

繰り返しアプローチに基づくサイトスケールの
水理地質構造のモデル化・地下水流動解析（ステップ3前半）

（研究報告）

2005年7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

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

繰り返しアプローチに基づくサイトスケールの
水理地質構造のモデル化・地下水流動解析（ステップ3前半）

尾上 博則*，三枝 博光*，遠藤令誕**

要 旨

核燃料サイクル開発機構が、岐阜県東濃地域において実施している超深地層研究所計画では、結晶質岩を対象とした深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備を目標の一つとして設定している。この目標を達成するため、深部地質環境を対象とした調査から評価に至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、超深地層研究所計画の地下水流動特性評価に関する調査研究の一環として、繰り返しアプローチに基づき第1段階調査のステップ3前半（反射法弾性波探査、VSP探査を除く深層ボーリングを用いた調査段階）を対象とした水理地質構造モデルの構築・更新およびそれに基づく地下水流動解析を実施した。

地下水流動解析では、ステップ2での地下水流動解析結果との比較による水理地質構造モデルの不確実性の変遷に関する評価およびステップ3後半（反射法弾性波探査、VSP探査を含む深層ボーリングを用いた調査段階）以降の調査対象の抽出を目的として、断層の透水性に着目した感度解析を実施し、地下水流動解析結果に与える影響を評価した。

その結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) ステップ2からステップ3前半への調査の進展に伴い、水理地質構造モデルの不確実性の低減が確認された。
- 2) その不確実性を低減させる手段としては、新規ボーリング調査と既存ボーリング孔での掘削応答モニタリングを組み合わせるなどのボーリングを利用した調査が有効であることが示された。

また、ステップ3後半以降の重要な調査項目として、以下が抽出された。

- 1) 研究所用地内で確認されている断層の走向傾斜，トレース長や透水特性の把握
- 2) 地層の境界面の分布形状，透水特性の把握
- 3) 地下深部における全水頭分布の把握

* 東濃地科学センター 瑞浪超深地層研究所 超深地層研究グループ

** 株式会社 NESI

Stepwise Hydrogeological Modeling and Groundwater Flow Analysis
on Site Scale (The Former Part of the Step 3)

Hironori Onoe^{*}, Hiromitsu Saegusa^{*}, Yoshinobu Endo^{**}

Abstract

One of the main goals of the Mizunami Underground Research Laboratory Project is to establish comprehensive techniques for investigation, analysis, and assessment of the deep geological environment. To achieve this goal, a variety of investigations are being conducted using an iterative approach.

In this study, hydrogeological modeling and groundwater flow analyses have been carried out using the data from surface-based investigations at the former part of the Step 3 (deep borehole investigations without vertical seismic profiling investigations), in order to synthesize the investigation results, to evaluate the uncertainty of the hydrogeological model, and to specify items for further investigation.

The results of this study are summarized as follows :

- 1) The uncertainty of hydrogeological model of the site scale is decreased as stepwise research;
- 2) Borehole investigations combined with hydraulic monitoring are useful for decreasing the uncertainty of hydrogeological model;

The main items specified for further investigations are summarized as follows :

- 1) Trend, length, and hydraulic parameters of faults confirmed in the MIU construction site;
- 2) Shape of boundary of geological layer, and hydraulic parameters of rock;
- 3) Hydraulic head distribution of deep underground.

^{*} Tono Geoscience Center, Mizunami Underground Research Laboratory, Underground Research Group

^{**} NESI Inc.

目 次

図1	繰り返しアプローチ	2
図2	第1段階における調査研究の流れ	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	サイトスケールにおけるモデル化・解析領域	5
図6	検討フロー	6
図7	ステップ3前半における地質構造モデル	7
図8	地質構造モデルにおけるモデル化対象断層（ステップ3前半）	8
図9	水理地質構造モデルにおけるモデル化対象断層（ステップ3前半）	8
図10	断層の方向性による分類図	10
図11	ボーリング孔位置図	11
図12	ボーリング孔間における水理学的な連続性	13
図13	間隙水圧モニタリングから推定される水理境界（模式図）	14
図14	三次元水理地質構造モデル	16
図15	全水頭分布図（解析ケース：Base）	20
図16	全水頭分布図（解析ケース：NNW_high）	20
図17	全水頭分布図（解析ケース：NW_high）	21
図18	全水頭分布図（解析ケース：NE_high）	21
図19	全水頭分布図（解析ケース：NNW_NW_high）	22
図20	全水頭分布図（解析ケース：NNW_NE_high）	22
図21	全水頭分布図（解析ケース：NW_NE_high）	23
図22	全水頭分布図（解析ケース：All_high）	23
図23	ステップ2とステップ3前半の全水頭分布比較図	24
図24	ボーリング孔における全水頭の実測値と解析値の比較	28
図25	ボーリング孔におけるステップ2とステップ3前半の解析値の比較	29
図26	ステップ2およびステップ3前半における 解析ケース間の標準偏差	30
図27	地下水の移行経路（解析ケース：Base）	32
図28	地下水の移行経路（解析ケース：NNW_high）	33
図29	地下水の移行経路（解析ケース：NW_high）	34
図30	地下水の移行経路（解析ケース：NE_high）	35
図31	地下水の移行経路（解析ケース：NNW_NW_high）	36
図32	地下水の移行経路（解析ケース：NNW_NE_high）	37
図33	地下水の移行経路（解析ケース：NW_NE_high）	38
図34	地下水の移行経路（解析ケース：All_high）	39
図35	解析ケースにおける地質構造要素のダルシー流速の比較	42

図36	地質構造要素におけるダルシー流速の比較	42
図A1-1	水理学的な連続性とモデル化対象断層の位置 (IF_SB2a_10)	A1-2
図A1-2	水理学的な連続性とモデル化対象断層の位置 (IF_SB2a_12)	A1-2
図A1-3	水理学的な連続性とモデル化対象断層の位置 (IF_SB2a_05)	A1-3
図A1-4	水理学的な連続性とモデル化対象断層の位置 (IF_SB0_01)	A1-3
図A1-5	水理学的な連続性とモデル化対象断層の位置 (IF_SB2a_13)	A1-4
図A1-6	水理学的な連続性とモデル化対象断層の位置 (L215)	A1-4
図A1-7	水理学的な連続性とモデル化対象断層の位置 (L209)	A1-5
図A1-8	水理学的な連続性とモデル化対象断層の位置 (L216)	A1-5
図A1-9	水理学的な連続性とモデル化対象断層の位置 (IF_SB2a_07)	A1-6
図A1-10	水理学的な連続性とモデル化対象断層の位置 (IF_SB2a_08)	A1-6
図A1-11	水理学的な連続性とモデル化対象断層の位置 (IF_SB1_09)	A1-7
図A2-1	地下水の移行経路パターン (解析ケース : Base)	A2-2
図A2-2(1)	地下水の移行経路パターン (解析ケース : NNW_high)	A2-3
図A2-2(2)	地下水の移行経路パターン (解析ケース : NNW_high)	A2-4
図A2-2(3)	地下水の移行経路パターン (解析ケース : NNW_high)	A2-5
図A2-3	地下水の移行経路パターン (解析ケース : NW_high)	A2-6
図A2-4	地下水の移行経路パターン (解析ケース : NE_high)	A2-7
図A2-5(1)	地下水の移行経路パターン (解析ケース : NNW_NW_high)	A2-8
図A2-5(2)	地下水の移行経路パターン (解析ケース : NNW_NW_high)	A2-9
図A2-6	地下水の移行経路パターン (解析ケース : NNW_NE_high)	A2-10
図A2-7	地下水の移行経路パターン (解析ケース : NW_NE_high)	A2-11
図A2-8	地下水の移行経路パターン (解析ケース : All_high)	A2-12

表 目 次

表1	地層に設定した透水性	9
表2	イベントに関連した間隙水圧の変動	12
表3	断層の透水異方性の設定	13
表4	断層幅の設定	14
表5	断層の透水性の設定	15
表6	地下水流動解析ケース	18
表7	ボーリング孔における全水頭の実測値と解析値	27
表8	ボーリング孔におけるステップ2とステップ3前半の解析値	29
表9	解析ケースにおける地下水の移行経路パターン	40
表10	地下水のダルシー流速	41

1. はじめに

核燃料サイクル開発機構では、地層処分研究開発の基盤となる深地層の科学的研究の一環として、岐阜県瑞浪市において結晶質岩を対象とした超深地層研究所計画¹⁾を進めている。超深地層研究所計画においては、調査の進展に伴う情報量の増加に応じて、地質環境特性に関わる理解度や調査の達成度を順次評価しつつ、次の調査または段階へ移行することが重要との考え方に基づき、繰り返しアプローチを実施している(図1)。

繰り返しアプローチは、各調査段階において安全評価あるいは施設の設計・建設にとって重要と考えられる地質環境情報を抽出・設定して、実際に調査・解析・評価の一連のプロセスを繰り返し実施することにより、重要な地質環境情報の設定の方法や留意点に関する知見を蓄積・体系化する取り組みを行うものである。この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)においては、図2に示す調査研究の流れにおいて、調査をステップ1から4に区分して繰り返しアプローチを実施している。

ステップ2においては、断層および花崗岩の下部割れ目低密度帯の透水性に着目した地下水流動解析の結果²⁾、断層が地下水の主要な流動経路となる可能性が示唆され、NNW系、NW系およびEW系断層の透水性が瑞浪超深地層研究用地(以下、研究用地)周辺の地下水流動特性に及ぼす影響が大きいたことが明らかとなった。また、水理地質構造モデルの大部分を占める花崗岩の下部割れ目低密度帯の透水性が研究用地周辺の地下水流動特性に影響を及ぼすことが明らかとなった。さらに、調査の進展に伴い、調査・解析・評価を繰り返し実施することの重要性が示された。

また、ステップ3以降の調査研究の課題としては、NNW系、NW系およびEW系断層の地質学的・水理学的特性の把握、花崗岩の下部割れ目低密度帯の透水性の把握、サイトスケールの水理地質構造モデルにおける上部・側方境界条件の設定が抽出された²⁾。上記の課題に対して、ステップ3では新たに掘削した深層ボーリング(MIZ-1号孔)を対象としたボーリング調査を実施した^{3~5)}。また、同時期には、広域地下水流動研究⁶⁾の一環として深層ボーリング(DH-15号孔)調査が実施された⁷⁾。なお、ステップ3では、VSP探査を除く深層ボーリング調査終了までをステップ3前半、VSP探査ならびに反射法弾性波探査終了までをステップ3後半と2つに区分して、調査・研究を進めた。

本研究では、ステップ3前半における地質・地質構造の調査研究結果によって更新された地質構造モデル⁸⁾と取得された透水性データに基づき、水理地質構造のモデル化、地下水流動解析(以下、モデル化・解析)を実施した。検討の主な目的は、ステップ2での地下水流動解析結果との比較による水理地質構造モデルの不確実性の変遷に関する評価と、ステップ3で実施した反射法弾性波探査、ボーリング調査におけるVSP探査の情報を加味したステップ3後半以降の調査対象の抽出である。

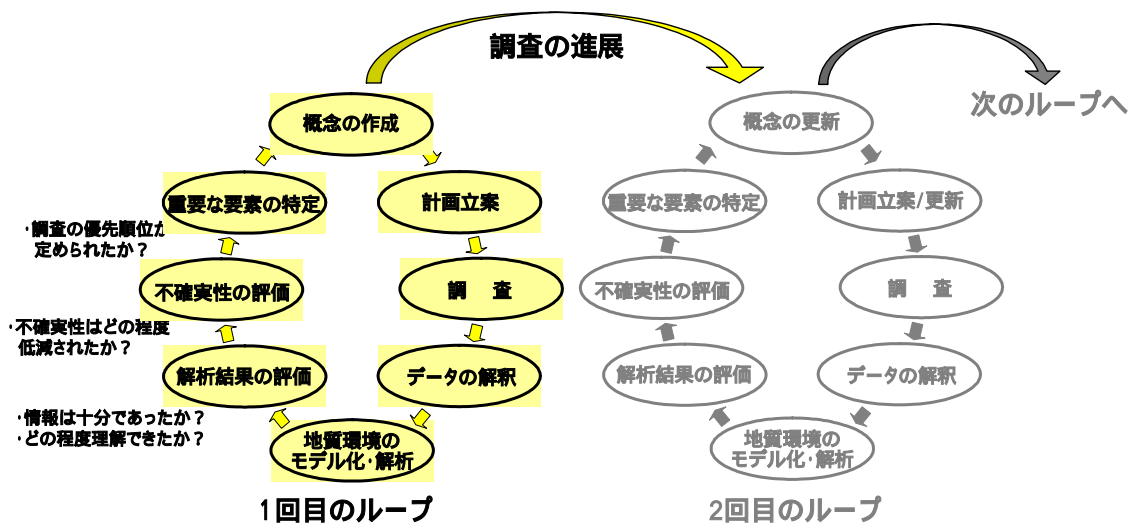


図1 繰り返しアプローチ¹⁾

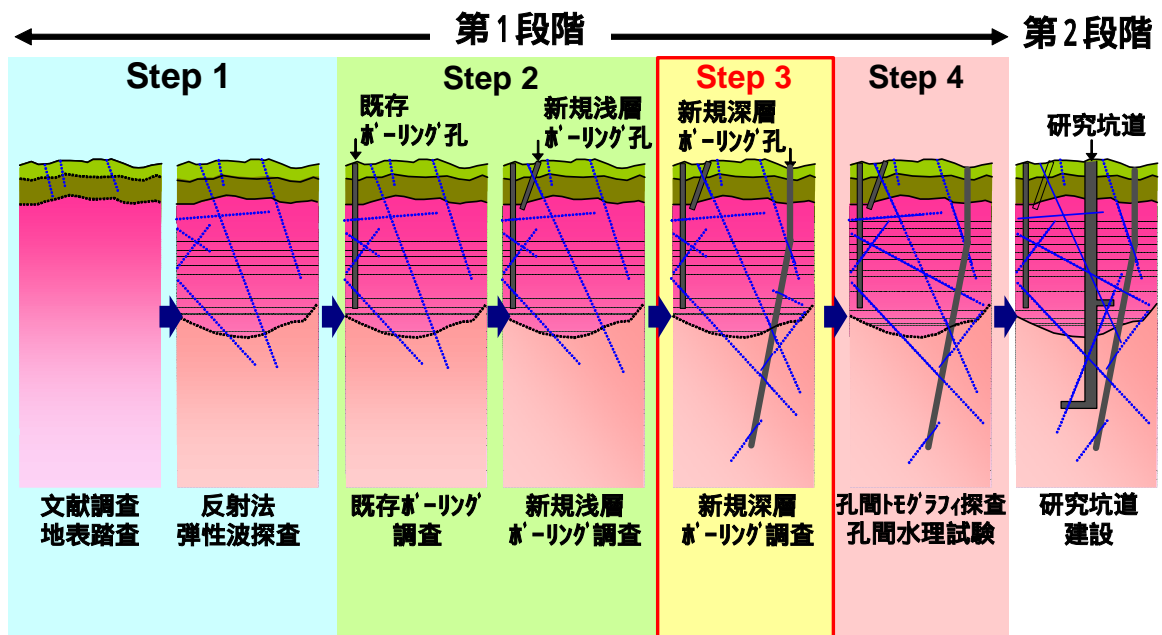


図2 第1段階における調査研究の流れ¹⁾

2. 地形・地質の概要

(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）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⁹⁾。

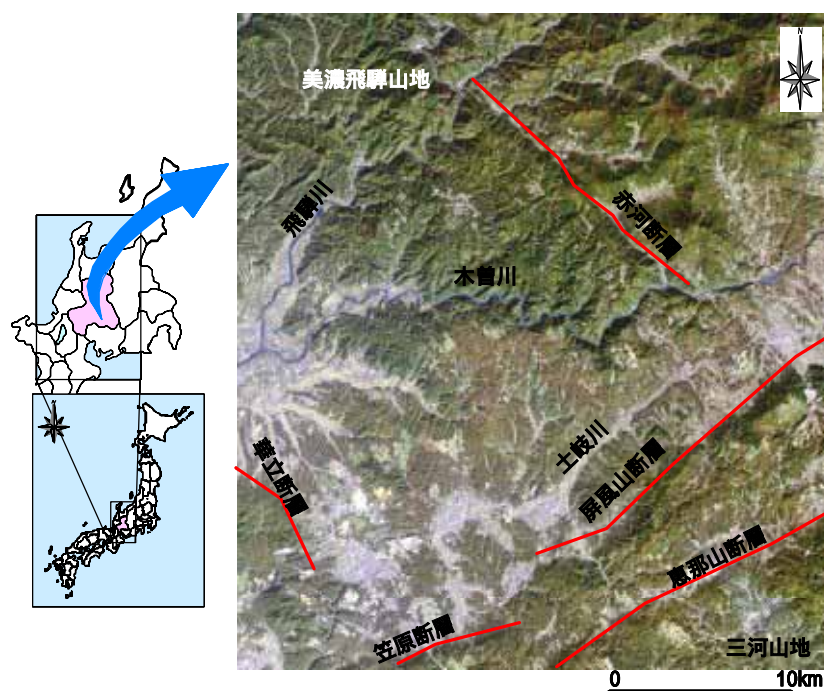


図3 岐阜県東濃地域の地形および断層

(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、新第三紀中新世の堆積岩（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紀鮮新世の砂礫層（瀬戸層群）が不整合で覆っている¹⁰⁾（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。研究所用地近傍には、花崗岩および瑞浪層群を切る月吉断層や山田断層帯が分布している。このうち月吉断層は、ほぼ東西走向で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、LANDSAT画像および空中写真の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⁶⁾（図4）

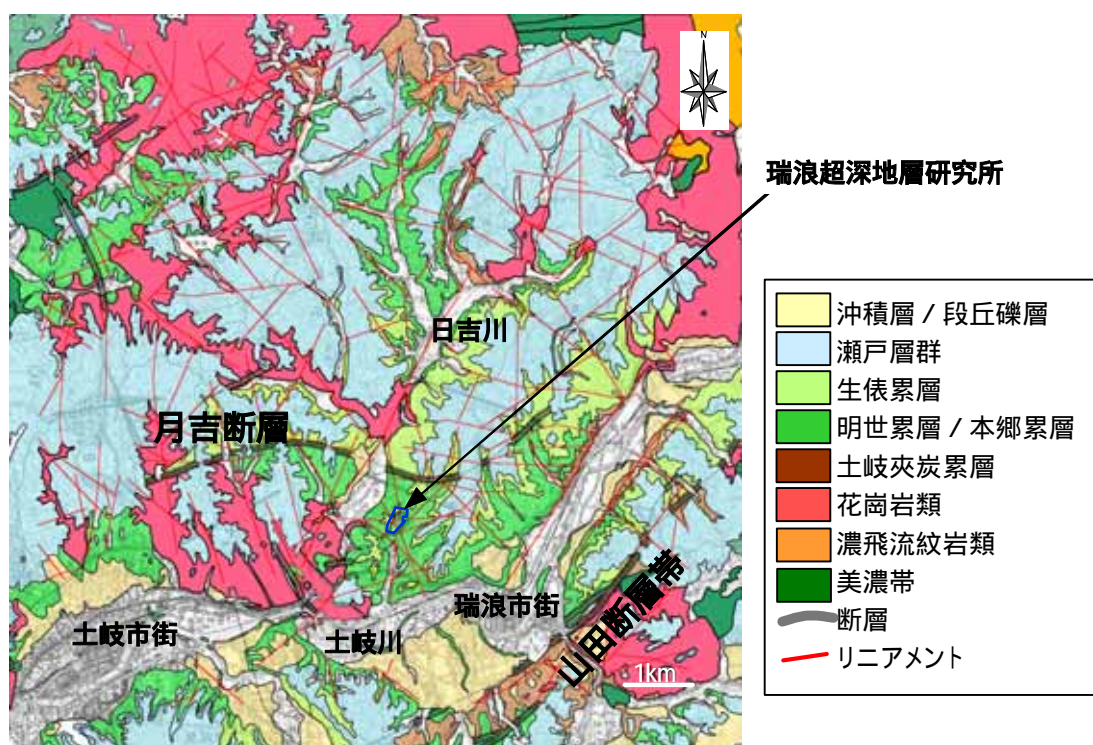


図4 岐阜県東濃地域の地表地質およびリニアメント分布（文献10）に追記）

3. モデル化・解析領域

地下水流動解析の側方境界条件を設定する上では、1つの閉じた地下水流動系とみなすことができる地下水の分水界等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。仮に、地下水の分水界を考慮して領域を設定した場合、約9km四方のローカルスケールのモデル化・解析領域¹¹⁾(図5左図)まで範囲が拡大し、研究所用地周辺の水理地質構造モデルの解像度の低下が懸念される。

また、研究所用地周辺の代表的な断層・リニアメントとして、北側には月吉断層が、西側には日吉川沿いのリニアメント(図5右図)が分布しており、これらの断層・リニアメントが研究所用地周辺の地下水流動特性に及ぼす影響は大きいと考えられる。

さらに、リージョナルスケールにおける後背地地形の影響を検討した地下水流動解析結果⁷⁾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、それより浅い領域では土岐川と木曾川の流域境界の尾根を涵養域とし、土岐川を流出域とする系であることが推定されている。超深地層研究所計画では、地表から深度1,000m付近までの地下水流動を研究の対象としているため、深度方向のモデル化・解析領域については、下部境界条件が研究対象の地下水流動に影響を及ぼすことのないように設定する必要がある。

以上のことから、サイトスケールのモデル化・解析領域は、前述した水理地質構造モデルの解像度と断層の位置を勘案し、研究所用地を中心とした2km四方とした(図5右図)。深度方向については、地下水の流動系境界深度を考慮して地表から標高-2kmとした。

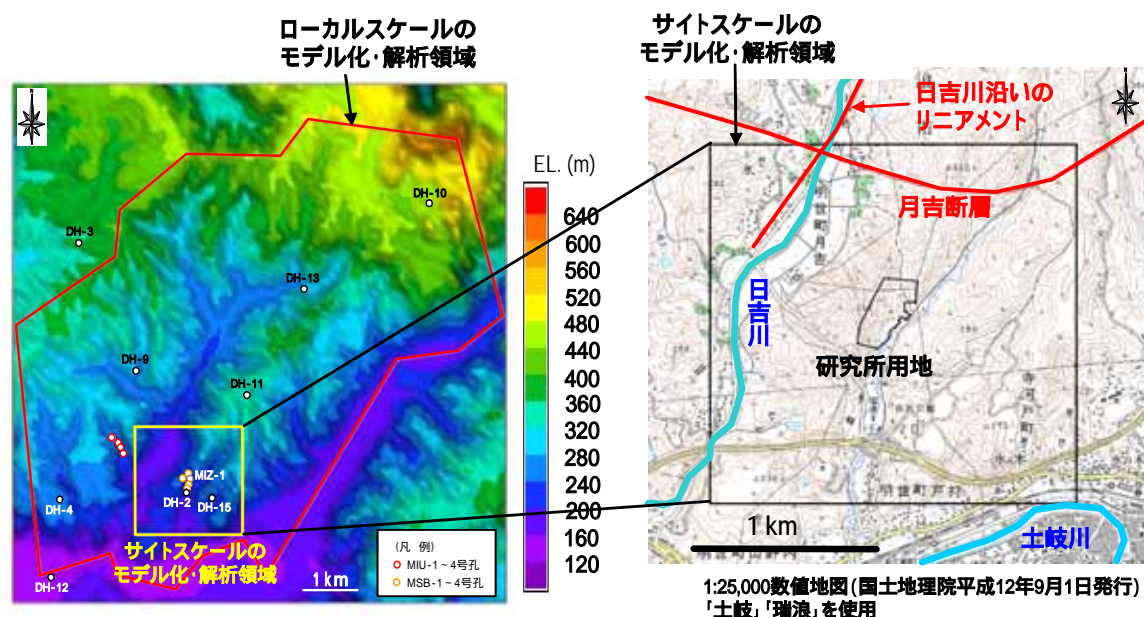


図5 サイトスケールにおけるモデル化・解析領域

4. モデル化・解析の手順

4.1 モデル化・解析の流れ

ステップ3前半のモデル化・解析は、図6に示す検討フローにしたがって実施した。

まず、ステップ3前半の調査結果を反映した地質構造モデルと透水性データに基づき、水理地質構造モデルを構築した。次に、この水理地質構造モデルを用いて、ステップ2での地下水流動解析結果との比較による水理地質構造モデルの不確実性の変遷に関する評価と、ステップ3後半以降の調査対象の抽出を目的とした地下水流動解析ケースを設定し、地下水流動解析を実施した。

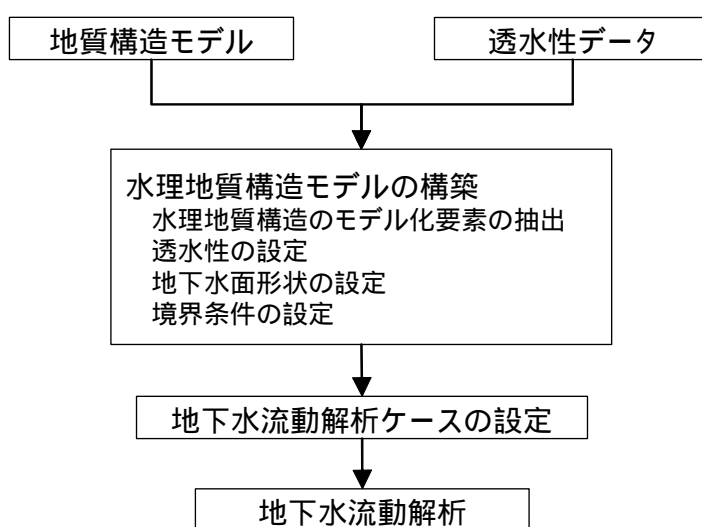


図6 検討フロー

4.2 使用データ

本研究は、超深地層研究所計画の第1段階のステップ3前半までの調査結果に基づくものであるため、広域地下水流動研究での調査結果^{6,7,11~14}、正馬様用地での調査結果^{15~17}、平成14年から研究所用地内にて実施した浅層ボーリング孔(MSB1~4号孔)における調査結果^{14,18}、およびステップ3で新たに掘削した深層ボーリング孔(MIZ-1号孔)における調査結果^{3~5}を用いてモデル化・解析を行った。

