

本資料は2000年 3月 31日付で登録区分
変更する。

東濃地科学センター 【研究調整グループ】

立坑掘削影響試験のうちの水理調査 (I)

(動力炉・核燃料開発事業団 委託研究成果報告書)

概 要

1991年5月

清水建設株式会社
鹿島建設株式会社
大成建設株式会社
株式会社 大林組

本文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下さい。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松 4 番地 49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

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

©核燃料サイクル開発機構
(Japan Nuclear Cycle Development Institute)
1991

この資料は、動燃事業団の開発業務を進めるために、限られた関係者だけに配付するものです。
従って、その取扱には十分注意を払って下さい。なお、この資料の共覧、複製、転載、引用等には事業団の承認が必要です。また今回の配付目的以外のことには使用しないよう注意して下さい。
This document is not intended for publication. No public reference nor disclosure to the third party should be made without prior written consent of Power-Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.

本資料についての問い合わせは下記に願います。
〒 107 東京都港区赤坂1-9-13
動力炉・核燃料開発事業団
技術管理部 技術情報室

限 定 資 料

PNC ZJ7449 91-001

1991年5月

登録区分

2000.3.31

変更表示

立坑掘削影響試験のうちの水理調査（I）

堀田政國* 古市光昭**
伊藤克夫*** 須藤 賢****

要 目

岩盤における立坑等の坑道の掘削は岩盤本来の力学的・水理学的特性に影響を与え、また、坑道周辺の水理環境の変化を促し、地下水流動に影響を与える。

立坑掘削影響試験は、これらの現象を定量的に把握し、評価することを目的としているが、本調査ではこの試験の一環として、立坑掘削中の周辺岩盤の水理的状況、水理特性の調査を行ない、水理解析のためのデータを提供し、岩盤の水理地質的な検討を加え、立坑掘削が周辺岩盤に与える水理的な影響を解析・評価する。

本研究では、実際に立坑掘削時の周辺地盤内の地下水圧の計測、および地下水採水・簡易水質分析を通して、立坑掘削時の周辺地盤内の地下水理状況の変化のモニタリング手法について検討した。地下水圧計測データは立坑掘削の影響、採水の影響、季節変動等に分けて検討を行なった。また、地下水採水時に計測した簡易 pH 計測および電気伝導度については地層毎の水質特性として検討すると共に、採水効率についても考察を行なった。

立坑掘削による地下水理状況への影響を予測するための手法検討としては、三次元地下水流動解析を試みた。前年度の『立坑掘削影響試験のための水理事前調査（II）』において示された水理地質モデルを基に三次元の地下水流動解析用モデルを構築し、これを用いて立坑掘削時の地下水圧の変動および流向・流速、さらに既存坑道内への湧水量および新立坑内への湧水量を予測した。これらの予測値は、立坑掘削時の計測値と比較検討された。

本報告書は清水建設株式会社、鹿島建設株式会社、大成建設株式会社、株式会社大林組が動力炉・核燃料開発事業団の委託により実施した研究の成果である。

契約番号：PNC ZJ7449 91-001

事業団担当部課室および担当者：本社環境本部 山川 稔

* 清水建設株式会社原子力本部

** 鹿島建設原子力室

*** 大成建設株式会社名古屋支店岐阜土木工事事務所

**** 株式会社大林組技術研究所

~~COMMERCIAL PROPRIETARY~~

PNC T 7449 91-001

May, 1991

HYDROGEOLOGICAL RESEARCH (I) IN SHAFT EXCAVATION EFFECTS TEST

Masakuni HORITA*

Mitsuaki HURUICHI **

Katsuo ITO***

Ken SUDO****

Abstract

Excavation in rock , like a tunnel or a shaft, changes mechanical and hydrological properties of surrounding rock mass. It also changes the hydrologic condition around it, and it may change groundwater flow in rock. The shaft excavation effects test aims to evaluate such effects quantitatively. This report is a part of the test to evaluate methodology to monitor the hydrological change induced by shaft excavation. It also offers a methodology to predict the hydrogeological change during and after the excavation of a shaft.

In this research, hydraulic pressure in subsurface ground is measured during the shaft excavation. Water sampling and simple measurement of pH and electric conductivity are performed during a year. The monitored pressure is analyzed to understand the effects due to excavation of a shaft, water sampling, seasonal change, and so on. The physicochemical character of ground water in different sublayers tells us the characteristics of aquifers and their continuity.

Three dimensional FEM analysis of unsteady groundwater flow is performed to predict the hydraulic condition during the shaft excavation of a shaft. The FEM model is developed based on the hydrogeological model proposed in the previous report "HYDROGEOLOGICAL RESEARCH (II) FOR SHAFT EXCAVATION EFFECTS TEST". A comparison is done in hydraulic pressure distribution and in discharge into the shaft between the monitored value and the analyzed value.

Work performed by Shimizu Corp., Kajima Corp., Taisei Corp. , and Ohbayashi Corp. under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation

PNC Liaison : Radioactive Waste Management Project, Minoru Yamakawa

* Shimizu Corp., Nuclear Power Division

** Kajima Corp., Nuclear Power Department

*** Taisei Corp., Nagoya Branch, Civil Engineering Office at Gifu

**** Ohbayashi Corp., Technical Research Institute

『立坑掘削影響試験のうちの水理調査（I）』担当者一覧

	実施責任者	実施担当者	研究業務担当者
清水建設（株）	飯塚友之助	堀田政國	青山成夫 石井 卓 山本 勇 櫛田吉造 堀江芳博 白石知成 穂刈利之 細田真美 梅澤信悟
鹿島建設（株）	田中協一	古市光昭	青木謙治 塩釜幸弘
大成建設（株）	菅谷 洸	伊藤克夫	中井英夫 西村隆次 杉原 豊 本間直樹 友野雄二
（株）大林組	村井喜一	須藤 賢	丸山 誠 深谷正明 大野 完

立坑掘削影響試験のうちの水理調査（I）概要

目次

	ページ
1. まえがき	1
1.1 目的	1
1.2 調査概要	1
1.3 調査手法	2
2. 調査地点の概要	3
3. MP地下水圧計測	5
3.1 概要	5
3.2 水圧分布	5
3.3 水圧の経時変化	11
3.3.1 立坑掘削の影響	11
3.3.2 採水の影響	16
3.3.3 季節変動	17
3.4 MP水圧計測時間	19
3.5 まとめ	23
4. MP採水	24
4.1 概要	24
4.2 採水状況	24
4.2.1 pHおよび電気伝導度	24
4.2.2 採水効率	25
4.3 まとめ	26
5. 三次元地下水流动解析	31
5.1 解析手法の選定	31
5.2 解析領域の設定および三次元有限要素モデルの作成	32
5.3 水理定数・境界条件の設定	39
5.4 表層水理状況の検討	45
5.5 三次元解析（立坑掘削前）の水圧の比較	49
5.6 既存坑道内湧水量の比較	53
5.7 水圧分布および流向流速分布（立坑掘削前）	55
5.8 坑道内湧水量の比較（立坑掘削予測解析）	61
5.9 立坑掘削時の水圧分布の比較	65
5.10 水圧分布および流向流速分布（立坑掘削時）	67
6. 調査結果のまとめ	73
7. 今後の課題	75

表 目 次

	ページ
表 4.2.1 採水ポート一覧表	27
表 4.2.2 採水データのまとめ（生俵層）	28
表 4.2.3 採水データのまとめ（明世層）	28
表 4.2.4 採水データのまとめ（土岐夾炭層上部）	29
表 4.2.5 採水データのまとめ（土岐夾炭層下部）	29
表 4.2.6 採水データのまとめ（花崗岩）	29
表 5.3.1 水理定数一覧	42
表 5.3.2 透水試験結果一覧（その3～全体）	43
表 5.3.3 境界条件及び設定方法一覧	44
表 5.4.1 表層水理検討のまとめ	47
表 5.6.1 既存坑道内湧水量の比較（立坑掘削前）	53

図 目 次

	ページ
図 2.1 調査地域の地形と調査施設配置	4
図 3.2.1 立坑掘削にともなう地下水水面の変動	6
図 3.2.2 立坑掘削にともなうピエゾ水頭分布の変化 (T H 1)	10
図 3.2.3 立坑掘削にともなうピエゾ水頭分布の変化 (T H 2)	10
図 3.2.4 立坑掘削にともなうピエゾ水頭分布の変化 (T H 3)	10
図 3.2.5 立坑掘削にともなうピエゾ水頭分布の変化 (T H 4-1、T H 4-2)	10
図 3.3.1 ピエゾ水頭の経時変化 (T H 1)	12
図 3.3.2 ピエゾ水頭の経時変化 (T H 2)	13
図 3.3.3 ピエゾ水頭の経時変化 (T H 3) その1	14
図 3.3.4 ピエゾ水頭の経時変化 (T H 3) その2	15
図 3.3.5 採水の影響 (T H 1)	18
図 3.3.6 採水の影響 (T H 2)	18
図 3.3.7 採水の影響 (T H 3)	18
図 3.4.1 計測時間と水理水頭の相関	20
図 3.4.2 計測時間と水圧との関係	21
図 3.4.3 計測時間の比較	22
図 4.2.1 pH の分布	30
図 4.2.2 電気伝導度の分布	30
図 5.2.1 調査地域の地形および解析領域	33
図 5.2.2 水理地質モデル図 (その1、全体図)	33
図 5.2.3 水理地質モデル図 (その2、T H 1～T H 4 断面図)	35
図 5.2.4 三次元有限要素モデル図 (その1、全体図)	35
図 5.2.5 三次元有限要素モデル図 (その2)	37
図 5.2.6 三次元有限要素モデル図 (その3、透視図)	38
図 5.2.7 三次元有限要素モデル図 (その4、平面図)	38
図 5.3.1 不飽和特性曲線	41
図 5.4.1 地下水涵養量の月変動	47
図 5.5.1 ピエゾ水頭の解析値と実測値の比較 (T H 1)	51

図 5.5.2 ピエゾ水頭の解析値と実測値の比較 (T H 2)	51
図 5.5.3 ピエゾ水頭の解析値と実測値の比較 (T H 3)	51
図 5.5.4 ピエゾ水頭の解析値と実測値の比較 (T H 5)	51
図 5.7.1 全水頭分布 (T T 1 - T H 1 - T H 2 - T H 3 - T H 4 断面) . .	57
図 5.7.2 全水頭分布 (T T 1 - T H 5 - T H 6 断面)	57
図 5.7.3 全水頭分布 (水平断面標高236m)	57
図 5.7.4 全水頭分布 (水平断面標高186m)	57
図 5.7.5 流向・流速分布 (T T 1 - T H 1 - T H 2 - T H 3 - T H 4 断面)	59
図 5.7.6 流向・流速分布 (T T 1 - T H 5 - T H 6 断面)	59
図 5.7.7 水圧分布 (T T 1 - T H 1 - T H 2 - T H 3 - T H 4 断面) . . .	59
図 5.7.8 水圧分布 (T T 1 - T H 5 - T H 6 断面)	59
図 5.8.1 立坑掘削工程と三次元地下水流动解析ポイント	62
図 5.8.2 解析用掘削スキーム	62
図 5.8.3 既存立坑内湧水量の経時変化予測 (立坑掘削時)	63
図 5.8.4 既存横坑内湧水量の経時変化予測 (立坑掘削時)	63
図 5.8.5 新立坑内湧水量予測 (深度42mから100m)	63
図 5.8.6 新立坑内湧水量予測 (深度100mから145m)	63
図 5.9.1 ピエゾ水頭の解析値と実測値の比較 (T H 1 : 掘削深度145m) .	66
図 5.9.2 ピエゾ水頭の解析値と実測値の比較 (T H 2 : 掘削深度145m) .	66
図 5.9.3 ピエゾ水頭の解析値と実測値の比較 (T H 3 : 掘削深度145m) .	66
図 5.9.4 ピエゾ水頭の解析値と実測値の比較 (T H 5 : 掘削深度145m) .	66
図 5.10.1 全水頭分布 (T T 1 - T H 1 - T H 2 - T H 3 - T H 4 断面) . .	69
図 5.10.2 全水頭分布 (T T 1 - T H 5 - T H 6 断面)	69
図 5.10.3 全水頭分布 (水平断面標高236m)	69
図 5.10.4 全水頭分布 (水平断面標高186m)	69
図 5.10.5 流向・流速分布 (T T 1 - T H 1 - T H 2 - T H 3 - T H 4 断面) .	71
図 5.10.6 流向・流速分布 (T T 1 - T H 5 - T H 6 断面)	71
図 5.10.7 水圧分布 (T T 1 - T H 1 - T H 2 - T H 3 - T H 4 断面) . . .	71
図 5.10.8 水圧分布 (T T 1 - T H 5 - T H 6 断面)	71

1. まえがき

1. 1 研究の目的

岩盤における立坑等の坑道の掘削は岩盤本来の力学的・水理学的特性に影響を与え、また、坑道周辺の水理環境の変化を促し、地下水流动に影響を与える。

立坑掘削影響試験は、これらの現象を定量的に把握し、評価することを目的としているが、本調査ではこの試験の一環として、立坑掘削中の周辺岩盤の水理的状況、水理特性の調査を行ない、水理解析のためのデータを提供し、岩盤の水理地質的な検討を加え、立坑掘削が周辺岩盤に与える水理的な影響を解析・評価する。

1. 2 調查概要

当該調査地域はすでに動力炉・核燃料開発事業団（以下動燃事業団）により地下水圧計測・採水調査を目的としたMPシステムを設置した試錐孔が10地点に14本配置されている。MPシステムとは複数のパッカーを持つケーシングシステムであり、各パッカー区間に水圧計測ポートと採水ポートが配置されており、ポータブルの水圧計測プローブを用いて各区間の水圧計測が可能であるとともに、採水器を用いると区間毎の採水も可能である。立坑掘削に先立ち、当該地域の地下水圧の状況はこれらの試錐孔において動燃事業団委託研究「立坑掘削影響試験のための水理事前調査（II）」で調査された。

本研究においては、同じ試錐孔を用いて、立坑（直径 6 m、深度 150 m）掘削中の深度別の地下水圧変化を計測した。また、水質調査を目的として各孔数点を選び地下水採水を行なった。また、動燃事業団により、立坑掘削期間中に、隣接の既存立坑および横坑内の湧水量の変化が計測された。

地下水圧計測データは立坑掘削の影響、採水の影響、季節変動等に分けて検討を行なった。また、地下水採水時に計測した簡易 pH 計測および電気伝導度については地層毎の水質特性として検討すると共に、採水効率についても考察を行なった。

立坑掘削による地下水理状況への影響を予測するための手法検討としては、三次元地下水水流動解析を試みた。平成2年度の『立坑掘削影響試験のための水理事前調査（II）』において示された水理地質モデルを基に三次元の地下水水流動解析用モデルを構築し、これを用いて立坑掘削時の地下水圧の変動および流向・流速、さらに既存坑道内への湧水量および新立坑内への湧水量を予測した。これらの予測値は、立坑掘削時の計測値と比較検討された。なお、解析に先立ち、降雨量の影響を調べるために、年間の降雨量の変化、河川流出量、蒸発散量、土壤水分計測結果、表層地下水水面の変動を考慮して、地下水涵養量について検討している。

以上の調査研究により、立坑掘削時の周辺岩盤内地下水状況への影響をモニターする手法、特に地下水圧計測および採水調査の実証が行なわれ、原位置でのデータが採取された。また、立坑掘削による地下水場への影響を予測する手法として、三次元地下水流动解析の適用性が検討された。

1. 3 調査手法

立坑掘削前に動燃事業団により10地点に14本の試錐が当該地に配置されている。各試錐は深度60mから200mであり、事前の地質調査にもとづき地下水圧計測位置が決定され、複数のパッカーで止水されたMPケーシングが設置されている。地下水圧計測位置は全部で251箇所である。立坑掘削前の地下水理状況はこの地下水圧計測網を用いて把握された。その結果は『立坑掘削影響試験のための水理事前調査（II）』で報告されている。

今回の調査研究では、同上の地下水計測システムを用いて、立坑掘削時の地下水圧モニターが1年間を通じて実施された。計測間隔は各計測点において週1回もしくは2回である。立坑付近は極力計測回数を多くするよう心掛けた。この間立坑は地表から深度140m付近まで掘削された。計測データは立坑掘削の状況と対比され、地下水圧への立坑掘削の影響が検討された。また、動燃事業団により実施された地表における表層水理計測（雨量計測、蒸発散量計測、河川流出量計測、土壤水分計測）を考慮して、地下水理状況の季節変動についても検討された。

また、この地下水圧計測システムでは各圧力計測点からの採水が可能であり、1年を通して、各試錐において数箇所の深度を選んで地下水採水が行なわれ、現地における簡易pH計測および電気伝導度計測が実施された。これらの深度は事前の地質調査に基づき決定されたものである。この結果地下水の水質の分布が検討された。また、各地層毎の採水効率が検討されるとともに、採水による地下水圧計測への影響についても言及された。

周辺岩盤内の地下水状況への立坑掘削の影響予測としては三次元地下水流動解析が試みられた。水理地質モデルとしては、水理地質調査をもとに『立坑掘削影響試験のための水理事前調査（II）』で提案された水理地質モデルを用い、これを解析用モデルに反映させた。地盤定数についても水理事前調査の値にしたがった。境界条件については立坑掘削前の地下水圧計測値を用いるとともに、地表からの地下水涵養量としては動燃事業団実施の表層水理計測によるデータを検討して設定した。解析による立坑掘削時の地下水状況の予測は、地下水圧の分布、既存坑道への湧水量および新立坑内への湧水量の現場実測値と対比検討された。

最後に、以上を総合評価して立坑掘削による周辺岩盤内の地下水理状況への影響の検討、現場計測手法の検討、および予測手法の検討をまとめている。

2. 調査地点の概要

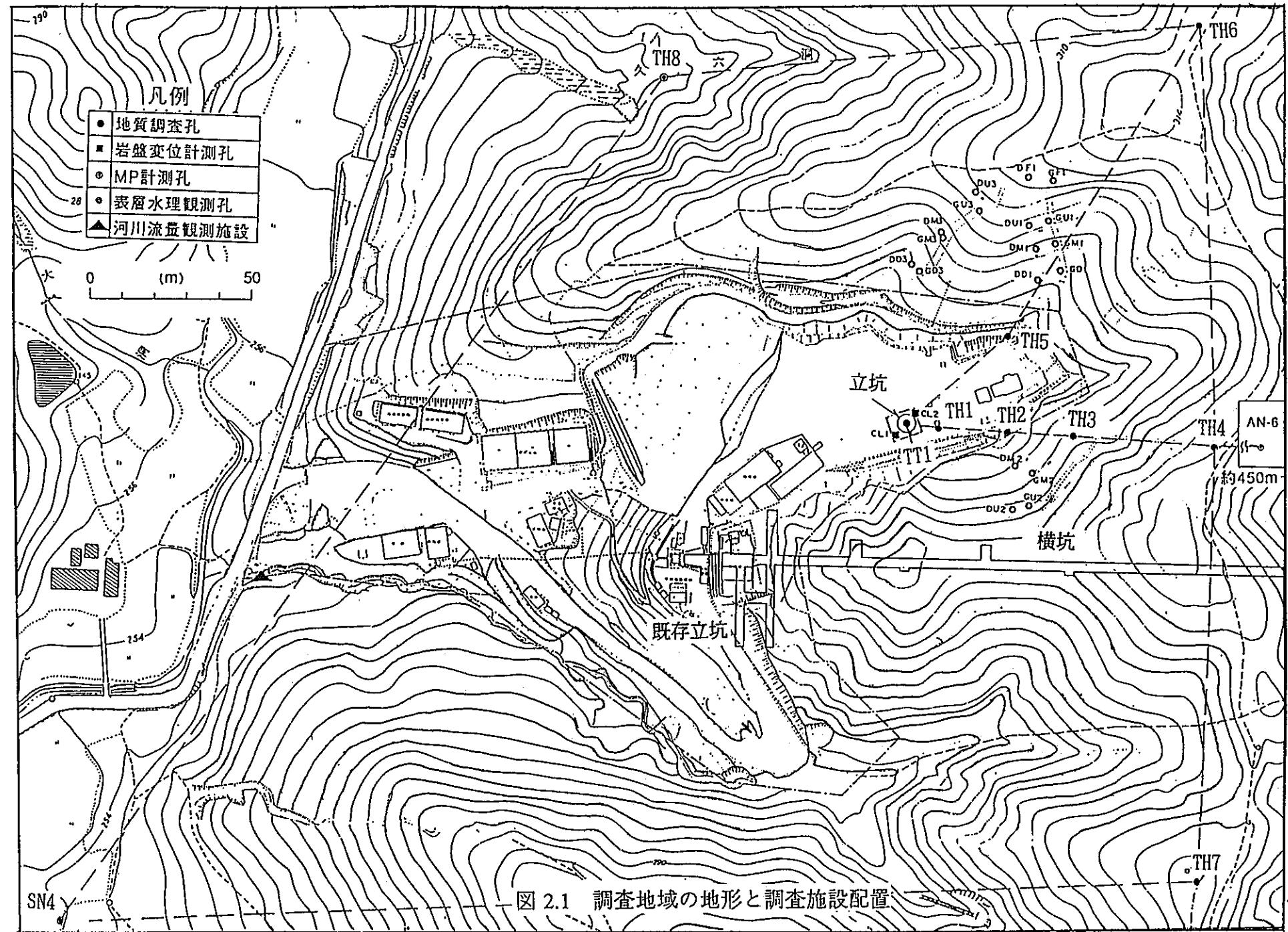
調査地点は岐阜県の土岐市東部から瑞浪市西部にわたる地域に位置している。調査地点周辺の地形は、標高250mから400mを示す起伏のなだらかな丘陵地である。

調査地点の地形は図2.1に示している。当該地域の地形・地質、水系等は動燃委託研究報告書「立坑掘削影響試験のための水理事前調査（I）」（1989）に詳しく説明されている。

当該地域の中央付近には深度135mの既存立坑が存在する。また、この立坑に接続して、標高150mで水平横坑が東に向かって延びている。新立坑はこの既存立坑から北東約85m離れた位置の掘削される。新立坑は直径6m、深度150mである。

図2.1には、地下水圧計測用試錐位置も合わせて表示している。新立坑から東に向かってTH1（深度181m）、TH2（深度177m）、TH3（深度200m）、TH4（深度201m）、AN6（深度132m）の五本の試錐が配置されている。また、北東方向にはTH5（深度203m）、TH6（深度203m）が配置されている。新立坑を中心に囲むように、北東から時計周りにTH6、TH4、TH7（深度200m）、SN4（深度130m）、TH8（深度200m）と配置されており、これらの試錐で囲まれた領域を三次元地下水流動解析の解析領域とした。新立坑からTH4までがほぼ100mである。なお、TH4、TH5、TH7、TH8の位置からそれぞれ約5m離れて深度の浅いTH4-2（深度82m）、TH5-2（深度83m）、TH7-2（深度82m）、TH8-2（深度60m）があり、おののの孔には地下水圧計測用のMPケーシングが設置されている。

新立坑を取り巻くTH6、TH4、TH7、SN4、TH8における地下水の計測値は三次元地下水流動解析の境界条件を与えるよう設計されたものである。一方、TH1、TH2、TH3、TH5の地下水圧計測値は解析値の検証用に用いられる。AN6は立坑掘削の影響の少ない点として、新立坑から500m離れた位置に配置され、主に地下水の季節変動を調べることをその役割としている。



3. MP 地下水圧計測

3.1 概要

立坑掘削により、周辺岩盤中の地下水分布が変化することが予測される。この間隙水圧の変化を計測するために立坑掘削地点の周辺10地点に14本のボーリングが配置されている。ボーリング孔はTH1、TH2、TH3、TH4、TH5、TH6、TH7、TH8、AN6、SN4であり、図2.1にその配置を示している。なお、TH4、TH5、TH7、TH8には深層用（深度200m）と浅層用（深度80m）の2本のボーリングが5m離れて配置されている。各ボーリング内には深度別の水圧を測定するための複数のパッカーと計測ポートを持つMPケーシングが設置されている。MPケーシングの深度および計測点の深度は動燃委託研究報告書『立坑掘削影響試験のための水理事前調査（I）』（1989）および『立坑掘削影響試験のための水理事前調査（II）』（1990）に詳述されている。

水圧の計測方法は水圧センサーを持つポータブルプローブを各計測ポートと接合させて地上の計測モニターで読取る方式である。計測頻度は基本的には週1回であるが、立坑に近いTH1、TH2、TH3は計測頻度を増やしている。

立坑掘削の工程の概略は以下のとおりである。

平成2年	2月 8日	GL-5m (標高282m) から掘削開始
	3月 28日	GL-31.5m (標高255.5m) で掘削停止
	5月 18日	GL-31.5m (標高255.5m) から掘削再開
	6月 4日	GL-45.5m (標高241.5m) で掘削停止
	8月 20日	GL-45.5m (標高241.5m) から掘削再開
	10月 31日	GL-96.0m (標高186.0m) で掘削停止
平成3年	1月 25日	GL-96.0m (標高186.0m) から掘削再開
	3月 5日	GL-142.0m (標高140.0m) で掘削停止
	5月 30日	GL-142.0m (標高140.0m) から掘削再開予定
	8月	GL-150.0m (標高132.0m) で掘削終了予定

水圧計測は立坑掘削に先立ち平成元年9月から継続されているが、本報告では平成2年5月から平成3年4月までの計測結果について検討している。3.2節においては、立坑掘削に伴う各孔における地下水表面の変動と地下水圧分布の変化について述べる。また、3.3節においては各孔での地下水圧の経時変化を立坑掘削の影響、採水の影響、季節変動に分けて検討する。さらに、3.4節においては地下水圧の計測時間について、立坑掘削の影響および水理地質特性との関連を検討している。

3.2 地下水圧分布

掘削に伴う地下水表面の低下の状況を図3.2.1に示している。ここでは、地下水表面を直接計測したわけではなく、各ボーリング孔に設置した最も浅い水圧計測ポートのピエ

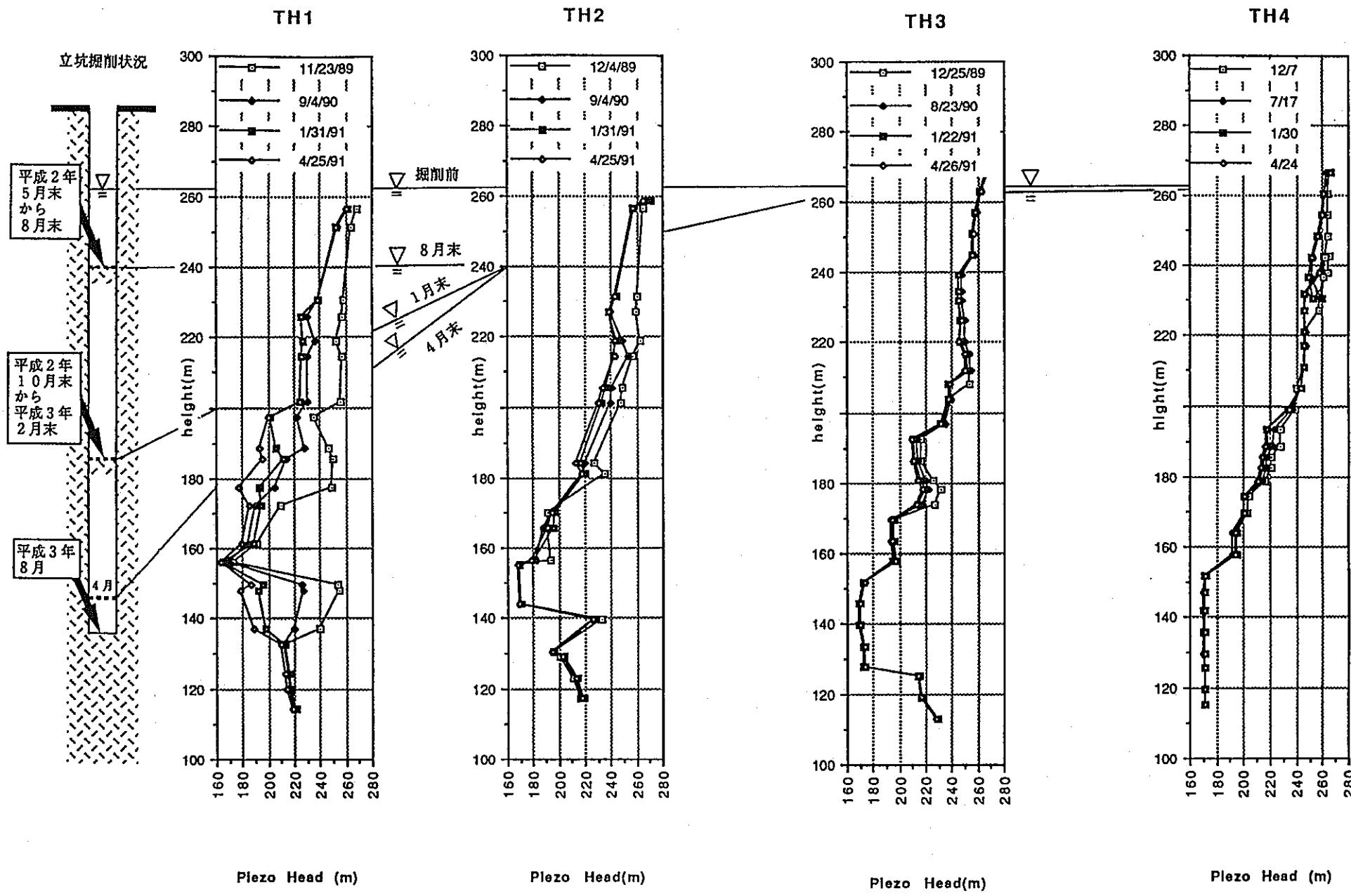


図 3.2.1 立坑掘削にともなう地下水面の変動

ゾ水頭位置を地下水水面としている。図3.2.1では、立坑掘削中の水圧分布の変化も合わせて比較するため、掘削前の平成元年11月のデータと掘削中の平成2年8月、平成3年1月および4月のデータを示している。掘削前（平成元年11月）においては地下水水面は標高260m付近にあり、平成2年8月末においてはTH1およびTH2で標高240m付近にあり、ほぼ立坑掘削面に水面があることを示唆している。さらに、掘削にともなってTH1の地下水水面は平成3年1月末には標高200m付近、平成3年4月には標高178m付近に低下しているが、その他の孔においては掘削の影響はTH1ほど顕著ではない。

