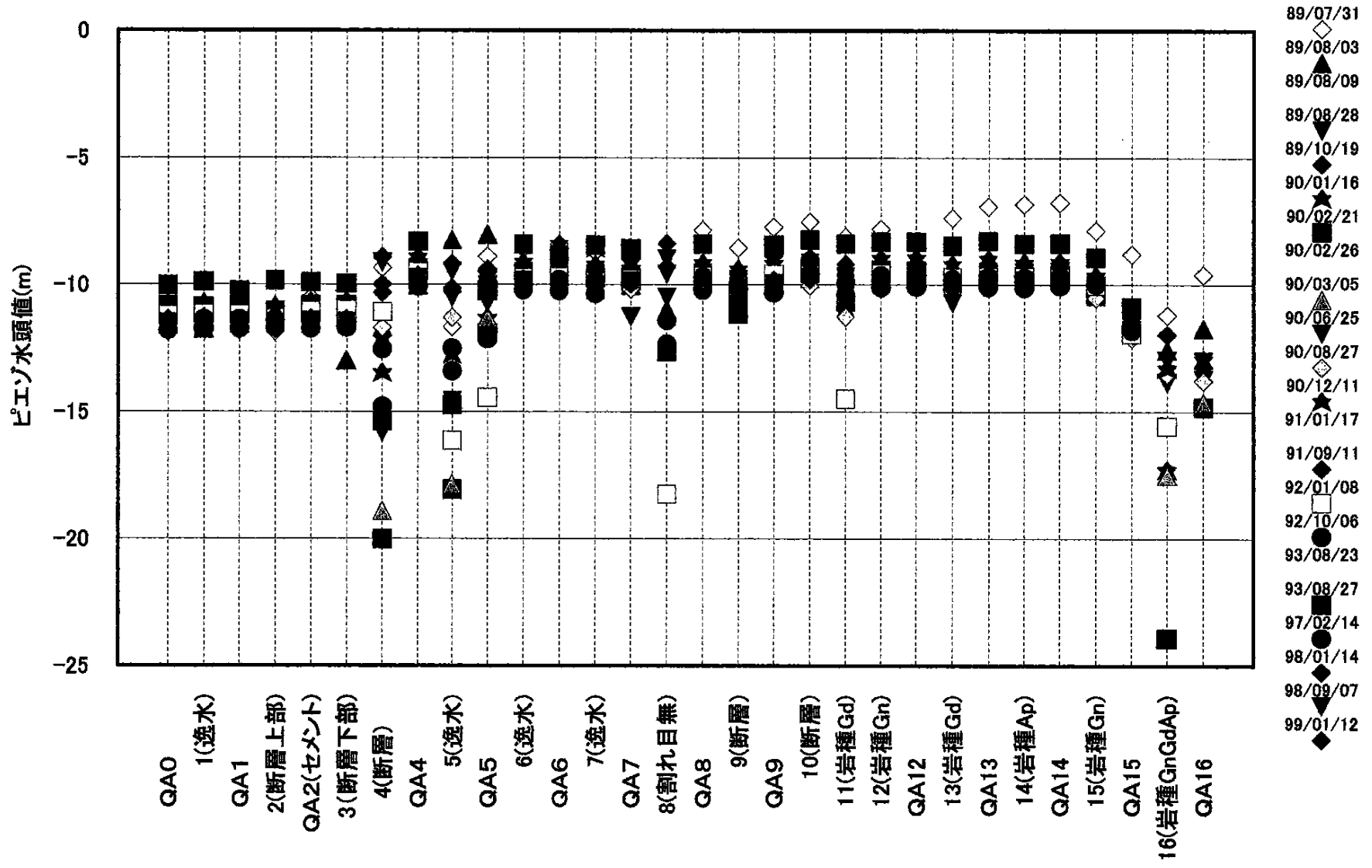


図 6 測定場所別ピエゾ水頭値の変動

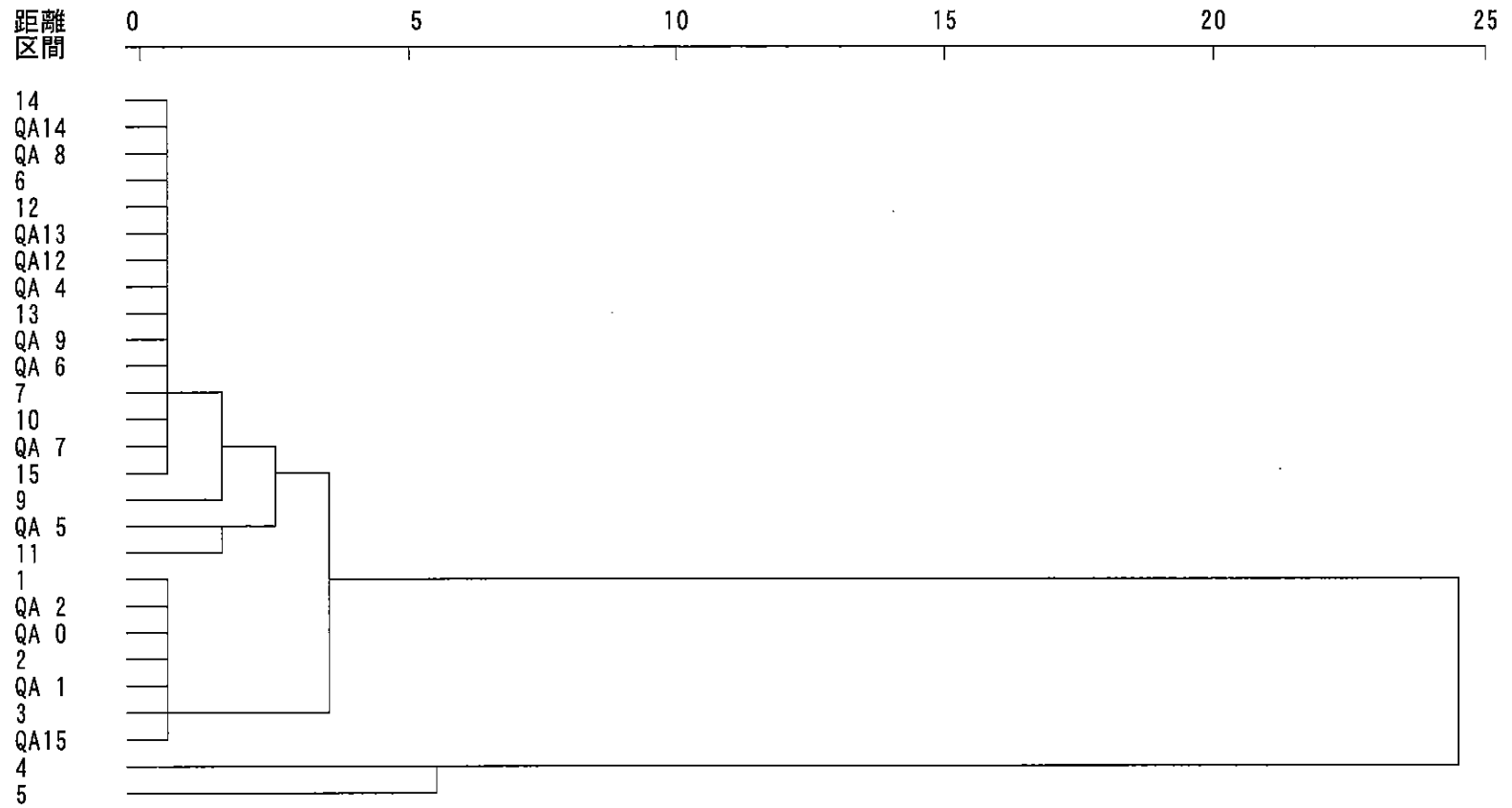


図7 クラスタ分析結果 (グループ間平均連結法)

