

岩盤中の透水構造分布に着目した水理地質構造モデルの構築手法の検討

田中 達也^{1*}・安藤 賢一¹・橋本 秀爾¹・三枝 博光²・竹内 真司²・天野 健治²

¹株式会社 大林組 土木技術本部（〒108-8502 東京都港区港南2-15-2）

²独立行政法人 日本原子力研究開発機構 地層処分研究開発部門

（〒509-6132 岐阜県瑞浪市明世町山野内1-64）

*E-mail: obayashi@nagra.ch

本検討では、岐阜県東濃地域で進められている超深地層研究所計画における深層ボーリング1孔に加えて、広域地下水流動研究における深層ボーリング2孔で得られた調査データを用いて、透水構造の地質・地質構造特性、水理特性を整理し、それに基づく亀裂ネットワークモデルによって深層ボーリング孔周辺領域の基盤花崗岩を対象とした水理地質構造モデルを構築した。そして、この水理地質構造モデルに基づき、任意の体積を有するブロックの等価な透水特性を推定した。さらに、検討を通じて透水構造に関するモデルへの入力パラメータの信頼性を考察するとともに、今後の調査・研究への課題を取りまとめた。

Key Words : site descriptive model, water conducting feature, discrete fracture networks, up-scaling

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の最終処分施設を建設する地点は、概要調査地区の選定、精密調査地区の選定、最終処分施設建設地の選定の3つのプロセスを経て選定される¹⁾。各選定段階では、文献調査、現地調査（地表調査およびボーリング調査）、地下調査施設による調査が予定されており、段階が進むにつれ、調査により得られるデータの種類、質、量ともに増加する。各段階の地質環境調査と評価には、適切なモデル化領域を対象とした地質構造モデル、水理地質構造モデル、地下水化学モデル、岩盤モデル等の地質環境モデルを構築・更新し、処分システムの長期安全性や、地下施設の建設・操業・閉鎖の設計、これらの合理的な実現性の検討に必要な情報を提供することが要求されている²⁾³⁾。従って、段階的に構築・更新する地質環境モデルには、個々のモデルの信頼性や、異なる地質環境モデル間の特性記述結果の整合性が提示されていることが重要かつ必要となる。

本研究は、上記の特徴を有する放射性廃棄物の地層処分事業を対象とした水理地質構造モデルの構築手法の体系化をその最終目標としている。本報告では、その一環として、岐阜県東濃地域で進められている超深地層研究所計画における深層ボーリング1孔（MIZ-1号孔⁴⁾）に加えて広域地下水流動研究における深層ボーリング2孔（DH-2号孔⁵⁾、DH-15号孔⁶⁾）で得た調査データを利用

し、以下に示す要件や個別目標の達成を目的として水理地質構造モデルを構築した結果を示す。

- (1) 亀裂ネットワークモデルを概念として、深層ボーリング孔周辺領域における基盤花崗岩の水理地質構造モデルを構築する。
- (2) 水理地質構造モデル構築に際して、地質構造モデルからの情報利用、モデル間の整合性を確認する。
- (3) 構築した水理地質構造モデルを用いて、数値解析的に基盤花崗岩の透水特性を算定し、入力パラメータの信頼性について整理する。
- (4) 上記の検討により、水理地質構造モデルに関する現状の知見、今後の調査や研究への課題をとりまとめる。

2. 利用したデータとその整理

(1) 利用データ

モデル化の対象とする深層ボーリング孔は、研究坑道が建設される研究所用地内で掘削されたMIZ-1号孔と研究所用地周辺に位置するDH-15号孔、DH-2号孔の3孔である（図-1参照）。これら3孔は電気伝導度検層を所要の品質で実施した深層ボーリング孔として選定した。DH-15号、DH-2号孔は延長1012mと501mの鉛直孔であり、MIZ-1号孔は延長1300mで深度約350mまで鉛直削孔され、

それ以深よりS66Wの方位に約76度の傾斜角を有する。

水理地質構造モデルの構築には表-1に示す地質・地質構造特性および水理特性の調査データを利用した。また、従前の調査段階となる地表からの調査に基づき構築されたサイトスケール（2km×2km）の地質構造モデル、水理地質構造モデルを既存の地質環境モデルとして参照した⁷⁾。

