

動的注入工法の注入特性に関する検討

鹿島技術研究所 正会員 脇田 伸吾
正会員 伊達 健介
正会員 山本 拓治

1. はじめに

石油や LPG の水封式地下備蓄基地の建設においては、地下水位の低下を抑制し湧水量を低減させるためのグラウト技術が必要不可欠である。また高レベル放射性廃棄物の最終処分施設建設においては、処分施設建設のために掘削される坑道及びその周辺の岩盤は、地下水の卓越した移行経路となる可能性があり、プラグやグラウトにより適切に処置する必要があるとされている¹⁾。これら重要地下構造物においては、ダムやトンネルで実施されてきた従来工法よりも、確実な止水注入技術が必要とされており、低透水性の微小亀裂に対してもグラウト注入が可能となる新たな注入技術の開発が望まれている。

動的注入工法は、図-1 に示すように一定の注入圧力に動的な圧力を付加することにより、微細な亀裂にも高粘性、高濃度のグラウトを注入することができる工法である。筆者らは図-2 に示すような、長時間にわたり安定した注入を可能にする現場注入システムを開発し、原位置試験により動的注入工法の注入特性や効果（優位性）を確認してきた²⁾。本論文では、今回新たに実施した原位置試験結果から得られた注入チャート（時間 - 注入量曲線）に着目し、動的注入工法の注入特性について検討を行なったので、その結果について報告する。

2. 原位置試験の概要

原位置試験は、中生代白亜紀の比較的新鮮な花崗岩体中に掘削されたトンネル坑内で実施した。岩盤等級は C L 級から C H 級が混在しているが、約 70% 程度は C M 級の硬岩である。グラウト注入は、φ43mm で 5m 掘削した後パッカーをかけ先端 5m に注入するフォアステップ形式で実施した。図-2 に示すようにこのシステムは、一定圧力でグラウトを供給する定圧グラウトポンプから注入孔内までのライン上に、

動的発生装置を付加することで、定圧のグラウトに任意周波数の動的圧力を与えることを実現させている。注入圧力については、静的注入時は 0.5MPa とし、動的注入時は注入圧 0.5MPa に ±0.3MPa の圧力振幅を付加した。周波数については、動的発生装置が同圧力範囲において安定して稼働可能な最小値である 5Hz を下限値として採用し、前回の原位置試験で最も注入効率が高かった 10Hz を上限値として採用した。注入材については、超微粒子セメントを使用し、水セメント比 W/C=4 の比較的富配合で注入を行なった。

3. 原位置試験結果

本論文では低透水性岩盤における動的注入工法の効果を検討するため、特に低透水性岩盤（2～3Lu）における試験結果に注目した。表-1 は 2～3Lu における試験結果を示しており、動的注入工法の方が、同程度のルジオン値において、単位セメント注入量（ボーリング孔 1m あたりに注入されたセメント重量）が多くなっ

