

Ⅲ - A295

動的グラウチングシステムの開発

鴻池組 正員 平 治* 正員 大橋 昭** 西浜 譲二*
日本基礎技術 正員 寺戸 康隆*** 高田 徹***

1. まえがき 高レベル放射性廃棄物の地層処分やLPG等の岩盤備蓄等の大深度地下利用では、グラウト技術の高性能化が急がれている。筆者らは、注入圧力に脈動を与えることにより、グラウト材の流動性・浸透性の向上と目詰まりの抑制効果が期待できる動的注入工法に着目し、 $100\mu\text{m}$ 級の模擬亀裂(流路長146mmおよび2.9m)を用いた注入試験¹⁾²⁾、脈動下のグラウト材のレオロジー特性を把握する加振下の粘度試験(2重円筒回転粘度計の外側カップを加振)³⁾および脈動下にある微小亀裂内での流動解析²⁾⁴⁾を行い、動的注入工法の有効性と最適注入条件を明らかにした。今回は、これまでの成果を踏まえ、現場施工が可能な動的注入システムを開発したので、その概要を報告する。

2. 動的グラウチングシステムの概要

図1に新たに開発した動的グラウチングシステムを示す。当システムは、定圧注入ポンプ(Aポンプという)で脈動の少ない一定圧のグラウトを供給し、油圧サーボ制御式の脈動ブースタポンプ(Bポンプという)によって脈動を付加する方式である。A・Bポンプの間にはエアチャンバーと逆止弁を設け、Bポンプの脈動がAポンプ側に伝播することを抑止している。Aポンプは、インバータ制御モータで駆動される2連ポンプ型であり、吐出圧力が所定の設定値を保持するように自動コントロールされる(在来のグラウト管理装置の使用も可能)。Bポンプは、注入孔に設置した圧力センサからの圧力波形と制御ユニットに内蔵された発振器からの正弦波信号波形を比較して、両者の波形が一致するように脈動ブースタポンプの動作をフィードバック制御することにより、正弦波に近い脈動圧を発生させることができる。当システムの仕様は、最大注入圧力 3.92MPa、脈動の振動数 0~20Hz、脈動の振幅 $0\sim\pm 1.96\text{MPa}$ 、最大流量 10L/min である。グラウト材の作製には、高濃度・高粘性のグラウトの混練りが可能な高速タービンミキサ(最大回転数 3500rpm、160L/バッチ)を導入した。また、注入孔のパッカーは脈動の減衰を抑えるため、シール材に硬質ゴム(ウレタン系)を用いている。

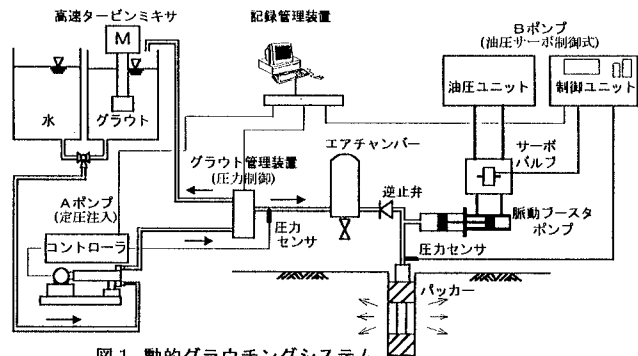


図1 動的グラウチングシステム

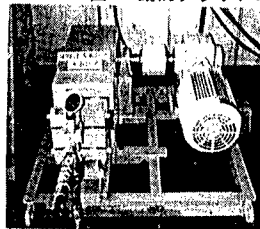


写真1 Aポンプ

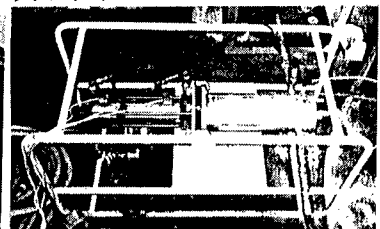


写真2 Bポンプ(脈動ブースタポンプ)

信号波形を比較して、両者の波形が一致するように脈動ブースタポンプの動作をフィードバック制御することにより、正弦波に近い脈動圧を発生させることができる。当システムの仕様は、最大注入圧力 3.92MPa、脈動の振動数 0~20Hz、脈動の振幅 $0\sim\pm 1.96\text{MPa}$ 、最大流量 10L/min である。グラウト材の作製には、高濃度・高粘性のグラウトの混練りが可能な高速タービンミキサ(最大回転数 3500rpm、160L/バッチ)を導入した。また、注入孔のパッカーは脈動の減衰を抑えるため、シール材に硬質ゴム(ウレタン系)を用いている。

3. 機能試験 当システムの機能試験では前記仕様の範囲内において、設定条件に合致する脈動圧を形成しながら連続的に注入できることを確認した。A・Bポンプの制御性は良好で、流量変化時にもよく追従した。また、エアチャンバーと逆止弁の機能も有効に働いた。図2に注入圧力 $1.98\pm 0.98\text{MPa}$ 、振動数 10Hz の場合のA・Bポンプの圧力波形と流量の実測値を示す。現場施工では、Bポンプから注入孔まで耐圧ホースを配管するので、耐圧ホースによる脈動圧成分のダンピング度合いを予め知る必要がある。そこで、市販の耐圧ホースとパッカーの脈動減衰試験を実施した。表1に 4%濃度のセロース溶液(約 $1\text{Pa}\cdot\text{s}$)を用いた試験結果を

