

動的な注入に関する模型実験
- 固結体の形状、強度、透水性について -

駒延 勝広^{*} 大河内保彦^{**} 遠藤 修^{*}

要 約： 薬液注入工法の効率的な注入方法として、注入速度を変化させて行う注入(以後、動的注入と呼ぶ)を考え、模型土槽を用いた注入実験を行い、固結体の形状、強度、透水性について検討を行った。また、比較のために、従来の速度一定で行う注入(以後、静的注入と呼ぶ)についても実験を行った。

その結果、動的注入では静的注入よりも得られる固結体の体積が大きく、薬液の浸透距離も長いことがわかった。また、固結体の強度は動的注入の方が静的注入よりも大きくなり、透水係数は動的注入の方が静的注入よりも小さくなる傾向がみられた。これらより、動的注入は静的注入と比較して、広範囲に薬液を浸透させることができ、しかも、均一で品質のよい固結体が得られると推測された。

キーワード： 注入速度，注入圧力，固結体形状，強度，透水性，動的注入，砂地盤，水ガラス

目 次： 1 . はじめに
2 . 実験概要

3 . 実験結果
4 . まとめ

1 . はじめに

薬液注入は、簡易に地盤改良が行える工法として多くの現場で用いられている。しかし、設計通りの改良効果が得られない、明確な効果判定手法がないなど、種々の課題も残されている¹⁾。

本研究では、設計通りの改良効果が得られる、効率的な注入方法を検討することを目的としている。

そこで、効率的な注入方法として、注入速度を変化させて行う注入(以後、動的注入と呼ぶ)を考え、模型土槽を用いた注入実験を行っている^{2),3)}。

今回は、動的注入と従来の速度一定で行う注入(以後、静的注入と呼ぶ)との固結体の形状、強度、透水性の違いについて検討を行ったので、ここに報告する。

2 . 実験概要

実験装置図を図 - 1 に示す。この装置は上部のゴム袋に水圧を作用させて模型地盤に上載圧を加えることができる。実験では、模型地盤に 98kPa の上

載圧を加えた。

模型地盤は珪砂 8 号を用いて水中落下法により、相対密度が 60% となるように作製した。珪砂 8 号の粒度分布とその物性値を図 - 2 に示す。薬液注入時と同じ拘束圧 98kPa での室内透水試験によると、相対密度 60% での珪砂 8 号の透水係数は $5.42 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ であった。

薬液は水ガラス系溶液型薬液を用いた。その配合を表 - 1 に示す。ゲルタイムは 30 秒とし、総注入量は 16(l)とした。

動的注入は、注入速度を図 - 3 に示すような正弦波にして注入を行っている。図中の平均注入速度 q_{av} とは動的注入の注入速度の平均値である。静的注入との注入速度の比較にはこの値を用いた。実験では、動的注入の注入速度の振幅、周期をそれぞれ 4(l/min)、7 秒と一定にし、平均注入速度を 3,4,6(l/min)の 3 種類とした。従来方法との比較を行うために、動的注入の平均注入速度に等しい注入速度での静的注入も行った。表 - 2 に実験

ケースを示す。実験は、注入時の注入圧力と注入速度の測定を行い、注入1日後に土槽を解体し、固結体の形状、強度、透水性を測定した。

固結体の形状測定は、土槽を図 - 4 に示す座標系とみなして行った。また、固結体の強度及び透水性については、注入孔直近から直径 5cm、高さ 10cm の供試体を採取(図 - 4 参照)し、注入7日後に一軸圧縮試験と、加圧定水位透水試験を行った。

