

傾斜した液状化地盤の流動量の予測

早稲田大学 フェロー会員 濱田 政則 東京大学 正会員 若松 加寿江
東京ガス(株) 正会員 島村 一訓 早稲田大学 学生会員 ○藤原裕司

1. 研究の目的

著者らの研究グループの一連の研究¹⁾により、流動中の液状化土の粘性係数が鉛直拘束圧の3/2乗に比例して増大することが示された。本研究では、液状化土の粘性係数に与える相対密度の影響を重力場における模型地盤の流動実験と中空ねじり試験により検討した。これらの結果をもとに、液状化層が複数層の場合の水平変位量算定法について考察し、既往地震における水平変位の測定値とのキャリブレーションにより、液状化地盤の流動による水平変位量の予測手法を提案する。

2. 流動特性に相対密度が与える影響

模型地盤(流動方向 3.0m、水平幅 1.0m、地盤層厚 25cm および 35cm)を流動直角方向に加振して液状化による流動を生じさせる。地表面の流動変位の時刻歴をビデオカメラにより測定して、これを微分することにより流動速度を求め、液状化土の粘性係数を算定する¹⁾。

中空供試体(外径 7.0cm、内径 3.0cm、高さ 7.0cm)を繰返しせん断応力によって液状化させた後、一定せん断応力速度でせん断することにより液状化土の粘性係数を測定する¹⁾。表 1, 2 に実験条件を示す。

表 1 液状化土の粘性係数に与える相対密度の影響
(重力場の流動実験)

実験名	模型地盤層厚(cm)	実験回数	相対密度(%)	地表面勾配(%)	加振加速度(cm/s ²)	振動数(1/s)
GD1	24~25	4	40~44	6	390~410	5
GD2	23	2	53~55	6	380~400	5
GD3	34~35	2	39~41	6	390~430	5
GD4	34	3	45~50	6	420~460	5

表2 液状化土の粘性係数に与える相対密度の影響
(中空ねじり試験)

実験ケース No.	全鉛直応力 kN/m ²	相対密度 %	過剰間隙水圧比
T13	49	42	0.97
T14	49	44	0.99
T15	49	42	0.97
T16	49	43	0.96
T17	49	50	0.98
T18	49	59	0.97
T19	49	59	0.96
T20	49	60	0.97
T21	49	69	0.99
T22	49	69	0.99
T23	49	68	0.97

重力場の流動実験および中空ねじり試験における

相対密度と粘性係数の関係を図 1, 2 に示す。

なお、図 1 に示す粘性係数は著者らの相似則¹⁾により、層厚 25cm の場合のせん断ひずみ速度を 0.4(1/s)として、それぞれの層厚における等価なせん断ひずみ速度に対する値を示している。図の縦軸は相似則に従って粘性係数を層厚の 3/2 乗で除し正規化した値を示す。図中の式は最小 2 乗法より得たものである。

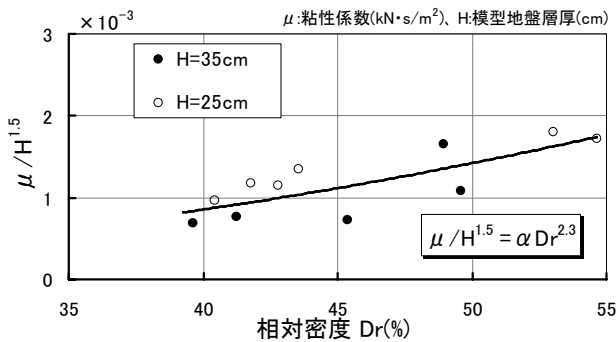


図 1 粘性係数と相対密度の関係(重力場の流動実験)

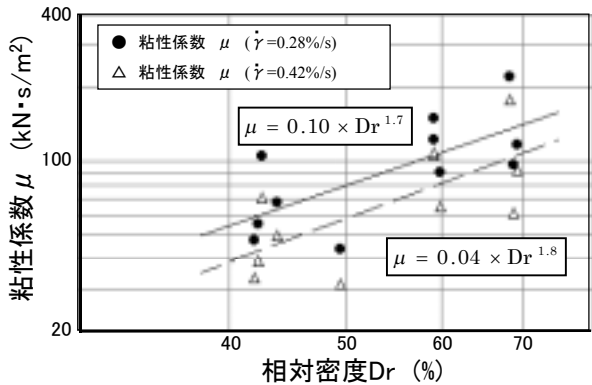


図 2 粘性係数と相対密度の関係(中空ねじり試験)

重力場の実験によれば粘性係数は相対密度の 2.3 乗に比例して増加し、中空ねじり試験によれば粘性係数は相対密度の 1.7~1.8 乗に比例して増加する。

また著者らの研究グループは既に重力場において模型地盤の流動実験から加振加速度、地表面勾配が粘性係数に与える影響は小さいことを示している¹⁾。

3. 液状化土の流動による

地表面変位の予測式の提案

予測式の実地盤への適用性を考慮し、図 5 に示すように液状化層が多層で構成されている場合を想定する。

以下の仮定条件のもとに予測式を提案する。

キーワード：液状化, 側方流動, 予測式

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

1) 各液状化層は定常状態で流動しているとし、非液状化層は下部の液状化層の上に乗って剛体として流動していると仮定する。すなわち、非液状化層のせん断変形は無視し得るほど小さいものとする。

