

海水条件下での溶液型グラウト特性データの取得 (その5)

ー海水条件下でのモデル化・数値解析への適用性検討ー

清水建設(株) 正会員○辻 正邦 正会員 沖原光信

正会員 中島 均 正会員 齋藤 亮

日本原子力研究開発機構 正会員 佐藤稔紀

日本原子力研究開発機構(現:熊本県庁) 正会員 榎永幸介

1. はじめに

活性シリカコロイドの溶液型グラウトは浸透性や耐久性に優れており、放射性廃棄物の地層処分において坑道や処分孔の掘削時の湧水抑制対策技術への適用が期待されている。近年は、処分場が沿岸域に計画される可能性も検討されているため、海水条件下での使用を想定した溶液型グラウトの適用性の確認や特性データの整備を進めている^{1), 2), 3), 4)}。溶液型グラウトを海水条件下でのモデル化や数値解析への適用するにあたり、北欧で適用されている溶液型グラウトの浸透モデルをもとに、海水条件下へ適用時の浸透理論を検討した。

2. 北欧における溶液型グラウトの設計手法について

スウェーデンの Chalmers 工科大学において、岩盤亀裂評価と溶液型グラウトのゲル化を考慮した浸透理論に基づく合理的なプレグラウチングのためのグラウト設計手法が提唱されている(調査から設計の一連のフロー、図-1 参照)。

この設計フローでは、坑道掘削後の許容湧水量を設定し、①長尺のプレボーリング孔等による掘削する坑道の岩盤亀裂評価のための予備調査を行う。次に、②調査結果から掘削範囲における岩盤亀裂の透水量係数の総和と分布を算出し、③想定される亀裂開口幅の分布をもとに⑥掘削後の湧水量を予測する。その湧水量が設定した許容湧水量を満たすよう「グラウト浸透モデル」を用いて④適切な材料選定と⑤グラウト浸透距離に基づく孔配置を設計する。この手法は、スウェーデンの実施主体による地下研の深度 450m での岩盤止水プロジェクト⁵⁾やフィンランドの実施主体による地下研の深度 420m でのグラウトプロジェクト⁶⁾で採用されてきた。

3. 北欧における溶液型グラウトの浸透理論

北欧で開発された溶液型グラウトのグラウト浸透理論式を(数式-1)に示す⁷⁾。ここで、 $I_{max, 2-D}$ はグラウト孔と交差する亀裂からグラウトが円盤状(2D)に広がる時の最大浸透距離(理論上の半径)、 b は水理学的亀裂開口幅、 Δp はグラウト注入差圧(注入圧と湧水圧の差)、 t_g はゲル・インダクションタイム、 μ_0 は溶液型グラウトの配合時の初期粘性である。 t_g はゲル

化特性のある溶液型グラウトの浸透理論特有の時間(粘性が配合時の2倍になる時間)であり、特筆すべきは最大浸透距離が t_g に依存する点である。また、経験上 t_g はゲルタイムの約1/3の時間とされている。図-2に、注入時間に応じた粘性の変化ならびにゲル化の考慮の有無に応じた浸透距離の成長曲線を示す。

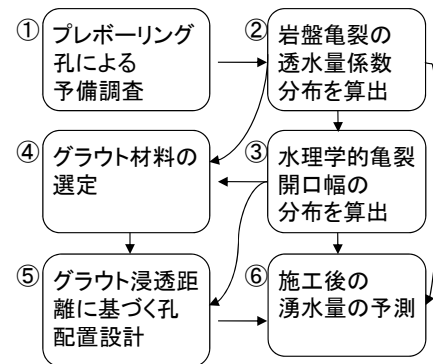


図-1 Chalmers 工科大学が提唱して北欧の地下研で実践されてきたグラウト設計フロー

$$I_{max, 2-D} = 0.45 \cdot b \sqrt{\frac{\Delta p t_G}{6 \mu_0}} \quad (\text{数式-1})$$

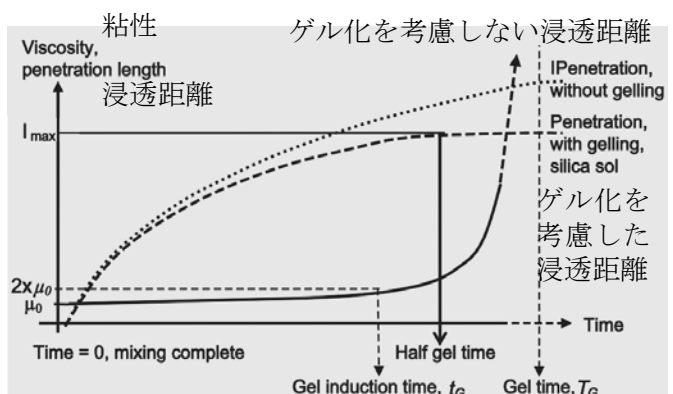


図-2 溶液型グラウトの浸透理論に基づく注入時間に対する粘性および浸透距離の関係⁷⁾

キーワード 地層処分、海水条件、岩盤グラウチング、活性シリカコロイド、溶液型グラウト、浸透理論

連絡先 〒135-8530 東京都中央区京橋2丁目16-1 清水建設(株)土木技術本部バックエンド技術部 TEL: 03-3561-3919

4. 海水条件下での溶液型グラウトの浸透理論の検討

フィンランドのAalto大学では様々な亀裂開口幅を模擬して異なる粒径を分布させたサンドコラムを用い、塩水系地下水で満たした場合と水道水で満たした場合において溶液型グラウトを浸透させる比較実験が実施されている。海水・淡水条件下におけるグラウト注入量の経時変化の比較結果の一例を図-3に示す。淡水環境下(Putki1)では35分程度まで浸透するのに対し、海水環境下(Putki2)では10分程度で浸透が止まっていることが分かる。ここでのゲルタイムは60分であり、 t_g はゲルタイムの約1/3と前述したが、この結果において淡水環境下(Putki1)ではゲルタイムの1/3にあたる約20分経過時に、おおむね最大の浸透距離に到達し、浸透理論に合致していることが分かる。一方で、海水環境下(Putki2)では、淡水環境とほぼ同等の成長曲線を描くものの、ゲルタイムの1/6にあたる約10分経過時に最大注入量に到達している。

