

地層処分場 地下施設の簡易な湧水量算定式の開発 —透水係数（岩種）の違いに応じた算定式の検討—

原子力発電環境整備機構 正会員 ○野尻 慶介 鈴木 寛 窪田 茂
清水建設(株) 正会員 辻 正邦 沖原 光信 戸栗 智仁

1. はじめに

原子力発電環境整備機構（NUMO）は、地層処分場の安全確保に関する技術的信頼性を向上させるため、事業期間中の安全確保を、セーフティーケースで示すべき重要なテーマの一つとして検討を進めている。大深度で高水圧下における地下施設では、坑道内に湧出する地下水（湧水）が恒常的に発生するため、開放された坑道全長におよぶ湧水を地上に汲み上げる排水設備の設計を適切に実施し、作業従事者の安全を確保するとともに、建設・操業の施工性を確保する必要がある。一方で湧水対策は、事業費に与える影響も相当大きくなることが想定される。このため、サイトが特定できない現段階や、地質環境情報の不確実性が大きいと考えられる調査の初期段階においては、簡易に恒常的な湧水量を推測できる手法を整備することが重要であると考えた。そこで、解析検討により導いた算定式により、透水係数（岩種）の違いに応じて、簡易に地下施設の恒常湧水量を予測できる手法を開発したため、その概要を報告する。

2. 簡易な湧水量算定式の概要

既往の検討¹⁾では、坑道が多数接続するような複雑な坑道網の掘削又は開放による水圧の低減効果（補正量）の影響を反映するため、坑道の接続本数、接続間隔等をパラメータとした三次元有限要素モデルを用いた地下水流動解析を実施し（図-1）、単一坑道の湧水量を算定する理論式（図-2）に対して湧水量算定式を補正するためのパラメータフィッティングを実施し、簡易な湧水量算定式を提案した（図-3）。

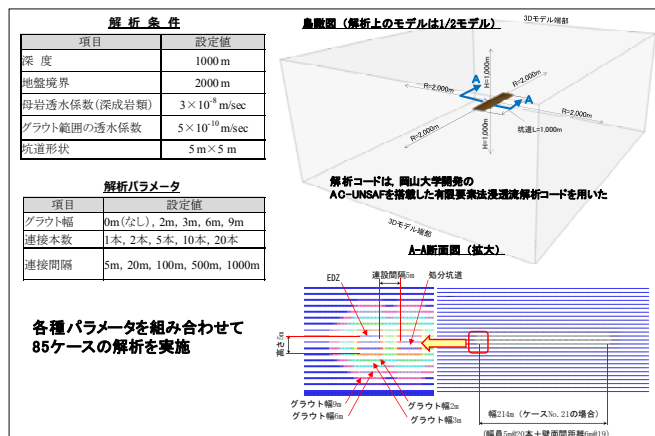


図-1 地下水流動解析の概要

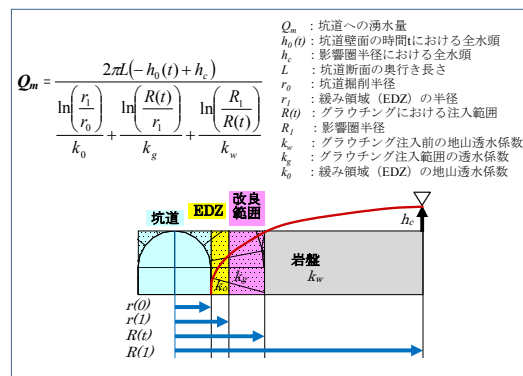


図-2 理論式（見掛ら²⁾）

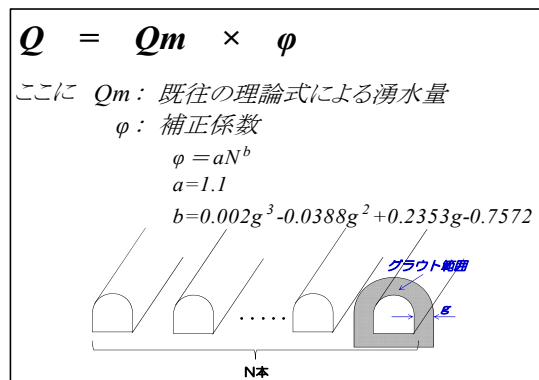


図-3 簡易な湧水量算定式 ($k_w = 3 \times 10^{-8}$ m/s)

