

# 粘性土地盤での動的注入現場実験

駒延 勝広\* 大河内 保彦\*\*

要 約： 筆者らは薬液注入工法の品質改善や施工能率の向上を目的として、従来の注入速度一定で行う注入工法に対して、注入速度を変化させながら注入を行う動的注入工法を提案し、砂質土を対象とした室内実験を行ってきた。その結果、動的注入工法は割裂注入が主体となる粘性土地盤においても良好な注入が行える可能性があるのがわかった。

そこで、動的注入工法の粘性土地盤への適用性を検討するために関東ロームを対象とした現場注入実験を行った。その結果、以下のことがわかった。

1)動的注入工法は短い割裂脈が従来工法よりも多く発生する。2)動的注入工法は速度振幅は平均注入速度の2割程度が最適であると考えられる。3)動的注入工法では周波数が高くなるにつれて、割裂脈の発生本数が増える。

キーワード： 薬液注入工法，動的注入工法，粘性土地盤，注入速度，速度振幅，周波数，割裂注入，割裂脈，現場実験

目 次： 1.はじめに  
2.実験概要  
3.実験結果

4.まとめ  
5.おわりに

## 1. はじめに

筆者らは薬液注入工法の品質改善や施工能率の向上を目的として、従来の注入速度一定で行う注入工法（以下、静的注入とする）に対して、注入速度を変化させながら注入を行う動的注入工法（以下、動的注入とする）を提案し、砂質土を対象とした室内実験を行ってきた。

その結果、動的注入では割裂脈が静的注入のようにある特定の方向に長く進展せず、多方向に分散し、個々の割裂脈は短くなるということが確認できた<sup>1)</sup>。

これは、地盤が破壊されることで生じた空隙に薬液が充填される割裂注入により、周辺地盤の圧密効果や複合地盤としての強度増加を期待する粘性土地盤<sup>2)</sup>において、動的注入が有効であることを示していると考えられる。

そこで、動的注入工法の粘性土地盤への適用性を検討するために関東ロームを対象とした現場注入実験を行ったので報告する。

## 2. 実験概要

試験は(財)鉄道総合技術研究所内の実験ヤード（写真1）において行った。当該地盤はGL-0.5m程度までが埋め土、GL-0.5～3.5m程度までが関東ローム、GL-3.5m以深が礫である。当該地盤で行ったスウェーデン式サウンディング試験の結果を図1に示す。また、GL-1.5mで採取した関東ロームの粒度分布と物性値を図2に示す。

\*土木研究室

\*\*土木研究室 主任研究員

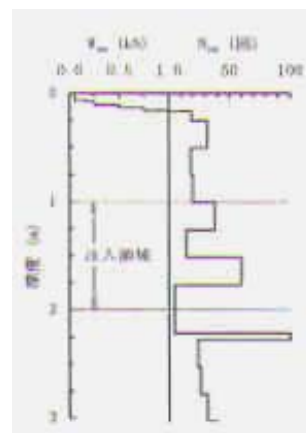


図1 スウェーデン式サウンディング試験



写真1 実験ヤード

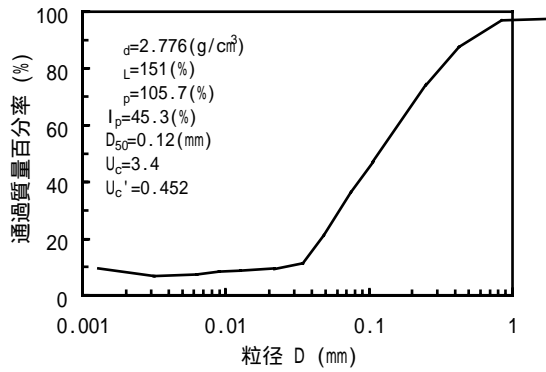


図2 関東ロームの粒度分布と物性値

動的注入は注入速度を図3に示すように制御して注入を行っている。注入開始から終了までの注入速度の平均値を平均注入速度  $q_{avg}$  と定義し、静的注入の注入速度との比較にはこの値を用いた。

実験は注入速度を決定するための水注入試験と、薬液注入実験を行った。

本来、水注入試験は浸透注入が可能である砂質土地盤における限界注入速度を決定するために行うものであるが、今回は粘性土地盤における水注入試験の適用性と限界注入速度を検討するために行った。

