

グラウト浸透挙動に関する数値解析的検討

足立紀尚*・細田 尚**

1. 研究の目的

グラウトは、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。

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った。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った。

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、本研究で検討するグラウト浸透の注入モデルを示す。幅 H [m]の圧力装置から設定注入圧力 P_g [Pa]でグラウトを開口幅 b [m]の単一亀裂に注入する。本研究では、Gustafson & Stille モデルの欠点¹⁾である初期に注入流速が無限大となる点を改良する。これは、図1に示す入口管側の圧力 P_w [Pa]と注入圧 P_g [Pa]が初期において不連続となるために生じる。そこで、図1のA領域の管軸上の運動方程式を考慮し入口の圧力 P_0 [Pa]と注入圧力 P_g [Pa]の関係式を導く。この際、間隙水圧 P_w [Pa]は注入圧力に比べかなり小さいため無視する。ビンガム流体では、浸透速度 u [m/s]が一定となる領域があり、その幅を $2Z$ [m]とする。また、距離 I [m]進んだとき壁面せん断応力 τ [Pa]がはたらくとし、さらに、管内の浸透についても運動方程式の慣性項を考慮することにより管内圧力のオーバーシュートを再現できるようにした。これらの条件を基に浸透式(1)を導いた。

$$(H + 2I) \cdot \frac{d^2 I}{dt^2} + \left(\frac{dI}{dt} \right)^2 + \frac{2 \cdot \tau_0 \cdot I}{\rho \cdot Z} = \frac{2p_g}{\rho} \quad (1)$$

このモデルと Gustafson & Stille モデルを用いて、単一亀裂注入試験のシミュレーションを行う。

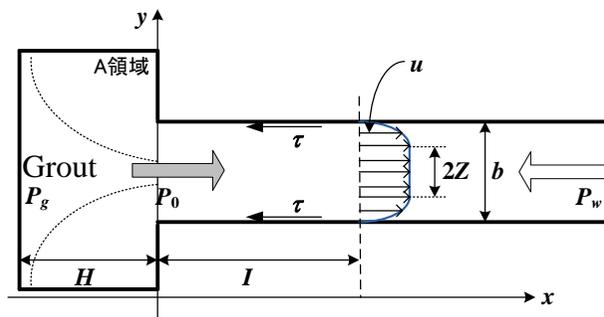


図1 本研究用いた単一亀裂注入モデル

*京都大学・名誉教授, **京都大学・大学院工学研究科・教授

3. 得られた成果

図2は実験結果、Gustafson & Stille モデル、慣性項を考慮したモデルでの浸透距離と時間の関係を示したものである。実験は、計測可能範囲が約0.8 mであるため、それ以降の計測は不可能で不可能であった。図2より、同一時間において2つのモデルはほぼ同じ浸透挙動を示したのに対し、実験での浸透距離が2つのモデル解析結果よりも大きくなる結果となった。

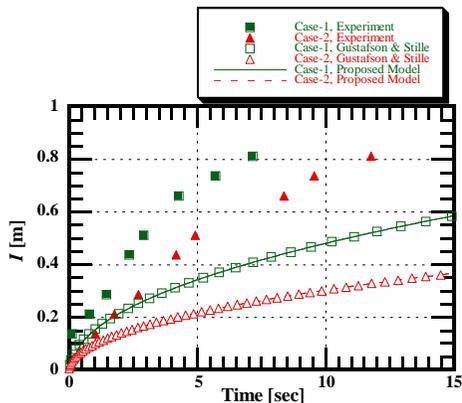


図2 実験およびシミュレーションによる時間-浸透距離関係

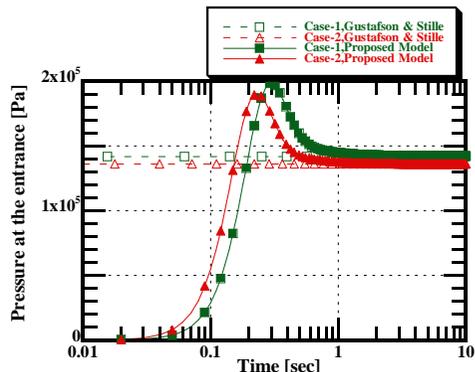


図3 Gustafson & Stille モデルと慣性項を考慮したモデルの時間-注入孔圧力

図3は、亀裂モデルの入口圧力の時間変化を、Gustafson & Stille モデルと慣性項を考慮したモデルについて比較したものである。Gustafson & Stille モデルの場合、圧力0からすぐに設定注入圧力に到達し、一定値に収束する。これでは、せん断応力が無限から徐々に小さくなっていくため、ビンガム流体の性質である降伏値以上の力を受けなければ流体は動かない性質を微小時間において十分に説明できていないことになる。結果として、流体は注入直後に動き始め、規定圧力に落ち着くこととなる。一方、慣性項を考慮したモデルでは、圧力0から増加していき一端は設定注入圧力を超過し、徐々に設定注入圧力に落ち着くことがわかる。これは、慣性項を考慮した場合初速度0から徐々に速度は増加するためせん断応力も徐々にはたらくようになり圧力が急に規定値となることはない。その後、粘性の影響で速度は減少するが、それに伴い加速度は負の方向に増加していき、 P_0 は規定圧力を超え増加していく。その後速度がほぼ0となり加速度も徐々に0になるため規定圧力に落ち着くことになる。

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。

発表論文

入口圧力変化及び慣性項を考慮した単一亀裂注入モデルの構築，第44回地盤工学研究発表会平成22年度発表講演集，2009，8。

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.