3. 透水係数（岩種）の違いに応じた算定式の検討

図-3 の算定式は、セーフティーケースにおいて処分場の設計から安全評価まで一連の検討を実施している複数の岩種（候補母岩）のうち、深成岩類のモデル相当における透水係数 (3×10^{-8} m/s) を対象としており、オーダーが異なる透水係数の岩種では適用が不可能である。そこで、透水係数が変化しても（他の岩種でも）適用が可能となる算定式の検討を行った。検討は、透水係数が1 オーダー小さい岩種である新第三紀堆積岩類および先新第三紀堆積岩類のモデル相当で解析を行い、深成岩類のモデル同様の手順で簡易な算定式を設定した。

キーワード 地層処分, 湧水量算定式, 数値解析, グラウチング

解析は、透水係数を $2 \times 10^{-9} \text{ m/s}$ とし、式の補正係数 (ϕ) に影響するパラメータを坑道の接続本数 (N) とグラウト幅 (g) に絞って行い、パラメータフィッティングにより図-4 に示す算定式を得た。以上より、 $3 \times 10^{-8} \text{ m/s}$ と $2 \times 10^{-9} \text{ m/s}$ の透水係数に対応した補正係数 ϕ を得ることができた。

つぎに、同じオーダーの透水係数が変化した場合の適用性について確認した。図-5 に 10^{-8} のオーダーにおいて、接続とグラウチングの有無で算定した湧水量の比較を示す。図-5 (左) の接続なしのケースでは、透水係数が小さくなるにつれて、グラウチングの効果が小さくなるような一般的な特徴が出ていることがわかる。一方で、接続効果を考慮した湧水量は、図-5 (右) のようにグラウチングを施工した方が大きくなる逆転が生じる。これは図-6 (図-5 の右と左を合わせたグラフ) に示すように、坑道が接続する場合、グラウチングを施工しない場合の湧水量の低減量が、施工する場合の低減量よりも相当大きく (接続効果が大きい) 且つ、透水係数が小さくなるにつれて低減する湧水量も大きい (直線の傾きが大きい) ためである。

$$Q = Q_m \times \phi$$

ここに Q_m : 既往の理論式による湧水量
 ϕ : 補正係数
 $\phi = aN^b$
 $a = 0.8$
 $b = 0.0127g - 0.7489$
 ここに N : 坑道の接続本数
 g : グラウト幅

図-4 算定式 ($k_w = 2 \times 10^{-9} \text{ m/s}$)

