

# 動的な注入での固結体の形状評価に関する一考察

東急建設(株)技術研究所 正会員 駒延 勝広  
 (財)鉄道総合技術研究所 正会員 村田 修  
 東急建設(株)技術研究所 正会員 大河内保彦

## 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用いられているが、設計どおりの改良が行えない、注入後の効果確認手法が明確でないなど問題点も多い<sup>1)</sup>。特に、注入後の改良体の形状は設計改良範囲をきちんと改良する上で重要であると考えられるが、改良体の形状評価についての研究は少ない。一方、筆者らは薬液注入の品質や施工率の向上を目的として、注入速度を変化させながら注入を行う方法(以後、動的注入とする)を提案し、模型土槽を用いた室内試験をこれまで行ってきた<sup>2)</sup>。その結果、動的注入では固結体の強度が大きくなるなど、従来の速度一定で行う注入方法(以後、静的注入とする)よりも良好な改良効果が得られることがわかった。

そこで、今回は2種類の形状評価手法を用いて動的注入により得られた固結体の形状評価を行った。

## 2. 実験概要

模型地盤は珪砂8号を用いて水中落下法により、相対密度が約80%となるように作製した。薬液は水ガラス系溶液型薬液を用い、ゲルタイムを30秒に設定し、総注入量を16lとした。なお、実験装置等の詳細については参考文献2)を参照されたい。

動的注入は注入速度を図1のように制御して注入を行っており、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。今回は、平均注入速度を8(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  $f (=1/T)$  をそれぞれ数種類に変えて実験を行った。実験ケースを表1に示す。

実験は模型地盤を98kPaで加圧した状態で注入を行い、注入時に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、固結体の形状を調べた。固結体の形状は模型土槽を図2に示す座標系とみなし、注入孔と同じ高さにおけるXY平面と平行な断面を注入孔断面と定義し、この断面において評価した。

## 3. 評価方法

固結体の形状評価は、1)roundness、2)注入孔断面での固結形状の最大長  $a$  に対する最長長  $b$  の比(以下、最長長比  $b/a$  とする)、の2種類の手法により行った。

roundnessとは粒子の形状を数値で評価する手法としてWadellにより提案されたものであり、粒子の投影面において突起部に内接する円の半径と、同じ平面上に内接する最大円の半径を用いて式(1)で示される。なお、roundnessの詳細については参考文献3)を参照されたい。

$$roundness = \frac{\sum r_i}{nR} \quad \dots\dots\dots \text{式(1)}$$

$r_i$ : 突起部に内接する円の半径  
 $R$ : 粒子に内接する最大円の半径  
 $n$ :  $r_i$ の個数

注入孔断面での最大長、最長長は注入管をとり注入孔断面の形状を2分割する直線より求めた。なお、注入孔断面を2分割する直線は注入管を中心として時計回りに10度刻みで合計18本とした。

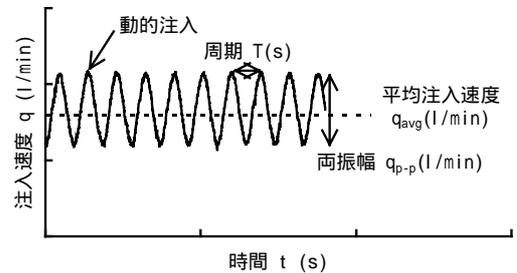


図1 動的注入の注入速度の波形例

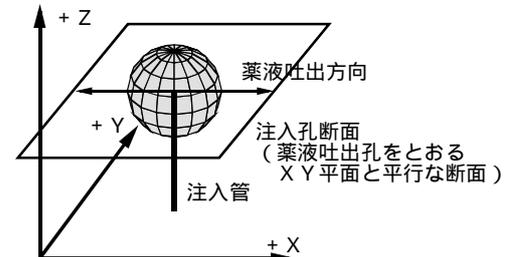


図2 模型土槽の座標系

表1 実験ケース

		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)
CASE1	A	静的	8.0	-	-
	B	静的	8.0	-	-
	C	静的	8.0	-	-
CASE2		動的	8.0	1.0	0.1
CASE3	A	動的	8.0	2.0	0.1
	B	動的	8.0	2.0	0.1
CASE4	A	動的	8.0	5.0	0.1
	B	動的	8.0	5.0	0.1
CASE5		動的	8.0	2.0	0.2
CASE6	A	動的	8.0	2.0	0.5
	B	動的	8.0	2.0	0.5

#### 4. 実験結果

図3に注入孔断面の一例を示す。図中の+印は注入管を示している。静的注入であるCASE1では長い割裂脈が発生しており、注入孔断面が割裂脈に沿った形状をしている。これに対して、動的注入であるCASE3では割裂脈の発生が少なく、また、発生した割裂脈の長さも短く、注入孔断面の形状が円に近いのがわかる。