5. 水理地質構造モデルの構築

5.1 水理地質構造のモデル化要素の抽出

水理地質構造モデルは、ステップ3前半における地質構造モデル⁸⁾(図7)に基づき構築した。

水理地質構造モデルを構築する際には、地下水流動解析の計算容量などの制限から、地質構造モデルでは区分されている明世累層/本郷累層、土岐夾炭累層の本体とそれら

の下部に認められる基底礫岩層を統合して表現することとした。

また、地下水流動解析を実施する際に、地質構造モデル⁸⁾における全ての断層(図8)をモデル化することは、計算容量や計算時間の観点から現実的でない。そこで、断層は長さに応じて地下水流動特性に与える影響が大きいと仮定し、断層のトレース長に基づいたスクリーニングを行った。スクリーニングの閾値は、ステップ2のモデル化・解析²⁾と同様に2km四方のモデル化・解析領域の半分以上として1kmを設定した。スクリーニングの結果、研究所用地近傍に分布する比較的規模の大きい12条の断層(トレース長、1km以上)をモデル化要素として抽出した。

図9に、水理地質構造のモデル化対象とした断層を示す。

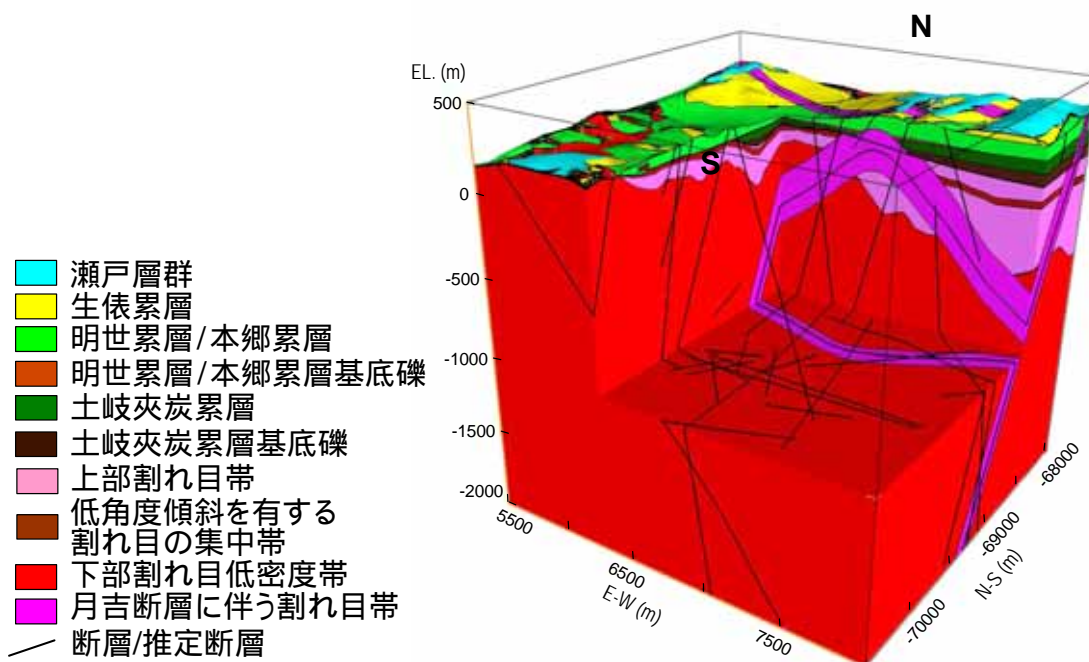


図7 ステップ3前半における地質構造モデル⁸⁾

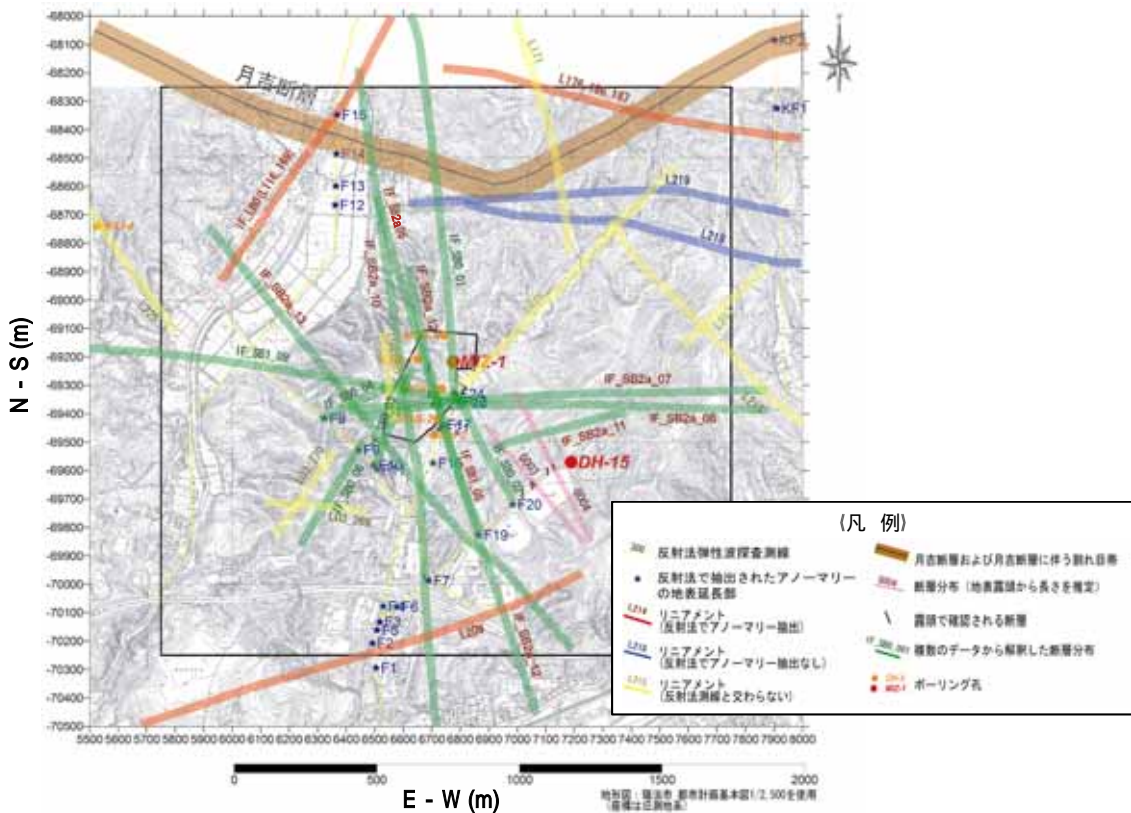


図8 地質構造モデルにおけるモデル化対象断層 (ステップ3前半)⁸⁾

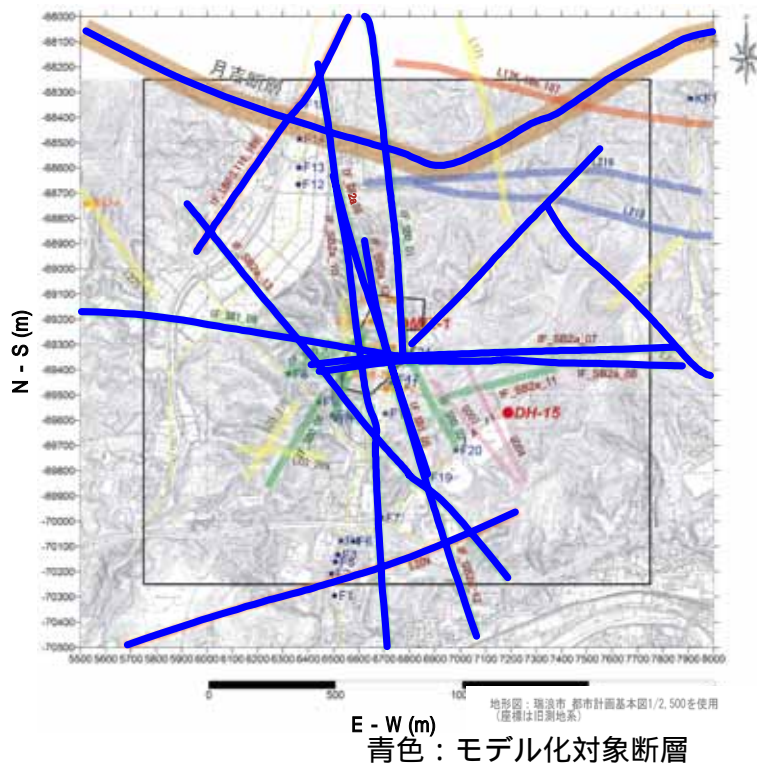


図9 水理地質構造モデルにおけるモデル化対象断層 (ステップ3前半)

5.2 透水性の設定

(1) 地層について

5.1 で抽出した水理地質構造のモデル化要素に与える透水性には、4.2 に示した使用データ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から得られた試験結果の幾何平均値を適用した。ステップ2 からステップ3 前半への調査の進捗に伴う情報量の増加によって、瑞浪層群中の明世累層/本郷累層、花崗岩上部割れ目帯中の低角度割れ目集中帯の透水性が更新された。

また、瑞浪層群中の堆積岩層においては、明世累層/本郷累層、土岐夾炭累層下部の基底礫岩層の分布などに代表される堆積構造に起因した透水異方性¹⁹⁾を表現するために、鉛直方向の透水係数は水平方向に比べ低い透水性を設定した。

表1 に、地層区分毎に設定した透水性を示す。

表1 地層に設定した透水性

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	-5.0
生俵累層	-8.5	-10.5
明世累層/本郷累層	-7.2	-9.2
土岐夾炭累層	-6.9	-8.9
花崗岩上部割れ目帯	-6.7	-6.7
花崗岩上部割れ目帯中の低角度割れ目集中帯	-5.9	-5.9
花崗岩下部割れ目低密度帯	-7.5	-7.5
月吉断層に伴う割れ目帯	-6.4	-6.4

(2) 断層について

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²⁰⁾と正馬様用地を対象とした地下水流動解析結果^{21~23)}から、透水異方性(断層面直交方向：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。

サイトスケールの水理地質構造モデルでは、月吉断層を断層主要部と月吉断層に伴う割れ目帯に区分してモデル化を行った。月吉断層主要部の断層面直交方向および断層面方向ともに低透水性を設定し、月吉断層に伴う割れ目帯に高透水性(表1)を設定することで、月吉断層の有する透水異方性を表現した。なお、月吉断層の主要部の幅を1mと設定し、これまでの地下水流動解析結果^{21~23)}に基づいて透水係数を設定した(表5)。

月吉断層以外のモデル化対象断層については、一部の断層の透水性は原位置水理試験によって把握されているものの、透水性が把握されていない断層も存在する。そこで、同系統の断層は同様の透水性を有していると仮定して、卓越する断層の走向に基づき系統分類(NE系, NNW系, EW系, NW系)した上で、透水異方性の有無、断層幅および透水性を設定した。以下に、それらの設定方法の詳細を記述する。

a)断層の方向性による分類

モデル化対象断層は，卓越する断層の走向に基づき，NE系，NNW系，EW系およびNW系の4系統に分類した。図10に，断層の方向性により分類した断層分布を示す。

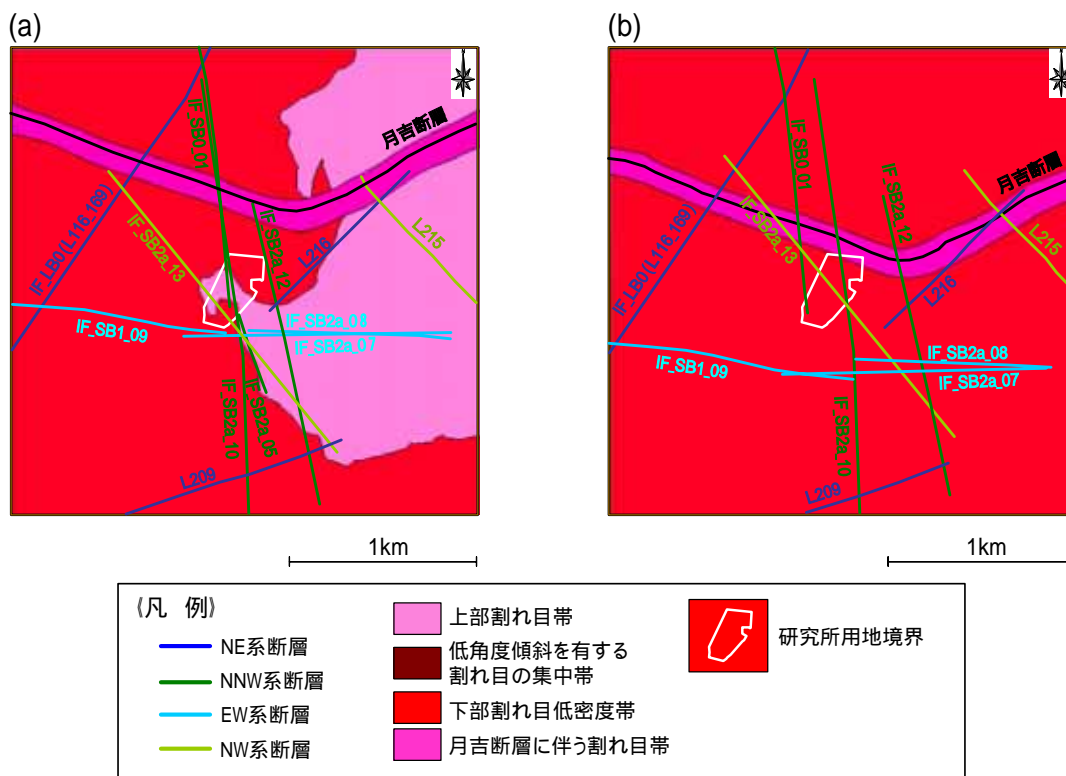


図10 断層の方向性による分類図

- (a) 標高-300m (立坑位置での深度約500m)の水平断面
- (b) 標高-800m (立坑位置での深度約1,000m)の水平断面

b)断層の透水異方性の設定

研究用地内においては，間隙水圧の変化を把握することを目的として，MSB-1，MSB-3号孔に地下水圧の長期モニタリングシステムが設置されている²⁴⁾(図11)。

本研究においては，これらのボーリング孔において観測された，既存ボーリング孔(MSB-2,MSB-4号孔¹⁸⁾)での採水や深層ボーリング孔(MIZ-1号孔³⁻⁵⁾,DH-15号孔⁷⁾)の掘削イベントに関連した間隙水圧の変動から想定される水理学的な連続性に基づき，断層の透水異方性の有無を推定した。

具体的には，まず上記のイベントに関連した間隙水圧の変動²⁴⁾を抽出(表2)した上で，イベントの発生位置と変動が認められた間隙水圧の観測位置の直線区間には，水理学的な連続性があると仮定し三次元的に図化した(図12)。そして，図12に示すボーリング孔間における水理学的な連続性とモデル化対象断層の位置関係に基づいて，断層の透水異方性を設定した(表3)。基本的には，水理学的な連続性(図

16) と交差する断層は、断層面に直交な方向の遮水性が低いものと判断し透水異方性のない断層とした。Appendix-1 に、ボーリング孔間における水理学的な連続性とモデル化対象断層の位置関係を図化したものを示す。

ここで、MSB-3 号孔での間隙水圧観測に着目すると、観測位置 PRB No.3~7 では十勝沖地震(2003/9/26 発生)に同期した変動が観測され、観測位置 PRB No.1~2 では同地震による水圧の急激な変動は観測されていない²⁴⁾。また、MSB-2 号孔の採水作業における水圧応答は、観測位置 PRB No.3~7 では観測されているが、観測位置孔 PRB No.1~2 では観測されていない²⁴⁾。このことから、MSB-2 号孔と MSB-1、MSB-3、DH-15 号孔の間に水理境界があることが想定される(図 13)。

一方、MSB-3 号孔の観測位置 PRB No.3 は断層区間に設置されていることから、同断層が水理的に遮水構造を有し水理境界の役割を果たしていると解釈できる。しかし、ステップ 3 前半の地質構造モデルにおいては、この断層を MSB-1 号孔と MSB-4 号孔の間に分布する IF_SB2a_05 断層としてモデル化しており、間隙水圧の観測結果から想定される水理境界と若干の矛盾が生じている(図 13)。この矛盾については、今後の調査段階において地質学的、水理学的両面から総合的に検討すべき事項として抽出することとし、本研究においては断層の分布形状を変更せずに、IF_SB2a_05 が透水異方性を有する構造と設定することで、研究用地を東西に二分する水理境界を表現することとした。

なお、IF_LB0(L116_169)断層は、ローカルスケールにおいて大規模断層としてモデル化した断層であるため²⁵⁾、同等の規模を持つ月吉断層と類似した水理特性を有していると仮定し、透水異方性を有する構造と設定した。

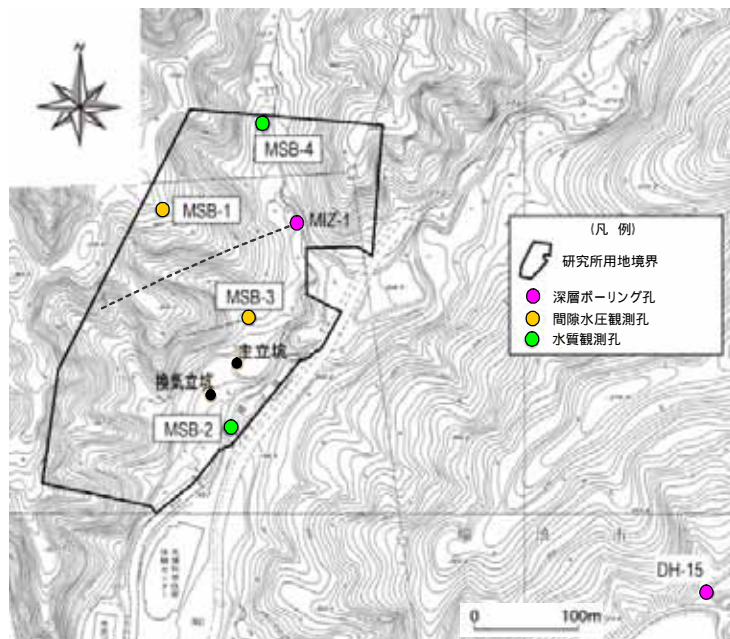


図 11 ボーリング孔位置図

表2 イベントに関連した間隙水圧の変動²⁴⁾

イベント発生位置				観測位置				間隙水圧の変動量	備考
区間名	東西方向(m)	南北方向(m)	深度EL.(m)	区間名	東西方向(m)	南北方向(m)	深度EL.(m)		
MSB2_PRB6	6720.0	-69418.2	72.7	MSB3_PRB3	6706.3	-69320.0	119.9	6kPa程度	MSB-2号孔における予備排水作業と同期した変動 観測期間:2004年2月24~29日 予備排水:8時間程度/日 平均揚水量:2L/min
				MSB3_PRB4	6704.1	-69320.6	113.1	6kPa程度	
				MSB3_PRB5	6689.6	-69324.6	69.1	2kPa程度	
				MSB3_PRB6	6679.5	-69327.4	37.4	1kPa程度	
				MSB3_PRB7	6677.2	-69328.0	30.1	1kPa程度	
MSB2_PRB7	6720.0	-69418.2	56.0	MSB3_PRB3	6706.3	-69320.0	119.9	1kPa程度	
				MSB3_PRB4	6704.1	-69320.6	113.1	1kPa程度	
				MSB3_PRB5	6689.6	-69324.6	69.1	2kPa程度	
				MSB3_PRB6	6679.5	-69327.4	37.4	2kPa程度	
				MSB3_PRB7	6677.2	-69328.0	30.1	1kPa程度	
MSB2_PRB8	6720.0	-69418.2	36.0	MSB3_PRB3	6706.3	-69320.0	119.9	1kPa程度	
				MSB3_PRB4	6704.1	-69320.6	113.1	1kPa程度	
				MSB3_PRB5	6689.6	-69324.6	69.1	2kPa程度	
				MSB3_PRB6	6679.5	-69327.4	37.4	2kPa程度	
				MSB3_PRB7	6677.2	-69328.0	30.1	1kPa程度	
MSB2_PRB9	6720.0	-69418.2	25.3	MSB3_PRB3	6706.3	-69320.0	119.9	1kPa程度	
				MSB3_PRB4	6704.1	-69320.6	113.1	1kPa程度	
				MSB3_PRB5	6689.6	-69324.6	69.1	2kPa程度	
				MSB3_PRB6	6679.5	-69327.4	37.4	2kPa程度	
				MSB3_PRB7	6677.2	-69328.0	30.1	1kPa程度	
MSB4_PRB4	6741.6	-69123.3	144.5	MSB1_PRB2	6650.0	-69207.6	132.6	2.5~5.5kPa程度	MSB-4号孔における予備排水作業と同期した変動 観測期間:2003年10月17日~24日 予備排水:8時間程度/日 平均揚水量:1.2~2.2L/min 総揚水量:約5m3
DH15-01	7188.6	-69570.4	122.3	MSB3_PRB2	6710.9	-69318.7	133.8	3kPa程度	DH-15号孔における水理試験(揚水試験)と同期した変動 観測期間:2003年10月1日~8日 揚水量:平均約6L/min,連続70時間以上 総揚水量:約23m3
MIZ1_116	6775.0	-69216.3	90.7	MSB3_PRB2	6710.9	-69318.7	133.8	25kPa程度	MIZ-1号孔掘削中の逸水に伴う変動 観測期間:2003年4月8日 MIZ-1号孔内水位変化量: 約GL±0m 約GL-55m
MIZ1_60	6775.0	-69216.5	146.6	MSB1_PRB3	6650.0	-69207.6	117.3	10kPa程度	MIZ-1号孔掘削(エアハンマーによる拡掘)に伴う変動 観測期間:2003年5月7日~16日
				MSB1_PRB4	6650.0	-69207.6	72.5	3kPa程度	
				MSB1_PRB5	6650.0	-69207.6	56.8	3kPa程度	MIZ-1号孔掘削(エアハンマーによる拡掘)に伴う変動 観測期間:2003年5月7日~16日
				MSB3_PRB2	6710.9	-69318.7	133.8	25kPa程度	
MIZ1_220	6775.6	-69215.7	-13.8	MSB1_PRB3	6650.0	-69207.6	117.3	2kPa程度	MIZ-1号孔における水理試験と同期した変動 観測期間:2003年7月7日~10日 揚水量:20L/min
				MSB1_PRB4	6650.0	-69207.6	72.5	2kPa程度	
				MSB1_PRB5	6650.0	-69207.6	56.8	2kPa程度	
MIZ1_468	6758.9	-69221.6	-261.4	MSB1_PRB3	6650.0	-69207.6	117.3	2kPa程度	MIZ-1号孔掘削中の逸水に伴う変動 観測期間:2003年11月9日~12月20日 逸水量:約70~123L/m
				MSB1_PRB4	6650.0	-69207.6	72.5	2kPa程度	
				MSB1_PRB5	6650.0	-69207.6	56.8	2kPa程度	
MIZ1_430	6766.8	-69218.5	-223.9	MSB1_PRB3	6650.0	-69207.6	117.3	2kPa程度	MIZ-1号孔掘削中の逸水に伴う変動 観測期間:2004年3月9日 逸水量:約99L/m
				MSB1_PRB4	6650.0	-69207.6	72.5	2kPa程度	
				MSB1_PRB5	6650.0	-69207.6	56.8	2kPa程度	

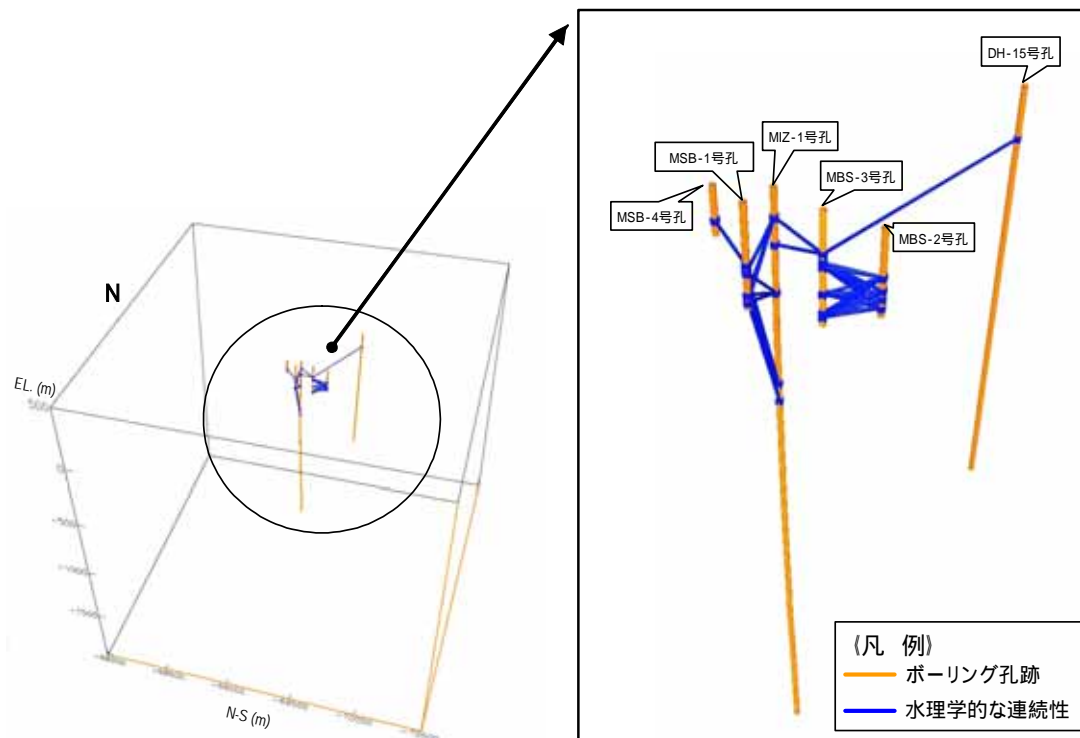


図 12 ボーリング孔間における水理学的な連続性

表 3 断層の透水異方性の設定

断層区分		断層の水理特性	
		透水異方性の有無	判断根拠
月吉断層		有	・圧力干渉試験結果
NNW系	IF_SB2a_10	-	・現時点では特定不可
	IF_SB2a_12	無	・間隙水圧モニタリングデータ
	IF_SB2a_05	有	・間隙水圧モニタリングデータ
	IF_SB0_01	無	・間隙水圧モニタリングデータ
NW系	IF_SB2a_13	-	・現時点では特定不可
	L215	-	・現時点では特定不可
NE系	IF_LB0(L116_169)	有	・月吉断層と同様
	L209	-	・現時点では特定不可
	L216	-	・現時点では特定不可
EW系	IF_SB2a_07	無	・間隙水圧モニタリングデータ
	IF_SB2a_08	無	・間隙水圧モニタリングデータ
	IF_SB1_09	無	・間隙水圧モニタリングデータ