立坑掘削の影響を調べるために、TH1孔からAN6孔までの各地下水圧計測孔のピエゾ水頭分布を調べた。図3.2.2から図3.2.5までの図は、TH1孔からTH4孔のピエゾ水頭分布を示している。各図には、平成元年11月もしくは12月（立坑掘削前）、8月末もしくは9月初旬（立坑深度45.5m）、平成3年1月末（立坑深度96m）および4月末（立坑深度140m付近）の計測値を比較したものを示している。以下にその概略を述べる。

○TH1孔（図3.2.2）

立坑掘削前のピエゾ水頭の分布（平成元年11月23日）をみると標高156mでピエゾ水頭が極端に低く173mを示している。これは図2.1に示すようにTH1の南約30mにある既存横坑のレベルであり、この横坑へ水圧が抜けているためと思われる。ピエゾ水頭は標高257mから177mまでは垂直方向の動水勾配0.25で低下している。途中、標高198mにおいて20m程の水頭低下を示している。また、標高177mから156mまでは動水勾配3.6で急激にピエゾ水頭低下している。標高156mから150mでは急激なピエゾ水頭回復を示しており、動水勾配で13と非常に大きな勾配を示している。標高150mのピエゾ水頭は標高177mのピエゾ水頭と同レベルである。標高150mから133mまでは再び動水勾配2.2で水頭低下を示し、標高133mから以深は動水勾配0.35で水頭上昇を示している。

平成2年9月4日までに深度150mまで平均的に $2\text{Kg}/\text{cm}^2$ （水理水頭で20m）の水圧低下を示している。これは立坑掘削前には地下水位が標高260mと考えられており、9月において立坑掘削面がほぼ標高240m付近であり、この差20mが反映されているものと思われる。この期間、特に圧力低下の顕著な点は標高177mであるが、これは平成元年12月から平成2年1月にかけて、その大部分が生じており、掘削の影響としては前述同様20m程度の水位水頭の減少となっている。（動燃委託研究報告書『立坑掘削影響試験のための水理事前調査（II）』参照。）

また、平成2年9月から平成3年1月末までには水理水頭平均で約5mの水圧低下を示している。この間掘削深度は約50mである。特に水圧低下の顕著な点は、標高198m（水理水頭低下20m）と標高150m付近（水理水頭低下30m）である。

平成3年1月末から4月末までの3カ月間においては掘削深度が標高190mから標高160m付近まで下がっており、それに対応して水理水頭低下は約5mである。これを、水圧で見ると、標高260mから標高155mまではほぼ水圧0のライン上にあり、

立坑掘削により、水圧が抜けているものと思われる。

全体的に水理水頭変化の大きかった深度は標高180m付近と標高150m付近である。この両地点においては水圧低下傾向が良く一致し、連動して変化しているよう見える。一方、変化の少なかった深度は、標高156mと標高130m以深である。

○TH2孔(図3.2.3)

立坑掘削前のピエゾ水頭の分布(平成元年12月4日)をみると、TH1と同様に標高150m付近(標高144mから154m)でピエゾ水頭の低下が顕著であり、ピエゾ水頭値で170mを示している。ピエゾ水頭は標高259mから181mまでは動水勾配0.45で低下しており、標高181mから154mまでは平均動水勾配2.4で低下している。標高140mでは急激な水位回復を示しているが、再度標高130mで低下を示している。標高130m以深ではTH1と同様に動水勾配1.6で水頭上昇を示している。

平成2年9月までに標高230mまでが掘削の影響で水理水頭で240mまで低下した後は、標高180mまで掘削にともなって水理水頭は単調に減少している。しかし、その低下量はTH1に比べると小さい。平成元年12月から平成2年9月までで水理水頭10m弱の低下、平成3年1月までに水理水頭で約5mの低下である。標高155m以深ではほとんど変化は現われていない。

○TH3(図3.2.4)

立坑掘削前のピエゾ水頭の分布(平成元年12月25日)はTH1およびTH2と同じパターンを示し、標高152mから127mまでのピエゾ水頭低下域が顕著である。このゾーンより上部は深度とともにピエゾ水頭が深度とともにほぼ単調減少し、一方標高127m以深は単調に増加している。詳細に分布形状を検討すると、標高260mから152m間では階段状に水頭減少している。すなわち、動水勾配の小さいゾーンは標高260mから208m、標高192mから174m、標高170mから158m、さらに標高152mから127mであり、これらのゾーンは透水層に対応しているものと思われる。一方標高208mから192mでは動水勾配2.5、標高174mから170mでは動水勾配8.2、標高158mから152mまでは動水勾配3.8で急激なピエゾ水頭の低下が認められる。標高127m以深は動水勾配3.5でピエゾ水頭増加を示している。

立坑掘削による水頭分布の変化としては、標高210m付近、標高180m付近および標高165m付近で水理水頭の低下が顕著である。特に、標高180m付近では全期間で水理水頭10mほどの低下が見られ、標高192mから標高174mまでが一つの透水層のように同様の水頭低下挙動をしている。同様に、標高240mから標高210m、および標高170mから158mも透水層の様相を呈している。

○TH4-1孔(図3.2.5)

TH4-1孔は図2.1に示されたTH4の位置に設置された深さ200mのボーリング

グ孔である。このボーリングから 5 m 離れて深度 80 m の TH 4-2 が存在する。

図 3.2.5 における標高 243 m 以下の実線が TH 4-1 におけるピエゾ水頭の実測値を示している。

立坑掘削前のピエゾ水頭の分布（平成元年 12 月 7 日）は標高 240 m から 157 m まで平均動水勾配 0.85 で単調減少し、さらに標高 157 m から 152 m まで動水勾配 5.0 で急減、標高 152 m 以深はピエゾ水頭一定ゾーンを示している。

立坑掘削の影響は標高 200 m から標高 180 m において顕著な水理水頭の低下が見られる。その量は全体で水理水頭 10 m 程である。標高 170 m 付近および 160 m 付近にも水頭低下の傾向が見られる。標高 150 m 以深では掘削の影響は見られない。

○ TH 4-2 孔（図 3.2.5）

TH 4-2 孔は図 2.1 に示された TH 4 の位置に設置された深さ 80 m のボーリング孔である。このボーリングから 5 m 離れて深度 200 m の TH 4-1 が存在する。

図 3.2.5 における標高 230 m 以上の破線が TH 4-2 におけるピエゾ水頭の実測値を示している。

掘削前は全体的に水理水頭 263 m 程で静水圧を示していたが、平成 2 年 8 月末までに掘削にともない水圧低下を示している。しかし、標高 260 m では水圧 0 であるが、全ての水圧が抜けたわけではなく、標高 240 m では水圧で約 1 kgf/cm^2 を保っている。

その他のボーリング孔（TH 5～TH 8 および SN 4、AN 6）については、報告書に詳述している。

以上の結果を総合評価すると以下のようになる。

- (1) 立坑掘削の影響は瀬戸層においては顕著に現われ、TH 1、TH 2 はもとより TH 4-2、TH 5-2、TH 7-2 の水頭が低下した。TH 7-2 が立坑から最も遠く 170 m 離れており、立坑掘削の影響は瀬戸層では 170 m 以遠に及ぶと考えられる。
- (2) TH 5、TH 6、TH 7、TH 8、SN 4、AN 6 には立坑掘削の影響は現われていない。
- (3) 立坑掘削の影響は距離とともに小さくなる。すなわち、いちばん近い TH 1 の影響が最も大きく、TH 2、TH 3、TH 4 と立坑から離れるにつれて影響は小さくなる。
- (4) TH 2 と TH 5 はともに立坑から約 30 m ほど離れているが、TH 2 には立坑の影響が現われ、TH 5 には影響が表層だけにしか現われていない。これは、月吉断層が TH 5 深部への立坑掘削の影響を妨げているものと思われる。
- (5) 地下水面の変動およびピエゾ水頭分布への影響を考慮すると、深度 140 m の立坑掘削の影響は、平成 3 年 4 月末時点では月吉断層の南側では約 50 m の範囲に及んでいるものと思われる。月吉断層の北側には 30 m 離れた地点においてもその影響は観測されていない。

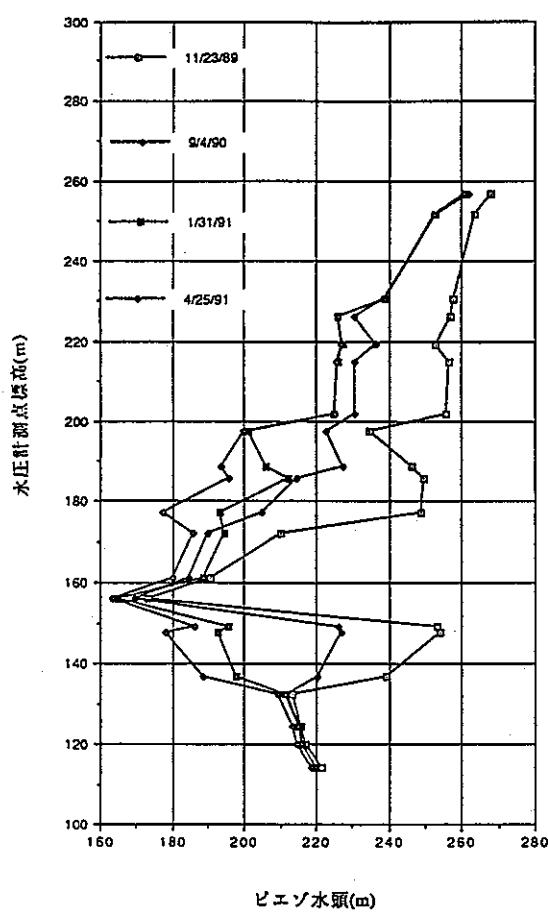


図 3.2.2 立坑掘削にともなうピエゾ水頭分布の変化
(TH1)

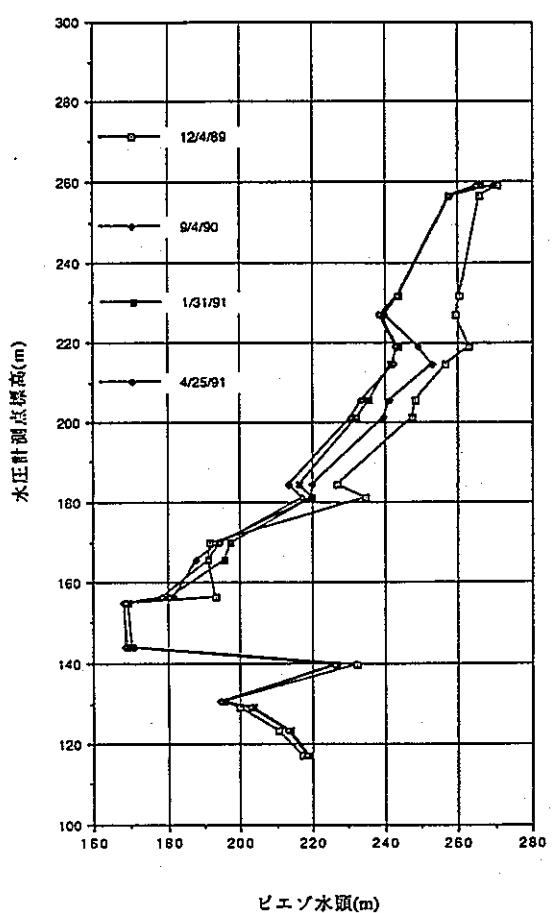


図 3.2.3 立坑掘削にともなうピエゾ水頭分布の変化
(TH2)

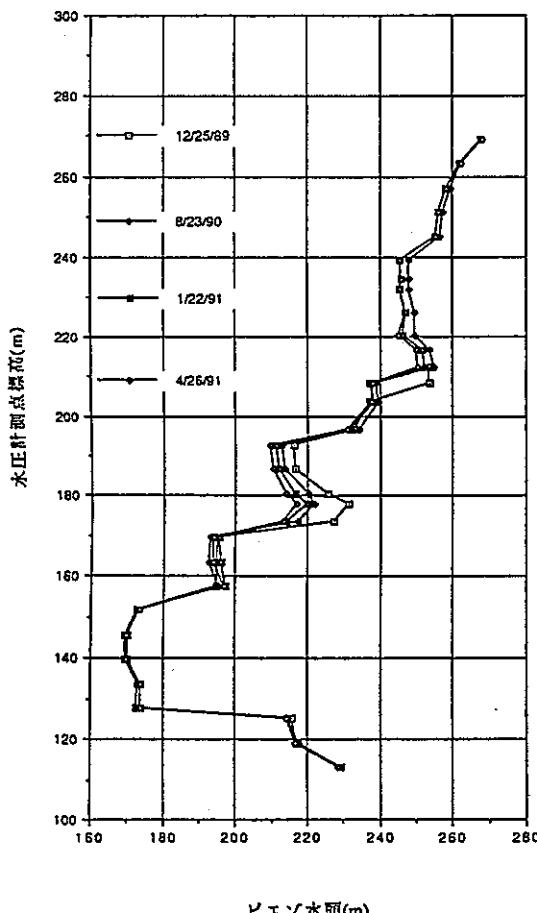


図 3.2.4 立坑掘削にともなうピエゾ水頭分布の変化
(TH3)

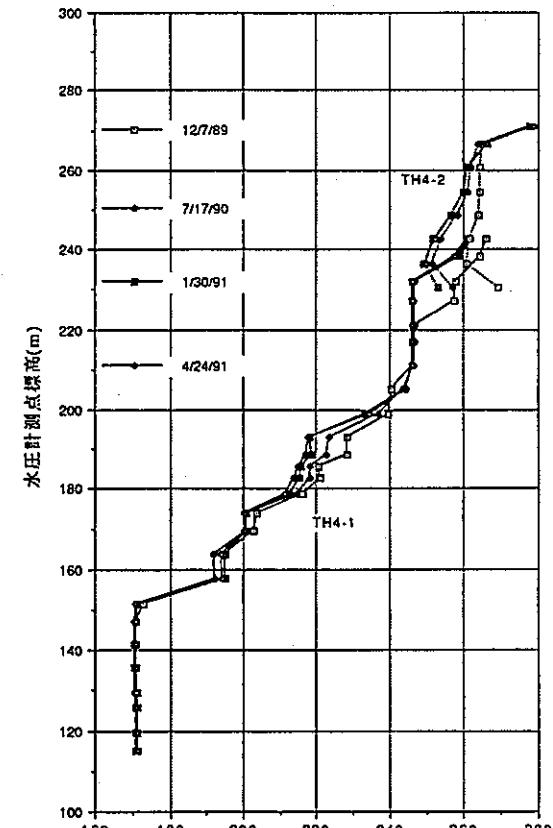


図 3.2.5 立坑掘削にともなうピエゾ水頭分布の変化
(TH4-1, TH4-2)

3.3 水圧の経時変化

図3.3.1から図3.3.4までには実測されたピエゾ水頭の経時変化を各計測孔・各計測深度ごとに示している。この図より立坑掘削の影響、採水の影響、季節変動およびMP計測時間の検討が行なわれた。

3.3.1 立坑掘削の影響

前節においては各計測ボーリング孔に沿っての全体的な水圧分布の変化について検討を行なった。一方、本節においては各計測深度毎の水頭の経時変化に注目し、立坑掘削の影響について再度検討を行なった。

TH1は立坑から10mしか離れていないため、図3.3.1に示すように立坑掘削の影響が顕著に現われている。全体的に掘削にともなって水位低下を起こしている。特に、標高が高い点において、水理水頭が急激に低下した後に一定値を示すのは、水圧が低下し0となったためである。標高132m以深には立坑掘削の影響はおよんでいない。標高186mでの大きな水頭変動は採水作業の影響である。

TH2は立坑から30m離れており、TH1ほどではないが立坑掘削の影響が認められる（図3.3.2）。特に、標高256mから219mのゾーンは立坑掘削の影響で水圧低下を起こした後、圧力が0となり、ピエゾ水頭一定値となっている。標高169mと165mではピエゾ水頭が平成2年10月15日から上昇しているが、これは、同様の傾向がTH3においても同じ標高で現われ、TH4の採水作業（標高158m）と時期を同じくしていることより、TH4の採水の影響と考えられる。ただし、水頭上昇を起こし、その影響が以後継続していることから判断して、この滯水層がTH4の採水の影響で他の滯水層と連結した可能性もある。標高214m、181m、139mの変動は採水作業による影響である。

図3.3.3に示すように、TH3においては標高240mから標高220mでピエゾ水頭が平成3年9月7日までに13m程低下している。この区間においては、以後水理水頭250mではほぼ静水圧分布をしている。標高212mおよび173mの変動は採水作業による影響である。標高208mにおいて平成3年1月29日から2月22日まで水頭が8m程増加し、以後もとの水頭に返っている。この滯水層に給水があったものと思われる。また、標高169m、163m、および、158mではTH2とほぼ同位置で水頭回復が生じており、TH4の採水の影響であろう。

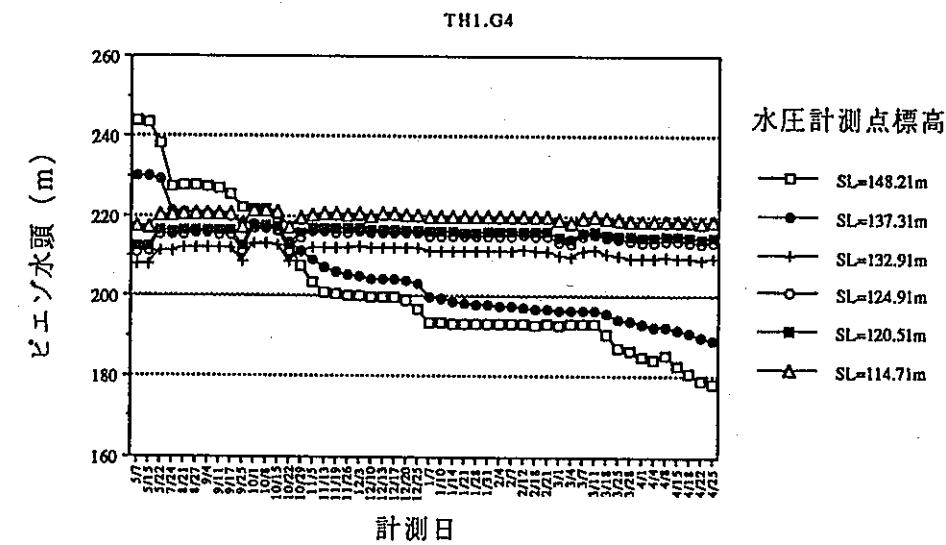
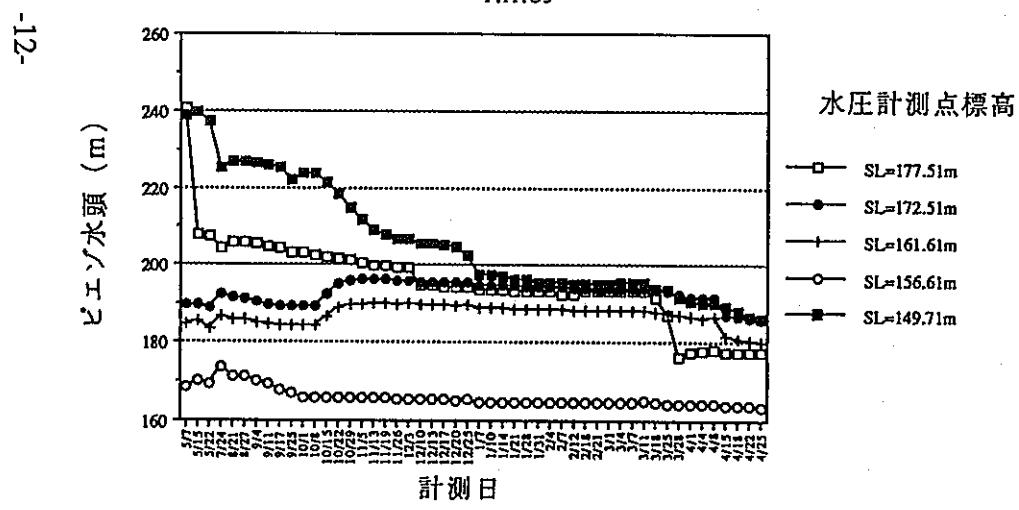
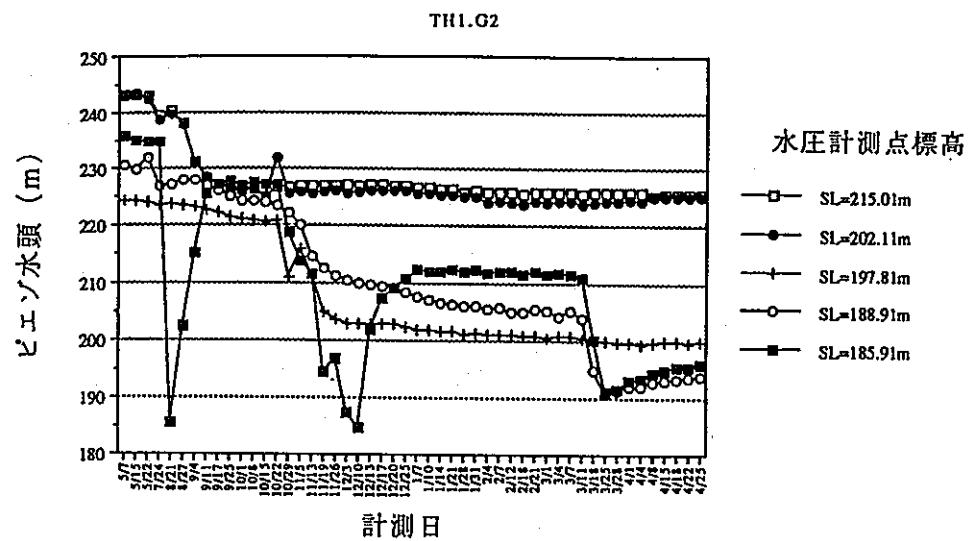
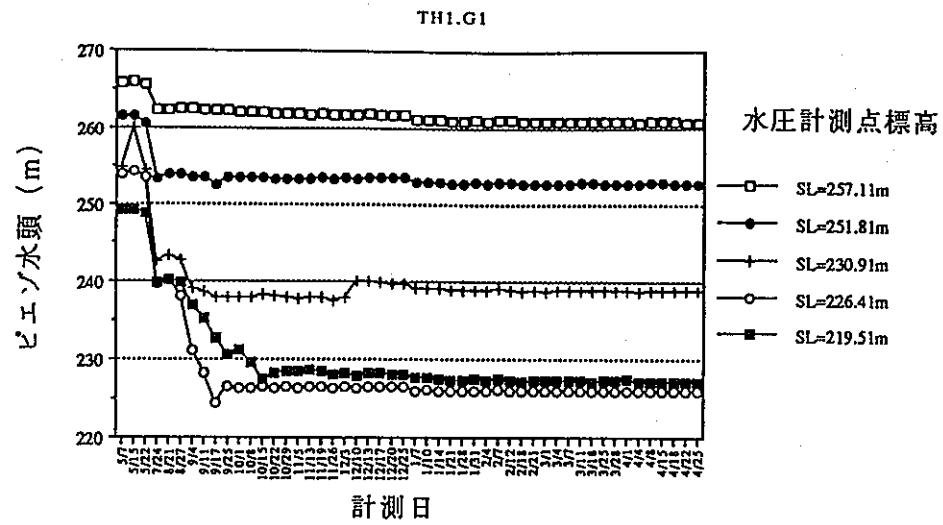


図 3.3.1 ピエゾ水頭の経時変化 (TH1)

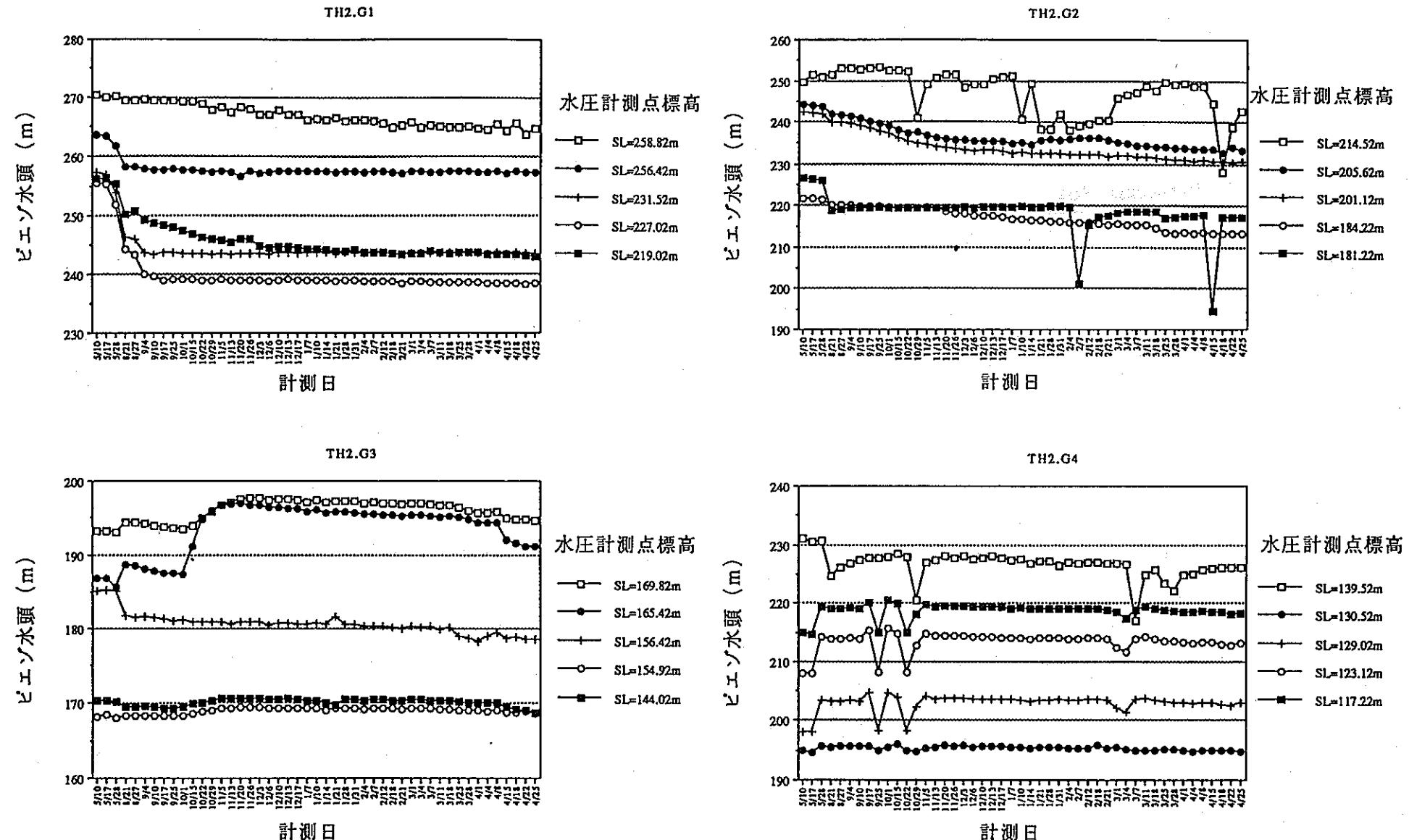


図 3.3.2 ピエゾ水頭の経時変化 (T H 2)

