

再冠水に関する原位置試験研究（その3）

（核燃料サイクル開発機構 委託研究成果報告書）

2000年2月

東急建設株式会社

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。

〒319-1194 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

Inquires about copyright and reproduction should be addressed to:

Technical Cooperation Section,

Technology Management Division,

4-49 Nuramatsu, Naka-gun, Ibaraki 319-1194,

Japan

再冠水に関する原位置試験研究（その3）

要旨

高倉 望* 伊藤 誠*

本報告書は、核燃料サイクル開発機構殿の委託研究による「再冠水に関する原位置試験研究（その3）」で実施した観測および解析の内容を中心にまとめたものである。

本研究は、平成10年3月より地下空洞の掘削・埋め戻しの後に実施した地下水の再冠水現象における地下空洞周辺の地下水圧・水質の変化を把握すること目的として、観測を実施している。観測対象地盤は堆積岩系で、観測対象深度はGL-50mからGL-100mである。

平成11年度は昨年度に引き続き地下水観測を行い、その観測結果で取得された原位置試験データをもとに、再冠水現象での地下水挙動を既存の3次元地下水流動解析コードを利用したシミュレーションを行なった。

なお、本研究は、小島東京大学名誉教授を委員長とした委員会を設立して行った。委員会名簿は報告書の最後に添付する。

本報告書は、東急建設株式会社が核燃料サイクル開発機構（JNC）殿との契約により実施した調査および解析の成果である。

契約番号 : 110D0208

機関殿担当部課室及び担当者 : 2000年レポートチーム研究調整グループ（石川 博久）

* : 東急建設株式会社 生産技術本部 土木技術設計部

In-situ test of recovering groundwater
after
the reclamation of underground structure (Part III)

Nozomu takakura * Makoto Ito *

Abstract

This report describes the results of the project "In-situ test of recovering water after reclamation of underground structure" funded by Japan Nuclear Cycle Development.

The objectives of this project is to investigate the behavior of the water presser and the properties of water surrounding the geo-space during the excavation and the reclamation.

The water behavior has been observed between GL-50 m and GL-100 m of sedimentary rock in order to simulate the test results.

The FE analysis was also conducted using 3D seepage-flow procedure based on the measurement data.

A committee was organized to proceed the project. The chair was Dr. Ojima, a professor emeritus University of Tokyo. The list of the committee member is attached at the end of this report.

This report shows results of study performed by Tokyu Construction Co.,Ltd under the contract with Japan Nuclear Cycle Development Institute (JNC).

JNC Liaison : Geological Isolation Research Project (Hirohisa Ishikawa)

* : Tokyu Construction Co.,Ltd

目次

概要	1
1) 再冠水現象での長期地下水観測	1
2) 3次元浸透流解析による再冠水現象のシミュレーション	4
1 はじめに	7
1.1 実験サイトの位置	8
1.2 地質・地形概要	9
1.3 地下空間実験場の概要	10
1.4 鉱物特性	10
1.5 再冠水前の地下水環境	12
2 再冠水現象での長期地下水観測	21
2.1 調査概要	21
2.2 計測デザインの設定理由および調査数量	22
2.3 地下水モニタリング観測	27
2.4 ミニドーム壁面周辺での温度計測	36
2.5 環境同位体分析	39
2.6 主要化学成分分析	52
3 3次元浸透流解析における再冠水現象シミュレーション	59
3.1 今回の解析の位置付け	59
3.2 解析手法の特徴	59
3.3 解析モデルの設定	60
3.4 解析手順	68
3.5 解析結果および考察	69
3.6 解析のまとめ	81
4 まとめ	84
参考文献	86
巻末資料	
① 鉱物分析結果（顕微鏡観察写真）	
② トリチウム分析結果報告書	
③ 主要化学成分分析結果	
④ 採水試料の水質計測管理表	
⑤ 「再冠水に関する原位置試験研究報告書（その1）～（その2）」の巻末資料一覧	
⑥ 「再冠水に関する原位置試験研究（その3）」委員会名簿	

概要

本報告書は、核燃料サイクル開発機構の委託研究による「再冠水に関する原位置試験研究（その3）」で実施した内容を中心にまとめたものである。

神奈川県相模原市郊外に位置する相模川河川沿いの洪積台地上においてGL-82.5 m間に構築した地下空間実験場周辺の地下水調査を行った。当該地盤は、GL-7 mまではローム層により、またその下層厚 14 m までは砂礫層が存在している。それ以深（GL-21 m）の地盤はところどころに挟み層や破碎帯が介在している泥岩層で構成されている。

本年度は昨年度に引き続き①GL-50m～82.5m 間に構築した地下構造物（以下、ミニドームと呼ぶ）を埋め戻した後に GL-84.5m 地点の排水ポンプを止めたことによって生じた地下水位の回復現象（以下、再冠水現象と呼ぶ）における長期地下水観測と②今までに取得された原位置試験データをもとに、再冠水現象での地下水挙動を既存の地下水流動解析コードを利用したシミュレーションを行う。

具体的には、①の観測では、泥岩層内の挟み層や破碎帯の水圧変化や、地下水の温度、pH、電気伝導率、および埋め戻し工事で使用した埋め戻し材（流動化改良土）から発生する固化熱を熱源としたミニドーム壁面周辺の温度変化を計測する。さらに、浅層地下水と深層地下水の関連を調査するためコアおよび試錐孔内の地下水に対して安定同位体分析、トリチウム分析、主要化学分析を行う。

ここで、観測期間中に実施した再冠水は 2 回である。1 回目は、埋め戻し 1 ヶ月後（H10.3.19）に計画通り実施したもの（以下、1 回目再冠水と呼ぶ）と、2 回目は、埋め戻し 8 ヶ月後（H10.10.6）に排水ポンプの誤動作によって発生したもの（以下、2 回目再冠水と呼ぶ）である。

②の解析では、現在まで得られた原位置試験データをもとに、破碎帯や挟み層が介在する堆積軟岩の再冠水現象における解析の適応性を検討する。

本研究で、これまで得られた知見をまとめると以下の通りである。

1) 再冠水現象での長期地下水観測

■ 試錐孔内の水位観測

再冠水を開始する前の孔内水位は、ボーリング削孔で用いた洗浄水が破碎帯および挟み層から抜けきっていないことにより定常状態に達しきっていないことが想定される。そのような状態で観測を開始した結果、以下に示す知見が得られた。

- ①孔内水位が、A-2、A-3、B-2、B-3 孔で 1 日、A-1、B-1 孔で 2～3 日、C-1 孔でほぼ 7 日と非常に短期間で定常状態に達した。この挙動は、難透水層と考え

られる泥岩層（透水係数で 1.0×10^{-7} cm/s 程度を想定）としては非常に早い水圧回復と言える。この原因としては、泥岩層内の破碎帯や挟み層といった特異な水みちの影響が考えられる。

② 2 回目の再冠水現象では 1 回目に比べ、水位回復速度が A-2、A-3、B-2、B-3 孔で 2 倍、A-1、B-1、C-1 孔は 1 回目とほぼ同じ速さで定常状態に達した。

③ C 孔は、試錐孔口からの雨水の混入があり、水位の急激な変動を観測している。

■ ミニドーム周辺の水温観測

① A 孔、B 孔ともゆるやかな増加傾向にあり、調査期間中にほぼ定常状態に達した。

② 試錐孔別に観ると、破碎帯で以下に示すような特異な挙動を示した。

- ・ 挟み層の温度が、熱源に近い地点（B 孔）が高いという一般的な傾向を示しているのに対して、破碎帯はその傾向が逆転している。
- ・ 10 月に発生した水位低下によって、A-1 孔は低下、B-1 孔は上昇傾向と全く逆の現象を示した。この原因については、熱源である埋め戻し材から破碎帯までの複雑な水みち経路の影響や破碎帯の飽和状態の違いによる影響が考えられる。
- ・ C 孔については、埋め戻し材および再冠水による影響は観測されていない。この原因としては、A、B 孔の水圧に比べ C 孔の水圧が高いこと、さらにミニドーム中心から C 孔まで約 40 m と離れており到達する間に熱源の影響がほとんど無くなったものと考えられる。

■ ミニドーム周辺の pH 観測

自動計測データは、採水の影響などにより値が相当ばらつきしているため再冠水の影響を判断するには信頼性に欠ける。また、C 孔には雨水が混入しているため、水質からの影響は判断できない。よって、A 孔および B 孔のポータブル計測結果から再冠水の影響を評価すると以下の通りである。

① 再冠水以後 A、B 孔とも一旦ゆるやかに減少し、再冠水開始から 3 ヶ月経過した時点でそれとは違う緩やかな上昇傾向に転じ、観測終了時点でほぼ定常状態に達した。

■ ミニドーム周辺の電気伝導率観測

電気伝導率も、pH と同様に、値が相当ばらつきしているため再冠水の影響を判断するには信頼性が欠ける。また、C 孔は雨水が混入しているため、水質からの影響が判断できない。よって、A 孔および B 孔のみのポータブル計測結果から再冠水の影響を評価すると以下の通りである。

① 再冠水以後 A、B 孔ともゆるやかな減少傾向で進行し、観測終了時点現時点でほぼ定常状態に達した。

■ ミニドーム壁面周辺の温度観測

- ①再冠水直後に吹き付けコンクリートの掘削面側で0.2度、挟み層のミニドーム掘削面から5cm奥の地点で1.7度、45cm奥で1.5度下がった。さらに、ドーム内側の吹き付けコンクリート面でも微少であるが温度が低下している。但し、埋め戻し材の中央部の変化は無い。その後のミニドーム壁面周辺の温度は、埋め戻し材内部の温度変化に追従してゆるやかな減少傾向を示した。
- ②2回目の再冠水では、挟み層に設置した観測点の温度変化は観察されなかった。しかし、吹き付けコンクリートの掘削面側で水温が急激に低下し砂層内の温度傾向とほぼ一致した。この原因としては急激な水圧変動によりミニドーム外側の地下水が壁裏に回りこんだものと推察できる。
- ③1回目と2回目の再冠水で温度変化に再現性が無い理由として、各再冠水前の地盤状態の違いが考えられる。1回目の再冠水前の地盤状態は、被圧地下水位がGL-82mの状態で約2年間ほど経過しており、ミニドーム底盤より上の観測点近傍は不飽和状態であったと推測できる。一方、2回目の再冠水前の地盤状態は、1回目の再冠水の影響で挟み層の被圧地下水位がGL-50mまで上昇した影響で、観測点近傍はほぼ飽和状態に達していたものと思われる。その違いである。

■ 環境同位体分析

昨年度に引き続き、1999年11月および2000年1月に観測孔AおよびC孔にて定期的な地下水採水を行い、その安定同位体比の変動を見た。

- ①相模原台地における礫層中の不圧地下水の酸素安定同位体比分布図より、再冠水を行ったジオドームのある田名原面の不圧地下水の安定同位体比は、水素で-53~-54‰、酸素で-8.2~-8.3‰の範囲にあることが判る。これらの礫層中の地下水は、その下位にある第三紀泥岩基盤層（ミニドーム掘削層）に対しポテンシャル的に高く、これら基盤岩中の地下水を涵養している状況にあるため、不圧地下水中の安定同位体比は、再冠水時の地下水補填のエンドメンバーの候補の一つと考えられる。
- ②観測孔A孔およびC孔における地下水中の安定同位体比を、デルタダイヤグラム上で示した図より、A孔においては昨年度最後に実施した1999年2月の分析結果のポイントにおいて、既に礫層不圧地下水の領域付近まで同位体比が移動してきており、その後実施した今年度の2回のサンプルにも著しい変化は認められず、既に同位体比的には礫層不圧地下水と同じ状態になっていると考えられる。但し、この礫層系地下水の浸入経路に関しての情報は観測孔の同位体情報では判断できない。また、C孔における同様の同位体のデルタダイヤグラムは、相対的にかなり軽い同位体比を示しており、必ずし

もA孔のように礫層不圧地下水の同位体比と一致していない。研究地域においてこのような軽い同位体比を持つ成分としては雨水が一番その可能性が高い。

- ③研究地域の北数十キロにある降水観測点での降水中の安定同位体比変化を示した図より、極めて大きな変動を示しており、今回観測された酸素で $-9\sim-10$ （%）程度の軽い同位体比は恒常的に存在している。

■ トリチウム分析

- ①A孔、B孔とも再冠水後の時間の経過と共にわずかながら、トリチウム濃度が減少する傾向を示している。いずれも1T.R.前後の測定限界ギリギリの値ではあるが、再冠水直後には相対的に高いトリチウム濃度（恐らく試錐孔掘削時の洗浄水の残存効果と思われる）の影響が若干見られていたが、その値は、泥岩層内のトリチウム濃度の低い地下水に次第に転化されることにより、その濃度を低めてきたものと解釈される。
- ②C孔のトリチウム濃度は2～4 T.R.付近で変動しており、A、B孔のような明確な低減傾向を示さない。

■ 主要化学成分分析

- ①C-1孔については、試錐孔内への地表水の混入による地下水水質変化が確認されている（例えば、1999年11月分採水）。この地表水などの混入については、水素・酸素同位体測定結果とも矛盾がない。
- ②他の試錐孔については、本調査において分析した項目のうち、 SO_4^{2-} のみが有意な変化を示した。A-1孔においては、再冠水直後の SO_4^{2-} 濃度が約40ppmに対して、約半年経過後には約10ppmに低下し、その後ほぼ一定値を示した。これは、大気に曝されたことによって、岩石中の硫化鉱物から硫酸塩と酸化され、その硫酸塩が地下水中に溶解したと考えられる。再冠水後には、岩石が大気と遮断されることにより、硫酸塩の供給が減少したため、濃度が低下したと考えられる。

2) 3次元浸透流解析による再冠水現象のシミュレーション

- ①今回実施した3次元浸透流解析を用いて、破碎帯や挟み層が介在する堆積軟岩の再冠水現象を定性的に再現することができた。しかし、水圧レベルで考えると解析結果と観測データには大きな隔たりがある。これは初期水位の設定や地盤モデル等が関係していると考えられる。よって、この問題点を検証できる入力情報や出力結果があれば、今回用いた3次元数値シミュレータの適応性は向上すると考える。
- ②本解析を実施した過程において、再冠水現象の解析を行なう上での課題点・問題点等が明らかになった。次ページにそれらをまとめた表を示す。

表 本解析における入力情報と出力結果の問題点一覧表

凡例 ○…データは取得されていた
 △…一部のデータは取得されていた
 ×…データは取得されていない
 □…地形や土地利用を考慮して決定するパラメータであるため“データ取得”とは考えない

(1) 入力情報

		解析入力データを作成するためのデータ		解析入力データに関するコメント	問題点とその対処方法	対処できなかった問題に対する解決方法
		データ取得の有無	データを取得した方法			
モデル化	地表面の地形	○	・デジタルマップ (国土地理院発行: 50 m メッシュ) を使用 ・地図 (縮尺: 1/2500) を使用して段丘をモデル化	-	地表面上に窪地が存在していると水が溜り計算が停止する可能性がある。(マニング係数が大きい場合、可能性がより高くなる。) そのような問題に対し、今回は窪地にならないよう地表面の形状を修正し、地表流が一方方向に流れるようにした。	-
	地質構造	△	地質調査を実施 ・本研究のボーリングデータ (7箇所: コア観察) ・地震計設置時ボーリングデータ (7箇所: コア観察) ・地下実験場構築時ボーリングデータ (4箇所: コア観察) ・ミニドーム構築工事ボーリングデータ (2箇所: コア観察) ・スパイラル社からの地質調査 (178 m)	地質調査は地下空間実験場中心から40 mの範囲である。	地質調査の範囲が、地下空間実験場周辺に限られており、モデル全体に及ぶ地質構造の連続性に関する情報が取得されていない。	解析対象範囲を考慮に入れた広範囲の地質調査を行う。また、既存の資料を詳細に調査する。
各地層の特性	間隙率	△	泥岩層は室内試験結果 ¹⁾ (供試体数: 10本) より取得した。その他の地盤は、一般的な値 ¹⁾ を用いた	-	泥岩層以外の地質の間隙率データが無かった。	調査時に間隙率を求める試験を行う。なお、破砕帯の間隙率は解析によるパラメータスタディーで検証する。
	透水係数	△	・ローム層: 一般的な値 ¹⁾ を用いた ・礫層: 多孔式透水試験により求めた (回復法) ・泥岩層: 室内透水試験 ¹⁾ により求めた (供試体数: 10本) ・破砕帯・挟み層: 再冠水による水位回復現象 ¹⁾ より求めた (7箇所: 回復法)	-	破砕帯の幅は実際は30cmくらいであるが、モデルにおいては分割上、幅が2.5mとなっている。	破砕帯の幅を表現できるよう、モデル分割を修正する。あるいは、試験から得られた透水係数を解析で用いたブロックの容積比で補正して入力する。
	地表面のマニング係数	□	-	地表流は存在すると仮定 (n = 0.1)	-	-
初期状態 (初期状態とは試験サイトを掘削する前の状態を示す。)	初期水位	×	-	ミニドーム掘削前の礫層の水位 (GL-10 m) を入力	初期状態が過剰間隙水圧状態であるのか不明であるため、今回の解析では深度方向に静水圧分布と仮定した。	初期状態から地盤の間隙水圧を計測して地盤の水圧変化を観測する。
境界条件	モデル境界面	□	-	泥岩層は不透水境界と設定	-	-
	掘削面	□	-	掘削時は定圧境界、埋め戻し時は不透水境界と設定	今回の解析のような埋め戻し時の掘削面の境界条件が不透水境界の設定では、掘削面からの埋め戻し土への地下水の浸透が表現できない。	埋め戻し土に地下水が浸透することをモデル化する場合は、埋め戻し土に対して室内試験や原位置試験を行い、透水係数等の浸透特性を調査する。また、掘削面の境界条件については解析によるパラメータスタディーで検証する。
涵養量	降雨量	○	気象庁のデータを使用 (1987~1998)	-	降雨量が急激に大きくなるとプログラム計算が収束しない可能性があるため、今回は年降水量を日平均に換算し、降水量の変化をなくして入力して対処した。	-
	蒸発量	×	文献 ⁵⁾ から決定	-	試験サイト周辺の観測データが無い。	試験サイト周辺で蒸発量などの水文データを観測する。
	リチャージ流量	○	実際の施工経過記録を使用 (リチャージ井戸に設置した電磁流量計の測定値)	-	-	-

(2) 出力結果

	解析出力結果項目	解析出力データを比較するための観測データ		解析出力データに関するコメント	問題点	解決方法
		データ取得の有無	取得されたデータについて			
解析結果との比較	礫層 (浅層) の水位	△	再冠水現象直前から観測データが存在	初期状態からの礫層の水位を出力した。	初期状態での水位が観測で得られていないため、解析結果を観測結果と定量的に比較することができない。	初期状態から浅層地下水水位の観測を行う。
	水圧	△	観測データは再冠水現象以後の破砕帯・挟み層に限定 ・観測箇所 7箇所 ・観測期間 1998/2/27~2000/2/26	水圧分布を出力 泥岩部の水圧も出力可能	立坑掘削前のデータがないこと、泥岩部の間隙水圧が観測されていないことなどから比較できない。	初期状態から水圧の観測を行う。また、泥岩部に観測点を設置する。さらに、広範囲の水圧変化を調べるためにパルス試験などの短期的な地下水流動観測を行う。
	飽和度	×	-	飽和分布を出力可能	飽和度の観測データが無い	試験孔を広範囲に設置し、孔内水位のデータを取得すれば、比較可能である。
	流向・流速	×	-	地下水流速分布を出力可能	流向・流速のデータが無い。	トレーサ試験や流向・流速計による観測を行い、データを取得する。また、環境同位体分析など観測データから地下水の流れを推測できれば定性的には比較可能だと考える。
	地下空間実験場内の流出量	△	瞬時流出量を観測 ・観測位置: 地下空間実験場坑口部 (GL-0 m)	1日当たりの流出量を出力	瞬時流出量を1日当たりの流出量に換算して比較している。	流量は積算流量で計測する。

監督機関： 核燃料サイクル開発機構 2000年レポートチーム

実施機関： 東急建設株式会社 技術研究所

神奈川県相模原市田名3062-1

TEL (042)763-9511 fax (042)763-9503

技術研究所所長 常田 左門

平成12年2月
東急建設株式会社

1 はじめに

再冠水に関する原位置試験研究は、2年間にわたり実施した。今までの研究の経緯を以下に示す。

① 再冠水に関する原位置試験研究（その1）¹⁾

実施期間：H10/1/21 ～ H10/7/19

実施内容

- ・ 試錐井の設置
- ・ 地下水モニタリング観測（水圧、水温、pH、電気伝導率）
- ・ 採水試料に対する環境安定同位体分析、主要成分分析
- ・ 地下構造物壁面（GL-80 m付近）の温度計測

↓

② 再冠水に関する原位置試験研究（その2）²⁾

実施期間：H10/9/10 ～ H11/2/26

実施内容

- ・ （その1）の継続調査
- ・ 有機塩素化合物分析
- ・ 鉍物分析

↓

③ 再冠水に関する原位置試験研究（その3）

実施期間：H11/9/20 ～ H12/2/29

実施内容

- ・ （その1）～（その2）の継続調査
- ・ 3次元浸透流解析（解析コード：GEO-FLOWS V3）を用いた再冠水現象のシミュレーション

本論は、「再冠水に関する原位置試験研究（その3）」で実施した内容を中心に報告する。

1.1 実験サイトの位置

図 1.1.1 に実験サイトの位置図を示す。当サイトは神奈川県相模原市郊外の田名地区に位置し、相模川から北方向へ約 500 m 離れた標高約 90 m の河岸段丘地である。

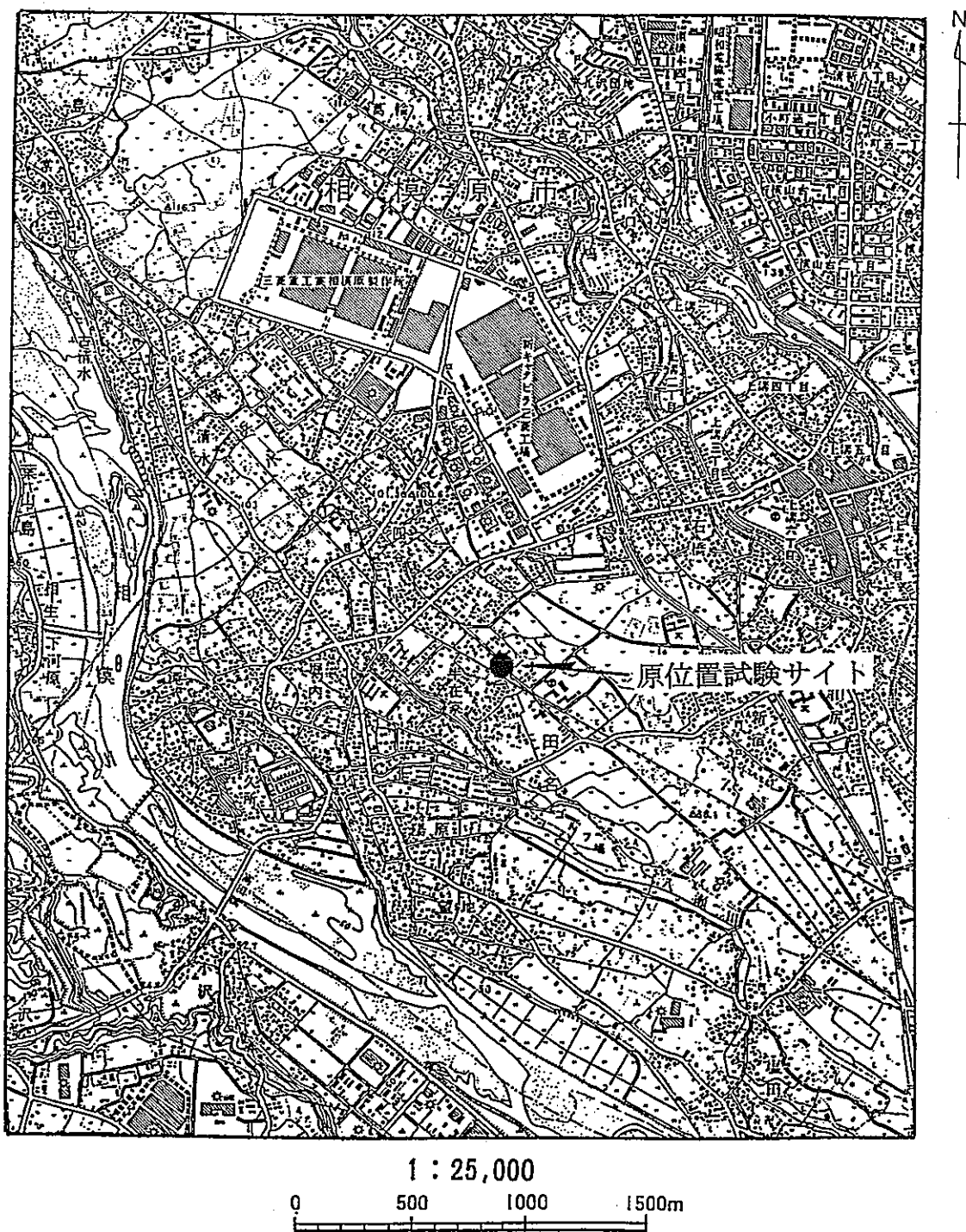


図 1.1.1 実験サイトの位置

1.2 地質・地形概要

神奈川県相模原市郊外の洪積台地上に位置する実験サイト周辺は、その地質構造が、GL-7 m までのローム層、その下、層厚 5 m の田名原礫層と層厚 9 m の座間丘陵礫層、およびそれ以深の上総層群の泥岩（堆積時期は、第三紀後期～第四紀前後）で構成されている。上総層群の泥岩は、水平方向に未固結な砂層やスコリア層の帯水層が幾層も介在し、鉛直方向に破碎帯などの破碎帯が存在している。

調査地の再冠水前の地下水面は浅層地下水（水位 GL-7 m）、と泥岩層内の深層地下水（水位 GL-82 m：ミニドームを埋め戻す前の水位）にあることから、二重地下水面を要していることが確認されている。なお、浅層地下水の流れる方向はおおよそ北西～南東方向であることが既存の資料等³⁾でわかっている。以下に各層について詳しく述べる。

・ローム層

調査地に分布するローム層は「立川ローム層（中部）」と称され、最表層のローム層として神奈川県下に広く分布している。層厚は約 7m で、その色調は橙褐色、形状は粗粒を呈している。

・田名原礫層

当該地区では GL-12m 付近まで分布しており、礫径が不均一な円～垂円の大～中礫が主体である。ところにより $\phi 500\text{mm}$ 以上の大礫を混入している。

・座間丘陵礫層（相模総群）

当該地区では GL-21m 付近まで分布している。粘土と大礫混じりの扇状地性の中礫層と考えられ、凝灰角礫岩の礫を主体としている。

・上総層群

更新世前期～鮮新世にかけて堆積した海成層で、神奈川県中部～東部にかけて相模層群の下位に広く分布している。

礫岩・砂岩・凝灰質砂岩・泥岩より構成されるが、当サイトでは泥岩（固結シルト：別称土丹）が卓越している。挟み層として凝灰岩～凝灰質泥岩・スコリア層・軽石層・軽石散在層等がある。貝化石片や軽石粒を含む場合があり、一部には炭質物も認められる。

1.3 地下空間実験場の概要

図 1.3.1 に実験サイトに構築した地下構造物の全景を示す。GL-50 m までは、東急建設所有の地下空間実験場である。その下、GL-82.5 m までの地下構造物は、通産省工業技術院産業科学技術研究開発制度により構築したミニドームである。

ミニドームの構造の特徴として、ドーム周辺を、螺旋状のトンネル（以下、スパイラルトンネルと呼ぶ）で囲んでいることが挙げられる。但し、このミニドームは、1998 年 3 月に埋め戻されている。なお、詳細な地下空間実験場の経緯については、1.5 章で述べる。

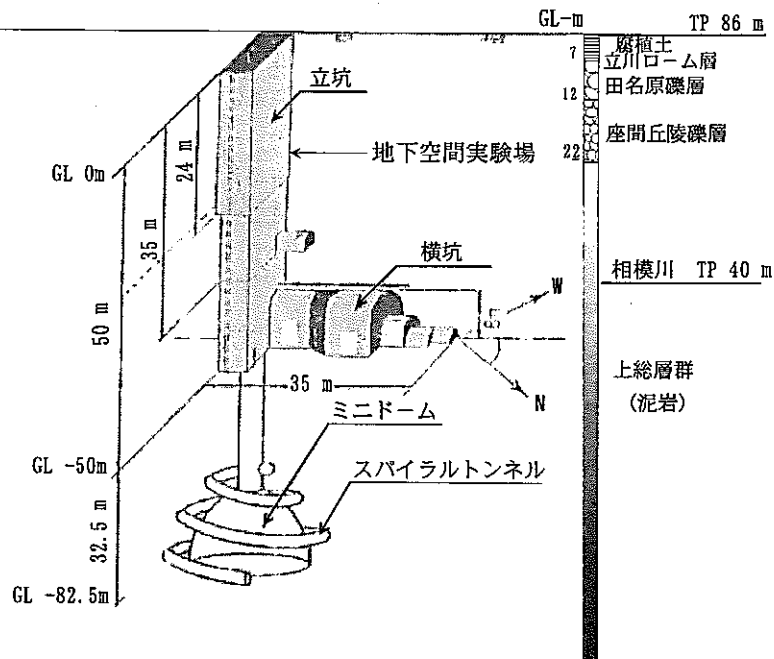


図 1.3.1 地下空間実験場の全景図

1.4 鉱物特性

1.4.1 顕微鏡観察結果（巻末資料に写真添付）

1) GL-68 m（凝灰質中粒砂岩／長石質ワッケ）

主に斜長石・石英・岩片・普通角閃石・単斜輝石・化石片を構成粒子とする凝灰質の砂岩。構成粒子の円球度は低く、円磨度は角である。淘汰はやや悪い。基質は微細な鉱物片および淡褐色のシルト～粘土より成る。構成物質の量比は 構成粒子：基質＝50：50 である。

2) GL-75 m（凝灰質細粒砂岩／長石質ワッケ）

主に石英・長石・普通角閃岩・単斜輝石・黒雲母・化石片を構成粒子とする凝灰質の砂岩。構成粒子の円球度は低く、円磨度は角である。淘汰は普通である。基質は微細な鉱物片および淡褐色のシルト～粘土より成る。構成物質の量比は 構成粒子：基質＝30：70 である。

3) GL-80 m (結晶凝灰岩)

主に斜長石・石英・普通角閃石・単斜長石からなり軽石をともなう結晶凝灰岩である。基質は認められない。

岩石全体の特徴から観ると GL-75 m の試料と破碎帯の GL-68 m の試料を比較した場合、両者の構成粒子の種類はほとんど類似している。また破碎帯の GL-68 m では地下水の影響によるような変質等が認められない。したがって地下水組成と岩石の関係は判断できないが、変質鉱物を作るような熱水ではないと推定できる。

1.4.2 蛍光X線分析結果

蛍光X線分析の結果、GL-73.25 m~GL-73.33 m (軽石層) の試料は、他の試料に比べ Al_2O_3 、 CaO 、 Na_2O が多く、 Fe_2O_3 、 MgO 、 K_2O が少ない (図 1.3.1)。この要因としては、当地点は斜長石または沸石が多く含まれていることが指摘される。

GL-85.0 m~GL-85.24 m の泥岩部の試料は、実験サイト周辺に広く分布されている一般的な地質である。この深度の試料は SO_3^{2-} が多く検出されており他と異なっている。次式に示すように SO_3^{2-} は岩石の風化にともない黄鉄鉱 (FeS_2) と H_2O および O_2 が反応して形成される。

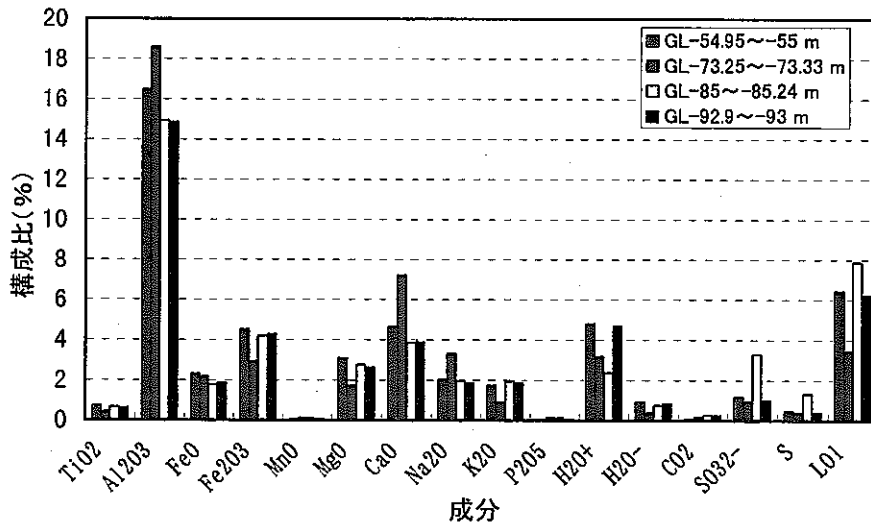
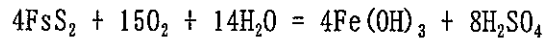


図 1.3.1 蛍光X線分析結果

1.5 再冠水前の地下水環境

1.5.1 地下空間実験場の経緯

実験サイトである地下空間実験場は、1989年から1991年にかけて、大深度地下を有効かつ多角的に活用することを目的に構築した。現在までの経緯を表1.5.1にまとめる。

表 1.5.1 地下空間実験場の経緯

1988. 10	大深度地下掘削実験の計画立案
1989. 3	実験場選定のためのボーリング調査開始
1989. 11	空洞実験の施工開始
1990. 7	第1期工事 (GL-35 m) の掘削完了
1991. 9	第2期工事 (GL-50 m の立坑および横坑) 掘削完了
1993. 1	断熱貯蔵など各種原位置試験の実施
1993. 6	植物実験・採光実験の開始
1993. 8	空洞内の音響実験の実施
1994. 4	地下水観測実験の開始
1994. 8	ミドーム掘削のためのボーリング調査開始
1994. 12	ミドーム掘削開始
1995. 4	空洞内の緑化実験開始
1996. 3	ミドーム掘削完了 (GL-82.5 m)
1997. 12	ミドーム埋め戻し工事開始
1998. 3	ミドーム埋め戻し工事終了
1998. 3	再冠水現象の地下水観測実験の開始

1.5.2 ミニドーム構築にともなう地下水環境観測

実験サイトのGL-50 m～84.5 mに堆積している第三紀堆積軟岩層のミニドーム構築にともなう地下水の水位・水量変化および水質変化を、長期間観測することにより実験場周辺の地下水環境変化を調査した。詳細について以下に報告する。

1) 観測期間：1994年4月～1998年3月

2) 調査位置と調査項目

図1.5.1に観測位置を示す。表1.5.2に観測位置の状況について示す。観測項目は、① 地下実験場内の湧水量とGL-50 mの横坑内に設置した調査ボーリング孔の湧水量変化と孔内水位変化、および地下実験場内の湧水の② pH、③ 電気伝導率、④ 主要化学成分である。

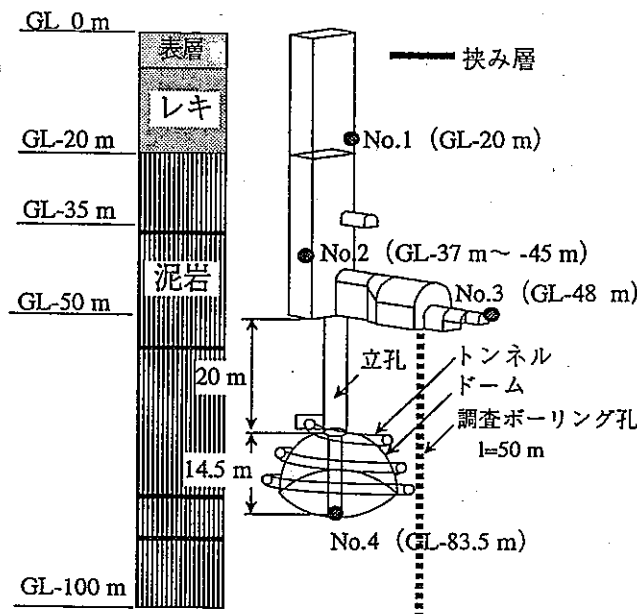


図 1.5.1 観測箇所

表 1.5.2 観測位置の状況

観測地点	深度	現地の状況	備考
No. 1	GL-20 m	礫層内に設置した水平ボーリング孔からの浸出水	
No. 2	GL-37 m ～GL-45 m	泥岩層内に打設したロックボルトからの浸出水	
No. 3	GL-48 m	泥岩層内に削孔した水平コア抜き跡からの浸出水	
No. 4	GL-83.5 m	泥岩層内に走っている破砕帯からの湧水	掘削中に発生

3) 調査方法

ミニドーム構築前においては、調査ボーリング孔から毎分 45 リットルの湧水が発生していた。その湧水量変化を、羽根式の流量計（ガリゾイト製）による自動で計測した。また、ミニドームの掘削にとともないその湧水量は減少し、GL-70 m 掘削した際の立坑内への湧水が発生した瞬間に調査ボーリング孔からの湧水は止まり、その後は調査ボーリング孔内の水位変化を、手動式水位測定器（YAMAYO 製）で計測した。

地下実験場全体の排水量は、地上に設置している電磁流量計（山武パナソニック製）による自動計測で行った。No. 1、No. 2、No. 3、No. 4 地点の湧水量は、湧水量と流入時間を計測して算出した。

各地点の pH、電気伝導率は、採水した試料に対してポータブル型計測器（東亜電波工業製）を用いて計測した。主要化学成分も、採水した試料に対して、炭酸水素イオン (HCO_3^-) のみ中和滴定により行い、その他のイオンについてはイオンクロマトグラフィ（東亜電波工業製）により分析した。

4) 観測結果

図 1.5.2 に調査ボーリング孔からの湧水量と掘削深度の関係、図 1.5.3 に調査ボーリング孔内水位と掘削深度の関係を示す。図より GL-70 m 地点で突発的な湧水 (150 l/min) が発生した直後に調査ボーリング孔内からの湧水が止まり、さらに孔内水位が GL-60 m まで低下した。それ以後は一旦安定したものの、再度 GL-83.5 m 地点で突発的な湧水 (200 l/min) が発生した直後に孔内水位が GL-81 m まで低下した。目視観察により GL-83.5 m 地点の湧水箇所は、最大の開口幅 3 cm 程度の破碎帯を有する破碎帯であった。よって、目視観察からも泥岩層の浸透特性は破碎帯のような特異な水みちによって支配されていることが確認された。

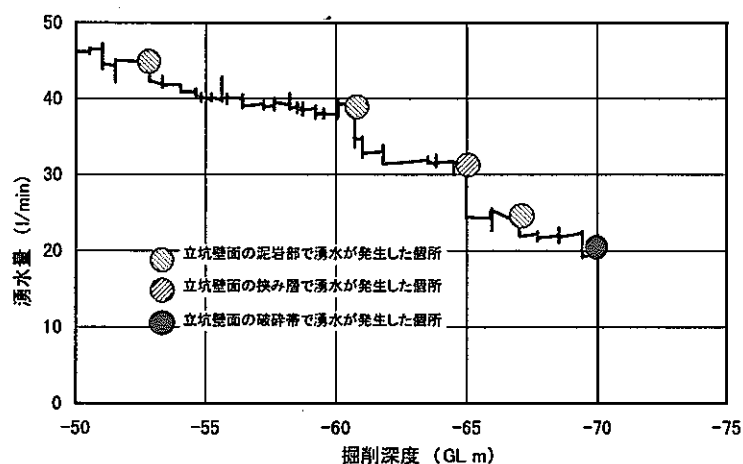


図 1.5.2 調査ボーリング孔からの湧水量と掘削深度の関係

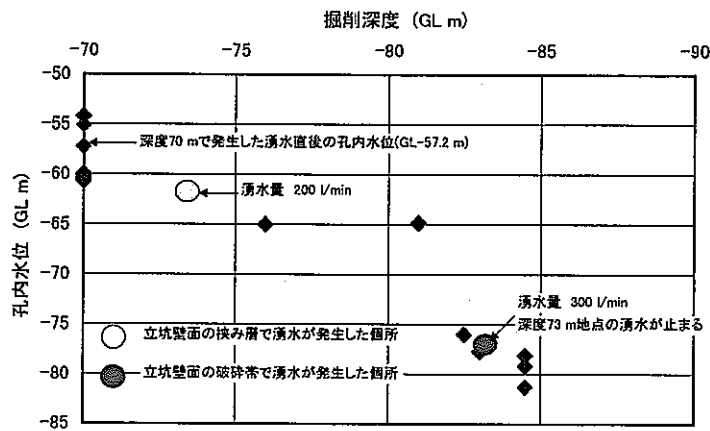


図 1.5.3 調査ボーリング孔内の水位と立坑掘削深度の関係

図 1.5.4 に実験場全体およびミニドームからの排水量と掘削深度の関係を示す。GL-70 m 地点で湧水が発生した直後に、地下実験場からの全体排水量は湧水前に比べ、5 割程度増加し、さらに GL-83.5 m 地点で湧水が発生したことにより約 2 倍となった。また、GL-70 m 地点での湧水以後は、ミニドームからの排水量が地下実験場全体の排水量とほぼ一致した。

