

回転式粘度計による液状化土の粘性計測

東海大学大学院 ○内海 秀幸
 東海大学海洋学部 西岡 泰志
 東海大学海洋学部 正会員 川上 哲太郎
 東海大学海洋学部 正会員 濱田 政則

1. はじめに

液状化した地盤が地表面のわずかな傾斜によって数mも水平移動する現象、いわゆる側方流動現象が、1983年日本海中部地震の被害調査によりはじめて工学的に認識され、¹⁾その後数多くの研究が行われてきた。²⁾しかしながら、これまでの研究の多くは事例的・現象論的研究であり、側方流動の発生メカニズムおよび、側方流動が地中構築物に与える影響に関しては、ほとんど解明が進んでいないのが現状である。

著者らはこのような現状を踏まえ、液状化土の変形挙動と力学特性について、模型実験・数値解析を含む基礎的な研究を進めてきた。これまでの一連の研究における基本的考え方は、液状化土を流体および、剛性の著しく低下した固体と仮定し、各々についてその力学的特性を明らかにしようとするものである。

本報告では、液状化土は流体として挙動するとの立場にたち、流体の性質を表す一つの物性である粘性係数を回転式粘度計を用いて計測し、液状化土の粘性係数を定量的に明らかにするとともに、地盤の相対密度およびせん断ひずみ速度との関係を検討した結果を示す。

2. 実験方法および実験条件

本実験において用いた実験装置の概要を図-1に示す。実験装置は、砂質試料に上向き浸透流を作用させ液状化状態を再現するための円筒容器（以下浸透流容器、内径85mm、高さ300mm）、粘性計測のための回転式粘度計（（株）トキメック社製、DVM型）および、動水傾度測定用の間隙水圧計2台より構成されている。本実験における砂質試料は、豊浦標準砂を用いた。

浸透流容器内の砂質試料に上向き浸透流を作用

させた液状化状態の再現は、以下の理論にしたがい行った。

まず、浸透流容器内に設置した2個の間隙水圧計の値より、次式により動水傾度 i が得られる。

$$i = (u_1 - u_2) / L \quad (1)$$

ここに、 u_1 、 u_2 は上部および下部に設置された間隙水圧計の値。 L は間隙水圧計の深さ方向の設置間隔を表す。

その時、容器内の砂質試料表面から深さ z の位置における鉛直有効応力 σ_v は、

$$\sigma_v = (\rho - \rho_w) g z - i \rho_w g z \quad (2)$$

$$= \{ [(G-1) / (1+e)] - i \} \rho_w g z,$$

により与えられる。ここで、 ρ は飽和土の密度、 ρ_w は水の密度、 g は重力加速度、 G は試料の比重、 e は間隙比を各々表す。

(2)式における第1式右辺第1項は、静水時の有効応力を表し、第2項は単位水平面積あたりの砂柱に作用する浸透流力を表す。今、 i が、

$$i_{cr} = (G-1) / (1+e) \quad (3)$$

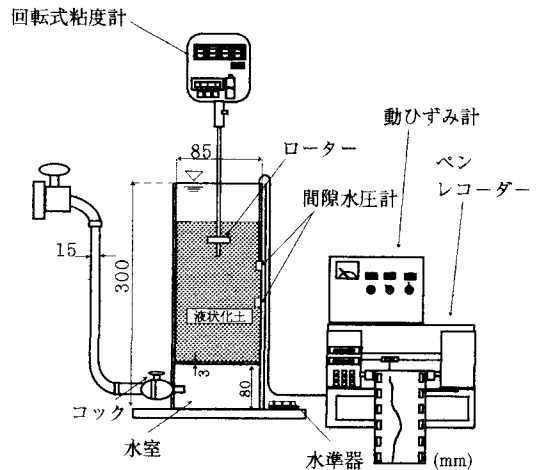


図-1 実験装置概要

に等しくなれば、(2)式より $\sigma_v = 0$ となり、浸透流容器内の砂質試料は液状化状態と見なすことができる。ここに i_{cr} は限界動水傾度と呼ばれる。

動水傾度が限界動水傾度に等しい状態では、鉛直有効応力のみが浸透流力により消去されていることになる。したがって、試料の骨格は乱されおらず、間隙比を初期の設定から変化させずに実験を行うことが可能である。