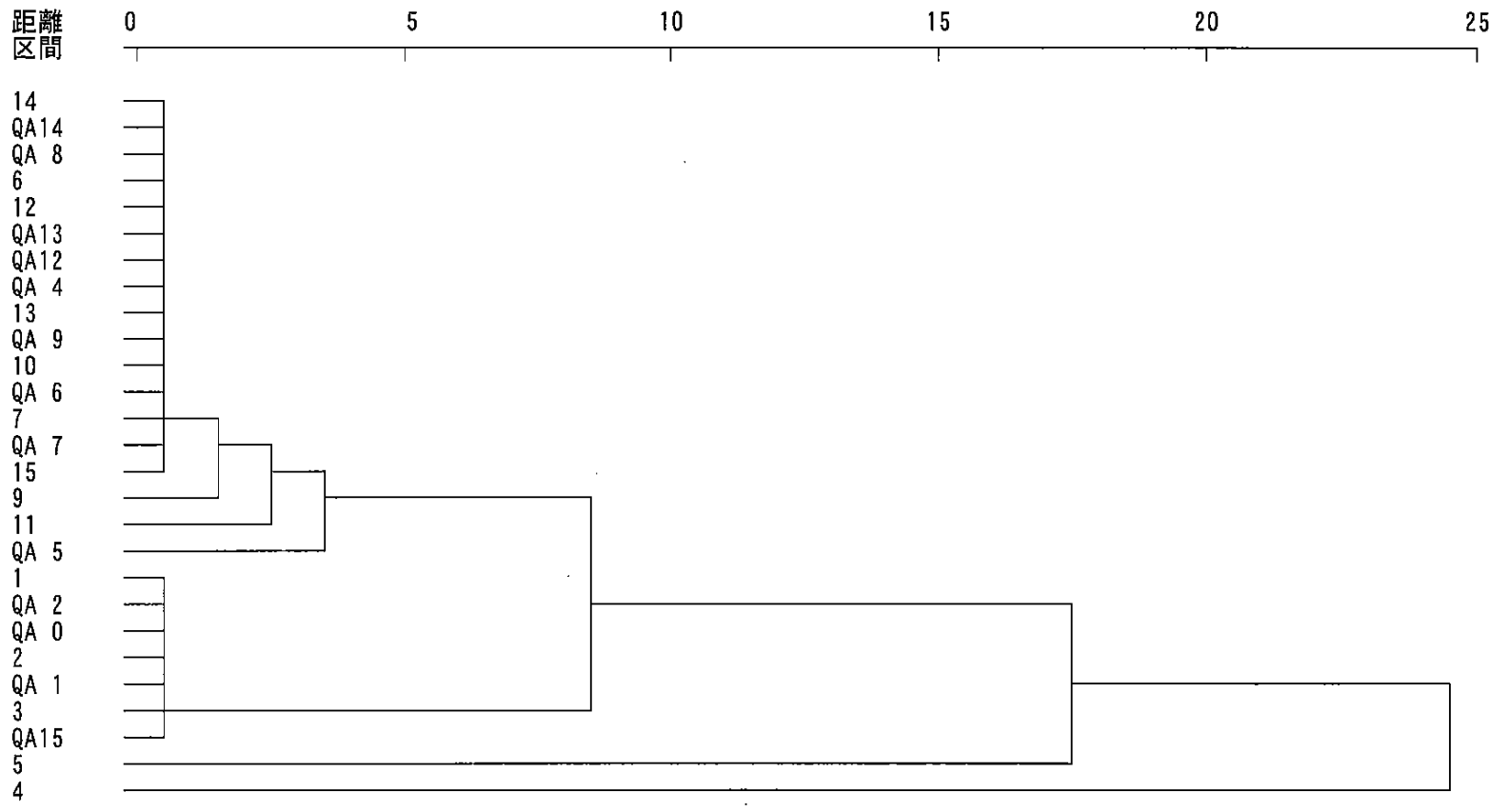


図8 クラスタ分析結果（グループ内平均連結法）

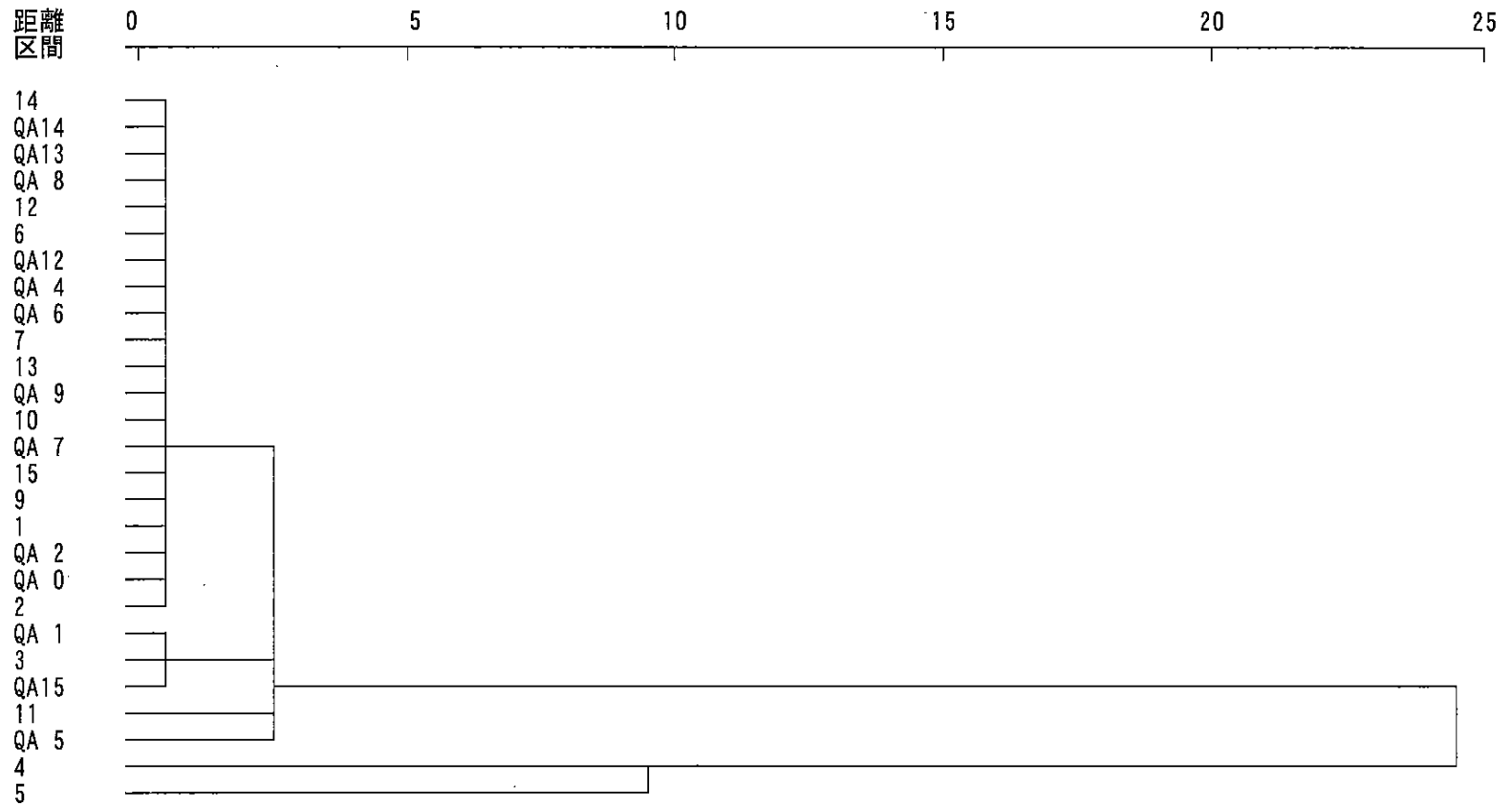


図9 クラスター分析結果（最近隣法）

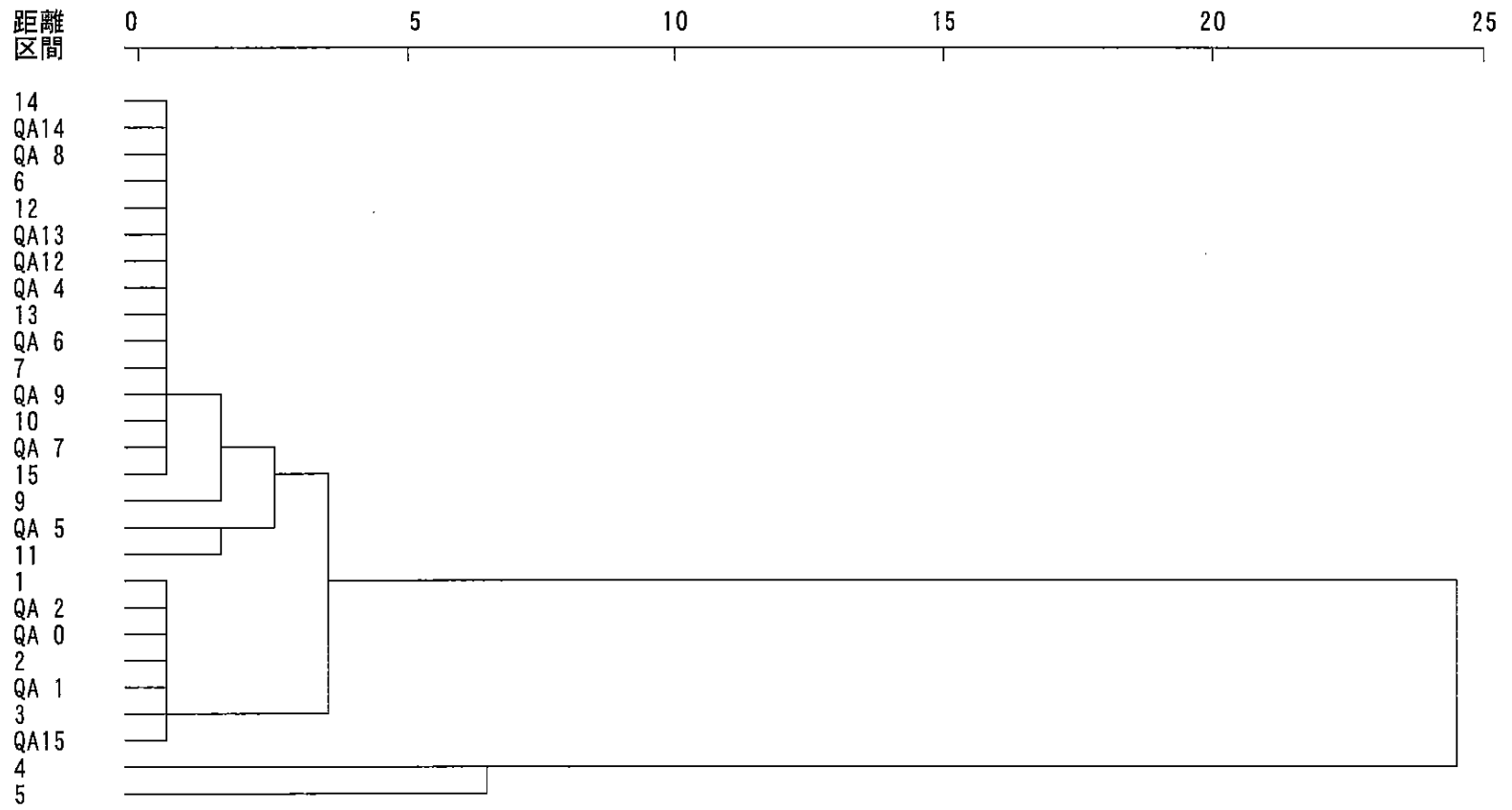


図 11 クラスタ分析結果 (重心法)

