

液状化土の流動特性に関する研究(2) ～遠心載荷場での模型実験および中空ねじり試験～

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
早稲田大学 学生会員 ○平尾淳

1. 研究の目的

重力場の流動実験より液状化土の粘性係数は液状化層の層厚の3/2乗に比例して増大することが示された。粘性係数が液状化層厚の3/2乗に比例することは鉛直応力に対してもその3/2乗に比例して粘性係数が増大することを示唆している。¹⁾ このことを検証するため遠心載荷場における液状化土の流動実験と中空ねじり試験を行い、重力場で得られた液状化土の流動特性の検証を行った。

2. 遠心載荷場における模型地盤の流動実験

図1に示す2種類の模型地盤C、Dを用い、表1に示す実験条件のもと流動方向と直角の水平方向に加振し、土槽中央部の地表面のマーカーの変位をビデオカメラおよび非接触式のレーザー変位計によって測定し、変位の時刻歴を数値微分することにより地表面速度の時刻を求めた。遠心載荷場における実験においても重力場における流動実験と同じく模型地盤中央の流れを1次元の粘性流体として取り扱い式(1)によって粘性係数を算定する。なお、間隙液は水を用いているがこれは本実験が砂と水の混合体である液状化土そのものの流動特性に関する要素試験の目的を有しているためであり、間隙液の透水性に関する相似性は考慮されていない。

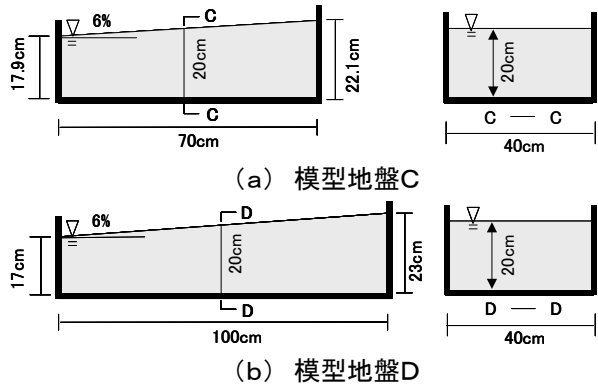


図1 遠心載荷場実験に用いた土槽及び模型地盤

表1 遠心載荷場での流動実験

実験名	模型地盤層厚 (cm)	遠心場 (G)	相対密度 (%)	平均粒径 (mm)	均等係数	加振加速度 (cm/s ²)	振動数 (1/s)	加振時間 (s)
C1	20	10	35	0.22	1.9	270×10	50	1.60
C2	20	20	37	0.22	1.9	341×20	100	0.80
C3	20	30	35	0.22	1.9	373×30	150	0.53
D1	20	10	36	0.22	1.9	394×10	50	1.60
D2	20	20	37	0.22	1.9	246×20	100	0.80
D3	21	30	38	0.22	1.9	275×30	150	0.53
D4	20	40	40	0.22	1.9	270×40	200	0.40
D5	20	10	41	0.22	1.9	380×10	50	1.60
D6	20	20	39	0.22	1.9	250×20	100	0.80
D7	20	40	39	0.22	1.9	350×40	200	0.40

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

遠心載荷場における実験においても重力場における流動実験と同じく模型地盤中央の流れを1次元の粘性流体として取扱うが、図1に示すように模型地盤の流動方向の長さは有限であり2次元流体であるため、流体解析プログラム「PHENICS」を用いて、1次元解析による地表面速度に対する2次元解析による地表面速度の比を求め、速度の補正を行った。このようにして算定された粘性係数をせん断ひずみ速度に対してプロットした結果を図2に示す。

