

止水グラウトを考慮した地下水流動モデルのキャリブレーション手法に関する検討

大成建設 (株) 正会員 ○熊本 創
 大成建設 (株) 正会員 下茂 道人
 日本原子力研究開発機構 正会員 三枝 博光
 日本原子力研究開発機構 正会員 大山 卓也

1. はじめに

日本原子力研究開発機構では、地層処分技術に関する研究開発の一部である深地層の科学的研究の一環として、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などを研究目標とした超深地層研究所計画を岐阜県瑞浪市で進めている。著者等は、研究坑道建設(計画深度 1000m の立坑 2 本・水平坑道)に伴う地下水流動影響評価のための水理地質構造モデルの構築を進めてきており、これまで主に研究坑道建設前の調査結果に基づいたモデル構築と、研究坑道建設時の湧水量や水圧応答データを用いたモデルキャリブレーションを実施してきた^{1), 2), 3)}。本報では、立坑掘削が深度 300m を超え、基盤花崗岩が主な調査・研究の対象となることから、深度約 300m までの湧水量データに基づき、花崗岩を対象としたキャリブレーション手法について、立坑近傍の割れ目分布や止水グラウトの影響を考慮した検討結果を述べる。

2. 水理地質構造モデルの概要

解析領域は、図-1 に示す約 9km 四方、深度方向は標高-2km までとした。当地域には、厚さ百数十 m の新第三紀堆積岩(瑞浪層群、瀬戸層群)と基盤をなす白亜紀後期の花崗岩が分布する。花崗岩は、上部に低角度割れ目が卓越する上部割れ目帯(以下、UHFD: Upper Highly Fractured Domain)と、その下位に分布する割れ目頻度が低い下部割れ目低密度帯(以下、LSFD: Lower Sparsely Fractured Domain)に区分されている。さらに、UHFD 中には、低角度割れ目の頻度が特に高い割れ目の集中帯(以下、LAFZ: Low Angle Fractured Zone)の存在が推定されている。また、既存モデル³⁾には、これまでの調査で分布が推定された複数の断層のうち、研究坑道周辺の水理応答に影響すると判断された 14 本の断層を反映した。水理物性および境界条件は、これまでの調査・試験結果を基にキャリブレーション³⁾した値を設定した(表-1)。掘削面の境界条件は、図-2 中に示す掘削の実施工程を模擬して、境界条件を経時的に変化させた。なお、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⁴⁾。

