

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）

（研究報告）

2005年2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2）

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2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1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以降の調査対象の抽出を目的として、断層の透水性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1からステップ2への調査の進展に伴い、地下水流動特性に関する理解度が向上し、水理地質構造モデルを更新することができた。
- 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た。
- 3) 調査の進展に伴って繰り返しアプローチを実施することの重要性が示された。
- 4) NNW系、NW系およびEW系断層が研究所用地周辺の地下水流動場に影響を及ぼすことが示された。
- 5) 花崗岩の下部割れ目低密度帯の透水性が、研究所用地周辺の地下水流動特性に影響を及ぼすことが示された。

また、ステップ3以降の重要な調査項目として、以下が抽出された。

- 1) NNW系、NW系、EW系断層の地質学的・水理学的特性の把握
- 2) 花崗岩の下部割れ目低密度帯の透水性の把握
- 3) 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

* 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 (Step 2)

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 Step 2, 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 understanding of groundwater flow is enhanced, and the hydrogeological model has renewed;
- 2) The importance of faults as major groundwater flow pathways has been demonstrated;
- 3) The importance of iterative approach as progress of investigations has been demonstrated;
- 4) Geological and hydraulic characteristics of faults with orientation of NNW, NW and NE were shown to be especially significant;
- 5) The hydraulic properties of the Lower Sparsely Fractured Domain (LSFD) significantly influence the groundwater flow.

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

- 1) Geological and hydraulic characteristics of NNW, NW and NE trending faults;
- 2) Hydraulic properties of the LSFD;
- 3) More accuracy upper and lateral boundary conditions of the site scale model.

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

^{**} NESI Inc.

目次

| | |
|---|------|
| 1 . はじめに | 1 |
| 2 . 地形・地質の概要 | 2 |
| 3 . モデル化・解析領域 | 4 |
| 4 . モデル化・解析の手順 | 5 |
| 4.1 モデル化・解析の流れ | 5 |
| 4.2 使用データ | 5 |
| 5 . 水理地質構造モデルの構築 | 5 |
| 5.1 水理地質構造のモデル化要素の抽出 | 5 |
| 5.2 透水性の設定 | 7 |
| 5.3 地下水面形状の設定 | 10 |
| 5.4 境界条件の設定 | 10 |
| 5.5 水理地質構造モデルの構築 | 11 |
| 6 . 地下水流動解析 | 11 |
| 6.1 地下水流動解析コード | 11 |
| 6.2 地下水流動解析ケース | 12 |
| 6.3 地下水流動解析結果 | 13 |
| 6.3.1 モデル化・解析領域における全水頭分布 | 13 |
| 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 | 22 |
| 6.3.3 地下水の移行経路 | 26 |
| 6.3.4 地下水のダルシー流速 | 41 |
| 7 . 考 察 | 43 |
| 8 . まとめと今後の課題 | 45 |
| 参考文献 | 47 |
| Appendix-1 : パーティクルトラッキング解析における パーティクル数の妥当性の確認 | A1-1 |
| Appendix-2 : 解析ケースにおける地下水の移行経路パターン図 | A2-1 |
| Appendix-3 : パーティクルトラッキング解析結果 | A3-1 |

目 次

| | | |
|-----|--------------------------------|----|
| 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 | 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 | 3 |
| 図5 | サイトスケールにおけるモデル化・解析領域 | 4 |
| 図6 | 検討フロー | 5 |
| 図7 | ステップ2における地質構造モデル | 6 |
| 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2） | 6 |
| 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2） | 7 |
| 図10 | 断層の方向性による分類図 | 9 |
| 図11 | 三次元水理地質構造モデル（表1,表2の透水性適用） | 11 |
| 図12 | 全水頭分布図（解析ケース：Base） | 14 |
| 図13 | 全水頭分布図（解析ケース：NE_high） | 14 |
| 図14 | 全水頭分布図（解析ケース：NNW_high） | 15 |
| 図15 | 全水頭分布図（解析ケース：NW_high） | 15 |
| 図16 | 全水頭分布図（解析ケース：NE_NNW_high） | 16 |
| 図17 | 全水頭分布図（解析ケース：NE_NW_high） | 16 |
| 図18 | 全水頭分布図（解析ケース：NE_high_anEW） | 17 |
| 図19 | 全水頭分布図（解析ケース：NNW_high_anEW） | 17 |
| 図20 | 全水頭分布図（解析ケース：NW_high_anEW） | 18 |
| 図21 | 全水頭分布図（解析ケース：NE_NNW_high_anEW） | 18 |
| 図22 | 全水頭分布図（解析ケース：NE_NW_high_anEW） | 19 |
| 図23 | 全水頭分布図（解析ケース：All_aniso） | 19 |
| 図24 | 全水頭分布図（解析ケース：LSFD_low） | 20 |
| 図25 | ステップ1とステップ2の全水頭分布比較図 | 21 |
| 図26 | ボーリング孔における全水頭の実測値と解析値の比較 | 24 |
| 図27 | ボーリング孔におけるステップ1とステップ2の解析値の比較 | 25 |
| 図28 | 地下水の移行経路（解析ケース：Base） | 27 |
| 図29 | 地下水の移行経路（解析ケース：NE_high） | 28 |
| 図30 | 地下水の移行経路（解析ケース：NNW_high） | 29 |
| 図31 | 地下水の移行経路（解析ケース：NW_high） | 30 |
| 図32 | 地下水の移行経路（解析ケース：NE_NNW_high） | 31 |
| 図33 | 地下水の移行経路（解析ケース：NE_NW_high） | 32 |
| 図34 | 地下水の移行経路（解析ケース：NE_high_anEW） | 33 |
| 図35 | 地下水の移行経路（解析ケース：NNW_high_anEW） | 34 |
| 図36 | 地下水の移行経路（解析ケース：NW_high_anEW） | 35 |

| | | |
|-----------|---------------------------------------|-------|
| 図37 | 地下水の移行経路（解析ケース：NE_NNW_high_anEW） | 36 |
| 図38 | 地下水の移行経路（解析ケース：NE_NW_high_anEW） | 37 |
| 図39 | 地下水の移行経路（解析ケース：All_aniso） | 38 |
| 図40 | 地下水の移行経路（解析ケース：LSFD_low） | 39 |
| 図41 | 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42 | 地質構造要素におけるダルシー流速の比較 | 42 |
| 図A1-1 | パーティクル数と地下水の移行経路 （パーティクル数：100個） | A1-3 |
| 図A1-1 | パーティクル数と地下水の移行経路 （パーティクル数：1,000個） | A1-3 |
| 図A1-1 | パーティクル数と地下水の移行経路 （パーティクル数：5,000個） | A1-4 |
| 図A1-1 | パーティクル数と地下水の移行経路 （パーティクル数：10,000個） | A1-4 |
| 図A2-1(1) | 地下水の移行経路パターン（解析ケース：Base） | A2-2 |
| 図A2-1(2) | 地下水の移行経路パターン（解析ケース：Base） | A2-3 |
| 図A2-2(1) | 地下水の移行経路パターン（解析ケース：NE_high） | A2-4 |
| 図A2-2(2) | 地下水の移行経路パターン（解析ケース：NE_high） | A2-5 |
| 図A2-3(1) | 地下水の移行経路パターン（解析ケース：NNW_high） | A2-6 |
| 図A2-4(1) | 地下水の移行経路パターン（解析ケース：NW_high） | A2-7 |
| 図A2-4(2) | 地下水の移行経路パターン（解析ケース：NW_high） | A2-8 |
| 図A2-4(3) | 地下水の移行経路パターン（解析ケース：NW_high） | A2-9 |
| 図A2-5(1) | 地下水の移行経路パターン（解析ケース：NE_NNW_high） | A2-10 |
| 図A2-6(1) | 地下水の移行経路パターン（解析ケース：NE_NW_high） | A2-11 |
| 図A2-6(2) | 地下水の移行経路パターン（解析ケース：NE_NW_high） | A2-12 |
| 図A2-6(3) | 地下水の移行経路パターン（解析ケース：NE_NW_high） | A2-13 |
| 図A2-7(1) | 地下水の移行経路パターン（解析ケース：NE_high_anEW） | A2-14 |
| 図A2-8(1) | 地下水の移行経路パターン（解析ケース：NNW_high_anEW） | A2-15 |
| 図A2-9(1) | 地下水の移行経路パターン（解析ケース：NW_high_anEW） | A2-16 |
| 図A2-9(2) | 地下水の移行経路パターン（解析ケース：NW_high_anEW） | A2-17 |
| 図A2-9(3) | 地下水の移行経路パターン（解析ケース：NW_high_anEW） | A2-18 |
| 図A2-9(4) | 地下水の移行経路パターン（解析ケース：NW_high_anEW） | A2-19 |
| 図A2-9(5) | 地下水の移行経路パターン（解析ケース：NW_high_anEW） | A2-20 |
| 図A2-9(6) | 地下水の移行経路パターン（解析ケース：NW_high_anEW） | A2-21 |
| 図A2-10(1) | 地下水の移行経路パターン（解析ケース：NE_NNW_high_anEW） | A2-22 |
| 図A2-11(1) | 地下水の移行経路パターン（解析ケース：NE_NW_high_anEW） | A2-23 |
| 図A2-11(2) | 地下水の移行経路パターン（解析ケース：NE_NW_high_anEW） | A2-24 |
| 図A2-11(3) | 地下水の移行経路パターン（解析ケース：NE_NW_high_anEW） | A2-25 |

| | | | |
|-----------|-------------------------------------|-----|-------|
| 図A2-11(4) | 地下水の移行経路パターン（解析ケース：NE_NW_high_anEW） | ・・・ | A2-26 |
| 図A2-11(5) | 地下水の移行経路パターン（解析ケース：NE_NW_high_anEW） | ・・・ | A2-27 |
| 図A2-11(6) | 地下水の移行経路パターン（解析ケース：NE_NW_high_anEW） | ・・・ | A2-28 |
| 図A2-12(1) | 地下水の移行経路パターン（解析ケース：All_aniso） | ・・・ | A2-29 |
| 図A2-13(1) | 地下水の移行経路パターン（解析ケース：LSFD_low） | ・・・ | A2-30 |

表 目 次

| | | |
|----|---------------------------------|----|
| 表1 | 地層に設定した透水性 | 8 |
| 表2 | 断層に設定した透水性 | 10 |
| 表3 | 地下水流動解析ケース | 12 |
| 表4 | ボーリング孔における全水頭の実測値と解析値 | 23 |
| 表5 | ボーリング孔におけるステップ1とステップ2の解析値 | 25 |
| 表6 | 解析ケースにおける地下水の移行経路パターン | 40 |
| 表7 | 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1においては、断層の透水性に着目した地下水流動解析の結果、NNW系断層およびNE系断層の透水性が研究用地周辺の全水頭分布や地下水の移行経路に与える影響が大きいことが明らかとなり、NNW系断層およびNE系断層の地質学的・水理学的特性の評価をステップ2での調査研究の課題として抽出した²⁾。

本検討では、ステップ1の調査研究結果に基づき、ステップ2で新たに掘削した浅層ボーリング（MSB1～4号孔）および既存ボーリング（DH-2号孔）を用いた地質・地質構造の調査研究によって更新された地質構造モデル³⁾およびこれらのボーリング調査で取得された透水性データに基づく水理地質構造のモデル化および地下水流動解析（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1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以降の調査対象の抽出である。

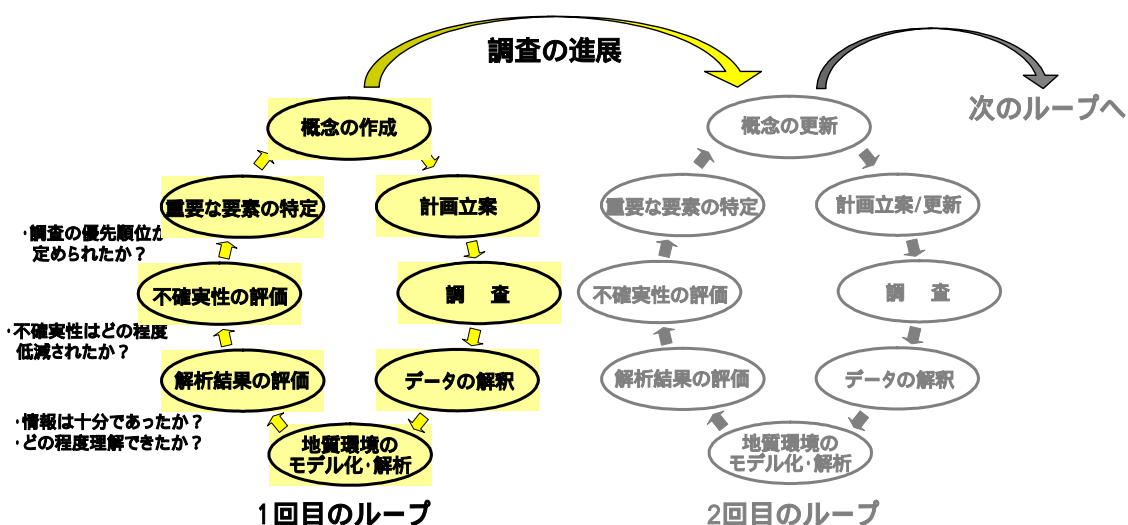


図1 繰り返しアプローチ

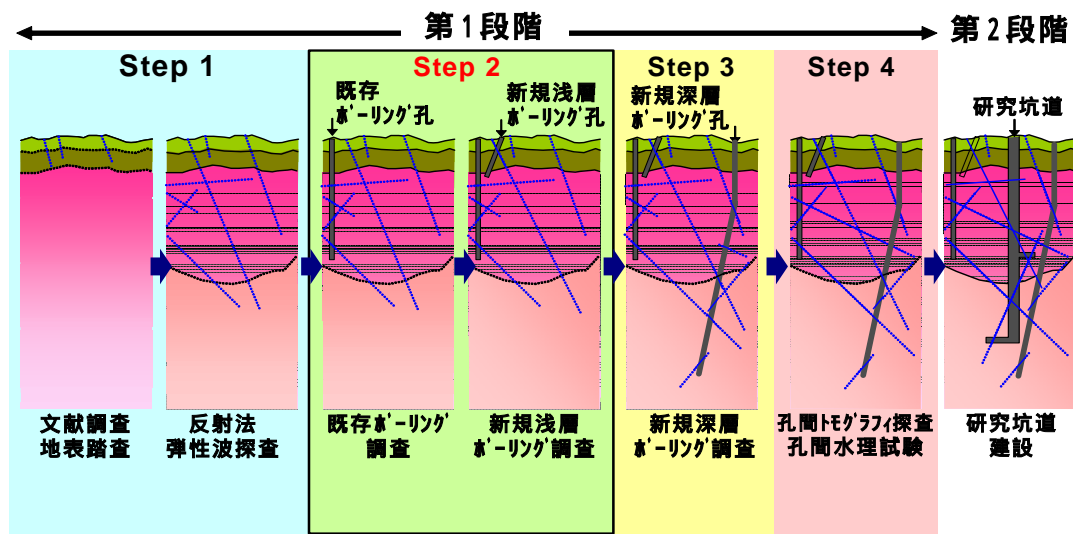


図2 第1段階における調査研究の流れ

2. 地形・地質の概要

(1) 地形概要

瑞浪超深地層研究所用地（以下，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驒山地，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⁴⁾。

(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⁵⁾（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(図4)

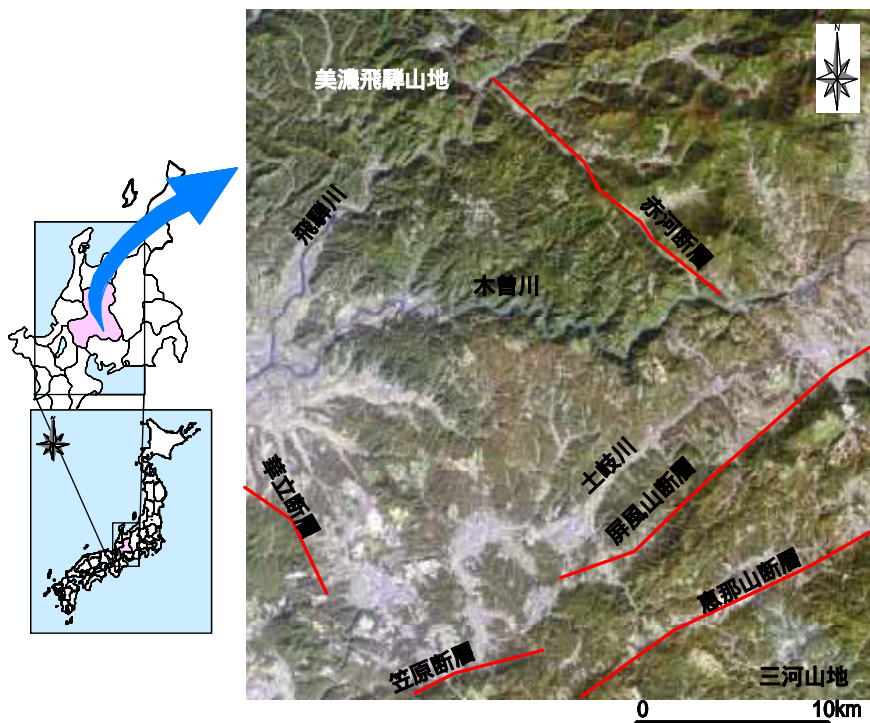


図3 岐阜県東濃地域の地形および断層

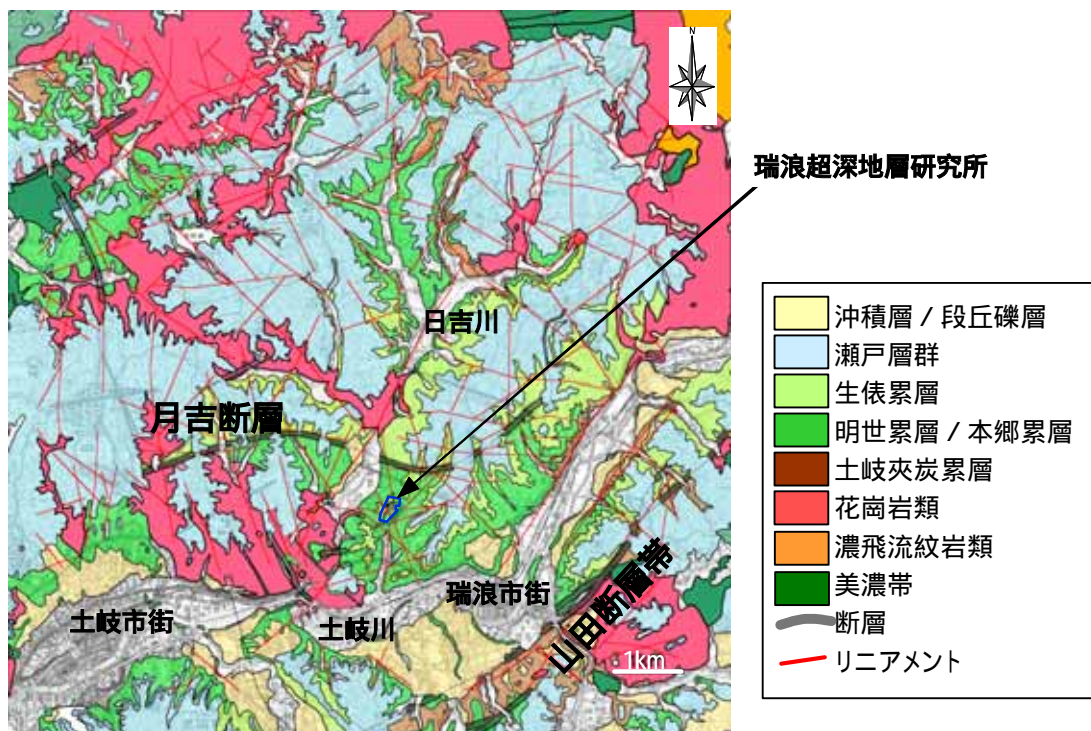


図4 岐阜県東濃地域の地表地質およびリニアメント分布(文献5)に追記)

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⁶⁾(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として北側には月吉断層があり、西側には日吉川沿いのリニアメントが判読されている(図5右図)。これらの断層およびリニアメントから推定される不連続構造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⁶⁾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および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。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右図)。

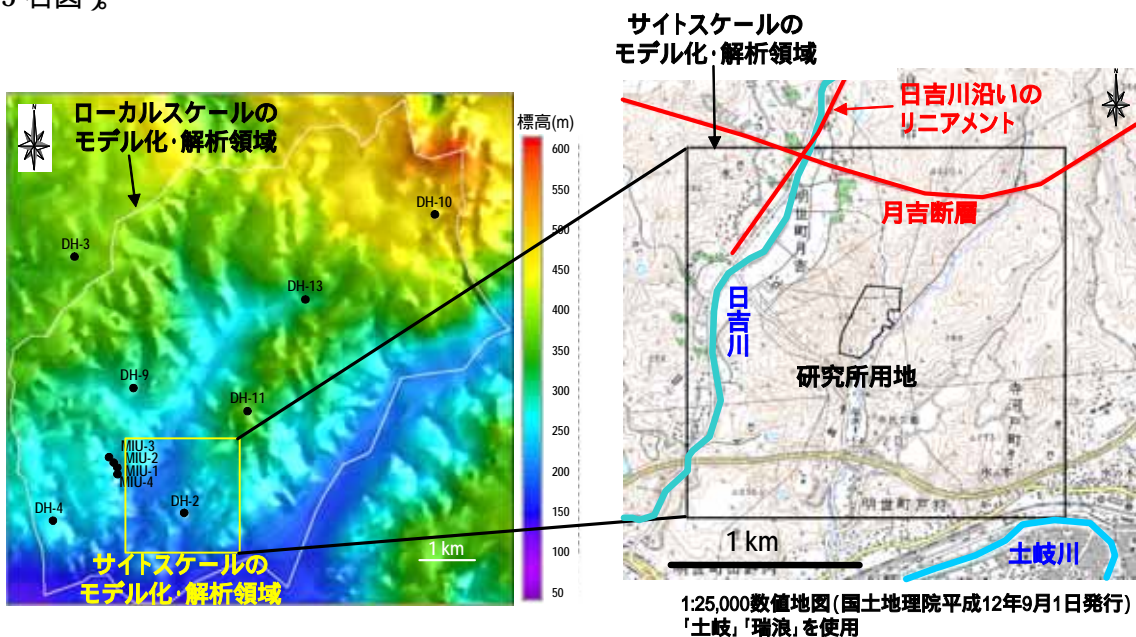


図5 サイトスケールにおけるモデル化・解析領域

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 2 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 2 の調査結果を反映した地質構造モデルおよび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 1 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 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。

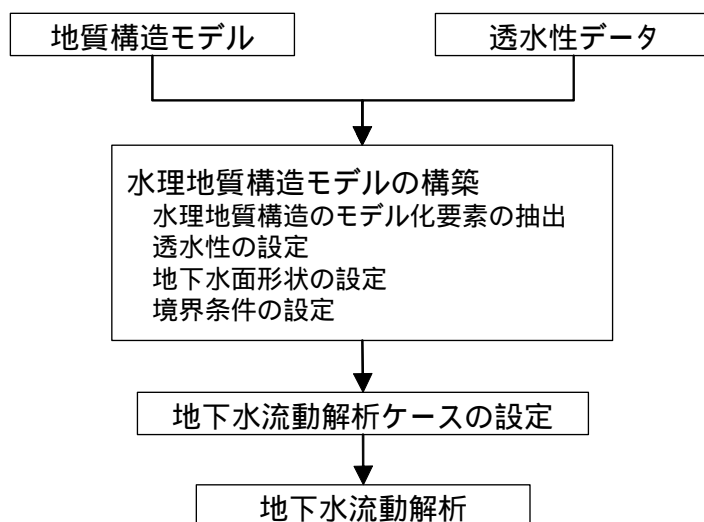


図 6 検討フロー

4.2 使用データ

本検討は、超深地層研究所計画の第 1 段階のステップ 2 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⁶⁻¹⁰⁾、正馬様用地での調査結果¹¹⁻¹³⁾ならびに、平成 14 年から研究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^{10,14)}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 2 における地質構造モデル³⁾ (図 7) に基づき構築した。地下水流動解析を実施する際に、地質構造モデル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、断層の長さ按比例し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、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、ステップ 1 での地下

水流動解析結果から、研究所用地周辺の地下水流動場に大きな影響を及ぼすことが明らかとなった NNW 系・NE 系断層を中心に、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。

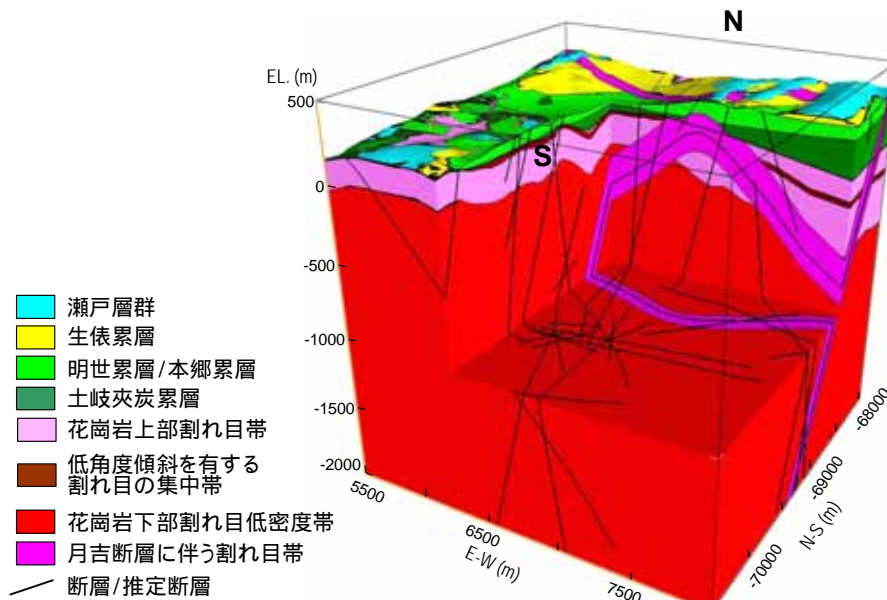


図 7 ステップ 2 における地質構造モデル³⁾

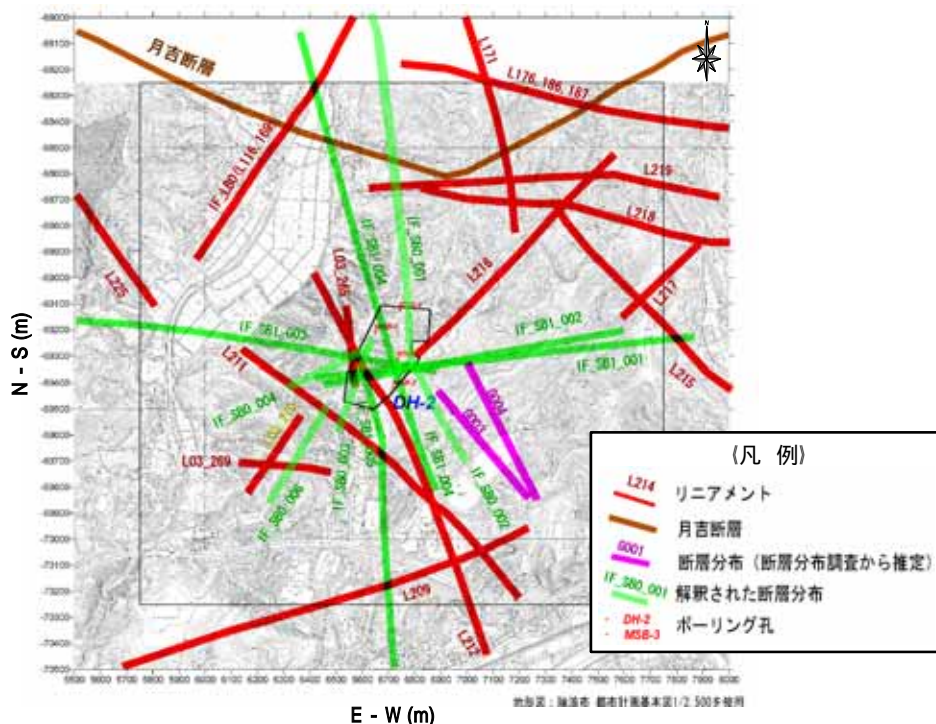
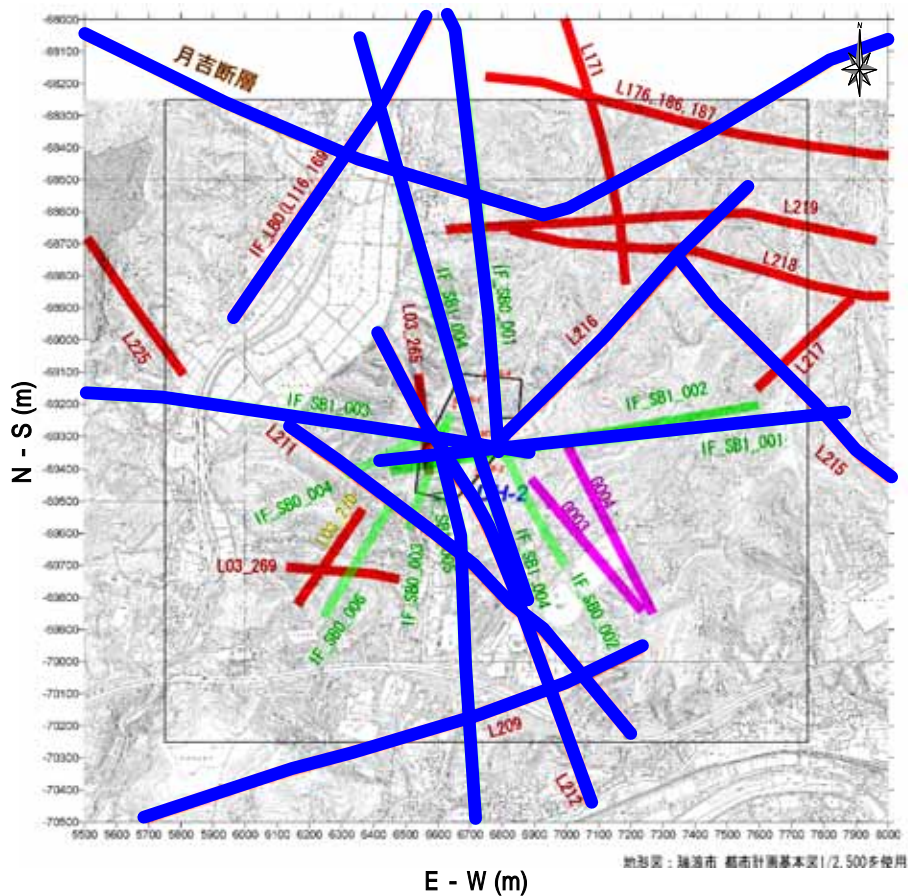


図 8 地質構造モデルにおけるモデル化対象断層（ステップ 2）³⁾



青色：モデル化対象断層

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2）

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1 からステップ2 への調査の進捗に伴う情報量の増加によって、瑞浪層群中の生俵累層、明世累層/本郷累層、花崗岩中の上部割れ目帯および下部割れ目低密度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、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。

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) の対数值 | |
|----------------------------|-----------------|-------|
| | 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 | -7.4 | -9.4 |
| 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傾斜を有する割れ目集中帯 | -5.1 | -5.1 |
| 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¹⁵⁾および正馬様用地を対象とした地下水流動解析結果^{16~18)}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は任意に1mと設定し、これまでの地下水流動解析結果^{16~18)}に基づいて透水係数を設定した。

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、大部分の断層の透水性は把握されていない。そこで、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、以下のように断層幅および透水性を設定した。

a)断層幅の設定

DH-2号孔の調査結果⁶⁾から推定された4本の断層(NNW系断層:IF_SB1_005,EW系断層:IF_SB1_001,IF_SB1_002,IF_SB1_003)の幅を基に、断層の幅を3mと設定した。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(IF_LB0(L116_169))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でモデル化した断層の幅と同様に8mと設定した¹⁹⁾。

b)透水性の設定

DH-2号孔における水理試験結果⁶⁾より4本の断層(NNW系断層:IF_SB1_005,EW系断層:IF_SB1_001,IF_SB1_002,IF_SB1_003)の透水性データが取得されている。これらのデータに基づき、NNW系断層についてはIF_SB1_005断層の

透水性で代表させた。また、EW系断層については取得した3本の断層の透水係数が類似した値であったため、それらの平均値を設定した。

上記以外のNEおよびNW系断層については、透水性に関する情報が取得されていないため、モデル化・解析領域において代表的な断層である月吉断層の透水係数の値を適用した。なお、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、同等の規模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た。具体的には、断層幅を8mでモデル化しているため、その断層幅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。

図10に、断層の方向性により分類した断層分布を示す。また、表2に設定した断層の透水性を示す。

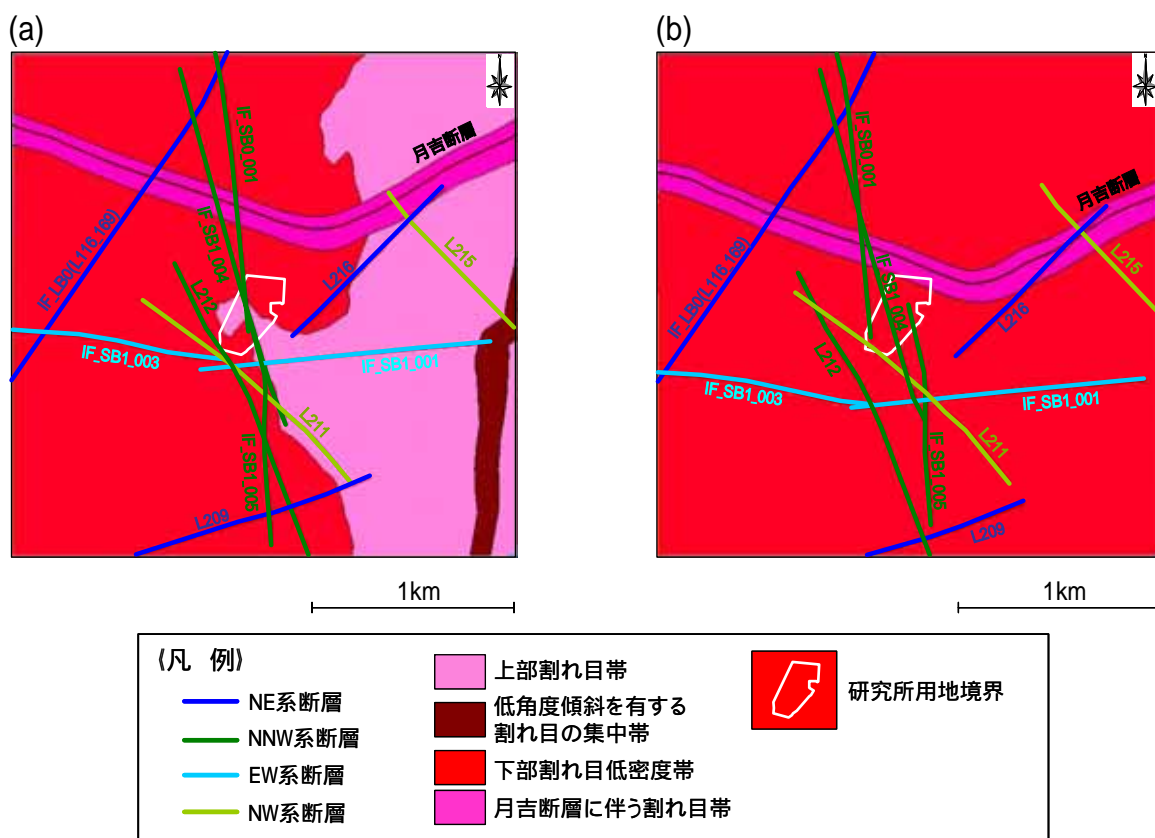


図10 断層の方向性による分類図

- (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

表2 断層に設定した透水性

| 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 ¹⁶⁻¹⁸⁾ 参考 | |
| 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 L216 | 3.0 | -11.0 | -6.4 | ・月吉断層と同様の透水性係数 |
| NNW系 | L212 | 3.0 | -11.0 | -4.9 | ・IF_SB1_005の透水係数 |
| | IF_SB0_001 | | | | |
| | IF_SB1_004 | | | | |
| EW系 | IF_SB1_001 | 3.0 | -4.0 | | ・下記断層の透水係数の平均値 IF_SB1_001：-4.0 IF_SB1_002：-4.0 IF_SB1_003：-3.9 透水係数 (m/s) の対数値 |
| | IF_SB1_003 | | | | |
| NW系 | L211 | 3.0 | -11.0 | -6.4 | ・月吉断層と同様の透水性係数 |
| | L215 | | | | |

5.3 地下水面形状の設定

本検討では、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¹⁹⁾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。

