

水理地質構造の不確実性を考慮した  
水理地質構造のモデル化及び地下水水流動解析研究  
—モデルキャリブレーション—

(核燃料サイクル開発機構 契約業務報告書)

2003年3月

大成建設株式会社

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

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松 4 番地 49

核燃料サイクル開発機構

技術展開部 技術協力課

電話：029-282-1122（代表）

ファックス：029-282-7980

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

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:

Technical Cooperation Section,

Technology Management Division,

Japan Nuclear Cycle Development Institute

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

Japan

© 核燃料サイクル開発機構

(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

2003

# 水理地質構造の不確実性を考慮した 水理地質構造のモデル化及び地下水水流動解析研究 —モデルキャリブレーション—

(核燃料サイクル開発機構 契約業務報告書)

井尻裕二\*, 小野誠\*, 杉原豊\*, 下茂道人\*\*, 山本肇\*\*, 文村賢一\*\*

## 要旨

本研究では、水理地質構造のモデル化手法および地下水水流動解析手法に起因した地下水水流動解析結果の不確実性を評価することを目的として、連続体モデル2手法と不連続体モデル1手法の合わせて3手法を用いて、東濃地域の正馬様用地を中心とした4km×6kmの地域を対象とした3次元地下水水流動解析を実施した。また、水理地質構造のモデル化や地下水水流動解析結果に含まれる不確実性が、調査研究の進展に伴い、どのように低減したかを評価することを目的として、新たに取得した情報や知見に基づき、複数の水理地質構造のモデル化手法及び地下水水流動解析手法について、モデルの更新及びキャリブレーションを実施した。得られた知見は、以下に示すとおりである。

本年度のモデルの更新では、各モデル化手法ともパラメータや地質構造の設定は昨年度までの経緯を踏まえていたため、モデル間で大きな差は無かった。

モデルキャリブレーションは、MIU-2孔のパッカーホール開閉に伴う圧力応答について、観測値と数値計算結果を合わせる方法で行なった。各解析手法とも、水理パラメータを修正することで、観測値と計算結果の残差二乗和を低減することができた。ただし、モデル間で調整するパラメータは異なっていた。また、キャリブレーションの際、パラメータの調整だけでは説明のできない場所があった。このような、場所に対しては、水理地質構造をより詳細にするような調査が必要となる可能性がある。

初年度から本年度までの研究を比較した結果、調査に関して以下の結論を得た。

- ① 非定常の水理に関するデータは、水理地質構造の不確実性を低減するうえで有効な手段である。
- ② 地下水の実流速を算出するための有効間隙率は非定常の水理に関するデータを用いたモデルのキャリブレーションだけでは不確実性の低減には至っていない。したがって、今後は有効間隙率の推定手法の検討、トレーサー試験などの調査による直接的なデータの取得が重要である。
- ③ 調査の進展に伴い、複数のモデル化手法を用いて水理地質構造を段階的に更新し、その結果を調査にフィードバックすることは、地下水水流動特性を効率的に把握するうえで有効である。

---

本報告書は、大成建設株式会社が核燃料サイクル開発機構との契約により実施した業務成果に関するものである。

機構担当部課室： 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

\* 大成建設株式会社 エンジニアリング本部

\*\* 大成建設株式会社 技術センター 土木技術研究所

## Evaluation of Uncertainties in Hydrogeological Modeling and Groundwater Flow Analyses —Model Calibration—

Yuji IJIRI\*, Makoto ONO\*, Yutaka SUGIHARA\*,  
Michito SHIMO\*\*, Hajime YAMAMOTO\*\*, Kenichi FUMIMURA\*\*

### ABSTRACT

This study involves evaluation of uncertainty in hydrogeological modeling and groundwater flow analysis. Three-dimensional groundwater flow in Shobasama site in Tono was analyzed using two continuum models and one discontinuum model. The domain of this study covered area of four kilometers in east-west direction and six kilometers in north-south direction. Moreover, for the purpose of evaluating how uncertainties included in modeling of hydrogeological structure and results of groundwater simulation decreased with progress of investigation research, updating and calibration of the models about several modeling techniques of hydrogeological structure and groundwater flow analysis techniques were carried out, based on the information and knowledge which were newly acquired. The acquired knowledge is as follows.

As a result of setting parameters and structures in renewal of the models following to the circumstances by last year, there is no big difference to handling between modeling methods.

The model calibration is performed by the method of matching numerical simulation with observation, about the pressure response caused by opening and closing of a packer in MIU-2 borehole. Each analysis technique attains reducing of residual sum of squares of observations and results of numerical simulation by adjusting hydrogeological parameters. However, each model adjusts different parameters as water conductivity, effective porosity, specific storage, and anisotropy. When calibrating models, sometimes it is impossible to explain the phenomena only by adjusting parameters. In such case, another investigation may be required to clarify details of hydrogeological structure more.

As a result of comparing research from beginning to this year, the following conclusions are obtained about investigation.

- ① The transient hydraulic data are effective means in reducing the uncertainty of hydrogeological structure.
- ② Effective porosity for calculating pore water velocity of groundwater has not resulted in reduction of uncertainty only in the calibration of the model using the transient hydraulic data. Therefore, examination of presuming technique of effective porosity and acquisition of direct data by investigation such as tracer examination will be important in the future.
- ③ In grasping the groundwater flow characteristic efficiently, it is effective to update hydrogeological structure gradually using several modeling techniques with progress of investigation and to feed back the result to investigation.

---

This work was performed by Taisei Corporation under contract with Japan Nuclear Cycle Development Agency.  
JNC Liaison : Underground Reserch Group, Mizunami Underground Research Laboratory

\* Engineering Division, Taisei Corporation

\*\* Civil Engineering Research Institute, Technology Center, Taisei Corporation

# 目 次

	頁
1.はじめに.....	1-1
2.東濃地域の概要.....	2-1
2.1 地形地質構造 .....	2-1
2.2 参考文献.....	2-4
3.解析の概要 .....	3-1
3.1 モデル化・解析手法の選定.....	3-1
3.2 原位置調査結果に基づくモデル化・解析用データの整理.....	3-3
3.3 モデルキャリブレーション .....	3-4
3.4 地下水流動解析結果のまとめ方.....	3-5
4. Evaluation of uncertainties due to hydrogeological modeling and groundwater flow analysis: constraining the model with pressure data .....	4-1
4.1 Abstract.....	4-1
4.2 Introduction .....	4-1
4.3 Modeling Approach.....	4-2
4.3.1 Stochastic permeability and porosity distributions .....	4-4
4.3.2 Boundary conditions .....	4-8
4.3.3 Calculation procedure.....	4-10
4.4 Model Calibration .....	4-10
4.4.1 Steady state head profiles in MIU wells.....	4-10
4.4.2 Inadvertent MIU-2 well test.....	4-12
4.5 Steady State Flow and Transport Predictions .....	4-24
4.5.1 Water budget and boundary flows.....	4-24
4.5.2 Stream traces originating from release points.....	4-26
4.6 Summary, Conclusions, and Future Directions .....	4-31
4.6.1 Summary .....	4-31
4.6.2 Conclusions .....	4-31
4.6.3 Future directions .....	4-31
4.7 Acknowledgments.....	4-33
4.8 References .....	4-34
5. 等価不均質連続体モデル .....	5-1
5.1 等価不均質連続体モデル化手法.....	5-1
5.1.1 手法概要 .....	5-1
5.1.1 支配方程式および数値解析手法 .....	5-4
5.1.2 モデル作成から解析までのフロー .....	5-5
5.2 対象地域の水理地質構造モデルの作成 .....	5-6
5.2.1 概要.....	5-6
5.2.2 水理地質構造モデルの作成に用いたデータ .....	5-7
5.2.3 モデル化の手順.....	5-9
5.2.4 地形のモデル化.....	5-11
5.2.5 地質構造・地層境界のモデル化 .....	5-12

5.2.6 土岐花崗岩内の透水性割れ目の3次元割れ目分布および透水性のモデル化.....	5-17
5.2.7 仮想透水試験による割れ目統計量の決定.....	5-31
5.2.8 物質移行開口幅及び有効間隙率の設定 .....	5-39
5.3 モデルキャリブレーション.....	5-40
5.3.1 キャリブレーションに用いたデータ .....	5-40
5.3.2 キャリブレーションの方法 .....	5-43
5.3.3 解析条件 .....	5-45
5.3.4 キャリブレーション結果 .....	5-46
5.4 解析結果.....	5-54
5.4.1 解析条件 .....	5-54
5.4.2 地下水流量の分布 .....	5-55
5.4.3 全水頭分布.....	5-59
5.4.4 指定点を通過する地下水の下流境界までの流動経路特性.....	5-66
5.4.5 指定点を通過する地下水の下流境界までの流動経路長 .....	5-94
5.4.6 指定点を通過する地下水の最終到達地点.....	5-100
5.5 まとめと課題 .....	5-102
5.5.1 まとめ.....	5-102
5.5.2 今後の課題 .....	5-103
5.6 参考文献.....	5-104
6 チャンネルネットワークモデル.....	6-1
6.1 基本方針 .....	6-1
6.2 Don-Chan Model の概要 .....	6-2
6.2.1 基本的な考え方とモデルの変遷 .....	6-2
6.2.2 平成 14 年度版 Don-Chan Model の概要 .....	6-6
6.3 水理地質モデル.....	6-12
6.3.1 水理地質概念モデル .....	6-12
6.3.2 物性値の設定 .....	6-25
6.3.3 初期モデルの設定 .....	6-29
6.4 モデルキャリブレーション .....	6-35
6.4.1 解析条件の設定 .....	6-35
6.4.2 初期モデル解析結果 .....	6-38
6.4.3 水理地質区分の透水性に関する検討 .....	6-48
6.4.4 モデルの変更 .....	6-52
6.5 長期揚水試験シミュレーション .....	6-59
6.5.1 基本方針 .....	6-59
6.5.2 MIU-2 号孔要素の生成と地下水位条件 .....	6-61
6.5.3 非貯留係数の設定 .....	6-61
6.5.4 非定常計算ステップの設定 .....	6-62
6.5.5 初期値(S <sub>s</sub> )に対する結果 .....	6-62
6.5.6 トライアル .....	6-67
6.5.7 結果の考察 .....	6-77
6.6 モデルキャリブレーション最終モデル .....	6-82

6.6.1 最終モデル.....	6-82
6.6.2 地下水流動解析.....	6-84
6.6.3 2001年モデルとの比較.....	6-108
6.7 まとめ .....	6-121
6.7.1 考 察.....	6-121
6.7.2 今後の課題と調査の提案.....	6-121
6.8 参考文献.....	6-122
7. 解析結果の比較 .....	7-1
7.1 モデル手法の比較 .....	7-1
7.2 解析結果の比較.....	7-6
7.2.1 移行経路 .....	7-7
7.2.2 移行経路長.....	7-33
7.2.3 移行経路上の平均ダルシー流速 .....	7-40
7.2.4 移行経路上の平均実流速 .....	7-48
7.2.5 トラベルタイム及び規格化したトラベルタイム .....	7-55
7.2.6 移行経路上の透水係数分布 .....	7-68
7.2.7 流量 (FLUX) .....	7-75
7.2.8 移行経路上の有効間隙率 .....	7-82
7.2.9 移行経路長とトラベルタイムの関係 .....	7-89
8. まとめと考察 .....	8-1
8.1 研究成果のまとめ .....	8-1
8.2 調査研究計画への提言 .....	8-22
8.3 参考文献.....	8-23

## 図 目 次

	頁
図 2-1 東濃地域の地形および断層 .....	2-2
図 2-2 地質概要（糸魚川、1980 に加筆） .....	2-3
図 3-1 モデル化領域 .....	3-2
図 3-2 正馬様用地内試錐孔配置図 .....	3-2
図 3-3 指定点位置図 .....	3-6

Figure. 4.3-1 Surface elevations, lateral model boundary, and features of interest for the 4 km by 6 km model of the Tono region. ....	4-3
Figure. 4.3-2 Perspective view of the model showing different materials. ....	4-3
Figure. 4.3-3 Toki granite distributions of log10K obtained from slug tests and pumping tests. ....	4-7
Figure. 4.3-4 One realization of the stochastic permeability distribution. ....	4-8
Figure. 4.3-5 Flows in and out of the model through the surface and lateral boundaries, shown from four different perspectives. ....	4-9
Figure. 4.4-1 Observed hydraulic head profiles in the MIU area measured from slug tests, pump tests, and the MP system. ....	4-11
Figure. 4.4-2 Observed steady-state hydraulic head profiles in the MIU area when the MIU-2 packer is in place. ....	4-11
Figure. 4.4-3 Modeled steady-state hydraulic head profiles for five realizations of the uncalibrated model (fault core permeability 0.1 times bulk granite permeability) and three variations. ....	4-12
Figure. 4.4-4 Observed pressure responses to the removal of the packer in Well MIU-2 on November 22, 2001. ....	4-13
Figure. 4.4-5 Schematic of local grid refinement around Well MIU-2. ....	4-19
Figure. 4.4-6 Comparison of observed and modeled pressure responses to the removal of the packer in Well MIU-2 on November 22, 2001. ....	4-20
Figure. 4.4-7 Modeled transient wellbore flow in Well MIU-2 in response to packer removal on November 22, 2001. ....	4-21
Figure. 4.4-8 Comparison of observed and modeled pressure responses to the removal of the packer in Well MIU-2 on November 22, 2001. ....	4-22
Figure. 4.4-9 Modeled head profiles for the MIU area wells with the Well MIU-2 packer in place and at the end of the 26 day period of transient flow following packer removal. ....	4-23
Figure. 4.4-10 Comparison of observed and modeled pressure responses to the removal of the packer in Well MIU-2 on November 22, 2001. ....	4-24
Figure. 4.5-1 All stream traces leaving the 24 release points projected onto (a) the top surface of the model, and (b) a vertical cross-section near the center of the model, for the calibrated model. ....	4-27
Figure. 4.5-2 All stream traces leaving the 24 release points projected onto (a) the top surface of the model, and (b) a vertical cross-section near the center of the model, for the uncalibrated model. ....	4-28
Figure. 4.5-3 Travel time versus path length for all release points for five realizations of the calibrated model. ....	4-28
Figure. 4.5-4 Travel time versus path length for all release points for five realizations of the	

uncalibrated model.....	4-29
Figure. 4.5—5 Projection of the particle trajectories on X-Y plane for the calibrated model that shows the best match to the pressure transients created by MIU-2 packer removal. ....	4-30
Figure. 4.6—1 Comparison of observed and modeled pressure responses to the entire sequence of removal and resetting of the packer in Well MIU-2.....	4-33

図 5.1—1 等価不均質連続体モデルの概念 .....	5-2
図 5.1—2 モデル化の概念 .....	5-3
図 5.1—3 割れ目の法線ベクトル .....	5-3
図 5.1—4 等価不均質連続体モデルの作成フロー .....	5-5
図 5.2—1 解析対象地域の地質構造.....	5-6
図 5.2—2 モデル化の範囲 .....	5-10
図 5.2—3 数値データ（20m ピッチ標高データ）による地形の表現.....	5-11
図 5.2—4 基盤と堆積岩の境界面 .....	5-13
図 5.2—5 風化花崗岩と上部割れ目帯との境界面 .....	5-13
図 5.2—6 上部割れ目帯と低密度割れ目帯との境界面 .....	5-14
図 5.2—7 月吉断層 .....	5-14
図 5.2—8 月吉断層に伴う割れ目帯 .....	5-15
図 5.2—9 地質構造モデル .....	5-15
図 5.2—10 3 次元メッシュ .....	5-16
図 5.2—11 割れ目統計量の決定手順 .....	5-17
図 5.2—12 深度方向割れ目密度分布 .....	5-19
図 5.2—13 累積割れ目密度 .....	5-20
図 5.2—14 MIU-1～MIU-3 号孔で観察された割れ目分布概念図 .....	5-21
図 5.2—15 割れ目帯の一次元割れ目密度 .....	5-22
図 5.2—16 ボーリング孔毎の割れ目方向分布（シュミットネット，下半球投影） .....	5-25
図 5.2—17 方向密度分布の補正結果（シュミットネット，下半球投影） .....	5-26
図 5.2—18 割れ目方位のグルーピング（シュミットネット，下半球投影） .....	5-27
図 5.2—19 割れ目方向の Bingham 分布によるフィッティング .....	5-27
図 5.2—20 割れ目分布シミュレーション結果と実測の比較（MIU-1/4 号孔内） .....	5-28
図 5.2—21 割れ目の開口幅分布（幾何学的開口幅） .....	5-30
図 5.2—22 仮想透水試験のフロー .....	5-31
図 5.2—23 仮想透水試験の解析条件 .....	5-32
図 5.2—24 実測透水係数の分布 .....	5-33
図 5.2—25 最小半径値による透水係数分布の変化 .....	5-37
図 5.2—26 仮想透水試験結果と実測との比較 .....	5-37
図 5.2—27 透水量係数と物質移行開口幅の関係（Shimo et al., 1999a） .....	5-39
図 5.3—1 MIU-2 号孔内パッカー開閉に伴う周辺水圧変動（MIU-1/3 号孔） .....	5-41
図 5.3—2 MIU-2 号孔内パッcker開閉に伴う周辺水圧変動（MIU-4 号孔, AN-1 号孔） .....	5-42
図 5.3—3 キャリブレーションの手順 .....	5-43
図 5.3—4 ボーリング孔のモデル化とパッcker開閉の表現 .....	5-45
図 5.3—5 流れの次元に伴う定圧透水試験のタイプカーブの変化（Doe, 1991） .....	5-46

図 5.3-6 水圧変化量の観測値と計算値の比較（10 リアライゼーション）	5-48
図 5.3-7 キャリブレーション結果（MIU-1 号孔の水圧変化）	5-49
図 5.3-8 キャリブレーション結果（MIU-3 号孔の水圧変化）	5-50
図 5.3-9 キャリブレーション結果（MIU-4 号孔の水圧変化）	5-51
図 5.3-10 キャリブレーション結果（AN-1/3 号孔の水圧変化）	5-52
図 5.3-11 キャリブレーション前後の平均透水係数の分布	5-53
図 5.4-1 境界条件	5-54
図 5.4-2 格子点流量のヒストグラム(リアライゼーション# 1)	5-57
図 5.4-3 格子点ダルシー流速のヒストグラム(リアライゼーション# 1)	5-58
図 5.4-4 解析領域全般の水頭分布	5-61
図 5.4-5 モニタリング地点における水頭の実測値と解析値（正馬様用地内, MIU-1～3 号孔）	5-62
図 5.4-6 モニタリング地点における水頭の実測値と解析値（AN-1, AN-3, DH-9 号孔）	5-63
図 5.4-7 モニタリング地点における水頭の実測値と解析値（東濃鉱山近傍, TH-4(1), TH-4(2), TH-6 号孔）	5-64
図 5.4-8 指定点 No.1 からの移行経路（10 リアライゼーション）	5-67
図 5.4-9 指定点 No.2 からの移行経路（10 リアライゼーション）	5-68
図 5.4-10 指定点 No.3 からの移行経路（10 リアライゼーション）	5-69
図 5.4-11 指定点 No.4 からの移行経路（10 リアライゼーション）	5-70
図 5.4-12 指定点 No.5 からの移行経路（10 リアライゼーション）	5-71
図 5.4-13 指定点 No.6 からの移行経路（10 リアライゼーション）	5-72
図 5.4-14 指定点 No.7 からの移行経路（10 リアライゼーション）	5-73
図 5.4-15 指定点 No.8 からの移行経路（10 リアライゼーション）	5-74
図 5.4-16 指定点 No.9 からの移行経路（10 リアライゼーション）	5-75
図 5.4-17 指定点 No.10 からの移行経路（10 リアライゼーション）	5-76
図 5.4-18 指定点 No.11 からの移行経路（10 リアライゼーション）	5-77
図 5.4-19 指定点 No.12 からの移行経路（10 リアライゼーション）	5-78
図 5.4-20 指定点 No.13 からの移行経路（10 リアライゼーション）	5-79
図 5.4-21 指定点 No.14 からの移行経路（10 リアライゼーション）	5-80
図 5.4-22 指定点 No.15 からの移行経路（10 リアライゼーション）	5-81
図 5.4-23 指定点 No.16 からの移行経路（10 リアライゼーション）	5-82
図 5.4-24 指定点 No.17 からの移行経路（10 リアライゼーション）	5-83
図 5.4-25 指定点 No.18 からの移行経路（10 リアライゼーション）	5-84
図 5.4-26 指定点 No.19 からの移行経路（10 リアライゼーション）	5-85
図 5.4-27 指定点 No.20 からの移行経路（10 リアライゼーション）	5-86
図 5.4-28 指定点 No.21 からの移行経路（10 リアライゼーション）	5-87
図 5.4-29 指定点 No.22 からの移行経路（10 リアライゼーション）	5-88
図 5.4-30 指定点 No.23 からの移行経路（10 リアライゼーション）	5-89
図 5.4-31 指定点 No.24 からの移行経路（10 リアライゼーション）	5-90
図 5.4-32 移行経路沿いの有効間隙率	5-91
図 5.4-33 移行経路沿いの動水勾配	5-92
図 5.4-34 移行経路沿いのダルシー流速	5-92
図 5.4-35 指定点を通過する地下水の下流境界までの流動経路長	5-95

図 5.4-36 指定点を通過する地下水の下流境界までの滞留時間.....	5-96
図 5.4-37 キャリブレーション前後の流動経路の違い.....	5-97
図 5.4-38 キャリブレーション前後の水頭分布の違い.....	5-97
図 5.4-39 移行距離と滞留時間の関係（キャリブレーション前, H13 解析結果）.....	5-98
図 5.4-40 移行距離と滞留時間の関係（キャリブレーション後）.....	5-99
図 5.4-41 指定点を通過する地下水の最終到達地点（キャリブレーション後）.....	5-101
図 5.4-42 地下水の最終到達地点（キャリブレーション前後の比較）.....	5-101
図 6.1-1 モデル化・解析領域.....	6-1
図 6.2-1 領域の分割方法 .....	6-7
図 6.2-2 変数の配置.....	6-9
図 6.2-3 透水係数の設定 .....	6-10
図 6.2-4 断層モデルの考え方 .....	6-11
図 6.2-5 断層モデル.....	6-11
図 6.3-1 Major fracture と Minor fracture の考え方 .....	6-12
図 6.3-2 水理地質概念モデル .....	6-13
図 6.3-3 堆積岩中の間隙水圧分布(観測・代表値).....	6-17
図 6.3-4 明世累層露頭状況.....	6-17
図 6.3-5 土岐花崗岩・堆積岩不整合面状況と花崗岩風化部の分布 .....	6-18
図 6.3-6 土岐花崗岩・強風化部分布状況想定図 .....	6-19
図 6.3-7 土岐花崗岩・露頭状況 .....	6-19
図 6.3-8 主要割れ目各部のステレオ投影模式図 .....	6-20
図 6.3-9 試錐調査孔位置図.....	6-21
図 6.3-10 抽出パターン例 .....	6-21
図 6.3-11 主要割れ目の方向性 .....	6-23
図 6.3-12 断層分布図（対象領域周辺） .....	6-24
図 6.3-13 解析領域図.....	6-29
図 6.3-14 水理地質区分モデル .....	6-30
図 6.3-15 主要割れ目モデル .....	6-30
図 6.3-16 リニアメント分布図 .....	6-31
図 6.3-17 断層モデルの構造 .....	6-32
図 6.3-18 断層モデル.....	6-32
図 6.4-1 境界条件 .....	6-35
図 6.4-2 観測値に見られる全水頭値の分布状況 (1) .....	6-36
図 6.4-3 観測値に見られる全水頭値の分布状況 (2) .....	6-36
図 6.4-4 観測値に見られる全水頭値の分布状況 (3) .....	6-37
図 6.4-5 初期モデル解析結果・全水頭分布図 .....	6-39
図 6.4-6 初期モデル解析結果・観測値と解析値の比較 (1) .....	6-39
図 6.4-7 初期モデル解析結果・観測値と解析値の比較 (2) .....	6-40
図 6.4-8 初期モデル解析結果・観測値と解析値の比較 (3) .....	6-40
図 6.4-9 断層の透水異方性タイプ .....	6-41
図 6.4-10 断層の透水異方性に関する解析結果・観測値と解析値の比較 (1) .....	6-42

図 6.4-11	断層の透水異方性に関する解析結果・観測値と解析値の比較 (2) .....	6-43
図 6.4-12	断層の透水異方性に関する解析結果・観測値と解析値の比較 (3) .....	6-43
図 6.4-13	断層モデル図 .....	6-44
図 6.4-14	遮水構造の分布に関する解析結果・観測値と解析値の比較 (1) .....	6-45
図 6.4-15	遮水構造の分布に関する解析結果・観測値と解析値の比較 (2) .....	6-46
図 6.4-16	遮水構造の分布に関する解析結果・観測値と解析値の比較 (3) .....	6-46
図 6.4-17	堆積岩中の圧力水頭分布状況 .....	6-49
図 6.4-18	全水頭センター図 .....	6-50
図 6.4-19	Model1 解析結果 観測値と解析値の比較 .....	6-51
図 6.4-20	Model2 解析結果 観測値と解析値の比較 .....	6-51
図 6.4-21	遮水構造の分布比較 .....	6-52
図 6.4-22	変更モデル解析結果・全水頭分布図 .....	6-54
図 6.4-23	変更モデル解析結果・観測値と解析値の比較 (1) .....	6-55
図 6.4-24	変更モデル解析結果・観測値と解析値の比較 (2) .....	6-55
図 6.4-25	変更モデル解析結果・観測値と解析値の比較 (3) .....	6-56
図 6.5-1	パッカーリリース時における MIU-1 及び MIU-2 の間隙水圧の変化 .....	6-60
図 6.5-2	MIU-1 号孔における圧力変化・初期値(1) .....	6-63
図 6.5-3	MIU-1 号孔における圧力変化・初期値(2) .....	6-64
図 6.5-4	MIU-3 号孔における圧力変化・初期値(1) .....	6-65
図 6.5-5	MIU-3 号孔における圧力変化・初期値(2) .....	6-66
図 6.5-6	MIU-1・PRB01 における圧力変化 .....	6-68
図 6.5-7	MIU-1・PRB02 における圧力変化 .....	6-68
図 6.5-8	MIU-1・PRB03 における圧力変化 .....	6-69
図 6.5-9	MIU-1・PRB04 における圧力変化 .....	6-69
図 6.5-10	MIU-1・PRB05 における圧力変化 .....	6-70
図 6.5-11	MIU-1・PRB06 における圧力変化 .....	6-70
図 6.5-12	MIU-1・PRB07 における圧力変化 .....	6-71
図 6.5-13	MIU-1・PRB08 における圧力変化 .....	6-71
図 6.5-14	MIU-1・PRB09 における圧力変化 .....	6-72
図 6.5-15	MIU-3・PRB01 における圧力変化 .....	6-72
図 6.5-16	MIU-3・PRB02 における圧力変化 .....	6-73
図 6.5-17	MIU-3・PRB03 における圧力変化 .....	6-73
図 6.5-18	MIU-3・PRB04 における圧力変化 .....	6-74
図 6.5-19	MIU-3・PRB05 における圧力変化 .....	6-74
図 6.5-20	MIU-3・PRB06 における圧力変化 .....	6-75
図 6.5-21	MIU-3・PRB07 における圧力変化 .....	6-75
図 6.5-22	MIU-3・PRB08 における圧力変化 .....	6-76
図 6.5-23	MIU-1 号孔における圧力変化・FIX-11(1) .....	6-78
図 6.5-24	MIU-1 号孔における圧力変化・FIX-11 (2) .....	6-79
図 6.5-25	MIU-3 号孔における圧力変化・FIX-11 (1) .....	6-80
図 6.5-26	MIU-3 号孔における圧力変化・FIX-11 (2) .....	6-81
図 6.6-1	境界条件に関する解析結果・観測値と解析値の比較 (1) .....	6-82

図 6.6-2 境界条件に関する解析結果・観測値と解析値の比較 (2).....	6-83
図 6.6-3 境界条件に関する解析結果・観測値と解析値の比較 (3).....	6-83
図 6.6-4 最終モデル・境界条件 .....	6-84
図 6.6-5 最終モデル・全水頭分布図 .....	6-85
図 6.6-6 地下水の流向状況.....	6-86
図 6.6-7 指定点位置.....	6-87
図 6.6-8 地下水移行経路(Point01~03).....	6-88
図 6.6-9 地下水移行経路(Point04~06).....	6-88
図 6.6-10 地下水移行経路(Point07~09).....	6-89
図 6.6-11 地下水移行経路(Point10~12).....	6-89
図 6.6-12 地下水移行経路(Point13~15).....	6-90
図 6.6-13 地下水移行経路(Point16~18).....	6-90
図 6.6-14 地下水移行経路(Point19~21).....	6-91
図 6.6-15 地下水移行経路(Point22~24).....	6-91
図 6.6-16 水理地質区分通過頻度(Point01~04).....	6-92
図 6.6-17 水理地質区分通過頻度(Point05~08).....	6-93
図 6.6-18 水理地質区分通過頻度(Point09~12).....	6-94
図 6.6-19 水理地質区分通過頻度(Point13~16).....	6-95
図 6.6-20 水理地質区分通過頻度(Point17~20).....	6-96
図 6.6-21 水理地質区分通過頻度(Point21~24).....	6-97
図 6.6-22 指定点と断層の位置関係.....	6-98
図 6.6-23 最終モデル・地下水移行時間.....	6-99
図 6.6-24 最終モデル・地下水移行距離.....	6-100
図 6.6-25 移行距離—移行時間の関係.....	6-101
図 6.6-26 平均実流速の分布.....	6-102
図 6.6-27 平均ダルシー流速.....	6-103
図 6.6-28 平均有効間隙率 .....	6-103
図 6.6-29 指定点単位通過流量 .....	6-104
図 6.6-30 移行経路上の透水係数頻度 .....	6-104
図 6.6-31 移行経路上の有効間隙率頻度 .....	6-105
図 6.6-32 移行経路特性（要素のタイプ） .....	6-105
図 6.6-33 移行経路の比較 (1) .....	6-106
図 6.6-34 移行経路の比較 (2) .....	6-107
図 6.6-35 モデルの比較 .....	6-109
図 6.6-36 2001年モデル 月吉断層モデル .....	6-111
図 6.6-37 2002年モデル 月吉断層・および他の断層モデル.....	6-111
図 6.6-38 境界条件 .....	6-113
図 6.6-39 地下水移行経路の比較 (1) .....	6-115
図 6.6-40 地下水移行経路の比較 (2) .....	6-116
図 6.6-41 地下水移行経路の水理地質区分 .....	6-117
図 6.6-42 移行時間の比較 .....	6-117
図 6.6-43 移行距離の比較 .....	6-118

図 6.6-44 移行経路中の平均透水係数 .....	6-118
図 6.6-45 移行経路中の平均有効間隙率の分布 .....	6-119
図 6.6-46 移行経路中の平均ダルシー流速の分布 .....	6-119
図 6.6-47 移行経路中の平均実流速 .....	6-120
図 6.6-48 指定点における単位通過流量 .....	6-120
 図 7.1-1 解析モデル .....	7-2
図 7.2-1 指定点位置図 .....	7-6
図 7.2-2 指定点 1 (XY-1, EL.-250m) からの移行経路投影図 .....	7-9
図 7.2-3 指定点 2 (XY-2, EL.-250m) からの移行経路投影図 .....	7-10
図 7.2-4 指定点 3 (XY-3, EL.-250m) からの移行経路投影図 .....	7-11
図 7.2-5 指定点 4 (XY-1, EL.-500m) からの移行経路投影図 .....	7-12
図 7.2-6 指定点 5 (XY-2, EL.-500m) からの移行経路投影図 .....	7-13
図 7.2-7 指定点 6 (XY-3, EL.-500m) からの移行経路投影図 .....	7-14
図 7.2-8 指定点 7 (XY-1, EL.-750m) からの移行経路投影図 .....	7-15
図 7.2-9 指定点 8 (XY-2, EL.-750m) からの移行経路投影図 .....	7-16
図 7.2-10 指定点 9 (XY-3, EL.-750m) からの移行経路投影図 .....	7-17
図 7.2-11 指定点 10 (XY-1, EL.-1,000m) からの移行経路投影図 .....	7-18
図 7.2-12 指定点 11 (XY-2, EL.-1,000m) からの移行経路投影図 .....	7-19
図 7.2-13 指定点 12 (XY-3, EL.-1,000m) からの移行経路投影図 .....	7-20
図 7.2-14 指定点 13 (XY-4, EL.-250m) からの移行経路投影図 .....	7-21
図 7.2-15 指定点 14 (XY-5, EL.-250m) からの移行経路投影図 .....	7-22
図 7.2-16 指定点 15 (XY-6, EL.-250m) からの移行経路投影図 .....	7-23
図 7.2-17 指定点 16 (XY-4, EL.-500m) からの移行経路投影図 .....	7-24
図 7.2-18 指定点 17 (XY-5, EL.-500m) からの移行経路投影図 .....	7-25
図 7.2-19 指定点 18 (XY-6, EL.-500m) からの移行経路投影図 .....	7-26
図 7.2-20 指定点 19 (XY-4, EL.-750m) からの移行経路投影図 .....	7-27
図 7.2-21 指定点 20 (XY-5, EL.-750m) からの移行経路投影図 .....	7-28
図 7.2-22 指定点 21 (XY-6, EL.-750m) からの移行経路投影図 .....	7-29
図 7.2-23 指定点 22 (XY-4, EL.-1,000m) からの移行経路投影図 .....	7-30
図 7.2-24 指定点 23 (XY-5, EL.-1,000m) からの移行経路投影図 .....	7-31
図 7.2-25 指定点 24 (XY-6, EL.-1,000m) からの移行経路投影図 .....	7-32
図 7.2-26 出発点 XY-1 上の各指定点からの移行経路長 .....	7-34
図 7.2-27 出発点 XY-2 上の各指定点からの移行経路長 .....	7-35
図 7.2-28 出発点 XY-3 上の各指定点からの移行経路長 .....	7-36
図 7.2-29 出発点 XY-4 上の各指定点からの移行経路長 .....	7-37
図 7.2-30 出発点 XY-5 上の各指定点からの移行経路長 .....	7-38
図 7.2-31 出発点 XY-6 上の各指定点からの移行経路長 .....	7-39
図 7.2-32 出発点 XY-1 上の各指定点からの Darcy 流速 .....	7-42
図 7.2-33 出発点 XY-2 上の各指定点からの Darcy 流速 .....	7-43
図 7.2-34 出発点 XY-3 上の各指定点からの Darcy 流速 .....	7-44
図 7.2-35 出発点 XY-4 上の各指定点からの Darcy 流速 .....	7-45

図 7.2-36 出発点 XY-5 上の各指定点からの Darcy 流速 .....	7-46
図 7.2-37 出発点 XY-6 上の各指定点からの Darcy 流速 .....	7-47
図 7.2-38 出発点 XY-1 上の各指定点からの移行経路内の実流速 .....	7-49
図 7.2-39 出発点 XY-2 上の各指定点からの移行経路内の実流速 .....	7-50
図 7.2-40 出発点 XY-3 上の各指定点からの移行経路内の実流速 .....	7-51
図 7.2-41 出発点 XY-4 上の各指定点からの移行経路内の実流速 .....	7-52
図 7.2-42 出発点 XY-5 上の各指定点からの移行経路内の実流速 .....	7-53
図 7.2-43 出発点 XY-6 上の各指定点からの移行経路内の実流速 .....	7-54
図 7.2-44 出発点 XY-1 上の各指定点からのトラベルタイム .....	7-56
図 7.2-45 出発点 XY-2 上の各指定点からのトラベルタイム .....	7-57
図 7.2-46 出発点 XY-3 上の各指定点からのトラベルタイム .....	7-58
図 7.2-47 出発点 XY-4 上の各指定点からのトラベルタイム .....	7-59
図 7.2-48 出発点 XY-5 上の各指定点からのトラベルタイム .....	7-60
図 7.2-49 出発点 XY-6 上の各指定点からのトラベルタイム .....	7-61
図 7.2-50 出発点 XY-1 上の各指定点からの規格化トラベルタイム .....	7-62
図 7.2-51 出発点 XY-2 上の各指定点からの移行経路の規格化トラベルタイム .....	7-63
図 7.2-52 出発点 XY-3 上の各指定点からの移行経路の規格化トラベルタイム .....	7-64
図 7.2-53 出発点 XY-4 上の各指定点からの移行経路の規格化トラベルタイム .....	7-65
図 7.2-54 出発点 XY-5 上の各指定点からの移行経路の規格化トラベルタイム .....	7-66
図 7.2-55 出発点 XY-6 上の各指定点からの移行経路の規格化トラベルタイム .....	7-67
図 7.2-56 出発点 XY-1 の移行経路上の透水係数分布 .....	7-69
図 7.2-57 出発点 XY-2 の移行経路上の透水係数分布 .....	7-70
図 7.2-58 出発点 XY-3 の移行経路上の透水係数分布 .....	7-71
図 7.2-59 出発点 XY-4 の移行経路上の透水係数分布 .....	7-72
図 7.2-60 出発点 XY-5 の移行経路上の透水係数分布 .....	7-73
図 7.2-61 出発点 XY-6 の移行経路上の透水係数分布 .....	7-74
図 7.2-62 出発点 XY-1 の各深度を通過する流量(Flux) .....	7-76
図 7.2-63 出発点 XY-2 の各深度を通過する流量(Flux) .....	7-77
図 7.2-64 出発点 XY-3 の各深度を通過する流量(Flux) .....	7-78
図 7.2-65 出発点 XY-4 の各深度を通過する流量(Flux) .....	7-79
図 7.2-66 出発点 XY-5 の各深度を通過する流量(Flux) .....	7-80
図 7.2-67 出発点 XY-6 の各深度を通過する流量(Flux) .....	7-81
図 7.2-68 出発点 XY-1 上の各指定点からの移行経路上の有効間隙率 .....	7-83
図 7.2-69 出発点 XY-2 上の各指定点からの移行経路上の有効間隙率 .....	7-84
図 7.2-70 出発点 XY-3 上の各指定点からの移行経路上の有効間隙率 .....	7-85
図 7.2-71 出発点 XY-4 上の各指定点からの移行経路上の有効間隙率 .....	7-86
図 7.2-72 出発点 XY-5 上の各指定点からの移行経路上の有効間隙率 .....	7-87
図 7.2-73 出発点 XY-6 上の各指定点からの移行経路上の有効間隙率 .....	7-88
図 7.2-74 XY-1 の各深度における移行経路長とトラベルタイムの関係 .....	7-91
図 7.2-75 XY-2 の各深度における移行経路長とトラベルタイムの関係 .....	7-92
図 7.2-76 XY-3 の各深度における移行経路長とトラベルタイムの関係 .....	7-93
図 7.2-77 XY-4 の各深度における移行経路長とトラベルタイムの関係 .....	7-94

図 7.2-78 XY-5 の各深度における移行経路長とトラベルタイムの関係 .....	7-95
図 7.2-79 XY-6 の各深度における移行経路長とトラベルタイムの関係 .....	7-96
図 7.2-80 XY-1 の各深度における移行経路長と規格化されたトラベルタイムの関係 .....	7-97
図 7.2-81 XY-2 の各深度における移行経路長と規格化されたトラベルタイムの関係 .....	7-98
図 7.2-82 XY-3 の各深度における移行経路長と規格化されたトラベルタイムの関係 .....	7-99
図 7.2-83 XY-4 の各深度における移行経路長と規格化されたトラベルタイムの関係 .....	7-100
図 7.2-84 XY-5 の各深度における移行経路長と規格化されたトラベルタイムの関係 .....	7-101
図 7.2-85 XY-6 の各深度における移行経路長と規格化されたトラベルタイムの関係 .....	7-102
 図 8-1 地下水流動評価における不確実性の構造.....	8-1
図 8-2 不確実性評価における検討目的の変遷 .....	8-1
図 8-3 移行経路の経年比較（3 モデル） .....	8-4
図 8-4 指定点ごとの経年比較（TOUGH2, 移行経路長） .....	8-5
図 8-5 指定点ごとの経年比較（TOUGH2, 移行時間） .....	8-5
図 8-6 指定点ごとの経年比較（TOUGH2, 指定点の通過流量） .....	8-6
図 8-7 指定点ごとの経年比較（TOUGH2, 移行経路の平均ダルシーフlow速） .....	8-6
図 8-8 指定点ごとの経年比較（TOUGH2, 移行経路の平均実flow速） .....	8-7
図 8-9 指定点ごとの経年比較（TOUGH2, ダルシーフlow速で算出した移行時間） .....	8-7
図 8-10 指定点ごとの経年比較（EQUIV_FLO, 移行経路長） .....	8-8
図 8-11 指定点ごとの経年比較（EQUIV_FLO, 移行時間） .....	8-8
図 8-12 指定点ごとの経年比較（EQUIV_FLO, 指定点の通過流量） .....	8-9
図 8-13 指定点ごとの経年比較（EQUIV_FLO, 移行経路の平均ダルシーフlow速） .....	8-9
図 8-14 指定点ごとの経年比較（EQUIV_FLO, 移行経路の平均実flow速） .....	8-10
図 8-15 指定点ごとの経年比較（EQUIV_FLO, ダルシーフlow速で算出した移行時間） .....	8-10
図 8-16 指定点ごとの経年比較（Don-Chan, 移行経路長） .....	8-11
図 8-17 指定点ごとの経年比較（Don-Chan, 移行時間） .....	8-11
図 8-18 指定点ごとの経年比較（Don-Chan, 指定点の通過流量） .....	8-12
図 8-19 指定点ごとの経年比較（Don-Chan, 移行経路の平均ダルシーフlow速） .....	8-12
図 8-20 指定点ごとの経年比較（Don-Chan, 移行経路の平均実flow速） .....	8-13
図 8-21 指定点ごとの経年比較（Don-Chan, ダルシーフlow速で算出した移行時間） .....	8-13
図 8-22 移行経路情報のばらつきについての比較.....	8-21
図 8-23 モデルキャリブレーション前後での地下水移行時間と移行距離.....	8-22
図 8-24 モデルキャリブレーション前後での地下水の移行経路 .....	8-22

## 表 目 次

	頁
表 3-1 モデル化・解析手法一覧.....	3-1
表 3-2 データ一覧.....	3-3
表 3-3 基本ケース解析条件一覧.....	3-4
表 3-4 指定点座標.....	3-7
表 3-5 出力データの内容一覧 .....	3-7
 Table. 4.3-1 Summary of hydraulic conductivities used in the model.....	4-6
Table. 4.3-2 Summary of fracture density and porosity values used in the model. ....	4-6
Table. 4.4-1 Probe locations and general description of response to Well MIU-2 packer removal.	4-14
Table. 4.4-2 Summary of model changes made during calibration to packer removal.....	4-17
Table. 4.5-1 Water budgets for multiple realizations of the calibrated and uncalibrated models. ...	4-25
Table. 4.5-2 Streamline information for one realization of the calibrated model.....	4-27
 表 5.2-1 解析領域内の主要な試錐孔座標 .....	5-7
表 5.2-2 各ボーリング孔内での割れ目帯境界深度.....	5-22
表 5.2-3 Bingham 分布により得られたパラメータ .....	5-28
表 5.2-4 BTV 調査による割れ目密度.....	5-29
表 5.2-5 割れ目分布パラメータ .....	5-38
表 5.2-6 堆積岩部の代表的な有効間隙率（三枝他, 2001） .....	5-39
表 5.3-1 キャリブレーション前後の水理パラメータ値 .....	5-47
表 5.4-1 100m 格子点における流量・ダルシー流速の分布 .....	5-56
表 5.4-2 モニタリング区間の測定深度（標高）と代表水頭値.....	5-60
表 5.4-3 各モニタリング区間における水頭の残差二乗和.....	5-65
表 5.4-4 流動経路計算に用いた出発点（指定点） .....	5-66
表 5.4-5 指定点を通過する地下水の下流境界までの流動経路特性 .....	5-93
 表 6.3-1 東濃地域地質層序表 .....	6-14
表 6.3-2 堆積岩を対象とした水理試験結果(平均値) .....	6-15
表 6.3-3 地下水位分布観測結果一覧表.....	6-16
表 6.3-4 主要割れ目一覧 .....	6-22
表 6.3-5 主要割れ目系一覧表 .....	6-23
表 6.3-6 堆積岩を対象とした水理試験結果 .....	6-25
表 6.3-7 土岐花崗岩を対象とした水理試験結果 .....	6-26
表 6.3-8 割れ目生成データ一覧表.....	6-33
表 6.3-9 初期モデル物性値一覧 .....	6-34
表 6.4-1 断層の透水異方性タイプ .....	6-41
表 6.4-2 断層の透水異方性に関する解析ケース .....	6-42
表 6.4-3 遮水構造の分布に関する解析ケース .....	6-44

表 6.4-4 Model1, Model2 透水係数一覧 .....	6-50
表 6.4-5 物性値一覧 .....	6-53
表 6.4-6 観測値と解析値の比較(残差自乗和) .....	6-54
表 6.5-1 長期揚水試験結果における比貯留係数算定結果 .....	6-61
表 6.5-2 物性値の設定 .....	6-62
表 6.5-3 非定常計算トライアルケース .....	6-67
表 6.6-1 最終モデル・物性値一覧 .....	6-85
表 6.6-2 2001 モデル物性値 .....	6-112
表 6.6-3 指定点一覧 .....	6-114
 表 7.1-1 解析条件比較一覧 (1/3) .....	7-3
表 7.1-2 解析条件比較一覧 (2/3) .....	7-4
表 7.1-3 解析条件比較一覧 (3/3) .....	7-5
 表 8-1 移行経路長・移行時間の経年比較 (TOUGH2) .....	8-14
表 8-2 移行経路長・移行時間の経年比較 (EQUIV_FLO) .....	8-15
表 8-3 移行経路長・移行時間の経年比較 (Don-Chan) .....	8-16
表 8-4 指定点通過流量・平均実流速・平均ダルシー流速の経年変化 (TOUGH2) .....	8-17
表 8-5 指定点通過流量・平均実流速・平均ダルシー流速の経年変化 (EQUIV_FLO) .....	8-18
表 8-6 指定点通過流量・平均実流速・平均ダルシー流速の経年変化 (Don-Chan) .....	8-19
表 8-7 ダルシー流速で算出した移行時間のモデル間の比較 .....	8-20

## 1. はじめに

東濃地科学センターでは、地層処分研究開発の基盤となる深部地質環境の科学的研究の一環として、主に超深地層研究所計画及び広域地下水流动研究の2つのプロジェクトが進められている。これらのプロジェクトは、異なるスケールにおける深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤を整備することを主たる研究目標としている。

上記に示す超深地層研究所計画及び広域地下水流动研究の研究目標を達成するためには、研究対象となる地下水流动場を把握するためのモデル化・解析技術を構築することが重要な課題の一つである。

現在、超深地層研究所計画及び広域地下水流动研究においては、地表からの調査を実施しているが、調査で得られる情報は、主に限られた試錐孔における岩芯観察や各種検層、水理試験等であり、調査の種類や量が限定されている。また、超深地層研究所計画及び広域地下水流动研究が主に対象としている花崗岩中は、無数に分布する割れ目に伴う不均質性を有している。このような限定された情報量に基づき、不均質性を有する岩盤をモデル化する際には、様々な仮定に基づく、データ解釈や水理地質構造モデル化概念、モデル化・解析方法が適用され、これが水理地質構造モデルや構築したモデルに基づく地下水流动解析結果の不確実性を生じさせる原因にもなっている。

以上のことから、深部地質環境の調査・解析・評価においては、効率的に不確実性を低減することが重要であり、そのためには、各調査段階における不確実性を評価するとともに、その不確実性に影響を与える要因を抽出し、次の調査計画へ反映させることが重要である。

本件では、水理地質構造モデル化や地下水流动解析結果に含まれる不確実性が、調査研究の進展に伴いどのように低減したかを評価することを目的として、新たに取得した情報や知見に基づき、複数の水理地質構造のモデル化手法や地下水流动解析手法によるモデルの更新、及び地下水流动解析（キャリブレーション）を実施する。

## 2. 東濃地域の概要

### 2.1 地形地質構造

当該地域は、図2-1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一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、木曽川が流れ、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）付近では北東一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（貝塚ほか、1964）。

前述した木曽川と土岐川に挟まれた丘陵地の地形は、標高約150～400mであり、北東部から南西部方向に緩やかに傾斜している。領域北東部の標高最高点と南西部の標高最低点の標高差をその距離で除すことによって算出した最大地形勾配は約4%である。また、土岐川（水面標高：約150～120m）のほか、領域中央を北北東から南南西方向に流れる日吉川、領域中央部で西北西から東南東方向に流れる柄石川が存在する。

図2-2に東濃地域の地質概要を示す。東濃地域の地質は、大別して、美濃帶の堆積岩類（中生代三疊紀～ジュラ紀）、花崗岩・流紋岩類（中生代白亜紀～古第三紀）、中新統、鮮新統、それ以降の堆積物に区分される。

美濃帶の堆積岩は、砂岩・泥岩・チャートを主とし、ほぼ東北東一西南西方向の走向を有する地質構造で、三疊紀からジュラ紀後期の地層が断層により繰り返し現れるものである（Wakita, 1988）。

花崗岩類は、主に南部の美濃三河高原にいわゆる領家帯花崗岩が分布している。土岐・瑞浪盆地内にも直径が約10kmの土岐花崗岩の岩体が分布し、美濃帶の堆積岩の構造に非調和的に貫入している。土岐花崗岩は、東方の苗木・上松花崗岩の一部として考えられており、土岐市付近の花崗岩中には北北西方向の石英斑岩の岩脈が見られる（石原・鈴木、1969）。

濃飛流紋岩類は、本地域北東部に位置する瑞浪市釜戸町以東に分布しており、均質な岩相を示す溶結凝灰岩からなる。また、瑞浪地域の濃飛流紋岩類は土岐花崗岩に貫入されている（領家研究グループ、1972）。

これらの基盤岩の上に、中新統（瑞浪層群、可児層群）の堆積盆が、土岐・瑞浪盆地と可児盆地を中心に広がる。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、シルト岩・砂岩を主体とする生俵累層の3層に区分される。瑞浪層群は、土岐・瑞浪盆地南部では300m以上の層厚となる。鮮新統の瀬戸層群は主としてチャート・濃飛流紋岩の礫よりなる砂礫層（土岐砂礫層）であり、下部には粘土層（土岐陶土層）が分布する（糸魚川、1980）。

本地域は、鮮新世末から更新世にかけて活動したといわれる断層運動・傾動運動によって

ブロック状に区切られている。地形的に重要な構造線は、中津川から多治見にかけて北東一南西方向の屏風山断層・笠原断層、その南側をほぼ平行して走る恵那山断層、猿投山の東縁を走る猿投山断層であり、いずれの断層崖も急崖をなしている。屏風山断層・笠原断層以北では、それにはほぼ直交する赤河断層、華立断層がある（活断層研究会、1980）。また、瑞浪盆地には、東西に走る月吉断層と北東一南西ないし西南西に走る山田断層帯が存在する（糸魚川、1980）。

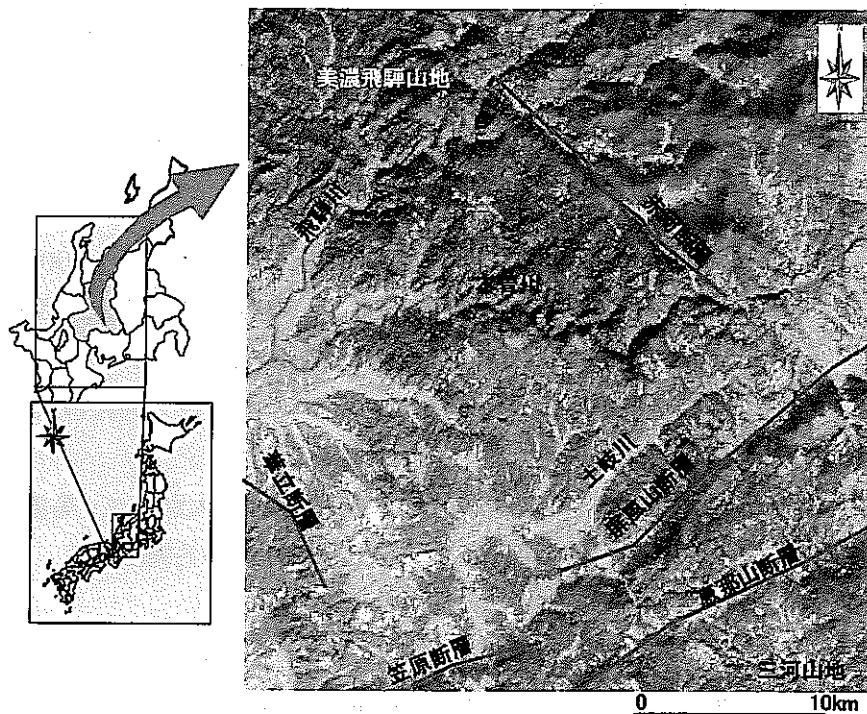


図 2-1 東濃地域の地形および断層

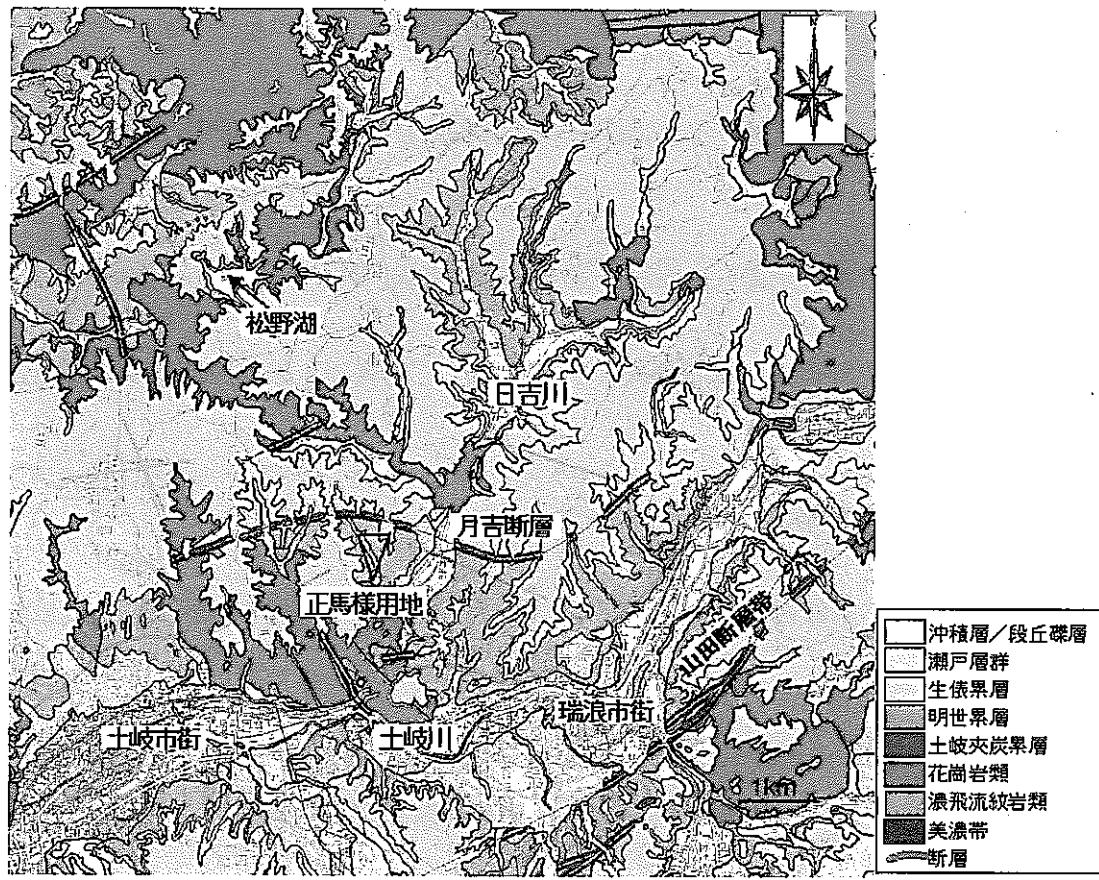


図 2-2 地質概要 (糸魚川, 1980 に加筆)

## 2.2 参考文献

石原舜三・鈴木淑夫：“東濃地方ウラン鉱床の基盤花崗岩類”，地調報告，232, pp.113-127 (1969)

糸魚川淳二：“瑞浪地域の地質”，瑞浪市化学博物館専報，No.1, pp.1-50 (1980)

貝塚爽平，木曾敏行，町田貞，太田陽子，吉川虎雄：“木曽川・矢作川流域の地形発達”，地理評，37, pp.89-102 (1964)

活断層研究会：日本の活断層，東京大学出版会，pp.186-195 (1980)

領家研究グループ：“中部地方領家帯の花崗岩類の相互関係”，地球科学，26, pp.205-216, (1972)

Wakita, K. : "Origin of chaotically mixed rock bodies in the Early Jurassic to Early Cretaceous sedimentary complex of the Mino terrane, central Japan", Bull. Geol. Surv. Japan, Vol.39 (11), pp.675-757 (1988)

### 3. 解析の概要

#### 3.1 モデル化・解析手法の選定

本研究における、水理地質構造のモデル化及び地下水流动解析においては、昨年度と同様、超深地層研究所正馬様用地を中心とした尾根線及び河川で囲まれた約4×6kmの領域を対象とした。モデル化領域を図3-1に、正馬様用地を図3-2に示す。この領域を対象とした水理地質構造のモデル化及び地下水流动解析に用いる手法は、昨年度と同様、表3-1に示すように連続体モデルを2手法、不連続体モデルの中からチャンネルネットワークモデルを1手法、計3手法を採用した。これらのモデルは以下の機能を有している。

- ① 割れ目による透水不均質性を等価な連続体に置換することが可能な機能を有する手法
- ② 逆解析を実施する機能を有する手法
- ③ 断層などの不連続構造の透水異方性を考慮する機能を有する手法

表3-1 モデル化・解析手法一覧

コード名	TOUGH2	EQUIV_FLO	Don-Chan
開発者	ローランスパークル研究所	大成建設(株)	埼玉大学
モデル種類	連続体モデル	連続体モデル	チャンネルネットワークモデル
モデル化手法	水理特性から連続体パラメータを推定	亀裂特性から連続体パラメータを推定	割れ目特性から割れ目パラメータを推定
解析手法	体積差分法	有限要素法	差分法+有限体積法

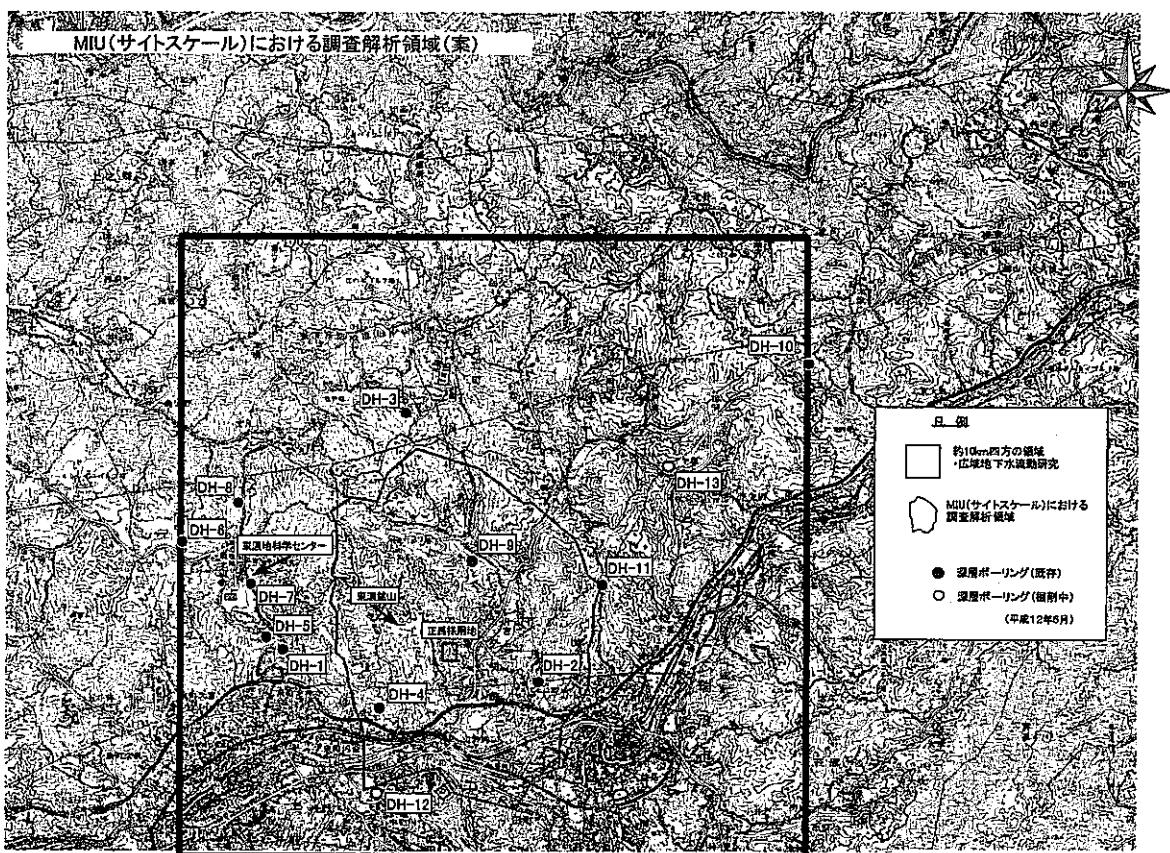


図 3-1 モデル化領域

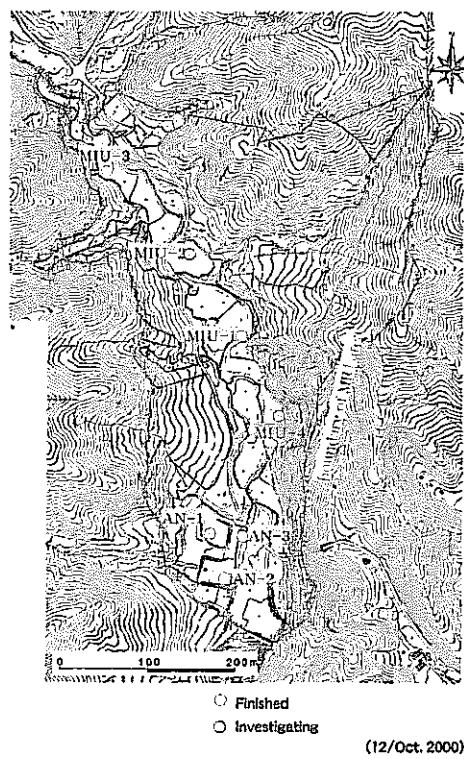


図 3-2 正馬様用地内試錐孔配置図

### 3.2 原位置調査結果に基づくモデル化・解析用データの整理

前節で選定した3つのモデル化手法ごとに、表3-2に示した東濃地科学センターが実施した原位置調査試験により得られたデータに、今年度新たな情報として追加されたMIU-4号孔における調査の結果などに基づき、昨年度作成した水理地質構造モデルの更新に寄与できる情報とできない情報の整理を行い、水理地質構造モデル更新の可能性について検討した。

また、本年度よりMIU-4のボーリングデータと長期揚水試験結果が新たなデータと追加された。MIU-4からはボアホールTVの観測結果より、割れ目分布が更新され、長期揚水試験については、この試験に伴って行なわれたMIU-2孔における月吉断層部におけるパッカの開閉による水圧の応答が広範囲に渡ることから、水理地質構造モデルのキャリブレーションの際にこのデータが利用された。

表3-2 データ一覧

種類	データ名	目的と実施内容
文献調査	地形図	地形の把握
	地質図	地質構造の把握
空中調査	航空写真	リニアメントの把握
	ランドサット画像	リニアメントの把握、広域領域10km×10kmで実施
	スポット画像	リニアメントの把握、広域領域10km×10kmで実施
地上調査	弾性波探査	地質構造の把握、MIUサイトを中心に実施 反射法：延長2404m（Line-1=644m, Line-2=500m, Line-3-1=660m, Line-3-2=600m） 屈折法：延長3600m（Line-R-1=1700m, Line-R-2=1900m）
	電磁探査(MT法)	地質構造（堆積岩と基盤岩の境界）の把握 広域領域10km×10kmで実施
	地下水位観測	観測：全158孔 連続観測：全40孔（97MS-01～04, 99FT-01, 99RT-01, AI-4, AN-1, 3, 6, DH-3, 7, 9, GD-1, 3, GF-1, GU-1～3, GM-1～3, KA-1～3, SN-1, 3, 4, TH-1～8, TH(2)-4, 5, 7, 8）
	水収支観測	正馬様用地、東濃鉱山、がらいし地区の降雨量、蒸発散量、涵養量、河川流量、東濃鉱山からの排水量の把握
試錐孔	コア観察	地質学的性状などの把握
	削孔時逸水量	高透水性割れ目深度の把握 DH孔およびMIU孔で実施
	ボアホールテレビ	割れ目の深度、走向傾斜、開口幅、充填鉱物の有無等の把握 AN-1孔, DH孔, MIU孔で実施
	検層	キャリバー検層、密度検層、流速、自然γ線、見掛け比抵抗、MICRO比抵抗、中性子検層、中性子間隙率、間隙率、RQD、音波検層、自然電位、シングルポイント検層、温度検層
	水圧観測	試錐孔内における深度方向の水圧分布の観測（長期揚水試験に伴って行なわれたMIU-2孔の月吉断層部におけるパッカの開閉による水圧応答をモデルキャリブレーションに利用）
	水頭観測	試錐孔内の深度方向の水頭分布の把握 MPシステムにより主にTH孔で実施
	透水試験	透水係数分布の把握 AN孔, DH孔, MIU孔で実施

### 3.3 モデルキャリブレーション

モデル化手法のみに起因した不確実性を評価するために、モデル化・解析手法ごとに前節で整理したデータを用いて水理地質構造モデルの更新及びキャリブレーションを実施した。モデル化にあたっては、昨年度と同様、モデル化の対象とする解析領域、地質構造および境界条件等と同じとした解析条件を表 3-3に示すように設定し、各地質構造の水理・物質移行特性の設定にあたっては、モデル化手法ごとに任意に設定した。

水理地質構造モデルのキャリブレーションについては、長期揚水試験時の水圧変動の観測結果と非定常地下水流动解析結果の比較検討により行なう。また、キャリブレーション後に定常地下水流动解析を実施し、モデル間の比較を行なった。

表 3-3 基本ケース解析条件一覧

解析領域	図 3-1に示す約 4×6km の領域
地形構造	地表面形状
地質構造	堆積岩、花崗岩、月吉断層（低透水部、高透水部）をモデル化
境界条件	上部境界は、地表面での水位固定境界とする 側方境界は、広域スケールでの解析結果より得られた水頭固定境界とする

### 3.4 地下水流動解析結果のまとめ方

モデル化・解析手法ごとに、長期揚水試験時の水圧変動の観測結果を用いて実施する水理地質構造モデルのキャリブレーションについては、以下の①～⑦の項目について考察を行った。なお、モデル化手法に統計的手法を用いる場合 (TOUGH2, EQUIV\_FLO) には、統計的に有為な数のリアルイゼーション数を設定した。

- ① 観測点における非定常水圧変動の実測値と解析値の比較
- ② 観測点における最大水圧低下量の実測値と解析値の差
- ③ 全ての観測点での最大水圧低下量の実測値と解析値の残差二乗和
- ④ 観測点における最大水圧低下時間の実測値と解析値の差
- ⑤ 全ての指定点での最大水圧低下時間の実測値と解析値の残差二乗和
- ⑥ 観測点における初期最大水圧応答時間（最大デリバティブ時間）の実測値と解析値の差
- ⑦ 全ての観測点での初期最大水圧応答時間（最大デリバティブ時間）の実測値と解析値の残差二乗和

さらに、水理地質構造のモデルキャリブレーション後の定常地下水流动解析を基に、以下の項目について取りまとめを行なった。

- ① 指定点を通過する単位体積あたりの地下水流量の分布
- ② 指定点を通過する地下水の下流境界までの流动経路特性
- ③ 指定点を通過する地下水の下流境界までの流动経路長
- ④ 指定点を通過する地下水の下流境界までの滞留時間
- ⑤ 指定点を通過する地下水の最終到達地点
- ⑥ 全水頭分布
- ⑦ ダルシーリー流速ベクトル

上記①～⑤に示す「指定点」は、図 3-3および表 3-4に示す断層北側および断層南側で 3 地点ずつ各 4 深度の計 24 点とする。

解析結果の出力項目は、表 3-5に示すとおりである。

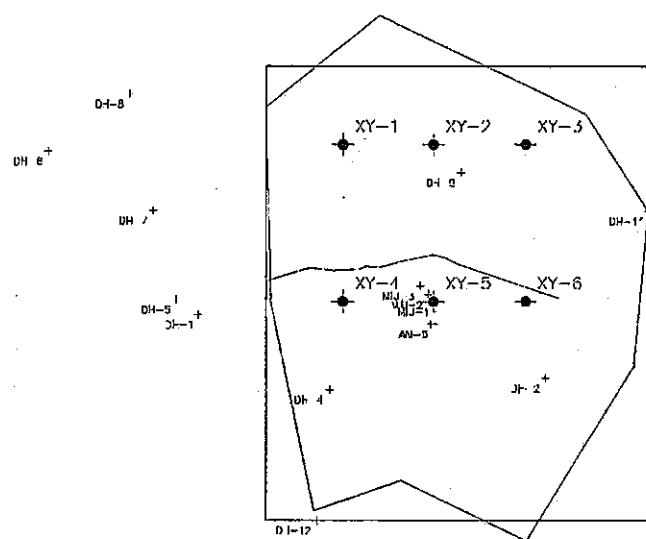


図 3-3 指定点位置図

図中、長方形は、4×6km の直方体用境界 (3643.93, -66044.47), (7831.93, -66044.47), (7831.93, -71044.47), (3643.93, -71044.47) を表す。

表 3-4 指定点座標

番号	断層北側			番号	断層南側		
	x	y	z		x	y	z
1	4488.83	-66900	-250	13	4488.83	-68629.36	-250
2	5488.83	-66900		14*	5488.83	-68629.36	
3	6488.83	-66900		15	6488.83	-68629.36	
4	4488.83	-66900	-500	16	4488.83	-68629.36	-500
5	5488.83	-66900		17*	5488.83	-68629.36	
6	6488.83	-66900		18	6488.83	-68629.36	
7	4488.83	-66900	-750	19	4488.83	-68629.36	-750
8	5488.83	-66900		20*	5488.83	-68629.36	
9	6488.83	-66900		21	6488.83	-68629.36	
10	4488.83	-66900	-1000	22	4488.83	-68629.36	-1000
11	5488.83	-66900		23*	5488.83	-68629.36	
12	6488.83	-66900		24	6488.83	-68629.36	

\* MIU-1孔と同じ平面座標

表 3-5 出力データの内容一覧

項目	内 容
要素番号	移行経路中の移行経路要素番号
座標	各要素の始点および終点の x,y,z 座標 [単位 : m]
移行経路長	各要素の長さ [単位 : m]
移行時間	各要素における移行時間 [単位 : 年]
流速	実流速, Darcy 流速 [単位 : m/y]
岩種	堆積岩, 花崗岩, 断層, リニアメント番号など
透水係数	各要素の透水係数 [単位 : m/s]
有効間隙率	各要素の実流速換算に用いた有効間隙率 [単位 : -]

## 4. Evaluation of uncertainties due to hydrogeological modeling and groundwater flow analysis: constraining the model with pressure data

### 4.1 Abstract

Starting with regional geographic, geologic, surface and subsurface hydrologic, and geophysical data for the Tono area in Gifu, Japan, we develop an effective continuum model to simulate subsurface flow and transport in a 4 km by 6 km by 3 km thick fractured granite rock mass overlain by sedimentary layers. Individual fractures are not modeled explicitly. Rather, continuum permeability and porosity distributions are assigned stochastically, based on well-test data and fracture density measurements. Lithologic layering and one major fault, the Tsukiyoshi Fault, are assigned deterministically. We use steady-state hydraulic head profiles of several wells in the MIU area and their transient pressure responses to packer removal in Well MIU-2 to calibrate the model. In order to more accurately simulate the response to packer removal, a local area grid refinement is done for the vicinity of Well MIU-2. The calibrated model is then used to predict travel times from specified monitoring points to the model boundaries. The large-scale model changes arising from the calibration process (decreases in permeability and increases in porosity) served to lengthen the travel times through the model by a factor of about 100.

### 4.2 Introduction

The Japan Nuclear Cycle Development Institute (JNC) has initiated a multi-national project to investigate the uncertainties involved in the prediction of flow and transport behavior of a fractured rock mass. In the initial stage of the project, known as the CORE Collaborative Study (Oyamada and Ikeda, 1999; Doughty and Karasaki, 1999), several research organizations conducted numerical simulations of tracer transport through a hypothetical fractured rock mass at the 100 m scale. Each group was provided with the same hydrogeological data set and was requested to use the same boundary conditions. The groups' results were compared to identify and quantify uncertainties in model predictions. The study found that discrete fracture network (DFN) models and effective continuum models (ECM) produced comparable results for mean values of flow through the model and tracer travel times, but that DFN models showed greater variability among stochastic realizations than did ECM.

The second stage of the project took a similar approach, but provided site-characterization data for a real field site, a 4 km by 6 km by 3 km region surrounding the MIU site in the Tono area of Gifu, Japan, and left the choice of boundary conditions up to the research groups. The main results of the different groups' models were the predicted particle travel times from specified release points to the model boundary. There are no comparable field data available to directly validate the models, so, as in the first stage, model uncertainty was assessed by comparing among results of different models (Sawada et al, 2001). Although the general features of the flow paths from the release points to the model boundaries were similar for all the models, travel times varied over a huge range –

from 1 to 10,000,000 years. Much of this variation could be attributed to the large range of fracture porosities assumed by the different groups, but direct comparison between models was difficult because of differences in how boundary conditions were assigned.

For additional modeling of the region surrounding the MIU site, JNC specified a set of common boundary conditions for all the groups to use, so that differences in results could be related directly to the modeling approach and property assignments. In addition to examining steady-state flows and transport, we also did a transient-flow analysis by simulating the Long-Term Pump Test (LTPT), and thermal analysis of steady-flow conditions. This work is summarized in Doughty and Karasaki (2002). Comparison of the results of our isothermal studies with those of the other research groups is presented in Sawada et al. (2003). We were the only group to conduct thermal studies.

The present report describes model calibration to steady-state head profiles in the MIU area and the "inadvertent MIU-2 well test" that occurred when the packers were removed and replaced in Well MIU-2 in conjunction with the LTPT.

#### 4.3 Modeling Approach

Starting with regional geographic, geologic, surface and subsurface hydrologic, and geophysical data, we develop an effective continuum model to simulate subsurface flow and transport in a 4 km by 6 km by 3 km thick fractured granite rock mass overlain by about 100 m of sedimentary rock. Individual fractures are not modeled explicitly. Rather, continuum permeability and porosity values are assigned to the 100 m by 100 m by 100m grid blocks stochastically, based on hydraulic conductivities determined from well-test data and fracture density measurements. The top of the model coincides with the ground surface, with topographic relief determined from a 20 m by 20 m resolution digital terrain map (Figure. 4.3-1). Near the top of the model, grid block thickness decreases to 50 m to better resolve surface topography. In the bottom third of the model, where no property data is available, it gradually increases.

Large-scale features such as lithologic layering and the Tsukiyoshi fault zone are assigned deterministically. Five sedimentary units are present at various locations in the upper 100 m of the model, but the bulk of the model is composed of the Toki granite, which includes biotite-rich and felsic components. The Tsukiyoshi fault zone is planar, has a roughly east-west strike, and dips at 75 degrees to the south. It extends laterally and vertically across the entire model. The fault zone consists of a low-permeability fault core, surrounded on either side by a higher-permeability "sandwich" planes. Figure. 4.3-2 shows the overall structure of the model.

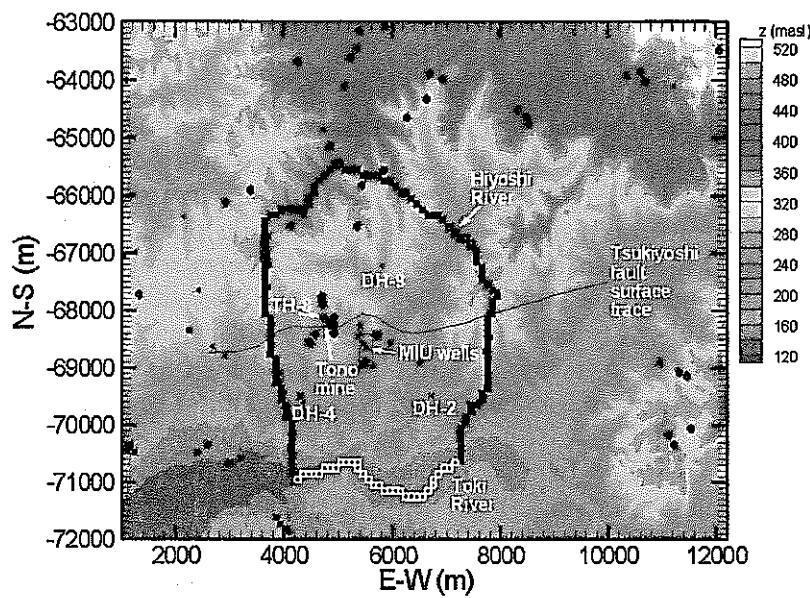


Figure. 4.3-1 Surface elevations, lateral model boundary, and features of interest for the 4 km by 6 km model of the Tono region.

The black portion of the boundary is open (constant head) and the white portion, along the Toki River, is closed except at the surface, where it is constant head.

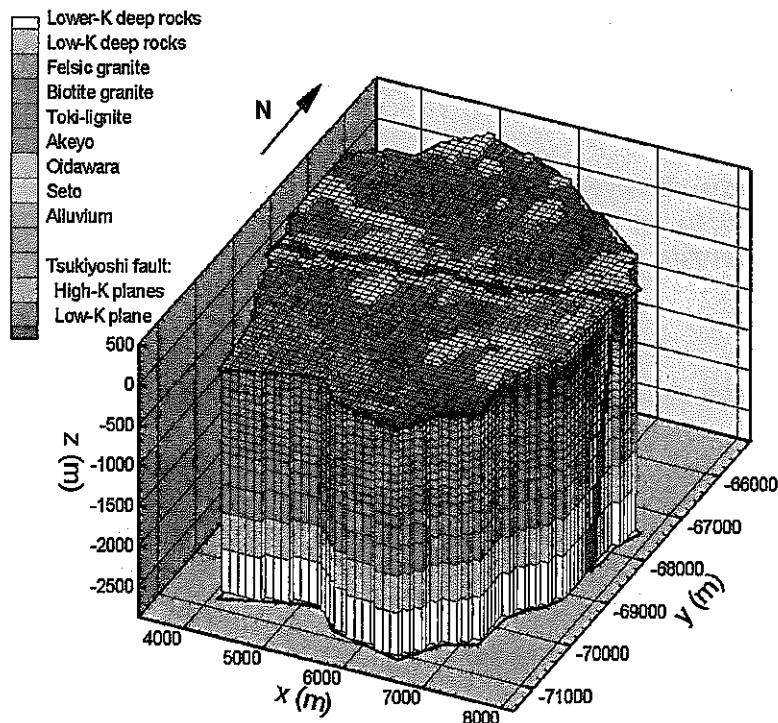


Figure. 4.3-2 Perspective view of the model showing different materials.

Within each material, permeability and porosity are drawn from stochastic distributions.

#### 4.3.1 Stochastic permeability and porosity distributions

The field data from which model permeabilities and porosities are derived consists of 283 hydraulic conductivity ( $K$ ) values, inferred from slug tests and pumping tests using packed-off intervals in 14 boreholes, and 67 fracture density ( $d$ ) measurements made from borehole imaging and core analysis in 5 boreholes. We do not interpret the  $K$  values as representing individual fracture conductivities, but as representing effective continuum conductivities averaged over the length of the packed-off interval. Because we choose grid block size to be comparable to typical lengths of packed-off intervals, we assume that there is no need to scale up or scale down  $K$  values measured during well tests, and that they directly represented the effective continuum conductivities required for the model.

Grid block conductivity values are drawn from stochastic distributions for each lithologic layer (i.e., each material type in the model). For the granitic rocks, the distributions are constructed by resampling field measurements. For the sedimentary rocks, there are not enough measurements for a given material type to make resampling viable, so log-normal distributions are used. Table 4.3-1 summarizes the material types and conductivity distributions used for the model and Figure 4.3-3 illustrates the  $\log_{10}K$  distributions that are constructed by resampling. To investigate whether the actual  $K$  distributions in the field show a spatial correlation structure between the grid block scale (100 m) and the lithofacies scale (~800 m), we plot  $K$  versus depth profiles for individual wells, and then we compare these profiles among various wells. Results suggest that  $K$  is not strongly spatially correlated at this scale, so resampled field measurements within each material type are randomly shuffled before being assigned to grid blocks. Permeability is simply the product of  $K$  and the ratio of water viscosity  $\mu$  to specific gravity  $\rho g$ , which is a constant for an isothermal system. Figure 4.3-4 shows one realization of the permeability distribution in the model.

Counting fractures observed in borehole images enables fracture density  $d$  (number of fractures per meter) to be estimated. We assume that fracture spacing  $b$  is inversely related to fracture density

$$b=1/d. \quad (2.1)$$

Porosity  $\phi$  is estimated as the ratio of fracture aperture  $w$  to fracture spacing  $b$

$$\phi = w/b. \quad (2.2)$$

The relationship between  $w$  and  $K_f$ , the individual fracture conductivity, is obtained from the parallel-plate assumption for fracture flow (National Research Council Committee on Fracture Characterization and Fluid Flow, 1996)

$$w^2 \rho g / (12\mu) = K_f \quad (2.3)$$

Since the effective continuum conductivity  $K$  is related to  $K_f$  according to

$$K = K_f(w/b), \quad (2.4)$$

we get the well-known cubic law relating  $w$  and  $K$

$$K = w^3 \rho g / (12 \mu b). \quad (2.5)$$

We combine Equations (2.1), (2.2), and (2.5) to write  $\phi$  in terms of  $K$  and  $d$

$$\phi = (12 K \mu d^2 / \rho g)^{1/3}. \quad (2.6)$$

Fracture density measurements are sparse and we can find no obvious correlation between  $d$  and  $K$ , so  $d$  measurements from all lithological layers are combined to determine a mean fracture density of  $7.95 \text{ m}^{-1}$  and a standard deviation of  $5 \text{ m}^{-1}$ . For all the granitic rock except the biotite-rich granite,  $d$  values are drawn from a normal distribution with these moments, which is truncated at a small positive number ( $0.01 \text{ m}^{-1}$ ) to ensure that  $d$  is always positive. For the biotite-rich granite, the  $d$  distribution is created by resampling. No information is available for the sedimentary rocks, so a typical literature value of  $\phi = 0.2$  is used as the mean of a normal distribution with a standard deviation of 0.02.

For each grid block, after  $K$  and  $d$  are drawn from the appropriate distribution, Equation (2.6) is applied to determine  $\phi$ . The resulting model porosity statistics are summarized in Table 4.3-2. Note that  $\phi$  is always positive, but the standard deviation is typically the same magnitude as the mean, implying that the  $\phi$  distribution is distinctly non-normal.

Table. 4.3-1 Summary of hydraulic conductivities used in the model.

For sedimentary rocks with no data available, typical stochastic properties are used. For deep granitic layers, the mean K of each layer is three times smaller than that of the overlying layer.

Material Type	Number of conductivity measurement s	$\log_{10}K$ (m/s)		Type of distribution used for $\log_{10}K$
		Mean	Std. Dev.	
Alluvium	0	-7.0	1.6	Normal
Seto group	0	-7.2	1.4	Normal
Oidawara	1	-8.7	1.5	Normal
Akeyo	11	-7.9	0.8	Normal
Toki lignite-bearing	21	-7.0	0.9	Normal
Toki granite (biotite)	192	-7.1	1.7	Resampled
Toki granite (felsic)	46	-6.9	1.1	Resampled
Deep granitic layers	0	-7.4 to -8.3	1.5	Normal
Fault core	12	-8.2	1.1	Normal
Fault "sandwich"	0	-6.1	1.1	Normal
Average over all rock types	283	-7.1	1.5	

Table. 4.3-2 Summary of fracture density and porosity values used in the model.

Material Type	Number of fracture density measurement s	Fracture density (m <sup>-1</sup> )		Model Porosity	
		Mean	Std. Dev.	Mean	Std. Dev.
Toki granite (biotite)	57	7.7	4.2	3.9E-4	5.9E-4
Toki granite (felsic)	4	10.8	4.2	3.6E-4	2.5E-4
Sedimentary rocks	0	N/a	n/a	0.2	0.02

Model porosity is considered to be less well constrained than model conductivity for several reasons. First, basing porosity estimates on fracture density measurements is problematic because often a high percentage of observed fractures do not contribute to flow at all (National Research Council Committee on Fracture Characterization and Fluid Flow, 1996). Moreover, the cubic law can greatly misrepresent the relationship between fracture aperture and conductivity, and even if it is valid, the hydraulic aperture used in the cubic law tends to underestimate the volumetric aperture relevant for transport. Finally, there are few fracture density measurements available for materials other than the biotite-rich granite. No data are available for depths below 1000 m. Hence, all model properties there are quite uncertain.

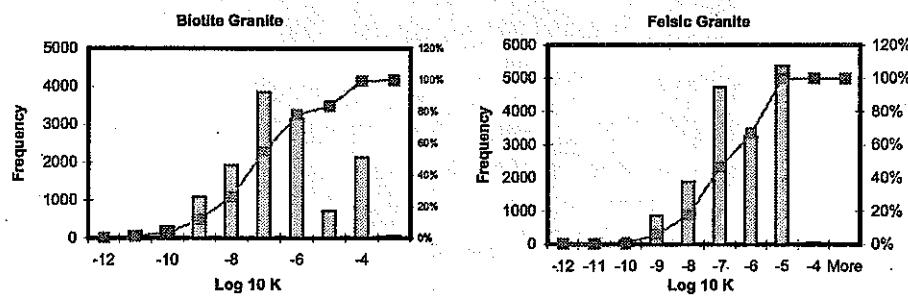


Figure 4.3-3 Toki granite distributions of  $\log_{10} K$  obtained from slug tests and pumping tests.

Each conductivity value is weighted by the length of test interval; frequency shows the number of grid blocks that are assigned a conductivity in the corresponding range. The line shows the cumulative distribution function.

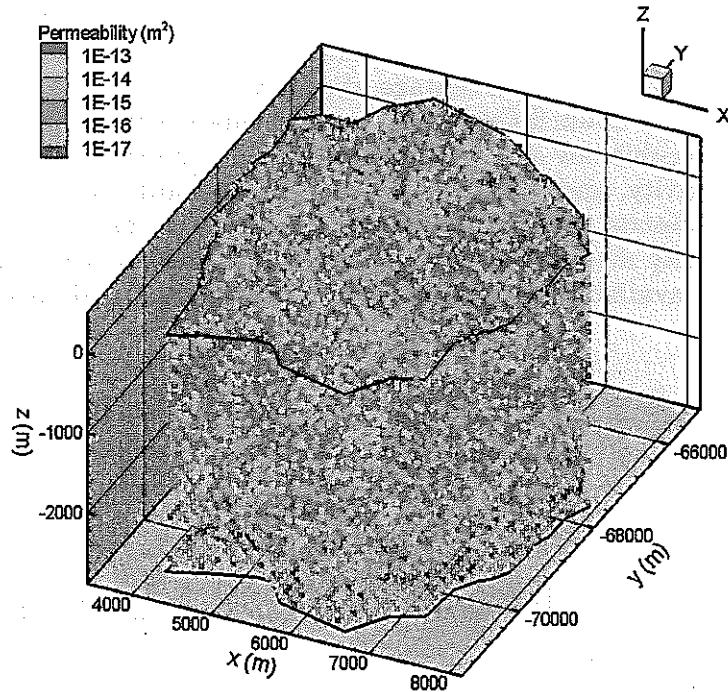


Figure. 4.3-4 One realization of the stochastic permeability distribution.

#### 4.3.2 Boundary conditions

The top boundary of the model is a constant-head boundary, with the head value set equal to the ground surface elevation (that is, the water table is coincident with the ground surface, eliminating consideration of the vadose zone). With such a boundary condition, water flows into or out of the model according to local head differences. Water flowing in is interpreted as infiltration or recharge whereas water flowing out is interpreted as spring discharge or the conversion of groundwater to surface water in rivers and creeks. The bottom boundary of the model is closed. Moreover, the mean permeability of the lowest three layers of the model gradually decreases, to represent the closing of fractures with increased lithologic stress, and to provide a gradual transition to the closed boundary. Most of the model lateral boundary is a constant head boundary, with head set equal to ground surface elevation, enabling inflow or outflow between the model and its surroundings. The one exception is the southern boundary of the model, which coincides with the Toki River. This boundary is closed at depth, and held at constant head at the surface to allow outflow of groundwater into the river. Figure. 4.3-5 shows the flow into and out of the model through the constant-head boundaries from four perspectives.

Previous modeling studies (Doughty and Karasaki, 2001, 2002) also considered a model with primarily closed lateral boundaries. Inflow to the model arose primarily from surface recharge, with outflow occurring to a constant head boundary along the Toki River. This closed model produced reasonable predictions for steady-state flow and transport and the

transient response to the LTPT. However, coupled thermal and flow analysis indicated that the surface recharge would produce temperature-depth profiles showing a strong convective signature (a low constant temperature), whereas observed profiles increase linearly with depth, indicating that heat transfer is conduction dominated. The present model with open lateral boundaries reproduces the observed temperature-depth profiles much better than the closed model does.

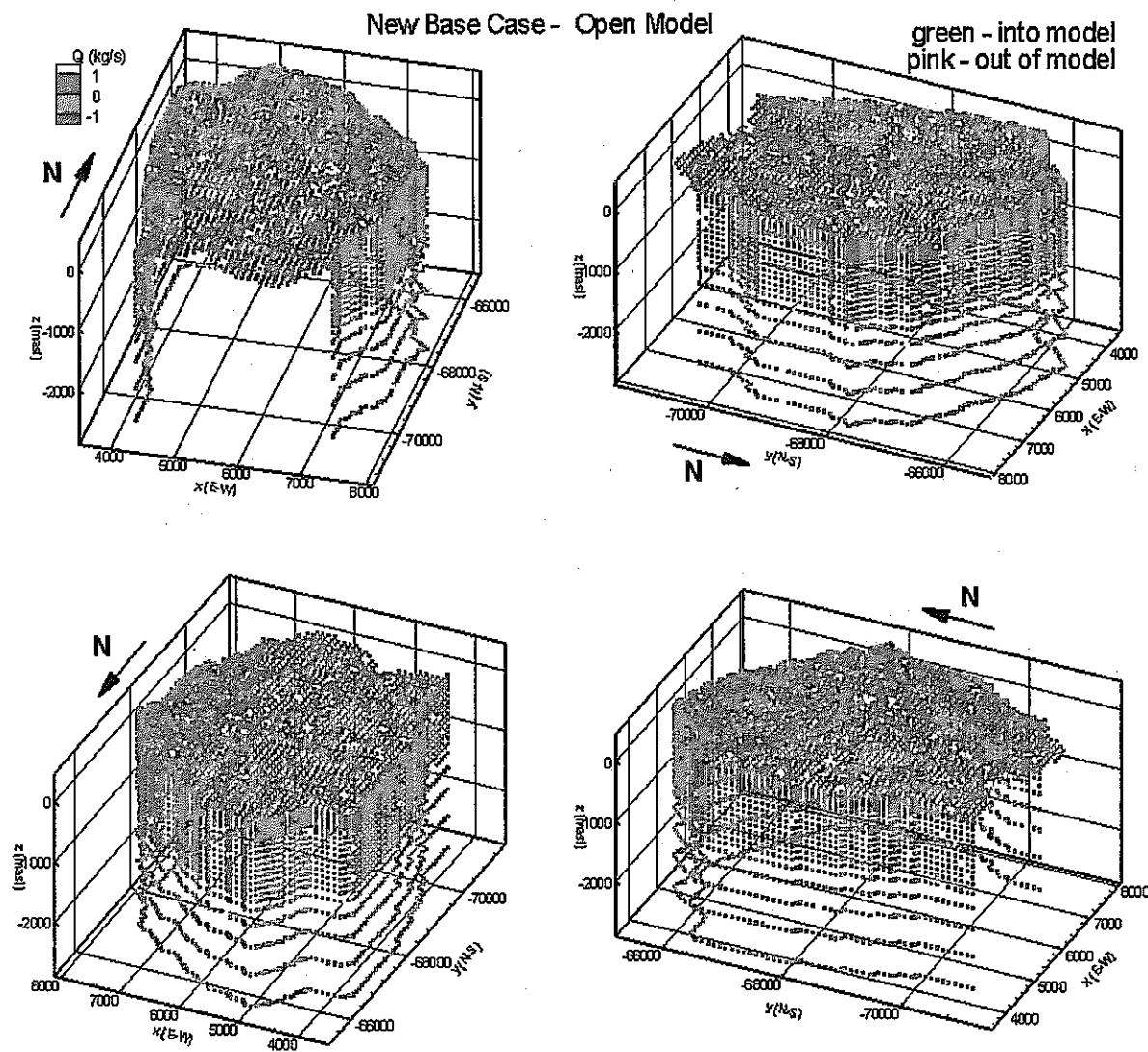


Figure. 4.3-5 Flows in and out of the model through the surface and lateral boundaries, shown from four different perspectives.

Positive flow rates are discharge out of the model, negative flow rates are recharge into the model.

### 4.3.3 Calculation procedure

After one or more stochastic realizations of the model are generated, we employ the TOUGH2 simulator (Pruess et al., 1999) to calculate the steady-state groundwater flow through the model. We then use the graphics package Tecplot to calculate stream traces from 24 specified release points to the model boundaries, based on the TOUGH2 flow field. Finally, a utility program is used to analyze the stream traces and report on materials they pass through (with permeability and porosity), total path length, and travel time to the model boundary.

## 4.4 Model Calibration

Our starting point for the model calibration is the final model developed during last year's studies, denoted the "new base case – open model". Model parameters are given in Table. 4.3-1 and Table. 4.3-2. As described above, the open lateral boundary conditions are required to match steady-state temperature profiles. Additionally, modeling of the LTPT suggested that rock compressibility on the order of  $10^{-8} \text{ Pa}^{-1}$  is needed in order for the specific storage  $S_s$  to be comparable to the value inferred from hydraulic testing ( $10^{-7} \text{ m}^{-1}$ ). We refer to this model as "the uncalibrated model".

Two types of data are used to calibrate the model: steady-state head profiles for wells in the MIU area, and the transient pressure responses to the removal of the packer in Well MIU-2 that took place prior to the LTPT.

### 4.4.1 Steady state head profiles in MIU wells

Head profiles for the MIU area wells taken from a variety of data sources are shown in Figure. 4.4-1 and Figure. 4.4-2. There is significant variability between wells, but the overall trend shows about a 40 m head difference across the Tsukiyoshi fault, with higher heads in the foot wall (to the north of the fault). Figure. 4.4-3 shows the simulated head profiles for five realizations of the uncalibrated model with the original value of the Tsukiyoshi fault core permeability (0.1 times the bulk granite permeability), and a range of other values. The smaller the fault core permeability, the larger is the head difference across the fault. The best fit to the observed 40 m head difference is obtained when fault core permeability is 0.01 times the bulk granite value.

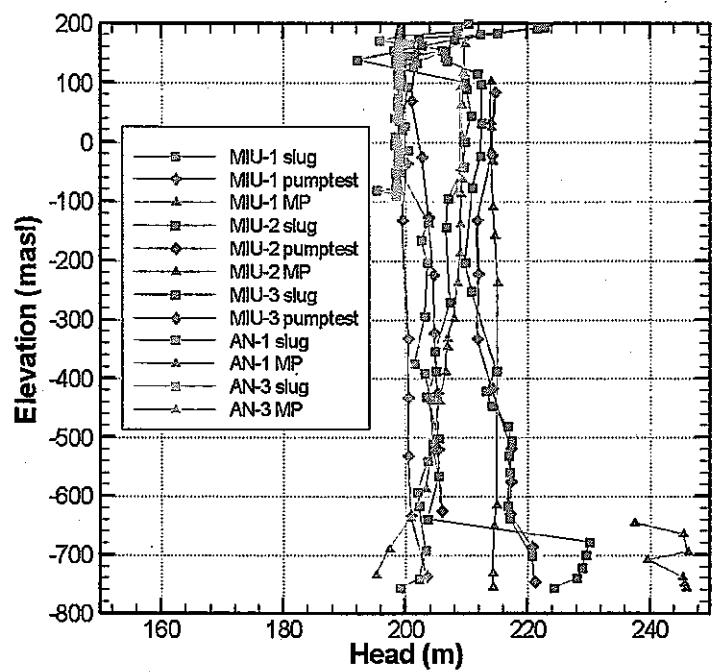


Figure. 4.4-1 Observed hydraulic head profiles in the MIU area measured from slug tests, pump tests, and the MP system.

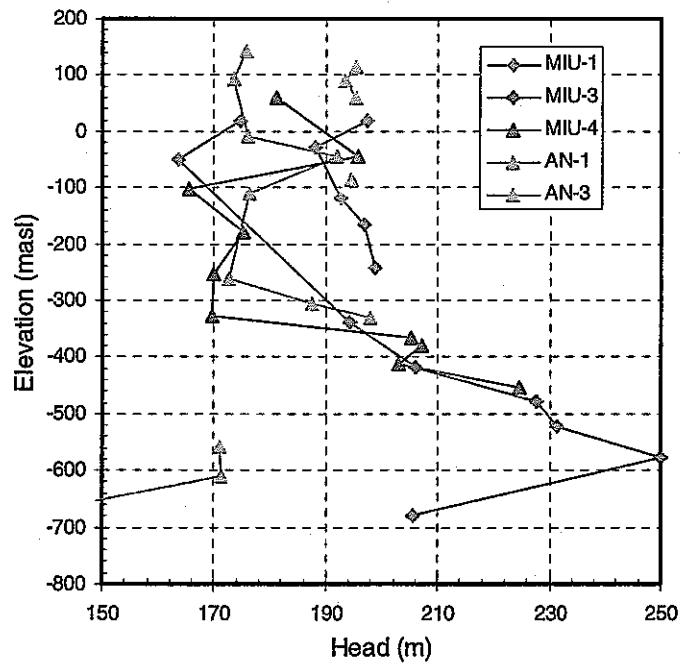


Figure. 4.4-2 Observed steady-state hydraulic head profiles in the MIU area when the MIU-2 packer is in place.

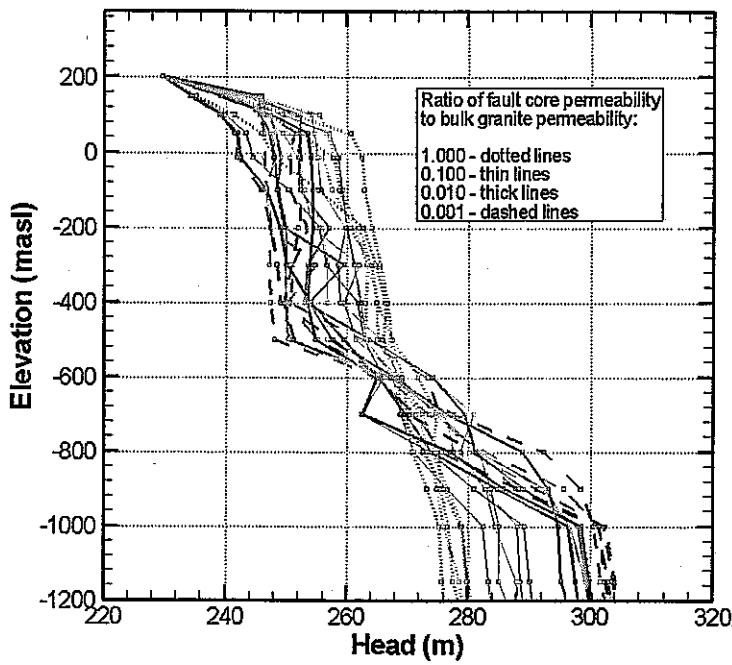


Figure. 4.4-3 Modeled steady-state hydraulic head profiles for five realizations of the uncalibrated model (fault core permeability 0.1 times bulk granite permeability) and three variations.

The spread between realizations (different colors) is large, but the value of the fault core permeability significantly affects the head difference across the fault (elevations of about –1000 to –500 m).

#### 4.4.2 Inadvertent MIU-2 well test

Well MIU-2 penetrates through the Tsukiyoshi fault, and when the MP packer system was removed prior to the LTPT, the open wellbore provided a high-permeability pathway for flow from the high-head foot wall, to the lower-head hanging wall. As fluid flowed up the wellbore, pressure in the foot wall declined in response to the removal of fluid and pressure in the hanging wall increased in response to the addition of fluid. Thus, the removal of the packer effectively created two simultaneous well tests. Table. 4.4-1 lists the probe locations that showed a response to the packer removal and gives a qualitative description of the response. A subset of locations that illustrate the full range of observed responses was chosen for comparison to modeled pressure changes. These observed pressure responses are shown in Figure. 4.4-4.

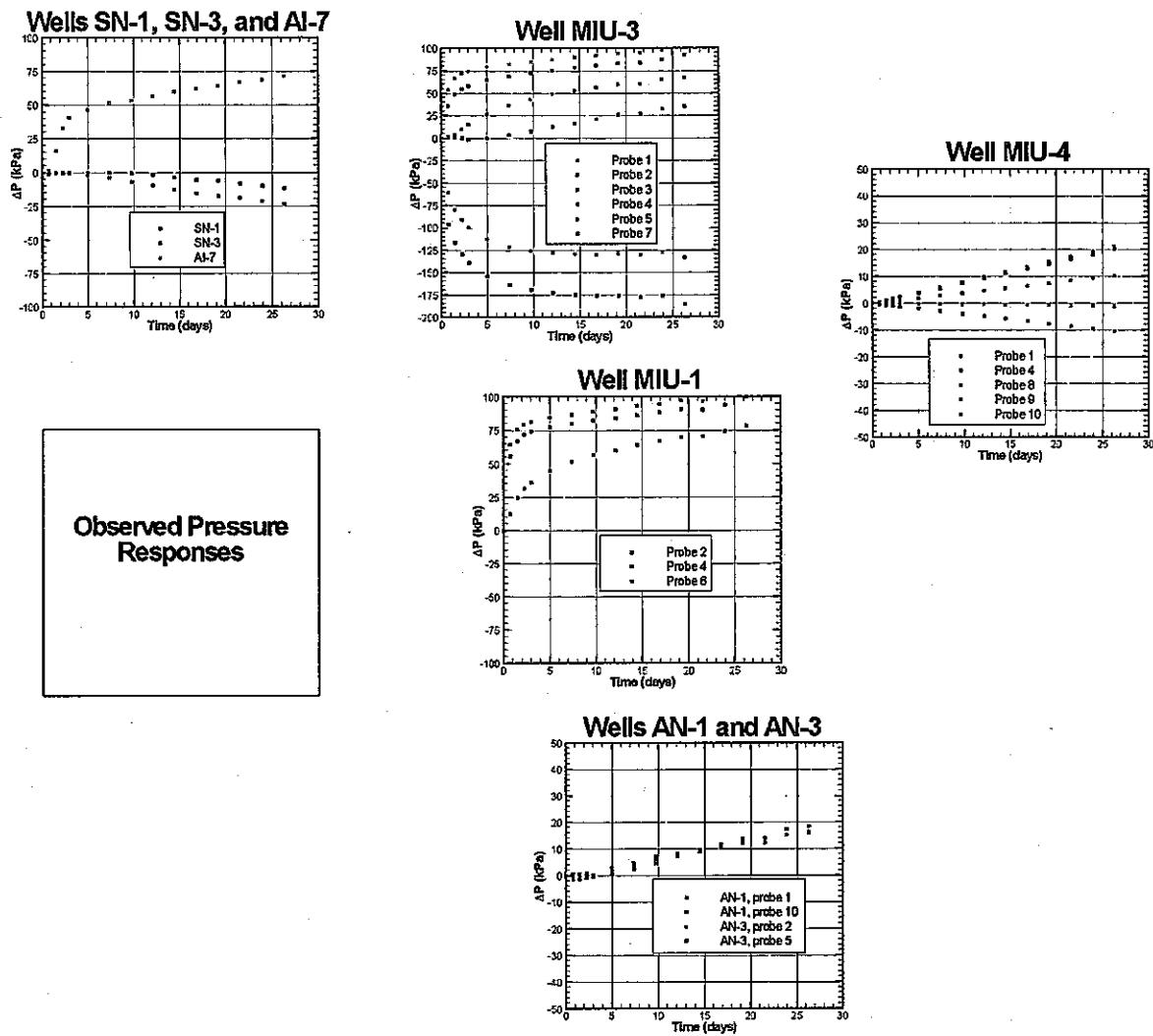


Figure. 4.4-4 Observed pressure responses to the removal of the packer in Well MIU-2 on November 22, 2001.

Table. 4.4-1 Probe locations and general description of response to Well MIU-2 packer removal.

For wells without MP systems (AI-7, SN-1, SN-3), the elevation given is the bottom of the well. Asterisks indicate that the pressure transient response was used for model calibration. HW=hanging wall; FW=footwall

Well	Probe	Elevation (masl)	Response	Material type in model
MIU-1	1	25 - 15	Rapid increase	HW sandwich
	2*	-14 - -42	Rapid increase	HW sandwich
	3	-109 - -129	Rapid increase	HW sandwich
	4*	-158 - -171	Rapid increase	HW sandwich
	5	-238 - -248	Rapid increase	HW sandwich
	6*	-615 - -650	Moderate increase	HW sandwich
	7	-652 - -704	Moderate increase	HW sandwich
	8	-731 - -752	Moderate increase	HW sandwich
	9	-754 - -794	Moderate increase	HW sandwich
MIU-3	1*	47 - -9	Rapid increase	HW sandwich
	2*	-10 - -89	Rapid increase	HW sandwich
	3*	-301 - -373	Moderate increase	Fault core
	4*	-374 - -460	Slow increase	Fault core
	5*	-461 - -493	Rapid decrease	FW sandwich
	6	-494 - -550	Rapid decrease	FW sandwich
	7*	-551 - -602	Rapid decrease	FW sandwich
	8	-646 - -711	Rapid decrease	FW sandwich
MIU-4	1*	85 - 30	Slow increase	Bulk granite
	2	-34 - -60	Slow increase	Bulk granite
	3	-61 - -145	Slow increase	HW sandwich
	4*	-146 - -214	Slow increase	Fault core
	5	-215 - -288	Slow increase	Fault core
	6	-289 - -362	Slow increase	Fault core
	7	-362 - -368	Slow increase	Fault core
	8*	-369 - -387	Slow increase	Fault core
	9*	-387 - -442	Slow decrease	Fault core
	10*	-443 - -472	Slow decrease	Fault core
AN-1	1*	167 - 119	Slow increase	Bulk granite
	2	118 - 66	Slow increase	Bulk granite
	3	14 - -34	Slow increase	Bulk granite
	4	-35 - -52	Slow increase	Bulk granite
	5	-85 - -133	Slow increase	Bulk granite
	6	-234 - -291	Slow increase	Bulk granite
	7	-292 - -320	Slow increase	Bulk granite
	8	-327 - -333	Slow increase	Bulk granite
	9	-385 - -434	Slow increase	Bulk granite
	10*	-534 - -584	Slow increase	Bulk granite
AN-3	11	-585 - -633	Slow increase	Bulk granite
	1	120 - 110	Slow increase	Bulk granite
	2*	96 - 83	Slow increase	Bulk granite
	3	65 - 55	Slow increase	Bulk granite

	4	-40 - -61	Slow increase	Bulk granite
	5*	-81 - -90	Slow increase	Bulk granite
AI-7	1*	131	Rapid increase	HW sandwich
SN-1	1*	-187	Slow decrease	Bulk granite
SN-3	1*	-152	Slow decrease	Bulk granite

The observed responses shown in Figure. 4.4-4 can be broadly grouped into four categories: rapid pressure increase, rapid pressure decrease, slow pressure increase, and slow pressure decrease. The rapid responses reach a quasi-steady state within 5-10 days and all appear to occur in the high-permeability fault sandwich, whereas the slower responses are nearly linear and occur in the low-permeability fault core and in the bulk granite beyond the sandwich. Pressure increases occur in the hanging wall and pressure decreases occur in the foot wall. Generally, the rapid changes have larger magnitude than do the slow changes. These are the key features that the model will attempt to reproduce quantitatively.

In order to model this "inadvertent well test" we create a steady-state head distribution for the packer-in-place situation, then increase the permeability of the grid blocks representing Well MIU-2 to represent packer removal, and model the subsequent 26 day transient pressure response. One complication is the large grid block size – 100 by 100 by 100 m, which is comparable to the distances between the wells in the MIU area whose responses we want to model, making it a poor representation of a wellbore. Therefore, the grid was locally refined to finely discretize the grid block column representing Well MIU-2, as illustrated schematically in Figure. 4.4-5. The center of the refined grid is a cylindrical element with a diameter comparable to the diameter of Well MIU-2. Ten concentric rings divided into four quadrants radiate out from the center, with exponentially increasing radial spacing. At the outer edge of the refined grid, each quadrant connects to one of the four neighboring elements of the original coarse grid.

Figure. 4.4-6 shows the observed and modeled pressure transients for the model resulting from the calibration to steady-state head profiles (the uncalibrated model with the fault core permeability reduced by a factor of ten, which is denoted Case W05). Figure. 4.4-7 shows the corresponding wellbore flow as a function of time. As pressures in the hanging wall increase and pressures in the footwall decrease, the pressure difference driving wellbore flow is reduced and wellbore flow declines commensurately.

The main problems with the model response shown in Figure. 4.4-6 are that Well MIU-1, Well MIU-3, and the SN wells show responses that are too small, whereas Well MIU-4 and the AN wells show responses that are too big and too fast.

The calibration process consists of modifying the permeability and porosity of selected material types (Table. 4.3-1 and Table. 4.3-2) or individual grid blocks. Given a new property distribution, first a new steady state for packer-in-place conditions must be generated. Then the permeability is increased in the MIU-2 grid blocks to represent packer removal, and the 26-day pressure transients are simulated and compared to the observed values. After many repetitions of this process, the match shown in Figure. 4.4-8 was obtained, in which all pressure transients are adequately matched. The corresponding wellbore flow is shown in Figure. 4.4-7.

The general changes made to the model (property changes assigned to material types as a whole) are summarized in Table. 4.4-2, and explained more fully below. Additional changes were made on a grid block by grid block basis to improve the match, but these changes were small enough to maintain the property within the range of the stochastic distribution for the material type, and are therefore not discussed further.

Table. 4.4-2 Summary of model changes made during calibration to packer removal.

Material	Modification	Motivation
Bulk granite (biotite-rich and felsic)	Permeability decreased by a factor of 10	Lessen pressure increase in AN wells and at MIU-4, probe 1
	Porosity increased by a factor of 9	Lessen pressure increase in AN wells and at MIU-4, probe 1
Fault core	Permeability decreased by a factor of 10	Lessen pressure increase in MIU-3 and MIU-4 probes in fault core; maintain ratio of core/bulk at 0.01.
	Porosity increased by a factor of 12	Slow down pressure responses
Hanging wall fault sandwich	Porosity increased by a factor of 45	Slow down pressure responses in MIU-1 and MIU-3 probes above fault
Foot wall fault sandwich	Permeability increased by a factor of 3.33	Improve connection between Wells MIU-2 and MIU-3 in foot wall; allow large wellbore flow
	Porosity increased by a factor of 10	Maintain consistency with conceptual model
Path through bulk granite to SN wells	Permeability increased by a factor of 100	Enhance pressure decrease in SN wells
	Porosity increased by a factor of 2.5	Maintain consistency with conceptual model

In general, it is not possible to get good matches to the large rapid pressure responses in Wells MIU-1 and MIU-3 unless there is a relatively large flow rate up the wellbore (say, at least 400 L/min). Wellbore flow is mainly controlled by three factors. The first is the head difference across the fault, which is not an adjustable parameter because we have steady-state head profiles that indicate it should be about 40 m. The second is the permeability of the wellbore itself. The third is the permeability and to a lesser extent the porosity of the fault sandwich layers. The permeability of the bulk granite beyond the fault sandwich also plays a minor role. As the wellbore permeability increases past a certain point, it no longer affects the wellbore flow rate. In fact, if the wellbore permeability is small enough to be a controlling factor, the head gradient along the well is appreciable; specifically, shallow heads are low while deep heads are high. Thus, there is less driving force for the shallow probes in Wells MIU-1 and MIU-3 to show large pressure increases or for deep probes in Well MIU-3 to show large decreases. Therefore, we make wellbore permeability large, in which case it no longer controls the wellbore flow.

In addition to allowing high enough wellbore flow, the permeability of the foot wall fault sandwich must be large enough to provide excellent communication between Wells MIU-2 and MIU-3. This rapid communication is necessary for two reasons. First, it allows the lower probes in Well MIU-3 to show large enough pressure decreases. Second, it shifts the head profile in Well MIU-2 to larger heads, which is required for providing a large enough driving force for the shallow probes in Wells MIU-1 and MIU-3 to show appreciable pressure increases. Figure. 4.4-9 shows modeled head profiles for several MIU-area vertical

wells under packer-in-place and no-packer conditions. Note that at any given depth, the driving force for flow to the wellbore, and hence pressure response, is the difference between the head of a given well and the head in Well MIU-2. Thus at early times after packer removal, a large difference between the MIU-2 profile shown in red (which is established very quickly) and the packer-in-place profiles shown in black is required for a large pressure response. If the MIU-2 head profile is shifted too far to the right, pressure decreases in the deep probes in Well MIU-3 will be too small. Conversely, if it is shifted too far to the left, pressure increases in the shallow probes in wells MIU-1 and MIU-3 will be too small.

The permeability in the bulk granite (biotite-rich and felsic granites) must be decreased from its original value in order for the responses in the AN wells and the shallow probe in Well MIU-4 to be small enough. The fault core permeability must likewise be decreased for the MIU-3 and MIU4 probes in the core to show small enough responses. Furthermore, we must maintain the ratio of the fault core permeability to the bulk granite permeability at 0.01 if the steady-state head difference of 40 m across the Tsukiyoshi fault is to be maintained.

Although the bulk granite permeability is decreased, the path from Well MIU-2 to the SN wells must have high permeability in order for the observed pressure decrease there to be reproduced by the model. Conceptually, we consider this path to be an extension of the foot wall fault sandwich.

Generally, increases in porosity act to slow pressure responses, by contributing to specific storage. For slow pressure responses (where a quasi-steady state is not reached), increasing porosity also has the effect of decreasing the magnitude of the response at any given time. Porosity increases are needed to match many of the pressure transients. Since the original porosity values were derived based on the cubic law, which is not considered reliable, we have modified our conceptual model to incorporate a porosity that is up to an order of magnitude larger than that predicted by the cubic law. Hence all material type porosities are increased. The increase must be smaller for the path to the SN wells, or else the pressure decline there is too small. We conceptualize this smaller porosity as representing a more limited spatial extent for the flow path, rather than an intrinsically low-porosity type of rock.

It must be pointed out that there are several shortcomings of the current model calibration. First, it produces the same pressure decline at the two SN wells, hence it under-predicts the decline at Well SN-3. Additional features of the high permeability path connecting Well MIU-2 and the SN wells would be needed to produce distinct responses at the two SN wells. Second, the model predicts about a 5 KPa pressure decline at Well DH-9, whereas observations show no visible response (with a noise level that would mask changes up to about 1 KPa). Further decreases in permeability or increases in porosity for the bulk granite could improve the match, but these would have to be balanced by the need to maintain the present fit for the AN wells.

Generally, calibration to pressure-transient data such as has been done here does not provide a unique model of permeability and porosity distributions. There are likely to be other combinations of parameters that provide comparably good fits. Hence, we try to

motivate all the changes made to a unified conceptual model that incorporates reasonable physical processes, and can be verified by independent information as much as possible.

To create alternative realizations of the calibrated model, we begin with the calibrated model and perturb the permeability and porosity of each grid block by assigning properties from random distributions (log-normal for permeability and normal for porosity) with means equal to the value of the calibrated model and standard deviations equal to the value of the stochastic distribution for the material type of the grid block (Table. 4.3-1 and Table. 4.3-2). All of the additional four realizations show steady-state packer-in-place head profiles that are comparable to those shown in Figure. 4.4-9. Generally, the modeled pressure-transient responses to packer removal do not match the observed data as well as the original calibrated realization does (Figure. 4.4-8), but they capture more of the features of the observed data than the uncalibrated model does (Figure. 4.4-6). Figure. 4.4-1 shows an example. Despite the poor match to the details of the observed pressure response, key features such as large pressure responses for both shallow and deep MIU-3 probes, large but gradual responses in Well MIU-1, and slow pressure responses in Well MIU-4 and the AN wells are reproduced by the model.

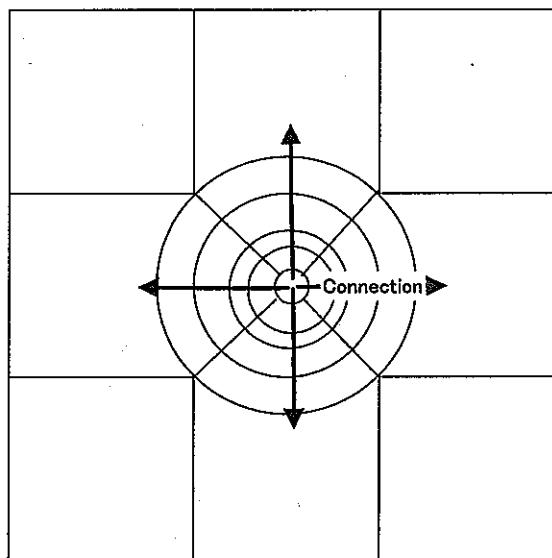


Figure. 4.4-5 Schematic of local grid refinement around Well MIU-2.

This refinement was done in all layers of the model.

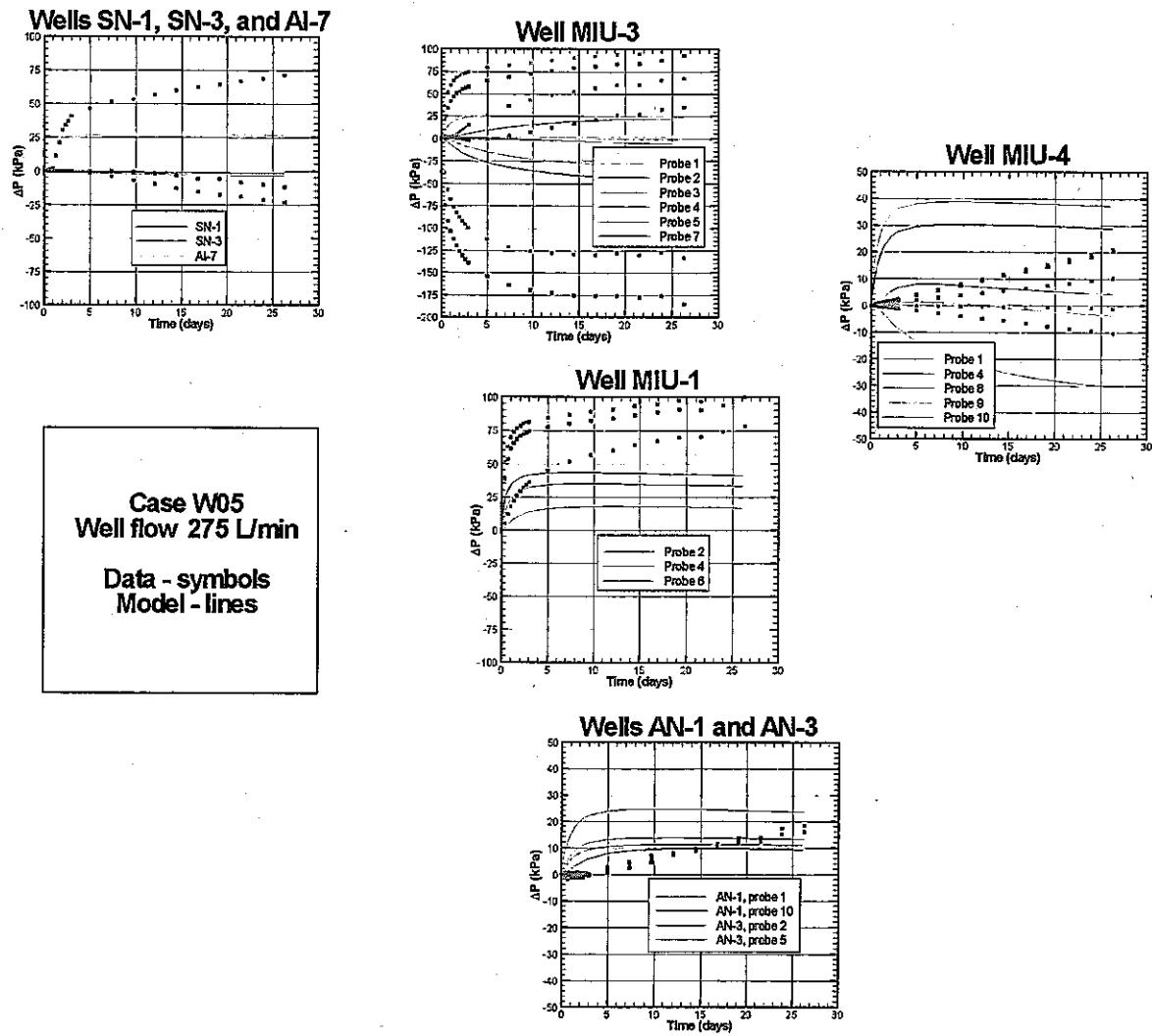


Figure. 4.4-6 Comparison of observed and modeled pressure responses to the removal of the packer in Well MIU-2 on November 22, 2001.

Uncalibrated model with fault core permeability reduced by a factor of ten (Case W05).

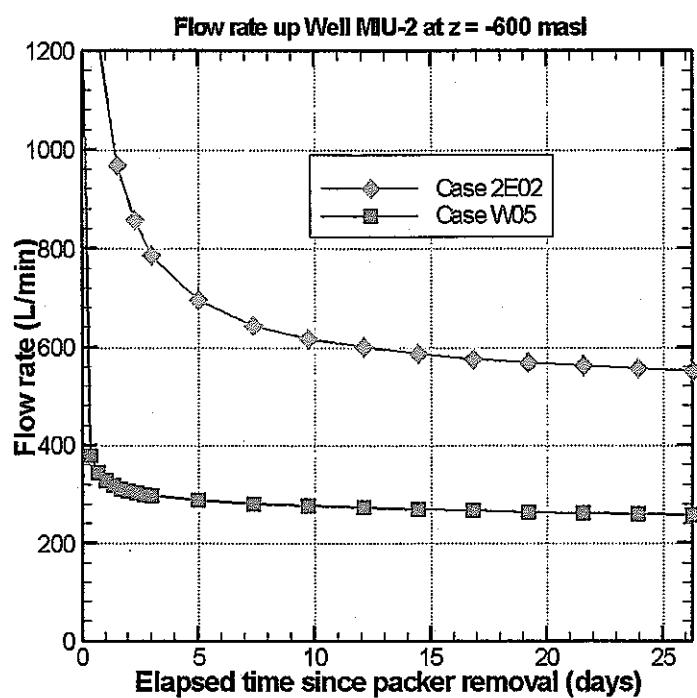


Figure 4.4-7 Modeled transient wellbore flow in Well MIU-2 in response to packer removal on November 22, 2001.

Calibrated model (Case 2E02) and uncalibrated model with fault core permeability reduced by a factor of ten (Case W05).

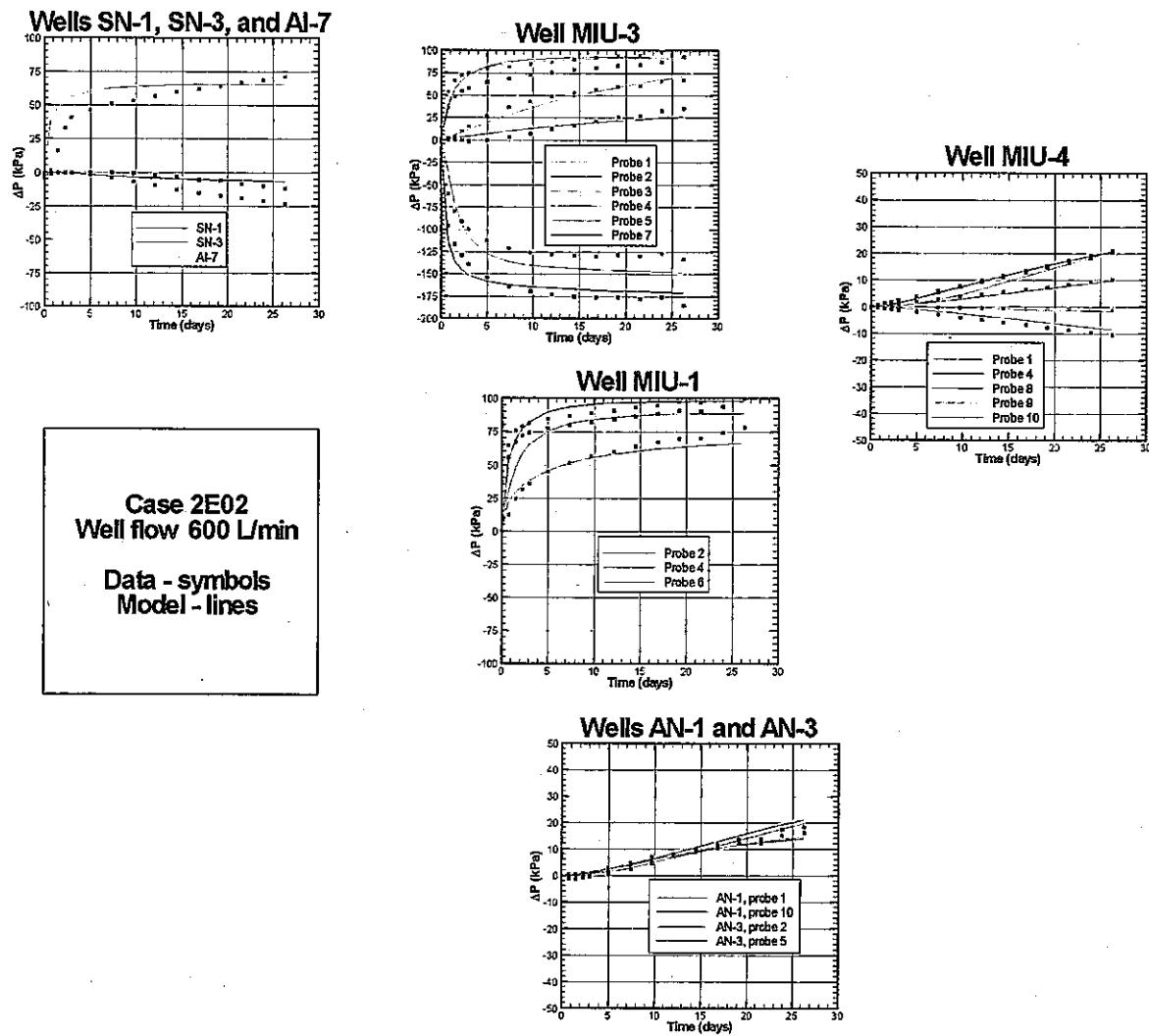


Figure. 4.4-8 Comparison of observed and modeled pressure responses to the removal of the packer in Well MIU-2 on November 22, 2001.

Calibrated model (Case 2E02).

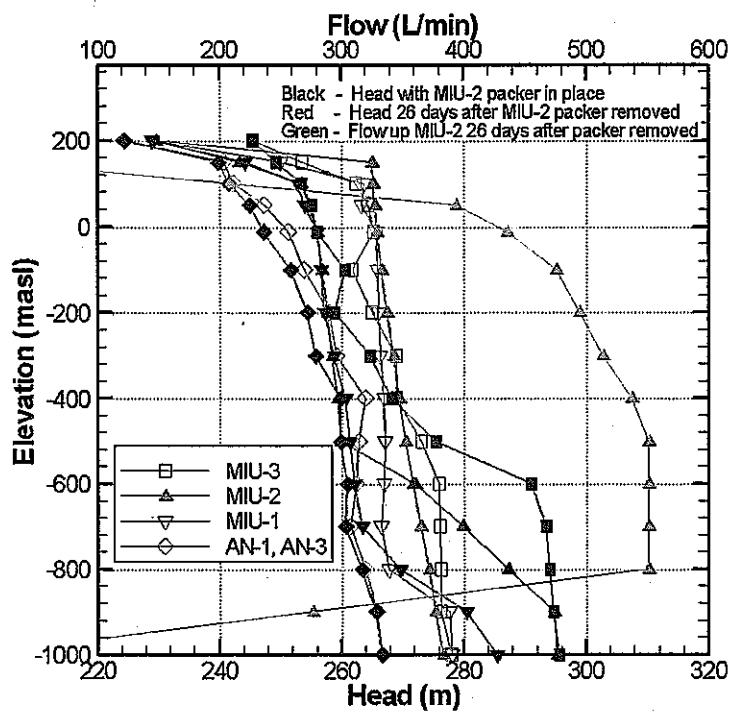


Figure. 4.4-9 Modeled head profiles for the MIU area wells with the Well MIU-2 packer in place and at the end of the 26 day period of transient flow following packer removal.

The modeled wellbore flow profile is also shown. Calibrated model (Case 2E02).

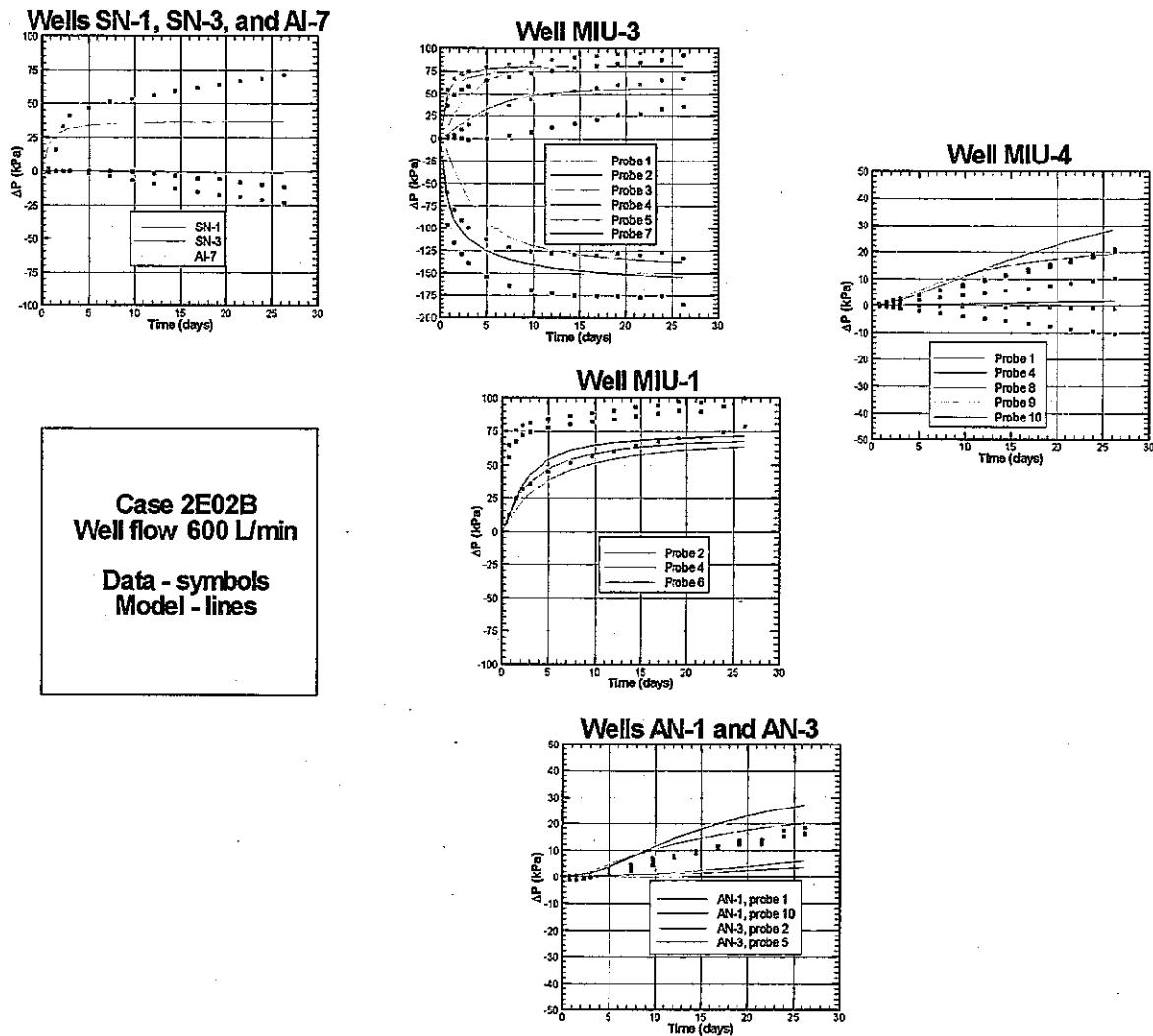


Figure. 4.4-10 Comparison of observed and modeled pressure responses to the removal of the packer in Well MIU-2 on November 22, 2001.

Alternative realization calibrated model (Case 2E02B).

## 4.5 Steady State Flow and Transport Predictions

The original calibrated model and the four alternative realizations described above were used for steady-state flow and transport simulations. In this section, we compare water budget and stream trace analysis to results from last year's uncalibrated model.

### 4.5.1 Water budget and boundary flows

Table. 4.5-1 summarizes the water budgets for the uncalibrated and calibrated models. In both cases, water enters along the east, north, and west sides of the model and mainly

exits the model through the surface. The net through flow for the calibrated model is smaller because of the decrease in the permeabilities of the bulk granite and Tsukiyoshi fault core.

Table. 4.5-1 Water budgets for multiple realizations of the calibrated and uncalibrated models.

Flow rates (kg/s) into the model are positive.

	Surface	Toki River	North Side	East and West Sides	Net Through flow
<b>Calibrated Model</b>					
2E00	-74	-1	4	71	75
2E02A	-93	-1	14	80	94
2E02B	-80	-1	6	75	81
2E02C	-81	-1	5	77	82
2E02D	-76	-1	3	74	77
Average	-81	-1	6	76	82
<b>Uncalibrated Model</b>					
C001	-119	-7	26	100	126
C002	-100	-4	29	75	104
C003	-123	-5	33	95	128
C004	-67	-5	28	44	72
C005	-86	-3	20	69	89
Average	-99	-5	27	77	104

#### 4.5.2 Stream traces originating from release points

The stream traces leaving the 24 release points for one realization of the calibrated model are shown in Figure. 4.5-1. For comparison, the stream traces for the uncalibrated model are shown in Figure. 4.5-2. North of the Tsukiyoshi fault, the two models produce similar stream trace patterns. The particles from the starting points 3, 6, 9 and 12 manifest at the northeast boundary where the Hiyoshi river intersects the model boundary. Note these particle movement are artifacts of the boundary condition. South of the fault the two models differ noticeably. In the calibrated model, most of the stream traces that start south of the Tsukiyoshi fault move upward in the foot wall fault sandwich and exit the model at the surface near the fault. An exception is the particles that start from #22. They travel down south and exit the model near the Toki river. In contrast, in the uncalibrated model, these streamlines mostly move upward gradually as they move south, and exit the model over a range of distances from the fault. This change in pattern is reasonable, considering the higher foot wall sandwich permeability and lower fault core permeability and lower bulk rock permeability of the calibrated model.

Table. 4.5-2 summarizes information for each stream trace for one realization of the calibrated model. Entries include stream trace starting location ( $x_0, y_0, z_0$ ), ending location ( $x_f, y_f, z_f$ ), path length, and travel time. More detailed information on the stream traces, including permeability, porosity, and material type of the grid blocks traversed is available in electronic format. Figure. 4.5-3 and Figure. 4.5-4 show travel time and path length graphically for the calibrated and uncalibrated models, respectively. Both the lower permeabilities and larger porosities of the calibrated model contribute to lengthening the travel times. On average the particle travel times for the calibrated model are roughly two orders of magnitude larger than the uncalibrated model. Path length is not changed appreciably from the uncalibrated model. Figure. 4.5-5 shows in more detail the particle trajectories projected onto the X-Y plane for the calibrated model that shows the best match to the pressure transients created by MIU-2 packer removal. Most particles released from north of the Tsukiyoshi fault exit the model north of or near the fault. Only the particles starting from release point 4 flows across the fault. Interestingly, these particles have the longest travel time of 1,550 years. Upon detailed examination it was found that it takes approximately 640 years for these particles to travel mere 70 m in a section of biotite with relatively low permeability ( $4 \times 10^{-9}$  m/s) and high porosity (0.002) biotite. This indicates that variability among realizations can be quite large.

Table. 4.5-2 Streamline information for one realization of the calibrated model.

Starting location		Ending Location		Path Length	Travel Time		
$x_0$ (m)	$y_0$ (m)	$z_0$ (m)	$x_f$ (m)	$y_f$ (m)	$z_f$ (m)	(m)	(yr)
4489.00	-66900.00	-250.00	5486.61	-68585.82	350.00	2629.21	710.61
4489.00	-66900.00	-500.00	4635.44	-68049.02	332.11	2431.92	1551.47
4489.00	-66900.00	-750.00	5242.93	-68233.48	350.00	2739.65	313.19
4489.00	-66900.00	-1000.00	4638.23	-68038.62	350.00	3365.73	683.99
5489.00	-66900.00	-250.00	5518.17	-67324.76	350.00	781.52	488.17
5489.00	-66900.00	-500.00	6430.76	-67853.15	193.88	2027.16	369.40
5489.00	-66900.00	-750.00	6430.76	-67853.15	193.88	2122.60	832.90
5489.00	-66900.00	-1000.00	6430.76	-67853.15	193.88	2304.37	596.98
6489.00	-66900.00	-250.00	7950.00	-65609.35	-84.39	932.12	171.64
6489.00	-66900.00	-500.00	7950.00	-65550.59	-128.36	944.52	120.57
6489.00	-66900.00	-750.00	7950.00	-65707.91	-828.38	898.29	59.57
6489.00	-66900.00	-1000.00	7950.00	-65669.70	-921.77	1069.61	241.50
4489.00	-68629.00	-250.00	4154.20	-68265.46	350.00	736.16	40.77
4489.00	-68629.00	-500.00	4555.63	-68091.96	196.28	1928.88	452.51
4489.00	-68629.00	-750.00	4555.63	-68091.96	196.28	1949.66	924.98
4489.00	-68629.00	-1000.00	5429.72	-70511.90	350.00	3682.56	568.29
5489.00	-68629.00	-250.00	5871.53	-69060.79	350.00	730.25	94.43
5489.00	-68629.00	-500.00	6235.69	-68763.48	350.00	1125.22	49.63
5489.00	-68629.00	-750.00	6163.78	-68746.73	350.00	1313.68	129.43
5489.00	-68629.00	-1000.00	6213.54	-68771.52	350.00	2264.46	124.28
6489.00	-68629.00	-250.00	6515.80	-68645.52	350.00	428.38	11.34
6489.00	-68629.00	-500.00	6492.73	-68650.73	350.00	683.79	56.23
6489.00	-68629.00	-750.00	6513.54	-68574.69	350.00	1159.22	21.19
6489.00	-68629.00	-1000.00	6231.01	-68765.76	350.00	1964.99	74.24

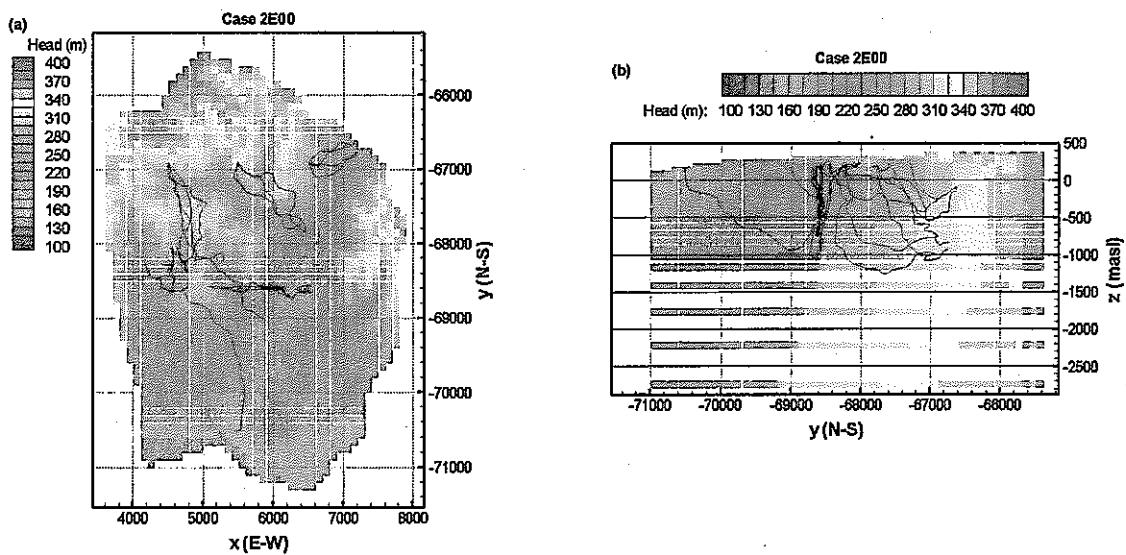


Figure. 4.5-1 All streamline traces leaving the 24 release points projected onto (a) the top surface of the model, and (b) a vertical cross-section near the center of the model, for the calibrated model.

The steady-state head distribution on the projection surface is also shown.

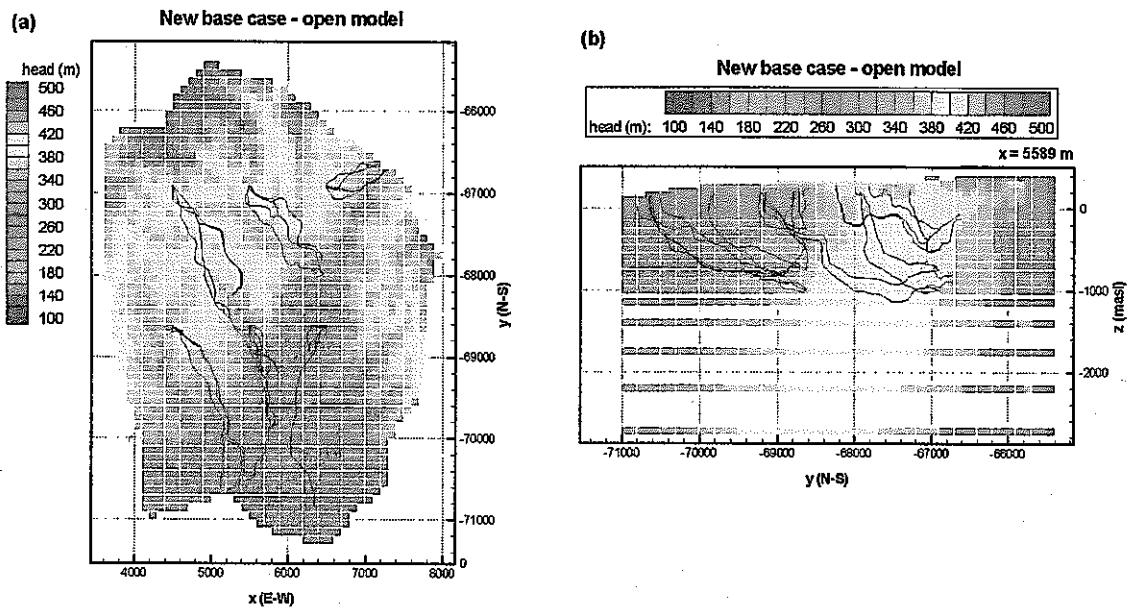


Figure. 4.5-2 All stream traces leaving the 24 release points projected onto (a) the top surface of the model, and (b) a vertical cross-section near the center of the model, for the uncalibrated model.

The steady-state head distribution on the projection surface is also shown.

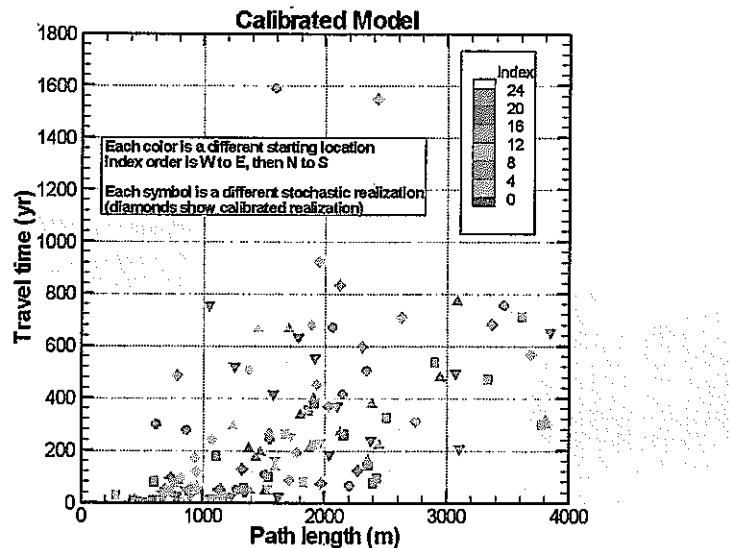


Figure. 4.5-3 Travel time versus path length for all release points for five realizations of the calibrated model.

Symbol color identifies the release point (x,y) location.

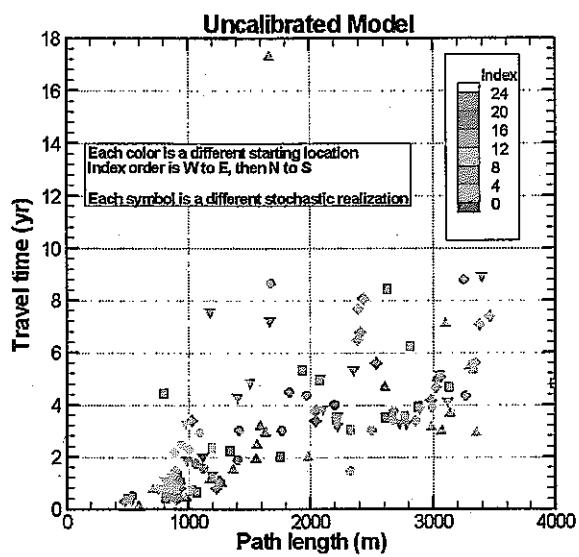


Figure. 4.5-4 Travel time versus path length for all release points for five realizations of the uncalibrated model.

Symbol color identifies the release point (x,y) location.

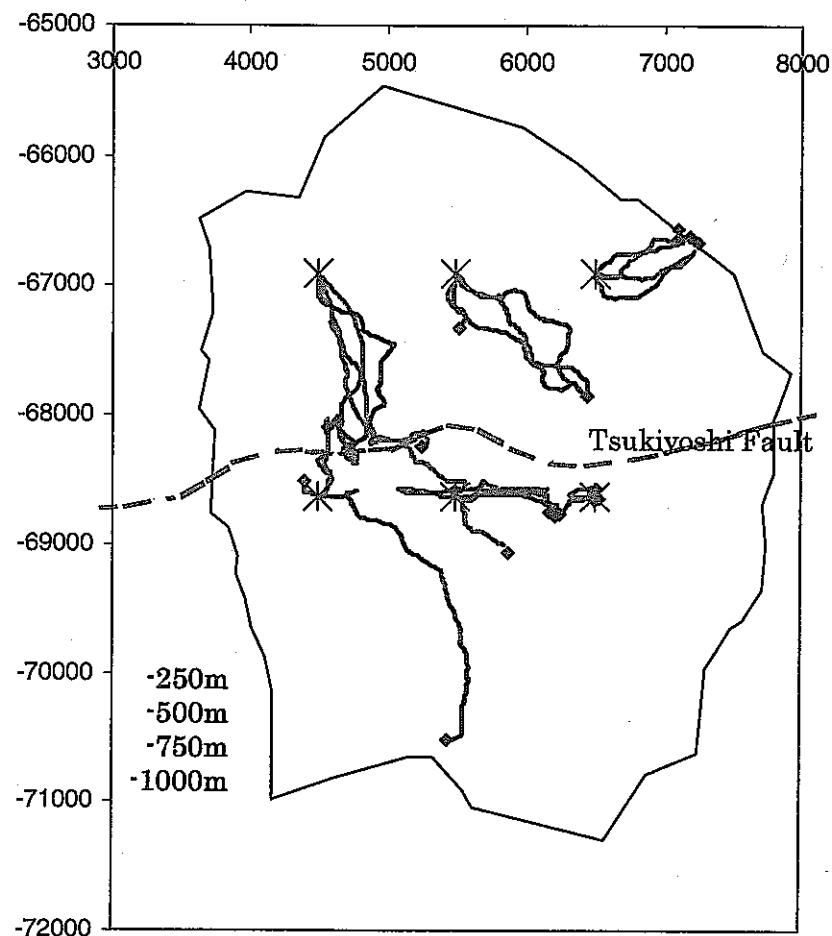


Figure. 4.5-5 Projection of the particle trajectories on X-Y plane for the calibrated model that shows the best match to the pressure transients created by MIU-2 packer removal. Trajectories starting from the same depth are coded with the same color. The stars denote the starting location and the diamonds denote the exit locations.

## 4.6 Summary, Conclusions, and Future Directions

### 4.6.1 Summary

We have used steady-state hydraulic head profiles of several wells in the MIU area and their transient pressure responses to packer removal in Well MIU-2 to calibrate our 4 km by 6 km model of the Tono region. In order to more accurately simulate the response to packer removal, the computational grid was locally refined in the vicinity of Well MIU-2.

Matching steady-state head profiles required that the permeability of the fault core be decreased by a factor of 10. Matching pressure transients then required that the foot wall sandwich layer permeability be increased by about a factor of 3; the bulk rock and fault core permeability be reduced by a factor of 10; introduction of a high-permeability path between Well MIU-2 and the SN wells, presumably an extension of the foot wall sandwich; and an increase in porosity of all materials by factors ranging from about 2 to 50.

The calibrated model was then used to predict travel times from specified monitoring points to the model boundaries. The overall decrease in permeability and increase in porosity both tend to slow tracer transport, resulting in travel times that are roughly 100 times longer than for the uncalibrated model.

### 4.6.2 Conclusions

Analyzing the pressure-transient data resulting from the removal of the Well MIU-2 packer has proved to be a useful means of improving estimates of fracture porosity, which has always been considered one of the least well constrained model parameters. A key benefit is the large flow rates that are attainable, due to the large steady-state pressure difference across the Tsukiyoshi fault. This enables large pressure signals to be generated, which in turn enables large spatial regions to be analyzed.

One difficulty of using well-test data to try to infer porosity is that field-scale rock compressibility is still an unknown. It is difficult to determine rock compressibility independently from porosity since pressure-transient responses just depend on their product through specific storage. One possibility might be to do a tracer test in a local area to infer porosity, then do a well test focusing on the same area to enable rock compressibility to be better inferred from specific storage.

### 4.6.3 Future directions

Our work so far suggests that both further model development and further field characterization studies would be helpful for improving our representation of subsurface flow and transport.

Model development. Our pressure-transient calibration efforts were limited to the 26 day period following the first removal of the MIU-2 packer. We can further constrain the model by calibrating to the complete six-step sequence of opening and closing Well MIU-2. Responses to the LTPT can be incorporated as well. Figure 4.6-1 compares the original calibrated model response to the observed data for the entire six-step sequence. Some of the modeled pressure-transients reproduce observed behavior adequately, but others do not. Two features in particular are worth addressing. First, most of the observed data show

pressure changes that do not completely recover during the periods when the packer is replaced, hence the sequence of three open periods show steadily larger pressure changes. In contrast, model responses tend to recover more completely, so each open period is much like the previous one. A good example of this behavior is seen for Well MIU-4, probes 1 and 2. Second, the observed response to the LTPT (principally a leveling off of pressure at the deep probes in Wells MIU-3 and MIU-4 at about 35 days) is not reproduced by the model, indicating that the foot wall sandwich is not being modeled adequately.

As noted in Section 3.2, for slow pressure responses, in which a quasi-steady-state behavior is not observed, decreasing the permeability and increasing the porosity both have the effect of decreasing the pressure response. This introduces an inherent non-uniqueness into the model for the bulk granite, the location of most probes showing slow pressure responses (i.e., either low permeability or large porosity could explain the small pressure responses). It is hoped that in calibrating to the entire sequence of observed data, this non-uniqueness can be eliminated.

Once a calibrated model is developed that adequately matches all the observed pressure-transient data, it will be useful to use it to revisit the thermal cases and the investigation of closed boundary conditions and different surface recharge conditions that have been studied previously.

Field characterization. Repeating the sequence of packer removal and replacement with additional monitoring of wellbore flow rate and more frequent water level monitoring in nearby (and even moderately distant) wells would be valuable. Knowing the wellbore flow rate would greatly constrain the model calibration processes. If water levels change in other shallow wells in addition to the SN wells, this could help improve our understanding of the coupling between surface recharge, flow through sedimentary rocks, and deeper flow through the granite, an area of analysis that has not yet been adequately explored.

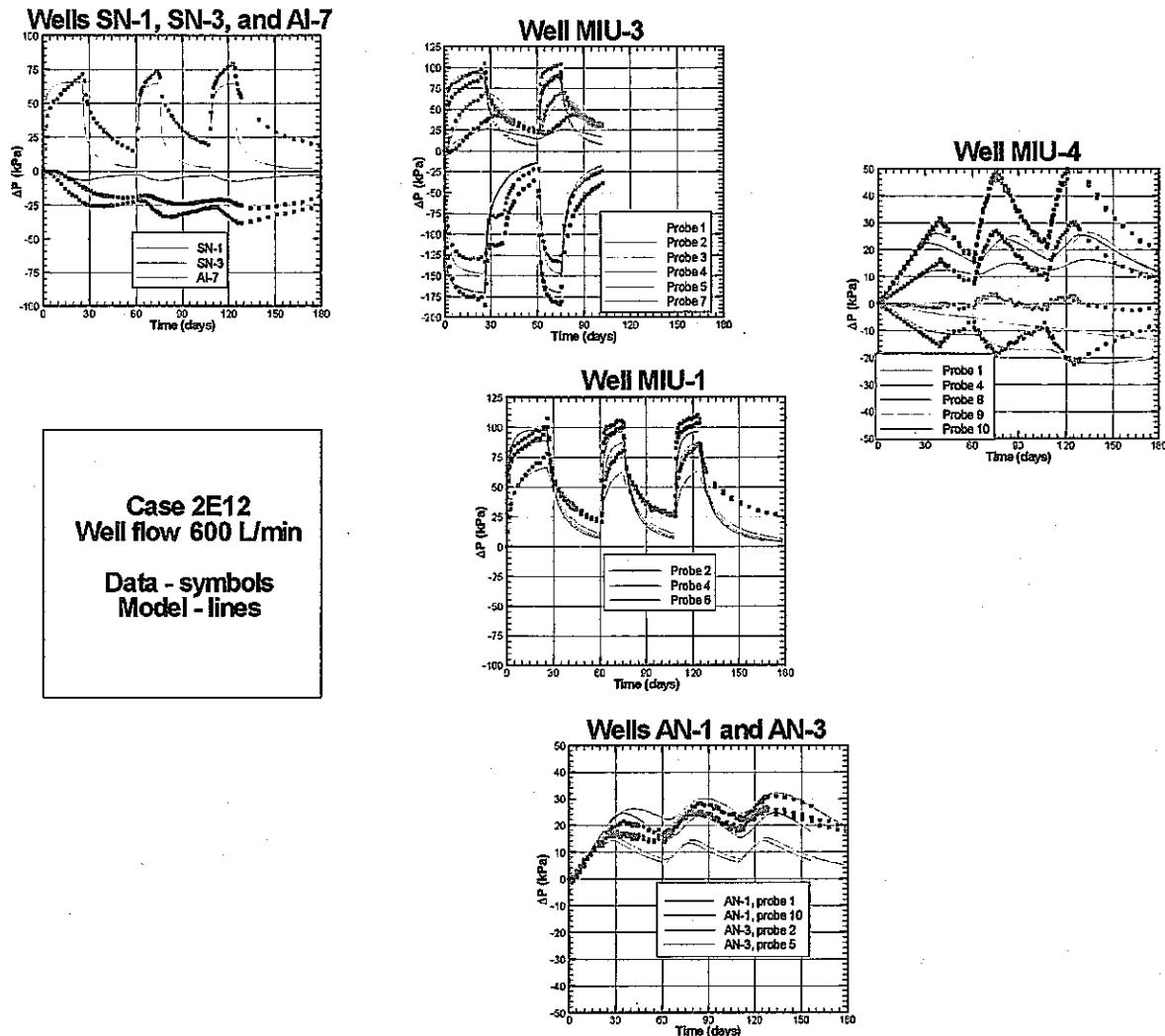


Figure. 4.6-1 Comparison of observed and modeled pressure responses to the entire sequence of removal and resetting of the packer in Well MIU-2.

Calibrated model (Case 2E12).

#### 4.7 Acknowledgments

This work was supported by Japan Nuclear Cycle Development Institute (JNC) and Taisei Corporation of Japan through the U.S. Department of Energy Contract No. DE-AC03-76SF00098. We are particularly indebted to A. Sawada of JNC and Y. Ijiri of Taisei Corp. for useful discussions. We would also like to thank S. Takeuci and H. Saegusa for making various field data available, and K. Ito for providing the grid refinement and streamline post-processing programs.

#### 4.8 References

- Doughty, C. and K. Karasaki, Using an effective continuum model for flow and transport in fractured rock: The H-12 flow comparison, *Rep. LBNL-44966*, Lawrence Berkeley National Lab., Berkeley, Calif., 1999.
- Doughty, C. and K. Karasaki, Evaluation of uncertainties due to hydrogeological modeling and groundwater flow analysis: Effective continuum model using TOUGH2, *Rep. LBNL-48151*, Lawrence Berkeley National Lab., Berkeley, Calif., 2001.
- Doughty, C. and K. Karasaki, Evaluation of uncertainties due to hydrogeological modeling and groundwater flow analysis: Steady flow, transient flow, and thermal studies, *Rep. LBNL-51894*, Lawrence Berkeley National Lab., Berkeley, Calif., 2002.
- National Research Council Committee on Fracture Characterization and Fluid Flow, *Rock fractures and fluid flow: contemporary understanding and applications*, National Academy Press, Washington, D.C., 1996.
- Oyamada, K. and T. Ikeda, Uncertainty analysis on hydrologic modeling in heterogeneous media (CORE Collaborative Study), Japan Nuclear Fuel Cycle Development Institute TJ1400 99-023, 1999.
- Pruess, K., C.M. Oldenburg, and G.J. Moridis, TOUGH2 User's Guide, Version 2.0, *Rep. LBNL-43134*, Lawrence Berkeley National Lab., Berkeley, Calif., 1999.
- Sawada, A., H. Saegusa, S. Takeuchi, K. Nakano, and Y. Ijiri, Evaluation of Uncertainties due to Hydrogeological Modeling and Groundwater Flow Analysis, in proceedings, Symposium on flow problems in fractured rocks, Japanese Geotechnical Society, September, 2001.
- Sawada, A., H. Saegusa, K. Nakano, and H. Osawa, A study of uncertainties for evaluating groundwater flow by multiple modeling approaches, in proceedings, 32<sup>nd</sup> Japanese Rock Mechanics Symposium, Tokyo, 2003.
- Takeuchi, S., M. Shimo, N. Nishijima, and K. Goto, Investigation of hydraulic properties near the fault by pressure interference test using 1000 m depth boreholes, The 31<sup>st</sup> Japanese Rock Mechanics Symposium, pp. 296-300, 2001.