キーワード: グラウト、動的注入、脈動、亀裂、岩盤
*〒101 東京都千代田区神田駿河台 2-3-11 原子力部 TEL 03-3296-7648 FAX 03-3296-8460
**〒554 大阪市此花区伝法 4-3-55 技術研究所 TEL 06-461-0262 FAX 06-468-3659
***〒150 東京都渋谷区桜丘町 15-17 技術研究室 TEL 03-3476-5701 FAX 03-3476-4551

す。ここに、脈動減衰率は、Bポンプに接続したホース入口に対し排出弁を接続したホース出口での脈動振幅の減衰度合いを表すもので、 $[(\text{入口の脈動振幅} - \text{出口の脈動振幅}) / \text{入口の脈動振幅}] \times 100\%$ である。試験結果として、①ゴム製の割には脈動減衰が少ない、②ホース長が長くなるほど減衰率が大きい、③耐圧ホースの補強層の数は脈動減衰にほとんど影響しない、④内径 6mm の方が 8mm より減衰が大きい、⑤鋼管内にパッカーを挿入し耐圧ホースと接続した試験ではパッカー自体に起因した減衰は現れていない。制御用圧力センサは注入孔の直近に装着し、その圧力波形をプースタポンプの制御に帰還させるが、以上の知見より、プースタポンプ下流側配管のダンピング度合いは比較的小さく見込まれ、プースタポンプの制御性に悪影響を与えることはないと判断する。

4. 長尺模擬岩盤亀裂への注入試験

当システムを用いて、流路長 2.9m、亀裂の開口幅 100 μm の長尺模擬岩盤亀裂への注入試験を実施した。模擬亀裂の詳細は文献(6)を参照されたい。グラウト材には、超微粒子セメント（SF と略記）と山形産 300mesh ベントナイト（BE と略記）を用い、その配合水量は $W/SF = 0.5$ 、 $W/BE = 6.5/1$ である。分散剤としては、SF にはナリックスルホン酸塩系を、BE にはヘキサミン酸ソーダを用い、固体分との重量比で一律 2% 添加した。材料の混練りには高速タービンミキサーを使用し、所定の手順と温度・時間管理のもと試料を作成した。混練り後、SF は直ちに、BE は 24 時間後に再攪拌して試験に供した。図 3 はグラウト材の亀裂内への浸透時間から脈動の効果を見たものである。亀裂中の各位置（注入孔より、10、70、130、190、250cm）の圧力センサが 98kPa を記録した時間をその位置への到達時間とした。これによれば、130cm までは差がないが、190、250cm では、静的注入に対して動的注入の到達時間が大幅に短くなっており、脈動の効果が現れている。図 4 に SF の試験結果として、注入の振動数と亀裂内での平均流速の関係を示す。これによれば、振動数 5、10Hz にピークが認められる。

5. あとがき

現場での実施に対応した動的注入システムを開発し、その機能を確認した。今後は当システムによる現場注入試験を行い、動的グラウチング工法の有効性を実証するとともに、実用化に向けてシステムの改良を進める予定である。グラウチング技術の高度化のためには注入材料も重要であり、今後の研究開発テーマと考えている。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回年会稿概集(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回年会稿概集(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回年会稿概集(1995)、
- (4)Ohashi.A., et al., Study on Dynamic Injection into Small Fractures, Proc. 2nd Int. Conf. Ground Improvement Geosystems, Grouting and Deep Mixing, Balkema(1996)、
- (5)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回年会稿概集(1996)、
- (6)平、他 5 名、長尺模擬岩盤亀裂への動的注入試験、土木学会第51回年会稿概集(1996)

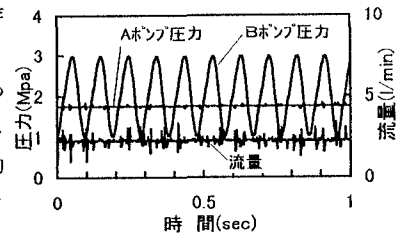


図2 A・Bポンプの圧力、流量の実測値

表1 ホース種類と脈動減衰率の関係

内径 mm	長さ m	補強層 の数	脈動減衰率 %
8	5	2	5
8	10	2	12
8	20	2	28
8	10	4	14
6	10	2	62
8	10	1	8

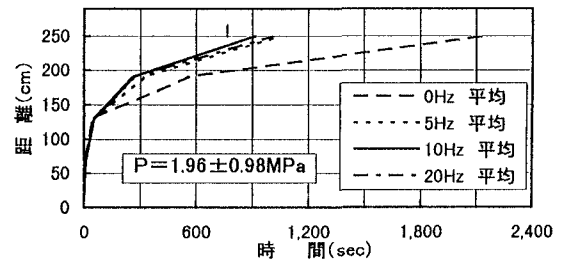


図3 BEの注入試験結果 (P=98kPa)

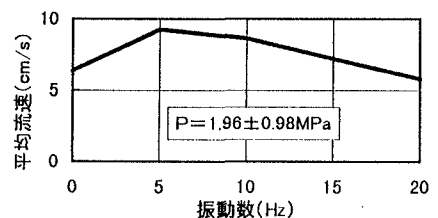


図4 SFの注入試験結果