(1) 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。

(2) 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¹⁹⁾から得られた全水頭分布を側方境界条件として与えた。

(3) 下部境界条件

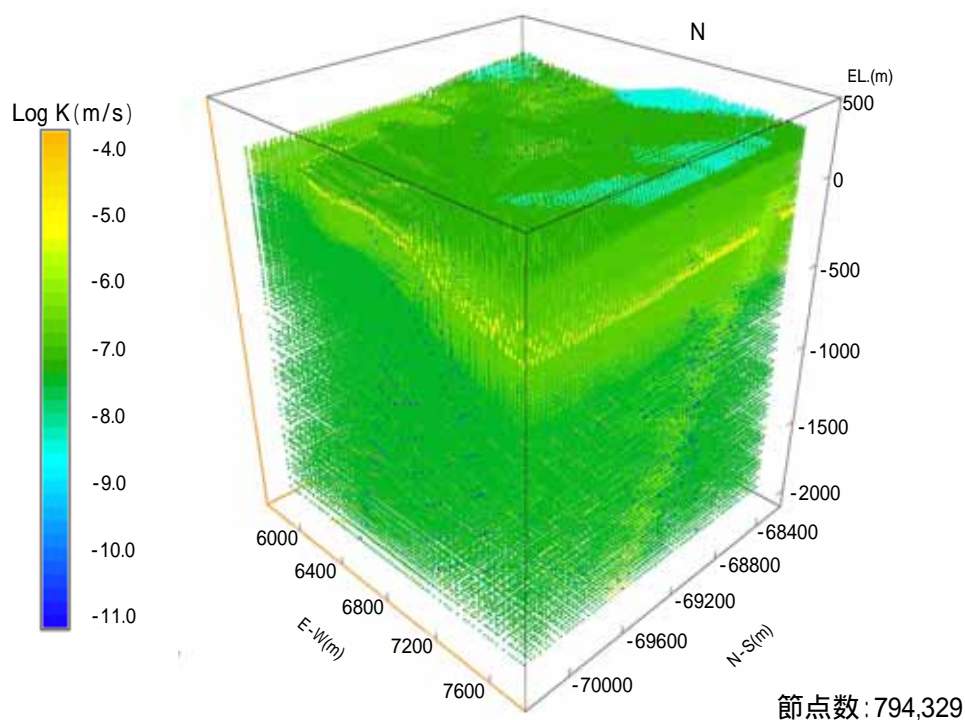
数10km四方の領域を対象とした地下水流動解析結果²⁰⁾から、研究所用地周辺の地下水流動系は標高-2km程度付近に流動系境界があり、研究所用地の地表から標高-2km

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。

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²¹⁾を用いて実施した。

図 11 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および可視化を支援する 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-Affinity²¹⁾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^{2,17,18)}から、断層は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であることが推定されている。そこで本検討では、水理地質構造モデルにモデル化した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2の設定値を基本ケース（解析ケース名：Base）として、大規模断層（月吉断層，IF_LB0(L116_169)）以外の断層が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および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て、12ケースを設定した。なお、ローカルスケールでの地下水流動解析で実施した解析ケースのうち、サイトスケールでのモデル化・解析領域のほぼ中央に位置するDH-2号孔の全水頭分布の実測値と解析値との標準偏差が大きい解析ケース（NNW_NW_high）は、検討の対象外とした。

また、水理地質構造モデルの大部分を占める花崗岩下部割れ目低密度帯の透水性が、研究所用地周辺の地下水流動特性に及ぼす影響の把握を目的として、表1に示す透水係数を基準として低透水性（統計処理時の標準偏差低下）に設定した感度解析を1ケース実施した。

表3に、本検討における地下水流動解析ケースを示す。

表3 地下水流動解析ケース

| 断層系統 | 解析ケース | Base | | NE_high | | NNW_high | | NW_high | | NE_NNW_high | | NE_NW_high | |
|----------|------------------|-------|------|---------|------|----------|------|---------|------|-------------|------|------------|------|
| | | C | P | C | P | C | P | C | P | C | P | C | P |
| 月吉断層の主要部 | | -11.0 | | -11.0 | | -11.0 | | -11.0 | | -11.0 | | -11.0 | |
| NE系 | IF_LB0(L116_169) | -11.0 | -5.2 | -11.0 | -5.2 | -11.0 | -5.2 | -11.0 | -5.2 | -11.0 | -5.2 | -11.0 | -5.2 |
| | L209 | -11.0 | -6.4 | -6.4 | -6.4 | -11.0 | -6.4 | -11.0 | -6.4 | -6.4 | -6.4 | -11.0 | -6.4 |
| | L216 | -11.0 | -6.4 | -6.4 | -6.4 | -11.0 | -6.4 | -11.0 | -6.4 | -6.4 | -6.4 | -11.0 | -6.4 |
| NNW系 | L212 | -11.0 | -4.9 | -11.0 | -4.9 | -4.9 | -4.9 | -11.0 | -4.9 | -4.9 | -4.9 | -11.0 | -4.9 |
| | IF_SB0_001 | -11.0 | -4.9 | -11.0 | -4.9 | -4.9 | -4.9 | -11.0 | -4.9 | -4.9 | -4.9 | -11.0 | -4.9 |
| | IF_SB1_004 | -11.0 | -4.9 | -11.0 | -4.9 | -4.9 | -4.9 | -11.0 | -4.9 | -4.9 | -4.9 | -11.0 | -4.9 |
| | IF_SB1_005 | -11.0 | -4.9 | -11.0 | -4.9 | -4.9 | -4.9 | -11.0 | -4.9 | -4.9 | -4.9 | -11.0 | -4.9 |
| EW系 | IF_SB1_001 | -4.0 | -4.0 | -4.0 | -4.0 | -4.0 | -4.0 | -4.0 | -4.0 | -4.0 | -4.0 | -4.0 | -4.0 |
| | IF_SB1_003 | -4.0 | -4.0 | -4.0 | -4.0 | -4.0 | -4.0 | -4.0 | -4.0 | -4.0 | -4.0 | -4.0 | -4.0 |
| NW系 | L211 | -11.0 | -6.4 | -11.0 | -6.4 | -11.0 | -6.4 | -6.4 | -6.4 | -11.0 | -6.4 | -6.4 | -6.4 |
| | L215 | -11.0 | -6.4 | -11.0 | -6.4 | -11.0 | -6.4 | -6.4 | -6.4 | -11.0 | -6.4 | -6.4 | -6.4 |
| LSFD | | -7.5 | | -7.5 | | -7.5 | | -7.5 | | -7.5 | | -7.5 | |
| B.C. | | Base | | Base | | NNW_high | | NW_high | | NNW_high | | NW_high | |

| 断層系統 | 解析ケース | NE_high_anEW | | NNW_high_anEW | | NW_high_anEW | | NE_NNW_high_anEW | | NE_NW_high_anEW | | All_aniso | | LSFD_low | |
|----------|------------------|--------------|------|---------------|------|--------------|------|------------------|------|-----------------|------|-----------|------|----------|------|
| | | C | P | C | P | C | P | C | P | C | P | C | P | C | P |
| 月吉断層の主要部 | | -11.0 | | -11.0 | | -11.0 | | -11.0 | | -11.0 | | -11.0 | | -11.0 | |
| NE系 | IF_LB0(L116_169) | -11.0 | -5.2 | -11.0 | -5.2 | -11.0 | -5.2 | -11.0 | -5.2 | -11.0 | -5.2 | -11.0 | -5.2 | -11.0 | -5.2 |
| | L209 | -6.4 | -6.4 | -11.0 | -6.4 | -11.0 | -6.4 | -6.4 | -6.4 | -11.0 | -6.4 | -11.0 | -6.4 | -11.0 | -6.4 |
| | L216 | -6.4 | -6.4 | -11.0 | -6.4 | -11.0 | -6.4 | -6.4 | -6.4 | -11.0 | -6.4 | -11.0 | -6.4 | -11.0 | -6.4 |
| NNW系 | L212 | -11.0 | -4.9 | -4.9 | -4.9 | -11.0 | -4.9 | -4.9 | -4.9 | -11.0 | -4.9 | -11.0 | -4.9 | -11.0 | -4.9 |
| | IF_SB0_001 | -11.0 | -4.9 | -4.9 | -4.9 | -11.0 | -4.9 | -4.9 | -4.9 | -11.0 | -4.9 | -11.0 | -4.9 | -11.0 | -4.9 |
| | IF_SB1_004 | -11.0 | -4.9 | -4.9 | -4.9 | -11.0 | -4.9 | -4.9 | -4.9 | -11.0 | -4.9 | -11.0 | -4.9 | -11.0 | -4.9 |
| | IF_SB1_005 | -11.0 | -4.9 | -4.9 | -4.9 | -11.0 | -4.9 | -4.9 | -4.9 | -11.0 | -4.9 | -11.0 | -4.9 | -11.0 | -4.9 |
| EW系 | IF_SB1_001 | -11.0 | -4.0 | -11.0 | -4.0 | -11.0 | -4.0 | -11.0 | -4.0 | -11.0 | -4.0 | -11.0 | -4.0 | -11.0 | -4.0 |
| | IF_SB1_003 | -11.0 | -4.0 | -11.0 | -4.0 | -11.0 | -4.0 | -11.0 | -4.0 | -11.0 | -4.0 | -11.0 | -4.0 | -11.0 | -4.0 |
| NW系 | L211 | -11.0 | -6.4 | -11.0 | -6.4 | -6.4 | -6.4 | -11.0 | -6.4 | -6.4 | -6.4 | -11.0 | -6.4 | -11.0 | -6.4 |
| | L215 | -11.0 | -6.4 | -11.0 | -6.4 | -6.4 | -6.4 | -11.0 | -6.4 | -6.4 | -6.4 | -11.0 | -6.4 | -11.0 | -6.4 |
| LSFD | | -7.5 | | -7.5 | | -7.5 | | -7.5 | | -7.5 | | -7.5 | | -8.8 | |
| B.C. | | Base | | NNW_high | | NW_high | | NNW_high | | NW_high | | Base | | LSFD_low | |

- 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 LSFD: 花崗岩下部割れ目低密度帯
- 4 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

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 12～24 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 25 にステップ 1 およびステップ 2 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、全てのモデル化対象断層が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 12～24】
- ・ NNW 系，NW 系，EW 系断層の透水性は研究所用地周辺の全水頭分布に及ぼす影響が大きい。また，NE 系断層の透水性は全水頭分布に及ぼす影響が小さい。【図 12～23】
- ・ 断層系統の透水異方性がモデル化・解析領域内の全水頭分布に与える影響として、以下のような傾向が認められる。【図 12～23】
 - NNW 系断層：研究所用地北側への影響が大きい
 - NW 系断層：研究所用地東側への影響が大きい
 - EW 系断層：研究所用地西側および南側への影響が大きい
 - NE 系断層：全水頭分布に顕著な影響は見られない
- ・ 花崗岩下部割れ目低密度帯の透水性を低下させると、モデル化・解析領域北側の全水頭分布は低く、南側の全水頭分布は高くなる傾向にある。【図 12,24】
- ・ ステップ 1 とステップ 2 の地下水流動解析の結果を比較すると、ステップ 1 の解析結果に比べステップ 2 での全水頭分布のほうが全体的に低下している。また、ステップ 1 では IF_SB0_001 断層（NNW 系）と L216 断層（NE 系）を境界として明瞭な水頭差が生じているが、ステップ 2 では IF_SB0_001 断層（NNW 系）と IF_LB0(L116_169)断層（NE 系）を境界として明瞭な水頭差が生じており、月吉断層より南側の領域における全水頭の分布傾向が大きく異なっている。【図 25】

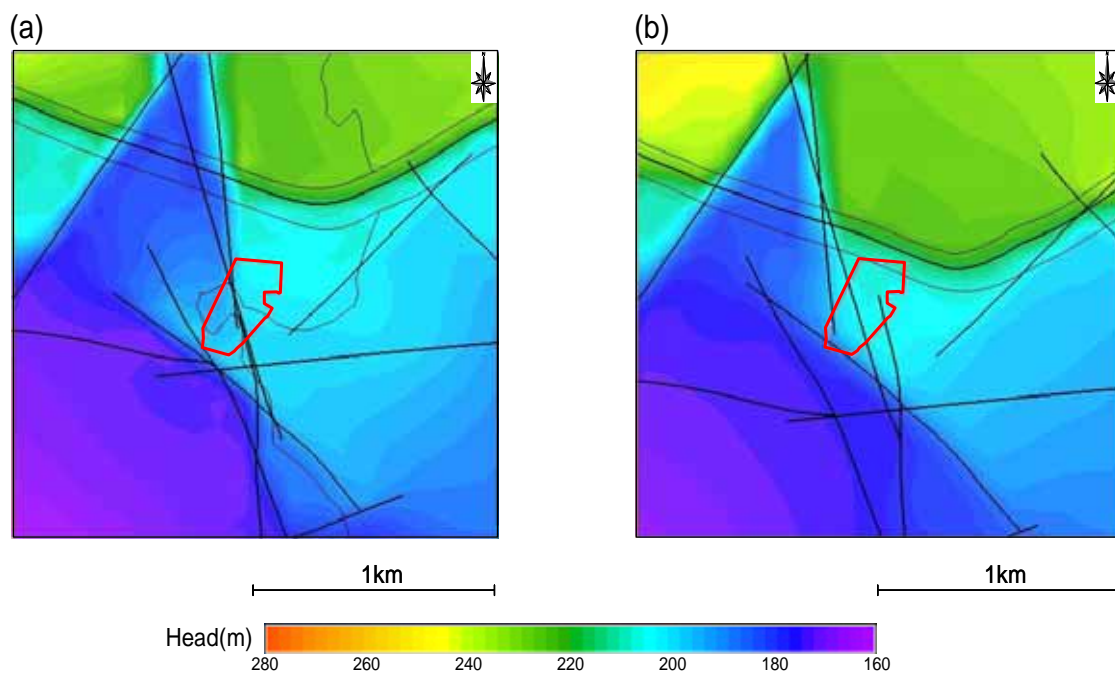


図 12 全水頭分布図 (解析ケース : Base)

- (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

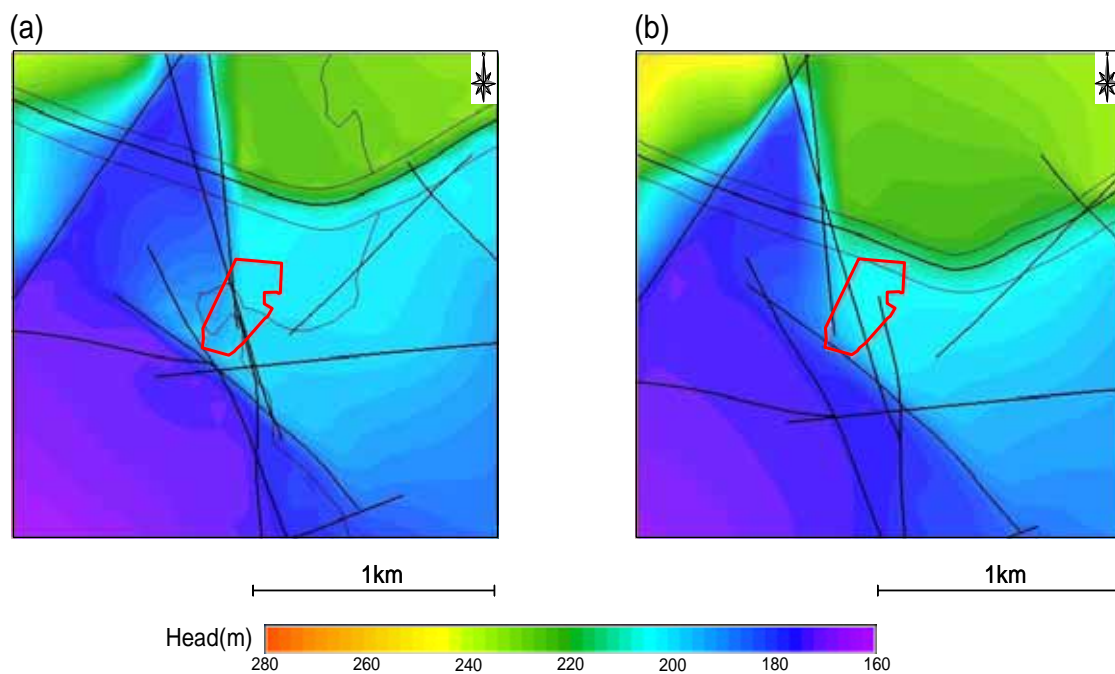


図 13 全水頭分布図 (解析ケース : NE_high)

- (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

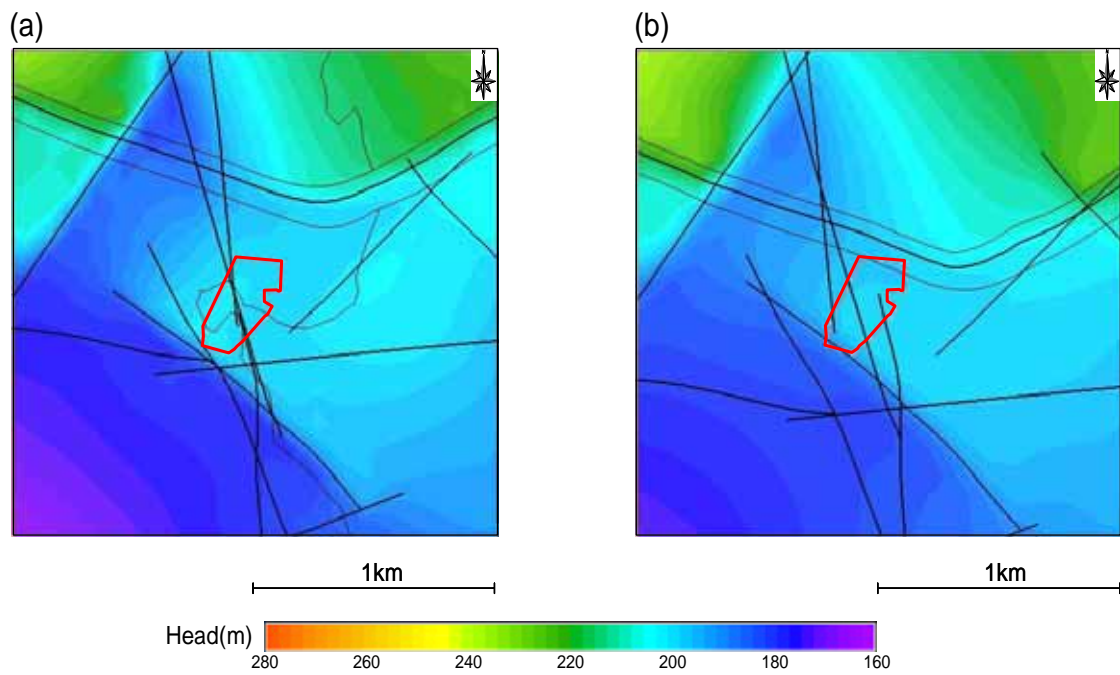


図 14 全水頭分布図 (解析ケース : NNW_high)

- (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

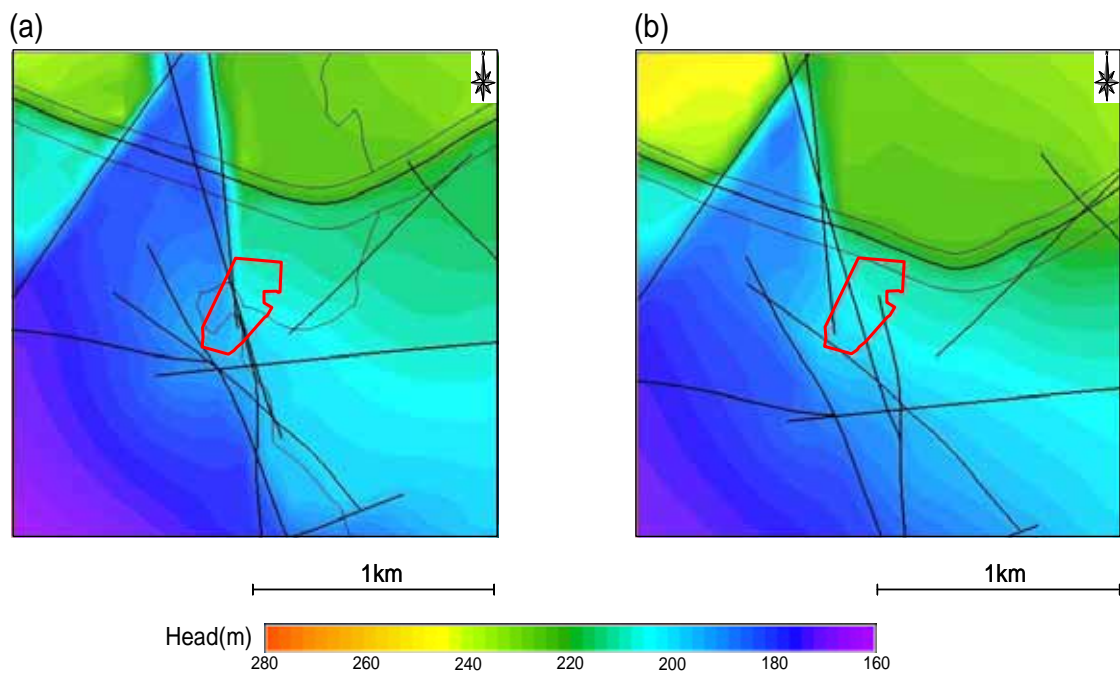


図 15 全水頭分布図 (解析ケース : NW_high)

- (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

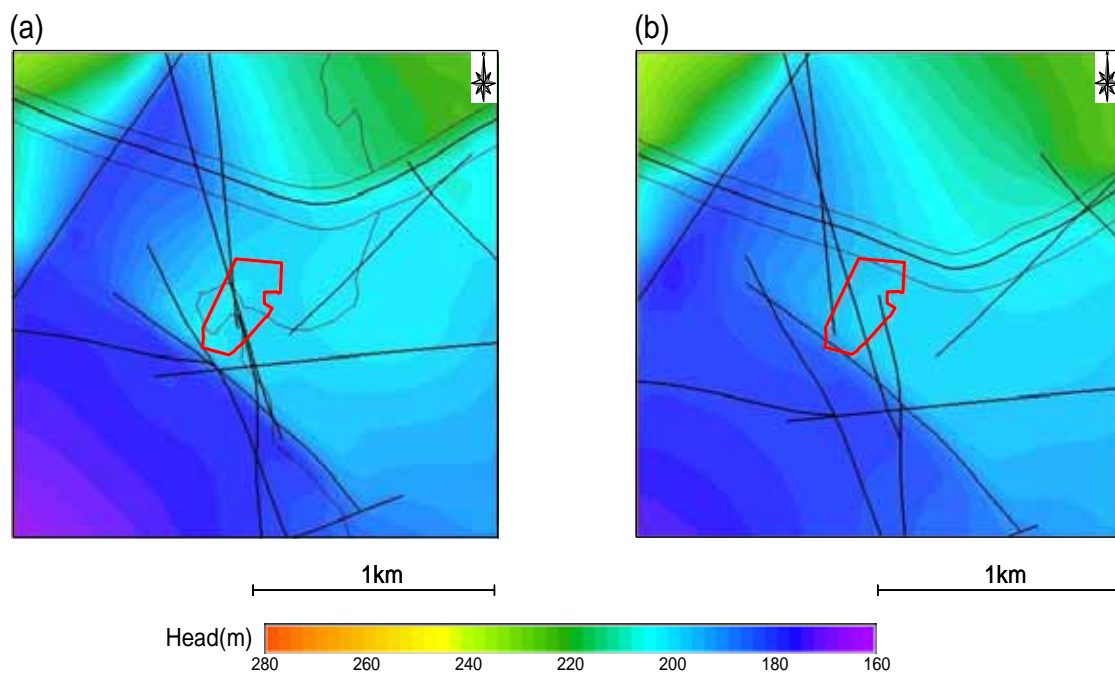


図 16 全水頭分布図 (解析ケース : NE_NNW_high)

- (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

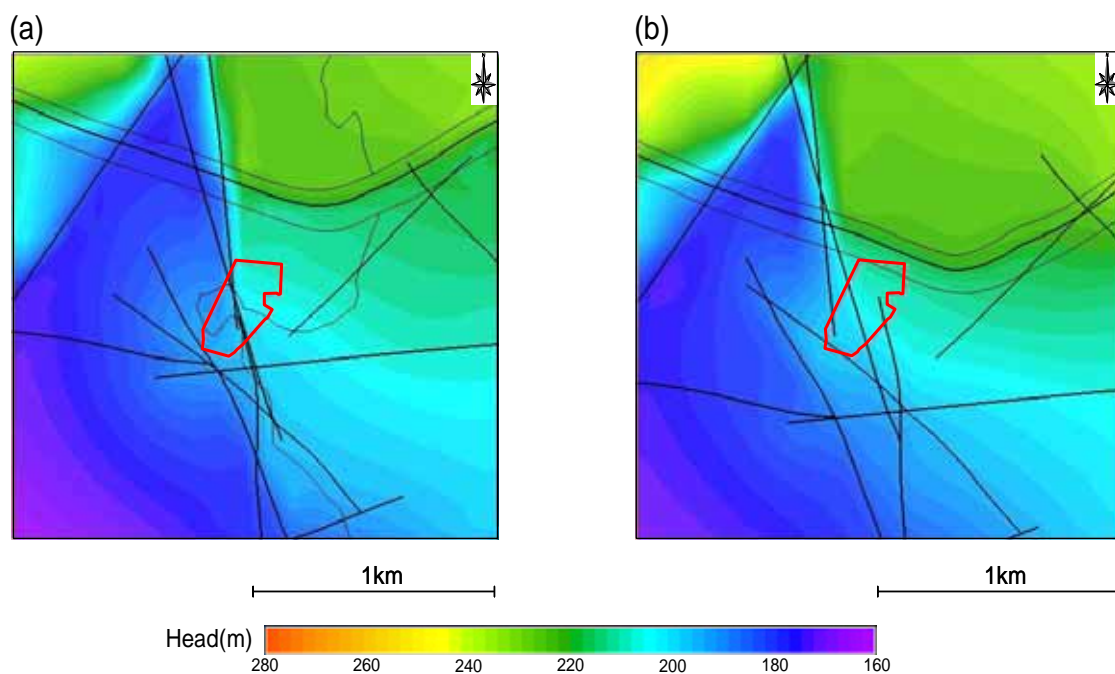


図 17 全水頭分布図 (解析ケース : NE_NW_high)

- (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

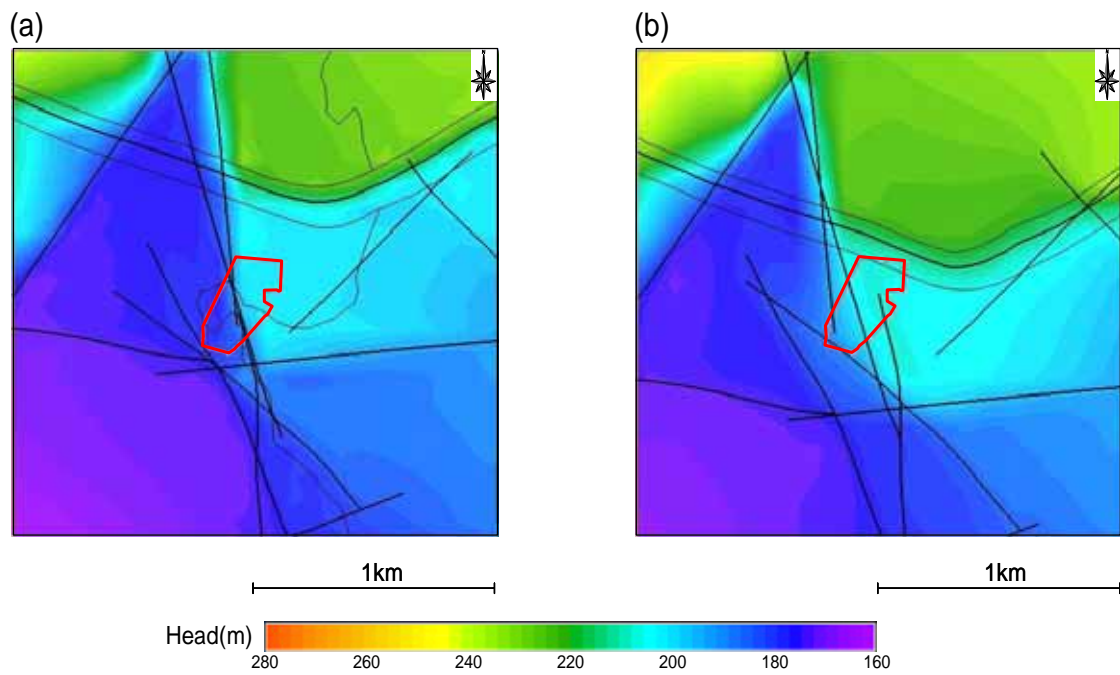


図 18 全水頭分布図 (解析ケース: NE_high_anEW)

- (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

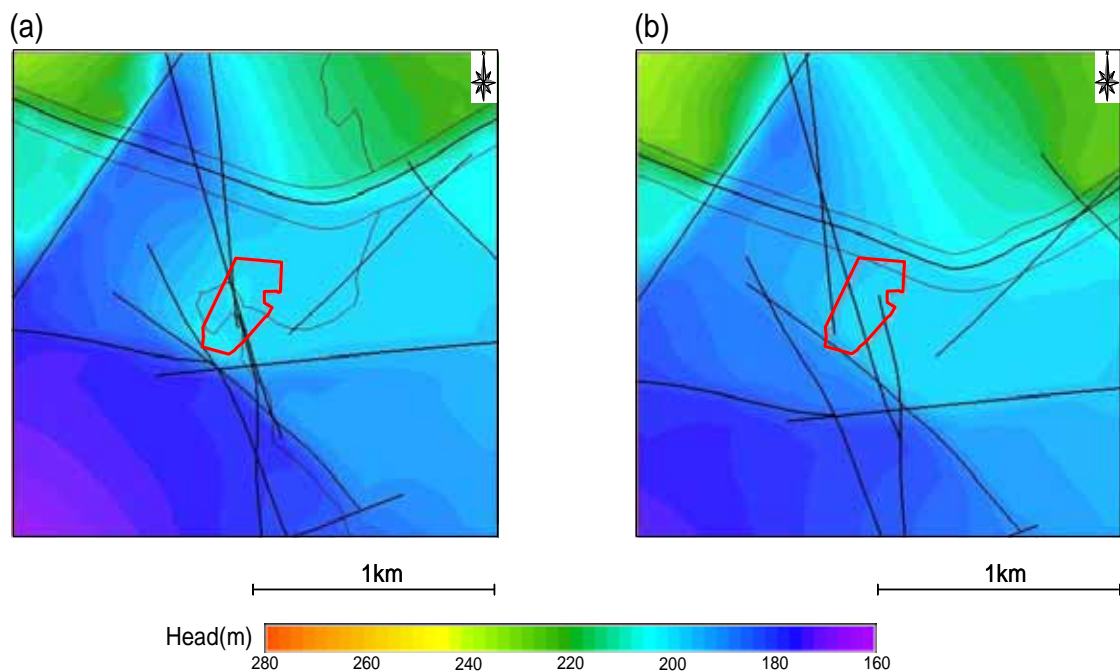


図 19 全水頭分布図 (解析ケース: NNW_high_anEW)

- (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

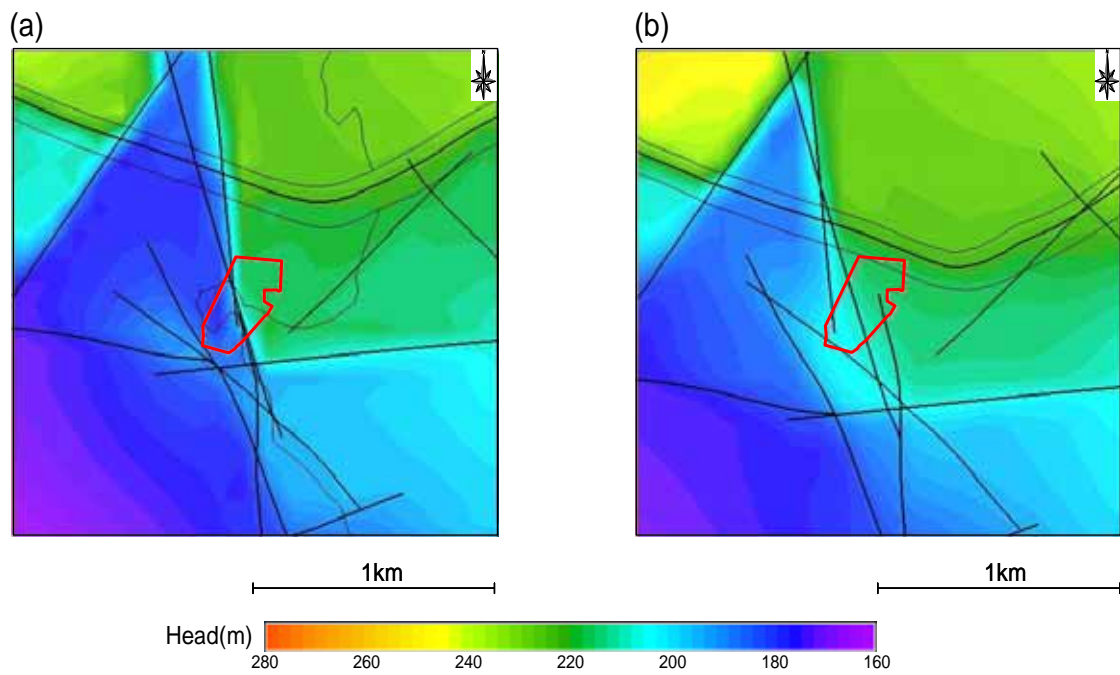


図 20 全水頭分布図 (解析ケース : NW_high_anEW)

- (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

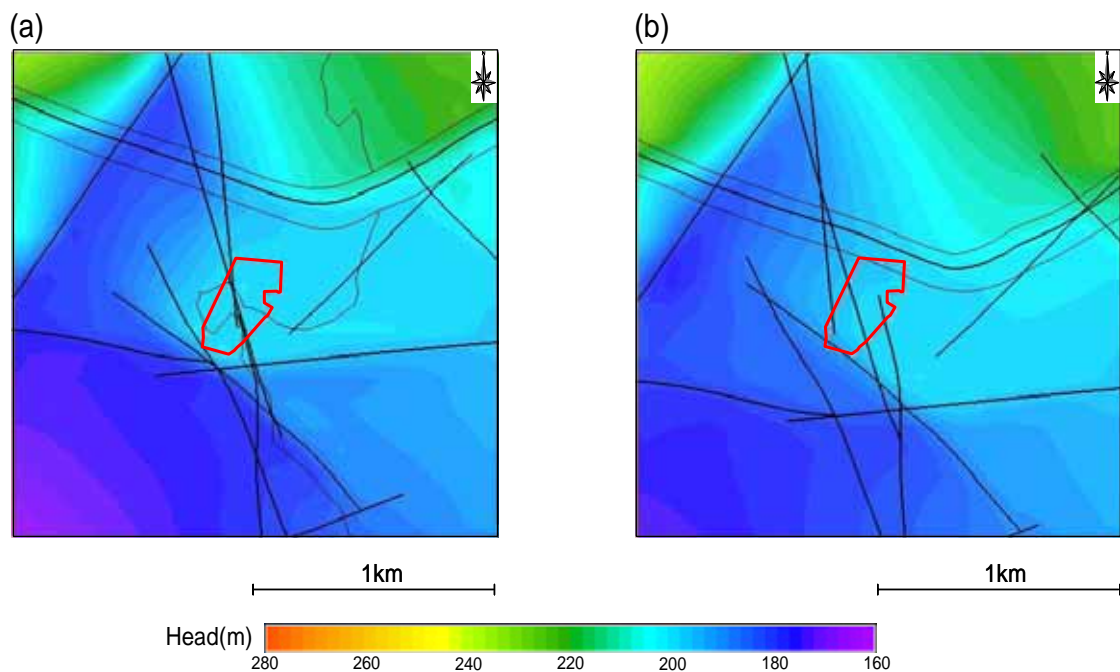


図 21 全水頭分布図 (解析ケース : NE_NNW_high_anEW)