水注入試験はGL-2.0mの位置で行い、注入速度を0.5~20 (l/min)まで段階的に増加させた後、2(l/min)まで段階的に減少させて行った。各段階での測定時間は5分とした。なお、水注入試験の詳細については参考文献3)を参照されたい。動的注入の水注入試験は平均注入速度を静的注入の注入速度と同じにし、注入速度の両振幅と平均注入速度との比率を0.1にして行った。

薬液注入実験は動的注入の平均注入速度を10(l/min)と一定にし、注入速度の両振幅(以下、速度振幅  $q_{p-p}$  とする)、周波数  $f$  を数種類に変えて実験を行った。実験ケースを表1に示す。

注入領域はGL-1.0~2.0m(図1)とし、注入率35%で総注入量を280lとした。設計上は直径1m、高さ1mの円柱改良体ができる注入量である。

注入方法はステップアップ方式とし、1ステップ当りの注入量を70l、注入ステップを0.25m/ステップとした。

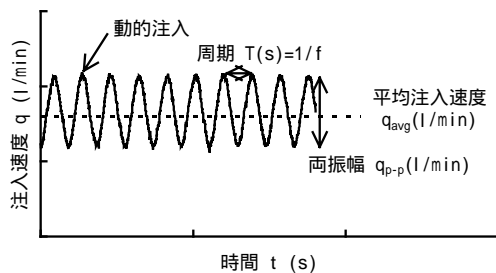


図3 動的注入の注入速度の波形例

薬液はセメント系のもを用い、ゲルタイムを15秒に設定した。薬液の配合を表2に示す。

注入後、掘削を行い、注入状況を3断面(GL-1.0m, GL-1.5m, GL-2.0m)について調べた。

表1 実験ケース

No.	注入方法	平均注入速度 $q_{avg}$ (l/min)	速度振幅 $q_{p-p}$ (l/min)	周波数 $f$ (Hz)
STA	静的	10.0	-	-
DYN1	動的	10.0	1.0	0.1
DYN2	動的	10.0	2.0	0.1
DYN3	動的	10.0	4.0	0.1
DYN4	動的	10.0	1.0	0.2
DYN5	動的	10.0	1.0	0.5

表2 薬液の配合(1l)

A液		B液			
水	ガラス(l)	水(l)	セメント(g)	硬化材(g)	水(l)
0.25	0.25	200	75	0.41	

### 3. 実験結果

#### 3.1 水注入試験

図4に水注入試験の結果を示す。なお、図中の白抜き、点線は減少過程を、動的注入の注入圧力は平均値を示している。

静的注入では1(l/min)程度で  $p-q$  チャートが初期直線勾配線からはずれる傾向を示し、また、減少過程が増加過程のかなり下方に位置している。これより、当該地盤において浸透注入を行うにはかなり低い注入速度としなければならず、また、実用上の注入速度が10~20(l/min)程度であることから考えると、当該地盤のような粘性土地盤では割裂注入が主体になると考えられる。

一方、動的注入では注入圧力がかなり変動するものの、全体的には静的注入よりも小さい値となっている。これより、動的注入では地盤にあまりダメージを与えずに注入が可能であると思われる。

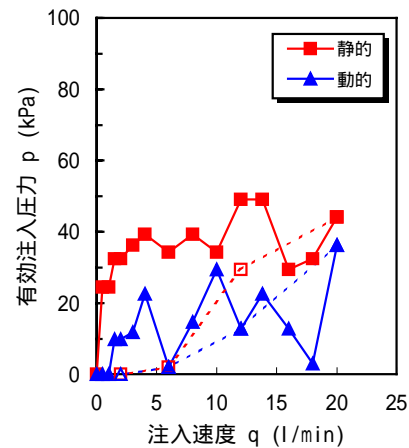


図4 水注入試験結果

### 3.2 薬液注入実験

静的注入である STA と動的注入である DYN2, DYN5 の GL-1.5m での割裂脈の分布状況を写真 2 ~ 4 に示す。なお、写真中の白線は割裂脈を示している。静的注入では割裂脈が 4 本しか発生していないのに対して、動的注入では割裂脈の発生本数が多く、また、太くなっているのがわかる。



写真2 STA



写真3 DYN2



写真4 DYN5

図5, 6 に割裂脈の発生本数の深度分布を示す。ここで対象としている割裂脈は設計改良範囲内（注入管を中心とした直径 1m の円内）にあるものとし、設計範囲外へ進展しているものについては設計範囲内にある部分のみを有効と