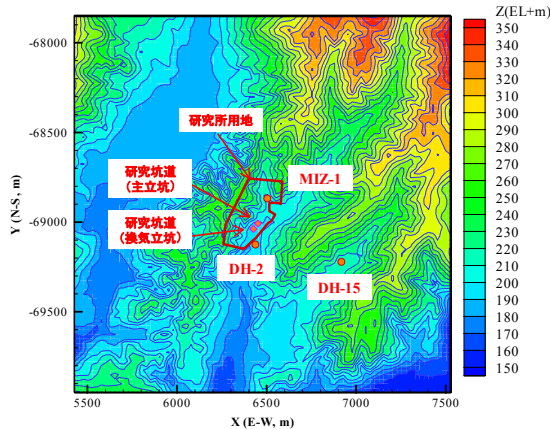


図-1 深層ボーリング孔3孔の配置（数値は孔口標高）

表-1 利用データの一覧

分類	調査手法	データの概要
地質・地質構造特性	岩芯観察	岩芯観察記録、総合柱状図
	BTV調査	割れ目方位、開口幅、分類
水理特性	電気伝導度検層	地下水の流入出点の深度と流入出点の透水量係数
	水理試験	試験区間（深度）、透水係数、貯留係数

(2) 地質・地質構造特性データの整理

深層ボーリング孔3孔で確認された地質・地質構造は、基盤をなす土岐花崗岩を新第三紀の堆積岩（瑞浪層群・瀬戸層群）が不整合に覆う。MIZ-1号孔およびDH-15号孔の花崗岩部は、上部割れ目帯と下部割れ目低密度帯の2つの岩盤領域に分類できる。花崗岩部ではMIZ-1号孔で7帯、DH-15号孔で6帯、DH-2号孔で3帯の断層帯が推定された。断層帯はその変位が最も集中していると考えられる断層主要部とその周囲に発達する断層割れ目帯（ダメージゾーン）に構造区分される。

以上の特性は既存の地質構造モデル上の特性記述結果と一致している。地質構造モデルの更新のために、深層ボーリング孔に沿った岩盤領域の分布深度、断層帯の分布深度、方位、厚さ、長さ、地質特性などの入力パラメータが評価された（後述表-4参照）。断層帯はいずれも60度以上の高傾斜であり、断層割れ目帯の割れ目密度は花崗岩部と比較して高く（1.6～5.6倍）、その卓越方位は断層帯の方位と相関を有している。

(3) 水理特性データの整理

a) 電気伝導度検層

電気伝導度検層により、深層ボーリング孔に沿った地

下水の流入出点の深度が得られた。検出された地下水の流入出点は、既存の研究により $10^{-8}\text{m}^2/\text{s}$ よりも大きい透水性を示す箇所となる⁸⁾。

地下水の流入出点は、深層ボーリング孔3孔の全ての断層帯の分布深度内で確認された。断層帯を除く花崗岩部では、上部割れ目帯の地下水流入出点の密度は下部割れ目低密度帯と比較して3～6倍となった（表-2）。また、調査により確認された割れ目数と地下水の流入出点の比較により、地下水が水みちとなる割れ目を選択して流動していることが推察される。

電気伝導度検層データの解析により、検出した地下水の流入出点の透水量係数が算定された。電気伝導度検層と後述の水理試験に基づく透水量係数の算定結果を比較し、DH-15号孔、DH-2号孔では両結果の一致を概ね確認できた。一方、MIZ-1号孔では両結果の一致が悪く、その原因としてボーリング孔周辺に形成されたスキニング領域が電気伝導度検層に基づく結果に影響を及ぼすことが推察された。

