

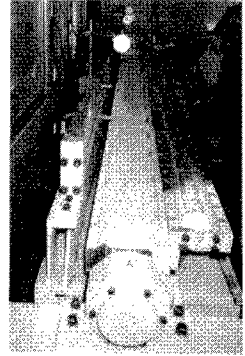
III-A 320

長尺模擬岩盤亀裂への動的注入試験

鴻池 組 正員 平治 正員 大橋 昭  
 日本基礎技術 正員 寺戸 康隆 高田 徹  
 鴻池 組 西浜 譲二 澤 芳幸

**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、注入圧力に脈動を与えグラウト材の流動性・浸透性を改善する方法、いわゆる動的注入工法に着目し、高濃度グラウト材と100 $\mu\text{m}$ 級の模擬亀裂(流路長146mm)を用いた注入試験<sup>1)3)</sup>、および脈動下にある微小隙間内での流動解析<sup>2)4)</sup>を行ってきた。本研究では引き続き、動的注入の効果を実大規模で確かめるために、Stripa Project<sup>5)</sup>に倣い、長尺の模擬亀裂(流路長2.9m)を用いた動的注入試験を行い、グラウトの流動性・浸透性と注入の圧力条件との関係を調べた。

**2. 注入試験** 図1に模擬亀裂を構成する試験体の概要を示す。亀裂(開口幅H:50~200 $\mu\text{m}$ , 流路幅:40mm)は、2枚の鋼製ブロックに所定厚さの銅箔を挟み込み、16mmボルトを75mm間隔に配置し定トルクで締め付けて形成した。ここに、鋼製ブロックの表面は硬質クロムメッキと研磨で平滑・平行に仕上げている。圧力測定については、測定孔 $T_0$ ~ $T_4$ により、注入口での元圧力と亀裂内の静圧分布を測定した。注入装置には前報<sup>1)3)</sup>で開発した油圧サーボ制御式注入ポンプを用い、 $[P=(P_c \pm \Delta P_c) : \pm 2 \text{MPa}, \text{流量} : 0.02 \sim 31 \text{cm}^3/\text{s}, \text{振動数} f : 0 \sim 30 \text{Hz}]$ の範囲で制御し、正弦波に近似した脈動圧を与えて注入した。



グラウト材には、超微粒子セメント(SFと略記)、山形産300mesh $\text{H}$ ソルナイト(BE1と略記)およびワイミング産 $\text{H}$ ソルナイト(ホルクレイ;BE2と略記)を用い、その配合水量は $[W/SF=0.5, W/BE1=8,10, W/BE2=12,15]$ である。また、分散剤として、SFにはナリソル $\text{H}$ 硫酸塩系を、BE1・BE2には $\text{H}$ サリナ $\text{H}$ 酸 $\text{H}$ ガを用い、固体分との重量比で一律2%を添加した。

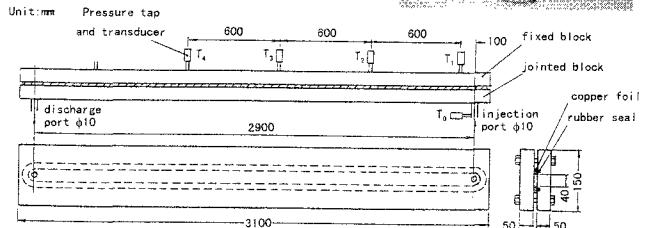


図1 注入試験体の概要

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。亀裂内におけるグラウトの平均流速は、注入ポンプのピストン速度から算出した。また、亀裂内でグラウトが閉塞した場合は、試験体の開放後にグラウトの浸透距離を目視で読み取った。試料温度は $20 \pm 2^\circ\text{C}$ に管理した。

表1 試験体の推定開口幅

設定開口幅 $\mu\text{m}$	水試験による 推定開口幅 $\mu\text{m}$	
	平均値	標準偏差
50	58.2	2.4
100	108.4	2.4
200	209.3	4.0

**3. 試験結果および考察** グラウト注入試験の前には水による試験を実施し、ポアズイユ流れを仮定して開口幅を推定した。推定結果を表1に示す。注入試験中における鋼製ブロックの変位計測では、脈動圧によるブロックの変位は認められず、開口幅の変化は殆どない。図2に圧力波形の測定例( $W/SF=0.5, H=100\mu\text{m}$ )を示す。

図3は模擬亀裂の1次元波動解析<sup>4)</sup>の結果であり、注入口からの距離 $x$ と脈動圧成分 $P_0$ の減衰度合いの関係(パラメータ:粘度 $\mu$ )を表している。ここでは、解析波形から衝撃圧