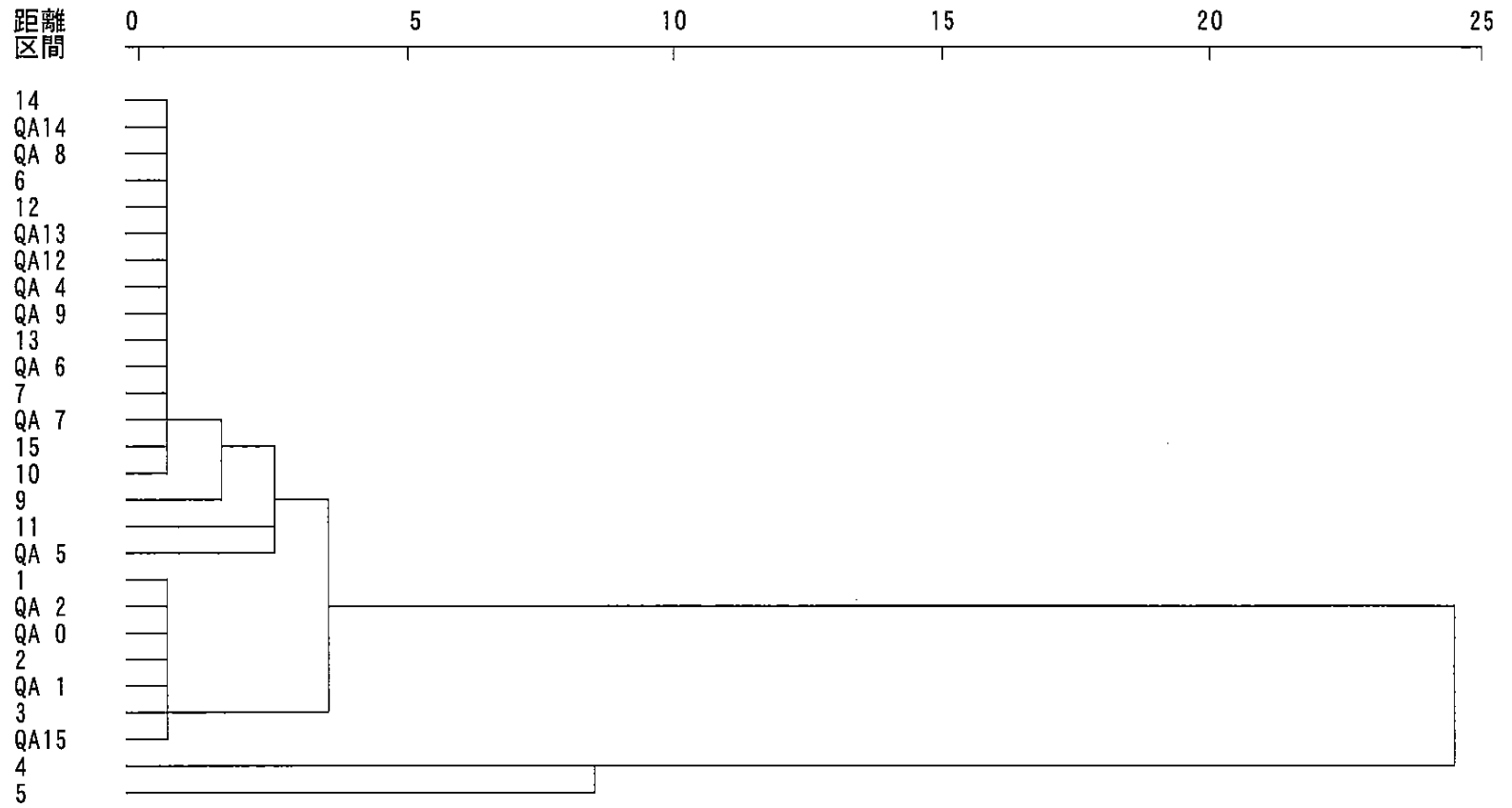


図 12 クラスター分析結果 (メディアン法)

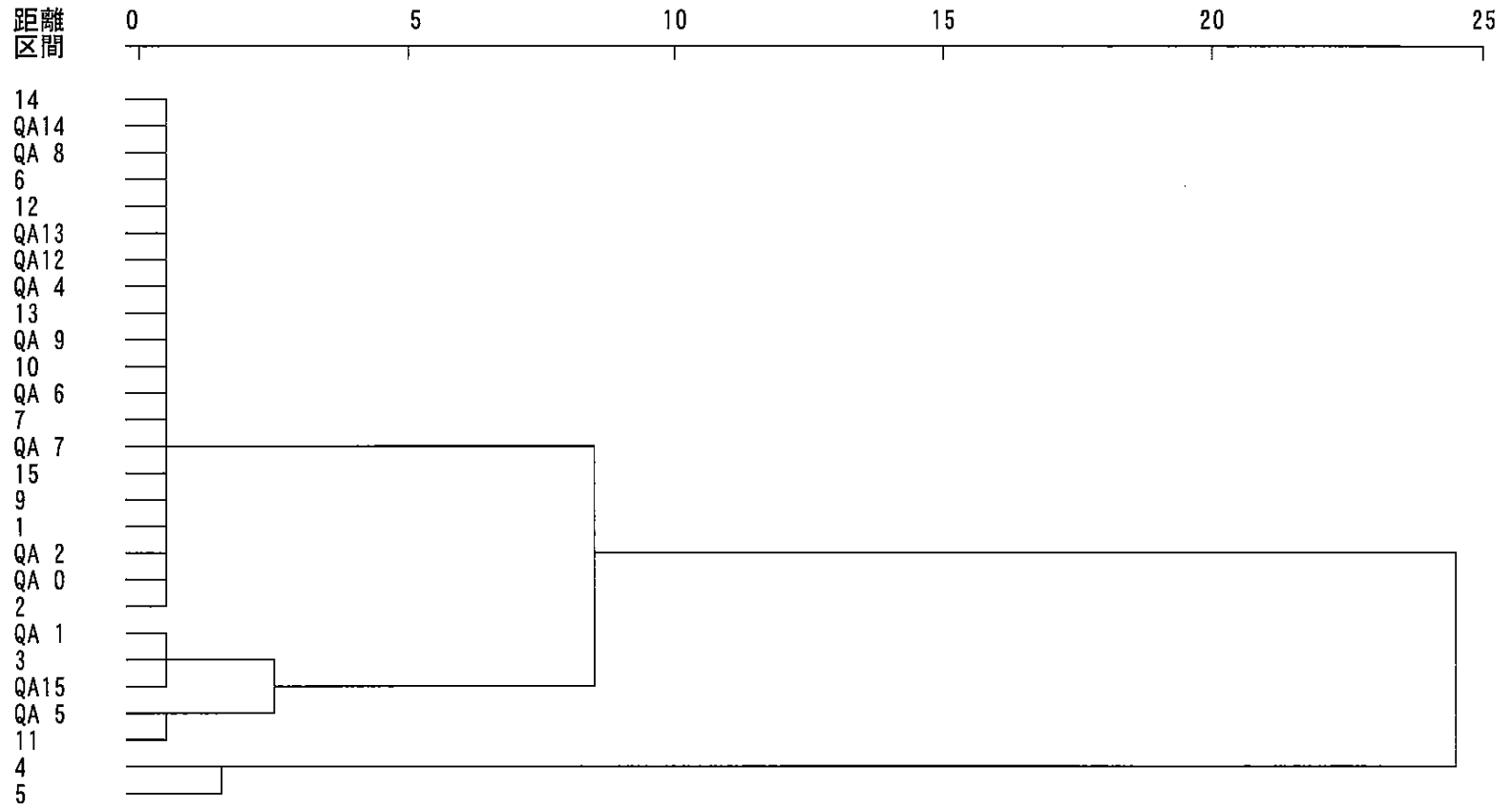


図 13 クラスタ分析結果 (ワード法)