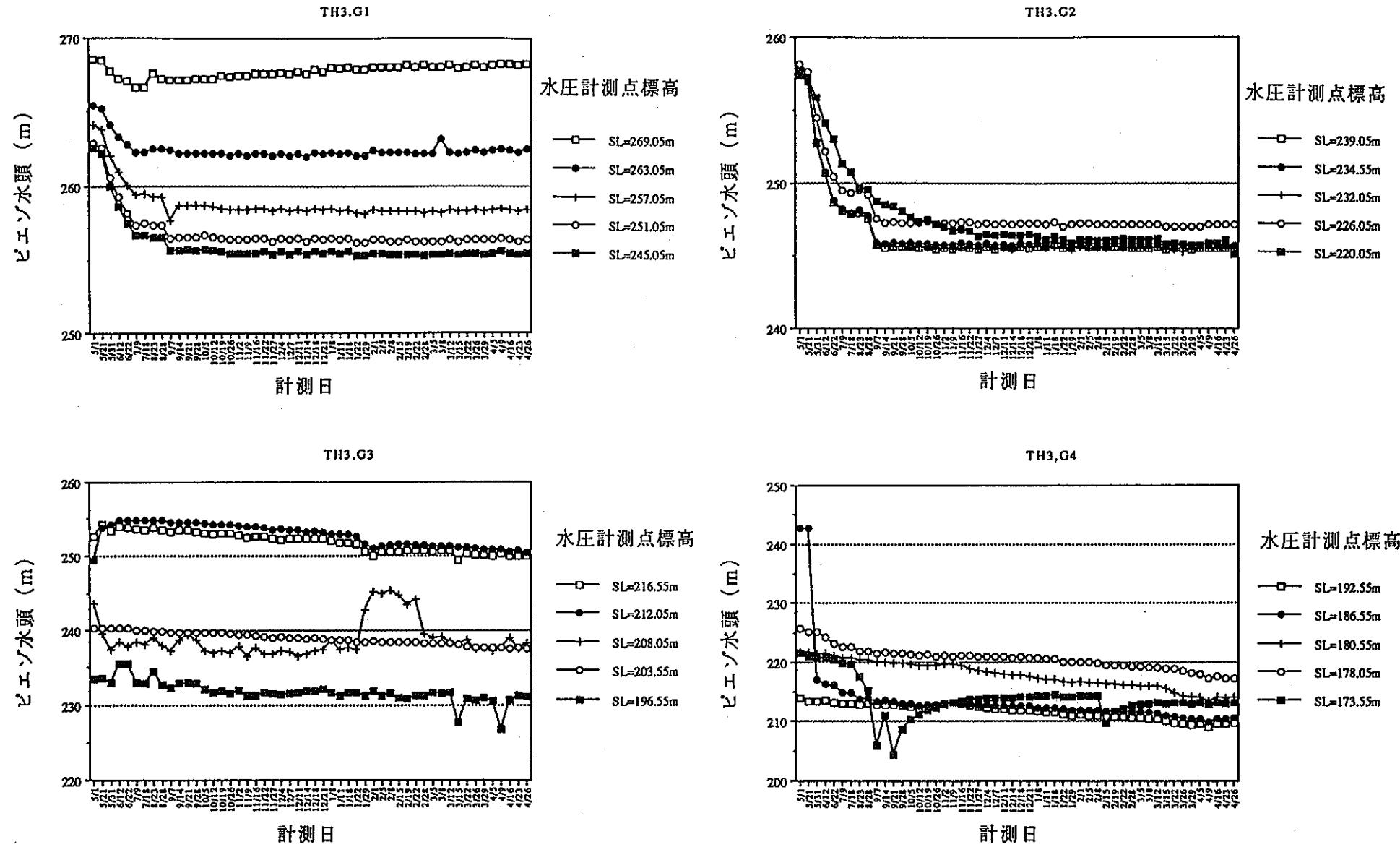


図 3.3.3 ピエゾ水頭の経時変化 (TH3) その 1

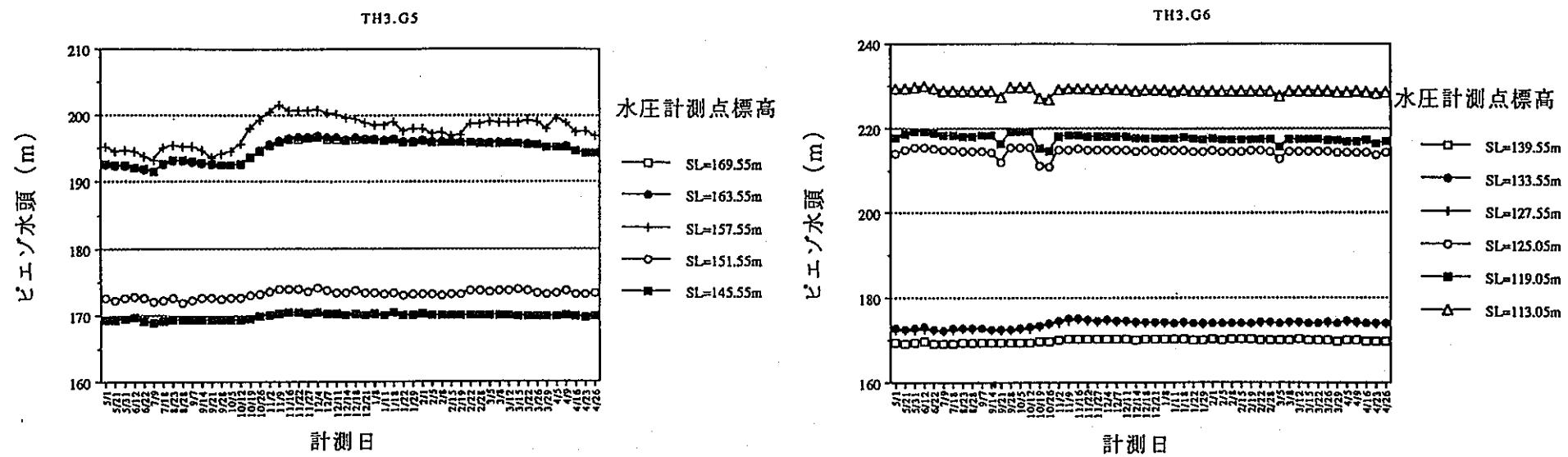


図 3.3.4 ピエゾ水頭の経時変化 (TH3) その2

3.3.2 採水の影響

MP採水については第4章で詳述するが、ここではこの採水作業によりMP水圧計測値にどのような影響が生じたかを検討する。採水位置および採水期間の概要は表4.2.1にまとめられている。このうちTH1、TH2、TH3の各採水点におけるMP水圧計測値の経時変動を図3.3.5から図3.3.7に示している。なお、各図の中には、その深度における採水日を矢印で示している。

図3.3.5において、TH1の標高252mと215mにおいては、この期間中にはほとんど採水作業を行なっておらず、水位低下は立坑掘削による影響と考えられる。一方、標高186mにおいては平成2年8月、10月から12月にかけて採水作業を行なっている。したがって、図3.3.5の標高186mにおける平成2年8月21日から9月17日、および12月10日から1月7日までは採水による水圧低下からの回復曲線と考えられる。一方、平成3年3月における水圧低下は立坑掘削と対応したものである。標高148mにおいては平成3年4月に計5リットルの採水を行なったがその影響は認められない。標高120mにおいては平成2年11月、12月に採水作業を行なっているが、水圧変動にはほとんど現われておらず、この花崗岩層からの採水は水圧には影響を与えないものと思われる。

図3.3.6におけるTH2での採水は、標高256mにおいては平成3年3月、標高214mにおいては平成3年1月から2月にかけて採水を行なっている。標高181mでは平成2年5月から6月と平成3年3月に採水を行なっている。また、標高139mでは平成2年6月から8月と平成3年3月に採水を行なっている。標高256mにおいては掘削の影響で8月以後は水頭が下がりきっているので3月の採水の影響は見られない。標高214mにおいては1月から2月までの採水によって10m程の水頭低下を示している。また4月の採水によって20m強の水頭低下を示している。標高181mでは5月から6月の採水によってかなりの水頭低下をしているはずであるが、水圧計測が8月21日にしか行なわれていないため水頭が回復した値を測定したものと思われる。なぜなら、この点では、2月の採水によって20mの水頭低下を示しているからである。標高139mにおいては6月から8月および3月中の採水の影響が認められ、ほぼ10mの水頭低下を示している。

図3.3.7におけるTH3での採水日は、標高251mにおいて平成3年4月、標高212mにおいては平成3年1月に採水を行なっている。標高173mでは平成2年8月から9月までと平成3年2月に採水を行なっている。最も顕著な採水による水頭低下は標高173mにおける8月から9月の採水によって引き起こされ、約15mの水頭低下を示している。

全体を通じて、採水影響の特長をまとめると以下のようになる。

- 明世層からの採水の影響は2~3日ぐらいで消える。採水の影響は翌日で大きくとも水頭で1~2mである。

○土岐層からの採水においては、採水点の水圧が採水中に0以下にまで下がり、その水位回復にはほぼ1~2ヶ月を要する。この顕著な回復曲線は図3.3.5のTH1の標高186mと図3.3.7のTH3の標高173mおよび、TH4の標高158mで計測された。

3.3.3 季節変動

立坑より最遠点に配置されたAN6は立坑の影響が少なく、地下水圧の季節変動を観測するために設置されたものである。この孔においては、標高180m付近を除いて水頭は年間を通じてほとんど変化していない。標高174mから183mの区間は中粒砂岩と礫岩の互層であり、逸水があったものと思われ、季節変動とは考えられない。従って、当該観測領域においては、地下水圧の季節変動はほとんど無いと考えられる。これは、TH6、TH7、TH8およびSN4において同様の傾向を示している。

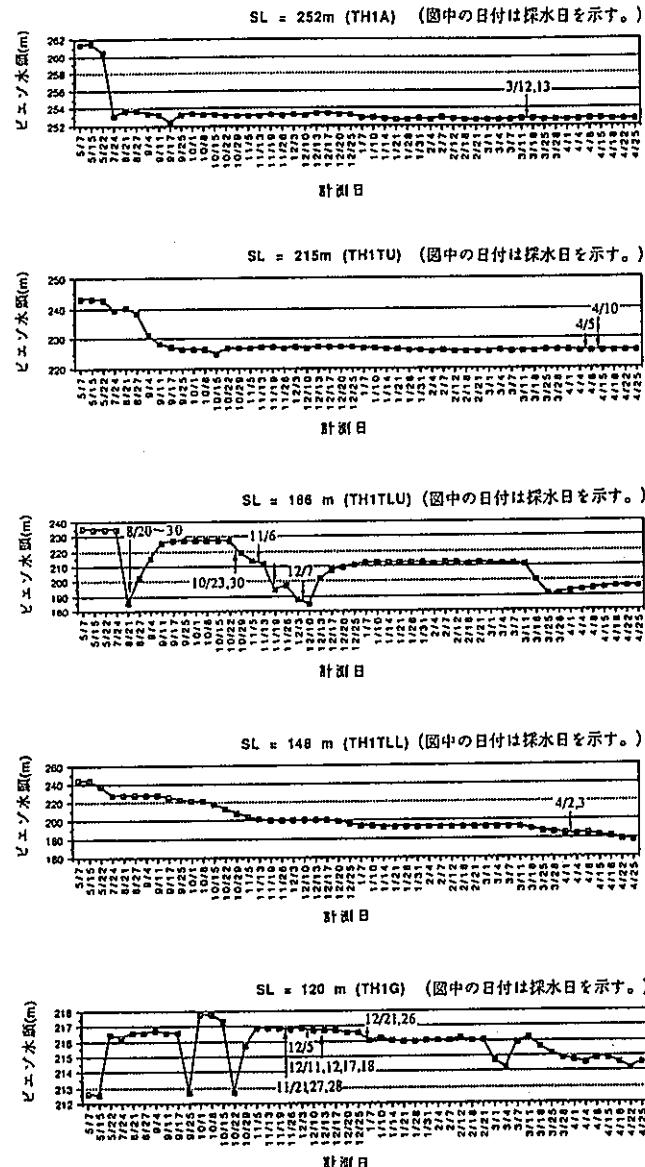


図 3.3.5 採水の影響 (TH 1)

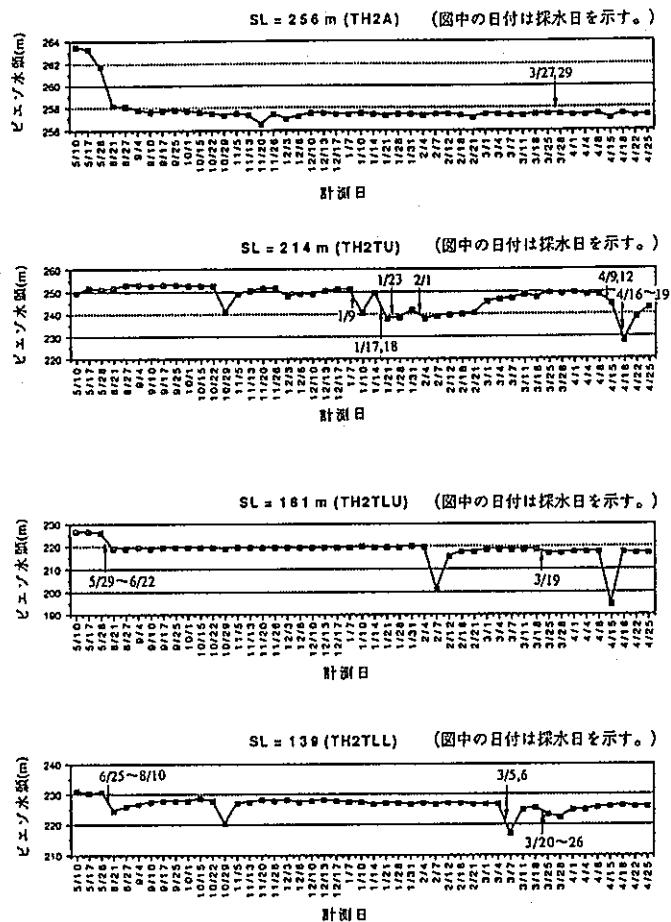


図 3.3.6 採水の影響 (TH 2)

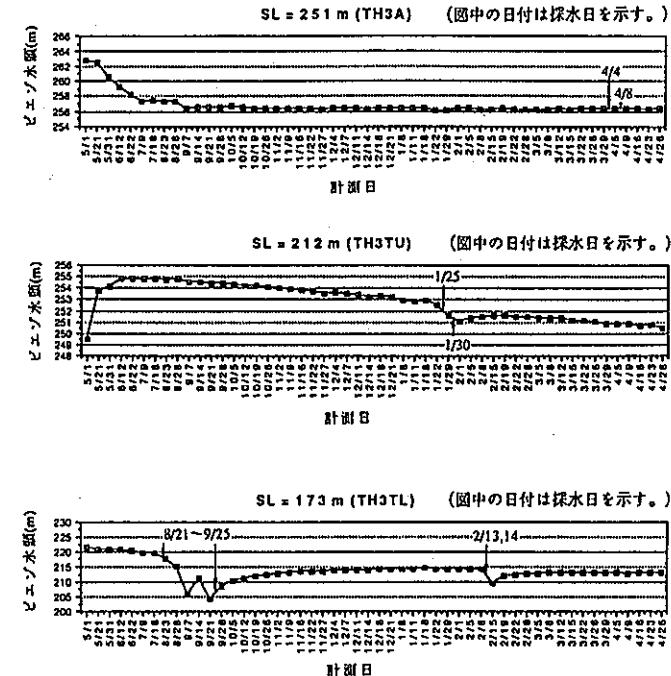


図 3.3.7 採水の影響 (TH 3)

3.4 MP水圧計測時間

水圧計測時間は各計測点により異なる。計測時間の変動する原因是地盤の透水性と水圧が関係しているものと考えられるため、計測時間の変動についての知見を得ることを目的とし、各計測点におけるMP水圧計測に要した時間を以下の項目について検討した。

- 1) 立坑掘削前の定常水圧計測時における水圧計測時間の変動
- 2) 立坑掘削時の水圧計測時間の変動
- 3) 立坑掘削による水圧計測時間の変化
- 4) ピエゾ水頭と水圧計測時間との相関
- 5) 水圧と水圧計測時間との相関
- 6) TH1、TH2、TH3、TH4における水圧計測時間の分布

ここでは、水圧測定値が2分間変化しない場合に安定であると判断した。その際、水圧測定の精度は0.01kgf/cm²である。

図3.4.1にはTH1、TH2、TH3、TH4の計測時間と水理水頭の相関を示している。負の相関がありそうである。一貫して、ピエゾ水頭が高く、計測時間が長くかかるような計測点は無い。

図3.4.2には計測時間と水圧の関係を示している。各孔1、2点づつ水圧4kgf/cm²付近において計測時間の長くかかる点が存在するほかは相関は無いといえる。

図3.4.3には、TH1からTH4までの計測時間の分布を並べたものである。各孔において、標高160m付近で計測時間が極端に長くなっている計測点がある。また、標高200m付近、標高140m付近にも、少し計測時間のかかる計測点が存在する。以上の検討をまとめると以下となる。

- 1) 立坑掘削前の水圧計測時間については計測毎にほとんど差は認められない。
- 2) 立坑掘削時の水圧計測時間についても2連続の計測についてはあまり差は認められない。
- 3) 立坑掘削の影響としては、立坑掘削前と深度50m付近まで立坑掘削が進んだ時点での計測時間は標高180m付近を境にして計測時間の変化傾向が変わっている。計測時間は、標高180mより以浅では短くなる傾向があるが、標高180mから157mまでは逆に計測時間が増加している。
- 4) ピエゾ水頭の小さな計測点では計測時間は長くなる傾向がある。
- 5) 水圧と計測時間との直接の相関は認められない。
- 6) TH1、TH2、TH3、TH4における計測時間の分布をみると明らかに標高160m付近に計測時間のかかる層があることが示唆されている。これは、この付近の水頭の低下域と対応するものである。

地盤の透水性と計測時間の関係については今後の課題である。

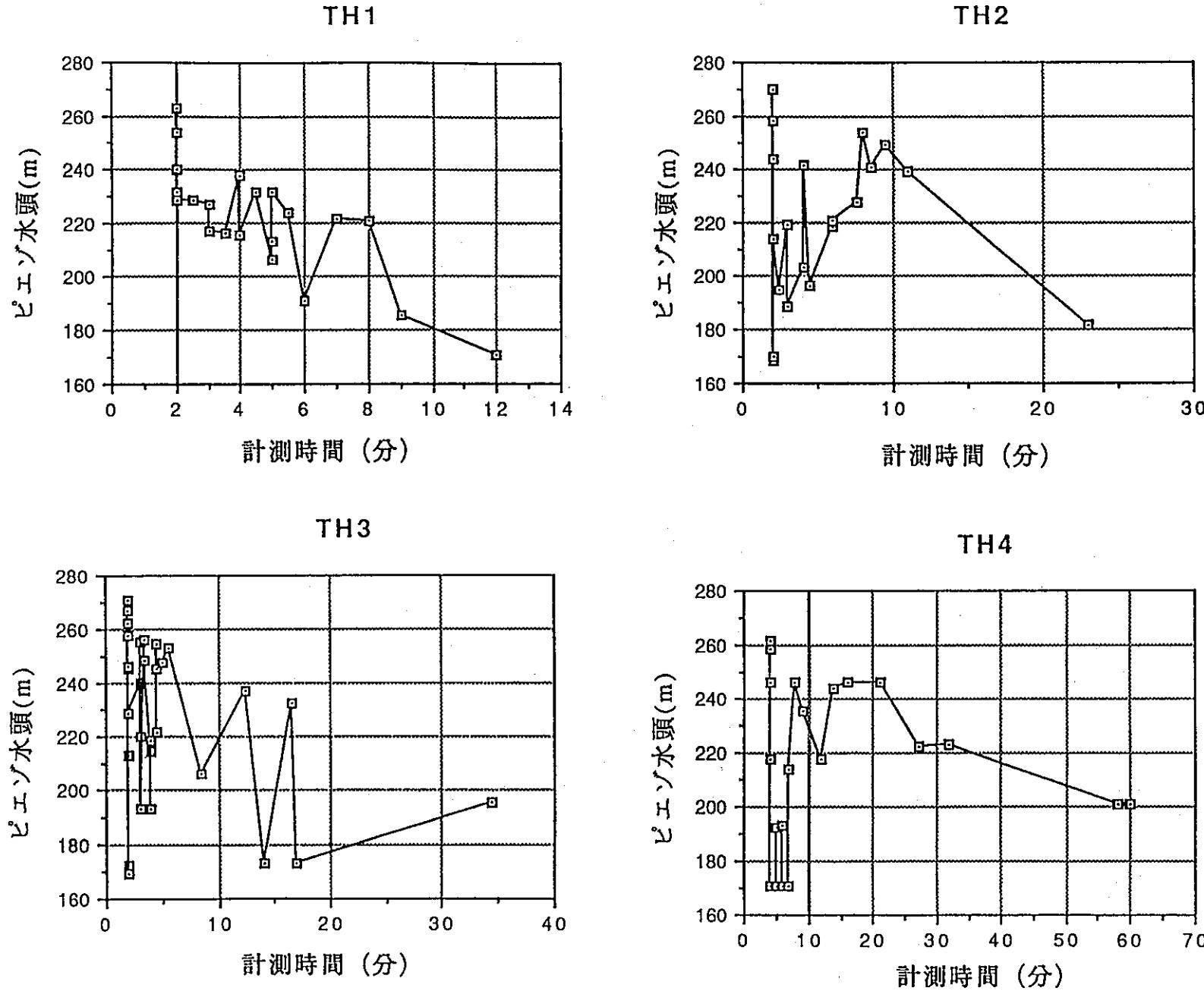


図 3.4.1 計測時間と水理水頭の相関

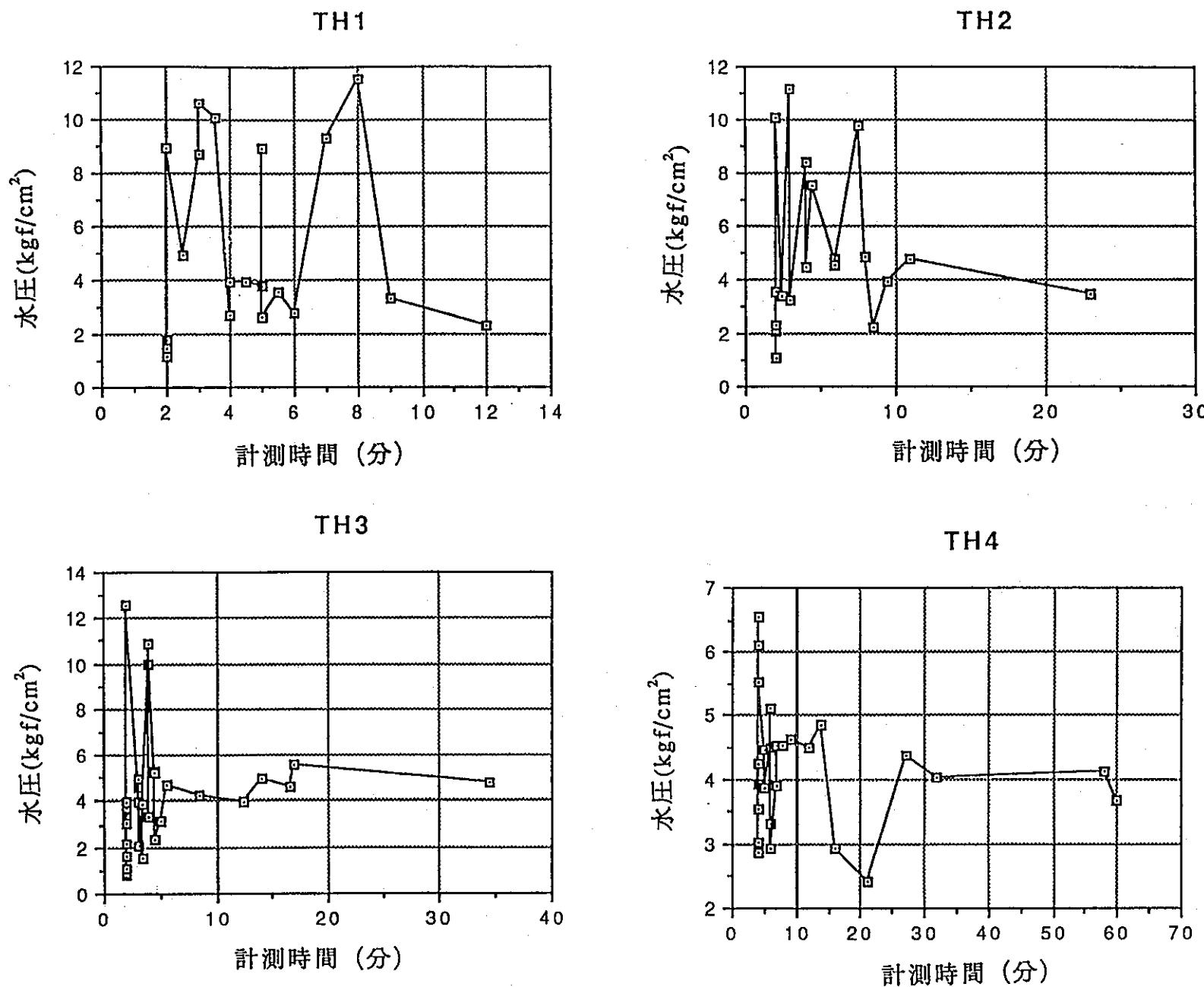


図 3.4.2 計測時間と水圧との関係

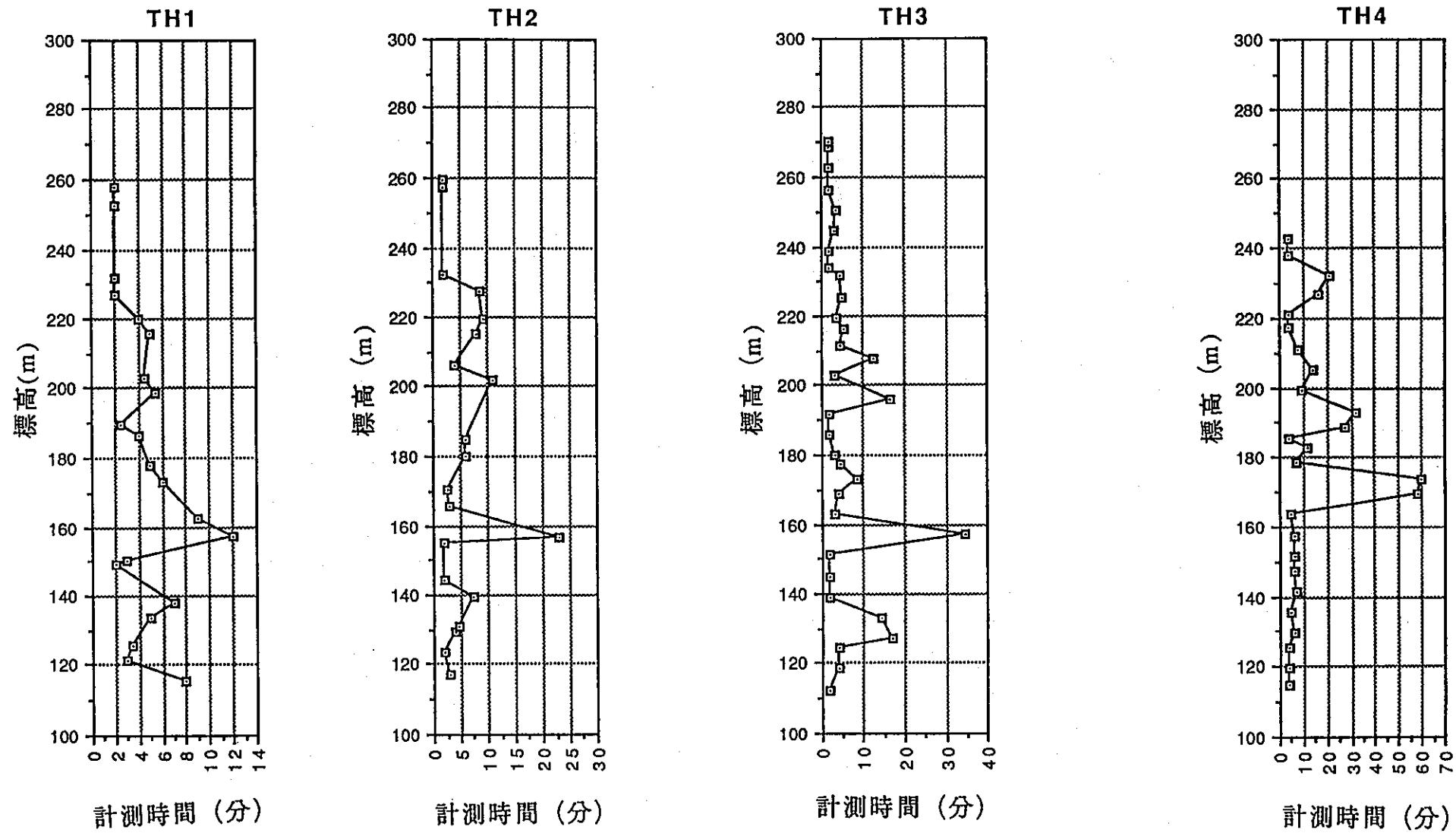


図 3.4.3 計測時間の比較

3.5 まとめ

以上の地下水計測調査の結果をまとめると以下のようになる。

- 1) 立坑掘削の影響は瀬戸層においては顕著に現われ、TH1、TH2はもとより、TH4-2、TH5-2、TH7-2の水頭が低下した。TH7-2が立坑から最も遠く170m離れており、立坑掘削の影響は瀬戸層では170m以遠に及ぶと考えられる。
- 2) TH8-2には瀬戸層が無く掘削の影響は現われていない。
- 3) TH1は立坑から10mしか離れていないため、立坑掘削の影響が顕著に現われている。全体的に掘削にともなって水位低下を起こしている。
- 4) TH2は立坑から30m離れており、TH1ほどではないが立坑掘削の影響が認められる。TH3、TH4と距離が離れるにつれて立坑掘削の影響は小さくなり、TH4ではほとんど水頭低下は認められなかった。月吉断層より南側の明世累層以下では立坑掘削の影響は50m程度に及ぶものと考えられる。
- 5) TH5はTH2と同様に、立坑から約30mほど離れているが、瀬戸層以外では顕著な掘削影響は認められていない。これは、月吉断層がTH5上部を切っており、断層北側に立坑掘削の影響が及んでいないのではないかと考えられる。すなわち、月吉断層自体あるいは月吉断層周辺が難透水性となっている可能性が強い。月吉断層以北では立坑掘削の影響は水平距離30mにまでは及んでいない。
- 6) 外周のTH6、TH7、TH8、SN4にはほとんど掘削影響は現われていない。
- 7) 最遠点に配置されたAN6では標高180m付近だけに水位低下ゾーンが確認された。岩相は中粒砂岩と礫の互層であるが、他の部分も同様な岩相であり、水圧の経時変化からは立坑掘削の影響とは考えにくい。
- 8) 明世層からの採水の影響は2~3日ぐらいで消える。採水の影響は翌日で大きくとも水頭で1~2mである。すなわち、明世層の透水係数が土岐夾炭層よりも大きく水の供給が比較的良いためであろう。
- 9) 土岐層からの採水においては採水点の水圧が0以下にまで下がり、その水位回復にはほぼ1~2ヶ月を要する。この顕著な回復曲線は図3.3.5のTH1の標高184mと図3.3.7のTH3の標高212mで計測された。
- 10) 当該観測領域においては、地下水圧の季節変動はほとんど無いと考えられる。
- 11) 水理水頭が低いほど、計測時間は長くかかる傾向がある。
- 12) TH1、TH2、TH3、TH4における計測時間の分布をみると明らかに標高160m付近に計測時間のかかる層があることが示唆されている。これは、この付近の水頭の低下域と対応するものである。
- 13) 地盤の透水性と計測時間の関係については今後の課題である。

