

III-373

微小亀裂へのグラウチングにおける動的注入の効果

鴻池組 原子力部 正員 平 治
 日本基礎技術 技術本部 正員 西浜 讓二
 寺戸 康隆
 劉 維徳

1. はじめに

液化石油ガス、天然ガス等の地下備蓄、高レベル放射性廃棄物の地層処分等の大深度地下開発が計画検討されている。これらの開発では、地下空洞周辺岩盤の地下水の制御、止水対策及び物質移行の防止が重要な技術となり、ダム、トンネル、地下構造物等を対象とした従来のグラウト技術の限界を超える技術が求められる。筆者らは、微細な岩盤亀裂へも注入可能なグラウト技術として、従来より高濃度な材料を用い、これに脈動を与えて粘性抵抗を低下させ浸透性を高める高性能グラウチングの研究を行っている。本報告は、微小亀裂に水、超微粒子セメント、ベントナイト等を静的及び動的条件下で注入する室内試験を行い、注入圧力の脈動がグラウタビリティに与える影響について検討した結果を報告するものである。

2. 試験概要

図1に模擬亀裂を設けた供試体の概要図を示す。グラウトを供試体（ $\phi 300\text{mm}$ ）の中央から所定の圧力で注入して両端から流出させ、グラウトの平均流速と亀裂内の圧力を測定した。注入の制御はサーボポンプとブラスターを組み合わせた油圧制御装置を用い、注入圧力及び動的条件（振幅、振動数）を一定に保持する圧力制御方式により試験を行った。注入圧力は最大 20kgf/cm^2 、振幅は $\pm 1 \sim \pm 9\text{kgf/cm}^2$ 、振動数は $10 \sim 50\text{Hz}$ とした。

模擬亀裂は、2枚の鋼盤の間に所定の厚さのステンレススペーサーを挟み込み、上下から拘束して設定した。亀裂の開口幅は、 $200, 100, 50, 20\mu\text{m}$ とし、流路の幅は 10cm とした。圧力測定孔は、注入孔（ P_2 ）の他に、左側に 7cm （ P_1 ）、 12cm （ P_0 ）、右側に 5cm （ P_3 ）、 10cm （ P_4 ）の位置に設置し、注入孔（ P_2 ）と右側の測定点（ P_3, P_4 ）では、グラウトの脈動（圧力波形）も測定した。図2に $P_2 \sim P_4$ で測定した圧力波形の例を示す。

注入材料は、超微粒子セメント、ベントナイトの他に、シリカフェーム、消石灰、カオリン及びセルローズとした。主な配合は、超微粒子セメントの場合 $W/C=4, 2, 1, 0.75, 0.5$ 、ベントナイト（米国産 MVEI 、国産 Kenge NV1 ）の場合 $W/B=10, 8, 6$ とした。分散剤は MVEI150 を一律 $2.0\text{wt\%}$ 添加した。材料の混合攪拌には湿式粉碎攪拌機（三井三池化工機製 Hデイル ）を使用し、回転数 500rpm で攪拌時間は 10 分間とした。

攪拌後のグラウトの物性試験として、密度、フゾル粘性、粘度（B型回転粘度計）、液温を注入前後で測定した。尚、試験装置及び作業上の制約から、試験の温度管理は行っていない（液温範囲は $20 \sim 13^\circ\text{C}$ ）。

3. 試験結果

図3に静的注入における開口幅 $100\mu\text{m}$ の場合の注入圧力と亀裂中のグラウトの平均流速の関係を示す。水が最も流れやすく、超微粒子セメント $W/C=1.0$ 、セルローズ 50cP 、 100cP 、ベントナイト $W/B=10, 8, 6$ の順に流れにくくなっており、回転粘度計で測定した見かけ粘度が高いほど流れにくい。超微粒子セメント $W/C=1.0$ 、セルローズ 50cP 、 100

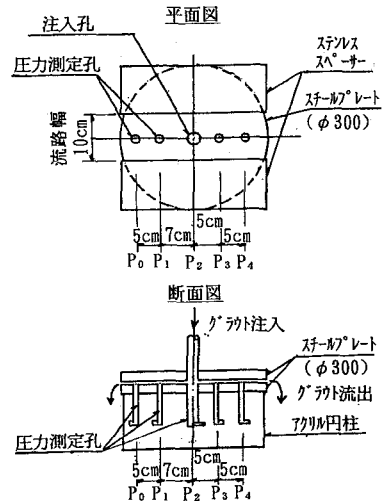


図1 注入供試体

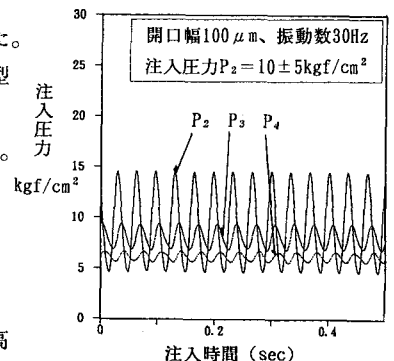


図2 動的注入時の圧力波形

cPの回帰直線はほぼ45°の直線となっており、ニュートン流体に近い特性を示す。一方、高粘性のベントナイトでは、回帰直線が45°より緩い勾配を持ち、ビンガム流体あるいは擬塑性流体の性質がうかがえる。