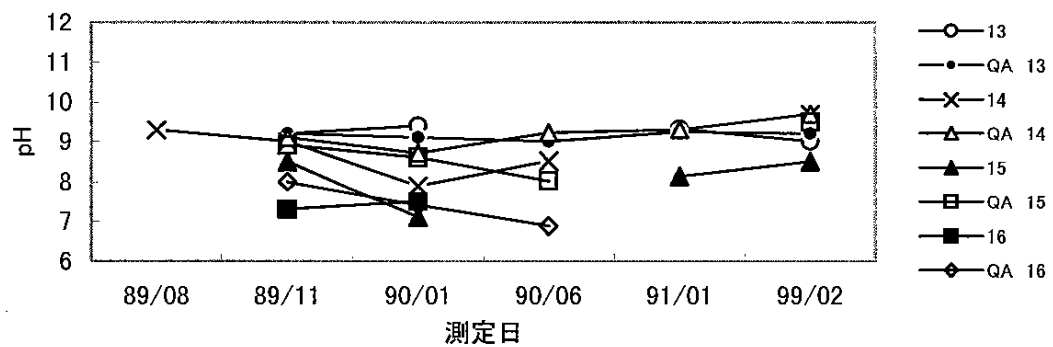
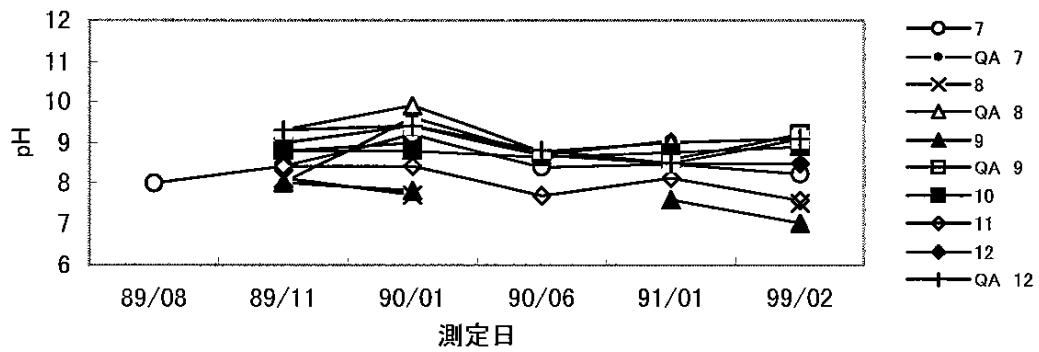
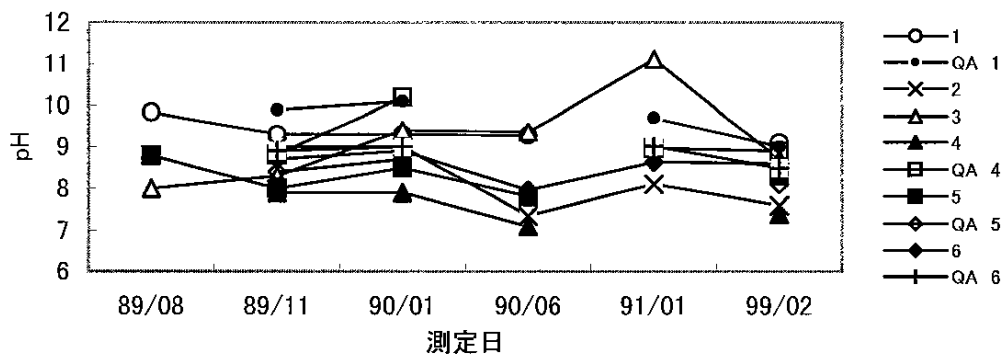


