

III-306

遠心力場におけるシリコンオイルの透水性について

大成建設(株) 技術研究所 ○田中 満・樋口 雄一
 〃 酒見 卓也・川崎 宏二
 名倉 克博

まえがき 筆者らは、遠心模型実験により液状化現象を再現するために必要となる基礎的研究を行っている^{1), 2)}。砂地盤の飽和に用いる間隙液の粘性は、過剰間隙水圧の上昇過程ばかりでなく、消散過程における地盤の挙動にも大きく影響する。 n G場における液状化実験において、経時的な間隙水圧分布の変化を模型と原型の間で相似にするためには、 n cPの液体を用いる必要がある³⁾。ところが、1G場における透水試験結果より、 n cPの粘性流体の透水係数が水の透水係数の $1/n$ 倍に一致しなかったとの報告もある⁴⁾。

そこで、本研究では、水およびシリコンオイルの透水試験を、1G場ならびに遠心力場において行い、それぞれの透水係数を調べてみたので報告する。

1. 試験方法

液体は、水および粘性係数が異なる3種類のシリコンオイル(信越シリコン KF96、公称動粘性係数 $\nu=10$ cSt, 30 cSt, 50 cSt)を用いた。試験装置は図-1に示すように、真鍮製の供試体モールド(内径 $\phi 5$ cm×高さ h 10 cm)、カラー、オーバーフロー用シリンダから成り、透水係数 k を変水位試験法により測定できる。試験手順は次の通りである。①供試体モールドに豊浦標準砂を間隙比 $e=0.8\sim 0.9$ を目標として詰め、②供試体を液体(水またはシリコンオイル)により底部から飽和し、③飽和終了後、供試体上部より初期ヘッド $\Delta h=10$ cmで透水させ、水位低下量を一定時間ごとに圧力計を用いて測定する。この試験を液体種類を変えて、1G場および遠心加速度10G, 30G, 50G場において行った。

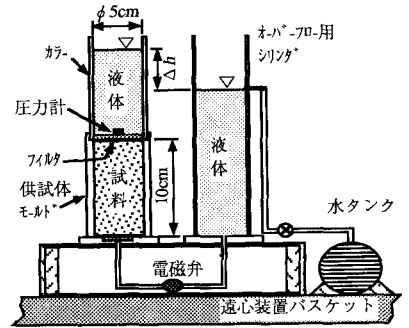


図-1 透水試験装置 (1G場, 遠心力場兼用)

2. 試験結果

透水係数は、温度による液体の密度変化および粘性変化を考慮し、 $T=25^{\circ}\text{C}$ の場合の値に補正した。次に、供試体の間隙比 e は実験ケースごとに異なるため、図-2に示すように間隙比 e と透水係数 k の関係を求め、 $e=0.85$ に対する透水係数値を読み取り、この値を各ケースの代表値とした。以上の手順により得られた透水係数を表-1に示す。

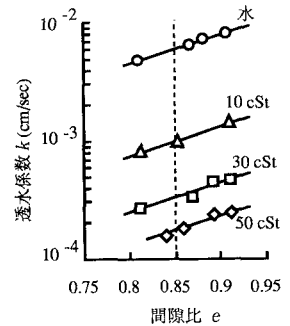


図-2 $e-k$ 関係の一例 (1G場)

表より、異なる遠心加速度場において得られた水の透水係数 k_w は、遠心加速度によらず、ほぼ一定 ($k_w=6.0\sim 6.2\times 10^{-3}$ cm/sec) である。この結果から、透水圧力の違いによる透水係数 k の変化は小さいと判断した。

地盤中の流体のレイノルズ数は $Re=\nu \rho d/\eta$ で表され、限界レイノルズ数は、 $Re_c=1\sim 10$ 程度といわれている⁵⁾。ここに、 ν : 真の流速、 ρ : 液体の密度、 d : 平均粒径、 η : 液

遠心加速度 (G)	公称動粘性係数 ν cSt (粘性係数 η cP)			
	0.91 (0.91)	10 (9.7)	30 (29)	50 (48)
1	6.1×10^{-3}	9.9×10^{-4}	3.1×10^{-4}	1.7×10^{-4}
10	6.1×10^{-3}	6.3×10^{-4}	2.1×10^{-4}	—
30	6.0×10^{-3}	—	2.0×10^{-4}	—
50	6.2×10^{-3}	—	1.9×10^{-4}	1.3×10^{-4}

間隙比 $e=0.85$, 液温 $T=25^{\circ}\text{C}$

体の粘性係数である。今回の実験範囲では、遠心加速度50 G場において水を透水させ始めた時点で $Re = 1.2 > 1$ となる^{注)}ことを除けば、いずれも $Re \ll Re_c$ となる遅い流れであり、Darcy 則が成り立つと考えられる。注) $v = k i (1+e) / e$, $i = 50$, $\rho = 1.0 \text{ g/cm}^3$, 標準砂の平均粒径 $d = 0.16 \text{ mm}$, $\eta = 9.1 \text{ cP}$ とした。