## 5. 等価不均質連続体モデル

本節では、等価不均質連続体モデルによる亀裂性岩盤内地下水流动シミュレーションコード (EQUITV\_FLO, 大成建設技術センター開発) を用いた解析結果について述べる。

### 5.1 等価不均質連続体モデル化手法

#### 5.1.1 手法概要

等価不均質連続体モデル (下茂他, 1996) は、試錐調査や露頭調査で得られた割れ目の空間分布に関する情報を、連続体モデルの水理物性の空間分布に反映し、不均質かつ不連續な岩盤内の地下水流动を表現するモデル化手法である (図 5.1-1)。

同手法は、割れ目の数と未知数 (節点数) の数が無関係であるため、広い領域を対象とした不連續性岩盤の地下水流动解析に適している。

図 5.1-2をもとに、モデル化の概念を示す。図では、簡単のために、2次元場で示すが、3次元問題についても同様である。3次元空間に分布する個々の割れ目を、開口幅  $t$  を有する平行平板でモデル化し、岩盤内の小要素  $\Delta V$  の透水テンソルおよび比貯留係数を、基質部と割れ目各々の値の体積平均として定義する。

$$K_{ij} = K_{ij}^m + \frac{g}{12\nu\Delta V} \sum_k \Delta A_k^c t_k^3 (\delta_{ij} - n_i n_j) \quad (5.1.1)$$

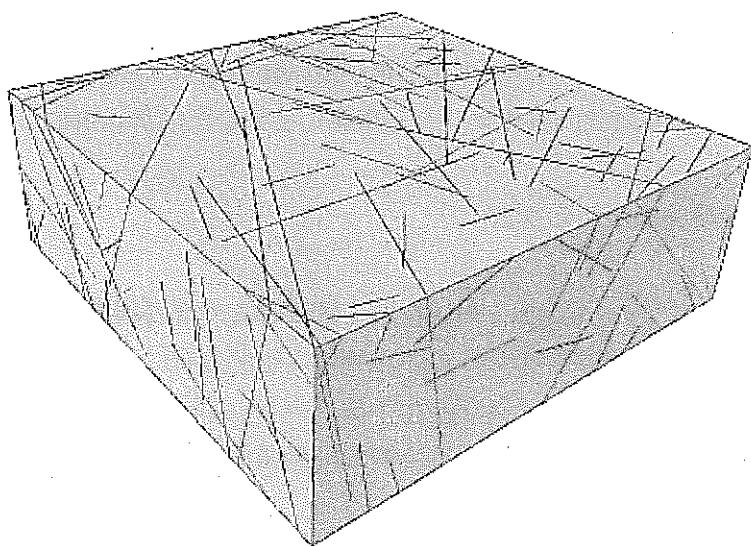
$$S_s = \frac{1}{\Delta V} \left\{ (\Delta V - \Delta V^c) S_s^m + \sum_k \Delta A_k^c S_k^c \right\}, \quad \Delta V^c = \sum_k \Delta V_k^c \quad (5.1.2)$$

ここに、 $K_{ij}$  : 要素の透水係数テンソル、 $S_s$  : 要素の比貯留係数、 $K_{ij}^m$  : 基質部の透水テンソル、 $S_s^m$  : 基質部の比貯留係数、 $S_k^c$  :  $\Delta V$  中の割れ目  $k$  の貯留係数、 $\Delta V^c$  :  $\Delta V$  中の割れ目の総体積、 $\Delta V_k^c$  :  $\Delta V$  中に占める割れ目  $k$  の体積、 $\Delta A_k^c$  :  $\Delta V$  中に占める割れ目  $k$  の面積、 $t_k$  : 割れ目  $k$  の開口幅、 $n_i$  : 割れ目  $k$  の法線ベクトルの方向余弦、 $\delta_{ij}$  : クロネッカーデルタ関数である (図 5.1-2, 図 5.1-3参照)。さらに、 $\Delta V$  中の割れ目の体積が  $\Delta V$  に比べて無視できる程小さい、すなわち、 $\Delta V^c / \Delta V \ll 1$  と仮定すると、次式のようになる。

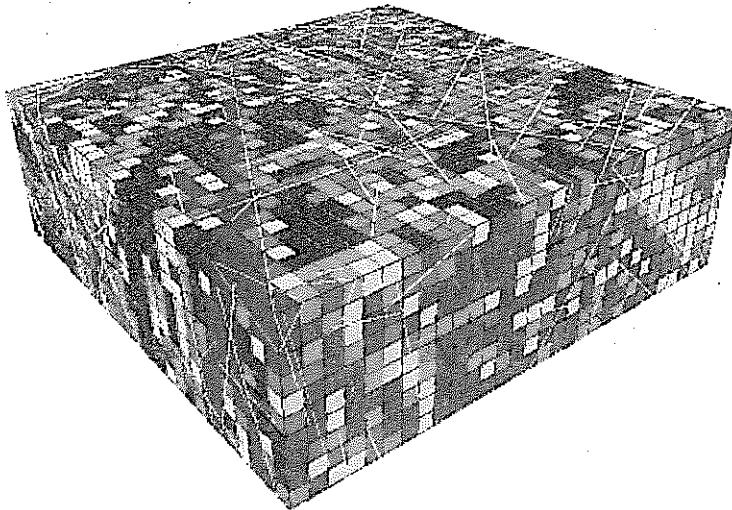
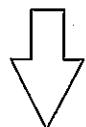
$$K_{ij} = K_{ij}^m + \frac{g}{12\nu\Delta V} \sum_k \Delta A_k^c t_k^3 (\delta_{ij} - n_i n_j) \quad (5.1.3)$$

$$S_s = S_s^m + \frac{1}{\Delta V} \sum_k \Delta A_k^c S_k^c \quad (5.1.4)$$

有限要素法においては、上記の  $\Delta V$  を各要素の体積とみなすと、同様なアプローチにより、要素毎に異なる透水テンソルおよび比貯留係数を有する不均質な連続体として、岩盤をモデル化できる。



(a) 龜裂ネットワークモデル



小 透水係数 大

(b) 等価不均質連続体モデル

図 5.1-1 等価不均質連続体モデルの概念

本モデル化手法は、下記のような利点がある。

- ① 不均質な透水性の分布や局所的な流れを表現できる。
  - ② 従来の有限要素法による連続体浸透解析プログラムを用いることができる。
  - ③ 未知数の数（節点数）が割れ目の数と無関係であるため、広域地下水解析に適する。
  - ④ 基質部の透水性を考慮できる。
  - ⑤ 不連続性岩盤と多孔質地盤（堆積岩や土質地盤など）が混在する場に適用できる。
  - ⑥ 要素分割が割れ目や破碎帯の位置に左右されない。
- また、一方で、次のような欠点もある。
- ① 要素内の割れ目が少ない場合には、要素の透水性を、2次の透水テンソルで表現するのは、厳密な意味では正しくない。
  - ② 平均化の手法を用いているため、個々の割れ目の不連続性を正確に考慮することができない。

水理試験結果や水頭・流量観測結果を基に、等価な水理物性（特に水理開口幅）を算定する方法（仮想透水試験、逆解析など）を用いることにより、上記の問題に対応した、水理的に等価な不均質性を有する岩盤モデルを構築することができる。

仮想透水試験および逆解析法を用いた等価不均質連続体モデルの適用事例としては、Shimo et al.(2001)を参照されたい。

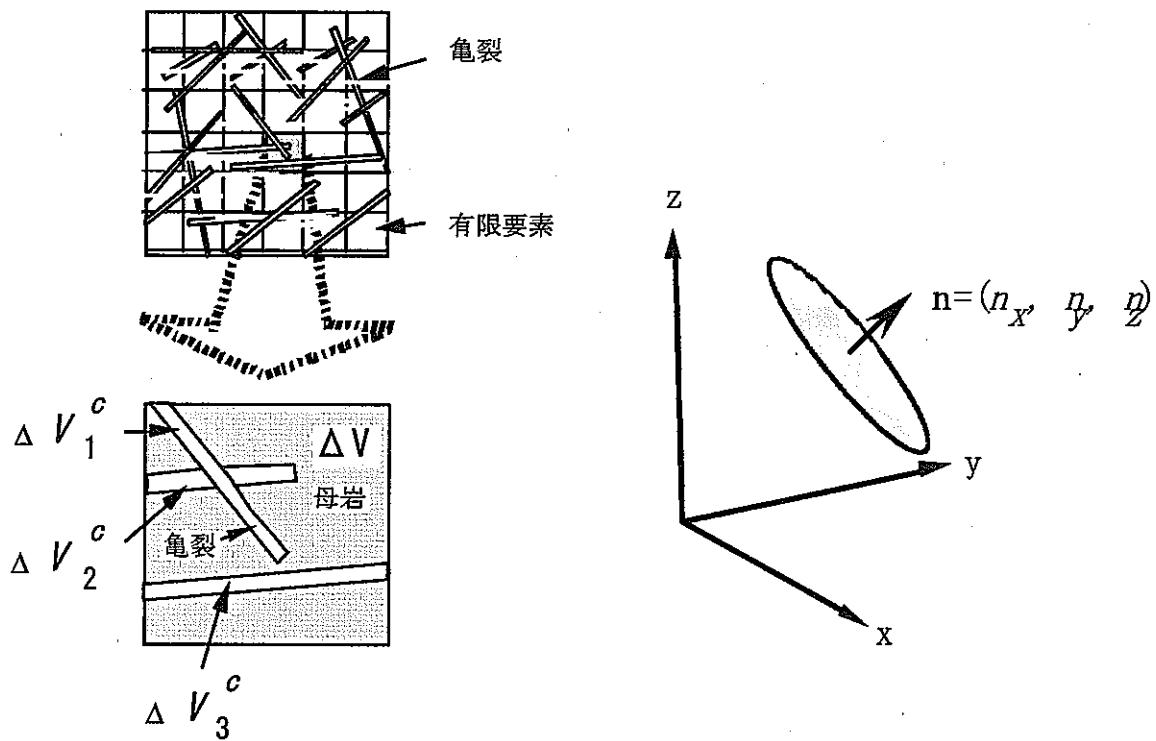


図 5.1-2 モデル化の概念

図 5.1-3 割れ目の法線ベクトル

### 5.1.1 支配方程式および数値解析手法

地下水解析には、3次元飽和不飽和浸透流の支配方程式を用いる。

$$\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ K_r(\theta) K_{ij} \frac{\partial}{\partial x_j} (h + x_3) \right] - \left( C + \frac{\theta}{n} S_s \right) \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad (5.1.5)$$

$$i, j = 1, 3$$

ここに、 $K_r$ :相対透水係数、 $K_{ij}$ :飽和透水係数テンソル[m/s]、 $C$ :比水分容量 [1/m]、 $\theta$ :体積含水率、 $n$ :有効間隙率、 $S_s$ :比貯留係数 [1/m]、である。

これを、以下のような初期条件、境界条件を満足する解を数値解析的に求める。ただし、今回の解析では、定常状態のみを対象とした。

(i) 初期条件

$$h(x_1, x_2, x_3, t) = h_0(x_1, x_2, x_3) \quad (5.1.6)$$

(ii) 境界条件

$$h(x_1, x_2, x_3, t) = h_D(x_1, x_2, x_3, t) \text{ on Dirichlet Boundary} \quad (5.1.7)$$

$$\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 K_{ij} \frac{\partial}{\partial x_j} (h + x_3) \cos(n x_i) = -Q(x_1, x_2, x_3, t) \text{ on Neumann Boundary} \quad (5.1.8)$$

数値解析には、Galerkin 法による有限要素法を用いる。

### 5.1.2 モデル作成から解析までのフロー

等価不均質連続体モデルによる、岩盤内地下水解析の流れを図 5.1-4に示す。

全体フローは、割れ目分布の生成、有限要素解析のためのメッシュの作成、浸透解析の3つのステップからなる。まず、割れ目調査結果をもとに、割れ目分布を確率論的に発生させる。この場合に、破碎帯や大規模な割れ目等既知の情報が得られているものについては、決定論的に与えてもよい。割れ目の透水性（または、これから得られる水理学的な開口幅）の算定には、透水試験結果を参考にする。次に、解析領域を有限要素で離散化する。要素作成に当たっては、トンネル、地下空洞等の構造物の形状や地質境界等を考慮する。次に、5.1.1 で述べた手法に基づき、各要素の透水テンソルを算定する。このようにして得られたモデルに、境界条件を与え、通常の連続体解析コードにより浸透解析を行なう。

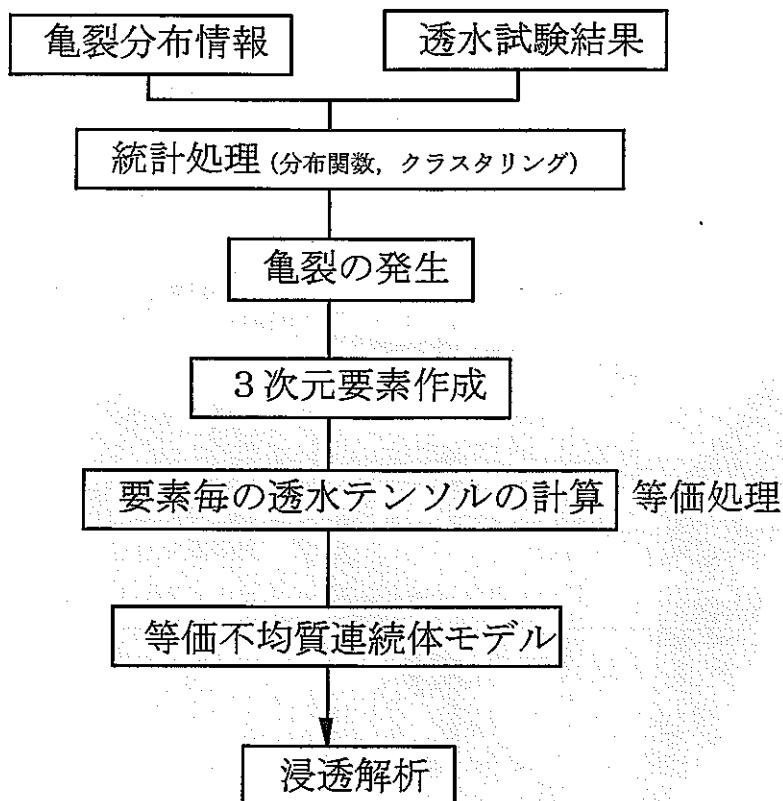


図 5.1-4 等価不均質連続体モデルの作成フロー

## 5.2 対象地域の水理地質構造モデルの作成

### 5.2.1 概要

図 5.2-1は、解析対象地域の地質構造を模式的に示したものである。

水理地質構造のモデル化にあたっては、対象地域の広域的な地下水流动に影響を与えると考えられる、下記の要因を考慮した。

- ① 地形
- ② 地質構造
  - ・堆積岩の分布
  - ・断層
  - ・割れ目帯（上部高密度割れ目帯、健岩部、断層周辺割れ目帯）
- ③ 割れ目分布（確率論的に取り扱い、土岐花崗岩の透水性に反映する）
  - ・方向
  - ・密度
  - ・大きさ
  - ・開口幅（幾何学、水理、物質移行）
- ④ 透水係数（堆積岩、土岐花崗岩、断層）
- ⑤ 境界水位（側方境界、鉱山の存在）
- ⑥ 地表面からの地下水涵養

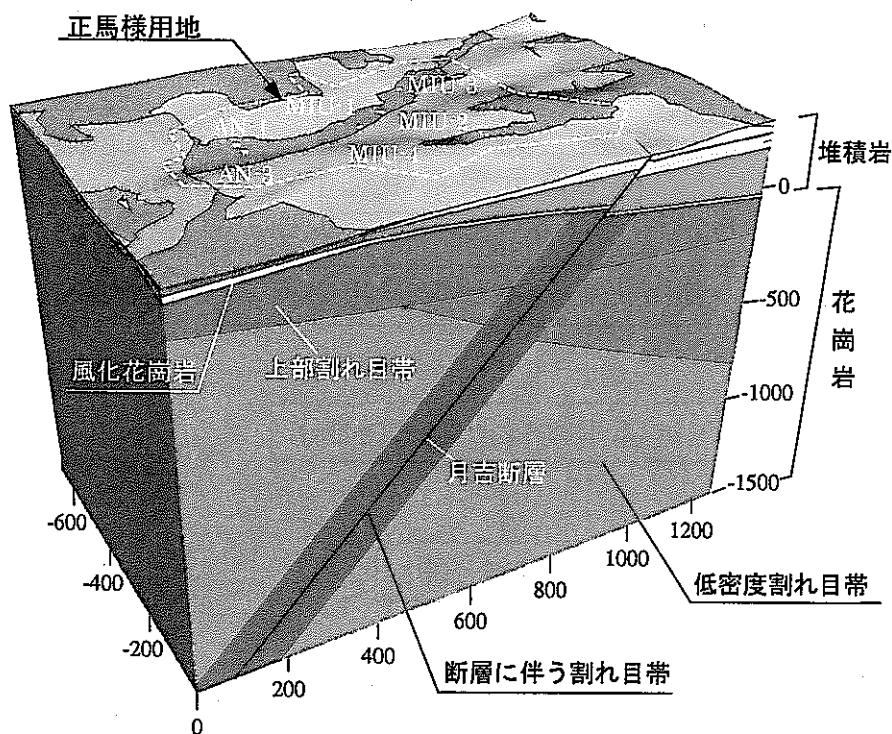


図 5.2-1 解析対象地域の地質構造

## 5.2.2 水理地質構造モデルの作成に用いたデータ

### (1) 地形データ

- ・デジタル地形データ：数値地図\_標高(20m), 核燃サイクル機構ファイル(TGC\_ALL.9), 座標は国家VII系（東京測地系）に準じる。
- ・地形図（解析領域）：核燃サイクル機構ファイル TGC\_ALL.2.tif
- ・Spot 画像, LANDSAT 画像(TGC\_ALL.7, 8.jpg)

### (2) 地質データ

- ・地質柱状図一式(TGC\_Geo\_1)
- ・断層分布図, 地表地質図（ポリゴンデータ含む, TGC\_Geo\_5）

### (3) ポーリング位置データ

- ・borehole location.xls (TGC\_HYDRO\_5)
- ・位置図 (TGC\_Geo\_2-6.tif)

表 5.2-1 解析領域内の主要な試錐孔座標

試錐孔名	坑口X座標 (m)	坑口Y座標 (m)	坑口Z座標 (m)	坑底X座標 (m)	坑底Y座標 (m)	掘削深度 (m)
試錐孔AN-1	5454.717	-68877.340	216.380	5480.387	-68899.930	1010.200
試錐孔AN-3	5490.414	-68875.850	214.090	5516.084	-68866.150	408.000
試錐孔AN-6	5365.187	-68248.860	255.430			132.000
試錐孔SN-4	4563.610	-68402.810	254.240			130.000
試錐孔TH-1	4829.636	-68245.750	287.010			181.000
試錐孔TH-6	4906.589	-68120.550	314.480			203.400
試錐孔TH-7	4912.287	-68380.810	308.700			200.600
試錐孔TH-8	4742.509	-68140.010	275.780			200.700
試錐孔DH-2	6708.804	-69474.140	193.330			501.000
試錐孔DH-4	4343.185	-69602.440	266.580			505.000
試錐孔DH-9	5782.656	-67206.514	275.420			約1000
試錐孔MIU-1	5488.826	-68629.358	220.074			1011.800
試錐孔MIU-2	5433.295	-68552.402	223.275			約1000
試錐孔MIU-3	5340.231	-68455.291	230.476			約1000

### (4) 亀裂データ

- ・BTB データ一式 : BTB DATA.xls (TGC\_Geo\_6)
- ・亀裂深度, 走向, 傾斜, 区分, 幅, 形状, 状態に関する情報を含む。
- ・BTB 写真 CD-ROM

(5) 物理探査データ

- ・弾性波探査データ (TGC\_Geo\_8)
- ・電磁探査データ (TGC\_Geo\_9)

(6) 検層データ

- ・検層生データ (TGC\_Geo\_2)

(7) 削孔時データ

- ・逸水量データ (TGC\_Geo\_7)

(8) 水理試験結果

- ・水理試験結果 (TGC\_Hydro\_3)

(9) 地下水位・水頭解析結果

- ・水頭長期観測結果 (TGC\_Hydro\_1, 2)
- ・地下水位測定結果 (TGC\_Hydro\_4)

### 5.2.3 モデル化の手順

図 5.2-2に示す東西約 4 km南北約 6 kmの領域を、モデル化対象とした。  
地下水流动解析に用いるモデルは、以下の 5 段階で行った。

#### 第1ステップ：地形のモデル化

デジタル地形データによる解析領域の地形データの作成

#### 第2ステップ：堆積岩、土岐花崗岩、断層の大構造のモデル化

試錐データ（地質柱状図）、物理探査データに基づく堆積岩・花崗岩地層境界面の推定

試錐データ、露頭調査データに基づく断層面形状の推定

#### 第3ステップ：土岐花崗岩内部の割れ目ゾーンの区分

土岐花崗岩内の透水性割れ目の3次元分布に基づく割れ目ゾーンの区分

#### 第4ステップ 割れ目ゾーン毎の割れ目分布パラメータの設定

ボアホール TV データに基づく割れ目分布のモデル化

#### 第5ステップ：水理パラメータの設定

水理試験結果に基づく割れ目半径、水理開口幅の設定

水理試験結果に基づく、堆積岩、断層の透水係数の設定

#### 第6ステップ：境界条件の設定

地下水頭・地下水圧観測データに基づく境界水位の決定

水文観測データに基づく、地下水涵養量の設定

以下に、各ステップでの作業内容について述べる。

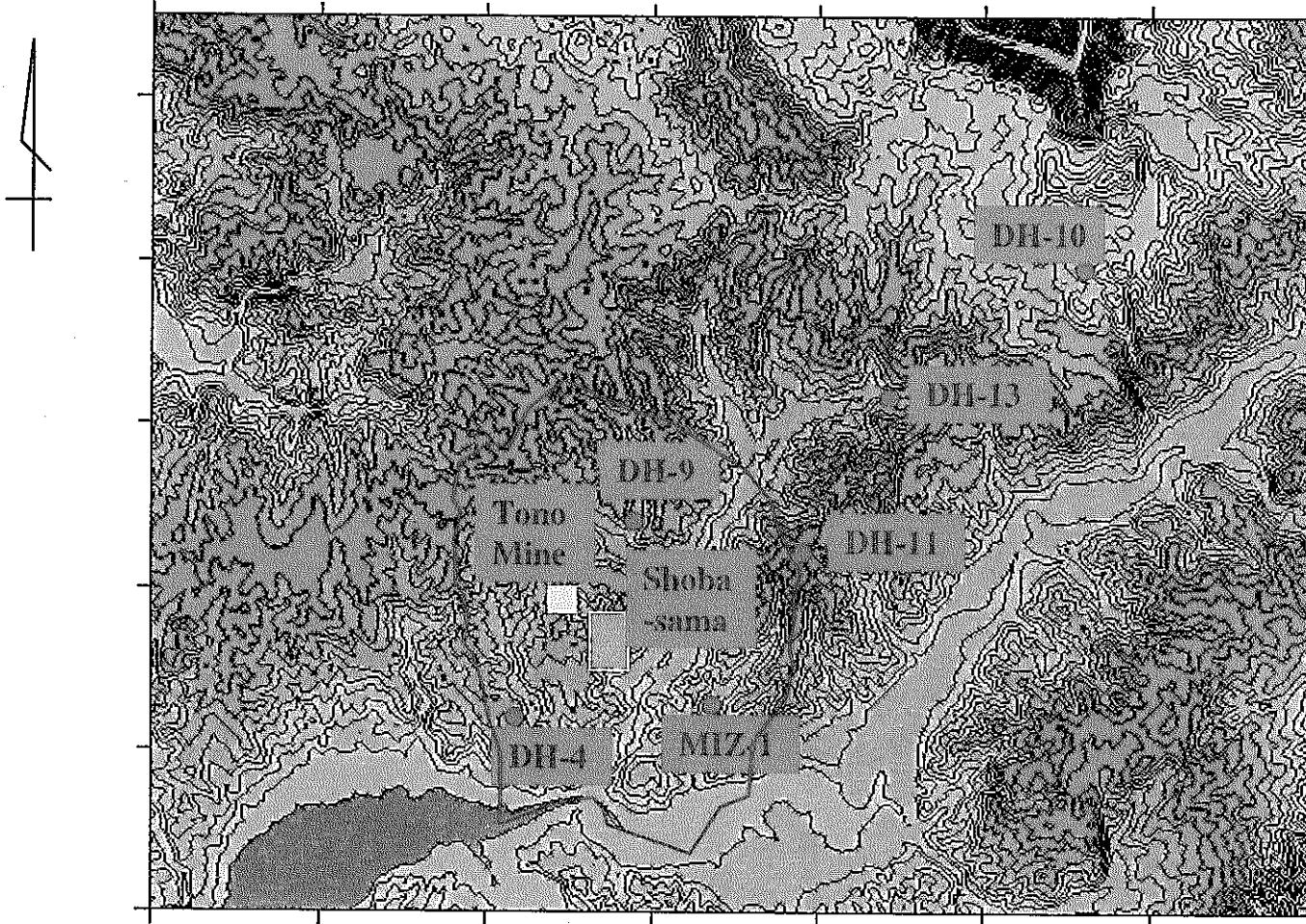


図 5.2-2 モデル化の範囲

#### 5.2.4 地形のモデル化

デジタル地形データ（20m ピッチ）より、対象領域の標高データを抽出し、図 5.2-3に示す地形モデルを作成した。

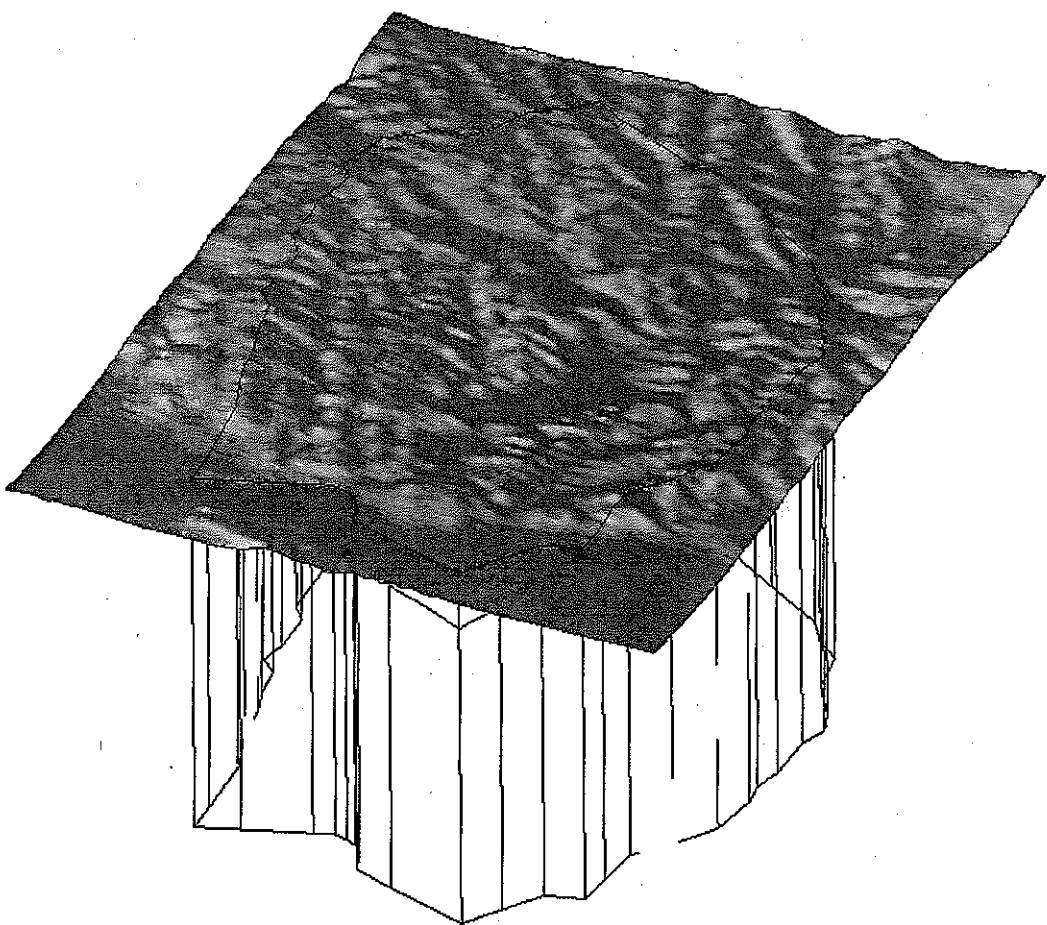


図 5.2-3 数値データ（20m ピッチ標高データ）による地形の表現

### 5.2.5 地質構造・地層境界のモデル化

堆積岩と基盤（土岐花崗岩）の境界面（不整合面）を、ボーリング柱状図、弾性波探査データ（Line-R-1, Line-R-2）および地上電磁探査データ（境界面グリッドデータ：unc50.dat）をもとに、図 5.2-4のように設定した。図中、解析領域内部のほぼ直交する 2 本の直線は、弾性波探査で推定された、境界深度である。

不整合面付近において、風化花崗岩が厚さ数 m（東濃鉱山付近の SN-4 号孔では約 15m）～数 10m（DH-8 号孔では、約 90m）にわたり分布している。詳細な分布は明らかでないが、本モデルでは、不整合面下に厚さ 30m の風化花崗岩層を設定した（図 5.2-5）。モデル作成においては、この不整合面下 30m に設定した風化花崗岩の境界面より上の部分を、一つのユニットとしてモデル化し、3 次元メッシュ作成後に、ユニット内の詳細地質区分（瀬戸層群、瑞浪層群、風化花崗岩）を要素重心位置によって割り当てた。

上部割れ目帯と低密度割れ目帯（いずれも後述）の境界面を、MIU-2 号孔、MIU-3 号孔、DH-9 号孔などのボアホール TV データ等から、図 5.2-6 のように設定した。

月吉断層は、露頭分布図（TGC\_Geo\_3）および MIU-2 号孔、MIU-3 号孔での出現深度から、図 5.2-7 に示すような曲面でモデル化した。

断層周辺高密度割れ目帯（後述）は、断層に平行な厚さ 100m のゾーンとして、図 5.2-8 のようにモデル化した。

以上を組み合わせて、図 5.2-9 に示すような 3 次元地質構造モデルを作成した。このようにして求めた地質構造を反映して作成した 3 次元有限要素法の解析メッシュを、図 5.2-10 に示す（要素数：255,841、節点数：45,787）。

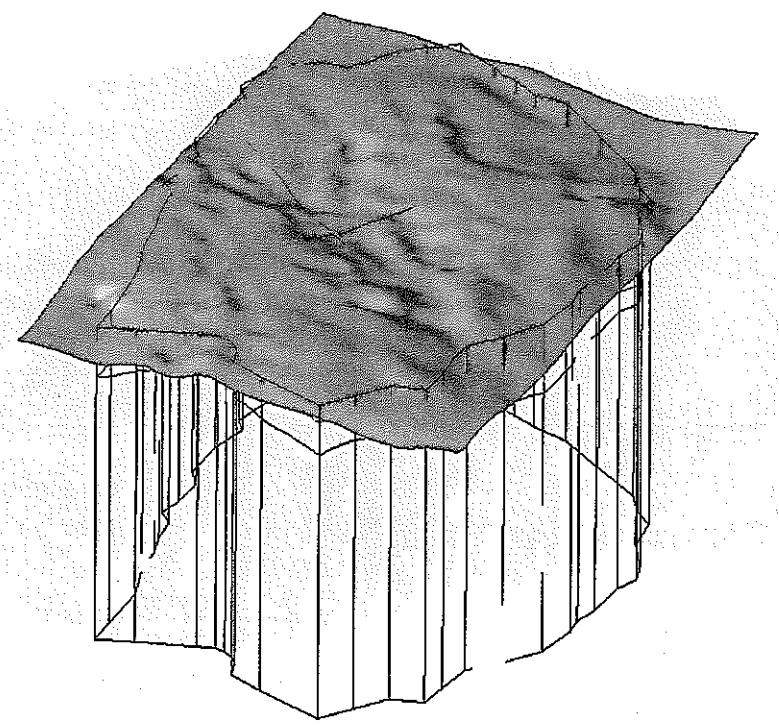


図 5.2-4 基盤と堆積岩の境界面

(内部の 2 本のほぼ直交する線は、弹性波探査結果側線 R-1, R-2 の境界深度)

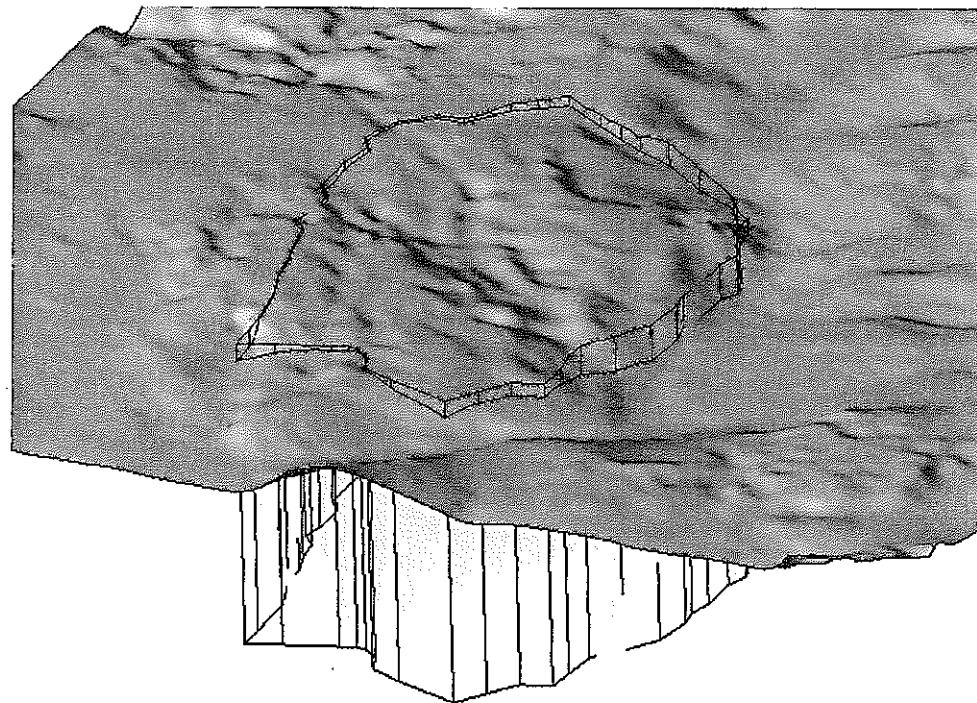


図 5.2-5 風化花崗岩と上部割れ目帯との境界面

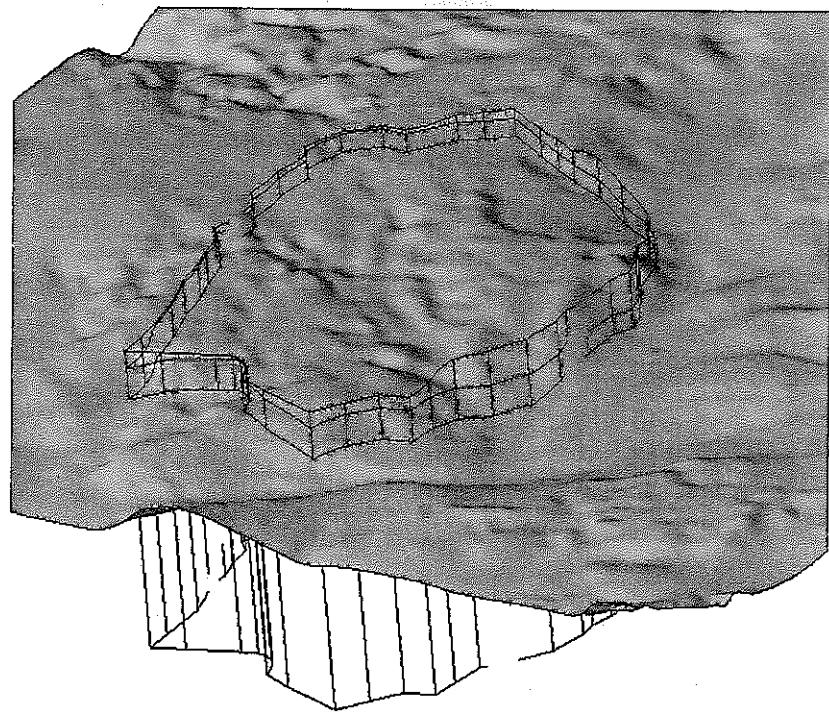


図 5.2-6 上部割れ目帯と低密度割れ目帯との境界面

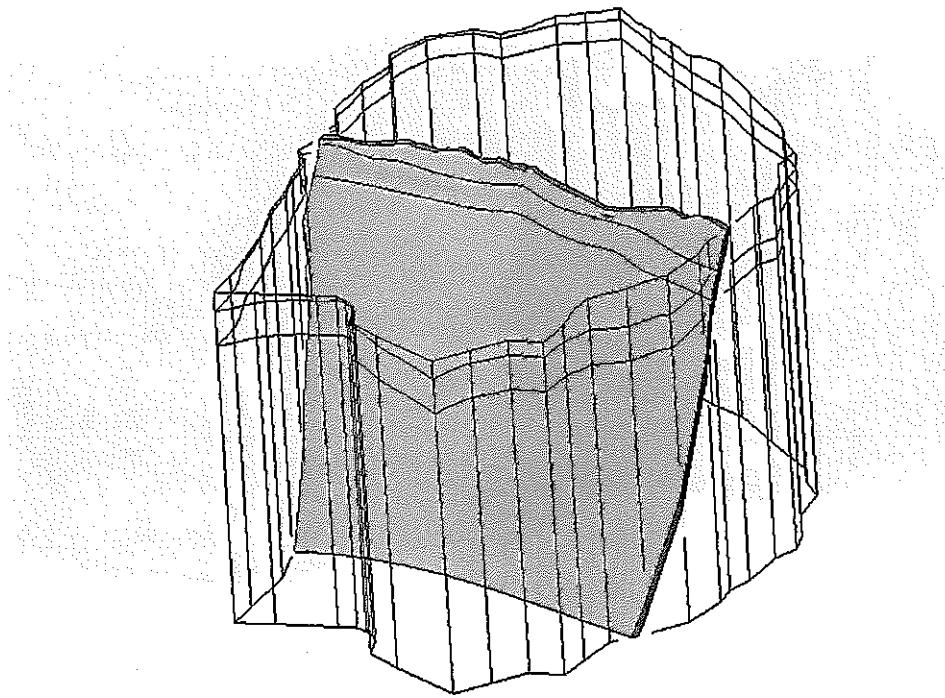


図 5.2-7 月吉断層

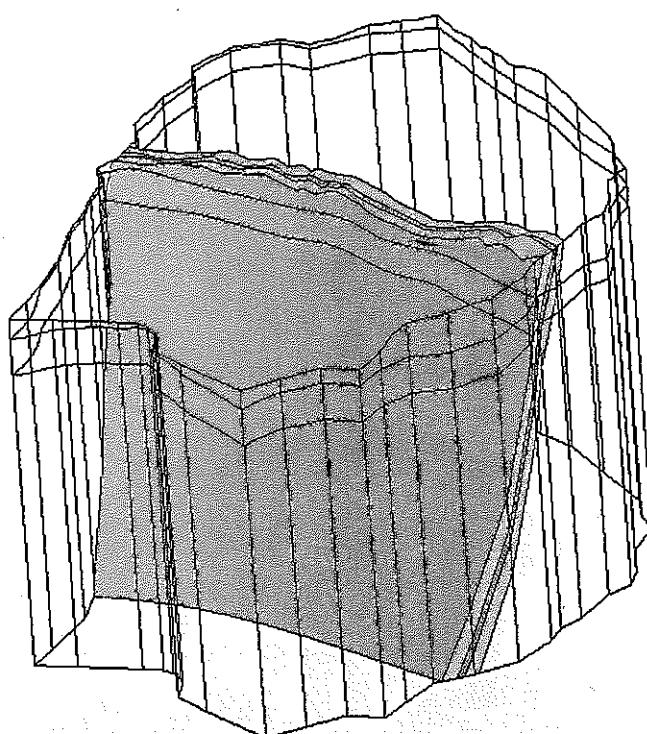


図 5.2-8 月吉断層に伴う割れ目帶

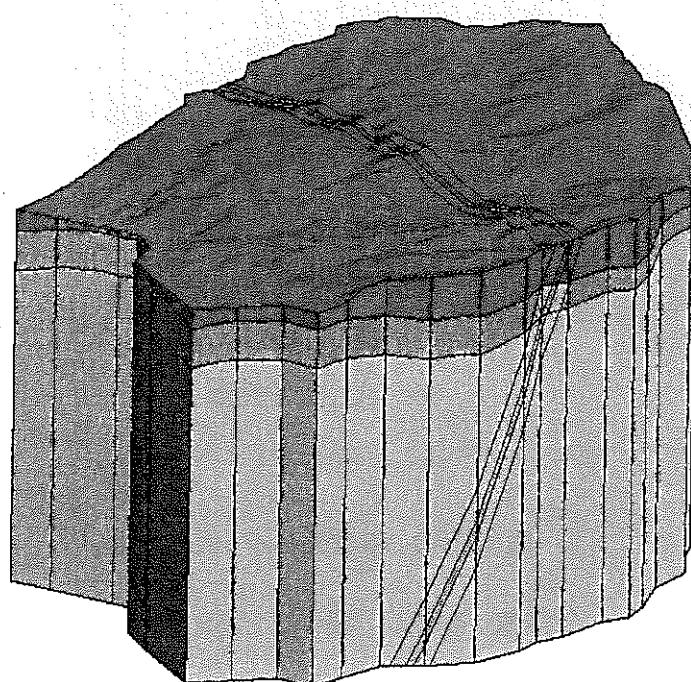


図 5.2-9 地質構造モデル

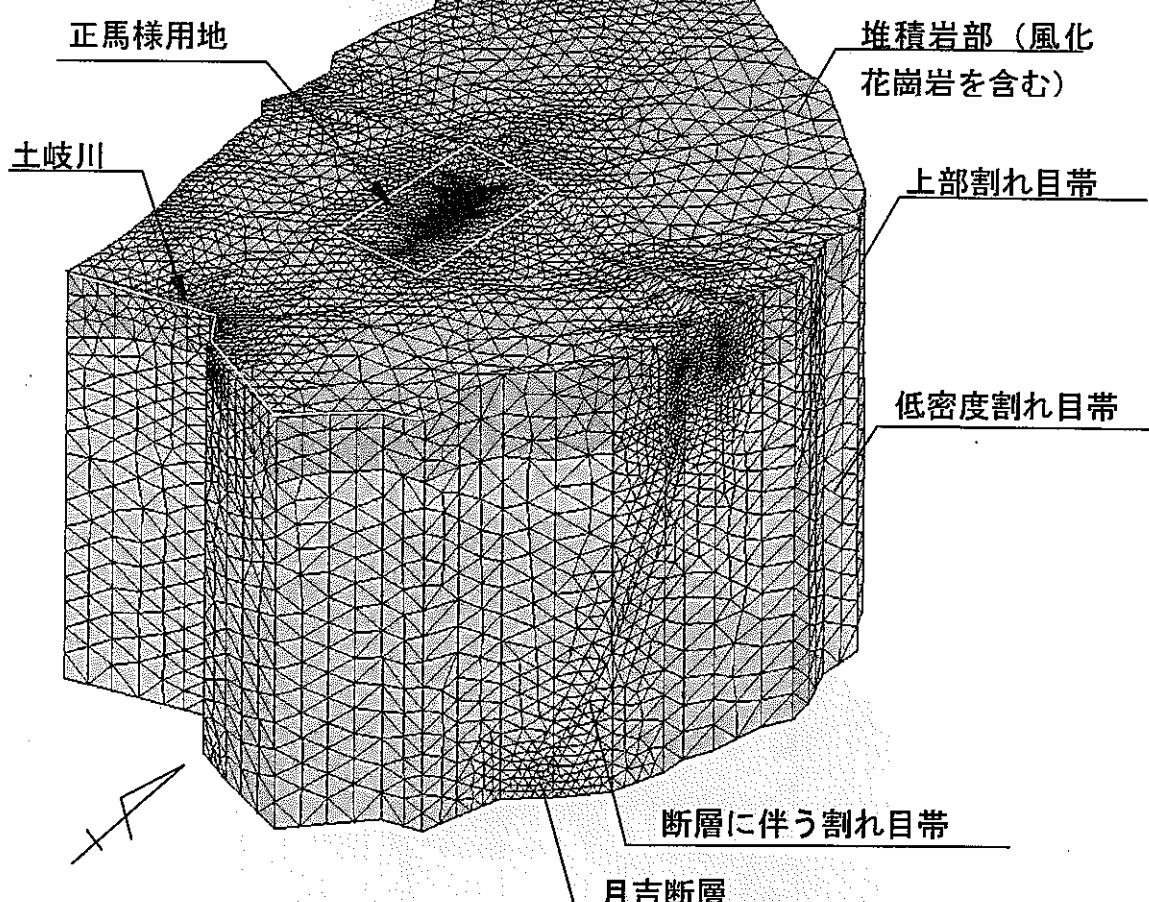


図 5.2-10 3次元メッシュ

節点数 : 45,787, 要素数 : 255,841

## 5.2.6 土岐花崗岩内の透水性割れ目の3次元割れ目分布および透水性のモデル化

### (1) 割れ目統計量の決定手順

岩盤内の割れ目の3次元分布を考慮したモデル化を行うために、割れ目の幾何学的な方位、開口幅、半径の統計分布および3次元割れ目密度を決定する必要がある。特に透水モデルにおいては、岩盤壁面や孔内で観察される開口幅（幾何開口幅）ではなく、水理的に有効な開口幅（水理開口幅）を用いる必要がある。ここでは、原位置データに基づく透水性割れ目の幾何学分布パラメータおよび透水性の確率論的決定法について示す。

図 5.2-11に、等価不均質連続体モデルの作成手順を示す。まず、BTV調査結果から割れ目を抽出し、孔内割れ目密度（一次元密度； $\rho_1$ ）、割れ目面の方向（n）、幾何学的開口幅（ $t_g$ ）などの分布を決定する。次に、ボーリング孔内での透水試験を模擬したシミュレーションを行い、透水係数分布の実測値と計算値との比較から、割れ目の半径（r）と水理学的開口幅（ $t_h$ ）の平均値を推定する。このとき、実測の透水係数分布へのモデルの適合性によっては、 $\rho_1$ を修正する場合もある。体積密度（ $\rho_v$ ）は、割れ目分布の幾何学的関係式を用いて $r$ の2乗平均値と $\rho_1$ の値により算定する。各パラメータの決定法については、次節以降で詳述する。

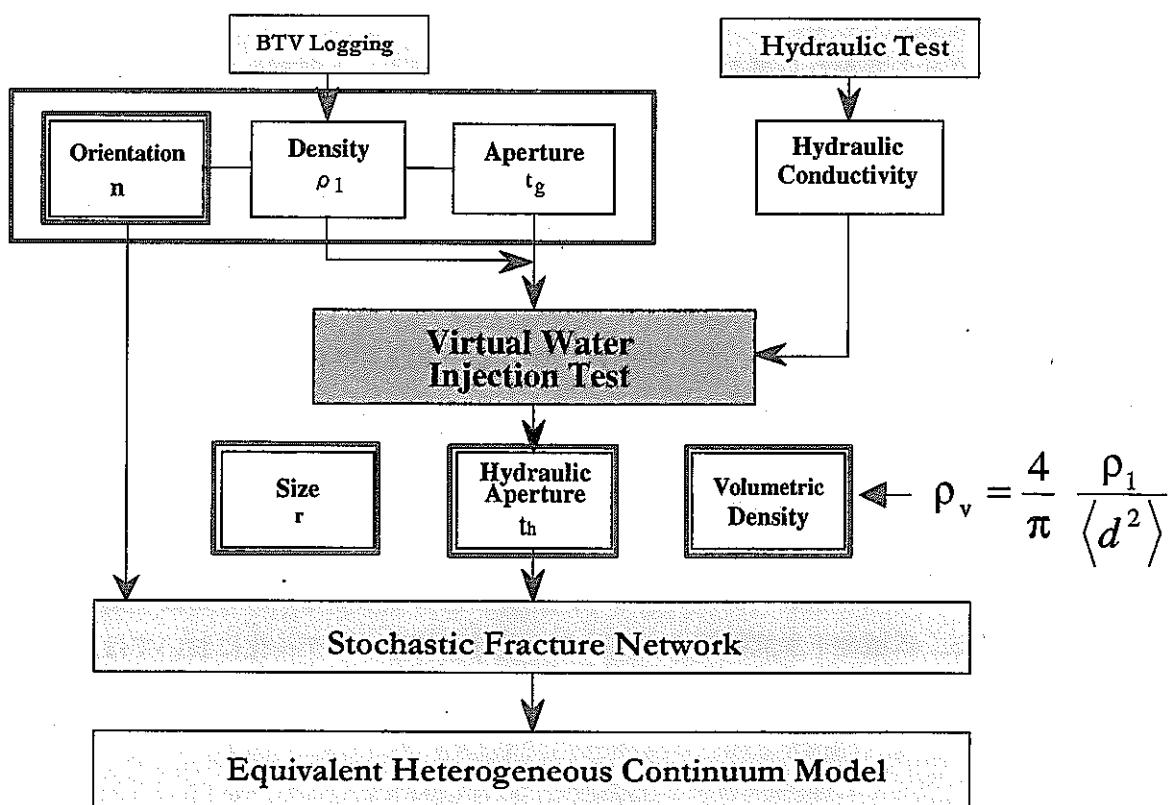


図 5.2-11 割れ目統計量の決定手順

## (2) 割れ目頻度から見た土岐花崗岩のゾーンの区分

図 5.2-12に、MIU-1号孔～MIU-4号孔で観察された深度 1m 毎の全割れ目本数の分布を示す。また、図 5.2-13に、累積割れ目本数を示す。

図 5.2-12において、各ボーリングとも、上部と下部に比較的割れ目の発達したゾーンがあり、その中間に割れ目の少ないゾーンが存在する傾向が見られる。このような割れ目頻度の変化は、図 5.2-13において、累積割れ目曲線の勾配の違いとして現れている。図中には、勾配の変化点を横線で示している。

図 5.2-14に MIU-1, MIU-2, MIU-3 号孔の各孔で観察された割れ目頻度および地質観察結果から、上記 3 孔を含む断面内の割れ目分布を概念的に示したものである。

各孔とも GL-88～GL-89m 付近まで堆積岩が分布し、その下に土岐花崗岩が分布する。土岐花崗岩の最上部には厚さ 30m 程度の風化花崗岩が存在し、その下 GL-300～GL-370m まで、比較的割れ目頻度の高い花崗岩が分布する（上部割れ目帯と呼ぶ）。それ以深では、割れ目の少ない健岩部（低密度割れ目帯と呼ぶ）が存在した後、月吉断層周辺では再び割れ目頻度が増加する（月吉断層に伴う割れ目帯と呼ぶ）。

南落ちの傾斜を有する月吉断層は、MIU-2 号孔、MIU-3 号孔および MIU-4 号孔にのみ出現している。MIU-1 号孔では、孔底以深に存在するものと考えられる。土岐花崗岩高密度割れ目帯内部に太い実線で示したのは、隣接するボーリング孔間での連続性が高いと考えられる割れ目を示している。

各ボーリング孔の各割れ目帯の境界深度を表 5.2-2 に示す。上部割れ目帯、低密度割れ目帯、月吉断層に伴う割れ目帯の各割れ目帯に分けて、各孔内の割れ目密度を計算した結果を図 5.2-15 に示す。同図において、各割れ目帯の割れ目密度の差異は明らかである。すなわち、低密度割れ目帯の一次元割れ目密度が 2～3 本/m であるのに対し、上部割れ目帯および月吉断層に伴う割れ目帯の割れ目密度は、3.6～6.2 本/m と、倍程度の差異が見られる。ただし、本年度新たに追加された MIU-4 号孔内においては、割れ目帯による割れ目密度の違いは明瞭ではない。また、水平距離が月吉断層から最も離れた MIU-1 号孔では、上部割れ目帯の割れ目密度が、他の 2 孔に比べて少ない。低密度割れ目帯の割れ目密度を見ると、月吉断層に最も水平距離が近い MIU-3 号孔が、他の 2 孔より大きな値を示している。月吉断層周辺割れ目帯の割れ目頻度は、3 孔とも非常に近い値を示しており、お互いに類似した割れ目性状を有している事を示唆している。

上記のように、土岐花崗岩内部においては、深度方向に明らかな割れ目密度の違いが見られることから、広域地下水流动解析に用いる水理地質構造のモデル化においては、土岐花崗岩を上記の 3 つのゾーンに分けて、ゾーン毎に割れ目の 3 次元分布の分析を行う事にした。

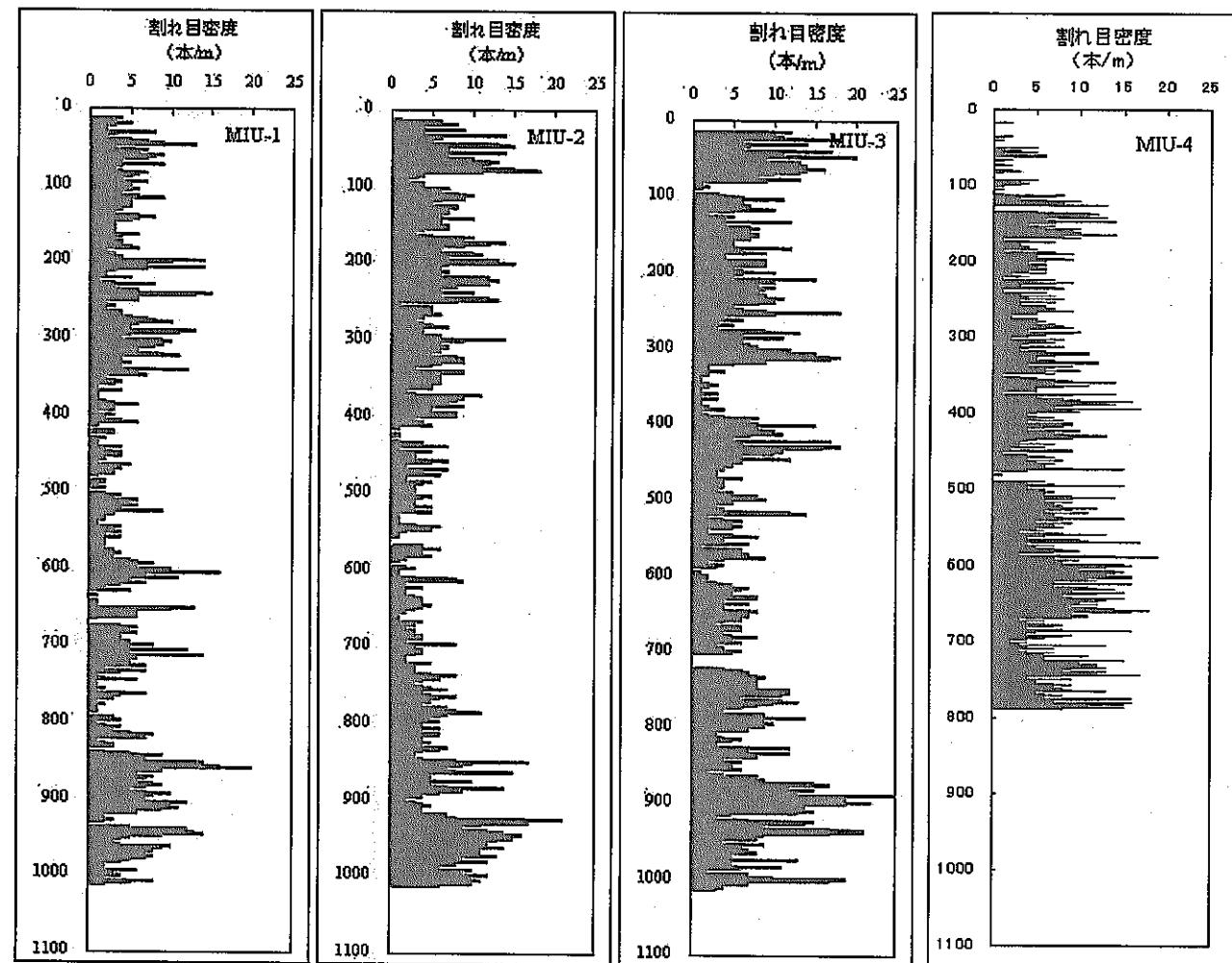


図 5.2-12 深度方向割れ目密度分布

上部割れ目帶

低密度割れ目帶

月吉断層に伴う  
割れ目帶

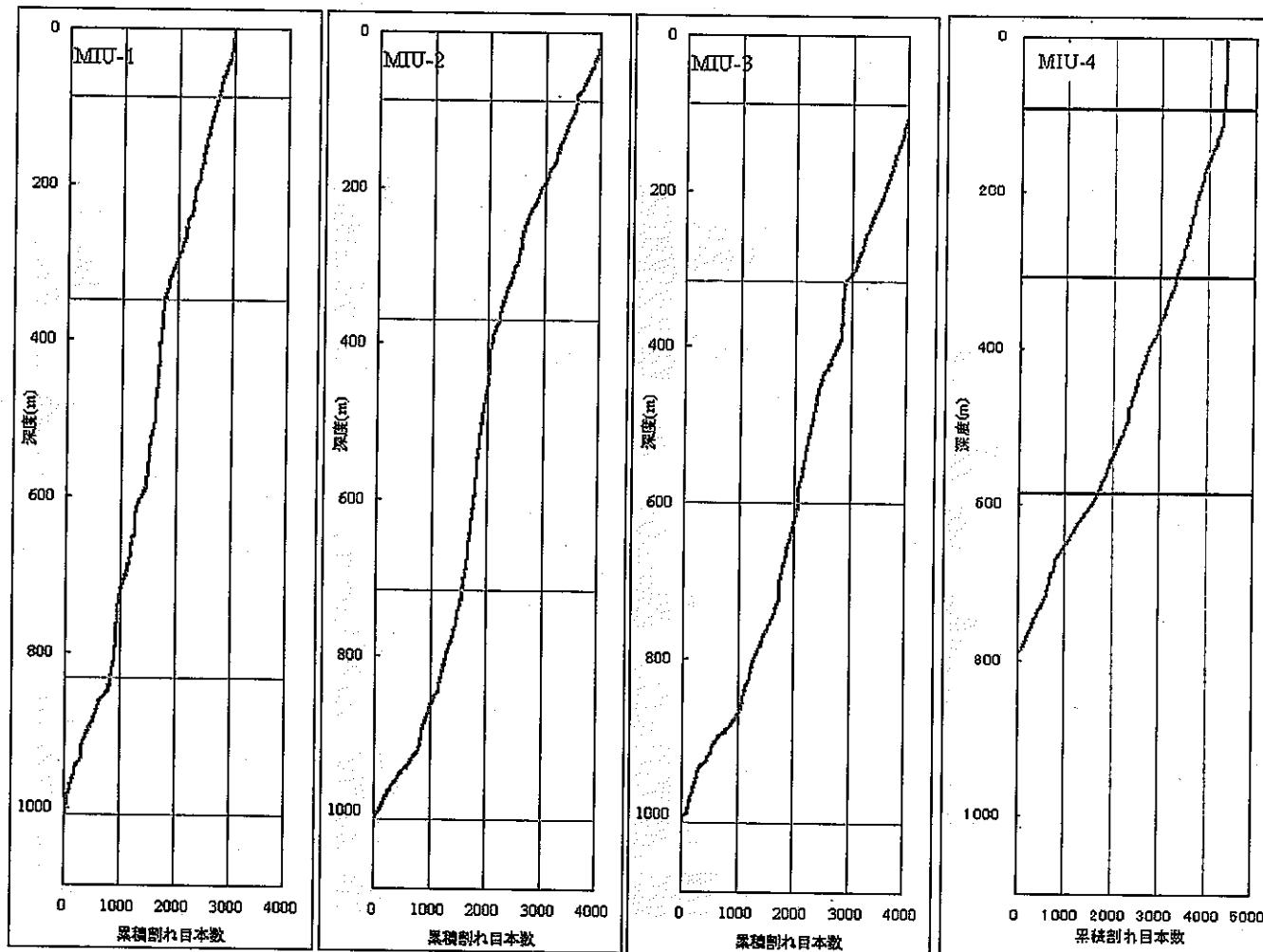


図 5.2-13 累積割れ目密度

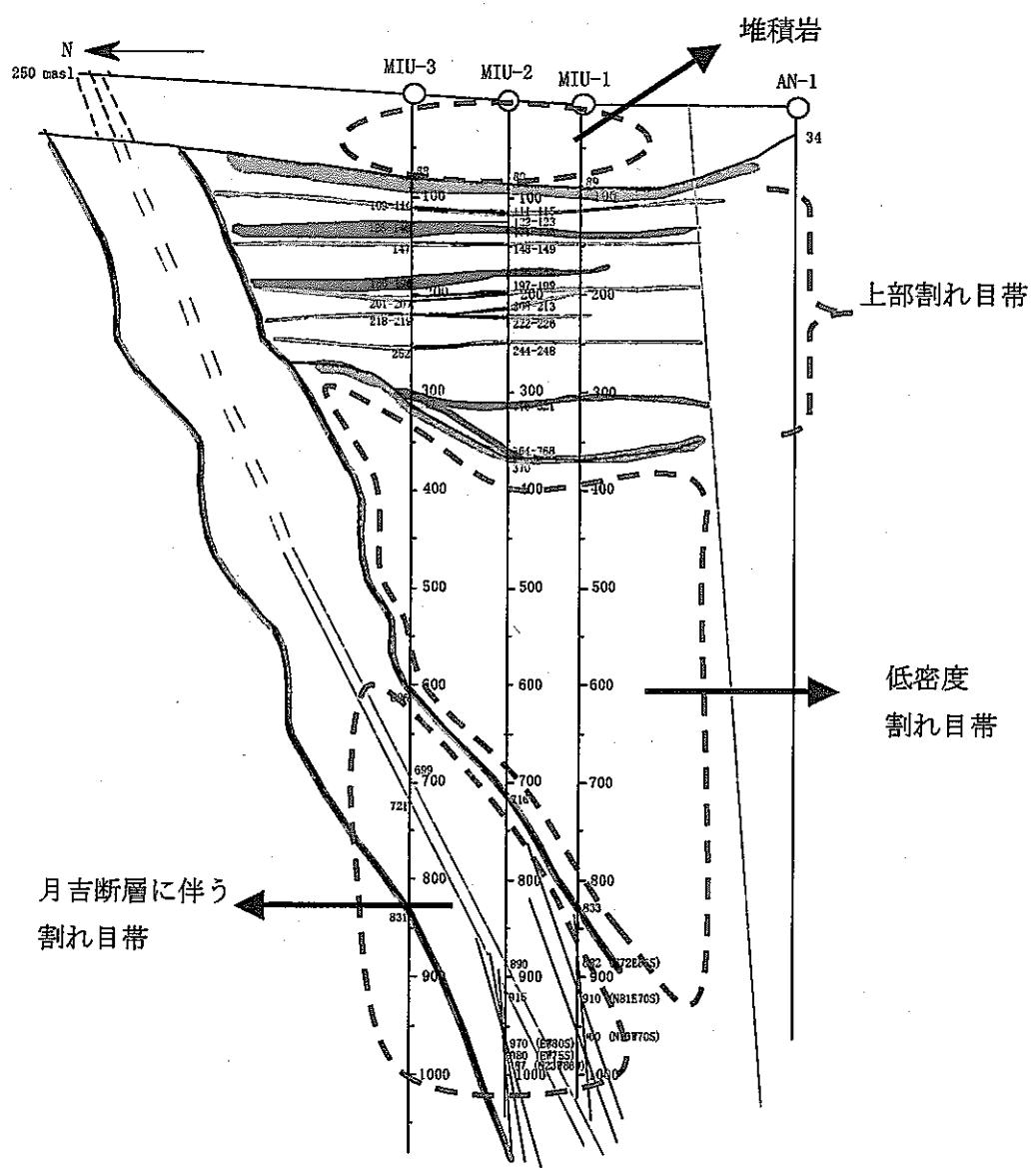


図 5.2-14 MIU-1～MIU-3 号孔で観察された割れ目分布概念図

表 5.2-2 各ボーリング孔内での割れ目帯境界深度

	MIU-1			MIU-2			MIU-3			MIU-4		
	TOP (mabh)	Bottom (mabh)	Thickness (mabh)									
Sedimentary Rock	0	-89	89	0	-89	89	0	-88	88	0	-93.05	93.05
Upper Highly Fractured Domain	-89	-350	261	-89	-370	281	-88	-317	229	-93.05	-310	216.95
Sparsely Fractured Domain	-350	-833	483	-370	-716	346	-317	-600	283	-310	-587.59	277.59
Highly Fractured Zone along the Tsukiyoshi Fault	-833	-1010.37	177.37	-716	-1011.4	295.4	-600	-1011.6	411.604	-587.59	-790.1	202.51

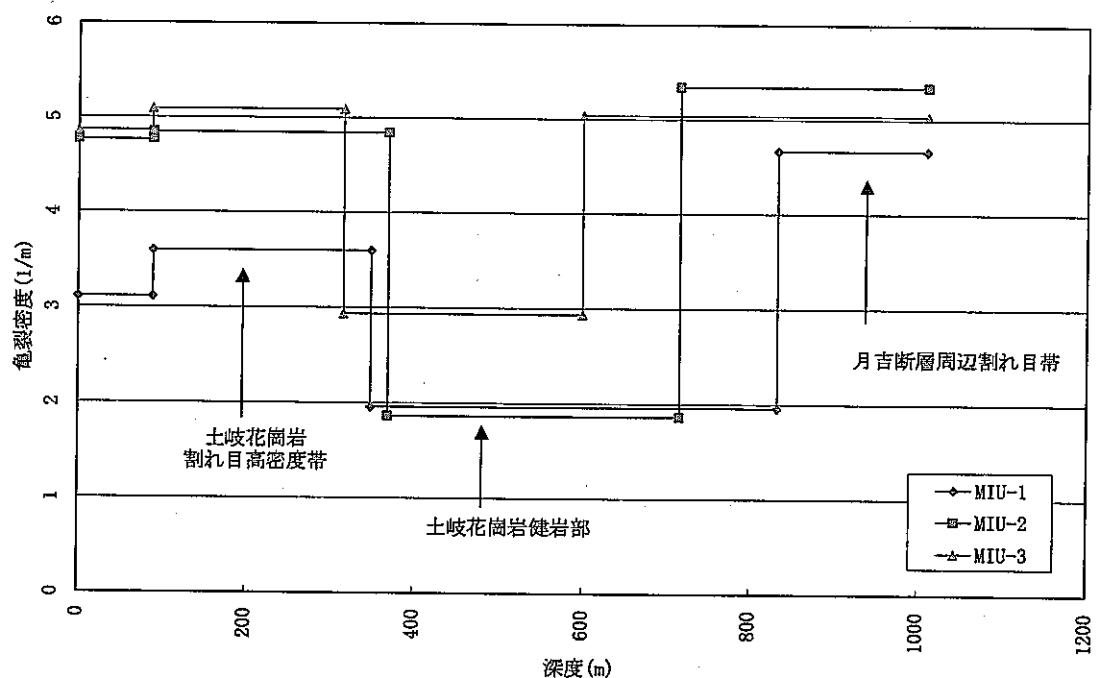


図 5.2-15 割れ目帯の一次元割れ目密度

### (3) 割れ目方向の分布

土岐花崗岩の割れ目方位分布のモデル化には、MIU-1, MIU-2, MIU-3号孔ならびにMIU-4号孔で得られたボアホールTVデータを用いた。各孔で得られた割れ目の方位分布を、図5.2-16に示す。各ボーリング孔とも、割れ目方位は広い範囲に分布しているのが分かる。

斜孔であるMIU-4号孔においては、同孔とほぼ直交する月吉断層に沿った方向の割れ目の卓越が顕著であり、鉛直孔であるMIU-1~3号孔と若干異なり、EW~NW走向の高角度割れ目が多い傾向が見られる。この違いは、ボーリング孔の方位による影響が含まれていると考えられ、その補正については後述する。

次に、土岐花崗岩の3つのゾーン（上部割れ目帯、低密度割れ目帯、月吉断層に伴う割れ目帯）ごとの方向分布を図5.2-17に示す。基本的に、①低角度割れ目の他、②NE~EW走向S傾斜、③NE~EW走向N傾斜、④NW~NS走向の各方向にそれぞれ主方向を有する、全部で4方向の割れ目の集中が認められる。各ゾーンの割れ目方位分布について以下の傾向が見られる。

堆積岩部の割れ目については、今回のモデル化では考慮しないが、層理面に沿った低角度の割れ目が多い。

上部割れ目帯(UHFD)では、①低角度割れ目の他に、②NE~EW走向S傾斜、④NW~NS走向の3方向が卓越している。

低密度割れ目帯(MFD)では、上部割れ目帯と比較して、①低角度割れ目が少なく、③NE~EW走向N傾斜の割れ目やN50~70W/70~80Sの割れ目が多くなっている。

月吉断層に伴う割れ目帯(FZ)では、基本的に低密度割れ目帯と同様の傾向が見られる。なかでも、①、③方向の割れ目が卓越している。

では、次に方位分布の補正を行う。前述したように、ボアホールTVで得られる割れ目方向の密度分布には、ボーリング方位によるサンプリングのバイアス(偏り)がかかっている。たとえば、鉛直孔の場合は、水平に近い割れ目がより強調される。そこで、見かけの割れ目密度( $N_L/L$ )を、割れ目面の方位とボーリング方位とが成す角度で補正した一次元割れ目密度 $\rho_1(n)$ を求めた。一次元割れ目密度は、割れ目面の法線ベクトルが $n \sim n + \Delta n$ の範囲にある割れ目と、方向ベクトル $n$ の単位長さの線分とが交差する数として、次式により算定される。

$$\rho_1(n) = \frac{N_L(n \sim n + \Delta n)/n_i}{L} \quad (5.2.1)$$

ここに、 $N_L(n \sim n + \Delta n)$ :面の法線ベクトルが $n \sim n + \Delta n$ の範囲にある割れ目とボーリングとの交差数、 $L$ :ボーリング長、 $n_i$ :ボーリング方位と割れ目面の法線ベクトルの方向余弦、である。今回は、 $\Delta n$ を $10^\circ$ 刻みとした。

ボーリングと割れ目面が成す角度が非常に小さい ( $n_i$  が小さい) 場合には、 $\rho_1(n)$  が不自然に大きな数値となるため、角度が  $10^\circ$  未満の場合には方位に関する補正は行わないこととした (すなわち、 $n_i=1$ )。このようにして求めた  $\rho_1(n)$  を図 5.2-17(b) に示す。この図から、補正前(a)に顕著であった水平方向の割れ目の密度が緩和されているのが分かる。

上記の補正後の方方位分布を用い、以下のとおりに割れ目方位の確率分布を決定した。  
岩盤内の割れ目方位の確率密度関数としては、卓越方向中心周りに等方的な分布形である Fisher 分布と、非等方的な Bingham 分布が良く用いられている。今回の方位分布を見ると、特に、②、③の NE～EW 走向の割れ目群は、走向範囲が広く分布しており、等方的な分布形で 1 つのセットとして表すには限界があると考えられる。そこで、割れ目方位分布のモデル化には、割れ目群を図 5.2-18 に示すようなグルーピングをした後、Bingham 分布を適用することとした。例として、月吉断層に伴う割れ目帶の方向データに対する当てはめ結果を図 5.2-19 に示す。また、得られた方向分布パラメータの一覧を、表 5.2-3 に示す。各セットの走向／傾斜は、低角度割れ目を除けば、3 つのゾーンで近い値が得られたが、上部割れ目帶では、低角度割れ目の割合が、他のゾーンと比べて多くなっている。今回の割れ目方向分布のモデル化では、表 5.2-3 に示した分布パラメータを用いる。

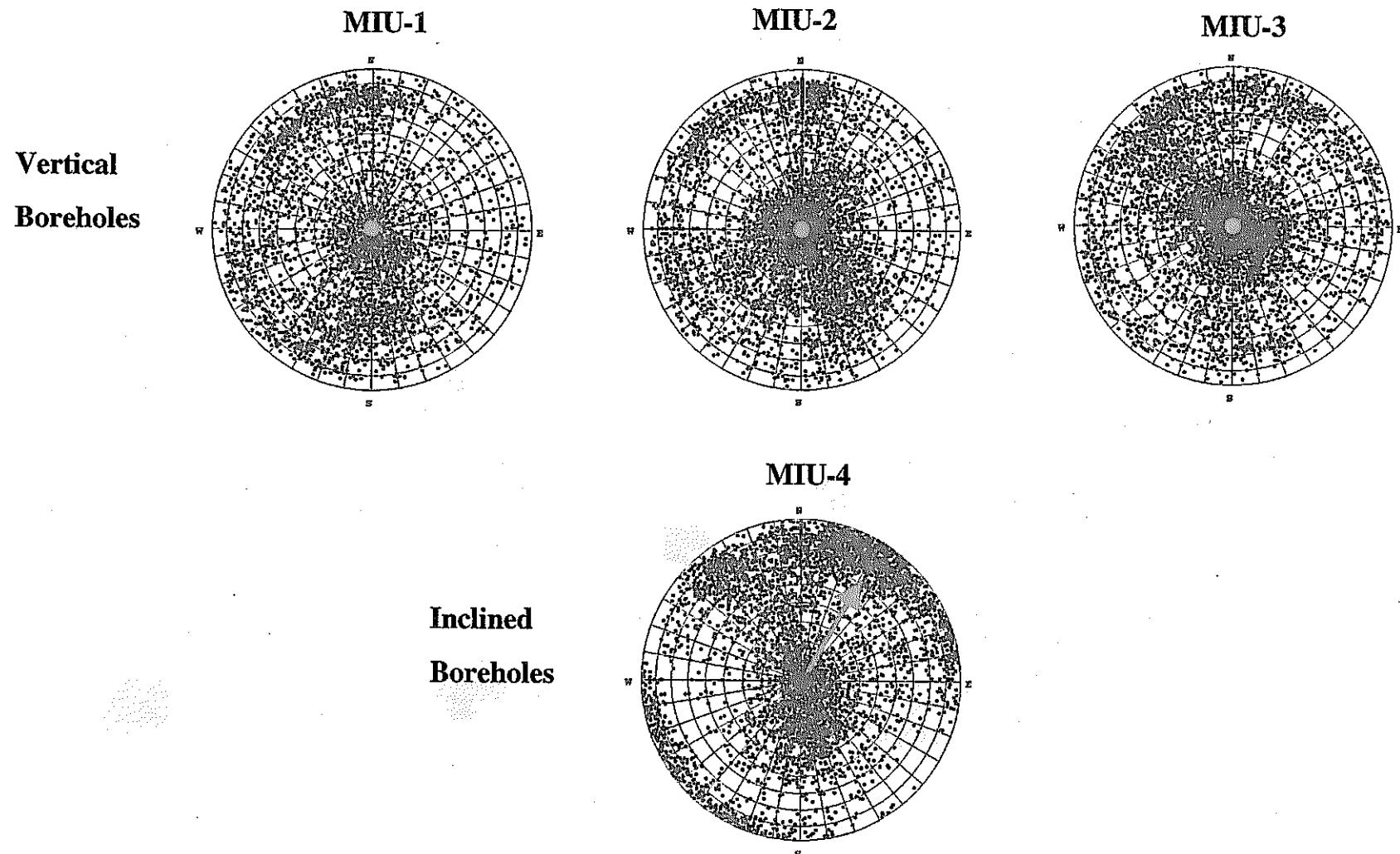


図 5.2-16 ポーリング孔毎の割れ目方向分布（シュミットネット、下半球投影）

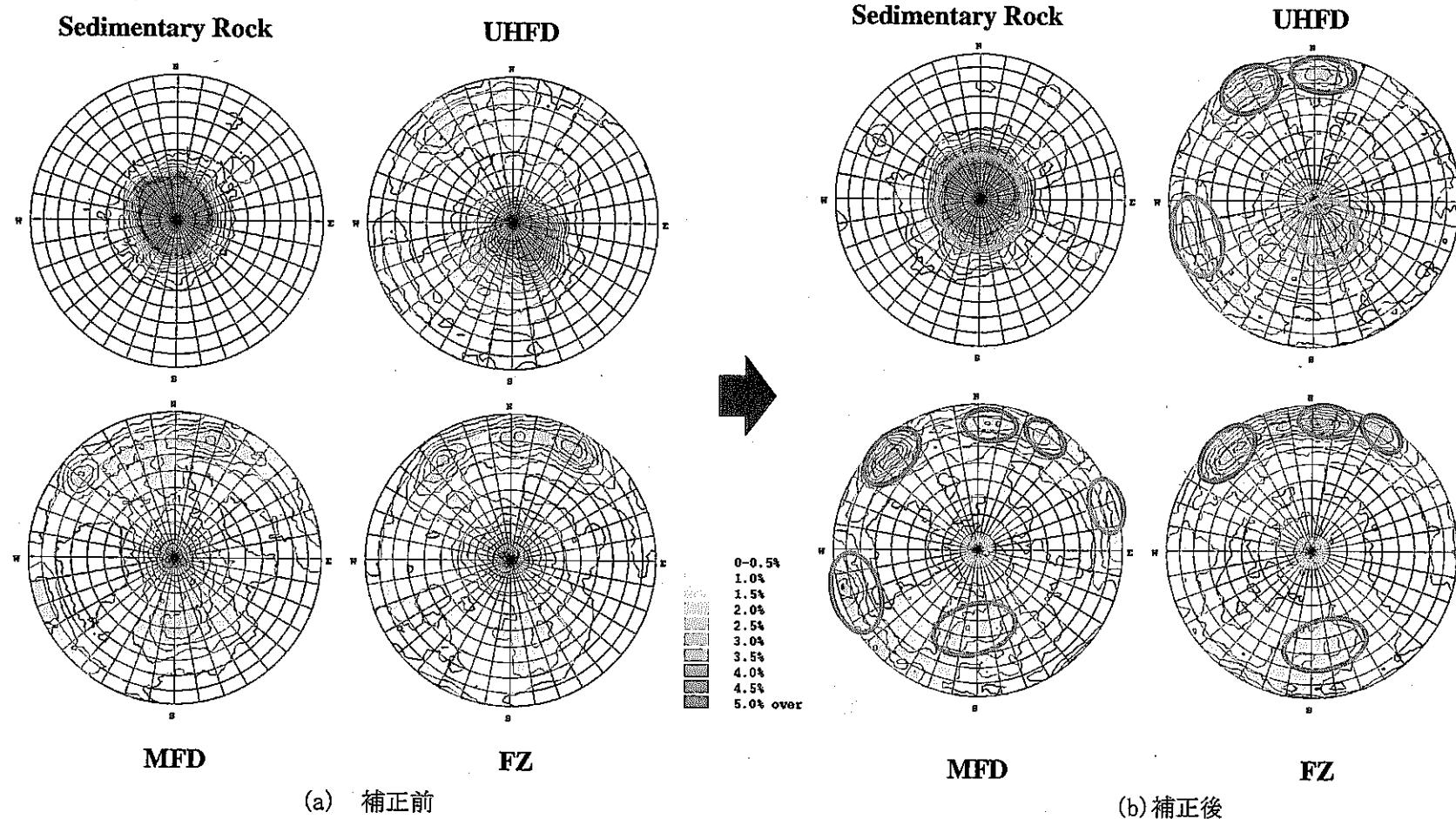


図 5.2-17 方向密度分布の補正結果（シュミットネット、下半球投影）

UHFD :Upper Highly Fractured Domain, MFD :Moderately Fractured Domain, FZ :Fractured Zone along Tsukiyoshi Fault

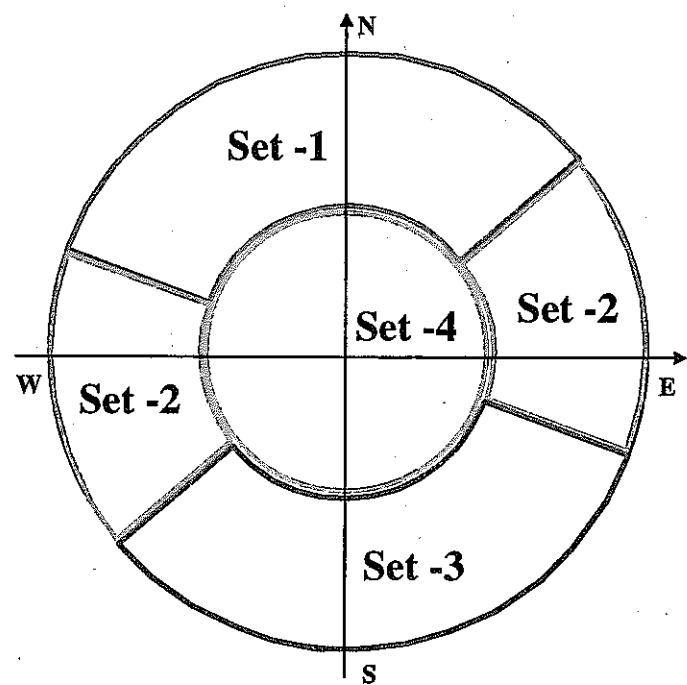


図 5.2-18 割れ目方位のグルーピング（シュミットネット、下半球投影）

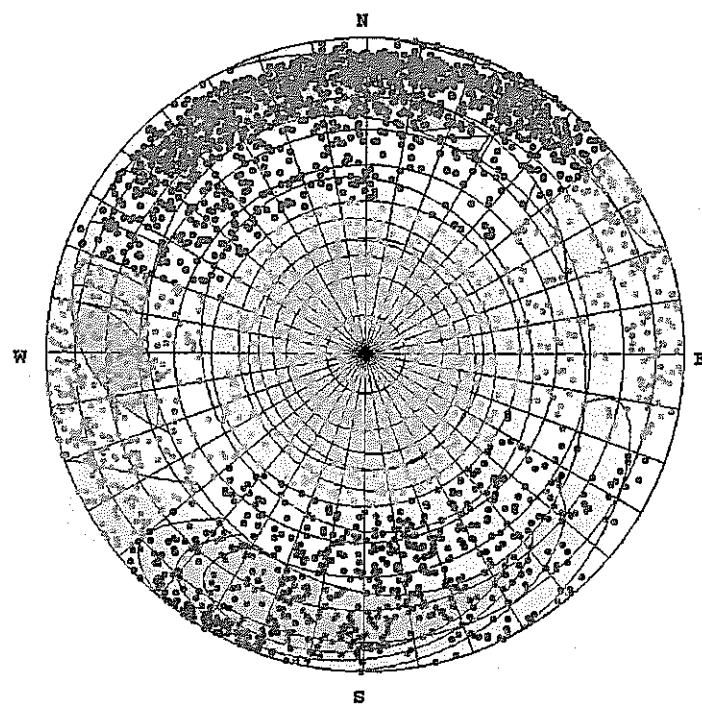


図 5.2-19 割れ目方向の Bingham 分布によるフィッティング

(月吉断層に伴う割れ目帶の例)

表 5.2-3 Bingham 分布により得られたパラメータ

Zone	SET		Ratio	Average Strike	Average Dip	$\kappa_1$	$\kappa_2$	ang(degree)
UHFD	SET 1	NE/S	28%	74.9	70.3	-13.6	-3.5	175.3
	SET 2	NW	17%	345.4	79.9	-8.8	-5.0	81.8
	SET 3	NE/N	22%	279.1	61.0	-9.0	-3.2	12.0
	SET 4	Horizontal	33%	254.6	11.5	-7.8	-6.9	64.1
MFD	SET 1	NE/S	36%	78.1	69.7	-16.3	-2.5	0.0
	SET 2	NW	21%	347.2	88.4	-8.4	-5.8	82.0
	SET 3	NE/N	23%	272.9	61.1	-11.0	-3.2	14.4
	SET 4	Horizontal	19%	161.1	85.7	-7.7	-5.0	77.6
FZ	SET 1	NE/S	44%	82.5	71.4	-16.2	-3.0	6.4
	SET 2	NW	18%	348.7	84.0	-8.4	-4.5	99.9
	SET 3	NE/N	21%	270.7	64.3	-10.9	-3.3	14.3
	SET 4	Horizontal	17%	215.7	0.4	-6.7	-5.5	61.8

Strike : clockwise angle from the north

UHFD:Upper Highly Fractured Domain, MFD: Moderately Fractured Domain, FZ : Fractured Zone along Tsukiyos

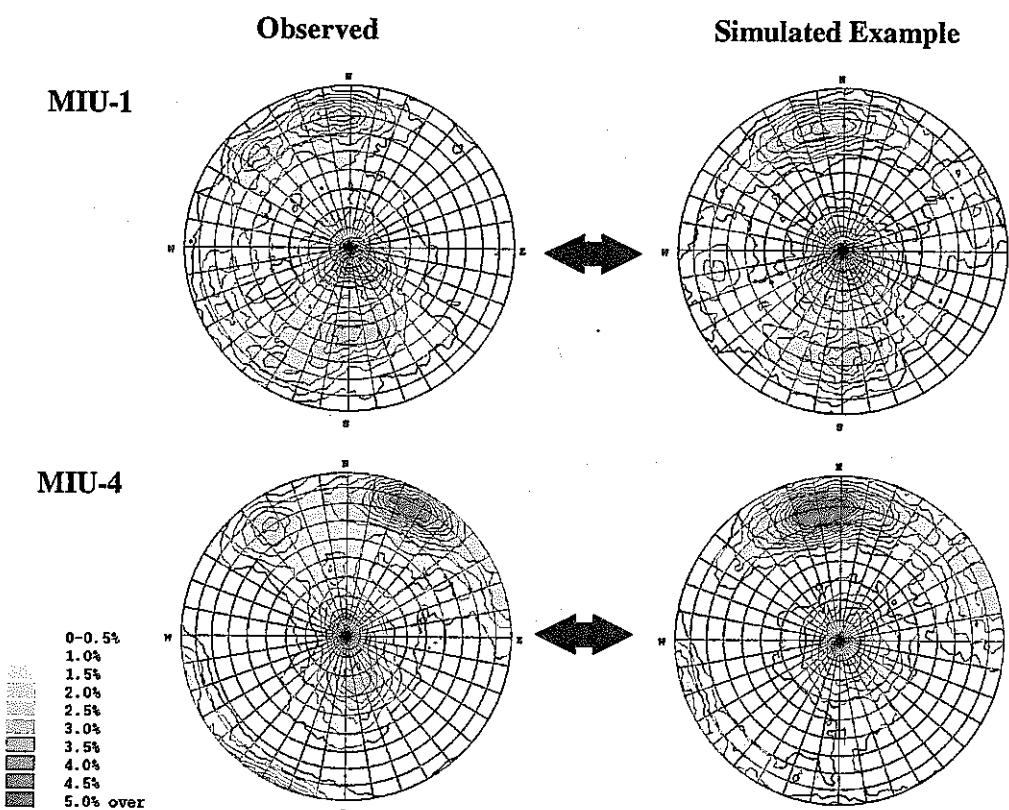


図 5.2-20 割れ目分布シミュレーション結果と実測の比較 (MIU-1/4 号孔内)

#### (4) 割れ目密度

土岐花崗岩の割れ目密度は、MIU-1～MIU-4号孔のボアホールTV観察データを用いた。表5.2-4に、ゾーン毎に、全割れ目、開口割れ目ならびにWCF(Water Conducting Feature)の一次元密度を示す。総割れ目本数15893個のうち、開口割れ目の個数は519であり、全体の3.3%程度である。また、WCF頻度と総割れ目頻度の比は、0.5%程度である。

表 5.2-4 BTV 調査による割れ目密度

Zone	All Fractures		Open Fractures		WCF	
	Frequency	Density [1/m]	Frequency	Density [1/m]	Frequency	Density [1/m]
Sedimentary Rocks	1184	3.298	5	0.014	11	0.031
UHFD	4464	4.518	187	0.189	19	0.019
MFD	4067	2.927	252	0.181	15	0.011
FZ	6178	5.684	75	0.069	27	0.025
Total	15893	4.152	519	0.136	72	0.019

#### (5) 幾何学的開口幅分布

MIU-1号孔～MIU-4号孔のボアホールTV観察結果から求めた割れ目の開口幅分布(累積確率分布)を図5.2-21に示す。同図中に、以下の2つの確率分布関数を当てはめた結果を示した。

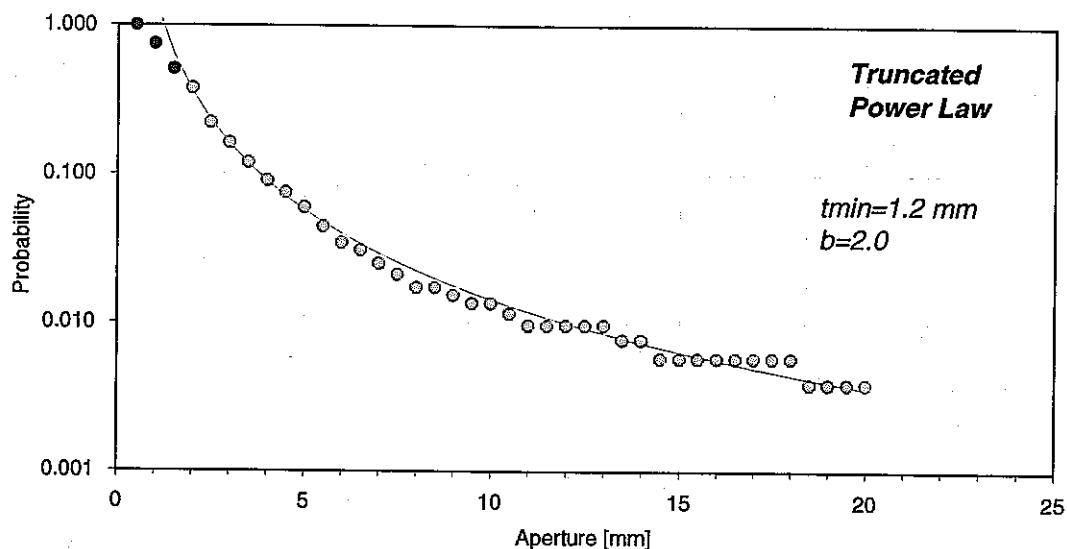
$$\text{負の指数分布: } f(t) = \lambda \exp(-\lambda t), \quad 1/\lambda : \text{平均開口幅} \quad (5.2.2)$$

$$\text{べき乗分布: } f(t) = \frac{c-1}{t_{\min}} \left( \frac{t_{\min}}{t} \right)^c, \quad t_{\min} : \text{最小開口幅}, \quad c : \text{定数} \quad (5.2.3)$$

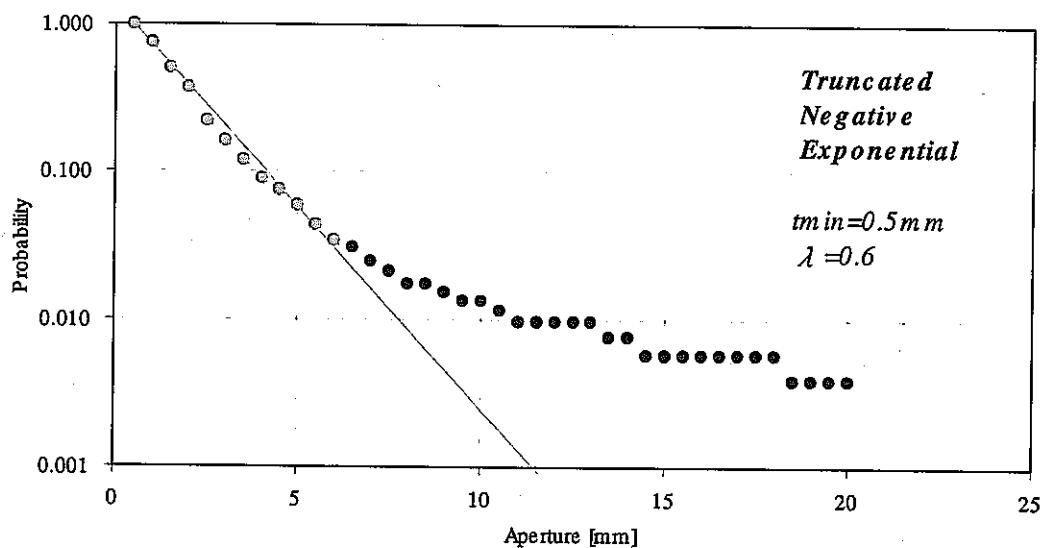
図5.2-21(a)より、最小開口幅を1.2[mm]に設定したべき乗分布によって、実測分布を良く表現できることが分かる。また、同図中(b)に示した負の指数分布の場合、開口幅の大きい少数の割れ目( $t \geq 7\text{mm}$ )を除けば、ほぼ実測分布にフィットさせることができる。どちらの確率分布を用いるかについては議論の余地があるが、今回のモデル化では、負の指数分布を採用することとした。その理由は、全体の95%を占める開口幅7mm以下の範囲で見れば、両分布関数の適合度に大きな差が見られないことや、べき乗分布を用いて確率モデルを作成した場合、乱数系列によっては、不自然に大きな開口幅が発生され、そのような極端な割れ目の存在が水理解析の結果全体を支配する可能性があることなどである。

なお、ここで求めた開口幅は、ボーリング孔内で観察される幾何学的な開口幅であり、

一般に、水理学的に有効な開口幅は、この幾何学的な開口幅よりも小さい。この水理学的に有効な開口幅を水理開口幅と呼び、本モデル化では、水理開口幅と幾何学的開口幅の比を透水試験結果から求めるアプローチを採用している。このアプローチについては、次節にて述べる。



(a) べき乗分布



(b) 負の指数分布

図 5.2-21 割れ目の開口幅分布（幾何学的開口幅）

### 5.2.7 仮想透水試験による割れ目統計量の決定

#### (1) 仮想透水試験の概要

図 5.2-11に示した割れ目統計量の決定手順のうち、方向分布、一次元割れ目密度、幾何学的開口幅分布を、ボアホールTV観察結果をもとに決定した。しかし、残りの割れ目の半径分布、透水性（割れ目の水理学的開口幅）および3次元割れ目密度は、ボアホールTV観察結果から決定する事はできない。特に、ボーリング調査段階では割れ目半径に関する情報は、ほとんど得られていない。そこで、下茂ら（1997）は、以下のような「仮想透水試験」法により、これらの統計量を推定する方法を提案している。仮想透水試験法は、統計的に発生した割れ目モデルを用いて、透水試験を模擬した数値シミュレーションを行い、実際の透水試験結果に等しい透水係数の分布が得られるような割れ目統計量を試行錯誤的に決定する方法である。仮想透水試験の手順を図 5.2-22に示す。

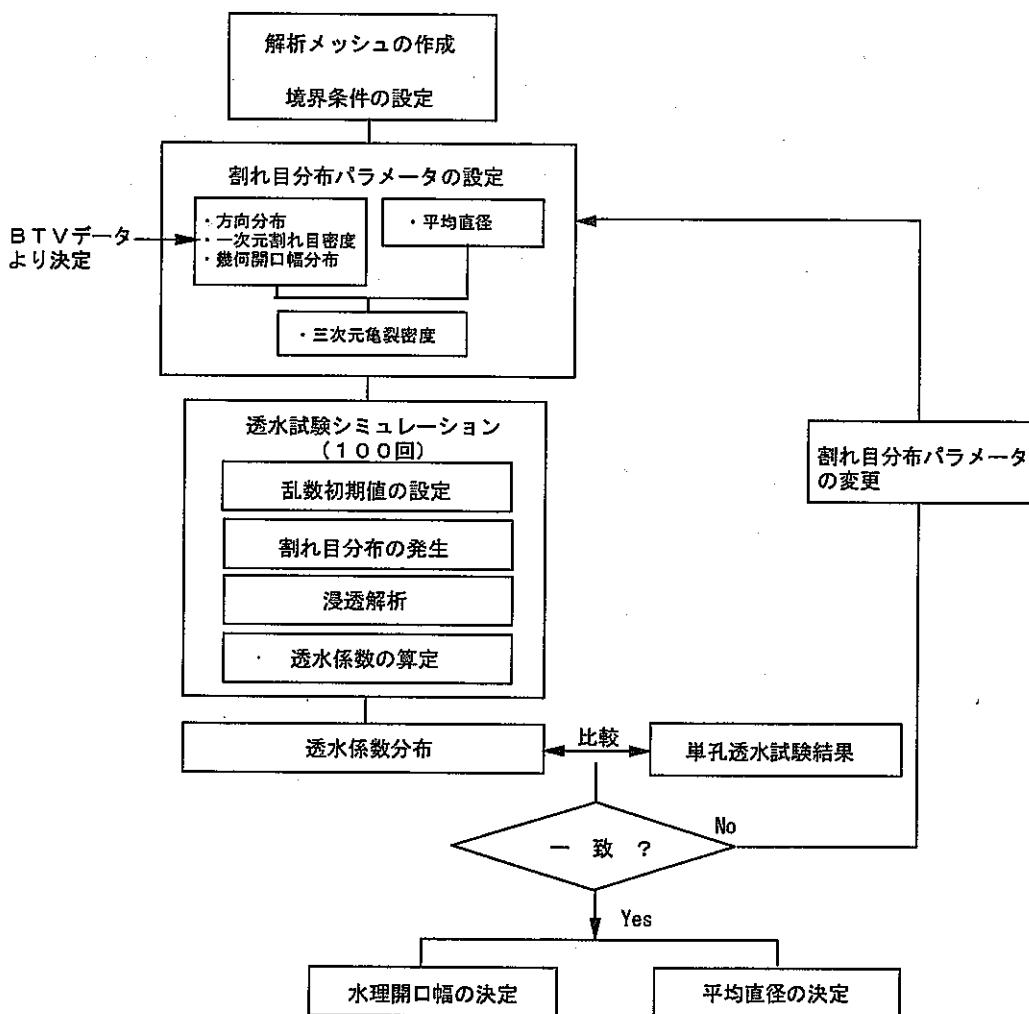


図 5.2-22 仮想透水試験のフロー

## (2) 仮想透水試験による透水係数の算定法

透水試験のシミュレーションでは、図 5.2-23に示すような、中心に 50m 区間の透水試験区間を設けた一辺 650m の立方体領域を解析領域とした。そして、先に設定した割れ目分布パラメータを用い、割れ目を解析領域内に発生し、等価不均質連続体モデルを作成する。次に、側方境界（6 面）と透水試験区間の間に、単位の水頭差（= 1 m）を与える、得られた流量から次式により透水係数を算出した。

$$k_E = k_0 \times Q_E / Q_0 \quad (5.2.4)$$

ここに、

$k_E$ ：仮想透水試験モデルの透水俕数

$k_0$ ：基準となる均質モデルの透水俕数（例えは、1 m/s）

$Q_E$ ：仮想透水試験に用いた等価不均質連続体モデルの流量

$Q_0$ ：基準となる均質モデルに単位水頭差を与えて得られる流量

$k_E$ は、所定の確率分布に従う割れ目分布を有する岩盤内で実施した透水試験の結果と考えられる。乱数初期値を変えながら、同様の解析を行うことにより、 $k_E$ の分布が得られる。これは、岩盤内においてランダムな位置で透水試験を行っていることと統計学的に等価である。今回は、割れ目発生の乱数初期値を変えた 100 リアライゼーションの解析結果から、透水俕数分布を求めた。

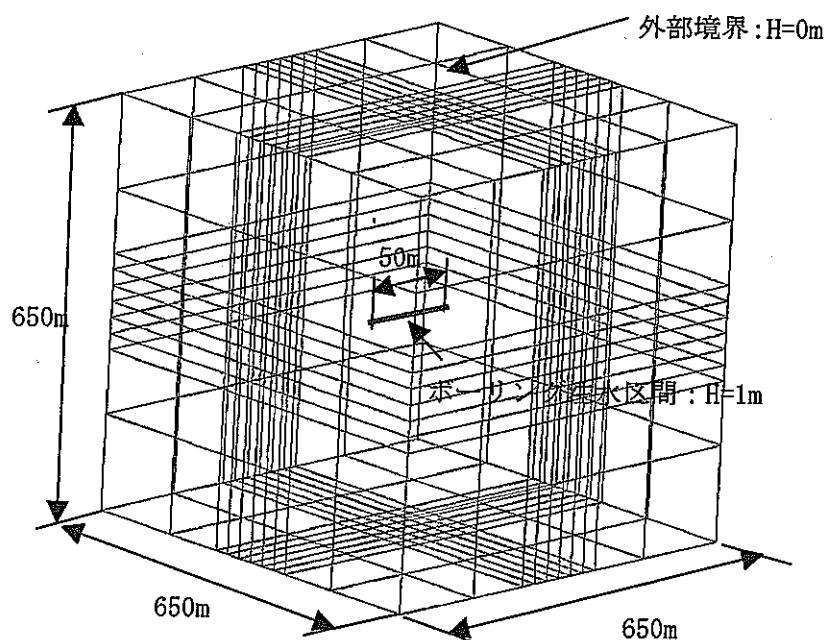


図 5.2-23 仮想透水試験の解析条件

### (3) 実測透水係数分布

仮想透水試験結果との比較には、MIU-1, MIU-2, MIU-3 号孔で行われた透水試験（スラグ試験及び揚水試験）の結果を用いた。花崗岩部は、3つの割れ目帯（上部割れ目帯、低密度割れ目帯、月吉断層に伴う割れ目帯）に区分されるが、MIU 孔以外の試験孔では、割れ目帯区分が明確でないため、今回の比較対象から除外した。透水試験の区間長は、最小 6m から最大 135m まで非常に広い範囲に渡っており、(2)で述べたように単一の区間長を設定して計算される「仮想透水試験」結果との比較が難しい。特に、区間長が数 m 程度の短区間試験は、原位置試験時の判断によって試験区間を選定しているため、サンプリングの偏りがあるものと考えられる。そこで、今回は、区間長 10m 以上の長区間試験のみを比較の対象とすることとした（平均区間長：64m、区間数：49 区間）。図 5.2-24 に、土岐花崗岩部の長区間透水試験で得られた透水係数分布を対数確率紙上にプロットした。同図には、割れ目帯ごとの分布を示してある。

対数正規確率紙上で直線性を示す事から、実測透水係数は、ほぼ対数正規分布に従って分布していることが伺える。また、透水係数の値は、2~3 オーダーにわたって分布しており、極めて高い不均質性を示している。また、低密度割れ目帯の透水係数は、上部割れ目帯や月吉断層に伴う割れ目帯と比較して 1 オーダー近く小さい事が分かる。これらの透水係数の実測値と仮想透水試験結果との比較により割れ目分布パラメータ（割れ目密度、半径、水理開口幅）の同定を行う。

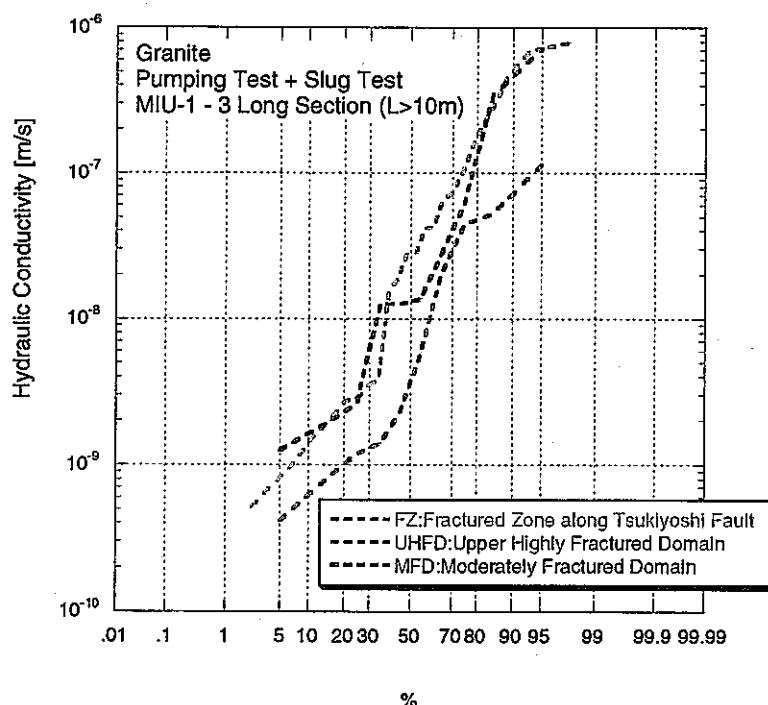


図 5.2-24 実測透水係数の分布

#### (4) 仮想透水試験結果

仮想透水試験によるパラメータ同定にあたっては、以下の仮定を設けた。

- ・ 開口幅分布は、負の指數分布に従う（分布パラメータは、割れ目セットによらず一定）。
- ・ 方向分布は、Bingham 分布に従う（分布パラメータは、割れ目セット毎に適用）。
- ・ 半径分布は、べき乗分布に従う（分布パラメータは、割れ目セットによらず一定）。
- ・ 幾何学開口幅  $t_g$  と水理的開口幅  $t_H$  は線形比例関係にある ( $t_H = 1/\alpha \times t_g$ )。

割れ目半径分布に関して、べき乗分布の確率密度関数は、次式で表される。

$$f(r) = \frac{b-1}{r_{\min}} \left( \frac{r_{\min}}{r} \right)^b, r \geq r_{\min} \quad (5.2.5)$$

ここに、 $r_{\min}$ ：最小半径、 $b$ ：定数（今回は  $b=4$  とする）である。

割れ目半径分布がべき乗分布に従う場合、半径の平均 $\langle r \rangle$ ならびに二乗平均 $\langle r^2 \rangle$ は次式で求められる。

$$\begin{aligned} \langle r \rangle &= \frac{1-b}{2-b} r_{\min} \\ \langle r^2 \rangle &= \frac{1-b}{3-b} r_{\min}^2 \end{aligned} \quad (5.2.6)$$

ただし、 $b \neq 3$

割れ目分布の統計量のうち、1次元割れ目密度と割れ目半径分布が与えられると、次式により割れ目の体積密度が求められる。

$$\rho_v = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{\rho_1}{\langle r^2 \rangle} \quad (5.2.7)$$

ここに、 $\rho_1$ ：1次元割れ目密度、 $\rho_v$ ：割れ目の体積密度（単位体積内に含まれる割れ目の平均個数）、 $\langle r^2 \rangle$ は、割れ目半径の二乗平均である。

上記の仮定と関係式から、仮想透水試験で決定すべきパラメータは、次の3つである。

- ① 幾何学的水理開口幅と水理的開口幅の比例定数 ( $\alpha$ )
- ② 最小半径 ( $r_{\min}$ )
- ③ 割れ目密度 (一次元割れ目密度  $\rho_1$ )

①の比例定数  $\alpha$  は、透水係数の平均値を支配するパラメータである。そこで、等価不均質連続体モデルと実測の透水係数の平均値が一致するように決定する。具体的には、次式により決定する。

$$\alpha = \sqrt[3]{\frac{\langle K_g \rangle}{\langle K_{obs} \rangle}} \quad (5.2.8)$$

ここで、 $\langle K_{obs} \rangle$ 、 $\langle K_g \rangle$ は、実測ならびに仮想透水試験により求められた透水係数の平均値（または中央値）である。

②最小半径  $r_{min}$  と③一次元割れ目密度  $\rho_1$  は、透水係数分布のばらつき（対数正規確率紙上のグラフの傾き）を支配するパラメータである。両者は(5.2.6)式と(5.2.7)式で結びついており、割れ目の体積密度は、1次元割れ目密度が大きい程、あるいは、割れ目半径の二乗平均が小さいほど大きくなることが分かる。割れ目の体積密度が減少することにより、割れ目の連続性が低くなり、透水係数の不均一性が高まる。本モデル化では、実測の透水係数のばらつきを表現しうるよう、最小半径と一次元割れ目密度を決定する。

最小半径に関し、自然界における最小の割れ目半径は、鉱物粒径レベルの割れ目まで考えると極めて小さい。べき乗分布を採用した場合、(5.2.6)式と(5.2.7)式から明らかのように、割れ目密度は、最小半径を小さくするに従って、その二乗に反比例して増加する。よって、計算機容量の制約から全ての割れ目を考慮することは困難であるため、ある下限値を設ける必要がある。(5.2.6)式を見ると、 $b$  値が一定であれば、平均的な割れ目半径は最小半径により規定される（既往の割れ目トレース長分布の測定結果から計算すると、 $b$  値は通常 3~4 の範囲にあり、大きくは変化しない）。従って、今回のモデル化では、代表的な割れ目サイズは、最小割れ目半径により規定される。

まず、割れ目の一次元密度  $\rho_1$  を開口割れ目の実測値に固定し、 $r_{min}$  を 50 から 1000 まで変化させたときの仮想透水試験結果を、図 5.2-25 に示す。同図より、 $r_{min}$  が大きくなるにつれて、透水係数の分布幅が大きくなる、すなわち、不均質性の程度が増大することが分かる。(5.2.6-1)式より、 $\rho_1$  一定の場合、 $r_{min}$  が（すなわち  $\langle r^2 \rangle$  が）大きくなるにつれて、割れ目の体積密度は小さくなる。すなわち、図 5.2-25 の結果は、 $\rho_1$ （ボーリング孔に交差する割れ目の平均的な密度）が等しくても、小さな割れ目が数多く存在する場合と、大きな割れ目が少ない場合とでは、後者の岩盤の方が、透水性の不均質性が大きい事を示している。

図 5.2-25 から、透水係数分布の対数正規確率紙上の直線性は、 $r_{min}$  の増大と共に崩れ、特に透水性の低い領域の出現確率が増える傾向にある事がわかる。この理由は、 $r_{min}$  が非常に大きくなると、3次元割れ目密度( $\rho_3$ )が減少し、長い割れ目に囲まれた不透水性を示す区間の割合が増大することによると考えられる。 $r_{min}$  を大きくすると、透水係数の最大値と最小値の間には、実際の透水試験で得られたような大きなオーダーの差異が生じるが、分布形状は実測値と異なる（直線性が見られなくなる）。

以上から、透水性割れ目の密度として、開口割れ目の一次元密度  $\rho_1$ （全割れ目の一次元

密度の 3.3%）を採用した場合、透水係数の分布が均一化し、最小半径  $r_{min}$  を 500 [m]以上と非常に大きく設定しなければ、実測の透水係数の再現が困難であることが分かった。また、 $r_{min}$  が 200 [m]以下では、透水係数の分布形はほとんど変わらない。

別途実施した本年度の新用地解析では、透水性割れ目の存在確率を 0.2%程度に設定することで、実測の広いレンジの透水係数分布を再現できることを示した。しかしながら、本年度の解析は、次節にて述べるように、モデルキャリブレーションによる透水係数などの同定を行うことになっており、その場合、透水係数分布の幅が実測のように数オーダーにまたがると、確率的なアライゼーションによる透水係数の分布の変化が大きくなり、キャリブレーションが困難となると考えられる。そこで今回は、透水係数分布が比較的均一な条件として、 $r_{min} = 100$  [m]、 $\rho_1 =$ 全割れ目の一次元密度の 3.3%（開口割れ目の一次元密度）に設定したモデルを採用することとした（図 5.2-26）。本年度解析で用いる割れ目分布パラメータを表 5.2-5に示す。

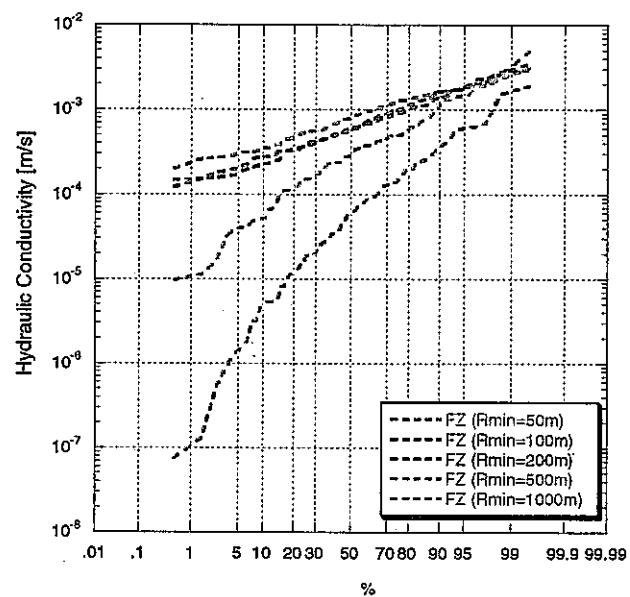


図 5.2-25 最小半径値による透水係数分布の変化

(割れ目密度を開口割れ目密度に設定した場合、月吉断層に伴う割れ目帯の例)

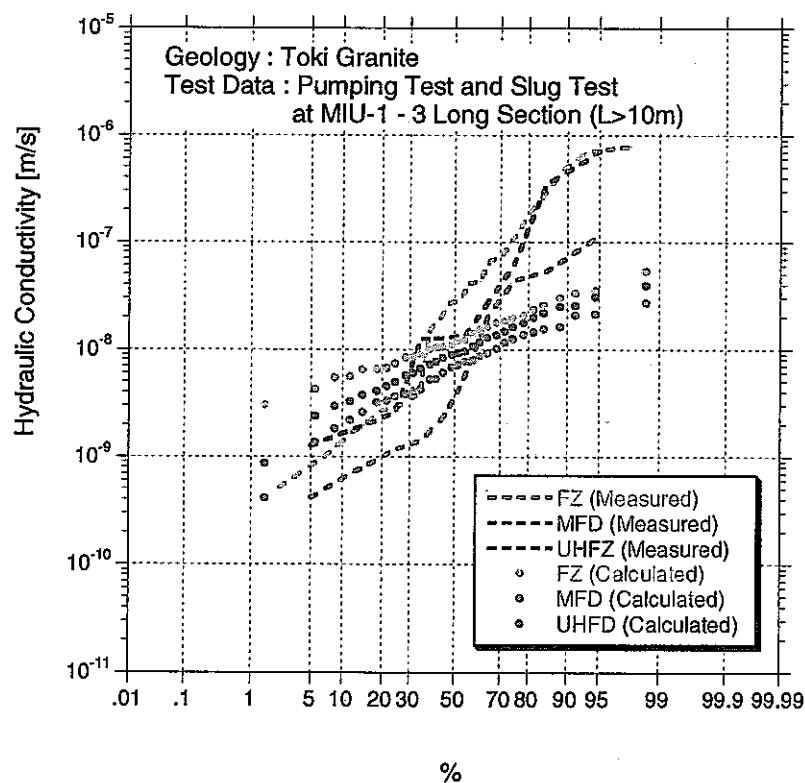


図 5.2-26 仮想透水試験結果と実測との比較

表 5.2-5 割れ目分布パラメータ

要因	パラメータ		設定値／分布形
密度	透水確率 (透水亀裂数／全亀裂数)		3.3%
	一次元 割れ目密度 [1/m]	UHFD	0.259
		MFD	0.188
		FZ	0.351
		Average	0.266
	割れ目の 体積密度 [1/m <sup>3</sup> ]	UHFD	2.74E-06
		MFD	1.99E-06
		FZ	3.73E-06
		Average	2.82E-06
直径	分布関数		べき乗分布
	最小半径[m]	r <sub>min</sub>	100
	平均[m]	<r>	150
	二乗平均 [m <sup>2</sup> ]	<r <sup>2</sup> >	3.00E+04
開口幅	分布関数		負の指數分布
	平均幾何開口幅	<t <sub>g</sub> > [m]	1.60E-03
	平均水理開口幅	<t <sub>H</sub> > [m]	2.71E-05
	t <sub>H</sub> /t <sub>g</sub> 比	α	58.9
方向	分布関数		ビンガム分布
	セット数		4

### 5.2.8 物質移行開口幅及び有効間隙率の設定

#### (1) 花崗岩部

滞留時間の算定に必要な物質移行開口幅は、釜石鉱山のトレーサー試験結果 (Shimo et al., 1999b) を参考に、次式で求めた。

$$e_T = 2 \times T^{1/2}$$

ここに、 $e_T$ ：物質移行開口幅(m),  $T$ ：透水量係数( $m^2/s$ )である。なお、岩盤基質部の有効間隙率は、今回考慮していない。

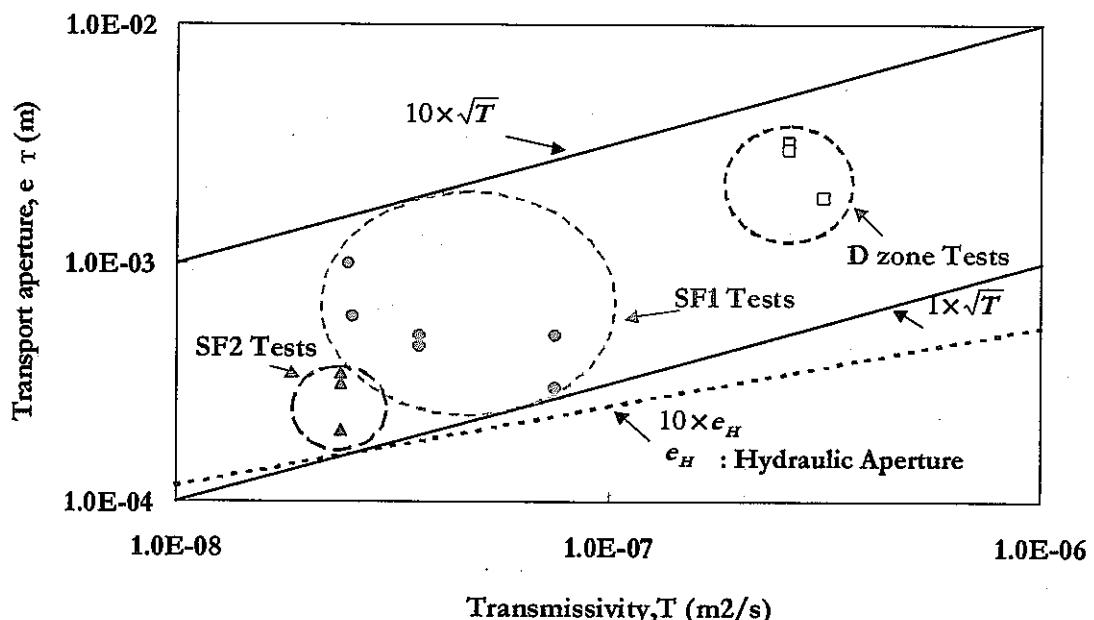


図 5.2-27 透水量係数と物質移行開口幅の関係 (Shimo et al., 1999a)

#### (2) 堆積岩部

過去の調査結果から得られている代表的な有効間隙率（表 5.2-6）を参考に、堆積岩部の有効間隙率を 30%に設定した。

表 5.2-6 堆積岩部の代表的な有効間隙率 (三枝他, 2001)

地質種別	有効間隙率 [%]
瑞浪層群	20
瀬戸層群	30

### 5.3 モデルキャリブレーション

#### 5.3.1 キャリブレーションに用いたデータ

MIU-2号孔からの長期揚水試験時には、揚水孔に隣接した MIU-1号孔と MIU-3号孔以外、明瞭な水圧応答は観測されなかった。一方、試験に伴って実施した MIU-2号孔内の月吉断層部のパッカー閉鎖・開放によるインパクトは、後述するように、より広い領域の水圧変化を引き起こしており、約 300m 離れた AN-1/3号孔においても明瞭な水圧応答が認められる。そこで、モデルキャリブレーションには、MIU-2号孔の月吉断層部のパッカー開閉に伴って生じた水圧変化のデータを用いた。

パッカー開閉に伴う水圧変化グラフを図 5.3-1 及び図 5.3-2 に示す。図中には、各観測区間の水圧変動とともに、MIU-2号孔のパッカー閉鎖 (INF) と開放 (DEF) の実施時期を破線に示した。まず、断層部のパッカーを開放すると、月吉断層の上下盤で生じている約 30m の自然水頭差を解消するように、上下盤の水圧は平衡に向かう。続いて、パッカーを閉鎖すると、上下盤の水圧は自然水圧に戻ろうとする。MIU-2号孔近傍に位置する MIU-1号孔と MIU-3号孔の水圧応答をみると、パッカー開放に伴い、月吉断層の上盤側では約 10m の水圧上昇、下盤側では約 20m の水圧低下が生じている。

図 5.3-1 及び図 5.3-2 の水圧変化グラフ中のプロット色は、花崗岩内の割れ目帯区分により変わっている。これらの図から、次のようなことが注目される。

- 水圧変化は、幾つかの同様な傾向を示すグループに分けられ、それらは、当区域の割れ目帯（低密度割れ目帯 (MFD)、月吉断層に伴う割れ目帯 (FZ)）の区分にほぼ一致する。
- MIU-1/3号孔における上盤側の各観測区間の水圧上昇量を見ると、上部割れ目帯 (UHFD) の水圧上昇量が最も大きく、低密度割れ目帯 (MFD)、月吉断層に伴う割れ目帯の上盤 (FZ(HW)) の順に小さくなっている。この順序は、MIU-2号孔の月吉断層部に設置したパッカーからの距離と反対であることから、不均一な水みち（特に上部割れ目帯内）の存在が示唆される。
- 上部割れ目帯と月吉断層に伴う割れ目帯下盤における水圧変化が非常に大きい。MIU-2号孔内の水圧がパッカー開放により、MIU-2号孔から約 100m 離れた MIU-3号孔内の水圧を見ると、上下盤の水頭差が約 5m 程度まで漸近しており、全体から見ると局所的な MIU-2号孔内のパッカー開放による上下盤水圧の連結が効率良く伝達している。
- MIU-4号孔のうち、比較的浅部にある PRB1～7 の観測区間では、パッカー開閉に伴う上下変動の傾向や全水頭値において、上盤側の性質を有している。一方、最も深部にある PRB10 では、下盤側の性質を有していると考えられる。その中間にある PRB8, 9 の観測区間では、下盤から上盤への遷移する途中の傾向が見られるが、これは、同観測区間が月吉断層のコア部に存在するためと考えられる。

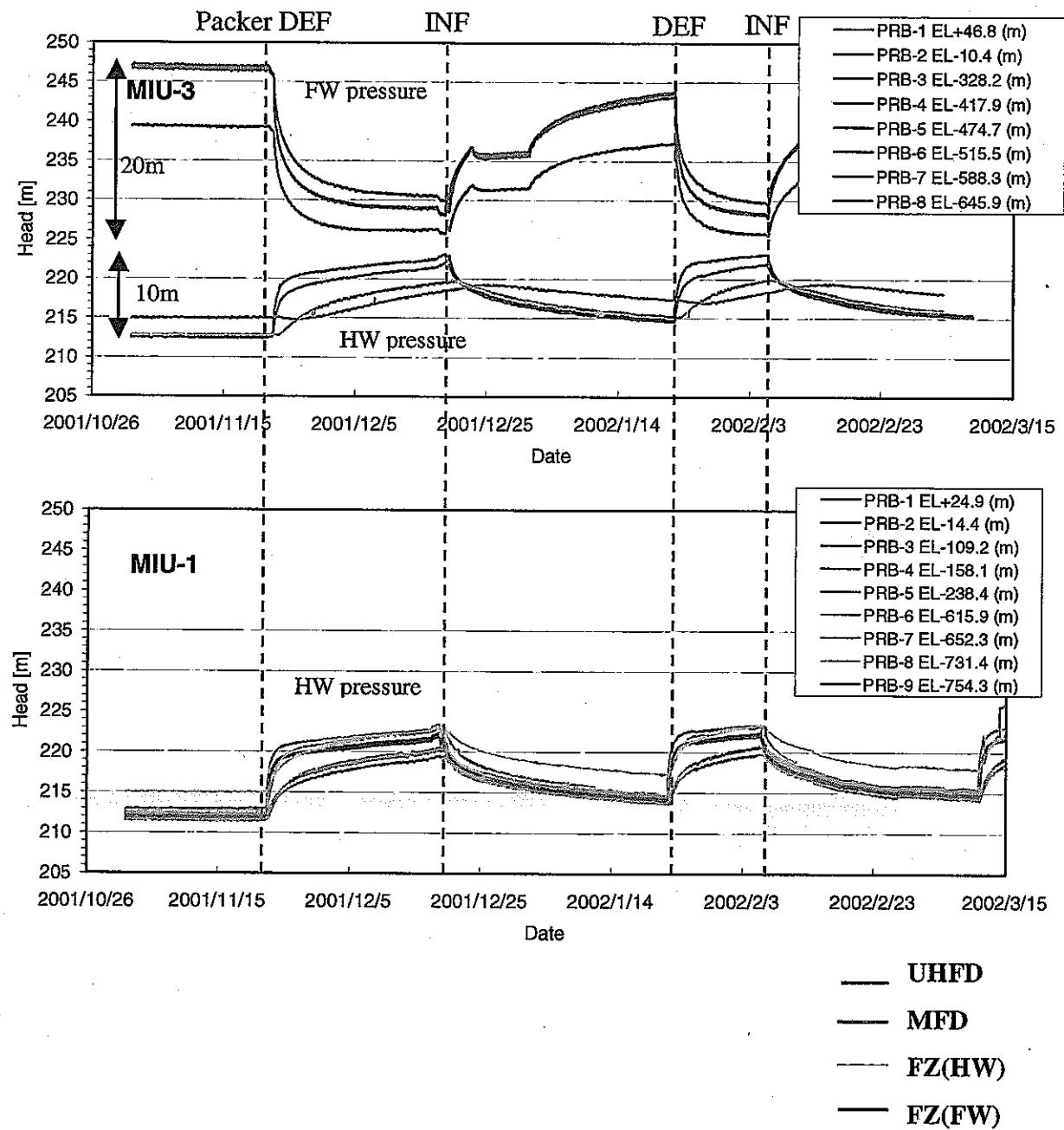


図 5.3-1 MIU-2 号孔内パッカー開閉に伴う周辺水圧変動 (MIU-1/3 号孔)

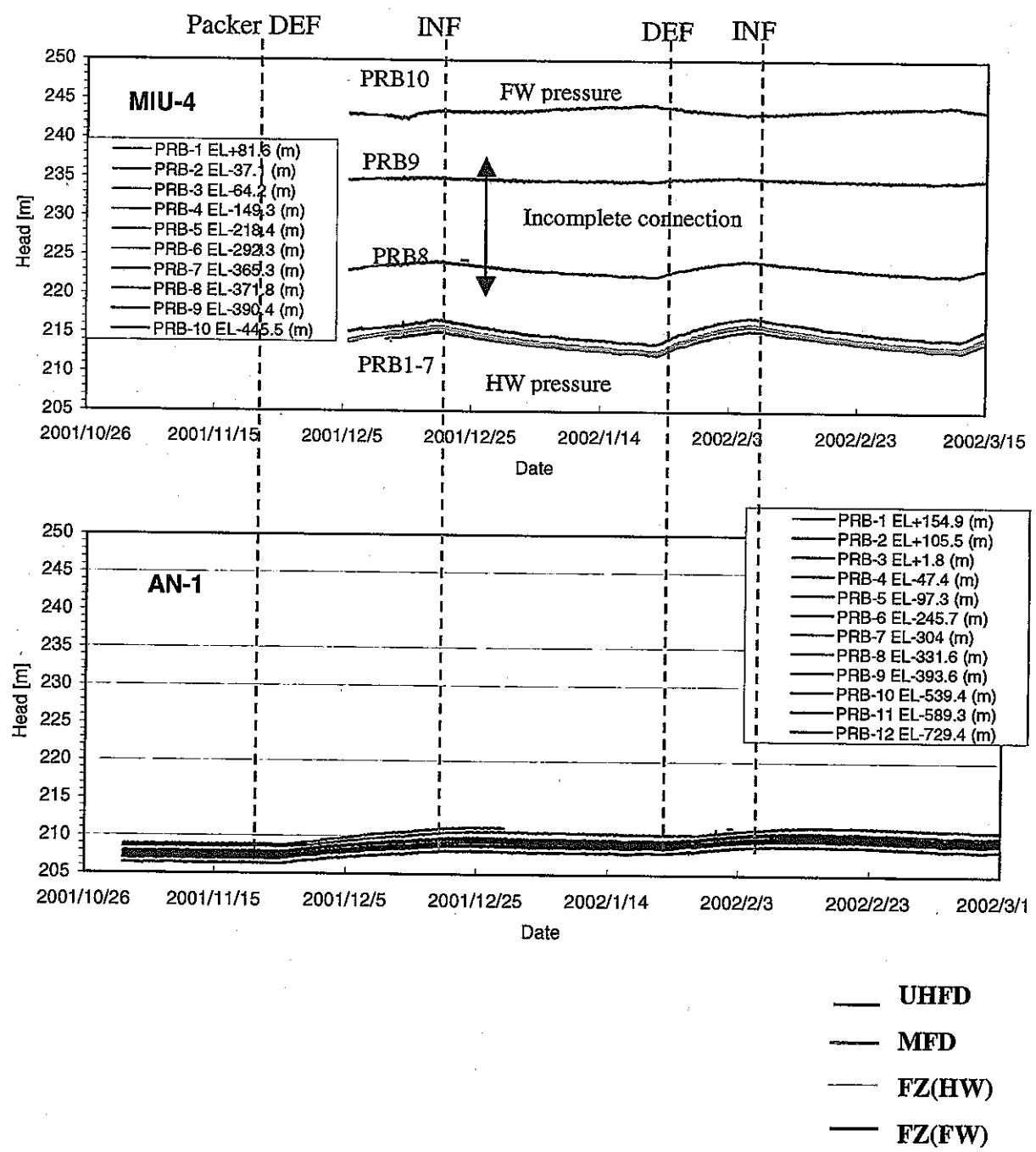


図 5.3-2 MIU-2 号孔内パッカ一開閉に伴う周辺水圧変動 (MIU-4 号孔, AN-1 号孔)

### 5.3.2 キャリブレーションの方法

キャリブレーションの手順を図 5.3-3に示す。キャリブレーションでは、各割れ目帯の透水係数ならびに比貯留係数の平均値を、キャリブレーションにより決定すべき未知パラメータとした。ただし、今回のキャリブレーションデータでは、流量条件が未知であることから、水圧拡散率と割れ目帯区分の透水係数比は分かるが、全ての透水係数を決定することはできない。そこで、月吉断層に伴う割れ目帯の上盤側の透水係数値を長期揚水試験結果 ( $2 \times 10^{-7}$  m/s) に固定することとした。

まず、初期値として、各割れ目帯の透水係数ならびに比貯留係数の平均値を、既往の透水試験ならびに長期揚水試験の結果を参考に設定した。次に、順解析として、MIU-2号孔のパッカ一開閉を模擬した非定常浸透流解析を行い、MIU-1/3/4号孔及びAN-1/3号孔における水圧の経時変化の計算結果を観測結果と比較した。解析は、計算結果が観測結果と十分適合するまで、各割れ目帯の透水係数ならびに比貯留係数の平均値を修正しながら、繰り返しを行い、最適な水理物性値を求めた。

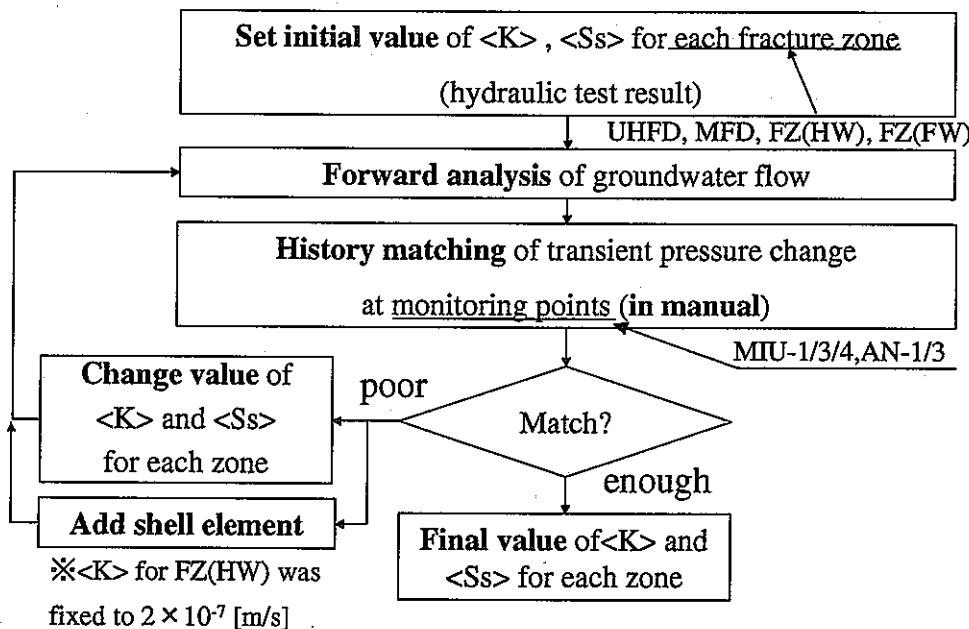


図 5.3-3 キャリブレーションの手順

水圧応答の速度は、理論的に透水係数と比貯留係数の比により支配される。従って、浸透問題の非定常解析では、貯留係数の評価が非常に重要である。

今回の解析では、単一亀裂の透水量係数と貯留係数の間に次の関係を仮定した。5.2節と同じ標記を用いると、

$$S_k^c = \beta T_k^{c^{1/3}} \quad (5.5.1)$$

ここに、 $T_k^c$  :  $k$  番目の亀裂の透水量係数 ( $\text{m}^2/\text{s}$ )、 $S_k^c$  :  $k$  番目の亀裂の貯留係数 (-)、

$\alpha$  : 定数、である。

この式は、単一亀裂の透水量係数の理論式である三乗則と、単一亀裂の貯留係数の定義、から導かれる。

$$\text{亀裂の透水量係数 (三乗則)} : T_k^c = \frac{\rho g}{12\mu} t_k^3 \propto t_k^3 \quad (5.5.2)$$

$$\text{亀裂の貯留係数} : S_k^c = \rho g \left[ \frac{1}{k_n} + t_k C_f \right] \propto t_k \quad (5.5.3)$$

ここに、 $\rho$  : 水の単位体積重量( $\text{kg}/\text{m}^3$ )、 $g$  : 重力加速度 ( $\text{m}/\text{s}^2$ )、 $\mu$  : 水の粘性係数 ( $\text{Pa s}$ )、 $C_f$  : 水の圧縮率( $\text{m}^2/\text{N}$ )、 $k_n$  : 亀裂の垂直剛性、 $t_k$  :  $k$  番目の亀裂の亀裂開口幅 (m) である。ここで、 $\rho, g, \mu, C_f, k_n$  が一定と仮定すると、(5.5.2)式と(5.5.3)式から、(5.5.1)式の関係が導かれる。さらに、(5.5.1)式を(5.2.4)式に代入すると、ある要素の比貯留係数は次式で与えられる。

$$S = S^m + \beta \frac{\sum_k \Delta A_k^c T_k^{1/3}}{\Delta V} \quad (5.5.4)$$

ここで、 $S^m$  はマトリックス部の比貯留係数である。

通常、 $S^m$  を現位置試験から求めることは困難であり、実際の水理試験で求められる比貯留係数はマトリックス部と亀裂部を合わせた全体の貯留性として捉えられる。

今回の解析では、 $S^m=0$  とおいた上で、 $\beta$  をフィッティングパラメータとして、キャリブレーションした。このとき、 $S^m$  の寄与分は定数  $\beta$  に包含されると考えられる。

### 5.3.3 解析条件

解析は、3次元非定常飽和浸透流解析によって行った。飽和解析とすることにより、不飽和解析で必要となる繰り返し計算がなくなり、非定常解析に要する時間を短縮できる。

境界条件は、5.4節で示す本解析と同じ条件とした。すなわち、側面及び底面は不透水境界とし、地表面は水頭固定 (GL+0m) とした。

MIU-2号孔は、MIU-2号孔をボーリングに沿ったビーム要素でモデル化し、通常は、高い透水係数 ( $1 \times 10^5$  m/s) を与えた。パッカー開放及び閉鎖は、月吉断層部のボーリング要素の透水係数を変化させることにより表現した (パッカー開放時 :  $K=1 \times 10^5$  m/s, パッカー閉鎖時 :  $K=1 \times 10^{-16}$  m/s)。

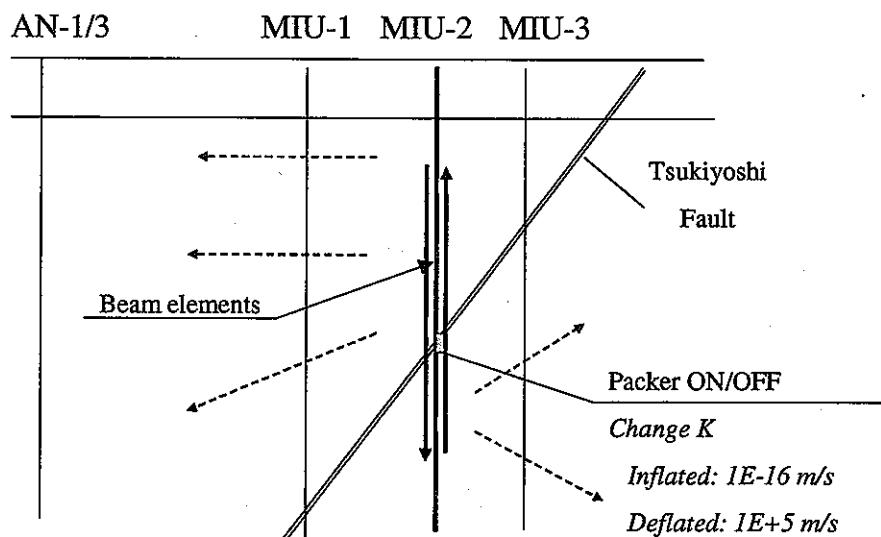


図 5.3-4 ボーリング孔のモデル化とパッカー開閉の表現

### 5.3.4 キャリブレーション結果

5.3.1で示したキャリブレーションデータにおいて、注目される大きな点は、特に MIU-2 と MIU-1/3 号孔間において、上部割れ目帯と月吉断層に伴う割れ目帯下盤での水圧の伝達が非常に良いことである。

図 5.3-1を見ると、MIU-2 号孔から約 100m 離れた MIU-3 号孔内においても、パッカーを開放すると、上下盤の水頭差は、約 5m 程度まで小さくなっている。このことは、MIU-2 号孔においてパッカー開放により発生した水頭差がほとんど損失せずに、MIU-3 号孔まで伝達していることを示している。

一般に、ある井戸において水圧を所定の量だけ変化させたとき、その変化量は、距離とともに減衰する。この減衰は透水係数が高いほど小さくなるので、観測された小さな水圧減衰を表すために、透水係数を高くすれば良い。しかし、あまり透水係数を高く設定すると、断層の上下盤の自然水圧差が大きくなり、定常水圧値が合わなくなる。すなわち、単に透水係数と比貯留係数の設定を変えるだけでは、観測水圧変化の再現は困難であった。

その理由として、流れの場が、局所的な場（例えば、平面的、パイプ的な場）に限られ、水圧が 3 次元的に拡散しない可能性が考えられる。図 5.3-5 に、定圧透水試験時の水圧変化のタイプカーブを示す (Doe, 1991)。この図において、縦軸は、注水孔と観測孔の水圧比 (dimensionless head)， $n$  は流れの次元であり、 $n=3$  は球状の流れ、 $n=2$  は平面流れ、 $n=1$  はパイプ状の流れの場合を示している。このタイプカーブによれば、 $n=2$  を境として、 $n>2$  であれば、水圧は距離に応じて減衰するが、 $n<2$  であれば、時間経過とともに、注水孔と同じ水圧（水圧比 = 1）に向かうことが分かる。

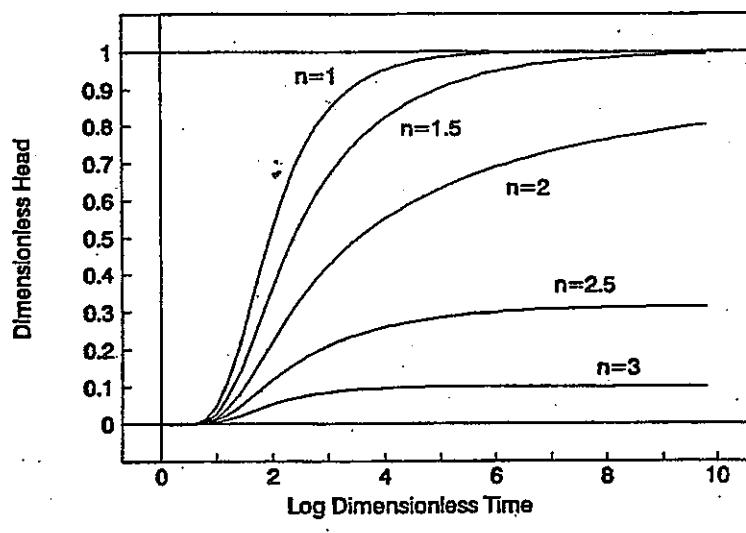


図 5.3-5 流れの次元に伴う定圧透水試験のタイプカーブの変化 (Doe, 1991)

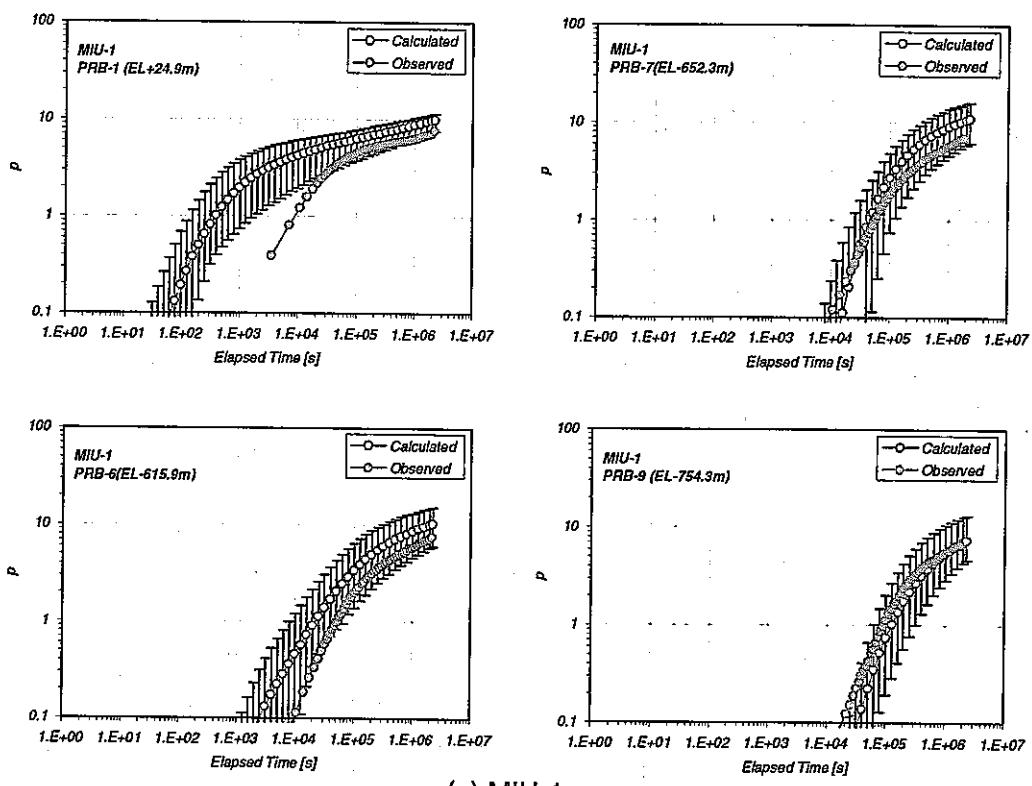
今回、実測を良く再現できるような計算結果を得るために、上部割れ目帯内に平面的な高透水性部をシェル要素により設定する必要があった。この高透水性部の存在は、水理試験時の逸水部あるいは地質観察結果と調和的であり、上部割れ目帯を構成するシーティングジョイントの一部と考えられるものである。一方、下盤についても、同様の高透水性のシェル要素を加えることで、下盤水圧の観測値に見られる大きな水圧低下を再現できるものと考えられる。しかし、下盤の高透水性部の地質観察等による根拠が乏しいため、今回あえてシェル要素を加えることはしていない。

キャリブレーション前後の水理パラメータ値を表 5.3-1に示す。観測された水圧変化を再現するためには、上部割れ目帯および断層に伴う割れ目帯の透水係数を 5 倍～100 倍する必要があった。まず、第1回目のパッカー開放後の挙動について、キャリブレーション後モデルを用いた10回のライゼーションの結果を図 5.3-6に示す。同図では、平均値と最大・最小値を観測値と比較した。この図から、MIU-3号孔の下盤区間を除き、観測値が、最大・最小の範囲にあることが分かる。ある1つのライゼーションについて、3回のパッカーオープンによる水圧変化全体を計算した結果を図 5.3-7～図 5.3-10に示す。

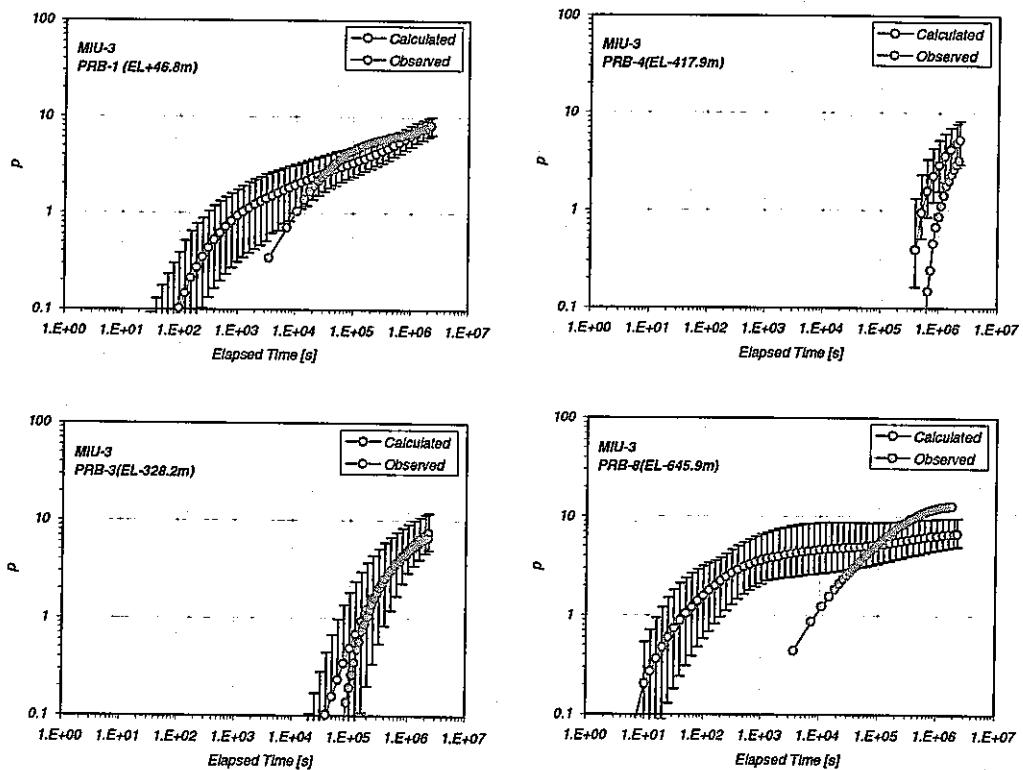
キャリブレーション前後の水理パラメータ値を表 5.3-1に示す。キャリブレーション前後の平均透水係数分布の変化を図 5.3-11に示す。この図から、キャリブレーションの結果、月吉断層に伴う割れ目帯と上部割れ目帯の高い透水性が強調されたことが分かる。

表 5.3-1 キャリブレーション前後の水理パラメータ値

Zone	Element Shape	<K [m/s]>		<Ss [1/m]>	
		Not Calibrated (H13 model)	Calibrated	Not Calibrated (H13 model)	Calibrated
UHFD	Solid	$4 \times 10^{-8}$	$4 \times 10^{-8}$	—	$3 \times 10^{-10}$
	Shell	—	$T=1 \times 10^{-4} [\text{m}^2/\text{s}]$	—	$S=1 \times 10^{-6} [1/\text{m}]$
MFD	Solid	$2 \times 10^{-9}$	$9 \times 10^{-9}$	—	$5 \times 10^{-9}$
FZ (HW)	Solid	$4 \times 10^{-8}$	$2 \times 10^{-7}$	—	$5 \times 10^{-6}$
FZ (FW)	Solid	$4 \times 10^{-8}$	$5 \times 10^{-6}$	—	$2 \times 10^{-8}$



(a) MIU-1



(b) MIU-3

図 5.3-6 水圧変化量の観測値と計算値の比較 (10 リアライゼーション)

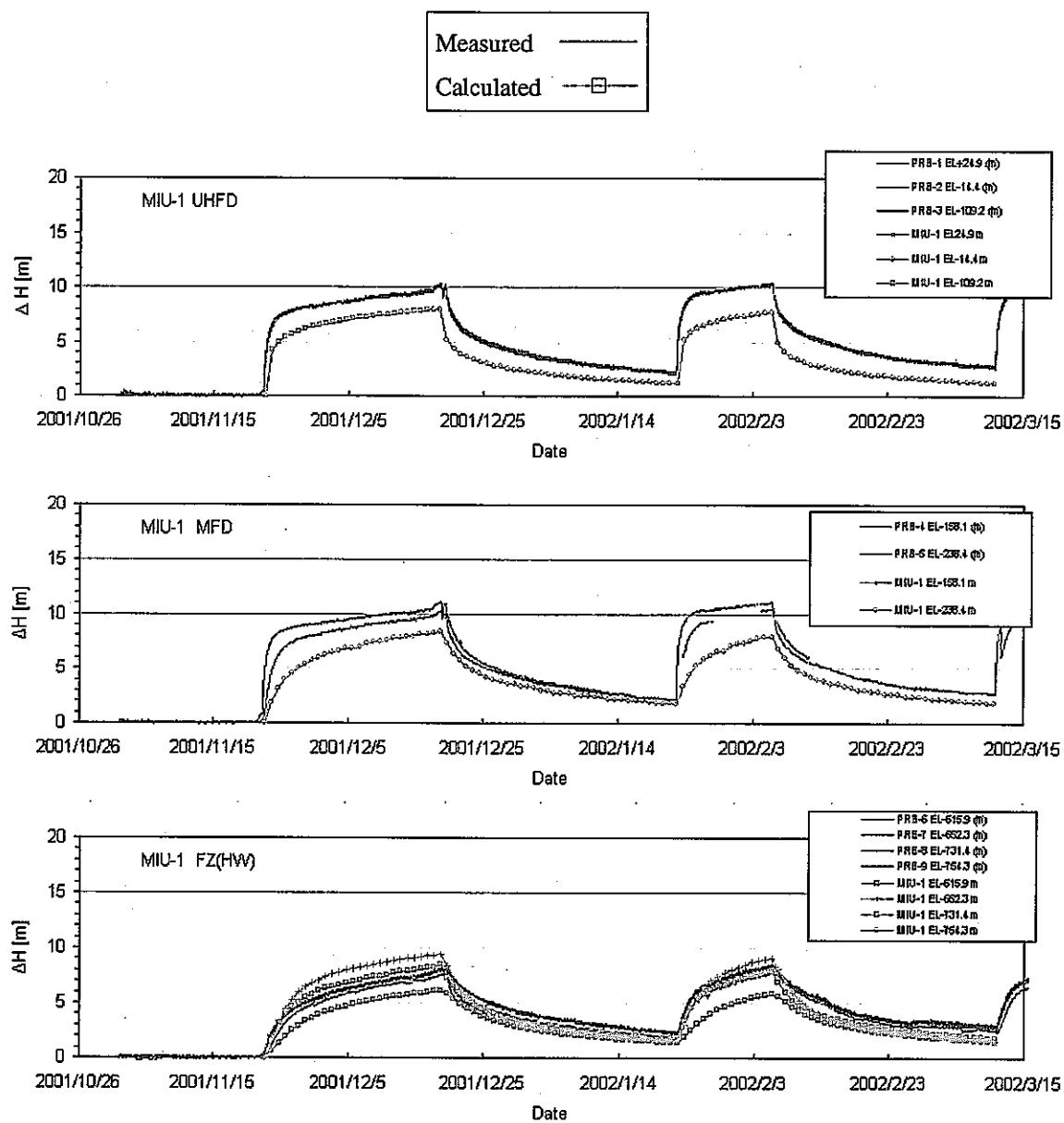


図 5.3-7 キャリブレーション結果 (MIU-1 号孔の水圧変化)

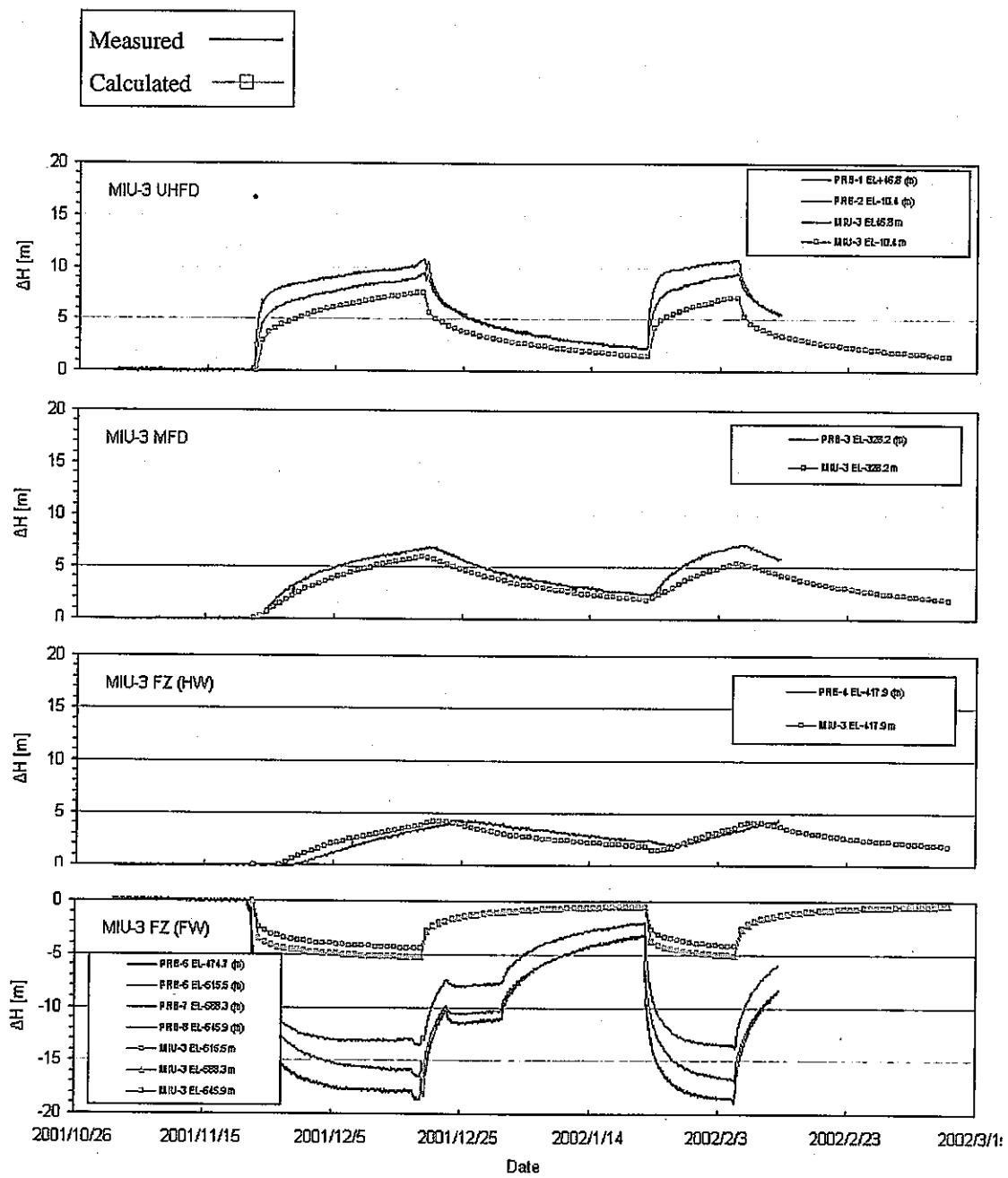


図 5.3-8 キャリブレーション結果 (MIU-3 号孔の水圧変化)

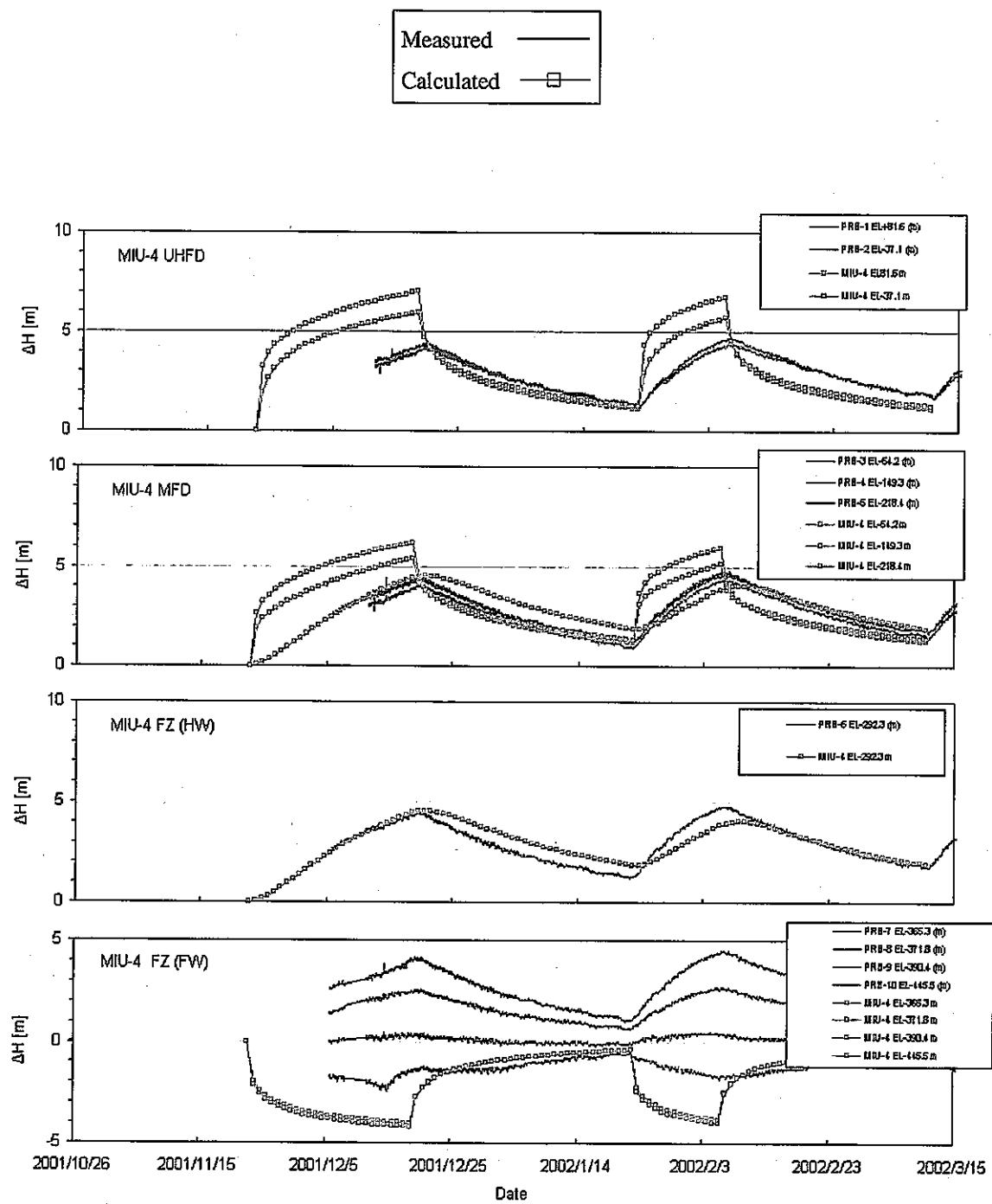


図 5.3-9 キャリブレーション結果 (MIU-4 号孔の水圧変化)

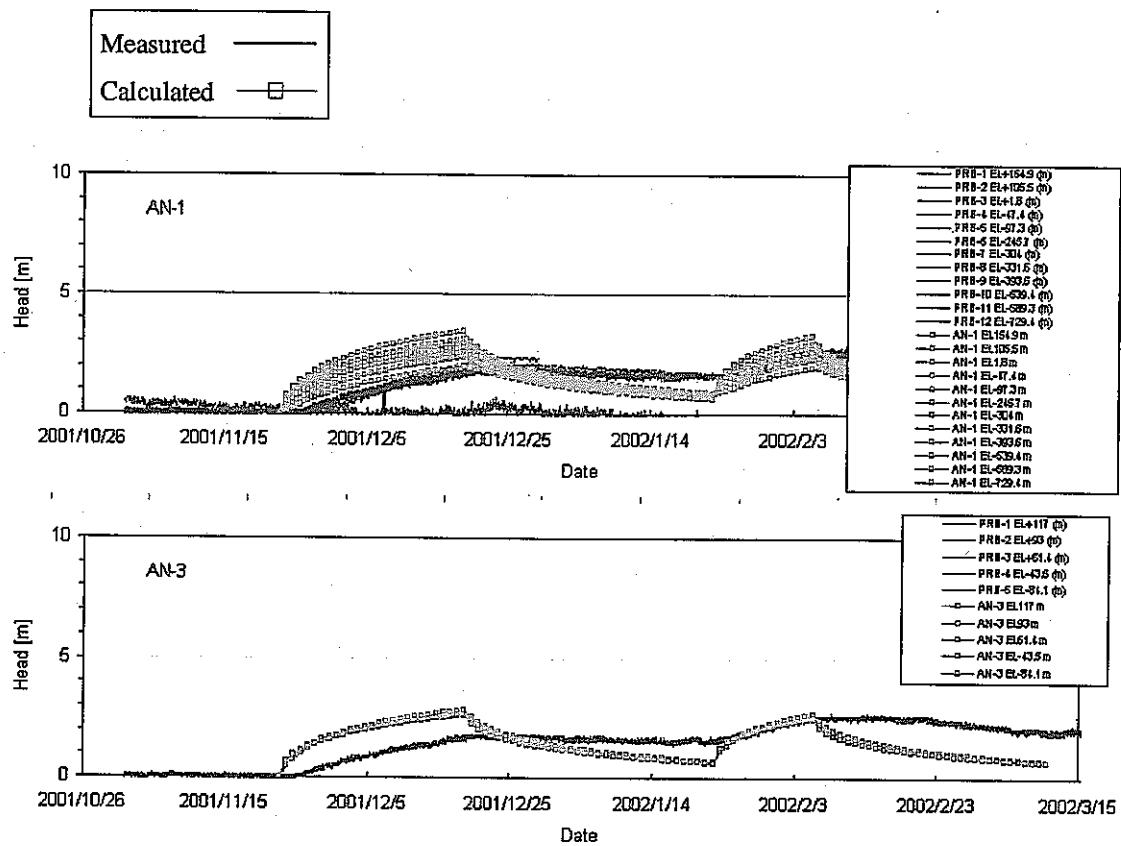
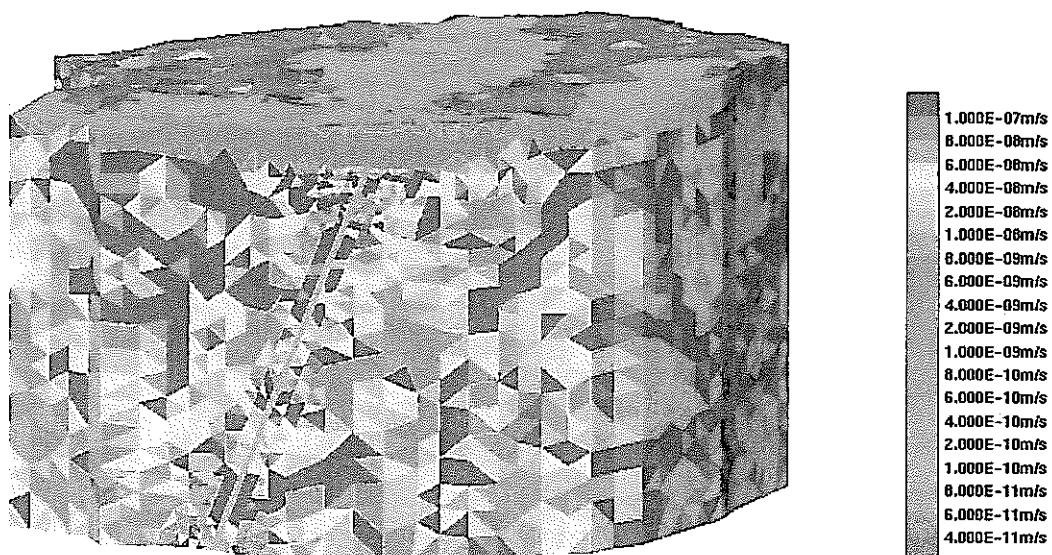
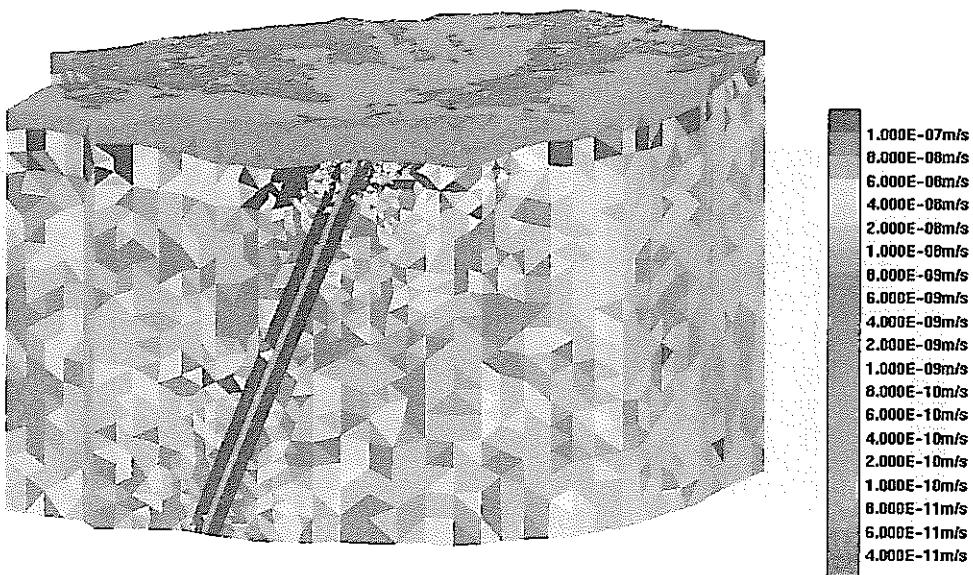


図 5.3-10 キャリブレーション結果 (AN-1/3 号孔の水圧変化)



(a) H13 モデル



(b) H14 モデル

図 5.3-11 キャリブレーション前後の平均透水係数の分布

## 5.4 解析結果

### 5.4.1 解析条件

5.3でキャリブレートした水理パラメータを用い、割れ目の発生（リアライゼーション）を変えた10種類のモデルに対し、地下水流动解析および24箇所の指定点を通過する地下水流動経路の計算を実施した。また、キャリブレーション前後の解析結果の比較にあたっては、前年度の解析結果をキャリブレーション前のモデルとした。

境界条件は、以下のとおりに設定した（図5.4-1）。

#### ①上部境界条件（地表面境界条件）

上部境界条件としては、一定の静水圧（全水頭＝地表面標高）を与えた。

#### ②下部境界条件

解析領域底面の境界は、水の流入出がない不透水境界とした。

#### ③側方境界条件

解析対象領域の側方境界は、基本的に不透水境界として取り扱った。ただし、土岐川に沿った地表面設定については、大気圧境界とした。

#### ④東濃鉱山

東濃鉱山については、大気圧固定境界とした。

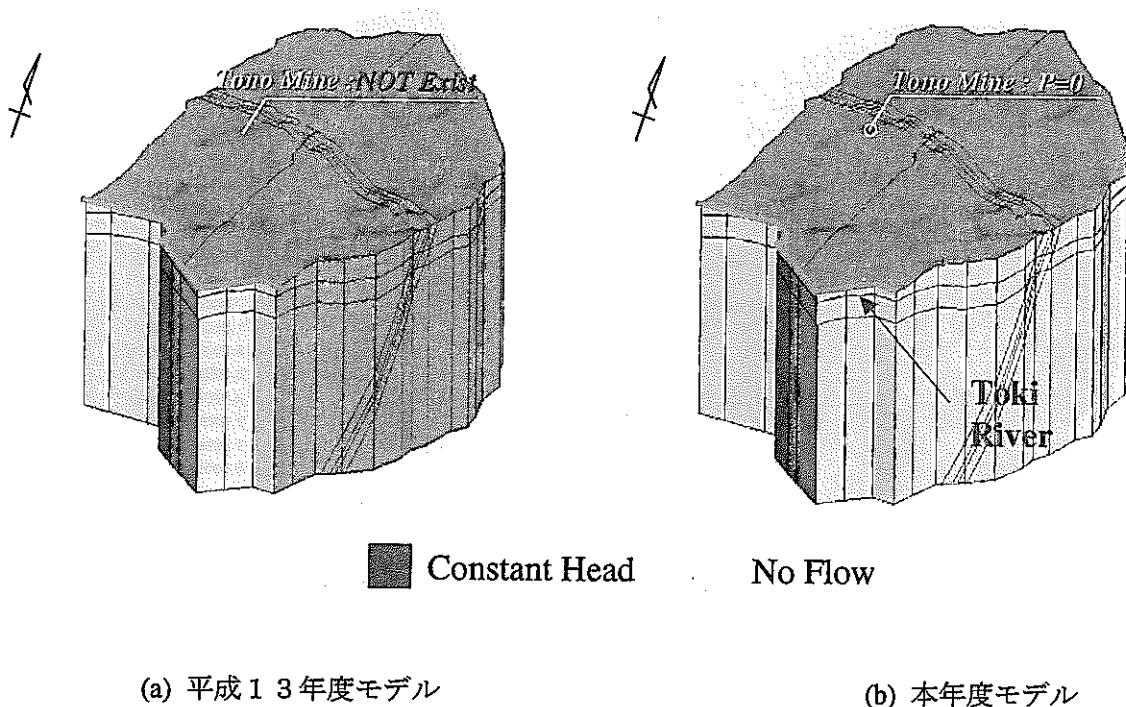


図 5.4-1 境界条件

### 5.4.2 地下水流量の分布

#### (1) 地下水流量及びダルシ一流速

ここでいう地下水流量は、「1辺が 100m の正方形を通過する X,Y,Z 方向の地下水流量」であり、解析領域内の 100m 間隔の格子点上で求めた。

地下水流量の計算方法は以下のとおりである。まず、各格子点から半径 100m 以内に要素重心がある要素を抽出する。次に、抽出された要素の流速ベクトルを要素体積で重み付けした平均流速ベクトルを求める。このようにして求めた平均流速ベクトルを求める X,Y,Z 各方向成分に、100m×100m の面積を乗じる。

要素体積で重み付けした、格子点の流速ベクトルは、次式で求めた。

$$V_i = \frac{\sum_l^N v_i^l \times volume^l}{\sum_l^N volume^l} \quad (5.4.1)$$

ここに、 $i=x,y,z$ ,  $V_i$ : 平均流速ベクトル,  $v_i$ : 要素  $l$  の流速ベクトル,  $N$ : 格子点から半径 100m 以内に重心がある要素の総数,  $volume^l$ : 要素  $l$  の体積, である。

また、流量ベクトルは、

$$\begin{aligned} Q_x &= V_x \times \Delta y \times \Delta z \\ Q_y &= V_y \times \Delta z \times \Delta x \\ Q_z &= V_z \times \Delta x \times \Delta y \end{aligned} \quad (5.4.2)$$

で求めた。ここに、 $Q_x, Q_y, Q_z$ : 各方向の流量ベクトル,  $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 100m$ , である。

表 5.4-1に、リアライゼーション # 1について得られた地下水流量ならびにダルシ一流速の最大値、最小値、対数平均値をしめす。図 5.4-2と図 5.4-3に、流量ならびにダルシ一流速のヒストグラムを示す。このヒストグラムを見ると、本年度モデルは、H13 モデルと比べて、平均流速が 1/3 程度になっており、ピーク流速も遅くなっていることが分かる。

表 5.4-1 100m 格子点における流量・ダルシーフローの分布

(リアライゼーション#1)

(a) 100m 格子点における流量

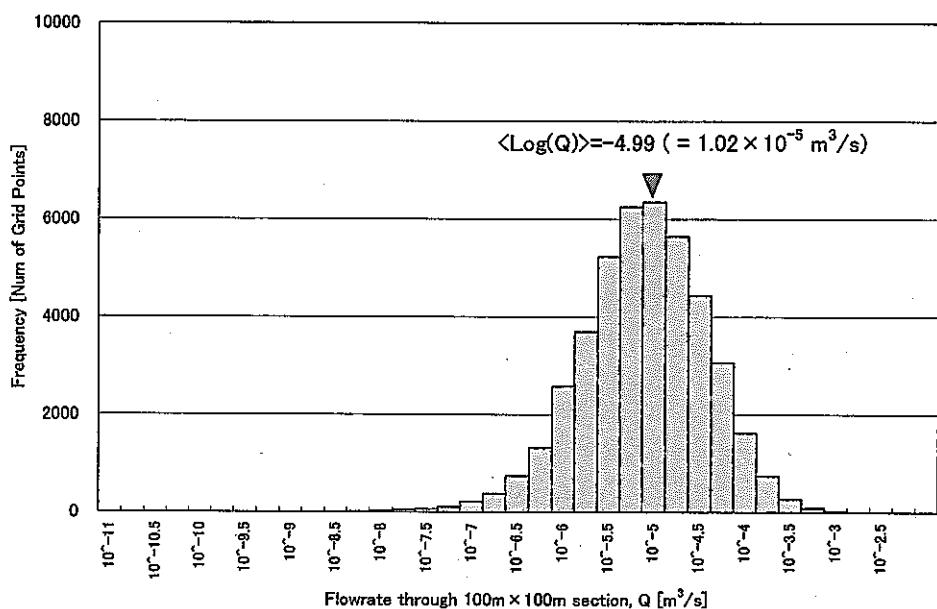
	Qmin	Qmax	<Log Q>
H13	$3.22 \times 10^{-14}$	$3.88 \times 10^{-3}$	$1.02 \times 10^{-5}$
H14	$1.79 \times 10^{-8}$	$1.60 \times 10^{-3}$	$3.28 \times 10^{-6}$

単位 :  $m^3/s$

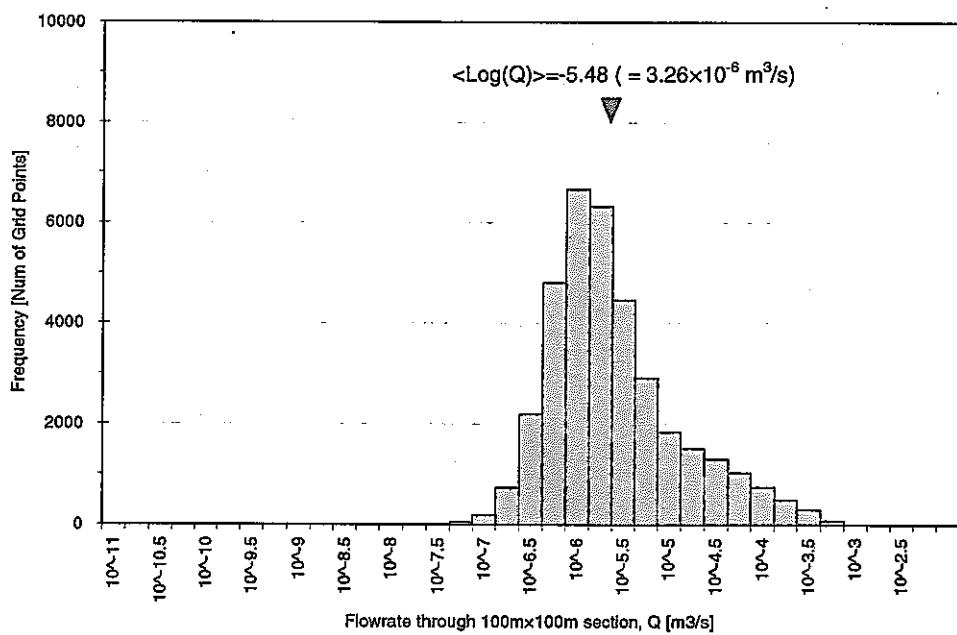
(b) 100m 格子点におけるダルシーフロー

	Vmin	Vmax	<Log V>
H13	$4.22 \times 10^{-18}$	$3.49 \times 10^{-7}$	$8.32 \times 10^{-10}$
H14	$8.70 \times 10^{-18}$	$2.82 \times 10^{-7}$	$2.33 \times 10^{-10}$

単位 : m/s

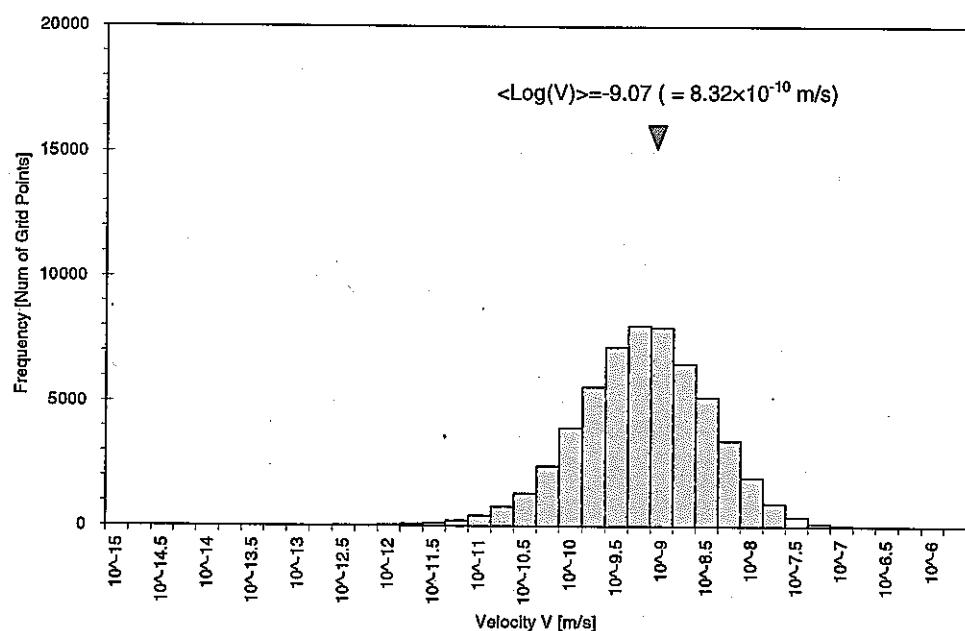


(a) H13 モデル

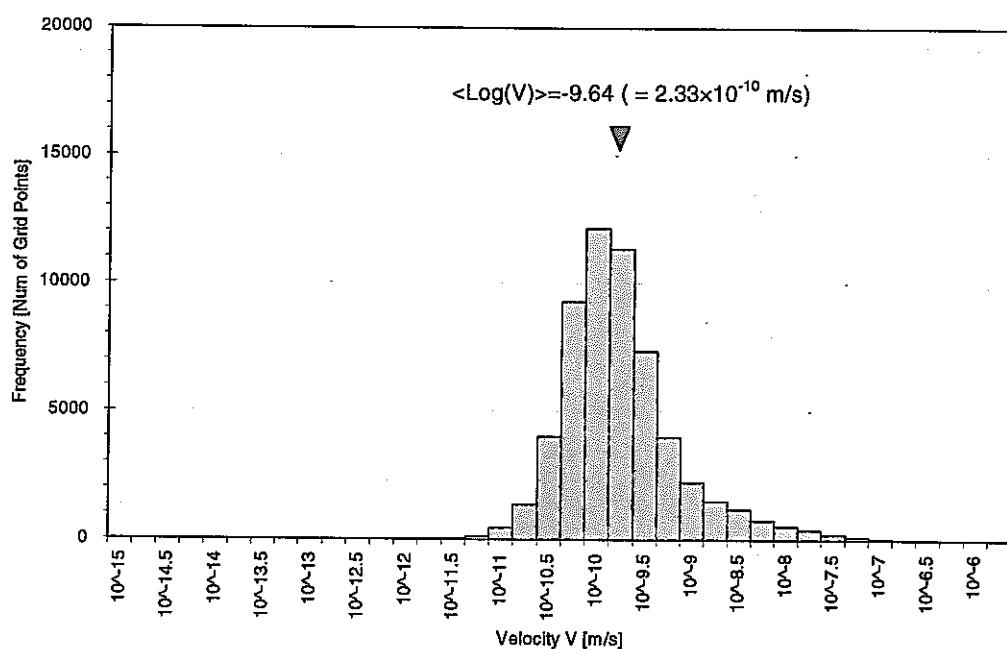


(b) H14 モデル

図 5.4-2 格子点流量のヒストグラム(リアライゼーション# 1)



(a) H13 モデル



(b) H14 モデル

図 5.4-3 格子点ダルシーフlow速のヒストグラム(リアライゼーション# 1)

### 5.4.3 全水頭分布

#### (1) 解析領域全般の水頭分布

解析領域全般の水頭分布を図 5.4-4に示す。この図から、大局的な地下水流れは、北東方向から南西方向に向かっていることが分かる。同図中に、MIU-2号孔を通る南北方向の鉛直断面（正馬様サイト付近）の水圧分布を併せて示した。月吉断層の遮水効果により、断層下盤の水圧は上盤より 20m から 30m ほど高くなっている。MIU-1～3号孔での観測結果と同様の傾向が表現されている。

#### (2) 各モニタリング区間における水頭分布

水頭の実測値と解析値の比較に用いるモニタリング区間の一覧を表 5.4-3に示す。これらのモニタリング区間における実測値と解析値の比較グラフを図 5.4-5～図 5.4-7に示す。各図中に示す解析結果の誤差バーは、10回のライゼーションにより得られた最小値と最大値の範囲を表している。

まず、正馬様用地内の MIU-1～3号孔における水頭の計算結果と観測値の比較を図 5.4-5に示す。また、同用地内の AN-1/3号孔の結果を図 5.4-6中に示す。この図から、MIU-2 及び MIU-3号孔で観測された月吉断層の上下盤の自然水頭差が再現されているのが分かる。特に、本年度の解析結果は、キャリブレーションの結果、前年度より実測値に近い結果が得られている。10回のライゼーションによる計算結果のばらつきは、グラフ上で誤差バーが殆ど確認できないほど小さいが、あえて H13 年度と比較すると、H14 年度の方がばらつきは小さい。これは、本年度の割れ目モデルは、H13 年度よりも割れ目密度を大きく設定しているため、乱数系列による密度の相対的なばらつきが少ないとある。次に、広域的な水位観測のために配置されている DH-9 孔における水頭の計算結果を図 5.4-6に示す。全体的に計算値の方が観測値よりも水頭が 10～30m 程度大きくなっている。深部ほど差が大きくなっている。東濃鉱山近傍については図 5.4-7に示すとおりである。この図から、実測に見られる鉱山近傍での水圧低下が、計算結果においても再現されているのが分かる。

以上のように、今回の解析結果は、若干の差異はあるものの、対象区域の特徴的な傾向（鉱山周辺の地下水圧低下や月吉断層上下盤での水圧差）を定量的に再現できた。

#### (3) 各モニタリング区間における水頭の残差二乗和

各モニタリング区間における水頭の実測値と解析値の残差二乗和を表 5.4-3に示す。全モニタリング区間の残差二乗和の合計値は 90,000 であり、H13 解析の 240,000 から 1/3 程度に減少した。ただし、H13 年度は東濃鉱山を考慮していないため、同鉱山周辺の誤差が大きくなっていることに注意する必要がある。個々のモニタリング孔ごとに見ると、MIU-2号孔と TH-4号孔では、逆に本年度解析の誤差の方が大きくなっている。MIU-2号

孔について、本モデルでは月吉断層を一定としているため、モデル内の MIU-2 号孔における断層位置と実際と若干食い違っているためと考えられる。TH-4 号孔については、図 5.4-7 のように、本年度は鉱山を考慮したことにより、H13 年度と比べて全体的に水圧が低下しているが、実測よりもさらに大きく低下している。TH-4 号孔は、全体の解析領域のうち、局所的な表層付近の堆積岩部の透水構造に支配されていると考えられるため、今回のモデル化のスケールでは再現性に限界があるものと考えられる。

表 5.4-2 モニタリング区間の測定深度（標高）と代表水頭値

Meas.Port EL(m)	Total Head E.L.(m)								
MIU-1		AN-1		DH-9		TH-4(1)		TH-6	
24.9	211.94	163.9	207.08	209.0	265.81	242.58	256.51	265.04	279.55
-14.4	211.82	114.4	206.52	120.3	265.00	238.08	248.07	259.04	266.03
-109.2	212.23	10.9	207.39	-121.2	264.10	232.08	245.09	254.54	254.06
-158.1	212.54	-38.5	207.29	-301.4	263.17	227.08	245.07	247.54	247.19
-238.4	213.15	-88.3	207.32	-623.5	262.76	221.08	245.40	244.54	243.57
-615.9	212.31	-236.9	208.04			219.08	245.40	237.04	237.22
-652.3	212.92	-295.0	208.29			211.08	244.99	231.04	234.87
-731.4	215.29	-330.1	207.92			205.08	240.94	226.54	230.19
-754.3	212.66	-530.5	209.13			185.58	206.61	219.04	230.33
		-580.6	209.43			182.58	206.02	213.04	230.67
MIU-2		AN-3		DH-11		178.58	204.82	208.54	230.63
102.2	212.75	117.0	207.25	18.4	267.89	174.08	193.64	201.04	231.38
34.8	212.63	93.0	206.96	-52.2	268.54	163.58	191.29	196.54	231.20
-32.8	213.17	61.4	207.10	-240.4	268.69	157.58	191.23	185.04	230.99
-645.1	240.60	-43.5	207.03	-376.1	268.71	151.58	170.25	180.54	230.96
-664.4	248.34	-84.1	206.52			147.08	170.06	170.04	210.92
-696.2	248.26					141.58	170.01	165.54	229.26
-748.0	249.02					135.58	170.03	159.54	232.29
-757.2	248.90					125.58	170.28	147.04	233.28
						120.08	170.23	142.54	233.32
						115.08	170.20	135.04	233.38
MIU-3		DH-13		TH-4(2)				130.54	233.62
46.8	212.55			94.0	274.24	271.46	271.44	123.04	233.64
-10.4	212.90			-46.8	274.29	266.96	266.97	118.54	233.69
-328.2	213.37			-130.7	274.87	260.96	260.09		
-417.9	215.51			-578.0	272.49	254.96	256.50		
-474.7	240.55			-716.5	268.35	248.96	255.74		
-515.5	248.13					242.96	251.96		
-588.3	248.30					236.96	251.12		
-645.9	247.86					230.96	248.88		

