

# 亀裂性岩盤を対象にした動的注入工法 「ダイナプレス工法」の開発

山本 拓治・伊達 健介・白井 俊輔

石油やLPGの地下備蓄基地の建設においては、一定の圧力で注入する従来工法では注入が困難な低透水性岩盤へも経済的かつ確実なグラウト材料の注入が要望されている。また、地質の悪いサイトにおけるダムやトンネル工事では、注入工の総工事費に占める割合が大きく、工期に与える影響も大きいため、コストダウンや工期短縮が望まれている。今回、一定の注入圧に対して脈動を与えることで、短時間で多量のグラウト注入を可能にする動的注入工法（ダイナプレス工法）を開発したので、工法の特長、現場注入システム及び原位置におけるグラウト試験について報告する。

キーワード：グラウト，注入，脈動，地下備蓄基地，ダムグラウチング，ダイナプレス工法

## 1. はじめに

石油やLPGの地下石油備蓄基地及び放射性廃棄物の処分施設の建設においては、従来の注入工法では注入が困難な低透水性の岩盤部へも、経済的かつ確実な止水注入が要望されている。

一方、ダム建設ではより遮水性の低い基礎岩盤に構築されることが多くなり、トンネル工事では都市部などの土砂地山や脆弱な地質部を掘削することが増加し、注入工事の総工事費に占める割合が増加するとともに、工程を大きく左右している場合が多い。

そこで、筆者らは、高濃度のグラウト材料をより短時間で、より微細な間隙へ注入する手段として動的注入工法（以下、ダイナプレス工法）を開発し、研究を行ってきた。本工法は、一定の注入圧力に高周波の動的な圧力を付加することにより、微細な割れ目にも高濃度、高粘性のグラウトをより効率的に注入することのできる新しい止水工法である。

本報文では、まずダイナプレス工法の概要を紹介するとともに、現場注入システム及びその脈動発生機構について述べる。次に、実岩盤におけるグラウト試験結果から、注入時間や注入量について従来工法（定圧でグラウトを供給する一般的な工法）と比較した結果を示す。また、脈動圧の最低値を注入対象域の間隙水圧以下に設定した場合

に見られる注入効果についても述べる。最後に、実工事から得られた知見、さらに現状における問題点や今後の研究の方向性について述べる。

## 2. ダイナプレス工法の概要

ダイナプレス工法は、一定の注入圧力に脈動圧を付加することによりグラウト材の見かけ粘性を下げ、地山の水圧より低い圧力を周期的に短時間与えることで亀裂内の充填物を一部除去するという効果を持っている。その結果、亀裂内の圧損を軽減し、微細な亀裂にも高濃度、高粘性のグラウトをより多く、より早く注入することが可能となり、止水性が向上する。

### (1) 工法の特長

上記の脈動に起因する効果により、本ダイナプレス工法は以下の特長を示す。

- ① より多くのグラウト材をより短い時間で注入可能
- ② 微細な亀裂への注入が可能
- ③ より高濃度のグラウト注入が可能
- ④ 目詰まりを生じた亀裂への再注入が可能

したがって、総注入時間が短縮されることで工期短縮を達成でき、より高濃度のグラウトを適用できることで止水性の向上にも貢献できるということがわかる。同配合であれば、より広範囲にグラウトが浸透することから、同様に止水性向上が

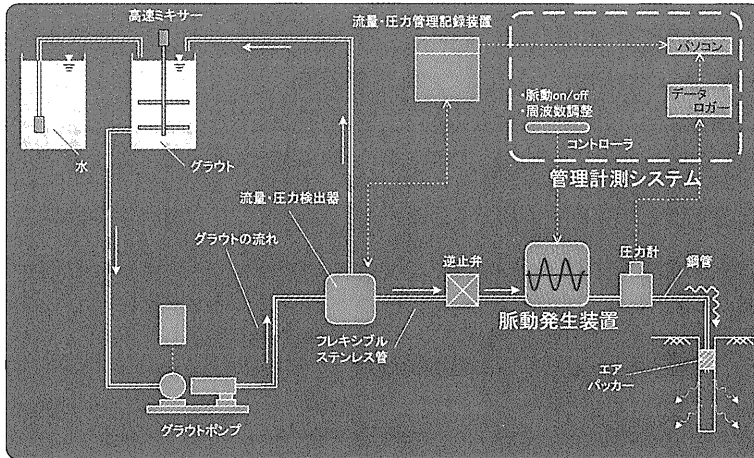


図-1 現場注入システム

実現でき、止水に関する基準値を早い段階で達成可能なため、さらに工期短縮に貢献することが可能である。

(2) 現場注入システム

(a) システム概要

ダイナプレス工法をグラウト注入工事に適用するために、図-1に示す現場注入システムを開発した。本システムでは、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、脈動発生装置を付加することで、定圧グラウトに任意周波数の脈動を与えることを実現させている。