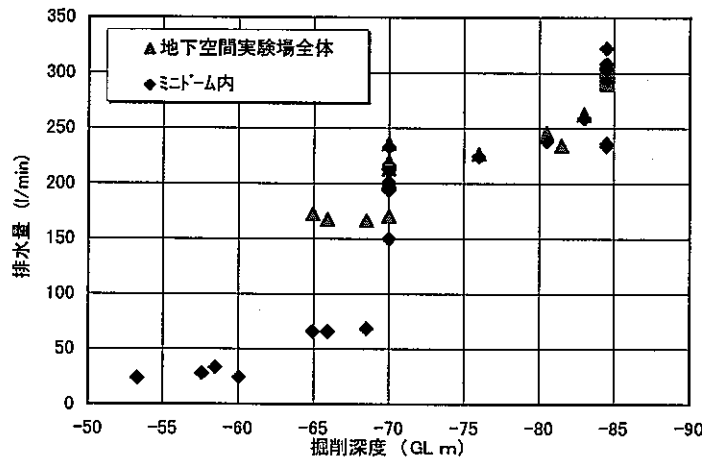


図 1.5.4 実験場全体およびのミニドーム内の排水量と掘削深度の関係

図 1.5.5 に No. 1、No. 2、No. 3 地点の湧水量の経時変化を示す。図より、ミニドーム掘削前では、No. 2 地点の湧水量が他の地点に比べ顕著に減少し、ミニドーム掘削終了後にその減少傾向が緩やかになっている。No. 1 地点では観察開始時期が遅れたためミニドーム掘削直後の湧水量変化はわからないものの、それ以後の湧水量は安定している。No. 3 地点では立坑およびミニドーム掘削による顕著な影響は確認できなかった。

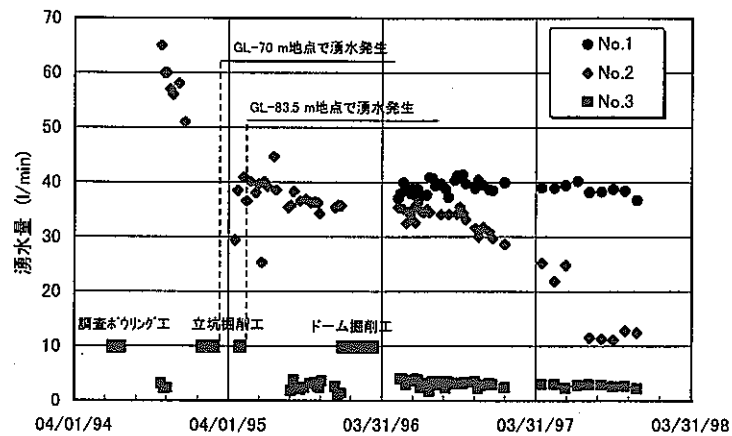
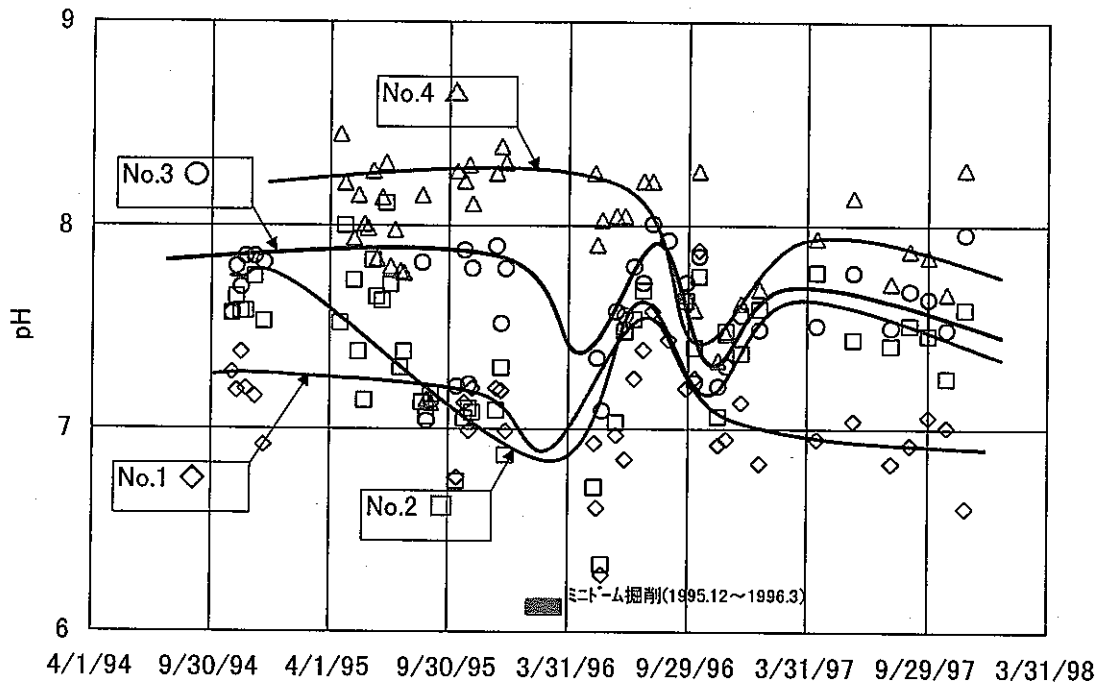


図 1.5.5 地下実験場内の湧水量の経時変化

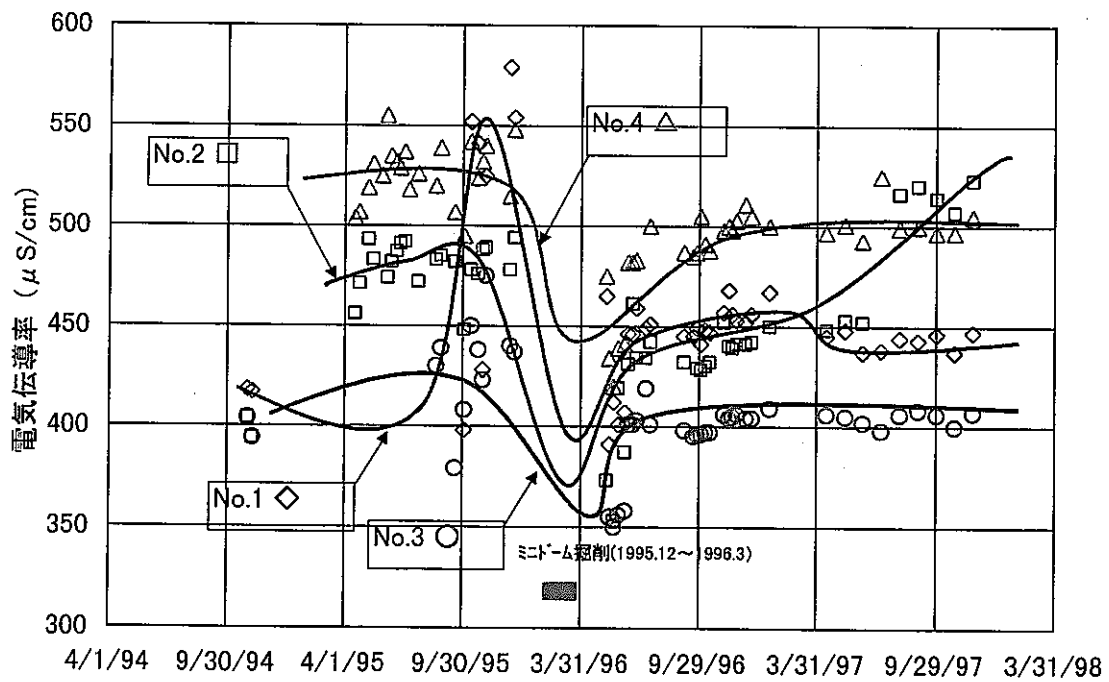
図 1.5.6(a)、(b)に、pHと電気伝導率の経日変化図を示す。ここで、図中のpH、電気伝導率の値は25°Cで温度補正した値である。図 1.5.6(a)より、No. 2 のpHが掘削中に弱アルカリ性から中性に変化している。同地点は、図 1.5.5 に示すように掘削による湧水量の減少が確認されていることから、掘削の影響が水理的にも水質的にも大きいポイントであることが言える。さらに、興味深い現象として掘削完了後8ヶ月まではNo. 2、No.3、No. 4が同じ様な傾向を示し、それ以降はNo. 1、No. 2、No. 3が同じ様な傾向を示している。この現象はミニドーム構築による被圧地下水低下にともなう浅層地下水の混入と考える。

図 1.5.6(b)より、電気伝導率はミニドーム掘削の影響により変動があることを確認した。変動幅は最大でも100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 程度である。全体的な傾向としては掘削完了後から8ヶ月経過した時点で、掘削中よりやや低めで安定した。

図 1.5.7 に、ミニドーム掘削の16ヶ月前、2ヶ月前（調査ボーリング完了後）、掘削完了後の各観測点における主要成分をヘキサダイアグラムで整理した。図より、全地点において、調査ボーリング完了後に炭酸水素イオン (HCO_3^-) が増加し、硫酸イオン (SO_4^{2-}) とカルシウムイオン (Ca^{2+}) の濃度が減少している傾向が観察された。掘削完了後は、カルシウムイオン (Ca^{2+}) と硫酸イオン (SO_4^{2-}) の濃度はほぼ戻ったものの、炭酸水素イオン (HCO_3^-)、ナトリウムイオン (Na^+) とカリウムイオン (K^+) 濃度が掘削前に比べ若干増加している。また、No. 4 地点のヘキサダイアグラムの形状が他の地点と比べ違う。これは、No. 4 地点の水源が他の観測点とは違うことが推測される。



(a) pHへの影響



(b) 電気伝導率への影響

図 1.5.6 ミニドーム掘削による水質への影響

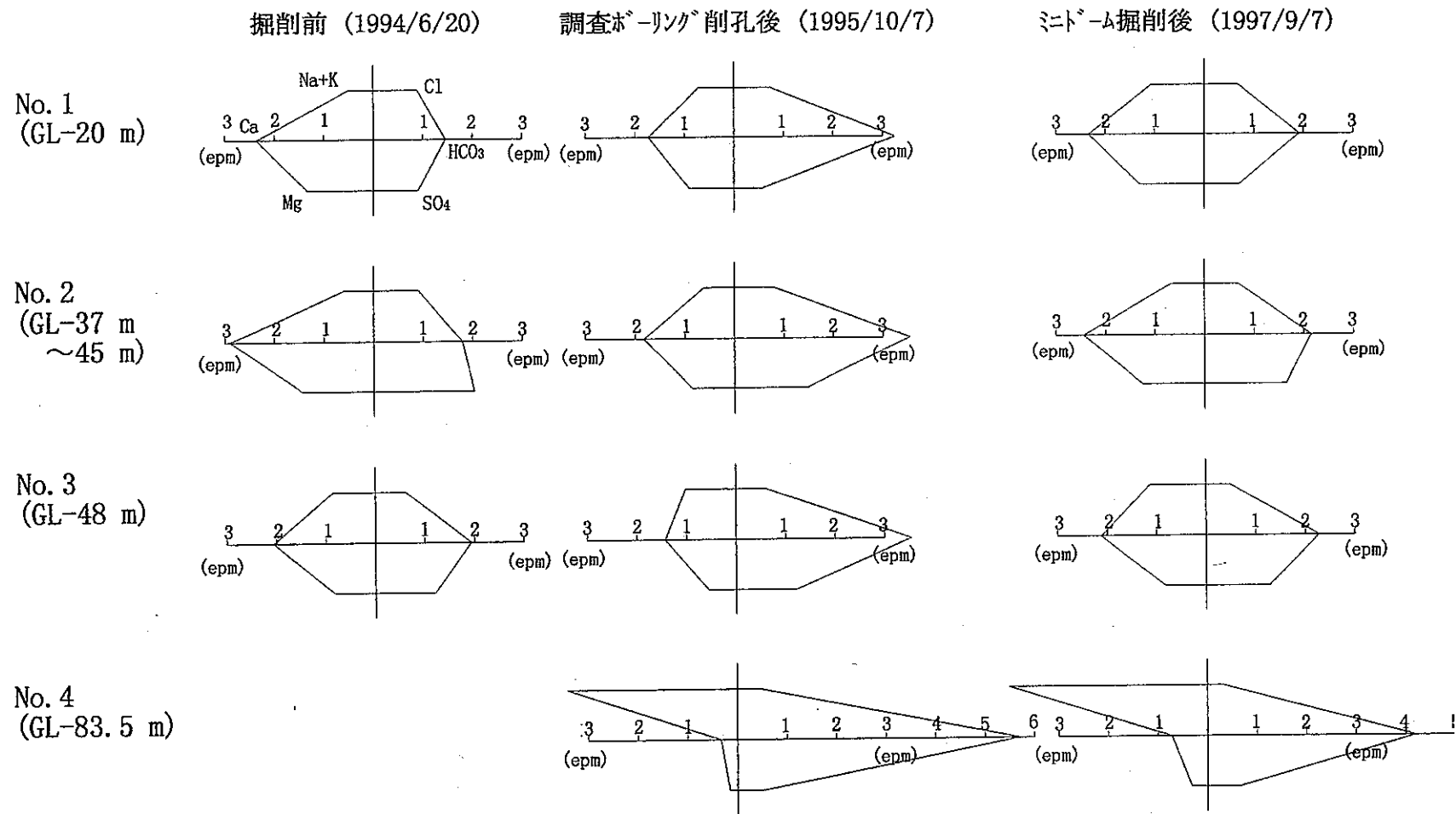


図 1.5.7 ミニドーム構築による主要無機成分の変化

1.5.3 埋め戻し工事

今回の調査項目である水温および水質は、再冠水前に実施した埋め戻し工事の影響を受けていることが考えられる。そこで、あらかじめ埋め戻し工事の概要について理解しておく必要がある。以下に埋め戻し工事の概要について述べる。

- 1) 埋め戻し期間 : 平成10年2月17日～平成10年3月6日
- 2) 数量 : GL-50 m ～GL-70 m の立坑部 (250 m³)
GL-70 m ～GL-82.5 m のドーム部 (2,550 m³)
- 3) 施工方法

GL-84.5 m の水中ポンプを稼働し続けることにより、周辺の地下水位をミニドーム底盤まで下げた状態を維持する。その状態で流動化改良土を地上の混練機からポンプで圧送し、ミニドーム内に投入する。なお、施工管理に用いる計測器の設置などのため、埋め戻し材の投入は数回に分けて実施した。

4) 埋め戻し材料について

今回用いた埋め戻し材は、流動化処理土を用いた。その流動化処理土は、工場でロームに生石灰を添加し、専用の機械で粉砕、その後ふるいによって粒度調整された「改良土」を、現場でセメントと泥水を混合して所定の流動性（フロー値 200 mm）と強度（3日後の一軸圧縮強度 $q_u=1.3 \text{ kgf/cm}^2$ ）を持たせた材料である。

この流動化処理土の利点は、エア-モルタル等に比べセメント添加量が少ないため、①固化熱の発生が抑制でき、さらに ②周辺岩盤への地下水汚染が軽減できることにある。表 1.5.3 に流動化処理土の配合を示す。

表 1.5.3 流動化処理土の配合表 (1 m³ 当たり)

セメント (kg)	泥水 (kg)	粒度処理土 (kg)	混和材 (kg)
200	360	800	4

2 再冠水現象での長期地下水観測

2.1 調査概要

- 1) 調査場所 : 神奈川県相模原市田名 9805
- 2) 調査期日 : 平成10年2月27日 ~ 平成12年2月29日
- 3) 調査目的 :

地下空洞の掘削・埋め戻しの後に実施した地下水の再冠水現象における地下空洞周辺の地下水圧・水質の変化を把握すること目的としている。そのために核燃料サイクル開発機構では神奈川県相模原市において地下空間の開発技術の実証施設として施工されたミニドームを利用した研究を平成9年度より実施した。具体的には、ミニドーム埋め戻しからの再冠水に伴う周辺岩盤の水位回復および水質変化および水温変化等の地下水挙動を計測した。

- 4) 調査項目 :

各調査項目と数量の概要は以下の通りである。

(1) 地下水モニタリング

- a) 孔内水位、水温、pH、電気伝導率の計測 (A、B、C地点。計7箇所:約23ヶ月間のモニタリング)

(2) ドーム壁面周辺の温度計測

- a) 埋め戻し材が硬化するに従って変化するミニドーム壁面周辺の温度状態を計測する。(約23ヶ月間のモニタリング)

(3) 化学分析

- a) 採水した地下水に対して、環境同位体分析を行う。(計4箇所)
- b) 採水した地下水に対して、主要化学成分分析を行う。(計4箇所)

2.2 計測デザインの設定理由および調査数量

水質センサーならびに熱電対を埋設する深度の地層は、上総層群泥岩中の地下水の流れが顕著と予想されるGL-66 mとGL-69 mの破碎帯とGL-80 mとGL-90 mの挟み層を対象とした。表2.2.1に各対象層、破碎帯の特性をミニドームを取り巻くスパイラルトンネル内での地質調査ならびに既往ボーリング調査結果から示す。

表 2.2.1 計測対象層、破碎帯の特性

挟み層

No.	地層名	層厚 (cm)	記 事	計測箇所
a	軽石層	5 ~ 6	<ul style="list-style-type: none"> ・ $\phi 1 \sim 2\text{mm}$ の軽石からなる。 ・ 滴水が多い。 	A-2孔 B-2孔 C-1孔
b	軽石層	30~40	<ul style="list-style-type: none"> ・ $\phi 1 \sim 2\text{mm}$ の軽石からなる。 	A-3孔 B-3孔 D地点

破碎帯

方 向	西北西-東南東系	計測箇所
傾 斜	高角度 (概ね 80 度程度であるが、65 度程度のところもある) で南傾斜。	A-1孔
ずれの方向	左横ずれ。	
開 口 性	0.1~6.0 cm で開口するところが多い。	
流入粘土	認められる。	
茶褐色の染色	茶褐色を呈することが多い。	B-1孔
湧 水	開口部での湧水が多く 3 ~ 10リットル/min の湧水が認められた箇所である。	
連続性	傾きや開口幅の性状は変化するもののスパイラルトンネルの範囲では概ね連続していると考えられる。	
他方向の破碎帯との関係	切った切られたの共役関係。	

図2.2.1 に示すように水質センサーの埋設位置は、GL-50m 横孔から削孔したA、B孔の各3箇所、および地上から削孔したC孔の1箇所の計7箇所に設置した。

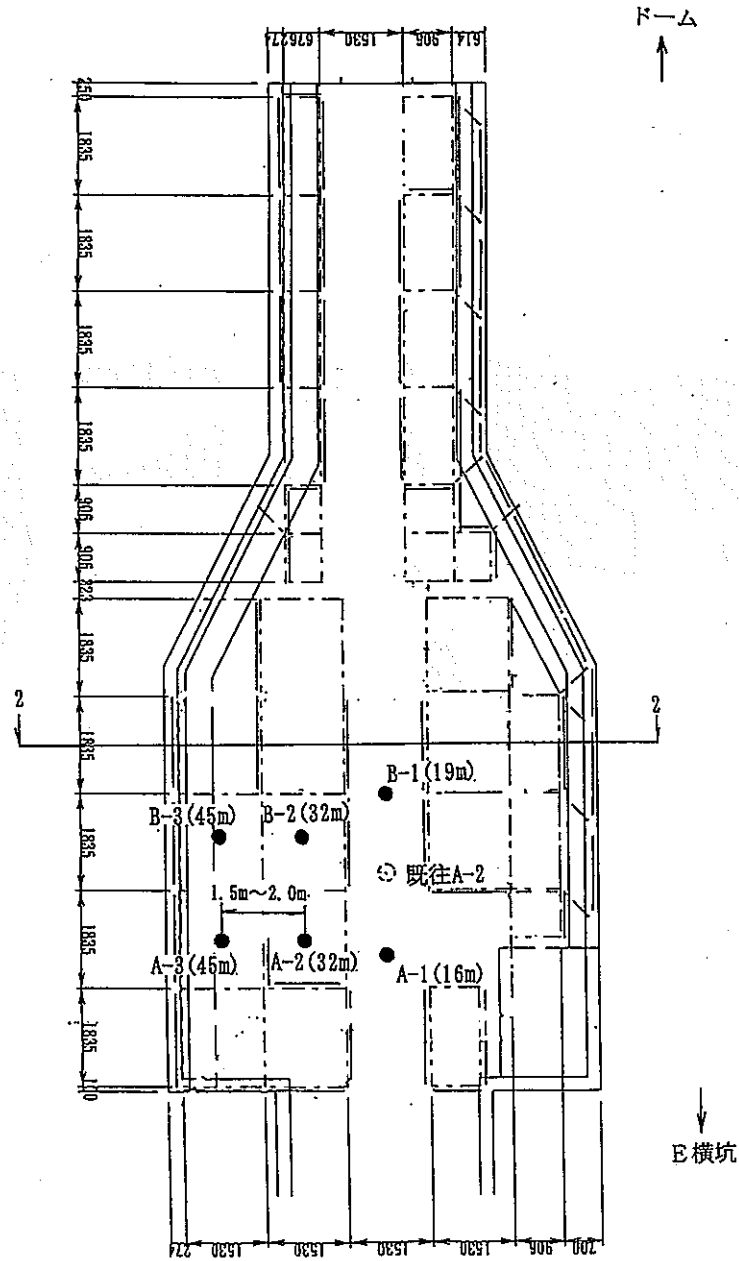
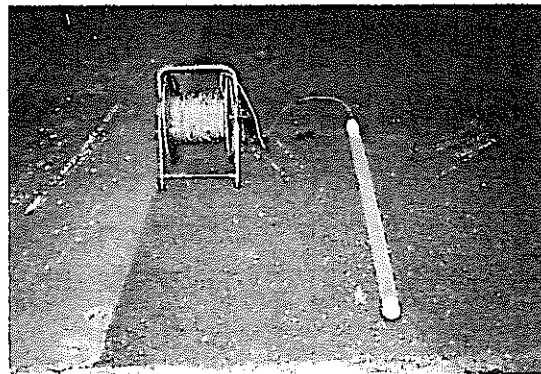


図2.2.1 試錐孔配置平面図 (GL-50 mの横坑内)

表 2.2.2 に化学分析を行った項目と採水方法について示す。環境同位体ならびに主要成分分析に用いる採水試料は、上記の水質センサー埋設位置から観測当初はグリンドフォス製の水中ポンプ（使用期間：H10/3/19～H10/11/19）で、その後、水中ポンプは採水時に試錐孔周辺の地下水流動を乱すことから、簡易採水器のペーラ（使用期間：H10/11/19～H10/2/12：写真 2.2.1）に変更した。ここで、ペーラの材質は100%のテフロン製であるため化学薬品に対して耐久性がきわめて強く、電気的性質に優れ高温にも安定である。



水中ポンプ



簡易採水器（ペーラ）

写真 2.2.1 観測に用いた採水器

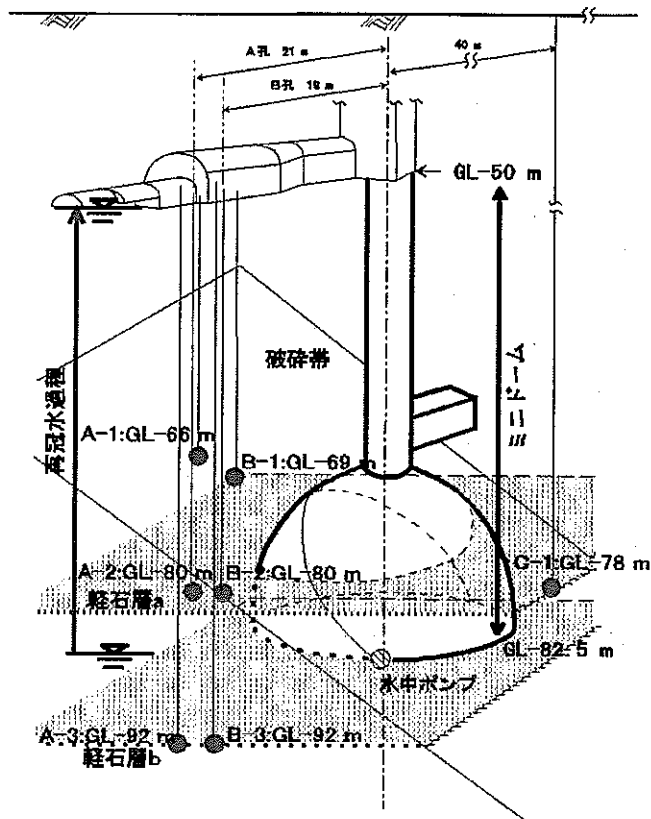


図 2.2.2 調査位置

表 2.2.2 調査項目と観測期間および観測回数 (H10.2.27~H12.2.29)

観測点		(1) 地下水のモニタリング (自動計測)	(2) ミニドーム壁面周辺 の温度計測 (自動計測)	(3) 化学分析 ・ 主要成分 ・ ^3H ・ 安定同位体
A	A-1	23 ヶ月	-	8 回
	A-2	23 ヶ月	-	8 回
	A-3	23 ヶ月	-	8 回
B	B-1	23 ヶ月	-	8 回
	B-2	23 ヶ月	-	8 回
	B-3	23 ヶ月	-	8 回
C-1		23 ヶ月	-	8 回
D		-	23 ヶ月	-

表 2.2.3 化学分析項目と試料採取方法

施設	分析項目	採水方法
核燃料サイクル開発機構 東濃地科学センター	主要成分分析	1リットル容器（ポリエチレン、ポリプロピレン、テロン製のいずれかを使用し硝酸および蒸留水で洗浄）にA-2孔は3本分、A-2孔以外では1本分採取。
熊本大学 理学部 地球科学教室 嶋田研究室	環境同位体分析	20cc 瓶（ガラスボトル）に全孔各4本ずつ採取
	間隙水分析	A-3孔のコアに対して、電中研式コア水抽出装置を用いて、ほぼ5 cm 毎にコア水の抽出（50～100 cc 程度）を行う。
環境エンジニアリング	粗分析	1リットル容器（ポリエチレン、ポリプロピレン、テロン製のいずれかを使用し硝酸および蒸留水で洗浄）に全孔各1本ずつ採取

2.3 地下水モニタリング観測

地下水モニタリングの目的は、実験サイトで地下水の水圧、水温、pH、および電気伝導率を連続で長期計測することにより、再冠水現象での泥岩層内の地下水環境変化を詳細に調査することと、深層部での自動計測モニタリングの検証である。

2.3.1 調査に用いた計器

帯水層および破碎帯を対象とした計測では、測定項目として、水圧、水温、pH、電気伝導率が計測可能な水質センサー（Troll 8000：In-Situ Inc 製）を使用する。また採水した試料に対して手計りによる計測も実施した。使用した計測器は東亜電波工業製のpH計（HM-14P）と電気伝導率計（CM-14P）である。

ここで使用する Troll 8000 とは、データロガーの機能と内部電源を有する水質モニター計器である。以下に Troll 8000 の仕様を示す。

Troll MP 8000 の仕様

水没部素材： 316 ステンレススチール、Viton、ガラス、プラチナ、エポキシ樹脂

寸法： 直径 4.5cm 長さ 66cm (1.75 インチ×25.9 インチ)

重量： ~3.2kg (7ポンド)

動作温度： 0° ~30°C (32° ~86° F)

精度

圧力センサー： 動作温度内でフルスケールの±0.04%

温度センサー： ±0.1°C

電導度センサー： 読みとり値の±0.5%

pHセンサー： ±0.1 pH単位

分解能： フルスケールの 0.006%

レンジ

圧力： 水深 70m (7kgf/cm²)

温度： 0° ~30°C

電導度： 100~100,000 μS

pH： 0~14 pH単位

データサンプリング

メモリタイプ： Flash EPROM および SRAM

容量： 208KB

格納可能データ点数： 最低 100,000 点

2.3.2 計器埋設方法

水質センサーの設置にあたっては、センサーのメンテナンス（ゾンデの回収）のしやすさ、埋設の確実さおよび、測定区間の隔離性を考慮し、図2.3.1に示す1孔1深度による方法をとる。

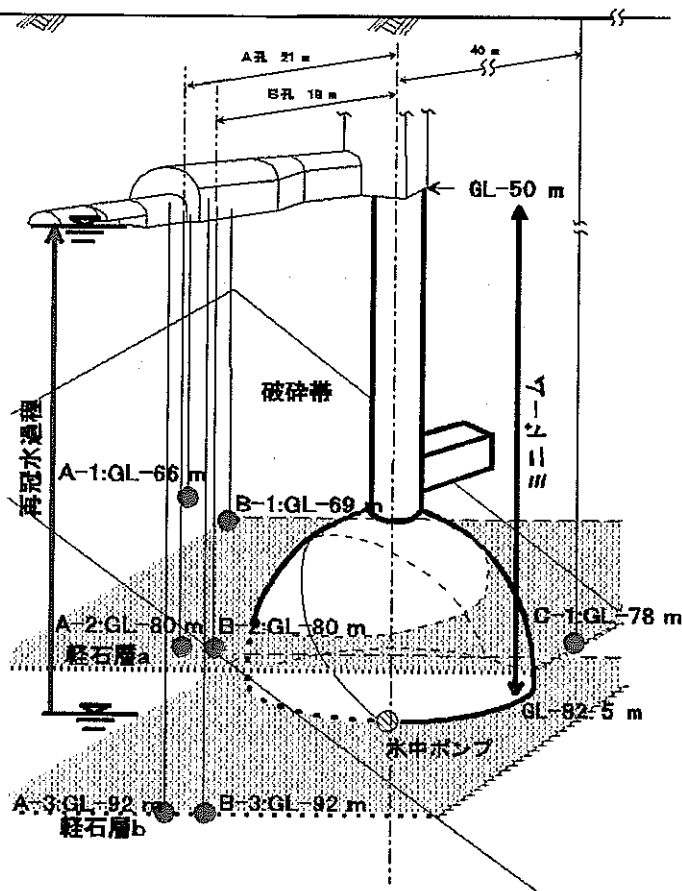


図2.3.1 水質センサーの設置位置 (図2.2.2と同じ図)

設置手順は、①ボーリングの削孔、②コア観察による帯水層（破碎帯、破碎帯）の確認、③VP50エビケーシング管への遮水材セット（ストレーナ部直上、対象層以外の帯水層（破碎帯、亀裂層）の直上、直下）、④ケーシング管の建込み、⑤遮水材の膨張、⑥遮水効果の確認（ケーシング内および孔内水位の違いを確認）、⑦ゾンデの挿入となる（図2.3.2を参照）。

使用する遮水材は、地下水の水質に影響を与えない素材（ゴム状）からなり、水を吸収することで膨張しシール機能を発揮する。測定区間は、その埋設形態からして、対象層や破碎帯を挟む最小幅を有することが理想だが、破碎帯体の幅や浮遊するスライム等の沈澱も考慮し、1 m～2 mを基本とする。

地上に立ち上がるケーブルは、孔口にて専用の吊具で固定し養生する。

なお、ボーリング削孔工事は“再冠水に関する原位置調査研究（その1）”で完了している。

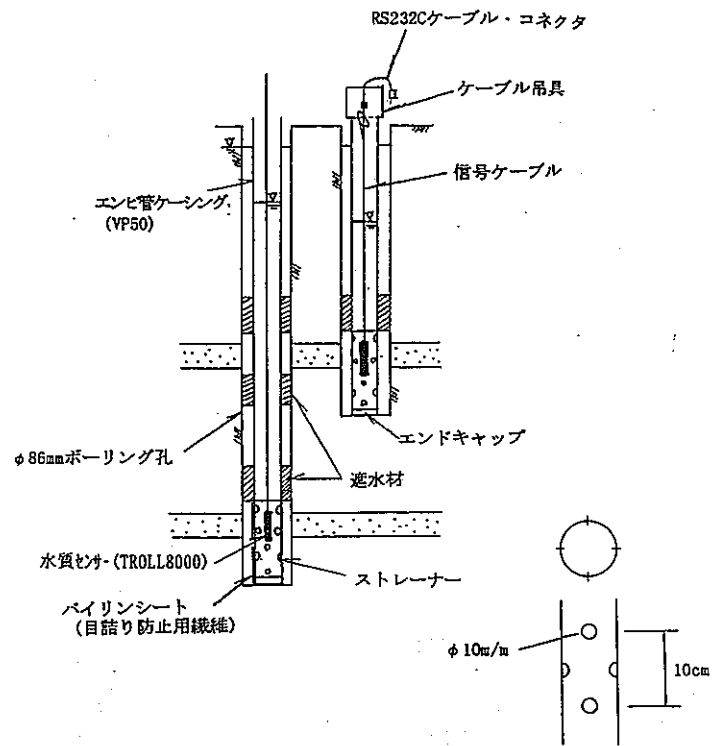


図 2.3.2 水質センサーの埋設形態

2.3.3 観測方法

試錐孔に投入する水質センサーは、ゾンデに内部メモリを有しており、任意のサンプリングタイム（20分）で自動連続観測が可能である。

収録は、信号ケーブル先端（地上部）にRS232Cケーブルを接続し、専用のソフトでコンピュータへデータを転送する（図2.3.3）。

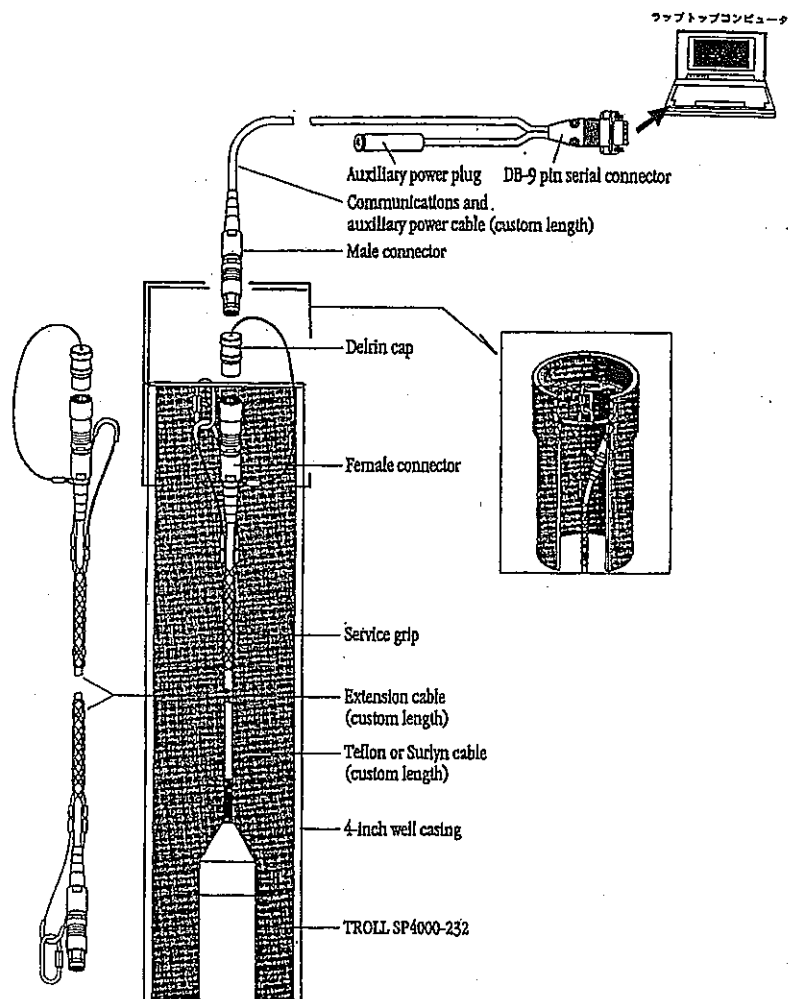


図 2.3.3 Troll 8000 からのデータ収録

2.3.4 調査結果

- ① 図 2.3.4 に試錐孔内の水位経日変化を示す。再冠水前の試錐孔内の水位データから、再冠水前はボーリング削孔で用いた洗浄水が破碎帯および軽石層から抜けきっていないことにより孔内水位が定常状態に達しきっていないことが想定される。そのような状態で再冠水を開始した結果、以下に示す知見が得られた。

孔内水位が、A-2、A-3、B-2、B-3孔で1日、A-1、B-1孔で2~3日、C-1孔でほぼ7日と非常に短期間で定常状態に達した。この挙動は、難透水層と考えられる泥岩層（透水係数で 1.0×10^{-7} cm/s 程度を想定）としては非常に早い水圧回復と言える。この原因としては、泥岩層内の破碎帯や挟み層といった特異な水みちの影響が考えられる。

2回目の再冠水現象では1回目 비해、水位回復速度がA-2、A-3、B-2、B-3孔で2倍、A-1、B-1、C-1孔は1回目とほぼ同じ速さで定常状態に達した。

ここで、C孔の水位変化で降雨量と連動した変動がある。これは、試錐孔口から雨水が混入したものと推察できる。

- ② 図 2.3.5 に水温の経日変化を示す。再冠水現象での水温の挙動は、A孔、B孔について緩やかな増加傾向にあり、観測終了時点でほぼ定常状態に達している。

試錐孔別に観ると、破碎帯で以下に示すような特異な挙動を示した。

- ・再冠水開始の初期の段階で、挟み層の温度が熱源に近い地点（B孔）が高いという一般的な傾向を示しているのに対して、破碎帯はその傾向が逆転している。
- ・10月に発生した水位低下によって、A-1孔は低下、B-1孔は上昇傾向と全く逆の現象を示した。

この原因については、熱源である埋め戻し材から破碎帯までの複雑な水みち経路の影響や破碎帯の飽和状態の違いによる影響が考えられる。

C孔については、埋め戻し材および再冠水による影響は観測されていない。この原因としては、A、B孔の水圧に比べC孔の水圧が高いこと、さらにミニドーム中心からC孔まで約40mと離れておりC孔まで到達する間に熱源の影響がほとんど無くなったものと考えられる。

- ③ 図 2.3.6(a) に pH の経日変化を示す。自動計測データは、採水の影響などにより値が相当ばら

ついているため水質からの影響を判断するには信頼性に欠ける。また、C孔には雨水が混入しているため、再冠水による影響が判断できない。よって、A孔およびB孔のポータブル計測結果から再冠水の影響を評価すると以下の通りである(図 2.3.6(a))。

- ・再冠水以後A、B孔とも一旦ゆるやかに減少し、再冠水開始から3ヶ月経過した時点でそれとは違う緩やかな上昇傾向に転じ、観測終了時点でほぼ定常状態に達した。

⑥ 図 2.3.7(a)に電気伝導率の経日変化を示す。電気伝導率も、pHと同様に、自動計測データの値が相当ばらつきしているため水質からの影響を判断するには信頼性が欠ける。また、C孔は雨水が混入しているため、再冠水の影響が判断できない。よって、A孔およびB孔のみのポータブル計測結果から再冠水の影響を評価すると以下の通りである(図 2.3.7(b))。

- ・再冠水以後A、B孔ともゆるやかな減少傾向で進行し、観測終了時点現時点でほぼ定常状態に達した。

⑦ 深層部を対象とした自動計測モニタリングに対し、今回のモニタリング手法としては、連続データで計測可能で、さらに採水可能なシステムの検証を行った。その結果、用いたセンサーの精度に問題は無く、採水による地下水の揚水が計測データの値に与える影響に大きいことを確認した。