- (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

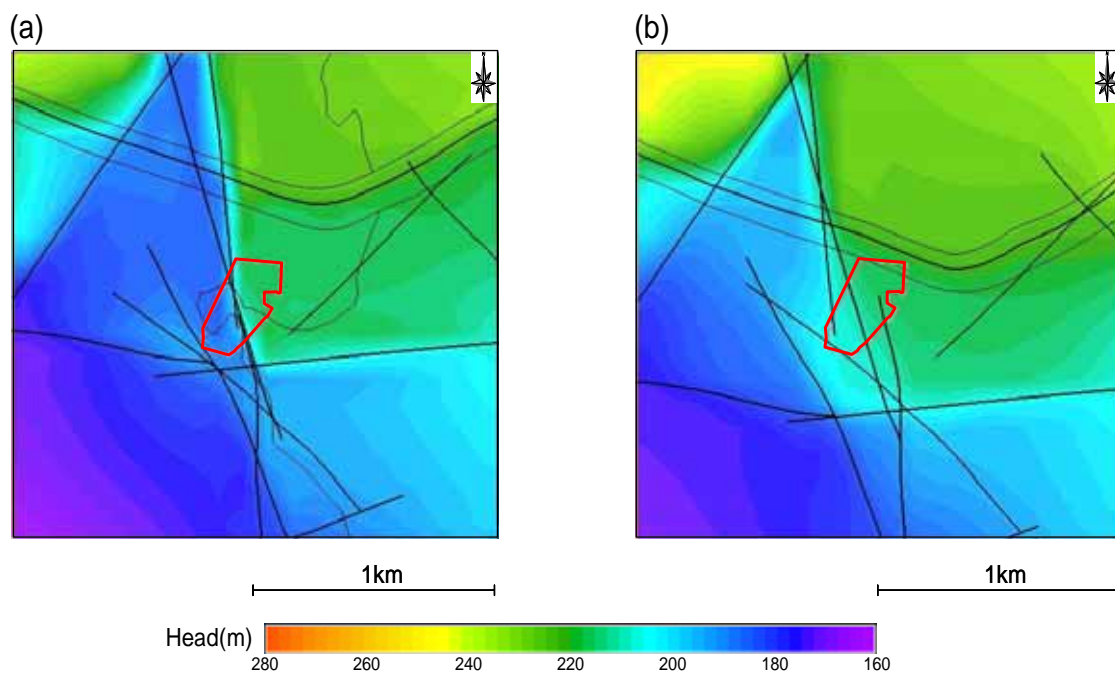


図 22 全水頭分布図 (解析ケース: NE_NW_high_anEW)

- (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

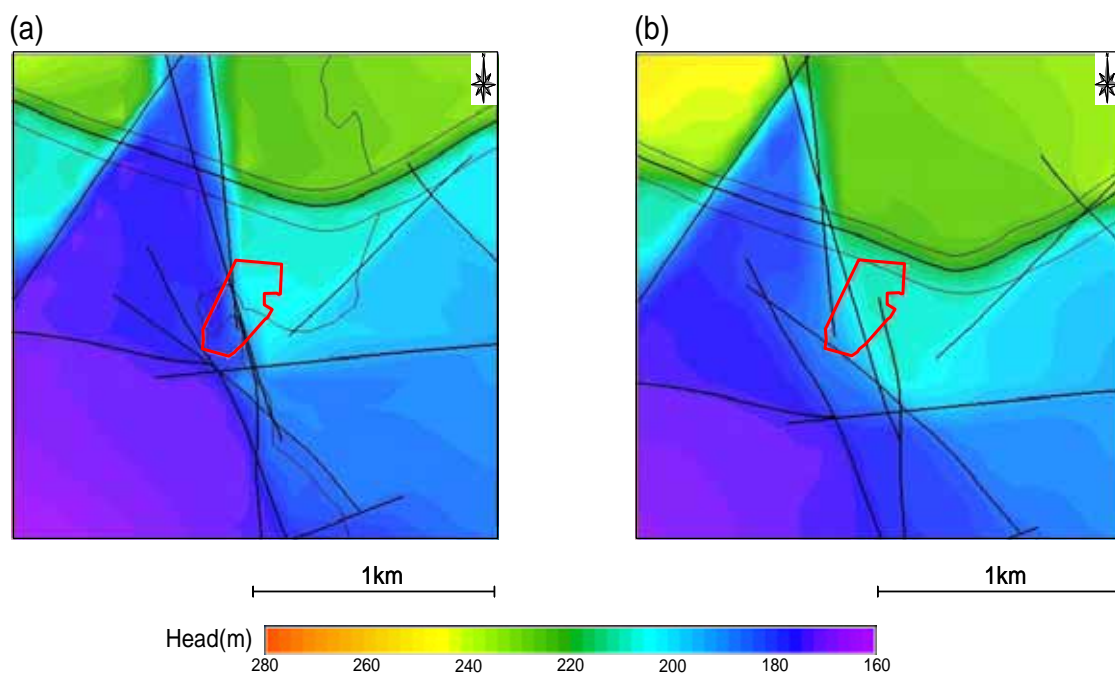


図 23 全水頭分布図 (解析ケース: All_aniso)

- (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

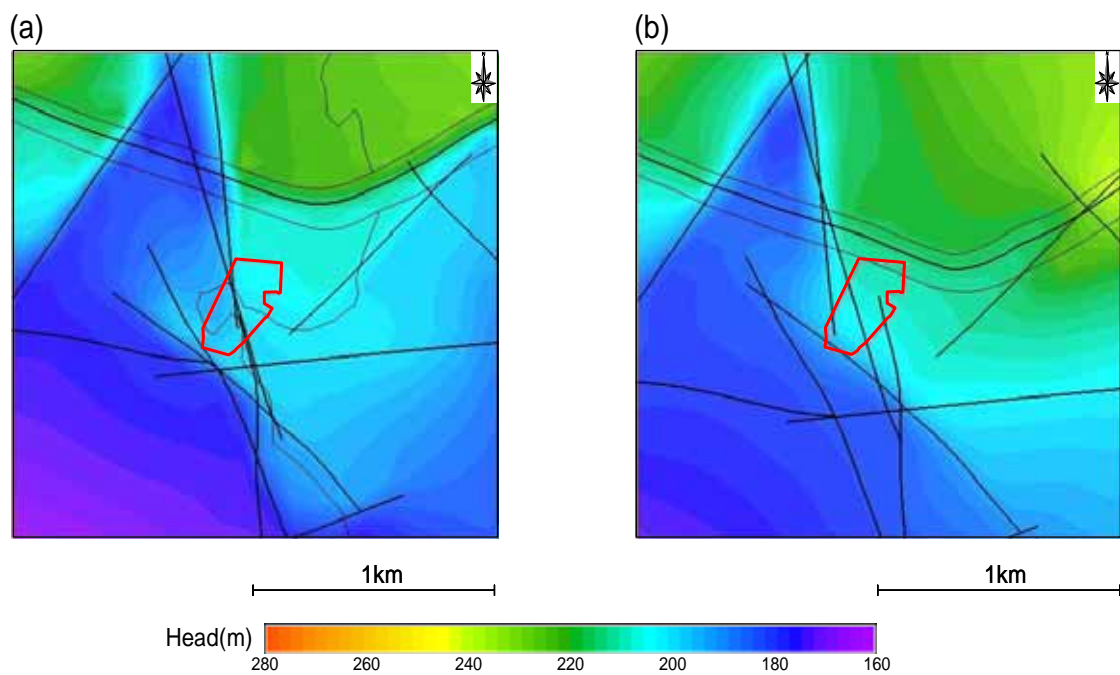
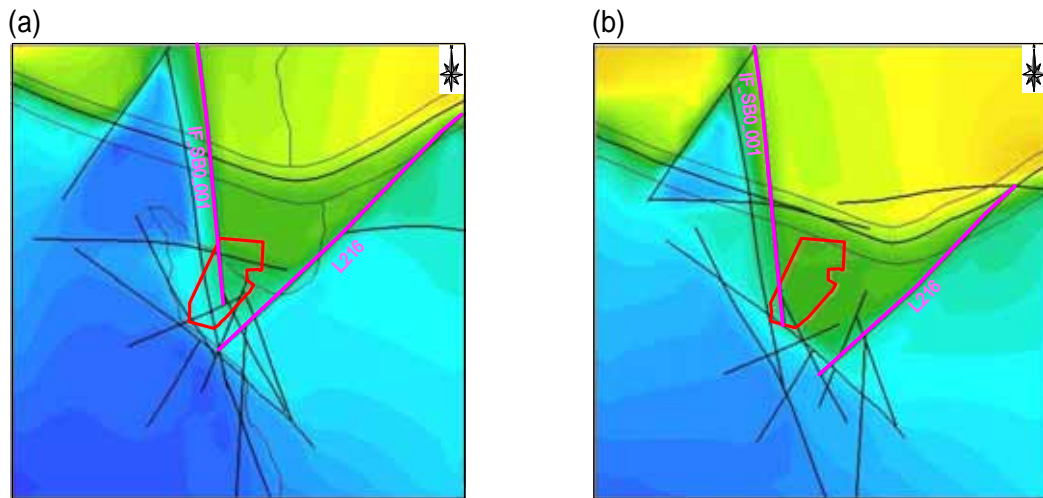


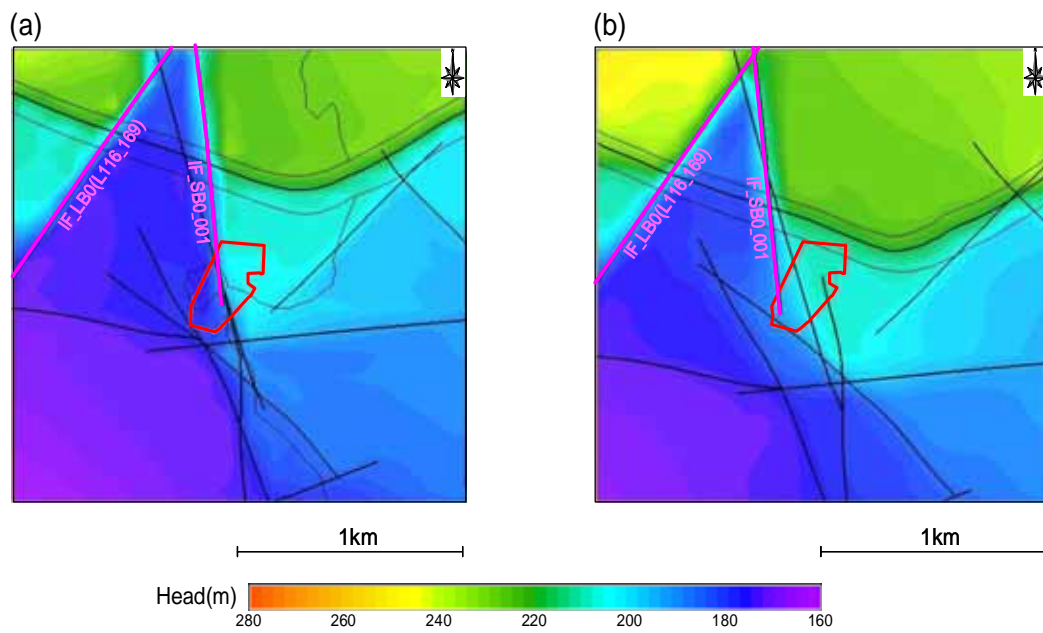
図 24 全水頭分布図 (解析ケース : LSF_D_low)

- (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

Step1 (解析ケース: Base)



Step2 (解析ケース: All_aniso)



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 25 ステップ 1 とステップ 2 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で間隙水圧計測を多区間で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²²⁾および DH-2 号孔²³⁾の 3 孔である。

表 4、図 26 に、それぞれ上記 3 孔における全水頭の実測値と解析値の比較図、全水頭分布の実測値と解析値を示す。また、表 5、図 27 にステップ 1 およびステップ 2 におけるボーリング孔での解析値の比較を示す。ステップ 1 とステップ 2 の比較については、それぞれのステップのうち、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 1：NE_EW6、ステップ 2：All_aniso）を対象とした。

これらの結果より、以下のことが言える。

- ・MSB-1、MSB-3、DH-2 号孔における全水頭分布の実測値と解析値を比較してみると、MSB-1、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 20～60m 程度高い結果となっている。【表 4、図 26】
- ・MSB-1、MSB-3、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、最も実測値を再現できている解析ケースは、全ての断層に透水異方性を考慮した解析ケース（All_aniso）である。【表 4、図 26】
- ・MSB-1 号孔では、NNW 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、透水異方性を考慮した解析ケース（Base、NE_high、NW_high、NE_NW_high、NE_high_anEW、NW_high_anEW、NE_NW_high_anEW、All_aniso）では実測値同様に標高 180m 付近から標高 130m 付近への全水頭の明瞭な低下傾向が確認できるが、透水異方性を考慮しない場合ではこのような傾向が見られない。【表 4、図 26】
- ・MSB-3 号孔では、NE 系、NW 系および EW 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 系断層と EW 系断層もしくは、NW 系断層と EW 系断層が共に透水異方性を有する解析ケース（NE_high_anEW、NW_high_anEW、NE_NW_high_anEW、All_aniso）のみ標高 100m 付近を境に全水頭が 10m 程度低下するが、それ以外の場合ではこのような傾向が見られない。【表 4、図 26】
- ・DH-2 号孔では、EW 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、透水異方性を考慮しない解析ケース（Base、NE_high、NNW_high、NW_high、NE_NNW_high、NE_NW_high）では実測値同様の静水圧

分布を示すが、透水異方性を考慮した場合は深度方向に全水頭の解析値に変動が見られる。【表 4，図 26】

- ・花崗岩下部割れ目低密度帯の透水性による、ボーリング孔の全水頭分布の解析値の差はほとんど見られない。【表 4，図 26】
- ・ステップ 1 およびステップ 2 の各ボーリング孔位置における全水頭の解析値の比較より、MSB-1，3 号孔での標高 100m 以深および DH-2 号孔での標高-180m 以深において、実測値の再現性が向上していることがわかる。このことは、全水頭の実測値と解析値の差の標準偏差の減少からも確認できる。【表 5，図 27】

表 4 ボーリング孔における全水頭の実測値^{22,23)}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 | NE_high | NNW_high | NW_high | NE_NNW_high | NE_NW_high |
| MSB-1 | 183.3 | 198.5 | 210.6 | 210.6 | 214.2 | 210.6 | 214.2 | 210.5 |
| | 132.6 | 154.6 | 197.4 | 196.8 | 213.5 | 196.8 | 213.5 | 196.3 |
| | 117.3 | 152.6 | 196.7 | 196.1 | 213.3 | 196.1 | 213.2 | 195.5 |
| | 72.5 | 152.3 | 192.5 | 191.5 | 207.9 | 191.5 | 207.8 | 190.5 |
| | 56.8 | 152.2 | 190.8 | 189.7 | 203.4 | 189.5 | 203.2 | 188.4 |
| MSB-3 | 187.1 | 196.0 | 199.8 | 199.8 | 196.1 | 199.6 | 196.1 | 199.6 |
| | 133.8 | 169.9 | 198.5 | 198.5 | 199.8 | 198.6 | 199.9 | 198.5 |
| | 119.9 | 156.1 | 198.3 | 198.3 | 201.1 | 198.4 | 201.2 | 198.4 |
| | 113.1 | 156.1 | 190.0 | 189.9 | 198.9 | 190.2 | 199.1 | 190.1 |
| | 69.1 | 157.1 | 196.1 | 195.5 | 200.3 | 194.9 | 200.2 | 194.3 |
| | 37.4 | 157.8 | 195.1 | 194.4 | 200.9 | 193.6 | 200.9 | 192.9 |
| DH-2 | 30.1 | 158.2 | 195.1 | 194.4 | 200.9 | 193.6 | 200.9 | 192.9 |
| | -7.4 | 157.1 | 198.8 | 198.5 | 197.3 | 197.2 | 197.2 | 196.8 |
| | -65.9 | 157.0 | 198.6 | 198.3 | 196.5 | 196.8 | 196.4 | 196.3 |
| | -107.3 | 157.1 | 198.7 | 198.4 | 198.2 | 197.4 | 198.1 | 197.1 |
| | -133.2 | 157.1 | 199.0 | 198.7 | 197.9 | 197.6 | 197.8 | 197.3 |
| | -185.9 | 157.1 | 198.3 | 197.9 | 198.1 | 197.1 | 198.0 | 196.8 |
| | -238.1 | 157.1 | 198.1 | 197.7 | 198.4 | 197.0 | 198.2 | 196.6 |
| -281.6 | 157.4 | 197.4 | 196.9 | 198.6 | 195.6 | 198.4 | 195.1 | |
| 実測値と解析値の差の標準偏差 | | | 37.6 | 37.1 | 43.4 | 36.6 | 43.4 | 36.1 |

| ボーリング孔 | 計測深度 E.L.(m) | 解析値 E.L.(m) | | | | | | |
|----------------|-----------------|--------------|---------------|--------------|------------------|-----------------|-----------|----------|
| | | NE_high_anEW | NNW_high_anEW | NW_high_anEW | NE_NNW_high_anEW | NE_NW_high_anEW | All_aniso | LSFD_low |
| MSB-1 | 183.3 | 210.5 | 214.2 | 210.5 | 214.1 | 210.6 | 210.4 | 210.6 |
| | 132.6 | 190.9 | 213.6 | 191.0 | 213.4 | 193.9 | 190.2 | 197.5 |
| | 117.3 | 187.9 | 213.3 | 188.1 | 213.1 | 191.7 | 187.1 | 196.8 |
| | 72.5 | 176.0 | 207.6 | 176.9 | 207.3 | 182.9 | 174.8 | 192.8 |
| | 56.8 | 174.2 | 202.8 | 175.4 | 202.5 | 181.8 | 172.9 | 191.3 |
| MSB-3 | 187.1 | 199.8 | 196.1 | 199.6 | 196.1 | 199.6 | 199.8 | 199.8 |
| | 133.8 | 198.2 | 199.8 | 200.0 | 199.7 | 199.6 | 198.4 | 198.5 |
| | 119.9 | 198.0 | 201.1 | 200.3 | 201.1 | 200.1 | 198.2 | 198.3 |
| | 113.1 | 188.9 | 199.0 | 193.6 | 198.9 | 193.3 | 189.2 | 190.0 |
| | 69.1 | 175.7 | 200.0 | 176.8 | 199.8 | 182.9 | 174.5 | 196.4 |
| | 37.4 | 174.6 | 200.7 | 175.9 | 200.5 | 182.2 | 173.3 | 195.6 |
| DH-2 | 30.1 | 174.5 | 200.7 | 175.9 | 200.5 | 182.2 | 173.3 | 195.6 |
| | -7.4 | 187.7 | 188.0 | 188.5 | 187.9 | 186.8 | 188.8 | 199.3 |
| | -65.9 | 187.6 | 188.0 | 188.4 | 187.8 | 186.8 | 188.8 | 199.1 |
| | -107.3 | 175.7 | 199.3 | 177.1 | 199.1 | 183.1 | 174.5 | 199.5 |
| | -133.2 | 202.5 | 203.4 | 201.5 | 203.4 | 201.5 | 202.5 | 199.7 |
| | -185.9 | 176.9 | 199.0 | 178.3 | 198.8 | 184.0 | 175.8 | 199.1 |
| | -238.1 | 177.3 | 199.2 | 178.7 | 199.0 | 184.4 | 176.3 | 199.0 |
| -281.6 | 178.7 | 199.3 | 183.2 | 199.1 | 187.7 | 177.9 | 198.8 | |
| 実測値と解析値の差の標準偏差 | | 27.0 | 43.1 | 28.1 | 42.9 | 30.8 | 26.7 | 38.0 |

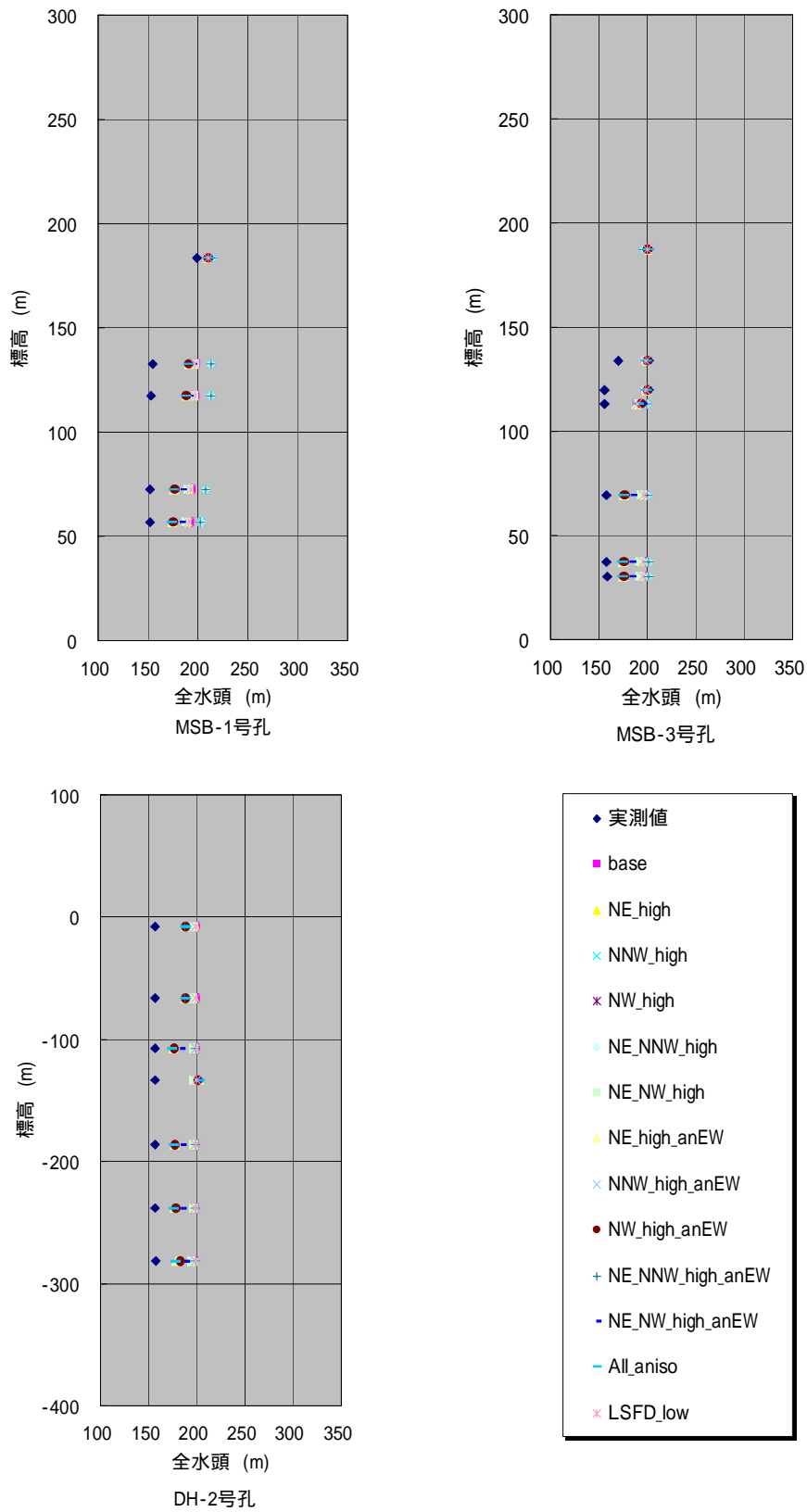


図 26 ポーリング孔における全水頭の実測値^{22,23)}と解析値の比較

表5 ボーリング孔におけるステップ1とステップ2の解析値

| ホーリング孔 | 計測深度 E.L.(m) | 実測値 E.L.(m) | 解析値 E.L.(m) | |
|----------------|-----------------|----------------|-------------------|----------------------|
| | | | Step1 (NE_EW6) | Step2 (All_aniso) |
| MSB-1 | 183.3 | 198.5 | 208.9 | 210.4 |
| | 132.6 | 154.6 | 191.4 | 190.2 |
| | 117.3 | 152.6 | 189.5 | 187.1 |
| | 72.5 | 152.3 | 205.6 | 174.8 |
| | 56.8 | 152.2 | 186.7 | 172.9 |
| MSB-3 | 187.1 | 196.0 | 202.4 | 199.8 |
| | 133.8 | 169.9 | 205.8 | 198.4 |
| | 119.9 | 156.1 | 205.7 | 198.2 |
| | 113.1 | 156.1 | 205.7 | 189.2 |
| | 69.1 | 157.1 | 196.4 | 174.5 |
| | 37.4 | 157.8 | 198.0 | 173.3 |
| | 30.1 | 158.2 | 198.0 | 173.3 |
| DH-2 | -7.4 | 157.1 | 194.6 | 188.8 |
| | -65.9 | 157.0 | 193.9 | 188.8 |
| | -107.3 | 157.1 | 193.7 | 174.5 |
| | -133.2 | 157.1 | 193.5 | 202.5 |
| | -185.9 | 157.1 | 193.3 | 175.8 |
| | -238.1 | 157.1 | 198.6 | 176.3 |
| | -281.6 | 157.4 | 198.5 | 177.9 |
| 実測値と解析値の差の標準偏差 | | | 38.3 | 26.7 |

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
(Step1: NE_EW6, Step2: All_aniso) を適用

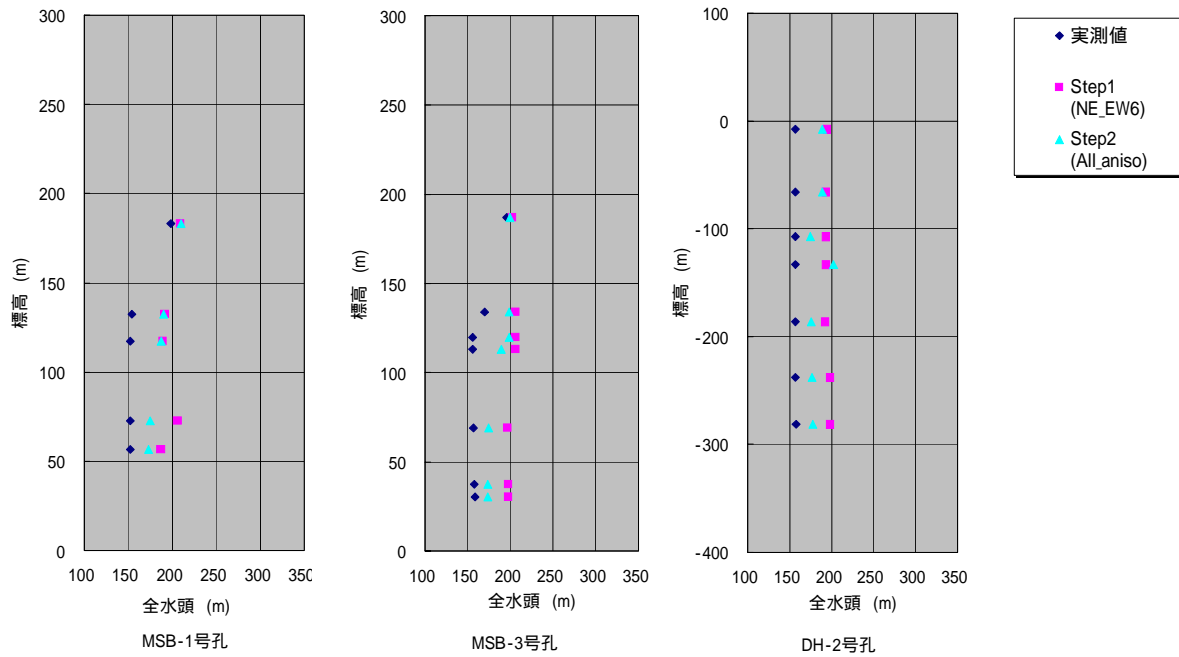


図27 ボーリング孔におけるステップ1とステップ2の解析値の比較

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。パーティクル数の妥当性の確認については、Appendix-1 にとりまとめる。

本検討では、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い、断層の透水異方性の有無が地下水の移行経路に及ぼす影響を確認した。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下部割れ目低密度帯および断層中の移行経路のみを対象とし、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 28～40 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 6 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。

- ・ NNW 系断層の透水異方性が無い解析ケース (NNW_high, NE_NNW_high, NNW_high_anEW, NE_NNW_high_anEW) に限り、主な地下水の移行経路が北向きであり月吉断層にまで到達している。【図 30,32,35,37, 表 6】
- ・ NE 系断層の透水異方性の有無を考慮した解析ケースに着目すると、Base と NE_high, NW_high と NE_NW_high, NW_high_anEW と NE_NW_high_anEW の地下水の移行経路は類似している。【図 28,29,31,33,36,37, 表 6】
- ・ EW 系断層の透水異方性の有無を考慮した解析ケースに着目すると、All_aniso と Base, NE_high と NE_high_anEW, NW_high と NW_high_anEW, NE_NW_high と NE_NW_high_anEW における地下水の移行経路は大きく異なる。【図

28,29,31,33,34,36,38,39 , 表 6】

・ NW 系断層の透水異方性の有無を考慮した解析ケースに着目すると、Base と NW_high ,NE_high と NE_NW_high ,NE_high_anEW と NE_NW_high_anEW , NW_high_anEW と All_aniso における地下水の移行経路は大きく異なる。【図 28,29,31,33,34,36,38,39 , 表 6】

・ 花崗岩下部割れ目低密度帯の透水性によって、地下水の移行経路は大きく異なる。すなわち、花崗岩下部割れ目低密度帯の透水性が低くなると、地下水の移行経路のパターン数が少なくなるとともに、花崗岩上部割れ目帯中の移行経路が卓越する傾向にある。【図 40 , 表 6】

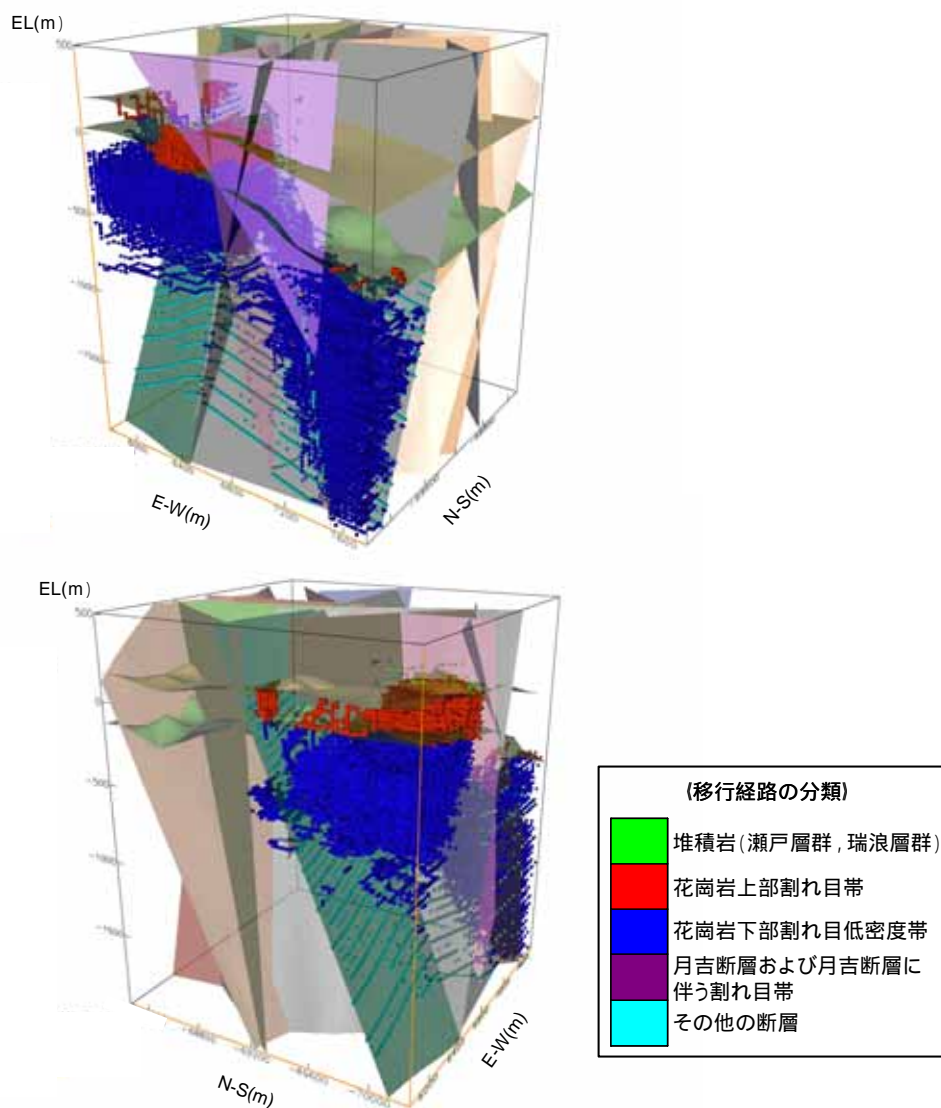
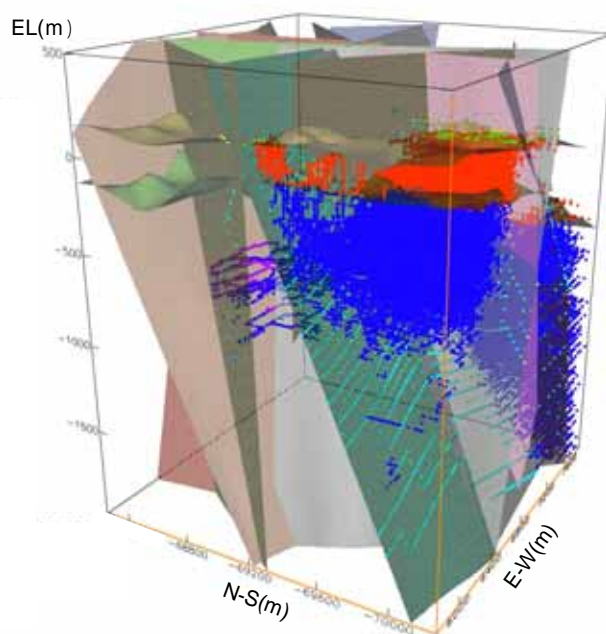
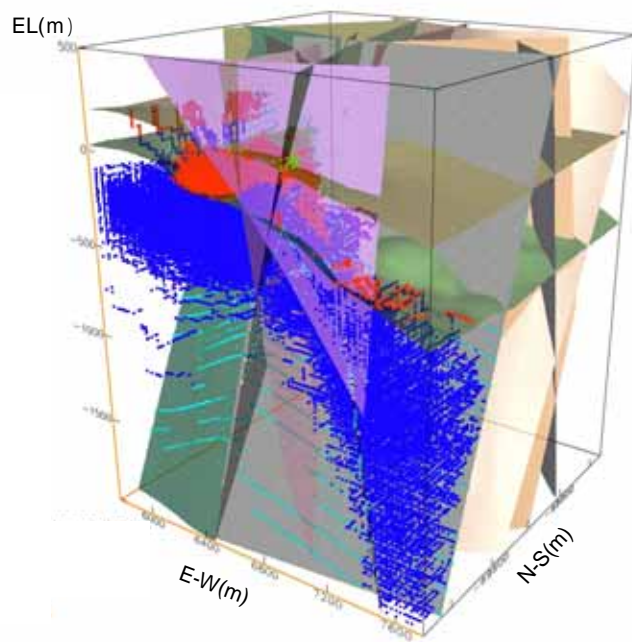


図 28 地下水の移行経路 (解析ケース : Base)



| (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 29 地下水の移行経路 (解析ケース : NE_high)

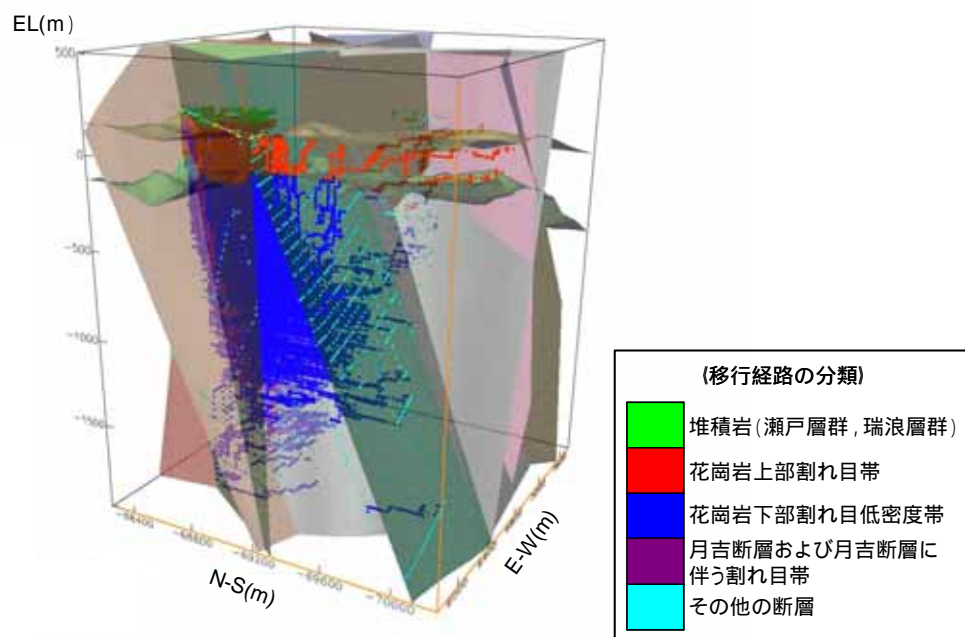
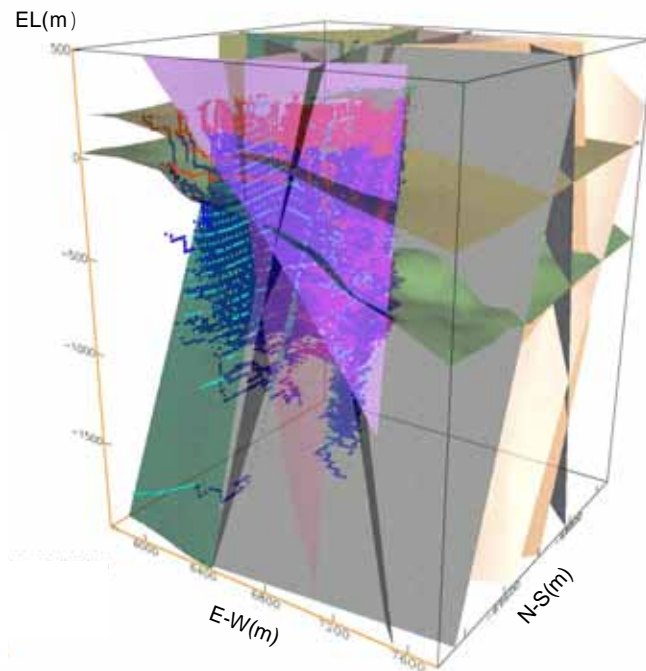