図13

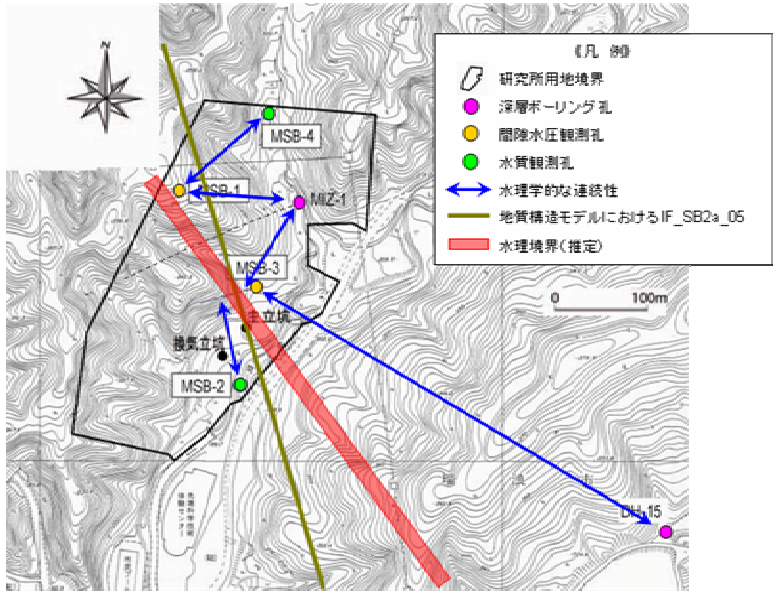


図 13 間隙水圧モニタリングから推定される水理境界（模式図）

c)断層幅の設定

月吉断層を除くモデル化対象断層は同程度のトレース長を有するため，同規模の断層幅であると仮定して，DH-2¹¹⁾，DH-15⁷⁾および MIZ-1 号孔^{3~5)}の調査結果から推定された 7 本の断層の幅の中央値を基に，断層の幅を 5m と設定した（表 4）。なお，IF_LB0(L116_169) 断層の幅については，ローカルスケールの水理地質構造モデル²⁵⁾と同様に 8m と設定した。

表 4 断層幅の設定

ボーリング孔	断層名	断層幅 (m)
DH-2	IF_SB2a_07	3.0
	IF_SB2a_08	3.6
	IF_SB1_09	2.9
	IF_SB2a_10	2.8
DH-15	IF_SB2a_07	8.0
	IF_SB2a_08	7.6
	IF_SB2a_11	4.8
MIZ-1	IF_SB2a_10	9.5
	IF_SB2a_13	16.7
	IF_SB2a_12	5.7
中央値(m)		5.3

d) 透水性の設定

断層の透水性は、DH-2¹¹⁾、DH-15⁷⁾および MIZ-1 号孔^{3~5)}において実施された原位置水理試験より得られた各断層の透水係数に基づいて設定した(表5)。原位置水理試験で透水係数が直接取得されていない断層については、同系統の断層は同様の透水性を有するものと仮定して透水性を設定した。

具体的には、IF_SB2a_05 断層、IF_SB0_01 断層は IF_SB2a_10 断層、IF_SB2a_12 断層の平均値を、L215 断層は IF_SB2a_13 断層の透水係数を、L209 断層、L216 断層については IF_SB2a_11 断層の透水係数を適用した。また、IF_LB0(L116_169)断層に関しては、前述したようにローカルスケールにおいて大規模断層としてモデル化した断層であるため²⁵⁾、同等のトレース長を持つ月吉断層と類似した透水性を有していると仮定し、設定した断層幅(8m)と水理試験より得られた月吉断層の透水量係数を基に透水係数を設定した。

なお、透水異方性の有無が推定されていない断層については、基本ケースとして透水異方性を有する設定とした。

表5 断層の透水性の設定

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	
		断層面直交方向	断層面方向		
月吉断層の主要部	1.0	-11.0		・地下水流動解析結果	
NNW系	IF_SB2a_10	5.0	-11.0	-5.3	・IF_SB2a_10の透水係数
	IF_SB2a_12	5.0	-4.7		・IF_SB2a_12の透水係数
	IF_SB2a_05	5.0	-11.0	-5.1	・IF_SB2a_10,12の透水係数の平均値
	IF_SB0_01	5.0	-5.1		・IF_SB2a_10,12の透水係数の平均値
NW系	IF_SB2a_13	5.0	-11.0	-8.0	・IF_SB2a_13の透水係数
	L215	5.0	-11.0	-8.0	・IF_SB2a_13の透水係数
NE系	IF_LB0(L116_169)	8.0	-11.0	-5.2	・月吉断層と同様の透水量係数
	L209	5.0	-11.0	-3.9	・IF_SB2a_11の透水係数
	L216	5.0	-11.0	-3.9	・IF_SB2a_11の透水係数
EW系	IF_SB2a_07	5.0	-5.1		・IF_SB2a_07の透水係数
	IF_SB2a_08	5.0	-5.0		・IF_SB2a_08の透水係数
	IF_SB1_09	5.0	-4.2		・IF_SB1_09の透水係数

青色の着色部:これまでの調査・解析により透水異方性の有無が推定された断層

5.3 地下水面形状の設定

本研究では、水理地質構造モデルの上部境界面に地下水面を与えることにより、飽和状態による三次元定常地下水流動解析を実施した。地下水面の分布は、サイトスケールのモデル化・解析領域を包含するローカルスケールでの地下水流動解析の結果²⁵⁾を基に設定した。

5.4 境界条件の設定

水理地質構造モデルの境界条件は、以下のように設定した。

a) 上部境界条件

上部境界条件は、5.3 で設定した地下水面を上部境界面とし、固定水頭境界条件を与えた。また、同時に水の流入出がある自由浸出面とした。

b) 側方境界条件

側方境界については、5.3 で設定した地下水面を上部境界面とするローカルスケールでの飽和地下水流動解析結果²⁵⁾から得られた全水頭分布を側方境界条件として与えた。

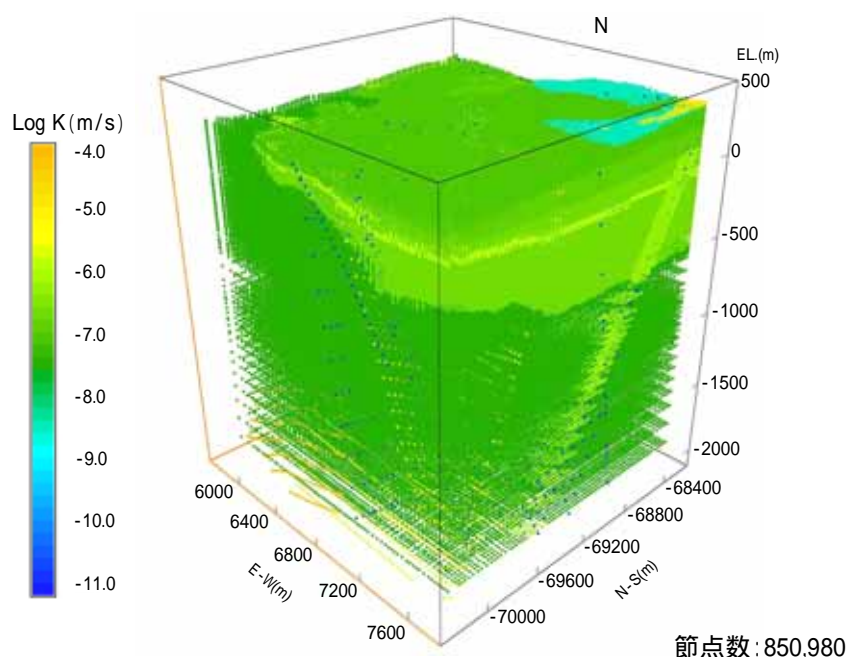
c) 下部境界条件

数 10km 四方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結果から、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が提案されている²⁶⁾。したがって、本研究においても同様に、下部境界条件を水の流入出のない不透水境界とした。

5.5 水理地質構造モデルの構築

三次元的な水理地質構造モデルの構築は、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ている GEOMASS (GEOLOGICAL MODELLING ANALYSIS AND SIMULATION SOFTWARE) システム²⁷⁾を用いて実施した。

図 14 に、構築した三次元水理地質構造モデルを示す。



6. 地下水流動解析

6.1 地下水流動解析コード

地下水流動解析は、GEOMASS システムの構成要素（各種地質データの解析を支援する Landmark 社製ソフトウェア群、地質構造モデルの構築・可視化を支援する Earth Vision、水理地質構造モデルの作成と地下水流動解析を行う Frac-Affinity）のうち、差分法による地下水流動解析コードの Frac-Affinity²⁷⁾を用いて、飽和状態での三次元地下水流動解析を実施した。

6.2 地下水流動解析ケース

これまでの調査研究^{2,22,23)}から、水頭分布や地下水の移行経路、移行時間や距離などの地下水流動特性に与える影響が最も大きい要素は、断層であることが明らかとなっている。

そこで本研究では、ステップ 3 前半における水理地質構造モデルにモデル化された断層が地下水流動場に与える影響の把握、調査の進展に伴う水理地質構造モデルの不確実性の変遷を評価するために、ステップ 2 と同様に断層の透水性に着目した感度解析を実施した。感度解析では、表 5 の設定値を基本ケース（解析ケース名：Base）として、モデル化の際に透水異方性の有無が推定されなかった断層を対象として、断層の系統毎に透水異方性を有する場合と断層面に直交な方向、断層面に平行な方向とも高透水性を有する場合の 2 ケースを組み合わせ、8 ケースを設定した。

表 6 に、本研究における地下水流動解析ケースを示す。

表6 地下水流動解析ケース

断層系統 \ 解析ケース		Base		NNW_high		NW_high		NE_high	
		C	P	C	P	C	P	C	P
月吉断層の主要部		-11.0		-11.0		-11.0		-11.0	
NNW	IF_SB2a_10	-11.0	-5.3	-5.3		-11.0	-5.3	-11.0	-5.3
	IF_SB2a_12	-4.7		-4.7		-4.7		-4.7	
	IF_SB2a_05	-11.0	-5.1	-11.0	-5.1	-11.0	-5.1	-11.0	-5.1
	IF_SB0_01	-5.1		-5.1		-5.1		-5.1	
NW	IF_SB2a_13	-11.0	-8.0	-11.0	-8.0	-8.0		-11.0	-8.0
	L215	-11.0	-8.0	-11.0	-8.0	-8.0		-11.0	-8.0
NE	IF_LB0(L116_169)	-11.0	-5.2	-11.0	-5.2	-11.0	-5.2	-11.0	-5.2
	L209	-11.0	-3.9	-11.0	-3.9	-11.0	-3.9	-3.9	
	L216	-11.0	-3.9	-11.0	-3.9	-11.0	-3.9	-3.9	
EW	IF_SB2a_07	-5.1		-5.1		-5.1		-5.1	
	IF_SB2a_08	-5.0		-5.0		-5.0		-5.0	
	IF_SB1_09	-4.2		-4.2		-4.2		-4.2	
B.C.		Base		NNW_high		NW_high		NE_high	

断層系統 \ 解析ケース		NNW_NW_high		NNW_NE_high		NW_NE_high		All_high	
		C	P	C	P	C	P	C	P
月吉断層の主要部		-11.0		-11.0		-11.0		-11.0	
NNW	IF_SB2a_10	-5.3		-5.3		-11.0	-5.3	-5.3	
	IF_SB2a_12	-4.7		-4.7		-4.7		-4.7	
	IF_SB2a_05	-11.0	-5.1	-11.0	-5.1	-11.0	-5.1	-11.0	-5.1
	IF_SB0_01	-5.1		-5.1		-5.1		-5.1	
NW	IF_SB2a_13	-8.0		-11.0	-8.0	-8.0		-8.0	
	L215	-8.0		-11.0	-8.0	-8.0		-8.0	
NE	IF_LB0(L116_169)	-11.0	-5.2	-11.0	-5.2	-11.0	-5.2	-11.0	-5.2
	L209	-11.0	-3.9	-3.9		-3.9		-3.9	
	L216	-11.0	-3.9	-3.9		-3.9		-3.9	
EW	IF_SB2a_07	-5.1		-5.1		-5.1		-5.1	
	IF_SB2a_08	-5.0		-5.0		-5.0		-5.0	
	IF_SB1_09	-4.2		-4.2		-4.2		-4.2	
B.C.		NNW_NW_high		NNW_NE_high		NW_NE_high		all_high	

- 1 C:断層直交方向の透水係数, P:断層面方向の透水係数(表中の値は, 透水係数の対数値)
- 2 B.C.: 上部, 側方の境界条件を設定するためのローカルスケールにおける解析ケース名
- 3 黄色の着色部: 基本ケースと透水係数の設定値が異なる箇所
- 4 青色の着色部: これまでの調査・解析より透水異方性の有無が推定された断層

6.3 地下水流動解析結果

6.3.1 モデル化・解析領域における全水頭分布

図 15～22 に、地下水流動解析結果から得られた標高-300m（立坑位置での深度約 500m）および標高-800m（立坑位置での深度約 1,000m）での全水頭分布を示す。

また、図 23 にステップ 2，ステップ 3 前半における地下水流動解析結果の比較図を示す。解析結果の比較は、感度解析の対象としたモデル化対象断層が全て透水異方性を有する解析ケースを対象とした。

これらの図より、以下のことが言える。

- ・ いずれのケースにおいても、地下水の主流動方向は大局的な地形の起伏と同様に、北東から南西方向である。これは、ローカルスケールでの地下水流動解析結果とも整合する【図 15～22】。
- ・ 研究所用地の北東に位置する NE 系断層（L216）の透水異方性の有無によって、研究所用地周辺の全水頭分布が異なる。具体的には、NE 系断層に透水異方性を考慮しない解析ケース（NE_high，NNW_NE_high，NW_NE_high，All_high）では、研究所用地東側の全水頭が高くなり、モデル化・解析領域の南東部における北から南方向への動水勾配が大きくなる【図 15～22】。
- ・ NE 系断層が透水異方性を有する場合においては、NW 系断層の透水異方性の有無によって、研究所用地周辺の全水頭分布が若干異なる。具体的には、NE 系断層に透水異方性を考慮し、かつ NW 系断層に透水異方性を考慮しない解析ケース（NW_high，NNW_NW_high）では、北東から南西方向への動水勾配が大きくなる【図 15,16,17,19】。
- ・ ステップ 2 とステップ 3 前半の地下水流動解析の結果を比較すると、ステップ 2 の解析結果に比べ研究所用地北側の全水頭分布が高くなっているが、研究所用地東側・南東側の全水頭分布が低下しており低水頭領域が広がっている傾向がわかる【図 23】。
- ・ ステップ 3 前半における解析ケース間の全水頭分布のばらつきは、ステップ 2 の解析結果²⁾と比べて大幅に減少した。

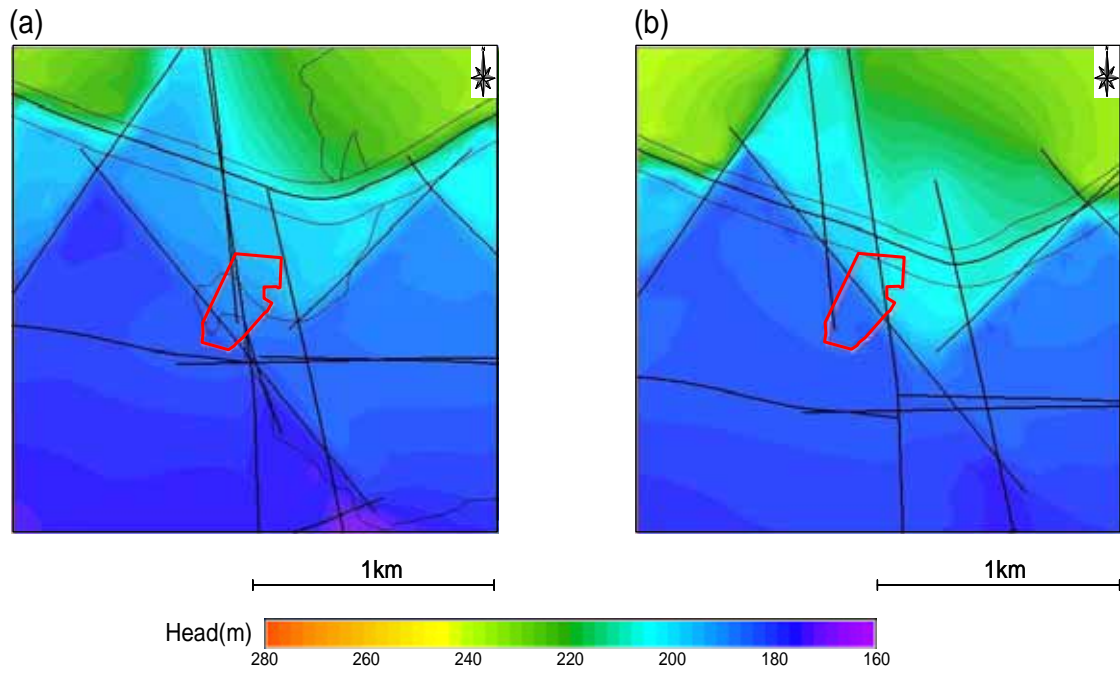


図 15 全水頭分布図 (解析ケース: Base)

- (a) 標高-300m (立坑位置での深度約 500m) の水平断面
- (b) 標高-800m (立坑位置での深度約 1,000m) の水平断面

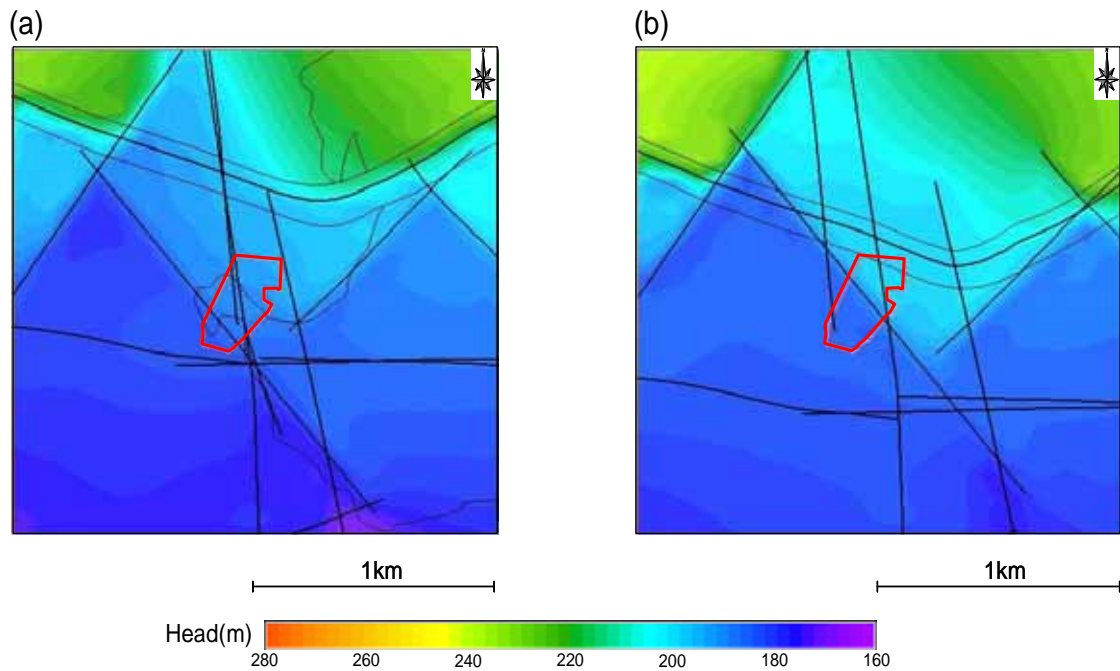


図 16 全水頭分布図 (解析ケース: NNW_high)

- (a) 標高-300m (立坑位置での深度約 500m) の水平断面
- (b) 標高-800m (立坑位置での深度約 1,000m) の水平断面

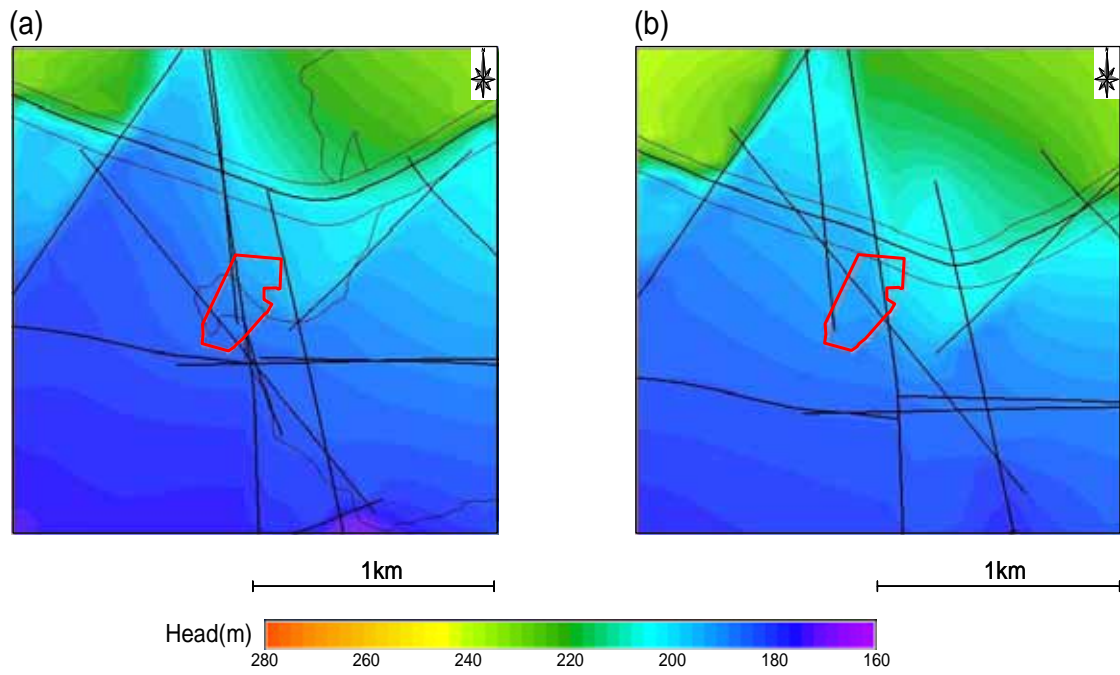


図 17 全水頭分布図 (解析ケース: NW_high)
 (a) 標高-300m (立坑位置での深度約 500m) の水平断面
 (b) 標高-800m (立坑位置での深度約 1,000m) の水平断面

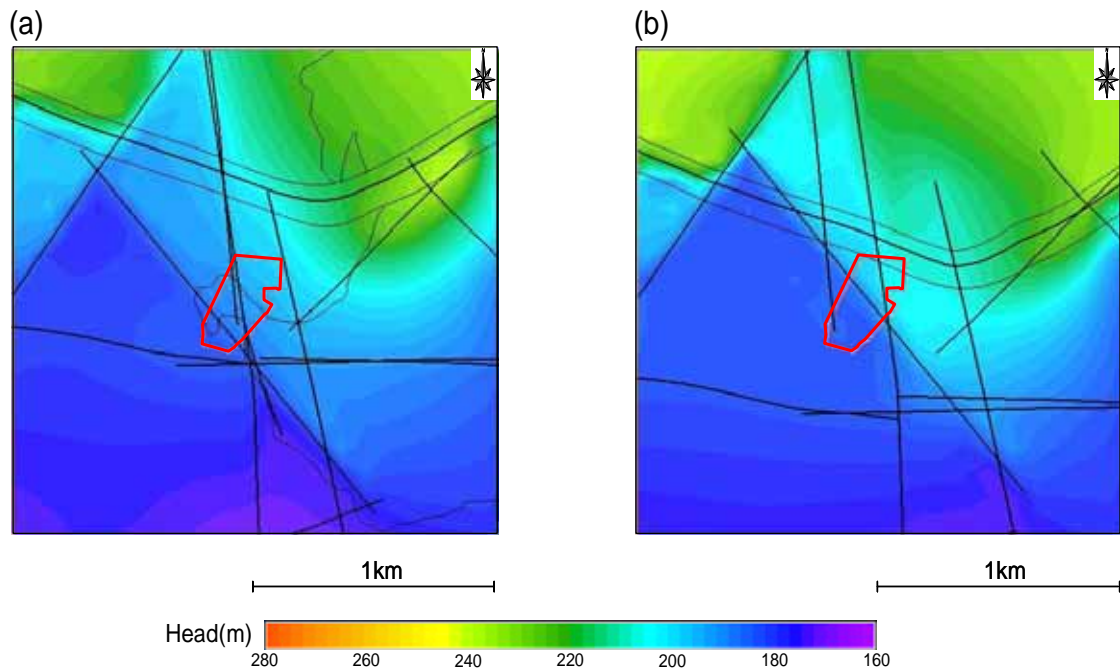


図 18 全水頭分布図 (解析ケース: NE_high)
 (a) 標高-300m (立坑位置での深度約 500m) の水平断面
 (b) 標高-800m (立坑位置での深度約 1,000m) の水平断面