表-2 両岩盤領域の割れ目数と地下水の流入出点

孔名	上部割れ目帯				下部割れ目低密度帯			
	割れ目		地下水流入点		割れ目		地下水流入点	
	条数 (n)	密度 (n/m)	点数 (n)	密度 (n/m)	条数 (n)	密度 (n/m)	点数 (n)	密度 (n/m)
MIZ-1	200	1.29	20	0.13	604	0.65	18	0.02
DH-15	990	2.48	33	0.08	316	0.65	10	0.02
DH-2	580	2.47	13	0.06	—	—	—	—

b) 水理試験

水理試験では $10^{-12}\sim 10^{-3}\text{m}^2/\text{s}$ オーダーの幅広い特性を有する岩盤での適用を考慮し開発した試験装置⁹⁾を用いて、高い精度で特性を取得した。花崗岩部の試験区間は区間長が2～30mの短区間と区間長が50～100mの長区間に分類できる。短区間は岩芯観察、電気伝導度検層などから、地下水の流入出が想定された深度や断層帯の分布深度を試験対象区間とし、長区間は花崗岩全深度を対象として透水特性を把握する方針で実施された。

断層帯を除く花崗岩を対象とした全3孔の水理試験結果を上部割れ目帯と下部割れ目低密度帯に分類すると、短区間の結果は上部割れ目帯で16点、下部割れ目低密度帯で6点あり、両岩盤領域共に $10^{-11}\sim 10^{-3}\text{m}^2/\text{s}$ オーダーと透水係数が幅広く分布する。試験結果が試験区間周辺に分布する水みちの透水特性に大きく依存することが推察される。また、長区間の結果は上部割れ目帯で4点、下部割れ目低密度帯で6点と非常に限定されている。結果はそれぞれ $10^{-8}\sim 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$ オーダー、 $10^{-11}\sim 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$ オーダーとなり、下部割れ目帯では透水係数が幅広く分布する。既存の水理地質構造モデルでは、上部割れ目帯、下部割れ目低密度帯を水理地質区分としており、両区分の平均的な透水特性を確認することが重要である。しかしながら、

複数の高角傾斜の断層帯が深層ボーリング孔に沿って幅広く分布することから、両区分の試験点数が限定され、水理試験結果から平均的な透水特性を解釈することが難しい。

3. 透水構造の特性整理

地質・地質構造特性、水理特性データの整理結果により、花崗岩部の透水構造は、数十m～数kmまでの規模を有する断層帯と、多数の割れ目のうち、水みちとなる割れ目に分類できることが推察された。そこで花崗岩の透水構造を、断層帯を指す『主要透水構造（断層）』と水みちとなる単一割れ目を指す『透水構造（単一割れ目）』に分類し、その特性を整理した。

(1) 透水構造（単一割れ目）の選定

調査により確認された岩盤中の多数の割れ目から、透水構造（単一割れ目）を選定するための一般化された手法はない。既存の研究では、岩芯観察やBTV調査により計測した割れ目の開口性に基づき水みちとなる割れ目を選定した事例¹⁰⁾、割れ目の形成過程から水みちとして重要な構造や割れ目を選定した事例¹¹⁾、そして流体検層で検出された地下水の流入出点とその深度に分布する割れ目の地質特性（充填鉱物や変質状況）を比較することで水みちとなる地質や地質構造の特徴を整理した事例¹²⁾などが報告されている。

そこで、深層ボーリング孔3孔にて実施されたBTV調査データに基づき、断層帯を除く花崗岩での割れ目の開口性について整理した。開口割れ目は、MIZ-1号孔で83条、DH-15号孔で7条、DH-2号孔で20条であった。地下水の流入出点数と比較して、DH-15号孔、DH-2号孔ではその数が少なく、透水構造（単一割れ目）の選定指標としての適用が困難である。また、MIZ-1号孔にて地下水の流入出点の深度と開口割れ目の分布深度を比較したが、その相関は良くない結果となった。

以上より、電気伝導度検層により検出された地下水の流出点の深度±0.5mに位置する割れ目を、透水構造（単一割れ目）として選定した。

(2) 透水構造（単一割れ目）の特性

a) 幾何学的特性

上記の選定手法に基づき、透水構造（単一割れ目）の割れ目データを抽出し、その方位、密度の深度分布を整理した。密度の深度分布により、上部割れ目帯と下部割れ目低密度帯の境界深度から、透水構造（単一割れ目）の密度は変化し、上部割れ目帯での密度は下部割れ目低密度帯の5～7倍となることが確認された。方位の深度分