そこで、各ケースの roundness と固結体積比  $V/V_0$  との関係を図4に示す。ここで、固結体積比  $V/V_0$  とは注入後に実測により求めた固結体の体積  $V$  を、実際の注入量から算出した固結体の体積  $V_0$  で除したものである。なお、 $V_0$  は薬液の充填率を100%として算出した。図より roundness が大きくなると、固結体積比が大きくなるのがわかる。これは、注入孔断面での形状が円に近くなると、固結体積比も大きくなることを示している。また、動的注入と静的注入の roundness を比較すると、速度振幅が大きいCASE4や周波数が高いCASE6では静的注入の方が動的注入よりも大きくなっているが、速度振幅  $2(1/min)$ 、周波数  $0.1(Hz)$  であるCASE3では動的注入の方が静的注入よりも大きくなっている。これは、動的注入において速度振幅が大きすぎたり、周波数が高すぎたりすると、注入時の最大注入圧力や、注入圧力が注入速度の挙動に追従できずに高い圧力状態が持続してしまうために地盤中に割裂脈が発生し、この割裂脈が固結体の形状に方向性を及ぼすためであると考えられる。

図5に最短長比  $b/a$  と固結体積比  $V/V_0$  との関係を示すが、この図においても最短長比が大きくなると、固結体積比が大きくなり、図4と同様な傾向を示しているのがわかる。

そこで、roundness と最短長比  $b/a$  との関係を図6に示す。図より roundness と最短長比には比例的な関係があり、測定が比較的簡易である最短長比で固結体の形状を数値的に表すことができると考えられる。

#### 5. まとめ

薬液注入の品質や施工能率の向上を目的として、動的注入工法を提案し得られた固結体の形状を2種類の形状評価手法により評価した。その結果、以下のことがわかった。

- (1) roundness が大きくなると、固結体積比が大きくなる。
- (2) 動的注入では速度振幅が大きすぎたり、周波数が高すぎたりすると、固結体の形状に方向性が生じると考えられ、固結体の形状に方向性を及ぼさない最大の速度振幅、周波数が動的注入における最適な速度振幅、周波数と考えられる。
- (3) roundness と最短長比には比例的な関係があり、最短長比で固結体の形状を数値的に表すことができると考えられる。

なお、本報告は筆頭執筆者が(財)鉄道総合技術研究所に出向中に行った研究の一部をまとめたものである。

#### <参考文献>

- 1) 土質工学会編：薬液注入の調査・設計から施工まで，(社)土質工学会，pp.9～12，1985.2
- 2) 駒延，大河内：動的な注入に関する模型実験（その2）- 注入速度の振幅が注入効果に与える影響について - ，東急建設技術研究所報，No.23，pp.85～90，1997.10
- 3) 最上武雄：土質力学，技報堂，pp.898～899，1969.8

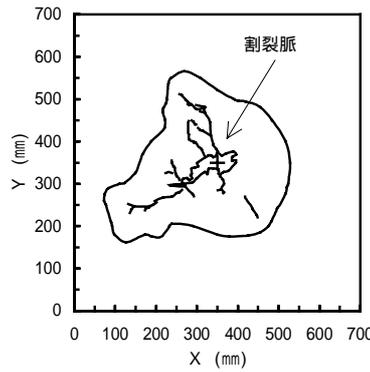


図3 a 注入孔断面 (CASE1A)

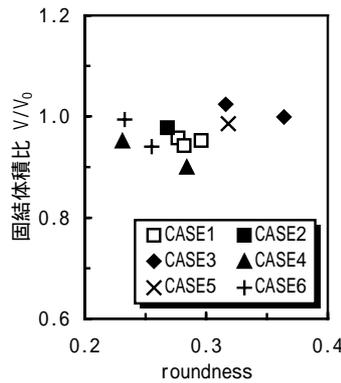


図4 roundness と  $V/V_0$  の関係

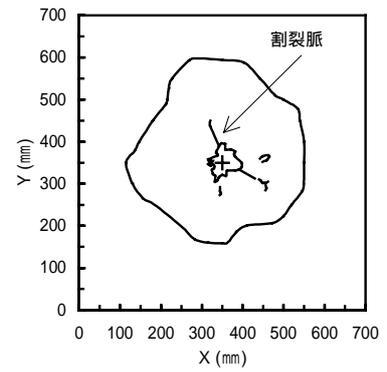


図3 b 注入孔断面 (CASE3A)

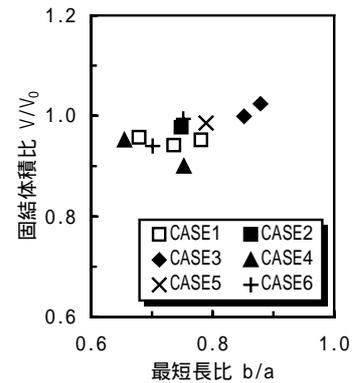


図5 最短長比と  $V/V_0$  との関係

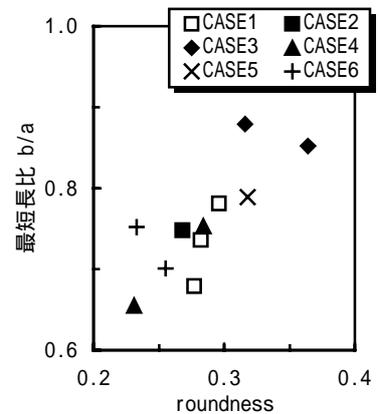


図6 roundness と最短長比との関係