

III- 285

液状化土の流動特性に関する基礎的研究

東海大学大学院○正会員 湯 浅 明

東京電力技術研究所 正会員 佐 藤 博 正会員 土居賢彦

東海大学海洋学部 正会員 川上 哲太朗

早稲田大学理工学部 正会員 浜 田 政 則

1. はじめに 液状化地盤の側方流動に対する合理的な予測手法を開発するためには、液状化土の変形流動特性を解明することが必要である。これまで著者らは、液状化土に対する流体モデルの適用性について種々検討を行ってきた。その結果、液状化土の流動特性は、液状化土を適切な流体モデルと仮定することにより説明可能であることを確認した。

本研究では、液状化土の流動特性を明らかにするために、液状化土の流体としての物性の一つである粘性係数を球引き上げ法および回転式粘度計による実験より求めた。以下その内容について報告する。

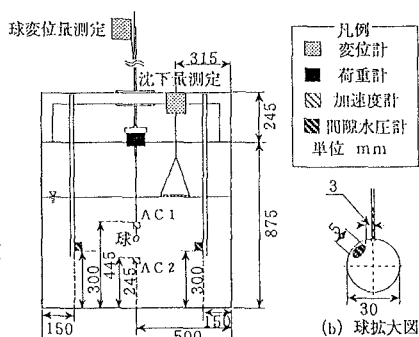
2. 球引き上げ法による実験 (a)実験方法および実験条件：実験方法は図-1に示すように、円形土槽内に投入した飽和砂（豊浦標準砂）を、加振により液状化させた後、予め土槽内に設置した球を等速度で引き上げる時に得られる作用外力を測定するものである。液状化土の粘性係数 η は、測定した球への最大作用外力 F_{max} 、引き上げ速度 U 、球径 d からニュートン流体の仮定に基づくストークスの抵抗法則(1)式により算出する。

$$\eta = \frac{F_{max}}{3\pi d U} \quad (1)$$

実験条件は表-1に示す通りである。

(b)実験結果：図-2に計測結果の一例を示す。図-2(a)と図-2(b)より、引き上げ速度が一定である区間では球への作用外力も一定である。これは、液状化土の粘性係数が一定であることを仮定すると、(1)式に示される球への作用外力と速度の関係を満足している。以上の結果は、液状化土を流体として近似できることを示している。図-3は、全ての実験結果より求めた液状化土の粘性係数と引き上げ速度の関係を示す。図-3は引き上げ速度が大きいほど、粘性係数が小さいことを示している。図-4は図-3と同様に、液状化土の粘性係数と地盤の相対密度の関係を示す。図-4は相対密度が大きいほど、粘性係数も大きいことを示している。

3. 回転式粘度計による実験 (a)実験方法および実験条件：実験方法は図-5に示すように、円形容器内の飽和砂（豊浦標準砂）を上向き浸透流により液状化させた後、予め設置した回転式粘度計で液状化土



(a) 円形土槽側面図

図-1 球引き上げ実験装置の概要

表-1 球引き上げ実験の実験条件

実験条件 ケース	直径 (cm)	引き上げ 速度(cm/s)	相対密度 (%)
引き上げ速度 の影響	3.0	0.25~1.75	20
相対密度 の影響	3.0	1.5	10~50

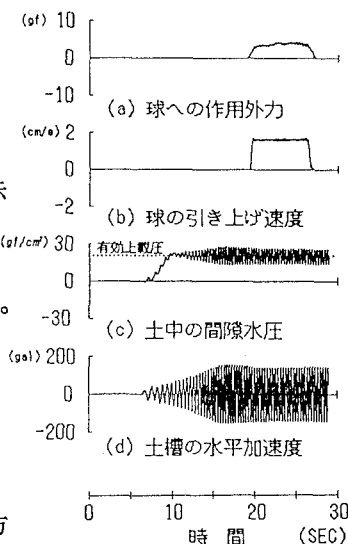


図-2 計測結果の一例

の粘性係数を測定するものである。

実験時の液状化状態は、静水時の鉛直有効応力に等しくなる動水傾度を、間隙水圧計の記録により把握することで確認を行った。

回転式粘度計による粘性の計測原理は、地盤中に鉛直に設置されたローターを一定速度で回転させ、図-3 粘性係数と引き上げ速度の関係（球径3cm、相対密度20%、入力加速度200gal）この時発生する粘性トルクを測定し、これをストークスの方程式より導出される、回転する同心2円筒内の流れに関する解に基づき、粘性係数に換算するものである。