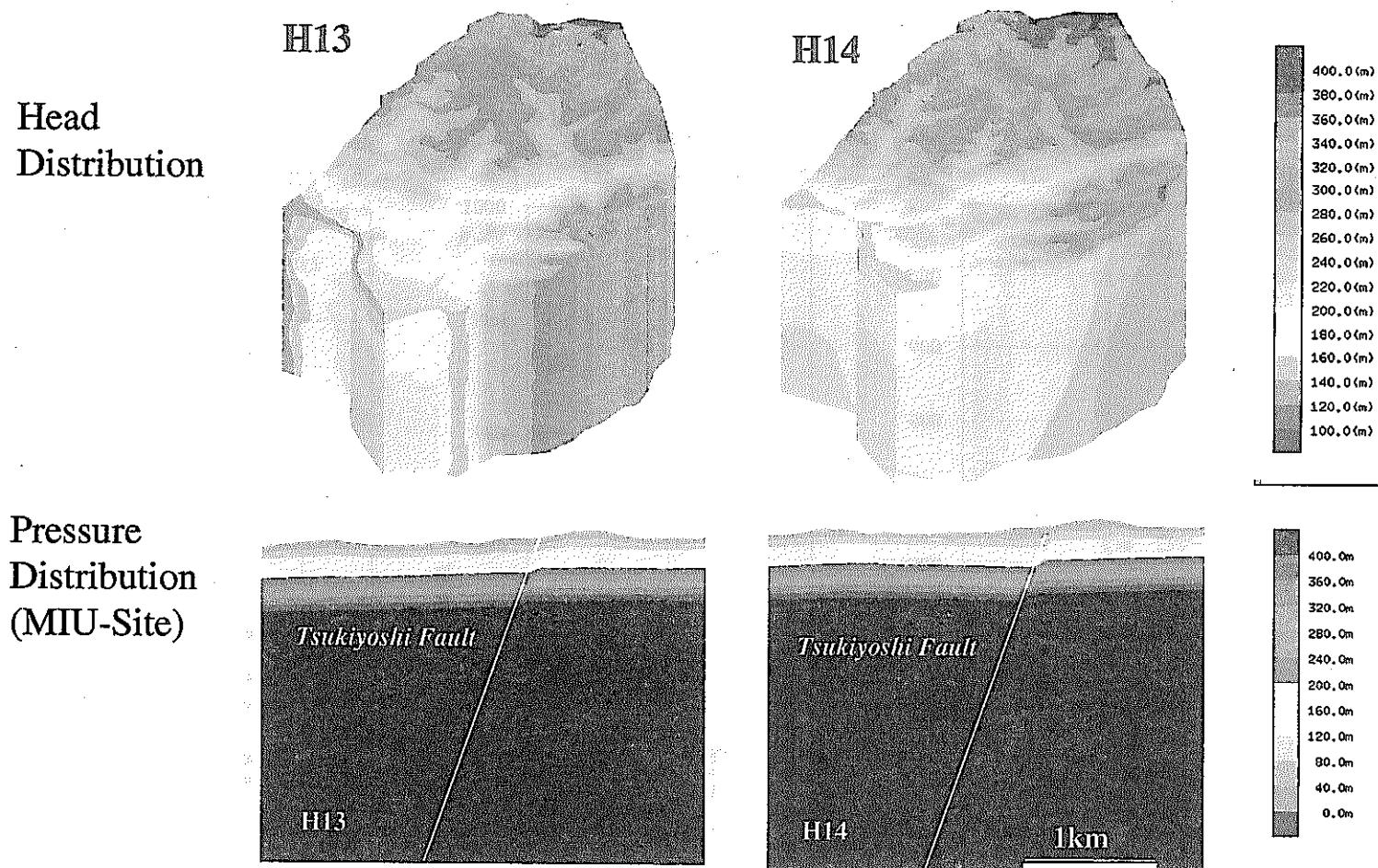


図.5.4-4 解析領域全般の水頭分布

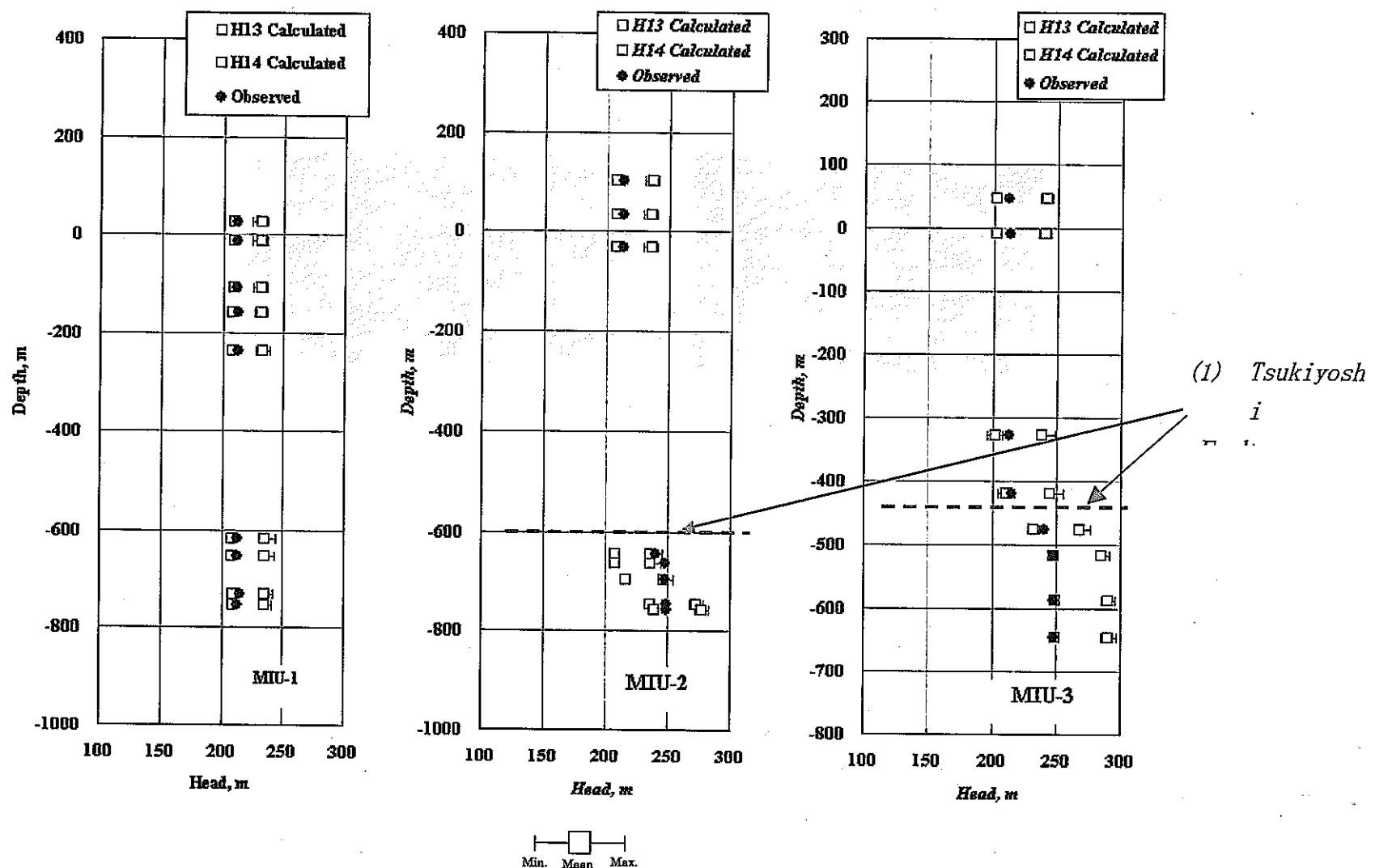


図 5.4-5 モニタリング地点における水頭の実測値と解析値（正馬様用地内, MIU-1~3 号孔）

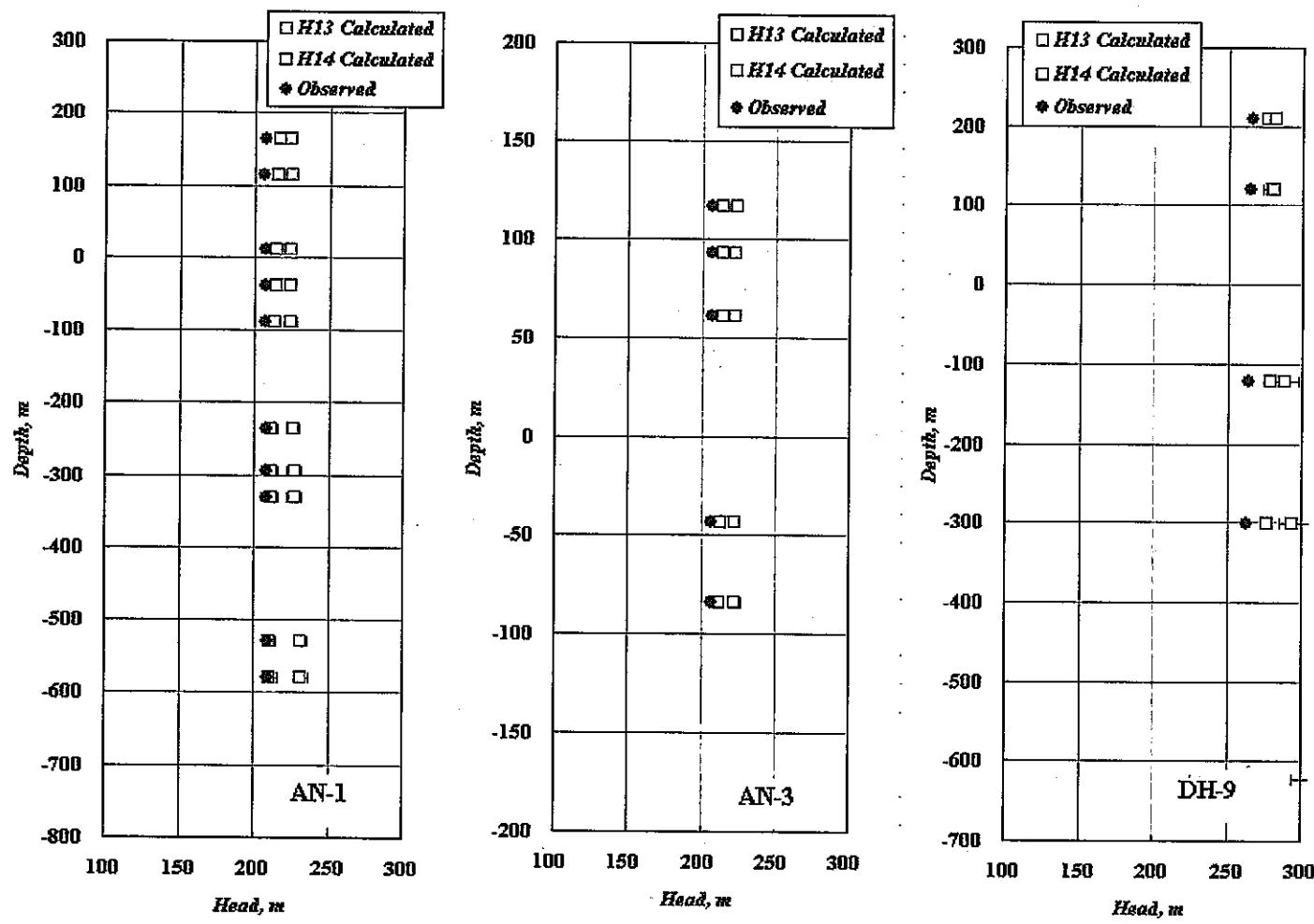


図 5.4-6 モニタリング地点における水頭の実測値と解析値 (AN-1, AN-3, DH-9 号孔)

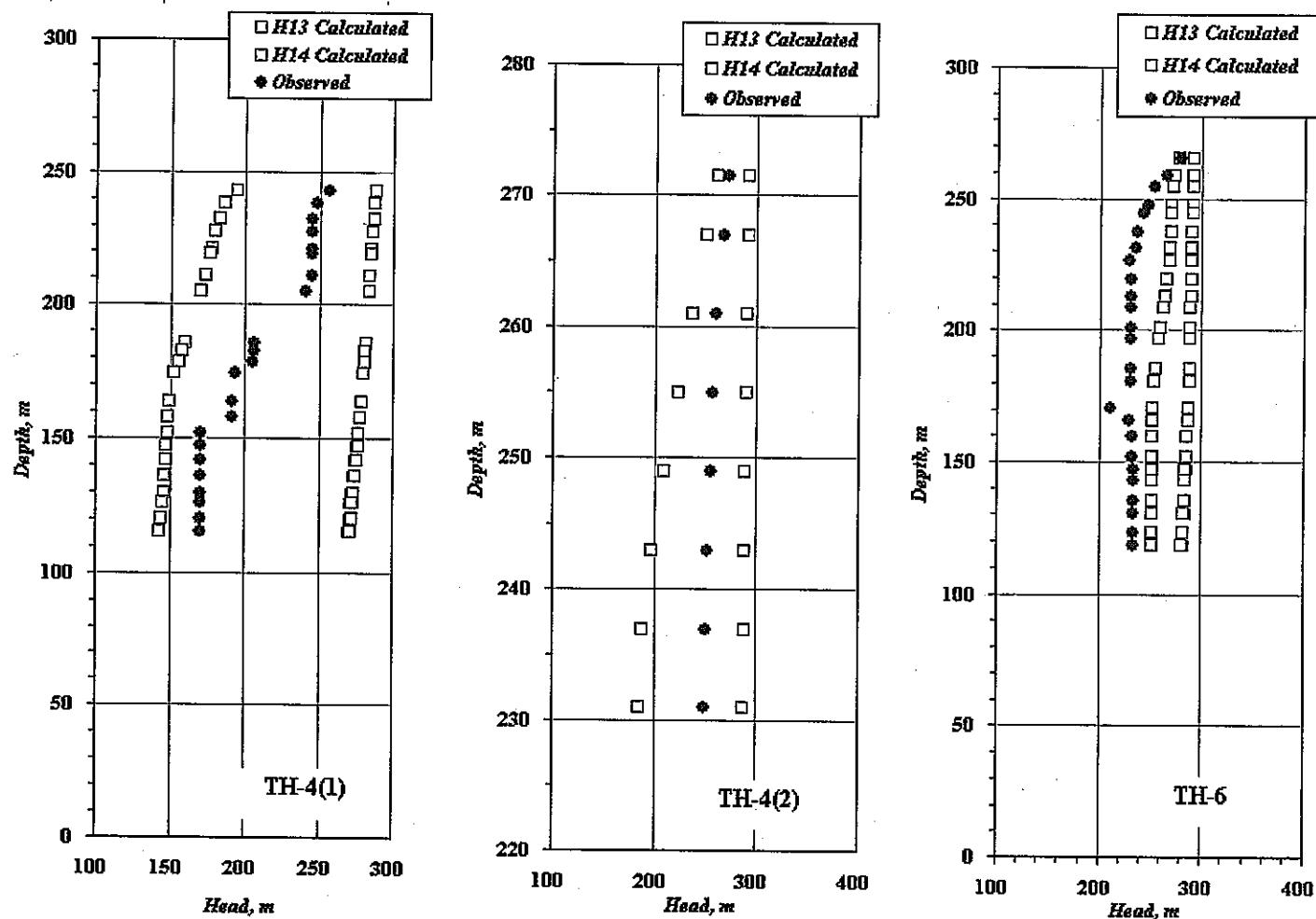


図 5.4-7 モニタリング地点における水頭の実測値と解析値（東濃鉱山近傍、TH-4(1), TH-4(2), TH-6 号孔）

表 5.4-3 各モニタリング区間における水頭の残差二乗和

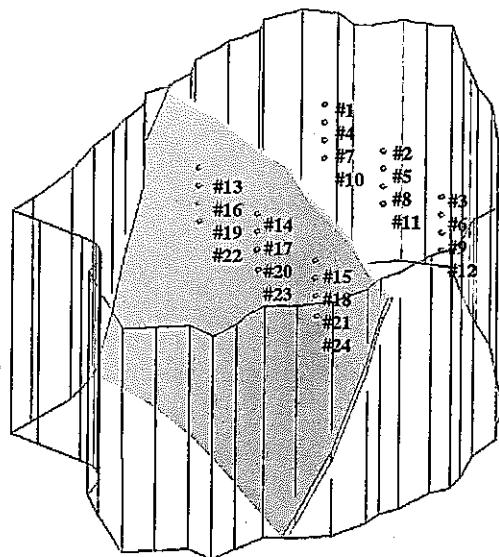
	H13	H14
MIU-1	3754	154
MIU-2	3092	4143
MIU-3	8956	402
AN-1	3554	375
AN-3	1271	238
DH-9	3300	1106
TH-4(1)	139186	51721
TH-4(2)	8474	14875
TH-6	69712	16584
SUM	2.4E+05	9.0E+04

#### 5.4.4 指定点を通過する地下水の下流境界までの流動経路特性

流動経路解析では、地下水水流動解析結果を元に、表 5.4-4に示す 24箇所の指定点を出発点として、粒子追跡法により流動経路を計算した。

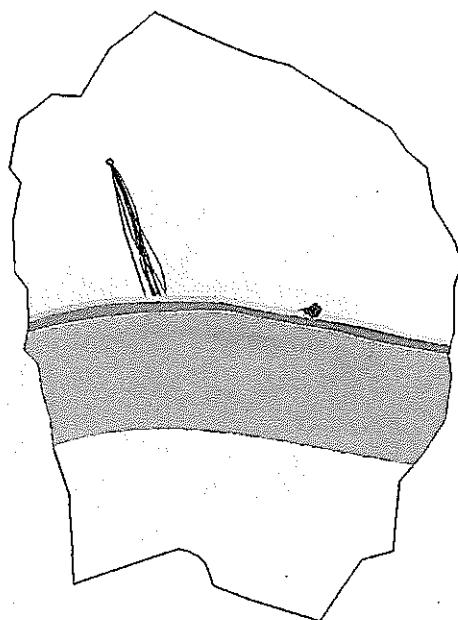
表 5.4-4 流動経路計算に用いた出発点（指定点）

Point No	X [m]	Y [m]	Z [m]
1	4488.83	-66900	-250
2	5488.83	-66900	-250
3	6488.83	-66900	-250
4	4488.83	-66900	-500
5	5488.83	-66900	-500
6	6488.83	-66900	-500
7	4488.83	-66900	-750
8	5488.83	-66900	-750
9	6488.83	-66900	-750
10	4488.83	-66900	-1000
11	5488.83	-66900	-1000
12	6488.83	-66900	-1000
13	4488.83	-68629.4	-250
14	5488.83	-68629.4	-250
15	6488.83	-68629.4	-250
16	4488.83	-68629.4	-500
17	5488.83	-68629.4	-500
18	6488.83	-68629.4	-500
19	4488.83	-68629.4	-750
20	5488.83	-68629.4	-750
21	6488.83	-68629.4	-750
22	4488.83	-68629.4	-1000
23	5488.83	-68629.4	-1000
24	6488.83	-68629.4	-1000

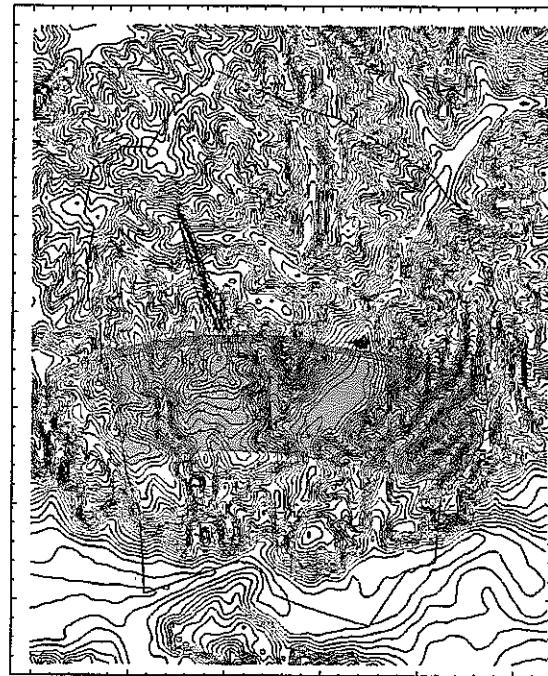


指定点を通過する地下水の下流境界までの流動経路特性に関し、移行経路の解析結果を図 5.4-8～図 5.4-31に示す。

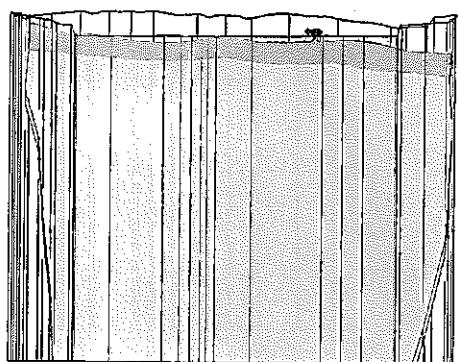
全解析ケースについて、流動経路沿いの透水係数、動水勾配、ダルシー流速、有効間隙率の最大値、最小値、平均値を、図 5.4-32～図 5.4-34ならびに表 5.4-5に示す。



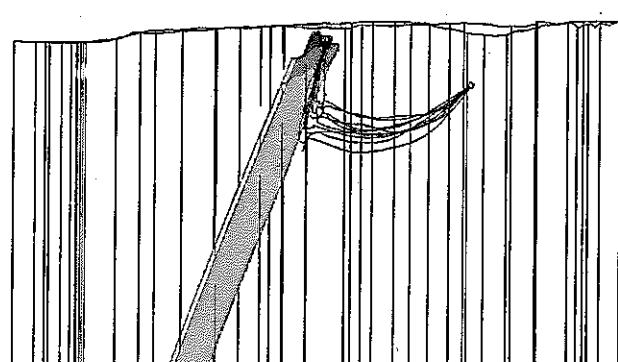
a. 平面図（移行経路図）



b. 地表面流出位置図

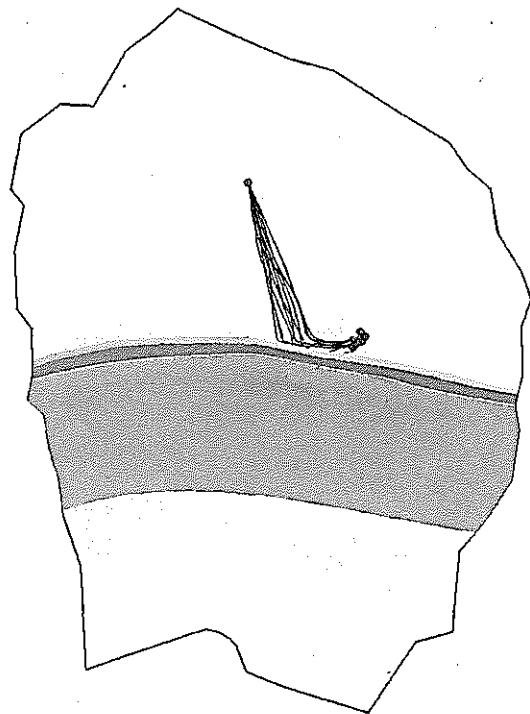


c. 側面図（南→北）

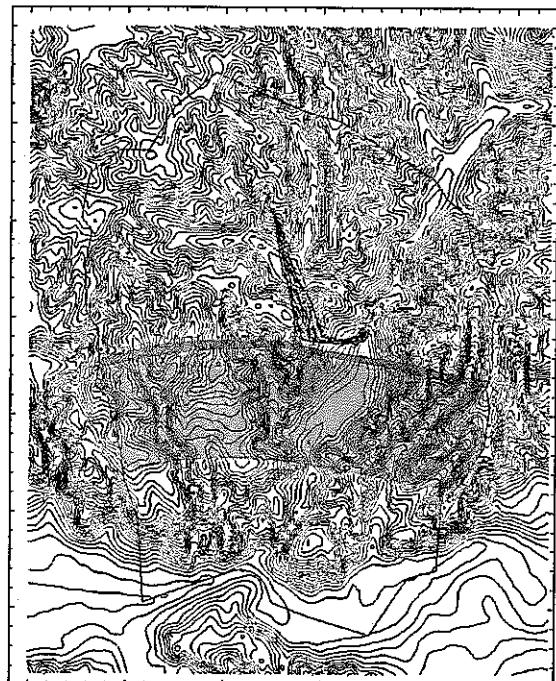


d. 側面図（東→西）

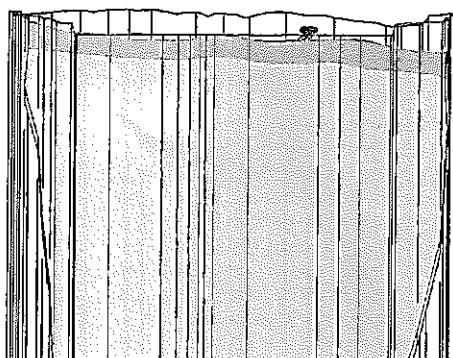
図 5.4-8 指定点 No.1 からの移行経路（10 リアライゼーション）



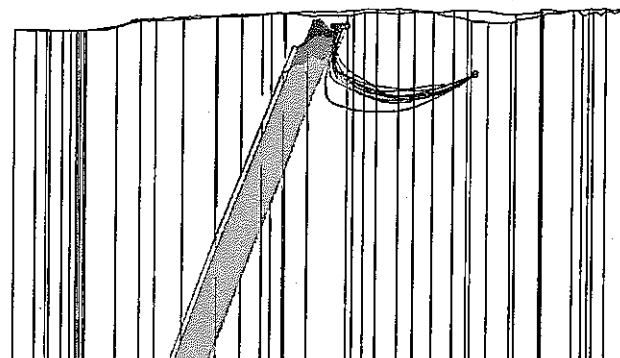
a. 平面図（移行経路図）



b. 地表面流出位置図

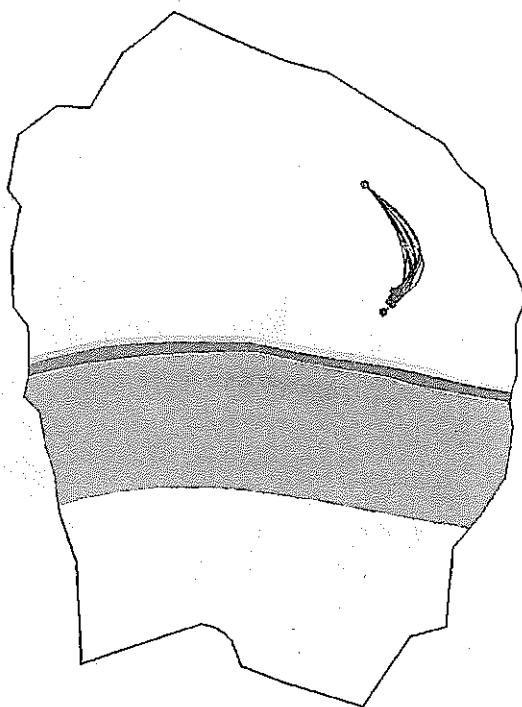


c. 側面図（南→北）

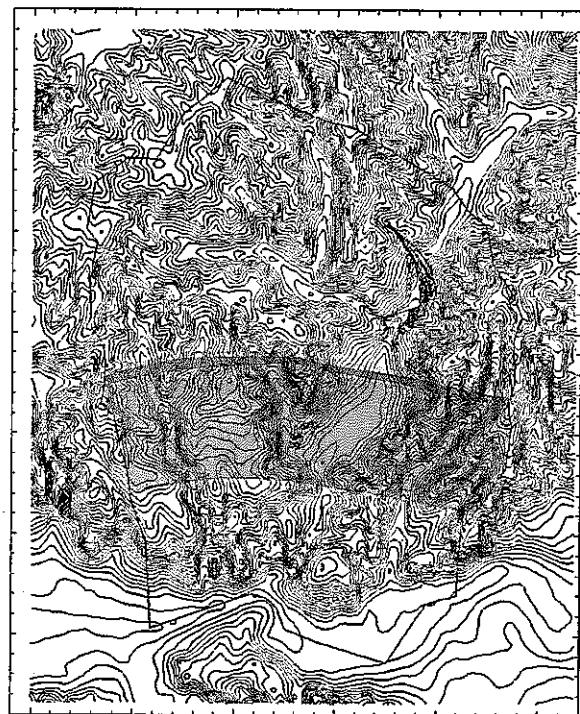


d. 側面図（東→西）

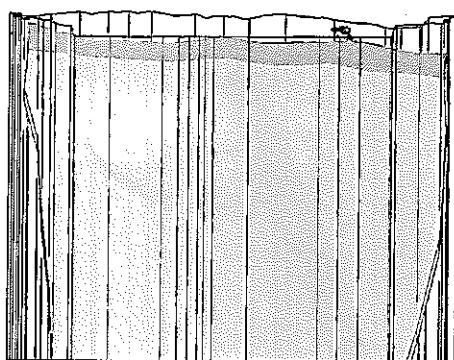
図 5.4-9 指定点 No.2 からの移行経路（10 リアライゼーション）



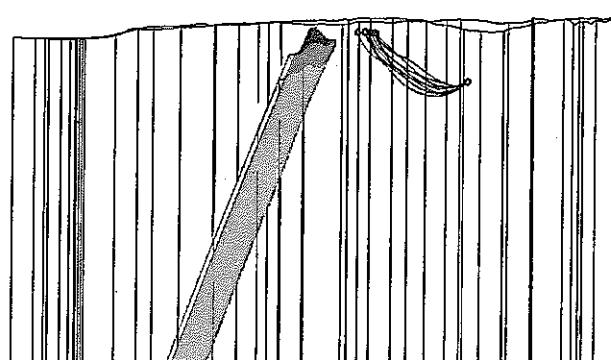
a. 平面図（移行経路図）



b. 地表面流出位置図

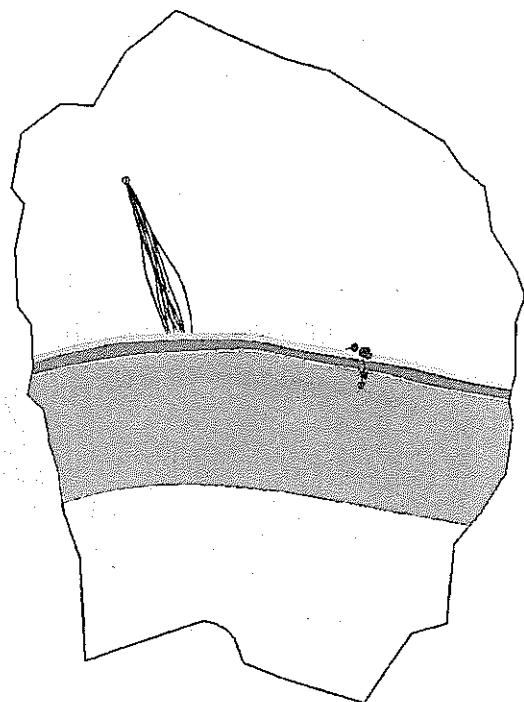


c. 側面図（南→北）

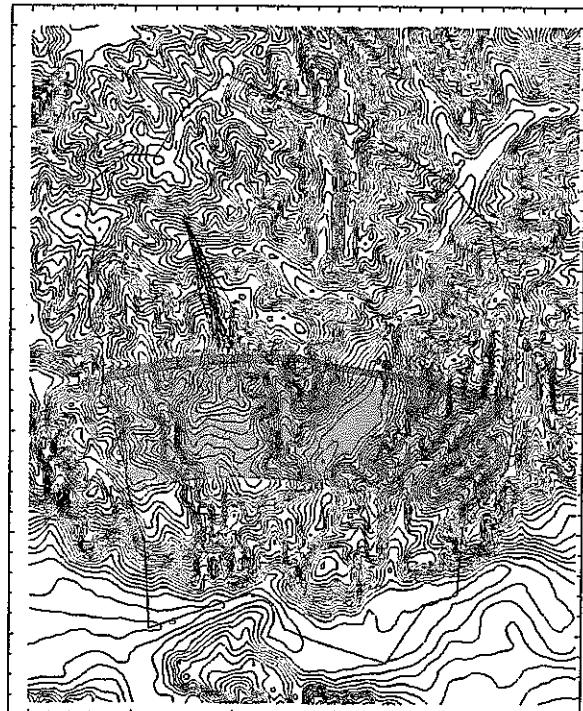


d. 側面図（東→西）

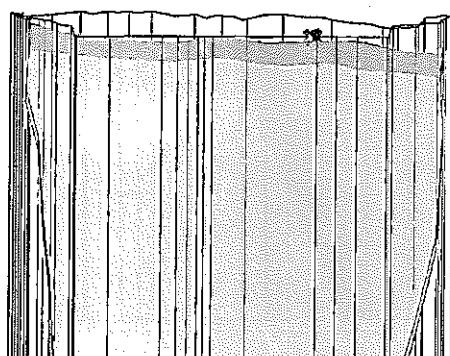
図 5.4-10 指定点 No.3 からの移行経路（10 リアライゼーション）



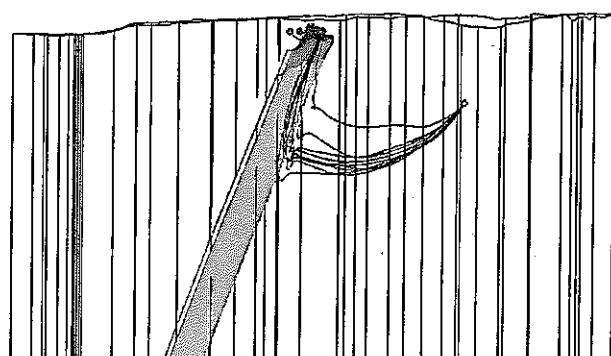
a. 平面図（移行経路図）



b. 地表面流出位置図

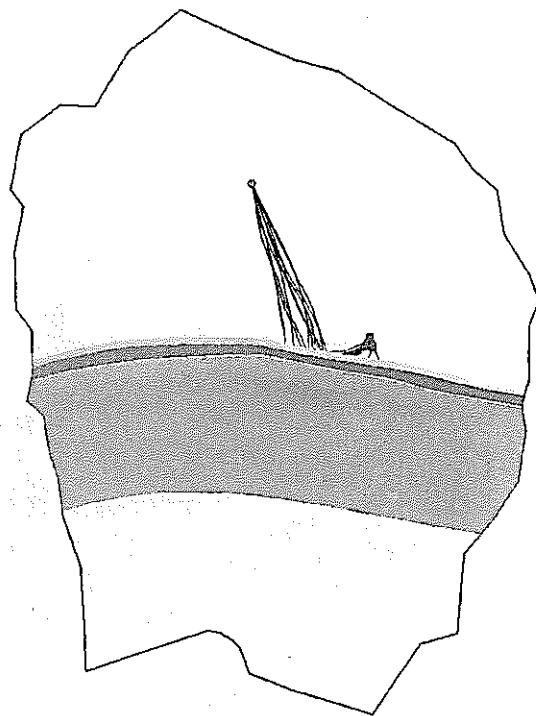


c. 側面図（南→北）

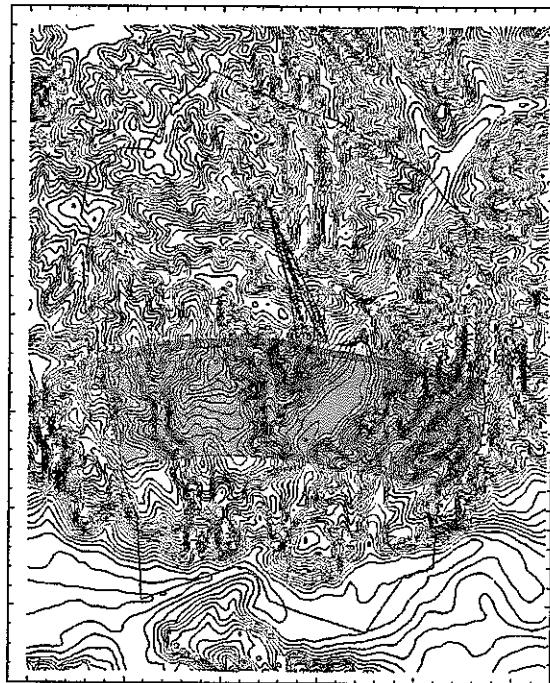


d. 側面図（東→西）

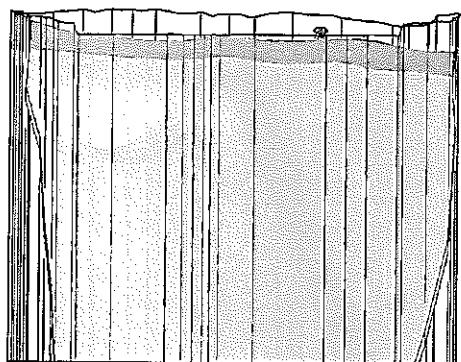
図 5.4-11 指定点 No.4 からの移行経路（10 リアライゼーション）



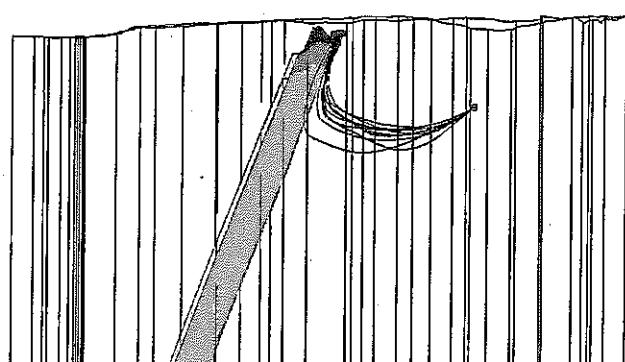
a. 平面図（移行経路図）



b. 地表面流出位置図

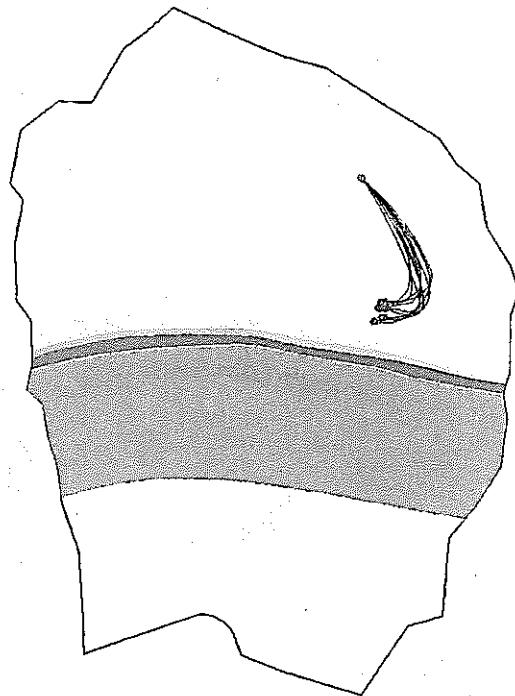


c. 側面図（南→北）

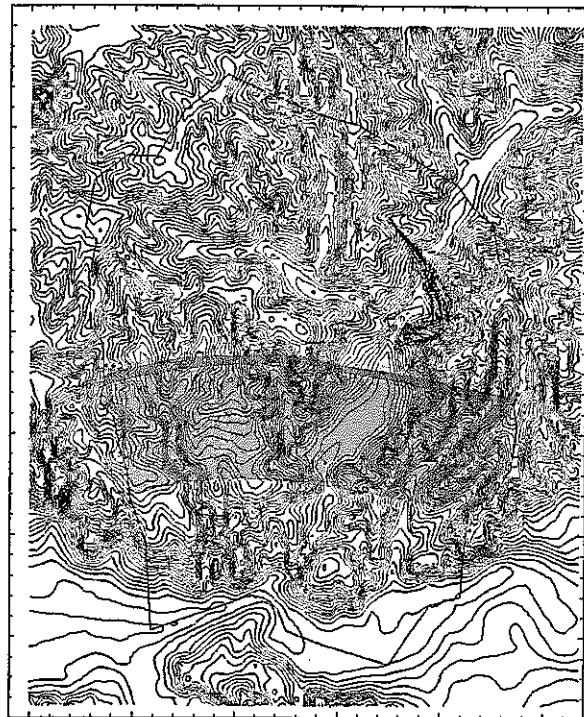


d. 側面図（東→西）

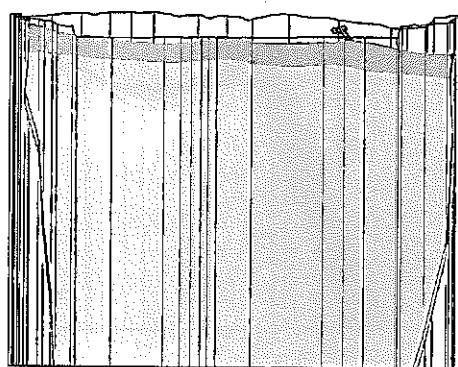
図 5.4-12 指定点 No.5 からの移行経路（10 リアライゼーション）



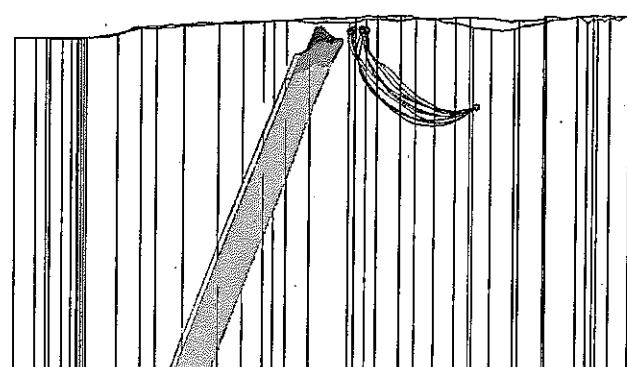
a. 平面図（移行経路図）



b. 地表面流出位置図

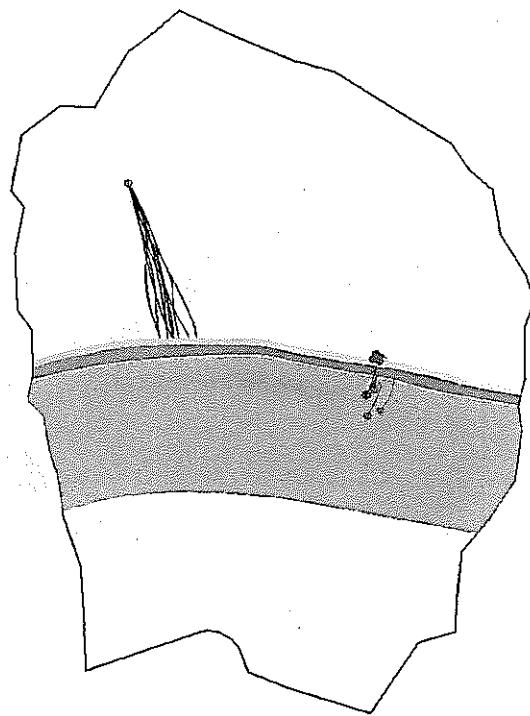


c. 側面図（南→北）

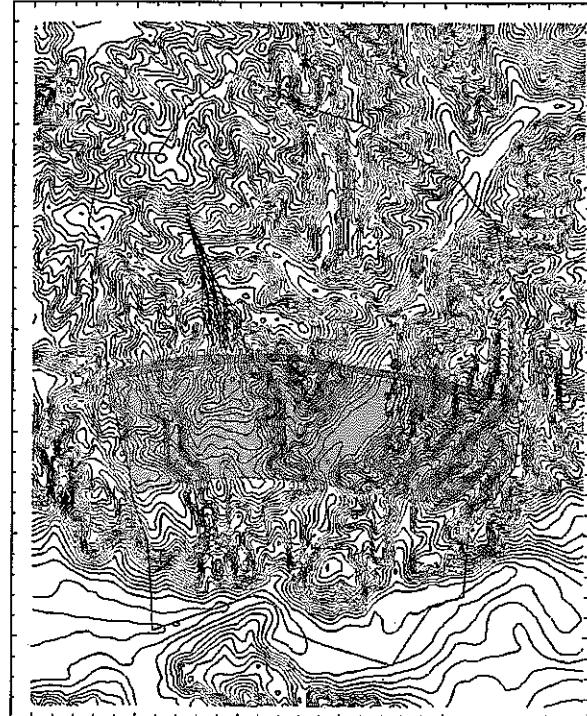


d. 側面図（東→西）

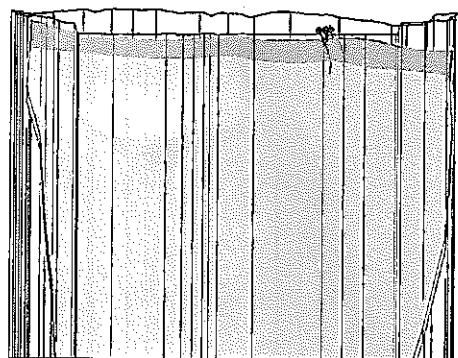
図 5.4-13 指定点 No.6 からの移行経路（10 リアライゼーション）



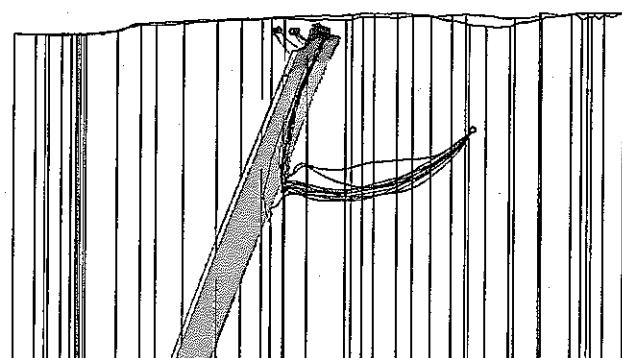
a. 平面図（移行経路図）



b. 地表面流出位置図

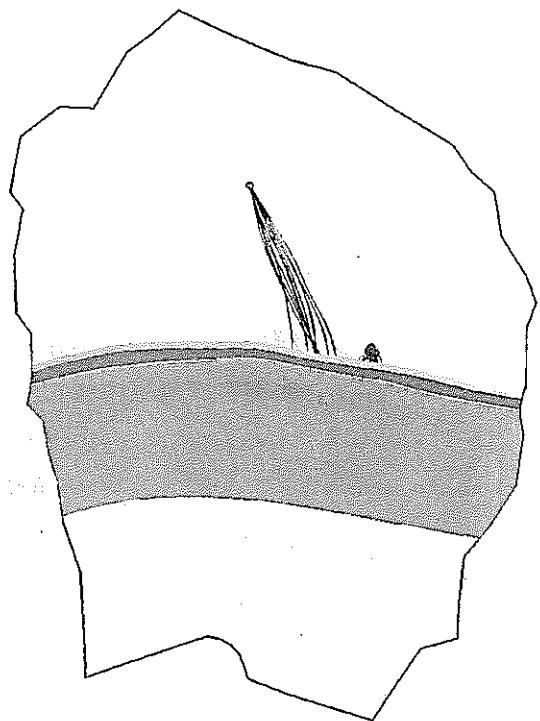


c. 側面図（南→北）

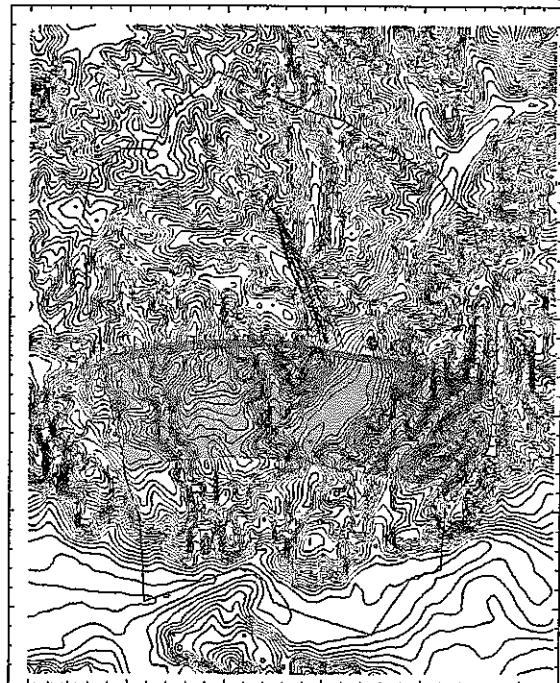


d. 側面図（東→西）

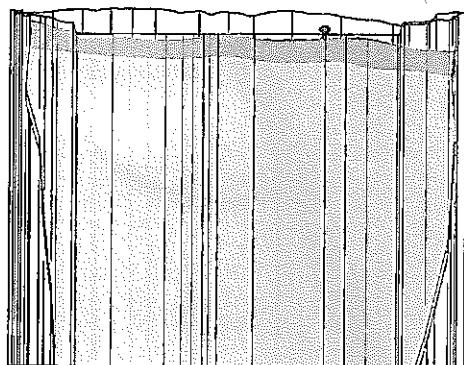
図 5.4-14 指定点 No.7 からの移行経路（10 リアライゼーション）



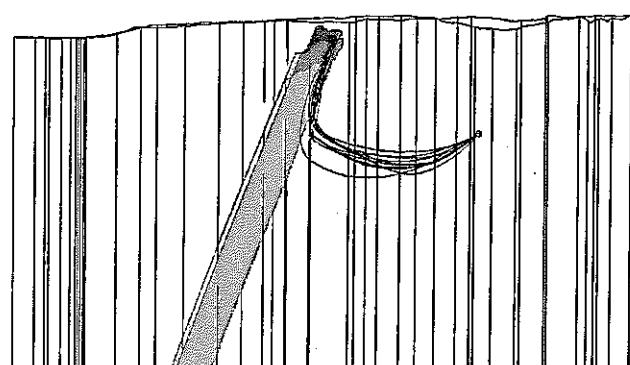
a. 平面図（移行経路図）



b. 地表面流出位置図

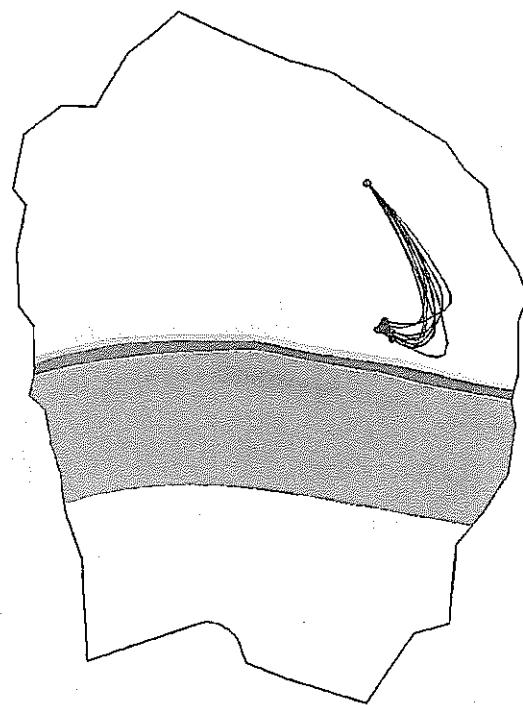


c. 側面図（南→北）

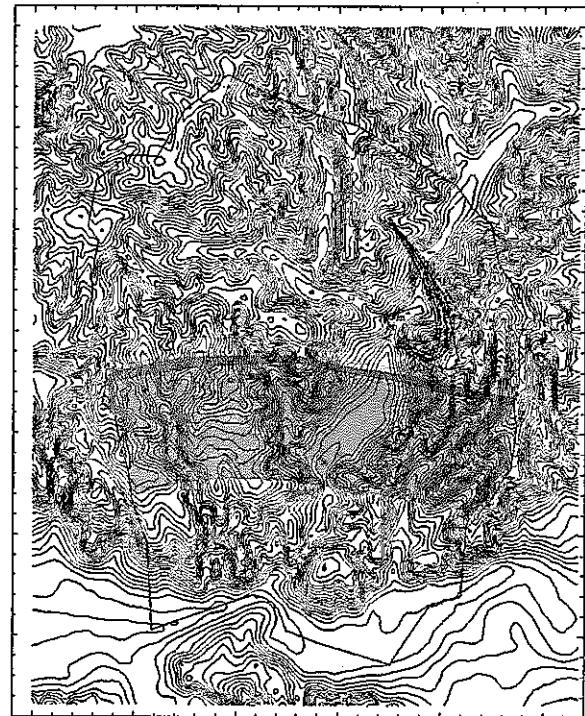


d. 側面図（東→西）

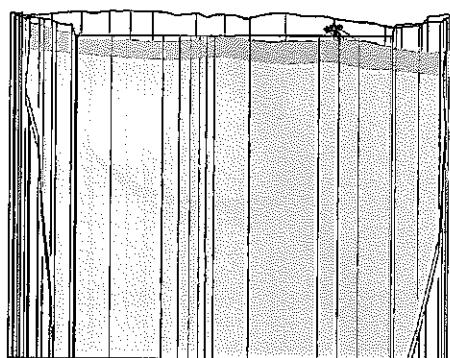
図 5.4-15 指定点 No.8 からの移行経路（10 リアライゼーション）



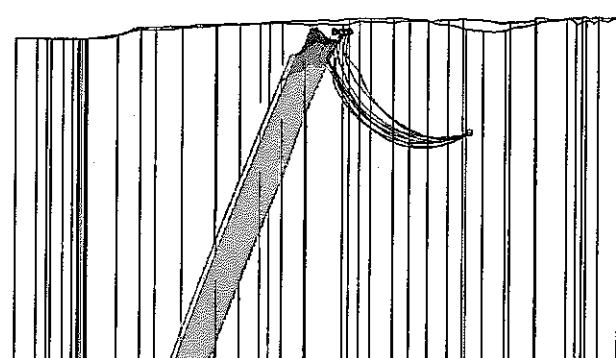
a. 平面図（移行経路図）



b. 地表面流出位置図

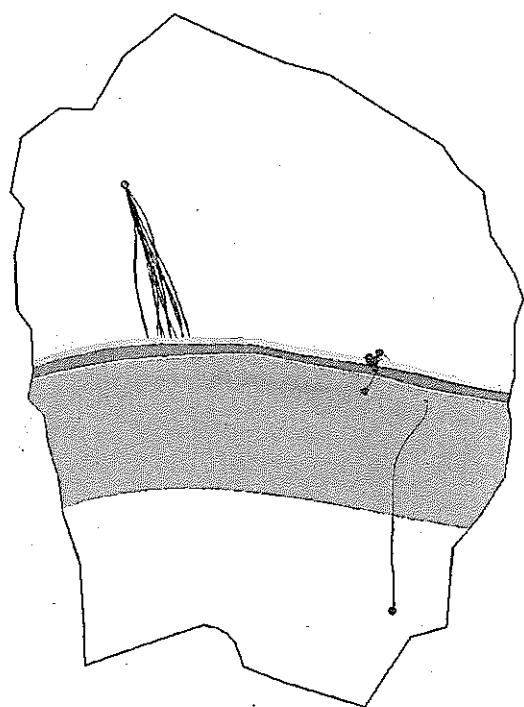


c. 側面図（南→北）

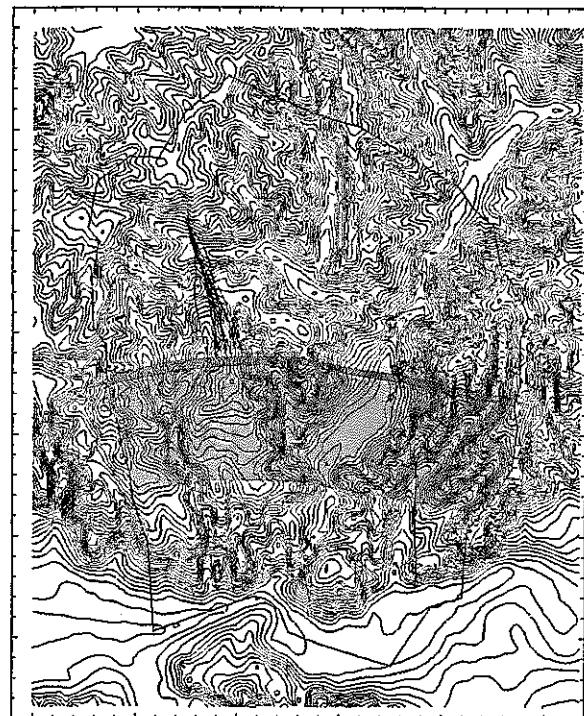


d. 側面図（東→西）

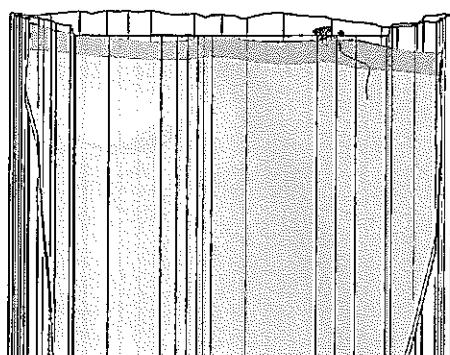
図 5.4-16 指定点 No.9 からの移行経路（10 リアライゼーション）



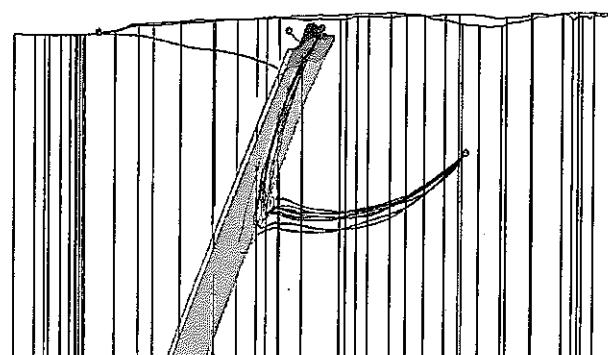
a. 平面図（移行経路図）



b. 地表面流出位置図

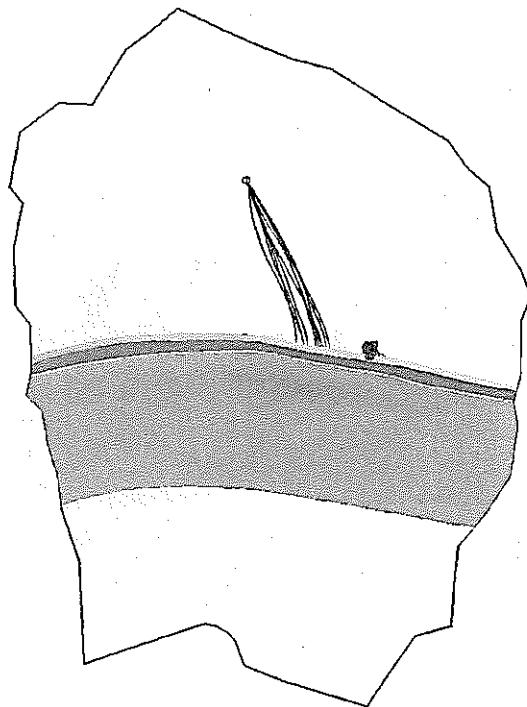


c. 側面図（南→北）

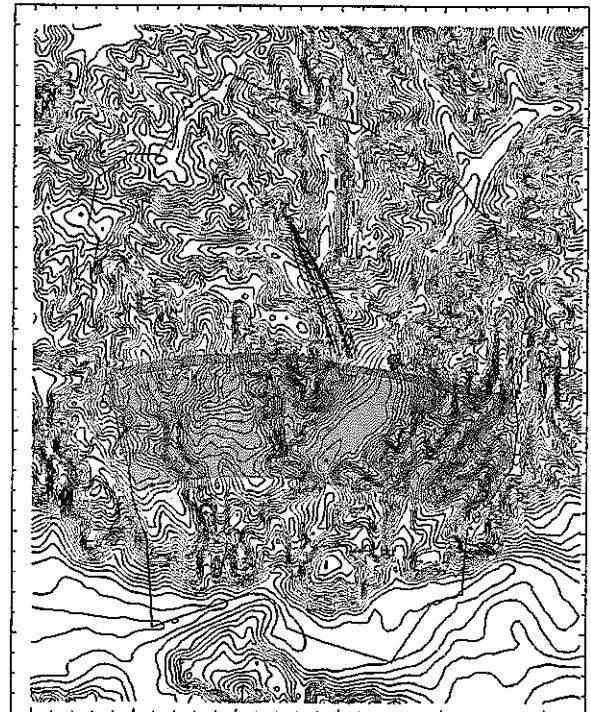


d. 側面図（東→西）

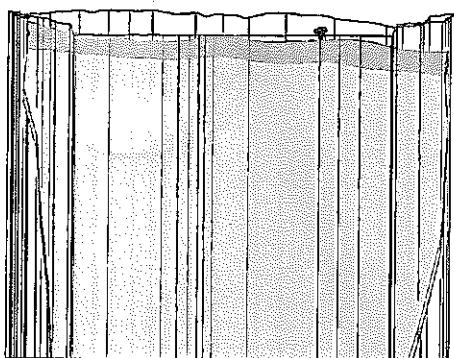
図 5.4-17 指定点 No.10 からの移行経路（10 リアライゼーション）



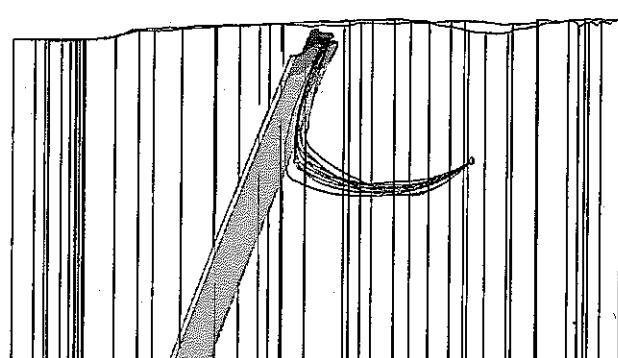
a. 平面図（移行経路図）



b. 地表面流出位置図

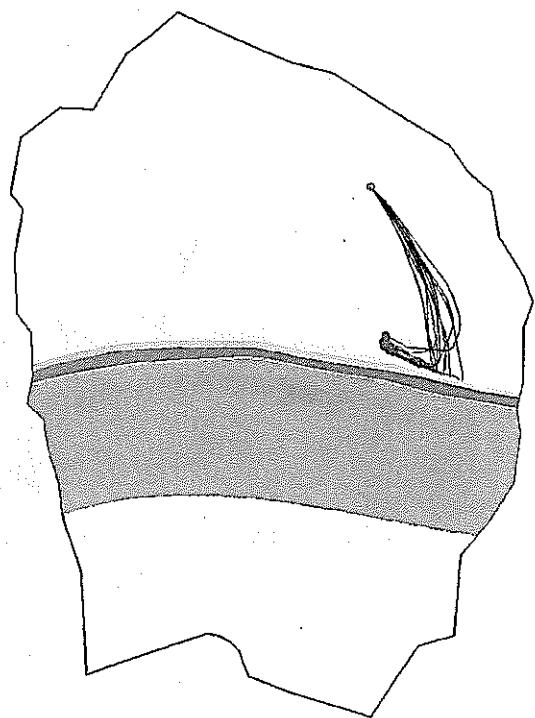


c. 側面図（南→北）

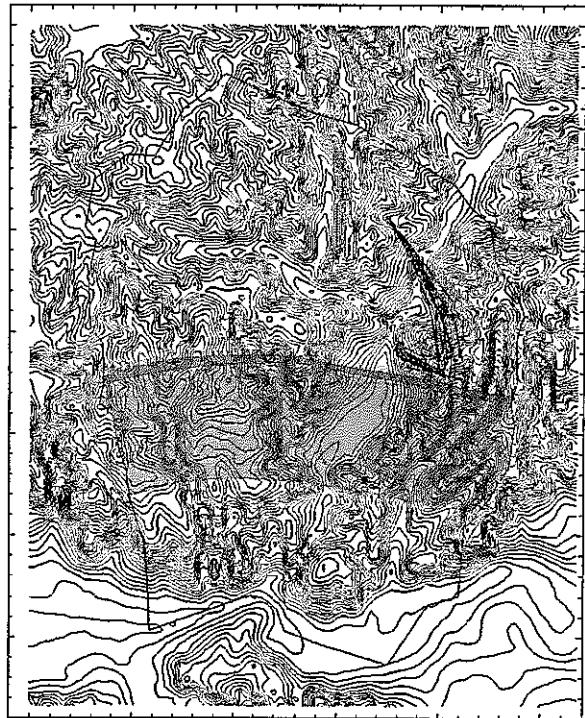


d. 側面図（東→西）

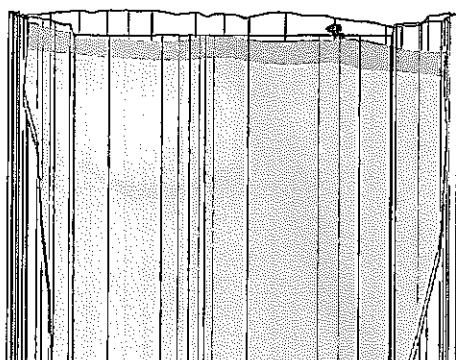
図 5.4-18 指定点 No.11 からの移行経路（10 リアライゼーション）



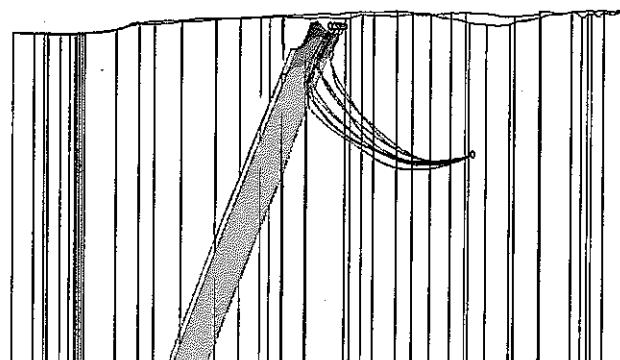
a. 平面図（移行経路図）



b. 地表面流出位置図

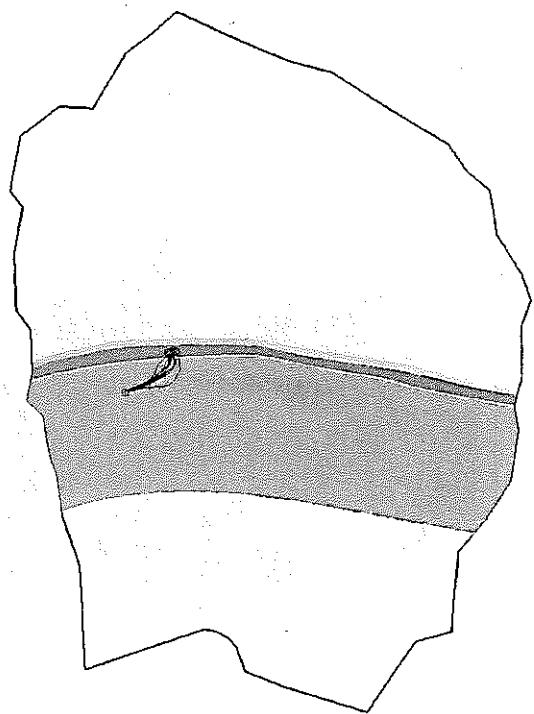


c. 側面図（南→北）

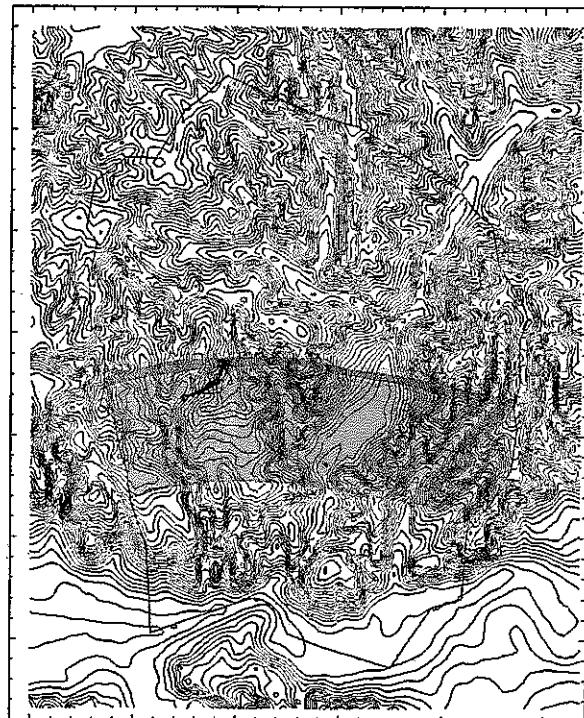


d. 側面図（東→西）

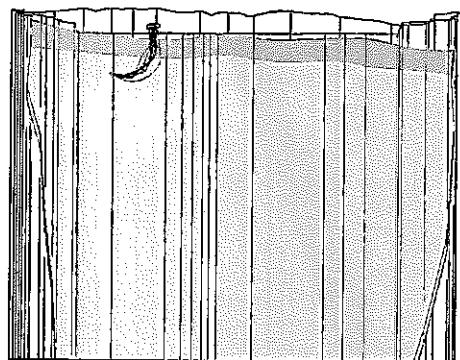
図 5.4-19 指定点 No.12 からの移行経路（10 リアライゼーション）



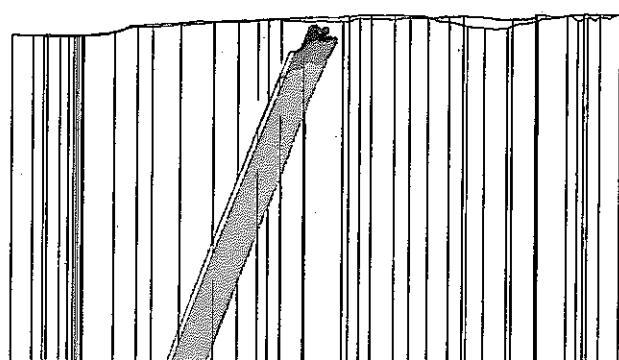
a. 平面図（移行経路図）



b. 地表面流出位置図

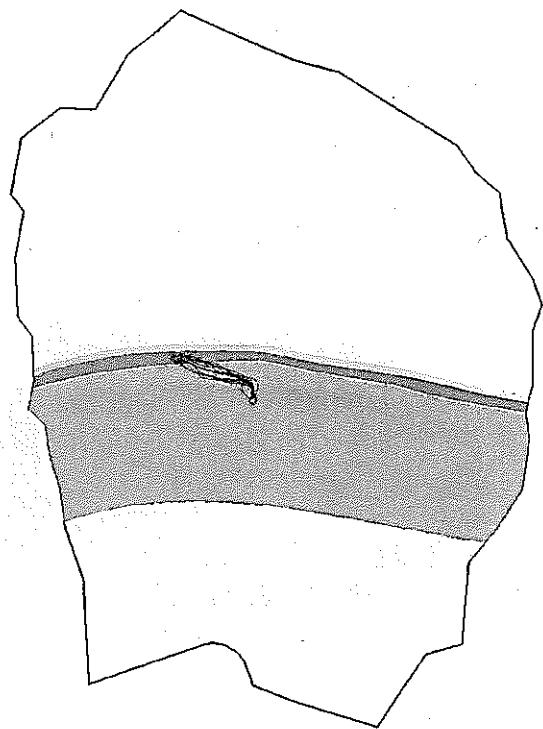


c. 側面図（南→北）

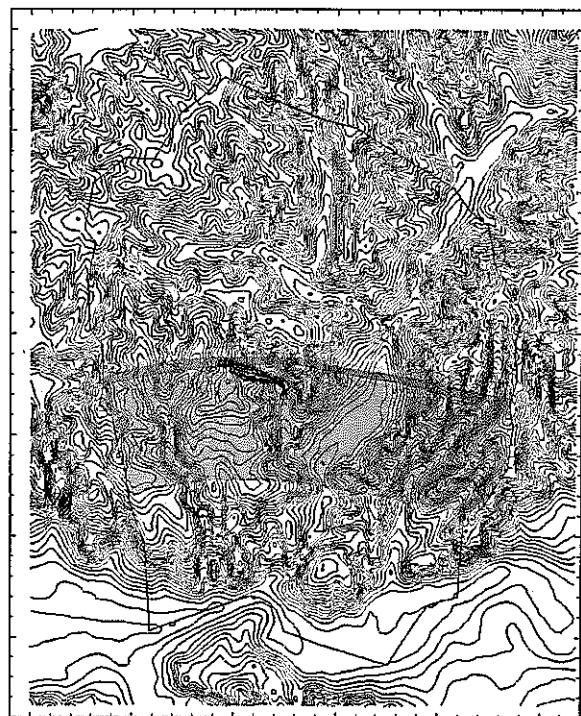


d. 側面図（東→西）

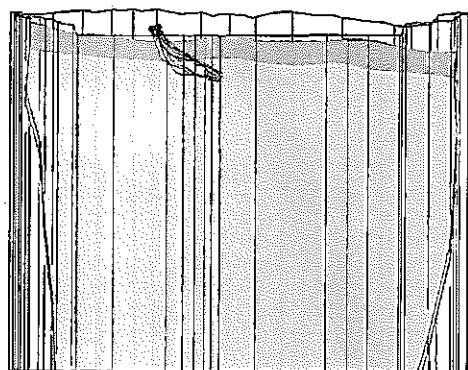
図 5.4-20 指定点 No.13 からの移行経路（10 リアライゼーション）



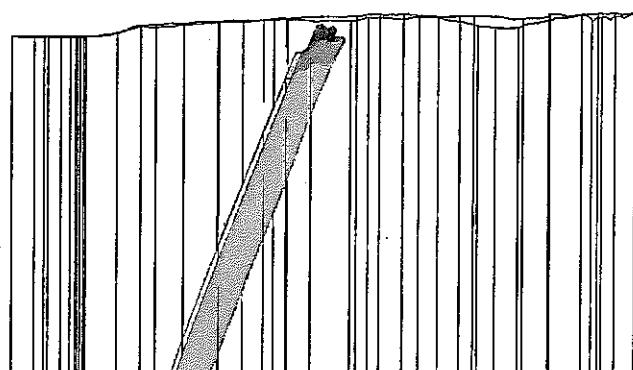
a. 平面図（移行経路図）



b. 地表面流出位置図

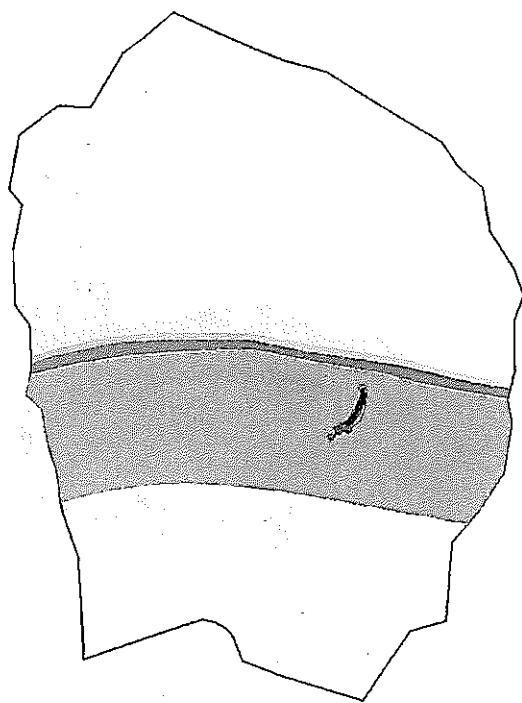


c. 側面図（南→北）

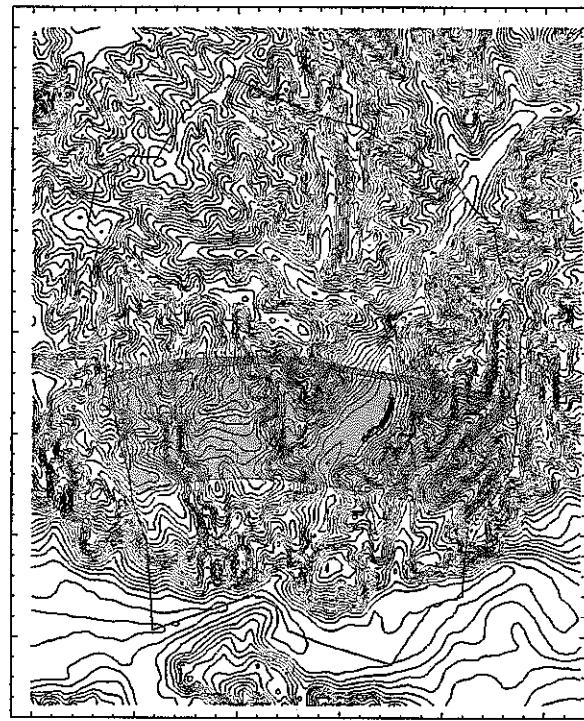


d. 側面図（東→西）

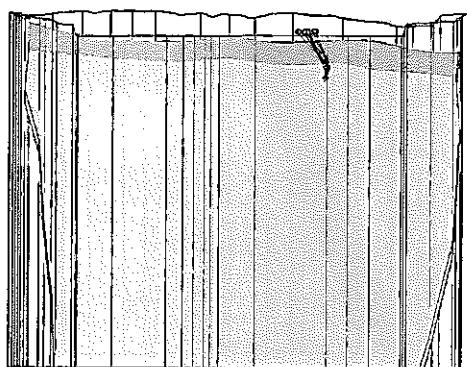
図 5.4-21 指定点 No.14 からの移行経路（10 リアライゼーション）



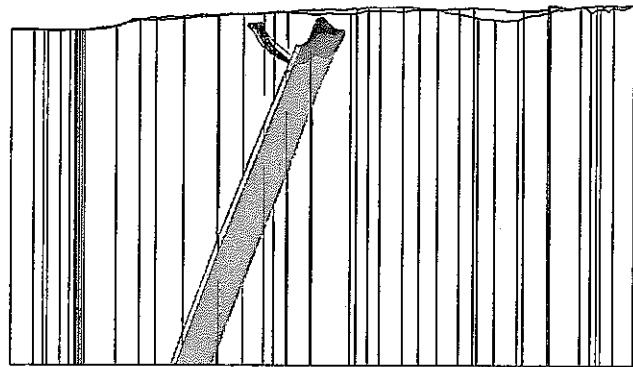
a. 平面図（移行経路図）



b. 地表面流出位置図

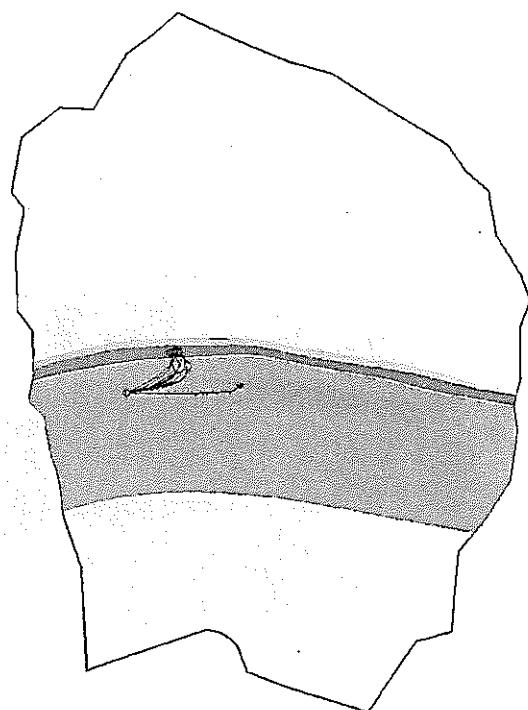


c. 側面図（南→北）

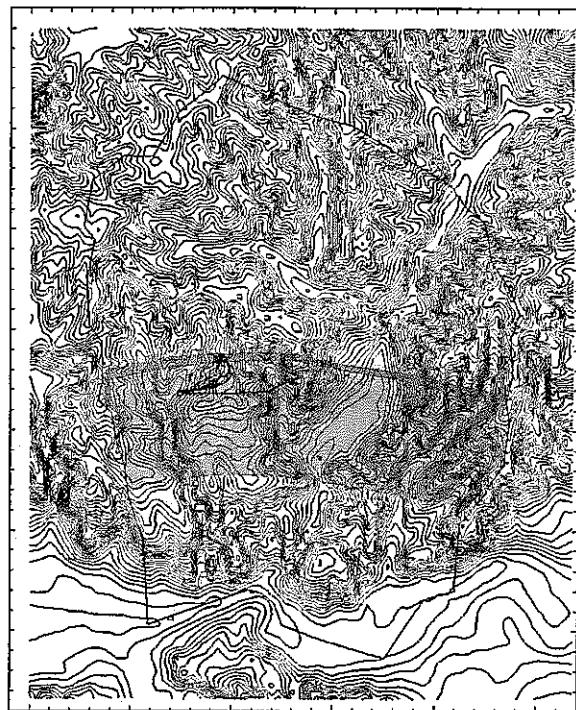


d. 側面図（東→西）

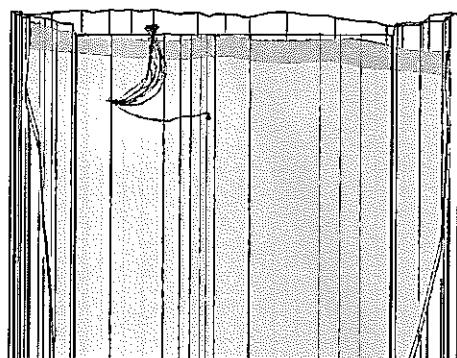
図 5.4-22 指定点 No.15 からの移行経路（10 リアライゼーション）



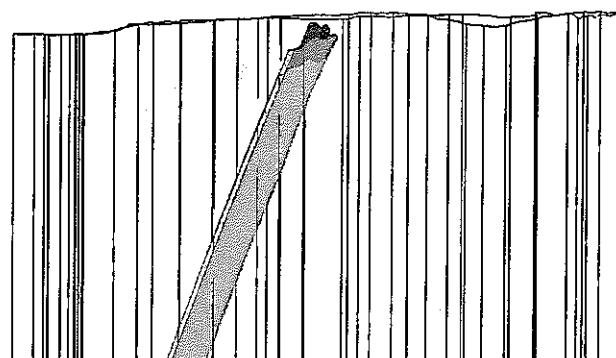
a. 平面図（移行経路図）



b. 地表面流出位置図

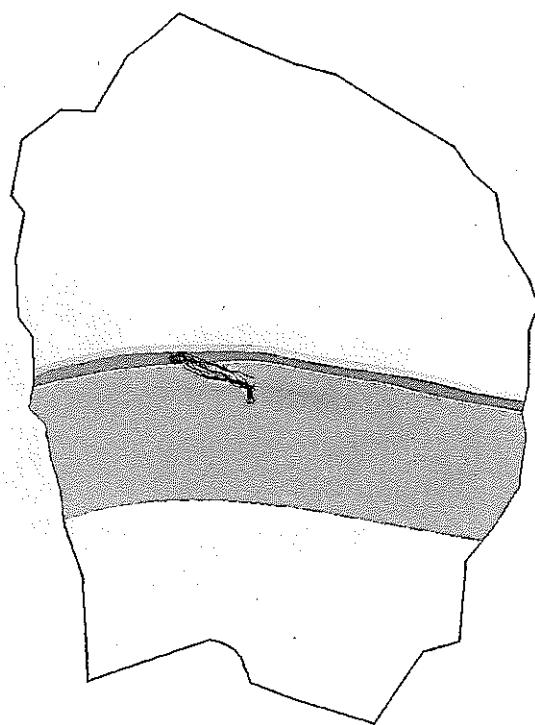


c. 側面図（南→北）

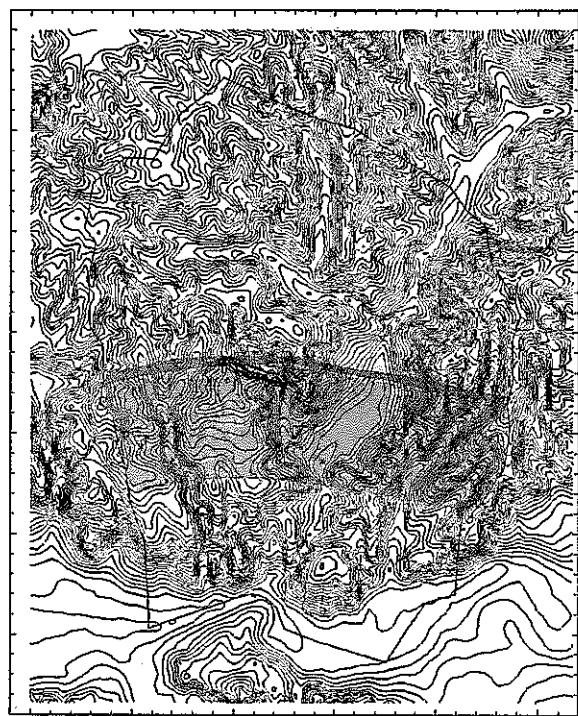


d. 側面図（東→西）

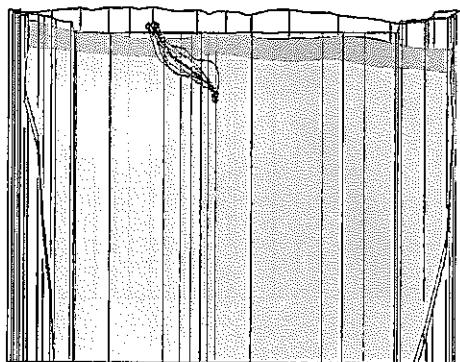
図 5.4-23 指定点 No.16 からの移行経路（10 リアライゼーション）



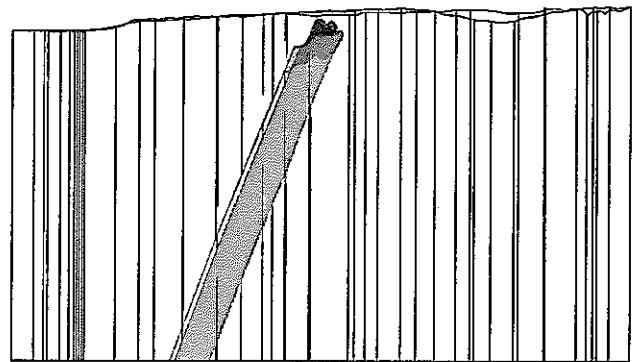
a. 平面図（移行経路図）



b. 地表面流出位置図

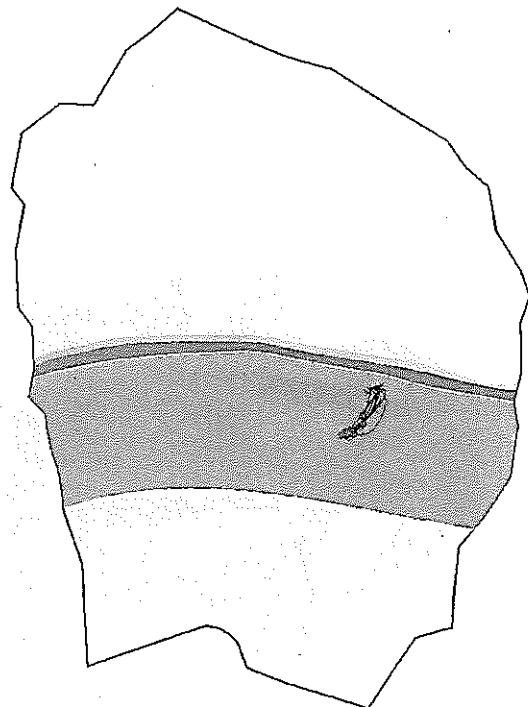


c. 側面図（南→北）

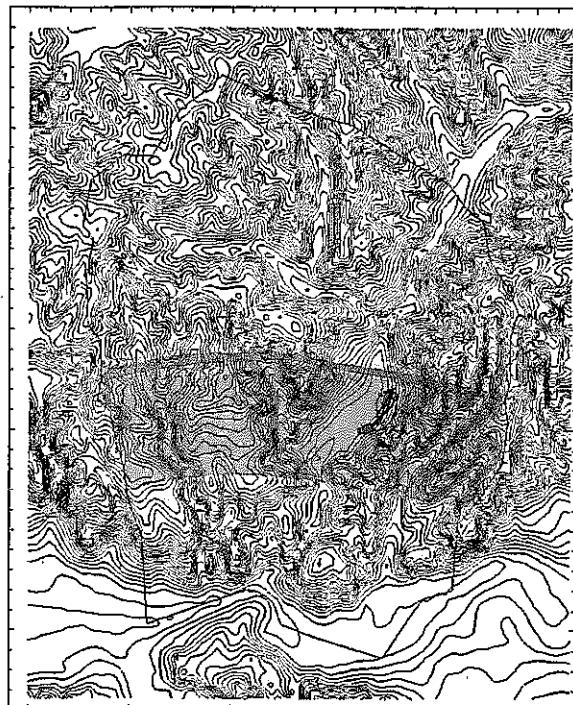


d. 側面図（東→西）

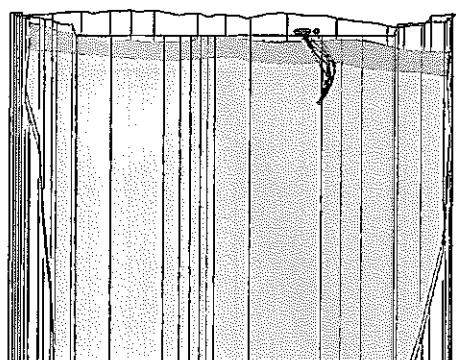
図 5.4-24 指定点 No.17 からの移行経路（10 リアライゼーション）



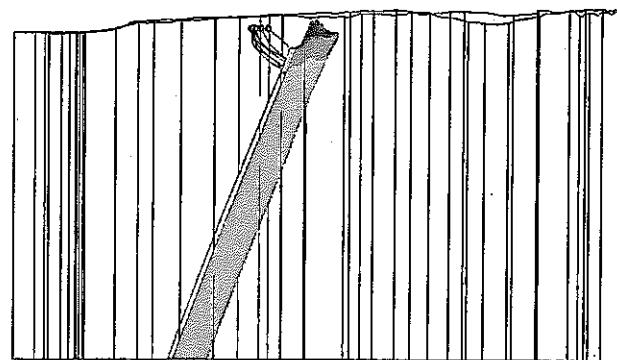
a. 平面図（移行経路図）



b. 地表面流出位置図

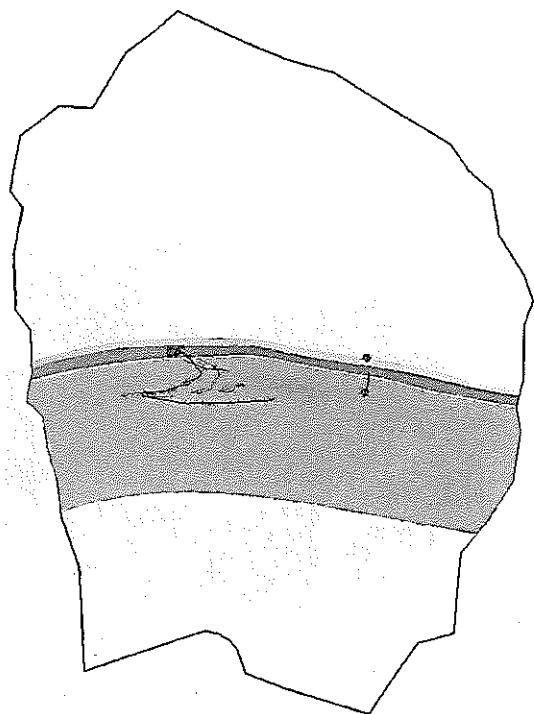


c. 側面図（南→北）

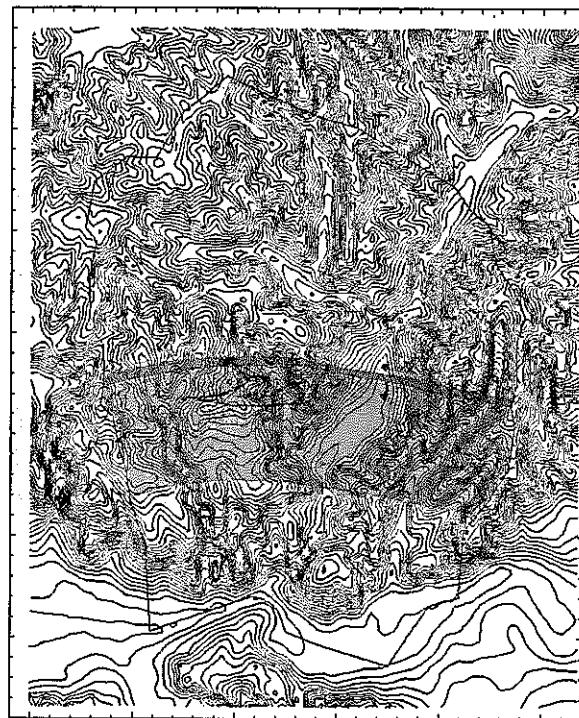


d. 側面図（東→西）

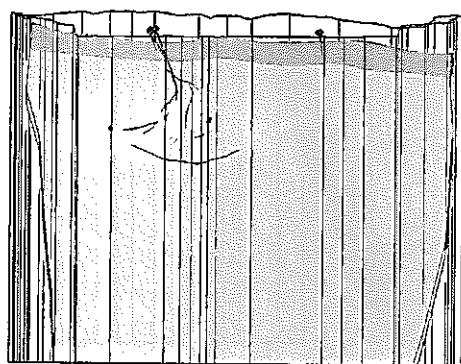
図 5.4-25 指定点 No.18 からの移行経路（10 リアライゼーション）



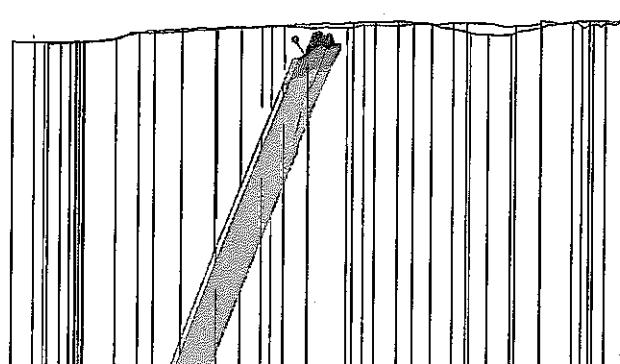
a. 平面図（移行経路図）



b. 地表面流出位置図

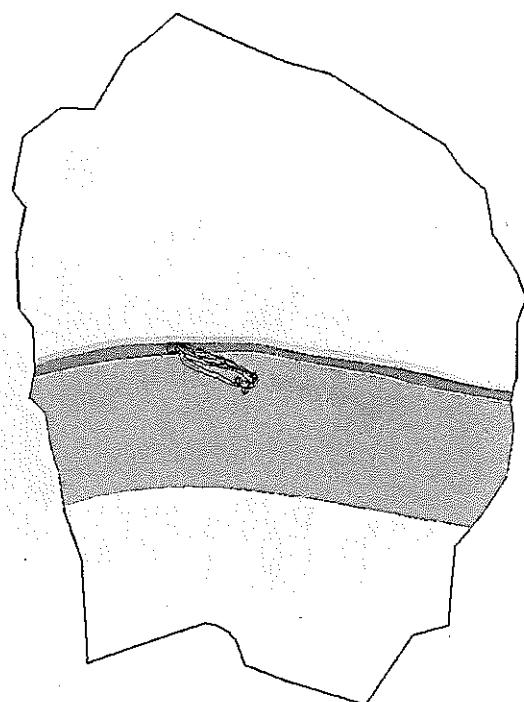


c. 側面図（南→北）



d. 側面図（東→西）

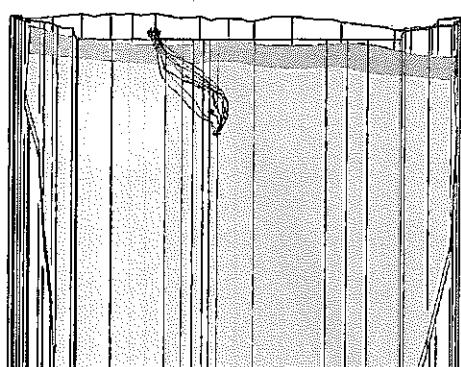
図 5.4-26 指定点 No.19 からの移行経路（10 リアライゼーション）



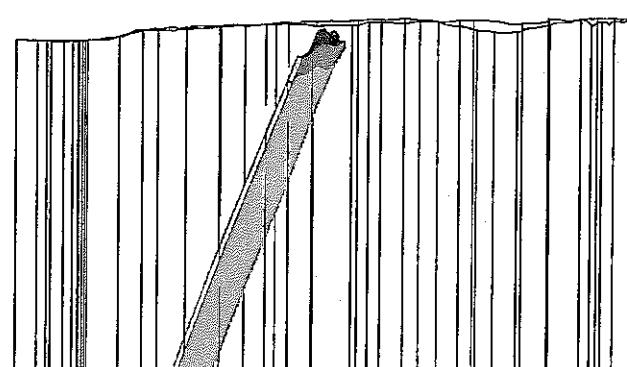
a. 平面図（移行経路図）



b. 地表面流出位置図

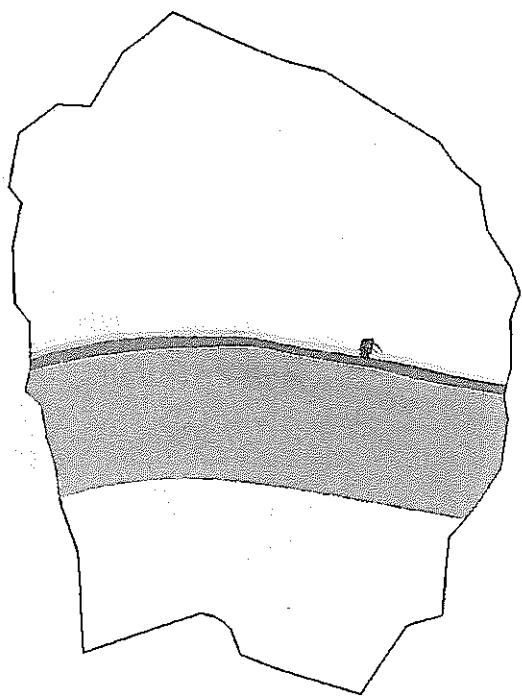


c. 側面図（南→北）

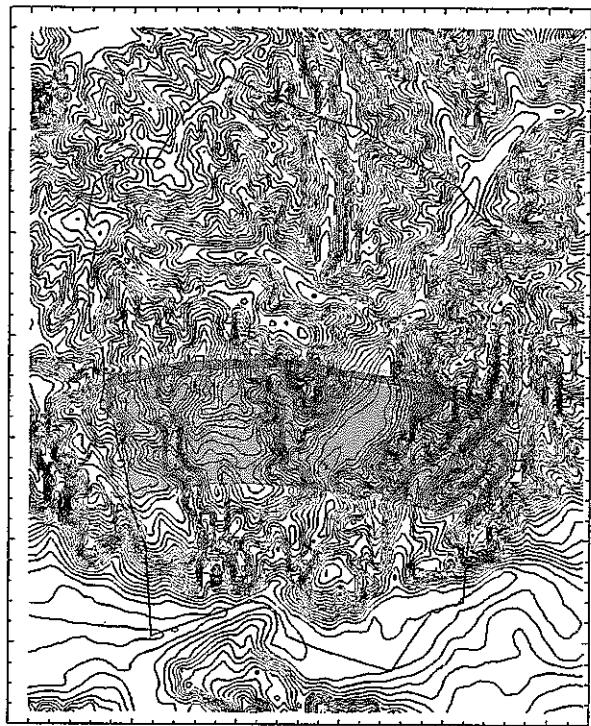


d. 側面図（東→西）

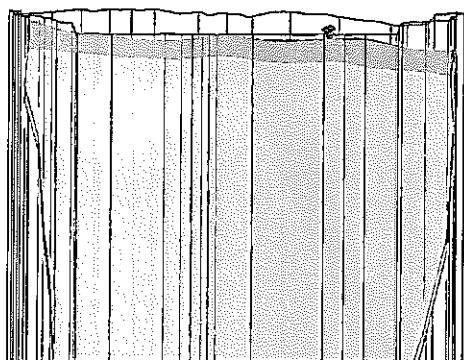
図 5.4-27 指定点 No.20 からの移行経路（10 リアライゼーション）



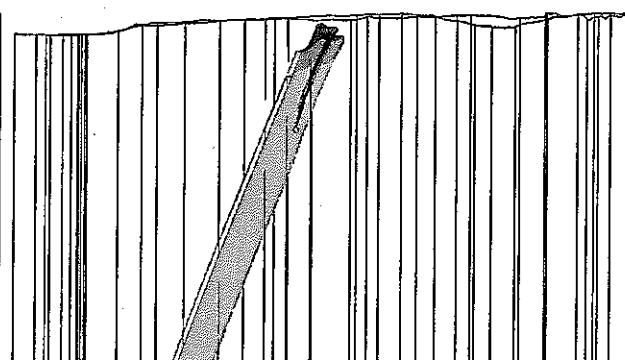
a. 平面図（移行経路図）



b. 地表面流出位置図

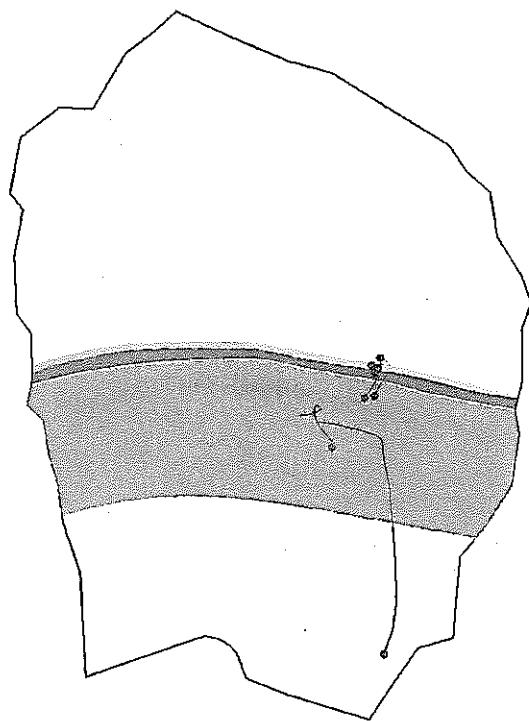


c. 側面図（南→北）

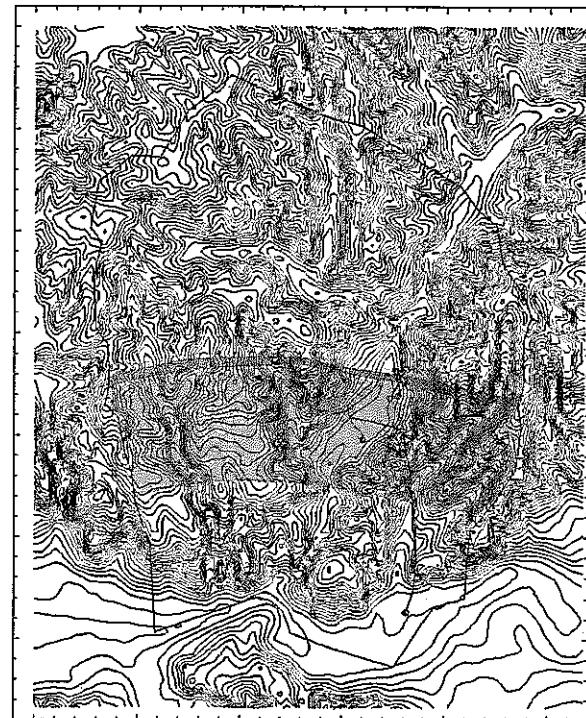


d. 側面図（東→西）

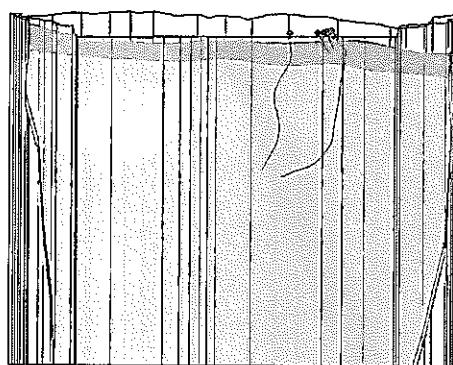
図 5.4-28 指定点 No.21 からの移行経路（10 リアライゼーション）



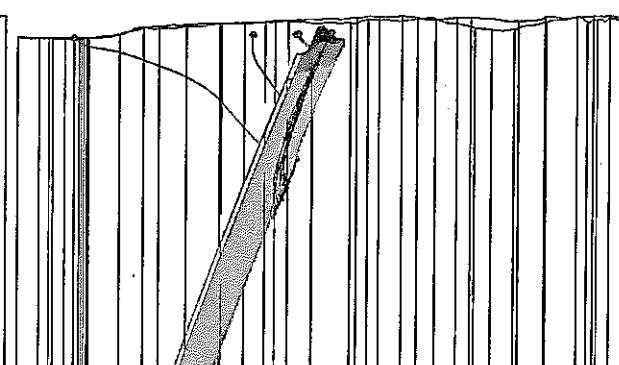
a. 平面図（移行経路図）



b. 地表面流出位置図

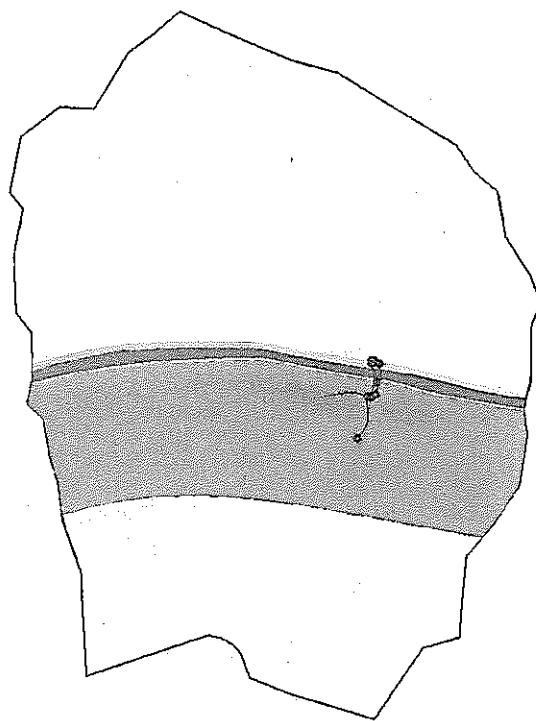


c. 側面図（南→北）

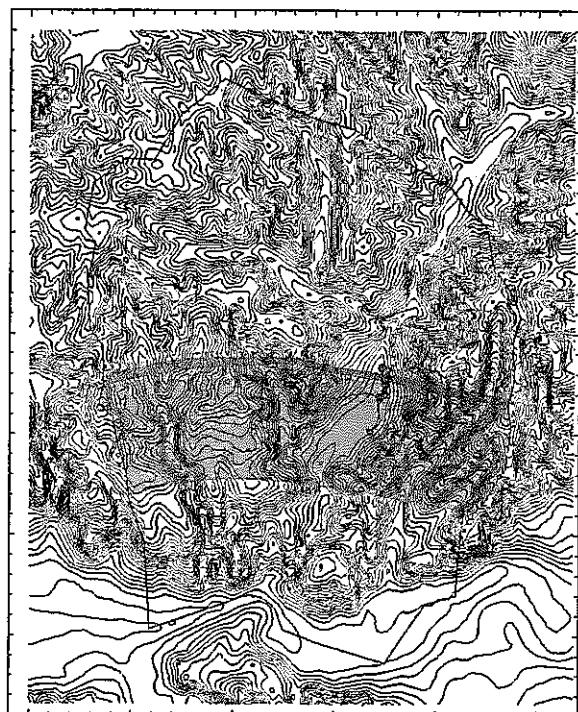


d. 側面図（東→西）

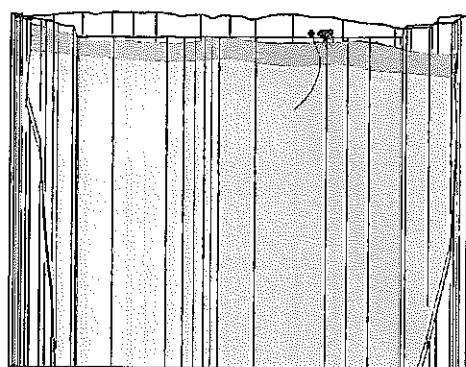
図 5.4-29 指定点 No.22 からの移行経路（10 リアライゼーション）



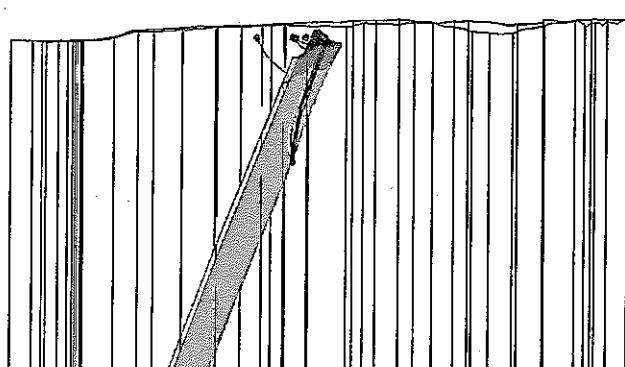
a. 平面図（移行経路図）



b. 地表面流出位置図

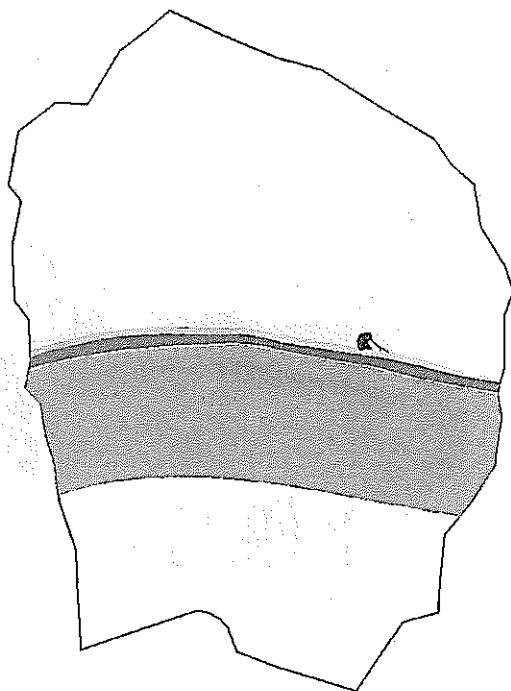


c. 側面図（南→北）

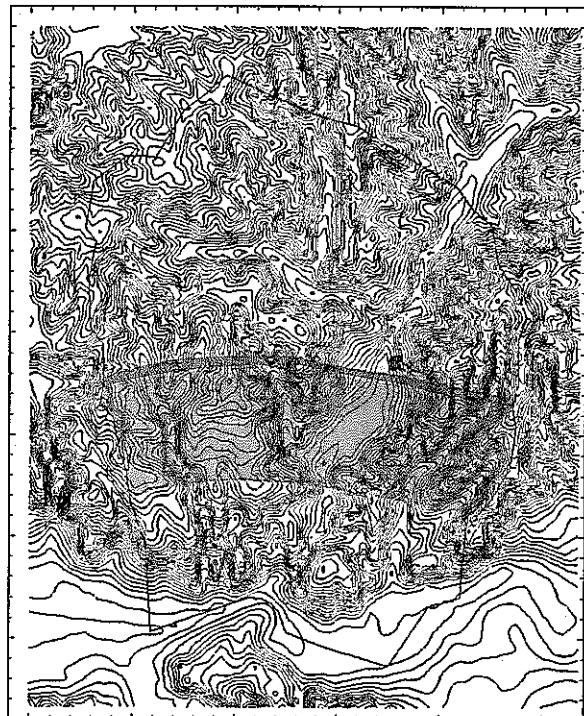


d. 側面図（東→西）

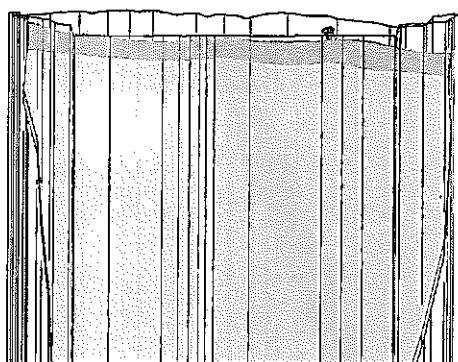
図 5.4-30 指定点 No.23 からの移行経路（10 リアライゼーション）



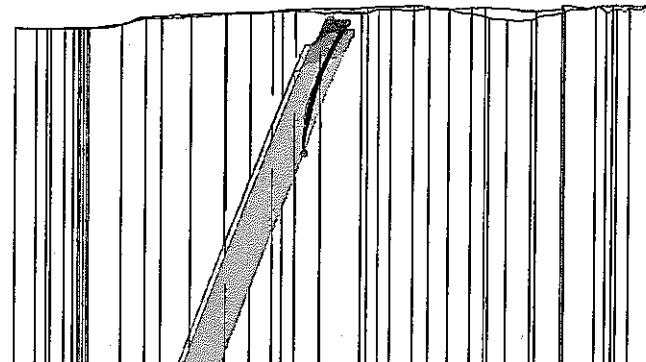
a. 平面図（移行経路図）



b. 地表面流出位置図



c. 側面図（南→北）



d. 側面図（東→西）

図 5.4-31 指定点 No.24 からの移行経路（10 リアライゼーション）

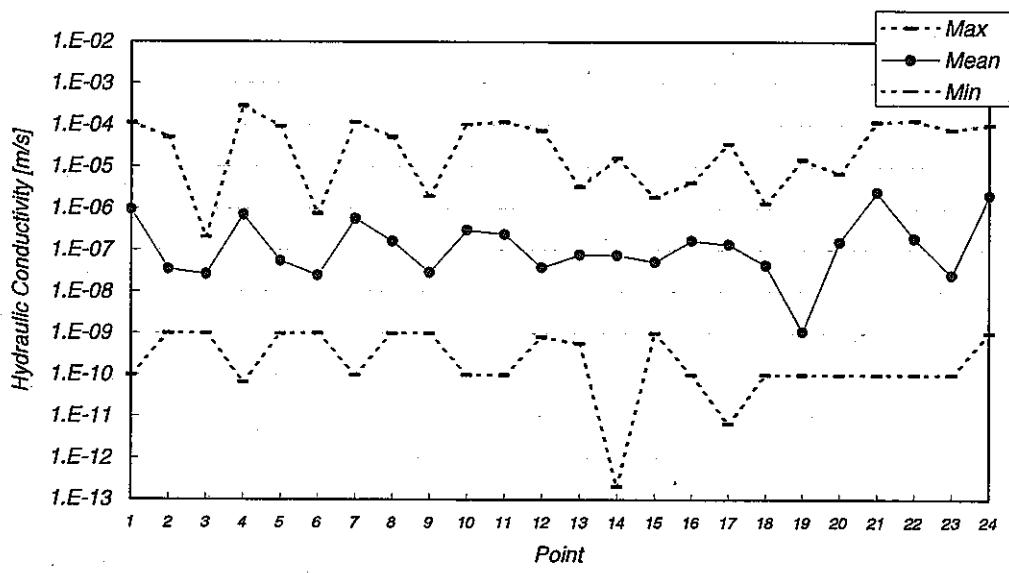


図-5.3-13 移行経路沿いの透水係数

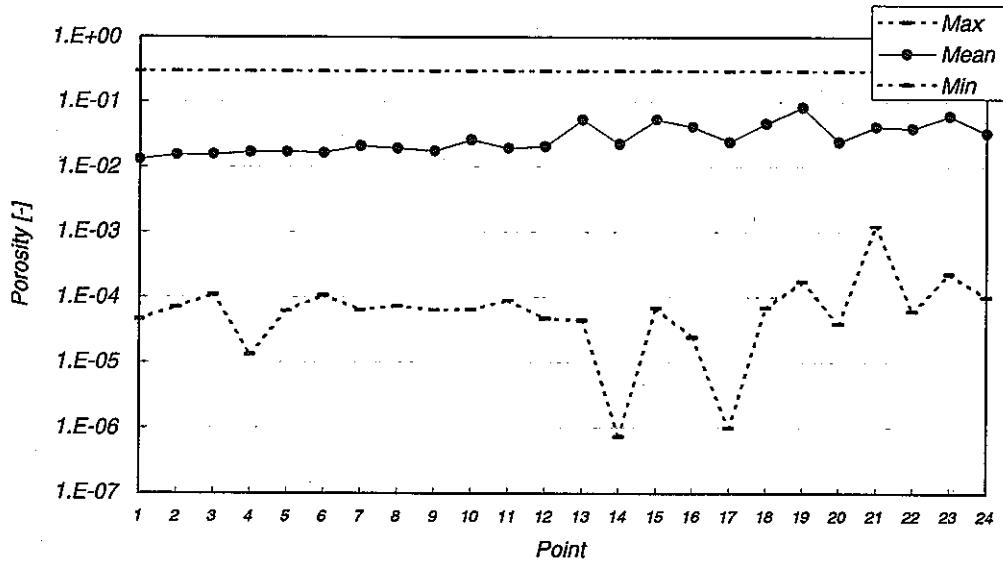


図 5.4-32 移行経路沿いの有効間隙率

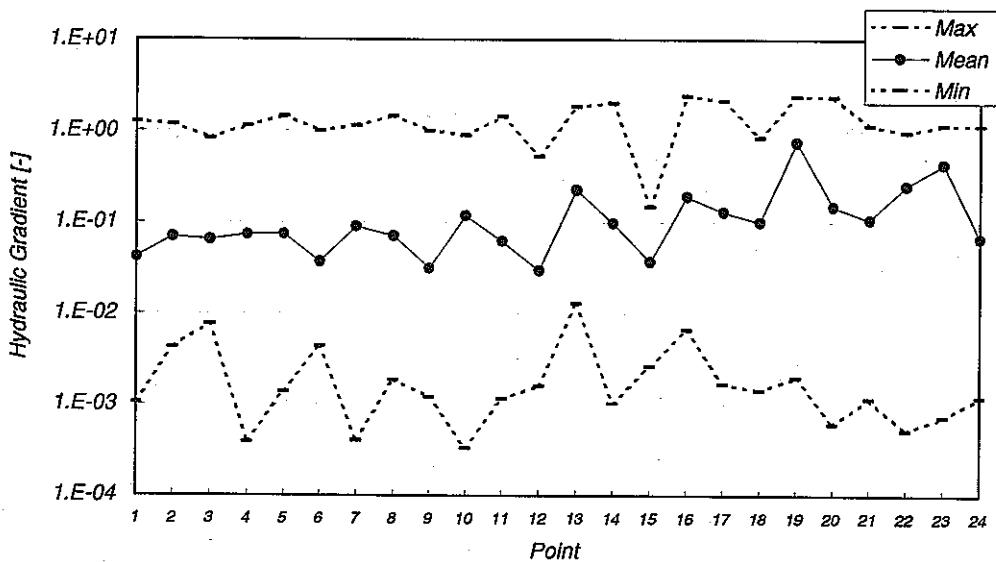


図 5.4-33 移行経路沿いの動水勾配

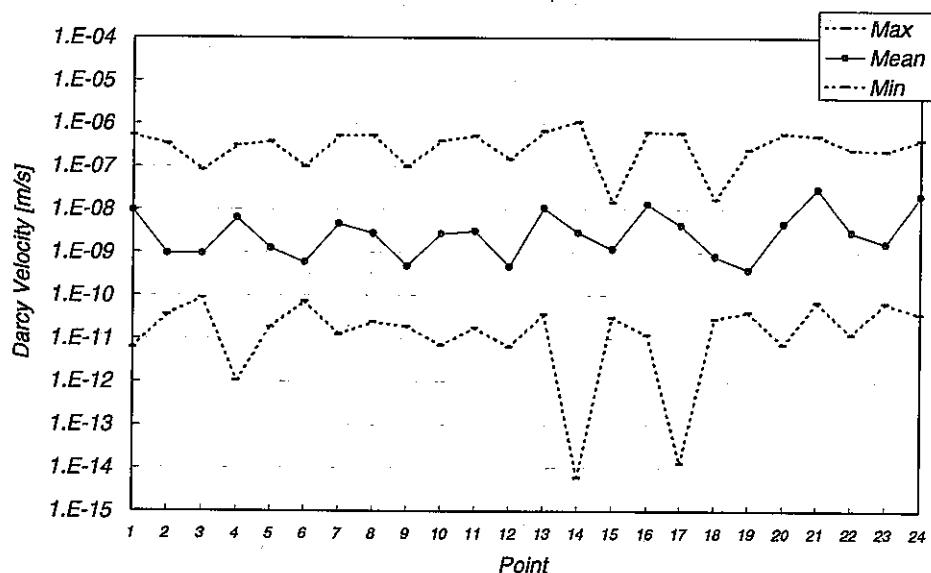


図 5.4-34 移行経路沿いのダルシー流速

表 5.4-5 指定点を通過する地下水の下流境界までの流動経路特性

Point #	Travel Distance (m)			Travel Time (s)			Hydraulic Conductivity (m/s)			Hydraulic Gradient (-)			Darcy Velocity (m/s)			Porosity (-)		
	Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	Log.Mean	Max	Min	Mean	Max	Min	Log.Mean	Max	Min	Mean	Max	Min
point#1	3.6E+03	4.1E+03	3.1E+03	1.6E+09	1.8E+09	1.1E+09	9.5E-07	1.1E-04	1.0E-10	4.1E-02	1.3E+00	1.0E-03	9.7E-09	5.3E-07	6.2E-12	1.3E-02	3.0E-01	4.6E-05
point#2	2.2E+03	2.5E+03	2.1E+03	1.1E+09	1.3E+09	9.3E+08	3.5E-08	5.1E-05	1.0E-09	7.0E-02	1.2E+00	4.2E-03	9.6E-10	3.4E-07	3.5E-11	1.5E-02	3.0E-01	7.1E-05
point#3	1.4E+03	1.6E+03	1.2E+03	7.5E+08	1.1E+09	5.0E+08	2.6E-08	2.0E-07	1.0E-09	6.4E-02	8.3E-01	7.6E-03	9.4E-10	8.3E-08	8.9E-11	1.6E-02	3.0E-01	1.1E-04
point#4	4.2E+03	4.7E+03	3.3E+03	2.5E+09	3.9E+09	1.3E+09	7.1E-07	2.9E-04	6.6E-11	7.3E-02	1.1E+00	3.9E-04	6.3E-09	3.1E-07	1.1E-12	1.7E-02	3.0E-01	1.3E-05
point#5	2.6E+03	3.1E+03	2.4E+03	1.5E+09	1.7E+09	1.2E+09	5.5E-08	9.3E-05	9.7E-10	7.4E-02	1.4E+00	1.4E-03	1.3E-09	3.8E-07	1.9E-11	1.7E-02	3.0E-01	6.2E-05
point#6	1.9E+03	2.0E+03	1.6E+03	1.5E+09	2.0E+09	1.1E+09	2.5E-08	7.6E-07	1.0E-09	3.7E-02	1.0E+00	4.4E-03	6.0E-10	1.0E-07	7.2E-11	1.7E-02	3.0E-01	1.1E-04
point#7	4.8E+03	5.7E+03	4.5E+03	3.5E+09	5.4E+09	3.0E+09	5.7E-07	1.2E-04	1.0E-10	9.0E-02	1.1E+00	4.0E-04	4.7E-09	5.3E-07	1.3E-11	2.1E-02	3.0E-01	6.4E-05
point#8	2.9E+03	3.3E+03	2.8E+03	2.0E+09	2.3E+09	1.7E+09	1.8E-07	5.2E-05	1.0E-09	7.1E-02	1.5E+00	1.9E-03	2.8E-09	5.3E-07	2.4E-11	1.9E-02	3.0E-01	7.3E-05
point#9	2.3E+03	2.6E+03	2.0E+03	2.4E+09	4.0E+09	1.8E+09	2.9E-08	2.0E-06	1.0E-09	3.1E-02	1.0E+00	1.2E-03	4.9E-10	1.0E-07	1.9E-11	1.8E-02	3.0E-01	6.4E-05
point#10	5.5E+03	7.5E+03	4.9E+03	5.4E+09	8.9E+09	3.5E+08	3.1E-07	1.0E-04	1.0E-10	1.2E-01	9.0E-01	3.3E-04	2.8E-09	4.0E-07	7.2E-12	2.6E-02	3.0E-01	6.4E-05
point#11	3.3E+03	3.6E+03	3.1E+03	2.5E+09	2.8E+09	2.1E+09	2.4E-07	1.2E-04	1.0E-10	6.2E-02	1.4E+00	1.1E-03	3.2E-09	5.3E-07	1.8E-11	2.0E-02	3.0E-01	9.0E-05
point#12	2.7E+03	3.0E+03	2.5E+03	4.0E+09	9.3E+09	2.8E+09	3.9E-08	7.4E-05	8.0E-10	3.0E-02	5.3E-01	1.6E-03	4.7E-10	1.5E-07	6.5E-12	2.1E-02	3.0E-01	4.7E-05
point#13	8.7E+02	1.0E+03	8.2E+02	3.1E+08	8.3E+08	7.8E+07	7.7E-08	3.3E-06	5.7E-10	2.3E-01	1.8E+00	1.3E-02	1.1E-08	8.6E-07	3.7E-11	5.4E-02	3.0E-01	4.5E-05
point#14	9.9E+02	1.0E+03	9.4E+02	7.8E+08	1.9E+09	1.9E+08	7.6E-08	1.6E-05	2.0E-13	9.7E-02	2.0E+00	1.0E-03	2.9E-09	1.1E-06	6.0E-15	2.3E-02	3.0E-01	7.4E-07
point#15	6.2E+02	7.0E+02	5.7E+02	1.0E+09	1.3E+09	8.4E+08	5.2E-08	1.9E-06	1.0E-09	3.7E-02	1.5E-01	2.6E-03	1.2E-09	1.5E-08	3.1E-11	5.4E-02	3.0E-01	6.9E-05
point#16	1.1E+03	1.3E+03	1.0E+03	4.5E+08	1.0E+09	1.5E+08	1.7E-07	4.2E-06	1.0E-10	1.9E-01	2.4E+00	6.6E-03	1.4E-08	6.3E-07	1.2E-11	4.2E-02	3.0E-01	2.5E-05
point#17	1.1E+03	1.2E+03	1.1E+03	8.3E+08	1.7E+09	2.1E+08	1.4E-07	3.6E-05	6.6E-12	1.3E-01	2.1E+00	1.7E-03	4.3E-09	6.1E-07	1.3E-14	2.4E-02	3.0E-01	1.0E-06
point#18	9.2E+02	9.9E+02	8.4E+02	1.6E+09	1.9E+09	1.3E+09	4.3E-08	1.3E-06	1.0E-10	1.0E-01	8.5E-01	1.4E-03	8.2E-10	1.7E-08	2.9E-11	4.7E-02	3.0E-01	6.9E-05
point#19	1.9E+03	2.9E+03	1.1E+03	4.2E+09	1.8E+10	9.6E+08	1.1E-09	1.5E-05	1.0E-10	7.6E-01	2.4E+00	2.0E-03	4.0E-10	2.5E-07	4.1E-11	8.3E-02	3.0E-01	1.8E-04
point#20	1.3E+03	1.5E+03	2.0E+02	6.6E+08	1.4E+09	1.9E+08	1.6E-07	6.9E-06	1.0E-10	1.5E-01	2.4E+00	6.1E-04	4.7E-09	5.8E-07	7.4E-12	2.5E-02	3.0E-01	4.0E-05
point#21	1.1E+03	1.2E+03	1.0E+03	7.0E+08	1.1E+09	4.7E+08	2.5E-08	1.2E-04	1.0E-10	1.1E-01	1.1E+00	1.1E-03	3.1E-08	5.3E-07	7.0E-11	4.2E-02	3.0E-01	1.2E-03
point#22	3.7E+03	4.5E+03	3.2E+03	2.8E+09	4.2E+09	1.9E+09	1.9E-07	1.3E-04	1.0E-10	2.5E-01	9.7E-01	5.2E-04	3.1E-09	2.5E-07	1.3E-11	4.0E-02	3.0E-01	6.1E-05
point#23	1.9E+03	2.2E+03	1.7E+03	1.3E+09	2.4E+09	6.8E+08	2.5E-08	7.8E-05	1.0E-10	4.4E-01	1.2E+00	7.2E-04	1.6E-09	2.3E-07	6.8E-11	6.1E-02	3.0E-01	2.3E-04
point#24	1.4E+03	1.5E+03	1.3E+03	7.6E+08	1.1E+09	5.1E+08	2.1E-06	1.0E-04	1.0E-09	6.7E-02	1.2E+00	1.2E-03	2.1E-08	4.2E-07	3.8E-11	3.3E-02	3.0E-01	1.0E-04

#### 5.4.5 指定点を通過する地下水の下流境界までの流動経路長

指定点を通過する地下水の下流境界までの流動経路長を、H13 解析結果とともに、図 5.4-35に示す。同図は、24 の指定点毎に 10 回のリアライゼーションから得られた流動経路長の平均値と最大・最小値とを示したものである。H14 解析結果においては、月吉断層の北側に位置する 1~12 の指定点（出発点）からの流動経路長が、月吉断層の南側に位置する 13~24 の指定点からの流動経路長に比べて長くなっている。

図 5.4-37に、H13 解析と H14 解析から得られた流動経路の比較を示す。この図から、H13 と H14 解析結果の違いとして、次の 3 点が挙げられる。

- ① 土岐川及び日吉川の北東端部で見られた北東方向の流動が見られなくなった。
- ② 月吉断層北側で、断層に沿った流動が支配的となった。
- ③ 東濃鉱山への流動が見られる。

①は、土岐川及び日吉川の北東部を固定水頭境界から不透水境界に変更したためである。H13 年度に実施した境界条件の不確実性に関する解析結果から、地形に支配される大局的な地下水流动の方向からすると、土岐川及び日吉川の北東端は不透水境界とすることが妥当と考えられた。そこで本年度解析では、上記の成果を反映し、側面境界条件を不透水境界に変更した結果、北東方向の流動が見られなくなり、南への流動が支配的となった。

②は、キャリブレーションにより透水係数分布を修正した結果と考えられる。正馬様用地内の南北断面のポテンシャル分布を図 5.4-38に示す。この図から次のようなキャリブレーション前後の違いが見られる。

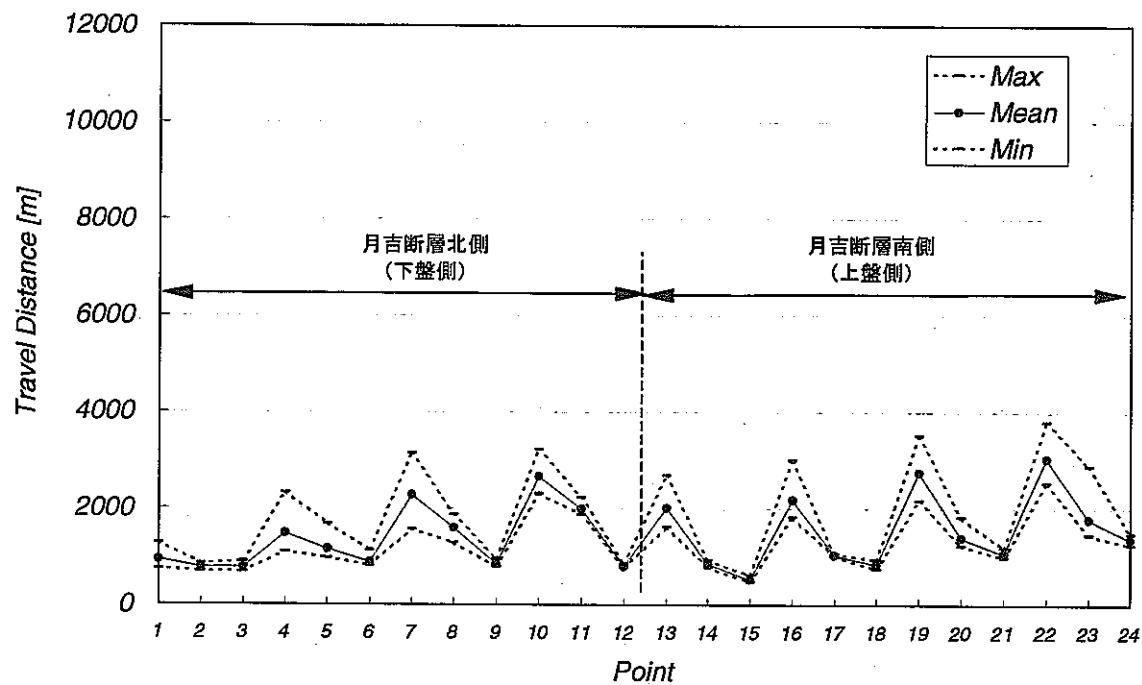
一月吉断層南側の深部岩盤内における動水勾配の減少

一月吉断層北側の深部岩盤内における水平方向の導水勾配の卓越

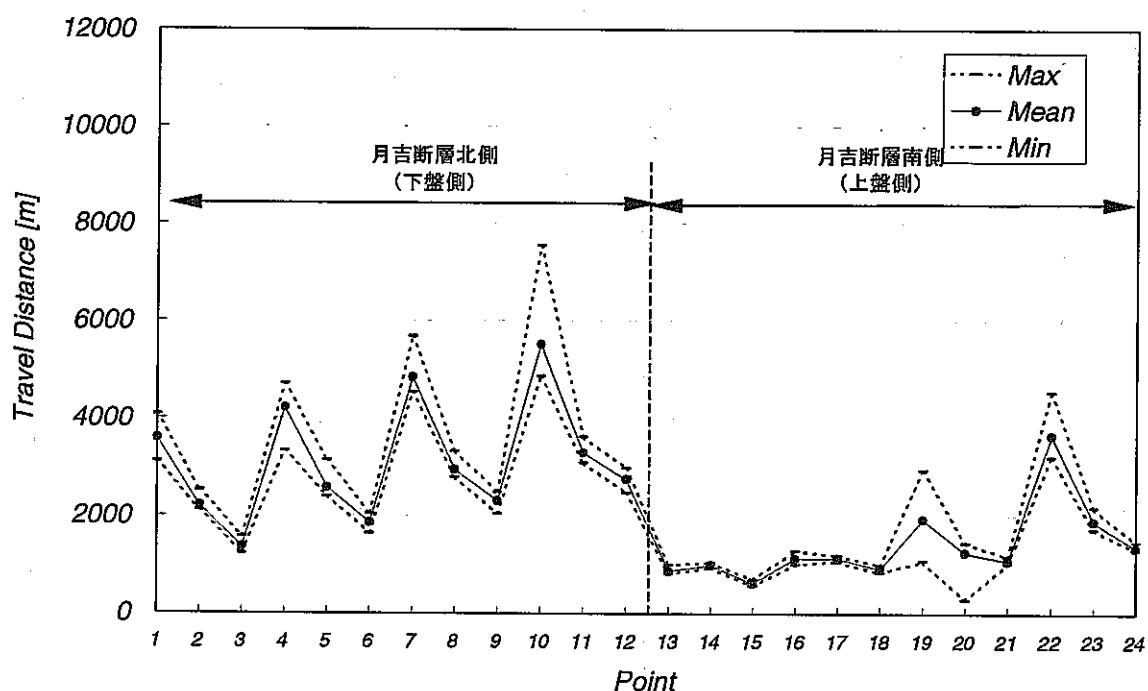
一月吉断層近傍における断層周辺の破碎帯に沿った上昇流の卓越

上記の結果、解析領域の北側を出発点とする粒子は、まず、北から南へ水平に移動し、月吉断層に到達した後に断層に沿って上昇する傾向が顕著となっている。

③は、H13 年度の解析で考慮していなかった東濃鉱山の存在の影響と考えられる。すなわち、月吉断層近傍の透水性が高まったことに加え、東濃鉱山が大気圧固定境界として加えられたことにより、断層の南側においても、断層近傍を出発点とする指定点では、断層に沿って地表へ上昇し、東濃鉱山へ向かう流動が生じたと考えられる。



(a) H13 解析結果

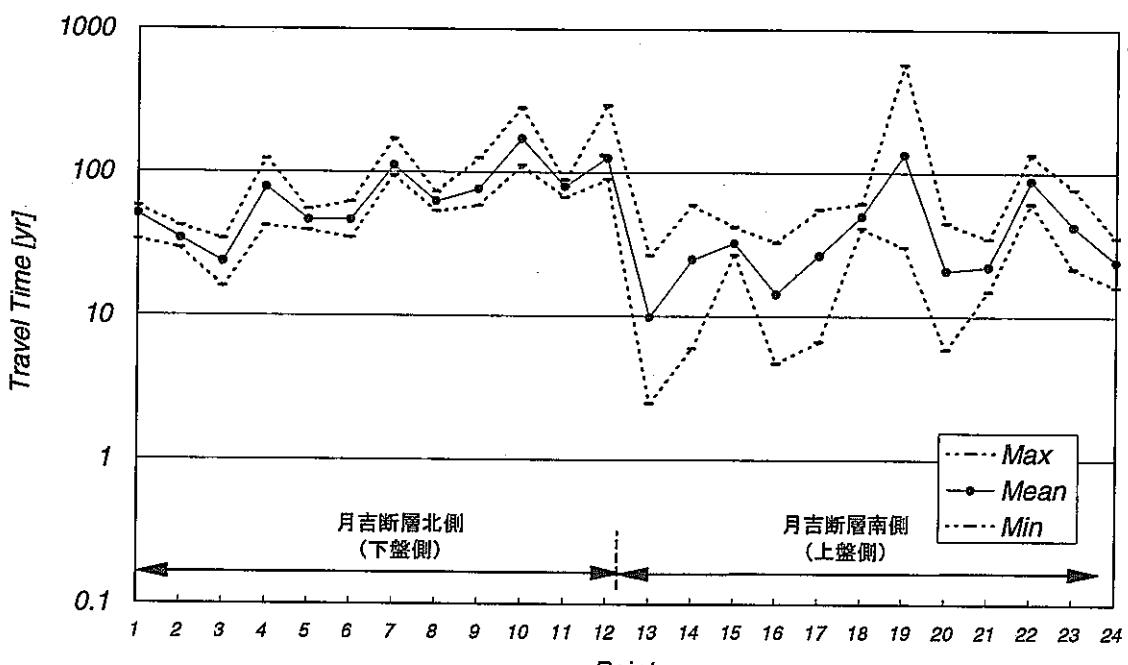
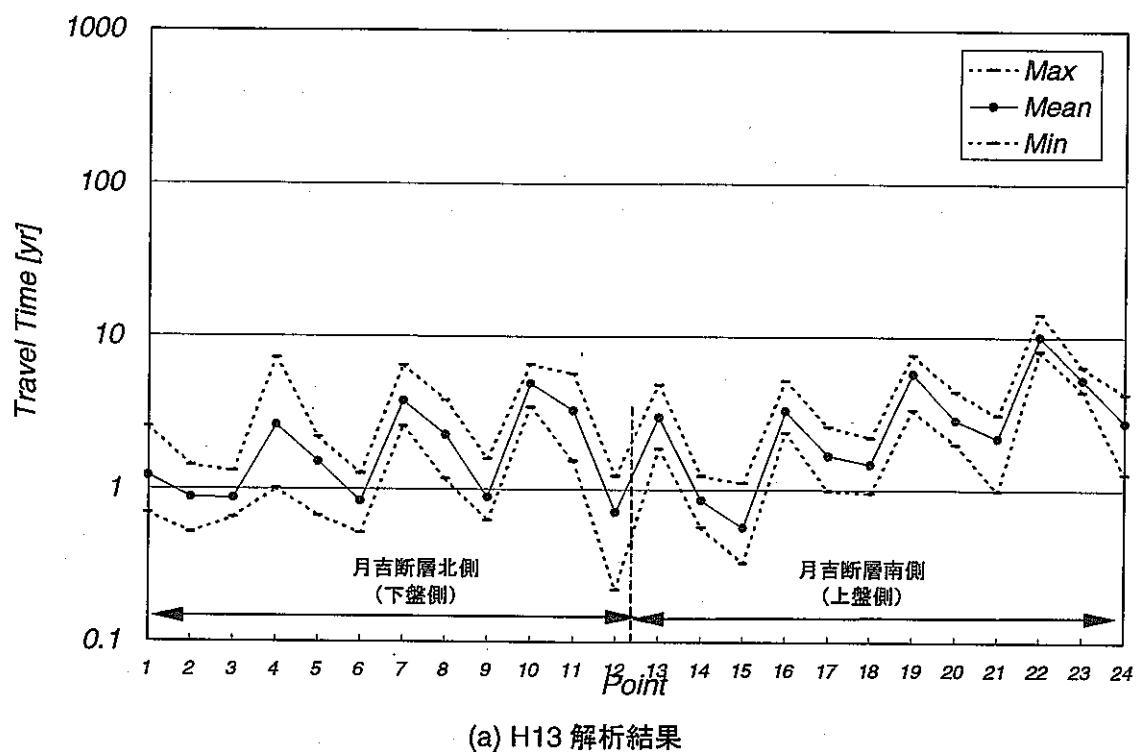


(b) H14 解析結果

図 5.4-35 指定点を通過する地下水の下流境界までの流動経路長

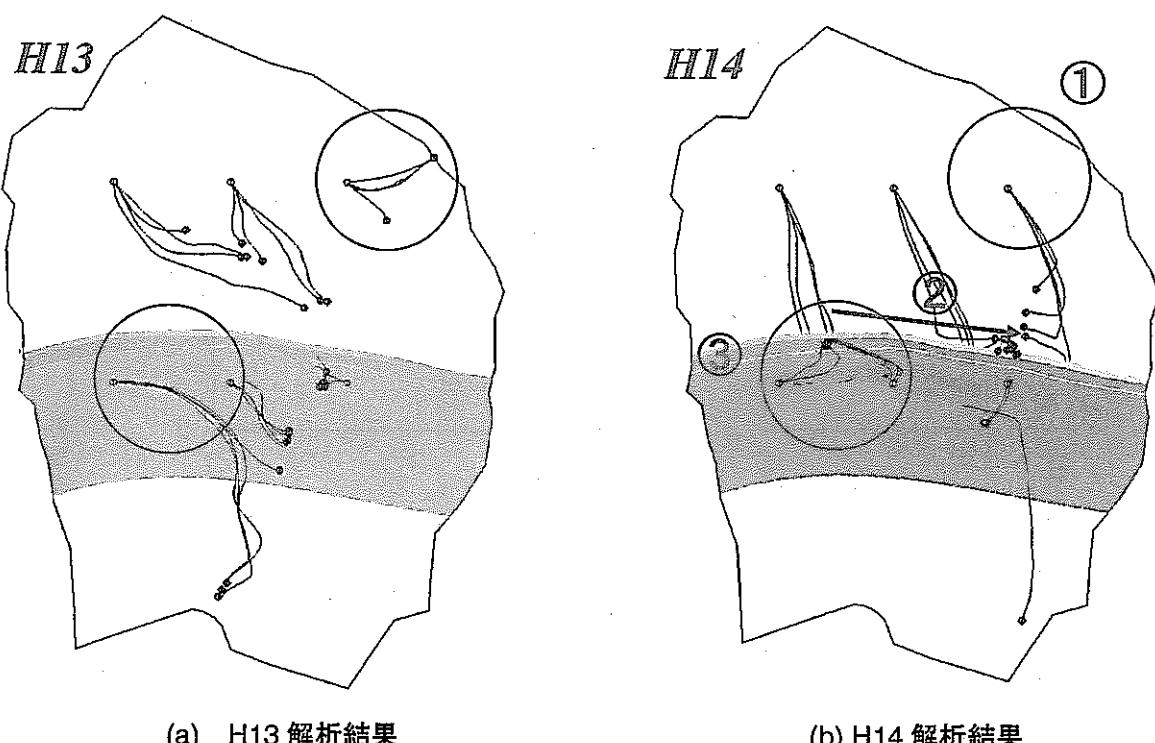
#### 5.4.4 指定点を通過する地下水の下流境界までの滞留時間

指定点を通過する地下水の下流境界までの滞留時間を図 5.4-36に示す。前節で述べた流动経路長の違いを反映し、H14 解析では、月吉断層北側に位置する指定点 No1～12 の滞留時間が、H13 解析結果よりも 1 オーダー長くなっているのが分かる。



(b) H14 解析結果

図 5.4-36 指定点を通過する地下水の下流境界までの滞留時間



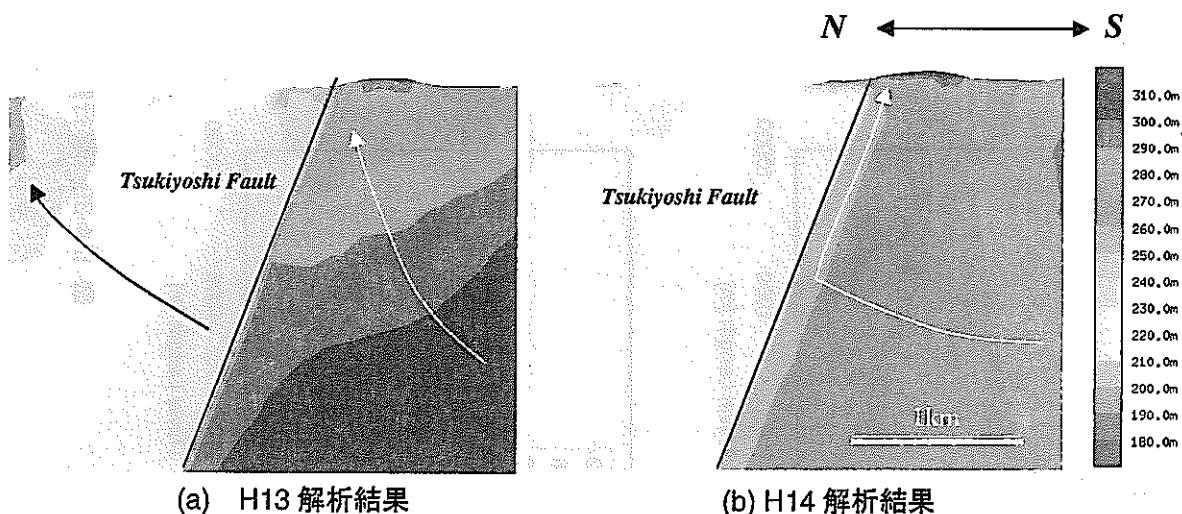
(a) H13 解析結果

(b) H14 解析結果

- ①NE 方向への流動が見られなくなった（境界条件の変更：側面境界 No Flow）
- ②月吉断層北側で、断層に沿った流動が支配的となった（断層下盤の高い透水性）
- ③東濃鉱山への流動が見られる（鉱山の存在）

図 5.4-37 キャリブレーション前後の流動経路の違い

(リアライゼーション#1)



(a) H13 解析結果

(b) H14 解析結果

図 5.4-38 キャリブレーション前後の水頭分布の違い

(正馬様用地内, リアライゼーション#1)

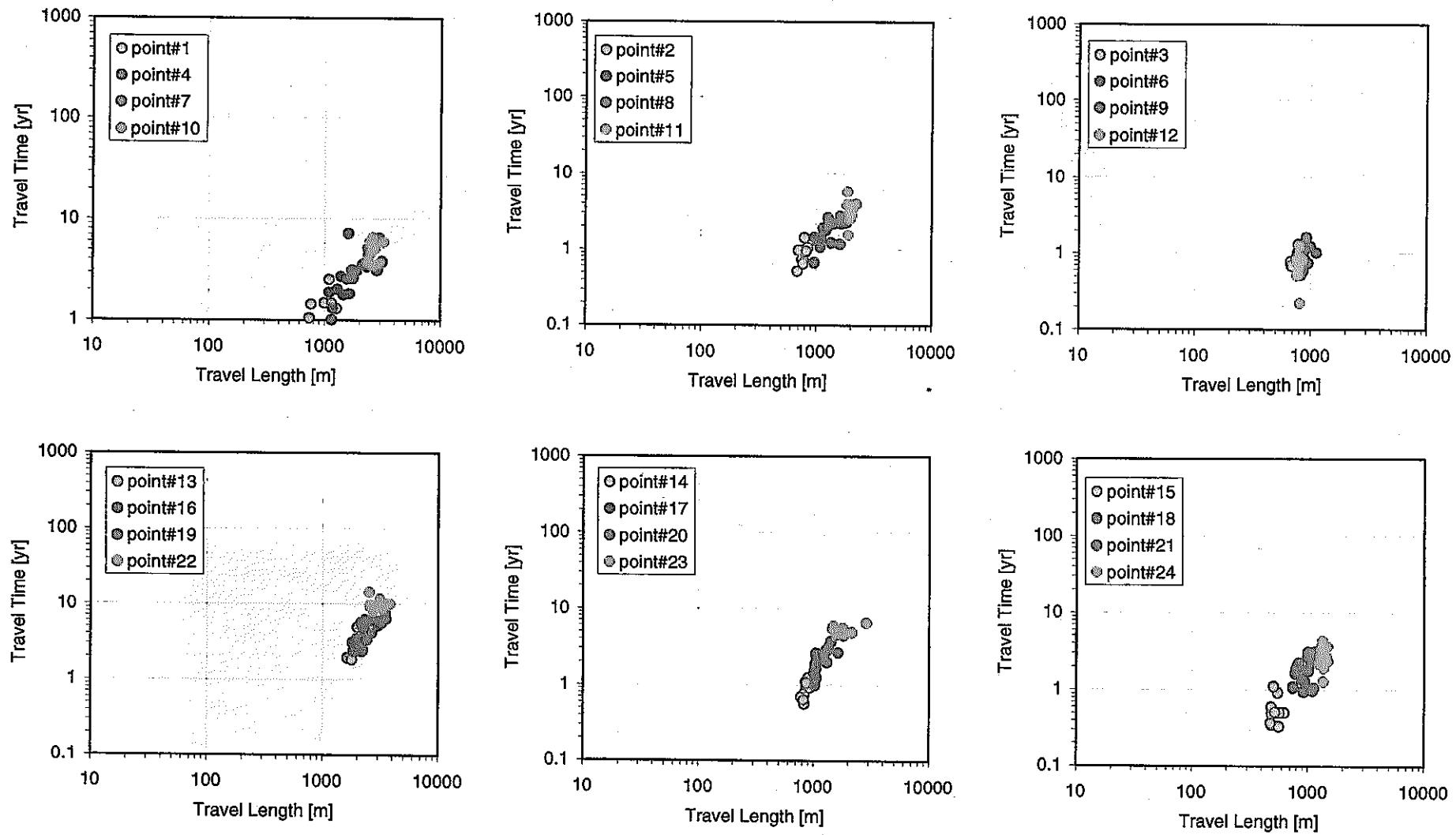


図 5.4-39 移行距離と滞留時間の関係（キャリブレーション前, H13 解析結果）

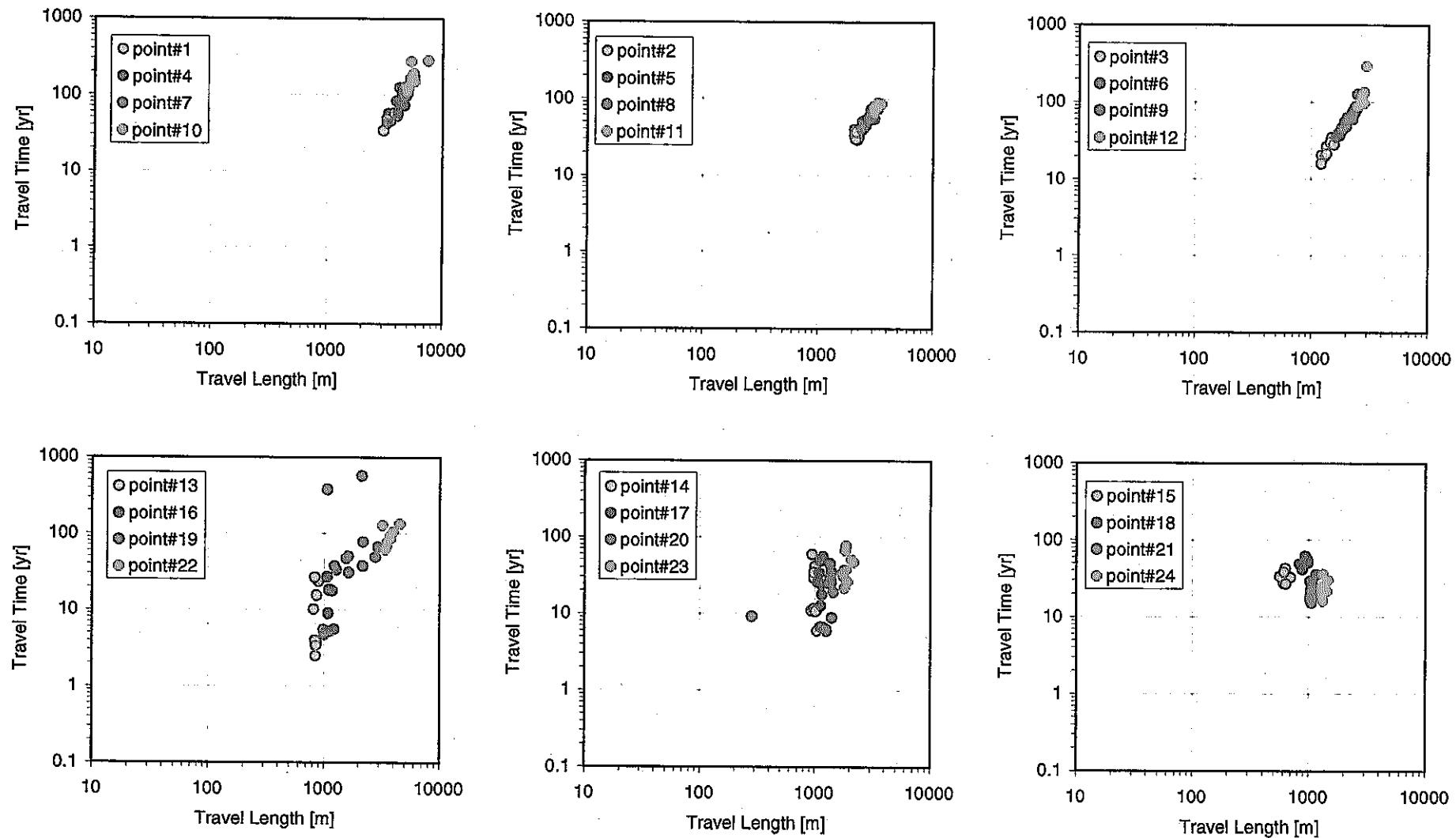


図 5.4-40 移行距離と滞留時間の関係（キャリブレーション後）

#### 5.4.6 指定点を通過する地下水の最終到達地点

各指定点を通過する地下水の最終到達地点をまとめると、図 5.4-41のようである。殆どの場合、土岐川や日吉川の河川部あるいは東濃鉱山へ流出しているのが分かる。指定点の数が多いため、24箇所の指定点を水平座標によって A グループ～F グループに分け（図 5.4-41）、流出経路ならびに最終到達地点の傾向を以下に述べる。

- ① A グループ：深部岩盤内をほぼ水平に南南東方向へ移動し、月吉断層に到達した後、月吉断層に沿って生じる地表への上昇流により、日吉川の断層北側へ流出する。
- ② B グループ：基本的に A と同様である。南東方向へ移動し、日吉川へ流出する。
- ③ C グループ：深部岩盤内では地表地形に沿った形で南東方向へ移動し、最終的に日吉川へ流出する。
- ④ D グループ：月吉断層に沿った上昇流により地表へ移動し、東濃鉱山へ流出する。ただし、リアライゼーションによつては、月吉断層に沿つて東方（日吉川方向）へ移動し、中には土岐川へ至るものもある。
- ⑤ E グループ：D と同様である。東濃鉱山へ流出する。
- ⑥ F グループ：南西方向の地表面へ向かってゆっくり上昇し、日吉川へ流出する。

最終到達地点に関し、H13 年度と本年度の比較を図 5.4-42に示す。H13 年度と比べ、本年度解析結果は、次のように異なる。

- ① 断層北側においては、北東境界へ流出が無くなり（C グループ）、日吉川へ向かう流動がより顕著になった。
- ② 断層南側のうち、東濃鉱山に近い西側の 2 つの出発点（D, E グループ）については、東濃鉱山へ向かう流動が明瞭である。正確な比較のためには、本来は、東濃鉱山の存在の有無をそろえることが必要である。
- ③ 断層南側のうち、最も東側に位置する出発点（F グループ）については、大きな変化は見られない。

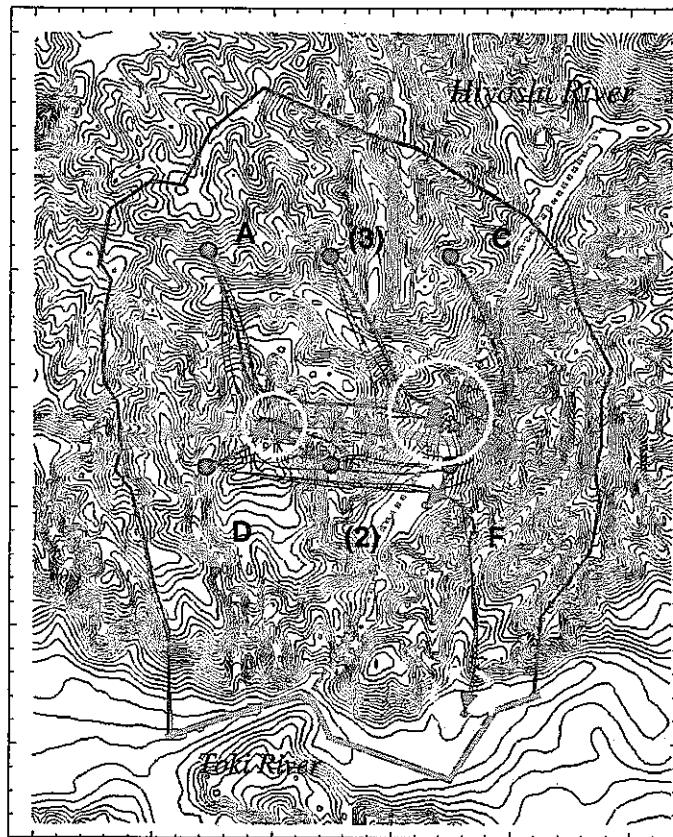


図 5.4-41 指定点を通過する地下水の最終到達地点（キャリブレーション後）

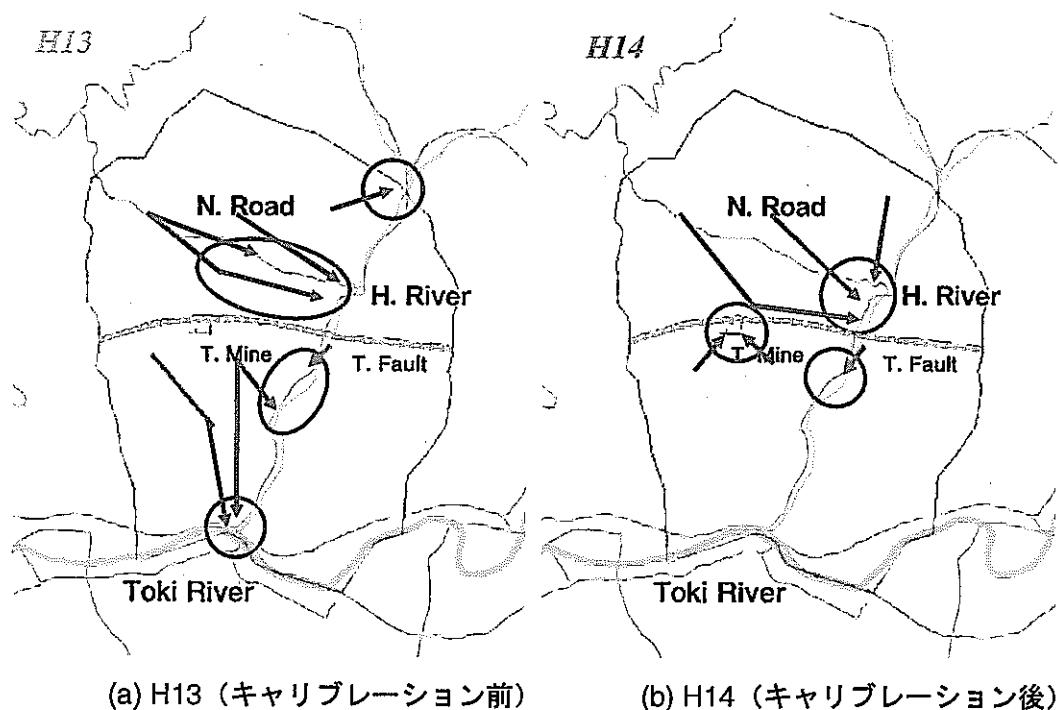


図 5.4-42 地下水の最終到達地点（キャリブレーション前後の比較）

## 5.5 まとめと課題

### 5.5.1 まとめ

等価不均質連續体モデルを用い、正馬様用地（約4 km × 6 km四方）を対象とした地下水流動解析を実施した。本年度は、新規の調査データ（MIU-4号孔）を反映した割れ目パラメータの見直しを行うとともに、非定常水圧データを用いたモデルキャリブレーションを実施した。その結果を以下にまとめる。

#### (1) モデル作成ならびにキャリブレーション

- ・ 昨年度に作成した正馬様用地モデルをベースに行った。割れ目分布パラメータについては、新たに追加された MIU-4号孔の割れ目データを用いて見直しを行った。
- ・ 月吉断層部のバッカ一開閉に伴う断層上下盤の水圧変動データを用い、非定常解析結果のマッチングによるモデルキャリブレーション（割れ目帶の透水係数ならびに比貯留係数の最適化）を行った。
- ・ 特に MIU-2 と MIU-1/3 号孔間において、上部割れ目帶と月吉断層に伴う割れ目帶（下盤側）での水圧の伝達が非常に良いことから、同割れ目帶内部での強い透水異方性あるいは局所的な水みちの存在が示唆される。
- ・ モデルキャリブレーションの結果、実測の非定常水圧変化を再現するには、上部割れ目帶ならびに月吉断層に伴う割れ目帶の透水係数を、H13 年度のモデルよりも、5 倍～100 倍程度大きく設定する必要がある。

#### (2) 定常地下水流动解析

- ・ 次のような、対象区域における特徴的な傾向を定量的に再現できた。  
鉱山周辺の地下水圧低下状況、月吉断層上下盤での水圧差
- ・ モデルキャリブレーションの結果に基づき、断層に伴う破碎帯（下盤）の透水性を高く設定した結果、月吉断層の遮水性がより強調された流动場となった。
- ・ 地下水の流动経路に大きな変化が見られた。上下流方向のポテンシャル勾配が相対的に大きくなり、特に月吉断層下盤側では、地下深部を下流へ向かって移動し、その後、月吉断層に沿って上昇する傾向が見られた。
- ・ モニタリング区間の定常水圧値における観測値と計算値の残差二乗和は、H13 モデルに比較して、約 1 / 3 に改善された。
- ・ 地下水流量およびダルシー流速の平均値は、次のように求められた。

$$\text{流量} : 3.28 \times 10^{-6} \text{ [m}^3/\text{s}], \text{ダルシー流速} : 2.33 \times 10^{-10} \text{ [m/s]}$$

#### (3) 地下水の移行経路解析

- ・ 指定点を通過する地下水の下流境界までの移行距離、滞留時間は、以下の様に求められた。

移行距離 : 285[m] ～ 7548 [m] (全指定点、10 リアライゼーションの範囲)

移行時間：2.5～568年（全指定点、10リニアライゼーションの範囲）

- H13 解析と比較して、断層下盤側の移行経路長ならびに滞留時間が増加した。その原因として、地下深部における水平方向のポテンシャル勾配が卓越し、月吉断層に到達するまで地表への上昇しないこと、などが原因として考えられる。

### 5.5.2 今後の課題

今後の課題について以下に述べる。

#### （1）局所的な水みちを考慮したモデル化

- 今回のモデルキャリブレーションの結果によれば、対象とした岩盤内のうち、上部割れ目帯や断層に伴う割れ目帯は、局所的な水みちに支配されている可能性が高い。局所的な水みちを表現するために、シェルやパイプモデルによるディスクリートな割れ目モデルを加えた、ハイブリッドなモデルにより、さらに精度の高いモデルを構築できる可能性がある。

#### （2）透水係数の異方性の把握

- 対象とした岩盤内のうち、上部割れ目帯や断層に伴う割れ目帯は、強い透水異方性を有する可能性が高いと考えられる。今回は、割れ目に起因する透水異方性を、ボアホールカメラで確認された割れ目の方向分布によって決定した。しかし、地盤内の応力状態等により、割れ目の開口度が、割れ目面の方向によって異なる可能性が考えられる。ボアホールカメラのデータにおいては、割れ目の方向による開口度の差は明瞭でない。しかし、クロスホール透水試験などにより、透水異方性の方向や程度を直接的に確認することが必要と考えられる。

#### （3）よりインパクトのある長期揚水試験の実施

- 定常水圧に関しては、モデルキャリブレーションの前後の解析結果に大きな違いはない。このことは、定常水圧データだけでは、不均質な水理モデルの十分な制約を与えられないことを示している。また同時に、非定常水圧データの有効性を示している。今後、流量条件が既知かつ異なる揚水井を用いた長期揚水試験を実施すること、あるいは、水みちの連続性や異方性などの詳細な情報を得ることにより、さらに精度の高いモデル化が可能になると考えられる。

#### （4）実流速に関する原位置データの取得

- 本年度の解析においても、実流速に関する原位置試験データがないため、割れ目の物質移行開口幅を、釜石鉱山のトレーサー試験で得られた透水量係数との経験的な相関関係から設定した。従って、滞留時間の計算結果については不確実性が高く、今後、トレーサー試験や水質分析データなどに基づく移行時間の実測データから、その妥当性の検証を行う必要がある。

## 5.6 参考文献

Doe, T. W. : "Fractional Dimension Analysis of Constant-Pressure Well Tests", SPE 22702, pp.461-467 (1991)

三枝博光, 前田勝彦, 稲葉薫：“水理地質構造モデル化の違いによる深部地下水流动への影響評価（その6）－不連続構造の水理特性及び水理学的境界条件に着目した水理地質構造のモデル化及び地下水流动解析－”, 龜裂性岩盤における浸透問題に関するシンポジウム発表論文集, pp.299-308 (2001)

Shimo, M., Nishijima, N., and Fumimura, K.: "Evaluation of Uncertainty due to Hydrogeological Modeling and Groundwater Flow Analysis (3) - Taisei Equivalent Heterogeneous Continuum Model using EQUIV\_FLO -", 龜裂性岩盤における浸透問題に関するシンポジウム発表論文集, pp.269-278 (2001)

下茂道人, 山本肇：“等価不均質連続体モデルによる亀裂性岩盤の浸透流解析手法”, 大成建設技術研究所報, 第29号, pp.257-262, 1996.