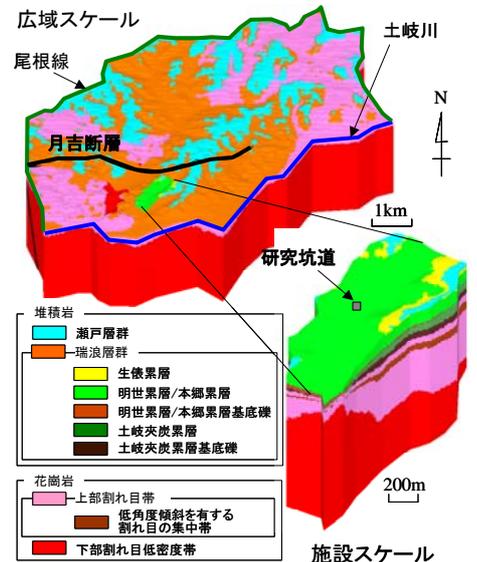


図-1 地質構造モデル

表-1 水理物性一覧

地質・地質構造要素		水平方向* 透水係数 K(m/s)	鉛直方向* 透水係数 K(m/s)	比貯留係数 Ss(1/m)
堆積岩	瀬戸層群	1.0E-05	1.0E-05	1.0E-05
	瑞浪層群	8.8E-08	8.8E-10	1.0E-06
	生俣累層	3.2E-09	3.2E-11	1.0E-06
	明世累層/本郷累層(本体)	4.0E-08	4.0E-08	1.0E-06
	明世累層/本郷累層(基底礫)	1.7E-07	1.7E-07	1.0E-06
	土岐夾炭累層(本体)	3.5E-08	3.5E-08	1.0E-06
	土岐夾炭累層(粗粒砂岩)	7.2E-07	7.2E-07	1.0E-06
花崗岩	土岐夾炭累層(基底礫) 主立坑側	7.5E-08	7.5E-08	1.0E-06
	土岐夾炭累層(基底礫) 換気立坑側	7.2E-07	7.2E-07	1.0E-06
不連続構造	上部割れ目帯(UHFD)	2.2E-07	2.2E-07	2.0E-06
	低角度傾斜を有する割れ目の集中帯(LAFZ)	1.1E-06	1.1E-06	2.0E-06
	下部割れ目低密度帯(LSFD)	3.2E-08	3.2E-08	5.0E-07
	月吉断層の主要部	1.0E-11	1.0E-11	1.0E-06
	月吉断層に伴う割れ目帯	4.2E-07	4.2E-07	1.0E-06
	トレース長3km以上のリニアメント	5.6E-06	1.0E-11	1.0E-07
	IF S200 15 2	9.2E-06	9.2E-06	1.0E-07
	S200 MI21FZ06	9.3E-09	1.0E-11	1.0E-07
	IF S200 13 2	2.4E-07	2.4E-07	1.0E-07
	IF S200 13	9.3E-09	1.0E-11	1.0E-07
	S200 06MI02 2	4.6E-09	4.6E-09	1.0E-07
	S200 F13440	2.7E-08	2.7E-08	1.0E-07
	S200 F14660	2.7E-08	2.7E-08	1.0E-07
	S300 M SHAFT	9.3E-09	1.0E-11	1.0E-07

*: 不連続構造の場合は、「水平方向」は「断層面に沿った方向」,
 「鉛直方向」は「断層面に直交する方向」を示す。

キーワード 水理地質構造モデル, キャリブレーション, 止水グラウト

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

湧水量は約 500m³/day を保持したまま推移している。これに対して、解析結果は、湧水の増加量が過大である。これは、特に割れ目が発達するLAFZ で実施した止水グラウトの影響を解析に考慮していないためであると考えられる。そこで、次に止水グラウトを考慮した解析を実施した。

4. 止水グラウトを考慮した解析

図-2 中に、LAFZ を対象に実施した止水グラウトを考慮した解析結果 (case①) を示す。また、グラウト仕様を表-2 に示す。本解析は、掘削箇所周囲 5m の範囲で、掘削前の透水係数が 1.0×10^{-8} m/s を超える要素の透水係数を 1.0×10^{-8} m/s に変更することで、グラウトによる立坑近傍の透水性の低減を模擬したものである。止水グラウトを考慮した場合、LAFZ からの湧水量が低減され、実測湧水量とほぼ同等となった。ただし、改良後の透水係数は実際のグラウト仕様⁵⁾よりも1オーダー低い(表-2)。また、グラウトを実施していないUHFDからの湧水量が実測値よりも過大である。既存モデルでは、花崗岩と堆積岩を均質な岩盤として取り扱っているが、実際の岩盤では割れ目による不均質性が大きい。現状の掘削深度では、UHFDにおいて高透水性の割れ目に遭遇していないため、顕著な湧水量の増加は観測されていない。そこで、次の case②では、花崗岩部の割れ目による不均質性を考慮した場合について、同様のグラウトを考慮した解析を実施した。図-3に割れ目を考慮したモデルの解析結果を示す。同モデルは、調査データの統計処理により立坑周辺の割れ目分布を推定し、確率的に発生した割れ目の透水性を等価不均質連続体モデル化手法⁴⁾に基づいてモデルに反映したものである。図-3より、割れ目を考慮したモデルでは、LAFZからの湧水量が低減されたことに加え、その下位のUHFDからの湧水の増加も見られず、実測湧水量の傾向をほぼ再現する結果となった。また、case②のグラウト仕様は case①と比べて、より実際の仕様に近い条件となった。この違いは、図-4に示すように、割れ目分布を考慮した場合、健岩部の透水性が低く、止水改良の対象が高透水性の割れ目のみに限定されるため、均質モデルよりも高い止水効果が得られるために生じたものである。以上より、花崗岩を対象として、止水グラウトを考慮した解析を実施する際は、割れ目による不均質性を考慮したモデルの方がより現実的なグラウト条件によって湧水量の実測データを説明可能であることが明らかとなった。

