

III-A 319

加振下におけるグラウト材の粘度試験

鴻池 組 正員 大橋 昭 正員 平 治

日本基礎技術 正員 寺戸 康隆

鴻池 組 正員 蔵野 彰夫 正員 小橋 創一

1. まえがき 高レベル放射性廃棄物の地層処分施設、石油や LPG の地下備蓄タンクなど大深度地下の岩盤空洞の利用において、グラウチング技術の高度化が急がれている。筆者らは、微細な岩盤亀裂への高密度注入技術として動的注入工法に着目し、高濃度グラウト材と 100 μm 級の模擬亀裂を用いた注入試験¹⁾、ならびに微小隙間内での流動解析²⁾を行った。この工法の特徴は、グラウト材に脈動を与えて加振し、グラウト材の微視的構造に由来する見かけの粘性を低下させることにより、その流動性・浸透性を改善する点にあると考えられる。従って、動的注入技術を確立するためには、加振下におけるグラウト材のレオロジー特性を把握することも重要になる。そこで本研究では、回転粘度計のカップを加振する特殊な粘度試験を行い、振動を与えたときずり速度 D とずり応力 τ の関係(流動曲線)がどのように変化するかを調べた。

2. 粘度試験 Stripa Project³⁾では同様の観点から、回転粘度計のカップに垂直振動を加えた装置を用い、振動数と変位振幅を制御した粘度試験を行い、動的注入の有効性を論じている。本研究ではグラウト材の流動方向に加振することが必要であると判断し、カップを円周方向に加振する粘度計を開発した。図1に加振式2重円筒回転粘度計の概要を示す。粘度計の仕様は、〔内筒半径:13 mm,外筒半径:15 mm,隙間:2 mm,内筒高さ:70 mm,内筒回転数:5~400r.p.m.,6段変速〕であり、小型加振機〔加振力:50N,最大加速度:33g,振動数:DC~14kHz〕を用いて外筒を正弦的に振動させる。本試験では、回転数を単調に増速させる定常せん断方式を適用し、かつ振動数 f と速度振幅(外筒内壁の最大速度: u_0)を制御した。ここに、 f と u_0 は振動ピックアップと振動計により常時計測される。測定時、試料には同じせん断履歴と回転数毎に1分の測定時間を与え、測定値の再現性を高めた。また、測定値には3ケースの平均値を採用した。

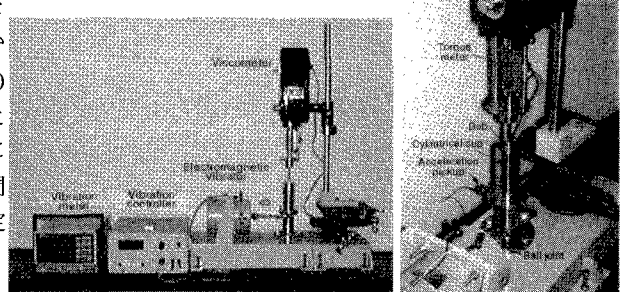


図1 加振式回転粘度計の概要

グラウト材には、超微粒子セメント(SF と略記)、山形産 300mesh ベントナイト(BE1 と略記)およびワイ

シグ産 ベントナイト(ベクトル; BE2 と略記)を用い、その配合水量は〔W/SF=0.5, W/BE1=8, W/BE2=12〕を基準とした。また、分散剤として、SF にはナトリウム硫酸塩系を、BE1・BE2 にはヘキサリ酸ナトリウムを用い、固体分との重量比で一律 2% を添加した。

材料の混練りには高速せん断型攪拌機を使用し、所定の手順と時間管理のもと試料を作製した。混練り後、SF は直ちに、BE1・BE2 は 24 時間後に再攪拌して試験に供した。試料温度は 20 \pm 2 $^{\circ}\text{C}$ に管理した。

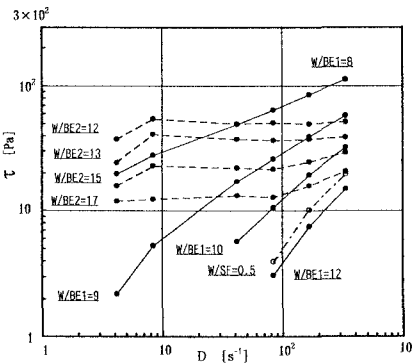


図2 無加振試験 (D- τ 曲線)

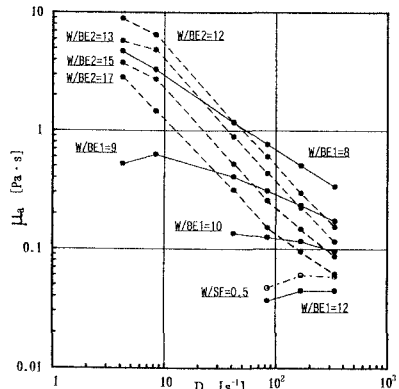


図3 無加振試験 (D- μ_a 曲線)

3. 試験結果および考察 無加振試験の流動曲線($D-\tau$ 曲線)を図2に示す。この結果にみられるように、高濃度グラウト材では非ニュートン流体の性質が顕著になる。また、BE2については円筒壁と試料間に明らかな滑りがみられる。図3は同じデータを見かけ粘度 $\mu_a(=\tau/D)$ で整理したものである。