実験に用いた回転式粘度計による粘性の計測原理は、試料中に鉛直に設置した金属製ローターを一定速度で回転させ、その時発生する粘性トルクを測定し、これを粘性に換算して表示するものである。

実験条件としては、砂質試料の相対密度および、回転式粘度計のローター回転数、すなわちローター周辺の試料に発生するせん断ひずみ速度をそれぞれパラメータとした。実験ケースは両パラメータの組み合わせにより全24ケースであり、1ケース3回計測を行った。(表-1参照)

3. 実験結果および考察

本実験により得られた液状化土の粘性係数と相対密度の関係を図-2に示す。これより、液状化土の粘性係数は相対密度が高いほど大きくなる傾向を示していることがわかる。このことは、液状化土の粘性係数は土粒子の数に影響されるということを示唆していると考えられる。また、この傾向はせん断ひずみ速度(ローター回転数より算出)にはあまり影響されず、各せん断ひずみ速度に対して同様な増加傾向を示す。しかしながら、同一の相対密度におけるせん断ひずみ速度の影響は大きく、せん断ひずみ速度の増加に比例して粘性係数も増加している。

このことを明確にするために、粘性係数とせん断ひずみ速度との関係を図-3に示す。これより、せん断ひずみ速度の増加によって粘性係数が減少する傾向が顕著であることがわかる。

4. おわりに

液状化土の流体としての粘性係数はせん断ひずみ速度及び相対密度に対して比例関係にあり、 $0.002 \sim 0.3 \text{ gf} \cdot \text{s/cm}^2$ 程度であることがわかった。

表-1 実験条件一覧

Dr (%)	20	30	40	50		
せん断ひずみ速度(1/sec)	0.428	0.855	1.710	3.420	8.55	17.10
(回転数(rpm))	(1.5)	(3.0)	(6.0)	(12)	(30)	(60)

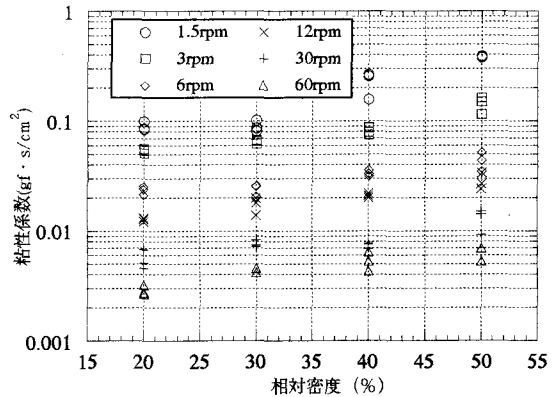


図-2 相対密度-粘性係数の関係

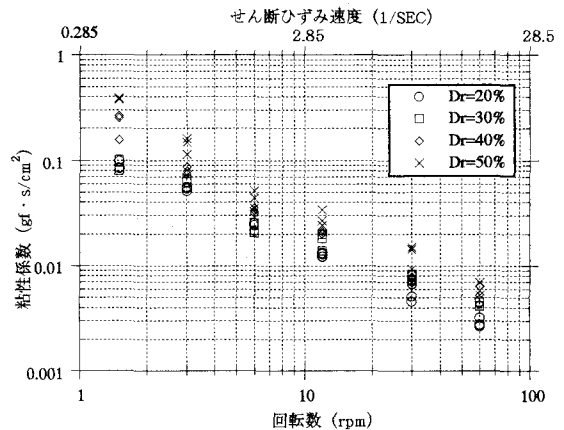


図-3 せん断ひずみ速度-粘性係数の関係

今後は事例の数値解析により流体モデルの液状化土への適用性ととも、本実験により測定した粘性係数の妥当性について検討を行う予定である。

〈参考文献〉

- 1)Hmada,M.,et al.(1993),Liquefaction-Induced Large Ground Displacement,performance of Ground and Soil Structures during Earthquakes,13th Int. Conference on Soil Mechanics and Foundation Eng. pp93~107,New Deichi.
- 2)土居他：液状化している砂の粘性係数に関する要素実験、第48回年次学術講演会概要集第3部,pp418-419,1993.