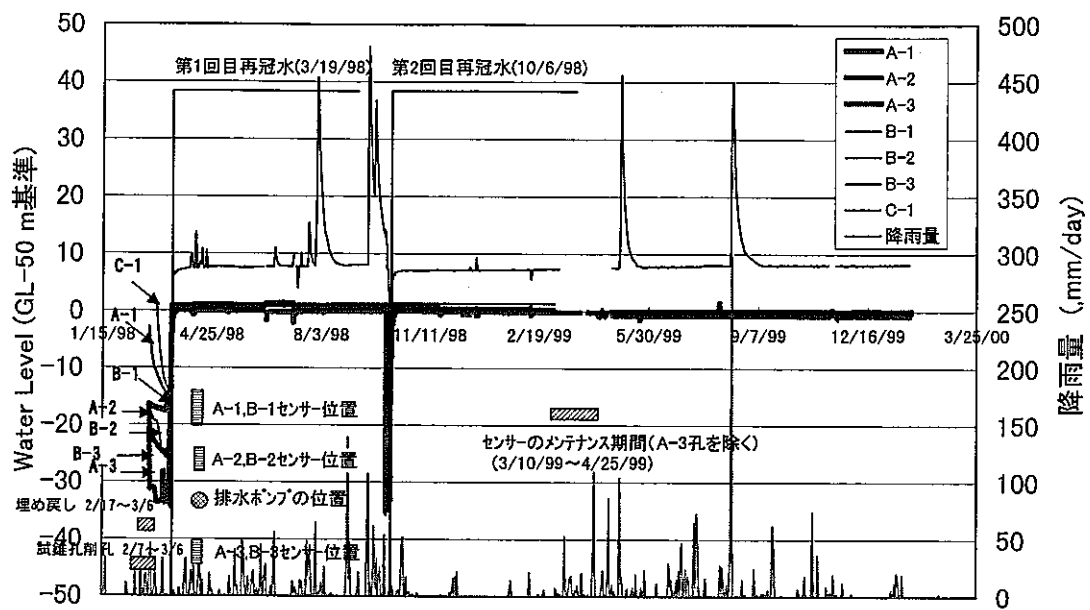


図 2.3.4 試錐孔内水位の経日変化図

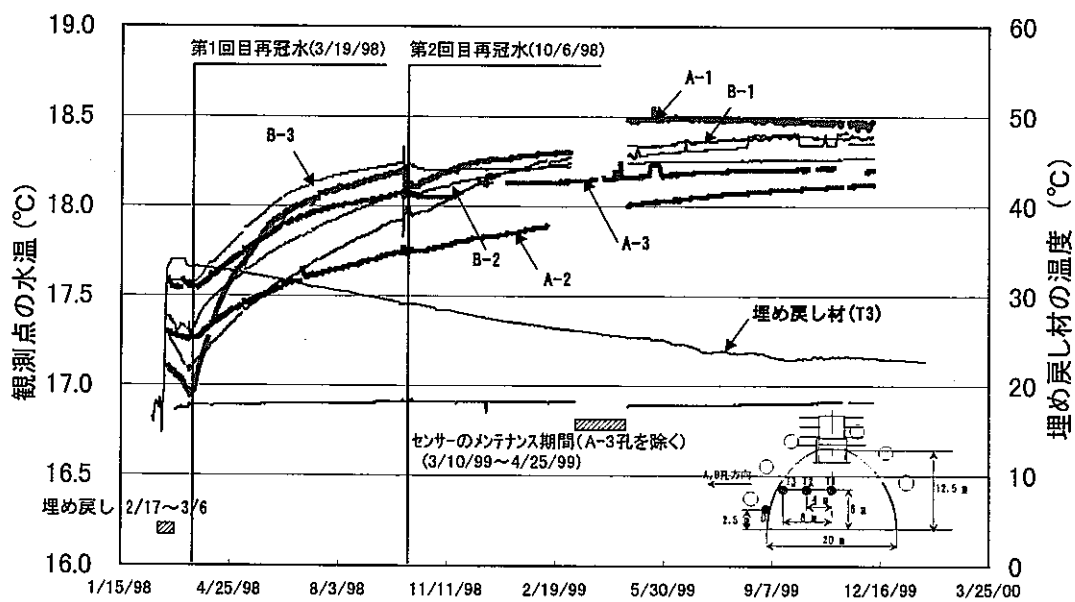


図 2.3.5 水温の経日変化図

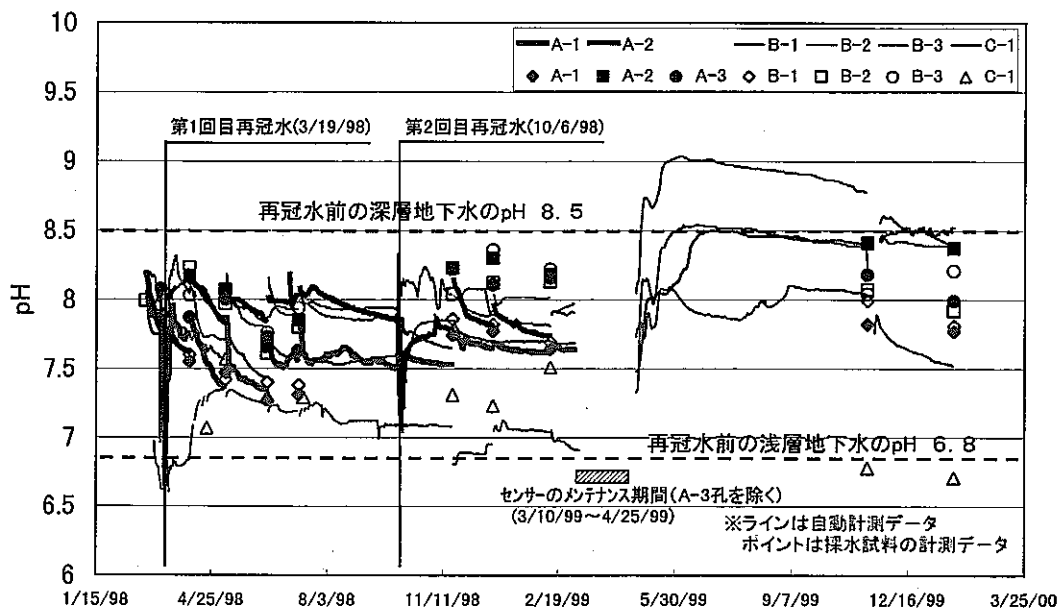


図 2.3.5(a) pHの経日変化図

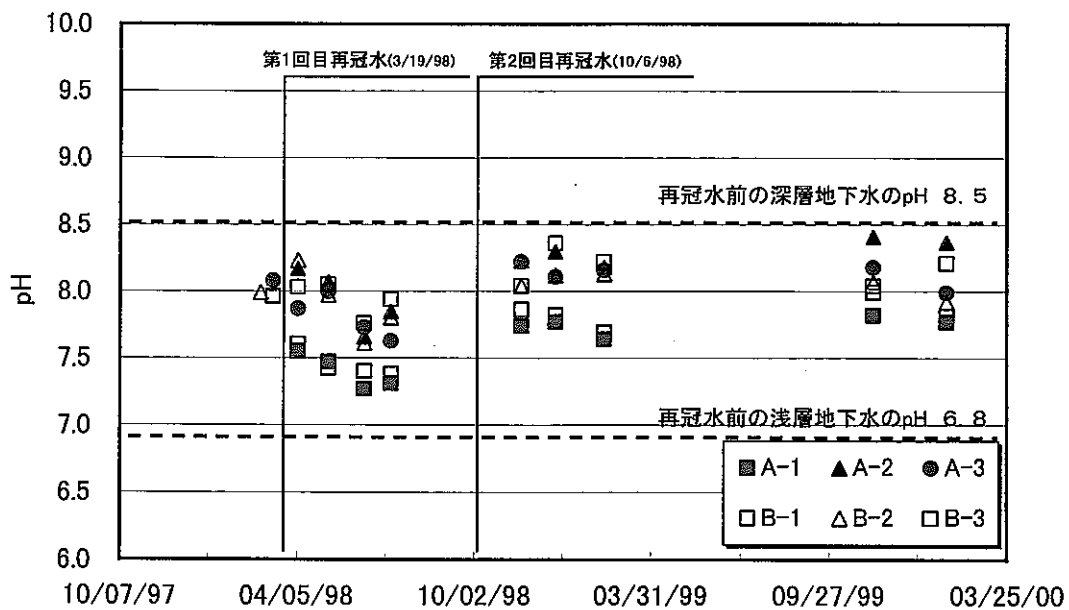


図 2.3.5(b) pHの経日変化図(ポータブル計測値)

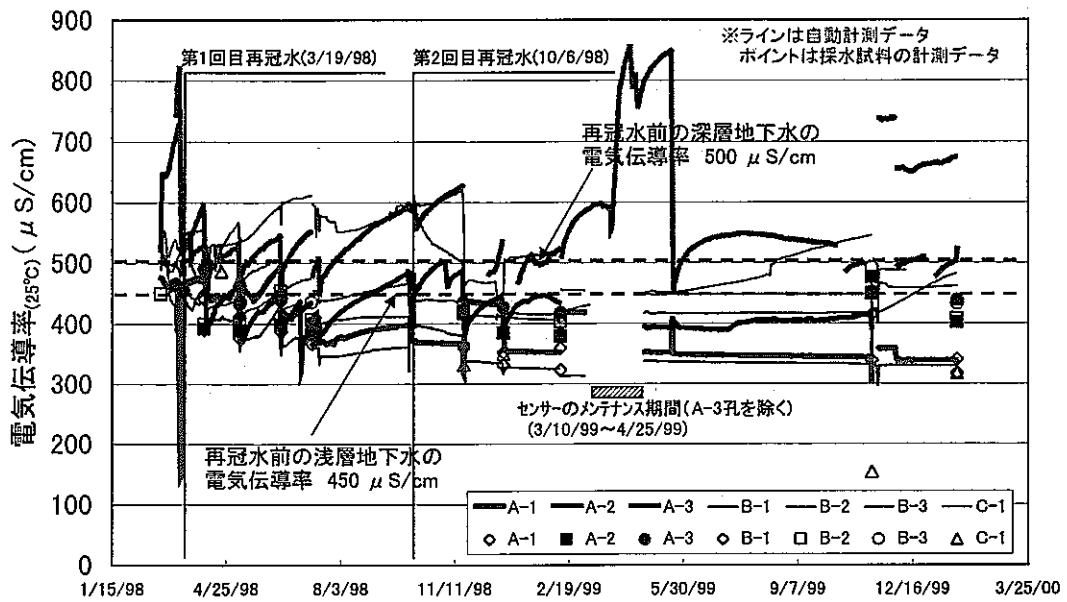


図 2.3.6(a) 電気伝導率の経日変化図

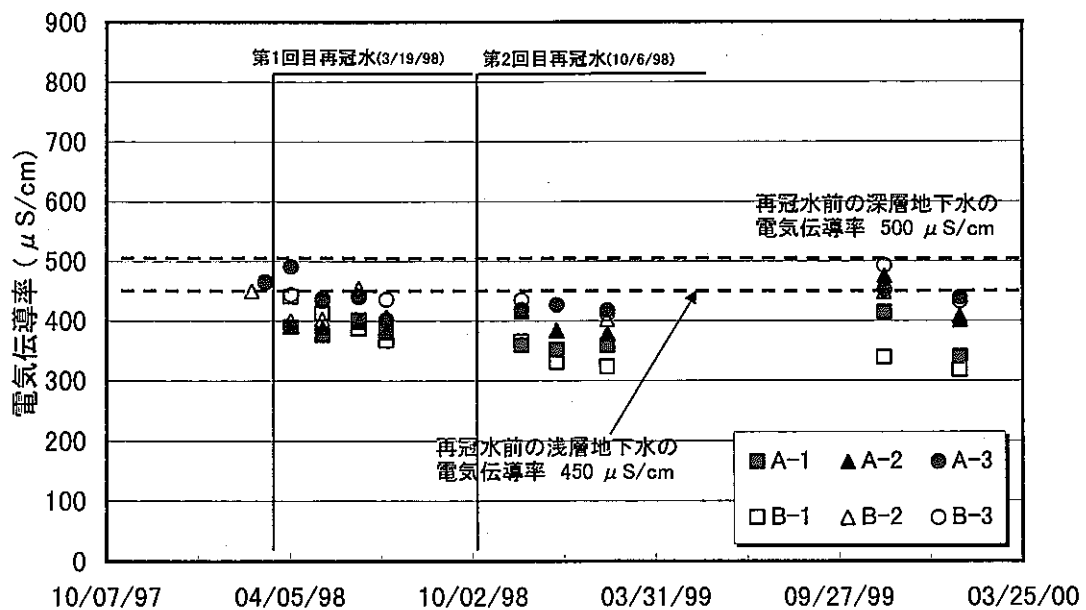


図 2.3.6(b) 電気伝導率の経日変化図 (ポータブル計測値)

2.4 ミニドーム壁面周辺での温度計測

本計測の目的は、埋め戻し材が硬化するに従って変化するミニドーム壁面周辺の温度状態を計測し、堆積岩中の伝熱特性に関する基礎的データの蓄積を図るものである。

2.4.1 調査に用いた計器

埋め戻し材（流動化処理土）を熱源と把らえ、その固化熱を計測するため、熱電対（T型熱電対：東京測器研究所）をドーム壁面に埋設する。

熱電対は、先端に防水加工を施し耐水圧性を高め、かつ、ドーム内～横坑奥部までケーブル延長時にも耐久性の期待できる被覆ケーブルを有する（直径 6.5mm）。

2.4.2 計器埋設方法

熱電対の埋設形態を図 2.4.1 に示す。熱電対の埋設にあたっては、ミニドーム壁面を一部はつり、地山を露出させ、軽石層 b を確認した上で熱電対先端を埋設し、掘削時の発生土を埋め戻して養生する。また吹き付けモルタルの断熱効果を同時に調べるため、壁面を $\phi 10\text{mm}$ 程度のコアドリルで突孔し、熱電対を埋設し、モルタルで埋め戻して養生する。

なお、熱電対の設置は“再冠水に関する原位置調査研究（その1）”で完了している。

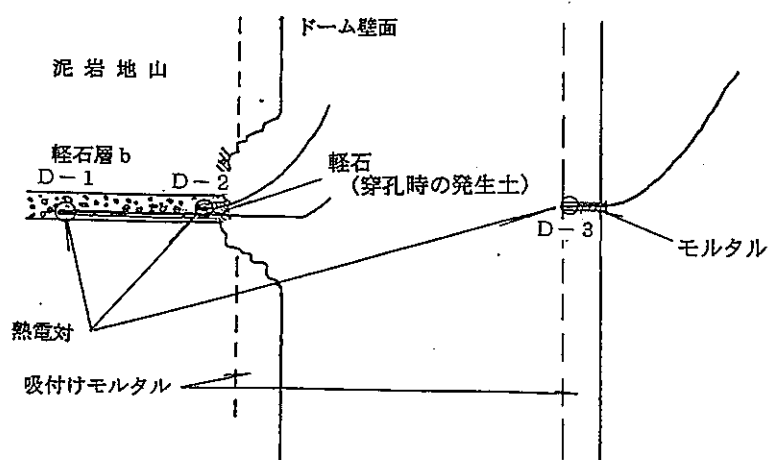


図 2.4.1 熱電対の設置形態

2.4.3 観測方法

ミニドーム壁面周辺の温度データは、熱電対ケーブルを通してGL-50mの横坑内に設置したデータロガーに自動的に収録する。計測のサンプルタイムは30分である。

2.4.4 調査結果

図2.4.2にミニドーム壁面周辺および埋め戻し材の温度経日変化を示す。再冠水直後に吹き付けコンクリートの掘削面側で0.2度、挟み層のミニドーム掘削面から5cm奥の地点で1.7度、45cm奥で1.5度下がった。さらに、ドーム内側の吹き付けコンクリート面でも微少であるが温度が低下している。但し、埋め戻し材の中央部の変化は無い。その後のミニドーム壁面周辺の温度は、埋め戻し材内部の温度変化に追従してゆるやかな減少傾向を示した。

2回目再冠水では、挟み層に設置した観測点の温度変化は観察されなかった。しかし、吹き付けコンクリートの掘削面側で水温が急激に低下し砂層内の温度傾向とほぼ一致した。この原因としては急激な水圧変動によりミニドーム外側の地下水が壁裏に回りこんだものと推察できる。

1回目と2回目の再冠水で温度変化に再現性が無い理由として、各再冠水前の地盤状態の違いが考えられる。1回目の再冠水前の地盤状態は、被圧地下水位がGL-82mの状態です約2年間ほど経過しており、ミニドーム底盤より上の観測点近傍は不飽和状態であったと推測できる。一方、2回目の再冠水前の地盤状態は、1回目の再冠水の影響で挟み層の被圧地下水位がGL-50mまで上昇した影響で、観測点近傍はほぼ飽和状態に達していたものと思われる。その違いである。

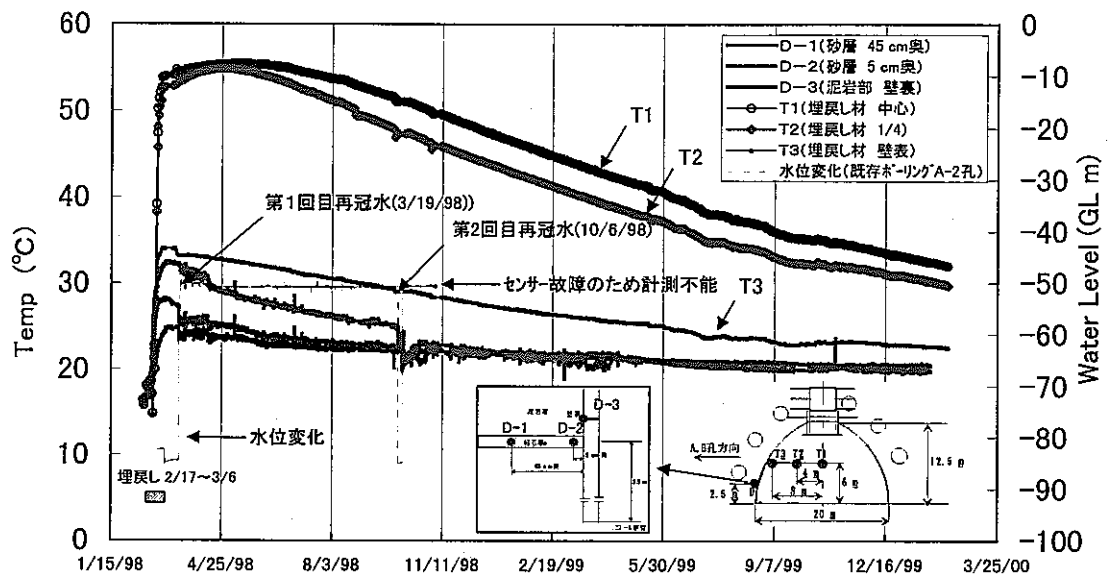


図 2.4.2 ミニドーム壁面周辺の温度経日変化図

2.5 環境同位体分析

台地礫層帯水層中の地下水流動と一般水質・同位体組織の関連が把握できれば、空洞掘削とその後の埋め戻し時の地下水挙動が把握できる貴重なデータが取得されるものと考えられ、現在データの取得と分析を実施中である。得られた経時変化データをもとに再冠水時の地下水流動の検討を行った。

2.5.1 コアの間隙水分析

1) サンプル方法

第三紀層の泥岩コア採取後出来るだけ早い時期に、サンプリングの数量が原則としてコア 5m につき1個程度で、且つ破碎帯に接したコアと新鮮母岩のコアをほぼ半数ずつになるように調整して採取個所を決め、その部分のコアの乾燥防止および他の水によるコンタミを出来るだけ避けるようにラップで包む等の処置を講じておく。全深度掘削後速やかに以下の手順でコアサンプルを取得した。

- ①採取箇所のコアから長さ 15cm くらいのサンプルコアを切り出す。
- ②ラップで包み、その外側を更にアルミフォイルで包む。
- ③蠟封してから更にもう一度アルミフォイルで包み、その外側に深度データを書き込む。
- ④冷凍用ビニール袋（チャック付き）で包み、ストロー等により空気抜きを2回程度行う。
- ⑤コアサンプルは全深度が揃うまでは、冷暗所に保管しておく。

2) 間隙水の抽出

地下実験所内に設けられた、GL-50 m ~96 m の基盤岩に掘削されたボーリング孔 (A-3 孔) から採取された泥岩のコアについて、岩石抽水装置を利用して土壌を圧縮し、間隙水の抽水を行った。岩石抽水装置の概略は図 2.5.1 のとおりである。実験室に持ち帰った泥岩コアサンプルは、抽水試験を行う際、コアの表面に付着した物質の除去や蒸発によって水分を失った表面の除去、岩石抽水装置の内部径と一致のためにコアの整形作業を行う。コア直径が 6.6 cm のサンプルを、たこ引き包丁を使用して直径 5 cm、長さ 10 cm 以下に整形した。端面は岩石カッターにより平滑にカットした。抽水には約 100 kgf/cm² の軸圧で約 8 時間圧縮し、1 サンプルあたり平均約 10 cc の間隙水を搾り取った。また抽水前と抽水後にそれぞれサンプルの重量を計測し試料採取時の蒸発ロスを評価した。尚、サンプル間の間隙水のコンタミを防ぐため、抽水に用いたテフロンチューブ類はサンプル毎に

交換すると共に、抽水装置のセル部は1つのサンプル水抽出後に十分乾燥して水分除去に心がけた。

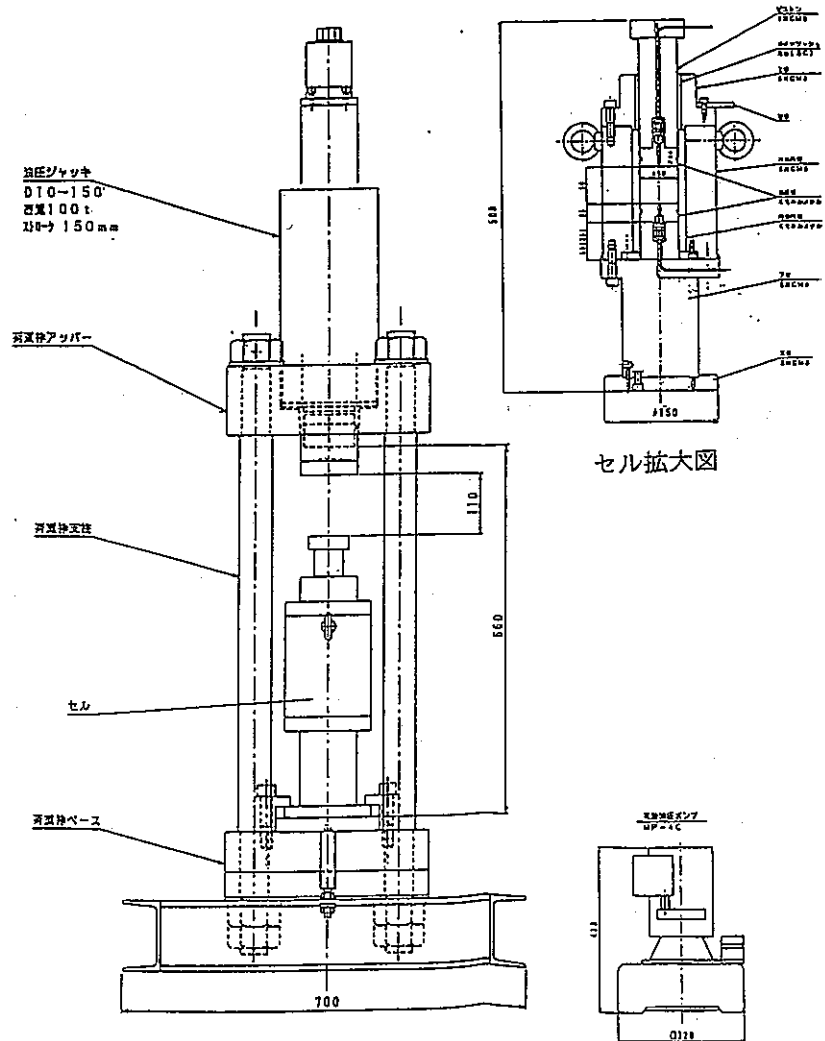


図 2.5.1 岩石抽水装置

3) 分析結果

表 2.5.1 にコア間隙水に対し、安定同位体比の測定を行った結果を示す。

表 2.5.1 コア間隙水の環境同位体（トリチウム・安定同位体比）濃度

深度 (GL- m)		(%o)	
		D	18-O
59.67 -	59.8	-49.8	-6.4
65.02 -	65.12	-46	-6.4
67.35 -	67.47		-7.1
69.86 -	69.98	-40	-6.1
75.14 -	75.27	-52	-7.2
79.85 -	79.97	-48	-6.9
84.88 -	85	-48.3	-6.6
90.02 -	90.15	-52.9	-7.5
92.42 -	92.55	-51	-7.5

2.5.2 地下水の環境同位体分析

1) 分析項目

環境同位体を用いた調査は、水文循環の中で天然に存在する同位体の濃度変化を利用した地下水の流動特性把握に関する調査手法で、地下水の起源の同定、年齢測定、流速と流向、地表水と地下水の相互関係、異なる帯水層間の相互連絡、帯水層の間隙率、不圧地下水の涵養量、試錐孔の洗浄水の帯水層混入状況の把握等の問題に幅広く利用されている。

現在主に利用されている環境同位体としては、表 2.5.2(a)(b)のようなものがある。このうち、水を構成する元素である水素と酸素の同位体は、帯水層内の物質と反応しても変化しないことから理想的なトレーサーと考えられており、放射性的同位体である³Hは、滞留時間 50 年程度までの地下水年齢の評価に、またDと¹⁸Oはその濃度が、気温、緯度、高度によって異なることから広域水文の研究における涵養時期や涵養域の推定に利用されている。

表 2.5.2(a) 水文学で用いられる主な環境同位体(安定同位体)

	Derection limit (%)	Approximate water sample size(L)
² H in H ₂ O	±1	10 ⁻²
¹⁸ O in H ₂ O	±0.1	10 ⁻²
in SO ₄	±0.3	1
¹³ C in DIC	±0.3	1
¹⁴ S in SO ₄	±0.3	1~10
in H ₂ S	±0.3	1~10

DIC=desorbed inorganic carbon

表 2.5.2(b) 水文学で用いられる主な環境同位体(放射性的同位体)

Isotope	T _{1/2} (years)	Primary production reaction(s)	Approximate sample size(L)	Time range of interest (years)
T	12.43	¹⁴ N(n, ³ H) ¹² C	1	1~50
T/ ³ He	12.43/stable	³ H+β+ ³ H	1	1~50
⁴ He	Stable	α+2e- ⁴ He	0.001~0.1	10 ⁴ ~10 ⁷
²¹ Ne	Stable	¹⁸ O(α,n) ²¹ Ne	5	10 ⁴ ~10 ⁷
¹⁴ C	5730	¹⁴ N(n,p) ¹⁴ C	60;0.1 ^a	10~7.5×10 ⁴
³² Si	108	⁴⁰ Ar(x,x' ² α) ³² Si	1000	20~500
³⁹ Cl	3.0×10 ⁵	Spallation on ⁴⁰ Ar ³⁵ Cl(n,γ) ³⁶ Cl	5000;4 ^a	2×10 ⁴ ~1×10 ⁶
³⁹ Ar	269	⁴⁰ Ar(n,2n) ³⁹ Ar ⁴⁰ Ar(p,d) ³⁹ Ar ³⁹ K(n,p) ³⁹ Ar	10 ⁴ ;10 ⁵	30~1000
⁴⁰ Ar	Stable	⁴⁰ K→1β ⁻ + ⁴⁰ Ar	5	10 ⁵ ~10 ⁷
⁸¹ Kr	2.1×10 ⁵	⁸¹ Kr(n,γ) ⁸¹ Kr (and spallation)	10 ⁵ ;5×10 ⁵ ;1~10 ⁵ ^b	5×10 ⁴ ~8×10 ⁵
⁸⁵ Kr	10.7	Fission of U and Pu	300	1~40
²²² Rn	3.8days	²²⁶ Ra→1α+ ²²² Rn	1	0.5~10days
²³⁸ U/ ²³⁴ U	4.5×10 ⁵	²³⁸ U→1α+ ²³⁴ U+2β (via intermediary steps)	25	5×10 ⁴ ~1×10 ⁶

^a For accelerator measurement.

^b For resonance ionization spectroscopy.

本調査では表 2.5.2 中の 3 項目について分析を行った。以下に選択した項目の特性について示す。

■ トリチウム (^3H)

トリチウム (^3H) は水素の放射性同位体で、質量数は 3、半減期は約 12.43 年で β 崩壊して ^3He に変わる。天然トリチウムは、主として大気上層中で宇宙線中の中性子と窒素原子核との衝突によって生成され、その 99 % 以上は HTO の水分子形となって自然界の水循環系に取り込まれている。天然の状態では、崩壊による減衰や、地上へのフォールアウトと成層圏からの供給がつりあって、対流圏の水蒸気中のトリチウムはほぼ平衡状態にあって、その濃度は中緯度の降水中で、10 T.U. 前後であったとされている。ここで、T.U. はトリチウムユニットの略で、水素原子 10^{18} 個당りにトリチウム原子 1 個があるときそのトリチウム濃度を 1 T.U. と定義している。このように元来、大気中のトリチウム濃度は宇宙線による生成のみにより 10 T.U. 前後であったが、1952 年以降、大気中における熱核爆発実験によって大量の人工トリチウムが大気中特に成層圏に放出され、天然の平衡状態は崩れ、その濃度は一時的に急激に高まり 1963~1964 年のピーク時には、天然濃度の 50~100 倍に相当する 1,000 T.U. を超える値が現れた。その後、大気中における熱核爆発実験の停止にともない濃度は年々減少し、1990 年現在では、ほぼ天然レベルの 5~10 T.U. に戻っている。この熱核爆発実験によるトリチウム濃度の急増は、単純な放射性減衰をもとにした地下水の年代測定を困難にしたが、一方ではこの濃度変化をトレーサーとして利用した水文循環モデルを構築することにより、水体の流動機構や滞留時間を解明しようとする試みが盛んに行われるようになった。トリチウムの生成源は、この他地下における岩石中のウラン崩壊に伴うものや、土壌中の微生物による大気中の水素の酸化による生成等が挙げられているが、一般の地域ではその影響はいずれも小さく、測定限界を下回るものと考えられている。

■ 安定同位体 (Dと¹⁸O)

水分子を構成する水素と酸素の原子には、質量数の異なる同位体が存在し、その中でも安定同位体である質量数 2 の水素原子 (重水素: D) と質量数 18 の酸素原子 (重酸素: ¹⁸O) は、それぞれ HD¹⁶O (0.032%)、H₂¹⁸O (0.20%) として水分子を構成し陸水中の溶存化学成分よりも高い濃度で含まれている。これらの同位体水分子は、化学的には水そのものと同じ挙動をし、溶存物質のように周辺物質との化学反応を起こさないため、水文循環における水の動きを把握する上で理想的なトレーサーとして利用できる。

水の安定同位体は、質量分析計によって同位体比 (D/H、¹⁸O/¹⁶O) の測定が行われ、世界共通の標準海水 (Standard Mean Ocean Water、SMOW と称す) の同位体比からの千分偏差 (‰) で表現される。

$$\text{偏差} (\delta) = [(R_{\text{sample}} / R_{\text{smow}}) - 1] \times 1000$$

ここで、R は同位体比 (D/H または ¹⁶O/¹⁸O) を示す。また、測定精度は δD で ±1.0 ‰、δ¹⁸O で ±0.1 ‰ 程度と見込まれる。

降水中の水素・酸素の安定同位体比は、同位体分別効果のために雨水が形成されたときの温度の影響を大きく受けることが知られている。この結果、降水中の安定同位体比変化には、季節変動、緯度による変動、高度による変動が見られ、この特性が地下水涵養域の推定指標として利用されている。

2) 分析方法

■ トリチウム

水のトリチウム濃度の測定は、図 2.5.2 に示す手順で試料水の脱塩と不純物 RI や夾雑有機物の除去等のために約 1 ㍓の試料水を蒸留した後、450 ml を電気分解により約 20 ml に濃縮し、液体シンチレーションカウンター (Packard 社製 2000CA 型) によりその放射線強度を計測する。濃縮作業を含めたトリチウム分析の総合測定精度は、± 1~2 T.U. 程度である。

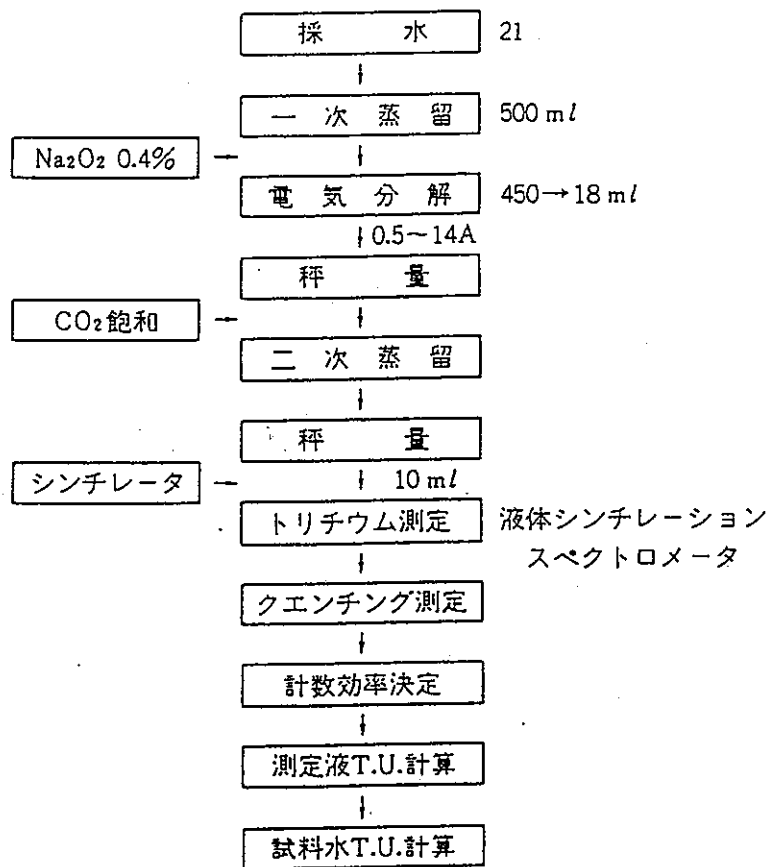


図 2.5.2 トリチウムの濃度測定手順

■ 安定同位体比

酸素の安定同位体の測定方法を図 2.5.3 に、水素の安定同位体の測定方法を図 2.5.4 に示す。酸素は二酸化炭素ガスと同位体変換した後、また水素は、金属亜鉛を用いた還元法によって水素ガス化した後、質量分析測定を行った。

安定同位体の依存度は、同位体比(D/H、 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$)として質量分析計(サーモクエスト社製 Mat252 及び Delta S) で測定される。試料を分析管の端にあるイオン源に導入し、電子の流れに当ててイオン化した後、電極系にかけた高電圧で加速して高真空にした分析管に飛ばす。イオン化した同位体分子は、分析管の途中にある磁場によって質量別に分けられ、それぞれ半径の異なった軌道を進む。そこで、質量別に分離したイオン流を分析管の他の端で別々に捕らえ、その電流強度比を測定すれば同位体比が求まる。また測定試料と標準試料を交互に流して電流強度比の違いを測定すれば、測定試料と標準試料(標準平均海水、SMOW)との同位体比の差を非常に良い精度で測定することができる。

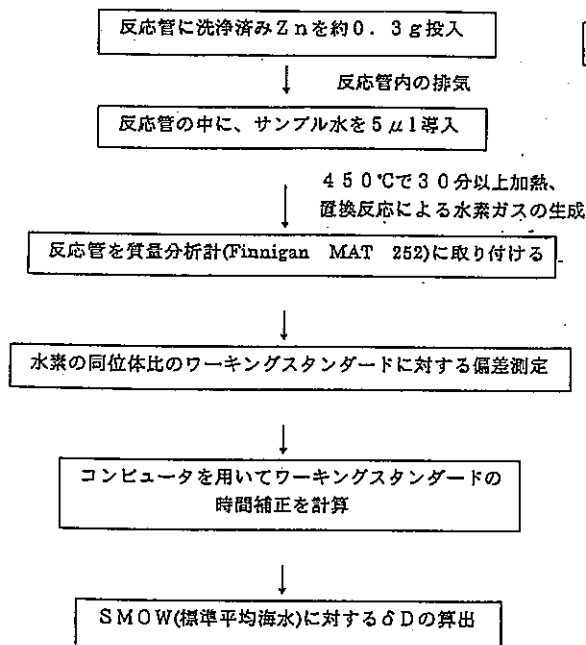


図 2.5.3 水素同位体比の濃度測定手順

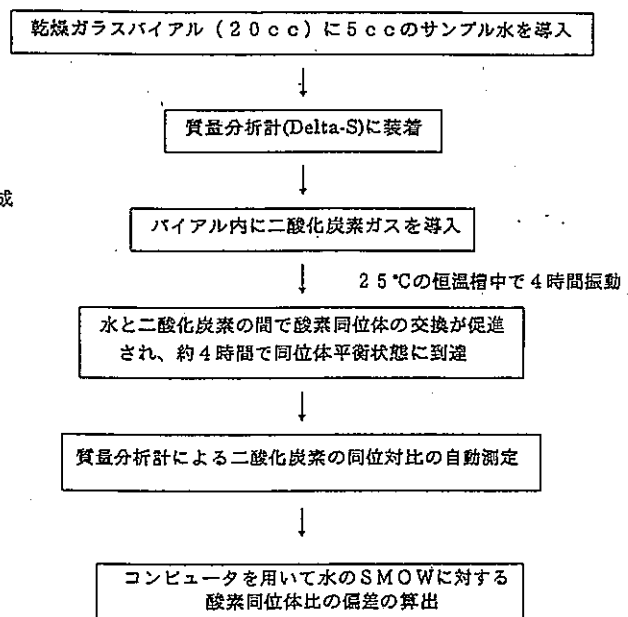


図 2.5.4 酸素安定同位体比の測定手順

3) 分析結果

表 2.5.3 に試錐孔内から採取された地下水に対する環境同位体の測定結果を一覧で示す。

表 2.5.3 試錐孔内中の環境同位体（トリチウム・安定同位体比）濃度

(T.U)

	1998/3/12	1998/4/6	1998/7/9	2000/1/24
A-1		1.5	1	0.7
A-2		1.2	1	0.52
A-3	1.2	1	0.6	0.34
B-1		1.1	0.5	
B-2		1.6	0.6	
B-3	0.7	0.6	0.7	
C-1		2.2	3.9	2.1

(a) トリチウム濃度

(‰)

	1998/2/		1998/3/		04/04/98		05/07/98	
	D	18-0	D	18-0	D	18-0	D	18-0
既存A2					-53	-6.4		
A-1					-47	-7.1	-50	-7.8
A-2					-48	-6.3	-49	-7.5
A-3			-52	-6.2	-47	-6.3	-50	-7.7
B-1					-51	-6.6	-50	-7.5
B-2					-47	-7.5	-47	-7.4
B-3			-50	-6.4	-46	-7.5	-51	-7.5
C-1					-54	-7.8	-52	-7.3
D	-51	-7.8						
ノッチタンク	-51	-8.1						

(‰)

	06/12/98		07/09/98		11/19/98		12/24/98	
	D	18-0	D	18-0	D	18-0	D	18-0
既存A2								
A-1	-51	-8	-53	-8.1	-51	-7.8	-52	-8
A-2	-53	-8	-53	-8.1	-52	-7.8	-52	-8
A-3	-52	-8.1	-54	-8.2	-53	-8	-53	-8.1
B-1	-52	-8.1	-54	-7.9	-52	-7.8	-53	-8
B-2	-52	-8.2	-53	-8.1	-52	-7.9	-53	-8
B-3	-54	-8.1	-55	-8.1	-53	-7.9	-53	-8.1
C-1	-52	-8.2	-56	-8.3	-53	-8	-53	-8
D								
ノッチタンク								

(‰)

	02/12/99		11/11/99		01/24/00	
	D	18-0	D	18-0	D	18-0
既存A2						
A-1	-52	-7.9	-54	-7.8	-54	-7.9
A-2	-54	-8	-54	-8.1	-53	-7.8
A-3	54	-8	-54	-7.9	-54	8.1
B-1	-53	-7.9				
B-2	-53	-8				
B-3	-54	-8				
C-1	-53	-7.9	-68	-9.2	-59	-8.3
D						
ノッチタンク						

(b) 安定同位体比

2.5.3 地下水中の環境同位体から見た再冠水時の地下水流動

昨年度に引き続き、1999年11月および2000年1月に観測孔AおよびC孔にて定期的な地下水採水を行いその安定同位体比の変動を見た。図2.5.5は、本研究を行っている相模原台地における礫層中の不圧地下水の酸素安定同位体比分布を示す(Shimada and Ono, 2000)。図より、再冠水を行ったジオドームのある田名原面の不圧地下水の安定同位体比は、水素で-53~-54‰、酸素で-8.2~-8.3‰の範囲にあることが判る。これらの礫層中の地下水は、その下位にある第三紀泥岩基盤層(ミニドーム掘削層)に対しポテンシャル的に高く、これら基盤岩中の地下水を涵養している状況にあるため、不圧地下水中の安定同位体比は、再冠水時の地下水補填のエンドメンバーの候補の一つと考えられる。

図2.5.6及び図2.5.7は、観測孔A孔およびC孔における地下水中の安定同位体比をデルタダイヤグラム上で示したもので、今年度のデータと共に昨年度の再冠水後の観測データの全ておよび、昨年度実施した泥岩コア中から抽出された間隙水中の安定同位体比も併せて示してある。これらの図によれば、A孔においては昨年度最後に実施した1999年2月の分析結果のポイントにおいて既に礫層不圧地下水の領域付近まで同位体比が移動してきており、その後に実施した今年度の2回のサンプルにも著しい変化は認められず、既に同位体比的には礫層不圧地下水と同じ状態になっていると考えられる。但し、この礫層系地下水の浸入経路に関する情報は観測孔の同位体情報では判断できない。

また、図2.5.7に示したC孔における同様の同位体のデルタダイヤグラムは、相対的にかなり軽い同位体比を示しており、必ずしもA孔のように礫層不圧地下水の同位体比と一致していない。研究地域においてこのような軽い同位体比を持つ成分としては雨水が一番その可能性が高い。

図2.5.8は、研究地域の北数十キロにある降水観測点での降水中の安定同位体比変化を示したものであるが、極めて大きな変動をしめしており、今回観測された酸素で-9~-10(‰)程度の軽い同位体比は恒常的に存在している。昨年度も報告書において指摘したように、観測孔C孔は野外でしかもケーシング上部が地表面下にあるため、構造的に雨水が浸入し易い。C孔の水位変化においても降雨直後に水位上昇が確認されていることから、今年度の分析値にみられる異常値も恐らくはこの雨水が浸入したことによるものと解釈される。

