

## ローカルスケールにおける地下水流動解析

・ローカルスケールでの地下水流動特性評価およびサイトスケールにおけるステップ0の  
地下水流動解析の境界条件の設定・

( 研 究 報 告 )

2005年5月

核燃料サイクル開発機構

東濃地科学センター

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

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松 4 番地 49

核燃料サイクル開発機構

技術展開部 技術協力課

電話：029-282-1122（代表）

ファックス：029-282-7980

電子メール：[jserv@jnc.go.jp](mailto:jserv@jnc.go.jp)

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:

Technical Cooperation Section,

Technology Management Division,

Japan Nuclear Cycle Development Institute

4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184, Japan

© 核燃料サイクル開発機構

(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

2005

ローカルスケールにおける地下水流動解析  
・ローカルスケールでの地下水流動特性評価およびサイトスケールにおけるステップ0  
の地下水流動解析の境界条件の設定・

大山 卓也\* , 三枝 博光\* , 尾上 博則\*

要 旨

核燃料サイクル開発機構が、高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発の一つである深地層の科学的研究の一環として、東濃地域を事例として進めている広域地下水流動研究ならびに超深地層研究所計画では、空間スケールに応じた地質環境の体系的な調査・解析・評価技術の整備を主な目標としている。このうち、広域地下水流動研究では、主に地下水の涵養域から流出域までの一つの地下水流動系を包含した領域（ローカルスケール）を調査研究の対象としている。一方、超深地層研究所計画の地表からの調査予測段階では主にサイトスケールにおいて、深部地質環境を対象とした調査から評価にいたる一連のプロセスを繰り返すアプローチに基づいて調査研究を実施している。

本研究では、上述したローカルスケールの地下水流動特性を評価するとともに、サイトスケールにおける既存情報を用いた調査・解析段階における地下水流動特性を評価するための地下水流動解析の境界条件を設定することを目的とした地下水流動解析(ステップ0)を実施した。

その結果、ローカルスケールにおける大局的な地下水流動特性を把握することができた。また、地下水流動特性を評価するためには大局的な流動方向とほぼ直交方向の断層の透水性の評価が重要であることが明らかとなった。さらに、このローカルスケールの地下水流動解析結果に基づき、サイトスケールにおける地下水流動解析の境界条件設定に必要な水頭分布を算出することができた。

---

\* 東濃地科学センター

## Groundwater Flow Analysis on Local Scale

-Evaluation of groundwater flow condition on Local scale and setting boundary conditions for groundwater flow analysis on Site scale model in Step0-

Takuya Ohyama<sup>\*</sup>, Hiromitsu Saegusa<sup>\*</sup>, Hironori Onoe<sup>\*</sup>

### Abstract

Japan Nuclear Cycle Development Institute has been conducting a wide range of geoscientific research in order to build a foundation for multidisciplinary studies of the deep geological environment as a basis of research and development for geological disposal of nuclear wastes. Ongoing geoscientific research programs include the Regional Hydrogeological Study (RHS) project and Mizunami Underground Research Laboratory (MIU) project in the Tono region, Gifu Prefecture. The main goal of these projects is to establish comprehensive techniques for investigation, analysis, and assessment of the deep geological environment at several spatial scales. The RHS project is a local scale study for understanding the groundwater flow system from the recharge area to the discharge area. The Surface-based Investigation Phase of the MIU project is a mainly Site scale study for understanding the groundwater flow system immediately surrounding the MIU construction Site. The MIU project is being conducted using a multiphase, iterative approach.

In this study, the groundwater flow analysis was carried out in order to evaluate of groundwater flow condition on the Local scale and to set boundary conditions of the Site scale model based on the data obtained on borehole investigation stage in local scale.

As a result of the study, groundwater flow condition on the Local scale could be evaluated. It could be found that hydraulic characteristics of the fault normal to the major direction of groundwater flow are essential.

Head distribution to set boundary conditions for groundwater flow analysis on the Site scale model could be obtained from the result of the groundwater flow analysis.

---

\* Tono Geoscience Center

## 目次

1. はじめに	1
2. 地形・地質の概要	3
2.1 地形概要	3
2.2 地質概要	4
3. モデル化・解析領域	4
4. 使用データ	5
5. 地下水流動解析	5
5.1 水理地質構造モデルの構築	5
5.2 地下水流動解析の実施	10
6. まとめ	13
参考文献	14

## 目 次

図1	第1段階における調査研究の流れ	2
図2	ローカルスケールの位置付け(ステップ0)	2
図3	岐阜県東濃地域の地形および断層	3
図4	岐阜県東濃地域の地表地質およびリニアメント分布	4
図5	ローカルスケールのモデル化・解析対象領域	5
図6	地質構造モデルにおけるモデル化対象断層	6
図7	ローカルスケールにおける地質構造モデル	7
図8	地下水位標高とボーリング孔口標高	9
図9	三次元水理地質構造モデル	9
図10	三次元水頭分布	11
図11	水頭分布	11
図12	間隙水圧測定結果	12
図13	ボーリング孔における全水頭分布の実測値と解析値の比較	12
図14	水質分布から推定された地下水の流動方向	13

## 表 目 次

表1 地層に設定した透水係数	7
表2 断層に設定した透水係数	8

## 1. はじめに

核燃料サイクル開発機構（以下、サイクル機構）が、高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発の一つである深地層の科学的研究の一環として、東濃地域を事例として進めている広域地下水流動研究<sup>1)</sup>ならびに超深地層研究所計画<sup>2)</sup>では、空間スケールに応じた地質環境の体系的な調査・解析・評価技術の整備を主な目標としている。

このうち、広域地下水流動研究では、主に地下水の涵養域から流出域までの一つの地下水流動系を包含した領域（ローカルスケール）を調査研究の対象としている。

一方、超深地層研究所計画の地表からの調査予測研究段階（以下、第1段階）では、瑞浪超深地層研究所用地（以下、研究所用地）を中心とした2km四方の領域（サイトスケール）において、繰り返しアプローチに基づき調査をステップ1から4に区分して、地質環境特性に関する調査研究が実施されている（図1）。対象領域内の地下水流動特性を把握するための地下水流動解析を実施するうえでは、一般的に1つの閉じた地下水流動系の範囲（分水界）を領域境界とすることが望ましいが、研究所用地近傍においては地下深部までの地下水の分水界となる地形的な特徴が存在しない。このことから、サイトスケールの地下水流動解析を実施するためには、サイトスケールを包含する領域における地下水流動解析結果に基づいて境界条件を設定する必要がある。したがって、サイトスケールを包含する領域であるローカルスケールは、サイトスケールの境界条件を設定することも研究対象としている<sup>3)</sup>。