図 14 地下水のpHの経時変化

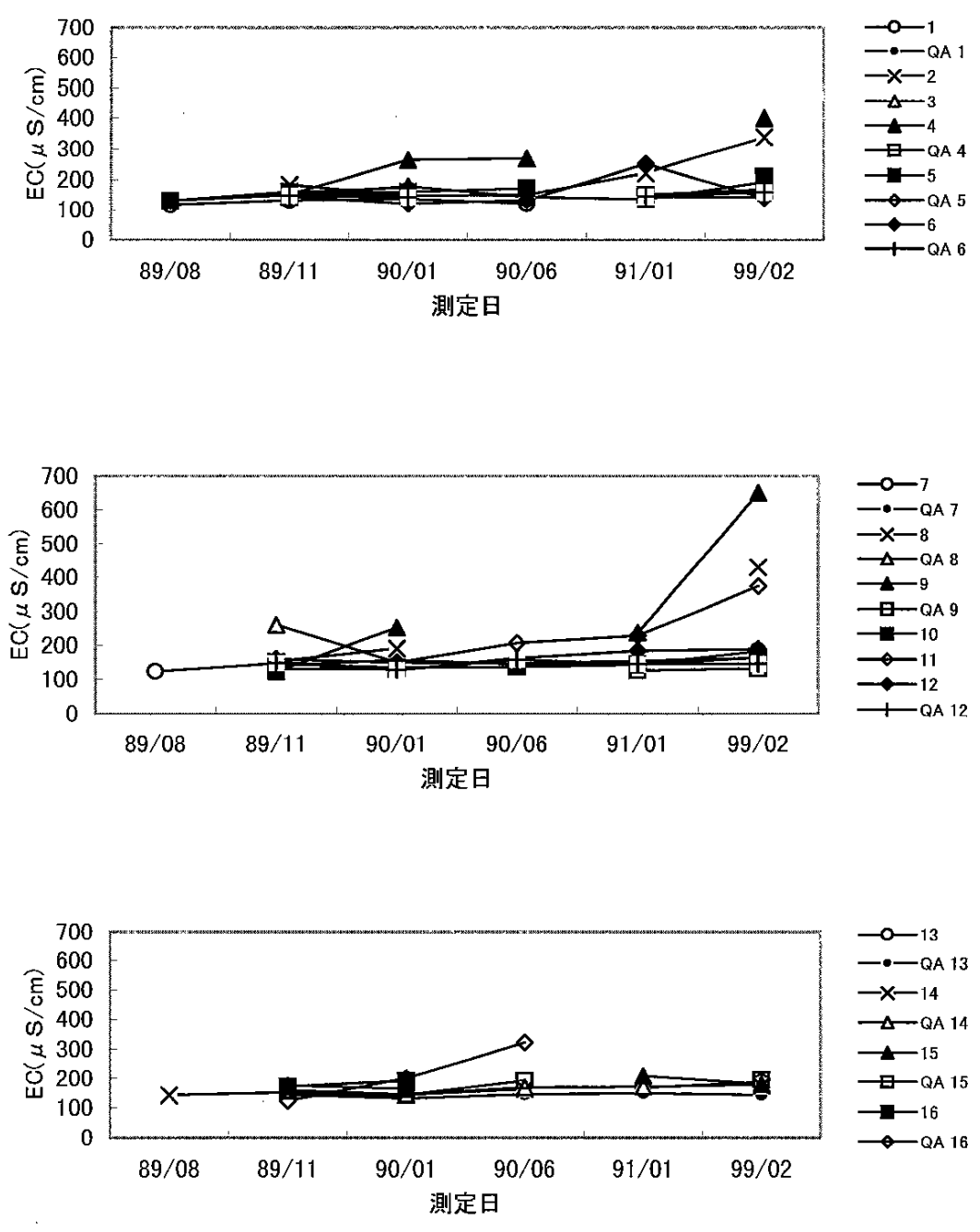


図 15 地下水のECの経時変化

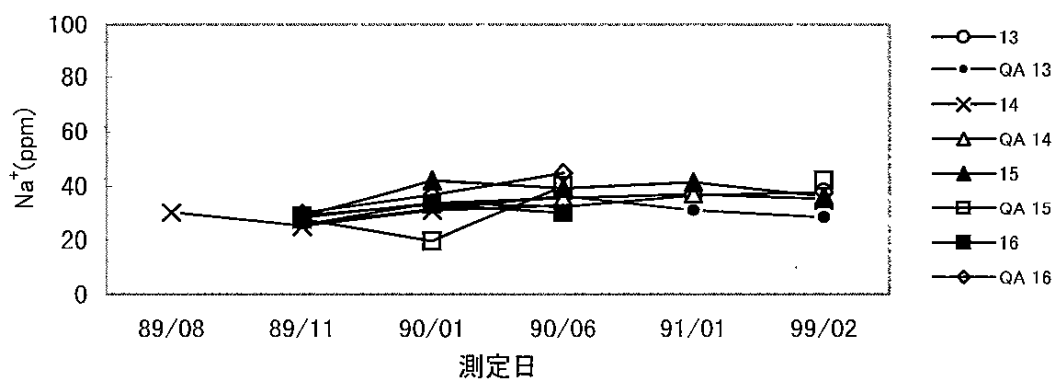
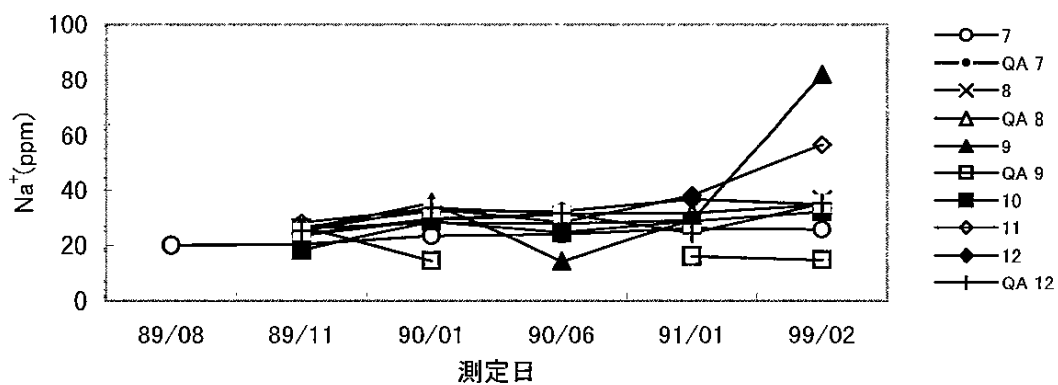
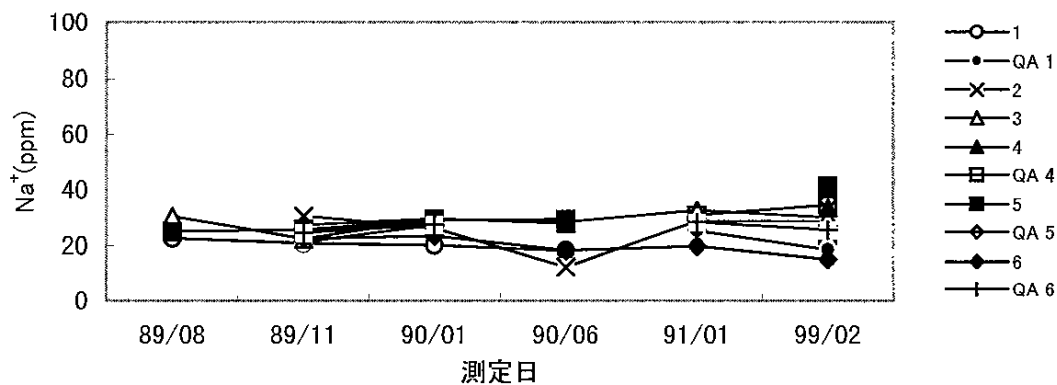


図 16 地下水中のNa⁺濃度の経時変化

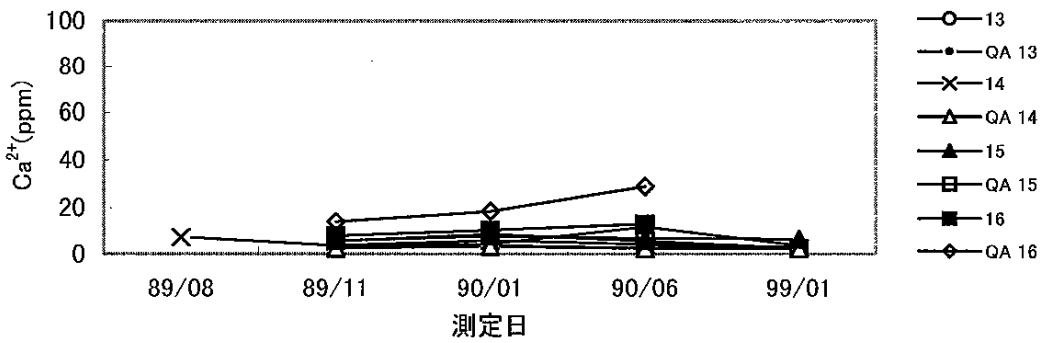
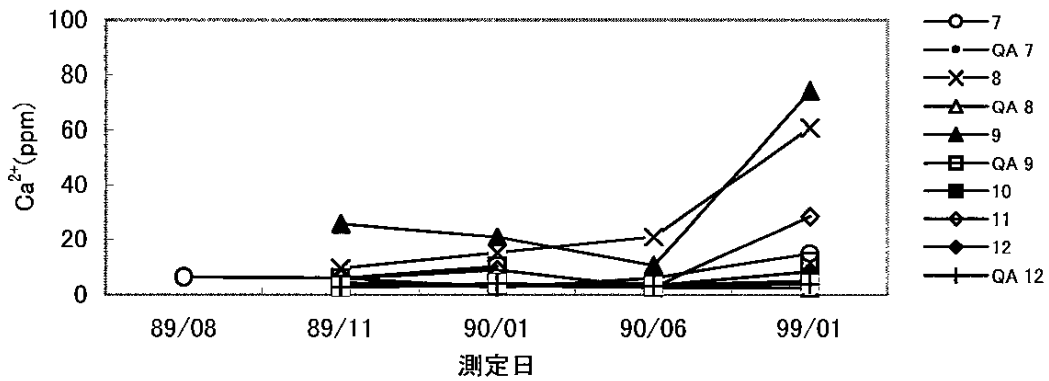
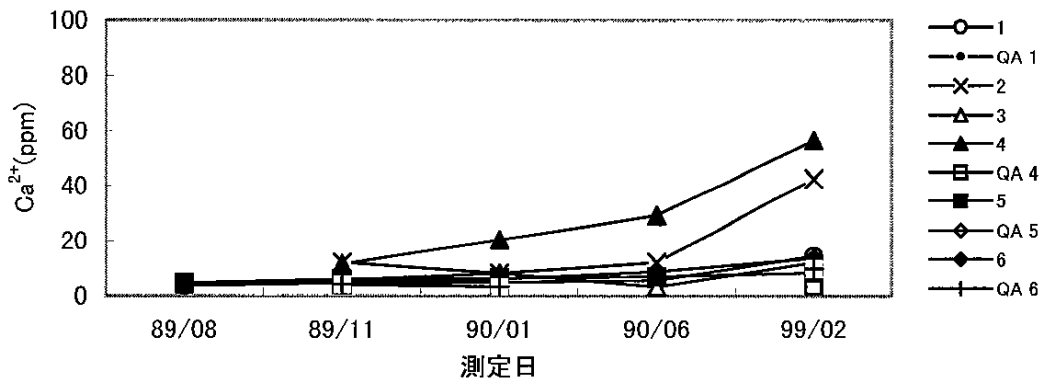