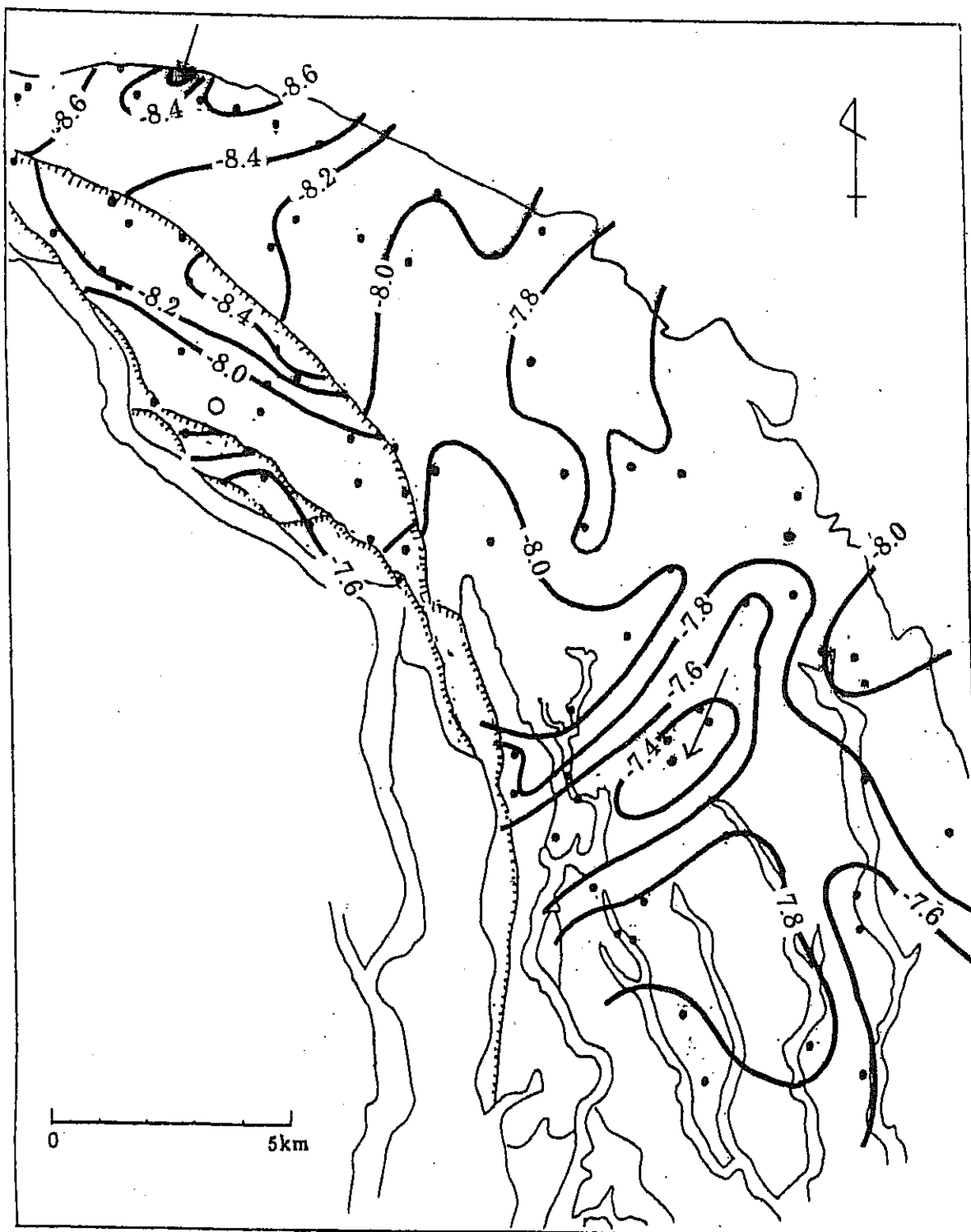


図 2.5.5 相模原台地の不圧地下水中の酸素安定同位体比分布

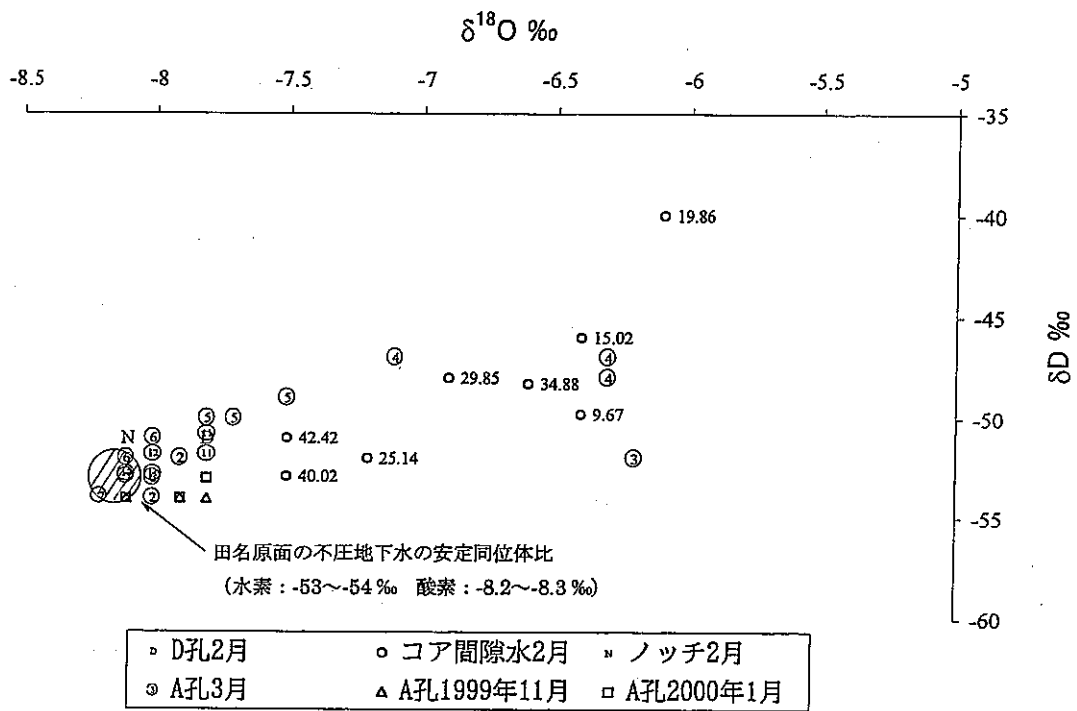


図 2.5.6 ボーリング孔内地下水の安定同位体比の時間変化 (A孔)

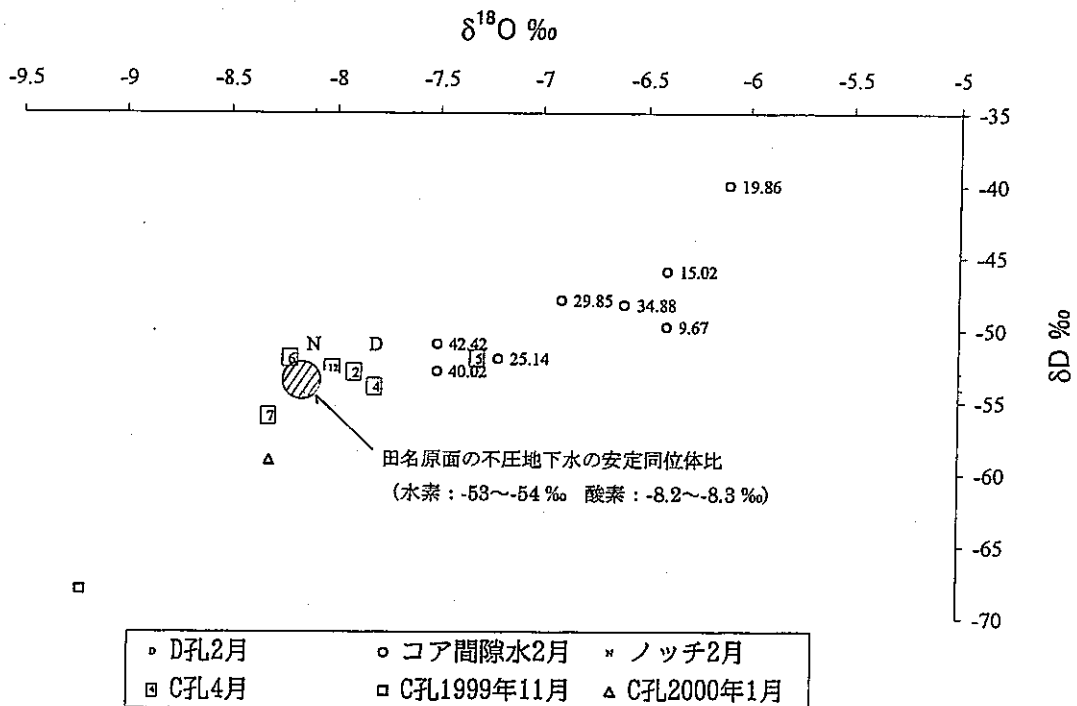


図 2.5.7 ボーリング孔内地下水の安定同位体比の時間変化 (C孔)

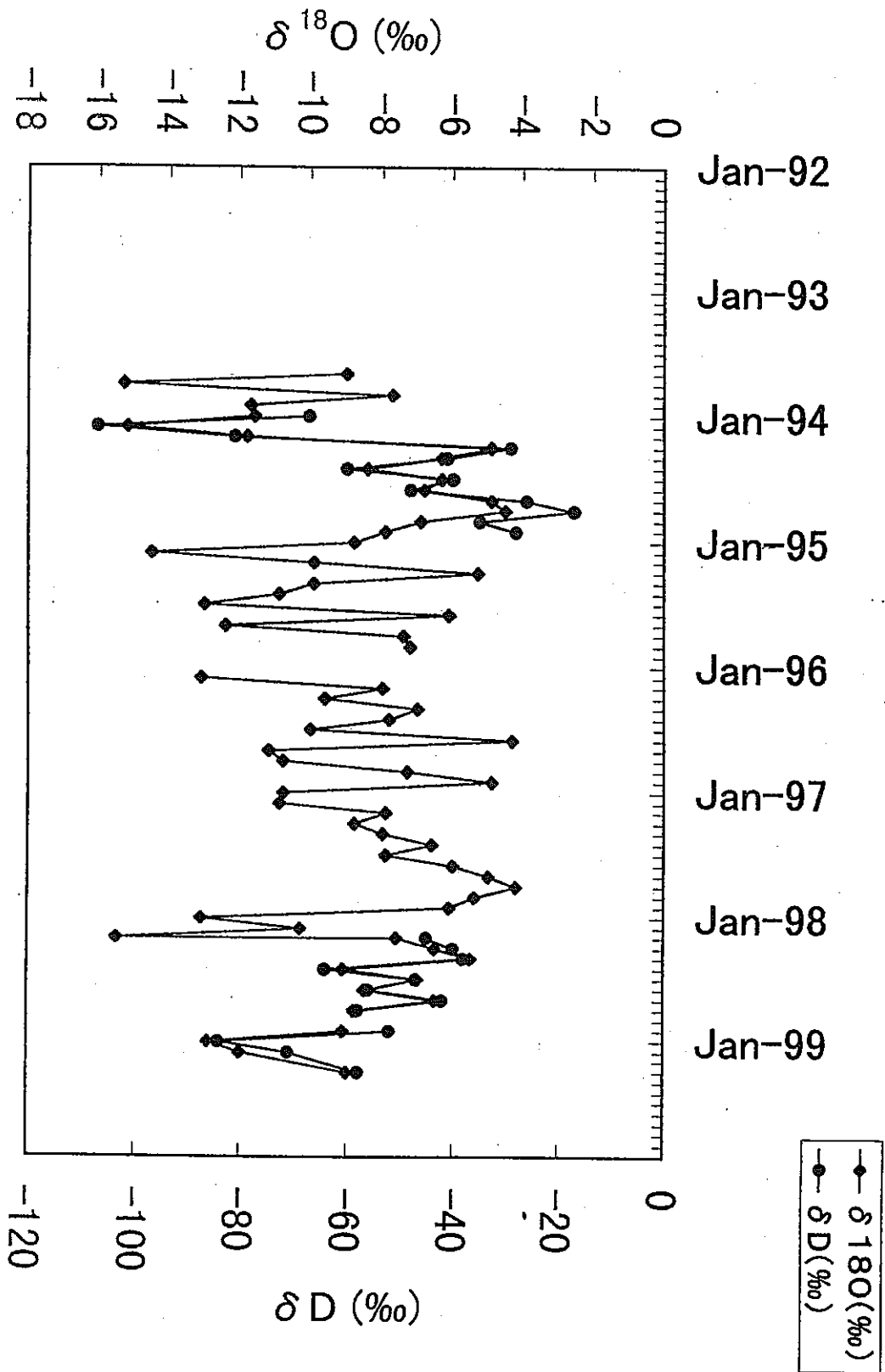


図2.5.8 埼玉県小川町における降水中の安定同位体比の変化

2.6 主要化学成分分析

本章の主目的は、埋め戻しにともなう水質の月単位の変化を調べることである。なお、地下水を化学分析する際の分析誤差、および採水方法の違いによる分析誤差についても調べた。以下に詳細を述べる。

2.6.1 分析概要

実験サイトから無処理のまま東濃地科学センターへ送付された採水試料に対して、原則として孔径 0.45 μm のフィルターでけん濁物を除去して分析を行なった。各項目に対する分析方法について表 2.6.1 に示す。

表 2.6.1 分析リスト

項目	分析方法	前処理	定量下限値 (ppm)
pH	電極法	無	-
EC	電極法	無	-
ORP	電極法	無	-
Si	ICP発光分光法	ろ過(0.45 μm)	0.01
Ti	ICP発光分光法	ろ過(0.45 μm)	0.01
Al	ICP発光分光法	ろ過(0.45 μm)	0.1
Fe	ICP発光分光法	ろ過(0.45 μm)	0.02
Mn	ICP発光分光法	ろ過(0.45 μm)	0.01
Mg	ICP発光分光法	ろ過(0.45 μm)	0.01
Ca	ICP発光分光法	ろ過(0.45 μm)	0.05
Sr	ICP発光分光法	ろ過(0.45 μm)	0.01
Na	原子吸光法	ろ過(0.45 μm)	0.05
K	原子吸光法	ろ過(0.45 μm)	0.04
F	イオンクロマトグラフ法	ろ過(0.45 μm)	0.02
Cl	イオンクロマトグラフ法	ろ過(0.45 μm)	0.02
NO ₂	イオンクロマトグラフ法	ろ過(0.45 μm)	0.02
PO ₄	イオンクロマトグラフ法	ろ過(0.45 μm)	0.02
Br	イオンクロマトグラフ法	ろ過(0.45 μm)	0.02
NO ₃	イオンクロマトグラフ法	ろ過(0.45 μm)	0.02
SO ₄	イオンクロマトグラフ法	ろ過(0.45 μm)	0.02
Alkalinity	滴定法	無	-
TC	赤外線ガス吸収法	無	0.004
IC	赤外線ガス吸収法	無	0.004
TOC	赤外線ガス吸収法	無	0.004

2.6.2 分析データの品質

主要成分分析データの測定誤差の要因として、分析値の相対誤差と採水方法の違いによる測定誤差を把握する。

① 分析値の相対誤差

分析値の相対誤差を算出するため、各採水時期の試料に対してA-2孔のみ3本独立に採水して分析し、分析値の相対誤差を算出した。測定期間は、1998/4/16~1999/2/12である。図2.6.2に各成分に対する相対誤差を示す。

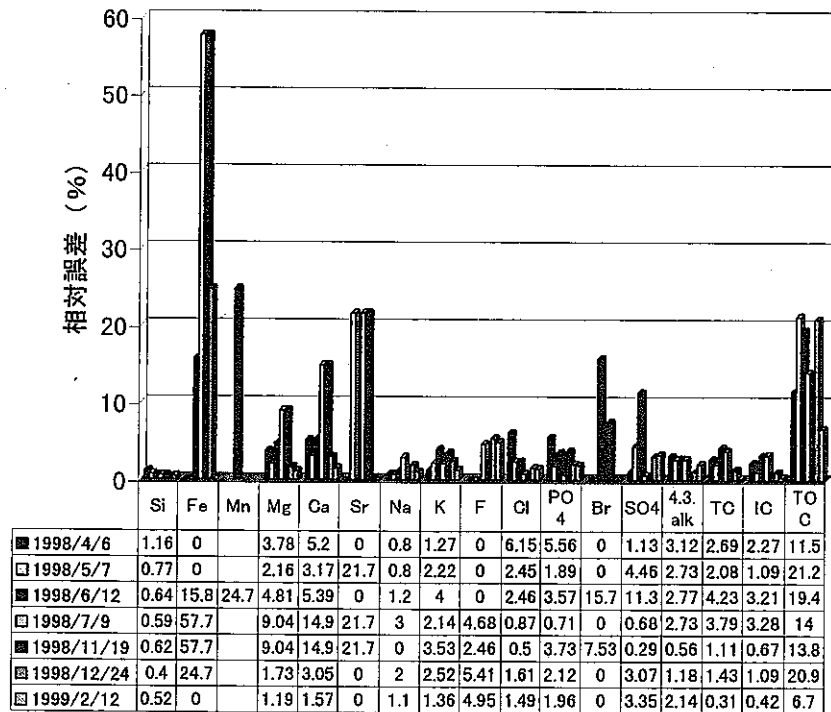


図 2.6.2 分析項目の測定誤差

図より、相対誤差はFe、Mn、Sr、Br、TOCイオンを除いて15%以内に収まっていることが確認された。ここで、Fe、Mn、Sr、Br、TOCイオンは濃度の低い成分であり、分析値の相対誤差が大きいことは当然と考える。なお、図中では表示していないが、今回分析したNO₂⁻とNO₃⁻は、検出濃度が低かったため相対誤差が一桁大きく得られた。

2.6.3 採水方法の違いによる測定値の差

今回の採水方法として、1998/3/12～1998/11/19 間は水中ポンプによって、また、1998/12/24～1999/2/12 間はベアラ採水で行った。そのため、採水方法によって主要成分分析結果に違いが生じることが考えられる。よって、水中ポンプ採水試料とベアラ採水試料の測定値の違いを検討した。その結果を図2.6.3に示す。

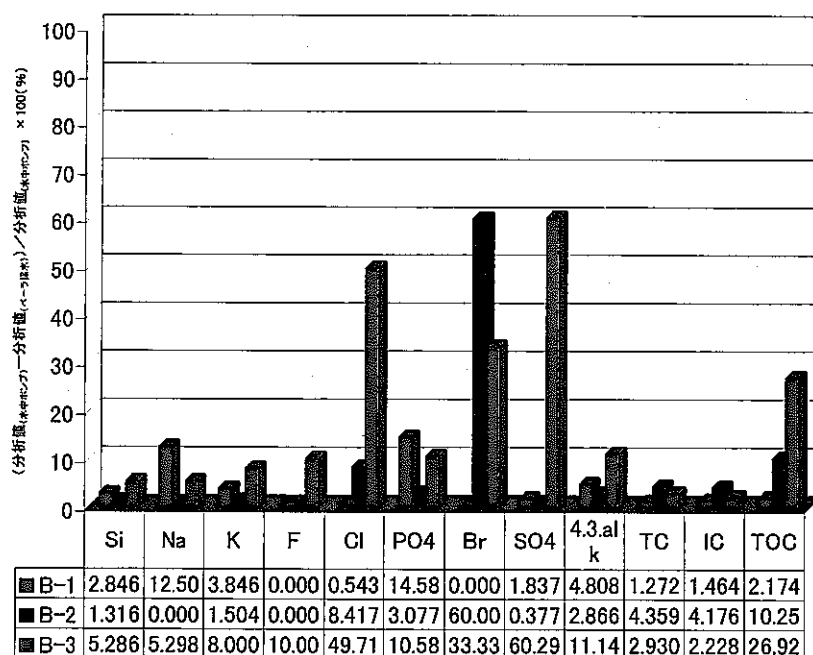


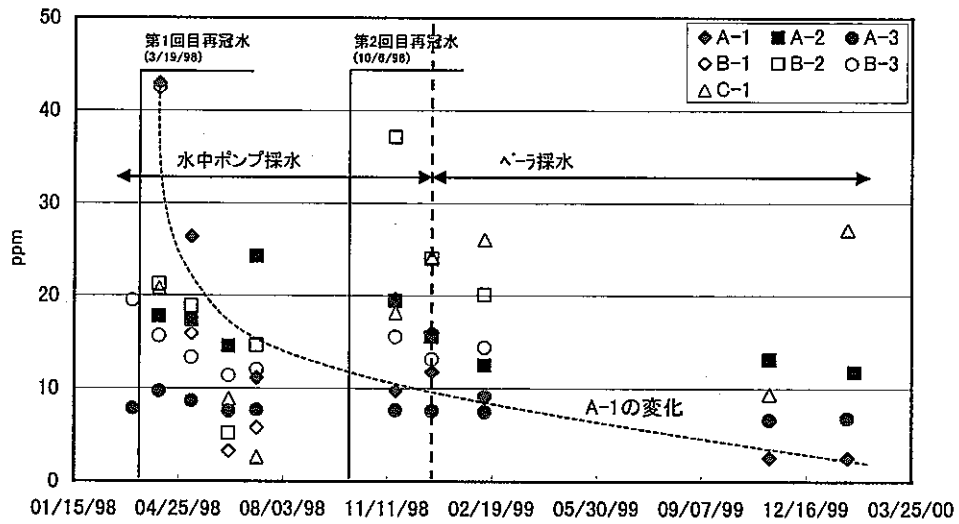
図2.6.3 採水手法の違いによる測定値の差

図よりB-3孔の測定誤差が顕著であることが確認された。特に、B-3孔を成分別で観ると、塩素イオンと硫酸イオンの測定誤差が大きい。なお、Br および TOC イオンは濃度の低いイオンであるため測定誤差が大きく算定されているものである。分析結果を時間まで表現する際には上記で示した“採水方法の違いによる差”も含んでいることをふまえて考慮をすべきであるとする。

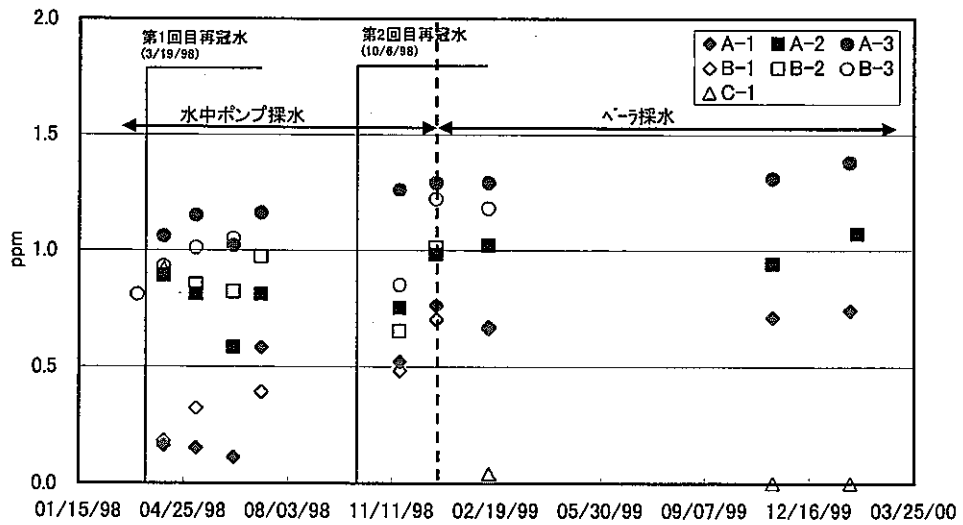
2.6.3 分析結果

今回の主要成分分析で得られた全体的な分析結果については巻末資料に添付する。

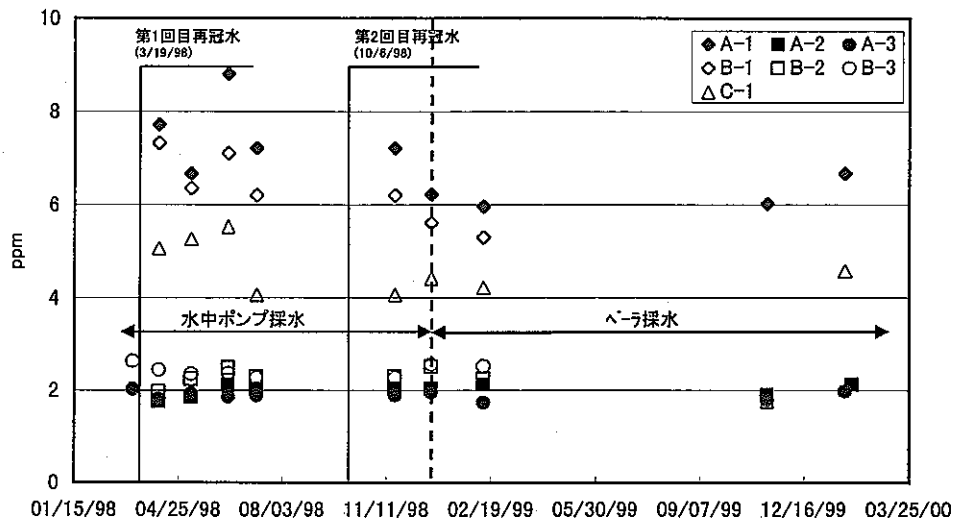
本節では、再冠水後に顕著に変化が窺える主要成分に対してのみ考察を行う。図 2.6.4 にその経日変化を示す。



(a) SO_4^{2-} の経日変化図



(b) PO_4^{3-} の経日変化図



(c) Mg^{2+} の経日変化図

図 2.6.4 主要成分の経日変化

図(a)より破碎帯 (A-1、B-1 孔) の SO_4^{2-} の値が再冠水開始 80 日後まで減少傾向を示し、その後は一旦上昇したものの現在は減少傾向に移行している。GL-82 m の軽石層 (A-2、B-2 孔) でも破碎帯に比べ再冠水後の減少幅は小さいものの破碎帯と同様な傾向を示している。

図(b)より PO_4^{3-} の値が、再冠水以後に全孔で上昇傾向を示している。特に破碎帯 (A-1、B-1 孔) 上昇傾向は他に比べて顕著である。

図(c)より Mg^{2+} の破碎帯 (A-1、B-1 孔) 値が減少している。他の試錐孔には顕著な変化は無い。なお、全ての分析項目で、C-1 孔の値は、A 孔、B 孔の傾向とは違う。この原因は雨水の混入によるものである。

以上の結果から、

- ① A 孔および B 孔については、本調査において分析した項目のうち、 SO_4^{2-} のみが有意な変化を示した。A-1 孔においては、再冠水直後の SO_4^{2-} 濃度が約 40ppm に対して、約半年経過後には約 10ppm に低下しその後ほぼ一定値を示した。これは、大気に曝されたことによって、岩石中の硫化鉱物から硫酸塩と酸化され、その硫酸塩が地下水中に溶解したと考えられる。再冠水後には、岩石が大気と遮断されることにより、硫酸塩の供給が減少したため、濃度が低下したと考えられる。

②C-1孔については、試錐孔内への地表水の混入による地下水水質変化が確認されている（例えば、1999年11月分採水）。この地表水などの混入については、水素・酸素同位体測定結果とも矛盾がない。

3 3次元浸透流解析における再冠水現象シミュレーション

3.1 今回の解析の位置付け

現在まで得られた原位置試験データを基に、破碎帯や挟み層が介在する堆積軟岩の再冠水現象における解析の適応性を検討する。

3.2 解析手法の特徴

一般的な飽和・不飽和地下水解析は、地下浅部不飽和帯の水の流れに対して空気の干渉を考慮するが、水と接触する空気相の圧力は常に一定として扱い、空気自体の流れは考慮できないという解析上の制約がある。そのため、空気の流れが無視できない大規模な地下空間利用などの地下水挙動シミュレーションには適さない場合がある。また、この一般的な方法では大きな陸水循環過程（降雨、蒸発散、地表流、地下浸透流）の内、主要なプロセスである地表流がモデル化できない。本来、地表流と地下浸透流は相互に密接に関連したものであるため、広域や長期を対象とした地下水の動きを考えるとときには、両者を同時に考慮しないと十分な再現性や予測結果を期待できない。そのため、この一般的な方法では広域・長期の解析においては問題となる場合がある。

それに対し、登坂（東京大学助教授）が開発した手法は、空気と水などの2相流れを考慮した地下水解析技術を基礎として、地表流と地下浸透流を同時に扱うことができる。この手法はマニング（Manning）型の地表流を多相ダルシー型非線形流れの枠組みの中に同一の形式で取り込んだものであり、空気・水2相系の一般陸水問題から、複数の流体・物質（空気、高圧ガス、汚染物質）の岩盤内移流・拡散現象を取り扱うことができる。

そこで、本解析ではこの手法を基に作成された3次元数値シミュレータ（GEO-FLOWS V3）を使用する。このプログラムは、複雑な3次元地形、不均質な地質・地層特性を取り扱えるよう、コーナーポイント型格子による形状表現及び格子面個々に物性を定義する手法を取り入れた有限差分法でコーディングされている。

3.3 解析モデルの設定

3.3.1 解析モデル

解析範囲は、地下空間実験場の 50m 横坑方向を基準に北東-南西方向 2km、北西-南東方向 1km とした。また、北東-南西方向の境界は鳩川と相模原川とした (図 3.3.1)。

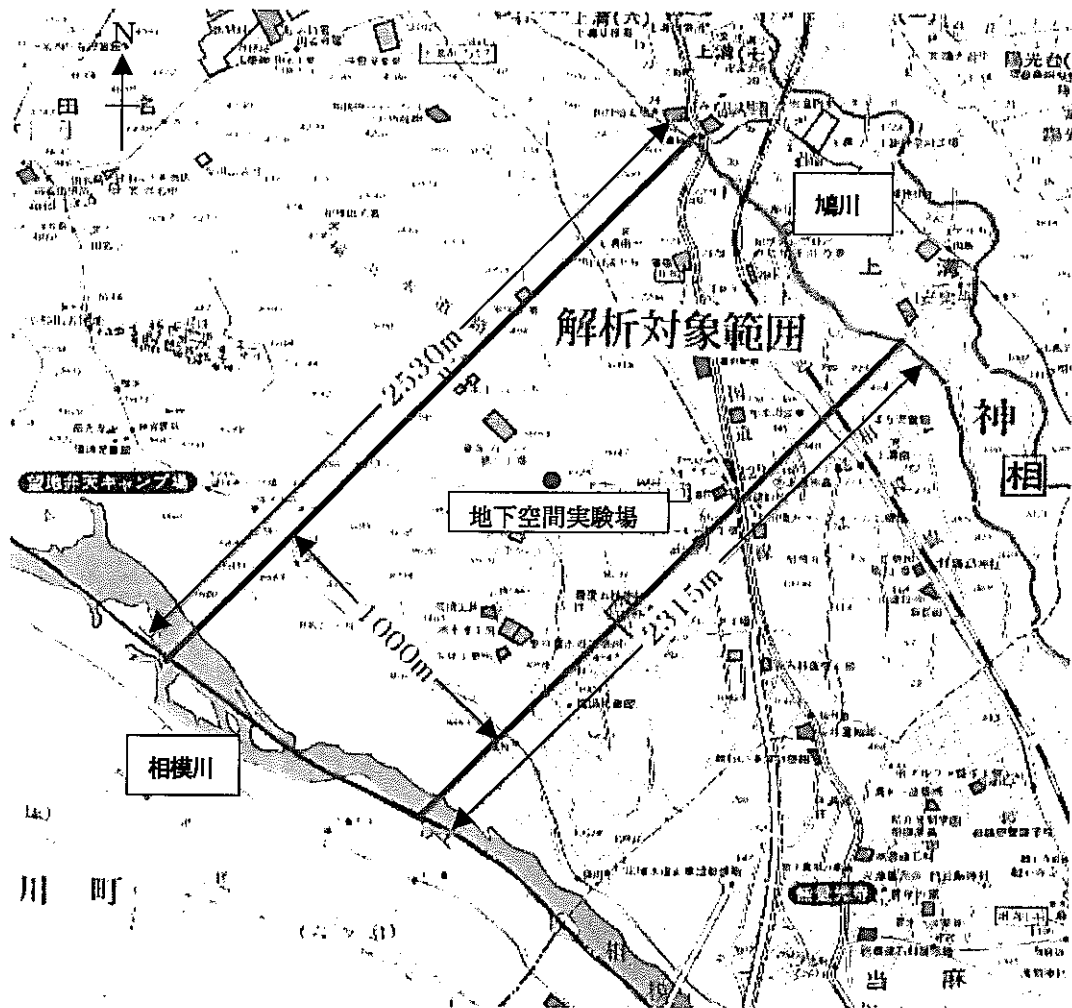


図 3.3.1 解析範囲

解析モデルは、図 3.3.2 に示すように地下空間実験場を中心に 1000m (幅) × 2315~2530m (奥行き) × 257.1m (深さ) の大きさとした。モデルは、地表より上に地表層と大気層を付加している。また、地下空間実験場については、図 3.3.3 に示すようにモデル化した。なお、スパイラルトンネルについては、コーナーポイント型格子では煩雑な表現となり、実構造物を的確にモデル化できないため今回のモデル化では省略した。

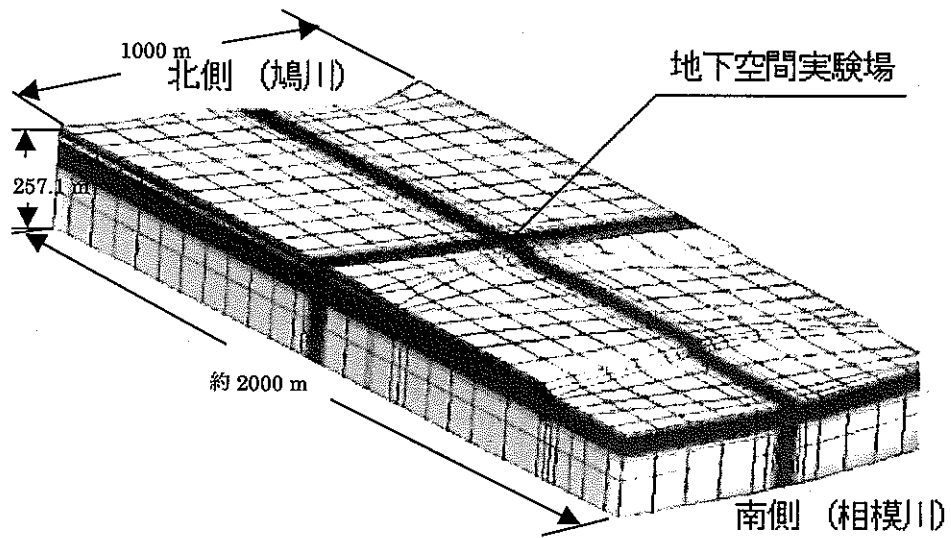


図 3.3.2 解析モデル(全体図)

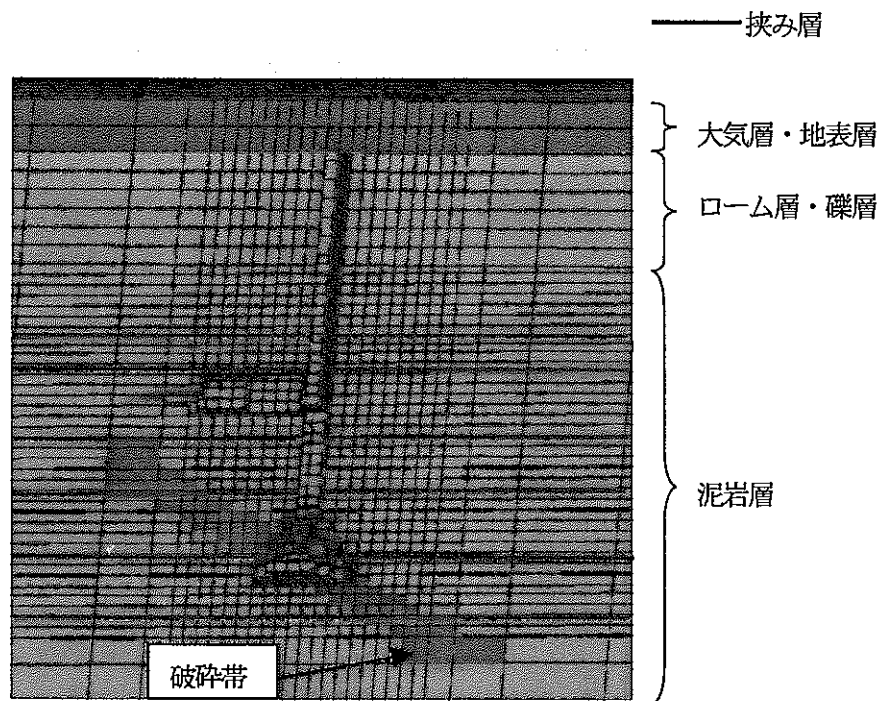


図 3.3.3 地下空間実験場の解析モデル

解析範囲の地表面形状の特徴として段丘による段差が2箇所ある。解析モデルにはこの段丘も考慮した (図 3.3.2 参照)。また、上総層群の泥岩中には、鉛直方向に対して 60° 傾いて存在している破

砕帯 (図 3.3.3 において赤いブロック部分)、水平方向に挟み層 (ピンクのライン) が確認されている。

その砕帯や挟み層は、泥岩層内の地下水の流れを支配している“特異な水みち”であることが今までの観測結果から確認されている。よって、解析モデルにもこの“特異な水みち”を考慮した。

分割については、地表面の形状および地層の傾き、泥岩中の挟み層と地下空間実験場を通る砕帯等を表現できるように行なった。基本的な分割を表 3.3.1 に示す。分割数は (X,Y,Z) = (37,56,53) で、合計 109,816 の格子点を持つモデルである。

表 3.3.1 基本的な分割例

X方向分割											
単位(m)	4@100	40	20	10	5	STUD 20@2.5	5	10	20	40	4@100
← 500m →						← 500m →					
Y方向分割											
単位(m)	9@100	40	20	10	5	STUD 20@2.5	5	10	20	40	9@100
← 1000m →						← 1000m →					
Z方向分割 (地下空間実験場中心における分割)											
深さ	地層	分割[単位(m)]									
GL.10.0m	大気層	5.0	} 解析プログラム上必要な分割								
GL.5.0m	地表層	5.0									
GL	立川ローム	2@3.5	↑ 立坑 ↓								
GL-7.0m	田名原礫層	4@3.5									
GL-12.0m	座間丘陵礫	7@2.0	↓ ミッド-A ↓								
GL-21.0m	上総層群	2@1.5									
G.L-50.0m		6@2.0									
		5@2.0									
GL.-60.1m	はさみ層	0.1									
	上総層泥岩	4@2.0									
GL.-68.2m	はさみ層	0.1									
	上総層泥岩	6@2.0									
GL.-80.3m	はさみ層	0.1									
GL-82.5m	上総層泥岩	2.2									
		1.5									
		4@2.0									
GL-92.0m	はさみ層	0.1									
	上総層泥岩	5									
		10									
		50									
GL-257.1m		100									

3.3.2 解析に用いる入力情報

1) 境界条件

- ① 底部は不透水境界、上部境界（最上部の大気圏空気層）は定圧境界とした。
- ② 側部の境界面は、北側面の相模川境界面をローム層・礫層までは定圧・開放境界とし、泥岩層は不透水境界とし、南側側面の鳩川境界面および東西の側面を不透水境界とした。
- ③ 掘削後の掘削面の境界条件は、定圧・開放境界とした。
- ④ 埋め戻しは不透水境界で模擬した。

2) 地盤の間隙率・透水係数

地盤の間隙率については一般的な値⁹⁾を採用した。

透水係数について、解析処理上、大気層では間隙率を 1.00 E+32 (%)、透水係数は 1.0 (cm/s)とし、地表面では間隙率を 100 (%)、透水係数は 1.0 (cm/s)と設定して解析を行なった。ローム層については一般的な値⁹⁾を採用した。礫層は原位置多孔式透水試験から、泥岩層は室内変水位試験から求めた値を用いた。破碎帯・挟み層は再冠水現象で観測された水位変化を回復法により算出した。解析に用いた各地層の間隙率・透水係数は表 3.3.2 の通りである。

表 3.3.2 各地層の間隙率および透水係数

	深度	間隙率(%)	透水係数(cm/s)
大気層	GL+5.0m~GL+10.0m	1.00E+32	1
地表面	GL.0m~GL+5.0m	100	1
ローム層	GL.0m~GL-7.0m	60	1.00E-04
礫層	GL-7.0m~GL-21.0m	30	5.00E-03
泥岩層	GL-21.0m~GL-258.1m	33	5.00E-08
はさみ層	GL-21.0m~GL-100 m	40	2.00E-03~3.00E-05
断層(破碎帯)	*	30	8.00E-04

3) 解析対象期間

解析対象期間は、掘削開始から地下空間実験場のすべてを埋め戻すまでとする。ここで、対象期間を表 3.3.3 に示すように初期状態のステップを除いて 16 ステップに分割した。図 3.3.4 にその模式図を示す。

表 3.3.3 解析ステップ

		開始	終了	日数	経過日数
STEP0	初期状態	***	***	***	0
STEP1	GL-0.0~-22m立坑掘削	1990/1/13	1990/3/30	77	77
STEP2	GL-22m~-35m立坑掘削	1990/3/31	1990/7/7	99	176
STEP3	放置状態	1990/7/8	1992/3/14	616	792
STEP4	GL-35m~-46m立坑掘削	1992/3/15	1992/5/10	57	849
STEP5	(GL-50m 横坑) 上半	1992/5/11	1992/6/30	51	900
STEP6	(GL-50m 横坑) 下半	1992/7/1	1992/9/12	74	974
STEP7	放置状態	1992/9/13	1995/1/24	864	1838
STEP8	GL-50m~-70mミット'- Δ 立坑掘削	1995/1/25	1995/3/12	47	1885
STEP9	放置状態	1995/3/13	1995/4/18	37	1922
STEP10	GL-70m~-82.5m先進立坑掘削	1995/4/19	1995/5/14	26	1948
***	スパイラル掘削	1995/5/15	1995/11/19	189	2137
STEP11	GL-70m~-82.5mミット'- Δ 掘削	1995/11/20	1996/3/14	116	2253
STEP12	放置状態	1996/3/15	1998/2/16	704	2957
STEP13	GL-82.5m~-50mミット'- Δ 立坑埋め戻し	1998/2/17	1998/3/5	17	2974
STEP14	放置状態 (再冠水現象)	1998/3.5	——	*1)	——
STEP15	GL-50m~-0.0m立坑・横坑埋め戻し	——	——	*2)	——
STEP16	放置状態 (再冠水現象)	——	——	*3)	——