以上のことから、本研究では、上述したローカルスケールの地下水流動特性を評価するとともに、サイトスケールにおける既存情報を用いた調査・解析段階における地下水流動特性を評価するための地下水流動解析の境界条件設定に資することを目的とした地下水流動解析（ステップ0）を実施した（図2）。

なお、本研究におけるモデル化・解析においては、断層等が混在している複雑な水理地質構造を有する岩盤中の地下水流動場を効率的にモデル化・解析するためのシステムとして開発した GEOMASS (GEOLOGICAL MODELLING ANALYSIS AND SIMULATION SOFTWARE) システム<sup>4)</sup>を用いた。地質構造モデルおよび水理地質構造モデルの構築には、GEOMASS システムの構成要素のひとつである、地質構造モデルの構築および可視化を支援する Earth Vision を用い、三次元定常地下水流動解析には、GEOMASS システムの構成要素のうちの差分法による解析コードである Frac-Affinity を用いた。



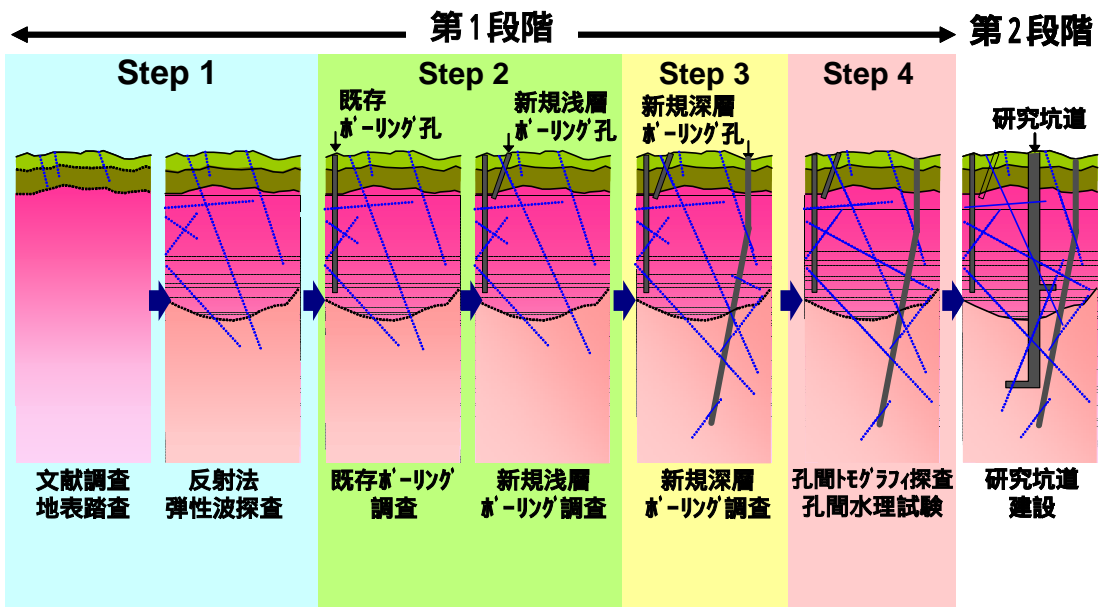


図1 第1段階における調査研究の流れ<sup>2)</sup>

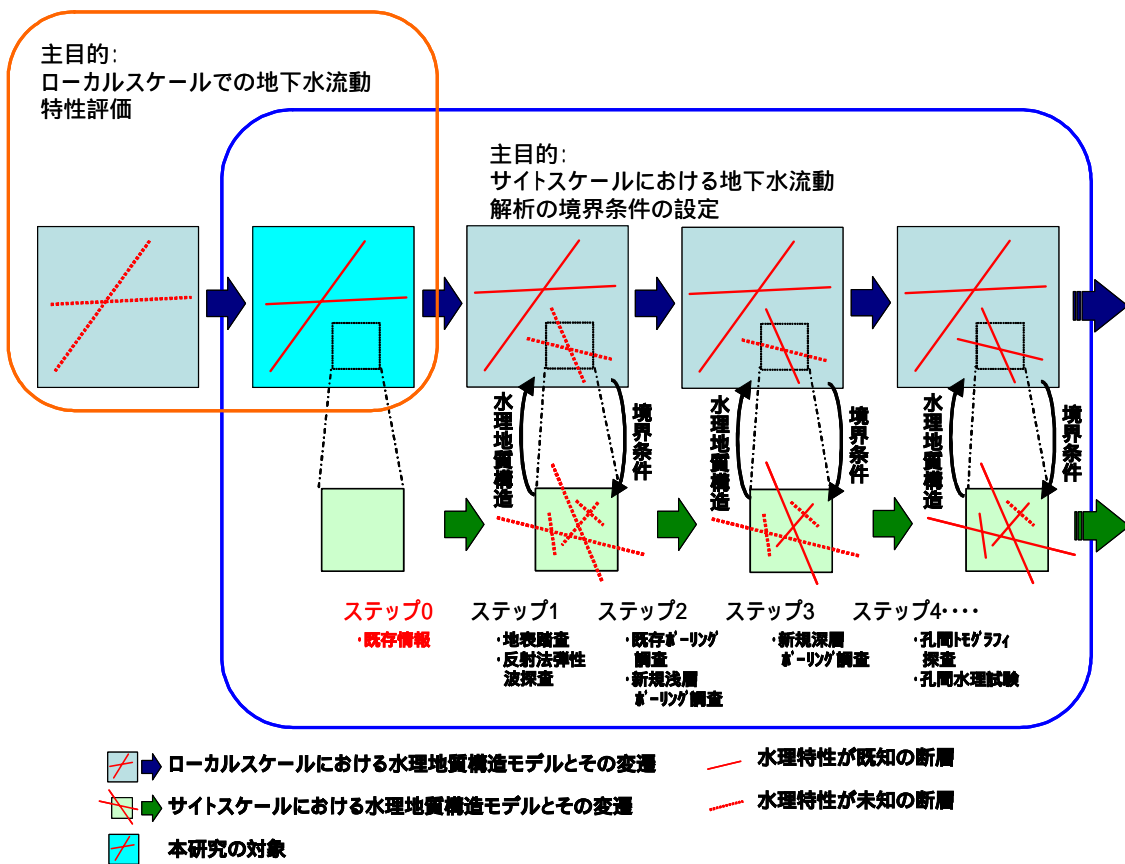


図2 ローカルスケールの位置付け (ステップ0)

