

Ⅲ - 334

フラクチャーネットワークを利用したグラウト剤の浸透解析手法

○電源開発 正 員 佐野 正幸
 東京大学 正 員 堀 宗朗

1. まえがき

ダム建設に際して、岩盤改良のためのグラウチングの重要性に関しては論ずるまでもない。特に止水はダム機能の本質とも言うべき課題である。過去の経験を活かすことは勿論のこと、適切なグラウチングには岩盤の透水特性を把握した合理的な施工法の立案が必要である^{1,2)}。最良の構造物を設計する際に設計条件を変えて構造解析を行うことと同様、グラウト計画の立案には、注入孔の配置・間隔やグラウト剤の配合・注入圧力・注入量等の仕様を変えた場合、どのように透水特性が改善されるかを解析できる手法が望まれる。水みちに関する情報が限られているため、岩盤内の水みちを同定して解析する代わりにモンテカルロシミュレーションによって適当な水みちを多数想定し、フラクチャーネットワーク解析を行うことが一つの方針である。この構想に基づき、本研究では1) 地質情報の他にルジオン試験で測定される圧力-流量関係を利用してネットワークを発生させ、2) 個々のクラック内でのグラウト剤の浸透・硬化の解析からネットワーク全体での浸透をシミュレートする、という2つの特徴を持つグラウト剤の浸透解析手法を提案する。

2. 解析手法

最初に、本解析手法の第1の特徴であるフラクチャーネットワークの発生に関して説明する。水みちを再現するためには、岩盤内の亀裂を円盤状クラックと仮定して径・法線方向・密度・厚さの4つのパラメータを決定することが最低限必要である。表1に示すように、法線方向と厚さは地質情報

から推定できる。さらに、亀裂間隔から半径と密度の関係式が一つ得られることを利用して、ルジオン試験のフラクチャーネットワーク解析から測定されたルジオン値や圧力-流量関係を最もよく再現する半径と密度を推定することができる。また、解析領域からグラウト孔の配置と間隔を設定することも可能である。

パラメータ	推定方法
厚さ	亀裂開口幅
法線方向	走行傾斜
密度	亀裂間隔+ルジオン試験の圧力-流量関係
径	亀裂間隔+ルジオン試験の圧力-流量関係

表1 ネットワーク発生のパラメータの推定方法

ついでクラック内の浸透流について説明する。遅い平行盤層流を仮定することで、円盤状クラック内の流体の圧力は2次元のラプラス方程式によって支配されることが示される。この結果、他のクラックとの交線としてインターセクションが決定されると、ネットワーク全体のインターセクションの圧力と流量に線形関係が成立する。さらに、ネットワークの端部の条件を適当に設定することで非定常な流れの自由境界値問題を定常解析によって近似的に解くことが可能になる³⁾。なお、グラウト剤の硬化は粘性の低下として考え、初期粘性 μ_0 と硬化時間 t_c のグラウト剤の t での粘性を $\mu(t) = \mu_0 / \{1 - (t/t_c)\}$ とするモデルを仮定する。

3. グ라우チングのシミュレーションの例

フラクチャーネットワークによる亀裂パラメータの影響を示す。径 3[m] 厚さ 1[mm] の亀裂が等方的に入った岩盤を考え、亀裂中心が長さ 8[m] 高さ 5[m] の円周角の扇形柱の中に入った場合を想定する。図1に発生するネットワークの例を示す。亀裂密度を変えて、亀裂間隔を 2.5 ~ 1[1/m] として、20 回のルジオン試験をシミュレーションした。同一のパラメータから発生するネットワークにおいても、クラックの位置やインターセクションの噛み合わせに相当量のばらつきが生じる。したがって、得られる圧力-流量関係が異

なるため、計算結果に統計処理を施す必要がある。例として平均として得られる圧力－流量関係を図2に示す。亀裂密度が増大するにつれてルジオン値の増加や圧力－流量関係の変化が示された。

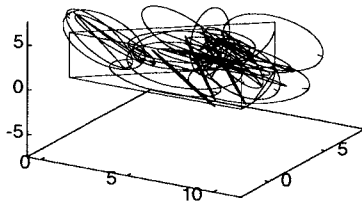


図1 ネットワークの例

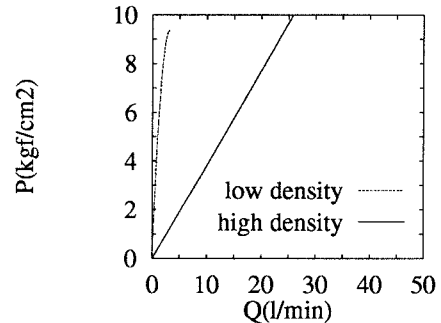


図2 圧力－流量関係の比較

ついで、3つの配合のグラウト剤（粘性は各々0.057, 0.022, 0.013 (gs/cm^2)）を180分の間に順次岩盤内に注入していくグラウチングのシミュレーションを行う。グラウト剤は粘性の小さいものから大きいものへ圧力を増加させて注入する。亀裂密度の大きい岩盤と小さい岩盤に対して、どのような注入仕様が適当であるかを判定することを想定して、仕様1：粘性の最小のグラウト剤を80分間注入，仕様2：粘性の最大のグラウト剤を80分間注入，という2つの仕様を設定する（詳細は参考文献3）参照）。密度が異なる岩盤に対してこの仕様の注入を行った時に得られる圧力－流量関係を図3.と図4.に示す。亀裂密度の大小や仕様によって、圧力－流量関係に差が生じることがわかる。この結果のみからは解析の妥当性を即断できないが、ネットワークや仕様の差が解析には反映されることは確認できた。なお、グラウトの浸透範囲の差も判定することが可能である。

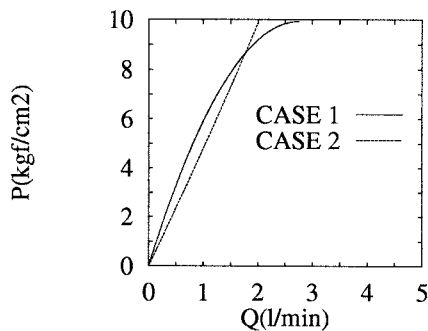


図3 亀裂密度の大きい場合

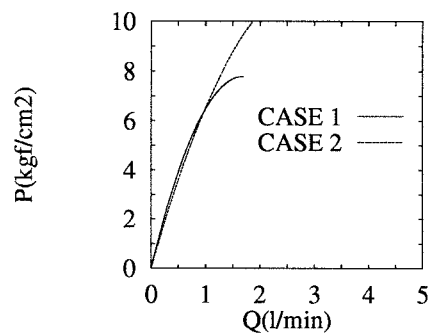


図4 亀裂密度の小さい場合

4. 今後の課題

実際のグラウチングの施工例をシミュレーションし、提案されたグラウト解析手法の実用性を検討することを計画している。また、解析から得られる注入量や浸透範囲によって岩盤の改良の判定を行うことの妥当性に関して、現在までに培われた知見と照らし合わせることに焦点を当てる予定である。

参考文献

- 1) 大西, 中川他: 岩盤節理の幾何学的分布性状の推定に関する研究, 土木学会論文集, 第499号, pp. 59-68 (1994)
- 2) 新高, 永山他: ダム基礎のグラウチング特性とグラウチングの硬化判定に関する一考察, 岩盤力学シンポジウム (1995)
- 3) 佐野: フラクチャーネットワーク解析を利用したグラウチング法の一提案, 東京大学修士論文