*1)再冠水後、水圧が定常状態に落ち着くまでの期間とした。

*2)埋め戻しは1日で行なったこととした。

*3)再冠水後、水圧が定常状態に落ち着くまでの期間とした。

*4)STEP12~STEP14の地下空間実験場全体の排水は、そこから南西方向に約70m離れた位置の礫層に注入(リチャージ)している。

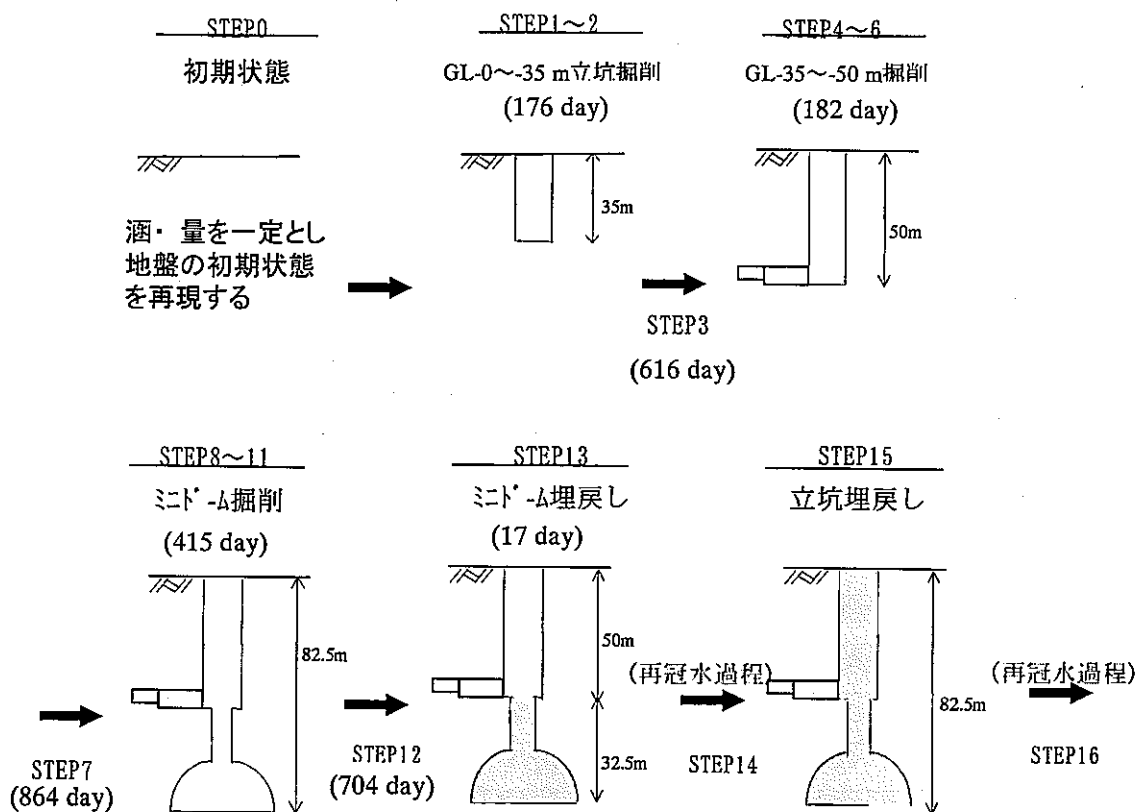


図 3.3.4 解析期間の模式図

4) 涵養量

STEP 1 から STEP13 までの涵養量は、気象庁による相模原地方の降雨データを基に 1 日平均降雨量 (5.00 mm/day) を換算し、その値から相模原の蒸発量⁹⁾ (2.25 mm/day) を差し引いて算出した。算出式は以下の通りである。

$$\text{降雨量 (5.00mm/day)} - \text{蒸発量 (2.25mm/day)} = 2.75\text{mm/day}$$

なお、解析では単純化のため 3mm/day とした。

STEP 0 と STEP14 以降の涵養量については、気象庁のデータがないため、上記と同様の 3 mm/day と仮定し解析した。

また、STEP12~STEP14 のリチャージについても表 3.3.4 に示すような水量を注入井戸の位置のブロックに涵養量として与えた。

表 3.3.4 リチャージの時期と注入量

		開始	終了	注入量
STEP0	初期状態	1988/1/1	1990/1/12	
STEP1	GL-0.0~-22m立坑掘削	1990/1/13	1990/3/30	
STEP2	GL-22m~-35m立坑掘削	1990/3/31	1990/7/7	
STEP3	放置状態	1990/7/8	1992/3/14	
STEP4	GL-35m~-46m立坑掘削	1992/3/15	1992/5/10	
STEP5	(GL-50m 横坑) 上半	1992/5/11	1992/6/30	
STEP6	(GL-50m 横坑) 下半	1992/7/1	1992/9/12	
STEP7	放置状態	1992/9/13	1995/1/24	
STEP8	GL-50m~-70mミニトーム立坑掘削	1995/1/25	1995/3/12	
STEP9	放置状態	1995/3/13	1995/4/18	
STEP10	GL-70m~-82.5m先進立坑掘削	1995/4/19	1995/5/14	
***	スパイラル掘削	1995/5/15	1995/11/19	
STEP11	GL-70m~-82.5mミニトーム掘削	1995/11/20	1996/3/14	
STEP12	放置状態	1996/3/15	1998/2/16	0.20 m ³ /min
STEP13	GL-82.5m~-50mミニトーム立坑埋戻し	1998/2/17	1998/3/5	0.10 m ³ /min
STEP14	放置状態 (再冠水過程)	1998/3.5	1999/2/28	0.10 m ³ /min
STEP15	GL-50m~-0.0m立坑・横坑埋戻し	1999/3/1	1999/3/27	0.10 m ³ /min
STEP16	放置状態 (再冠水過程)	1999/3/28	2009/3/31	

5) 土地利用情報

土地利用区分の範囲は、相模原市の平成6年11月時点の住宅密集地と平成9年度末の下水道整備図を元に図3.3.5のように決定した。図3.3.5において、赤い範囲が市街地、青い範囲が田畑地域である。近年、同市は都市化が急速に進んでいる。しかし、最近の土地利用に関する資料がなかったため、解析ではその土地利用変化が考慮できていない。

土地利用の情報を解析に入力する場合、地表面の鉛直方向の透水係数で与える。ここで、市街地域については、アスファルトやコンクリートで地表が舗装されていること、さらに下水道が完備していることから地表面の透水係数を田畑地域の100分の1と仮定した。

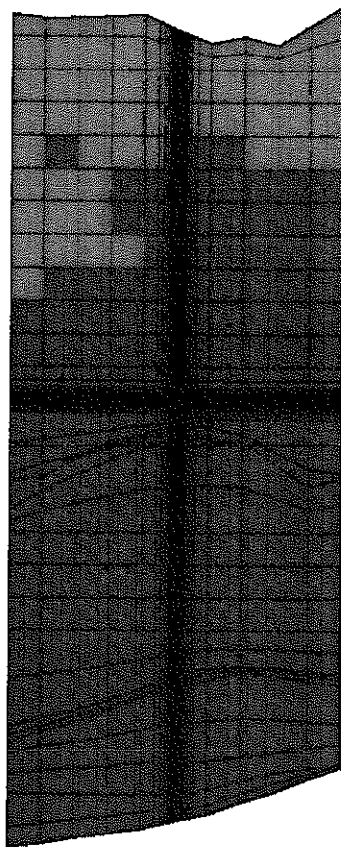


図 3.3.5 土地利用区分
(解析モデル平面図)

3.4 解析手順

解析の手順を図 3.4.1 に示す。

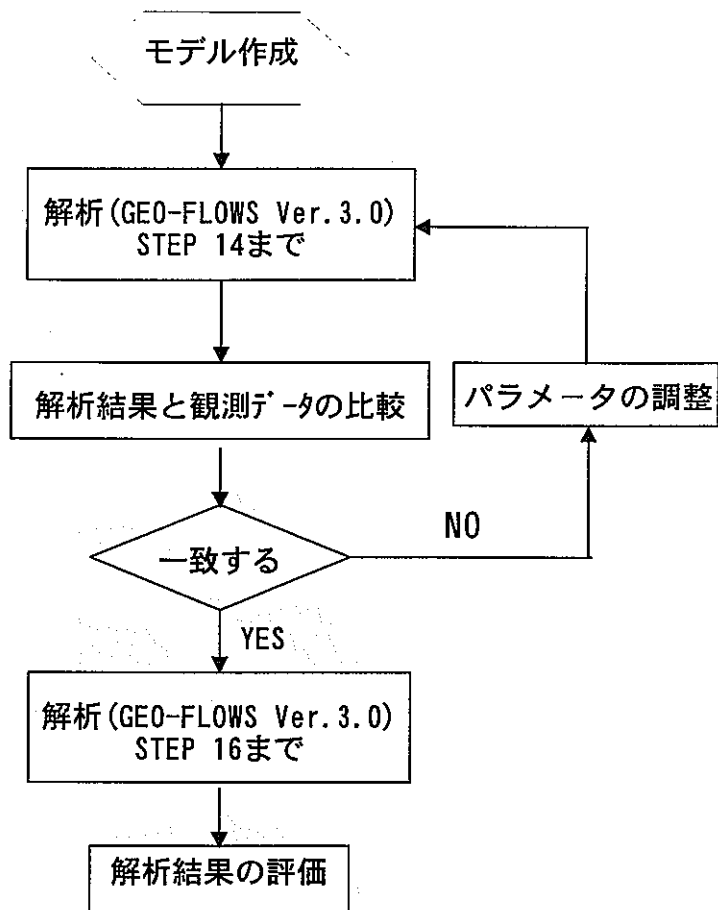


図 3.4.1 解析の手順

3.5 解析結果および考察

3.5.1 解析結果と観測データの比較

1) 解析に用いる初期状態の作成について

図 3.5.1、図 3.5.3 に解析から得られた初期状態 (STEP0) の礫層の水位および観測点の水圧を示す。なお、本文で述べる水圧は TP 0 m を基準面とした全水頭を圧力に換算した値である。ここで、図 3.5.2 に図 3.5.1 の凡例で用いている解析の出力点の位置を示し、図 3.5.4 に図 3.5.3 の凡例で用いている解析の出力点を示す。

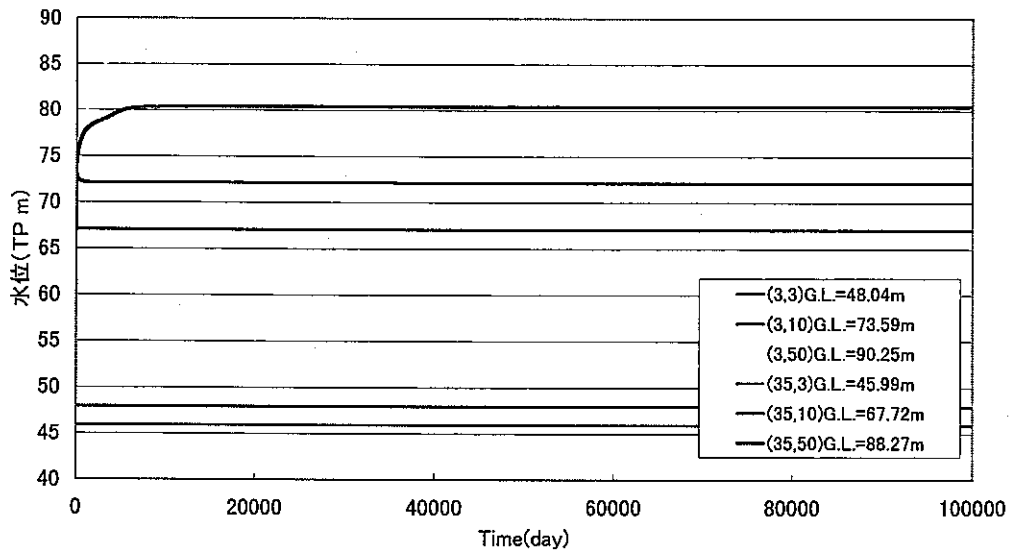


図 3.5.1 礫層の水位変化図 (STEP0 : 初期状態)

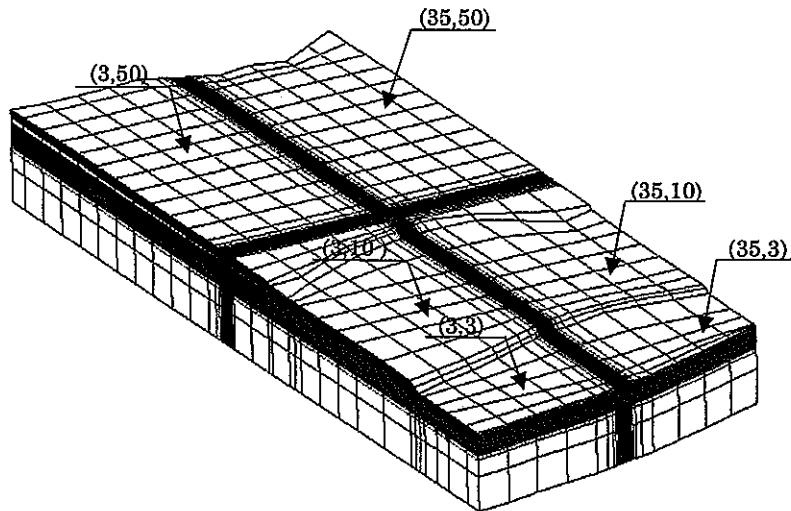


図 3.5.2 上図の凡例で用いた出力の位置図

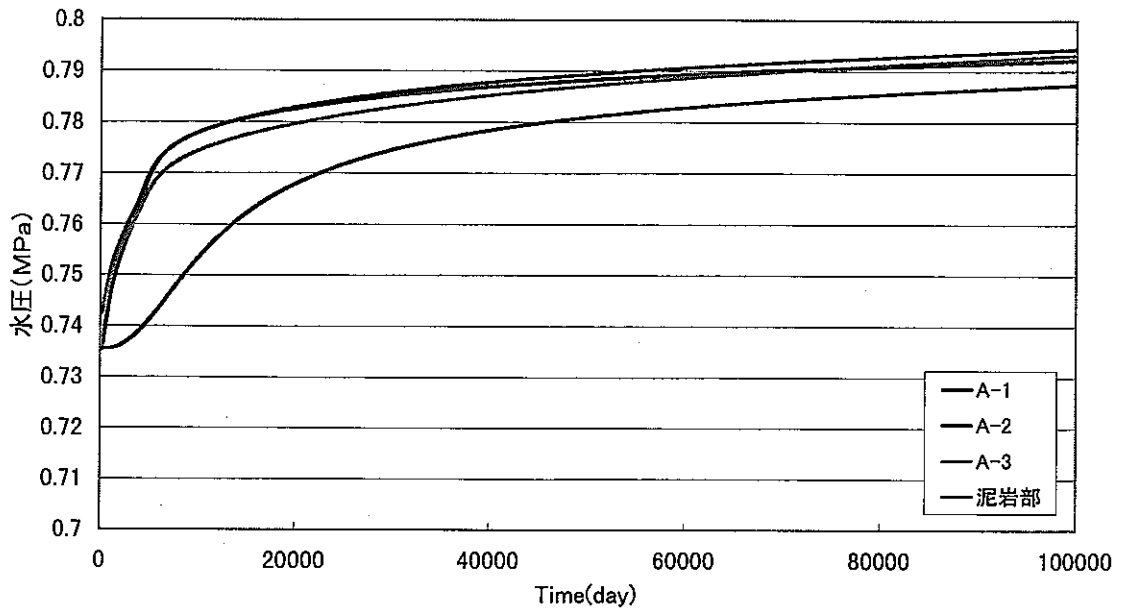


図 3.5.3 観測点の水圧変化図 (初期状態)

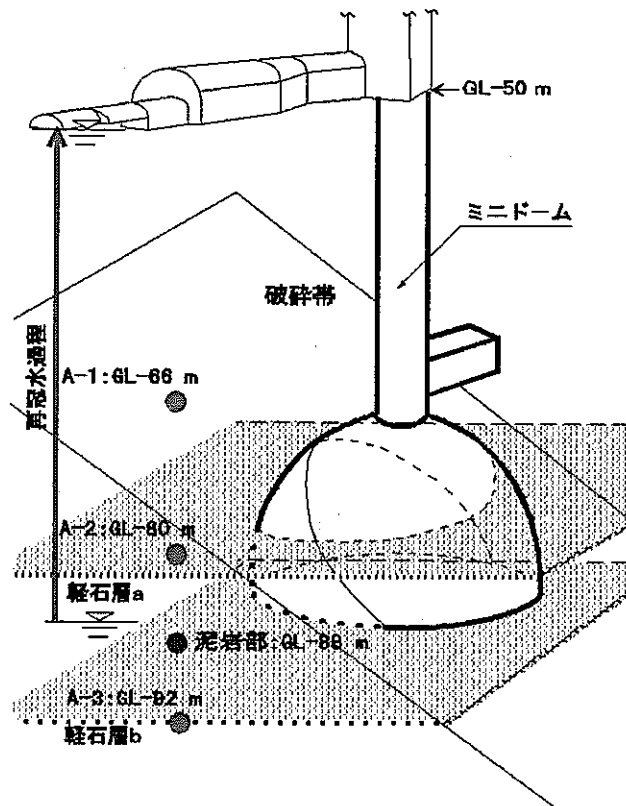


図 3.5.4 解析出力点の位置図

図 3.5.1 の水位変化の解析結果から、全ての解析出力点においても約 10,000 日で定常状態になっていることが分かる。図 3.5.3 は、観測点 A-1～A-3 および A-2 と A-3 に挟まれた泥岩の水圧の解析結果である。図より、約 50,000 日までは水圧が上昇し、その変化量は大きい。それ以降は、緩やかに上昇はしているものの 1 日の変化量が約 1.6×10^{-7} MPa / day と小さくなっている。よって、今回は初期状態を作るために計算した 100,000 日目の状態を初期状態に至ったと仮定して解析を進めた。

2) 水圧による比較

図 3.5.5～図 3.5.7 に、A-1 (GL.-66m の破碎帯部分に設置された点)、A-2 (GL.-80m の挟み層部分に設置された点)、A-3 (GL.-92m の挟み層部分に設置された点) における水圧の観測データと解析結果の比較図を示す。また、図 3.5.8 に間隙水圧のコンター図を STEP 段階順に示す。

なお、観測で実施した 2 回目の再冠水現象については、解析では再現していない。

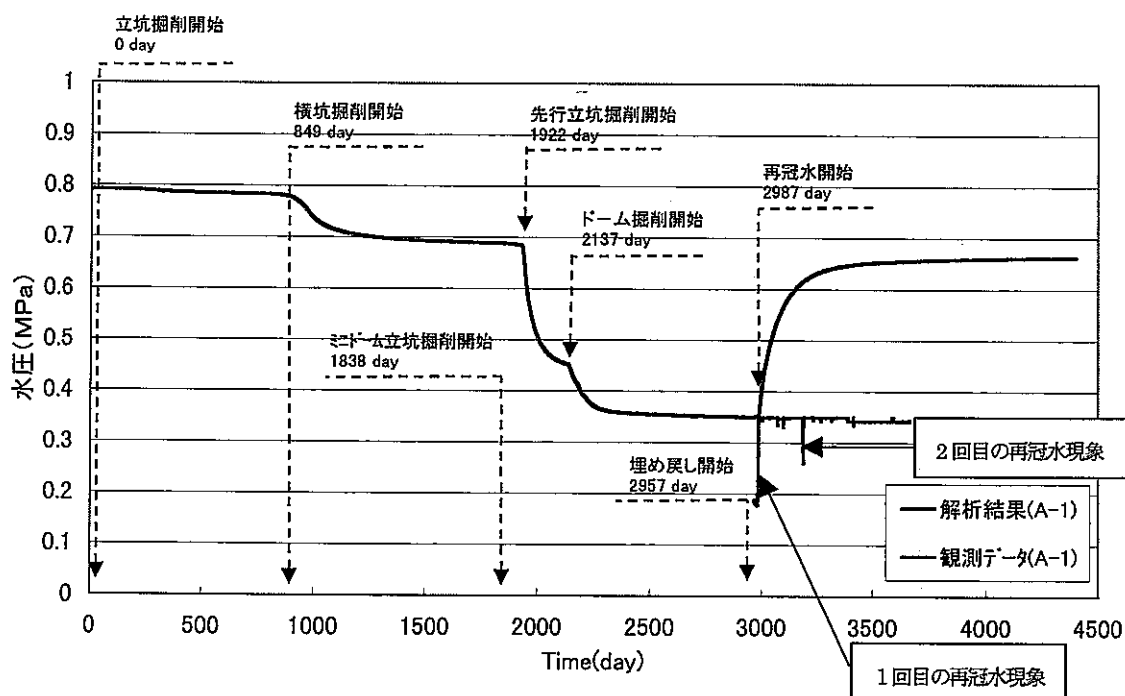


図 3.5.5 水圧における解析結果と観測データの比較 (A-1)

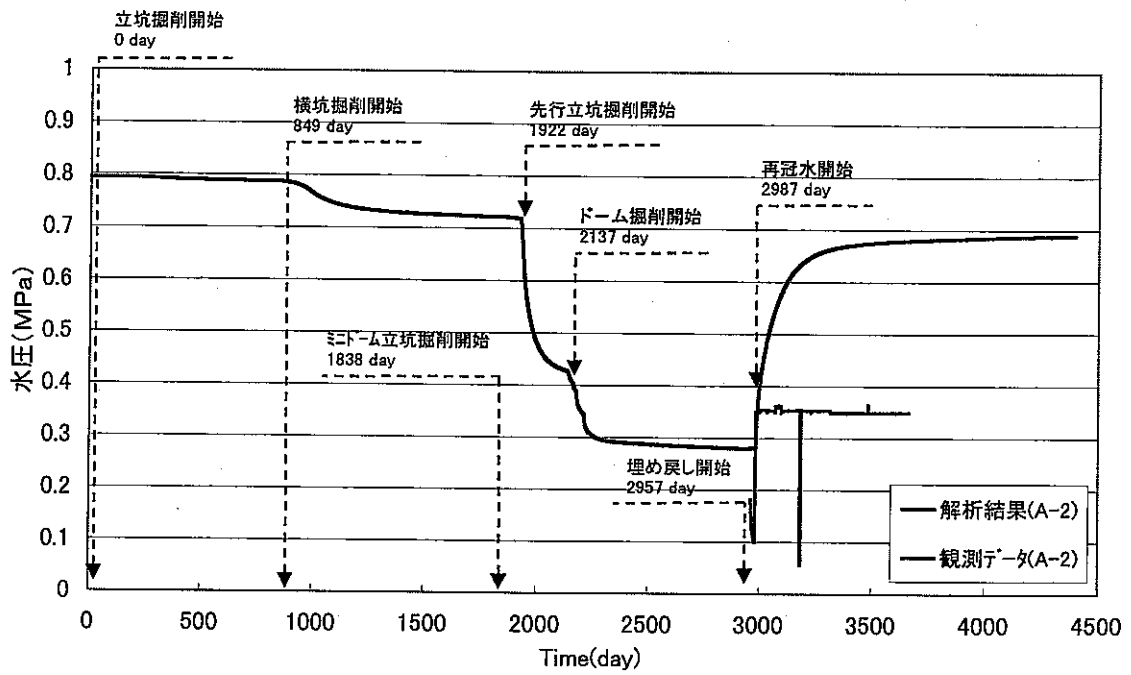


図 3.5.6 水圧における解析結果と観測データの比較 (A-2)

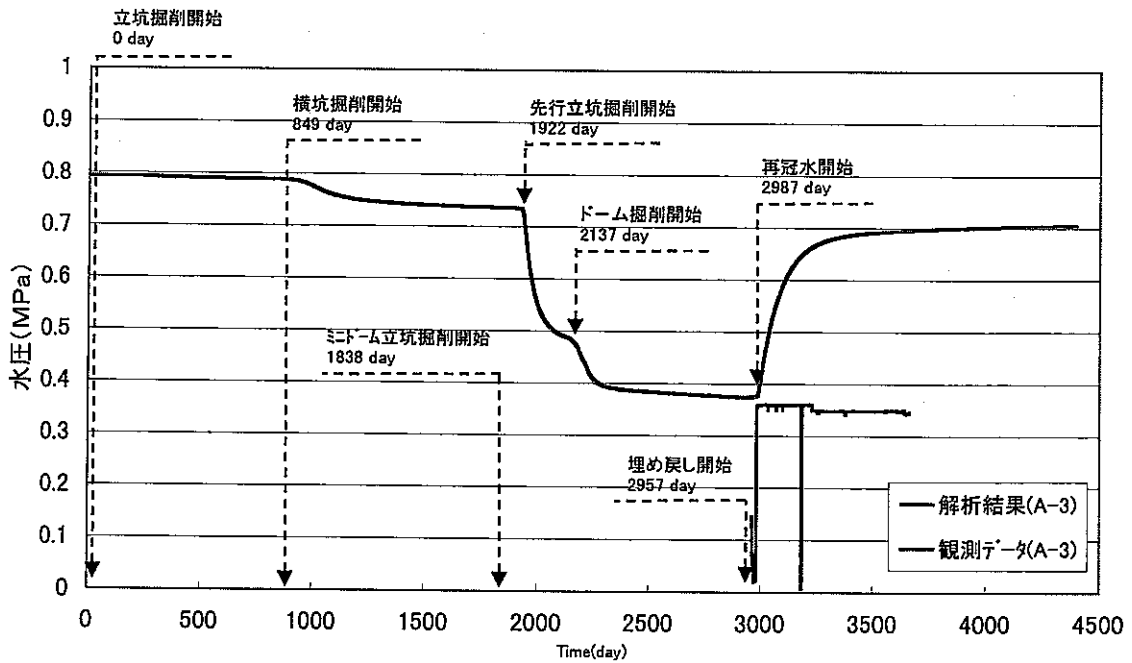
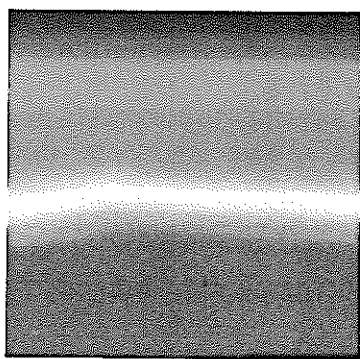


図 3.5.7 水圧における解析結果と観測データの比較 (A-3)

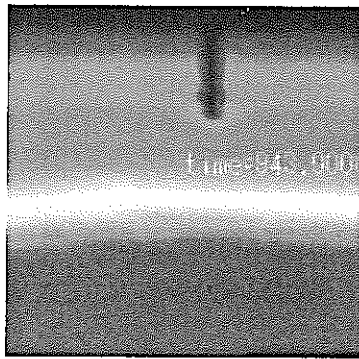
解析結果をみると、各観測点において、GL-50 m までの立坑掘削開始に伴い水圧が緩やかに低下

し、横坑掘削で水圧がさらに低下し、変化量も大きくなっている。GL-50 m 以深では、先行立坑掘削によって水圧が急激に下がっている。これは、先行掘削によって破碎帯を掘削した瞬間、地下空間実験場内に水が溢れ出すことにより水圧が急激に下がったためと考えられる。

以上より、埋め戻し後の再冠水現象も解析結果で再現されているが、定量的には解析結果と観測データには隔たりがある。しかし、傾向としては観測結果を再現できている。よって、定性的にみれば、今回使用した3次元数値シミュレータ(GEO-FLOWS V3)による解析は再冠水現象を再現していると言える。



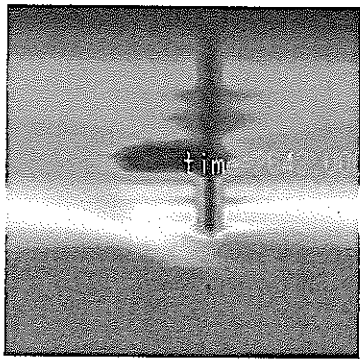
STEP 0 初期状態



STEP 2 立坑掘削(GL.-35m)



STEP 6 横坑掘削(GL.-50m)



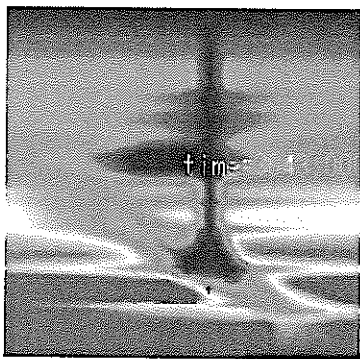
STEP 8 ミッド-立坑掘削(GL.-70m)



STEP 10 先進立坑掘削(GL.-82.5m)



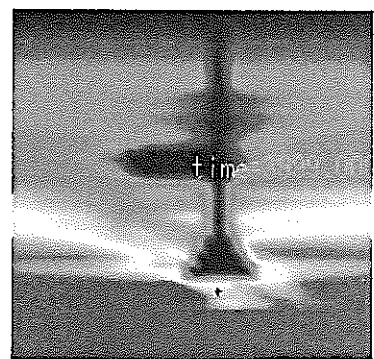
STEP 11 ミッド-掘削(GL.-82.5m)



STEP 12 放置期間(再冠水前)



STEP 14 埋戻後 40 日



STEP 14 埋戻後 268 日

図 3.5.8 間隙水圧分布図

* 図において、赤色は0.8 MPa 以上の部分、青色は0.1 MPa の部分である。

* 青色→水色→黄緑色→黄色→赤色の順で間隙水圧は高くなっている。

* 図中の『time=~』は無関係である。

3) 地下空間実験場全体の流出量による比較

図 3.5.9 には地下実験場内への総流出量の解析結果と観測データの比較図を示す。ここで、ミニドーム立坑掘削前の観測データは、その計測方法が不明であるため参考程度に留める。図より、先行立坑掘削した瞬間、流出量が急激に大きくなるという解析結果が得られており、地下空間実験場内に水が溢れ出したことを再現している。

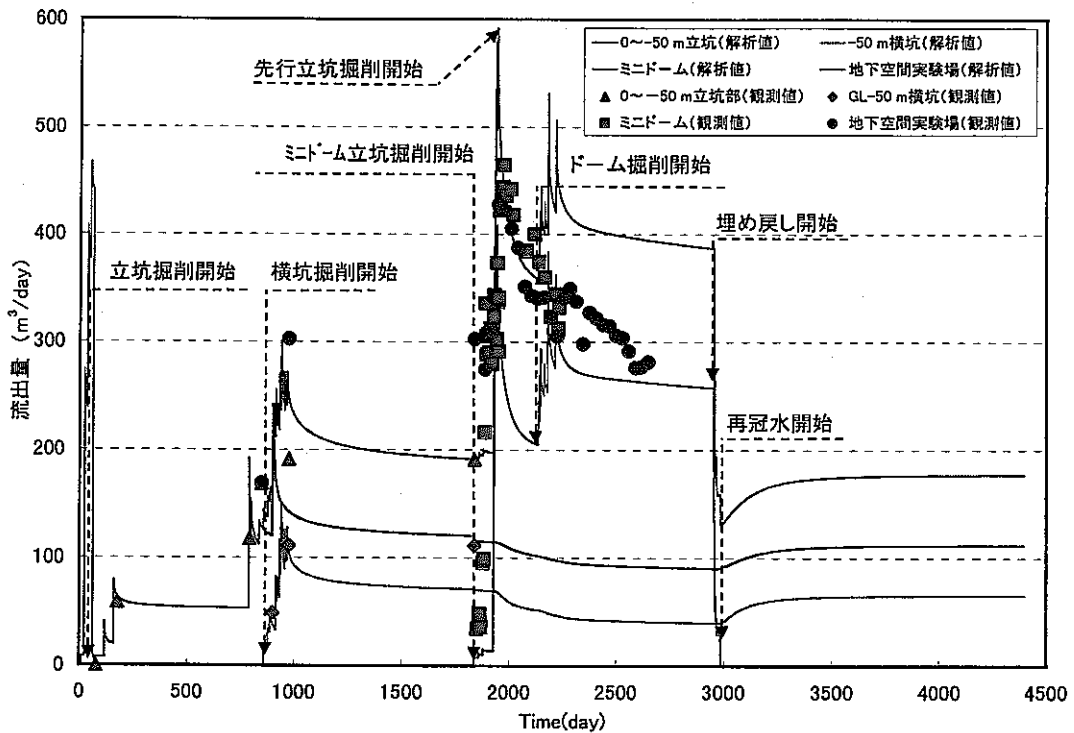


図 3.5.9 地下空間実験場内への流出量の解析結果と観測データの比較

地下空間実験場内への流出量に対し、解析結果と観測データを比較した結果、全体的にはほぼ再現できていると言える。特に、先行立坑掘削時の急激な流出傾向と排出量は再現できている。しかし、解析ではドーム掘削時にも流出量が急激に増加しているのに対し、観測データではその傾向が現れていない。この原因を前節の 2) の水圧の比較から推測すると、実際は先行立坑掘削終了時にミニドーム周辺の水圧がその底盤付近まで低下しているにもかかわらず、A-3 地点の解析結果を例にとると、ミニドーム底盤より約 37 m 上 (ドーム天端より約 25 m 上) に水頭が残っている。よって解析では、ドーム掘削時にも破碎帯を掘削した影響による急激な流出が発生したと考える。

3.5.2 再冠水現象による空洞周辺の長期地下水

3次元数値シミュレータ (GEO-FLOWS V3) によって定性的に再冠水現象が再現し得ることが分かった。よって、地下空間実験場全体を埋め戻すことを想定して解析 (STEP15、STEP16) を行なった。

その解析結果を図 3.5.10 に示す。各観測点とも1回目の再冠水から約2,000日経過した時点でA-1~A-3の水圧が定常状態となっていることが分かる。また、地下空間実験場全体を埋め戻したことによって2回目の再冠水現象が生じ、それとともに水圧が急激に上昇して、1回目の再冠水から16,000日で定常状態となって地下空間実験場掘削前の水圧レベルにほぼ回復した。

泥岩中の水圧の変化に着目してみると、地下空間実験施設の掘削による水圧低下はA-1~A-3に比べて小さく (A-2の最大水圧変化量の約1/6)、影響を受けはじめる時期も遅れていることが分かる。

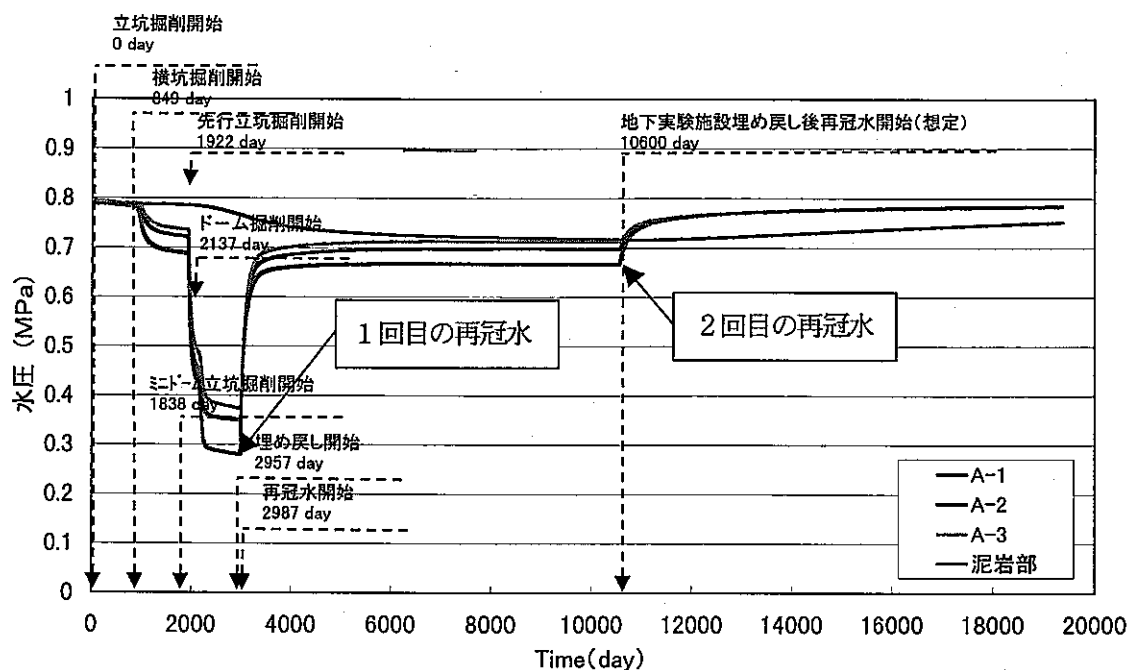


図 3.5.10 地表面まで埋め戻した場合の解析結果

3.5.3 破碎帯および挟み層の影響について

地質調査により存在が確認されていた破碎帯および挟み層をモデル化した解析においては、各観測点で観測された再冠水現象を定性的に再現することが可能であることが分かった。

ここでは、破碎帯および挟み層が再冠水現象にどれほど影響を及ぼしているか検証するため、表 3.5.1 に示す 4 ケースについて解析を行なった。解析期間は地表面まで埋め戻すまでとした。その解析結果を図 3.5.11～図 3.5.14 に示す。

表 3.5.1 解析ケース

	破碎帯	挟み層
Case1	あり	あり
Case2	あり	なし
Case3	なし	あり
Case4	なし	なし

*Case1 は前節までで行なっていた解析である。

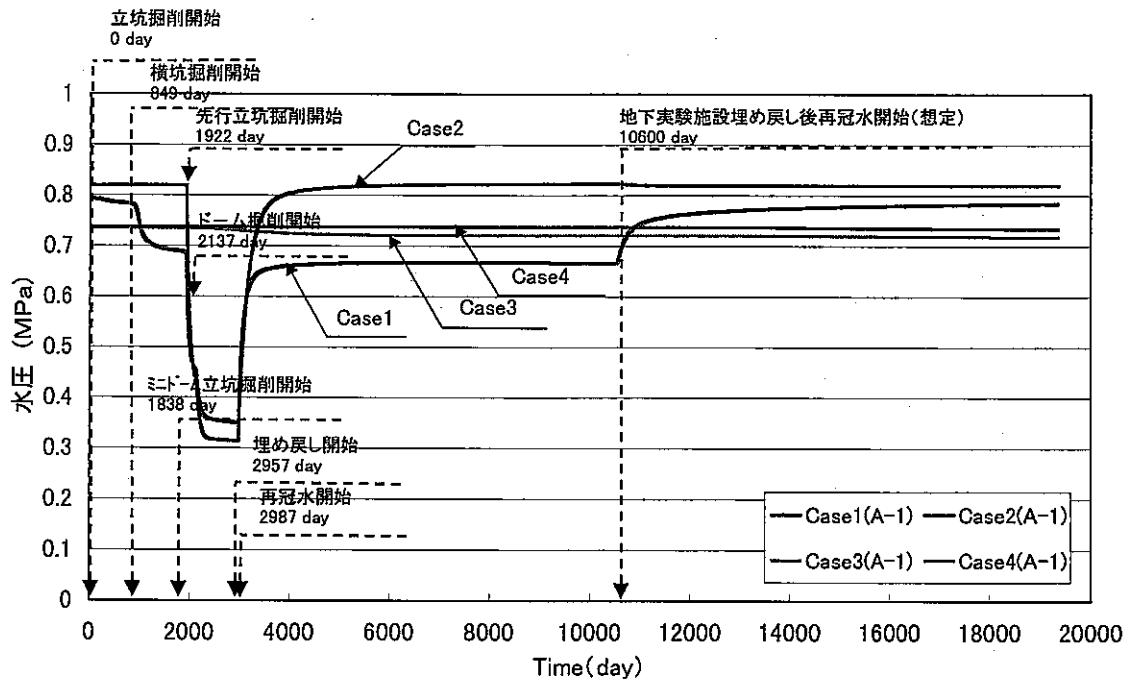


図 3.5.11 A-1 地点の水圧の解析結果比較図

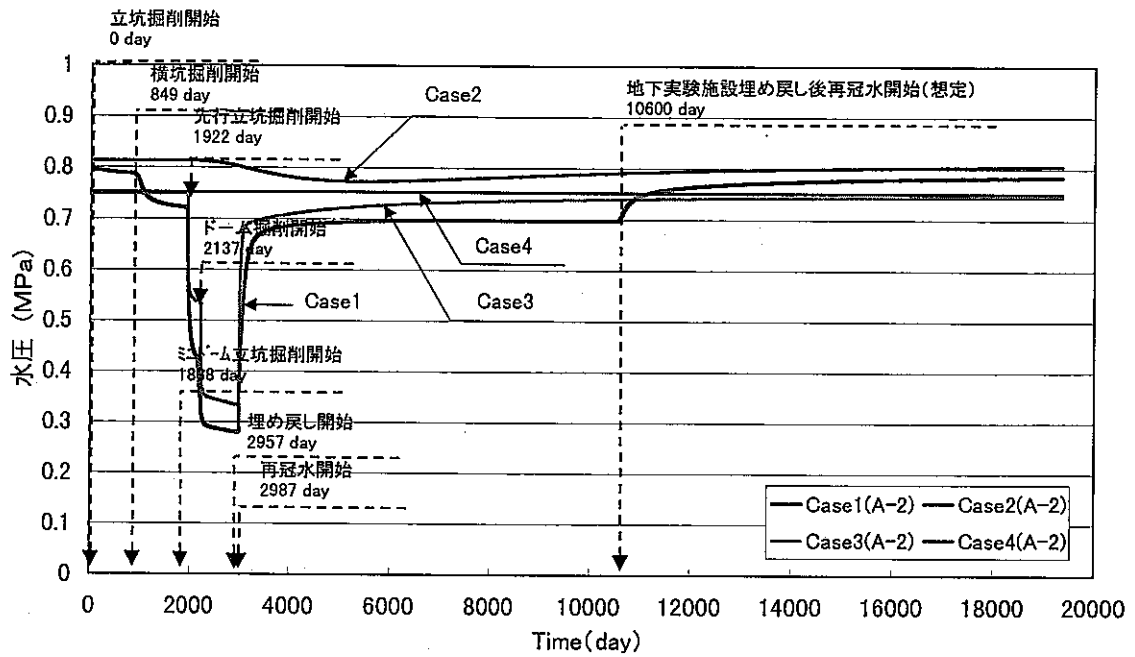


図 3.5.12 A-2 地点の水圧の解析結果比較図

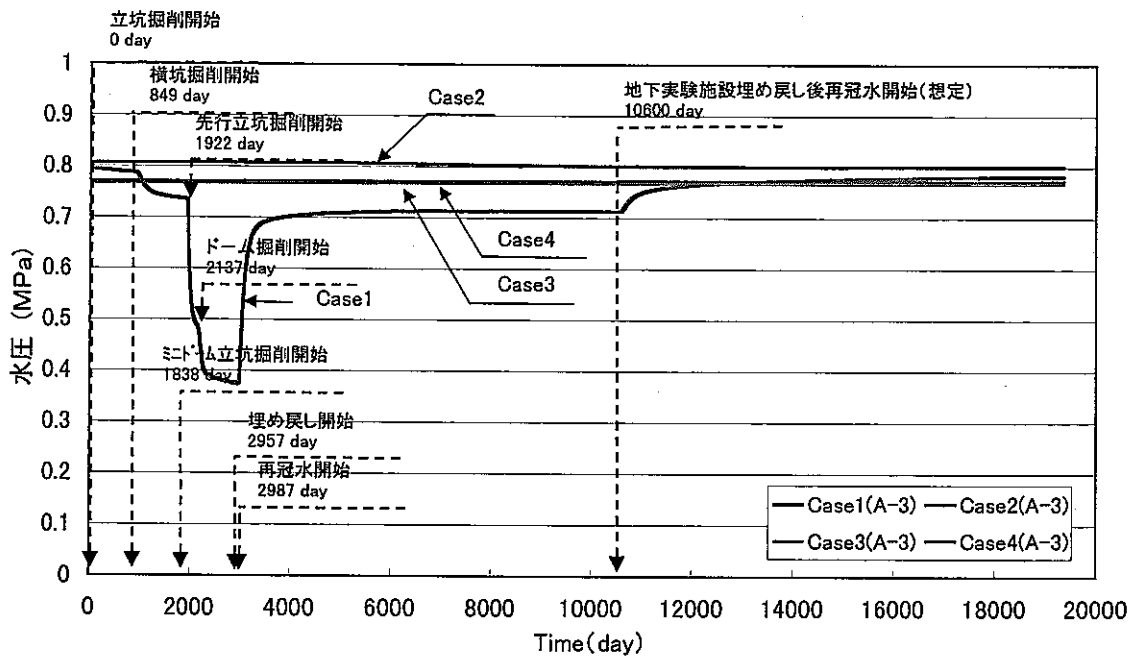


図 3.5.13 A-3 地点の水圧の解析結果比較図

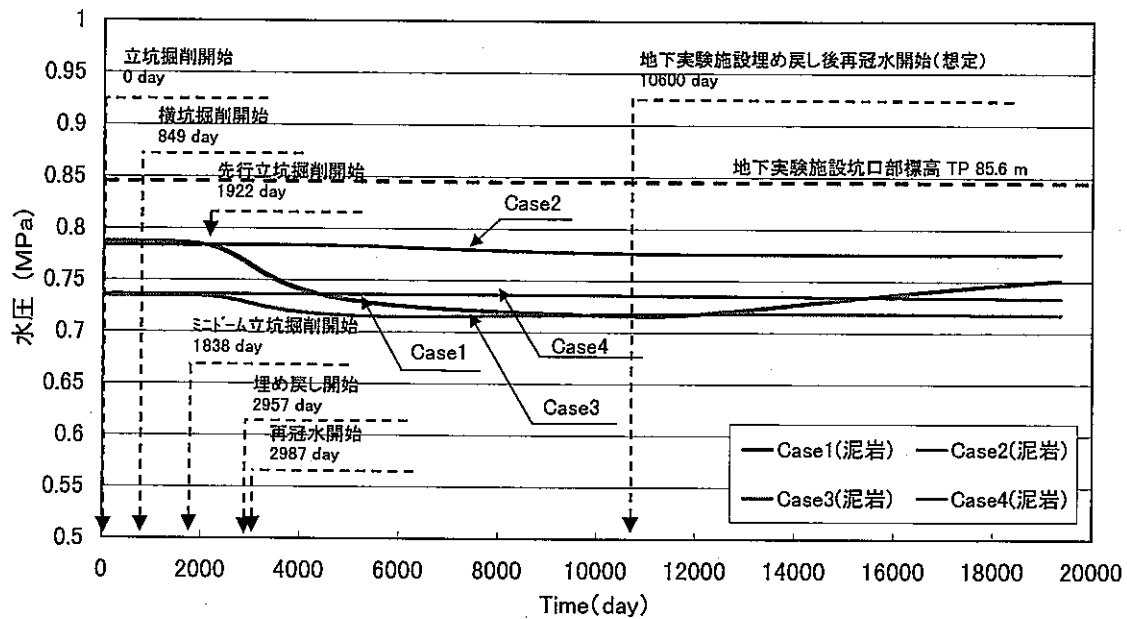


図 3.5.14 泥岩部の水圧の解析結果比較図

図 3.5.11 は A-1 (破碎帯に設置している観測点) における水圧の解析結果の比較図である。破碎帯のみ考慮した Case2 の解析結果は、Case1 と同じように水圧が急激に下がり、埋め戻しにより再冠水現象が起き、水圧が急激に上昇するという結果になっている。しかし、立坑・横坑の掘削による水圧の低下は解析では現れていない。また、地下空間実験場の埋め戻しによる再冠水現象に起因する圧力上昇もみられない。破碎帯を考慮していない Case3、Case4 の解析結果では、掘削により水圧の変化はほとんど見られない。