## 2. 地形・地質の概要

### 2.1 地形概要

研究所用地が位置する東濃地域は、図3に示すように北西部に美濃飛騨山地、南東部に三河山地が分布し、その間に丘陵地が広がる北東・南西方向の軸をもった船底状の地形概観を示す。北部の山地には、木曾川が流れ、先行性の河川として深い谷を刻んでいる。南東部の山地と丘陵地との境界は屏風山（標高 794.1m）で、その付近では北東・南西方向に走る屏風山断層により崖錐堆積物を伴う急峻な崖となり明瞭に隔てられているが、南西部に向かうにしたがい不明瞭になる。丘陵地の中央部には、北東から南西に向かって土岐川が流れ、その本流および支流の沿岸には段丘が発達して台地を形成し、河川周辺の低地には沖積層が分布する。この地形と地質の間には明瞭な対応関係があり、中生代の基盤岩類の分布域は山地となり、一方、新第三系・第四系の分布域は丘陵地をなし、鮮新統の瀬戸層群（土岐砂礫層）が土岐面と呼ばれる丘陵地の頂面を形成している<sup>5)</sup>。

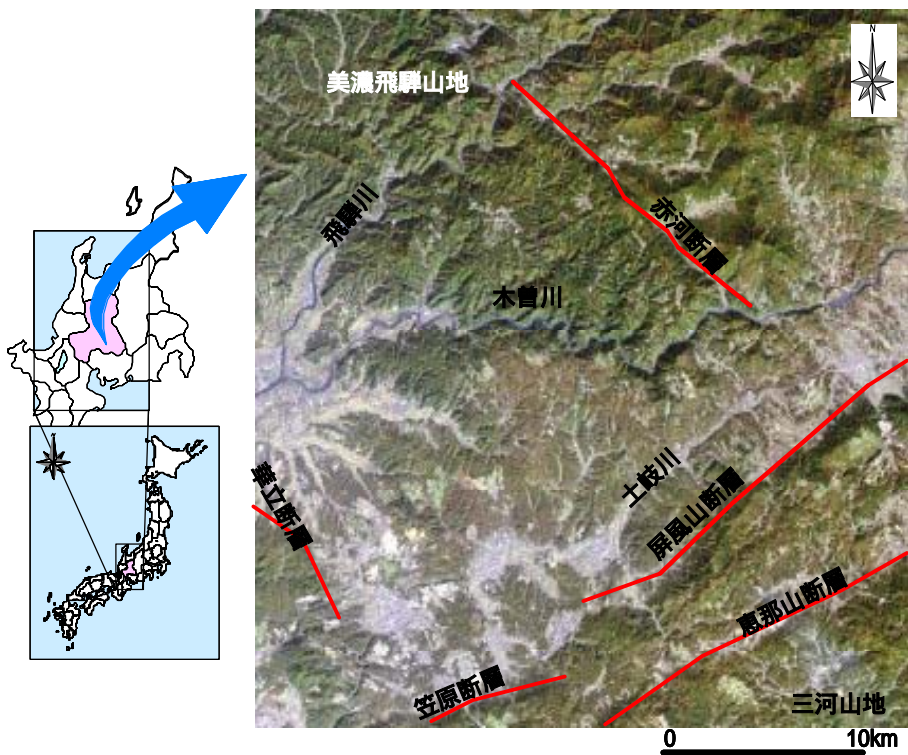


図3 岐阜県東濃地域の地形および断層

## 2.2 地質概要

東濃地域の地質は、白亜紀後期の花崗岩（土岐花崗岩）からなる基盤を、新第三期中新世の堆積岩（瑞浪層群）が不整合で覆い、さらにその上位に固結度の低い新第三期鮮新世の砂礫岩（瀬戸層群）が不整合で覆っている<sup>6)</sup>（図4）。瑞浪層群は、下位より、泥岩・砂岩・礫岩からなり亜炭を挟む土岐夾炭累層、凝灰質の泥岩・砂岩を主体とする明世累層／本郷累層、シルト岩・砂岩を主体とする生俵累層の3累層に区分される。このうち月吉断層は、ほぼ東西方向で70～80度の南傾斜の逆断層である。また、当該地域を対象としたリニアメント調査では、SPOT 画像や LANDSAT 画像および航空写真の3種類の画像データを用いて、異なるスケールや地形特徴を有するリニアメントが判読されている（図4）。

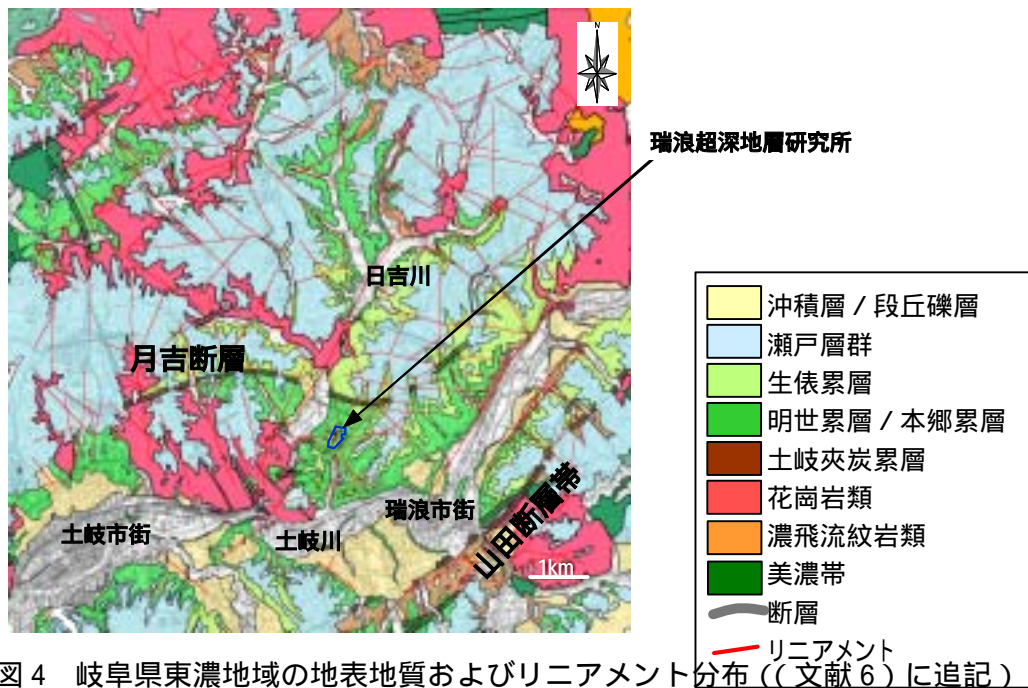


図4 岐阜県東濃地域の地表地質およびリニアメント分布（文献6）に追記）

## 3. モデル化・解析領域

ローカルスケールのモデル化・解析領域は、北側および東西方向は涵養域である土岐川と木曾川の流域境界である尾根部、南側は流出域である土岐川で囲まれた、約9km四方、深度方向に-2kmとした（図5）。

このモデル化・解析領域は、数十km四方のリージョナルスケールの領域において後背地地形や断層を考慮した地下水流動解析によって、深部地下水の涵養域から流出域までの一つの地下水流動系として抽出されたものである<sup>7)8)</sup>。