図 30 地下水の移行経路 (解析ケース : NNW_high)

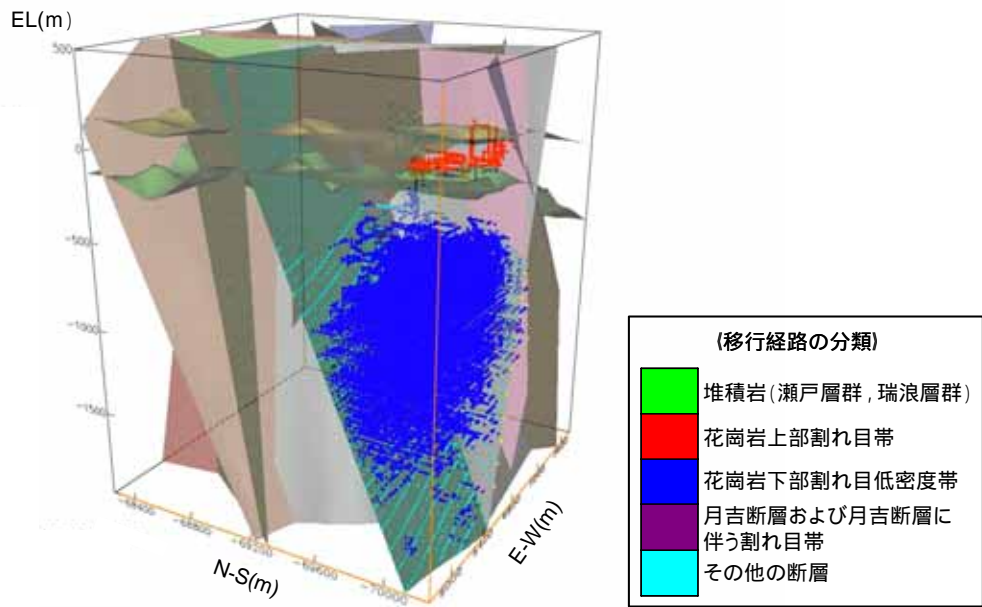
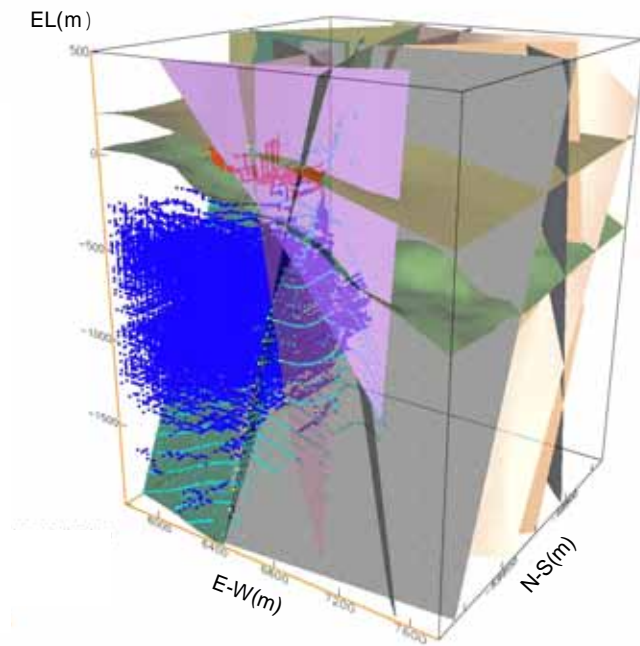


図 31 地下水の移行経路 (解析ケース : NW_high)

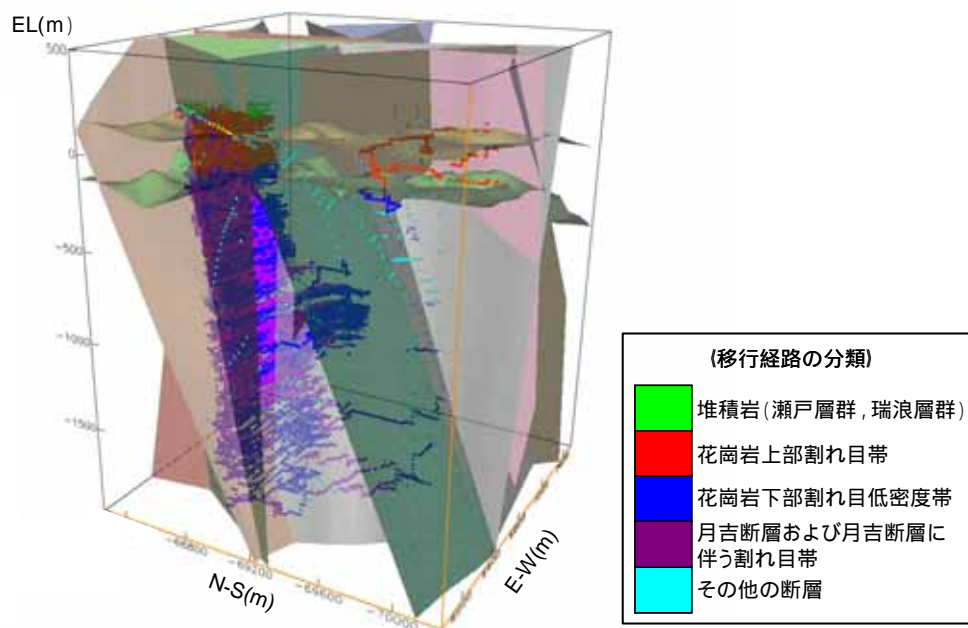
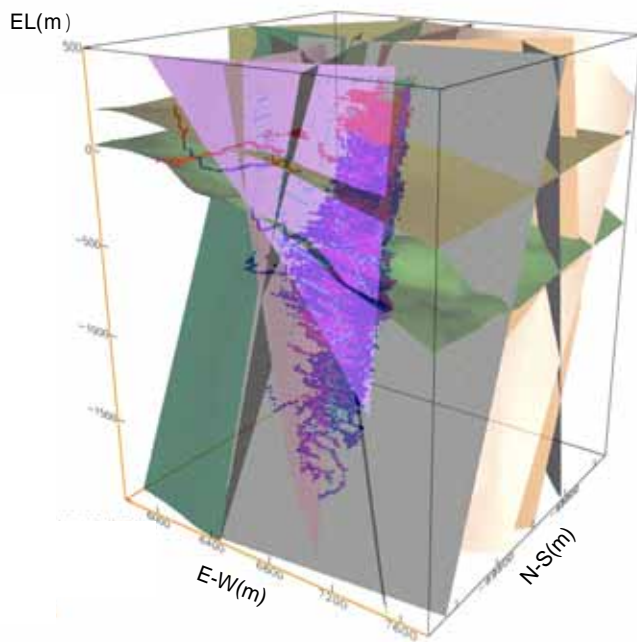


図 32 地下水の移行経路 (解析ケース : NE_NNW_high)

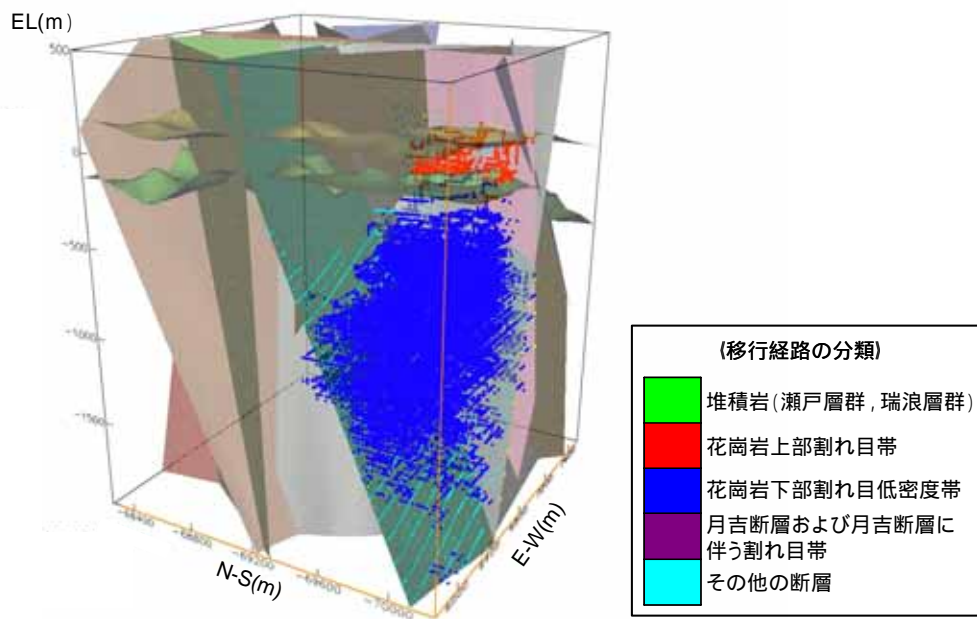
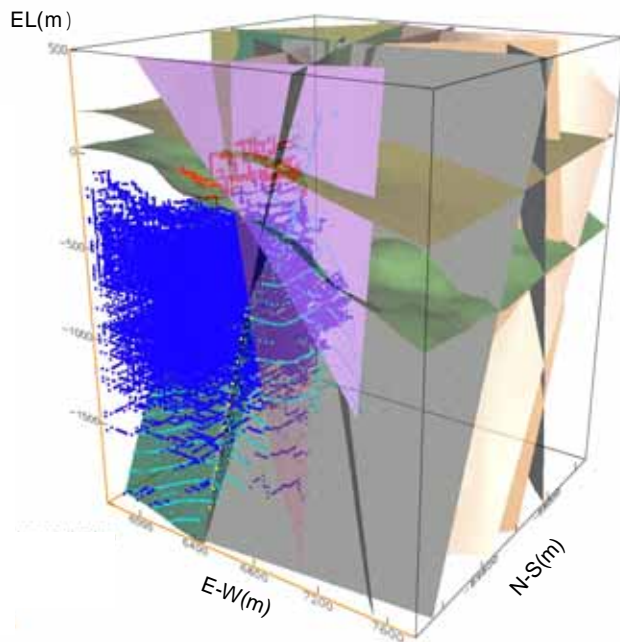
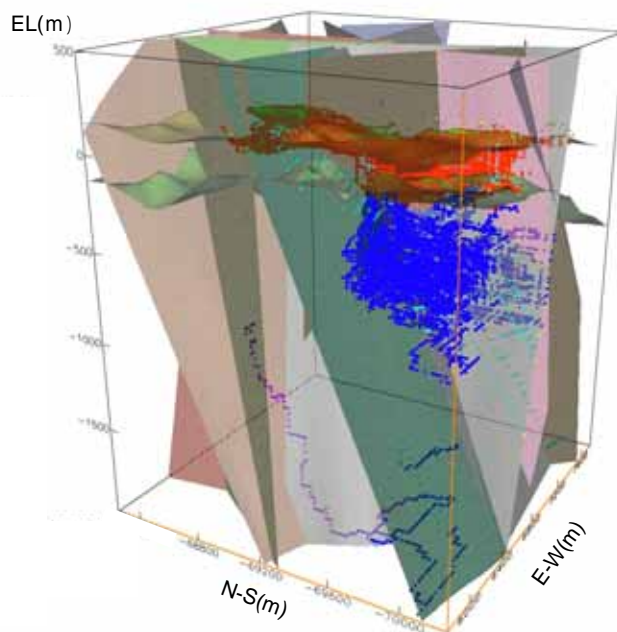
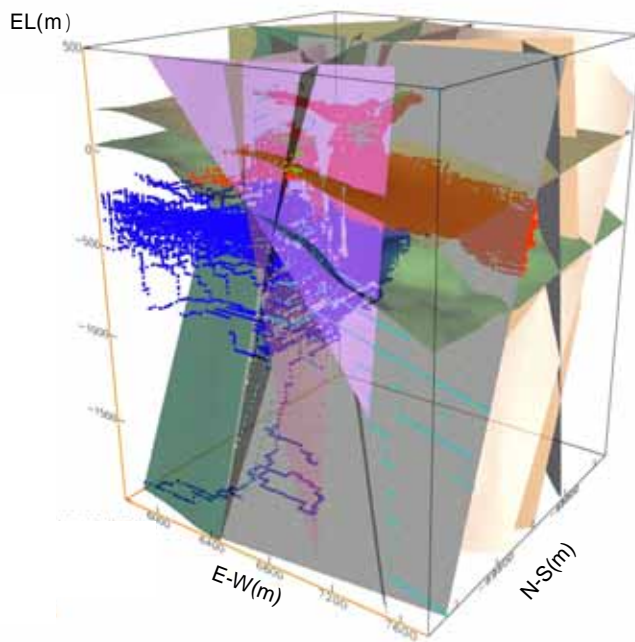


図 33 地下水の移行経路 (解析ケース : NE_NW_high)



| (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 34 地下水の移行経路 (解析ケース : NE_high_anEW)

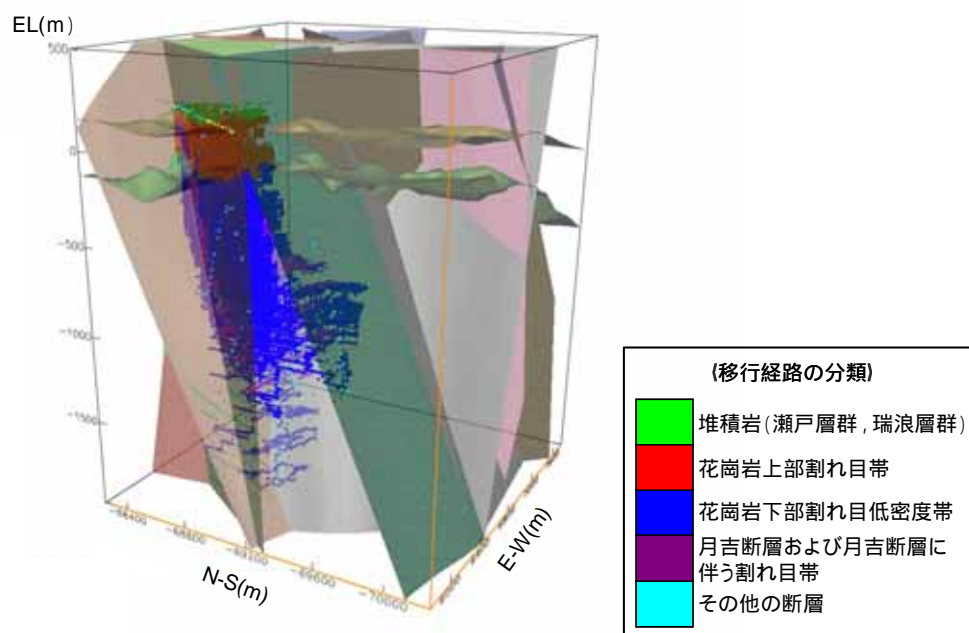
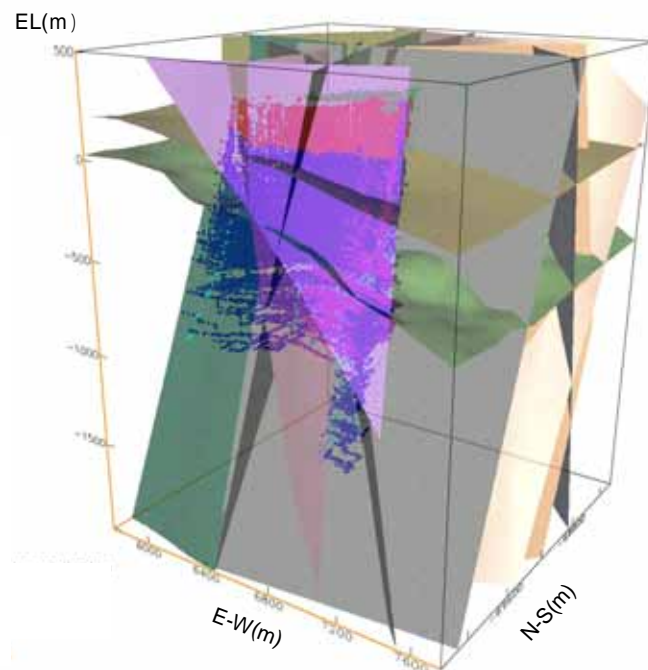


図 35 地下水の移行経路 (解析ケース : NNW_high_anEW)

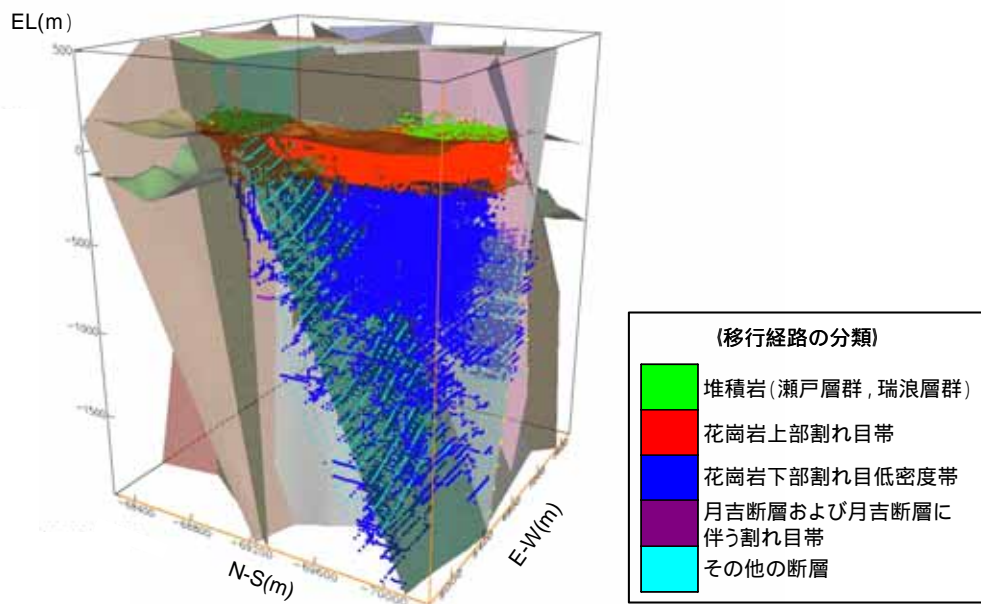
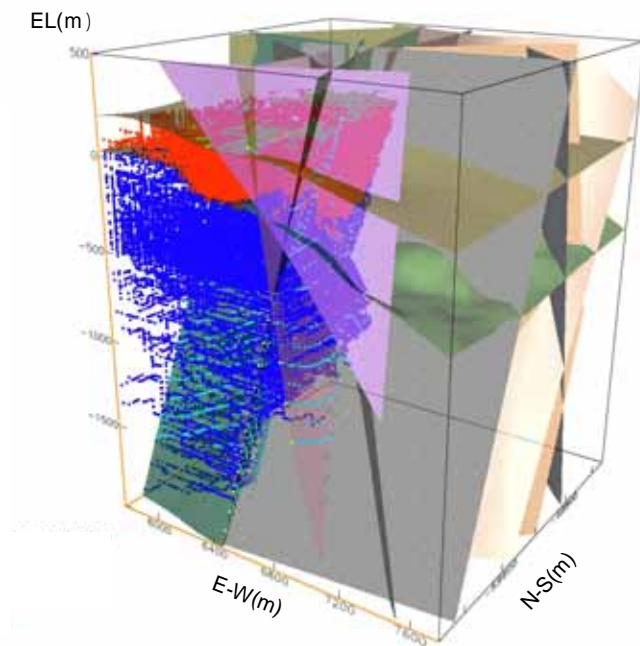
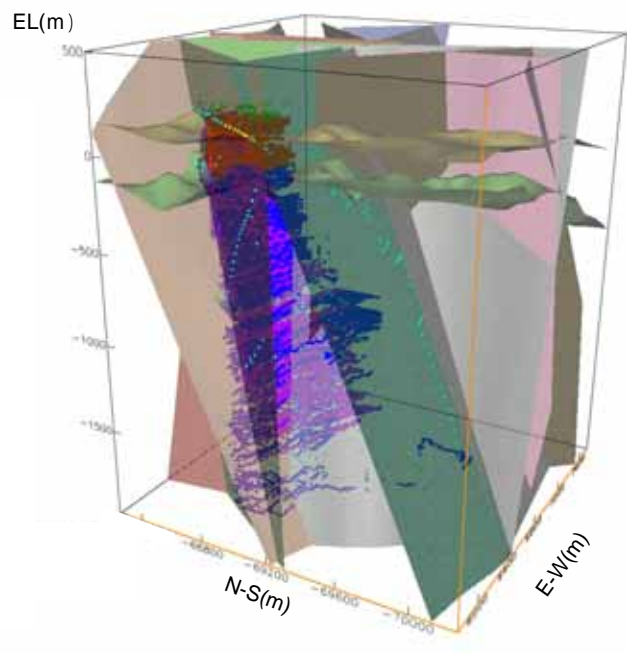
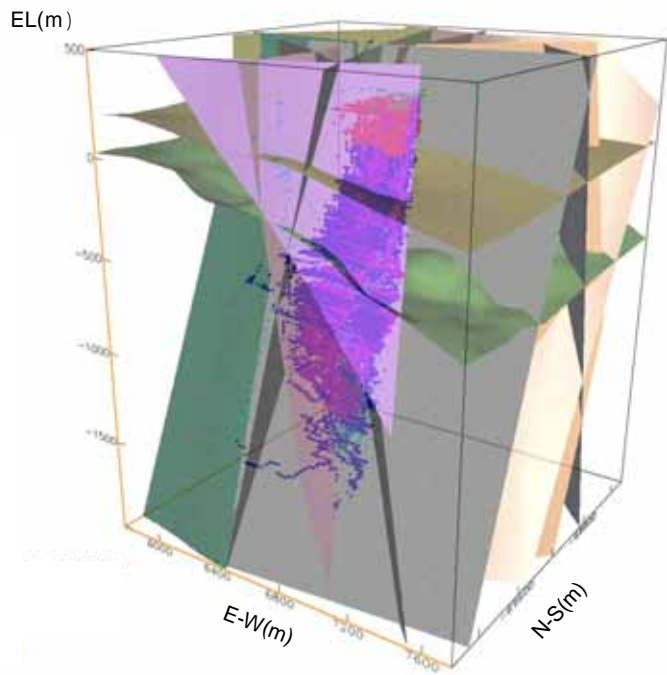


図 36 地下水の移行経路 (解析ケース : NW_high_anEW)



(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 37 地下水の移行経路 (解析ケース : NE_NNW_high_anEW)

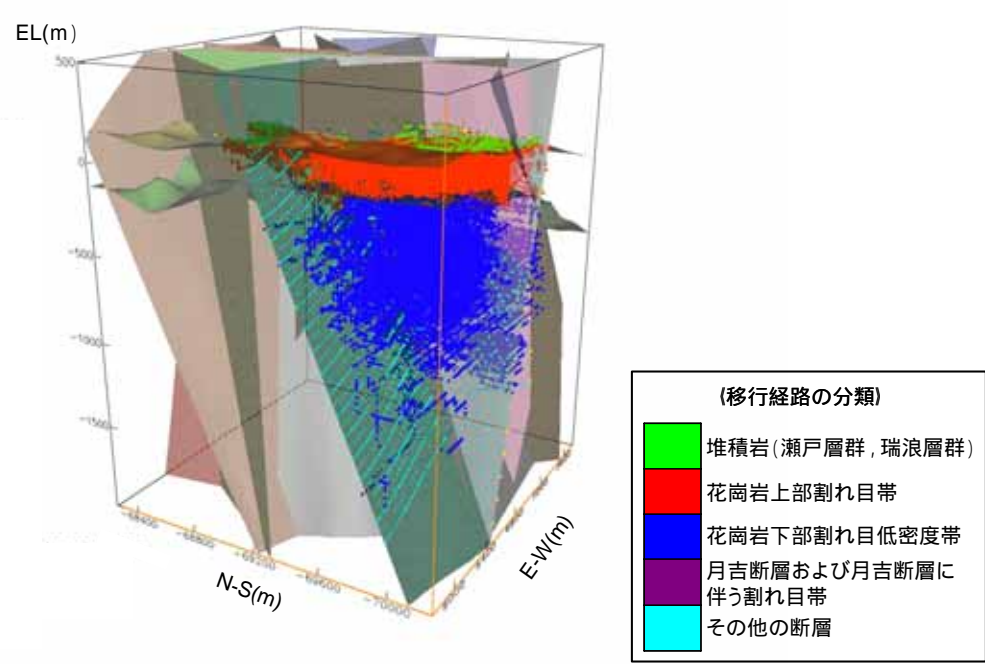
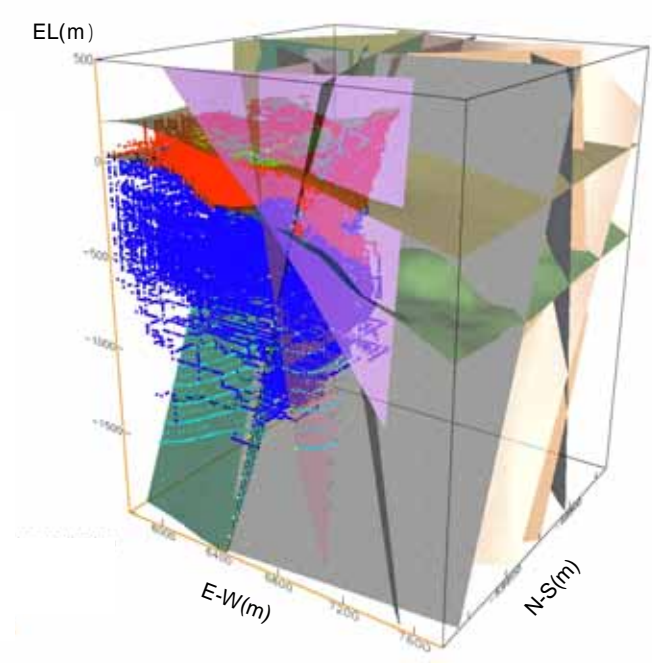
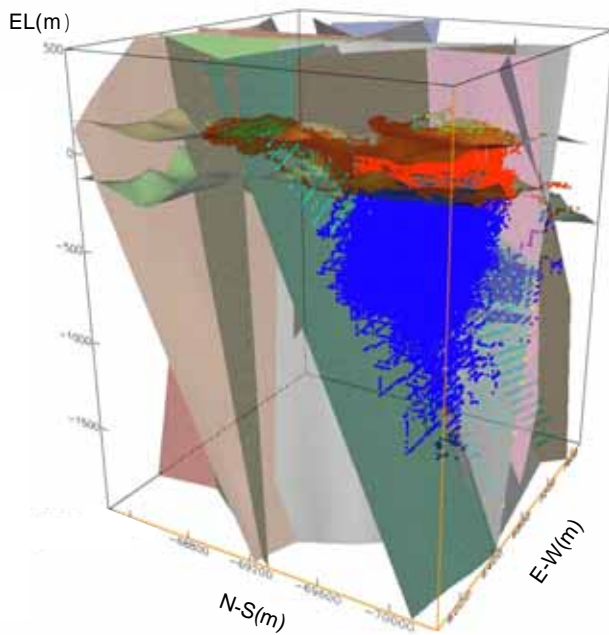
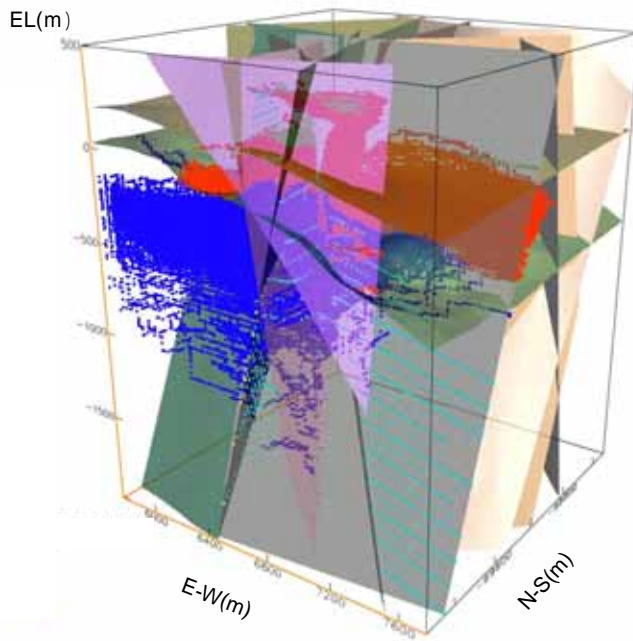
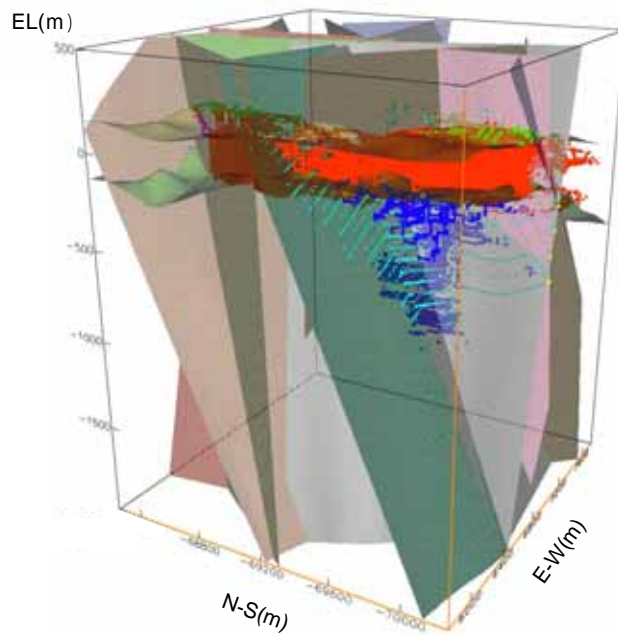
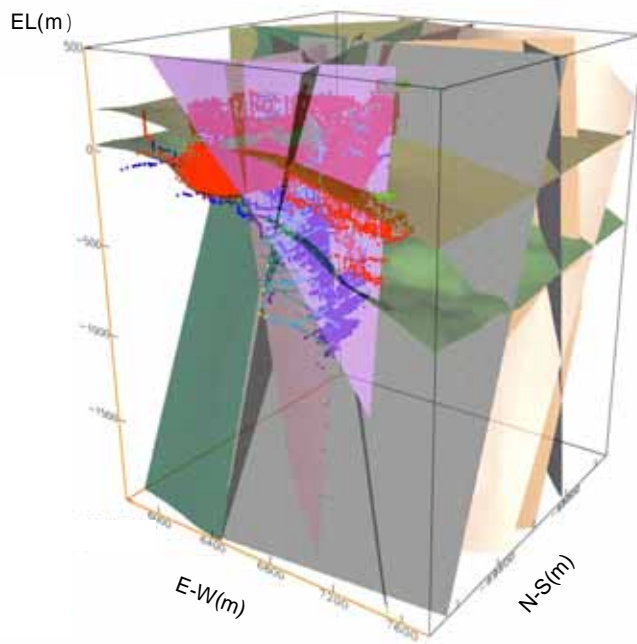


図 38 地下水の移行経路 (解析ケース : NE_NW_high_anEW)



| (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 39 地下水の移行経路 (解析ケース : All_aniso)



| (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 40 地下水の移行経路 (解析ケース : LSF_D_low)