図 3.5.12 は A-2 (GL.-80m の挟み層に設置している観測点) における水圧の解析結果の比較図である。破碎帯のみ考慮し挟み層は考慮していない Case2 の解析結果では掘削により若干水圧が低下している。これは観測点 A-2 が破碎帯に近いので、影響を受けたものと考えられる。挟み層のみ考慮した Case3 の解析結果は、Case1 と同じように水圧が急激に下がり、埋め戻しにより再冠水現象が起き、水圧が急激に上昇するという結果になっている。しかし、立坑・横坑の掘削により水圧の低下は解析では現れていない。また、地下空間実験場の埋め戻しによる再冠水現象に起因する圧力上昇も

みられない。挟み層を考慮していない Case4 の解析結果では、掘削により水圧の変化はほとんど見られない。

図 3.5.13 は A-3 (GL. -92m の挟み層に設置してある観測点) における水圧の解析結果の比較図である。この観測点はミニドーム底面よりも低い位置に存在していることになる。破碎帯のみを考慮した Case2、挟み層のみを考慮した Case3 の解析結果の水圧変化は、まったく見られない。また、挟み層・破碎帯を考慮していない Case4 の解析結果も同様である。しかしながら、破碎帯と挟み層を両方考慮した Case1 の解析結果では、掘削に伴い水圧が低下し、埋め戻しにより再冠水現象に起因する水圧上昇が生じている。これは破碎帯と挟み層により“水みち”がつながっているため、観測点よりも上方の掘削の影響を受けていると考えられる。

図 3.5.11～図 3.5.13 から、掘削深度までの水圧の変化を考えるのであれば、挟み層あるいは破碎帯を単独で考慮してもある程度は再現できると思われる。しかし、掘削深度よりもさらに深いところの水圧変化を考える場合は、水みちを正しく考慮したモデルで解析を実施しなければ、再現できる解析結果は得られないということが分かった。

図 3.5.14 は泥岩部における水圧の解析結果である。図より、挟み層・破碎帯の両方を考慮した Case1 でも水圧は約 0.05 MPa と変化は小さい。今回考慮している泥岩部の透水係数は 5.0×10^{-8} cm/s であり、挟み層の透水係数 2.0×10^{-3} cm/s \sim 3.0×10^{-5} cm/s、破碎帯の透水係数 8.0×10^{-4} cm/s に比べて 3 \sim 5 オーダー小さく、また、泥岩部における水圧観測点は挟み層や破碎帯から離れてため影響を受けない。

3.6 解析のまとめ

3次元シミュレーター(GEO-FLOWS v3)を用いて、破碎帯や挟み層が介在する堆積軟岩の再冠水現象を定性的に再現することができた。

また、本解析を実施した過程において、再冠水現象の解析を行なう上での課題点・問題点等が明らかになった。以下にそれらを示す。

1) 地質構造のモデル化

今回の解析では、対象範囲を約2 km×1 kmとしているが、実際に地質調査を行なったのは地下空間実験場周辺のみ（最長でも、地下実験場から40 m 離れ）である。そのため、地盤のモデル化に際しては、調査から得られた地質構造が対象範囲において一様に広がっていると仮定した。ここで、より精度の高い解析結果を期待するためには、調査範囲を広範囲にして解析対象範囲の地質構造を詳しく知る必要がある。また、水みちとして考えられる破碎帯・挟み層についても、その特性や分布をより正確に把握することが必要である。

2) 各地層の特性

破碎帯についてはモデル分割上、幅 2.5mとして取り扱っている。しかし、実際の破碎帯の幅は確認されているところで30 cm 程度である。今回の解析では、破碎帯の透水係数や間隙率は試験から得られた値や一般的な値を使用しているが、それらの値は確認された破碎帯に対するものであるにもかかわらず、幅 2.5mの破碎帯が存在しているモデルで解析を行なっていることになっている。したがって、幅 2.5m の格子で構成されているブロックで幅 30cm の破碎帯が表現できるように透水係数や間隙率を修正して解析を行なう方がより正確なモデルでの解析であると考えられる。

3) 初期状態

今回の解析では、地下空間実験場掘削前からシミュレートしているが、地下空間実験場の立坑を掘削する前の地下水位や地盤の飽和・不飽和特性については観測していない。そのため、初期状態は、ミニドーム掘削前の礫層の水位を基に静水圧状態で解析を行なっている。それゆえ、精度良く解析結果を評価するためには、初期状態を把握しておくことが大切である。具体的には、地下空間に構造物

を構築する前に、調査範囲における地下水位（水頭）や地盤の飽和・不飽和特性を観測しておくことが重要であると考えられる。

4) 境界条件

①地盤モデルの側面

今回の解析では、地下空間実験場周辺の地下水挙動に影響を与えないように、解析対象範囲を広範囲に設定し、地下空間実験場と地盤モデルの側面に大きな距離を設けた。地盤モデルの側面における境界条件は、ローム層・礫層を定圧境界とし、地下水が浸透する境界とした。泥岩層は透水係数が非常に小さいため不透水境界と仮定した。しかし、泥岩層であっても実際は地下水が流動しているので不透水境界は正確ではない。長期間にわたる解析を行なった場合、この境界条件を用いると、境界付近の泥岩層が被圧されてくることが考えられる。そのため、今回の観測では設けなかった泥岩層に観測点を設置し、地下水の流向・流速を観測して、得られた結果を基に泥岩層側面の境界条件を設定することが望ましいと考えられる。

②地下空間実験場の掘削面

地下空間実験場の掘削が周辺の地下水挙動に及ぼす影響は大きい。よって、掘削面の境界条件の設定は解析において重要な入力データである。今回の解析では、ローム層・礫層では掘削前に止水工事を行なっているので、掘削面は不透水境界としているが、泥岩層では定圧・開放境界としている。しかし、実際は吹付コンクリートが施工されており、そこからいくらか漏水が観測されているものの、定圧・解放境界とした解析では、流出量が実際より多めに算出される。したがって掘削の境界面では、流出量の観測から同定し、解析を行なうべきである。

埋め戻しの境界条件は、掘削境界面を不透水境界としている。しかし、実際には境界面を通して埋め戻し土への地下水の浸透も考えられるので、埋め戻し土の物性（間隙率・透水係数）も重要である。

なお、今回の解析では、埋め戻しの境界条件を不透水境界で入力しているため、埋め戻し土の物性は解析結果に影響を与えない。

5) 涵養量

降雨量は気象庁の観測データ（アメダスの観測データ）を用いることができるので、実際の情報を入力することができる。しかしながら、集中豪雨のように涵養量が急激に増加する場合、計算が収束

せず、ストップする可能性が高い。そのため、今回の解析では年間降水量を日平均にすることで、涵養量の変化量をなくして計算を行なった。

6) 解析結果と観測データの比較

解析からは、①地下水位・水圧、②飽和度、③地下水流速・流向、④掘削空洞内への水の流出量が結果として得られる。しかしながら、今回得られている観測データは①、④のみである。しかも①については再冠水現象以後の観測データのみ得られている。よって、本研究では再冠水現象以後の比較にとどまった。ここで、地下空間実験場掘削前からの地下水位・水圧の観測データがあれば、初期状態の検証や掘削に伴う水圧の変化を解析結果と比較でき、精度の高い解析検証ができたと考える。また、今回の観測では、観測点が“水みち”である破碎帯および狭み層にのみ設置されており、泥岩層部には設置されていない。ここで、堆積軟岩の地下水挙動を把握し、解析による検証を行うことが目的であれば、“水みち”だけでなく泥岩部にも観測点を設置した方が良い。

④については、解析期間中の観測データがあったため、解析結果との比較についてはある程度の成果が得られた。しかしGL-0 m ~GL-50 mまでの掘削期間中は、計測方法が不明確であったり、観測する場所が移動したりして観測値の信頼性は低い。よって、地下水観測のような長期間の観測が必要な場合は、長期に渡って同じ観測点、同じ観測方法で計測する必要がある。また、その期間中の地下水環境に影響を与えたイベントや観測の経緯等を記録に残すことも重要である。

なお、②と③については、原位置で継続かつ正確に観測する調査方法は未だ研究段階であるため、解析期間の初期段階と特別なイベントが発生した時点で観測する程度が良いと考える。

4 まとめ

今回の研究の最終目的は、地下空洞の維持・管理、改修・廃棄にともなう地下水の水理的挙動、地下環境の変化を計測し、とくに地下空洞埋戻しに関するこれらの実態を把握することである。この目的に対して得られた知見を要約すると以下の通りである。

- ① 連続データを用いるモニタリングシステムにおいて、今回用いたセンサー（Troll 8000）で観測を行なった結果、センサーの精度には問題が無く、採水のために実施した揚水の影響が大きいことを確認した。地下水環境を長期間モニタリングする場合は、揚水などの地下水環境に影響を及ぼす要因はできる限り少なくすることが必要であると考ええる。
- ② 水圧のデータでは一般に難透水性といわれている泥岩層内でも透水係数に換算すると 10^{-3} cm/s程度と意外と早い水理的回復を示した。この要因は泥岩層内の破碎帯や挟み層のような“特異な水みち”によるものと考えられる。
- ③ 環境同位体分析 (^2H - ^{18}O 、 ^3H) より水みち断層上盤の地層水の絞り出し、浅層地下水による置換の実態把握が定量的に抑えられる可能性を見いだした。
- ④ 埋め戻し工事にともなうセメント材料系の固化熱（中心部で55度）による地盤・地下水温の時刻歴のデータが得られた。
- ⑤ 今回実施した3次元浸透流解析では、埋め戻し後の再冠水現象を各観測点で定性的に再現している。しかし、定量的に考えると解析結果と観測データには大きな隔たりがある。これは初期水位の設定や地盤のモデル化が関係していると考ええる。
- ⑥ 再冠水現象の解析を行う上での課題点・問題点が明らかになった。

今後、さらに再冠水による堆積軟岩中の水理挙動・地下水環境変化を明らかにするためには、① 観測孔の増設および他のセンサー（MPパッカー）と定期的区間地下水水質モニタリングによる地下水流動の実態計測、② 平衡状態に至るまでの、水理挙動、地下水環境変化の継続観測、③ ほぼ平衡と回復したと確認された後にパルス試験、トレーサ試験や多孔式試験による短期および局所的な地下水流動実態の観測、④ 上記データを用いた、熱解析、および移流・拡散解析などが追加確認する

必要がある。

さらに、当実験サイトを利用した今後の展開としては、ゆるみ域からの漏気問題に対する原位置試験、泥岩層のCaprode機能に関する試験や砂層の貯留性能試験、実際に地下で冠水が発生する現象に対するその時期の検討を目的とした試験、人間侵入や周辺構造物への影響予測解析などが考えられる。

最後に、本報告書は小島東京大学名誉教授、ならびに熊本大学 嶋田教授、東京大学 登坂助教授をはじめ委員の皆様の御協力を得て作成したものである。

参考文献

- 1) 再冠水に関する原位置試験研究，動力炉・核燃料開発事業団委託研究成果報告書, 1998, 7.
- 2) 再冠水に関する原位置試験研究(その2)，核燃料サイクル開発機構委託研究成果報告書, 1999, 2.
- 3) 町田 洋: 相模原の地形・地質調査報告書(第2版)，相模原市地形・地質調査会, pp30-31, 1985, 3.
- 4) 地下水ハンドブック，建設産業調査会，pp69-70, 1998
- 5) 地下水ハンドブック，建設産業調査会，pp18-19, 1998

卷末資料

- ① 鉍物分析結果（顕微鏡観察写真）
- ② トリチウム分析結果報告書
- ③ 主要化学成分分析結果
- ④ 採水試料の水質計測管理表
- ⑤ 「再冠水に関する原位置試験研究報告書（その1）～（その2）」の巻末資料一覧
- ⑥ 「再冠水に関する原位置試験研究（その3）」委員会名簿

① 顯微鏡觀察写真

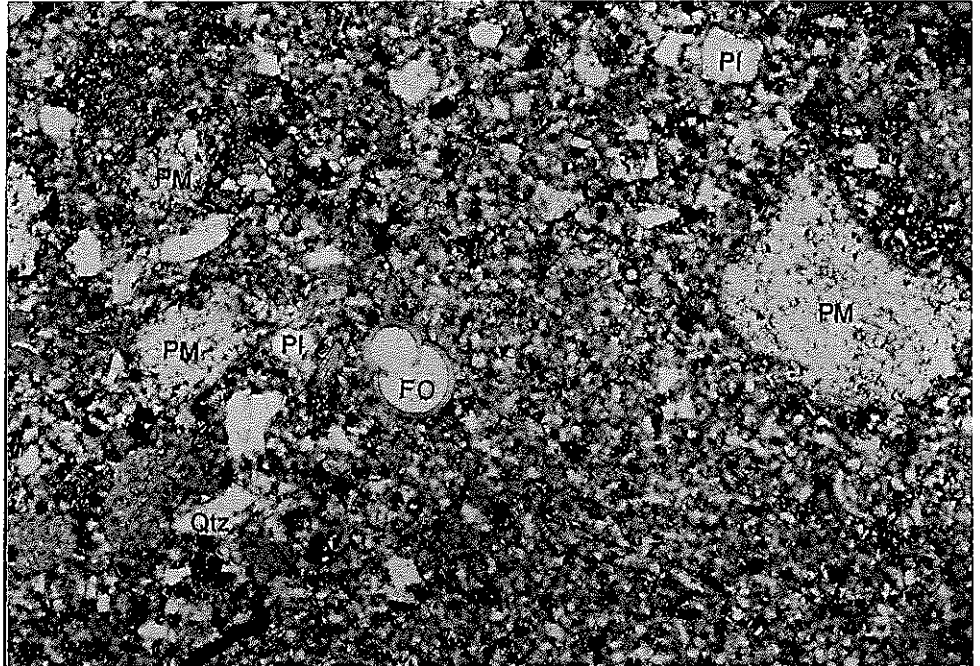
岩石薄片写真 略語凡例

PM	軽石
FO	化石片
Pl	斜長石
Qz	石英
Hb	普通角閃石
Cpx	単斜輝石
Opx	斜方輝石

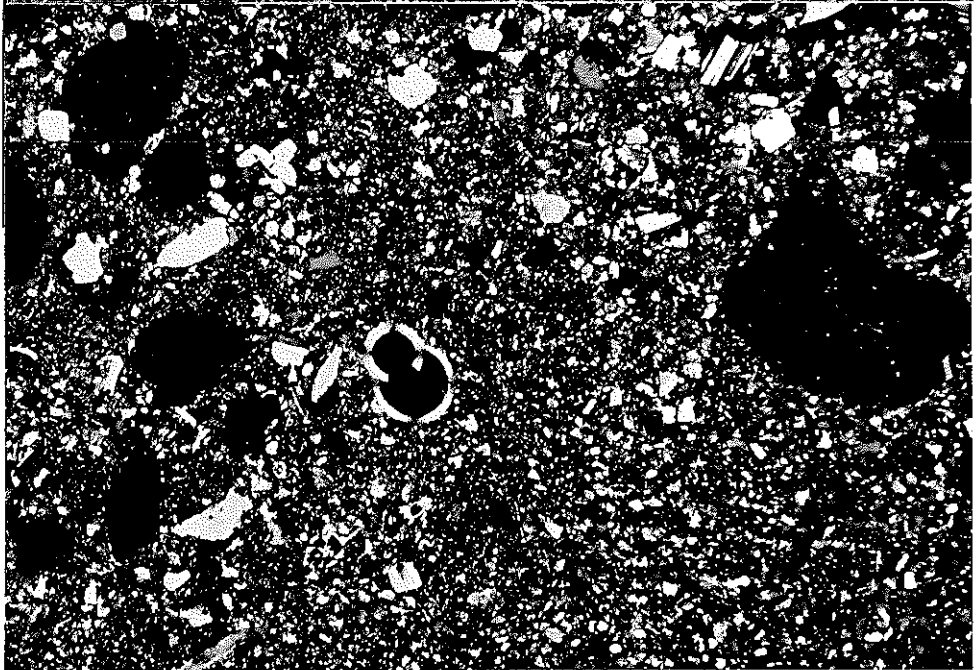
試料番号 : G L-68m

岩石名 : 凝灰質中粒砂岩/長石質ワッケ

オープンニコル



クロスニコル



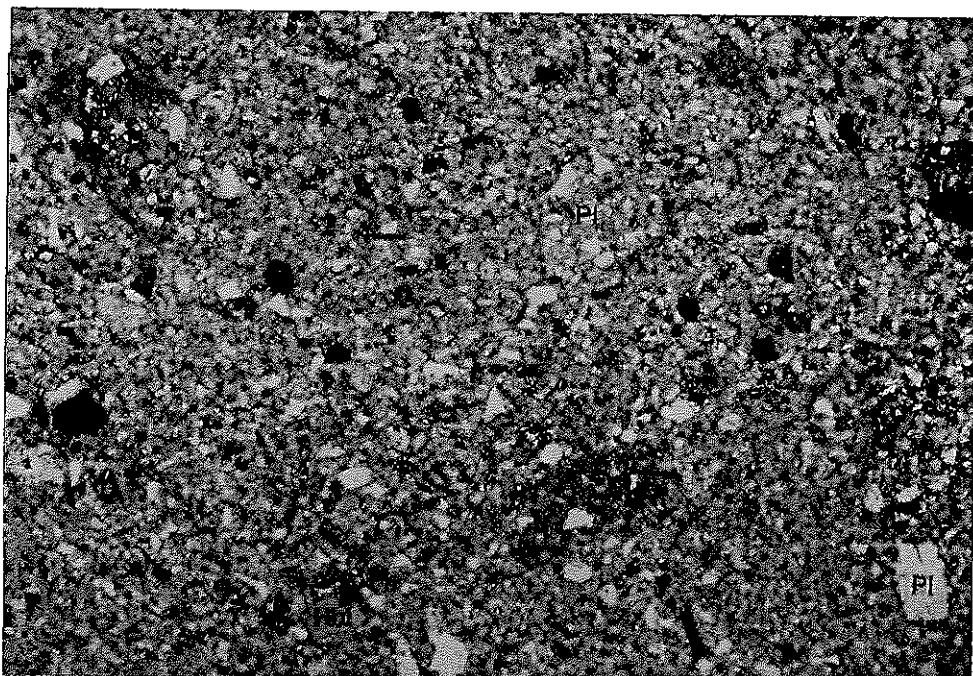
0.5mm



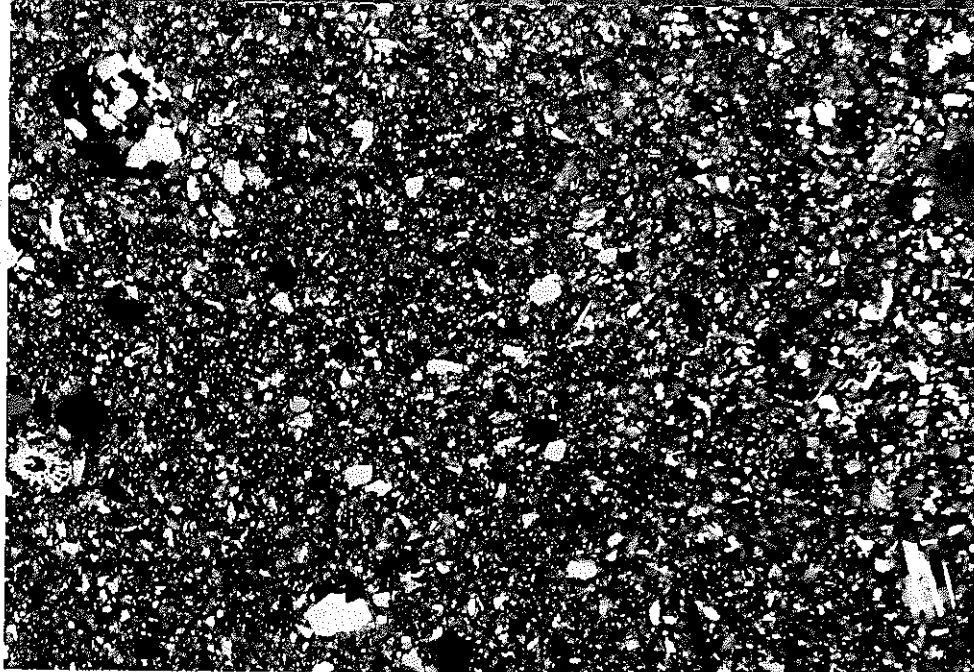
試料番号 : G L -75m

岩石名 : 凝灰質細粒砂岩/長石質ワッケ

オープンニ科尔



クロスニ科尔



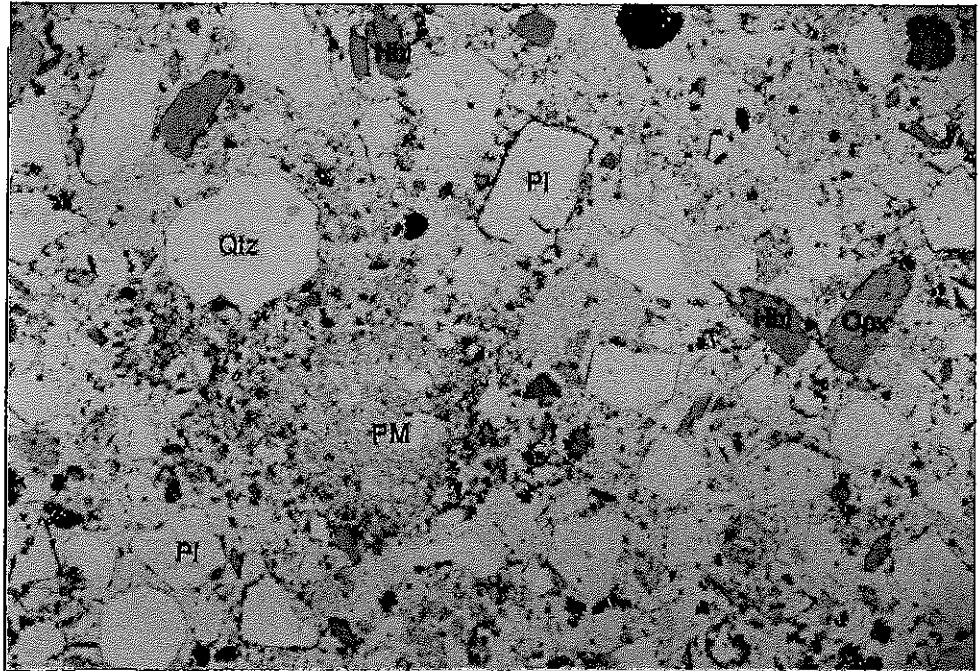
0.5mm



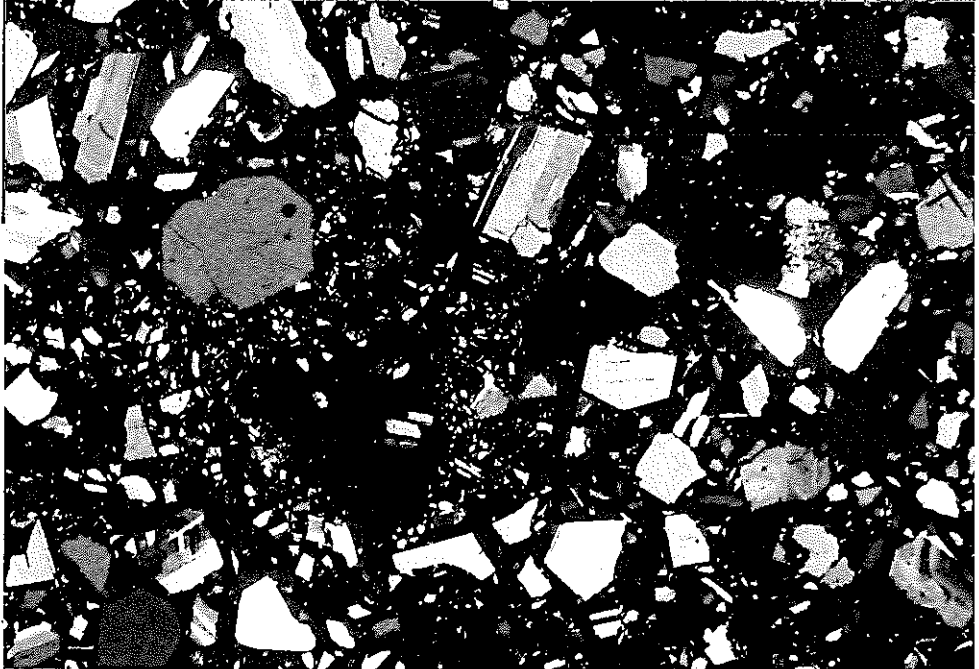
試料番号 : G L-80m

岩石名 : 結晶凝灰岩

オープンニコル



クロスニコル



0.5mm



② トリチウム分析結果報告書

東急建設(株) 技術研究所 殿

分析結果報告書

平成12年3月2日

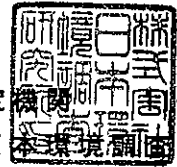
横浜市神奈川区浦島町5-5-102
株式会社 環境エンジニアリング
横浜支店
横浜支店長 江間 晴夫



報第112373号
平成12年02月29日

株式会社 環境エンジニアリング 殿

作業環境測定機関-4
株式会社 日本環境測定研究
代表取締役 高木 弘



報 告 書

平成12年02月01日 に受領した試料のトリチウム放射能濃度測定結果について、
下記のとおり御報告申し上げます。

記

1. 試料名および数量

水 試 料 ー 4 検 体

2. 測定結果

別紙のとおり

トリチウム 放射能濃度測定結果

試料名	トリチウム 放射能濃度測定結果	
	pCi/l	TR
A-1 (H12.01.24)	2.3 ± 0.3	0.70 ± 0.10
A-2 (H12.01.24)	1.7 ± 0.3	0.52 ± 0.10
A-3 (H12.01.24)	1.1 ± 0.3	0.34 ± 0.10
C-1 (H12.01.24)	6.9 ± 0.4	2.1 ± 0.1

3. 分析、測定方法

科学技術庁放射能測定シリーズ9 トリチウム分析方法に準じて行った。
トリチウム放射能濃度は測定時の濃度である。

4. 測定装置

液体シンチレーション計数装置

パッカー社製液体シンチレーションアナライザー
2250CA型

5. 測定年月日

平成12年02月23日 ~02月28日

6. 測定責任者

松 村 一 博

7. 測定担当者

立 花 卓

以上

トリチウム放射能濃度測定結果

放射能濃度	2.3 ± 0.3 pCi/l	0.70 ± 0.10 TR
検出限界	0.99 pCi/l	0.31 TR

試料	試料 No.	990257	試料名	A-1 (H12.01.24)
	受取日	平成12年02月01日		
	供試量	10.00 ml		
	前処理法	電解濃縮法	電解濃縮係数	0.01857
	備考			

放射能測定	測定 No.	LL990030
	測定器	液体シンチレーションアナライザー バックカード 2250CA
	測定日	平成12年02月23日 ~ 平成12年02月28日
	測定時間	500 min
	全計数	1558 counts
	全計数率	3.12 ± 0.08 cpm
	自然計数測定時間	1000 min
	自然計数	2498 counts
	自然計数率	2.50 ± 0.05 cpm
	正味計数率	0.62 ± 0.09 cpm
	検出限界計数率	0.27 cpm
	測定効率	22.7 %
	備考	

トリチウム 放射能濃度測定結果

放射能濃度	1.7 ± 0.3 pCi/l	0.52 ± 0.10 TR
検出限界	0.96 pCi/l	0.30 TR

試料	試料 No.	990258	試料名	A-2 (H12.01.24)
	受取日	平成12年02月01日		
	供試量	10.00 ml	電解濃縮係数	0.01790
	前処理法	電解濃縮法		
	備考			

放射能測定	測定 No.	LL990030
	測定器	液体シンチレーションアナライザー パッカード 2250CA
	測定日	平成12年02月23日 ~ 平成12年02月28日
	測定時間	500 min
	全計数	1483 counts
	全計数率	2.97 ± 0.08 cpm
	自然計数測定時間	1000 min
	自然計数	2498 counts
	自然計数率	2.50 ± 0.05 cpm
	正味計数率	0.47 ± 0.09 cpm
	検出限界計数率	0.27 cpm
	測定効率	22.7 %
備考		

トリチウム放射能濃度測定結果

放射能濃度	1.1 ± 0.3 pCi/l	0.34 ± 0.10 TR
検出限界	0.99 pCi/l	0.31 TR

試料	試料 No.	990259	試料名	A-3 (H12.01.24)
	受取日	平成12年02月01日		
	供試量	10.00 ml		
	前処理法	電解濃縮法	電解濃縮係数	0.01847
	備考			

放射能測定	測定 No.	LL990030		
	測定器	液体シンチレーションアナライザー	バックカード	2250CA
	測定日	平成12年02月23日 ~ 平成12年02月28日		
	測定時間	500	min	
	全計数	1402	counts	
	全計数率	2.80 ± 0.07	cpm	
	自然計数測定時間	1000	min	
	自然計数	2498	counts	
	自然計数率	2.50 ± 0.05	cpm	
	正味計数率	0.30 ± 0.09	cpm	
	検出限界計数率	0.27	cpm	
	測定効率	22.7	%	
	備考			

トリチウム放射能濃度測定結果

放射能濃度	6.9 ± 0.4 pCi/l	2.1 ± 0.1 TR
検出限界	0.97 pCi/l	0.30 TR

試料	試料 No.	990260	試料名	C-1 (H12.01.24)
	受取日	平成12年02月01日		
	供試量	10.00 ml		
	前処理法	電解濃縮法	電解濃縮係数	0.01812
	備考			

放射能測定	測定 No.	LL990030		
	測定器	液体シンチレーションアナライザー	バックカード	2250CA
	測定日	平成12年02月23日 ~ 平成12年02月28日		
	測定時間	500	min	
	全計数	2211	counts	
	全計数率	4.42 ± 0.09	cpm	
	自然計数測定時間	1000	min	
	自然計数	2498	counts	
	自然計数率	2.50 ± 0.05	cpm	
	正味計数率	1.92 ± 0.10	cpm	
	検出限界計数率	0.27	cpm	
	測定効率	22.7	%	
	備考			

電 解 濃 縮 デ ー タ

試 料 名	1 次 電 解			2 次 電 解					濃 縮 係 数 f c
	開始 時 V 1 cm ³	終了 時 V 2 cm ³	$\beta 1$	2次 蒸留水 終了時 V 3 cm ³	1次 蒸留水 V 4 cm ³	開 始 時 V 5 cm ³	終了 時 V 6 cm ³	$\beta 2$	
A - 1 (H12. 01. 24)	1100	162	10. 6	159. 0	11. 0	170. 0	12. 7	9. 0	0. 01857
A - 2 (H12. 01. 24)	1100	169	10. 6	168. 4	1. 6	170. 0	12. 3	9. 0	0. 01790
A - 3 (H12. 01. 24)	1100	170	10. 6	166. 0	4. 0	170. 0	12. 5	9. 0	0. 01847
C - 1 (H12. 01. 24)	1100	169	10. 6	165. 8	4. 2	170. 0	12. 3	9. 0	0. 01812

③ 主要化学成分分析結果

1998/3/12		Si	Ti	Al	Fe	Mn	Mg	Ca	Sr	Na	K	F	Cl	NO2	PO4	Br	NO3	SO4	4.3.alk	TC	IC	TOC	
A-1																							
A-2																							
A-3		24.04	0.02	0.13	0.15	0.04	2.03	8.27	0.03	83	12.57	0.13	3.72				0.05	7.82	4.34	54.77	45.13	9.64	
B-1																							
B-2																							
B-3		23.91	0.01		0.11		2.64	9.97	0.04	83.7	13.57	0.12	4.82		0.81		0.07	19.47	4.25	49.14	43.61	5.53	
C-1																							

1998/4/6		Si	Ti	Al	Fe	Mn	Mg	Ca	Sr	Na	K	F	Cl	NO2	PO4	Br	NO3	SO4	4.3.alk	TC	IC	TOC
A-1		24.2			0.05	0.09	7.71	24.69	0.07	40.3	12.17	0.1	7.1		0.16	0.04	0.02	42.92	2.95	32.28	29.44	2.84
A-2		25.36			0.03		1.76	6.4	0.02	68.7	11.33	0.12	5.17	2.38	0.89	0.03	0.05	17.73	3.33	32.06	30.36	1.7
A-3		25.19			0.03		1.82	6.47	0.02	80	12.25	0.13	3.29	5.98	1.06		0.04	9.69	4.26	42.29	41.07	1.22
B-1		23.91			0.09	0.07	7.32	23.25	0.08	50	12.75	0.09	8.24		0.18	0.07		42.4	3.22	36.87	31.92	4.95
B-2		25.38			0.02		1.97	6.79	0.02	70.3	11.67	0.12	5.28	2.07	0.89	0.03	0.07	21.2	3.44	32.56	31.15	1.41
B-3		24.96			0.03		2.44	8.2	0.03	75	12.75	0.11	4.15	0.8	0.93	0.02	7.15	15.63	3.79	37.96	35.84	2.12
C-1		19.74			0.09	0.07	5.06	21.54	0.08	68	13.2	0.22	13.33	0.02	0.92	0.11	11.01	20.72	3.8	52.02	42.43	9.59

1998/5/7		Si	Ti	Al	Fe	Mn	Mg	Ca	Sr	Na	K	F	Cl	NO2	PO4	Br	NO3	SO4	4.3.alk	TC	IC	TOC
A-1		25.18				0.08	6.66	22.87	0.07	43	11.5	0.11	5.74		0.15	0.03		26.33	3	38.16	36.23	1.93
A-2		25.56			0.03		1.85	7.31	0.03	72.3	11.25	0.13	5.25	1.26	0.81	0.03	7.11	17.43	3.29	38.74	36.6	2.14
A-3		24.69	0.01	0.1	0.08		1.93	7.74	0.03	85	12.5	0.13	3.17	0.05	1.15		11.72	8.66	4.23	48.52	46.71	1.81
B-1		25.11				0.06	6.35	20.77	0.07	45.5	12.5	0.1	7.08	4.3	0.32	0.04	0.06	15.88	3.31	42.12	39.54	2.58
B-2		25.25			0.03	0.01	2.24	8.01	0.03	72	11.75	0.12	5.72		0.85	0.03		18.85	3.54	42.01	40.4	1.61
B-3		24.97			0.04		2.35	9.13	0.03	76.5	12.25	0.12	4.05	0.05	1.01		9.09	13.32	3.73	45.55	43.68	1.87
C-1		20.59			0.08	0.09	5.26	21.85	0.07	68.5	13.75	0.09	14.03			0.11	0.03	17.38	4.02	49.49	46.62	2.87

1998/6/12		Si	Ti	Al	Fe	Mn	Mg	Ca	Sr	Na	K	F	Cl	NO2	PO4	Br	NO3	SO4	4.3.alk	TC	IC	TOC
A-1		25.38			0.07	0.1	8.8	27.79	0.09	45.5	13	0.07	8.31		0.11	0.06		7.5	4.07	55.56	46.48	9.08
A-2		25.84			0.04	0.02	2.11	7.93	0.03	71.5	12.5	0.12	5.64		0.58	0.04		14.5	3.68	44.72	41.7	3.02
A-3		25.15	0.02	0.1	0.08		1.86	7.42	0.03	81	12.5	0.12	3.01	0.13	1.02			7.54	4.31	48.18	46.19	1.99
B-1		26.25			0.03	0.07	7.1	23.29	0.07	45.5	13.5	0.1	6.16			0.04		3.24	3.91	50.26	44.94	5.32
B-2		25.7			0.03	0.02	2.49	8.54	0.03	75.5	13.5	0.12	5.35		0.82	0.03		5.12	4.18	51.48	47.2	4.28
B-3		24.72			0.04		2.37	8.37	0.03	80	13	0.12	4.26	0.33	1.05	0.03	3.13	11.36	4.11	46.76	44.14	2.64
C-1		20.4			0.07	0.08	5.52	21.46	0.07	58	12.5	0.68	13.1			0.11		8.87	3.73	56.35	41.06	15.29

1998/7/9

	Si	Ti	Al	Fe	Mn	Mg	Ca	Sr	Na	K	F	Cl	NO2	PO4	Br	NO3	SO4	4.3.alk	TC	IC	TOC
A-1	25.96			0.02		7.21	24.06	0.07	44.5	13.3	0.09	7.24	0.36	0.58	0.05	0.06	11.13	3.61	47.81	43.15	4.66
A-2	25.47			0.03		2.03	7.77	0.03	70.3	11.77	0.12	5.88		0.81	0.03	8.47	24.22	2.99	37.42	35.62	1.8
A-3	24.69	0.02	0.1	0.05		1.89	7.38	0.03	85.5	13.3	0.13	3.08	6.92	1.16		0.26	7.69	3.95	48.92	47.19	1.73
B-1	26.42					6.2	21.25	0.07	44.5	12.8	0.12	5.79		0.39	0.03		5.73	3.52	43.65	41.65	2
B-2	25.67					2.3	8.12	0.03	75.5	12.8	0.13	5.26	1.68	0.97	0.03	3	14.59	3.62	44.39	42.89	1.5
B-3	24.83			0.04		2.27	8.3	0.03	82	12.5	0.13	4.11		1.16	0.02	12.44	12.01	3.81	47.7	45.16	2.54
C-1	15.95			0.09	0.1	4.06	18.09	0.06	49	11.5	0.12	15.16			0.1		2.61	3.18	45.28	37.67	7.61

1998/11/19

	Si	Ti	Al	Fe	Mn	Mg	Ca	Sr	Na	K	F	Cl	NO2	PO4	Br	NO3	SO4	4.3.alk	TC	IC	TOC
A-1	25.6			0.02		7.21	24.06	0.07	43	12.5	0.1	7		0.52	0.06	0.19	9.72	3.42	44.43	41.7	2.72
A-2	24.73			0.03		2.03	7.77	0.03	69	11.43	0.1	6.89		0.75	0.04	0.71	19.42	3.08	38.3	36.97	1.33
A-3	24	0.02	0.1	0.05		1.89	7.38	0.03	84	12.5	0.12	3.43	3.6	1.26		0.12	7.63	4.11	51.31	49.86	1.45
B-1	24.6					6.2	21.25	0.07	44	13	0.1	7.37	0.5	0.48	0.04	0.11	19.6	3.12	40.1	38.26	1.84
B-2	22.8					2.3	8.12	0.03	72.5	13.3	0.11	7.96	5.04	0.65	0.05	0.22	37.11	3.14	38.77	37.6	1.17
B-3	22.7			0.04		2.27	8.3	0.03	75.5	12.5	0.1	5.25	1.72	0.85	0.03	4.06	15.54	3.77	45.74	44.44	1.3
C-1	12.7			0.09	0.1	4.06	18.09	0.06	35	12.5	0.08	13.44			0.11		18.16	2.48	34.88	30.74	1.14