下茂道人, 山本肇, 松井裕哉, 仙波毅：“等価不均質連続体モデルによる釜石鉱山原位置試験場周辺の地下水解析”, 第29回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.278-282 (1997)

Shimo, M., Yamamoto, H., Sawada, A., Uchida, M., and Doe, T. : "In-situ Tracer Test in Fractured Rock", Proceedings of 9-th International Congress on Rock Mechanics, pp.1401-1404 (1999a)

Shimo, M., Yamamoto, H., Uchida, M., Sawada, A., Doe, T. W. and Takahara, Y. : "In-situ Test on Fluid Flow and mass Transport Properties of Fractured Rocks", International Congress on Rock Mechanics, (1999b)

## 6 チャンネルネットワークモデル

本章ではチャンネルネットワークモデル (Donen-Saitama Channeling Flow Model 以下, Don-Chan Model (Watanabe et al., 1977; 田中ほか, 1995; 渡辺ほか, 1995)) を用いて水理地質のモデル化および地下水流动解析を行い, 実際に観測が行われている全水頭分布状況や長期揚水試験時の間隙水圧の非定常変化の情報を元にモデルのキャリブレーションを行った結果を報告する。また, モデルキャリブレーションを行っていきうえで得られた水理地質の知見についてまとめるものである。

### 6.1 基本方針

本件における対象領域は図 6.1-1 に示す超深地層研究所計画正馬様用地を中心とした尾根線および河川で囲まれた約  $4 \times 6\text{km}$  の領域である。今年度新たに追加された MIU-4 号孔における調査結果等に基づき, 昨年度作成した水理地質構造モデルの更新に寄与できる情報とできない情報の整理を行い, 水理地質構造モデルの更新の可能性について検討を行う。また, 長期揚水試験結果に基づき, 水理地質構造モデルのキャリブレーションに必要なデータ整理を実施することを目的としている。

上記の目的にあわせ, モデルキャリブレーションの検討を次のように実施することとした。

- ① 間隙水圧の観測結果に基づく全水頭分布のフィッティングにより, 対象領域内の地下水の状況を把握する。
- ② 長期揚水試験時の間隙水圧の経時変化を非定常条件としシミュレーションを行い, モデルのキャリブレーションを行う。
- ③ 上記の検討で得られる水理地質データの整理を行う。

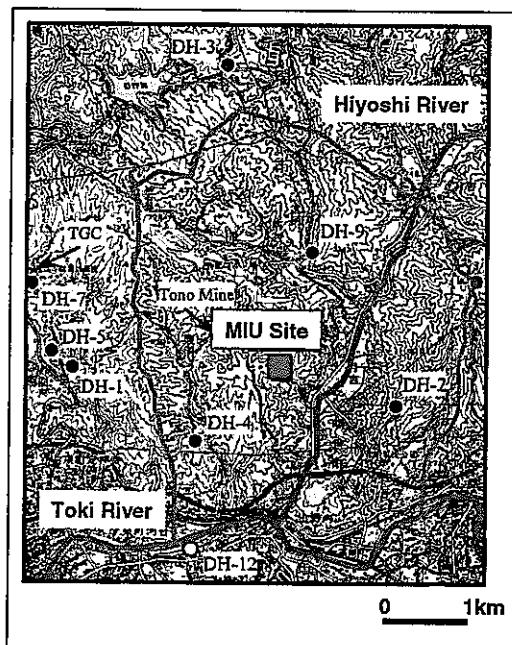


図 6.1-1 モデル化・解析領域

## 6.2 Don-Chan Model の概要

### 6.2.1 基本的な考え方とモデルの変遷

#### 6.2.1.1 基本的な考え方

Don·Chan Model のモデル構築の基本的な考え方(杉村ほか, 1997; 杉村ほか, 1998)は、割れ目交線、割れ目面上に発達するステップ構造、割れ目端部構造を地下水の主要な流動経路として捉え、これらの構造を決定論的に抽出しモデル化することである。ここでいう割れ目は、主要な Master 割れ目と副次的な Splay 割れ目との集合として捉えており、従来よく考えられているような一つ一つの割れ目とは概念を異にしている。Master 割れ目と Splay 割れ目の集合を一つの单一割れ目と地質的により妥当と考えることで、対象領域内に連続した割れ目を想定している。端的には Don·Chan Model で扱っている割れ目（主要割れ目：Major fracture）は従来考えられているような割れ目の集合体となり、以下の仮定に立つものである。

- Master 割れ目と Splay 割れ目の形成する Step などの構造を持つ割れ目を「主要割れ目（Major fracture）」とし、地下水が流動する主要な割れ目と考える
- 構造の全体的な幅を「割れ目幅」と考える
- 「主要割れ目」は連続性が高いと考える

また、主要割れ目は対象領域の地質状況やこれまでに受けてきた応力状態等を踏まえて抽出されるべきものである。このような地質的検討の必要性は、エスボ地下実験場で報告されているような割れ目の活動時代と現在の透水性との関係、ステップ構造の伸張方向などが、割れ目の形成活動センスで決まること等がその理由である。

抽出された主要割れ目を解析領域中に連続した形で面的に生成し、主要割れ目による水みちのネットワークを構築し地下水流動解析を行う。

主要割れ目として抽出されなかった割れ目に関しては、モデル化・解析対象領域の規模を踏まえ基質部（Matrix part）に含め取り扱い、これらの割れ目をマイナーガれ目（Minor fracture）として位置付けている。

#### 6.2.1.2 モデルの変遷

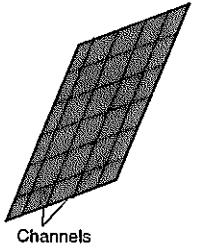
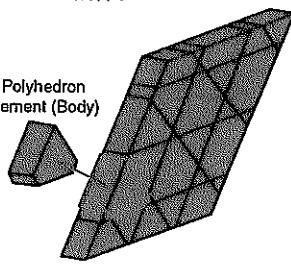
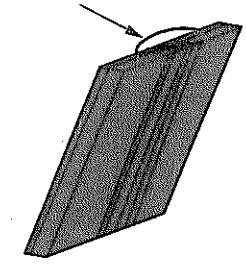
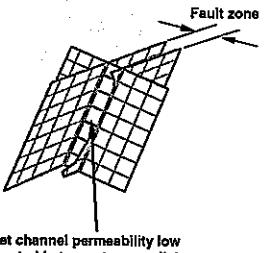
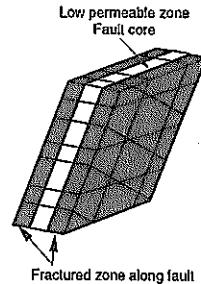
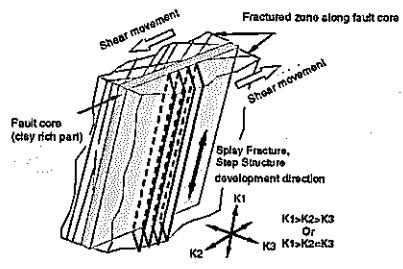
平成 13 年度以前の Don·Chan Model は、上記の主要割れ目面上の水みちや基質部の水みちをチャンネルネットワークにより表現してきた。前年度、主要割れ目以外の基質部や堆積岩部を表現するために規則チャンネルネットワークを導入した。導入に際し主要割れ目を表現するチャンネルと規則チャンネル間、地質境界部のチャンネル間の透水量係数を若干曖昧な設定をせざるを得ない部分があった。この点を処理するためには、主要割れ目によって分断される基質部の体積やその接触部の面積を把握し、妥当な透水量係数を設定することが必要となった。今年度これらの情報を取り入れて地下水流動解析を行うために、有限体積法の考え方を取り入れた。

ここでは、平成 12 年度から今年度モデルの変遷を一覧にして整理を行った。

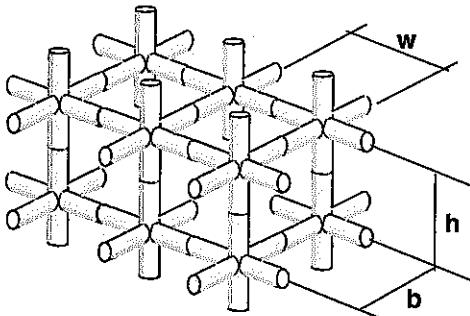
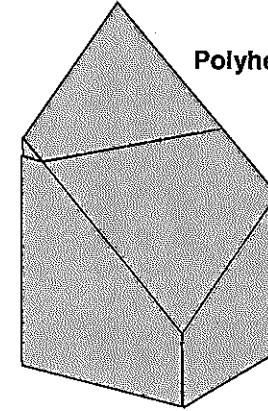
## モデルの変遷

	平成 12 年度モデル	平成 13 年度モデル	平成 14 年度モデル	備 考
解析領域	<p>4×6km 矩形領域 土岐花崗岩のみを対象としたモデル化</p>	<p>4×6km 尾根線—河川境界に囲まれた領域 堆積岩・土岐花崗岩をモデル化</p>	<p>同左</p>	
特 徴	従来の Don-Chan Model に地形の表現を加えたもの	規則チャンネルを用いた基質部・堆積岩の表現	多面体要素 (Body) を用いた基質部・堆積岩部, 割れ目部の表現	
地表等の表現	堆積岩・土岐花崗岩不整合面を三角形 Polygon により表現	地形面および堆積岩・土岐花崗岩不整合面を三角形 Polygon により表現	同左 ただし, 三角形 Polygon は多面体の構成要素	
基質部の表現	なし	規則チャンネルネットワーク	多面体要素 (Body) により表現	

## 割れ目モデルの変遷

	平成 12 年度モデル	平成 13 年度モデル	平成 14 年度モデル	概念モデル
主要割れ目 モデル	チャンネルネットワークによる表現  Channels	複数の多面体により構成  Polyhedron element (Body)	 Step structure / Splay structure	
断層 モデル	主要割れ目を 2 面生成することで表現  Fault zone Set channel permeability low located between two parallel fracture model	主要割れ目モデルを 3 枚用いたサンドイッチ構造  Low permeable zone Fault core Fractured zone along fault	 Shear movement Fractured zone along fault core Fault core (clay rich part) Shear movement Fracture, Step Structure development direction K1 K2 K1>K2>K3 Or K3>K2>K3	
透水異方性	割れ目面上に生成したチャンネルの各方向の透水係数を変更することで異方性を表現 遮水構造に関しては 2 枚の主要割れ目間を横断するチャンネルの透水係数を低く設定することで表現	透水梢円を用いた透水異方性の設定 3 枚の主要割れ目モデルそれぞれに異方性を持たせることができ 遮水構造はサンドイッチ構造のいずれかの主要割れ目の透水係数を低く設定することで表現		
入力データ	割れ目の生成位置と走向・傾斜データ	割れ目の生成位置、走向・傾斜、割れ目幅		生成領域の指定可能
チャンネル 断面積	割れ目面上に存在するチャンネル数と割れ目面の面積、割れ目幅から、チャンネル一本が代表する断面積を算出	—		ここに、割れ目幅は主要割れ目の割れ目幅と位置付ける ただし、モデルによっては割れ目開口幅としての設定も可能

## 基質部のモデルの変遷

	平成 12 年度モデル	平成 13 年度モデル	平成 14 年度モデル	備 考
基質部のモデル化	<p>基本的に基質部のモデル化は行っていないが、花崗岩中の主要割れ目の透水性に Minor fracture の透水性を考慮。</p> <p>具体的には長区間の水理試験結果を用いることで上記を考慮した。</p> <p>堆積岩は不考慮</p>	<p>規則チャンネルを用いて基質部を表現。堆積岩に関しても同様。</p>  <p>Regular channel network model</p>	<p>多面体要素 (Body) を用いて、基質部を表現。堆積岩も同様。</p> 	
特 徴	—	<p>規則的に生成したチャンネルネットワークを差分法的に取り扱うことで、基質部をモデル化。</p> <p>問題点として、規則チャンネルと割れ目を表現するチャンネル、水理地質領域境界部の透水量係数の設定。</p>	<p>多面体要素 (Body) を用いた空間分割を行い有限体積法の考え方を用いて地下水流动解析を行う。割れ目部に関しても同様の処理を行うため、平成 13 年度の問題は無くなる。</p>	

## 6.2.2 平成 14 年度版 Don-Chan Model の概要

### 6.2.2.1 基本的な考え方

多面体要素（以下、Body）を用いて空間分割を行い、有限体積法（荒川、1994；藤井、1994；越塚、1997）の考え方を導入し地下水流動解析を行う。有限体積法は特に流体力学の分野で非構造格子（空間分割）に対して研究が行われてきている。

有限体積法の数学的な考え方は、積分形式で表現した支配方程式を、積分定理を用いて境界積分に変換し偏微分方程式を解く方法である。また、この方法は境界を通過するフラックスの保存を前提とした方法である。

当解析では、有限な領域を前述の Body とし、その境界を Face と考え有限体積法の考え方を導入している。具体的には、Body の中心に設定した物理量（水頭値）から境界におけるフラックス（流量）を求め、その総和が保存されるように物理量を決定する。境界における流量は、隣接する Body 間の動水勾配より流速を求め境界の面積を乗じることで求める。

ただし、境界における流量の算出に際しては、境界面の中心における単位流量を境界面で積算しているため誤差を含む。この誤差に関しては領域に与える透水係数（境界面における透水量係数）を逐次修正していくことを想定している。

### 6.2.2.2 解析領域の設定

まず、解析領域の地形を表現するためのメッシュ分割を二次元の X-Y 平面上で行う。メッシュ分割された二次元要素に Z 軸方向に厚みを持たせることで三次元の解析領域の基本形状を形成する。この段階では地形の凹凸、水理地質区分はなされていない。

次に地形や水理地質区分の設定を行う。地形や各境界面を先の二次元メッシュに Z 方向の座標を与えて表現し、これらの面で先の三次元基本形状を切り出し、解析領域を形成する。これに主要割れ目や断層を加える。主要割れ目や断層は従来の Don-Chan Model と同様にそれらの生成位置と走向・傾斜の情報を与えることで領域内に自動生成される。また、生成領域の指定も可能である。

最終的に複数の多面体要素で構成された解析領域が生成されることになる。主要割れ目、断層のモデル化については、6.2.1.2 節のモデルの変遷に示した一覧表に示す。

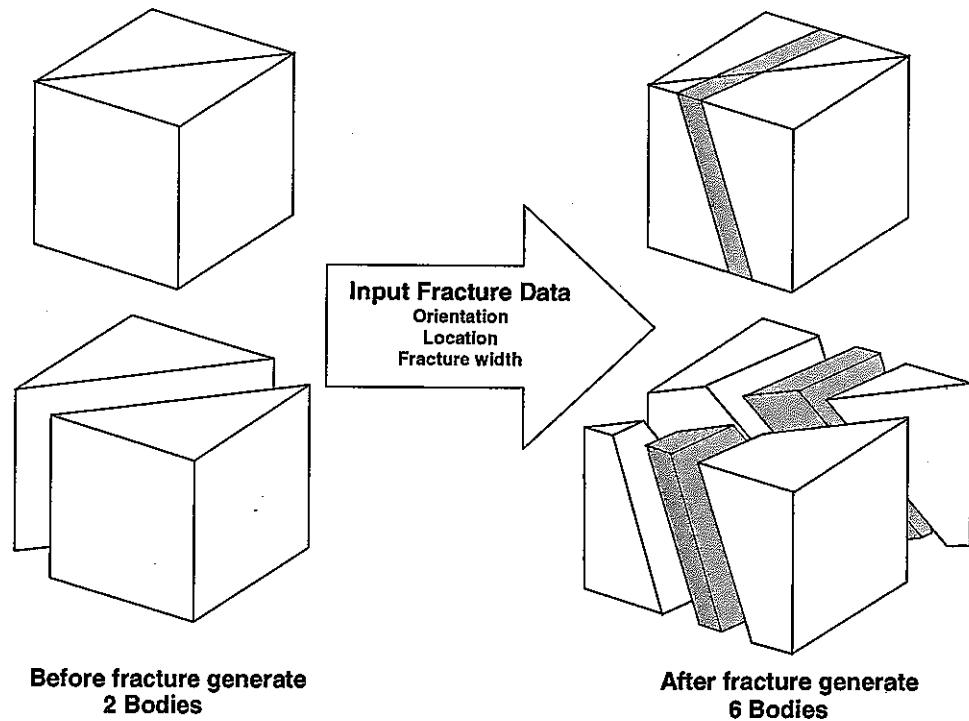
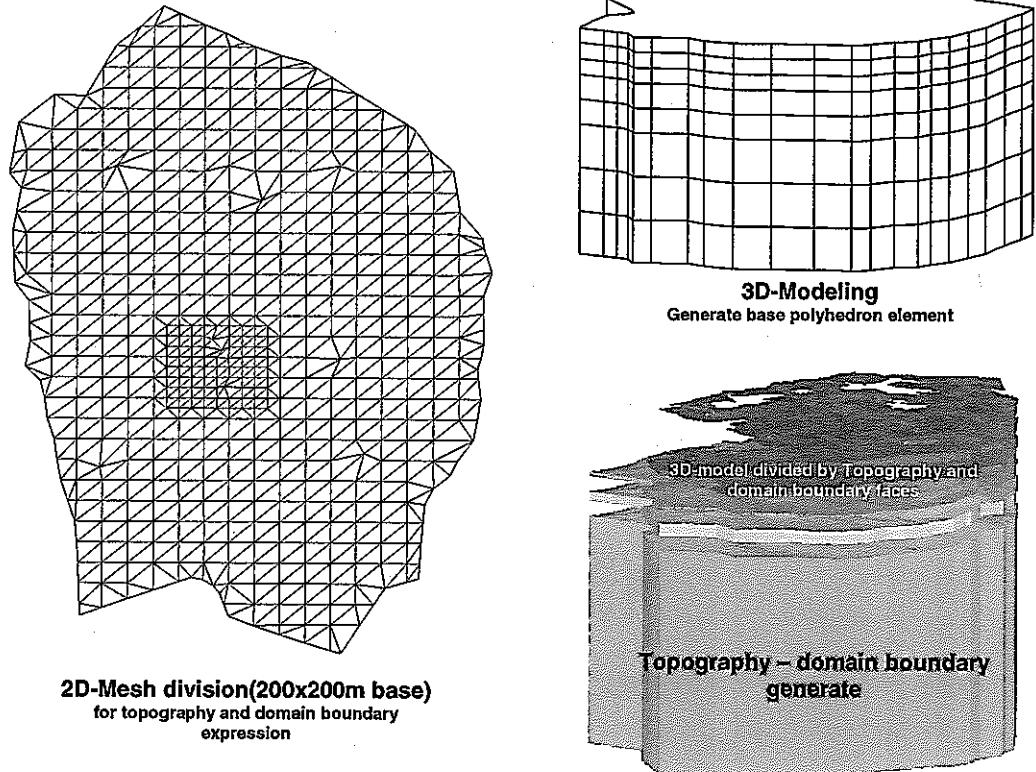


図 6.2-1 領域の分割方法

### 6.2.2.3 解析手法

有限体積法では、支配方程式を有限な体積を有するセル内で積分し、ガウスの定理などを用いて境界積分に変換する。ここでは、有限なセルを多面体要素（Body）とし、多面体要素内の積分を多面体要素の境界面（Face）の積分に変換する。

支配方程式

$$Ss \frac{\partial h}{\partial t} = \operatorname{div}(F) \dots\dots\dots(1)$$

ここに、

$h$  : 全水頭値(m)

$Ss$  : 比貯留係数(1/m)

$F$  : 境界面を通過するフラックス

式(1)の両辺を  $V$  で積分すると

$$Ss \int_V \frac{\partial h}{\partial t} dV = \int_V \operatorname{div}(F) dV \dots\dots\dots(2)$$

となる。右辺はガウスの定理により、境界積分に変換できる、

$$Ss \int_V \frac{\partial h}{\partial t} dV = \oint_S F \cdot dn \dots\dots\dots(3)$$

となる。ここに、 $S$  は多面体要素  $V$  を囲む境界であり、 $dn$  はその面に垂直なベクトルである。(3)式は多面体要素の中心に変数  $h$  を配置し、フラックス  $F$  を境界面上に配置することで離散化できる。時間項の離散化にクランク・ニコルソン法を用いると、

$$Ss \cdot V_{(i)} \frac{h_{(i)}^{(t+\Delta t)} - h_{(i)}^{(t)}}{\Delta t} = \frac{1}{2} \sum_j F_{(s)}^{(t+\Delta t)} \cdot A_{(s)} + \frac{1}{2} \sum_j F_{(s)}^{(t)} \cdot A_{(s)} \dots\dots\dots(4)$$

となる。ここに  $V_{(i)}$ 、 $A_{(s)}$  はそれぞれ多面体要素  $i$  の体積、多面体要素  $i$  と  $j$  の境界面  $S$  の面積である。

また、境界面のフラックスは境界面における流速から求めることができ、次のように表現できる。

$$\begin{aligned} F_{(s)} &= -\frac{H_{(s)} - H_{(i)}}{|\vec{P}_{(i,s)}|} k_{(i)} \cdot \vec{p}_{(i,s)} \cdot \vec{n}_{(s)} \cdot A_{(s)} \\ &= -\frac{H_{(j)} - H_{(s)}}{|\vec{P}_{(s,j)}|} k_{(j)} \cdot \vec{p}_{(s,j)} \cdot \vec{n}_{(s)} \cdot A_{(s)} \end{aligned}$$

ここに、 $|\vec{P}_{(i,s)}|$  は多面体要素  $i$  と  $j$  を結ぶ直線と境界面  $S$  の交点までの距離を表し、

$\vec{p}_{(i,s)}$ はその方向を表す単位ベクトルである。また、 $\vec{n}_{(s)}$ は境界面 S の法線ベクトルである。境界面 S における全水頭値  $H_{(s)}$  は、多面体要素  $i, j$  の中心に配置してある全水頭値  $H_{(i)}, H_{(j)}$  より求めることができ、これらを用いると境界面におけるフランクスは次のように表せる。

$$F_{(s)} = -\frac{k_{(i)} \cdot k_{(j)}}{k_{(i)}|\vec{P}_{(s,i)}| + k_{(j)}|\vec{P}_{(i,s)}|} (H_{(j)} - H_{(i)}) \cdot \vec{p}_{(i,j)} \cdot \vec{n}_{(s)} \cdot A_{(s)} \dots \dots \dots (5)$$

(4)式に(5)式を代入すると、多面体要素  $i$  に関する連続式が成り立つ。これを全多面体要素に関して解くことで、ある時刻における多面体要素の中心に配置した全水頭値を求めることができる。

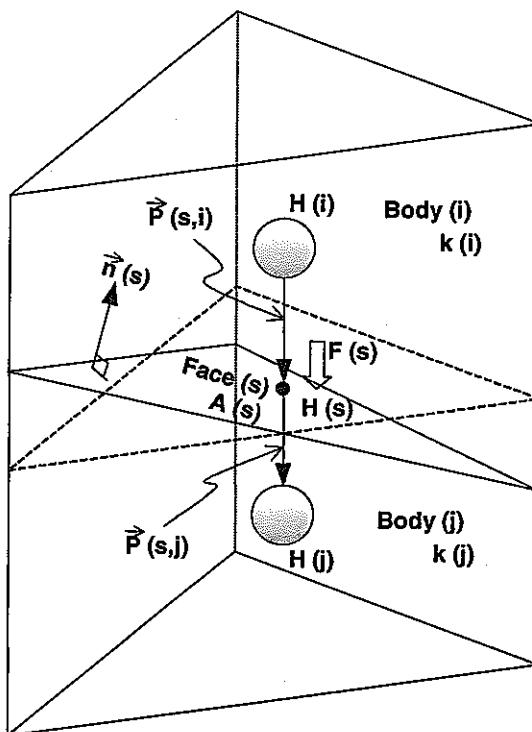
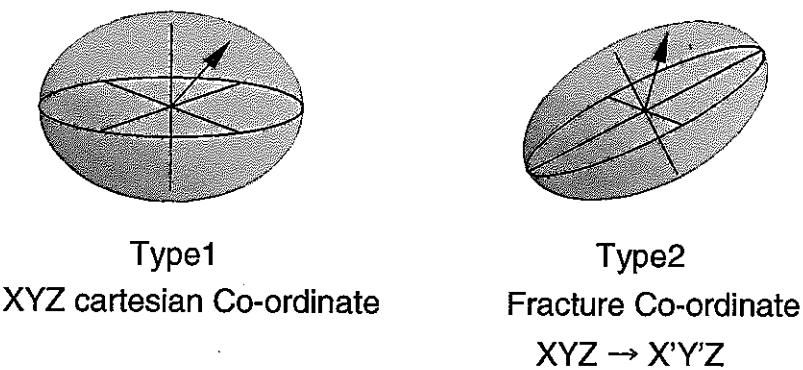


図 6.2-2 変数の配置

#### 6.2.2.4 透水係数の設定

前述のように任意の多面体要素を用いて地下水流动解析を行う場合、多面体要素間を結ぶ方向が必ずしも直交軸と平行な方向とは限らない。したがって、透水係数の設定には透水橿円を用いる。

特に主要割れ目や断層は図 6.2-3 に示すように設定を行った。割れ目の走向方向と傾斜方向を KX, KY ととり、割れ目面の法線方向を KZ ととり、それぞれの方向に透水係数を与えることで、割れ目面の透水異方性を表現できるようにした。たとえば、遮水性を持たせるような場合 KZ の値を小さくすることで表現が可能となる。



$$\frac{x^2}{k_x'^2} + \frac{y^2}{k_y'^2} + \frac{z^2}{k_z'^2} = 1$$

$$\frac{x'^2}{k_x^2} + \frac{y'^2}{k_y^2} + \frac{z'^2}{k_z^2} = 1$$

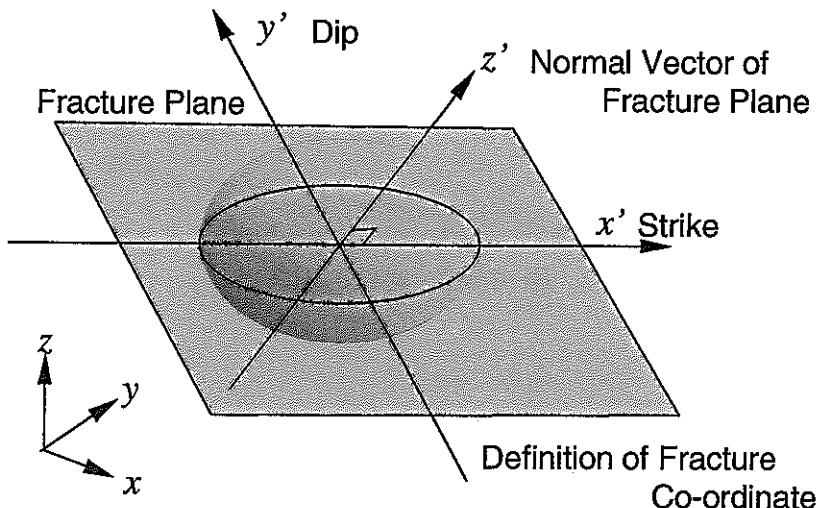


図 6.2-3 透水係数の設定

### 6.2.2.5 断層の透水異方性

既往の茂住・祐延断層の既往調査報告 (Watanabe, 1998) をもとに断層のモデルを想定した。断層モデルは主要割れ目の延長上に位置付け、次のような透水異方性を有するモデルを仮定している。

図 6.2-4 に示すように、断層せん断面(コア部)を中心にそれに沿って割れ目が多い破碎部が存在し、せん断面(断層のコア部)では粘土化などが著しいとして、断層を横断する方向に透水性が小さく遮水性を有するとし、周辺の破碎部では透水性が高いモデルを仮定した。

また、周辺の破碎部が Splay Fracture や Step Structure が密に発達した部分であるとすると、それらは断層のせん断(変位)方向と直交方向に発達する。このため、特にせん断方向に直交する方向の透水性が高いと仮定している。例えば、横ズレ断層の透水異方性は、傾斜方向の透水性が高くなり、逆断層の場合、走向方向の透水性が高くなるような断層モデルを設定した。

このようなモデルを反映するために図 6.2-5 に示すような断層のコア部に低透水部、それに沿って高透水をなす破碎部モデル(主要割れ目モデル)を両側に設定したサンドイッチ構造モデルを設定した。

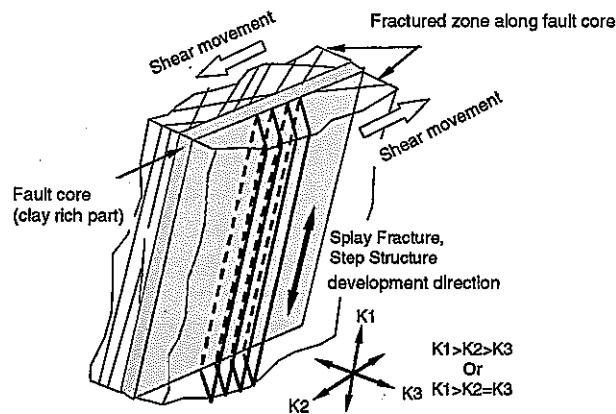


図 6.2-4 断層モデルの考え方

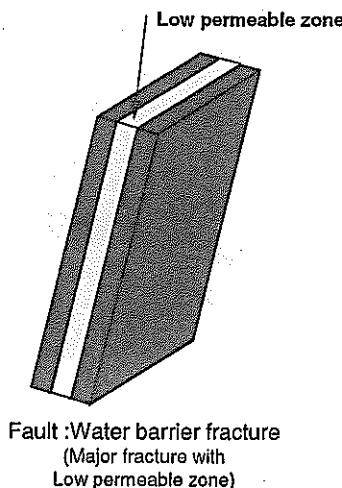


図 6.2-5 断層モデル

## 6.3 水理地質モデル

### 6.3.1 水理地質概念モデル

#### 6.3.1.1 基本的な考え方

従来の Don-Chan Model では、割れ目面上やその交線部を地下水の主要な透水経路として取り扱っている。ただし、ここにいう割れ目とは試錐孔等で観察されるようなひとつひとつの割れ目を指しておらず、前述の「主要割れ目(Major fracture)」をさしており、Don-Chan Model では主要割れ目の抽出が重要となる。しかし、主要割れ目として抽出されなかった割れ目も実際に存在しており、これらを主要割れ目に対し Minor fracture として位置付けている。Minor fracture に関してはこれらをひとつひとつモデルに組み込むことは实际上不可能であるため、基質部 (Matrix part) に含めて取り扱っている。ただし、対象領域の規模によって主要割れ目や Minor fracture の規模も異なってくる。図 6.3-1 は、割れ目系岩盤中の主要割れ目と Minor fracture の概念を示している。主要割れ目や断層に囲まれた部分を基質部として扱い、その中に Minor fracture も含めている。

本検討においてはこの考え方を土岐花崗岩の健岩部 (Sparsely fractured domain) に対して適用している。土岐花崗岩中でも上部割れ目帯(Highly fractured domain)については、その性状の解釈のされ方より主要割れ目のように、割れ目の発達したゾーンとして捉えることとした。

図 6.3-2 は、当検討における水理地質の概念モデルを示している。この図に見られるように水理地質区分を 6 つの領域に分けている。この区分の詳細は後述するが、概要は水理的連続体構造中に主要割れ目や、断層などの不連続構造が分布するモデルを想定している。図 6.3-1 は図 6.3-2 中の枠の部分に相当する。

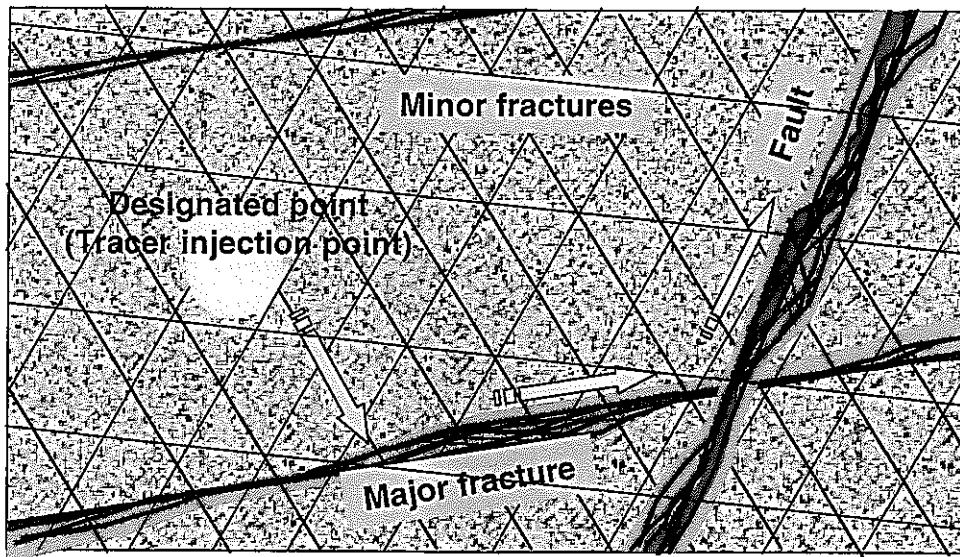


図 6.3-1 Major fracture と Minor fracture の考え方

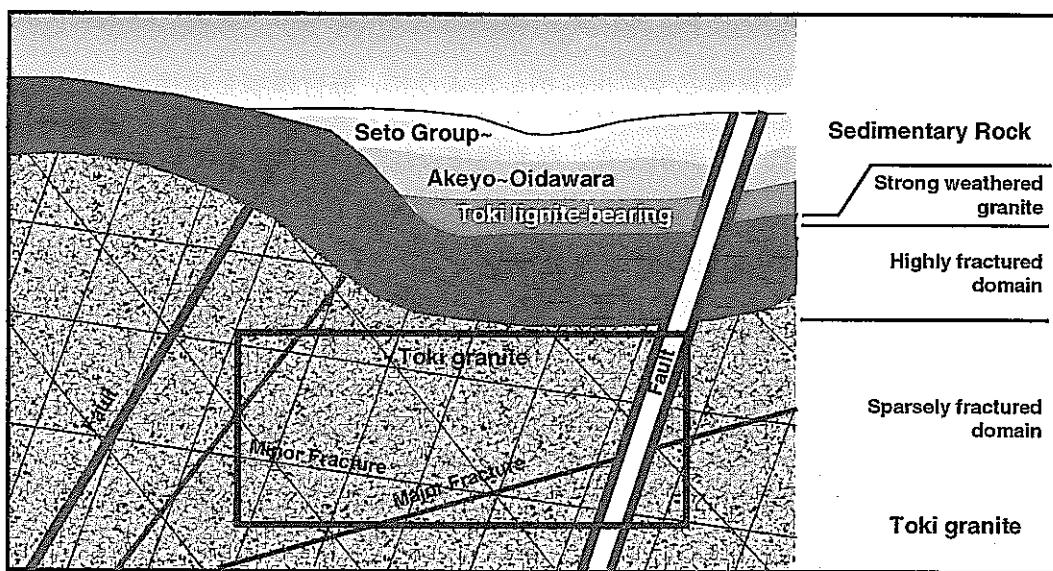


図 6.3-2 水理地質概念モデル

### 6.3.1.2 水理地質区分

図 6.3-2 の水理地質概念モデルに示したように、解析領域を堆積岩、土岐花崗岩強風化部、土岐花崗岩・上部割れ目帯、土岐花崗岩・健岩部に区分し、主要割れ目、断層部以外の基質部として表現した。なお堆積岩については、下に示すようにさらに区分を行っている。

#### (1) 堆積岩および土岐花崗岩・強風化部

堆積岩を下記のような水理地質区分として設定した。

- ・ 土岐砂礫層（瀬戸層群：TG）
- ・ 明世累層～生俵累層（瑞浪層群：AO）
- ・ 土岐夾炭累層（瑞浪層群：Toki lignite-bearing : TLB）
- ・ 土岐花崗岩・強風化部（Strong weathered granite : SWG）

と区分を行い、土岐花崗岩・強風化部も露頭などで観察される性状を踏まえ、堆積岩の一部として取り扱うこととした。これらの層序関係に関しては、表 6.3-1 に示す東濃地域の地質層序に従い設定を行っている。

表 6.3-1 東濃地域地質層序表

Stratigraphy division of Tono area

Quaternary		a	alluvium
		t	talus sediment, terrace sediment
Pliocene	Seto group	Tg	Toki gravel formation
		Tc	Tokiguchi china clay
Miocene	Mizunami, Kani group	O	Oidawara formation
		A	Akeyo formation
		N	Toki lignite-bearing
		H	Hachiya formation
		Qp	quartz porphyry
Cretaceous ~ Palaeogene	Igneous rock group	Ge, Gm	Naegi, Toki granite
		Gs	Sumikawa granite
		Go	Obara granite
		Gp	granite porphyry
		R	Nohi ryorite
		M	No division
Triassic ~ Jurassic	Mino sedimentary complex	Mm	Sand, Slate, Chart mixed
		Ms	Sand rich
		Mc	Chart rich

堆積岩を大きく三層に区分した理由は、次のようなものである。

- ・後述の堆積岩を対象とした水理試験結果に各層で透水性が異なること(表 6.3-2 参照)
- ・間隙水圧の観測結果(表 6.3-3、図 6.3-3 参照)に見られる間隙水圧分布の不連続性
- ・堆積岩の露頭部に見られる性状(図 6.3-4 参照)より、地下水の浸潤部が明瞭に分かれていることから、透水異方性を有している可能性などを踏まえ、大きく3つの層に区分することが適当であると判断した。

表 6.3-2 堆積岩を対象とした水理試験結果(平均値)

Division	K(m/sec)
Oidawara	3.21E-09
Akeyo	8.63E-09
Akeyo/Toki	7.12E-08
Toki lignite-bearing	1.07E-07
Toki lignite-bearing (weathered part)	3.74E-07

表 6.8-3 地下水位分布觀測結果一覽表

Borehole name	Groundwater table level		Borehole name	Groundwater table level		Borehole name	Groundwater table level	
	GL.-m	EL.-m		GL.-m	EL.-m		GL.-m	EL.-m
MC-8	1.10	389.900	MC-55	3.80	276.227	H2-B 114	0.70	148.310
MC-9	10.80	379.700	MC-56	3.50	293.371	H2-B 115	2.70	168.740
MC-10	4.20	399.300	MC-57	7.80	337.416	H2-B 116	2.00	165.990
MC-12	3.20	421.800	MC-58	4.80	322.095	H2-B 117	0.40	157.310
MC-13	9.10	407.400	MC-59	1.50	334.047	H2-B 118	7.20	167.460
MC-14	0.60	350.400	MC-60	5.50	433.589	H2-B-J1	3.80	170.700
MC-15	4.30	350.700	MC-61	4.00	405.753	H2-B-J3	4.10	193.300
MC-16	2.40	392.600	MC-62	2.20	375.082	H2-B-J4	4.30	164.500
MC-17	2.30	395.200	MC-63	0.70	341.046	H2-B-J5	4.20	163.100
MC-18	6.20	373.800	MC-65	1.90	314.048	H2-B-J6	3.80	195.000
MC-19	2.10	368.900	97MS-01	17.90	275.270	H2-B-J7	1.50	189.400
MC-20	1.30	366.700	97MS-02	13.16	280.010	H2-B-J8	11.70	203.800
MC-21	0.20	311.300	98MS-03	28.37	263.880	H2-B-J9	5.50	213.000
MC-22	0.40	310.600	98MS-04	6.65	278.556	H2-B-J10	5.50	219.300
MC-23	1.20	309.300	99RT-01	14.76	351.260	H2-B-J11	13.40	203.100
MC-24	4.90	267.600	H2-B 81	17.20	236.060	H2-B-J12	4.58	174.920
MC-25	10.10	385.900	H2-B 82	15.40	228.160	H2-B-J13	3.90	177.500
MC-26	0.10	377.900	H2-B 83	11.10	246.120	H2-B-J14	1.40	182.200
MC-27	1.50	373.000	H2-B 84	4.20	202.690	NO. A	4.50	243.620
MC-28	4.50	321.700	H2-B 85	17.70	219.890	NO. B	1.50	246.350
MC-29	6.50	295.000	H2-B 86	3.40	203.390	NO. C	1.50	246.690
MC-30	2.10	343.900	H2-B 87	18.70	217.330	NO. D	1.50	246.480
MC-31	3.20	303.800	H2-B 88	23.20	214.330	NO. 1	0.60	190.960
MC-32	19.10	464.400	H2-B 89	2.70	195.580	NO. 2	0.30	187.920
MC-33	7.70	427.300	H2-B 90	2.20	198.650	NO. 3	2.00	186.270
MC-34	6.40	480.100	H2-B 91	2.10	199.230	NO. 4	0.70	191.040
MC-35	1.20	325.800	H2-B 92	9.60	218.870	NO. 5	1.80	186.480
MC-36	8.00	316.500	H2-B 93	14.20	220.540	NO. 6	3.08	185.180
MC-37	10.20	317.800	H2-B 94	3.40	222.400	NO. 7	1.50	190.260
MC-38	17.80	304.200	H2-B 95	23.50	206.660	NO. 8	1.60	190.300
MC-39	1.40	437.465	H2-B 96	5.50	226.440	NO. 1	2.10	143.900
MC-40	3.60	443.328	H2-B 97	14.20	224.420	NO. 2	3.60	208.400
MC-41	0.80	436.996	H2-B 98	11.80	220.640	NO. 3	2.00	210.000
MC-42	0.10	507.632	H2-B 101	5.20	219.230	NO. 1	2.05	170.080
MC-43	0.00	503.982	H2-B 102	4.00	185.010	NO. 3	1.70	146.080
MC-44	2.20	454.707	H2-B 103	5.25	208.230	NO. 4	1.80	146.470
MC-45	2.10	449.713	H2-B 104	11.50	212.900	NO. 5	2.10	135.670
MC-46	5.10	469.940	H2-B 105	0.75	184.950	NO. 6	3.25	134.300
MC-47	2.20	472.660	H2-B 106	4.00	210.010	NO. 7	4.60	137.360
MC-48	2.20	467.422	H2-B 107	2.80	218.190	NO. 8	3.90	148.790
MC-49	4.50	419.797	H2-B 108	3.70	201.550	NO. 9	3.40	153.410
MC-50	0.30	395.061	H2-B 109	4.30	207.290	NO. 10	4.00	153.520
MC-52	2.50	258.193	H2-B 110	0.60	219.500	NO. 11	7.00	151.490
MC-53	3.10	269.468	H2-B 111	5.25	217.840			
MC-54	15.80	234.583	H2-B 112	2.95	220.210			

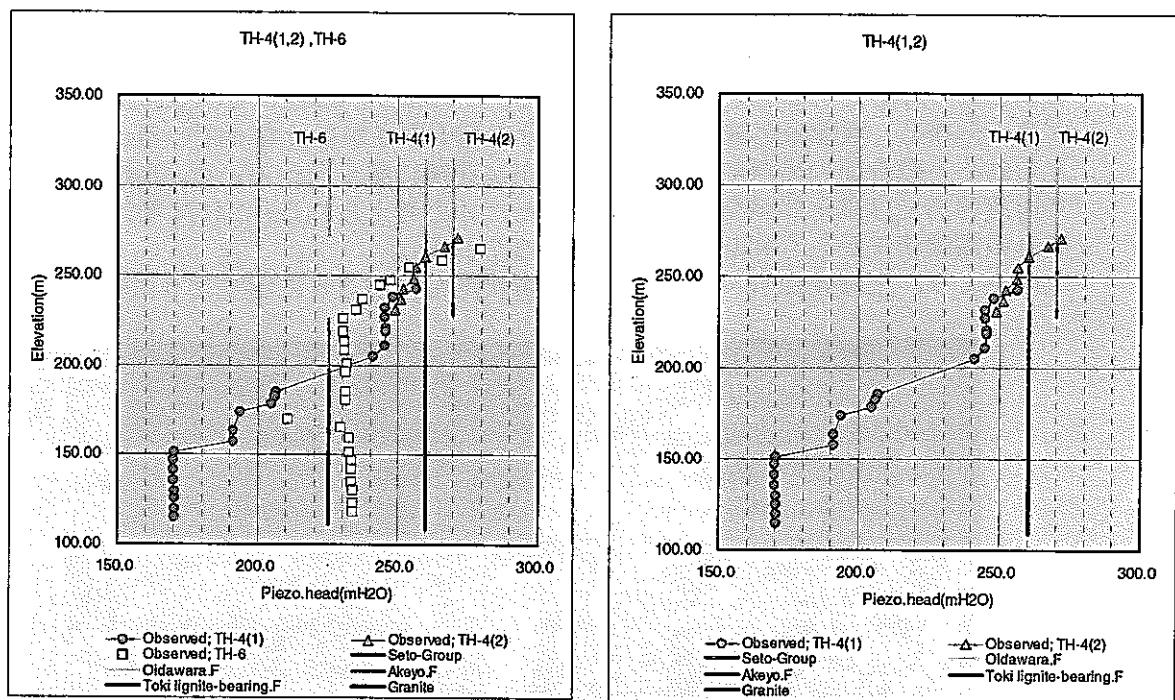


図 6.3-3 堆積岩中の間隙水圧分布(観測・代表値)

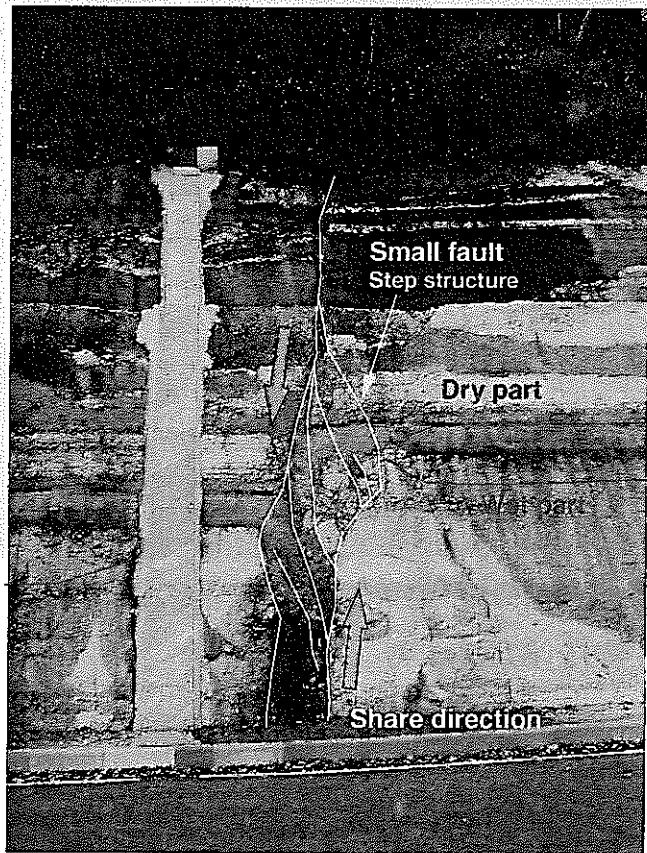


図 6.3-4 明世累層露頭状況

土岐花崗岩・強風化部に関しては、試錐孔のデータを参考に設定を行っている。図 6.3-5 は土岐花崗岩と堆積岩不整合面の標高センターに試錐孔で観察されている花崗岩風化部の厚さをあわせて示した図である。これより、露頭している部分では風化部が厚く分布し、堆積岩が被覆している部分で若干厚さが薄くなっている。旧河谷と考えられる不整合面の最深部付近でその分布は非常に薄くなっている。これは洗掘により旧河谷部では風化部が発達できなかつたためと考えられる。これは現状における花崗岩の露頭状況からも判断される（図 6.3-7 参照）。

以上より、土岐花崗岩・強風化部の分布状況を図 6.3-6 に示すように想定した。

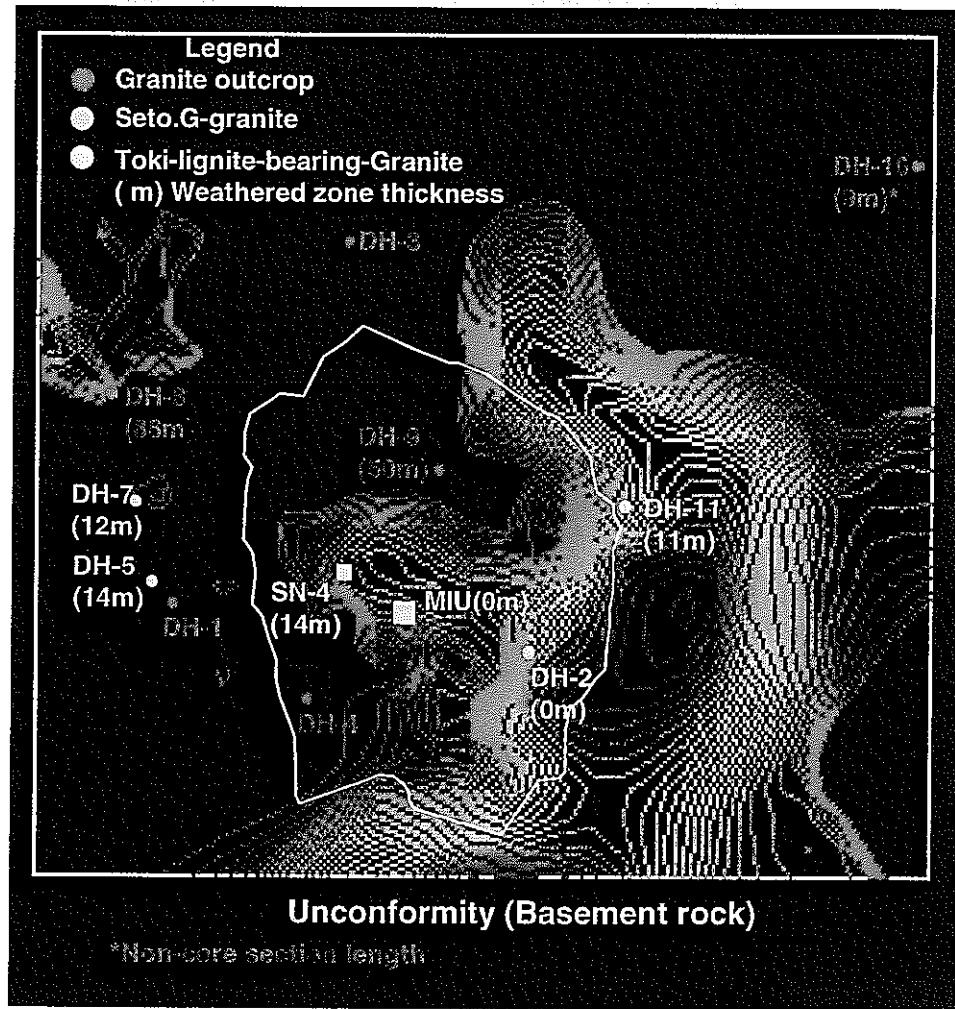


図 6.3-5 土岐花崗岩・堆積岩不整合面状況と花崗岩風化部の分布

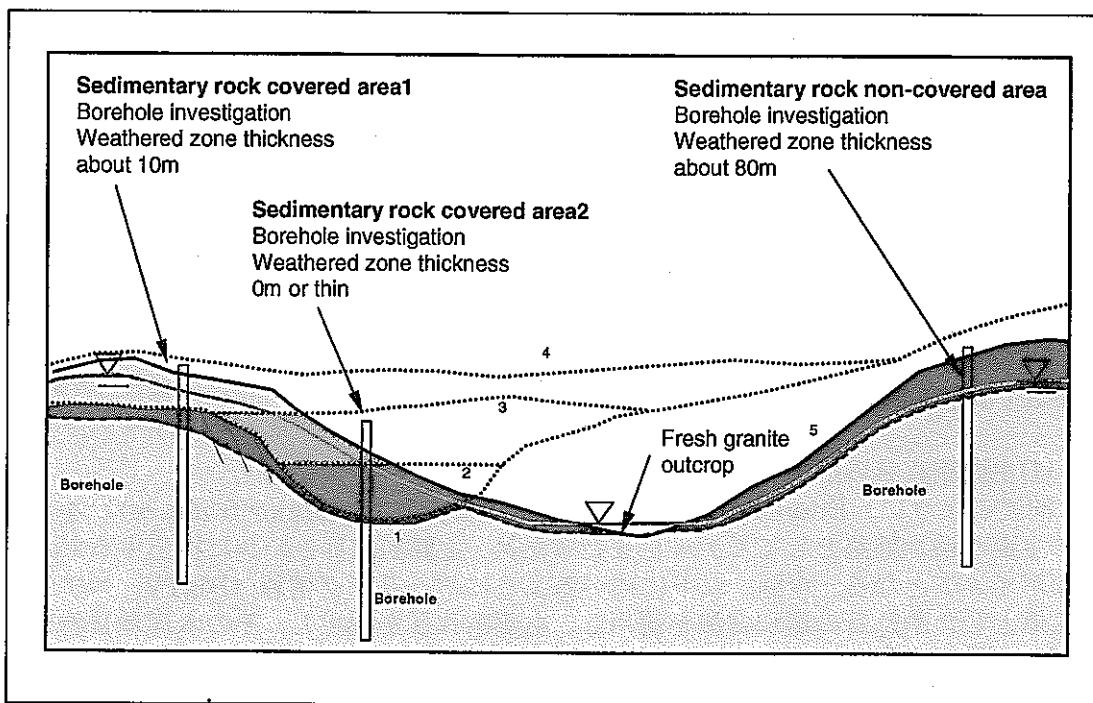


図 6.3-6 土岐花崗岩・強風化部分布状況想定図

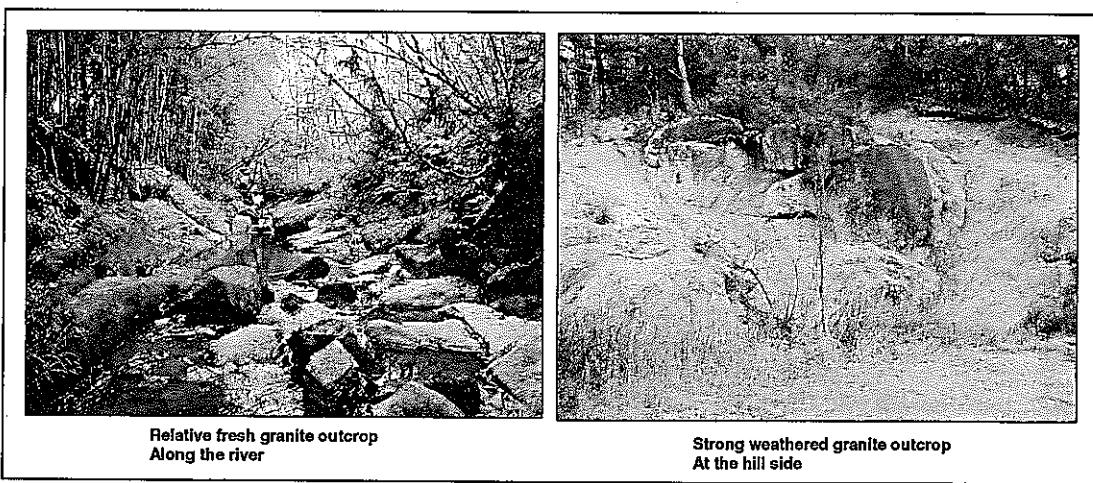


図 6.3-7 土岐花崗岩・露頭状況

## (2) 土岐花崗岩・上部割れ目帯 (Highly fractured domain : HFD)

上部割れ目帯 (Highly fractured domain) は応力開放等に伴いシーティングジョイント等が発達する領域とされている。この部分の分布に関して核燃料サイクル開発機構が次に示す分布式を定義している。

$$\text{「上部割れ目帯厚さ(m)」} = 0.9899 \times \text{「堆積岩の厚さ(m)」} + 171.03$$

便宜上、上式より定義される上部割れ目帯の下方境界をもって、これより上位を上部割れ目帯、これより下位を土岐・花崗岩健岩部 (Sparsely fractured domain) とした。上部割れ目帯の扱いに関しては主要割れ目と同様に単一割れ目が密に集合した割れ目帯として位置付けた。

### (3) 土岐花崗岩・健岩部(Sparsely fractured domain : SFD)

上記のように区分した土岐花崗岩健岩部 (Sparsely fractured domain) は表層付近の緩み等の影響が除かれた部分となる。これに該当する部分のボーリングデータを見ると割れ目が密に集中する部分と疎な部分が見られる。後述するように割れ目が密に集中する部分は、主要割れ目もしくは断層が分布する部分とみなしている。水理地質モデルとしては、このような割れ目の集中部をのぞいた部分を花崗岩健岩部として定義することとした。また、主要割れ目として抽出されなかった割れ目 (Minor fracture) を含む。

#### 6.3.1.3 主要割れ目系

##### (1) 主要割れ目の抽出

前述のように、Don-Chan Model では、「主要割れ目 (Major fracture)」を地下水の主要な透水経路としてモデル化を行うため、主要割れ目をいかに抽出するかが重要なポイントとなる。今回、以下に述べるようにボーリング情報 (BHTV, コア等) を主体とした割れ目の選別方法を適用し、主要割れ目を抽出し、その水理地質特性等に関して検討を行う。

主要割れ目の選別では構造の判断が問題となる。構造の判断においては、Step 構造が使い易く、その理由として Step 構造は基本的に 2 つのせん断割れ目 (Master fracture) に囲まれた部分であり、その中に形成される Splay 割れ目相互の交線は一定方向に伸びることが想定できるからである。つまり、Step 構造内の割れ目はステレオネットにプロットした時、一つの大円に乗る筈である。この関係を示したもののが図 6.3-8 である。

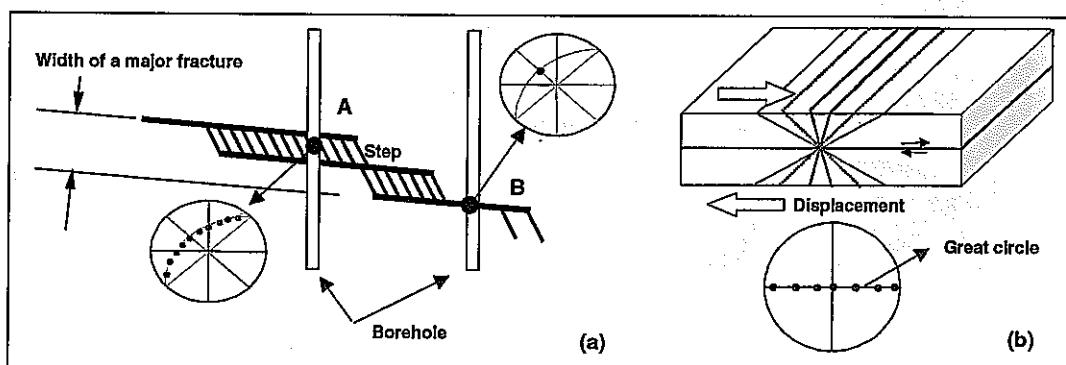


図 6.3-8 主要割れ目各部のステレオ投影模式図

BHTV の走向傾斜データを基にステレオ投影解析を行い、上述のような大円にのるようなプロットパターンを探査し、Step 構造を抽出する。ここで問題となることは、このようなパターンから Master fracture をさらに見出すことである。これには当該地域及び周辺に見られる断層、もしくはリニアメント構造を参考に決定した。

検討を行う試錐孔は解析対象領域に限定した。また、主要割れ目の抽出は表層の緩み等の影響の少ない花崗岩健岩部を対象に行い、前述の上部割れ目帯の分布中のデータは除外し検討を行った。検討に用いた試錐孔を図 6.3-9 に示す。図 6.3-10 は、主要割れ目を抽出した際のステレオ投影の例を示したものである。

検討の結果得られた主要割れ目の一覧を表 6.3-4 に、また主要割れ目の走向傾斜を

図 6.3-11 のステレオ図に示す。

Step 構造を抽出する際に大円にのるプロットのパターンはある程度の範囲で連続する場合があり、その範囲を主要割れ目幅とした。

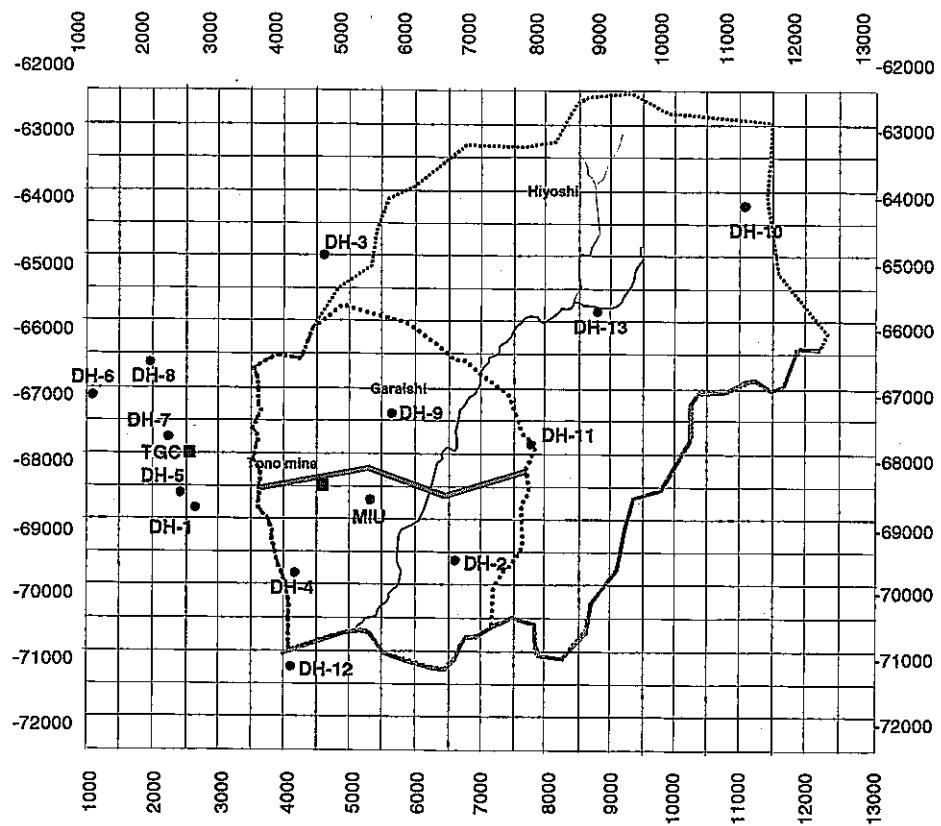


図 6.3-9 試錐調査孔位置図

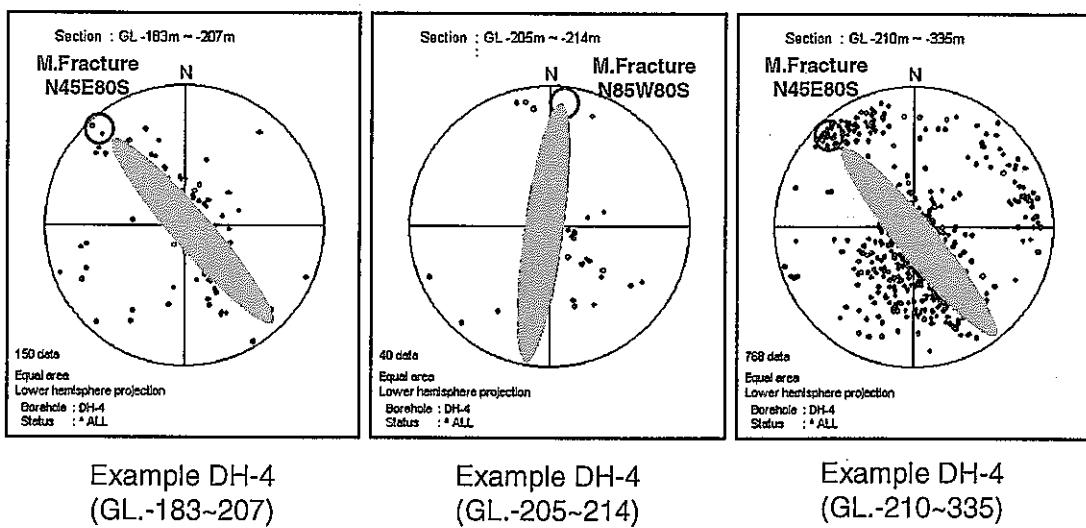


図 6.3-10 抽出パターン例

表 6.3-4 主要割れ目一覧

		DH-9										
		5782.7	-67206.5	275.4	Dip&Strike				Dip Direction		Width(m)	
Section(GL.-m)	(EL.m)											
Zone	1	205.0	218.0	63.9	N	62	W	82	N	28	82	1.8
Zone	2	595.0	607.0	-325.6	EW			72	S	180	72	3.7

		DH-10										
		11217.4	-64094.3	475.6	Dip&Strike				Dip Direction		Width(m)	
Section(GL.-m)	(EL.m)											
Zone	1	207.0	217.0	263.6	N	62	W	82	N	28	82	1.4
Zone	2	231.0	264.0	228.1	NS			55	E	90	55	18.9
Zone	3	256.0	268.0	213.6	N	41	W	58	S	229	58	6.4
Zone	4	283.0	292.0	188.1	NS			55	E	90	55	5.2
Zone	5	287.0	301.0	181.6	NS			78	W	270	78	2.9
Zone	6	380.0	443.0	64.1	N	16	W	63	S	254	63	28.6
Zone	7	501.0	604.0	-76.9	N	11	E	73	S	101	73	30.1
Zone	8	644.0	659.0	-175.9	N	70	E	77	S	160	77	3.4
Zone	9	644.0	659.0	-170.0	NS			73	E	90	73	4.4
Zone	10	811.0	827.0	-343.4	N	30	W	65	S	240	65	6.8
Zone	11	887.0	905.0	-420.4	N	50	W	80	S	220	80	3.1
Zone	12	953.0	993.0	-497.4	N	50	W	80	S	220	80	6.9

		DH-13										
		8897.3	-65673.9	277.5	Dip&Strike				Dip Direction		Width(m)	
Section(GL.-m)	(EL.m)											
Zone	1	252.0	317.0	-7.0	N	52	W	81	S	218	81	10.2
Zone	2	324.0	337.0	-53.0	N	72	W	54	S	198	54	7.6
Zone	3	324.0	342.0	-55.5	N	14	E	75	N	284	75	4.7
Zone	4	340.0	350.0	-67.5	N	85	W	32	N	5	32	8.5
Zone	5	399.0	409.0	-126.5	N	48	W	80	N	42	80	1.7
Zone	6	406.0	422.0	-136.5	N	72	W	54	S	198	54	9.4
Zone	7	410.0	422.0	-138.5	N	10	W	77	S	260	77	2.7
Zone	8	666.0	675.0	-393.0	N	54	E	74	S	144	74	2.5

		MIU-2										
		5433.3	-68552.4	223.8	Dip&Strike				Dip Direction		Width(m)	
Section(GL.-m)	(EL.m)											
Zone	1	388.0	401.0	-170.7	N	62	W	82	N	28	82	1.8
Zone	2	607.0	615.0	-387.2	N	43	E	73	S	133	73	2.3
Zone	3	607.0	615.0	-387.2	N	69	E	62	N	339	62	3.8
Zone	4	734.0	742.0	-514.2	EW			75	N	0	75	2.1
Zone	5	843.0	857.0	-626.2	N	79	W	77	S	191	77	3.1
Zone	6	848.0	857.0	-628.7	N	7	E	77	N	277	77	2.0
Zone	7	857.0	866.0	-637.7	N	51	W	63	N	39	63	4.1
Zone	8	864.0	879.0	-647.7	EW			75	S	180	75	3.9
Zone	9	875.0	887.0	-657.2	N	63	W	50	N	27	50	7.7
Zone	10	882.0	892.0	-663.2	EW			75	S	180	75	2.6
Zone	11	918.0	967.0	-718.7	EW			80	S	180	80	8.5
Zone	12	933.0	961.0	-723.2	N	62	E	52	N	332	52	17.2
Zone	13	957.0	966.0	-737.7	N	33	W	56	N	57	56	5.0
Zone	14	963.0	992.0	-753.7	N	40	E	56	N	310	56	16.2
Zone	15	988.0	1012.0	-776.2	N	63	E	61	N	333	61	11.6

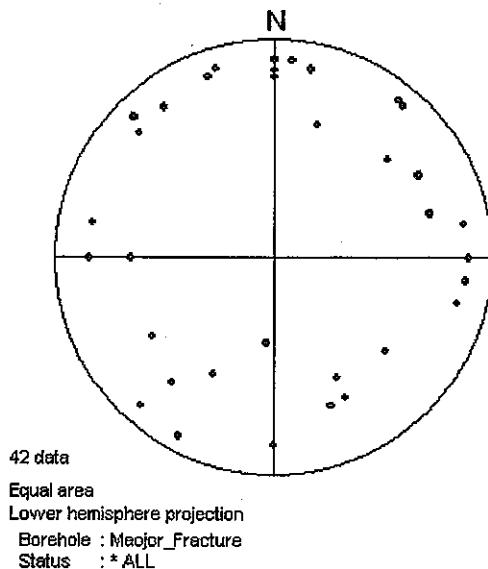


図 6.3-11 主要割れ目の方向性

このようにして得られた主要割れ目をその走向・傾斜より系統別に分類すると表 6.3-5 に示すようになる。

また、各々の系統について走向・傾斜の平均値をもって各系統の主要割れ目の走向・傾斜の代表値とした。

代表化した主要割れ目をここでは、表 6.3-5 に示すように Major fracture system とし、大きくは、NE 系、EW 系、NW 系および NS 系に分類され、傾斜方向を踏まえ、6 系統となった。それぞれの系統を Major fracture system1~6 とした。また、割れ目幅は各系統での最大値を設定した。

表 6.3-5 主要割れ目系一覧表

Index	Orientation					Generate interval			Width(m)	Comment
	strike	dip	dipdir	dip	x-axis	y-axis	z-axis			
Major fracture system1	N 47	E 77	S 137	77	-	1000.0	-	-	22.0	NE system <sup>1</sup>
Major fracture system2	N 54	W 71	N 36	71	-	2300.0	-	-	8.0	NW system <sup>1</sup>
Major fracture system3	N 45	W 73	S 225	73	-	2100.0	-	-	10.0	NW system <sup>2</sup>
Major fracture system4	N 87	W 54	N 3	54	-	3400.0	-	-	9.0	EW system <sup>1</sup>
Major fracture system5	N 88	W 73	S 182	73	-	1400.0	-	-	12.0	EW system <sup>2</sup>
Major fracture system6	N 1	W 74	W 269	74	2800.0	-	-	-	29.0	NS system

## (2) 主要割れ目系の分布

次にこれらの主要割れ目系の分布状況についての検討を行う。各系統の主要割れ目が確認されている位置で、代表化した走向・傾斜データを用いて平面を生成し、任意のスキャンライン上で生成された割れ目の出現位置をもって、主要割れ目系の分布とした。ただし、出現位置が近接している場合はひとつの主要割れ目と判断した。

この出現間隔を主要割れ目系の分布状況として捉え、モデルに反映することとした。モデルに反映する際の生成間隔を表 6.3-5 に示す。

#### 6.3.1.4 断層

対象地域に分布する断層を図 6.3-12 に示す。月吉断層を確認している MIU-2~4 孔の情報から断層コア部、周辺で行われている水理試験結果は次のようなものである。

- ・コア部  $3.1 \times 10^{-9} \text{m/sec}$
- ・周辺割れ目集中部  $1.7 \times 10^{-7} \text{m/sec}$

また、間隙水圧の観測結果から月吉断層は遮水構造を有する構造であることが判明している。

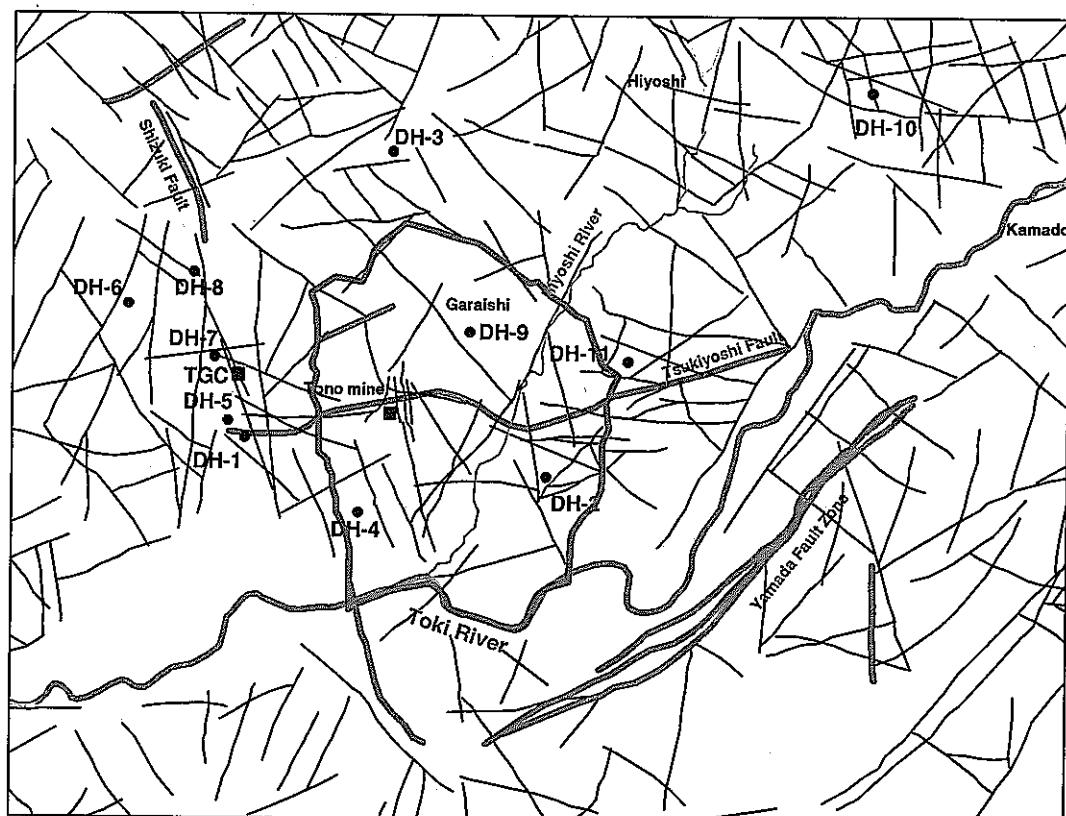


図 6.3-12 断層分布図（対象領域周辺）

### 6.3.2 物性値の設定

各水理地質区分の物性値は、試錐孔で実施されている水理試験結果を元に設定を行う。また、水理試験結果については各水理地質区分（区間）を反映していると考えられる短区間の水理試験結果（スラグ試験）結果を用いることとした。

堆積岩について実施されている水理試験結果を表 6.3-6 に、土岐花崗岩で実施されている水理試験結果を表 6.3-7 に示す。土岐花崗岩中の区分に関しては、水理試験データの地質情報を参考に分類しており、Fracture 部、Intact 部と大きく分類し、Fracture 部に関しては、主要割れ目、断層破碎帶部の透水性を評価する要素とし、Intact 部に関しては、土岐花崗岩・健岩部の透水性を評価することとした。初期モデルの物性値はこれらの値を参考に設定を行っている。また、水理試験結果の平均値は対数平均とした。

表 6.3-6 堆積岩を対象とした水理試験結果

Borehole	Test section		K(m/sec)	LOG(K)	Average	Geology				
	Depth (G.L.- m)									
	Top	Bottom								
DH-2	44.00	46.50	3.80E-10	-9.42	8.63E-09	Akeyo				
MIU-1	18.00	23.00	5.47E-08	-7.26						
MIU-1	23.00	28.00	4.65E-08	-7.33						
MIU-2	15.00	25.00	6.94E-09	-8.16						
MIU-2	25.00	35.00	3.76E-09	-8.42						
MIU-2	40.00	44.00	8.96E-08	-7.05						
MIU-3	25.00	32.00	1.67E-08	-7.78						
MIU-3	33.00	44.50	8.14E-10	-9.09						
DH-2	66.00	74.00	5.10E-07	-6.29						
MIU-1	29.30	39.30	2.24E-08	-7.65						
MIU-2	35.00	45.00	3.16E-08	-7.50	7.12E-08	Akeyo/Toki				
DH-11	54.50	93.50	3.21E-09	-8.49						
DH-2	96.50	99.00	4.70E-07	-6.33						
DH-2	120.50	123.00	2.20E-06	-5.66						
DH-2	131.00	139.00	1.50E-06	-5.82						
MIU-1	39.80	41.80	2.73E-06	-5.56						
MIU-1	40.00	50.00	3.74E-07	-6.43						
MIU-1	50.30	60.30	6.91E-07	-6.16						
MIU-1	61.30	71.30	5.47E-07	-6.26						
MIU-1	69.30	79.30	3.42E-07	-6.47						
MIU-2	45.00	55.00	1.46E-07	-6.84	1.07E-07	Toki lignite-bearing				
MIU-2	55.00	65.00	3.33E-08	-7.48						
MIU-2	65.00	75.00	1.93E-11	-10.71						
MIU-2	75.00	85.00	6.33E-08	-7.20						
MIU-2	83.70	88.70	1.67E-07	-6.78						
MIU-3	44.50	71.50	5.74E-08	-7.24						
MIU-3	72.00	83.00	2.17E-06	-5.66						
MIU-4	68.45	78.02	2.13E-11	-10.67						
MIU-4	82.50	88.65	5.43E-08	-7.27						
DH-2	160.20	169.20	1.90E-07	-6.72						
MIU-1	82.00	92.00	3.30E-07	-6.48	3.74E-07	Toki lignite-bearing (weathered part)				
MIU-2	85.00	95.00	9.03E-08	-7.04						
MIU-3	84.00	90.00	3.47E-06	-5.46						
Total				-7.23	5.85E-08					

表 6.3-7 土岐花崗岩を対象とした水理試験結果

	Toki granite									
	Highly fractured domain				Sparsely fractured domain					
	Fractured part		Intact part		Fractured part		Intact part		Altered/Clay rich part	
Average	K(m/s)	log(K)	K(m/s)	log(K)	K(m/s)	log(K)	K(m/s)	log(K)	K(m/s)	log(K)
	1.9E-08	-7.72	1.8E-09	-8.74	1.2E-08	-7.92	2.7E-09	-8.57	8.6E-10	-9.07
1	7.7E-11	-10.11	3.3E-10	-9.48	8.0E-09	-8.10	3.3E-10	-9.48	8.3E-10	-9.08
2	1.6E-09	-8.80	3.2E-10	-9.49	1.8E-08	-7.74	2.1E-07	-6.68	2.7E-09	-8.57
3	5.3E-10	-9.28	7.2E-11	-10.14	3.3E-12	-11.49	6.2E-11	-10.21	2.1E-08	-7.69
4	2.5E-07	-6.60	3.1E-10	-9.51	1.3E-10	-9.90	1.3E-09	-8.89	2.0E-11	-10.70
5	3.9E-06	-5.41	9.0E-06	-5.04	8.5E-11	-10.07	1.4E-09	-8.85	9.3E-11	-10.03
6	7.9E-10	-9.10			4.9E-09	-8.31	8.1E-10	-9.09	3.5E-09	-8.46
7	3.9E-06	-5.41			2.1E-06	-5.67	1.2E-09	-8.92	4.3E-11	-10.37
8	7.9E-10	-9.10			2.0E-08	-7.71	4.5E-09	-8.35	2.0E-09	-8.71
9	1.2E-08	-7.92			9.3E-10	-9.03	2.7E-06	-5.57	3.2E-11	-10.49
10	3.3E-06	-5.48			3.4E-08	-7.47	7.4E-10	-9.13	5.5E-10	-9.26
11	9.3E-11	-10.03			1.5E-09	-8.81	2.7E-11	-10.57	5.9E-08	-7.23
12	3.2E-06	-5.49			1.8E-08	-7.74	2.6E-11	-10.59	9.1E-11	-10.04
13	1.1E-09	-8.98			6.3E-08	-7.20	3.6E-11	-10.44	5.9E-08	-7.23
14	1.3E-06	-5.89			1.6E-07	-6.79	3.7E-11	-10.43		
15	1.5E-06	-5.82			4.3E-10	-9.36	2.0E-09	-8.71		
16	1.3E-09	-8.89			6.0E-09	-8.22	5.5E-10	-9.26		
17	8.1E-10	-9.09			3.7E-07	-6.44	3.5E-09	-8.46		
18	9.9E-12	-11.00			6.6E-07	-6.18	2.4E-10	-9.62		
19	9.5E-10	-9.02			1.8E-08	-7.74	5.8E-08	-7.24		
20	6.2E-08	-7.21			9.2E-10	-9.04	1.5E-09	-8.83		
21	4.4E-10	-9.36			9.5E-07	-6.02	3.7E-08	-7.43		
22	3.7E-08	-7.43			4.7E-08	-7.33	5.9E-07	-6.23		
23	6.8E-09	-8.17			1.1E-06	-5.98	1.7E-09	-8.77		
24	6.1E-09	-8.22			4.6E-06	-5.34	5.1E-09	-8.29		
25	1.1E-05	-4.96			3.8E-07	-6.42	1.1E-07	-6.97		
26	6.1E-08	-7.21			6.8E-10	-9.17	8.1E-09	-8.09		
27	6.6E-08	-7.18			4.5E-09	-8.35	9.4E-08	-7.03		
28	8.4E-11	-10.08			4.9E-09	-8.31	4.8E-08	-7.32		
29	6.8E-06	-5.17			1.4E-09	-8.87	1.3E-07	-6.88		
30	1.4E-05	-4.85			2.3E-06	-5.63	7.2E-12	-11.14		
31	7.8E-09	-8.11			2.0E-10	-9.69	7.6E-08	-7.12		
32					7.5E-10	-9.12	3.3E-08	-7.48		
33					1.4E-06	-5.86	8.2E-08	-7.09		
34					1.0E-06	-6.00	5.6E-12	-11.25		
35					5.0E-06	-5.30	1.8E-09	-8.74		
36					3.7E-10	-9.44	4.1E-09	-8.39		
37					1.6E-09	-8.80	3.9E-08	-7.41		
38					8.2E-10	-9.09	4.7E-07	-6.33		
39					2.0E-11	-10.71	2.0E-07	-6.70		
40					5.7E-11	-10.24	4.7E-12	-11.33		

表 6.3-7 (2) 土岐花崗岩を対象とした水理試験結果

	Toki granite							
	Highly fractured domain				Sparsely fractured domain			
	Fractured part	Intact part	Fractured part	Intact part	Altered/Clay rich part			
41			3.9E-08	-7.41	3.4E-07	-6.47		
42			4.9E-07	-6.31	5.7E-10	-9.25		
43			1.9E-07	-6.72	6.8E-07	-6.17		
44			1.4E-10	-9.85	1.3E-09	-8.88		
45			4.2E-09	-8.38	9.1E-11	-10.04		
46			2.2E-08	-7.66	3.3E-12	-11.48		
47			8.6E-08	-7.07	3.8E-08	-7.42		
48			2.6E-09	-8.59	2.0E-10	-9.70		
49			2.8E-08	-7.55	6.5E-10	-9.19		
50			1.9E-08	-7.72	1.3E-08	-7.89		
51			1.0E-08	-8.00	6.8E-12	-11.17		
52			2.1E-08	-7.68				
53			5.5E-08	-7.26				
54			3.1E-09	-8.51				
55			2.3E-09	-8.64				
56			1.1E-10	-9.96				
57			4.8E-07	-6.32				
58			7.8E-08	-7.11				
59			7.9E-06	-5.11				
60			2.4E-08	-7.62				
61			5.1E-10	-9.29				
62			1.0E-06	-5.99				
63			2.0E-05	-4.71				
64			1.6E-09	-8.80				
65			8.3E-09	-8.08				
66			5.5E-11	-10.26				
67			8.2E-10	-9.09				
68			4.3E-10	-9.37				
69			1.7E-09	-8.76				
70								
71								
72								
73								
74								
75								
76								
77								
78								
79								
80								

表 6.3-7 (3) 土岐花崗岩を対象とした水理試験結果

	Toki granite					
	Fault zone					
	Fractured part		Intact part		Core part	
Average	K(m/s)	log(K)	K(m/s)	log(K)	K(m/s)	log(K)
	1.7E-07	-6.77	7.3E-10	-9.14	3.1E-09	-8.50
1	7.8E-09	-8.11	2.7E-08	-7.57	2.7E-09	-8.57
2	1.7E-06	-5.77	4.1E-09	-8.39	1.6E-09	-8.80
3	2.2E-06	-5.66	4.2E-08	-7.38	7.1E-09	-8.15
4	7.6E-08	-7.12	5.0E-12	-11.30		
5	1.8E-09	-8.75	5.9E-12	-11.23		
6	3.9E-09	-8.41	1.1E-09	-8.95		
7	2.1E-08	-7.67				
8	2.6E-07	-6.59				
9	7.9E-07	-6.10				
10	3.7E-06	-5.44				
11	3.0E-06	-5.53				
12	5.6E-07	-6.25				
13	1.9E-09	-8.72				
14	9.1E-07	-6.04				
15	1.2E-06	-5.91				
16	6.0E-07	-6.22				
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						
32						
33						
34						
35						
36						
37						
38						
39						
40						

### 6.3.3 初期モデルの設定

前述のように、平成13年度と平成14年度では解析方法そのものが異なる。そこで、今年度のモデルの特徴を整理する意味で間隙水圧観測値を用いたモデルキャリブレーションを行うこととした。前述の水理地質概念モデルを基に設定したモデルを初期モデルとして位置付ける。

#### 6.3.3.1 解析領域

解析領域を図 6.3-13 に示す。

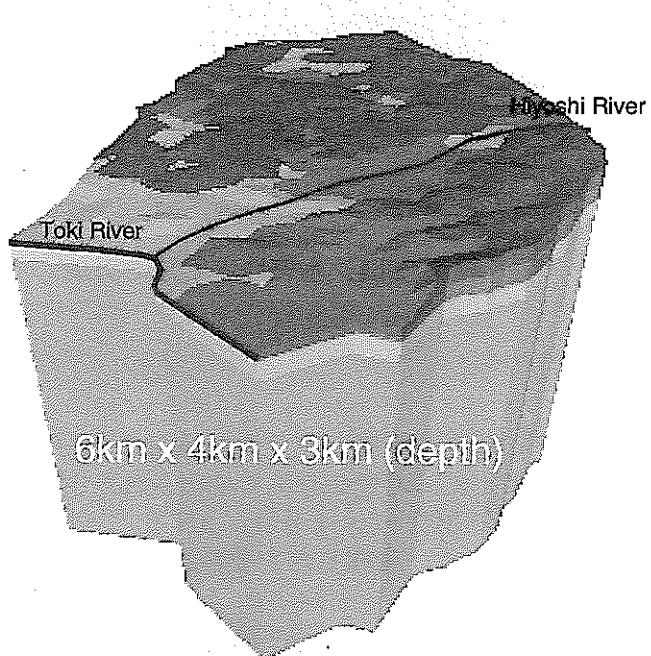


図 6.3-13 解析領域図

### 6.3.3.2 水理地質区分

図 6.3-14 に水理地質区分を示す。

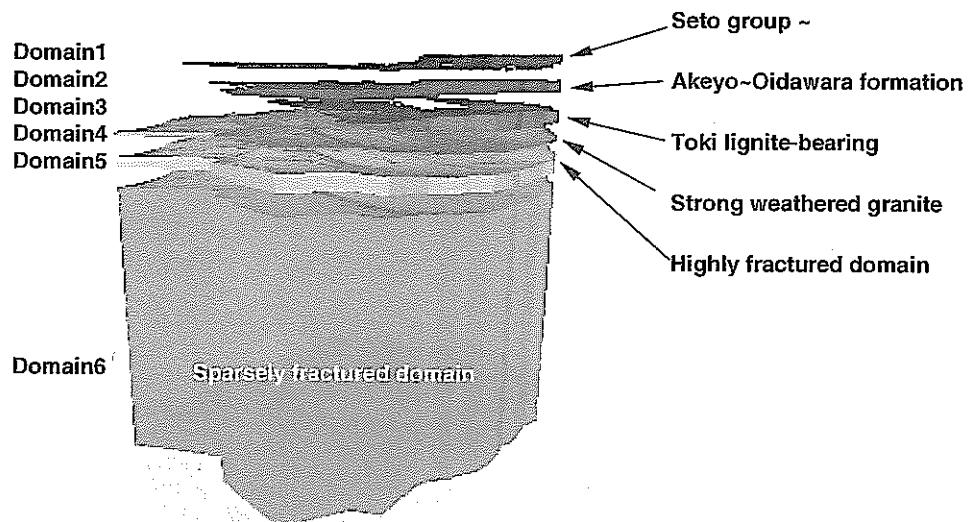


図 6.3-14 水理地質区分モデル

### 6.3.3.3 主要割れ目

前述の主要割れ目系の検討を反映した主要割れ目の分布図を図 6.3-15 に示す。ただし、主要割れ目系に加えて、MIU-2 号孔で抽出された主要割れ目を追加している。

これは、正馬様用地内の MIU-1～4 号孔、AN 孔の主要割れ目系を MIU-2 号孔で代表させたためである。また、生成した主要割れ目の一覧を表 6.3-8 に示す。

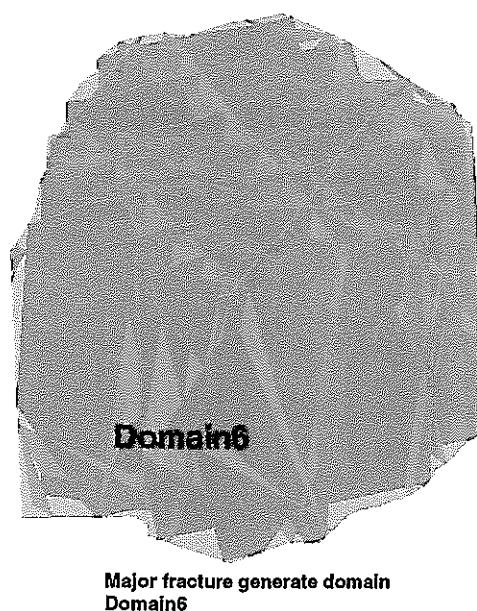


図 6.3-15 主要割れ目モデル

### 6.3.3.4 断層

月吉断層を地表調査で確認されている断層として位置付け、遮水構造を有する断層としてモデル化を行った。その他の想定断層として、対象領域内のリニアメント図から図 6.3-16 に示すリニアメントを断層として生成した。ただし、月吉断層と同等の規模で遮水構造を有するかは、現状での判断は困難であるため、初期モデルとして研究坑道建設用地周辺で確認されている断層、日吉川に沿ったリニアメントを遮水構造を有する断層と想定しモデル化を行った。

月吉断層の断層構造は MIU-4 号孔の情報を基に設定を行った。その他の遮水構造を有すると想定した断層モデルもこれを参考に設定を行った。その他の断層モデルは主要割れ目と同等程度と想定した。それぞれの断層モデルの構造を図 6.3-17 に、解析領域中に生成した断層モデル図を図 6.3-18 に、生成した断層モデルの一覧を表 6.3-8 割れ目生成データ一覧表に示す。月吉断層以外の断層モデルの傾斜は主要割れ目の傾斜を参考に設定を行っている。その理由は、方向性が同じ断層と主要割れ目と同じ応力状態のもとで生成されるという考え方に基づく。ただし、厳密性にかけるため今後検討が必要である。

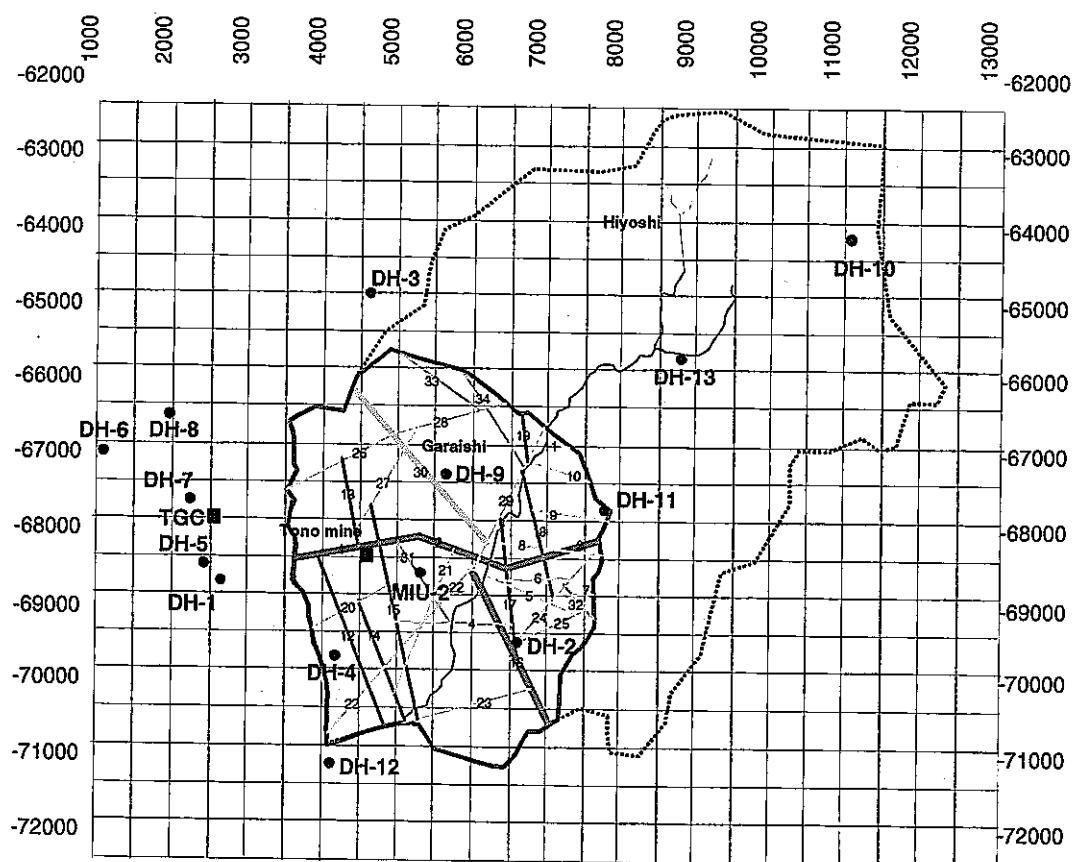


図 6.3-16 リニアメント分布図

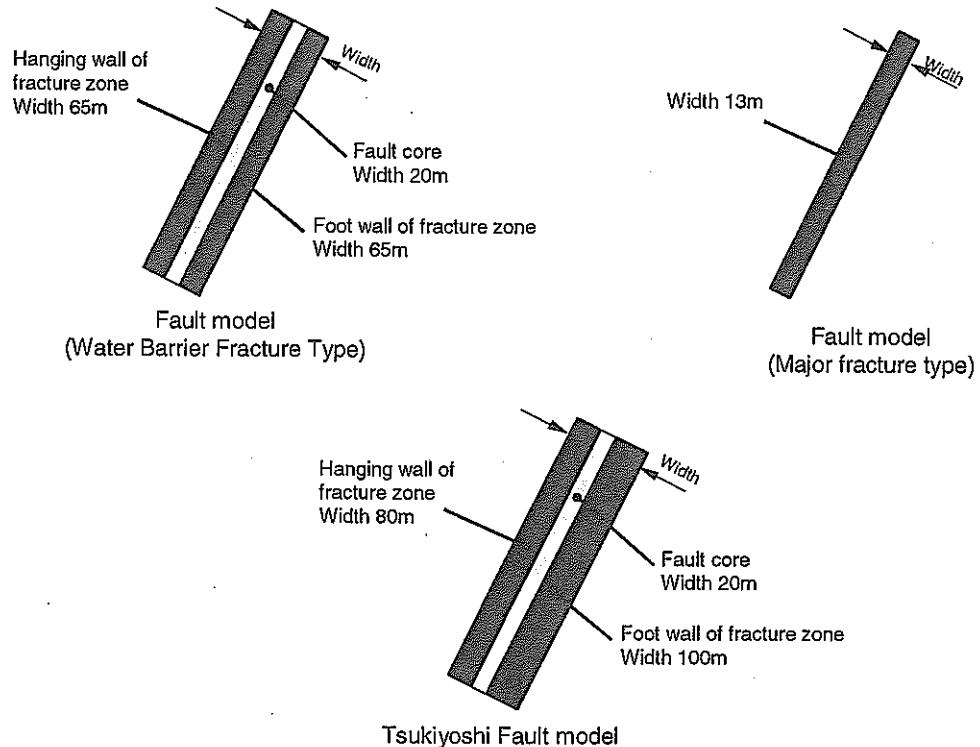


図 6.3-17 断層モデルの構造

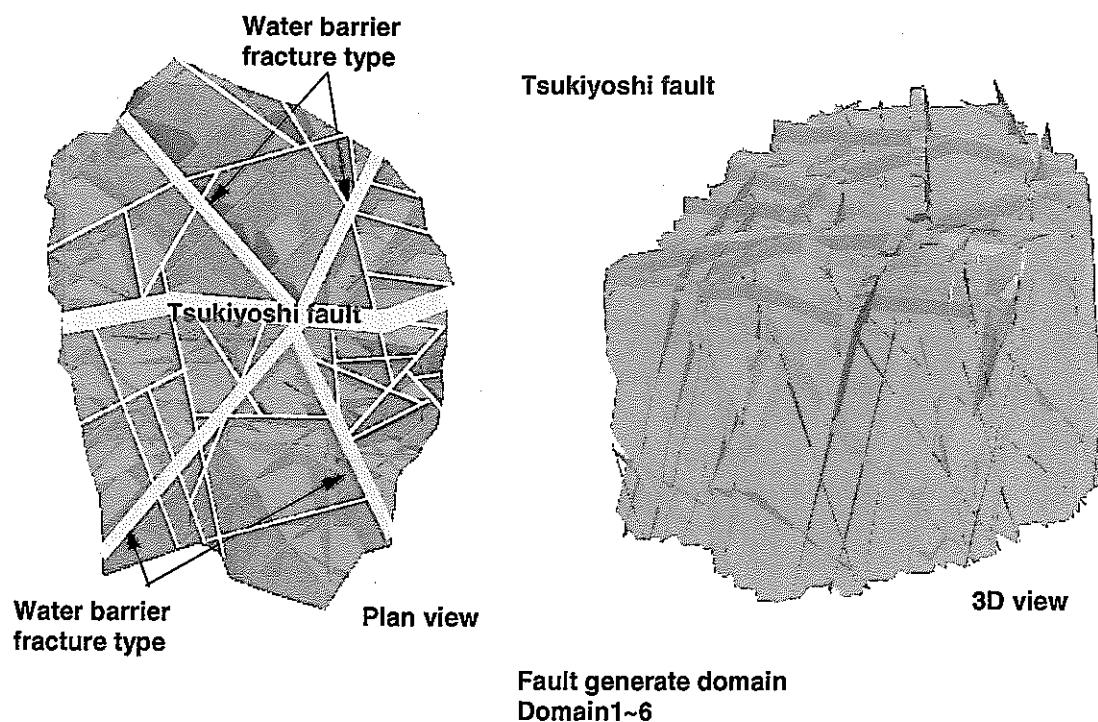


図 6.3-18 断層モデル

表 6.3-8 割れ目生成データ一覧表

Index	Location			Dip direction		Fracture type	Fracture zone width			Valid Domain						Control Fracture	
	x	y	z*				Zone1	Zone2	Zone3		Domain index						
Frc1	4510.0	-68260.0	258.0	170	65	1	80.0	20.0	100.0	6	1	2	3	4	5	6	1 2
Frc2	5472.2	-68565.2	-474.7	185	66	1	80.0	20.0	100.0	6	1	2	3	4	5	6	2 1 3
Frc3	8450.0	-67950.0	247.0	160	55	1	80.0	20.0	100.0	6	1	2	3	4	5	6	1 2
Frc4	5870.0	-69270.0	169.0	181	77	2	13.0	0.0	0.0	6	1	2	3	4	5	6	2 15 17
Frc5	6780.0	-68800.0	260.0	203	77	2	13.0	0.0	0.0	6	1	2	3	4	5	6	2 22 25
Frc6	7000.0	-68640.0	287.0	177	77	2	13.0	0.0	0.0	6	1	2	3	4	5	6	2 17 24
Frc7	8400.0	-68810.0	233.0	178	77	2	13.0	0.0	0.0	6	1	2	3	4	5	6	1 32
Frc8	7870.0	-68330.0	288.0	186	77	2	13.0	0.0	0.0	6	1	2	3	4	5	6	1 29
Frc9	7580.0	-67830.0	307.0	188	77	2	13.0	0.0	0.0	6	1	2	3	4	5	6	1 18
Frc10	8230.0	-67540.0	309.0	198	77	2	13.0	0.0	0.0	6	1	2	3	4	5	6	1 29
Frc11	7800.0	-67050.0	265.0	198	77	2	13.0	0.0	0.0	6	1	2	3	4	5	6	1 29
Frc12	4500.0	-69460.0	232.0	248	76	1	65.0	20.0	65.0	6	1	2	3	4	5	6	1 1
Frc13	4480.0	-67610.0	320.0	259	76	2	13.0	0.0	0.0	6	1	2	3	4	5	6	2 1 26
Frc14	4920.0	-69760.0	210.0	248	76	2	13.0	0.0	0.0	6	1	2	3	4	5	6	1 20
Frc15	5080.0	-69110.0	255.0	257	76	2	13.0	0.0	0.0	6	1	2	3	4	5	6	1 27
Frc16	6640.0	-69540.0	175.0	243	76	1	65.0	20.0	65.0	6	1	2	3	4	5	6	1 22
Frc17	6600.0	-68810.0	187.0	263	76	2	13.0	0.0	0.0	6	1	2	3	4	5	6	2 18 29
Frc18	7000.0	-68130.0	307.0	256	76	2	13.0	0.0	0.0	6	1	2	3	4	5	6	2 24 29
Frc19	6750.0	-66470.0	284.0	263	76	2	13.0	0.0	0.0	6	1	2	3	4	5	6	1 29
Frc20	4470.0	-69080.0	256.0	151	77	2	13.0	0.0	0.0	6	1	2	3	4	5	6	1 15
Frc21	5540.0	-69080.0	201.0	112	77	2	13.0	0.0	0.0	6	1	2	3	4	5	6	2 2 14
Frc22	5740.0	-68960.0	197.0	131	77	1	65.0	20.0	65.0	6	1	2	3	4	5	6	1 2
Frc23	5880.0	-70380.0	219.0	165	77	2	13.0	0.0	0.0	6	1	2	3	4	5	6	1 16
Frc24	7250.0	-68850.0	219.0	131	77	2	13.0	0.0	0.0	6	1	2	3	4	5	6	2 16 8
Frc25	7150.0	-69290.0	243.0	153	77	2	13.0	0.0	0.0	6	1	2	3	4	5	6	2 16 32
Frc26	4300.0	-67140.0	300.0	152	77	1	65.0	20.0	65.0	6	1	2	3	4	5	6	1 30
Frc27	4940.0	-67390.0	282.0	121	77	2	13.0	0.0	0.0	6	1	2	3	4	5	6	2 13 28
Frc28	5820.0	-66530.0	280.0	164	77	1	65.0	20.0	65.0	6	1	2	3	4	5	6	1 30
Frc29	6890.0	-66950.0	242.0	116	77	1	65.0	20.0	65.0	6	1	2	3	4	5	6	1 2
Frc30	5350.0	-67120.0	258.0	49	82	1	65.0	20.0	65.0	6	1	2	3	4	5	6	1 29
Frc31	5500.0	-68730.0	209.0	57	82	2	13.0	0.0	0.0	6	1	2	3	4	5	6	2 2 4
Frc32	7880.0	-69330.0	223.0	49	82	2	13.0	0.0	0.0	6	1	2	3	4	5	6	1 24
Frc33	5480.0	-65900.0	299.0	35	82	2	13.0	0.0	0.0	6	1	2	3	4	5	6	1 28
Frc34	6080.0	-66040.0	352.0	58	82	2	13.0	0.0	0.0	6	1	2	3	4	5	6	1 29
Frc35	5433.3	-68552.4	-170.7	28	82	2	1.8	0.0	0.0	1	6						0
Frc36	5433.3	-68552.4	-387.2	133	73	2	2.3	0.0	0.0	1	6						0
Frc37	5433.3	-68552.4	-387.2	339	62	2	3.8	0.0	0.0	1	6						0
Frc38	5433.3	-68552.4	-514.2	0	75	2	2.1	0.0	0.0	1	6						0
Frc39	5433.3	-68552.4	-628.2	191	77	2	3.1	0.0	0.0	1	6						0
Frc40	5433.3	-68552.4	-628.2	277	77	2	2.0	0.0	0.0	1	6						0
Frc41	5433.3	-68552.4	-637.7	39	63	2	4.1	0.0	0.0	1	6						0
Frc42	5433.3	-68552.4	-647.7	180	75	2	3.9	0.0	0.0	1	6						0
Frc43	5433.3	-68552.4	-857.2	27	50	2	7.7	0.0	0.0	1	6						0
Frc44	5433.3	-68552.4	-663.2	180	75	2	2.6	0.0	0.0	1	6						0
Frc45	5433.3	-68552.4	-718.7	180	80	2	8.5	0.0	0.0	1	6						0
Frc46	5433.3	-68552.4	-723.2	332	52	2	17.2	0.0	0.0	1	6						0
Frc47	5433.3	-68552.4	-737.7	57	56	2	5.0	0.0	0.0	1	6						0
Frc48	5433.3	-68552.4	-753.7	310	56	2	16.2	0.0	0.0	1	6						0
Frc49	5433.3	-68552.4	-776.2	333	61	2	11.6	0.0	0.0	1	6						0
Frc50	4510.0	-65000.0	258.0	137	77	2	22.0	0.0	0.0	1	6						0
Frc51	4510.0	-66000.0	258.0	137	77	2	22.0	0.0	0.0	1	6						0
Frc52	4510.0	-67000.0	258.0	137	77	2	22.0	0.0	0.0	1	6						0
Frc53	4510.0	-68000.0	258.0	137	77	2	22.0	0.0	0.0	1	6						0
Frc54	4510.0	-69000.0	258.0	137	77	2	22.0	0.0	0.0	1	6						0
Frc55	4510.0	-70000.0	258.0	137	77	2	22.0	0.0	0.0	1	6						0
Frc56	4510.0	-71000.0	258.0	137	77	2	22.0	0.0	0.0	1	6						0
Frc57	4510.0	-72000.0	258.0	137	77	2	22.0	0.0	0.0	1	6						0
Frc58	4510.0	-73000.0	258.0	137	77	2	22.0	0.0	0.0	1	6						0
Frc59	4510.0	-64900.0	258.0	36	71	2	8.0	0.0	0.0	1	6						0
Frc60	4510.0	-67200.0	258.0	36	77	2	8.0	0.0	0.0	1	6						0
Frc61	4510.0	-69500.0	258.0	36	77	2	8.0	0.0	0.0	1	6						0
Frc62	4510.0	-71800.0	258.0	36	77	2	8.0	0.0	0.0	1	6						0
Frc63	4510.0	-62600.0	258.0	225	73	2	10.0	0.0	0.0	1	6						0
Frc64	4510.0	-64700.0	258.0	225	73	2	10.0	0.0	0.0	1	6						0
Frc65	4510.0	-66800.0	258.0	225	73	2	10.0	0.0	0.0	1	6						0
Frc66	4510.0	-68900.0	258.0	225	73	2	10.0	0.0	0.0	1	6						0
Frc67	4510.0	-71000.0	258.0	225	73	2	10.0	0.0	0.0	1	6						0
Frc68	4510.0	-65800.0	258.0	3	54	2	9.0	0.0	0.0	1	6						0
Frc69	4510.0	-69200.0	258.0	3	54	2	9.0	0.0	0.0	1	6						0
Frc70	4510.0	-72600.0	258.0	3	54	2	9.0	0.0	0.0	1	6						0
Frc71	4510.0	-65200.0	258.0	182	73	2	12.0	0.0	0.0	1	6						0
Frc72	4510.0	-66600.0	258.0	182	73	2	12.0	0.0	0.0	1	6						0
Frc73	4510.0	-68000.0	258.0	182	73	2	12.0	0.0	0.0	1	6						0
Frc74	4510.0	-69400.0	258.0	182	73	2	12.0	0.0	0.0	1	6						0
Frc75	4510.0	-70800.0	258.0	182	73	2	12.0	0.0	0.0	1	6						0
Frc76	3800.0	-68260.0	258.0	269	74	2	29.0	0.0	0.0	1	6						0
Frc77	6600.0	-68260.0	258.0	269	74	2	29.0	0.0	0.0	1	6						0

### 6.3.3.5 物性値の設定

6.3.2 節を参考に初期モデルの物性値として表 6.3-9 に示す値を設定した。ただし、土岐砂礫層、土岐花崗岩・強風化部、断層コア部に関しては経験的に表に示す値を初期値として与えた。

有効間隙率は、平成 13 年度のモデルと同様に有効間隙率と透水係数に関する経験式を参考に設定を行った。ただし、堆積岩および断層コアの低透水部に関しては一律 30%とした。

表 6.3-9 初期モデル物性値一覧

Domain	Matrix part			Major fracture			Fault			
	Hydraulic conductivity (m/s)			Hydraulic conductivity (m/s)			Zone	Hydraulic conductivity (m/s)		
	KX	KY	KZ	KX'	KY'	KZ'		KX'	KY'	KZ'
Domain1 Seto group	2.00E-06			Not generate			Zone1	2.00E-07		
Domain2 Akeyo-Oidawara formation	2.00E-08			Not generate			Zone2	1.00E-10		
Domain3 Toki lignite-bearing	2.00E-07			Not generate			Zone3	2.00E-07		
Domain4 Strong weathered granite	2.00E-06			Not generate			Zone1	2.00E-07		
Domain5 Highly fractured domain	2.00E-08			Not generate			Zone2	1.00E-10		
Domain6 Sparsely fractured domain	3.00E-09				1.00E-08		Zone3	2.00E-07		

KX' : Strike direction of fault

KY' : Dip direction of fault

KZ' : Perpendicular direction of fault plane

Zone1 : Foot wall fractured zone

Zone2 : Fault core

Zone3 : Hanging wall fractured zone

## 6.4 モデルキャリブレーション

### 6.4.1 解析条件の設定

#### 6.4.1.1 境界条件

境界条件は、図 6.4-1 に示すように設定した。地下水位の観測結果から、平均 GL.-5m の位置に分布していることを踏まえ、上部境界は地形面より -5m の位置に地下水位を想定した固定水頭境界とした。また、側方境界および下方境界は No-Flow 境界と設定した。

また、領域内部の境界条件として、東濃鉱山の排水量を考慮した。東濃鉱山の排水量の観測結果より、季節変動を除き、比較的安定している 1992~1999 年間の月間データを基に  $50\text{m}^3/\text{day}$ ( =  $3.4\text{E}-05 \text{ m}^3/\text{sec}$ )の排水量を見込み、東濃鉱山付近に位置する多面体要素に系外流出量として設定した。

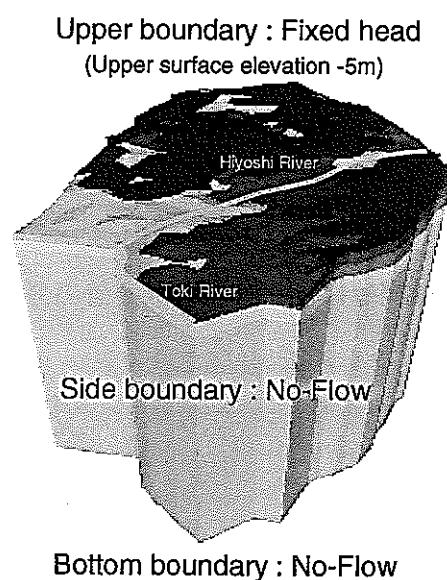


図 6.4-1 境界条件

#### 6.4.1.2 全水頭分布状況

間隙水圧の観測より得られている全水頭分布状況(代表値)を図 6.4-2～図 6.4-4 に示す。この分布をもとにモデルのキャリブレーションを行う。

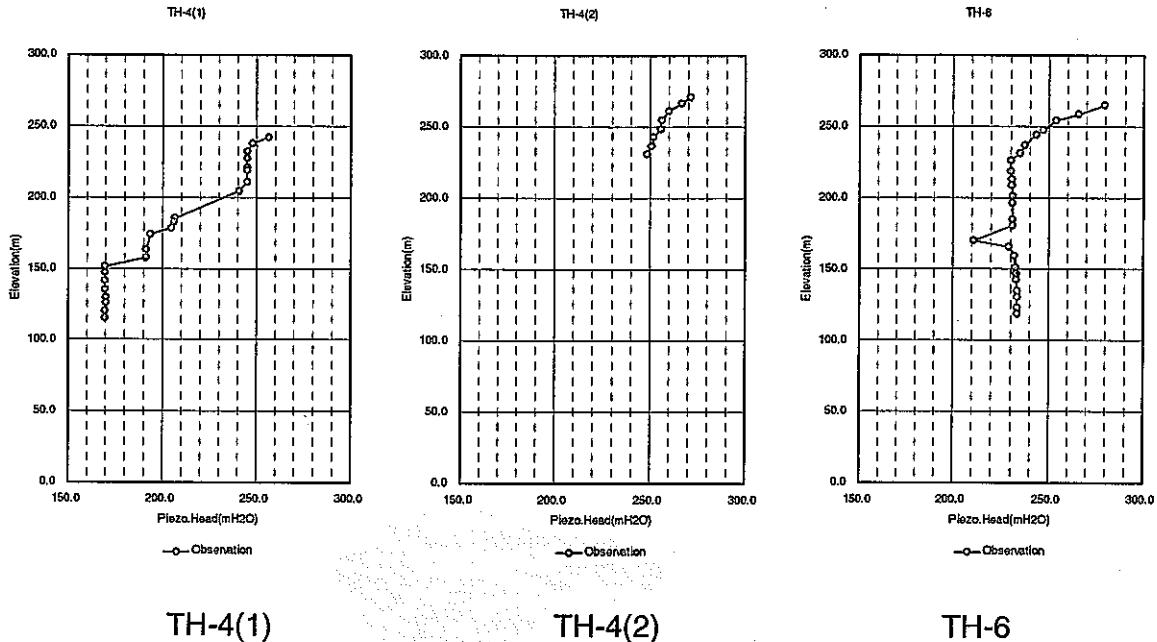


図 6.4-2 観測値に見られる全水頭値の分布状況 (1)

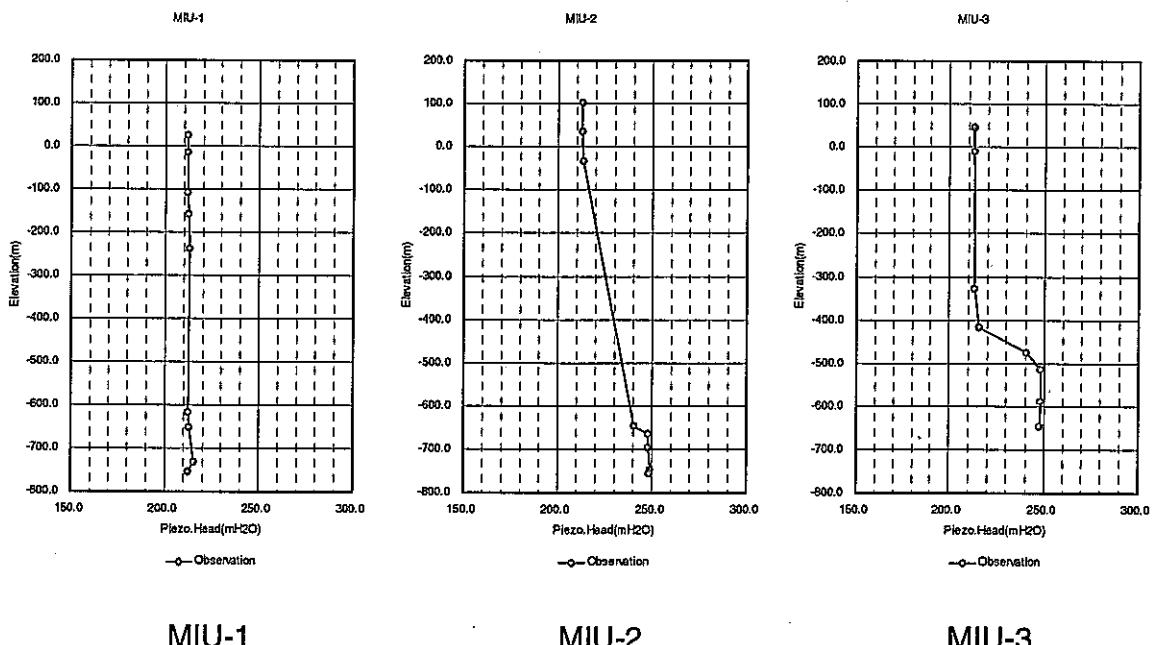
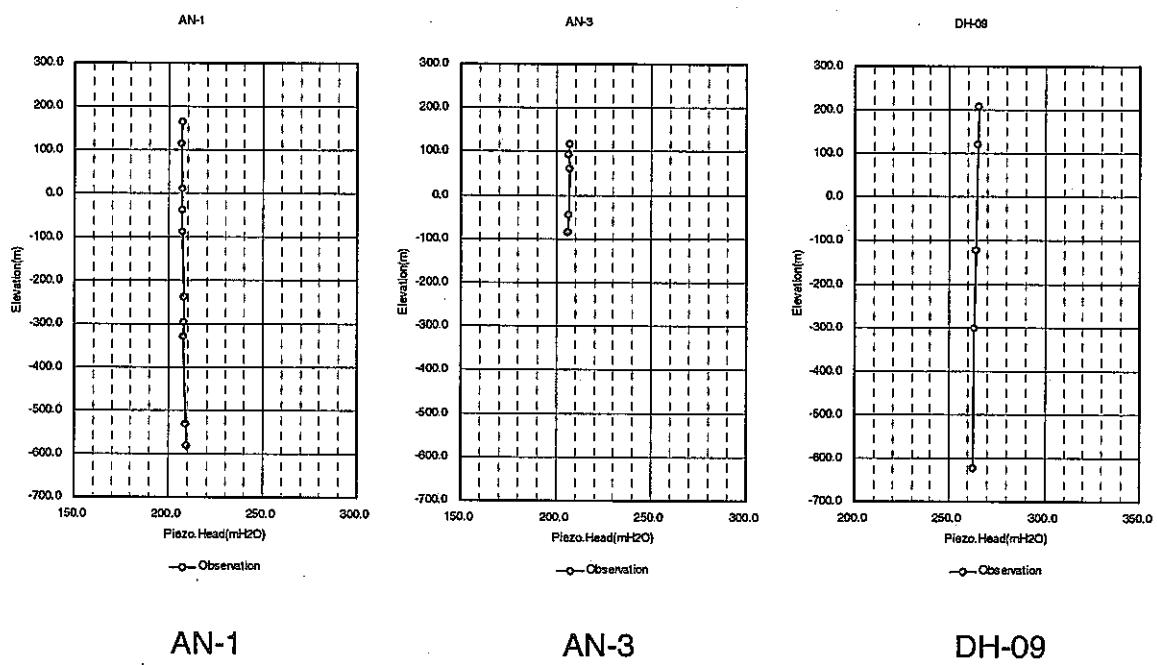


図 6.4-3 観測値に見られる全水頭値の分布状況 (2)



AN-1

AN-3

DH-09

図 6.4-4 観測値に見られる全水頭値の分布状況 (3)

## 6.4.2 初期モデル解析結果

### 6.4.2.1 初期モデルの解析結果

初期モデルの解析結果を以下に示す。図 6.4-5 は全水頭分布状況を示した図である。また、図 6.4-6～図 6.4-8 は解析結果と観測値の比較を示した図である。図 6.4-6～図 6.4-8 より、解析結果のほうが観測値と比較して高めの値となっている。また、MIU-2 孔および MIU-3 孔に見られる水頭値の不連続は、実測値が MIU-2 孔で 40m 近い開きが見られるのに対し、解析結果では 10m 強の開きしか見られない。MIU-3 孔についても同様の結果となっている。また、月吉断層の下盤側では観測値と解析値の差は、MIU-2 孔で 10m、MIU-3 孔で 20m ほどの開きがある。一方、上盤側ではその開きは大きく MIU-1 孔で約 45m、MIU-2 孔で約 40m、MIU-3 孔で 50m 弱の開きとなっている。

TH-4、TH-6 では、浅層では観測値と解析値に大きな差は見られないが、EL.250m 以深では大きな開きとなっている。AN 孔では観測値と解析値に 20m～30m の開きが見られる。DH-9 孔では浅層の値はほぼ一致しているが、EL.100m 以深で 10m～20m の開きとなっている。

以上より、初期モデルの設定では観測値と実測値に大きな開きがあることがわかった。傾向として次のようなことがあげられる。

浅層では観測値と解析値に大きな開きはない。このことから、上方の境界条件は適当な境界条件であると判断される。

月吉断層を挟んだ水頭値の不連続は解析でも再現できているが、その開きが小さい。

月吉断層・上盤側の水頭値は観測値よりも 20m～50m 解析値の方が大きな値となっている。

次節以降で、初期モデルの変更過程を示す。

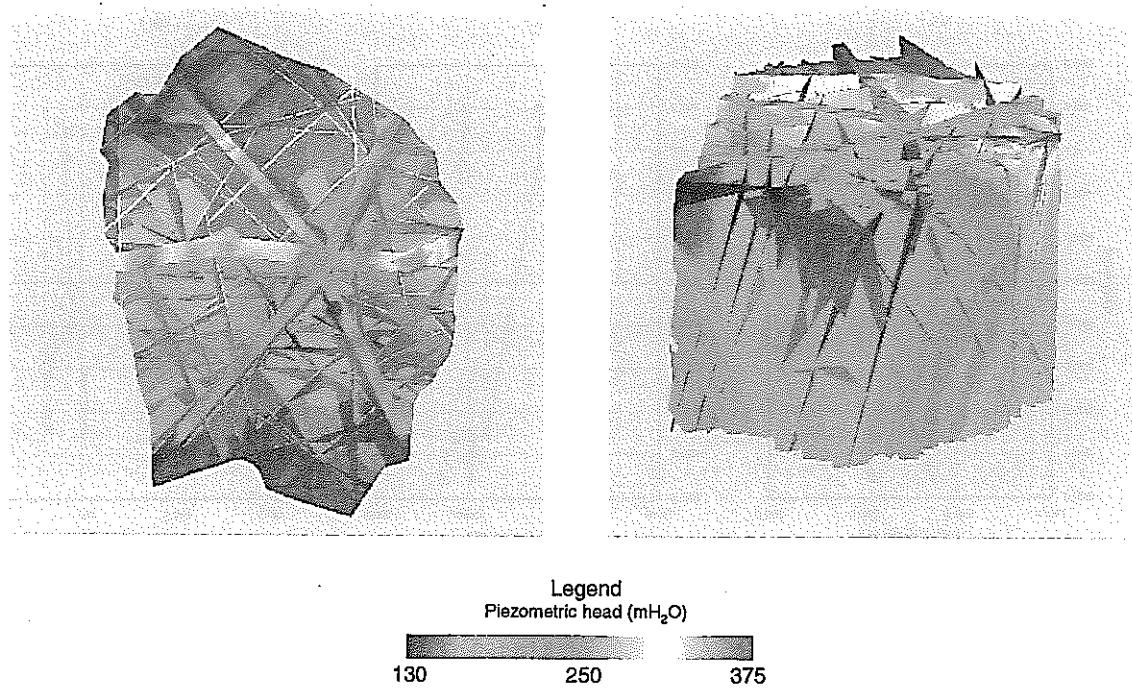


図 6.4・5 初期モデル解析結果・全水頭分布図

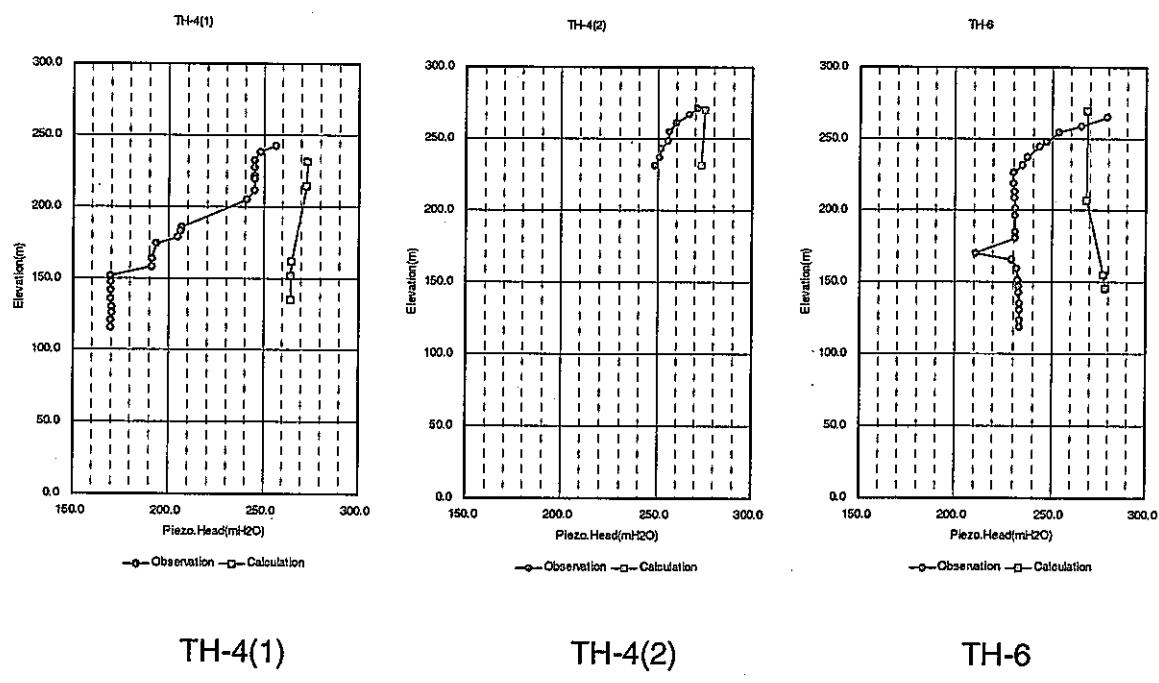
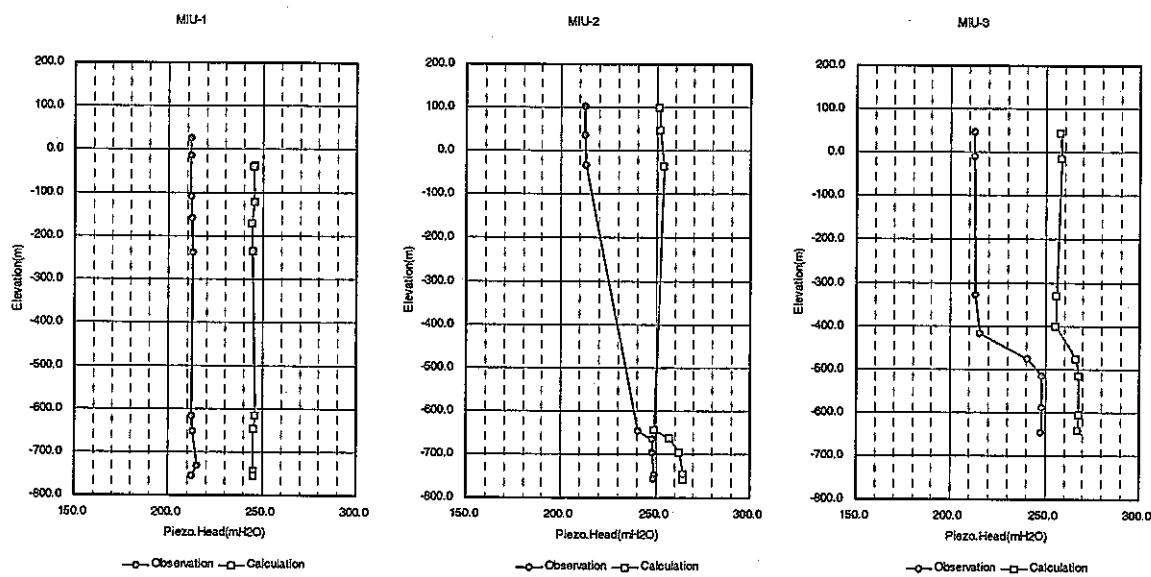


図 6.4・6 初期モデル解析結果・観測値と解析値の比較 (1)

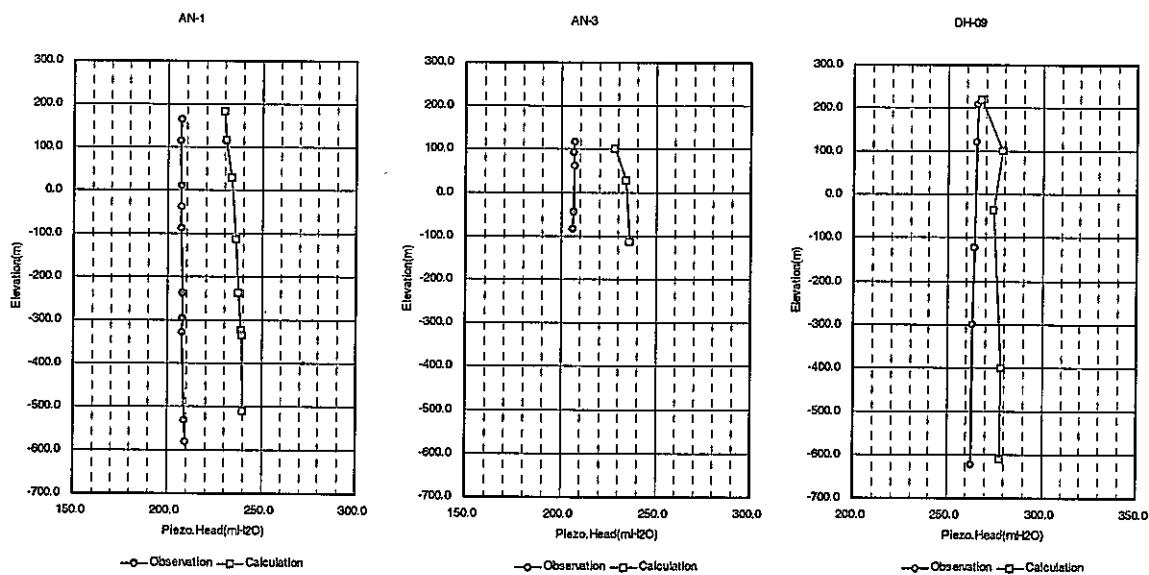


MIU-1

MIU-2

MIU-3

図 6.4・7 初期モデル解析結果・観測値と解析値の比較 (2)



AN-1

AN-3

DH-09

図 6.4・8 初期モデル解析結果・観測値と解析値の比較 (3)

#### 6.4.2.2 断層の透水異方性についての検討

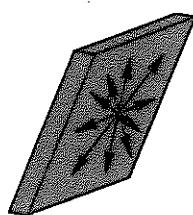
初期モデルの断層について透水異方性を考慮した場合、水頭値の分布状況がどのように変化するかを見てみる。

断層の透水異方性に関して、次のような設定を行った。断層の透水異方性は前述のように断層の形成過程を考慮し設定を行っている。ここでは、断層の透水異方性を次のようにタイプ分けを行い、表 6.4-2 のようにケースを設定した。

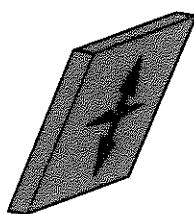
その結果を図 6.4-10～図 6.4-12 に示す。結果に見られるようにケース間で大きな差は見られないが、Type03 の異方性を設定した Case03 が 3 ケース中比較的よい傾向となっている。

表 6.4-1 断層の透水異方性タイプ

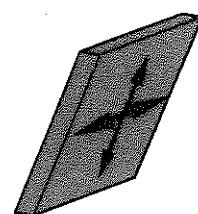
Type	Hydraulic anisotropy		Geological feature
Type01	—		—
Type02	Dip direction permeability	: High	Strike-slip fault type
	Strike direction permeability	: Low	
Type03	Dip direction permeability	: Low	Reverse fault type
	Strike direction permeability	: High	



Type01  
Isotropy along fault



Type02 (Strike slip fault)  
Dip direction max.



Type03 (Reverse fault)  
Strike direction max.

Hydraulic anisotropy of fault

図 6.4-9 断層の透水異方性タイプ

表 6.4-2 断層の透水異方性に関する解析ケース

Hydraulic conductivities of Fault

Domain	Zone	Case01 (Type01)			Case02 (Type02)			Case03 (Type03)		
		KX'	KY'	KZ'	KX'	KY'	KZ'	KX'	KY'	KZ'
Domain1 Seto group	Zone1	2.00E-07			2.00E-08	2.00E-07	2.00E-07	2.00E-07	2.00E-08	2.00E-07
	Zone2	1.00E-10				1.00E-10			1.00E-10	
	Zone3	2.00E-07			2.00E-08	2.00E-07	2.00E-07	2.00E-07	2.00E-08	2.00E-07
Domain2 Akeyo-Oidawara formation	Zone1	2.00E-07			2.00E-08	2.00E-07	2.00E-07	2.00E-07	2.00E-08	2.00E-07
	Zone2	1.00E-10				1.00E-10			1.00E-10	
	Zone3	2.00E-07			2.00E-08	2.00E-07	2.00E-07	2.00E-07	2.00E-08	2.00E-07
Domain3 Toki lignite-bearing	Zone1	2.00E-07			2.00E-08	2.00E-07	2.00E-07	2.00E-07	2.00E-08	2.00E-07
	Zone2	1.00E-10				1.00E-10			1.00E-10	
	Zone3	2.00E-07			2.00E-08	2.00E-07	2.00E-07	2.00E-07	2.00E-08	2.00E-07
Domain4 Strong weathered granite	Zone1	2.00E-07			2.00E-08	2.00E-07	2.00E-07	2.00E-07	2.00E-08	2.00E-07
	Zone2	1.00E-10				1.00E-10			1.00E-10	
	Zone3	2.00E-07			2.00E-08	2.00E-07	2.00E-07	2.00E-07	2.00E-08	2.00E-07
Domain5 Highly fractured domain	Zone1	2.00E-07			2.00E-08	2.00E-07	2.00E-07	2.00E-07	2.00E-08	2.00E-07
	Zone2	1.00E-10				1.00E-10			1.00E-10	
	Zone3	2.00E-07			2.00E-08	2.00E-07	2.00E-07	2.00E-07	2.00E-08	2.00E-07
Domain6 Sparsely fractured domain	Zone1	2.00E-07			2.00E-08	2.00E-07	2.00E-07	2.00E-07	2.00E-08	2.00E-07
	Zone2	1.00E-10				1.00E-10			1.00E-10	
	Zone3	2.00E-07			2.00E-08	2.00E-07	2.00E-07	2.00E-07	2.00E-08	2.00E-07

KX' : Strike direction of fault

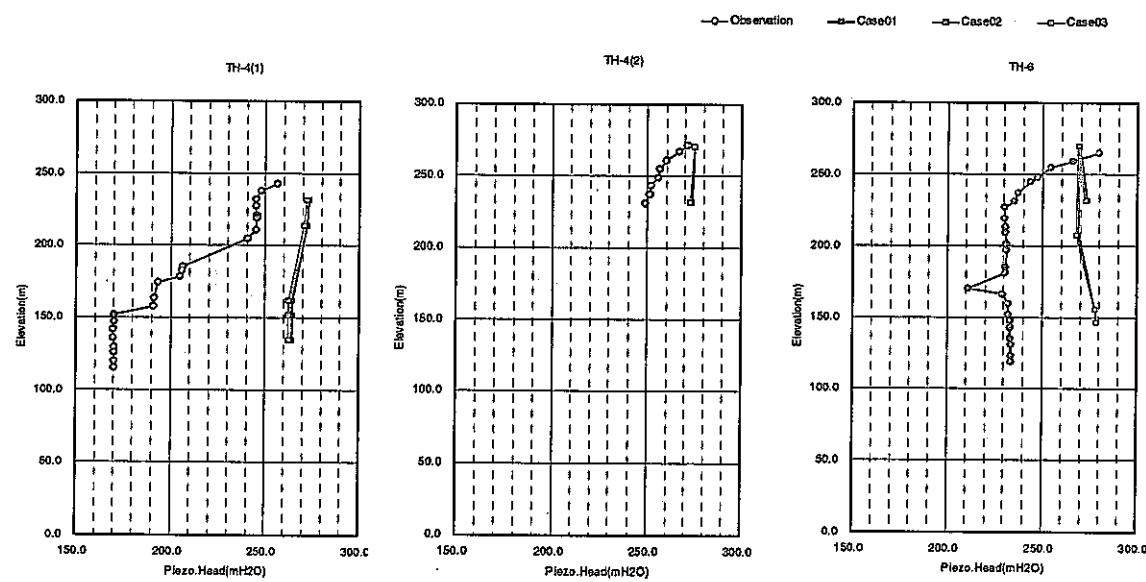
KY' : Dip direction of fault

KZ' : Perpendicular direction of fault plane

Zone1 : Foot wall fractured zone

Zone2 : Fault core

Zone3 : Hanging wall fractured zone

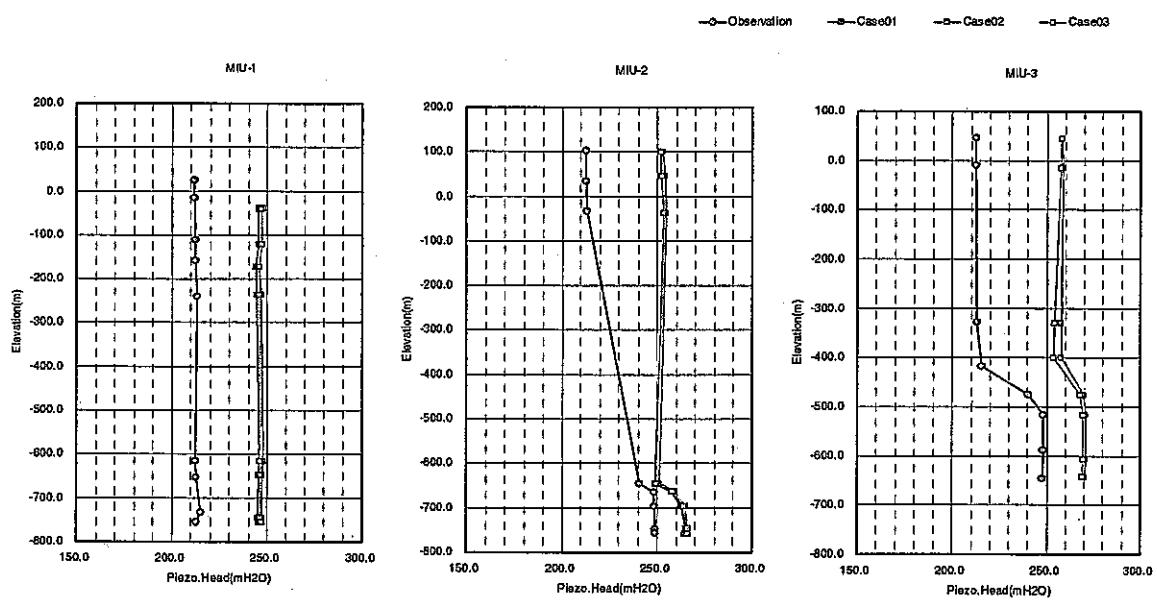


TH-4(1)

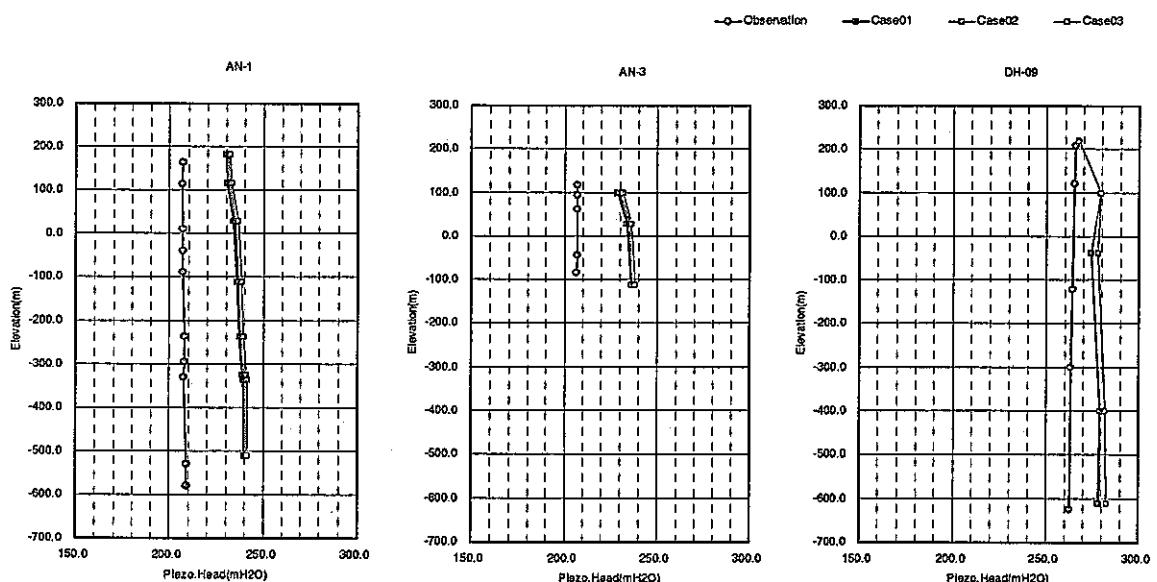
TH-4(2)

TH-6

図 6.4-10 断層の透水異方性に関する解析結果・観測値と解析値の比較 (1)



MIU-1 MIU-2 MIU-3  
図 6.4-11 断層の透水異方性に関する解析結果・観測値と解析値の比較 (2)



AN-1 AN-3 DH-09  
図 6.4-12 断層の透水異方性に関する解析結果・観測値と解析値の比較 (3)

#### 6.4.2.3 遮水構造の分布に関する検討

初期モデルでは図 6.4-13 に示す断層に遮水構造を与えていた。ここでは、遮水構造の分布が水頭値の分布状況に与える影響について着目した。

図 6.4-13 に示した遮水構造のうち月吉断層のみ遮水構造を残し、NE 系と NW 系の断層については透水係数の設定を変更することで遮水性をなくした。また、すべての断層について透水異方性を考慮し表 6.4-3 に示す 3 ケースを設定し解析を行った。その結果を図 6.4-14～図 6.4-16 に示す。その結果、Case06 にもっともよい傾向が見られた。

表 6.4-3 遮水構造の分布に関する解析ケース

Hydraulic conductivities of Fault

Domain	Zone	Case04 (Type01)			Case05 (Type02)			Case06 (Type03)		
		Hydraulic conductivity (m/s)			Hydraulic conductivity (m/s)			Hydraulic conductivity (m/s)		
		KX'	KY'	KZ'	KX'	KY'	KZ'	KX'	KY'	KZ'
Domain1 Seto group	Zone1	2.00E-07			2.00E-08	2.00E-07	2.00E-07	2.00E-07	2.00E-08	2.00E-07
	Zone2	1.00E-10				1.00E-10			1.00E-10	
	Zone3	2.00E-07			2.00E-08	2.00E-07	2.00E-07	2.00E-07	2.00E-08	2.00E-07
Domain2 Akeyo-Oidawara formation	Zone1	2.00E-07			2.00E-08	2.00E-07	2.00E-07	2.00E-07	2.00E-08	2.00E-07
	Zone2	1.00E-10				1.00E-10			1.00E-10	
	Zone3	2.00E-07			2.00E-08	2.00E-07	2.00E-07	2.00E-07	2.00E-08	2.00E-07
Domain3 Toki lignite-bearing	Zone1	2.00E-07			2.00E-08	2.00E-07	2.00E-07	2.00E-07	2.00E-08	2.00E-07
	Zone2	1.00E-10				1.00E-10			1.00E-10	
	Zone3	2.00E-07			2.00E-08	2.00E-07	2.00E-07	2.00E-07	2.00E-08	2.00E-07
Domain4 Strong weathered granite	Zone1	2.00E-07			2.00E-08	2.00E-07	2.00E-07	2.00E-07	2.00E-08	2.00E-07
	Zone2	1.00E-10				1.00E-10			1.00E-10	
	Zone3	2.00E-07			2.00E-08	2.00E-07	2.00E-07	2.00E-07	2.00E-08	2.00E-07
Domain5 Highly fractured domain	Zone1	2.00E-07			2.00E-08	2.00E-07	2.00E-07	2.00E-07	2.00E-08	2.00E-07
	Zone2	1.00E-10				1.00E-10			1.00E-10	
	Zone3	2.00E-07			2.00E-08	2.00E-07	2.00E-07	2.00E-07	2.00E-08	2.00E-07
Domain6 Sparsely fractured domain	Zone1	2.00E-07			2.00E-08	2.00E-07	2.00E-07	2.00E-07	2.00E-08	2.00E-07
	Zone2	1.00E-10				1.00E-10			1.00E-10	
	Zone3	2.00E-07			2.00E-08	2.00E-07	2.00E-07	2.00E-07	2.00E-08	2.00E-07

KX' : Strike direction of fault

KY' : Dip direction of fault

KZ' : Perpendicular direction of fault plane

Zone1 : Foot wall fractured zone

Zone2 : Fault core

Zone3 : Hanglung wall fractured zone

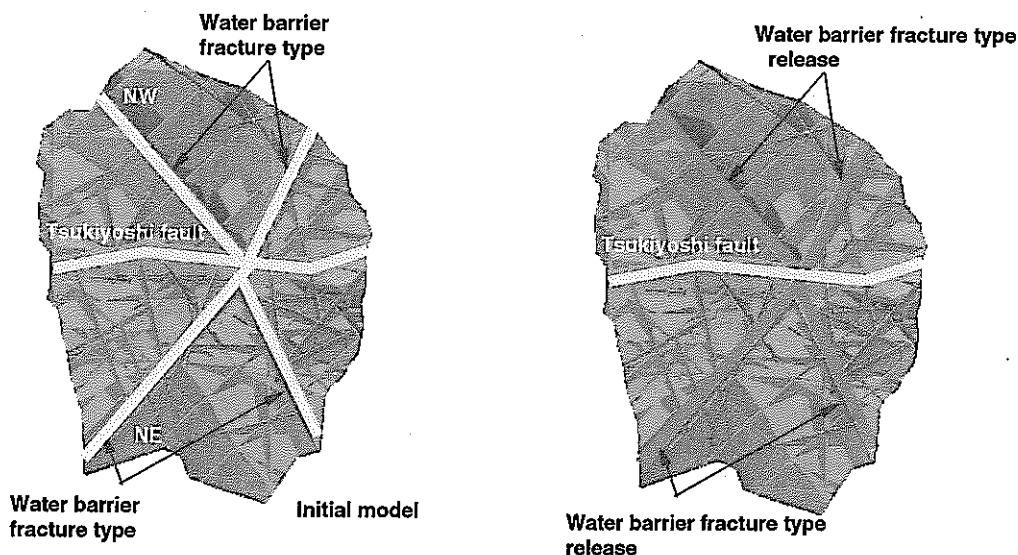
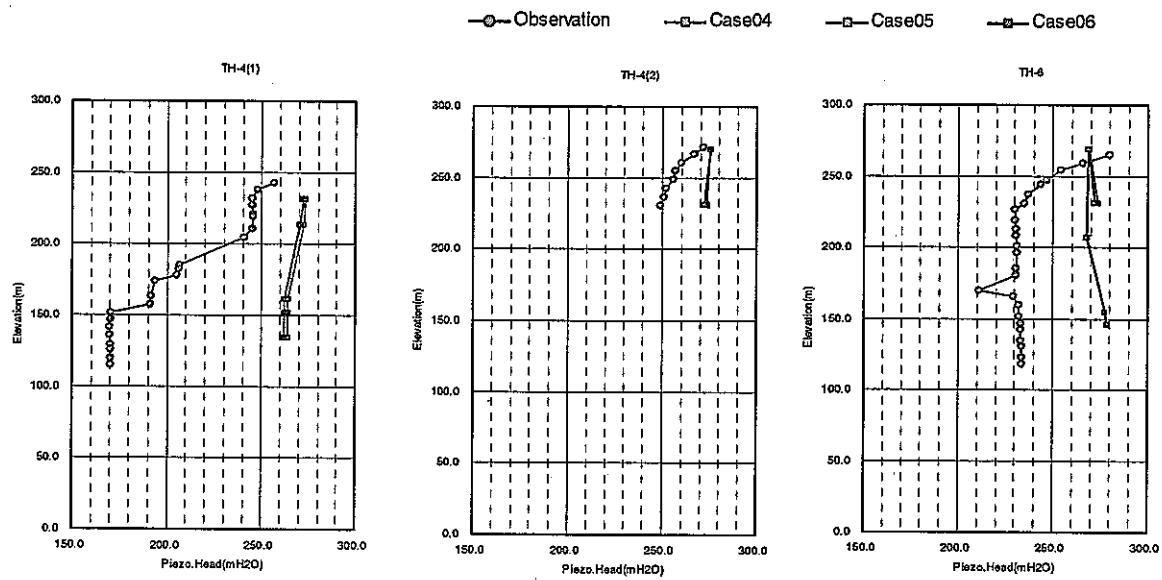


図 6.4-13 断層モデル図

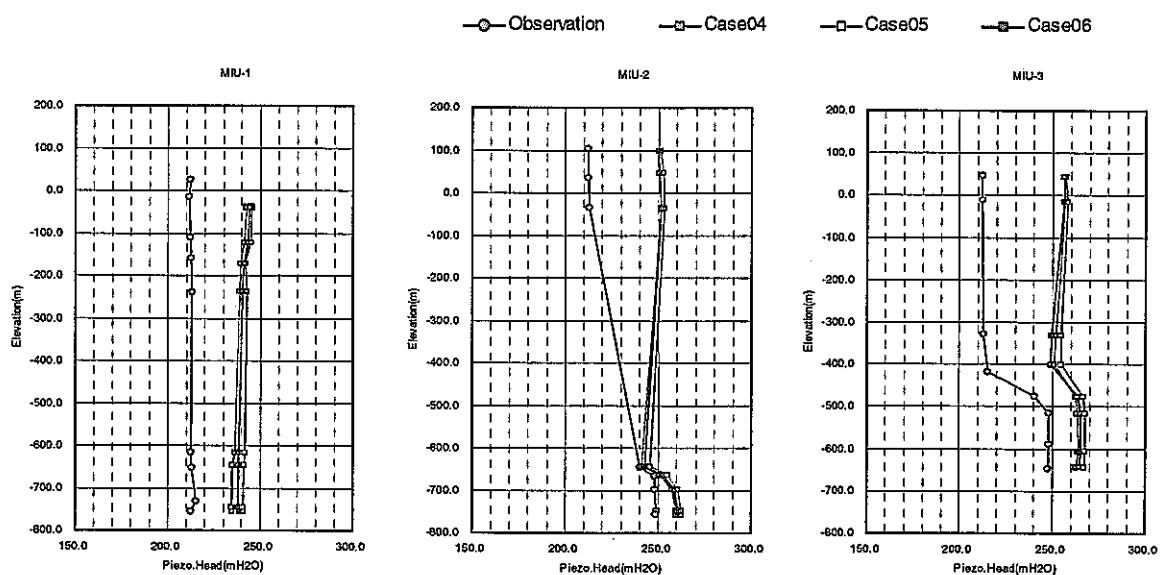


TH-4(1)

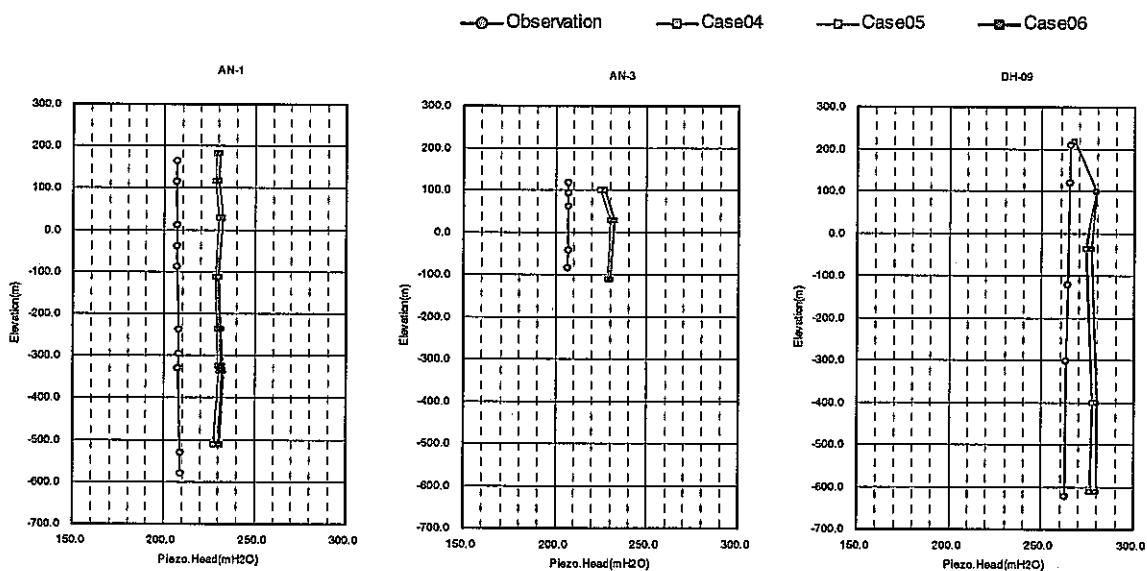
TH-4(2)

TH-6

図 6.4-14 遮水構造の分布に関する解析結果・観測値と解析値の比較 (1)



MIU-1 MIU-2 MIU-3  
図 6.4-15 遮水構造の分布に関する解析結果・観測値と解析値の比較 (2)



AN-1 AN-3 DH-09  
図 6.4-16 遮水構造の分布に関する解析結果・観測値と解析値の比較 (3)

#### 6.4.2.4 初期モデルに関する検討結果

初期モデルについて、断層の透水異方性、遮水構造の分布が水頭値の分布に与える影響を見てきた。その結果をいかにまとめる。

- ・ 浅層付近の水頭値の分布は観測値と比較して、大きな差は見られない。このことから上部の境界条件の設定は適当であると考えられる。
- ・ 月吉断層の上盤側の水頭値が全体に大きな値を示しており、観測値と比較して20m～50m近い開きが見られ、特にMIU孔での値に大きな開きが見られる。
- ・ 断層の透水異方性に関して検討を行った結果、逆断層タイプ（Type03）を設定したケースが他のケースと比較して良好であった。
- ・ 遮水構造の分布に関して検討を行った結果、初期モデルと比較して月吉断層のみ遮水構造としたケースが良好であった。また、その中でも逆断層タイプ（Type03）を設定したケースが他のケースと比較して良好であった。

月吉断層上盤側の水頭値が高い値となっている理由として、境界条件の設定から、解析領域北側の高標高部の影響が考えられる。したがって、これらの影響を緩和するような構造もしくは透水係数の設定が必要である。

モデル上で対応する方法として、

- ・ 月吉断層よりも北側に遮水構造を有する断層を配置することで北側高標高部の影響を緩和する
- ・ 浅層の影響が深部に及ばないような堆積岩の透水係数の設定

などがあげられる。次節以降それらについて検討を行った結果を示す。

### 6.4.3 水理地質区分の透水性に関する検討

6つの水理地質区分の透水係数の設定が、解析結果に与える影響を評価することを目的に、主要割れ目、断層モデルの影響を除いた単純なモデルで検討を行った。その結果堆積岩、土岐花崗岩・強風化部および上部割れ目帶に透水異方性を与えることで、浅層における観測値と解析値のマッチングが良好になることがわかった。

#### 6.4.3.1 堆積岩中の地下水位分布状況

図 6.4-17 は堆積岩中で長期間観測されている間隙水圧のモニタリング結果より、代表値として取り上げられた、間隙水圧を圧力水頭で表示した図である。この図より、TH-6 孔では EL.230m 以深では静水圧分布となっている。一方、TH-4(1)孔では EL.240m～210m に 1 層、EL.190m～170m に 2 層、EL.150m 以深で 1 層と異なる水頭値の静水圧分布層が存在しており、特に EL.190m 以深の水頭値の低い層に関しては、東濃鉱山の排水の影響が考えられる。これを除いて TH-4(1)、TH-6 を比較すると、水頭値は 230～240m 程度と調和的である。しかし、いずれの試錐孔も孔口標高は EL.310～315m であり、この水頭値を地下水位標高と見た場合、かなり低い位置に地下水位は位置していることとなる。

他の試錐孔で行われている浅層の地下水位観測結果では、地域的な差はあるものの平均 GL.-5m 付近に分布しており、上記の分布とギャップが見られる。

この解釈には多段の地下水位分布を想定することで説明がつきやすくなる。TH-6 孔の圧力水頭分布を見ると、静水圧分布を呈しあじめる標高より上部を見ると、徐々に圧力が低下している部分があり、これよりも上位に静水圧分布を呈する滞水層があると想定される。また、EL.255m～240m 付近では圧力減少後負圧状態が見られ、堆積岩中に不飽和部が存在している。

多段の滞水層が存在するためには、鉛直方向の流れを遮るような構造が必要であり、前述の堆積岩露頭状況を踏まえても、鉛直方向と堆積方向の透水性に異方性があるものと判断される。

一方で、東濃鉱山地域の深部の地下水分布が先の静水圧分布から想定した、230m～240m とした場合、賤洞から東濃鉱山に至る道路わきの沢の標高と概ね一致している。また、地質図からこの付近に花崗岩と堆積岩（明世累層）の境界が見られる。上記の TH-6 孔の不飽和部の標高、沢部の標高、及び試錐孔内の水頭分布が調和的であることから、花崗岩と堆積岩境界付近に高透水をなす構造がある可能性がある。

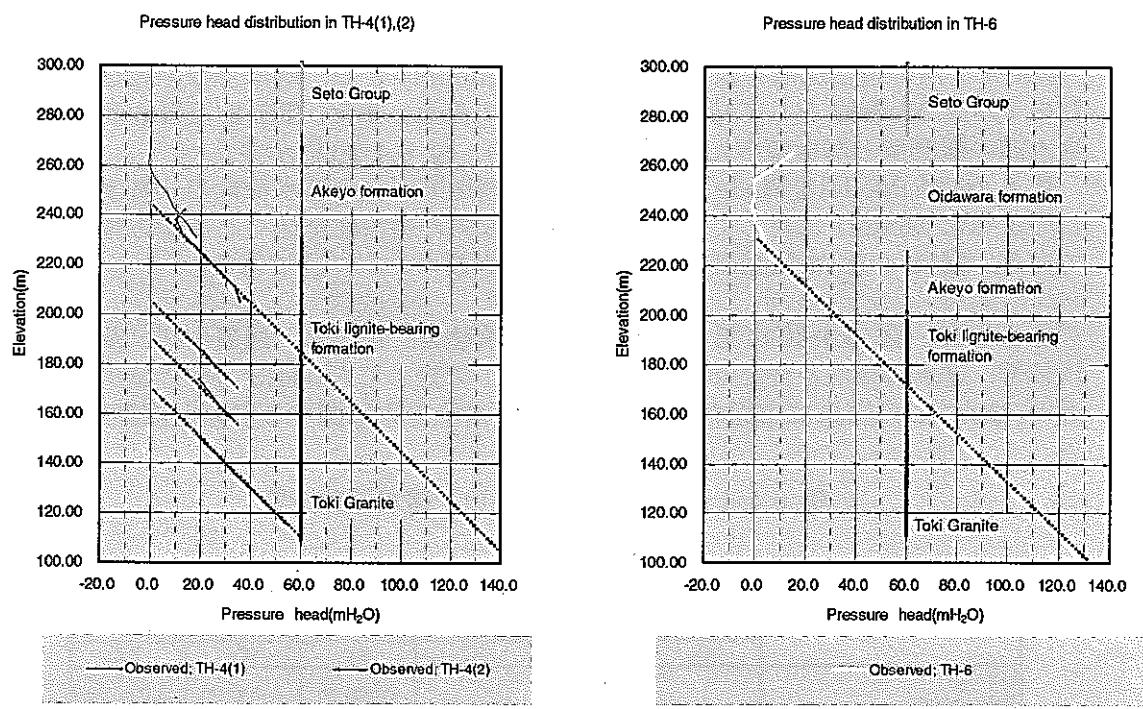


図 6.4-17 堆積岩中の圧力水頭分布状況

#### 6.4.3.2 解析結果

初期モデルの透水係数を設定したモデルを Model1 とし、透水係数の設定を変更したモデルを Model2 として結果の比較を行ってみる。また、TH-4, TH-6 孔における全水頭の観測値と解析値の比較図を図 6.4-19, 図 6.4-20 に示す。

表 6.4-4 は、Model1, Model2 における各水理地質区分の透水係数の一覧表である。このように Model1 に対して Model2 は鉛直方向の透水性を低くして異方性を持たせている。図 6.4-18 は Model1, Model2 の全水頭コンター図である。

図 6.4-19, 図 6.4-20 に見られるように、堆積岩、花崗岩・強風化部、及び上部割れ目帯、透水異方性を持たせていない Model1 に対して Model2 の解析値が観測値に近い。また、この結果は上記の堆積岩中の地下水位分布に関する考察と調和的である。

表 6.4-4 Model1, Model2 透水係数一覧

Hydraulic conductivities of Matrix part

Domain	Model1			Model2		
	Hydraulic conductivity (m/s)			Hydraulic conductivity (m/s)		
	KX	KY	KZ	KX	KY	KZ
Domain1 Seto group	2.00E-06			2.00E-06	2.00E-06	2.00E-09
Domain2 Akeyo-Oidawara formation	2.00E-08			2.00E-08	2.00E-08	2.00E-10
Domain3 Toki lignite-bearing	2.00E-07			2.00E-06	2.00E-06	2.00E-09
Domain4 Strong weathered granite	2.00E-06			2.00E-05	2.00E-05	2.00E-09
Domain5 Highly fractured domain	2.00E-08			2.00E-05	2.00E-05	2.00E-09
Domain6 Sparsely fractured domain	3.00E-09			3.00E-09		

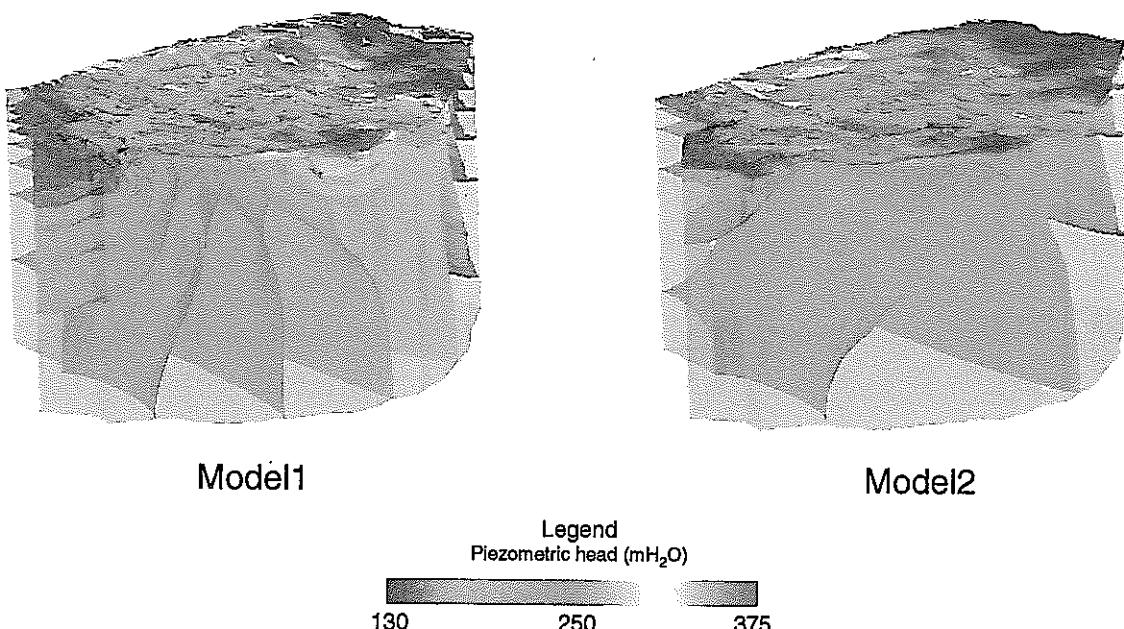
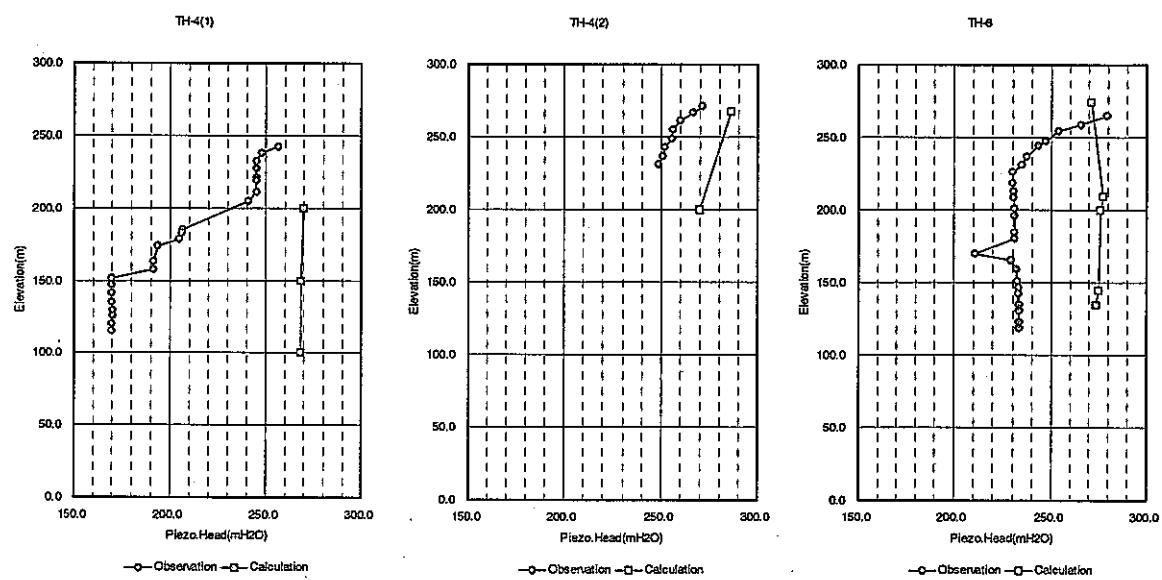


図 6.4-18 全水頭コンター図

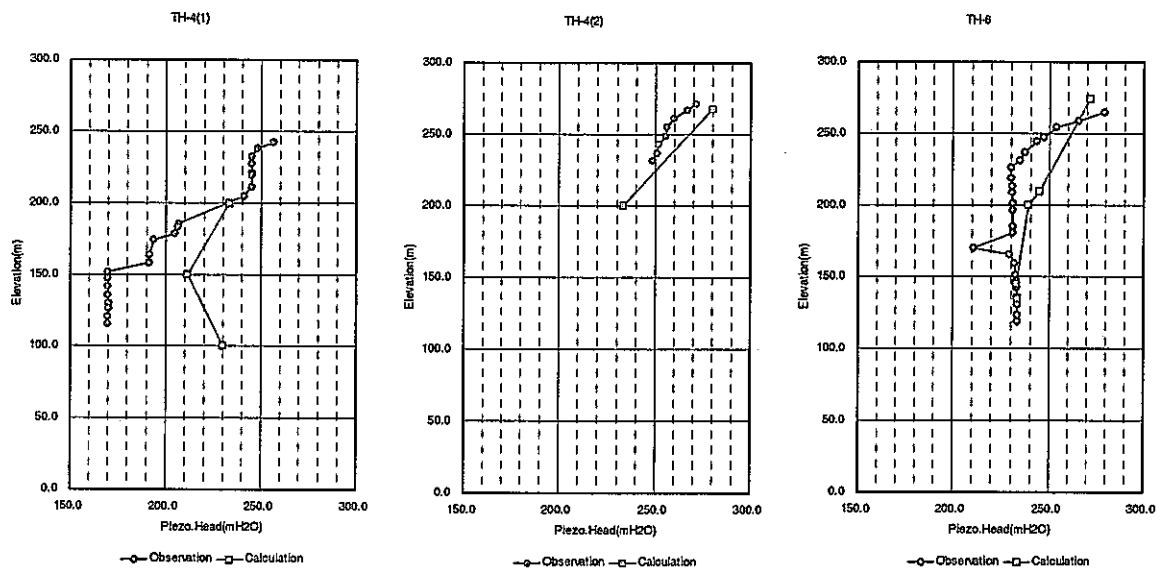


TH-4(1)

TH-4(2)

TH-6

図 6.4-19 Model1 解析結果 観測値と解析値の比較



TH-4(1)

TH-4(2)

TH-6

図 6.4-20 Model2 解析結果 観測値と解析値の比較

#### 6.4.4 モデルの変更

6.4.2, 6.4.3 の検討結果より、解析モデルの変更を行った結果、以下に示すモデルが現状で最も観測値と解析値のマッチングが良いモデルとなった（トライアル数 99 ケース）。

##### 6.4.4.1 モデル変更点の整理

初期モデルに対する変更点を以下にまとめる。

###### ① 遮水構造を有する断層の分布の変更

解析領域北側の高標高部の境界条件の影響を緩和する遮水構造を付加し、南側の境界条件の影響を緩和していた NE 系の遮水構造を解除した。初期モデルと変更モデルを図 6.4-21 に示す。

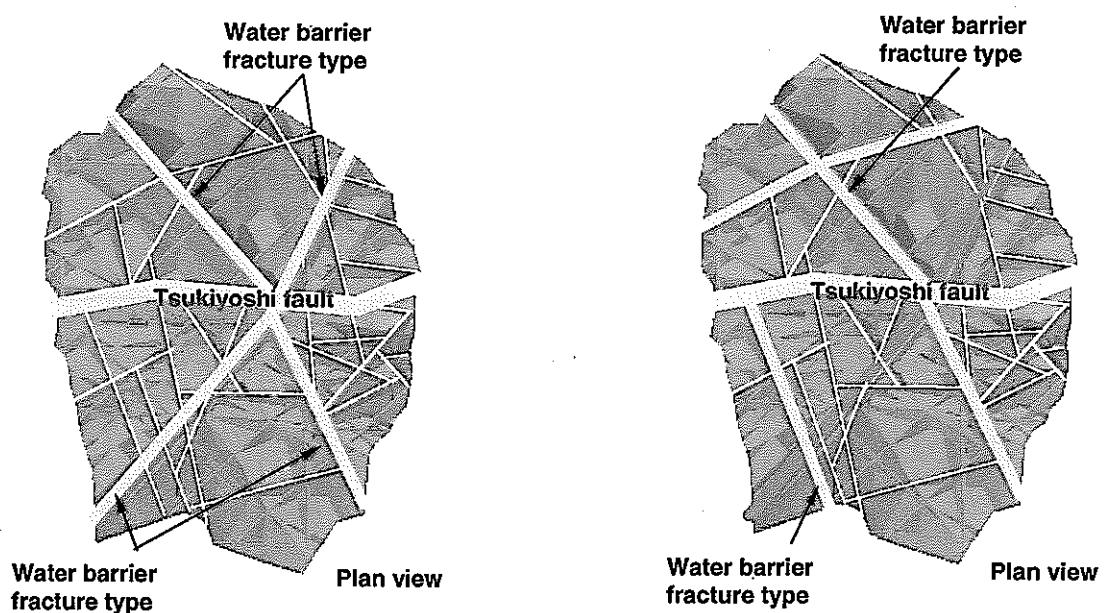


図 6.4-21 遮水構造の分布比較

② 物性値の変更

初期モデルと変更モデルの物性値の一覧を表 6.4-5 に示す。

表 6.4-5 物性値一覧

Model	Domain	Matrix part			Major fracture			Fault			
		Hydraulic conductivity (m/s)			Hydraulic conductivity (m/s)			Zone	Hydraulic conductivity (m/s)		
		KX	KY	KZ	KX'	KY'	KZ'		KX'	KY'	KZ'
Initial model	Domain1	2.00E-06				Not generate		Zone1,3	2.00E-07		
	Domain2	2.00E-08				Not generate			2.00E-07		
	Domain3	2.00E-07				Not generate			2.00E-07		
	Domain4	2.00E-06				Not generate			2.00E-07		
	Domain5	2.00E-08				Not generate			2.00E-07		
	Domain6	3.00E-09				1.00E-08			2.00E-07		
Revision model	Domain1	2.00E-06	2.00E-09			Not generate		Zone1,3	2.00E-06	2.00E-09	2.00E-06
	Domain2	2.00E-08	2.00E-10			Not generate			2.00E-08	2.00E-10	2.00E-08
	Domain3	2.00E-06	2.00E-09			Not generate			2.00E-06	2.00E-09	2.00E-06
	Domain4	2.00E-05	2.00E-09			Not generate			2.00E-05	2.00E-09	2.00E-05
	Domain5	2.00E-05	2.00E-09			Not generate			2.00E-05	2.00E-09	2.00E-05
	Domain6	3.00E-09				1.00E-07			2.00E-06	2.00E-08	2.00E-06
								Zone2		1.00E-10	

KX' : Strike direction of fault

KY' : Dip direction of fault

KZ' : Perpendicular direction of fault plane

Zone1 : Foot wall fractured zone

Zone2 : Fault core

Zone3 : Hanging wall fractured zone

#### 6.4.4.2 解析結果

表 6.4-6 観測値と解析値の比較(残差自乗和)

	Initial model	Revision model	Decrease
TH-4(1)	103788.7	33483.6	32.3%
TH-4(2)	2620.3	896.9	34.2%
TH-6	38894.7	17175.2	44.2%
MIU-1	9506.7	1358.0	14.3%
MIU-2	5572.1	699.7	12.6%
MIU-3	9340.7	758.3	8.1%
AN-1	7989.8	2178.6	27.3%
AN-3	2949.1	1096.3	37.2%
DH-9	791.3	297.6	37.6%
TOTAL	181453.3	57944.2	31.9%

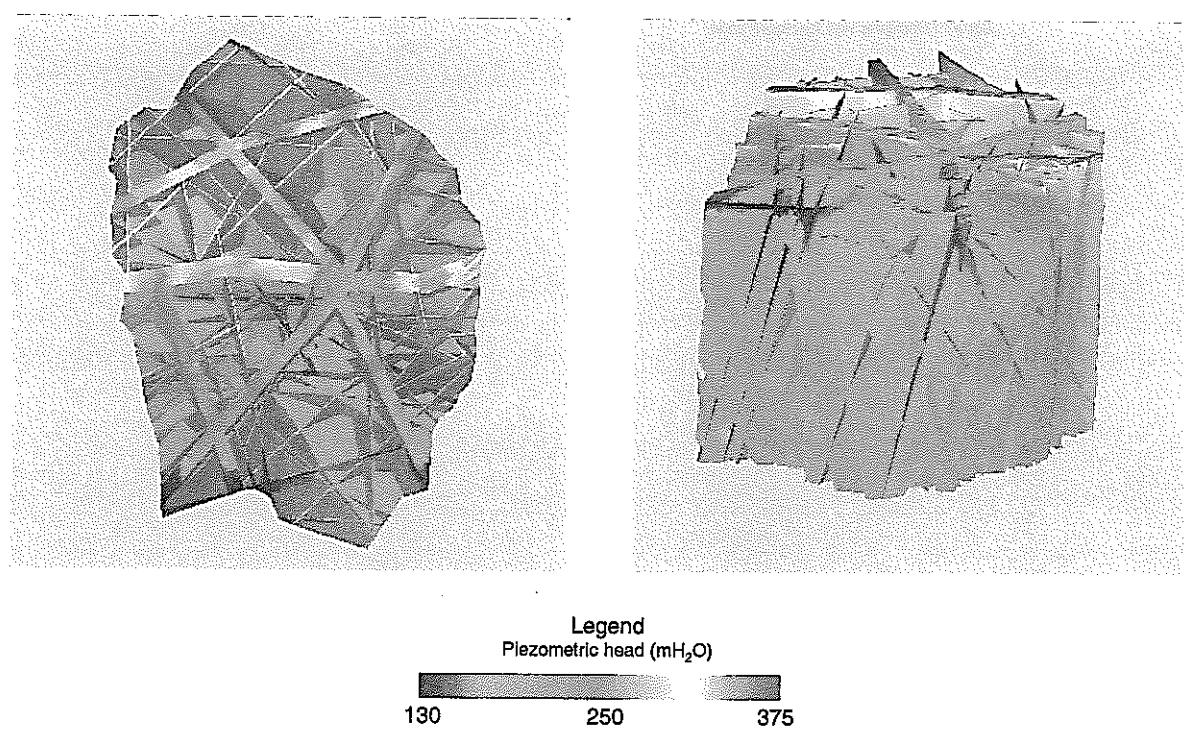


図 6.4-22 変更モデル解析結果・全水頭分布図

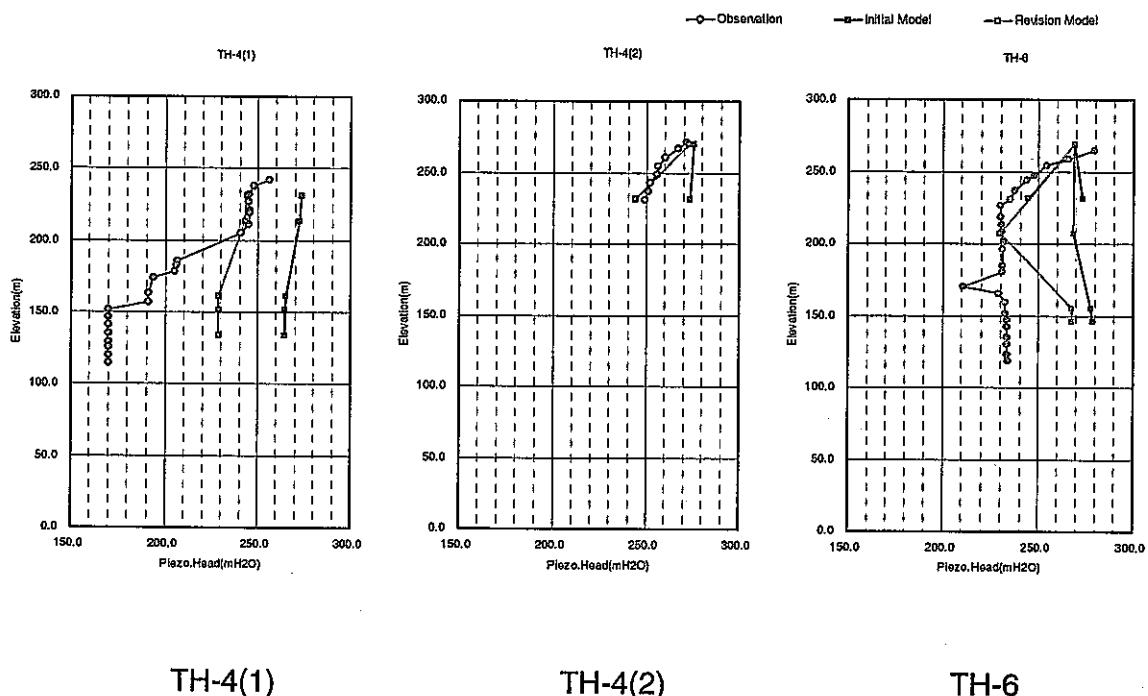


図 6.4-23 変更モデル解析結果・観測値と解析値の比較 (1)