定圧グラウトポンプは、インバータ制御モータで駆動する3連式単動ピストン型であり一定圧力、流量の供給が可能となっている。脈動発生装置は、発生装置に内蔵した圧力センサからの信号をデータロガーによりデジタルデータに変換し、リアルタイムにコンピューターのLCD表示にて波形を確認することができ、注入状況に応じて即座に条件変更が可能である。グラウト材の製造は、微粒子系セメントの高濃度、高粘性のグラウトの混練りが可能な高速ミキサを使用している。

本システムでは、耐圧ゴムホースによる脈動の減衰を防止する目的で写真-1に示す脈動発生装置のポンプ側にステンレス製フレキシブル管を、注入孔側にSGP鋼管を採用している。

また、ポンプや検出器への脈動付与による損傷

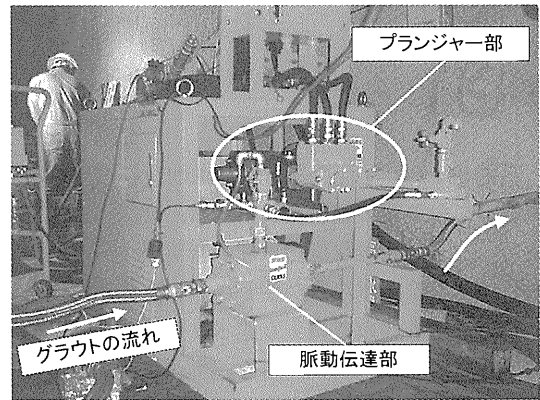


写真-1 脈動発生装置

を避けるため、脈動発生装置よりポンプ側に逆止弁を設けている。

(b) 追加システム

ダイナプレス工法は、従来工法のライン上に脈動発生装置及び管理計測システムを追加するだけの非常にシンプルなシステムから構成されており、余分なスペースをほとんど必要としない。

脈動発生装置は図-2に示すとおり、往復運動をするプランジャー部及び可撓性隔膜による脈動伝

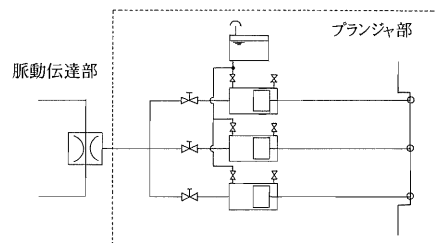


図-2 脈動発生装置

達部により構成される。

両者を結ぶ回路には作動油が充填されプランジャ部で生じた容積変化量を脈動伝達部に伝えられるようになっている。プランジャの動作はクランクにより行いインバータ制御モータを装備することで任意の周波数の脈動を与えることが可能である。脈動発生装置の仕様例は以下のとおりである。

- ① 同相三連式
- ② プランジャ径  $\phi 40$  mm
- ③ ストローク 17 mm
- ④ モータ 11 kW 4P インバータ制御

同仕様は、試作機（プランジャ径 $\phi 40$  mm×ストローク 50 mm×1, 7.5 kW 4P, インバータ制御）を用いた予備試験で運転周波数が約 30 Hz を超えると運転が不安定になったことを受け、設計変更を実施した結果である。設計変更にあたっては、慣性の影響を小さくし運転の安定性を確保するためストロークを試作機の 1/3 とし、プランジャ 3 本を並列に装備することで最大押しのけ容積を確保できるようにした。また使用シリンダ数を 1~3 本の間で自由に選択可能とし、運転周波数が増加するのに応じて選択本数を減らし、脈動伝達部に移動するオイルの総質量を減少させることで、装置の大型化を防ぎ高い周波数での運転安定性を確保できるようにした。同装置では現在、最大 50 Hz の脈動が安定して付与される。なお、脈動伝達部には例えばグラウト工で用いられる圧力計プロテクタの利用が可能である。