4. MP採水

4.1 概要

本章のMP採水は前述のMPケーシングシステムを用いた採水による研究であり、平成2年度動燃委託研究『立坑掘削影響試験のための水理事前調査（II）』からの継続項目である。

用いたボーリング孔は水圧計測に用いたボーリング孔と同じであり、図2.1に示すTH1からTH8、および、AN6孔である。採水はMPケーシングの計測ポートから、ポータブルの500cc採水ボトルを用いた断続採水を行なった。すなわち、地上で真空抜気した採水ボトルをケーシング内に下ろし、所定の計測ポートと接合し、地下水圧との差圧によりボトル内に吸水後、ボトルを地上に引き上げる。吸水時間は岩盤の透水性に依存するが、一般的には約1時間とした。

表4.2.1にはこれまでのMP採水実績を示している。ここには、平成2年度動燃委託研究『立坑掘削影響試験のための水理事前調査（II）』に行なわれた採水実績も合わせて記載されている。各採水点の決定根拠は平成2年度動燃委託研究報告書『立坑掘削影響試験のための水理事前調査（II）』に詳述されている。TH1、TH2、TH3、TH4、TH8についてはTH1TLU、TH4G以外は全て1回目の採水を終了した。TH1TLUは採水を試みたが、採水効率が悪く12リットル程採水した時点で休止している。

平成2年度の委託研究時の採水計画後に追加した採水点は、TH4TU（深度83m）とTH6A（深度104m）の2点である。TH4TU（深度83m）は前回土岐層上部として採水したポイント（深度99m）のpHが他のものより高く、土岐層下部の水質と似ているため、再度土岐層上部の採水を試みたものである。一方、TH6Aは、断層より北側の明世層からの採水がTH8Aしか無いために追加したものである。

各孔における一回目の採水は試錐時の汚濁水を取り除く目的で35リットル以上の採水（予備採水）を行なった後、水質分析用の10リットルを採水（本採水）することを基準としている。二回目からは予備採水無しで、水質分析用の5リットルだけを採水した。立坑掘削により水位低下を起こし採水が不可能になることを懸念して、他の採水に先行して、2回目の採水も11地点で終了している。

4.2 採水状況

4.2.1 pHおよび電気伝導度

採水結果をまとめたものを表4.2.2から4.2.6に示している。ここには、それぞれ地層別（生俵層、明世層、土岐夾炭層上部、土岐夾炭層下部、花崗岩層）に採水深度、採水標高、pH計測値、電気伝導度計測値、および、全採水量を示している。表中☆印を示したものは平成2年度動燃委託研究報告書『立坑掘削影響試験のための水理事前調

査(II)』の結果を転記したものである。また、pHと電気伝導度はともに地上に採水ボトルを引き上げた直後にポータブルの計測器により測定したものであり、本採水時の平均値を示している。

図4.2.1、図4.2.2はそれぞれ、標高に添ってのpHと電気伝導度の分布を示している。断層の南側と北側では地層の標高が異なるので区別して表示している。

図4.2.1のpHの分布を見ると、断層の南側の地盤においては明世層に於てpHがもっとも低く7.4程度であり、土岐層下部で最も高く9.0前後の値となっている。土岐層上部は明世層と土岐層下部の中間の値を示し7.7から8.7の間にある。花崗岩の中ではpHは7.8と小さな値を示している。一方、断層より北側ではTH6Aで8.7と大きな値を示したものの全体としてはほぼ8.0前後の値で一定である。

一方、図4.2.2には電気伝導度の分布を示している。この電気伝導度は、温度25°Cで補正したものであり、補正式は以下の式を用いた。

$$E.C._{25} = \frac{E.C._T}{1 + \frac{K_T}{100}(T-25)}$$

ここで、E.C.₂₅は25°Cに補正した電気伝導度であり、E.C._TはT°Cの電気伝導度の測定値である。K_Tは補正係数であり、希薄溶液における温度特性はおおむね2%/°Cとされているため、K_T=2を用いた¹⁾。Tは計測時の水温(°C)である。

図4.2.2においては、断層南側においてはやはり明世層が一番低く150μS/m平均であり、標高160mと220m付近で270μS/m以上となっている。その他はほぼ220μS/m前後の値を示している。一方、断層北側では、pH分布と同様にやはり標高210m付近で高い値を示しているが、その他は200μS/m付近で一定値を示している。

pHおよび電気伝導度の安定に要する採水量は各採水点により異なるが、約10リットルから30リットルの間には安定値に達することがわかった。

4. 2. 2 採水効率

採水に要する時間は岩盤の透水性に依存するため、採水効率を検討することにより、その地点の透水性を推定することが可能となる。ここで、採水効率とは1日でMPシステムで汲み上げることのできた採水量を指している。採水効率の良い岩盤は透水性がよいと考えられるし、逆に、採水効率の悪い岩盤は透水性が悪いと考えられる。

採水効率という点で表4.2.1をながめると、生俵層と明世層は透水性がよく、MP採水装置を用いて、一日に4~5リットルの採水が可能であった。一方、土岐夾炭層においては1~2リットルの採水しかできず、透水性がかなり悪いことを示唆している。

4. 3 まとめ

以上の結果をまとめると以下のようになる。

- 1) 断層の南側の地盤においては明世層に於て pH がもっとも低く7.4程度であり、土岐層下部で最も高く9.0前後の値となっている。
- 2) 土岐層上部は明世層と土岐層下部の中間の値を示し7.7から8.7の間にある。
- 3) 花崗岩の中では pH は7.8と小さな値を示している。一方、断層より北側では T H 6 A で8.7と大きな値を示したもの全体としてはほぼ8.0前後の値で一定である。
- 4) 電気伝導度の分布は断層南側においてはやはり明世層が一番低く $1.50 \mu\text{S}/\text{m}$ 平均であり、標高 160 m と 220 m 付近で $270 \mu\text{S}/\text{m}$ 以上となっている。その他はほぼ $220 \mu\text{S}/\text{m}$ 前後の値を示している。
- 5) 断層北側の電気伝導度は、pH 分布と同様にやはり標高 210 m 付近で高い値を示しているが、その他は $200 \mu\text{S}/\text{m}$ 付近で一定値を示している。
- 6) 生俵層と明世層は透水性がよく、MP 採水装置を用いて、一日に4～5リットルの採水が可能であった。一方、土岐層においては1～2リットルの採水しかできず、難透水性であると考えられる。
- 7) 採水効率と水理地質との相関、および水質の分布を考慮した水理地質を検討することが重要であると考えられる。

『参考文献』

- 1) 地下水ハンドブック、地下水ハンドブック編集委員会編、建設産業調査会、p136、昭和54年発行。

表 4.2.1 採水ポート一覧表

No.	試錐	メッシュメントポート 深度 (m)	ポンピングポート 深度 (m)	ポート番号	計測区間 (m)	記事	記号	採水期間	採水効率
1		33.8 (252.6)	38.3	1	5.1	明世累層	TH1A	2/2 ~ 3/26	5リットル/日
2		70.8 (215.6)	75.3	3	5.1	土岐累層上部	TH1TU	PNC(4/3 ~ 4/12)	3リットル/日
3	T	101.8 (184.6)	106.3	5	5.1	土岐累層下部	TH1TLU	8/20 ~ 11/30	1リットル/日
4	H	138.3 (148.1)	142.8	8	5.1	土岐累層下部	TH1TLL	PNC(6/8 ~ 6/21)	2リットル/日
5		166.3 (120.1)	170.8	10	5.1	花崗岩層	TH1G	11/21 ~ 12/26	4リットル/日
6		32.8 (256.5)	37.3	1	5.1	明世累層	TH2A	3/2 ~ 3/12	6リットル/日
7	T	74.8 (214.5)	79.3	3	5.1	土岐累層上部	TH2TU	3/23 ~ 4/19	4リットル/日
8	H	109.8 (179.5)	114.3	5	5.1	土岐累層下部	TH2TLU	5/29 ~ 6/22	2リットル/日
9	2	150.3 (139.0)	154.8	8	5.1	土岐累層下部	TH2TLL	6/25 ~ 8/10	1リットル/日
10	T	46.5 (251.1)	51.0	4	5.1	明世累層	TH3A	3/13 ~ 3/29	5リットル/日
11	H	85.5 (212.1)	88.0	12	3.1	土岐累層上部	TH3TU	4/19 ~ 4/27	5リットル/日
12	3	124.0 (173.6)	126.5	20	3.1	土岐累層下部	TH3TL	8/21 ~ 9/25	3リットル/日
13		83.0 (227.1)	87.5	3	5.1	土岐累層上部	TH4TU	10/11 ~ 11/13	3リットル/日
14	T	99.0 (211.1)	103.5	6	5.1	土岐累層上部	TH4TU	PNC	2リットル/日
15	H	152.5 (157.6)	157.0	17	5.1	土岐累層下部	TH4TL	9/7 ~ 10/11	3リットル/日
16		190.5 (119.6)	193.5	24	3.6	花崗岩層	TH4G		
17	4	61.0 (248.5)	65.5	4	5.1	明世累層	TH4A	2/6 ~ 2/22	4リットル/日
18	T	133.5 (153.9)	139.5	4	6.6	土岐累層下部	TH5TL		
19	H	182.5 (104.9)	187.0	10	5.1	花崗岩層	TH5G		
20		68.0 (244.8)	72.5	2	5.1	生俵累層	TH6O	4/24 ~ 5/28	4リットル/日
21	T	104.0 (206.8)	108.5	4	5.1	明世累層	TH6A	90/2/7 ~ 2/27	4リットル/日
22	H	147.0 (165.8)	151.5	7	5.1	土岐累層下部	TH6TL		
23	6	182.0 (130.8)	186.6	10	5.1	花崗岩層	TH6G		
24	7	124.0 (182.7)	128.5	4	5.1	土岐累層下部	TH7TL		
25		64.0 (212.1)	68.5	3	5.1	明世累層	TH8A	4/12 ~ 4/23	4リットル/日
26	T	95.5 (180.6)	100.0	5	5.1	土岐累層上部	TH8TU	91/2/4 ~ 2/25	3リットル/日
27	H	121.0 (155.1)	125.5	7	5.1	土岐累層下部	TH8TL	12/10 ~ 91/2/4	3リットル/日
28	8	160.0 (116.1)	164.5	10	5.1	花崗岩層	TH8G	10/15 ~ 12/6	3.5リットル/日
29	2	28.5 (246.2)	33.0	2	5.1	生俵累層	TH8O	2/6 ~ 4/10	4リットル/日
30		14.0 (240.1)	18.5	1	5.1	明世累層	AN6A	PNC (5/17 ~ 5/29)	5リットル/日
31	A	34.0 (220.1)	35.8	2	5.1	土岐累層上部	AN6TU		
32	N	121.5 (132.6)	126.0	13	5.1	花崗岩層	AN6G		
33	6	80.0 (174.1)	84.5	6	5.1	土岐累層下部	AN6TL		

* : () 内は標高 (m)

表 4.2.2 採水データのまとめ（生俵層）

	深 度 (m)	標 高 (m)	pH	電導度 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	採 水 量 (ℓ)	記 事
☆TH60	68.0	244.0	7.9	187	60	第1回採水
TH602	68.0	244.8	7.8	160	6	第2回採水
☆TH80	28.5	247.5	7.8	160	36	第1回採水

（☆は『立坑掘削影響試験のための水理事前調査（II）』（1990）参照）

表 4.2.3 採水データのまとめ（明世層）

	深 度 (m)	標 高 (m)	pH	電導度 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	採 水 量 (ℓ)	記 事
☆TH1A	33.8	253.2	7.5	166	146	第1回採水
TH1A2	33.8	252.6	7.5	149	6	第2回採水
☆TH2A	32.8	257.2	7.1	125	30	第1回採水
TH2A2	32.8	256.5	7.3	136	6	第2回採水
☆TH3A	46.5	250.5	7.5	137	71	第1回採水
TH3A2	46.5	251.1	7.6	150	6	第2回採水
☆TH4A	61.0	249.0	7.2	180	59	第1回採水
TH4A2	61.0	248.5	7.8	190	7	第2回採水
TH4A3	61.0	248.5	7.8	165	6	第3回採水
TH6A	104.0	206.8	8.9	345	43	第1回採水
☆TH8A	64.0	212.0	8.1	220	57	第1回採水
TH8A2	64.0	212.1	8.1	248	7	第2回採水

（☆は『立坑掘削影響試験のための水理事前調査（II）』（1990）参照）

表 4.2.4 採水データのまとめ（土岐夾炭層上部）

	深 度 (m)	標 高 (m)	pH	電導度 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	採 水 量 (ℓ)	記 事
☆TH1TU	70.8	216.2	8.1	290	40	第1回採水
TH1TU2	70.8	216.2	8.0	258	5	第2回採水
☆TH2TU	74.8	215.2	8.2	270	42	第1回採水
TH2TU2	74.8	215.2	8.2	340	6	第2回採水
TH2TU3	74.8	215.2	8.1	320	6	第3回採水
☆TH3TU	85.5	211.5	8.4	270	62	第1回採水
TH3TU2	85.5	212.1	8.2	283	7	第2回採水
TH4TU	83.0	227.1	7.7	230	48	第1回採水
TH4TU2	83.0	206.8	8.7	225	7	第2回採水
TH8TU	95.5	180.6	7.7	221	40	第1回採水

(☆は『立坑掘削影響試験のための水理事前調査(II)』(1990) 参照)

表 4.2.5 採水データのまとめ（土岐夾炭層下部）

	深 度 (m)	標 高 (m)	pH	電導度 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	採 水 量 (ℓ)	記 事
TH1TLU	101.8	184.6	8.4	200	12	第1回採水
TH1TLL2	138.3	148.1	9.6	186	7	第2回採水
TH2TLU	109.8	179.5	8.6	190	48	第1回採水
TH2TLU2	109.8	179.5	8.3	220	2	第2回採水
TH2TLL	150.3	139.0	9.3	180	49	第1回採水
TH2TLL2	150.3	139.0	8.9	185	8	第2回採水
TH3TL	124.0	173.6	8.9	187	47	第1回採水
TH3TL2	124.0	173.6	8.8	209	6	第2回採水
TH4TL	152.5	157.6	9.2	275	44	第1回採水
TH4TL2	152.5	157.6	8.9	282	6	第2回採水
TH8TL	121.0	155.1	7.8	145	48	第1回採水

表 4.2.6 採水データのまとめ（花崗岩）

	深 度 (m)	標 高 (m)	pH	電導度 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	採 水 量 (ℓ)	記 事
TH1G	166.3	120.1	7.8	238	43	第1回採水
TH8G	160.0	116.1	7.8	215	41	第1回採水

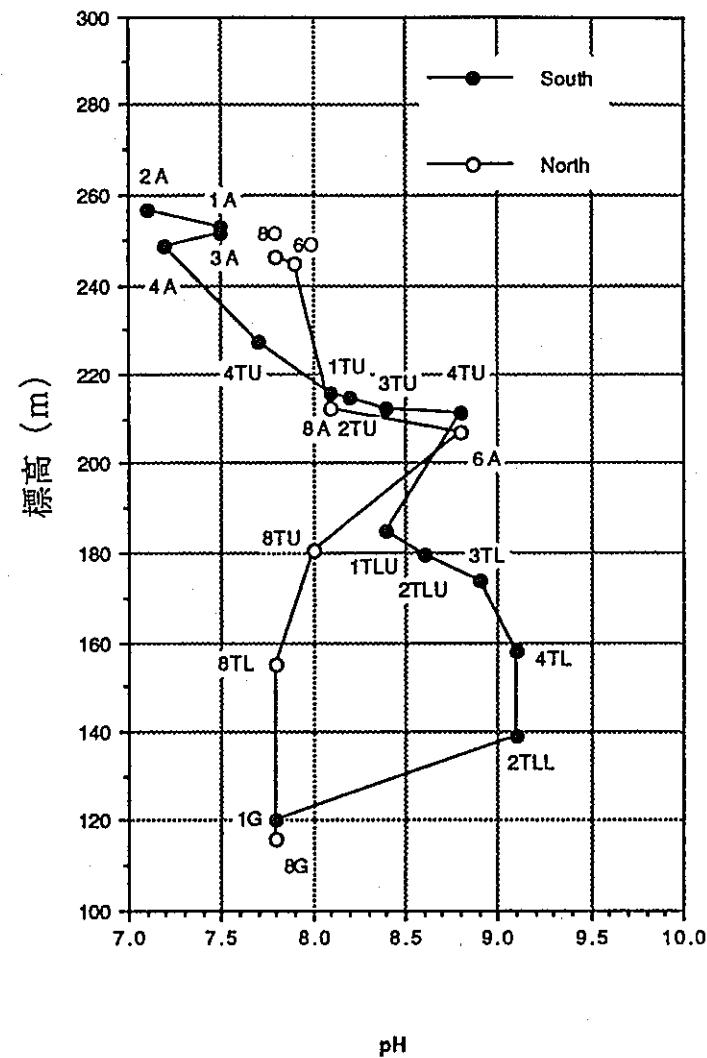


図 4.2.1 pH の分布

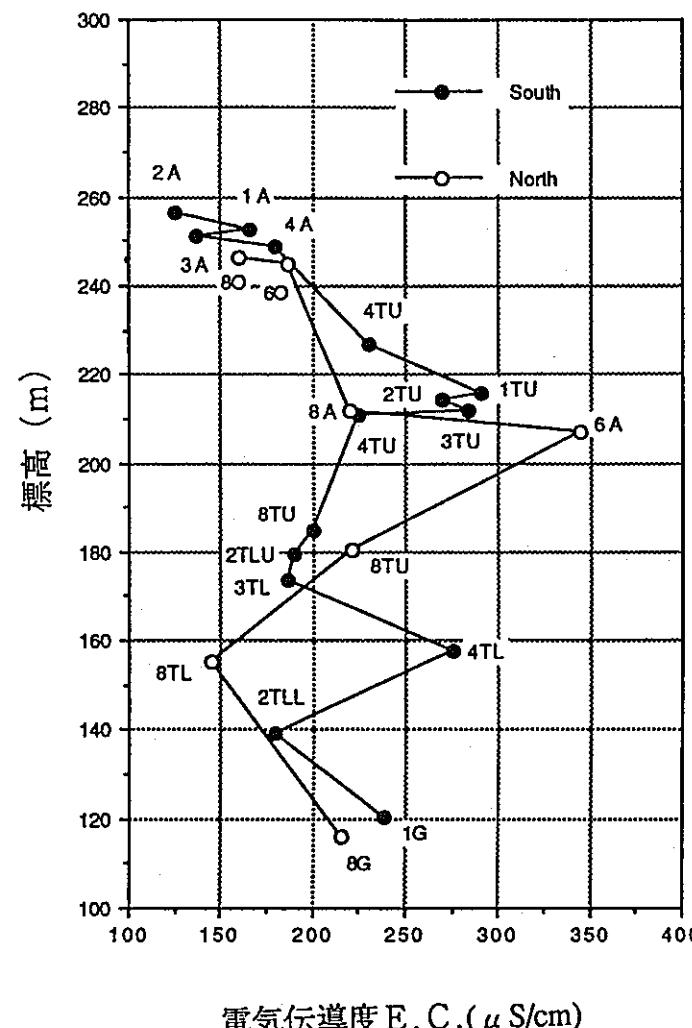


図 4.2.2 電気伝導度の分布

5. 三次元地下水水流動解析

5.1 概要

平成元年度動燃委託研究『立坑掘削影響試験のための水理事前調査（I）』および平成2年度動燃委託研究『立坑掘削影響試験のための水理事前調査（II）』において、図5.2.1に示す東濃地区の水理地質の調査が行なわれ、本研究により、立坑掘削中の水圧分布の観測、および、地下水採水と水質分析が行なわれ、さらに水理地質に関するデータ蓄積が行なわれた。

特に、平成2年度動燃委託研究『立坑掘削影響試験のための水理事前調査（II）』において提案された水理地質モデルは検証が行なわっておらず、いろいろな観測データとの適合性について検討が必要である。そこで、提案された水理地質モデルをもとに立坑掘削時の地下水水流動解析を行ない、立坑掘削時の地下水挙動の観測値と対比させることにより、このモデルの問題点を検討する。

一方、地下水水流動解析自体に対しては、解析モデル作成手法、水理定数の設定、境界条件の設定、立坑掘削ステップのシミュレーション、解析結果と観測結果との検証手法について検討する必要がある。本研究において対象となる東濃地区には、地下水の流動系に影響を及ぼす要因となる断層（月吉断層）、既存坑道（立坑及び横坑）が存在することから、地下水水流動状況は複雑な三次元性を有していることが考えられる。また、表層からの立坑掘削であるため、地下水面の評価が不可避であり、地盤の飽和域および不飽和域の両者を考慮する必要がある。そこで、地下水水流動解析手法としては三次元有限要素法を用いた飽和・不飽和地下水水流動解析法を採用し、以下のステップに従い検討を行なった。

- 1) 解析領域の設定および三次元有限要素モデルの作成
- 2) 水理定数・境界条件の設定
- 3) 表層水理条件の検討
- 4) 三次元解析（立坑掘削前）の水圧の検証
- 5) 既存坑道内湧水量の検証
- 6) 水圧分布および流向・流速分布（立坑掘削予測解析）
- 7) 坑道内湧水量の検証（立坑掘削予測解析）
- 8) 立坑掘削時の水圧分布の検証
- 9) 水圧分布および流向流速分布（立坑掘削予測解析）

なお、解析値と実測値の対比には、TH1、TH2、TH3、TH5の水圧分布、および既存坑道（立坑部、横坑部）、および新立坑からの湧水量を用い、立坑掘削前および立坑掘削中の地下水挙動の検討を行なった。

5.2 解析領域の設定及び三次元有限要素モデルの作成

(i) 解析領域の設定

図5.2.1にサイト周辺の地形図を示す。図中、5つの調査ボーリング孔（TH4, TH6, TH7, TH8, SN4）を結ぶ破線部が設定した解析領域である。領域の境界については、稜線及び谷線に比較的沿った形となっており、頂点には5つの調査ボーリング孔（TH4, TH6, TH7, TH8, SN4）が位置するように設定している。

ボーリングコアの調査結果から、健全な花崗岩の現われる標高100mから以深を不透水と考え、この標高100mを下方境界と設定した。

(ii) 三次元有限要素モデルの作成

基本的に解析モデルは、平成2年度動燃委託研究『立坑掘削影響試験のための水理事前調査（II）』に提案された水理地質図を三次元に拡張する作業から始めた。図5.2.2に構築され三次元の水理地質図を示している。この拡張に際して用いられた基本方針は以下のとおりである。

- 1) 平成2年度動燃委託研究『立坑掘削影響試験のための水理事前調査（II）』に提案された水理地質断面図TH1からTH4、TH1からTH6、TH7からTH6、SN4からTH7、TH8からTH6はできるだけ忠実に反映させる。
- 2) 月吉断層はN75°E60°Sの走行傾斜で、TH1の位置で標高130mを通る厚さ30cmの平面で近似した。
- 3) 断層の南側の地層は北側に対して30m隆起しているものとして、地層の連続性を考慮した。

図5.2.3は新立坑～TH1～TH2～TH3～TH4を通る断面図である。それぞれの図では、表層の瀬戸層と、基盤の花崗岩層の間を相対的な透水性で水理地質区分を行ない、上部から順に層番号を付けている。ただし、断層により各層の不連続性があるので、断層の北側と南側で地層番号を変えている。

これらの水理地質モデルを基に作成した三次元有限要素モデルを図5.2.4～図5.2.5に示す。図5.4にはこの有限要素モデル水理地質ゾーニングの外観を示している。図5.2.2と比較すると、元の水理地質図を忠実に表現できていることがわかる。図5.2.5は南東方面および北西方面からの有限要素メッシュの外観である。一方、図5.2.6は既存坑道位置を示す透視図である。また、図5.2.7は真上から見たメッシュの鳥瞰図である。

モデル化にあたっては考慮した点は以下の通りである。

- 1) 各水理地質層はゾーンとして抽出し、このゾーンを要素分割する。各ゾーン内で岩盤物性は均質とする。
- 2) 各水理ゾーンは最低2層のメッシュで分割して、必ずゾーン内に節点が存在するように心掛けた。これは、水頭をゾーンの端の点で評価するのではなく、ゾーン