表6 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 | パターン数 (個) | 解析ケース | 地下水の移行経路パターン | パターン数 (個) |
|--|---------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|--------------|
| Base (パターン数:10) | -LSFD-NNW-EW | 1,958 | NW_high_anEW (パターン数:36) | -LSFD-NW-NNW | 1,339 |
| | -LSFD-NW | 1,708 | | -LSFD-NW-LSFD-NW-EW | 910 |
| | -LSFD-EW | 1,644 | | -LSFD-NW-LSFD | 892 |
| | -LSFD-NNW-EW-NNW | 1,046 | | -LSFD-NW-LSFD-NW-LSFD | 726 |
| | -LSFD-NW-LSFD-EW-LSFD-EW | 670 | | -LSFD-NNW-NW-NNW | 613 |
| | -LSFD-NNW-EW-LSFD | 618 | | -LSFD-NW-EW-NW-EW | 541 |
| | -LSFD-EW-LSFD | 541 | | -LSFD-NW-NNW-NW-NNW | 526 |
| | -LSFD-NW-LSFD-EW-LSFD | 435 | | -LSFD-NW-LSFD-NW-NNW | 487 |
| | -LSFD-NW-LSFD-EW-NNW-EW | 324 | | -LSFD-NW-EW-NW | 483 |
| | -LSFD-NW-LSFD-EW | 149 | | -LSFD-NW | 283 |
| 合計 | 9,093 | -LSFD-NW-NNW-LSFD | 204 | | |
| NE_high (パターン数:12) | -LSFD-NNW-EW | 1,934 | -LSFD-NW-NNW-NW-NNW-NW-NNW | 172 | |
| | -LSFD-NW | 1,809 | -LSFD-NW-LSFD-EW-NW | 161 | |
| | -LSFD-EW | 1,407 | -LSFD-NW-LSFD-NW-LSFD-NW-EW | 154 | |
| | -LSFD-NNW-EW-NNW | 1,101 | -LSFD-NW-LSFD-NW | 154 | |
| | -LSFD-NW-LSFD-EW-LSFD-EW | 743 | -LSFD-NW-LSFD-NNW-LSFD-EW | 144 | |
| | -LSFD-NNW-EW-LSFD | 517 | -LSFD-NW-EW-NW-NNW | 108 | |
| | -LSFD-NW-LSFD-EW-LSFD | 483 | -LSFD-NW-LSFD-NW-EW-NW-EW | 99 | |
| | -LSFD-EW-LSFD | 403 | -LSFD-NW-LSFD-NW-LSFD-NW-LSFD | 95 | |
| | -LSFD-NW-LSFD-EW-NNW-EW | 316 | -LSFD-NW-NNW-NW | 93 | |
| | -LSFD-NW-LSFD-EW | 165 | -LSFD-NNW | 91 | |
| | -LSFD-NW-LSFD-NNW-EW-LSFD-EW | 104 | -LSFD-NW-LSFD-NW-EW-NW | 88 | |
| | -LSFD-NNW-EW-LSFD-NW | 94 | -LSFD-NW-LSFD-NW-NNW-NNW | 70 | |
| 合計 | 9,076 | -LSFD-NW-LSFD-EW-NW-EW | 64 | | |
| NNW_high (パターン数:4) | -LSFD-Tsuki_DZ_group | 5,490 | -LSFD-NW-LSFD-NNW | 63 | |
| | -LSFD-NNW-LSFD-Tsuki_DZ_group | 1,741 | -LSFD-NNW-NW-EW-NW | 62 | |
| | -LSFD-NNW-Tsuki_DZ_group | 1,512 | -LSFD-NW-NNW-NW-LSFD | 60 | |
| | -LSFD-Tsuki_DZ_group-NNW | 672 | -LSFD-NW-LSFD-NNW-LSFD | 55 | |
| 合計 | 9,415 | -LSFD-NW-LSFD-NNW-NW-EW | 48 | | |
| NW_high (パターン数:16) | -LSFD-NW-LSFD-EW-NNW-EW | 3,544 | -LSFD-NNW-NW-EW-NW-EW | 42 | |
| | -LSFD-NW-LSFD-EW | 2,412 | -LSFD-NW-LSFD-NW-LSFD-NW-NNW | 41 | |
| | -LSFD-NW-LSFD-EW-LSFD-EW | 704 | -LSFD-NW-LSFD-NW-EW-NW-NNW | 35 | |
| | -LSFD-NW-LSFD-EW-LSFD | 562 | -LSFD-NW-NNW-NW-LSFD-NW-NNW | 32 | |
| | -LSFD-NW-NNW-EW-NNW-EW | 337 | -LSFD-NW-NNW-NW-EW-NW-EW | 32 | |
| | -LSFD-NNW-NW-NNW-EW | 296 | -LSFD-NW-NNW-NW-NNW-NW | 31 | |
| | -LSFD-NW-NNW-EW | 218 | -LSFD-NNW-NW-LSFD-NW-LSFD | 31 | |
| | -LSFD-NW-LSFD-EW-NNW-EW-LSFD | 203 | 合計 | 9,029 | |
| | -LSFD-NNW-NW-NNW-EW-NNW-EW | 146 | NE_NNW_high_anEW (パターン数:2) | -LSFD-Tsuki_DZ_group | 8,715 |
| | -LSFD-NW-EW-LSFD-EW | 122 | -LSFD-NNW-Tsuki_DZ_group | 507 | |
| | -LSFD-NW-NNW-EW-LSFD-EW | 114 | 合計 | 9,222 | |
| | -LSFD-NW-LSFD-EW-NNW | 97 | NE_NW_high_anEW (パターン数:35) | -LSFD-NW-NNW | 1,557 |
| | -LSFD-NNW-NW-NNW-EW-NNW | 85 | | -LSFD-NW-LSFD | 766 |
| | -LSFD-NW-LSFD-EW-NNW-EW-LSFD-EW | 80 | | -LSFD-NNW-NW-NNW | 756 |
| | -LSFD-NW-EW-LSFD | 73 | | -LSFD-NW-NNW-NW-NNW | 746 |
| | -LSFD-NW-EW-NNW-EW | 70 | | -LSFD-NW-LSFD-NW-EW | 711 |
| 合計 | 9,063 | -LSFD-NW-LSFD-NW-NNW | | 556 | |
| NE_NNW_high (パターン数:2) | -LSFD-Tsuki_DZ_group | 8,751 | | -LSFD-NW-EW-NW | 519 |
| | -LSFD-NNW-Tsuki_DZ_group | 454 | | -LSFD-NW-EW-NW-EW | 514 |
| 合計 | 9,205 | -LSFD-NW-LSFD-NW-LSFD | | 301 | |
| NE_NW_high (パターン数:17) | -LSFD-NW-LSFD-EW-NNW-EW | 3,527 | | -LSFD-NW | 300 |
| | -LSFD-NW-LSFD-EW | 2,241 | | -LSFD-NW-NNW-NW-NNW-NW-NNW | 263 |
| | -LSFD-NW-LSFD-EW-LSFD-EW | 787 | | -LSFD-NW-NNW-NW | 179 |
| | -LSFD-NW-LSFD-EW-LSFD | 504 | | -LSFD-NW-LSFD-NW | 155 |
| | -LSFD-NW-NNW-EW-NNW-EW | 326 | | -LSFD-NW-EW-NW-NNW | 148 |
| | -LSFD-NNW-NW-NNW-EW | 282 | | -LSFD-NW-NNW-LSFD | 142 |
| | -LSFD-NW-LSFD-EW-NNW-EW-LSFD | 249 | | -LSFD-NW-LSFD-NW-LSFD-NW-EW | 139 |
| | -LSFD-NW-NNW-EW | 226 | -LSFD-NW-LSFD-NW-EW-NW-EW | 135 | |
| | -LSFD-NNW-NW-NNW-EW-NNW-EW | 133 | -LSFD-NW-LSFD-EW-NW | 120 | |
| | -LSFD-NW-LSFD-EW-NNW-EW-LSFD-EW | 112 | -LSFD-NW-LSFD-NW-EW-NW | 120 | |
| | -LSFD-NW-LSFD-EW-NNW | 101 | -LSFD-NW-LSFD-NNW | 92 | |
| | -LSFD-NW-EW-LSFD-EW | 100 | -LSFD-NW-LSFD-NW-NNW-NW-NNW | 91 | |
| | -LSFD-NW-NNW-EW-LSFD-EW | 99 | -LSFD-NNW | 71 | |
| | -LSFD-NNW-NW-NNW-EW-NNW | 93 | -LSFD-NNW-NW-EW-NW | 70 | |
| | -LSFD-NW-EW-NNW-EW | 92 | -LSFD-NW-LSFD-EW-NW-EW | 64 | |
| | -LSFD-NW-EW-LSFD | 74 | -LSFD-NW-LSFD-NNW-NW-EW | 63 | |
| | -LSFD-NW-NNW | 68 | -LSFD-NW-NNW-LSFD | 57 | |
| 合計 | 9,014 | -LSFD-NW-LSFD-NW-LSFD-NW-LSFD | 55 | | |
| NE_high_anEW (パターン数:3) | -LSFD | 6,808 | -LSFD-NW-NNW-LSFD-NW-NNW | 52 | |
| | -LSFD-NW | 2,016 | -LSFD-NNW-NW-EW-NW-EW | 46 | |
| | -LSFD-NE | 255 | -LSFD-NW-NNW-NW-NNW-NW | 44 | |
| 合計 | 9,079 | -LSFD-NW-LSFD-NW-LSFD-NW-NNW | 42 | | |
| NNW_high_anEW (パターン数:2) | -LSFD-Tsuki_DZ_group | 8,360 | -LSFD-NNW-NW-LSFD | 36 | |
| | -LSFD-Tsuki_DZ_group-NNW | 1,109 | -LSFD-NW-NNW-NW-EW-NW | 34 | |
| 合計 | 9,469 | -LSFD-NW-LSFD-NNW-LSFD-EW | 31 | | |
| (凡例) LSFD: 花崗岩下部割れ目低密度帯 Tsuki_DZ_group: 月吉断層および月吉断層に伴う割れ目帯 NE: NE系断層 (IF.LB0(L116.169), L209, L216) NNW: NNW系断層 (L212, IF.SB1.001, IF.SB1.004, IF.SB1.005) EW: EW系断層 (IF.SB1.001, IF.SB1.003) NW: NW系断層 (L211, L215) | | | -LSFD-NW-LSFD-NW-NNW-NW-NNW-NW-NNW | 30 | |
| | | | 合計 | 9,005 | |
| | | | All_aniso (パターン数:5) | -LSFD-NW | 4,954 |
| | | | -LSFD | 3,134 | |
| | | | -LSFD-NNW-LSFD | 516 | |
| | | | -LSFD-NW-LSFD-EW-LSFD | 393 | |
| | | | -LSFD-NW-LSFD-NNW | 289 | |
| | | | 合計 | 9,286 | |
| | | | LSFD_low (パターン数:2) | -LSFD-NNW-EW-NNW | 6,546 |
| | | | -LSFD-NW | 2,485 | |
| | | 合計 | 9,031 | | |

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 7)。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 41 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 42 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 2 オーダー程度の変動を示すが、IF_SB1_004 断層に限り 3 オーダー程度の大きな変動が見られる。IF_SB1_004 断層におけるダルシー流速の大きな変動は、NNW 系、NW 系および EW 系断層が同時に透水異方性を有する解析ケースにのみ確認される。【表 7、図 41】
- ・花崗岩割れ目低密度帯における平均的なダルシー流速は 1.4×10^{-2} (m/y) である。また、花崗岩割れ目低密度帯の透水性の低下に伴い、花崗岩割れ目低密度帯におけるダルシー流速も遅くなる傾向が見られる。【表 7、図 41】
- ・断層および月吉断層に伴う割れ目帯におけるダルシー流速は、花崗岩割れ目低密度帯に比べ、1~3 オーダー程度早いことがわかる。【表 7、図 42】

表 7 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 | | | | | | |
|-------------|------------------|--------------|------------------|-----------------|-------------|------------|--------------|
| | base | NE high | NNW high | NW high | NE NNW high | NE NW high | NE high anEW |
| 花崗岩割れ目低密度帯 | 9.2E-03 | 8.3E-03 | 9.7E-03 | 2.3E-02 | 1.0E-02 | 2.4E-02 | 5.9E-03 |
| 月吉断層 | - | 6.8E-02 | 2.1E-01 | - | 2.0E-01 | - | - |
| 月吉断層に伴う割れ目帯 | - | 7.1E-02 | 1.5E-01 | - | 1.9E-01 | - | 4.7E-02 |
| NE系断層 | IF LB0(L116_169) | - | 4.8E-01 | 6.1E-01 | - | 8.7E-01 | 5.0E-01 |
| | L209 | - | 2.5E-01 | - | - | 2.0E+00 | 7.8E-01 |
| | L216 | - | - | - | - | - | 4.4E-02 |
| NNW系断層 | L212 | 1.0E+01 | 7.6E+00 | 2.6E+00 | 2.0E+01 | 6.1E+00 | 1.8E+01 |
| | IF SB0_001 | - | - | 3.5E+00 | - | 2.4E+00 | - |
| | IF SB1_004 | 9.8E+00 | 9.6E+00 | 5.0E+00 | 1.3E+00 | 3.5E+00 | 1.3E+00 |
| EW系断層 | IF SB1_005 | 1.6E+00 | 1.3E+00 | 2.8E-01 | 3.2E+00 | 4.5E-01 | 3.2E+00 |
| | IF SB1_001 | 8.2E+00 | 7.9E+00 | 2.9E+00 | 3.2E+01 | 4.5E+00 | 3.2E+01 |
| NW系断層 | IF SB1_003 | 1.2E+01 | 1.2E+01 | 3.8E+01 | 4.0E+01 | 2.4E+01 | 4.0E+01 |
| | L211 | 1.3E-01 | 1.2E-01 | 1.4E-01 | 2.7E-01 | - | 2.9E-01 |
| L215 | - | - | - | - | - | - | - |
| 地質構造要素 | 解析ケース | | | | | | 平均値 |
| | NNW high anEW | NW high anEW | NE NNW high anEW | NE NW high anEW | All aniso | LSFD low | |
| 花崗岩割れ目低密度帯 | 1.1E-02 | 2.3E-02 | 1.2E-02 | 2.0E-02 | 7.6E-03 | 9.2E-04 | 1.4E-02 |
| 月吉断層 | 2.4E-01 | - | 1.9E-01 | - | - | 7.3E-01 | 2.7E-01 |
| 月吉断層に伴う割れ目帯 | 1.6E-01 | 1.2E-01 | 2.0E-01 | - | - | 6.6E-02 | 1.3E-01 |
| NE系断層 | IF LB0(L116_169) | 6.5E-01 | 7.9E-02 | 8.9E-01 | - | - | 5.8E-01 |
| | L209 | - | - | - | 3.0E+00 | - | 5.5E-01 |
| | L216 | - | - | - | - | - | 4.4E-02 |
| NNW系断層 | L212 | 6.7E-01 | 3.7E+00 | 6.5E-01 | 3.8E+00 | 4.8E-01 | 2.2E+00 |
| | IF SB0_001 | 3.6E+00 | - | 2.4E+00 | - | - | 3.4E+01 |
| | IF SB1_004 | 5.1E+00 | 2.5E-01 | 3.5E+00 | 2.8E-01 | 5.6E-03 | 1.3E+01 |
| EW系断層 | IF SB1_005 | 4.2E-01 | 7.0E+00 | - | 6.9E+00 | 1.5E+00 | 9.1E-01 |
| | IF SB1_001 | - | 1.8E+01 | - | 1.8E+01 | 3.3E+00 | 9.8E+00 |
| NW系断層 | IF SB1_003 | 2.8E+01 | 2.9E+01 | 1.7E+01 | 3.1E+01 | 1.1E+01 | 2.6E+01 |
| | L211 | - | 1.6E+00 | - | 2.0E+00 | 1.8E-01 | 1.7E-01 |
| L215 | - | - | - | - | - | - | - |

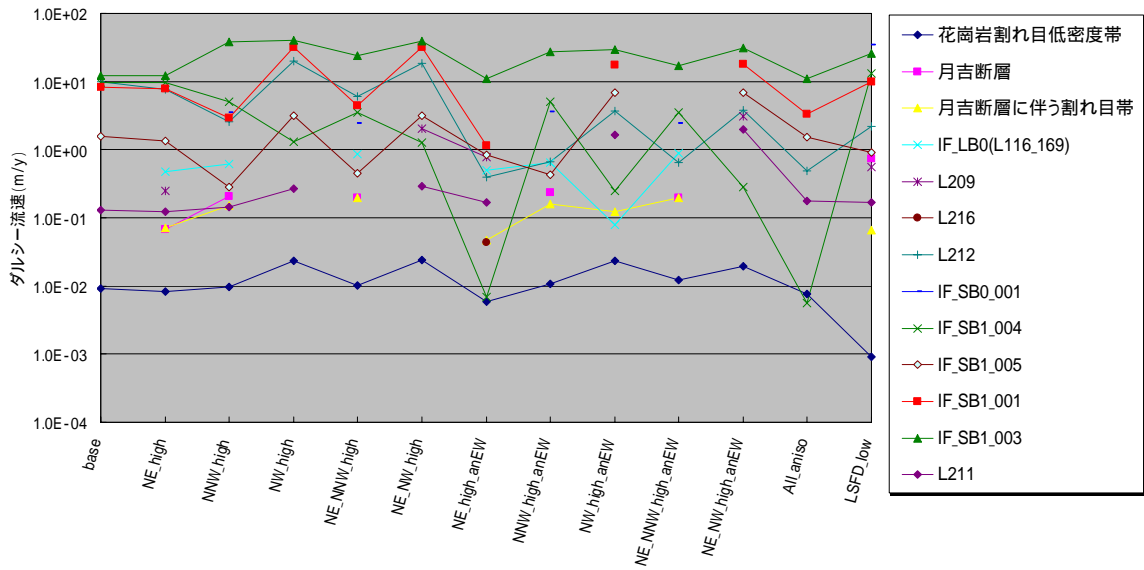


図 41 解析ケースにおける地質構造要素のダルシー流速の比較

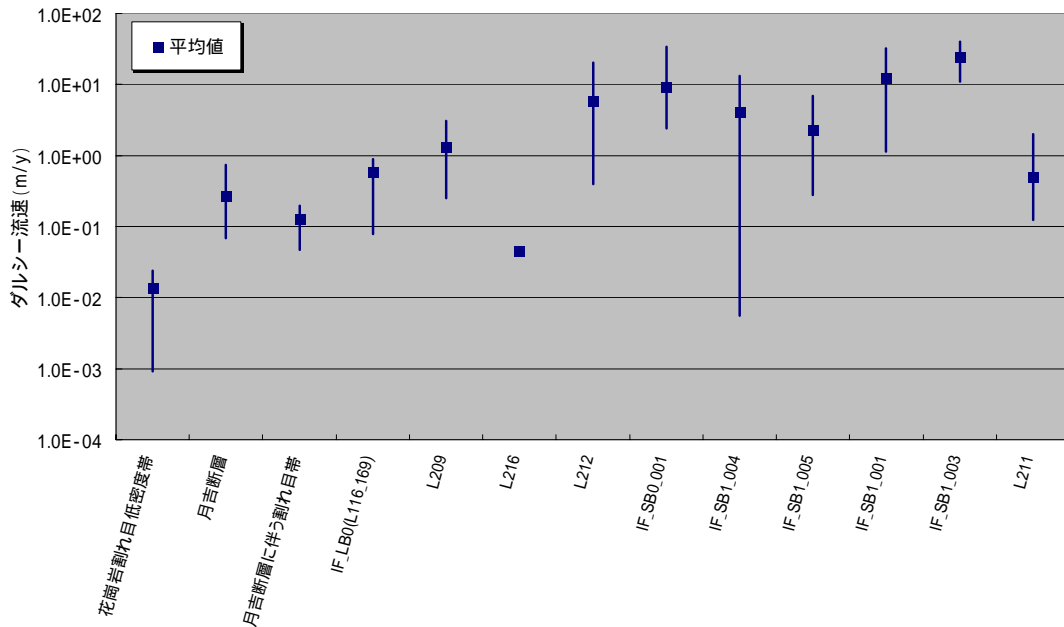


図 42 地質構造要素におけるダルシー流速の比較

7. 考 察

本解析結果に基づいて、水理地質構造モデルにおけるモデル化要素、境界条件およびステップ1からステップ2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の考察をとりまとめる。

水理地質構造のモデル化要素について

- ・断層の透水性に着目した感度解析結果による全水頭分布の比較より、NNW系、NW系およびEW系断層の透水性が研究用地周辺の全水頭分布に及ぼす影響は大きく、NE系断層の透水性が及ぼす影響は小さい。このことから、地下水の主流動方向と類似した走向を有する断層の透水性が全水頭分布に及ぼす影響は、小さい傾向がある。
- ・月吉断層より南側で見られるステップ1とステップ2での全水頭の分布傾向の違いは、水理地質構造モデルの更新に伴い断層によって形成される周囲との閉鎖領域の違いが起因しているものと考えられる。このことから、断層の透水性だけでなく、断層の分布範囲や形状が地下水流動場に大きな影響を及ぼしていることがわかる。
- ・MSB-1号孔での全水頭分布の実測値と解析値の比較より、NNW系断層の水理学的特性として、透水異方性もしくは遮水性を有している可能性がある。
- ・MSB-3、DH-2号孔での全水頭分布の実測値と解析値の比較より、EW系断層の透水性がMSB-3、DH-2号孔の全水頭分布に大きな影響を及ぼすことが示されたが、EW系断層の水理学的特性の特定には至らなかった。
- ・パーティクルトラッキング解析の結果に基づく地下水の移行経路を比較すると、NNW系、NW系およびEW系断層の透水性が地下水の移行経路に及ぼす影響は大きく、NE系断層の透水性が地下水の移行経路に及ぼす影響は小さい。この結果は、全水頭分布の比較で認められる傾向と同様である。
- ・パーティクルトラッキング解析の結果から、断層におけるダルシー流速が母岩である花崗岩割れ目低密度帯に比べ1～3オーダー程度早いことが確認された。このことから、断層が地下水の主要な流動経路となる可能性がある。
- ・また、IF_SB1_004断層におけるダルシー流速の大きな変動は、NNW系、NW系およびEW系断層が同時に透水異方性を有する解析ケースにのみ確認される。これは、地下水の主流動方向とは異なる走向を有する断層の遮水効果によって、

IF_SB1_004 断層周辺の動水勾配が小さくなったことに起因するものと考えられる。このことから、複数の断層の透水性の組み合わせによって、特定の断層におけるダルシー流速が大きく変動する可能性がある。

- ・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、モデル化・解析領域の全水頭分布や地下水の移行経路に影響を及ぼす可能性がある。

境界条件について

- ・ステップ 2 の解析結果は、ステップ 1 の解析結果に比べ実測値に近づいているものの、全水頭分布の絶対値で見ると解析値は実測値より 20～60m 程度高い結果となっている。この絶対値の差が生じる要因として、本検討で構築したサイトスケールの水理地質構造モデルでは上部および側方境界条件が支配的であり、地下水流動解析の結果に大きな影響を及ぼしていることが考えられる。

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

- ・MSB-1, MSB-3, 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 4）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 2 の調査段階では全てのモデル化対象断層に透水異方性を考慮した水理地質構造モデル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。
- ・MSB-1, MSB-3, DH-2 号孔における全水頭の実測値とステップ 1 およびステップ 2 の解析値の比較（表 5, 図 27）より、ステップ 1 の解析結果に比べステップ 2 の全水頭の実測値の再現性が向上している。このことから、繰り返しアプローチにおけるステップの進展に伴う情報量の増加により、研究所用地周辺の地下水流動場の再現性が向上したものと考えられる。
- ・ステップ 1 の地下水流動解析結果からは、ステップ 2 以降の調査の重要事項として NNW 系および NE 系断層が抽出された。また、ステップ 2 の地下水流動解析結果からは、NNW 系断層の重要性は確認されたものの、地下水の主流動方向と類似する NE 系断層が研究所用地近傍の地下水流動場に及ぼす影響は小さいことが確認された。このことから、水理地質構造モデルの更新に伴い、地下水流動場に影響を及ぼす断層系が変化する可能性が示唆されるとともに、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。

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1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以降の調査対象の抽出を目的として、ステップ2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の調査段階においては、全てのモデル化対象断層に透水異方性を考慮することで研究所用地周辺の地下水流動場を最も精度よく再現できることがわかった。また、ステップ1からステップ2への調査の進展に伴って、研究所用地周辺の地下水流動場の再現性の向上が確認されるとともに、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。さらに、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るとともに、研究所用地周辺の地下水流動場に影響を及ぼす断層として、NNW系、NW系、EW系断層が抽出された。一方で、地下水の主流動方向と類似している走向を有するNE系断層は、地下水流動場に及ぼす影響が小さい傾向が明らかとなった。

断層の水理学的特性としては、NNW系断層が透水異方性もしくは遮水性を有している可能性が示唆された。NNW系断層に関しては、地下水の間隙水圧モニタリングデータからも水理的に遮水構造を有している可能性が示唆されており¹⁰⁾、その妥当性が確認された。

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、研究所用地周辺の地下水流動特性に影響を及ぼすことが示されたため、更なる地下深部の地質環境情報の取得が望まれる。さらに、サイトスケールの水理地質構造モデルでは上部および側方境界条件が支配的であるため、より精度の高い上部および側方境界条件の設定が望まれる。

これらのことより、ステップ3以降の調査・研究においては、以下に示す検討事項が重要であると考えられる。

- ・ NNW系、NW系、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

今後は、引き続き繰り返しアプローチに基づき、上記3つの重要事項の調査検討を行い、これに基づいて更新されるステップ3の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4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、ステップ3の地下水流動解析における解析結果の評価およびステップ2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を効率的に調査・解析・評価するための体系的な技術基盤を第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) 三枝博光，松岡稔幸，熊崎直樹，稲葉薫：超深地層研究所計画における研究の現状 - 繰り返しアプローチに基づく地質構造モデルの構築及び地下水流動解析について - ，土木学会第 59 回年次学術講演会論文集，CS1-18，pp.35-36，2004.
- 3) 松岡稔幸，熊崎直樹，三枝博光，佐々木圭一，遠藤令誕，天野健治：繰り返しアプローチに基づく地質構造のモデル化 (Step1 および Step2)，サイクル機構技術資料，JNC TN7400 2005-007，2005.
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) 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.
- 7) 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.
- 8) 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.
- 9) 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.
- 10) 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.
- 11) 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 2001-001, 2001.
- 12) 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.
- 13) 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.
- 14) 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.
- 15) 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.
- 16) 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.
- 17) 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.
- 18) 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.
- 19) 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 2 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 2005-003, 2005.
- 20) 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.
- 21) 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.
- 22) 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.
- 23) 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 : パーティクルトラッキング解析における
パーティクル数の妥当性の確認

A1-1 パーティクル数の妥当性確認方法

本検討で実施したパーティクルトラッキング解析結果は、解析コード (Frac-affinity) による数値分散および複数の断層による影響で複雑かつ広がりのある移行経路となることが想定された。そこで、パーティクルトラッキング解析において、10,000 個のパーティクルを対象としたことの妥当性の確認を行った。妥当性の確認は、解析ケースのうち基本ケースである Base ケースを対象として実施した。確認方法としては、全パーティクル数 10,000 個の中から 等間隔に標本を抽出する系統抽出方法によって 100 個、1,000 個、5,000 個のパーティクルを抽出した後、それぞれのパーティクル数における地下水の移行経路の傾向を比較した。地下水の移行経路のパターン分類については、本文 6.3.3 と同様の手法を用いた。

A1-2 パーティクル数と地下水の移行経路の傾向

図 A1-1 ~ A1-4 に、パーティクル数と地下水の移行経路の傾向を示す。

これらの図より、パーティクル数に関わらず移行経路のパターン数は 10 パターン程度であり、その移行経路パターンは概ね同様のパターンであることがわかる。また、各移行経路におけるパーティクル数の頻度分布を比較すると、パーティクル数 100 個とそれ以外で異なる傾向を示している。すなわち、パーティクル数 100 個の場合では、全パーティクル数の 20%以上のパーティクル数を有する移行経路が 2 パターンあるが、それ以外の場合では、全パーティクル数の 20%以上のパーティクル数を有する移行経路はなく、15%以上のパーティクル数を有する移行経路が 3 パターンである。したがって 地下水の移行経路はパーティクル数が 100 個と 1,000 個の間で異なる傾向があり、1,000 個以上のパーティクルを対象とした場合には概ね同様の傾向があると言える。

以上のことから、10,000 個のパーティクルを対象としたパーティクルトラッキング解析を実施することで、解析コード (Frac-affinity) による数値分散および断層による影響を十分に包含した解析結果が得られるものと判断した。

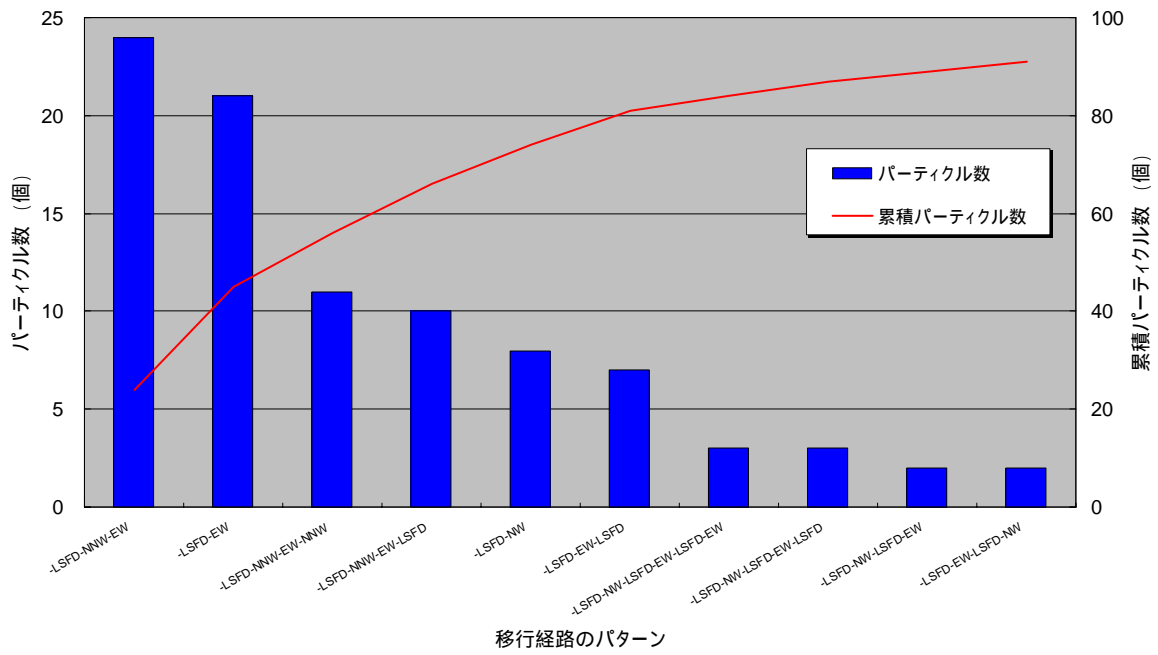


図 A1-1 パーティクル数と地下水の移行経路 (パーティクル数 : 100 個)

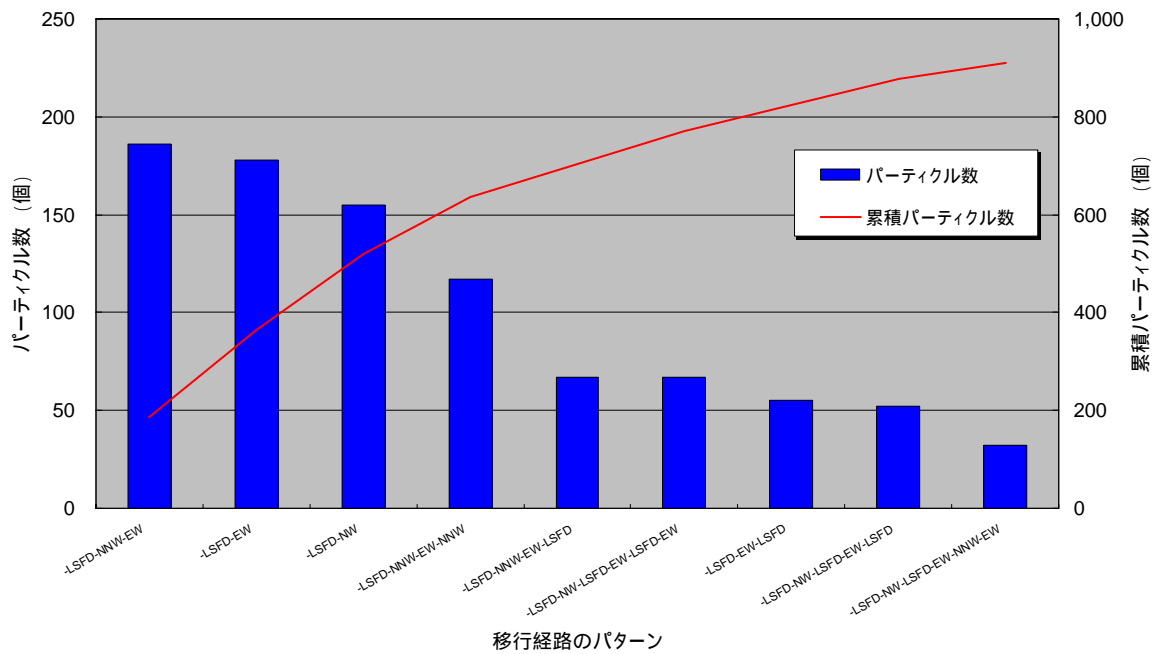


図 A1-2 パーティクル数と地下水の移行経路 (パーティクル数 : 1,000 個)

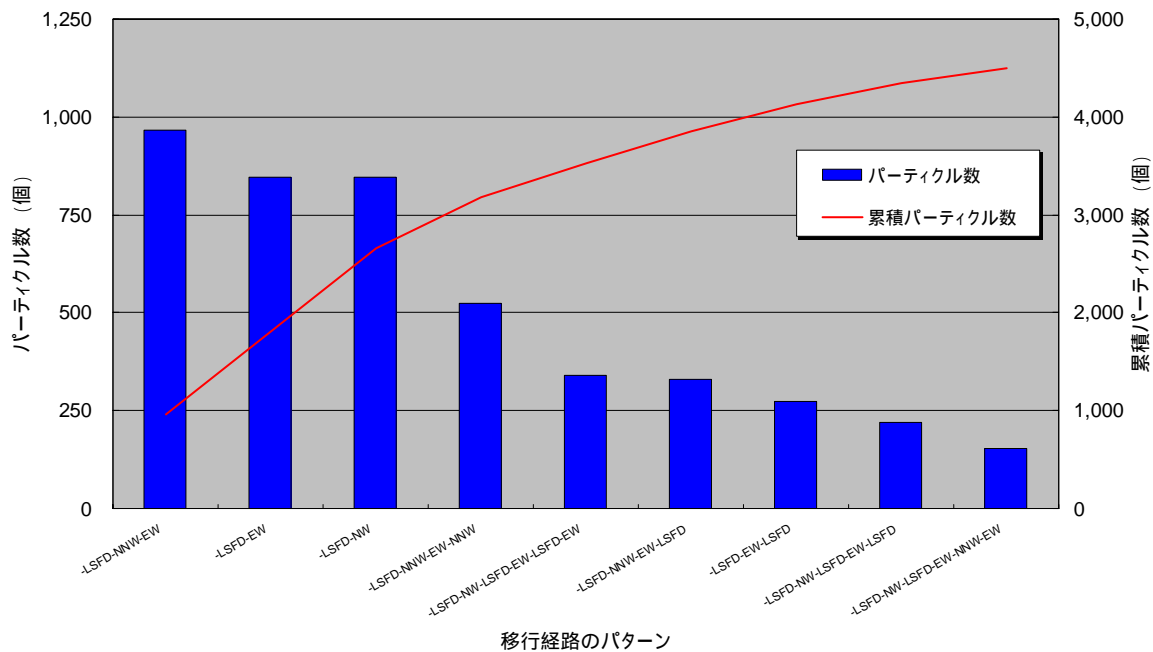


図 A1-3 パーティクル数と地下水の移行経路 (パーティクル数 : 5,000 個)

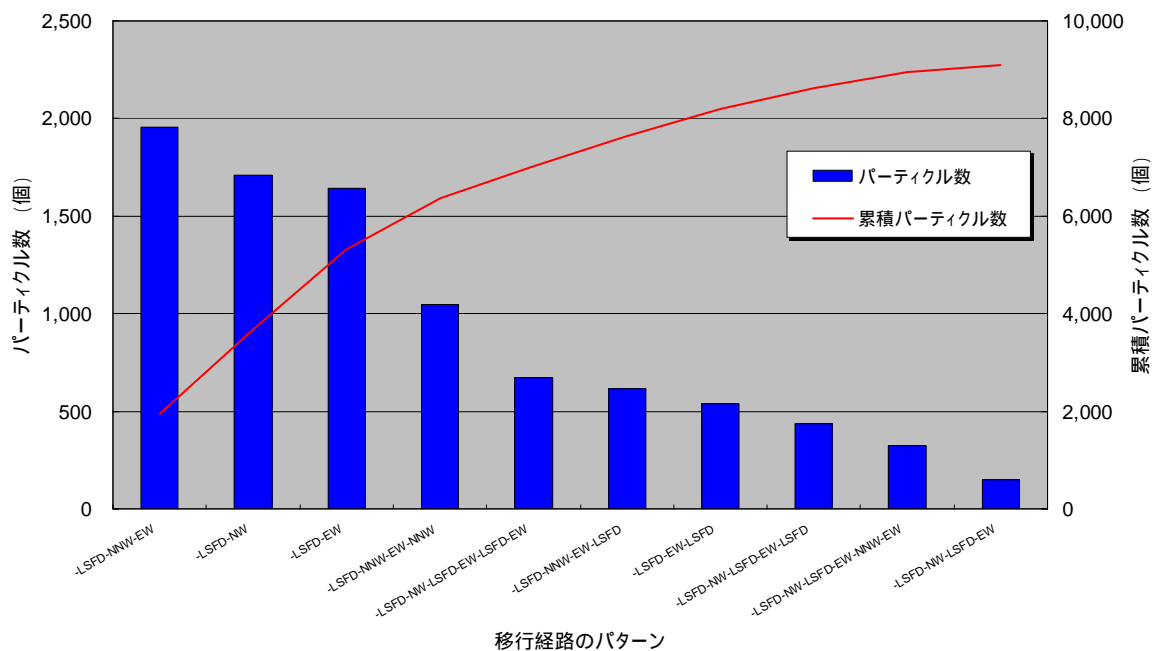




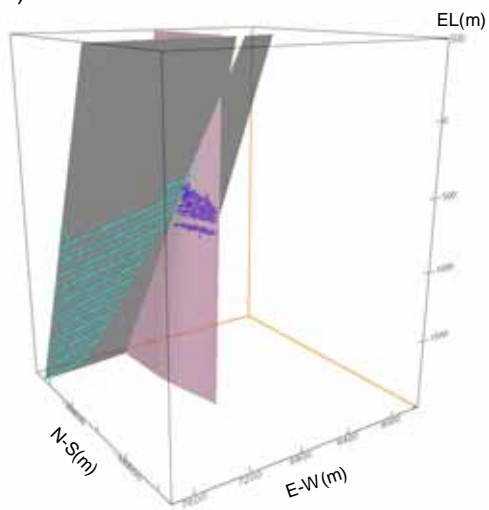
図 A1-4 パーティクル数と地下水の移行経路 (パーティクル数 : 10,000 個)