布により、上部割れ目帯と下部割れ目低密度帯の境界深度から、方位特性が異なることが確認された。地質・地質構造特性に基づく岩盤領域の区分が水理地質構造区分と一致することが示唆された。

b) 透水特性

透水構造（単一割れ目）の透水量係数は、短区間水理試験結果に基づき設定した。透水構造（単一割れ目）が試験区間内に位置する場合は試験結果を採用し、複数交差する場合は試験結果を透水構造の数で除して個々の透水量係数とした。また、短区間水理試験の試験点数が限定されることから、電気伝導度検層に基づく透水量係数の解析結果を活用した。透水量係数は、地下水の流入出点（深度）を交差する透水構造（単一割れ目）に対して、短区間水理試験と同様に設定した。

上部割れ目帯と下部割れ目低密度帯別に、対数正規分布を仮定した透水量係数の平均値と標準偏差を表-3に示す。上部割れ目帯では透水量係数の算出点数が多く、その分布は対数正規分布となった。下部割れ目低密度帯でも、透水量係数分布は対数正規分布に概ね一致するが、透水性の低い領域（平均値から-1σまで）の算出点数が少なく、上部割れ目帯と比較して、透水量係数分布（対数正規分布）のデータの不確実性が高い。

表-3 透水構造（単一割れ目）の透水量係数分布

	上部割れ目帯				下部割れ目低密度帯		
	MIZ-1	DH-15	MIZ-1	3孔合計	MIZ-1	DH-15	2孔合計
算出点数	31	90	58	179	6	18	24
平均値 (Log _e T,m ² /s)	-4.52	-5.93	-5.17	-5.45	-6.00	-6.22	-6.17
標準偏差	0.42	0.45	0.54	0.72	2.24	0.91	1.31

(3) 主要透水構造（断層）の特性

主要透水構造（断層帯）の方位、厚さ、長さなどの幾何学的特性は、地質構造モデルの特性パラメータを使用した。透水量係数の設定には水理試験による実測結果を利用した。試験が実施されていない、或いは試験区間が断層帯の分布深度と一致しない場合には、電気伝導度検層に基づく解析結果を考慮し設定した。主要断層帯の透水量係数には試験条件に起因した個別の不確実性がある。

主要透水構造（断層帯）の幾何学特性、水理特性を取りまとめて表-4に示す。

4. 水理地質構造モデル構築と等価透水係数算定

(1) 水理地質構造の概念モデルとモデル化対象要素

透水構造の整理結果に基づき、水理地質構造の概念モデルを設定した。花崗岩部は上部割れ目帯、下部割れ目

低密度帯の2つの水理地質区分に分類され、地下水は主要透水構造（断層）と透水構造（単一割れ目）をその流動経路とする。

水理地質構造モデルの構築には、亀裂ネットワークモデルを概念とする地下水流動モデル化・解析コードNAPSAC¹³⁾を用いた。同コードでは透水構造を四角形平面構造と仮定し、任意の領域内に確率論を適用して統計的に再現したり、透水構造を多様な形状で任意の座標、方位で決定論的に再現し、地下水流動解析を実施することが可能である。水理地質構造のモデル化に際しては、主要透水構造（断層）を決定論的に、透水構造（単一割れ目）を統計的にモデル化する要素とした。

(2) 入力パラメータの設定

a) 透水構造（単一割れ目）の卓越方位分布

各深層ボーリング孔で確認された透水構造（単一割れ目）の方位データから、水理地質区分別の卓越方位セットおよび卓越方位分布を解析した。卓越方位セットの抽出にはMahtabとYegulapによるクラスター解析¹⁴⁾を適用し、卓越方位分布はフィッシャー分布を仮定して算定した。また、深層ボーリング孔方位による偏りはTerzaghiによる手法¹⁴⁾で補正した。

b) 透水構造（単一割れ目）の長さ分布と密度（P32）

透水構造（単一割れ目）の長さ分布と三次元密度（P32sim）は、コンディショニング手法により設定した。透水構造（単一割れ目）の長さに関わるデータは調査により取得されていない。そのため、モデル上の透水構造（単一割れ目）のトレース長分布の勾配が、調査により得た不連続構造のトレース長分布の勾配⁷⁾と一致すると仮定し、透水構造（単一割れ目）の長さ分布（べき乗分布を仮定）を設定した。

