

ダム基礎処理における実施工を模擬したグラウト浸透シミュレーション

鹿島建設(株) 正会員 ○栗原啓丞 三好貴子 升元一彦 石橋正祐紀

1. 目的

ダム工事における基礎処理工のグラウチング注入孔には、規定孔と追加孔の二種類がある。基礎処理工では規定孔であるパイロット孔（P孔）、1次孔、2次孔の施工は必須となっているが、追加孔である3次孔以降については施工が必須ではなく、その要否ならびに施工はルジオン試験の結果に基づいて経験的に判断されているのが現状である。そこで、筆者らは追加孔の要否ならびに施工位置の判断に資することを目的とした、亀裂性岩盤におけるグラウト浸透シミュレーションプログラムの開発に取り組んでおり、これまでに複数の孔へのグラウチング注入をシミュレーションするプログラムの開発を行っている¹⁾。本稿では、規定孔までの注入実測値を用いてシミュレーションの最適化を行ったので、その概要と試適用事例について報告する。

2. グラウト浸透シミュレーションプログラムの概要

本プログラムはダム基礎処理工における一注入ブロック（幅12m）を対象としている。規定孔までの各孔におけるグラウト注入量ならびに水押し試験結果をインプットデータとし、規定孔までのグラウト注入実績があることを前提として、規定孔へのグラウト完了時における基礎岩盤の透水性分布を次の手順で予測する。まず、亀裂性岩盤のモデル化手法として、岩盤内の割れ目を確率論的に直接モデル化できる三次元割れ目ネットワークモデルを採用し、それをLT-FLOW²⁾プログラムを用いてパイプモデルに変換する（割れ目モデルの作成方法については既報³⁾を参照）。作成したパイプモデルを用いて水理解析による流量の取得、その流量に応じたパーティクルトラッキング、パーティクルが通過したパイプの透水性の低減、という3つのステップをP孔-1→P孔-2→1次孔・・・と繰り返すことで、対象とする注入ブロックにおいてグラウトの浸透範囲が広がっていき、岩盤内の透水性が低減されていく現象を模擬する。これらのステップが実施工におけるグラウト注入実績を確実にシミュレーションできるように、以下に示す規定孔施工時の実測値を用いた二段階の最適化プロセスを解析に組み込んでいる（図-1）。

2.1 初期透水性のコンディショニング

一段階目のコンディショニングは、パイプモデルを構成するパイプの断面積の調整である。グラウトの通り道となるパイプは透水性と断面積の情報をもち、これらによってパイプにおけるパーティクルの通過量が決まる。対象ブロックにおいてグラウト注入前のP孔におけるルジオン値が得られるように、モデル内のすべてのパイプの断面積の値をルジオン値に比例して調整する。

2.2 透水性低減率のコンディショニング

二段階目のコンディショニングは、実測値に即した透水性の低減関数の推定である。本プログラムに

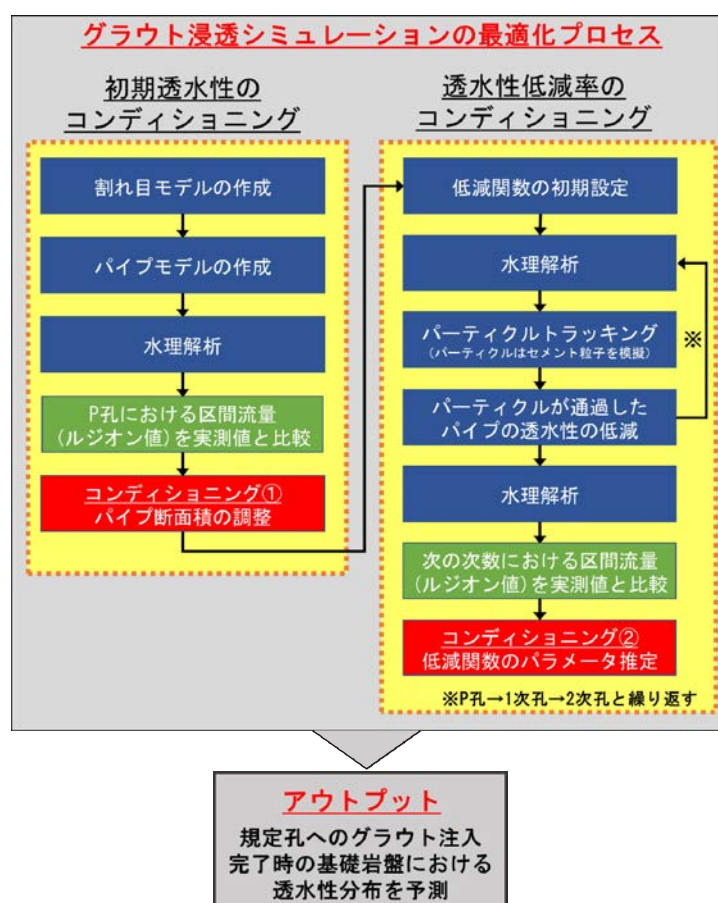


図-1 グラウト浸透シミュレーションの最適化

キーワード グラウト、シミュレーション、亀裂ネットワーク、パイプモデル

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL042-489-6659

において、低減関数とはパイプにおいてパーティクルが通過する毎に低減される透水性の割合を表す。この関数は、施工実績であるグラウト注入量とルジオン値の関係から推定する。さらに、この関数のパラメータを調整することで、規定孔におけるルジオン値の低減率の解析結果と実測値の誤差が最も小さくなるようにする。