図4は振動数を $f=0\sim 40\text{Hz}$ の範囲で変化させた定速度($u_0=3\text{cm/s}$)による加振試験の結果である。低 D 域において加振による影響が大きく、BE1では $D \leq 42\text{s}^{-1}$ でニュートン流体に近くなることが分かる。各材料に共通した特徴として、 $f=10\text{Hz}$ で加振効果が最も強まり、微小模擬亀裂を用いた動的注入試験の結果(14)とよく一致する。ここで図5のように、低 D 域における μ_a で表すとこの特徴がより明確になる。試料に与えられる振動入力パワーは $[\text{Power} \propto u_0^2 f]$ で見積もられる。従って、定速度試験では f の増加に伴いパワーも比例的に増大するが、結果的にはパワーが小さな振動数域でグラウト材の流動性が最も改善されており、動的注入における振動数の重要性が理解できる。

図6は振動入力パワーを一定に制御した加振試験の結果である。この試験では $f=10\text{Hz}$, $u_0=3\text{cm/s}$ を基準にパワーが一定になるよう f と u_0 を変化させており、7Hz, 10Hz の低振動数域で加振効果が大きくなる結果を得た。図7には、 $W/BE1=8, W/BE1=12$ について、 $f=10\text{Hz}$ に固定し u_0 を変化させた場合の結果を示した。 u_0 の変化が緻密でなくその影響を十分検討できないが、結果によれば、 3cm/s 以上で加振効果が大きく、 0.9cm/s 以下ではあまり効果がないといえる。

Stripa Project⁹⁾では、 $f < 300\sim 400\text{Hz}$ の加振において、振動数の増加とせん断歪の振幅の増加に伴い、グラウト材の流動抵抗が大幅に減少すると結論している。本試験によれば、せん断歪に対応する u_0 の寄与については同様の見解をもつが、振動数については明らかに結論が相違する。

4. あとがき 脈動圧による注入試験と加振下における粘度試験との比較において、流動域の幅、流速分布や滑り挙動、回転粘度計に付随する粒子のはね出しや分離など、問題点も少なくない。しかし、動的注入工法の最適条件について、両試験で同じ結果を得たことは、当工法の実用化を進める上で注目すべき成果であると考えられる。本研究は科学技術庁補助金交付研究の一部をまとめたものであり、付記して感謝する。

参考文献 (1)大橋,他 4名,高濃度グラウト材の微小亀裂への動的注入試験,土木学会第50回年会講義集(1995),(2)Ohashi,A.,et al.,Dynamic Pressure Grouting of Dense Slurry in Fine Rock Fissures,Proc. 2nd Int. Conf. Multiphase Flow '95-Kyoto(1995),(3)Borgesson,L.,et al.,Final Report of the Rock Sealing Project-vol.1,Stripa Project Technical Report,SKB,Stockholm(1991),(4)大橋,他 4名,長尺模擬岩盤亀裂への動的注入試験,土木学会第51回年会講義集(1996)。

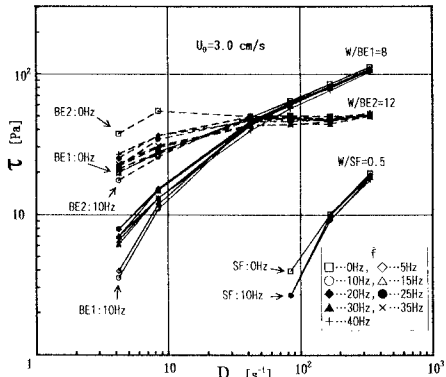


図4 定速度による加振試験

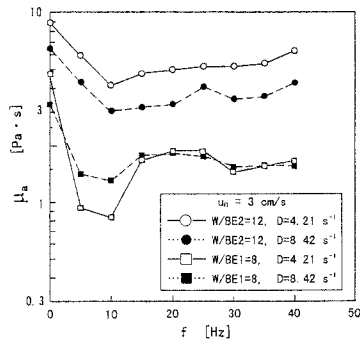


図5 低D域における見かけ粘度

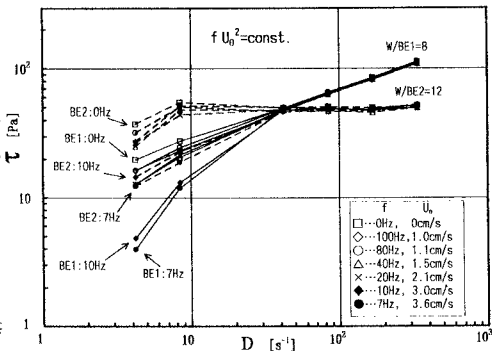


図6 定振動パワーによる加振試験

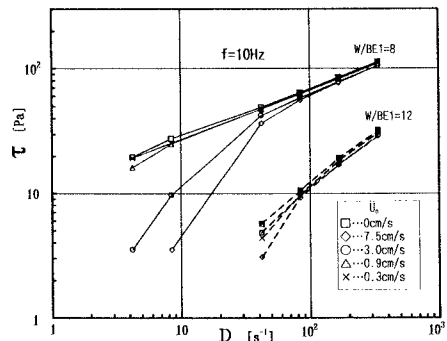


図7 定振動数による加振試験