三次元密度（P32sim）は、モデル上で深層ボーリング孔に交差する透水構造（単一割れ目）の一次元密度（P10sim）が、調査で確認した一次元密度（P10real）を再現するようコンディショニングし、100回のリアライゼーションを実施した平均値とした。

以上の過程により設定した深層ボーリング孔3孔の透水構造（単一割れ目）の入力パラメータ（幾何学的特性）を整理して表-5に示す。

(3) 透水構造（単一割れ目）に起因する水理地質区分毎の等価透水係数の算定

透水構造（単一割れ目）に起因する等価透水係数は、透水構造（単一割れ目）のネットワークモデルを用いたアップスケール手法によって算出した。具体的には、任意の透水構造のネットワークモデルの立方体側面に動水勾配を主軸3方向に与え、立方体6側面の流入出流量と動

表-4 主要透水構造（断層）の特性

主要透水構造 (断層)名称	深度* (mabh)	方位**	見掛厚さ *(m)	厚さ* (m)	長さ* (m)	透水量係数 (m ² /s)
MIZ1FZ02	174.50 - 221.70	N 9 W 69 E	47.21	16.92	845.84	9.86E-05
MIZ1FZ03	580.90 - 596.40	N 7 W 72 E	15.51	8.03	401.73	1.60E-05
MIZ1FZ04	653.00 - 725.70	N 11 W 78 E	72.70	30.95	1547.71	1.81E-05
MIZ1FZ05	782.40 - 812.90	N 66 E 73 E	30.50	15.53	776.29	3.23E-08
MIZ1FZ06	826.00 - 873.35	N 35 W 85 E	47.35	15.10	755.14	5.22E-08
MIZ1FZ07	918.50 - 982.60	N 38 W 74 E	64.10	31.95	1597.65	5.18E-08
MIZ1FZ08	1083.17 - 1117.00	N 27 W 85 E	33.83	10.51	525.49	4.11E-06
DH15FZ01	230.90 - 258.80	N 68 E 65 S	27.90	11.79	589.55	1.62E-04
DH15FZ02	527.00 - 535.80	N 34 E 65 E	8.80	3.72	185.95	8.38E-06
DH15FZ03	594.20 - 596.50	N 80 E 75 S	2.30	0.60	29.76	8.16E-06
DH15FZ04	605.30 - 632.70	N 69 E 64 S	27.40	12.01	600.57	1.57E-04
DH15FZ05	873.20 - 913.20	N 76 W 81 N	40.00	6.26	312.87	7.35E-06
DH15FZ06	993.00 - 1012.00	N 78 E 74 S	19.00	5.24	261.86	4.95E-05
DH2FZ01	293.47 - 328.03	N 84 E 69 S	34.56	12.39	619.26	8.05E-04
DH2FZ02	339.18 - 356.19	N 80 W 73 S	17.01	4.97	248.66	4.42E-05
DH2FZ03	413.10 - 460.18	N 16 W 79 E	47.08	8.98	449.16	7.68E-05

*断層割れ目帯の特性を利用 **断層主要部の特性を利用

表-5 透水構造（単一割れ目）の幾何学的特性

ボーリング 孔名	水理地質区分	卓越方位セッ ト名	方位分布 〔傾斜/傾斜方位、 Fisher 係数〕	長さ分布 〔べき乗分布 Lo/Exp、 Lmin(m), Lmax(m)〕	密度 〔P32sim (m ² /m ³)〕
MIZ-1	上部割れ目帯	Set.1_NE	84 / 132, 71.71	2.5 / 4.1 , 2.5, 3000	0.568
		Set.2_NNW	62 / 74, 130.73		0.036
		Set.3_SubH	31 / 86, 2.22		0.219
	下部割れ目低 密度帯	Set.1_NNW	89 / 82, 147.59	2.5 / 4.1 , 2.5, 3000	0.029
		Set.2_NE	81 / 312, 80.95		0.034
		Set.3_NNE	76 / 287, 112.65		0.034
		Set.4_SubH	23 / 123, 1.39		0.051
		Set.1_NE	73 / 149, 92.18	2.5 / 4.0 , 2.5, 3000	0.203
DH-15	上部割れ目帯	Set.2_NW	81 / 55, 24.03		0.178
		Set.3_EW1	81 / 357, 106.75		0.098
		Set.4_EW2	84 / 174, 232.25		0.091
		Set.5_SubH	26 / 142, 1.77		0.311
	下部割れ目低 密度帯	Set.1_EW	83 / 167, 28.87	2.5 / 4.0 , 2.5, 3000	0.173
		Set.2_NNW	81 / 249, 67.28		0.082
		Set.3_SubH	47 / 21, 2.15		0.072
DH-2	上部割れ目帯	Set.1_NWW	75 / 201, 29.06	2.5 / 4.1 , 2.5, 3000	0.157
		Set.2_NEE	53 / 343, 310.04		0.029
		Set.3_NW	19 / 57, 258.49		0.014
		Set.4_SubH	42 / 79, 2.30		0.222