3. ロックフィルダムの基礎岩盤における検証結果

ロックフィルダムの基礎岩盤を対象に、今回開発したグラウト浸透シミュレーションプログラムを適用した。基礎岩盤の地質は結晶質であり、主に5ルジオン以下の難透水岩盤である。解析モデルの範囲は80m×80m×50mと設定し、計5本のボーリング孔（P孔-1、P孔-2、1次孔、2次孔-1、2次孔-2）をモデル化した。モデルは5リアライゼーション作成し、そのすべてに対してグラウト浸透シミュレーションを実施した。前章で述べたコンディショニングは2次孔-1までのデータを用いて行い、2次孔-2のデータは検証用として使用した。各孔におけるグラウト注入前のルジオン値を実測値（水押し試験結果）と解析値で比較したものを図-2に示す。解析値（5リアライゼーション）の結果を箱ひげ図で示している。なお、P孔-1においては、パイプの断面積をコンディショニングしたため実測値と解析が一致している。また、すべての孔で実測値が解析値の最大値—最小値間に位置していることが確認できる。検証用として、コンディショニングに使用しなかった2次孔-2においても、解析値が実測値を高い精度で予測できていることが分かる。図-3にグラウト注入による透水性変化率の三次元分布を示す。変化率はグラウト注入前後の透水性を比較した値であり、透水性に変化がないときに1となる。次数が増加するにつれて、基礎岩盤の透水性が減少している事象が確認できる。

4. まとめ

今回開発したグラウト浸透シミュレーションプログラムをロックフィルダム基礎岩盤に試適用した結果、各孔における水押し試験で得られたルジオン値を高い精度で予測できていることを確認した。今後は、ダム現場における適用実績を増やし、さらにプログラムの改良、高度化に取り組む予定である。

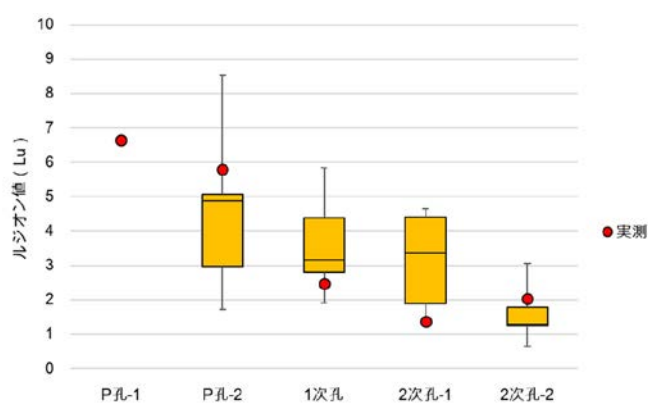


図-2 実測値と解析値のルジオン値の比較

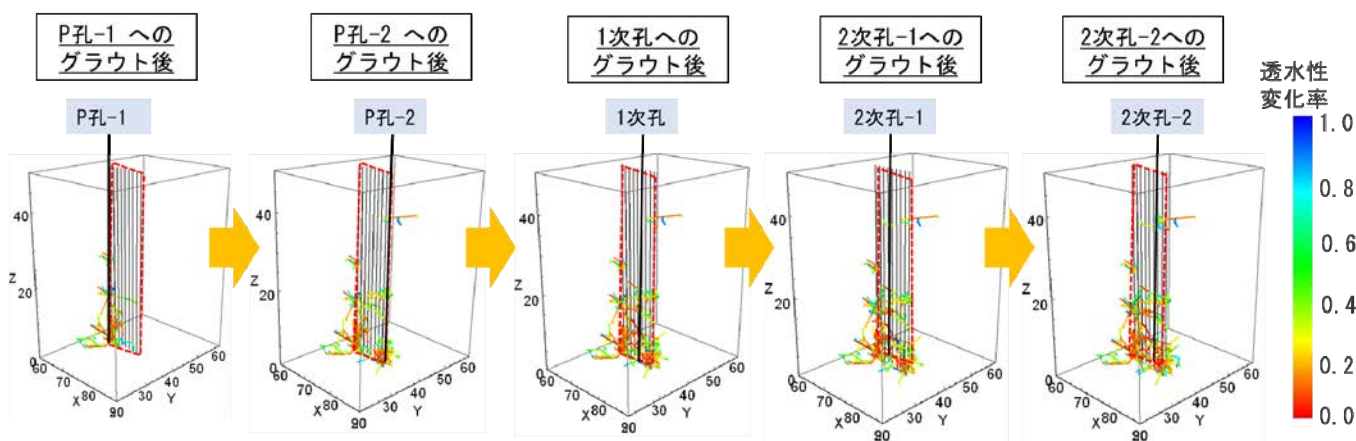


図-3 グラウト注入による透水性変化率の三次元分布

参考文献

- 1) 三好ほか：割れ目ネットワークを用いたグラウト浸透シミュレーション，土木学会第75回年次学術講演集，III-397.2020.
- 2) Masumoto, K., Nonaka, H., Nakajima, M., Atsumi, H., and Kawabata, J. Application of discrete fracture network model to evaluation of groundwater inflow control around disposal tunnels. 2nd International Discrete Fracture Network Engineering Conference. 18-1842. 2018.
- 3) 渥美ほか：ダム基礎岩盤透水性の割れ目ネットワークモデルによる評価の試み，地下水学会2016年春季講演会，pp.58-63, 2016.