

水圧観測値を用いた地下水流動モデルのキャリブレーションに関する検討

大成建設(株)	正会員	○文村	賢一
大成建設(株)	正会員	下茂	道人
核燃料サイクル開発機構	正会員	三枝	博光
核燃料サイクル開発機構	正会員	尾上	博則

1. はじめに

核燃料サイクル機構が岐阜県瑞浪市において実施している超深地層研究計画においては、瑞浪超深地層研究所（以下、研究所と呼ぶ）の地下施設の本格掘削に先立ち、研究所建設に伴う地下水流動場への影響予測のための水理地質構造モデルの構築および地下水流動解析を進めている。モデル構築に際しては、調査や長期観測装置設置に伴う情報量の増加に応じて、順次モデルを更新し、次の調査で確認すべき重要な要素の特定を行う「繰り返しアプローチ」を採用している¹⁾。本報では、浅層および深層ボーリングの水圧観測値を用いた地下水流動モデルのキャリブレーション手法と結果について述べる。

2. 解析対象領域

解析対象領域は、図-1 に示す約 9km×9km の領域である。北および西側境界は、最大標高 620mの尾根線からなり、東および南側境界は南西方向に流れる土岐川を境界とする。領域中央部に、北東から南西方向に日吉川が流下する。深度方向は、標高-2km までを領域とした²⁾。

3. 水理地質構造モデル

当地域の地質は、基盤をなす土岐花崗岩とこれを不整合に被覆する新第三紀中新世の堆積岩である瑞浪層群と鮮新世の砂礫層（瀬戸層群）からなる。また、領域内を横断する月吉断層（走向：東西、傾斜：約 70～80 度南落ち）の他、28 本の断層が推定・確認されている。本解析に用いた地質構造モデルを図-2 に示す。地質構造モデルは、各年度の調査データを基に、過去2回にわたり改良した。解析に使用する水理特性の初期値（キャリブレーション前の値）は、原位置水理試験結果を基に、表-1 に示すように設定した。地下水流動解析には、有限要素法による三次元飽和・不飽和浸透流解析コード（EQUIV_FLO）を用いた³⁾。解析メッシュの作成にあたっては、解析領域を、施設スケール領域（約 2 km 四方）とその外側（広域スケール領域）のスケールに分けた。施設スケール領域では、研究所掘削影響を詳細に把握するため、立坑などの構造を反映した詳細なメッシュを作成した。月吉断層はメッシュに反映したが、それ以外の断層は、メッシュ作成後、対応する位置の要素を抽出し、透水異方性（断層面に直交・平行方向）を与えた。境界条件は、水文調査結果を参考に、地表面を降雨涵養境界（有効涵養量=30mm/年）、側方および底部を不透水境界、土岐川を水頭固定境界とした。

4. キャリブレーション

解析領域内では、図-1 に示す 10 本の深度 1000m 級観測孔内のパッカーで仕切られた 78 区間で水圧観測が実施されている。研究所建設時の予測解析に先立ち、これらの水圧観測値を用いて、モデルキャリブレーションを実施した。キャリブレーションは、STEP1:表-1 の物性使用、STEP2:有効涵養量（30～200mm/年）、STEP3:月吉断層コア部の透