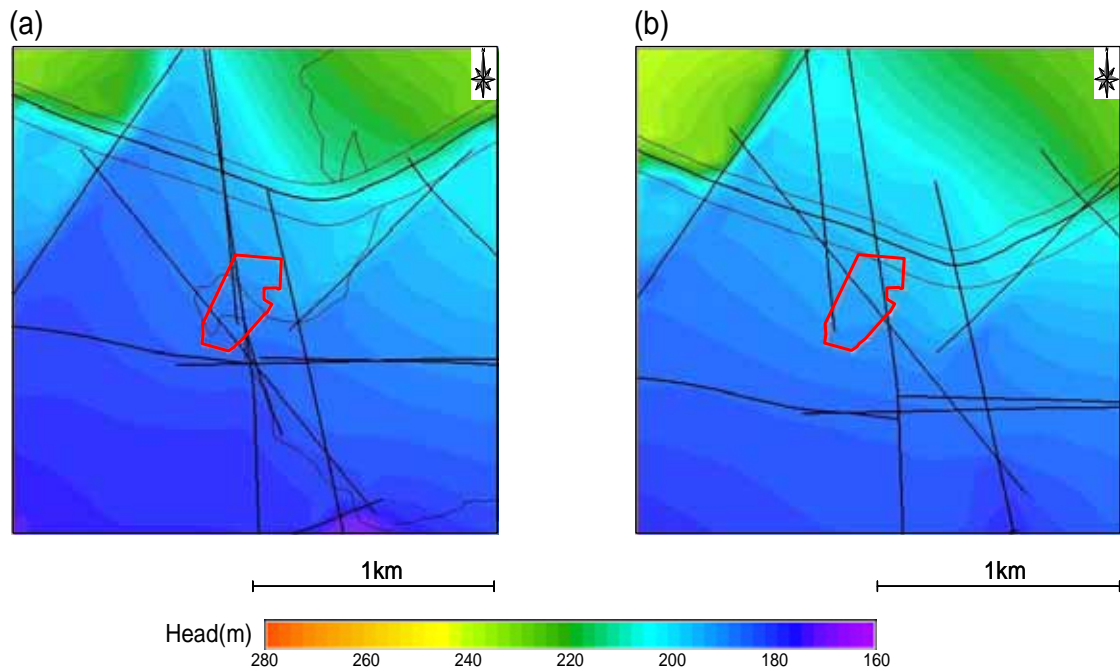


図 19 全水頭分布図 (解析ケース : NNW_NW_high)

- (a) 標高-300m (立坑位置での深度約 500m) の水平断面
- (b) 標高-800m (立坑位置での深度約 1,000m) の水平断面

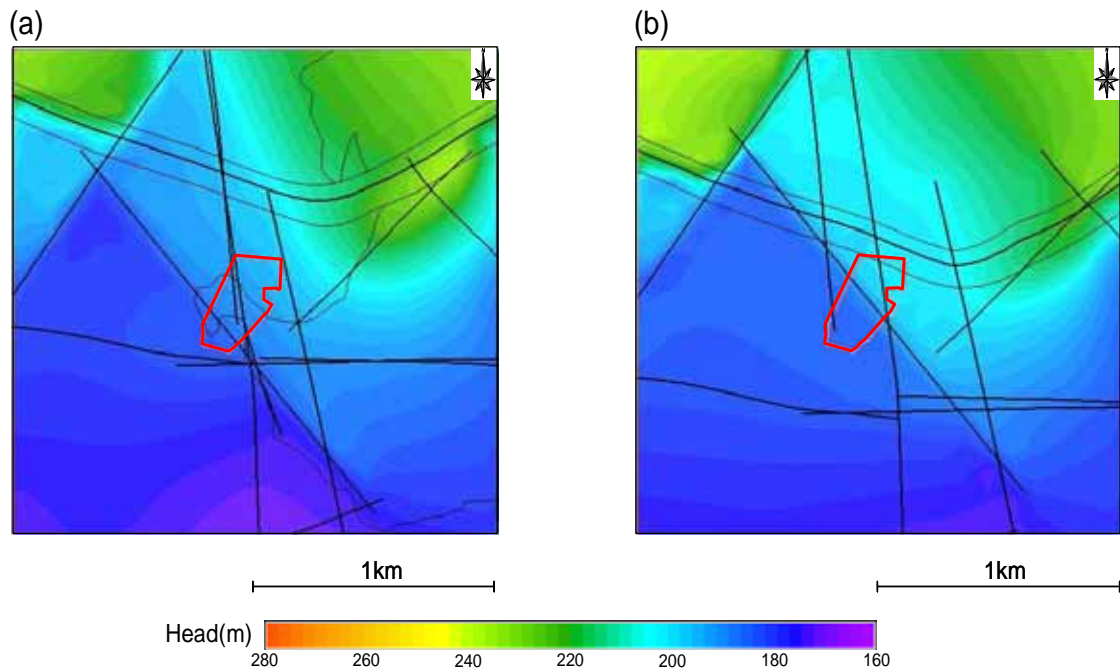


図 20 全水頭分布図 (解析ケース : NNW_NE_high)

- (a) 標高-300m (立坑位置での深度約 500m) の水平断面
- (b) 標高-800m (立坑位置での深度約 1,000m) の水平断面

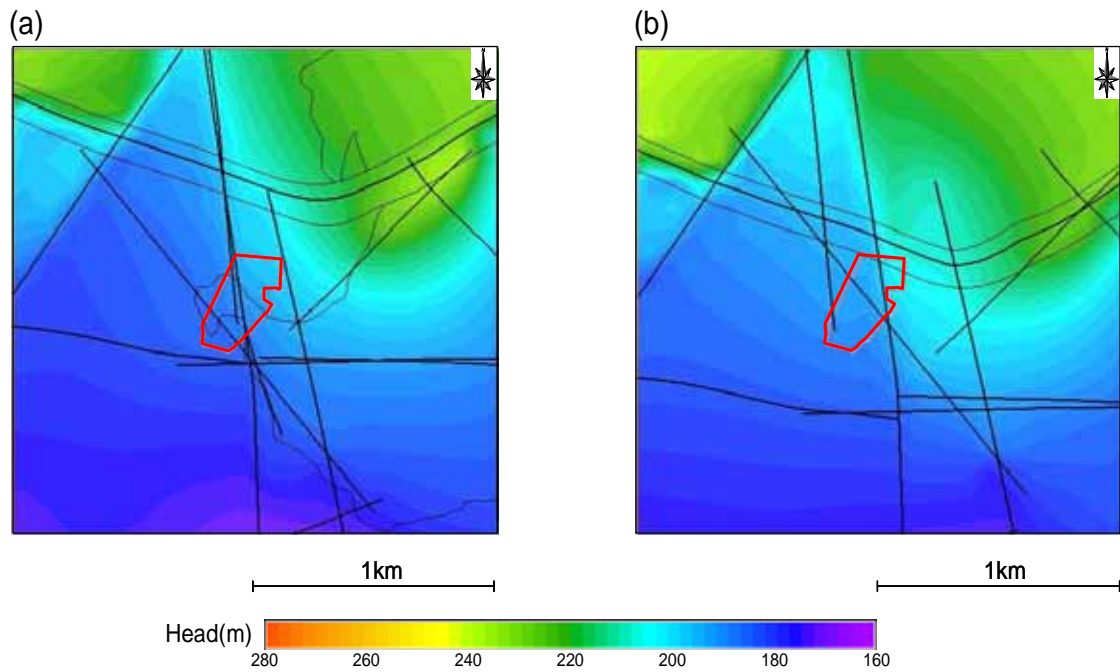


図 21 全水頭分布図 (解析ケース : NW_NE_high)

- (a) 標高-300m (立坑位置での深度約 500m) の水平断面
- (b) 標高-800m (立坑位置での深度約 1,000m) の水平断面

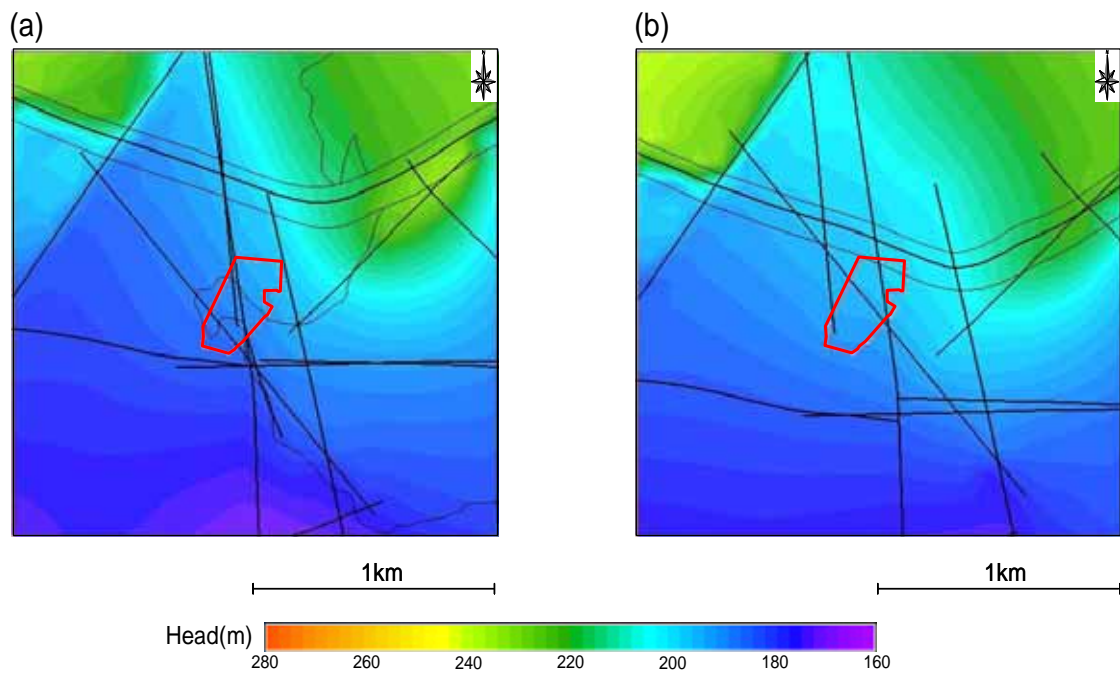
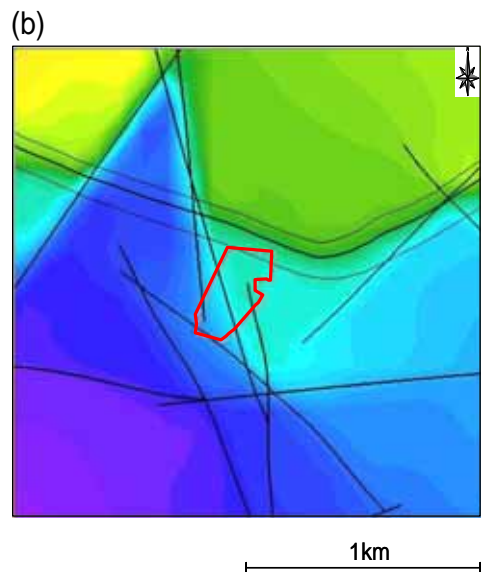
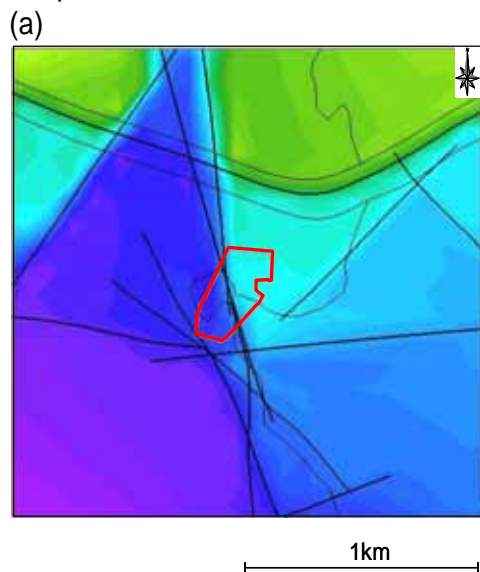


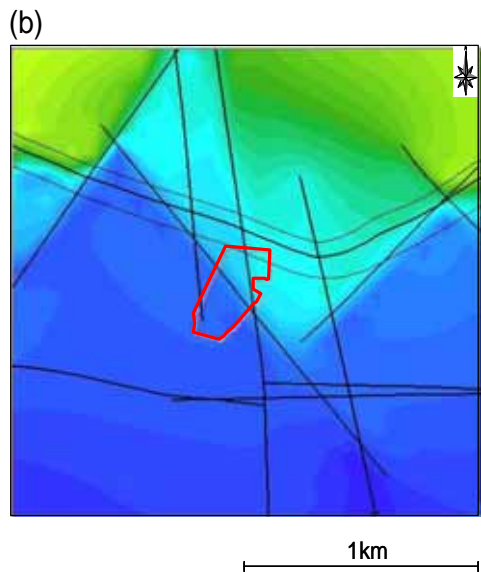
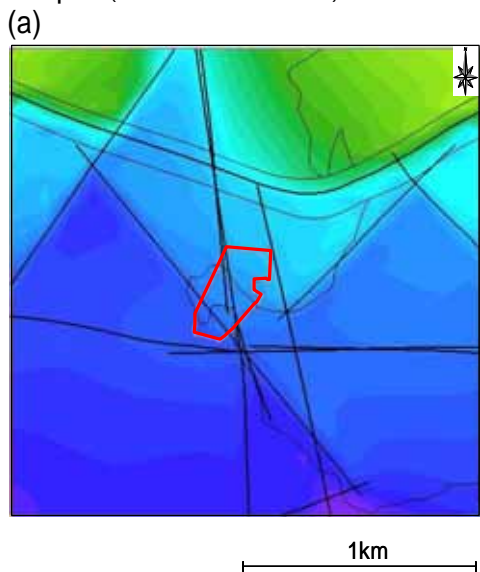
図 22 全水頭分布図 (解析ケース : All_high)

- (a) 標高-300m (立坑位置での深度約 500m) の水平断面
- (b) 標高-800m (立坑位置での深度約 1,000m) の水平断面

Step2 (解析ケース: All_aniso)



Step3a (解析ケース: Base)



全てのモデル化対象断層に透水異方性を考慮した解析ケースを比較

図 23 ステップ 2 とステップ 3 前半の全水頭分布比較図

- (a) 標高-300m (立坑位置での深度約 500m) の水平断面
- (b) 標高-800m (立坑位置での深度約 1,000m) の水平断面

6.3.2 ボーリング孔における水頭分布の実測値と解析値の比較

解析結果の妥当性を確認するため、研究所用地内および近傍において多区間で間隙水圧計測を実施しているボーリング孔における全水頭分布の実測値と解析値を比較した。比較に用いたボーリング孔は、MSB-1、MSB-3 号孔²⁸⁾および DH-2 号孔²⁹⁾の 3 孔である。深層ボーリング孔 (MIZ-1 号孔^{3~5)}、DH-15 号孔⁷⁾) においては、本解析実施時点で地下水長期モニタリングによる間隙水圧データが取得されていないことから、参考値として原位置水理試験実施時に得られた間隙水圧を用いた。表 7、図 24 に、それぞれ上記 5 孔における全水頭分布の実測値と解析値の比較結果を示す。

また、表 8、図 25 にステップ 2、ステップ 3 前半におけるボーリング孔での解析値を比較したものを示す。比較の対象は、長期的な間隙水圧データが得られている MSB-1、MSB-3 および DH-2 号孔の 3 孔とし、実測値と解析値の差の標準偏差が最小となる解析ケース (ステップ 2: All_aniso, ステップ 3 前半: NNW_NW_high) を比較対象とした。

さらに、ステップ 2、ステップ 3 前半における解析値のばらつきを確認するために、各ステップの解析ケース間の標準偏差を比較した (図 26)。

これらの結果より、以下のことが言える。

- ・ MSB-1、MSB-3 および DH-2 号孔における全水頭の実測値と解析値の差の標準偏差より、解析ケース間の差は小さいものの、最も実測値を再現できている解析ケースは、NE 系断層のみに透水異方性を考慮した解析ケース (NNW_NW_high) である【表 7】。
- ・ 各ボーリング孔における全水頭の実測値と解析値を比較すると、MSB-1、MSB-3 号孔の標高 150m 以浅の解析値は概ね実測値を再現できているが、それ以外の解析値は実測値より 30~40m 程度高い傾向を示している【表 7、図 24】。
- ・ MSB-1、MSB-3 および DH-15 号孔の実測値には、標高 200m~100m の間で深度方向への全水頭分布の低下傾向が見られるが、解析結果としては概ね同様の値を有する静水圧分布が得られ、実測値とは異なる傾向にある【表 7、図 24】。
- ・ DH-15 号孔では、NE 系断層の透水異方性の有無によって、解析値の全水頭分布の傾向が異なる。すなわち、NE 系断層に透水異方性を考慮した解析ケース (Base, NNW_high, NW_high, NNW_NWhigh) においては概ね静水圧分布を示すが、透水異方性を考慮しない解析ケース (NE_high, NNW_NE_high, NW_NE_high, All_high) においては深度方向に増加する傾向にある【表 7、図 24】。

- ・ MIZ-1 号孔では，NW 系断層の透水異方性の有無によって，解析値の全水頭分布の傾向が異なる。すなわち，NW 系断層に透水異方性を考慮した解析ケース（Base, NNW_high, NE_high, NNW_NE_high）においては深度方向に減少する傾向にあるが，透水異方性を考慮しない解析ケース（NW_high, NNW_NW_high, NW_NE_high, All_high）においては概ね静水圧分布を示す【表 7，図 24】。
- ・ ステップ 2 とステップ 3 前半における解析値の比較より，ステップ 2 に比べステップ 3 前半の解析値は，深度方向への増減がなくなり静水圧分布に近い分布傾向となっている【表 8，図 25】。
- ・ ステップ 2 とステップ 3 前半における実測値と解析値の差の標準偏差をみると，それぞれのステップの代表ケース（ステップ 2：All_aniso，ステップ 3 前半：NNW_NW_high）の実測値の再現性は同程度である。また，各ステップにおける解析ケース間の標準偏差より，ステップ 2 に比べステップ 3 前半の解析ケース間の解析値のばらつきが低減しているとともに，解析ケース全体で実測値の再現性が向上していることが確認できる【表 8，図 26】。

表7 ボーリング孔における全水頭の実測値^{3~5,7,28,29)}と解析値

ボーリング孔	計測深度 E.L.(m)	実測値 E.L.(m)	解析値 E.L.(m)							
			base	NNW_high	NW_high	NE_high	NNW_NW_high	NNW_NE_high	NW_NE_high	All_high
MSB-1	183.3	198.5	188.9	188.8	188.9	188.9	188.8	188.8	188.9	188.8
	132.6	154.6	188.2	187.4	188.2	188.5	187.2	187.6	188.4	187.3
	117.3	152.6	188.0	187.2	188.0	188.4	186.9	187.4	188.3	187.1
	72.5	152.3	189.2	187.1	189.1	190.1	186.6	187.5	189.9	187.1
	56.8	152.2	190.2	187.4	190.1	191.2	186.9	188.1	191.0	187.5
MSB-3	187.1	196.0	186.6	186.6	186.6	186.4	186.6	186.4	186.5	186.5
	133.8	169.9	187.9	187.6	187.9	188.3	187.6	188.1	188.2	188.0
	119.9	156.1	188.1	187.7	188.1	188.8	187.7	188.4	188.7	188.4
	113.1	156.1	188.1	187.6	188.1	188.9	187.6	188.5	188.8	188.4
	69.1	157.1	187.1	185.5	187.1	187.9	185.3	186.0	187.7	185.8
	37.4	157.8	187.2	185.4	187.2	188.2	185.1	186.0	188.0	185.6
DH-2	30.1	158.2	187.1	185.7	187.0	188.1	185.4	186.4	187.9	186.0
	-7.4	157.1	183.2	182.0	182.1	184.3	181.4	182.7	182.7	181.9
	-65.9	157.0	183.1	182.3	182.3	184.2	181.8	183.2	182.9	182.4
	-107.3	157.1	183.0	182.8	183.0	184.2	182.9	183.8	183.9	183.7
	-133.2	157.1	183.0	182.6	182.7	184.4	182.4	183.6	183.6	183.2
	-185.9	157.1	183.0	183.0	183.3	184.3	183.3	184.0	184.2	184.1
DH-2	-238.1	157.1	183.9	183.8	184.2	186.0	183.9	185.0	185.9	184.9
	-281.6	157.4	184.5	184.6	183.4	185.3	184.1	185.7	184.0	184.8
実測値と解析値の差の標準偏差			28.5	27.6	28.4	29.4	27.4	28.3	29.1	27.9
(参考 値)										
DH-15	145.475	211.4	183.9	183.9	183.9	184.7	183.9	184.6	184.6	184.6
	122.275	169.9	183.7	183.7	184.0	185.0	183.9	185.0	185.0	184.9
	95.025	149.5	183.5	183.5	184.1	185.7	183.9	185.5	185.8	185.6
	28.96	152.9	184.3	184.3	185.4	187.2	185.1	187.0	187.4	187.1
	-23.55	153.1	184.3	184.3	186.0	188.6	185.7	188.2	188.9	188.5
	-80.025	151.8	184.3	184.3	186.1	188.7	185.7	188.3	189.1	188.7
	-152.36	151.8	184.3	184.3	186.2	188.9	185.9	188.5	189.4	188.9
	-238.61	151.8	184.2	184.2	186.3	189.4	186.0	188.9	189.9	189.4
	-339.61	151.7	184.2	184.2	186.4	189.9	186.1	189.3	190.6	189.9
	-439.6075	151.9	184.5	184.5	187.1	191.8	186.6	191.0	192.6	191.8
	-539.775	152.0	184.4	184.4	187.3	192.6	186.9	191.7	193.5	192.6
-639.775	151.9	184.3	184.3	187.4	193.8	187.0	192.6	194.7	193.6	
-739.775	152.4	184.0	183.9	186.8	196.8	186.4	194.9	197.1	195.6	
MIZ-1	91.89	152.5	191.0	190.3	191.1	192.4	190.3	191.8	192.3	191.7
	-13.77	152.5	191.1	190.0	191.2	193.2	190.0	192.2	193.1	192.2
	-59.24	152.7	190.9	189.7	190.9	192.9	189.6	191.8	192.7	191.6
	-118.46	152.6	190.8	189.5	190.7	192.8	189.3	191.6	192.6	191.4
	-188.36	152.6	190.7	189.4	190.5	192.5	189.1	191.3	192.2	191.0
	-257.02	152.6	191.8	190.2	191.6	193.9	189.8	192.2	193.5	191.8
	-316.67	135.7	191.8	190.2	191.6	194.2	189.5	192.1	193.7	191.4
	-377.45	152.6	193.4	191.1	193.1	196.0	190.2	193.0	195.5	192.2
	-473.32	148.1	195.6	192.2	195.0	198.2	190.9	193.9	197.6	192.7
	-702.47	133.3	195.5	195.2	191.1	196.0	191.9	191.1	191.3	193.5
	-748.2	171.4	183.5	183.6	191.7	183.1	192.4	185.2	191.8	194.1
	-890.18	160.3	183.6	183.7	191.6	183.1	192.1	185.3	191.6	193.7
-1025.13	125.9	183.9	183.9	192.3	183.2	192.7	185.7	192.2	194.2	

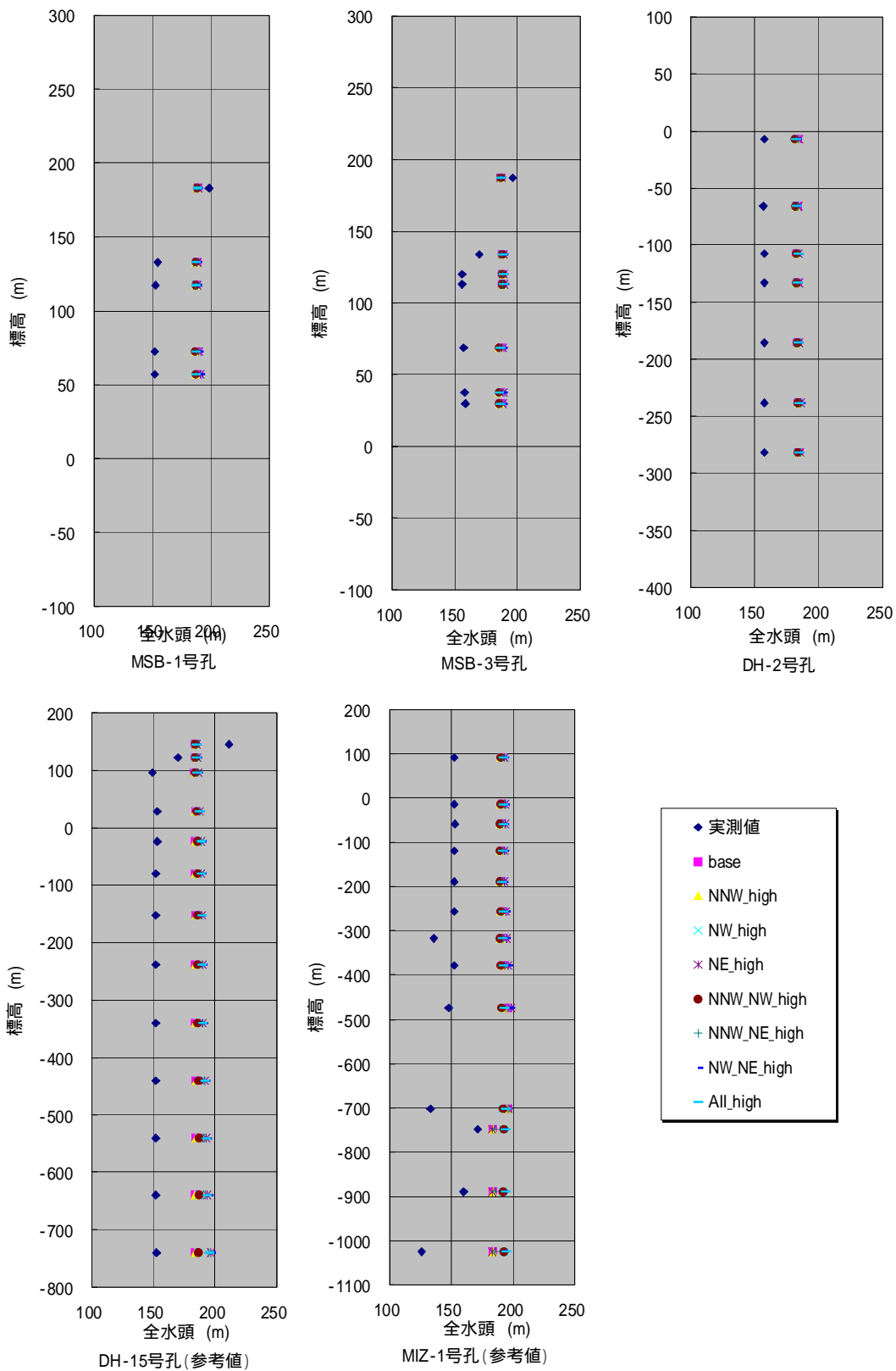


図 24 ポーリング孔における全水頭の実測値^{3-5,7,28,29)}と解析値の比較

表 8 ポーリング孔におけるステップ 2 とステップ 3 前半の解析値

ボーリング孔	計測深度 E.L.(m)	実測値 E.L.(m)	解析値 E.L.(m)	
			Step2 (All_aniso)	Step3前半 (NNW_NW_high)
MSB-1	183.3	198.5	210.4	188.8
	132.6	154.6	190.2	187.2
	117.3	152.6	187.1	186.9
	72.5	152.3	174.8	186.6
	56.8	152.2	172.9	186.9
MSB-3	187.1	196.0	199.8	186.6
	133.8	169.9	198.4	187.6
	119.9	156.1	198.2	187.7
	113.1	156.1	189.2	187.6
	69.1	157.1	174.5	185.3
	37.4	157.8	173.3	185.1
DH-2	30.1	158.2	173.3	185.4
	-7.4	157.1	188.8	181.4
	-65.9	157.0	188.8	181.8
	-107.3	157.1	174.5	182.9
	-133.2	157.1	202.5	182.4
	-185.9	157.1	175.8	183.3
	-238.1	157.1	176.3	183.9
	-281.6	157.4	177.9	184.1
実測値と解析値の差の標準偏差			26.7	27.4