図 17 地下水中のCa²⁺濃度の経時変化

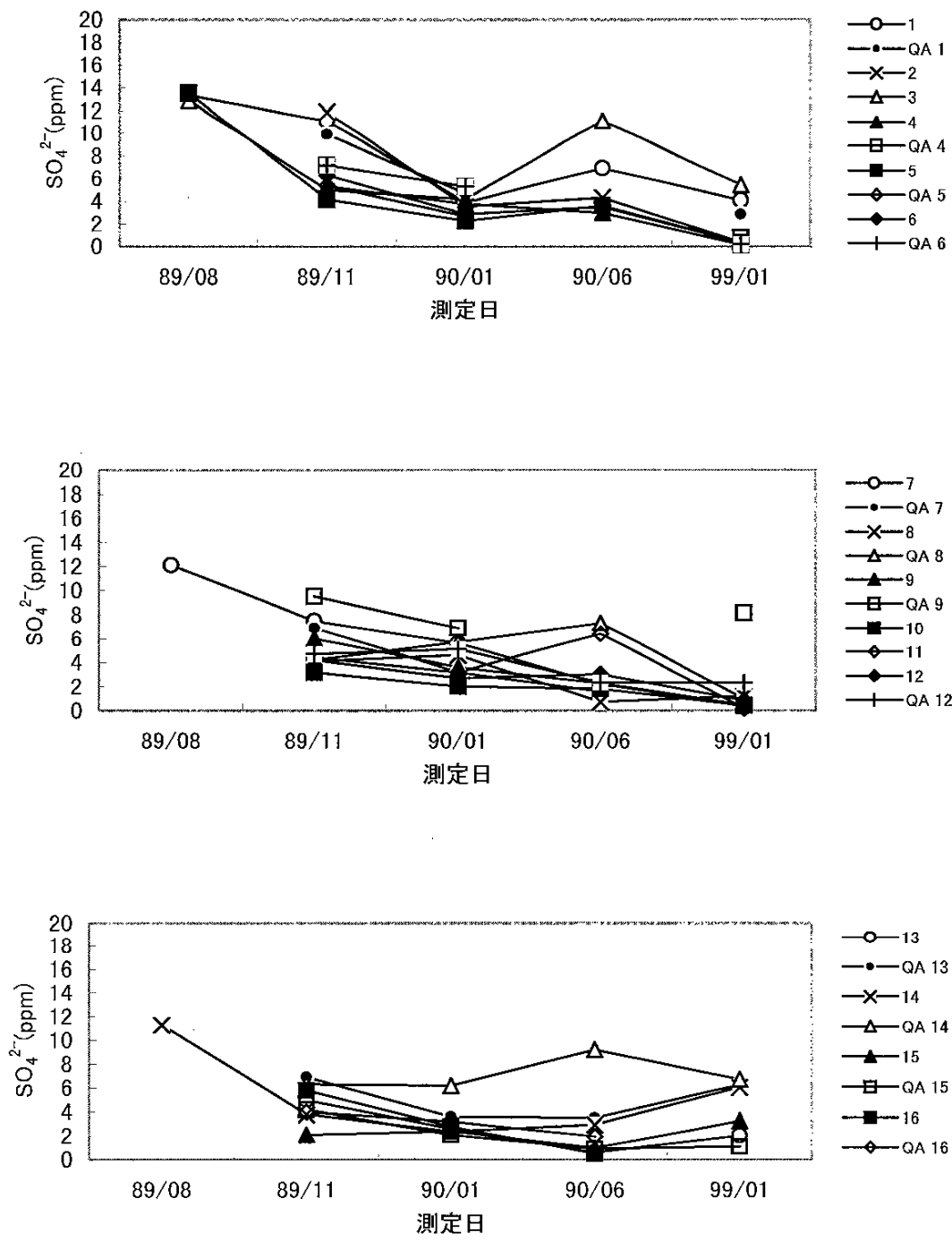


図 18 地下水中の SO_4^{2-} 濃度の経時変化

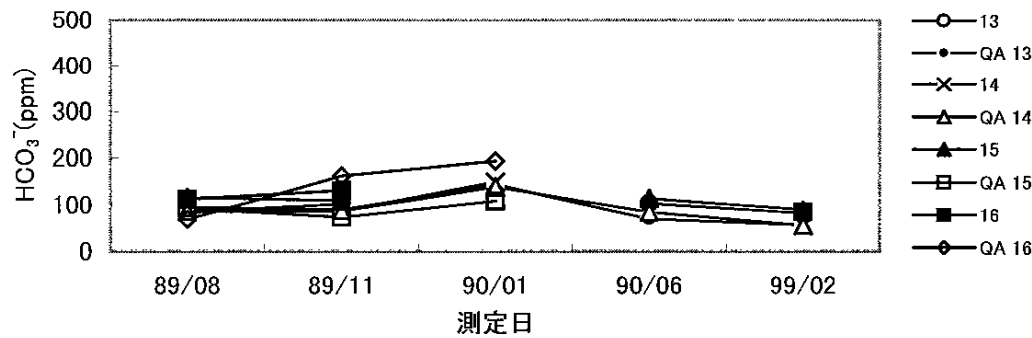
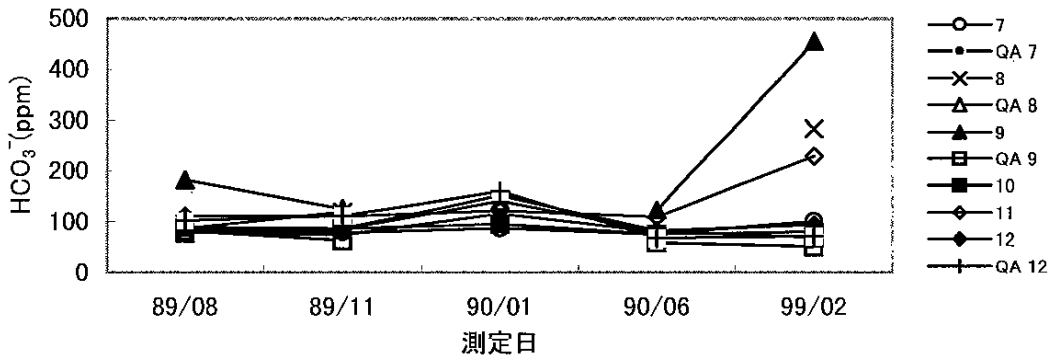
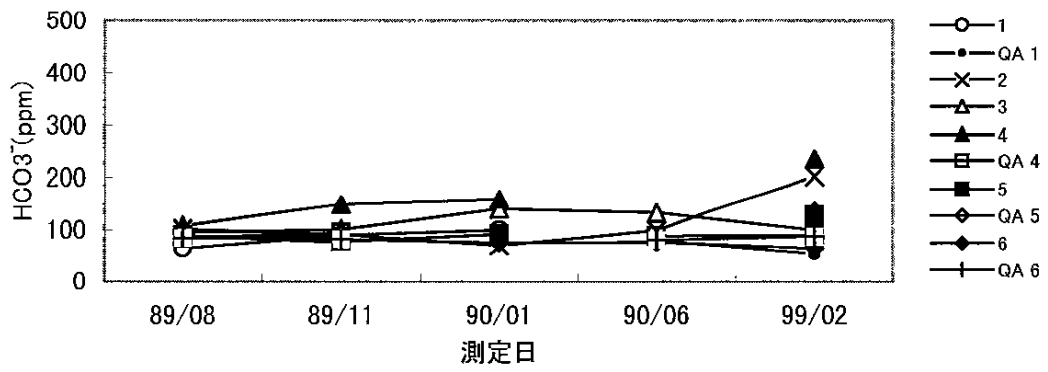


図 19 地下水中のHCO₃⁻濃度の経時変化

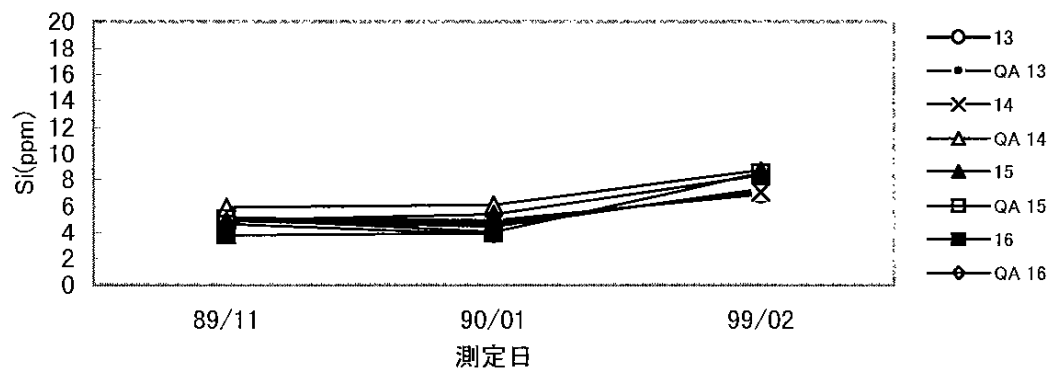
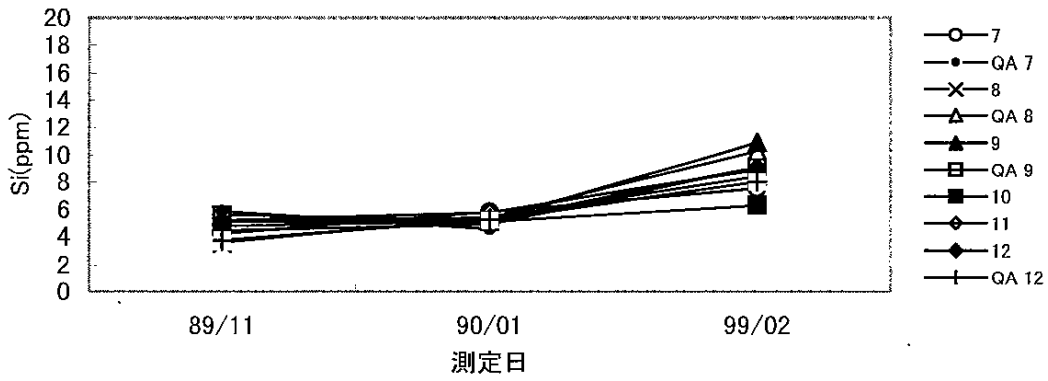
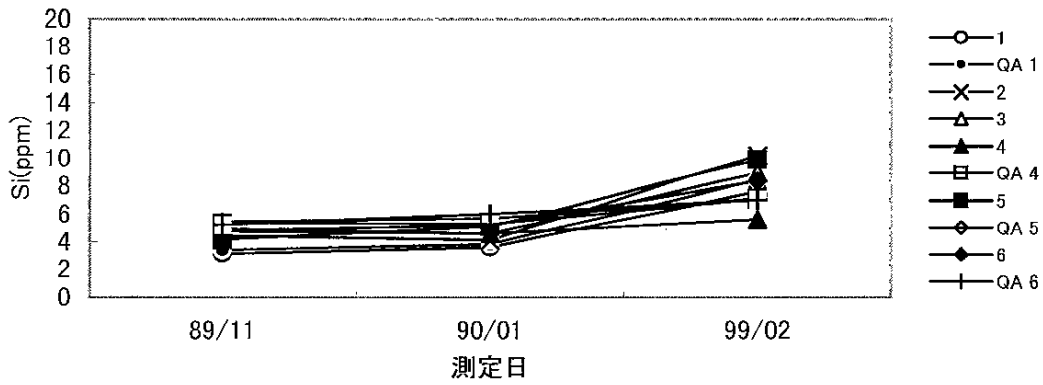
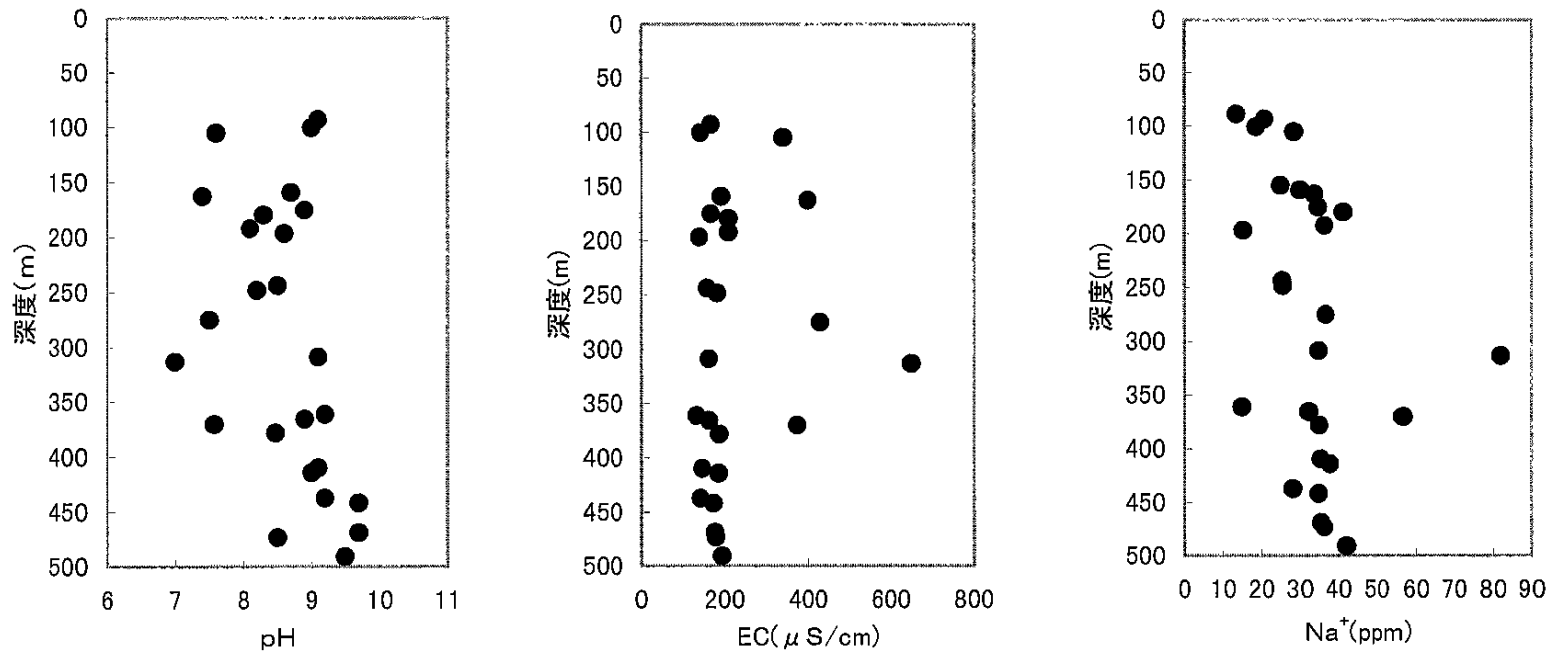