実験条件は表-2に示す通りである。

(b)実験結果：図-6は、全ての実験結果より求めた液状化土の粘性係数とローターの回転数の関係を示す。図-3は回転数が高いほど粘性係数が小さいことを示している。図-7は図-6と同様に、液状化土の粘性係数と地盤の相対密度の関係を示す。図-7は相対密度が大きいくほど、粘性係数も大きいことを示している。

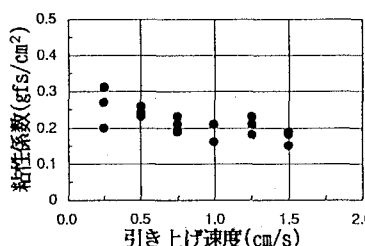


図-3 粘性係数と引き上げ速度の関係
(球径3cm、相対密度20%、入力加速度200gal)

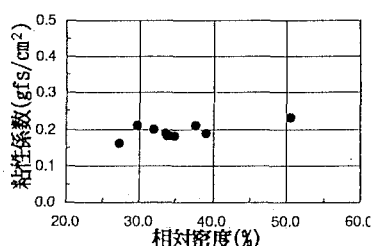


図-4 粘性係数と相対密度の関係
(球径3cm、引き上げ速度1.5cm/s、入力加速度200gal)

表-2 粘度計による実験の実験条件

相対密度(%)	20, 40, 50
回転数(rpm)	1.5, 3, 6, 12, 30, 60

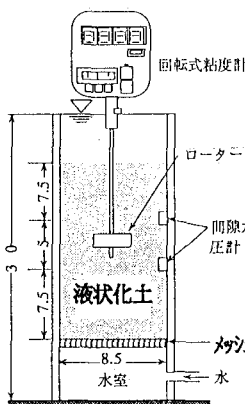


図-5 粘度計による実験装置の概要(単位:cm)

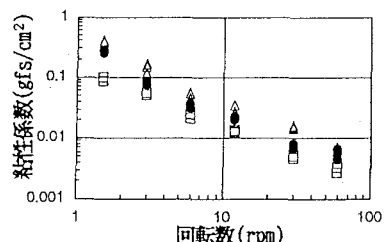


図-6 粘性係数と回転数の関係
(相対密度:□20%,●40%,△50%)

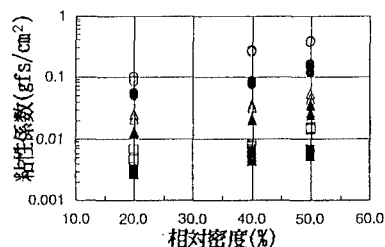
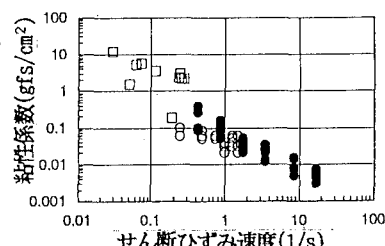


図-7 粘性係数と相対密度の関係
(回転数:○1.5rpm,●3rpm,△6rpm,▲12rpm,□30rpm,■60rpm)



せん断ひずみ速度(1/s)
図-8 粘性係数とせん断ひずみ速度の関係
(○球引き上げ法,●粘度計による実験,□側方流動実験)

4. 考察 本実験により求められた液状化土の粘性係数を総合的に検討する。図-8は、求められた液状化土の粘性係数を地盤のせん断ひずみ速度で整理したものである。さらに、図中にはこれまで行った、模型地盤を用いた側方流動（振動台）実験から求めた粘性係数も合わせて示した。尚、球の引き上げ速度は、球周りの定常流れに対するストークスの流れ関数を用いて、同様にローターの回転数は、ストークスの方程式より導出される無限長さの同心2円筒中に関する解を用いてせん断ひずみ速度に換算した。図-8より以下のことが考察される。

- ①球引き上げ法および回転式粘度計によって求められた液状化土の粘性係数は、よく一致しており、両実験の妥当性が確認される。
- ②液状化土の粘性係数は、せん断ひずみ速度に依存しており、せん断ひずみ速度が小さいほど粘性係数は大きくなる傾向を示す。
- ③球引き上げ法、回転式粘度計および側方流動実験より求められた粘性係数は、ほぼ同一線上にあり、液状化土の流体的特性としての粘性係数を定性および定量的に捉えていると考えられる。

5. おわりに 今後は本実験により明らかにされた液状化土の流動特性を組み入れた数値解析手法を開発し、事例の解析を行うことで、液状化土の流動特性について検討を行っていく予定である。