

瑞浪超深地層研究所における研究と建設の現状と課題（その3） ーパイロットボーリング調査に基づく湧水量予測解析ー

日本原子力研究開発機構 正会員 ○大山 卓也 正会員 三枝 博光
正会員 尾上 博則 竹内 竜史
大成建設株式会社 正会員 下茂 道人 正会員 熊本 創

1. はじめに

「瑞浪超深地層研究所における研究と建設の現状と課題（その2）」¹⁾で示されているように、立坑沿いの花崗岩中での地質環境特性（地質・地質構造、岩盤水理、水質など）を適切に把握し、今後の瑞浪超深地層研究所（以下、研究所）における立坑掘削の施工計画に反映するため、両坑底からパイロットボーリング調査が実施された。本報告では、立坑掘削に伴う湧水量の予測とグラウト施工計画に資することを目的として、地表からの調査予測研究段階（以下、第1段階）から本調査までに取得された情報を用いて実施した湧水量の予測解析結果について報告する。

2. 実施内容

湧水量の予測は、研究用地周辺の地下水流動を規制すると考えられる断層などの水理地質構造や研究坑道を考慮した現実的な三次元モデルに基づく解析を行った。また、グラウティングによる湧水量低減効果を把握するため、特に湧水量が多いと予測される換気立坑近傍の水理地質構造のみをモデル化した簡易的な二次元軸対称モデルに基づき、グラウティングによる改良幅をパラメータとした感度解析を実施した。

(1) 三次元モデル

三次元モデルでの解析領域は、境界条件が解析結果に及ぼす影響を避けるために、尾根線や河川などの分水路で囲まれた約9km四方とし²⁾、主立坑、中間ステージ、最深ステージ及び予備ステージなどをモデルに取り込んだ。また、第1段階での調査研究、立坑壁面調査及びパイロットボーリング調査¹⁾で抽出された断層もモデル化し、深度1,000mまでの掘削を模擬した解析を行った。掘削後の立坑壁面は覆工コンクリートなどの影響により、大気圧開放と不透水境界の間にあると考えられるため、「圧力開放係数： α 」の概念を導入した。立坑壁面の境界は、掘削前の初期水圧と大気圧の差にこの α を掛けて求めた水圧を設定した³⁾。 α が0の場合は大気圧開放状態、1の場合は不透水状態を示す。本解析では α を0.2と仮定した。

水理地質構造区分は、立坑壁面調査結果とパイロットボーリング調査結果¹⁾に基づき、透水コントラストの観点から堆積岩を4層に分け、花崗岩は割れ目の分布密度が相対的に高い岩盤領域（以下、UHFD）と割れ目の分布密度が相対的に低い岩盤領域（以下、LSFD）に分類し、さらにUHFD中で特に透水性の高い低角度傾斜を有する割れ目の集中帯（以下、LAFZ）をモデル化した。

キーワード 湧水量、パイロットボーリング、感度解析、水理地質構造モデル

連絡先 〒509-6132 岐阜県瑞浪市明世町山野内1-64（独）日本原子力研究開発機構 TEL:0572-66-2244

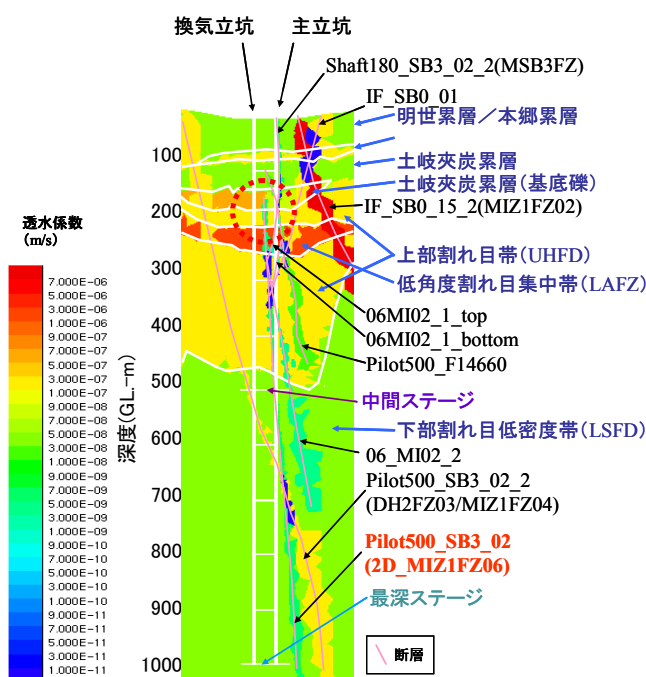


図-1 水理地質構造モデル（三次元モデル）

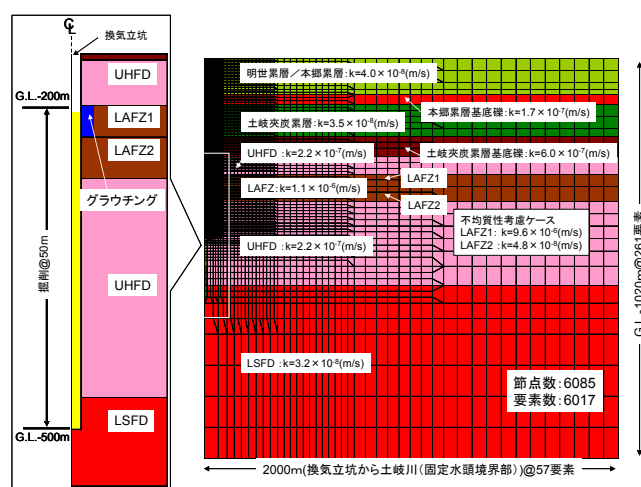


図-2 水理地質構造モデル（二次元軸対称モデル）

水理パラメータは、第1段階での調査研究で得られた値とパイロットボーリング調査結果¹⁾の両者を総合的に解釈して設定した(図-1)。また、上部境界条件として涵養量(80.5mm/year)を与えた。解析には、等価不均質連続体モデルを用いた有限要素法による三次元飽和不飽和浸透流解析コードである EQUIV_FLO⁴⁾を使用した。なお、本解析に用いる水理地質構造モデルは、パイロットボーリング調査実施前までの立坑掘削において得られた湧水量データを用いたキャリブレーションを行うことで構築されたものである。