図 20 地下水中のSi濃度の経時変化

図 21 地下水中のpH・EC・Na⁺濃度と深度の関係

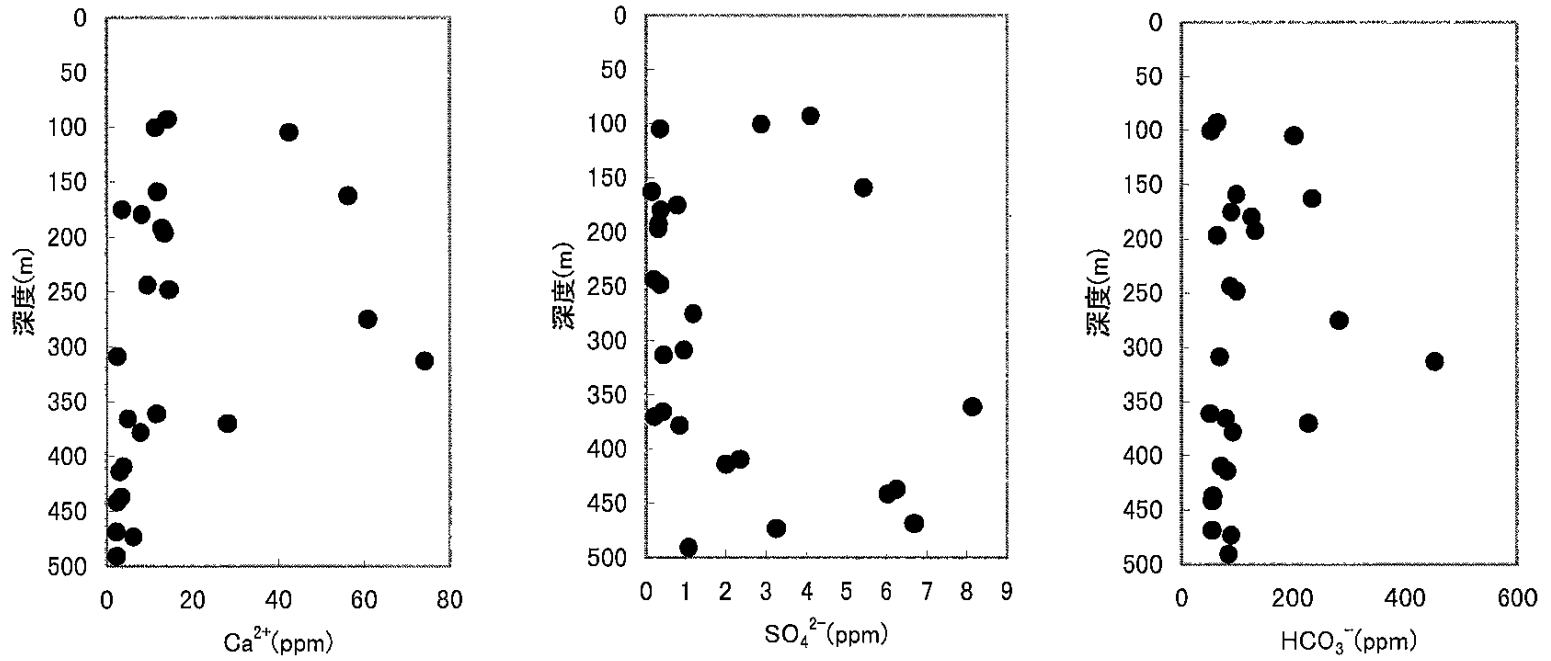


図 22 地下水中のCa²⁺・SO₄²⁻・HCO₃⁻濃度と深度の関係

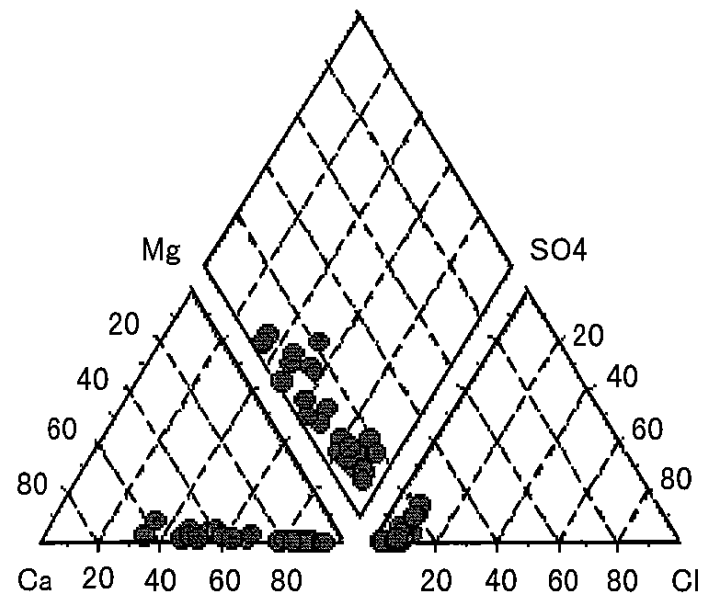


図 23 地下水のトリリニアードイヤグラム

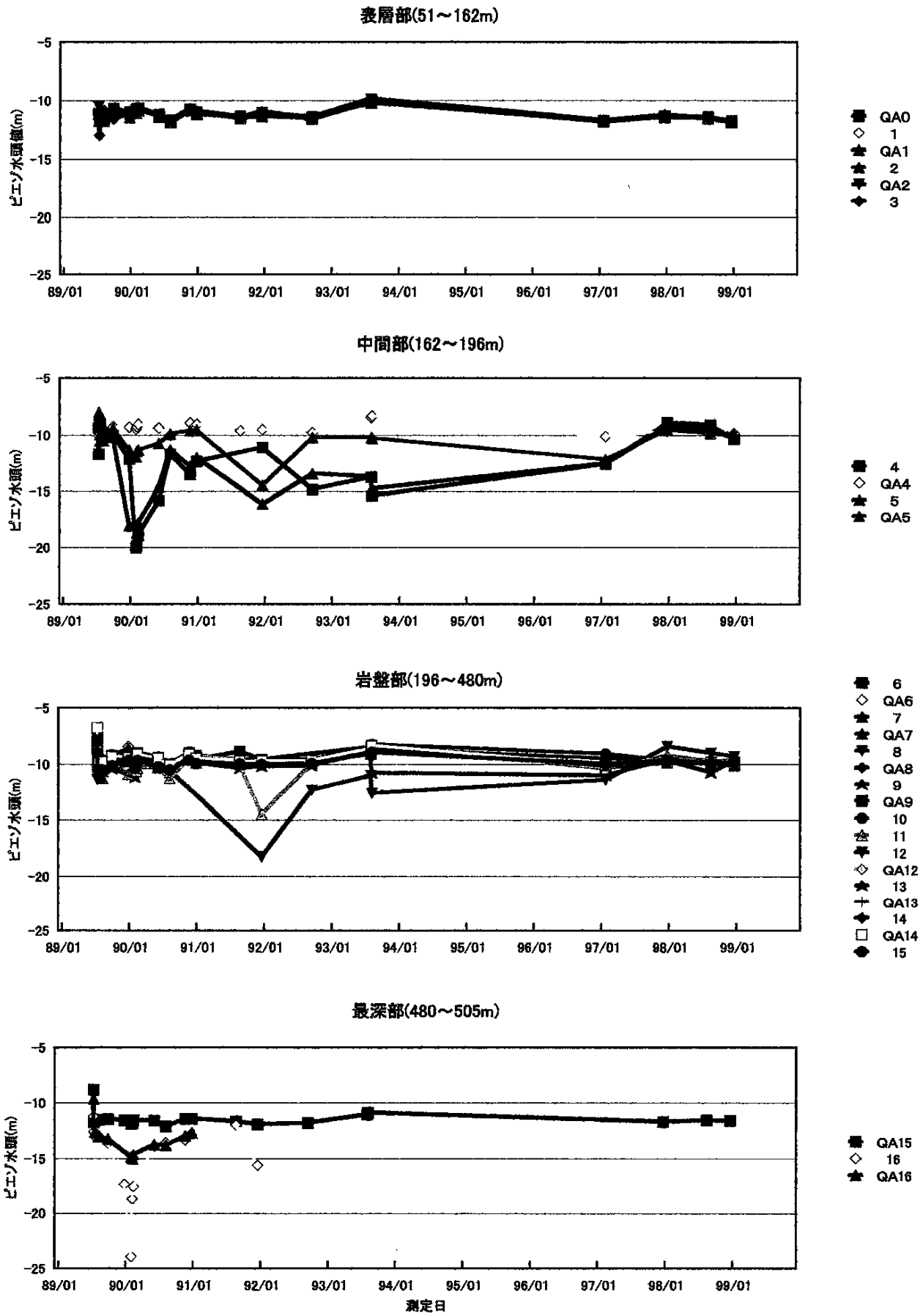