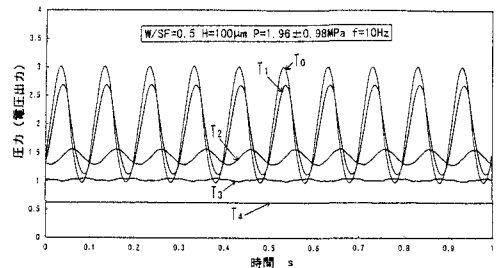


図2 圧力波形の測定例

を除き、準正弦的な波形の最大・最小値を抽出し、 $[(P_{max}-P_{min})/P_0]$ で整理した。また、音速 $a$ は1 km/sに固定した。結果によれば、水の測定値が解析値をかなり下回っている。これは、図1に示すように、固定側ブロックにゴムシールを設け、銅箔と当接させたことにより、シール材のダンピング効果が生じたためと推測される。グラウト材については、解析で示した高粘性による減衰分に加えて、音速の低下や波動の吸収による圧力減衰が大きく現れ、前述のダンピング効果を除いても脈動の影響範囲は1 m程度が限界と考えられる。一方、図4は、 $\mu=0.1Pa \cdot s, 1Pa \cdot s$ について、振動数 $f$ の影響をみた波動解析の結果である。 $f$ が大きくなると脈動の減衰が著しくなるため、20~30Hz付近までが利用の範囲と考えられる。なお、これら高粘性材料では振動層の形成による影響は小さい。

図5にBE2の試験結果として、 $f$ と浸透距離の関係を示す。ここに、 $W/BE2=12, H=200\mu m$ による試験では、グラウト材が亀裂を通過した後に閉塞した。この結果では、 $f=10Hz$ に明瞭なピーク値が現れており、前回の試験<sup>3)</sup>と同じ結果を得た。また、10Hzでの浸透距離として、静的注入の結果に1.5m程度付加した値が得られた。一方、加振下におけるグラウト材の粘度試験<sup>6)</sup>では、同様に10Hzで粘度が大きく低下しており、動的注入のメカニズムを考える上で両者の対応性は重要である。図6はSF, BE1の試験結果として、 $f$ と亀裂内での平均流速 $U$ の関係を示した。全体的には10Hz付近にピーク値が認められるものの、流路長146mmの試験<sup>3)</sup>に比べて脈動による効果は大幅に少ない。これは、脈動の影響範囲が1 m程度であるため、2.9mの流路長さでは脈動の効果が潜在化することによる。

**4. あとがき** 高濃度グラウト材と微小模擬亀裂を用いた一連の注入試験において、動的注入工法の有効性と脈動圧の条件を明らかにした。当工法の特長は、限定した距離内で100 $\mu m$ 級の微細割れ目を迅速かつ密実にグラウチングできる点にあり、グラウト材や分散剤の開発とともに、高止水グラウトの実現に向けた技術の一つとして、今後の発展が期待できる。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)平,他3名,微小亀裂へのグラウチングにおける動的注入効果,土木学会第49回年会講概集(1994),(2)大橋,他3名,微小亀裂への動的グラウチングに関する流動解析,土木学会第49回年会講概集(1994),(3)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回年会講概集(1995),(4)Ohashi,A,et al.,Dynamic Pressure Grouting of Dense Slurry in Fine Rock Fissures,Proc. 2nd Int.Conf. Multiphase Flow '95-Kyoto(1995),(5)Borgesson,L,et al.,Final Report of the Rock Sealing Project-Vol.1, Stripa Project Technical Report,SKB,Stockholm(1991),(6)大橋,他4名,加振下におけるグラウト材の粘度試験,土木学会第51回年会講概集(1996).

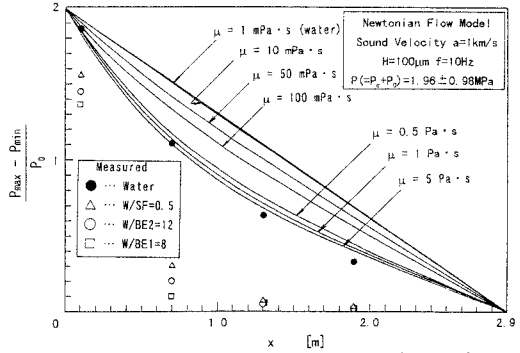


図3 波動解析による脈動圧減衰 ( $\mu$  影響)

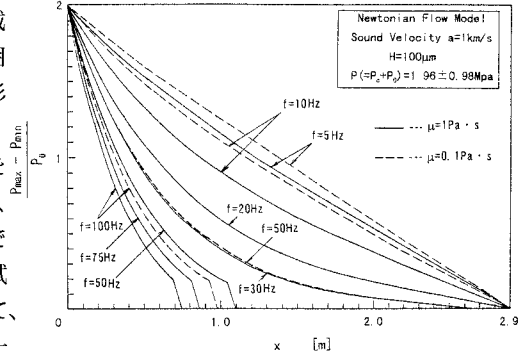


図4 波動解析による脈動圧減衰 ( $f$  影響)

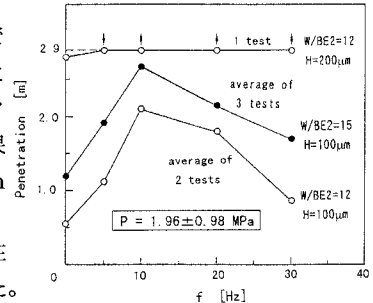


図5 BE2の試験結果 (浸透距離)

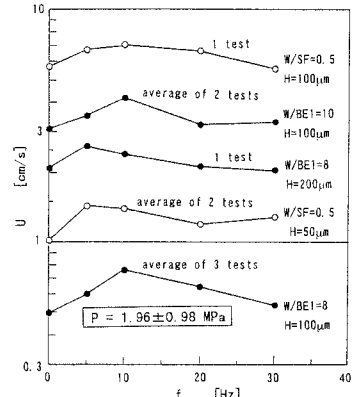


図6 SF・BE1の試験結果 (平均流速)