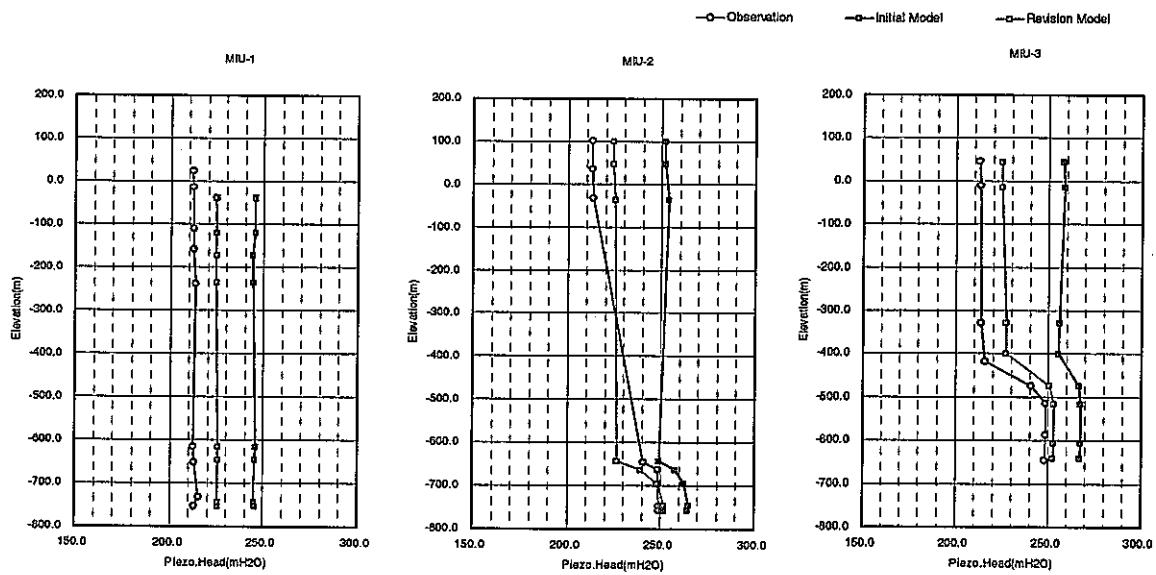


図 6.4-24 変更モデル解析結果・観測値と解析値の比較 (2)

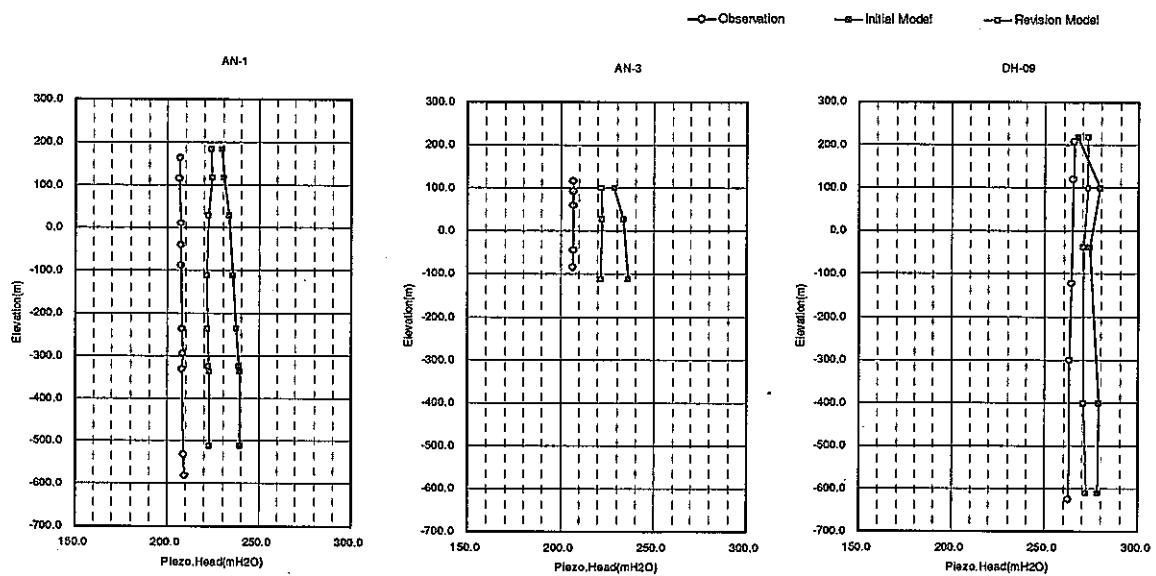


図 6.4-25 変更モデル解析結果・観測値と解析値の比較 (3)

#### 6.4.4.3 考 察

初期モデルの位置付けは、地表調査段階で得られている地質情報を基にモデルを構築したものである。モデルに設定した透水係数は水理試験結果より与えたものである。モデルの妥当性を検討する情報として、大深度試錐孔で観測されている間隙水圧データがあり、この情報が解析領域内の大局的な地下水流动状況を知るためのひとつの指標と位置づけた。

初期モデルの解析結果は観測データと比較して、全体に水頭値が高めの結果となっていた。これを全体に低くすることが初期モデルキャリブレーションのひとつの方向性であった。

これに対して考えられる検討としては、境界条件が挙げられる。単純に地表に与えている境界条件の変更がある。しかし、浅層の地下水位観測結果からはそのような情報は得られないため、この条件は固定することとした。

次に側方の境界条件については、

- ・ 地表の分水嶺を基とした No-Flow 境界条件
- ・ 広域の地下水流动解析結果を基とした固定水頭条件
- ・ 地表の地下水位を基とした固定水頭条件

が考えられる。前年度の境界条件に関する検討結果や、先の間隙水圧データと地下水位分布状況データより、3番目の地表の地下水位を基とした固定水頭条件は不適当と判断した。

目論見としては、境界条件の違いで遮水構造の分布が異なってくることを想定し、1番目の No-Flow 境界条件で得られたモデルに、2番目の条件を与えてどのようななどの違いが表れるかが興味あるところであった。しかし、後述するように水頭値の分布状況に関してほとんど差は見られない結果となった。ただし、同じ水頭分布状況であっても地下水の流动状況は異なった結果となっている。

このように境界条件は、上部境界：水位固定、側方境界：No-Flow として、初期モデルの水頭分布を全体に減少させることの検討を行うこととした。それについて、

① 遮水構造を有する断層の配置

② 堆積岩の透水性

について検討を行った。

①については、現状のデータで確実性があるものは月吉断層に関する情報のみで、リニアメントを参考にした想定断層から、水頭値を低下させるのに適当なものを選ぶ。その結果、領域北部の高標高部の影響を緩和するために EW 系の断層に遮水構造を持たせることで、結果が良好となった。しかし、この結果をバックアップするデータはリニアメントの情報のみであり、確実性が低い。一方で、月吉断層南側の NE 系のリニアメントについては遮水構造の設定を解除した。これによって南部の境界条件が月吉断層付近にまで影響し、月吉断層上盤側の水頭値を低下させられる。

②については、断層を省いたモデルで単純な検討を行った。その結果、堆積岩のみではなく、花崗岩・強風化部、上部割れ目帯に透水異方性を持たせることで、全体の水頭を大きく低下できることがわかった。また、設定した異方性は鉛直方向の透水性を低くしたものであり、土岐夾炭累層、花崗岩・強風化部、上部割れ目帯に関しては、水平方向の透水性を初期モデルよりも高く設定し、異方性を強くしている。

このような異方性を設定することで、地表の境界条件が深部にまで影響を及ぼさなくなり、全体の水頭値を低下させることができるとわかった。透水係数の絶対値に関してはトライアルの結果得られたもので、水理試験などのバックアップ情報がない。ただし、透水異方性に関しては、堆積岩中の間隙水圧の状況などからある程度想定が可能である。

最終的に上記の①,②を組み合わせた変更モデルを設定し、比較的良好な結果が得られた。実際には複数のケースを設定し解析を行っているが、その過程で、断層が地表まで及ぶ場合、傾斜方向の透水性が高いと地表付近の地下水が断層破碎部に沿って深部に流下する傾向が見られた。この傾向が強いと全体の水頭が高くなり、観測値とあわなくなる。したがって、断層破碎部にも透水異方性を持たせる必要が生じた。具体的には、堆積岩内の断層破碎部は傾斜方向の透水性を低く設定しており、断層の性状も断層が存在している地質条件で性状が異なっているという。可能性を示唆している結果といえる。しかし、この根拠となるデータは先の堆積岩の透水異方性も含めて見当たらない。

このように、モデルのキャリブレーションを行っていくに従い、初期モデルとはかなり異なるモデルが最終的に得られた。しかし、変更を行う過程で想定や仮定を多く含んだモデルとなった。

## 6.5 長期揚水試験シミュレーション

### 6.5.1 基本方針

前述の全水頭分布のフィッティングを行ったモデルに対し、長期揚水試験開始時に行われている月吉断層コア部に設置されているパッカー開放時の圧力伝達の経時変化に着目し、前述のモデルが非定常条件に対してどのような挙動を示すのかについて着目した。

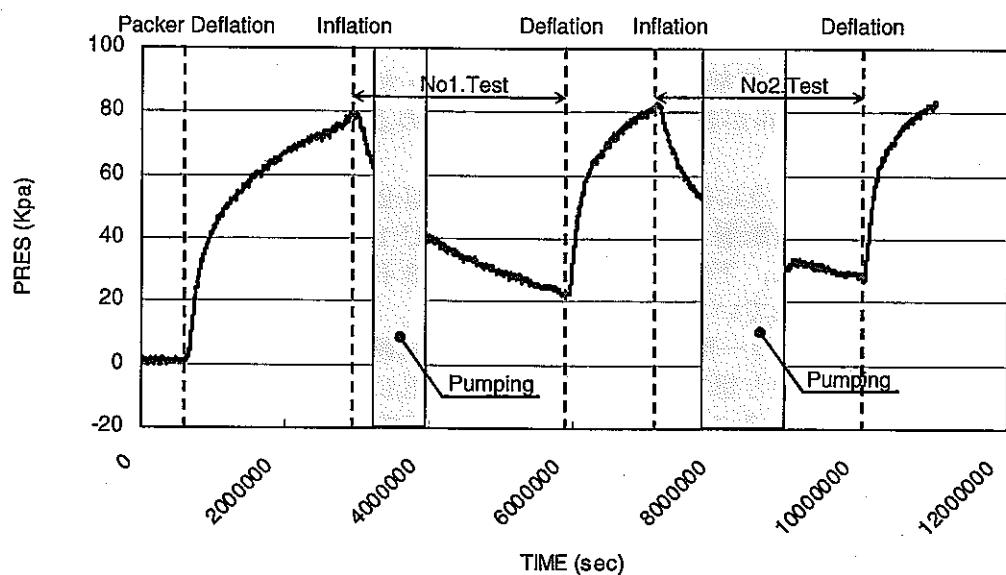
図 6.5-1 に見られるように揚水対象井である MIU-2 孔の月吉断層部に設置されたパッカー開放時に、月吉断層上盤側に位置する MIU-1 孔のセンサー (PRB-6) では間隙水圧の上昇が見られ、下盤側に位置する MIU-3 孔のセンサー (PRB-6) では間隙水圧の減少が観察されている。

解析条件として、パッカー開放時に MIU-2 孔内は瞬間に地下水位に相当する静水圧分布に移行するものと想定し、解析上 MIU-2 孔にあたる要素に対し固定水頭条件として地下水位を与えることとし、この条件の下での非定常変化を MIU-1 孔、MIU-2 孔で観測された間隙水圧の変化を追跡することとした。

ただし、地下水位として、定常条件における解析結果の月吉断層上盤側の全水頭値が観測されている結果よりも 10m 程度高い値を示していることから、実際よりも 10m 高い値を設定し、EL.245m と仮定した。

また、基本的に透水係数に関しては固定し、比貯留係数 ( $S_s$ ) を変更することで実際の挙動と当モデルの挙動を比較することで、圧力の伝達及びその機構の考察を行うこととした。

MIU1\_PRB-6



MIU3\_PRB-6

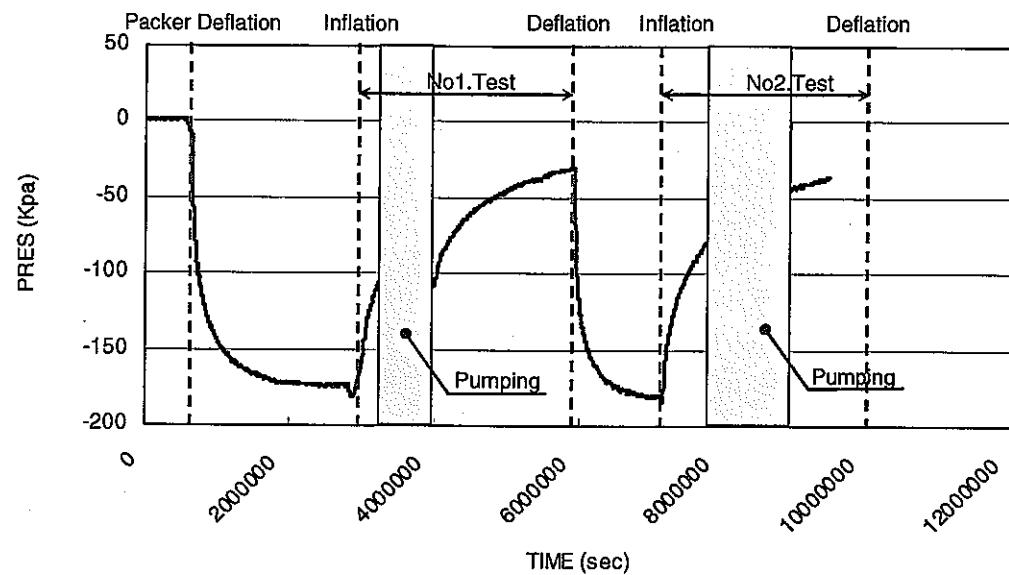


図 6.5-1 パッカー開放時における MIU-1 及び MIU-2 の間隙水圧の変化

### 6.5.2 MIU-2号孔要素の生成と地下水位条件

MIU-2号孔に相当する多面体要素を割れ目モデルで生成した。具体的には MIU-2号孔の位置で交差する割れ目を鉛直に生成し、それらの交差部の要素を MIU-2要素とした。ただし、新たに設けた割れ目の物性値は隣接する水理地質区分と同じ設定とした。

これらの要素に固定水頭値として地下水位相当の値を設定することで、パッカ一開放時の MIU-2孔内の圧力状態を設定する。地下水位の値としては MIU-2号孔の孔口標高相当の値を設定する。しかし、定常計算結果で得られる月吉断層上盤側の水頭値が MIU-2の孔口標高より高いため、解析結果の上盤側の水頭値に 10m かさ上げした 245m という値を想定した。また、周囲の境界条件は前述のモデルキャリブレーションの条件と同じとした。

### 6.5.3 非貯留係数の設定

初期に与える非貯留係数の値は表 6.5-1 に示す、当長期揚水試験で得られている値よりその平均値  $1.5E-06(1/m)$  を初期値とした。また、この初期値を各水理地質区分全体に与えた。その他の物性値に関しては、先の変更モデルの物性値とした。

表 6.5-1 長期揚水試験結果における比貯留係数算定結果

Long term pumping test results						
Borehole	Probe	Section		Storage coefficient	Specific storage coefficient	Comment
		Interval(mab)	Length(m)			
MIU-3	PRB-5	691.7	723.7	32.0	9.46E-05	2.96E-06 Tsukiyoshi fault zone
MIU-3	PRB-6	724.6	780.5	55.9	4.51E-05	8.07E-07
MIU-3	PRB-7	781.4	832.4	51.0	5.36E-05	1.05E-06
MIU-3	PRB-8	876.1	941.5	65.4	7.53E-05	1.15E-06
MIU-1	PRB-6	835.7	869.6	33.9	3.71E-05	1.09E-06
MIU-1	PRB-7	872.1	923.9	51.8	5.72E-05	1.10E-06
MIU-1	PRB-8	951.2	971.6	20.4	3.87E-05	1.90E-06
MIU-1	PRB-9	974.1	1014	39.9	8.12E-05	2.04E-06 Hangingwall of Tsukiyoshi fault
Specific storage coefficient average					1.51E-06	(1/m)

表 6.5-2 物性値の設定

Model	Domain	Matrix part			Major fracture			Fault		
		Hydraulic conductivity (m/s)			Hydraulic conductivity (m/s)			Zone	Hydraulic conductivity (m/s)	
		KX	KY	KZ	KX'	KY'	KZ'		KX'	KY'
Initial model	Domain1	2.00E-06				Not generate		Zone1,3	2.00E-07	
	Domain2	2.00E-08				Not generate			2.00E-07	
	Domain3	2.00E-07				Not generate			2.00E-07	
	Domain4	2.00E-06				Not generate			2.00E-07	
	Domain5	2.00E-08				Not generate			2.00E-07	
	Domain6	3.00E-09				1.00E-08			2.00E-07	
Revision model	Domain1	2.00E-06	2.00E-09			Not generate		Zone1,2,3	2.00E-06	2.00E-09
	Domain2	2.00E-08	2.00E-10			Not generate			2.00E-08	2.00E-10
	Domain3	2.00E-06	2.00E-09			Not generate			2.00E-06	2.00E-09
	Domain4	2.00E-05	2.00E-09			Not generate		Zone1,3	2.00E-05	2.00E-09
	Domain5	2.00E-05	2.00E-09			Not generate			2.00E-05	2.00E-09
	Domain6	3.00E-09				1.00E-07			2.00E-06	2.00E-08
								Zone2		1.00E-10

KX' : Strike direction of fault

KY' : Dip direction of fault

KZ' : Perpendicular direction of fault plane

Zone1 : Foot wall fractured zone

Zone2 : Fault core

Zone3 : Hanging wall fractured zone

#### 6.5.4 非定常計算ステップの設定

第一回目のパッカー開放時の圧力伝達に着目した。時間刻みを 300(sec)とし、最初の 1 時間を定常状態の延長でイタレーションを行い、計算時間で一時間後より MIU-2 号孔に相当する多面体要素に固定水頭条件として 245.0m という値を与え計算を行う。また、MIU-1 号孔 (PRB06) 及び MIU-3 号孔に相当する位置の圧力変化をモニターしながら計算を進行させることとした。

したがって、ある程度計算時間が進行した時点で、実測値と解析値にマッチングの傾向が見られない場合計算を中断し、次のトライアルを行うこととした。

以下にトライアルの結果を示す。

#### 6.5.5 初期値(Ss)に対する結果

初期の比貯留係数に対する、解析結果を以下に示す。

解析結果は、MIU-1 号、MIU-2 号孔のモニタリング位置に相当する要素の圧力変化を経時的にグラフに表した。また同グラフ中にはモニタリングされた観測値を併せて示している（図 6.5-2～図 6.5-5 参照）。

傾向としては、解析値の圧力変化が非常に小さいということがわかった。すなわち、観測値に見られる圧力変化の勾配が小さいという結果となっている。

したがって、初期値として設定した比貯留係数の値が大きいものと考えられ、この値よりも小さな値を設定する必要があることがわかった。

以降、この値を同定していくためのトライアルを行った結果を示す。

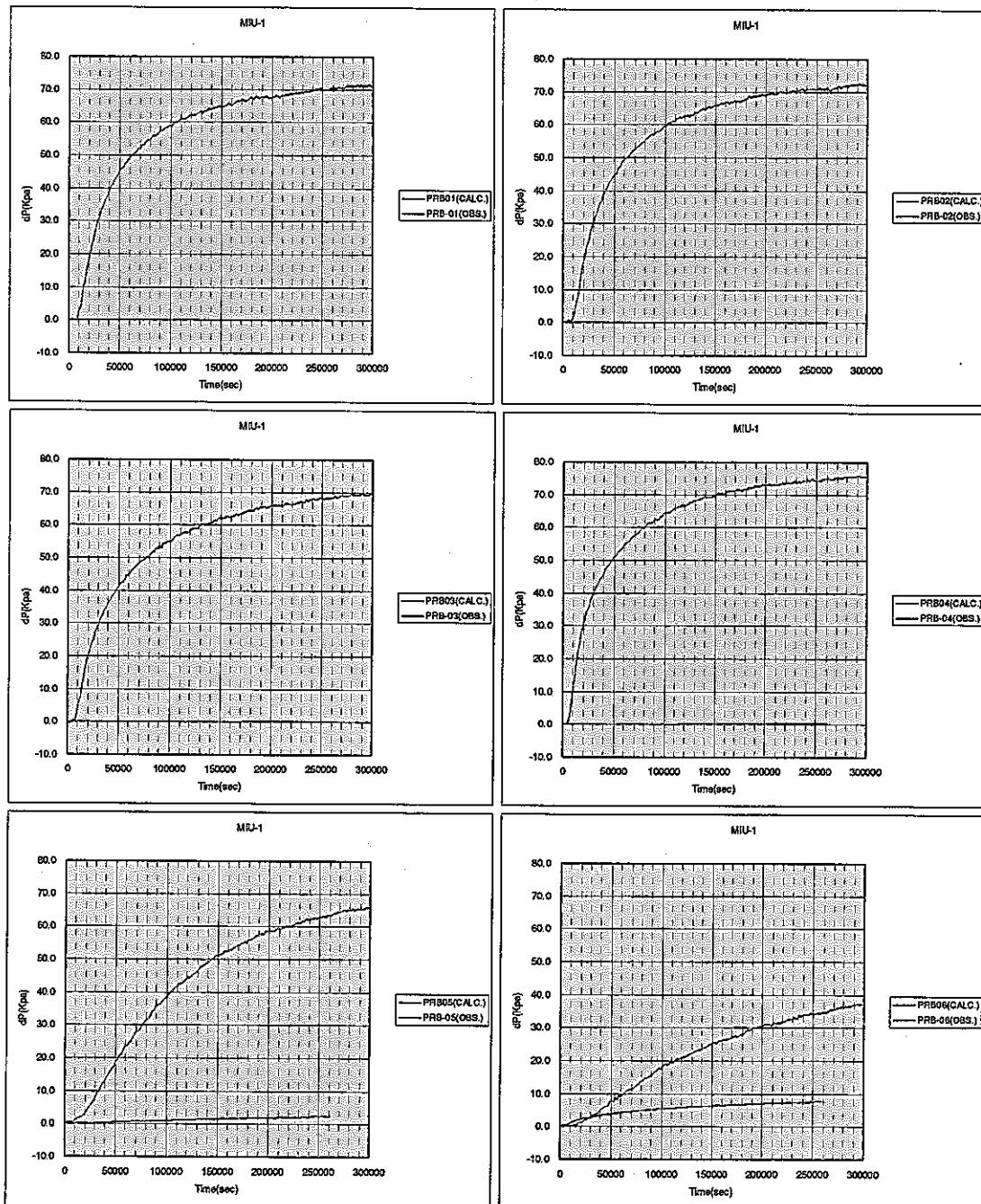


図 6.5-2 MIU-1号孔における圧力変化・初期値(1)

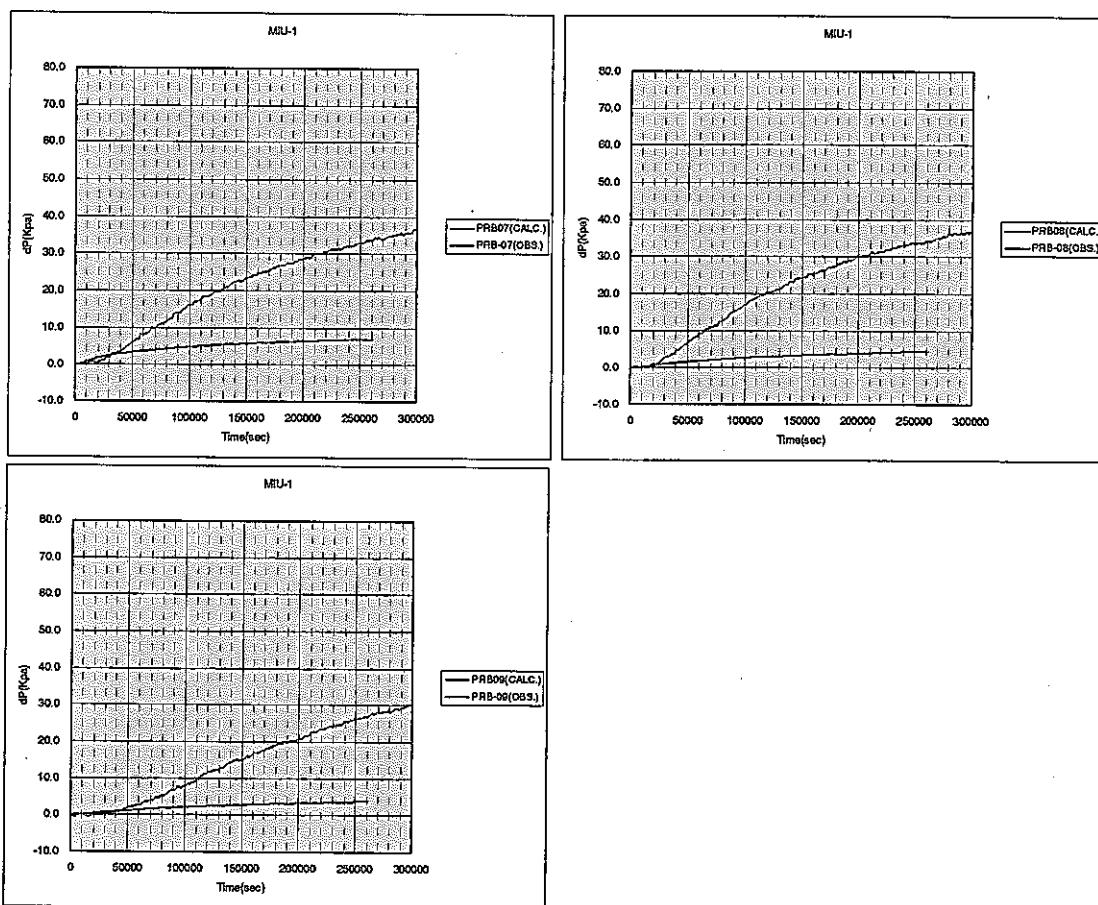


図 6.5-3 MIU-1 号孔における圧力変化・初期値(2)

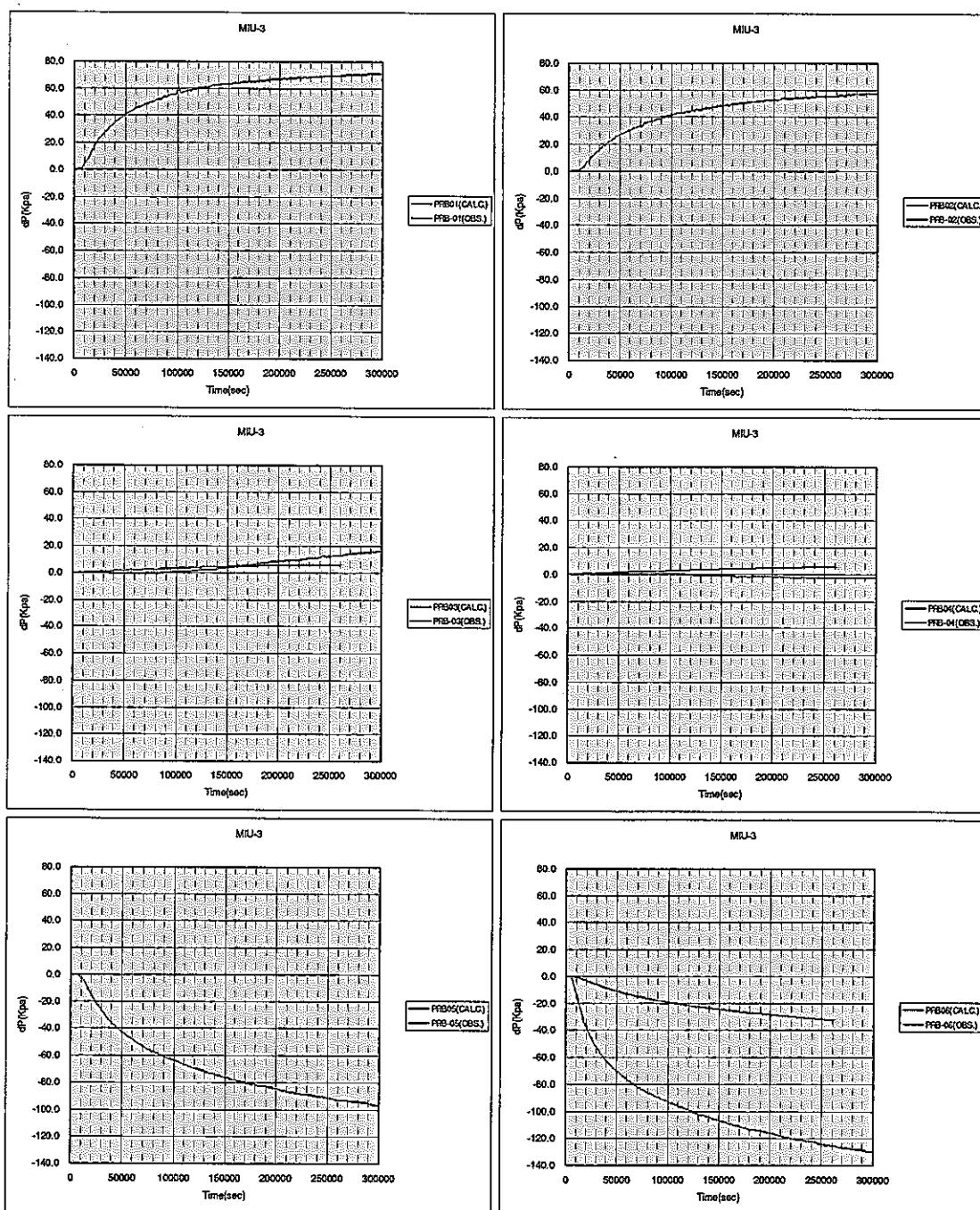


図 6.5-4 MIU-3 号孔における圧力変化・初期値(1)

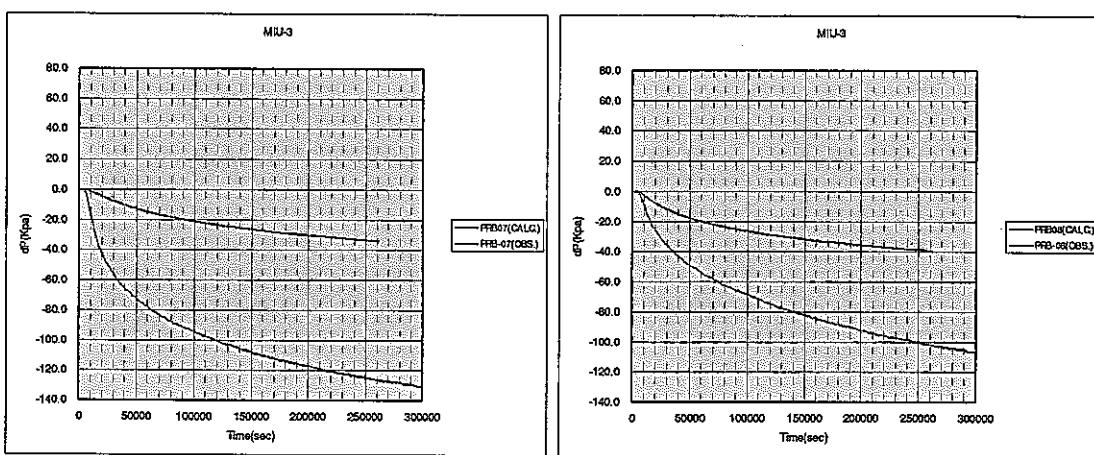


図 6.5-5 MIU-3 号孔における圧力変化・初期値(2)

## 6.5.6 トライアル

### 6.5.6.1 トライアルケース

トライアル毎に比貯留係数の設定変更を行った結果を表 6.5-3 非定常計算トライアルケースに示す。

トライアルの中斷の判断は、MIU-1(PRBO6)と MIU-3(PRBO6)の値を計算実行中モニタリングし、単位時間での圧力変化がオーダーの差となった場合とした。

表 6.5-3 非定常計算トライアルケース

Domain	Hydro geology	FIX-1	FIX-2	FIX-3	FIX-4	FIX-5	FIX-6	FIX-7	FIX-8	FIX-9	FIX-10	FIX-11
1	Sedimentary rocks	1.5E-06										
2		1.5E-06										
3		1.5E-06										
4	Toki granite	1.5E-06										
5		1.5E-06	1.0E-08	1.5E-06	1.5E-06	1.0E-07	1.0E-08	1.0E-08	1.0E-08	1.0E-08	1.0E-08	1.0E-08
6		1.5E-06	1.0E-08	1.5E-06	1.5E-06	1.0E-07	1.0E-08	1.0E-08	1.0E-08	1.0E-08	1.0E-10	1.0E-08
1	Fault	1.5E-06										
2		1.5E-06										
3		1.5E-06										
4		1.5E-06										
5		1.5E-06	1.0E-08	1.0E-08	1.0E-07	1.0E-07	1.0E-07	5.0E-08	9.0E-08	9.0E-08	7.0E-08	6.0E-08
6		1.5E-06	1.0E-08	1.0E-08	1.0E-07	1.0E-07	1.0E-07	5.0E-08	9.0E-08	9.0E-08	7.0E-08	6.0E-08
6	Major fracture	1.5E-06	1.0E-08	1.0E-08	1.0E-07	1.0E-07	1.0E-07	5.0E-08	9.0E-08	9.0E-08	7.0E-08	6.0E-08

### 6.5.6.2 トライアル結果

上記のトライアルの結果を図 6.5-6～図 6.5-22 に示す。

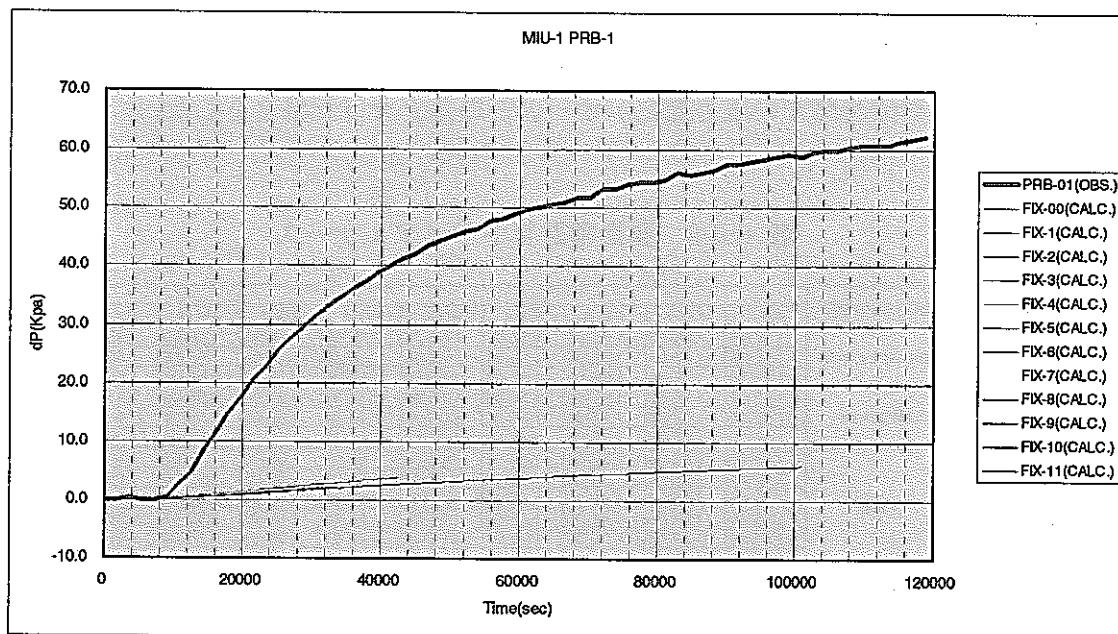


図 6.5-6 MIU-1・PRB01 における圧力変化

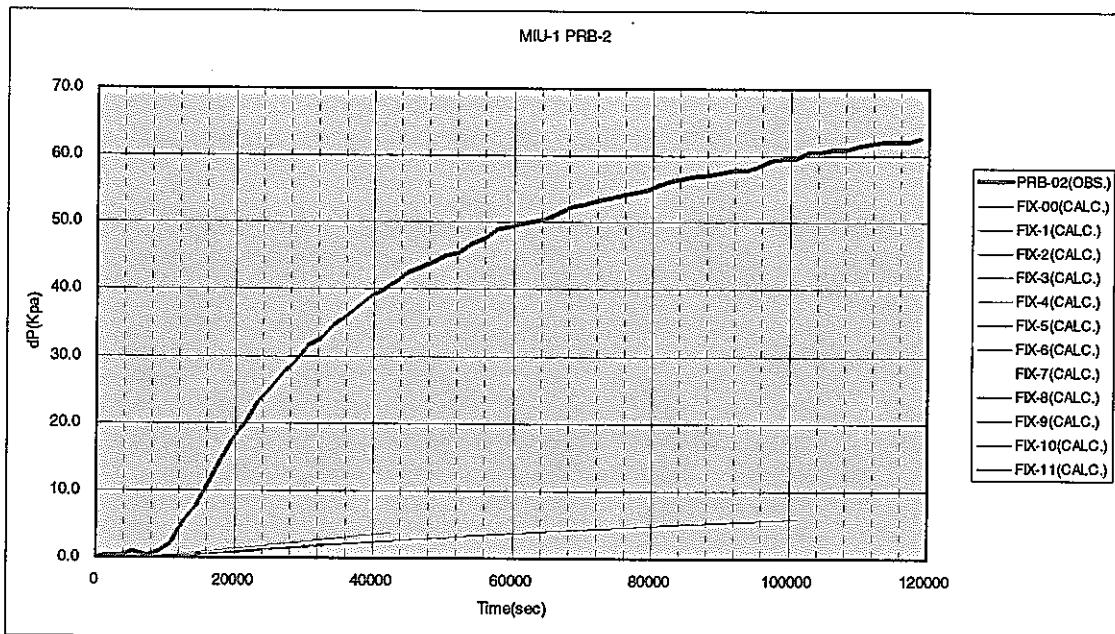


図 6.5-7 MIU-1・PRB02 における圧力変化

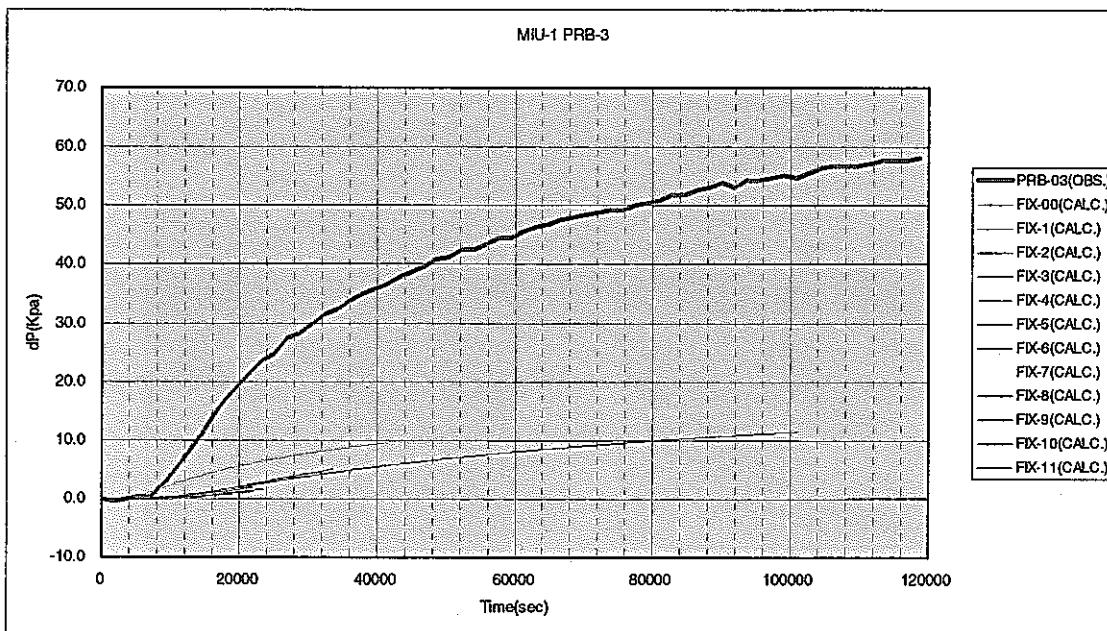


図 6.5-8 MIU-1・PRB03 における圧力変化

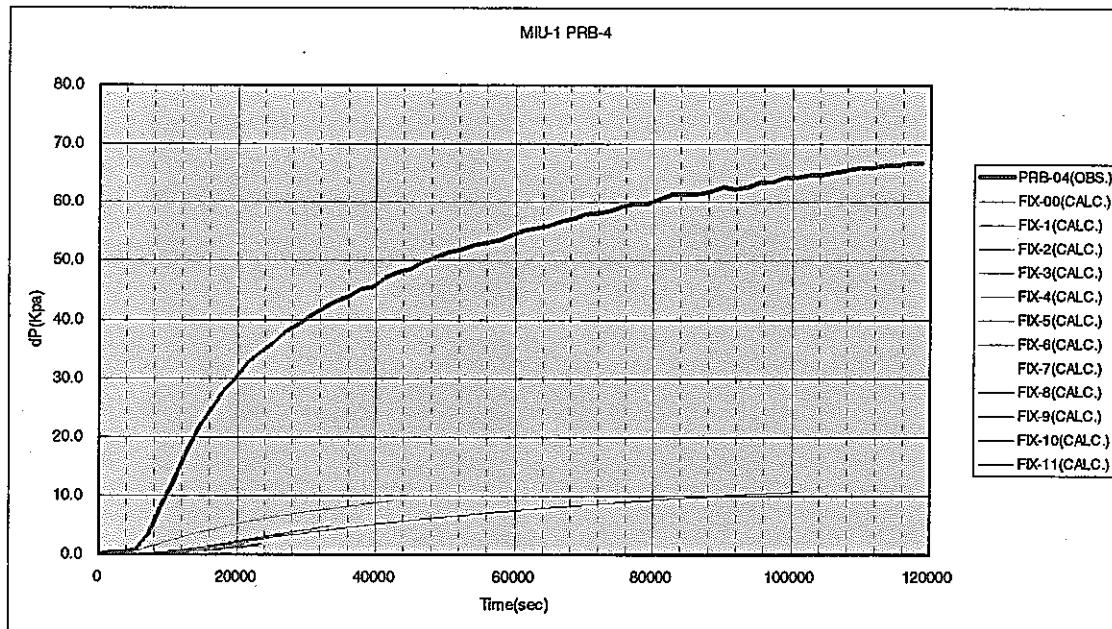


図 6.5-9 MIU-1・PRB04 における圧力変化

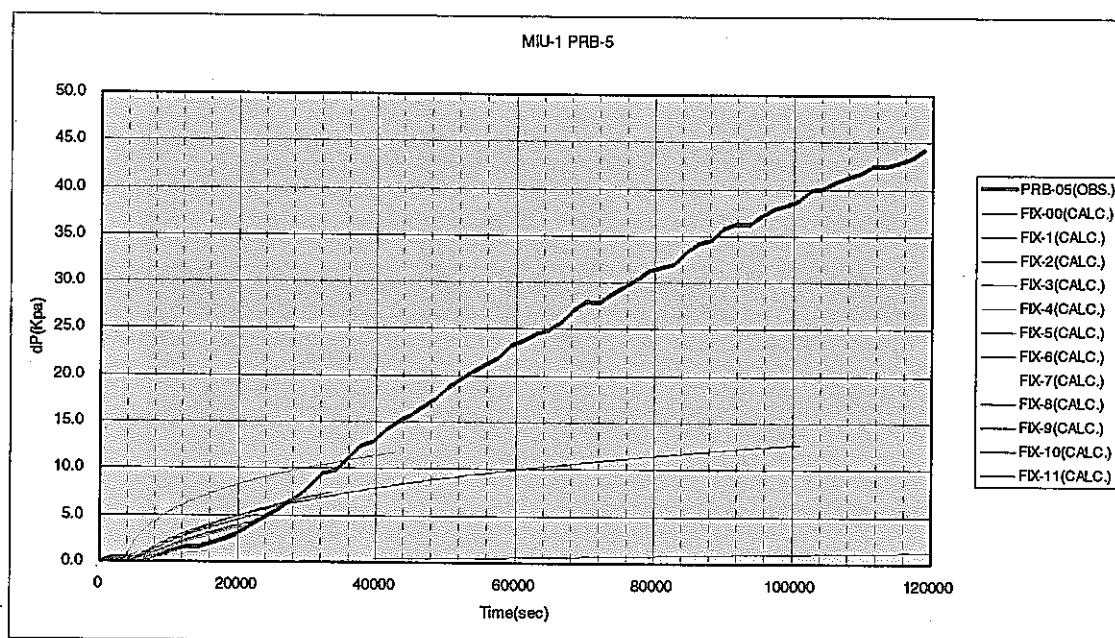


図 6.5-10 MIU-1・PRB05 における圧力変化

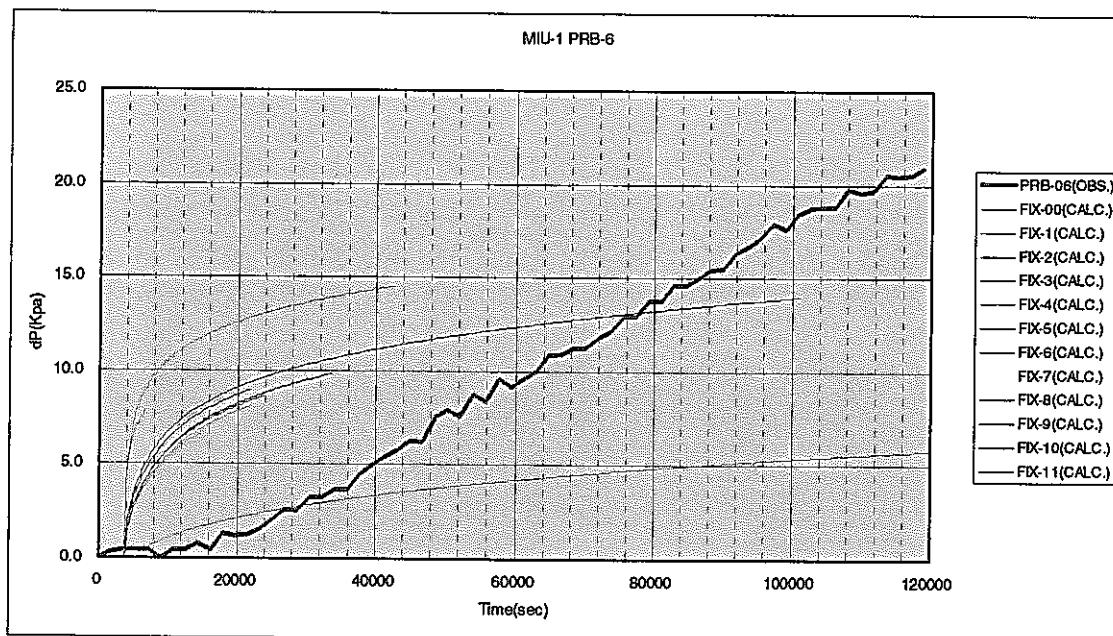


図 6.5-11 MIU-1・PRB06 における圧力変化

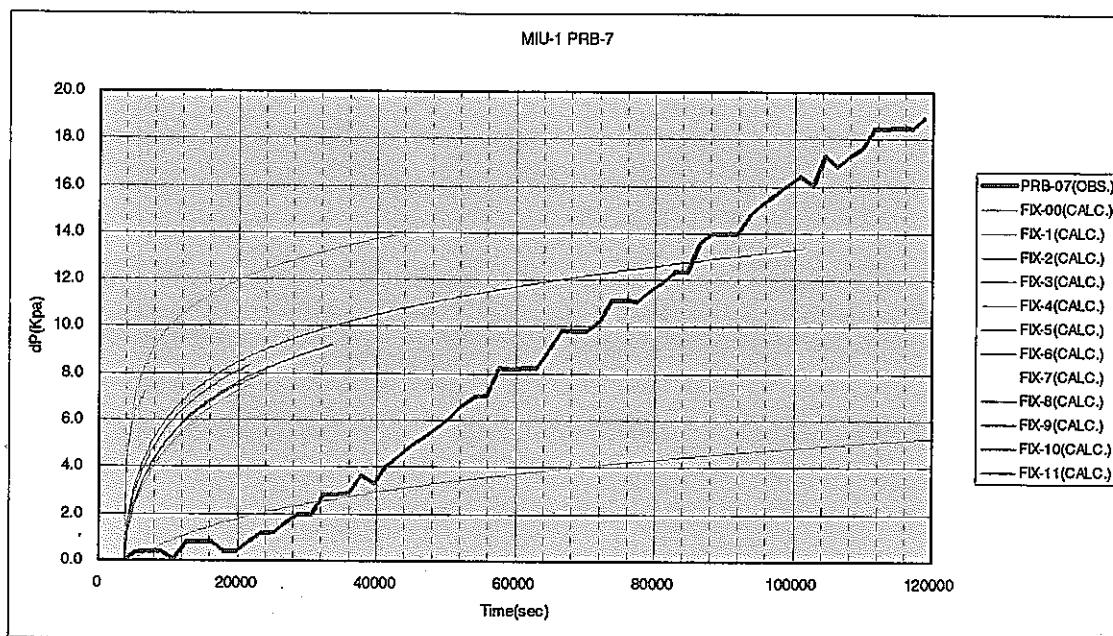


図 6.5-12 MIU-1・PRB07 における圧力変化

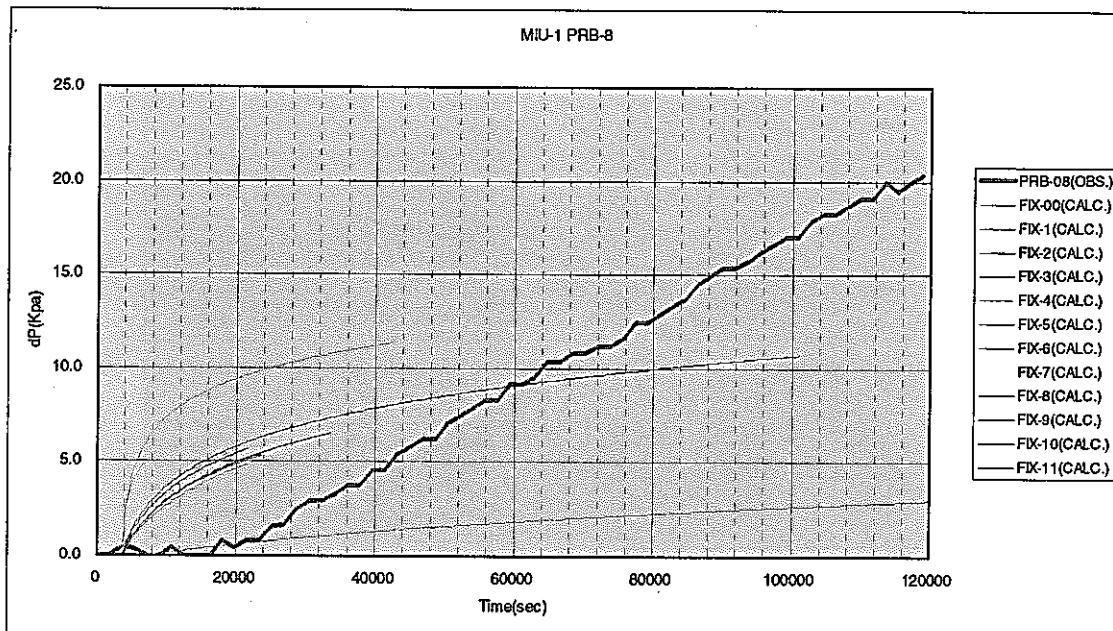


図 6.5-13 MIU-1・PRB08 における圧力変化

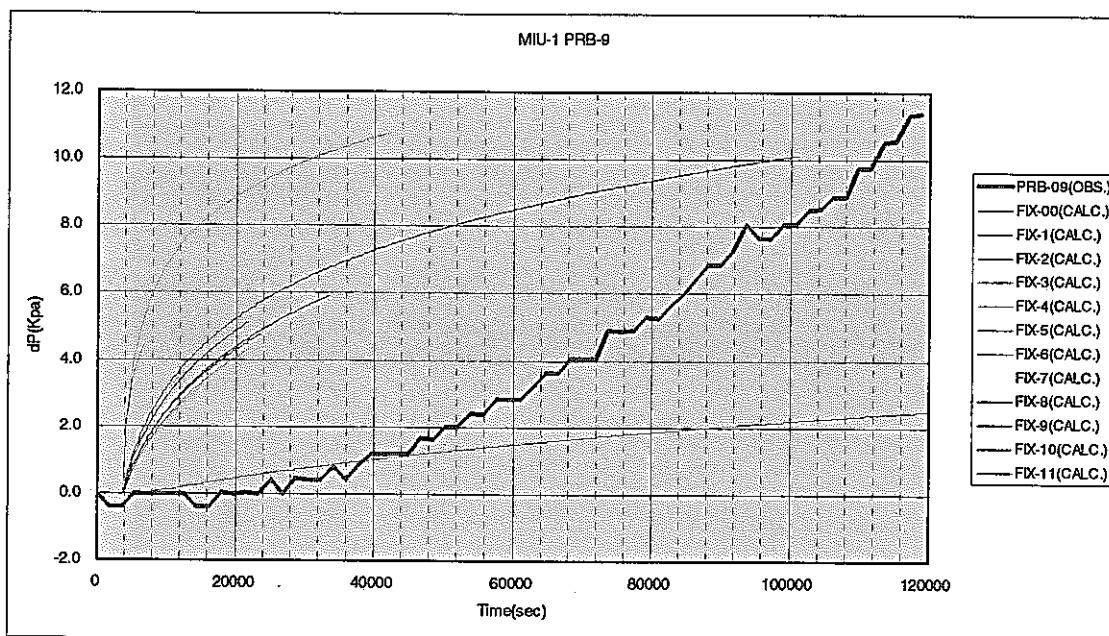


図 6.5・14 MIU-1・PRB09 における圧力変化

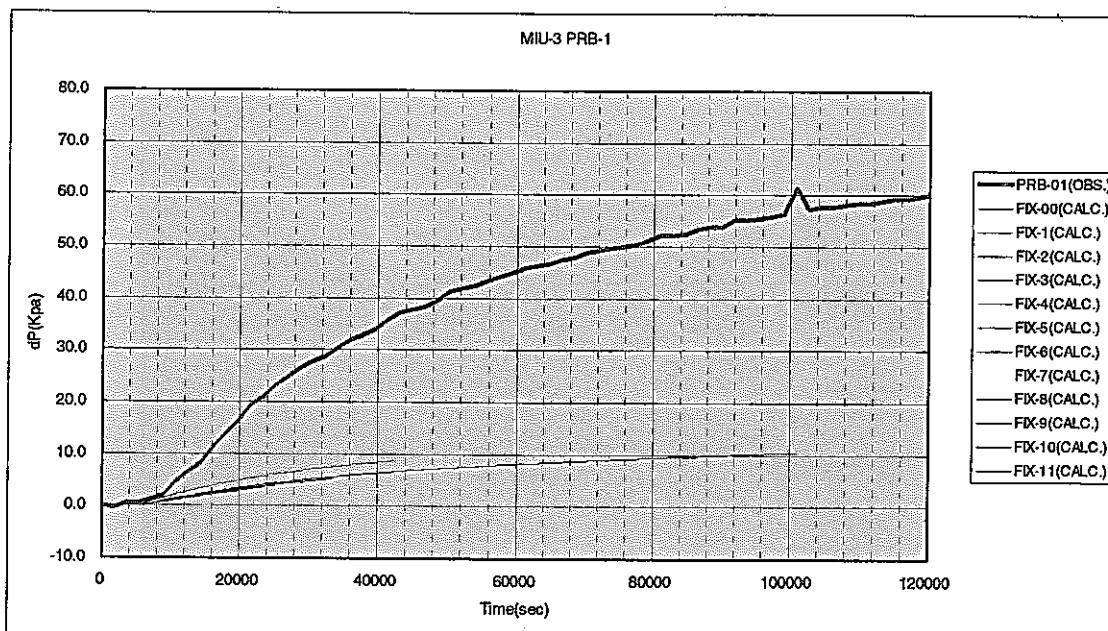


図 6.5・15 MIU-3・PRB01 における圧力変化

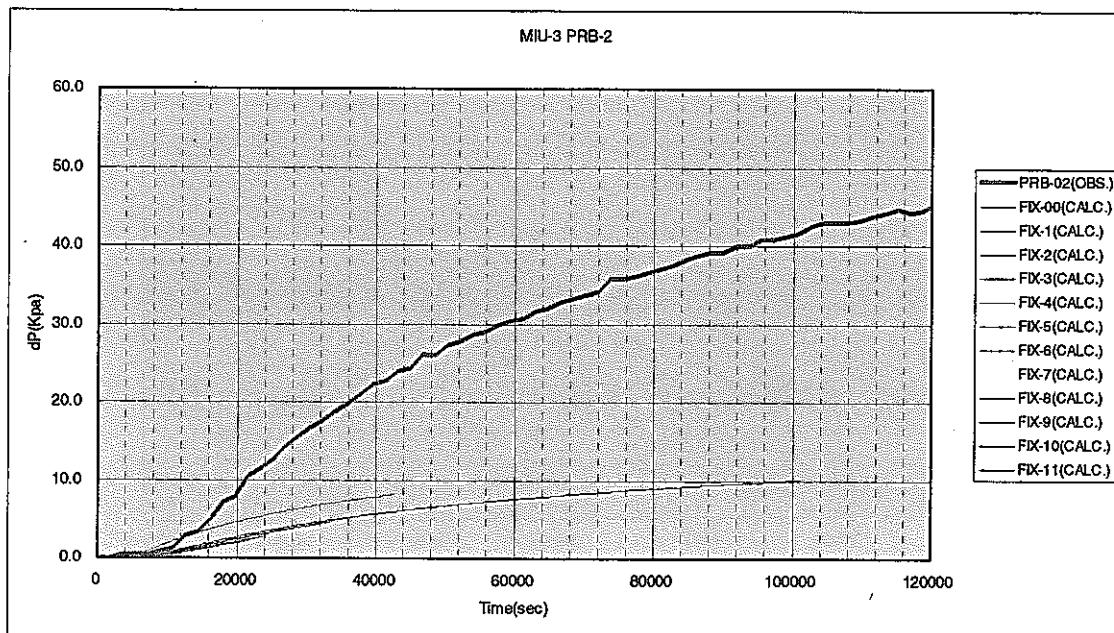


図 6.5-16 MIU-3・PRB02 における圧力変化

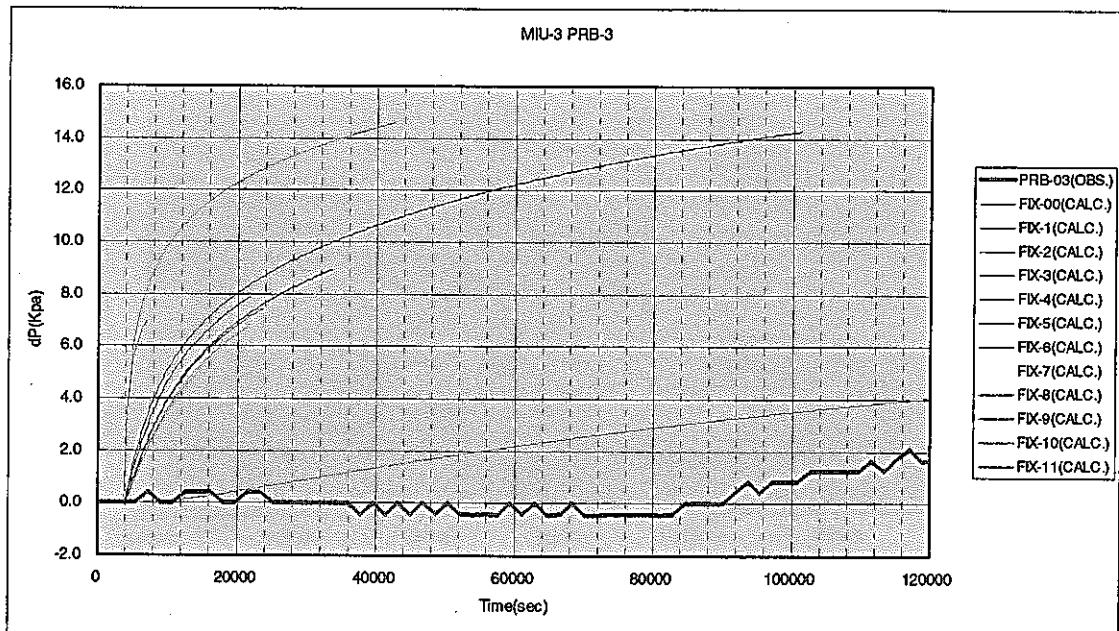


図 6.5-17 MIU-3・PRB03 における圧力変化

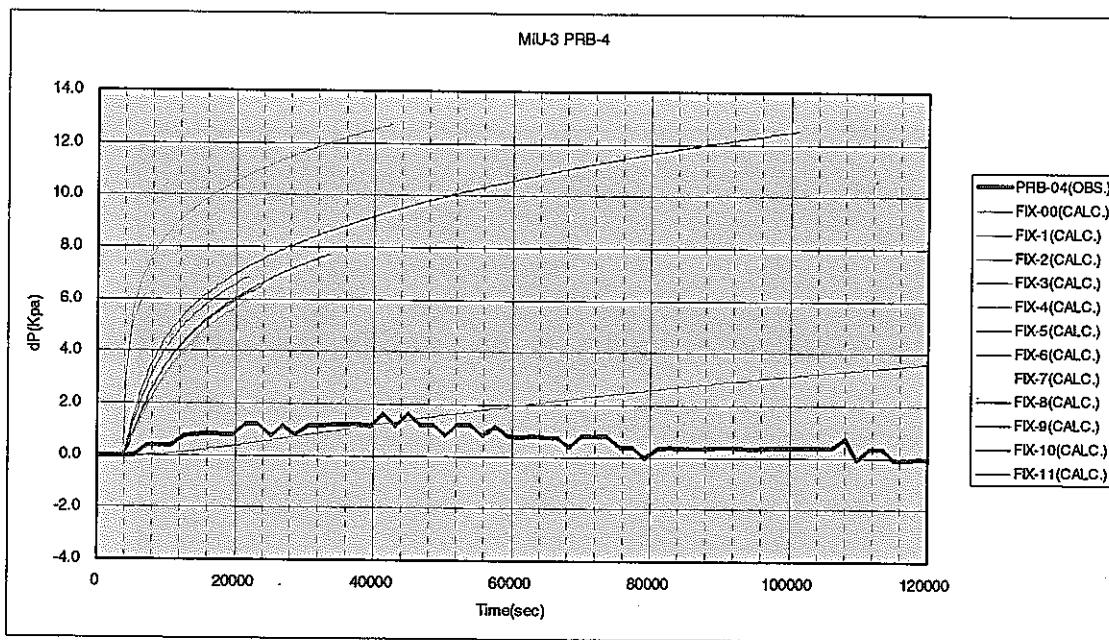


図 6.5-18 MIU-3・PRB04 における圧力変化

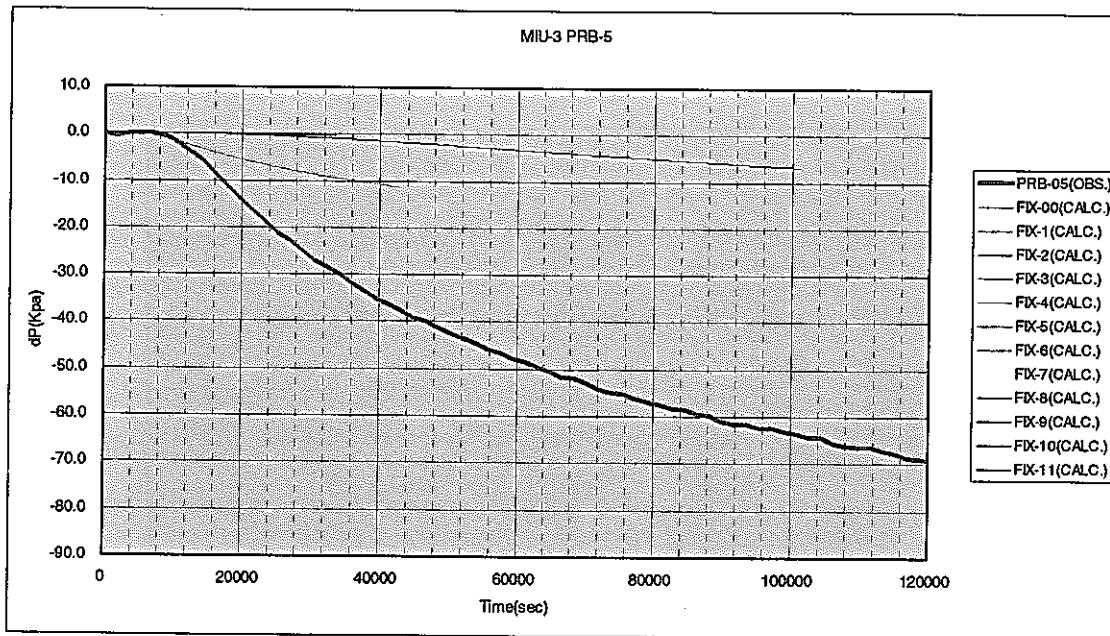


図 6.5-19 MIU-3・PRB05 における圧力変化

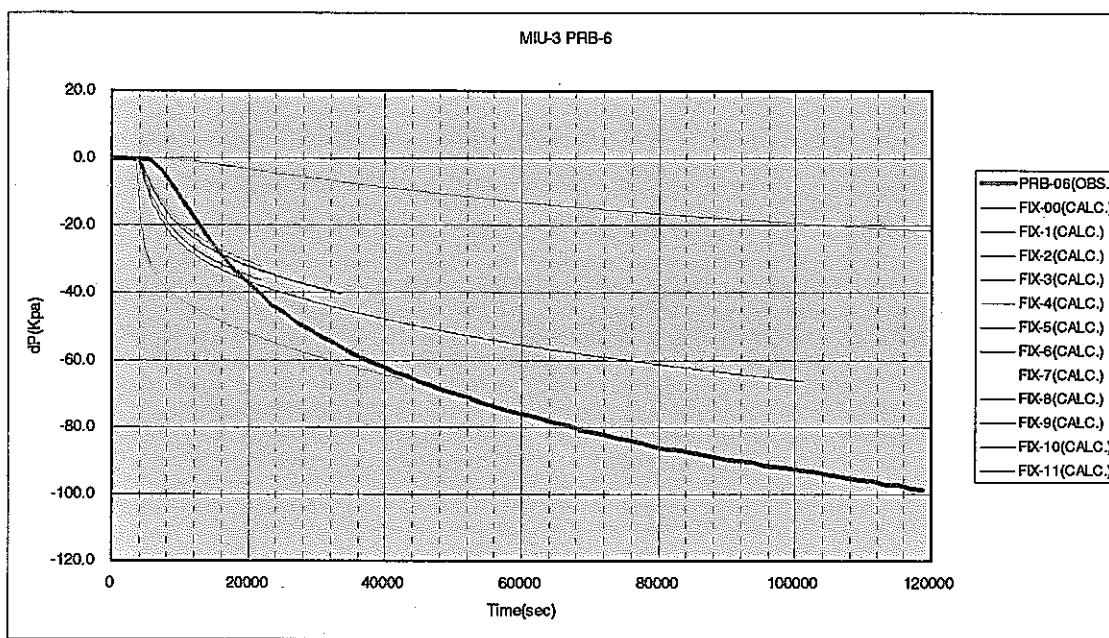


図 6.5-20 MIU-3・PRB06 における圧力変化

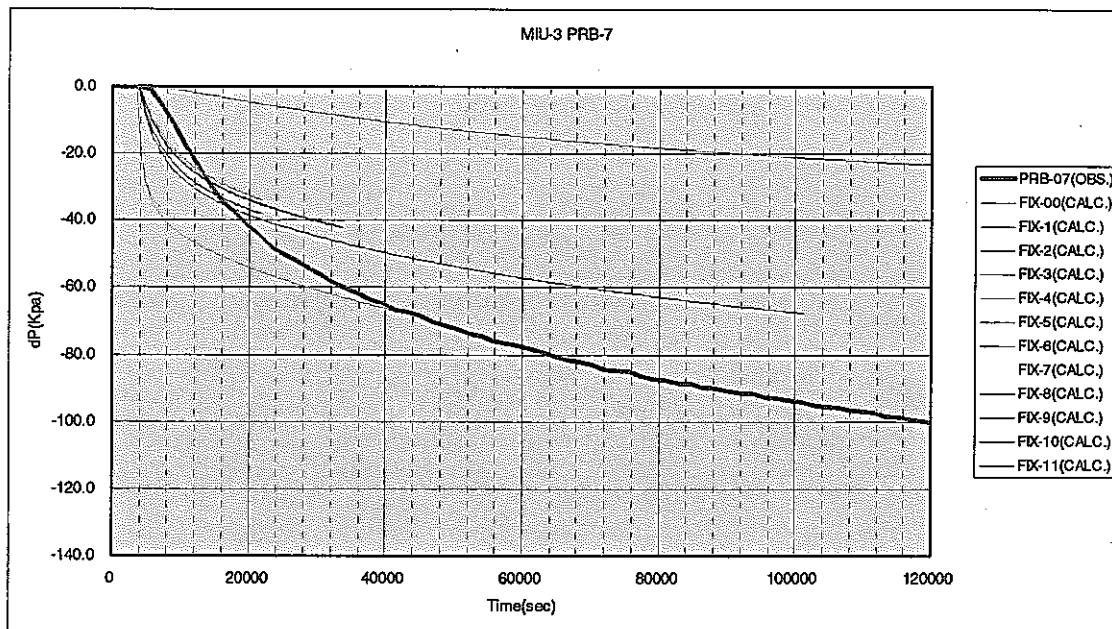


図 6.5-21 MIU-3・PRB07 における圧力変化

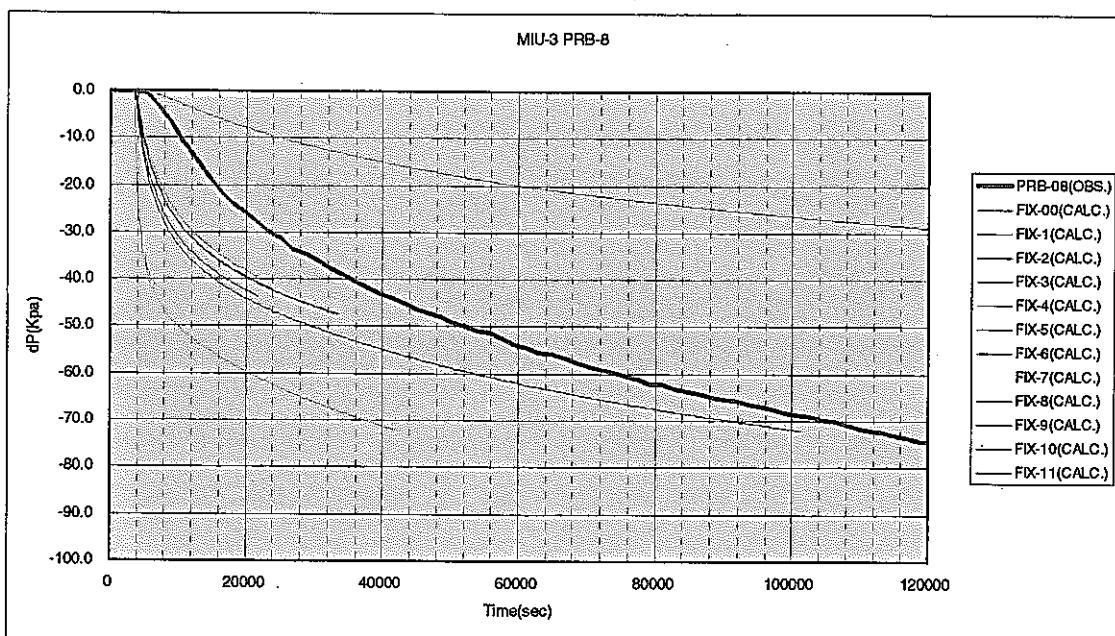


図 6.5-22 MIU-3・PRB08 における圧力変化

### 6.5.7 結果の考察

今回、透水係数を固定し貯留係数をパラメーターに MIU-1 号孔、及び MIU-3 号孔における圧力応答状態の観測値と解析値を比較しながらトライアルを行った。

全体として、圧力上昇または下降量が観測値に比べ、解析値は低い。また、ほとんどの圧力変化カーブが上に凸の形状となっている。これに関しては、非定常条件として与えた MIU-2 孔内の静水圧条件に起因している可能性があり、パッカー開放時にどのような状況にあったかを今後検討する必要があると考える。

その結果、MIU-3 号孔において比較的マッチング状況がよい結果が得られた。

その結果をその結果を図 6.5-23～図 6.5-26 に示す。

しかし、それは月吉断層よりも下盤側のセンサーにおいてのみであり、また、短時間の応答を対象とした結果でこのような結果となるのであるから、時間進行に伴い解析値が観測値から離れていくことは容易に判断される。

また、当モデルは主要割れ目や断層部と花崗岩・健岩部で透水係数に大きな違いがあるため、局所的にマッチする点があったとしても全体でのマッチングは困難であることがわかった。

また、圧力変化の勾配をフィッティングするには、透水係数と比貯留係数のバランスを考慮する必要があることがわかった。

これより、初期条件としたモデルの物性値の持つ意味と、この結果が持つ意味について、今後検討を行うとともに、割れ目のみを透水経路としたモデルで比較を行い、基質部と割れ目の関係について研究を行いたいと考える。

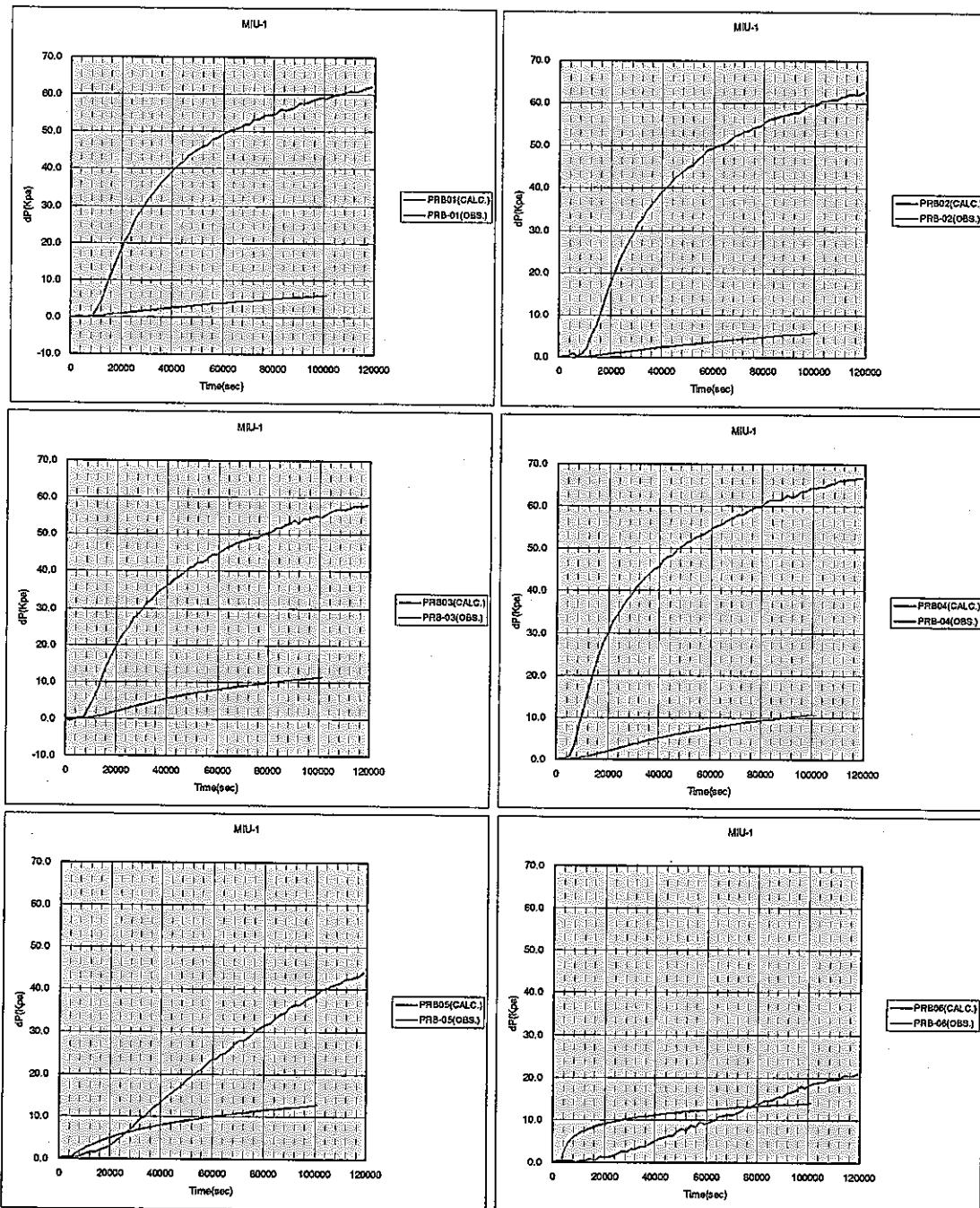


図 6.5-23 MIU-1 号孔における圧力変化・FIX-11(1)

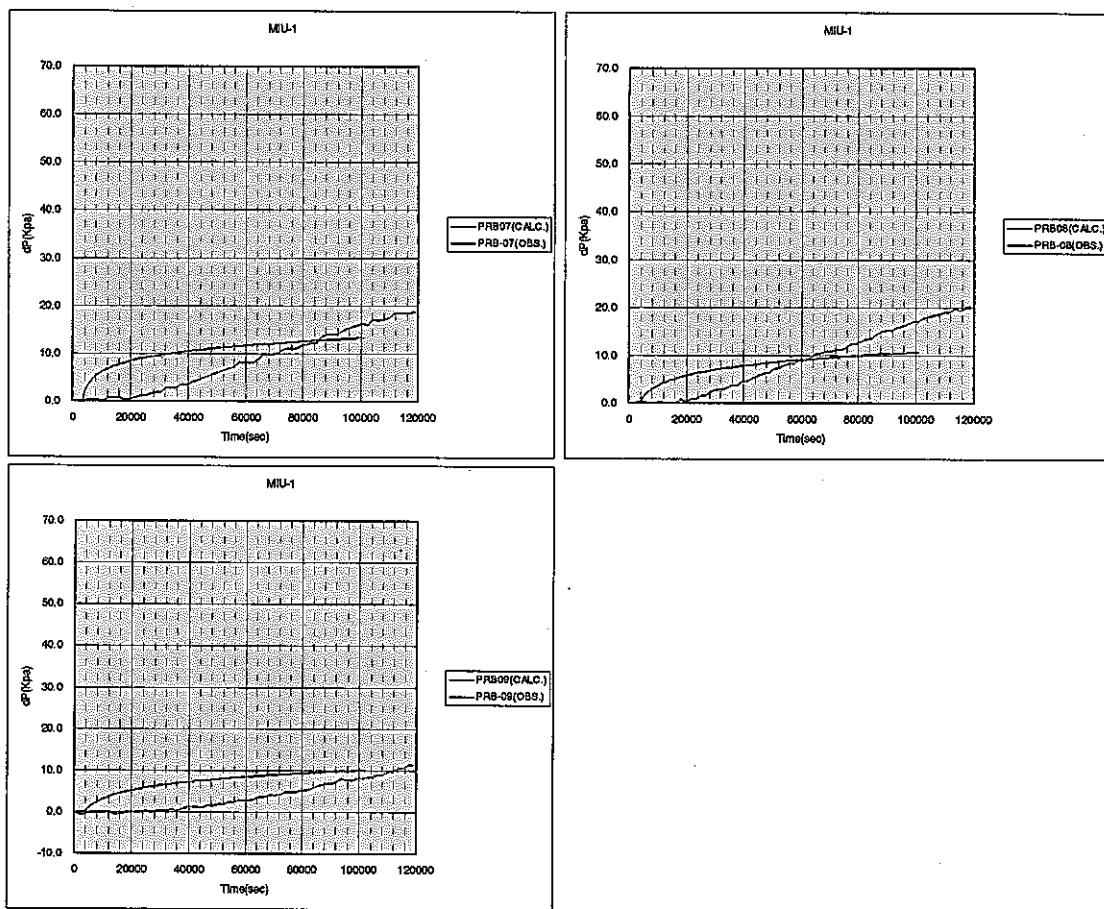


図 6.5-24 MIU-1 号孔における圧力変化・FIX-11 (2)

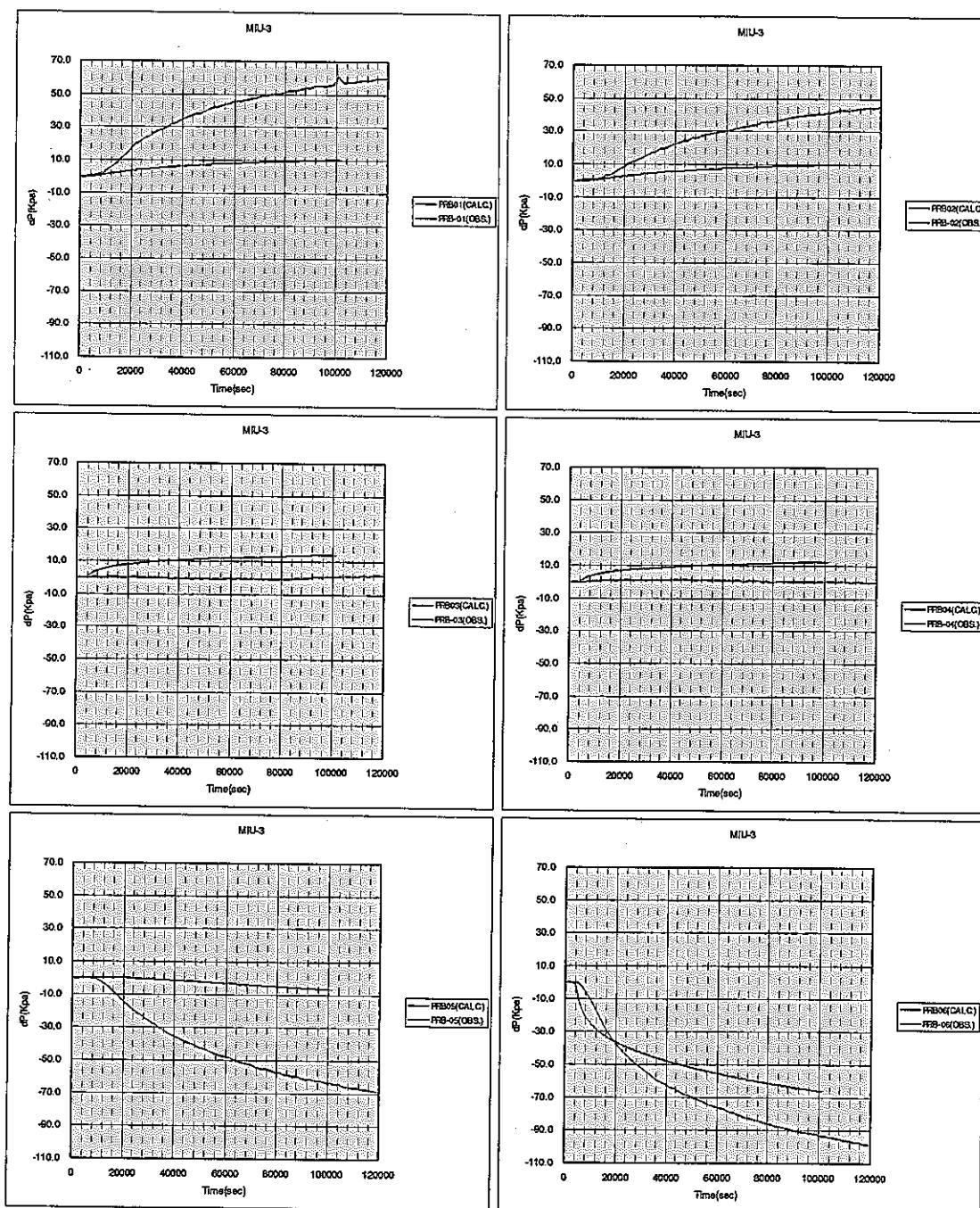


図 6.5-25 MIU-3 号孔における圧力変化・FIX-11 (1)

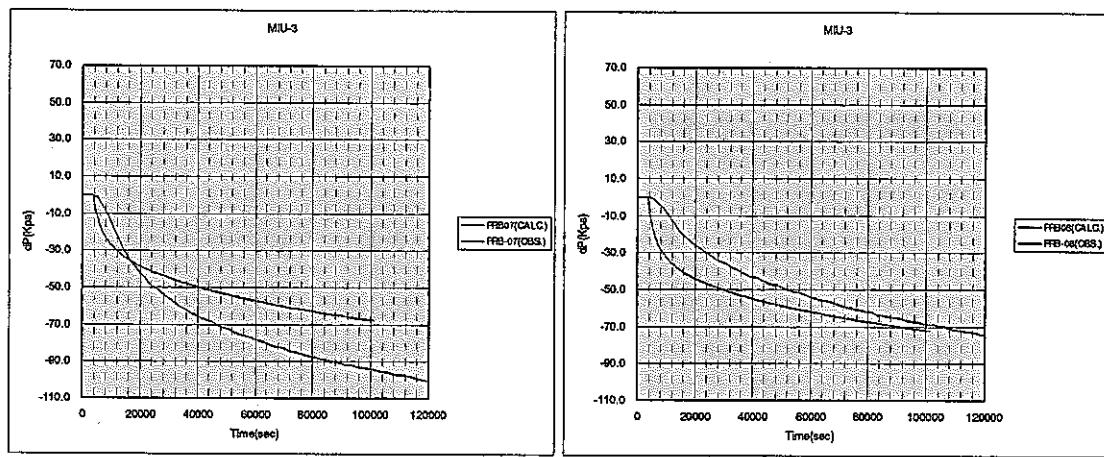


図 6.5-26 MIU-3 号孔における圧力変化・FIX-11 (2)

## 6.6 モデルキャリブレーション最終モデル

### 6.6.1 最終モデル

#### 6.6.1.1 境界条件についての検討

先の変更モデルをモデルキャリブレーションの最終モデルとする。ただし、境界条件によって差が見られるものかどうかを確認する意味で下記の条件について検討を行った。

側方の境界条件について検討を行った結果を以下に示す。境界条件として次の3つのケースが考えられるが、③の条件については、地下水位データと間隙水圧観測結果より、不適当な条件とみなし除外した。広域地下水流动解析結果としては、平成12年度に提供されたデータ(4X6BC 10 VER2)を用いた。上部の境界は地表より-5mの位置に地下水位を想定した固定水頭境界である。

- ① 地表の分水嶺を基とした No-Flow 境界条件
- ② 広域の地下水流动解析結果を基とした固定水頭条件
- ③ 地表の地下水位を基とした固定水頭条件

①の条件をCND01、②の条件をCND02とした。その結果、CND02の結果が若干ではあるが、CND01と比較して良好であった(図6.6-1～図6.6-3参照)。しかし、明瞭な差が表れていないことから、これらの条件のもとではほぼ同じ水頭分布を呈すものと考えられる。

最終モデルの境界条件はCND02とし、前年度のモデルと比較を行うこととした。

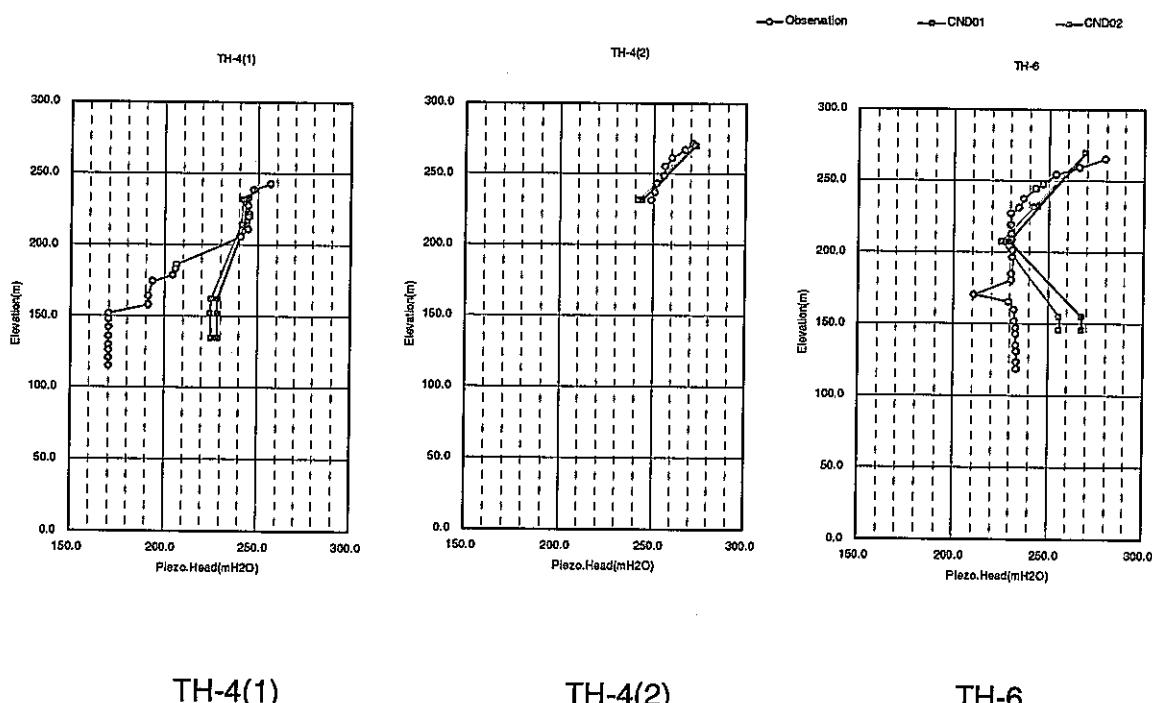


図 6.6-1 境界条件に関する解析結果・観測値と解析値の比較 (1)

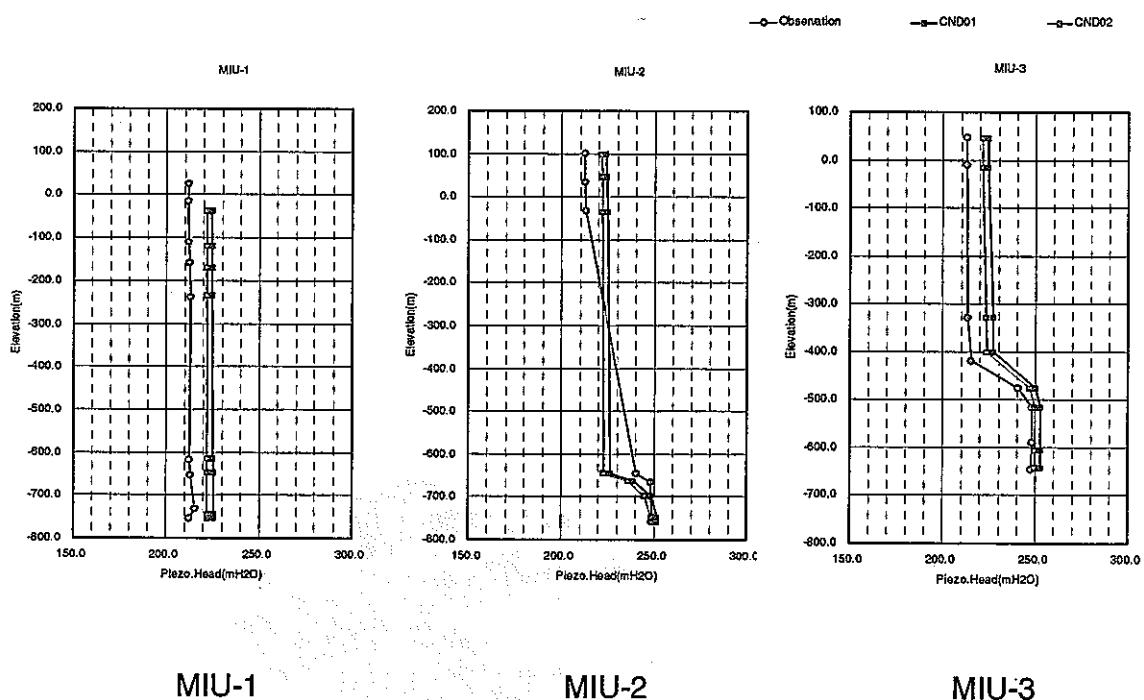


図 6.6-2 境界条件に関する解析結果・観測値と解析値の比較 (2)

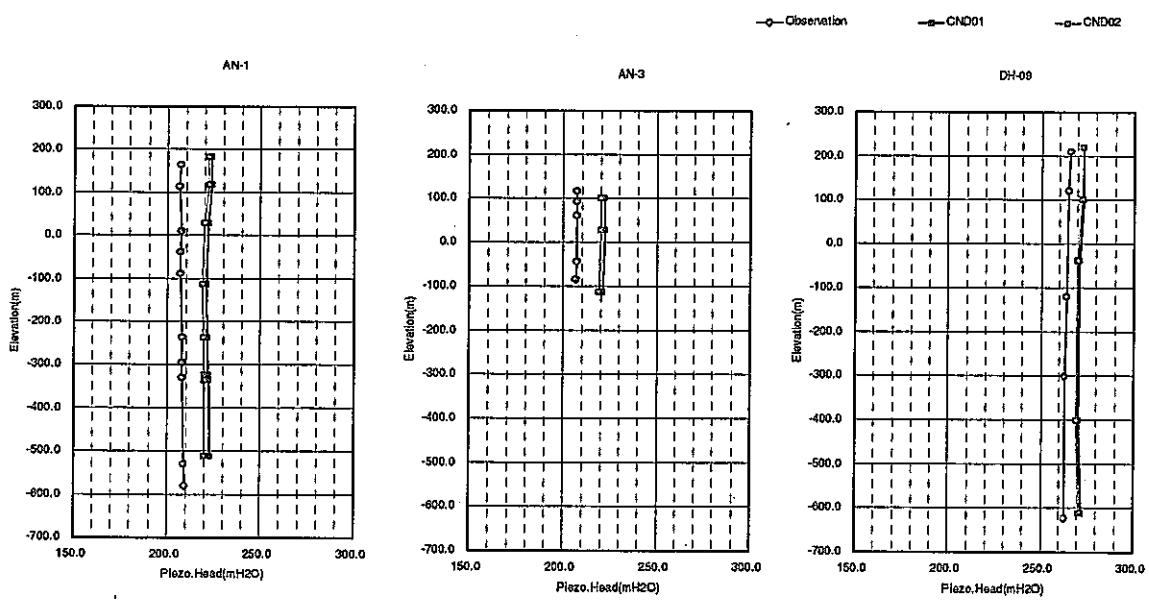


図 6.6-3 境界条件に関する解析結果・観測値と解析値の比較 (3)

## 6.6.2 地下水流動解析

最終モデルの地下水流動解析結果を以下に示す。

### 6.6.2.1 最終モデル・解析条件

#### (1) 境界条件

境界条件は前述の検討の結果より、図 6.6-4 に示す条件とした。なお東濃鉱山については、日排水量を  $50\text{m}^3/\text{day}$  として設定を行った。

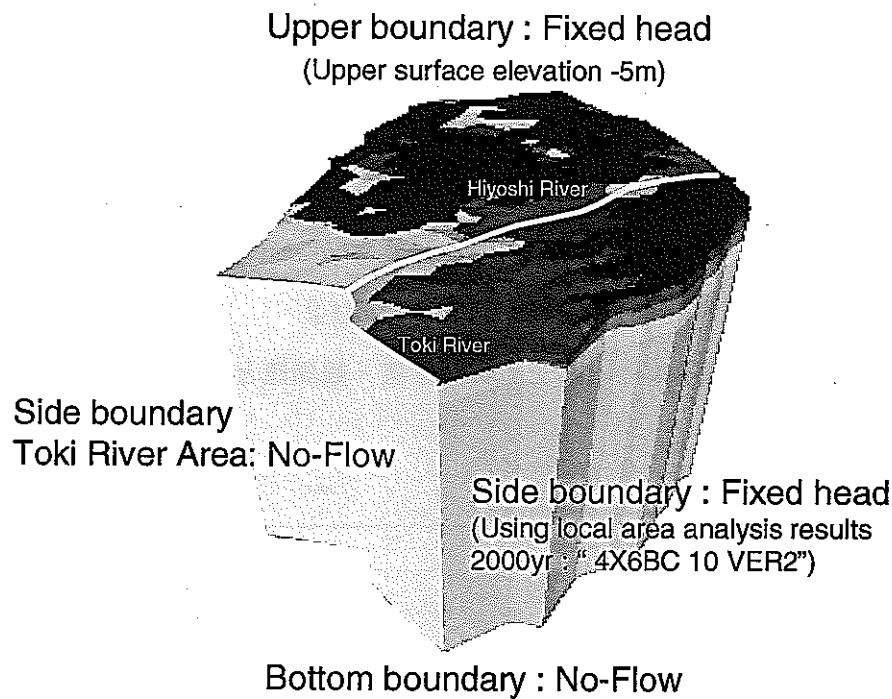


図 6.6-4 最終モデル・境界条件

#### (2) 有効間隙率の設定

有効間隙率の設定は前年度同様割れ目を主体とする主要割れ目、断層破碎帯部の設定に関しては、花崗岩の透水係数と有効間隙率の関係式から得られる値を参考に、設定を行った。なお透水係数は前述の変更モデルの設定としている。また、堆積岩及び花崗岩・強風化部、断層コア部に関しては一律 30%とした。その一覧を表 6.6-1 に示す。

また、堆積岩中や花崗岩・強風化部中の断層の有効間隙率は、存在している基質部の有効間隙率と同じ値を設定することとした。

表 6.6-1 最終モデル・物性値一覧

2002 Model

Domain	Hydro geology			Hydraulic conductivity			Ss(1/m)	Porosity
				Kx(m/sec)	Ky(m/sec)	Kz(m/sec)		
1	Sedimentary rocks	Seto group		2.0E-06	2.0E-06	2.0E-09	1.5E-06	0.3
2		Akeyo-Oidawara.F		2.0E-08	2.0E-08	2.0E-10	1.5E-06	0.3
3		Toki lignite-bearing.F		2.0E-06	2.0E-06	2.0E-09	1.5E-06	0.3
4		Strong weathered granite		2.0E-05	2.0E-05	2.0E-09	1.5E-06	0.3
5		Highly fractured domain		2.0E-05	2.0E-05	2.0E-09	1.0E-08	0.03
6		Spasely fractured domain		3.0E-09	3.0E-09	3.0E-09	1.0E-08	0.02
1	Toki granite	Seto group*	Fault zone1	2.0E-06	2.0E-09	2.0E-06	1.5E-06	0.3
2			Fault zone2	2.0E-06	2.0E-09	2.0E-06	1.5E-06	0.3
3			Fault zone3	2.0E-06	2.0E-09	2.0E-06	1.5E-06	0.3
2		Akeyo-Oidawara.F*	Fault zone1	2.0E-08	2.0E-10	2.0E-08	1.5E-06	0.3
3			Fault zone2	1.0E-10	1.0E-10	1.0E-10	1.5E-06	0.3
4			Fault zone3	2.0E-08	2.0E-10	2.0E-08	1.5E-06	0.3
3		Toki lignite-bearing.F*	Fault zone1	2.0E-06	2.0E-09	2.0E-06	1.5E-06	0.3
4			Fault zone2	1.0E-10	1.0E-10	1.0E-10	1.5E-06	0.3
5			Fault zone3	2.0E-06	2.0E-09	2.0E-06	1.5E-06	0.3
4		Strong weathered granite*	Fault zone1	2.0E-05	2.0E-09	2.0E-05	1.5E-06	0.3
5			Fault zone2	1.0E-10	1.0E-10	1.0E-10	1.5E-06	0.3
6			Fault zone3	2.0E-05	2.0E-09	2.0E-05	1.5E-06	0.3
5		Highly fractured domain*	Fault zone1	2.0E-05	2.0E-09	2.0E-05	6.0E-08	0.11
6			Fault zone2	1.0E-10	1.0E-10	1.0E-10	6.0E-08	0.3
6			Fault zone3	2.0E-05	2.0E-09	2.0E-05	6.0E-08	0.11
6		Spasely fractured domain*	Fault zone1	2.0E-06	2.0E-08	2.0E-06	6.0E-08	0.07
			Fault zone2	1.0E-10	1.0E-10	1.0E-10	6.0E-08	0.3
			Fault zone3	2.0E-06	2.0E-08	2.0E-06	6.0E-08	0.07
6	Major fracture	Spasely fractured domain*		1.0E-07	1.0E-07	1.0E-07	6.0E-08	0.04

### 6.6.2.2 全水頭分布

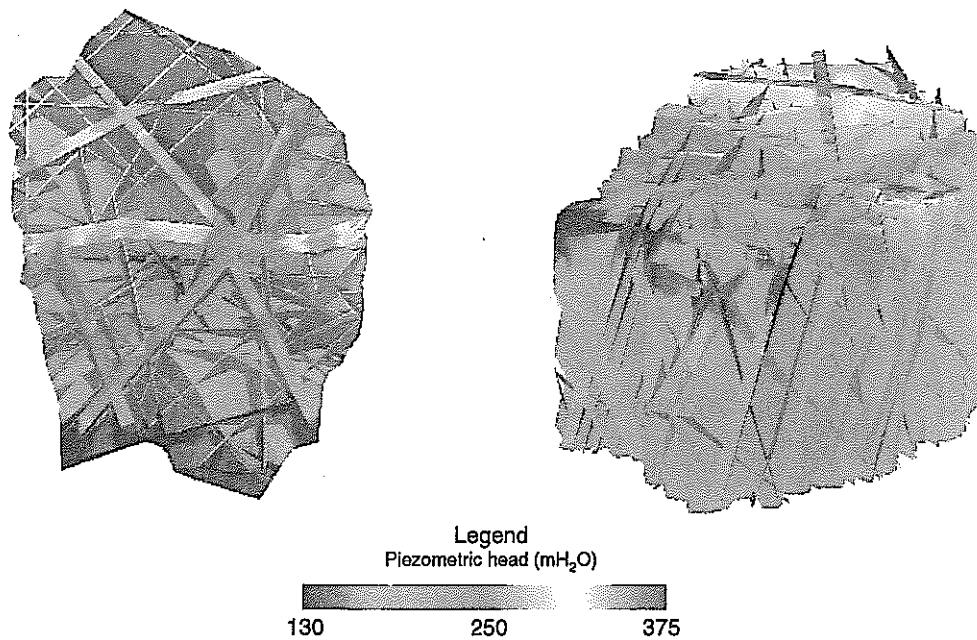


図 6.6-5 最終モデル・全水頭分布図

### 6.6.2.3 地下水の流向状況

図 6.6-6 はダルシー流速ベクトルを単位化して描いた、地下水の流向状況を EL.-250m, EL.-500m, EL.-750m, EL.-1000m の各標高ごとに示したものである。

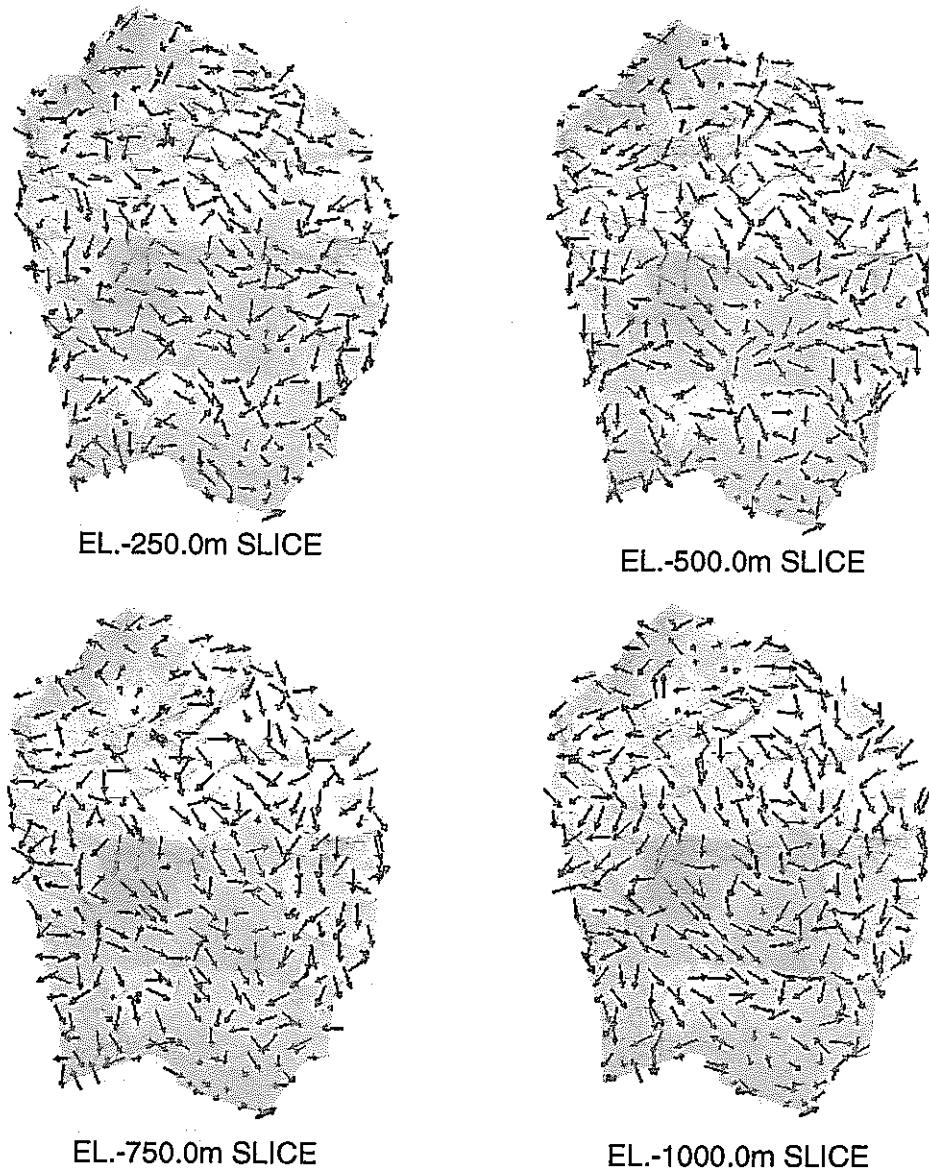


図 6.6-6 地下水の流向状況

#### 6.6.2.4 地下水移行解析結果

図 6.6-7 に示す指定点を通過する地下水の移行経路解析するために、パーティクル・トラッキング法を用いて行った。

図 6.6-8~図 6.6-15 に移行経路を示す。また、図 6.6-16~図 6.6-21 に地下水が通過した水理地質区分の頻度を示す。

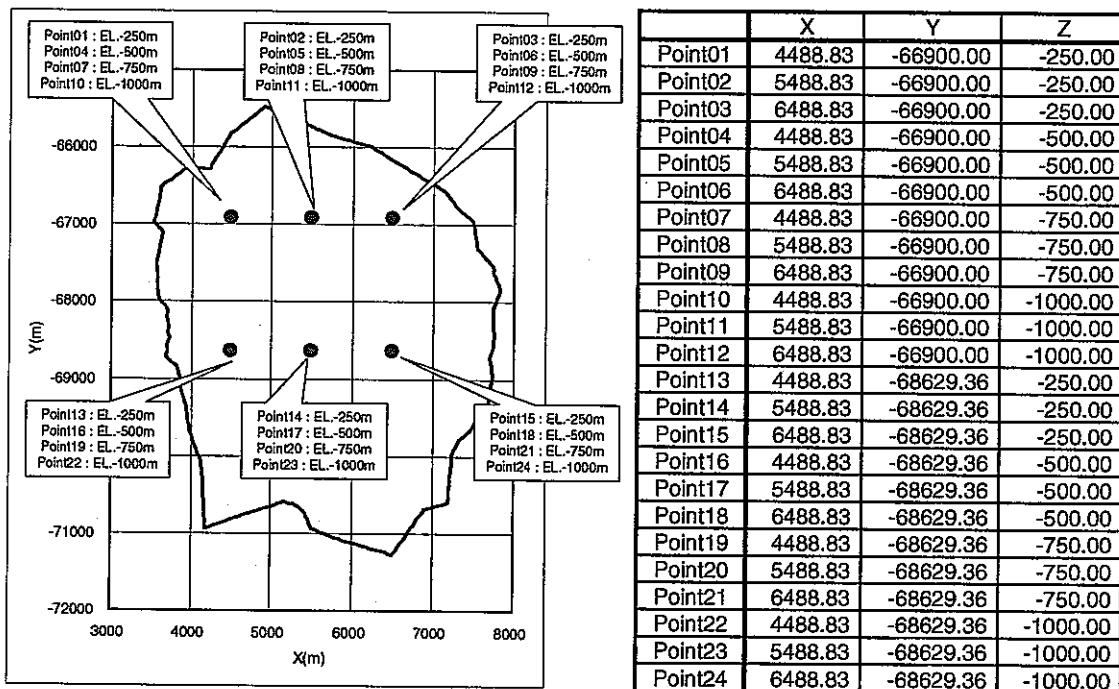


図 6.6-7 指定点位置

(1) 地下水移行経路

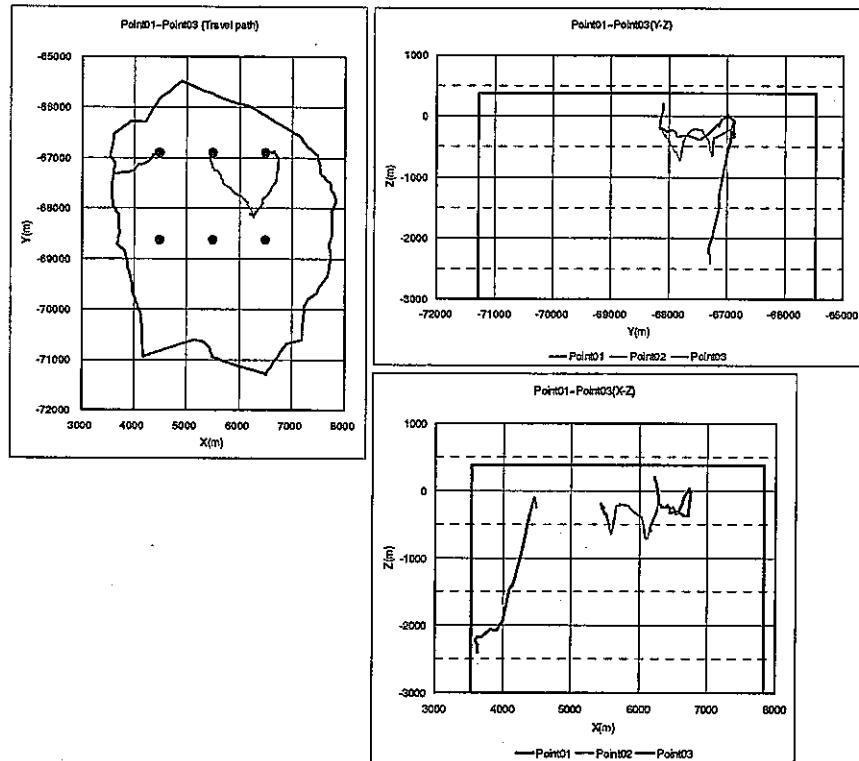


図 6.6-8 地下水移行経路(Point01~03)

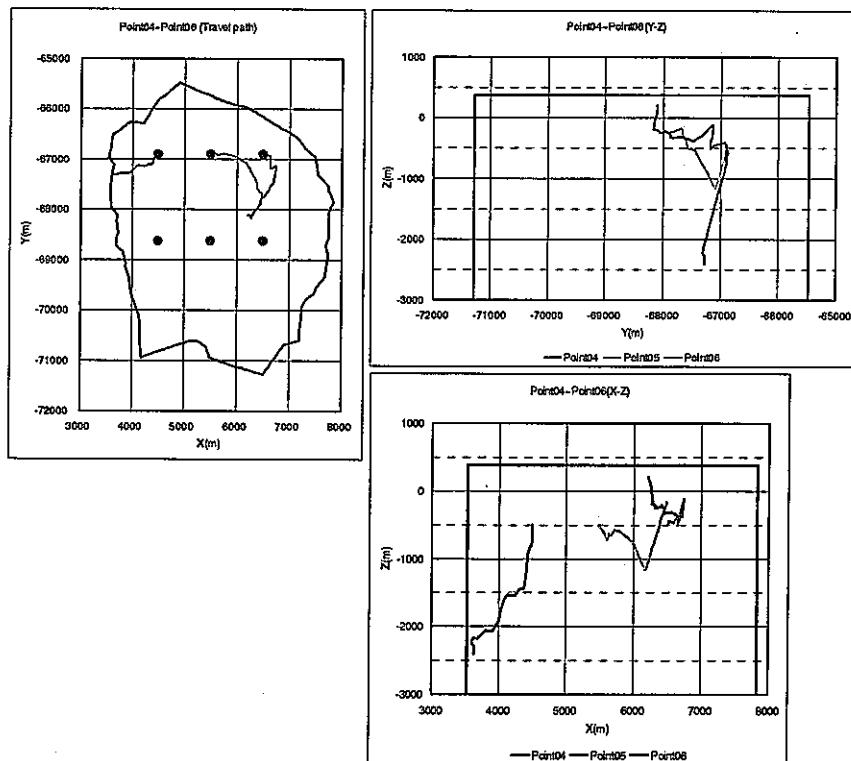


図 6.6-9 地下水移行経路(Point04~06)

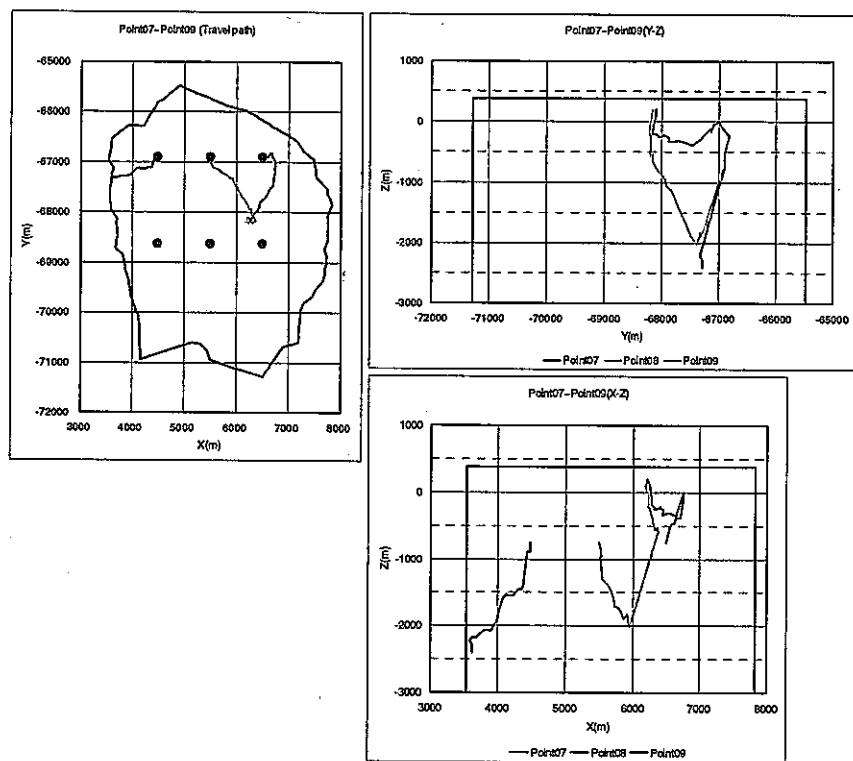


図 6.6-10 地下水移行経路(Point07~09)

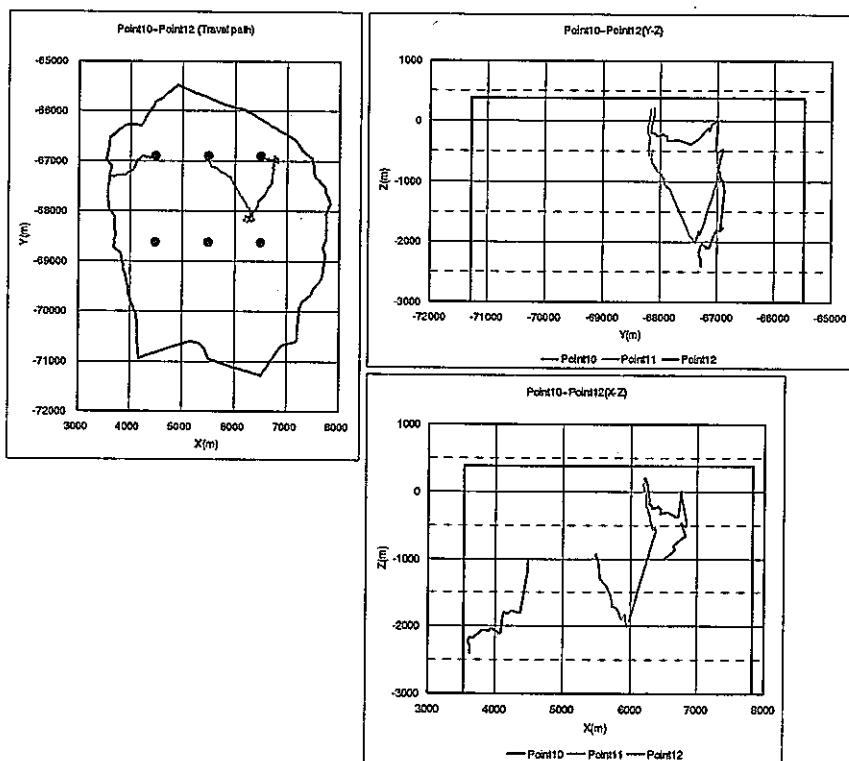


図 6.6-11 地下水移行経路(Point10~12)

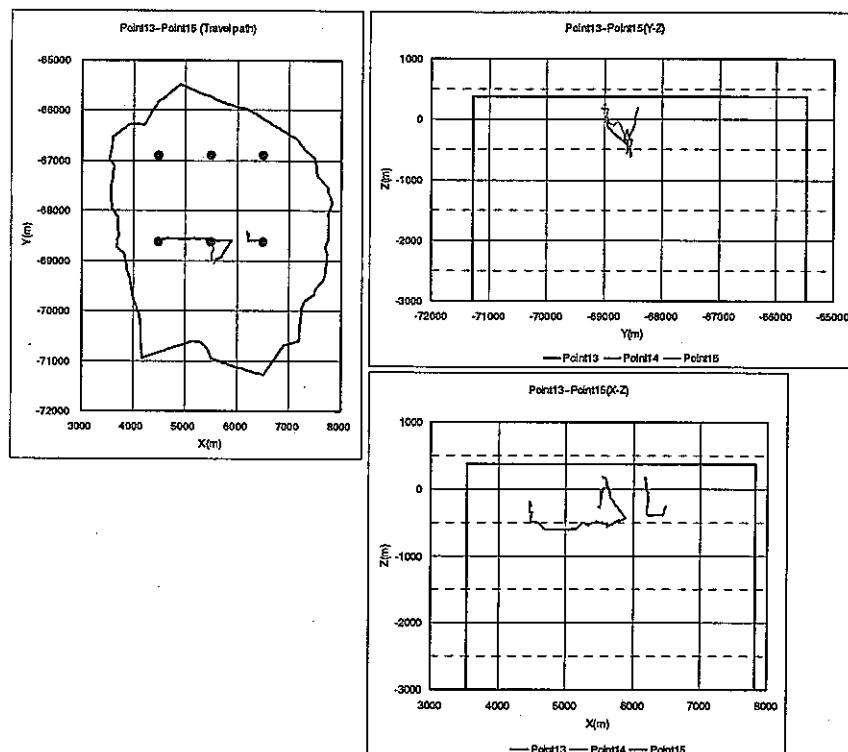


図 6.6・12 地下水移行経路(Point13~15)

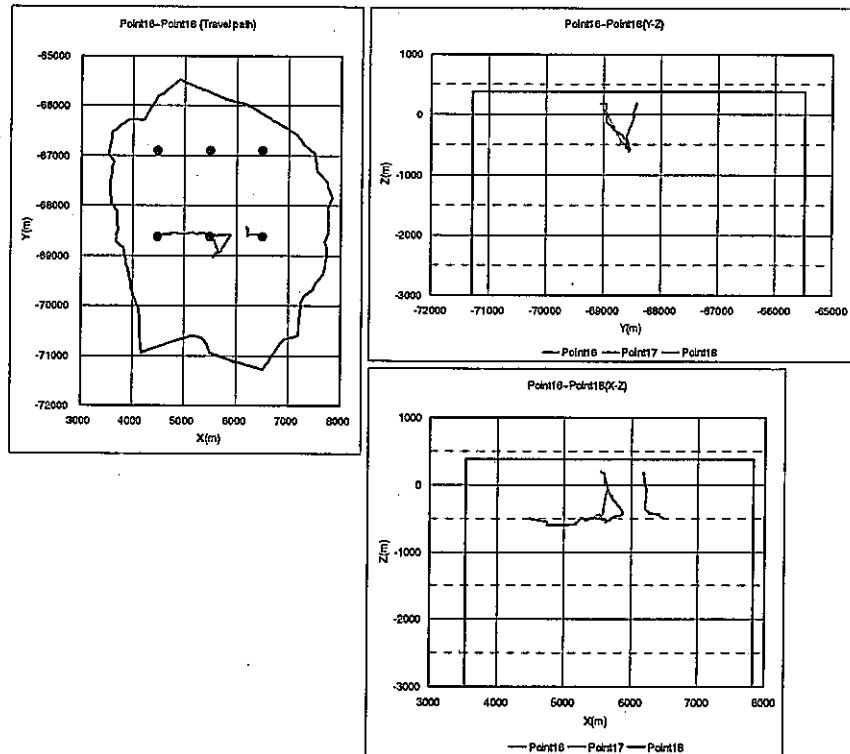


図 6.6・13 地下水移行経路(Point16~18)

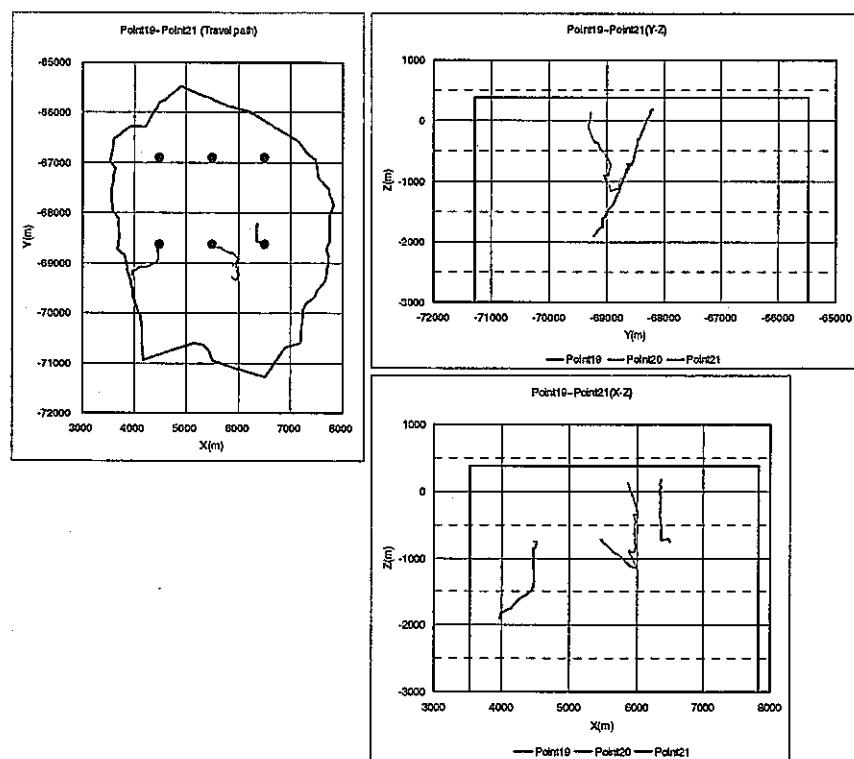


図 6.6-14 地下水移行経路(Point19~21)

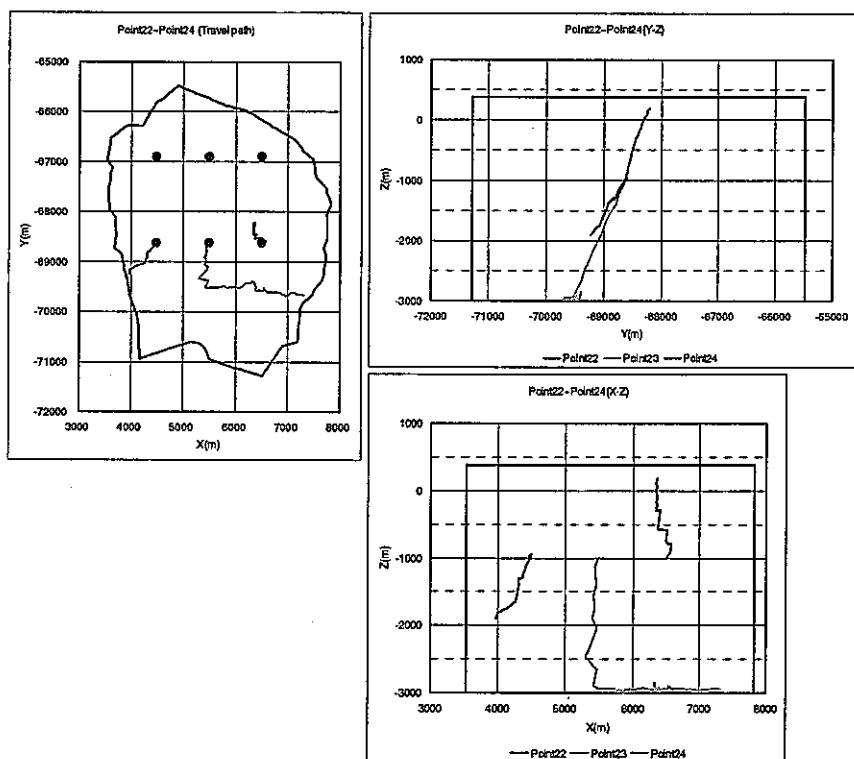
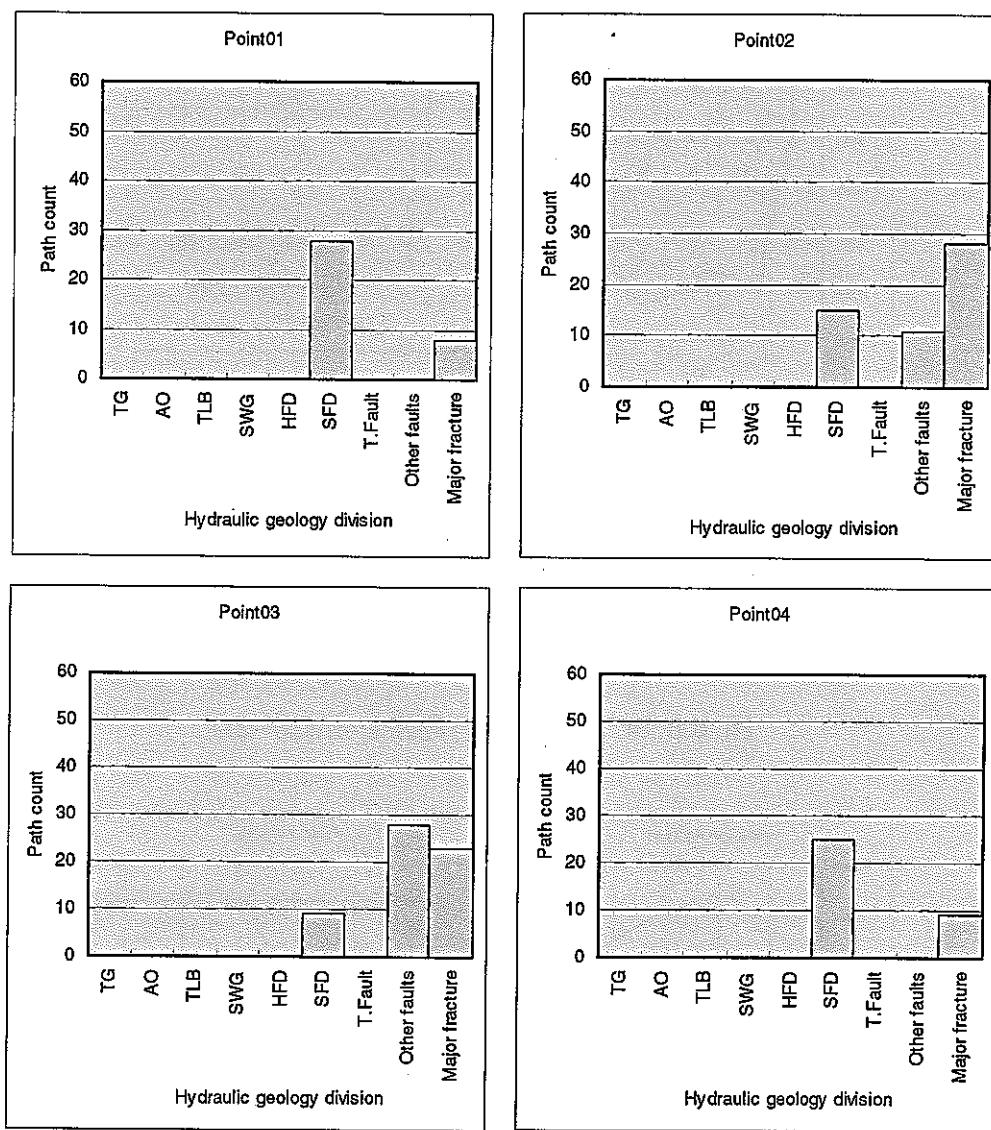


図 6.6-15 地下水移行経路(Point22~24)

(2) 水理地質区分通過頻度



TG	Seto group
AO	Akeyo - Oidawara formation
TLB	Tokilignite-bearing formation
SWG	Strong weathered granite
HFD	Highly fractured domain
SFD	Sparsely fractured domain
T.Fault	Tsukiyoshi fault

図 6.6-16 水理地質区分通過頻度(Point01~04)

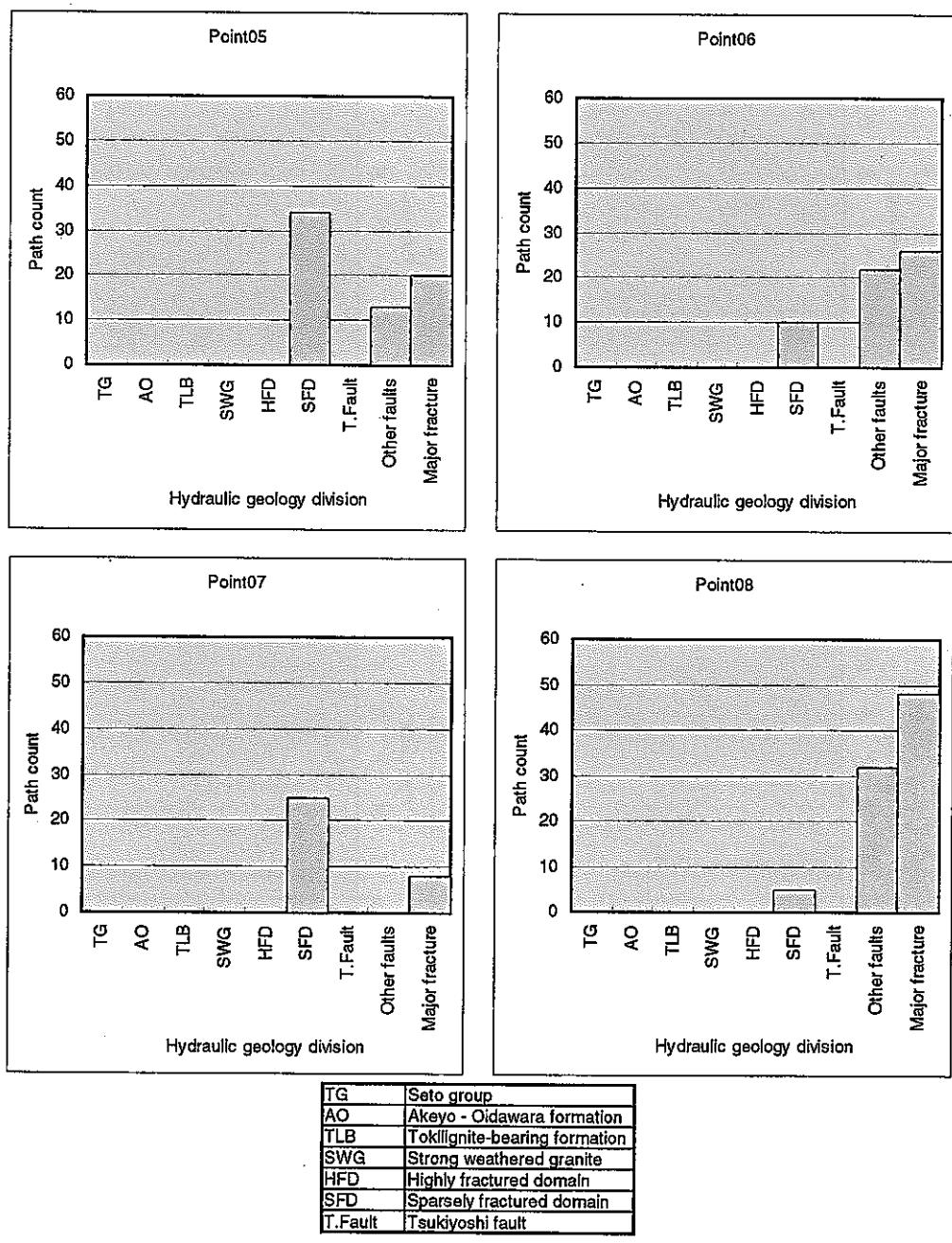


図 6.6-17 水理地質区分通過頻度(Point05~08)

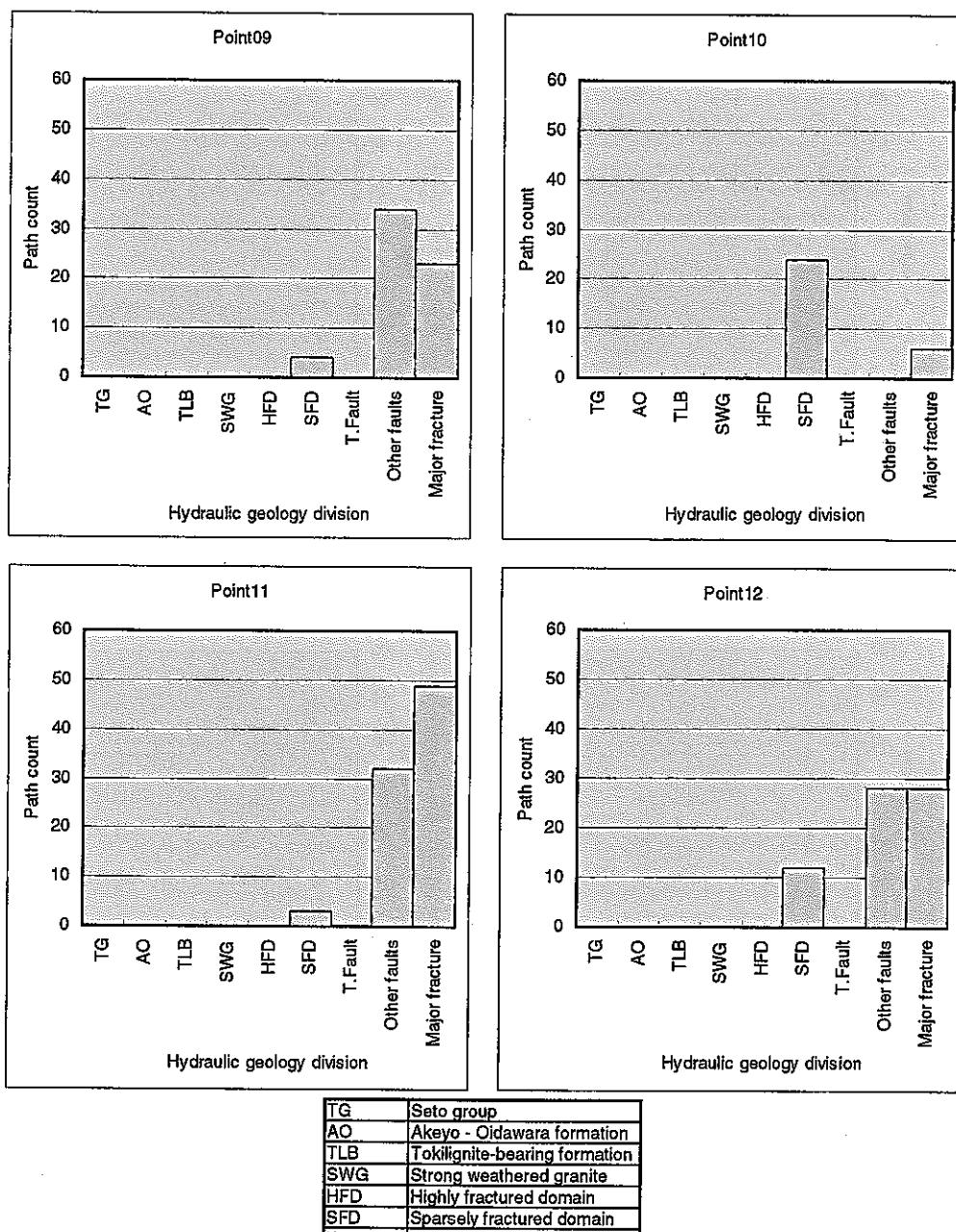
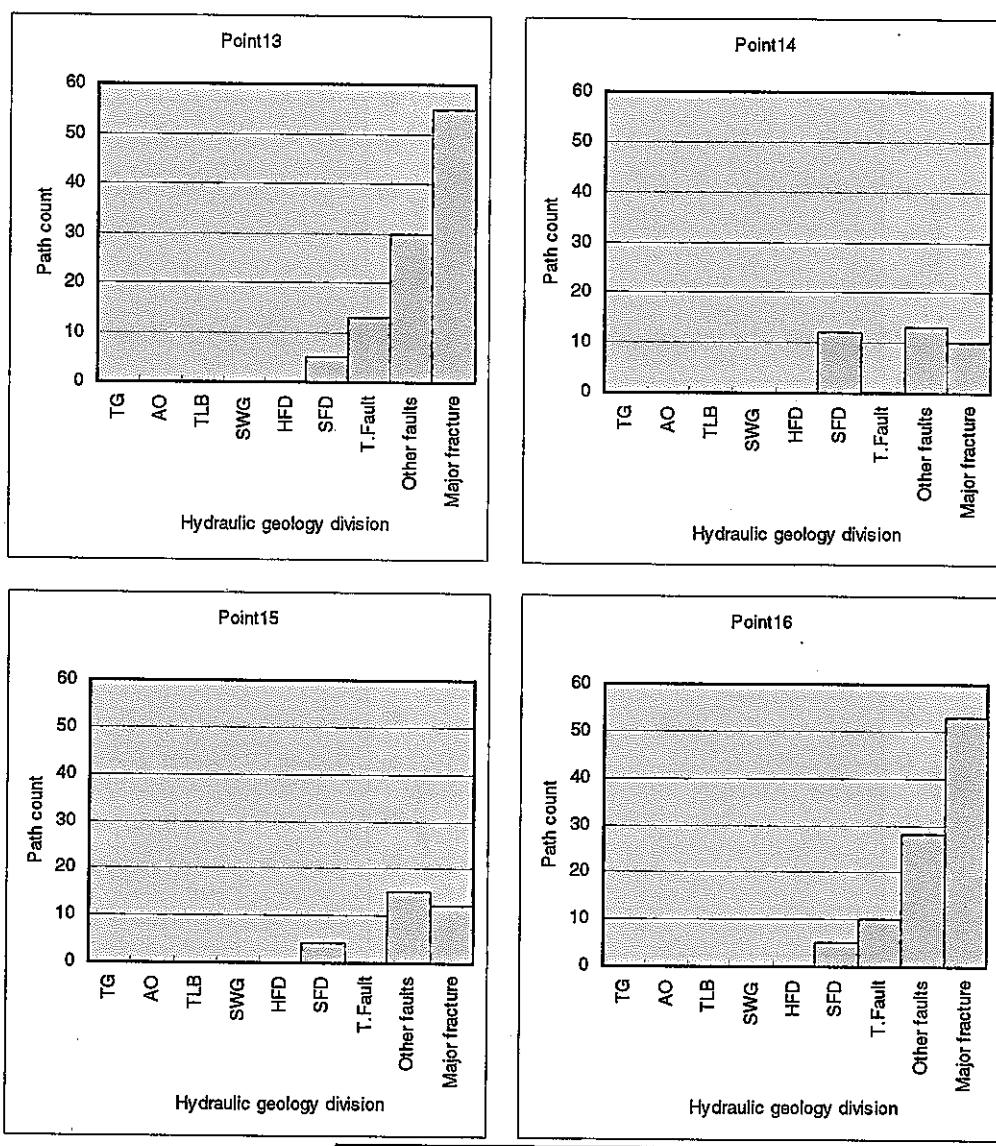
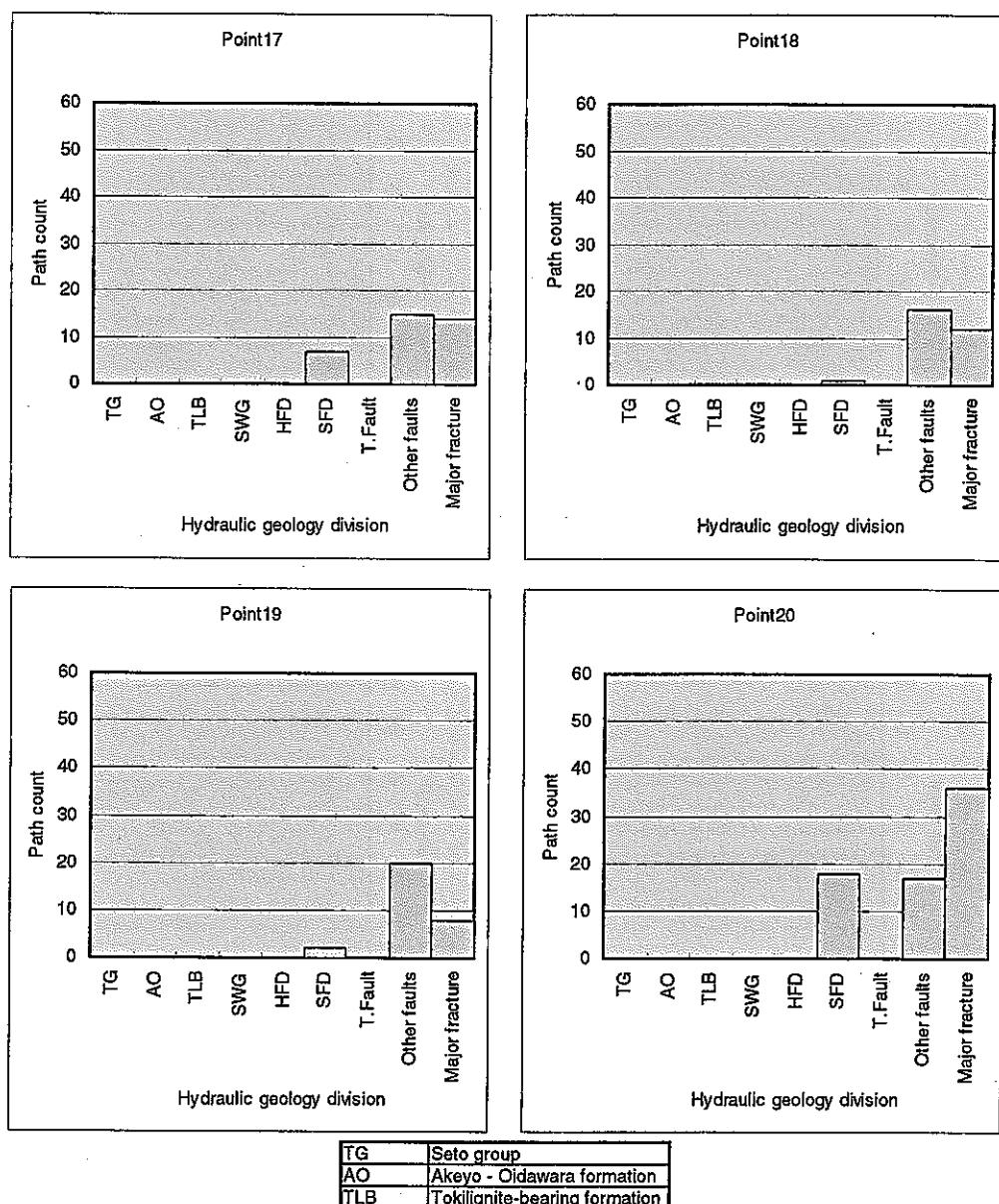


図 6.6-18 水理地質区分通過頻度(Point09~12)



TG	Seto group
AO	Akeyo - Oidawara formation
TLB	Tokilignite-bearing formation
SWG	Strong weathered granite
HFD	Highly fractured domain
SFD	Sparsely fractured domain
T.Fault	Tsukiyoshi fault

図 6.6-19 水理地質区分通過頻度(Point13~16)



TG	Seto group
AO	Akeyo - Oidawara formation
TLB	Tokilignite-bearing formation
SWG	Strong weathered granite
HFD	Highly fractured domain
SFD	Sparingly fractured domain
T.Fault	Tsukiyoshi fault

図 6.6-20 水理地質区分通過頻度(Point17~20)

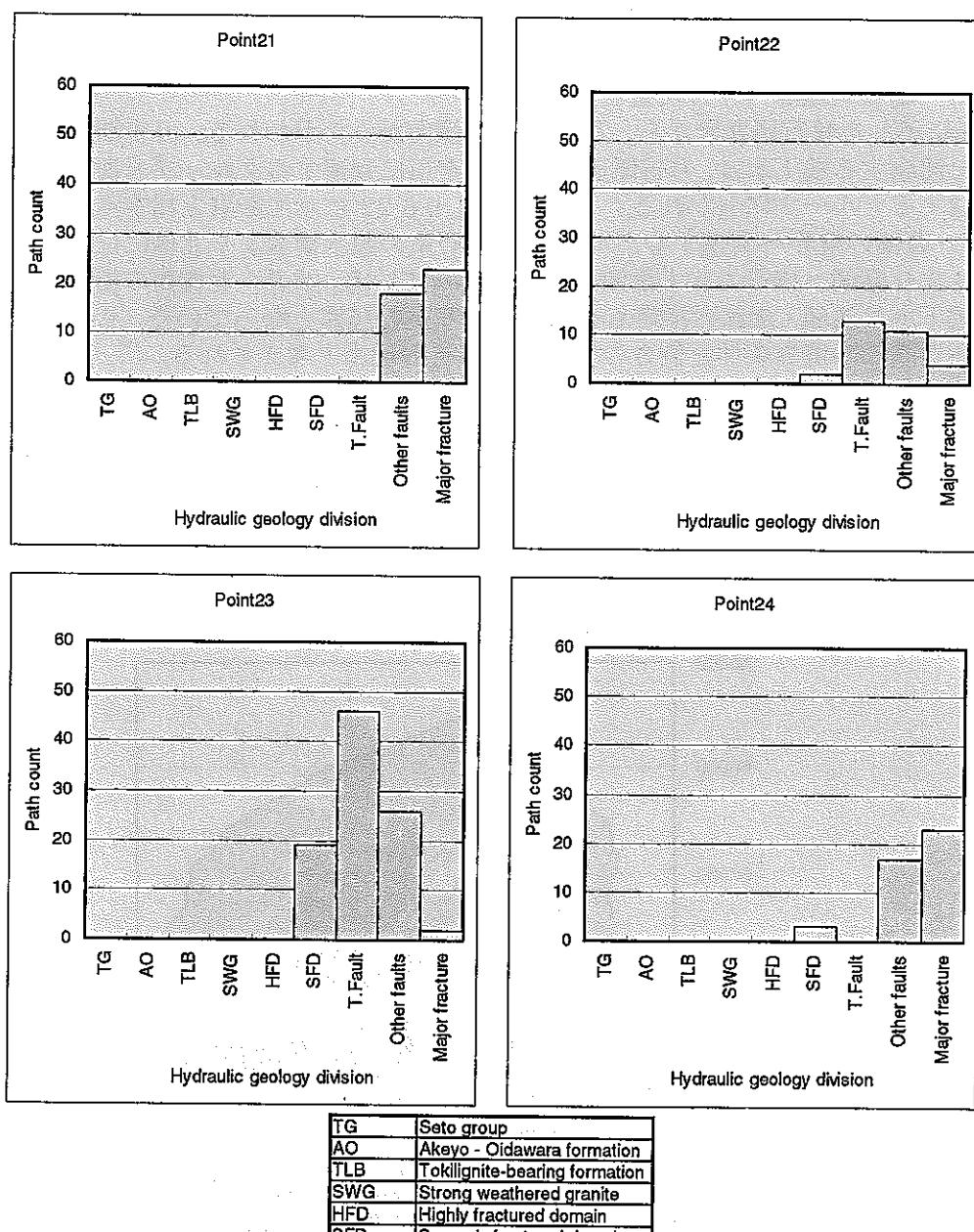


図 6.6・21 水理地質区分通過頻度(Point21~24)

TG	Seto group
AO	Akeyo - Oidawara formation
TLB	Tokilignite-bearing formation
SWG	Strong weathered granite
HFD	Highly fractured domain
SFD	Sparingly fractured domain
T.Fault	Tsukiyoshi fault

#### 6.6.2.5 地下水移行に関する考察

##### (1) 最終到達点（月吉断層北側指定点）

先に示した移行経路図から、次のような傾向がうかがわれる。月吉断層北側の指定点を通過する地下水は、月吉断層北側の日吉川に到達するグループと西側の境界面へ到達するグループに分かれる。これは、図 6.6-22 に示す断層と指定点との位置関係から、西側の境界へ到達するグループは EW 系の遮水構造より北側に位置しており、これより南側へ移行できず西側の境界へ至っている。また、北側西の指定点を通過する地下水は浅部・深部の指定点を問わず潜り込む経路となっている。これは領域北側の高標高部の境界条件と側方の境界条件がその理由と考えられる。

北側中央の指定点を通過する地下水は NW 系の遮水構造に沿うような形で、月吉断層北側に到達している。浅部の指定点を通過する地下水は大きな潜り込みがなく、深部の指定点ほど潜り込みが大きくなる。

北側東の指定点を通過する地下水は日吉川に沿う NE 系の断層に沿って月吉断層の北側に到達しており、北側中央とほぼ同じ位置に到達している。異なる点は浅部、深部にかかわらず、潜り込みがあまり見られない。

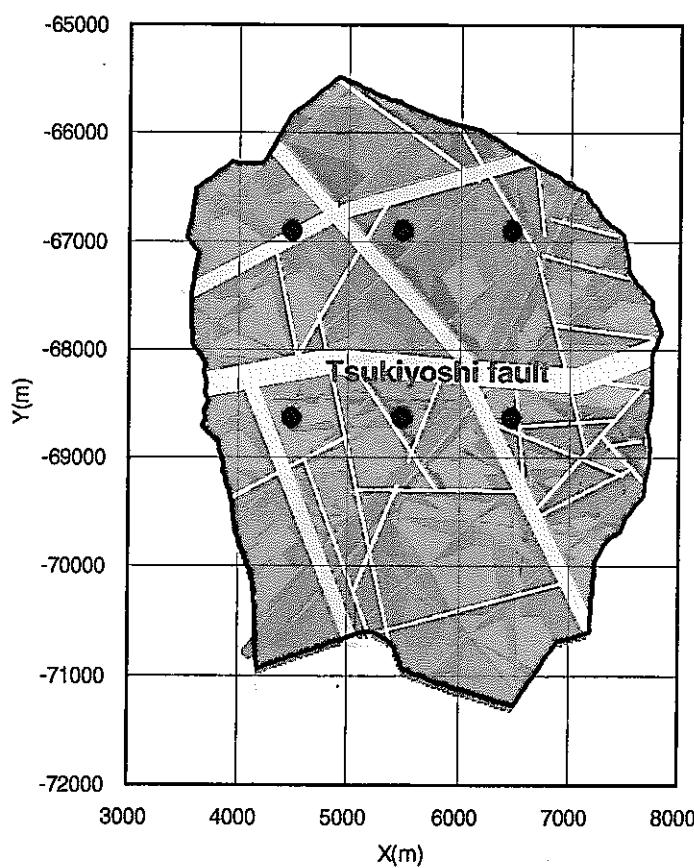


図 6.6-22 指定点と断層の位置関係

## (2) 最終到達点（月吉断層南側指定点）

月吉断層南側の指定点を通過する地下水は、月吉断層上盤側と、下盤側で明らかに傾向の異なるグループに分けられる。

上盤側の指定点は月吉断層に沿うような形で領域中央の日吉川付近に到達している。下盤側の指定点を通過する地下水は潜り込みが大きく、南側西指定点は西側の境界へ到達しており、西側側面の境界条件の影響を強く受けたものと考えられる。

南側中央の指定点を通過する地下水は EL.-1000mの指定点は潜り込みが大きく領域底面に沿って東側の境界へ至っている。しかし、EL.-750mの指定点を通過する地下水は、潜り込みは小さく中央日吉川付近に到達している。

## (3) 水理地質区分通過頻度

図 6.6-16～図 6.6-21 に示したように、地下水が通過している水理地質区分は断層または主要割れ目 (Major fracture) となっている。これは、領域のほとんどを占める土岐花崗岩・健岩部と主要割れ目または断層部の透水係数が 2 オーダー程度違っているためであり、水理地質概念モデルと同じ結果が得られているものと判断する。

## (4) 移行時間

指定点を通過して最終到達点までの移行時間を指定点毎にまとめたものを図 6.6-23 に示す。移行時間は北側西の指定点を通過する地下水の移行時間が全体的に高めの値となっており、30000～40000 年となっている。大部分は 3000 年～10000 年に分布しており、1000 年未満のものは Point18, 21, 22 である。Point18, 21 は南側東の指定点を通過し断層沿いに地表に至っている。Point22 は月吉断層沿いに西側境界へ至る流れである。

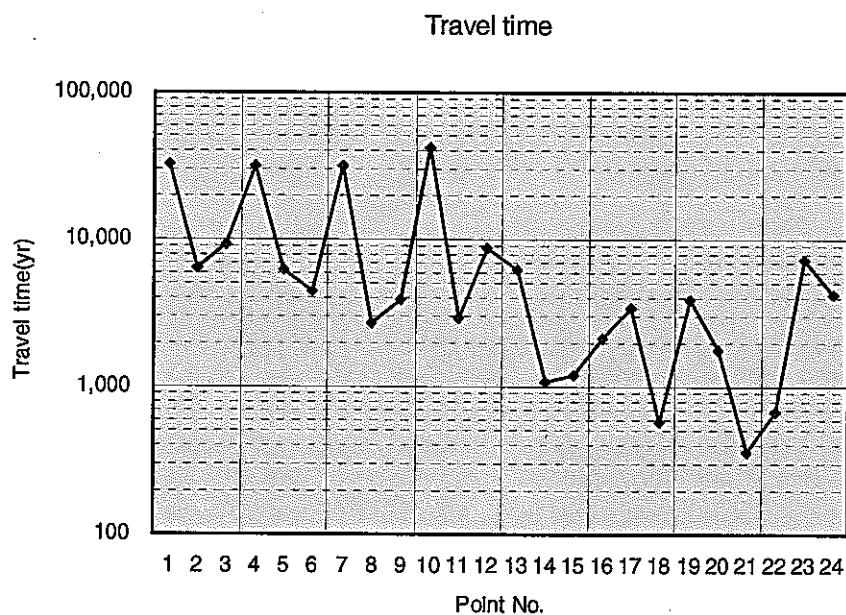


図 6.6-23 最終モデル・地下水移行時間

### (5) 移行距離

指定点を通過して到達点までの移行距離を指定点毎にまとめたものを図 6.6-24 に示す。最長が Point23 の 5000m 弱で潜り込みが大きく領域東側の側方境界へ到達しているものである。短いものは Point14,15 で 1000m 程度となっている。

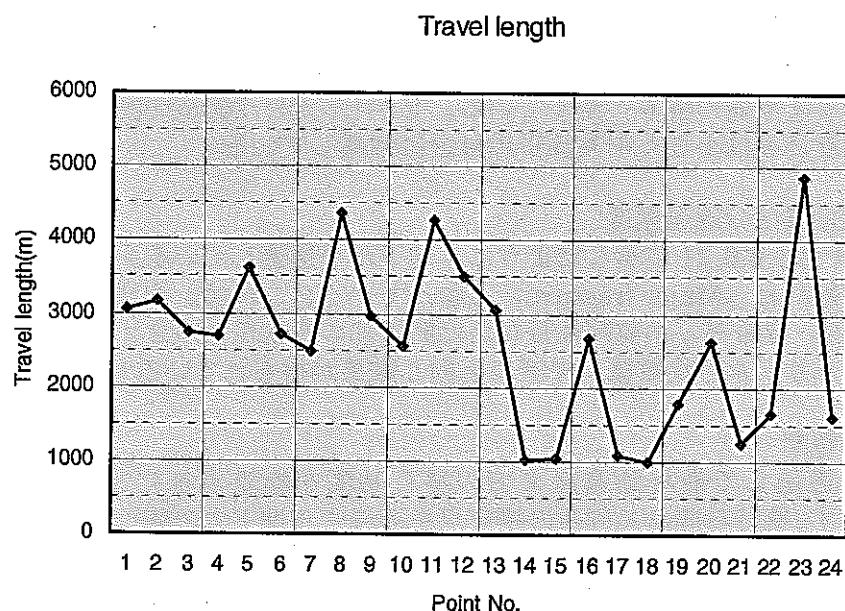


図 6.6-24 最終モデル・地下水移行距離

### (6) 移行経路と移行時間の関係

図 6.6-25 は移行距離と移行時間の関係をプロットした図である。この図より、概ね移行時間と移行距離に右肩上がりの相関が見られる。この傾向より離れるものは、月吉断層より北側西の指定点を通過するものであり、同程度の移行距離でありながら 2 万年程度の違いが現れている。この指定点を通過する地下水は深い潜り込みの後、西側の境界へ至る流れである。

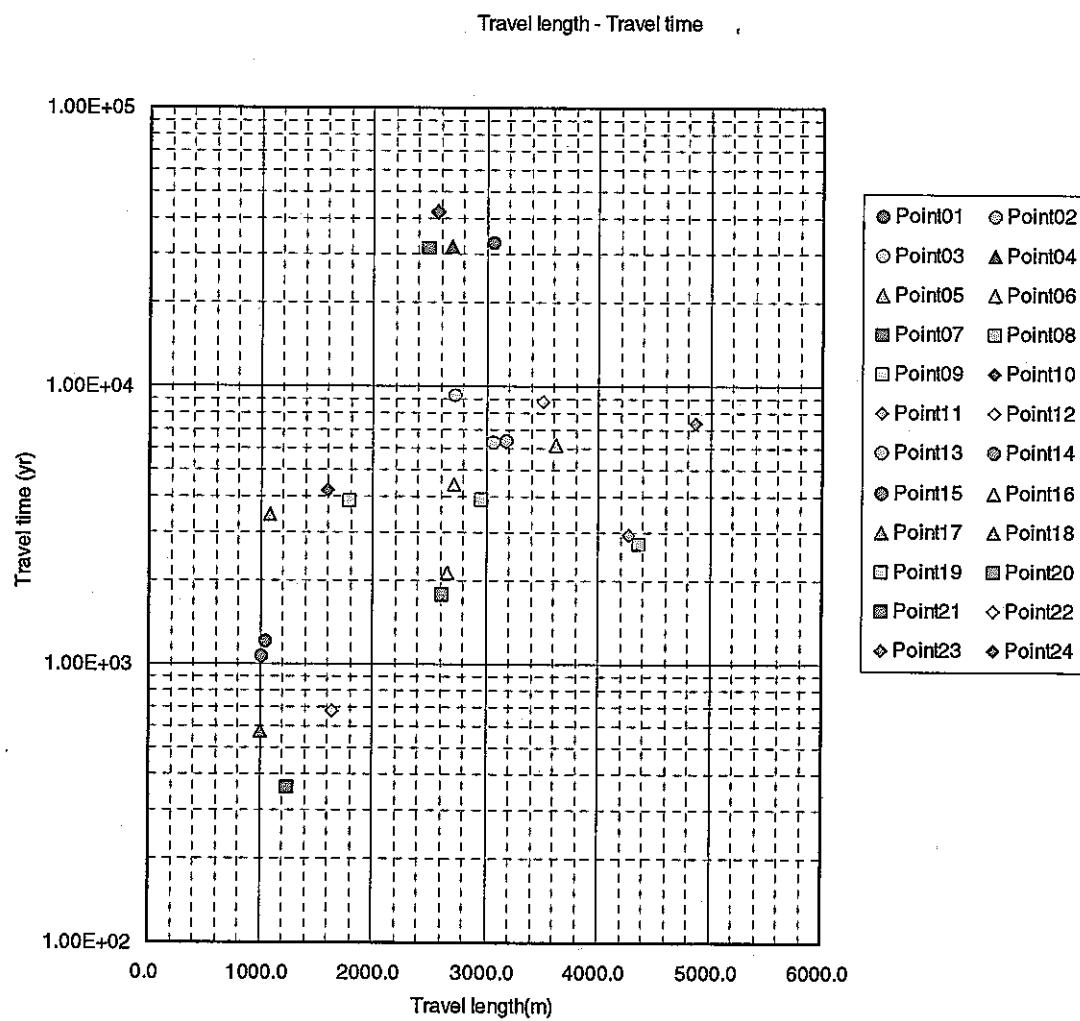


図 6.6-25 移行距離一移行時間の関係

## (7) 移行経路上の特性

以下に、移行経路上の特性を示す。図 6.6-26～図 6.6-32 に移行経路上の平均実流速、平均ダルシーカー流速、平均有効間隙率、各指定点を通過する単位流量、透水係数の頻度、有効間隙率の頻度、及び移行経路の要素タイプを示している。

平均ダルシーカー流速、実流速、有効間隙率調和的である。指定点ごとに値を比較すると、前述の移行時間、移行経路で特異な点となっていた、月吉断層北側西の指定点での値が軒並み低い値となっている。

また、図 6.6-30、図 6.6-31 に示す、移行経路上の透水係数の分布及び有効間隙率の頻度は、地下水の通過要素が、断層、主要割れ目を主体としていることから、それを反映した結果となっている。また、その中でも図 6.6-32 に見られるように、割れ目の交線部を大部分が流れていることがわかる。

これは、主要割れ目や断層の交差部では破碎が著しく高透水をなしているという基本的な考え方より、その部分の透水係数の設定を交差する割れ目の中で透水係数の最大値を与えることとしている。有効間隙率に関しては破碎が高くなれば、有効間隙率も高くなることを想定し、透水係数と同様の設定を行っている。

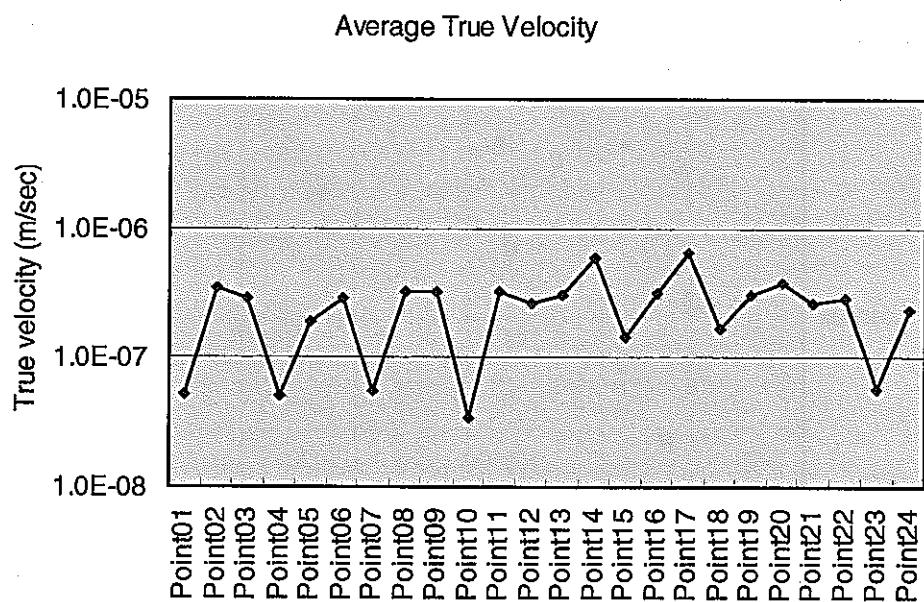


図 6.6-26 平均実流速の分布

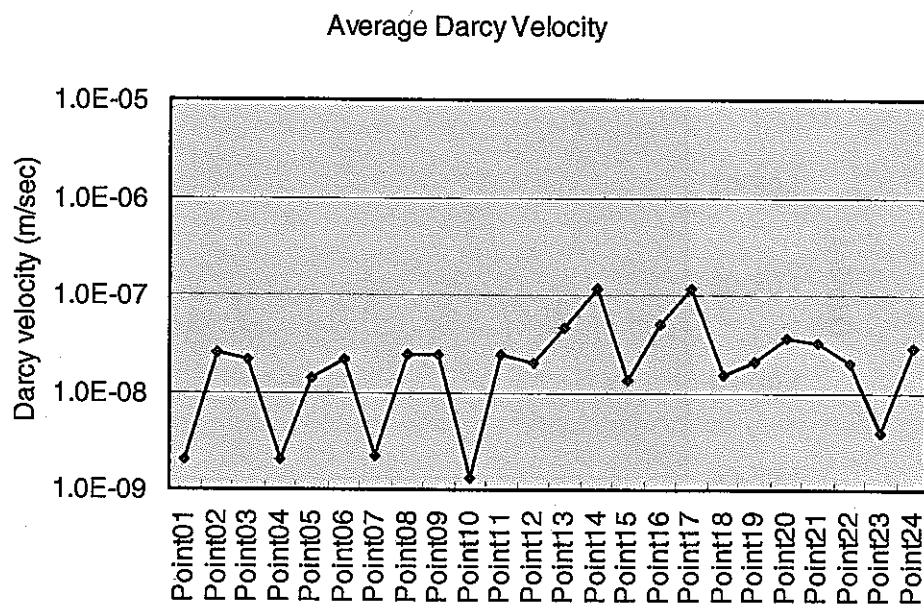


図 6.6-27 平均ダルシー流速

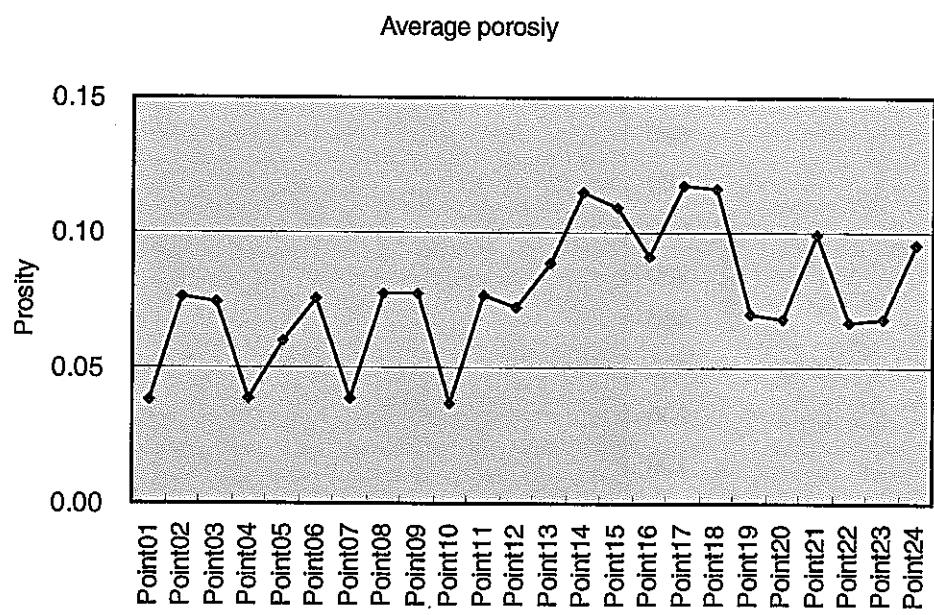


図 6.6-28 平均有効間隙率

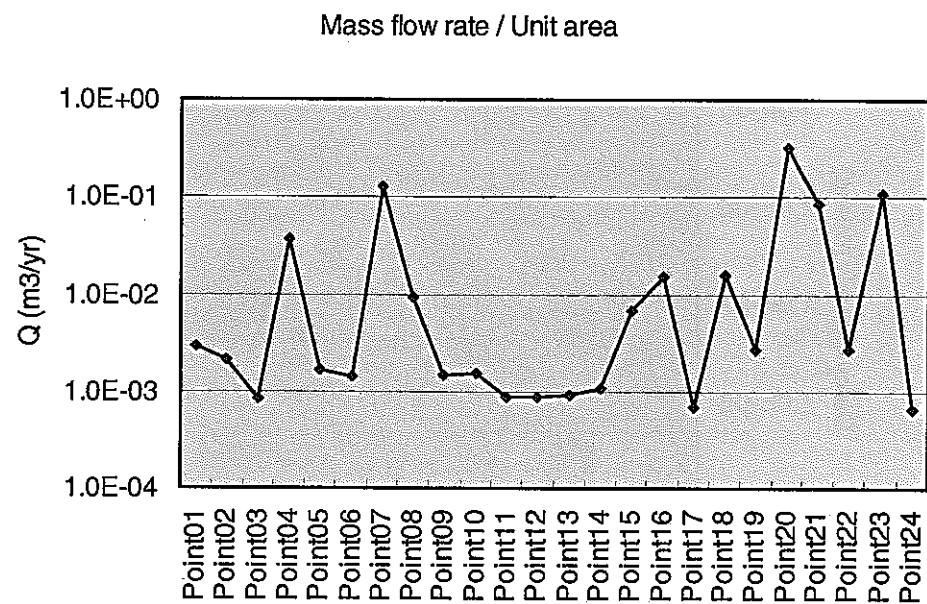


図 6.6・29 指定点単位通過流量

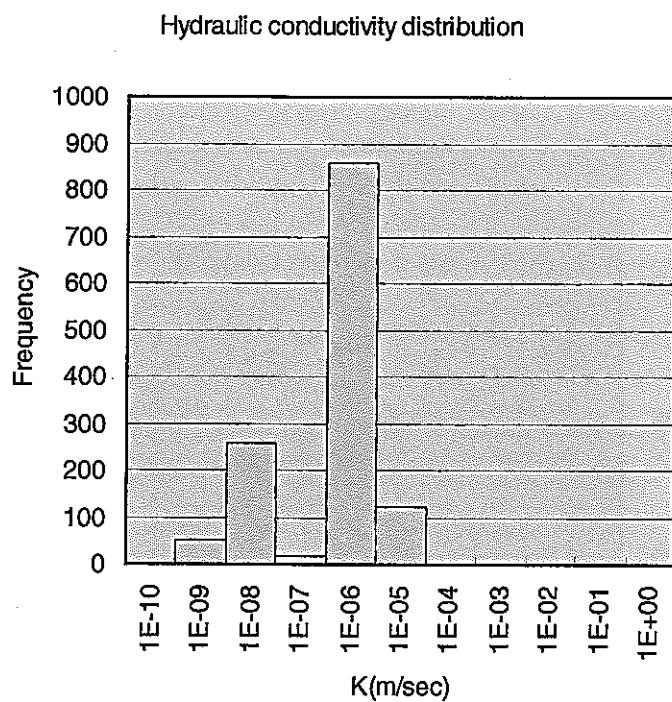


図 6.6・30 移行経路上の透水係数頻度

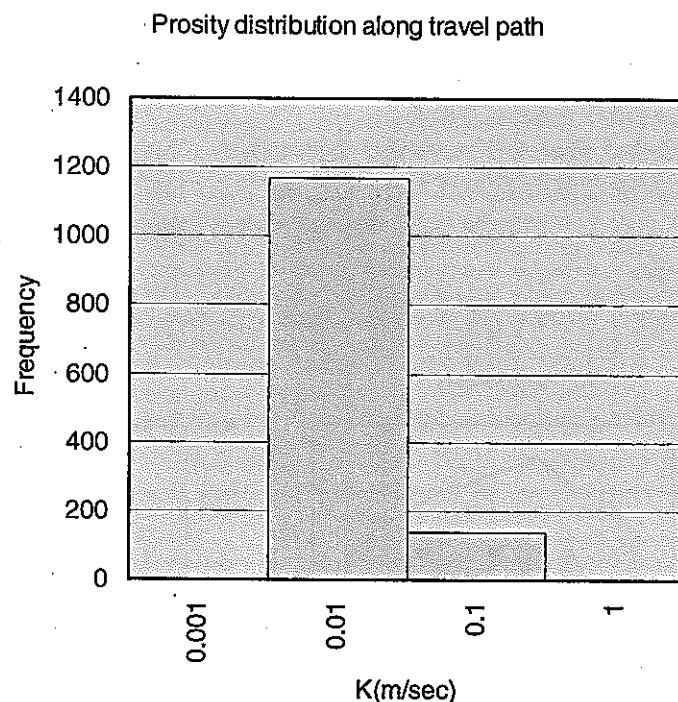


図 6.6-31 移行経路上の有効間隙率頻度

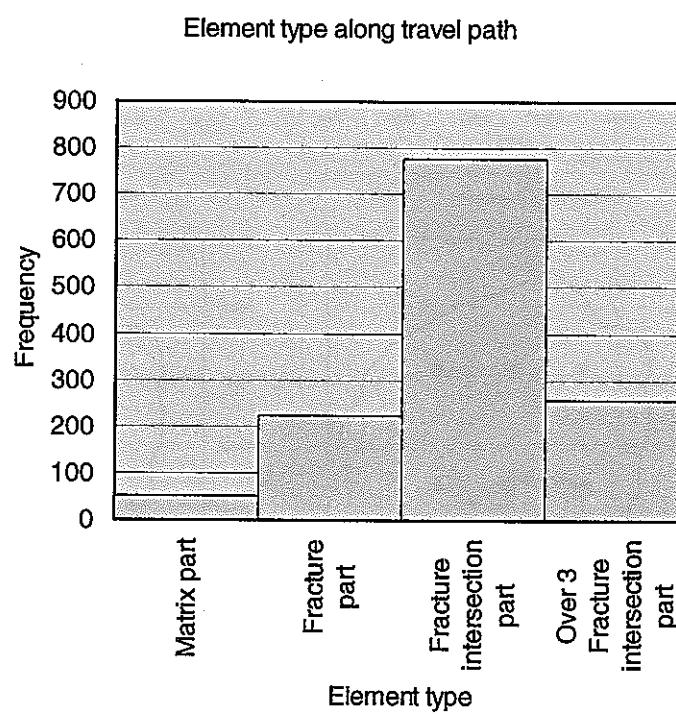


図 6.6-32 移行経路特性（要素のタイプ）

### 6.6.2.6 CND01 の条件と最終モデルの比較

前述の CND01 の地下水移行経路と最終モデルの移行経路の比較を行った。図 6.6-33 は移行経路の比較図である。

CND01 の条件と最終モデルの境界条件である CND02 の解析結果から得られる水頭値分布には大きな差は見られなかった。地下水の移行経路は境界条件が異なると大きく変わってくることがわかった。特に遮水構造や断層を扱う当モデルでは重要となると考えられる。