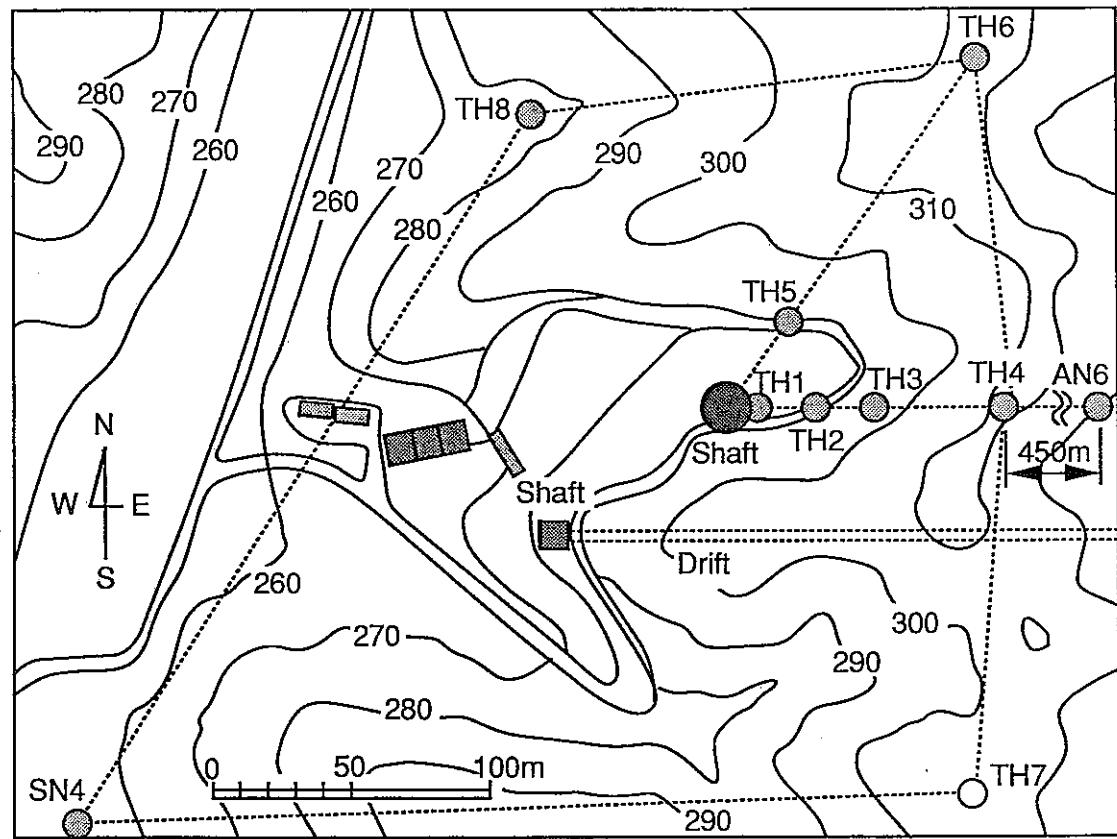


図 5.2.1 調査地域の地形および解析領域

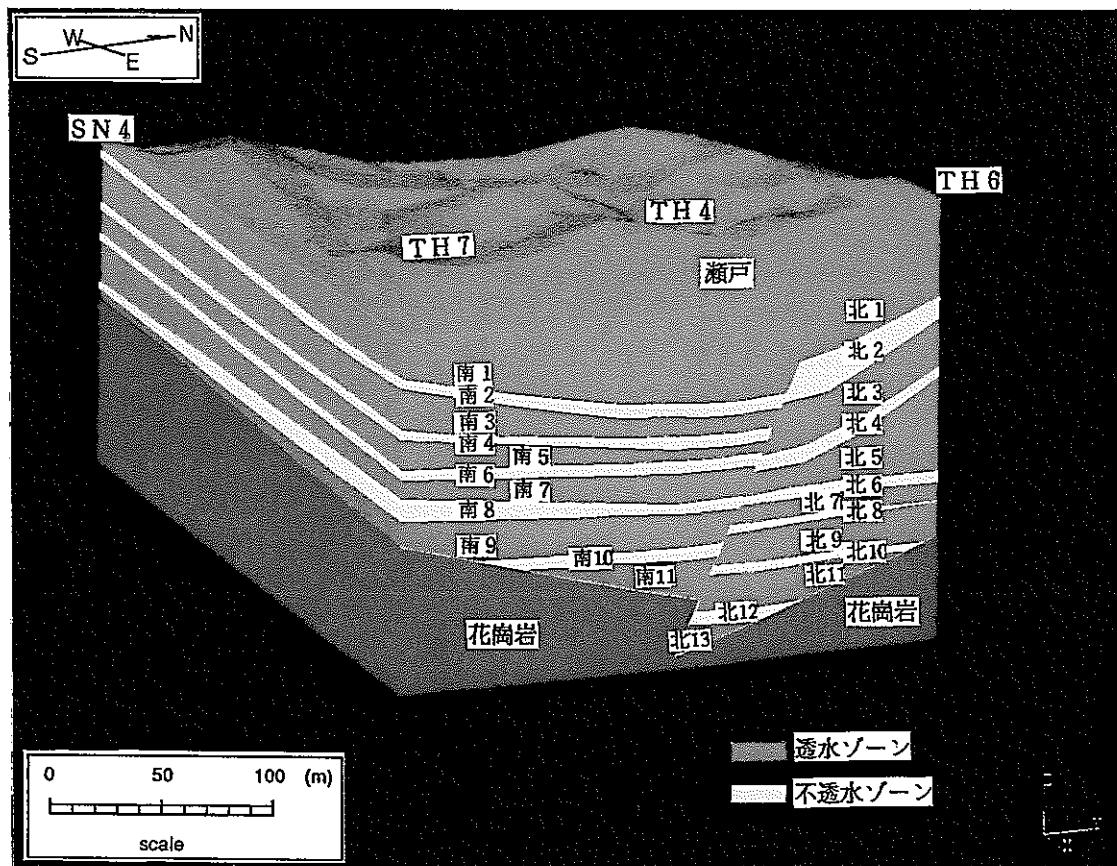


図 5.2.2 水理地質モデル図（その1、全体図）

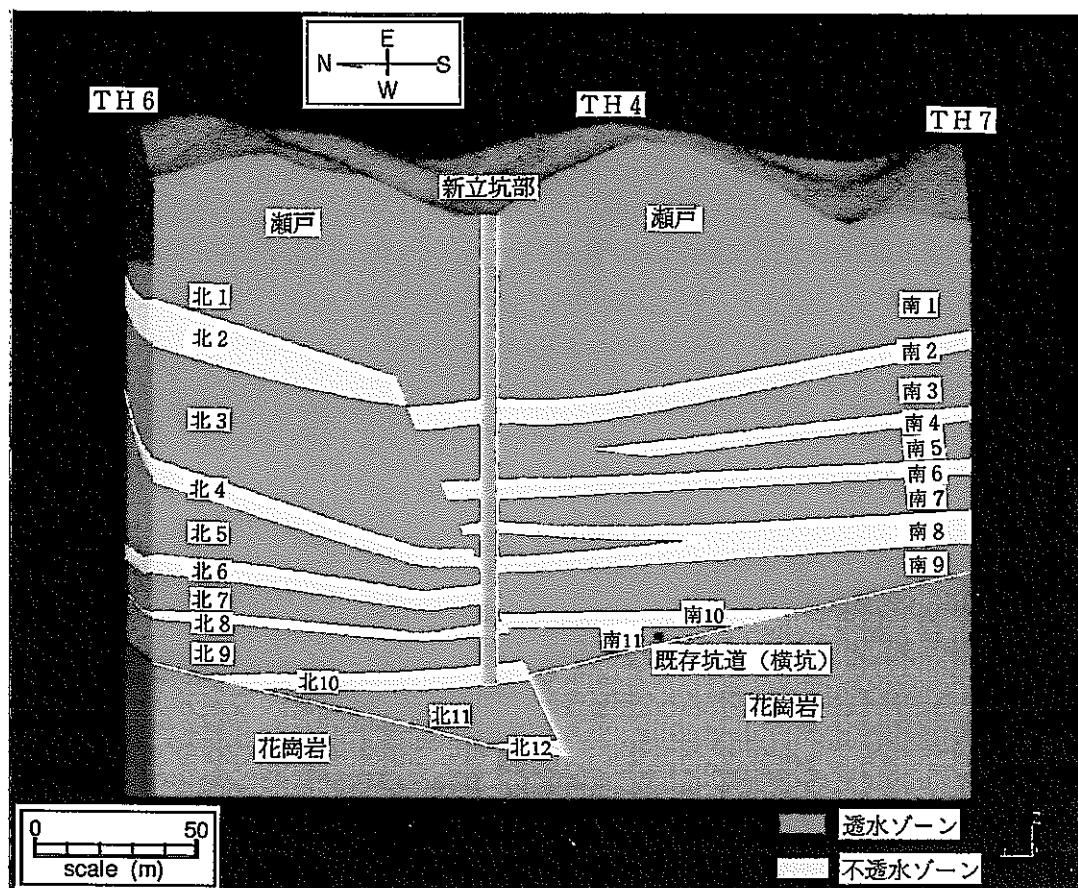


図 5.2.3 水理地質モデル図（その2、TH 1～TH 4 断面図）

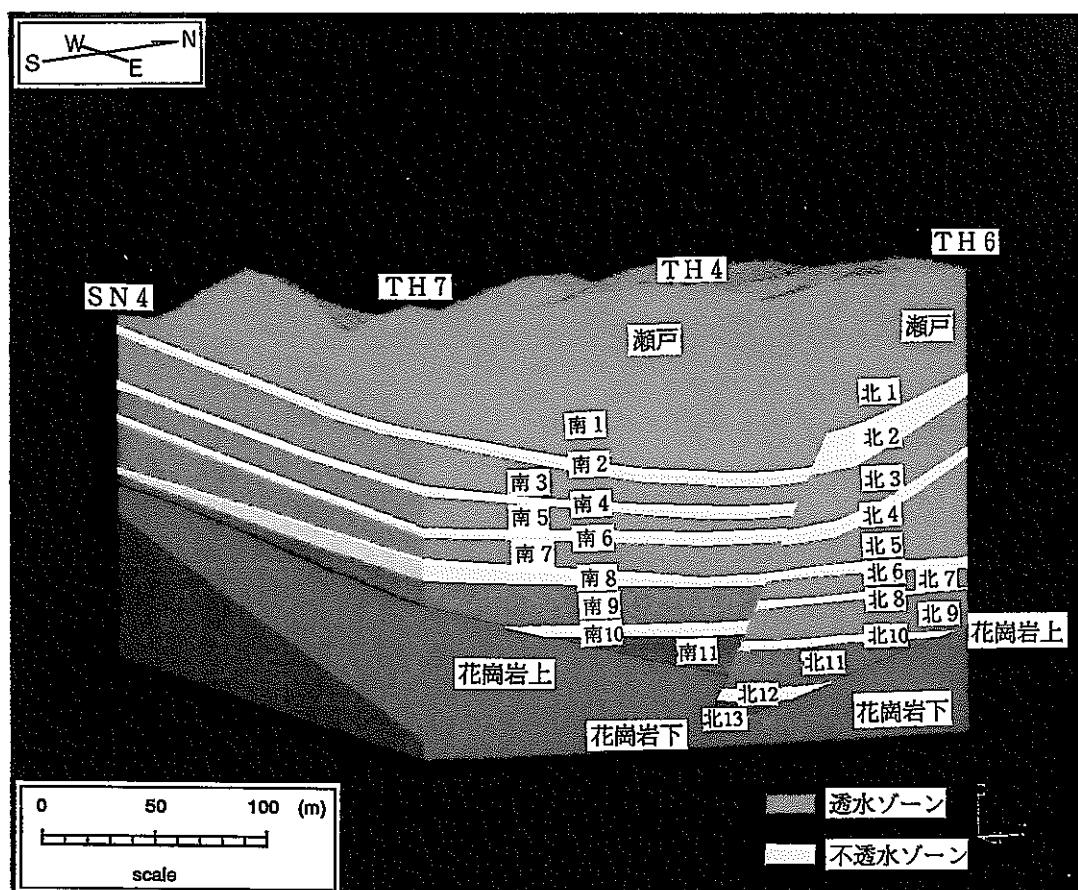
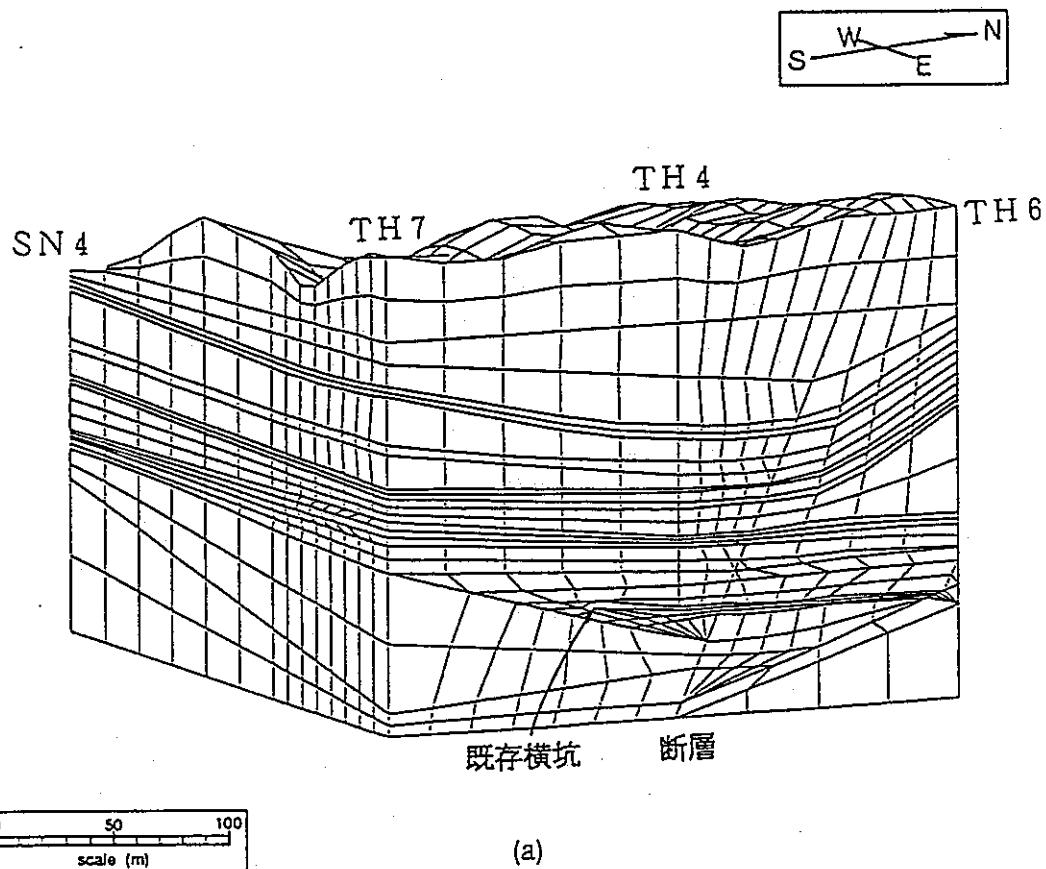
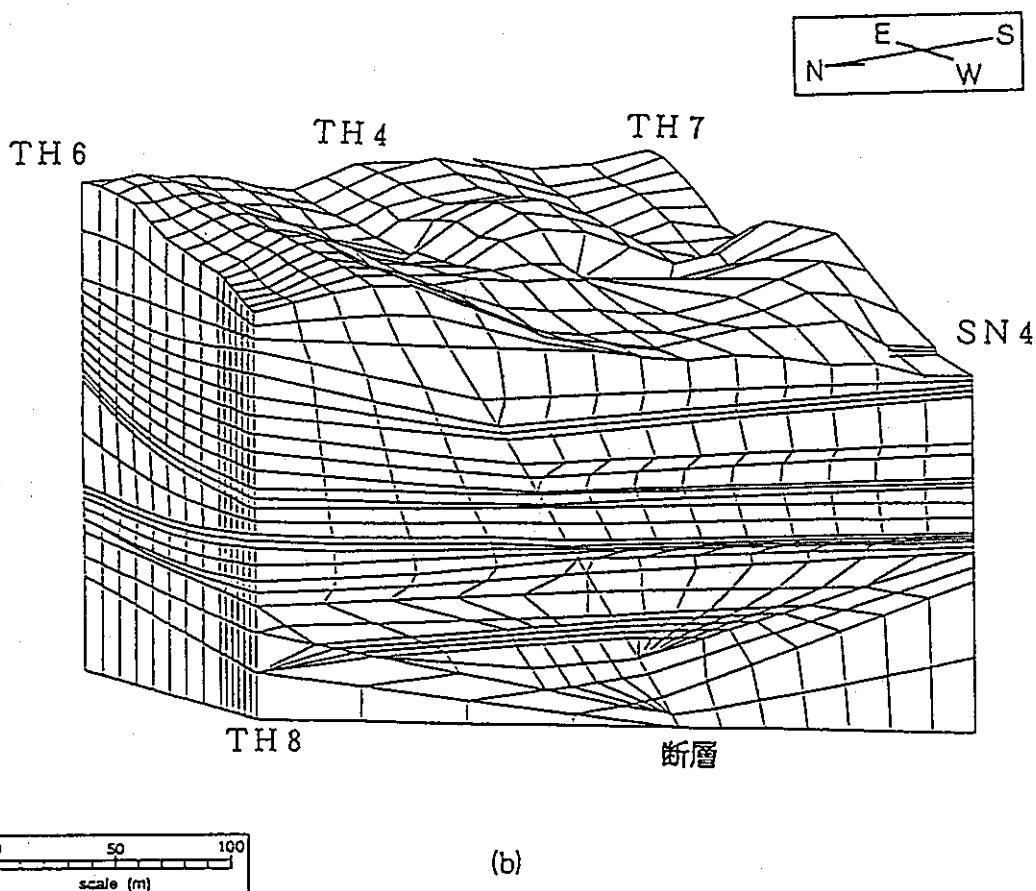


図 5.2.4 三次元有限要素モデル図（その1、全体図）



(a)



(b)

図 5.2.5 三次元有限要素モデル図（その2）

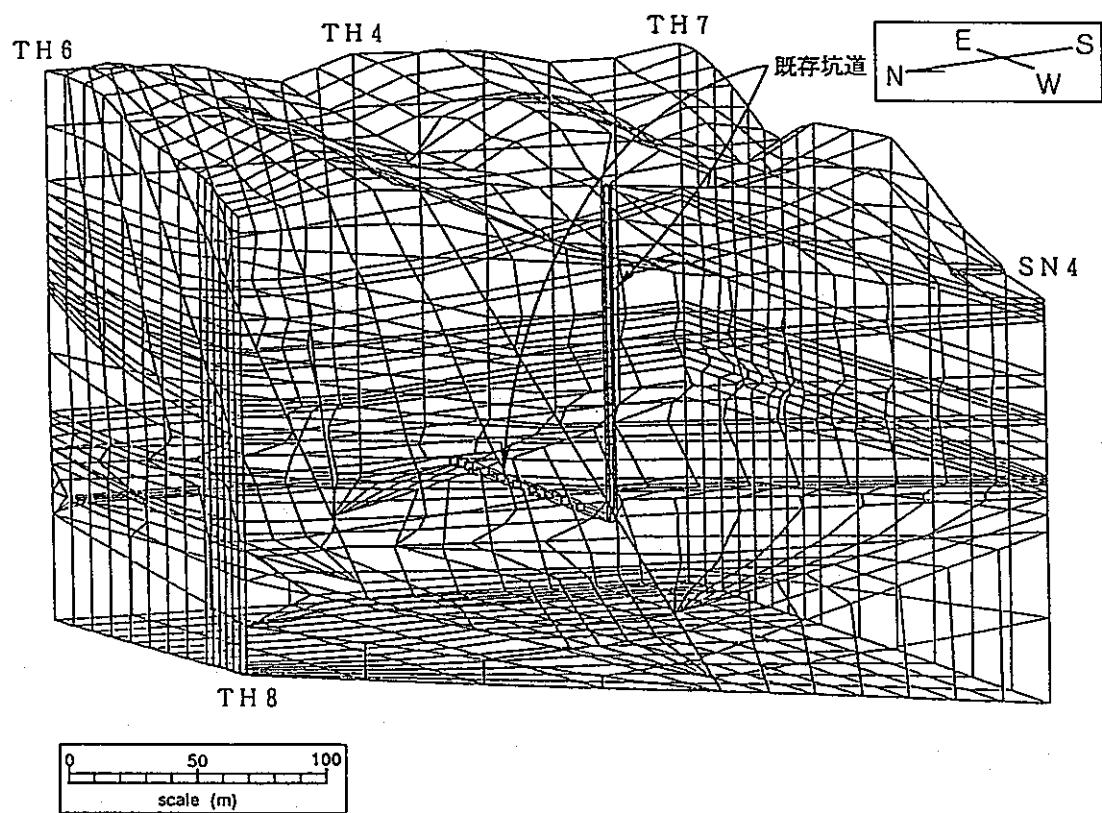


図 5.2.6 三次元有限要素モデル図（その 3、透視図）

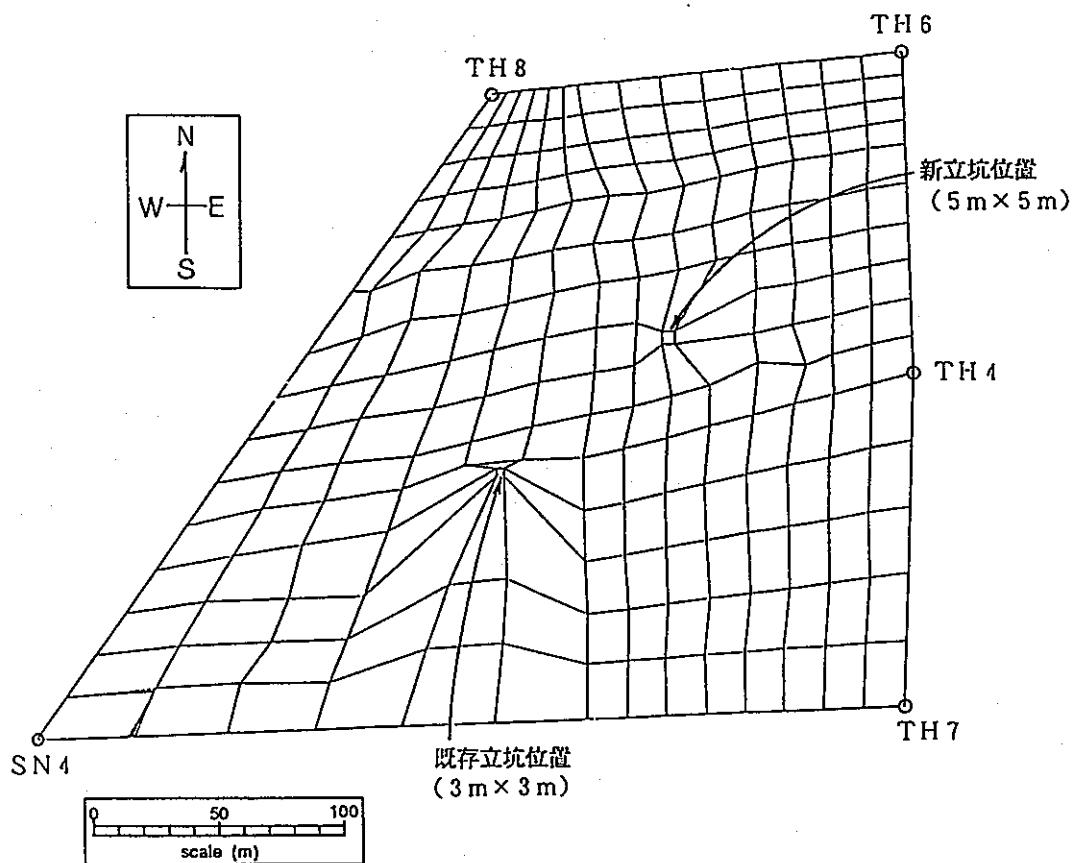


図 5.2.7 三次元有限要素モデル図（その 4、平面図）

中心で評価するためである。

- 3) 既存立坑、横坑は $3\text{ m} \times 3\text{ m}$ の矩形空洞とする。
- 4) 新立坑は $5\text{ m} \times 5\text{ m}$ の矩形要素で表現し、掘削をシミュレートするために除去可能としている。
- 5) 月吉断層は厚さ 30 cm の矩形要素 1 層でモデル化する。

有限要素モデルにおける主要なデータをまとめると以下のようになる。

概略寸法：南北；約 $290\text{ m} \times$ 東西；約 340 m

深さ； $170 \sim 210\text{ m}$

節点総数：6826 個

要素総数：5998 個

(8 節点アイソパラメトリック要素が基本。ただし 6 節点要素（三角柱要素）もあり。)

水平分割数：南北方向最大 $15 \times$ 東西方向 14

分割総数：30 層

既存坑道寸法：立坑及び横坑ともに、高 $3\text{ m} \times$ 幅 3 m の正方形断面

新立坑寸法：高 $5\text{ m} \times$ 幅 5 m の正方形断面

断層幅： 30 cm

5.3 水理定数、境界条件の設定

(i) 水理定数の設定

本解析に於ては、各地層は異方性均質な多孔質物質であると仮定している。このモデル中はダルシー則が成り立つとしている。解析では、自由水面流れが期待され、飽和領域と不飽和領域が共に考えられるため、以下の水理定数を入力する必要がある。

○飽和浸透特性

・透水係数： K_H （水平方向）、 K_v （鉛直方向）

・比貯留係数： S_s

○不飽和浸透特性

・体積含水率（ θ ）と圧力水頭（ Ψ ）の関係

・体積含水率（ θ ）と比透水係数（ K_s ）の関係

・有効空隙率： n_e

表 5.3.1 に各層毎に設定した水理定数を一覧にして示す。

飽和透水係数については、基本的に透水試験データ（ルジオン試験結果）を用いるものとした。まずモデル化した各層に測定深度で対応するデータを割り振り、整理を行なった。

表 5.3.2 は断層の南側と北側で同一の水理地質層をまとめたものである。

表 5.3.2 に示されたルジオン試験から得られた透水試験係数は、主に水平方向の透水性を表していると考えられていることから、各層における測定データの対数平均（幾

何平均)により算定した値を水平方向の透水係数 (K_h) と設定した。ここで、対数平均を用いた理由は、透水係数データに10～100倍のばらつきがあり、算術平均では一番大きな透水係数データだけが評価され、小さな透水係数データが評価されなくなるためである。

鉛直方向の透水試験係数 (K_v) については、花崗岩層及び断層以外は堆積岩層であり、異方性を有していると考えられる。よって、花崗岩層、断層を除く堆積岩層については一律 ($K_v = K_h / 10$: 水平方向の10分の1) と設定した。この異方性の比率設定に際しては、後述の二次元地下水流动解析によるパラメータスタディーにより試行錯誤を行ない、地下水の自由水面形状より判断して決定した。

なお、表5.3.2において測定データの全く無い層については、以下のように設定した。

○No.1 (瀬戸層)

瀬戸層は透水層と考えられることから、明世層よりも1オーダー透水性の高い $K_h = 10^{-5} \text{ cm/s}$, $K_v = 10^{-6} \text{ cm/s}$ に設定した。

○No.2 (断層北側の生俵累層上部の透水層)

周辺の透水層 (No.4) と同じ値を設定

○No.17 (不透水層にはさまれたレンズ状の透水層)

No.6とNo.8の透水層を接続する位置に存在することから、2層 (No.6とNo.8) の対数平均により設定

○No.18 (不透水層にはさまれたレンズ状の透水層)

上下の不透水層の透水係数を考慮し、これらより1オーダー高い値 ($K_h = 10^{-6} \text{ cm/s}$, $K_v = 10^{-7} \text{ cm/s}$) を設定

有効空隙率については、明世累層及び土岐夾炭累層において採取されたコアサンプルの飽和度、比重、密度の測定値から間隙率を算定し、これを解析領域内の堆積岩層の有効空隙率として設定した。花崗岩層は、風化花崗岩層を想定し、空隙率として0.25を設定した。また、断層部は不透水層を想定し、堆積岩層よりも空隙が小さいものとして0.25と設定した。

比貯留係数の物理的意味は、単位の水頭変化によって単位体積の土中に貯留される水量のことである。¹⁾ 非定常解析において、必要なパラメータであるが、今回実測データはない。よって、岩盤の構造骨格の変形性および水の体積圧縮率を考慮して、 10^{-7} l/cm と設定した。

また、不飽和特性については図5.3.1に示すようなノイマン型の曲線を設定した。ただし、 θ (体積含水率) の最大値は各層において設定した有効空隙率に対応させるものとし、それに応じて θ の値も比例配分した値を用いることとした。(図5.3.1は有効隙率が0.5の場合)

(ii) 境界条件の設定

一般的に、有限要素法では境界条件として、解析領域を囲むすべての境界面に対して

境界条件を与えてやる必要がある。この境界条件は地下水流动解析の場合、圧力境界と流量境界の2つがある。圧力境界は境界の圧力を与えてやるもので、静水圧境界もこの一種である。一方、流量境界は境界面の湧水量や涵養量を入力するものであるが、不透水境界も流量0の流量境界である。

表5.3.3に設定した境界条件及びその設定方法を一覧にして示す。

地下水流动解析において境界条件を設定する場合、地形の形状や境界面の位置を考慮し、「不透水境界」、「静水圧境界」等を有する境界面に対して一律に設定する場合が多い。しかし、本研究における解析領域内には断層、既存坑道が存在し、内部の地下水の流れは乱れていると考えられ、実際にボーリング孔におけるMP計測（水圧計測）からも、複雑な圧力分布が得られている。

そこで本研究においては、側方境界条件の設定にあたりMP圧力計測結果に基づく「飽和-不飽和-鉛直二次元浸透流解析（定常）」を実施し、得られた二次元解析の結果を三次元解析の境界条件としてそのまま利用する手法を用いた。

二次元解析モデルの境界条件をまとめると、以下のようになる。

上部境界：流量=0境界（涵養量は考慮せず）

下部境界：不透水境界

側方境界：ボーリング孔の水圧分布

内部境界：既存坑道は圧力水頭=0境界

ボーリング孔（TH4）は計測された水圧分布を入力

参考文献

- 1) 松尾新一郎、河野伊一郎共著『地下水位低下工法』鹿島出版会、pp.30-31、1982

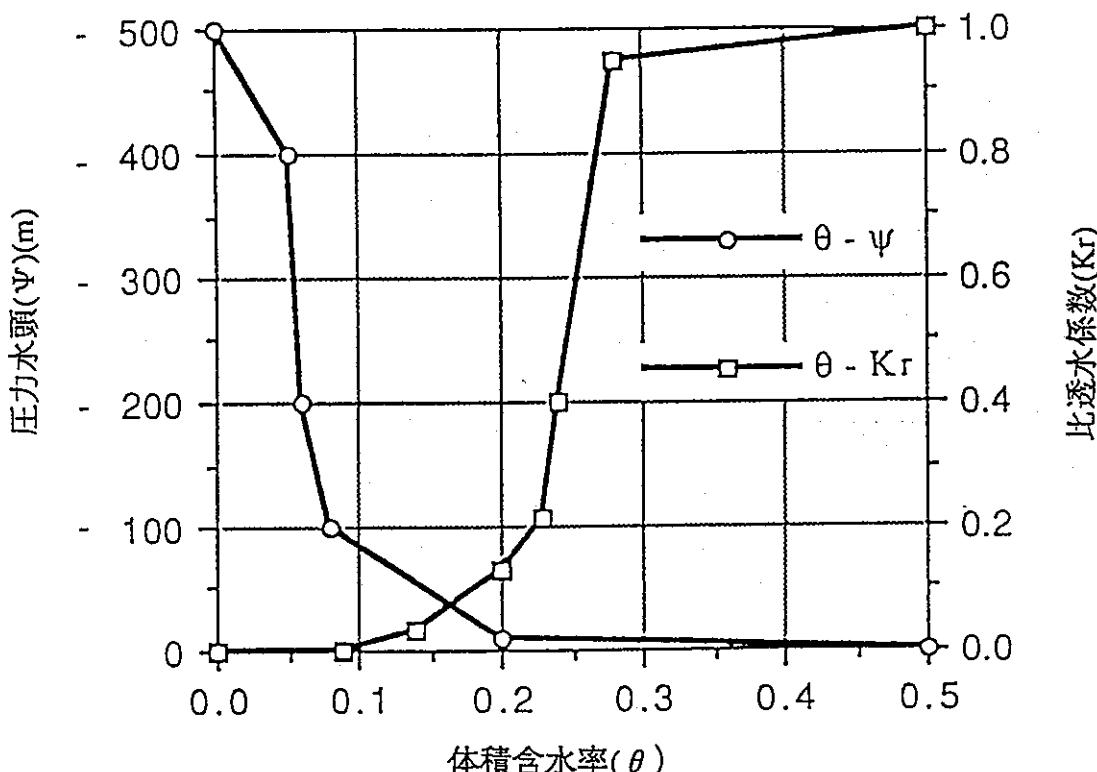


図5.3.1 不飽和特性曲線

表 5.3.1 水理定数一覧

No.	断層面よりも 南上から 北上から		飽和透水係数 (cm/s)		有効空隙率	比貯留係数 (1/cm)
	K _H : 水平方向	K _V : 鉛直方向				
1	瀬戸層		1.0×10^{-5}	1.0×10^{-6}	0.50	1.0×10^{-7}
2	—(透) 1		1.5×10^{-6}	1.5×10^{-7}		
3	—(不) 2		1.8×10^{-8}	1.8×10^{-9}		
4	1(透) 3		1.5×10^{-6}	1.5×10^{-7}		
5	2(不) 4		2.8×10^{-8}	2.8×10^{-9}		
6	3(透) 5		2.8×10^{-7}	2.8×10^{-8}		
7	4(不) 6		2.7×10^{-8}	2.7×10^{-9}		
8	5(透) 7		6.0×10^{-7}	6.0×10^{-8}		
9	6(不) 8		7.4×10^{-8}	7.4×10^{-9}		
10	7(透) 9		2.4×10^{-8}	2.4×10^{-7}		
11	8(不) 10		2.5×10^{-7}	2.5×10^{-8}		
12	9(透) 11		8.1×10^{-7}	8.1×10^{-8}		
13	10(不) 12		9.7×10^{-8}	9.7×10^{-9}		
14	11(透) 13		1.2×10^{-5}	1.2×10^{-6}		
15	花崗岩の上部		2.9×10^{-6}	2.9×10^{-6}	0.25	1.0×10^{-7}
16	花崗岩の下部		7.2×10^{-7}	7.2×10^{-7}		
17	透水レンズ部 1		4.1×10^{-7}	4.1×10^{-8}	0.50	1.0×10^{-7}
18	透水レンズ部 2		1.0×10^{-6}	1.0×10^{-7}		
19	断層部		1.0×10^{-8}	1.0×10^{-8}	0.25	

