

液状化土の流動特性に関する研究(1)

～重力場での模型実験～

早稲田大学 フェロー会員 濱田 政則 東京ガス(株) 正会員 島村 一訓
(株)奥村組 正会員 石井 敏之 早稲田大学 学生会員 ○栗田 誠

1. 研究の目的

著者らは重力場の模型地盤(地盤層厚35～45cm)の流動実験により流動中の液状化土が擬塑性流体の性質を示すこと,および液状化土の粘性係数が液状化層厚の3/2乗に比例して増大することを示した。このことは,液状化土の流動実験においてレイノルズ数が一定に保たれていることを示している¹⁾。本論文では重力場においてさらに層厚の大きい模型地盤(層厚80～150cm)の流動実験を行い、上記の液状化土の特性を検証する。

2. 重力場における模型地盤の流動実験

2.1 実験方法

重力場の実験に用いた土槽および模型地盤の概要を図1に示す。模型地盤は流動方向の長さ 5.0 m, 幅 1.0 m, 地盤厚は 80 cm～150 cmで剛土槽を用いた。地盤材料はケイ砂5, 6号を用いており粒径加積曲線を図2に示す。また、平均粒径および均等係数を実験条件とともに表1に示す。目標相対密度は40%としたが表1に示すように35%前後とやや緩詰めとなった。

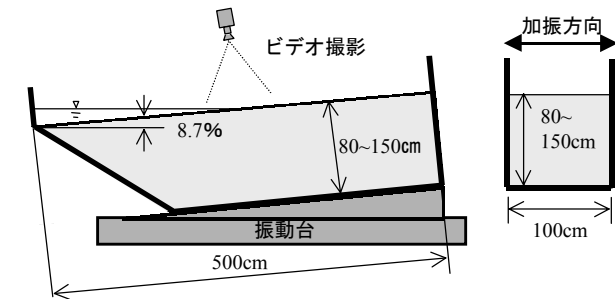


図1 重力場の流動実験に用いた土槽及び模型地盤

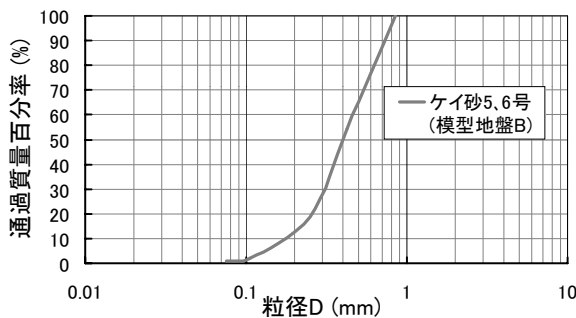


図2 実験に用いた砂の粒径加積曲線

土槽を一定の傾斜(8.7%)で振動台に固定し、流動直角方向に所定の加速度を持つ正弦波で加振、液状化させることにより側方流動を発生させた。地表面

に設置させた標的の移動をデジタル・ビデオカメラで撮影して変位の時刻歴を測定した。

表1 重力場での流動実験の条件

実験名	模型地盤層厚 (cm)	実験回数	相対密度 (%)	平均粒径 (mm)	均等係数	地表面勾配 (%)	加振加速度 (cm/s ²)	振動数 (1/s)	加振時間 (s)
B1	84	1	34	0.40	2.4	8.7	600	6	6
B2	100	1	33	0.40	2.4	8.7	590	6	6
B3	119	1	33	0.40	2.4	8.7	650	6	6
B4	151	1	35	0.40	2.4	8.7	620	6	6