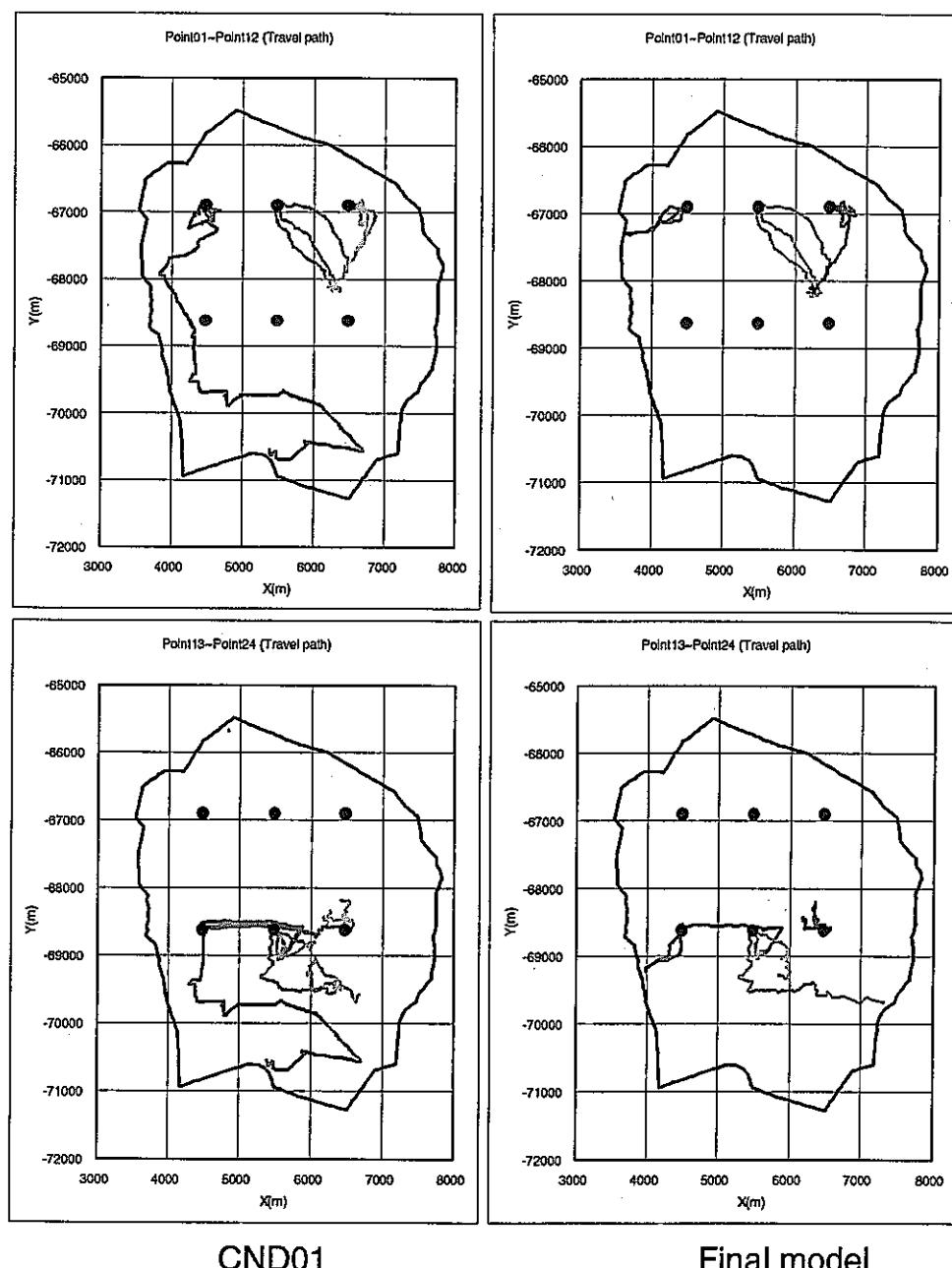
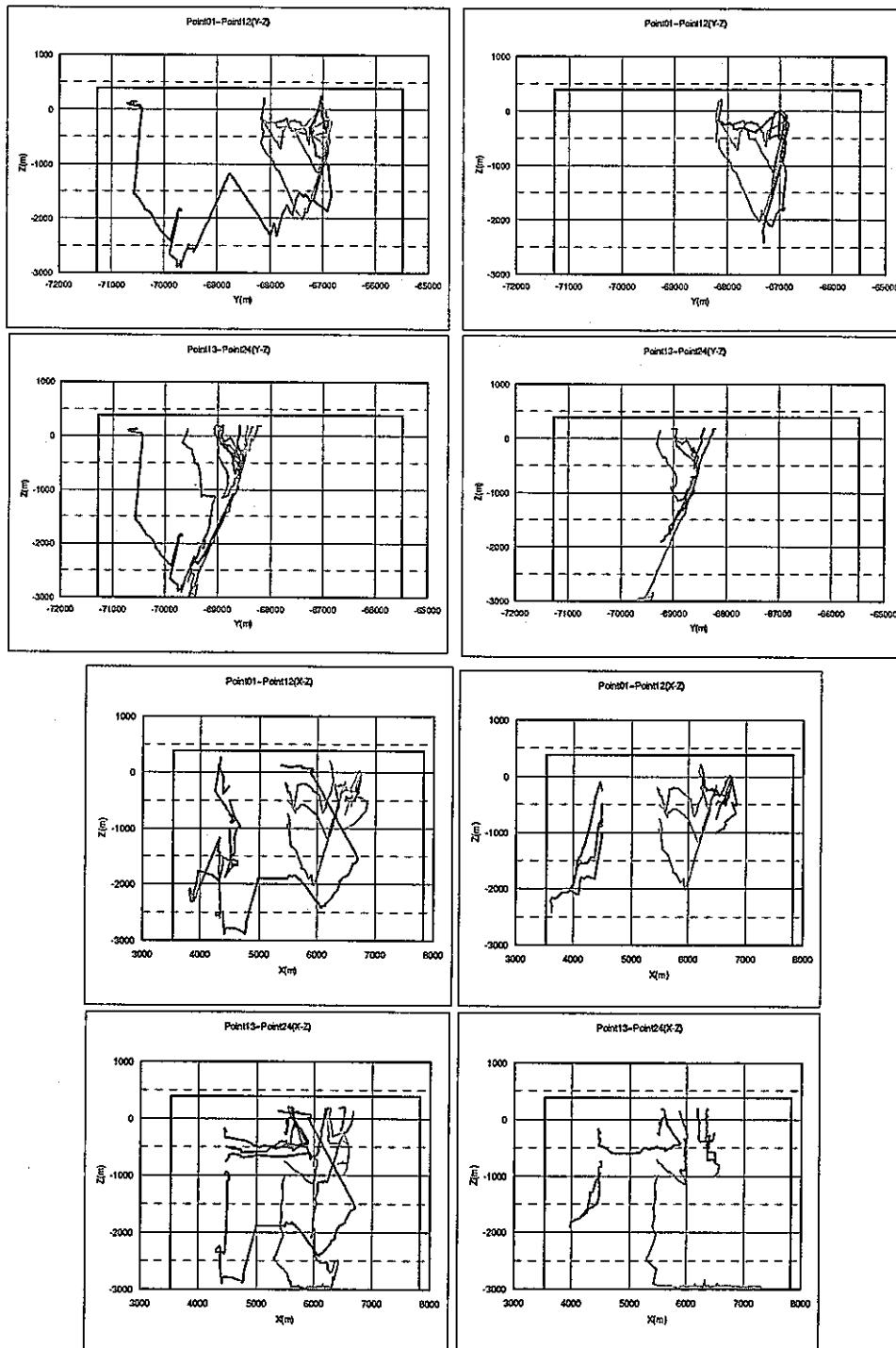


図 6.6-33 移行経路の比較 (1)



CND01

Final model

図 6.6-34 移行経路の比較 (2)

### 6.6.3 2001年モデルとの比較

モデルキャリブレーションで得られた最終モデルを2002年モデル、昨年度の実施した基本ケースを2001年モデルとして、新たに加わった情報からモデルがどのように変更されたかについて、ここにまとめる。

また、昨年度から今年度にかけて地下水流动解析モデルそのものを大きく変更している。その理由などに関しては6.2節で述べているのでここでは割愛する。

#### 6.6.3.1 新規の情報

昨年度から新たに加わった情報はMIU-4号孔の情報、及び長期揚水試験時の情報である。長期揚水試験時のデータは前述の長期揚水試験のシミュレーションで用い比貯留係数の推定などに用いた。MIU-4号孔の試錐調査データについては、

- ・水理試験結果の追加に伴う、透水係数の設定変更
- ・月吉断層 Fracture zone、コア部の厚さの変更  
などに用いている。

MIU-4号孔の試錐データは、BHTVデータより主要割れ目の検討に用いた。しかし、今回、水理地質区分として設定した上部割れ目帯中に大部分が分布していることから、抽出の対象外とした。上部割れ目帯の解釈より該当する部分は性状的に、主要割れ目と同等のものと判断した。

### 6.6.3.2 モデルの比較

#### (1) 堆積岩部

堆積岩部は、図 6.6-35 に示すように 2001 年モデルは花崗岩・強風化部を含めて 1 つの領域として設定している。一方、2002 年モデルは堆積岩を三層設定し、さらに花崗岩・強風化部も堆積岩と同様の扱いをしている。

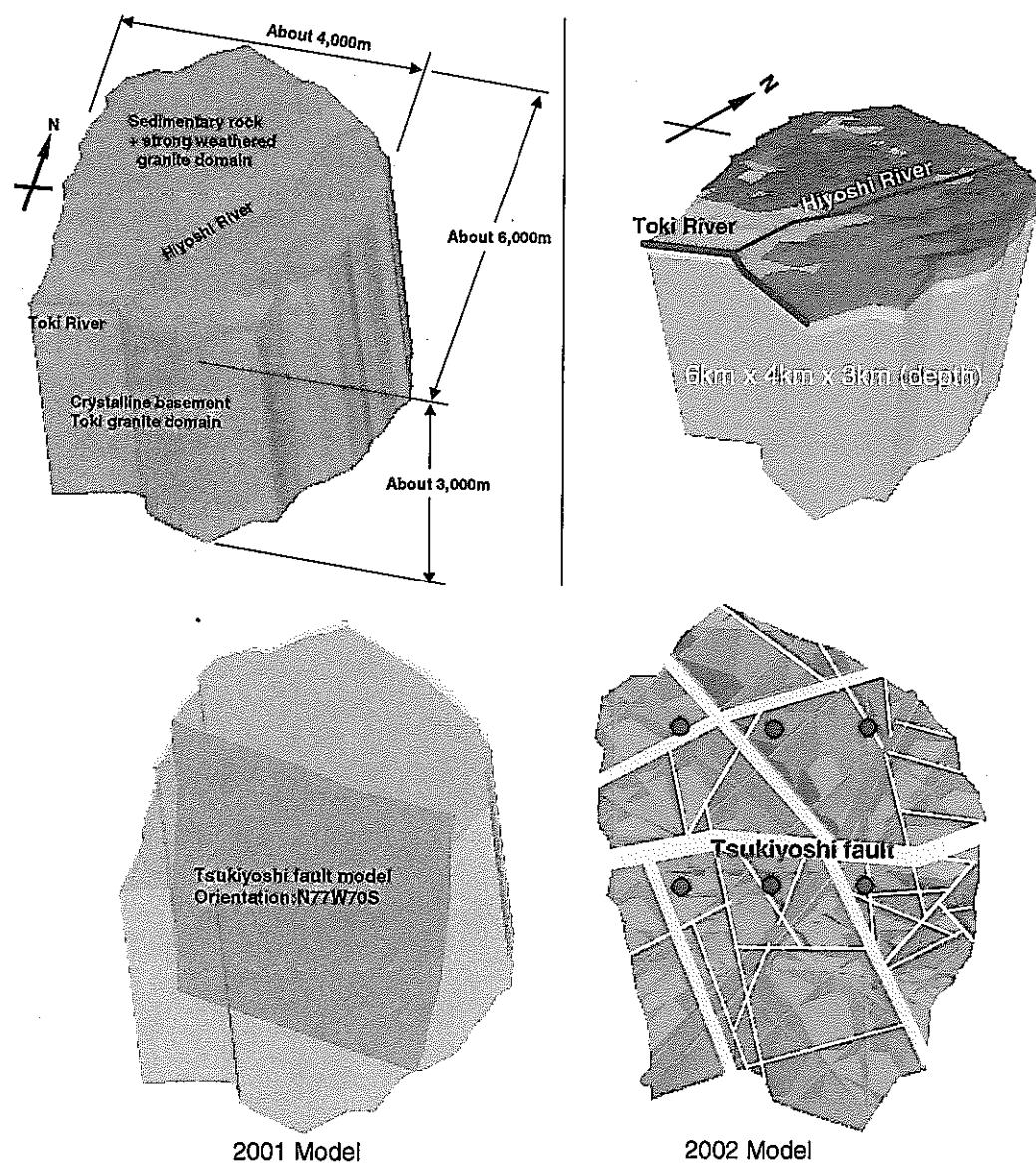


図 6.6-35 モデルの比較

## (2) 花崗岩部

花崗岩部は2001年モデルでは、主要割れ目とこれ以外のマイナーゲル目を含めた基質部のモデル化を行っており、ひとつの領域を設定している。2002年モデルでは前述のように上部割れ目帯を主要割れ目と同じような割れ目集中部として設定を行っている。また、この下位には花崗岩・健岩部を設定しており、花崗岩の中で二つの領域を形成している。

## (3) 主要割れ目

いずれのモデルも花崗岩・健岩部に対して生成している。データの見直しに伴い若干異なる。2001年モデルではMIUサイトの試錐孔のデータを使用して主要割れ目の選別を行っている。2002年モデルでは、DH孔のデータを含め主要割れ目の選別を行っている。

#### (4) 断層

断層モデルに関しては、2001年モデルは月吉断層のみをモデル化している。2002年モデルは前述のように、領域中に見られるリニアメントを断層として設定している。ただし、月吉断層と同様に遮水構造を有する断層の分布については、トライアル・アンド・エラーにより設定している。また、遮水構造を有さないモデルは主要割れ目の延長に考へている。ただし、主要割れ目は花崗岩・健岩部のみに生成しており、断層は堆積岩中にも生成している。(図 6.6-36, 図 6.6-37 参照)

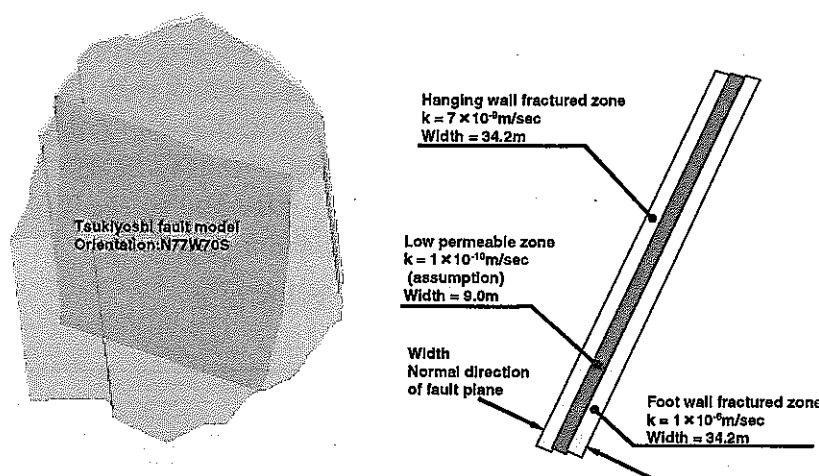


図 6.6-36 2001 年モデル 月吉断層モデル

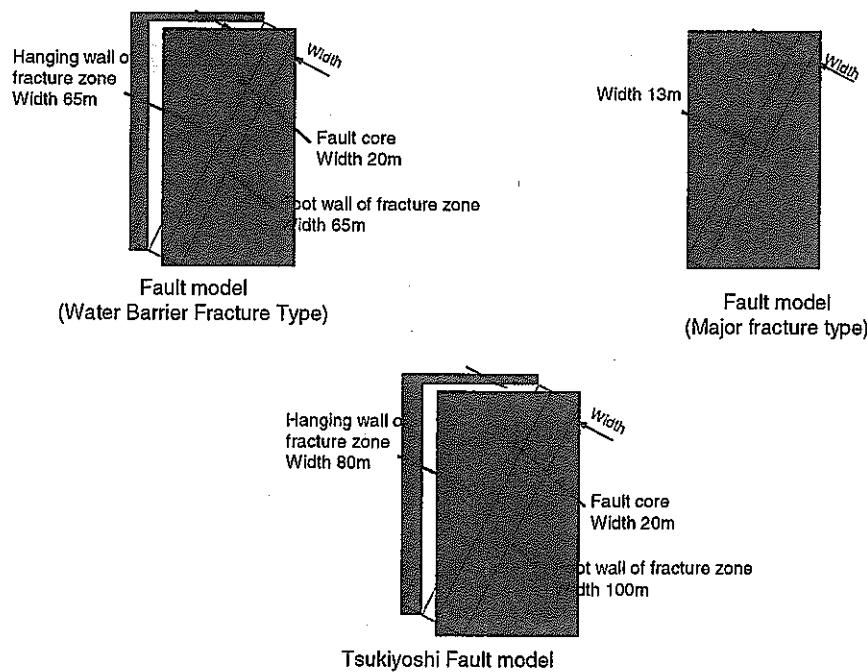


図 6.6-37 2002 年モデル 月吉断層。および他の断層モデル

### 6.6.3.3 物性値の設定

2001年モデルと2002年モデルでは、堆積岩の有効間隙率の設定が大きく異なる。これは2001年モデルでは堆積岩も花崗岩健岩部の基質部と同様に Minor fracture を主体とした透水媒体とみなしていた。一方、2002年モデルでは、堆積岩の性状等から多孔質媒体として基質部を設定したほうが適当と判断し一律30%とした。風化部を除く花崗岩部は、花崗岩の透水係数と有効間隙率に関する経験式を参考に設定を行っている。

透水係数に関しては、2001年モデルでは、月吉断層( Fracture zone )、主要割れ目パターン位置における水理試験結果をそれぞれに反映させていた。

2002年モデルでは、主要割れ目部に関しては花崗岩健岩部中の Fractured 部における水理試験結果の平均値をすべての主要割れ目に反映させた。月吉断層に関しては、簡易地質柱状図のコメント等を参考に断層部とみなされている位置における水理試験結果の平均値を反映しており、その他の断層についてもこの値を一律与えている。また、遮水構造に関しては両モデルともに同じ  $1.0 \times 10^{-10} \text{ m/sec}$  (有効間隙率30%)と設定している。2001年モデルの物性値を表 6.6-2 に示す。

表 6.6-2 2001 モデル物性値

2001 Model							
Domain	Hydro geology		Hydraulic conductivity			Ss(1/m)	Porosity
			Kx(m/sec)	Ky(m/sec)	Kz(m/sec)		
1	Sedimentary rocks + Strong weathered granite		6.0E-07				0.03
2	Intact granite		2.0E-09			1.0E-07	0.02
1,2	Tsukiyoshi Fault	Fault zone1	1.0E-06				0.04
		Fault zone2	1.0E-10			1.0E-07	0.3
		Fault zone3	7.0E-09				0.01
		Major fracture1	6.0E-07				0.03
2	Major fracture	Intact granite*	Major fracture2	7.0E-08			0.02
			Major fracture3	2.0E-07		1.0E-07	0.03
			Major fracture4	4.0E-07			0.05
			Major fracture5	4.0E-06			0.03
			Major fracture6	4.0E-07			0.03

#### 6.6.3.4 境界条件

それぞれのモデルの境界条件を図 6.6-38 に示す。

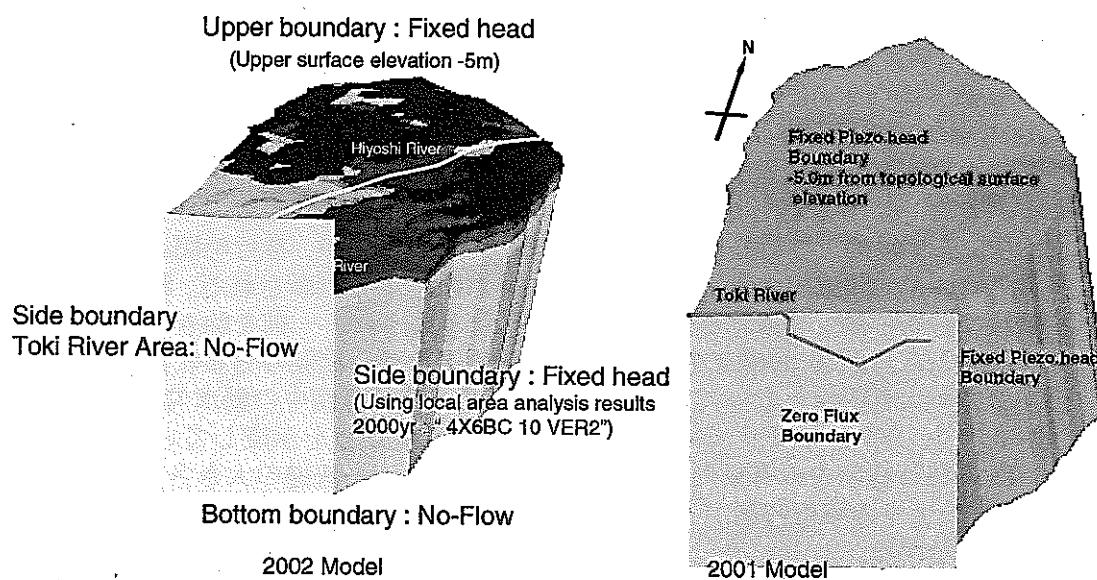


図 6.6-38 境界条件

### 6.6.3.5 地下水流動解析結果の比較

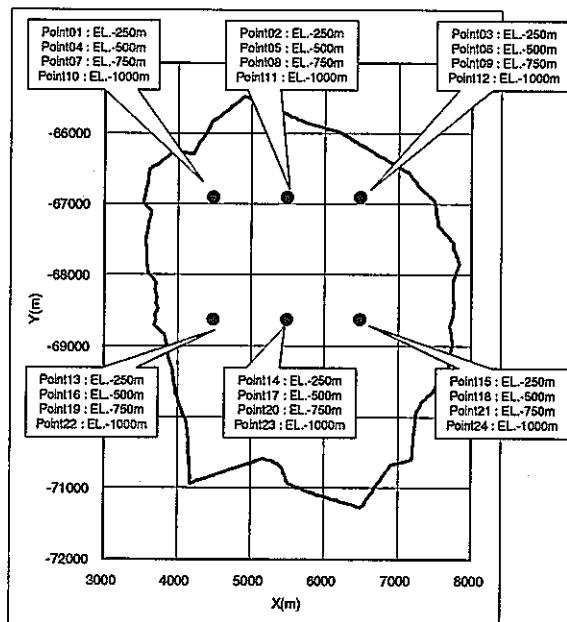
表 6.6-3 に示す指定点を通過する地下水の移行経路の移行時間、移行距離および到達点に関する比較を行った結果を以下に示す。

図 6.6-39 は 2002Model と 2001Model の移行経路を平面上に投影した図である。2002 年モデルには月吉断層の他にリニアメント分布より多数の断層を設定しており、この影響が強く 2001 年モデルと比較して強く現れている。

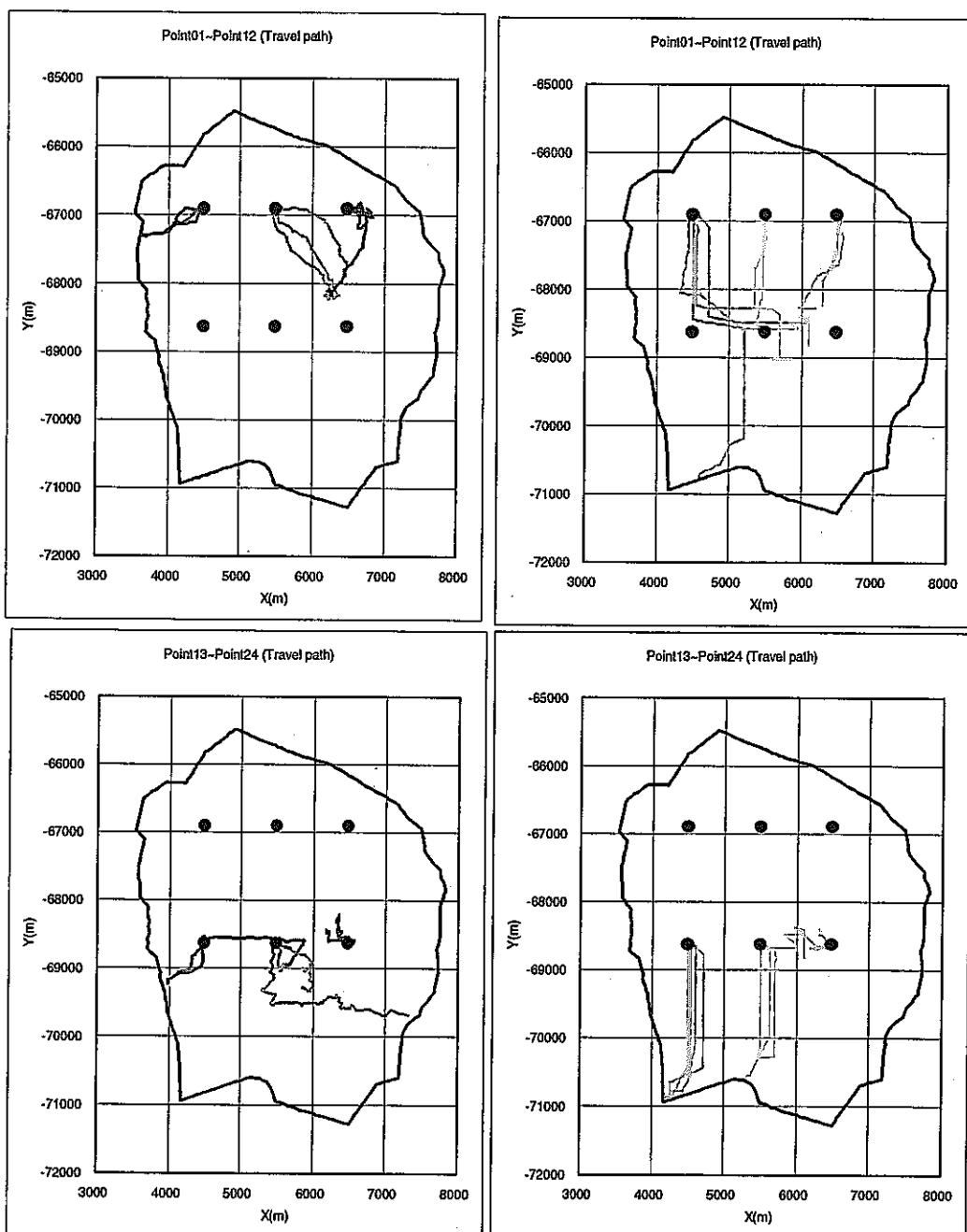
2001 年モデルは、南北方向に移行経路が延びるが、これは図 6.6-41 の地下水移行経路の水理地質区分通過頻度が示すように、Major fracture 5 の透水性が高いことによる。また、図 6.6-42、図 6.6-43 に、移行時間、及び移行距離のモデル間の比較図を示す。モデル間で移行経路に大きな差は見られないが、移行時間には大きな違いが見られ、有効間隙率の設定の違いが反映されたものと判断される。移行経路中の透水係数の分布に関しては、図 6.6-44 にみられるように、一部を除き大きな差は見られない。また、図 6.6-46 の移行経路中の平均ダルシーアーチの分布状況は 2001 年モデルの方が大きい値となっている。したがって、移行経路中の動水勾配が 2002 年モデルよりも 2001 年モデルのほうが大きいということを示唆している。また、図 6.6-45 の移行経路中の有効間隙率の分布から、ダルシーアーチ流速の大きさ、とあいまって 2001 年モデルの移行時間が 2002 年モデルよりも 1 オーダーの差となって現れていることがわかる。

したがって、有効間隙率の設定の違いを考慮してもダルシーアーチ流速そのものに差が現れていることから、2001 年モデルは移行時間の早いモデルとなっているといえる。この結果は指定点を通過する単位流量にも現れている。

表 6.6-3 指定点一覧



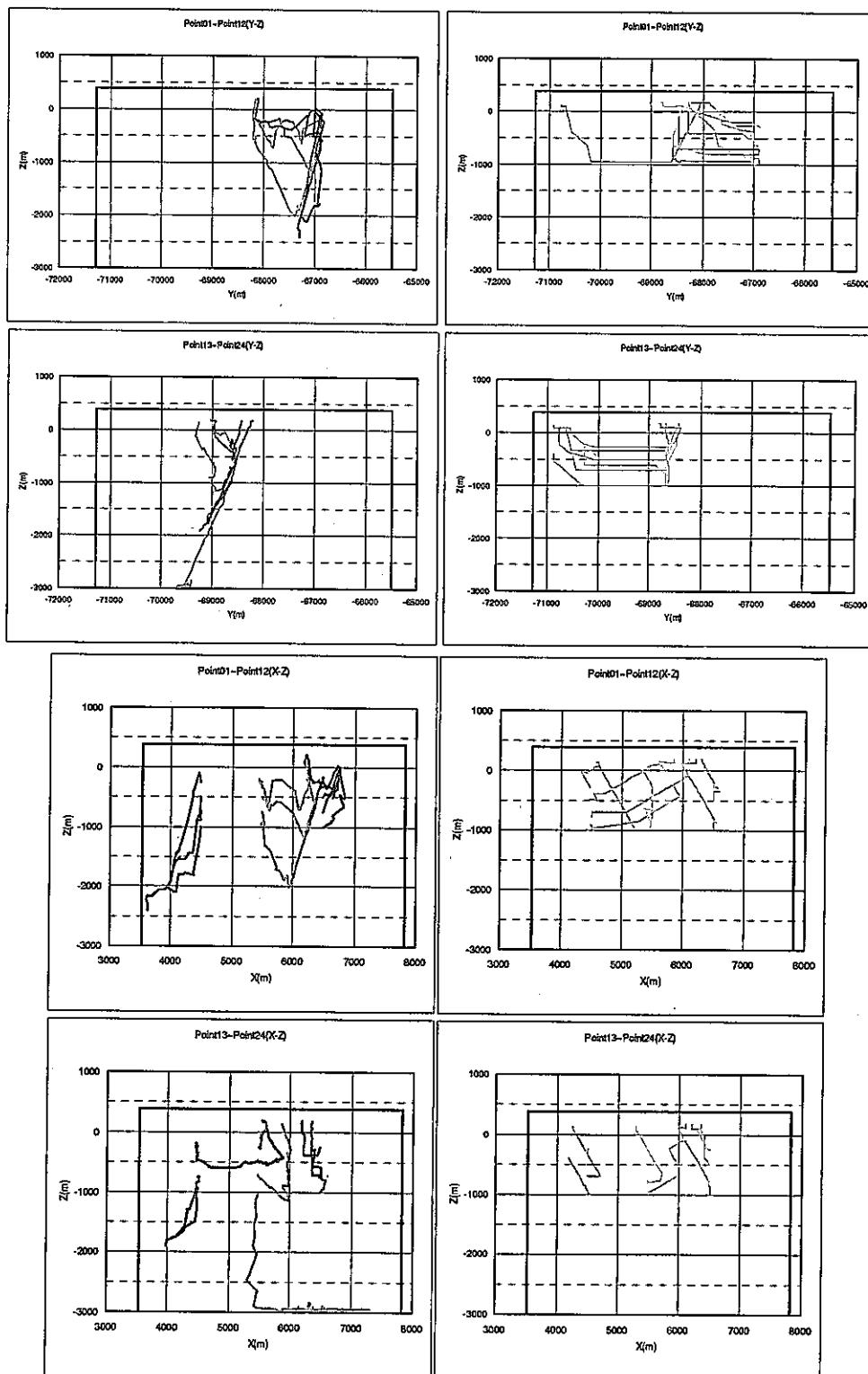
	X	Y	Z
Point01	4488.83	-66900.00	-250.00
Point02	5488.83	-66900.00	-250.00
Point03	6488.83	-66900.00	-250.00
Point04	4488.83	-66900.00	-500.00
Point05	5488.83	-66900.00	-500.00
Point06	6488.83	-66900.00	-500.00
Point07	4488.83	-66900.00	-750.00
Point08	5488.83	-66900.00	-750.00
Point09	6488.83	-66900.00	-750.00
Point10	4488.83	-66900.00	-1000.00
Point11	5488.83	-66900.00	-1000.00
Point12	6488.83	-66900.00	-1000.00
Point13	4488.83	-68629.36	-250.00
Point14	5488.83	-68629.36	-250.00
Point15	6488.83	-68629.36	-250.00
Point16	4488.83	-68629.36	-500.00
Point17	5488.83	-68629.36	-500.00
Point18	6488.83	-68629.36	-500.00
Point19	4488.83	-68629.36	-750.00
Point20	5488.83	-68629.36	-750.00
Point21	6488.83	-68629.36	-750.00
Point22	4488.83	-68629.36	-1000.00
Point23	5488.83	-68629.36	-1000.00
Point24	6488.83	-68629.36	-1000.00



2002 Model

2001 Model

図 6.6-39 地下水移行経路の比較 (1)



2002 Model

2001 Model

図 6.6-40 地下水移行経路の比較 (2)

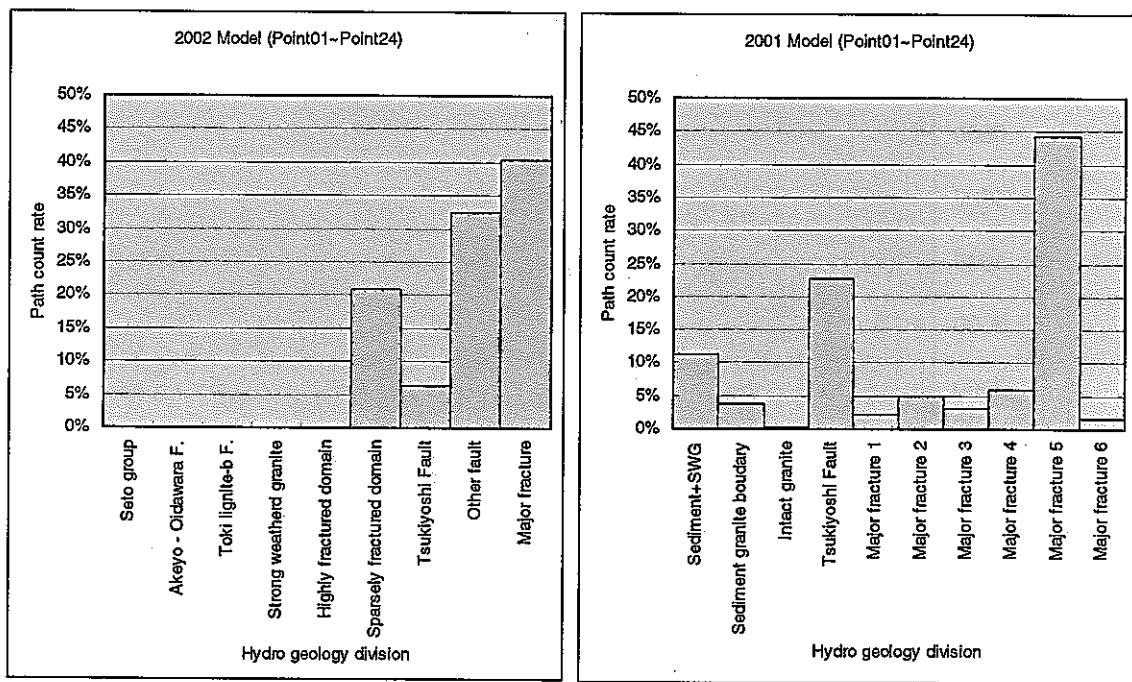


図 6.6-41 地下水移行経路の水理地質区分

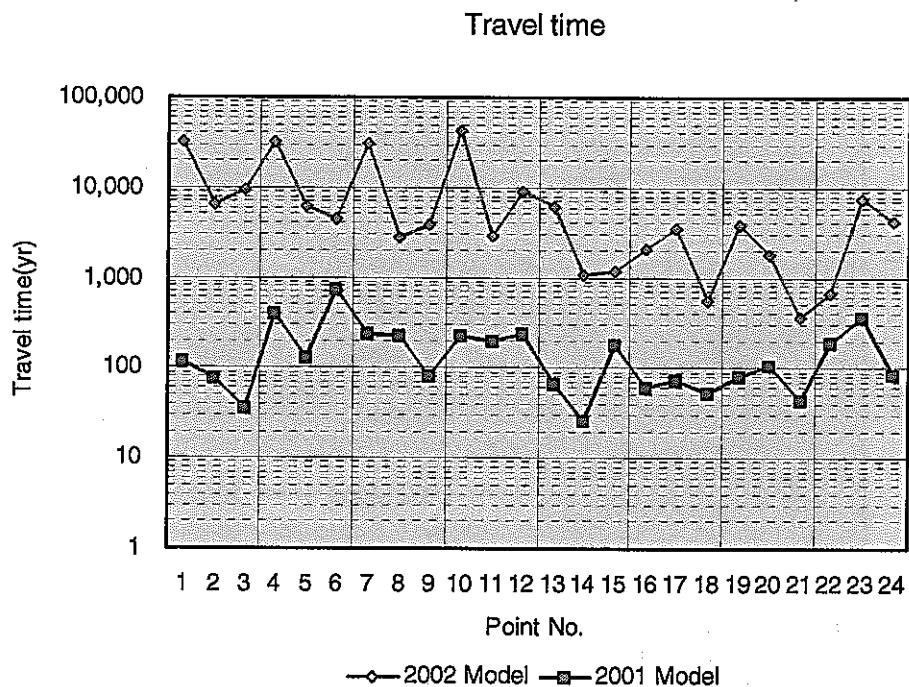


図 6.6-42 移行時間の比較

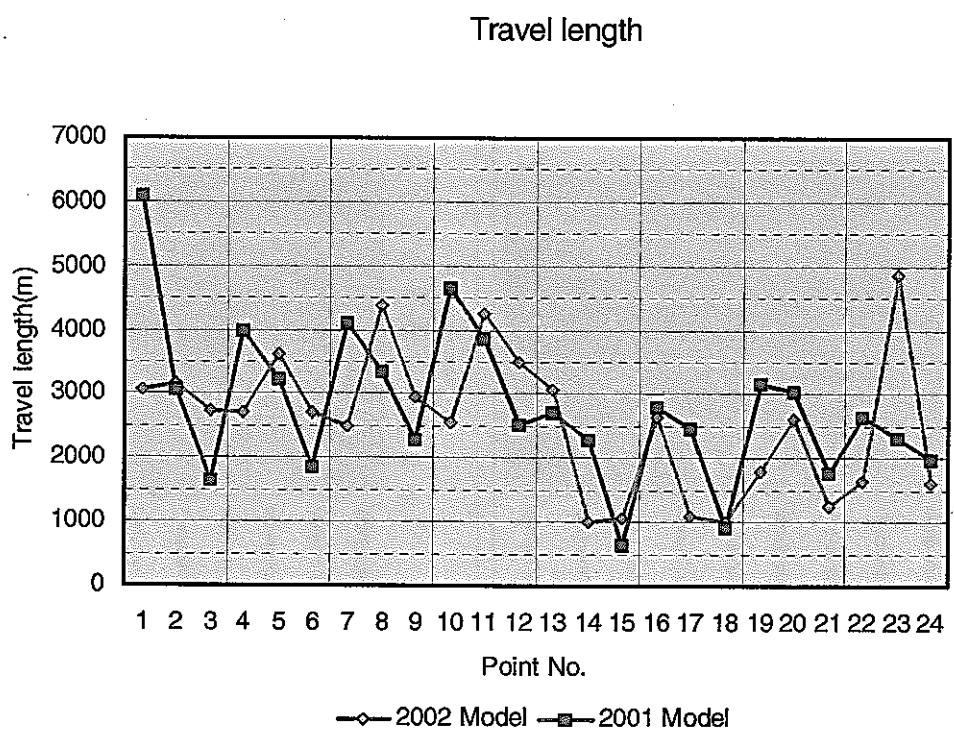


図 6.6-43 移行距離の比較

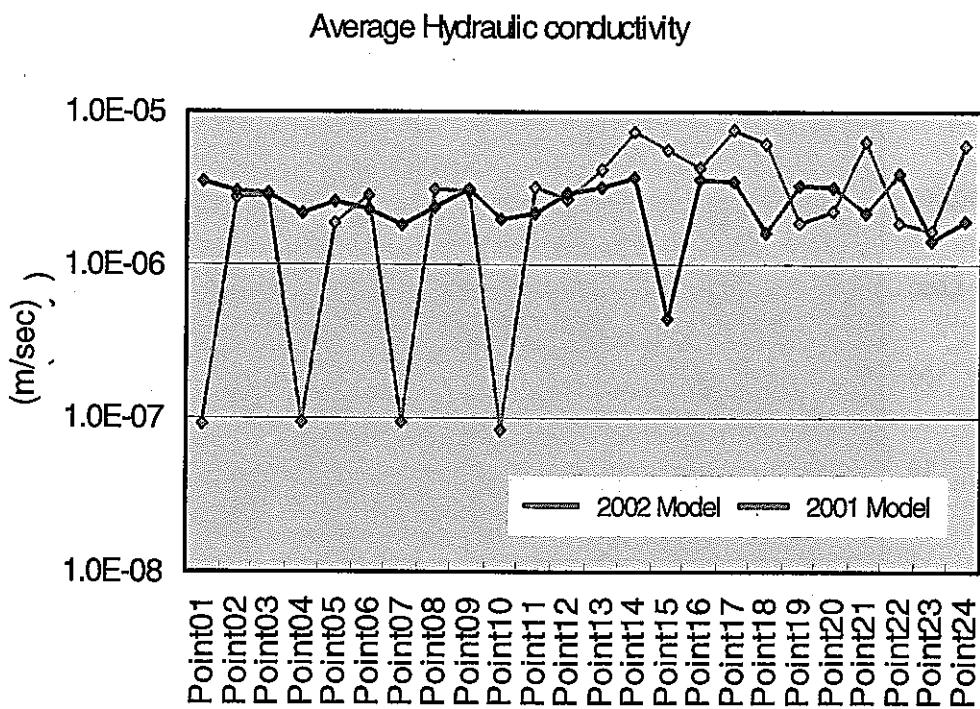


図 6.6-44 移行経路中の平均透水係数

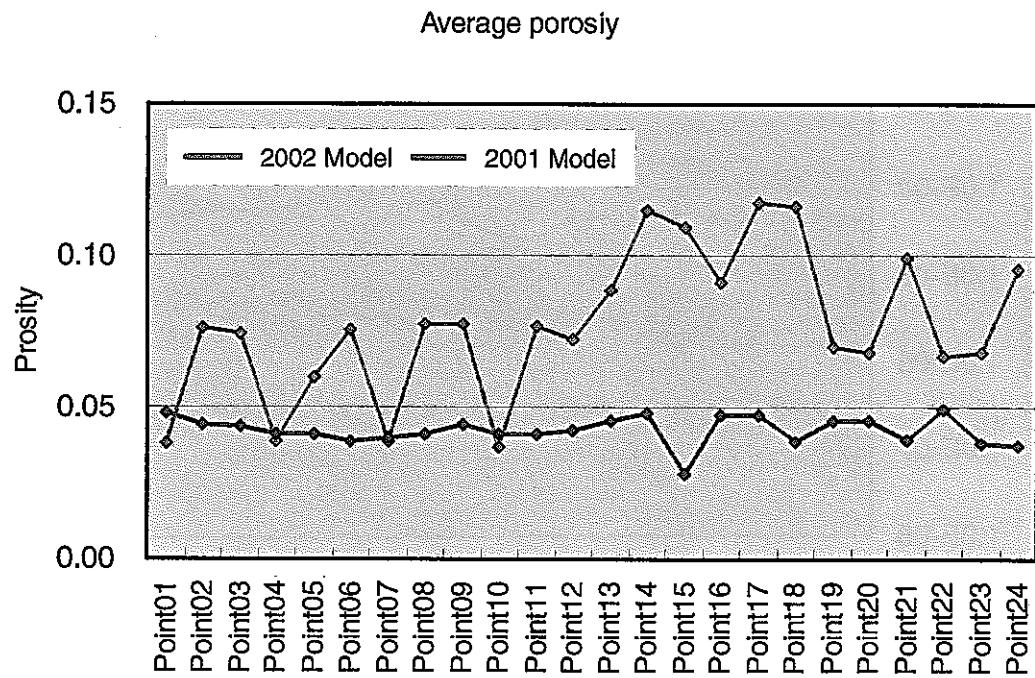


図 6.6-45 移行経路中の平均有効間隙率の分布

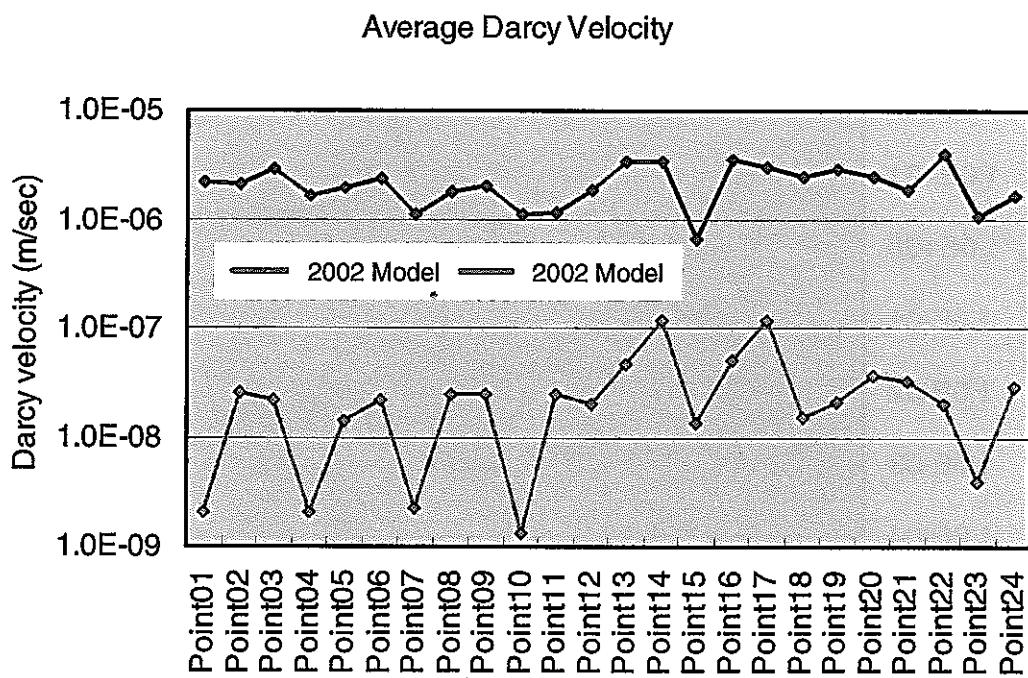


図 6.6-46 移行経路中の平均ダルシー流速の分布

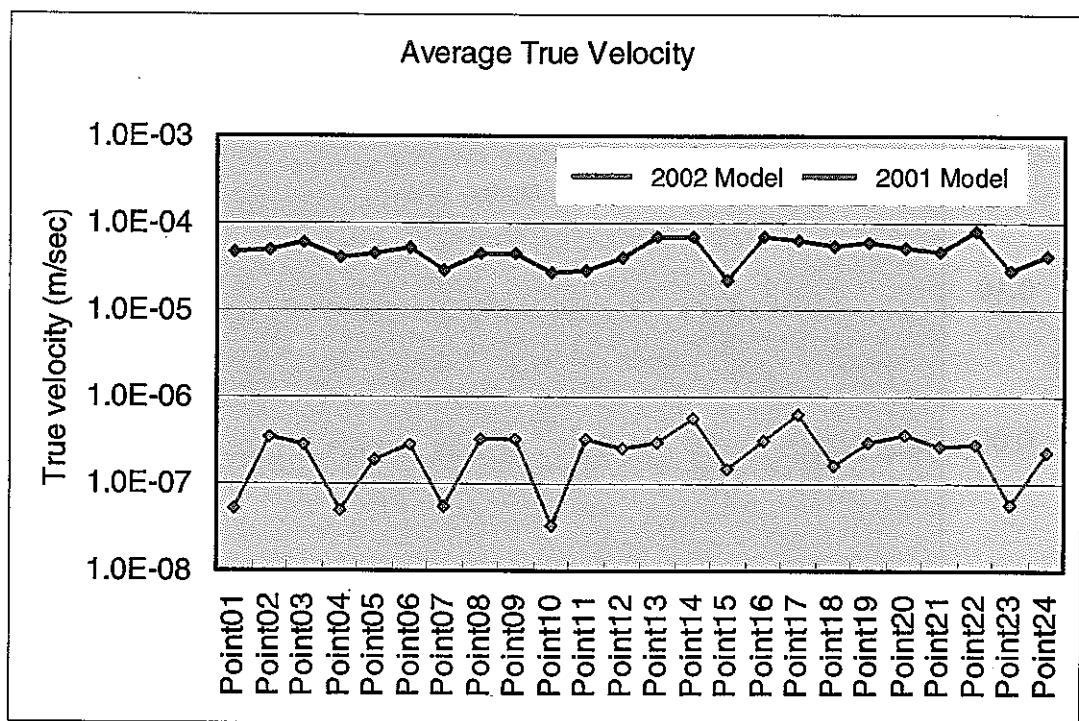


図 6.6-47 移行経路中の平均実流速

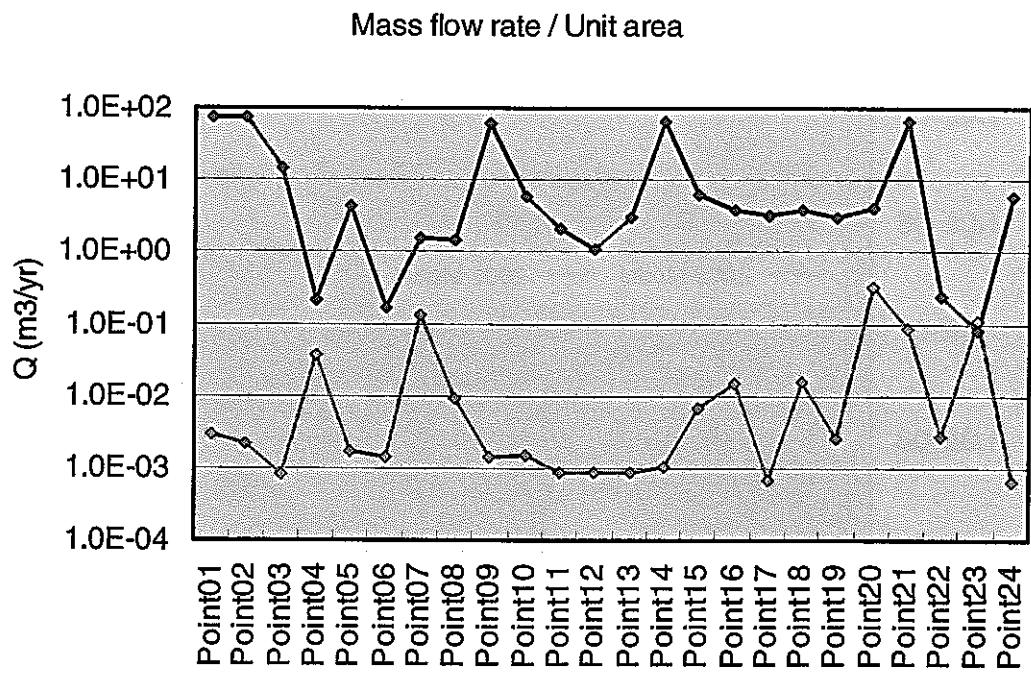


図 6.6-48 指定点における単位通過流量

## 6.7 まとめ

### 6.7.1 考察

今回、昨年度とは解析手法が異なるモデルを考案し、モデルのキャリブレーションを行った。その結果、水頭値のフィッティングに関してはある程度良好な結果が得られたと考える。しかし、その過程において初期に設定した物性値が大きく変更される結果となつた。

例えば堆積岩や花崗岩・強風化部、上部割れ目帶については、水理試験情報をもとに設定した初期値から大きく離れた結果となつた。特に堆積岩中の透水異方性に関しては有効なデータが無いため現状では想定の域を出ていない。

一方で昨年度基本ケースとは別に行つた「断層の透水異方性に着目した感度解析」において、日吉川に沿つたリニアメントに着目し、月吉断層と同等の構造（遮水構造）を有するものとして想定していた。しかし今年度の解析結果からは遮水構造を有するような断層が存在した場合、キャリブレーション上、適当でないことがわかつた。

一方で昨年想定していなかったリニアメントに遮水構造を設定している。しかし、この断層についてはキャリブレーション上必要であった構造であり、それが実際にそのような構造を有するものかは現状では判断できない。

しかし、このような検討を行っていくこと、及びモニタリングデータとの整合性を求めていくことで、水理地質モデルの信憑性は向上すると考える。

また、今回新たな情報として MIU-4 号孔のデータ及び長期揚水試験のデータが加わった。長期揚水試験のシミュレーションからモデルに反映させうるようなデータを導くことができなかつた。

一方で既存のデータから新たに得るものもあり、データの見直し作業も必要と考える。例えば堆積岩中の負圧地下水帯と近傍の沢との位置関係など、これまで意識してこなかつた部分に目を向けるきっかけが得られたと考える。

### 6.7.2 今後の課題と調査の提案

今後の課題としては、今回、有効なデータを導くことができなかつた長期揚水試験シミュレーション・トライアルがあげられる。今回導入したモデルの問題点が今回の結果に内在している可能性もあるため、この情報をモデル精度の確認のためのデータとして今後も利用できればと考える。

調査提案としては、今回の解析で目を向けざるを得なかつた堆積岩の透水異方性に関する調査がある。

また、間隙水圧の連続観測点を増やすことなどが挙げられる。

## 6.8 参考文献

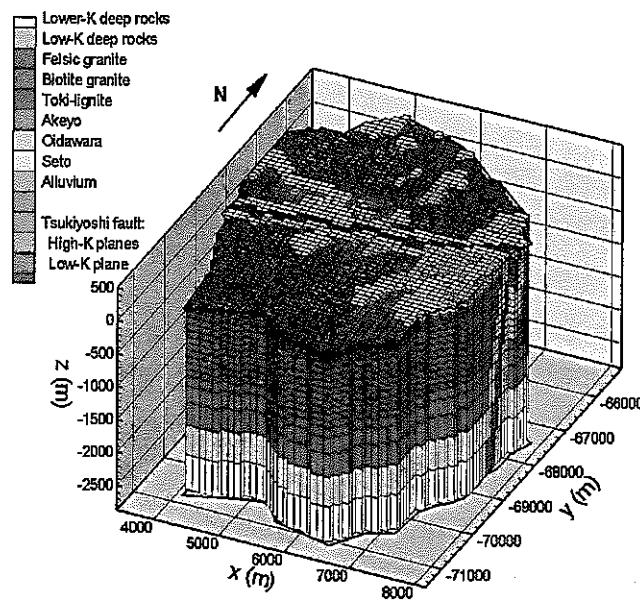
- 荒川忠一：数值流体工学，初版，東京大学出版会（1994）
- 藤井孝蔵：流体力学の数值計算法，初版，東京大学出版会（1994）
- 杉村淑人，森田豊，渡辺邦夫：“ダム基礎岩盤の水みち構造把握の試み”，土木学会論文集，no.596/-41, pp.229～246 (1997)
- 杉村淑人，森田豊，渡辺邦夫：“孔間透水試験圧力応答パターンの水みちネットワークモデル数値実験による検討”，土木学会論文集，no.596/-43, pp.223～237 (1998)
- 田中達也，渡辺邦夫，前川恵輔，中村直昭：“地質構造を基礎としたフラクチャーネットワークモデルの開発（その1）”，応用地質，vol.35, no.3, pp.22～33 (1995)
- 越塚誠一：数值流体力学，初版，培風館（1997）
- Watanabe, K. : “Geological structure of an active fault and its hydrological model”, Int. Seminar on Earthquake Resistance Design of Structure 1998, pp.102～107 (1998)
- Watanabe, K., Sugimura, Y., Morita, Y. & Tanaka, T. : “Channel network modeling of the fractured granite in the Hinachi area”, Earthquake proof design and active faults, Elsevier, pp. 247～262 (1977)
- 渡辺邦夫，田中達也，内田雅大，岩崎浩：“地質構造を基礎としたフラクチャーネットワークモデルの開発（その2）”，応用地質，vol.35, no.4, pp.2～12 (1995)

## 7. 解析結果の比較

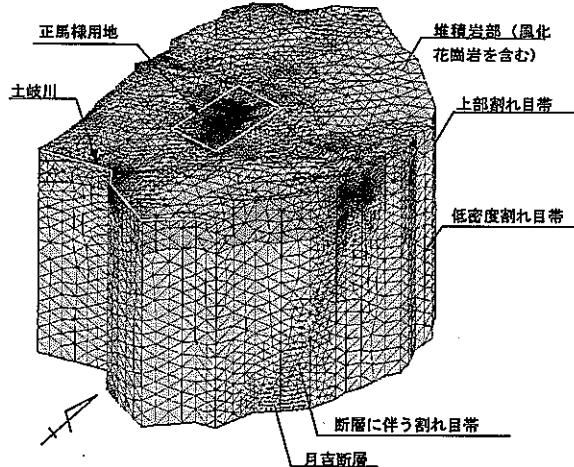
### 7.1 モデル手法の比較

連続体モデル (TOUGH2, EQUIV\_FLO) 及びチャンネルネットワークモデル(Don-Chan)の解析モデルの鳥瞰図を図 7.1-1に、各モデルの解析条件及びキャリブレーションに用いた手法を表 7.1-1～表 7.1-3に示す。3 手法の特徴を以下に述べる。

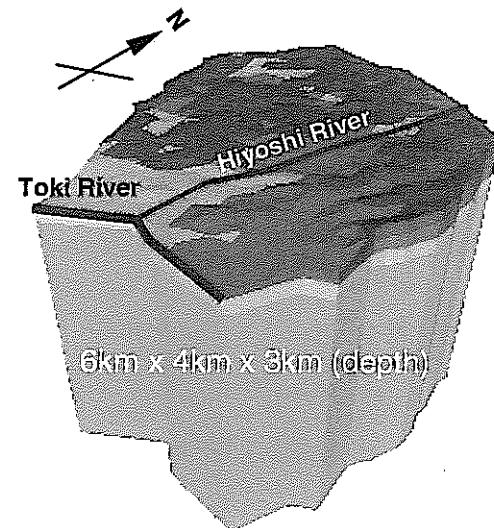
- 月吉断層については、TOUGH2 及び EQUIV\_FLO は低透水性構造のコア部とそれを挟む高透水構造を有する「サンドイッチ構造」としているが、Don-Chan は「サンドイッチ構造」については同様であるが、高透水構造である断層破碎帯については Splay Fracture や Step Structure を考慮した異方性を設定している。
- 同じ連続体モデルでも、TOUGH2 は水理試験より得られた透水係数分布にしたがって不均質場を発生させているのに対し、EQUIV\_FLO はボアホールテレビより得られた割れ目特性にしたがって割れ目を発生して等価な不均質場を作成している。
- TOUGH2 は三乗則により有効間隙率を透水係数（浸透率）と亀裂密度から算出しているが、EQUIV\_FLO は比貯留係数を三乗則より算出している。Don-Chan は別の関係式を用いて、一岩種につき一つの有効間隙率を平均的な透水係数より算出している。
- モデルキャリブレーションの際、TOUGH2 は三乗則とは独立して有効間隙率を増減している。また、EQUIV\_FLO では透水係数と比貯留係数の分布形状はそのままに、平均値のみを変動させてキャリブレーションを行なっている。Don-Chan については、断層の遮水構造を変更したため、昨年度までのモデルとは一変している。



(a) LBNL



(b) 大成建設



(c) 埼玉大学

図 7.1-1 解析モデル

表 7.1-1 解析条件比較一覧 (1/3)

	Equivalent Continuum Model TOUGH2 LBNL	Equivalent Continuum Model EQUIV_FLO Taisei Corporation	Channel Network Model Don-Chan Saitama University
解析領域	稜線と土岐川で囲まれた 4km × 6km 領域		
地形	考慮		
地質構造	花崗岩、堆積岩(不整合面)、月吉断層		
境界条件	上方：固定水頭(地表面-5m) 下方：不透水 側方：土岐川は表層を除いて不透水、それ以外は固定水頭	上方：固定水頭(地表面) 下方：不透水 側方：不透水、ただし土岐川の表層及び東濃鉱山は大気圧固定境界	上方：固定水頭(地表面-5m) 下方：不透水 側方：土岐川は不透水、それ以外は固定水頭、東濃鉱山は一定の排水量を設定
岩盤の透水性	堆積岩：不均質 花崗岩：不均質	不均質異方性(割れ目構造から透水テンソル算定) 花崗岩は健岩部、上部割れ目帶、風化花崗岩層(不整合面下)を考慮	堆積岩：均質 花崗岩：均質異方性 (多面体要素に主要割れ目を考慮)
月吉断層	コア部を低透水、断層破碎帯部を高透水としたサンドイッチ構造としてモデル化		コア部を低透水、断層破碎帯部を、異方性を考慮した高透水部としてモデル化
解析ケース	5リニアレイション	10リニアレイション	1ケース
解析手法 ／格子間隔	体積差分法 ブロック数：39,400 水平方向：100m 鉛直方向：50m(>0m) 100m(-1,000<z<0m) >100m(-3,000<z<-1,000m)	有限要素法 要素数：255,841 節点数：45,787	有限体積法+差分法 要素数(BODY数)：556,874 節点数(多面体の頂点数)：510,181 多面体構成面数(チャンネル数)：1,540,117

表 7.1-2 解析条件比較一覧 (2/3)

	Equivalent Continuum Model TOUGH2 LBNL	Equivalent Continuum Model EQUITV_FLO Taisei Corporation	Channel Network Model Don-Chan Saitama University
透水係数	<ul style="list-style-type: none"> <li>沖積層：対数平均-7.0, 対数標準偏差 1.6</li> <li>瀬戸層群：対数平均-7.2 対数標準偏差 1.4</li> <li>生俵累層：対数平均-8.7 対数標準偏差 1.5</li> <li>明世累層：対数平均-7.9 対数標準偏差 0.8</li> <li>土岐夾炭累層：対数平均-7.0 対数標準偏差-0.9</li> <li>土岐花崗岩（黒雲母）：対数平均-7.1 対数標準偏差 1.7</li> <li>土岐花崗岩（珪長質）：対数平均：-6.9 対数標準偏差 1.1</li> <li>花崗岩（深部）：対数平均-7.4 から-8.3 へ深部方向で遷移、対数標準偏差 1.5</li> <li>断層コア部：対数平均-8.2 対数標準偏差 1.1</li> <li>断層破碎帶：対数平均-6.1 対数標準偏差 1.1</li> </ul> <p>(対数正規分布、算述時の単位は [m/s])</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>瑞浪層群 : <math>1.00 \times 10^{-9}</math> m/s</li> <li>土岐花崗岩風化部 : <math>1.00 \times 10^{-7}</math> m/s</li> <li>上部割れ目帯 : <math>4.0 \times 10^{-8}</math> m/s (※平均値: 仮想透水試験により分布)</li> <li>土岐花崗岩健岩部 : <math>2.0 \times 10^{-9}</math> m/s (※平均値: 仮想透水試験により分布)</li> <li>断層破碎帶（上側・下側） : <math>4.0 \times 10^{-8}</math> m/s (※平均値: 仮想透水試験により分布)</li> <li>断層コア部 : <math>1.00 \times 10^{-10}</math> m/s (土岐花崗岩健岩部, 断層破碎帶（上側・下側）の透水係数分布はキャリブレーションにより、結果比較の際には平均値が変化しており、土岐花崗岩健岩部は <math>9.0 \times 10^{-9}</math> m/s, 断層破碎帶は上側が <math>2.0 \times 10^{-7}</math> m/s・下側が <math>5.0 \times 10^{-6}</math> m/s となっている。また、上部割れ目帯には、一部高透水帯が推測されるため、透水量係数 <math>1 \times 10^{-4}</math> m<sup>2</sup>/s のシェル要素が追加されている。)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>生俵累層 : <math>3.21 \times 10^{-9}</math> m/s</li> <li>明世累層 : <math>8.63 \times 10^{-9}</math> m/s</li> <li>明世累層・土岐花崗岩境界部 : <math>7.12 \times 10^{-8}</math> m/s</li> <li>土岐夾炭累層 : <math>1.07 \times 10^{-7}</math> m/s</li> <li>土岐花崗岩強風化部 : <math>3.74 \times 10^{-7}</math> m/s</li> <li>花崗岩健岩部 : <math>2.7 \times 10^{-9}</math> m/s</li> <li>花崗岩割れ目部 : <math>1.2 \times 10^{-8} \sim 1.7 \times 10^{-7}</math> m/s</li> <li>断層コア部 : <math>3.1 \times 10^{-9}</math> m/s</li> <li>断層破碎帶 : <math>1.7 \times 10^{-7}</math> m/s</li> </ul> <p>上記の試験結果の対数平均値や経験値より以下のように基本ケースを設定</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>瀬戸層群 : <math>2.00 \times 10^{-6}</math> m/s</li> <li>生俵～明世累層 : <math>2.00 \times 10^{-8}</math> m/s</li> <li>土岐夾炭累層 : <math>2.00 \times 10^{-7}</math> m/s</li> <li>土岐花崗岩強風化部 : <math>2.00 \times 10^{-6}</math> m/s</li> <li>上部割れ目帯 : <math>2.00 \times 10^{-8}</math> m/s</li> <li>花崗岩健岩部 : <math>3.00 \times 10^{-9}</math> m/s</li> <li>断層コア部 : <math>1.00 \times 10^{-10}</math> m/s</li> <li>断層破碎帶 : <math>2.00 \times 10^{-7}</math> m/s</li> </ul>
有効間隙率	透水係数、三乗則、割れ目密度 (7.95/m) から算定	割れ目開口幅 ( $b=2\sqrt{T}$ ) より要素ごとに算定	主要割れ目の透水性より評価(ただし堆積岩と断層コア部は一律 30%と設定)
地形データ	地形図		
地質データ	地質図、柱状図、弹性波探査・電磁探査		
割れ目データ	ボアホールテレビ（有効間隙率算定）	ボアホールテレビ	ボアホールテレビ

表 7.1-3 解析条件比較一覧 (3/3)

	Equivalent Continuum Model TOUGH2 LBNL	Equivalent Continuum Model EQUIV_FLO Taisei Corporation	Channel Network Model Don-Chan Saitama University
水理データ	削孔時逸水量データ 水理試験 水收支・水頭観測 流量検層・温度検層	削孔時逸水量データ 水理試験 地下水位測定・水頭観測 検層	水理試験 水頭観測
キャリブレーション手法	透水係数及び有効間隙率を増減し、定常の水頭分布と長期揚水試験における MIU-2 孔内のパッカ一閉閉の水圧応答とのマッチング。	透水係数及び比貯留係数を増減し、長期揚水試験における MIU-2 孔内のパッカ一閉閉の水圧応答とマッチング。さらに、今回は上部割れ目帯に高透水性シェル要素を挿入して地質構造の妥当性についても検討している。	断層の透水異方性を断層のタイプ別に検討し、さらに断層の透水性を変更することで定常の水頭分布についてのマッチングを実施。さらに貯留係数を変動させ、長期揚水試験結果とのマッチングを実施。

## 7.2 解析結果の比較

TOUGH2 の 11 リアライゼーション, EQUIV\_FLO の 10 リアライゼーション, Don-Chan 1 の計 23 の解析結果より, 以下の項目について指定点 1~24 ごとに取りまとめを実施した。

図 7.2-1 に指定点の概略の位置図を示す。ここで, どの指定点も各モデルで共通であり, 同じ点を指している。

- (1) 移行経路
- (2) 移行経路長
- (3) 移行経路上の平均実流速
- (4) 移行経路上の平均ダルシーフlow速
- (5) トラベルタイム (実流速, ダルシーフlow速換算)
- (6) 移行経路上の透水係数分布
- (7) 移行経路上の流量分布
- (8) 移行経路上の有効間隙率分布
- (9) 移行経路長とトラベルタイム (実流速, ダルシーフlow速換算) の関係

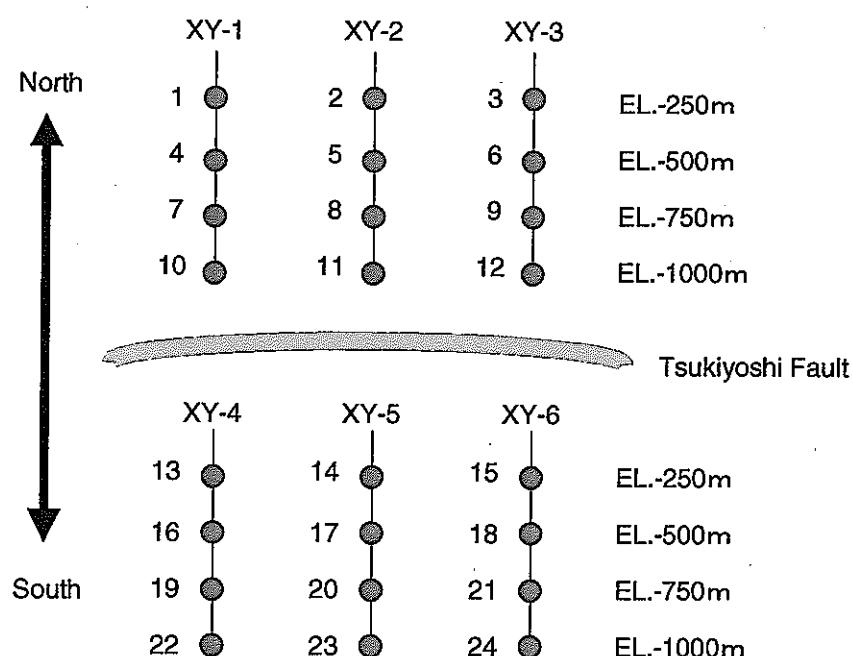


図 7.2-1 指定点位置図

### 7.2.1 移行経路

移行経路の水平面、南北断面および東西断面への投影図を図 7.2-2～図 7.2-25に示す。これらの結果より、以下のような知見が得られる。

- TOUGH2について、月吉断層北側に位置する指定点のうち、XY-1及びXY-2に位置する各指定点からの移行経路は、深度に関わらず月吉断層に向かって南下し、到達後は断層破碎帯に沿って地表に流出する傾向がある。XY-3に位置する各指定点を通過する流れについては、深さに関係なく北東の側方境界に向かって流出する傾向がある。また、XY-2及びXY-3上の各指定点からの移行経路の流出先はばらつきが小さく、日吉川の流域のほぼ同じ場所に流出している。月吉断層南側のXY-4～XY-6に位置する指定点からの移行経路は、月吉断層に向かうものと月吉断層付近の地表面より流出するものの二通りに分けられる。これは断層破碎帯の透水係数が他の岩種よりも一桁、断層コア部については二桁も高い設定であるためと考えられる。また、指定点22からの移行経路のみが土岐川近くまで到達しているが、これは、標高の高い領域北部の中でも西側が最も高く、そこから南方向へ深く潜り込むような流れとなっており、領域の西側に位置しているXY-4のうち、最も深い指定点22がこの流れに乗ったためと考えられる。これは4章に示される別ケースにおいても、XY-4に位置する指定点からの移行経路が土岐川近くへ流出することが多いことからも示される。
- EQUIV\_FLOについて、月吉断層北側に位置するXY-1～XY-3の各指定点からの移行経路は、月吉断層に向かう傾向があり、TOUGH2のXY-2、XY-3と同様に、指定点の深さによる流出先のばらつきは小さい。指定点10の1リアライゼーションを除き、XY-1及びXY-2は月吉断層到達後、断層下盤内を東に向かいながら上昇し、地表面のほぼ同じ場所に流出する傾向にある。また、XY-3に位置する指定点を通過する流れも、最初は南東へ向かうが、途中で方向を南西に変え、XY-1、2の流出先と同じ方向に向かって流れしており、そのうち、指定点3、6、9からの移行経路は断層に到達する前に地表面に流出するが、EL.-1,000mに位置する指定点12は月吉断層に達した後、地表面に流出する傾向がある。EQUIV\_FLOにおいて、XY-3の移行経路がTOUGH2のように北東の側方境界へ流出していないのは、側方境界を不透水境界としたためである。また、月吉断層南側に位置する指定点のうちXY-4に位置する点からの移行経路は、概ね月吉断層に向かった後、断層に沿って地表面に流出する傾向であるが、EL.-750m以深では指定点が断層を横切り、断層の北側に位置することになるため、指定点19の一部のリアライゼーションとEL.-1,000mの指定点22においては、XY-1と同様に断層下盤内を東に向かいながら上昇し、地表面に流出する流れが支配的である。これはXY-5における指定点23、XY-6における指定点21、24でも同じ傾向であり、指定点23からの移行経路はXY-2上の点からの経路と同じ流出先に向かって断層下盤を通り、指定点21、24からの移行経路はXY-3上の指定点12からの移行経路と同じ流出先に向かって断層下盤を通過する。XY-5に位置するその他の指定点からの移行経路は月吉断層到達後、西に向かいながら上

昇し、地表面に流出する傾向があり、XY-6 に位置する指定点 15, 18 以外の指定点を通過する流れは南方向に流下し地表に達する傾向がある。EQUIV\_FLO の移行経路は全体的にばらつきが小さいが、指定点が断層に近いほどライゼーション間のばらつきが増える傾向が見られる。

- Don·Chan について、月吉断層北側に位置する XY-1～XY-3 上の各指定点からの移行経路のうち、XY-1 上の各指定点からの移行経路は他のモデルとは異なり、領域西側の側方境界に流出する傾向にあるが、これは XY-1 付近から南西に分布する断層沿いを移行経路とする影響であり、キャリブレーションのためにこの断層の透水性を低く設定していることから、断層沿いに深く潜り込みながら、側方境界に到達するような移行経路を探っている。XY-2 及び XY-3 に位置する指定点を通過する流れは EQUIV\_FLO に近く、南方向に流下し月吉断層に到達後、地表に流出する傾向にある。XY-1～XY-3 の各指定点からの移行経路は指定点の深さごとによる大きな差はない。月吉断層南側に位置する指定点からの移行経路は、XY-4 に位置する各指定点を通過する流れについては、南西に向かい西側の側方境界に流出する経路（指定点 13, 22），東に向かった後に南下して地表面に流出するもの（指定点 16），南に流下し地表面に流出するもの（指定点 19）と深度によって移行経路に違いが見られる。XY-5 に位置する指定点からの移行経路については、ほとんどが南に流下し地表面に流出するが、EL.-1,000m 上の指定点 23 を通る経路は、南に流下した後に東へ向かい東側の側方境界へ流出している。XY-6 に位置する指定点を通る流れについては、深度に関わらず各指定点からほぼ真上に向かう流れである。
- TOUGH2 と EQUIV\_FLO の移行経路に違いについて、XY-3 上の各指定点からの移行経路の違いは境界条件の設定の違いが原因であるが、その他の位置からの移行経路について、EQUIV\_FLO の方が断層へ向かう経路を探りやすいのは、破碎体周辺とそれに隣接する健岩部の透水性のコントラストが、TOUGH2 と比較して EQUIV\_FLO が非常に強いためなどの理由が考えられる。しかし、Don·Chan については、月吉断層以外に設定した透水性の低い断層の影響が大きいことは、XY-1 上の各指定点からの移行経路が大きく潜り込んで側方境界へ向かうことからも明らかである。
- 昨年度と比較して、TOUGH2 は断層南側の経路に若干の変化が見られるが、大きな差は見られないのに対し、EQUIV\_FLO は全体的に断層へ向かう傾向が強くなっている。Don·Chan については、モデル自体が大きく変わっているため、移行経路も大幅に変わっている場合が多い。

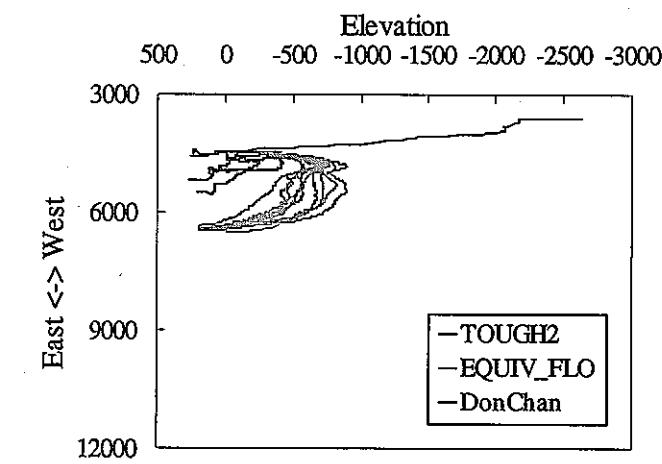
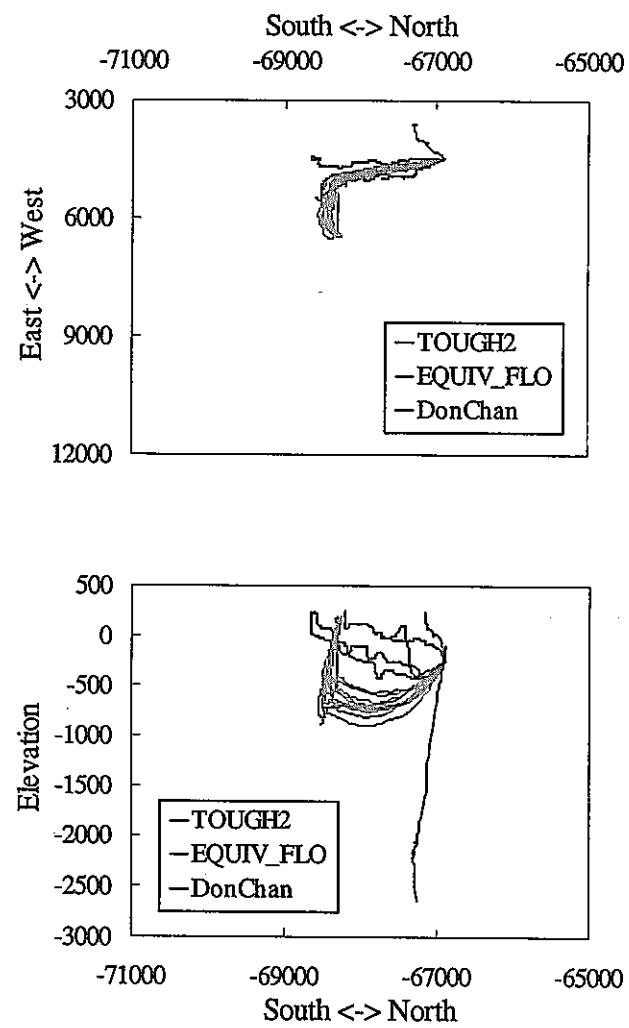


図 7.2-2 指定点 1 (XY-1, EL.-250m) からの移行経路投影図

(左上：水平断面、左下：南北断面、右上：東西断面)

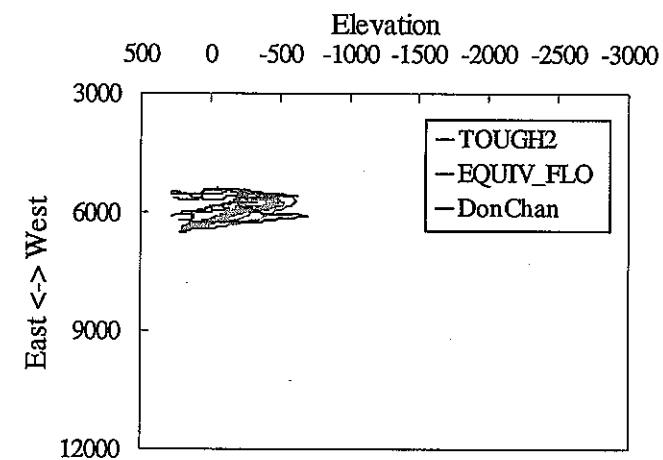
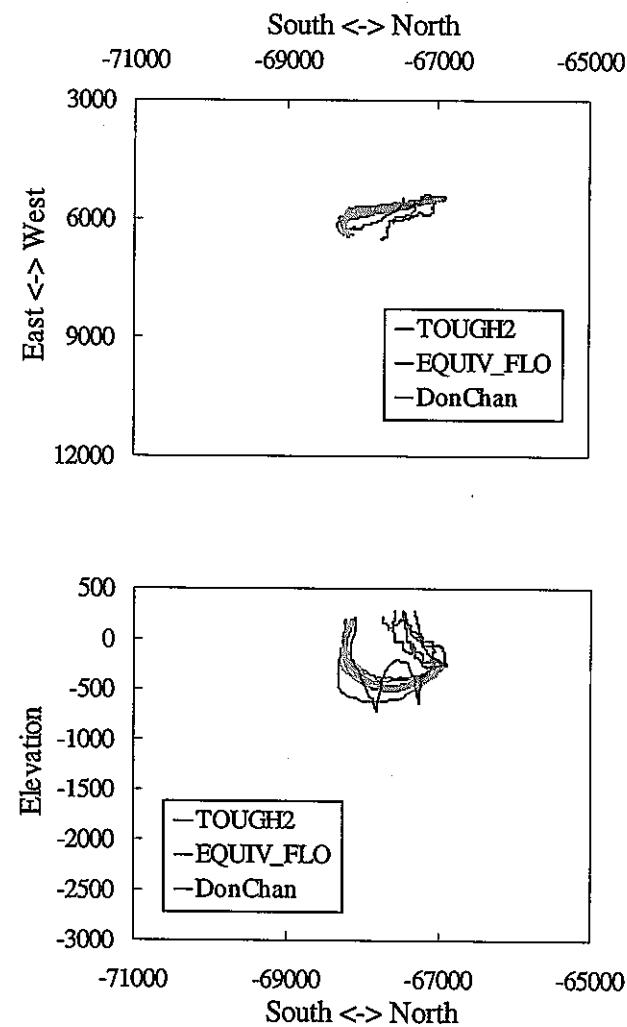


図 7.2-3 指定点 2 (XY-2, EL.-250m) からの移行経路投影図

(左上：水平断面，左下：南北断面，右上：東西断面)

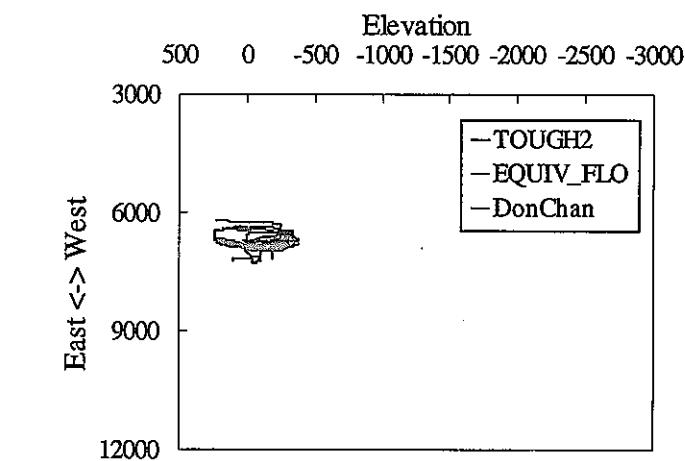
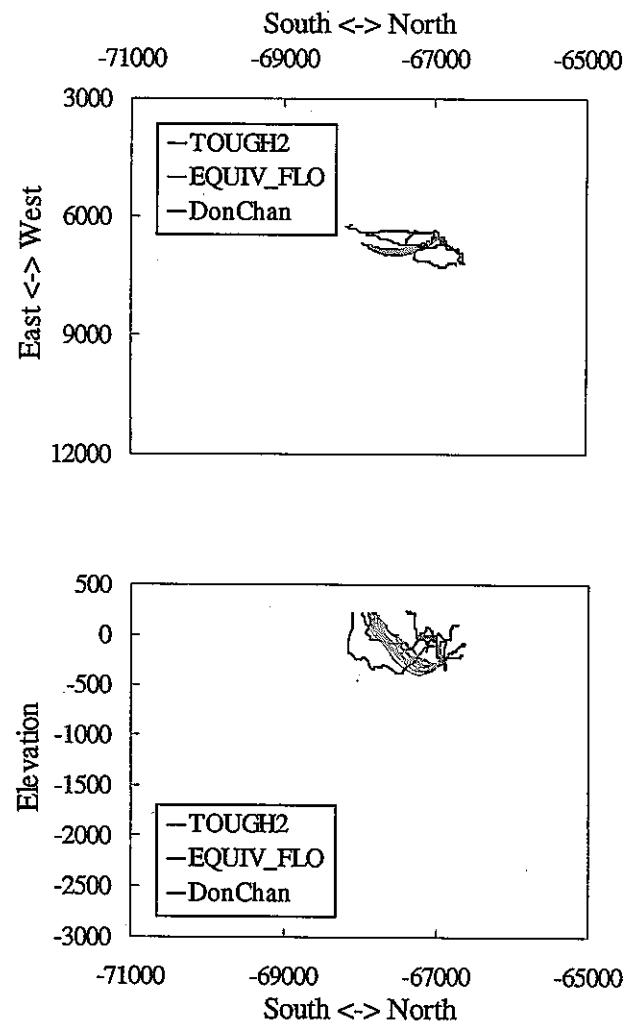


図 7.2-4 指定点 3 (XY-3, EL.-250m) からの移行経路投影図

(左上：水平断面、左下：南北断面、右上：東西断面)

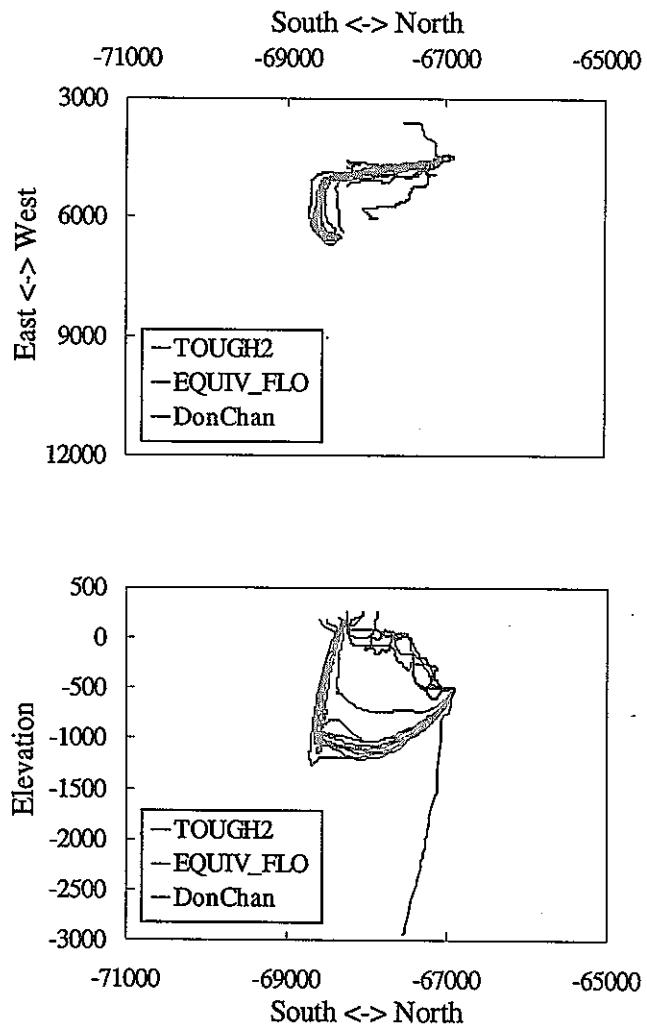


図 7.2-5 指定点 4 (XY-1, EL.-500m) からの移行経路投影図

(左上：水平断面，左下：南北断面，右上：東西断面)

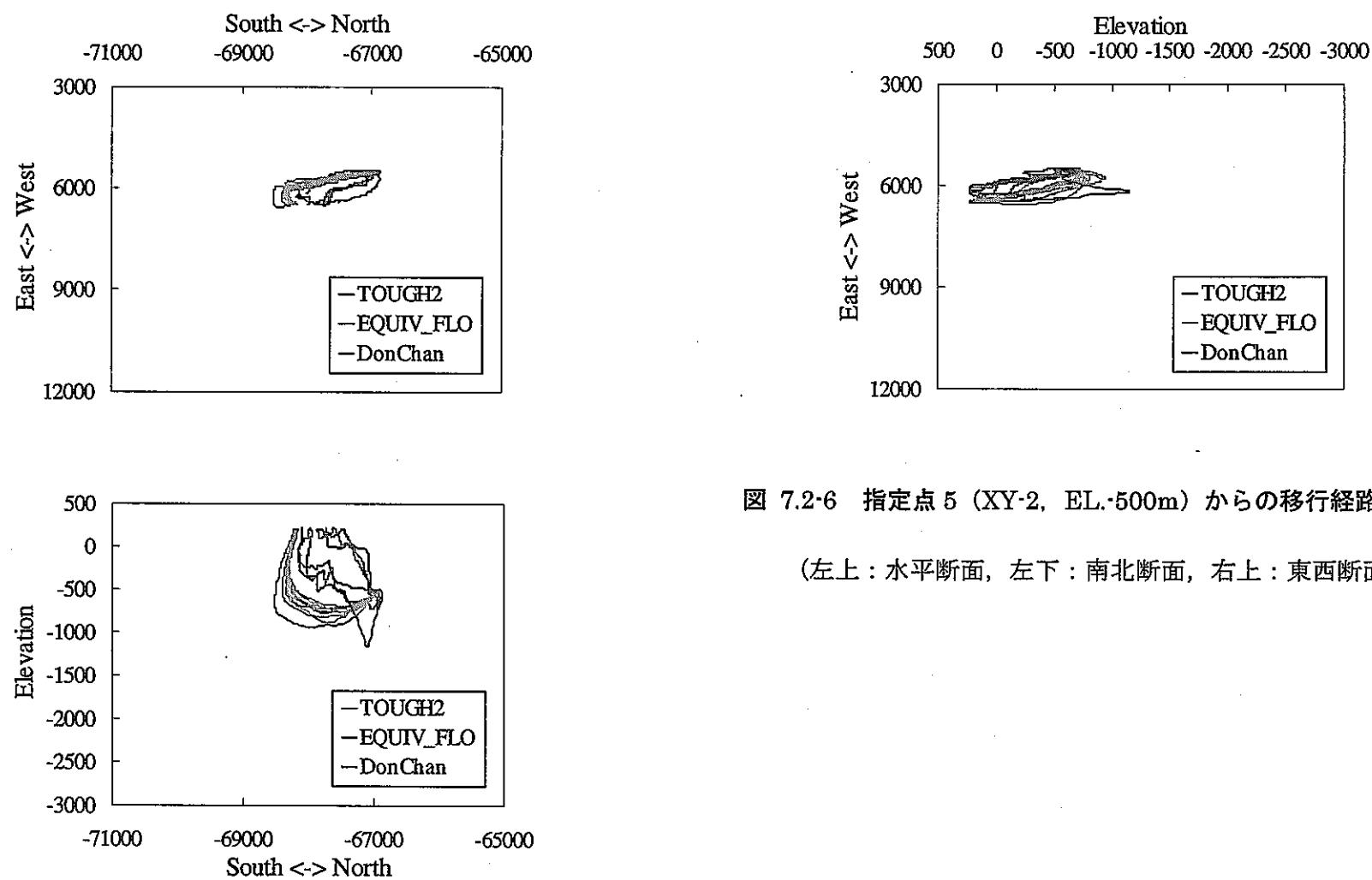


図 7.2-6 指定点 5 (XY-2, EL.-500m) からの移行経路投影図

(左上：水平断面、左下：南北断面、右上：東西断面)

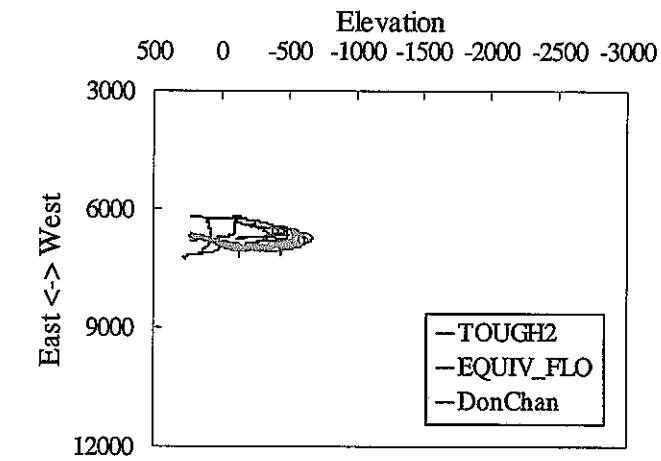
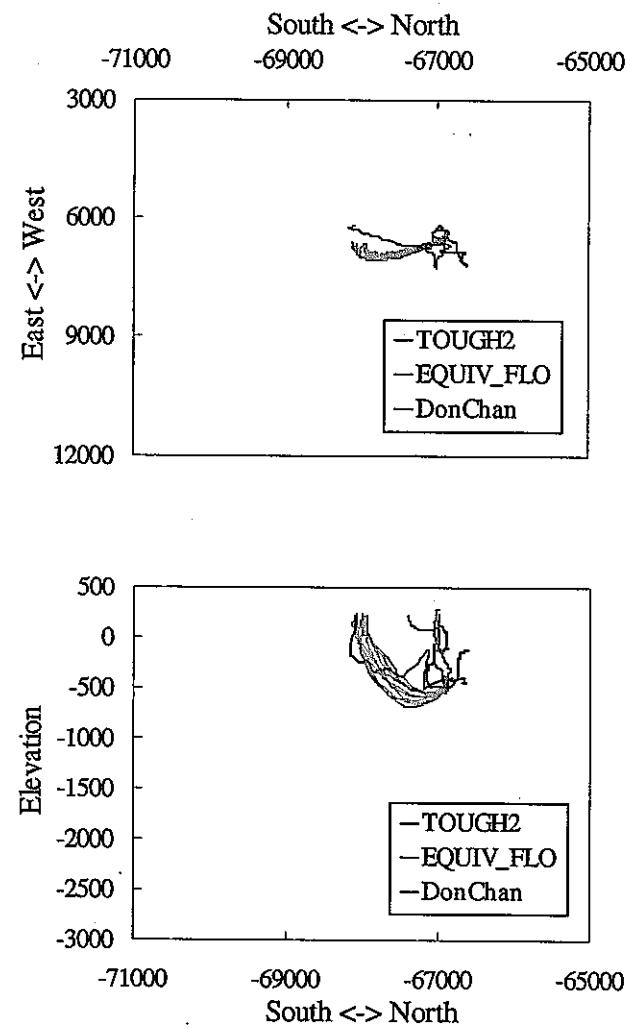


図 7.2-7 指定点 6 (XY-3, EL.-500m) からの移行経路投影図

(左上：水平断面、左下：南北断面、右上：東西断面)

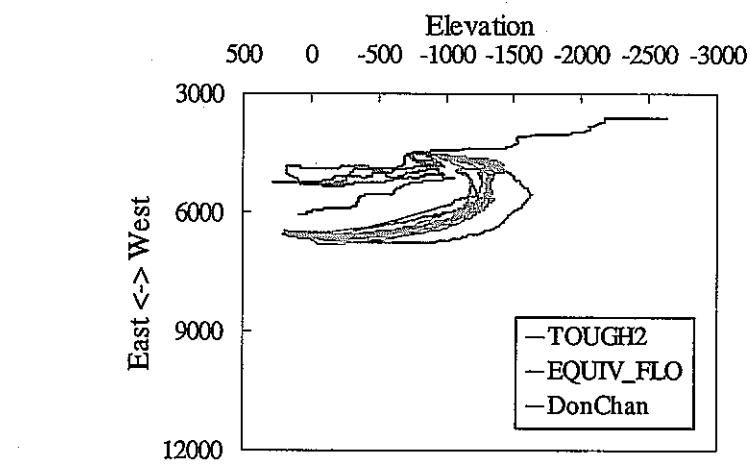
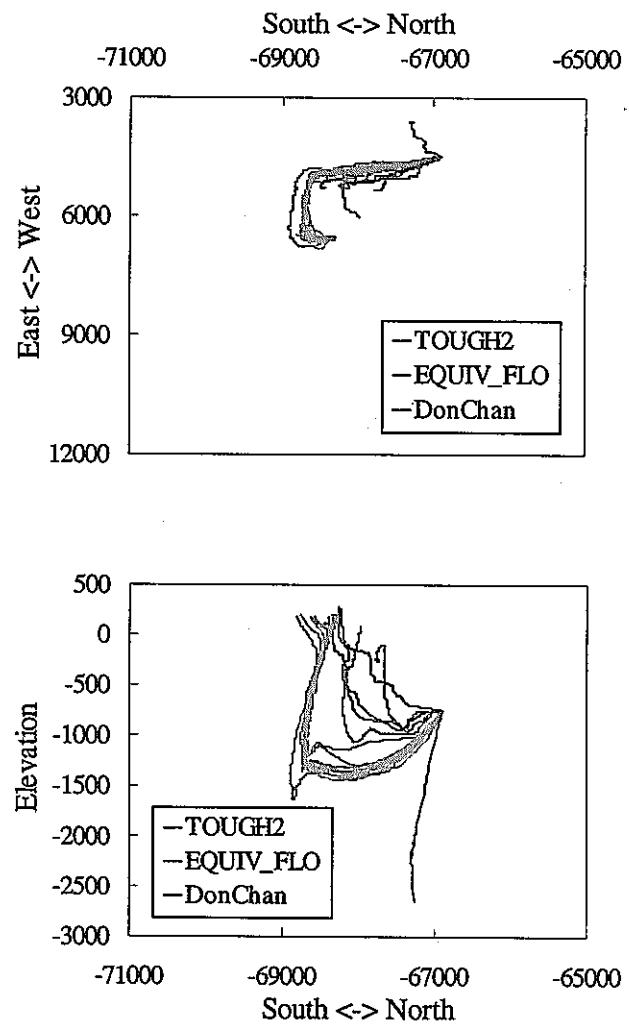


図 7.2-8 指定点 7 (XY-1, EL.-750m) からの移行経路投影図

(左上：水平断面、左下：南北断面、右上：東西断面)

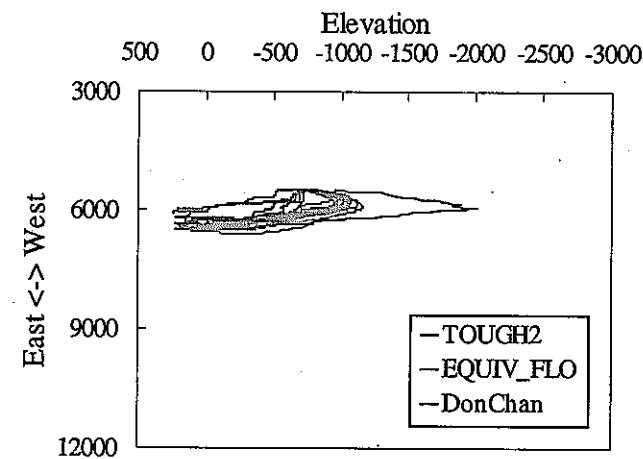
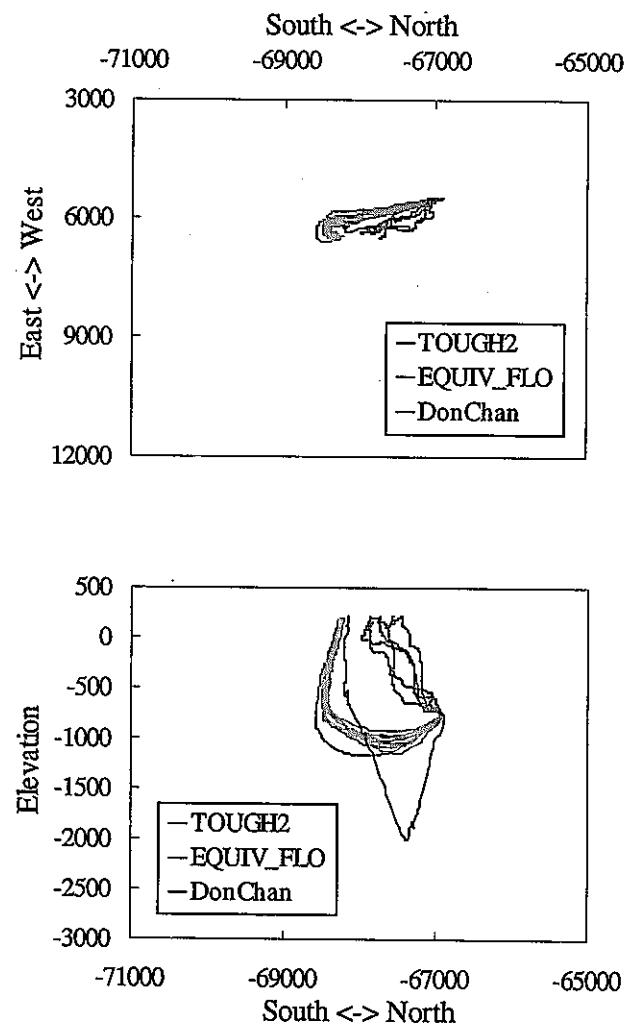


図 7.2-9 指定点 8 (XY-2, EL-750m) からの移行経路投影図

(左上：水平断面，左下：南北断面，右上：東西断面)

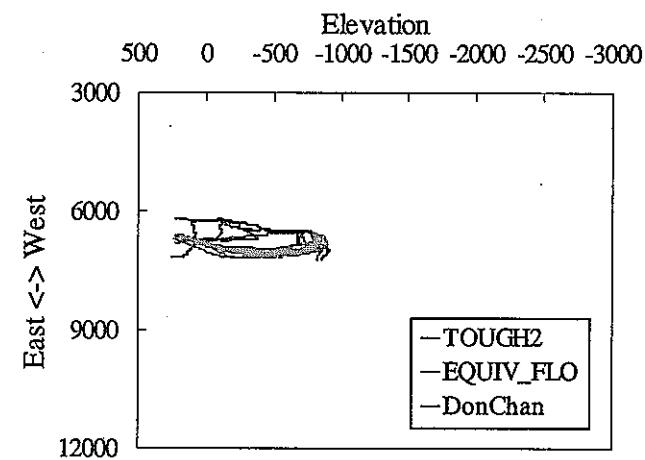
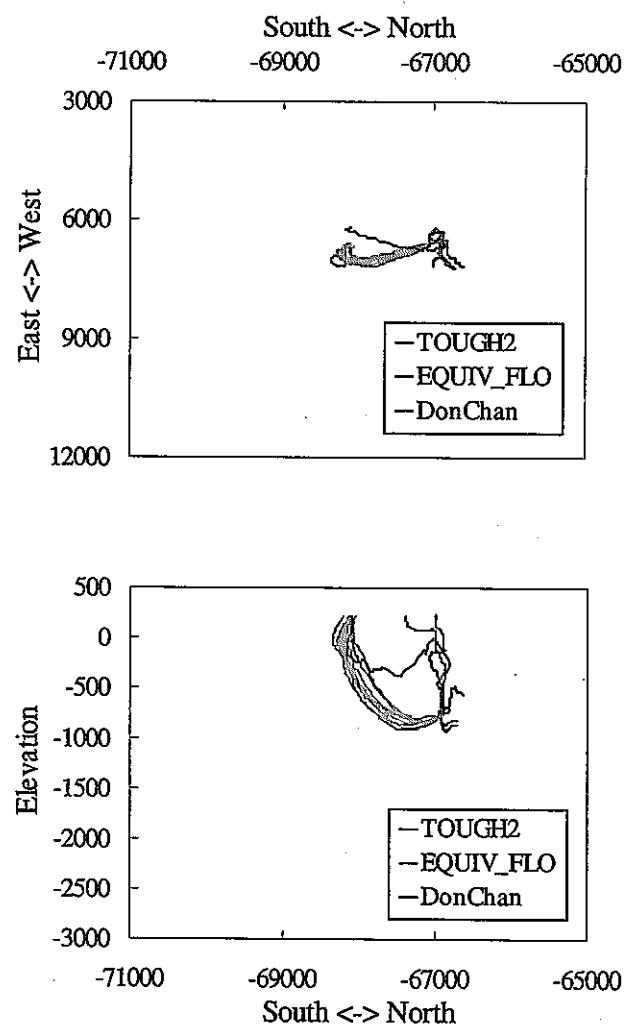


図 7.2-10 指定点 9 (XY-3, EL.-750m) からの移行経路投影図

(左上：水平断面、左下：南北断面、右上：東西断面)

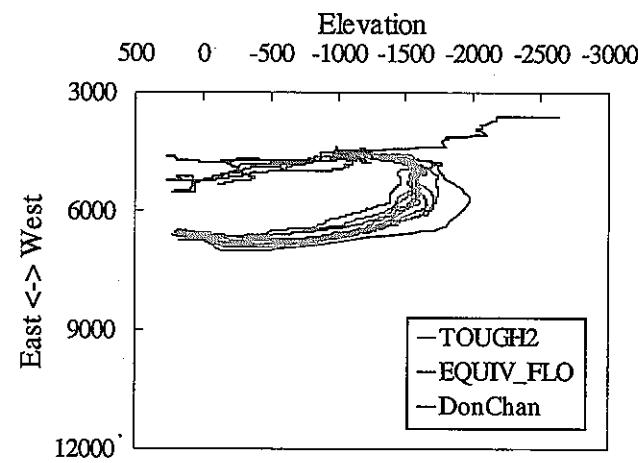
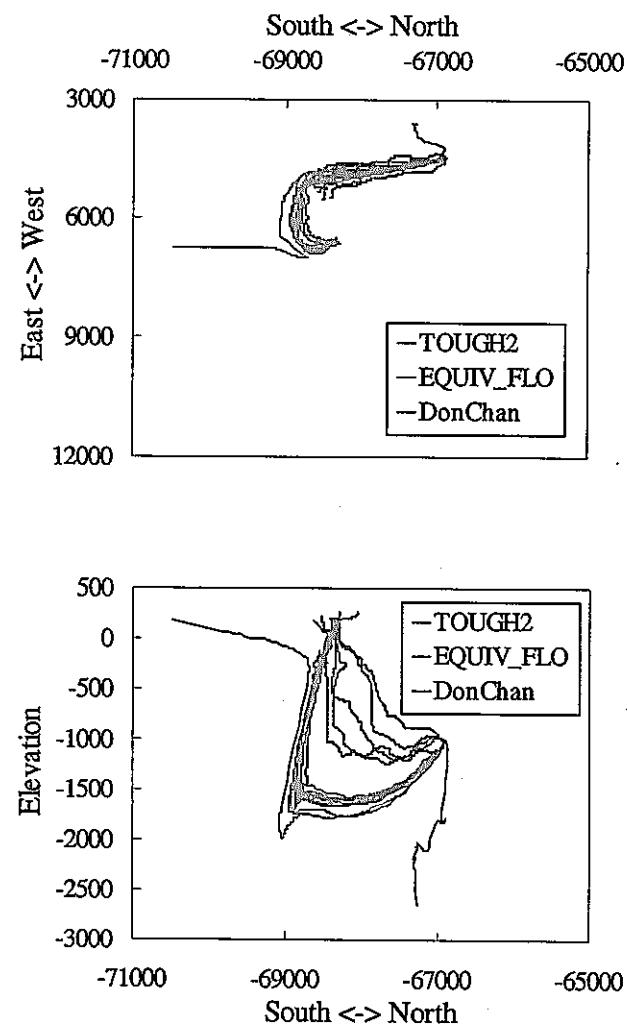


図 7.2-11 指定点 10 (XY-1, EL.-1,000m) からの移行経路投影図

(左上：水平断面、左下：南北断面、右上：東西断面)

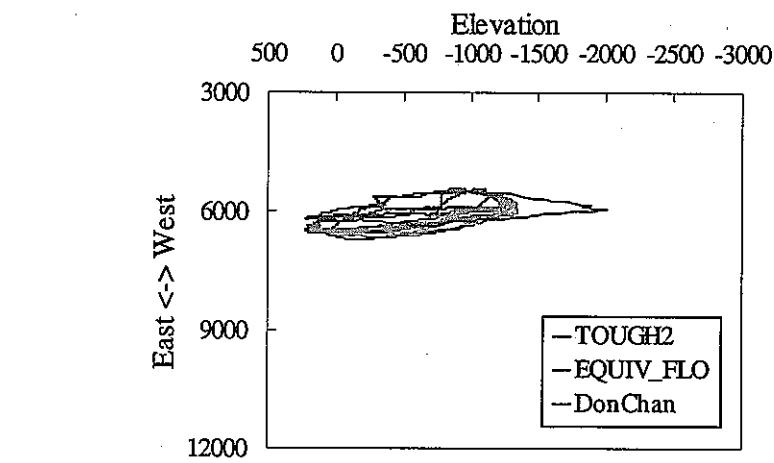
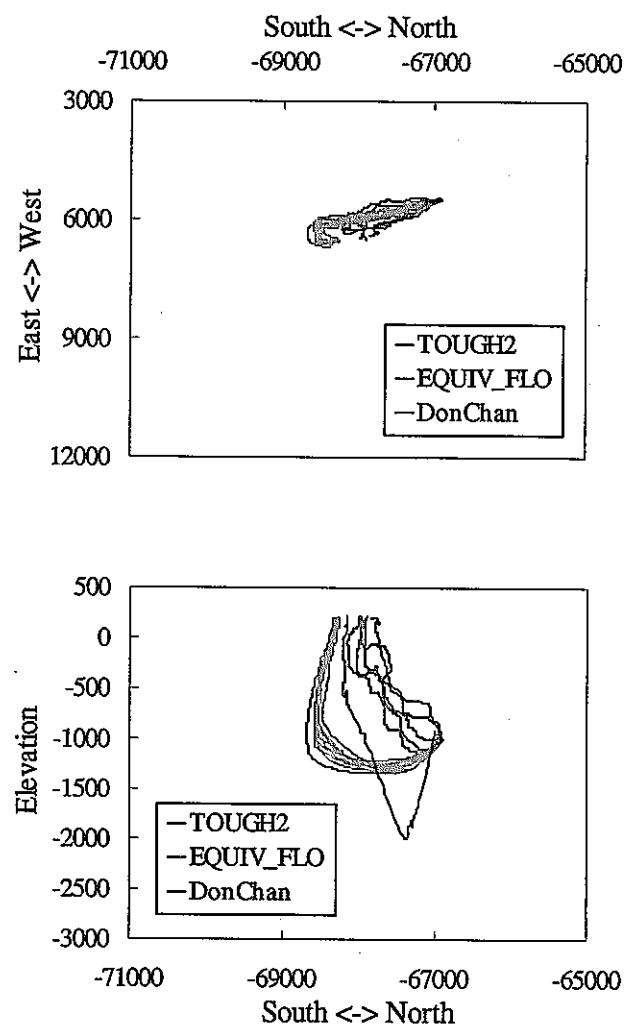


図 7.2-12 指定点 11 (XY-2, EL. 1,000m) からの移行経路投影図

(左上：水平断面、左下：南北断面、右上：東西断面)

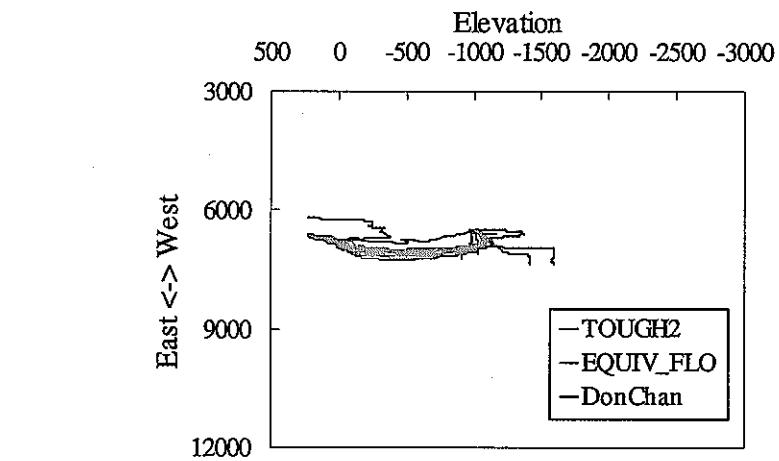
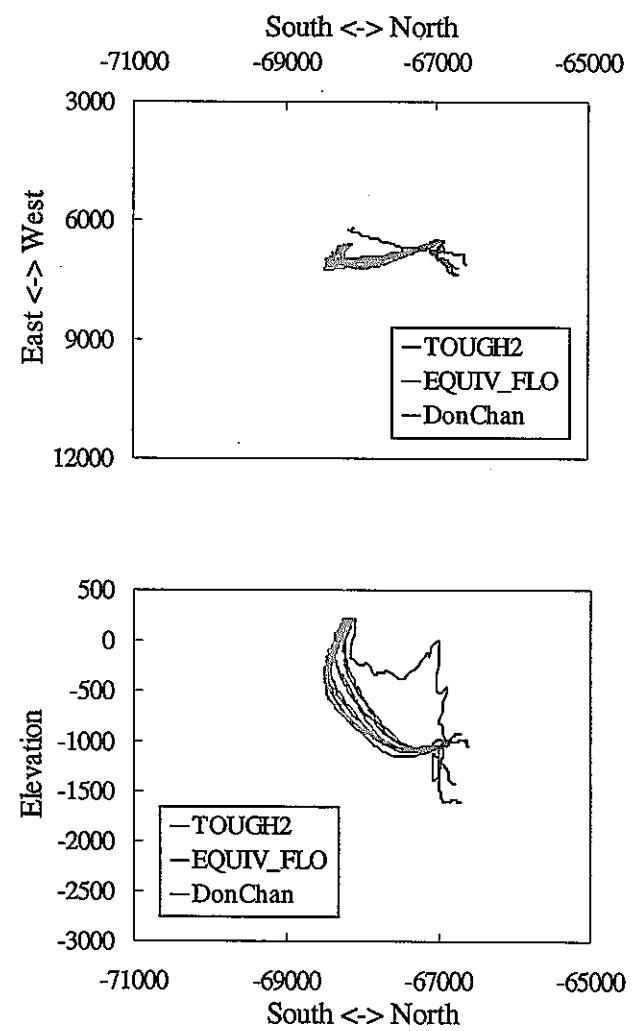


図 7.2-13 指定点 12 (XY-3, EL.-1,000m) からの移行経路投影図  
(左上：水平断面，左下：南北断面，右上：東西断面)

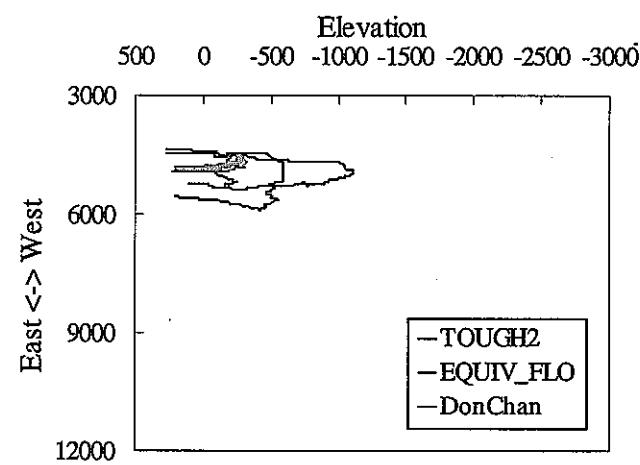
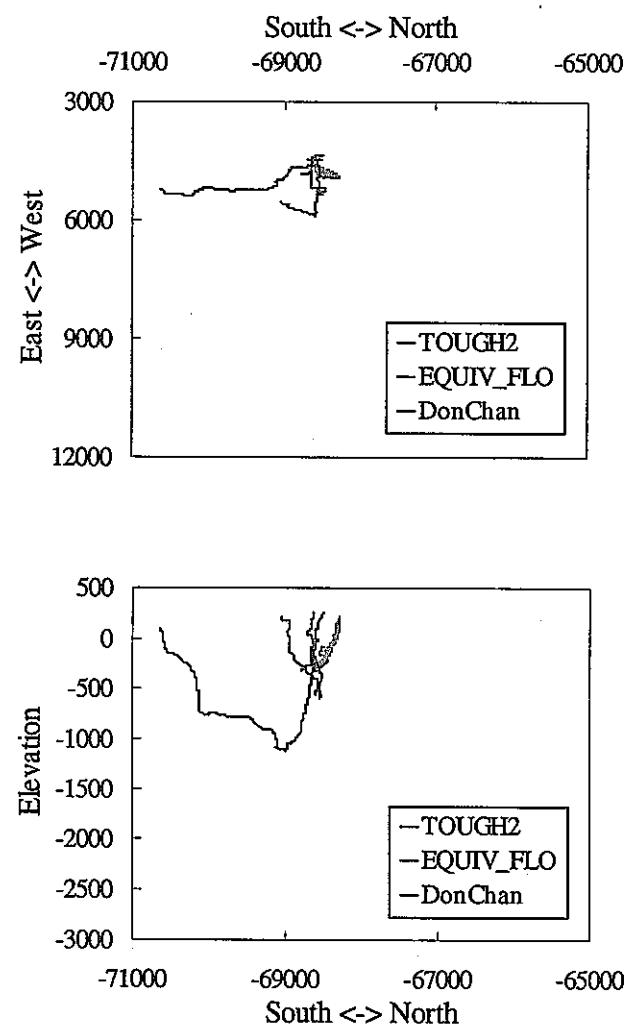


図 7.2-14 指定点 13 (XY-4, EL.-250m) からの移行経路投影図

(左上：水平断面、左下：南北断面、右上：東西断面)

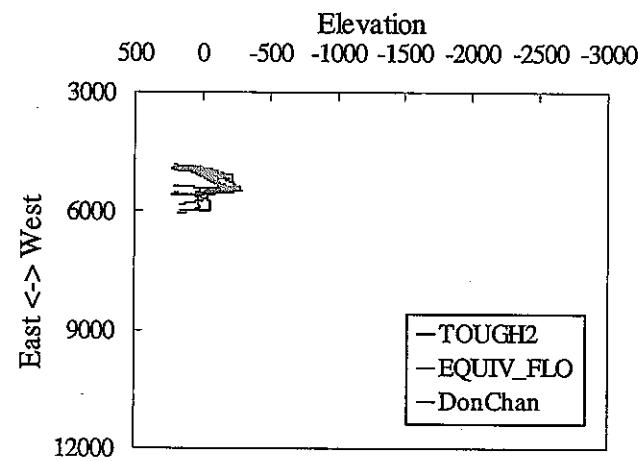
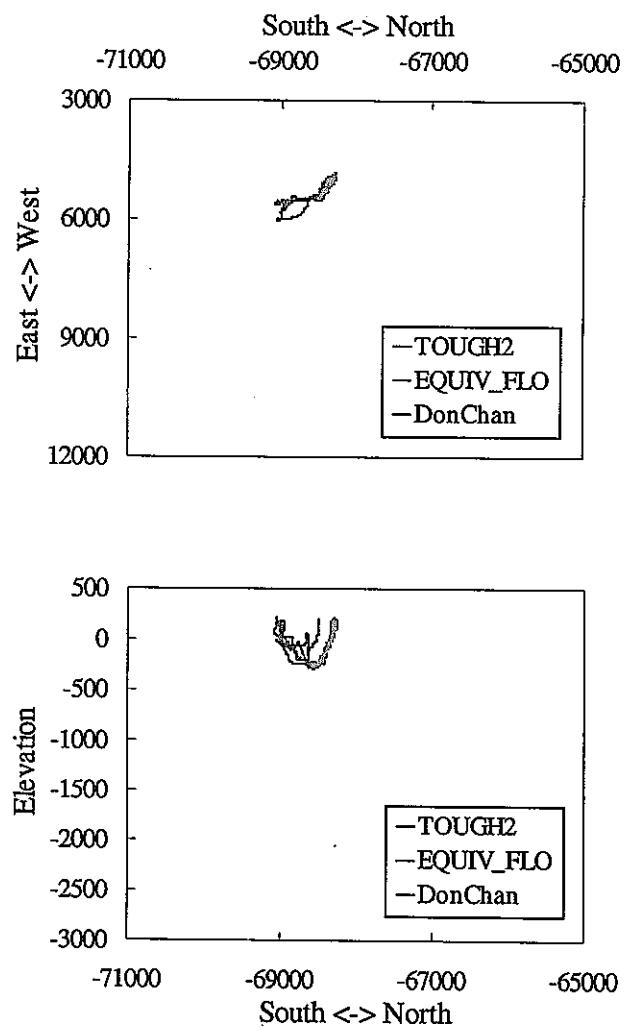


図 7.2-15 指定点 14 (XY-5, EL.-250m) からの移行経路投影図

(左上：水平断面、左下：南北断面、右上：東西断面)

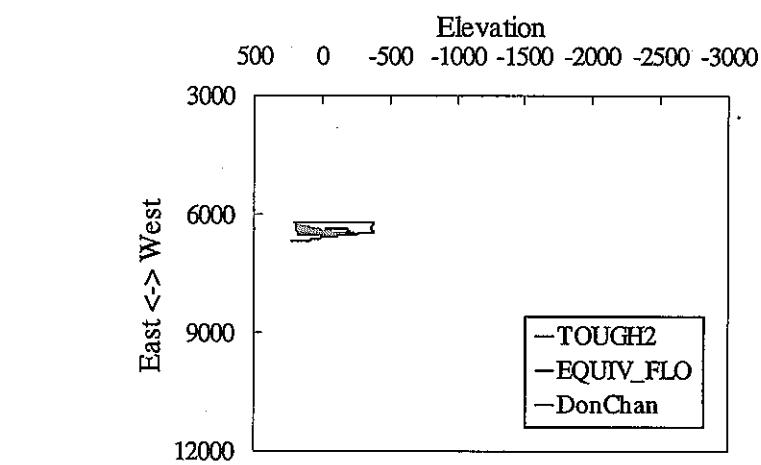
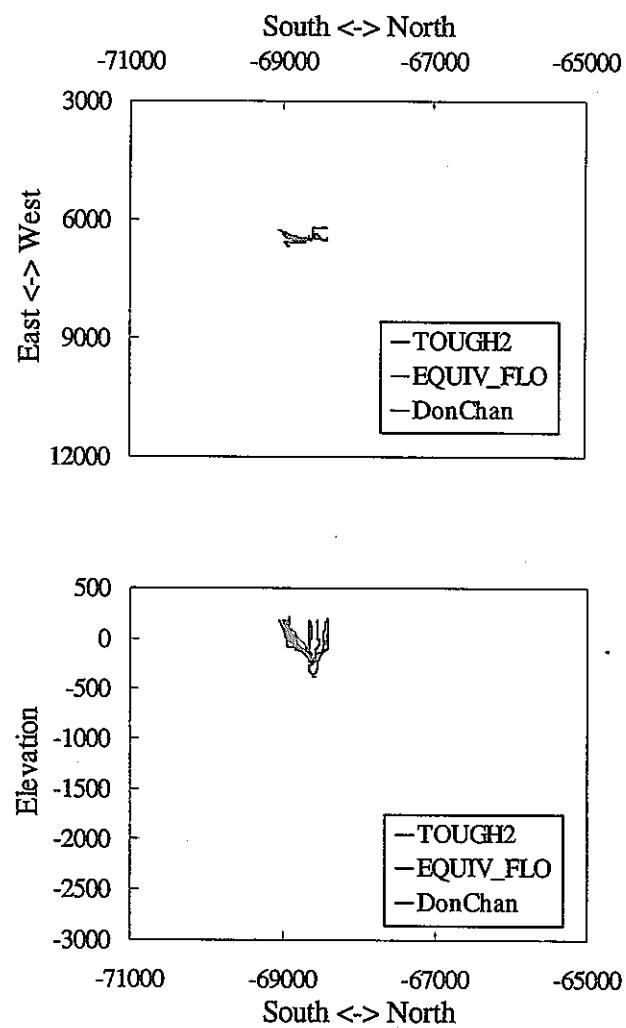


図 7.2-16 指定点 15 (XY-6, EL.-250m) からの移行経路投影図

(左上：水平断面、左下：南北断面、右上：東西断面)

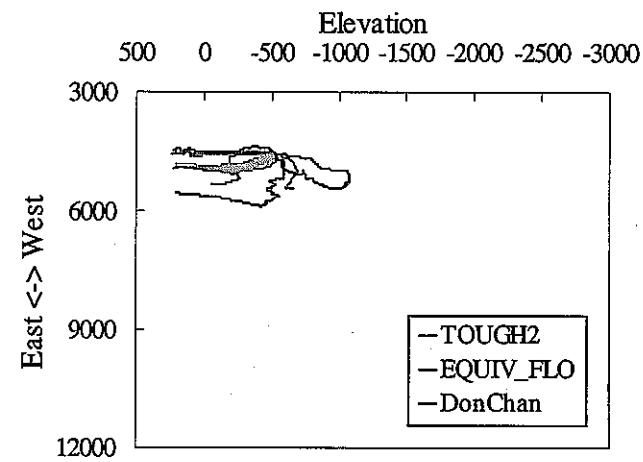
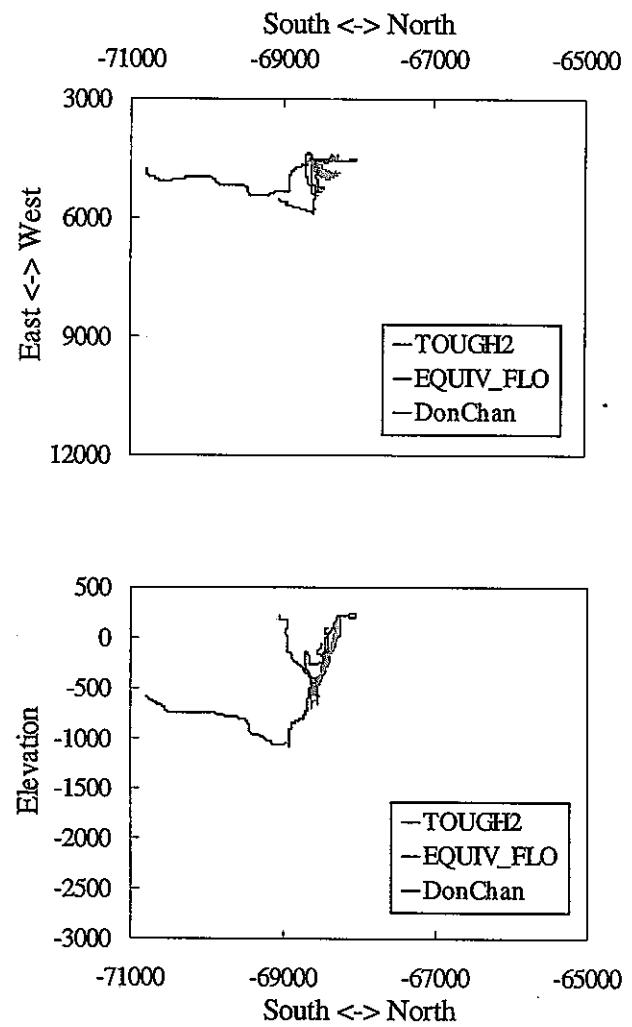


図 7.2-17 指定点 16 (XY-4, EL.-500m) からの移行経路投影図

(左上：水平断面、左下：南北断面、右上：東西断面)

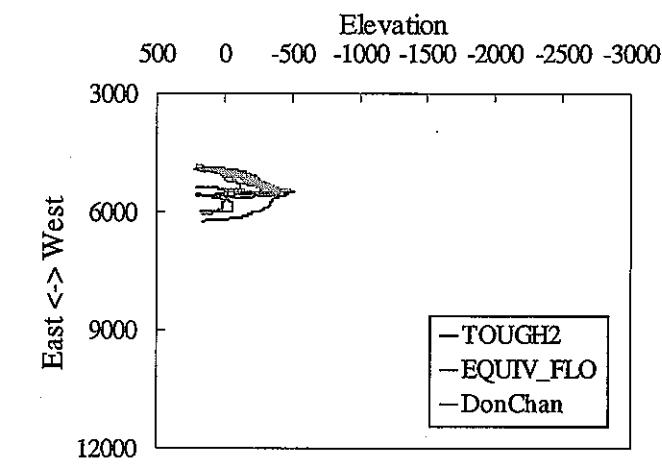
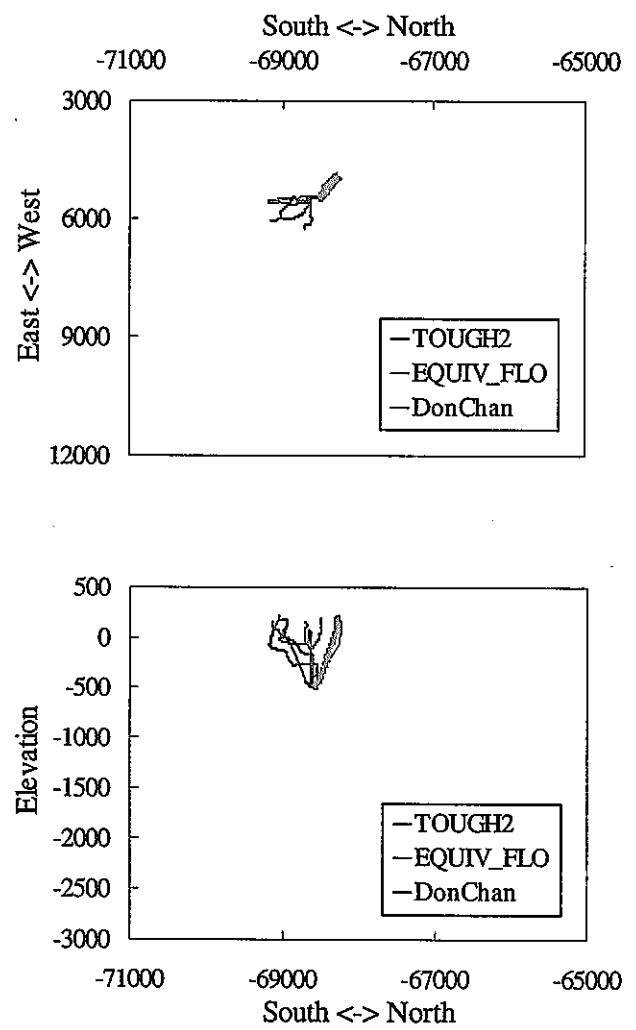


図 7.2-18 指定点 17 (XY-5, EL.-500m) からの移行経路投影図

(左上：水平断面、左下：南北断面、右上：東西断面)

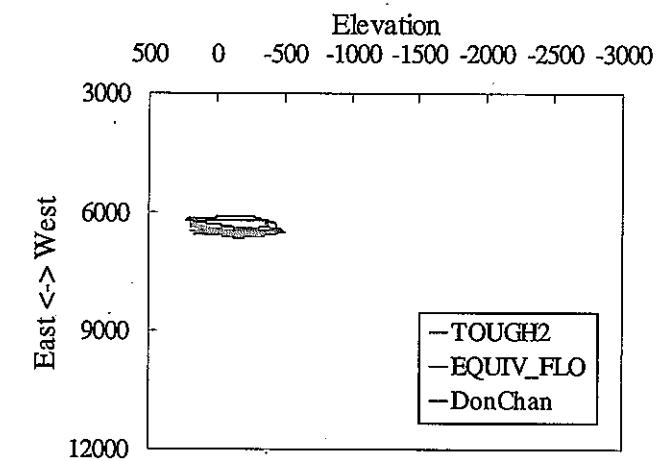
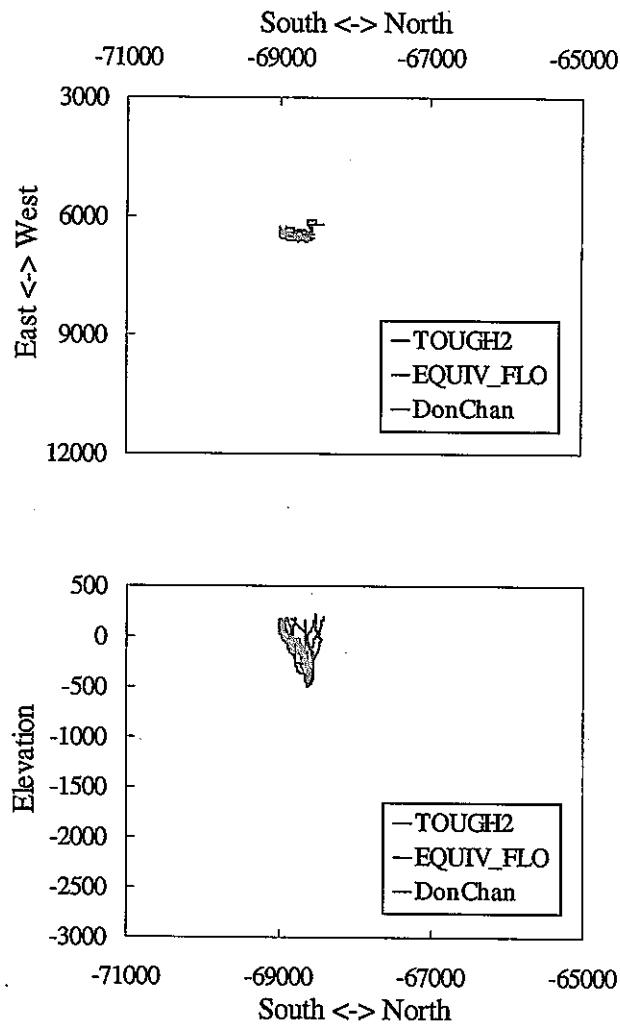


図 7.2-19 指定点 18 (XY-6, EL.-500m) からの移行経路投影図

(左上：水平断面、左下：南北断面、右上：東西断面)

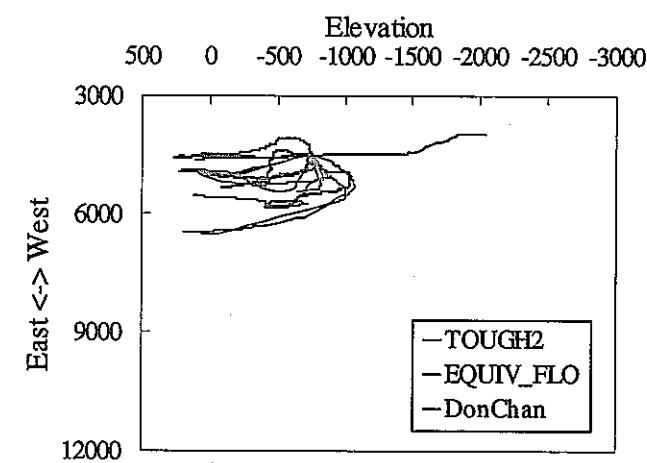
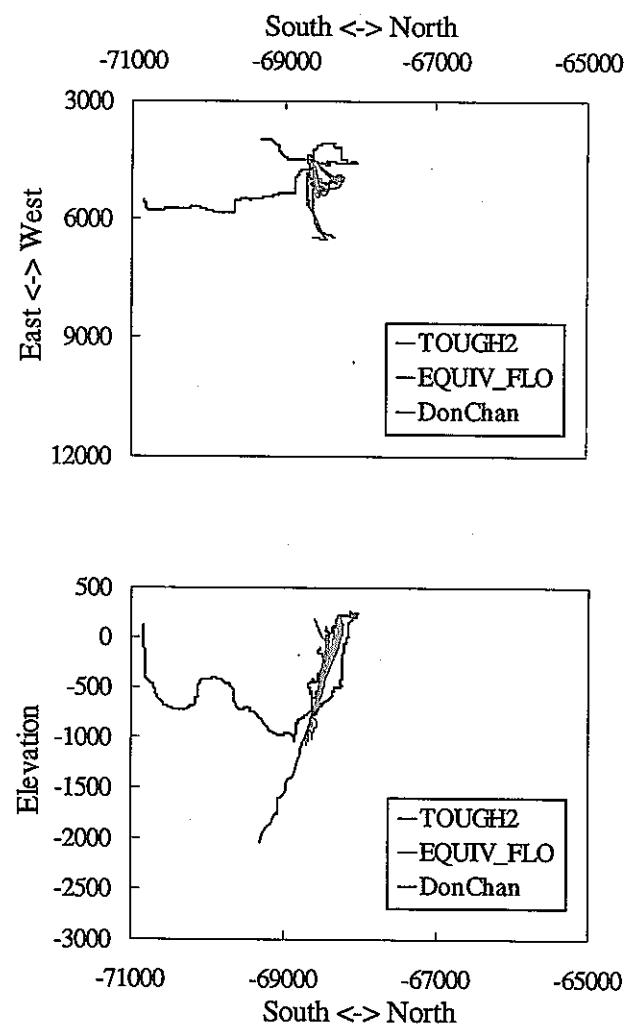


図 7.2-20 指定点 19 (XY-4, EL.-750m) からの移行経路投影図

(左上：水平断面、左下：南北断面、右上：東西断面)

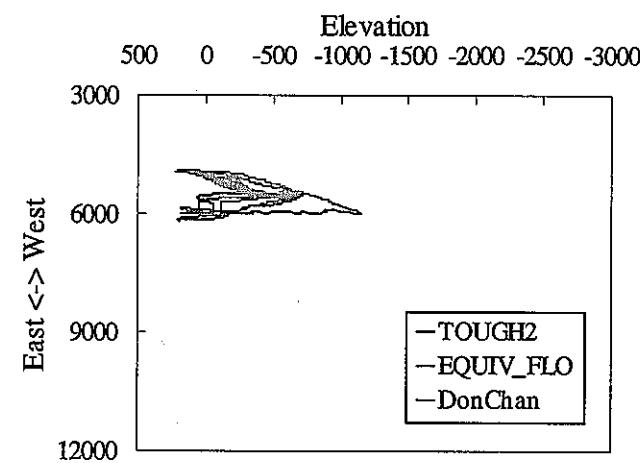
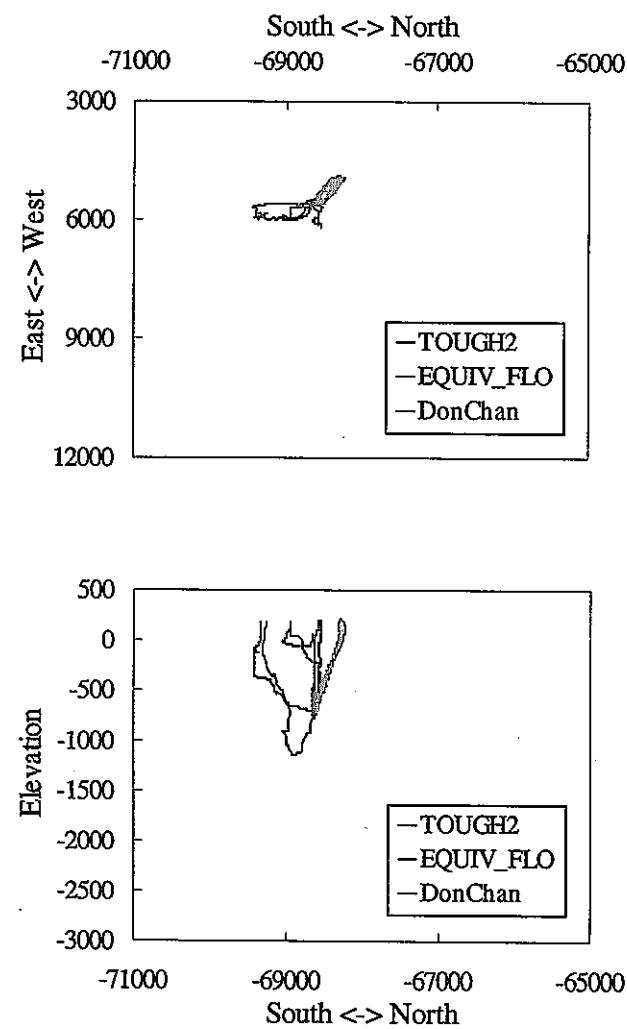


図 7.2-21 指定点 20 (XY-5, EL.-750m) からの移行経路投影図

(左上：水平断面、左下：南北断面、右上：東西断面)

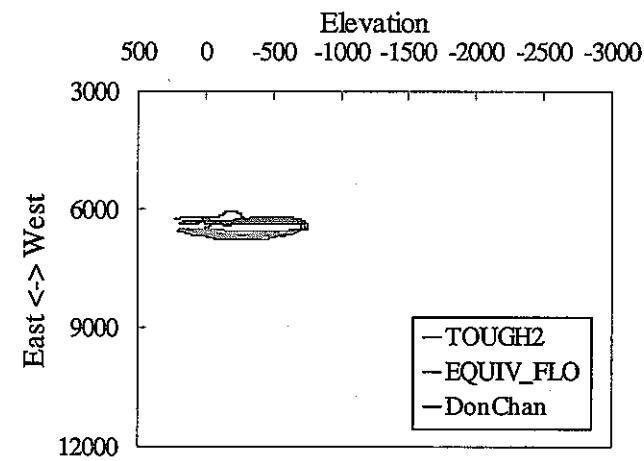
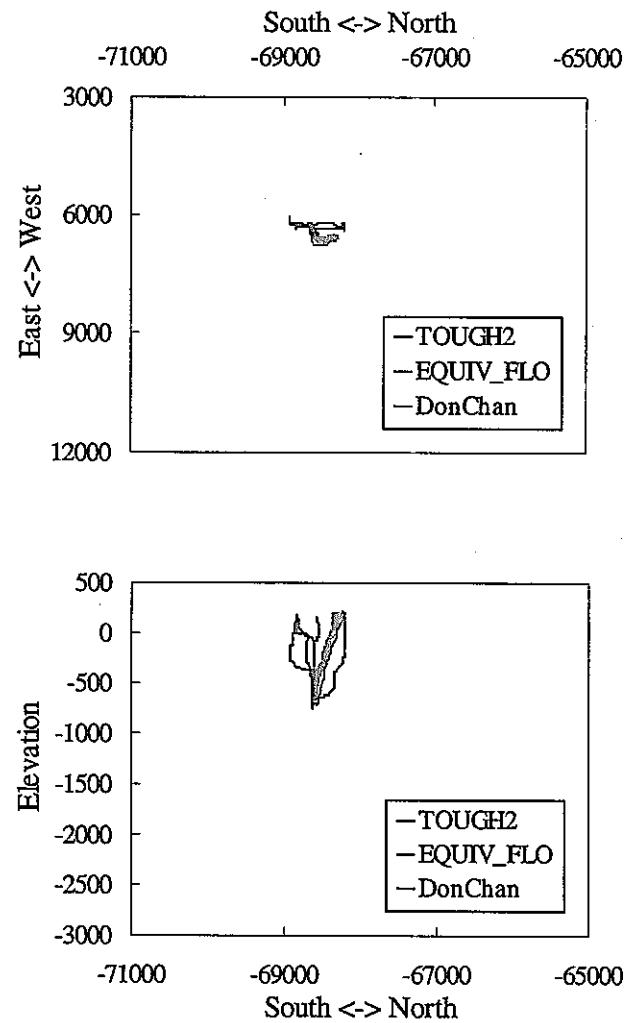


図 7.2-22 指定点 21 (XY-6, EL.-750m) からの移行経路投影図

(左上：水平断面、左下：南北断面、右上：東西断面)

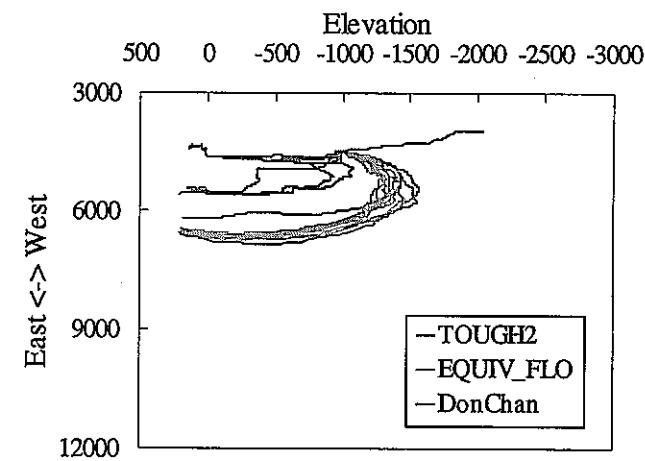
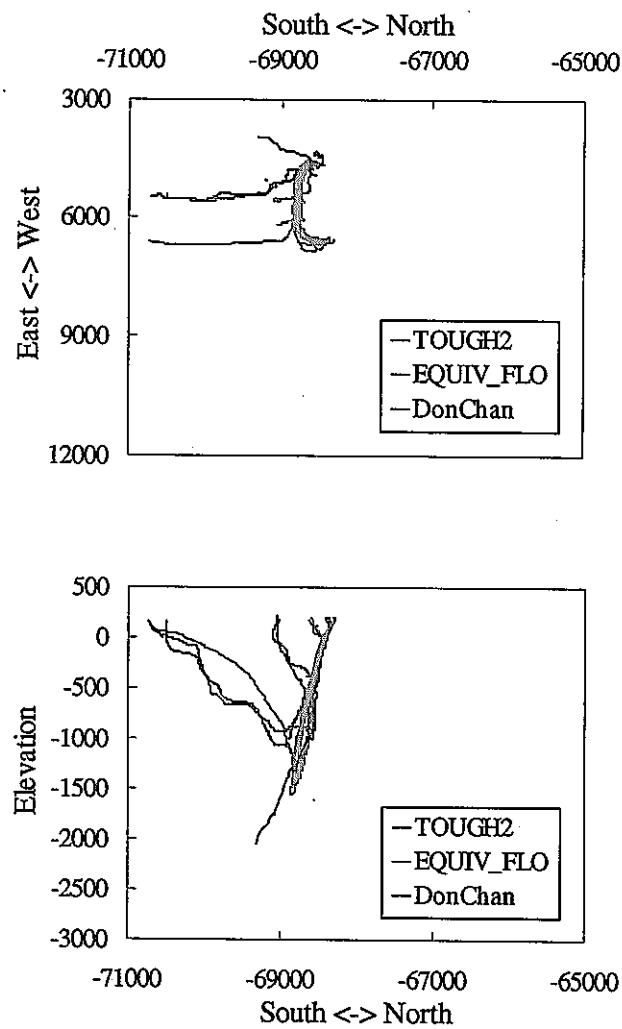


図 7.2-23 指定点 22 (XY-4, EL.-1,000m) からの移行経路投影図

(左上：水平断面，左下：南北断面，右上：東西断面)

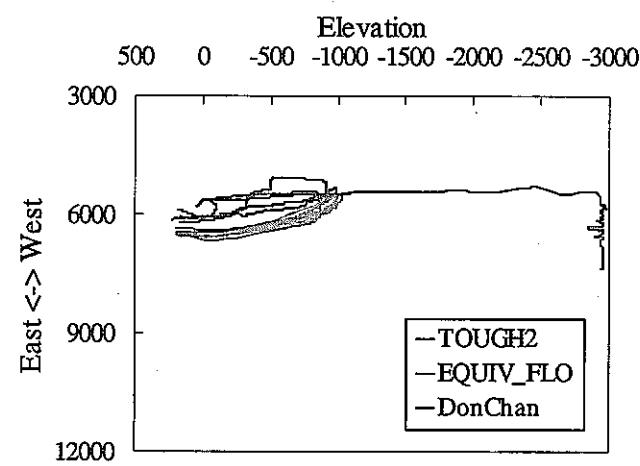
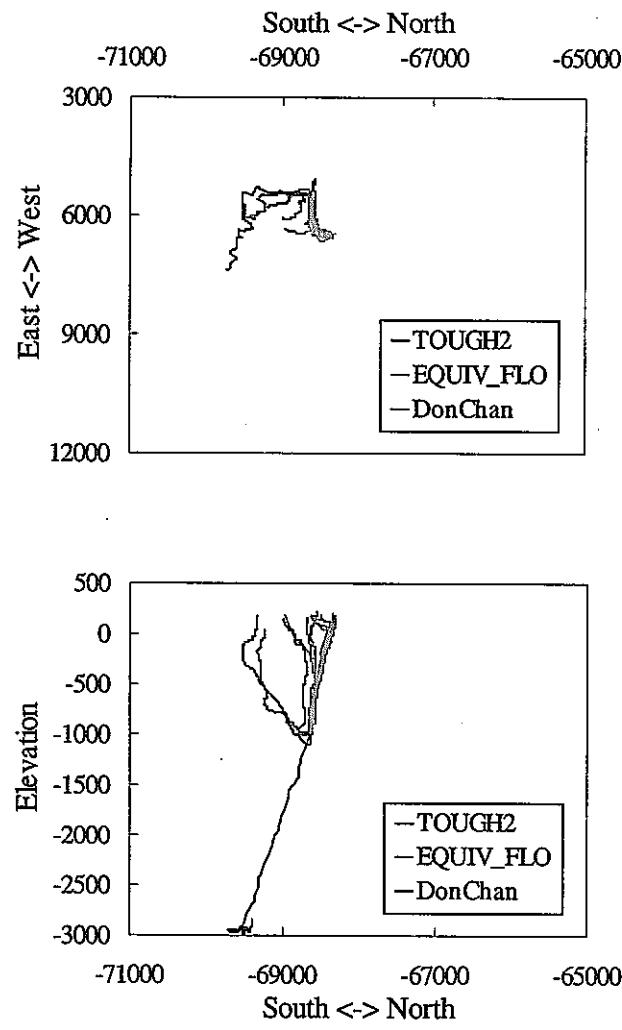


図 7.2-24 指定点 23 (XY-5, EL.-1,000m) からの移行経路投影図

(左上：水平断面，左下：南北断面，右上：東西断面)

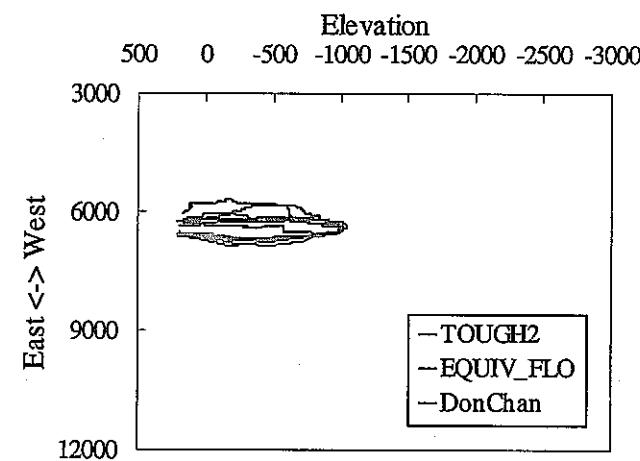
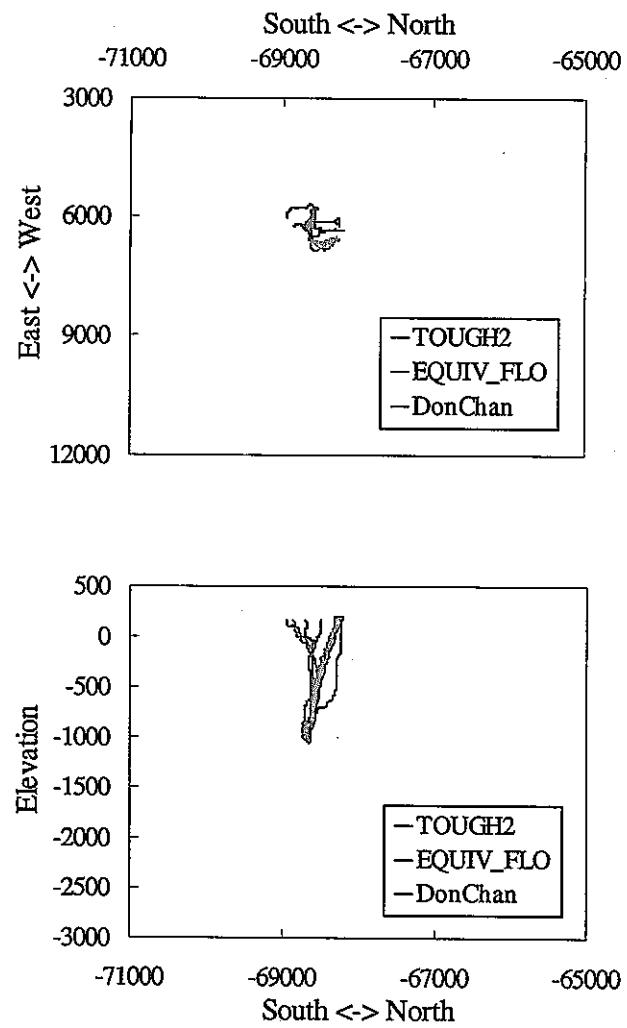


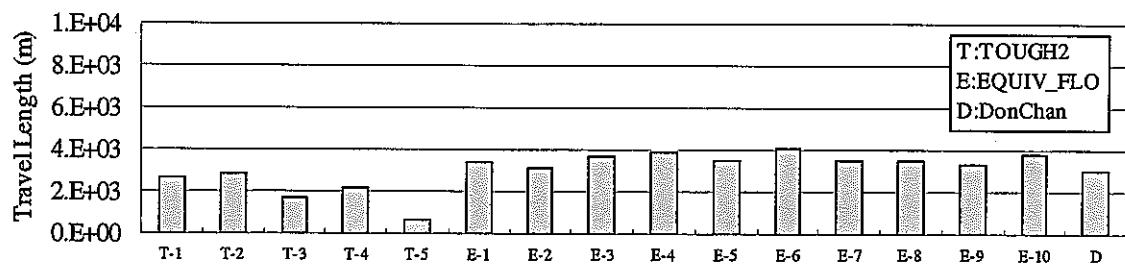
図 7.2-25 指定点 24 (XY-6, EL.-1,000m) からの移行経路投影図

(左上：水平断面，左下：南北断面，右上：東西断面)

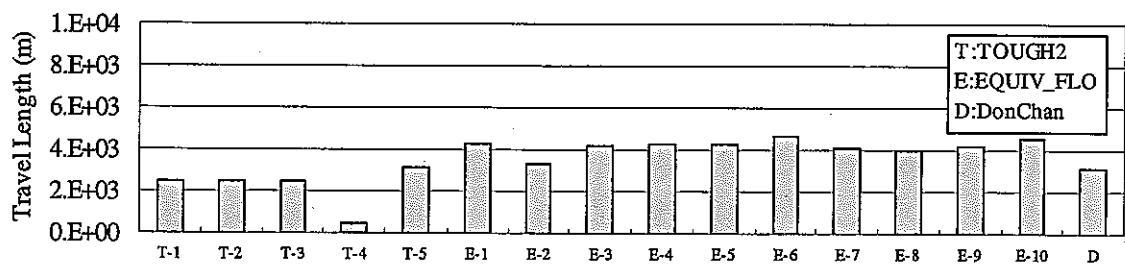
## 7.2.2 移行経路長

移行経路長を図 7.2-26～図 7.2-31に示す。これらの結果より、以下のような知見を得られる。

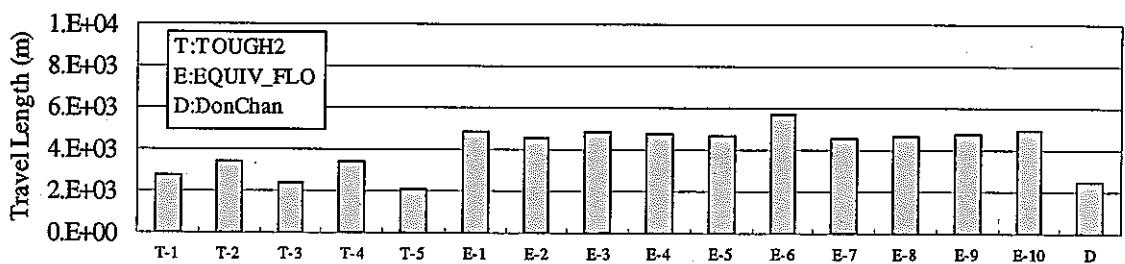
- XY-1 に位置する指定点からの移行経路について、TOUGH2 では、一部のリアライゼーションで深度間のばらつきが大きいものが見られる。他のリアライゼーションにおいては 2,000～4,000m の範囲に分布しているが深度の大小による傾向は把握できない。EQUIV\_FLO はリアライゼーション間のばらつきは大きくなく、深度が増すにつれて移行経路長が増加する傾向がある。Don-Chan は各深度で 3,000m 前後となっている。XY-1 の全体的なばらつきは 500～6,000m の範囲であった。
- XY-2 及び XY-3 上の指定点からの移行経路について、移行経路にモデル間で差がなかったため、移行経路長もばらつきが小さい結果となっている。また、EQUIV\_FLO と Don-Chan においては深度が増すにつれて移行経路長が増加する傾向がある。
- XY-4 上の指定点からの移行経路について、TOUGH2 では移行経路自体が大きく異なっていることから移行経路長のばらつきも大きい。EQUIV\_FLO ではリアライゼーション間のばらつきは小さいが、深度が増すにつれて移行経路長が大きくなる傾向がある。ただし、EL.-750mに位置する指定点 19 からの移行経路長は、指定点 19 が他の指定点よりも断層に近いため、ばらつきが若干大きくなっている。Don-Chan は移行経路自体にばらつきがあるため、移行経路長もまちまちである。ここで、指定点 19 (EL.-750m) 及び指定点 22 (EL.-1,000m) からの移行経路は、領域西側の側方境界へ潜り込みながら流出する経路を探ることから、移行経路長は深度の大きい指定点 22 の方が短くなっている。
- XY-5 及び XY-6 に位置する指定点からの移行経路については、移行経路のばらつきが TOUGH2 及び EQUIV\_FLO とも小さく、Don-Chan も深度ごとの移行経路の違いが大きくなないことから、全体的に近い移行経路長となっている。ただし、指定点 23(XY-5, EL.-1,000m) の Don-Chan の移行経路長については、移行経路が東側の側方境界の深部であるため、移行経路長は長くなっている。
- 昨年度と比較して、TOUGH2 及び EQUIV\_FLO については、概ね経路長は増加する傾向にあるが、Don-Chan は前述の通り、モデル自体が昨年度と大きく変わっているため、経路長は増加する場合もあれば、減少する場合もあり、特別な傾向はつかめない。



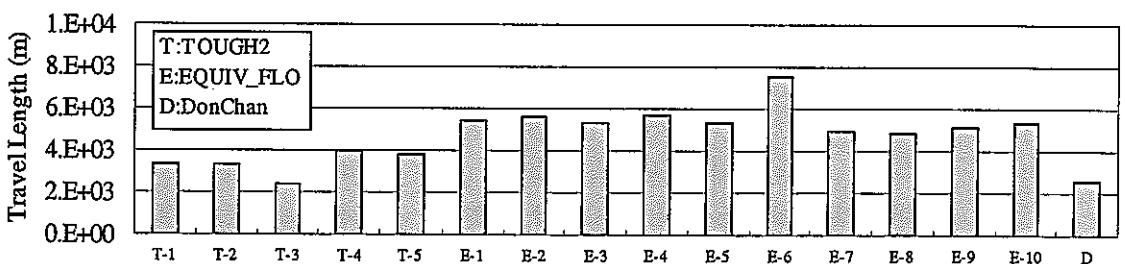
a) 深度・250m (指定点 1)



b) 深度・500m (指定点 4)

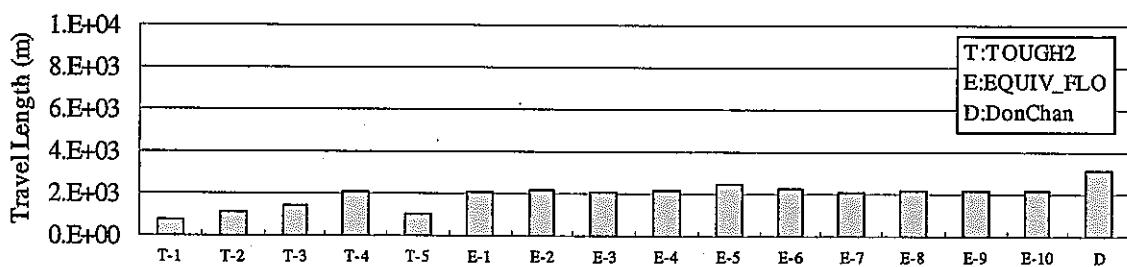


c) 深度・750m (指定点 7)

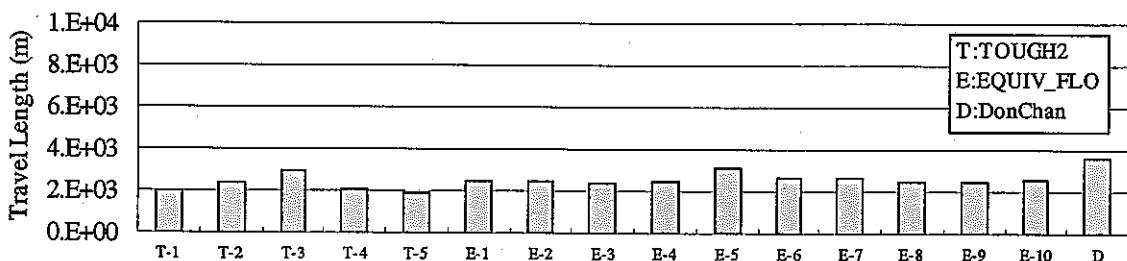


d) 深度・1,000m (指定点 10)

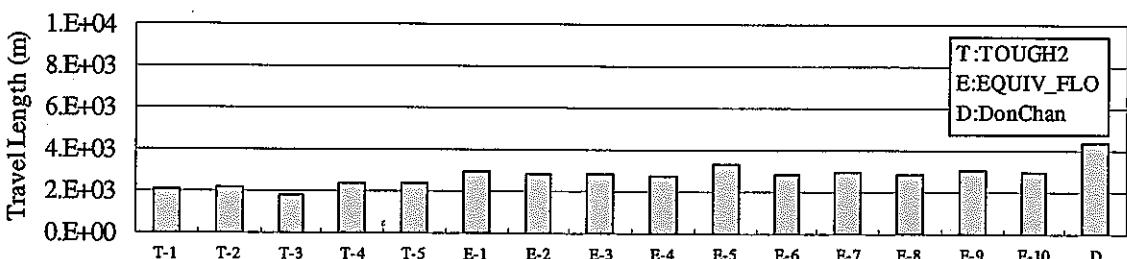
図 7.2-26 出発点 XY-1 上の各指定点からの移行経路長



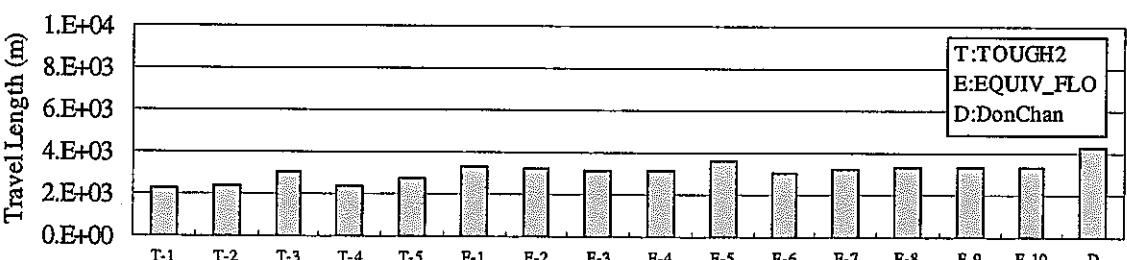
a) 深度・250m (指定点 2)



b) 深度・500m (指定点 5)

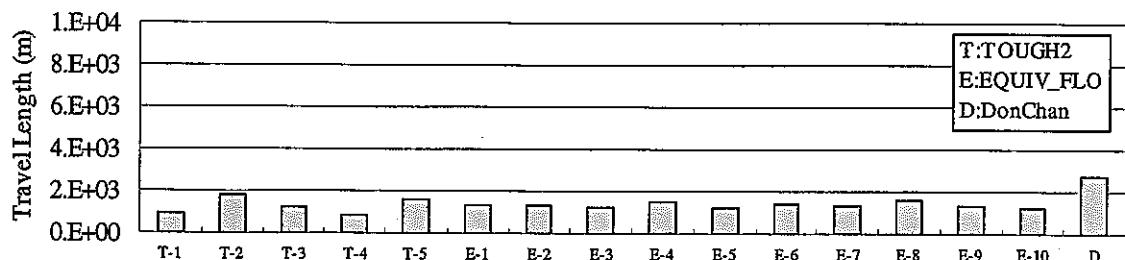


c) 深度・750m (指定点 8)

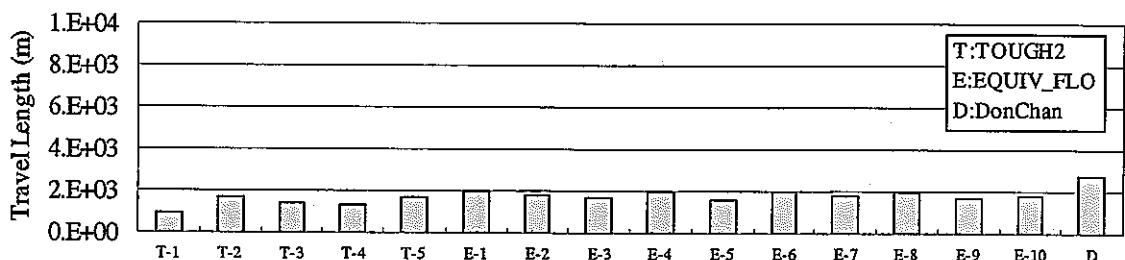


d) 深度・1,000m (指定点 11)

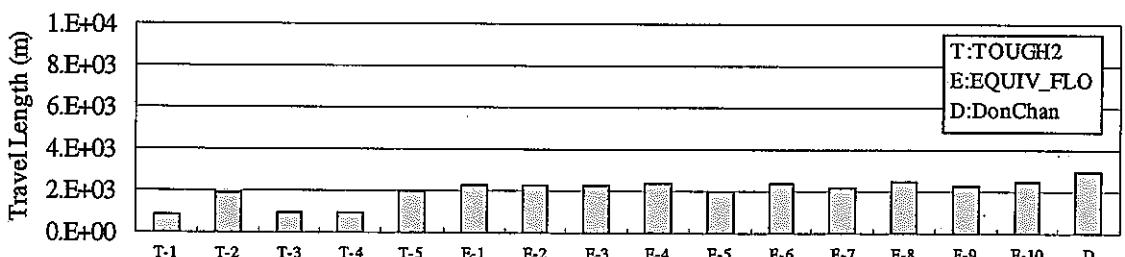
図 7.2-27 出発点 XY-2 上の各指定点からの移行経路長



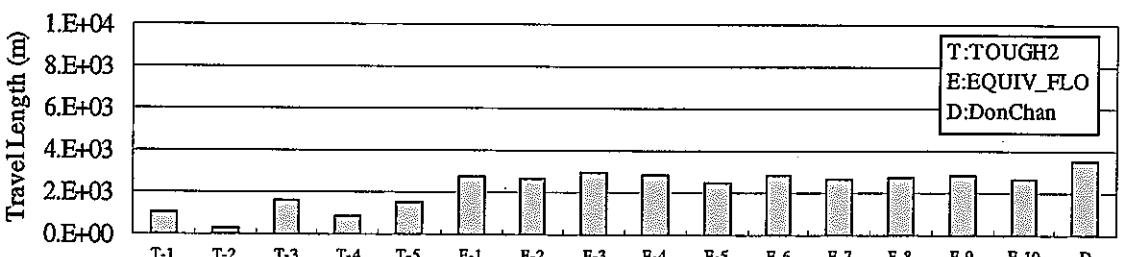
a) 深度-250m (指定点 3)



b) 深度-500m (指定点 6)

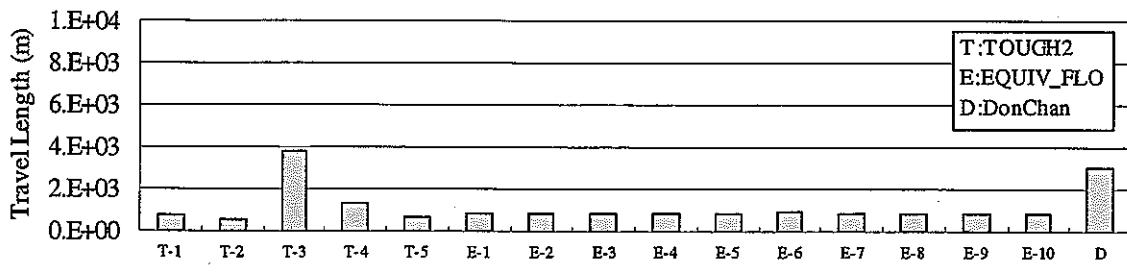


c) 深度-750m (指定点 9)

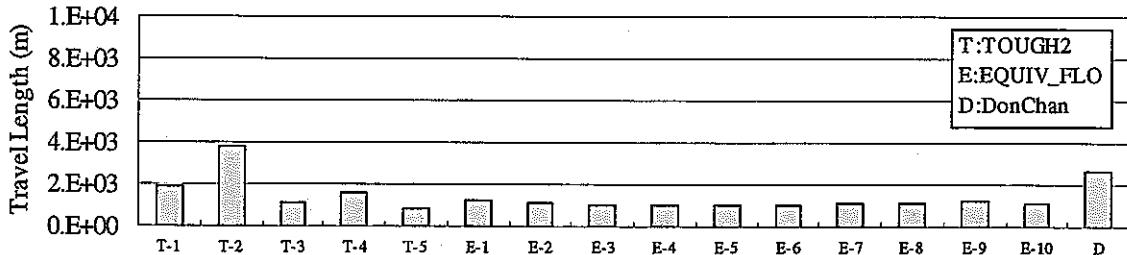


d) 深度-1,000m (指定点 12)