Appendix-2 : 解析ケースにおける地下水の移行経路パターン図

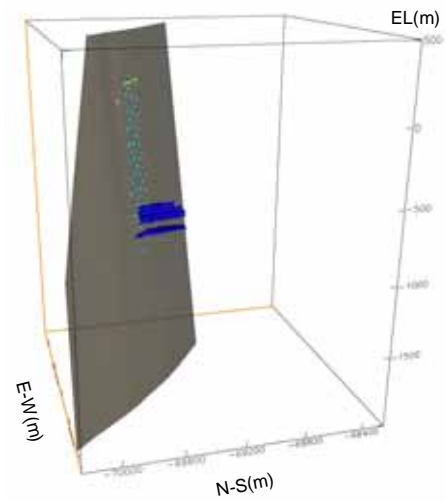
図中の移行経路の分類は以下を参照

| (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 |

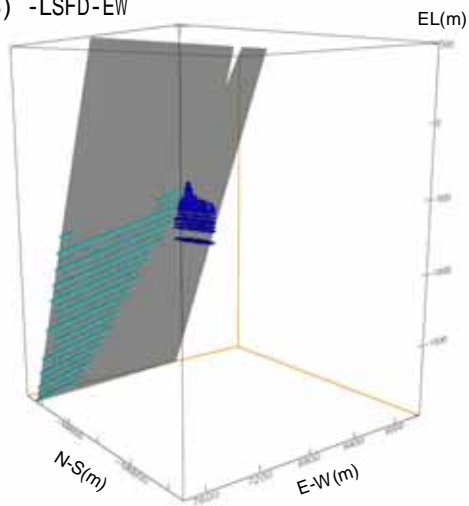
(1) -LSFD-NNW-EW



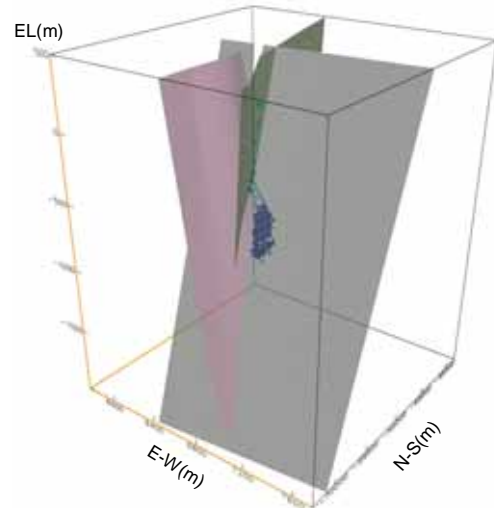
(2) -LSFD-NW



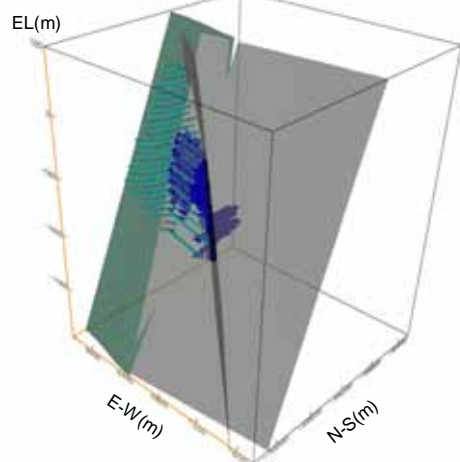
(3) -LSFD-EW



(4) -LSFD-NNW-EW-NNW



(5) -LSFD-NW-LSFD-EW-LSFD-EW



(6) -LSFD-NNW-EW-LSFD

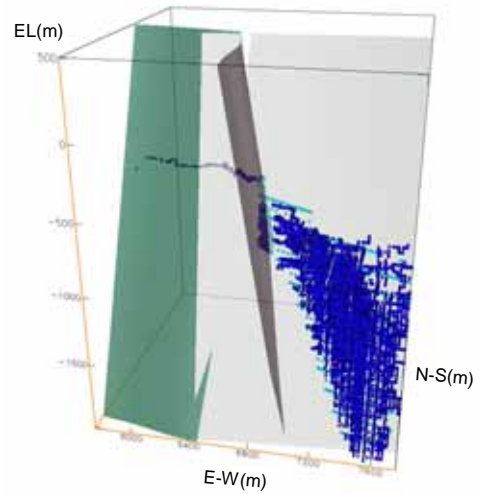
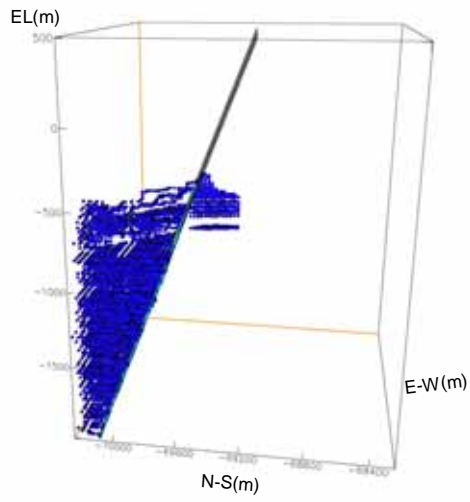
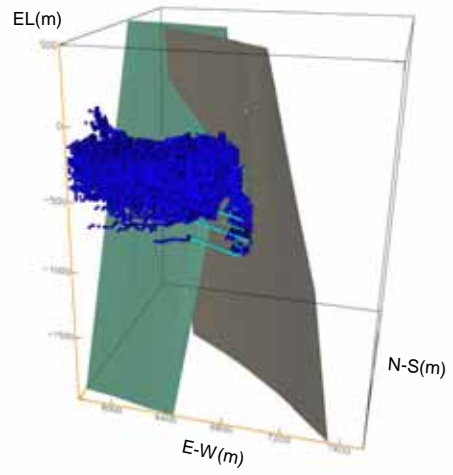


図 A2-1(1) 地下水の移行経路パターン (解析ケース : base)

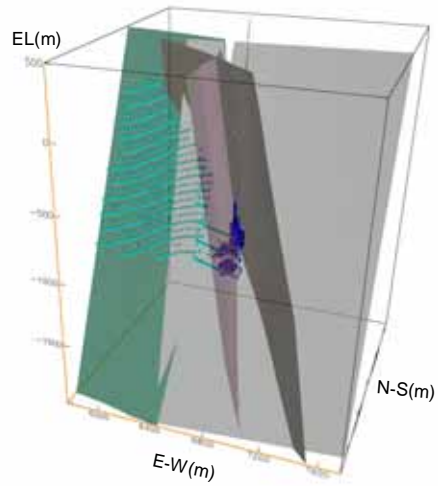
(7) -LSFD-EW-LSFD



(8) -LSFD-NW-LSFD-EW-LSFD



(9) -LSFD-NW-LSFD-EW-NNW-EW



(10) -LSFD-NW-LSFD-EW

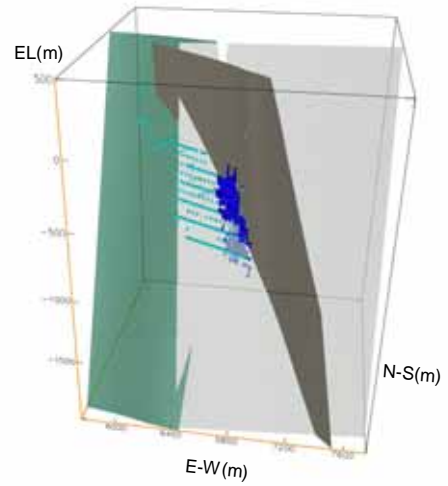
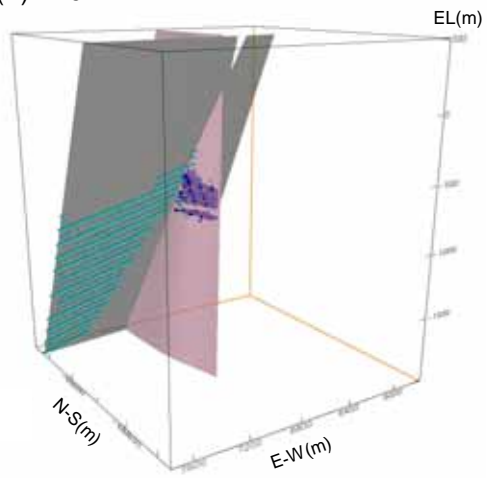
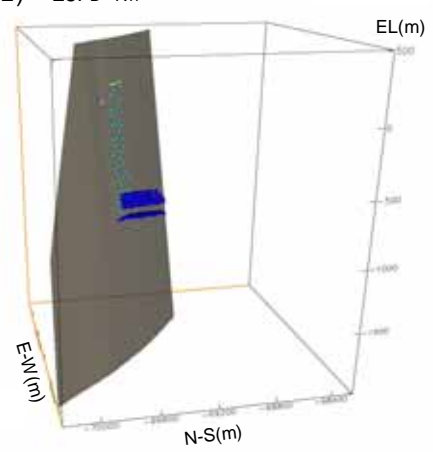


図 A2-1(2) 地下水の移行経路パターン (解析ケース : base)

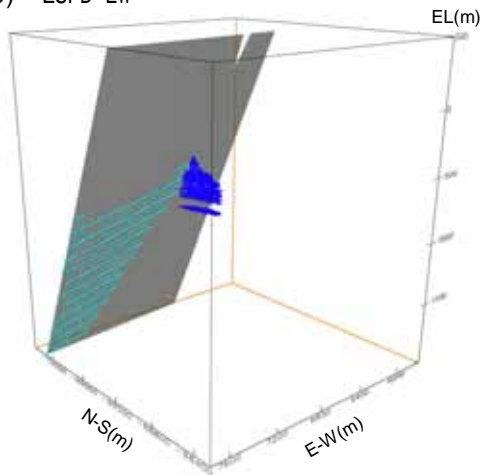
(1) -LSFD-NNW-EW



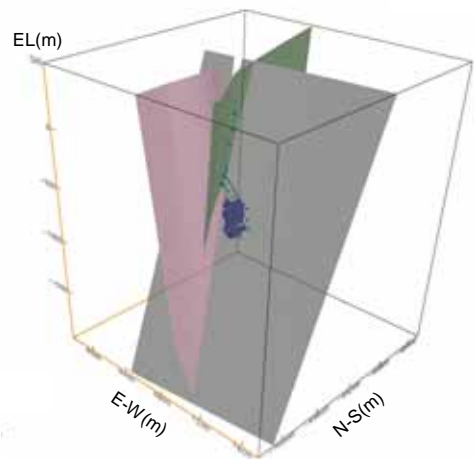
(2) -LSFD-NW



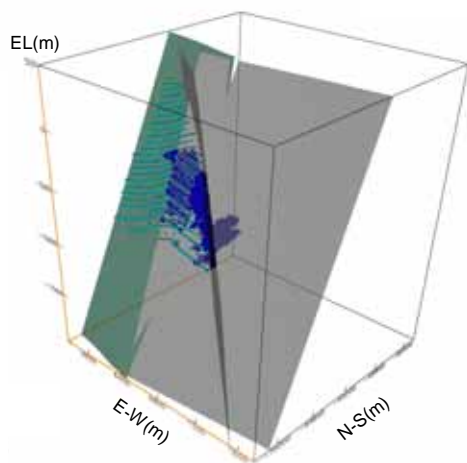
(3) -LSFD-EW



(4) -LSFD-NNW-EW-NNW



(5) -LSFD-NW-LSFD-EW-LSFD-EW



(6) -LSFD-NNW-EW-LSFD

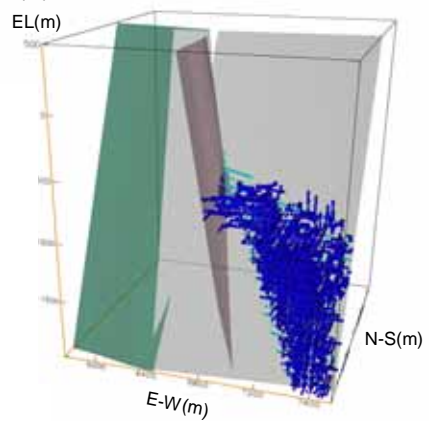
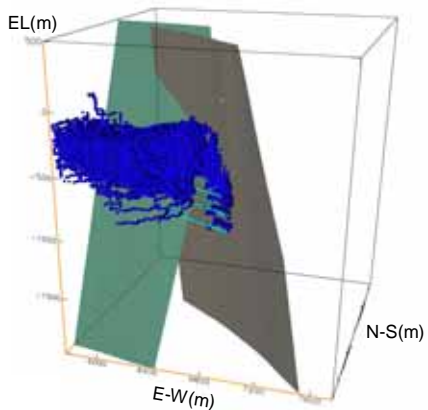
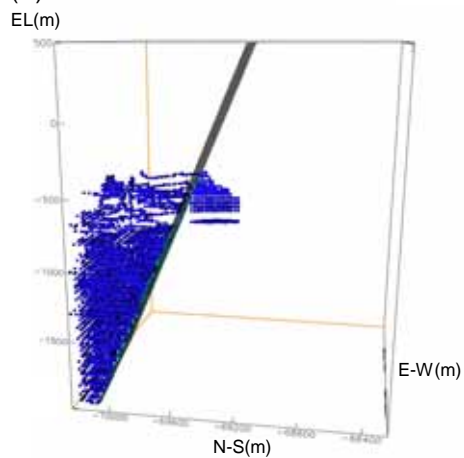


図 A2-2(1) 地下水の移行経路パターン (解析ケース : NE_high)

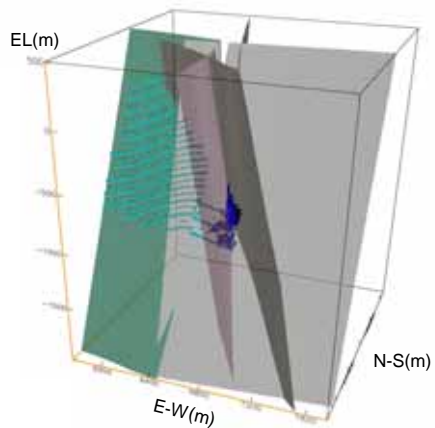
(7) -LSFD-NW-LSFD-EW-LSFD



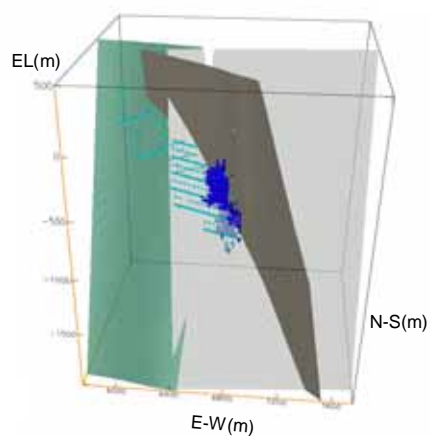
(8) -LSFD--EW-LSFD



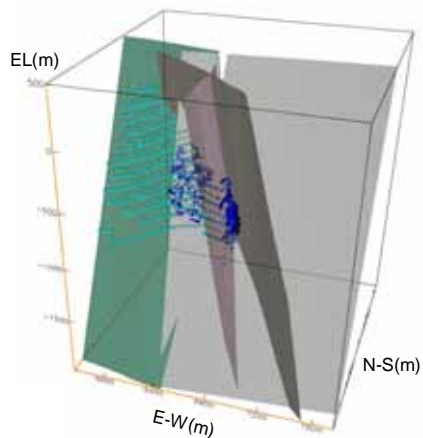
(9) -LSFD-NW-LSFD-EW-NNW-EW



(10) -LSFD-NW-LSFD-EW



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



(12) -LSFD-NNW-EW-LSFD-NW

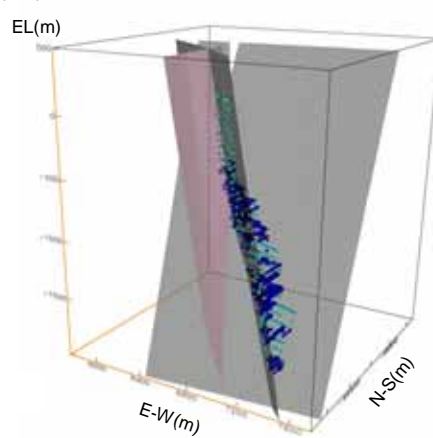


図 A2-2(2) 地下水の移行経路パターン (解析ケース : NE_high)

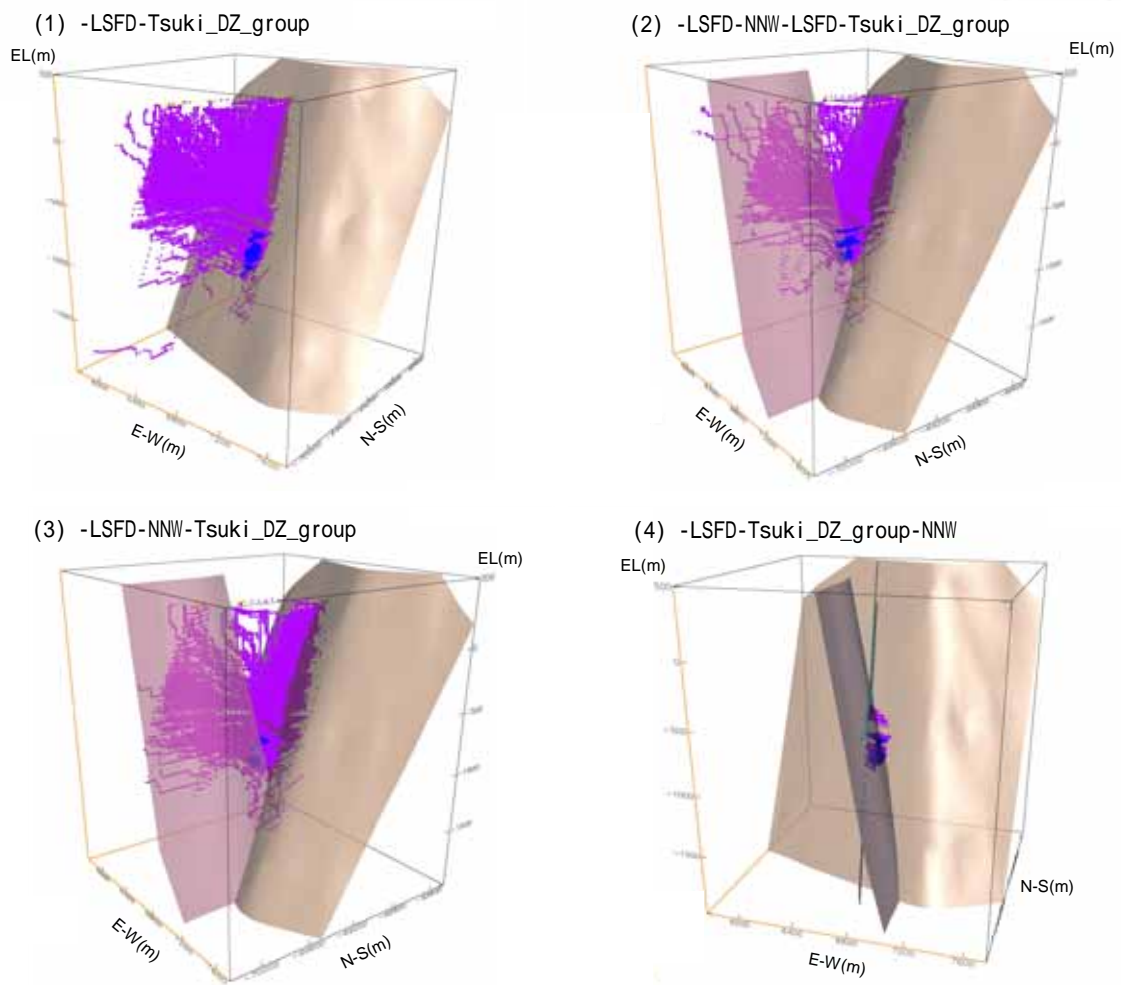
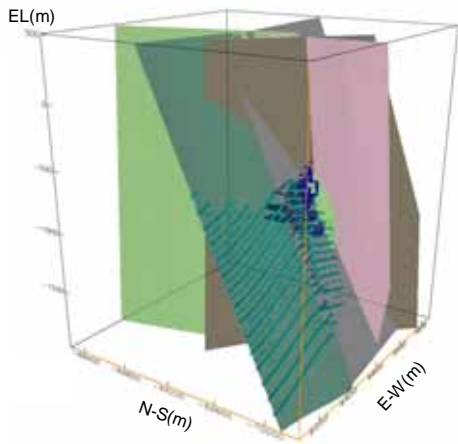
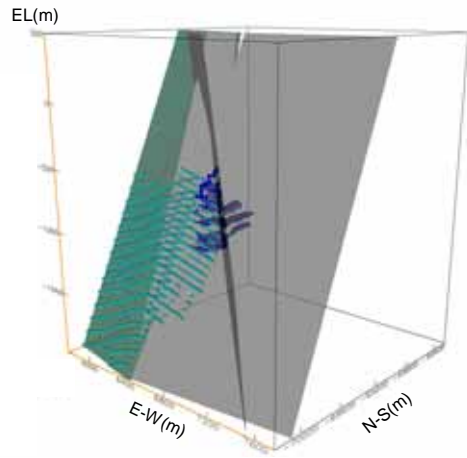


図 A2-3(1) 地下水の移行経路パターン（解析ケース：NNW_high）

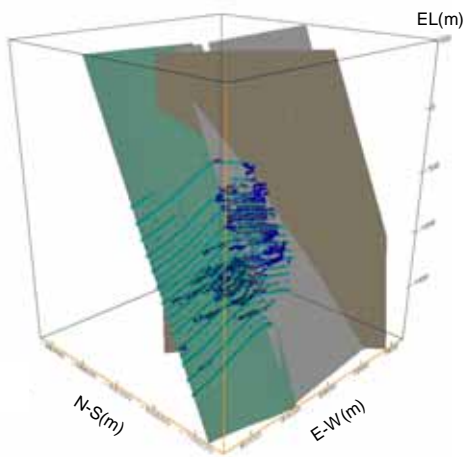
(1) -LSFD-NW-LSFD-EW-NNW-EW



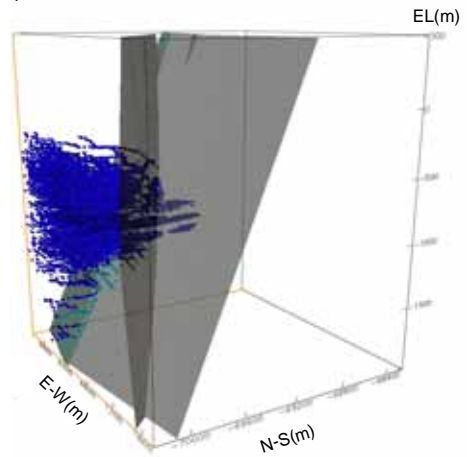
(2) -LSFD-NW-LSFD-EW



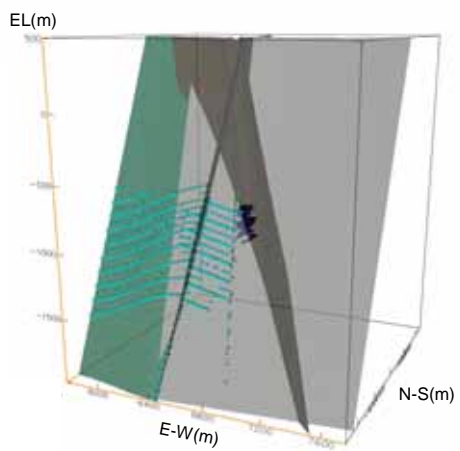
(3) -LSFD-NW-LSFD-EW-LSFD-EW



(4) -LSFD-NW-LSFD-EW-LSFD



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



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

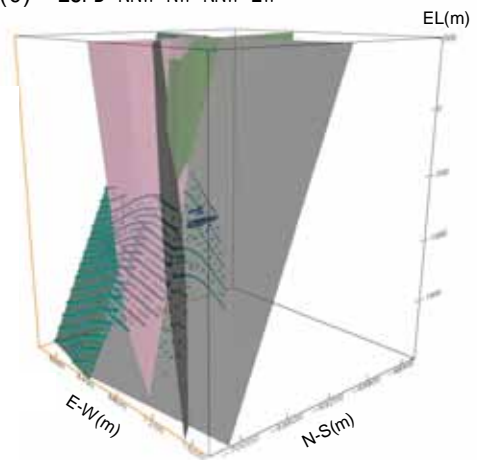
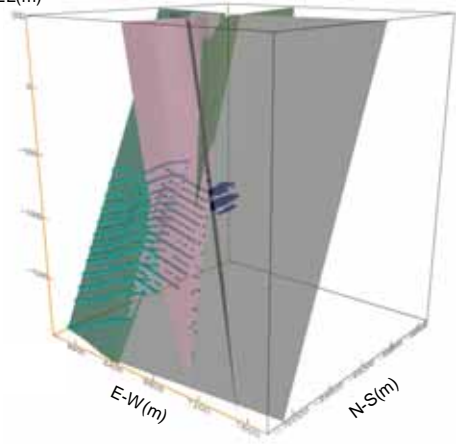
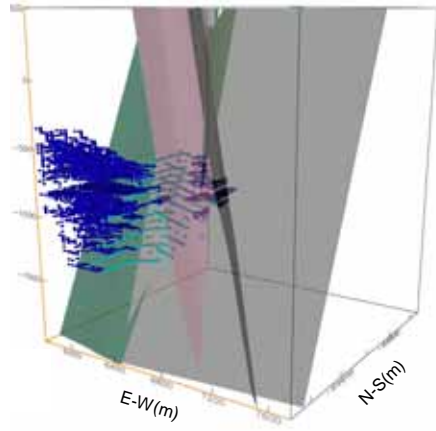


図 A2-4(1) 地下水の移行経路パターン (解析ケース : NW_high)

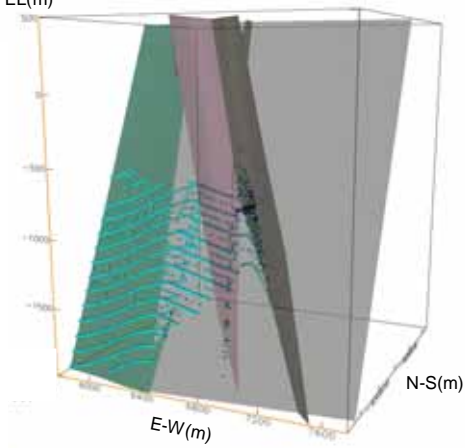
(7) -LSFD-NW-NNW-EW
EL(m)



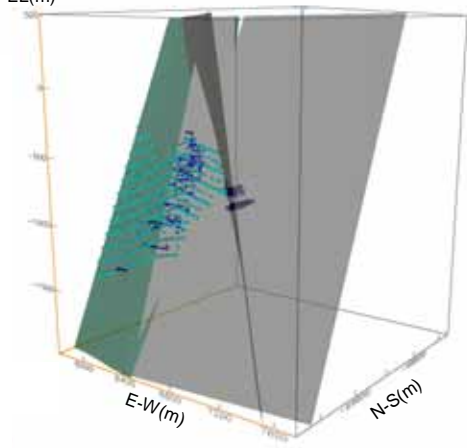
(8) -LSFD-NW-LSFD-EW-NNW-EW-LSFD
EL(m)



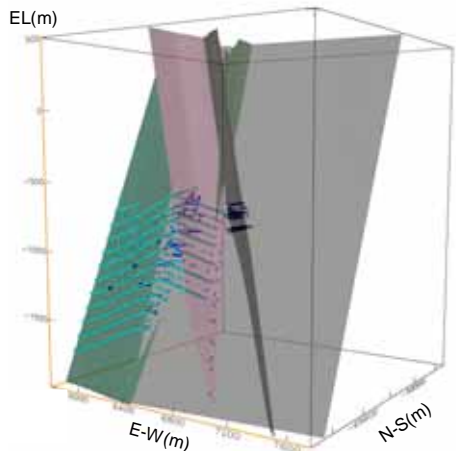
(9) -LSFD-NNW-NW-NNW-EW-NNW-EW
EL(m)



(10) -LSFD-NW-EW-LSFD-EW
EL(m)



(11) -LSFD-NW-NNW-EW-LSFD-EW
EL(m)



(12) -LSFD-NW-LSFD-EW-NNW
EL(m)

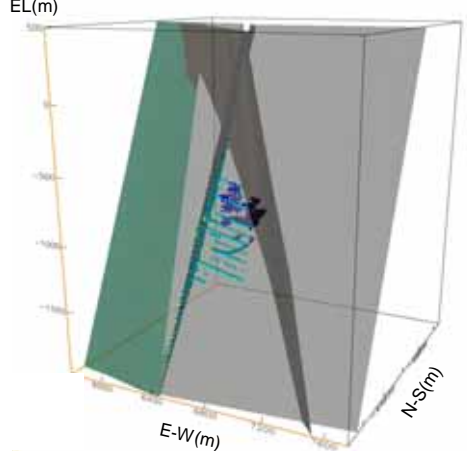
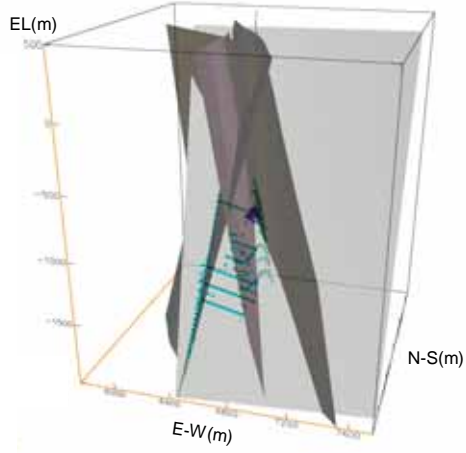
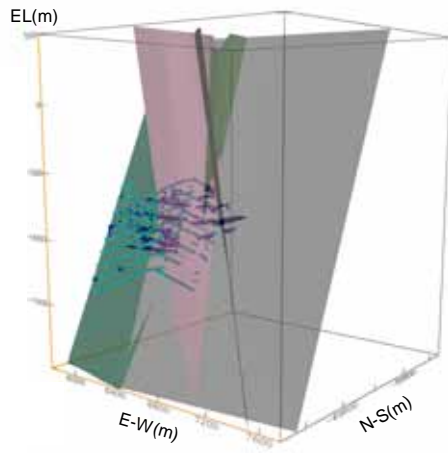


図 A2-4(2) 地下水の移行経路パターン (解析ケース : NW_high)

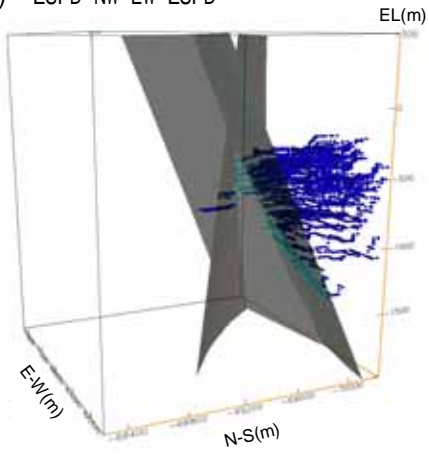
(13) -LSFD-NNW-NW-NNW-EW-NNW



(14) -LSFD-NW-LSFD-EW-NNW-EW-LSFD-EW



(15) -LSFD-NW-EW-LSFD



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

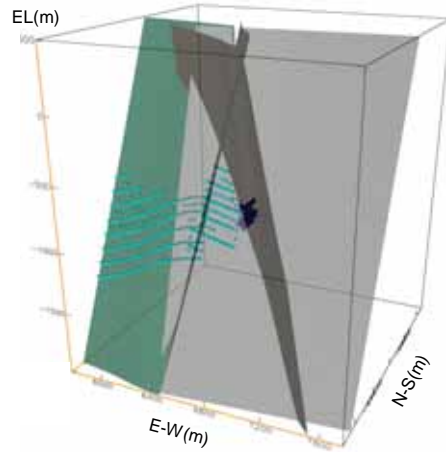
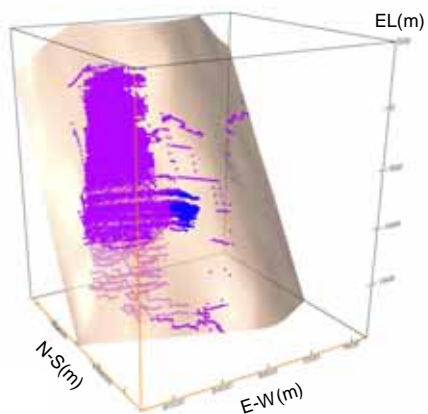


図 A2-4(3) 地下水の移行経路パターン (解析ケース : NW_high)

(1) -LSFD-Tsuki_DZ_group



(2) -LSFD-NNW-Tsuki_DZ_group

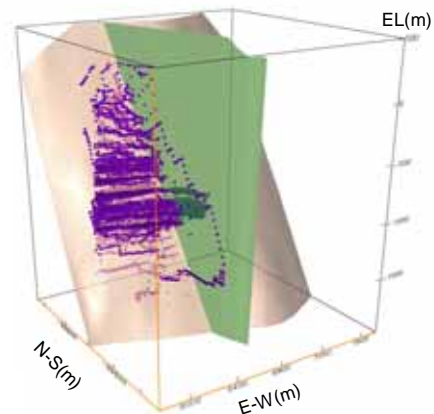


図 A2-5(1) 地下水の移行経路パターン（解析ケース：NE_NNW_high）

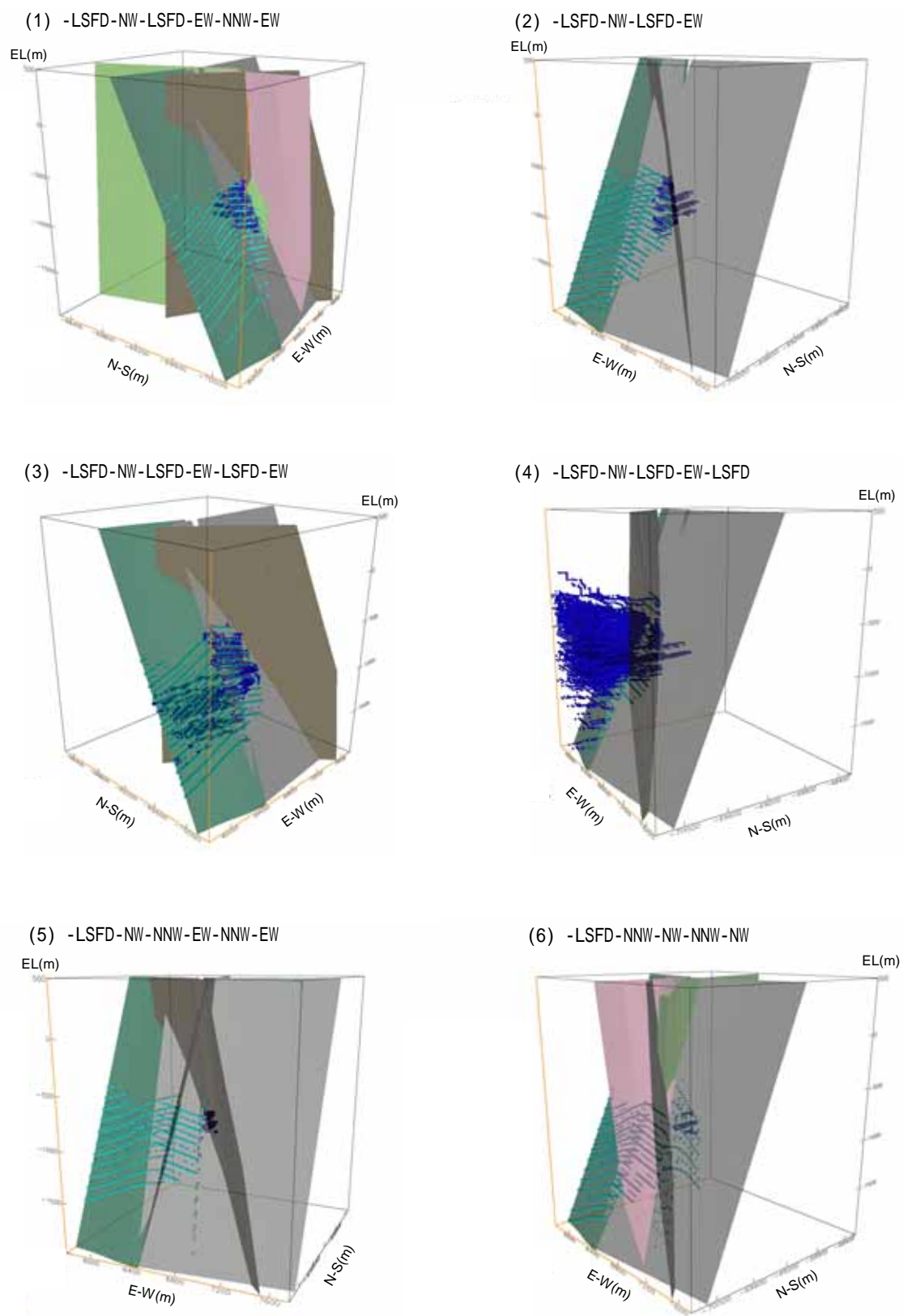
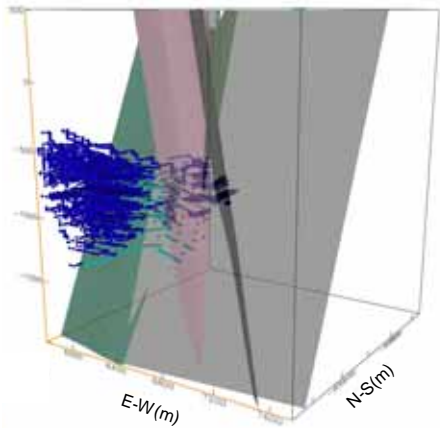
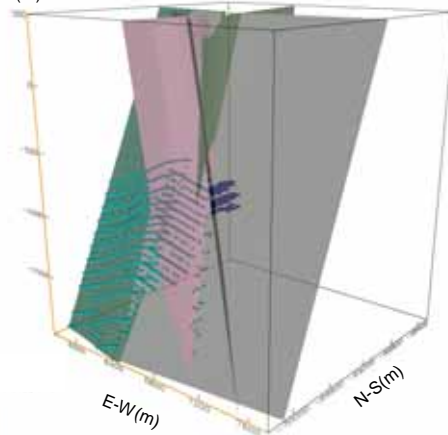