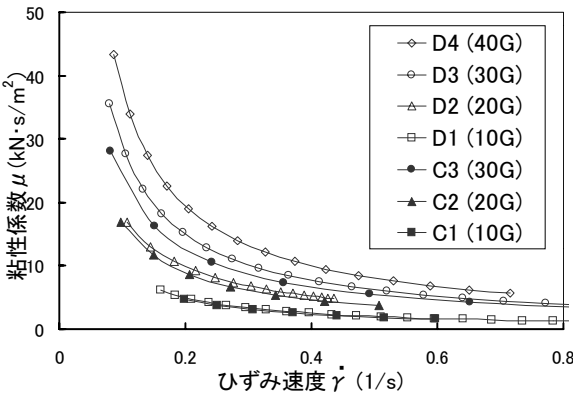


図2 粘性係数とせん断ひずみ速度の関係
(遠心載荷場)

いずれの実験においても粘性係数はせん断ひずみ速度の増加とともに減少し、かつ一定値に漸近する傾向を見せており、重力場の実験と同様、液状化土が擬塑性流体としての特性を有していることが分かる。また、遠心載荷場の遠心重力が大きいほど粘性係数が増大している。

前述の相似則によれば液状化層厚の異なった2種類の流動においてせん断ひずみ速度の比は液状化層厚の比の平方根の逆数に比例することが示されている。このことは、せん断ひずみ速度が全鉛直応力の比の平方根の逆数に比例することを示唆している。このため、10Gの遠心載荷場の実験でのせん断ひずみ速度を基準として0.17^{1/s}とし、20G、30G、40Gの場合のせん断ひずみ速度を相似則に従ってそれぞれ0.12^{1/s}、0.10^{1/s}、0.09^{1/s}として図2の結果により粘性係数を読み取り、全鉛直応力にたいしてプロットした結果を図3に示す。

キーワード：液状化、相似則、擬塑性流体

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

図中に示した直線は粘性係数が全鉛直応力の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が、実験によって得られた粘性係数はほぼこの直線上にあり、前述の相似則が成立していることを示している

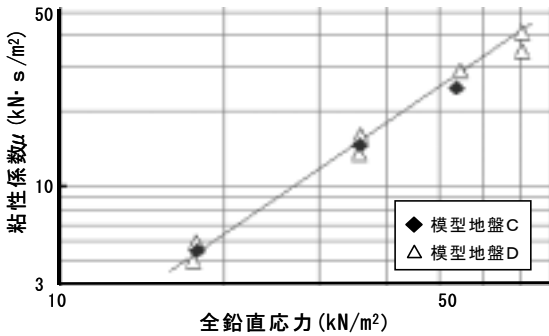


図3 粘性係数と全鉛直応力との関係(遠心载荷場)

3. 中空ねじり試験による粘性係数の推定

図4に示す中空の供試体を用い図5に示すような一定振幅のせん断応力の正弦波载荷(0.1Hz)によって液状化状態を生じさせた後、一方向にほぼ一定のせん断応力速度で载荷することによりせん断応力とせん断ひずみ速度の関係を求め、液状化土の粘性係数を測定する。一方向にせん断応力を载荷する直前の過剰間隙水圧は表2に示す通りで0.95~0.99の範囲である。表2に示すように供試体に加える全鉛直応力49, 98, 196kN/m²と変化させ、全鉛直応力が液状化土の粘性係数に与える影響を検討する。初期の水圧は静水圧で、供試体に作用させる鉛直応力に比較して著しく小さく、初期の有効鉛直応力は全鉛直応力にほぼ等しい。全水平応力は全鉛直応力の1/2としている。