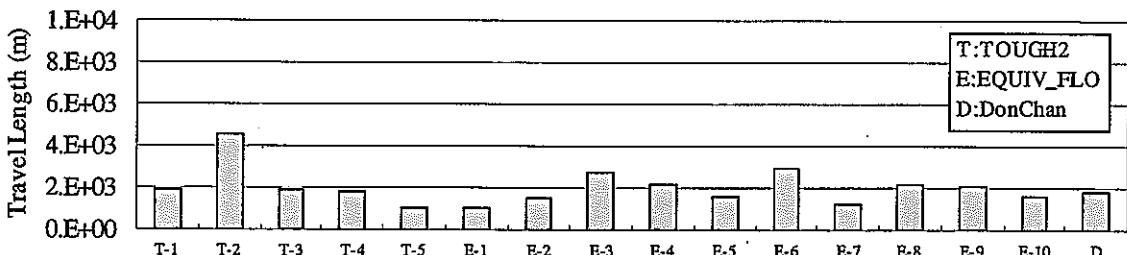
図 7.2-28 出発点 XY-3 上の各指定点からの移行経路長



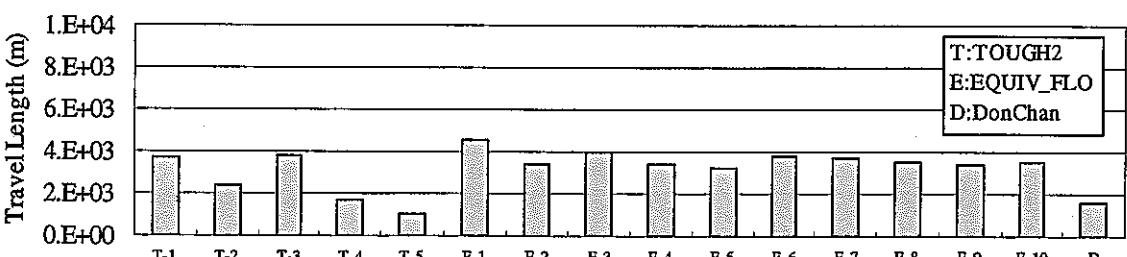
a) 深度・250m (指定点 13)



b) 深度・500m (指定点 16)

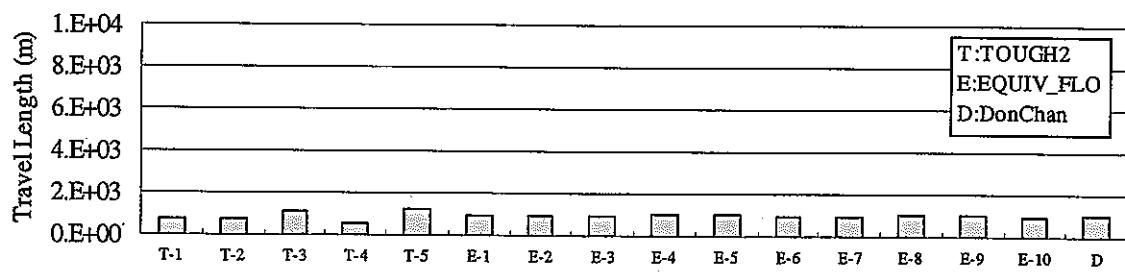


c) 深度・750m (指定点 19)

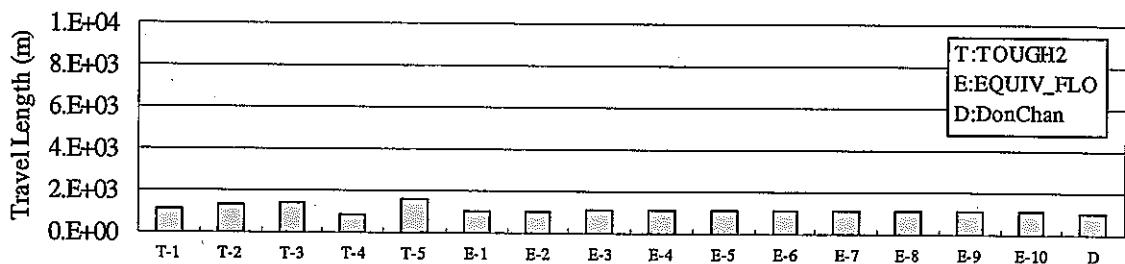


d) 深度・1,000m (指定点 22)

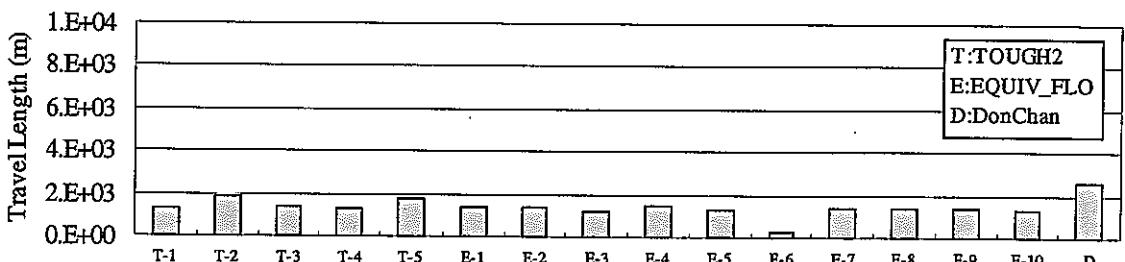
図 7.2-29 出発点 XY-4 上の各指定点からの移行経路長



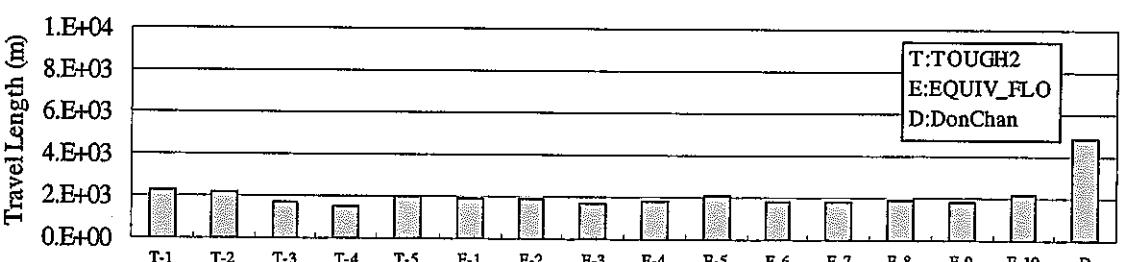
a) 深度・250m (指定点 14)



b) 深度・500m (指定点 17)

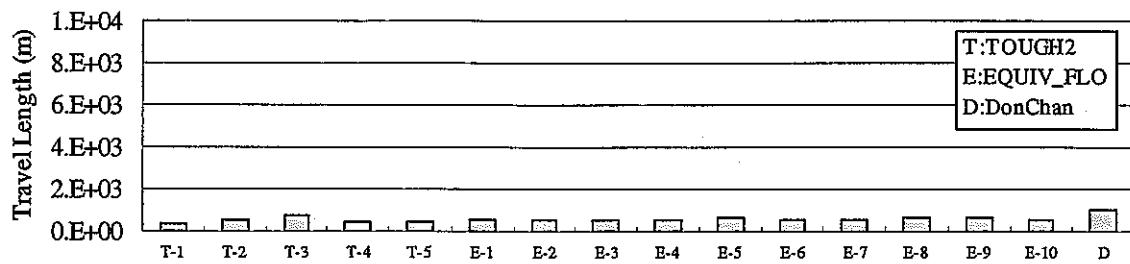


c) 深度・750m (指定点 20)

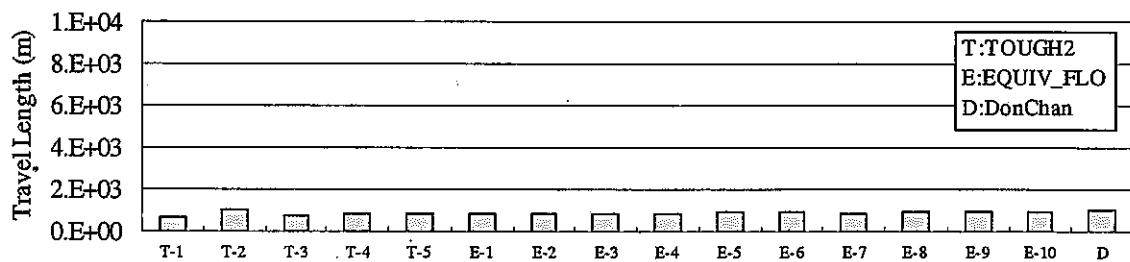


d) 深度・1,000m (指定点 23)

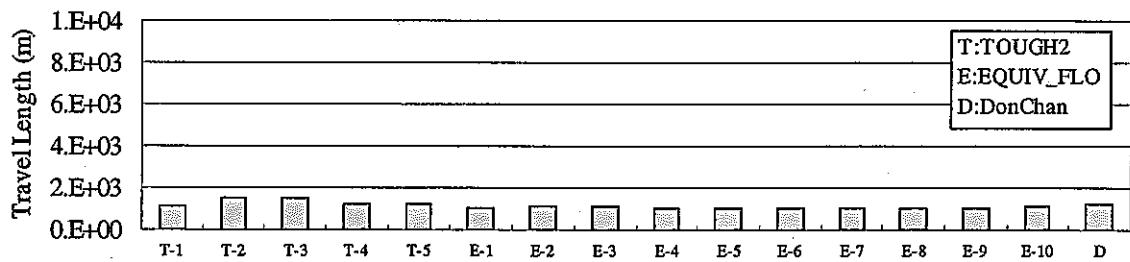
図 7.2-30 出発点 XY-5 上の各指定点からの移行経路長



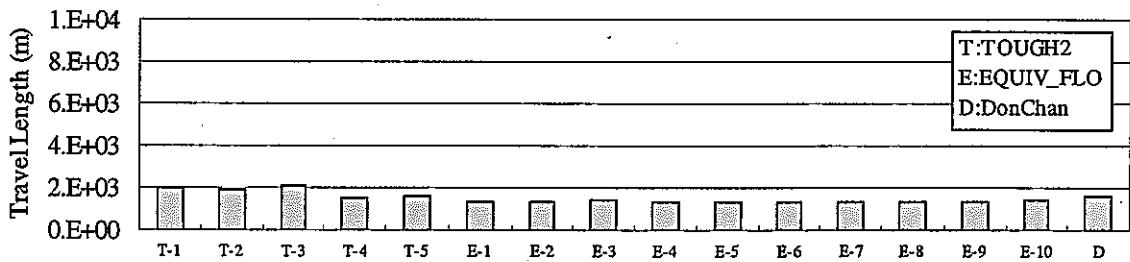
a) 深度-250m (指定点 15)



b) 深度-500m (指定点 18)



c) 深度-750m (指定点 21)



d) 深度-1,000m (指定点 24)

図 7.2-31 出発点 XY-6 上の各指定点からの移行経路長

### 7.2.3 移行経路上の平均ダルシーアーチ流速

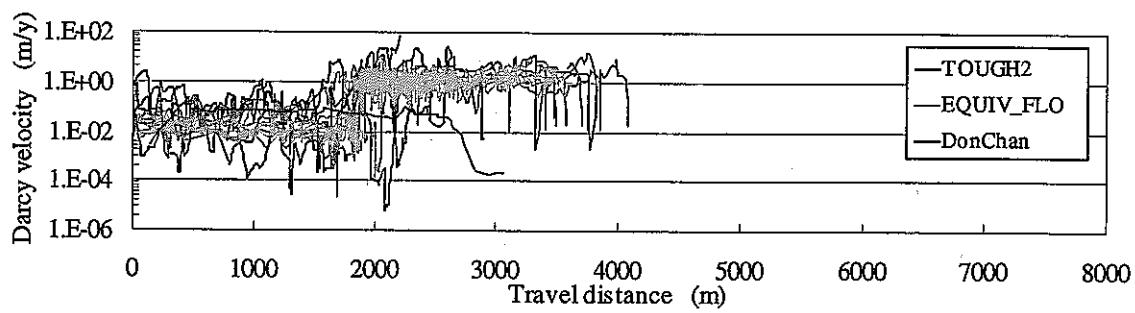
図 7.2-32～図 7.2-37に移行経路に対するダルシーアーチ流速の変遷を示す。これらは、累積移行距離に対する、その位置でのダルシーアーチ流速の値をプロットしたものである。

移行経路上のダルシーアーチ流速に関しては以下のようないわゆる知見が得られる。

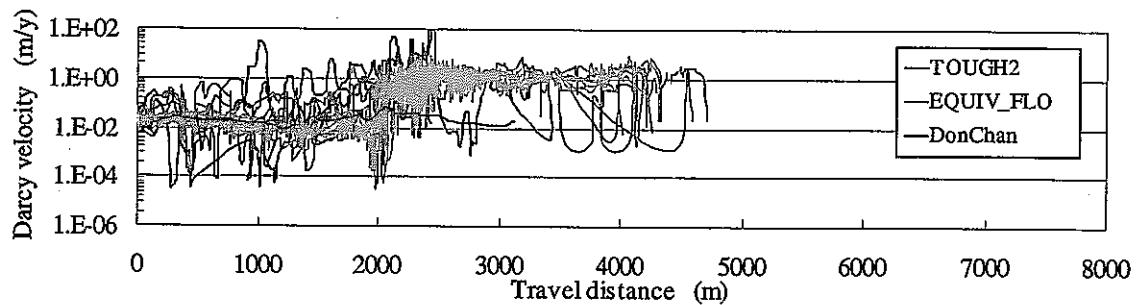
- ダルシーアーチ流速は、移行経路が通過する要素間において岩種が変化した時にその透水係数の変化に合わせて上下する。XY-1 上の各指定点を通過する流れについては、TOUGH2 及び EQUIV\_FLO において指定点からの移行距離が 2,000m 前後で 2 オーダー程度、ダルシーアーチ流速が増加する傾向があり、基質部（もしくは亀裂部）の流れから月吉断層の断層破碎帯内の流れへと移行したことが伺える。TOUGH2 はダルシーアーチ流速の変化幅が大きい。これは、各要素に発生させた透水係数のばらつきが原因であると考えられる。Don-Chan は、同一岩種の透水係数は一定値のため、通過する割れ目の透水性や動水勾配に起因したダルシーアーチ流速の変化が見られる。
- XY-2 上の各指定点を通過する流れについては、TOUGH2 は移行距離毎のばらつきは見られるものの、ダルシーアーチ流速の傾向の変化が若干見られるのは、指定点 11 (EL.-1,000m) からの移行経路のみである。これは、その他の指定点からの移行経路中には岩種の変化がないため、その岩種の透水係数のばらつきしか影響を受けていないためである。EQUIV\_FLO は XY-1 同様に移行距離 2,000m 付近の位置からダルシーアーチ流速の値に変化が見られ、月吉断層内への流れに変わったことが伺える。Don-Chan は、指定点 2 及び 5 において EQUIV\_FLO と同様のダルシーアーチ流速の上昇が見られる。これは EQUIV\_FLO に比較的近い移行経路であるためである。深度が増した指定点 8 及び 11 においては、ダルシーアーチ流速は最初の段階で比較的高い値となった後は顕著な変化は見られない。これは、流れが指定点 8 及び 11 を通過後、比較的早い段階で透水性の高い割れ目に乗りたためであると考えられる。
- XY-3 上の各指定点を通過する流れについて、TOUGH2 の移行経路が、北東の側方境界へ流出する傾向であり、岩種の変化による透水係数の変化も大きくないことから、ここでのダルシーアーチ流速の変化は透水係数の振れ幅に起因するものである。また、EQUIV\_FLO も指定点 12 を除く各指定点からの移行経路も月吉断層には到達せずに地表面へ到達している。ここで、ダルシーアーチ流速が徐々に大きくなる傾向は、月吉断層の影響よりも地表面近傍の上部割れ目帯や風化花崗岩の透水係数が高いことに起因するものである。月吉断層の断層破碎帯が影響したダルシーアーチ流速の増加は、EQUIV\_FLO の指定点 12 と Don-Chan の移行経路で起こっている。
- XY-4 上の各指定点を通過する流れについては、TOUGH2 と EQUIV\_FLO のダルシーアーチ流速は深部で断層を境に傾向が変わってしまうため傾向を掴み難いが、月吉断層北側の XY-1 と比べて断層破碎帯に近いため、平均的に流速が速くなりやすい。断層破碎帯到達前後の流速は概ね同程度である。Don-Chan は指定点から離れたあとすぐに急激に流速が増加し、しばらく大きな変化無く進んだ後、地表面に流出する際には速い流

速によって地表面に流出する傾向がある。これは、指定点から亀裂部に流れが到達した段階でまず流速が増し、地表面付近の有効間隙率の大きい堆積岩の部分に到達したところで再度流速が増すためである。

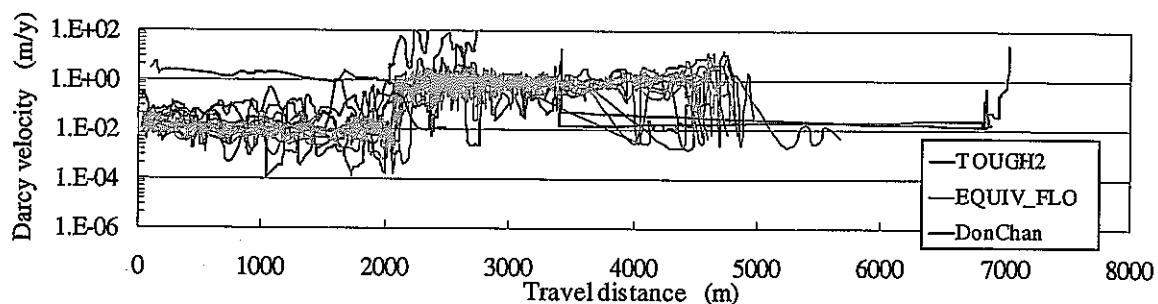
- XY-5において、TOUGH2は値が振れるものの平均的な傾向ではほぼ一定なダルシーフlow速になっており、断層等による顕著な影響は見られない。EQUIV\_FLOは移行距離にともなってダルシーフlow速が大きくなり、地表に流出する際には、急激に流速が小さくなっている。これはXY-3と同様に上部割れ目帯や風化花崗岩の影響である。ただし、EL.-1,000mに位置する指定点23ではかえって断層に近いため、断層破碎帶内を通過する速い流速が平均的な値となっている。Don-Chanは指定点17(EL.-500m)以上では、EQUIV\_FLO同様にダルシーフlow速の上昇が目立つが、指定点20(EL.-750m)からは移行経路の通過する岩種が月吉断層の断層破碎帶が大半を占めるため、流速の平均的な傾向がほぼ一定な分布になっている。
- XY-6においては、全モデルとも月吉断層内での大きなダルシーフlow速が確認できる。地表面付近では断層内と比較してダルシーフlow速は小さいと見られる場所を通過し、流速が減少する傾向も見られる。これらの傾向は特に指定点24で顕著に見られる。



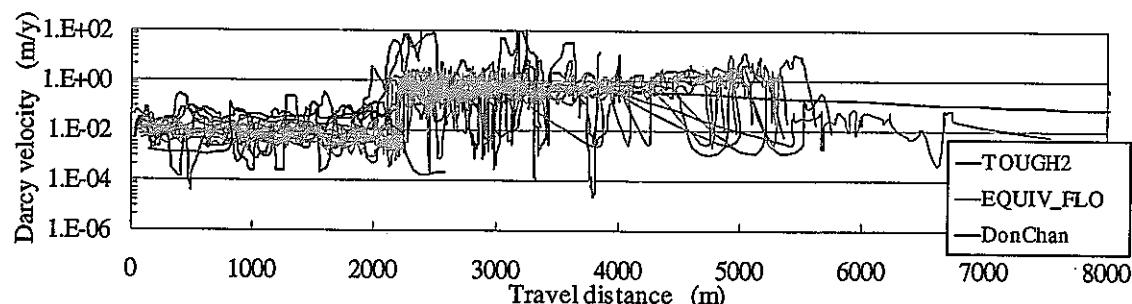
a) 深度-250m (指定点 1)



b) 深度-500m (指定点 4)

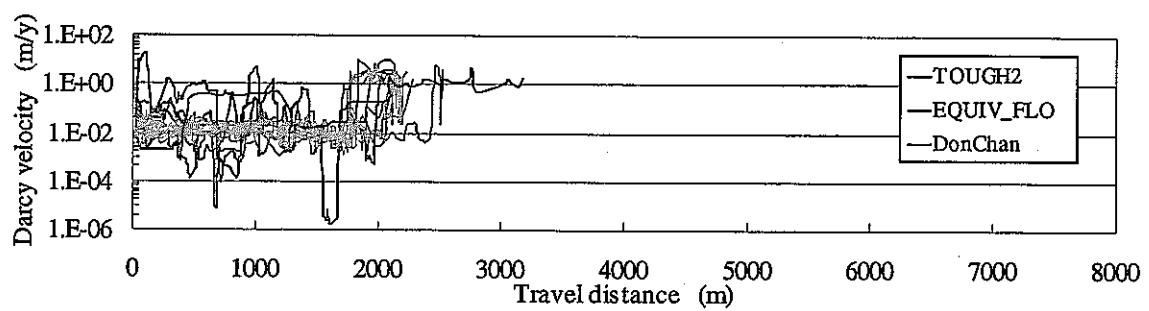


c) 深度-750m (指定点 7)

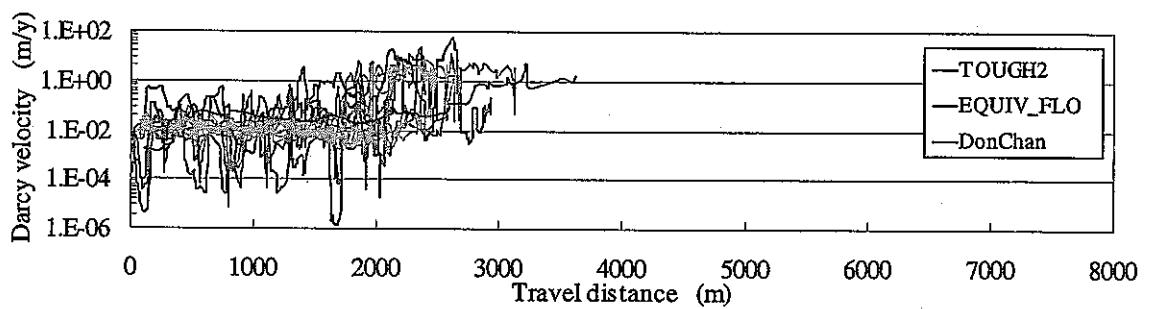


d) 深度-1,000m (指定点 10)

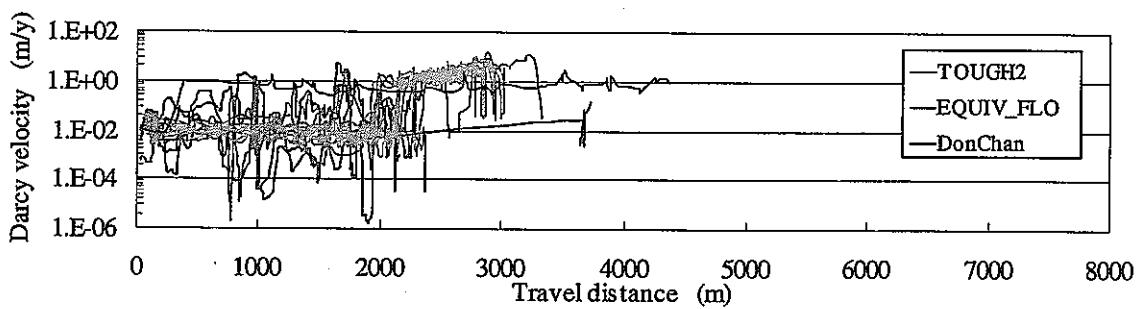
図 7.2-32 出発点 XY-1 上の各指定点からの Darcy 流速



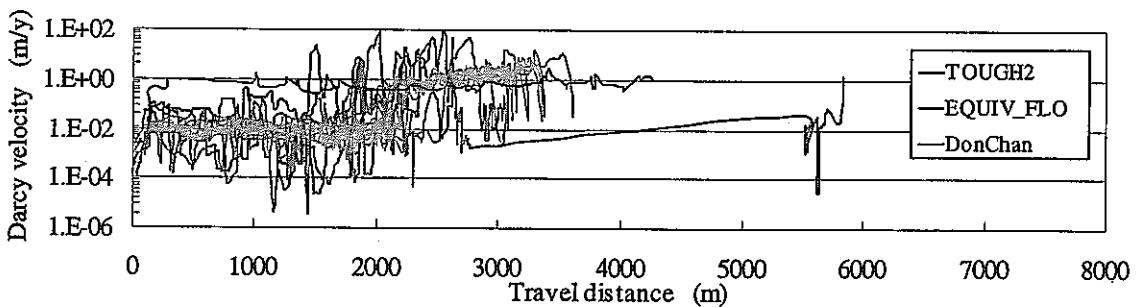
a) 深度-250m (指定点 2)



b) 深度-500m (指定点 5)

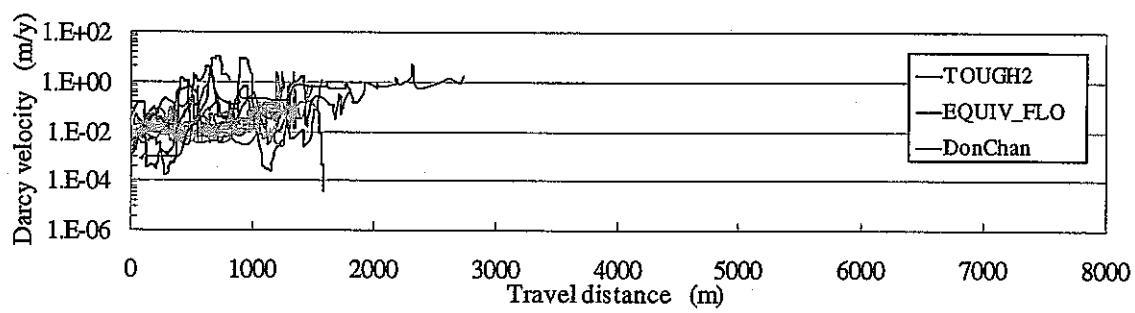


c) 深度-750m (指定点 8)

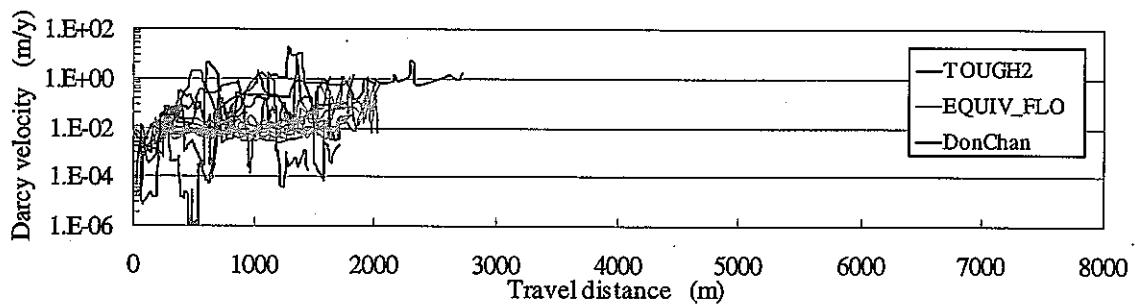


d) 深度-1,000m (指定点 11)

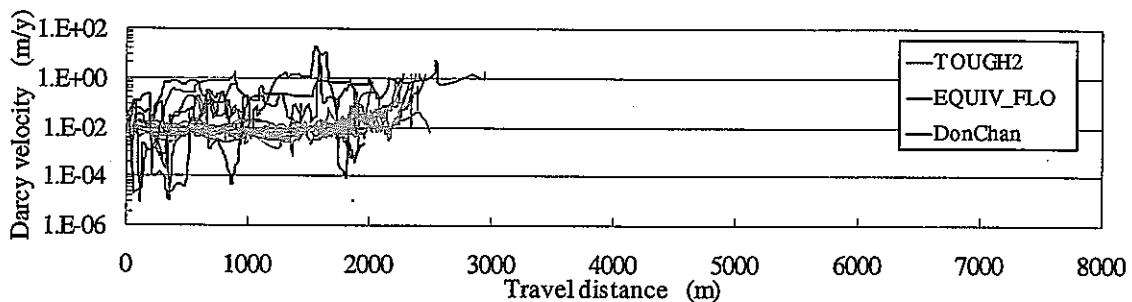
図 7.2-33 出発点 XY-2 上の各指定点からの Darcy 流速



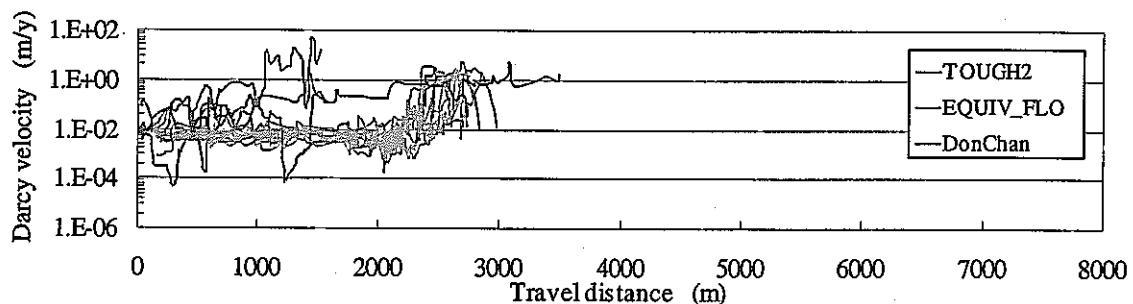
a) 深度・250m (指定点 3)



b) 深度・500m (指定点 6)

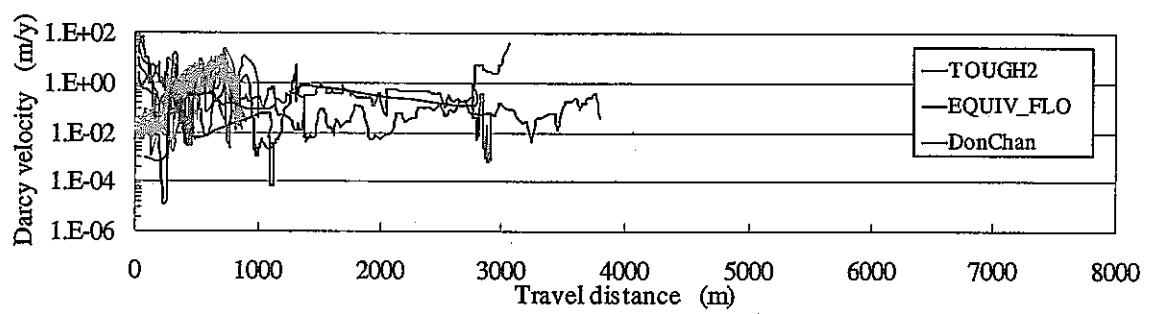


c) 深度・750m (指定点 9)

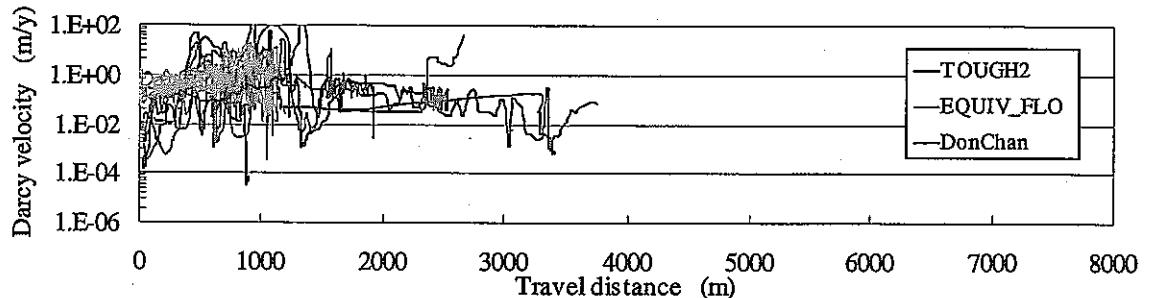


d) 深度・1,000m (指定点 12)

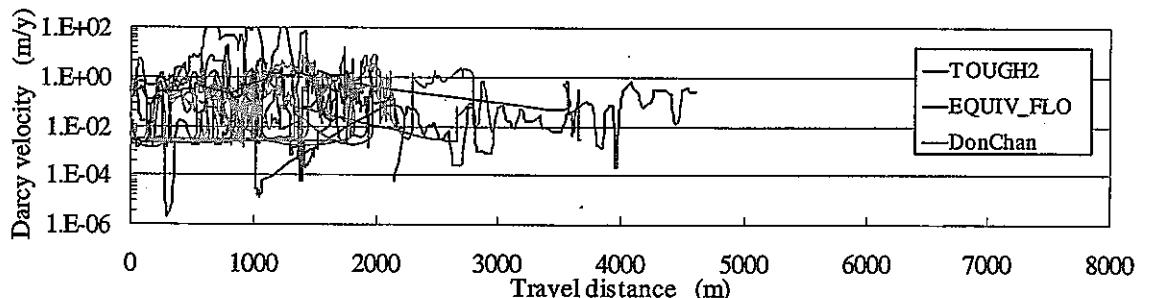
図 7.2-34 出発点 XY-3 上の各指定点からの Darcy 流速



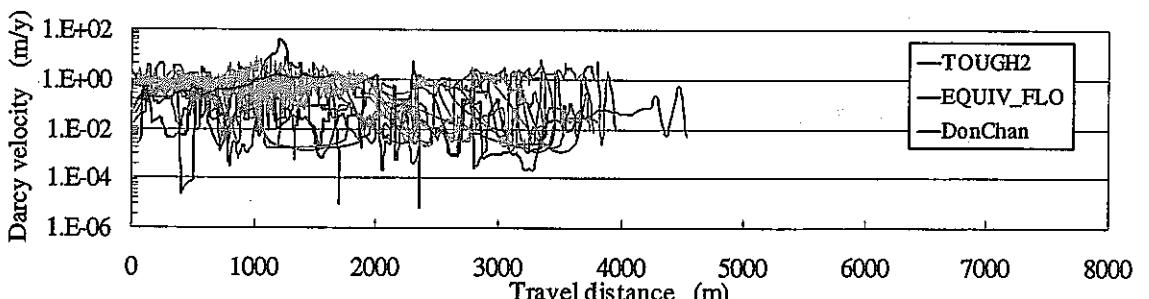
a) 深度-250m (指定点 13)



b) 深度-500m (指定点 16)

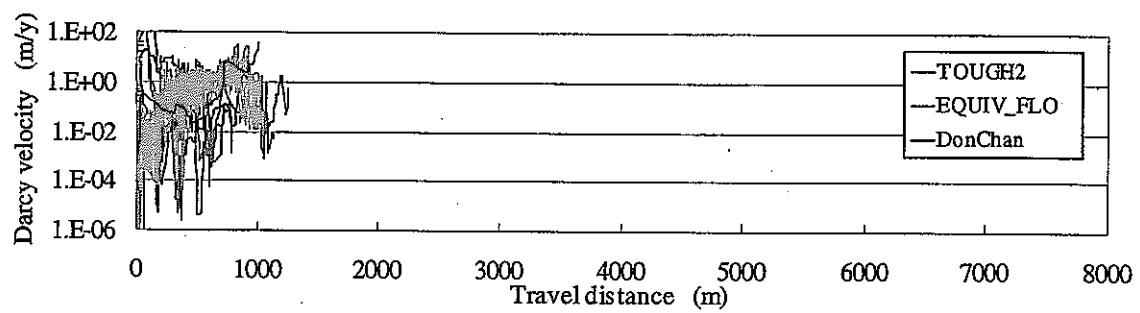


c) 深度-750m (指定点 19)

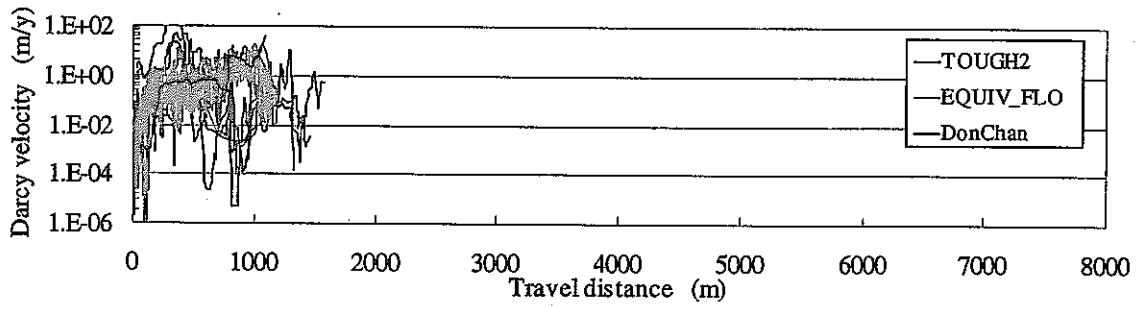


d) 深度-1,000m (指定点 22)

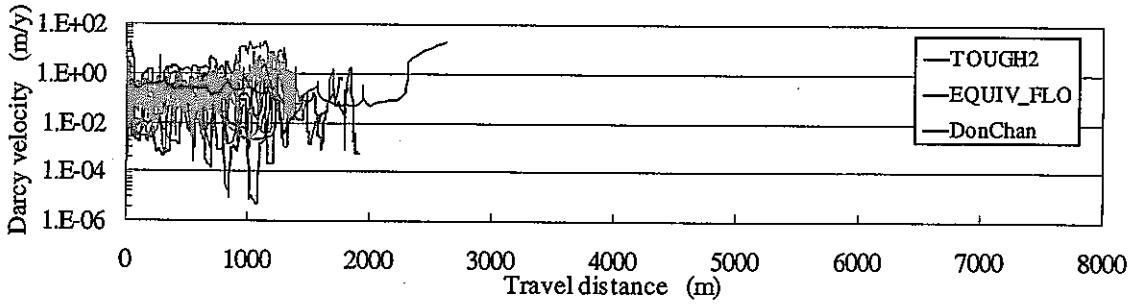
図 7.2-35 出発点 XY-4 上の各指定点からの Darcy 流速



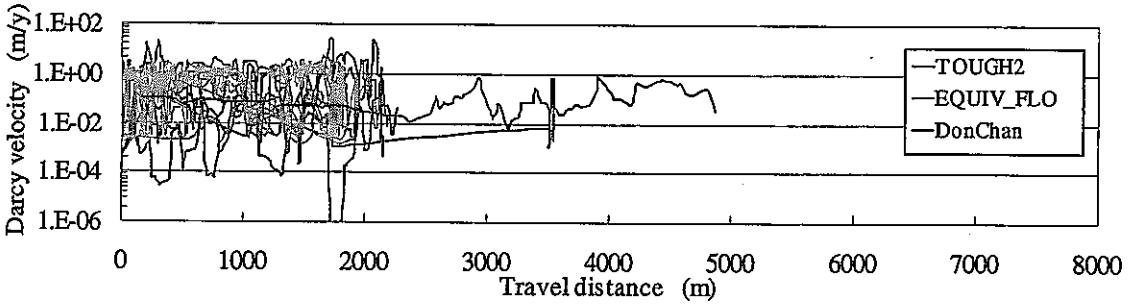
a) 深度-250m (指定点 14)



b) 深度-500m (指定点 17)

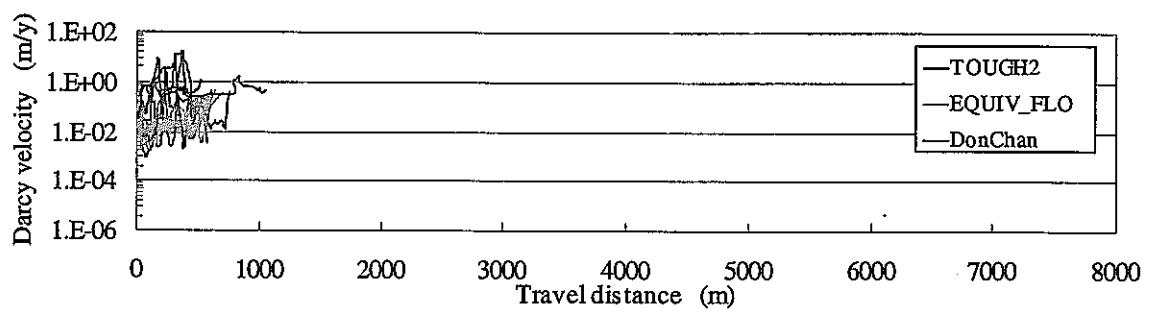


c) 深度-750m (指定点 20)

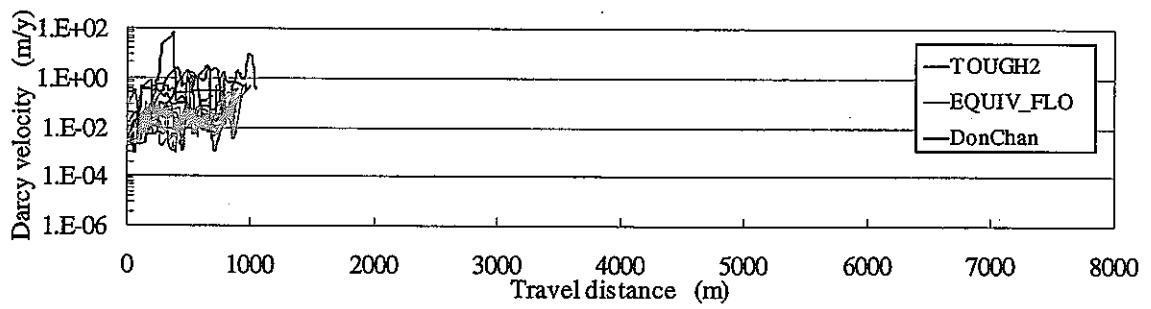


d) 深度-1,000m (指定点 23)

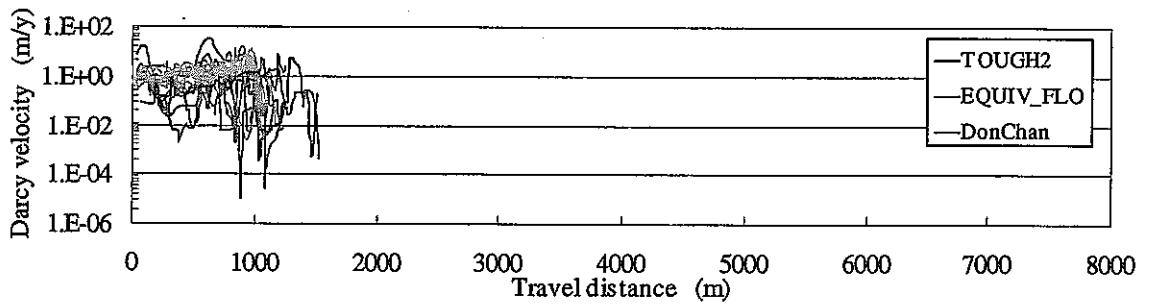
図 7.2-36 出発点 XY-5 上の各指定点からの Darcy 流速



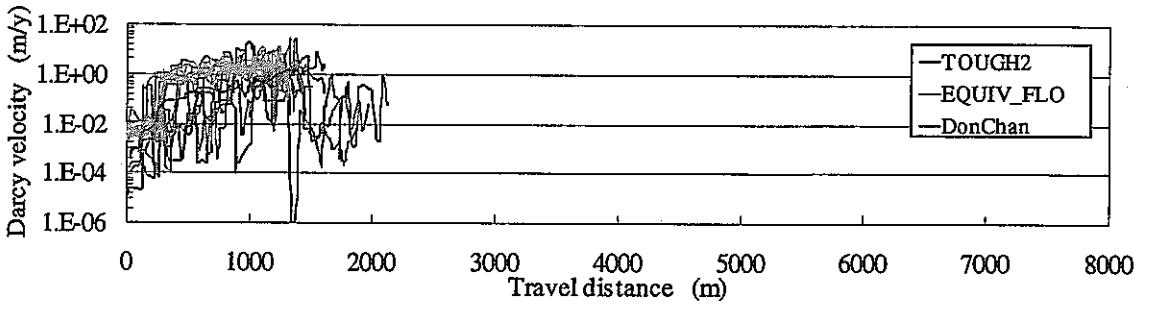
a) 深度-250m (指定点 15)



b) 深度-500m (指定点 18)



c) 深度-750m (指定点 21)



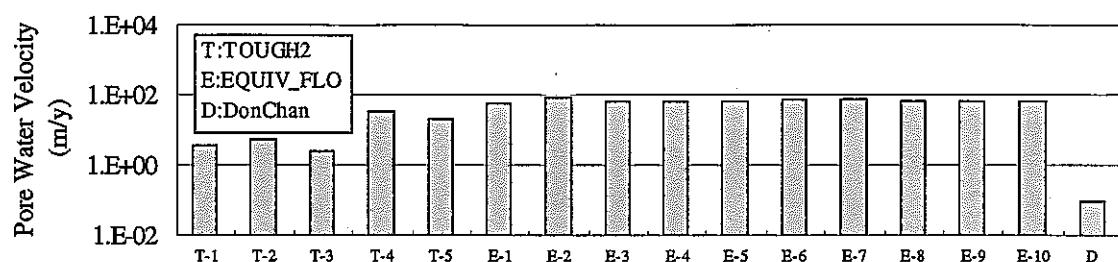
d) 深度-1,000m (指定点 24)

図 7.2-37 出発点 XY-6 上の各指定点からの Darcy 流速

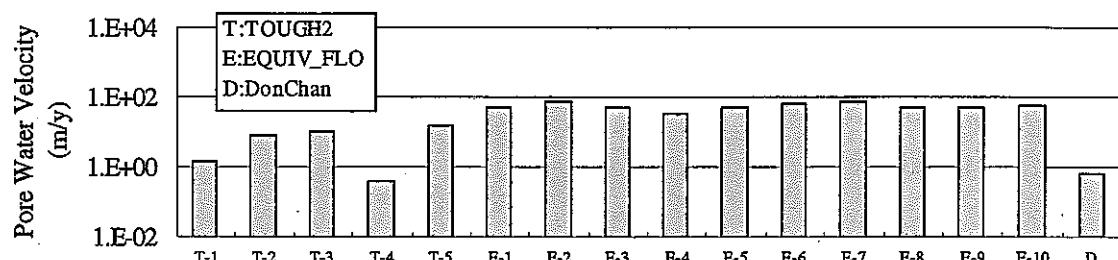
#### 7.2.4 移行経路上の平均実流速

図 7.2-38～図 7.2-43に出発点上の各指定点からの実流速を示す。総移行距離をトラベルタイムで除して移行経路上の平均的な実流速として算出している。これらにより以下の知見を得る。

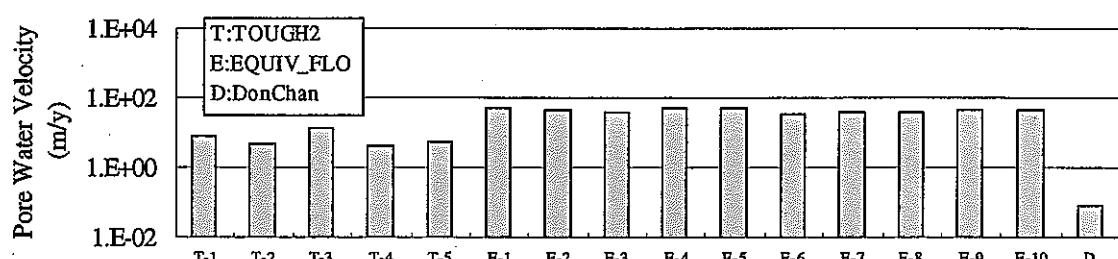
- XY-1 上の各指定点からの平均実流速については、各モデルのリアライゼーション間及び深度間のばらつきは小さい。特に EQUIV\_FLO のばらつきは小さく 100m/y 付近に分布している。移行経路の異なる Don·Chan の実流速のみ他の結果と比較して小さく求まっている。全体的に Don·Chan は流速が低いが、これは最も水頭の高い領域北西部のすぐ南側に遮水性を持つ断層を設定していることによって、動水勾配が低くなってしまうためであると想定される。また、これは他の指定点からの平均実流速も同様である。
- XY-2 上の各指定点からの平均実流速については、TOUGH2 と Don·Chan は移行経路が類似しているため両者の差は大きくないが、若干 Don·Chan が遅い傾向にある。また、深度に関わらず、1.0m/y～10m/y の範囲で分布している。EQUIV\_FLO は XY-1 と同程度の分布である。
- XY-3 上の各指定点からの平均実流速については、TOUGH2 は領域北東の側方境界へ、EQUIV\_FLO 及び Don·Chan は月吉断層付近の日吉川流域にあたる地表面に流出する傾向があるが、TOUGH2 と EQUIV\_FLO の実流速は近い値を示している。実流速は、1.0m/y～100m/y に分布しており、逆に移行経路の類似している EQUIV\_FLO と Don·Chan の実流速の値に 2 オーダー程度の開きが見られる。
- XY-4 上の各指定点からの平均実流速については、EQUIV\_FLO で断層に向かう実流速が大きく分布しており、Don·Chan のように西側の側方境界に流出する移行経路上の実流速は、EQUIV\_FLO と比較して 2 オーダー程度小さい。
- XY-5 上の各指定点からの平均実流速については、南へ流下する Don·Chan の実流速が小さく、TOUGH2 と EQUIV\_FLO のように月吉断層もしくは月吉断層付近の地表面に流出する移行経路上の実流速は大きい。
- XY-6 上の各指定点からの平均実流速については、全モデルの全リアライゼーションで移行経路が類似しており、TOUGH2, EQUIV\_FLO のリアライゼーション間のばらつきは小さく 1.0～100m/y の範囲に分布している。Don·Chan の指定点 24 (EL.-1,000m) からの移行経路は他の経路と異なるために、実流速は小さくなっている。
- 昨年度と比較して、実流速は経路長とは逆に小さくなっており、その程度はおよそ 1 桁である。



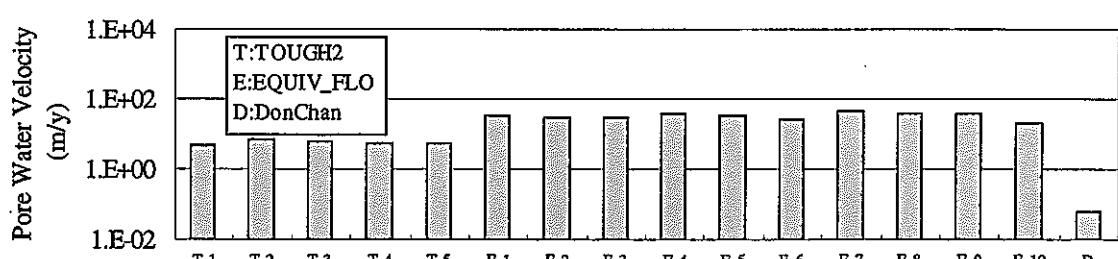
a) 深度・250m (指定点 1)



b) 深度・500m (指定点 4)

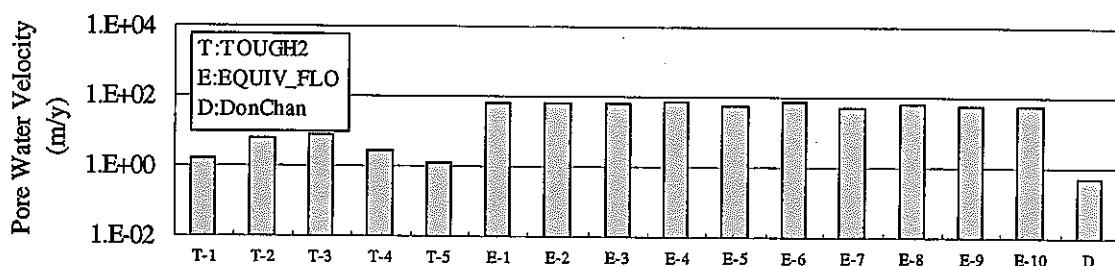


c) 深度・750m (指定点 7)

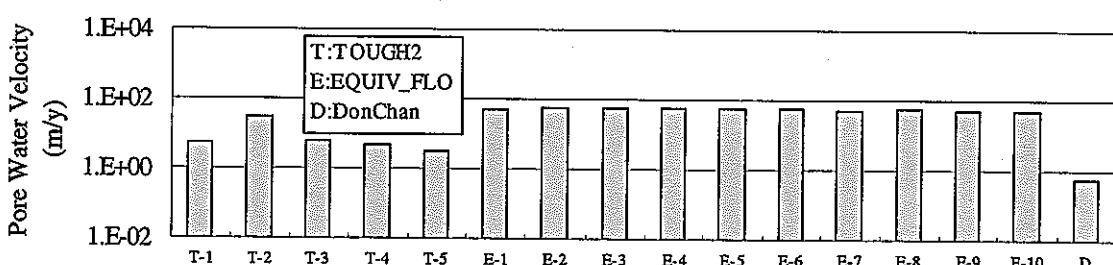


d) 深度・1,000m (指定点 10)

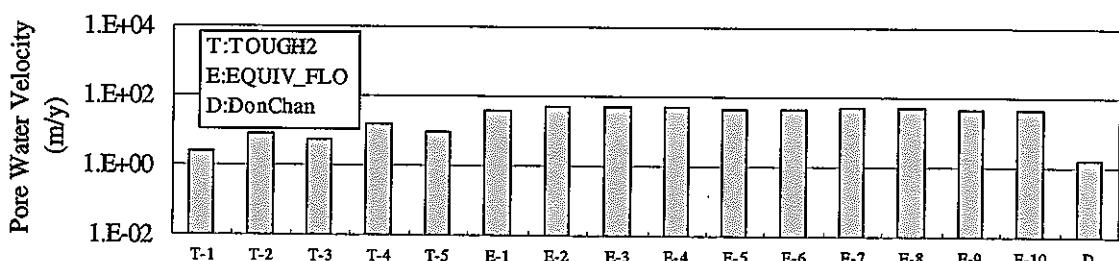
図 7.2-38 出発点 XY-1 上の各指定点からの移行経路内の実流速



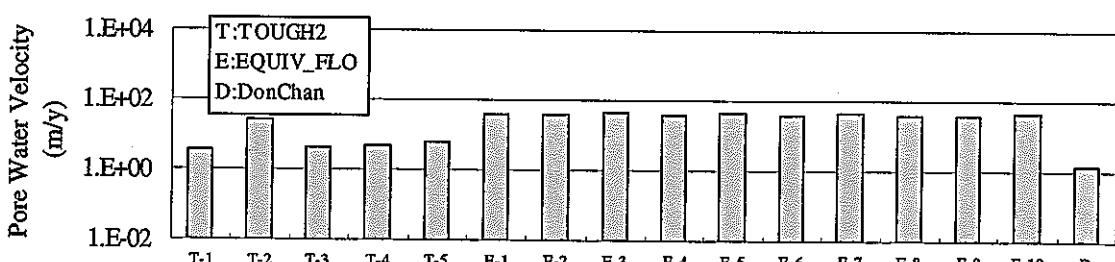
a) 深度-250m (指定点2)



b) 深度-500m (指定点5)

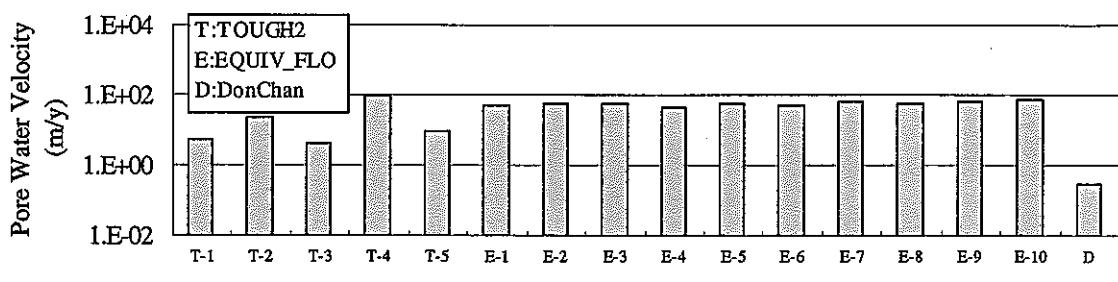


c) 深度-750m (指定点8)

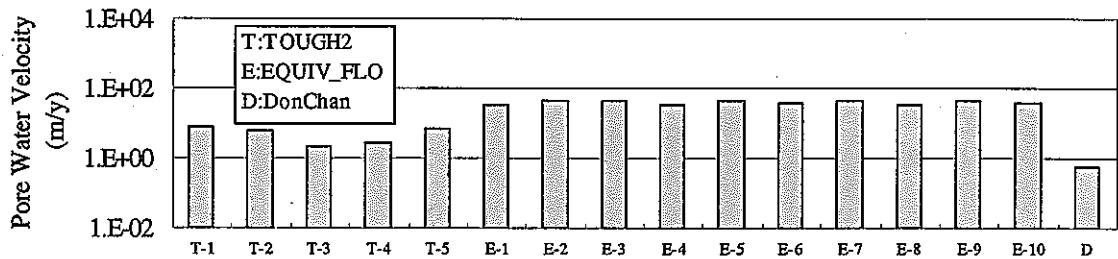


d) 深度-1,000m (指定点11)

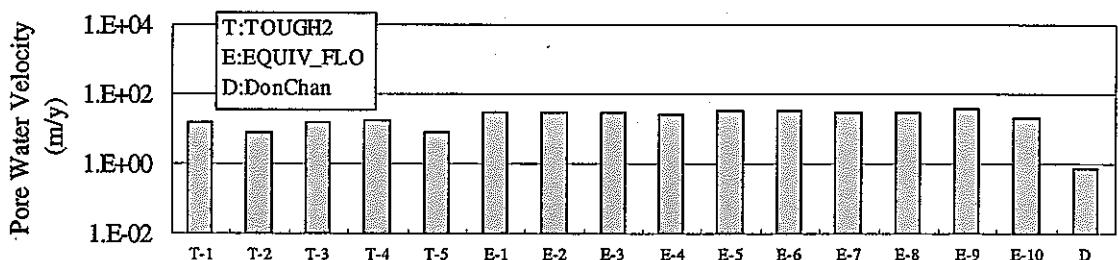
図 7.2-39 出発点 XY-2 上の各指定点からの移行経路内の実流速



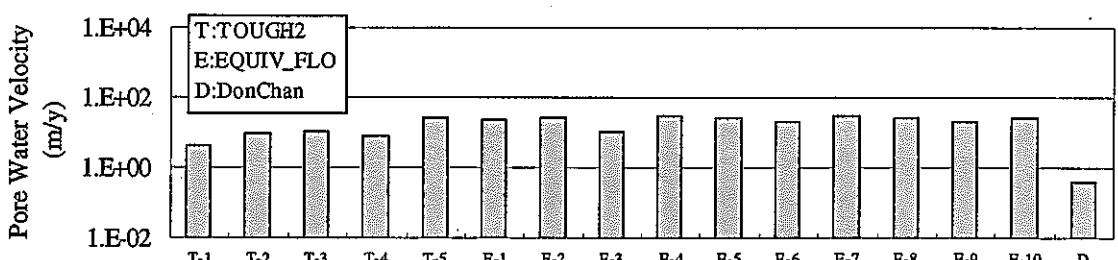
a) 深度・250m (指定点 3)



b) 深度・500m (指定点 6)

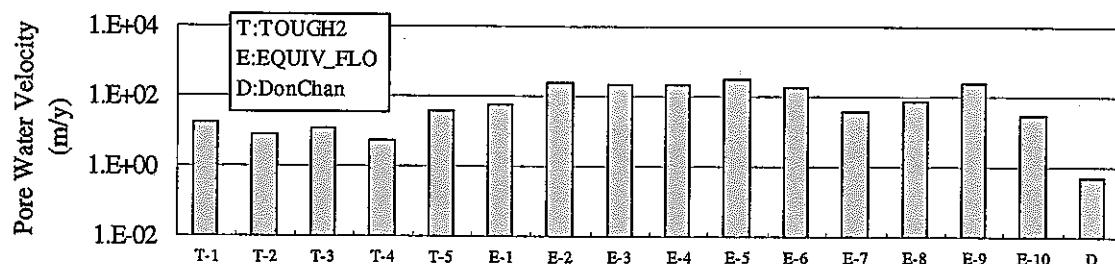


c) 深度・750m (指定点 9)

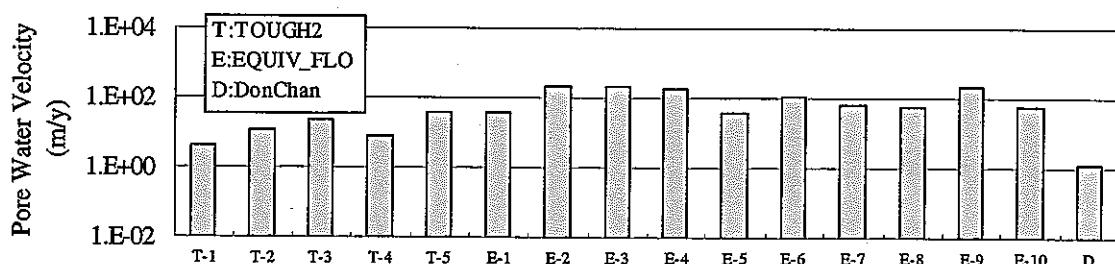


d) 深度・1,000m (指定点 12)

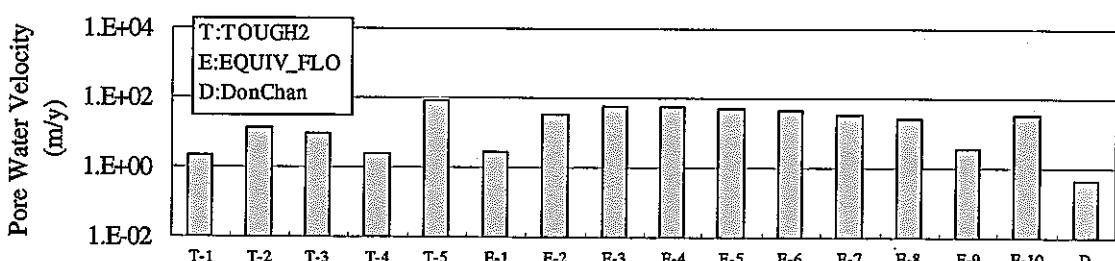
図 7.2-40 出発点 XY・3 上の各指定点からの移行経路内の実流速



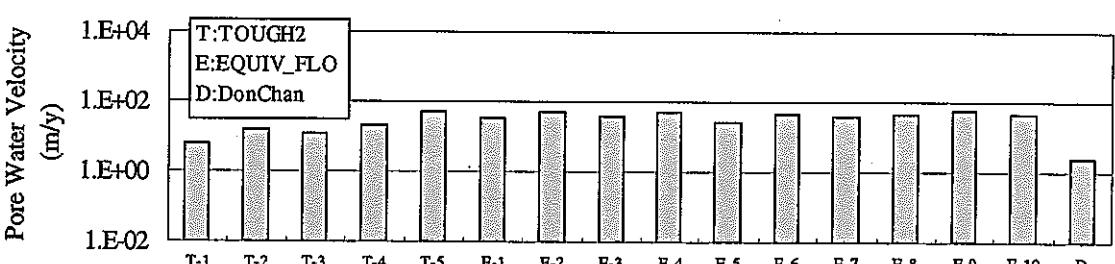
a) 深度・250m (指定点 13)



b) 深度・500m (指定点 16)

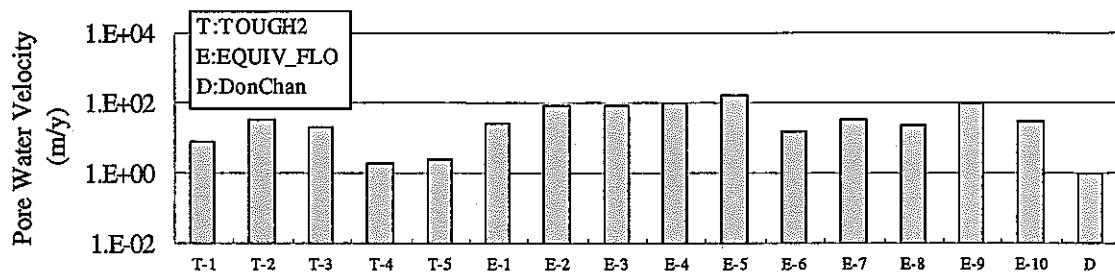


c) 深度・750m (指定点 19)

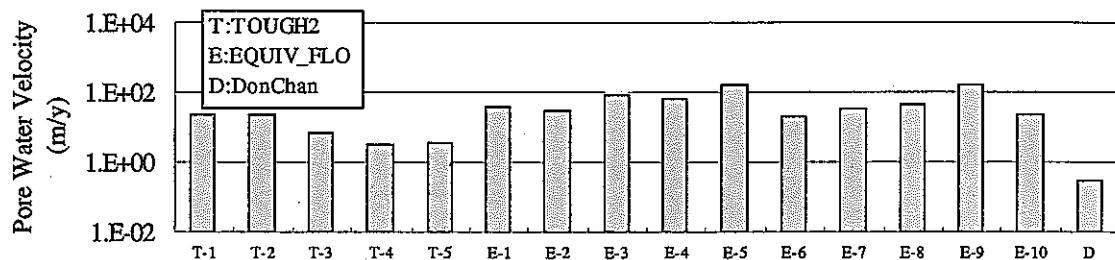


d) 深度・1,000m (指定点 22)

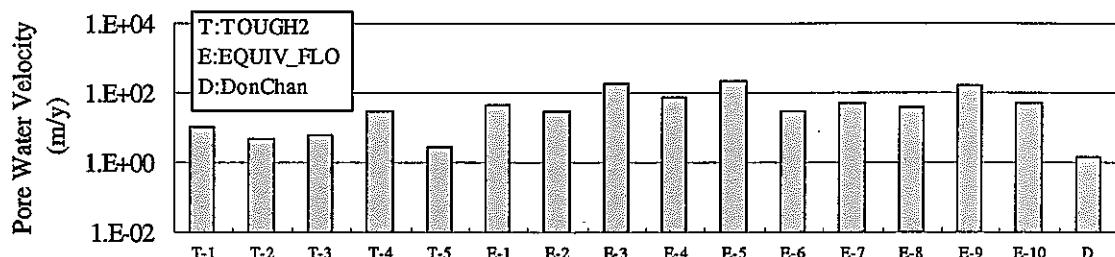
図 7.2-41 出発点 XY-4 上の各指定点からの移行経路内の実流速



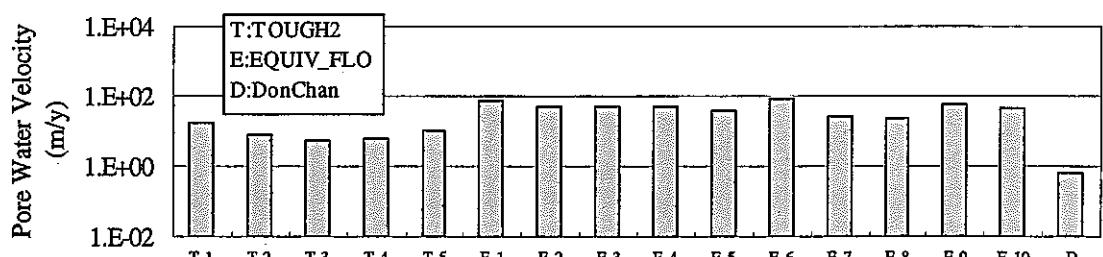
a) 深度・250m (指定点 14)



b) 深度・500m (指定点 17)

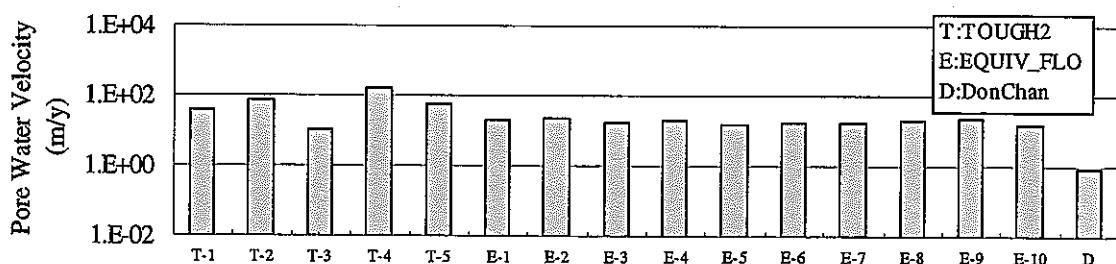


c) 深度・750m (指定点 20)

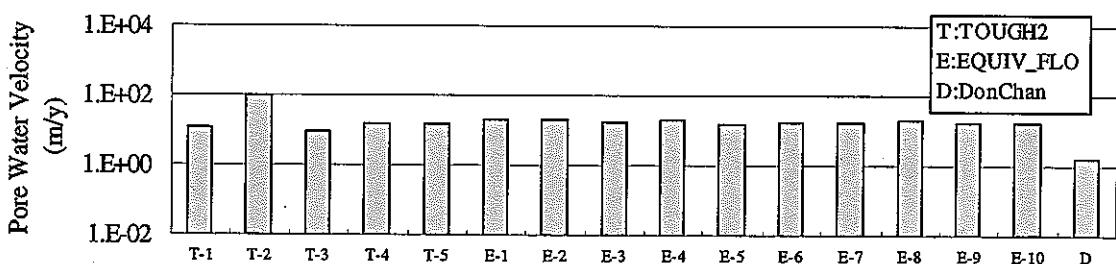


d) 深度・1,000m (指定点 23)

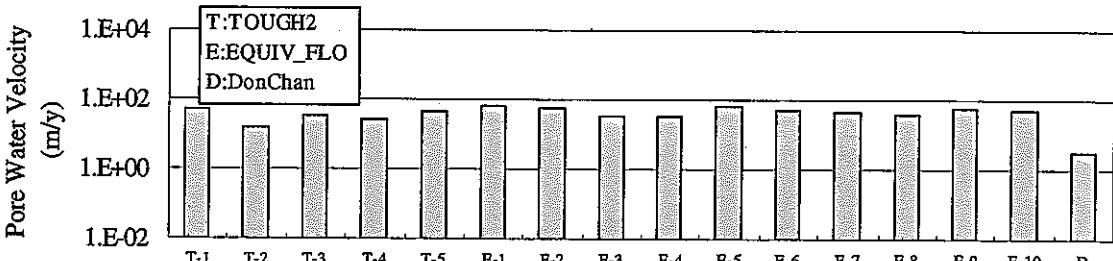
図 7.2-42 出発点 XY-5 上の各指定点からの移行経路内の実流速



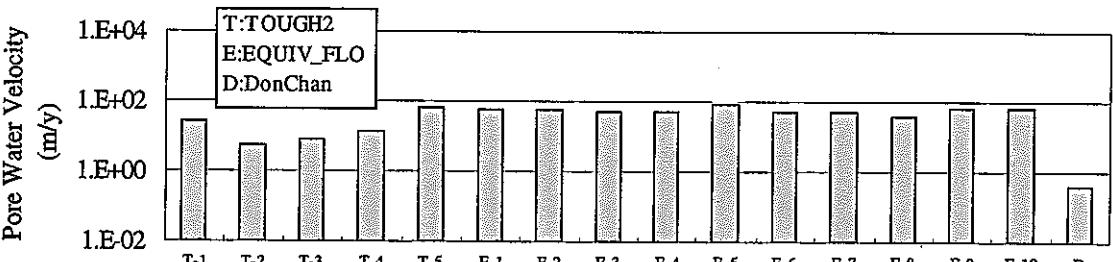
a) 深度・250m (指定点 15)



b) 深度・500m (指定点 18)



c) 深度・750m (指定点 21)



d) 深度・1,000m (指定点 24)

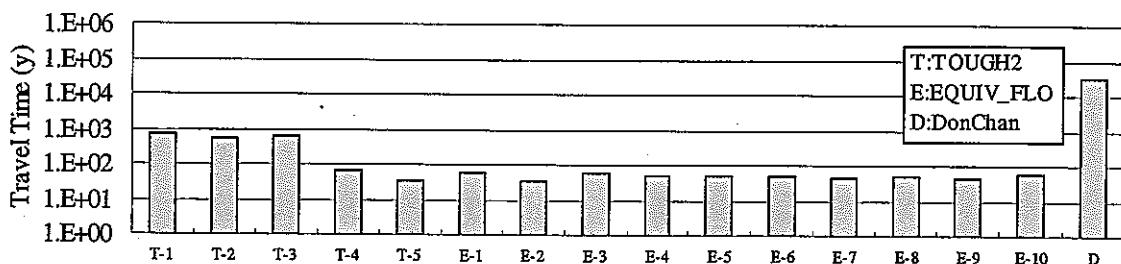
図 7.2-43 出発点 XY-6 上の各指定点からの移行経路内の実流速

### 7.2.5 トラベルタイム及び規格化したトラベルタイム

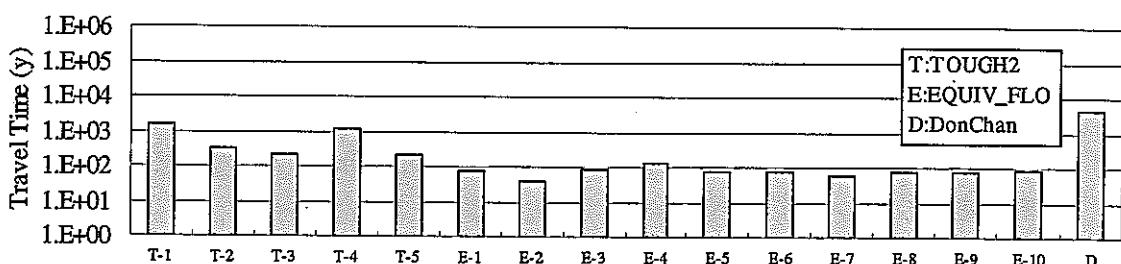
各指定点からのトラベルタイムおよび有効間隙率で規格化した（ダルシーフローで算出した）トラベルタイムを図 7.2-44～図 7.2-55に示す。

各指定点からのトラベルタイムについては、以下のような知見が得られる。

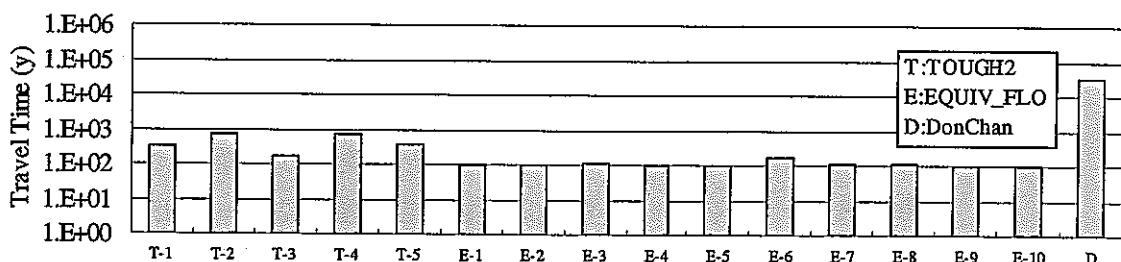
- トラベルタイムの全体的な傾向としては、TOUGH2 のトラベルタイムの分布が数年～1,000 年、リアライゼーション間のばらつきが一桁程度であるのに対し、EQUIV\_FLO の分布が数年～100 年前後で、リアライゼーション間のばらつきは TOUGH2 よりも小さいことが挙げられる。また、Don-Chan は 1 万年～10 万年の範囲に分布しており、指定点の深さによる差が大きい。
- 同一指定点からのトラベルタイムについてのモデル間の傾向としては、EQUIV\_FLO に対して TOUGH2 が一桁程度大きいことが挙げられる。ただし、中には同程度のトラベルタイムであるケースも見られる。また、Don-Chan は他の 2 モデルに対して 1～3 桁程度トラベルタイムが大きい。7.2.2で示した移行経路長は、オーダー単位の差はないが、7.2.4で示した実流速がモデル間においてオーダー単位で差があるため、トラベルタイムの大きさは、実流速の大きな EQUIV\_FLO で小さい結果となっている。
- 各指定点からの移行経路中のトラベルタイムを有効間隙率で除することで規格化したトラベルタイムのうち、月吉断層北側に位置している各指定点の規格化されたトラベルタイムは、同じような移行経路であるため、モデル間の差、指定点間の差は小さく、全体的に  $10^5$ ～ $10^6$  年に分布している。ただし、XY-3 の TOUGH2 の移行経路は、領域北東の側方境界への流出であるため、他のモデルとは差があり、ばらつきも大きくなっている。規格化前のトラベルタイムが他よりも大きい傾向にあった Don-Chan がトラベルタイムを規格化することによって、その差が縮まるのは有効間隙率にモデル間の差があるためであり、Don-Chan に対し Tough2 及び EQUIV\_FLO は 2 桁程度有効間隙率が小さい。
- 規格化したトラベルタイムは月吉断層の南北で分布の傾向が異なっている。月吉断層南側に位置する指定点からの規格化したトラベルタイムは、 $10^3$ ～ $10^7$  年に分布しており、断層北側と比較して幅が大きい。TOUGH2 のリアライゼーション間のばらつきは比較的大きく、規格化前のトラベルタイムよりもばらつきが大きい。これは、TOUGH2 の移行経路における有効間隙率のばらつきによるものであり、指定点 23 の 2 番目のリアライゼーションで規格化前より、規格後のトラベルタイムが他のリアライゼーションとの差が大きくなるのは、移行経路に有効間隙率の小さい区間が占める割合が他のリアライゼーションと比較して高いためである。また、EQUIV\_FLO はリアライゼーション間のばらつきが TOUGH2 と比べて小さく概ね一桁程度であるが、XY-5 に位置する指定点のうち深度の浅い指定点 14, 17においては 2 オーダー程度のばらつきが見られる。これは移行経路に占める岩種の違いによって、元のトラベルタイムのばらつきに有効間隙率のばらつきが相乗的に作用したためである。



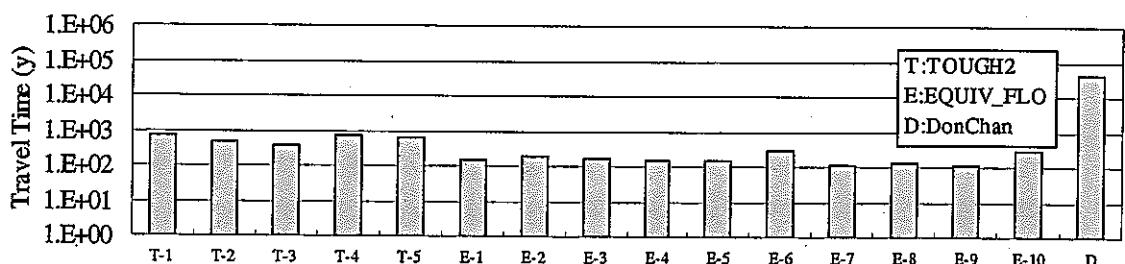
a) 深度・250m (指定点 1)



b) 深度・500m (指定点 4)

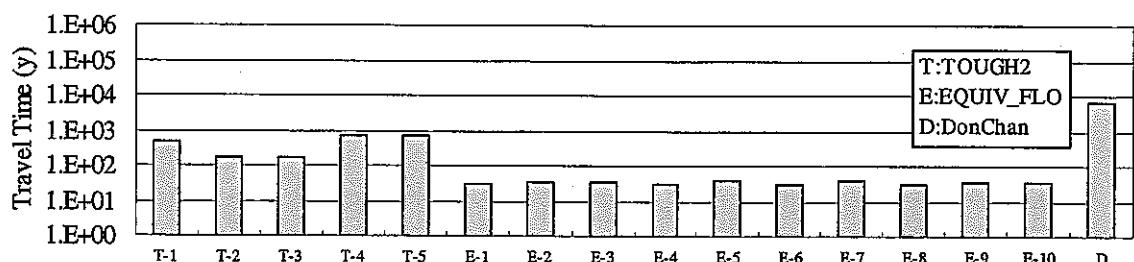


c) 深度・750m (指定点 7)

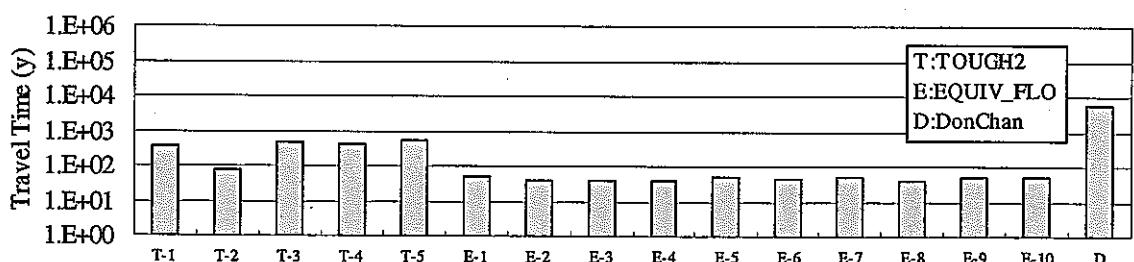


d) 深度・1,000m (指定点 10)

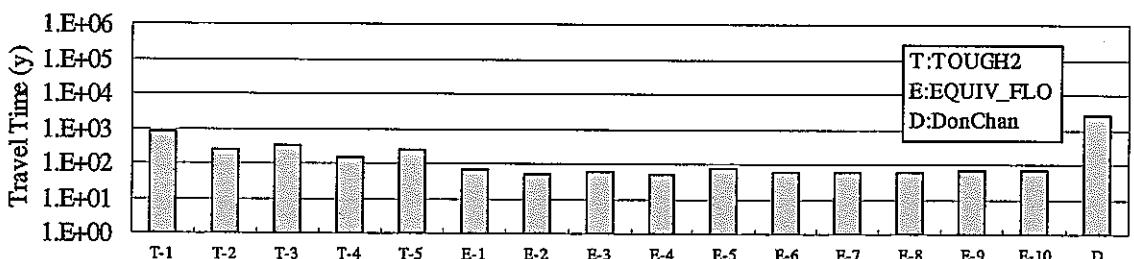
図 7.2-44 出発点 XY-1 上の各指定点からのトラベルタイム



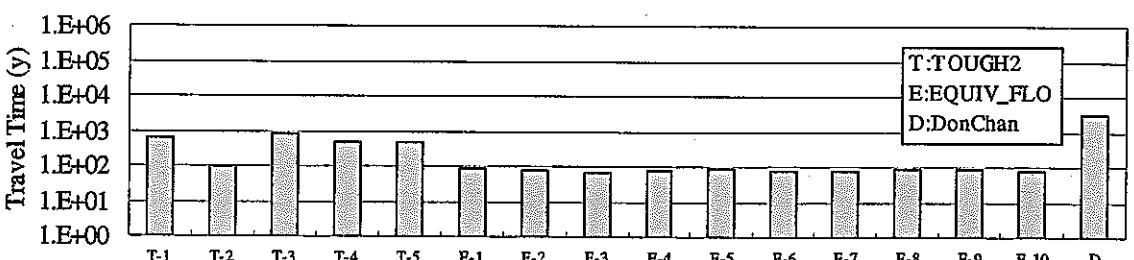
a) 深度・250m (指定点 2)



b) 深度・500m (指定点 5)

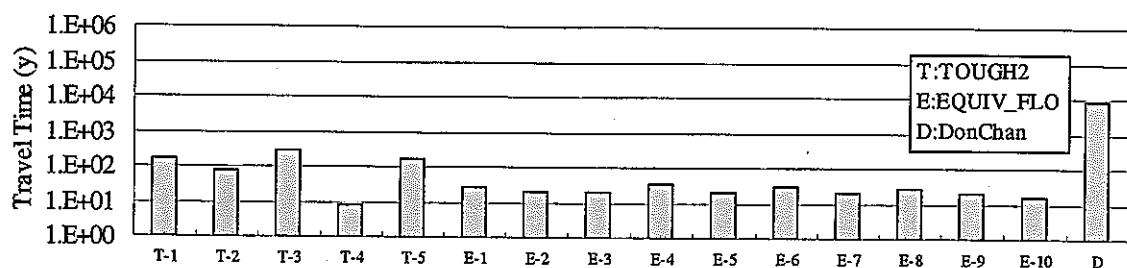


c) 深度・750m (指定点 8)

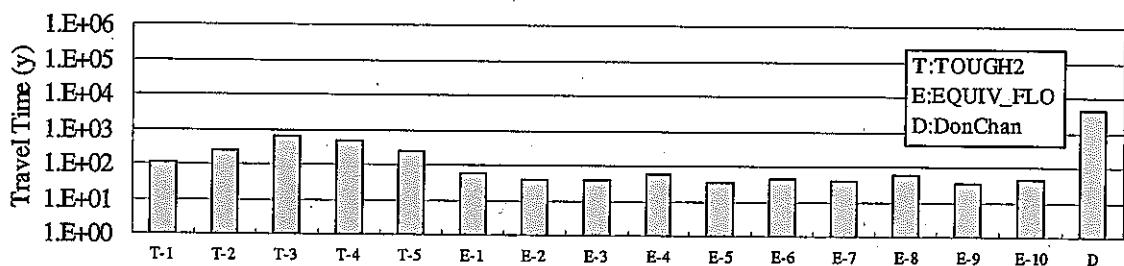


d) 深度・1,000m (指定点 11)

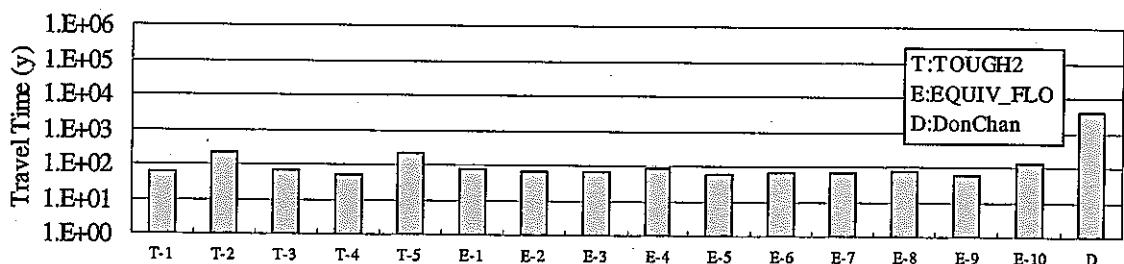
図 7.2-45 出発点 XY-2 上の各指定点からのトラベルタイム



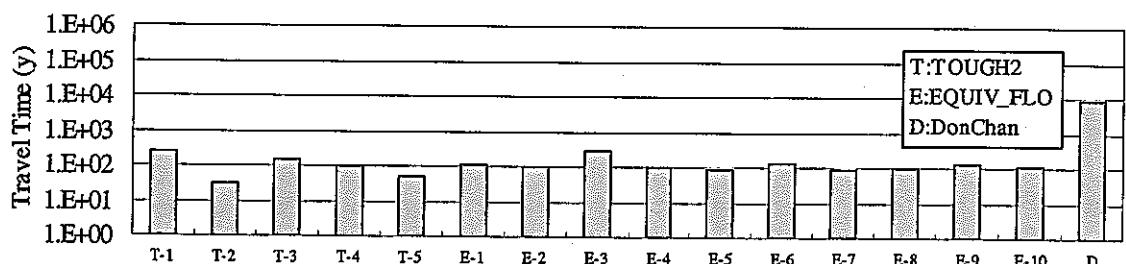
a) 深度・250m (指定点 3)



b) 深度・500m (指定点 6)

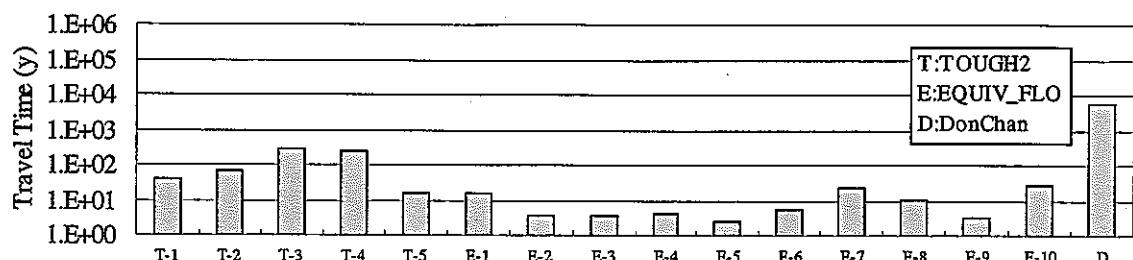


c) 深度・750m (指定点 9)

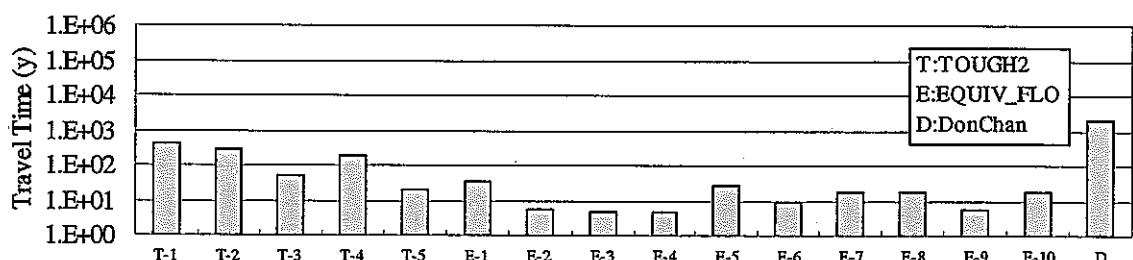


d) 深度・1,000m (指定点 12)

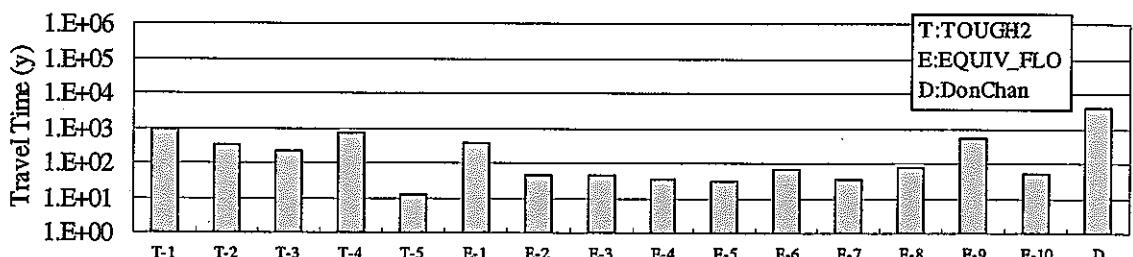
図 7.2-46 出発点 XY-3 上の各指定点からのトラベルタイム



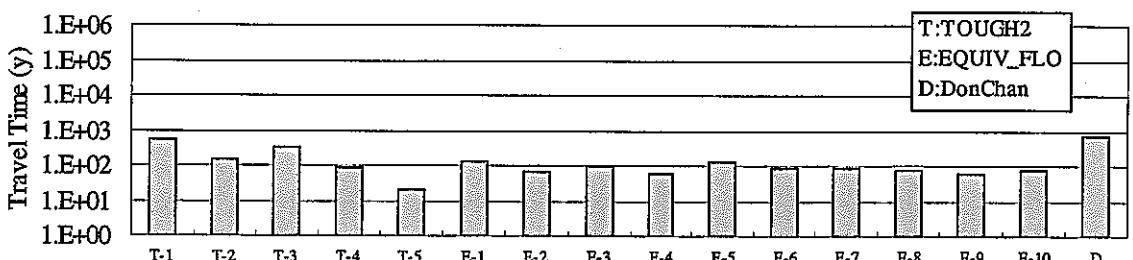
a) 深度・250m (指定点 13)



b) 深度・500m (指定点 16)

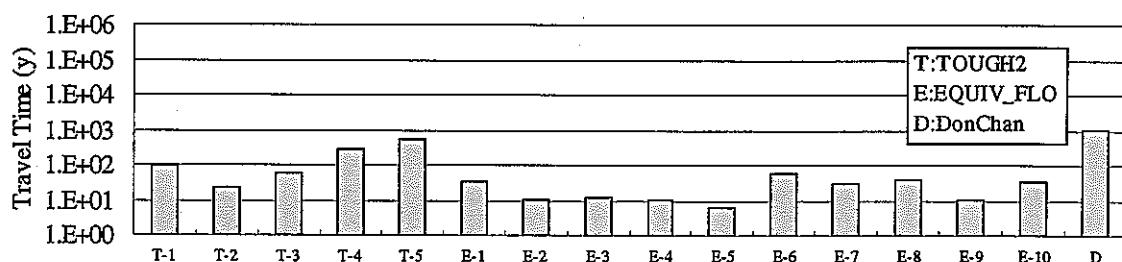


c) 深度・750m (指定点 19)

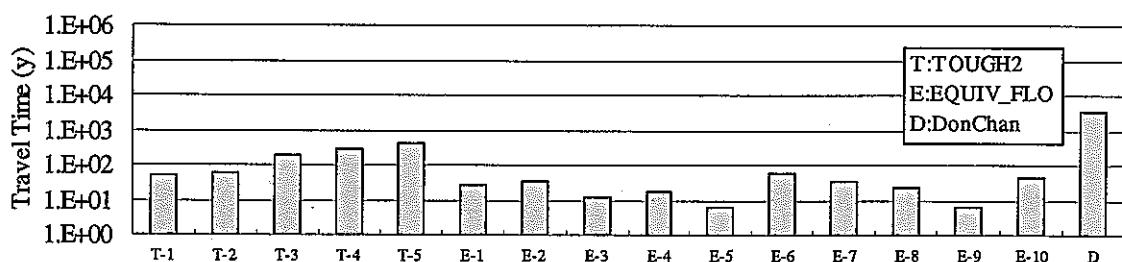


d) 深度・1,000m (指定点 22)

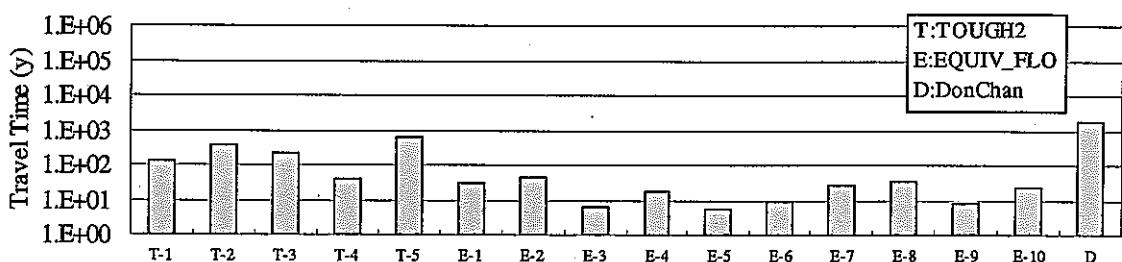
図 7.2-47 出発点 XY・4 上の各指定点からのトラベルタイム



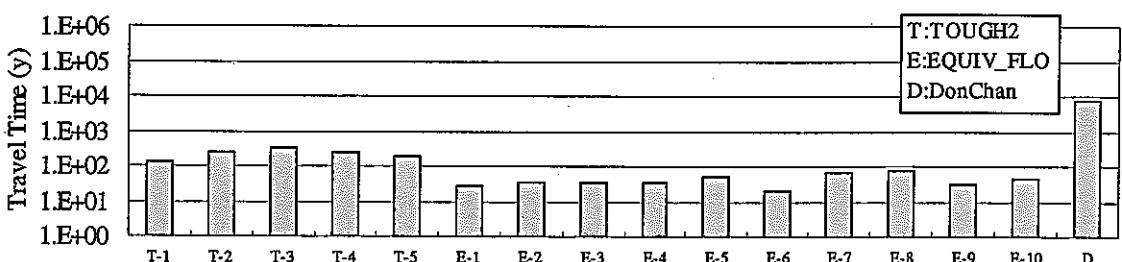
a) 深度・250m (指定点 14)



b) 深度・500m (指定点 17)

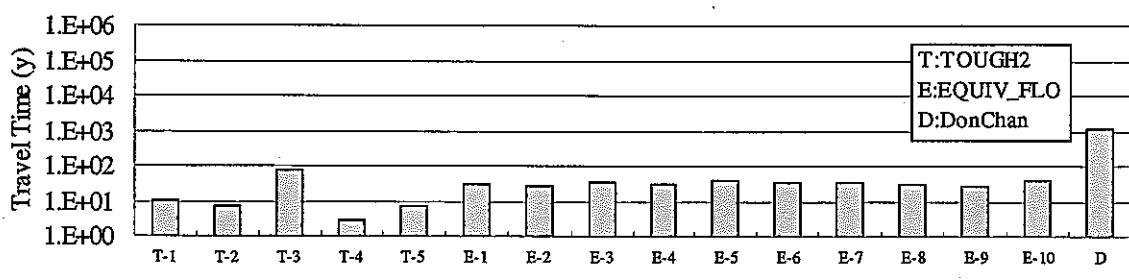


c) 深度・750m (指定点 20)

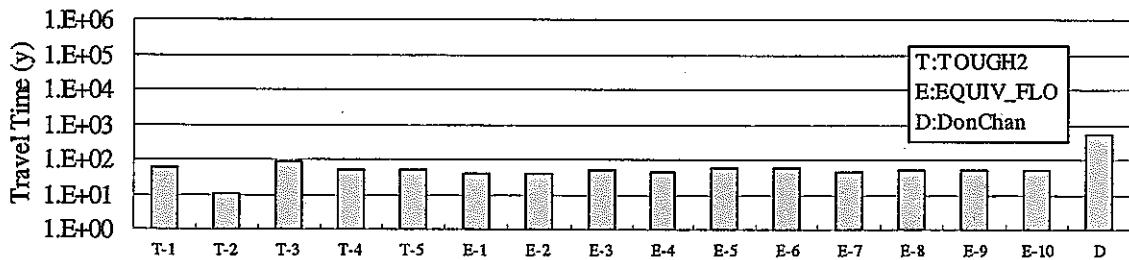


d) 深度・1,000m (指定点 23)

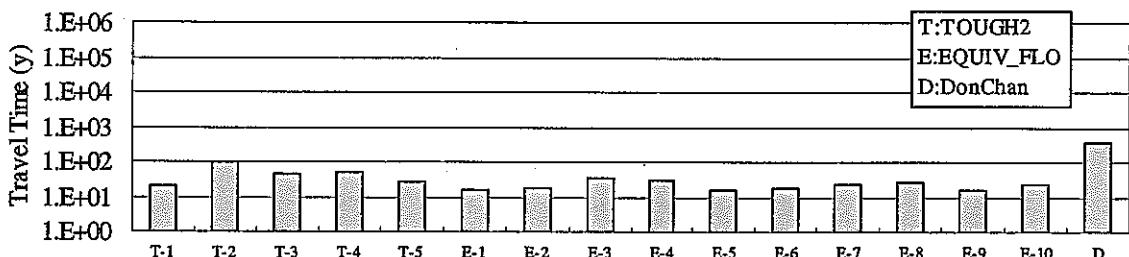
図 7.2-48 出発点 XY-5 上の各指定点からのトラベルタイム



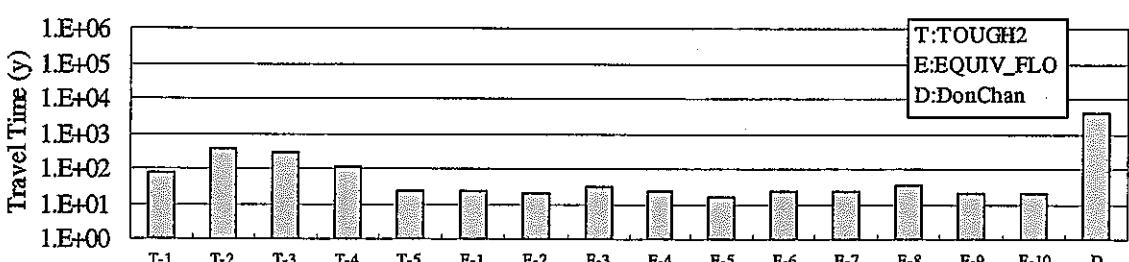
a) 深度-250m (指定点 15)



b) 深度-500m (指定点 18)

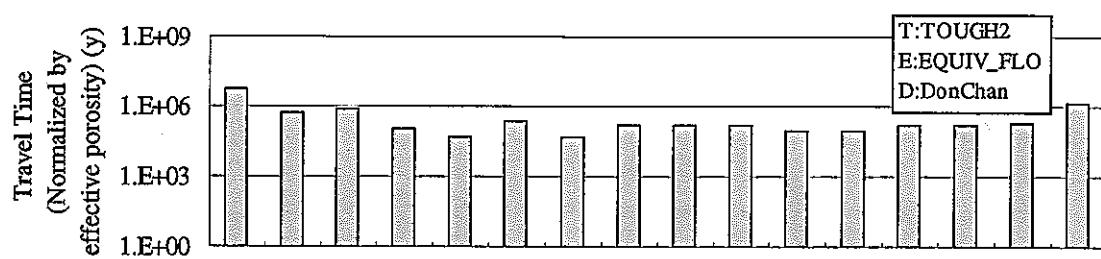


c) 深度-750m (指定点 21)

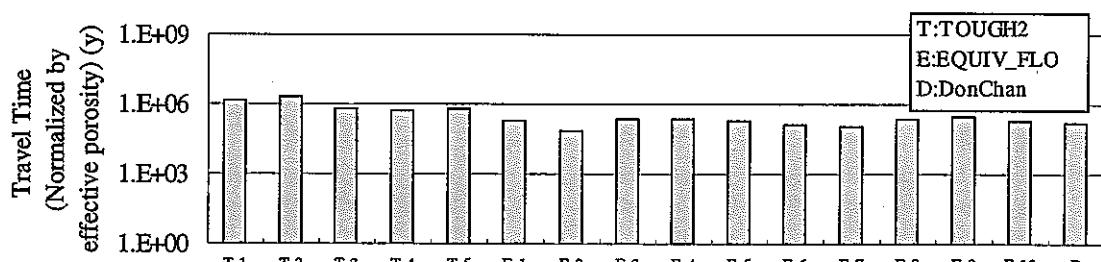


d) 深度-1,000m (指定点 24)

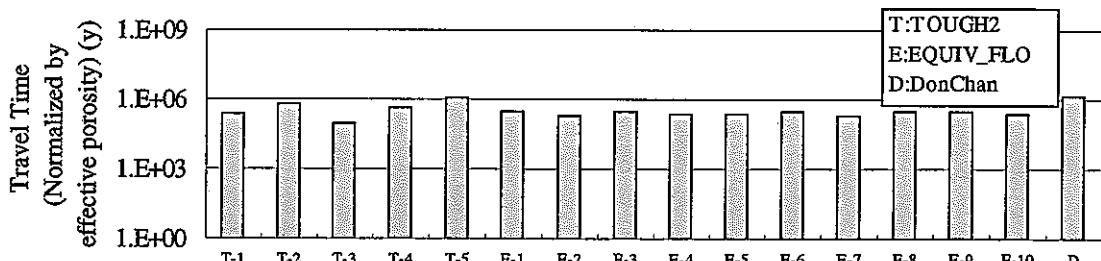
図 7.2.49 出発点 XY-6 上の各指定点からのトラベルタイム



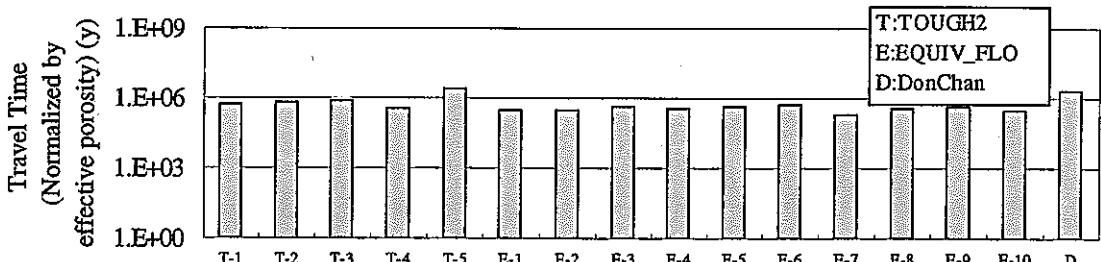
a) 深度・250m (指定点 1)



b) 深度・500m (指定点 4)

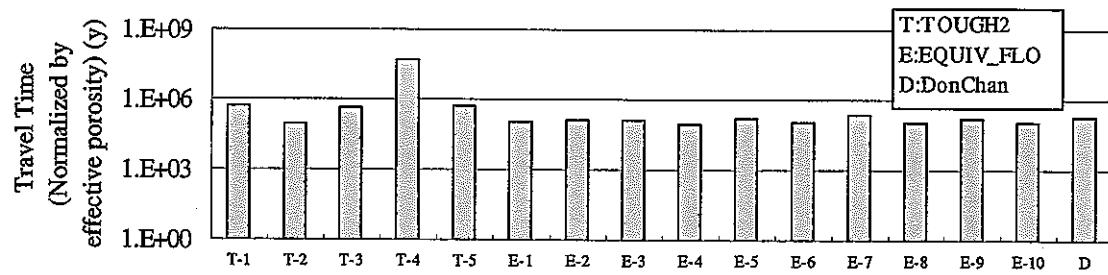


c) 深度・750m (指定点 7)

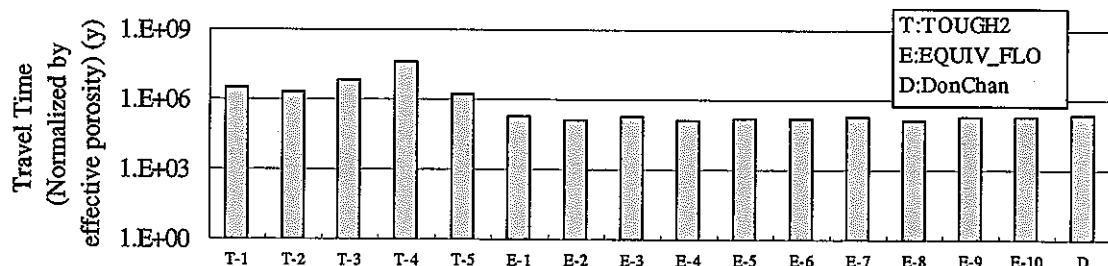


d) 深度・1,000m (指定点 10)

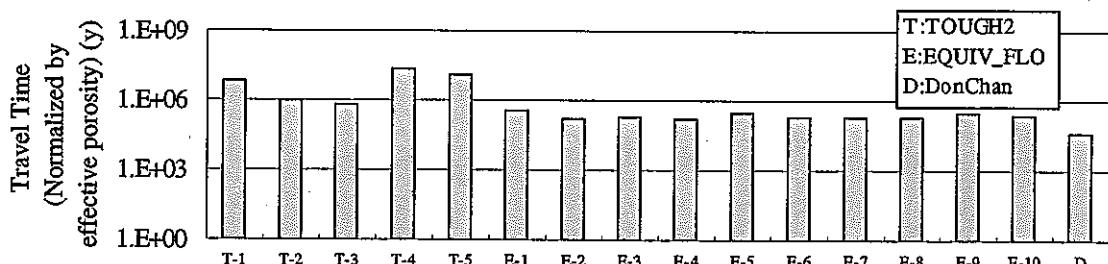
図 7.2-50 出発点 XY-1 上の各指定点からの規格化トラベルタイム



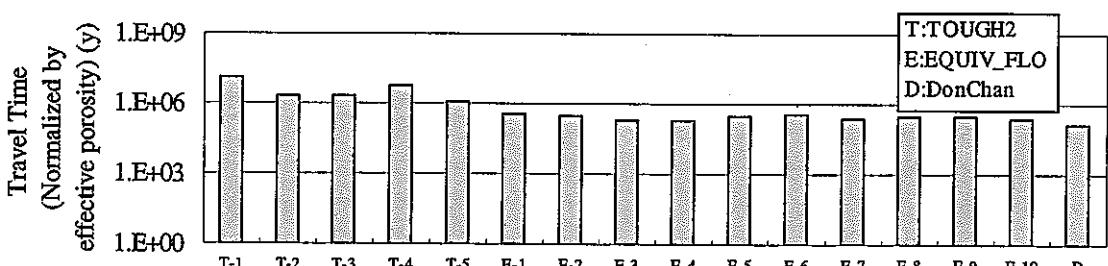
a) 深度-250m (指定点 2)



b) 深度-500m (指定点 5)

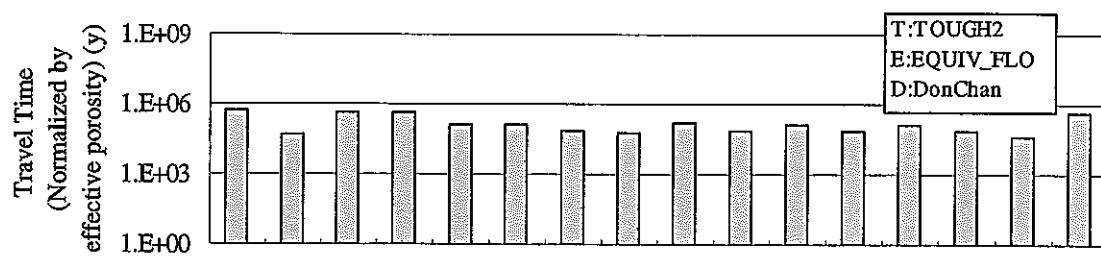


c) 深度-750m (指定点 8)

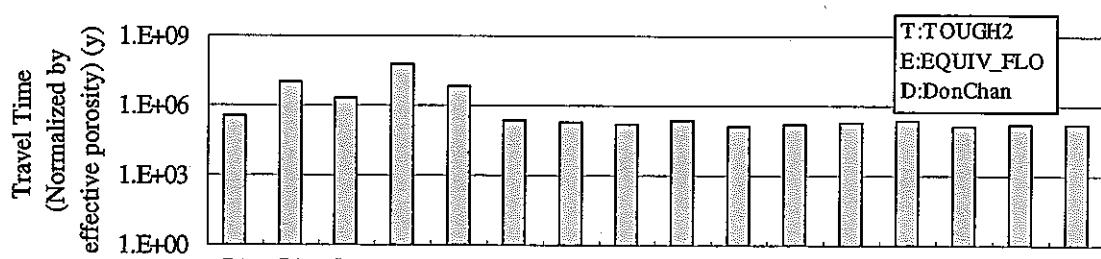


d) 深度-1,000m (指定点 11)

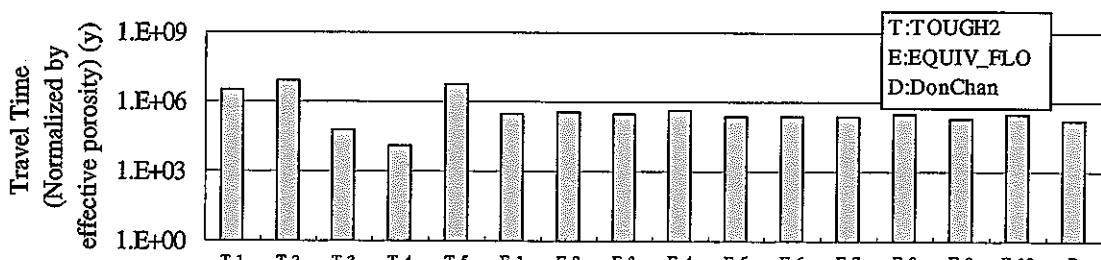
図 7.2-51 出発点 XY-2 上の各指定点からの移行経路の規格化トラベルタイム



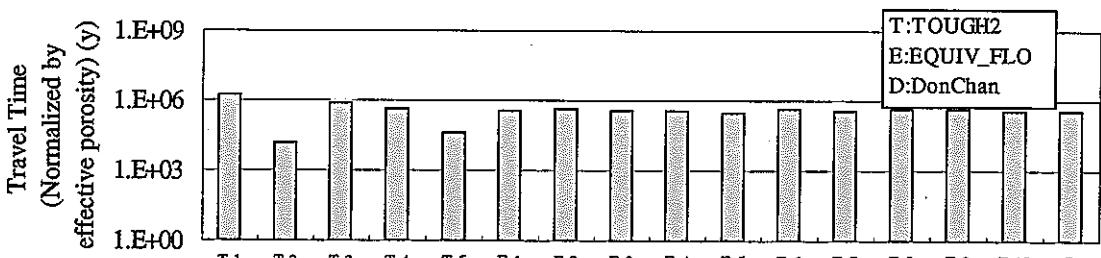
a) 深度-250m (指定点 3)



b) 深度-500m (指定点 6)

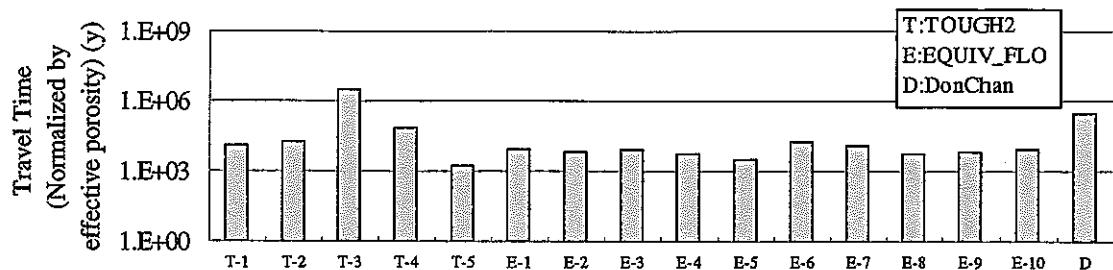


c) 深度-750m (指定点 9)

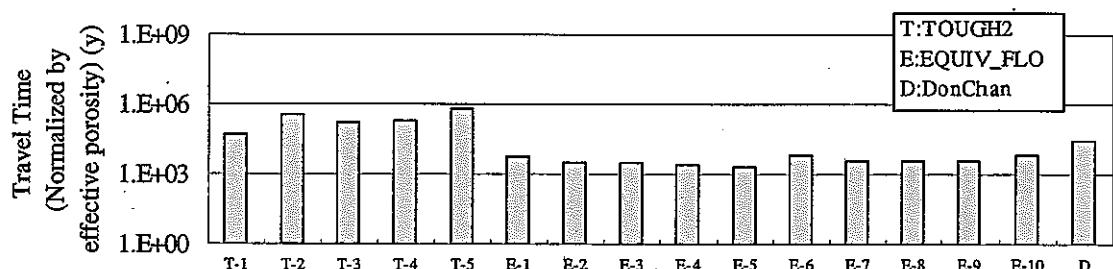


d) 深度-1,000m (指定点 12)

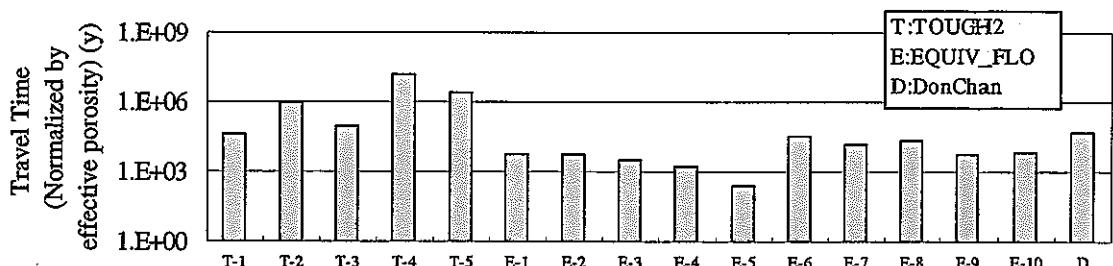
図 7.2-52 出発点 XY-3 上の各指定点からの移行経路の規格化トラベルタイム



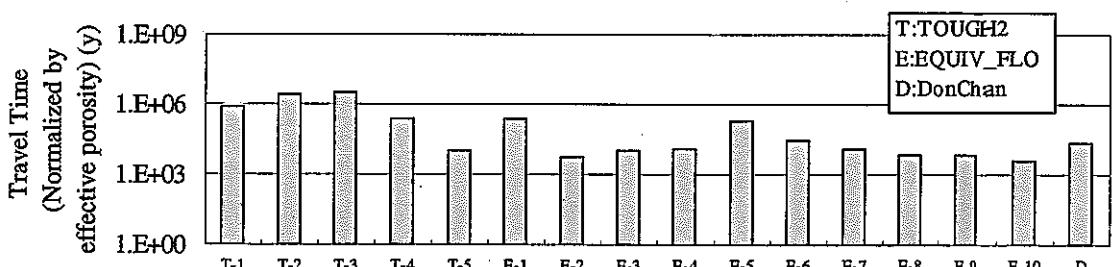
a) 深度・250m (指定点 13)



b) 深度・500m (指定点 16)

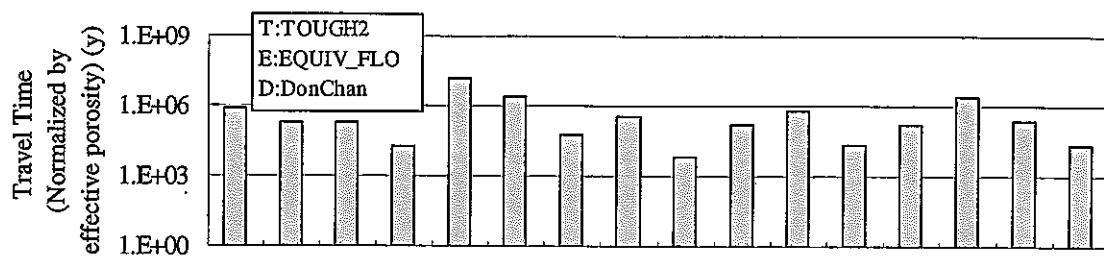


c) 深度・750m (指定点 19)

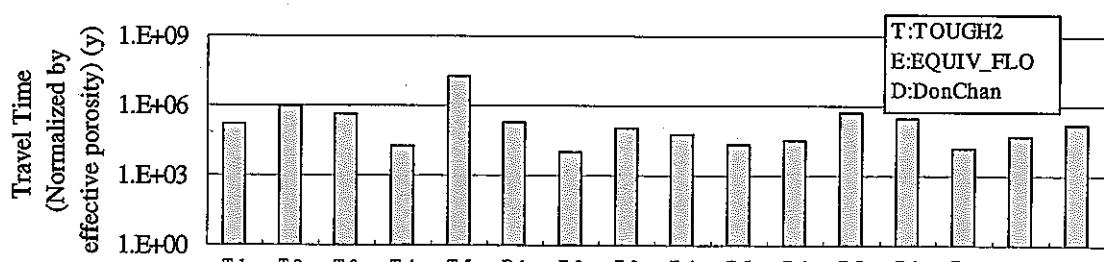


d) 深度・1,000m (指定点 22)

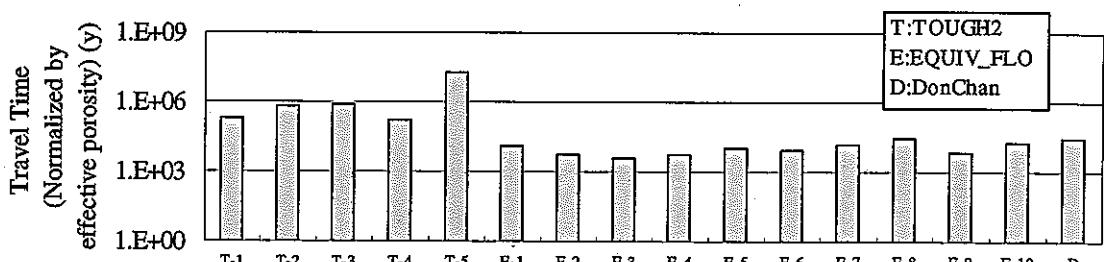
図 7.2-53 出発点 XY・4 上の各指定点からの移行経路の規格化トラベルタイム



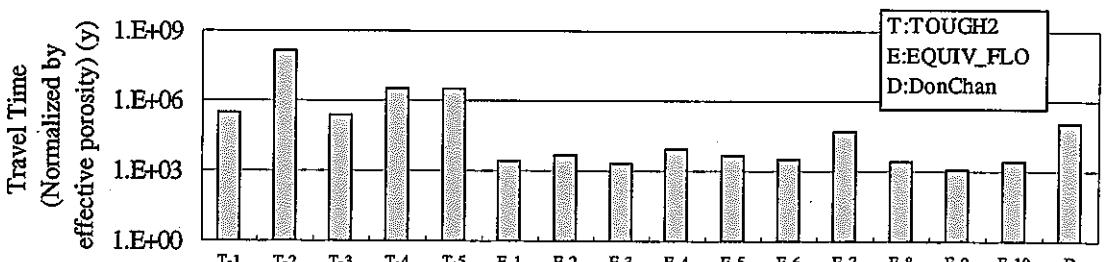
a) 深度-250m (指定点 14)



b) 深度-500m (指定点 17)



c) 深度-750m (指定点 20)



d) 深度-1,000m (指定点 23)

図 7.2-54 出発点 XY-5 上の各指定点からの移行経路の規格化トラベルタイム

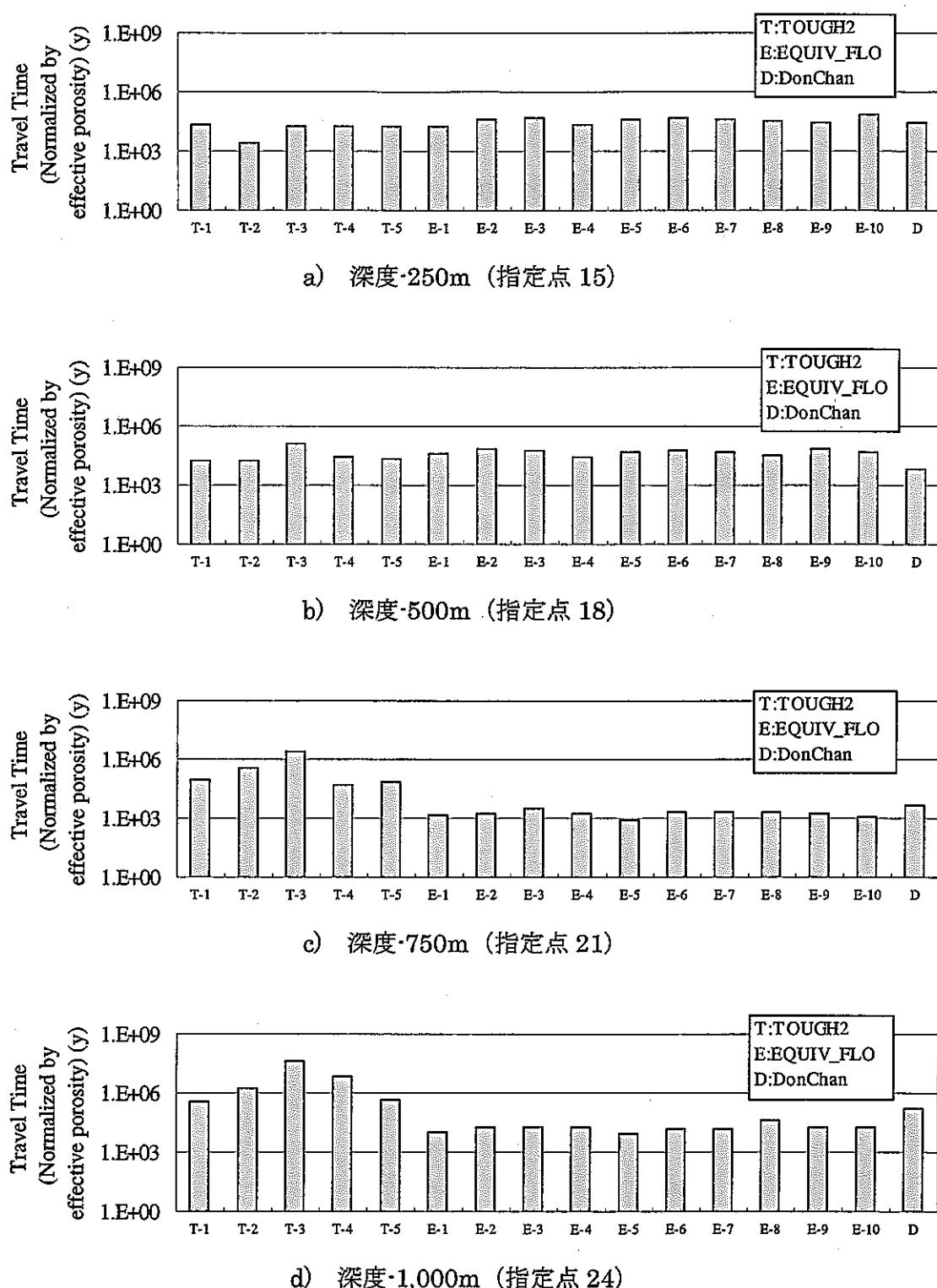


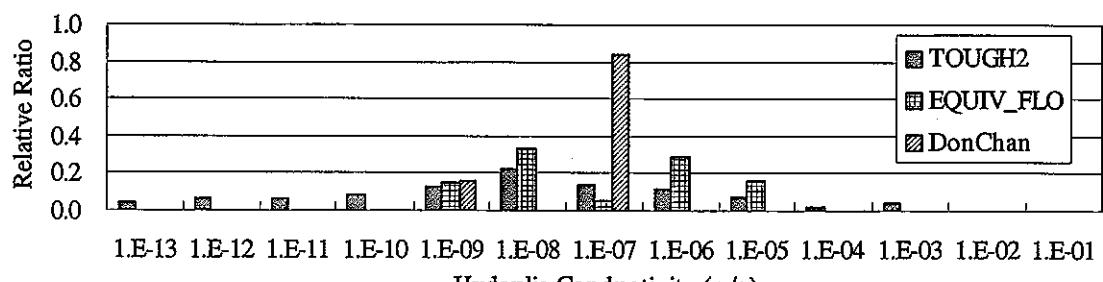
図 7.2-55 出発点 XY-6 上の各指定点からの移行経路の規格化トラベルタイム

### 7.2.6 移行経路上の透水係数分布

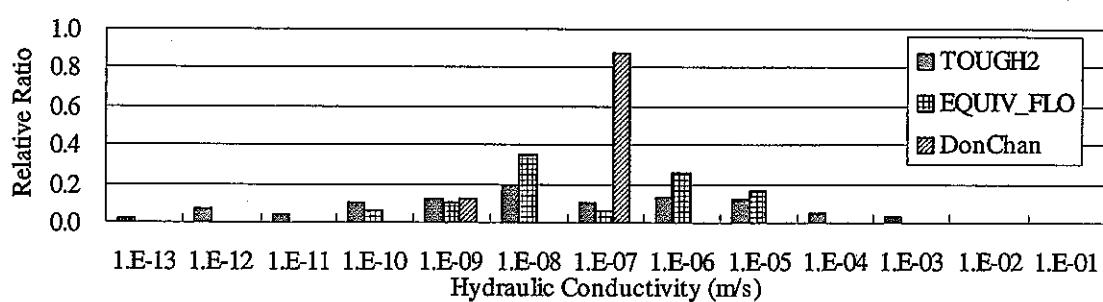
図 7.2-56～図 7.2-61に移行経路上の透水係数の頻度分布を示す。これは、総移行距離を1として規格化した相対的な度数分布である。

移行経路上の頻度分布については以下のようないくつかの知見を得られる。

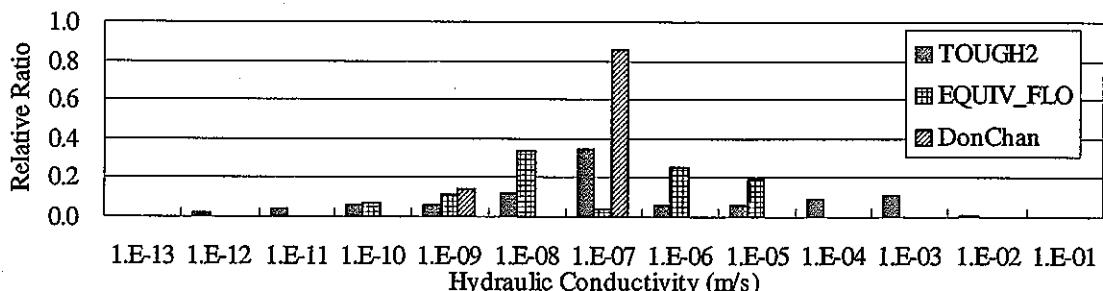
- TOUGH2 の移行経路中の透水係数は、 $10^{-3} \sim 10^{-13}$ m/s の広範囲に分布しており、地盤の透水性が不均質な様子が分かる。EQUIV\_FLO の移行経路中の透水係数は  $10^{-5} \sim 10^{-10}$ m/s で分布しており、TOUGH2 よりも全体的に高透水であることが分かる。このことは、TOUGH2 と EQUIV\_FLO 間でのトラベルタイムに差を生じさせる原因となっており、7.2.5で示したトラベルタイムの分布において、EQUIV\_FLO のトラベルタイムが1オーダー程度小さくなっている結果が出ている。
- Don-Chan は  $10^{-6}$ m/s もしくは  $10^{-7}$ m/s の移行経路を通過する頻度が高い。このオーダーの透水係数は、断層内を通過する際の透水係数である。7.2.5のトラベルタイムの分布において、Don-Chan が最も長時間かかっているのは、 $10^{-9}$ m/s オーダーの土岐花崗岩内の流れが原因であると考えられる。
- TOUGH2, EQUIV\_FLO とも昨年度より透水係数のばらつきは大きくなっているが、特に TOUGH2 の方がばらつきは大きくなっている。透水性の高いところを選択的に通過するにも関わらず、透水係数のばらつきが大きくなるということは、キャリブレーションの結果、全体的に透水性がより不均質になったと言える。また、TOUGH2の方が EQUIV\_FLO よりも透水係数の不均質性が高くなっている。



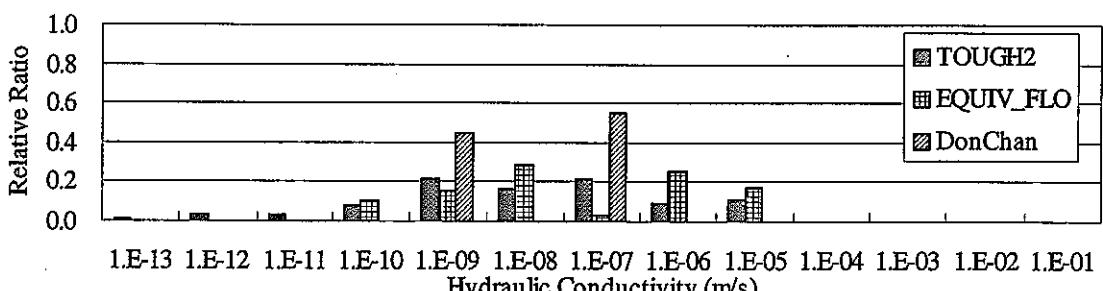
a) 深度・250m (指定点 1)



b) 深度・500m (指定点 4)

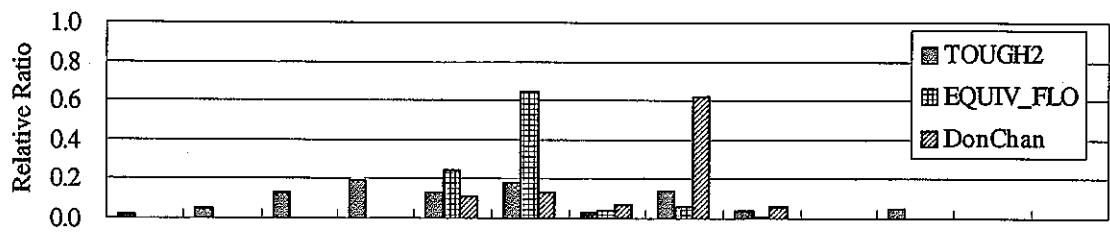


c) 深度・750m (指定点 7)

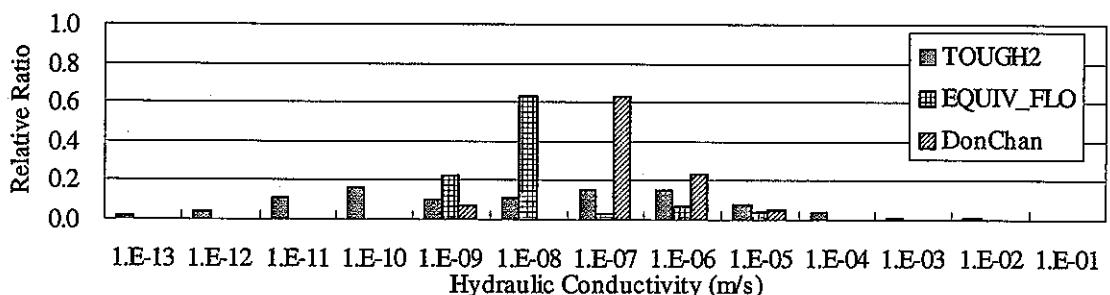


d) 深度・1,000m (指定点 10)

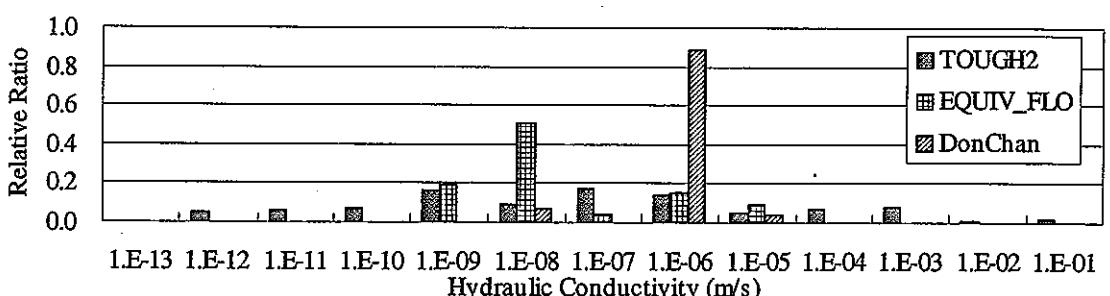
図 7.2-56 出発点 XY-1 の移行経路上の透水係数分布



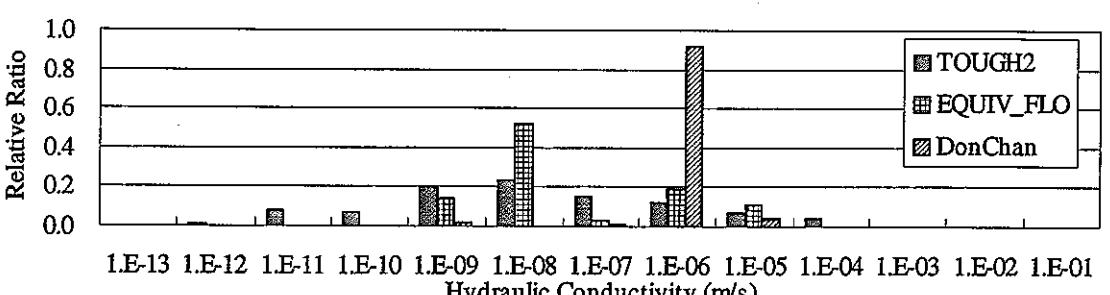
a) 深度・250m (指定点 2)



b) 深度・500m (指定点 5)

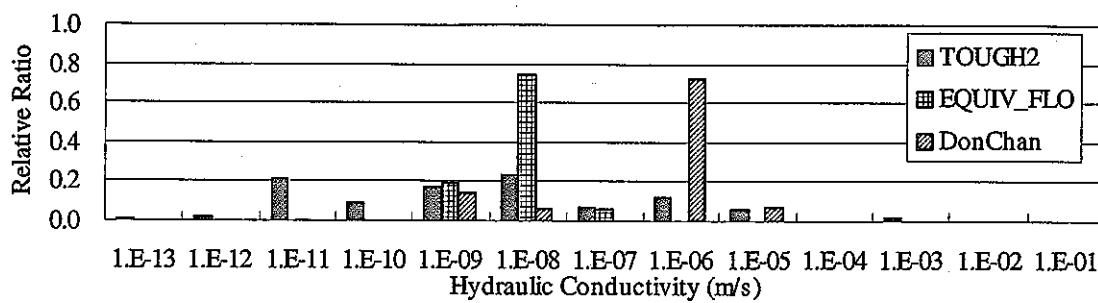


c) 深度・750m (指定点 8)

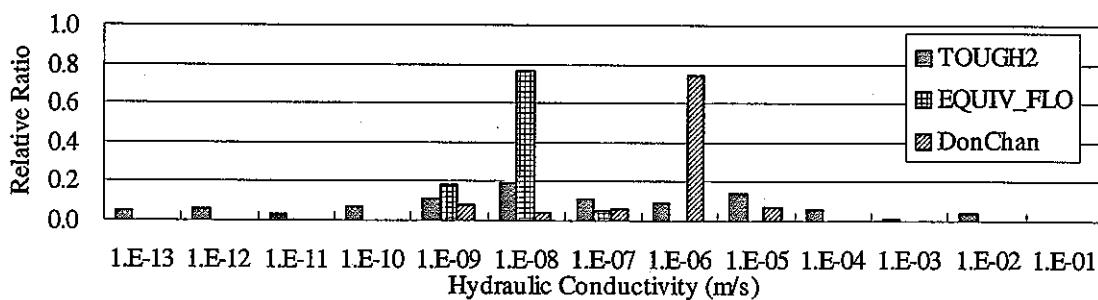


d) 深度・1,000m (指定点 11)

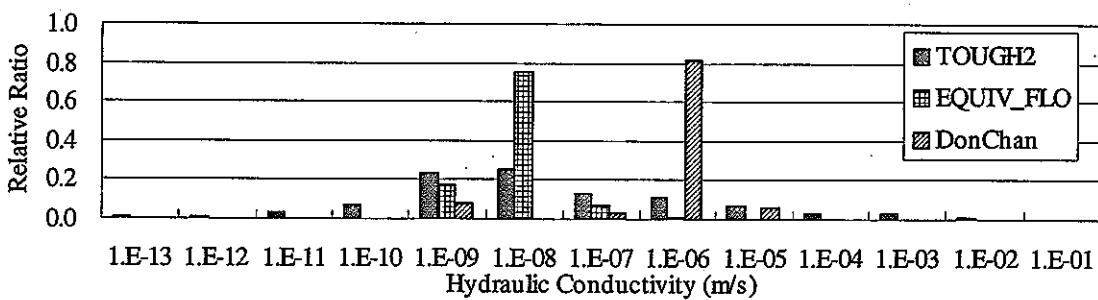
図 7.2-57 出発点 XY-2 の移行経路上の透水係数分布



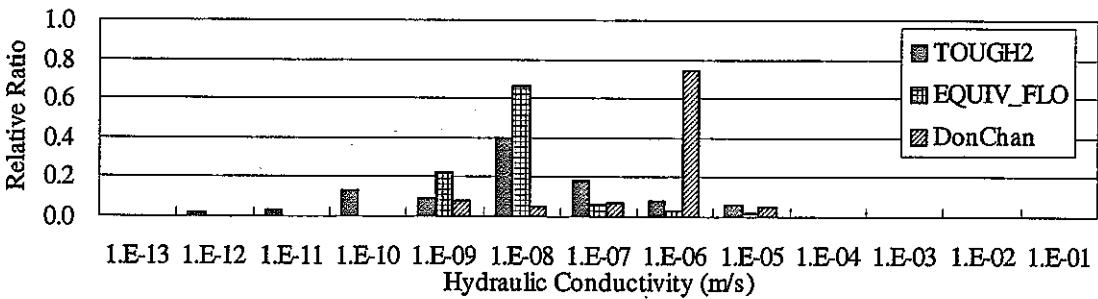
a) 深度-250m (指定点3)



b) 深度-500m (指定点 6)

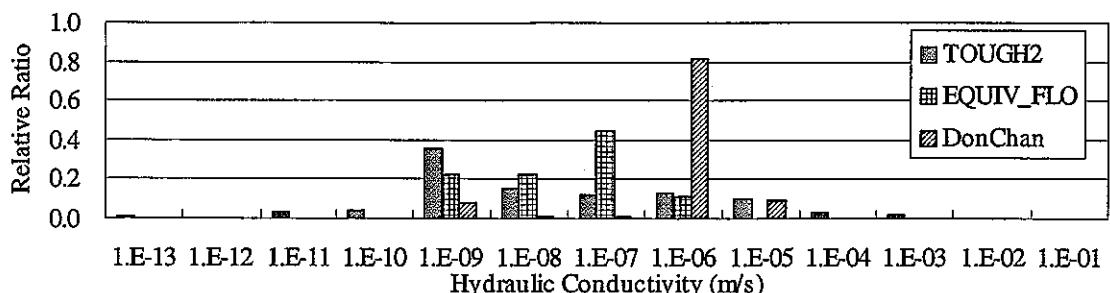


c) 深度-750m (指定点 9)

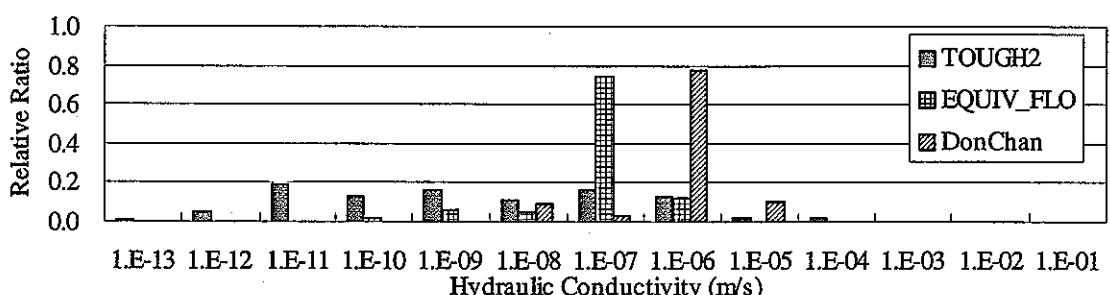


d) 深度・1,000m (指定点 12)

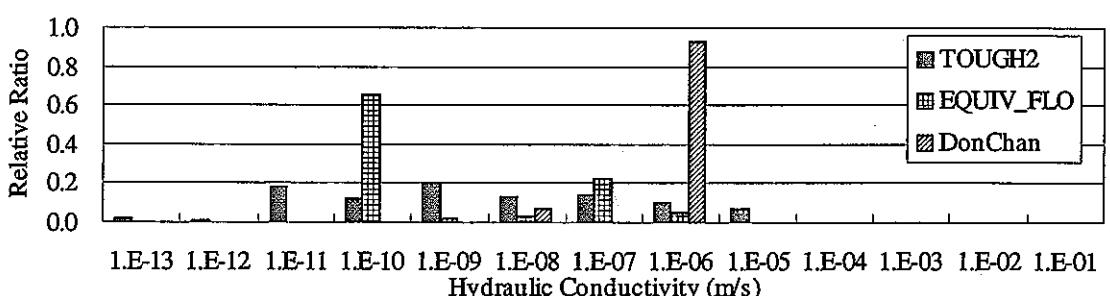
図 7.2-58 出発点 XY-3 の移行経路上の透水係数分布



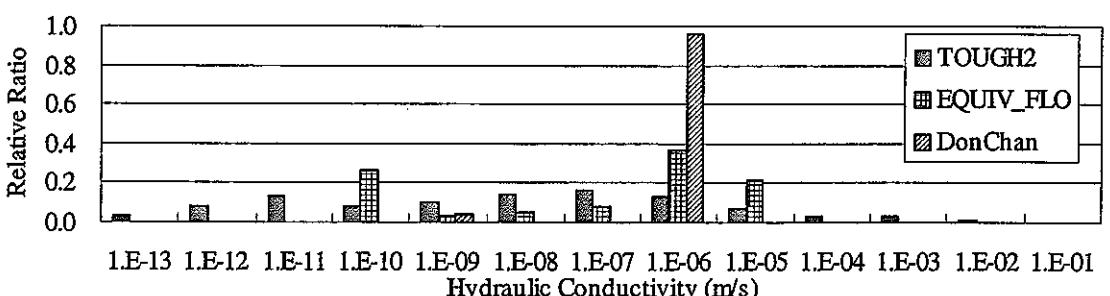
a) 深度-250m (指定点 13)



b) 深度-500m (指定点 16)

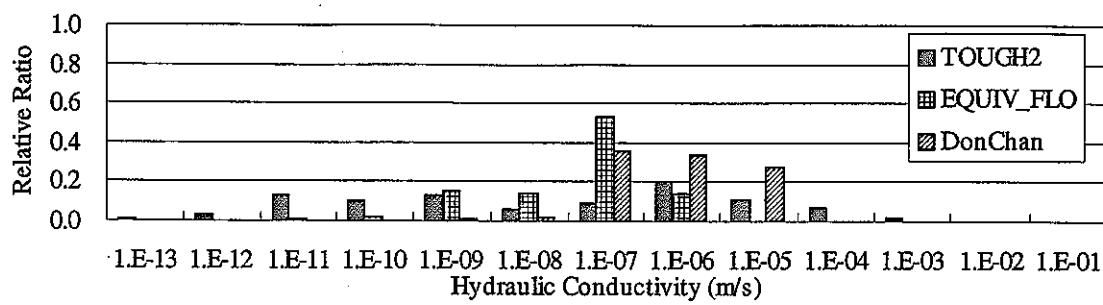


c) 深度-750m (指定点 19)

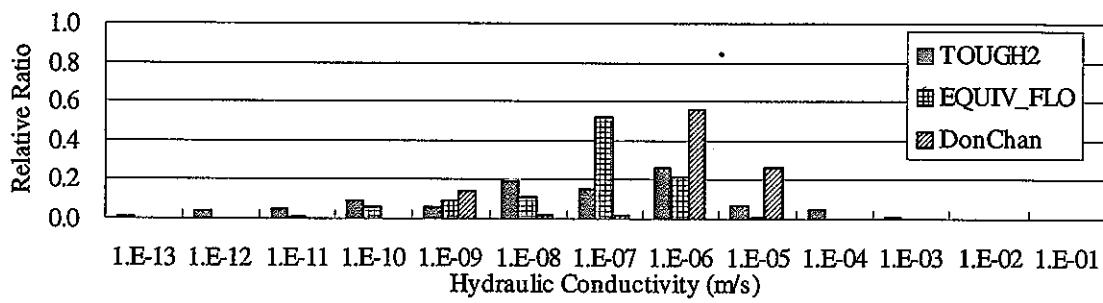


d) 深度-1,000m (指定点 22)

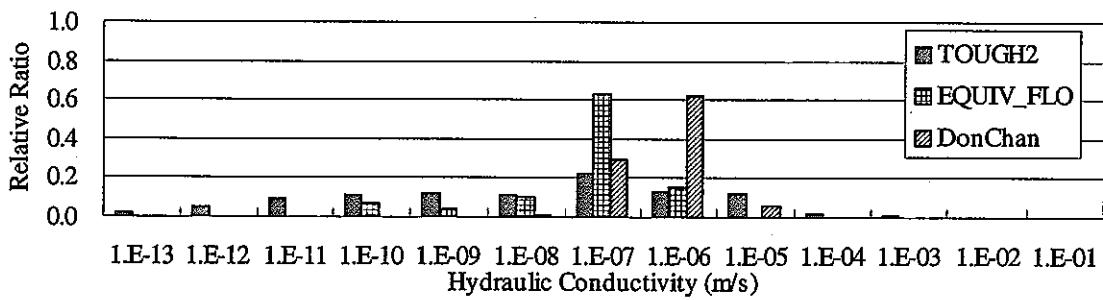
図 7.2-59 出発点 XY-4 の移行経路上の透水係数分布



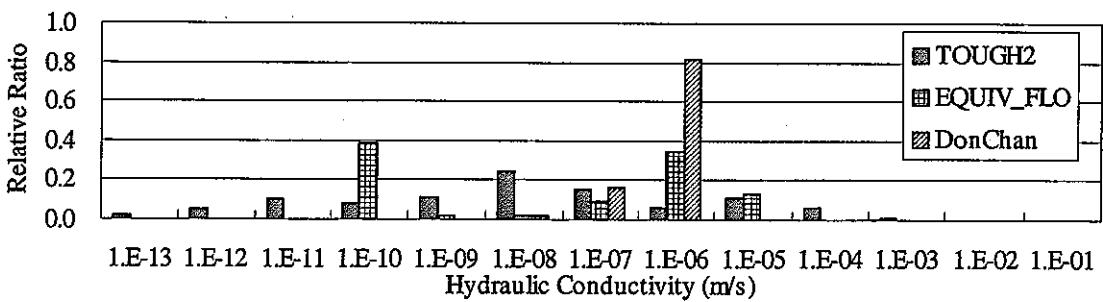
a) 深度-250m (指定点 14)



b) 深度-500m (指定点 17)

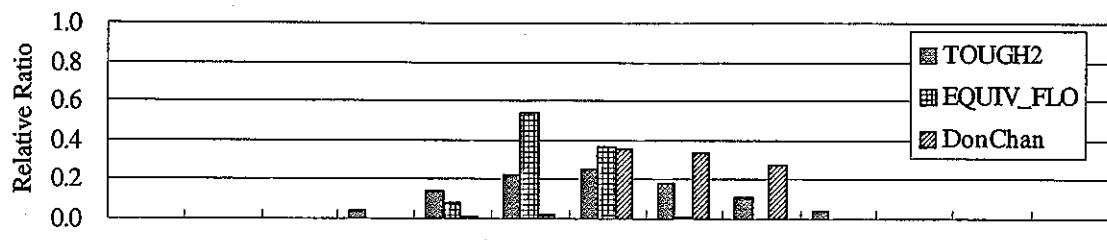


c) 深度-750m (指定点 20)

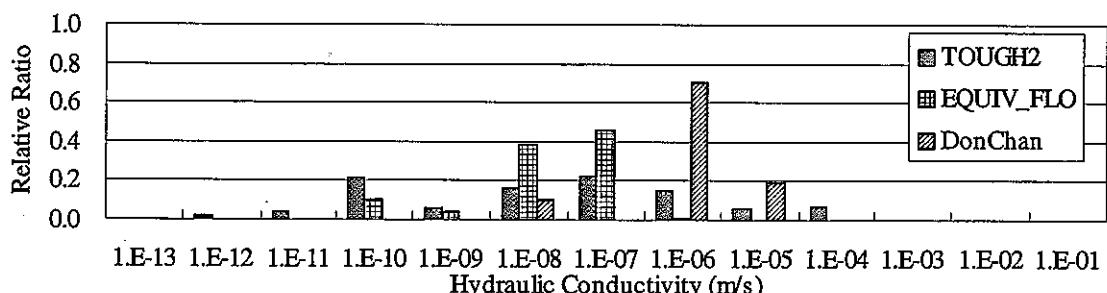


d) 深度-1,000m (指定点 23)

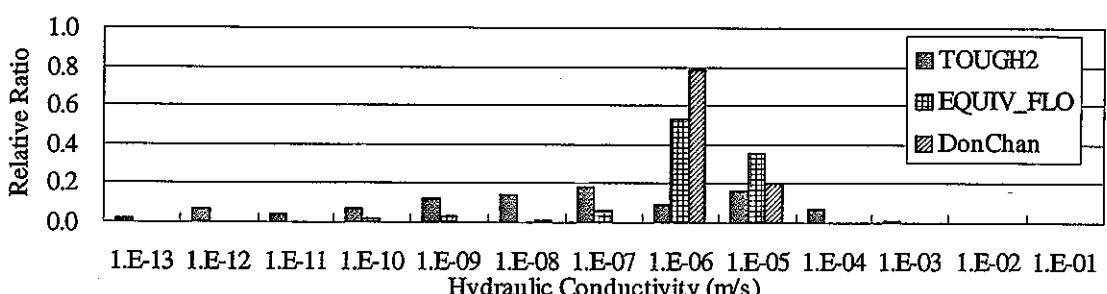
図 7.2-60 出発点 XY-5 の移行経路上の透水係数分布



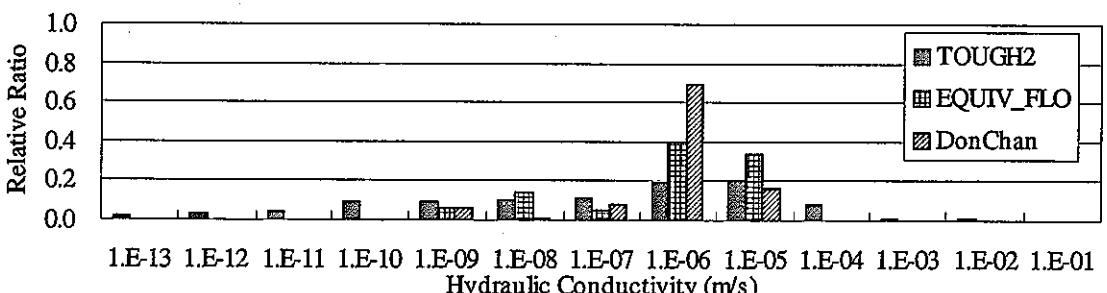
a) 深度・250m (指定点 15)



b) 深度・500m (指定点 18)



c) 深度・750m (指定点 21)



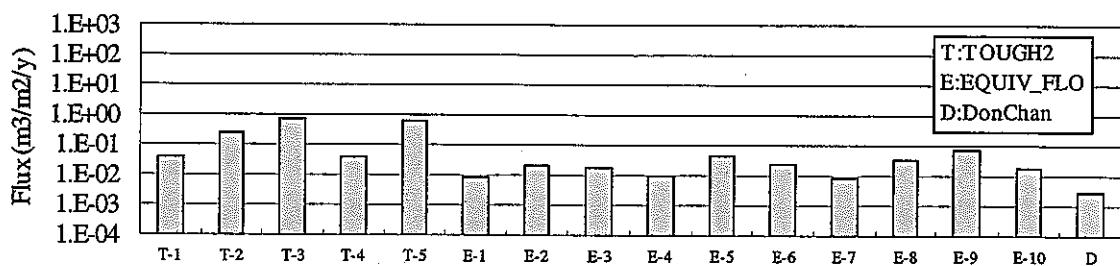
d) 深度・1,000m (指定点 24)

図 7.2-61 出発点 XY-6 の移行経路上の透水係数分布

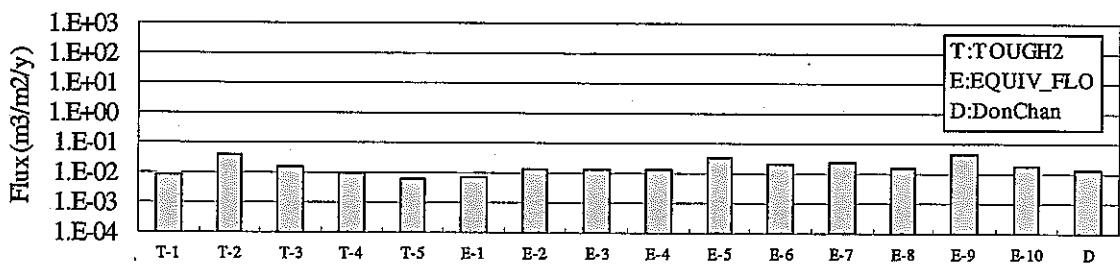
### 7.2.7 流量 (FLUX)

流量に関しては、本年度は各指定点を通過するダルシーフ流速より Flux として算出した。

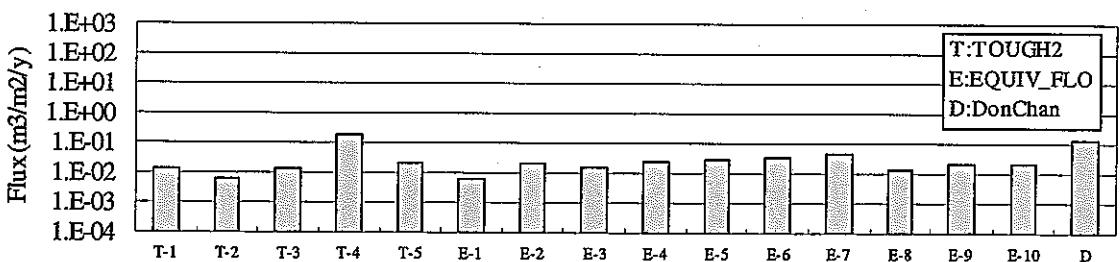
- 月吉断層北側に位置する XY-1～XY-3 は概ね  $10^{-3} \text{m}^3/\text{m}^2/\text{y}$ ～ $10^{-1} \text{m}^3/\text{m}^2/\text{y}$  に分布している。TOUGH2 の指定点 6, 11 では  $10^{-4} \text{m}^3/\text{m}^2/\text{y}$  以下の小さい流量が見られるが、これらの指定点の位置する要素に割り振られた透水係数には、特に主だった傾向は見られないため、この位置における動水勾配が小さいことが伺える。
- 月吉断層南側に位置する XY-4～XY-6 においては、同一モデルのリアライゼーション間のばらつきに比べて、モデル間のばらつきが大きい結果となった。指定点 13 において TOUGH2 が EQUIV\_FLO と Don-Chan と比べて 2～3 オーダー大きい値になっているのは、指定点の位置する場所の透水係数の差によるものと推測される。この指定点 13 を含む要素における透水係数は TOUGH2 では、 $10^{-3} \sim 10^{-5} \text{m/s}$  の分布であったのに対し、EQUIV\_FLO では  $10^{-8} \sim 10^{-9} \text{m/s}$  であった。指定点 17 の EQUIV\_FLO において  $10^{-4} \text{m}^3/\text{m}^2/\text{y}$  以下の流量が見られるがこの位置の透水係数は、 $10^{-11} \sim 10^{-12} \text{m/s}$  であった。同じく指定点 24 からの  $10^{-4} \text{m}^3/\text{m}^2/\text{y}$  以下に求まっているの TOUGH2 の指定点の透水係数は、 $10^{-5} \sim 10^{-6} \text{m/s}$  であり、この位置においては、XY-1～XY-3 で見られた時と同様に、動水勾配が小さいことが想定できる。



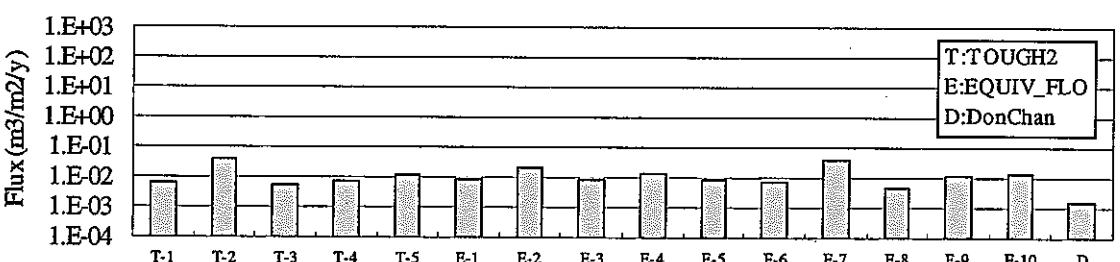
a) 深度-250m (指定点 1)



b) 深度-500m (指定点 4)

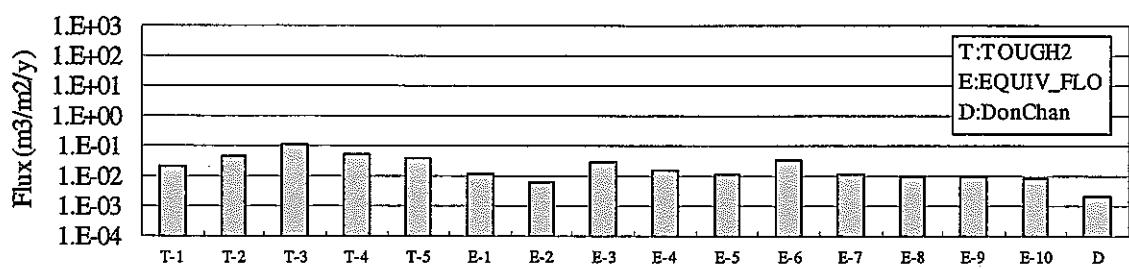


c) 深度-750m (指定点 7)

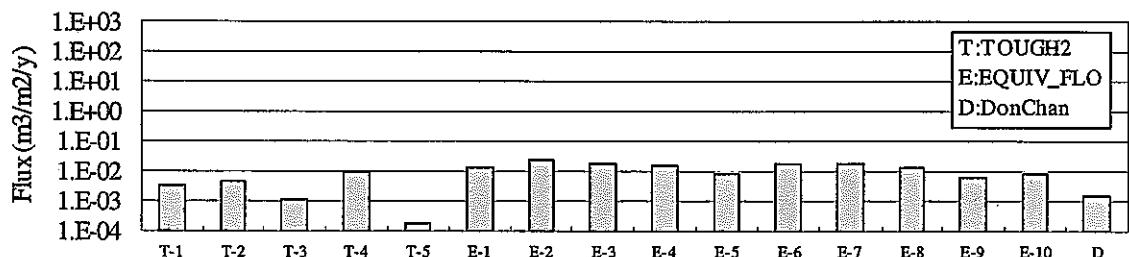


d) 深度-1,000m (指定点 10)

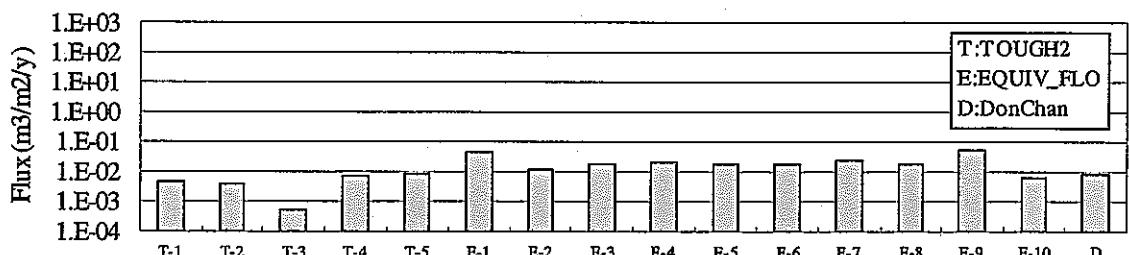
図 7.2-62 出発点 XY-1 の各深度を通過する流量(Flux)



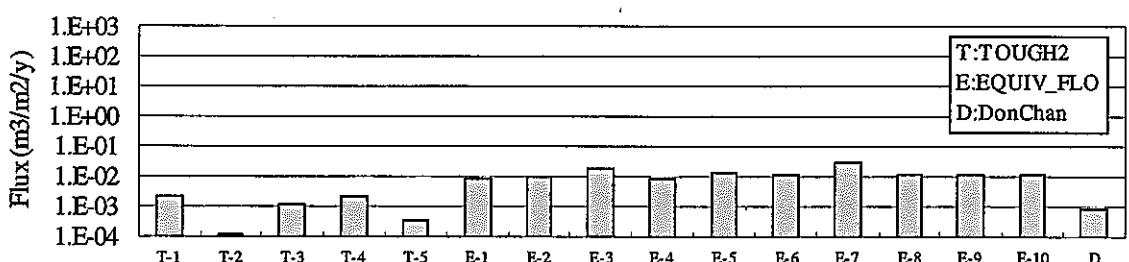
a) 深度・250m (指定点 2)



b) 深度・500m (指定点 5)

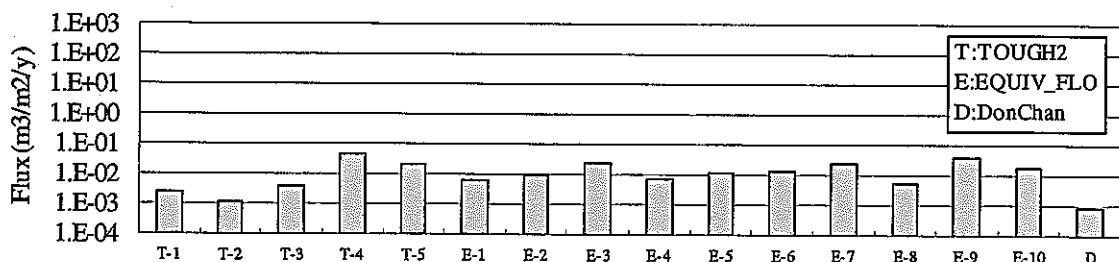


c) 深度・750m (指定点 8)

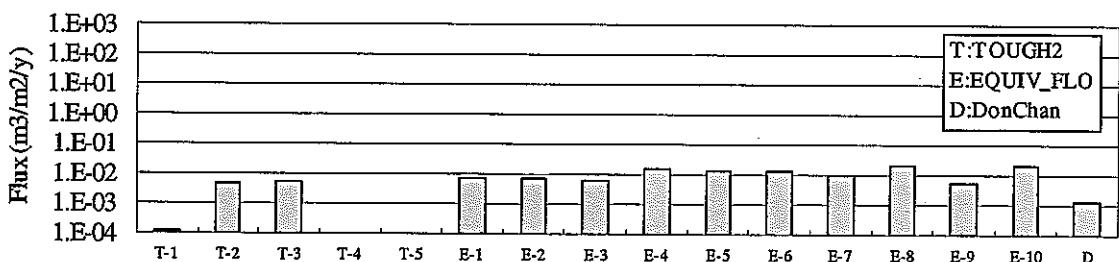


d) 深度・1,000m (指定点 11)

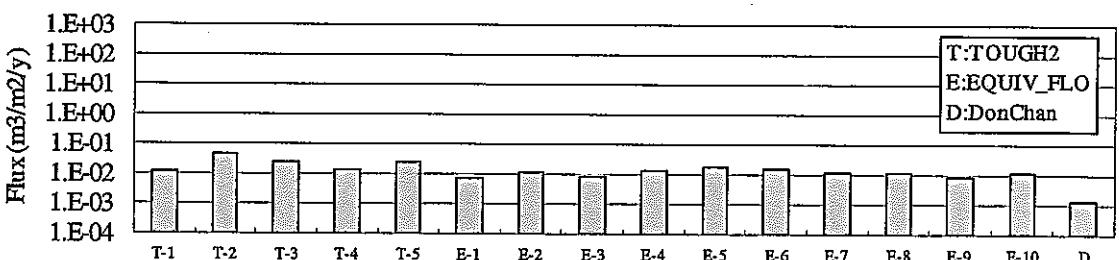
図 7.2-63 出発点 XY-2 の各深度を通過する流量(Flux)



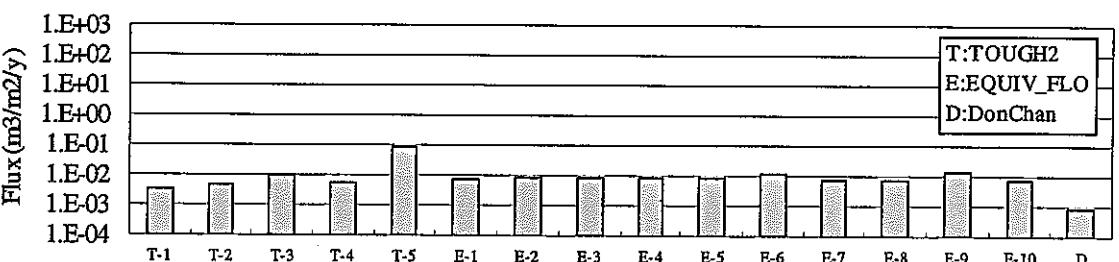
a) 深度-250m (指定点 3)



b) 深度-500m (指定点 6)

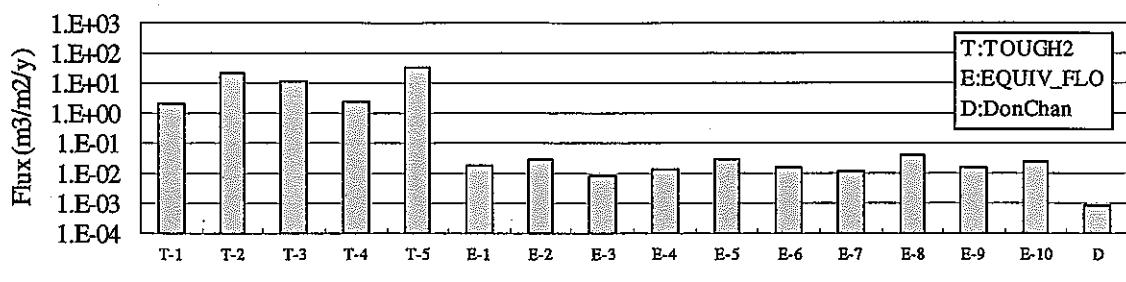


c) 深度-750m (指定点 9)

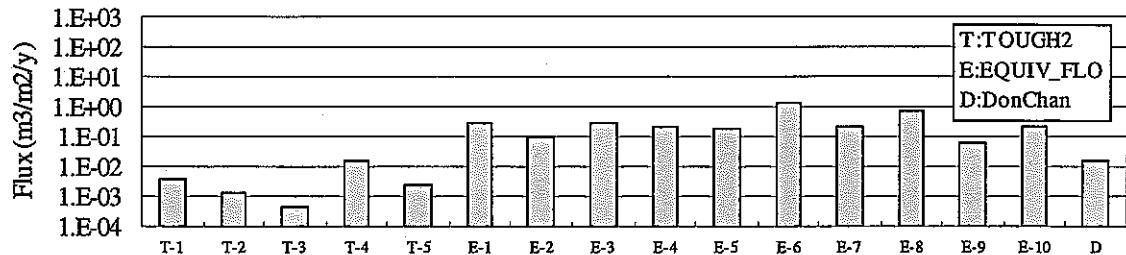


d) 深度-1,000m (指定点 12)

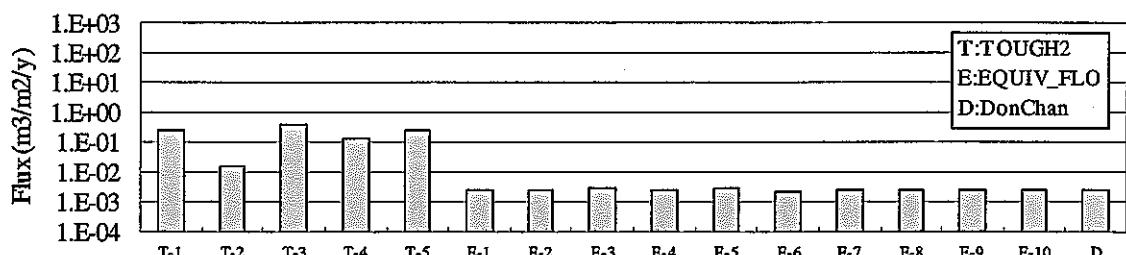
図 7.2-64 出発点 XY-3 の各深度を通過する流量(Flux)



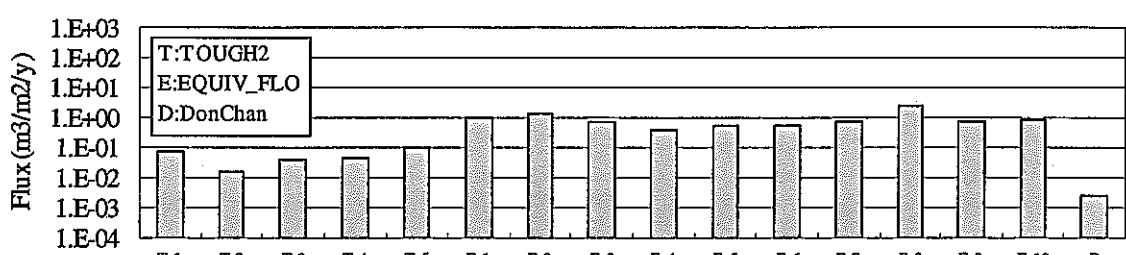
a) 深度・250m (指定点 18)



b) 深度・500m (指定点 16)

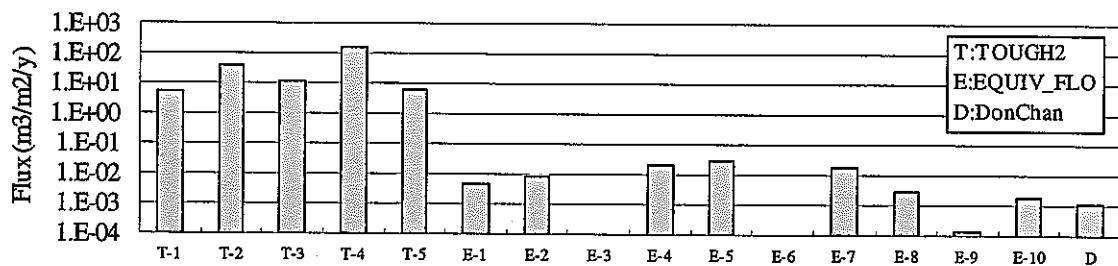


c) 深度・750m (指定点 19)

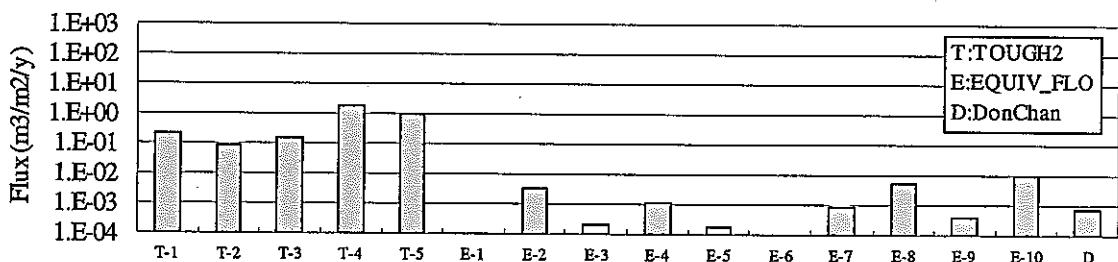


d) 深度・1,000m (指定点 22)