5. おわりに

本報では、花崗岩部を対象としたモデルキャリブレーションを実施するにあたり、止水グラウトや割れ目の分布による不均質性の影響を考慮することの重要性を示した。したがって、今後は、パイロットボーリング等により、立坑近傍の高透水性割れ目の分布を把握することや止水グラウトの実績等について整理し、モデルに反映することが必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 熊本創, 下茂道人, 三枝博光, 尾上博則: “孔間水理試験データを用いた地下水流動モデルのキャリブレーション”, 第36回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, 2007.
- 2) 熊本創, 下茂道人, 三枝博光, 尾上博則: “立坑掘削時の調査データを用いた地下水流動モデルのキャリブレーション”, 土木学会第63回年次学術講演会講演論文集, 2008.
- 3) 熊本創, 下茂道人, 三枝博光, 大山卓也: “立坑の冠水・排水時の湧水量・水圧観測データを用いた水理地質構造モデルの構築”, 第38回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, 2009.
- 4) 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.
- 5) 竹内真司ほか: “超深地層研究計画における研究坑道掘削中の湧水抑制対策について”, 第12回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, 2008.

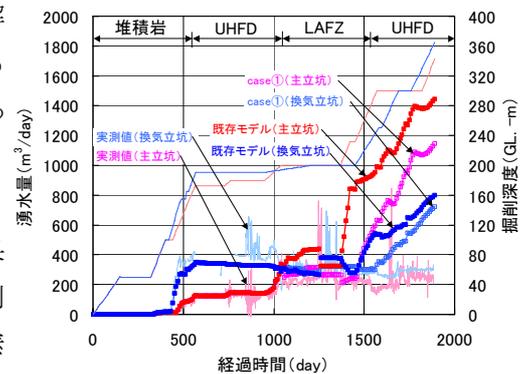


図-2 湧水量の実測値と解析の比較

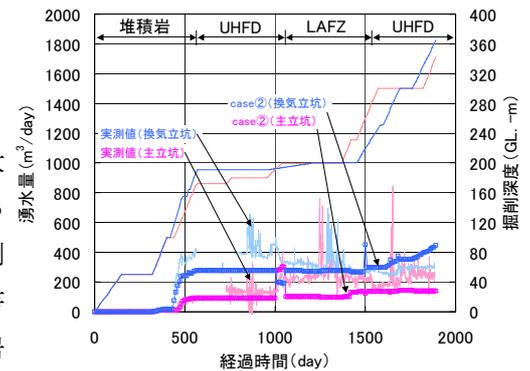


図-3 湧水量の実測値と解析の比較

表-2 止水グラウトの仕様

ケース	改良後の透水係数 (m/s)	改良範囲 (m)
設計値	2.0×10^{-7} (≒ 2Lu)	3
case①	1.0×10^{-8} (≒ 0.1Lu)	5
case②	1.0×10^{-7} (≒ 1Lu)	5

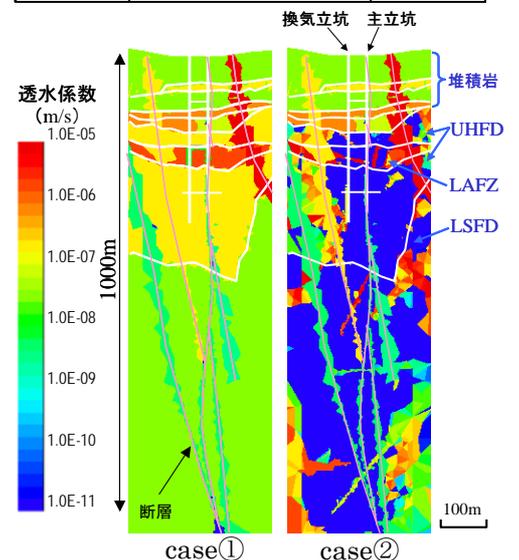


図-4 立坑近傍の透水係数分布