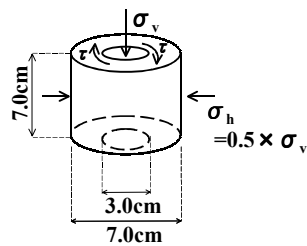


図4 供試体

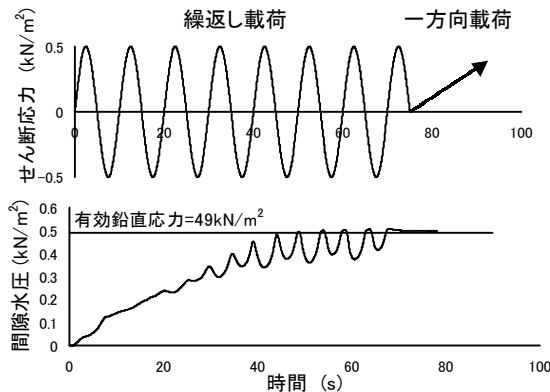


図5 繰返し载荷による液状化と一方向载荷

せん断応力を別途実施したメンブレンと水のみの試験によって測定されたメンブレンによる抵抗分を差し引くことで求め、これをもとに得られたせん断応力とせん断ひずみ速度の関係の例を図6に示す。

せん断ひずみ速度の増大とともに粘性係数が減少し、重力場および遠心载荷場の流動実験で示されたように液状化土が擬塑性流体の性質を持つことが分かる。また、せん断応力は全鉛直応力の増大によって増加してお

り、液状化土の粘性係数は全鉛直応力増加に伴って増大している。

表2 中空ねじり試験の実験条件

実験ケース No.	全鉛直応力 kN/m²	相対密度 %	過剰間隙水圧比
T1	49	42	0.97
T2	49	44	0.99
T3	49	42	0.97
T4	49	43	0.96
T5	98	42	0.98
T6	98	41	0.98
T7	196	45	0.99
T8	196	48	0.98
T9	196	43	0.97
T10	196	45	0.96
T11	196	46	0.97
T12	196	45	0.96

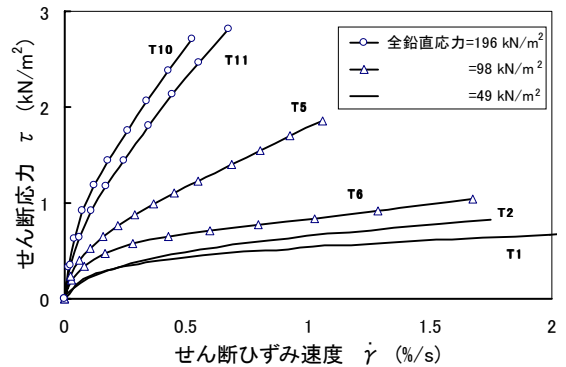


図6 中空ねじり試験によるせん断応力とせん断ひずみの関係

前述した相似則によればせん断ひずみ速度は全鉛直応力の平方根の逆数に比例して増大する。全鉛直応力98kN/m²の場合のせん断ひずみ速度を0.2(%/s)とし、49kN/m²、196kN/m²の場合のせん断ひずみ速度をそれぞれ0.28(%/s)、0.14(%/s)として、図6に例を示したせん断応力とせん断ひずみ速度の関係から接線粘性係数を読み取り、全鉛直応力との関係を求めた。これを図7に示す。図中の実線は粘性係数が鉛直応力の3/2乗に比例するとして最小2乗法で引いたものであるが、実験値が概ねこの直線上にあることを示している。

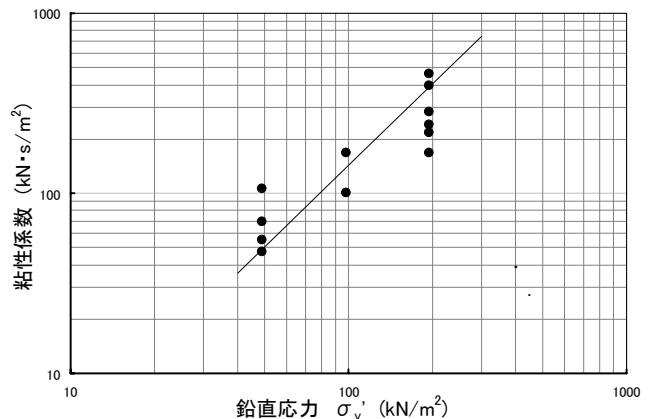


図7 粘性係数と全鉛直応力との関係(中空ねじり試験)参考文献

- 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 pp. 261-266, 2001, 3