水勾配から、評価ブロックの透水テンソルと等価透水係数（K11, K22, K33の幾何平均値）を算定した¹³⁾。さらに、その結果と主要透水構造（断層）を含まない水理試験結果を比較することによって推定結果の妥当性を確認した。評価ブロックのスケールは、本研究の基本とする100m立方に加えて、水理試験区間長を参照として70m, 30m立方とした。アップスケールでは3軸方向に各7列、合計343個の評価ブロックをモデル化し、透水テンソルと等価な透水係数を算定した（図-2）。透水構造（単一割れ目）の幾何学的特性は表-5を、透水量係数は表-3中の全孔合計の分布を用いた。

図-3と4にDH-15号孔の等価透水係数の解析結果を水理試験結果と比較した結果を、表-6に100mブロックの全3孔の解析結果を示す。水理試験の試験点数は少ないが、短区間水理試験および電気伝導度検層結果に基づき推定した等価透水係数が、長区間水理試験結果を矛盾無く再

現している。数値解析の適用により、下部割れ目低密度帯は、上部割れ目帯と比較して低透水性であること、両孔の差異、分散が大きいこと、そして、主要透水構造（断層）を除く両水理地質区分では透水構造（単一割れ目）に起因する透水異方性は小さいことが推定できる。

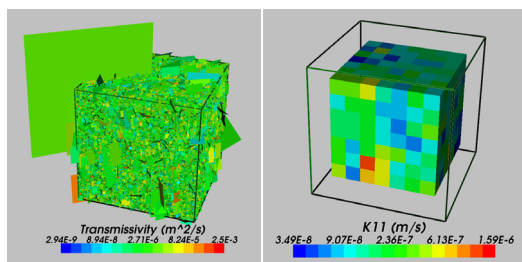


図-2 透水構造のネットワークモデル（左）と評価ブロック
343個の透水テンソルの算出結果の一例（右）

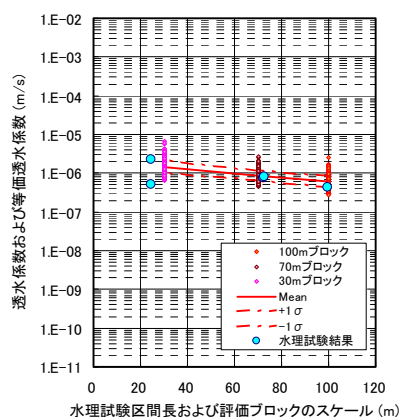


図-3 等価透水係数の解析結果と水理試験結果の比較
（上部割れ目帯：DH-15号孔）

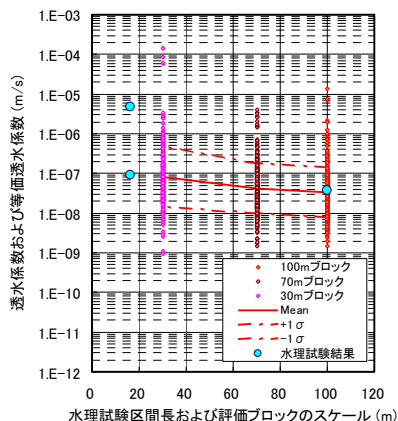


図-4 等価透水係数の解析結果と水理試験結果の比較
（下部割れ目低密度帯：DH-15号孔）

表-6 100mブロックの等価透水係数の算定結果

水理地質 区分	孔名	等価透水係数 (Log T, m/s)		透水テンソルの主成分 (Log T, m/s)		
		平均値	標準偏差	透水テンソルの主成分		
				K11(EW) 平均値	K22(NS) 平均値	K33(v) 平均値
上部割れ目 帯	MIZ-1	-6.750	0.235	-6.828	-6.756	-6.667
	DH-15	-6.222	0.151	-6.177	-6.370	-6.121
	DH-2	-6.991	0.226	-6.937	-7.053	-6.984
下部割れ目 低密度帯	MIZ-1	-9.009	1.167	-9.193	-8.873	-8.960
	DH-15	-7.470	0.629	-7.457	-7.625	-7.327

