

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2 遠心载荷実験による液状化土の流動特性の研究～

早稲田大学 学生会員 ○ 柳瀬 和俊 フェロー会員 濱田政則 (株)竹中工務店 正会員 甲村 雄一

1 研究の目的

重力場の実験¹⁾により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が示された。このことは粘性係数が有効鉛直応力の 3/2 乗に比例して増加することを意味している。本研究では図 1 に示す遠心载荷装置を用い液状化土の流動実験を行い、相似則^{2),3)}の検証を行った。

2 遠心载荷場での模型実験実験

図 2 に示す長手方向(流動方向)70cm、幅 40cm、厚さ 20cm の飽和地盤を地表面勾配 6%に傾斜させ、これを流動方向と直角な水平方向に同レベルの正弦波で加振、液状化させることにより流動を発生させた。模型地盤の材料は遠州灘の浜砂で重力場の実験値と同一である。土槽底部の水槽からの注水によるボイリングと人力による攪拌によって均一な飽和地盤を作成し、所定の相対密度 40%の模型地盤を作成した。

遠心力は 10、20、30 g であり実験条件を表 1 に示す。地表面変位の時刻歴は非接触式変位計で測定し、これを微分することにより地表面速度の流動の時刻歴を求めた。図 3 に実験により測定された流動速度の時刻歴の一例を示す。

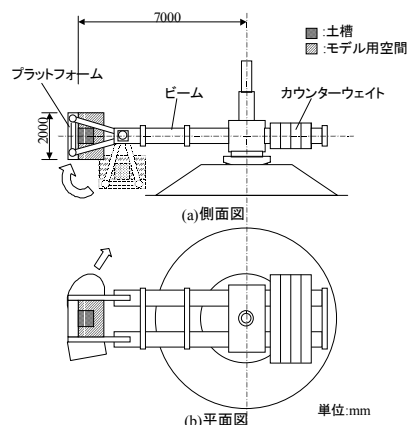


図 1 遠心载荷装置

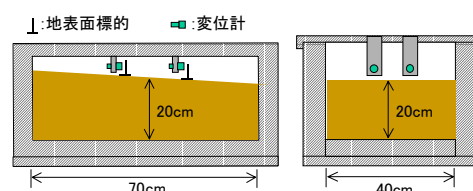


図 2 実験で用いた土槽

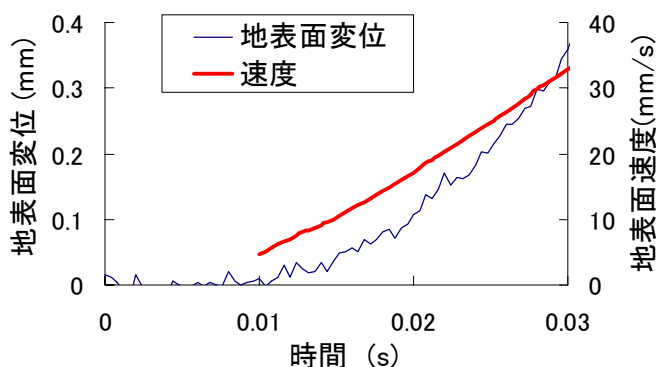


図 3 流動実験による標的の変位及び速度の時刻歴

ここで、模型地盤の中央部の流れを一次元の粘性流体と見なせば地表面($Z=H$)において非定常の流れ $V_s(t)$ は次式によって表される。

$$V_s(t) = \sum_{i=1,3,\dots}^{\infty} 16 \frac{H^2}{(i\pi)^3} \frac{\rho g_c}{\mu} \theta \left[1 - \exp \left\{ - \left(\frac{i\pi}{2H} \right)^2 \frac{\mu}{\rho} t \right\} \right] \sin \frac{i\pi}{2} \quad (1)$$

上式において v : 流動速度、 t : 時間、 μ : 粘性係数、 ρ : 液状化土の密度、 θ : 地表面勾配、 g_c : 遠心载荷実験における遠心力、 i : 流れの深さ方向のモードである。

模型実験における時間区間 $t_j \sim t_{j+1}$ 間の地表面の流動速度の増分 $V_s(t_{j+1}) - V_s(t_j)$ は下式のように求まる。

$$V_s(t_{j+1}) - V_s(t_j) = \sum_{i=1,3,\dots}^{\infty} \left[16 \frac{H^2}{(i\pi)^3} \frac{\rho g_c}{\mu_j} \theta - q_i(t_j) \right] \times \left[1 - \exp \left\{ - \left(\frac{i\pi}{2H} \right)^2 \frac{\mu_j}{\rho} (t_{j+1} - t_j) \right\} \right] \cdot \sin \frac{i\pi}{2} \quad (2)$$

$$q_i(t_j) = \frac{\rho}{\mu_j} \frac{8H}{(i\pi)^2} \left[1 - \exp \left\{ - \left(\frac{i\pi}{2H} \right)^2 \cdot \frac{\mu_j}{\rho} t_j \right\} \right] \quad (3)$$

遠心載荷場における地表面速度および任意の時間間隔 $t_j \sim t_{j+1}$ 間における速度差はそれぞれ式(2)、(3)において遠心力 g_c を 10、20、30g として求めた。