3. 考 察

① 1 G場または遠心力場において、粘性係数が異なる液体を透水させた場合

図-3は、透水させた液体の公称動粘性係数 ν (cSt) に対して

k'_{oil} / k'_w をプロットしたものである。ここに、 $k' = \eta \cdot k$ (η : 液体の粘性係数)である。

1 G場では、図-3中の○印より、シリコンオイルの透水性は $k'_{oil} / k'_w = 1.47 \sim 1.70$ で、水と比べて透水しやすいことが分る。すなわち、 $n \text{ cSt}$ のシリコンオイルおよび水のそれぞれの透水係数の関係は、 $k_{oil} > k_w / (\eta_{oil} / \eta_w) \doteq k_w / n$ となる。例えば、公称動粘性係数50 cStのシリコンオイルの透水係数は、表-1より $k_{oil} = k_w / 36 > k_w / 50$ である。この透水係数の比率は、既往の研究⁴⁾で示された値 ($k_{oil} \doteq k_w / 30$) と近い。

一方、遠心加速度場では、図-3中の△印、□印、◇印(それぞれ、10G, 30G, 50G)より、 $k'_{oil} / k'_w = 0.99 \sim 1.11$ ではほぼ1に近い、すなわち、 $k_{oil} = k_w / (\eta_{oil} / \eta_w) \doteq k_w / n$ となった。

シリコンオイルの透水性が1 G場でのみ高い原因は、シリコンオイルの表面張力が水の約1/3である⁶⁾こと、せん断ひずみ速度が非常に小さい範囲においてシリコンオイルがニュートン流体として振るまうかどうか不明であること、なども考えられるが、今回の研究では明らかにできなかった。

② $n \text{ G}$ 場において、 $n \text{ cSt}$ のシリコンオイルを透水させた場合

図-4は、 $n \text{ G}$ 場において公称動粘性係数 $\nu = n \text{ cSt}$ のシリコンオイルを透水させた場合の、遠心加速度 n に対する k'_{oil} / k'_w の値である。グラフより k'_{oil} / k'_w は、シリコンオイルの粘性係数値によらず、 $k'_{oil} / k'_w = 1.05 \sim 1.11$ で、いずれも1より大きいのはほぼ1に近い。

すなわち、 $n \text{ G}$ 場において $n \text{ cSt}$ のシリコンオイルを用いた場合の透水係数は、今回の実験範囲では、ほぼ $k_{oil} = k_w / n$ となる。

あとがき 遠心加速度 $n \text{ G}$ 場において、公称動粘性係数 $n \text{ cSt}$ のシリコンオイルの標準砂地盤に対する透水係数は、1 G場における水の透水係数のほぼ $1/n$ となることを確認した。したがって、

遠心加速度 $n \text{ G}$ 場において液状化現象の模型実験を行う際に、地盤間隙液として $n \text{ cSt}$ のシリコンオイルを用いると、過剰間隙水圧 Δu の分布が模型と原型の間で相似になると考えられる。今後は、シリコンオイルで飽和された砂地盤の動的諸特性について調べて行きたい。

参考文献 1) 名倉 克博ら：遠心力場における加振制御システムの開発，第47回年講，pp.238～239，1992.、2) 田中 満ら：遠心力場における液状化現象の再現に関する基礎的実験，第48回年講，pp.380～381，1993.、3) 例えば、地盤工学における模型実験入門：土質工学会，pp.160～163，1994.、4) 柴田 徹ら：遠心力場における飽和砂地盤の液状化実験，第26回土質工学研究発表会，pp.1045～1048，1991.、5) 例えば、山口 柏樹：土質力学，技報堂，pp.63～65，1982.、6) KF96 技術資料，信越化学工業，34p.，1991.

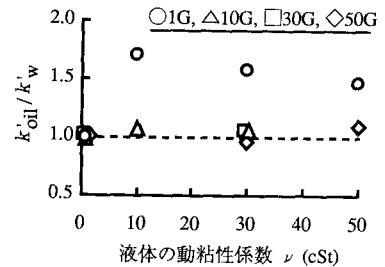


図-3 1 G場および遠心力場における透水性の比較

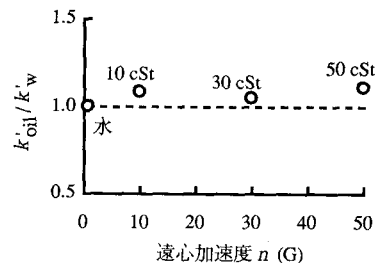


図-4 $n \text{ G}$ 場において $n \text{ cSt}$ の液体を用いた場合の透水性