2.2 実験結果の整理

図3に実験結果の一例を示す。図には流動の初期の部分のみを示している。地表面速度は変位を原点を通る3次関数で補間し、これを微分することにより求めている。

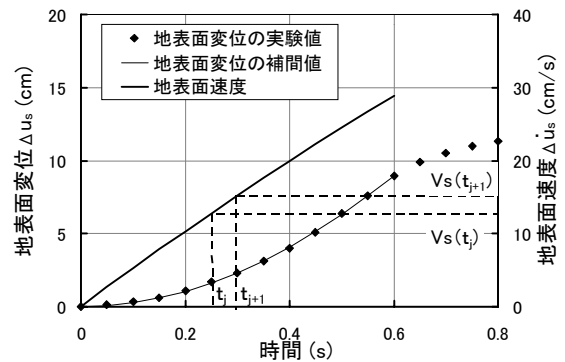


図3 重力場の流動実験の事例

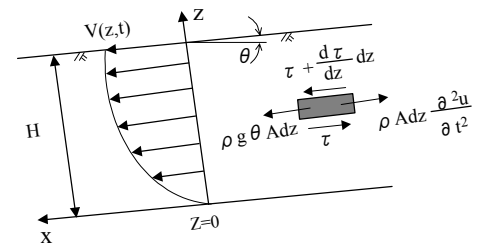


図4 1次元の粘性流体の流れ

ここで、土槽の中央部の地盤の動きを図4に示すような1次元の粘性流体の流れと仮定すれば、時間 t_j, t_{j+1} における地表面速度 $V_s(t_j), V_s(t_{j+1})$ に関して次のような関係が成り立つ。

$$V_s(t_{j+1}) = V_s(t_j) \cdot \exp \left\{ - \left(\frac{\pi}{2H} \right)^2 \frac{\mu}{\rho} (t_{j+1} - t_j) \right\} + 16 \frac{H^2}{\pi^3} \cdot \frac{\rho g}{\mu} \theta \cdot \left[1 - \exp \left\{ - \left(\frac{\pi}{2H} \right)^2 \frac{\mu}{\rho} (t_{j+1} - t_j) \right\} \right] \quad (1)$$

キーワード：液状化, 相似則, 擬塑性流体, 模型地盤

連絡先：〒169-0072 新宿区大久保3-4-1 早稲田大学理工学部 濱田研究室 TEL 03(3208)0349

ここに、 ρ 、 H 、 μ はそれぞれ液状化土の密度、層厚および粘性係数、 θ 、 g は地表面勾配および重力加速度である。上式より実験値を用いて $t_j \sim t_{j+1}$ 間の粘性係数 μ を算定した。粘性係数と同一時間内でのせん断ひずみ速度との関係を図5に示す。この場合せん断ひずみ速度は液状化層全体の平均的なせん断ひずみ速度として各時間区間の平均地表面速度を液状化層厚 H で除した値としている。

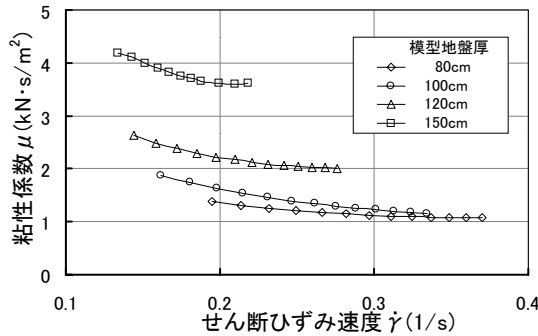


図5 重力場の流動実験によって同定された粘性係数

図5によれば、液状化土の粘性係数はせん断ひずみ速度の増大に伴い減少しており、液状化土が擬塑性流体の性質を持つことがわかる。また粘性係数は液状化層厚の増大により増加していることが分かる。

2.3 液状化土の流動の相似則に関する考察

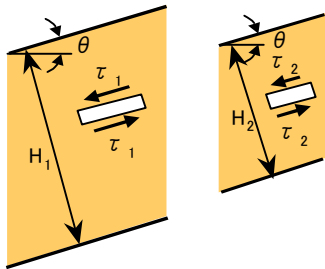


図6 2種類の層厚の実験におけるせん断応力

図6に示すような層厚の異なる2種類の液状化土が各深さにおいて地表面の傾きによるせん断応力を受けて定常状態で流動している場合を考える。2つの流れにおいてレイノルズ数が等しいと考えると層厚の比 $H_2/H_1 = \lambda$ とすれば流動速度 (V_1, V_2), 粘性係数 (μ_1, μ_2) およびせん断ひずみ速度 ($\dot{\gamma}_1, \dot{\gamma}_2$) に以下の関係が成立する¹⁾。