表 5.3.2 透水試験結果一覧（全体）

(単位:cm/s)

No.	TH1	TH2	TH3	TH4	TH5	TH6	TH7	TH8	SN4
西戸									
北1									
北2						3.20×10^{-8}		1.02×10^{-8}	
北3 南1	2.60×10^{-6} 4.10×10^{-6}	2.18×10^{-6} 1.52×10^{-7}	2.26×10^{-6} 1.54×10^{-6} 8.23×10^{-6} 4.39×10^{-7}		6.28×10^{-7}	3.16×10^{-8} 2.81×10^{-8}		3.67×10^{-6} 1.59×10^{-7}	
北4 南2		1.84×10^{-8}	3.69×10^{-8}	2.11×10^{-8}	4.18×10^{-8}				
北5 南3				7.41×10^{-6}	1.28×10^{-7} 1.39×10^{-7}	6.81×10^{-8} 4.60×10^{-8}	4.24×10^{-8} 2.73×10^{-7}	8.12×10^{-8}	
北6南4					3.44×10^{-8}	2.08×10^{-8}			
北7南5						2.23×10^{-7}	4.17×10^{-6}	5.28×10^{-7}	2.60×10^{-7}
北8 南6	9.3×10^{-8} 3.10×10^{-8}	8.68×10^{-8} 1.13×10^{-7}	3.87×10^{-8}	3.24×10^{-8}		3.60×10^{-8}		7.06×10^{-7}	
北9 南7		1.63×10^{-7}			9.38×10^{-6} 1.74×10^{-5}	1.80×10^{-7}	1.31×10^{-7}	1.50×10^{-5} 3.30×10^{-5}	6.50×10^{-8} 1.20×10^{-6} 2.80×10^{-6}
北10 南8	4.20×10^{-8}						4.78×10^{-7}		7.80×10^{-7}
北11 南9	5.50×10^{-7}	3.35×10^{-5} 4.30×10^{-5} 1.00×10^{-7}	6.54×10^{-7} 8.21×10^{-8}				5.78×10^{-7} 1.73×10^{-6}		
北12 南10	9.70×10^{-8}								
北13 南11				1.17×10^{-7}					
花園上	4.1×10^{-7}	4.76×10^{-6}	2.73×10^{-7} 3.76×10^{-6}	1.69×10^{-5} 1.77×10^{-5}	5.64×10^{-7} 2.52×10^{-7}	2.24×10^{-8} 1.61×10^{-6}	1.84×10^{-8}	3.01×10^{-5} 3.33×10^{-5}	5.10×10^{-8} 3.00×10^{-6}
花園下					2.07×10^{-5}	5.44×10^{-7}			2.10×10^{-8} 5.50×10^{-7} 8.34×10^{-7} 8.05×10^{-8} 1.14×10^{-6}

表 5.3.3 境界条件及び設定方法一覧

境 界	条 件	設定方法 及び 備考
上部境界	一定流量境界 (地下への涵養量考慮のため)	河川流量、降雨量、蒸発散量等のデータから、それらの水收支により地下への涵養量を設定。 (涵養量の経時変化についても考慮可能)
下部境界	不透水境界	
側方境界	水頭固定境界	4つの側方境界について、それぞれ鉛直二次元浸透解析を行い(鉛直二次元解析の境界条件にはボーリング孔の水頭分布を用いる)得られた水頭分布を三次元解析の境界条件に設定。
内 部 境 界	既存坑道	圧力水頭=0の水頭固定境界
	新立坑	掘削ステップに伴って、 圧力水頭=0の水頭固定境界

5.4 表層水理状況の検討

本節での目的は、表層水理計測データに基づき、地下水流动解析の入力条件として必要な地表面からの地下水涵養量を決定することである。検討項目としては雨量、蒸発散量、河川流出量、表層地下水位、土壤水分が考えられる。データとしては、動力炉・核燃料開発事業団により取得された平成元年10月から平成2年11月までのデータを使用させていただいた。動燃事業団において計測された当該地域の上記データはすべてのデータは10分おきのデータであるが、各々月平均値を計算して検討する。その概要は以下のとおりである。

1) 雨量（月平均雨量を用いる。）

計測地点は正馬様側であり、雨量計によるものである。

2) 蒸発散量（月平均蒸発散量を用いる。）

雨量計測と同地点において、直径1.2m貯水タイプの蒸発散計による計測。

3) 河川流出量

図2.1に賤洞側の河川流出量計測点の位置を示している。一方、正馬様側の計測点2点はTH6とTH7を結ぶ尾根線より東側に位置している。これらの計測点ではパーシャルフリュームが設けられ、自動流量計測がなされた。対象地域（賤洞側）の河川流出量のデータは平成2年9月、10月、11月の3ヵ月のデータしかないので、正馬様側の上流・下流の河川流出量と賤洞側の3ヵ月のデータを比較し、正馬様側の上流側データとの対応が良いことを確認のうえ、正馬様の上流河川流出量を1.6で除した値を用いる。

4) 表層地下水位

図2.1に示す9地点(GF1, GU1, GM1, GD1, GU2, GM2, GU3, GM3, GD3)の水位が水圧計測タイプの水位計により自動計測された。計測値の平均値を用い検討する。

5) 土壤水分（月平均値を用いる。）

図2.1に示す9地点(DF1, DU1, DM1, DD1, DU2, DM2, DU3, DM3, DD3)において各点8深度での水理水頭が計測された。この水理水頭の平均値をpF曲線と対比し含水量変化として土壤水分変化を捉え、検討する。

6) 地下水涵養量=雨量-河川流出量-蒸発散量-地下水位増加-土壤水分増加として、地下水涵養量を検討する。

上記1)から6)までの項目について、検討したまとめを表5.4.1に示す。ここでの値はすべて等価雨量として比較している。

また、図5.4.1には雨量から河川流出量と(蒸発散量×0.7)を引いた残りの水量を示している。ここで、蒸発散量の計測値に0.7をかけているのは、直径1.2mの蒸発計の計測値を広い水面での蒸発速度に換算するためである¹⁾。図5.4.1によると平成元年12月から平成2年5月までは負の地下水涵養量を示している。これは、雨量供給よりも河川流出および蒸発散量が勝った乾季を示すものである。一方、平成2年6月

からは雨量の方が勝りがちである。特に、平成2年9月に雨量が大きく、地下水涵養量も4.4 mm/日となっている。日平均では0.026 mm/日に換算できる。この値は涵養量最大の月の0.6%である。また、涵養量が最大になった平成2年9月の地下水涵養量は等価雨量で13 cm程度であり、後に残されている地下水位や土壤水分の変動を考えあわせると、表層における水収支はほぼ表層だけで収拾しており、地下深部への地下水涵養は非常に少ないものと考えられる。

「参考文献」

- 1) 農業土木ハンドブック、農業土木学会編、丸善株式会社、p.955, 1969.

表 5.4.1 表層水理検討のまとめ

	Month	Rain	River	Evaporation	WaterContent	WaterTable	Monthly Discharge
1	89 OCT.	7.1	-4.1	-3.1	-5.1	-86.5	0.8
2	NOV.	6.0	-3.5	-1.7	0.9	-28.7	1.3
3	DEC.	3.4	-2.9	-2.1	2.8	-20.0	-0.9
4	90 JAN.	4.3	-4.6	-2.4	5.3	8.1	-1.9
5	FEB.	14.6	-24.1	-0.7	0.0	67.3	-10.1
6	MAR.	11.5	-11.0	-1.0	2.3	-18.9	-0.3
7	APR.	14.7	-15.1	-6.3	-3.7	13.5	-4.8
8	MAY	16.7	-13.2	-9.0	-7.6	-14.8	-2.7
9	JUN.	14.4	-6.4	-5.7	2.0	3.7	4.0
10	JUL.	13.0	-7.1	-7.1	0.1	-13.9	0.9
11	AUG.	7.1	-2.3	-7.8	-7.8	-48.1	-0.6
12	SPT.	33.3	-16.6	-5.1	19.9	32.7	13.2
13	90 OCT.	14.3	-11.6	-4.0	-5.1	27.7	-0.2
14	90 NOV.	9.6	-5.8	-1.9	1.4	-7.6	2.4

* Rain(cm) : 降水量

** River(cm) : 河川流出量から地表単位面積当たりの水量を計算し、降水量と同様の単位としたもの。流出を負とした。

*** Evaporation(cm) : 蒸発散量

**** Water Content(cm) : 土壌水分の月変化を降水量と同様の単位面積当たりの水量(cm)として表したもの。

ここで水分変化は地下 5 mまでの土壌を対象とした。(正:水分増加、負:水分減少)

***** Water Table(cm) : 地下水位の変動による水分変化を降水量と同じ単位面積当たりの水量(cm)として表した。

(正:水量増加、負:水量減少)

この Water Table(cm) の計算は、土壌の平均空隙率 $n = 0.47$ であることを考慮して以下の式を用いた。

$$\text{Water Table(cm)} = 0.47 \times \text{地下水位変動(cm)}$$

ここで地下水位変動(cm)は、計測された地下水位変動の月平均を用いた。

***** Monthly Discharge(mm/month) : 地下水涵養量 = Rain - River - 0.7 × Evaporation



図 5.4.1 地下水涵養量の月変動

5.5 三次元解析（立坑掘削前）の水圧の比較

立坑掘削予測解析を行なうに前に、立坑掘削前の定常地下水流动解析を行ない、立坑掘削前の地下水圧計測値と比較し、今回の水理地質モデルについて検討した。TH4、TH6、TH7、TH8、およびSN4の水圧計測値は境界条件として用いたので、解析結果との対比のためにはTH1、TH2、TH3、TH5の水圧分布（ピエゾ水頭）の実測値（立坑掘削前）が用いられた。図5.5.1から図5.5.4まではそれぞれ解析値と実測値の水理水頭での対比を示している。

図5.5.1に示すとおり、TH1においては、実測値は標高180mまでは深度とともに徐々に減少し、標高156mまでは急激に減少し、さらにそこからピエゾ水頭253mまで回復して、再度減少し、標高130m以深では徐々に回復の兆しがみえている。

解析ではこのような複雑な挙動はほとんど表現できておらず、標高140mまではほぼ単調にピエゾ水頭は減少し、それ以深においては水頭回復の傾向がみられる。また、標高160m付近を除いて、標高220m以深では全般的に水頭で30m前後低い値を示している。

図5.5.2においては、TH2の解析値は全体的に非常によく実測された水頭分布傾向を示している。特に標高157m付近まで水頭は単調減少し、標高134m付近まで静水圧状態を示し、それ以深は水頭回復にある。それでも、標高220m以深では水頭で実測値と15m程度の差を示している。

図5.5.3に示すTH3では、今回の4孔の水頭比較で最もよく解析値と実測値が一致したものである。ピエゾ水頭は標高150mまでは深度とともに単調減少し、標高125mまでは静水圧分布、そこからは水頭回復を示している。ここでは、標高180m付近の実測値の水頭回復は表現できていないが、解析値と実測値の差は数点を除いてほぼ10m以内に収まっている。

図5.5.4のTH5においては標高220mまでは非常によく一致しているが、それ以深は全般的に30m前後解析値の方が低い水頭値を示している。

以上をまとめると、

- 1) 標高220mまではTH1、TH2、TH3、TH5において実測値と計測値のピエゾ水頭の値はよく一致している。水頭差で5m以内の差である。ここではほぼ静水圧状態であり、深度とともにやや減少傾向がある。
- 2) TH2、TH3においては、解析値は実測値の水頭分布を全体的によく表している。しかし、局所的な回復箇所は解析値では表現できていない。全体的には10~15mの水頭差となっており、解析値の方が低い値を示している。
- 3) TH1及びTH5では標高220m以深で解析値の方が30~35m位低いピエゾ水頭を示している。
- 4) TH1における断層付近の水位低下域を解析値ではうまく表現できていない。
- 5) 全般的に解析値は実測値よりも低いピエゾ水頭を示す。特に標高140m以深では水頭が下がり過ぎである。

本解析モデルは現地の尾根境界を意識してほぼ300m×300m四方をモデル化し

ている。これは前述の3章で述べた立坑掘削による影響圏よりも広くなっている。各四方の境界で計測された水圧を境界条件としているため解析領域の広さには問題がないものと思われる。一方、モデルの深さであるが、今回は境界条件を与える四方のボーリング深度が200mであったため、および、花崗岩の健全部が標高100m付近で現われるため、この部分を不透水層と考え、解析領域は標高100mまでとした。この解析領域の設定はTH1、2、3の水圧分布に影響を及ぼし、標高100m～130m付近の水頭回復をうまく表現できなかった原因と考えられる。解析深度は標高±0m程度まで拡張する必要があるとおもわれる。これにともない、境界条件としての四方のボーリングでの水圧計測は同様に標高±0m以深まで行なう必要があるし、解析領域内の水理地質調査も拡張されるべきである。なお、今回は北延べ坑道を考慮した解析領域の設定にはなっておらず、北延べ坑道の影響はTH4、6、7の水圧境界条件に反映されているだけである。

評価点の数としては、モデルの垂直方向の節点数が約30点であり、計測点20点とは調和が取れている。もとになった水理地質図の複雑さを反映したものであるが、滯水層の簡略化、総合化を行ない、水理地質図を簡略化すれば節点数を減ずることも可能であろう。水平面内の要素数は、地形ならびに2本の立坑配置を考慮するとこれ以上の簡略化は難しい。逆に、立坑周りの解析精度を擧げるために、2本の立坑周辺はもう少し細分化する必要があると思われる。この影響は特に後述の非定常解析の収束性に大きく影響を与えることになる。

水理地質の表現としては、滯水層の連続性を保証するデータが無いため、岩相の連続性と水圧分布から推定したが、立坑掘削の影響の見直しならびに孔間干渉試験等を併用して水理地質モデルの改良が可能であろう。また、各層の透水係数に関しては異方性についての検討が必要であると思われる。特に、今回は垂直方向の透水性に関してはデータが無く、堆積岩ということで垂直方向の透水係数を水平方向の透水係数の十分の一と仮定した。また、断層部分の透水係数に関してはデータがなく、今回は断層を挟む上部層と下部層での水圧分布状況から断層を不透水層と仮定した。得られた解析結果（特にTH5の水圧分布）より、断層はもっと不透水である必要があると思われる。

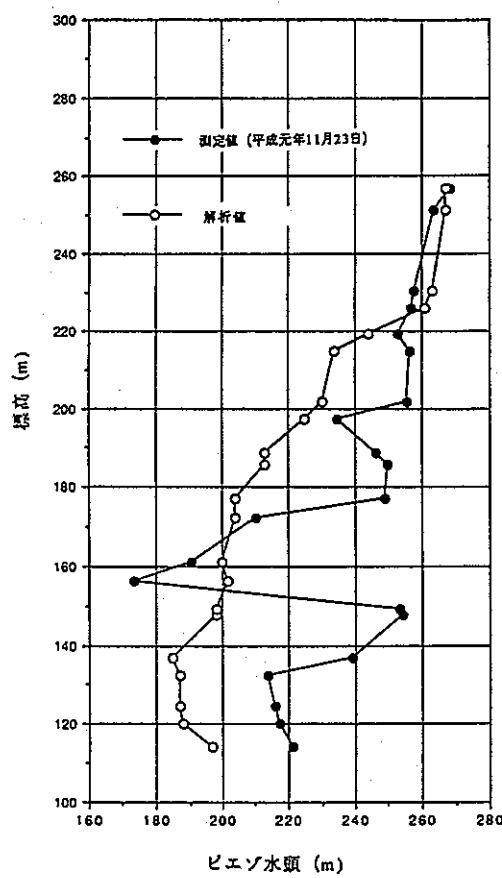


図 5.5.1 ピエゾ水頭の解析値と実測値の比較 (TH 1)

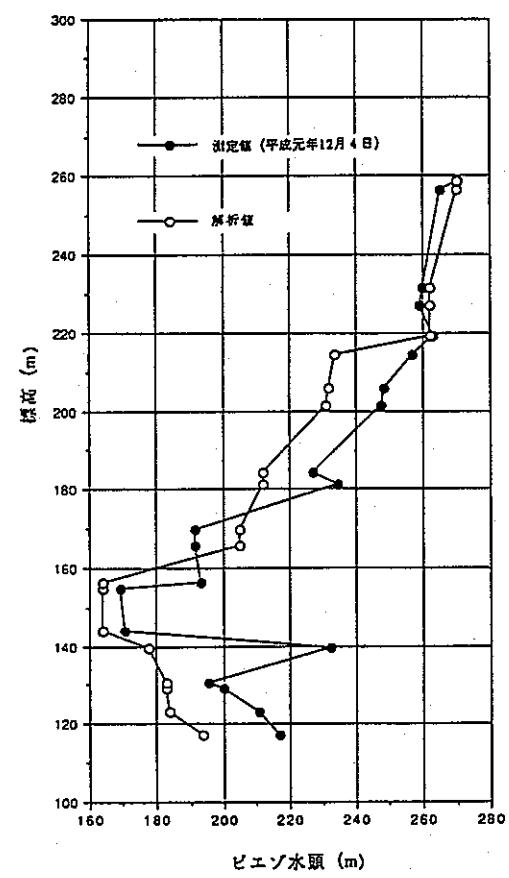


図 5.5.2 ピエゾ水頭の解析値と実測値の比較 (TH 2)

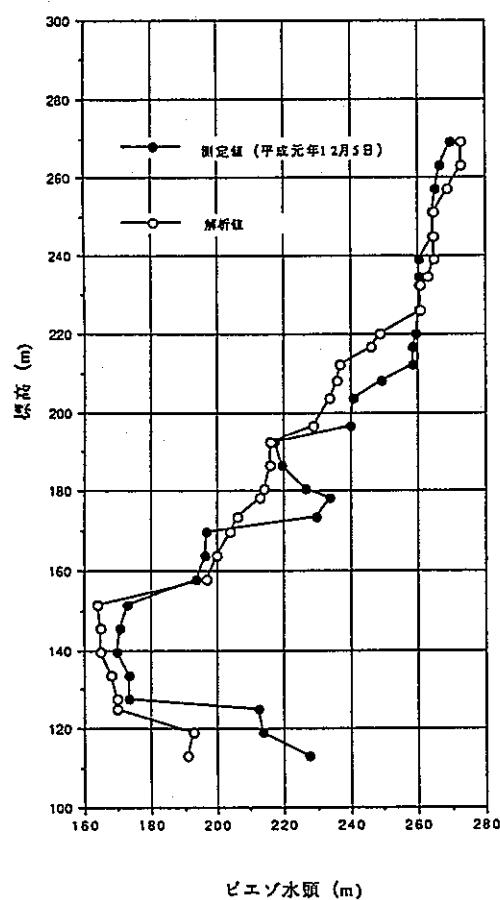


図 5.5.3 ピエゾ水頭の解析値と実測値の比較 (TH 3)

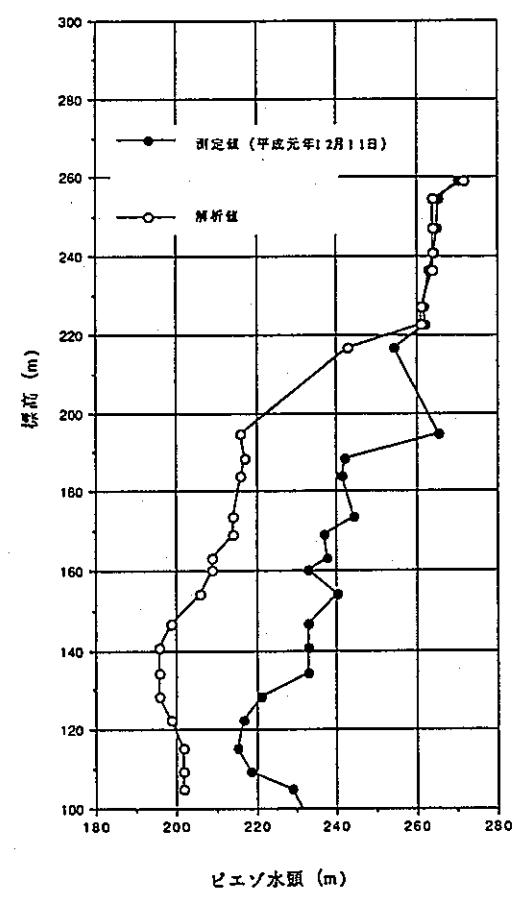


図 5.5.4 ピエゾ水頭の解析値と実測値の比較 (TH 5)

5.6 既存坑道内湧水量の比較

既存坑道内湧水量と今回の三次元定常地下水水流動解析によってえられた湧水量の比較を表5.6.1に示している。今回の解析では立坑部の湧水量は4.0リットル／分、横坑部18.0リットル／分、トータルで22.0リットル／分となった。動燃委託研究『立坑掘削影響試験のための水理事前調査(II)』(1990)の中において報告された湧水量の実測値は、立坑部7.17リットル／分、横後部3.20リットル／分であり、トータルで10.39リットル／分であった。動燃委託研究『広域地下水水流動評価に関する研究(その2)』(1990)において解析により求められた湧水量は立坑部2.56リットル／分、横坑部8.08リットル／分、トータル10.64リットル／分と報告されている。

今回の解析においてはトータルの湧水量ではほぼ実測値の2倍となっているとともに、広域地下水の解析と同様に横後部の湧水量が全体の85%にもなり、実測値の30%とはうまく対応していない。

しかし、実測値において立坑内湧水量7.19リットル／分のうち瀬戸層からの湧水量が3.97リットル／分あり、この部分は今回および前回の解析では表現していないことを考慮すると、解析値と比較すべき立坑湧水量は $7.19 - 3.97 = 3.22$ リットル／分となり、解析値と良く一致している。

一方、横坑部湧水量の実測値はボーリングからの湧水量を差し引いた坑壁面からだけの湧水量を示しているが、解析においてはボーリングによる湧水と壁面湧水を区別することはしていないため、ボーリング湧水を含むトータルの湧水量で比較する必要があると考えられる。この場合、横坑からの湧水量実測値は14.10リットル／分となり、今回の解析値は実測値より28%だけ多い湧水量を示していることとなる。また、トータルの湧水量においても実測値17.32リットル／分に対して22.0リットル／分と約27%増しの湧水量を示している。

表5.6.1 既存坑道内湧水量の比較(立坑掘削前)

	湧水量実測値		解析値	
	ボーリング湧水排除	ボーリング湧水考慮	*前回の解析	本解析
立坑部	7.19 1／分	3.22 1／分 (瀬戸層湧水を排除)	2.56 1／分	4.0 1／分
横坑部	3.20 1／分	14.10 1／分	8.08 1／分	18.0 1／分
トータル	10.39 1／分	17.32 1／分	10.64 1／分	22.0 1／分

(*前回の解析:『広域地下水水流動評価に関する研究(その2)』、1990)

既存坑道内へのトータルの湧水量の評価に関する限り、本解析に用いられた透水係数の値はかなり妥当なものであったと思われる。なお、湧水量の比較だけから判断すると、本解析に用いられた透水係数は少し大きすぎる（30%程度）と思われるが、計測された透水係数のバラツキを考えると、今回の湧水量の評価は非常に良くあっているものと思われる。

5.7 水圧分布および流向流速分布（立坑掘削前）

ここでは、立坑掘削前の三次元定常地下水流动解析の結果として、解析領域全体の地下水のプロファイルを示すために、水理水頭分布、流向流速分布、水圧分布を選ばれた断面で表示している。

図5.7.1にはTT1（新立坑）位置からTH1、TH2、TH3、TH4に至る断面における水理水頭分布（全水頭）を示している。右辺下部に水理水頭160～170mの最も低い部分があり、標高が高くなるにつれて水理水頭も高くなっている。これは上層から下層への水の流れを示唆している。図5.7.1より、この区域が断層部分で区切られ、断層を横切っていないのは、断層部分を難透水性とモデル化したためである。

図5.7.2にはTT1（新立坑位置）からTH5、TH6に至る断面の全水頭分布を示している。分布傾向は図5.7.1と同様である。

図5.7.3、図5.7.4はそれぞれ標高236m、186mの水平断面における全水頭の分布を示している。図5.7.3と図5.7.4では既存立坑中心に水位が低下していることがわかる。

図5.7.5、6には流速の大きさと流向が前述の各々の断面において示されている。図5.7.5の断面においては最下部の花崗岩層と、それより2層上の層（既存横坑を含む層）で流速が顕著に現われている。流向は断層の少し右側に集まるように見えるが、実際には三次元的に既存坑道に向かって流れている（図5.7.6参照）。

図5.7.7、8では、同様の断面において水圧分布を示している。これらの図より、既存坑道周りにおいて、水圧低下が全般的に広がっていることが伺える。

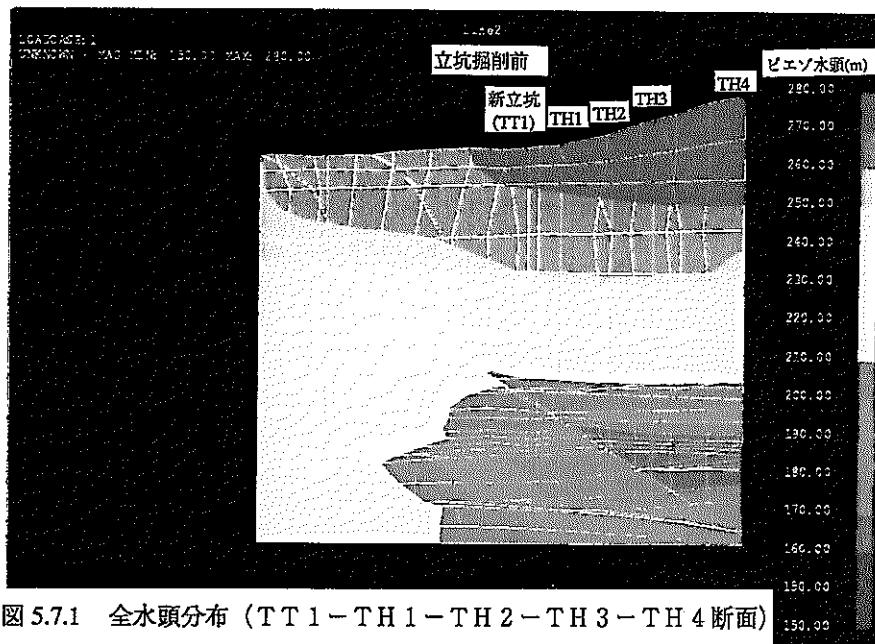


図 5.7.1 全水頭分布 (TT1-TH1-TH2-TH3-TH4 断面)