管理計測システムについても、写真一2に示すとおりシンプルな構成であり、脈動付与の操作も、選択するプランジャ数を決定し、つまみ調整



写真一2 管理計測システム

で周波数を変えるとといった単純な方法を採用している。したがって、通常のグラウト工事経験者なら誰でもすぐに使えるシステムになっている。

### 3. グラウト工事への適用例

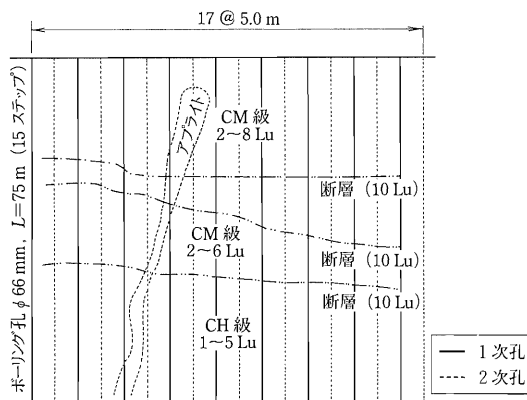
#### (1) 試験概要

グラウト試験は花崗岩体に 5 m のフォアステップで掘削した長さ約 75 m のボーリング ( $\phi 66$ ) 孔に対して計 265 ステップにわたり実施した。1 次孔は 10 m 間隔、2 次孔はその中央に削孔していることから、孔間は約 5 m となっている。注入状況を写真一3に示す。注入域における地質は、図一3に示すとおりであり、概ね 5 ルジオン以下の低透水域となっている。

注入は超微粒子セメントを用いた W/C=800%



写真一3 ダイナプレス工法実施状況



図一3 注入サイトの地質断面

の配合で開始し、 $0.1 \text{ L} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  となってから 30 分間に注入流量の増加がなければ注入終了とした。なお、周辺へのリーク防止のため、従来工法では定圧レベルを 0.5、0.75 MPa と比較的小さい値に設定した。ダイナプレス工法では定圧レベルに対し、1~50 Hz の範囲で脈動を付与した。表-1 にグラウト工における両工法の実績内訳を示す。

表-1 グラウト工事実績の内訳

従来工法	ステップ数	196
	注入圧 (MPa)	0.5 (190) 0.75 (6)
ダイナプレス工法	ステップ数	69
	周波数 (Hz)	1~50

備考：( ) 内の数字はステップ数を示す

### (2) 従来工法との比較

グラウト工事では必ず実績として記録される注入チャートから従来工法との比較を行う。図-4 は両工法のチャートの代表例である。

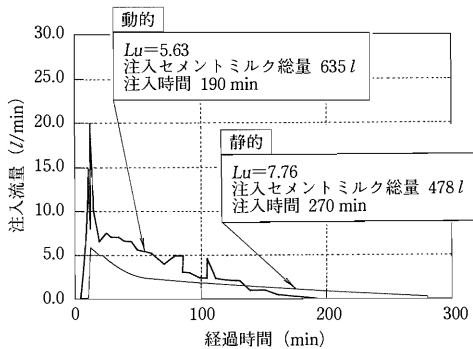


図-4 注入チャートによる両工法の比較

同図からダイナプレス工法適用区間のルジオン値は 5.63 と従来工法の区間よりも透水性が低いにもかかわらず、流量の立ち上がりの大きさに影響されて総注入量が多くなり、またより短い時間で注入が収束していくことがわかる。また、5 Lu 以下の低ルジオン域においても同様の傾向が確認できる。

そこで、図-5、図-6 に示すとおり、全ステップにおける単位注入セメント量（区間 1 m 当りに注入されたセメント重量）及び 1 ステップ当たりの注入時間に対し、従来工法とダイナプレス工法について比較を行った。