(2) 二次元軸対称モデル

二次元軸対称モデルは、換気立坑中心を中心軸、鉛直方向に約1,000m、水平方向に定水位境界と考えられる河川までの約2,000mを解析領域とし、当面の目標である深度500mまでの掘削を模擬した解析を行った。掘削後の立坑壁面は、大気圧開放の浸出面境界とした。

水理地質構造区分及び水理パラメータは、三次元モデルと同様とした。グラウチングの対象は、湧水量が多いことが予測されているLAFZとし、グラウト部の透水係数を $2.7 \times 10^{-7} \text{m/s}$ (2ルジオン相当)、改良幅を0m(グラウトなし)、2m、3m、4m、5mの5ケースを設定した。さらに、水理学的不均質性を考慮したケースとして、パイロットボーリング調査に基づき、LAFZを湧水が多量となる部分(LAFZ1)とそれ以外の部分(LAFZ2)に分けてモデル化し、透水係数はパイロットボーリング調査で得られた値を用いた(図-2)。このモデルを用いて、上記と同様にグラウチングの改良幅を5ケース設定した解析を実施した。解析には、有限要素法による飽和不飽和二次元浸透流解析プログラムであるAC-UNSAF2D⁵⁾を使用した。

3. 解析結果

三次元モデルによる解析の結果、総湧水量は約3,600m³/dayとなり、主立坑(約790m³/day)と比較して換気立坑(1,420m³/day)からの湧水量が多いこと、深度200m付近のLAFZや、水平坑道からの湧水量が多いことが示された(図-3)。

二次元軸対称モデルによる解析の結果(図-4)、LAFZにグラウチングを行うことで、LAFZの水理学的不均質性を考慮しないケースにおいて、グラウトにより約30~40%湧水量を低減できること、水理学的不均質性を考慮したケースでは、約70~75%湧水量を低減できることが示された。また、改良幅に着目すると、特に不均質性を考慮したケースで、改良幅を2mから5mまで変化させても、湧水低減率に大きな違いがないことが示された。

4. 結論

立坑への湧水量は低透水性の断層の分布に大きく影響されると考えられることから、より確度の高い湧水量の予測には、地質学的調査や水圧モニタリングを組合せた総合的な地質環境特性に関する解釈を行うとともに、新たに解釈されたデータに基づいたモデルの更新や解析を行いつつ立坑掘削を進めることが重要と考えられる。

また、感度解析の結果から、LAFZをグラウチングすることによって湧水量を大きく低減できる結果が得られた。このように、局所的に透水性が高く、水みちとなるような構造を対象としてグラウチングすることで、高い湧水低減効果が期待できる。したがって、このような構造を把握し、適切にグラウチングすることが湧水量を低減するには重要と考えられる。

参考文献

1)竹内ほか、土木学会第62回年次学術講演会講演要旨(2007)。2)稲葉薫ほか、地下水学会誌、第47巻第1号、pp.81-95(2005)。3)三枝博光ほか、日本地下水学会2006年秋季講演会(2006)。4)下茂道人、山本肇、大成建設技術研究所報、pp.257-262(1996)。5)西垣誠ほか、岡山地下水研究会(2005)。

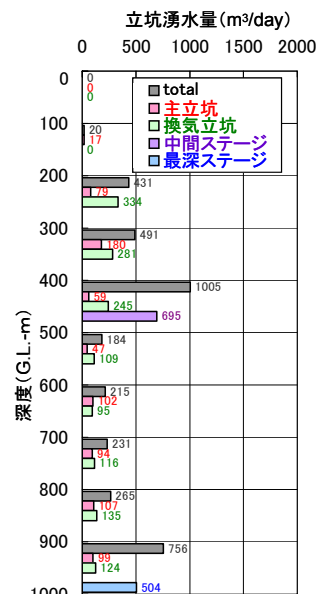


図-3 解析結果

(三次元モデルによる
1000m掘削後の定常状態)

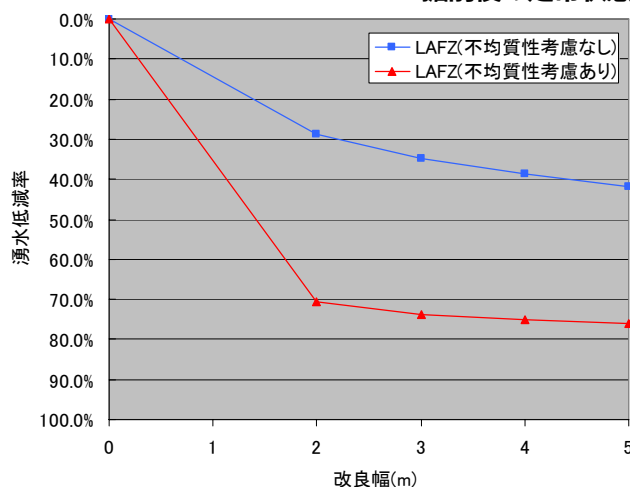


図-4 二次元軸対称モデルを用いた感度解析結果