2) 各液状化層の粘性係数は全鉛直応力の $3/2$ 乗に比例し、また相対密度の 2 乗に比例して増大するものとする。

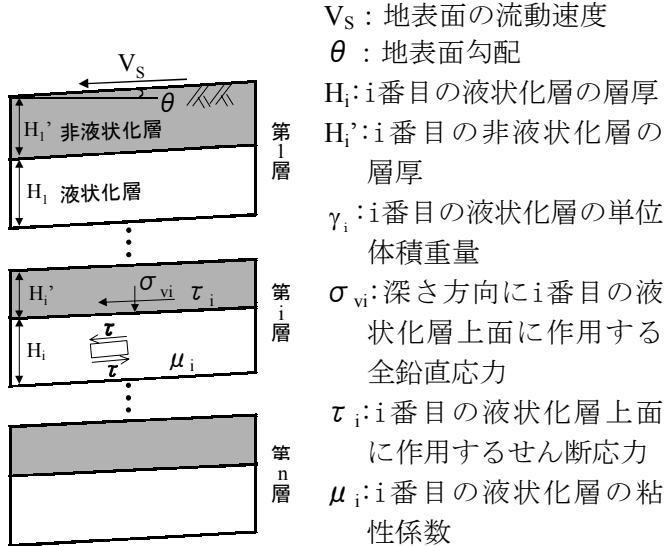


図5 傾斜地盤の液状化層の流れ

これらの仮定から第 i 層の下端で流動速度を 0 とした場合の第 i 番目の液状化層上面での定常状態の流動速度 V_{si} と粘性係数 μ_i に関して次式が得られる。

$$V_{si} = \left(\sigma_{vi} H_i + \frac{1}{2} \gamma_i H_i^2 \right) \frac{\theta}{\mu_i} \quad (2)$$

$$\mu_i \propto \left(\sigma_{vi} + \frac{1}{2} \gamma_i H_i \right)^{3/2} \cdot Dr_i^2 \quad (3)$$

マイヤーホフによれば相対密度と N 値の関係は

$$Dr = 21 \sqrt{\frac{N}{\frac{\sigma'_v}{98} + 0.7}} \quad (4)$$

と表され、さらに有効鉛直応力によって補正された N 値 ($\bar{N}$) は、次式によって表される。

$$\bar{N} = \frac{1.7N}{\frac{\sigma'_v}{98} + 0.7} \quad (5)$$

これらの式を用いて、地表面速度を各液状化層上面の流動速度の総和と考えれば次式を得る。

$$V_s \propto \sum_{i=1}^n \frac{\left(\sigma_{vi} H_i + \frac{1}{2} \gamma_i H_i^2 \right)}{\left(\sigma_{vi} + \frac{1}{2} \gamma_i H_i \right)^{3/2} \cdot \bar{N}_i} \cdot \theta \quad (6)$$

式 (6) の右辺は液状化土の流動のし易さを表している指標であり、地表面変位 D_s もこれに比例すると考えれば次式が得られる。

$$D_s \propto \sum_{i=1}^n \frac{\left(\sigma_{vi} H_i + \frac{1}{2} \gamma_i H_i^2 \right)}{\left(\sigma_{vi} + \frac{1}{2} \gamma_i H_i \right)^{3/2} \cdot \bar{N}_i} \cdot \theta \quad (7)$$

濱田らは 1964 年新潟地震、1983 年日本海中部地震および 1995 年兵庫県南部地震の液状化土の流動について地震前後の航空写真による地表面変位の測定およびボーリングデータの収集による液状化層の判定を行い、地表面変位に与える諸要因についての分析を行って来ている²⁾。これらの既往地震での事例による諸数値より式 (7) の右辺を計算し、これと既往地震の事例において実測された地表面の水平変位の関係を最小 2 乗法により直線近似すると、その傾きは $36 [(\text{kN}/\text{m}^2)^{1/2}/\%]$ と求まる。従って

$$D_s = 36 \sum_{i=1}^n \frac{\left(\sigma_{vi} H_i + \frac{1}{2} \gamma_i H_i^2 \right)}{\left(\sigma_{vi} + \frac{1}{2} \gamma_i H_i \right)^{3/2} \cdot \bar{N}_i} \cdot \theta \quad (8)$$

が予測式として得られる。上式において、地表面変位 D_s 、液状化層厚 H_i 、全鉛直応力 σ_{vi} 、単位体積重量 γ_i および地表面勾配 θ の単位はそれぞれ $[\text{m}]$, $[\text{m}]$, $[\text{kN}/\text{m}^2]$, $[\text{kN}/\text{m}^3]$, $[\%]$ である。本予測式による値と実測値との関係は図 6 に示す通りであり、ごく一部のデータを除けば、良好な精度で実測値を説明していることがわかる。

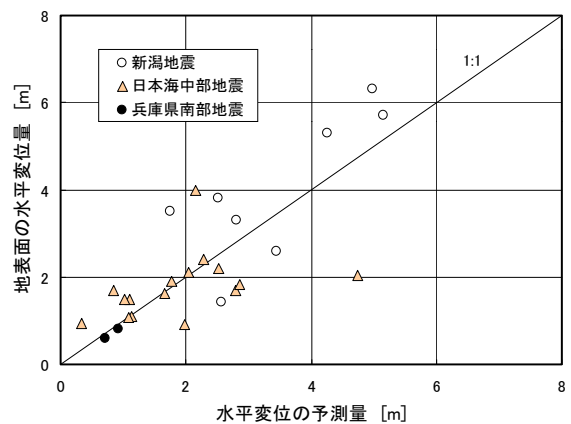


図6 式(8)による予測値と実測地表面水平変位量の関係

参考文献

- 1) 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 pp261-266, 2001. 3
- 2) 濱田政則, 若松加寿江: 液状化地盤の水平変位量の予測法に関する研究、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 pp267-272, 2001. 3