1998/12/24

	Si	Ti	Al	Fe	Mn	Mg	Ca	Sr	Na	K	F	Cl	NO2	PO4	Br	NO3	SO4	4.3.alk	TC	IC	TOC
A-1	25.7			0.03		6.22	21.5	0.07	47.3	11.5	0.09	7.73	3.16	0.76	0.09	1.07	11.76	3.15	40.34	38.93	1.41
A-2	24.7			0.02		2.03	7.68	0.03	76.2	11.47	0.11	5.64	7.2	0.98	0.03	3.92	15.51	3.2	40.98	39.92	1.06
A-3	24.2			0.07		1.96	7.66	0.03	92	12.5	0.2	4.02	6.44	1.29	0.03	0.5	7.56	4.14	52.85	51.64	1.21
B-1	25.5					5.6	19	0.06	43.5	12.3	0.13	6.72	1.23	0.7	0.04	1.23	15.96	2.87	36.41	35.02	1.39
B-2	23.4			0.04		2.51	8.85	0.03	76.5	12.3	0.27	6.93	3.52	1.01	0.35	3.52	23.93	3.22	41.56	40.66	0.9
B-3	23.8			0.04		2.56	9.29	0.04	86	13.3	0.2	5.29	7.34	1.22	0.02	7.34	13.12	3.9	48.63	47.43	1.2
C-1	14.3			0.27		4.41	19.4	0.07	43.8	13.3	0.06	16.23			0.15		24.1	2.66	34.81	33.75	1.06

1999/2/12

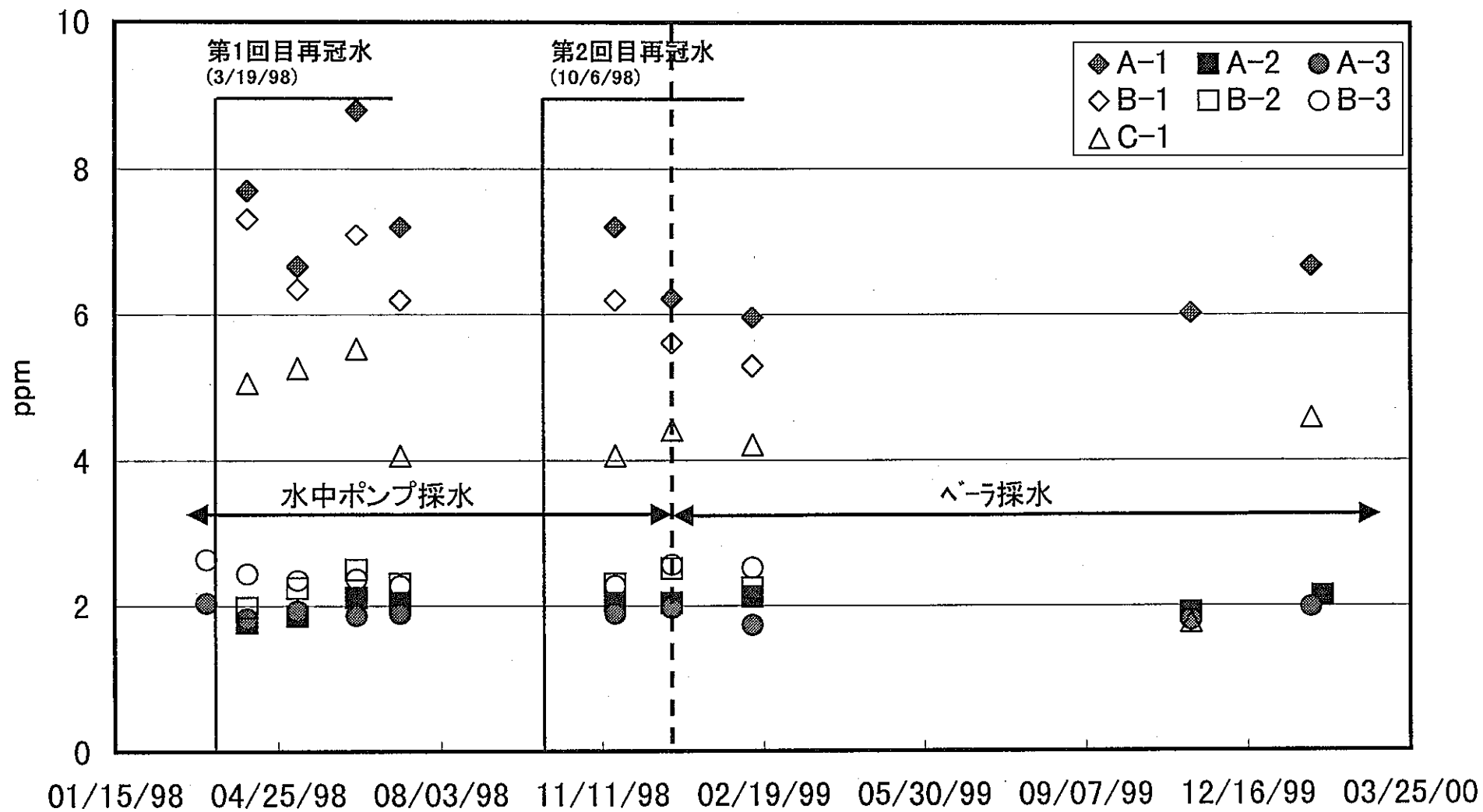
	Si	Ti	Al	Fe	Mn	Mg	Ca	Sr	Na	K	F	Cl	NO2	PO4	Br	NO3	SO4	4.3.alk	TC	IC	TOC
A-1	25.54			0.03		5.96	21.42	0.06	46	12.5	0.09	7.52	2.5	0.67	0.03	0.55	8.96	3.2	41.34	39.85	1.49
A-2	24.86			0.03		2.12	7.64	0.03	75.5	12.7	0.12	4.69	1.73	1.02	0.02	0.31	12.43	3.65	45.69	44.69	0.99
A-3	23.88			0.06		1.73	6.77	0.02	89.5	13.5	0.12	3.5		1.29		0.07	7.44	4.36	53.18	52.45	0.73
B-1	25.97			0.02		5.29	22.73	0.05	43	13	0.11	14.63	1.57	0.66	0.03	0.51	9.28	2.99	37.79	36.12	1.67
B-2	24.19			0.02		2.24	8.28	0.03	77	13.3	0.12	6.25	3.76	1.02	0.02	1	20.03	3.47	42.76	41.89	0.87
B-3	23.59			0.05		2.52	9.25	0.03	77	13.8	0.11	5.28	4.02	1.18	0.02	2.08	14.38	3.8	47.23	46.49	0.74
C-1	15.64			0.04		4.21	18.65	0.06	44.5	14	0.07	14.82		0.04	0.13		25.99	2.59	33.38	32.24	1.14

1999/5/22		Si	Ti	Al	Fe	Mn	Mg	Ca	Sr	Na	K	F	Cl	NO2	PO4	Br	NO3	SO4	4.3.alk	TC	IC	TOC
A1 No.1		26	-	<0.01	0.03	<0.01	6.4	21.6	0.06	42.8	11.5	0.1	8.54	<0.02	0.8	0.04	8.37	5.85	3.13	38.6	37	1.6
A1 No.3		25.5	<0.01	<0.01	0.05	<0.01	6.5	21.8	0.06	42.8	11.3	0.1	8.53	<0.02	0.79	0.04	8.68	6.82	3.15	38.4	37	1.4
A1 No.6		25.5	-	0.01	0.03	<0.01	6.4	21.6	0.06	43	11.5	0.11	8.73	<0.02	0.8	0.04	8.72	6.48	3.13	38.3	36.7	1.6
A3 No.1		23.7	-	0.05	0.06	<0.01	2.1	8.5	0.03	90.5	13	0.14	4.18	<0.02	1.32	<0.02	14.5	9.06	4.2	50.2	49	1.2
A3 No.3		23.8	-	0.03	0.06	<0.01	2	8.8	0.03	91.5	12.5	0.14	4.02	<0.02	1.38	<0.02	14.2	12.8	4.03	48.6	47.4	1.2
A3 No.6		23.8	-	0.04	0.08	<0.01	2	9.3	0.03	87.2	12.3	0.15	4.04	<0.02	1.19	<0.02	14.1	15.8	4	48.2	47	1.2

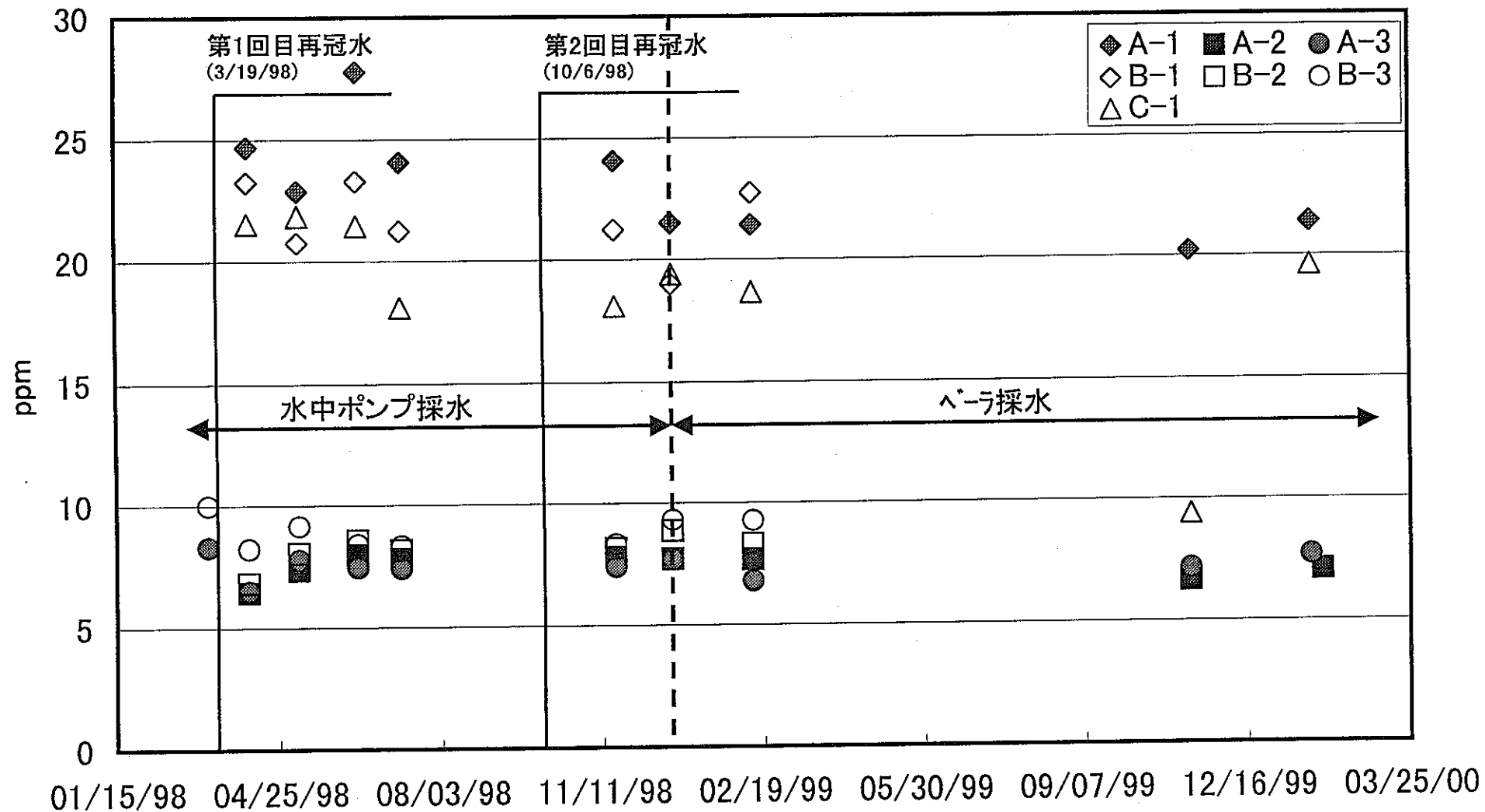
1999/11/11													0.02	0.02	0.02							
		Si	Ti	Al	Fe	Mn	Mg	Ca	Sr	Na	K	F	Cl	NO2	PO4	Br	NO3	SO4	4.3.alk	TC	IC	TOC
A1		25	-	<0.01	0.04	<0.01	6.02	20.2	0.06	40	11.5	0.09	7.56	2.64	0.71	0.03	4.15	2.55	3.15	40.3	38.7	1.6
A2(平均值)		23.1	-	-	0.02	-	1.9	6.64	0.02	72.5	12.17	0.1	4.67	3.73	0.94	-	8.49	13.07	3.31	41.8	41.5	0.4
A3		23.1	-	0.01	0.06	<0.01	1.79	7.14	0.02	83.5	12.8	0.11	3.67	4.61	1.31	<0.02	6.99	6.62	3.97	50.4	49.8	0.6
C-1		7.8	-	0.02	0.18	<0.01	1.76	9.37	0.03	17.5	7.5	0.1	5.67	0.1	<0.02	0.04	4.7	9.38	1.15	16.9	15.7	1.2

2000/1/24,1/31													0.02	0.02	0.02							
		Si	Ti	Al	Fe	Mn	Mg	Ca	Sr	Na	K	F	Cl	NO2	PO4	Br	NO3	SO4	4.3.alk	TC	IC	TOC
A1		27.1	-	0.02	0.04	0.01	6.67	21.4	0.06	39.5	11	0.08	7.71	3.8	0.74	0.03	2.2	2.49	3.15	43.8	41.3	2.5
A2(平均值)		25.2	-	-	0.02	-	2.13	7.04	0.02	73.5	11.77	0.1	4.36	0.55	1.07	-	0.79	11.73	3.83	50.1	49.1	1
A3		24.8	-	0.02	0.07	<0.01	1.98	7.66	0.03	83.5	12.5	0.11	3.92	0.06	1.38	<0.02	12.5	6.79	3.98	57	54.7	2.3
C-1		7.8	-	0.02	0.18	<0.01	1.76	9.37	0.03	17.5	7.5	0.1	5.67	0.1	<0.02	0.04	4.7	9.38	1.15	16.9	15.7	1.2