実測値と解析値の差の標準偏差が最小となる解析ケース
(Step2: All_aniso, Step3前半: NNW_NW_high) を適用

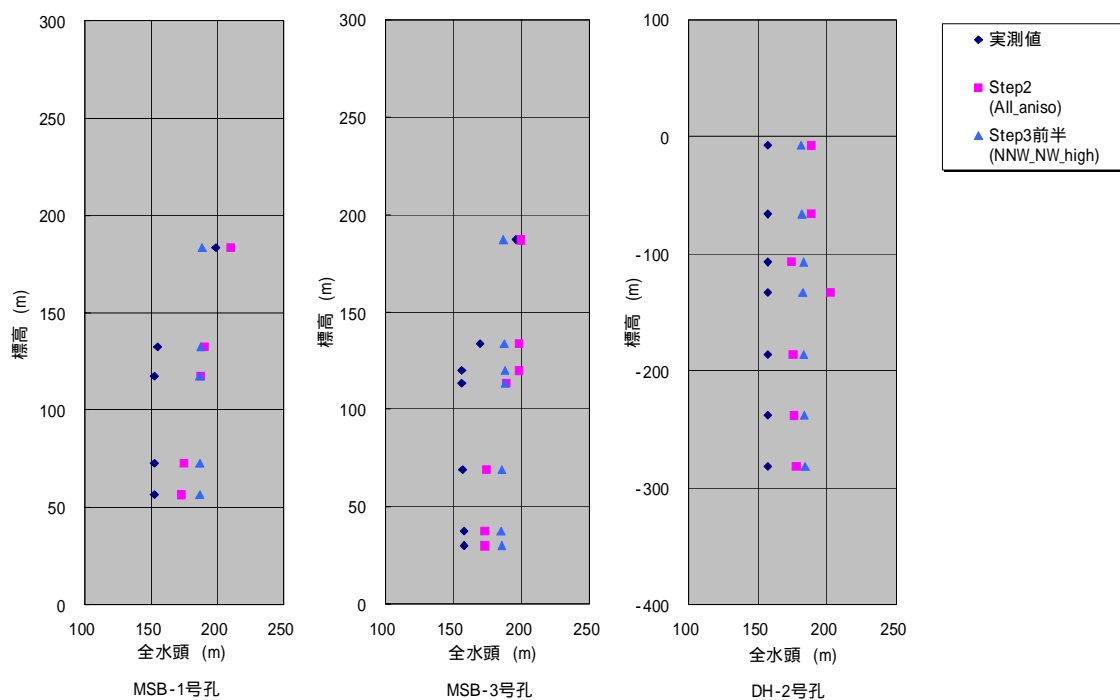


図 25 ポーリング孔におけるステップ 2 とステップ 3 前半の解析値の比較

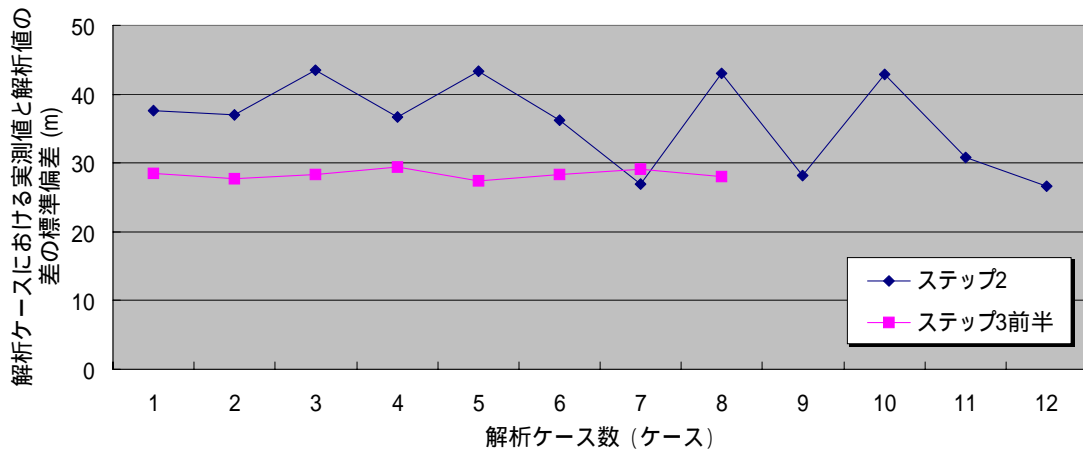


図 26 ステップ 2 およびステップ 3 前半における解析ケース間の標準偏差

6.3.3 地下水の移行経路

主立坑の深度 1,000m (標高-799.5m) を出発点としたパーティクルトラッキング解析によって、地下水の移行経路を推定した。パーティクルトラッキング解析では、移行経路の不確実性を表現するため、各節点においてパーティクルは、最大流量となる移行経路に流れるのではなく、流量比に基づいて確率的に選択された移行経路に流れる解析を実施した。パーティクルトラッキング解析は、地下水流動解析と同様に差分格子を用いて実施したため、解析結果には数値分散が含まれる。この数値分散に、水理地質構造モデルに表現した断層に伴う移行経路の分岐が加わり、幅広い移行経路が解析結果として得られることが想定された。そこで、できるだけ多くのパーティクルを取り扱い、大局的な傾向を把握するために 10,000 個のパーティクルを対象とした。

本研究では、このパーティクルトラッキング解析の結果を基に、各解析ケースにおける地下水の移行経路のパターン分類を行った。地下水の移行経路のパターンを分類する際には、断層の透水性と地下水の移行経路パターンとの関係の把握を目的としたため、パーティクルの出発点が位置する花崗岩中の下部割れ目低密度帯および断層中の移行経路のみを比較の対象とし、単純化を図った。そして、パーティクル数が多い移行経路パターンから累計し、これが全パーティクル数の 90%以上になる地下水の移行経路パターンを抽出した。

図 27～34 に、各解析ケースにおけるパーティクルトラッキング解析結果を示す。さらに表 9 に地下水の移行経路のパターン分類結果を示す(図化したものは Appendix-2 に添付)。

なお、パーティクルトラッキング解析結果は、巻末の DVD に収録した。Appendix-3 に、そのデータのファイル形式などをとりまとめる。

これらの結果より、以下のことが言える。

- ・モデル化・解析領域の南側境界付近に位置する NE 系断層 (L209) の透水異方性の有無によって地下水の移行経路の傾向が大きく異なる。すなわち、NE 系断層に透水異方性を考慮しない解析ケース (NE_high, NNW_NE_high, NW_NE_high, All_high) では、その他の解析ケースに比べ南西方向への地下深部に向かう移行経路の広がりが確認できる。また、地下水の移行経路パターンが 2 パターン (LSFD-EW-LSFD, LSFD-EW) のみとなっている【図 27～34, 表 9】。
- ・NE 系断層が透水異方性を有する解析ケース (Base, NNW_high, NW_high, NNW_NW_high) のみに着目すると、NNW 系断層の透水異方性の有無によって地下水の移行経路パターンが若干異なる。すなわち、NNW 系断層が透水異方性を有する解析ケース (Base, NW_high) の移行経路パターンは類似しているが、NNW 系断層の透水異方性を考慮しないことによって、それぞれの移行経路パターンが増

加する【表 9】。

- ・ステップ 2 における地下水の移行経路²⁾と比較すると，全体的に移行経路のパターン傾向，パターン数の減少とともに，空間的なばらつきも低減していることがわかる。

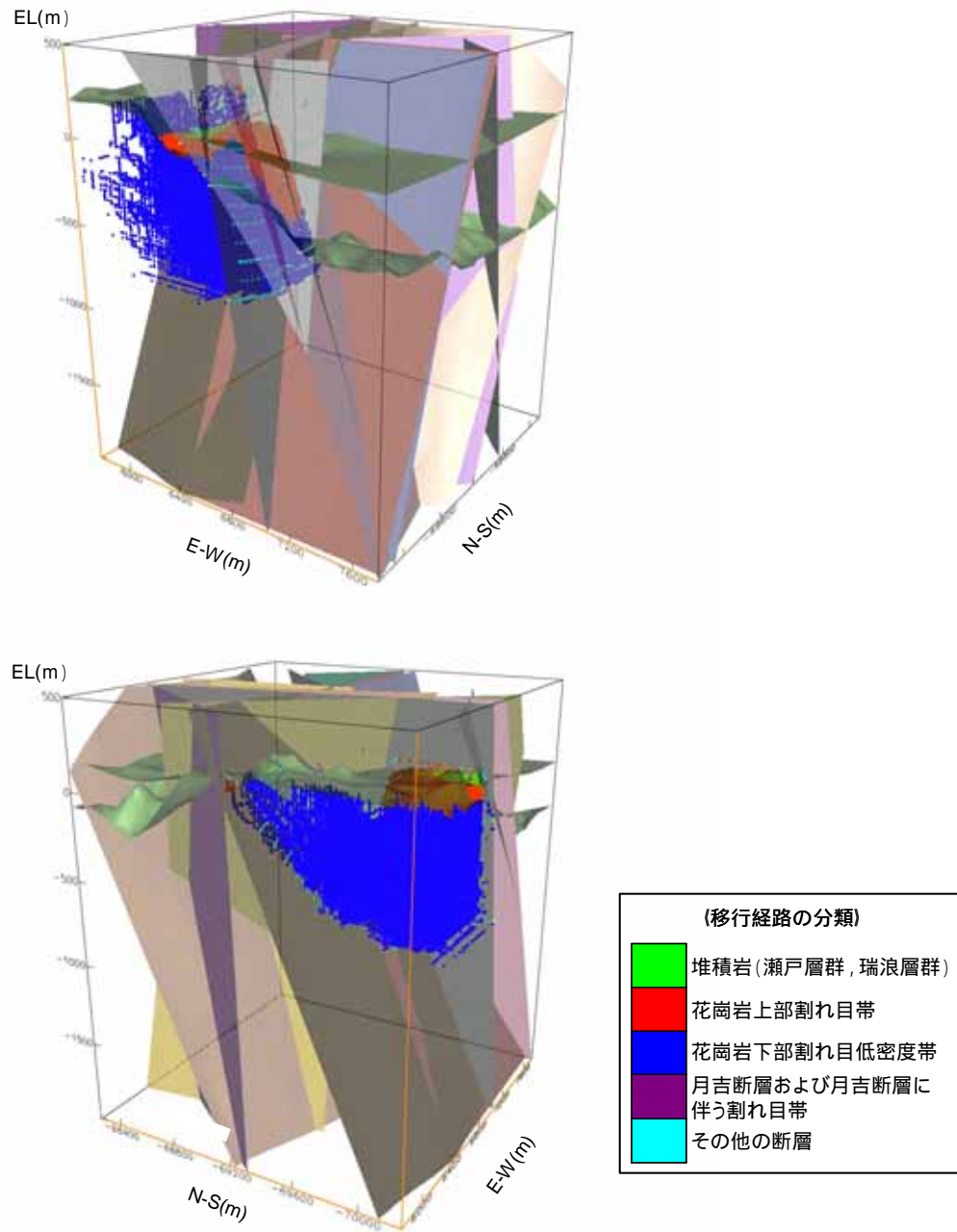
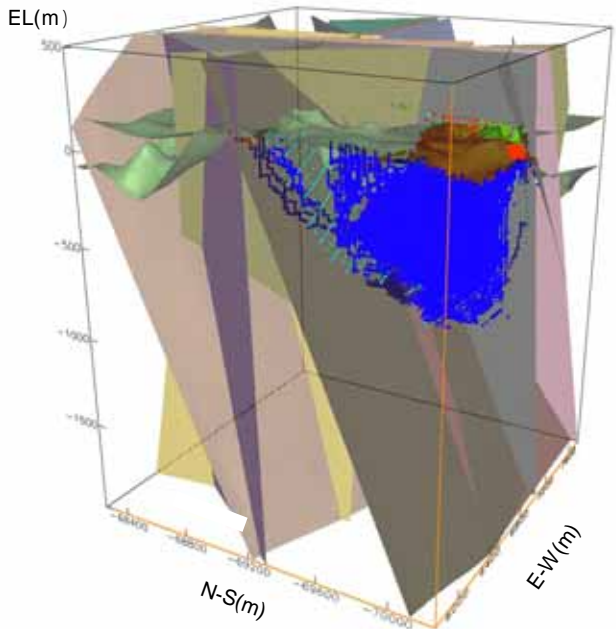
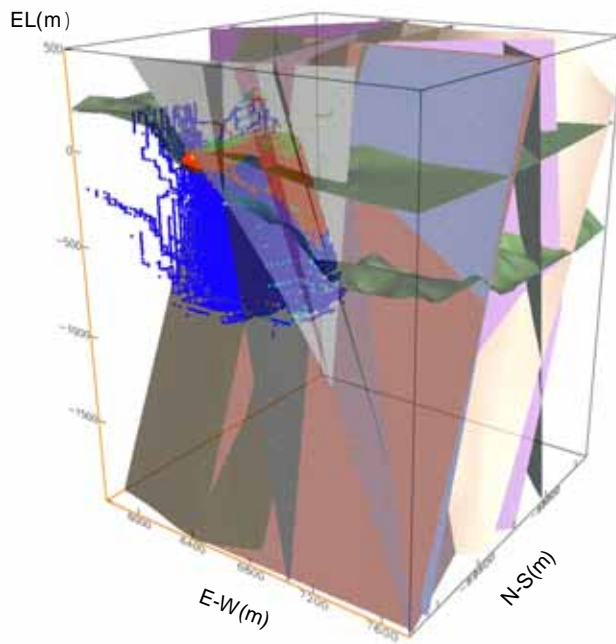


図 27 地下水の移行経路（解析ケース：Base）



(移行経路の分類)	
	堆積岩(瀬戸層群, 瑞浪層群)
	花崗岩上部割れ目帯
	花崗岩下部割れ目低密度帯
	月吉断層および月吉断層に伴う割れ目帯
	その他の断層

図 28 地下水の移行経路 (解析ケース : NNW_high)

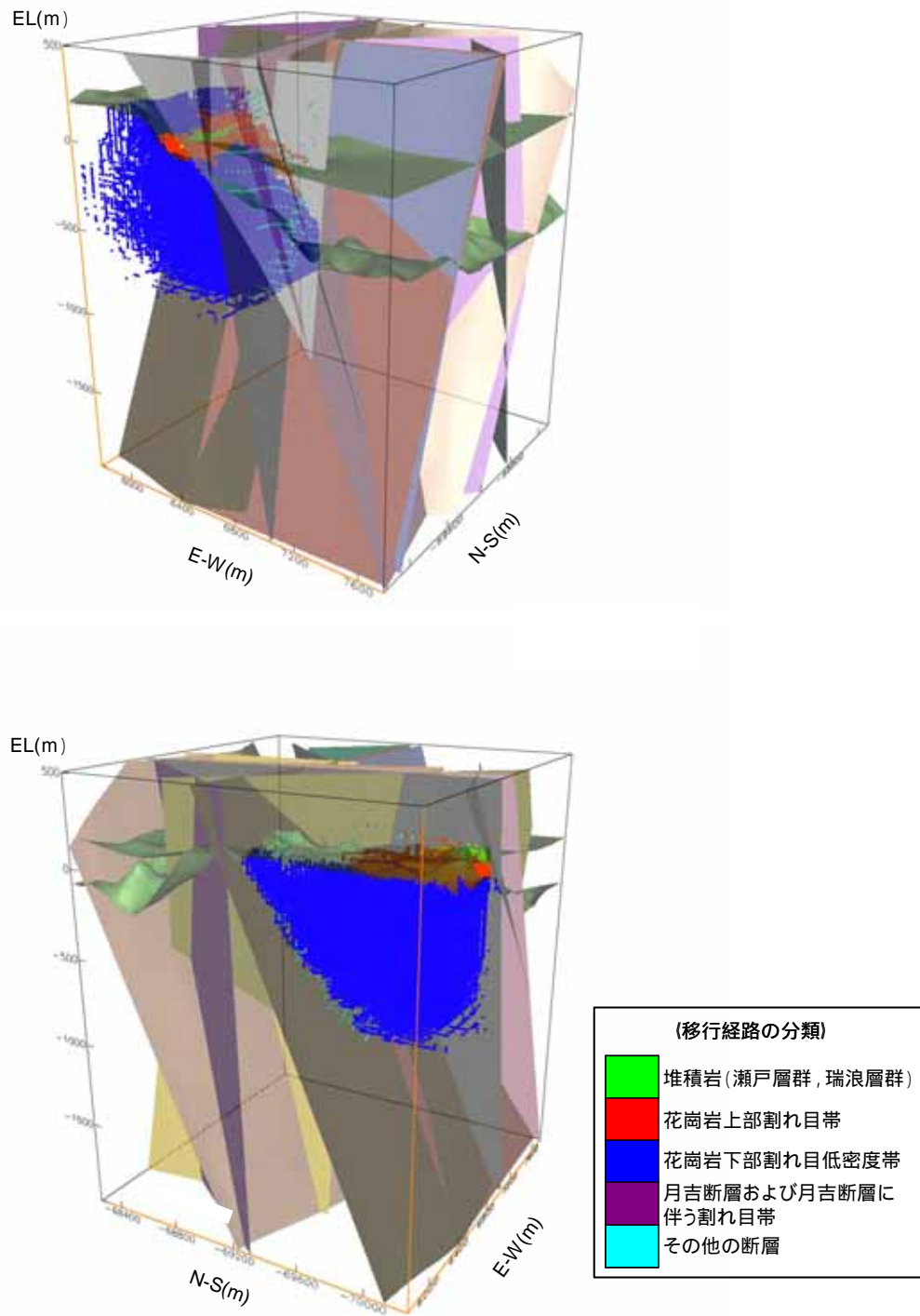


図 29 地下水の移行経路 (解析ケース : NW_high)

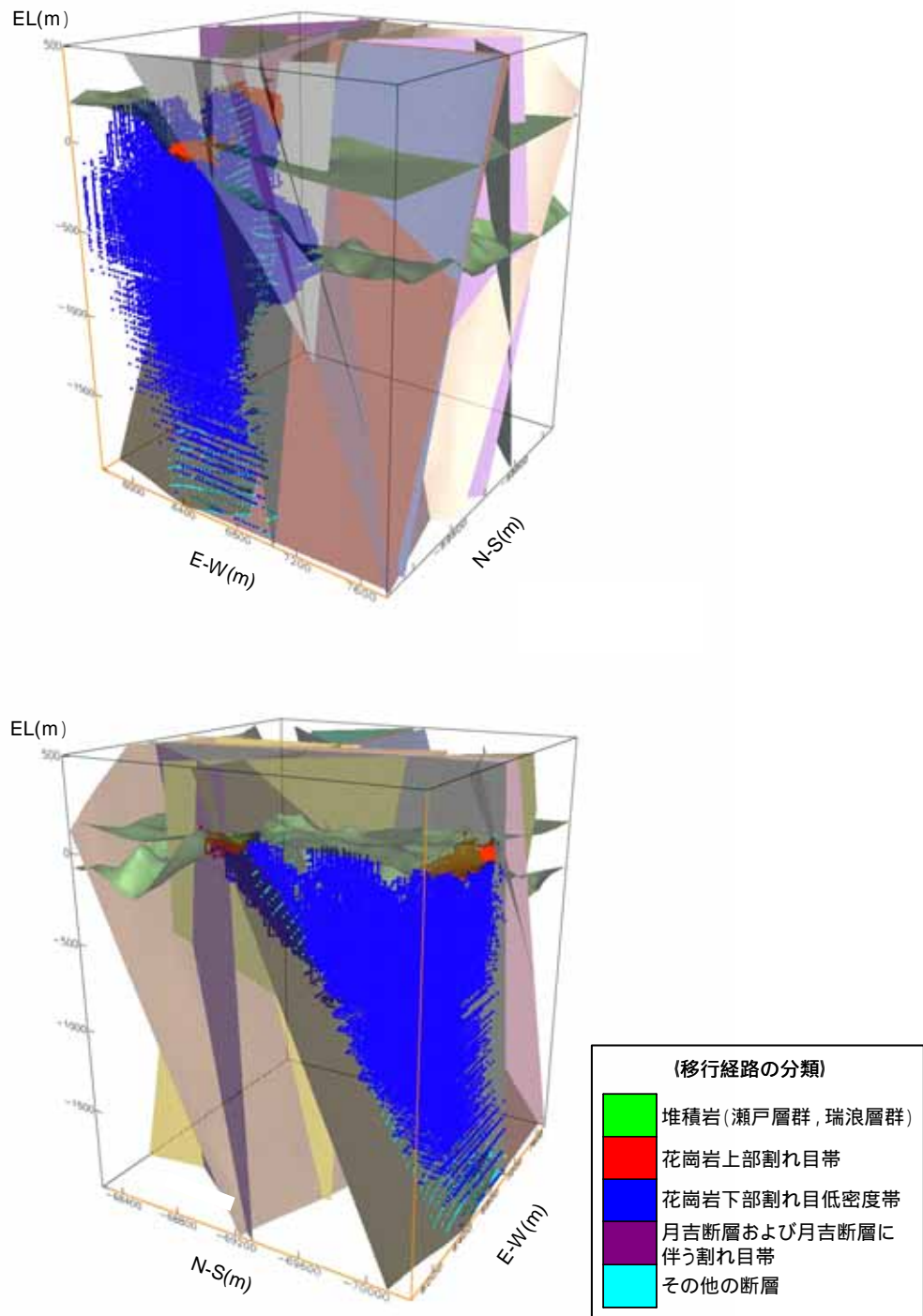
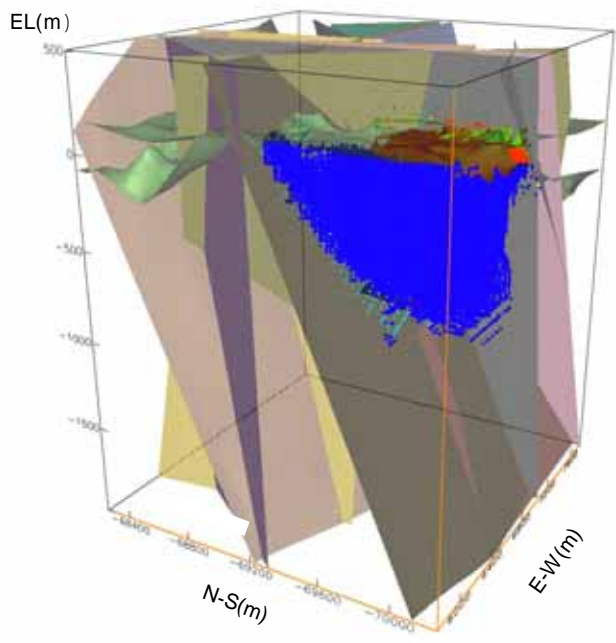
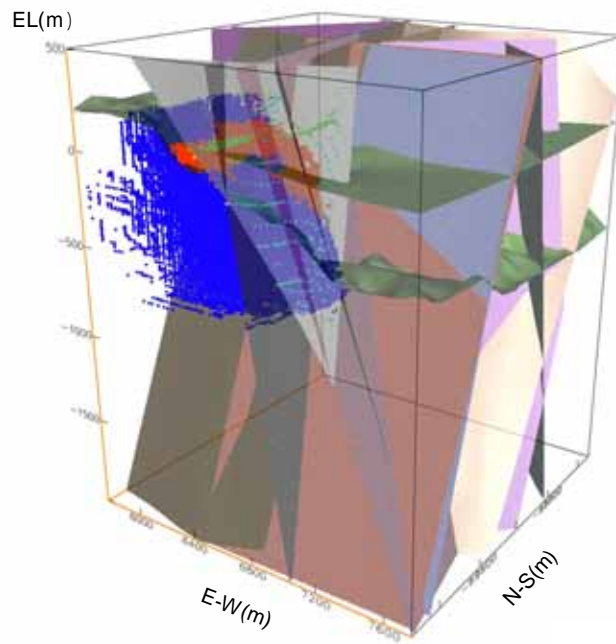
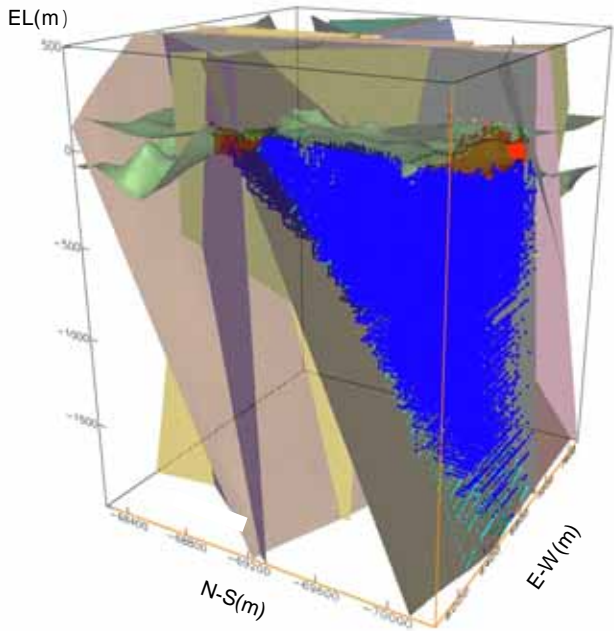
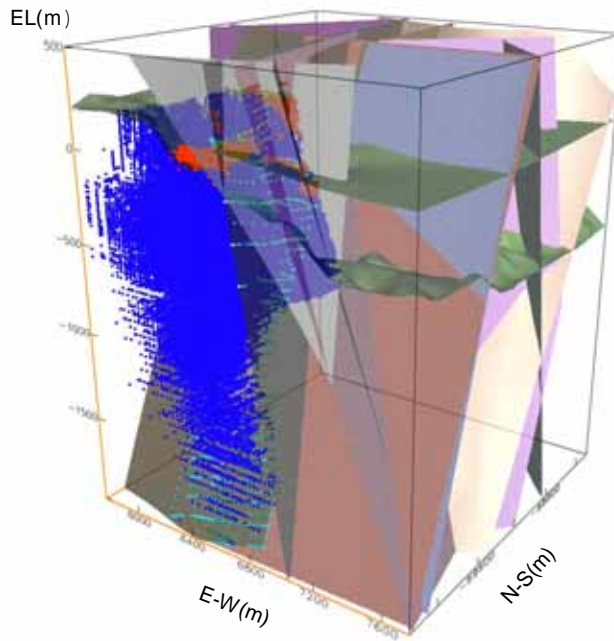