(4) 深層ボーリング孔周辺領域を対象とした水理地質構造モデルの構築

a) モデル化の方針

深層ボーリング孔周辺領域を対象とした水理地質構造モデルでは、透水構造（単一割れ目）に加えて、主要透水構造（断層）をモデル化した。その際、主要透水構造（断層）は単純化した四角形の平面構造と仮定して、その方位、長さ、透水量係数を決定論的に再現した。また、等価透水係数の深度分布をモデル化するために、1,000,000個のリアライゼーションとカイ2乗検定を適用し、深層ボーリング孔に交差する透水構造（単一割れ目）密度の深度分布（区間長50m程度）を良好に再現するモデルを20個抽出した。等価透水係数は抽出した20個のモデルで算定し、長区間水理試験結果と比較した。20個のモデルのうち、長区間水理試験結果を最も良好に再現するモデルを現調査段階の水理地質構造モデルとした。

b) 水理地質構造モデルの構築

モデル化領域は、各孔を中心として、DH-15号孔とDH-2号孔では300m(EW)×300m(NS)、MIZ-1号孔では400m(EW)×300m(NS)の平面範囲とし、深度方向は孔底+200mを下面とした。透水構造（単一割れ目）の幾何学特性は表-5を、透水量係数は表-3中の全孔合計の分布を用いた。

モデル構築結果の一例として、DH-15号孔における等価透水係数の算定結果を図-5に、構築した水理地質構造モデルを図-6に示す。

c) 等価透水係数解析結果の考察

上記の基本ケースに加えて、透水構造（単一割れ目）の透水量係数分布、密度（P32sim）、主要透水構造（断層）の透水量係数を対象とした感度解析を実施し、等価透水係数の算定結果に及ぼす影響の程度について検討した。全3孔を対象とした等価透水係数の解析結果とその考察を以下に示す。

- 上部割れ目帯では算定した等価透水係数と長区間区間水理試験結果の一致は良い（1オーダー以内）。
- 下部割れ目低密度帯では算定した等価透水係数に水理試験と同様に幅の広いばらつきが確認できるが、数点の試験区間では水理試験に対して2オーダー程度の差異がある。
- 水理試験との一致が良くない試験区間の多くは、試験区間外側の上下近傍に高角傾斜の主要透水構造が分布する。算定した透水テンソルには主要透水構造（断層）の方位と一致する透水異方性が確認できることから、モデルの信頼性向上の一方策として、主要透水構造（断層）の入力パラメータの見直し、モデル化手法の改善が考えられる。

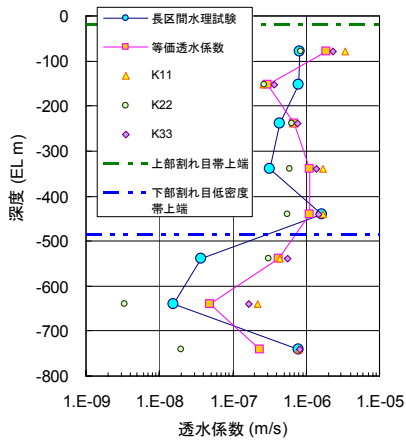


図-5 DH-15孔に沿った等価透水係数と水理試験結果の比較

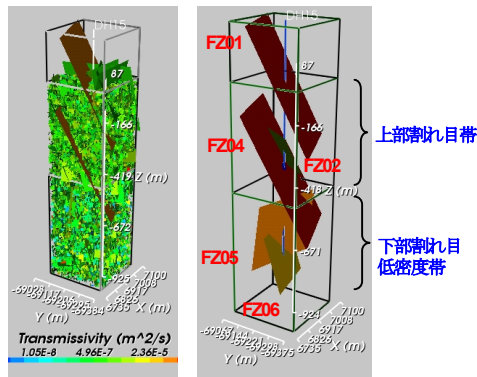


図-6 DH-15孔周辺領域を対象とした水理地質構造モデル (左) と主要透水構造 (断層) の分布 (右)