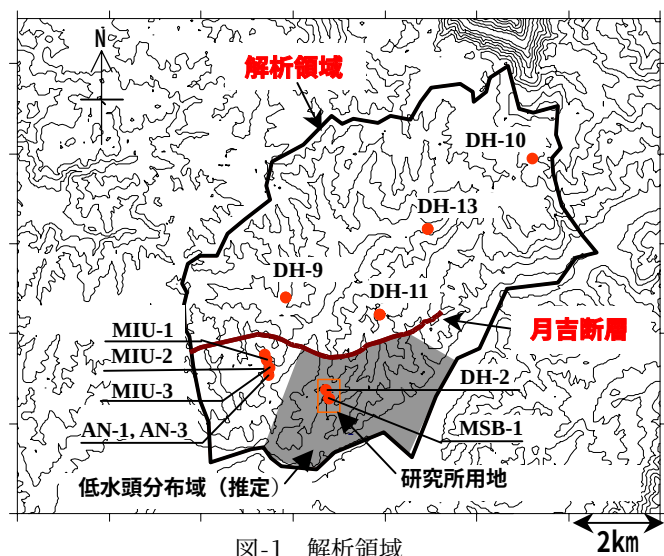


図-1 解析領域

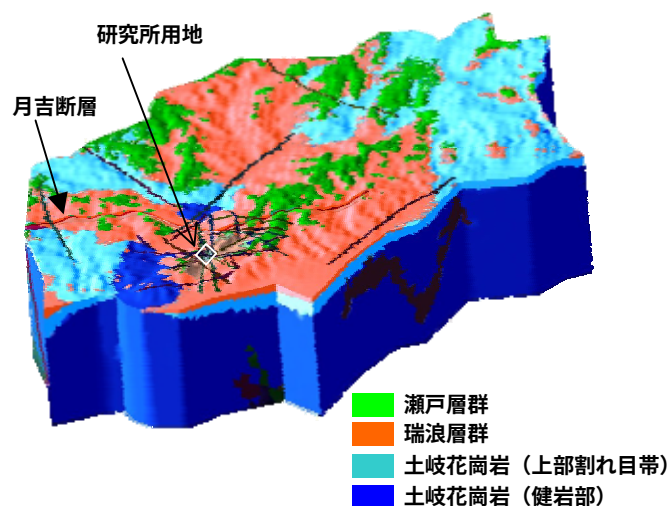


図-2 地質構造モデル

キーワード 地下水流動, 水理地質構造モデル, キャリブレーション

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株) 技術センター土木技術研究所 TEL045-814-7237

水係数 ($10^{-9} \sim 10^{-11} \text{ m/s}$)、STEP4: 上部割れ目帯の透水係数 ($10^{-8} \sim 10^{-5} \text{ m/s}$)、について実施した。()内はモデルキャリブレーションの際に考慮した解析値の変動幅である。別途実施した解析により、今回キャリブレーションの対象としない地層の物性については、水頭分布に与える影響が小さいことを確認した。STEP2は、領域全体の水圧分布、STEP3は、月吉断層上下盤の水頭差、STEP4は、研究所用地周辺の水圧低下領域、の再現をそれぞれ目的とした。再現性の指標には、次式を用いた (N: 観測区間数)。

$$\text{平均水頭誤差} = \frac{\sum \sqrt{(\text{観測水頭} - \text{計算水頭})^2}}{N}$$

5. 解析結果

図-3に、STEP1とSTEP4の解析結果の比較例を示す。MIU-3、DH-13孔は、STEP1からSTEP4で大きな改善が見られる。一方、DH-2孔は、STEP4でも計算値は観測値に比べて40m近い差がある。研究所用地内にあるMSB-1孔の結果も同様であり、研究所周辺は、現在の水理地質構造モデルでは説明できない低水頭分布域となっている可能性が示唆された。図-4～図-6に平均水頭誤差を示す。また、最も誤差の小さい値を図中に赤丸で示す。STEP2の結果、降雨涵養量を30mm/年から160mm/年に変更することにより、DH-2およびMSB-1を除いた平均水頭誤差が、22.5mから8.5mに減少する。STEP3、STEP4は、STEP2ほど顕著ではないものの、物性値変更により再現性が向上する (STEP4の平均水頭誤差7.2m)。キャリブレーション後のモデルに基づく地下水流動解析結果から、図-7に示すように、東側境界の土岐川へ直接流出する経路と領域中央部の日吉川に流出する2つの経路が求められた。

6. まとめ

水圧観測値を用いたキャリブレーションにより、研究所用地周辺を除く地下水圧観測値を平均誤差約7mで再現できることが分かった。ただし、研究所用地周辺の観測井の水圧分布は再現性が低い。このことは、断層分布などの地質構造やその水理特性の影響など、今回の検討対象としていない要因が考えられる。今後、実測値を再現するための仮説を設定し、それを確認するための調査やキャリブレーションを繰り返し実施することが、水理地質構造モデルの信頼性向上重要であると考えられる。

参考文献

- 1) 核燃料サイクル開発機構: 超深地層研究所 地層科学研究基本計画, サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2001-018, 2002.
- 2) 稲葉 薫、三枝博光: “深部地下水流動系を抽出するための後背地形の影響を考慮した広域地下水流動解析”, 地下水学会誌, 第47巻第1号, pp.81-95, 2005.
- 3) 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 pp.257-262, 1996.