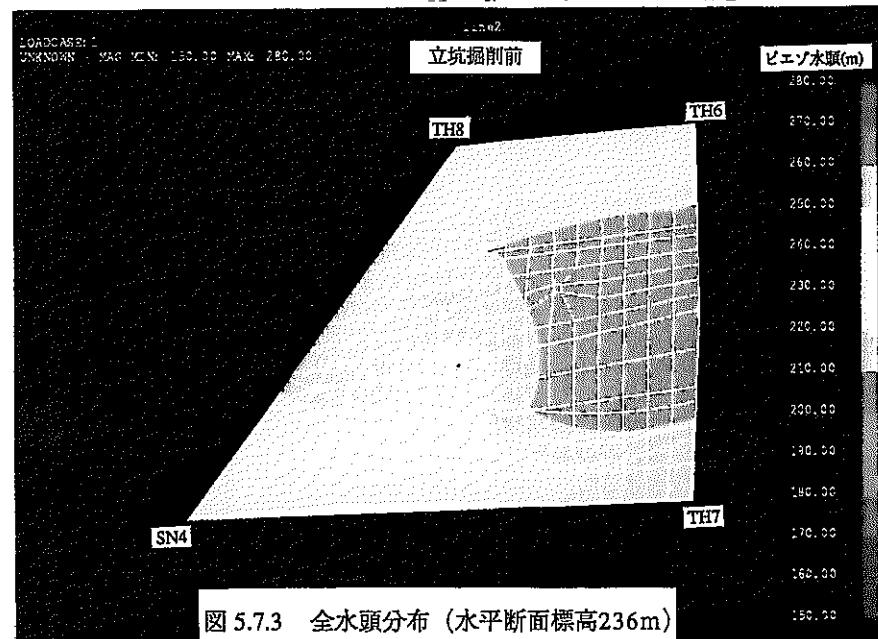


図 5.7.3 全水頭分布 (水平断面標高236m)

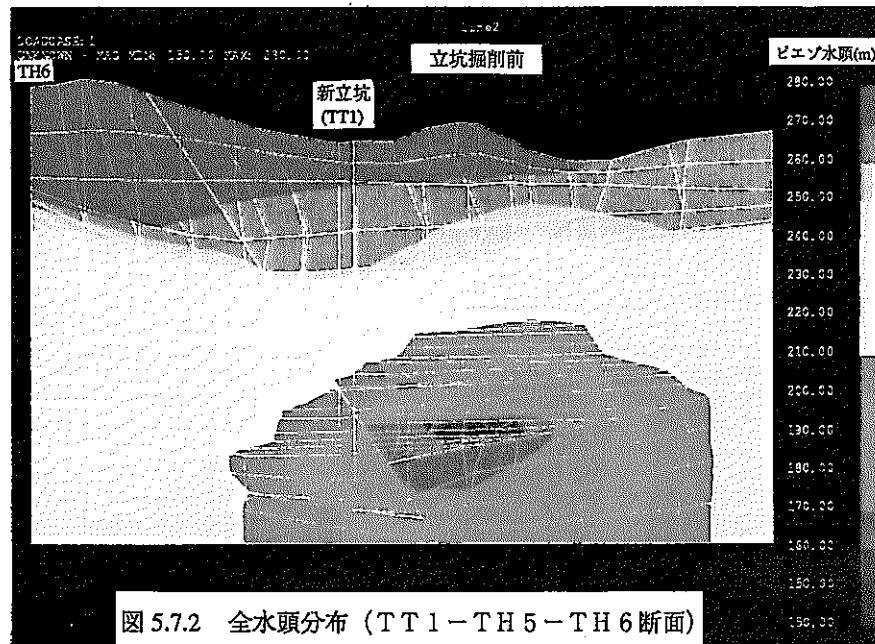


図 5.7.2 全水頭分布 (TT1-TH5-TH6 断面)

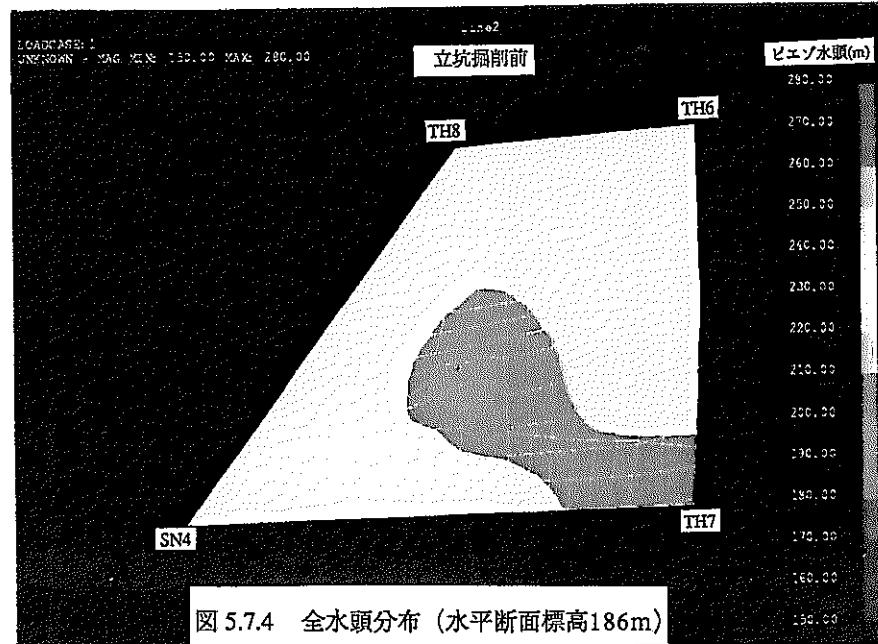


図 5.7.4 全水頭分布 (水平断面標高186m)

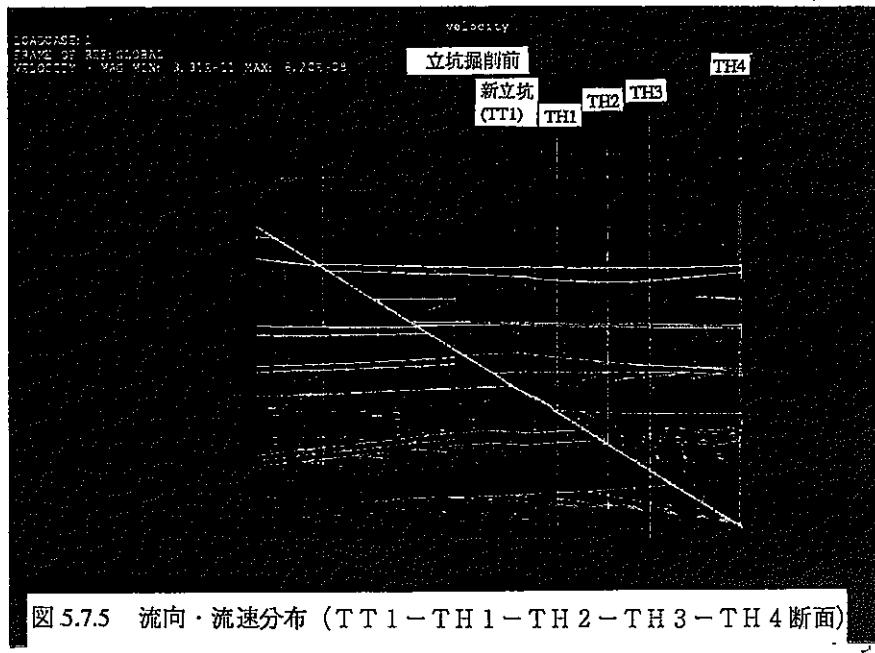


图 5.7.5 流向·流速分布 (TT1-TH1-TH2-TH3-TH4 断面)

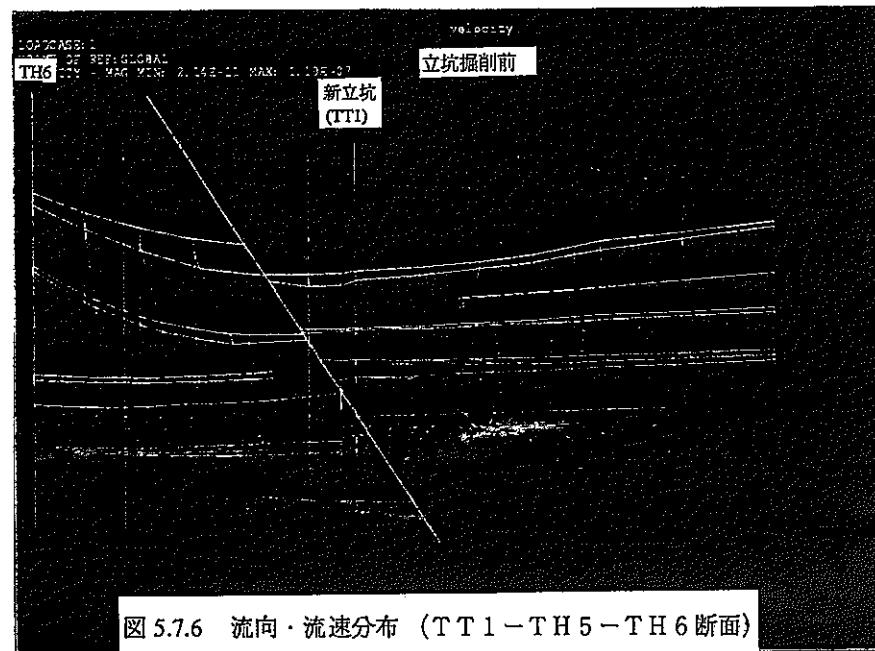


图 5.7.6 流向·流速分布 (TT1-TH5-TH6 断面)

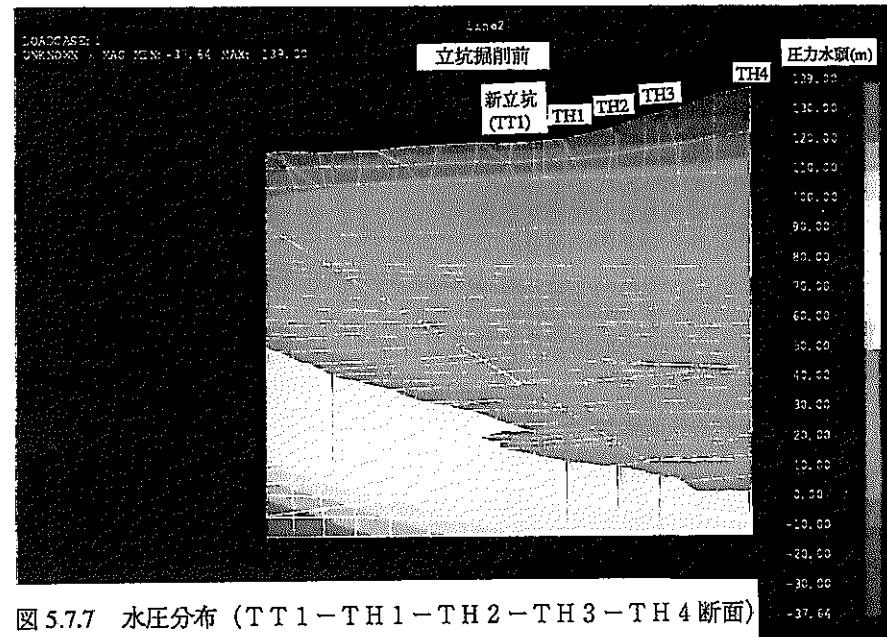


图 5.7.7 水压分布 (TT1-TH1-TH2-TH3-TH4 断面)

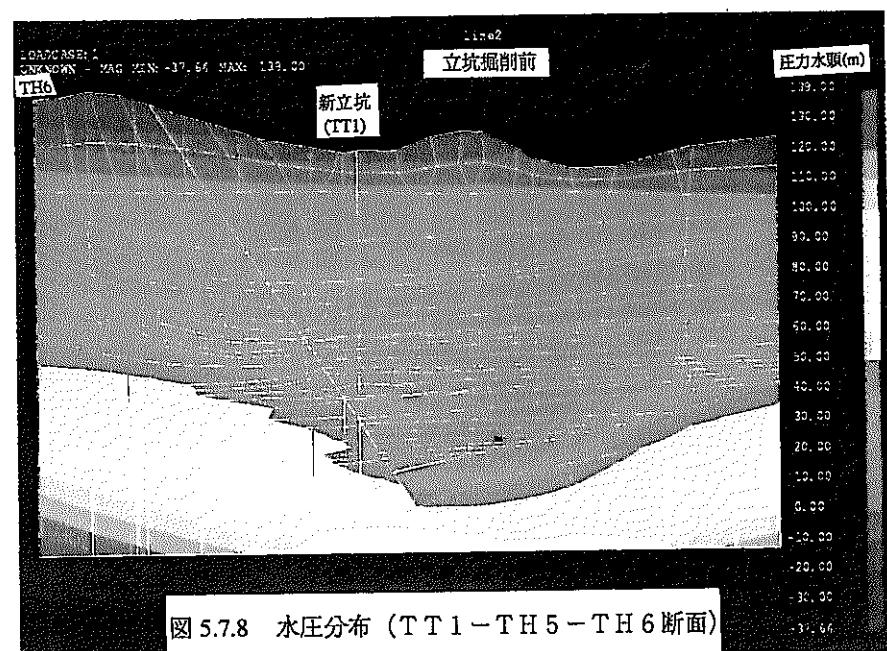


图 5.7.8 水压分布 (TT1-TH5-TH6 断面)

5.8 坑道内湧水量の比較（立坑掘削予測解析）

図5.8.1に立坑掘削工程を示すとともに、今回の解析で用いた掘削スキームを示している。この掘削スキームを時間軸で示すと図5.8.2となる。

本節では、本解析で予測された既存立坑内湧水量、既存立坑内湧水量、および新立坑内の湧水量を示すとともに、実測値との比較を行なっている。

さらに5.9節においては、本解析で求められた立坑掘削中のTH1、TH2、TH3、およびTH5におけるピエゾ水頭の予測値と実測値を対比検討している。

また、このときの全水頭の分布、流向流速分布、水圧分布は5.1.0節に示している。

立坑掘削予測解析により得られた湧水量の経時変化を図5.8.3から図5.8.6に示している。まず、図5.8.3には既存立坑の湧水量予測を示している。これは立坑掘削前の4リットルから、立坑掘削にともない徐々に減少して約3.5リットル/分に収束しそうである。これは、実測値の3.22リットル/分と良く一致するものである。

図5.8.4には既存横坑への湧水量の予測を示している。この湧水量は深度100mまでの立坑掘削ではほとんど影響を受けず、ほぼ18リットル/分を保ち、それ以後の掘削で深度145mに達するまでに約17リットル/分に減少することを示している。これも実測値の14リットル/分より少し過大評価しているものの、湧水量の変化傾向は実測値と矛盾していない。

図5.8.5には深度42mから100mまでの湧水量の予測値を示している。これは、深度100mまでの掘削でほぼ1.4リットル/分の湧水量を予測している。これは実測値が4リットル/分であり、かなり過小評価していることとなる。

図5.8.6には深度100mから145mまでの湧水量の予測値を示している。ここには透水層が予測されるので、湧水量も3リットル/分と大きく予測されている。なお、湧水量が変動している理由は、解析モデル（有限要素メッシュの大きさ）と解析タイムステップの影響と思われる。改良法としては立坑周りのメッシュを小さくすること、および、それに対応したタイムステップを選ぶことである。

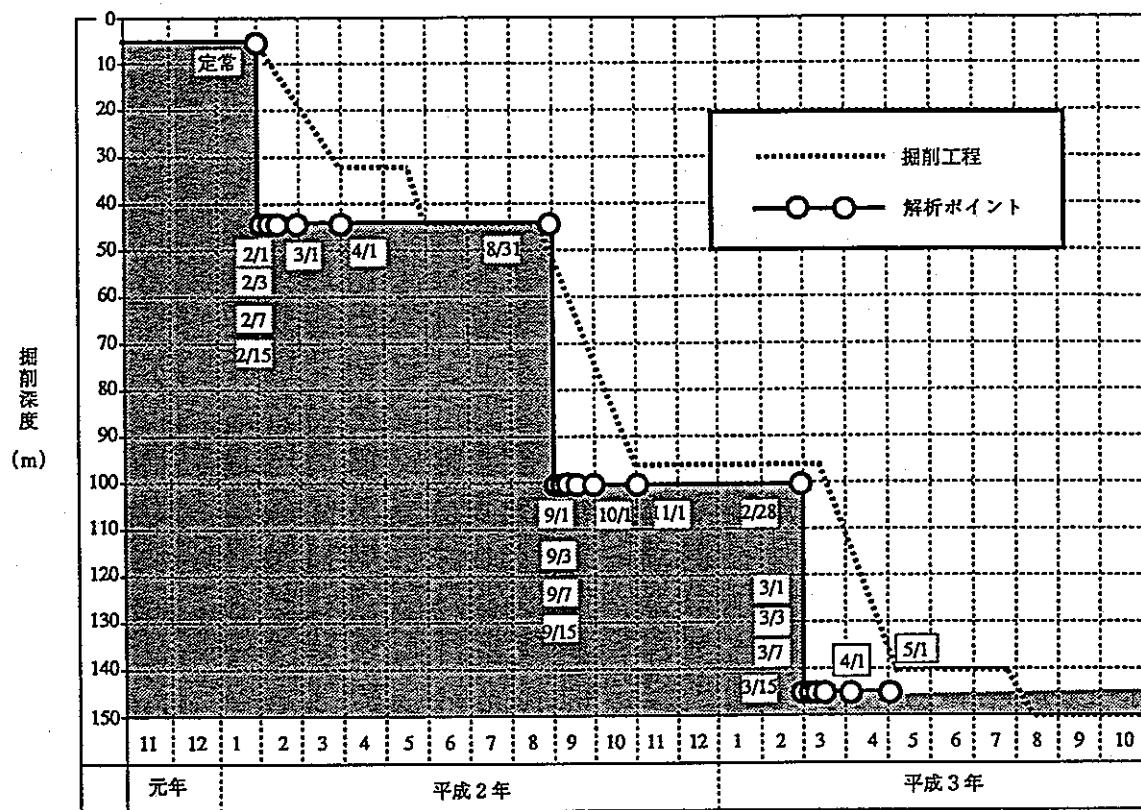


図5.8.1 立坑掘削工程と三次元地下水流动解析ポイント

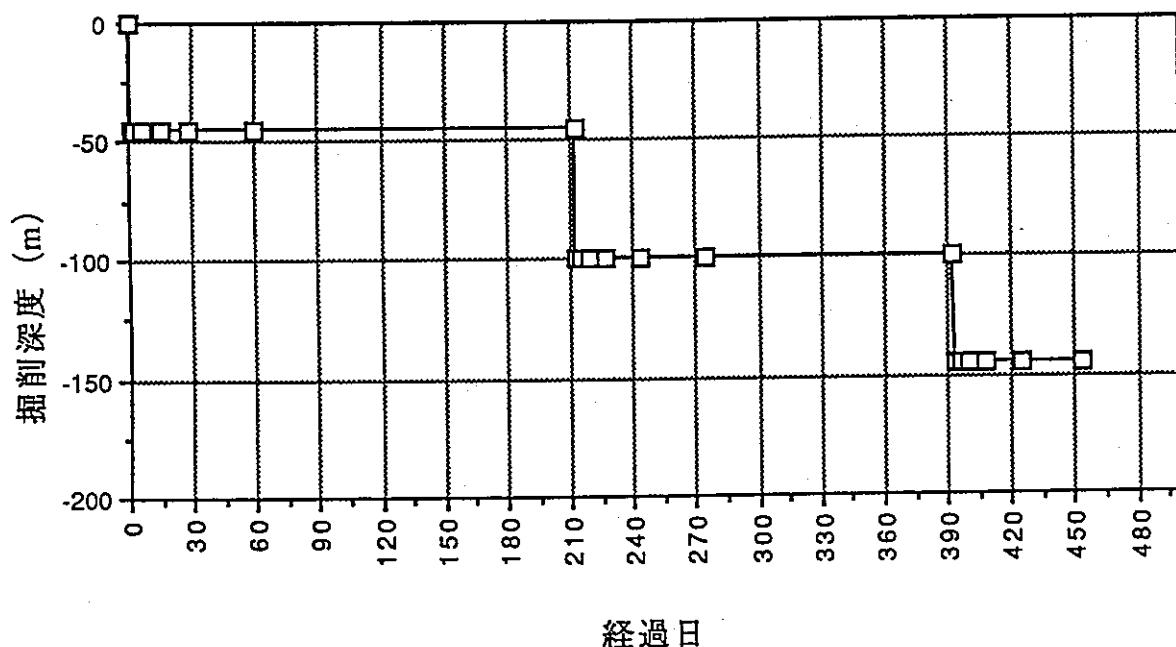


図5.8.2 解析用掘削スキーム

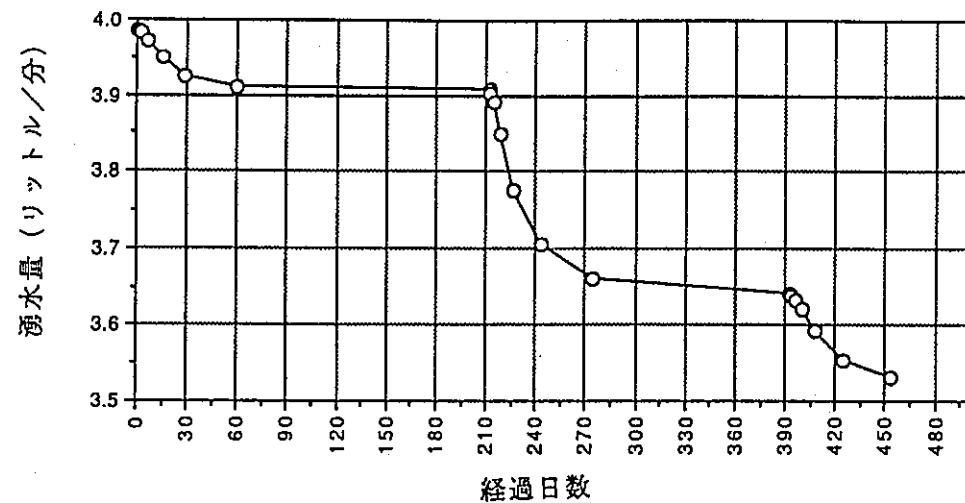


図 5.8.3 既存立坑内湧水量の経時変化予測（立坑掘削時）

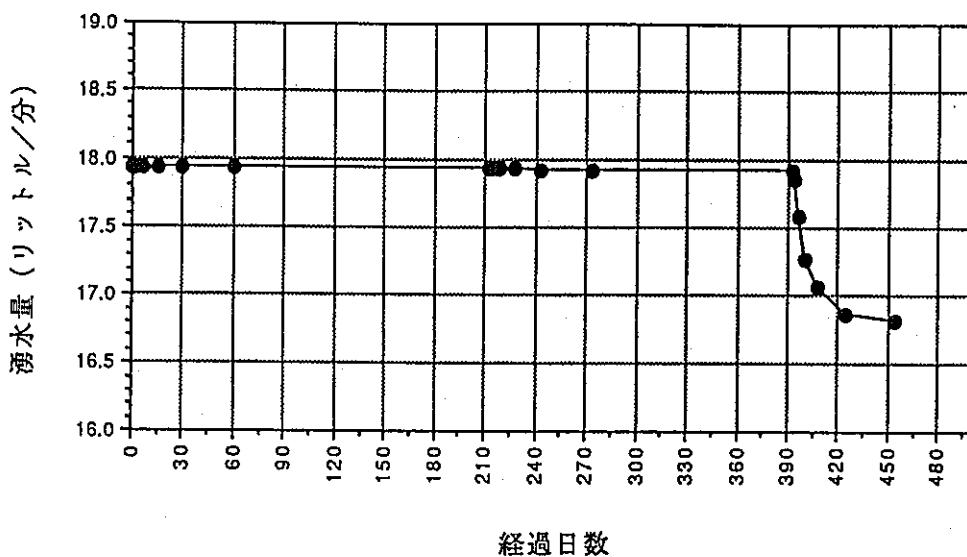


図 5.8.4 既存横坑内湧水量の経時変化予測（立坑掘削時）

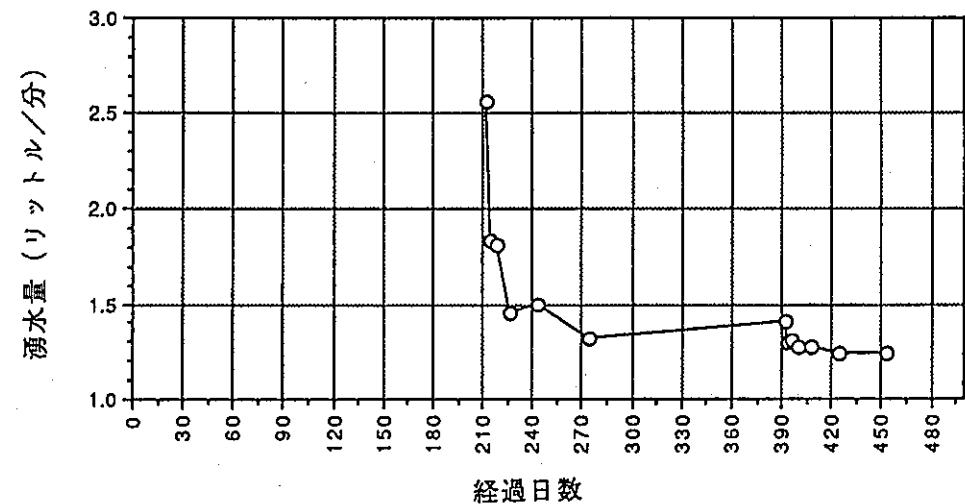


図 5.8.5 新立坑内湧水量予測（深度 42 mから 100 m）

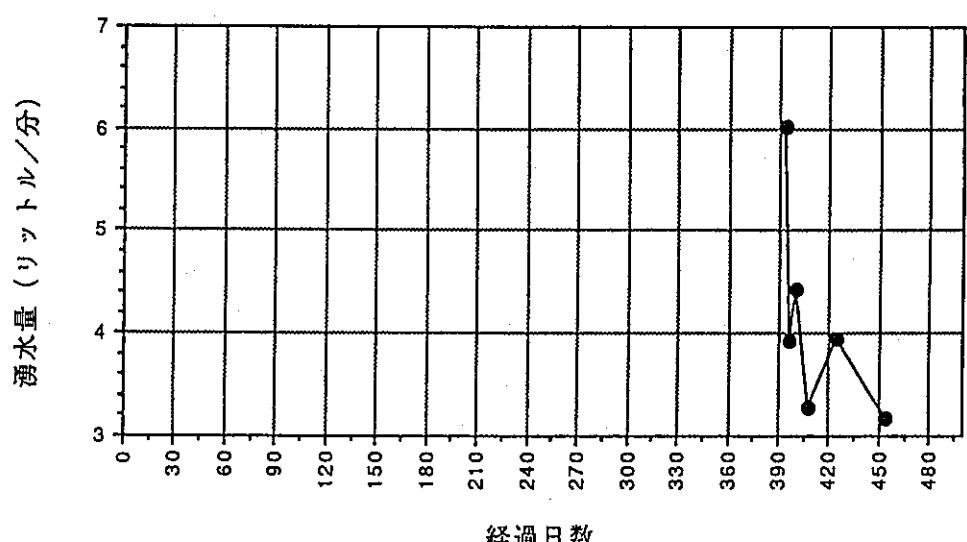


図 5.8.6 新立坑内湧水量予測（深度 100 mから 145 m）

5.9 立坑掘削時の水圧分布の比較

ここでは、TH1、TH2、TH3、および、TH5における立坑掘削時の水圧予測と実測値の比較が行なわれている。

図5.9.1はTH1における立坑掘削深度145mでの水理水頭の予測値と実測値の比較である。

TH1においては掘削前の水理水頭分布は実測値と予測値でかなりの相異を示していたが、掘削段階を経て水圧の低下状況は解析により良く説明されているようである。5.5節でも述べたように標高140m以深における水頭が全般的に解析値の方が小さいのは、解析領域を標高100mまでと限定しているためと、断層の透水性が実際よりも高く設定されており既存坑道の影響を受け過ぎているものと考えられる。

同様にTH2について実測値と対比したものが図5.9.2である。

さらに、TH3においても図5.9.3よりわかるように掘削の影響はさらに少なく、解析値は実測値を良くシミュレートしている。

TH5における深度145mまで掘削した場合のピエゾ水頭の比較を図5.9.4に示している。標高220mまでのピエゾ水頭の分布は良く一致しているが、深度220m以深では5.5節で述べたように水頭で30m前後の差が掘削後も残っている。

以上をまとめると以下のようになる。

- 1) TH1、TH2、TH3における立坑掘削時のピエゾ水頭分布は実測値の傾向を良くシミュレートしている。
- 2) TH5においては断層より上部はよくシミュレートしているが、断層より以深は解析値の方が下がり過ぎである。
- 3) 解析モデルの改良点としては、
 - 解析領域の下部境界をもっと深い位置まで拡張する。
 - 断層の透水性をもっと不透水性とする。が考えられる。

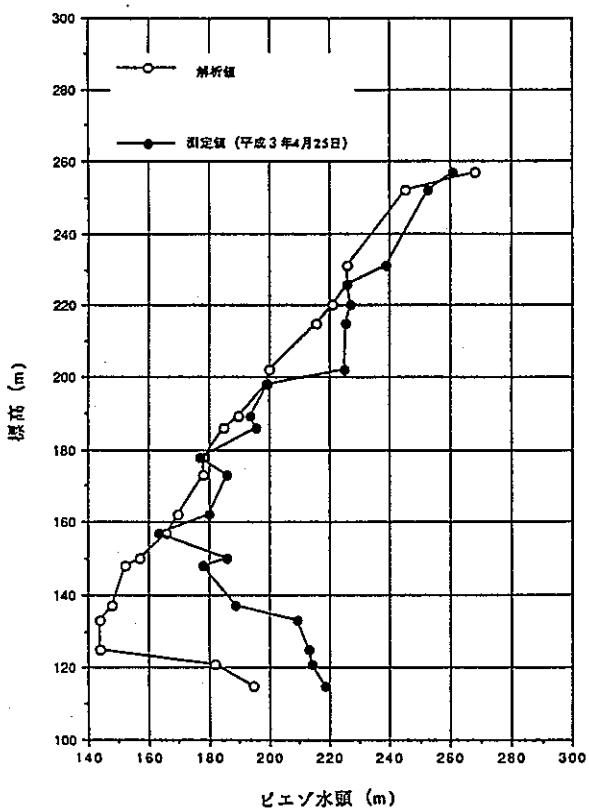


図 5.9.1 ピエゾ水頭の解析値と実測値の比較
(TH1 : 掘削深度 145 m)