5. まとめと今後の課題

- 深層ボーリング孔3孔の限定された調査データに基づき、透水構造分布に着目した基盤花崗岩の水理地質構造モデルを構築するとともに、その透水特性を推定した。
- 透水構造 (単一割れ目) の高精度の選定のために、水みちとなる割れ目の特徴や特性の検出に資する調査・研究が必要である。
- 電気伝導度検層と短区間水理試験の組合せは透水構造 (単一割れ目) の特性調査に有効であり、下部割れ目低密度帯を対象とした調査データの拡充が望まれる。

- 複数の主要透水構造 (断層) や透水構造 (単一割れ目) の連結性を広い影響範囲で評価するため、モデル化対象領域を拡大したモデル構築が必要である。

参考文献

- 1) 原子力発電環境整備機構：概要調査地区選定上の考慮事項, 2002.
- 2) (社)土木学会：精密調査地区選定段階における地質環境調査と評価の基本的考え方, 2006.
- 3) SKB : Site investigations -Investigation methods and general execution programme, *SKB TR-01-29*, 2001.
- 4) Ota K. et al.: Overview of MIZ-1 Borehole Investigations, JNC TN7400 2005-024, 2005.
- 5) 天野健治ほか：広域地下水流動研究 年度報告書 (平成 14 年度), JNC TN7400 2003-002, 2003.
- 6) 鶴田忠彦ほか：広域地下水流動研究におけるボーリング調査 (DH-15 号孔), JNC TN7400 2005-025, 2005.
- 7) 核燃料サイクル開発機構：高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する知識基盤の整備 - 平成 17 年取りまとめ -, 分冊 1: 深地層の科学的研究, JNC TN1400 2005-014, 2005.
- 8) 藤田有二, 竹内真司：瑞浪超深地層研究所を中心とした東濃における深地層の科学的研究 - 深層ボーリング孔を用いた岩盤の水理特性評価技術の開発, 地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会要旨集, G018-P002 (CD-ROM) 2005.
- 9) 藪内聡, 竹内真司：深層岩盤を対象とした単孔式水理試験, 日本地下水学会 2003 年秋季講演会講演要旨, pp32-35, 2003.
- 10) Hartley L. J. et al. : Regional hydrogeological simulations for Forsmark- numerical modeling using CONNECTFLOW, *SKB R-05-32*, 2005.
- 11) 田中達也ほか：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, 応用地質 35,3, pp22-33, 1994.
- 12) Mazurek M. et al. : Derivation and Application of a geologic dataset for flow modeling by discrete fracture networks in low-permeability argillaceous rocks, *J. of Contaminant Hydrology* 35 1-17, 1988.
- 13) Hartley L J, Holton D : CONNECTFLOW (release 2.0), Technical summary document, *SERCO/ERRA-C/TSD02V1*, 2003.
- 14) Munier R : Statistical analysis of fracture data, adapted for modelling Discrete Fracture Networks - Version 2, *SKB R-04-66*, 2004.

STUDY ON THE METHODOLOGY FOR HYDROGEOLOGICAL SITE DESCRIPTIVE MODELLING BY DISCRETE FRACTURE NETWORKS

Tatsuya TANAKA, Kenichi ANDO, Shuuji HASHIMOTO, Hiromitsu SAEGUSA, Shinji TAKEUCHI and Kenji AMANO

This study aims to establish comprehensive techniques for site descriptive modelling considering the hydraulic heterogeneity due to the Water Conducting Features in fractured rocks. The WCFs was defined by the interpretation and integration of geological and hydrogeological data obtained from the deep borehole investigation campaign in the Mizunami URL project and Regional Hydrogeological Study. As a result of surface based investigation phase, the block-scale hydrogeological descriptive model was generated using hydraulic discrete fracture networks. Uncertainties and remaining issues associated with the assumption in interpreting the data and its modelling were addressed in a systematic way.