表-1 水理特性 (透水係数)

地層名	透水係数 $\text{Log}_{10}[\text{K}(\text{m/s})]$	
	水平方向: k_h	鉛直方向: k_v
瀬戸層群	-5.0	
瑞浪層群	生俵層	-8.5
	明世層	-10.5
	土岐夾炭層	-7.2
	土岐夾炭層(基底礫)	-9.2
土岐花崗岩	花崗岩(上部割れ目帯)	-7.0
	花崗岩(低角度割れ目帯)	-5.5
	花崗岩(下部割れ目帯)	-6.4
月吉断層以外の断層	-5.7 (平行方向)	-10.0 (直交方向)
月吉断層	コア部(断層粘土)	-5.9
	破碎帯	-7.5
		-6.4

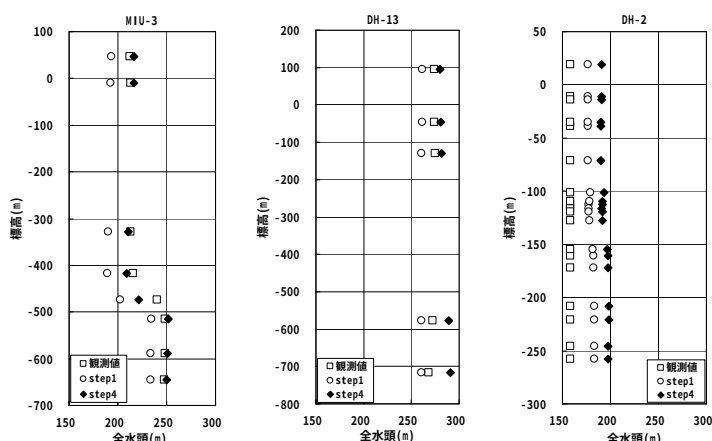


図-3 解析結果 (全水頭)

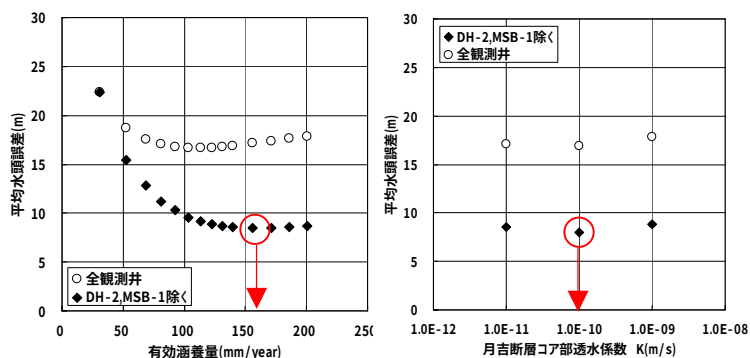


図-4 水頭誤差 (STEP2)

図-5 水頭誤差 (STEP3)

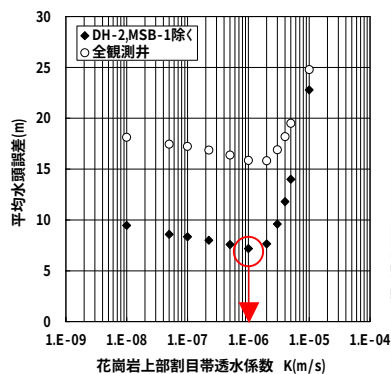


図-6 水頭誤差 (STEP4)

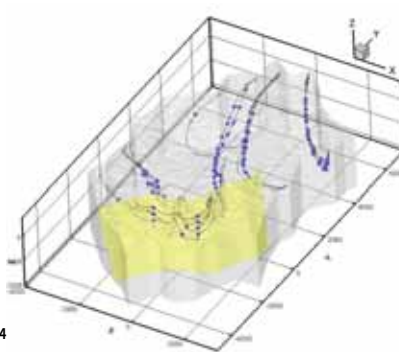


図-7 解析結果 (移行経路)