

III-79 砂質土の動的挙動に及ぼす間隙流体の影響について

京都大学工学部（学）河井 正

同上（正）柴田 徹，（学）黒木 繁盛

1. はじめに

遠心模型実験を行う際には、動的問題における時間の相似比と浸透問題に関する時間の相似比とを一致させるために、間隙流体としてシリコンオイルがしばしば用いられる。しかし、水と物性の異なるシリコンオイルを用いることが、砂の力学的挙動にどのような影響を及ぼすかについては明らかにされていない。そこで本研究では、非排水条件下で振動三軸試験（1 G場）を行い、水とオイルの試験結果を比較した。また最近、背圧の大きさによって液状化強度に差が生じるために、背圧を加えて飽和度を高める方法を疑問視する論文¹⁾が出されているので、この問題についても検討した。

2. 実験方法

実験に用いた珪砂の諸性質、水とシリコンオイル（信越化学工業株式会社製品番号KF96）の物性値をそれぞれ表-1、表-2に示す。さらに表-3に実験条件をまとめて示すが、全ての実験においてB値は0.95以上という条件下で実施した。これらの実験はすべて応力振幅制御で行い、直径5cm、高さ10cmの供試体を空中落下法により作成した。

表-1 珪砂の性質

	4号砂	6号砂	8号砂
G_s	2.649	2.640	2.642
e_{max}	0.985	0.688	0.732
e_{min}	0.669	1.113	1.340
$D_{50}(mm)$	1.09	0.430	0.095
U_c	1.49	2.762	2.600

表-2 水、シリコンオイルの物性値

	粘度(cs) 25℃	比重 25℃	表面張力 25℃ (dyne/cm)	体積圧縮係数 (kgf/cm^2)
水	1	0.979	71.96	4.5×10^{-5} (20℃)
オイル	50 ± 2.5	$0.955 \sim 0.965$	20.8	8.0×10^{-5} (25℃)

なお液状化の判断基準としては、2種類の試験機を用いたため、シリーズ1~10までは軸ひずみが5%に達した時点、シリーズ11~13までは軸ひずみが1%に達した時点を用いた。また、相対密度のばらつきによる液状化強度の変化を補正するため、以下の図（図-4は除く）において、次の式による応力比（ $\sigma_d / \sigma'_{30} : \sigma_d =$ 繰返し応力の片振幅、 $\sigma'_{30} =$ 側圧）の補正を行った。

表-3 実験条件

シリーズ	1 ~ 10	11	12	13
側圧 (kgf/cm^2)	3.0	3.0	4.0	5.0
圧密応力 (kgf/cm^2)	1.0		1.0	
背圧 (kgf/cm^2)	2.0	2.0	3.0	4.0
載荷周波数 (Hz)	0.1		0.5	
間隙流体	1~3, 7, 8は 水 4~6, 9, 10は オイル		水	
珪砂号数	1, 4は 4号砂 2, 5, 7, 9は 6号砂 3, 6, 8, 10は 8号砂		6号砂	
相対密度 (%)	1~6は 47.8~56.0% 7~10は 62.3~77.2%		56.7~70.6	
備考	大阪土質試験所の試験機		京都大学工学部の試験機	

$$(\text{求める応力比}) = \frac{(\text{補正した相対密度})}{(\text{相対密度の実験値})} \times (\text{応力比の実験値})$$

この式は、NL=10cyclesに対応する応力比と相対密度が、相対密度70%程度以下では比例するというSeedらの報告²⁾に基づく。

3. 考察

3.1 間隙流体の影響

図-1によると、同じ相対密度（50%）であれば、4, 6, 8号砂の順に粒径が細くなるほど液状化抵抗が小さくなっている。また、

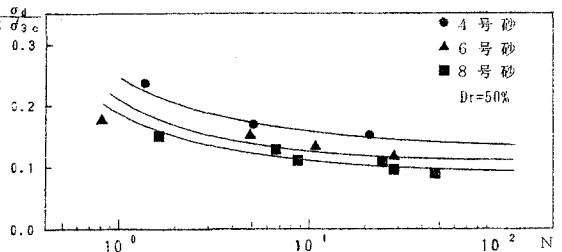


図-1 珪砂の液状化強度（シリーズ1~3）

図-2 (シリーズ2, 5, 7, 9), 図-3 (シリーズ3, 6, 8, 10) では、間隙流体が水の場合とオイルの場合における液状化強度の比較を試みている。三角印は $Dr=70\%$ の結果であり、丸印は $Dr=50\%$ のものである。両図とも水の結果(白抜き)とオイルの結果(黒)とで明確な差は生ぜず、非排水条件で試験を行う限り、シリコンオイルと水の物性(特に粘性)の差は、砂の動的挙動に影響を及ぼさないものと思われる。

