

グラウト浸透挙動に関する数値解析的検討（その2）

足立紀尚*・細田 尚**

1. 研究の目的

グラウチングは、ダム基礎地盤での止水性の改良を主体として開発された技術で、ダム基礎やトンネル掘削などの分野で数々の実績を残してきている。その一方で、グラウトの設計・施工は実績や経験に基づいて行われてきたことから、そのメカニズムや理論は十分に確立されておらず、注入仕様や改良効果の定量的評価が曖昧となっている。特に、亀裂性岩盤においてグラウト止水効果の性能指標は、注入圧力やグラウト材の性状をパラメータとして、フラクチャー内に注入されたグラウトの浸透範囲を把握することであるが、グラウト材の特性を十分に考慮した評価とはなっていない。

そこで本研究では、基礎的なモデル実験におけるグラウト現象を合理的かつ精度良く予測・評価するため、精緻なシミュレーションモデルの構築を行い、その中で、粘性の時間依存性、配合切替、注入圧、フラクチャーの開口幅等の条件を検討し、実験結果と比較することでビンガム流体を対象にしたフラクチャー浸透モデルの検討を行う。

2. 研究の方法

グラウト流体は、ある時間を経て固化するため、非ニュートン流体として扱われることが一般的である。本研究では、グラウト流体は、ある降伏応力以上の力を受けない限り流動を示さない非ニュートン流体、すなわちビンガム流体として取り扱う。

図1に、本研究で検討する単一亀裂平行円盤モデルを示す。円盤上面は、透明なアクリル板を用いており上部から可視化することができ、ビデオカメラで撮影されている。円盤下面は、SS鋼板で作成されている。亀裂は、両面にスペーサーを数か所挿入することで開口幅を設定することが可能である。圧力は、円盤内に取り付けられた12個の圧力計で、時間ごとの圧力変化が計測することが可能である。実験は、円盤模型の中心に位置する注入口径 $d = 4 \text{ mm}$ から円の外側に向けグラウト試料が注入される。円の中心から試料先端部までの浸透距離 $I [\text{m}]$ は、円盤を4方向に等分し、撮影したビデオデータを用いて、それぞれの方向における時間ごとの浸透距離を読み取った後、平均値をとったものである。グラウト試料は、様々な配分で混ぜられ、設定圧力、開口幅を変えることで数パターンの実験が行われた。

単位時間当たりの流量 $q [\text{m}^3/\text{s}]$ は、浸透距離 $I [\text{m}]$ 及び開口幅 $b [\text{m}]$ を用いると式(1)で表わされる。

$$q(t) = bI \frac{dI}{dt} \quad (1)$$

さらに、グラウト注入口径 $d [\text{m}]$ 、注入圧 $P_g [\text{Pa}]$ として、半径 r 方向の運動量式を注入口径 $d [\text{m}]$ から浸透距離 $I [\text{m}]$ まで半径 r 方向について積分すると式(2)となる。

$$\left(\log \frac{I}{d} \right) I \frac{d^2 I}{dt^2} + \left\{ \left(\log \frac{I}{d} \right) + \frac{\beta I^2}{2} \left(\frac{1}{I^2} - \frac{1}{d^2} \right) \right\} \left(\frac{dI}{dt} \right)^2 - \frac{1}{\rho} P_g = - \frac{\tau_0}{\rho} \int_d^I \frac{dr}{Z} \quad (2)$$

このとき、式(2)の右辺の積分項は、グラウト先端部にはたらくせん断応力 $\tau [\text{Pa}]$ とグラウト先端部での浸透速度一定の領域 $Z [\text{m}]$ との関係式から Z のみで表現することができる。