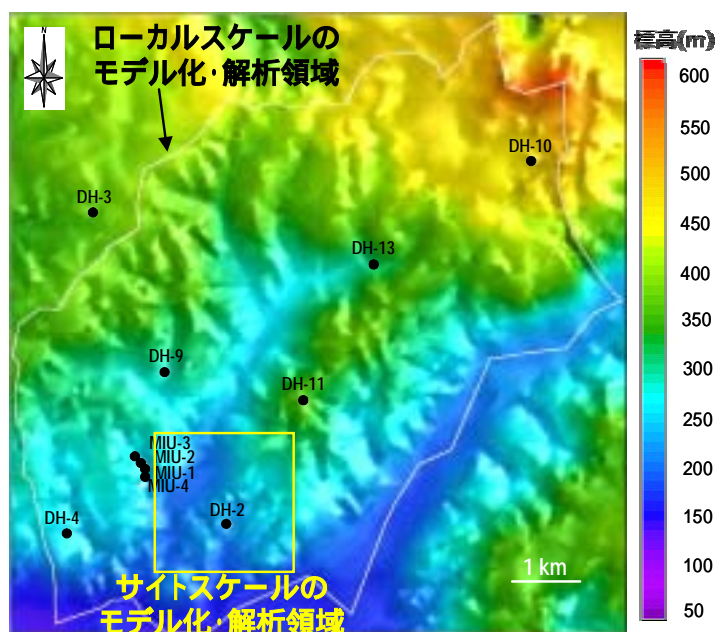


図5 ローカールスケールのモデル化・解析対象領域

#### 4. 使用データ

本研究では、広域地下水流動研究での調査結果<sup>9)~13)</sup>および正馬様用地での調査結果<sup>14)~16)</sup>を用いてモデル化・解析を行った。

具体的には、地質構造モデルにおける地質構造要素の透水性の設定は、地形の起伏に支配される地下水の主流動方向に沿って掘削されたボーリング孔(DH-2<sup>9)</sup>、DH-10~11<sup>9)</sup>、DH-12~13<sup>10)</sup>号孔)、および断層の地質学的・水理学的特性を把握するために掘削されたボーリング孔(MIU-1~3<sup>14)</sup>、MIU-4<sup>16)</sup>号孔)などを用いて実施した流体検層や単孔式水理試験などの調査結果を使用した。また、上部境界条件の設定には広域地下水流動研究において取得した地下水位データを使用し、側方境界条件はリージョナルスケールの地下水流動解析結果<sup>7)8)</sup>を基に設定した。さらに、地下水流動解析結果の妥当性確認にはMIU-2<sup>14)</sup>号孔およびDH-9<sup>9)</sup>、DH-11号孔で実測した間隙水圧データを用いた。

#### 5. 地下水流動解析

##### 5.1 水理地質構造モデルの構築

###### (1) 地質構造モデルの構築

水理地質構造モデルの基礎となる地質構造モデルの構築においては、地表面の起伏、地質の分布、大規模な地質学的不連続構造をモデル化の対象とした。

地質分布については、瀬戸層群では、水理試験の結果から瑞浪層群と比較して透水性が高いことが明らかとなっている<sup>9)</sup>ため、堆積岩部を瀬戸層群と瑞浪層群に区分してモ

デル化した。また、花崗岩部については、花崗岩上部において、水平割れ目の卓越する上部割れ目帯が分布していることが確認されており<sup>17)18)</sup>、この上部割れ目帯は一部で開口性の割れ目を伴い、水理試験の結果から花崗岩下部に存在する割れ目低密度帯と比較して透水性が高いゾーンである。したがって、花崗岩部は上部割れ目帯、下部割れ目低密度帯に区分してモデル化した。大規模な地質学的不連続構造としては、月吉断層をモデル化の対象とした。さらに、断層に対応する可能性の高い長さ3km以上のリニアメント<sup>19)</sup>についても断層と仮定してモデル化の対象とした(図6)。図7に上記の地質構造モデル化要素を基に構築したローカルスケールの地質構造モデルを示す。