図 A2-6(1) 地下水の移行経路パターン (解析ケース: NE_NW_high)

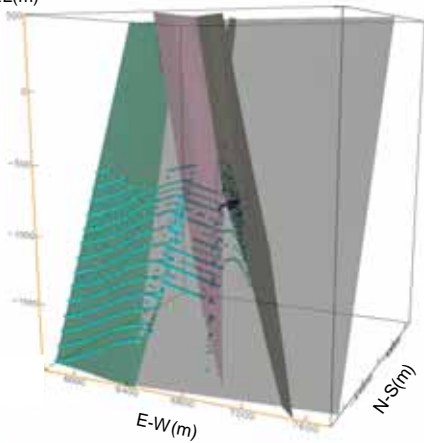
(7) -LSFD-NW-LSFD-EW-NNW-EW-LSFD
EL(m)



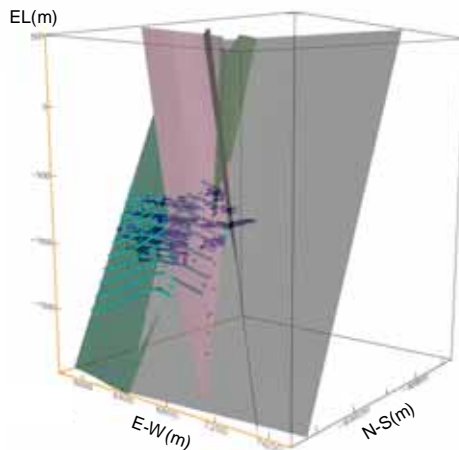
(8) -LSFD-NW-NNW-EW
EL(m)



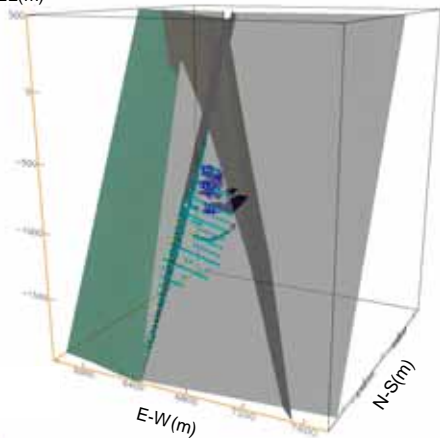
(9) -LSFD-NNW-NW-NNW-EW-NNW-EW
EL(m)



(10) -LSFD-NW-LSFD-EW-NNW-EW-LSFD-EW
EL(m)



(11) -LSFD-NW-LSFD-EW-NNW
EL(m)



(12) -LSFD-NW-EW-LSFD-EW
EL(m)

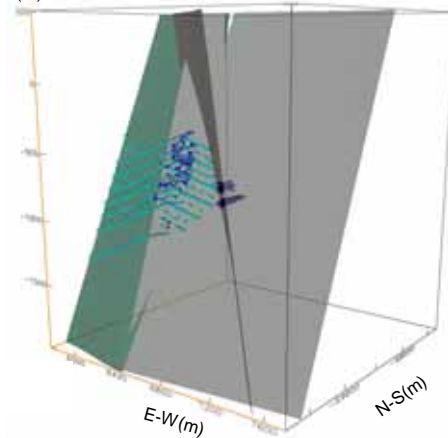
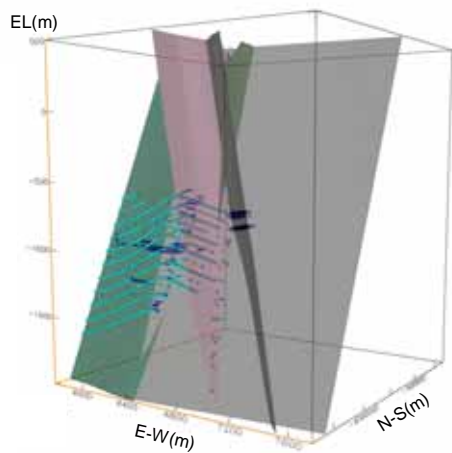
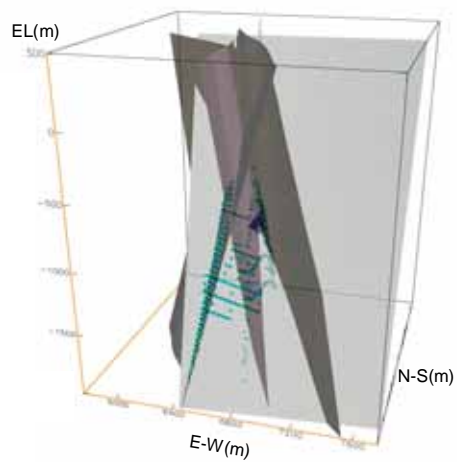


図 A2-6(2) 地下水の移行経路パターン (解析ケース: NE_NW_high)

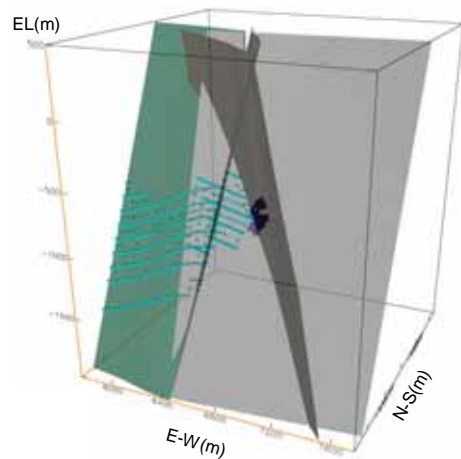
(13) -LSFD-NW-NNW-EW-LSFD-EW



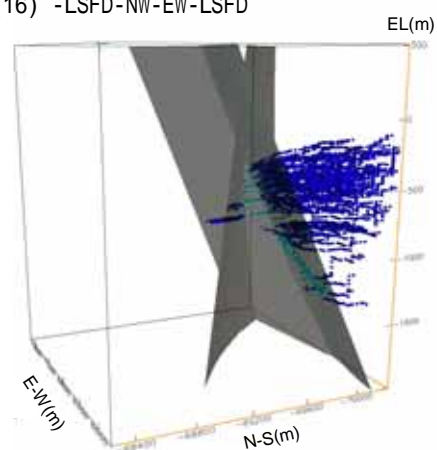
(14) -LSFD-NNW-NW-NNW-EW-NNW



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



(16) -LSFD-NW-EW-LSFD



(17) -LSFD-NW-NNW

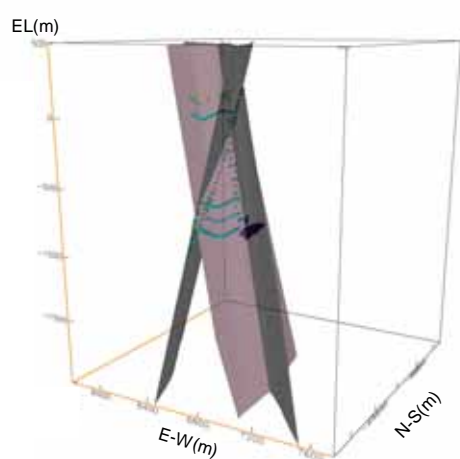
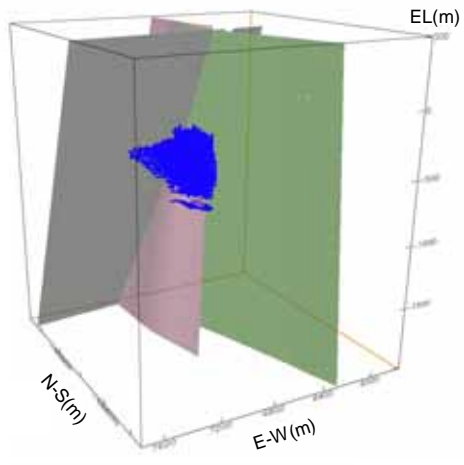
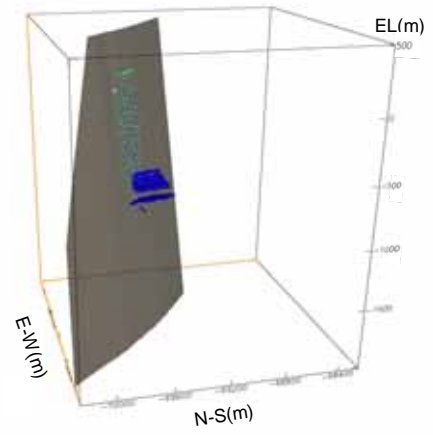


図 A2-6(3) 地下水の移行経路パターン (解析ケース: NE_NW_high)

(1) -LSFD



(2) -LSFD-NW



(3) -LSFD-NE

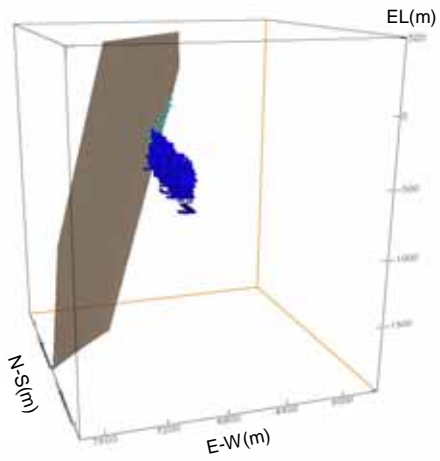
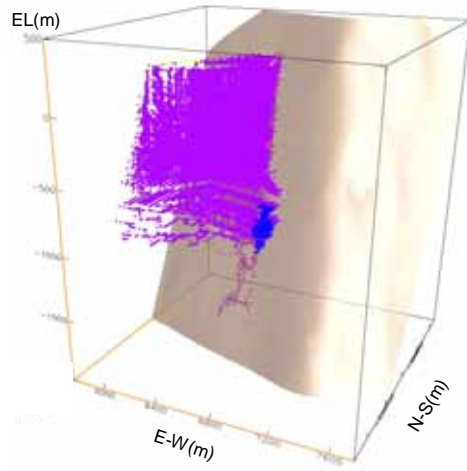


図 A2-7(1) 地下水の移行経路パターン（解析ケース：NE_high_anEW）

(1) -LSFD-Tsuki_DZ_group



(2) -LSFD-Tsuki_DZ_group-NNW

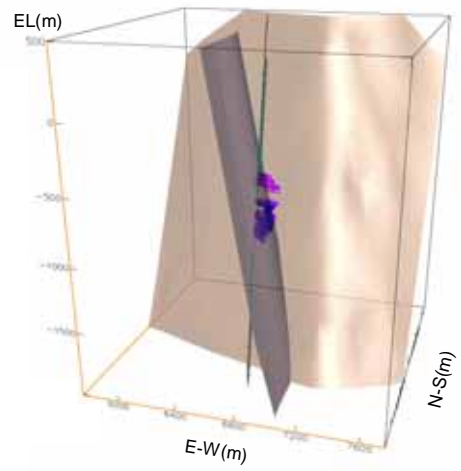
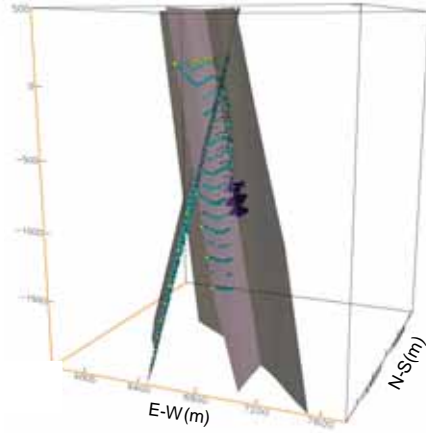


図 A2-8(1) 地下水の移行経路パターン（解析ケース：NNW_high_anEW）

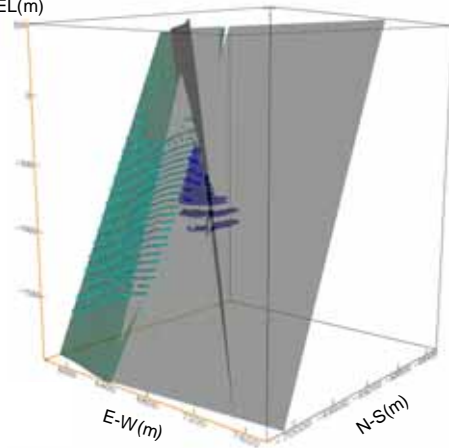
(1) -LSFD-NW-NNW

EL(m)



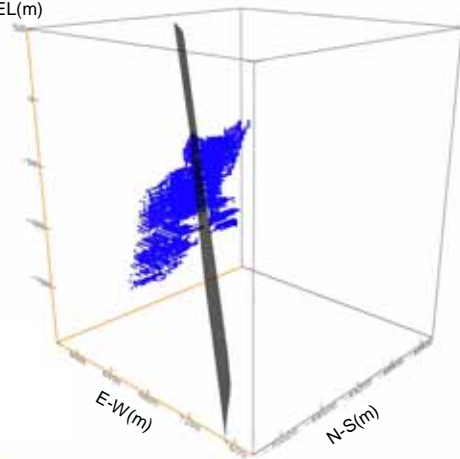
(2) -LSFD-NW-LSFD-NW-EW

EL(m)



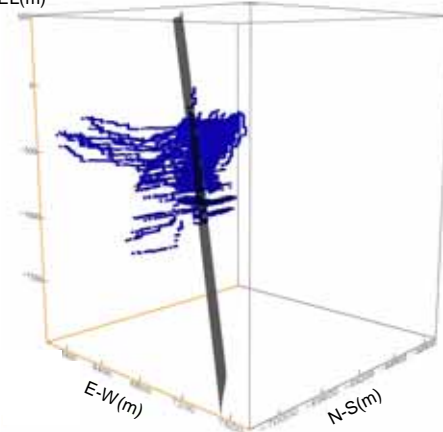
(3) -LSFD-NW-LSFD

EL(m)



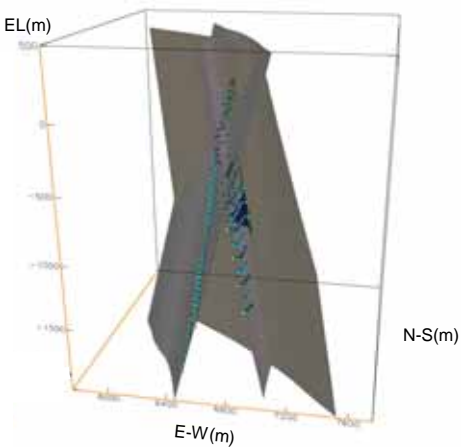
(4) -LSFD-NW-LSFD-NW-LSFD

EL(m)



(5) -LSFD-NNW-NW-NNW

EL(m)



(6) -LSFD-NW-EW-NW-EW

EL(m)

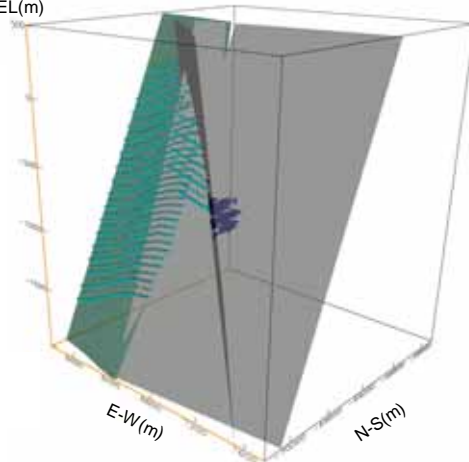
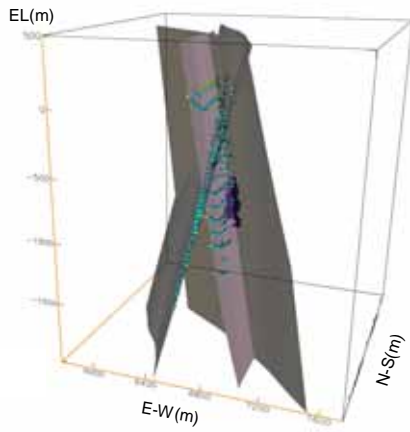
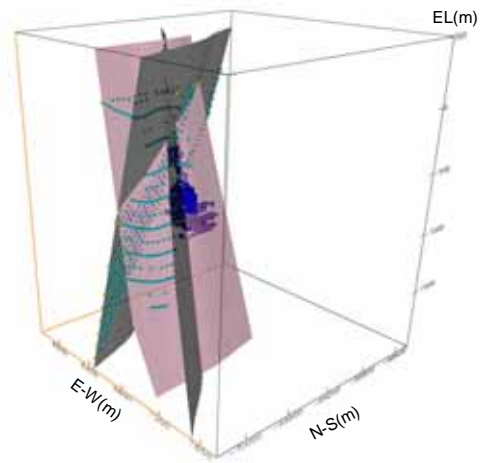


図 A2-9(1) 地下水の移行経路パターン (解析ケース: NW_high_anEW)

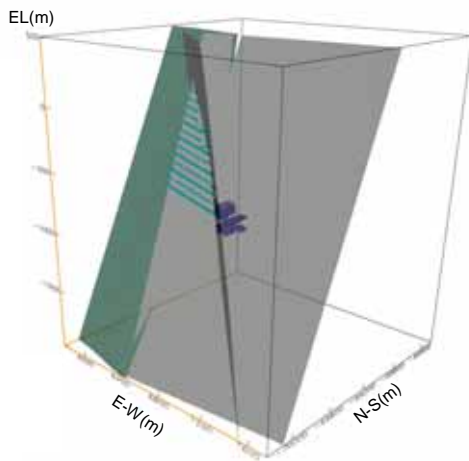
(7) -LSFD-NW-NNW-NW-NNW



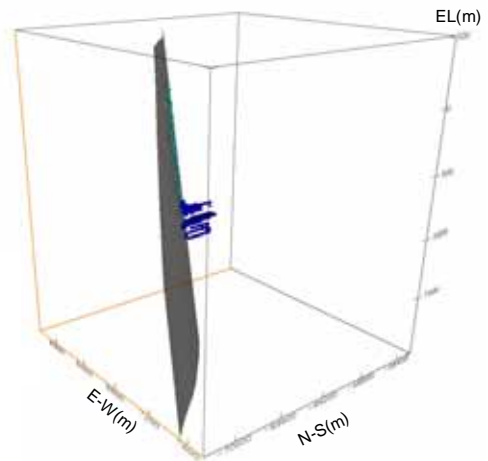
(8) -LSFD-NW-LSFD-NW-NNW



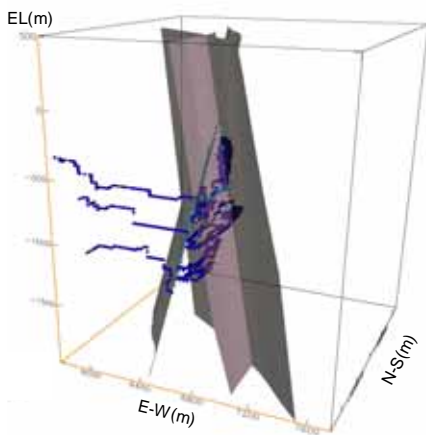
(9) -LSFD-NW-EW-NW



(10) -LSFD-NW



(11) -LSFD-NW-NNW-LSFD



(12) -LSFD-NW-NNW-NW-NNW-NW-NNW

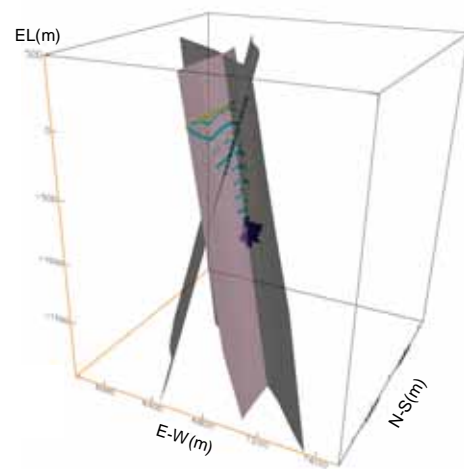


図 A2-9(2) 地下水の移行経路パターン (解析ケース: NW_high_anEW)

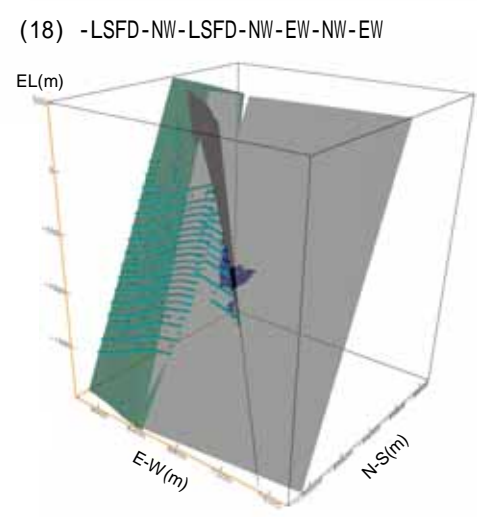
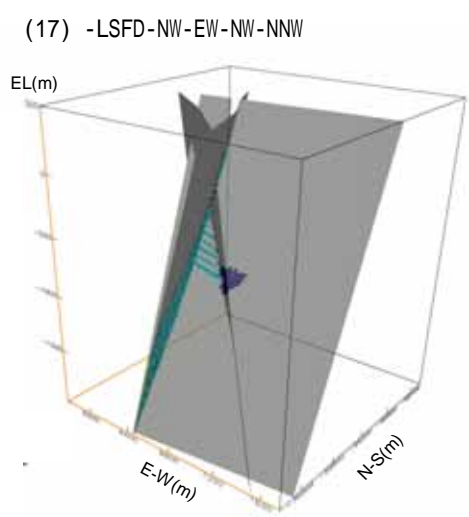
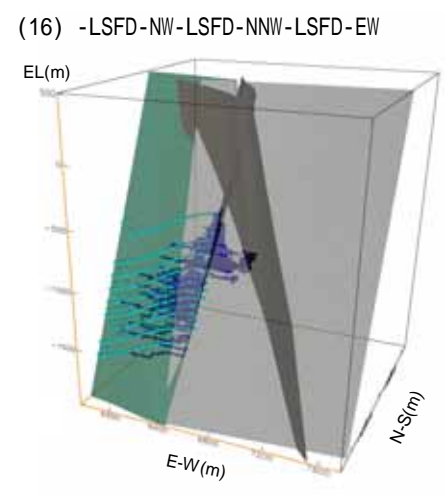
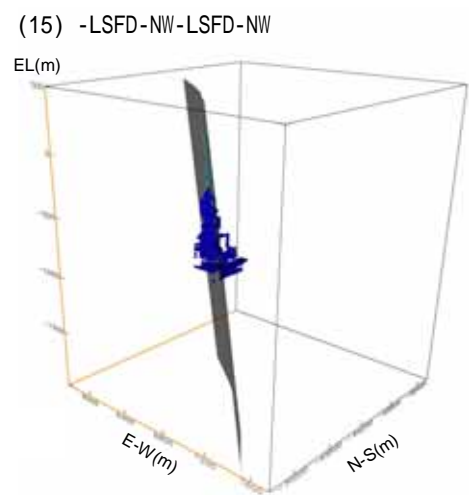
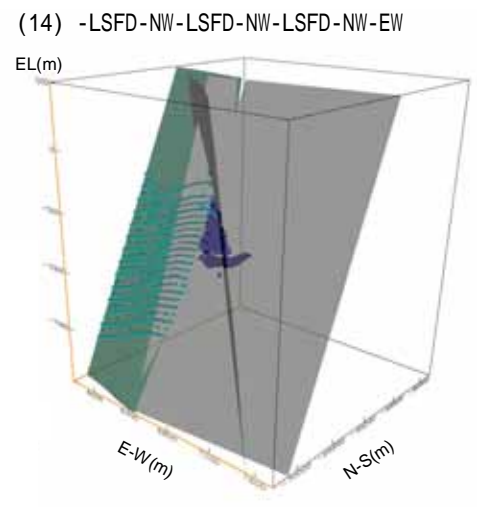
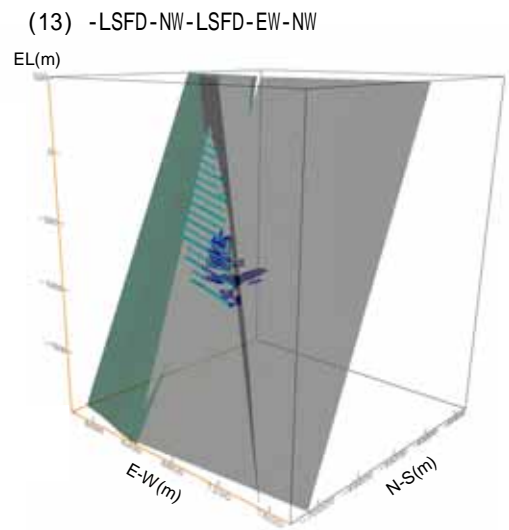
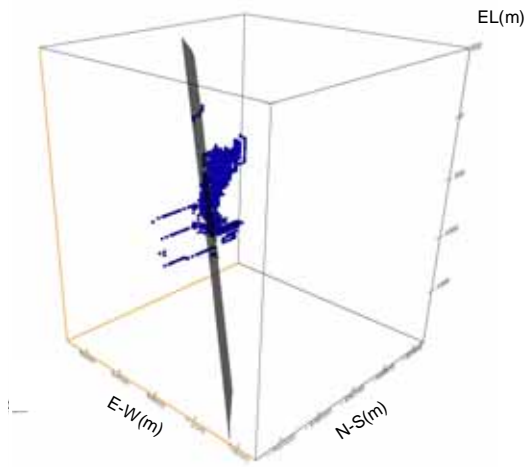
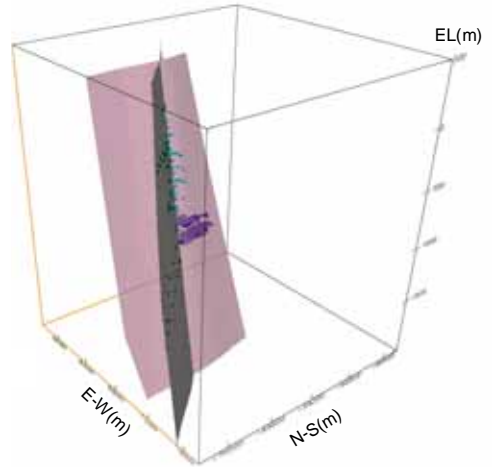


図 A2-9(3) 地下水の移行経路パターン (解析ケース: NW_high_anEW)

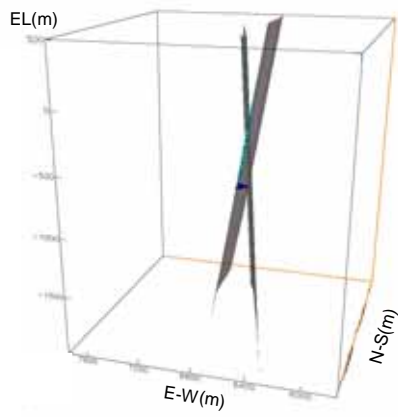
(19) -LSFD-NW-LSFD-NW-LSFD-NW-LSFD



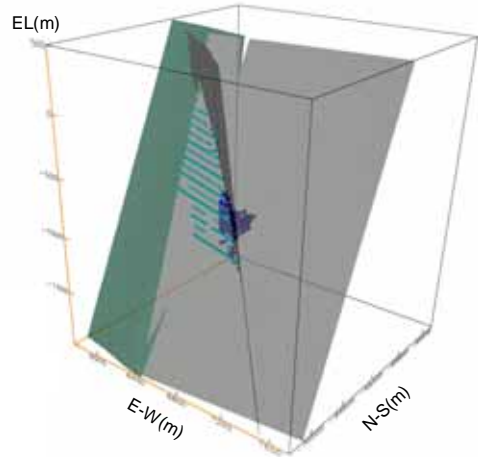
(20) -LSFD-NW-NNW-NW



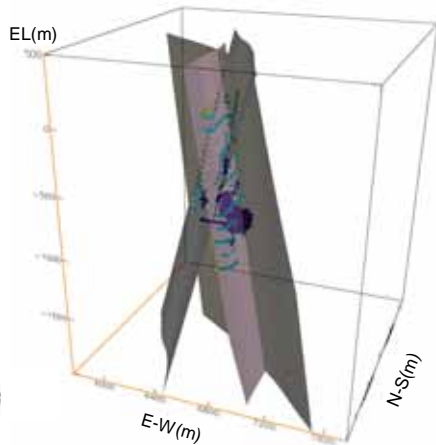
(21) -LSFD-NNW



(22) -LSFD-NW-LSFD-NW-EW-NW



(23) -LSFD-NW-LSFD-NW-NNW-NW-NNW



(24) -LSFD-NW-LSFD-EW-NW-EW

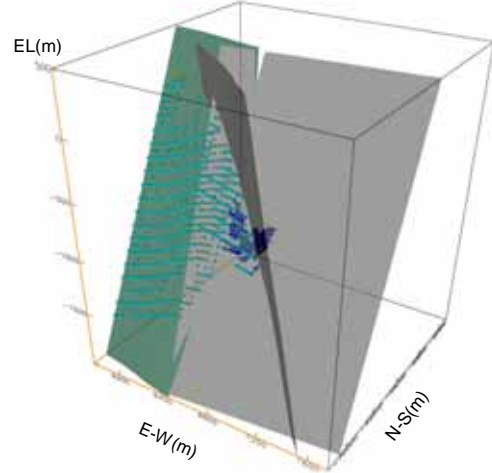
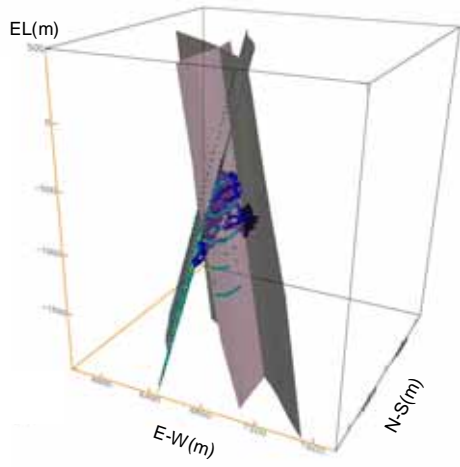
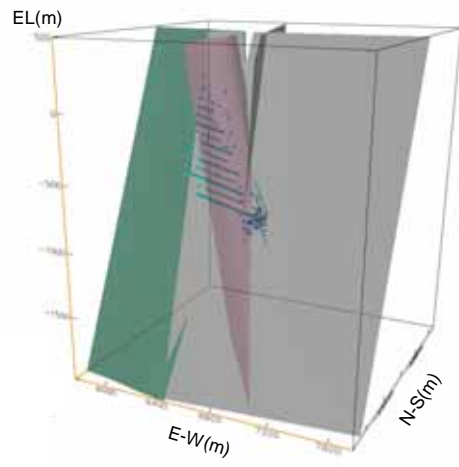


図 A2-9(4) 地下水の移行経路パターン (解析ケース: NW_high_anEW)

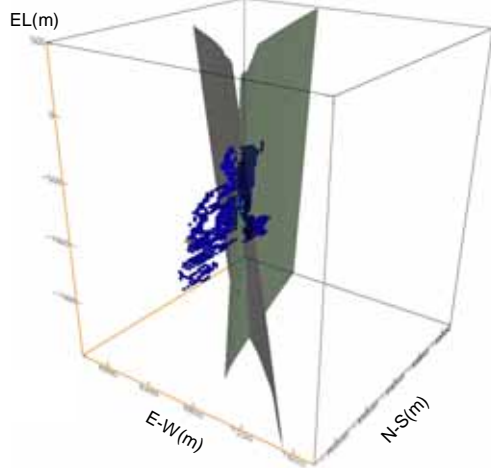
(25) -LSFD-NW-LSFD-NNW



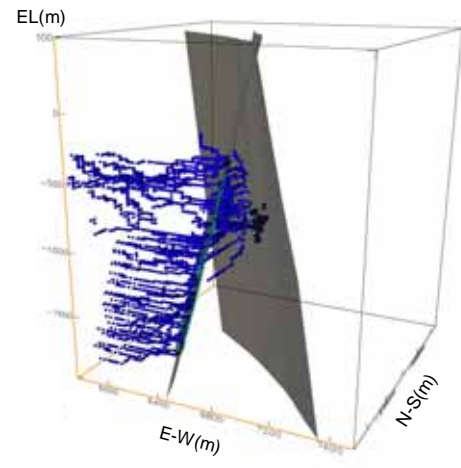
(26) -LSFD-NNW-NW-EW-NW



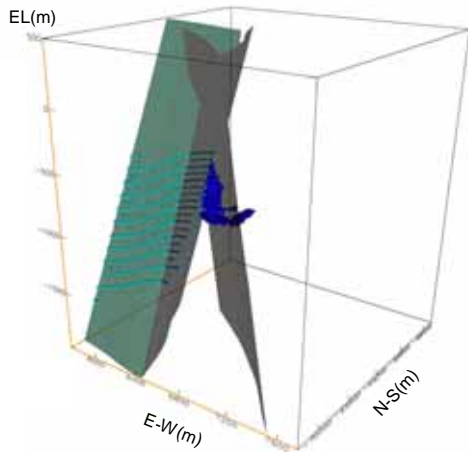
(27) -LSFD-NW-NNW-NW-LSFD



(28) -LSFD-NW-LSFD-NNW-LSFD



(29) -LSFD-NW-LSFD-NNW-NW-EW



(30) -LSFD-NNW-NW-EW-NW-EW

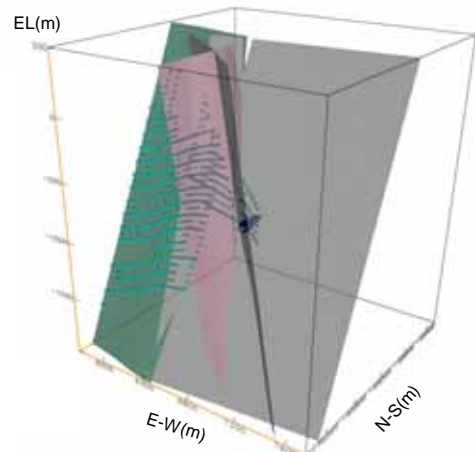
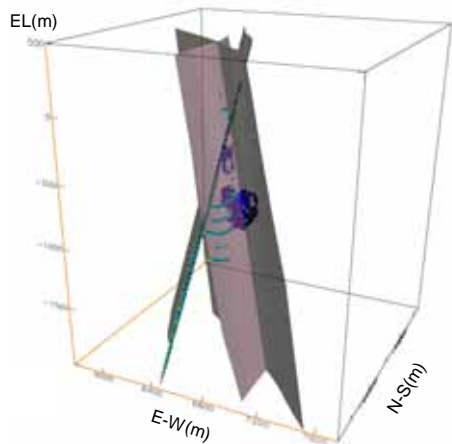
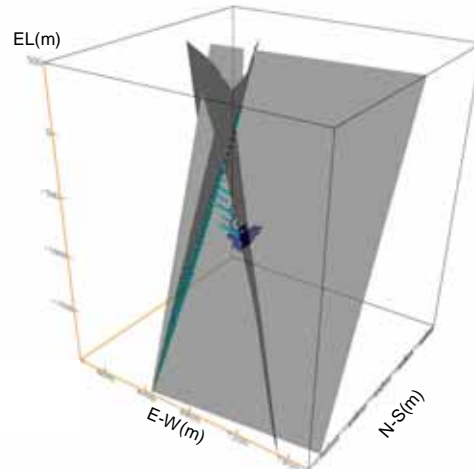


図 A2-9(5) 地下水の移行経路パターン (解析ケース : NW_high_anEW)