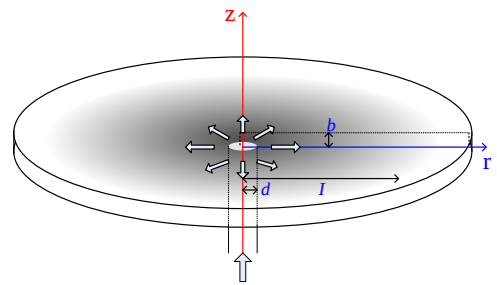


図1 単一亀裂並行円盤注入モデル

3. 得られた成果

図2は、浸透距離と時間の関係において実験結果および慣性項を考慮したモデルで解析した結果を示したものである。ここでは、4 ケースの実験結果を示すが、それぞれ流体の粘度、降伏値が異なる。また、平行円盤模型の開口幅は、Case-1 が 0.05 mm で、それ以外は 0.1 mm である。注入圧力は、2.0 MPa で一定である。Case-1 では、浸透距離 I が、およそ 0.7 m に到達したところで明瞭な浸透が確認されず、そこで計測が終了された。また、Case-2, 3, 4 では、グラウトが計測時間内に円盤枠を超えてしまったため、 $I=1.0$ [m] までの計測となっている。まず、実験結果と解析結果の比較であるが、すべてのケースで、実験結果が解析結果よりも浸透距離が長くなる結果となった。実験では、いずれのケースも開始から 20 秒までは浸透距離が明瞭に増加するが、それ以降グラウトの浸透率は低下する。一方、解析では、実験結果に見られる注入初期における浸透距離の顕著な増加は見られず、浸透距離は終始緩やかに上昇する結果となった。

図3は、実験結果と解析での Case-3 における時間と速度の関係を示したものである。実験での速度は、図2の結果より、距離の差を時間で除したものをその時間における速度として示した。これより、実験での速度は、30 秒まではバラつきがあり、解析結果とかけ離れたものであるが、30 秒以降では浸透速度が徐々に減少し、解析結果と同じような値を示す。実験では、注入初期とそれ以降でグラウト浸透の挙動が大きく異なっていることが考えられる。注入初期では、パラメータの設定やあるモデルを検討・考慮し、解析を行わなければならないと考えられる。

本研究では、1 次元の平行平板モデルでのグラウト浸透において、圧力の設定が浸透距離を大きく左右することを示してきた。したがって、平行円盤模型実験でも注入初期における物性値の設定や注入圧の設定を検討する必要がある。特に、本研究で扱う材料にはシリカが含まれており、時間と粘度の関係について、シリカ含有率が高いほど粘度も大きくなるが、粘度が時間により変化すると考えた場合に、粘度が大きくなるほど、粘度が定常状態に到達するまでの時間は大きくなるという結果が得られている¹⁾。この点についても、今後検討する必要がある。

4. 謝 辞

本研究は、クインテッサジャパン(株)より委託されたものであり、また、実験データに関しては、(独)日本原子力研究機構の協力を得て行った。関係各位に謝意を表する。

発 表 論 文

慣性項を考慮した単一亀裂グラウト注入モデルに関する基礎的研究, 第 39 回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, 土木学会岩盤力学委員会, 2010, 1.

参 考 文 献

- 1) Funehag, J. and Axelsson, M. : Hydrogeological characterisation and sealing of narrow fractures in hard rock - A case study, RMZ Materials and Geoenvironment, Vol.50, No.1, pp.121-124, 2003.

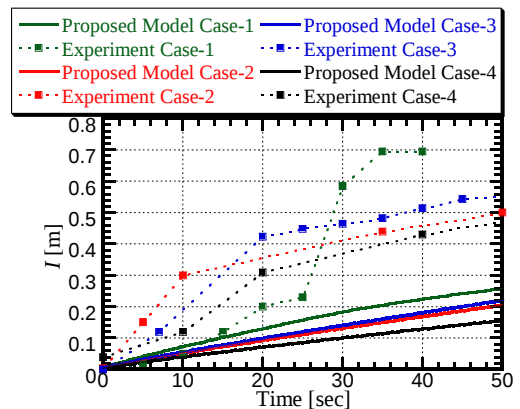


図2 実験と慣性項を考慮したモデルによる時間と浸透距離の関係

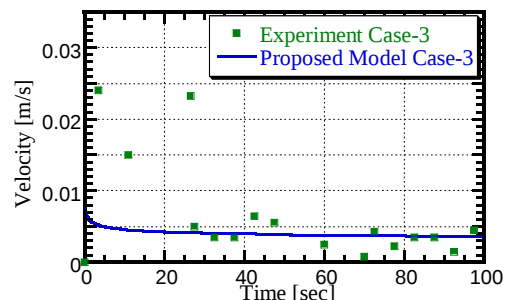


図3 実験と慣性項を考慮したモデルの時間と速度の関係