した。図5は動的注入の周波数を 0.1(Hz) と一定にし、速度振幅を変えた場合、図6は速度振幅を 1(l/min) と一定にし、周波数を変えた場合である。

図5によると、割裂脈の本数は速度振幅が平均注入速度の2割程度のときに最も多くなっている。これより動的注入では平均注入速度の2割程度の速度振幅が最適であると考えられる。これまでに行った砂質土での室内実験でも同様の結果<sup>1)</sup>を得ている。また、GL-1.0m と GL-2.0m で割裂脈の本数が少なくなっているのは、土かぶり薄いために割裂脈が進展しやすいことや、透水性の大きい礫地盤に薬液が流れたためであると考えられる。

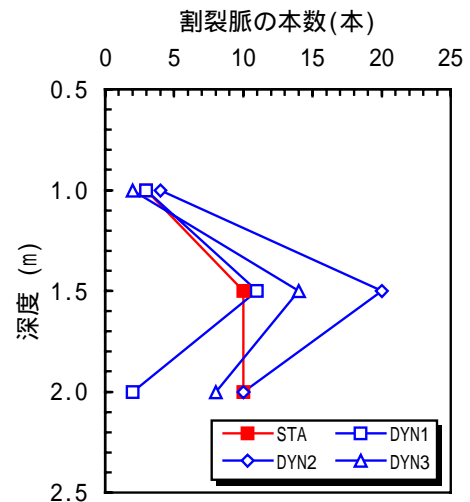


図5 割裂脈の深度分布 (周波数 0.1(Hz))

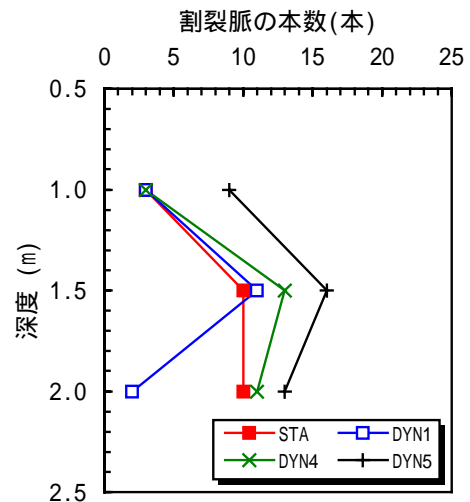


図6 割裂脈の深度分布 (速度振幅 1.0(l/min))

周波数に着目すると、周波数が大きくなるにつれて、割裂脈の本数が多くなるという結果を得た。しかし、今回は周波数が 0.1~0.5Hz と低い範囲での実験なので、今後、より高い周波数での実験を行う必要があると考えられる。また、周波数を変化させた場合では、割裂脈の本数が深度に関係なく、全体的に増加する傾向があるのがわかる。これ

は速度振幅を変化させた場合にはみられない傾向である。

#### 4. まとめ

動的注入工法の粘性土地盤への適用性を検討するために関東ロームを対象とした現場注入実験を行った。その結果、以下のことがわかった。

- 1)動的注入は短い割裂脈が静的注入よりも多く発生する。
- 2)動的注入の速度振幅は平均注入速度の2割程度が最適であると考えられる。
- 3)動的注入では周波数が大きくなるにつれて、割裂脈の本数が多くなる。

#### 5. おわりに

今後は、さらに高い周波数での注入効果や改良率の違いによる複合地盤強度の違いについて、実験や有限要素法による解析などで検討を進めていく予定である。

#### 謝 辞

本研究は、財団法人鉄道総合技術研究所と共同で行っているものであり、本研究を進めるにあたり、ご指導を頂きました同所の村田修氏を始め、土構造グループの方々に謝意を表します。

#### 参考文献

- 1)駒延勝広・村田修：動的注入工法の振幅および周波数が改良効果に与える影響，pp.19～24，鉄道総研報告，Vol.12，No.4，1998年4月
- 2)最新地盤注入工法技術総覧編集委員会編：最新地盤注入工法技術総覧，pp.104，(株)産業技術サービスセンター，1997年10月
- 3)森隣・田村昌仁 他2名：薬液注入において浸透固結形を考慮した限界注入速度の決定方法，土質工学会論文報告集，Vol.33，No.3，1993年9月

## Field Tests on Clay by Dynamic Grouting Method

K.Komanobe, Y.Okochi

In order to improve the quality of chemical grouting, the authors proposed the dynamic grouting method that does inject while changing injection speed. Field grouting tests were carried out to investigate the good of dynamic grouting method on clay. From these tests, the following conclusions were obtained.

- 1)The short fracture generated by the dynamic grouting method was greater than that by the ordinary method.
- 2)As frequency becomes great in dynamic grouting method, the number of fracture increases.