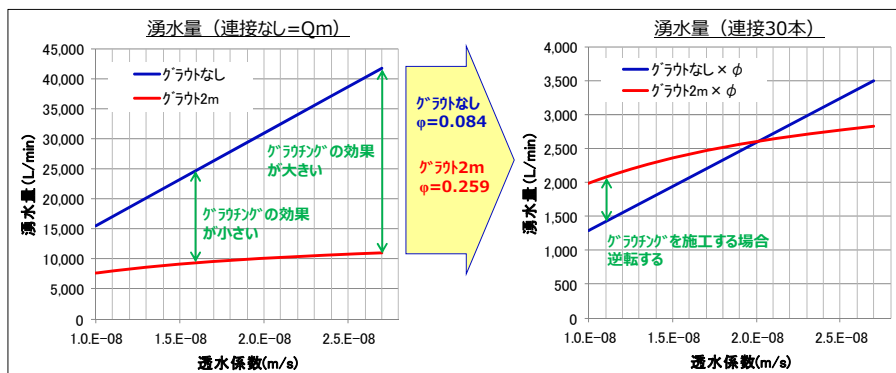


図-5 坑道の接続とグラウチングの有無で算定した湧水量の比較

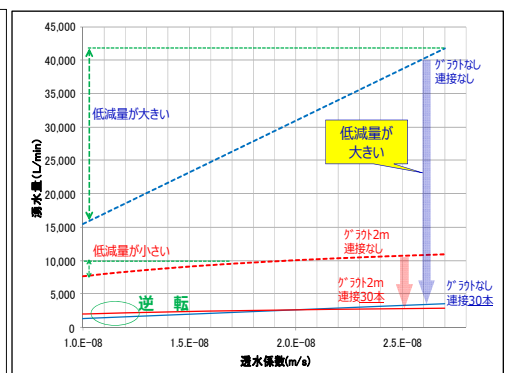


図-6 低減量の比較

そこで、グラウチングを施工すれば湧水量の低減効果が小さくなるような特徴を反映させ、広く適用できる算定式とするため、 $3 \times 10^{-8} \text{ m/s}$ (図-3) と $2 \times 10^{-9} \text{ m/s}$ (図-4) の間の透水係数における「 $Q = Q_m \times aN^b$ 」のうちの a と b の値を、グラウト幅に応じて内挿により補完しておき、それを表-1 に示すような早見表として整備しておくことにより、簡易な湧水量の算定を可能とした。図-7 に早見表を利用して算定した湧水量の例を示す。透水係数が小さくなるにつれて、グラウトの効果も小さくなる特徴が出ていることがわかる。

4. おわりに

本検討では、サイトが特定できない現段階や調査の初期段階で活用できる地下施設のための湧水量算定について、透水係数 (岩種) に応じて適用可能な早見表を活用して簡易に湧水量を算定する手法の開発を行った。ただし、透水係数が $2 \times 10^{-9} \sim 3 \times 10^{-8} \text{ m/s}$ の地質環境に適用できるものであることに留意する必要がある。

表-1 a と b の早見表

透水係数 (m/sec)	a	グラウト幅に応じた「b」				
		0.0	2.0	3.0	4.0	5.0
2.0.E-09	0.8	-0.749	-0.724	-0.711	-0.698	-0.685
2.2.E-09	0.8	-0.749	-0.721	-0.708	-0.695	-0.682
2.4.E-09	0.8	-0.749	-0.719	-0.705	-0.692	-0.679
2.6.E-09	0.8	-0.749	-0.716	-0.702	-0.689	-0.676
2.8.E-09	0.8	-0.749	-0.714	-0.699	-0.686	-0.673
2.8.E-08	1.1	-0.758	-0.415	-0.333	-0.295	-0.287
3.0.E-08	1.1	-0.758	-0.394	-0.307	-0.267	-0.259

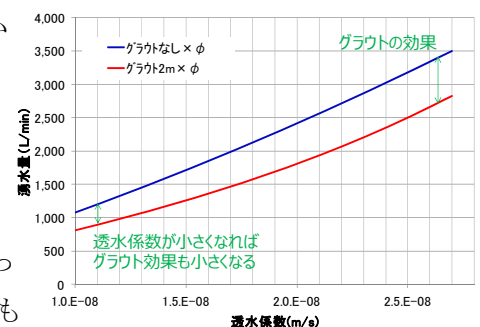


図-7 湧水量 (早見表で計算)

参考文献

- 1) 野尻 慶介, 鈴木 寛, 窪田 茂 (2017): 地層処分場 地下施設の排水設備の設計方法の検討(その2) — 簡易な湧水量算定式の開発 —, 土木学会第 72 回年次学術講演会 (平成 29 年 9 月), 講演概要集 VII-037
- 2) 見掛信一郎, 西垣誠, 佐藤稔紀 (2014): グ라우チングの注入範囲設定に関する浸透力を考慮した評価理論の構築, 土木学会論文集 C (地圏工学), Vol.70, No.1, pp.30-43.