3. 2 背圧の影響

Terzaghiの有効応力の原理によると、三軸試験の場合、有効拘束圧が等しいならば土の強度は側圧や背圧(水圧)によらない。これは静的な問題に基づいて考え出された原理であるが、通常は動的問題を扱う場合にも拡張されている。特に液状化強度は試料の飽和度に大きく左右されるので、振動三軸試験を行う場合は必ずといってよいほど、背圧を上げ飽和度を高める。しかし一方で、動的問題においては有効応力の原理は成立せず、背圧によって液状化強度が変化する(図-4)という報告¹⁾もなされており、改めて確認する意味で図-5 (シリーズ11~13) のように実験結果を整理してみた。これによると多少のパラ付きはあるものの、液状化強度の差は見られず、背圧の液状化強度への影響はないものと思われる。

4. おわりに

考察のところでも述べたように、間隙流体が水であってもシリコンオイルであっても、非排水条件であるかぎり液状化強度の差はない。つまり、間隙流体をシリコンオイルとすることは、透水係数の問題を除き液状化強度に影響せず、遠心模型実験の際に、時間の相似比を一致させるためシリコンオイルを使用できることとなる。また今回の実験により、背圧を用いて飽和度を高め、振動三軸試験を行うことの妥当性も確かめられた。

参考文献

- 1) Xia, H. and Hu, T.: "Effect of Saturation and Back Pressure on Sand Liquefaction," J. Geotech. Engng. Div., Proc. ASCE, Vol. 117, No. 9, pp. 1347-1362, 1991
- 2) De Alba, P., Seed, H.B. & Chan, K.C.: "Sand Liquefaction in Large-Scale Simple Shear Tests," Journal of the Geotechnical Engng. Division, Vol. 102, No. GT9, pp. 909-928, 1976

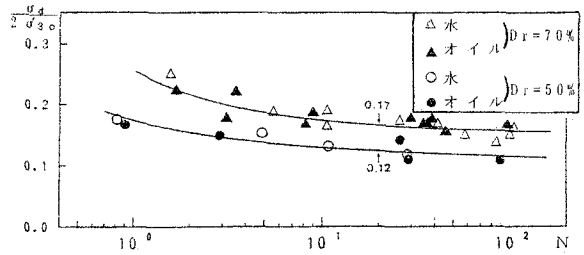


図-2 間隙流体による比較 (6号シリーズ2, 5, 7, 9)

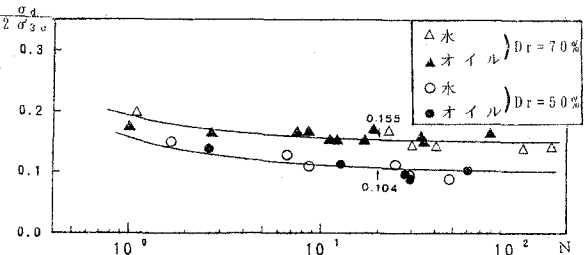


図-3 間隙流体による比較 (8号シリーズ3, 6, 8, 10)

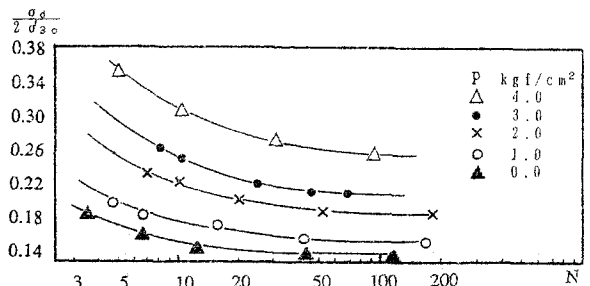


図-4 Xiaらによる
背圧と液状化強度の関係¹⁾

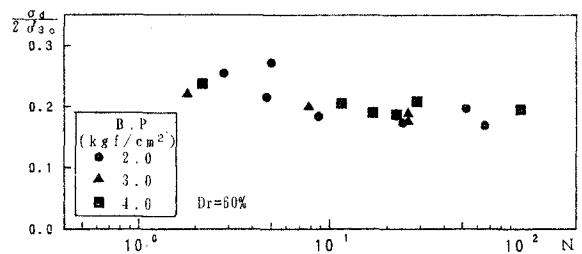


図-5 背圧による比較 (6号シリーズ11~13)