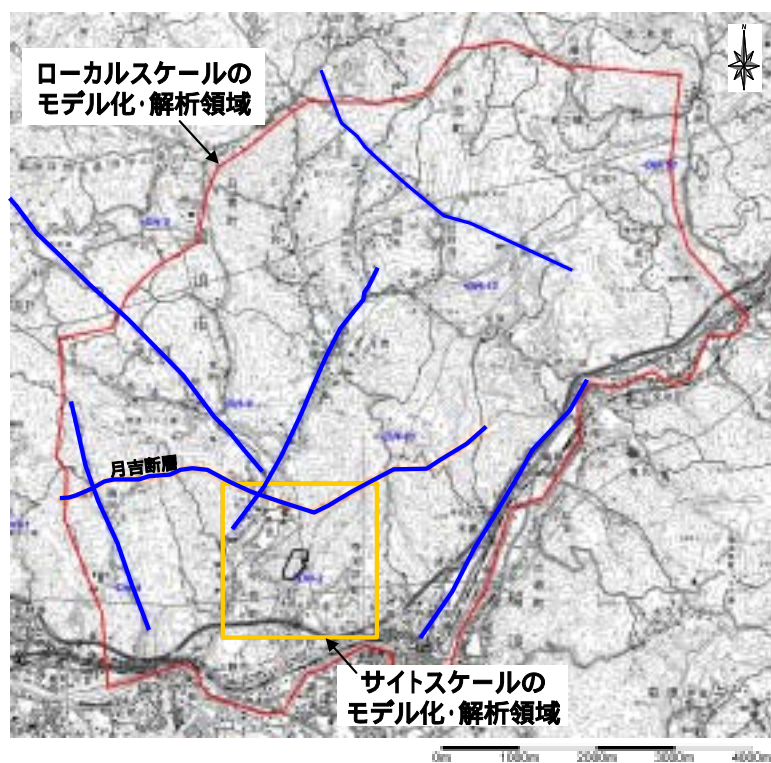


図6 地質構造モデルにおけるモデル化対象断層

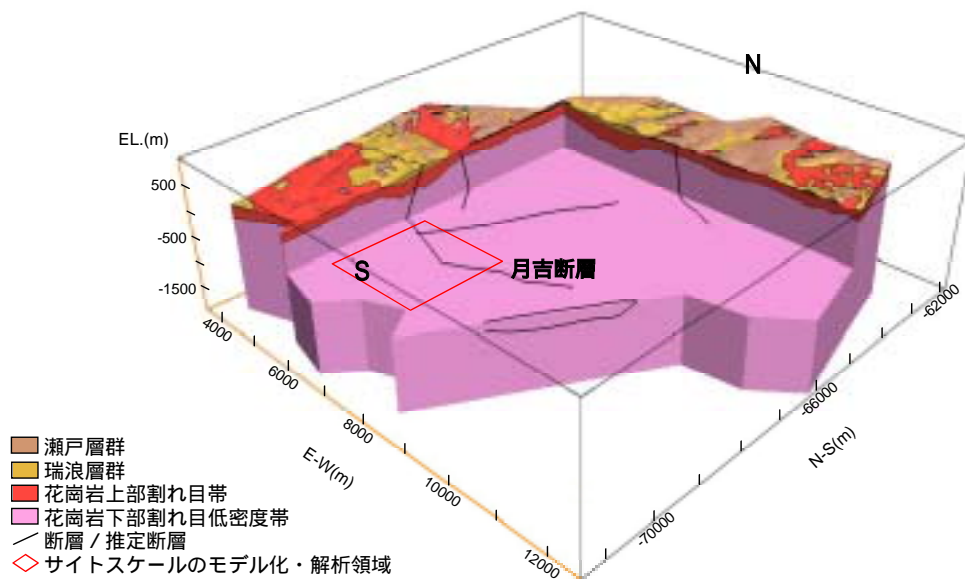


図7 ローカルスケールにおける地質構造モデル

(2) 透水性の設定

a) 地層の透水性

4章で示した単孔式水理試験は、主に岩盤の巨視的な透水係数を把握するための長区間(数十m~100m程度)での試験と、断層や透水性割れ目帯などの特定の構造の透水量係数を把握するためにその構造を対象とした区間での試験を実施している。地質構造モデルにおける各地層に与える透水性には、このうち岩盤の巨視的な透水性を把握するために実施した原位置水理試験結果から得られた試験結果の幾何平均値を適用した。なお、瑞浪層群については、堆積構造に起因した水平方向と鉛直方向の透水異方性を考慮した<sup>20)</sup>。表1に地層区分ごとに設定した透水係数を示す。

表1 地層に設定した透水係数

地層区分	透水係数(m/s)の対数値	
	水平方向	鉛直方向
瀬戸層群	-5.0	
瑞浪層群	-7.3	-9.3
花崗岩上部割れ目集中帯	-6.7	
花崗岩下部割れ目低密度帯	-7.4	

b) 断層の透水性

月吉断層については、正馬様用地でのボーリング調査結果<sup>21)</sup>および正馬様用地を対象とした地下水流動解析結果<sup>17)18)22)</sup>から、透水異方性(断层面直交方向:低

透水性，断層面方向：高透水性）を有することが確認されている。また，ボーリング孔における単孔式水理試験において測定された透水係数や間隙水圧分布，および掘削応答モニタリング結果により，研究領域内の数 km 程度のトレース長を有する断層については，断層主要部で遮水性を有していることが確認されている<sup>23)</sup>。このことから，本検討では，月吉断層の主要部および割れ目帯をまとめてモデル化し，透水異方性を設定した。具体的には，水理地質構造モデルのグリiddingの関係から断層幅を 8m とした上で，断層面方向には月吉断層の透水量係数に基づき透水係数を設定し，断層面直交方向にはこれまでの地下水流動解析結果<sup>17)18)22)</sup>から得られた透水係数を設定した。

大規模断層（3km 以上の連続性を有する断層）については，月吉断層と同等のトレース長を持つことから月吉断層と類似した透水特性を有していると仮定し，月吉断層と同様の透水性を設定した。表 2 に断層に設定した透水係数を示す。

表 2 断層に設定した透水係数

断層区分	モデル化した断層の幅(m)	透水係数(m/s)の対数値		備考
		断層面方向	断層面直交方向	
断層/推定断層	8	-5.2	-11	月吉断層を含む3km以上の断層 月吉断層と同様の透水量係数

### (3) 境界条件の設定

#### a) 上部境界条件

本研究では，飽和状態による三次元地下水流動解析を実施することから，上部境界面は地下水面とし，固定水頭条件を与えた。地下水面の分布については，地下水面標高とそれを計測したボーリング孔での地表標高に良い相関が得られたため，その関係式を用いて推定した（図 8）。

#### b) 側方境界条件

側方境界条件については，数十 km 四方の領域を対象とした地下水流動解析の結果<sup>7)8)</sup>から，研究所用地周辺を通る地下水流動系は主に，北方の土岐川と木曾川の流域境界付近を涵養域とし，南方の土岐川を流出域とする南北の流動方向を持っていることが確認されており，南北の側方境界については不透水境界とすることの妥当性が確認されている。また，同解析結果から，東側と西側の側方境界も不透水境界とすることの妥当性が確認されており，これらに従って，本研究においても，側方境界は不透水境界を設定することとした。

### c) 下部境界条件

数十 km 四方の領域を対象とした地下水流動解析結果<sup>7)8)</sup>から、研究所用地周辺の地下水流動系は標高-2km 程度付近に流動系境界があり、研究所用地の地表から標高-2km 程度までの地下水流動系を地下水流動解析の対象とした場合に、その下部境界条件として不透水境界を設定することの妥当性が確認されている。したがって、本検討においても同様に、下部境界条件を水の流入出のない不透水境界とした。