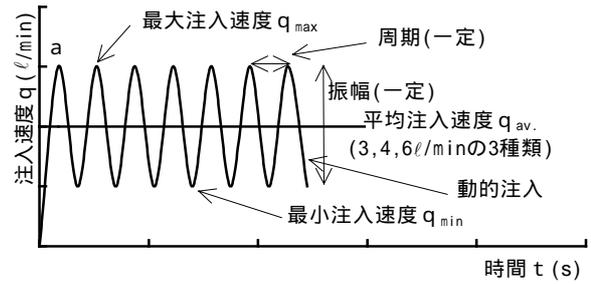


図 - 3 動的注入での注入速度の波形列

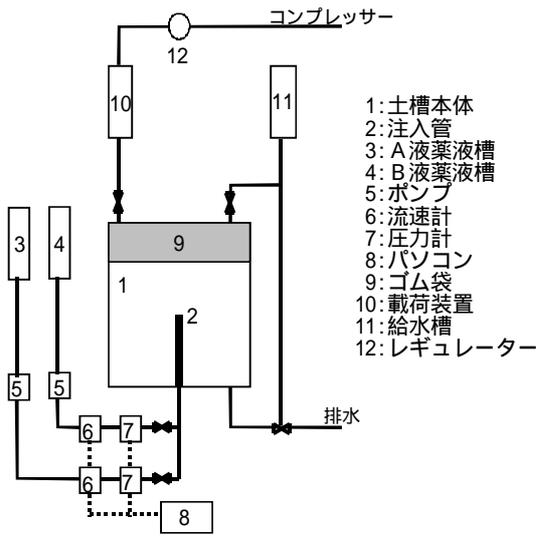


図 - 1 実験装置図

表 - 2 実験ケース

No.	注入方法	注入速度	平均注入速度	周期
CASE 1	静的	3(l/min)		
CASE 2	静的	4(l/min)		
CASE 3	静的	6(l/min)		
CASE 4	動的	1~5(l/min)	3(l/min)	7(s)
CASE 5	動的	2~6(l/min)	4(l/min)	7(s)
CASE 6	動的	4~8(l/min)	6(l/min)	7(s)

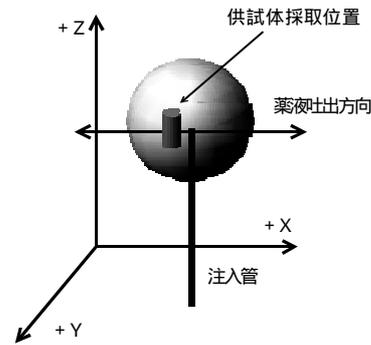


図 - 4 土槽の座標系

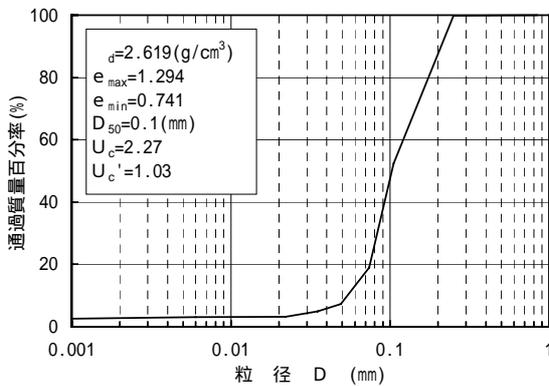


図 - 2 珪砂 8 号の粒度分布図

表 - 1 薬液の配合(1L)

A 液		B 液	
水がら(l)	水(l)	硬化剤(g)	水(l)
0.25	0.25	50	0.485

3. 実験結果

3.1 注入圧力

図 - 5 に平均注入速度がほぼ 6(l/min) のときの動的注入と静的注入の注入圧力の経時変化を示す。図で示したように、動的注入では注入圧力が注入速度の変化に伴い変動する。また、静的注入でも注入圧力が若干、変動する。そこで、両者の注入圧力を比較するために、

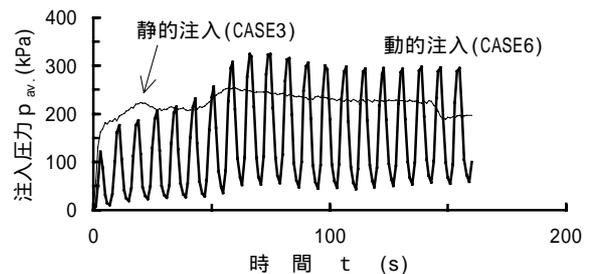


図 - 5 注入圧力の経時変化(6(l/min時))

次式に示す平均注入圧力 p_{av} を定義した。

$$\text{平均注入圧力 } p_{av} = \frac{\sum_{i=a}^n p_i}{n - a + 1}$$

p_i : 時間 i での注入圧力 (kPa)

n : 注入終了時の測定点数 (個)

a : 注入速度が一定になったときの測定点数 (個)