これらから、ダイナプレス工法の方が岩盤亀裂

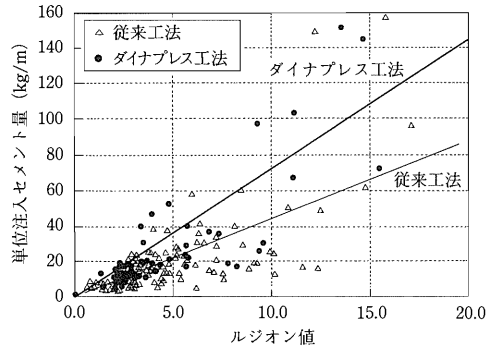


図-5 ルジオン値と単位注入セメント量の関係

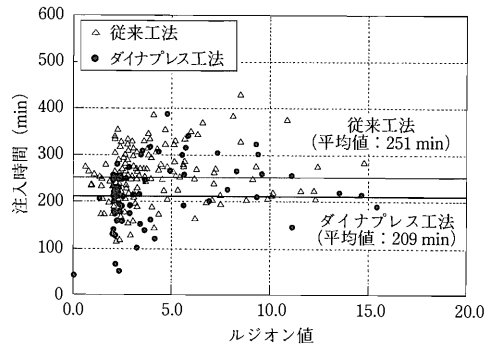


図-6 ルジオン値と 1 ステップ注入時間の関係

内により多くのグラウトを充填できること、総注入時間として約 15% 短縮できることがわかった。

### (3) 負圧効果

図-7 はルジオン値 2.3 の岩盤において 20 Hz の脈動を与えてグラウト注入した結果である。

ステップ I では 0.3~1.5 MPa の範囲の脈動を与え、ステップ II では最小値を地山の水圧よりも低い 0.1 MPa（最大値 1.5 MPa）とし、負圧（地山の水圧より低い圧力）の効果を検証した。同図

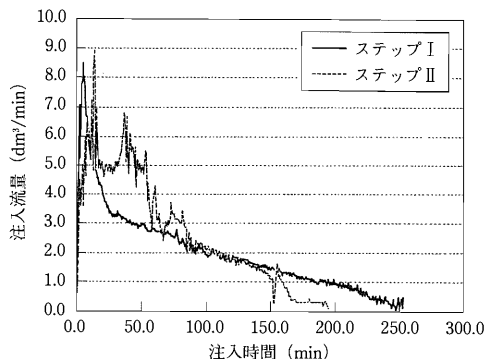


図-7 動的注入における負圧効果

からステップⅡの方が注入時間が短縮されており、時間当たりの単位注入セメント量が大きいことがわかる。また、総注入量としてもステップⅡの方が1割程度多い結果となった。

#### 4. あとがき

今後、脈動時の騒音や振動の軽減、脈動伝達部のメンテナンスフリー化等、各種システムの改良を実施し、最適な注入条件を自動的に検知する現場注入システムへと改善をしていくつもりである。そして本工法により、注入工事における品質の向上と合理化（工期短縮，コストダウン）がさらに進んでいけばよいと考えている。 J C M A

#### 《参考文献》

- 1) 伊達健介，山本拓治，桑川政則，大場康信，青木謙治：「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，G01，2002年1月

#### 【筆者紹介】

山本 拓治（やまもと たくじ）  
鹿島建設株式会社  
技術研究所  
土木技術研究部  
岩盤・トンネル Gr.  
グループ長



伊達 健介（だて けんすけ）  
鹿島建設株式会社  
技術研究所  
土木技術研究部  
岩盤・トンネル Gr.  
研究員



白井 俊輔（しらい しゅんすけ）  
鹿島建設株式会社  
北陸支店  
機電課長



//大幅改訂//

## 建設工事に伴う騒音振動対策ハンドブック

「特定建設作業に伴って発生する騒音の規制に関する基準」（環境庁告示）が平成8年度に改正され、平成11年6月からは環境影響評価法が施行されている。環境騒音については、その評価手法に等価騒音レベルが採用されることになった等、騒音振動に関する法制度・基準が大幅に変更されている。さらに、建設機械の低騒音化・低振動化技術の進展も著しく、建設工事に伴う騒音振動等に関する周辺環境が大きく変わってきている。建設工事における環境の保全と、円滑な工事の施工が図られることを念頭に各界の専門家委員の方々により編纂し出版した。本書は環境問題に携わる建設技術者にとっては必携の書です。

#### ■掲載内容：

- 総論（建設工事と公害，現行法令，調査・予測と対策の基本，現地調査）
- 各論（土木，コンクリート工，シールド・推進工，運搬工，舗装工，地盤処理工，岩石掘削工，鋼構造物工，仮設工，基礎工，構造物とりこわし工，定置機械（空気圧縮機，動発電機），土留工，トンネル工）
- 付録 低騒音型・低振動型建設機械の指定に関する規程，建設機械の騒音及び振動の測定値の測定方法，建設機械の騒音及び振動の測定値の測定方法の解説，環境騒音の表示・測定方法（JIS Z 8731），振動レベル測定方法（JIS Z 8735）

■体 裁：B5判，約340頁，表紙上製

■定 価：会 員 5,880円（本体5,600円）送料 600円

非会員 6,300円（本体6,000円）送料 600円

・「会員」本協会の本部，支部全員及び官公庁，学校等公的機関

・申込先 **社団法人 日本建設機械化協会**

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8（機械振興会館） Tel. 03(3433)1501 Fax. 03(3432)0289