図 30 地下水の移行経路 (解析ケース : NE_high)



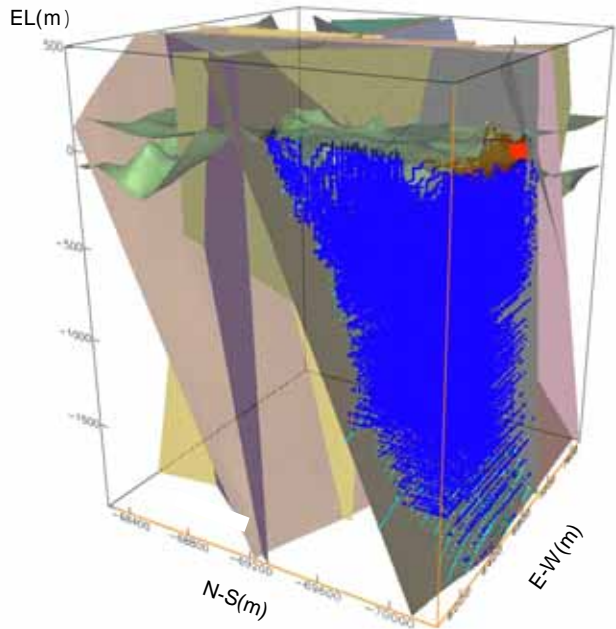
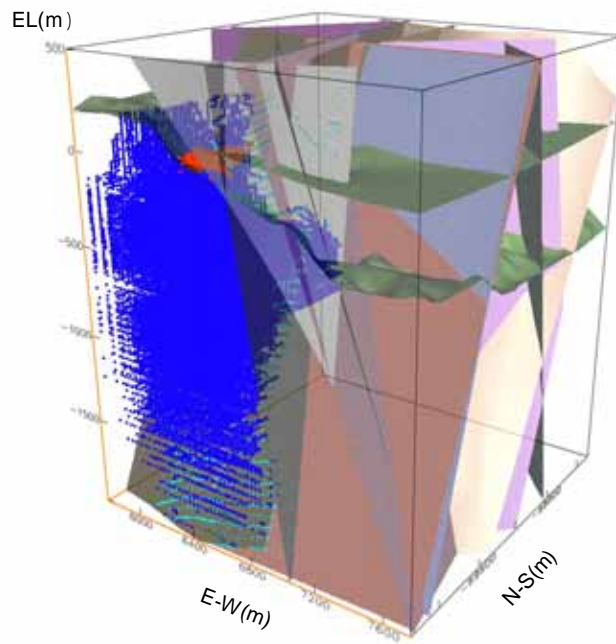
(移行経路の分類)	
	堆積岩(瀬戸層群, 瑞浪層群)
	花崗岩上部割れ目帯
	花崗岩下部割れ目低密度帯
	月吉断層および月吉断層に伴う割れ目帯
	その他の断層

図 31 地下水の移行経路 (解析ケース : NNW_NW_high)



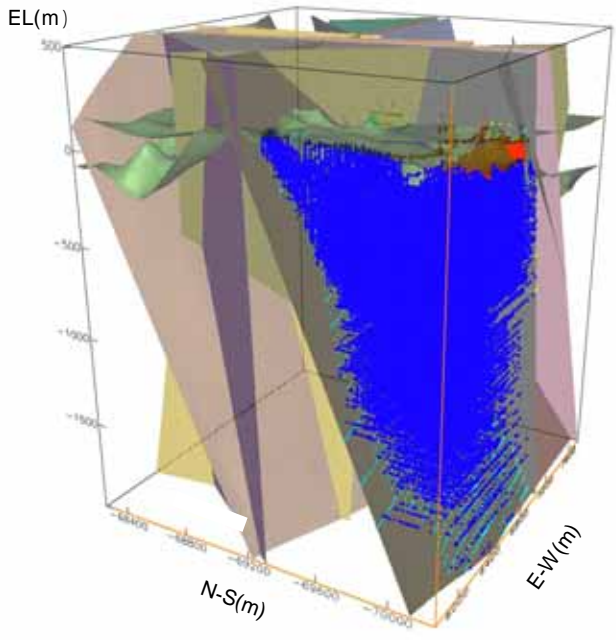
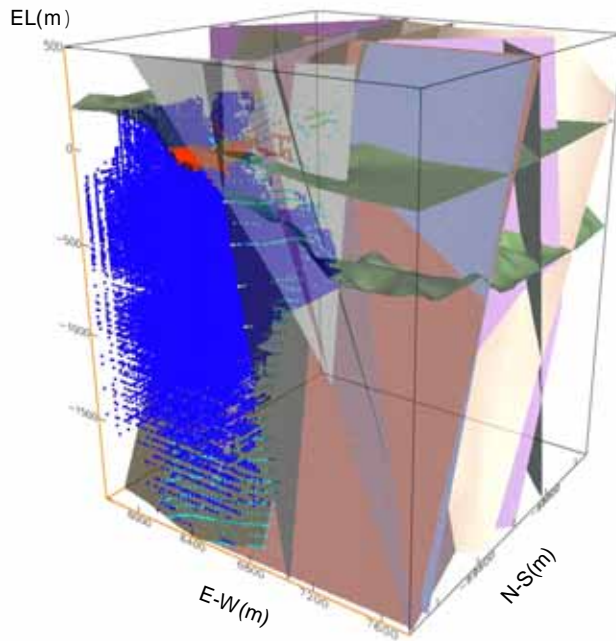
(移行経路の分類)	
	堆積岩(瀬戸層群, 瑞浪層群)
	花崗岩上部割れ目帯
	花崗岩下部割れ目低密度帯
	月吉断層および月吉断層に伴う割れ目帯
	その他の断層

図 32 地下水の移行経路 (解析ケース : NNW_NE_high)



(移行経路の分類)	
	堆積岩(瀬戸層群, 瑞浪層群)
	花崗岩上部割れ目帯
	花崗岩下部割れ目低密度帯
	月吉断層および月吉断層に伴う割れ目帯
	その他の断層

図 33 地下水の移行経路 (解析ケース : NW_NE_high)



(移行経路の分類)	
	堆積岩(瀬戸層群, 瑞浪層群)
	花崗岩上部割れ目帯
	花崗岩下部割れ目低密度帯
	月吉断層および月吉断層に伴う割れ目帯
	その他の断層

図 34 地下水の移行経路 (解析ケース : All_high)

表9 解析ケースにおける地下水の移行経路パターン

解析ケース	地下水の移行経路パターン	パ-ティクル数 (個)	解析ケース	地下水の移行経路パターン	パ-ティクル数 (個)
Base (パターン数:4)	-LSFD-EW-LSFD	5972	NE_high (パターン数:2)	-LSFD-EW-LSFD	5416
	-LSFD-EW-LSFD-EW-LSFD	1591		-LSFD-EW	3871
	-LSFD-EW	1060	合計	9,287	
	-LSFD-EW-NNW	775	NNW_NW_high (パターン数:7)	-LSFD-EW	4215
合計	9,398	-LSFD-EW-LSFD		2491	
NNW_high (パターン数:16)	-LSFD-EW-LSFD-NNW	2062		-LSFD-EW-LSFD-EW-LSFD	671
	-LSFD-NNW-EW-NNW	1730		-LSFD-EW-NNW	668
	-LSFD-EW-NNW	1136		-LSFD-EW-LSFD-EW	435
	-LSFD-EW-LSFD	1104		-LSFD-EW-LSFD-NNW	285
	-LSFD-NNW-EW-LSFD-NNW	590		-LSFD-NNW-EW-NNW	236
	-LSFD-NNW-EW-NNW-EW-NNW	582	合計	9,001	
	-LSFD-NNW	358	NNW_NE_high (パターン数:2)	-LSFD-EW	4767
	-LSFD-EW-LSFD-EW-LSFD-NNW	279		-LSFD-EW-LSFD	4613
	-LSFD-EW	211	合計	9,380	
	-LSFD-EW-LSFD-EW-LSFD	197	NW_NE_high (パターン数:2)	-LSFD-EW-LSFD	6108
	-LSFD-NNW-LSFD-EW-NNW	192		-LSFD-EW	3284
	-LSFD-NNW-EW	185	合計	9,392	
	-LSFD-EW-LSFD-NNW-LSFD	154	All_high (パターン数:2)	-LSFD-EW-LSFD	5402
	-LSFD-NNW-EW-LSFD	111		-LSFD-EW	4017
	-LSFD-EW-LSFD-NNW-LSFD-NNW	107	合計	9,419	
	-LSFD-NNW-LSFD-EW-LSFD-NNW	100	(凡例)		
合計	9,098	LSFD:花崗岩下部割れ目低密度帯			
NW_high (パターン数:4)	-LSFD-EW	4964	NNW:NNW系断層(IF_SB2a_10, IF_SB2a_12, IF_SB2a_05, IF_SB0_01)		
	-LSFD-EW-LSFD	2994	NW:NW系断層(IF_SB2a_13, L215)		
	-LSFD-EW-LSFD-EW-LSFD	720	NE:NE系断層(IF_LB0(L116,169), L209, L216)		
	-LSFD-EW-NNW	506	EW:EW系断層(IF_SB2a_07, IF_SB2a_08, IF_SB1_09)		
合計	9,184				

Appendix-2 に、それぞれの移行経路パターンを図化したものを添付

6.3.4 地下水のダルシー流速

6.3.3 で実施したパーティクルトラッキング解析の結果に基づき、花崗岩中の割れ目低密度帯および断層における地下水のダルシー流速 (m/y) を整理した (表 10)。地下水のダルシー流速は、解析ケース毎に分類した地質構造要素の平均値を算出した後、さらにそれぞれの地質構造要素に対して全解析ケースの平均値を集計した。

図 35 に、解析ケースにおける地質構造要素のダルシー流速の比較図を示す。また、図 36 に地質構造要素におけるダルシー流速の比較図を示す。

これらの結果より、以下のことが言える。

- ・断層の透水性に対する感度解析の結果、断層におけるダルシー流速は 1 オーダー程度の変動を示す【表 10, 図 35,36】。
- ・割れ目低密度帯における平均的なダルシー流速は 1.3×10^{-2} (m/y) であり、解析ケース間の顕著な変動はほとんど見られない【表 10, 図 35,36】。
- ・断層におけるダルシー流速は、割れ目低密度帯に比べ 1~3 オーダー程度早い。ただし、割れ目低密度帯と同程度の透水性を有する IF_SB2a_13 断層は割れ目低密度帯のダルシー流速と同程度である【表 10, 図 35,36】。
- ・ステップ 2 での地質構造要素のダルシー流速²⁾と比較すると、解析ケース間で地質構造要素におけるダルシー流速のばらつきが低減している。

表 10 地下水のダルシー流速

(単位:m/y)

地質構造要素	解析ケース									平均値
	Base	NNW_high	NW_high	NE_high	NNW_NW_high	NNW_NE_high	NW_NE_high	All_high		
花崗岩割れ目低密度帯	1.3E-02	1.1E-02	1.7E-02	6.6E-03	1.7E-02	9.2E-03	1.4E-02	1.6E-02	1.3E-02	
月吉断層	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
月吉断層に伴う割れ目帯	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
NNW系断層	IF_SB2a_10	3.4E+00	2.3E+00	4.0E+00	2.9E+00	3.1E+00	2.7E+00	5.6E+00	2.9E+00	3.4E+00
	IF_SB2a_12	1.2E+00	1.2E+00	-	-	-	-	-	-	1.2E+00
	IF_SB2a_05	8.3E-01	9.7E-01	1.2E+00	-	1.0E+00	-	9.9E-01	1.1E+00	1.0E+00
	IF_SB0_01	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NW系断層	IF_SB2a_13	4.9E-03	5.9E-03	4.3E-03	-	1.1E-01	-	5.4E-03	1.8E-02	2.4E-02
	L215	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NE系断層	IF_LB0(L116_169)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	L209	1.3E+02	9.5E+01	-	1.8E+02	-	1.8E+02	-	1.8E+02	1.5E+02
	L216	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EW系断層	IF_SB2a_07	2.2E-01	4.3E-01	5.7E-01	3.4E-01	6.4E-01	3.2E-01	9.4E-01	9.6E-01	5.5E-01
	IF_SB2a_08	-	-	-	-	1.7E+00	-	-	-	1.7E+00
	IF_SB1_09	1.0E+01	5.0E+00	1.5E+01	7.4E+00	1.5E+01	1.3E+01	7.3E+00	1.1E+01	1.1E+01

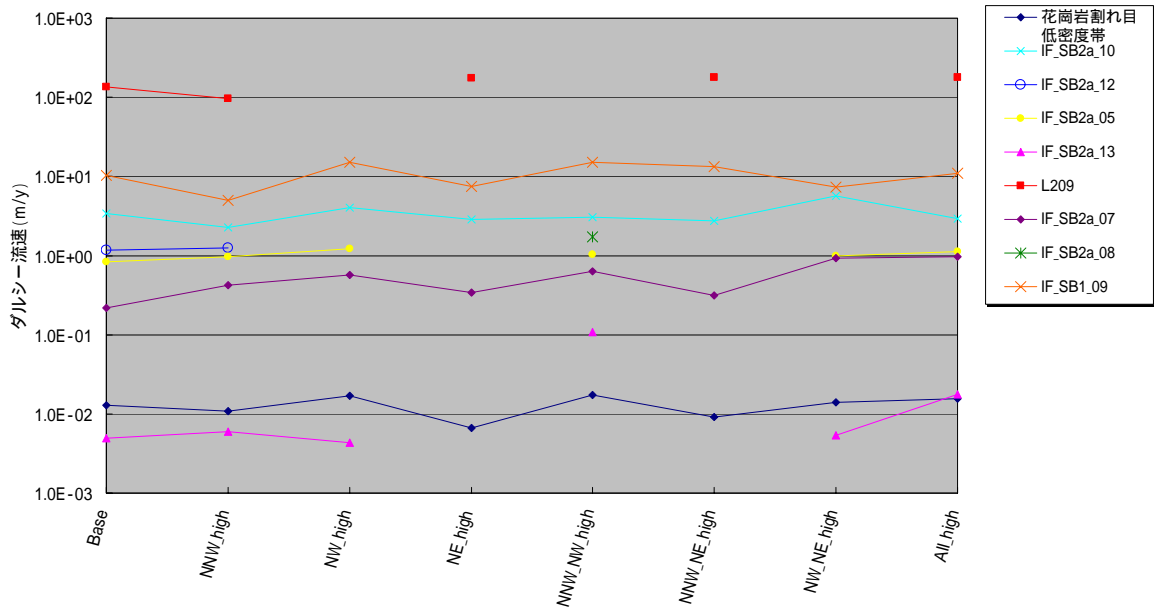


図 35 解析ケースにおける地質構造要素のダルシー流速の比較

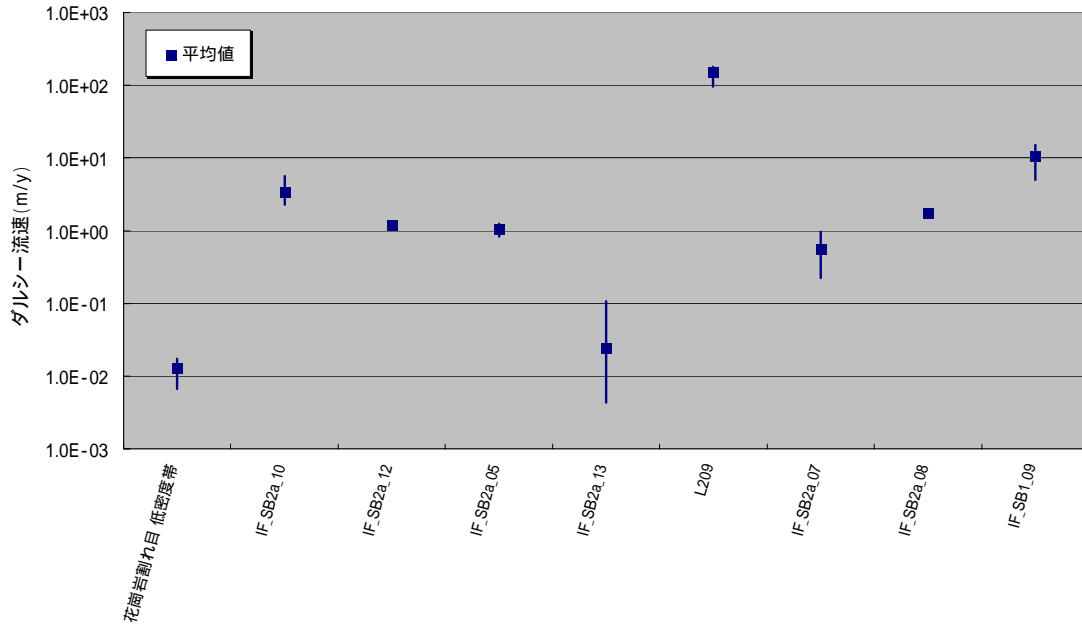


図 36 地質構造要素におけるダルシー流速の比較

7. 考 察

本解析結果に基づいて、ステップ2からステップ3前半への調査の進展に伴う水理地質構造モデルの不確実性の変遷に関する評価について、以下に考察する。

- ・MSB-1, MSB-3 および DH-2 号孔における全水頭の実測値と解析値の差の標準偏差（表7）を研究所用地周辺の地下水流動場の再現性を表す評価指標とした場合、ステップ3前半の調査段階では、透水異方性の有無が推定されていない断層のうちNE系断層にのみ透水異方性を考慮した水理地質構造モデル（解析ケース：NNW_NW_high）が、研究所用地周辺の地下水流動場を最も精度よく再現している。これは、感度解析の対象となっている断層のうち、研究所用地近傍にあるNNW系（IF_SB2a_10）、NW系（IF_SB2a_13）断層に高透水性を与えた場合には、これらの断層の遮水性が小さくなることによって、断層近傍の地下水の被圧状態の低減と南側の境界条件の影響を受ける傾向が強まるためと考えられる。
- ・ステップ3前半とステップ2のモデル化・解析領域における全水頭分布の比較の結果、ステップの進展に伴って断層の透水性、分布範囲や形状の更新により全水頭の分布傾向が異なることが確認されたため（図23）、特に、研究所用地内で確認されている断層の走向傾斜、トレース長や透水特性、および地層の境界面の分布形状、透水特性の取得による水理地質構造モデルの精度向上が望まれる。
- ・ステップ3前半の解析結果から、NE系断層の透水性が研究所用地周辺の全水頭分布および地下水の移行経路に影響を及ぼすことが明らかとなった。しかし、ステップ2の解析結果からは、地下水の主流動方向と類似した走向を有するNE系断層の透水性は、全水頭分布や地下水の移行経路に大きな影響を及ぼさないことが確認されている。この見解の違いが生じた要因としては、ステップ3前半の調査段階では、ステップ2で地下水流動場に影響を及ぼすとされた断層のうち、NNW、EW系断層のほとんどの断層の透水異方性の有無が推定されており感度解析の対象となっていないことから、他の断層に比べ相対的に影響度の小さいNE系断層の影響が顕著に現れたものと考えられる。
- ・ステップ3前半とステップ2の解析結果の比較より、ステップの進展に伴って解析ケース間での全水頭分布のばらつきと各地質構造要素におけるダルシー流速のばらつきが大幅に小さくなっている。同様に、地下水の移行経路パターンの傾向、パターン数および空間的ばらつきが大幅に減少している。これらのことから、ステップ2に比べステップ3前半の水理地質構造モデルの不確実性が低減したと言える。この不確実性の低減に至った主要因としては、既存ボーリングでの地下水圧の長期モニタリング

によるボーリング孔間の水理学的連続性の把握により、地下水流動場に影響を及ぼす NNW, EW 系断層の透水異方性の有無が推定されたためと考えられる。

8. まとめと今後の課題

繰り返しアプローチに基づき、主にステップ 2 での地下水流動解析結果との比較による水理地質構造モデルの不確実性の変遷に関する評価とステップ 3 後半以降の調査対象の抽出を目的として、ステップ 3 前半の地質構造モデルに基づく水理地質構造のモデル化・解析を実施した。地下水流動解析では断層の透水性に着目した感度解析を実施し、地下水流動解析結果に与える影響を評価した。

その結果、ステップ 2 からステップ 3 前半への調査の進展に伴う水理地質構造モデルの不確実性の低減が確認されるとともに、その不確実性を低減させる手段としては新規ボーリング調査と既存ボーリング孔での掘削応答モニタリングを組み合わせるなどのボーリングを利用した調査が有効であることが示された。

このことより、地下水流動特性に関する理解度を向上し水理地質構造モデルの不確実性を低減させるためには、既存のボーリング孔とステップ 3 で新たに掘削した深層ボーリングを有効に活用し、以下の検討事項に対する調査を実施することが重要であると考えられる。

- ・ 研究所用地内で確認されている断層の走向傾斜、トレース長や透水特性の把握
- ・ 地層の境界面の分布形状、透水特性の把握
- ・ 地下深部における全水頭分布の把握

今後は、引き続き繰り返しアプローチに基づき、上記 3 つの重要事項に関する調査検討を行い、これに基づいて更新される地質構造モデルを基に地下水流動解析を実施し、ステップ 3 後半以降における調査の課題抽出および調査計画の立案に反映する。同時に、次ステップ以降の地下水流動解析における解析結果の評価と本研究で実施したステップ 3 前半での地下水流動解析結果との比較などにより、水理地質構造モデルの不確実性の変遷に関する評価を行う。また、繰り返しアプローチにより更新される地質構造および水理地質構造モデルを用いて、研究坑道掘削が地下水流動に与える影響の予測解析も併せて行う計画である。

一方、繰り返しアプローチに基づき、水理地質構造のモデル化・解析を実施することにより、地表からの調査によりサイト～ブロックスケールの地下水流動特性にとって、重要な地質環境特性を段階的に理解するための調査研究における合理的かつ最適な調査・評価技術を第 1 段階の調査研究の終了時期までに整備する計画である。

参 考 文 献

- 1) 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.
- 2) 尾上博則，三枝博光，遠藤令誕：繰り返しアプローチに基づくサイトスケールの水理地質構造のモデル化・地下水流動解析（ステップ 2），サイクル機構技術資料，JNC TN7400 2005-006, 2005.
- 3) K. Ota, S. Takeuchi, K. Ikeda, S. Horimoto, K. Amano, N. Kumazaki, T. Matsuoka, S. Yabuuchi, Y. Fujita, T. Iwatsuki and R. Furue : An Overview of the MIZ-1 Borehole Investigations during Phase I/II: MIZ-1 Progress Report 03-01 , JNC Technical Report, JNC TN7400 2004-001 , 2004 .
- 4) K. Ota, S. Takeuchi, K. Ikeda, S. Horimoto, K. Amano, S. Yabuuchi, Y. Fujita, T. Iwatsuki and R. Furue : An Overview of the MIZ-1 Borehole Investigations during Phase III: MIZ-1 Progress Report 03-02 , JNC Technical Report, JNC TN7400 2005-001 , 2005.
- 5) K. Ota, S. Takeuchi, K. Ikeda, K. Amano, T. Matsuoka, T. Iwatsuki, S. Yabuuchi, and T. Sato : Overview of MIZ-1 Borehole Investigations , JNC Technical Report, JNC TN7400 2005-024 , 2005.
- 6) 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～11 年度 - ，サイクル機構技術資料，JNC TN7400 2000-014, 2000.
- 7) 鶴田忠彦，鏝頭正，彌榮英樹，富士代秀之，藤田有二：広域地下水流動研究におけるボーリング調査（DH-15 号孔），サイクル機構技術資料，JNC TN7400 2005-025 , 2005.
- 8) 太田久仁雄，佐藤稔紀，竹内真司，岩月輝希，天野健治，三枝博光，松岡稔幸，尾上博則：東濃地域における地上からの地質環境の調査・評価技術，サイクル機構技術資料，JNC TN7400 2005-023 , 2005 .
- 9) 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.
- 10) 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.
- 11) 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.
- 12) 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.
- 13) 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.
- 14) 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技術に関する研究 - 平成 15 年度報告 -, サイクル機構技術資料, JNC TN1400 2004-007, 2004.
 - 15) 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 ~ 11 年度 -, サイクル機構技術資料, JNC TN7400 2000-001, 2000.
 - 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) 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.
 - 18) 太田久仁雄, 天野健治, 熊崎直樹, 松岡稔幸, 竹内真司, 升元一彦, 藪内 聡, 三枝博光, 稲葉 薫, 向井 圭, 片岡達彦, 岩月輝希, 佐藤稔紀, 中間茂雄, 今津雅紀, 玉井 猛, 見掛信一郎, 大澤英昭, 川瀬啓一, 小出 馨: 超深地層研究所計画 年度報告書 (平成 14 年度), サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2003-006, 2003.
 - 19) 阿部正宏: 軟岩の透水性について, 土と基礎, 第 27 巻, 4 号, pp.11-12, 1979 .
 - 20) 竹内真司, 下茂道人, 西鳶望, 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.
 - 21) H. Saegusa, K. Inaba, K. Maeda, K. Nakano, 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.
 - 22) 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.
 - 23) 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.
 - 24) 藤田有二: 超深地層研究所計画における間隙水圧長期観測 2003 年 4 月 ~ 2004 年 3 月, サイクル機構技術資料, JNC TN7450 2005-002, 2005.
 - 25) 尾上博則, 三枝博光: ローカルスケールの地下水流動解析 - サイトスケールにおけるステップ 3 前半の地下水流動解析の境界条件の設定 -, サイクル機構技術資料, JNC TN7400 2005-011, 2005.