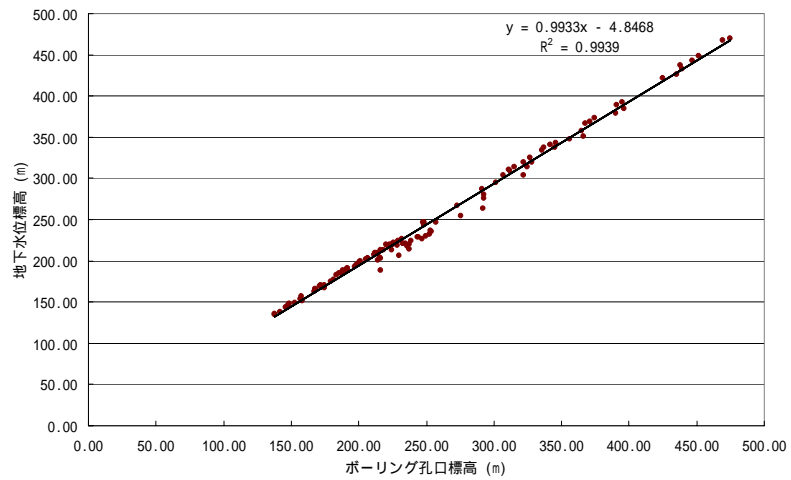


図 8 地下水位標高とボーリング孔口標高

### (4) 水理地質構造モデルの構築

以上、(1)から(3)の条件に基づき、三次元水理地質構造モデルを構築した(図9)。

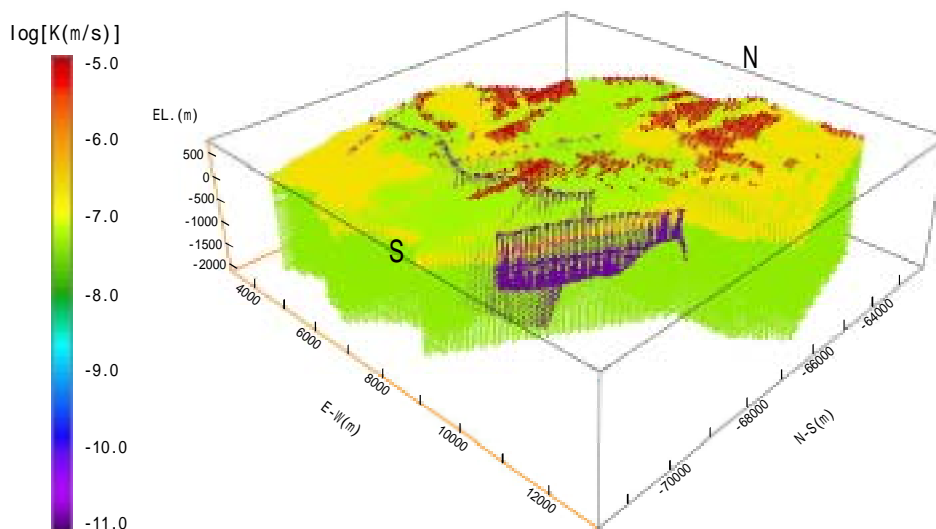


図 9 三次元水理地質構造モデル



## 5.2 地下水流動解析の実施

### (1) 解析ケース

5.1 で構築した三次元水理地質構造モデルを用いて、飽和状態における三次元定常地下水流動解析を実施した。解析ケースとしては、表 1, 2 で示した透水係数を使用した 1 ケースを設定した。境界条件およびその他の諸条件は 5.1 に示したとおりである。

### (2) 地下水流動解析結果

図 10, 11 に地下水流動解析から得られた水頭分布を示す。これらの図より、地下水の主流動方向は地形に支配されており、標高の高い領域北東部では涵養傾向、標高の低い河川部で流出傾向、それ以外は概ね静水圧分布を示していることが確認された。また、地下水の主流動方向とほぼ直交する方向に位置する遮水性を有する断層部においては、その上流側で被圧傾向の水頭分布を示すことや、このような水理特性を有する断層で挟まれた領域の動水勾配が小さくなるといった結果が得られた。

ローカルスケールにおける地下水流動解析結果の妥当性については、ボーリング孔における水頭分布を用いた実測値と解析値の比較によって確認した。ボーリング孔での間隙水圧測定結果においては、涵養域では深度が深くなるほど全水頭値が小さくなり、下降流が生じているとともに、流出域では深度が深くなるほど全水頭値が大きくなり、上昇流が生じていることを示している（図 12）。また、涵養域と流出域以外の地点では概ね地形面からの静水圧分布を示している。この傾向は、本研究での地下水流動解析結果と整合的である。

また、MIU-2 および DH-9, DH-11 号孔の 3 本のボーリング孔において水頭分布の実測値と解析値の絶対値の比較を行った（図 13）。このうち、MIU-2 号孔は、ローカルスケールおよびサイトスケールでの地下水流動場に最も影響を及ぼしていると考えられる地質構造要素である月吉断層を貫くことから水頭分布の比較対象とした。また、ローカルスケールのモデル化・解析領域周辺の大局的な地下水流動場が再現できているかを確認するため、ローカルスケールのモデル化・解析領域のほぼ中央に位置する DH-9, DH11 号孔を比較対象とした。この結果、各ボーリング孔における実測値と解析値は良い一致を示していることが確認された。

さらに、地下水の水質および起源・年代に関する情報と地下水流動解析によって推定される両者の大局的な地下水流動方向が概ね整合的であることが確認された（図 14）<sup>24)</sup>。