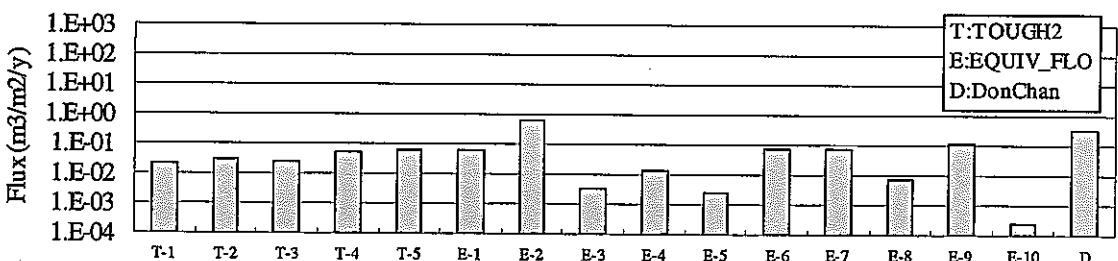
図 7.2-65 出発点 XY-4 の各深度を通過する流量(Flux)



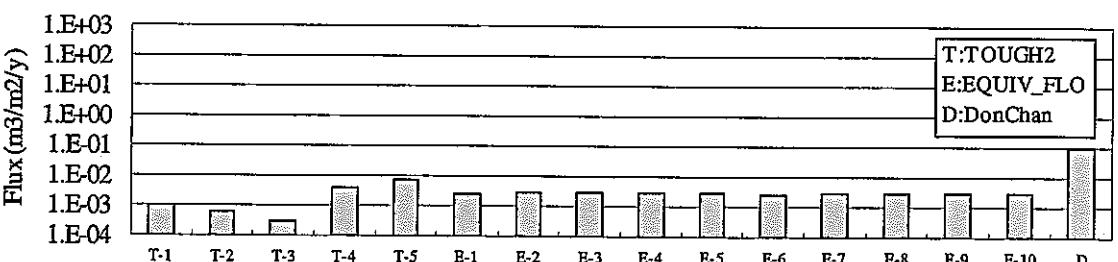
a) 深度・250m (指定点 14)



b) 深度・500m (指定点 17)

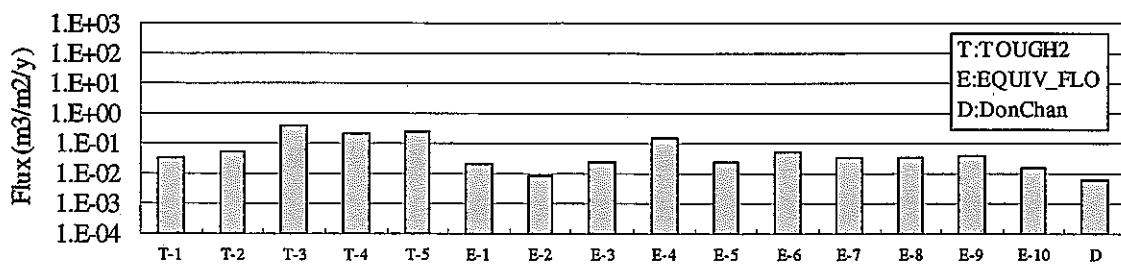


c) 深度・750m (指定点 20)

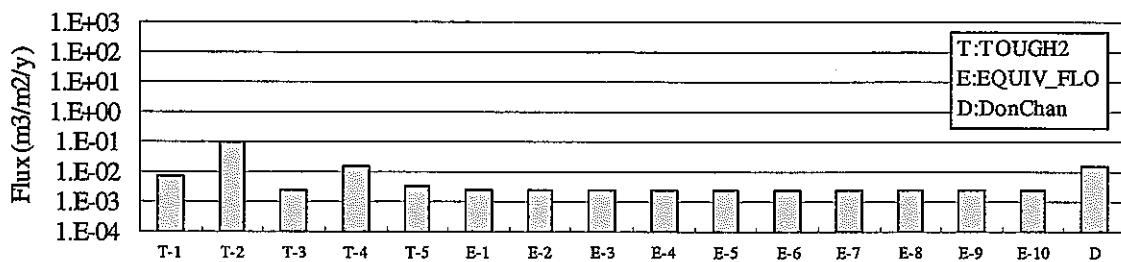


d) 深度・1,000m (指定点 23)

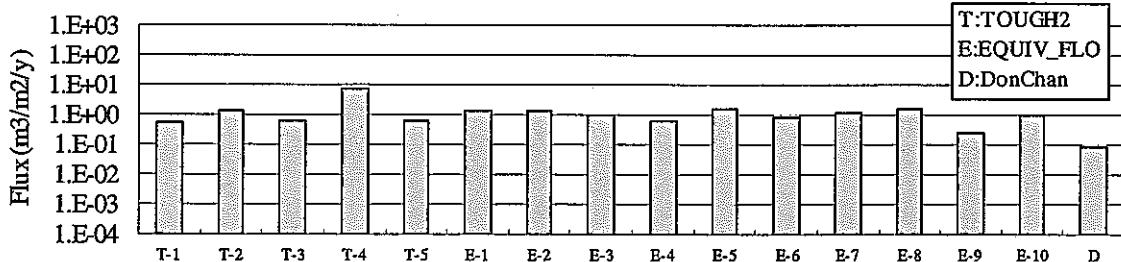
図 7.2-66 出発点 XY・5 の各深度を通過する流量(Flux)



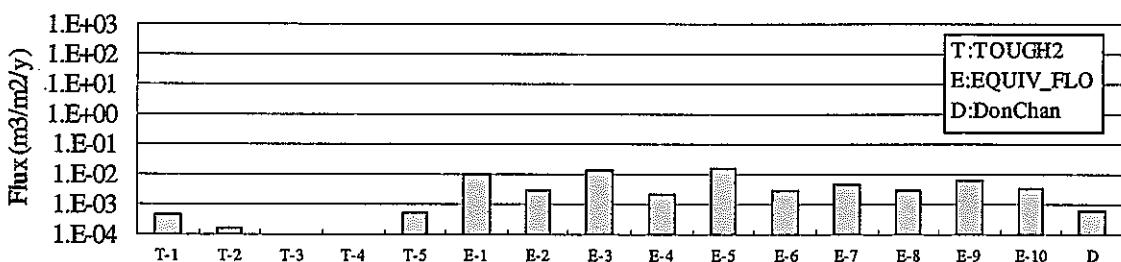
a) 深度-250m (指定点 15)



b) 深度-500m (指定点 18)



c) 深度-750m (指定点 21)



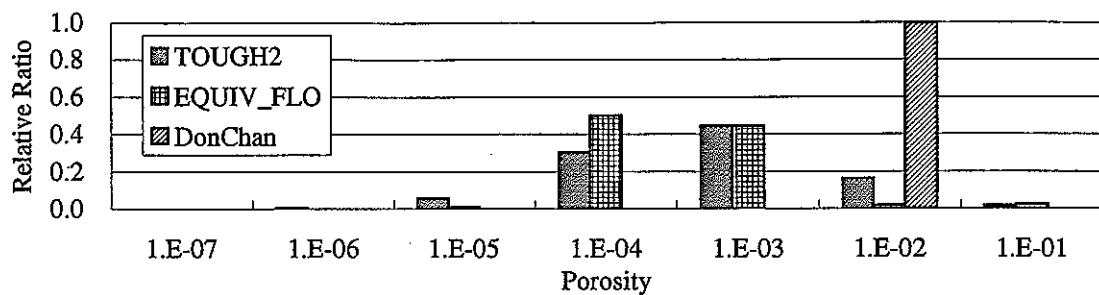
d) 深度-1,000m (指定点 24)

図 7.2-67 出発点 XY-6 の各深度を通過する流量(Flux)

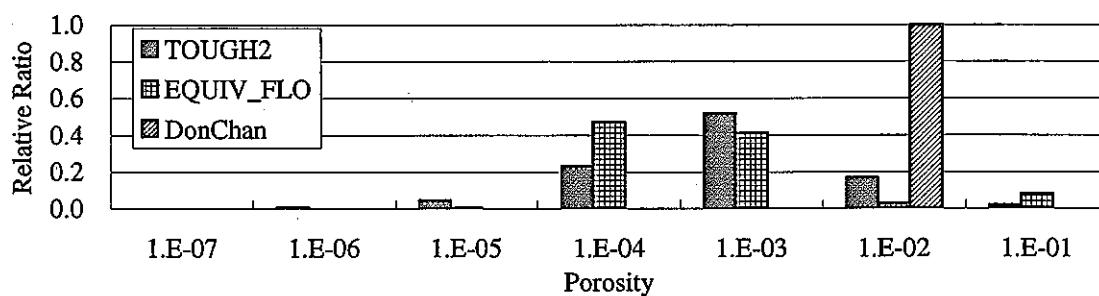
### 7.2.8 移行経路上の有効間隙率

図 7.2-68～図 7.2-73に、移行経路上の有効間隙率の頻度分布を示す。移行経路上の有効間隙率の傾向は以下のような分布である。

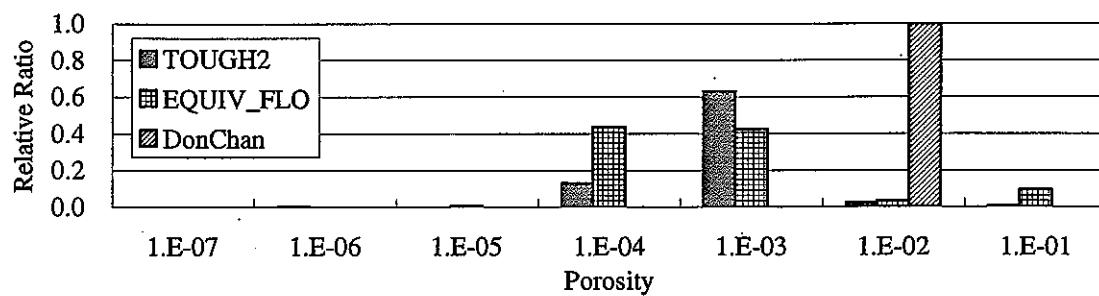
- TOUGH2における有効間隙率は、亀裂の三乗側によって算出されるため、透水係数同様に幅を持って分布している。 $10^{-6} \sim 10^{-1}$  の範囲で分布しており、 $10^{-3}$  オーダーが最も頻度が高い。
- EQUIV\_FLOにおける有効間隙率は、各要素に対して、亀裂幅より求まる空隙率と要素の体積の比として算出され、 $10^{-4} \sim 10^{-3}$  の範囲で分布している。ただし、断層については 0.1、堆積岩層については 0.2 あるいは 0.3 のように固定の有効間隙率を与えていた。
- Don-Chanにおける有効間隙率は、岩種毎に一定の値が設定されている。堆積岩、花崗岩及び強風化部は 0.3、メジャーフラクチャーは 0.04 のように一定の値が定められている。



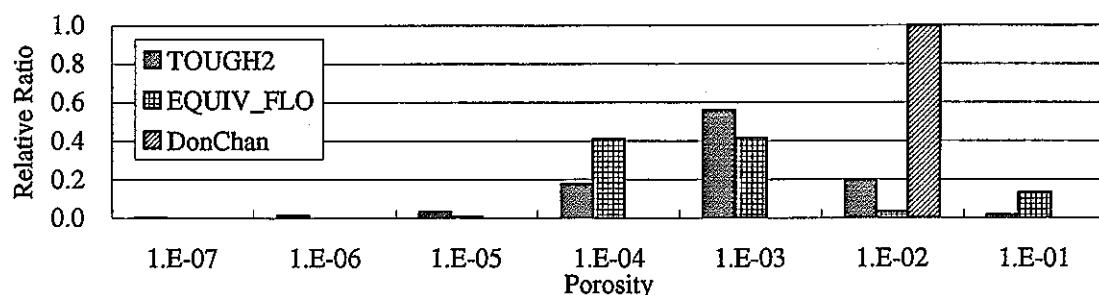
a) 深度・250m (指定点 1)



b) 深度・500m (指定点 4)

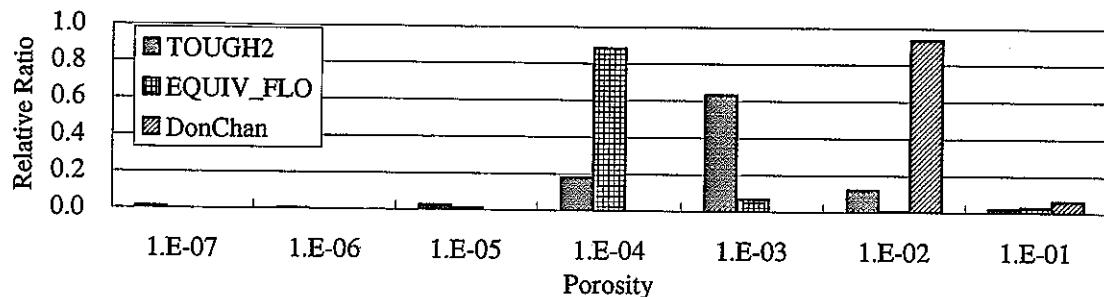


c) 深度・750m (指定点 7)

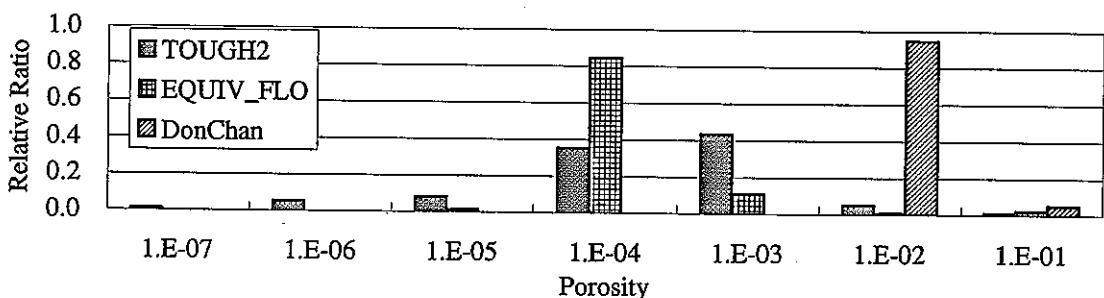


d) 深度・1,000m (指定点 10)

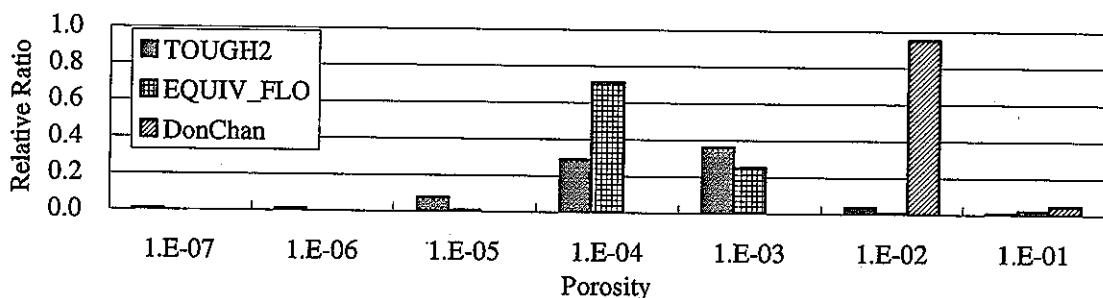
図 7.2-68 出発点 XY-1 上の各指定点からの移行経路上の有効間隙率



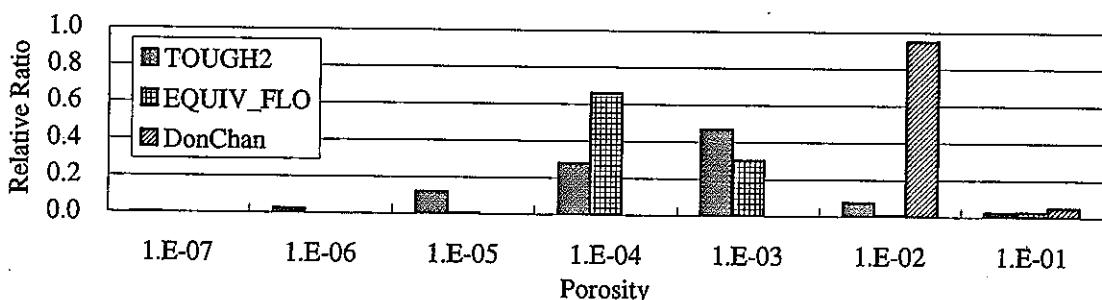
a) 深度・250m (指定点 2)



b) 深度・500m (指定点 5)

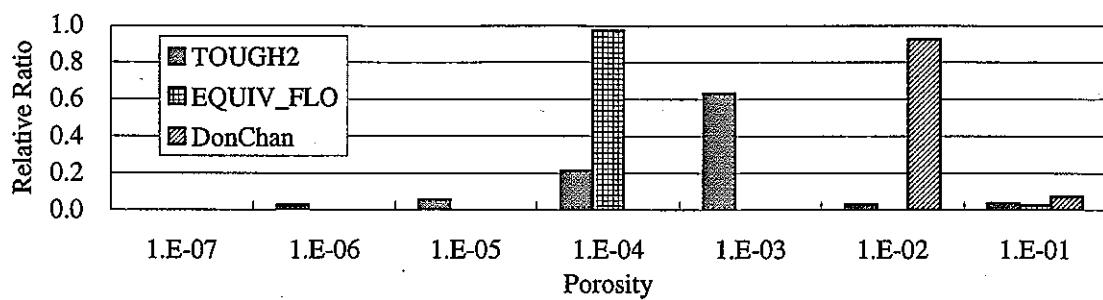


c) 深度・750m (指定点 8)

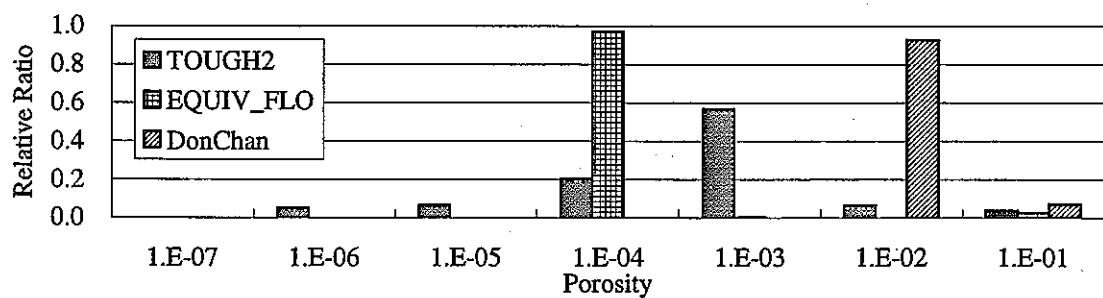


d) 深度・1,000m (指定点 11)

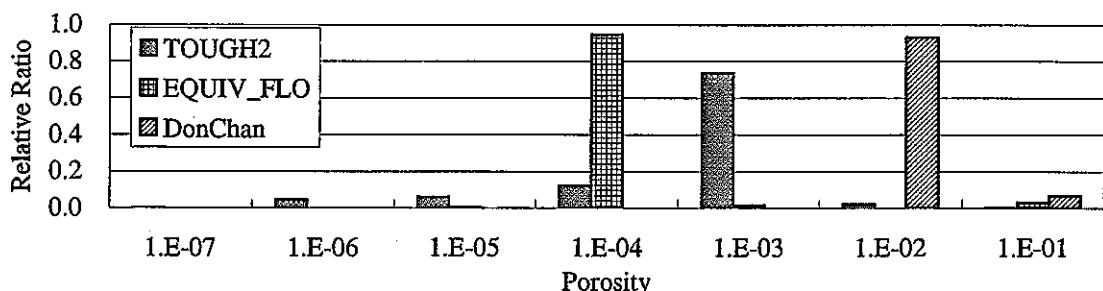
図 7.2-69 出発点 XY-2 上の各指定点からの移行経路上の有効間隙率



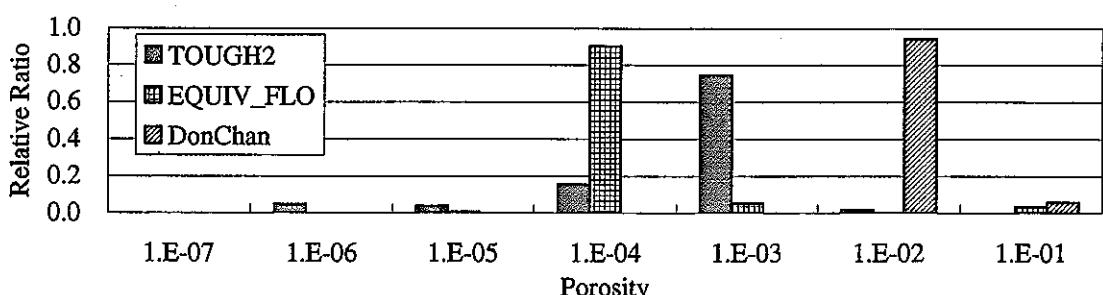
a) 深度・250m (指定点 3)



b) 深度・500m (指定点 6)

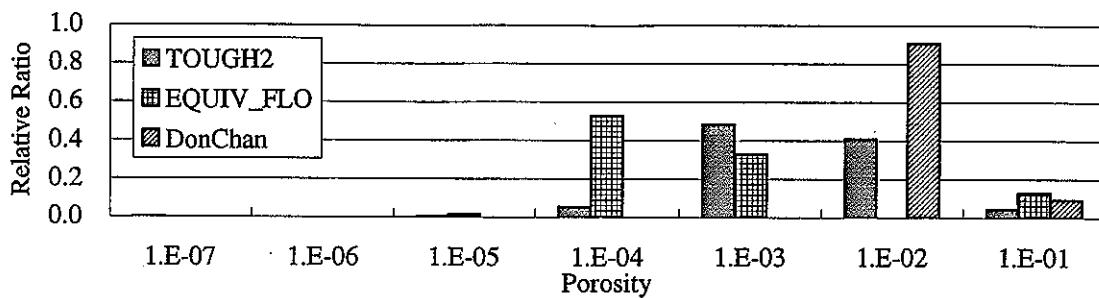


c) 深度・750m (指定点 9)

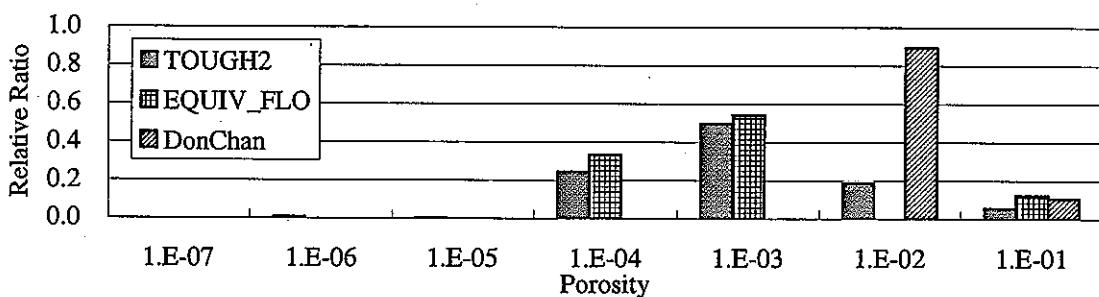


d) 深度・1,000m (指定点 12)

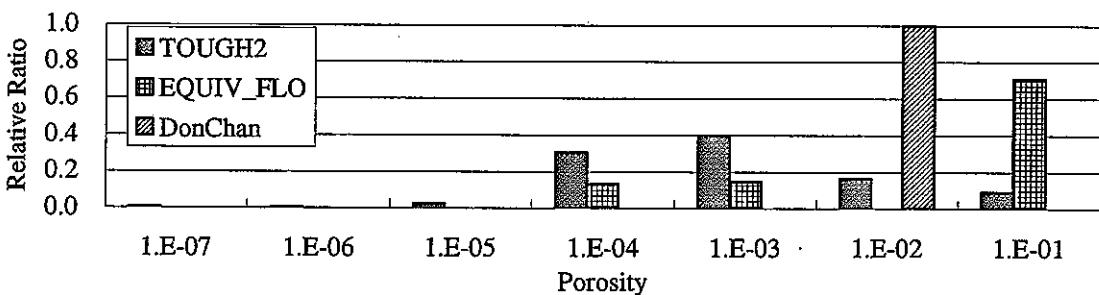
図 7.2-70 出発点 XY-3 上の各指定点からの移行経路上の有効間隙率



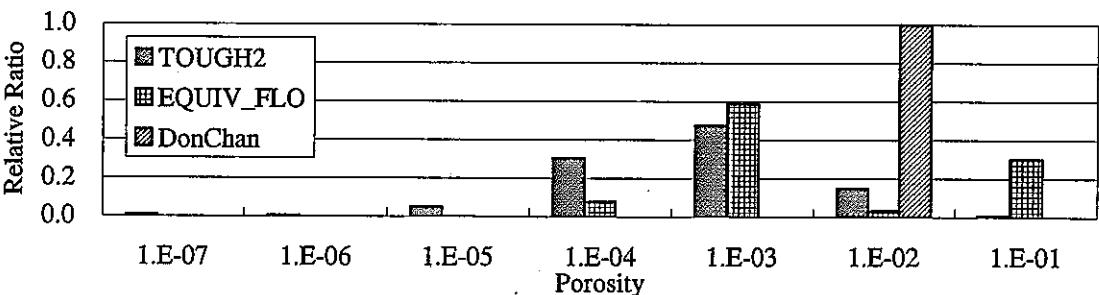
a) 深度-250m (指定点 13)



b) 深度-500m (指定点 16)

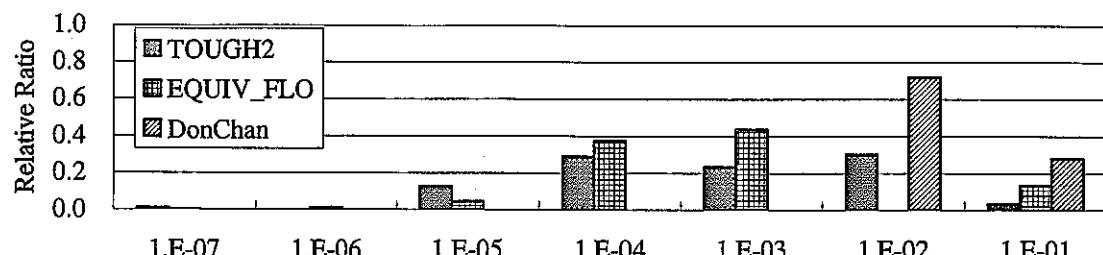


c) 深度-750m (指定点 19)

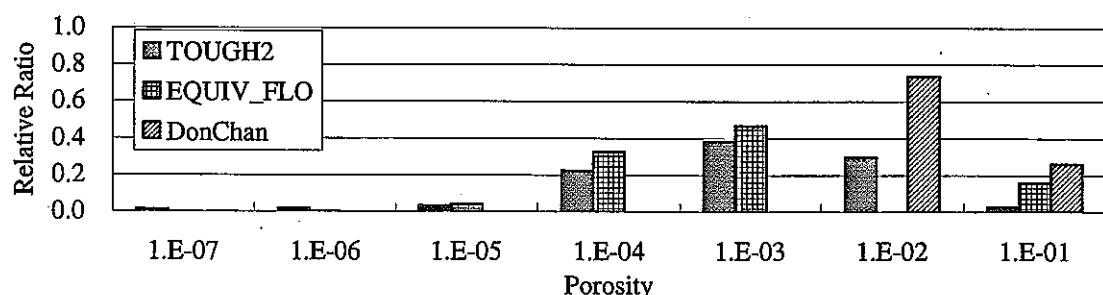


b) 深度-1,000m (指定点 22)

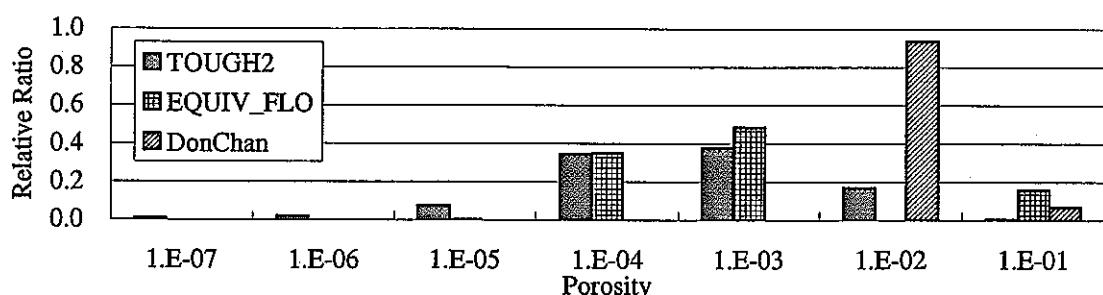
図 7.2-71 出発点 XY-4 上の各指定点からの移行経路上の有効間隙率



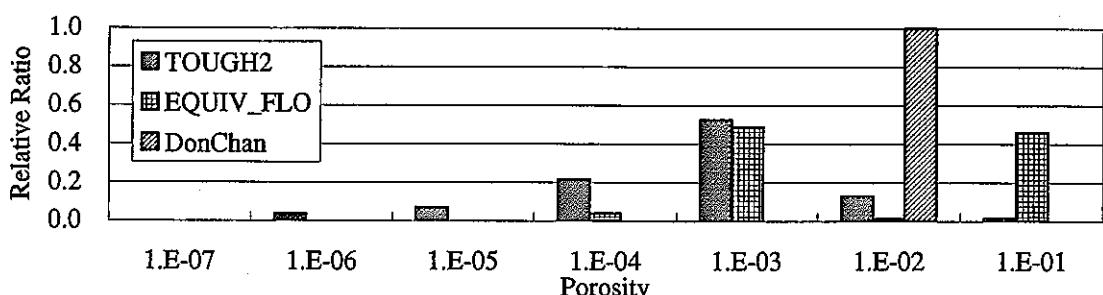
a) 深度・250m (指定点 14)



b) 深度・500m (指定点 17)

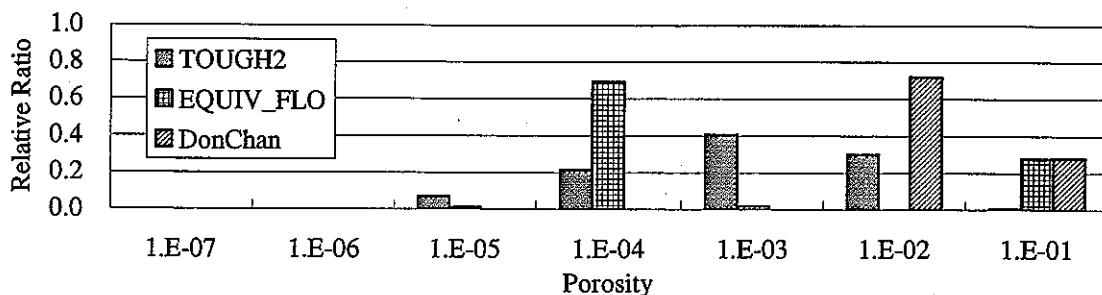


c) 深度・750m (指定点 20)

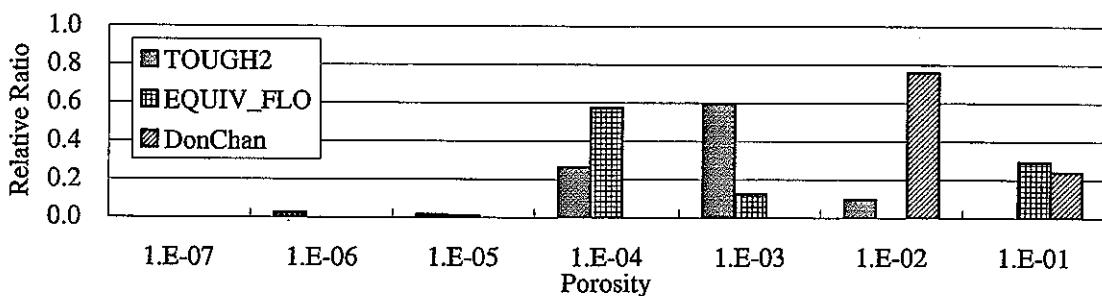


d) 深度・1,000m (指定点 23)

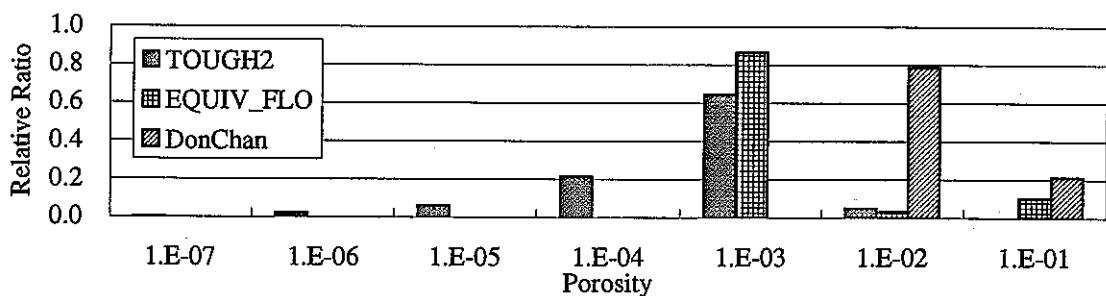
図 7.2-72 出発点 XY-5 上の各指定点からの移行経路上の有効間隙率



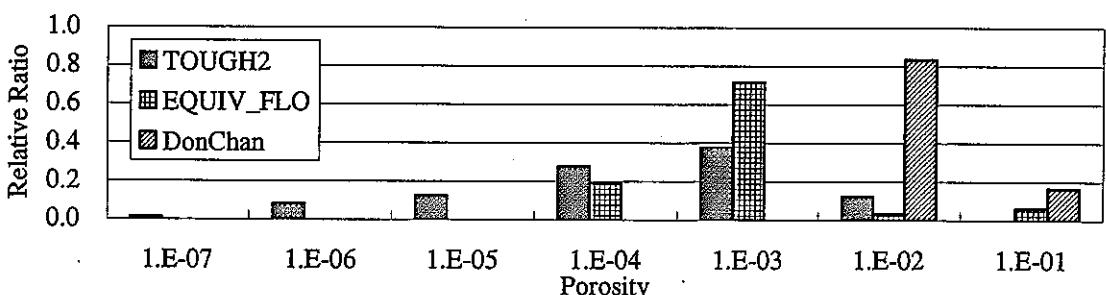
a) 深度・250m (指定点 15)



b) 深度・500m (指定点 18)



c) 深度・750m (指定点 21)



d) 深度・1,000m (指定点 24)

図 7.2-73 出発点 XY-6 上の各指定点からの移行経路上の有効間隙率

### 7.2.9 移行経路長とトラベルタイムの関係

移行経路長とトラベルタイムの関係を図 7.2-74～図 7.2-79に、また、移行経路長と有効間隙率を用いて求めた規格化トラベルタイムとの関係を図 7.2-80～図 7.2-85に示す。

移行経路とトラベルタイムの関係については、以下のような知見が得られる。

- 7.2.6の透水係数頻度分布で見られたように TOUGH2 は、地盤の不均質性が強く、他のモデルでは通過することの少ない透水性の低い経路を通過することがあるため、移行経路長が EQUIV\_FLO より短いケースでもトラベルタイムが大きくなっている。断層北側に位置している XY-1においては、Don-Chan の移行経路は、他のモデルと異なり、透水性の低い花崗岩中を流れていることからトラベルタイムが大きくなっている。しかし、有効間隙率を用いてトラベルタイムを規格化すると、Don-Chan も他のモデルと同じオーダーになる。これは Don-Chan の有効間隙率は、亀裂情報を用いて設定する他のモデルとは異なり、岩種毎に個別に設定しており、その値が他のモデルと比べて 1～2 オーダー程度大きいためである。このように有効間隙率の持つ不確実性は非常に大きい。
- XY-2においても TOUGH2 の地盤の不均質性によって、EQUIV\_FLO の同程度の移行距離に対するトラベルタイムが長くなっている。Don-Chan の移行経路長及びトラベルタイムが長いのは、設定した亀裂に沿った複雑な経路を辿っていること、遮水性の断層を設定しているために地下水の潜り込みが大きいことなどが原因と見られる。したがって、Don-Chan の移行経路が他と大きく異なるのは、断層の位置及び透水性（高透水性あるいは遮水性）の設定の不確実性が高いためである。フラクチャーネットワークモデルである Don-Chan は特にその影響が大きいと言える。
- XY-3においては、TOUGH2 は他と異なり領域北東の側方境界に流出していることから、断層に向かっていた XY-1, 2 と比較して移行経路長が短い傾向にあるが、移行距離に対するトラベルタイムが他よりも大きい傾向に変わりは無い。EQUIV\_FLO と Don-Chan の流出地点は近い結果であるが、そこに至る経路に違いがあり、Don-Chan の方が移行経路長、トラベルタイムともに大きい。
- 全体的に月吉断層より南に位置する指定点については、断層が傾斜しているため、指定点が深さによって、断層の北側であったり、南側であったりすることから、同一地点に位置する深さごとに異なる指定点からの移行経路にばらつきが見られる。XY-4においては、EL.-500m までは、正の相関を示しているが、EL.-700m以深では断層の北側になってしまうため、別の傾向になっている。XY-4に対して有効間隙率による規格化を行なうと、同移行経路長に対し、各モデルでの有効間隙率の算出方法の違いによって、ばらつきが大きくなる指定点が多い。
- XY-5 及び XY-6については、指定点が月吉断層に接近しているため、移行経路長はばらつきが小さい。流動過程でどの要素を通過するかによってトラベルタイムに差が出る程度で、経路長に大きな差はない。ただし、EL.-1000mの各点は先述の通り、断層

の北側に転じるため、同一地点の他の深さに位置する指定点とは傾向が異なりトラベルタイムのばらつきが大きくなる。有効間隙率を用いて規格化を行った場合の XY-5 及び XY-6 については、他と同様に、有効間隙率の取り扱い方によって、ばらつきが大きくなる傾向があった。ところで、指定点 23 の Don-Chan のように図中の点が一点だけばらついている結果は、移行経路が異なるものである。

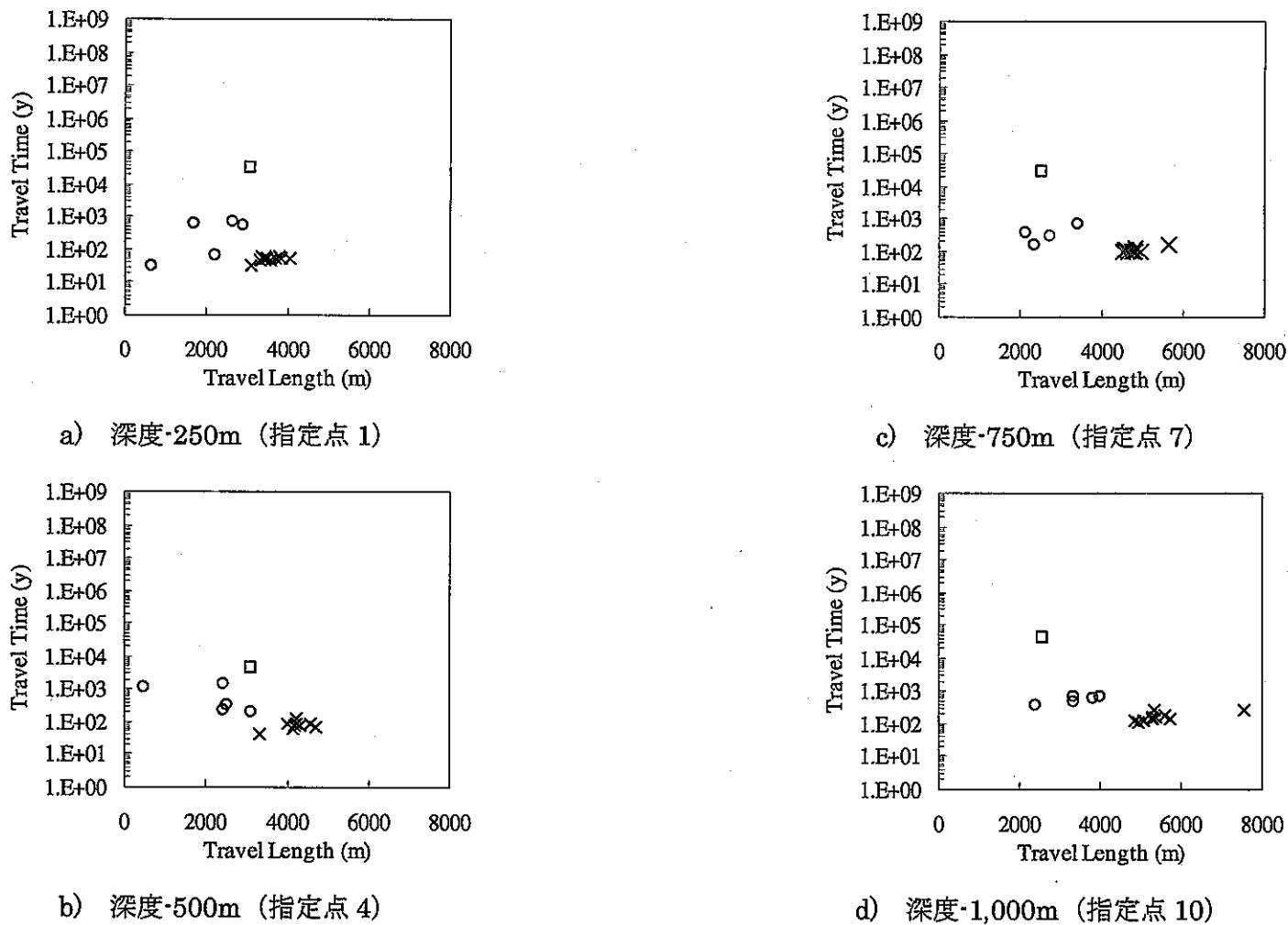
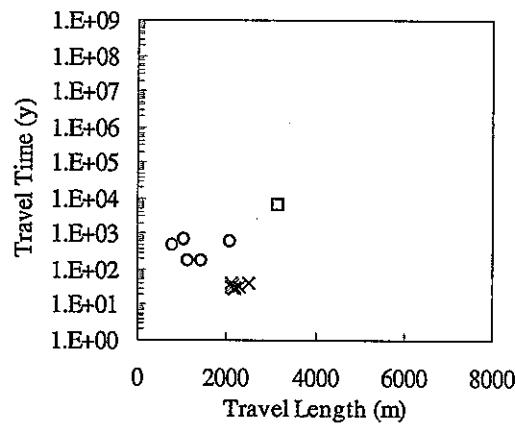
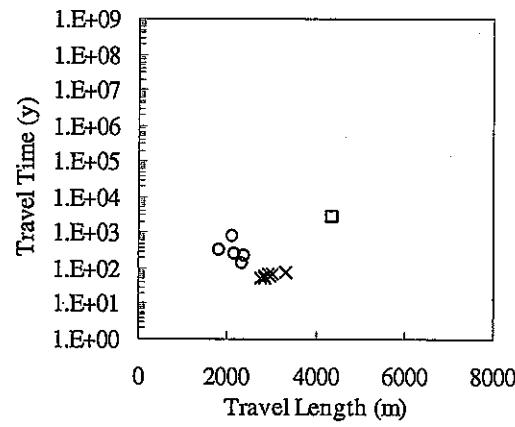


図 7.2-74 XY-1 の各深度における移行経路長とトラベルタイムの関係

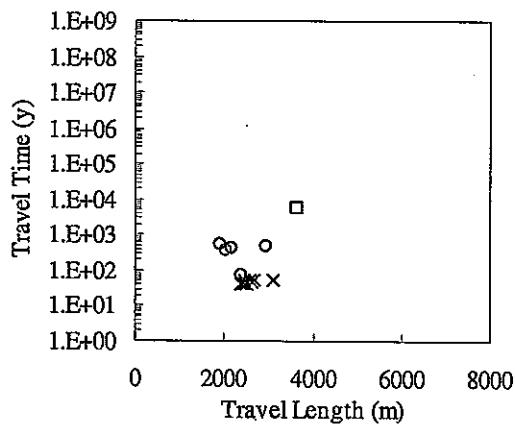
(○ : TOUGH2, × : EQUIV\_FLO, □ : Don-Chan)



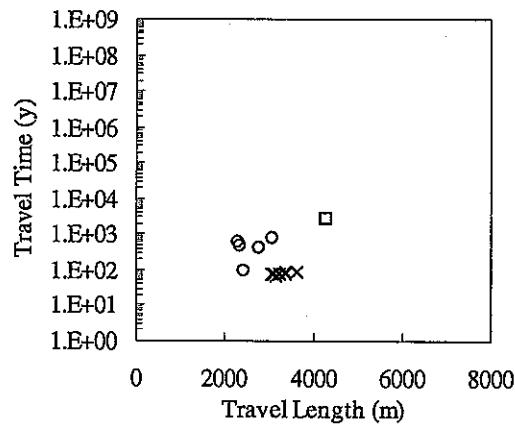
a) 深度-250m (指定点 2)



c) 深度-750m (指定点 8)



b) 深度-500m (指定点 5)



d) 深度-1,000m (指定点 11)

図 7.2-75 XY-2 の各深度における移行経路長とトラベルタイムの関係

(○ : TOUGH2, × : EQUIV\_FLO, □ : Don-Chan)

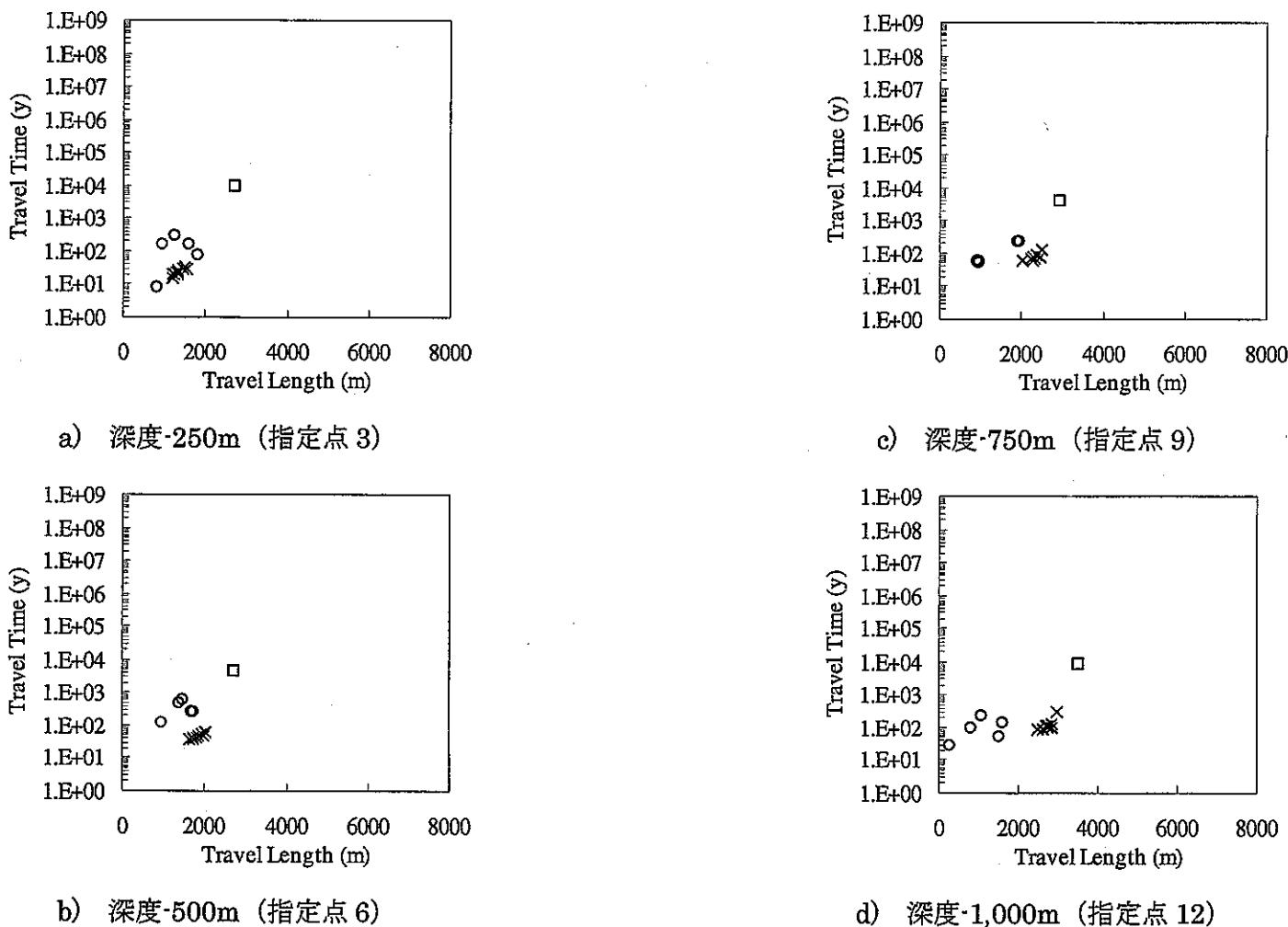


図 7.2-76 XY-3 の各深度における移行経路長とトラベルタイムの関係

(○ : TOUGH2, × : EQUIV\_FLO, □ : Don-Chan)

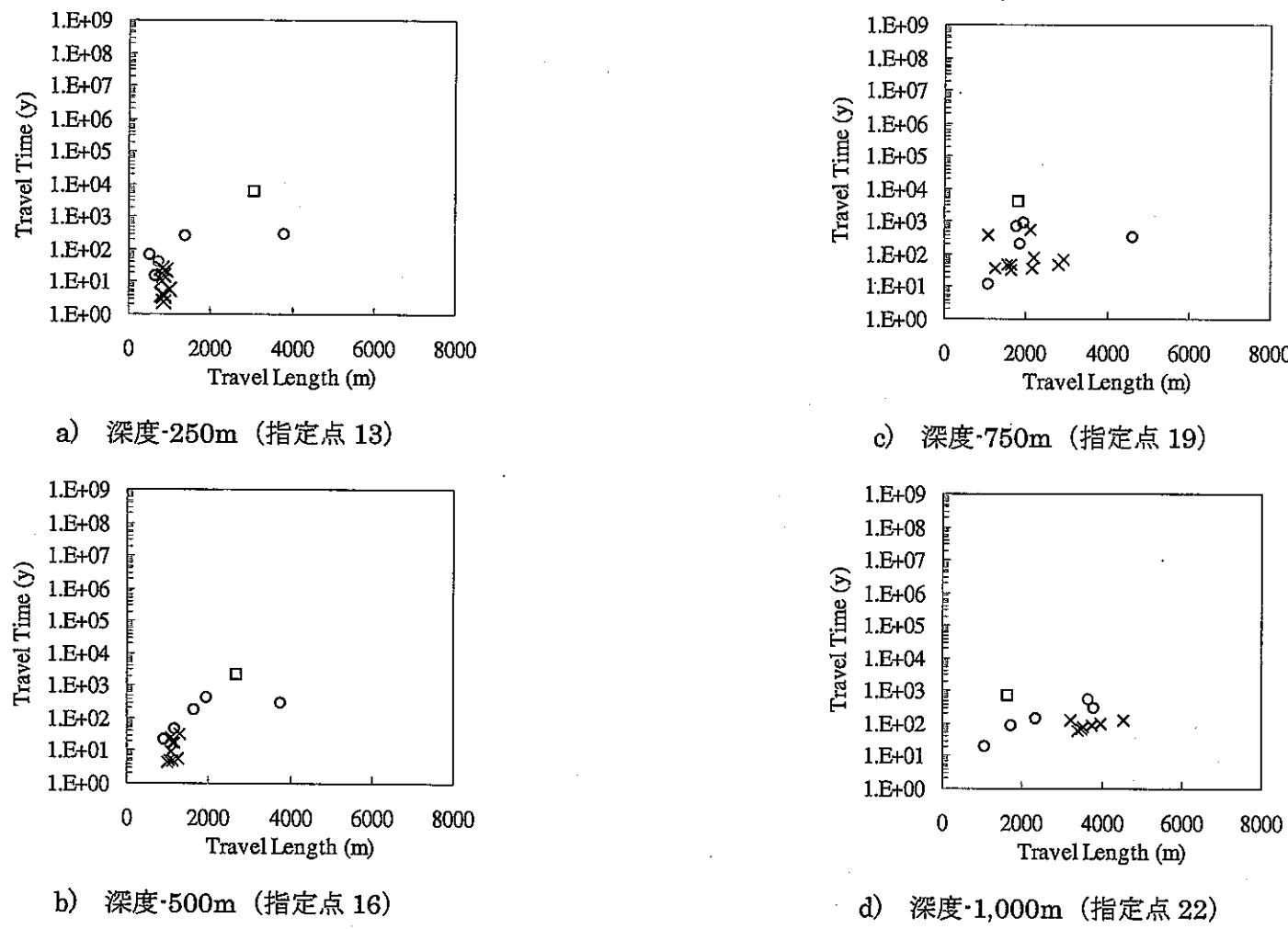


図 7.2-77 XY-4 の各深度における移行経路長とトラベルタイムの関係

(○ : TOUGH2, × : EQUIV\_FLO, □ : Don-Chan)

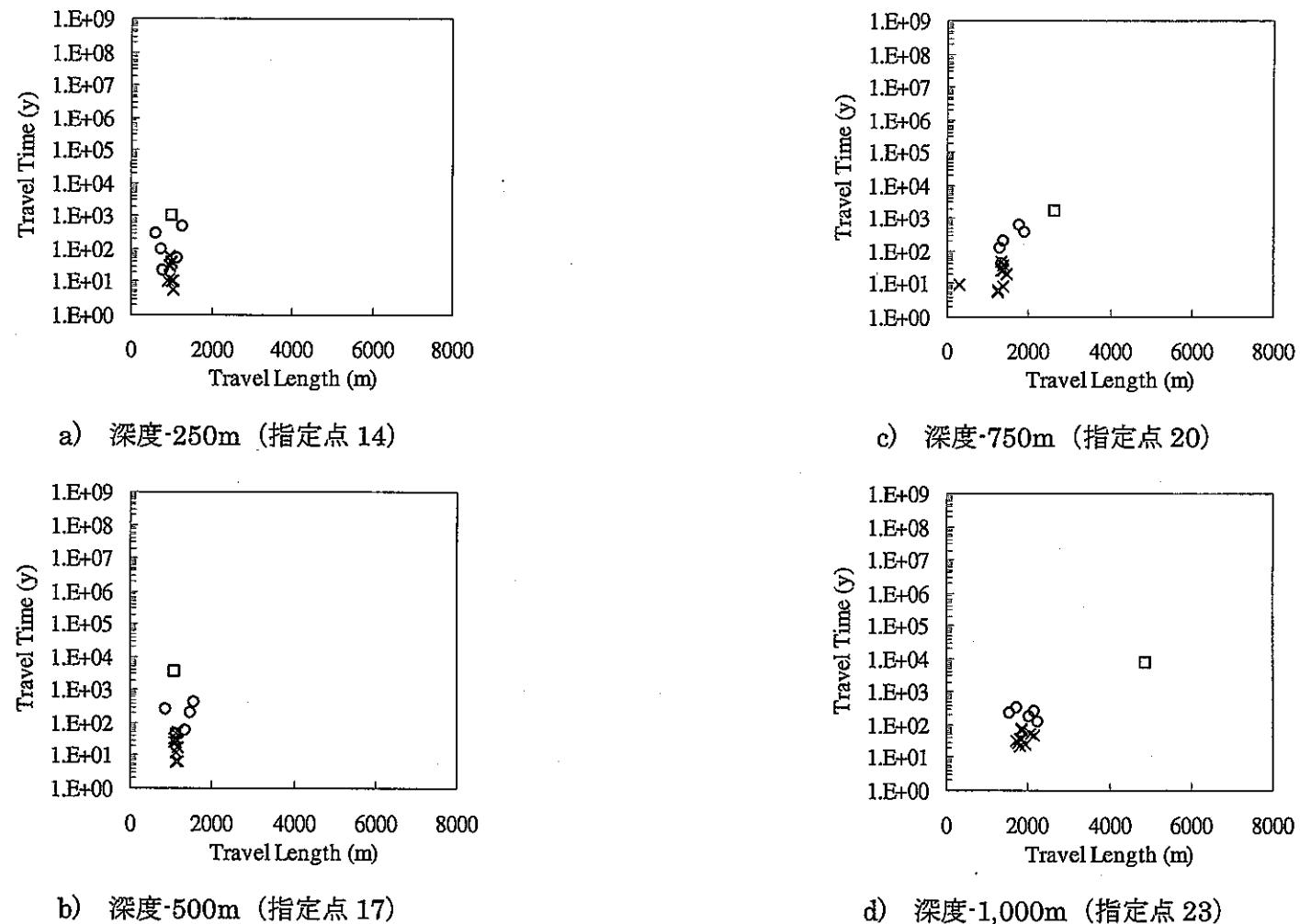


図 7.2-78 XY-5 の各深度における移行経路長とトラベルタイムの関係

(○ : TOUGH2, × : EQUIV\_FLO, □ : Don-Chan)

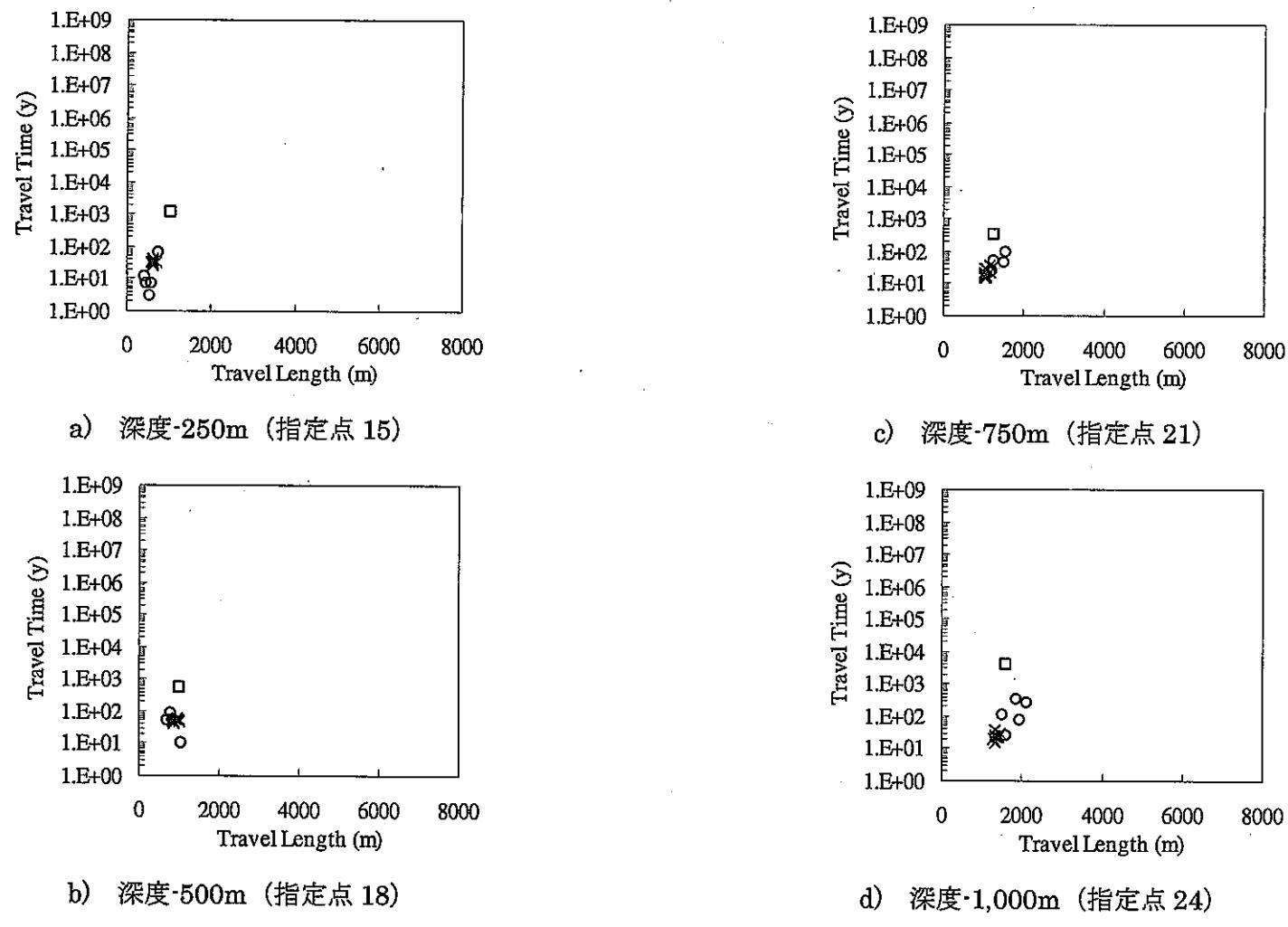


図 7.2-79 XY-6 の各深度における移行経路長とトラベルタイムの関係

(○ : TOUGH2, × : EQUIV\_FLO, □ : Don-Chan)

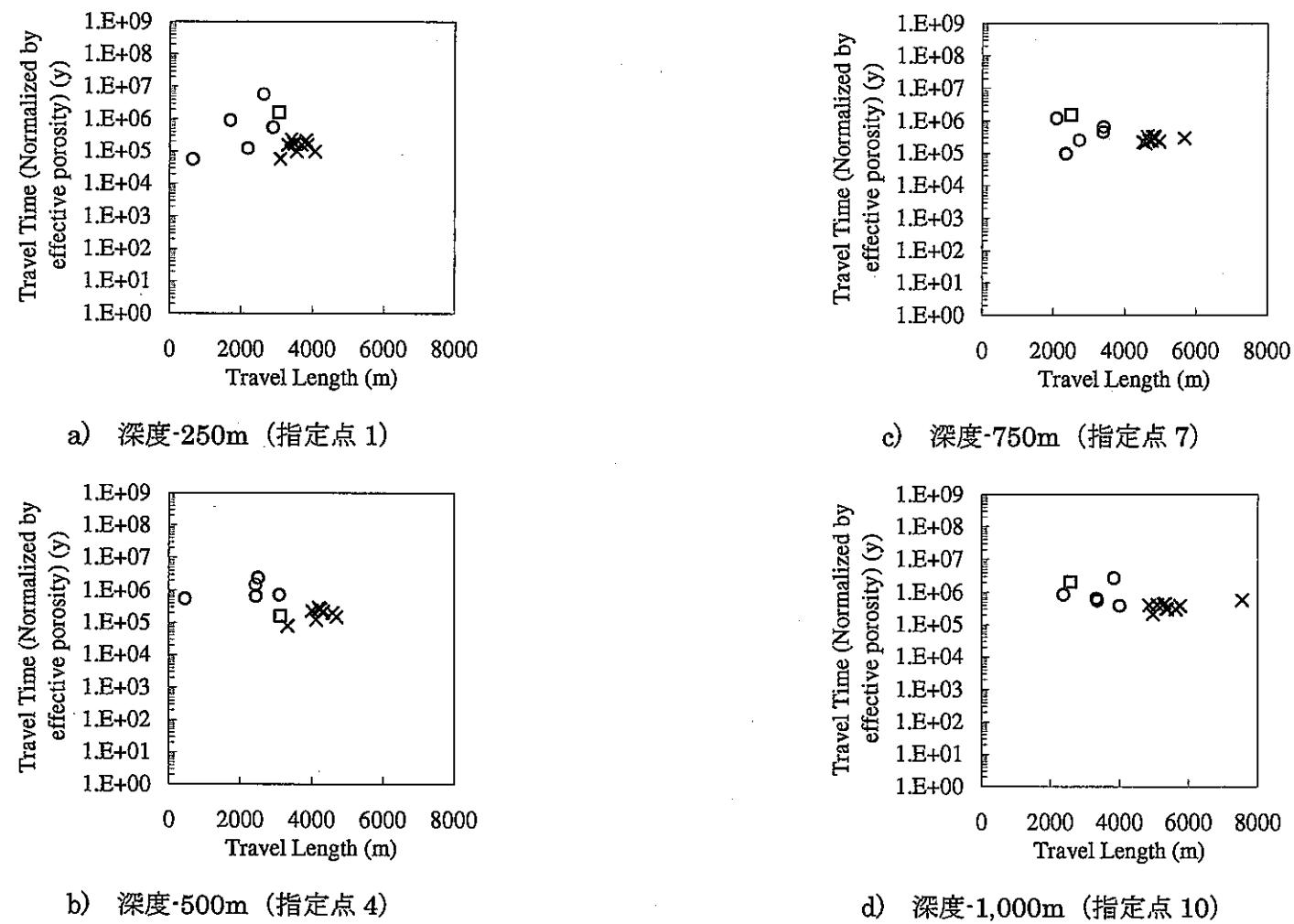


図 7.2-80 XY-1 の各深度における移行経路長と規格化されたトラベルタイムの関係

(○ : TOUGH2, × : EQUIV\_FLO, □ : Don-Chan)

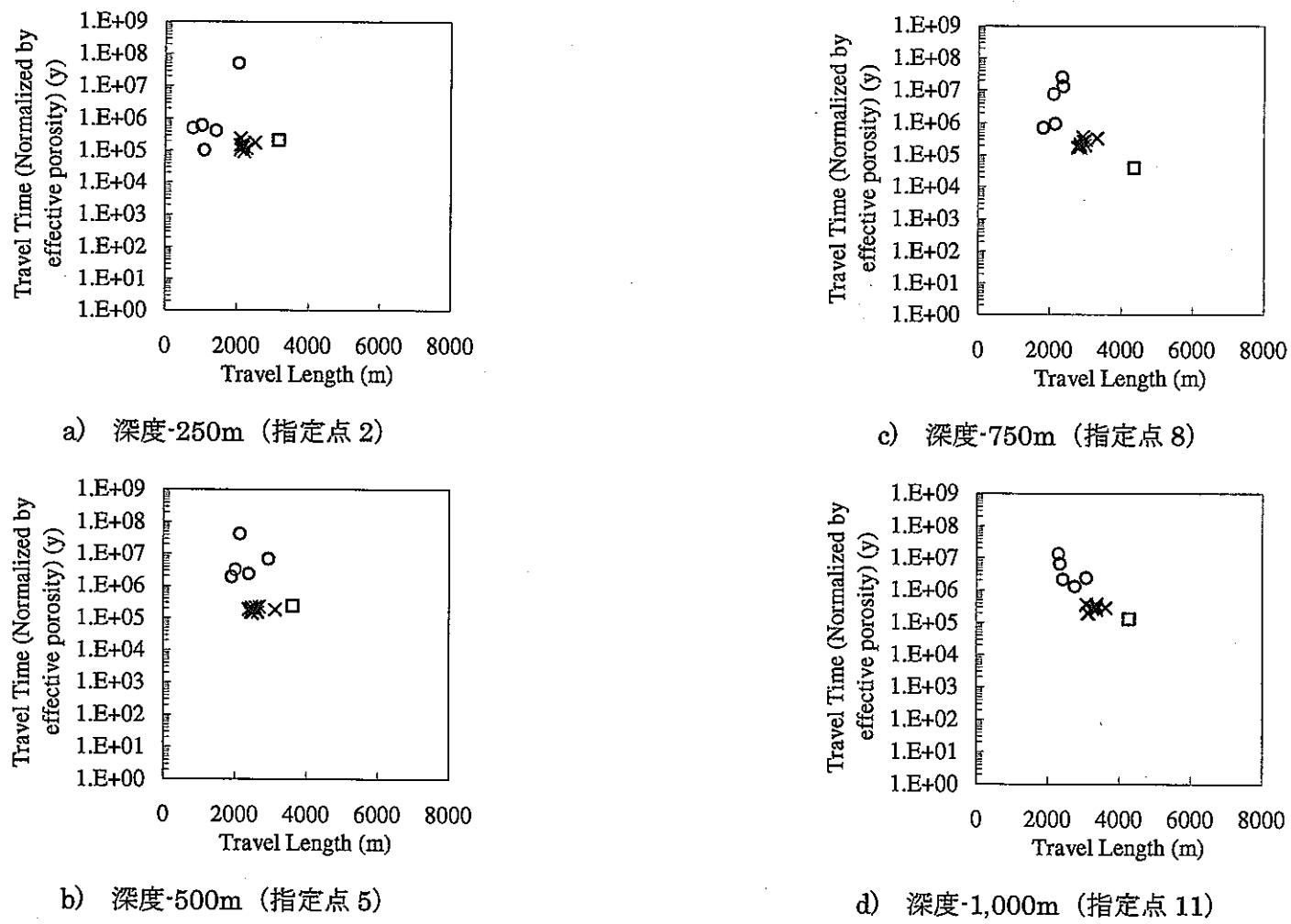


図 7.2-81 XY-2 の各深度における移行経路長と規格化されたトラベルタイムの関係

(○ : TOUGH2, × : EQUIV\_FLO, □ : Don-Chan)

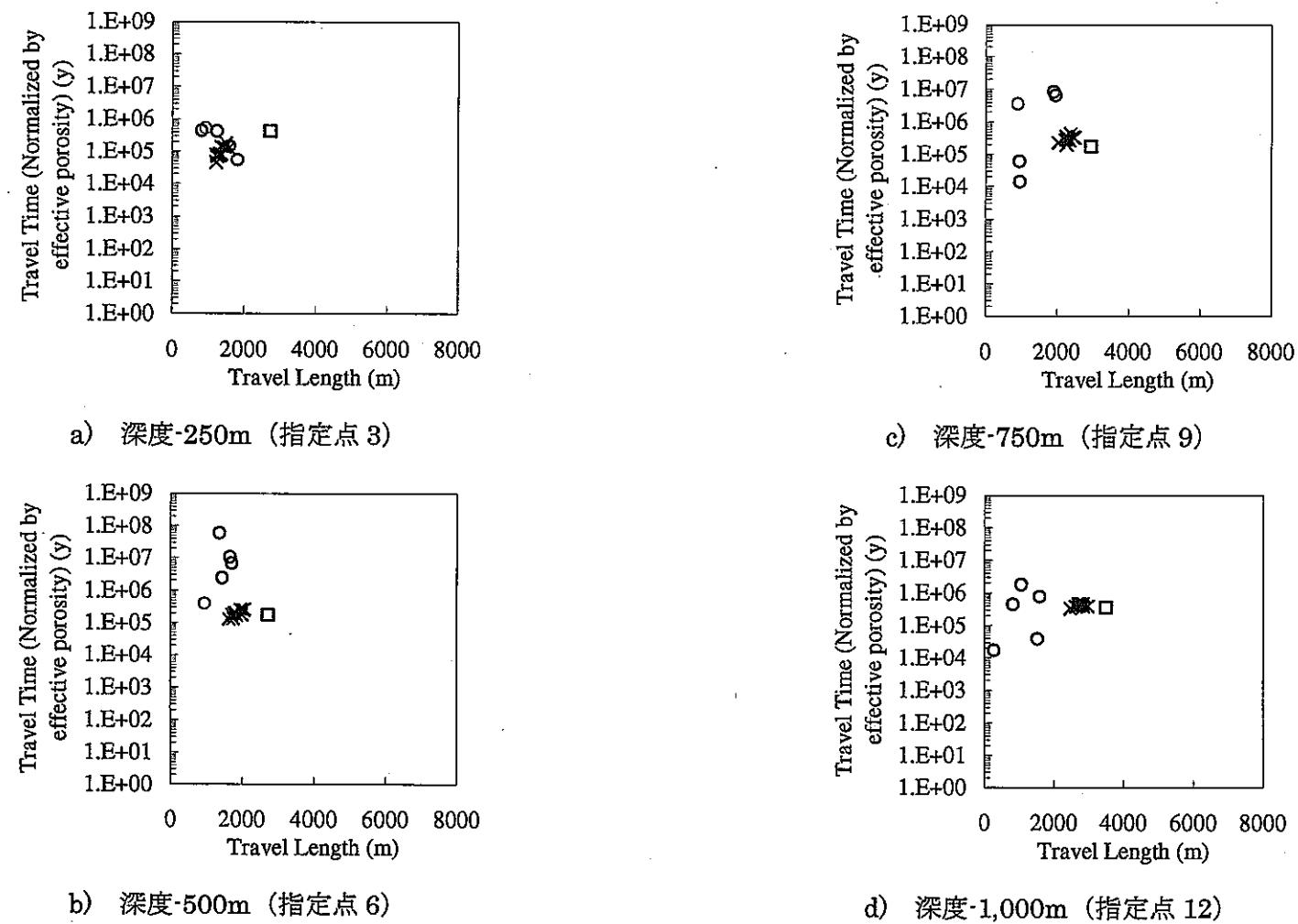
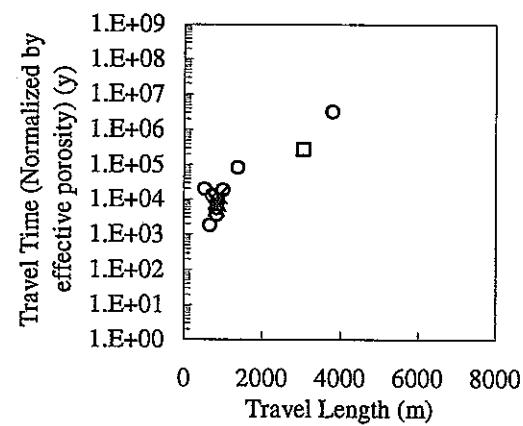
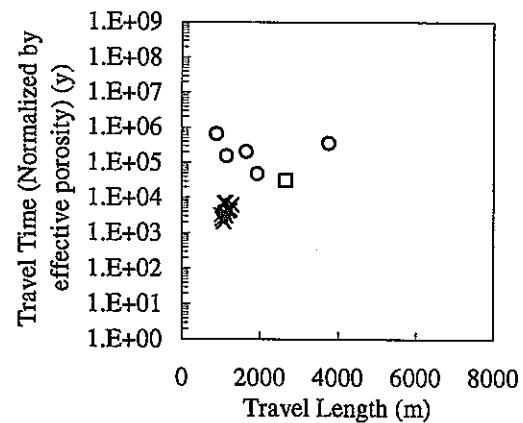


図 7.2-82 XY-3 の各深度における移行経路長と規格化されたトラベルタイムの関係

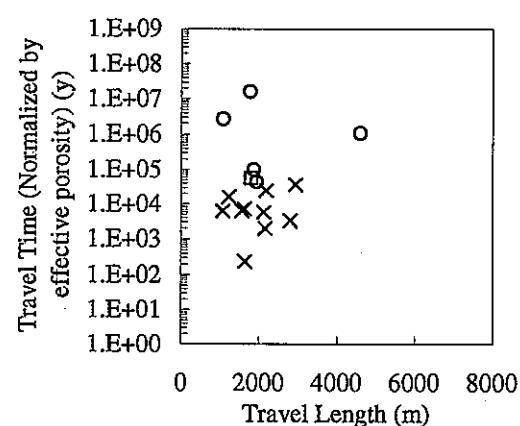
(○ : TOUGH2, × : EQUIV\_FLO, □ : Don-Chan)



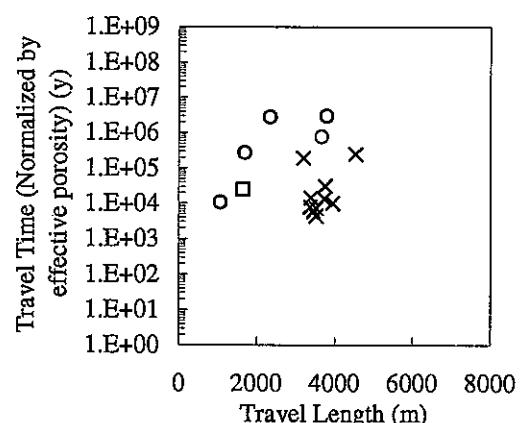
a) 深度-250m (指定点 13)



b) 深度-500m (指定点 16)



c) 深度-750m (指定点 19)



d) 深度-1,000m (指定点 22)

図 7.2-83 XY-4 の各深度における移行経路長と規格化されたトラベルタイムの関係

(○ : TOUGH2, × : EQUIV\_FLO, □ : Don-Chan)

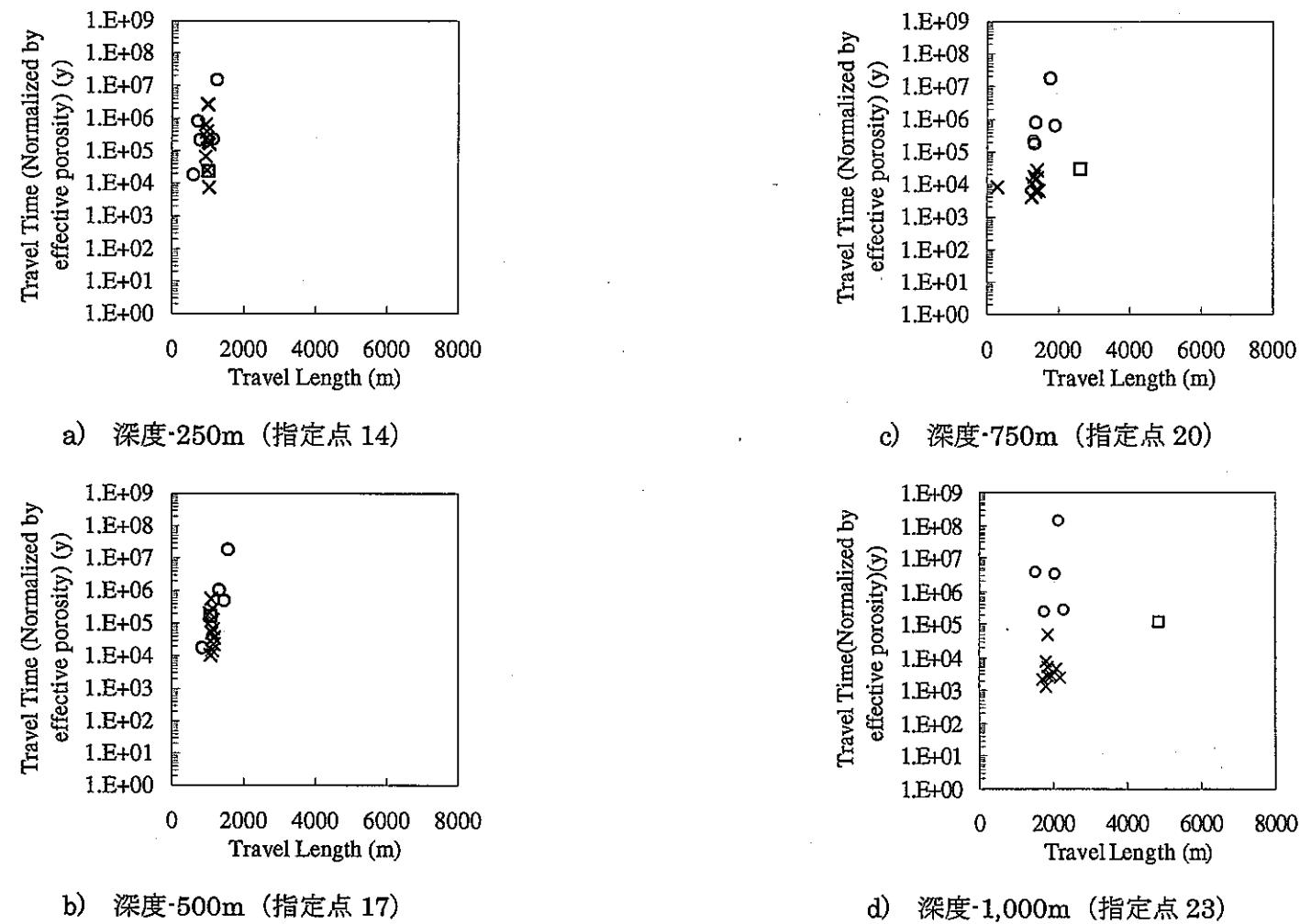


図 7.2-84 XY-5 の各深度における移行経路長と規格化されたトラベルタイムの関係

(○ : TOUGH2, × : EQUIV\_FLO, □ : Don-Chan)

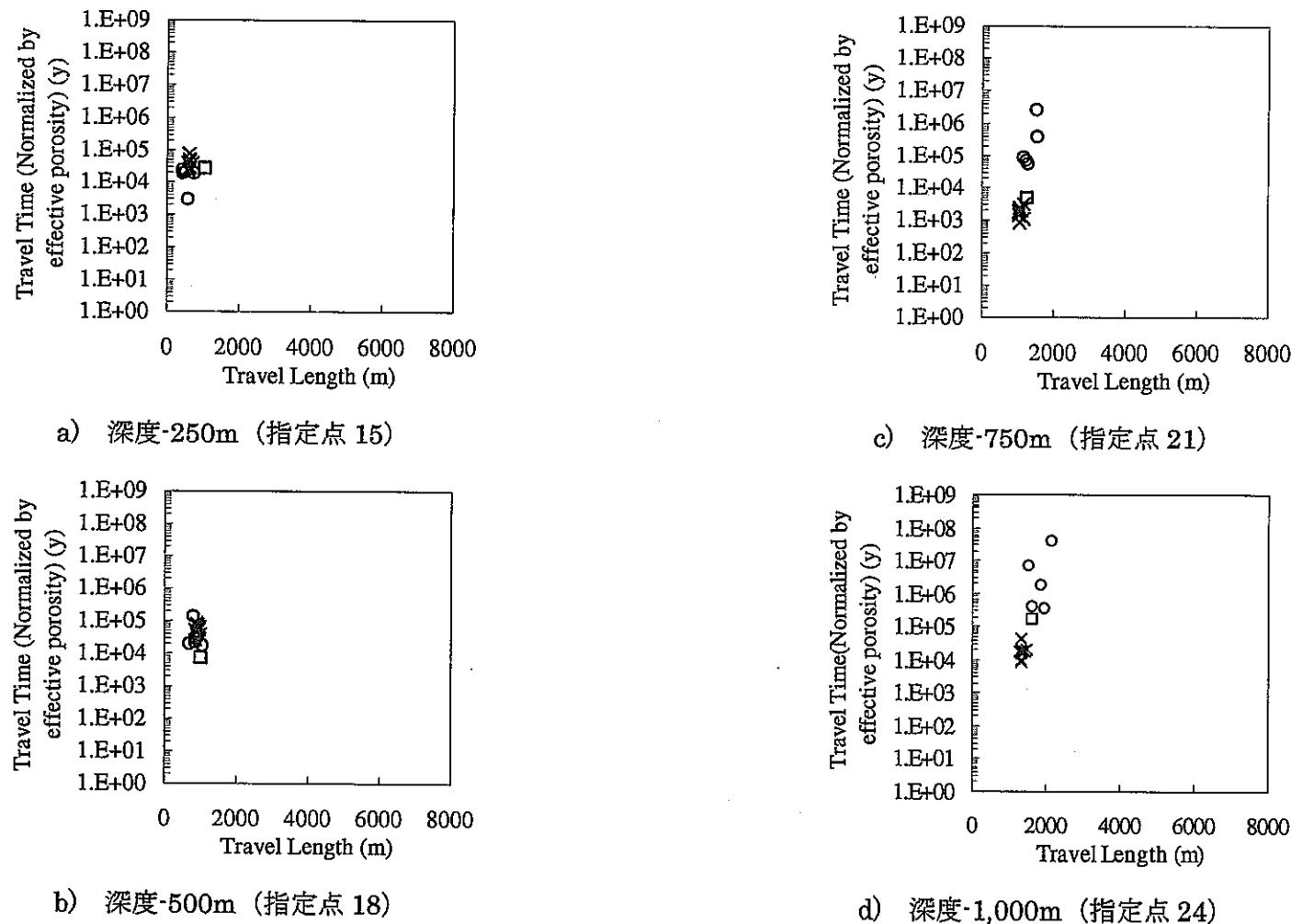


図 7.2-85 XY-6 の各深度における移行経路長と規格化されたトラベルタイムの関係

(○ : TOUGH2, × : EQUIV\_FLO, □ : Don-Chan)

## 8. まとめと考察

### 8.1 研究成果のまとめ

Zimmerman et al. (1998)などの既往の研究によると、原位置を対象とした地下水流动評価においては、図 8-1に示すように、境界条件や原位置データの解釈の違いによって断層破碎帯などのモデル化において生じる地質構造などの解析条件の違いに起因した不確実性や、岩盤のモデル化手法および数値解析手法に起因した不確実性の他に、解析技術者の経験、費やした時間および労力に起因した不確実性が存在することが指摘されている。そこで、地下水流动特性を評価する上で重要な因子の抽出を行なうことを目的として、複数のモデル化手法 (TOUGH2, EQUIV\_FLO, Don·Chan) による水理地質構造のモデル化および地下水流动解析を図 8-2に示すような手順で継続実施している。本報告は、その最終年度のモデル化・解析結果を示したものである。以下に3年分の検討の概要と結果について述べる。

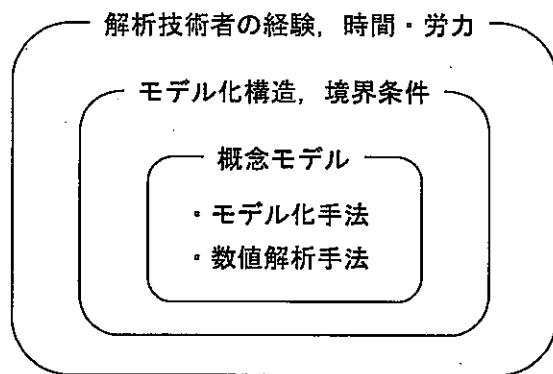


図 8-1 地下水流動評価における不確実性の構造

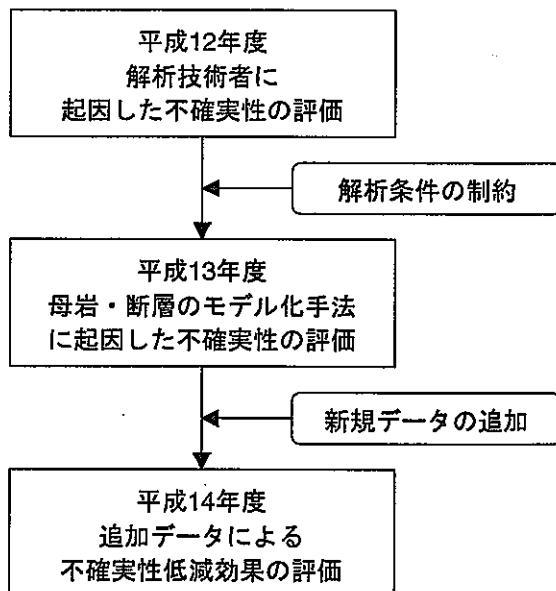


図 8-2 不確実性評価における検討目的の変遷

図 8-3にモデル化手法ごとの地下水の移行経路の変遷を、図 8-4～図 8-21および表 8-1～表 8-6に地下水の移行時間や移行経路長、流量、実流速、流速といった解析結果をまとめる。さらに、モデル手法ごとの移行経路長と移行時間の関係、および移行経路長とダルシーアルシーフィルタ速度より算出した移行時間の関係を図 8-22に示す。

初年度である平成 12 年度は、モデル化・解析作業において各解析者の経験を踏まえた判断を積極的に取り入れ、概念モデルや水理地質構造モデルにおける解析者間の共通点と相違点を明らかにするために、データセットとモデル化・解析領域以外の制約条件を設けずに実施した。その結果、水理地質構造のモデル化の結果においては、特にリニアメント分布に基づく不連続構造の設定について、解析者間の違いが顕著に現れた。また、地下水流动解析においては、定常状態での水頭分布を用いたモデルキャリブレーションを行なっていたため、水頭分布については各モデル間で大きな差は無かったが、移行経路は断層の透水異方性や境界条件の設定によって各モデル間で異なった。また、移行時間については、TOUGH2 及び EQUIV\_FLO の 2 モデルと Don-Chan との有効間隙率の設定値が 3 枠程度異なっていたため、この設定に起因した差が生じた。これらの結果から、①モデル化する不連続構造（断層やリニアメント）の幾何学的情報や水理学的特性、②断層の透水異方性、③境界条件、④有効間隙率、これら 4 つの要因をモデル化・解析結果の不確実性要因として抽出した。

平成 13 年度は、これら①～④以外の要因の影響について検討した。具体的には、地質構造として月吉断層以外のリニアメント構造をモデルから取り除くとともに、境界条件を絞り込むことで、①と③の不確実性要因を排除した条件で再度モデル化・解析を実施することとした。また、④については、表 8-7に示すような有効間隙率を必要としないダルシーアルシーフィルタ速度による移行時間を用いることにより、その影響を排除して評価することとした。その結果、全体的には地下水の移行距離の推定値幅が平成 12 年度の検討と比較して狭まった一方で、ダルシーアルシーフィルタ速度に基づく移行時間はモデル間の推定値幅が大きい結果となった（図 8-22参照）。移行距離については、境界条件やモデル化対象の断層を月吉断層に限定する等の解析条件に制限を設けることにより、大局的な地下水の流动方向がほぼ同様の結果となつたためと考えられる。一方、移行時間の違いについては、ダルシーアルシーフィルタ速度が異なつたためと考えられ、この主な要因として岩盤中の透水特性の設定値の違いが考えられる。この透水係数の設定については、水理試験データの整理や解釈、モデル化方法の違いが原因として挙げられる。

本年度は、MIU-4 号孔での試錐調査結果および長期揚水試験結果に基づくモデルの更新およびキャリブレーションを実施した。モデルのキャリブレーションにおいては、長期揚水試験などによって得られた非定常状態の水理に関するデータを使用した。その結果、平成 12 年度の検討結果と比較し、地下水の移行時間が全体的に 1～2 枠程度長くなるとともに、移行距離の推定値の幅が狭まった（図 8-23 参照）。地下水の移行時間が増加した理由は、モデルキャリブレーションによって、透水係数などの水理パラメータを修正したことが要因であると考えられる。また、地下水の移行距離の推定値が狭まった理由については、月吉断層周辺を対象とした長期揚水試験などの非定常状態の水理に関するデータをモデルのキャリブレーションに用いることにより、地下水の移行経路に影響を与えていたと考えられる月吉断層の水

理地質構造のモデル化方法の解析者間のバラツキが低減されたことが原因であると考えられる（図8-24参照）。このことから、地下水の移行経路に影響を与えると考えられる月吉断層周辺を対象とした長期揚水試験などの非定常状態の水理に関するデータの取得は、地下水の移行経路の不確実性を低減するために有効な手段であると考えられる。一方で、今回の長期揚水試験の影響範囲は、モデル化・解析領域と比較して非常に限定された領域であるため、領域全体の水理地質構造（特に透水係数分布）を拘束する上では不十分であった。以上のことから、モデル化・解析結果の不確実性をさらに低減させるうえで、モデル化・解析領域の空間スケールに応じた非定常状態の水理に関するデータを取得することが有効な調査手法であると考えられる。

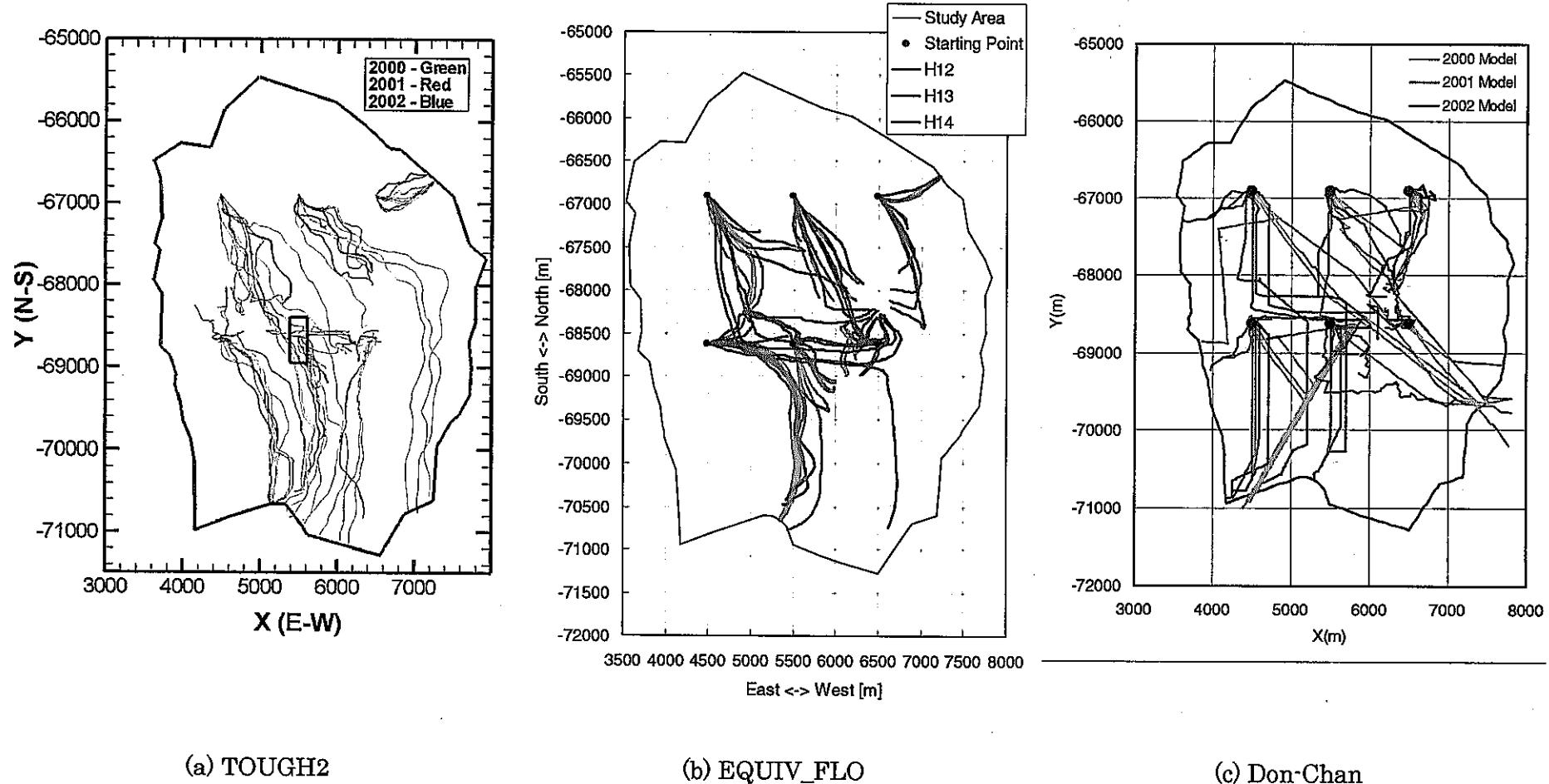


図 8-3 移行経路の経年比較（3 モデル）

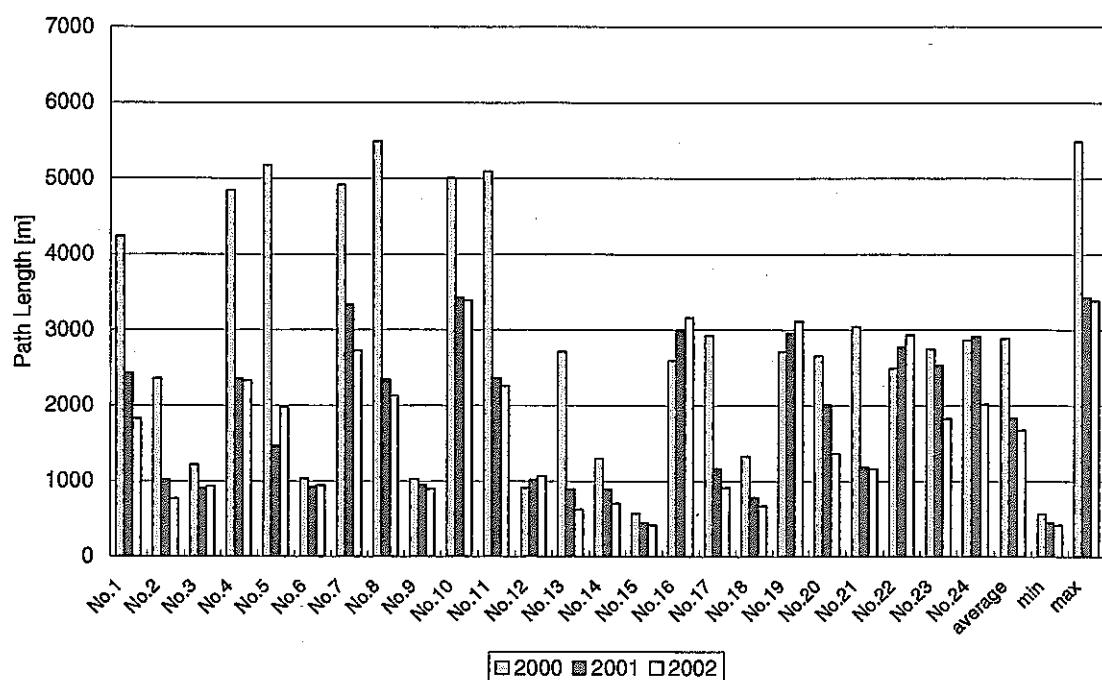


図 8-4 指定点ごとの経年比較 (TOUGH2, 移行経路長)

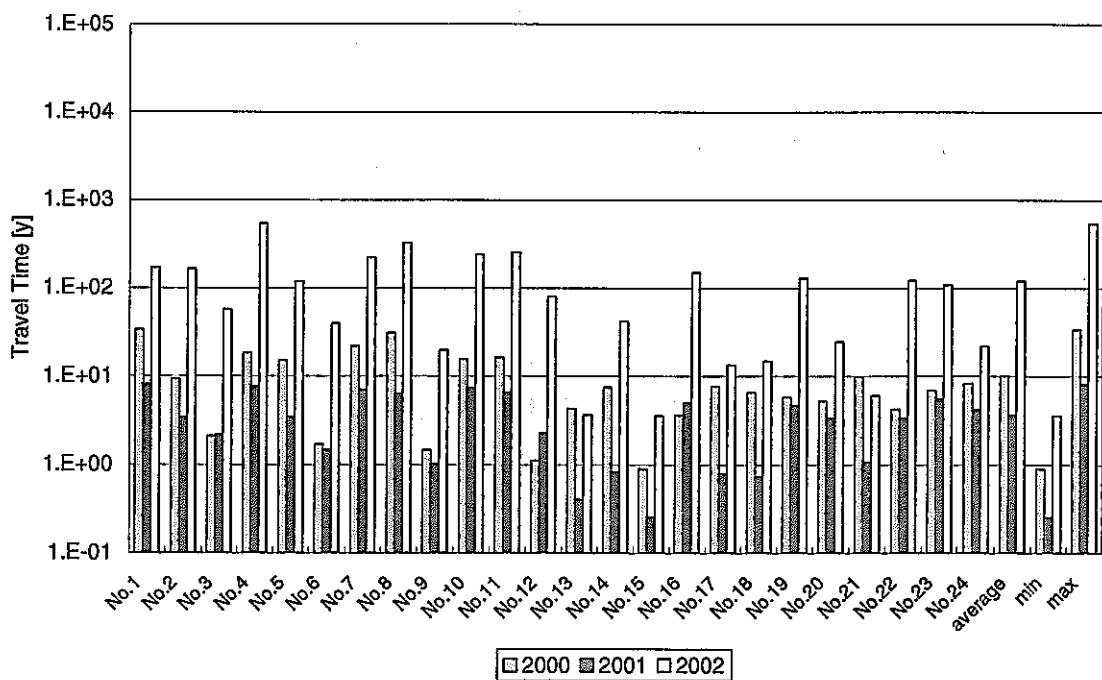


図 8-5 指定点ごとの経年比較 (TOUGH2, 移行時間)

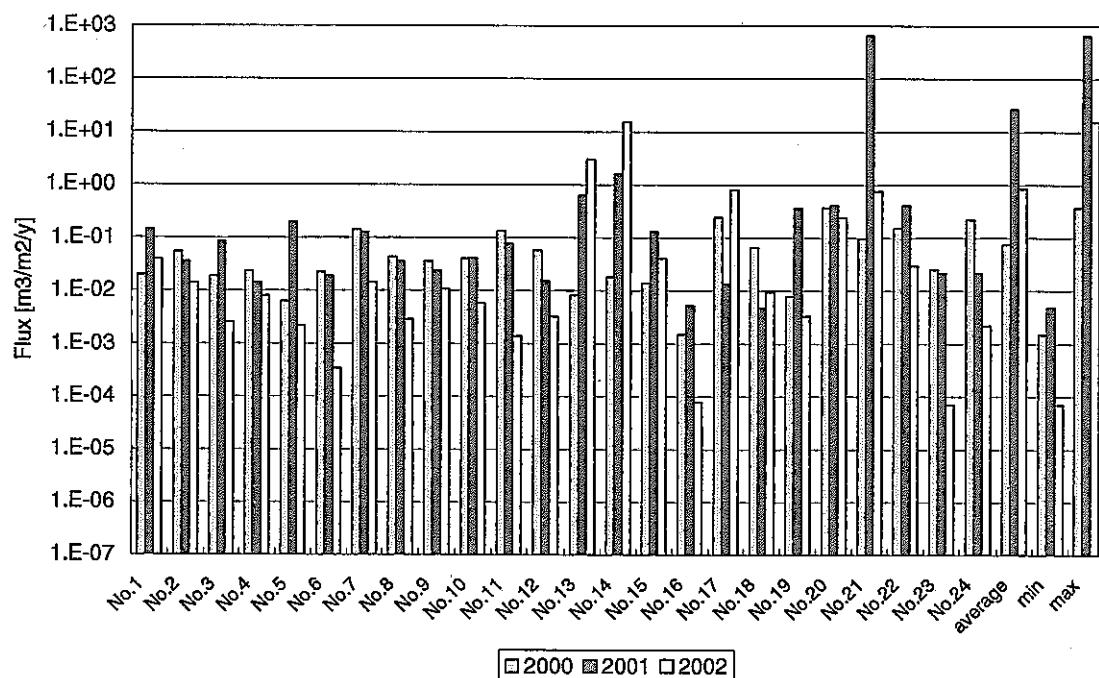


図 8-6 指定点ごとの経年比較 (TOUGH2, 指定点の通過流量)

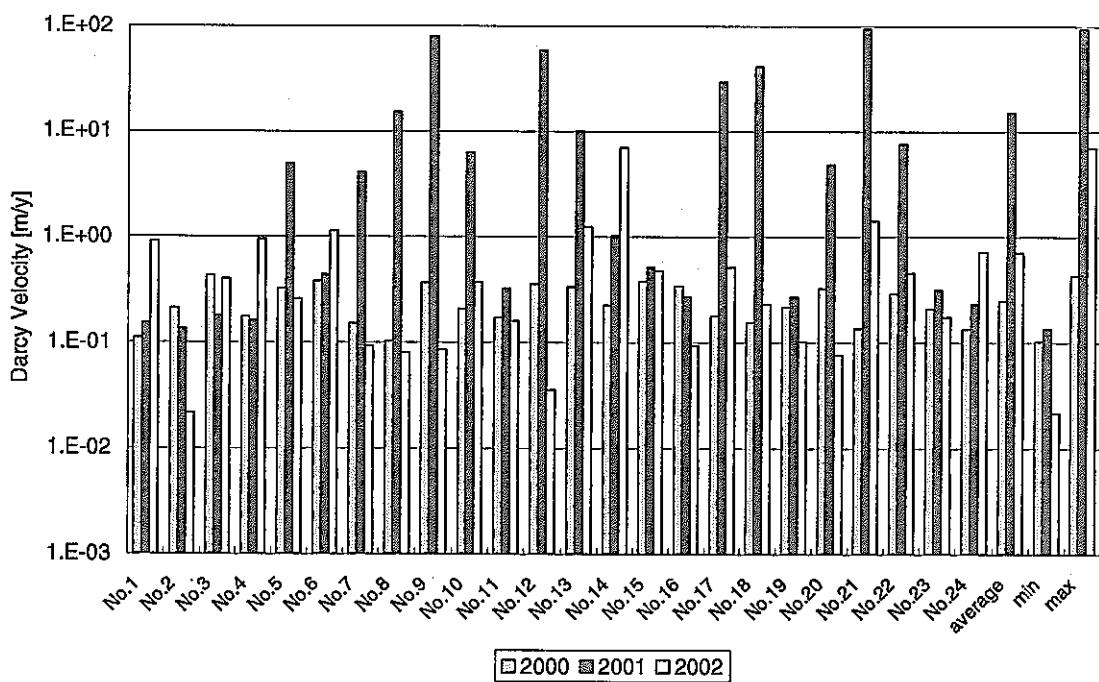


図 8-7 指定点ごとの経年比較 (TOUGH2, 移行経路の平均ダルシー流速)

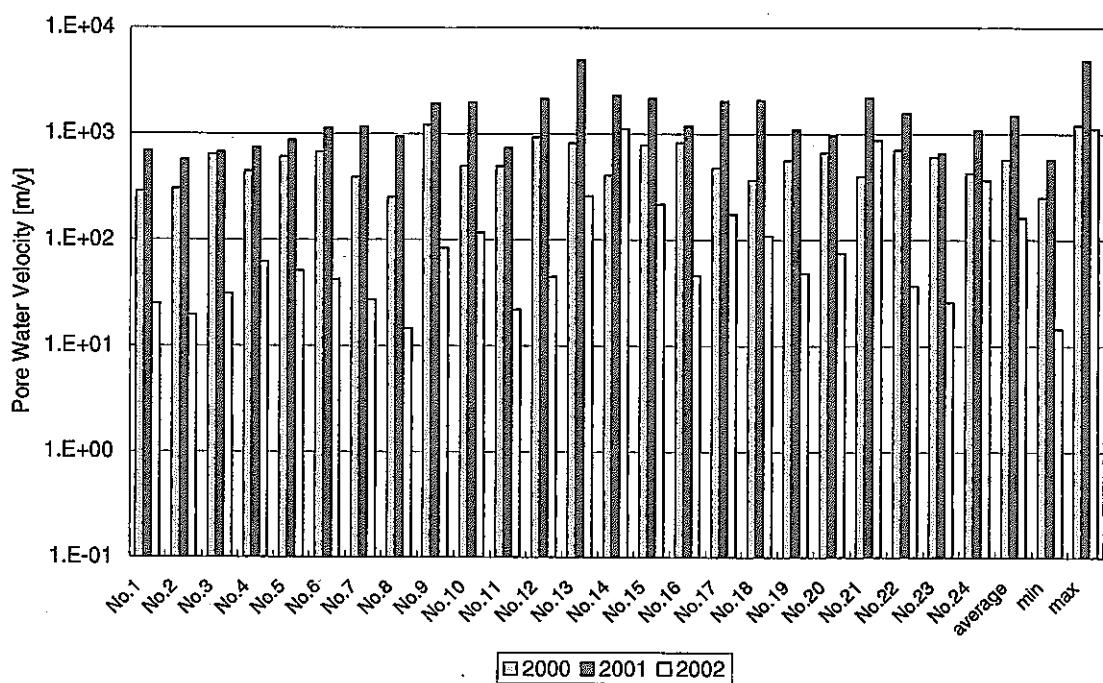


図 8-8 指定点ごとの経年比較 (TOUGH2, 移行経路の平均実流速)

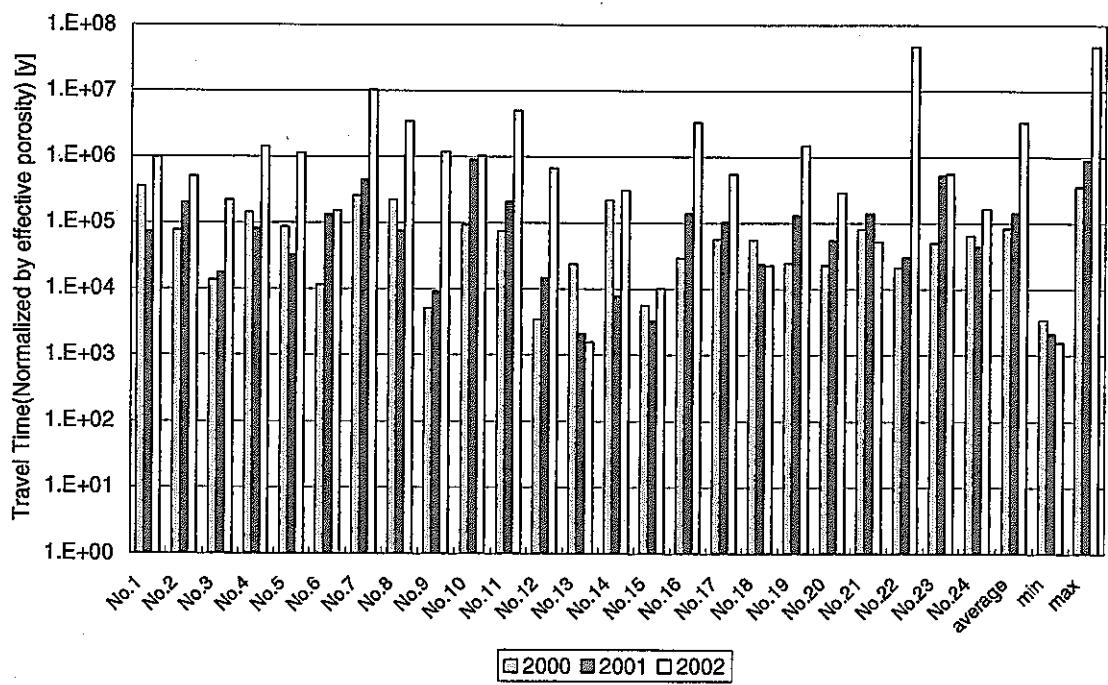


図 8-9 指定点ごとの経年比較 (TOUGH2, ダルシ一流速で算出した移行時間)

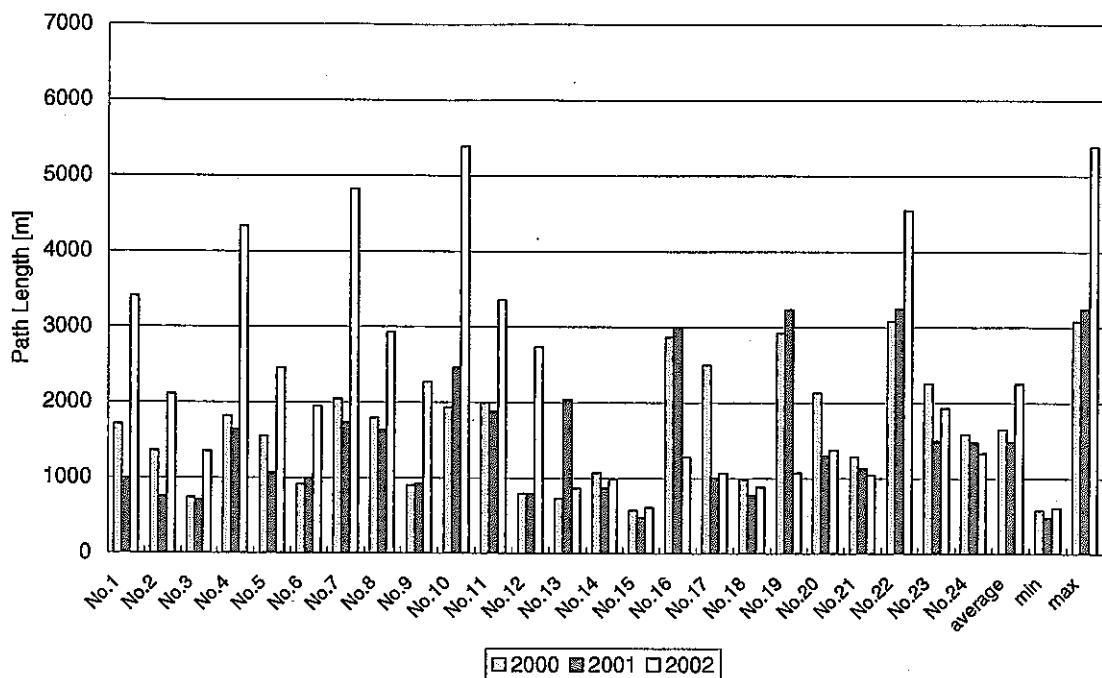


図 8-10 指定点ごとの経年比較 (EQUIV\_FLO, 移行経路長)

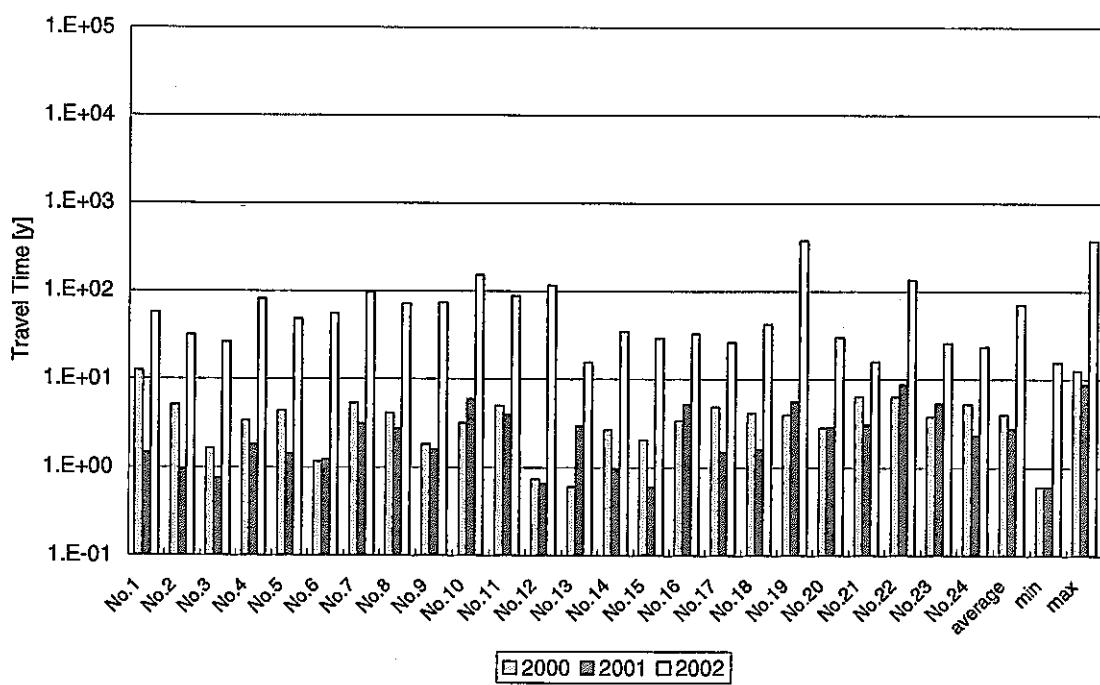


図 8-11 指定点ごとの経年比較 (EQUIV\_FLO, 移行時間)

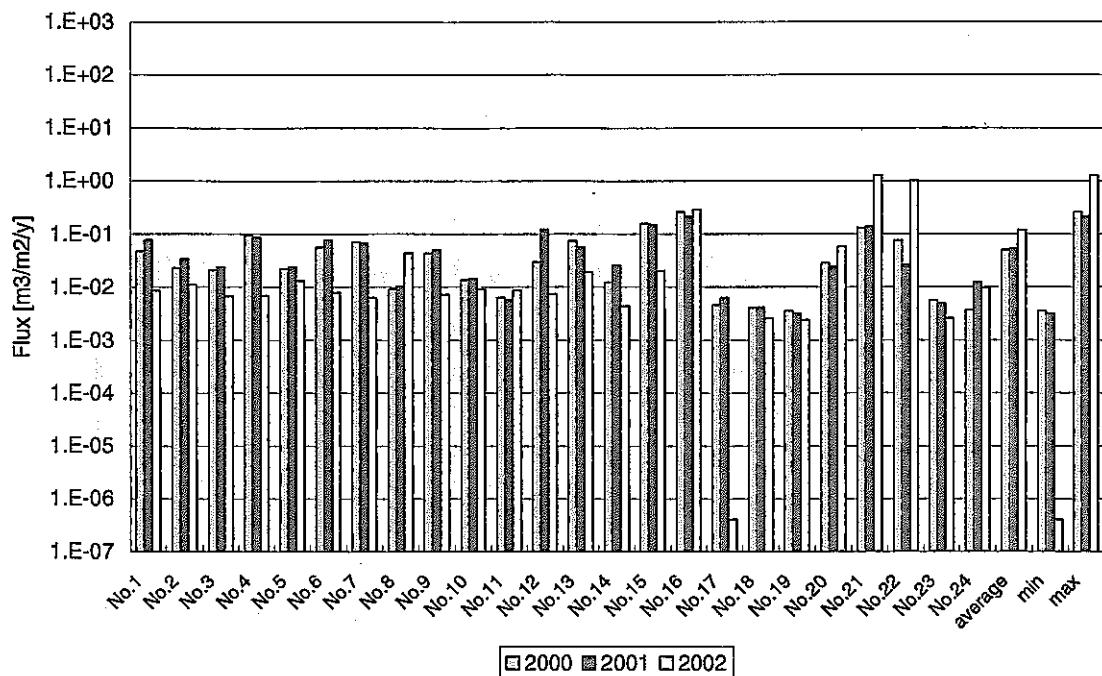


図 8-12 指定点ごとの経年比較 (EQUIV\_FLO, 指定点の通過流量)

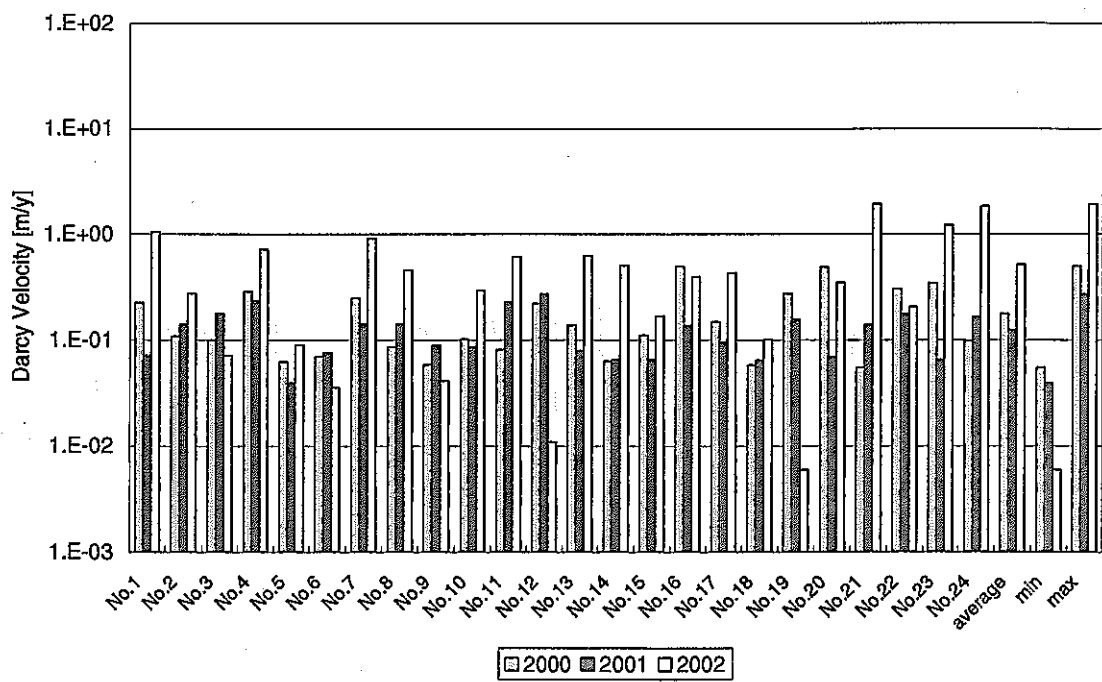


図 8-13 指定点ごとの経年比較 (EQUIV\_FLO, 移行経路の平均ダルシー流速)

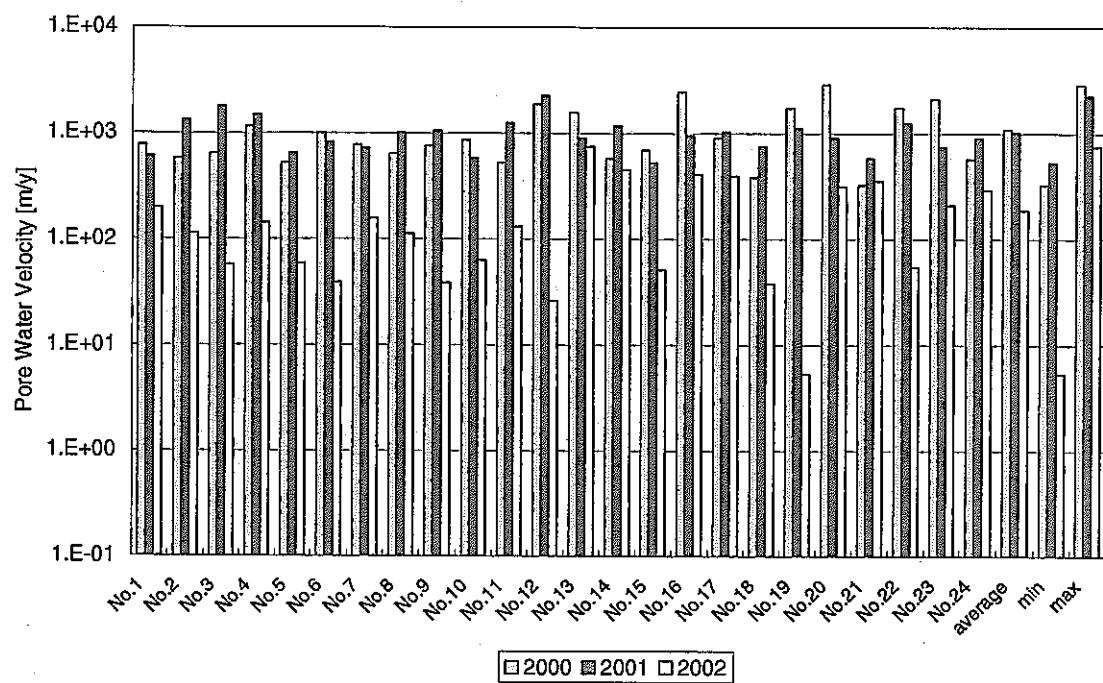


図 8-14 指定点ごとの経年比較 (EQUIV\_FLO, 移行経路の平均実流速)

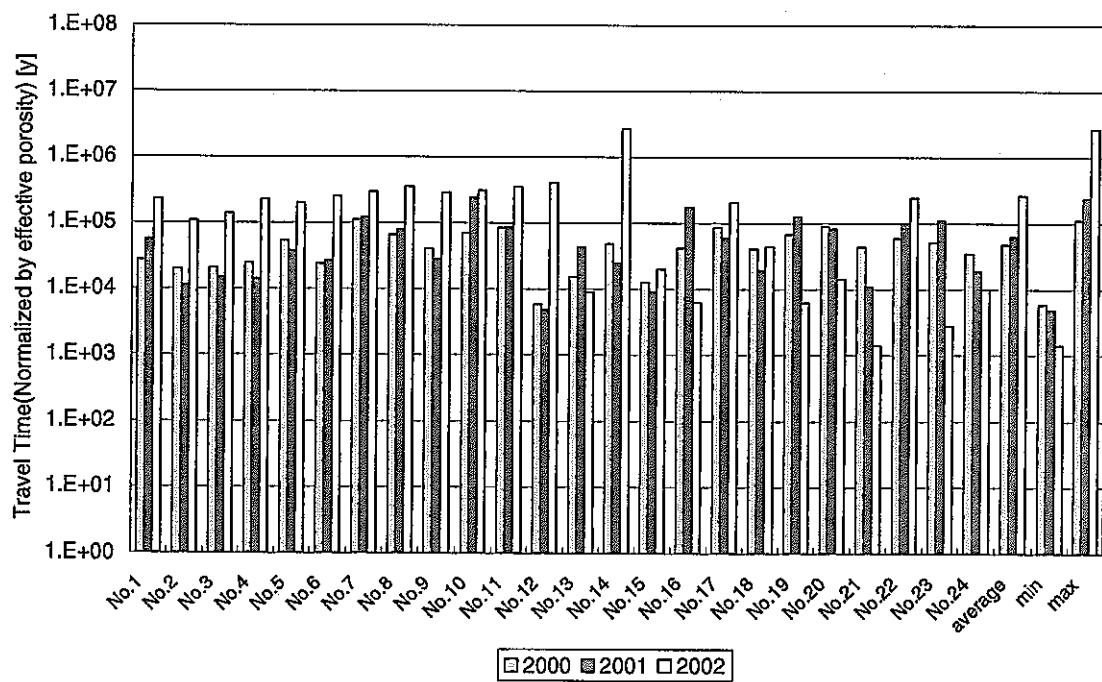


図 8-15 指定点ごとの経年比較 (EQUIV\_FLO, ダルシー流速で算出した移行時間)

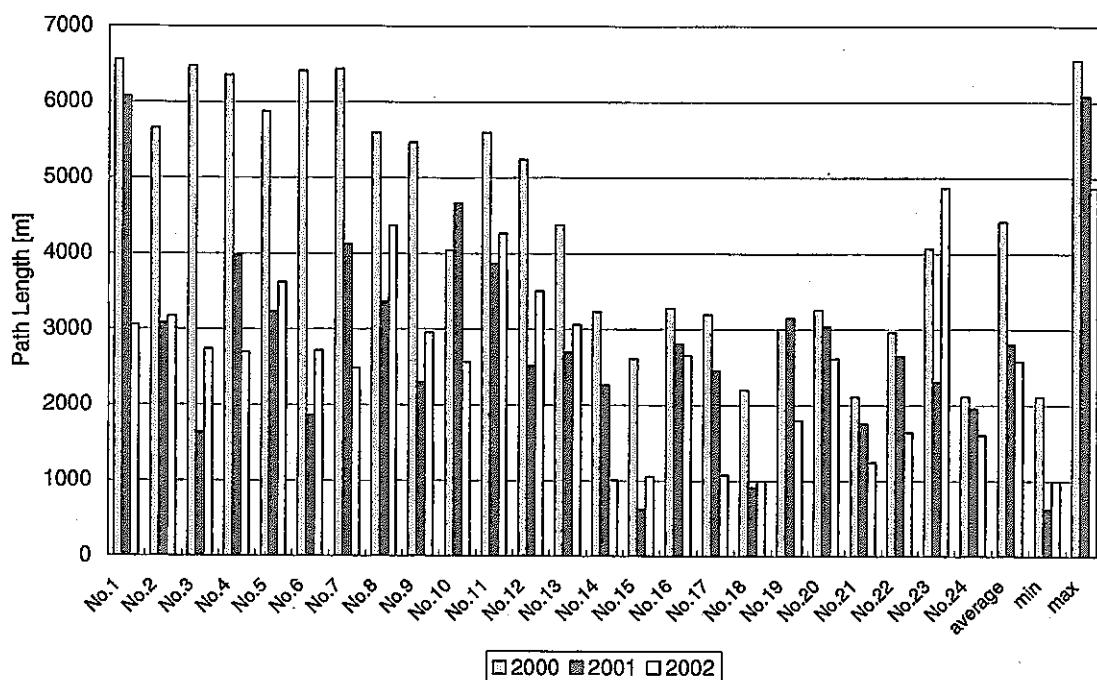


図 8-16 指定点ごとの経年比較 (Don-Chan, 移行経路長)

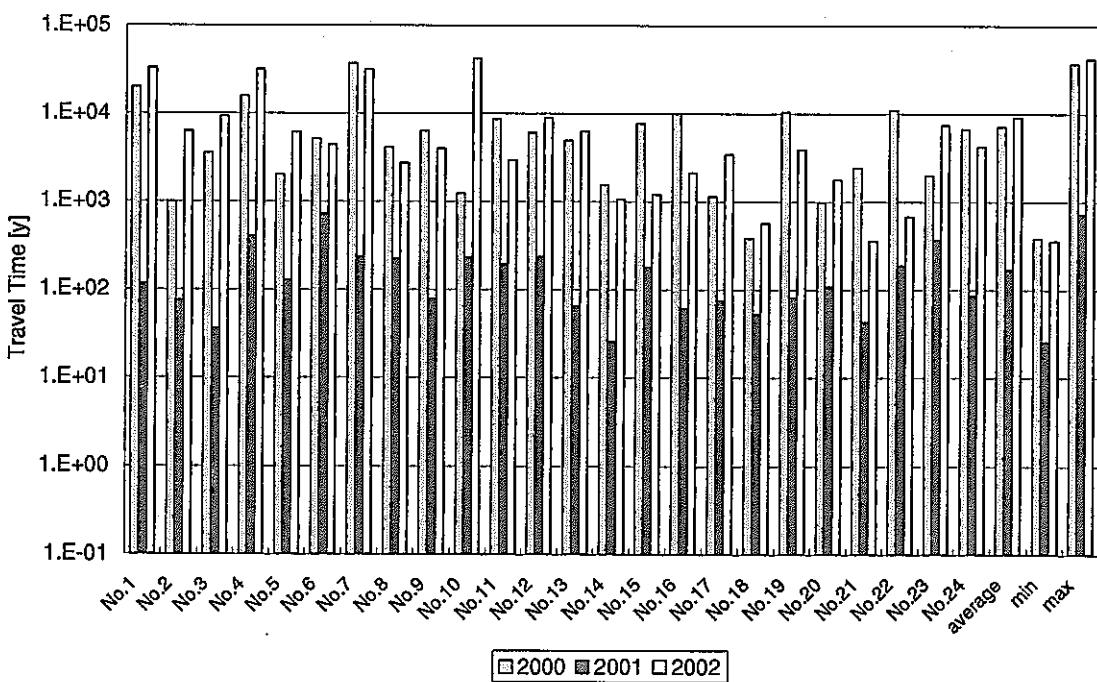


図 8-17 指定点ごとの経年比較 (Don-Chan, 移行時間)

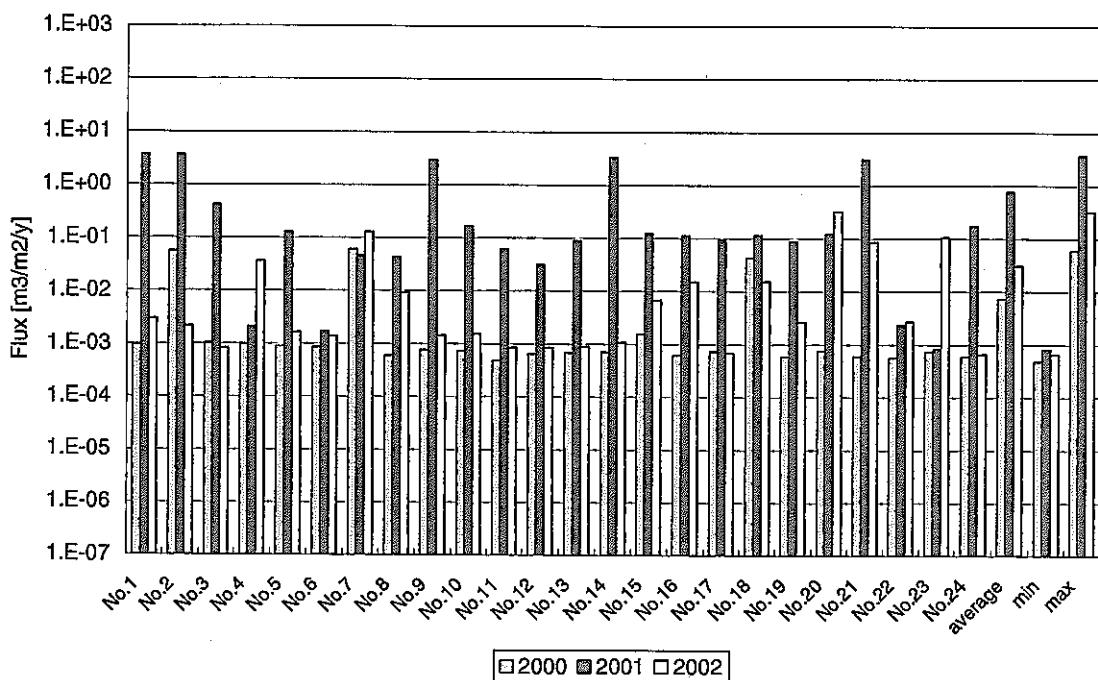


図 8-18 指定点ごとの経年比較 (Don-Chan, 指定点の通過流量)

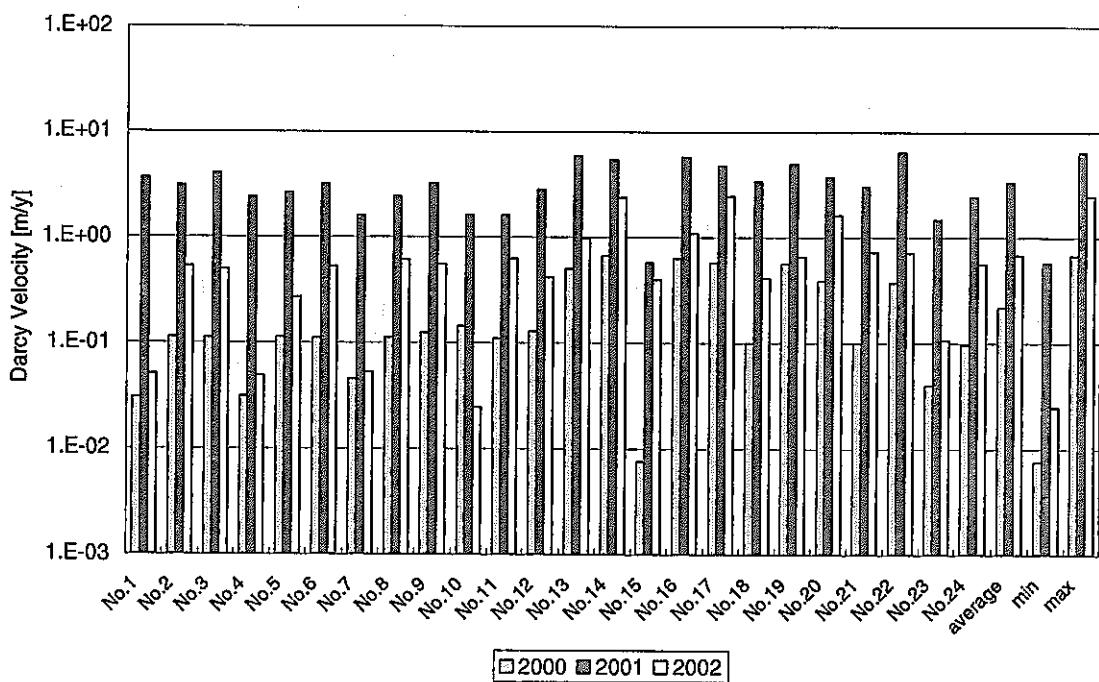


図 8-19 指定点ごとの経年比較 (Don-Chan, 移行経路の平均ダルシー流速)

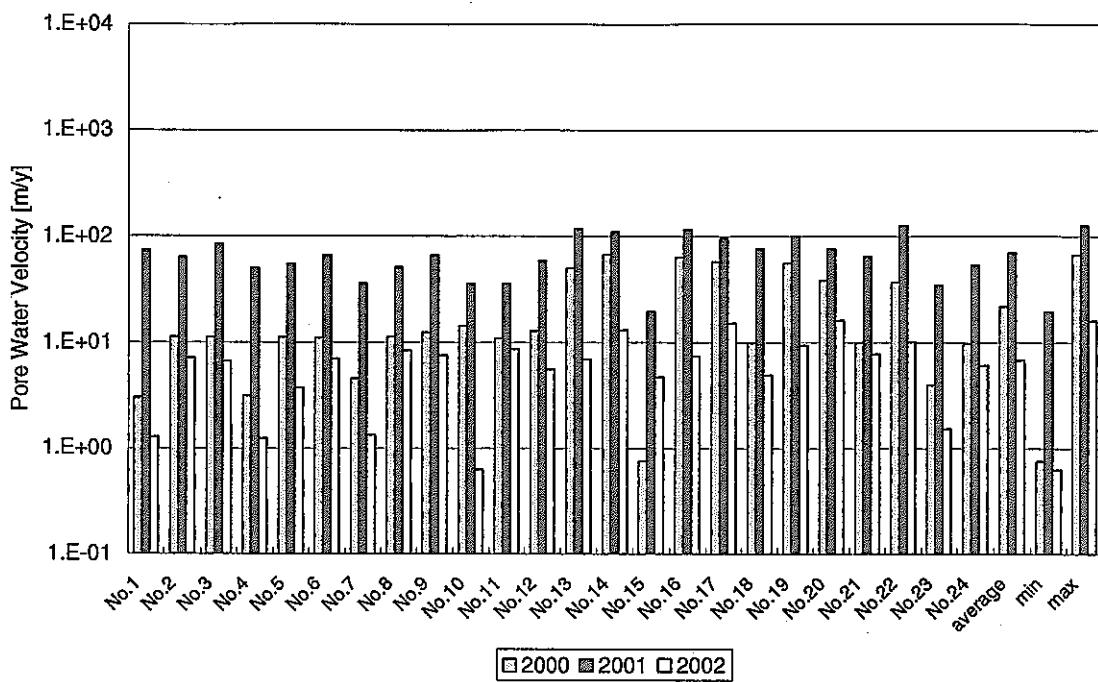


図 8-20 指定点ごとの経年比較 (Don-Chan, 移行経路の平均実流速)

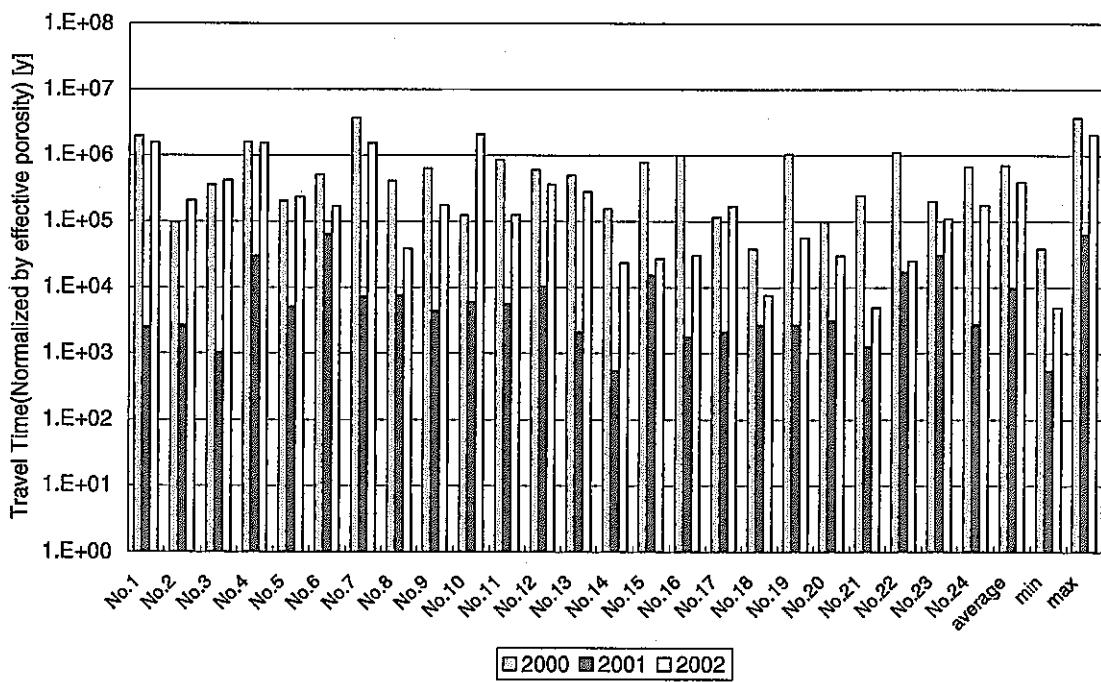


図 8-21 指定点ごとの経年比較 (Don-Chan, ダルシ一流速で算出した移行時間)

表 8-1 移行経路長・移行時間の経年比較 (TOUGH2)

	Path Length [m]			Travel Time [y]		
	2000	2001	2002	2000	2001	2002
No.1	4239.3	2431.7	1829.3	34.2	8.1	170.7
No.2	2363.7	1021.3	771.3	9.5	3.4	162.8
No.3	1223.1	907.0	932.1	2.1	2.2	57.2
No.4	4846.9	2357.9	2328.2	18.7	7.7	537.9
No.5	5181.4	1466.9	1979.7	15.0	3.4	118.6
No.6	1031.2	924.7	944.6	1.7	1.5	40.2
No.7	4919.5	3341.3	2731.4	22.2	7.1	222.9
No.8	5487.8	2348.5	2130.9	31.1	6.4	327.3
No.9	1028.8	956.5	898.3	1.5	1.0	19.9
No.10	5007.3	3435.2	3388.0	15.5	7.4	242.8
No.11	5098.8	2370.2	2262.8	16.4	6.6	252.7
No.12	918.0	1025.6	1069.7	1.1	2.3	80.5
No.13	2715.8	894.1	623.3	4.3	0.4	3.6
No.14	1303.7	892.6	708.3	7.5	0.8	41.6
No.15	570.6	447.1	419.6	0.9	0.3	3.6
No.16	2596.8	3002.8	3166.2	3.6	5.1	150.7
No.17	2932.1	1166.7	913.4	7.8	0.8	13.4
No.18	1333.0	791.2	673.9	6.6	0.7	14.9
No.19	2717.7	2965.8	3121.0	5.8	4.7	129.1
No.20	2661.9	2014.3	1364.6	5.2	3.4	24.6
No.21	3048.1	1188.8	1160.6	9.7	1.1	6.0
No.22	2499.7	2773.9	2930.2	4.2	3.4	121.9
No.23	2749.6	2532.5	1828.3	6.9	5.6	108.8
No.24	2867.6	2920.0	2019.1	8.3	4.2	22.0
average	2889.3	1840.7	1674.8	10.0	3.6	119.7
min	570.6	447.1	419.6	0.9	0.3	3.6
max	5487.8	3435.2	3388.0	34.2	8.1	537.9

表 8-2 移行経路長・移行時間の経年比較 (EQUIV\_FLO)

	Path Length [m]			Travel Time [y]		
	2000	2001	2002	2000	2001	2002
No.1	1718.1	1000.3	3412.7	12.6	1.5	56.3
No.2	1368.2	755.6	2115.7	5.1	1.0	32.1
No.3	740.6	702.7	1353.8	1.6	0.8	26.4
No.4	1821.4	1647.1	4331.9	3.4	1.8	81.6
No.5	1556.3	1067.8	2457.2	4.4	1.4	48.5
No.6	915.3	996.5	1952.4	1.2	1.2	55.6
No.7	2050.8	1739.0	4826.6	5.4	3.2	96.0
No.8	1799.7	1637.5	2935.5	4.1	2.7	71.8
No.9	899.8	929.8	2274.2	1.8	1.6	73.8
No.10	1935.6	2459.5	5388.0	3.2	5.9	152.6
No.11	1989.9	1878.4	3357.7	5.0	4.0	88.2
No.12	794.2	794.2	2735.8	0.7	0.7	115.5
No.13	728.6	2039.6	865.8	0.6	3.0	15.4
No.14	1075.8	867.9	989.9	2.7	1.0	34.6
No.15	580.2	487.2	609.0	2.1	0.6	29.1
No.16	2869.6	3001.4	1283.2	3.4	5.2	32.7
No.17	2503.8	1011.8	1067.4	4.9	1.5	26.0
No.18	988.8	778.6	885.5	4.2	1.6	42.1
No.19	2926.7	3238.7	1073.3	4.0	5.6	375.6
No.20	2131.3	1297.0	1371.7	2.8	2.9	29.9
No.21	1284.9	1130.6	1039.5	6.3	3.1	15.9
No.22	3084.9	3250.5	4543.2	6.3	8.8	134.5
No.23	2265.0	1496.0	1930.6	3.8	5.3	26.0
No.24	1585.3	1483.1	1333.6	5.3	2.3	23.3
average	1650.6	1487.1	2255.6	3.9	2.8	70.1
min	580.2	487.2	609.0	0.6	0.6	15.4
max	3084.9	3250.5	5388.0	12.6	8.8	375.6

表 8-3 移行経路長・移行時間の経年比較 (Don-Chan)

	Path Length [m]			Travel Time [y]		
	2000	2001	2002	2000	2001	2002
No.1	6558.0	6081.5	3062.3	19932.2	115.0	32759.5
No.2	5657.3	3088.2	3176.8	991.1	75.5	6340.9
No.3	6479.9	1637.9	2736.0	3570.2	36.2	9324.0
No.4	6362.7	3981.0	2699.9	15962.0	404.4	31716.3
No.5	5876.6	3236.0	3623.4	2030.8	128.4	6191.8
No.6	6410.1	1866.5	2718.7	5148.3	721.9	4469.4
No.7	6437.7	4121.6	2486.9	37331.3	237.0	31456.6
No.8	5597.4	3361.8	4369.1	4128.6	224.2	2710.2
No.9	5470.5	2294.6	2958.0	6372.6	78.8	3930.8
No.10	4041.9	4671.1	2567.3	1237.6	229.7	42395.3
No.11	5595.4	3872.9	4269.2	8584.3	193.2	2926.3
No.12	5242.7	2521.7	3503.0	6052.3	236.8	8854.1
No.13	4380.4	2699.6	3062.0	4947.6	65.4	6298.0
No.14	3237.2	2269.4	1014.3	1542.6	25.6	1068.2
No.15	2613.0	624.0	1052.1	7804.8	178.2	1206.3
No.16	3281.0	2812.6	2661.6	9967.0	61.9	2122.7
No.17	3198.1	2465.5	1080.6	1150.6	74.2	3460.5
No.18	2200.4	913.0	1001.7	384.4	53.0	570.2
No.19	3010.4	3154.5	1796.3	10562.0	81.6	3898.8
No.20	3264.5	3041.3	2619.0	981.3	108.6	1774.4
No.21	2116.3	1756.9	1244.0	2452.1	42.8	359.2
No.22	2970.9	2656.2	1647.2	11051.2	187.5	675.2
No.23	4077.0	2309.8	4866.8	1992.2	372.6	7371.6
No.24	2114.3	1963.3	1604.7	6704.9	85.0	4206.6
average	4424.7	2808.4	2575.9	7120.1	167.4	9003.6
min	2114.3	624.0	1001.7	384.4	25.6	359.2
max	6558.0	6081.5	4866.8	37331.3	721.9	42395.3

表 8-4 指定点通過流量・平均実流速・平均ダルシーフlow速の経年変化 (TOUGH2)

	Flux [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /y]			Darcy Velocity [m/y]			Pore Water Velocity [m/y]		
	2000	2001	2002	2000	2001	2002	2000	2001	2002
No.1	2.0E-02	1.4E-01	3.9E-02	1.1E-01	1.5E-01	9.1E-01	2.9E+02	6.9E+02	2.5E+01
No.2	5.5E-02	3.6E-02	1.4E-02	2.1E-01	1.4E-01	2.2E-02	3.1E+02	5.8E+02	2.0E+01
No.3	1.9E-02	8.6E-02	2.6E-03	4.3E-01	1.8E-01	4.0E-01	6.4E+02	6.8E+02	3.1E+01
No.4	2.4E-02	1.5E-02	8.1E-03	1.8E-01	1.6E-01	9.5E-01	4.4E+02	7.5E+02	6.2E+01
No.5	6.5E-03	2.0E-01	2.2E-03	3.2E-01	5.0E+00	2.6E-01	6.1E+02	8.7E+02	5.1E+01
No.6	2.3E-02	1.9E-02	3.4E-04	3.8E-01	4.4E-01	1.1E+00	6.7E+02	1.1E+03	4.2E+01
No.7	1.4E-01	1.3E-01	1.4E-02	1.5E-01	4.1E+00	9.3E-02	3.9E+02	1.2E+03	2.7E+01
No.8	4.4E-02	3.6E-02	2.9E-03	1.0E-01	1.5E+01	8.0E-02	2.5E+02	9.5E+02	1.5E+01
No.9	3.6E-02	2.5E-02	1.1E-02	3.7E-01	8.1E+01	8.5E-02	1.2E+03	1.9E+03	8.4E+01
No.10	4.1E-02	4.2E-02	6.0E-03	2.1E-01	6.3E+00	3.7E-01	5.0E+02	2.0E+03	1.2E+02
No.11	1.3E-01	7.7E-02	1.4E-03	1.7E-01	3.3E-01	1.6E-01	5.0E+02	7.4E+02	2.2E+01
No.12	5.8E-02	1.6E-02	3.3E-03	3.5E-01	5.9E+01	3.5E-02	9.2E+02	2.1E+03	4.5E+01
No.13	8.4E-03	6.5E-01	3.0E+00	3.4E-01	1.0E+01	1.2E+00	8.2E+02	5.0E+03	2.6E+02
No.14	1.9E-02	1.6E+00	1.5E+01	2.2E-01	1.0E+00	7.0E+00	4.1E+02	2.3E+03	1.1E+03
No.15	1.4E-02	1.3E-01	4.1E-02	3.8E-01	5.2E-01	4.8E-01	7.8E+02	2.2E+03	2.2E+02
No.16	1.5E-03	5.3E-03	7.9E-05	3.4E-01	2.7E-01	9.4E-02	8.3E+02	1.2E+03	4.6E+01
No.17	2.5E-01	1.4E-02	8.1E-01	1.8E-01	3.0E+01	5.2E-01	4.8E+02	2.0E+03	1.7E+02
No.18	6.6E-02	4.9E-03	9.6E-03	1.6E-01	4.1E+01	2.3E-01	3.6E+02	2.1E+03	1.1E+02
No.19	7.9E-03	3.7E-01	3.4E-03	2.2E-01	2.7E-01	1.0E-01	5.6E+02	1.1E+03	4.8E+01
No.20	3.8E-01	4.1E-01	2.4E-01	3.3E-01	4.9E+00	7.6E-02	6.6E+02	9.7E+02	7.5E+01
No.21	9.6E-02	6.5E+02	7.6E-01	1.3E-01	9.5E+01	1.4E+00	4.0E+02	2.2E+03	8.8E+02
No.22	1.5E-01	4.2E-01	3.0E-02	2.9E-01	7.6E+00	4.5E-01	7.0E+02	1.6E+03	3.7E+01
No.23	2.5E-02	2.2E-02	7.1E-05	2.1E-01	3.2E-01	1.7E-01	6.1E+02	6.7E+02	2.6E+01
No.24	2.2E-01	2.2E-02	2.2E-03	1.3E-01	2.3E-01	7.2E-01	4.3E+02	1.1E+03	3.6E+02
average	7.7E-02	2.7E+01	8.5E-01	2.5E-01	1.5E+01	7.1E-01	5.7E+02	1.5E+03	1.6E+02
min	1.5E-03	4.9E-03	7.1E-05	1.0E-01	1.4E-01	2.2E-02	2.5E+02	5.8E+02	1.5E+01
max	3.8E-01	6.5E+02	1.5E+01	4.3E-01	9.5E+01	7.0E+00	1.2E+03	5.0E+03	1.1E+03

表 8-5 指定点通過流量・平均実流速・平均ダルシ一流速の経年変化 (EQUIV\_FLO)

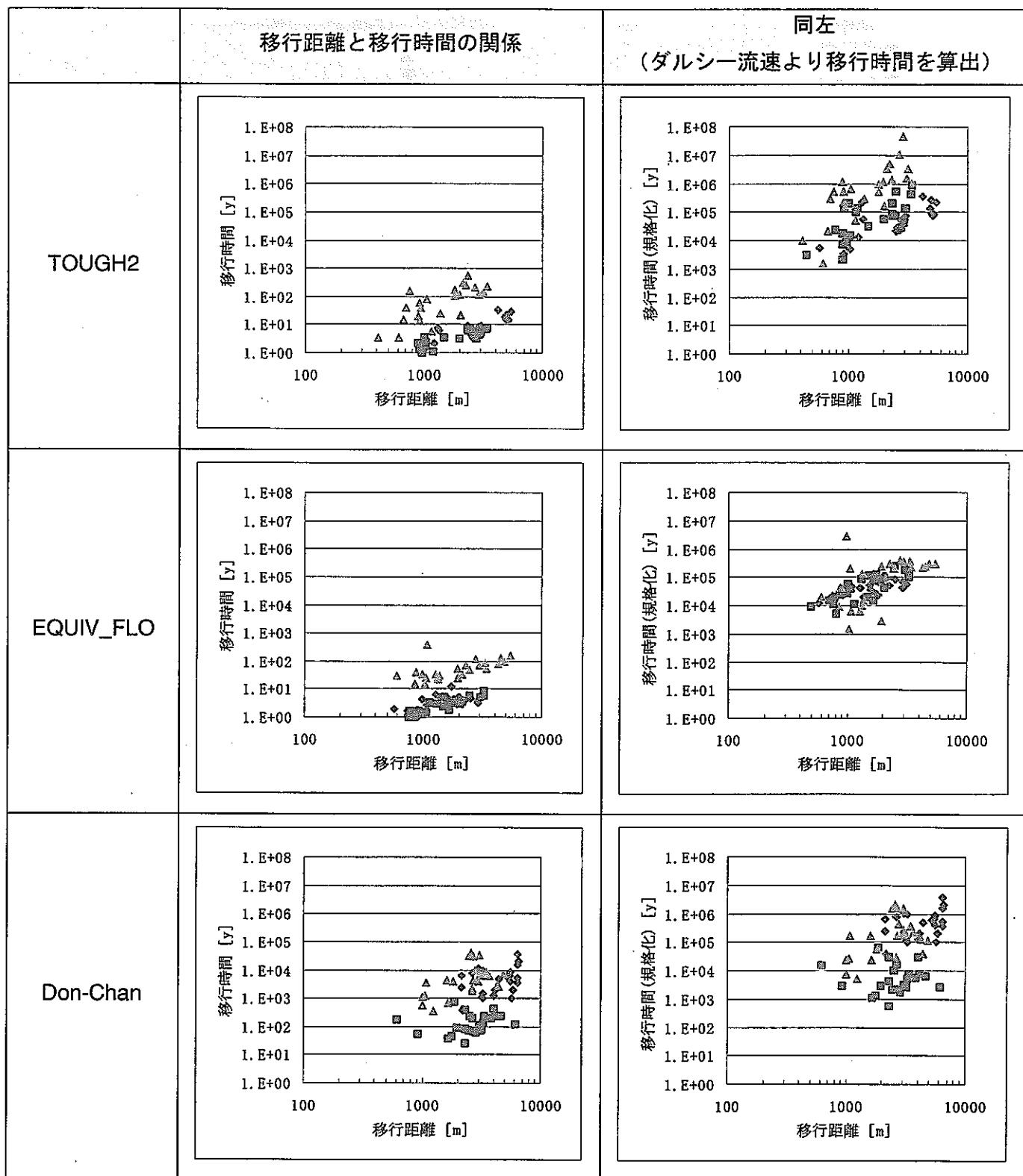
	Flux [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /y]			Darcy Velocity [m/y]			Pore Water Velocity [m/y]		
	2000	2001	2002	2000	2001	2002	2000	2001	2002
No.1	4.9E-02	7.7E-02	8.7E-03	2.3E-01	7.2E-02	1.1E+00	7.8E+02	6.1E+02	2.0E+02
No.2	2.3E-02	3.5E-02	1.1E-02	1.1E-01	1.4E-01	2.7E-01	5.8E+02	1.3E+03	1.1E+02
No.3	2.1E-02	2.5E-02	6.8E-03	1.0E-01	1.8E-01	7.2E-02	6.4E+02	1.8E+03	5.8E+01
No.4	9.8E-02	8.9E-02	6.9E-03	2.9E-01	2.4E-01	7.3E-01	1.2E+03	1.5E+03	1.4E+02
No.5	2.2E-02	2.5E-02	1.3E-02	6.3E-02	3.9E-02	9.0E-02	5.3E+02	6.5E+02	5.9E+01
No.6	5.8E-02	7.8E-02	7.9E-03	7.0E-02	7.6E-02	3.6E-02	1.0E+03	8.3E+02	3.9E+01
No.7	7.1E-02	6.8E-02	6.5E-03	2.5E-01	1.4E-01	9.1E-01	7.8E+02	7.2E+02	1.6E+02
No.8	9.3E-03	1.1E-02	4.4E-02	8.6E-02	1.4E-01	4.6E-01	6.5E+02	1.0E+03	1.1E+02
No.9	4.4E-02	5.1E-02	7.2E-03	5.8E-02	9.0E-02	4.1E-02	7.7E+02	1.1E+03	3.9E+01
No.10	1.4E-02	1.5E-02	9.2E-03	1.0E-01	8.6E-02	2.9E-01	8.7E+02	5.9E+02	6.3E+01
No.11	6.4E-03	5.8E-03	8.7E-03	8.1E-02	2.3E-01	6.1E-01	5.3E+02	1.3E+03	1.3E+02
No.12	3.0E-02	1.3E-01	7.4E-03	2.2E-01	2.7E-01	1.1E-02	1.9E+03	2.3E+03	2.6E+01
No.13	7.5E-02	5.8E-02	2.0E-02	1.4E-01	8.0E-02	6.3E-01	1.6E+03	9.1E+02	7.5E+02
No.14	1.3E-02	2.6E-02	4.4E-03	6.3E-02	6.6E-02	5.1E-01	5.8E+02	1.2E+03	4.6E+02
No.15	1.6E-01	1.5E-01	2.0E-02	1.1E-01	6.5E-02	1.7E-01	7.0E+02	5.3E+02	5.2E+01
No.16	2.6E-01	2.2E-01	2.9E-01	5.0E-01	1.4E-01	4.0E-01	2.5E+03	9.6E+02	4.1E+02
No.17	4.6E-03	6.5E-03	4.1E-07	1.5E-01	9.5E-02	4.3E-01	9.0E+02	1.0E+03	3.9E+02
No.18	4.1E-03	4.2E-03	2.6E-03	5.8E-02	6.5E-02	1.0E-01	3.9E+02	7.6E+02	3.8E+01
No.19	3.5E-03	3.2E-03	2.4E-03	2.7E-01	1.6E-01	6.0E-03	1.7E+03	1.1E+03	5.3E+00
No.20	2.9E-02	2.5E-02	5.8E-02	5.0E-01	7.0E-02	3.5E-01	2.9E+03	9.0E+02	3.2E+02
No.21	1.3E-01	1.4E-01	1.3E+00	5.5E-02	1.4E-01	1.9E+00	3.3E+02	5.8E+02	3.6E+02
No.22	7.7E-02	2.7E-02	1.0E+00	3.1E-01	1.8E-01	2.0E-01	1.8E+03	1.3E+03	5.5E+01
No.23	5.6E-03	5.0E-03	2.7E-03	3.5E-01	6.5E-02	1.2E+00	2.1E+03	7.5E+02	2.1E+02
No.24	3.7E-03	1.2E-02	9.9E-03	9.8E-02	1.6E-01	1.8E+00	5.7E+02	9.1E+02	2.9E+02
average	5.1E-02	5.4E-02	1.2E-01	1.8E-01	1.2E-01	5.2E-01	1.1E+03	1.0E+03	1.9E+02
min	3.5E-03	3.2E-03	4.1E-07	5.5E-02	3.9E-02	6.0E-03	3.3E+02	5.3E+02	5.3E+00
max	2.6E-01	2.2E-01	1.3E+00	5.0E-01	2.7E-01	1.9E+00	2.9E+03	2.3E+03	7.5E+02

表 8-6 指定点通過流量・平均実流速・平均ダルシーフlow速の経年変化 (Don-Chan)

	Flux [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /y]			Darcy Velocity [m/y]			Pore Water Velocity [m/y]		
	2000	2001	2002	2000	2001	2002	2000	2001	2002
No.1	9.7E-04	3.7E+00	2.9E-03	3.0E-02	3.6E+00	5.1E-02	3.0E+00	7.4E+01	1.3E+00
No.2	5.6E-02	3.7E+00	2.1E-03	1.1E-01	3.1E+00	5.3E-01	1.1E+01	6.4E+01	7.2E+00
No.3	1.0E-03	4.2E-01	8.3E-04	1.1E-01	4.1E+00	5.0E-01	1.1E+01	8.5E+01	6.6E+00
No.4	1.0E-03	2.1E-03	3.7E-02	3.1E-02	2.4E+00	4.9E-02	3.1E+00	5.1E+01	1.2E+00
No.5	9.0E-04	1.3E-01	1.7E-03	1.1E-01	2.6E+00	2.7E-01	1.1E+01	5.6E+01	3.7E+00
No.6	8.5E-04	1.7E-03	1.4E-03	1.1E-01	3.2E+00	5.2E-01	1.1E+01	6.7E+01	7.0E+00
No.7	6.1E-02	4.7E-02	1.3E-01	4.5E-02	1.6E+00	5.3E-02	4.5E+00	3.6E+01	1.3E+00
No.8	6.1E-04	4.3E-02	9.2E-03	1.1E-01	2.4E+00	6.1E-01	1.1E+01	5.2E+01	8.4E+00
No.9	7.8E-04	3.0E+00	1.5E-03	1.2E-01	3.2E+00	5.6E-01	1.2E+01	6.7E+01	7.5E+00
No.10	7.4E-04	1.7E-01	1.5E-03	1.4E-01	1.6E+00	2.5E-02	1.4E+01	3.6E+01	6.3E-01
No.11	5.0E-04	6.3E-02	8.7E-04	1.1E-01	1.6E+00	6.3E-01	1.1E+01	3.6E+01	8.6E+00
No.12	6.6E-04	3.2E-02	8.6E-04	1.3E-01	2.8E+00	4.2E-01	1.3E+01	5.9E+01	5.6E+00
No.13	6.8E-04	9.0E-02	9.0E-04	5.0E-01	5.9E+00	9.8E-01	5.0E+01	1.2E+02	7.0E+00
No.14	7.2E-04	3.4E+00	1.1E-03	6.8E-01	5.5E+00	2.4E+00	6.8E+01	1.1E+02	1.3E+01
No.15	1.6E-03	1.2E-01	6.8E-03	7.6E-03	5.8E-01	4.0E-01	7.6E-01	2.0E+01	4.7E+00
No.16	6.3E-04	1.2E-01	1.5E-02	6.3E-01	5.8E+00	1.1E+00	6.3E+01	1.2E+02	7.5E+00
No.17	7.5E-04	9.6E-02	6.9E-04	5.8E-01	4.8E+00	2.5E+00	5.8E+01	9.7E+01	1.5E+01
No.18	4.4E-02	1.2E-01	1.6E-02	1.0E-01	3.4E+00	4.1E-01	1.0E+01	7.6E+01	4.9E+00
No.19	6.0E-04	9.1E-02	2.7E-03	5.6E-01	5.0E+00	6.6E-01	5.6E+01	1.0E+02	9.4E+00
No.20	7.7E-04	1.2E-01	3.2E-01	3.9E-01	3.8E+00	1.6E+00	3.9E+01	7.7E+01	1.6E+01
No.21	6.0E-04	3.2E+00	8.7E-02	1.0E-01	3.0E+00	7.2E-01	1.0E+01	6.5E+01	7.8E+00
No.22	5.7E-04	2.4E-03	2.7E-03	3.7E-01	6.4E+00	7.1E-01	3.7E+01	1.3E+02	1.0E+01
No.23	7.4E-04	8.3E-04	1.1E-01	4.0E-02	1.5E+00	1.1E-01	4.0E+00	3.5E+01	1.5E+00
No.24	6.1E-04	1.8E-01	6.7E-04	9.6E-02	2.5E+00	5.6E-01	9.6E+00	5.4E+01	6.1E+00
average	7.4E-03	7.9E-01	3.1E-02	2.2E-01	3.4E+00	6.8E-01	2.2E+01	7.0E+01	6.8E+00
min	5.0E-04	8.3E-04	6.7E-04	7.6E-03	5.8E-01	2.5E-02	7.6E-01	2.0E+01	6.3E-01
max	6.1E-02	3.7E+00	3.2E-01	6.8E-01	6.4E+00	2.5E+00	6.8E+01	1.3E+02	1.6E+01

表 8-7 ダルシ一流速で算出した移行時間のモデル間の比較

	TOUGH2			EQUIV_FLO			Don-Chan		
	2000	2001	2002	2000	2001	2002	2000	2001	2002
No.1	4.8E+05	7.3E+04	1.0E+06	3.2E+04	1.8E+05	3.7E+05	2.0E+06	2.5E+03	1.6E+06
No.2	8.1E+04	2.2E+05	5.5E+05	2.1E+04	9.1E+03	1.7E+05	9.9E+04	2.6E+03	2.1E+05
No.3	1.5E+04	2.0E+04	2.3E+05	2.0E+04	1.5E+04	1.7E+05	3.6E+05	1.0E+03	4.2E+05
No.4	1.4E+05	8.8E+04	1.4E+06	3.1E+04	1.5E+04	2.4E+05	1.6E+06	3.0E+04	1.5E+06
No.5	8.6E+04	3.5E+04	9.2E+05	7.3E+04	6.3E+04	3.4E+05	2.0E+05	5.2E+03	2.3E+05
No.6	1.3E+04	9.2E+04	1.8E+05	3.2E+04	3.3E+04	2.8E+05	5.2E+05	6.3E+04	1.7E+05
No.7	2.7E+05	3.7E+05	1.2E+07	1.1E+05	3.6E+05	3.3E+05	3.7E+06	7.2E+03	1.5E+06
No.8	2.2E+05	8.2E+04	3.7E+06	7.1E+04	1.2E+05	5.2E+05	4.1E+05	7.7E+03	3.9E+04
No.9	6.6E+03	1.2E+04	1.4E+06	5.0E+04	3.3E+04	2.8E+05	6.4E+05	4.4E+03	1.8E+05
No.10	9.4E+04	1.0E+06	1.1E+06	2.2E+05	3.4E+05	5.9E+05	1.2E+05	6.1E+03	2.1E+06
No.11	7.6E+04	1.8E+05	5.7E+06	1.4E+05	1.1E+05	4.6E+05	8.6E+05	5.6E+03	1.3E+05
No.12	3.8E+03	1.6E+04	6.4E+05	5.6E+03	4.4E+03	7.2E+05	6.0E+05	1.0E+04	3.6E+05
No.13	2.6E+04	1.8E+03	1.6E+03	2.4E+04	5.2E+04	2.7E+04	5.0E+05	2.1E+03	2.8E+05
No.14	1.9E+05	7.5E+03	1.5E+05	5.6E+04	2.2E+04	7.4E+11	1.5E+05	5.4E+02	2.3E+04
No.15	7.9E+03	4.6E+03	1.3E+04	1.3E+04	2.1E+04	1.6E+04	7.8E+05	1.5E+04	2.7E+04
No.16	4.5E+04	1.5E+05	3.7E+06	4.6E+04	2.5E+05	8.3E+03	1.0E+06	1.7E+03	3.0E+04
No.17	5.2E+04	1.1E+05	4.9E+05	1.1E+05	2.6E+05	2.5E+06	1.2E+05	2.1E+03	1.7E+05
No.18	6.9E+04	3.3E+04	2.7E+04	9.3E+04	3.4E+04	1.2E+05	3.8E+04	2.7E+03	7.5E+03
No.19	2.7E+04	1.5E+05	1.4E+06	2.0E+05	6.5E+05	3.8E+05	1.1E+06	2.7E+03	5.6E+04
No.20	2.2E+04	5.4E+04	2.7E+05	6.3E+05	1.5E+05	2.3E+04	9.8E+04	3.1E+03	3.0E+04
No.21	7.9E+04	1.4E+05	4.7E+04	1.2E+05	1.1E+05	1.1E+03	2.5E+05	1.3E+03	4.9E+03
No.22	2.2E+04	3.1E+04	3.9E+07	2.0E+05	5.9E+05	6.5E+05	1.1E+06	1.7E+04	2.5E+04
No.23	4.8E+04	2.8E+05	7.8E+05	8.9E+04	1.9E+05	1.5E+05	2.0E+05	3.0E+04	1.1E+05
No.24	6.6E+04	4.5E+04	1.7E+05	1.0E+05	1.8E+05	1.7E+04	6.7E+05	2.7E+03	1.7E+05
average	8.9E+04	1.3E+05	3.1E+06	1.0E+05	1.6E+05	3.1E+10	7.1E+05	9.5E+03	3.9E+05
min	3.8E+03	1.8E+03	1.6E+03	5.6E+03	4.4E+03	1.1E+03	3.8E+04	5.4E+02	4.9E+03
max	4.8E+05	1.0E+06	3.9E+07	6.3E+05	6.5E+05	7.4E+11	3.7E+06	6.3E+04	2.1E+06



◆ H12 ■ H13 △ H14

図 8-22 移行経路情報のばらつきについての比較

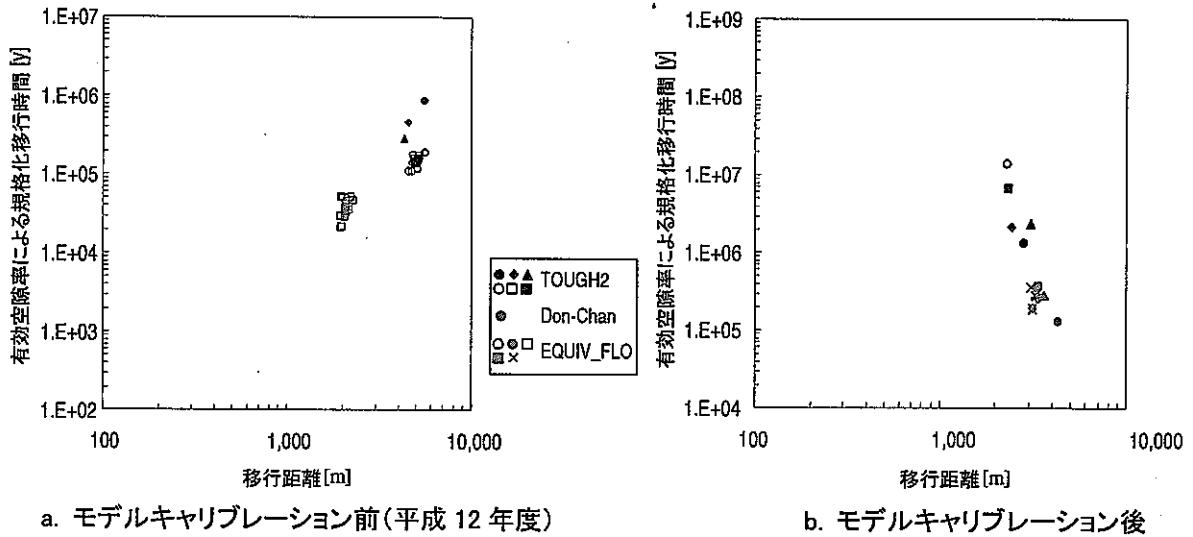


図 8-23 モデルキャリブレーション前後での地下水移行時間と移行距離

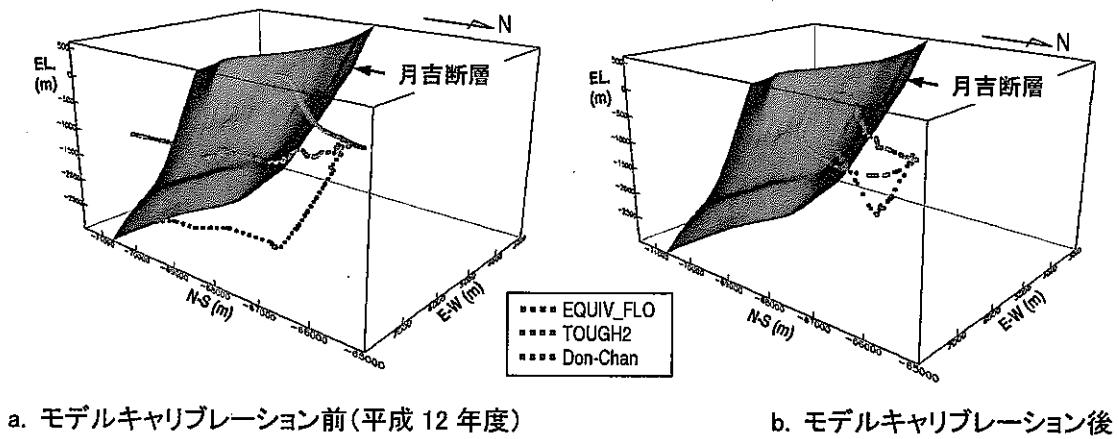


図 8-24 モデルキャリブレーション前後での地下水の移行経路

## 8.2 調査研究計画への提言

本年度の検討結果によって抽出されたモデル化・解析結果に対する主な不確実性要因に基づく調査研究計画への提言を以下にまとめる。

- ① 非定常状態の水理に関するデータは、断層の透水異方性を含む水理地質構造（特に透水係数分布）の不確実性を低減する上で有効な手段である。しかしながら、本検討で使用した長期揚水試験の影響範囲は、モデル化・解析領域と比較して非常に限定された領域であるため、領域全体の水理地質構造を拘束する上では不十分であった。したがって、より広範囲に影響を及ぼすことのできる揚水試験や地下施設建設等に伴う地下水水流動場の変化の適切

なモニタリングを行なうことが重要である。

② 地下水の実流速を求めるための有効間隙率については、一部のモデルにおいて非定常状態の水理に関するデータを用いたモデルキャリブレーションの際に変更が見られた。しかしながら、この有効間隙率の実質的な不確実性低減には至っていない。このことから、非定常状態の水理に関するデータを用いた解析的な手法による有効間隙率の推定手法の検討、およびトレーサー試験等の調査による直接的なデータ取得を実施することが重要である。

③ 調査の漏れを少なくするために複数のモデル化手法を用いて、水理地質構造モデルを調査の進展に伴って段階的に更新し、その結果を調査にフィードバックすることは、地下水流动特性を効率的に把握するうえで有効である。

### 8.3 参考文献

Zimmerman et al. : “A comparison of seven geostatistically based inverse approaches to estimate transmissivities for modeling advective transport by groundwater flow”, Water Resources Research, Vol.34, No.6, pp.1373～1413 (1998)