図4に開口幅100 μ mの亀裂に動的注入した場合の注入圧力の振幅と平均流速の関係を示す。超微粒子セメントW/C=0.5の場合は、流速に対する振幅の影響はあまり現れない。一方、ベントナイトでは、振幅とともに平均流速が増大しており、動的注入の効果が認められる。

図5に開口幅100 μ mの亀裂に動的注入を適用した場合の注入圧力の振動数と平均流速の関係を示す。超微粒子セメントW/C=0.5の場合は、流速に対する振動数の影響は特に見られない。ベントナイトでは、データにばらつきはあるものの、30Hz以下の振動数領域の流速が大きく、それ以上の振動数領域では流速がやや低下する傾向がみられる。すなわち、本試験の結果では、動的注入の振動数条件としては、10~30Hzの範囲の振動数領域が適切と考えられる。

図6は回転粘度計で測定した見かけ粘度と、グラウトの流動が平行隙間内でのポアズユ流れに従うとして測定値（静的注入圧力、流速）から推定した粘度との関係を示したものである。その結果によれば、見かけ粘度が0.5P以下の低粘性領域では両者は概ね一致するが、粘度が0.5P以上の高粘性領域では亀裂中を流れるグラウトの粘度は回転粘度計の見かけ粘度よりかなり小さい値を示す。すなわち、ベントナイト等の高粘性材料については、非ニュートン流動としての取り扱いが必要となることが間接的に示されている。

4. まとめ

今回の試験により、以下の結果が得られた。

- 1) 開口幅200 μ m以下の微小亀裂に対しても、粘性の小さいグラウト材料の方が流動性がよい。
- 2) 注入圧力を脈動させる動的注入の効果は、ベントナイトを中心とした高粘性で非ニュートン流体とみなせる材料について認められる。
- 3) 動的注入のパラメータである振幅については、振幅が大きいほどグラウト材料の流動性はよくなる。また、振動数については、10~30Hzの範囲の振動数領域において動的注入の効果が大きいと考えられる。
- 4) グラウトの見かけ粘度が0.5P以上になると、静的注入試験より推定される粘度は回転粘度計で求めた見かけ粘度よりかなり小さくなる。

今後は、動的注入工法を用いた高性能グラウト技術の実用化を目指した研究を進める予定である。本研究は科学技術庁の補助金交付研究の一部をまとめたものであり、ここに付記して感謝する。

【記号】	【材料・配合】	【粘性係数】
●	水	(0.01 P: #1X)
○	セルローズ 50 cP	(0.50 P: #1X)
△	セルローズ 100 cP	(1.00 P: #1X)
◇	シリカゲル W/SP=4.00	(0.027P: #1X)
< 超微粒子セメント >		
△	スーパーファイン W/C=1.00	(0.072P: #1X)
△	スーパーファイン W/C=0.75	(0.129P: #1X)
△	スーパーファイン W/C=0.50	(0.561P: #1X)
< ベントナイト >		
□	ボルクレイ W/B=10	(4.07 P: #1X)
■	ボルクレイ W/B=8	(16.06 P: #1X)
◇	クニゲルV1 W/B=10	(0.45 P: #1X)
◇	クニゲルV1 W/B=8	(2.56 P: #1X)
◆	クニゲルV1 W/B=6	(38.16 P: #1X)

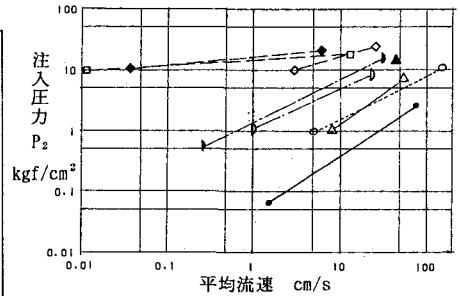


図3 注入圧力と平均流速（静的注入）（開口幅 100 μ m）

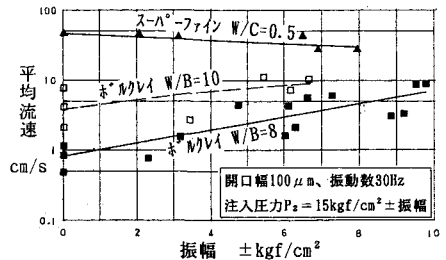


図4 動的注入の振幅と平均流速の関係

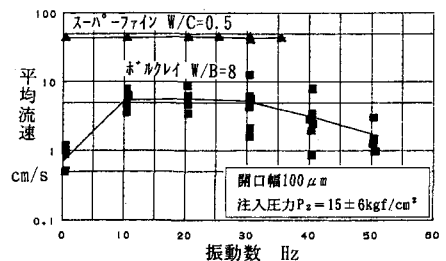


図5 動的注入の振動数と平均流速の関係

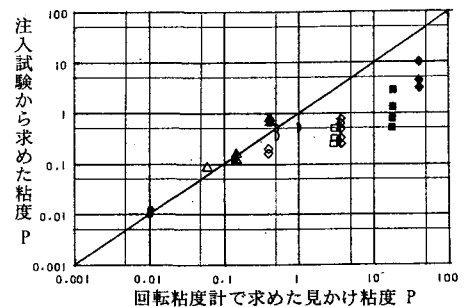


図6 回転粘度計で求めた見かけ粘度と注入試験から求めた粘度の相関