このことから、本研究における地下水流動解析によってローカルスケールの大局的な地下水流動場は再現できたと言える。よって、本研究におけるローカルスケール

の地下水流動解析結果に基づき ,サイトスケールにおける地下水流動解析の境界条件設定に必要な水頭分布を算出することができたと考える。

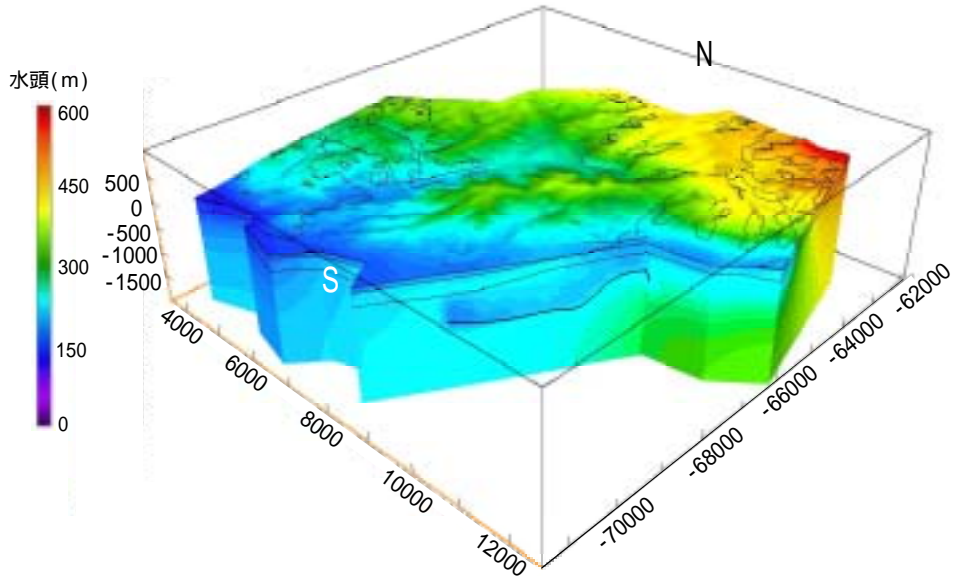


図 10 三次元水頭分布

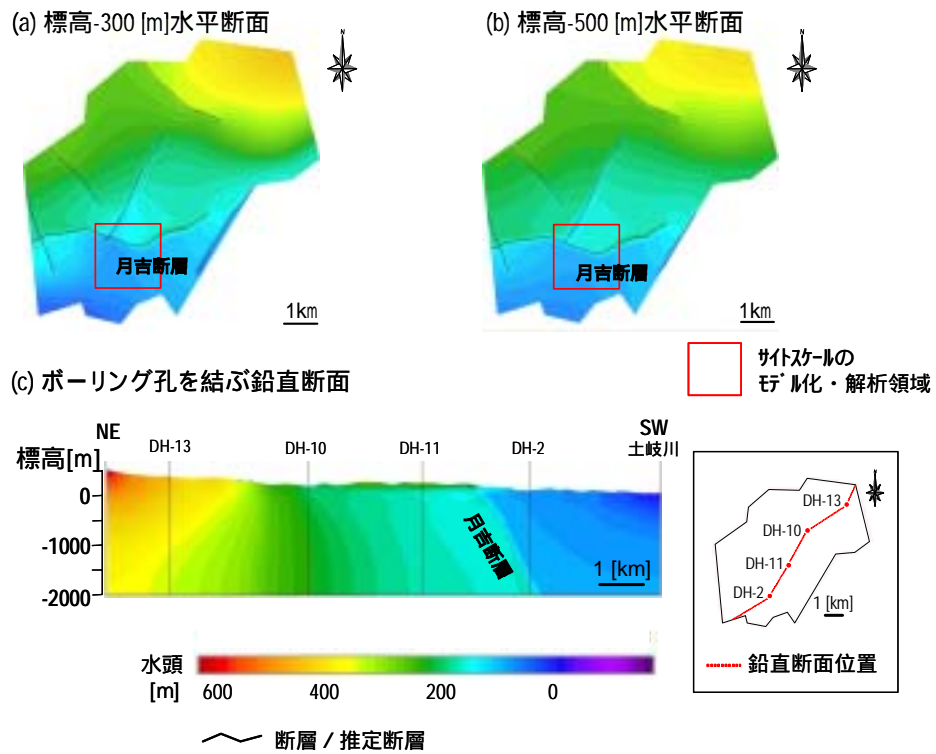


図 11 水頭分布

以上のことから，ローカルスケールにおける地下水流動解析結果の妥当性確認のための間隙水圧分布および地下水流動に伴う水質の変化の両者を合理的に把握するためには，涵養域から流出域までの一つの地下水流動系に沿ったボーリング調査が有効であると考えられる。また，調査領域内に多数の断層が分布している場合は，地下水流動場に与える影響の大きい地下水の主流動方向にほぼ直交する断層の水理特性を優先的に調査することが有効であり，この水理特性の調査においては，水理試験のみならず断層上下での間隙水圧測定や掘削応答モニタリングを組み合わせる実施することが有効である。

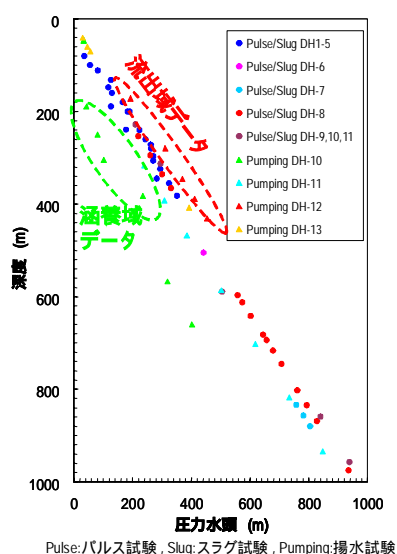


図 12 間隙水圧測定結果

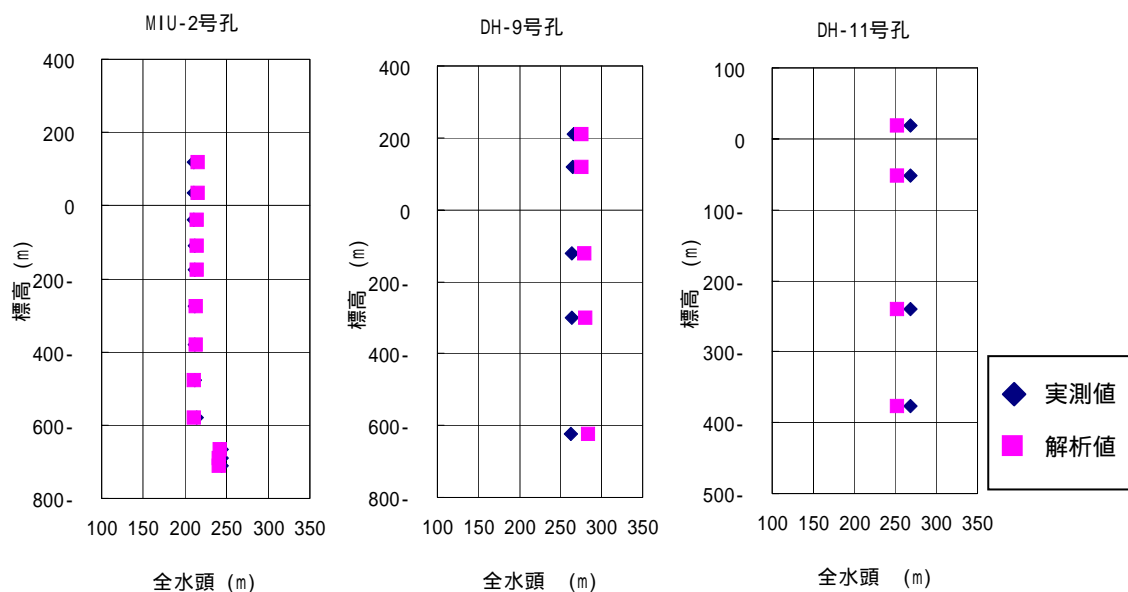


図 13 ボーリング孔における全水頭分布の実測値と解析値の比較

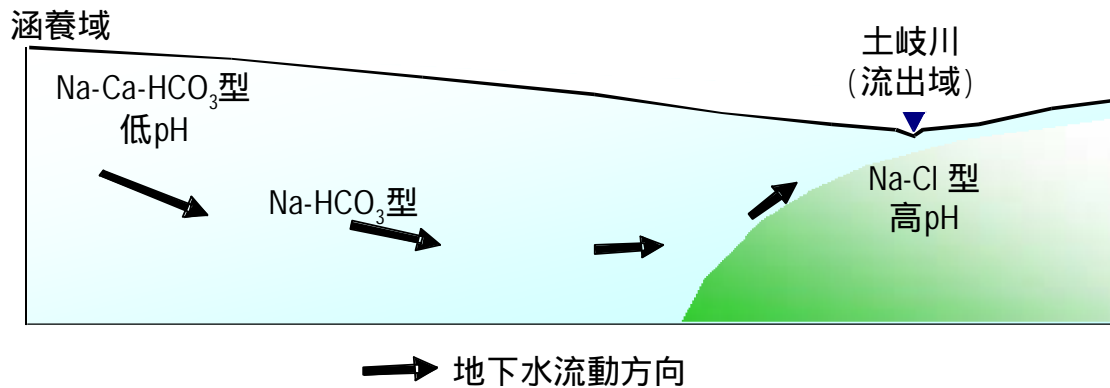


図 14 水質分布から推定された地下水の流動方向

## 6. まとめ

本研究では、ローカルスケールの地下水流動特性を評価するとともに、サイトスケールにおける既存情報を用いた調査・解析段階における地下水流動特性を評価するための地下水流動解析の境界条件設定に資することを目的とした地下水流動解析を実施した。