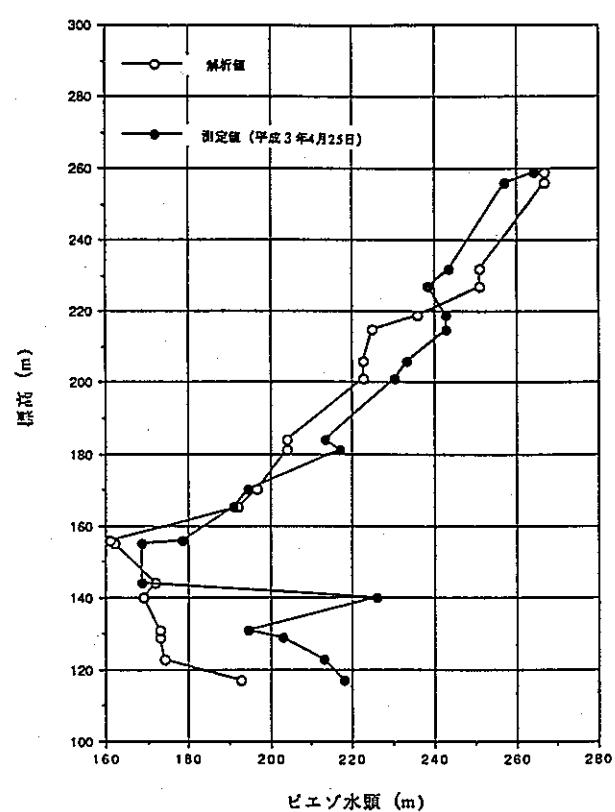


図 5.9.2 ピエゾ水頭の解析値と実測値の比較
(TH2 : 掘削深度 145 m)

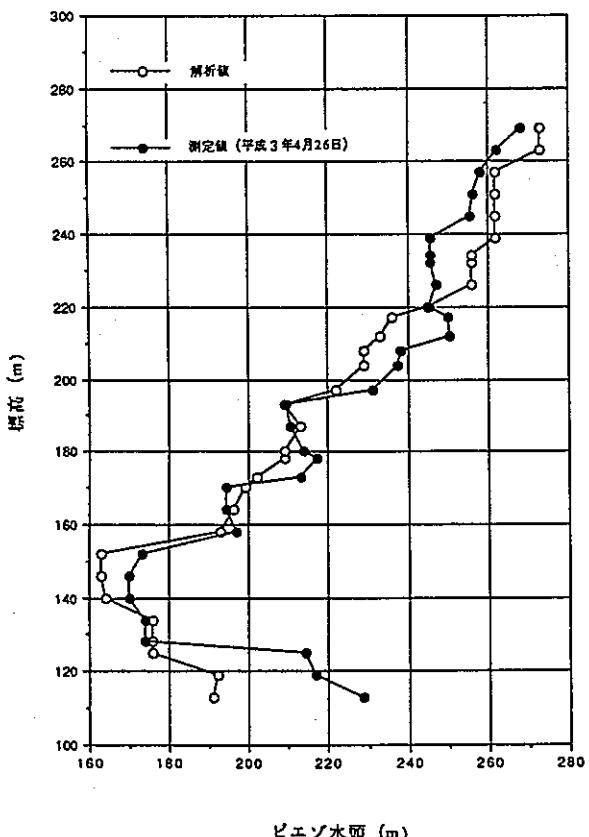


図 5.9.3 ピエゾ水頭の解析値と実測値の比較
(TH3 : 掘削深度 145 m)

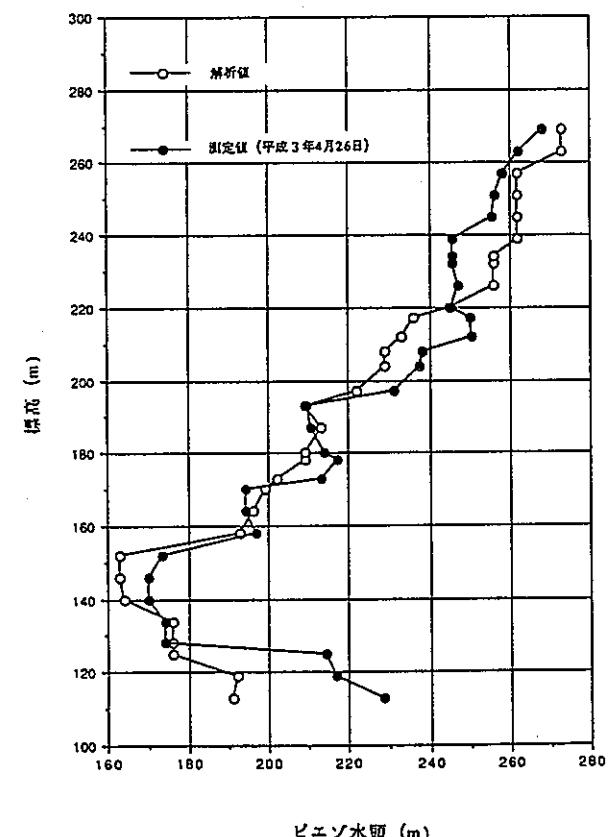


図 5.9.4 ピエゾ水頭の解析値と実測値の比較
(TH5 : 掘削深度 145 m)

5.1.0 水圧分布および流向流速分布（立坑掘削時）

以下に各断面における立坑掘削時（掘削深度145m）の水理水頭分布、流向流速分布、水圧分布を図示している。

図5.1.0.1にはTT1（新立坑）位置からTH1、TH2、TH3、TH4に至る断面における水理水頭分布（全水頭）を示している。この図が前述の図5.7.1（掘削前）と異なるのは、新立坑深部の断層の下側に水位低下域が顕著に示されている点である。

図5.1.0.2にはTT1（新立坑位置）からTH5、TH6に至る断面の全水頭分布を示している。

図5.1.0.3、4はそれぞれ標高236m、186mの水平断面における全水頭の分布を示している。図5.1.0.3と図5.1.0.4では既存立坑および新立坑中心に水位が低下している。

図5.1.0.5、6には流速の大きさと流向が前述の各々の断面において示されている。図5.1.0.5の断面においては最下部の花崗岩層と、それより2層上の層（既存横坑を含む層）で流速が顕著に現われている。流向は新立坑下部に集まるように見える。

図5.1.0.7、8では、同様の断面において水圧分布を示している。これらの図より、既存坑道周りに加え、新立坑周りにも水圧低下域が広がっていることが伺える。

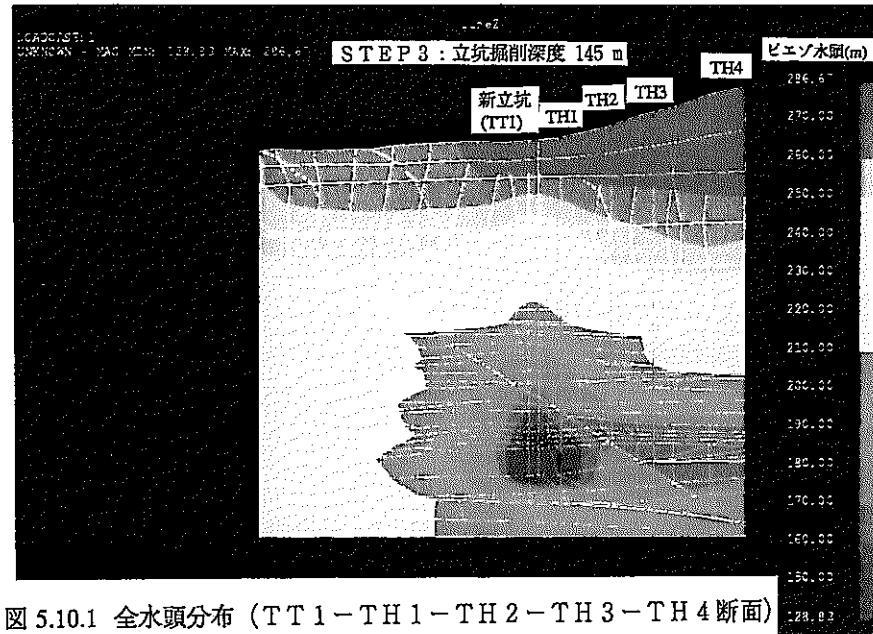


図 5.10.1 全水頭分布 (TT1-TH1-TH2-TH3-TH4断面)

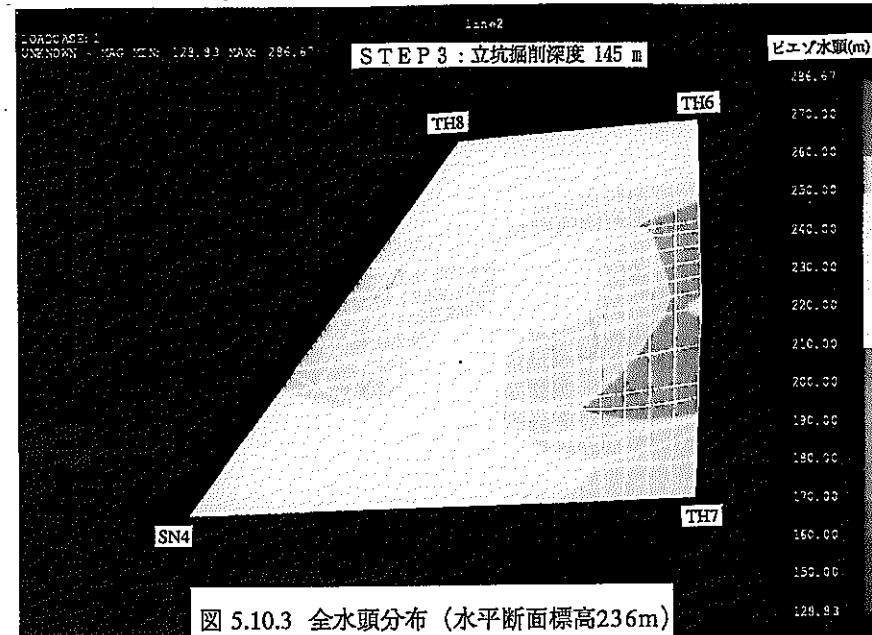


図 5.10.3 全水頭分布 (水平断面標高236m)

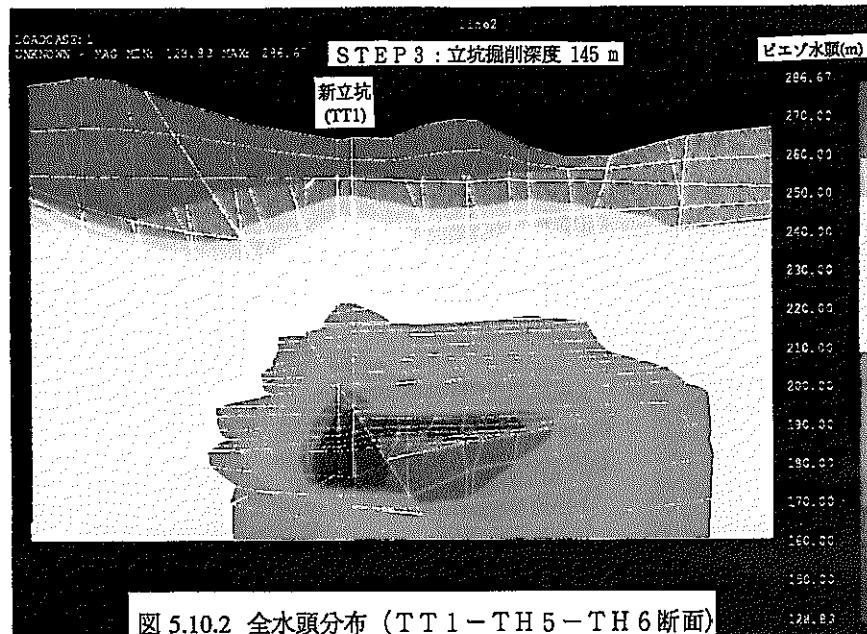


図 5.10.2 全水頭分布 (TT1-TH5-TH6断面)

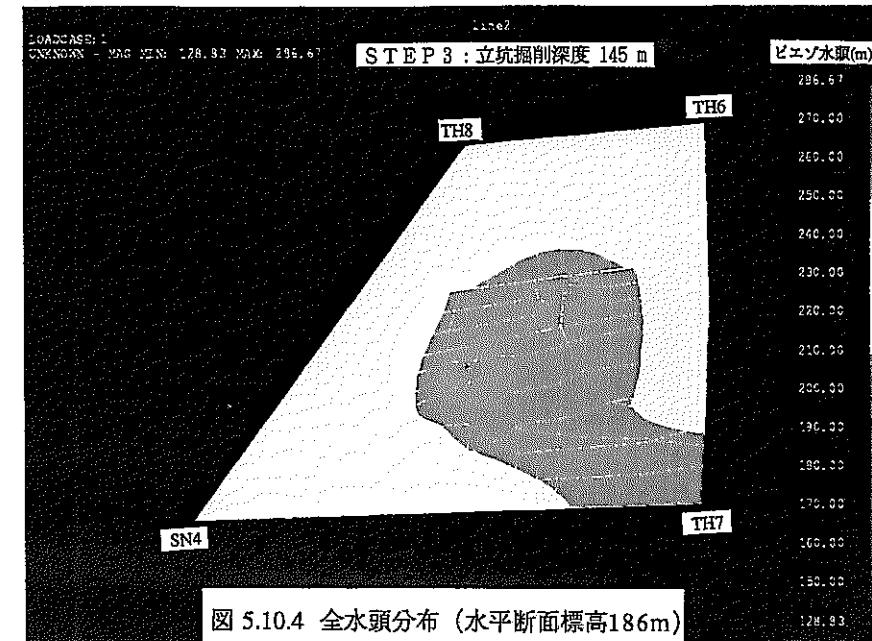


図 5.10.4 全水頭分布 (水平断面標高186m)

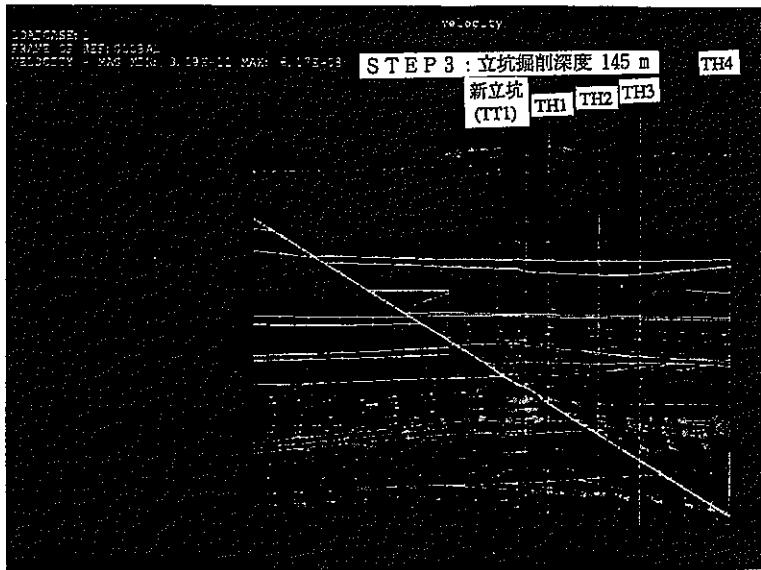


図 5.10.5 流向・流速分布 (TT1-TH1-TH2-TH3-TH4断面)

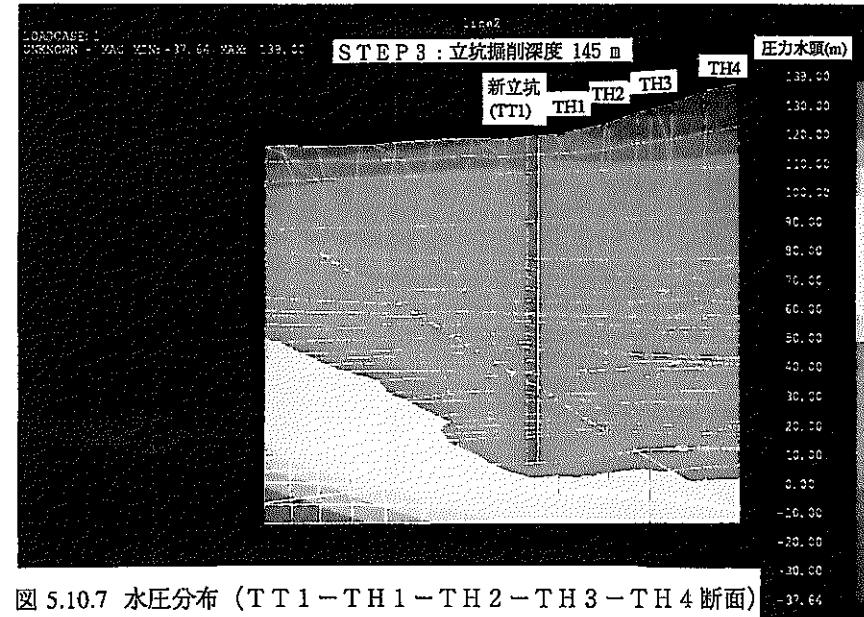


図 5.10.7 水压分布 (TT1-TH1-TH2-TH3-TH4断面)

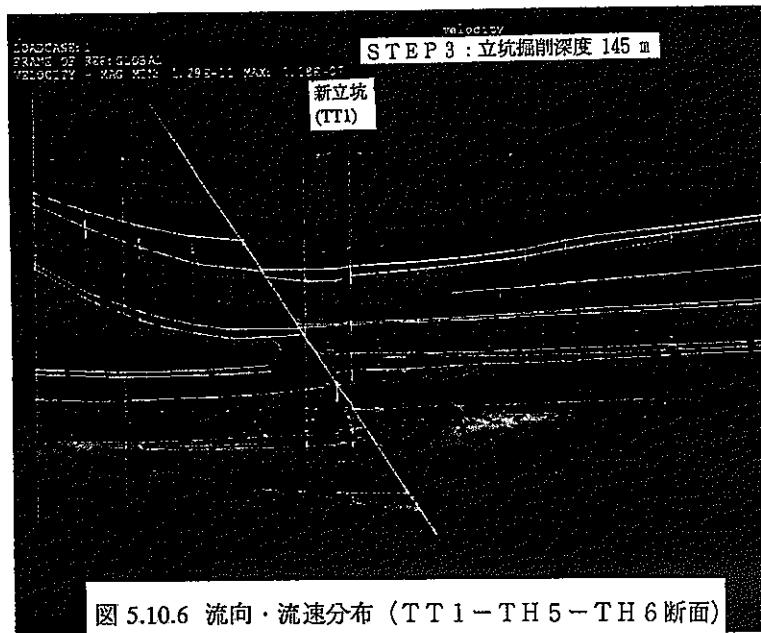


図 5.10.6 流向・流速分布 (TT1-TH5-TH6断面)

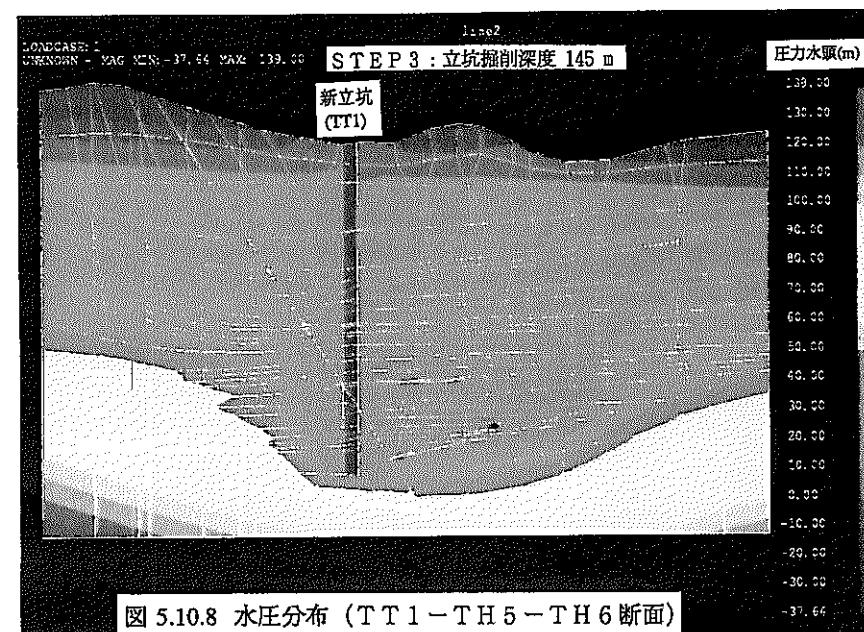


図 5.10.8 水压分布 (TT1-TH5-TH6断面)

6. 調査結果のまとめ

本調査研究により得られた結論をまとめると以下のようになる。

○MP地下水圧計測

- 1) 立坑掘削の影響は、浅層の瀬戸層においては顕著に現われ、TH1、TH2はもとより、TH4-2、TH5-2、TH7-2の水頭が低下した。
- 2) TH8-2には瀬戸層が無く掘削の影響は現われていない。
- 3) TH1は立坑から10mしか離れていないため、立坑掘削の影響が顕著に現われている。全体的に掘削にともなって水位低下を起こしている。
- 4) TH2は立坑から30m離れており、TH1ほどではないが立坑掘削の影響が認められる。TH3、TH4と距離が離れるにつれて立坑掘削の影響は小さくなり、TH4ではほとんど水頭低下は認められなかった。
- 5) TH5はTH2と同様に、立坑から約30mほど離れているが、瀬戸層以外では顕著な掘削影響は認められない。
- 6) 立坑より100m以上離れたTH6、TH7、TH8、SN4にはほとんど掘削影響は現われていない。
- 7) 立坑掘削の影響は表層の瀬戸層では立坑から173m離れたTH7-2にまでおよんでいる。また、明世層以深では月吉断層より南側で影響圏が50m (TH3) から100m (TH4)、月吉断層より北側では30m (TH5) 以内と考えられる。
- 8) 最遠点に配置されたAN6では標高180m付近だけに水位低下ゾーンが確認された。ただし、これは立坑掘削の影響ではないと考えられる。
- 9) 明世層からの採水の影響は2~3日ぐらいで消える。採水の影響は、翌日で大きくとも水頭で1~2mである。
- 10) 土岐層からの採水においては採水点の水圧が0以下にまで下がり、その水位回復にはほぼ1ヶ月を要する。この顕著な回復曲線はTH1の標高184mとTH3の標高212mで計測された。
- 11) 当該観測領域において、明世層以深では地下水圧の季節変動はほとんど無いと考えられる。
- 12) 水理水頭が低いほど、計測時間は長くかかる傾向がある。
- 13) 地盤の透水性と計測時間の関係については今後の課題である。

○MP採水

- 1) 断層の南側の地盤においては明世層に於てpHがもっとも低く7.4程度であり、土岐層下部で最も高く9.0前後の値となっている。
- 2) 土岐層上部は明世層と土岐層下部の中間の値を示し7.7から8.7の間にある。
- 3) 花崗岩の中ではpHは7.8と小さな値を示している。

- 4) 断層より北側では TH 6 明世層で 8.7 と大きな値を示したものの全体としてはほぼ 8.0 前後の値で一定である。
- 5) 電気伝導度の分布は、断層南側においてはやはり明世層が一番低く $150 \mu\text{S}/\text{m}$ 平均であり、標高 160 m と 220 m 付近で $270 \mu\text{S}/\text{m}$ 以上となっている。その他はほぼ $220 \mu\text{S}/\text{m}$ 前後の値を示している。
- 6) 断層北側の電気伝導度は、pH 分布と同様にやはり標高 210 m 付近で高い値を示しているが、その他は $200 \mu\text{S}/\text{m}$ 付近で一定値を示している。
- 7) MP 採水装置を用いて、生俵層と明世層においては、一日に 4 ~ 5 リットルの採水が可能であったが、土岐層においては 1 ~ 2 リットルの採水しかできなかった。

○立坑掘削影響予測解析

- 1) 標高 220 m までは TH 1、TH 2、TH 3、および TH 5 において実測値と計算値のピエゾ水頭の値は良く一致している。水頭差で 5 m 以内の差である。ここでは、ほぼ静水圧状態であるが、深度とともにやや減少傾向にある。
- 2) TH 2、TH 3 においては、解析値は実測値の水頭分布を全体的によく表している。しかし、局所的な水頭回復箇所は解析では表現できていない。全体的に 10 m から 15 m の水頭差となっており、解析値の方が低い値を示している。
- 3) TH 1 および TH 5 では標高 220 m 以深で解析値の方が 30 m から 35 m 位低いピエゾ水頭を示している。
- 4) TH 1 における断層付近の水位低下域を解析ではうまく表現できていない。
- 5) 全般的に解析値は実測値よりも低いピエゾ水頭を示した。特に、標高 140 m 以深では水頭が下りすぎる傾向がある。
- 6) ボーリング湧水を考慮した横坑湧水量、瀬戸層の湧水を排除した既存縦坑内湧水量と解析によりえられた湧水量は良く一致した。
- 7) 解析モデルの改良点としては、
 - 解析領域の下部境界をもっと深い位置まで拡張する。
 - 断層の透水性をもっと不透水性とする。が考えられる。

7. 今後の課題

以上の調査研究を通じて、さらに研究のレベルを上げるために解決しなければならないと考えられる項目を以下にまとめる。

1) 現場計測の設計手法を開発するためには、水理地質の複雑さに応じた計測計画を検討する必要がある。今回の調査研究では大きな水理地質システムとして月吉断層を境とし北側と南側に分けられる傾向を示している。両ゾーンとも水平な堆積構造であるため水平な連続性が強いと考えられる。したがって、水理地質の調査としては主となる滯水層（透水層）あるいは難透水層（不透水層）を確定しその連続性を確認できる調査を行なえるよう計画すべきである。従来の地質・岩相調査に加えて、多孔式の揚水試験や孔間干渉試験により滯水層の連続性が検討できる。

月吉断層は本調査区域においては非常に重要な役割を果たしていると思われる。この断層を横断する方向での滯水層の連続性の検討は不可欠である。

2) 水圧のプロファイルを調査するためには、上記水理地質構造を配慮の上、既存の水理境界条件を考慮した計測計画が必要である。本研究では既存の立坑ならびに横坑の影響が水圧分布に大きく影響を与えることがわかった。したがって、今回調査区域からはずした北延べ坑道の影響も無視できないものと思われる。特に標高150m付近の水圧分布を評価する場合は北延べ坑道を含めた調査域を設定すべきである。

3) 解析モデルをつくる際に最も問題になるのは解析分割の複雑さである。すなわち、有限要素法における要素の個数である。いかに少ない要素で必要な水理地質特性を模擬できるかが重要な問題である。そのためには、現場の主となる水理地質特性を把握して極力水理地質モデルを簡略化してやるとともに、解析しやすいモデルにする必要がある。

4) 材料定数の決定手法も重要な課題である。たとえば、今回は透水係数については水平方向の透水係数の値がかなりたくさん与えられたが、垂直方向の透水係数についてはデータがなかった。この異方性の効果は水圧分布に大きな影響を与えるものであり、特に堆積岩系の地盤では大きな影響が現われるものである。

断層部分の材料定数の決定も必要である。このための断層が果たす水理地質特性の究明とその材料定数決定のための試験手法の開発が必要である。

5) 非定常計算においては貯留係数が時間遅れに大きな影響を及ぼす。貯留係数のデータ取得についても検討する必要がある。貯留係数は多孔式の揚水試験において非定常下での計測を行なうことにより求めることが可能である。また、孔間干渉試験でも求められる。

6) 境界条件についての検討も重要である。特にニヤフィールドの解析においては境界値をどのように定めるかが重要である。今回の解析では解析領域の四方で計測した水圧計測データから2次元地下水流动解析で各側面の水圧分布を内挿したが、この手法は実計測と比較検証する必要がある。

7) 表層からの地下水涵養量については今回の解析においてはあまり重要視しなかつ

た。しかし、表層付近の水理状況の把握にはこの項目は無視できないと考えられる。この判断基準についても検討する必要がある。

- 8) 挖削工程のシミュレーションは解析メッシュの複雑さ、解析タイムステップの選択、地盤の水理特性と相互に関係するこの解析ステップの設定が、非定常地下水流动解析のキーとなる。この問題は地盤が複雑になればなるほど難解である。解析モデルを極力簡略化するとともに、エレガントな要素分割手法が必要である。
- 9) 解析の目的を定量的に設定することはほとんど不可能であるが、将来は解析結果の信頼性を定量的に評価する必要がある。このためには、検証用データとすべき実計測データを解釈し、平滑化する必要がある。検証用データとなるデータの空間的、時間的なバラツキを無くせば、解析のモデル化が簡略化できるし、比較検討が容易になる。
- 10) 解析モデルの改良手法も今後の課題である。複雑な3次元の解析モデルは2次元モデルに比べて非常に改良が困難である。解析モデルは常に改良が必要であるし、多方面からの検討に用いられるので、改良のしやすいモデルが望まれる。