- 26) 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.
- 27) 稲葉薫, 三枝博光, M.J. White, 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.
- 28) 藤田有二: 超深地層研究所計画における間隙水圧観測 - (2004 年 7 月~9 月) 調査速報 IR05-02 -, サイクル機構技術資料, JNC TN7450 2004-004, 2005.
- 29) 藤田有二: 広域地下水流動研究における間隙水圧観測 - (2004 年 7 月~9 月) 調査速報 -, サイクル機構技術資料, JNC TN7450 2005-001, 2005.

Appendix-1 : ボーリング孔間における水理学的な連続性と
モデル化対象断層の位置関係図

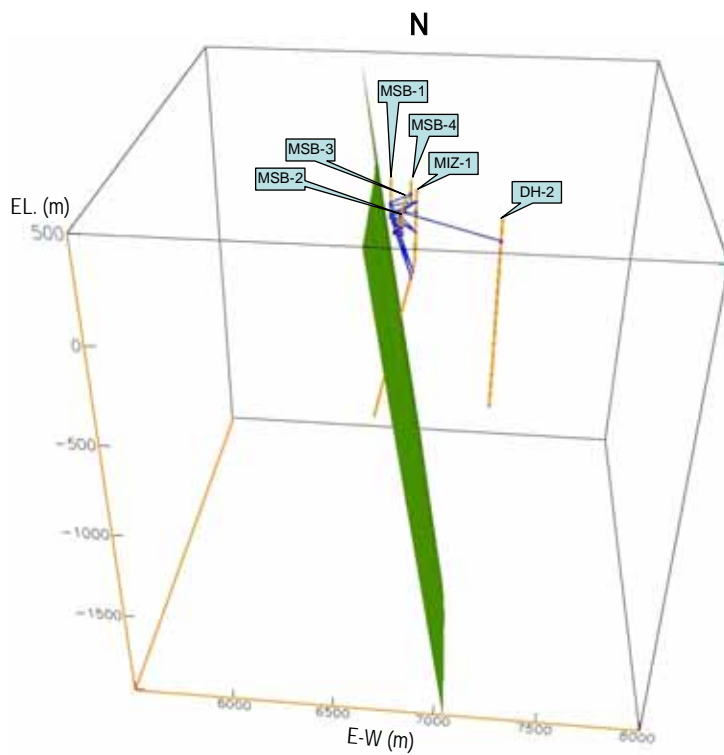


図 A1-1 水理学的な連続性とモデル化対象断層の位置 (IF_SB2a_10)

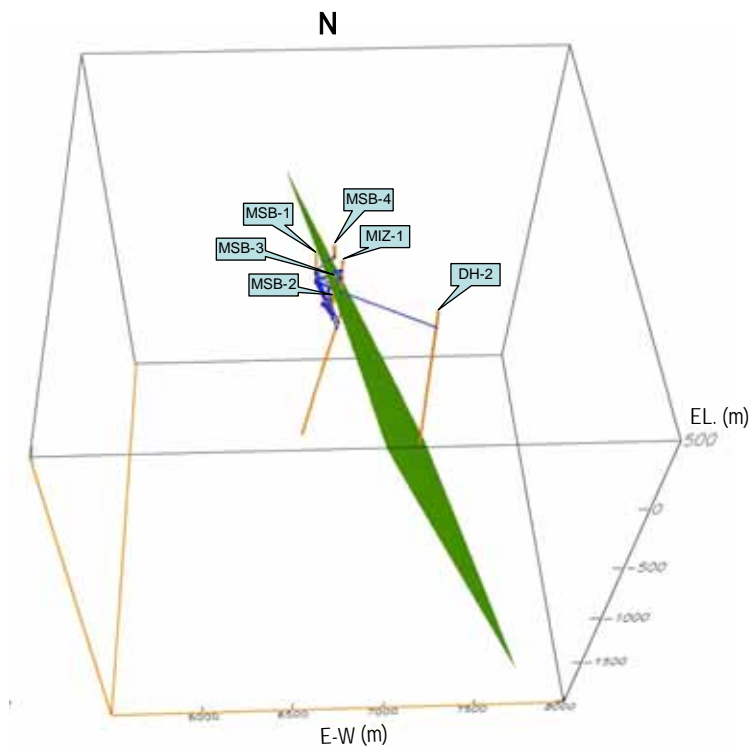


図 A1-2 水理学的な連続性とモデル化対象断層の位置 (IF_SB2a_12)

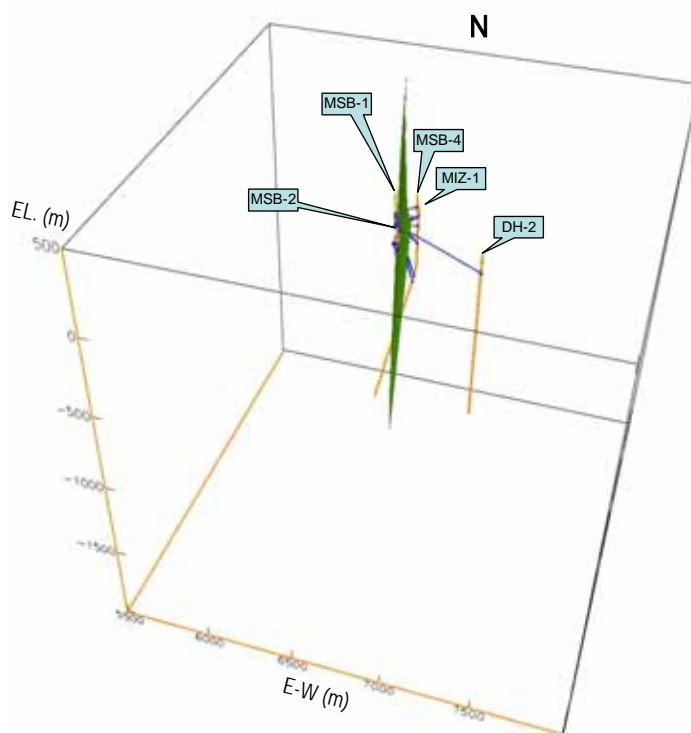


図 A1-3 水理学的な連続性とモデル化対象断層の位置 (IF_SB2a_05)

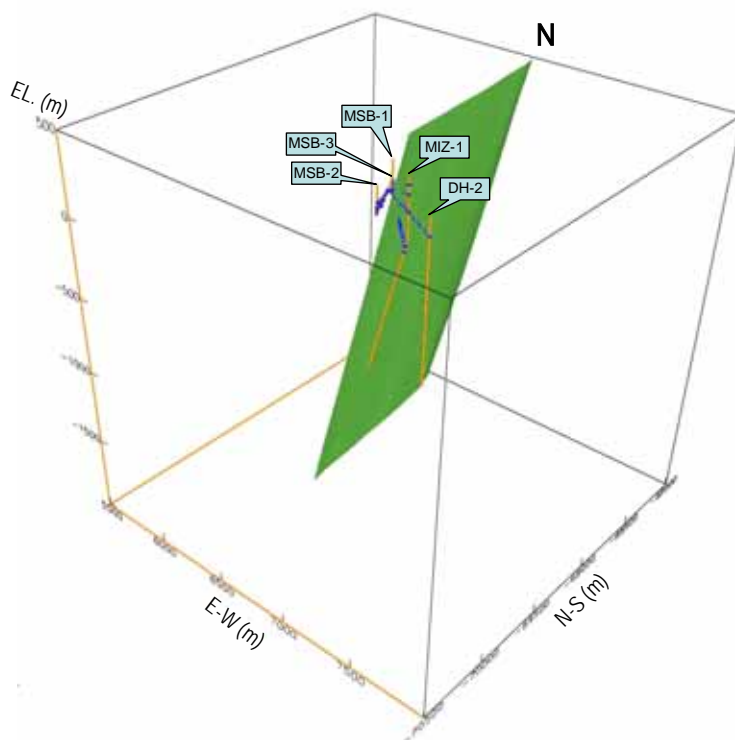


図 A1-4 水理学的な連続性とモデル化対象断層の位置 (IF_SB0_01)

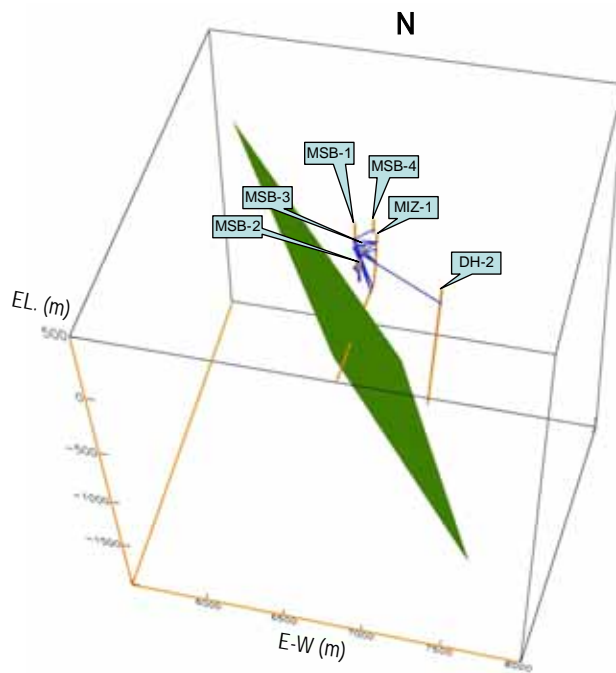


図 A1-5 水理学的な連続性とモデル化対象断層の位置 (IF_SB2a_13)

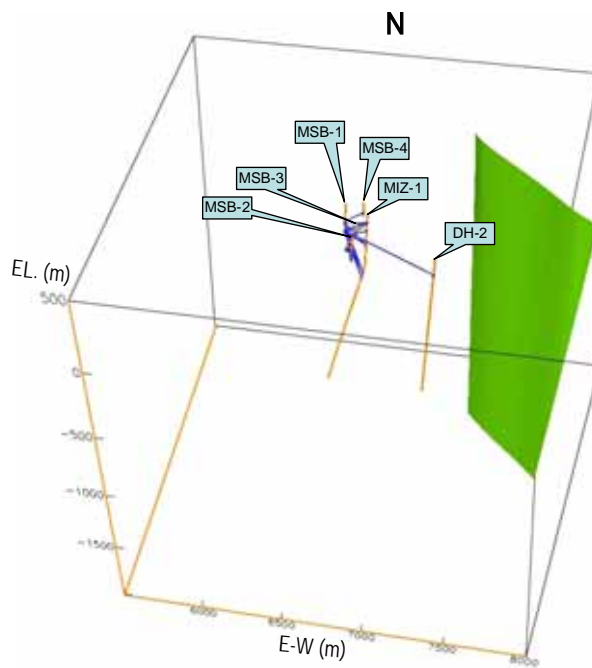


図 A1-6 水理学的な連続性とモデル化対象断層の位置 (L215)

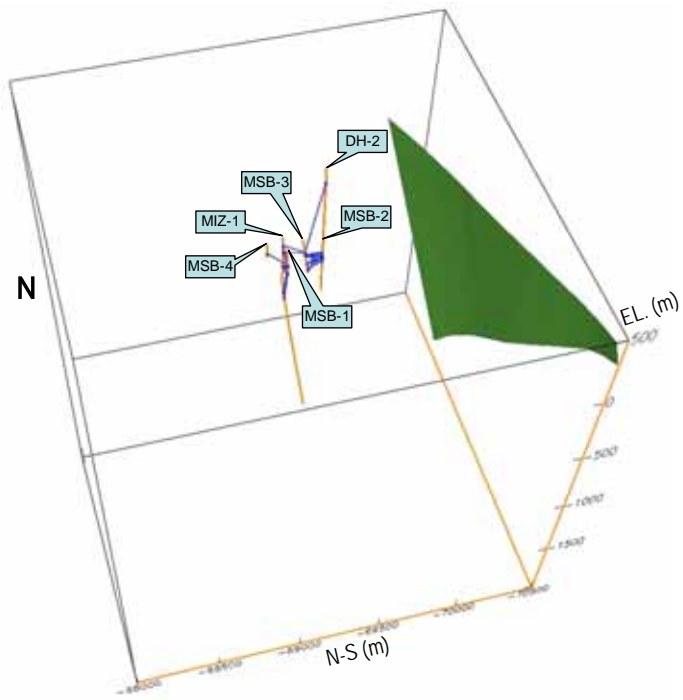


図 A1-7 水理学的な連続性とモデル化対象断層の位置 (L209)

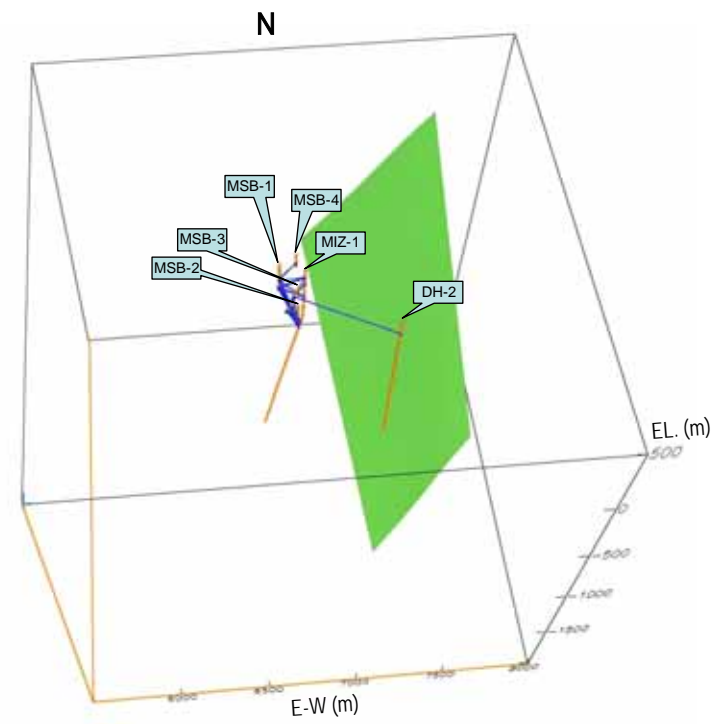


図 A1-8 水理学的な連続性とモデル化対象断層の位置 (L216)

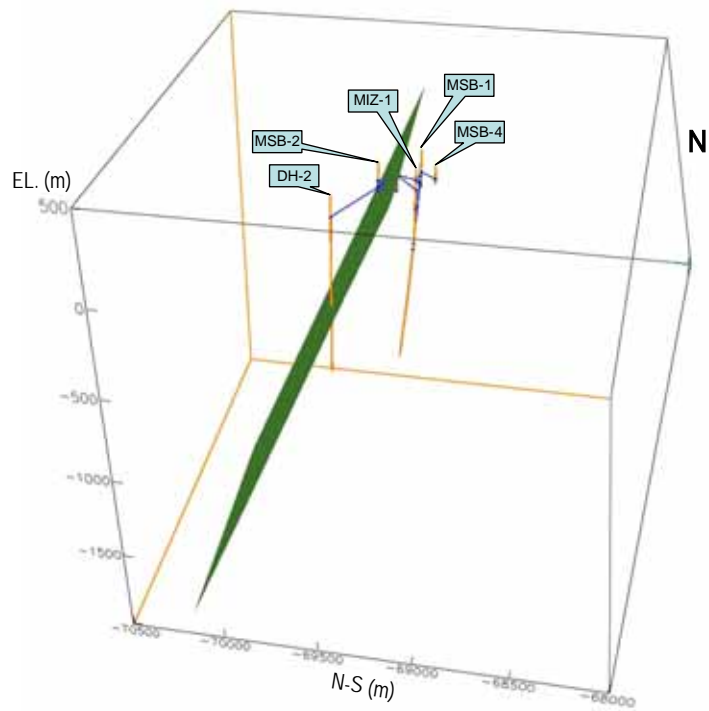


図 A1-9 水理学的な連続性とモデル化対象断層の位置 (IF_SB2a_07)

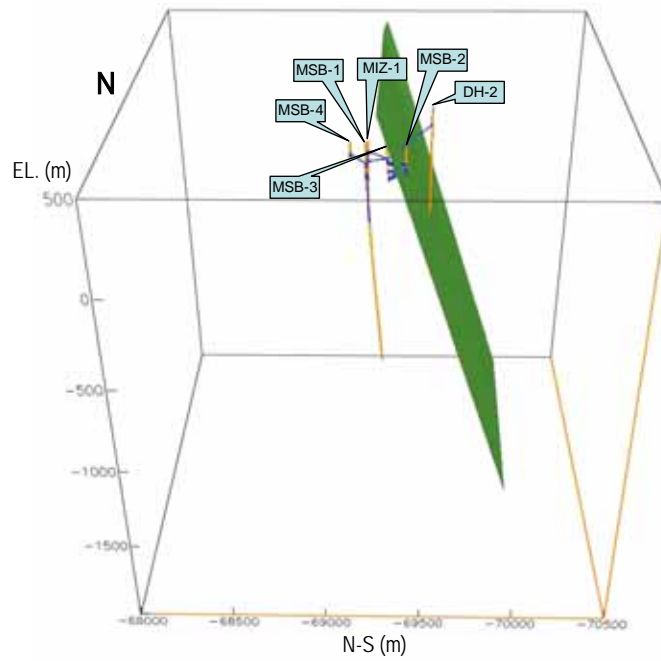


図 A1-10 水理学的な連続性とモデル化対象断層の位置 (IF_SB2a_08)

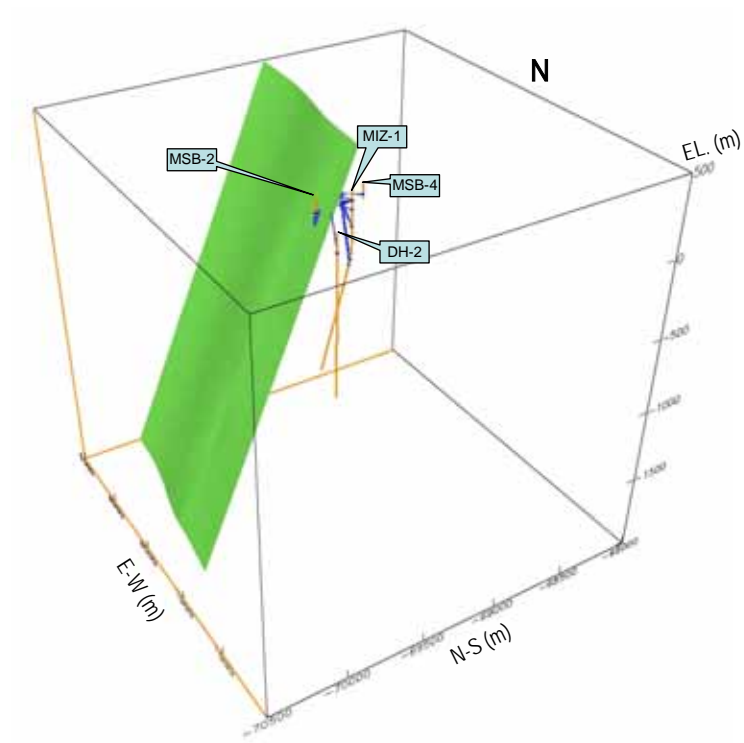




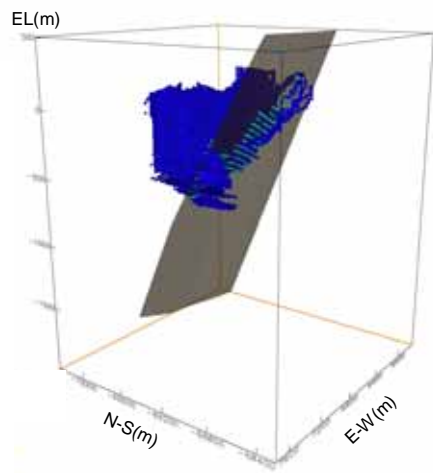
図 A1-11 水理学的な連続性とモデル化対象断層の位置 (IF_SB1_09)

Appendix-2 : 解析ケースにおける地下水の移行経路パターン図

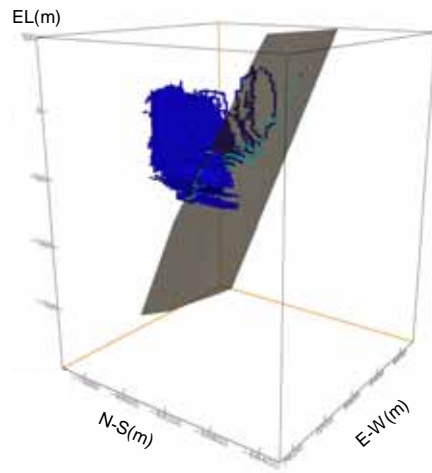
図中の移行経路の分類は以下を参照

(移行経路の分類)	
	堆積岩(瀬戸層群, 瑞浪層群)
	花崗岩上部割れ目帯
	花崗岩下部割れ目低密度帯
	月吉断層および月吉断層に伴う割れ目帯
	その他の断層

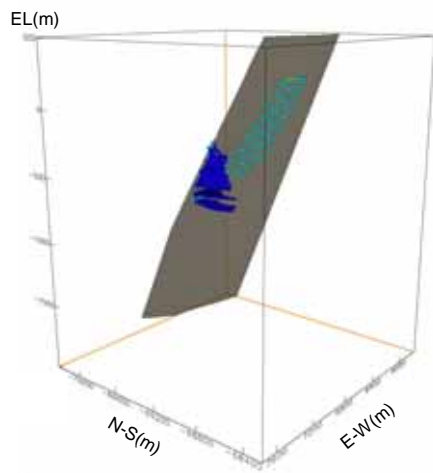
(1) -LSFD-EW-LSFD



(2) -LSFD-EW-LSFD-EW-LSFD



(3) -LSFD-EW



(4) -LSFD-EW-NNW

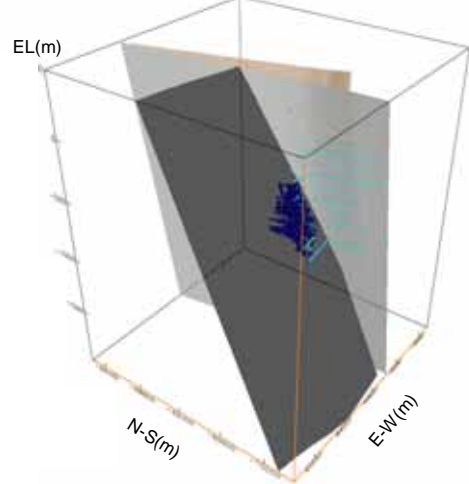
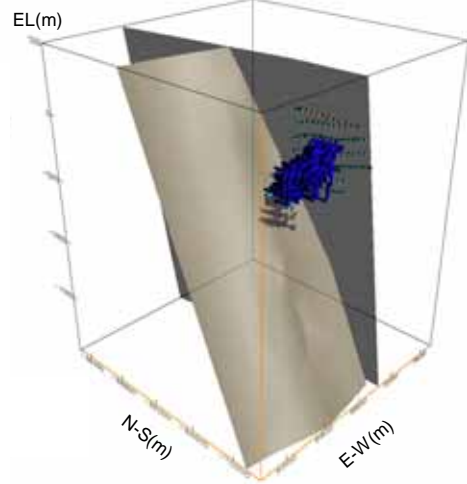
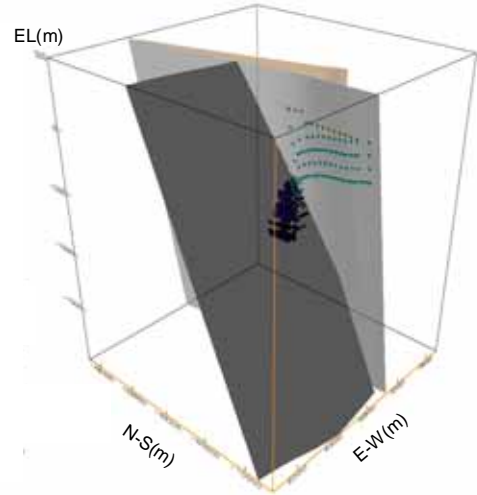