(図 - 3 参照)

図 - 6 に平均注入圧力 p_{av} と平均注入速度 q_{av} との関係を示す。図より、注入速度が同じならば、静的注入よりも動的注入の方が平均注入圧力が小さいのがわかる。

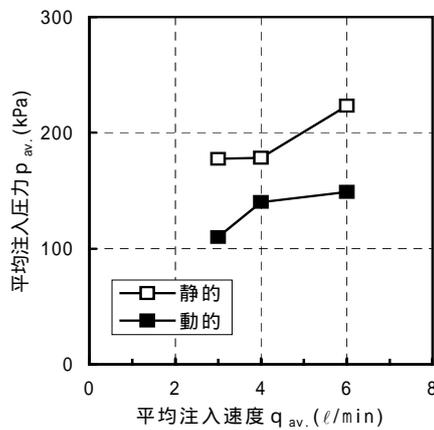


図 - 6 p_{av} と q_{av} の関係

3.2 形状

図 - 7 に、形状測定より求めた固結体の体積 V と設計計算上の固結体の体積 V_0 との比 V/V_0 と平均注入速度 q_{av} との関係を示す。なお、設計計算上の固結体の体積は約 33500cm^3 である。図より、動的注入は静的注入よりも固結体体積比が大きくなるのがわかる。また、静的注入は平均注入速度が増加するにつれて、固結体体積比が大きくなるが、動的注入は平均注入速度に係らず、固結体体積比はほぼ一定であるのがわかる。

図 - 4 に示す座標系で、注入孔と同じ高さにおける X Y 平面と平行な断面(以後、注入孔断面と呼ぶ)より、 X 、 Y 軸方向それぞれの薬液の浸透長さを測定した。そして、浸透長さの半分の長さを浸透半径と定義した。図 - 8、9 はそれぞれ X 、 Y

軸方向の薬液の浸透半径 r_x 、 r_y と平均注入速度 q_{av} の関係を示したものである。これより、 X 、 Y の両方向とも、動的注入の方が静的注入よりも薬液の浸透半径が長くなる傾向があるのがわかる。このことは、動的注入は静的注入に比べ、広範囲に薬液を浸透させられることを示す。