キーワード 動的注入、低透水性、ルジオン値、放射性廃棄物処分施設

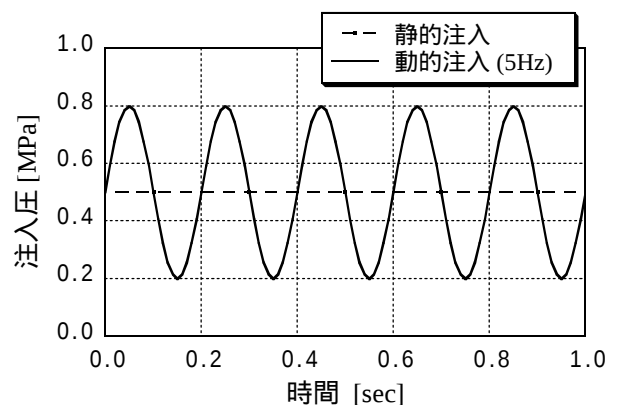


図-1 圧力波形の比較例

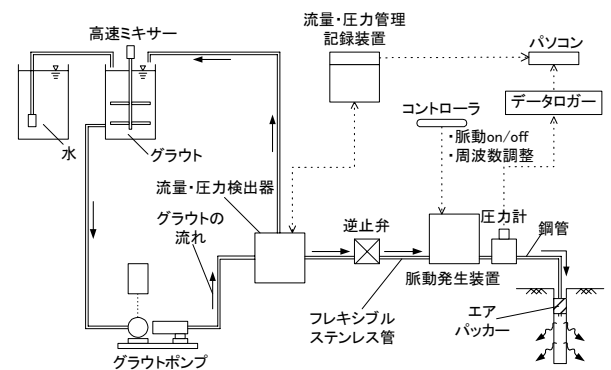


図-2 現場注入システム

ていることがわかる。

次に動的注入工法の効果のメカニズムを解明するため、それぞれの注入ケースにおける注入チャート（時間 - グラウト注入量曲線）を検証した。図- 3, 4 は静的と動的注入における注入チャートを示す。図- 3, 4 とともに、同程度のルジオン値（透水性）を対象にしていることから、それぞれの4 ケースの注入量変化はほぼ似たような傾向を示していることがわかる。ただし図- 3 に示すように静的注入時は、注入時間が 150 ～ 200 分の間で終了しているのに対し、図- 4 に示す動的注入の注入チャートの傾向は、注入時間が 200 分以上に伸びており、静的注入時のものに比べ注入量が減少していく傾きが緩やかであることがわかる。図- 5 に図- 3 の静的4 ケースについての平均と、図- 4 の動的4 ケースについての平均をプロットした結果を示す。図- 5 から、明らかに動的注入の結果の方が静的に比べ、セメント注入量が多くなっているのがわかる。これは動的圧力によりセメントグラウトの流動性が向上し、さらに目詰まりの形成が遅延され注入時間が伸びた結果、注入量が増加したためであると考えられる。

このように同程度の亀裂に対してより多くのセメント粒子が注入できたということは、止水性も大きく改善されていると予想され、放射性廃棄物処分施設のような止水性を最重要課題と考える岩盤空洞周辺へのグラウチングには、動的注入工法が有効であるといえる。

4. まとめ

低透水性岩盤部に高濃度のグラウト材をより確実に注入するための動的注入工法を開発し、低透水岩盤（2～3Lu）のサイトで原位置試験を実施した。その結果動的注入工法を適用することで、より多くのセメントを注入できることを確認した。また注入チャートの分析結果から動的注入工法の特徴として、より多いセメント注入量を維持したままより長い時間にわたり注入することで、セメント注入量が増加していることがわかった。これは動的注入工法により、流動性が向上し、目詰まりの発生が遅延されることによるものと考えられる。今後はさらに現場注入実績を積み上げていくとともに、室内の模擬亀裂注入実験を実施し、シミュレーション解析による分析も加え、最終的には岩盤状況とその注入目的に応じた最適な注入仕様について検討していく予定である。

参考文献

1) 核燃料サイクル機構：わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性—地層処分研究開発第2次取りまとめ，

JNC TN1400 99-022, 1999

2) 伊達, 山本, 桑川, 大場, 青木：低透水性岩盤における動的注入工法の適用結果, 第11回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, 2002.1

表- 1 注入試験結果

		ルジオン値 [Lu]	単位セメント 注入量 [kg/m]	注入時間 [min]
静的注入	1	2.2	12.3	160
	2	2.3	9.9	149
	3	2.4	12.3	179
	4	2.4	15.0	165
動的注入	①	2.1	14.7	220
	②	2.3	15.4	211
	③	2.6	18.4	222
	④	2.9	16.2	198

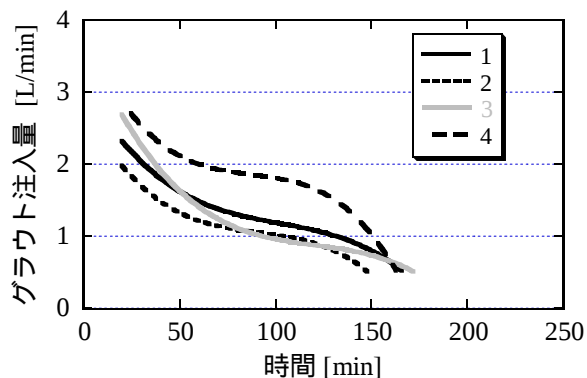


図- 3 静的注入における時間 - 注入量曲線

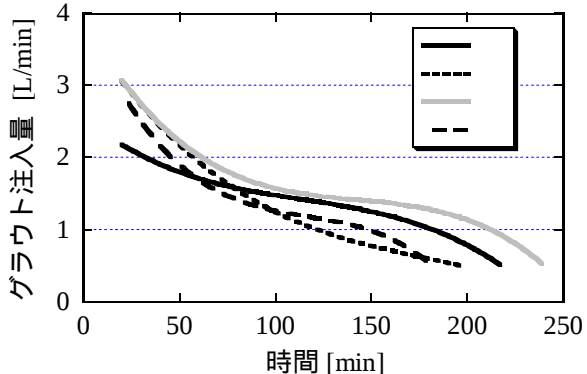


図- 4 動的注入における時間 - 注入量曲線

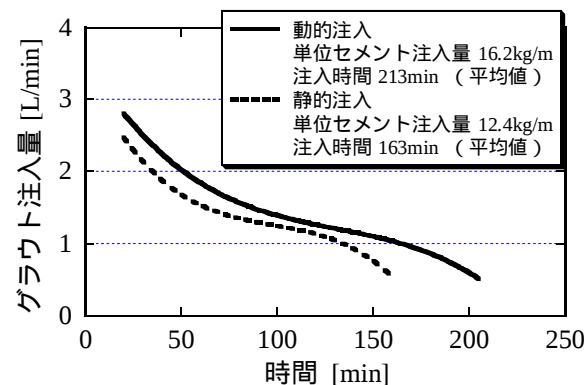


図- 5 時間 - 注入量曲線における
両工法の比較