図 3 で示した実験により測定された流動速度の時刻歴の結果を用い粘性係数と、ひずみ速度との関係を求めた。これを図 4 に示す。これは明らかにひずみ速度の増大により粘性係数が減少する傾向を示しており、液状化土が前述の擬塑性流体の特性を有していることが分かる。ここでせん断応力 τ とせん断ひずみ速度 $\dot{\gamma}$ の関係を双曲線近似した場合の初期粘性係数 μ_0 を推定する。実験によって得られる各時間区間の粘性係数は接線粘性係数に相当すると考える。接線粘性係数は次式によって表される。

$$\mu = \frac{d\tau}{d\dot{\gamma}} = \frac{\mu_0}{(1 + \dot{\gamma} / \dot{\gamma}_r)^2} \quad (4)$$

図 4 の結果を用いて式(4)の初期粘性係数 μ_0 を最小 2 乗法によって算定する。模型地盤の重力場での水中単位体積重量を 1.8 gf/cm^3 とし、10～30g 場における模型地盤中央深さにおける有効鉛直応力を求め、これと初期粘性係数 μ_0 との関係を示した結果が図 5 である。

初期粘性係数はほぼ模型地盤の中央深さにおける有効鉛直応力の 3/2 乗に比例して増大しており、著者らが提案している液状化土の流動に関する相似則が遠心場の実験においても保たれていることが分かる。

3 まとめ

著者らが従来から行ってきた重力場の流動実験結果と併せて、有効鉛直応力と初期粘性係数の関係を図 6 に示す。重力場および遠心載荷場での実験はともに遠州灘の浜砂の同一材料で行われており、相対密度も 40% と同じである。図示した結果は液状化土の粘性係数が有効鉛直応力のほぼ 3/2 乗に比例して増大しており、前述の相似則^{2)、3)}を支持している。

現在著者らの研究グループにより中空ねじり試験による液状化土の粘性係数が測定されており、この結果と併せて相似則の検証を進める予定である。液状化土の側方流動に関する相似則が検証されれば、模型実験および液状化土の試験結果もとに実地盤の流動量の予測の道が拓けるものと考えている。

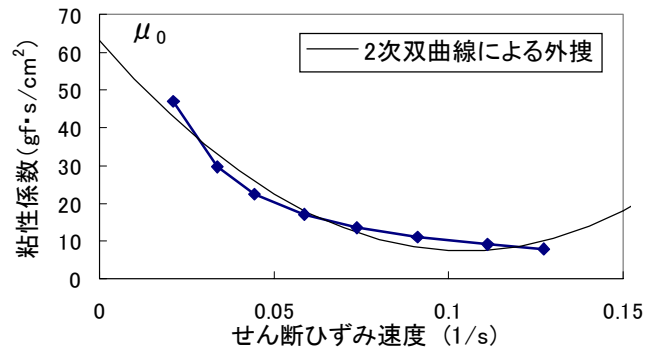


図 4 粘性係数とせん断ひずみ速度の関係

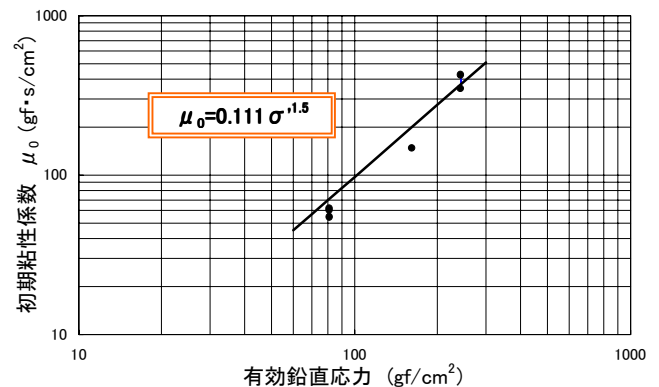


図 5 遠心載荷場の有効鉛直応力と初期粘性係数の関係

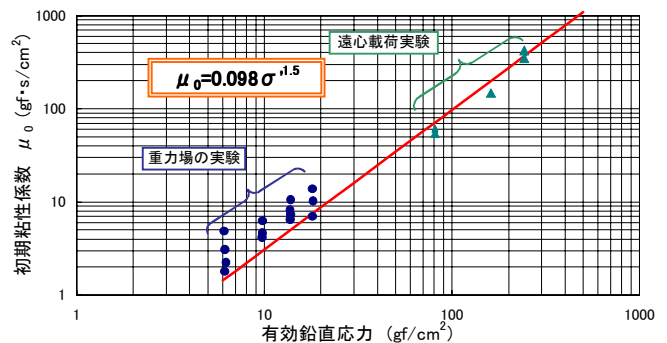


図 6 有効鉛直応力と初期粘性係数の関係

(参考文献)

- 1) 濱田政則、楡達郎：液状化土の流動に関する相似側の研究、第 24 回地震工学・応用地学に関するシンポジウム 1、pp1-2、2000.31)
- 2) 濱田政則、若松加寿江：液状化による地盤の水平変位の研究、土木学会論文集 No.596 / -43、pp.189-208、1998.6
- 3) 濱田政則、那須太郎：傾斜地盤における側方流動量の予測法に関する実験的研究、土木学会第 54 回年次学術講演会講演概要集第 1 部(B)/ -B418、pp.832-833、1999.9