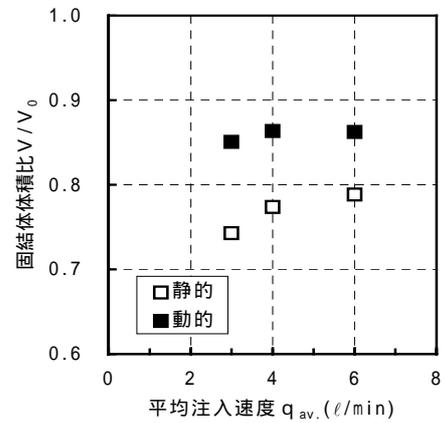


図 - 7 V/V_0 と q_{av} の関係

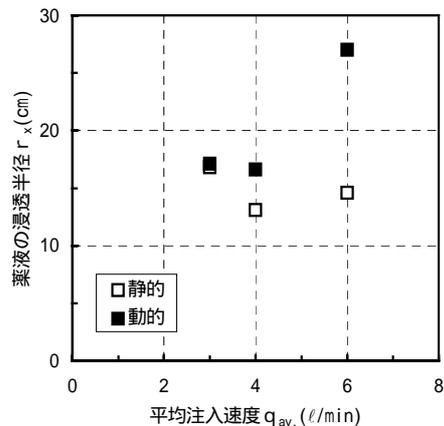


図 - 8 r_x と q_{av} の関係

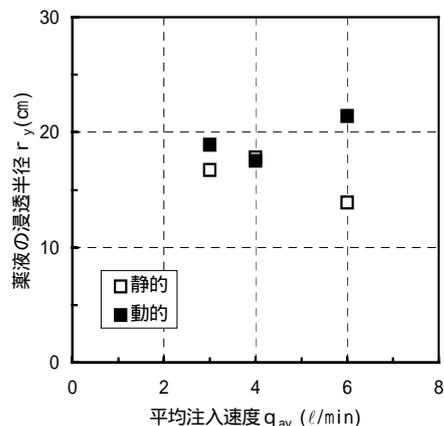


図 - 9 r_y と q_{av} の関係

3.3 強度

図 - 10 に固結体の一軸圧縮強度 q_u と平均注入速度 $q_{av.}$ との関係を示す。固結体の強度は静的注入よりも動的注入の方が大きくなるのがわかる。静的注入ではどの注入速度においても、その一軸圧縮強度はほとんど変わらないが、動的注入では注入速度が大きくなるにつれて、一軸圧縮強度も増加している。これより、動的注入は同じ平均注入速度の静的注入よりも品質のよい固結体が得られると推測される。

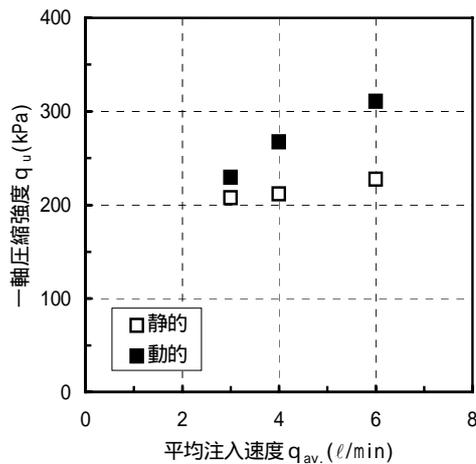


図 - 10 q_u と $q_{av.}$ の関係

3.4 透水性

図 - 11 に固結体の透水係数 k と平均注入速度 $q_{av.}$ との関係を示す。平均注入速度が 3, 4 (l/min) のときの固結体の透水係数は動的注入も静的注入も $1.0 \times 10^{-5} \sim 3.0 \times 10^{-5}$ (cm/s) の範囲内にあり、ほとんど変わらないが、平均注入速度が 6 (l/min) のときは、動的注入での固結体の透水係数は、静的注入の約 1/10 程度になっている。また、動的注入では注入速度が大きくなるにつれて、透水係数が小さくなる傾向が顕著に認められた。

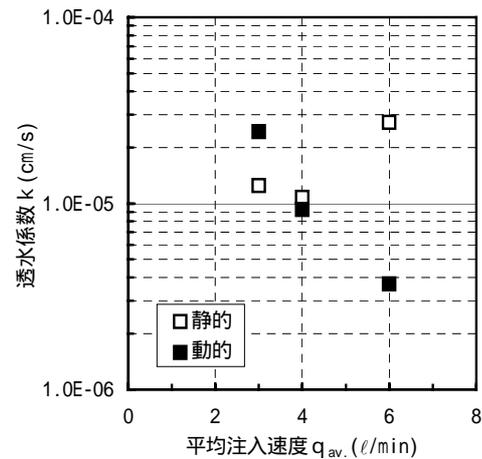


図 - 11 k と $q_{av.}$ の関係

4. まとめ

薬液注入の効率的な注入方法として、注入速度を変化させて注入を行う動的注入方法を考案し、固結体の形状、強度、透水性についての効果確認を、模型土槽を用いた注入実験で行った。従来の注入方法である速度一定での静的注入実験も行い、動的注入との比較検討を行った。その結果、以下のことがわかった。

- 1) 動的注入は静的注入よりも得られる固結体の体積が大きく、薬液の浸透距離も長かった。したがって、動的注入は静的注入と比較して、広範囲に薬液を浸透させることができ、均一な固結体が得られると推測される。
- 2) 動的注入は固結体の強度が静的注入よりも大きくなり、品質のよい固結体が得られると推測される。
- 3) 動的注入は固結体の透水係数が静的注入よりも小さくなる傾向がみられた。

参考文献

- 1) 三木ら編：薬液注入工法の調査・設計から施工まで，土質工学会，1985.2，pp.9～12
- 2) 駒延，大河内，遠藤：動的な注入に関する模型実験 - 薬液の固結形状について - ，第 31 回地盤工学研究発表会，1996.7
- 3) 駒延，大河内，遠藤：動的な注入に関する模型実験 - 固結体の強度、透水性について - ，第 51 回土木学会年次学術講演会，1996.9