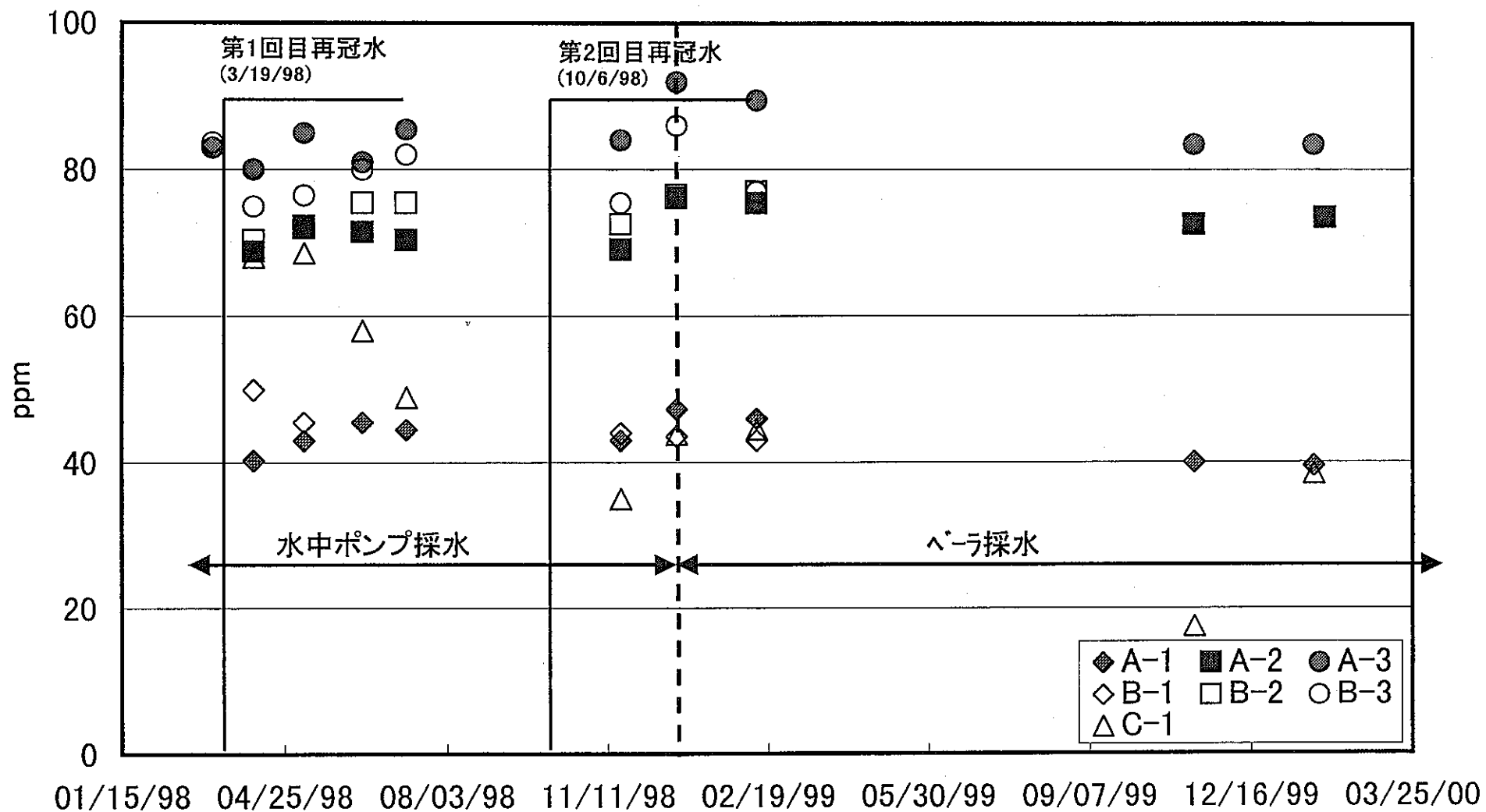
Mgイオンの経時変化図



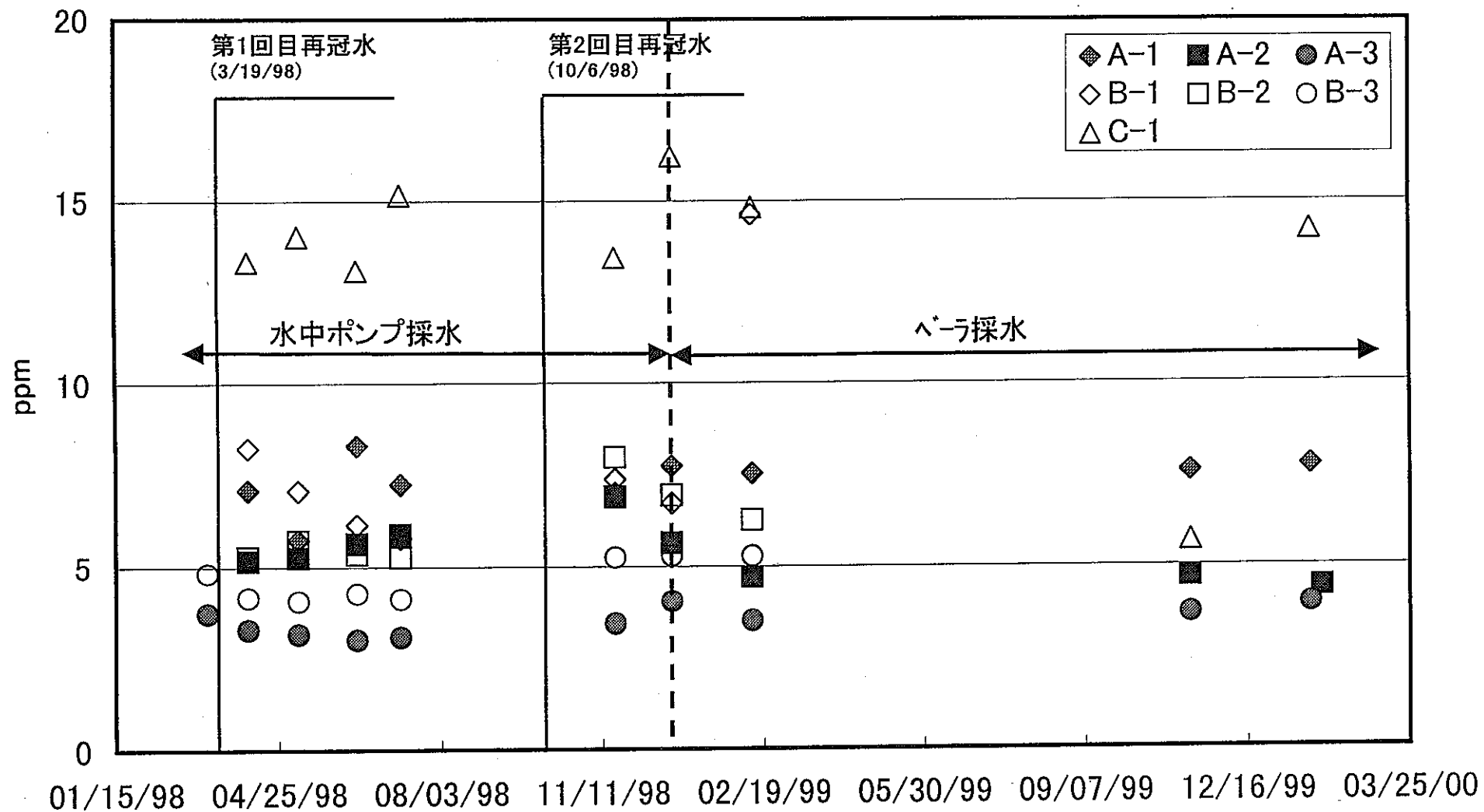
Caイオンの経時変化図



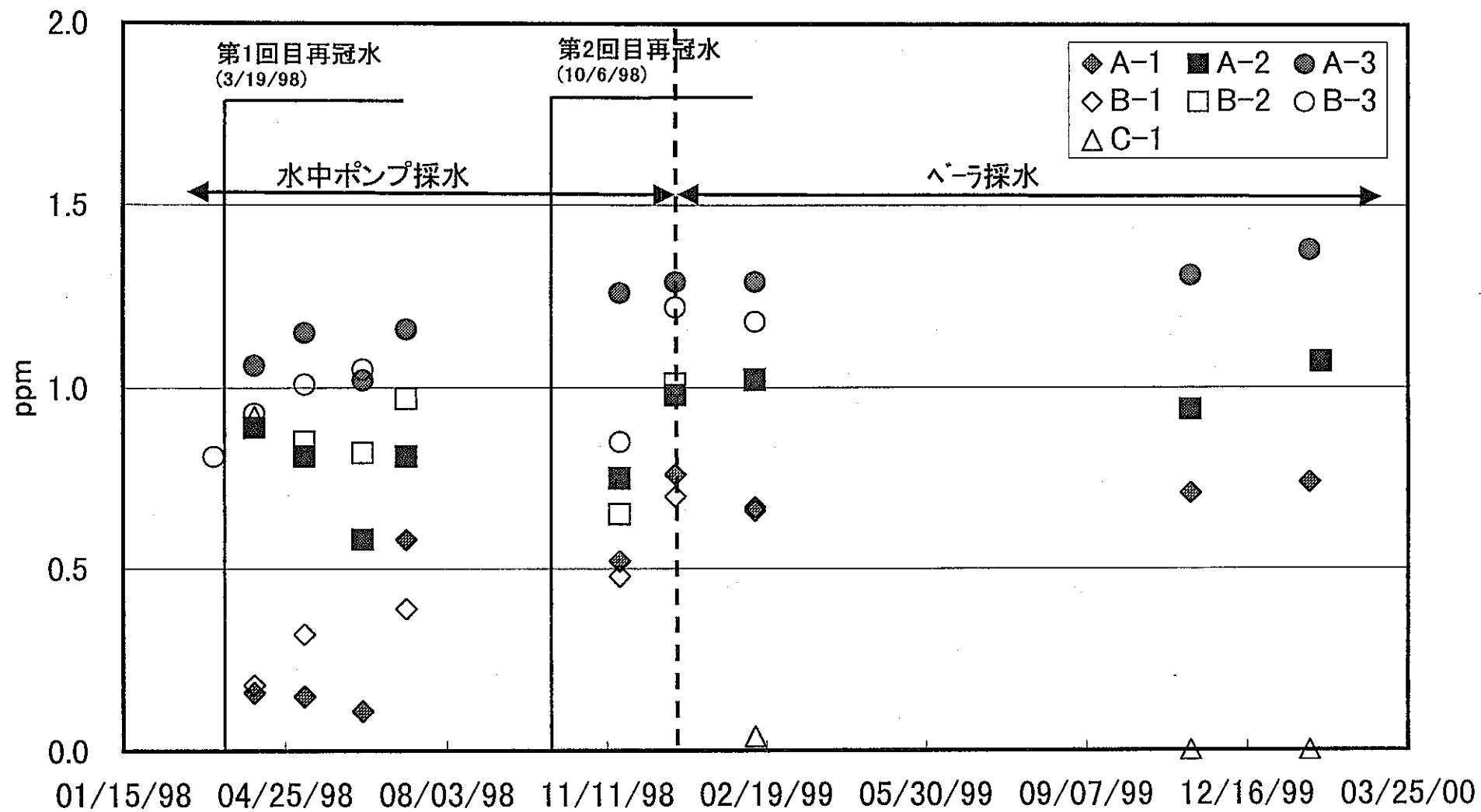
Naイオンの経時変化図



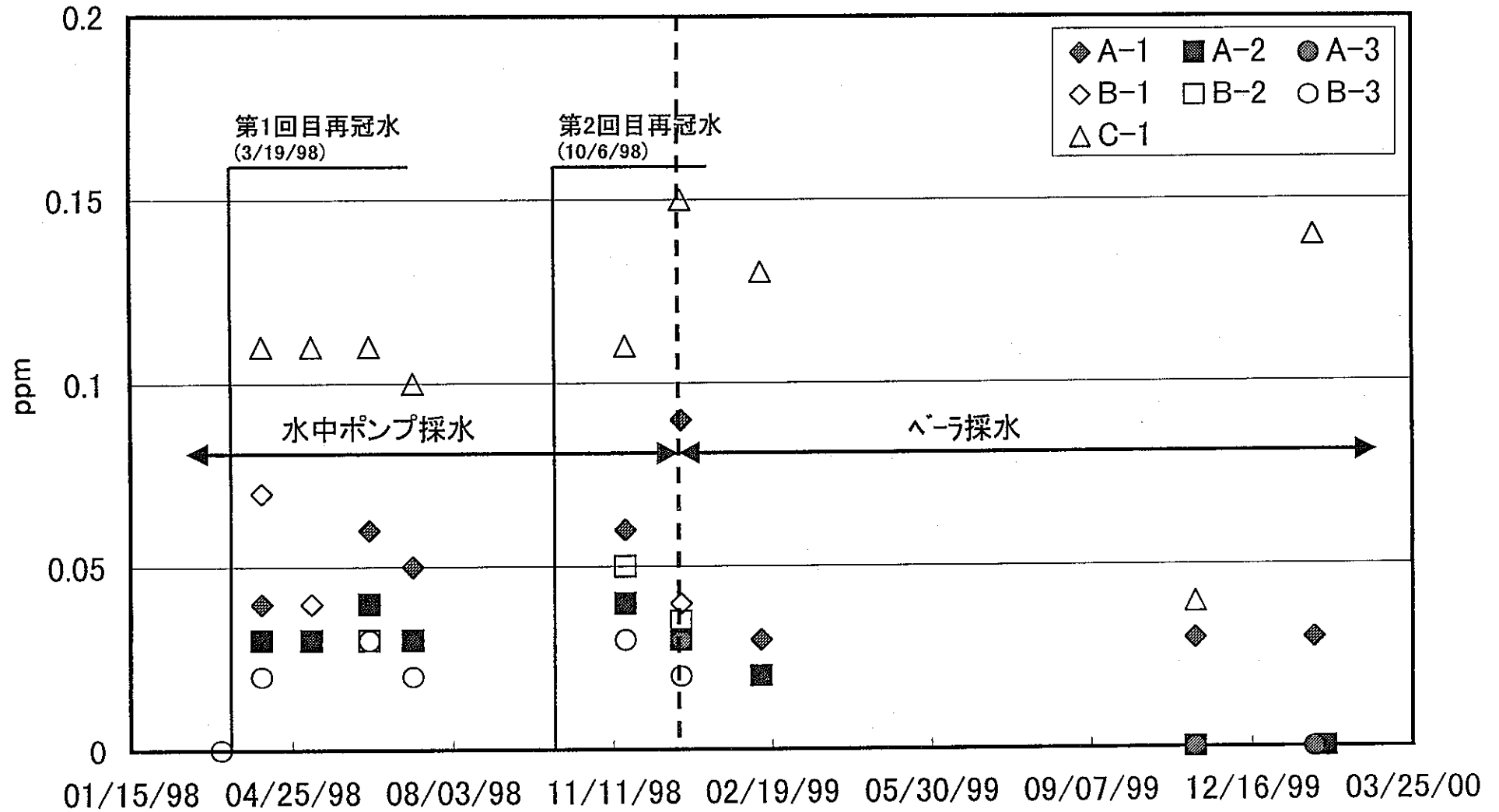
Clイオンの経時変化図



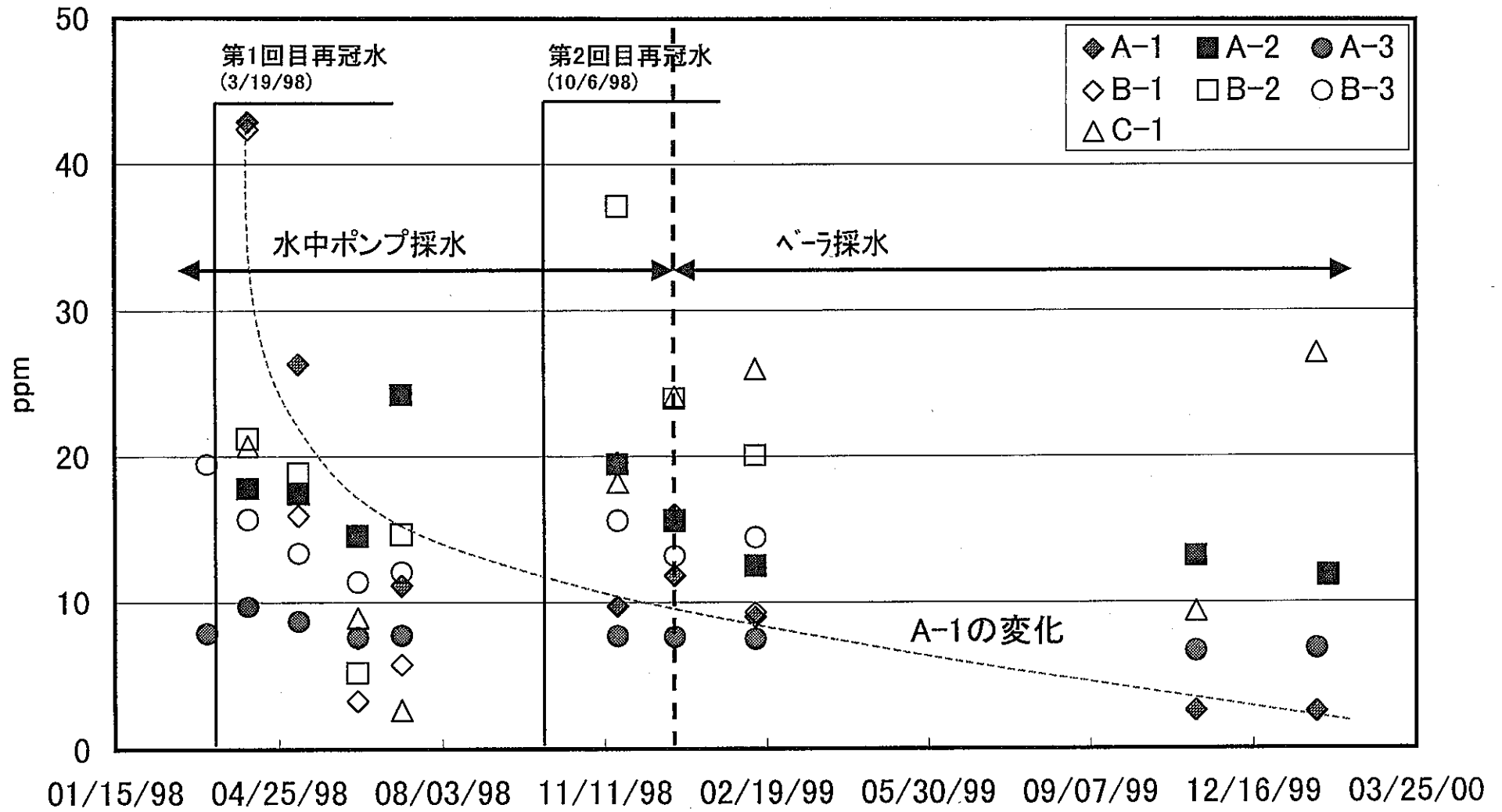
PO₄イオンの経時変化図



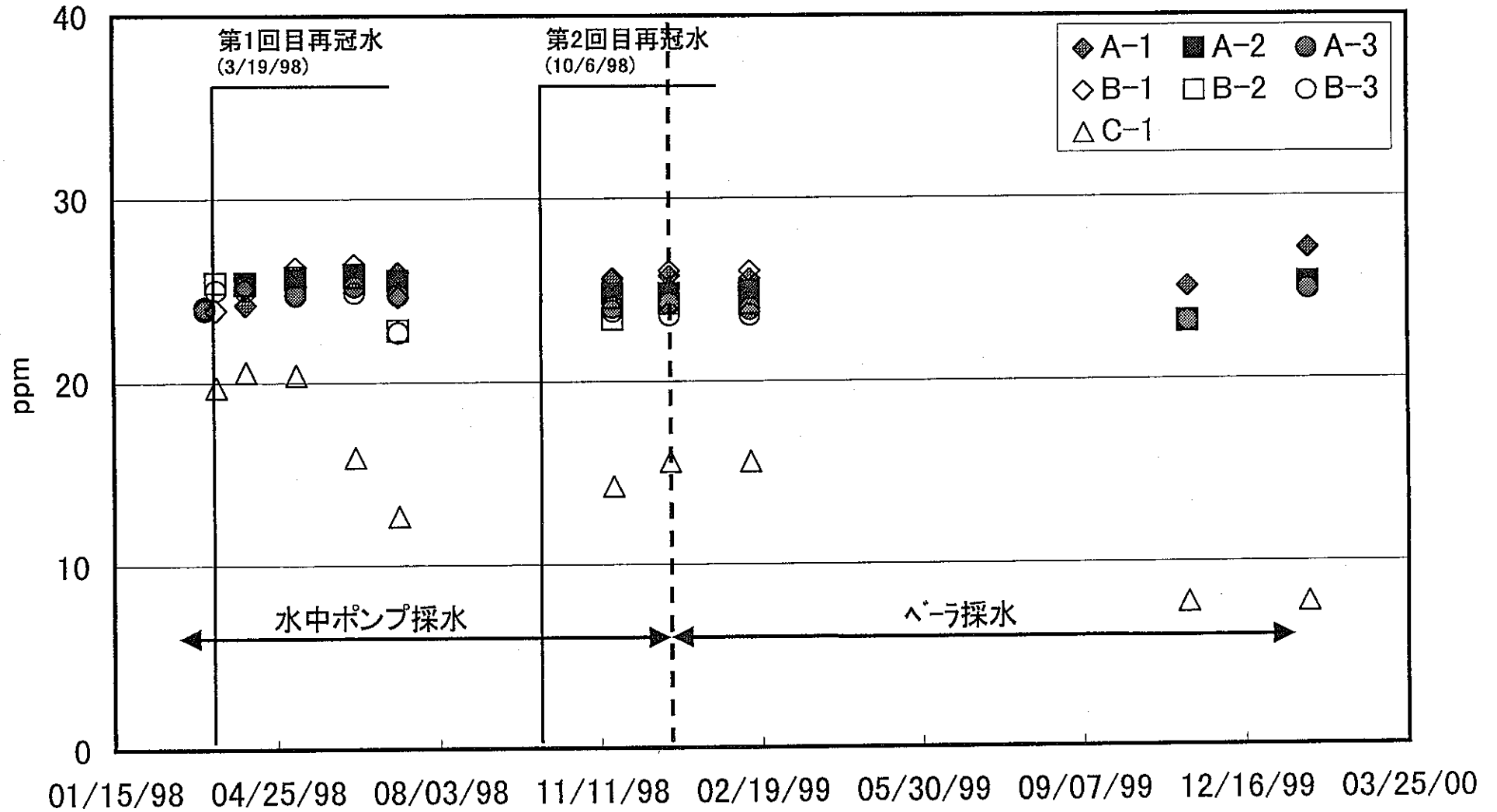
Brイオンの経時変化図



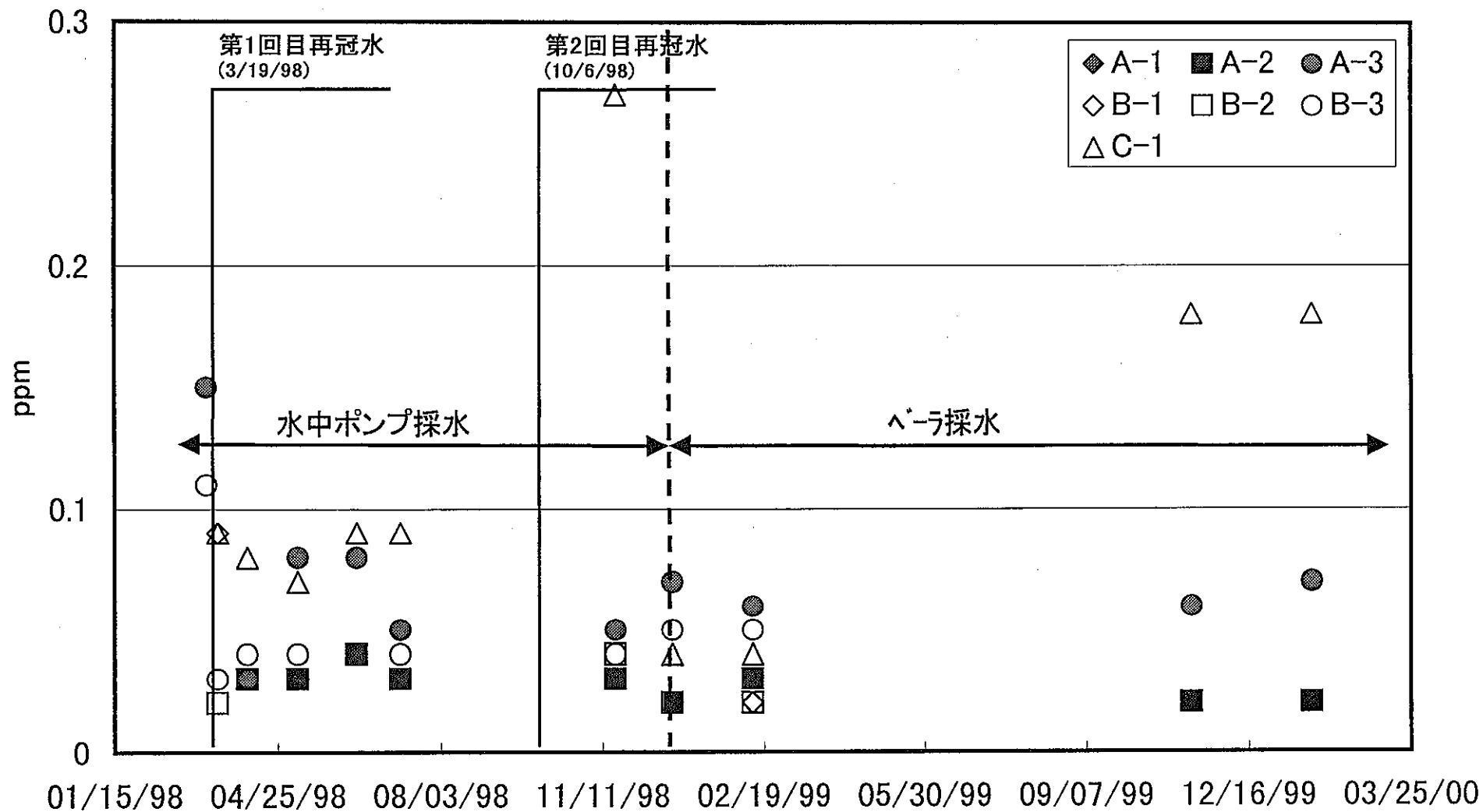
SO₄イオンの経時変化図



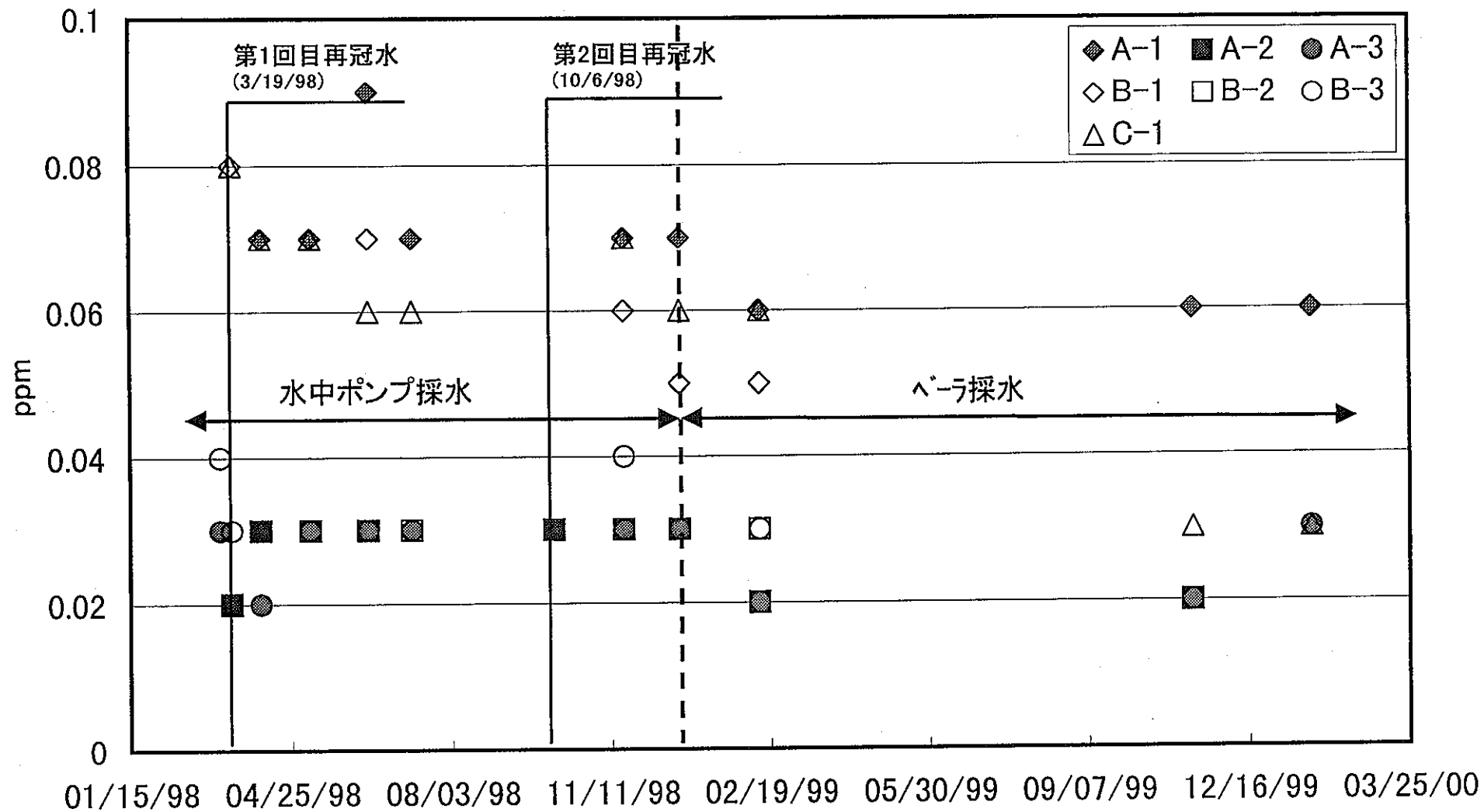
Siイオンの経時変化図



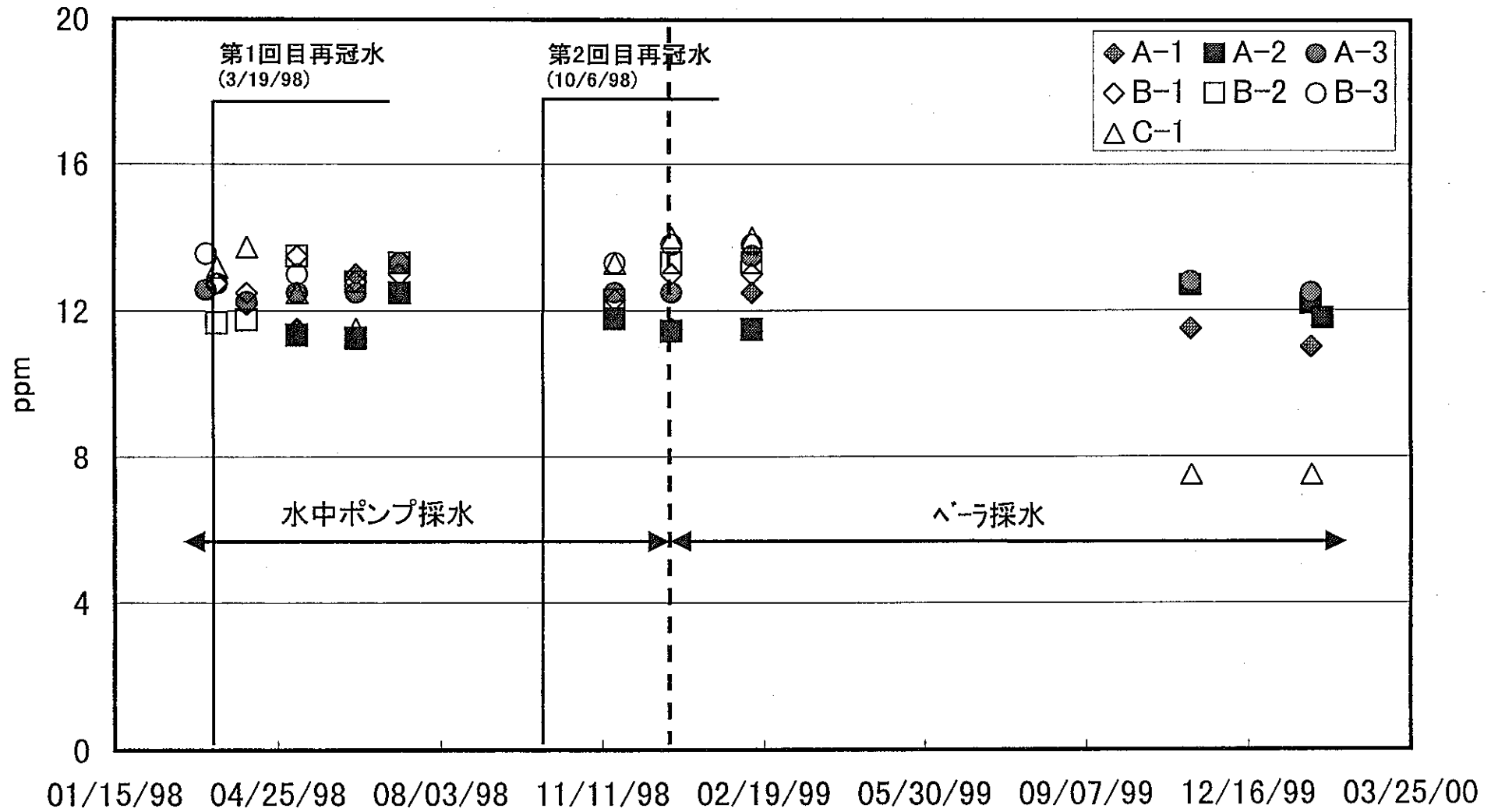
ΣFイオンの経時変化図



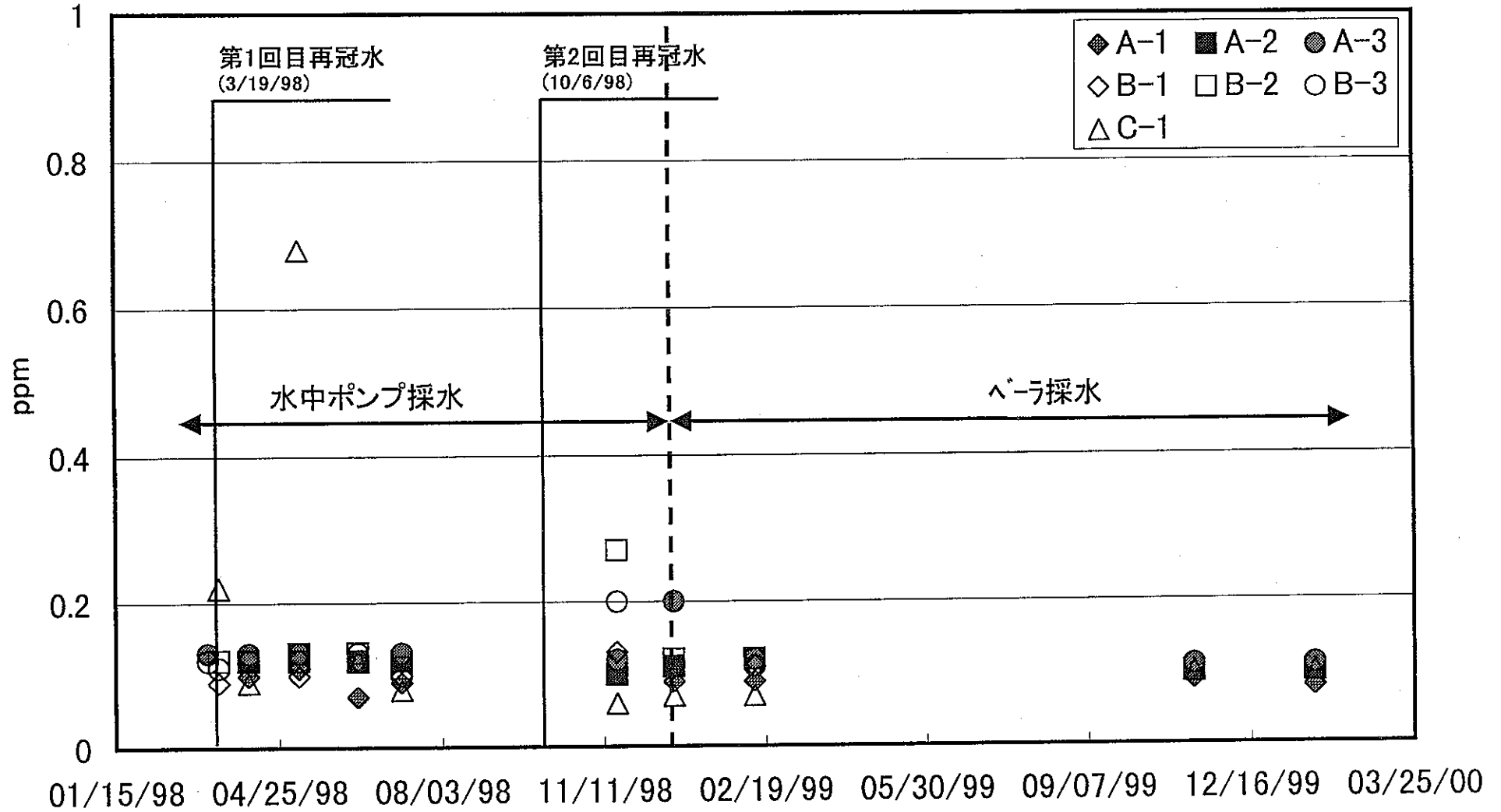
Srイオンの経時変化図



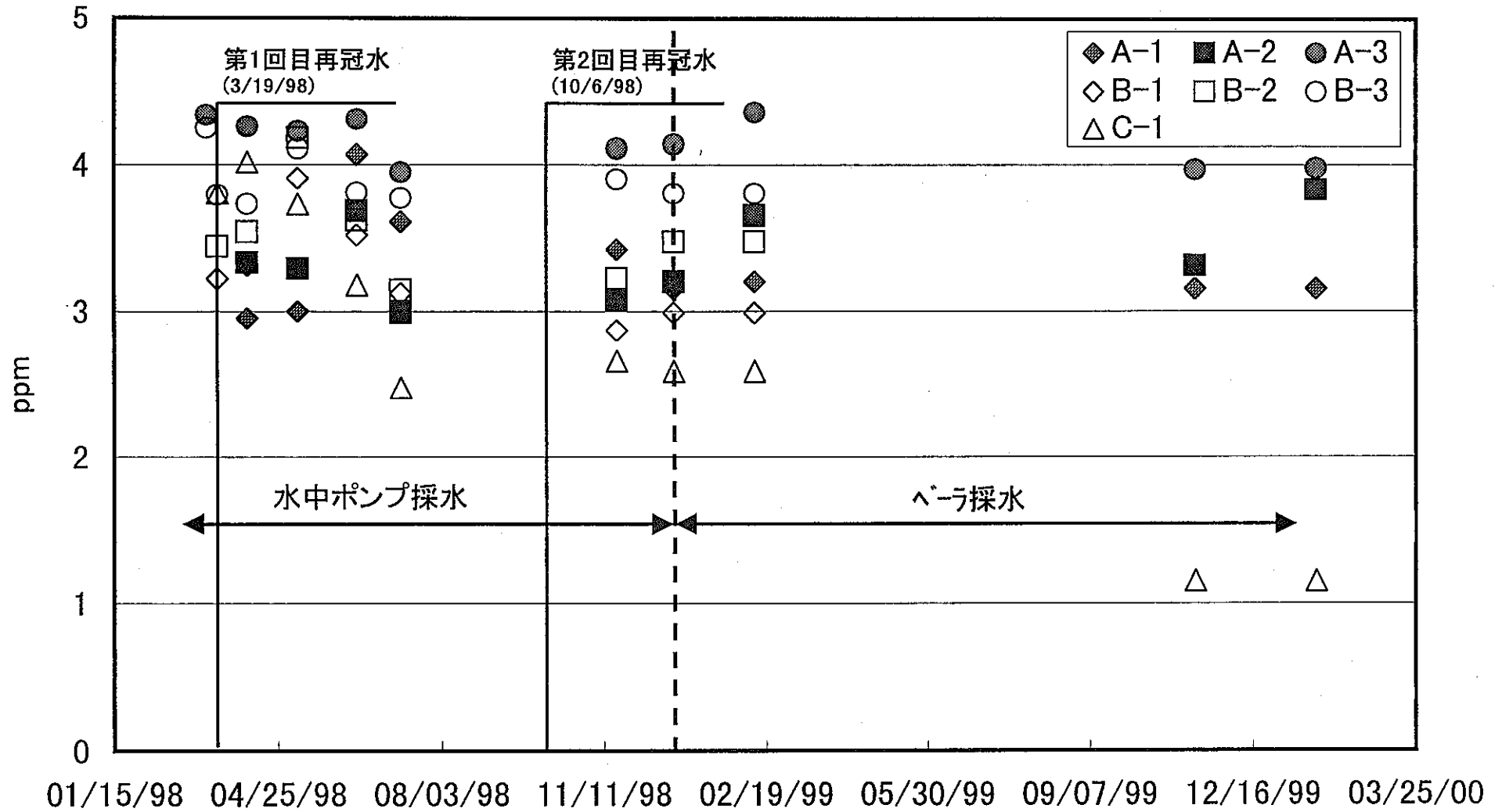
Kイオンの経時変化図



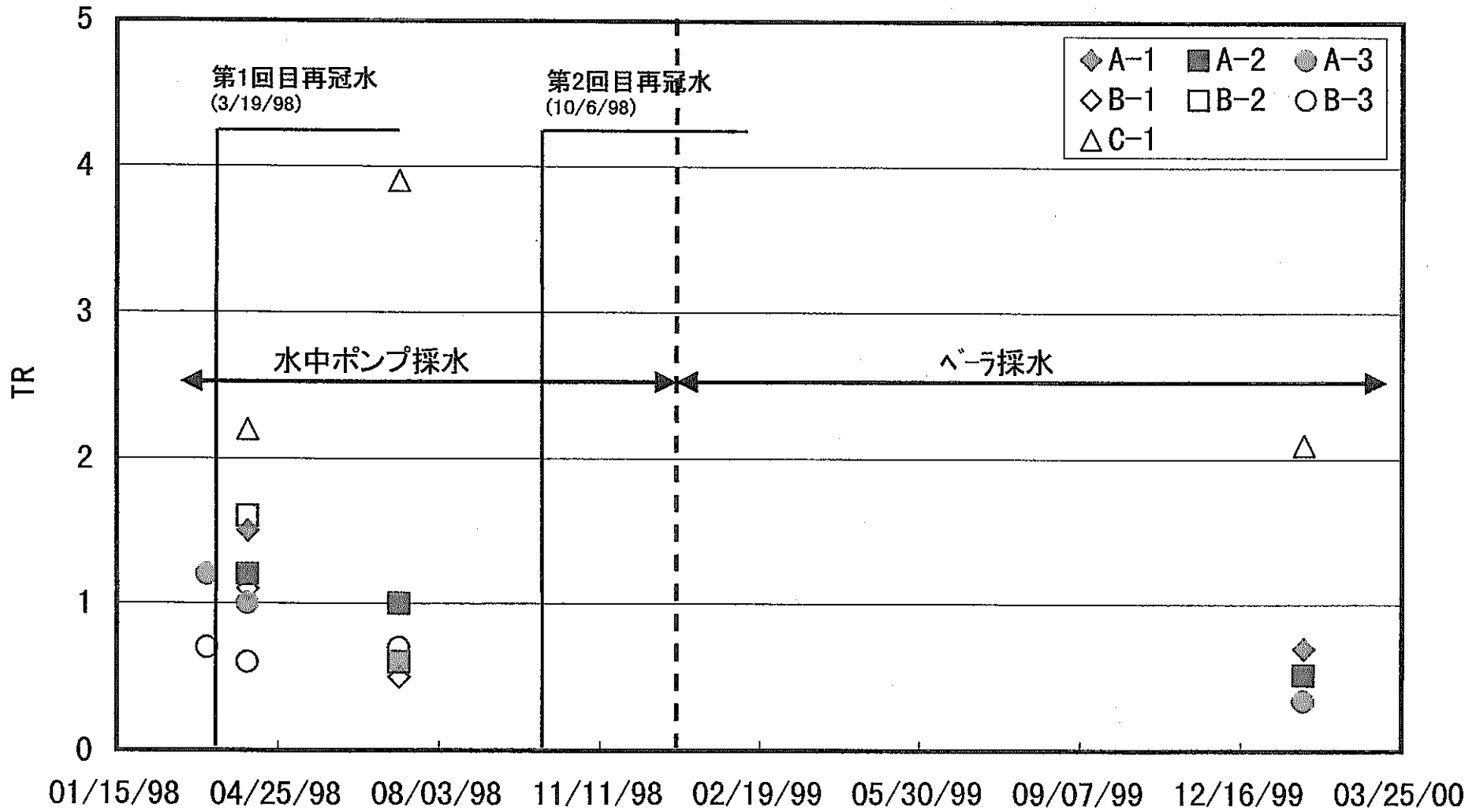
フィオンの経時変化図



pH4.3 alkイオンの経時変化図



トリチウム経日変化 (H10. 2. 27~H12. 1. 24)



④ 採水試料の水質計測管理表

1998/4/6

観測地点 A-1		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000 (補正值)	7.75	411.6 482.79	17.28 25
採水試料	ホータブル (補正值)	7.55	390	25
校正時	校正液 読み取り値			
	校正液 読み取り値			
	キャリブレーション値			

観測地点 A-2		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000 (補正值)	7.82	514.1 602.34	17.33 25
採水試料	ホータブル (補正值)	8.17	392	25
校正時	校正液 読み取り値			
	読み取り値			
	キャリブレーション値			

観測地点 A-3		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000 (補正值)	8.08	454.2 529.08	17.59 25
採水試料	ホータブル (補正值)	7.87	491	25
校正時	校正液 読み取り値			
	校正液 読み取り値			
	キャリブレーション値			

観測地点 B-1		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000 (補正值)	7.74	396.5 465.81	17.21 25
採水試料	ホータブル (補正值)	7.6	441	25
校正時	校正液 読み取り値			
	校正液 読み取り値			
	キャリブレーション値			

観測地点 B-2		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000 (補正值)	8.04	393.3 459.27	17.48 25
採水試料	ホータブル (補正值)	8.23	400	25
校正時	校正液 読み取り値			
	校正液 読み取り値			
	キャリブレーション値			

観測地点 B-3		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000 (補正值)	8.1	373 433.63	17.68 25
採水試料	ホータブル (補正值)	8.03	444	25
校正時	校正液 読み取り値			
	校正液 読み取り値			
	キャリブレーション値			

観測地点 C-1		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000 (補正值)	7.34	456.9 540.28	16.92 25
採水試料	ホータブル (補正值)	7.07	487	25
校正時	校正液 読み取り値			
	校正液 読み取り値			
	キャリブレーション値			

1998/5/7

観測地点 A-1		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000 (補正值)	7.37	475.13	25
採水試料	ホータブル (補正值)	7.47	376	25
校正時	校正液 読み取り値			
	校正液 読み取り値			
	校正液 読み取り値			
	キャリブレーション値			

観測地点 A-2		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000	7.83	462.61	25
採水試料	ホータブル	8.07	388	25
校正時	校正液 読み取り値			
	校正液 読み取り値			
	校正液 読み取り値			
	キャリブレーション値			

観測地点 A-3		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000 (補正值)	6.89	529.64	25
採水試料	ホータブル (補正值)	8.00	434	25
校正時	校正液 読み取り値			
	校正液 読み取り値			
	校正液 読み取り値			
	キャリブレーション値			

観測地点 B-1		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000 (補正值)	7.56	404.17	25
採水試料	ホータブル (補正值)	7.42	413	25
校正時	校正液 読み取り値			
	校正液 読み取り値			
	校正液 読み取り値			
	キャリブレーション値			

観測地点 B-2		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000 (補正值)	7.89	437.03	25
採水試料	ホータブル (補正值)	7.97	403	25
校正時	校正液 読み取り値			
	校正液 読み取り値			
	校正液 読み取り値			
	キャリブレーション値			

観測地点 B-3		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000 (補正值)	7.71	492.3	17.86
採水試料	ホータブル (補正值)	8.05	438	18.3
校正時	校正液 読み取り値			
	校正液 読み取り値			
	校正液 読み取り値			
	キャリブレーション値			

観測地点 C-1		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000 (補正值)	7.34	537.92	25
採水試料	ホータブル (補正值)	7.57	473.00	25
校正時	校正液 読み取り値			
	校正液 読み取り値			
	校正液 読み取り値			
	キャリブレーション値			

1998/6/12

観測地点 A-1		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000 (補正值)	7.35	428 494.49	17.96 25
採水試料	ポータブル (補正值)	7.27	401	25
校正時	校正液			
	読み取り値			
	校正液			
	読み取り値 キャリブレーション値			

観測地点 B-1		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000 (補正值)	7.43	370.7 431.82	17.59 25
採水試料	ポータブル (補正值)	7.4	387	25
校正時	校正液			
	読み取り値			
	校正液			
	読み取り値 キャリブレーション値			

観測地点 C-1		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000 (補正值)	7.22	503.2 595.30	16.9 25
採水試料	ポータブル (補正值)	7.36	454	25
校正時	校正液			
	読み取り値			
	校正液			
	読み取り値 キャリブレーション値			

観測地点 A-2		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000 (補正值)	7.85	387 451.20	17.55 25
採水試料	ポータブル (補正值)	7.66	399	25
校正時	校正液			
	読み取り値			
	読み取り値			
	キャリブレーション値			

観測地点 B-2		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000 (補正值)	7.83	389.2 451.46	17.78 25
採水試料	ポータブル (補正值)	7.61	454	25
校正時	校正液			
	読み取り値			
	校正液			
	読み取り値 キャリブレーション値			

観測地点 A-3		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000 (補正值)	6.73	472.4 546.63	17.89 25
採水試料	ポータブル (補正值)	7.73	440	25
校正時	校正液			
	読み取り値			
	校正液			
	読み取り値 キャリブレーション値			

観測地点 B-3		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000 (補正值)	7.8	441.3 508.85	18.05 25
採水試料	ポータブル (補正值)	7.76	443	25
校正時	校正液			
	読み取り値			
	校正液			
	読み取り値 キャリブレーション値			

1998/7/9

観測地点 A-1		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000 (補正值)	7.56	377.6 435.49	18.04 25
採水試料	ホータブル (補正值)	7.31	387	25
校正時	校正液 読み取り値			
	校正液 読み取り値			
	校正液 読み取り値			
	キャリブレーション値			

観測地点 A-2		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000 (補正值)	8.04	347.6 404.73	17.81 25
採水試料	ホータブル (補正值)	7.95	382	25
校正時	校正液 読み取り値			
	校正液 読み取り値			
	校正液 読み取り値			
	キャリブレーション値			

観測地点 A-3		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000 (補正值)	7.7	479.4 553.88	17.96 25
採水試料	ホータブル (補正值)	7.63	402	25
校正時	校正液 読み取り値			
	校正液 読み取り値			
	校正液 読み取り値			
	キャリブレーション値			

観測地点 B-1		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000 (補正值)	7.58	330.2 383.87	17.68 25
採水試料	ホータブル (補正值)	7.38	367	25
校正時	校正液 読み取り値			
	校正液 読み取り値			
	校正液 読み取り値			
	キャリブレーション値			

観測地点 B-2		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000 (補正值)	7.91	374.7 433.87	17.86 25
採水試料	ホータブル (補正值)	7.8	407	25
校正時	校正液 読み取り値			
	校正液 読み取り値			
	校正液 読み取り値			
	キャリブレーション値			

観測地点 B-3		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000 (補正值)	7.88	412.4 474.78	18.12 25
採水試料	ホータブル (補正值)	7.94	436	25
校正時	校正液 読み取り値			
	校正液 読み取り値			
	校正液 読み取り値			
	キャリブレーション値			

観測地点 C-1		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000 (補正值)	7.19	517.6 612.33	16.9 25
採水試料	ホータブル (補正值)	7.29	404	25
校正時	校正液 読み取り値			
	校正液 読み取り値			
	校正液 読み取り値			
	キャリブレーション値			

1998/11/19

観測地点 A-1		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000 (補正值)		320	18.22
		7.65	367.60	25
採水試料	ホータブル (補正值)		317	18.7
		7.74	360.36	25
校正時	校正液	6.86	253.99	
	読み取り値	6.75	272	
	校正液			
	読み取り値			
	キャリブレーション値		6.237005	

観測地点 B-1		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000 (補正值)		329.6	18.05
		7.65	380.05	25
採水試料	ホータブル (補正值)		319	18.4
		7.86	365.01	25
校正時	校正液	6.88	314 (ATC)	
	読み取り値	6.86		
	校正液	9.21		
	読み取り値	9.23		
	キャリブレーション値		5.22	

観測地点 C-1		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000 (補正值)		526.4	16.91
		7.08	622.60	25
採水試料	ホータブル (補正值)		260	13.6
		7.31	332.97	25
校正時	校正液	6.86	252	
	読み取り値	7.03	261	
	校正液	9.18		
	読み取り値	9.36		
	キャリブレーション値		6.1683859	

観測地点 A-2		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000 (補正值)		419.9	17.8
		7.79	486.85	25
採水試料	ホータブル (補正值)		363	18.3
		8.23	416.27	25
校正時	校正液	6.92	315 (ATC)	
	読み取り値	6.94		
	校正液	9.22		
	読み取り値	9.27		
	キャリブレーション値		5.2868904	

観測地点 B-2		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000 (補正值)		431.2	18.14
		7.84	496.22	25
採水試料	ホータブル (補正值)		368	18.5
		8.04	420.16	25
校正時	校正液	6.88	320 (ATC)	
	読み取り値	6.9	-	
	校正液	9.2		
	読み取り値	9.2		
	キャリブレーション値		5.1994725	

観測地点 A-3		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000 (補正值)		546	18.05
		8.69	629.57	25
採水試料	ホータブル (補正值)		368	18.6
		8.22	419.25	25
校正時	校正液	6.9	314	
	読み取り値	7.4	312	
	校正液	9.18		
	読み取り値	9.24		
	キャリブレーション値		5.2339334	

観測地点 B-3		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000 (補正值)		381.6	18.2
		8.04	438.56	25
採水試料	ホータブル (補正值)		362	18.6
		8.04	435.20	25
校正時	校正液	6.88	325 (ATC)	
	読み取り値	6.97	328.67 (ATC)	
	校正液	9.18		
	読み取り値	9.34		
	キャリブレーション値		5.3749029	

1998/12/24

観測地点 A-1		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000		375.4	18.26
	(補正值)	7.64	430.87	25
採水試料	ホータブル		306	18.1
	(補正值)	7.77	352.45	25
校正時	校正液	6.86	268	
	読み取り値	6.92	-	
	校正液	9.18		
	読み取り値	9.18		
	キャリブレーション値		5.1462312	

観測地点 B-1		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000		290.3	18.3
	(補正值)	7.69	332.90	25
採水試料	ホータブル		281	17.1
	(補正值)	7.82	330.93	25
校正時	校正液	6.86	251	
	読み取り値	6.86	258.18	
	校正液	9.18		
	読み取り値	9.23		
	キャリブレーション値		5.1717728	

観測地点 C-1		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000		367.6	16.92
	(補正值)	6.96	434.68	25
採水試料	ホータブル		286	15.4
	(補正值)	7.23	350.22	25
校正時	校正液	6.86	240	
	読み取り値	6.86	-	
	校正液	9.18		
	読み取り値	9.18		
	キャリブレーション値		6.1683859	

観測地点 A-2		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000		385	17.84
	(補正值)	7.81	445.99	25
採水試料	ホータブル		329	17.5
	(補正值)	8.3	384.01	25
校正時	校正液	6.86	263	
	読み取り値	6.92	257.45	
	校正液	9.18		
	読み取り値	9.27		
	キャリブレーション値		5.0881798	

観測地点 B-2		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000		356.9	18.18
	(補正值)	7.89	410.35	25
採水試料	ホータブル		332	17.8
	(補正值)	8.12	384.94	25
校正時	校正液	6.86	266	
	読み取り値	6.89	-	
	校正液	9.18		
	読み取り値	9.15		
	キャリブレーション値		5.1994725	

観測地点 A-3		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	(補正值)		474.5	18.17
	(補正值)		545.69	25
採水試料	ホータブル		368	17.8
	(補正值)	8.11	426.68	25
校正時	校正液	6.86	247	
	読み取り値			
	校正液			
	読み取り値			
	キャリブレーション値		3.6777323	

観測地点 B-3		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000		380.7	18.21
	(補正值)	7.94	437.43	25
採水試料	ホータブル		370	18
	(補正值)	8.36	427.10	25
校正時	校正液	6.86	254	
	読み取り値	6.87	-	
	校正液	9.18		
	読み取り値	9.14		
	キャリブレーション値		5.3748029	

※ A-3センサーを11月12日に交換しています。

1999/2/12

観測地点 A-1		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000	7.62	307.1	18.3
	(補正值)		352.17	25
採水試料	ポータブル	7.64	305	17.1
	(補正值)		359.20	25
校正時	校正液	6.86	247.96	
	読み取り値	6.866	239	
	校正液	9.18		
	読み取り値	9.12		
	キャリブレーション値	14.9864 -0.8046	8.063052	

観測地点 A-2		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000	7.73	375.3	17.89
	(補正值)		434.27	25
採水試料	ポータブル	8.18	320	16.8
	(補正值)		379.43	25
校正時	校正液	6.86	243	
	読み取り値	6.91	-	
	校正液	9.18		
	読み取り値	9.16		
	キャリブレーション値	15.4453 -1.0278	5.1913528	

観測地点 A-3		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000	8.93	456	18.14
	(補正值)		524.76	25
採水試料	ポータブル	8.16	356	17.2
	(補正值)		418.32	25
校正時	校正液	6.86	255	
	読み取り値	6.027	229.95	
	校正液	9.18		
	読み取り値	8.21		
	キャリブレーション値	5602.154566 7.8592396	4.0871172	

観測地点 B-1		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000		283.1	18.27
	(補正值)	7.7	324.86	25
採水試料	ポータブル		275	17.2
	(補正值)	7.69	323.14	25
校正時	校正液	6.86	253	
	読み取り値	6.87	254.7	
	校正液	9.18		
	読み取り値	9.21		
	キャリブレーション値	15.4485 -1.0417	5.0243481	

観測地点 B-2		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000	7.81	353.2	18.22
	(補正值)		405.74	25
採水試料	ポータブル	8.13	343	17.2
	(補正值)		403.05	25
校正時	校正液	6.86	243	
	読み取り値	6.86	-	
	校正液	9.18		
	読み取り値	9.09		
	キャリブレーション値	14.94367 -0.73563	5.8429112	

観測地点 B-3		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000	8.02	362.2	18.22
	(補正值)		416.08	25
採水試料	ポータブル	8.22	354	17.6
	(補正值)		412.27	25
校正時	校正液	6.86	251	
	読み取り値	6.867	255.53	
	校正液	9.18		
	読み取り値	9.226		
	キャリブレーション値	15.862645 -1.119935	5.1090439	

観測地点 C-1		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000		439.2	16.91
	(補正值)	7.04	519.47	25
採水試料	ポータブル		306	14.1
	(補正值)	7.51	386.46	25
校正時	校正液	6.86	229	
	読み取り値	6.95	-	
	校正液	9.18		
	読み取り値	9.22		
	キャリブレーション値	14.8471968 -0.929406	5.0075888	

1999/11/11

観測地点 A-1		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000 (補正值)		419.6 491.40	17.35 25
採水試料	ポータブル (補正值)	7.82	1034 1180.57	18.5 25
	ポータブル(11/15) (補正值)		363.00 414.45	18.5 25
校正時	校正液	6.86	422	
	読み取り値	6.738	449.22	
	校正液	9.18		
	読み取り値	8.886		
	キャリブレーション値	5309 7		
	unable			

観測地点 A-2		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000 (補正值)		424.1 496.78	17.34 25
採水試料	ポータブル (補正值)	8.41	371 426.38	18.2 25
	ポータブル(11/15) (補正值)		414.00 475.80	18.2 25
校正時	校正液	6.89	418	
	読み取り値	6.867	476.16	
	校正液	9.18		
	読み取り値	8.751		
	キャリブレーション値			
	unable			

観測地点 A-3		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000 (補正值)			
採水試料	ポータブル (補正值)	8.18	392 451.50	18.1 25
	ポータブル(11/15) (補正值)		463.00 533.28	18.1 25
校正時	校正液	6.86	416	
	読み取り値	7.11	409.79	
	校正液	9.18		
	読み取り値	7.933		
	キャリブレーション値			

観測地点 B-1		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000 (補正值)		289.5 331.33	18.39 25
採水試料	ポータブル (補正值)	7.99	288 338.42	17.2 25
校正時	校正液	6.86	449	
	読み取り値	6.906	449.38	
	校正液	9.18		
	読み取り値	8.986		
	キャリブレーション値			

観測地点 B-2		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000 (補正值)		365.5 418.13	18.41 25
採水試料	ポータブル (補正值)	8.07	384 449.21	17.4 25
校正時	校正液	6.86	488	
	読み取り値	6.865	486	
	校正液	9.18		
	読み取り値	9.117		
	キャリブレーション値			

観測地点 B-3		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000 (補正值)		390.4 447.99	18.27 25
採水試料	ポータブル (補正值)	8.04	424 492.70	17.7 25
校正時	校正液	6.86	488	
	読み取り値	7.097	482	
	校正液	9.14		
	読み取り値	9.288		
	キャリブレーション値			

観測地点 C-1		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000 (補正值)		461 545.25	16.91 25
採水試料	ポータブル (補正值)	8.04	1931 2195.14	18.7 25
	ポータブル(11/15) (補正值)	6.78	147.80 153.98	22.9 25
校正時	校正液			
	読み取り値			
	校正液			
	読み取り値			
	キャリブレーション値	5426.575809 6.5165247	4.0588973	

2000/1/24

観測地点 A-1				
		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000		296.6	18.4
	(補正值)	10.52	339.38	25
採水試料	ホータル		290	17.3
	(補正值)	7.77	340.00	25
校正時	校正液	6.9	399	14
	読み取り値	6.866	400.96	14.95
	校正液	9.36		
	読み取り値	10.23		
	キャリブレーション値	5644.9976 6.3225		
			実施せず	

観測地点 B-1				
		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000		287.7	18.38
	(補正值)	8.53	329.34	25
採水試料	ホータル		261	15.7
	(補正值)	7.81	317.38	25
校正時	校正液	6.9	392	13.9
	読み取り値	6.9	411.74	14.3
	校正液	9.27		
	読み取り値	9.192		
	キャリブレーション値	6304.0095 6.5557	4.0669518	

観測地点 C-1				
		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000		408.5	16.92
	(補正值)	7.52	483.05	25
採水試料	ホータル		266	16.5
	(補正值)	6.71	317.56	25
校正時	校正液	6.86	415	
	読み取り値	6.785	417	
	校正液	9.18		
	読み取り値	8.526		
	キャリブレーション値			
		unable	実施せず	

観測地点 A-2				
		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000		585.5	18.14
	(補正值)	9.01	673.78	25
採水試料	ホータル		336	16.5
	(補正值)	8.37	401.12	25
校正時	校正液	6.93	398	
	読み取り値	4.811	402	
	校正液			
	読み取り値			
	キャリブレーション値	6650.683704 6.4375068 unable	4.0673255	

観測地点 B-2				
		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000		403.3	18.35
	(補正值)	8.4	461.98	25
採水試料	ホータル		339	16.2
	(補正值)	7.92	407.49	25
校正時	校正液	6.87	387	13.8
	読み取り値	6.88	438.95	14.13
	校正液	9.27		
	読み取り値	9.212		
	キャリブレーション値	5849.105981 6.2477763	3.8131519	

観測地点 A-3				
		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000		437.7	18.22
	(補正值)	9.72	502.81	25
採水試料	ホータル		365	16.2
	(補正值)	7.99	438.74	25
校正時	校正液	6.9	389	13.4
	読み取り値	6.965	403.84	13.66
	校正液	9.27		
	読み取り値	8.699		
	キャリブレーション値	5309 7 unable	4.3003794	

観測地点 B-3				
		pH	電気伝導率	水温
引き上げ前	Troll8000		424.8	18.27
	(補正值)	8.39	487.46	25
採水試料	ホータル		361	16.3
	(補正值)	8.21	432.94	25
校正時	校正液	6.87	391	14.2
	読み取り値	6.866	433.96	14.97
	校正液	9.27		
	読み取り値	9.052		
	キャリブレーション値	6157.8634 6.509	4.1469622	

⑤ 再冠水（その1）～（その2）の巻末資料一覧

1) 再冠水（その1）

- ① 地質概要
- ② ボーリング柱状図
- ③ ボーリングコア写真
- ④ コア観測データ
- ⑤ ポータブル計測器による水質計測結果
- ⑥ 対象層の透水係数の換算
- ⑦ 揚水による計測値の影響確認（pH）
- ⑧ センサ部の洗浄及びキャリブレーションによる計測値の影響確認（pH）
- ⑨ 揚水による計測値の影響確認（電気伝導度）
- ⑩ センサ部の洗浄及びキャリブレーションによる計測値の影響確認（電気伝導度）
- ⑪ 地下水の無機イオン分析結果
- ⑫ 同位体分析結果
- ⑬ 室内透水試験結果

2) 再冠水（その2）

- ① 主要成分分析結果
- ② 有機塩素化合物分析結果
- ③ 鉍物分析結果
- ④ ポータブル計測器による水質計測結果
- ⑤ 透水係数の算出（2回目の再冠水現象を含む）
- ⑥ 再冠水現象の第1回目と第2回目の比較
- ⑦ 観測記録

⑥ 「再冠水に関する原位置試験研究会（その3）」委員会名簿

NO	職務	氏名	所属・役職
1	委員長	小島 圭二	地圏空間研究所 代表 東京大学 名誉教授
2	委員	嶋田 純	熊本大学 理学部 地球科学教室 教授
3	委員	登坂 博行	東京大学 工学系研究科地球システム工学専攻 助教授
4	協力委員	増田 芳久	東急建設(株) 技術研究所 土木研究部 部長
5	協力委員	西岡 哲	東急建設(株) 生産技術本部 土木技術設計部 エンジニアリング部 部長
6	協力委員	石川 雅美	東急建設(株) 生産技術本部 土木技術設計部 主任研究員
7	協力委員	高倉 望	東急建設(株) 技術研究所 土木研究部 研究員
8	協力委員	伊藤 誠	東急建設(株) 生産技術本部 土木技術設計部 研究員
9	事務局	堀尾 淳	(財) エン지니어リング振興協会地下開発利用研究センター 研究員
	オブザーバー	山川 稔	核燃料サイクル開発機構 2000年レポートチーム 研究主席
	オブザーバー	石川 博久	核燃料サイクル開発機構 2000年レポートチーム 研究調整グループ グループリーダー
	オブザーバー	仙波 毅	核燃料サイクル開発機構 2000年レポートチーム 研究調整グループ
	オブザーバー	塩崎 正人	核燃料サイクル開発機構 2000年レポートチーム 研究調整グループ
	オブザーバー	濱 克宏	核燃料サイクル開発機構 東濃地科学センター 地層科学研究グループ
	オブザーバー	三枝 博光	核燃料サイクル開発機構 東濃地科学センター 地層科学研究グループ
	オブザーバー	千々松正和	核燃料サイクル開発機構 東海事業所 処分研究部

⑥ The list of committee member of this project

NO	position	name	
1	Chairperson	Keiji Kojima	Geo space Labo
2	Committee	Jun Shimada	Department of Geoscience Faculty of Science University of Kumamoto
3	Committee	Hiroyuki Tosaka	Department of Geosystem Engineering Graduate School of Engineering University of Tokyo
4	Supported committee	Yoshihisa masuda	Tokyu Construction Co.,Ltd
5	Supported committee	Tetsu Nishioka	Tokyu Construction Co.,Ltd
6	Supported committee	Masami Ishikawa	Tokyu Construction Co.,Ltd
7	Supported committee	Nozomu Takakura	Tokyu Construction Co.,Ltd
8	Supported committee	Makoto Ito	Tokyu Construction Co.,Ltd
9	Secretariat	Jun Horio	Engineering advancement association of Japan Geo Space Engineering Center
	Observer	Minoru Ymakawa	Japan Nuclear Cycle Deveropment Institute
	Observer	Hirohisha Ishikawa	Japan Nuclear Cycle Deveropment Institute
	Observer	Takeshi Senba	Japan Nuclear Cycle Deveropment Institute
	Observer	Masando Shiozaki	Japan Nuclear Cycle Deveropment Institute
	Observer	Katsuhiko Hama	Japan Nuclear Cycle Deveropment Institute
	Observer	Mitsuhiro Saegusa	Japan Nuclear Cycle Deveropment Institute
	Observer	Mashakazu Tijimatsu	Japan Nuclear Cycle Deveropment Institute