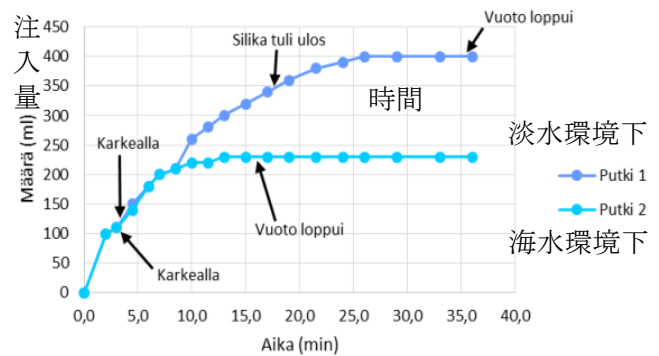


図-3 淡水環境下(Putki1)と海水環境下(Putki2)におけるグラウト注入量の経時変化の例⁸⁾

海水条件下でグラウト浸透モデルを適用するにあたり着目したことは、海水環境下においてグラウトが海水と混ざり合うことによってゲルタイムが早く、すなわち t_g が短くなっているが、その時点までは淡水環境下と同様の挙動を示すことである。そこで、 t_g を補正するパラメータとして補正関数 ϕ を追加することにより、「海水適用時のグラウト浸透理論」(数式-2)を考案し

た。ここでは、海水条件下で $t_g=60$ 分 $\times 1/3 \times$ 【補正関数 ϕ 】=10 分であることから、 $\phi=0.5$ の定数が妥当

$$I_{max,2-D} = 0.45 \cdot b \sqrt{\frac{\Delta p t_g \phi}{6\mu_0}} \quad (\text{数式-2})$$

と考えられる。したがって、この補正関数を考慮した浸透理論を開発・適用することにより、従来型の溶液型グラウトであってもモデル化することができ、今後の浸透距離の数値解析へ反映ができるといえる。

一方、(その4)で検討した海水対応グラウトについては、pH調整剤を配合することにより海水との接触による急激な白濁(硬化)を抑制した配合である。フィンランドでは海水対応グラウトがなく、ゲル化が早まる施工不具合・不確実性が報告されているが、国内の海水対応グラウトの適用現場では不具合が報告されておらず、海水対応グラウトの場合は補正関数 ϕ による浸透量の補正は考慮しなくて良いことが示唆される。

なお、実際の岩盤内の亀裂ネットワークでは、海水系地下水との混ざり具合などが複雑になる可能性があり、その他多くの条件に依存する可能性もあるため、補正関数 ϕ は定数と設定できるかを含めて今後さらなる検討が必要であるといえる。最後に、北欧のChalmers工科大学からは、異なる材料・地下水環境下において平行平板等の実験装置に対して注入試験を行い、理論の妥当性を検証すべきとのアドバイスを得た。

5. おわりに

海水条件下でのモデル化・数値解析への適用に資するため、北欧における溶液型グラウト浸透理論に基づいて「海水条件下におけるグラウト浸透理論式」を考案した。今後は理論の妥当性検証のため、グラウト浸透にかかる室内実験を実施する予定である。本試験は、資源エネルギー庁の委託事業(平成29年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に係る技術開発事業:沿岸部処分システム高度化開発)の一環として実施した。また、Chalmers大学のJohan Funehag博士に多くのアドバイスを頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 杵永幸介, 他: 海水条件下での溶液型グラウト特性データの取得(その1)ー研究の概要ー, 土木学会第72回年次学術講演会, pp273-274, 2017.
- 2) 辻正邦, 他: 海水条件下での溶液型グラウト特性データの取得(その2)ー海外の地層処分のためのグラウト技術に関する最新動向ー, 土木学会第72回年次学術講演会, pp275-276, 2017.
- 3) 中島均, 他: 海水条件下での溶液型グラウト特性データの取得(その3)ー基本物性試験ー, 土木学会第72回年次学術講演会, pp277-278, 2017.
- 4) 中島均, 他: 海水条件下での溶液型グラウト特性データの取得(その4)ー海水対応グラウトの基本特性ー, 土木学会第73回年次学術講演会(投稿中), 2018.
- 5) Johan Funehag: Injekteringen av TASS-tunneln Design, genomförande och resultat frånförinjekteringen, SKB R-10-39, 2011.
- 6) Kalle Hollmén 他: Colloidal Silica- Grouting in Demonstration Tunnel 2 in ONKALO, POSIVA Working Report 2012-84, 2013.
- 7) Johan Funehag: Injekteringen av TASS-tunneln Design, genomförande och resultat frånförinjekteringen, SKB R-10-39, 2011.
- 8) Lehtonen H.: Impact of groundwater salinity on penetration of colloidal silica, Aalto University, 2015.