その結果、ローカルスケールにおいては地下水の主流動方向は地形に支配されているとともに、地下水の主流動方向とほぼ直交する方向に位置する遮水性を有する断層が動水勾配分布に影響を与えていることが明らかとなった。このことから、調査領域内に多数の断層が分布している場合は、動水勾配分布などに与える影響の大きい地下水の主流動方向にほぼ直交する断層の水理特性を優先的に調査することが有効であり、この水理特性の調査においては、水理試験のみならず断層上下での間隙水圧測定や掘削応答モニタリングを組み合わせて実施することが有効である。また、サイトスケールにおける地下水流動解析の境界条件設定に必要な水頭分布を算出することができた。

## 参考文献

- 1) 動力炉・核燃料開発事業団：広域地下水流動研究基本計画，サイクル機構技術資料，PNC TN7020 98-001，1997.
- 2) 核燃料サイクル開発機構：超深地層研究所 地層科学研究基本計画，サイクル機構技術資料，JNC TN7410 2001-018，2002.
- 3) 核燃料サイクル開発機構：高レベル放射性廃棄物の地層処分にに関する研究 -平成14年度報告-，サイクル機構技術資料，JNC TN1400 2003-004，2003.
- 4) 稲葉 薫，三枝博光，M.J. White and P.Robinson：地下水流動の予測解析統合システム（GEOMASS システム）の概要と東濃地域への適用事例，地下水学会誌，第44巻第2号，pp.105-123，2002.
- 5) 貝塚爽平，木曾敏行，町田 貞，太田陽子，吉川虎雄：木曾川・矢作川流域の地形発達，地理評，37，pp.89-102，1964.
- 6) 糸魚川淳二：瑞浪地域の地質，瑞浪市化石博物館専報，No.1，pp.1-50，1980.
- 7) 稲葉 薫，三枝博光，中野勝志，小出 馨：深部地下水の流動系を把握するためのモデル化領域とその境界条件の設定に関する検討，第32回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，pp.359-364，2003.
- 8) 稲葉 薫，三枝博光：深部地下水流動系を抽出するための後背地地形の影響を考慮した広域地下水流動解析，地下水学会誌，第47巻第1号，pp.81-95，2005.
- 9) 小出 馨，中野勝志，竹内真司，濱 克宏，松井裕哉，池田幸喜，長谷川健，杉原弘造，武田精悦：広域地下水流動研究の現状-平成4年度～平成11年度-，サイクル機構技術資料，JNC TN7400 2000-014，2000.
- 10) 核燃料サイクル開発機構：広域地下水流動研究 年度報告書(平成12年度)，サイクル機構技術資料，JNC TN7410 2001-017，2001.
- 11) 核燃料サイクル開発機構：広域地下水流動研究 年度報告書(平成13年度)，サイクル機構技術資料，JNC TN7410 2002-007，2002.
- 12) 天野健治，岩月輝希，上原大二郎，佐々木圭一，竹内真司，中間茂雄：広域地下水流動研究 年度報告書(平成14年度)，サイクル機構技術資料，JNC TN7400 2003-002，2003.
- 13) 天野健治，岩月輝希，太田久仁雄，大澤英昭，竹内真司，藪内 聡：広域地下水流動研究 年度報告書(平成15年度報告)，サイクル機構技術資料，JNC TN1400 2004-007，2004.

- 14) 中野勝志, 竹内真司, 濱 克宏, 松井裕哉, 池田幸喜, 天野健治, 山内大祐, 大澤英昭, 長谷川健, 杉原弘造, 武田精悦: 超深地層研究所計画の現状・平成 8 年度～平成 11 年度・, サイクル機構技術資料, JNC TN7400 2001-001, 2001.
- 15) 花室孝広, 天野健治, 三枝博光, 佐藤稔紀, 竹内真司, 中間茂雄, 濱 克宏, 池田幸喜, 中野勝志, 大澤英昭, 茂田直孝: 超深地層研究所計画年度報告書(平成 13 年度), サイクル機構技術資料, JNC TN7400 2002-004, 2002.
- 16) 島田顕臣, 天野健治, 三枝博光, 竹内真司, 濱 克宏, 松井裕哉, 見掛信一郎, 茂田直孝, 中野勝志, 大澤英昭, 杉原弘造: 超深地層研究所計画 年度報告書(平成 12 年度), サイクル機構技術資料, JNC TN7400 2001-011, 2001.
- 17) H. Saegusa, K. Inaba, K. Maeda, K. Nakano and G. McCrank: Hydrogeological modeling and groundwater flow simulation for effective hydrogeological characterization in the Tono area, Gifu, Japan, Groundwater Engineering - Recent Advances, pp.563-569, A.A. BALKEMA PUBLISHERS, 2003.
- 18) 三枝博光, 前田勝彦, 稲葉 薫: 水理地質構造モデル化概念の違いによる深部地下水流動への影響評価(その 6)・不連続構造及び水理学的境界条件に着目した地質構造・水理地質構造のモデル化及び地下水流動解析・, 亀裂性岩盤における浸透問題に関するシンポジウム論文集, pp.299-308, 2001.
- 19) 井上大栄, 水落幸広, 桜田裕之: リニアメントの断裂系としての特性とその評価, 応用地質, Vol.33-3, pp.147-156, 1992.
- 20) 阿部正宏: 軟岩の透水性について, 土と基礎, 第 27 巻, 第 4 号, pp.11-12, 1979.
- 21) 竹内真司, 下茂道人, 西郷 望, 後藤和幸: 1000m ボーリング孔を用いた圧力干渉試験による断層近傍の透水性調査, 第 31 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.296-300, 2001.
- 22) 三枝博光, 稲葉 薫, 澤田 淳: 断層の透水異方性に着目した水理地質構造のモデル化・地下水流動解析・東濃地域を例として・, 第 32 回岩盤力学に関するシンポジウム論文講演集, pp.371-376, 2003.
- 23) 大山卓也, 三枝博光, 竹内真司: 水頭分布の不連続性に着目した断層の透水性の評価, 日本応用地質学会中部支部平成 16 年度支部研究発表会・講演会予稿集, pp.11-14, 2004.
- 24) Metcalfe. R, Hama. K, Amano. K, Iwatsuki. T and Saegusa. H: Geochemical approaches to understanding a deep groundwater flow system in the Tono area, Gifu-ken, Japan, Groundwater Engineering - Recent Advances, pp.555-561, A.A. BALKEMA PUBLISHERS, 2003.