$$V_2/V_1 = \lambda^{1/2} \quad (2)$$

$$\mu_2/\mu_1 = \lambda^{3/2} \quad (3)$$

$$\dot{\gamma}_2/\dot{\gamma}_1 = \lambda^{-1/2} \quad (4)$$

これらは流動速度、粘性係数およびせん断ひずみ速度がそれぞれ層厚の1/2乗、3/2乗、-1/2乗に比例することを示している。

層厚の異なる複数の実験において粘性係数を比較するためには、粘性係数を求めるせん断ひずみ速度も相似則に従った値でなければならない。そこで層厚35cmで実験でのひずみ速度を $0.4^{1/s}$ として、層厚

の異なるそれぞれの実験において相似則による等価なひずみ速度を求めれば、80cm、100cm、120cm、150cmのそれぞれにおいて $0.26^{1/s}$ 、 $0.24^{1/s}$ 、 $0.22^{1/s}$ 、 $0.19^{1/s}$ となる。図5に示した実験結果からこれらのひずみ速度の値における粘性係数を読み取り、液状化層厚に対してプロットした結果を模型地盤(B)として図7に示す。

著者らの研究グループでは液状化層厚35cm、45cmの模型地盤の流動実験を行い、この結果を報告している¹⁾。これを模型地盤(A)として同図上にまとめて示した。なお、図中に示す補正とは模型地盤中央の流れを1次元の粘性流体の流れとして取り扱うために行った補正のことを意味している²⁾。

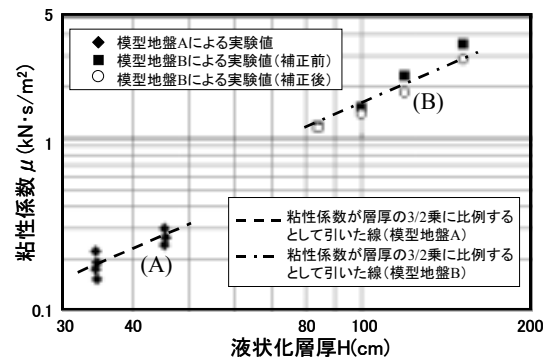


図7 粘性係数と液状化層厚の関係

図中の破線および一点鎖線は模型地盤(A)、(B)それぞれの実験結果に対して粘性係数が液状化層厚の3/2乗に比例するとして最小2乗法により引いたものである。これによれば、模型地盤(B)を用いた実験による粘性係数は液状化層厚のほぼ3/2乗に比例しており、このことは液状化土の流動実験においてレイノルズ数が一定に保たれていることを示している。模型地盤(A)を用いた実験による粘性係数は模型地盤厚35cmの場合にばらついてはいるが、液状化層厚が増大することにより粘性係数が増大することは読みとれる。模型地盤(A)と(B)の結果を併せて考えれば液状化層厚のほぼ3/2乗に比例して粘性係数が増大していると推定することが可能であるが、模型地盤(A)による粘性係数は模型地盤(B)による粘性係数に比較して小さめの値を与えている。この理由はまだ明らかではないが、模型地盤(A)はボイリングによる攪拌により地盤を作成したことに対して、模型地盤(B)は水中落下法により作成したことが原因の一つと考えられる。

参考文献

- 1) 濱田政則, 中村正樹: 傾斜地盤における側方流動のメカニズムと変位量の予測~その1, 土木学会第55回年次学術講演会講演概要集/ⅢA104, 2000. 9
- 2) 濱田政則, 島村一訓: 液状化土の流動特性に関する研究、第2回構造物の破壊過程解明に基づく地震防災性向上に関するシンポジウム論文集 pp. 261-266, 2001, 3