図 24 層区別のピエゾ水頭値の時系列変化

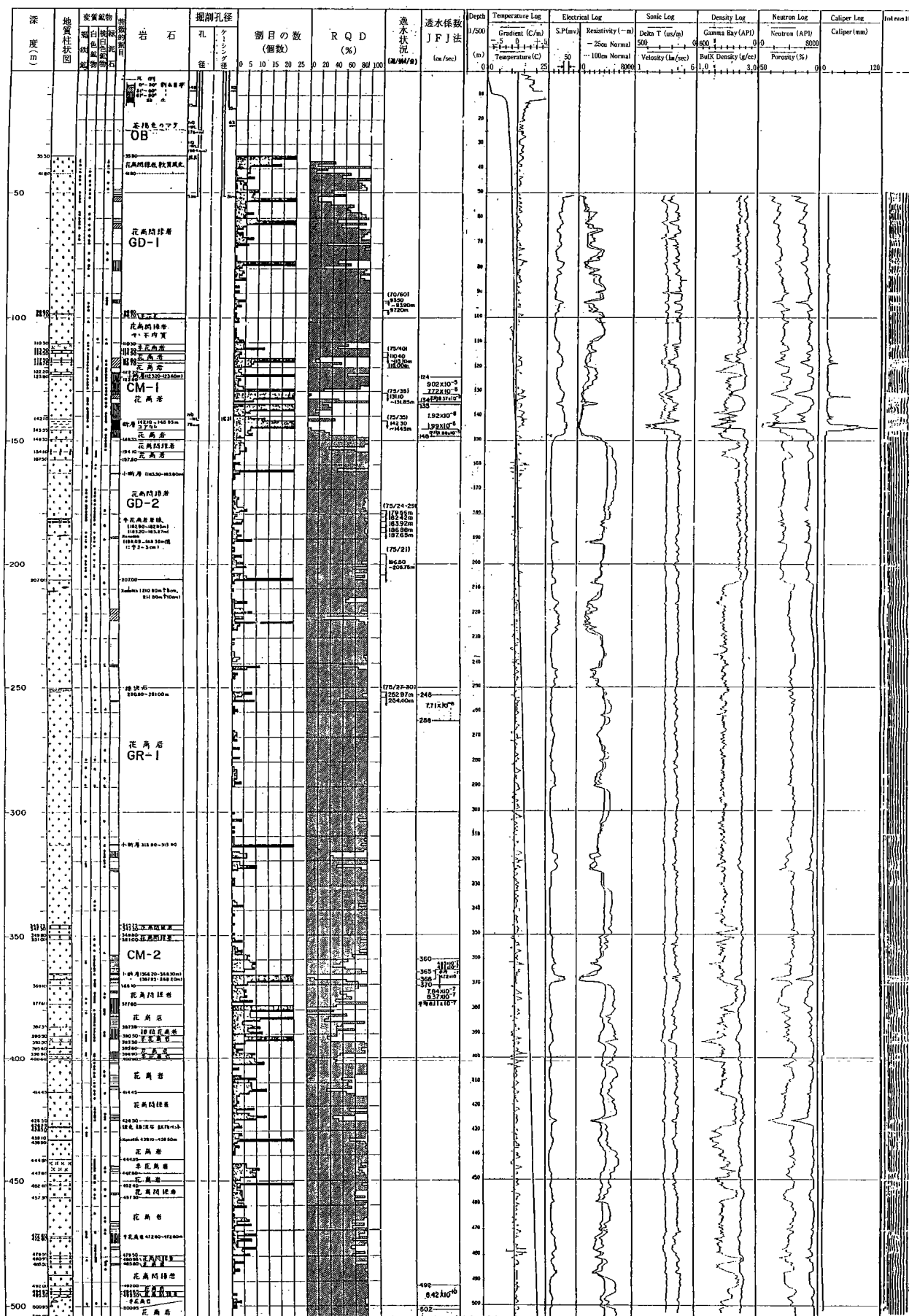


図 25 試錐孔(NKS-1)総合柱状図
出典：同和工営(株)(1987)

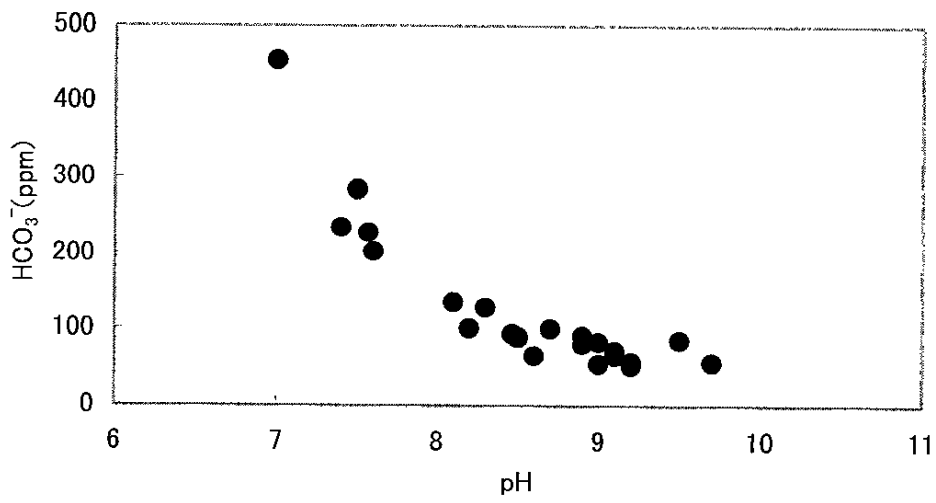
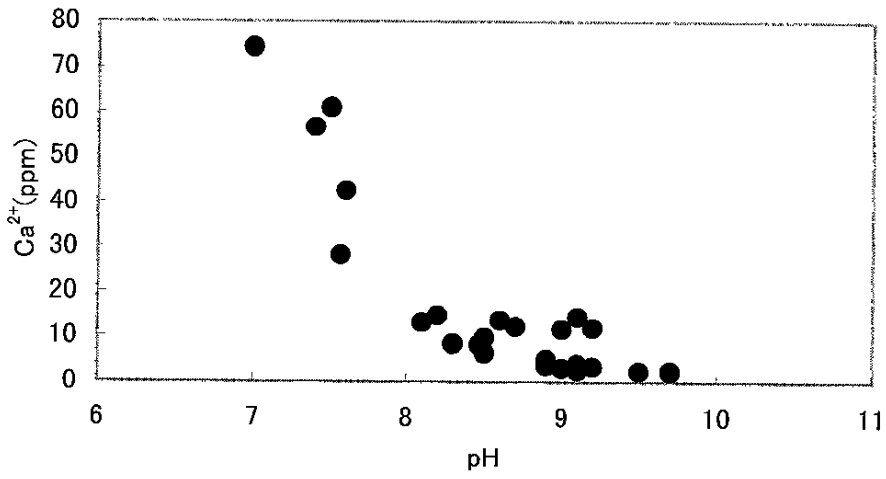


図 26 地下水のpHとCa²⁺・HCO₃⁻濃度の関係