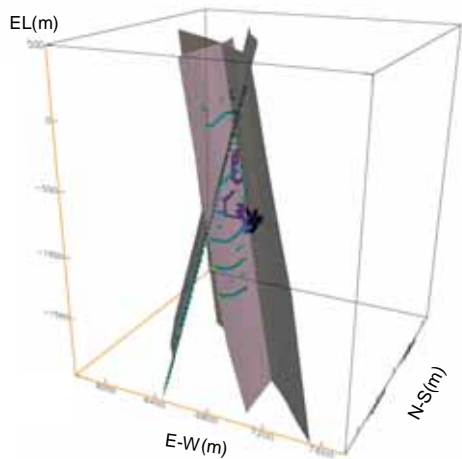
(31) -LSFD-NW-LSFD-NW-LSFD-NW-NNW



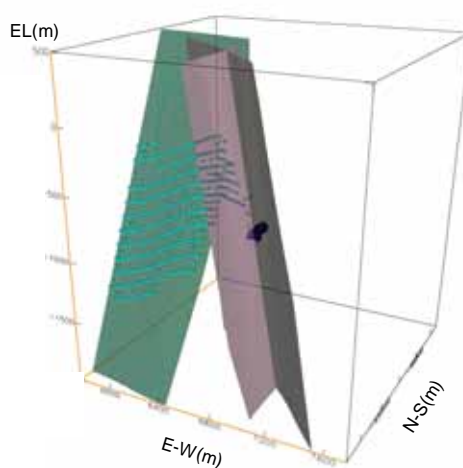
(32) -LSFD-NW-LSFD-NW-EW-NW-NNW



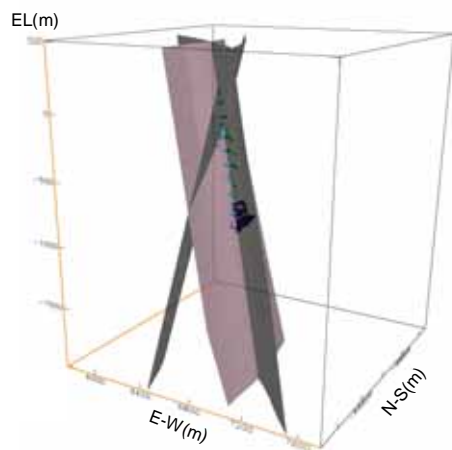
(33) -LSFD-NW-NNW-NW-LSFD-NW-NNW



(34) -LSFD-NW-NNW-NW-EW-NW-EW



(35) -LSFD-NW-NNW-NW-NNW-NW



(36) -LSFD-NNW-NW-LSFD-NW-LSFD

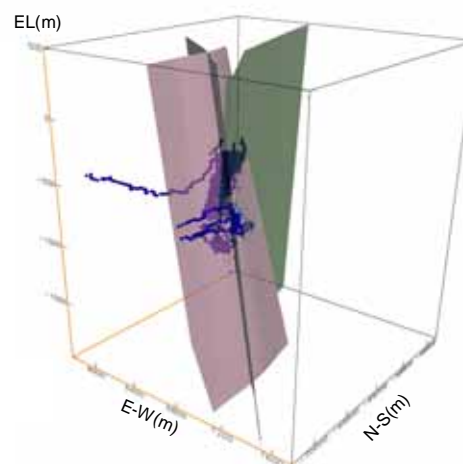
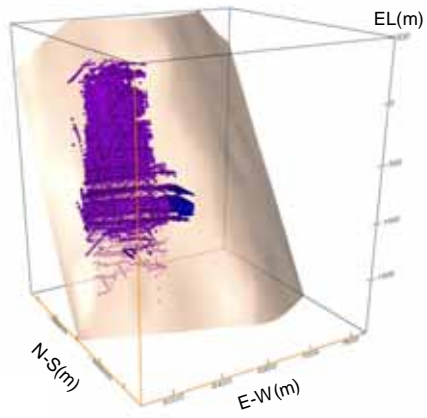


図 A2-9(6) 地下水の移行経路パターン (解析ケース: NW_high_anEW)

(1) -LSFD-Tsuki_DZ_group



(2) -LSFD-NNW-Tsuki_DZ_group

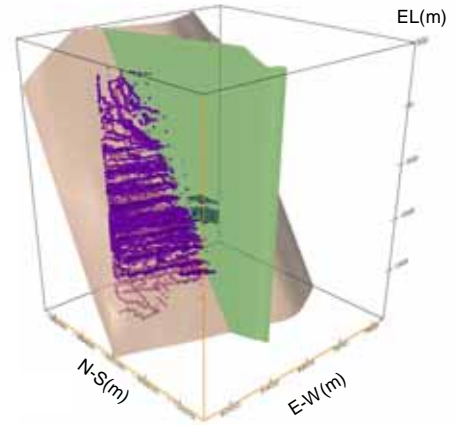
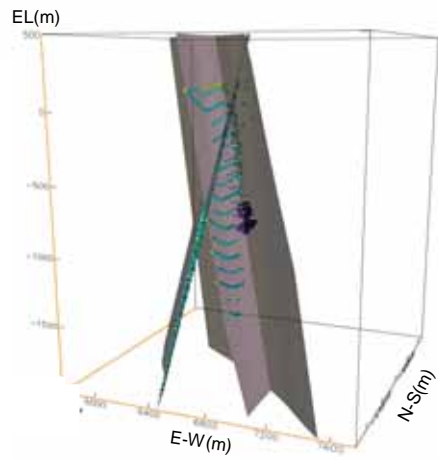
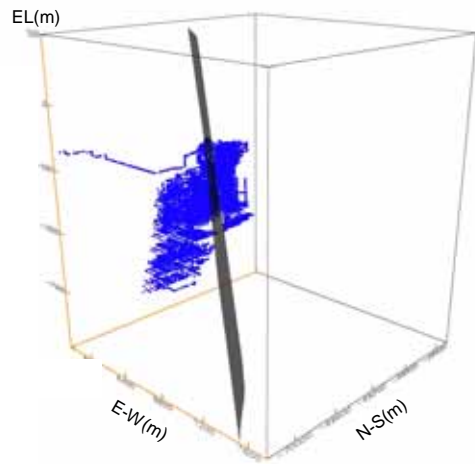


図 A2-10(1) 地下水の移行経路パターン (解析ケース : NE_NNW_high_anEW)

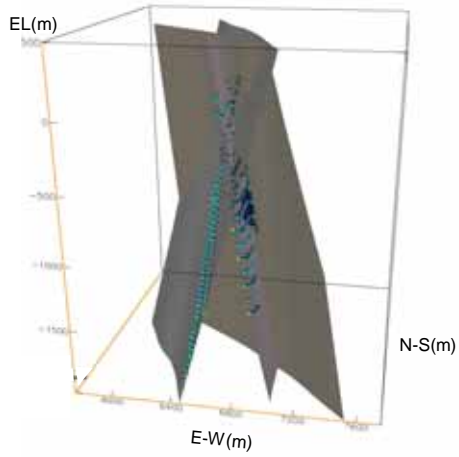
(1) -LSFD-NW-NNW



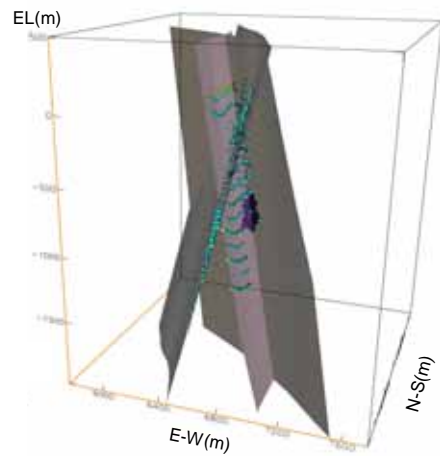
(2) -LSFD-NW-LSFD



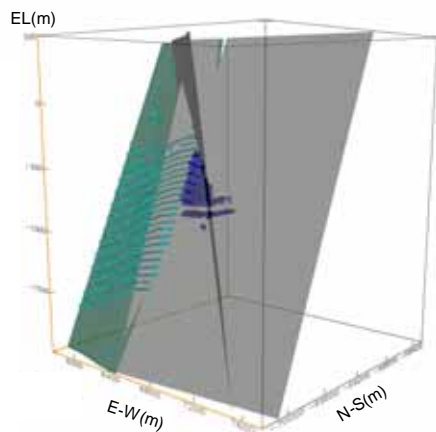
(3) -LSFD-NNW-NW-NNW



(4) -LSFD-NW-NNW-NW-NNW



(5) -LSFD-NW-LSFD-NW-EW



(6) -LSFD-NW-LSFD-NW-NNW

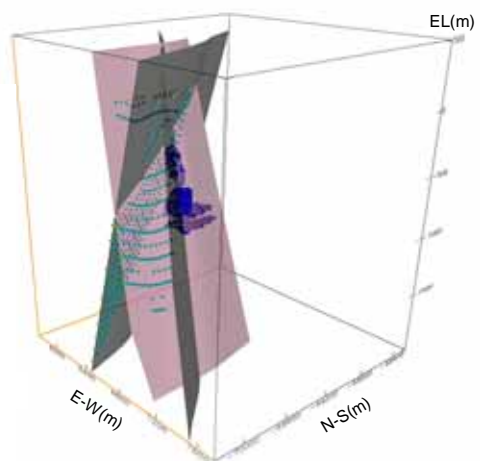
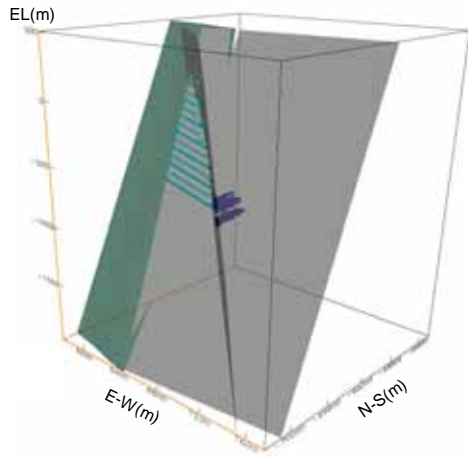
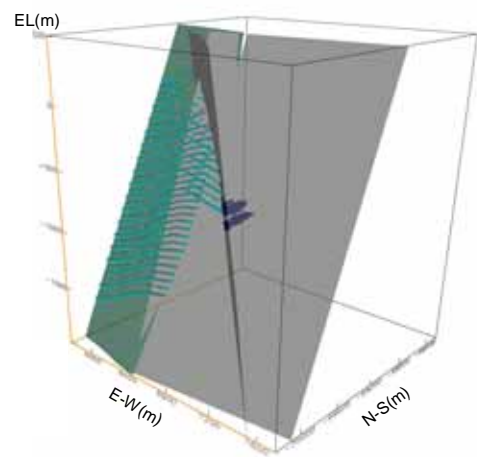


図 A2-11(1) 地下水の移行経路パターン（解析ケース：NE_NW_high_anEW）

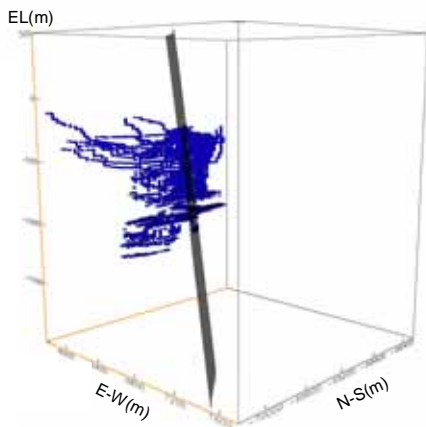
(7) -LSFD-NW-EW-NW



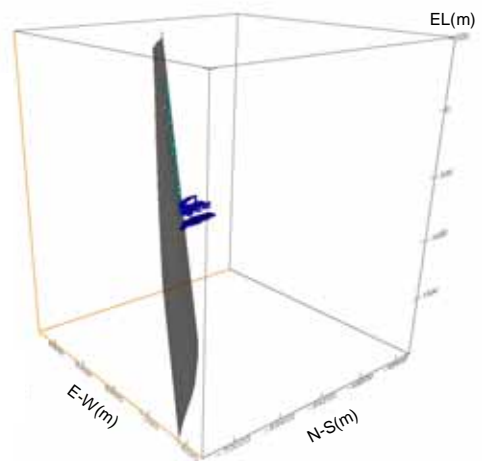
(8) -LSFD-NW-EW-NW-EW



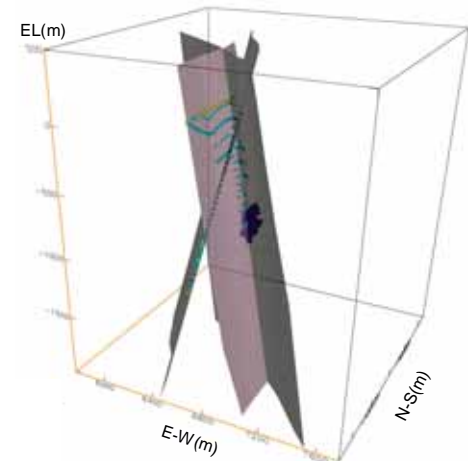
(9) -LSFD-NW-LSFD-NW-LSFD



(10) -LSFD-NW



(11) -LSFD-NW-NNW-NW-NNW-NW-NNW



(12) -LSFD-NW-NNW-NW

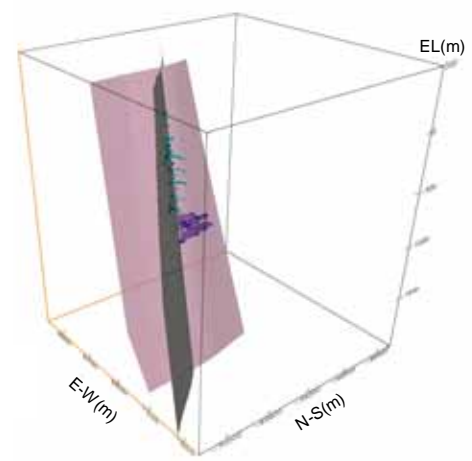
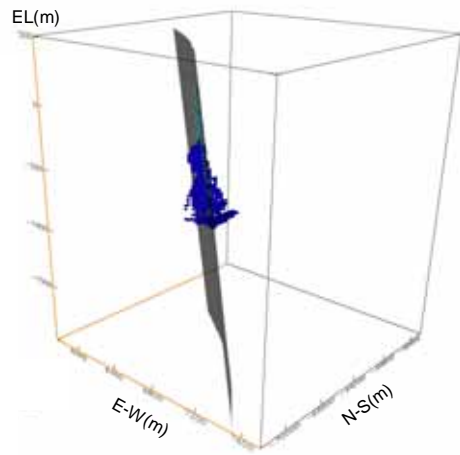
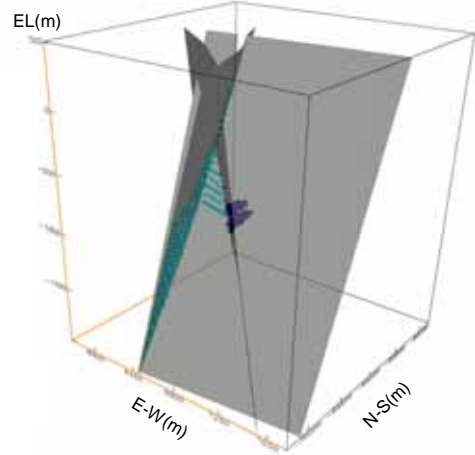


図 A2-11(2) 地下水の移行経路パターン（解析ケース：NE_NW_high_anEW）

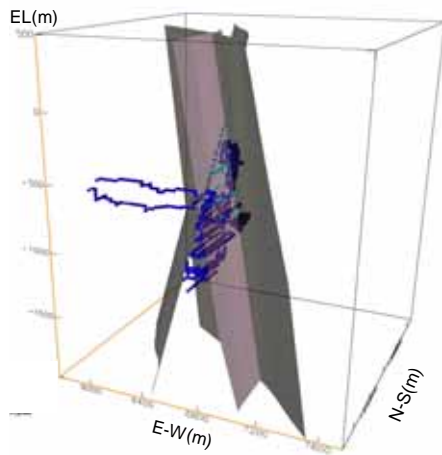
(13) -LSFD-NW-LSFD-NW



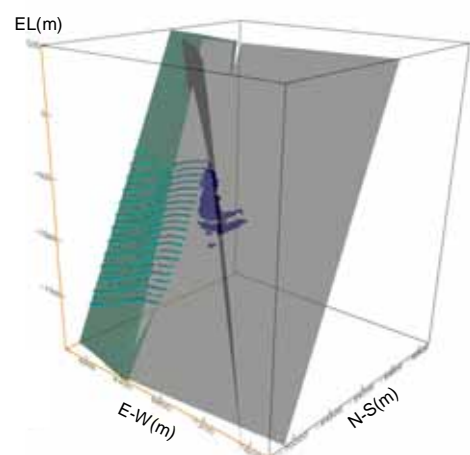
(14) -LSFD-NW-EW-NW-NNW



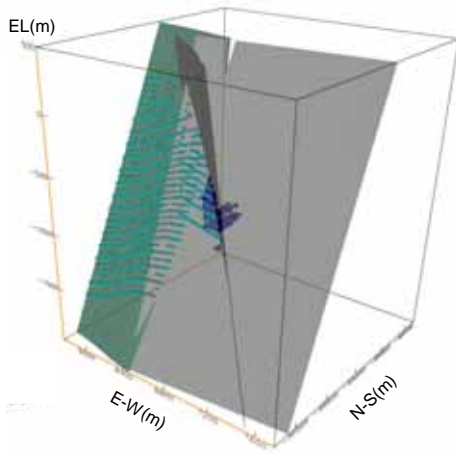
(15) -LSFD-NW-NNW-LSFD



(16) -LSFD-NW-LSFD-NW-LSFD-NW-EW



(17) -LSFD-NW-LSFD-NW-EW-NW-EW



(18) -LSFD-NW-LSFD-EW-NW

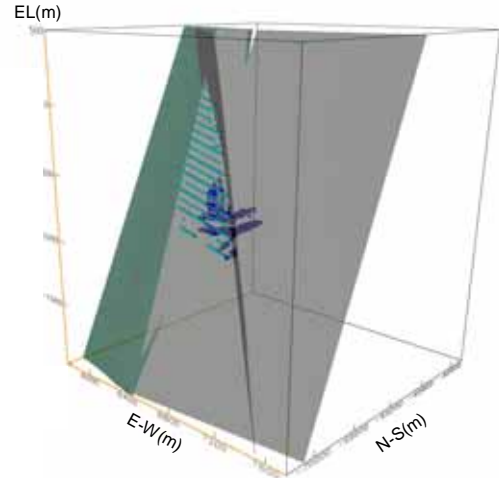
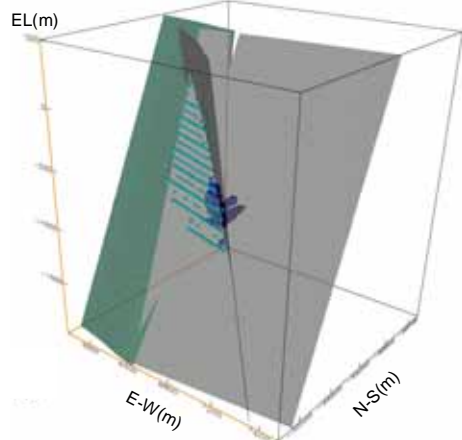
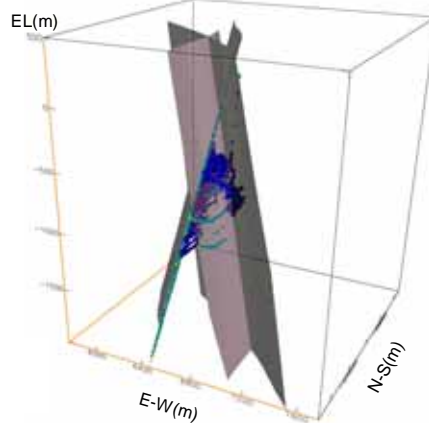


図 A2-11(3) 地下水の移行経路パターン (解析ケース : NE_NW_high_anEW)

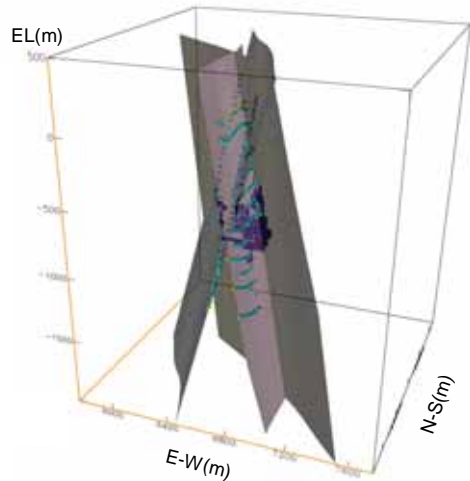
(19) -LSFD-NW-LSFD-NW-EW-NW



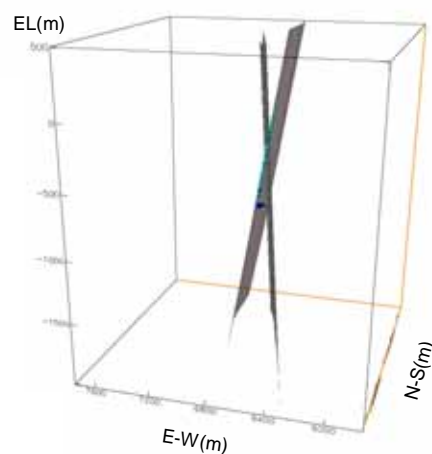
(20) -LSFD-NW-LSFD-NNW



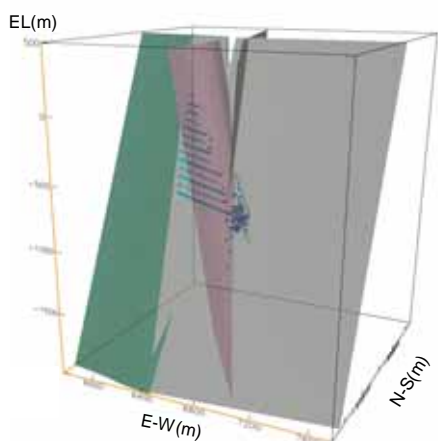
(21) -LSFD-NW-LSFD-NW-NNW-NW-NNW



(22) -LSFD-NNW



(23) -LSFD-NNW-NW-EW-NW



(24) -LSFD-NW-LSFD-EW-NW-EW

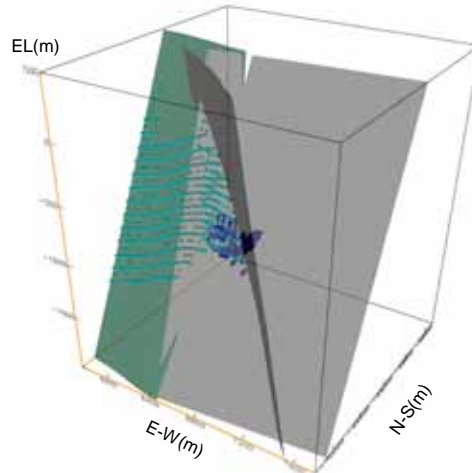
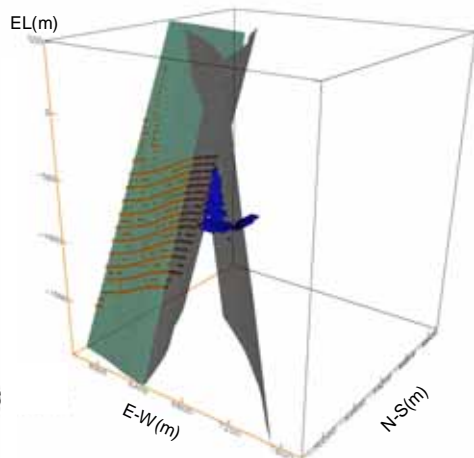
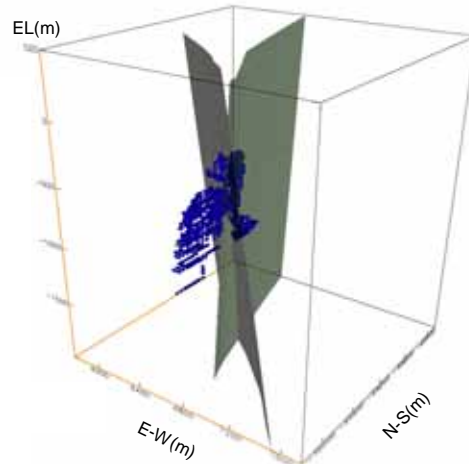


図 A2-11(4) 地下水の移行経路パターン (解析ケース : NE_NW_high_anEW)

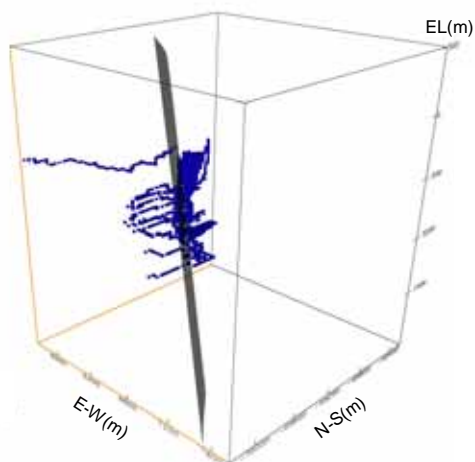
(25) -LSFD-NW-LSFD-NNW-NW-EW



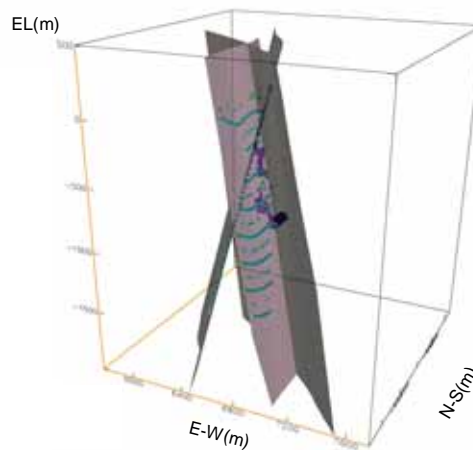
(26) -LSFD-NW-NNW-NW-LSFD



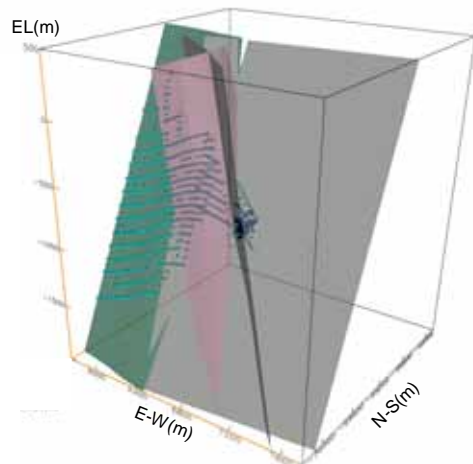
(27) -LSFD-NW-LSFD-NW-LSFD-NW-LSFD



(28) -LSFD-NW-NNW-NW-LSFD-NW-NNW



(29) -LSFD-NNW-NW-EW-NW-EW



(30) -LSFD-NW-NNW-NW-NNW-NW

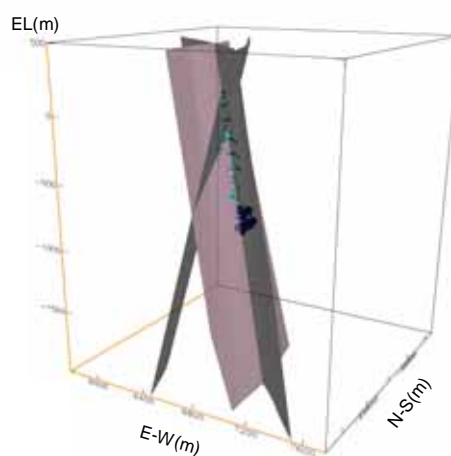
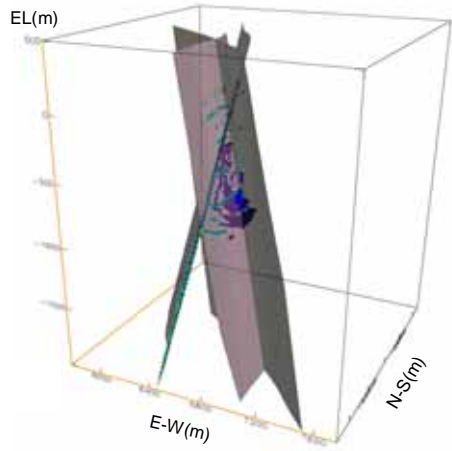
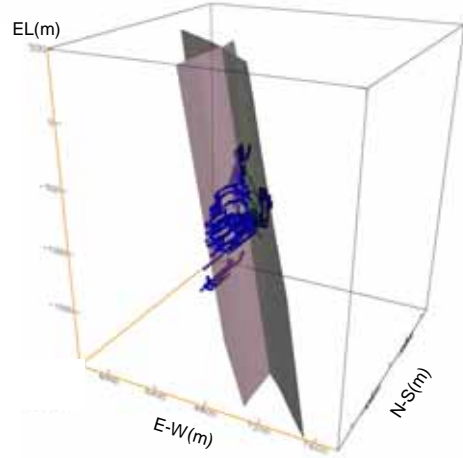


図 A2-11(5) 地下水の移行経路パターン（解析ケース：NE_NW_high_anEW）

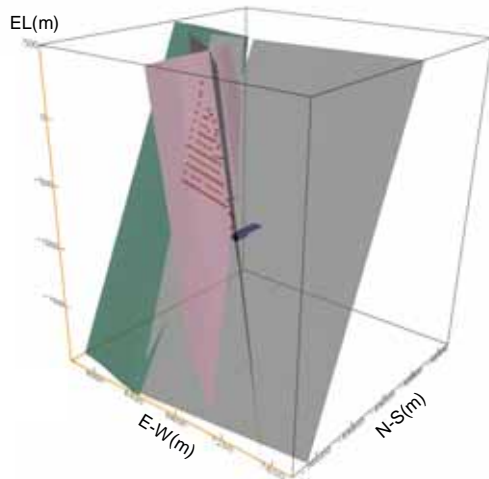
(31) -LSFD-NW-LSFD-NW-LSFD-NW-NNW



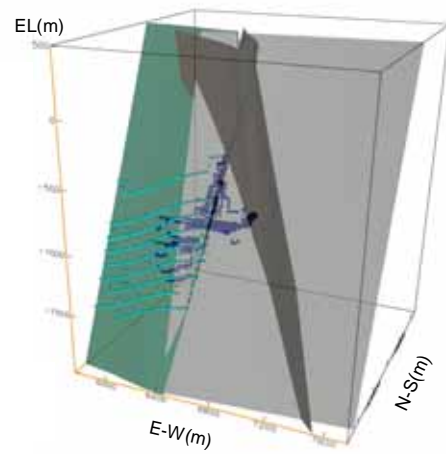
(32) -LSFD-NNW-NW-LSFD



(33) -LSFD-NW-NNW-NW-EW-NW



(34) -LSFD-NW-LSFD-NNW-LSFD-EW



(35) -LSFD-NW-LSFD-NW-NNW-NW-NNW-NW-NNW

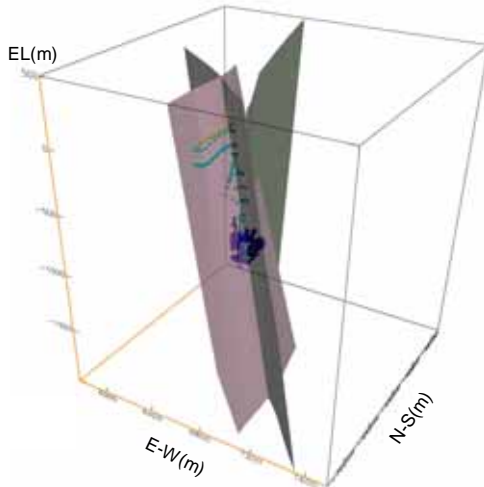


図 A2-11(6) 地下水の移行経路パターン (解析ケース: NE_NW_high_anEW)

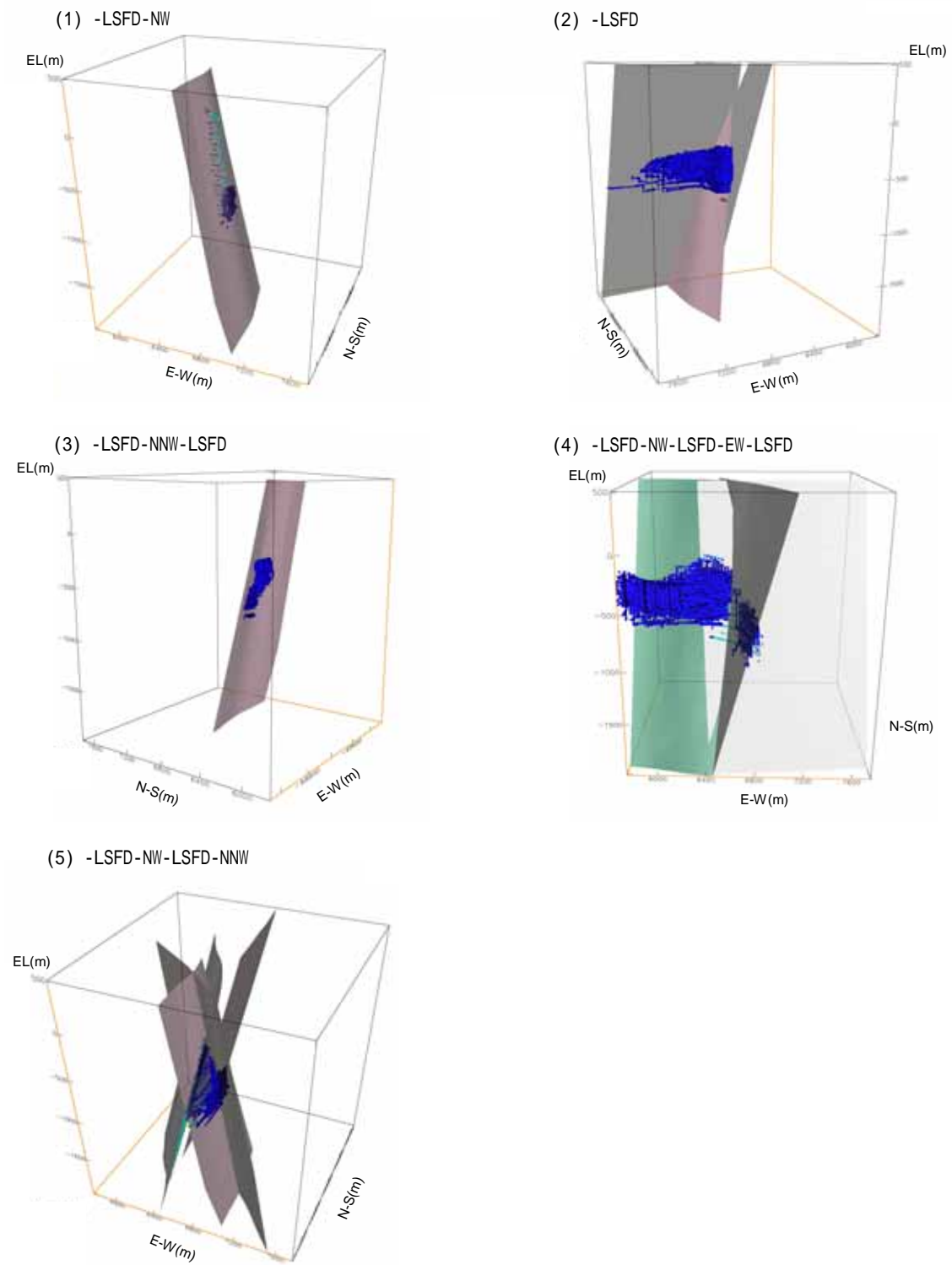


図 A2-12(1) 地下水の移行経路パターン（解析ケース：All_aniso）

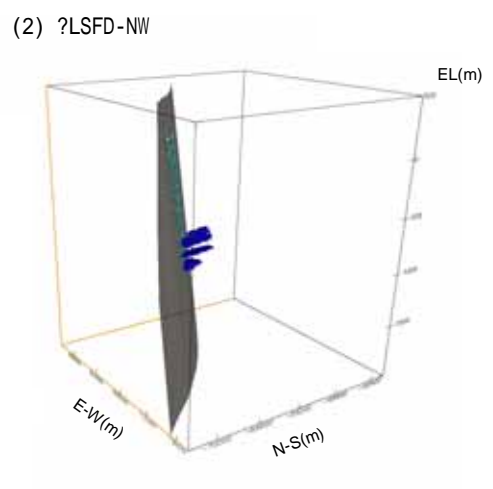
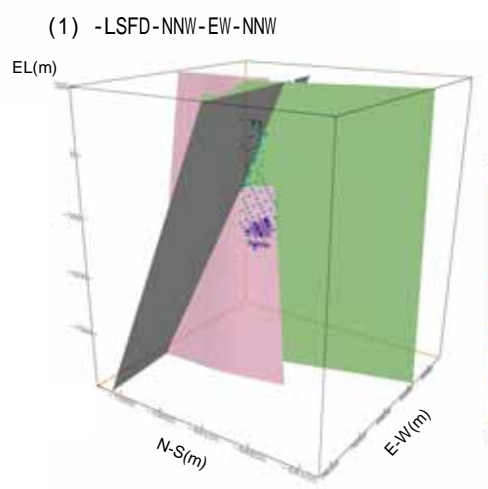


図 A2-13(1) 地下水の移行経路パターン（解析ケース：LSFD_low）

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 |
| NE_high | particle_track_NE_high.faout |
| NNW_high | particle_track_NNW_high.faout |
| NW_high | particle_track_NW_high.faout |
| NE_NNW_high | particle_track_NE_NNW_high.faout |
| NE_NW_high | particle_track_NE_NW_high.faout |
| NE_high_anEW | particle_track_NE_high_anEW.faout |
| NNW_high_anEW | particle_track_NNW_high_anEW.faout |
| NW_high_anEW | particle_track_NW_high_anEW.faout |
| NE_NNW_high_anEW | particle_track_NE_NNW_high_anEW.faout |
| NE_NW_high_anEW | particle_track_NE_NW_high_anEW.faout |
| All_aniso | particle_track_All_aniso.faout |
| LSFD_low | particle_track_LSFD_low.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 and so the cumulative F-coefficient is not changed. | - |