図 A2-1 地下水の移行経路パターン（解析ケース：Base）

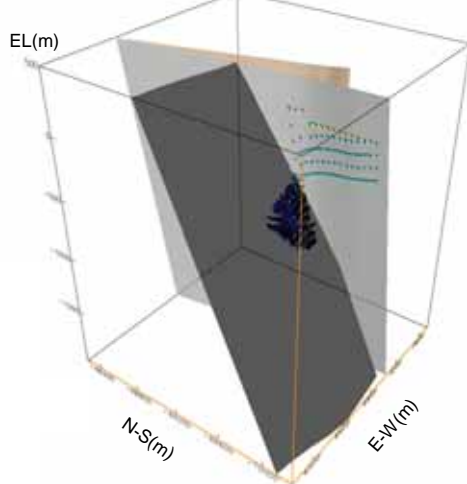
(1) -LSFD-EW-LSFD-NNW



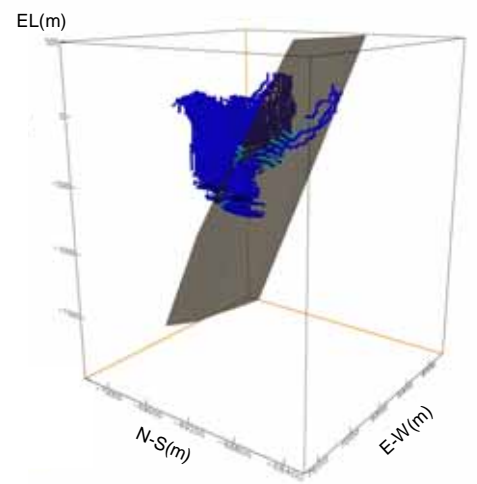
(2) -LSFD-NNW-EW-NNW



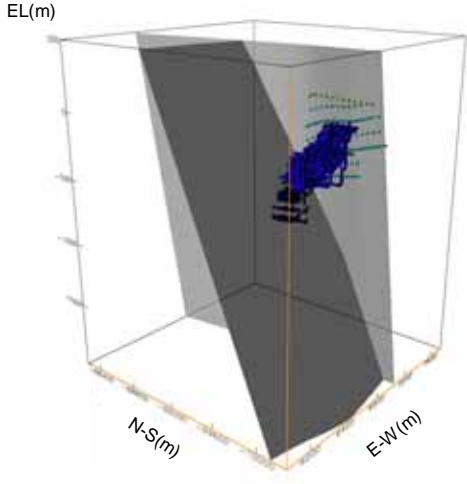
(3) -LSFD-EW-NNW



(4) -LSFD-EW-LSFD



(5) -LSFD-NNW-EW-LSFD-NNW



(6) -LSFD-NNW-EW-NNW-EW-NNW

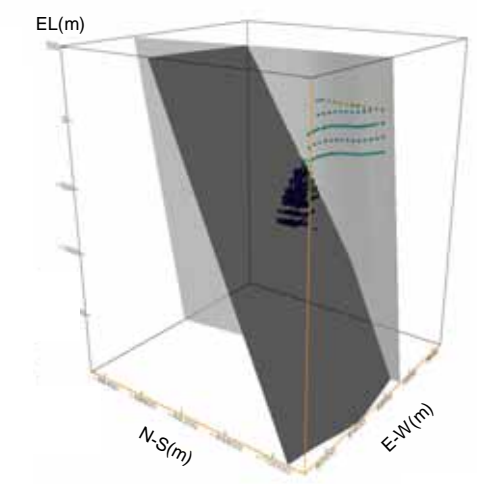
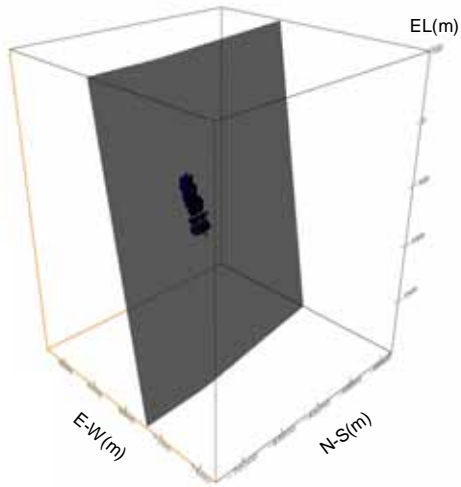
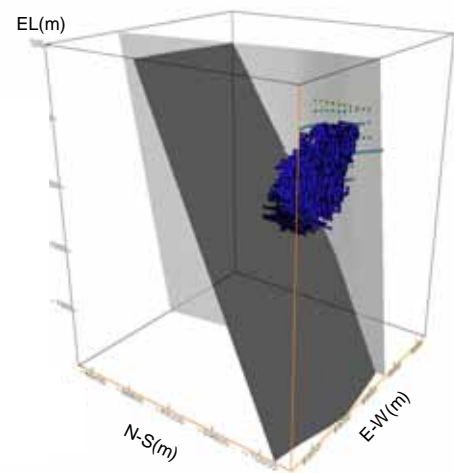


図 A2-2(1) 地下水の移行経路パターン (解析ケース : NNW_high)

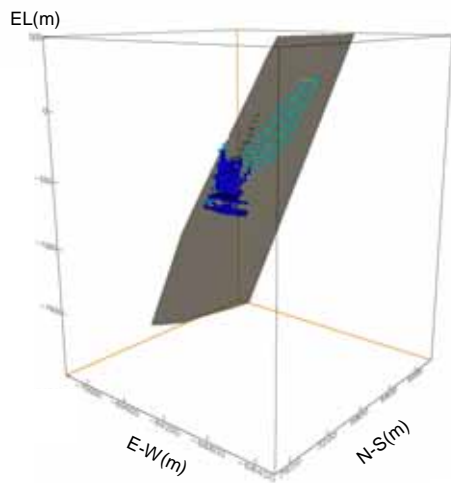
(7) -LSFD-NNW



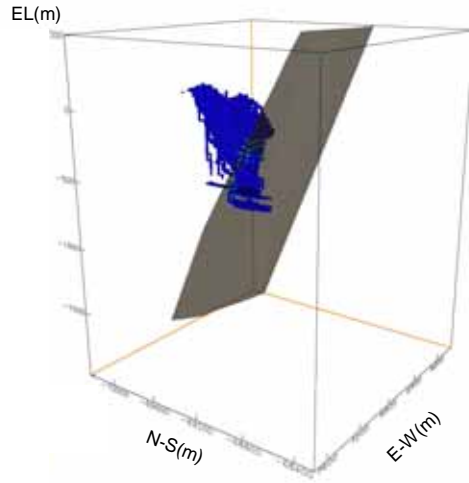
(8) -LSFD-EW-LSFD-EW-LSFD-NNW



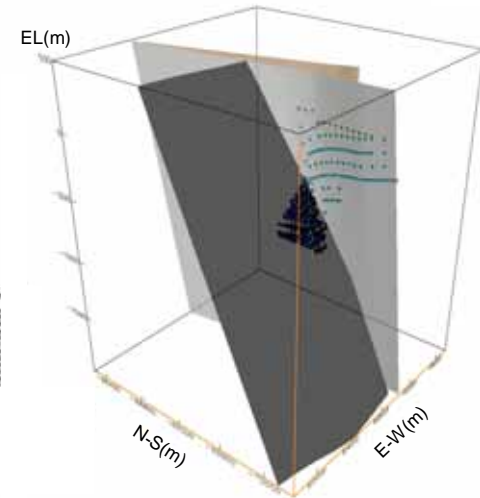
(9) -LSFD-EW



(10) -LSFD-EW-LSFD-EW-LSFD



(11) -LSFD-NNW-LSFD-EW-NNW



(12) -LSFD-NNW-EW

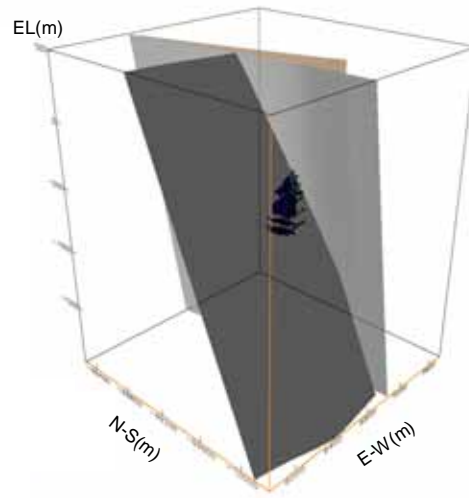
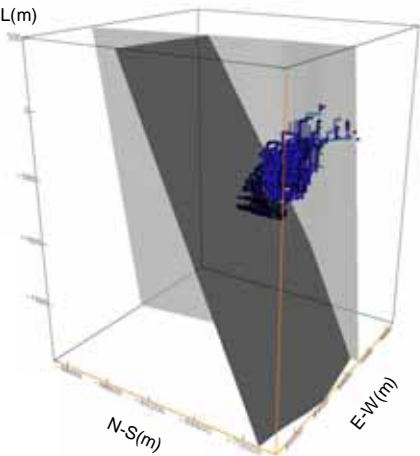


図 A2-2(2) 地下水の移行経路パターン (解析ケース : NNW_high)

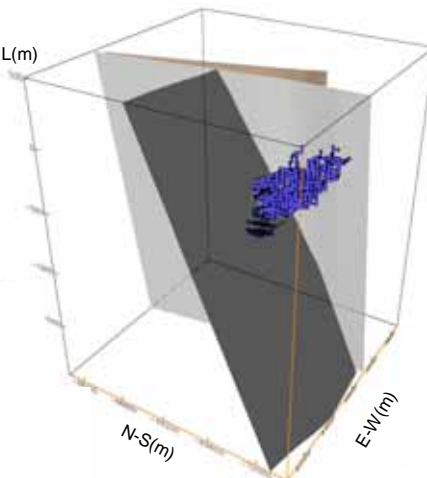
(13) -LSFD-EW-LSFD-NNW-LSFD

EL(m)



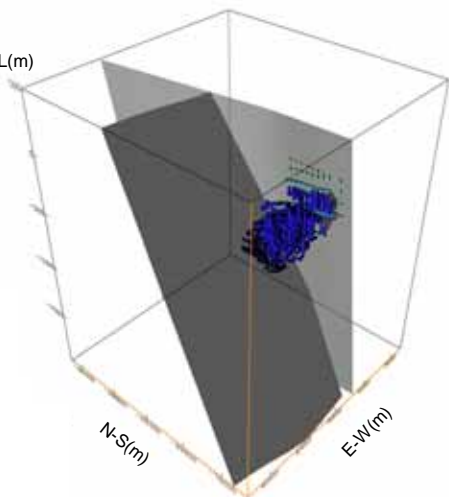
(14) -LSFD-NNW-EW-LSFD

EL(m)



(15) -LSFD-EW-LSFD-NNW-LSFD-NNW

EL(m)



(16) -LSFD-NNW-LSFD-EW-LSFD-NNW

EL(m)

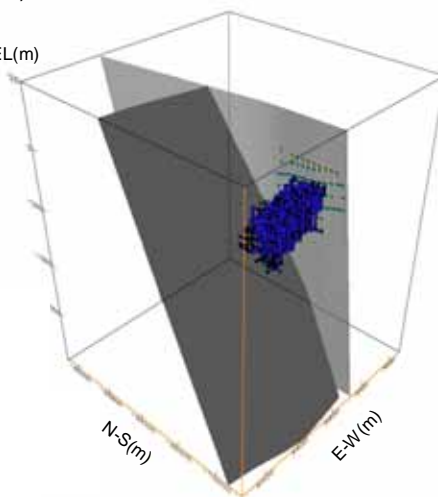
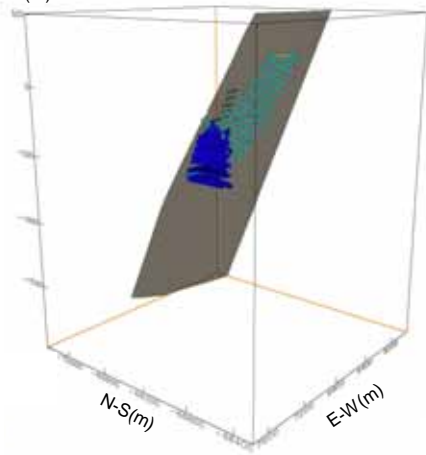
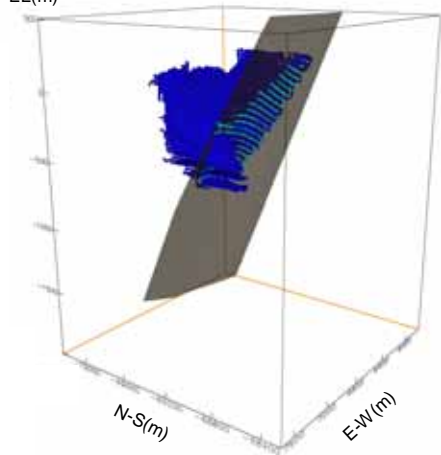


図 A2-2(3) 地下水の移行経路パターン (解析ケース : NNW_high)

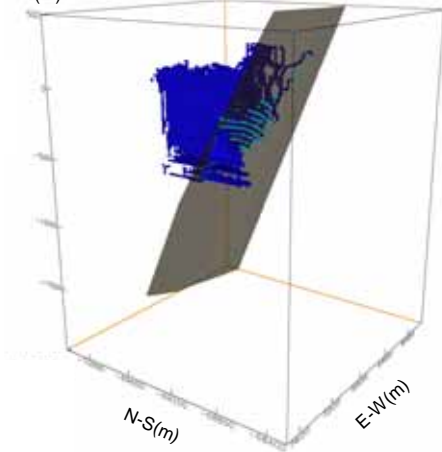
(1) -LSFD-EW
EL(m)



(2) -LSFD-EW-LSFD
EL(m)



(3) -LSFD-EW-LSFD-EW-LSFD
EL(m)



(4) -LSFD-EW-NNW
EL(m)

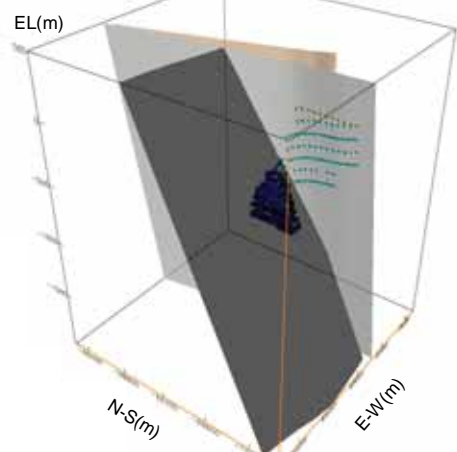
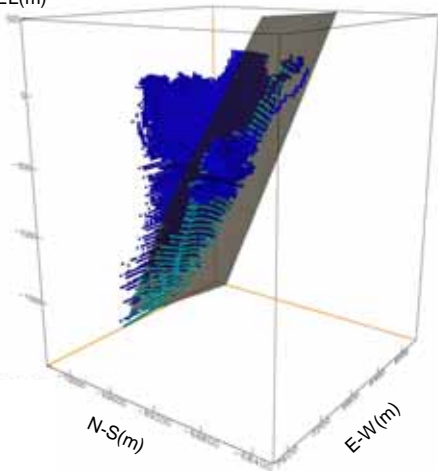


図 A2-3 地下水の移行経路パターン（解析ケース：NW_high）

(1) -LSFD-EW-LSFD

EL(m)



(2) -LSFD-EW

EL(m)

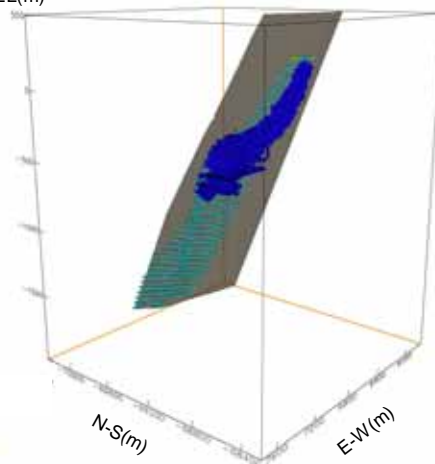
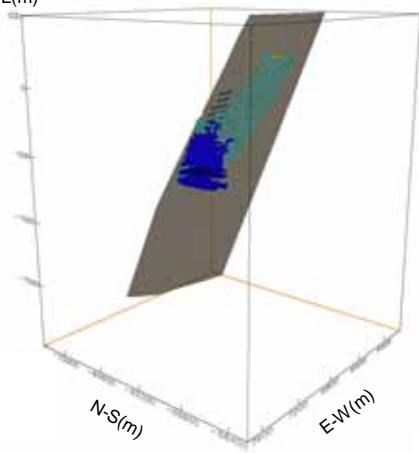


図 A2-4 地下水の移行経路パターン（解析ケース：NE_high）

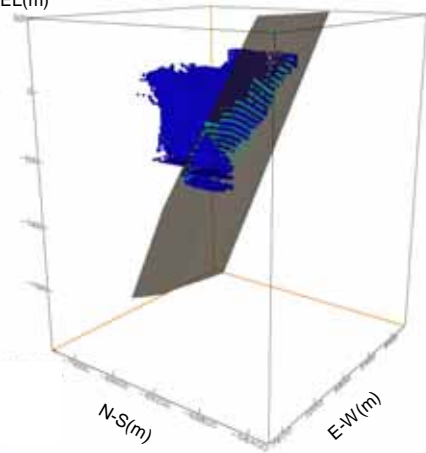
(1) -LSFD-EW

EL(m)



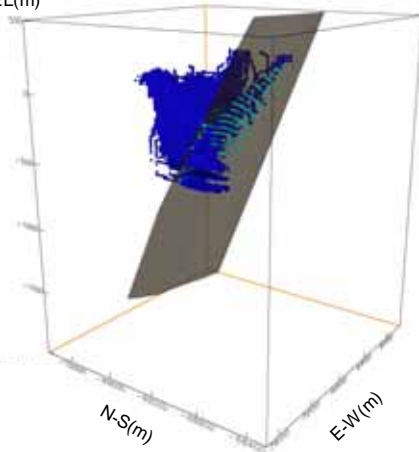
(2) -LSFD-EW-LSFD

EL(m)



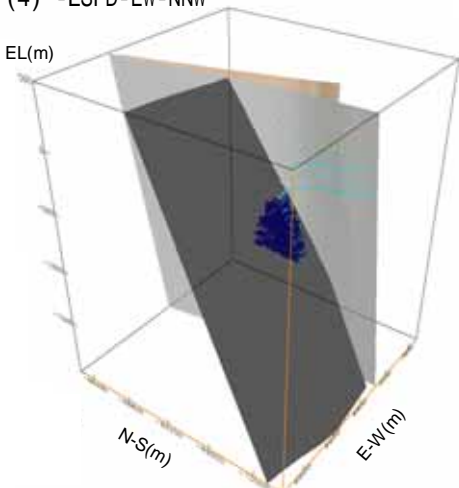
(3) -LSFD-EW-LSFD-EW-LSFD

EL(m)



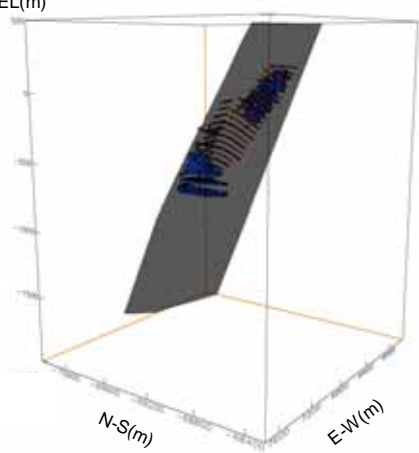
(4) -LSFD-EW-NNW

EL(m)



(5) -LSFD-EW-LSFD-EW

EL(m)



(6) -LSFD-EW-LSFD-NNW

EL(m)

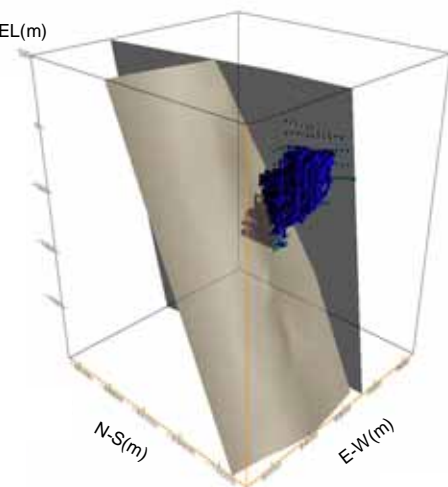


図 A2-5(1) 地下水の移行経路パターン (解析ケース : NNW_NW_high)

(7) -LSFD-NNW-EW-NNW

EL(m)

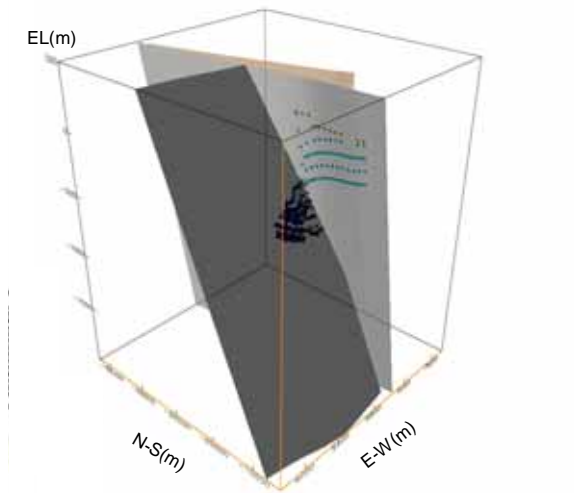
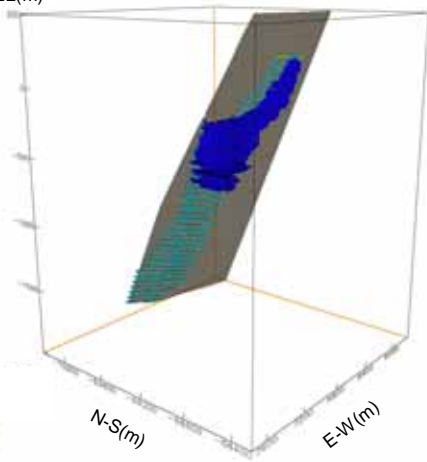


図 A2-5(2) 地下水の移行経路パターン (解析ケース : NNW_NW_high)

(1) -LSFD-EW

EL(m)



(2) -LSFD-EW-LSFD

EL(m)

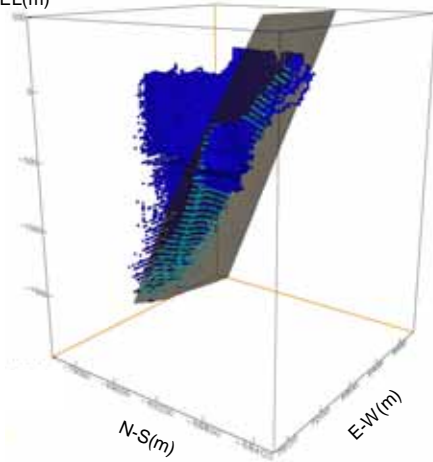
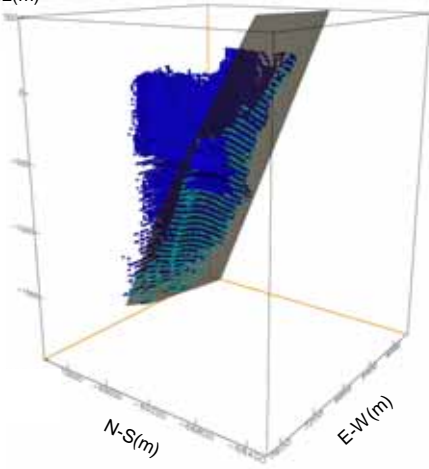


図 A2-6 地下水の移行経路パターン（解析ケース：NNW_NE_high）

(1) -LSFD-EW-LSFD

EL(m)



(2) -LSFD-EW

EL(m)

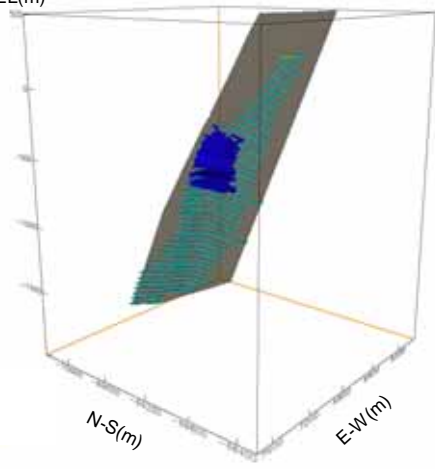
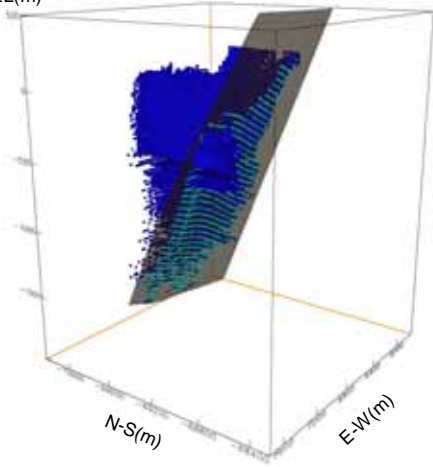


図 A2-7 地下水の移行経路パターン（解析ケース：NW_NE_high）

(1) -LSFD-EW-LSFD

EL(m)



(2) -LSFD-EW

EL(m)

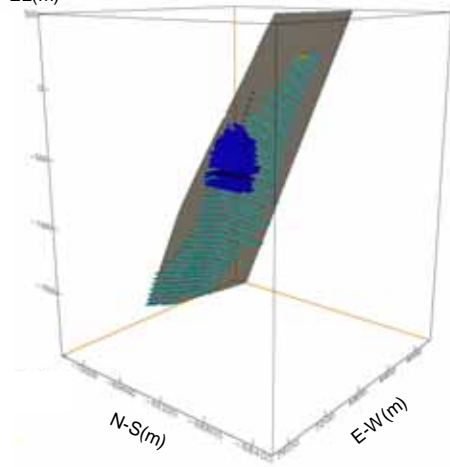


図 A2-8 地下水の移行経路パターン（解析ケース：All_high）

Appendix-3 : パーティクルトラッキング解析結果

(1) データ一覧

解析ケース	ファイル名
Base	particle_track_base.faout
NNW_high	particle_track_NNW_high.faout
NW_high	particle_track_NW_high.faout
NE_high	particle_track_NE_high.faout
NNW_NW_high	particle_track_NNW_NW_high.faout
NNW_NE_high	particle_track_NNW_NE_high.faout
NW_NE_high	particle_track_NW_NE_high.faout
All_high	particle_track_All_high.faout

(2) ファイル形式

項目	説明	備考
t	The total travel time [s]	-
x	The coordinates (E-W) [m]	旧日本測地系 (Tokyo_Datum)
y	The coordinates (N-S) [m]	
z	The coordinates [E.L.m]	-
ts	The time for the step [s]	=len/vel
dist	The total path-length so far [m]	-
len	The length of the step [m]	that lead to the given position
vel	Pore-velocity for the step [m/s]	=flow/area
Dvel	Darcy velocity for the step [m/s]	-
flow	The volumetric flow rate for the step [m ³ /s]	-
area	The cross-sectional area for the step [m ²]	-
material	The material at location	as a name
hcond	The hydraulic conductivity for the step [m/s]	harmonic average
por	The porosity for the step [-]	average
ap	The aperture for the step [m]	0 if porous, average
cumF	Cumulative F-ratio. This is the time-integrated specific-surface-area(per unit volume of pore-water). Thus, for each step the cumulative F-ratio is increased by the travel-time divided by half the aperture. For porous legs there is no specific surface surface and so the cumulative F-coefficient is not changed.	-